

발간등록번호

74-6440000-000380-01

화력발전소 주변지역 기후환경영향 연구(2차년도)

2019. 4.

제 출 문

충청남도지사 귀하

본 보고서를 「화력발전소 주변지역 기후환경영향 연구(2차년도)」
용역 최종보고서로 제출합니다.

2019년 4월



원 장 윤 황

Part 0 연구종합

제1장 서론 | 35p

1. 연구배경 및 목적	37
2. 연구의 범위	41
3. 연구의 기대효과 및 활용방안	43

제2장 주요 연구결과 | 45p

1. 대기환경정보 구축	47
2. 대기질 측정분석	57
3. 사회적 피해비용 평가	68
4. 생태환경모니터링	80

제3장 중장기 연구계획 | 87p

Part 1 대기환경정보구축

제1장 서론 | 95p

1. 연구배경 및 필요성	97
2. 주요 연구내용	98

제2장 지역 기후변화 분석 | 99p

1. 기후변화와 미세먼지농도변화	101
2. 충남지역 기후변화 특성	104

제3장 미기후 모니터링 | 109p

1. 미기후 모니터링 지점선정 및 운영현황	111
2. 모니터링 결과분석	114

제4장 고정측정망 운영 | 117p

1. 도내 고정측정망 운영현황	119
2. 고정측정망 최적 활용방안	125
3. 대난지도 측정망 운영결과 분석	130

제5장 기후환경정보 시스템 구축 | 135p

1. 시스템 개요	137
2. 시스템 설계	139
3. 모델링 운영	158

제6장 생활권 대기질 정보 제공 | 181p

1. 개요	183
2. 연구결과 공유 및 정보제공	194
3. 결과활용을 통한 중점·우선관리 지점 제안	199

제7장 지역 대기오염물질 기원 및 기여도 추정 | 207p

1. 안정동위원소 분석을 통한 기원추정	209
2. 모델링에 의한 기여도 조사	228

제8장 거버넌스 및 환류체계 구축 | 237p

1. 지역주민 의견수렴	239
2. 거버넌스 현황조사 및 분류	246
3. 지역주민 요구대응(자원순환센터 주변 대기영향조사)	256

제9장 발전소 주변지역 생물종 조사제안 | 259p

1. 생물종에 대한 전통지식 조사 필요성과 활용성	261
2. 전통지식 조사방법론 조사	266
3. 충청남도 전통지식 조사 단계별 로드맵 제안	268

제10장 결론 및 제언 | 271p

Part 2 대기질 측정분석

제1장 서론 | 277p

1. 연구 배경 및 목적	279
2. 연구 범위 및 내용	283
3. 연구추진체계	286

제2장 화력발전소(시설) 주변지역 현황 조사 · 분석 | 289p

1. 연구대상 지역의 일반 현황분석	291
2. 화력발전소 현황분석	301
3. 국가 대기오염배출량의 분석	318
4. 소결론	332

제3장 환경민감지역의 대기질 조사 | 335p

1. 대기질 조사	337
2. 민간 대기오염측정소의 자료 분석	389
3. 민간 대기오염측정소의 정도 평가	399
4. 소결론	406

제4장 옥외 저탄장의 배출량 분석 | 407p

1. 국가 배출량의 비산먼지/하역 및 야적 산정방법	409
2. 배출량 조사 기법	413
3. 저탄장 배출량 조사	422
4. 소결론	444

제5장 결론 및 제언 | 447p

Part 3 사회적비용 평가 분야

제1장 서론 | 455p

1. 연구배경 및 목적	457
2. 연구내용 및 추진체계	458

제2장 충청남도 석탄화력발전 피해범위 | 459p

1. 개요	461
2. 석탄화력발전의 영향 및 피해	462
3. 분석 틀	464
4. 연구자료	466
5. 요약 및 시사점	468

제3장 농도-반응 함수 | 469p

1. 개요	471
2. 농도-반응 함수와 건강영향평가	472
3. 분석 범위	474
4. 농도-반응 함수 메타분석	478
5. 농도-반응 함수 직접추정	512
6. 요약 및 시사점	529

제4장 건강피해 비용 | 531p

1. 개요	533
2. 사망 비용	534
3. 질병 비용	552
4. 대기오염물질 당 피해 비용	581
5. 요약 및 시사점	598

제5장 석탄화력발전의 피해 비용 | 605p

1. 개요	607
2. 분석 전제	608
3. 시나리오별 분석 결과	619
4. 요약 및 시사점	630

제6장 화력발전 지역자원시설세 운용 개선방안 | 633p

1. 개요	635
2. 지역자원시설세 개요	636

3. 지역자원시설세 징수 현황 및 전망	641
4. 충청남도 특정자원 지역자원시설세 운용현황	657
5. 충청남도 화력발전 지역자원시설세 운용 개선방향	666
6. 요약 및 향후 연구과제	677

제7장 결론 | 679p

Part 4 생태환경 모니터링

제1장 서론 | 687p

1. 연구배경 및 목적	689
2. 연구추진방법	691

제2장 충남지역 생태환경 문헌분석 | 707p

1. 식물분야	709
2. 곤충분야	729
3. 포유류분야	734
4. 어류분야	742

제3장 화력발전소 주변지역 생물분포 현황분석 | 755p

1. 식물분야	757
2. 곤충분야	778
3. 포유류분야	823
4. 어류분야	843

제4장 결론 및 제언 | 925p

Part 5 부록	937
-----------------	-----

Part 6 참고문헌	983
-------------------	-----

Part 7 용어사전	1007
-------------------	------

Part 0

Part 1

[표 2.1] 충남지역 종관기상관측지점 정보	103
[표 2.2] 충남지역 종관기상관측지점 30년 후행이동평균기온 변화	104
[표 2.4] 충남지역 종관기상관측지점 30년 후행이동평균풍속 변화	106
[표 2.5] 충남지역 종관기상관측지점 30년 후행이동평균습도 변화	107
[표 3.1] 미기후 모니터링 지점	113
[표 3.2] 미기후 모니터링 지점측정결과 (온도 °C)	115
[표 3.3] 미기후 모니터링 지점측정결과 (습도 %)	115
[표 3.4] 미기후 모니터링 지점 극한기후 분석결과	116
[표 4.1] 일반 대기오염 측정망 구분	120
[표 4.2] 충남지역 국가 고정측정망 운영 현황	121
[표 4.3] 충남지역 국가 기상관측측정망 운영 현황	124
[표 4.4] 충청남도 대기환경기준(충청남도 환경 기본조례 제13조 제3항 관련)	126
[표 4.5] 대기운동규모에 따른 단계별 연구범위	127
[표 4.6] 화력발전소 주변지역 고정측정망 후보지	128
[표 4.7] 청라면측정소 측정항목 및 측정장비 제원	129
[표 4.8] 대난지도측정소 측정결과	130
[표 4.9] 당진시청사 고정측정망 측정결과	132
[표 5.1] 요구사항 정의서 목록	139
[표 5.2] 연계 서비스 유형	140
[표 5.3] 연계 서비스 목록	141
[표 5.4] 데이터베이스 테이블 목록	145
[표 5.5] 대기질 모델링을 위한 도메인 설계 내역	153
[표 5.6] CMAQ에 적용되는 물리·화학·확산 알고리즘 적용 설계 내역	154
[표 5.7] 기상모델 입력 자료 구성	155
[표 5.8] 자연배출량 처리 모델인 MEGAN 모델 입력 자료 구성	157
[표 5.9] 비상저감조치 발행에 따른 모델링 운영 시나리오	158
[표 5.10] 충남지역 종관기상 관측소 기상 현황	159
[표 5.13] 충남지역 풍향/풍속 등급별 빈도 분포 현황	165

[표 5.14] 화력발전소 먼지 배출량(단위 : g/sec)	167
[표 5.24] 비상조치 기간 화력발전소에 의한 PM10 저감효과	178
[표 6.1] 측정지점의 TM좌표와 화력발전소로부터의 이격거리	185
[표 6.2] 현장조사 기간의 지점별 기상현황	191
[표 6.3] 마을별 충청남도 대기환경기준 초과일수 현황	197
[표 7.1] 측정지점의 TM좌표와 화력발전소로부터의 이격거리	209
[표 7.2] 유기탄소 안정동위원소비 분석결과	211
[표 7.3] 유기탄소 안정동위원소비 분석결과	211
[표 7.4] 유기탄소 안정동위원소비 국가별 라이브러리	212
[표 7.5] 유기탄소 안정동위원소비 기원별 라이브러리	215
[표 7.6] 납 안정동위원소비 국가별 라이브러리	218
[표 7.7] 납 안정동위원소비 중국 기원별 라이브러리	218
[표 7.8] 납 안정동위원소비 중국 주요도시별 라이브러리	221
[표 7.9] 납 안정동위원소비 국내 제련, 시멘트 생산, 철강생산시설 라이브러리	222
[표 7.10] 납 안정동위원소비 국내 석탄화력발전시설 라이브러리	223
[표 7.11] 납 안정동위원소비 국내 폐기물 소각시설 및 제철산업단지, 기타 라이브러리	224
[표 7.12] 분석 시나리오	230
[표 8.1] 대면 설문 응답자의 거주 지역 분포	241
[표 8.2] 개선의견 유형 분류기준	242
[표 8.3] 화력발전소 주변지역 내 분포하고 있는 거버넌스 현황	246
[표 8.4] 거버넌스별 설립목적과 역할	247
[표 8.5] 수혜자-구조 모델의 개념도	252
[표 8.6] 권력-참여 모델의 개념도	253
[표 8.7] 화력발전소 주변지역 관련 지원사업 AHP분석 결과	254
[표 8.8] 화력발전소 주변지역 관련 지원사업 AHP분석 결과	255
[표 8.9] 중금속 분석결과	258
[표 8.10] 휘발성유기화합물 분석결과	258
[표 9.1] 기관별 전통지식 조사연구사업(정종덕, 2018)	263
[표 9.2] 기관별 전통지식 조사연구사업(정종덕, 2018)	266
[표 10.1] 제1세부 대기환경정보구축 분야 주요연구 목표	273

Part 2

[표 1.1] 제8차 전력수급기본계획에 의한 충청남도 발전설비 건설계획	280
[표 2.1] 충청남도의 행정구조(2017년 12월말 기준)	291

[표 2.2] 충청남도의 경위도상 위치	292
[표 2.3] 표고별 면적분포	293
[표 2.4] 경사별 면적분포	293
[표 2.5] 시군별 인구현황	295
[표 2.6] 충청남도 최종에너지 원별 소비량(단위 : 천 toe)	299
[표 2.7] 충청남도 내 화력발전소 위치	301
[표 2.8] 2018년 기준 전력생산 1MW당 총부유먼지 발생량	311
[표 2.9] 발전사별 옥외 저탄장 운영현황	312
[표 2.10] 발전사별 대기오염측정소 운영 및 설치계획	314
[표 2.11] 최근 9년간 연도별 전국 대기오염물질 배출량 변화(단위 : 톤)	319
[표 2.12] 2015년 전국 대기오염물질 배출원별 배출량 현황(단위 : 톤)	322
[표 2.13] 충청남도 년도별 배출량 변화(단위 : 톤)	324
[표 2.14] 2015년 충청남도의 전국 대기오염물질 배출원별 배출량 현황(단위 : 톤)	326
[표 2.15] 2015년 충청남도의 지역별 대기오염물질 배출원별 배출량 현황(단위 : 톤)	328
[표 3.1] 간이대기측정기 운영 지점 수	339
[표 3.2] 당진 및 태안 권역 간이대기측정기 조사 지점의 정보	340
[표 3.3] 조사 기간 동안의 기상정보	342
[표 3.4] 간이대기측정기를 이용한 지점별 이산화질소 측정 결과	344
[표 3.5] 간이대기측정기를 이용한 지점별 아황산가스 측정 결과	349
[표 3.6] 간이대기측정기를 이용한 지점별 오존 측정 결과	354
[표 3.7] 간이대기측정기를 이용한 지점별 총부유먼지 측정 결과	359
[표 3.8] 간이대기측정기를 이용한 지점별 PM10 측정 결과	364
[표 3.9] 간이대기측정기를 이용한 지점별 총중금속 측정 결과	370
[표 3.10] 간이대기측정기를 이용한 지점별 여름철 중금속 측정 결과	374
[표 3.11] 간이대기측정기를 이용한 지점별 가을철 중금속 측정 결과	376
[표 3.12] 간이대기측정기를 이용한 지점별 겨울철 중금속 측정 결과	378
[표 3.13] 간이대기측정기를 이용한 지점별 봄철 중금속 측정 결과	380
[표 3.14] 대표 광산란법 측정기와 현장 조사용 광산란법 측정기 간 상관관계 분석 결과	386
[표 3.15] 광산란법 미세먼지 측정기를 이용한 미세먼지 측정 결과	387
[표 3.16] 민간 대기오염측정소 및 일반대기오염측정망 현황	389
[표 3.17] 정도 평가를 위한 일반대기오염측정망 및 민간 대기오염측정소의 현황	399
[표 4.1] 2015년 비산먼지/하역 및 야적/석탄 국가 대기오염물질 배출량	411
[표 4.2] 최근 3년간 연도별 석탄 사용량 및 PM10 연·일 배출량 산정 결과	412
[표 4.3] 당진화력 저탄장 조사기간 중 충청남도 지역 미세먼지 경보·주의보 발령기간	439

Part 3

[표 3.1] 사망 피해 분석을 위한 피해 단위	474
[표 3.2] 질병 피해 분석을 위한 피해 단위	476
[표 3.3] 자료 선정 기준	480
[표 3.4] 국외 학술색인 문헌 수집 검색어	481
[표 3.5] 문헌 수집 항목	481
[표 3.6] 농도-반응 함수 분류기준	482
[표 3.7] 국내 학술색인 문헌 수집 검색어	482
[표 3.8] 국내 농도-반응 함수 연구보고서	483
[표 3.9] PM10 전체원인 사망의 농도-반응 함수 메타분석 대상	485
[표 3.10] PM10 호흡기계 질환 원인 사망의 농도-반응 함수 메타분석 대상	486
[표 3.11] PM10 호흡기계 질환 원인 사망의 농도-반응 함수 메타분석 대상	487
[표 3.12] PM2.5 전체원인 사망의 농도-반응 함수 메타분석 대상	487
[표 3.13] PM2.5 호흡기계 질환 원인 사망의 농도-반응 함수 메타분석 대상	488
[표 3.14] PM2.5 심혈관계 질환 원인 사망의 농도-반응 함수 메타분석 대상	489
[표 3.15] PM10 호흡기계 입원 영향 농도-반응 함수 수집결과	489
[표 3.16] PM10 호흡기계 입원 영향 농도-반응 함수 수집결과	490
[표 3.17] PM10 호흡기계 외래 영향 농도-반응 함수 수집결과	491
[표 3.18] PM10 심혈관계 외래 영향 농도-반응 함수 수집결과	491
[표 3.19] PM10 심혈관계 외래 영향 농도-반응 함수 국외 사례	491
[표 3.20] PM2.5 호흡기계 입원 영향 농도-반응 함수 수집결과	492
[표 3.21] PM2.5 심혈관계 입원 영향 농도-반응 함수 수집결과	492
[표 3.22] PM2.5 호흡기계 외래 영향 농도-반응 함수 수집결과	493
[표 3.23] NO2 호흡기계 입원 농도-반응 함수 수집결과	494
[표 3.24] NO2 심혈관계 입원 농도-반응 함수 수집결과	494
[표 3.25] SO2 호흡기계 입원 농도-반응 함수 수집결과	495
[표 3.26] SO2 심혈관계 입원 농도-반응 함수 수집결과	495
[표 3.27] PM10 사망 농도-반응 함수 선정 결과 및 선행연구 비교	499
[표 3.28] PM2.5 사망 영향 농도-반응 함수 선정결과 및 선행연구 비교	503
[표 3.29] PM10 호흡기계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과	504
[표 3.30] PM10 심혈관계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과	504
[표 3.31] PM10 호흡기계 외래 농도-반응 함수 메타분석 결과	505
[표 3.32] PM10 질병 영향 농도-반응 함수 선정 결과 및 선행연구 비교	505
[표 3.33] PM2.5 호흡기계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과	506

[표 3.34] PM2.5 질병 영향 농도-반응 함수 선정 결과	507
[표 3.35] NO2 심혈관계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과	508
[표 3.36] NO2 질병 영향 농도-반응 함수 선정 결과	509
[표 3.37] SO2 심혈관계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과	510
[표 3.38] SO2 질병 영향 농도-반응 함수 선정결과	510
[표 3.39] 농도-반응 함수 선정결과	511
[표 3.40] 사망 영향 농도-반응 함수 분석 기초자료	514
[표 3.41] 표본코호트 DB 데이터 구조	515
[표 3.42] 에피소드 정의 방법	517
[표 3.43] 선행연구 무진료기간, 에피소드 정의 사례	518
[표 3.44] 충청남도 대기오염 측정망 현황 ('14.12. 기준)	521
[표 3.45] 일반 대기오염 측정망 종류	522
[표 3.46] 기초통계 분석 결과	524
[표 3.47] 일별 PM10 농도와 주요 변수 간 상관관계	526
[표 3.48] PM10 호흡기계 사망 영향 농도-반응 함수 직접추정 결과	526
[표 3.49] 기초 통계량	527
[표 3.50] PM10 호흡기계 입원 영향 농도-반응 함수 직접추정 결과	528
[표 3.51] 메타분석 및 직접추정 결과 비교	528
[표 4.1] 국외연구의 사망원인별 통계적 생명가치	538
[표 4.2] 국외연구의 연구수행주체별 통계적 생명가치	539
[표 4.3] 국외 연구의 지역별 통계적 생명가치	541
[표 4.4] 부처별 생명가치	542
[표 4.5] 주요 기관별 산출 사례	544
[표 4.6] 국내 예비타당성 조사 사례 중 생명가치 산출 사례	545
[표 4.7] 선행연구 생명가치 추정결과: 한국환경정책·평가연구원 (2017)	547
[표 4.8] 선행연구 생명가치 추정결과: 환경부 (2007)	547
[표 4.9] 선행연구 생명가치 추정결과: 국내 논문	547
[표 4.10] 사망원인별 사망의 가치	548
[표 4.11] 연구방법론별 사망의 가치	549
[표 4.12] 심리적비용 포함유무에 따른 사망의 가치	549
[표 4.13] 연구 수행주체별 사망의 가치	549
[표 4.14] 산업안전보건 기준 상 사망의 가치	550
[표 4.15] 안소은(2017) 사망의 가치	550
[표 4.16] 관점에 따른 질병비용 항목 구분	552

[표 4.17] KEI(2015)가 정의한 질병비용의 종류 및 개념	553
[표 4.18] 환경부(2007)이 정의한 질병비용의 종류 및 개념	553
[표 4.19] 각 의료데이터별 장단점	556
[표 4.20] 건강보험 보장률 (%)	557
[표 4.21] 교통수단별 사적비용 및 대중교통 대비 자가용의 사적비용 비율	557
[표 4.22] 입원으로 인한 의료 직접비용 추정방법론	560
[표 4.23] 입원으로 인한 교통비용 추정방법론	561
[표 4.24] 입원으로 인한 시간 기회비용 추정방법론	562
[표 4.25] 입원으로 인한 간병비용 추정방법론	562
[표 4.26] 선행연구의 입원으로 인한 질병비용	563
[표 4.27] 외래 방문으로 인한 의료비용 추정방법론	564
[표 4.28] 외래 방문으로 인한 교통비용 추정방법론	565
[표 4.29] 외래 방문으로 인한 시간 기회비용 추정방법론	565
[표 4.30] 선행연구의 외래로 인한 질병비용	566
[표 4.31] 2013년 충청남도 호흡기계 입원 에피소드 건수 및 입원일수	567
[표 4.32] 2013년 호흡기계 입원 에피소드 총비용 및 일평균 비용	567
[표 4.33] 충청남도 호흡기계 입원으로 인한 교통비용	568
[표 4.34] 호흡기계 입원으로 인한 질병비용	570
[표 4.35] 2013년 호흡기계 외래 에피소드 비용	571
[표 4.36] 호흡기계 외래로 인한 교통비용	571
[표 4.37] 호흡기계 외래로 인한 질병비용	572
[표 4.38] 심혈관계 입원으로 인한 질병비용	574
[표 4.39] 심혈관계 외래로 인한 질병비용	576
[표 4.40] 2013년도 충청남도 입원 질병비용	577
[표 4.41] 2013년도 충청남도 외래 질병비용	579
[표 4.42] 주요 선행연구의 대기오염물질 당 피해 비용 추정결과	584
[표 4.43] 선행연구별 오염물질 톤당 피해 비용	588
[표 4.44] 오염물질 톤당 피해 비용 요약	590
[표 4.45] 대상 물질별 오염물질 톤당 피해 비용	590
[표 4.46] 오염물질별 피해 비용 분석 결과 (인구밀도 반영 안함)	593
[표 4.47] 오염물질별 피해 비용 분석 결과 (전국 인구밀도 반영)	593
[표 4.48] 오염물질별 피해 비용 분석 결과 (충청남도 인구밀도 반영)	593
[표 4.49] 오염물질별 톤당 피해 비용 요약 (전국 인구밀도 적용)	594
[표 4.50] 오염물질별 톤당 피해 비용 요약 (충청남도 인구밀도 적용)	595

[표 4.51] 대상 물질별 오염물질 톤당 피해 비용 편익이전 결과값	595
[표 4.52] 국외 대상 선행연구 오염물질별 피해 비용 분석 결과 (충청남도 인구밀도 반영)	596
[표 4.53] 국내 대상 선행연구 오염물질 톤당 피해 비용 요약 (충청남도 인구밀도 적용)	597
[표 4.54] 2013년도 충청남도 입원 질병비용 (원/일, %)	601
[표 4.55] 2013년도 충청남도 외래 질병비용 (원/건, %)	601
[표 4.56] 국외 대상 선행연구 오염물질별 피해 비용 분석 결과 (충청남도 인구밀도 반영)	601
[표 4.57] 국외 대상 선행연구 오염물질 톤당 피해 비용 요약 (충청남도 인구밀도 적용)	602
[표 5.1] 2017년 충청남도 시·군 PM10 및 PM2.5 연평균 농도 (단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	609
[표 5.2] CAPPS 기준 2015년 충청남도 대기오염 배출량 및 충청남도 내 화력발전시설 배출 비중	611
[표 5.3] 노후석탄 4기 가동중지에 따른 배출 저감량 비교분석 결과	612
[표 5.4] 2017년 가동중지에 따른 모델링 결과를 활용한 본 연구의 시나리오 2	613
[표 5.5] 2017년 충청남도 대기오염 수준 및 시나리오별 농도	613
[표 5.6] 2017년 충청남도 사망원인 별 사망자 수 및 사망률	615
[표 5.7] 호흡기 및 심혈관계 입원 발생률	616
[표 5.8] 호흡기 및 심혈관계 외래 발생률	617
[표 5.9] 농도-반응 함수 선정결과	617
[표 5.10] PM10 사망 영향 및 피해 비용	619
[표 5.11] 생명가치 차이에 따른 PM10 사망 영향 및 피해 비용	620
[표 5.12] PM2.5 사망 영향 및 피해 비용	621
[표 5.13] 생명가치 차이에 따른 PM2.5 사망 영향 및 피해 비용	621
[표 5.14] PM10 질병 영향 및 피해 비용	622
[표 5.15] PM2.5 질병 영향 및 피해 비용	623
[표 5.16] NOx 질병 영향 및 피해 비용	624
[표 5.17] SOx 질병 영향 및 피해 비용	624
[표 5.18] 석탄화력발전 건강 영향 및 피해 비용 (시나리오 1 기준)	625
[표 5.19] 석탄화력발전 PM2.5 건강 영향 및 피해 비용 (시나리오 1, 2 비교)	626
[표 5.20] 선행연구 충청남도 4개 시군 화력발전 피해 비용	628
[표 6.1] 지역자원시설세 과세 체계	637
[표 6.2] 화력발전에 대한 지역자원시설세 과세 추진경과	639
[표 6.3] 지자체별 지역자원시설세(2016년 세액 기준)	641
[표 6.4] 지역자원시설세 특정자원분(2016년 세액 기준)	642
[표 6.5] 충청남도 기초지자체별 지역자원시설세	643
[표 6.6] 8차 전력수급기본계획에 따른 충청남도 화력발전소 신규·폐쇄 계획(~2030)	644

[표 6.7] 2019년 충청남도 노후석탄발전소 주요 쟁점 및 관련 자료(∼2030)	645
[표 6.8] 충청남도 화력발전 설비 현황 (2017년12월 기준, 단위:MW)	646
[표 6.9] 충청남도 화력발전 연도별 설비용량 (단위: MW) (제8차전력수급 기본계획 반영)	648
[표 6.10] 충청남도 화력발전소별 이용률	650
[표 6.11] 충청남도 화력발전소 발전량 전망 (단위:GWh)	651
[표 6.12] 충청남도 화력발전 지역자원시설세 전망 (발전회사별, 단위:백만원)	652
[표 6.13] 충청남도 화력발전 지역자원시설세 전망 (기초지자체별, 단위:천원)	653
[표 6.14] 충청남도 화력발전 지역자원시설세 전망 (과세율 수준별, 단위:억원)	653
[표 6.15] 충청남도 지역자원시설세(과세분) 및 특정자원분(화력) 징수현황 (2016, 2017) (천원) ..	654
[표 6.16] 충청남도 화력발전 지역별 지역자원시설세 증감률 및 비중 전망 (천원)	655
[표 6.17] 충청남도 특정자원 지역자원시설세 특별회계 예산 지출 현황(2018년)	658
[표 6.19] 당진시 특정자원 지역자원시설세 특별회계 예산 지출 현황(2018년)	660
[표 6.20] 태안군 특정자원 지역자원시설세 특별회계 예산 지출 현황(2018년)	662
[표 6.21] 보령시 특정자원 지역자원시설세 특별회계 예산 지출 현황(2018년)	662
[표 6.22] 서천군 특정자원 지역자원시설세 특별회계 예산 지출 현황(2018년)	663
[표 6.23] 충청남도 특정자원 지역자원시설세 운영 상의 문제점들	665
[표 6.24] 충청남도 중기재정계획상(2018∼2022년)의 지역자원시설세 세입 전망(단위: 백만원, %)	667
[표 6.25] 충청남도 특정자원 지역자원시설세 특별회계 중기재정계획 (2018∼2022년) 세출 전망 (단위: 백만원, %)	668
[표 6.26] 충청남도 중기재정계획(2018∼2022년) 상 특정자원 지역자원시설세 관련 주요 세출 분야별 비중	668
[표 6.27] 충청남도 중기재정계획(2018∼2022년) 상 특별회계 주요 지출 분야 (단위 : 백만원, %)	669
[표 6.28] 발전소주변지역 지원사업 (발전소주변지역자원에 관한 법률)	675

Part 4

[표 1.1] 조사지 및 대조구 현황	695
[표 1.2] 충남 화력발전소 주변지역의 어류 조사 시기	701
[표 2.1] 당진시 식물상 문헌에서 확인된 관속식물의 종류조성	709
[표 2.2] 당진시 식물상 문헌에서 확인된 특산식물	710
[표 2.3] 당진시 식물상 문헌에서 확인된 희귀식물	711
[표 2.4] 당진시 식물상 문헌에서 확인된 기후변화대상식물	711
[표 2.5] 당진시 식물상 문헌에서 확인된 귀화식물	712

[표 2.6] 태안군 식물상 문헌에서 확인된 관속식물의 종류조성	713
[표 2.7] 태안군 식물상 문헌에서 확인된 특산식물	714
[표 2.8] 태안군 식물상 문헌에서 확인된 희귀식물	715
[표 2.9] 태안군 식물상 문헌에서 확인된 기후변화대상식물	715
[표 2.10] 태안군 식물상 문헌에서 확인된 귀화식물	716
[표 2.11] 보령시 식물상 문헌에서 확인된 관속식물의 종류조성	718
[표 2.12] 보령시 식물상 문헌에서 확인된 특산식물	718
[표 2.13] 보령시 식물상 문헌에서 확인된 희귀식물	719
[표 2.14] 보령시 식물상 문헌에서 확인된 기후변화대상식물	719
[표 2.15] 보령시 식물상 문헌에서 확인된 귀화식물	720
[표 2.16] 서천군 식물상 문헌에서 확인된 관속식물의 종류조성	721
[표 2.17] 서천군 식물상 문헌에서 확인된 특산식물	722
[표 2.18] 서천군 식물상 문헌에서 확인된 기후변화대상식물	722
[표 2.19] 서천군 식물상 문헌에서 확인된 귀화식물	722
[표 2.20] 서산시(대조구) 식물상 문헌에서 확인된 관속식물의 종류조성	723
[표 2.21] 서산시 식물상 문헌에서 확인된 특산식물	724
[표 2.22] 서산시 식물상 문헌에서 확인된 희귀식물	724
[표 2.23] 서산시 식물상 문헌에서 확인된 기후변화대상식물	725
[표 2.24] 서산시 식물상 문헌에서 확인된 귀화식물	725
[표 2.25] 문헌조사 결과	734
[표 2.26] 당진화력발전소 주변의 과거 어류상	743
[표 2.27] 태안화력발전소 주변의 과거 어류상	745
[표 2.28] 보령화력발전소 주변의 과거 어류상	747
[표 2.29] 서천화력발전소 주변의 과거 어류상	749
[표 2.30] 소근천 주변의 과거 어류상	751
[표 2.31] 송천천 주변의 과거 어류상	753
[표 3.1] 당진시에서 조사된 관속식물의 종류조성	757
[표 3.2] 당진시에서 조사된 특산식물	758
[표 3.3] 당진시에서 조사된 희귀식물	758
[표 3.4] 당진시에서 조사된 기후변화대상식물	758
[표 3.5] 당진시에서 조사된 귀화식물	759
[표 3.6] 태안군에서 조사된 관속식물의 종류조성	761
[표 3.7] 태안군에서 조사된 특산식물	761
[표 3.8] 태안군에서 조사된 기후변화대상식물	762

[표 3.9] 태안군에서 조사된 귀화식물	762
[표 3.10] 보령시에서 조사된 관속식물의 종류조성	764
[표 3.11] 보령시에서 조사된 특산식물	764
[표 3.12] 보령시에서 조사된 희귀식물	765
[표 3.13] 보령시에서 조사된 기후변화대상식물	765
[표 3.14] 보령시에서 조사된 귀화식물	765
[표 3.15] 서천군에서 조사된 관속식물의 종류조성	767
[표 3.16] 서천군에서 조사된 특산식물	767
[표 3.17] 서천군에서 조사된 희귀식물	768
[표 3.18] 서천군에서 조사된 기후변화대상식물	768
[표 3.19] 서천군에서 조사된 귀화식물	769
[표 3.20] 서산시(대조구)에서 조사된 관속식물의 종류조성	771
[표 3.21] 서산시(대조구)에서 조사된 특산식물	772
[표 3.22] 서산시(대조구)에서 조사된 희귀식물	772
[표 3.23] 서산시(대조구)에서 조사된 기후변화대상식물	772
[표 3.24] 서산시에서 조사된 귀화식물	773
[표 3.25] 조사구별 채집 곤충상	778
[표 3.26] 함정트랩(Pitfall trap)에 포획된 곤충 종, 개체수	785
[표 3.27] 지역별 지표배회성 곤충의 다양도지수	787
[표 3.28] 다중갈때기트랩(Multifunnel trap)에 포획된 곤충 종, 개체수	790
[표 3.29] 지역별 천공성 곤충의 다양도지수	791
[표 3.30] 주간채집으로 포획된 곤충 종, 개체수	794
[표 3.31] 유아등트랩(Light trap)에 포획된 곤충 종, 개체수	803
[표 3.32] 지역별 주광성 곤충의 다양도지수	811
[표 3.33] 화력발전소 주변지역 주요 곤충자원 분포현황	815
[표 3.34] 전체 곤충상	820
[표 3.35] 각 지역별 포유류 조사 결과	824
[표 3.36] 각 지역별 흔적조사 결과 비교	827
[표 3.37] 각 지역별 센서카메라 조사 결과 비교	829
[표 3.38] 당진화력발전소 주변지역에 서식하는 야생동물 촬영 시간 및 촬영 빈도 비교	831
[표 3.39] 태안화력발전소 주변지역에 서식하는 야생동물 촬영 시간 및 촬영 빈도 비교	833
[표 3.40] 보령화력발전소 주변지역에 서식하는 야생동물 촬영 시간 및 촬영 빈도 비교	835
[표 3.41] 서천화력발전소 주변지역에 서식하는 야생동물 촬영 시간 및 촬영 빈도 비교	837
[표 3.42] 서산(팔봉산)에 서식하는 야생동물 촬영 시간 및 촬영 빈도 비교	839

[표 3.43] 각 지역별 포획트랩을 이용한 소형포유류 조사 결과 비교	841
[표 3.44] 조사지점 개황	843
[표 3.45] 당진화력발전소 주변 하천의 수질 정밀 분석 결과	848
[표 3.46] 당진화력발전소 주변의 1차 조사 어류상	850
[표 3.47] 당진화력발전소 주변의 2차 조사 어류상	851
[표 3.48] 당진화력발전소 주변의 3차 조사 어류상	852
[표 3.49] 당진화력발전소 주변의 어류상 종합	853
[표 3.50] 당진화력발전소 주변 어류의 군집지수	855
[표 3.51] 조사지점 개황	857
[표 3.52] 태안화력발전소 주변 하천의 수질 정밀 분석 결과	862
[표 3.53] 태안화력발전소 주변의 1차 조사 어류상	863
[표 3.54] 태안화력발전소 주변의 2차 조사 어류상	864
[표 3.55] 태안화력발전소 주변의 3차 조사 어류상	865
[표 3.56] 태안화력발전소 주변의 어류상 종합	866
[표 3.57] 태안화력발전소 주변 어류의 군집지수	868
[표 3.58] 조사지점 개황	871
[표 3.59] 보령화력발전소 주변 하천의 수질 정밀 분석 결과	876
[표 3.60] 보령화력발전소 주변의 1차 조사 어류상	878
[표 3.61] 보령화력발전소 주변의 2차 조사 어류상	879
[표 3.62] 당진화력발전소 주변의 3차 조사 어류상	880
[표 3.63] 당진화력발전소 주변의 어류상 종합	881
[표 3.64] 보령화력발전소 주변 어류의 군집지수	883
[표 3.65] 조사지점 개황	886
[표 3.66] 서천화력발전소 주변 하천의 수질 정밀 분석 결과	890
[표 3.67] 서천화력발전소 주변의 1차 조사 어류상	891
[표 3.68] 서천화력발전소 주변의 2차 조사 어류상	891
[표 3.69] 서천화력발전소 주변의 3차 조사 어류상	891
[표 3.70] 서천화력발전소 주변의 어류상 종합	892
[표 3.71] 서천화력발전소 주변 어류의 군집지수	893
[표 3.72] 조사지점 개황	894
[표 3.73] 소근천의 수질 정밀 분석 결과	899
[표 3.74] 소근천의 1차 조사 어류상	900
[표 3.75] 소근천의 2차 조사 어류상	901
[표 3.76] 소근천의 3차 조사 어류상	901

[표 3.77] 소근천의 어류상 종합	902
[표 3.78] 소근천에서 출현한 어류의 군집지수	903
[표 3.79] 조사지점 개황	906
[표 3.80] 태안화력발전소 주변 하천의 수질 정밀 분석 결과	911
[표 3.81] 송천천의 1차 조사 어류상	913
[표 3.82] 송천천의 2차 조사 어류상	913
[표 3.83] 송천천의 3차 조사 어류상	914
[표 3.84] 송천천의 어류상 종합	915
[표 3.85] 송천천 어류의 군집지수	917

Part 0

Part 1

[그림 2.1] 충남지역 종관기상관측지점 위치	103
[그림 2.2] 충남지역 종관기상관측지점 30년 후행이동평균기온 시계열 그래프	105
[그림 2.3] 충남지역 종관기상관측지점 30년 후행이동평균풍속 시계열 그래프	105
[그림 2.4] 충남지역 종관기상관측지점 30년 후행이동평균습도 시계열 그래프	108
[그림 3.1] 미기후 모니터링 지점지도	112
[그림 3.2] 미기후 측정센서 및 현장 측정사진	112
[그림 4.1] 충남지역 국가 고정측정지점 현황(airkorea.or.kr)	121
[그림 4.2] 보령화력발전 자체운영 민간 고정측정지점 현황	122
[그림 4.3] 당진화력발전 자체운영 민간 고정측정지점 현황	123
[그림 4.4] 태안화력발전 자체운영 민간 고정측정지점 현황	123
[그림 4.5] 대안지도 고정측정지점 사진(좌), 대안지도 측정지점 주변지역 지도(우)	125
[그림 4.6] 충남지역 바람권역분석(상) 보령화력주변 고정측정망 및 후보지(하)	129
[그림 4.7] 2018년 계절별 바람장미 - 대안지도(좌), 당진시청사(우)	131
[그림 4.8] 풍향에 따른 측정지점 미세먼지 농도 분석	133
[그림 5.1] 기후환경정보 시스템 개요	137
[그림 5.2] 기후환경정보 시스템 구성도	138
[그림 5.3] 자료 송수신 모듈을 통한 연계 방안	140
[그림 5.4] 데이터 표준화 개요	142
[그림 5.5] 데이터 표준화 방안	143
[그림 5.6] DB 설계 방법론	144
[그림 5.7] 기상정보 ER 다이어그램	146
[그림 5.8] 간이측정망 ER 다이어그램	146
[그림 5.9] 기타 연구자료 ER 다이어그램	147
[그림 5.10] 메인화면 설계(안)	148
[그림 5.11] 자료조회 화면 설계(안)	149
[그림 5.12] 모델링 자료 조회 화면 설계(안)	149
[그림 5.13] 기타연구자료 조회 화면 설계(안)	150
[그림 5.14] 기후환경 통계 조회 화면 설계(안)	150

[그림 5.15] 간이측정망 통계 조회 화면 설계(안)	151
[그림 5.16] 간이측정망 공간분포 화면 설계(안)	151
[그림 5.17] 모델링 시스템의 구축 설계	152
[그림 5.18] SMOKE 모델 배출량 입력자료 전처리 과정 설계	156
[그림 5.19] 자연배출량 처리를 위한 MEGAN 구조도	157
[그림 5.20] 충남지역 바람장미도(11월 6일)	160
[그림 5.21] 충남지역 바람장미도(11월 7일)	161
[그림 5.22] 비상저감조치에 따른 화력발전소 배출량 및 충남지역 PM10 농도현황	162
[그림 5.23] 미세먼지 모델링 결과	163
[그림 5.24] 화력발전소 발전효율 80% 운영시 저감효과	164
[그림 5.25] 충남지역 바람장미도 특성(3/1 ~ 3/7)	166
[그림 5.26] 화력발전소 배출량 현황	167
[그림 5.27] 기상모델 결과	168
[그림 5.28] 비상저감조치에 따른 PM10 일 평균 저감효과(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	176
[그림 5.29] 비상저감기간 시군별 PM10 평균 저감효과(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	179
[그림 6.1] 생활권 대기질 수준 정보 제공 방법론	183
[그림 6.2] 생활권 대기질 수준 정보 제공 대상 지점도	185
[그림 6.3] 간이측정기의 측정 원리	189
[그림 6.4] 간이측정기 설치 현장사진(주민참여형 대기질 측정 포함)	190
[그림 6.5] 현장조사 기간의 지점별 바람장미 현황	192
[그림 6.6] 분석결과의 충청남도 대기환경기준 초과 현황	193
[그림 6.7] [별표] 충청남도 대기환경기준(충청남도 환경 기본 조례 제13조제3항 관련)	195
[그림 6.8] 화력발전소 주변지역 생활권 대기질 정보 제공 웹서비스 현황	196
[그림 6.9] 화력발전소 주변지역 생활권 대기질 정보 공문 및 우편 발송	197
[그림 6.10] 보령시의 오염물질별 시공간 분포 현황	199
[그림 6.11] 당진시의 오염물질별 시공간 분포 현황	200
[그림 6.12] 서천군의 오염물질별 시공간 분포 현황	201
[그림 6.13] 태안군의 오염물질별 시공간 분포 현황	202
[그림 6.14] 보령시의 측정시기별 패턴 현황	203
[그림 6.15] 당진시의 측정시기별 패턴 현황	204
[그림 6.16] 서천군의 측정시기별 패턴 현황	205
[그림 6.17] 태안군의 측정시기별 패턴 현황	205
[그림 7.1] 안정동위원소 분석을 위한 현장사진	210
[그림 7.2] 납 안정동위원소비 기원별 라이브러리와 당진시 측정결과 분포도	227

[그림 7.4] 기상모델과 HYSPLIT을 이용한 궤적 분석 구성도	228
[그림 7.7] 봄철 Trajectory 분석 결과	230
[그림 7.8] 여름철 Trajectory 분석 결과	231
[그림 7.9] 가을철 Trajectory 분석 결과	231
[그림 7.10] 겨울철 Trajectory 분석 결과	232
[그림 7.11] 동아시아의 PM10 배출량(INTEX-B, 2006)	234
[그림 7.12] 봄철 PSCF 분석 결과	324
[그림 7.13] 여름철 PSCF 분석 결과	235
[그림 7.14] 가을철 PSCF 분석 결과	235
[그림 7.15] 겨울철 PSCF 분석 결과	236
[그림 8.1] 화력발전소 주변지역 거주 도민 대상 의견수렴	239
[그림 8.2] 화력발전소 주변지역 거주 도민 대상 대면 설문조사	240
[그림 8.3] 의견수렴을 위한 설문지	240
[그림 8.4] 선호매체와 전달방식 설문조사 분석결과	241
[그림 8.5] 필요도와 활용처 설문조사 분석결과	242
[그림 8.6] 개선의견 유형화 분류체계도	243
[그림 8.7] 개선의견 유형화	244
[그림 8.8] 대안의 상대적 중요도 비교를 위한 AHP 분석	244
[그림 8.9] 개선요구에 따른 주체별 역할 분류	245
[그림 8.10] 거버넌스 유형화를 위한 분류모델	251
[그림 8.11] 수혜자-구조 모델에 의한 거버넌스 유형화 결과	252
[그림 8.12] 권력-참여 모델에 의한 거버넌스 유형화 결과	253
[그림 8.13] 자원순환센터 주변 대기영향조사 요청	256
[그림 8.14] 자원순환센터 및 관3리 현장조사	257
[그림 9.1] 전통지식의 범위(한국환경정책·평가연구원, 2012)	261
[그림 9.2] 전통지식의 기본개념 및 활용산물의 특성(국립생물자원관, 2017)	262
[그림 9.3] 충청남도 전통지식 조사 발전 단계(안)	268

Part 2

[그림 1.1] 2018년 굴뚝자동측정기기 부착사업장 대기오염물질 배출량 비교	281
[그림 1.2] 충청남도 및 화력발전소 주변지역의 자료 분석 방법	286
[그림 1.3] 화력발전소 주변지역의 대기오염도 조사 수량	287
[그림 1.4] 옥외 저탄장 중심의 배출량 조사 방법	288
[그림 2.1] 충청남도 위치 및 행정구역	292

[그림 2.2] 표고분석도	294
[그림 2.3] 경사분석도	294
[그림 2.4] 토지종별(2016년 12월 기준) 현황	296
[그림 2.5] 지역별 산업 활동(2014년 기준) 및 산업별 취업자 현황(2015년 기준)	296
[그림 2.6] 월별 기온 및 강수량 변화(2017년 기준)	297
[그림 2.7] 지역별 1차 에너지 공급량(2018 지역에너지 통계연보)	298
[그림 2.8] 충청남도의 원별 에너지 소비량(지역에너지 통계연보)	299
[그림 2.9] 충청남도 석탄화력발전소의 위치	303
[그림 2.10] 화력발전소 지역의 고령화 인구분포(1km×1km)	304
[그림 2.11] 보령화력발전소의 월 및 연도별 석탄사용량	305
[그림 2.12] 당진화력발전소의 월 및 연도별 석탄사용량	306
[그림 2.13] 태안화력발전소의 월 및 연도별 석탄사용량	306
[그림 2.14] 발전사별 석탄사용에 따른 수입국가 비교	307
[그림 2.15] 보령화력 연도별 굴뚝 TMS 배출량 비교	308
[그림 2.16] 당진화력 연도별 굴뚝 TMS 배출량 비교	309
[그림 2.17] 태안화력 연도별 굴뚝 TMS 배출량 비교	310
[그림 2.18] 보령화력 주변지역 및 저탄장 시설 현황	312
[그림 2.19] 당진화력 주변지역 및 저탄장 시설 현황	313
[그림 2.20] 태안화력 주변지역 및 저탄장 시설 현황	313
[그림 2.21] 당진 및 태안권역 바람장 분석	316
[그림 2.22] 보령 및 서천권역 바람장 분석	317
[그림 2.23] 최근 9년간 전국의 대기오염물질 배출량 추이	320
[그림 2.24] 2015년 시도별 대기오염물질 배출량 순위	321
[그림 2.25] 최근 7년간 충청남도의 배출량 변화 추이	324
[그림 2.26] 보령시의 최근 7년간 배출량 변화 추이	329
[그림 2.27] 당진시의 최근 7년간 배출량 변화 추이	330
[그림 2.28] 태안군의 최근 7년간 배출량 변화 추이	330
[그림 2.29] 서천군의 최근 7년간 배출량 변화 추이	331
[그림 3.1] 간이대기측정기의 원리	338
[그림 3.2] 간이대기측정의 활용 사례	338
[그림 3.3] 권역별 이산화질소 평균농도의 공간분포 비교	343
[그림 3.4] 당진 및 태안 권역의 계절별 이산화질소 농도의 공간분포 비교	346
[그림 3.5] 보령 및 서천 권역의 계절별 이산화질소 농도의 공간분포 비교	347
[그림 3.6] 권역별 아황산가스 평균농도의 공간분포 비교	348

[그림 3.7] 당진 및 태안 권역의 계절별 아황산가스 농도의 공간분포 비교	351
[그림 3.8] 보령 및 서천 권역의 계절별 아황산가스 농도의 공간분포 비교	352
[그림 3.9] 권역별 오존 평균농도의 공간분포 비교	353
[그림 3.10] 당진 및 태안 권역의 계절별 오존 농도의 공간분포 비교	356
[그림 3.11] 보령 및 서천 권역의 계절별 오존 농도의 공간분포 비교	357
[그림 3.12] 권역별 총부유먼지(TSP) 평균농도의 공간분포 비교	358
[그림 3.13] 당진 및 태안 권역의 계절별 총부유먼지 농도의 공간분포 비교	361
[그림 3.14] 보령 및 서천 권역의 계절별 총부유먼지 농도의 공간분포 비교	362
[그림 3.15] 권역별 PM10 평균농도의 공간분포 비교	363
[그림 3.16] 당진 및 태안 권역의 계절별 PM10 농도의 공간분포 비교	366
[그림 3.17] 보령 및 서천 권역의 계절별 PM10 농도의 공간분포 비교	367
[그림 3.18] 권역별 Σ 중금속 평균농도의 공간분포 비교	369
[그림 3.19] 당진 및 태안 권역의 계절별 Σ 중금속 농도의 공간분포 비교	372
[그림 3.20] 보령 및 서천 권역의 계절별 Σ 중금속 농도의 공간분포 비교	373
[그림 3.21] 평가에 사용된 광산란법 PM10 센서 및 현장 설치 모습	383
[그림 3.22] ES 01605.1(환경대기 중 미세먼지 자동측정법) 내의 등가성 평가 내용	384
[그림 3.23] 광산란법 PM10 측정기의 성능 평가	384
[그림 3.24] 베타선법과 광산란법 PM10 측정기의 등가성 평가 결과	385
[그림 3.25] 광산란법 PM10 측정기를 이용한 측정 결과	388
[그림 3.26] 2018년 당진권역 월별 이산화질소 농도(당진 민간 대기오염측정소)	390
[그림 3.27] 2018년 당진권역 월별 아황산가스 농도(당진 민간 대기오염측정소)	391
[그림 3.28] 2018년 당진권역 월별 PM10 농도(당진 민간 대기오염측정소)	391
[그림 3.29] 2018년 태원권역 월별 이산화질소 농도(태안 민간 대기오염측정소)	393
[그림 3.30] 2018년 태원권역 월별 아황산가스 농도(태안 민간 대기오염측정소)	393
[그림 3.31] 2018년 태원권역 월별 오존 농도(태안 민간 대기오염측정소)	394
[그림 3.32] 2018년 태원권역 월별 PM10 농도(태안 민간 대기오염측정소)	394
[그림 3.33] 2018년 보령권역 이산화질소 오존 농도(보령 민간 대기오염측정소)	397
[그림 3.34] 2018년 보령권역 아황산가스 오존 농도(보령 민간 대기오염측정소)	397
[그림 3.35] 2018년 보령권역 월별 오존 농도(보령 민간 대기오염측정소)	398
[그림 3.36] 2018년 보령권역 월별 PM10 농도(보령 민간 대기오염측정소)	398
[그림 3.37] 아황산가스에 대한 일반대기오염측정망과 간이대기측정기의 통계분석	401
[그림 3.38] 이산화질소에 대한 일반대기오염측정망과 간이대기측정기의 통계분석	401
[그림 3.39] 오존에 대한 일반대기오염측정망과 간이대기측정기의 통계분석	402
[그림 3.40] PM10에 대한 일반대기오염측정망과 간이대기측정기의 통계분석	403

[그림 3.41] 이산화질소에 대한 민간 대기오염측정소의 정도 평가 결과	404
[그림 3.42] 아황산가스에 대한 민간 대기오염측정소의 정도 평가 결과	404
[그림 3.43] 오존에 대한 민간 대기오염측정소의 정도 평가 결과	405
[그림 3.44] PM10에 대한 민간 대기오염측정소의 정도 평가 결과	405
[그림 4.1] 비산먼지/하역 및 야적 대기오염물질 배출계수	409
[그림 4.2] 국가 배출량 산정에 사용되는 항만별 화물처리실적	410
[그림 4.3] 난류흐름 모식도와 플렉스 타워	414
[그림 4.4] 3차원 기상측정장비 CSAT3B	416
[그림 4.5] 광산란법 미세먼지 측정기	416
[그림 4.6] PM10 측정기(베타선)	416
[그림 4.7] 저탄장 에디 공분산법 측정장비 설치 개념도	417
[그림 4.8] 베타선 측정기 시험성적서	418
[그림 4.9] 광산란법 측정기 자체 등가성 평가 실험 전경	419
[그림 4.10] 베타선법 측정기 대 광산란법 측정기 상관분석도	419
[그림 4.11] 태안화력발전소 저탄장 배출량조사 측정 설치지점 및 장비 전경	422
[그림 4.12] 태안화력 저탄장 상·하부 미세먼지(PM10) 측정결과	423
[그림 4.13] 태안화력 저탄장 미세먼지 배출량	423
[그림 4.14] 보령화력발전소 저탄장 배출량조사 측정기 설치위치	424
[그림 4.15] 보령화력발전소 저탄장 배출량조사를 위한 측정기 운영 모습	425
[그림 4.16] 보령화력 저탄장 상·하부 미세먼지(PM10) 측정결과	426
[그림 4.17] 보령화력 저탄장의 측정기간 dC/dz 값	427
[그림 4.18] 보령화력 저탄장의 측정기간 에디확산계수(K_z)	427
[그림 4.19] 보령화력 저탄장의 측정기간 플렉스(FC)	428
[그림 4.20] 보령화력 저탄장의 실시간 배출량(kg/일)	429
[그림 4.21] 보령화력 저탄장의 일평균 배출량(kg/일)	429
[그림 4.22] 보령화력 저탄장의 실시간 배출량과 상대습도	430
[그림 4.23] 보령화력 저탄장의 배출량 높은 기간 실시간 배출량과 상대습도 상관분석	431
[그림 4.24] 보령화력 저탄장의 배출량 높은 기간 실시간 배출량과 열플렉스 상관분석	431
[그림 4.25] 보령화력 저탄장 주·야간 배출량 비교	432
[그림 4.26] 강우발생일 전후 실시간 배출량	432
[그림 4.27] 당진화력발전소 저탄장 배출량조사 측정기 설치위치	433
[그림 4.28] 당진화력발전소 저탄장 배출량조사를 위한 측정기 운영 모습	434
[그림 4.29] 당진화력 저탄장 상·하부 미세먼지(PM10) 측정결과	435
[그림 4.30] 당진화력 저탄장의 측정기간 dC/dz 값	436

[그림 4.31] 당진화력 저탄장의 측정기간 에디 확산계수(Kz)	436
[그림 4.32] 당진화력 저탄장의 측정기간 플럭스(FC)	437
[그림 4.33] 당진화력 저탄장의 실시간 배출량(kg/일)	438
[그림 4.34] 당진화력 저탄장의 일평균 배출량(kg/일)	439
[그림 4.35] 미세먼지 경보 발령 기간 중 한반도 대기질 모델 예측결과	440
[그림 4.36] 보령화력 저탄장 일 배출량 박스 그래프	441
[그림 4.37] 당진화력 저탄장 일 배출량 박스 그래프	442
[그림 4.38] 중국 사막에서의 높이별 미세먼지 농도	443
[그림 4.39] 중국 사막에서의 미세먼지 배출량	443

Part 3

[그림 2.1] 영향경로접근법을 활용한 피해 비용 산정 절차	465
[그림 3.1] 농도-반응 함수 결정 방법	473
[그림 3.2] 메타분석을 위한 자료수집결과 (예시)	480
[그림 3.3] PM10 전체사망 영향 농도-반응 함수 메타분석 결과	496
[그림 3.4] PM10 심혈관계 사망 영향 농도-반응 함수 메타분석 결과	497
[그림 3.5] PM10 호흡기계 사망 영향 농도-반응 함수 메타분석 결과	498
[그림 3.6] PM2.5 전체사망 영향 농도-반응 함수 메타분석 결과	500
[그림 3.7] PM2.5 심혈관계 사망 영향 농도-반응 함수 메타분석 결과	501
[그림 3.8] PM2.5 호흡기계 사망 영향 농도-반응 함수 메타분석 결과	502
[그림 3.9] PM10 호흡기계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과	503
[그림 3.10] PM10 심혈관계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과	504
[그림 3.11] PM2.5 호흡기계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과	506
[그림 3.12] NO2 심혈관계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과	508
[그림 3.13] SO2 심혈관계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과	509
[그림 3.14] 요양급여비용 청구, 심사, 지급 절차	516
[그림 3.15] 안소은 (2017) 에피소드 정의에 따른 일별 입원 건수 분포 분포	518
[그림 3.16] 에피소드 정의 및 무진료기간 가정에 따른 일별 입원건수 분포	519
[그림 3.17] 전국 단위 일별 PM10 농도-사망자 수 산포도	525
[그림 4.1] 편익이전 절차	536
[그림 4.2] 사망원인별 비교	539
[그림 4.3] 연구수행주체별 비교	540
[그림 4.4] 연구수행주체별 비교	540
[그림 4.5] 연구대상지역별 비교	541

[그림 4.6] 연령별 성별 월평균 급여 (2017년 기준)	558
[그림 4.7] 충청남도 호흡기계 질환 입원환자 연령별 분포 및 급여수준	569
[그림 4.8] 충청남도 호흡기계 질환 외래환자 연령별 분포 및 급여수준	572
[그림 4.9] 충청남도 심혈관계 질환 입원환자 연령별 분포 및 급여수준	574
[그림 4.10] 충청남도 심혈관계 질환 외래환자 연령별 분포 및 급여수준	575
[그림 4.11] 호흡기계 입원비용 선행연구 비교	578
[그림 4.12] 심혈관계 입원비용 선행연구 비교	579
[그림 4.13] 호흡기계 외래비용 선행연구 비교	580
[그림 4.14] 심혈관계 외래비용 선행연구 비교	580
[그림 4.15] 편익이전 방법론	591
[그림 4.16] 편익이전을 위한 자료 연결 예시	592
[그림 4.17] 국내 대상 선행연구 오염물질 톤당 피해 비용 결과 (충청남도 인구밀도 적용)	597
[그림 4.18] 국내 대상 선행연구 오염물질 톤당 피해 비용 편익이전 결과	603
[그림 5.1] 피해 비용 가정 시나리오	608
[그림 6.1] 충청남도 화력발전 지역자원시설세 추세 전망 (억원)	654
[그림 6.2] 충청남도 지역자원시설세 중 화력발전 지역자원시설세 비중 전망 (2018~2022년)	667

Part 4

[그림 1.1] 조사지역 위성사진(붉은점: 무인센서카메라 설치지역)	693
[그림 1.2] 충남화력발전소 주변지역 및 대조하천 어류 조사 지점	694
[그림 1.3] 생태환경모니터링 조사지, 대조구 위치	694
[그림 1.4] 수달 흔적조사	698
[그림 1.5] 설치된 무인센서카메라(Bushnell Trophy Camera HD)와 설치 모습	699
[그림 1.6] Sherman live trap 설치 모습과 설치류 조사 지점	700
[그림 1.7] 포획된 땃쥐(좌측) 및 등줄쥐(우측) 수컷의 방사장면	700
[그림 1.8] 충남 화력발전소 주변 지역 어류 조사 방법	701
[그림 1.9] 현장 수질 분석 및 채수	702
[그림 2.1] 식물상 문헌에서 확인된 관속식물의 종류구성	726
[그림 2.2] 식물상 문헌에서 확인된 주요 식물	726
[그림 2.3] 문헌 출판 형태에 따른 문헌 수	731
[그림 2.4] 문헌에 보고된 지역별 곤충 종수	732
[그림 2.5] 연구 지역에 따른 문헌 수	732
[그림 2.6] 자연환경조사 석문 지도(환경부, 2009B)	735

[그림 2.7] 자연환경조사 방갈 지도(환경부, 2006)	736
[그림 2.8] 자연환경조사 대야 지도(환경부, 2009A)	737
[그림 2.9] 자연환경조사 웅천 지도(환경부, 2010)	738
[그림 2.10] 자연환경조사 대야 지도(환경부, 1997)	739
[그림 2.11] 태안화력발전소 건설사업 사후영향평가 조사 동물 조사 지역(한국서부발전, 2016)	740
[그림 2.12] 문헌조사 격자를 지도에 나타난 모습(파란네모)	741
[그림 3.1] 충청남도 소재 화력발전소 일대(당진시, 태안군, 보령시, 서천군)에서 조사된 관속식물의 종류조성	775
[그림 3.2] 충청남도 소재 화력발전소 일대(당진시, 태안군, 보령시, 서천군)에서 조사된 주요 식물	775
[그림 3.3] 당진조사구에서 채집된 곤충의 목별 종수 구성비율(%)	779
[그림 3.4] 태안조사구에서 채집된 곤충의 목별 종수 구성비율(%)	780
[그림 3.5] 보령조사구에서 채집된 곤충의 목별 종수 구성비율(%)	781
[그림 3.6] 서천조사구에서 채집된 곤충의 목별 종수 구성비율(%)	782
[그림 3.7] 서산조사구(대조구)에서 채집된 곤충의 목별 종수 구성비율(%)	783
[그림 3.8] 시기별 함정트랩(Pitfall trap)에 포획된 곤충의 종수	787
[그림 3.9] 시기별 함정트랩(Pitfall trap)에 포획된 곤충의 개체수	787
[그림 3.10] 시기별 함정트랩(Pitfall trap)에 포획된 곤충의 다양도지수	788
[그림 3.11] 시기별 다중갈때기트랩(Multifunnel trap)에 포획된 곤충의 종수	791
[그림 3.12] 시기별 다중갈때기트랩(Multifunnel trap)에 포획된 곤충의 개체수	791
[그림 3.13] 시기별 다중갈때기트랩(Multifunnel trap)에 포획된 곤충의 다양도지수	792
[그림 3.14] 시기별 주간채집으로 포획된 곤충의 종수	801
[그림 3.15] 시기별 주광성 곤충의 종수	811
[그림 3.16] 시기별 주광성 곤충의 개체수	811
[그림 3.17] 시기별 주광성 곤충의 다양도지수	812
[그림 3.18] 지역별 고유종 분포	814
[그림 3.19] 지역별 국외반출승인대상종 분포	814
[그림 3.20] 강원지역과 충남지역의 무척추동물(곤충)상 다양성	819
[그림 3.21] 화력발전소 인근 야생동물 흔적	826
[그림 3.22] 화력발전소 주변에 서식하는 수달 배설물(좌측)과 삥 배설물(우측)	827
[그림 3.23] 보령화력발전소 인근 수달 흔적 확인지점	828
[그림 3.24] 무인센서카메라에 촬영된 삥(좌측 서천, 우측 서산)	830
[그림 3.25] 당진화력발전소 주변에 서식하는 야생동물 활동시간 비교	831

[그림 3.26] 당진화력발전소 주변에 서식하는 포유류 활동 빈도 비교	832
[그림 3.27] 태안화력발전소 주변에 서식하는 야생동물 활동시간 비교	834
[그림 3.28] 태안화력발전소 주변에 서식하는 야생동물 활동 빈도 비교	834
[그림 3.29] 보령화력발전소 주변에 서식하는 야생동물 활동시간 비교	836
[그림 3.30] 보령화력발전소 주변에 서식하는 야생동물 활동 빈도 비교	836
[그림 3.31] 서천화력발전소 주변에 서식하는 야생동물 활동시간 비교	838
[그림 3.32] 서천화력발전소 주변에 서식하는 야생동물 활동 빈도비교	838
[그림 3.33] 서산 팔봉산(대조구)에서 촬영된 멧돼지	840
[그림 3.34] 서산(팔봉산)에 서식하는 야생동물 활동시간 비교	840
[그림 3.35] 서산(팔봉산)에 서식하는 야생동물 활동 빈도비교	841
[그림 3.36] 포획된 땃쥐와 등줄쥐	842
[그림 3.37] 당진화력발전소 주변 하천의 수온 변화	845
[그림 3.38] 당진화력발전소 주변 하천의 전기전도도 변화	845
[그림 3.39] 당진화력발전소 주변 하천의 염분도 변화	846
[그림 3.40] 당진화력발전소 주변 하천의 DO 변화	846
[그림 3.41] 당진화력발전소 주변 하천의 DO 포화도 변화	847
[그림 3.42] 당진화력발전소 주변 하천의 변화	847
[그림 3.43] 당진화력발전소 출현 어종의 비교풍부도	854
[그림 3.44] 당진화력발전소 출현한 붕어의 length-weight relationship 및 condition factor 분석	856
[그림 3.45] 태안화력발전소 주변 하천의 수온 변화	859
[그림 3.46] 태안화력발전소 주변 하천의 전기전도도 변화	859
[그림 3.47] 태안화력발전소 주변 하천의 염분도 변화	860
[그림 3.48] 태안화력발전소 주변 하천의 DO 변화	860
[그림 3.49] 태안화력발전소 주변 하천의 DO 포화도 변화	861
[그림 3.50] 태안화력발전소 주변 하천의 pH 변화	861
[그림 3.51] 태안화력발전소 출현 어종의 비교풍부도	867
[그림 3.52] 태안화력발전소 출현한 주요 어류의 length-weight relationship 및 condition factor 분석	870
[그림 3.53] 보령화력발전소 주변 하천의 수온 변화	873
[그림 3.54] 보령화력발전소 주변 하천의 전기전도도 변화	873
[그림 3.55] 보령화력발전소 주변 하천의 염분도 변화	874
[그림 3.56] 보령화력발전소 주변 하천의 DO 변화	874
[그림 3.57] 보령화력발전소 주변 하천의 DO 포화도 변화	875

[그림 3.58] 보령화력발전소 주변 하천의 pH 변화	875
[그림 3.59] 보령화력발전소 출현 어종의 비교풍부도	882
[그림 3.60] 보령화력발전소 출현한 주요 어류의 length-weight relationship 및 condition factor 분석	885
[그림 3.61] 서천화력발전소 주변 하천의 수온 변화	887
[그림 3.62] 서천화력발전소 주변 하천의 전기전도도 변화	887
[그림 3.63] 서천화력발전소 주변 하천의 염분도 변화	888
[그림 3.64] 서천화력발전소 주변 하천의 DO 변화	888
[그림 3.65] 서천화력발전소 주변 하천의 DO 변화	889
[그림 3.66] 당진화력발전소 주변 하천의 pH 변화	889
[그림 3.67] 태안화력발전소 출현 어종의 비교풍부도	892
[그림 3.68] 소근천의 수온 변화	896
[그림 3.69] 소근천의 수온 변화	896
[그림 3.70] 소근천의 염분도 변화	897
[그림 3.71] 소근천의 DO 변화	897
[그림 3.72] 소근천의 DO 포화도 변화	898
[그림 3.73] 소근천의 pH 변화	898
[그림 3.74] 소근천 출현 어종의 비교풍부도	902
[그림 3.75] 소근천에서 출현한 대륙송사리의 length-weight relationship 및 condition factor 분석	905
[그림 3.76] 송천천의 수온 변화	908
[그림 3.77] 송천천의 전기전도도 변화	908
[그림 3.78] 송천천의 염분도 변화	909
[그림 3.79] 송천천의 DO 변화	909
[그림 3.80] 송천천의 DO 포화도 변화	910
[그림 3.81] 송천천의 pH 변화	910
[그림 3.82] 송천천 출현 어종의 비교풍부도	916
[그림 3.83] 송천천에서 출현한 주요 어류의 length-weight relationship 및 condition factor 분석	920
[그림 3.84] 충남 화력발전소 주변 및 대조하천의 지점별 어류 유사도 분석	921
[그림 3.85] 각 조사지점별 순위풍부도 곡선	923

Part 0

연구종합

제1장 서론 | 35p

제2장 주요 연구결과 | 45p

제3장 중장기 연구계획 | 87p

제1장 서론

1. 연구배경 및 목적

2. 연구의 범위

3. 연구의 기대효과 및 활용방안

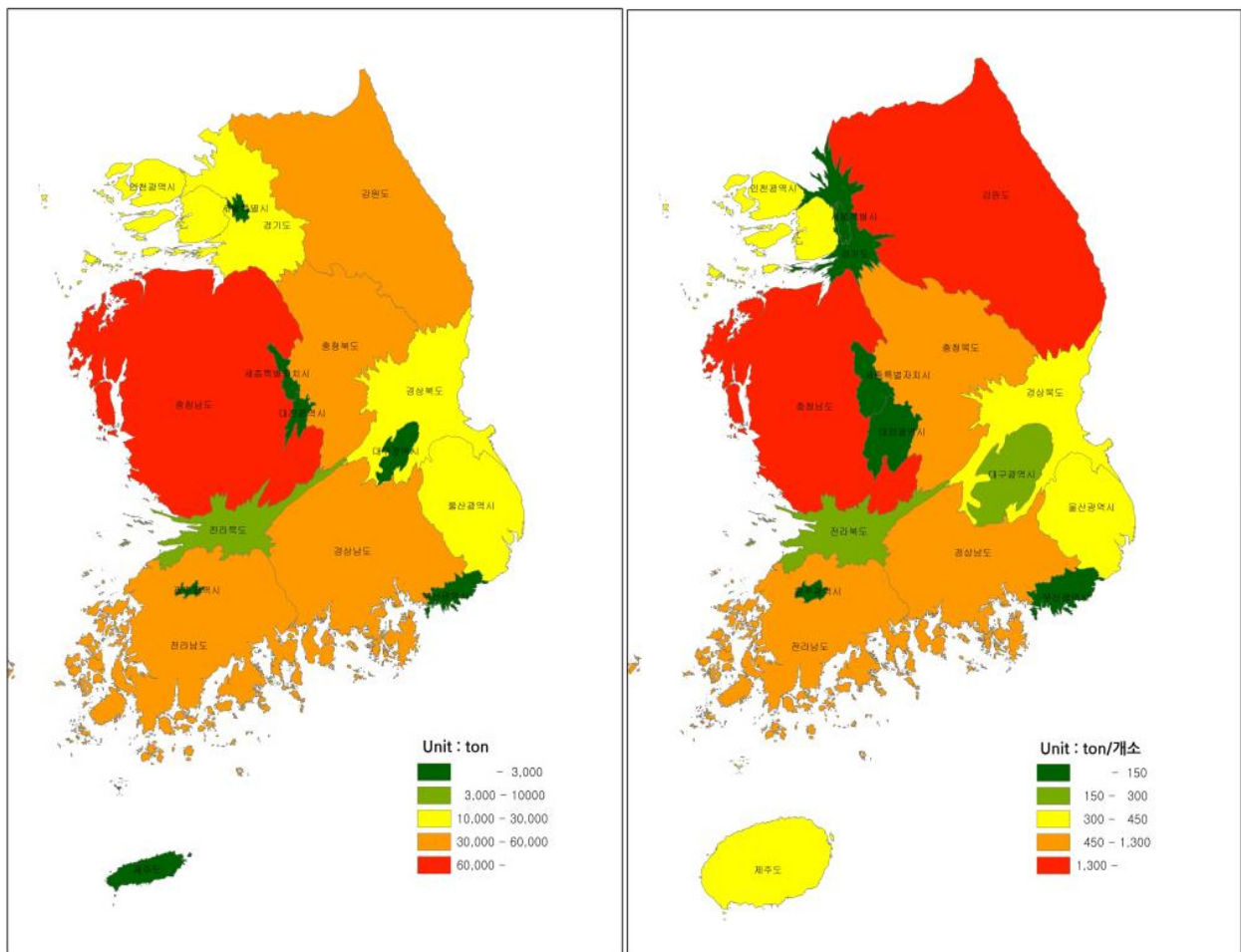
1. 연구배경 및 목적

1.1 연구의 배경 및 필요성

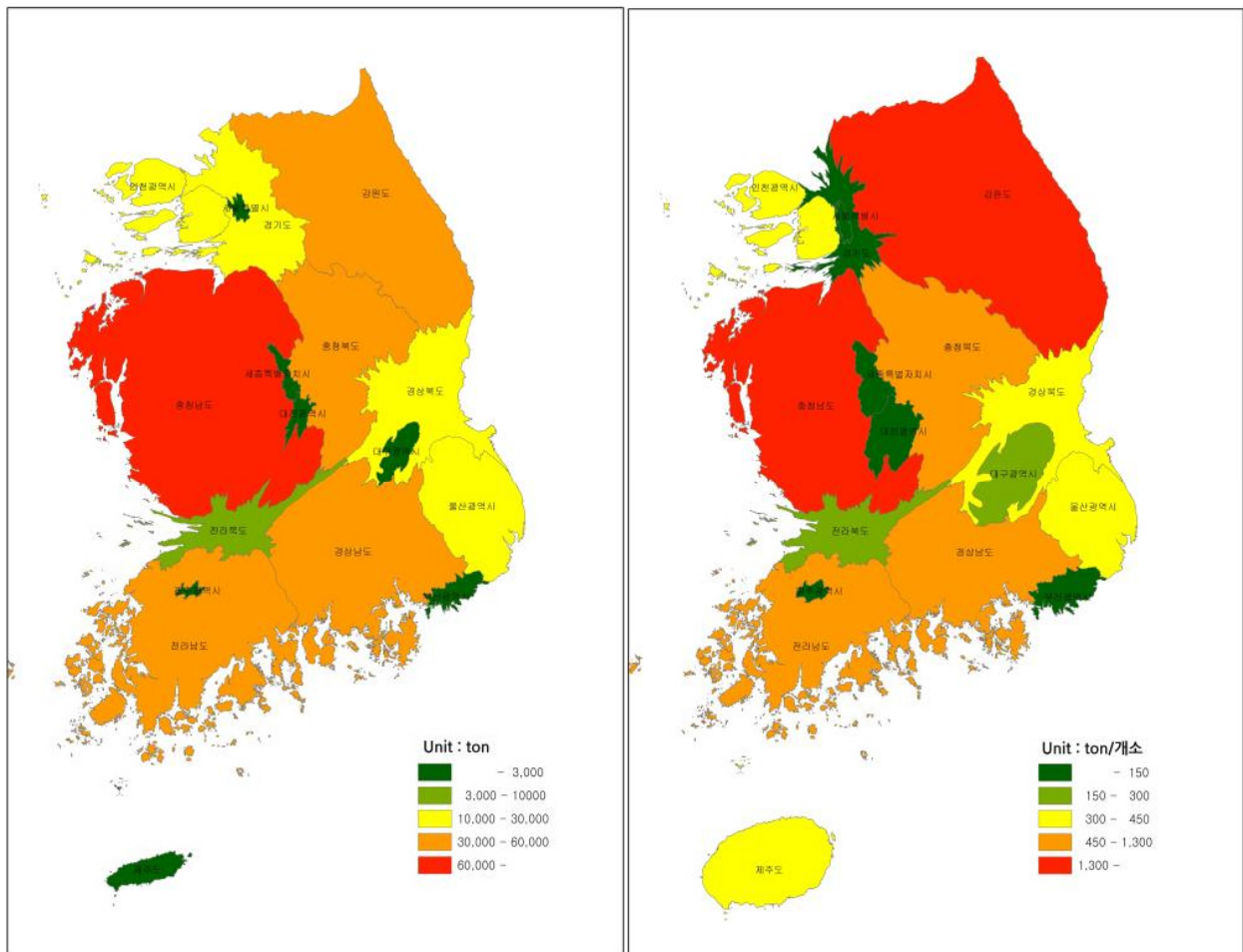
- 우리나라는 총 발전량 중 석탄화력발전량이 지속적으로 증가하여 2017년 총발전량 중 석탄화력발전소가 차지하는 비율이 처음으로 50%를 넘어 52.4%(원자력 33.5%, LNG 11.4%)에 달하고 있음(에너지경제연구원, 2019)
- OECD 주요국의 석탄화력발전 비율에서도 우리나라는 상위에 위치하고 있어 석탄화력발전 의존율이 높은 국가로 분류되고 있음(2015년 기준, 호주 63.6%, 독일 43.7%, 한국 43.3%, 미국 34.3%, 일본 34%, 영국 22.9%, 이탈리아 16.6%, 프랑스 2.2%)(The World Bank, 2018)
- 충청남도는 대표적인 대규모 배출시설인 석탄화력발전소가 전국 59기 중 30기가 위치하고 있고, 전국 화력발전설비용량 34,310.65MW의 53%인 18,178.05MW를 담당하고 있음(전력통계정보시스템(2019), 2019.4.15. 기준, 민간발전사업자 제외)
- 석탄화력발전소는 국가 지정대기오염물질인 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx), 일산화탄소(CO), 미세먼지(PM) 등을 대량으로 배출하는 등 국제환경단체 그린피스(2015)는 석탄화력발전을 초미세먼지 발생의 주범으로 지적함
- 그린피스(2016)는 충남도내 화력발전소 신규건설로 매년 750명 조기사망을 예고하였고, 세계보건기구(WHO)는 미세먼지를 1급 발암물질로 분류하여 대기오염에 대한 중요성을 강조. 최근 경제협력기구(OECD) 발표에 의하면 한국은 대기오염으로 조기 사망률이 OECD 회원국 중 유일하게 1,000명을 넘을 것으로 전망함
- 충청남도는 전국 17개 광역지자체 중 2번째로 많은 대기오염물질 462,310톤(국가 대기오염배출량 서비스(2019), 2015년 기준, 1위 경기도 649,075톤)을 배출하고 있으며, 사업장 대기오염물질 관리를 위해 설치된 굴뚝자동측정 결과인 TMS 배출량은 75,825톤으로 전국 1위(사업장 대기오염물질관리 시스템,(2019), 2018년

기준 2위 강원 52,810톤)이고 중국과 인접하여 월경성 대기오염물질의 영향을 직접적으로 받고 있어 대기오염물질에 의한 피해가 우려되고 있음

- 특히, 대기오염물질 배출량은 경기도의 71.2% 수준이나 1인당 배출량은 경기도의 4.2배에 달해(2015년 기준) 1인당 대기오염물질 배출부담이 크며, 충남도내 TMS 부착사업장 개소 수는 전국의 9.6%이나 배출량은 24.1%(2017년 기준)로 대규모배출사업장이 밀집되어 있어 대규모 사업장 주변지역 위주의 영향조사와 대책수립이 필요함



[대기오염물질배출량(좌)와 1인당 대기오염물질 배출량(좌) Cartogram, (충남연구원, 2019)]



[TMS배출량(좌)과 TMS 부차사업장당 배출량(우) Cartogram, 충남연구원(2019)]

- 대기오염물질과 더불어 화력발전소, 석유화학단지, 제철단지 등에서 배출되는 온실가스 배출량 또한 전국 온실가스배출량의 22.0%(충남연구원, 2016)를 배출하고 있어 온실가스와 대기오염물질로 인한 대규모 배출시설 주변지역의 영향모니터링과 분석이 필요함

1.2 연구의 목적

- 본 연구의 최종 목적은 화력발전소 주변지역 환경복지 구현을 위한 기후환경변화 과학적 실증자료 구축으로 이를 위해 주변지역 기후환경 모니터링과 환경오염 취약지역 조사, 사회적 피해비용 산정, 기후환경변화에 따른 생태계 변화 모니터링에 있음

- 2차년도의 주요 연구목표는 화력발전소 주변지역 환경변화에 대한 과학적 실증자료 구축으로 1) 대기환경정보 구축, 2) 대기질 측정분석, 3) 사회적 피해비용 평가, 4) 생태환경 모니터링으로 2차년도 대표 연구결과는 1) 안전동위원소 분석을 활용한 지역 대기오염물질 기원 및 기여도 추정, 2) 환경취약 주변지역 실측을 통한 대기오염도 조사 및 미세먼지 배출량 평가, 3) 사회적 피해비용 정량화와 피해비용 지원방안 제안, 4) 화력발전소 주변지역 생물다양성 종목록 구축을 위한 생태계 분야별 모니터링 등임

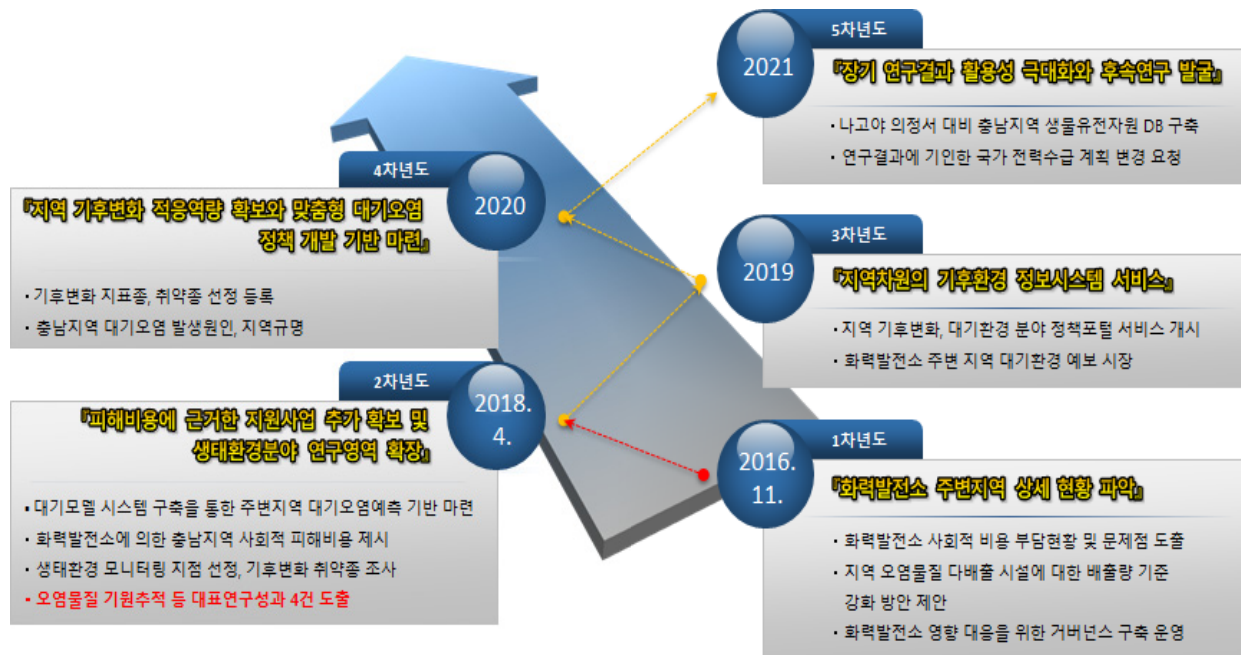
**화력발전소 주변지역 환경복지 구현을 위한 기후
환경변화 과학적 실증자료 구축**



[연구의 최종 목표와 2차년도 세부과제별 연구내용]

2. 연구의 범위

- 시간적 범위는 2016년 11월 ~ 2022년 4월(5년차 중 2차년도)이며, 공간적 범위로는 환경오염 부하량이 높은 화력발전시설 및 그 주변지역을 중심으로 충청남도 전역을 고려하여 연구를 진행하였으며 대기모델링이 경우 동아시아 지역으로 확대하여 검토함
- 내용적 범위(2차년도)
 - 화력발전소(시설) 주변지역 정보구축 : ①현장조사, ②지역 기후변화분석, ③대기오염 자료 DB 시스템 구축, ④생활권대기질 정보제공, ⑤지역 대기오염물질 기원추적과 기여도 추정
 - 대기측정 및 모델링 : ①기존 고정측정망 운영 및 신규구축, ②모델링시스템 구축
 - 미기후 모니터링 및 DB 시스템 구축 : ①미기후 모니터링과 분석, ②유지보수 및 DB 구축
 - 거버넌스 및 환류체계 구축 : ①거버넌스 구축운영, ②환류체계 구축·운영
 - 화력발전소(시설) 주변지역 현황 조사·분석 : ①환경오염 취약지역 조사·분석 (민간·공공으로 구분), ②대기오염방지시설 조사·분석
 - 대기질 측정 및 배출량 분석 : ①간이대기오염 측정망 운영, ②대기오염배출시설 조사·분석(저탄장)
 - 사회적 피해비용 평가 : ①충남 석탄화력발전 피해비용 산정, ②피해비용 부담 현황과 비교분석 ③피해비용 우선 지원방안 마련
 - 생태환경 모니터링 : ①동물분야(곤충, 포유류, 어류) 모니터링, ②식물분야(초본 및 목본식물) 모니터링, ③기후변화 취약종 선정조사
- 5년간 장기연구는 다음 그림과 같으며 2차년도에는 피해비용에 근거한 지원사업 추가확보 및 생태환경분야로 연구범위를 확대하여 진행됨
- 1차년도 주요 대표 연구성과로 ‘안정동위원소 분석을 활용한 지역 대기오염물질 기원 및 기여도 추정’, ‘발전소 내 저탄장 실측을 통한 대기오염도 조사 및 미세먼지 배출량 평가’, ‘사회적 피해비용 정량화와 피해비용 지원방안 제안’ 등의 결과를 도출함



[연차별 연구목표 및 내용]

3. 연구의 기대효과 및 활용방안

- 화력발전소 주변지역 맞춤형 대기질 정보제공과 오염기원추적 및 정보제공 시스템 구축
- 피해비용에 근거한 지원사업 추가확보와 생태환경 분야 연구영역 확장
- 오염물질별 공간 농도분포 도출과 저탄장 중심의 실질적인 미세먼지 배출량 산정
- 연차별 연구계획과 5년간 주요연구 결과는 다음그림과 같음



[연차별 연구계획과 5년간 주요연구 결과]

제2장 주요 연구결과

1. 대기환경정보 구축
2. 대기질 측정분석
3. 사회적 피해비용 평가
4. 생태환경모니터링

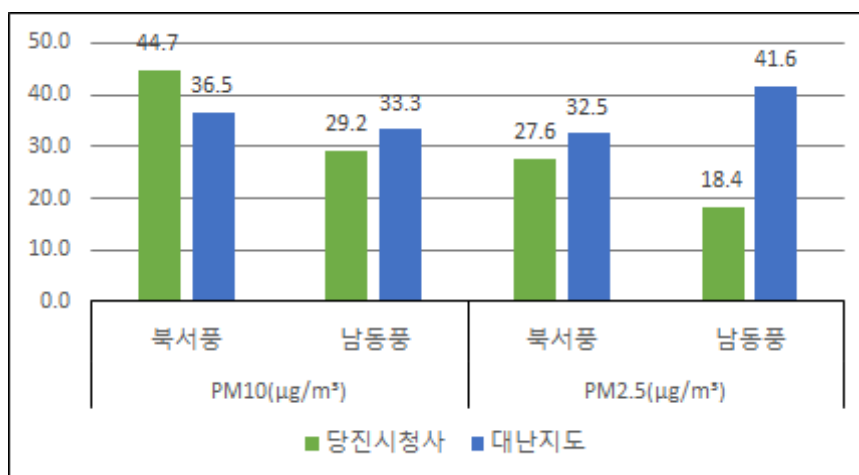
1. 대기환경정보구축

1.1. 충남지역 기후변화 특성

- 충남지역의 장기간 과거 기후변화 분석을 위해 30년 이상 기상관측자료를 보유하고 있는 5개 중관기상관측소의 평균기온, 습도, 풍속 자료를 사용(1973년 이후)하였으며, 장기간 기후변화 추세를 관찰하기 위하여 30년 후행 이동평균을 활용하였으며, 2차년도 연구에서는 온도, 습도, 풍속에 대해 분석함
 - 분석한 5개 전 지점(천안, 보령, 서산, 금산, 부여)에서 지속적인 온도상승이 나타났으며, 충남평균기온 2002년 11.8℃에서 2018년 12.2℃로 0.4℃ 상승 하였으며, 보령시 기준 0.5℃ 상승하여 가장 큰 변화 폭을 나타냄
 - 풍속변화는 충남평균기온 1.66m/s 로 2002년부터 2018년 사이 큰 변화를 보이지 않았으나, 시·군별로는, 천안과 서산, 부여의 경우 각각 0.17m/s, 0.07m/s, 0.02m/s 상승, 보령, 금산의 경우 각각 0.12m/s, 0.09m/s 감소하여 관측지점별로 풍속변화의 큰 차이를 나타냄
 - 분석한 전지점에서 지속적인 습도 감소가 관측되었으며, 충남평균 2002년 74.5%에서 2018년 71.7%로 2.8% 감소하였으며, 천안과 금산에서 각각 4.2%, 3.9%로 크게 감소하였음
- 지속적인 기후변화는 관련된 온도, 풍향·풍속 등 각 기상인자들이 변화하고 이는 대기 중 미세먼지농도변화, 동식물 생장, 분포 등에 기여하게 됨
- 선행연구결과에 따라 풍속저하와 습도변화, 온도상승 등은 미세먼지 농도증가에 기여할 것으로 판단되며, 전체적으로 고온건조한 기후로 변화함을 알 수 있었음
- 충남지역 지역별 풍속변화는 지역별 대기오염물질 농도변화에도 기여할 수 있으며 지속적인 습도감소는 선행연구에서 언급된 일정구간 내에서 미세먼지 농도 저감과 상승에 상관성이 존재함

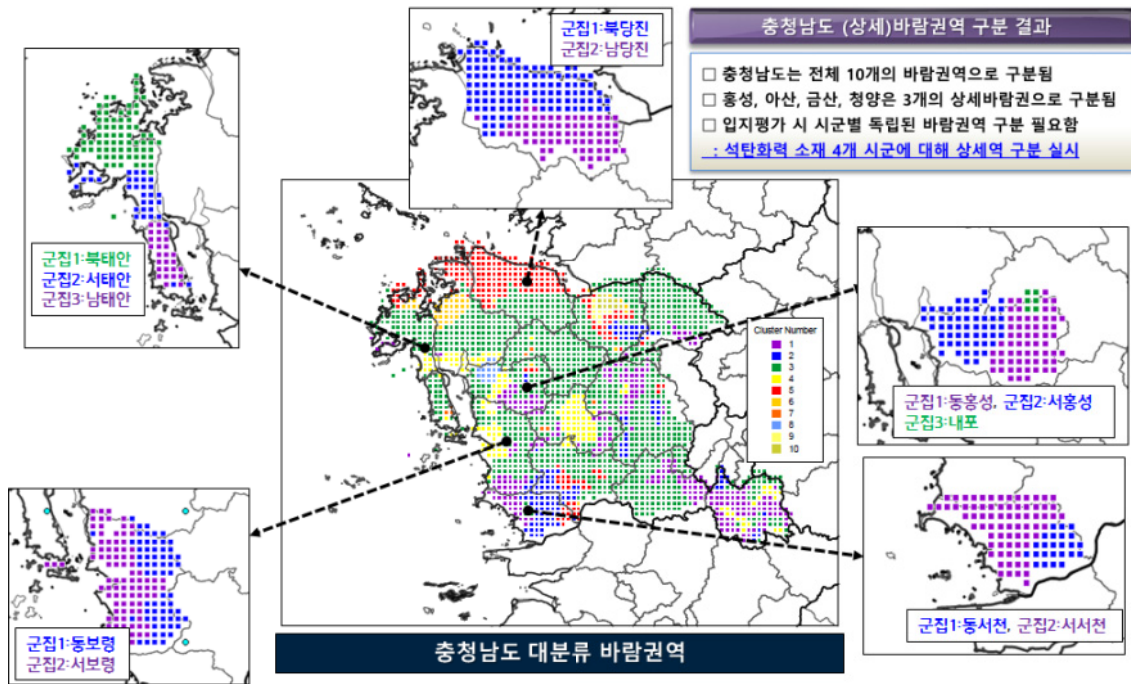
1.2. 고정측정망 운영

- 당진화력발전소 배경농도 분석을 위해 1차년도 설치한 대난지도측정소의 풍상, 풍하방향에 대한 분석을 위해 당진시청 측정소와 비교함
- 관측된 풍향자료를 사분면으로 구분하여 북서풍(풍상: 대난지도, 풍하: 당진), 남동풍(풍상: 당진, 풍하: 대난지도)일에 해당하는 자료를 구분지어 분석하였음
 - 북서풍 발생 시 PM10 농도는 당진시청사에서 평균 $44.7\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대난지도에서 평균 $36.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 관측되며 풍하지점에서 약 $8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도가 증가함
 - 남동풍 발생 시 당진시청사에서 평균 $29.2\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대난지도에서 평균 $33.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 관측되며 풍하지점에서 약 $4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도차가 발생함
 - 이는 북서풍 발생 시 당진시청사 측정지점에 당진화력발전소, 대산산업단지, 석문산업단지 등 대기오염물질 발생에 따른 영향이 존재할 것으로 판단되어 이에 대한 추가적인 조사가 필요함
 - 하지만 PM2.5농도의 경우 북서풍, 남동풍과 무관하게 상시 대난지도측정지점이 당진시청사 측정지점보다 높은 농도가 관측되어 해양 영향이 큰 것으로 판단됨



- 2차년도 고정측정망 지점 선정 : 보령시 청라면
 - 1차년도 충청남도 상세바람구원역 분석결과 중 석탄화력발전 소재 4개 시군의 바람권역 중 측정소가 위치하지 않는 지역을 우선적으로 고려

- 보령화력발전소 유입전후 농도변화를 분석하기 위해 서풍 계열시 배경농도(원산도), 발전소 인근(오포리), 10km 지점(주포면), 20km 지점(청라면), 30km 지점(청양읍)의 농도 측정을 위해 보령시 청라면 측정소 설치



1.3. 기후환경정보 시스템 구축

- 본 연구 중심 기후환경정보를 효율적 관리와 활용을 위해 기후환경통합정보 DB 설계하고 그 외의 데이터를 연계하기 위한 방안을 마련하도록 하는 시스템을 구성함

화력발전소 주변지역 환경복지 구현을 위한 기후환경정보 DB 설계 및 모델링

사업목표

화력발전소 주변지역 기후환경 정보 및 모델링연구

기후환경 정보

- 충남지역 1㎞(군.면)단위의 상세규모 모델 상시 구동 시스템
- 대기오염경보 발생시 신속한 원인분석⇒이동경로⇒해소시기 전망
- 기여도 분석 모델링 및 진단형 기여도 분석 시스템

대기환경측정 정보

- 실시간 모니터링 및 모델링 결과 분석
- 측정/모델링/기상 자료연계를 통한 DB 구축
- 대기오염 발생원 규명으로 대기오염 개선정책 영향분석
- 고농도 대기오염 사례분석 등

모델링 체계 구축

- 모델링 계산 서버 구축
- 자료 저장 스토리지 구축
- 네트워크 인프라 및 기타 장비 구축



발전소 주변지역 환경 체감도 악화

- 대규모 발전시설 및 산업단지 등의 증가로 도내 배출량 증가 및 대기오염도가 악화



과학적인 기후대기 관리 및 모델링체계 필요

- 대규모 발생원에 대한 관리방안 필요
- 기존 대기 모니터링 기술의 대응 한계 도달
- 능동적이고 과학적인 기후대기관리 필요

발생원 관리



대기질 분석 진단

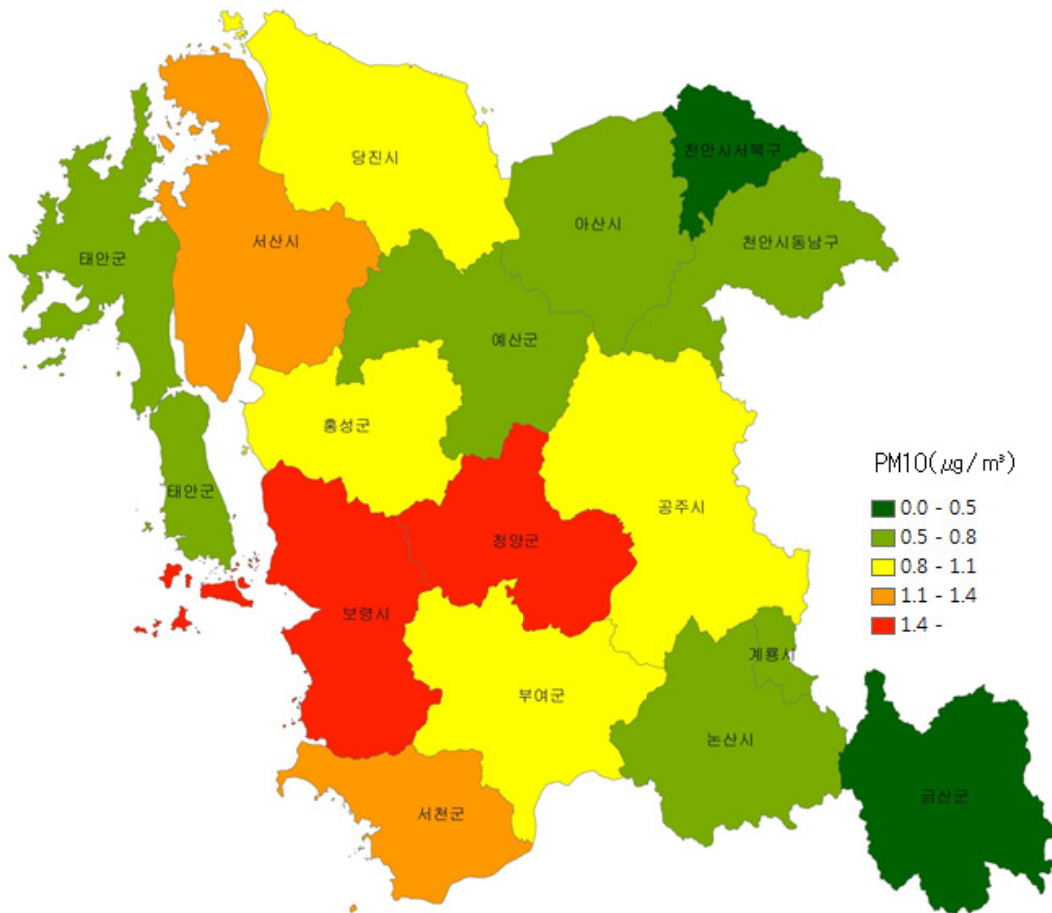


○ 인터페이스 설계와 데이터베이스 설계, 화면 설계 등을 완료함

○ 1차년도에 구축한 대기모델링 기반으로 모델 시스템을 개선하고 고농도 사례일의 비상저감조치 효과를 분석함(2018년 11월 7일과 2019년 3월 1일 ~ 7일)

- 11월 6일의 대비 7일의 저감효과는 화력발전소 주변지역에서 최고 5.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다으며, 지역별 평균은 보령, 태안, 서천, 홍성 순으로 저감효과 나타나고 있으나, 풍향의 영향으로 그 외의 지역에서는 저감효과가 미미한 것으로 나타남
- 3월 1일부터 3월 7일까지 충남지역 평균 농도 대비 저감량은 3.0 ~ 8.9%로 나타나며, 비상저감조치가 시행된 7일간 평균적인 저감량은 5.2%로 나타남

- 보령화력발전소가 위치하고 있는 보령시 및 인근 청양군에서 7일 평균 $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 저감효과가 나타났으며, 금산군 및 천안시의 경우는 저감효과가 $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 저감효과를 나타냄



[비상저감기간 시군별 PM10 평균 저감효과(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)]

1.4. 생활권 대기질 정보 제공

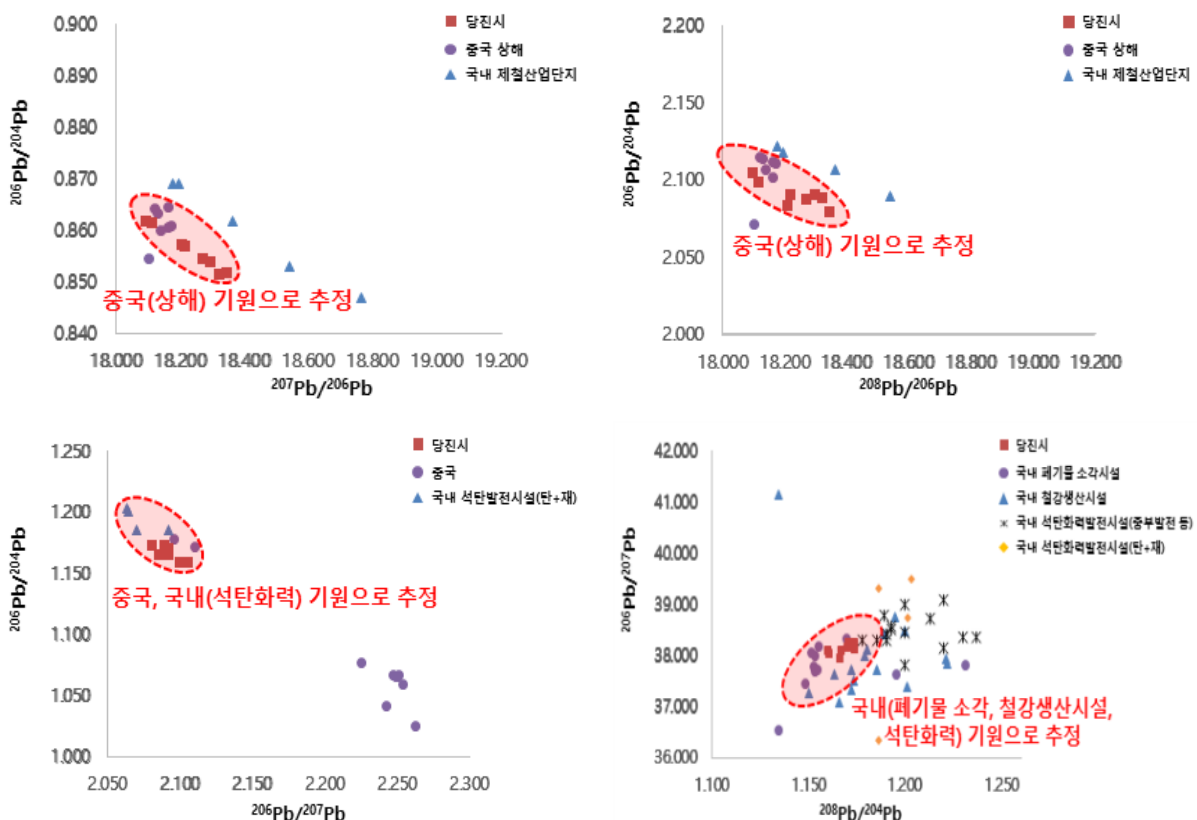
- 1차년도에 기존 4개면 61개 마을의 생활권 대기질 정보제공을 8개면 119개 마을로 확대하여 생활권 대기질 정보를 제공함
- 간이측정기와 국가측정망간의 변환계수 고도화를 위해 2차년도에는 계절별 측정을 실시하였으며 측정결과 대기환경기준 초과마을 정보 등 결과를 지역주민과 공유함

- 측정결과를 기반으로 실측데이터 기준 핫스팟 지점 파악을 위해 지역별, 오염물질별 시공간 분포도 작성하고 실측데이터의 시공간 분포와 패턴 분석을 통하여 119개 마을 중 중점·우선관리 대상을 오염물질별로 제안
 - 중점관리 대상은 고농도 발생 빈도가 높은 마을로 정의하며, 측정 4회 중 3회 이상 고농도 기준 5순위 안에 드는 지점을 선정
 - 우선관리 대상은 충청남도 대기환경기준을 초과하는 마을로 정의하며, 1회 이상 기준을 초과하는 지점을 선정

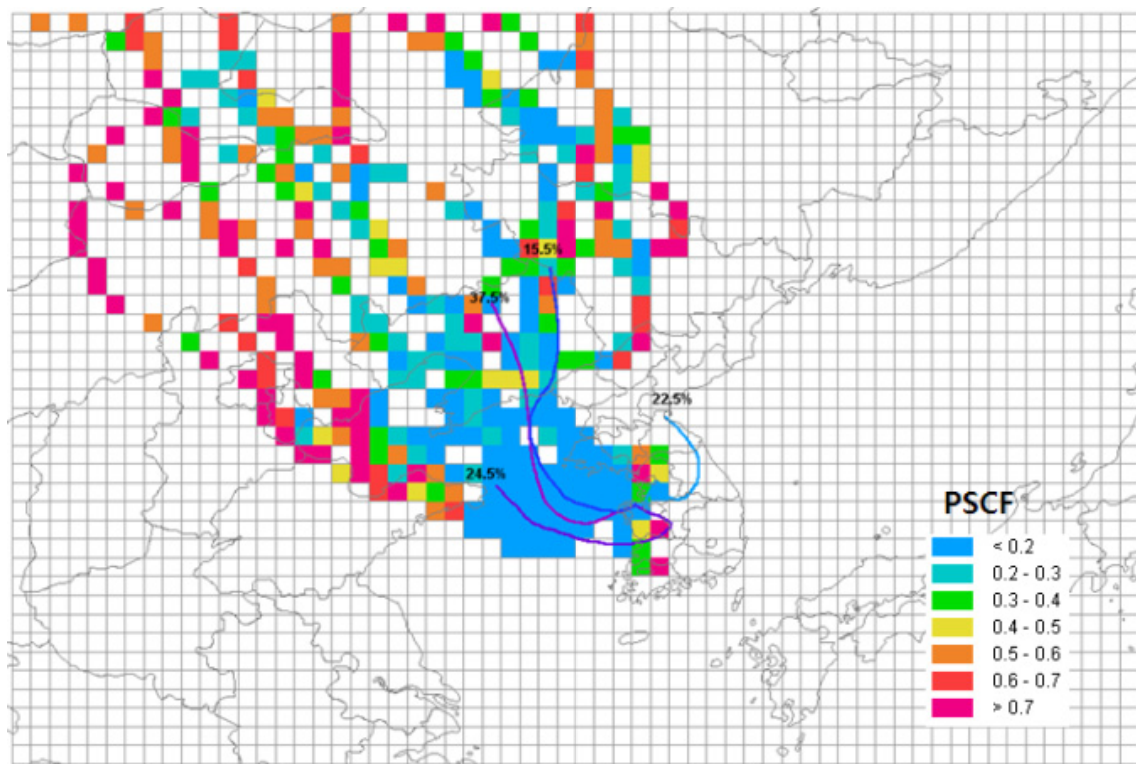
구분	이산화질소(NO ₂)	아황산가스(SO ₂)	총부유먼지(TSP)	오존(O ₃)
보령시	중점 주교면 주교1리 주교면 은포2리 주교면 주교3리	-	-	주교면 은포2리 주교면 송학2리
	우선 -	주교면 은포3리 주교면 신대1리	-	주교면 은포3리 주교면 은포2리
당진시	중점 고대면 슬항1리 고대면 용두1리 석문면 통정2리	석문면 삼봉3리 석문면 삼봉2리	고대면 용두1리 고대면 당진포1리	-
	우선 -	고대면 당진포1리	고대면 진관1리 고대면 용두1리) 고대면 성산2리 고대면 당진포1리 석문면 삼화1리 고대면 용두2리 고대면 슬항2리 고대면 장항2리 석문면 삼화3리	석문면 삼봉3리 고대면 진관2리 석문면 삼화3리 석문면 삼화1리 고대면 옥현리 고대면 장항2리 석문면 삼봉1리 석문면 통정1리 석문면 교로1리
서천군	중점 -	-	-	비인면 구북리 비인면 다사2리
	우선 -	서면 대부사	서면 홍원	비인면 구북리 비인면 선도1리 서면 내도둔
태안군	중점 원북면 반계2리 원북면 이곡1리 원북면 반계3리	-	이원면 관3리	원북면 방갈1리
	우선 -	이원면 당산2리	이원면 포지2리 원북면 황촌2리 원북면 방갈1리	이원면 포지2리 원북면 신두1리 원북면 양산1리 이원면 당산4리 원북면 방갈1리

1.5. 지역 대기오염물질 기원 및 기여도 추정

- 화력발전소로 인한 영향과 외부요인이 지역 대기오염에 미치는 영향 등의 파악을 위한 시범조사로 당진시(시청, 석문면사무소)의 대기시료 샘플링을 통해 유기탄소와 납 동위원소비 분석을 실시, 지역 대기오염물질의 기원을 추정
 - 미세먼지 또는 초미세먼지 등의 기원 추적에 적합한 유기탄소 안정동위원소비의 계절별 분석결과 겨울 > 봄 > 가을 > 여름 순으로 고농도로 분포하는 것으로 분석
 - 석탄, 비철금속 제련에 의한 오염원 추적에 적합한 납 안정동위원소비는 패턴이 동일한 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 비와 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 비는 시청사는 가을 > 겨울 > 여름 > 봄, 석문면은 여름 > 봄 > 가을 > 겨울 순으로 고농도로 분포
- 국내외 관련 논문과 보고서 등을 검토·분석하여 통합 라이브러리 DB를 구축하고, 유기탄소와 납 안정동위원소비 분석결과를 본 연구를 통해 구축한 라이브러리 DB와 매칭하여 대기오염물질 기원을 추정



- 기 구축한 기상 모델링 시스템에 HYSPLIT 모델과 커플링하여 Trajectory를 분석 하고, 각 궤적별 발생원의 위치를 추정할 수 있는 PSCF(Potential source contribution function) 모델을 적용, 안정동위원소에 대한 기여도를 분석할 수 있는 방안을 구성
- 유기탄소 및 납 동위원소에 대한 측정일자에 대한 HYSPLIT 모델을 이용한 역궤적 분석 결과와 두 원소의 분석결과를 비교한 결과, 납의 경우에는 뚜렷한 계절적 특성이 없었으며, 계절에 따른 구분이 명확한 유기탄소 동위원소의 경우 해양 기원의 남동풍 계열 유입 시 낮은 값이 측정되었고 중국 기원의 북서풍 유입 시 상대적으로 고농도로 측정
- PSCF 모델 결과 군집 기류의 이동경로와 안정동위원소에 의한 오염원의 기여도를 살펴보기 위하여 NASA Intercontinental Chemical Transport Experiment Phase B(INTEX-B) 계획에 의거하여 산정된 2006년의 동아시아 지역의 PM10 0.5도 간격의 그리드 배출량 자료를 참고자료로 활용하여 분석
- 봄철 궤적 군집을 4개로 분류하고 군집별로 PSCF를 분석한 결과 중국 중북 지역에서 37.5%, 중국 중남 24.5%, 강원도 22.5%, 중국 동북 15.5%로 나타났으며, 여름을 제외한 모든 계절에서 중국의 영향이 높게 나타남



1.6. 거버넌스 및 환류체계 구축

- 화력발전소 주변지역 마을 이장과 주민을 대상으로 주민설명회를 진행하여 지역주민과의 연구 진행사항과 결과 등에 대한 공유, 생활권 대기질 정보 제공을 위한 협조 요청을 실시함, 또한, 지역주민 불신 해소와 신뢰성 회복을 위한 심층인터뷰(In-depth interview) 형식의 대면 설문조사와 집단 심층면접(Focus Group Interview)을 통해 생활권 대기질 정보 제공 및 주민참여형 대기질 측정의 필요성, 정보전달(표현) 방식과 선호매체, 정보의 활용처 등에 대한 다양한 의견을 수렴함
- － 연구진행 관련 주민 개선의견 수렴하고 개선의견을 유형화하여 분석한 결과 주민참여 확대 정책개선, 건강 연구조사 항목 개선, 측정방식 조사방법 개선 등이 우선순위로 도출됨

Level 1.	Level 2.	세부내용	
연구조사 항목 개선	건강	건강영향조사, 건강검진	발전소(산)
	시각적 오염원	환경영향조사(악취, 대기, 소음, 해양, 토양, 전자파), 환경영향평가(소각장) 기여도 조사(기상기후)	정책결정자(관)
조사방법 개선	측정분야	대기오염(검은연기, 비산먼지, 미세먼지, 분진, 악취), 해양오염(악취, 탄재, 폐·수온배수 방류로 인한 어패류 감소 및 폐사), 토양오염(농작물 피해)	
	측정방식	측정 신뢰성 담보, 측정 신속성 담보, 측정 횟수 확대, 상시 연속 측정 도입	
정보공유체계 개선	시스템(체계)	분석결과 알림체계 구축, 옥외전광판 설치, 문자알림서비스 도입	
	표현방식	주민 눈높이에 맞는 정보 생산	연구기관(연)
정책 개선	저감정책 강화	발전소 저감시설 도입, 국가차원의 노력 필요	정책결정자(관)
	주민지원 확대	보상/지원 강화, 교육	발전소(산)
	주민참여 확대	주민참여형 감시체계 마련	도민(민)

- 화력발전소 주변지역에 거주하고 있는 도민들의 요구 수용과 관련 정책의 실효성 증진을 위하여 분산되어 있는 다수의 거버넌스를 통합적으로 운영할 수 있는 대표 거버넌스 조직을 위해 분포현황을 파악하고 이를 분류할 수 있는 분류기준 모델을 권력-참여모델로 제시함
- 주민의견, 거버넌스별 역할 등을 고려하여 화력발전소 주변지역 관련 26개의 지원사업을 도출하고 AHP분석을 통해 우선순위를 선정한 결과, 환경영향조사와 주민참여형 감시에 대한 중요도가 높은 것으로 분석되어 우선순위에 따를 구체적 지원방안 마련이 시급한 것으로 파악됨

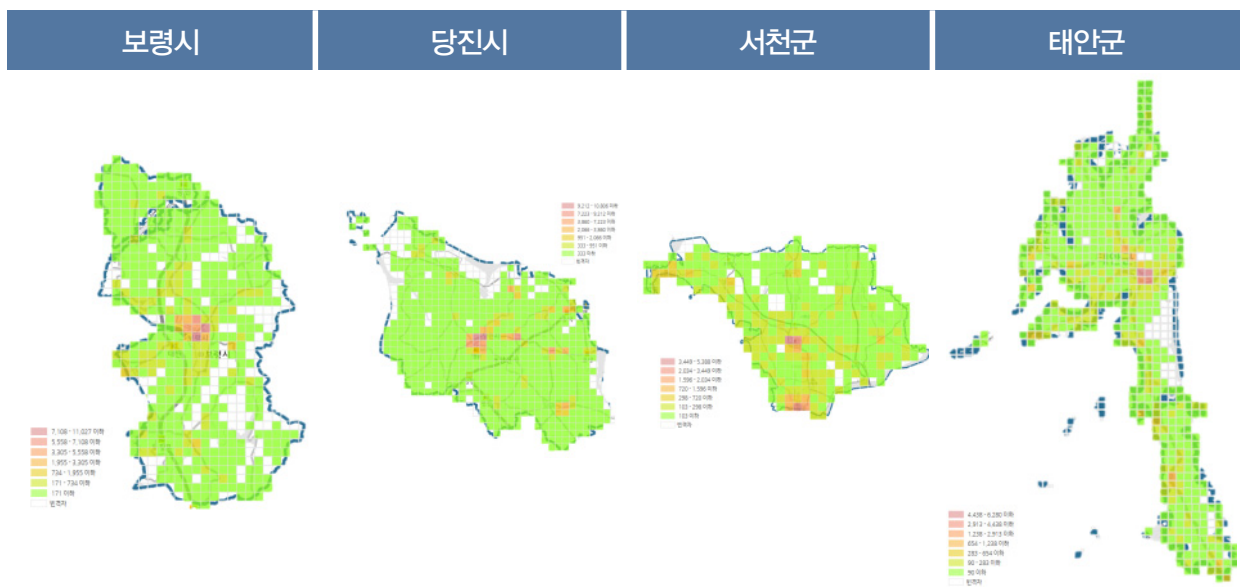
지원사업	중요도	우선순위
1. 건강영향조사	0.5991	3
2. 건강검진	0.2888	12
3. 환경영향조사	0.6237	1
4. 환경영향평가	0.2888	12
5. 정보공유체계 개선	0.4626	9
6. 발전소 저감시설 도입 및 개선	0.5991	3
7. 환경오염물질 및 영향 관련 교육	0.4872	7
8. 주민참여형 감시	0.6237	1
9. 모니터링(환경오염감시, 저감 등)	0.5991	3
10. 환경 관련 인체유해물질, 업체 감시 및 고발	0.4491	10
11. 노인 일자리 및 사회활동 지원·교육	0.2077	20
12. 노인지도자 전문교육	0.2077	20
13. 경로당 프로그램 활동 지원	0.2077	20
14. 노인 자원봉사클럽 운영	0.1502	23
15. 냉·난방비 보조금 지원 관련 교육	0.2888	12
16. 웰다잉, 노인안전 교육	0.1120	25
17. 주민교육 및 홍보	0.4872	7
18. 환경미화(꽃심기 등)	0.1120	25
19. 자원봉사 운영	0.1256	24
20. 지역주민 복지 및 편의시설 증진, 개선	0.2642	16
21. 지속가능한 상생발전	0.5991	3
22. 지역민 이주	0.2507	19
23. 피해보상	0.2642	16
24. 보조금 지원	0.2888	12
25. 혐오 및 환경오염 유발업체 입주 반대	0.4491	10
26. 자연정화	0.2642	16

2. 대기질 측정분석

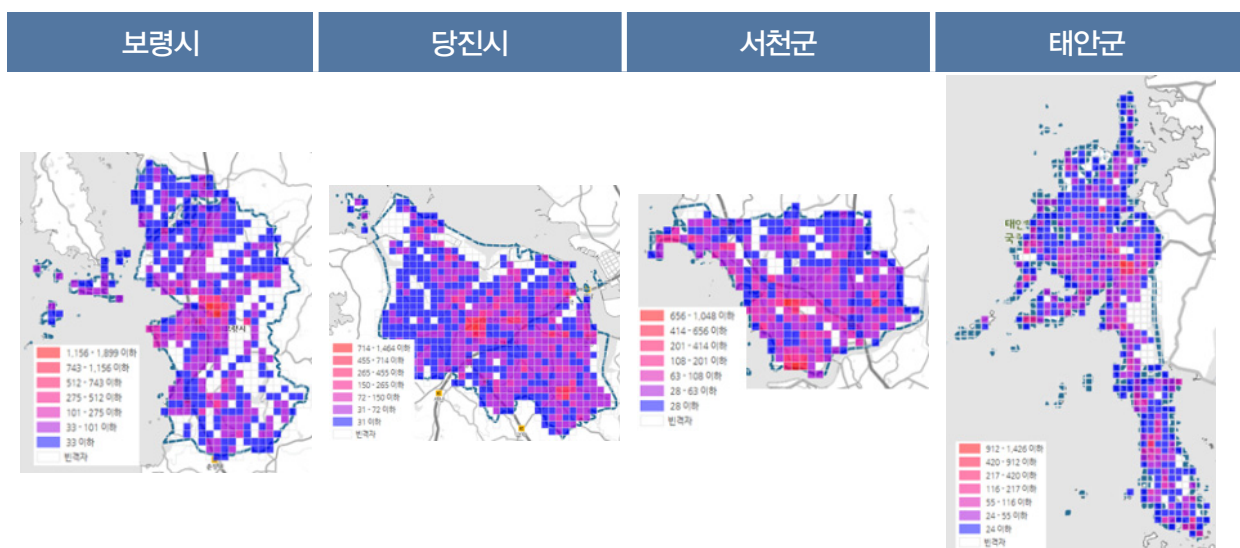
2.1. 연구대상 지역의 일반 현황분석

○ 화력발전시설 지역의 인구 증가율(2018년 6월 기준) 분석 결과 당진시를 제외한 보령시, 서천군, 태안군 감소추세임

– 증가 : 당진(0.11%) / 감소 : 보령(-0.60%), 서천(-0.99%), 태안(-0.29%)



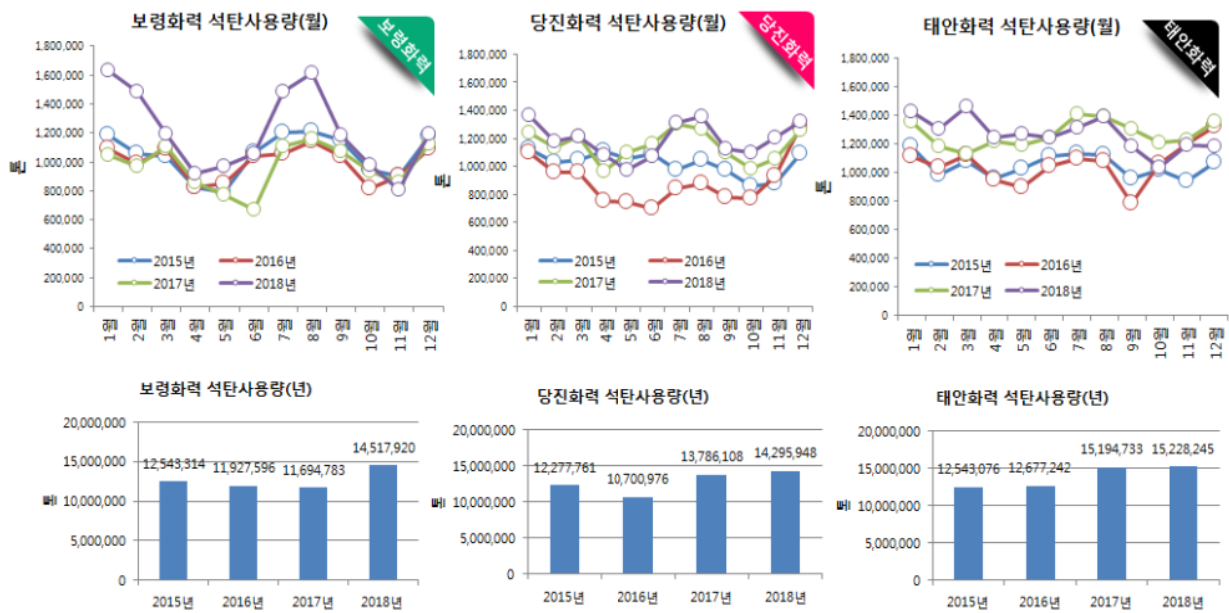
[지역별 · 격자별 인구분포(1km×1km)]



[화력발전지역의 고령화 인구분포도(1km×1km)]

2.2. 화력발전소 현황분석

- 전력소비가 많은 여름철과 겨울철에 석탄사용량 증가
- 석탄사용량 16년~17년 감소추세에서 18년 다시 증가추세

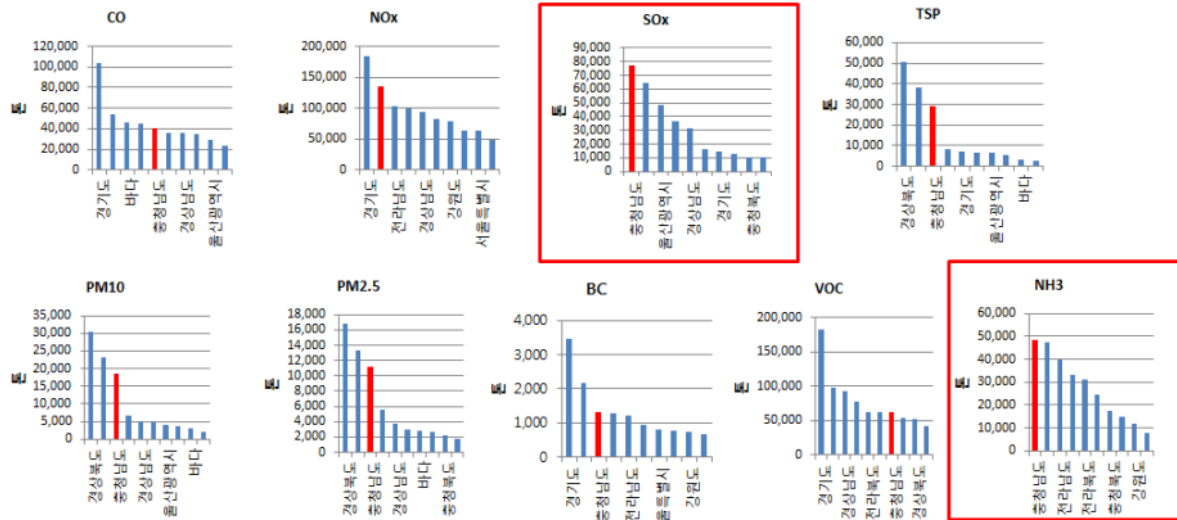


[발전사별 석탄사용량 비교]

- 늘어나는 석탄사용량 대비 대기오염배출량은 감소 추세(굴뚝 TMS 기준)
- 이는 17년 ~ 18년 발전설비 성능개선과 저감계획 노력의 결실로 보여짐

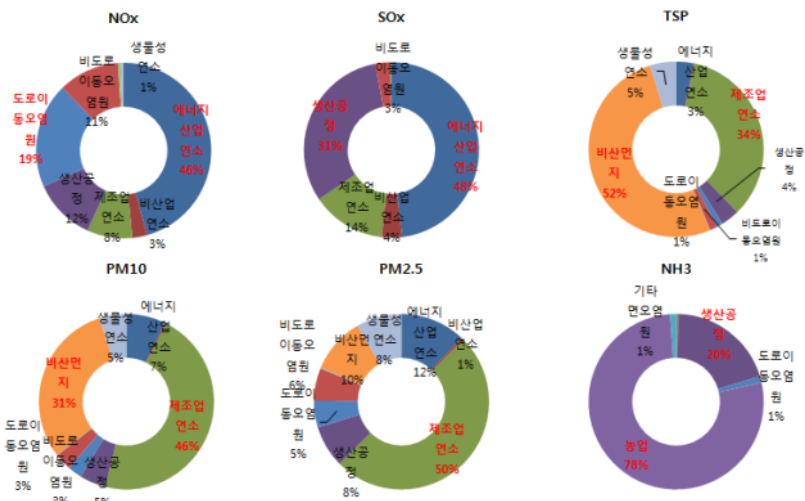
2.3. 국가 대기오염배출량 분석

- 2015년 배출량 기준 충청남도는 황산화물 및 암모니아 전국 1위, 질소산화물 전국 2위, 먼지(TSP, PM10, PM2.5) 및 BC(블랙카본) 전국 3위

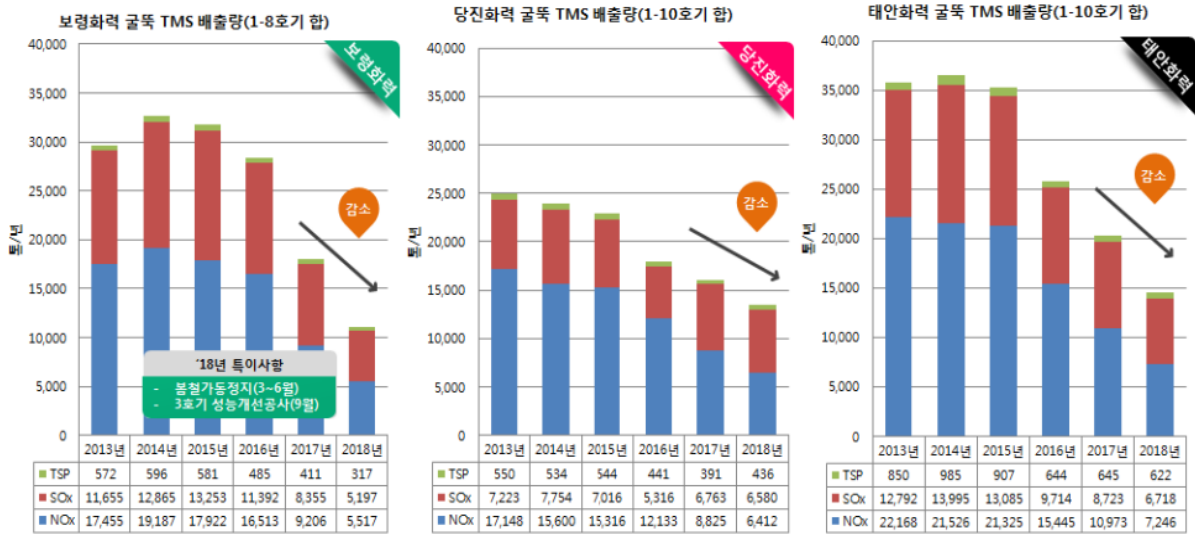


[2015년 국가대기오염 배출량 분석]

- 충청남도는 에너지산업연소분야의 질소산화물, 황산화물 관리와 제조업연소분야의 TSP, PM10, PM2.5의 집중적인 관리가 필요. 농업분야에서의 축산과 관련한 암모니아 관리도 중요함



[충남 배출오염원별 배출량 비교]



[충남 배출오염원별 배출량 비교]

○ 민간대기오염측정소 확대 계획

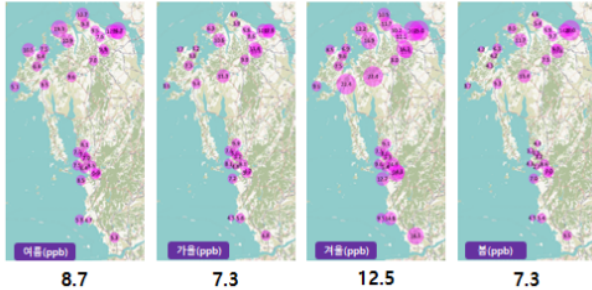
- 보령화력: 98년 9개소 → 1개소 추가설치 예정
- 신보령화력: 2개소 추가설치 예정
- 당진화력: 98년~ 18년 12월 이전까지 5개소 → 18년 12월 6개소 추가 설치 운영 중에 있음
- 태안화력: 6개소 → 3개소 추가설치 예정

2.4. 환경오염취약지역 주변의 대기질 조사

- 기준성 대기오염물질의 오염도 수준은 보편적으로 당진권역 > 태안권역 또는 보령권역 > 서천권역 순으로 나타남
- 측정결과에서도 산업시설이 발전한 충남 북서부 지역의 대기오염도가 높은 것으로 나타남 → 환경용량 설정과 관리가 중요

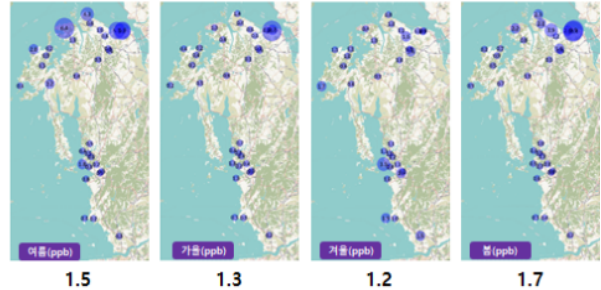
- 이산화질소

● 지역별 : 겨울 > 여름 > 봄 > 가을



- 아황산가스

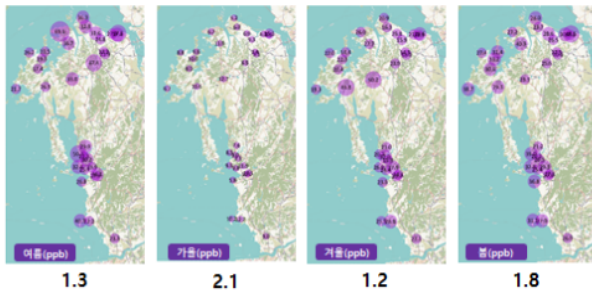
● 지역별 : 봄 > 여름 > 가을 > 겨울



[이산화질소 및 아황산가스의 권역별 · 계절별 비교]

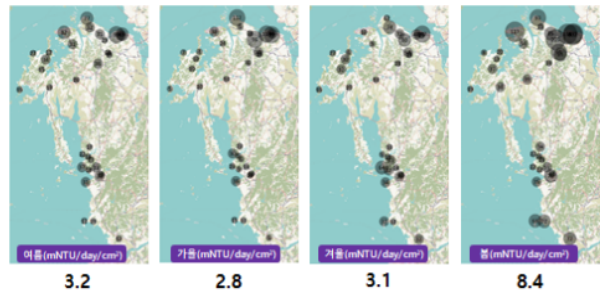
- 오존

● 지역별 : 가을 > 봄 > 여름 > 겨울



- 총부유먼지

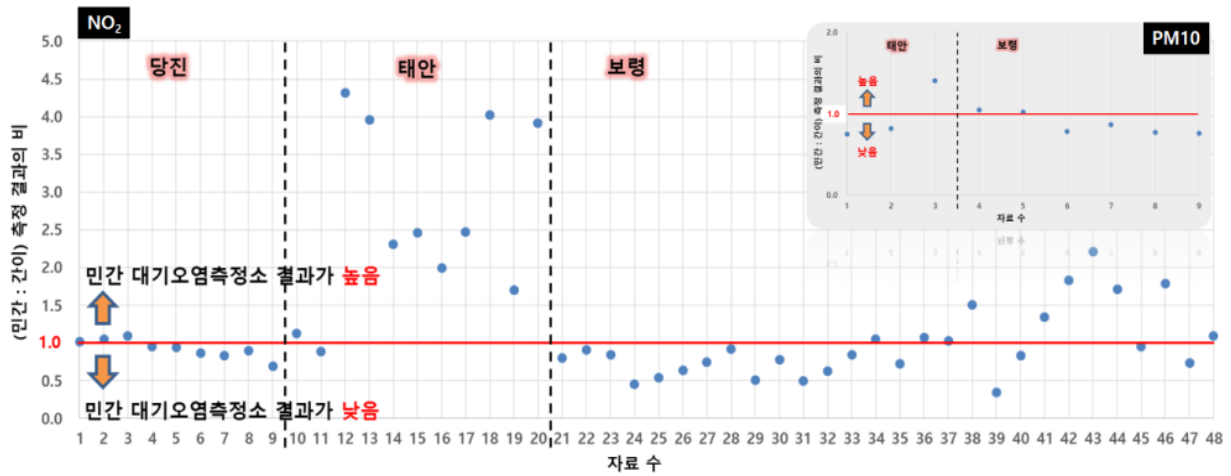
● 지역별 : 봄 > 여름 > 겨울 > 가을



[오존 및 총부유먼지의 권역별 · 계절별 비교]

2.5. 간이대기오염측정기의 정도관리와 측정소간의 정합성

- 국가 대기오염측정기와 간이대기오염측정기의 상관계수가 0.7 이상으로 양호한 상관관계임
- 보정계수를 이용한 검보정 후 국가 대기오염측정기와 간이대기오염측정기의 회귀식 기울기는 1로 나타남
- 간이대기오염측정기를 이용한 민간 대기오염측정망 자료의 검정 결과, 태안권역이 비교적 높은 농도 수준으로 나타났으며, 미세먼지의 경우는 유사한 수준으로 나타남



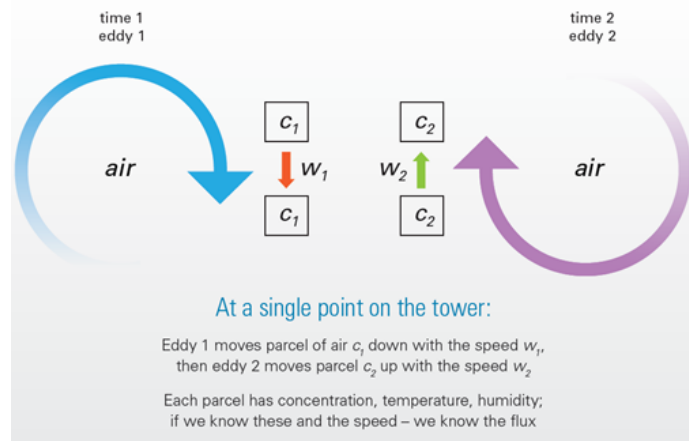
[민간 대기오염측정망 자료의 검정]

2.6. 옥외 저탄장 중심의 미세먼지 배출량 실측 평가

- 에디공분산: 마찰속도(Friction velocity) 및 열플럭스(Heat flux)의 난류 측정과 고도별 미세먼지 농도 측정을 통한 실시간적인 미세먼지 배출량 평가

플럭스 경도법(F_c)	에디확산계수(K_z)	열에 대한 무차원 수직구배 함수(ϕ_h)
$F_c = K_z \frac{dC}{dz}$ <p> K_z : 에디확산계수 dC : 미세먼지농도차 dz : 측정장비간 높이차 </p>	$K_z = \frac{k(z-d)u_*}{\phi_h}$ <p> K_z : z 높이에서 에디 확산 k : 칼만상수(0.4) d : 영면변위 길이(0.05m) u_* : 마찰속도 ϕ_h : 열에 대한 무차원 수직구배 함수 </p>	<p>-불안정한 경우($L < 0$)</p> $\phi_h = \left(1 - \frac{15z}{L}\right)^{-\frac{1}{2}}$ <p>-안정한 경우 ($L > 0$)</p> $\phi_h = 1 + \frac{5z}{L}$ <p>L : Monin-Obukhov 길이</p>

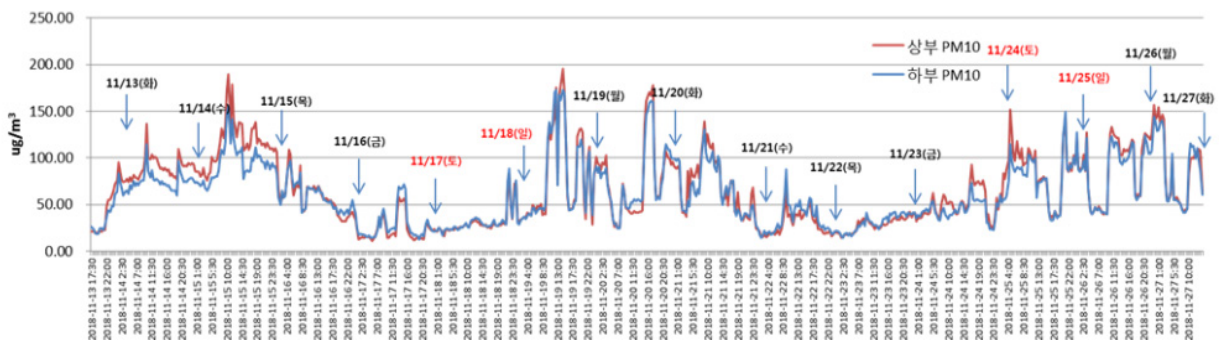
Monin-Obukhov 길이(L)	마찰속도(u_*)	대류속도(w_*)
$L = -\frac{\bar{T} u_*^3}{k g \overline{w'T'}}$ <p> \bar{T}: 평균기온 (K) g: 중력가속도 $\overline{w'T'}$: 열유동 운동에너지 </p>	$u_* = [(-\overline{u'w'})^2 + (-\overline{v'w'})^2]^{\frac{1}{4}}$ <p> $\overline{u'w'}$: x, z 방향 풍속 평균 공분산 $\overline{v'w'}$: y, z 방향 풍속 평균 공분산 $\overline{w'T'}$: 수직방향 열플럭스 평균 공분산 </p>	$w_* = \left(\frac{g}{\theta_0} \overline{w'T' z}\right)^{\frac{1}{3}}$ <p>θ_0: 온위 (K)</p>

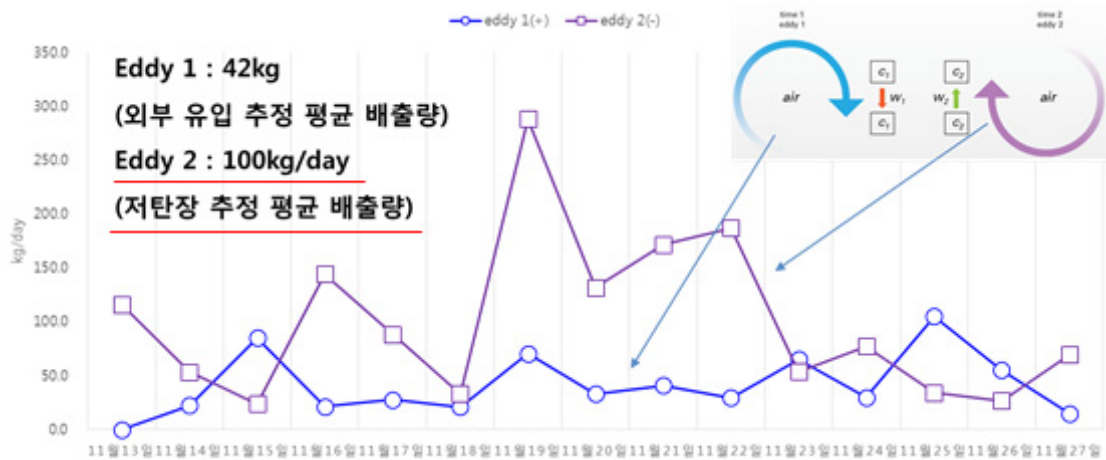


[에디공분산 계산 과정]

○ 태안화력 저탄장 배출량 평가

- 운영기간: 18년 11월 13일 ~ 27일(약 15일간 시범적으로 운영)
- 운영기간 동안의 배출량은 평균 100kg/일, 최대 288kg/일, 최소 24kg/일로 분석됨

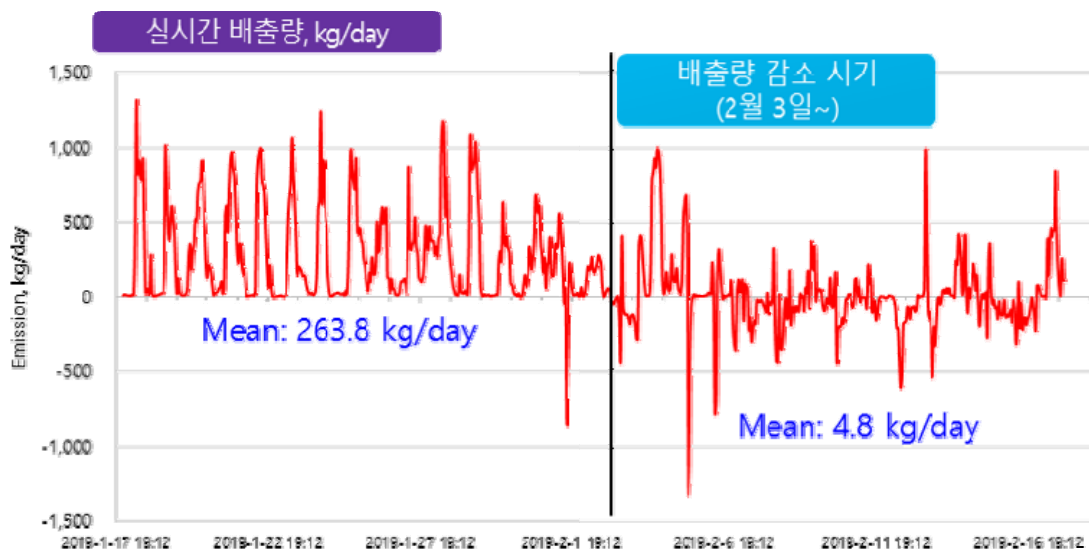
[운영기간 동안의 고도별 미세먼지 농도 변화($\mu\text{g}/\text{m}^3$)]



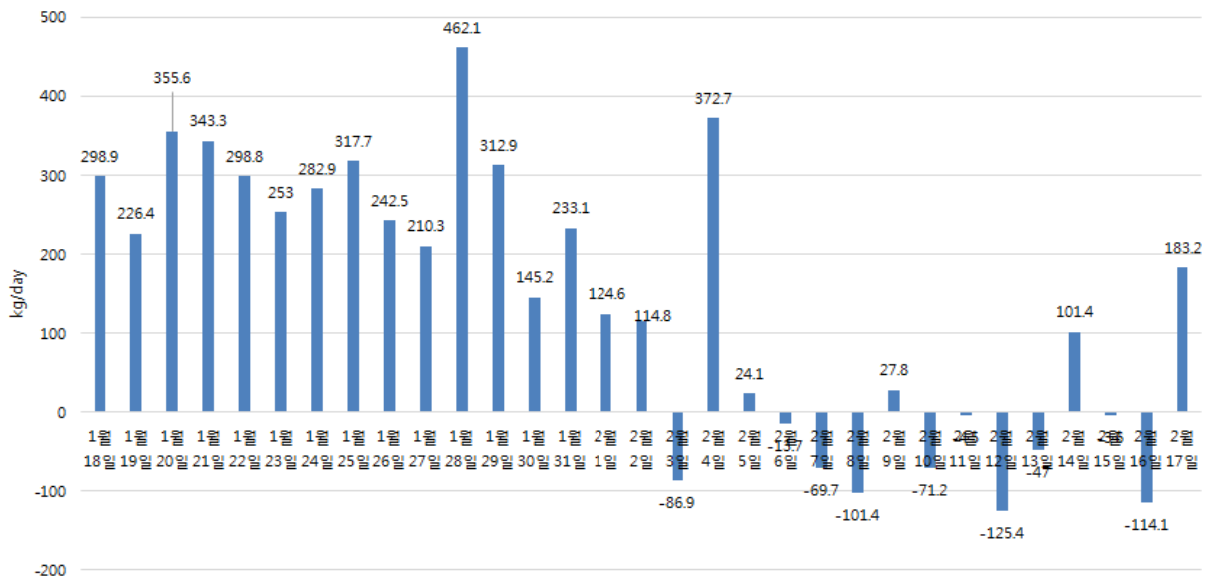
[Flux를 이용한 저탄장 배출량(kg/일)]

○ 보령화력 저탄장 배출량 평가

- 운영기간: 19년 1월 18일 ~ 2월 18일(약 30일간 연속 운영)
- 일자별, 환경변화에 따라 저탄장의 배출량은 시시각각 변화하고 있음
- 강우가 없는 날의 배출량은 평균 263.8kg/일, 강우가 발생한 날은 평균 배출량은 4.8kg/일로 분석됨

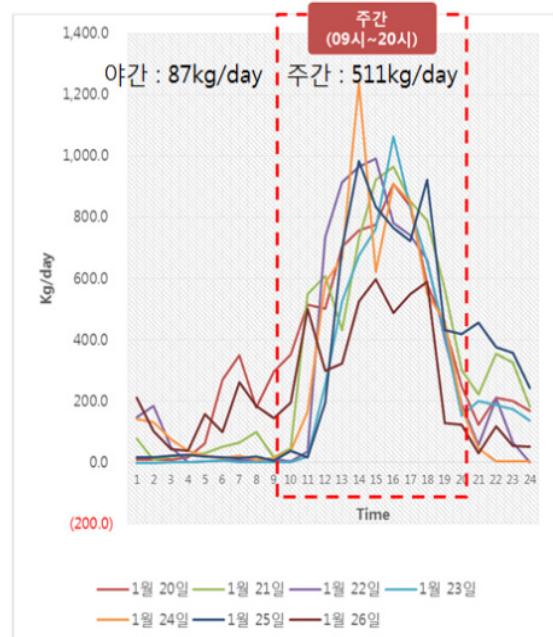
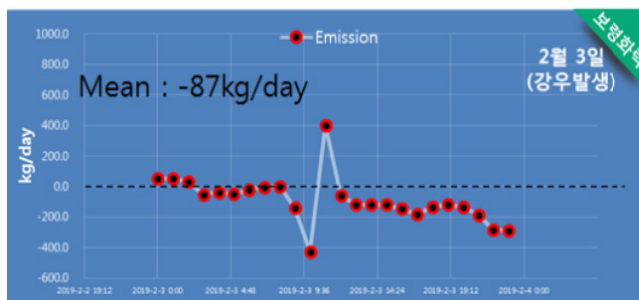
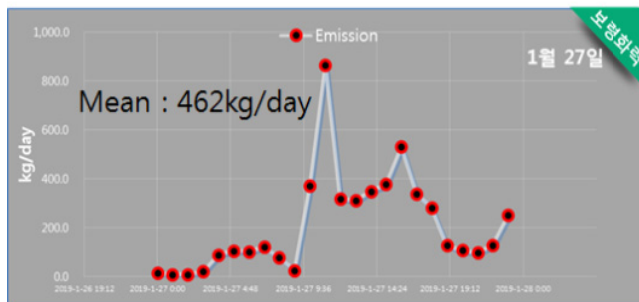


[보령화력의 실시간 배출량 변화(kg/일)]



[보령화력의 일별 배출량 변화(kg/일)]

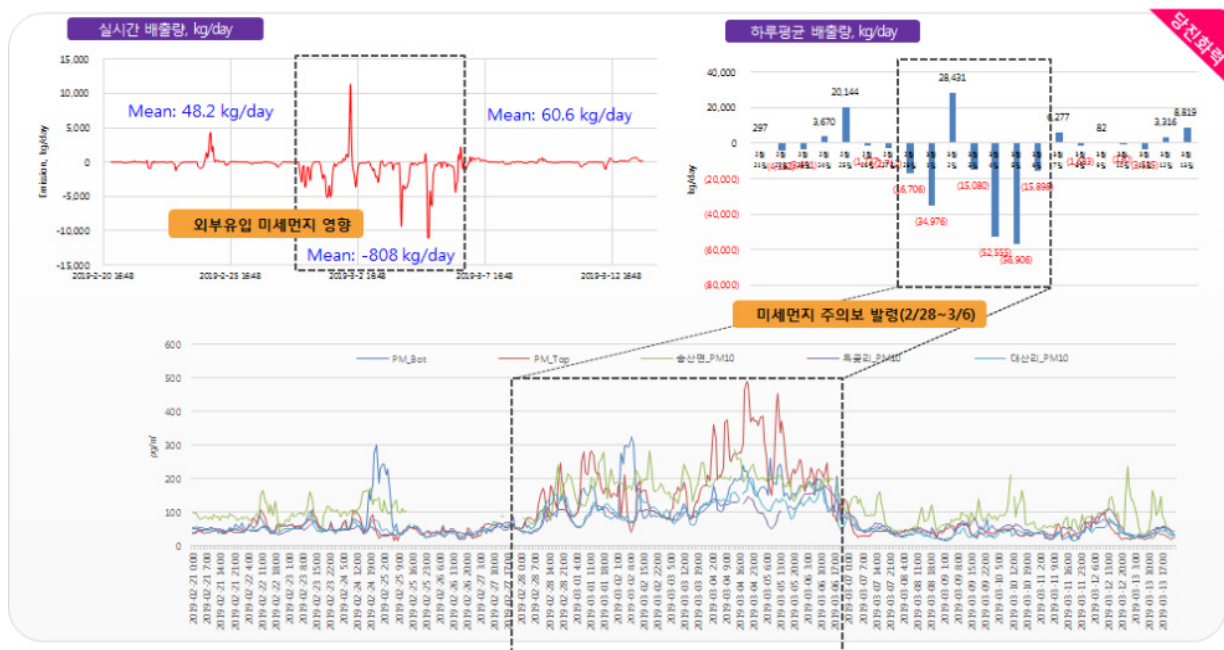
- 저탄장의 비산먼지 배출량은 강우량, 풍속, 기온에 따라 시시각각 변화하고 있으며, 주간과 야간의 차이에서도 매우 큰 배출량 변화를 보이고 있음
- 시간변화에 따른 배출량 변화가 매우 크므로 실시간적인 비산먼지 배출량 감시 체계 도입이 필요하며 저감을 위한 대책 마련도 필요



[환경변화 및 주야간에 따른 배출량의 변화(kg/일)]

○ 당진화력 저탄장 배출량 평가

- 운영기간: 19년 2월 21일 ~ 3월 13일(약 21일간 연속 운영)
- 당진화력 측정기간에는 미세먼지 고농도 기간(주의보 발령)으로 저탄장의 배출량 뿐만 아니라 외부 유입에 의한 미세먼지 평가도 진행됨
- 당진화력 저탄장 미세먼지 배출량 48.2~ 60.6kg/일
- 외부 유입 미세먼지 배출량 : 808kg/일

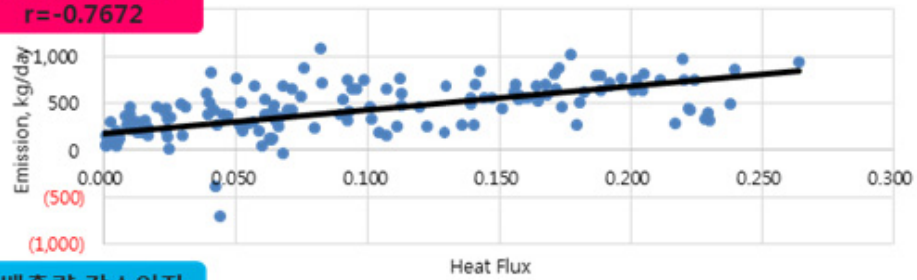


[미세먼지 주의보 발령시 당진화력 배출량 평가 결과]

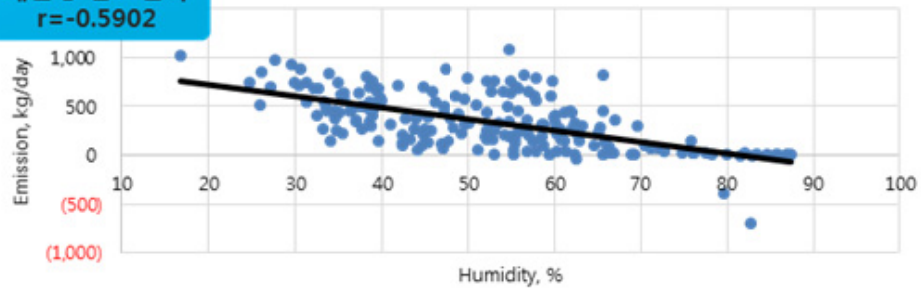
○ 저탄장의 비산먼지 증가 인자와 감소 인자 분석

- 습도는 비산먼지 배출량을 감소하는 효과가 있으며, 기온과 바람은 반대로 배출량 증가시키는 요인으로 분석됨

배출량 증가인자
 $r=-0.7672$



배출량 감소인자
 $r=-0.5902$



[비산먼지 배출량 증가 요인과 감소 요인 분석 결과]

3. 사회적 피해비용 평가

3.1. 농도-반응 함수 선정

- 농도-반응 함수는 대기오염 노출 수준에 따른 피해 규모를 나타내는 함수로, 적절한 농도-반응 함수를 사용하는 것은 신뢰할만한 피해비용을 추정하는데 있어 매우 중요함
- 본 연구에서는 기존 문헌자료를 바탕으로 통계적으로 유의미한 결과를 도출하는 메타분석 기법을 활용하여 농도-반응 함수를 선정하였음

오염물질	건강영향		메타분석 대상 Beta값 개수	Beta	SE
PM10	사망	전체사망	34	0.000338	0.000112
		심혈관계	28	0.000597	0.000049
		호흡기계	23	0.001157	0.000096
PM2.5	사망	전체원인	21	0.000271	0.000109
		심혈관계	17	0.000451	0.000085
		호흡기계	17	0.001199	0.000072
PM10	질병	호흡기 입원	82	0.00069	0.00008
		심혈관계 입원	23	0.00054	0.00024
		호흡기 외래	1	0.0006	0.00003
		심혈관계 외래	—	—	—
PM2.5	질병	호흡기 입원	29	0.00238	0.00090
		심혈관계 입원	1	0.003672	0.000866
		호흡기 외래	—	0.000250	0.000102
		심혈관계 외래	—	—	—
NO2	질병	호흡기 입원	1	0.002104	0.001019
		심혈관계 입원	9	0.001960	0.00084
		호흡기 외래	—	—	—
		심혈관계 외래	—	—	—
SO2	질병	호흡기 입원	1	0.005474	0.002078
		심혈관계 입원	9	0.001960	0.00319
		호흡기 외래	—	—	—
		심혈관계 외래	—	—	—

- 추가로 본 연구에 적합한 농도-반응 함수를 직접추정하기 위해 필요한 데이터와 방법론을 검토하고 일부 건강영향에 대해 농도-반응 함수를 시범 추정하였음

오염물질	건강영향		메타분석 Beta (95% 신뢰구간)	직접추정 Beta (95% 신뢰구간)
PM10	호흡기	사망	0.001157	0.002732 (0.00116~0.00429)
	호흡기	입원	0.001000	0.002693 (-0.00011~0.00549)

3.2. 단위 비용 추정

- 건강피해를 화폐가치로 환산하기 위한 단위 비용을 추정하였음
- 사망피해를 화폐가치로 환산하기 위한 단위 비용은 1인당 통계적 생명가치이며, 보편적으로 수용할 수 있는 사망비용을 도출하기 위해 국내외 문헌에서 도출된 통계적 생명가치를 바탕으로 대푯값을 도출하였음
 - 기존 문헌에서 추정된 가치를 기준년도의 국내가치로 이전하기 위해, 구매력평가지수, 1인당 국내총생산, 국내총생산 디플레이터 등 화폐가치에 영향을 주는 요인을 반영하여 편익이전 (Benefit Transfer)하였음
- 해외 연구 분석 결과 사망원인별로는 교통사고 사망의 가치가 38억원으로 가장 높고 환경오염 사망의 가치는 이보다 낮은 25억원으로 분석됨
- 연구수행주체별로는 정부기관 및 국제기구가 수행한 연구의 생명가치는 24억원, 그리고 민간 수행 연구의 생명가치는 34억원 수준으로 나타남
- 연구대상지역은 북미 36억원, 서유럽 및 북유럽 38억원으로 상대적으로 높고, 동유럽 8억원, 아시아 11억원으로 상대적으로 낮은 것으로 분석됨
- 국내 연구 분석 결과 사망원인별로는 산업안전사고의 생명가치는 3억원, 환경오염의 생명가치는 8억원으로 나타남

구분	관측치 (비중, %)	최소값 (백만원)	최대값 (백만원)	생명가치 (백만원)
산업안전사고	32	171	483	297
교통사고	21	262	680	504
질병(암)	14	117	1,000	480
환경오염	33	407	1,656	823

- 연구방법론별로는 시장가치를 근거로 하여, 근로자 임금을 반영한 생산성 손실 가치를 산정한 연구에서는 생명가치가 4.5억원인 것으로 나타났고, 지불의사액 등 비시장가치 방법론을 적용한 연구에서는 생명가치가 6.8억원인 것으로 나타남

구분	관측치 (비중, %)	최소값 (백만원)	최대값 (백만원)	생명가치 (백만원)
생산성손실	36	114	4,200	451
지불의사액(WTP)	25	353	1,194	685
편익이전 및 기타	39	222	992	501

- 한편 심리적 비용 포함여부에 따라 비교하면, 포함시 6.3억원, 불포함시 3.9억원으로서 심리적비용이 포함된 연구의 생명가치가 약 1.5배 높음
- 연구수행주체별로는 정부연구 및 예비타당성조사 연구에서 사용된 생명가치는 약 4억원 수준이고 민간 수행 연구는 약 7억원 수준으로 분석됨

구분	관측치 (비중, %)	최소값 (백만원)	최대값 (백만원)	생명가치 (백만원)
정부 관련	25	190	820	381
국책연구(예타)	29	171	629	419
국책연구	21	117	1,173	632
논문	25	366	1,433	726

- 위 결과를 종합하여 산출된 사망의 가치는 5억 3천 2백만원으로서 이 값을 사망 총 비용 산출을 위한 사망 단위비용으로 적용하였음
- 질병의 단위 비용은 호흡기계 질환과 심혈관계 질환으로 구분하여 입원 건당 비용과 외래 건당 비용을 추정하였음

- 데이터의 조사 목적 및 분석방법, 규모 등을 비교하여 최종적으로 의료 직접비용의 경우 코호트DB를, 교통비용 및 시간 기회비용은 코호트DB와 한국의료패널에서 필요한 자료들을 추출하여 사용하고, 간병 기회비용은 한국의료패널을 활용하였음
- 입원비용은 호흡기계 질환이 338,473원/일, 순환기계 질환이 332,484원/일로 일별 비용은 호흡기계 질환이 크게 나타남
- 하지만 에피소드 건당 입원일수가 순환기계 질환이 20.85일, 호흡기계로 입원한 환자가 평균 에피소드 건당 10.66일로 에피소드 건당 비용은 순환기계 질환이 더 큼

구분	호흡기계 질환 입원		순환기계 질환 입원	
의료 직접비용	204,781	60.50	199,074	59.87
교통비용	18,297	5.41	10,025	3.02
시간 기회비용	55,395	16.37	76,345	22.96
간병 기회비용	60,000	17.73	47,040	14.15
합계	338,473	100	332,484	100
에피소드 건당 비용	3,608,112		6,932,291	

- 외래비용은 질환별로 전체 비용에서 각 항목이 차지하는 비율은 비슷하나 총 비용에서 호흡기계 질환은 28,563원/일, 순환기계 질환이 41,128원/일로 큼

구분	호흡기계 질환 외래		순환기계 질환 외래	
의료 직접비용	18,012	63.06	28,632	65.87
교통비용	5,181	18.14	6,508	14.97
시간 기회비용	5,370	18.80	8,330	19.16
합계	28,563	100	41,128	100

3.3. 석탄화력발전 피해비용 추정

- 석탄화력으로 인한 대기오염 농도 상승 영향을 배출량 비중과 노후석탄 가동 중지 등 기존 연구사례를 이용하여 가정하였음
- 추후, 충청남도 외부 대기오염물질 유입 영향을 고려하여 석탄화력발전이 충청남도 대기 질에 기여하는 양이 정량화되어야 함(이를 반영하여 비용 재평가 필요)

본 연구의 기준선	2017년 충청남도 연평균 대기오염 농도수준에서의 피해비용			
대기오염	NOx (ppm)	SOx (ppm)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
충청남도 기준 농도(2017)	0.016	0.003	44	23
화력발전시설 배출 기여분을 제외한 2017년 충청남도 연평균 대기오염 농도수준				
시나리오 1	0.0089	0.0017	40.83	20.22
시나리오 2	—	—	—	21.45

- 시나리오에 따른 오염물질별 사망 및 질병 영향평가 및 피해비용 추정 결과는 다음과 같음
- 단, 기여 발생건수는 PM10, NO2, SO2의 대기오염물질로 인한 전체 건강피해를 의미하며, 초과발생건수는 이 중 석탄화력으로 인해 추가로 발생하는 (석탄화력이 없었더라면 발생하지 않았을) 피해를 의미함

– 시나리오 가정에 따른 PM10, NO2, SO2 피해비용 추정 결과

영향	세부영향	기여 발생건수 (건/년)	피해비용 (억원/년)	초과 발생건수 (건/년)	초과 피해비용 (억원/년)	피해비용 합계 (억원/년)
PM10 사망	전체 원인	226.2	1,203.38	16.2	86.09	31.24 ~86.09
	심혈관계	82.5	438.90	5.9	31.24	
	호흡기계	85.6	455.39	6.0	32.03	
PM10 질병	호흡기계 입원	1,835.8	1,203.38	130.4	4.4	15.4

영향	세부영향	기여 발생건수 (건/년)	피해비용 (억원/년)	초과 발생건수 (건/년)	초과 피해비용 (억원/년)	피해비용 합계 (억원/년)
NO2 질병	심혈관계 입원	1,423.7	438.90	101.4	6.4	
	호흡기계 외래	22,7278.7	455.39	16174.6	4.5	
	호흡기계 입원	2032	69	893	30.4	82.4
	심혈관계 입원	1872	118	824	52.04	
SO2 질병	호흡기계 입원	1,000	34	431	14.7	24.4
	심혈관계 입원	355	22	154	9.7	

3.5. 지역자원시설세 전망, 운용 현황 분석

3.5.1. 전망

- 8차 기본계획에 따르면 충청남도에 2030년까지 신규 계획된 발전소는 총 2,160MW임
- 원별 설비용량과 2015년부터 2017년까지의 원별 이용률을 적용하여 2018년부터 2030년까지의 충청남도 발전사별 발전량을 전망하였음
 - 서천화력은 2017년 폐지되었으나 2019년부터 신서천화력이 가동될 예정임에 따라 기존 서천화력의 평균 이용률(75.1%)를 적용하였음
 - 신보령화력의 경우 2017년 가동개시로 당해연도 이용률이 높지 않아 보령화력의 이용률(88.5%)을 적용하였음
 - 또한 2025년에는 태안화력의 일부 설비가 LNG로 연료전환 예정임에 따라, 이 설비에는 국내 LNG 복합화력의 평균 이용률(25.1%)¹⁾을 적용하였음
- 충청남도의 2017년 화력발전소 발전량이 약 127,966 GWh인데 비하여 2018년 발전량이

1) 2017 한국전력통계 중 한전자회사 LNG 복합화력발전소 평균 이용률(2017년 기준) 적용

141,838 GWh로 비교적 큰 폭으로 증가할 것으로 전망되었음

- 그 이유는 2017년 신보령 설비(1,852MW)가 추가되었으나 운영개시년도에는 이용률이 낮았고 2018년 이후부터는 그보다 높은 이용률을 가정했기 때문임.
- 또한 태안화력(석탄)과 당진화력(석탄)의 경우 2017년 발전량은 당해연도 당해설비의 실제 이용률을 적용하였으나, 2018년 이후부터는 과거 평균 이용률을 적용하였는데 이는 평균 이용률이 2017년 이용률보다 약간 높는데 기인함

- 충청남도 화력발전소 발전량 전망 (단위: GWh)

구분	소재지 (연료)	2017*	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
중부 발전	서천(석탄)	-	-	6,574	6,574	6,574	6,574	6,574	6,574	6,574	6,574
	보령(석탄)	29,960	30,999	30,999	30,999	30,999	23,249	23,249	23,249	23,249	23,249
	신보령(석탄)	10,758	15,800	15,800	15,800	15,800	15,800	15,800	15,800	15,800	15,800
	보령(LNG)	737	745	745	745	745	745	745	745	745	745
서부 발전	태안(석탄)	38,749	42,695	42,695	42,695	42,695	42,695	42,695	42,695	35,696	35,696
	태안(LNG)	-	0	-	-	-	-	-	-	2,199	2,199
동서 발전	당진(석탄)	35,213	39,489	39,489	39,489	39,489	39,489	39,489	39,489	39,489	39,489
GS EPS	당진(LNG)	7,406	7,329	7,329	7,329	7,329	7,329	7,329	7,329	7,329	7,329
현대 그린 파워	당진(부생)	5,143	4,782	4,782	4,782	4,782	4,782	4,782	4,782	4,782	4,782
합계		127,967	141,839	148,413	148,413	148,413	140,663	140,663	140,663	135,863	135,863

○ 충청남도 화력발전 지역자원시설세를 현재 과세율(화력발전 발전량 kWh당 0.3원)로 전망하면 아래와 같이 2020년 약 445억원으로 증가한 후 2025년에는 407억원으로 감소할 것으로 예상됨

- 신서천화력 준공(2019년)으로 증가하며, 보령화력의 일부 폐지(2022년)와 태안화력의 일부 연료전환(2025년) 영향으로 감소함
- 추가로 현재 논의되고 있는 과세율 증세안을 가정하여 전망하였음

－ 충청남도 화력발전 지역자원시설세 전망 (과세율 수준별, 단위: 억원)

구분	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
설비용량 (MW)	22,869	23,055	24,055	24,055	24,055	23,055	23,055	23,055	23,055	23,055
발전량 (GWh)	127,966	141,838	148,413	148,413	148,413	140,663	140,663	140,663	135,862	135,862
지역 자원 시설 세	0.3원/ kWh (현행)	384	425	445	445	445	422	422	407	407
	1.0원/ kWh (가정)	1,279	1,418	1,484	1,484	1,484	1,406	1,406	1,358	1,358
	2.0원/ kWh (가정)	2,559	2,837	2,968	2,968	2,968	2,813	2,813	2,717	2,717

3.5.2. 운용현황 분석

- (세부사업) 총 42개 사업을 대상으로 매우 광범위하게 사용되고 있음. 이중 취약계층 에너지복지(13.9%)와 국가보조사업인 신재생에너지 융복합지원(12.9%), 도 공공시설 LED 조명교체(9.0%), 보건환경 연구 및 시책추진 지원(8.3%) 등 사업에 가장 높은 지출비중을 보임
 - － 다음으로 국가직접지원 보조사업인 신재생에너지 주택지원(4.5%), 농어촌 마을단위 LPG소형저장탱크(4.7%), 도시가스 공급시설 설치비 지원(4.7%), 지하수자원 보존관리(3.9%) 지원 사업도 상대적으로 높은 지출 비중을 보이고 있음
 - － 반면 대기질 개선과 관련해서는 연간 2억원 수준에 불과한 1% 수준에 그치고 있음
- (사업구분) 세부 사업은 지자체 자체에서 추진하는 자체사업과 중앙정부 차원에서 추진되는 보조사업으로 대별됨
 - － 보조사업은 총 지출의 52.4%를 차지하여 자체사업보다 높은 비중을 점하고 있음
- (지원대상 분야) 지원은 산업 및 중소기업 대상이 절대 주류를 이루고 있으며, 이외에 보건 및 환경분야에 일정 부분이 지원되고 있음
 - － 현재까지의 지원은 지역주민에 대한 피해비용이나, 직접적인 환경개선에 상대적으로 낮은 중요도로 접근되고 있는 것으로 분석됨

- 각 시군별 예산지출 현황 분석 결과에 따르면, 충청남도 대비 특별회계 운용의 구체성과 투명성이 미흡한 것으로 평가됨²⁾

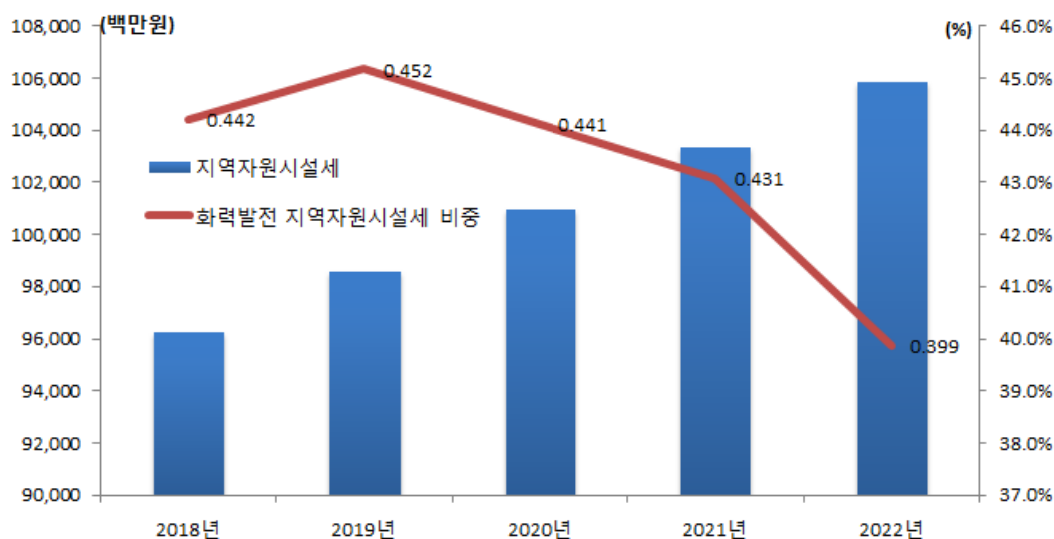
– 충청남도 특정자원 지역자원시설세 운영 상의 개선점

구분	비고
지출	(지원사업 선정기준 문제) 사업종류별 실행사업의 범위가 포괄적, 선정사업 우선순위의 모호성 (특정사업 치중 문제) 소득증대사업은 농기계구입, 공공사회복지사업은 도로·상수도시설, 마을회관 증개축, 주민복지 지원사업 지출은 전반적으로 미미
사업내용	지원사업의 목적 및 세부내용이 포괄적 주민 체감과 실제 집행사업간 괴리 * (주민 선호) 건강검진, 발전소입지로 인한 경제적 피해 보상 * (실제 사업집행) 인프라정비, 시설·기기 분야 중심

3.5.3. 운용개선 방안

- 중기재정계획상 지역자원시설세 세입 중 화력발전 지역발전시설세가 차지하는 비중은 2019년부터 감소 추세로 전환

2) 충청남도는 특정자원 지역자원시설세를 특별회계로 구분하고 있으며, 사업 및 예산정보를 홈페이지에 공개하고 있음.



충청남도 지역자원시설세 중 화력발전 지역자원시설세 비중 전망 (2018~2022년)

자료: 연구진

- 한편, 지역자원시설세의 세출계획은 아래와 같으며, 이중 특정자원 지역자원시설세는 2018~2022년 기간 중 연간 약 2백억원으로 동일하게 책정
- － 충청남도 특정자원 지역자원시설세 특별회계 중기재정계획 (2018~2022년) 세출 전망 (단위: 백만원, %)

	2018	2019	2020	2021	2022	합계	비중	증가율
총	7,038,646	7,222,080	7,335,065	7,492,146	7,694,348	36,782,285	100	2.3
일반회계	5,503,921	5,718,505	5,966,721	6,228,893	6,505,898	29,923,938	81.4	4.3
특별회계	466,715	494,396	481,942	489,459	493,279	2,425,791	6.6	1.4
특정부동산 지역자원 시설세	82,790	87,095	91,625	96,388	101,401	459,299	1.2	5.2
특정자원 지역자원 시설세	20,023	20,023	20,023	20,023	20,023	100,115	0.3	0

자료: 충청남도 중기지방재정계획(2018~2022)에서 저자 재작성

- 위와 같은 특정자원 지역자원시설세 관련 세출은 주로 다음과 같은 분야·부문별로 사용 되는 것으로 예정되어 있음

- 대기 분야의 환경오염 개선, 산업기술지원, 산업진흥·고도화, 에너지 및 자원개발 부문은 상대적으로 낮은 비중을 점하고 있음

- 충청남도 중기재정계획(2018~2022년) 상 특정자원 지역자원시설세 관련 주요 세출 분야별 비중

	총 세출 대비 비중 (%)	연평균 증가율 (%)
환경보호(대기)	0.2	0.9
사회복지(취약계층)	3.6	3.8
산업·중소기업	5.2	2.9
산업금융지원	3.2	3.8
산업기술지원	0.2	-8.5
산업진흥·고도화	0.4	-1.2
에너지 및 자원개발	0.5	1.8

자료: 충청남도 중기지방재정계획(2018~2022)에서 저자 재작성

- 보다 구체적으로 특정자원 지역자원시설세 운용과 직접 관련이 있는 특별회계 중 분야별 투자 분야를 보면, 환경보호 분야는 특별회계 중 세출비중(0.5%)이 낮은 영역이며, 2022년까지 연평균 증가율도 감소(20.9%)되는 것으로 나타나고 있음

- 충청남도 중기재정계획(2018~2022년) 상 특별회계 주요 지출 분야 (단위 : 백만원, %)

분야	2018	2019	2020	2021	2022	합계	비중	연평균 증가율
합 계	466,715	494,396	481,942	489,459	493,279	2,425,791	100.0	1.4
공공질서 및 안전	82,790	87,095	91,625	96,388	101,401	459,299	18.9	5.2
교육	771	612	567	0	0	1,950	0.1	△100.0
문화 및 관광	26,164	38,707	14,948	1,080	245	81,144	3.3	△68.9
환경보호	3,754	2,711	2,577	2,281	1,469	12,792	0.5	△20.9
사회복지	284,021	287,366	293,049	298,883	304,863	1,468,182	60.5	1.8
보건	788	788	788	788	788	3,940	0.2	0.0
농림해양수산	13,763	14,503	15,326	200	200	43,992	1.8	△65.3
산업·중소기업	17,456	18,395	20,723	16,754	17,566	90,894	3.7	0.2
수송 및 교통	2,457	2,487	1,577	628	628	7,777	0.3	△28.9
국토 및 지역개발	34,582	41,562	40,592	72,287	66,025	255,048	10.5	17.5
기타	169	170	170	170	94	773	0.0	△13.6

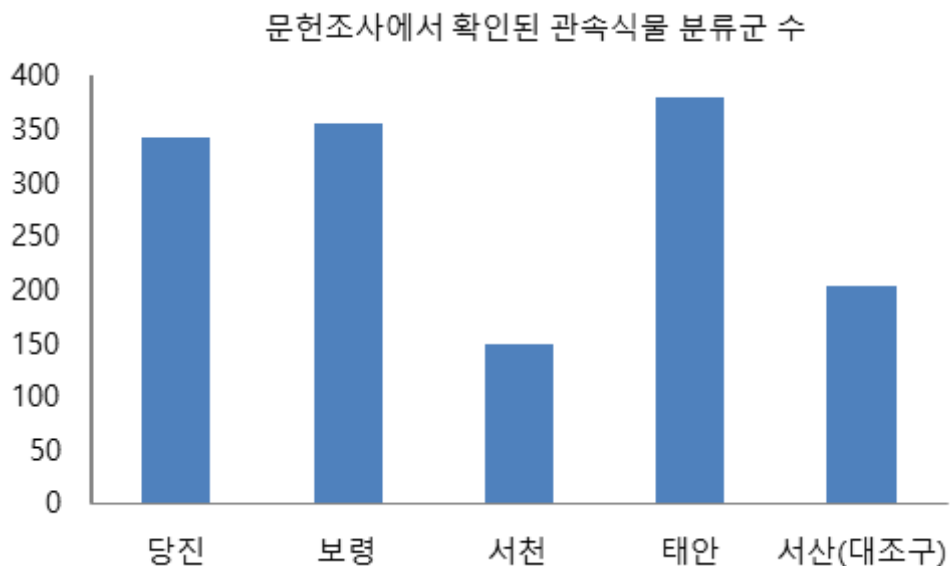
- 향후 사회복지(취약계층) 분야는 환경보전 분야의 감소추세를 보완하고, 동시에 화력발전소로 기인된 미세먼지의 피해비용 증가 문제를 해결한다는 관점에서 화력발전소 주변지역의 취약계층 중심의 자체사업 지출운영 방안에 초점을 두는 것이 중요할 것으로 분석됨
- 미세먼지, 온실가스 배출 등 대기오염과 기후변화에 대응하고, 지역의 재생에너지 확산과 관련된 에너지 신산업 분야에 초점을 둔 지원 증대 방안을 마련하는 것이 중요함
- 이와 같은 관점에서 화력발전 지역자원시설세 운용방안을 검토함에 있어 충청남도의 미세먼지 배출 특성상 미세먼지 노출에 특히 취약한 석탄화력 발전소 주변지역의 도시민건강 확보에 초점을 둔 지원방안 마련이 중요함
- 정부의 에너지 신산업 활성화 정책과 연계된 사업 추진을 기반으로 하되, 동시에 미세먼지 발생으로 인한 피해비용을 예방, 보상하는 주민 안전 중심으로의 재정 운영방안에 관한 더욱 구체화된 보완 방안을 마련해야 함.
- 중장기 특별회계 재원배분 방향 재설정과 동시에 특정자원 지역자원시설세의 시·군 특별회계화가 추진되어야 함
- 현재와 같은 각 시군들의 지역자원시설세 일반회계 편성은 충청남도 특정자원 지역자원시설세 특별회계 조례에서 정한 사업들을 추진하는데 안정성과 지속성 관점에서 많은 한계를 노정할 수 있음
- 동시에 발전소 주변지역 피해비용 지원을 위해 발주지법 상의 발전소 건설과 관련한 이주자 및 생활기반을 상실하였다고 인정되는 지역주민 지원사업을 특히 우선순위로 설정하며, 정기건강검진 및 미세먼지 관련 질환 대상의 실손보험 연계 지원 등 구체적 이행수단 마련을 제안하였음

4. 생태환경모니터링

4.1. 식물분야

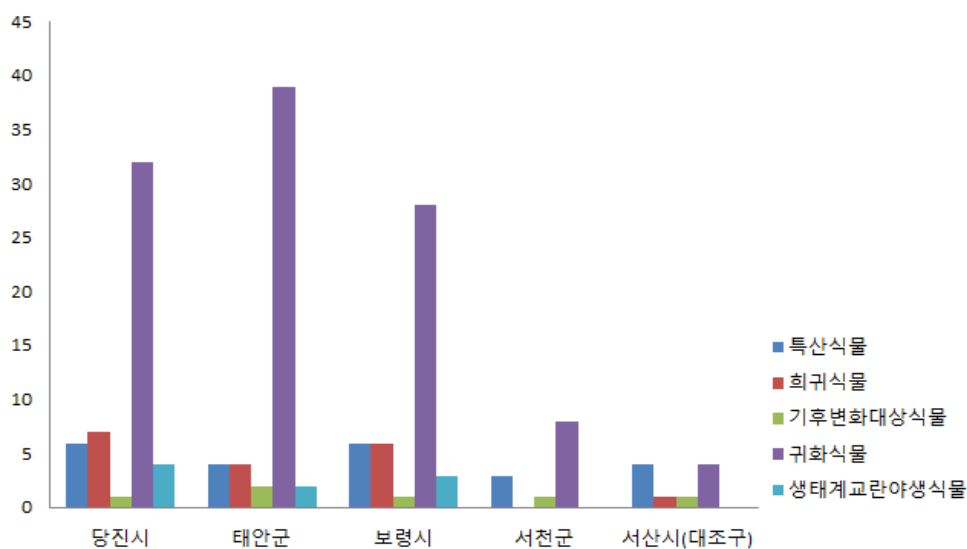
○ 충남지역 생태환경 문헌분석

- 화력발전소가 소재한 충남지역의 식물상 연구에 대한 문헌 자료 분석
- 분석 결과, 확인된 관속식물의 분류군수는 태안이 98과 256속 379분류군으로 가장 많았고 서천이 55과 114속 149분류군으로 가장 적었음



○ 화력발전소 주변지역 생물분포 현황분석

- 계절별 개화기와 결실기를 중심으로 양치식물 이상의 관속식물을 종류별로 수집하여 분류군을 동정
- 조사 결과, 5개 조사구에서 총 105과 338속 531분류군을 확인
- 특산식물인 할미밀망과 희귀식물인 쥐방울덩굴을 제외한 나머지 분류군은 모두 재배종으로 확인
- 기후변화대상식물은 태안이 가장 많았으며 당진과 보령이 가장 적었음
- 4지역 모두에서 조사된 귀화식물은 미국자리공, 서양민들레, 개망초, 가시상추, 큰김의털 등 16종류였으며 미국자리공과 서양민들레는 넓은 면적에 분포하는 것으로 확인



미국자리공

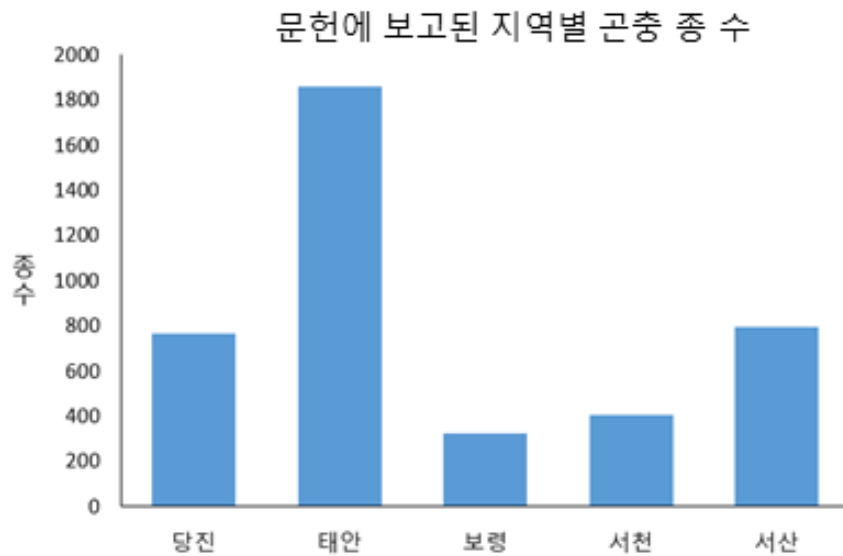


서양민들레

4.2 곤충분야

○ 충남지역 곤충 분포현황 문헌분석

- 지역별 곤충 종 목록, 곤충 목별 구성 파악
- 주요 곤충 자원(멸종위기종, 기후변화생물지표종, 고유종, 국외반출승인대상종)의 서식 현황 분석
- 분석 결과, 확인된 종 수는 태안이 16목 223과 1855종으로 가장 많았음
- 멸종위기종 8종, 기후변화생물지표종 9종, 고유종 98종, 국외반출승인대상종 187종의 서식이 확인됨



○ 화력발전소 주변지역 생물분포 현황분석

- 각 곤충별 특성에 적합한 채집방법(쓸어잡기, 채어잡기, 털어잡기, 다중갈때기트랩, 유아등트랩, 함정트랩)을 이용하여 분석
- 조사 결과, 5개 조사지에서 총 5목 24과 50종 634개체 확인
- 채집된 곤충의 종 수는 당진에서 166종, 개체수는 태안에서 831개체로 가장 많이 채집됨
- 기후변화 생물지표종 1종, 고유종 24종, 국외반출승인대상종 44종의 서식을 확인

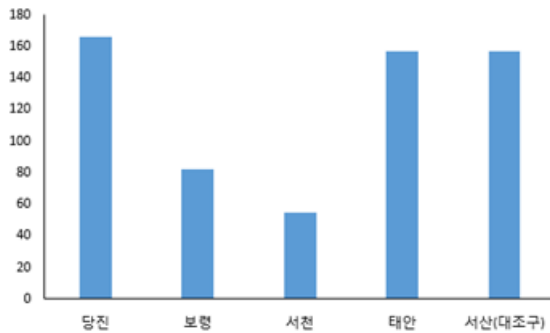


다중갈때기 트랩

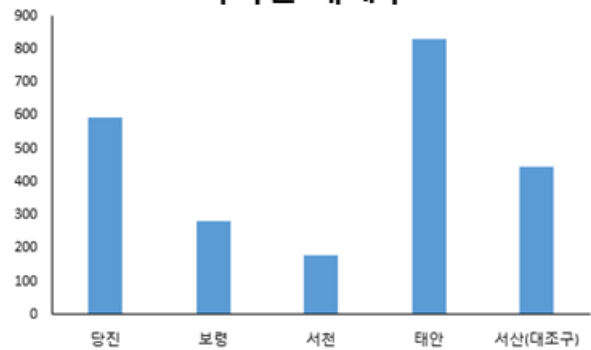


유아등 트랩

지역별 종수



지역별 개체수

끝마디통집게벌레 *Gonolabis marginalis*네발나비 *Polygonia c-aureum*

4.3 포유류분야

○ 충남지역 포유류 분포현황 문헌분석

- 분석 결과, 당진에서 멸종위기야생생물 2급 삿, 서천에서 멸종위기 야생생물 1급인 수달과 2급 삿 확인

○ 화력발전소 주변지역 생물분포 현황분석

- 현장조사, 무인센서카메라조사, 포획트랩조사 방법을 이용
- 조사 결과, 총 5목 10과 15종의 포유류 서식 확인
- 당진과 보령에서 멸종위기야생생물 1급 수달 확인, 보령에서 멸종위기야생생물 2급 삿 흔적 확인



흔적 조사



서먼트랩 조사



수달 배설물



멧돼지 배설물

목(Order)	과(Family)	종(Species)	당진	태안	보령	서천	서산 (대조구)
식충목	두더지과	두더지			흔		흔
척서목	참서과	땃쥐	트				
식육목	족제비과	족제비	흔			센	
		오소리	센	센	흔,센	흔,센	센
	개과	수달	흔		흔		
		개		센		센	
우제목	고양이과	너구리	센	센	센	센	흔,센
		고양이		센	센	센	
	소과	삵			흔	센	센
우제목	사슴과	염소	흔				
	멧돼지과	고라니	흔,센	흔,센	흔,센	흔,센	흔,센
토끼목	토끼과	멧돼지					
설치목	청설모과	멧토끼		센	흔		
	쥐과	청설모	센	센	흔,센	센	센
		등줄쥐	트	트		트	트
유해야생동물종 수		2					
멸종위기종 수		2					
지역별 총 종수			9	8	9	9	8
4지역 총 수 합계		15					

4.4 어류분야

○ 충남지역 어류 분포현황 문헌분석

- 문헌분석 결과, 당진화력발전소 주변에서 10과 15종, 태안화력발전소 주변에서 10과 15종 태안화력발전소주변에서 9과 12종, 보령화력발전소주변에서 10과 22종, 서천화

력발전소주변에서는 11과 18종이 출현한 것으로 확인

- 대조하천의 경우, 소근천 인근지역에서 10과 18종, 송천천 인근지역에서 12과 23종이 확인
- 한국 고유종인 왜매치, 치리, 참종개, 가시납지리, 얼룩동사리 등 5종 확인

○ 화력발전소 주변지역 생물분포 현황분석

- 어류조사는 족대와 투망을 이용하여 실시하였으며 가능한 현장에서 분류, 동정 하였음
- 화력발전소 주변지역 하천의 수질조사를 통하여 수온, 전기전도도, 염분도, 용존산소포화도, 용존산소량 측정(강원도보건환경연구원 수계조사과에 수질분석 의뢰)



투망조사

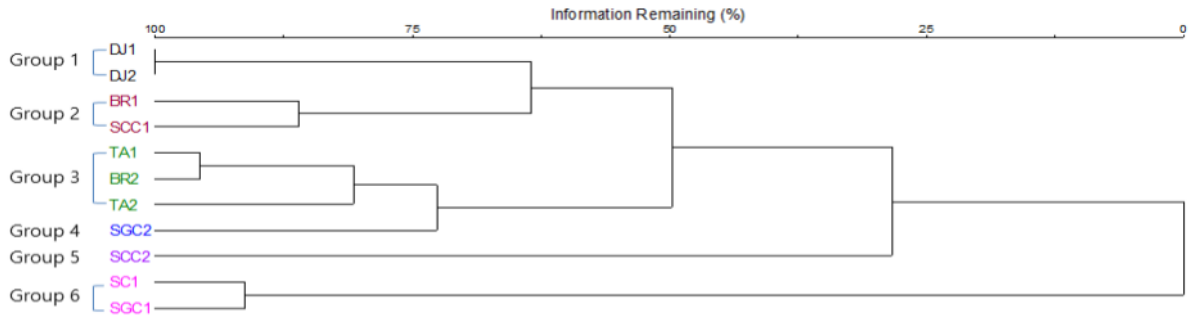


족대조사



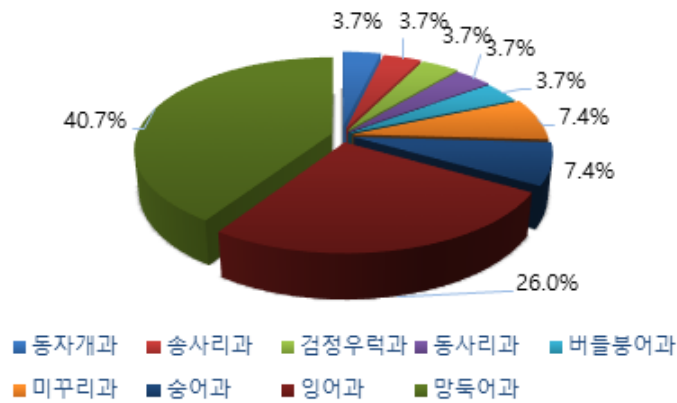
수질측정 및 채수

- 각 조사지점에 대하여 우점도, 종 다양도, 균등도, 종 풍부도, 체장비율, 비만도, 군집평가, 군집 유사도 분석을 실시하여 군집분석을 하였음
- 조사결과, 총 9과 27종 4311개체 확인
- 법적보호종은 출현하지 않았고, 한국 고유종은 얼룩동사리와 각시붕어 2종 출현, 외래도입종어종은 떡붕어와 블루길(생태계교란어종) 2종 출현
- 순위풍부도 분석결과, 태안화력발전소 지점1과 송천천 지점1이 가장 안정된 어류군집으로 분석되었으며, 서천화력발전소 조사지점과 소근천 지점1의 어류군집이 가장 교란받고 있는 것으로 나타남

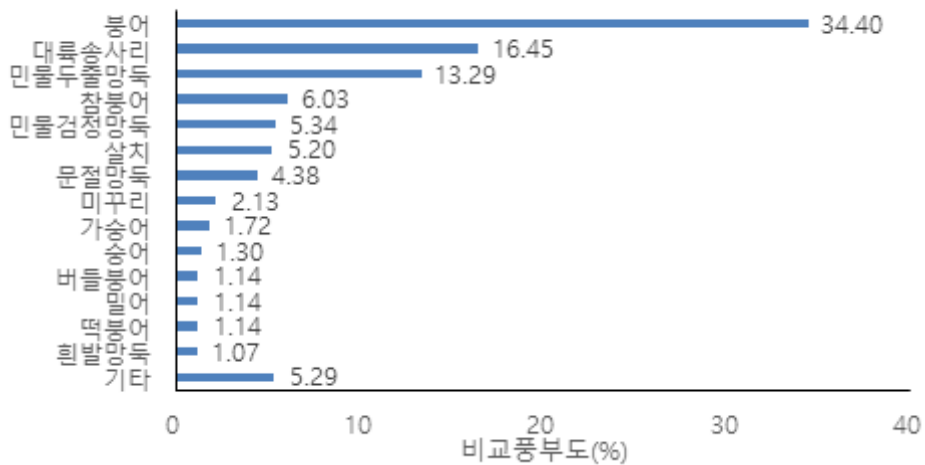


- 충남 화력발전소 지역 및 대조하천 어류의 지점별 유사도 분석 결과 6개의 group의 어류군집으로 분석됨
 - 1group: 화력발전소 영향이 적으며 해수의 영향이 적은 어류 군집
 - 2group: 담수 어류 군집
 - 3group: 화력발전소 산업배수 영향을 받는 어류 군집
 - 4, 5group: 해수의 영향을 받는 어류 군집(대조하천)
 - 6group: 빈약한 어류군집
- * DJ: 당진화력발전소, BR: 보령화력발전소, TA: 태안화력발전소, SC: 서천화력발전소, SGC: 소근천, SCC: 송천천

전체 지점에 대한 과별 비교풍부도



전체 지점에 대한 어류 비교풍부도





제3장 중장기 연구계획

- 충청남도(2016)에서 수립한 ‘화력발전소 기후환경 영향에 따른 중장기 대응전략 수립 연구’에 따르면 주민건강 영향조사(15억원)를 포함하여 화력발전소 주변지역 연구과제는 5년간 65.4억원의 예산을 통해 수행예정임
- 충남연구원(2016)에서 제안한 분야별 연구범위를 살펴보면 1차년도 연구기반 구축을 통해 연구영역을 생태환경분야로 확장하고 활용 시스템 구축을 통해 3~4차년도에는 대기질 예보 수준의 지역주민 서비스를 목표로 하고 있음

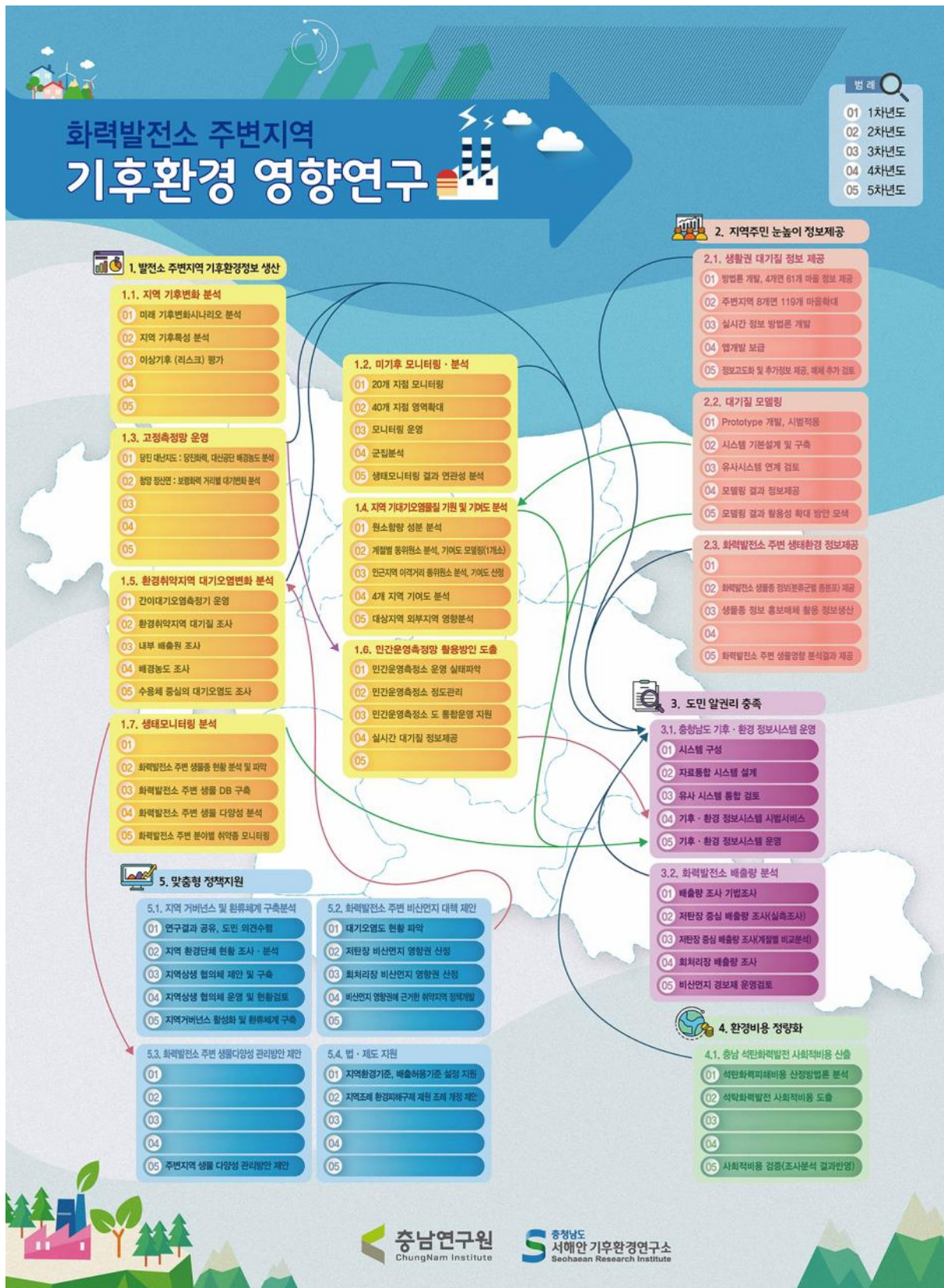


- 본 연구는 기후환경분야 연구로 2차년도 연구과제 진행 중 중간보고회 자문의견으로 여건변화에 따른 연구내용 조정 필요성에 따라 연차별 연구계획이 수정되었으며 주요 내용은 다음과 같음
 - 지난 3년간 화력발전소 주변을 포함하여 고정측정망이 대폭 확대되어 3차년도 이후 고정측정망 추가설치 제외
 - 전통지식 조사는 별도 과제로 추진이 필요함에 따라 과업범위에서 제외
 - 대기오염물질 기여도 추정 현장측정 지점 확대와 대기, 수질, 토양간 기여도 추정
 - 수목내오염물질 분석(나이테 분석)을 통한 오염물질 변화 분석
 - 연구결과가 반영된 사회적피해비용 분석 5차년도 재검토

- 장기연구과제에 대한 홍보를 위해 연구과제 홍보물을 아래와 같이 제작하였으며, 중장기 연구가 효율적으로 진행될 수 있도록 각 연구과제별 연차별 연계도를 작성함



[연구과제 홍보물]



[연구과제 과제별 연차별 연계도]

Part 1

대기환경정보구축

제1장 서론 | 95p

제2장 지역 기후변화 분석 | 99p

제3장 미기후 모니터링 | 109p

제4장 고정측정망 운영 | 117p

제5장 기후환경정보 시스템 구축 | 135p

제6장 생활권 대기질 정보 제공 | 181p

제7장 지역 대기오염물질 기원 및 기여도 추정 | 207p

제8장 거버넌스 및 환류체계 구축 | 237p

제9장 발전소 주변지역 생물종 조사제안 | 259p

제10장 결론 및 제언 | 271p



제1장 서론

1. 연구배경 및 필요성

2. 주요 연구내용

1. 연구배경 및 필요성

- 온실가스 다배출 시설인 화력발전소 주변지역의 기후변화 심화 우려에 따라 주변지역 미기후 모니터링과 이에 따른 생태계 변화에 대한 자료축적 필요
 - IPCC의 기후변화 심화 원인은 인위적 온실가스 증가 확신
 - 온실가스 배출시나리오에 따른 지역 기후변화 심화예상
 - 나고야의정서 발효를 대비한 지역 생물자원 확보를 위한 DB 구축 필요
- 충남도내 운영 중인 대기측정망과는 별개로 화력발전소의 영향분석을 위해 화력발전소 배경농도 측정소와 거리별 실시간 대기오염농도 분석을 위해서는 기존 측정망 이외 관련 연구나 정책개발에 활용할 수 있는 연구용 자동측정망 구축이 추가로 필요함
- 화력발전소에 의한 대기질 영향연구를 위해서는 발전소 배출원의 대기환산 모델링 결과와 기여도 분석 등이 필수적으로 수행되어야 하며, 대내외 기여도 추정을 통해 배출원 관리와 함께 농도관리가 가능한 분석결과 도출이 필요함
- 화력발전소를 비롯한 주변지역 대기질 정보가 생산되고 있으나 지역주민은 생활권내 대기질 정보 필요성을 지속적으로 제기하고, 지역 주민 눈높이에 맞는 정보생산을 통해 주민 맞춤형 정보생산과 제공이 필요함

2. 주요 연구내용

- 화력발전소 주변지역 기후환경 영향연구 제1세부는 대기환경정보구축 분야 연구를 수행하였으며, 1차년도 구축된 연구기반을 바탕으로 고정측정망 운영, 기후환경정보 시스템 구축, 지역민 중심의 연구체계 구축, 오염물질 기원 및 기여도 추정 등의 연구가 주로 진행됨
- 더불어, 주변지역 주민을 중심으로 이해당사자 의견수렴을 위한 주민설명회와 설문조사를 진행하여 지역 주민 의견을 적극 수용하여 발전소 주변지역 마을별 생활권 대기질 정보를 지속적으로 제공하고 있음
- 1차년도의 발전소 주변지역 대기오염물질 기인분석을 위한 오염물질 원소함량 분석과 2차년도 동위원소 분석, 대기질 모델을 통해 충청남도 외부에 대한 기여도 추정 결과를 도출함
- 1세부과제의 1차년도 주요 연구내용은 다음과 같음
 - － 지역 기후변화 분석
 - － 주변지역 미기후 모니터링
 - － 고정측정망 구축·운영
 - － 기후환경정보시스템 구축
 - － 생활권 대기질 정보제공
 - － 지역 대기오염물질 기원 및 기여도 추정
 - － 거버넌스 및 환류체계 구축
 - － 전통지식 조사계획 수립



제2장 지역 기후변화 분석

1. 기후변화와 미세먼지농도변화

2. 충남지역 기후변화 특성

1. 기후변화와 미세먼지농도변화

1.1. 분석 개요

- IPCC(기후변화에 관한 정부간패널)에서는 산업화 이후로 전 지구적으로 온난화가 명백하게 진행되며, 관측된 수많은 기후변화들은 지난 수백년간 전례가 없던 현상임을 확인함
 - 지난 138년(1880~2017)동안 전 지구 평균기온이 가장높았던 10년중 9년이 2000년 이후에 발생하였음(NOAA, 2018).
- 인간활동에 의해 기후변화가 발생하여 폭염, 폭설, 호우등의 발생빈도가 증가, 이는 자연재해 발생증가와 직결됨(IPCC, 2007)
- 이에 국제적으로 기후변화 예측모델, 기후변화 영향평가와 관련 연구를 진행, 전지역에서 과거부터 현재까지의 기후변화에 대한 과학적 이해가 필수적으로 요구되고 있음
- 우리나라에서는 국내 기후변화 대응지원을 위하여 RCP 시나리오와 연계하여 한반도 지역 기후변화 시나리오 자료생산을위해 RegCM4, SNURCM, GRIMs, WRF, HadGEM3-RA 5종의 지역기후모델을 이용 남한을 기준으로 하여 최대 1km격자의 정보를 제공
- 국립기상과학원에서는 2018년 「한반도 100년의 기후변화」라는 이름으로 과거 100년 미래 100년 한반도의 기후분석을 실시한바 있음
- 이에 충남지역의 지역기후변화를 관측하고자 충남지역 기상관측과거자료를 토대로 분석하고자함

1.2. 선행연구조사

- 지속적인 기후변화는 관련된 온도, 풍향·풍속 등 각 기상인자들이 변화하고 이는 대기 중 미세먼지농도변화, 동식물 성장, 분포등에 기여하게 됨
- 충남지역의 장기 기후 관측 자료를 토대로 하여 우선적으로 미세먼지와 각 기상인자와의 관계를 활용하여 기후변화가 대기 오염물질변화에 미치는 영향을 확인하고자 함
- 기상인자가 미세먼지 농도에 미치는 영향, 신문기(2007), 한국대기환경학회지
 - 2005년 인천 내 도시대기측정망과 인천기상대 AWS의 자료를 활용하여 분석
 - 풍향, 풍속, 일기상태, 상대습도에 따른 PM10 상관성분석
 - 지상풍속 6m/s/ 이내 구간에서 풍속과 반비례한 PM10 농도추이를 보임
 - 상대습도 40%이상 시 습도와 비례한 PM10 농도추이, 80%이상 시 습도와 반비례한 PM10 농도추이 관측
- 풍속과 풍향이 미세먼지 농도에 미치는 영향, 채희정(2009), 환경위생공학
 - 2005년부터 2007년 서울지역 대기질 관측자료를 이용 다중회귀분석을 통해 분석
 - 전체데이터에서 PM10농도는 풍속과 부의 상관관계를 나타냄
 - 계절과 풍향에 따라 풍속의 회귀계수 차이가 크게 나타남
- 선행연구 조사결과에 따라 충남지역 과거 기상자료 중 온도, 풍속, 습도에 대한 분석을 우선적으로 수행하였음

1.3. 분석 방법

- 충남지역의 장기간 과거 기후변화 분석을 위해 30년 이상 기상관측자료를 보유하고 있는 5개 종관기상관측소의 평균기온, 습도, 풍속 자료를 사용
 - 홍성기상관측소의 경우 2017년부터 관측을 시작하여 분석 자료에서 제외하였음
- 5개 기상관측소의 자료 통일성을 위해 1973년을 분석기간의 첫해로 설정하였음
- 장기간 기후변화 추세를 관찰하기 위하여 30년 후행 이동평균을 활용하였으며, 2차년도 연구에서는 온도, 습도, 풍속에 대해 분석함. 연 평균, 우리나라 평균 등 기후통계분석을 위한 계산 방법은 기상청 기후통계지침(기상청, 2017)에 기초하였음
 - 30년 후행 이동평균이동 : 주어진 시계열 내에서 각 항을 기준으로 예를 들어 과거30년간의 평균값을 항목 대푯값으로 사용, 이 평균치의 연결선을 경향선으로 분석함
 - 예시 : 2002년 값 = 1973년 1월부터 2002년 12월 기간의 평균값
- 충청남도 평균은 5개 각 지점별 기후요소에 대하여 처리한 후, 각 연도별 값을 평균하여 사용하였음

[표 2.1] 충남지역 종관기상관측지점 정보

지점 번호	관측 지점	위도	경도	관측 시작년도
129	서산	36.777	126.494	1968년
177	홍성	36.658	126.688	2017년
232	천안	36.762	127.293	1972년
235	보령	36.327	126.557	1972년
236	부여	36.272	126.921	1972년
238	금산	36.106	127.482	1972년



[그림 2.1] 충남지역 종관기상관측지점 위치

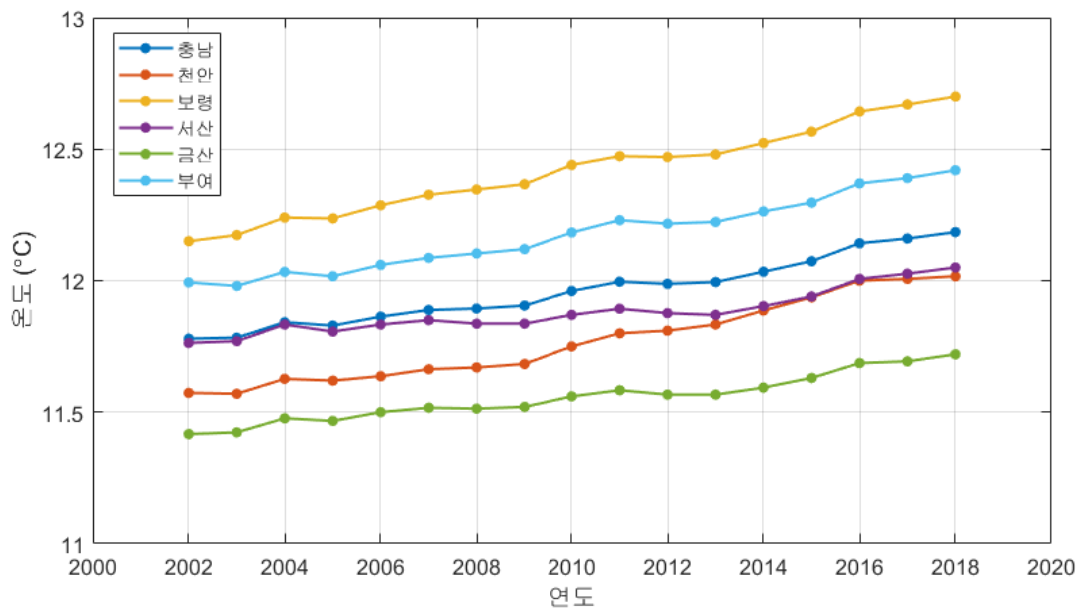
2. 충남지역 기후변화 특성

2.1. 30년 평균기온 변화

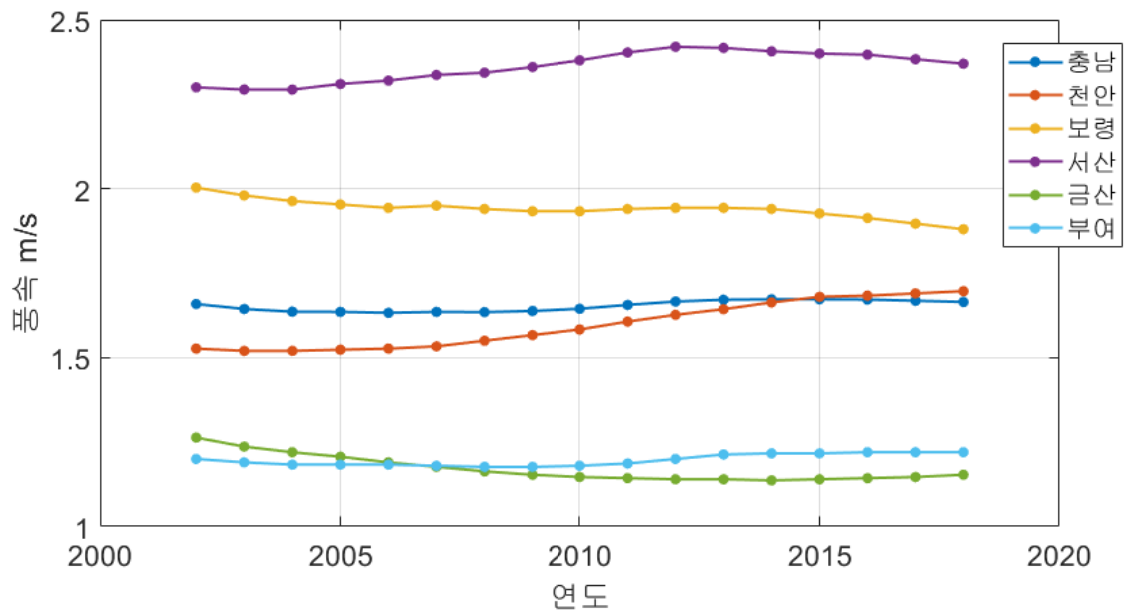
- 2002년부터 2018년까지 30년 후행이동평균 기온변화를 표 2.3에 나타내었음
- 분석한 5개 전 지점에서 지속적인 온도상승이 나타났으며, 충남평균기준 2002년 11.8℃에서 2018년 12.2℃로 0.4℃ 상승 하였으며, 보령시기준 0.5℃ 상승하여 가장 큰 변화 폭을 나타냄

[표 2.2] 충남지역 종관기상관측지점 30년 후행이동평균기온 변화

온도(℃)	충남평균	천안	보령	서산	금산	부여
2002년	11.8	11.6	12.2	11.8	11.4	12.0
2003년	11.8	11.6	12.2	11.8	11.4	12.0
2004년	11.8	11.6	12.2	11.8	11.5	12.0
2005년	11.8	11.6	12.2	11.8	11.5	12.0
2006년	11.9	11.6	12.3	11.8	11.5	12.1
2007년	11.9	11.7	12.3	11.9	11.5	12.1
2008년	11.9	11.7	12.3	11.8	11.5	12.1
2009년	11.9	11.7	12.4	11.8	11.5	12.1
2010년	12.0	11.8	12.4	11.9	11.6	12.2
2011년	12.0	11.8	12.5	11.9	11.6	12.2
2012년	12.0	11.8	12.5	11.9	11.6	12.2
2013년	12.0	11.8	12.5	11.9	11.6	12.2
2014년	12.0	11.9	12.5	11.9	11.6	12.3
2015년	12.1	11.9	12.6	11.9	11.6	12.3
2016년	12.1	12.0	12.6	12.0	11.7	12.4
2017년	12.2	12.0	12.7	12.0	11.7	12.4
2018년	12.2	12.0	12.7	12.1	11.7	12.4



[그림 2.2] 충남지역 종관기상관측지점 30년 후행이동평균기온 시계열 그래프



[그림 2.3] 충남지역 종관기상관측지점 30년 후행이동평균풍속 시계열 그래프

2.2. 30년 평균풍속 변화

- 2002년부터 2018년까지 30년 후행이동평균 풍속변화를 표 2.4에 나타내었음
- 충남평균기준 1.66m/s 로 2002년부터 2018년 사이 큰 변화를 보이지 않았으나, 시·군별로 보았을 때, 천안과 서산, 부여의 경우 각각 0.17m/s, 0.07m/s, 0.02m/s 상승하였음
- 이와 반대로 보령 금산의 경우 각각 0.12m/s, 0.09m/s 감소하여 관측지점별로 풍속변화의 큰 차이를 나타냄

[표 2.4] 충남지역 종관기상관측지점 30년 후행이동평균풍속 변화

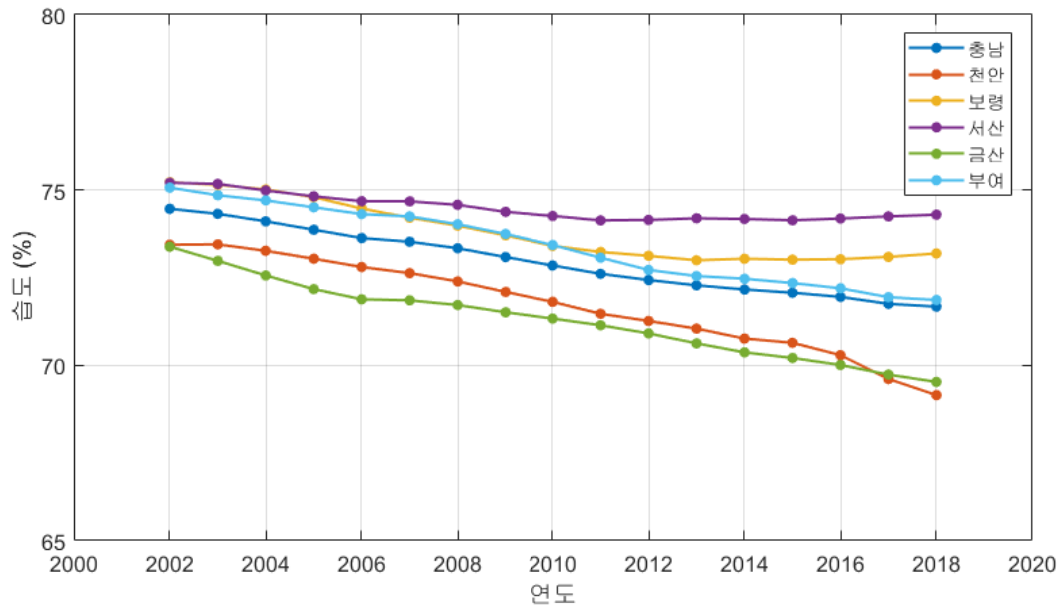
풍속(m/s)	충남평균	천안	보령	서산	금산	부여
2002년	1.66	1.53	2.00	2.30	1.26	1.20
2003년	1.64	1.52	1.98	2.29	1.24	1.19
2004년	1.64	1.52	1.96	2.29	1.22	1.18
2005년	1.64	1.52	1.95	2.31	1.21	1.18
2006년	1.63	1.53	1.94	2.32	1.19	1.18
2007년	1.64	1.53	1.95	2.34	1.18	1.18
2008년	1.63	1.55	1.94	2.34	1.16	1.18
2009년	1.64	1.57	1.93	2.36	1.15	1.18
2010년	1.64	1.58	1.93	2.38	1.15	1.18
2011년	1.66	1.61	1.94	2.40	1.14	1.19
2012년	1.67	1.63	1.94	2.42	1.14	1.20
2013년	1.67	1.64	1.94	2.42	1.14	1.21
2014년	1.67	1.66	1.94	2.41	1.14	1.22
2015년	1.67	1.68	1.93	2.40	1.14	1.22
2016년	1.67	1.68	1.91	2.40	1.14	1.22
2017년	1.67	1.69	1.90	2.38	1.15	1.22
2018년	1.66	1.70	1.88	2.37	1.15	1.22

2.3. 30년 평균습도 변화

- 2002년부터 2018년까지 30년 후행이동평균 습도변화를 표 2.5에 나타내었음
- 분석한 5개 전지점에서 지속적인 습도 감소가 관측되었으며, 충남평균 2002년 74.5%에서 2018년 71.7%로 2.8% 감소하였으며, 천안과 금산에서 각각 4.2%, 3.9%로 크게 감소하였음

[표 2.5] 충남지역 종관기상관측지점 30년 후행이동평균습도 변화

습도(%)	충남평균	천안	보령	서산	금산	부여
2002년	74.5	73.4	75.2	75.2	73.4	75.1
2003년	74.3	73.5	75.2	75.2	73.0	74.9
2004년	74.1	73.3	75.0	75.0	72.6	74.7
2005년	73.9	73.0	74.8	74.8	72.2	74.5
2006년	73.6	72.8	74.5	74.7	71.9	74.3
2007년	73.5	72.6	74.2	74.7	71.9	74.2
2008년	73.3	72.4	74.0	74.6	71.7	74.0
2009년	73.1	72.1	73.7	74.4	71.5	73.7
2010년	72.8	71.8	73.4	74.3	71.3	73.4
2011년	72.6	71.5	73.2	74.1	71.1	73.1
2012년	72.4	71.3	73.1	74.1	70.9	72.7
2013년	72.3	71.0	73.0	74.2	70.6	72.5
2014년	72.2	70.8	73.0	74.2	70.4	72.5
2015년	72.1	70.6	73.0	74.1	70.2	72.3
2016년	72.0	70.3	73.0	74.2	70.0	72.2
2017년	71.8	69.6	73.1	74.2	69.7	71.9
2018년	71.7	69.2	73.2	74.3	69.5	71.9



[그림 2.4] 충남지역 종관기상관측지점 30년 후행이동평균습도 시계열 그래프

2.4. 분석 결론

- 지속적인 기후변화는 관련된 온도, 풍향·풍속 등 각 기상인자들이 변화하고 이는 대기 중 미세먼지농도변화, 동식물 성장, 분포등에 기여하게 됨
- 선행연구결과에 따라 각 기상인자들이 변화함에 따라 대기질에 영향을 미칠 수 있음을 확인함
- 충남지역 지역별 풍속변화는 지역별 대기오염물질 농도변화에도 기여할 수 있으며 지속적인 습도감소는 선행연구에서 언급된 일정구간 내에서 미세먼지 농도 저감과 상승에 상관성이 존재함
- 이를 활용하여 충남지역 대기 국가측정망과의 데이터 연계를 통해 향후 연구에서는 미세먼지 농도변화에 대한 예측이 가능할 것으로 보임



제3장 미기후 모니터링

1. 미기후 모니터링 지점선정 및 운영현황
2. 모니터링 결과분석

1. 미기후 모니터링 지점선정 및 운영현황

1.1. 모니터링 지점 운영방안

- 본 연구에서는 미기후변화 관측에 초점을 맞추어 온·습도 관측기기를 활용한 다수 지점의 비교를 통한 지점별 특성을 살펴보는 것으로 목표를 선정하였음
- 1차년도 선행 연구조사 결과에 따라 비용 효율적인 측면에서 소형 기상데이터로거인 HOBO 센서를 측정장비로 활용하였으며 주기적인 현장방문을 통해 데이터를 수집하고 측정된 시간단위 자료를 분석하였음

1.2. 모니터링 지점선정

- 1차년도 우선 선정지점 10개 지점을 포함하여 2차 생태모니터링 연구진과 검토를 통해 추가지점을 확대함
 - 해안가와 내륙의 경우 미기후 특성이 다른 것을 감안하여 비교·설치
 - 화력발전소를 중심으로 직선거리에 따라 비교·설치
 - 주변지역 생태학적 관심지역 추가설치
- 발전소 주변지역 삼림을 대상으로 하여 기존 고려사항 중 해안·내륙, 발전소 반경 2km이내, 5km부근, 10km이상 지역으로 구분하여 발전소 당 최소 6개 지점씩 선정
- 생태모니터링 연구와 협력을 위해 동물분야 삼림현장조사지점 각 발전소별 1지점 추가 설치, 대조군을 설정하기 위해 발전소주변 나대지 지점 각 1개소씩 추가하여, 총 32개소 지점선정을 완료함
- 2019년 1월 전 지점에 대한 설치를 완료하였으나, 당진 생태모니터링과의 연계를 위한 측정지점의 경우 화력발전소 내부 시설공사로 인한 별목으로 지점 재선정이 필요한 상태임



[그림 3.1] 미기후 모니터링 지점지도



[그림 3.2] 미기후 측정센서 및 현장 측정사진

[표 3.1] 미기후 모니터링 지점

지 역	구 분	거 리	위치(위경도)		지점번호	비 고
보 령	해 안	2km	36.428620	126.507860	BR_C_02	○
		5km	36.372003	126.525430	BR_C_05	○
		10km	36.485848	126.481210	BR_C_10	○
	내 륵	2km	36.400991	126.516780	BR_L_02	○
		5km	36.409946	126.548867	BR_L_05	○
		10km	36.409925	126.604468	BR_L_10	○
	대조군	—	36.409508	126.524899	BR_L_00	○
	생 태	—	36.399703	126.501578	BR_G_00	○
당 진	해 안	2km	37.033487	126.539158	DJ_C_02	○
		5km	37.025780	126.570120	DJ_C_05	○
		10km	36.964136	126.514207	DJ_C_10	○
	내 륵	2km	37.052486	126.499894	DJ_L_02	○
		5km	37.011887	126.529998	DJ_L_05	○
		10km	36.958170	126.552570	DJ_L_10	○
	대조군	—	37.043311	126.516773	DJ_L_00	○
	생 태	—			DJ_G_00	×
서 천	해 안	2km	36.152786	126.516534	SC_C_02	○
		5km	36.136737	126.557387	SC_C_05	○
		10km	36.099805	126.612421	SC_C_10	○
	내 륵	2km	36.155774	126.518788	SC_L_02	○
		5km	36.164443	126.546441	SC_L_05	○
		10km	36.150554	126.602610	SC_L_10	○
	대조군	—	36.157912	126.531755	SC_L_00	○
	생 태	—	36.151456	126.503478	SC_G_00	○
태 안	해 안	2km	36.901526	126.205040	TA_C_02	○
		5km	36.883988	126.196449	TA_C_05	○
		10km	36.839106	126.192503	TA_C_10	○
	내 륵	2km	36.891767	126.247681	TA_L_02	○
		5km	36.852450	126.230750	TA_L_05	○
		10km	36.812800	126.254810	TA_L_10	○
	대조군	—	36.879505	126.222631	TA_L_00	○
	생 태	—	36.897943	126.224127	TA_G_00	○

2. 모니터링 결과분석

2.1. 월 평균 측정결과 분석

- 1차년도에 설치완료한 10개 지점에대한 온습도 관측결과를 나열함. 신규설치지점의 경우 데이터 부족으로 인하여 분석에서 제외하였음
- 2018년 전 측정지점 평균을 기준으로 관측 온도는 1월 -2.1°C 에서 8월 26.7°C 의 변화가 관측되었으며 2019년 기준으로 1월 평균온도 0.6°C 을 보이며 작년보다 따뜻하였음
- 습도의 경우 2018년 2월 59.9%에서 7월 88.8%가 관측되었으며, 2019년 2월을 기준으로 66.7%로 작년보다 습한 날씨를 보임
- 시·군별로 보았을 때 당진측정지점이 보령, 태안측정지점에 비해 평균적으로 낮은 온도가 관측되었으며 특히 당진 내륙지점에서 겨울철 가장 낮은 월평균 온도가 관측됨
- 반면 당진, 태안의 내륙측정지점에서 해안측정지점에 비해 상대적으로 겨울철에 온도가 낮고 여름철 온도가 높게 관측이 되었으나, 보령측정지점에서 겨울철 내륙의 온도가 높고 여름철 해안의 온도가 높게 관측됨
- 제한적인 지점개수와 단기적인 분석을 지양하여 분석지점 증대와 장기적인 자료 관측을 통한 분석이 지속적으로 요구됨

[표 3.2] 미기후 모니터링 지점측정결과 (온도 °C)

지점	2018년												2019년	
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
BR_C_02	-21	-0.7	6.8	11.6	16.2	20.6	26.7	27.8	21.3	14.0	8.8	1.8	0.5	1.7
BR_L_02	-1.7	-0.1	7.8	12.9	16.9	20.6	25.5	-	-	-	-	-	-	2.0
BR_L_05	-1.6	0.4	8.4	13.2	16.6	20.3	25.1	26.4	19.9	12.6	8.8	1.8	0.9	2.5
DJ_C_02	-1.1	1.3	8.2	11.5	16.3	-	-	-	-	-	-	0.8	0.1	1.1
DJ_C_05	-2.7	-1.1	7.2	12.4	16.8	19.9	24.6	26.3	20.2	12.8	8.3	1.6	0.7	1.6
DJ_L_05	-3.3	-1.9	6.7	11.7	16.4	20.5	25.3	26.6	20.4	12.9	7.9	0.7	-0.5	0.5
DJ_L_10	-3.3	-1.8	7.5	12.4	17.1	21.0	25.7	26.6	20.0	12.1	7.2	0.1	-1.0	0.4
TA_C_02	-1.2	-0.2	6.3	11.1	15.0	18.7	23.8	25.9	21.7	15.5	11.0	3.8	3.1	2.9
TA_L_05	-1.3	0.0	7.0	11.6	15.9	20.2	25.3	27.4	-	-	-	2.7	1.7	2.0
TA_L_10	-2.7	-1.3	7.0	11.9	15.9	20.2	25.2	26.5	20.0	-	-	0.9	0.0	1.1

[표 3.3] 미기후 모니터링 지점측정결과 (습도 %)

지점	2018년												2019년	
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월
BR_C_02	71.1	61.5	80.0	76.2	82.9	84.8	82.5	80.4	78.9	74.9	77.1	68.0	69.6	69.2
BR_L_02	69.2	57.9	74.9	69.7	80.3	84.4	88.8	-	-	-	-	-	-	67.4
BR_L_05	67.3	55.1	73.2	67.8	80.7	85.0	90.2	86.5	85.4	82.6	76.2	66.1	66.6	66.6
DJ_C_02	62.4	55.1	76.5	75.3	83.5	-	-	-	-	-	-	64.5	63.7	65.1
DJ_C_05	65.5	59.8	76.0	70.6	79.4	86.7	91.4	87.1	82.5	77.5	75.9	61.5	61.3	62.4
DJ_L_05	66.9	61.0	78.9	72.9	81.5	85.4	89.2	85.5	81.2	76.1	77.8	68.2	68.2	70.2
DJ_L_10	68.4	61.1	76.4	70.9	79.7	83.5	86.7	83.1	81.3	78.4	76.9	68.5	68.2	69.2
TA_C_02	67.6	63.1	80.3	75.3	82.2	88.0	91.4	87.8	77.6	67.3	68.7	64.4	62.9	66.0
TA_L_05	65.6	59.5	78.6	75.5	83.3	86.7	89.8	82.5	-	-	-	61.8	61.2	63.2
TA_L_10	72.2	64.6	78.2	74.3	83.6	85.5	89.3	84.6	85.4	-	-	71.1	69.0	67.8

- 기기오류, 분실 등으로 인해 일부 데이터 누락

2.2. 극한기후 분석

- 장기간에 걸친 평균적인 기후변화 외에 급진적인 극한 기후·기상현상증가에 대한 우려를 IPCC에서 지속적으로 표명함
- 생태계적 측면에서 점진적인 변화에 대한 순응보다 급격한 상황변화에 따른 피해가 크게 우려되며, 이에 미기후 측정지점에 대한 극한기후 분석을 실시함
 - 폭염일수 : 여름철 일 최고기온이 33℃이상인 날의 수
 - 한파일수 : 겨울철 일 최저기온이 -12℃이하인 날의 수
- 태안화력 주변지역은 평균기온으로 비교했을 때 상대적으로 최저기온과 최고기온의 차이가 크게 나타나 기후변화 적응측면에서 주의 깊게 관찰할 필요가 있음

[표 3.4] 미기후 모니터링 지점 극한기후 분석결과

지점	폭염일수 (2018년)	관 측 최고기온	최고기온 관측일시	한파일수 (2018년)	한파일수 (2019년)	관 측 최저기온	최저기온 관측일시
BR_C_02	37	40.1	2018-08-16 16:00	5	0	-13.7	2018-01-27 4:00
BR_L_02	20	36.7	2018-08-13 16:00	5	0	-14.4	2018-01-27 4:00
BR_L_05	5	33.7	2018-08-15 14:00	7	0	-16.3	2018-01-27 7:00
DJ_C_02	—	—	—	5	0	-15.1	2018-01-27 6:00
DJ_C_05	20	36.8	2018-08-15 16:00	6	0	-15.8	2018-01-27 5:00
DJ_L_05	10	35.1	2018-08-15 15:00	5	0	-15.1	2018-01-27 6:00
DJ_L_10	14	35.7	2018-08-15 14:00	10	2	-17.4	2018-01-27 4:00
TA_C_02	1	34.0	2018-08-13 11:00	1	0	-12.1	2018-01-27 5:00
TA_L_05	16	36.6	2018-08-16 14:00	2	0	-13.7	2018-01-27 6:00
TA_L_10	19	36.9	2018-08-16 16:00	3	0	-15.5	2018-01-27 6:00



제4장 고정측정망 운영

1. 도내 고정측정망 운영현황
2. 고정측정망 최적 활용방안
3. 대난지도 측정망 운영결과 분석

1. 도내 고정측정망 운영현황

1.1 측정 개요

- 환경정책기본법에서는 "환경오염"을 '사업활동 및 그 밖의 사람의 활동에 의하여 발생하는 대기오염, 수질오염, 토양오염, 해양오염, 방사능오염, 소음·진동, 악취, 일조 방해 등으로서 사람의 건강이나 환경에 피해를 주는 상태'로 정의하고 있음
- 세계보건기구(WHO)에서는 대기오염을 "대기 중에 인위적으로 배출된 오염물질이 한 가지 또는 그 이상 존재하여 오염물질의 양, 농도 및 지속시간이 어떤 지역의 불특정 다수인에게 불쾌감을 일으키거나 해당지역에 공중보건상 위해를 끼치고, 인간이나 동식물의 활동에 해를 주어 생활과 재산을 향유할 정당한 권리를 방해받는 상태"로 정의하고 있음
- 대기환경보전법에서 정의하는 "대기오염물질"이란 대기오염의 원인으로 인정된 가스·입자상물질로서 대기 중에 존재하는 물질의 위해성을 그 독성, 생태계에 미치는 영향, 배출량 등을 고려하여 환경여건 변화에 따라 적정성이 유지되도록 설정한 환경기준에 대비한 오염도 현황 등을 고려하여 대기오염물질 심사·평가위원회를 두어 정하고 있음(국립환경과학원, 2015)
- 이에 대기환경보전법에서는 전국적인 대기오염 및 기후 생태계 변화유발물질의 실태파악을 위하여 환경부령으로 정하는바에 따라 측정망을 설치, 대기오염도 등을 상시측정하게 함

1.2 대기질 측정망 운영현황

1.2.1 국가 고정측정망 운영현황

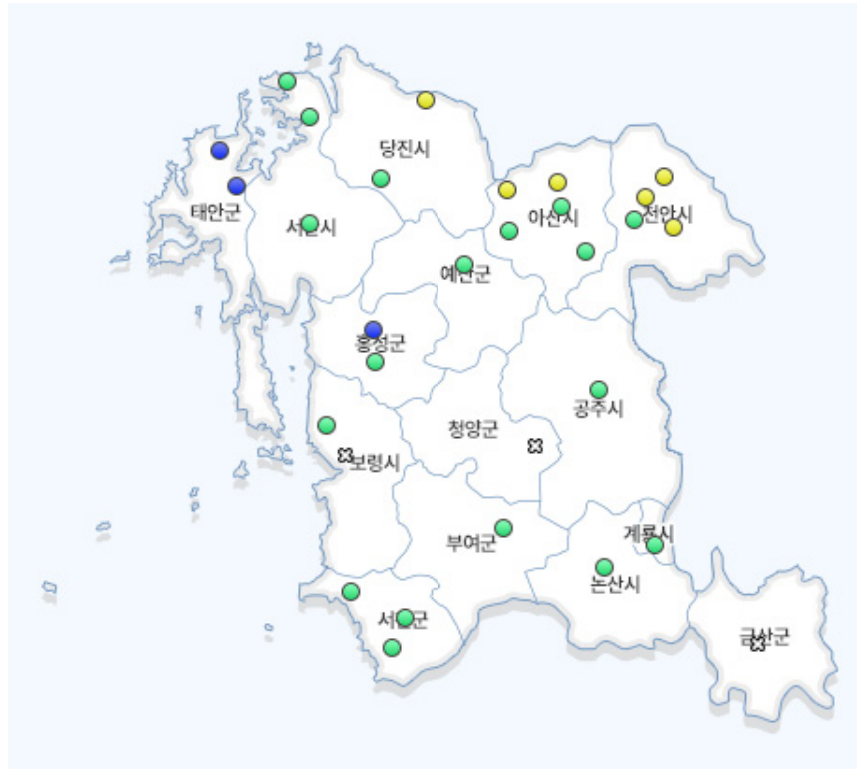
- 대기환경보전법에서는 전국적인 대기오염 및 기후 생태계 변화유발물질의 실태파악을 위하여 환경부령으로 정하는바에 따라 측정망을 설치, 대기오염도 등을 상시측정하게 하며
- 전국적인 대기오염실태, 변화추이 및 대기환경기준 달성여부 등을 파악하기 위하여 측정망을 구분하고 대기오염물질 측정을 실시하고 있음
- 충남지역의 경우 2019년 3월 기준 대기오염에 대한 국민 인식증대로 인한 측정 지점수가 대폭 증가하여 교외대기 2개소, 도로변대기 1개소 도시대기 29개소를 포함 총 32개소 측정망이 운영중에 있으며, 국립환경과학원에서 2019년 서산시 대기질집중 측정소를 추가 구축할 계획에 있음

[표 4.1] 일반 대기오염 측정망 구분

분 류	정 의	측정항목
도시대기 측정망	도심(거주)지역의 평균 대기질 농도 측정	SO ₂ , CO, O ₃ , NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} 등
교외대기 측정망	도시를 둘러싼 교외 지역의 배경농도 측정	SO ₂ , CO, O ₃ , NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} 등
국가배경농도 측정망	국가의 배경농도를 파악하고 외국으로의 오염물질유입, 유출상태 등을 파악	SO ₂ , CO, O ₃ , NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} 등
도로변대기 측정망	자동차 통행량과 유동인구가 많은 도로변 대기농도 측정	SO ₂ , CO, O ₃ , NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , Pb, HC 등

[표 4.2] 충남지역 국가 고정측정망 운영 현황

지역	측정소	설치 연도	구분	지역	측정소명	설치 연도	구분
천안시	백석동	2002	도시대기	논산시	논산	2017	도시대기
천안시	성거읍	2018	도시대기	계룡시	엄사면	2018	도시대기
천안시	성성동	2008	도로변대기	당진시	당진시청사	2018	도시대기
천안시	성황동	2007	도시대기	당진시	송산면	2017	도시대기
공주시	공주	2017	도시대기	금산군	금산읍	2017	도시대기
공주시	사곡면	2003	교외대기	부여군	부여읍	2017	도시대기
보령시	대천2동	2017	도시대기	서천군	서면	2017	도시대기
보령시	주교면	2018	도시대기	서천군	서천읍	2017	도시대기
아산시	도고면	2018	도시대기	서천군	장항읍	2019	도시대기
아산시	둔포면	2018	도시대기	청양군	청양읍	2017	도시대기
아산시	모종동	2007	도시대기	홍성군	내포	2019	도시대기
아산시	배방읍	2017	도시대기	홍성군	홍성읍	2017	도시대기
아산시	인주면	2018	도시대기	예산군	예산군	2017	도시대기
서산시	독곶리	2017	도시대기	태안군	이원면	2017	도시대기
서산시	동문동	1996	도시대기	태안군	태안읍	2017	도시대기
서산시	대산리	2018	도시대기	태안군	파도리	1994	교외대기



[그림 4.1] 충남지역 국가 고정측정지점 현황(airkorea.or.kr)

1.2.2 발전소 자체 운영 민간 고정측정망 운영현황

- 발전소 주변지역 도민의 요구에 따라 국가 고정측정망과 별도로 하여 발전소 자체운영 대기질 측정망을 각 화력발전소에서 구축 운영 중에 있음
- 각 발전소에서 2019년 3월 기준 33개소의 측정망을 구축 운영 중에 있으며, 서천화력의 경우 신 서천화력발전소 준공에 맞추어 신규 측정망을 계획 중에 있음
- 보령화력발전소는 인근 12개소(교성, 송학, 천북, 신흥, 오천, 학성, 원산, 오포, 죽정, 고남, 주포, 남포)측정망을 운영 중이며 환경정보시스템 공개를 통해 인터넷 홈페이지 (<https://crm.komipo.co.kr:7444/env/map.jsp>)에서 측정데이터를 실시간으로 공개하고 있음



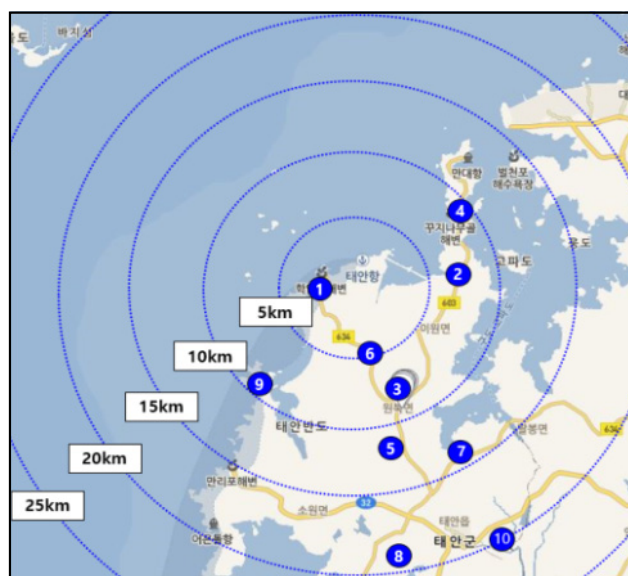
[그림 4.2] 보령화력발전 자체운영 민간 고정측정지점 현황

- 당진화력발전소는 인근 11개소(당진본부, 석문중, 석문면, 호서중, 변전소, 적서리, 고대면, 송악초, 신평면, 면천면, 합덕읍)의 측정망을 자체운영 중이며 당진시와 연계하여 당진시청 홈페이지 - 실시간 대기오염도에 측정정보를 제공하고 있음



[그림 4.3] 당진화력발전 자체운영 민간 고정측정지점 현황

- 태안화력발전소는 2018년말 측정지점 7개소를 추가하여 총 10개소(방갈2리, 이원초교, 원북초교, 이원초교분교, 대기초교, 이곡1리, 산후1리, 안기2리, 의향리, 평천3리)의 측정망을 구축하여 운영 중에 있으며, 태안군청 내부, 태안터미널 전광판 으로 대기환경정보를 실시간으로 노출 중에 있음



[그림 4.4] 태안화력발전 자체운영 민간 고정측정지점 현황

1.3 기상관측 측정망 운영현황

- ‘기상법’에서는 국가기상업무의 효율적 수행을 위해 기상현상에 관한 정보를 생산하고 필요한 곳에 기상 관측망을 구축할 것을 명시하고 있음
- 충남지역에서는 2018년 기준 종관기상관측센터 6개소, 방재기상관측센터 33개소 총 39개의 대기측정망을 운영 중에 있음

[표 4.3] 충남지역 국가 기상관측측정망 운영 현황

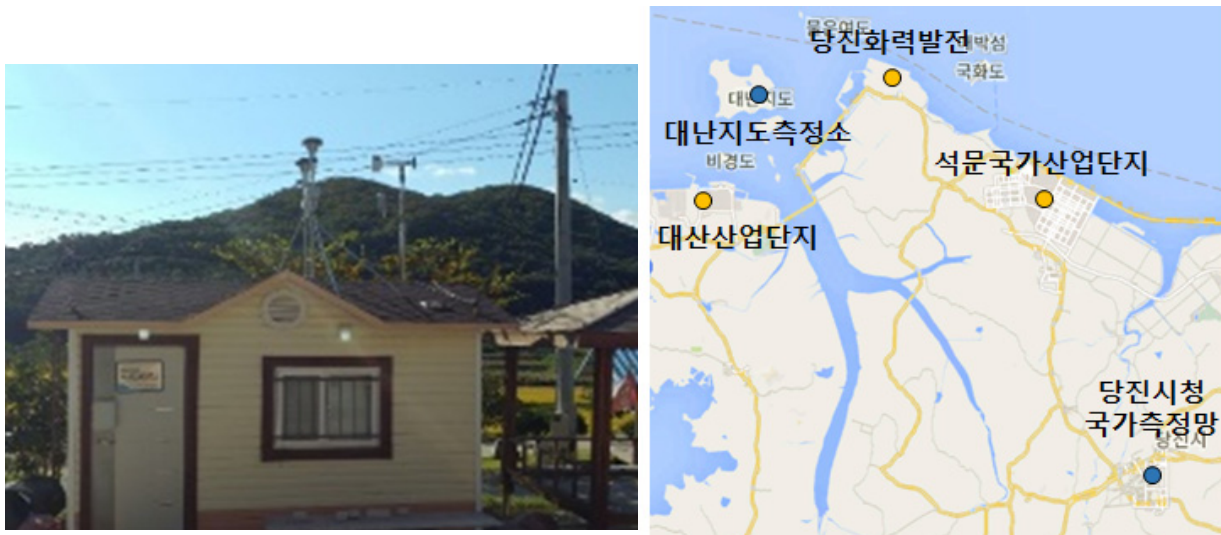
지역	지 점 번 호	측정소명	설 치 년 도	구 분	지역	지 점 번 호	측정소명	설 치 년 도	구 분
천안	232	천안	1972	종관	금산	238	금산	1972	종관
	617	성거	1991	방재	부여	236	부여	1972	종관
공주	612	공주	1990	방재		635	양화	2011	방재
	632	유구	1993	방재	서천	614	서천	1992	방재
	633	정안	1993	방재		646	춘장대	2012	방재
보령	235	보령	1972	종관	청양	618	청양	1991	방재
	578	호도	2013	방재		691	정산	2010	방재
	609	삽시도	2009	방재	홍성	177	홍성	2017	종관
	657	대천항	2011	방재		608	홍북	2012	방재
아산	669	외연도	2001	방재		610	홍성죽도	2017	방재
	634	아산	1993	방재		645	서부	2013	방재
서산	493	송악	2018	방재	예산	628	예산	1992	방재
	129	서산	1968	종관		694	원효봉	2002	방재
논산	606	대산	1990	방재		229	북격렬비도	2005	방재
	615	논산	1990	방재	태안	607	근흥	1990	방재
계룡	644	연무	2012	방재		627	태안	1992	방재
	636	계룡	1993	방재		658	만리포	1999	방재
당진	659	계룡산	1999	방재		666	안도	2001	방재
	616	당진	1991	방재		667	웅도	2001	방재
	637	신평	2013	방재					

2. 고정측정망 최적 활용방안

2.1 대난지도 측정망

2.1.1 지점개요

- 1차년도 군집분석결과를 토대로 하여, 당진 화력발전소의 배경농도로 활용가능한 대난지도 지점에 2018년 1월 고정측정망 구축을 완료하였음
 - 대난지도 고정 측정지점: 충청남도 당진시 석문면 난지1길 215, 난지1리 마을회관
- 난지도 측정지점으로부터 동쪽으로 약 6km지점 당진화력발전소 위치, 남서방향으로 약 6.5km 지점 대산산업단지가 위치하여 해안으로부터 유입되는 농도와 내륙으로부터 유출되는 농도를 구분지어 분석하기 용이함



[그림 4.5] 대난지도 고정측정지점 사진(좌), 대난지도 측정지점 주변지역 지도(우)

- 바람 방향에 따라 대난지도 측정소와 당진시청 국가측정소가 풍상·풍하방향에 위치하여 두지점간의 비교를 통해 지역적 배출농도 분석이 가능할 것으로 보임

2.1.2 장비제원

- 대기 측정망과 동일한 수준의 장비구축을 위해 대기환경기준법에서 정의하는 측정방법을 이용하는 장비를 선택, PM10, PM2.5, NO_x, 온도, 습도, 풍향, 풍속을 1시간단위로 측정가능하게 하였음
- 대기환경기준 항목의 측정방법은 환경정책기본법 시행령 제2조 별표1과 같으며, 세부 측정법은 대기오염공정시험법의 환경대기중 무기물질에 명시되어있음
- 충청남도에서는 국가 대기환경기준과 별도로 도내 대기오염물질 배출허용 기준 및 환경기준을 강화하는 조례를 발표하였음

[표 4.4] 충청남도 대기환경기준(충청남도 환경 기본조례 제13조 제3항 관련)

항목	기준	측정방법
아황산가스 (SO ₂)	연평균	0.01ppm 이하
	24시간 평균	0.03ppm 이하
	1시간 평균	0.1ppm 이하
이산화질소 (NO ₂)	연평균	0.02ppm 이하
	24시간 평균	0.04ppm 이하
	1시간 평균	0.08ppm 이하
일산화탄소 (CO)	8시간 평균	5ppm 이하
	1시간 평균	10ppm 이하
미세먼지 (PM-10)	연평균	40 μ g/m ³ 이하
	24시간 평균	80 μ g/m ³ 이하
초미세먼지 (PM-2.5)	연평균	20 μ g/m ³ 이하
	24시간 평균	40 μ g/m ³ 이하
오존(O ₃)	8시간 평균	0.06ppm 이하
	1시간 평균	0.1ppm 이하
납(Pb)	연평균	0.3 μ g/m ³ 이하
벤젠	연평균	3 μ g/m ³ 이하

2.2 2차년도 고정측정망 지점선정

2.2.1 지점선정

- 설치 지점은 고농도를 초래할 수 있는 기상조건 및 지형특성, 연안유동특수현상이 우선적으로 고려되어야 하며, 건강영향 취약성, 설치·운영비용, 기 운영 자료와 상호보완점, 주민의견 등을 반영하여야 함(충남연구원, 2016)
- 충남도내 화력발전소 인근 기상자료(최소10년), 배출량자료, 고해상도 지형고(DEM) 및 토지이용(Land-use) 자료 수집하여 입력 자료로 활용하고 측정지점 선정을 위한 선별기준을 마련함
- 1차년도에 고려되었던 화력발전소 주변지역 고정측정망 후보지에 대한 재검토를 시행, 남태안의 경우 보령화력발전소에서 직접 운영하는 민간측정소 고남면 지점이 2018년말 신설되었으며, 서천지역은 국가도시대기측정망이 신설됨. 추가로 내포도시대기 측정지점이 2019년 신설함
- 1차년도에서 고려되었던 기존 화력발전소 주변지역의 국지규모(10km이내) 후보 설치지점에서 발전소 영향권 내 도시·지역규모(10km이상)를 고려하여 선정지점을 확대하였음.

[표 4.5] 대기운동규모에 따른 단계별 연구범위

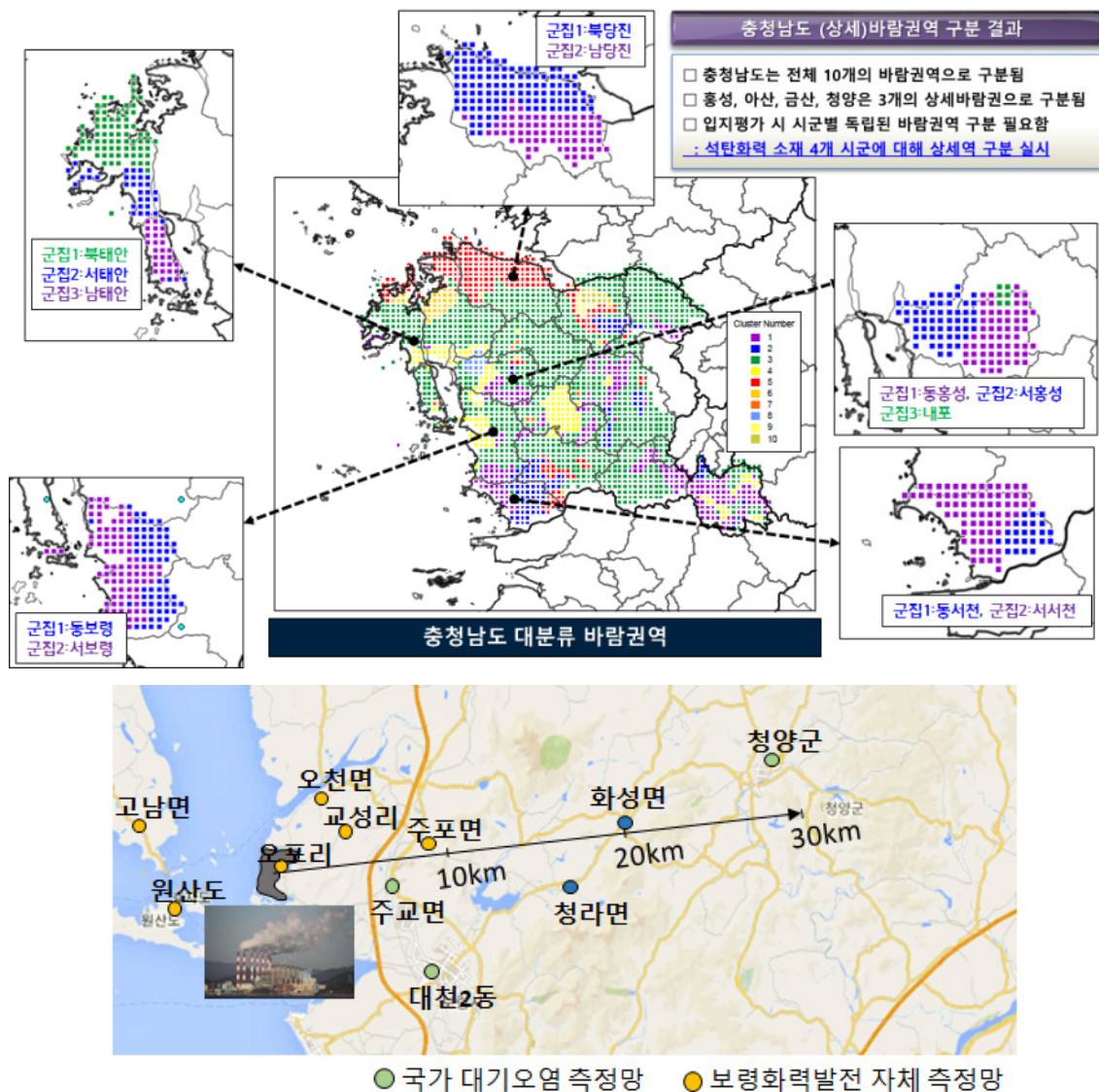
구분	공간규모	유동특수현상	수행 모델
1단계 국지규모 (Local-scale)	반경 10km 이내	연기침강, 빌딩(연돌)세류	기상모델 + 대기확산모델 + (스크리닝모델) + 대기광화학모델
2단계 도시규모 (Urban-scale)	반경 10~50km 이내	연기침강, 연기충돌, 연기간힘, 장거리수송(2차 생성물질)	
3단계 지역규모 (Regional-scale)	반경 50km 이상	연기충돌, 연기간힘, 장거리수송(2차 생성물질)	기여도분석 : 수반모델

(자료출처 : 화력발전소 기후환경 영향에 따른 중장기 대응전략 수립연구, 충남연구원, 2016)

[표 4.6] 화력발전소 주변지역 고정측정망 후보지

List	지역	구분	상세권역	토지피복	측정소현황	배경지점	
						필요지점수	설치년도
1	당진	1	북당진	산업지역	난지도리	1	1차년도
2		2	남당진	주거지역(당진시)	당진		
3	태안	1	북태안	산업지역	태안군	(교외대기)	필요
4		2	서태안	주거지역	파도리(국가)		
5		3	남태안	도서지역	-		
6	보령	1	동보령	산림지역	X	(화력발전소)	필요
7		2	서보령	주거지역	대천2동		
8	서천	1	동서천	농업지역	-	-	-
9		2	서서천	산림/주거지역	예정		
10	홍성	1	동홍성	농축산지역	X	1	필요
11		2	서홍성	주거지역	홍성읍		
12		3	내포	도심시	-		

- 그에 따라 군집분석에 따른 고정측정망 후보지중 동보령 지역의 측정망 추가지점 설치를 고려, 보령시 청라면, 청양군 화성면을 후보지로 선정 내부회의를 거쳐 보령시 청라면 소양1리에 2019년 4월 지점 추가설치를 실시하였음
 - 충청남도 보령시 청라면 원모루길 380, 소양1리 익량마을회관
- 기존 대난지도 측정망과 동일한 측정 장비를 설치하였으며, 서버통신망을 구축하여 1시간 측정자료를 연구소 내에서 확인할 수 있게 하였음
- 보령화력 자체 고정측정망, 국가 고정측정망과의 연계를 통해 바람방향에 따라 풍상·풍하방향이 결정되어 분석이 용이하며, 보령화력을 기준으로 서풍이 부는 경우 대기오염물질 장기 이동에 따른 변화를 관측하는 중요지점으로 활용가능성이 기대됨



[그림 4.6] 충남지역 바람권역분석(상) 보령화력주변 고정측정망 및 후보지(하)

[표 4.7] 청라면측정소 측정항목 및 측정장비 제원

항 목	측 정 장 비	측 정 방 법
PM10	METONE, BAM1020-PM10	베타선 흡수법
PM2.5	METONE, BAM1020-PM25	베타선 흡수법
NO2	APNA-370	화학 발광법
기상요소	RMyoung	—

3. 대난지도 측정망 운영결과 분석

3.1 일반분석

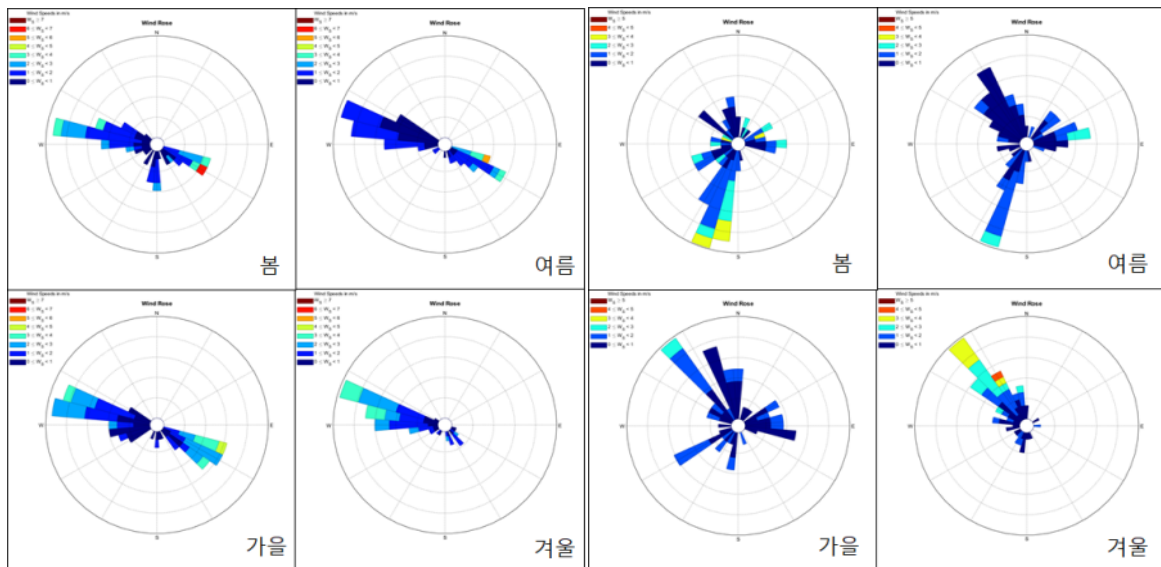
- 2018년 6~9월, PM2.5 측정장비 이상 점검으로 인하여 데이터가 누락되었으며, 측정기기 점검 등으로 인한 측정데이터 개수차이로 인해, '18년 10월 PM2.5 농도가 PM10농도보다 높게 관측이 되었음
- PM10 농도는 관측기간 평균 $40.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 충남지역 연평균 환경기준농도인 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였으며, 여름철을 제외한 전 월평균농도가 환경기준값을 초과하였음
- PM2.5농도는 관측기간 평균 $38.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, PM10과 마찬가지로 여름철을 제외한 관측 전 기간에 걸쳐 연평균 국가 환경기준인 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였음
- 그에 비하여 NO₂농도의 경우 관측기간평균 0.010ppm으로 연평균 환경기준인 0.02ppm보다 낮은 수치를 보임

[표 4.8] 대난지도측정소 측정결과

관측 년 · 월		PM ₁₀ (μ g/m ³)	PM2.5 (μ g/m ³)	NO ₂ (ppm)
‘18년	2월	46.1	31.7	0.009
	3월	45.2	41.3	0.013
	4월	50.8	—	0.013
	5월	41.7	34.8	0.011
	6월	31.2	—	0.010
	7월	14.3	—	0.007
	8월	20.2	—	0.009
	9월	21.7	—	0.008
	10월	30.3	31.9	0.007
	11월	55.1	44.7	0.012
	12월	40.8	30.3	0.012
	‘19년	1월	57.2	39.1
2월		51.6	41.6	0.008
3월		62.7	52.0	0.010

3.2 지점연계분석

- 풍향에 따른 풍상·풍하지점의 변화를 이용하여 두지점간의 농도비교를 통해 배출되는 미세먼지 영향의 가능성을 분석하고자함
- 대난지도 고정측정망과 당진시청사 고정측정망의 일평균 풍향자료를 활용, 바람장미를 통해 계절별 풍향 변화를 관찰하였음
 - 기상청 기후분석 지침에 따라 봄(3월~5월), 여름(6월~8월), 가을(9월~11월), 겨울(12월~2월)로 구분하여 분석을 실시하였음
- 2018년 측정기간 동안 대난지도 측정지점은 계절에 무관하게 북서풍, 남동풍이 주를 이루는 바람으로 확인되며, 당진시청사 측정지점의 경우 봄철 남풍, 남서풍이 주를 이루고 겨울철 북서풍이 주풍으로 관측됨
 - 대난지도 측정지점의 지역적 바람골 생성이 원인으로 판단되며 추가 원인조사가 필요함



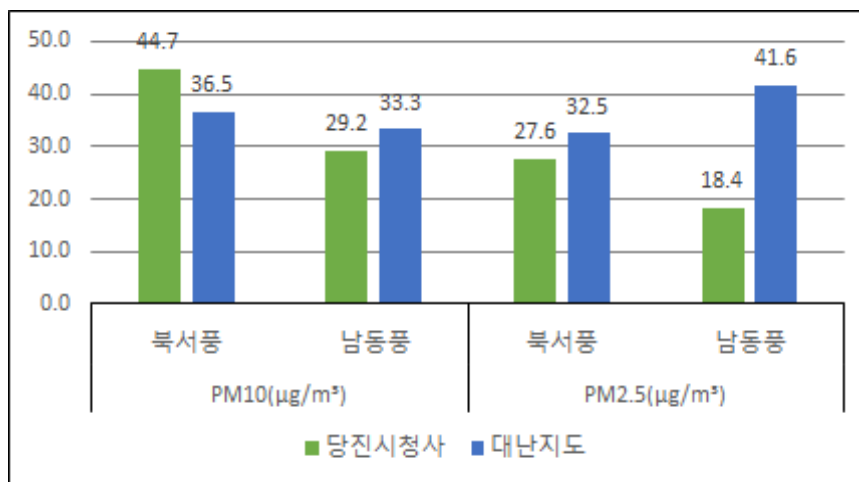
[그림 4.7] 2018년 계절별 바람장미 - 대난지도(좌), 당진시청사(우)

[표 4.9] 당진시청사 고정측정망 측정결과

관측 년 · 월	PM ₁₀ (μ g/m ³)	PM _{2.5} (μ g/m ³)	NO ₂ (ppm)
'18년	2월	—	0.018
	3월	46.1	0.016
	4월	48.7	0.015
	5월	38.5	0.012
	6월	32.9	0.009
	7월	21.6	0.008
	8월	19.7	0.008
	9월	19.5	0.012
	10월	30.1	0.015
	11월	63.4	0.022
	12월	45.5	0.019
'19년	1월	65.2	0.023
	2월	61.0	0.019
	3월	75.5	0.016

- 당진시청사 측정망의 관측기간 PM10과 PM2.5 평균 농도는 각각 43.7μ g/m³, 27.5μ g/m³로 충청남도기준 연평균 환경기준농도를 초과하였으며, NO2의 경우 0.015ppm 으로 연평균 환경기준농도보다 낮은 값을 나타내었음
- 관측된 풍향자료를 사분면으로 구분하여 북서풍(풍상: 대난지도, 풍하: 당진), 남동풍(풍상: 당진, 풍하: 대난지도)일에 해당하는 자료를 구분지어 분석하였음
 - 대난지도 측정소: 북서풍 약167일(45%), 남동풍 약95일(26%)
 - 당진시청사 측정소: 북서풍 약130일(35%), 남동풍 약20일(5%)
- 그 결과, 북서풍 발생 시 PM10 농도는 당진시청사에서 평균 44.7μ g/m³, 대난지도에서 평균 36.5μ g/m³가 관측되며 풍하지점에서 약 8μ g/m³의 농도가 증가하였으며 이와 반대로 남동풍 발생 시 당진시청사에서 평균 29.2μ g/m³, 대난지도에서 평균 33.3μ g/m³가 관측되며 풍하지점에서 약 4μ g/m³의 농도차가 발생하였음

- 이는 북서풍 발생 시 당진시청사 측정지점에 당진화력발전소, 대산산업단지, 석문산업단지 등 대기오염물질 발생에 따른 영향이 존재할 것으로 판단되어 이에 대한 추가적인 조사가 필요함
- 하지만 PM_{2.5}농도의 경우 북서풍, 남동풍과 무관하게 상시 대난지도측정지점이 당진시청사 측정지점보다 높은 농도가 관측되었으며, 북서풍 발생 시 당진시청사에서 평균 $27.6\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대난지도에서 평균 $32.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 보였으며 남동풍 발생 시 당진시청사에서 평균 $18.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 대난지도에서 $41.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타내었음
 - － 당진시청사 지점의 경우 PM₁₀과 마찬가지로 남동풍 발생 시 오염농도가 감소하지만, 대난지도 측정지점의 경우 PM₁₀과 PM_{2.5}의 풍향에 따른 농도변화가 일정하지 않으며, VOCs, O₃ 등에 의한 2차생성 미세먼지 발생에 대한 원인으로 판단되며 이에 대한 추가원인 조사가 필요함



[그림 4.8] 풍향에 따른 측정지점 미세먼지 농도 분석

제5장 기후환경정보 시스템 구축

1. 시스템 개요
2. 시스템 설계
3. 모델링 운영

1. 시스템 개요

1.1 기후환경정보 시스템 개요

- 본 연구에서 생성되는 기후환경정보를 효율적으로 관리하고 활용하기 위하여 기후환경통합 정보 DB 설계하고 그 외의 데이터를 연계하기 위한 방안을 마련하도록 하는 시스템을 구성함



[그림 5.1] 기후환경정보 시스템 개요

1.2 기후환경정보 시스템 구성도

- 기후환경정보 수집 및 모델링 필요한 각종 데이터를 연계 수집하고 통합하여 DB를 구축하고, 대기질 모델링을 통한 분석하여 대기환경 정책효과 및 민원 대응방안 수립의 기반 마련



[그림 5.2] 기후환경정보 시스템 구성도

2. 시스템 설계

2.1 요구사항 설계

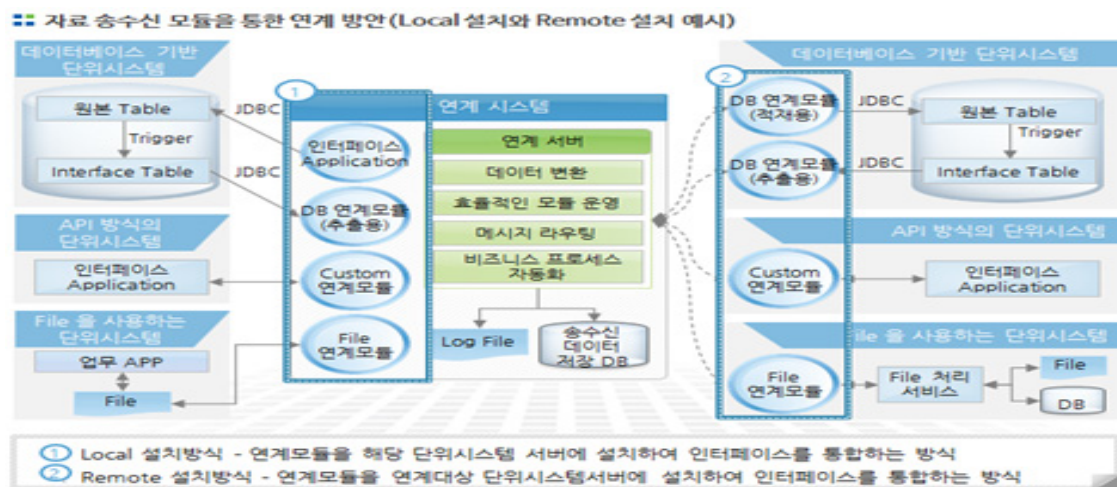
- 화력발전소 주변지역 기후환경 정보 및 모델링 연구의 요구사항은 연구내용을 중심으로 기후환경 정보 및 모델링 시스템 구현 단계에서 수정 및 보완이 가능하도록 유연하게 설계하고자 하는 방향성을 가지고 진행
- 요구사항 정의서는 대분류로 기후환경정보 통합 DB 설계, 고정측정망 연계 DB 설계 및 모델링 시스템 설계 구축 방안으로 구분하여 설계하고 진행하고 하였으며, 아래의 표와 같이 요구사항 정의서 목록을 작성하였음

[표 5.1] 요구사항 정의서 목록

구분	요구사항명	설명	비고
기후환경정보 통합DB 설계	기후 환경정보 DB 설계	- 미기후 모니터링 자료, 화력발전소 주변 간이측정망자료, 기후환경 영향연구에서 발생하는 기타 연구자료의 DB 설계	
	기후 환경정보 통합 DB 구축을 위한 연계방안 마련	- 기후 환경정보 자료 분석을 통한 데이터 연계 방안 설계	
고정측정망 DB설계 및 민간측정망 연계방안 설계	고정측정망 DB 설계	- 화력발전소 주변지역 기후환경영향 연구” 에서 운영하는 고정측정망 자료 관리 및 정보연계를 위한 DB 설계	
	민간측정망 연계방안 설계	- 민간에서 운영 중인 대기질 측정망 자료확보를 위한 연계 방안 마련	
모델링 시스템 설계 및 구축 방안 마련	모델링 시스템 구축을 위한 DB 설계	모델링 운영을 위한 자료 관리 DB 설계	
	모델링 시스템 설계	- 기상자료 수집을 위한 방안 설계	
		- 국외배출량, 자연오염배출량, 국내배출량 자료 처리 방안 설계	
		- 모델링 운영을 위한 시스템 방안 설계	
	모델링 시나리오 구성 및 기본 모델링 구현	- 모델링 운영 시나리오 방안 마련 - 기본적인 현황 파악을 위한 모델링 운영 - 향후 시스템 발전방안 설계	

2.2 인터페이스 설계

- 본 연구결과의 효과적인 수집과 각종 정보를 수집하기 위한 방법으로 데이터 베이스 기반 단위 시스템과 API 기반 단위 시스템, 파일 단위 시스템 데이터등을 구분하여 송수신하는 자료 송수신 모듈에 대하여 설계함



[그림 5.3] 자료 송수신 모듈을 통한 연계 방안

- 각 단위 시스템과 자료의 유형이 다름에 따라 연계할 수 있는 방식이 다르게 됨에 그 방안에 대하여 각각 정리하여 아래의 표에 정리함

[표 5.2] 연계 서비스 유형

구 분	내 용
데이터베이스 기반 단위시스템	<ul style="list-style-type: none"> - DB 연계모듈을 연계대상시스템에 설치하여 DB 에 직접 Access - DB 연계모듈을 해당단위시스템에 설치하여 DB 에 Remote Access
API 방식의 단위시스템	<ul style="list-style-type: none"> - 연계대상시스템이 제공하는 API를 이용하여 연계 모듈 구현 설치 - API연계모듈을 연계대상시스템에 설치하여 인터페이스 대상 Application 에 직접 Access - API 연계모듈을 해당 시스템에 설치하여 지역콜센터의 인터페이스 대상 Application에 Remote Access
File 을 사용하는 단위시스템	<ul style="list-style-type: none"> - 송신 서버에서 전송할 File 정보를 생성 - File연계모듈을 연계대상시스템에 설치하여File 에 직접 Access - File 연계모듈을 해당시스템에 설치하여 File 에 Remote Access

- 인터페이스 설계는 외부데이터인 기상청자료, 미기후자료, 간이측정망자료, 고정측정망자료, 대기오염측정망자료, 민간측정망 자료, 기타 연구 자료의 연계 서비스를 위해 설계하였으며 연계 서비스 목록은 아래와 같음

[표 5.3] 연계 서비스 목록

인터페이스 ID	서비스명	설명	출처
IF01	기상청자료 연계	기상청 API를 이용하여 기상 자료(풍향, 풍속, 온도, 습도 등)의 연계 서비스	data.go.kr
IF02	미기후자료 연계	미기후를 모니터링 하기 위한 자료(풍향, 풍속, 온도, 습도 등)의 연계 서비스	
IF03	간이측정망 자료 연계	간이 측정망 자료(NO2, O3, SO2, PM10, 중금속 등) 연계	
IF04	고정측정망 자료 연계	고정측정망 자료(NO2, O3, SO2, PM10, 중금속 등) 연계	
IF05	대기오염측정망 자료 연계	Airkorea OpenAPI를 이용한 대기오염측정망자료 연계	airkorea.or.kr
IF06	민간측정망 자료 연계	민간에서 운영 중인 대기질 측정망 자료확보를 위한 연계	data.go.kr
IF07	기타연구 자료 연계	생물자원정보 API를 이용한 자료 연계	naris.go.kr

2.3 데이터베이스 설계

- 데이터베이스는 효과적이고 안정적으로 운영하기 위하여 데이터 표준화를 수립
 - 데이터 관리체계 구축, 데이터 표준화, 데이터 정합성 검증, 자료이과 방안 수립



[그림 5.4] 데이터 표준화 개요

○ 데이터 표준화 방안

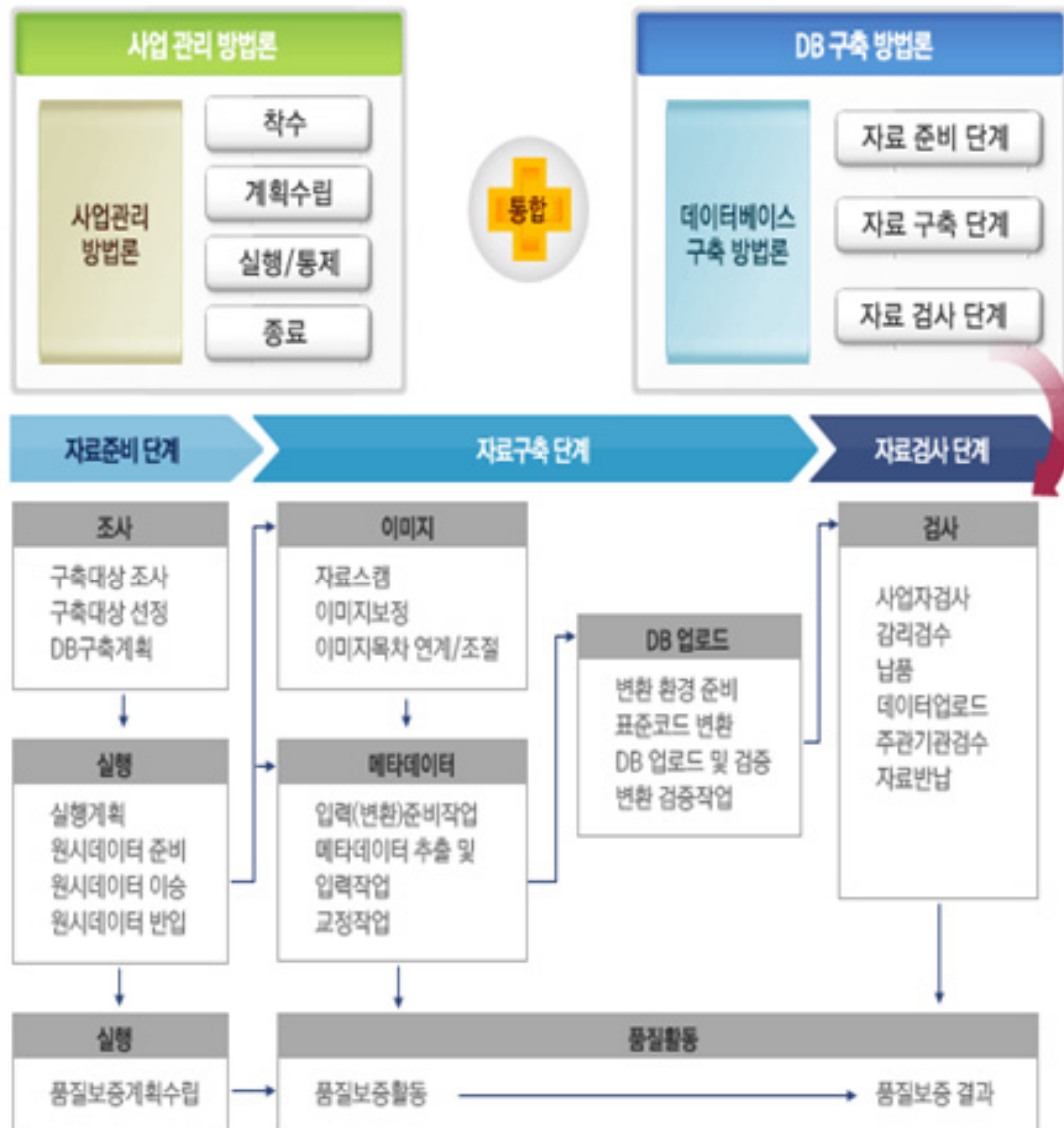
- 데이터 표준화는 시스템별로 산재해 있는 데이터 정보 요소에 대한 명칭, 정의, 형식, 규칙에 대한 원칙을 수립하여 이를 전사적으로 적용하는 것을 의미하며, 이러한 데이터 표준화 작업은 데이터의 정확한 의미를 파악할 수 있게 할 뿐만 아니라 데이터에 대한 상반된 시각을 조정하는 역할을 수행
- 데이터 표준화를 통한 데이터 구축은 데이터 표준화 작업, 데이터 활용성을 고려한 데이터 설계, 방법론에 따른 체계적인 이행 순으로 수행



[그림 5.5] 데이터 표준화 방안

○ 데이터 베이스 설계방법론

- DB 설계 방법론은 사업관리 방법론과 DB구축 방법론을 통합하여 수행할 수 있는 방안을 적용
- 자료준비 단계, 자료구축 단계, 자료검사 단계의 순으로 수행



[그림 5.6] DB 설계 방법론

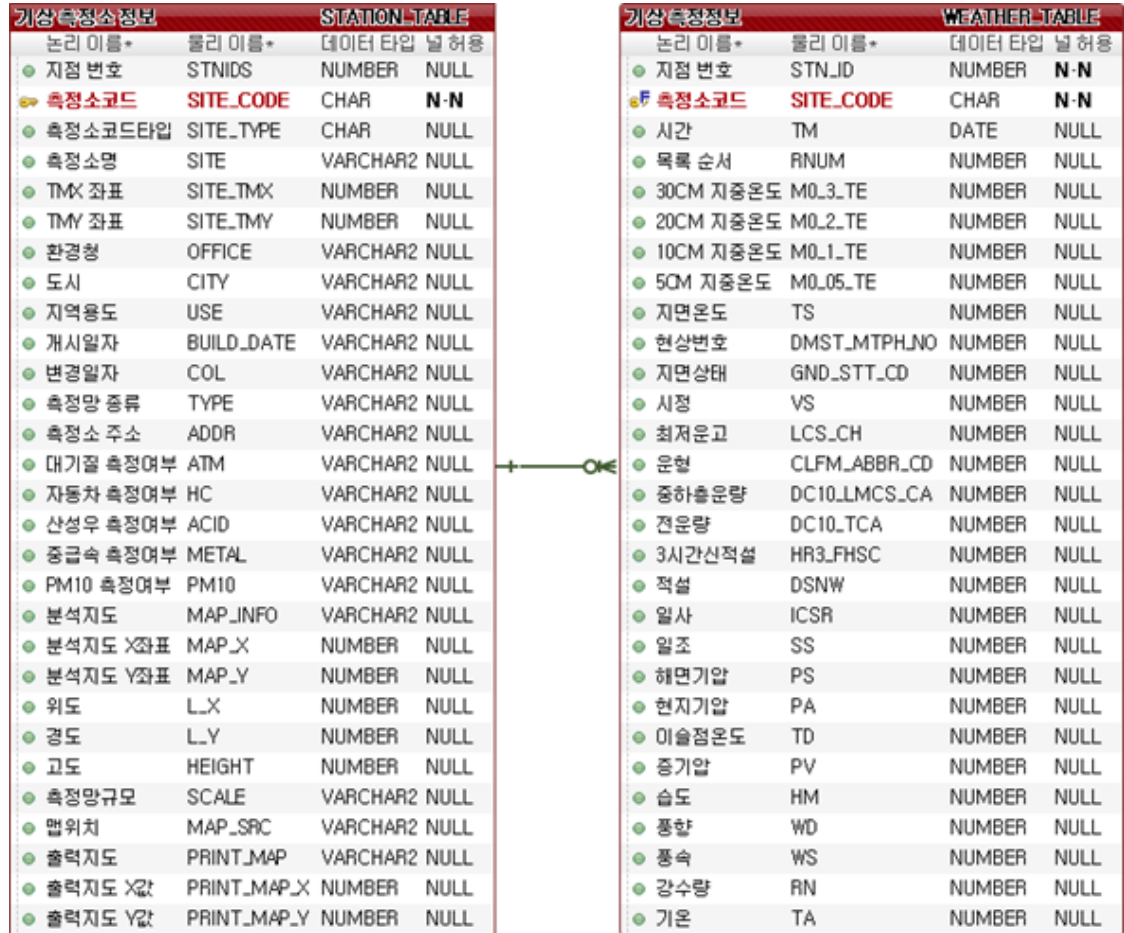
- ○ 데이터 베이스 테이블 목록
- 기후환경정보에 관련된 통합된 DB를 운영하기 위한 테이블 목록을 아래와 같이 설계함

[표 5.4] 데이터베이스 테이블 목록

테이블명(영문)	테이블명(한글)	관련 엔터티명	테이블 설명
AEIS_CONFIG	환경설정	환경데이터	환경기준, 실시간 감시 범위 설정 등의 데이터를 설정하는 테이블
AEIS_STANDARD	표준범위	표준데이터	표준범위를 설정하는 테이블
AEIS_USER	관리자유저	관리자데이터	관리자 정보를 저장하는 테이블
AREA_TABLE	지역	지역데이터	지역정보 데이터를 저장하는 테이블
DATA_REVISION_HISTORY	수정내역	수정데이터	수정내역을 저장하는 테이블
DUSTCALENDAR	미세먼지달력	환경데이터	미세먼지달력 데이터를 저장하는 테이블
FIVE_TABLE	5분	5분데이터	5분 데이터를 저장하는 테이블
FLAG_CATEGORIZE_INFO	플래그카테고리	플래그데이터	플래그 분류별 정보를 저장하는 테이블
FLAG_INFO	플래그정보	플래그데이터	플래그 정보를 저장하는 테이블
HOURLY_TABLE	시간	시간데이터	시간데이터를 저장하는 테이블
ITEM_TABLE	항목	항목데이터	항목데이터를 저장하는 테이블
MON_REPORT_TABLE	월요약레포트	월요약데이터	월별 데이터를 저장하는 테이블
USER_LOG_TABLE	사용자로그	사용자데이터	사용자 접속 로그를 저장하는 테이블
YEAR_REPORT_TABLE	연요약레포트	연요약데이터	연별 데이터를 저장하는 테이블
WEATHER_TABLE	기상자료	기상데이터	일시별 기상데이터를 저장하는 테이블
STATION_TABLE	기상측정지점 자료	기상측정지점데이터	기상 측정 지점 데이터를 저장하는 테이블
KINGDOM_INFO_TABLE	분류계정보	분류계정보	분류계 정보를 저장하는 테이블
PHLM_INFO_TABLE	분류군정보	분류군정보	분류군 정보를 저장하는 테이블
SPECIES_INFO_TABLE	종정보	종정보	종 정보를 저장하는 테이블
SPECIES_SOUND_TABLE	음성정보	음성정보	종에 관한 음성정보를 저장하는 테이블
SPECIES_MOVIE_TABLE	동영상정보	동영상정보	종에 관한 동영상정보를 저장하는 테이블
SPECIES_SAMPLE_TABLE	표본정보	표본정보	종에 관한 표본정보를 저장하는 테이블
SPECIES_OBSERVE_TABLE	관찰정보	관찰정보	종에 관한 관찰정보를 저장하는 테이블
PASSIVE_INFO	패시브 샘플러 정보	샘플러 정보	패시브 샘플러에 대한 정보를 저장하는 테이블
PASSIVE_DATA	패시브 샘플러 측정데이터	샘플러 데이터	패시브샘플러 측정데이터를 저장하는 테이블

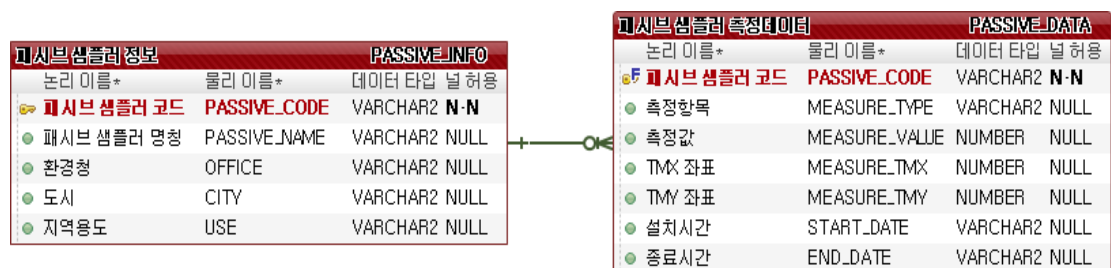
○ ER 다이어그램

－ 기상정보 ER 다이어그램



[그림 5.7] 기상정보 ER 다이어그램

－ 간이측정망 ER 다이어그램



[그림 5.8] 간이측정망 ER 다이어그램

2.4 시스템 화면 설계

○ 개요

- 화면설계는 화력발전소 주변지역 기후환경 정보 및 모델링 연구의 결과물을 기반으로 시스템 구현시 페이지 구성을 위한 단계로 화면설계서는 선(Wire)으로 이루어진 화면 구조(Frame)를 표현하는 방식으로 메인화면화면, 자료조회화면, 통계화면으로 구성함

○ 화면설계 내역

- 메인화면 안은 상단 메뉴, 측정지점 현황, 실시간 그래프 등 주요관심사항에 대하여 바로가기 메뉴 등으로 구성

화면명	메인화면	화면 설명
		<p>1 자주 사용하는 기능으로의 바로가기 링크 및 최근 등록 게시물이나 자료를 링크할 수 있는 슬라이드 배너를 화면중앙에 배치</p>

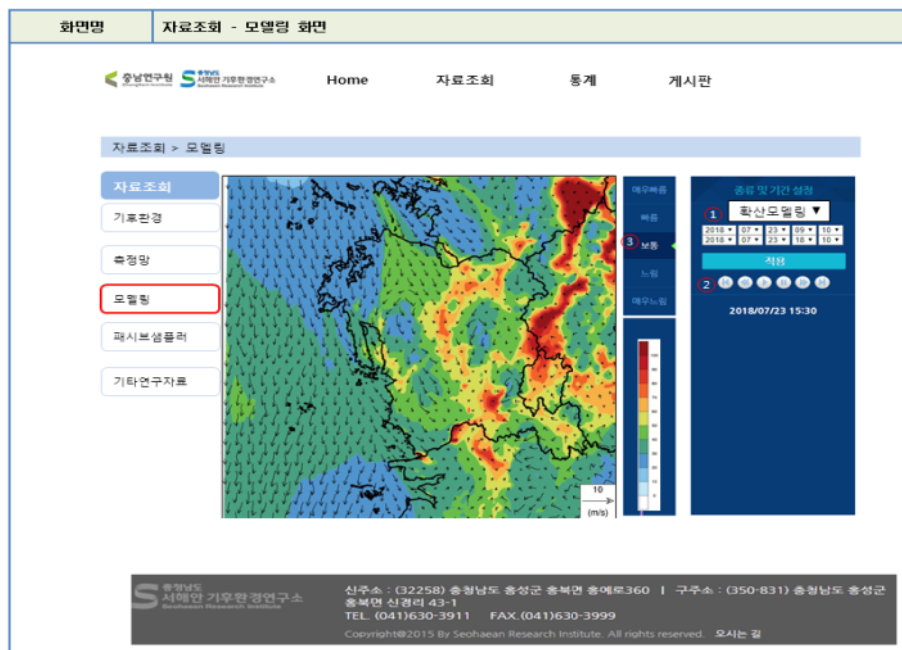
[그림 5.10] 메인화면 설계(안)

- 자료조회화면 안은 상단 메뉴, 자료 유형별 이동, 측정지점, 측정기간 선택조회 및 엑셀 저장의 메뉴로 화면을 설계함

화면명	자료조회 - 기후환경 화면	화면 설명
		<ol style="list-style-type: none"> 1. 미기후자료, 간이측정망 등의 기후환경자료를 조회할 수 있는 화면 2. 측정지점, 조회기간을 선택하여 검색 3. 선택자료, 그래프출력, 엑셀저장 ④ 측정지점과 조회기간을 선택할 수 있다. ⑤ 검색버튼을 클릭하여 조회 ⑥ 조회결과를 그래프출력 및 엑셀저장

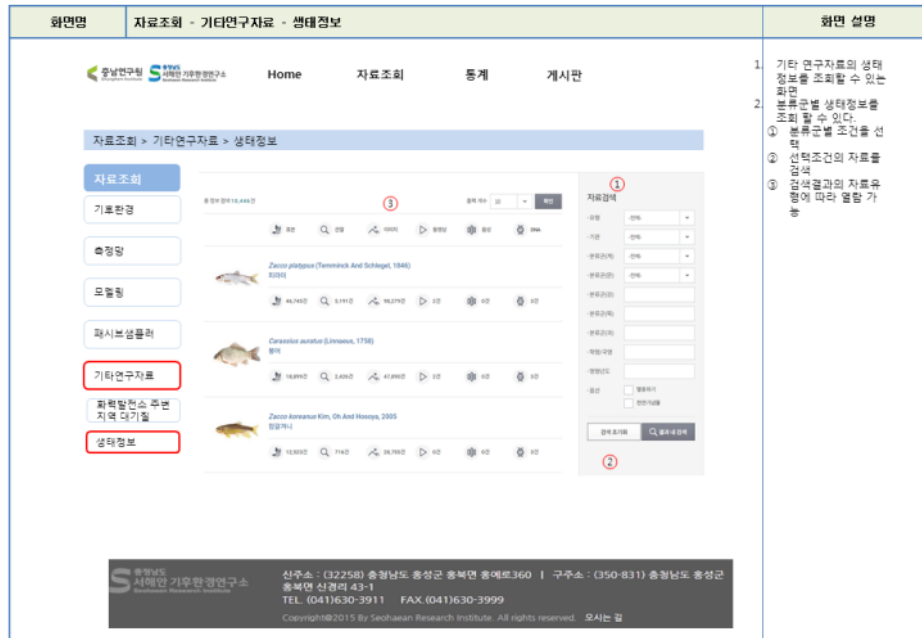
[그림 5.11] 자료조회 화면 설계(안)

- 자료조회화면 중 모델링 자료 조회시 모델 종류 및 기간 선택조회, 자동재생 및 제어를 할 수 있는 방안으로 설계함

화면명	자료조회 - 모델링 화면	화면 설명
		<ol style="list-style-type: none"> 1. 모델링결과를 조회할 수 있는 화면 2. 종류 및 기간은 선택하여 적용 ① 종류 및 조회기간을 선택할 수 있다. ② 제어 버튼을 클릭하여 이동 및 재생 ③ 재생속도 조절

[그림 5.12] 모델링 자료 조회 화면 설계(안)

- 자료조회화면 중 기타연구 자료 조회 설계화면은 생태계 정보 등을 조회할 수 있는 화면으로 설계함



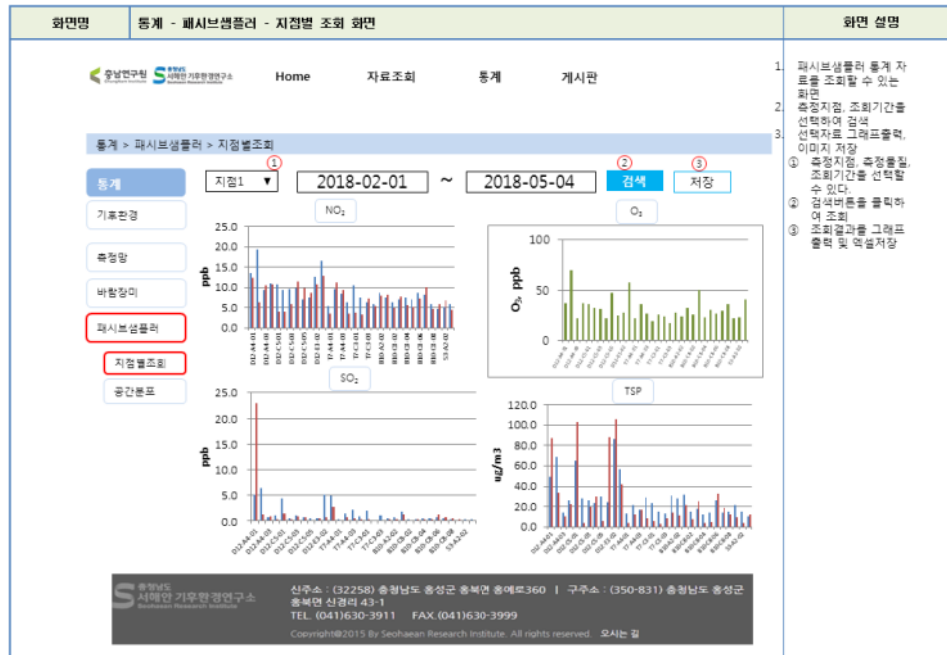
[그림 5.13] 기타연구자료 조회 화면 설계(안)

- 통계화면에 대한 설계는 상단 메뉴, 자료 유형별 선택, 측정지점, 측정기간 조회 및 엑셀로 저장할 수 있는 화면으로 설계함



[그림 5.14] 기후환경 통계 조회 화면 설계(안)

- 통계화면 중 간이측정망에 대한 통계 조회 화면은 각종 그래프 등으로 추세 및 공간분포를 분석 할 수 있도록 구성함



[그림 5.15] 간이측정망 통계 조회 화면 설계(안)

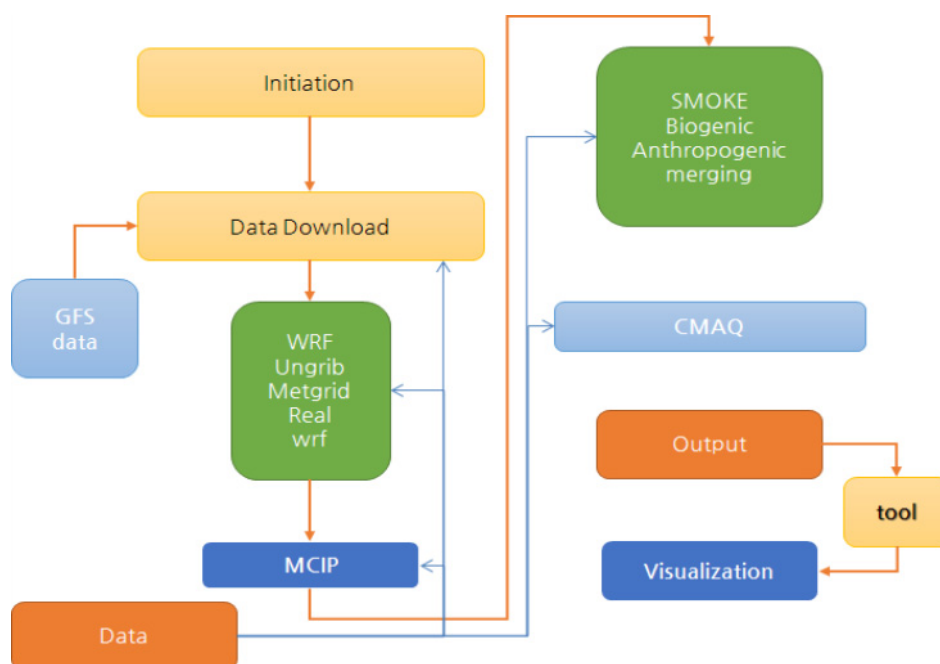


[그림 5.16] 간이측정망 공간분포 화면 설계(안)

2.5 모델링 시스템 설계

○ 모델링 시스템 설계 기본 방향

- 본 연구에서는 오염물질의 배출, 화학적 반응, 이동 및 확산 현상에 대한 고려가 가능한 모델과 확산모델 중 CALPUFF 모델을 중심으로 대기질 모델링 시스템을 고려대상으로 설계함
- 전구 규모 기상장/중규모 및 도시규모 WRF모델/MCIP 기상장을 연동 생산체계 구축
- 모델링 운영을 위한 기상-배출량-대기화학 수치 모델이 결합된 시스템으로 장기간의 지속적인 구동을 위한 안정적인 시스템을 구축
- [그림 4.2]에 모델들의 작동 플로차트 (Flowchart)를 보여주며, 구동/데이터 체크/대기모델/배출량 모델/대기화학 모델/자료 추출/평가의 전 단계는 자동화된 스크립트에서 의해서 동작되게 설계
- 대기/배출량/대기화학 모델의 구동까지는 단계는 LINUX 시스템에 기본 탑재된 셸 스크립트에 의하여 구동되게 되며, 자료의 추출과 시각화 및 평가는 NCL 등을 이용하여 처리하게 설계



[그림 5.17] 모델링 시스템의 구축 설계

○ 도메인 설계

- 대기질 도메인은 국내 대기정책을 위한 대기질 모델링의 기본 구성 설정에 준하여 구성함
- 모사영역은 일반적으로 등지화 기법(nested method, 격자 비율 3:1 즉 27km→9km→3km→1km로 동아시아부터 대상지역에 대한 격자를 구성)을 사용하며 충남 권역의 모델운영을 위해 광역도메인인 동아시아 권역을 시작으로 한반도, 중부권, 충남권역으로 nesting 함

[표 5.5] 대기질 모델링을 위한 도메인 설계 내역

구 분	설 명			
도메인중점	126° E, 38° N			
지도투영법	Lambert conformal conic			
표준위도선	30° , 60°			
도메인이름	동아시아	한반도	중부권	충남권역
	cn_d27_01	cn_d09_01	cn_d03_01	cn_d01_01
격자 크기 및 개수	27km	9km	3km	1km
	118×125	79×94	76×112	166×166
X-orgen	-1,579,500m	-234,000m	-33,000m	-2,000m
X-orgen	-1,674,000m	-639,000m	-303,000m	-245,000m
도메인 영역				

○ 물리/화학/수송 알고리즘 적용 방안

- 대기질 도메인은 광화학 수송 대기질 모델링에 적용은 CMAQ을 중심으로 설계하였으며, 물리, 화학, 확산 처리방법 옵션을 아래 표에 정리함.

[표 5.6] CMAQ에 적용되는 물리·화학·확산 알고리즘 적용 설계 내역

Module	Description
Control/Utility Modules	ModDriver Model data flow and synchronizing of fractional time steps
	ModInit 초기 내용 설정
Science Modules	ModHadv 수평 이류
	ModVadv 연직 이류
	ModHdiff 수평 확산
	ModVdiff 연직 확산
	ModChem Gas-phase reactions and cloud mixing
	ModCloud 구름효과 가정
	ModAero 에어로솔 역학과 크기분포
	ModPing Plume chemistry effects
Data Estimation Modules	ModPhot 광분해 속도
	ModAdepv 에어로솔 침착속도 추정

○ 기상모델 입력자료 구성

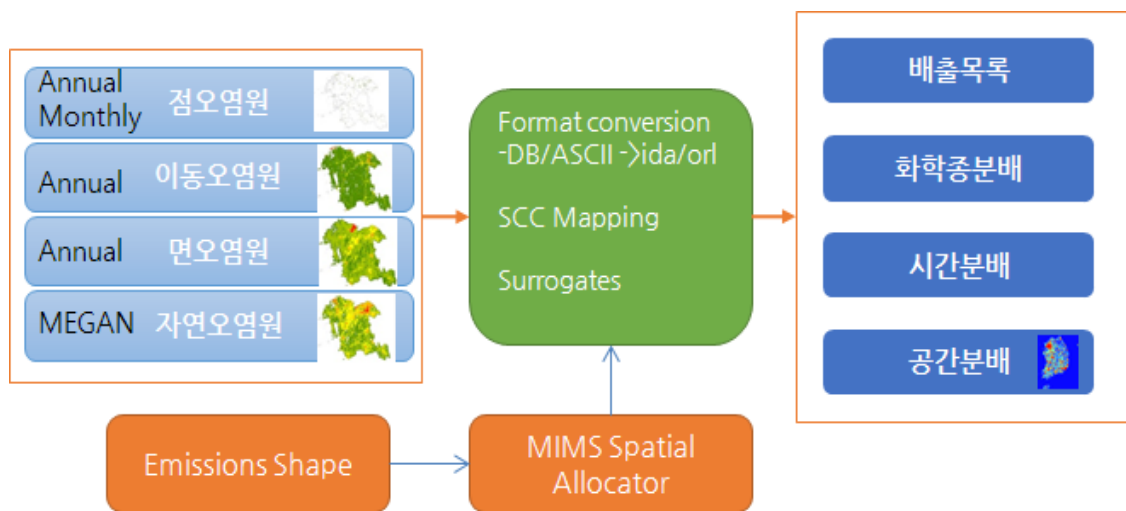
- 기상 모델은 WRF version 3.9.1을 이용하여 설계하였으며, 기상초기장의 경우 NCEP(National Centers For Environmental Prediction)/ FNL(Final Global Reanalysis) 자료를 활용하도록 구성하였음도메인은 광화학 수송 대기질 모델링에 적용은 CMAQ을 중심으로 설계하였으며, 물리, 화학, 확산 처리방법 옵션을 아래 표에 정리함

[표 5.7] 기상모델 입력 자료 구성

구분	Description
WRF	Version 3.9.1
Global Met Input	FNL
Landuse	KMOE / SRTM
Micro Physics	WSM6(Hong and Lim, 2006)
Cumulus scheme	Kain-Fritsch(kain 2004)
Long wave radiation	RRTM(Mlawer et al. 1997)
Short wave radiation	Goddard (Chou and Suarez 1999)
PBL scheme	YSU(Hong et al. 2006)
LSM scheme	NOAH(Chen and Duhia 2001)

○ 배출량 입력자료 설계

- 배출량 입력자료는 대기질 모델링 시 요구되는 필수적인 입력자료로서 인위적 배출량과 자연 배출량으로 구분됨
- 본 설계에서는 인위적 배출량 자료는 국립환경과학원에서 제공하는 CAPSS(Clean Air Policy Support System) 자료를 이용할 수 있도록 설계하였으며, 국외자료는 MICS-Asia III 2010년 자료를 적용하는 것으로 설계



[그림 5.18] SMOKE 모델 배출량 입력자료 전처리 과정 설계

- 자연 배출량의 경우 MEGAN(Model of Emission of Gases and Aersols from Nature)를 적용하여 설계함.
- 지표 자연 식생에 의한 오염물질의 배출량 계산하는 식은 다음과 같다(Guenter et al., 2006)

$$E_i = A_j \times \epsilon_{ij} \times \gamma_i$$

E_i : 화합물 i의 배출속도($\mu\text{g/hr}$)

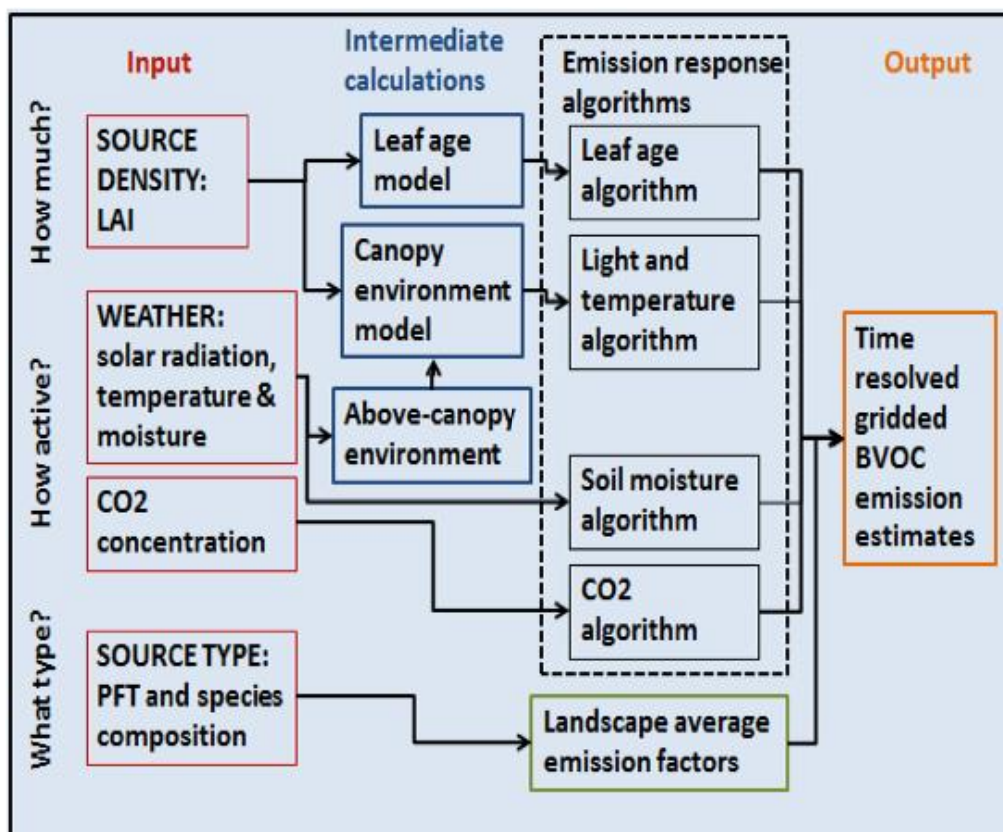
A_j : 식생유형별(j)로 차지하는 면적(m^2)

ϵ_{ij} : 식생 j에서 배출되는 화합물 i에 대한 배출계수($\mu\text{g/m}^2/\text{hr}$)

γ_i : 화합물 i의 배출 활동도

[표 5.8] 자연배출량 처리 모델인 MEGAN 모델 입력 자료 구성

구분	Description
PFTF (Plant Functional Type Fraction)	Development PFT DB for MEGAN to calculate PFT-dependent emission activity
LAI (Leaf Area Index)	Development LAI DB for MEGAN to calculate LAI-dependent emission activity
EF (Emission Factor)	Calculation of net canopy emission activity
Temperature	Calculate temperature-dependent emission activity
Solar radiation	Calculate light-dependent emission activity



[그림 5.19] 자연배출량 처리를 위한 MEGAN 구조도

3. 모델링 운영

3.1 모델링 운영 개요

- 앞 절에서 설계한 모델링 시스템을 적용하여 미세먼지 저감조치의 효과를 분석할 수 있는 모델링 운영을 하였음
- 환경부에서는 2018년 11월 7일 비상저감조치에 의하여 노후경유차 운행과 화력발전소 최대 출력을 제한한 미세먼지 비상저감조치로 하루 평균 4.7%의 감축 효과가 있었던 것으로 나타났다(뉴스1, 2018.11.12.)고 보고하고 있음
- 이에, 화력발전소의 의한 미세먼지 고농도 사례가 발생한 2018년 11월 7일과 2019년 3월 1일 ~ 7일까지의 충남지역의 화력발전소의 비상조치에 따른 효과를 분석하고자 함

[표 5.9] 비상저감조치 발령에 따른 모델링 운영 시나리오

구분	내용
<p>시나리오 1 (2018년 11월 7일)</p>	<p>7일 비상조치 실행 (태안, 보령 화력발전소 발전효율 80%로 운영시 저감 효과 분석)</p>
<p>시나리오 2 (2019년 3월 1일 ~ 7일)</p>	<p>1일 ~ 7일 비상조치 실행 (당진, 태안, 보령, 신보령 화력발전소 저감조치에 따른 효과 분석)</p>

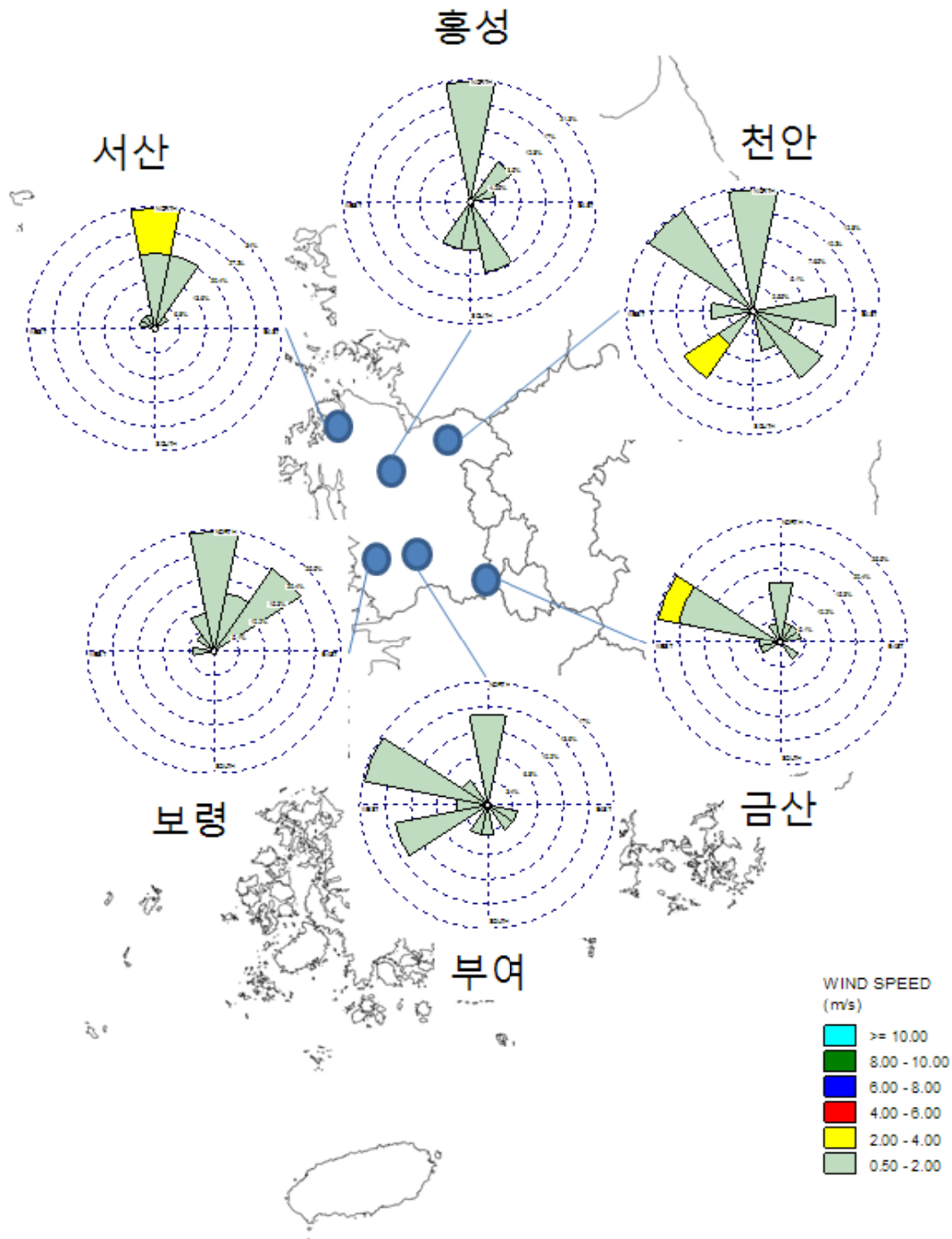
3.2 시나리오1 분석 결과

- 시나리오1은 2018년 11월 7일 미세먼지 비상저감에 조치에 따라 태안 및 보령화력발전소에서 발전효율을 80%로 저감하는 조치를 취하였으며, 이에 따른 미세먼지 저감효과를 앞서 설계한 모델링 시스템을 적용하여 분석함
- 기상현황 분석
 - 2018년 11월 6일과 7일 충남지역 중관기상관측소에 대한 기상개황을 아래 표에 정리하였으며, 평균 풍속은 0.5 ~ 0.6 m/sec로 거의 무풍 수준으로 나타남.

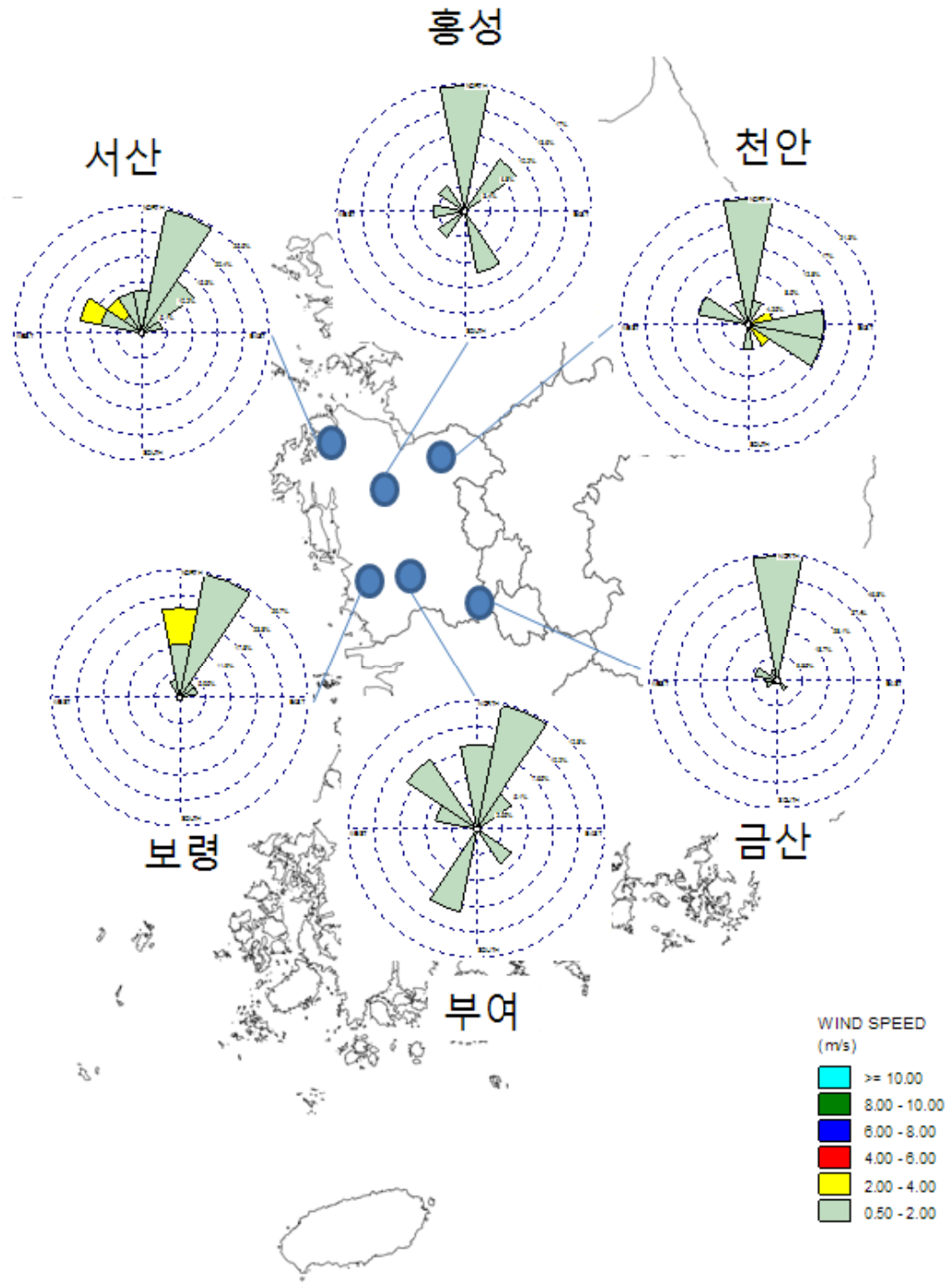
[표 5.10] 충남지역 중관기상 관측소 기상 현황

일자	지점	기온	풍속	습도	해면기압
11월6일	서산	11.0	0.7	89.7	1025.3
11월6일	홍성	10.5	0.5	92.6	1025.0
11월6일	천안	9.7	0.7	74.0	1025.3
11월6일	보령	12.0	0.7	84.3	1024.3
11월6일	부여	9.9	0.6	80.7	1025.3
11월6일	금산	9.1	0.7	72.3	1025.3
평균		10.4	0.6	82.3	1025.1
11월7일	서산	13.1	0.8	85.6	1024.8
11월7일	홍성	12.6	0.3	91.5	1024.5
11월7일	천안	11.5	0.6	87.6	1024.9
11월7일	보령	13.2	0.7	82.8	1023.6
11월7일	부여	11.6	0.4	96.2	1024.8
11월7일	금산	10.5	0.4	88.1	1025.0
평균		12.1	0.5	88.6	1024.6

- 충남지역의 풍향 및 풍속의 특성을 파악하고자 바람장미도를 아래의 그림과 같이 정리하였음



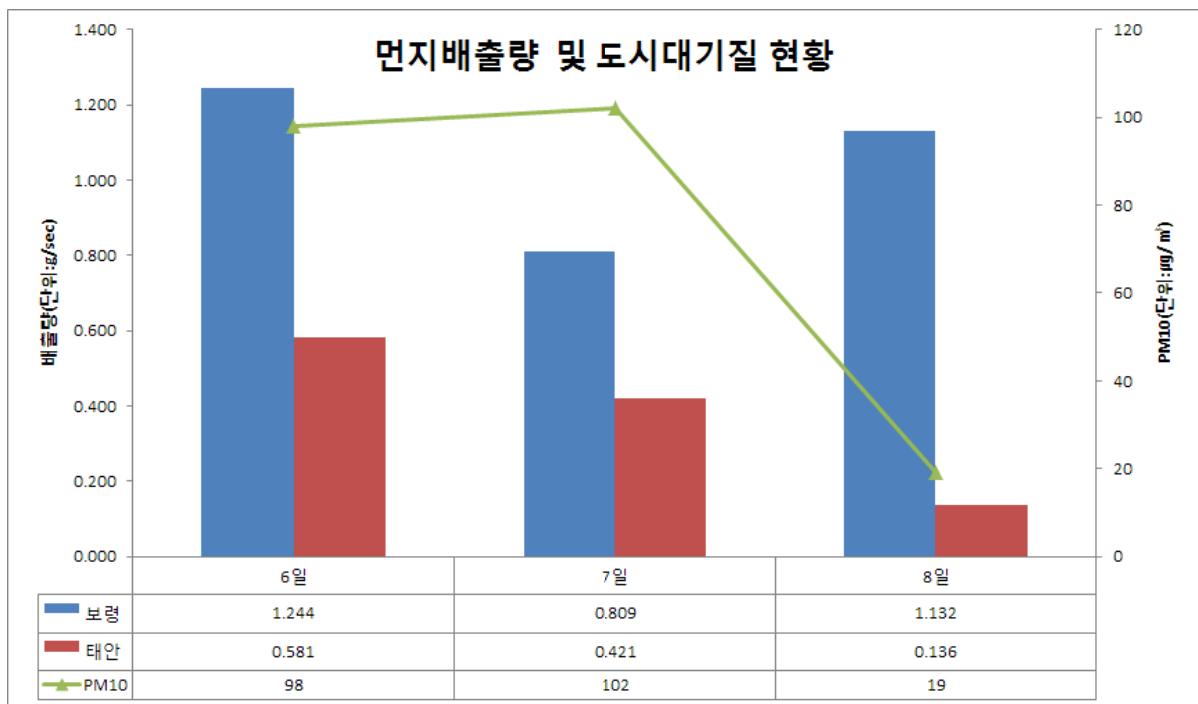
[그림 5.20] 충남지역 바람장미도(11월 6일)



[그림 5.21] 충남지역 바람장미도(11월 7일)

○ 화력발전소 먼지 배출량 현황

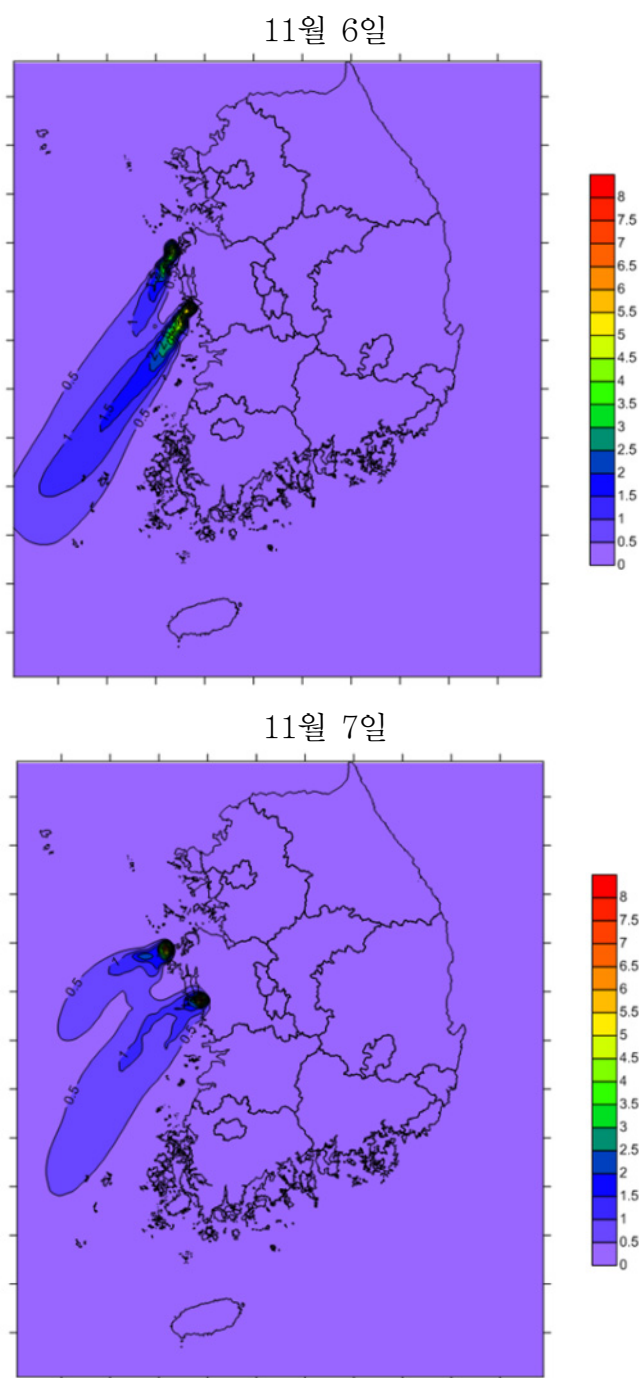
- 보령 화력발전소 TMS에서 실측한 먼지 배출량은 11월 6일 1,244 g/sec에서 7일 0.809 g/sec로 35% 정도 감소하였으며, 태안 화력발전소 TMS에서 실측한 먼지 배출량은 0.581 g/sec 에서 7일 0.421 g/sec로 27.6% 감소하였음
- 11월 6일 충남지역 대기오염 PM10 평균은 98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 7일 102 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 소폭 증가하였음



[그림 5.22] 비상저감조치에 따른 화력발전소 배출량 및 충남지역 PM10 농도현황

○ 저감효과 분석

- 태안 및 보령화력발전소의 배출량을 적용하여 11월 6일 모델링결과 풍향이 전반적으로 북동풍 계열의 영향으로 남서쪽 바다로 영향을 주는 것으로 나타남



[그림 5.23] 미세먼지 모델링 결과

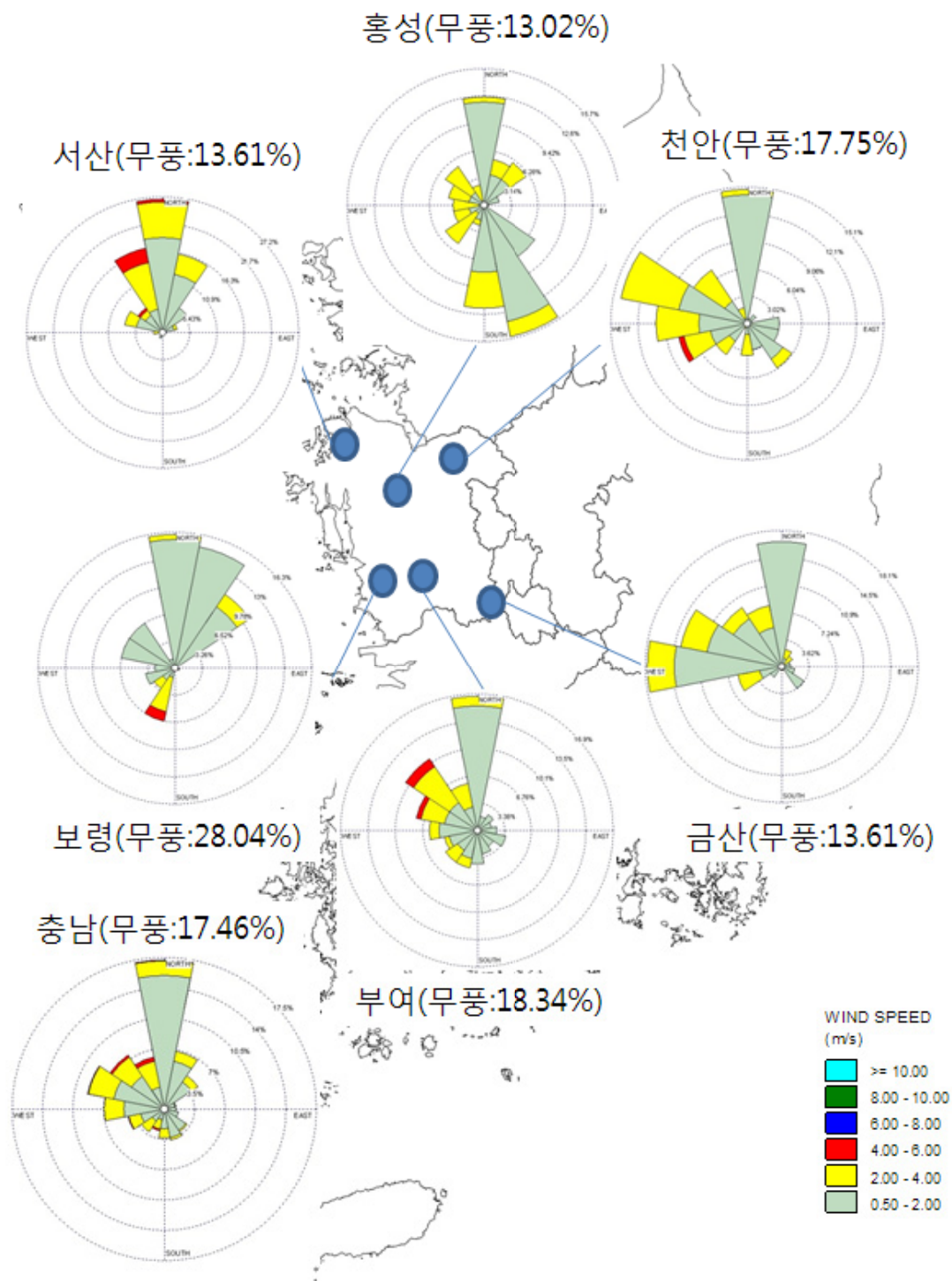


3.3 시나리오2 분석 결과

- 시나리오2는 2019년 3월 1일부터 7일까지 미세먼지 비상저감에 조치에 따라 당진, 태안, 보령 및 신보령화력발전소에서 비상조감조치를 이행하였으며, 이에 따른 미세먼지 저감효과를 앞서 설계한 모델링 시스템을 이용하여 분석함
- 분석기간 기상현황
 - － 3월1일부터 7일까지의 풍향/풍속 특성을 아래의 그림과 같이 표현하였으며, 이 기간 충남 전체적으로 무풍의 빈도가 17.34%로 나타났으며, 0.5 ~ 2.0 m/s 이하의 풍속이 60.95%로 나타남

[표 5.13] 충남지역 풍향/풍속 등급별 빈도 분포 현황

풍향/풍속	0.5 - 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 6.0	6.0 - 8.0	8.0 - 10.0	>= 10.00	Total (%)
N	15.46	1.68	0.10	0.00	0.00	0.00	17.24
NNE	5.65	1.19	0.00	0.00	0.00	0.00	6.84
NE	3.77	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	4.66
ENE	1.29	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39
E	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.29
ESE	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.68
SE	2.97	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	3.17
SSE	3.27	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	3.57
S	2.28	1.09	0.00	0.00	0.00	0.00	3.37
SSW	1.29	1.09	0.20	0.00	0.00	0.00	2.58
SW	1.59	1.49	0.00	0.00	0.00	0.00	3.07
WSW	2.78	1.39	0.10	0.00	0.00	0.00	4.26
W	4.56	2.28	0.00	0.00	0.00	0.00	6.84
WNW	5.95	2.97	0.10	0.00	0.00	0.00	9.02
NW	4.56	2.68	0.30	0.00	0.00	0.00	7.53
NNW	2.58	3.07	0.50	0.00	0.00	0.00	6.14
Sub-Total	60.95	20.42	1.29	0.00	0.00	0.00	82.66
Calms							17.34



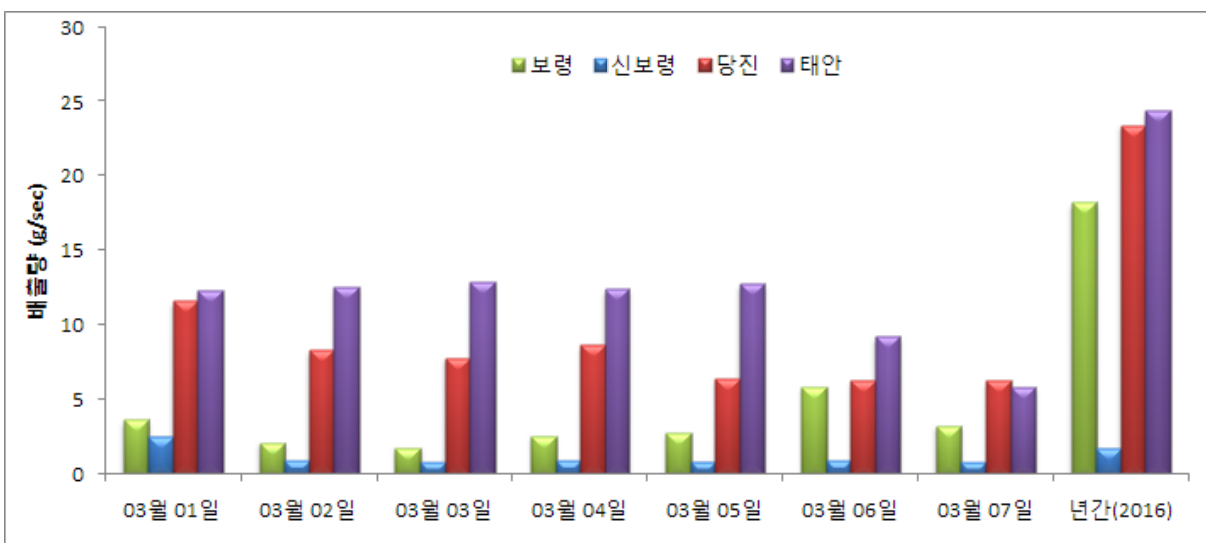
[그림 5.25] 충남지역 바람장미도 특성(3/1 ~ 3/7)

○ 배출량 현황

- 3월1일부터 7일까지의 굴뚝 TMS에서 측정된 자료를 바탕으로 일별 배출량을 산정하였으며, 비교를 위하여 2016년 연간 평균 배출량을 적용하였음
- 3월 1일 신보령화력 발전소를 제외하고는 연간 평균 배출량 보다 적게 배출하고 있는 것으로 나타나고 있으며, 배출비율을 23.78% ~ 44.38%로 나타나, 배출량 측면에서는 연간 평균에 비하여 상당히 저감한 것으로 나타남.

[표 5.14] 화력발전소 먼지 배출량(단위 : g/sec)

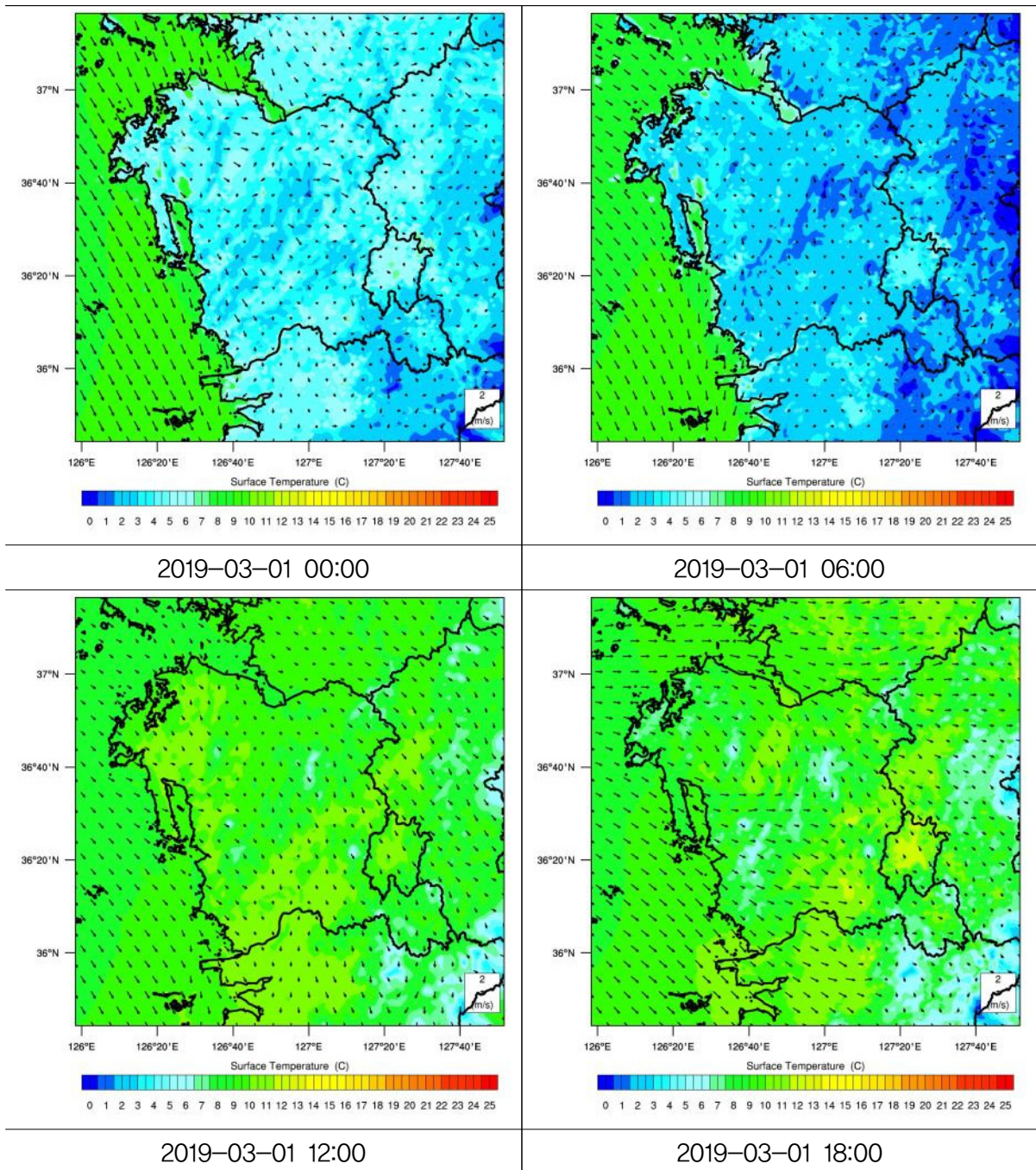
구분	3/1	3/2	3/3	3/4	3/5	3/6	3/7	연간 (2016)
보령	3.65	2.14	1.76	2.59	2.79	5.89	3.23	18.24
신보령	2.53	0.95	0.86	0.94	0.88	0.95	0.83	1.80
당진	11.66	8.35	7.84	8.68	6.44	6.26	6.26	23.44
태안	12.29	12.54	12.89	12.45	12.78	9.23	5.82	24.41
합계	30.13	23.99	23.35	24.66	22.88	22.33	16.15	67.89
연간 대비 (%)	44.38	35.34	34.40	36.32	33.70	32.89	23.78	



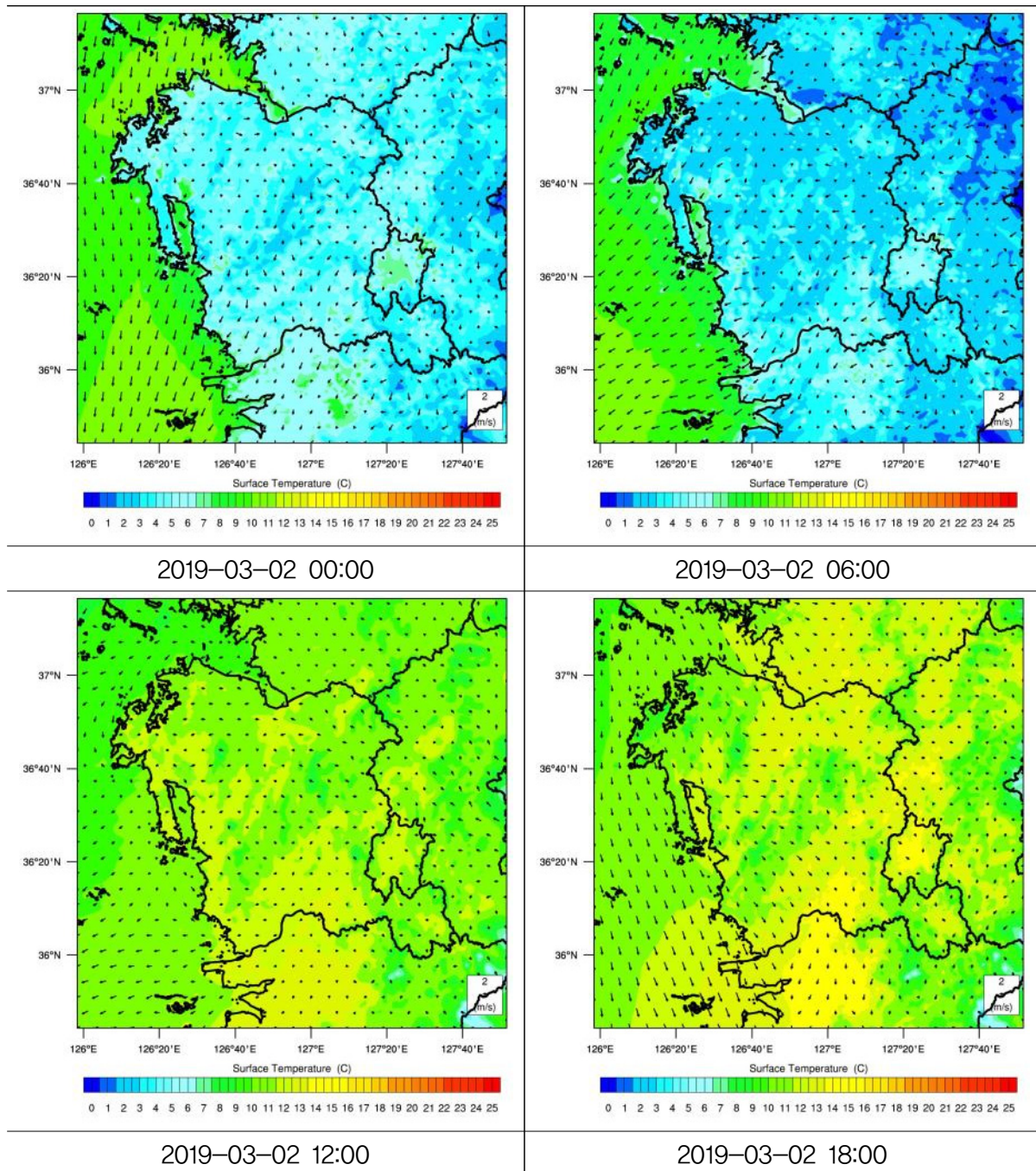
[그림 5.26] 화력발전소 배출량 현황

○ 기상모델링 결과

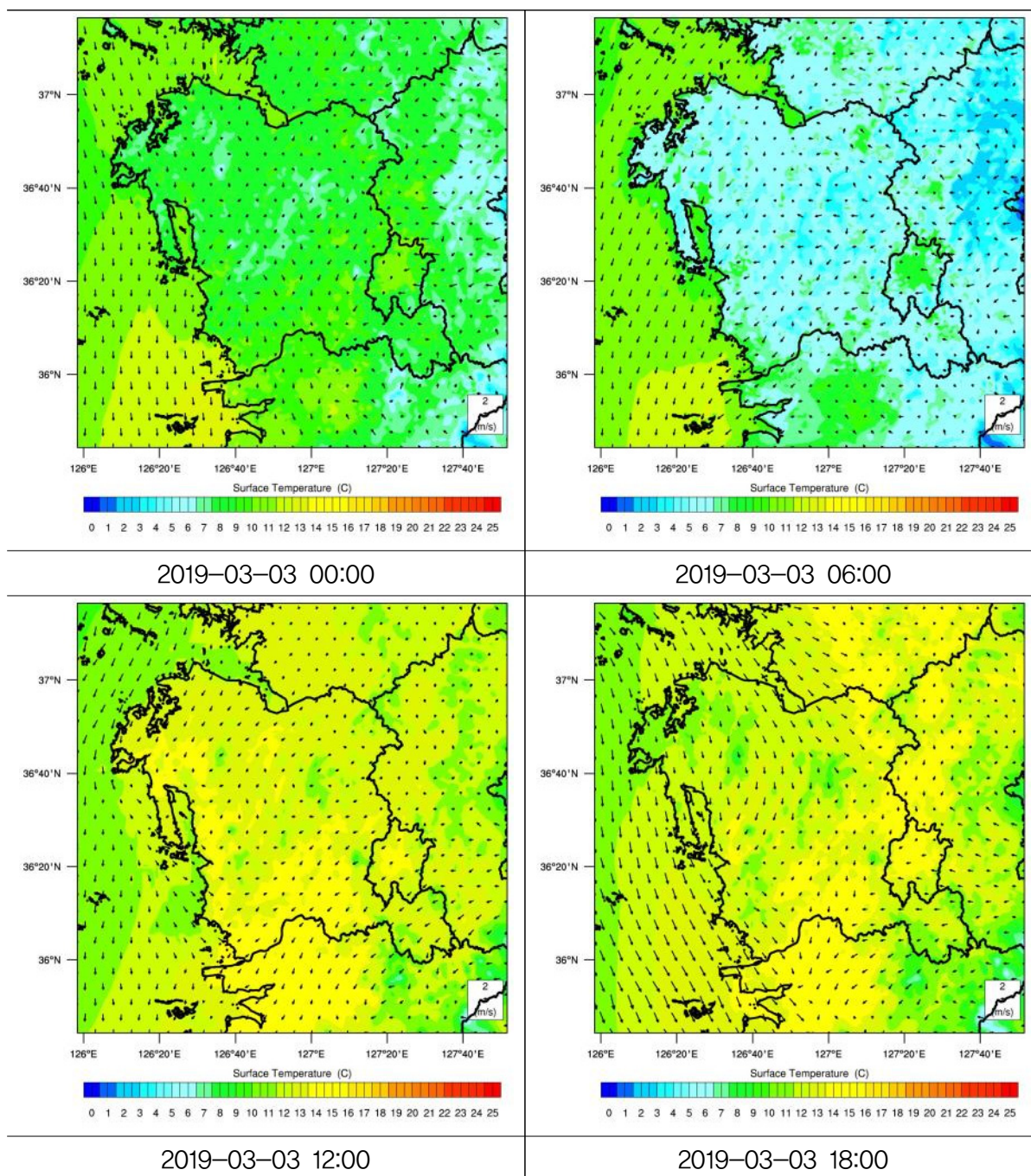
- 3월1일부터 7일까지의 기상모델링 결과를 살펴보면 내륙은 풍속이 약하게 나타나고 있으며, 해양에서는 풍속이 좀더 빠르게 나타나고 있음



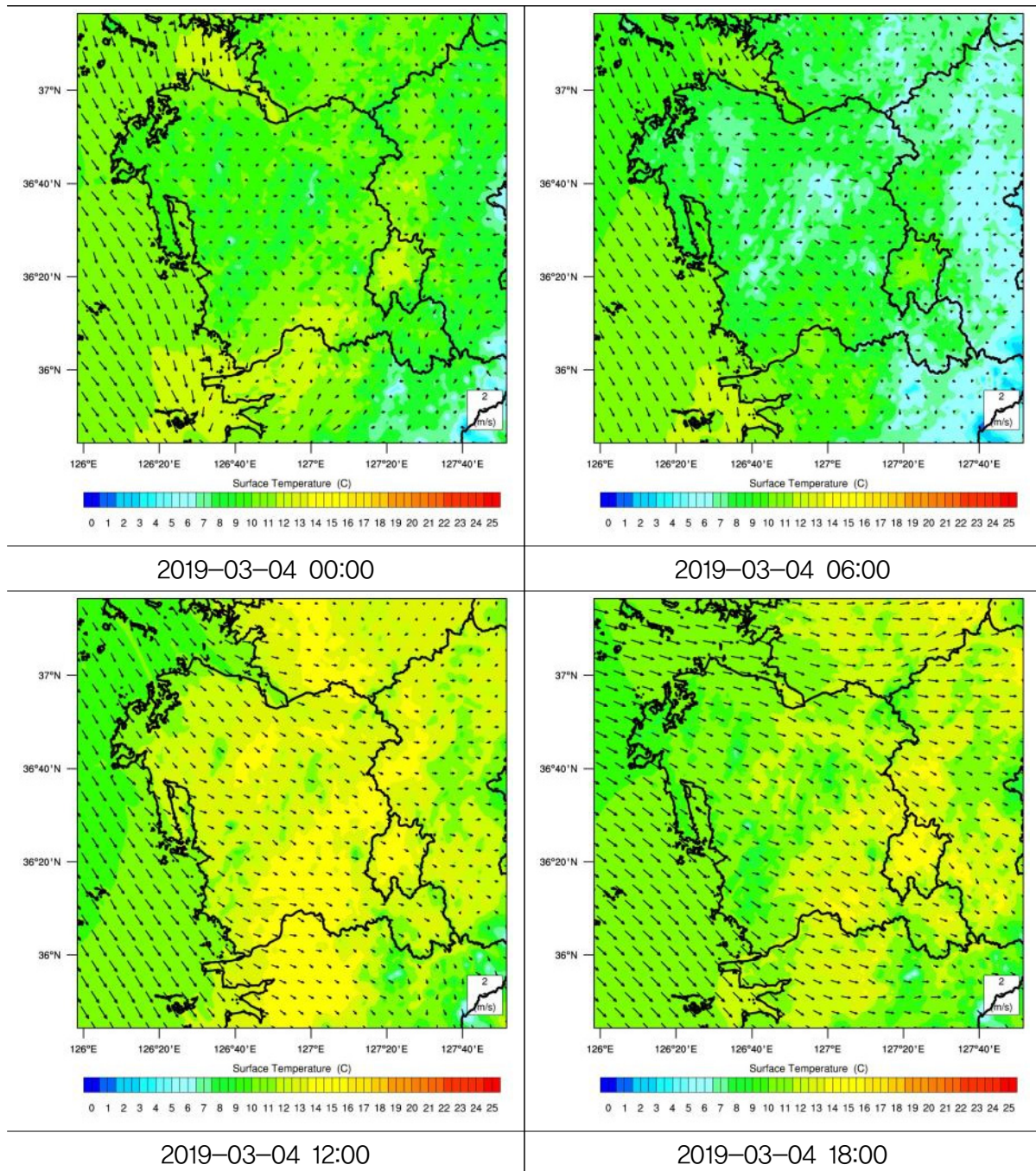
[그림 5.27] 기상모델 결과



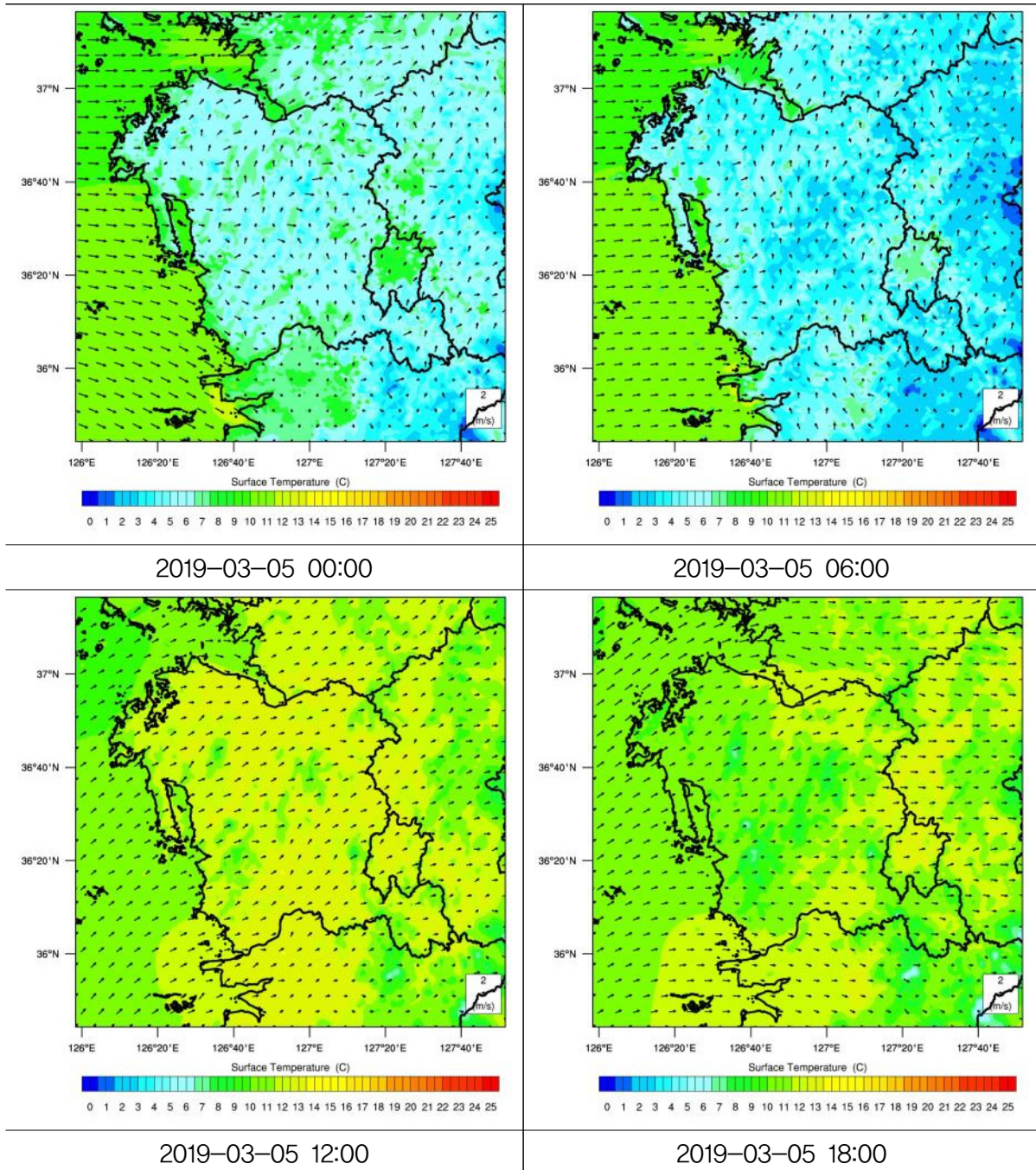
[그림 5.27] 기상모델 결과(계속)



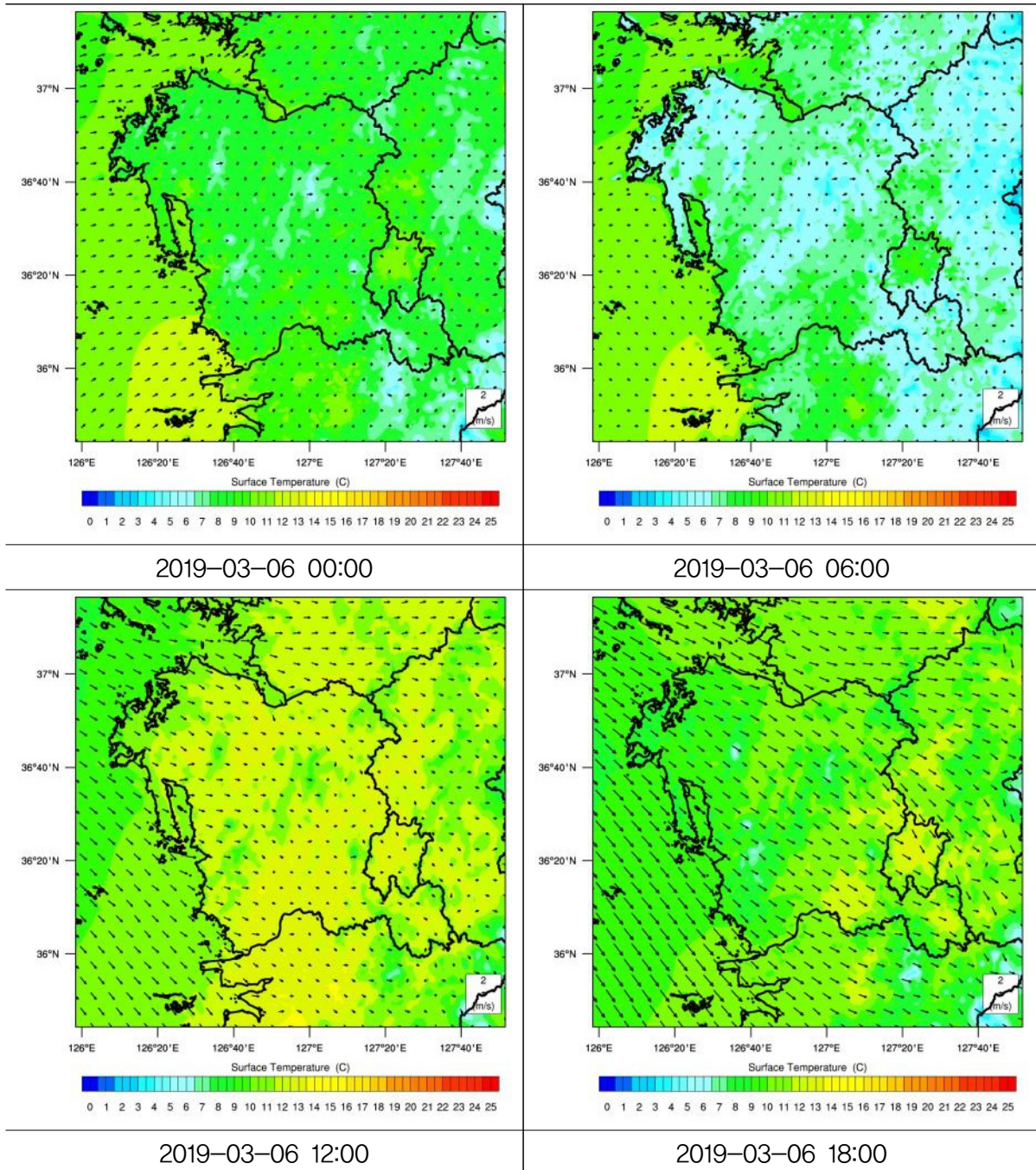
[그림 5.27] 기상모델 결과(계속)



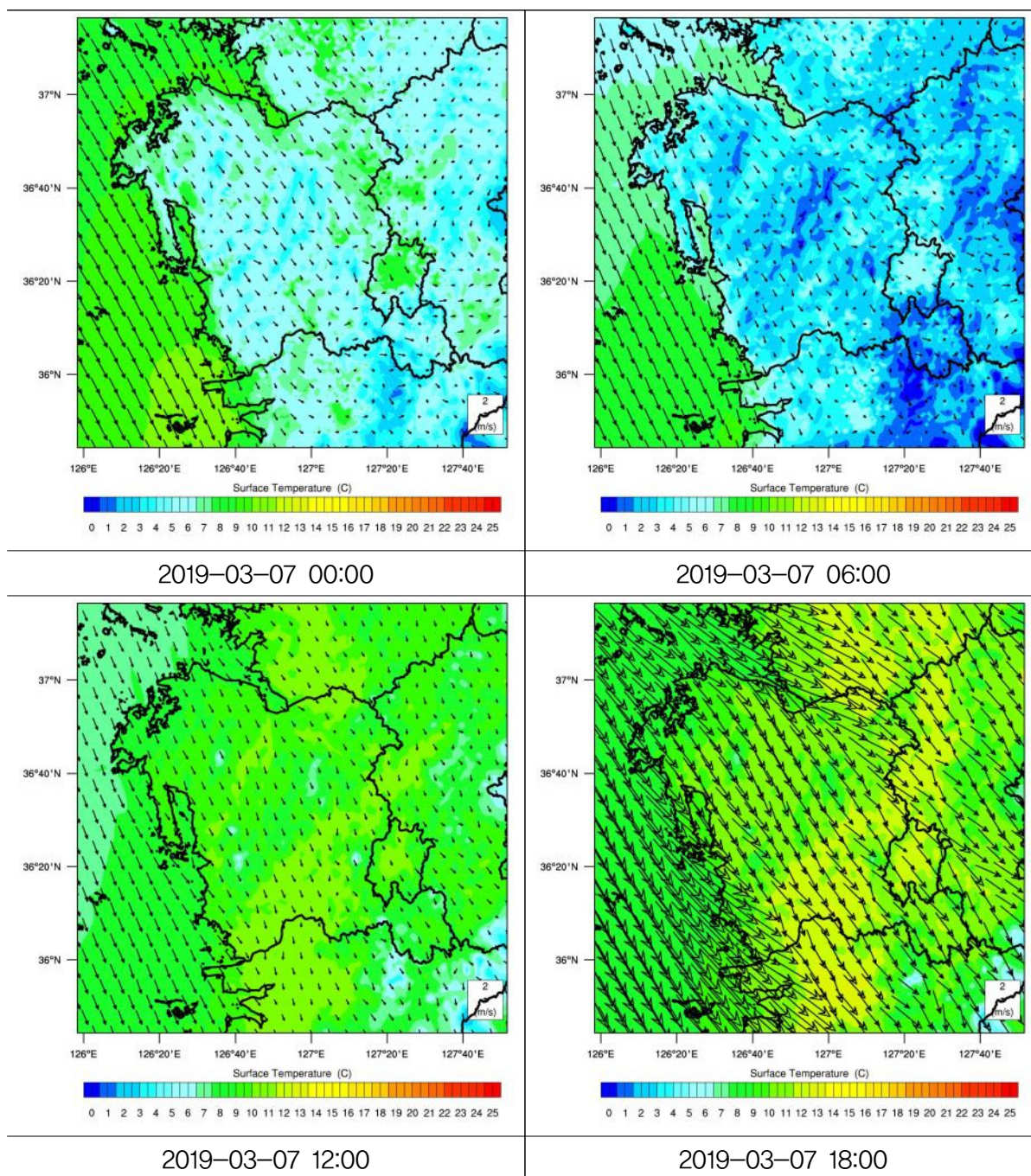
[그림 5.27] 기상모델 결과(계속)



[그림 5.27] 기상모델 결과(계속)



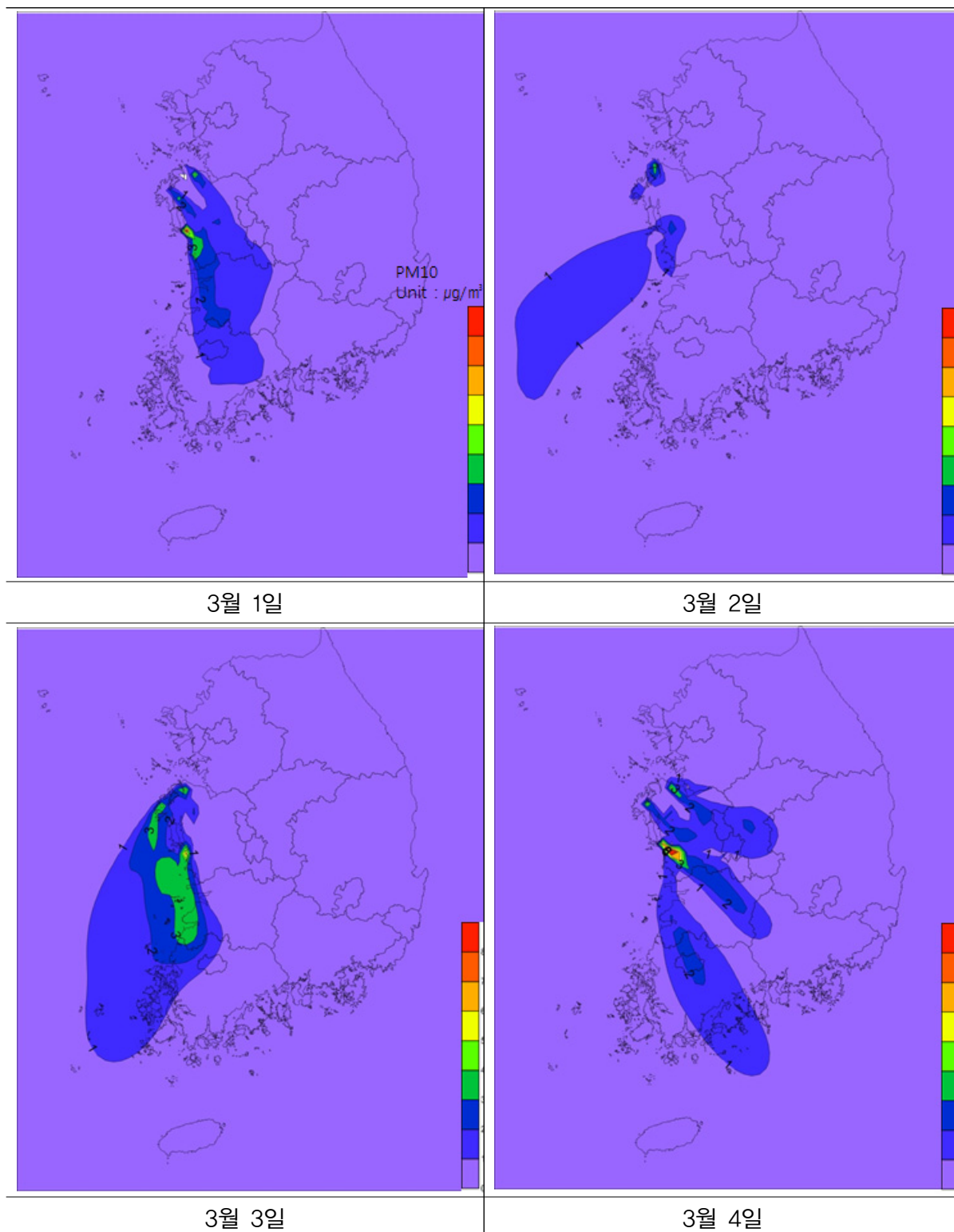
[그림 5.27] 기상모델 결과(계속)



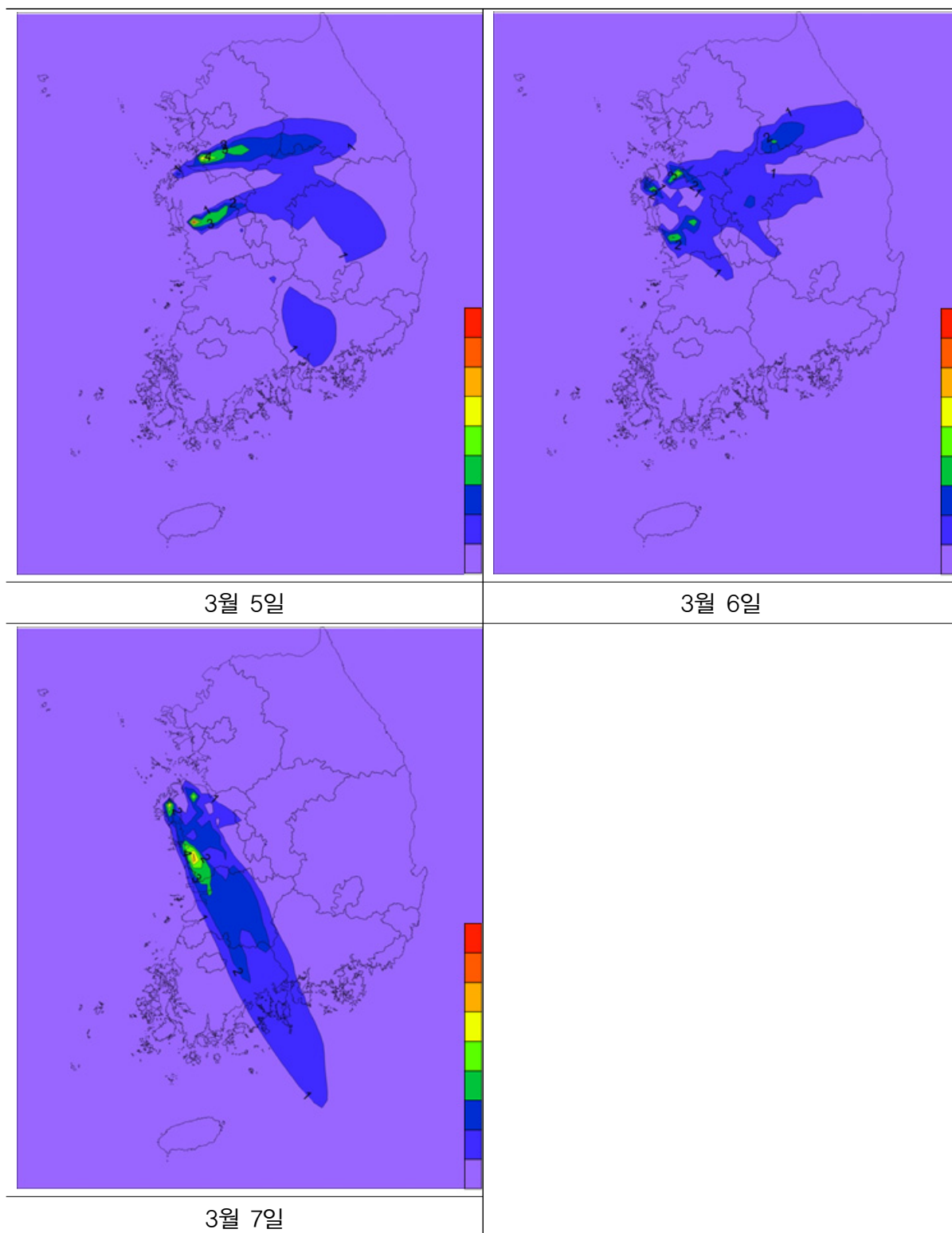
[그림 5.27] 기상모델 결과(계속)

○ 확산모델링 결과

- 3월1일부터 7일까지의 충남지역의 화력발전소 비상저감조치에 따른 배출량을 적용하여 모델링한 결과를 아래와 같이 나타냄
- 3월1일 저감효과를 살펴보면 화력발전소 주변에서 최대 $8.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 저감효과가 나타나고 있으며, 평균 풍향에 의한 영향으로 충청남도, 전라북도 및 전라남도 지역까지 저감효과가 나타나는 것을 보여줌
- 3월2일 저감효과를 살펴보면 당진 화력발전소 주변에서 최대 $3.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 저감효과가 나타나고 있으며, 평균 풍향에 의한 영향으로 서해쪽으로 확산되고 있어 내륙에 저감효과가 상대적으로 적게 나타남
- 3월 3일 보령화력발전소 주변에서 최대 $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 저감효과를 보여주고 있으며, 화력발전소를 중심으로 서해바다 주변지역에서 저감효과가 나타나고 있는 것을 보여줌
- 3월 4일 보령화력발전소 주변에서 최대 $11.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 저감효과를 보여주고 있으며, 남동쪽으로 저감효과가 나타나고 있음
- 3월 5일 보령화력발전소 주변에서 최대 $8.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 저감효과를 보여주고 있으며, 서풍의 영향으로 화력발전소 동쪽에서 저감효과가 나타남
- 3월 6일 보령화력발전소 주변에서 최대 $5.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 저감효과를 보여주고 있으며, 화력발전소 동남쪽으로 저감효과 나타나고 있음
- 3월 7일 보령화력발전소 주변에서 최대 $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 저감효과를 보여주고 있으며, 보령화력발전소 주변지역과 화력발전소 동남쪽으로 저감효과 나타나고 있음



[그림 5.28] 비상저감조치에 따른 PM10 일 평균 저감효과(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



[그림 5.28] 비상저감조치에 따른 PM10 일 평균 저감효과(계속, 단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

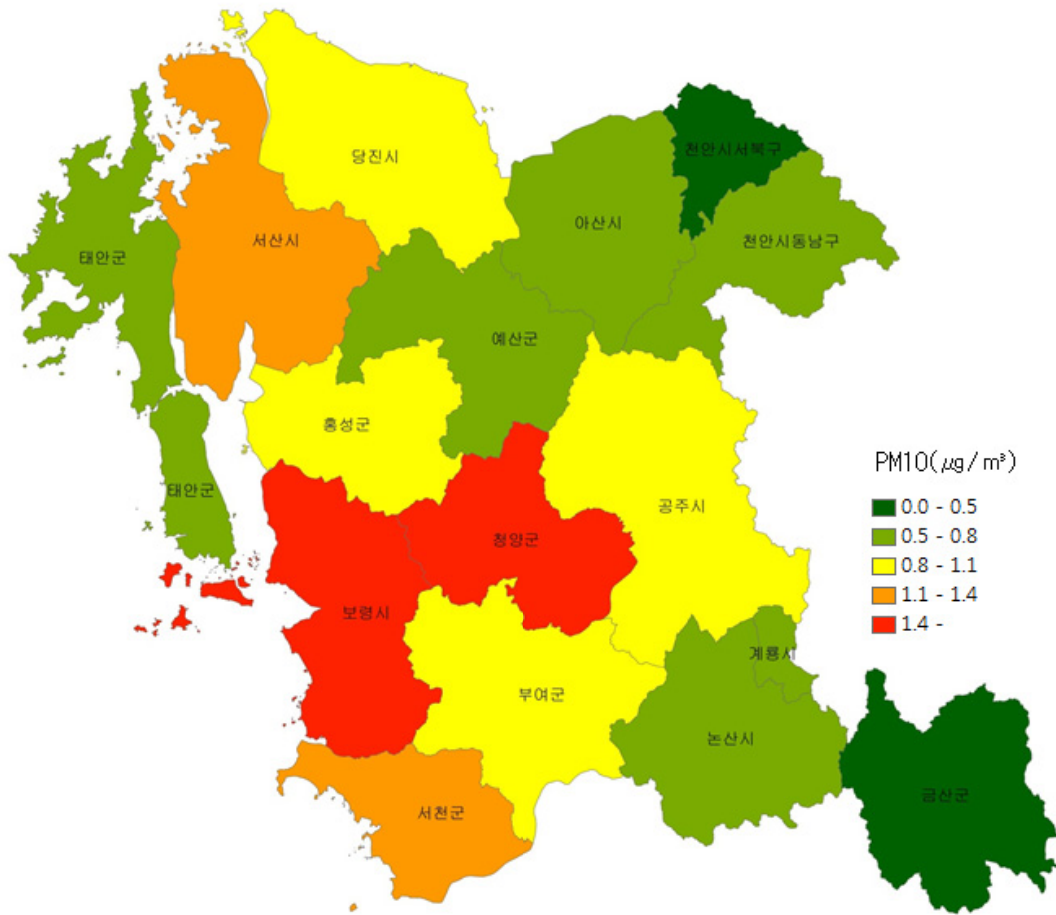
- 3월 1일부터 3월 7일까지 충남지역 평균 농도 대비 저감량을 분석하여 아래의 표와 같이 정리 하였음
- 농도 대비 평균 적인 저감량은 3.0 ~ 8.9%로 나타나며, 비상저감조치가 시행된 7일간 평균적인 저감량은 5.2%로 나타나고 있음.
- 3월 1일부터 3월 7일까지 충남지역 시군별 지역 평균 저감량을 아래의 그림과 같이 정리하였음.
- 보령화력발전소가 위치하고 있는 보령시 및 인근 청양군에서 7일 평균 $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 저감효과가 나타난 것으로 보여주고 있으며, 금산군 및 천안시의 경우는 저감효과가 $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 저감효과를 보여주고 있음.

[표 5.24] 비상조치 기간 화력발전소에 의한 PM10 저감효과

구분	충남 평균 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	최대 저감량 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	최대 저감율 (%)
03월 01일	152	8.5	5.6
03월 02일	128	3.8	3
03월 03일	124	6.5	5.2
03월 04일	170	11	6.5
03월 05일	167	8	4.8
03월 06일	137	5.4	3.9
03월 07일	73	6.5	8.9
평균	136	7.1	5.2

자료 : 도시대기질 자료(AirKorea, 도로변측정망 제외)

최대저감량 : 모델격자 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 중 저감량이 일평균 최대값으로 나타난 지역의 값



[그림 5.29] 비상저감기간 시군별 PM10 평균 저감효과(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

제6장 생활권 대기질 정보 제공

1. 개요

2. 연구결과 공유 및 정보제공

3. 결과활용을 통한 중점 · 우선관리 지점 제안

1. 개요

1.1 배경 및 목적

- 화력발전소로 인한 대기, 수질, 토양 등 영향연구를 위해 다양한 연구기관에서 측정을 시행하고 있으나, 연구결과에 대한 공유체계가 전무하여 지역민들의 불편 및 불신 팽배
- 연구결과에 대한 지역주민의 신뢰성 확보와 알권리 충족을 위한 도민 눈높이에 맞는 정보 생산과 공개를 위하여 1차년도부터 생활권 대기질 정보 제공 서비스를 시범 도입
- 이를 위해 화력발전소가 소재하고 있는 면과 인접 면 마을을 대상으로 정보제공을 희망하는 마을에 한하여 매일 1일 지연된 일평균농도 자료를 제공하여 도민의 불신 해소
 - 1차년도에서는 화력발전소 소재 면에 한하여 일평균농도 자료를 제공하였으나, 서비스 범위를 확대하여 화력발전소와 인접한 면을 추가하여 다수 마을에 정보 제공
 - 3차년도 이후 1시간 지연된 일평균농도 자료를 실시간으로 스마트폰 어플리케이션 등을 활용하여 제공할 계획



[그림 6.1] 생활권 대기질 수준 정보 제공 방법론
(출처 : 화력발전소 주변지역 기후환경영향 연구, 2017)

- 화력발전소 주변지역의 현장조사 실측데이터와 국가측정망의 연계정보 제공(변환계수 적용을 통해 가공한 데이터)을 통해 거주하고 있는 마을의 일평균농도자료를 연구소 웹페이지를 통해 매일 제공
 - 1차년도에서 활용한 변환계수(국가측정망과 간이측정기의 일치화, 정밀도 문제)의 고도화를 위해 풍향·풍속, 계절요인 등을 고려하여 측정횟수를 연 4회로 확대하여 정확도 향상
 - 정보제공 대상의 연령, 홍보매체의 접근성 등을 고려하여 연 4회 이상 우편발송을 통한 정보 공유 추진
- 측정대상 마을별 실측데이터의 시공간적 분포와 패턴 분석 등을 통한 핫스팟 지점 선정과 중점우선관리대상 지점 제안

1.2 조사지점 및 항목 선정

- 화력발전소 소재 및 인접 면에 분포하고 있는 164개 마을 중 도서지역을 제외한 희망마을 119곳을 조사정보제공 대상으로 선정
 - 보령시 24개 마을(주교면 14, 오천면 10), 당진시 28개 마을(고대면 18, 석문면 10), 서천군 36개 마을(비인면 16, 서면 20), 태안군 31개 마을(원북면 17, 이원면 14)
- 조사항목은 이산화질소(NO_2), 아황산가스(SO_2), 총부유먼지(TSP), 오존(O_3)이며, 총부유먼지의 경우 PM_{10} 으로 환산하여 정보 제공





[그림 6.2] 생활권 대기질 수준 정보 제공 대상 지점도

- 자료축적과 측정결과에 지리·지형적 요인이 미치는 영향 등의 파악을 위하여 화력발전소와의 이격거리, 방향 정보데이터를 구축
 - Bessel 타원체 사용(10.405초 보정), 중부원점, 원점 가산(경위도 또는 수치지도 \times 600,000m) 조건을 적용하여 해당 지점의 위경도를 TM좌표(X(N), Y(E))로 변환

[표 6.1] 측정지점의 TM좌표와 화력발전소로부터의 이격거리

구분		TMx(N)	TMy(E)	화력발전소 인접도	
				거리(km)	방향
보령시 주교면 (14)	고정2리	420932.374677	155813.654275	2.3	남동
	고정1리	420722.140579	156097.669431	2.7	남동
	송학1리	420448.840608	157101.019666	3.5	남동
	송학2리	419680.547563	157176.734016	4.1	남동
	송학3리	419328.173146	157745.374186	4.8	남동
	은포3리	419344.879792	158027.060479	5.0	남동
	은포4리	419354.928268	158583.955734	5.4	남동
	은포1리	419897.507620	158570.863917	5.0	남동
	은포2리	420124.073169	159346.286624	5.6	남동
	주교3리	419012.244462	159829.588205	6.6	남동
	신대4리	418700.225160	161926.462984	8.5	남동
	신대3리	419022.678237	163049.555763	9.4	남동
	신대1리	420636.300230	163791.774737	9.5	남동
	주교1리	421514.021365	161162.134285	6.8	남동
보령시 오천면 (10)	오포2리	423226.488261	156876.767922	2.4	북동
	오포1리	423676.606253	158483.139882	4.0	북동
	갈현리	424852.398194	160174.011602	6.0	북동
	교성2리	426577.630194	160124.779220	6.7	북동

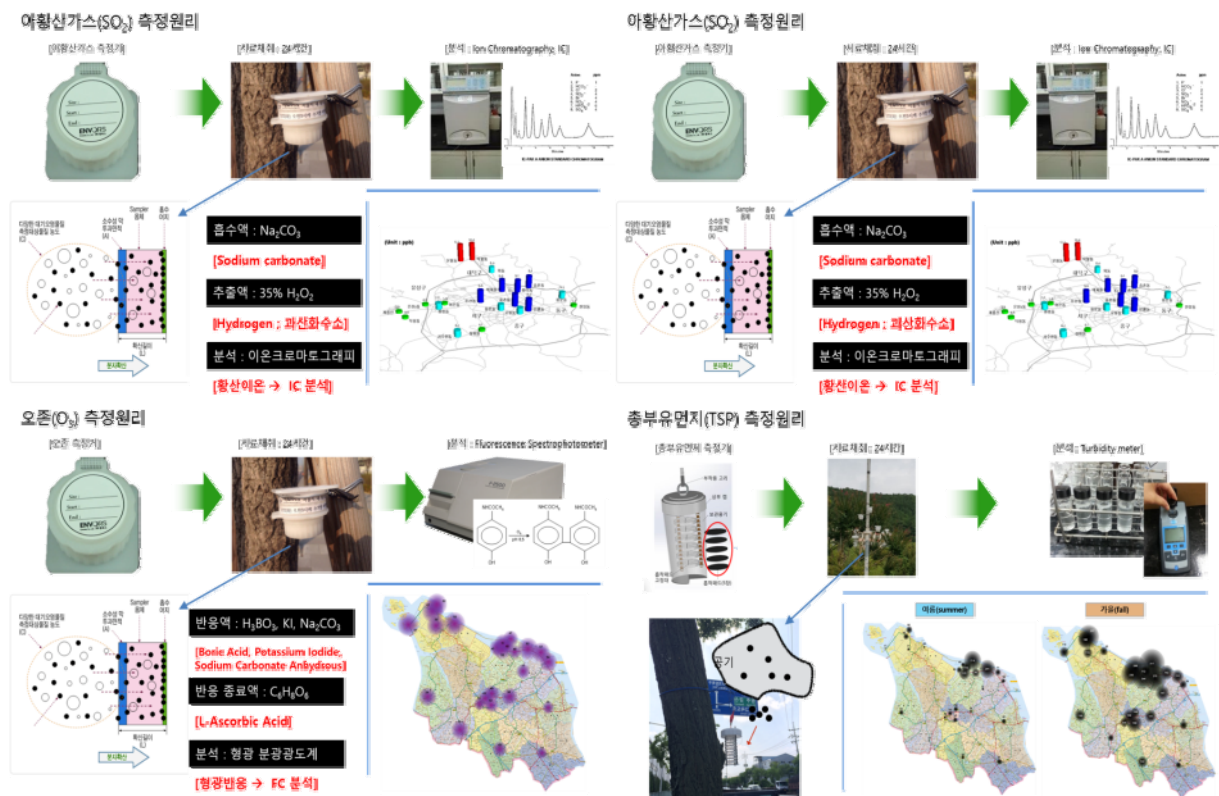
구분		TMx(N)	TMy(E)	화력발전소 인접도	
				거리(km)	방향
당진시 고대면 (18)	소성2리	427580.157682	159252.861177	6.7	북동
	교성3리	428032.042489	159663.621168	7.3	북동
	소성1리	426859.117050	156703.752183	4.6	북동
	영보1리	425482.263618	157112.517224	3.7	북동
	영보2리	425104.906085	155176.656134	2.3	북동
	오포3리	422274.438741	155280.081762	1.0	남동
	항곡리	477828.723984	164293.348125	18.7	남동
	진관1리	479583.132390	164566.073252	17.3	남동
	진관2리	480527.020536	162779.581156	15.6	남동
	옥현리	480055.063996	161563.404453	15.6	남동
	용두2리	480705.884154	164499.837782	16.2	남동
	용두1리	480684.900043	164290.696896	16.2	남동
	슬항1리	481915.562806	165125.796780	15.5	남동
	슬항2리	482483.070287	165736.661444	15.4	남동
	대촌1리	482556.709068	164250.617869	14.5	남동
	대촌2리	482199.818178	163262.004934	14.3	남동
	장항2리	483200.837860	161891.851428	12.8	남동
	당진포3리	483252.124521	160171.191261	12.1	남동
	당진포1리	485382.324705	160813.089378	10.4	남동
	성산3리	486934.625959	161426.442338	9.3	남동
	성산2리	485833.303944	162039.774676	10.6	남동
	장항1리	484639.843397	163679.513584	12.5	남동
	성산1리	485801.927481	163235.220365	11.3	남동
	당진포2리	485690.164295	158069.420846	9.2	남동
당진시 석문면 (10)	삼화1리	485448.559819	163816.128261	11.9	남동
	삼화3리	485556.678818	165940.868818	13.3	남동
	삼화2리	485945.283837	165114.526635	12.4	남동
	통정1리	486993.771154	163628.778207	10.6	남동
	통정2리	487661.337747	162994.687986	9.7	남동
	삼봉1리	489043.530386	161217.790744	7.5	남동
	삼봉2리	490435.761234	159885.712183	5.6	남동
	삼봉3리	489668.780992	159332.641337	5.9	남동
	장고항3리	490807.474604	158852.092206	4.7	남동
	교로1리	491232.437094	157395.084883	3.7	남동
서천군 비인면 (16)	칠지2리	393731.805312	162076.560811	7.6	동
	성북2리	394383.630043	163100.802318	8.7	북동

구분	TMx(N)	TMy(E)	화력발전소 인접도	
			거리(km)	방향
서천군 서면 (20)	성북1리	394427.757741	163552.574717	9.2 북동
	칠지1리	395033.505107	162163.578619	7.9 북동
	구북리	396658.419031	164446.826146	10.5 북동
	울리	394870.459418	166002.644244	11.6 북동
	성산리	393944.387952	166187.729110	11.8 북동
	선도1리	393132.207903	162214.398268	7.8 동
	선도2리	392823.340550	162806.472454	8.4 남동
	선도3리	392194.338928	163186.964939	8.8 남동
	관1리	392087.531547	164949.181092	10.6 남동
	장포1리	391743.850273	163795.787999	9.5 남동
	장포2리	391054.108032	164376.279322	10.2 남동
	관2리	391167.284410	165428.844403	11.2 남동
	관3리	390786.321884	165826.699042	11.7 남동
	다사2리	389570.039424	165245.358988	11.4 남동
	마량	393320.022157	154775.636033	0.3 동
	내도둔	394615.458304	154878.218813	1.3 북동
	홍원	395339.491869	154892.979544	2.0 북동
	요포	395257.963975	156057.710786	2.5 북동
	공암	395215.049804	156493.975101	2.8 북동
	요치	395587.278062	156784.700039	3.2 북동
	춘장대	396464.455885	157331.501289	4.2 북동
	중리	395438.138407	157001.899660	3.3 북동
	남촌	395115.652528	156949.715933	3.1 북동
	장벌	394867.453458	158667.832948	4.5 북동
	대부사	396784.112280	159025.826395	5.7 북동
	소부사	396883.775666	159646.797713	6.3 북동
	월리	396624.222587	160601.701157	7.0 북동
	개야리	396813.885366	161447.315793	7.8 북동
	봉하	396006.023072	161887.239535	7.9 북동
	당포	396531.959180	162444.150007	8.6 북동
	선돌	395207.429665	159441.447430	5.3 북동
	합전	394748.749769	160108.844404	5.8 북동
	장동	394812.025448	160837.673982	6.5 북동
	월하성	393308.667910	160585.553896	6.1 동
태안군 원북면 (17)	마산1리	470876.508311	134901.673901	8.5 남동
	반계2리	469789.635478	133480.307195	9.1 남동

구분		TMx(N)	TMy(E)	화력발전소 인접도	
				거리(km)	방향
	반계3리	470642.140888	132194.790282	8.0	남
	이곡1리	472831.189392	131907.909373	5.8	남
	이곡2리	472849.557689	131618.082641	5.8	남
	황촌1리	474472.186845	129664.347809	4.5	남서
	방갈1리	476004.338729	129833.633115	3.0	남서
	방갈2리	477914.174181	129217.315149	2.2	남서
	황촌2리	475968.416251	128759.752642	3.7	남서
	신두3리	471415.778575	127654.061163	8.1	남서
	신두2리	470616.980365	129572.655597	8.2	남서
	신두1리	470619.348494	130623.683585	8.0	남
	동해1리	468814.020724	130689.313830	9.8	남
	동해2리	467930.443863	130951.065971	10.7	남
	청산2리	467667.579392	133738.288597	11.2	남동
	양산1리	465556.856891	133454.764045	13.2	남동
	양산2리	464343.322518	133810.234150	14.5	남동
	태안군 이원면 (14)	내2리	484109.983976	137601.531923	8.3
내3리		481789.242839	137685.497442	7.1	북동
내1리		480282.891786	136955.323925	5.9	북동
관2리		478564.477020	137102.663780	5.8	동
관3리		478158.650380	137968.399213	6.6	동
당산4리		476622.033135	138697.027158	7.6	남동
관1리		477391.150997	136953.361249	5.7	남동
당산2리		476514.481872	135121.418373	4.3	남동
당산1리		475880.932813	136288.551991	5.7	남동
포지1리		474929.495084	135722.647303	5.7	남동
포지2리		474146.764451	135006.283462	5.8	남동
사창1리		472652.495711	133878.035759	6.5	남동
당산3리		473865.152087	136746.507515	7.2	남동
사창3리		471274.556657	136097.730025	8.8	남동

1.3 현장조사(주민참여형 대기질 측정 포함)

- 현장조사를 통한 대기시료 채취는 간이측정기(Passive air sampler)를 활용하며, 24시간 이상 포집한 입자상 물질을 분석기기를 이용하여 분석
 - 이산화질소(NO_2)는 분광광도계(UV), 아황산가스(SO_2)는 이온크로마토그래피(IC), 오존(O_3)의 경우 형광분광광도계를 이용하여 분석한 후 농도를 산출하고 총부유먼지(TSP)는 물리적 탈착 원리를 이용하여 탁도 분석을 통해 농도 산출



[그림 6.3] 간이측정기의 측정 원리

(출처 : 화력발전소 주변지역 기후환경영향 연구, 2017)

- 현장조사는 과업기간 동안 계절적 요인 등을 고려하여 4회 실시하였으며, 공정시험법에 명시된 시료채취기준에 준하여 지면으로부터 약 15m 이상 지점에 기상여건을 고려하여 간이측정기를 부착
- 방문 전 사전 협조요청을 통해 일부 마을에 한하여 주민참여형 대기질 측정을 병행



[그림 6.4] 간이측정기 설치 현장사진(주민참여형 대기질 측정 포함)

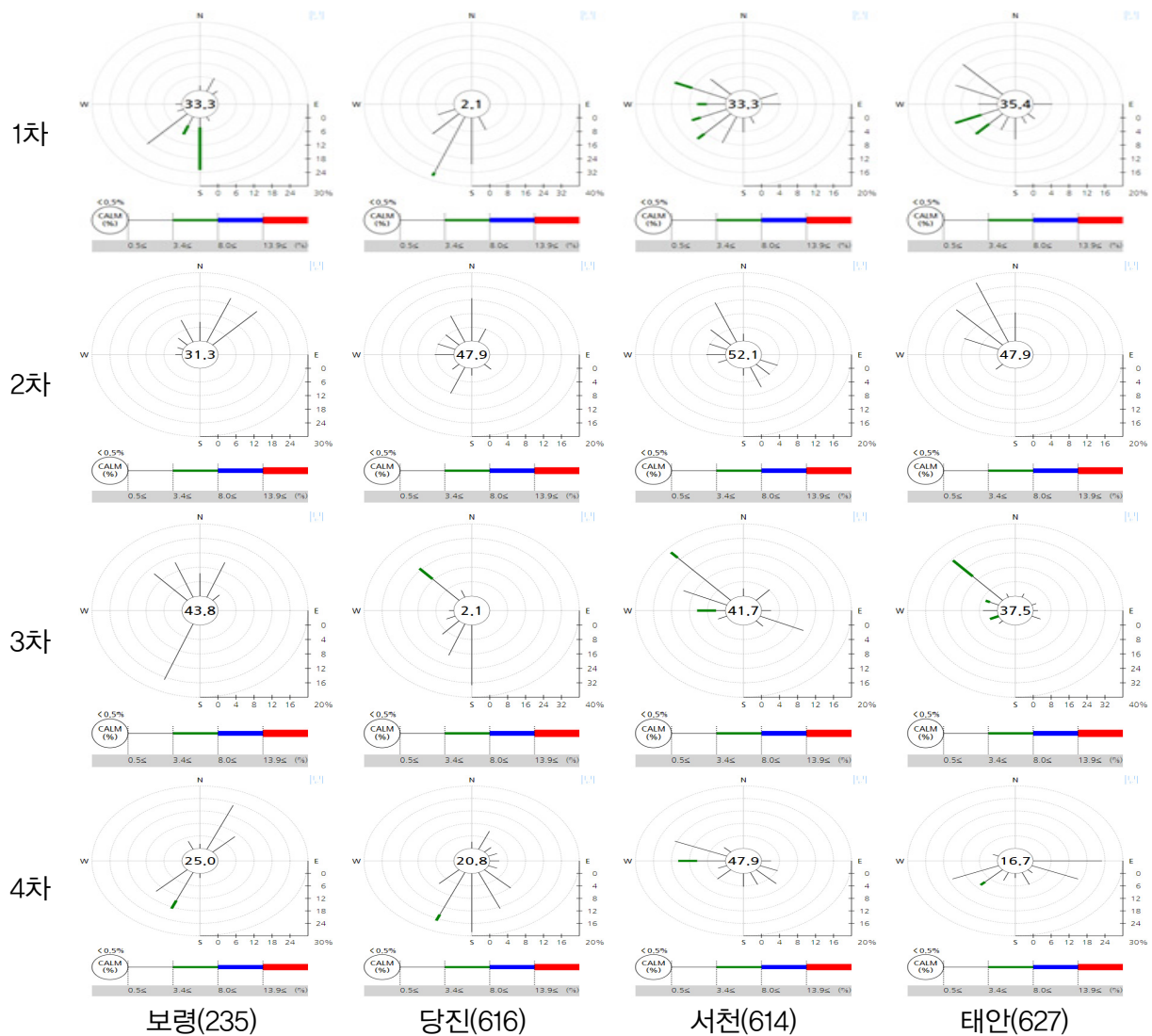
- 기상현상이 측정결과에 미치는 영향의 최소화를 위하여 기상자료개방포털에서 제공 중인 자료를 이용하여 측정기간별 일평균기온, 일강수량, 평균풍속, 바람장미를 분석
 - 보령시(235)는 종관기상관측자료, 당진시(616), 서천군(614), 태안군(627)의 경우 방재기상관측 자료 이용
 - 1차(여름철) 측정기간의 평균기온은 보령 23.3℃, 당진 23.4℃, 서천 23.5℃, 태안 23.7℃로 4지점의 값이 유사하였고 보령과 서천에서 회수하는 일자에 약간의 강우가 있었으나 회수시간 이후로 측정결과에는 영향을 주지 않은 것으로 파악
 - 2차(가을철) 측정기간의 평균기온은 보령 11.9℃, 당진 10.9℃, 서천 10.6℃, 태안 11.9℃로 보령과 태안, 당진과 서천의 기온이 유사한 양상을 보였고 측정기간 내 강우는 없었음
 - 3차(겨울철) 측정기간의 평균기온은 보령 2.6℃, 당진 2.3℃, 서천 1.7℃, 태안 2.4℃로 서천을 제외한 3지점의 기온은 유사하였고 측정기간 내 강우 및 강설은 없었음
 - 4차(봄철) 측정기간의 평균기온은 보령 6.6℃, 당진 6.7℃, 서천 6.2℃, 태안 6.8℃으로 유사한 것으로 분석되었고 측정기간 내 강우는 없었음

[표 6.2] 현장조사 기간의 지점별 기상현황

구분			평균기온(℃)	일합강수량(mm)	평균 풍속(m/s)
보령 (235)	1차	2018-09-05	23.3	—	0.9
		2018-09-06	23.2	4.1	2.3
	2차	2018-11-05	11.3	—	0.8
		2018-11-06	12.4	—	0.8
	3차	2019-01-22	2.3	—	0.9
		2019-01-23	2.9	—	0.9
	4차	2019-03-18	5.2	—	1.1
		2019-03-19	7.9	—	1.5
당진시 (616)	1차	2018-09-05	23.2	—	2.0
		2018-09-06	23.6	—	1.7
	2차	2018-11-05	10.0	—	0.7
		2018-11-06	11.7	—	0.7
	3차	2019-01-22	2.3	—	1.7
		2019-01-23	2.2	—	2.2
	4차	2019-03-18	5.1	—	1.1
		2019-03-19	8.3	—	1.8
서천군 (614)	1차	2018-09-05	23.5	—	1.4
		2018-09-06	23.5	8.5	1.6
	2차	2018-11-05	10.0	—	0.9
		2018-11-06	11.2	—	0.8
	3차	2019-01-22	0.9	—	1.1
		2019-01-23	2.5	—	1.2
	4차	2019-03-18	5.1	—	1.0
		2019-03-19	7.3	—	1.3
태안군 (627)	1차	2018-09-05	23.4	—	1.3
		2018-09-06	23.9	—	1.8
	2차	2018-11-05	11.5	—	0.7
		2018-11-06	12.2	—	1.1
	3차	2019-01-22	2.2	—	1.0
		2019-01-23	2.5	—	1.7
	4차	2019-03-18	5.7	—	1.2
		2019-03-19	7.9	—	1.7

- 1차(여름철) 측정기간의 평균풍속은 보령 1.6m/s, 당진 1.9m/s, 서천 1.5m/s, 태안 1.6m/s로 유사한 양상을 보였으며, 바람장미 분석결과 보령과 당진은 남풍 및 남서풍, 서천과 태안은 서풍계열이 주풍으로 분석

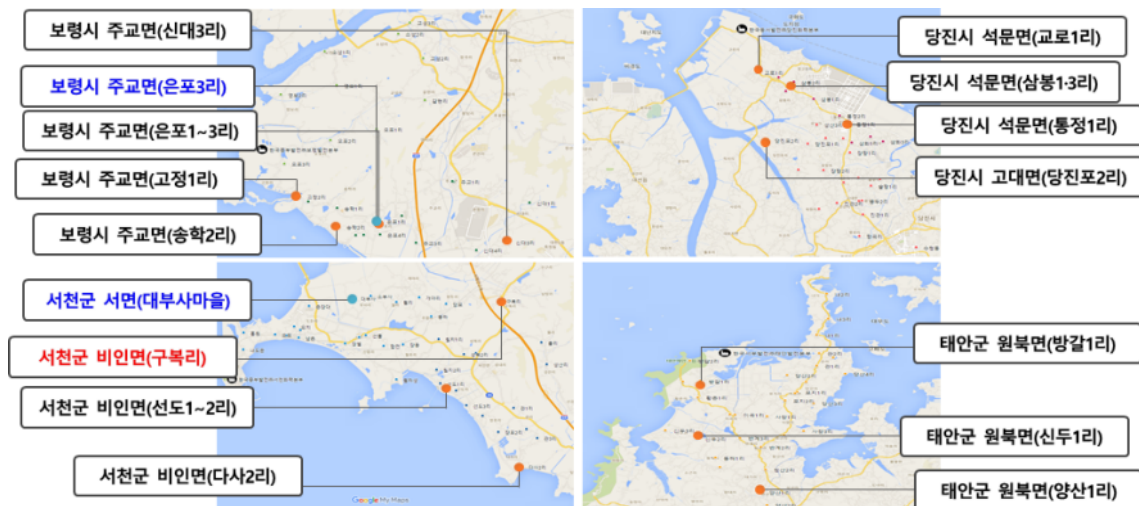
- 2차(가을철) 측정기간의 평균풍속은 보령 0.8m/s, 당진 0.7m/s, 서천 0.9m/s, 태안 0.9m/s로 4지점의 값이 유사했으며, 바람장미의 경우 보령 북풍계열, 당진 서풍계열, 서천과 태안은 비교적 북서풍이 강하게 나타남
- 3차(겨울철) 측정기간의 평균풍속은 보령 0.9m/s, 당진 2.0m/s, 서천 1.2m/s, 태안 1.4m/s로 당진에서 강풍이 있었던 것으로 분석되었으며, 바람장미 분석결과 보령 남서풍과 북풍계열, 당진 북서풍과 남풍, 서천 및 태안은 북서풍과 서풍이 뚜렷함
- 4차(봄철) 측정기간의 평균풍속은 보령 1.3m/s, 당진 1.5m/s, 서천 1.2m/s, 태안 1.5m/s로 4지점 모두 유사한 양상을 보였으며, 바람장미 분석결과 보령은 남서풍과 북동풍, 당진과 태안은 남풍계열, 서천은 서풍계열이 강한 것으로 분석



[그림 6.5] 현장조사 기간의 지점별 바람장미 현황
(출처 : 기상자료개방포털, <https://data.kma.go.kr/>)

1.4 분석결과

- 현장조사를 통한 측정데이터는 전문성을 보유한 외부 분석기관의 위탁분석을 통해 농도값으로 산정한 후 변환계수 적용을 통해 추정치로 제공
- 1차 측정결과 변환데이터를 기준으로 충청남도 대기환경기준치를 초과하는 마을은 없는 것으로 분석
- 2차 측정결과 변환데이터를 기준으로 오존(O_3)은 18개 마을에서 기준치를 초과하였고 아황산가스(SO_2)의 경우 2개 마을에서 기준치를 초과하는 것으로 집계
- 3차 측정결과 변환데이터를 기준으로 충청남도 대기환경기준치를 초과하는 마을은 없는 것으로 분석
- 4차 측정결과 변환데이터를 기준으로 1개 마을에서 오존(O_3)의 기준치를 초과하는 것으로 분석



[그림 6.6] 분석결과와 충청남도 대기환경기준 초과 현황

2. 연구결과 공유 및 정보제공

- 분석결과는 국가측정망과의 연계를 통한 변환데이터 형태로 도민에게 공개하며, 119개 측정지점별 인근에 위치한 국가측정망과 간이측정기의 변환계수 C1을 적용하여 측정지점 고유의 변환계수 C2를 산정한 후 최종 일평균농도(추정치)를 도출하여 해당 마을에 1일 지연된 일평균농도를 매일 제공
- 측정지점과 인접한 국가측정망은 대천2동(보령시 중앙로 142-16 대천2동 주민센터 옥상), 주교면(보령시 주교면 울계큰길 396 주교면사무소 옥상), 당진시청사(당진시 시청1로 1 당진시청사), 송산면(당진시 송산면 유곡로 342-27 공공하폐수처리시설), 서천읍(서천군 서천읍 서천로14번길 20 서천읍 문예의전당 주차장), 서면(서천군 서면 서인로 761 서면보건지소 옥상), 태안읍(태안군 태안읍 군청6길 태안군장애인복지관), 이원면(태안군 이원면 분지길 14 이원면사무소 1층 나동 옥상)
- 변환계수 C1은 1차년도 연구결과인 대기오염자동측정기 자료 검정에 의한 보정계수(SO₂ 0.5389, NO₂ 0.5474, O₃ 1.2398, PM₁₀ 0.543)를 적용
- 변환계수 C2는 생활권 대기질 정보 제공 대상 119개 마을 인근 주변 국가측정망과 변환계수 C1 간 보정계수를 산정을 통해 마을별 고유 값을 산정
- 총부유먼지(TSP)의 경우 최진수와 백성옥(1998)의 연구논문에서 제시한 평균 농도분율 0.68를 적용하여 PM₁₀으로 환산한 후 변환계수(C1, C2)를 적용하여 재산정한 일평균농도를 제공
- 정보제공 형태는 도민 눈높이에 맞는 정보생산과 공개를 위해 마을별로 하루 전날의 일평균농도(변환데이터)와 충청남도 환경 기본 조례(충청남도조례 제4203호, 2016. 12. 30., 일부개정) 제13조제3항에 의한 충청남도 대기환경기준 대비 현재 수준을 백분율(%)로 환산하여 제공
- 충청남도 대기환경기준 대비 현재 수준이 100.0%를 초과하는 경우 기준치를 초과하는 것으로 해석
- 대기환경기준은 조례에 명시된 24시간 평균 이산화질소(NO₂) 0.04ppm, 이황산가스(SO₂) 0.03ppm, 미세먼지(PM₁₀) 80 μ g/m³, 8시간 평균 오존(O₃) 0.06ppm의 기준치를 적용

항목		기준	측정방법
아황산가스 (SO ₂)	연평균	0.01ppm 이하	자외선형광측정법 (Pulsed U.V. Fluorescence Method)
	24시간 평균	0.03ppm 이하	
	1시간 평균	0.1ppm 이하	
이산화질소 (NO ₂)	연평균	0.02ppm 이하	화학발광법 (Chemiluminescent Method)
	24시간 평균	0.04ppm 이하	
	1시간 평균	0.08ppm 이하	
일산화탄소 (CO)	8시간 평균	5ppm 이하	비분산적외선분석법 (Non-Dispersive Infrared Method)
	1시간 평균	10ppm 이하	
미세먼지 (PM-10)	연평균	40 μ g/m ³ 이하	베타선흡수법 (β -Ray Absorption Method)
	24시간 평균	80 μ g/m ³ 이하	
초미세먼지 (PM-2.5)	연평균	20 μ g/m ³ 이하	중량농도법 또는 이에 준하는 자동측정법
	24시간 평균	40 μ g/m ³ 이하	
오존(O ₃)	8시간 평균	0.06ppm 이하	자외선광도법 (U.V. Photometric Method)
	1시간 평균	0.1ppm 이하	
납(Pb)	연평균	0.3 μ g/m ³ 이하	원자흡광광도법 (Atomic Absorption Spectrophotometry)
벤젠	연평균	3 μ g/m ³ 이하	가스크로마토그래프법 (Gas Chromatography)

비고)

- ① 1시간 평균치는 999천분위수(千分位數)의 값이 그 기준을 초과하여서는 아니된다.
- ② 8시간 및 24시간 평균치는 99백분위수의 값이 그 기준을 초과하여서는 아니된다.
- ③ 미세먼지는 입자의 크기가 10 μ m이하인 먼지를 말한다.
- ④ 초미세먼지는 입자의 크기가 2.5 μ m이하인 먼지를 말한다.
- ⑤ 화력발전소가 소재한 시군지역에 대하여 시행과 동시에 적용하고 기타 지역은 2018년 1월 1일부터 적용한다.

[그림 6.7] [별표] 충청남도 대기환경기준(충청남도 환경 기본 조례 제13조제3항 관련)

연구보고서

Home > 연구보고서 > 화력발전소 주변지역 생활권 대기질 수준 정보 제공

연구보고서

연구/정책보고서

수탁/위탁보고서

충남기후정보브리핑

뉴스레터

워크숍/세미나

화력발전소 주변지역 생활권 대기질 수준 정보 제공

화력발전소 주변지역 생활권 대기질 수준 정보 제공

화력발전소 주변 환경개선 및 영향조사, 피해대책 마련을 위한 과학적 실증자료 축적, 관련 정책 추진 근거 확보, 지역 주민의 불신 해소를 위하여 '국가측정망과 연계된 동네별 대기질 정보'를 제공하고 있습니다. 매일 오전 10시경 하루 전날의 일평균 대기질 정보가 제공됩니다.



<2019.04.04. 일평균 자료>

* 기존에 제공되던 61개 마을 일평균농도 정보제공 서비스는 2018.10.31.자로 종료되었으며, 2018.11.1.부터 대기질 측정 협조에 동의한 마을에 한하여 서비스가 제공됩니다. ** 2019.3.11.부터 3차 대기질 측정결과를 반영한 일평균농도 정보가 제공되며, 당진 진관1리와 태안 포지2리의 PM10농도(이상치)는 2차 결과를 반영한 정보가 제공됩니다.

지점	PM ₁₀ (μg/m ³)		오존 ₃ (ppm)		이산화질소(ppm)		아황산가스(ppm)	
	농도 (24시간 평균)	기준대비 % (80이하)	농도 (24시간 평균)	기준대비 % (0.06이하)	농도 (24시간 평균)	기준대비 % (0.04이하)	농도 (24시간 평균)	기준대비 % (0.03이하)
보령시 주교면 신대3리	2	2.9%	0.049	82.0%	0.004	8.9%	0.001	2.4%
보령시 주교면 신대4리	2	2.4%	0.046	77.4%	0.004	8.9%	0.000	1.6%
보령시 오천면 갈현리	13	16.7%	0.056	93.2%	0.003	7.6%	0.002	5.7%
보령시 오천면 교성2리	5	6.0%	0.049	82.0%	0.003	7.6%	0.001	4.4%
보령시 오천면 교성3리	12	14.8%	0.029	47.9%	0.003	7.1%	0.001	2.4%
보령시 오천면 소성1리	10	12.0%	0.039	65.7%	0.003	6.5%	0.001	3.2%
보령시 오천면 소성2리	9	11.8%	0.035	58.1%	0.003	7.6%	0.001	2.2%

[그림 6.8] 화력발전소 주변지역 생활권 대기질 정보 제공 웹서비스 현황

- 측정결과는 충청남도서해안기후환경연구소 웹페이지를 통해 매일 제공되고 있으나, 정보 수신자의 편의성, 신뢰성 확보와 연구 진행사항, 결과 등 정보 제공을 위하여 해당 지자체 담당자를 대상으로 공문시행, 마을이장 대상 우편발송을 통해 공개





[그림 6.9] 화력발전소 주변지역 생활권 대기질 정보 공문 및 우편 발송

- 또한 1차년도 대상마을(61)을 대상으로 정보제공 기간 내 대기환경기준 일평균농도 초과현황 알림을 위하여 별도 우편발송 시행
 - 마을별 정보제공 기간 420일(2017.11.07.~2018.12.31.) 동안의 충청남도 대기환경기준 일평균농도(변환데이터) 초과현황 자료 공유

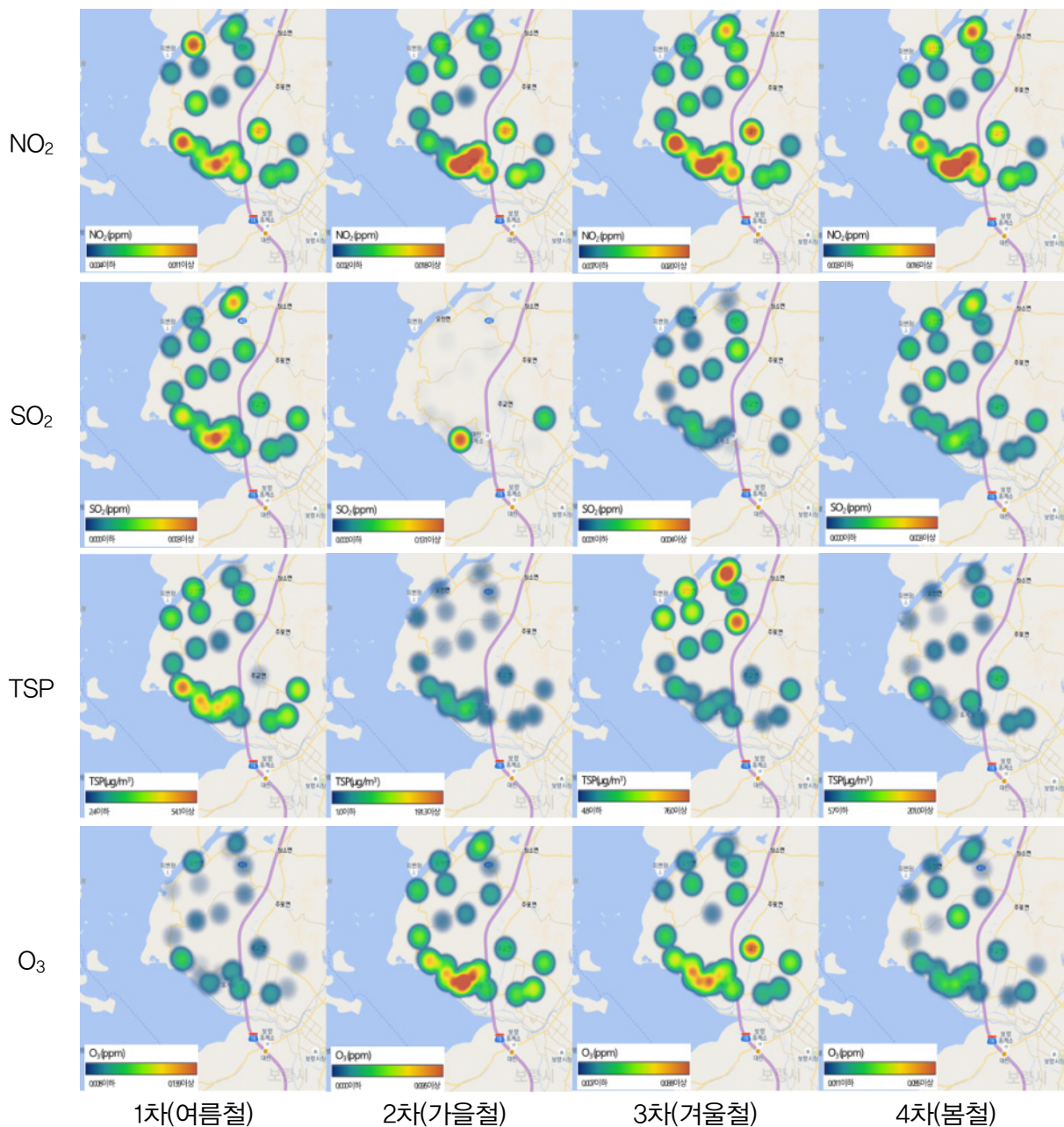
[표 6.3] 마을별 충청남도 대기환경기준 초과일수 현황

마을명	PM10(일)		오존(일)		이산화질소(일)		아황산가스(일)	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
보령시 오포1리	-	-	-	-	-	-	-	-
보령시 오포2리	-	-	1	42	-	-	-	-
보령시 오포3리	-	-	3	99	-	-	-	-
보령시 영보1리	-	-	-	2	-	-	-	-
보령시 소성1리	-	-	-	-	-	-	-	-
보령시 소성2리	-	-	-	35	-	-	-	-
보령시 교성2리	-	-	-	34	-	-	-	-
보령시 갈현리	-	-	-	23	-	-	-	-
당진시 통정1리	-	-	-	10	-	-	-	-
당진시 통정2리	-	-	-	15	-	-	-	-
당진시 삼화1리	-	-	-	-	-	-	-	-
당진시 삼화2리	-	-	-	5	-	-	-	-
당진시 삼화3리	-	-	-	1	-	-	-	-
당진시 삼봉1리	-	-	-	57	-	-	-	-
당진시 삼봉2리	-	-	-	5	-	-	-	-
당진시 삼봉3리	-	-	1	113	-	-	-	-
당진시 삼봉4리	-	-	-	14	-	-	-	-
당진시 장고항1리	-	-	-	1	-	-	-	-
당진시 장고항2리	-	-	-	-	-	-	-	-
당진시 교로1리	-	-	-	-	-	-	-	-

마을명	PM10(일)		오존(일)		이산화질소(일)		아황산가스(일)	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
당진시 교로2리	—	17	—	39	—	—	—	—
당진시 교로3리	1	35	—	4	—	—	—	—
당진시 초락도1리	—	—	—	—	—	—	—	—
당진시 초락도2리	—	—	—	2	—	—	—	—
서천군 요포마을	—	—	—	56	—	—	—	—
서천군 춘장대마을	—	—	—	8	—	—	—	—
서천군 공암마을	—	—	—	26	—	—	—	—
서천군 장벌마을	1	3	—	—	—	—	—	—
서천군 동리마을	—	—	—	—	—	—	—	—
서천군 요치마을	—	—	—	11	—	—	—	—
서천군 대부사마을	—	—	—	32	—	—	—	—
서천군 봉하마을	—	—	—	39	—	—	—	—
서천군 선돌마을	—	—	—	11	—	—	—	—
서천군 장동마을	—	—	—	—	—	—	—	—
서천군 합전마을	—	—	—	—	—	—	—	—
서천군 내도둔마을	—	—	—	—	—	—	5	7
서천군 월하성마을	—	—	—	—	—	—	—	—
서천군 개야리마을	—	—	—	—	—	—	—	—
서천군 마량마을	—	—	—	—	—	—	—	—
서천군 동포마을	—	—	—	—	—	—	—	—
서천군 월리마을	—	—	—	—	—	—	—	—
서천군 중리마을	—	—	—	—	—	—	—	—
서천군 당포마을	—	—	—	—	—	—	—	—
태안군 양산1리	—	—	—	—	—	—	—	—
태안군 방갈1리	—	—	6	120	—	—	—	—
태안군 반계2리	—	—	2	74	—	—	—	—
태안군 마산2리	—	—	42	232	—	—	—	—
태안군 장대1리	—	—	2	69	—	—	—	—
태안군 이곡1리	—	—	1	61	—	—	—	—
태안군 양산2리	—	—	4	117	—	—	—	—
태안군 이곡2리	—	—	—	34	—	—	—	—
태안군 황촌1리	—	1	17	179	—	—	—	—
태안군 신두2리	—	—	2	69	—	—	—	—
태안군 방갈2리	—	—	14	164	—	—	—	—
태안군 동해2리	—	1	46	258	—	—	—	—
태안군 신두3리	—	—	1	61	—	—	—	—
태안군 청산2리	—	—	—	3	—	—	—	—
태안군 신두1리	—	—	—	—	—	—	—	—
태안군 동해1리	—	—	1	50	—	—	—	—
태안군 대기2리	—	—	1	61	—	—	—	—
태안군 황촌2리	—	—	32	203	—	—	—	—

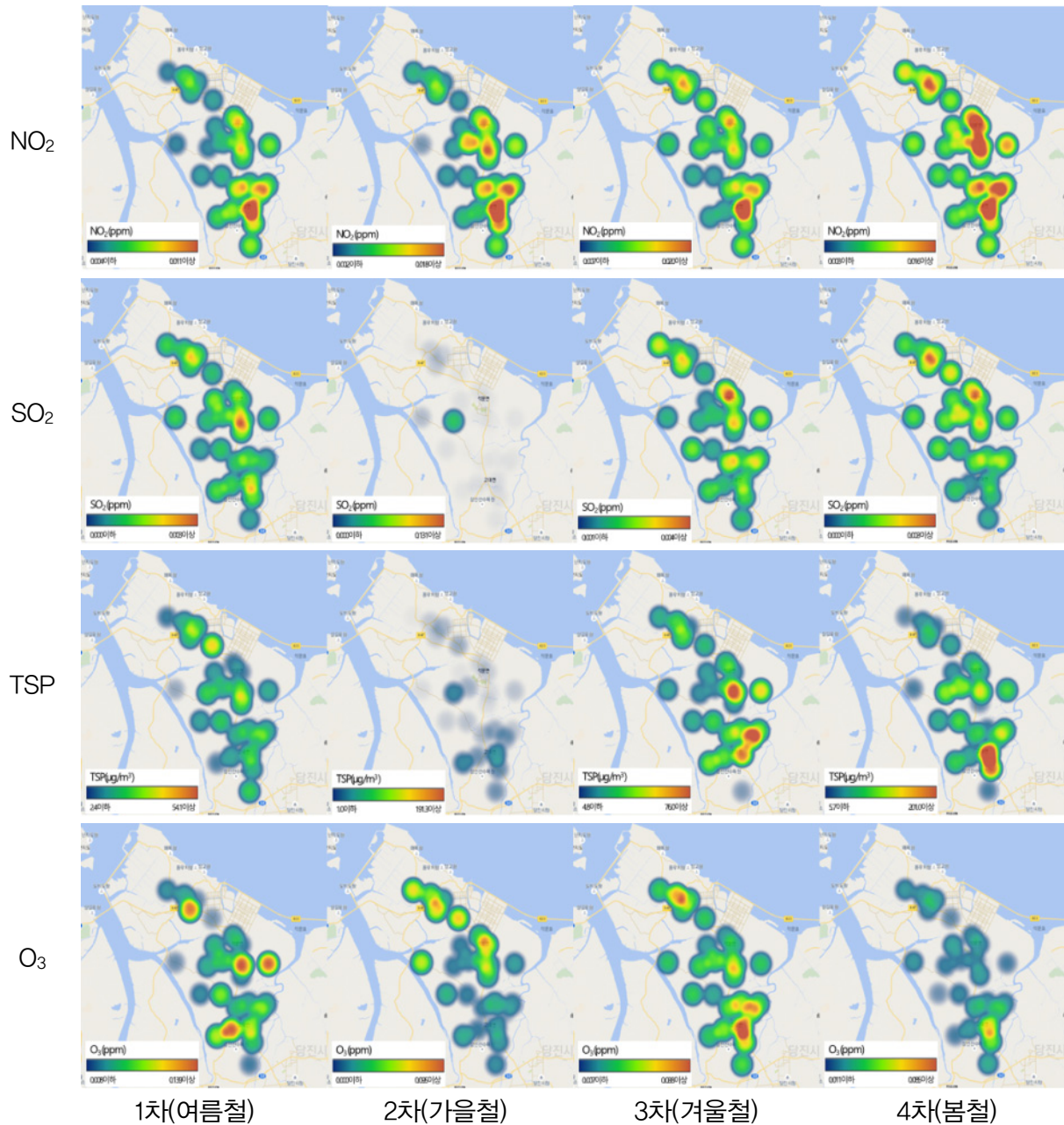
3. 결과활용을 통한 중점우선관리 지점 제안

- 측정결과를 기반으로 실측데이터 기준 핫스팟 지점 파악을 위해 지역별, 오염물질별 시공간 분포도 작성
 - 보령시의 이산화질소(NO_2)는 주교면 송학리와 은포리 일대에서 계절에 영향 없이 사계절 고농도로 관측되었고 오존(O_3)의 경우에도 여름을 제외하고 동일한 패턴 관측됨



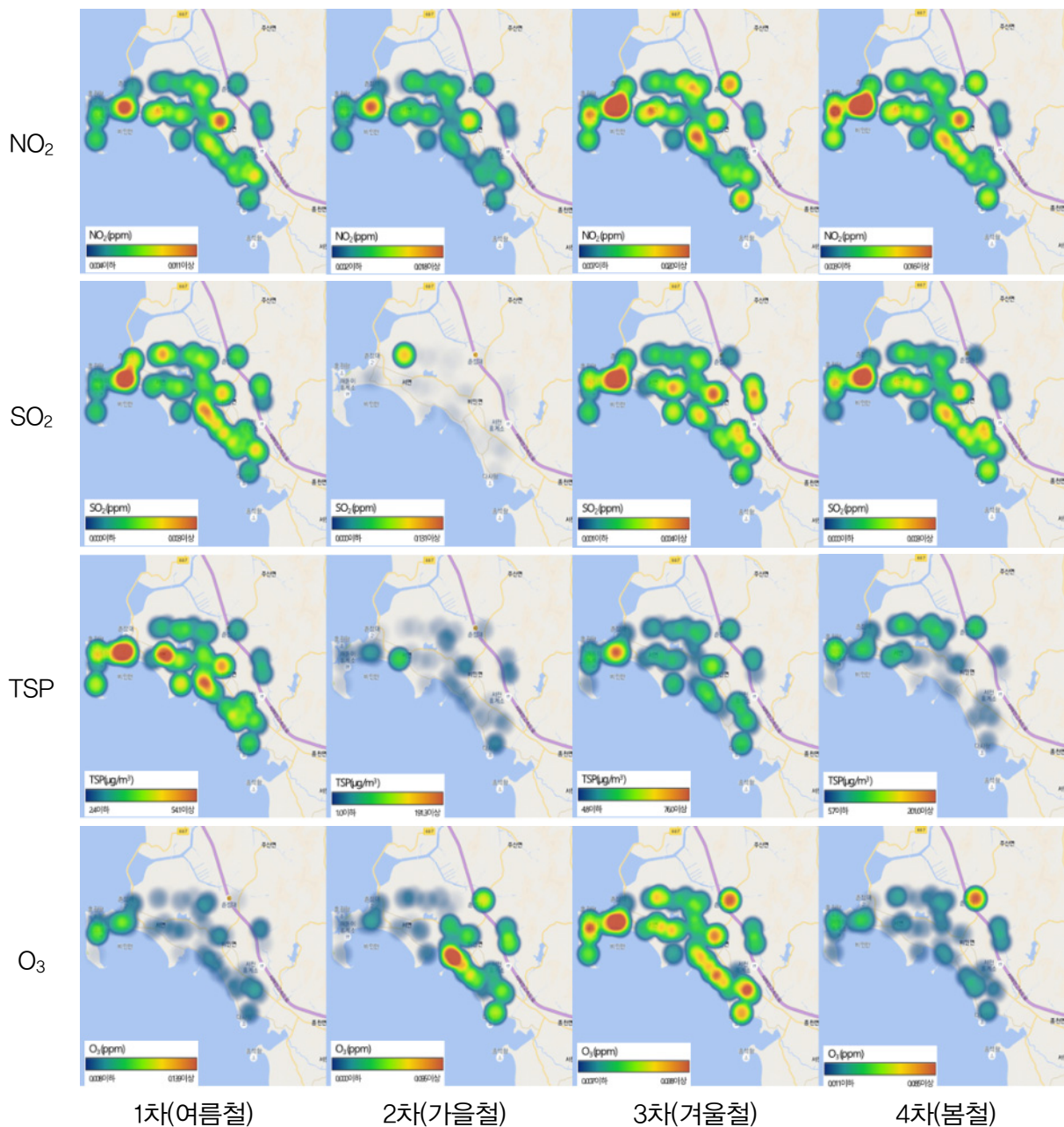
[그림 6.10] 보령시의 오염물질별 시공간 분포 현황

- 당진시의 이산화질소(NO_2)는 발전소와 인접한 석문면보다 고대면에서 고농도로 분포하고 있는 것으로 분석되었고 이황산가스(SO_2)와 총부유먼지(TSP)의 경우 가을철을 제외하고 유사한 패턴을 보였으며, 오존(O_3)의 경우에는 고대면 진관리와 용두리가 상대적으로 농도가 높은 것으로 분석됨



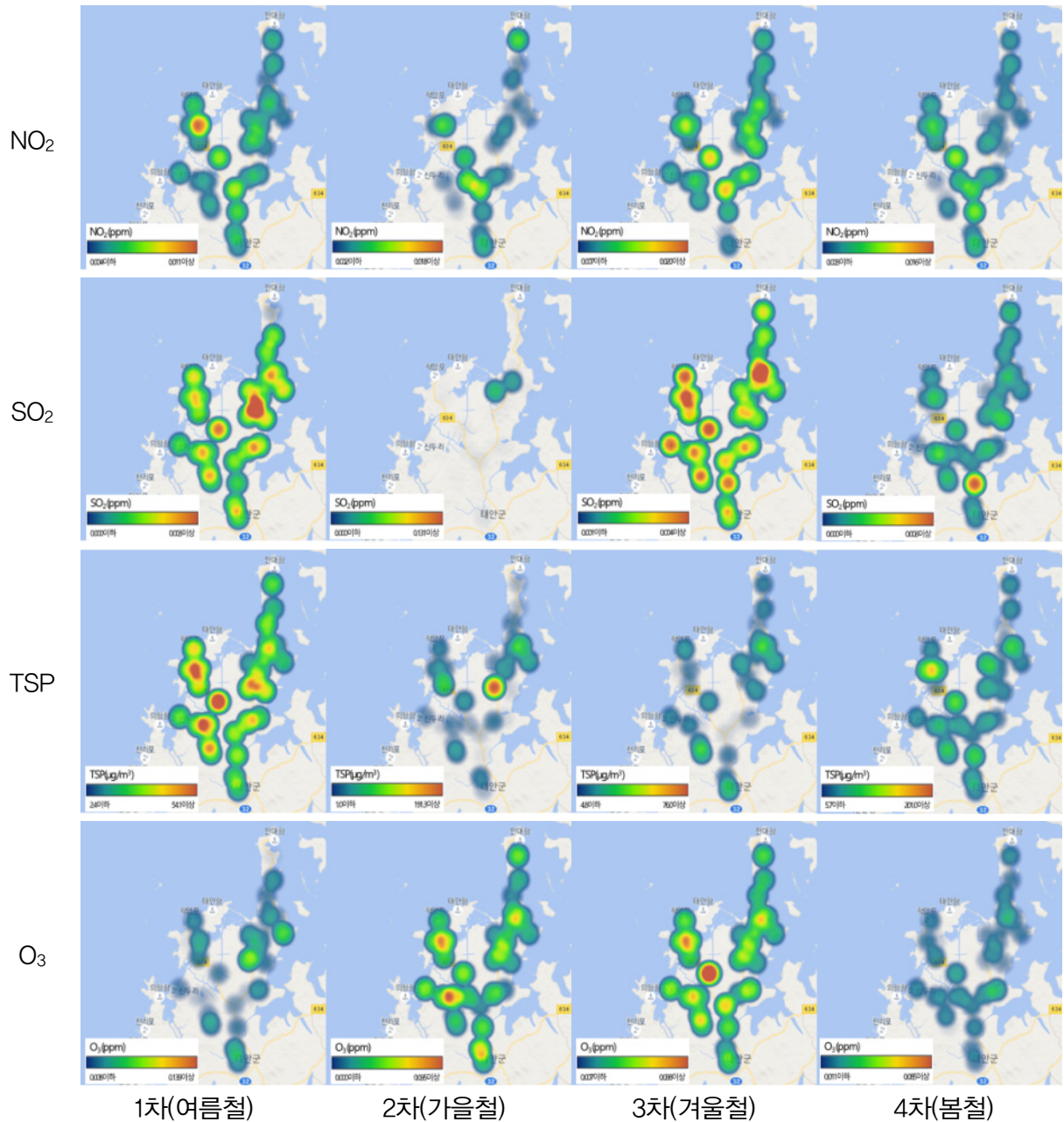
[그림 6.11] 당진시의 오염물질별 시공간 분포 현황

- 서천군의 이산화질소(NO_2)는 신서천 화력발전소 건설부지와 인접한 서면 요포, 요치 등과 비인면 선도리 일대에서 상대적으로 고농도로 분포하고 있는 것으로 분석되었으며, 아황산가스(SO_2)와 총부유먼지(TSP)의 경우 가을철을 제외하고 서면 요포, 요치 등에서 상대적으로 농도가 높은 것으로 분석되었고 오존(O_3)의 경우에는 타 지자체에 비해 낮은 농도로 분포하고 있는 것으로 파악됨



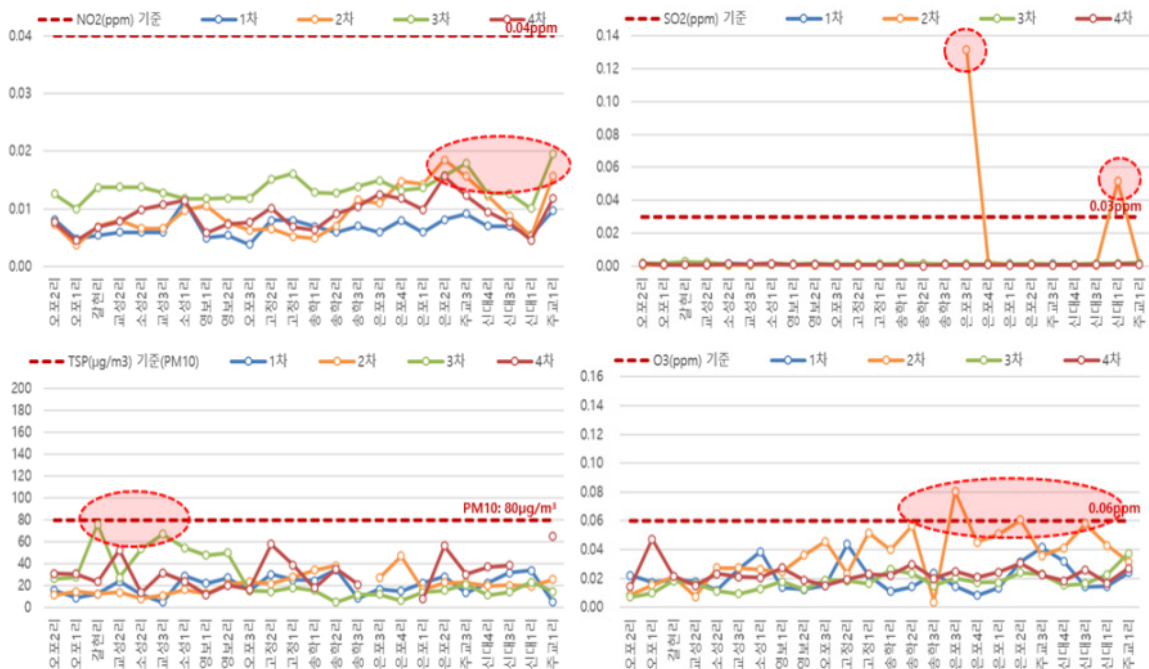
[그림 6.12] 서천군의 오염물질별 시공간 분포 현황

- 태안군은 타 지자체와 다르게 이산화질소(NO_2) 농도가 상대적으로 낮게 분포하고 있으며, 이황산가스(SO_2)의 농도는 다소 높은 것으로 분석되었고 비교적 여름과 봄철 총부유먼지(TSP) 농도가 높았으며, 가을과 겨울철에 오존(O_3)의 농도가 전반적으로 고농도로 분포하고 있는 것으로 파악됨



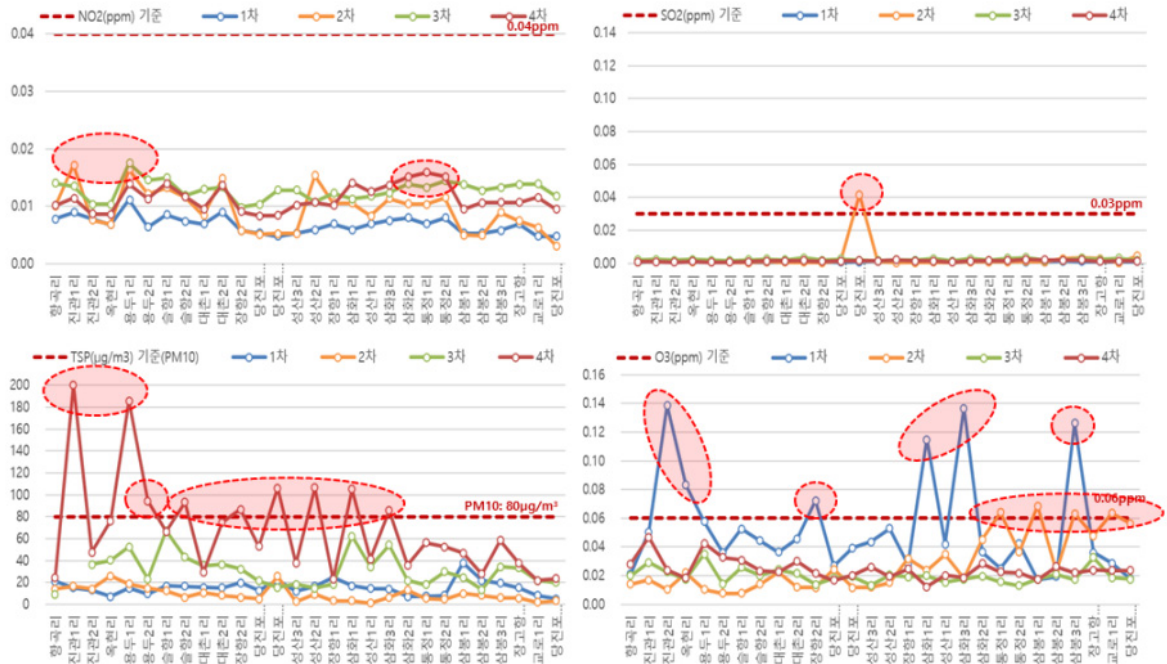
[그림 6.13] 태안군의 오염물질별 시공간 분포 현황

- 측정결과를 기반으로 실측데이터 기준 중점우선관리 대상 선정을 지역별, 오염물질별 측정시기의 경향 비교 그래프를 작성
 - 보령시의 이산화질소(NO_2)는 충청남도 대기환경기준을 초과하진 않으나 일부 은포리와 주교리 지점에서 높은 경향성을 보이며, 아황산가스(SO_2)는 은포4리와 신대1리에서 기준치를 초과하는 것으로 분석되었으며, 총부유먼지(TSP)의 경우 기준이 없어 미세먼지(PM_{10}) 기준을 적용하였으나 기준치를 이내인 것으로 파악되었고 오존(O_3)은 은포리와 신대리 일부 마을에서 기준치를 초과하는 것으로 분석



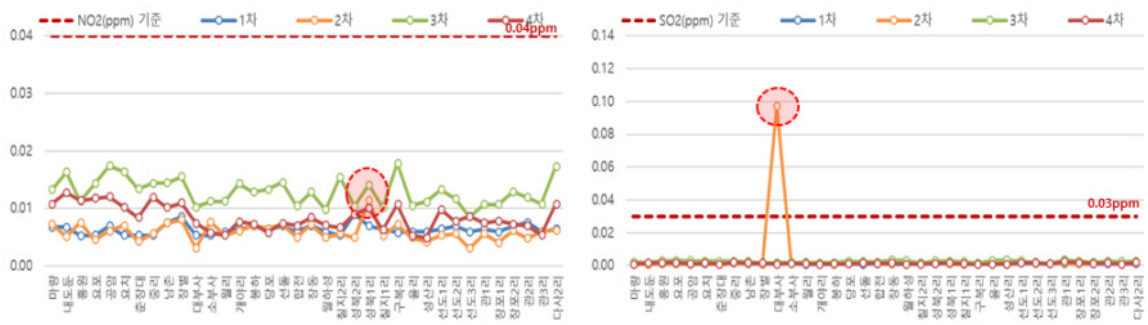
[그림 6.14] 보령시의 측정시기별 패턴 현황

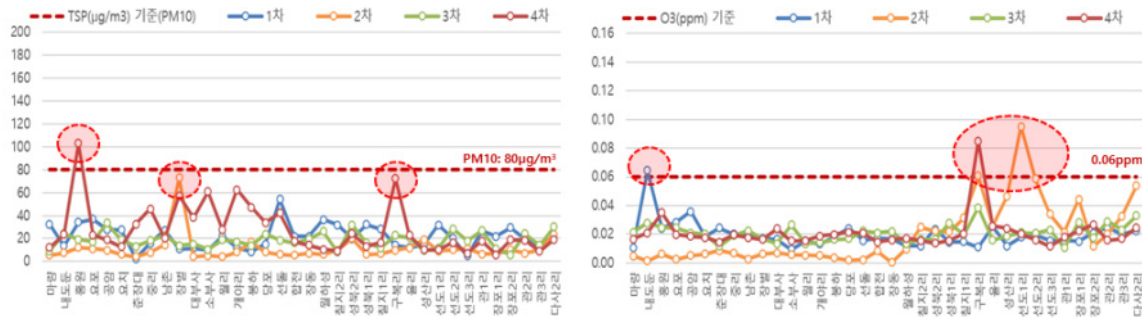
- 당진시의 이산화질소(NO_2)는 충청남도 대기환경기준 범위 이내로 진관1리와 용두1리, 석문면 삼화리와 통정리 일대에서 비교적 높은 양상을 보였으며, 아황산가스(SO_2)의 경우 당진포1리에서 기준치를 상회하였고 총부유먼지(TSP)의 경우 기준이 없어 미세먼지(PM_{10}) 기준을 적용하여 다수 지역에서 기준치를 상회하는 것으로 분석되었으며, 오존(O_3)의 경우에도 고대면과 석문면 내 다수 지역에서 기준치를 상회하는 것으로 분석



[그림 6.15] 당진시의 측정시기별 패턴 현황

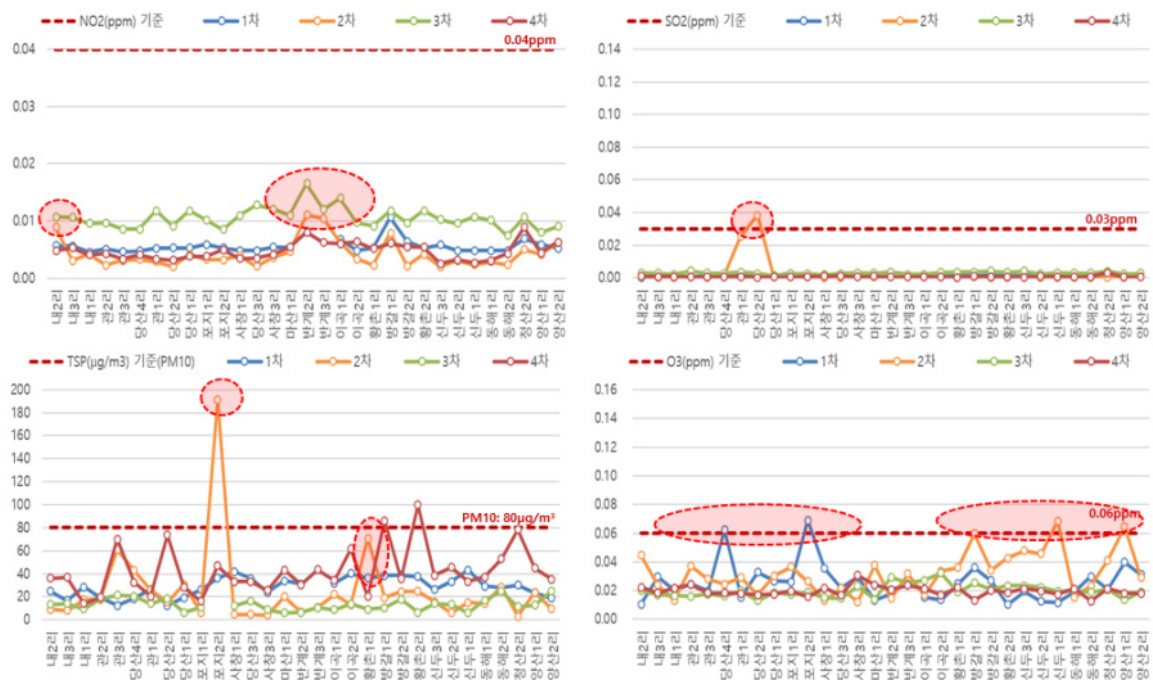
- 서천군의 이산화질소(NO_2)는 충청남도 대기환경기준에 충족하는 것으로 분석되었고 아황산가스(SO_2)의 경우 대부사마을에서 기준치를 초과하는 것으로 파악되었으며, 충부유먼지(TSP)의 경우 기준이 없어 미세먼지(PM_{10}) 기준을 적용하여 홍원마을에서 기준을 초과하는 것으로 분석되었고 오존(O_3)은 내도둔마을과 구복리 선도1리에서 기준치를 초과하는 고농도로 분포하고 있는 것으로 분석





[그림 6.16] 서천군의 측정시기별 패턴 현황

- 태안군에서도 이산화질소(NO_2)의 경우 충청남도 대기환경기준에 부합하는 것으로 분석되었으며, 이황산가스(SO_2)는 당산2리에서 기준치를 초과하는 것으로 분석되었고 총부유먼지(TSP)의 경우 기준이 없어 미세먼지(PM_{10}) 기준을 적용하여 포지2리를 비롯한 일부 지역에서 기준치를 상회하는 것으로 파악되었으며, 오존(O_3)도 포지2리를 비롯한 5개 지역에서 기준치를 초과하는 것으로 분석



[그림 6.17] 태안군의 측정시기별 패턴 현황

- 실측데이터의 시공간 분포와 패턴 분석을 통하여 119개 마을 중 중점·우선관리 대상을 오염물질별로 제안
 - 중점관리 대상은 고농도 발생 빈도가 높은 마을로 정의하며, 측정 4회 중 3회 이상 고농도 기준 5순위 안에 드는 지점을 선정
 - 우선관리 대상은 충청남도 대기환경기준을 초과하는 마을로 정의하며, 1회 이상 기준을 초과하는 지점을 선정
- 향후 후속연구 또는 별도 연구를 통한 중점·우선관리 대상에 대한 다각적인 영향조사와 지속적인 모니터링 등 종합적인 분석 기반으로 정책지원 집중 필요

구분	이산화질소(NO ₂)	아황산가스(SO ₂)	총부유먼지(TSP)	오존(O ₃)
보령시	중점 주교면 주교1리 주교면 은포2리 주교면 주교3리	-	-	주교면 은포2리 주교면 송학2리
	우선 -	주교면 은포3리 주교면 신대1리	-	주교면 은포3리 주교면 은포2리
당진시	중점 고대면 슬항1리 고대면 용두1리 석문면 통정2리	석문면 삼봉3리 석문면 삼봉2리	고대면 용두1리 고대면 당진포1리	-
	우선 -	고대면 당진포1리	고대면 진관1리 고대면 용두1리) 고대면 성산2리 고대면 당진포1리 석문면 삼화1리 고대면 용두2리 고대면 슬항2리 고대면 장항2리 석문면 삼화3리	석문면 삼봉3리 고대면 진관2리 석문면 삼화3리 석문면 삼화1리 고대면 옥현리 고대면 장항2리 석문면 삼봉1리 석문면 통정1리 석문면 교로1리
서천군	중점 -	-	-	비인면 구북리 비인면 다사2리
	우선 -	서면 대부사	서면 홍원	비인면 구북리 비인면 선도1리 서면 내도둔
태안군	중점 원북면 반계2리 원북면 이곡1리 원북면 반계3리	-	이원면 관3리	원북면 방갈1리
	우선 -	이원면 당산2리	이원면 포지2리 원북면 황촌2리 원북면 방갈1리	이원면 포지2리 원북면 신두1리 원북면 양산1리 이원면 당산4리 원북면 방갈1리

제7장 지역 대기오염물질 기원 및 기여도 추정

1. 안정동위원소 분석을 통한 기원추정
2. 모델링에 의한 기여도 조사

1. 안정동위원소 분석을 통한 기원추정

1.1 측정 및 분석

- 화력발전소로 인한 영향과 외부요인이 지역 대기오염에 미치는 영향 등의 파악을 위한 시범조사로 당진시를 안정동위원소 측정지점으로 선정하여 대기시료 샘플링을 통해 유기탄소와 납 동위원소비 분석을 실시하여 지역 대기오염물질의 기원을 추정
- 측정대상은 2개 지점으로 당진시 수청동에 위치한 당진시청과 석문면에 위치한 석문면사무소로 선정, TM좌표를 활용하여 화력발전소와의 이격거리와 방향을 파악
 - Bessel 타원체 사용(10.405초 보정), 중부원점, 원점 가산(경위도 또는 수치지도 \times 600,000m) 조건을 적용하여 해당 지점의 위경도를 TM좌표(X(N), Y(E))로 변환

[표 7.1] 측정지점의 TM좌표와 화력발전소로부터의 이격거리

구분	TMx(N)	TMy(E)	화력발전소 인접도		
			거리(km)	방향	
당진시	당진시청	476871.353075	168172.703004	21.4	남동
	석문면사무소	487097.432638	163320.842423	10.3	남동

- 시료 채취는 공정시험법에 명시된 하이(로)볼륨에어샘플러를 활용하여 대기 상에 부유하고 있는 입자상 물질을 24시간 이상 포집하였으며, 계절별 1회 측정
 - 당진시청 1차(봄철) 2018.04.09.~2018.04.10., 2차(여름철) 2018.07.11.~2018.07.12., 3차(가을철) 2018.10.17.~2018.11.18., 4차(겨울철) 2019.01.16.~2019.01.17. 측정
 - 석문면사무소 1차(봄철) 2018.04.11.~2018.04.12., 2차(여름철) 2018.07.12.~2018.07.13., 3차(가을철) 2018.10.18.~2018.11.19., 4차(겨울철) 2019.01.17.~2019.01.18. 측정
- 측정결과의 신뢰성 확보를 위해 시료 필터는 분석 전문기관인 한국기초과학지원연구원에 위탁 분석하여 결과로 활용하였으며, 분석항목은 유기탄소 안정동위원소비($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$), 납 안정동위원소비($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$)로 질소 동위원소비는 함량 미달로 분석이 불가하여 본 연구에서 제외함



[그림 7.1] 안정동위원소 분석을 위한 현장사진

- 유기탄소 안정동위원소비 분석은 한국기초과학지원연구원에서 보유한 안정동위원소 질량분석기(Stable Isotope Ratio Mass Spectrometer)를 활용, 납 안정동위원소비는 레이저작박 다검출기 유도결합플라즈마 질량분석기(Laser Ablation-Multi Collector-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer)를 활용하여 분석
 - 유기탄소 안정동위원소비 표준물질은 Vienna Pee Dee Belemnite(VPDB)이며, 납 안정동위원소비 표준물질은 NBS981를 적용
- 국립환경과학원(2013)은 δ 값이 0이면 시료의 동위원소비가 표준물질과 같다는 것을 의미, 양수(+)이면 시료에 무거운 동위원소가 표준물질보다 많이 농축되었음을 의미, 음수(-)일 경우 시료에 무거운 동위원소가 결핍되어 표준물질보다 가볍다고 정의하고 있음
- 국립환경과학원(2014)에 의하면 탄소동위원소비는 다음의 식을 적용하여 산정하며, 여기서 R은 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 으로 정의

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = \left(\frac{R_{\text{시료}} - R_{\text{표준물질}}}{R_{\text{표준물질}}} \right) \times 1000 \quad (1)$$

1.2 분석결과

- 미세먼지 또는 초미세먼지 등의 기원 추적에 적합한 유기탄소 안정동위원소비의 계절별 분석결과 겨울 > 봄 > 가을 > 여름 순으로 고농도로 분포하는 것으로 분석

[표 7.2] 유기탄소 안정동위원소비 분석결과

구분		Mean	SD	Mean±SD	Median	비고
시청사	봄	-25.8	0.1	-25.8±0.1	-25.8	
	여름	-26.4	0.1	-26.4±0.1	-26.4	
	가을	-26.0	0.1	-26.0±0.1	-26.1	
	겨울	-24.9	0.8	-24.9±0.8	-24.9	신뢰성 낮음
석문면	봄	-25.2	0.1	-25.2±0.1	-25.2	
	여름	-27.7	0.2	-27.7±0.2	-27.7	
	가을	-26.3	0.1	-26.3±0.1	-26.3	
	겨울	-25.1	0.0	-25.1±0.0	-25.1	

- 석탄, 비철금속 제련에 의한 오염원 추적에 적합한 납 안정동위원소비의 원소비별 경향성이 상이하여 패턴 파악이 불가하였으나, 패턴이 동일한 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 비와 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 비는 시청사의 경우 가을 > 겨울 > 여름 > 봄 순으로 고농도, 석문면의 경우 여름 > 봄 > 가을 > 겨울 순으로 고농도로 분포하는 것으로 분석

[표 7.3] 유기탄소 안정동위원소비 분석결과

구분		$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
시청사	봄	18.111	15.606	0.862	38.024	2.099	1.161
	여름	18.266	15.614	0.855	38.148	2.088	1.170
	가을	18.341	15.628	0.852	38.140	2.080	1.174
	겨울	18.294	15.625	0.854	38.258	2.091	1.171
석문면	봄	18.214	15.610	0.857	38.092	2.091	1.167
	여름	18.318	15.599	0.852	38.252	2.089	1.174
	가을	18.205	15.608	0.857	37.947	2.084	1.166
	겨울	18.093	15.597	0.862	38.084	2.105	1.160

1.3 대기오염물질 기원 라이브러리 DB 구축

- 유기탄소와 납 안정동위원소의 거동특성 분석을 통한 대기오염물질 기원 추정을 위하여 국내외 관련 논문 23편과 보고서 9건을 검토·분석하여 통합 라이브러리 DB를 구축
- 안정동위원소 연구동향은 국외의 경우 측정결과를 기반으로 기원 규명을 위한 기원별 라이브러리 정보 구축에 관련 연구가 활발한 것으로 분석되었고, 국내의 경우 국립환경과학원, 한국표준과학연구원 등에서 측정결과와 모델링을 통한 기여도 추정 연구가 중점적으로 추진되고 있는 것으로 파악됨
- 탄소 안정동위원소 관련 주요 선행연구 분석결과, 여름철 $\delta^{13}\text{C}$ 는 북부와 남부의 데이터가 유사한 수준이나, 겨울의 경우 남부에 비해 난방연료로 석탄과 석유를 더 많이 사용하는 북부가 높은 값을 나타내어 중국 $\delta^{13}\text{C}$ 의 경우 석탄과 석유 연소에 의한 영향을 상당한 것으로 조사됨(박현우, 2017)
- 관련 선행연구에 의하면 대기 중 탄소성 입자의 $\delta^{13}\text{C}$ 는 다양한 오염원이 존재하고 있어 지역에 따른 명확한 특성이 나타나지 않아 특정 오염원 추적이 어려운 것으로 조사되어 추가연구가 필요한 것으로 분석됨

[표 7.4] 유기탄소 안정동위원소비 국가별 라이브러리

국가	지역	구분	계절	$\delta^{13}\text{C}$	출처
뉴질랜드	Mount Victoria tunnel	자동차 배기가스		-25.9 ± 0.8	Ancelet et al. (2011); Dai et al. (2015)
멕시코	멕시코시티	도로분진	봄~가을	-21 ± 0.2	Lopez-Veneroni (2009); Dai et al. (2015)
멕시코	centra Camionera del Norte	디젤차량 연소	봄	-24.6 ± 0.3	Lopez-Veneroni (2009); Dai et al. (2015)
멕시코	tunnel of Avenida Chapultepec	가솔린차량 연소	봄	-25.5 ± 0.1	Lopez-Veneroni (2009); Dai et al. (2015)
브라질	tunnel of Rio de Janeiro	자동차 배기가스	봄	-25.4	Tanner and Miguel (1989); Dai et al. (2015)
브라질	tunnel of Rio de Janeiro	자동차 배기가스	봄	-24.8	Tanner and Miguel (1989); Dai et al. (2015)

국가	지역	구분	계절	$\delta^{13}\text{C}$	출처
캐나다	Cassier tunnel	자동차 배기가스		-27.1	L. Huang et al. (2006); Dai et al. (2015)
캐나다	Cassier tunnel	자동차 배기가스		-26.9	L. Huang et al. (2006); Dai et al. (2015)
프랑스	파리	석탄연소	봄~가을	-23.9 ± 0.5	Widory et al. (2004); Dai et al. (2015)
프랑스	파리	연료유(중유) 연소	봄~가을	-26.0 ± 0.5	Widory et al. (2004); Dai et al. (2015)
중국	베이징		여름	-26.9	Cha et al. (2011)
중국	홍콩	자동차	겨울	-26.62	NIER (2013a); NIER (2015a); NIER (2016)
중국	베이징		여름	-26.62	Cha et al. (2011)
중국	베이징	석탄+자동차	겨울	-25.14	NIER (2013a); NIER (2015a); NIER (2016)
중국	장춘		겨울	-23.27	Cha et al. (2011)
중국	장춘	석탄연소	겨울	-23.13	NIER (2013a); NIER (2015a); NIER (2016)
중국	장춘		겨울	-23.08	Cha et al. (2011)
중국	Zhujiang tunnel	자동차 배기가스	여름	-25.0 ± 0.3	Dai et al. (2015)
일본	유리혼조 시	석탄연소		-23.3	Kawashima and Haneishi (2012); Dai et al. (2015)
일본	유리혼조 시	도로분진	가을	$-18.4 \sim -16.4$	Kawashima and Haneishi (2012); Dai et al. (2015)
일본	유리혼조 시	C4식물	봄~가을	$-19.3 \sim -16.1$	Kawashima and Haneishi (2012); Dai et al. (2015)
일본	아키타현	SPM	겨울	-23.6 ± 0.5	Kawashima and Haneishi (2012)
일본	아키타현	SPM	겨울	-23.8 ± 0.6	Kawashima and Haneishi (2012)
일본	아키타현	PM2.5	겨울	-24.1 ± 0.1	Kawashima and Haneishi (2012)
일본	아키타현	PM2.5	봄	-24.1 ± 0.2	Kawashima and Haneishi (2012)
일본	아키타현	PM2.5	겨울	-24.1 ± 0.5	Kawashima and Haneishi (2012)
일본	아키타현	PM2.5	봄	-24.3 ± 0.1	Kawashima and Haneishi (2012)

국가	지역	구분	계절	$\delta^{13}\text{C}$	출처
일본	아키타현	PM2.5	가을	-24.4 ± 0.4	Kawashima and Haneishi (2012)
일본	아키타현	PM2.5	가을	-24.5 ± 0.2	Kawashima and Haneishi (2012)
일본	아키타현	PM2.5	여름	-24.6 ± 0.4	Kawashima and Haneishi (2012)
일본	아키타현	SPM	봄	-24.6 ± 0.8	Kawashima and Haneishi (2012)
일본	아키타현	SPM	가을	-24.8 ± 0.4	Kawashima and Haneishi (2012)
일본	아키타현	SPM	여름	-24.9 ± 0.3	Kawashima and Haneishi (2012)
일본	아키타현	PM2.5	여름	-25.0 ± 0.0	Kawashima and Haneishi (2012)
일본	아키타현	SPM	가을	-25.0 ± 0.4	Kawashima and Haneishi (2012)
일본	아키타현	SPM	봄	-25.1 ± 0.2	Kawashima and Haneishi (2012)
일본	아키타현	SPM	여름	-25.2 ± 0.5	Kawashima and Haneishi (2012)
일본	유리혼조 시	벽난로 숯		-26.5 ± 0.1	Kawashima and Haneishi (2012); Dai et al. (2015)
일본	유리혼조 시	차콜 연소		-27.4 ± 1.7	Kawashima and Haneishi (2012); Dai et al. (2015)
일본	유리혼조 시	C3식물	봄~가을	$-34.7 \sim -28.0$	Kawashima and Haneishi (2012); Dai et al. (2015)
한국	태안(파도리)		봄(3월)	-24.63	박현우(2017)
한국	태안(파도리)		봄(4월)	-23.89	박현우(2017)
한국	태안(파도리)		봄(5월)	-27.08 ± 0.4	박현우(2017)
한국	태안(파도리)		가을(10월)	-23.47 ± 0.2	박현우(2017)
한국	태안(파도리)		겨울(12월)	-25.22	박현우(2017)
한국	태안(파도리)		Non-Event	-24.44 ± 1.1	박현우(2017)
한국		석탄화력발전 시설 비산재		-7.96	NIER (2013a)
한국		석탄화력발전 시설 비산재		-24.61	NIER (2013a)
한국		석탄화력발전 시설 비산재		-26.56	NIER (2013a)
한국		석탄화력발전 시설 비산재		-28.57	NIER (2013a)

국가	지역	구분	계절	$\delta^{13}\text{C}$	출처
한국		석탄화력발전 시설 비산재		-23.14	NIER (2013a)
한국		석탄화력발전 시설 비산재		-23.43	NIER (2013a)
한국		시멘트소성시 설 비산재		-9.62	NIER (2013a)
한국		시멘트소성시 설 비산재		-3.15	NIER (2013a)
한국		시멘트소성시 설 비산재		-12.29	NIER (2013a)
한국		시멘트소성시 설 비산재		-11.16	NIER (2013a)
한국		시멘트소성시 설 비산재		-3.15	NIER (2013a)
한국	보령시 (화력발전 1km)	PM2.5	여름(7월)	-24.57 ± 0.54	NIER (2014b)
한국	보령시 (화력발전 1km)	PM2.5	여름(8월)	-25.76 ± 0.51	NIER (2014b)
한국	보령시 (화력발전 1km)	PM2.5	가을(10월)	-24.68 ± 1.33	NIER (2014b)
한국	보령시 (화력발전 20km)	PM2.5	여름(7월)	-23.89	NIER (2014b)
한국	보령시 (화력발전 20km)	PM2.5	여름(8월)	-	NIER (2014b)
한국	보령시 (화력발전 20km)	PM2.5	가을(10월)	-24.59 ± 1.48	NIER (2014b)
한국	서울	터널		-25.31 ± 0.20	NIER (2015a)
한국	남산3호터널		가을	$-25.33 \sim -25.06$	NIER (2015b)
한국	홍지문터널		가을	$-25.46 \sim -25.05$	NIER (2015b)
한국	서울	톨게이트		-25.49 ± 0.16	NIER (2015a)
한국	남인천TG		가을	$-25.67 \sim -25.28$	NIER (2015b)

[표 7.5] 유기탄소 안정동위원소비 기원별 라이브러리

구분	$\delta^{13}\text{C}$	출처	구분	$\delta^{13}\text{C}$	출처
C3식물	-28.9~-23.8	NIER (2015c)	가솔린 연소	-27	Widory (2006); Dai et al. (2015)
C3식물	-32.0~-29.0	Cha et al. (2011)	가솔린 차량 연소	-25.1~-23.5	Widory et al. (2004); Kawashima and Haneishi (2012)

구분	$\delta^{13}\text{C}$	출처	구분	$\delta^{13}\text{C}$	출처
Potherb mustard(C3)	-32.1	Kawashima and Haneishi (2012)	가솔린(SUV)	-20.6 ± 1.5	Kawashima and Haneishi (2012)
대두(C3)	-28.8	Kawashima and Haneishi (2012)	가솔린(경차)	-24.4 ± 0.7	Kawashima and Haneishi (2012)
로즈마리(C3)	-31.7	Kawashima and Haneishi (2012)	가솔린(승용차)	-24.1 ± 0.6	Kawashima and Haneishi (2012)
마른잎(C3)	-29.4	Kawashima and Haneishi (2012)	가솔린, 디젤 연소(자동차)	-25	NIER (2016)
몬트부레치아(C3)	-32.3	Kawashima and Haneishi (2012)	갈탄	-21.9	NIER (2015c)
벼(C3)	-28.0 ± 0.1	Kawashima and Haneishi (2012)	갈탄 연소	-24.8	NIER (2015c)
수박(C3)	-29.4	Kawashima and Haneishi (2012)	굴뚝먼지	-24.4	NIER (2015c)
오이(C3)	-29.2	Kawashima and Haneishi (2012)	굴뚝재	-28.6	NIER (2015c)
카모마일(C3)	-34.7	Kawashima and Haneishi (2012)	디젤 연소	-29	Widory (2006); Dai et al. (2015)
해바라기(C3)	-30.7	Kawashima and Haneishi (2012)	디젤 차량 연소	$-24.9 \sim -24.0$	Widory et al. (2004); Kawashima and Haneishi (2012)
C4식물	$-13.5 \sim -11.5$	Cha et al. (2011)	디젤(건설기계)	-24.9	Kawashima and Haneishi (2012)
옥수수(C4)	-16.1	Kawashima and Haneishi (2012)	디젤(버스)	-24.2 ± 0.2	Kawashima and Haneishi (2012)
잔디(C4)	-19.3	Kawashima and Haneishi (2012)	디젤(버스, 자동차)	-24.4 ± 0.4	Kawashima and Haneishi (2012)
꽃가루	-28	Moura et al (2008); Martinelli et al (2002); Jung et al (2011)	디젤(자동차, 버스, 대형차량)	-24.3 ± 0.3	Kawashima and Haneishi (2012)
느티나무 연소	-31.1	NIER (2015c)	벽난로 숯	-26.5 ± 0.1	Kawashima and Haneishi (2012)
바이오매스 연소(C3)	$-32 \sim -20$	NIER (2016)	석탄연소	$-24.9 \sim -21$	Cha et al. (2011)
바이오매스 연소(C4)	$-17 \sim -9$	NIER (2016)	아스팔트 분진	-1.8	Kawashima and Haneishi (2012)
바이오매스 연소(농작물)	$-28.14 \sim -27.12$	NIER (2015c)	연석 분진	-16.4	Kawashima and Haneishi (2012)

구분	$\delta^{13}\text{C}$	출처	구분	$\delta^{13}\text{C}$	출처
바이오매스 연소(목재류)	-31.08~-27.21	NIER (2015c)	연탄	-21.3	NIER (2015c)
벚꽃 연소	-27.1	NIER (2015c)	자동차 배기가스	-24.7	NIER (2015c)
생장나무가지 연소	-28.1	NIER (2015c)	자동차 배기가스	-28~-26	Cha et al. (2011)
생장나무가지 침엽 연소	-30.1	NIER (2015c)	차콜	-26.5	NIER (2015c)
은행잎 연소	-29.3	NIER (2015c)	차콜	-27.4±1.7	Kawashima and Haneishi (2012)
잣나무잎 연소	-27.2	NIER (2015c)	차콜 연소	-23.3	NIER (2015c)
콩가지 연소	-28.1	NIER (2015c)	콘크리트 분진	-18.4	Kawashima and Haneishi (2012)
토양	-18.8±3.4	Kawashima and Haneishi (2012)	해양 생물상	-22	NIER (2016)
			화석연료 (가스)	-34	NIER (2016)
			화석연료 (고체)	-23	NIER (2016)
			화석연료 (액체)	-27	NIER (2016)

- 납 안정동위원소 관련 주요 선행연구 분석결과, 휘발성이 낮아 대부분 입자에 흡착된 상태로 이동하는 납 특성상 에어로졸의 이동특성에 따라 대기 이동이 달라져 주로 점오염원의 납 배출 중 20~60%는 배출원 부근에 침적, 20%는 확산 이동, 5~10%는 장거리 이동을 하는 것으로 조사되었으며, 자연계에는 ^{204}Pb (1.4%), ^{206}Pb (24.1%), ^{207}Pb (22.1%), ^{208}Pb (52.4%)의 4종이 분포하고 있는 것으로 파악됨(국립환경과학원, 2013)
- 또한, 국립환경과학원(2013)에서 중국의 주요 납 배출 기원조사를 위해 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 비를 분석한 결과 납 광산은 1.0593~1.1789로 지역별로 다양한 납 동위원소비를 보였으며, 석탄의 경우 상해 1.140~1.208, 베이징 등 북동지역 1.1781±0.0218 등으로 지역적으로 특정값을 갖고 있는 것으로 나타났고 중국 배경토양은 북동지역 1.153~1.175, 양자강 지역 1.152~1.170, 인도차이나 지역 1.189~1.208로 조사됨

- 중국 북동부 지역은 지질특성 상 Thorium의 함량이 높아 대기 먼지 중의 ^{208}Pb 가 높은 것으로 알려져 있으며, 높은 Th/U 비를 반영하는 'thorogenic lead'의 경우 아시아지역 정광과 석탄에는 다량 분포하나 일본 지각에는 납 성분이 없는 것으로 알려져 있고 중국 남서부에 위치한 Jinding 광산지역은 전 세계 17개의 최대 납 및 아연 광산지역으로 납 및 아연광석 중 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 가 38.49~39.04, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 가 1.176~1.191의 값을 갖는 것으로 조사됨(국립환경과학원, 2015)
- 관련 선행연구에 의하면 석탄 또는 비철금속 제련에 의한 오염원 추적과 특정 지역의 오염원 추적에 적합하나 국내에서 유연탄과 비철광석을 수입에 의존하고 있어 국내 특성의 파악이 어려운 한계가 있는 것으로 분석됨

[표 7.6] 납 안정동위원소비 국가별 라이브러리

국가	구분	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	출처
러시아	러시아산 유연탄	1.181	NIER (2014b)
미국	미국산 유연탄	1.18	NIER (2014b)
미국	석탄화력발전시설 유연탄	1.18	NIER (2013a)
인도네시아	석탄화력발전시설 유연탄	1.19	NIER (2013a)
인도네시아	인도네시아산 유연탄	1.19	NIER (2014b)
일본	강우	1.158	NIER (2013a); NIER (2014a)
중남미	납 광상	1.175~1.206	NIER (2013b)
호주	납 광상	1.03~1.10	NIER (2013b)
호주	석탄화력발전시설 유연탄	1.19	NIER (2013a)
호주	호주산 유연탄	1.19	NIER (2014b)

[표 7.7] 납 안정동위원소비 중국 기원별 라이브러리

지역	구분	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	출처
Cathaysia	토양	2.458-2.495			1.180-1.203	Cheng and Hu (2010)
Eastern Cathaysia	화강암	2.468			1.1834	Zhu (1998); Lee et al. (2007)
Foshan	에어로졸 (하드웨어 공장)	2.4569			1.1622	Zhu et al. (2001); Lee et al. (2007)
Foshan	에어로졸 (하드웨어 공장)	2.463			1.165	Zhu et al. (2001); Lee et al. (2007)

제7장 지역 대기오염물질 기원 및 기여도 추정

지역	구분	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	출처
Foshan	에어로졸 (플라스틱 공장)	2.4569			1.1552	Zhu et al. (2001); Lee et al. (2007)
Foshan	에어로졸 (플라스틱 공장)	2.4646			1.1664	Zhu et al. (2001); Lee et al. (2007)
Foshan	화산암	2.4965			1.1993	Zhu et al. (1989); Lee et al. (2007)
Foshan Pb-Zn	인위적 배출원	2.4725			1.1716	Zhu (1998); Lee et al. (2007)
PRD	오염되지 않은 토양	2.4815			1.1952	Zhu et al. (2001); Lee et al. (2007)
PRD	자동차 배기가스	2.4228			1.1604	Zhu et al. (2001); Lee et al. (2007)
PRD	화강암	2.4824			1.1842	Zhu (1998); Lee et al. (2007)
광저우 (백운산)	에어로졸	2.4549			1.1677	Lee et al. (2007)
광저우 (백운산)	에어로졸	2.4627			1.1698	Lee et al. (2007)
광저우 (백운산)	에어로졸	2.4487~2.4695			1.1545~1.1783	Lee et al. (2007)
광저우 (중산대학)	에어로졸	2.4519			1.1661	Lee et al. (2007)
광저우 (중산대학)	에어로졸	2.4598			1.169	Lee et al. (2007)
광저우 (중산대학)	에어로졸	2.4446~2.4679			1.1551~1.1750	Lee et al. (2007)
북동	토양	2.431-2.444			1.153-1.175	Cheng and Hu (2010)
북부	석탄		2.1007 ± 0.0298		1.1781 ± 0.0218	Cheng and Hu (2010)
북부	토양	2.373-2.489			1.040-1.160	Cheng and Hu (2010)
북쪽	강우				1.15	NIER (2013a); NIER (2014a)
상해	석탄				1.140~1.208	Cheng and Hu (2010)

지역	구분	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	출처
양쯔	토양	2,449-2,456			1,152-1,170	Cheng and Hu (2010)
운남 (남서부)	Jinding 광산			389~394	1,176~1,191	NIER (2015a)
인도차이나	토양	2,461-2,490			1,189-1,208	Cheng and Hu (2010)
중앙	강우				1,149	NIER (2013a); NIER (2014a)
홍콩	전원공원 토양	2,4953			1,1996	Lee et al. (2006); Lee et al. (2007)
홍콩(HKU 주차장)	도로분진	2,4318			1,1514	Duzgoren-Aydin et al. (2004); Lee et al. (2007)
홍콩(Hok Tsui)	에어로졸	2,436			1,1516	Lee et al. (2007)
홍콩(Hok Tsui)	에어로졸	2,4566			1,1636	Lee et al. (2007)
홍콩(Hok Tsui)	에어로졸	2,4065~2,4707			1,1255~1,1819	Lee et al. (2007)
홍콩(폴리 테크닉대 학)	에어로졸	2,439			1,1549	Lee et al. (2007)
홍콩(폴리 테크닉대학)	에어로졸	2,4579			1,1631	Lee et al. (2007)
홍콩(폴리 테크닉대학)	에어로졸	2,4290~2,4695			1,1463~1,1791	Lee et al. (2007)
홍콩 (고속도로)	도로분진	2,4456			1,1574	Duzgoren-Aydin et al. (2004); Lee et al. (2007)
홍콩(몽콕)	도로분진	2,4427			1,155	Duzgoren-Aydin et al. (2004); Lee et al. (2007)
	석탄샘플 (INCAR- CSIC)		2,1249		1,1546	Cheng and Hu (2010)
	납 광산				1,0593~1,1789	NIER (2013a)
	먼지	2,440~2,480			1,155~1,175	NIER (2013a)

[표 7.8] 납 안정동위원소비 중국 주요도시별 라이브러리

지역	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	출처
HongKou (상해)	18.13 ± 0.05	0.8633 ± 0.0011		2.114 ± 0.007		Zheng et al. (2004)
JingAn (상해)	18.16 ± 0.06	0.8645 ± 0.0011		2.102 ± 0.007		Zheng et al. (2004)
MiaoMiao (상해)	18.16 ± 0.06	0.8606 ± 0.0030		2.112 ± 0.006		Zheng et al. (2004)
PuTuo (상해)	18.12 ± 0.09	0.8643 ± 0.0020		2.115 ± 0.004		Zheng et al. (2004)
QingPu (상해)	18.10 ± 0.09	0.8546 ± 0.0014		2.072 ± 0.007		Zheng et al. (2004)
XuHui (상해)	18.14 ± 0.07	0.8600 ± 0.0017		2.107 ± 0.004		Zheng et al. (2004)
YangPu (상해)	18.17 ± 0.05	0.8609 ± 0.0026		2.111 ± 0.003		Zheng et al. (2004)
Beishan			2.3869	2.2533	1.0593	Cheng and Hu (2010)
Wafanggou			2.3967	2.2251	1.0771	Cheng and Hu (2010)
Guangshan			2.3168 ± 0.0404	2.2626 ± 0.1020	1.0259 ± 0.0469	Cheng and Hu (2010)
Jiashenpan			2.3354 ± 0.0116	2.2424 ± 0.0204	1.0415 ± 0.0063	Cheng and Hu (2010)
Binggou			2.3978 ± 0.106	2.2493 ± 0.0065	1.0660 ± 0.0039	Cheng and Hu (2010)
Lugou			2.3978 ± 0.0037	2.2492 ± 0.0080	1.0661 ± 0.0024	Cheng and Hu (2010)
Dongshan			2.4029 ± 0.0042	2.2508 ± 0.043	1.0676 ± 0.0072	Cheng and Hu (2010)
Gudonggou			2.4003 ± 0.0061	2.2473 ± 0.0102	1.068 ± 0.0055	Cheng and Hu (2010)
Fankou			2.4726 ± 0.0031	2.1096 ± 0.0024	1.1720 ± 0.0016	Cheng and Hu (2010)
Jinding			2.4707 ± 0.0005	2.0957 ± 0.0009	1.1789 ± 0.0004	Cheng and Hu (2010)

[표 7.9] 납 안정동위원소비 국내 제련, 시멘트 생산, 철강생산시설 라이브러리

구분	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	출처
2차납 제련시설 (그리드 및 납 산화물 페이스트)		1.170 ± 0.048	NIER (2013b)
2차 납 제련시설(배출가스)		1.158 ± 0.012	NIER (2013b)
2차 납 제련시설(연료 및 첨가물(비산재, 소다회, 분탄, 무연탄 및 분철 등))		1.157 ± 0.014	NIER (2013b)
2차 납 제련시설(제품)		1.155 ± 0.013	NIER (2013b)
2차 납 제련시설(폐기물)		1.153 ± 0.015	NIER (2013b)
구리 제련시설(구리광석)		1.186	NIER (2015b)
구리 제련시설(배출가스)		1.182~1.184	NIER (2015b)
구리 제련시설(슬러지)		1.128	NIER (2015b)
구리 제련시설(전기 동 제품)		1.176	NIER (2015b)
구리 제련시설(폐수)		1.177	NIER (2015b)
구리 제련시설(황산 제품)		1.15	NIER (2015b)
납 제련시설(납 광석)		1.046~1.075	NIER (2015b)
납 제련시설(배출가스)		1.136~1.155	NIER (2015b)
납 제련시설(슬러지)		1.136	NIER (2015b)
납 제련시설(황산)		1.152	NIER (2015b)
시멘트 생산시설(부연료)		1.151 ± 0.013	NIER (2013b)
시멘트 생산시설(부원료)		1.172 ± 0.025	NIER (2013b)
시멘트 생산시설(석회석)		1.203 ± 0.044	NIER (2013b)
시멘트 생산시설(소성시설 배출가스)		1.224 ± 0.042	NIER (2013b)
시멘트 생산시설(시멘트 분말)		1.166 ± 0.010	NIER (2013b)
시멘트 생산시설(유연탄)		1.192 ± 0.008	NIER (2013b)
시멘트 생산시설 (클링커 분쇄시설 배출가스)		1.244 ± 0.040	NIER (2013b)
아연제련시설 인근 강우		1.139~1.173	NIER (2013b)
아연제련시설 인근 적송 나이테		1.145~1.208	NIER (2013b)
아연제련시설 인근 침엽수 잎		1.140~1.153	NIER (2013b)
아연제련시설 인근 토양		1.219 ± 0.073	NIER (2013b)
아연제련시설 카드뮴 제조과정(배출가스)		1.140 ± 0.009	NIER (2013b)
아연제련시설 황산 제조과정(배출가스)		1.148 ± 0.007	NIER (2013b)
아연제련시설(배출가스)		1.105~1.149	NIER (2015b)
아연제련시설(슬러지)		1.130~1.136	NIER (2015b)
아연제련시설(아연광석)		1.193 ± 0.015	NIER (2013b)
아연제련시설(아연괴)		1.112	NIER (2015b)
아연제련시설(영풍석포제련소) 인근 TSP		1.127~1.217	NIER (2013b)
아연제련시설(폐수)		1.122~1.137	NIER (2015b)

구분	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	출처
아연제련시설(황산)		1.123~1.146	NIER (2015b)
연화광산(방연석)		1.215~1.250	NIER (2013b)
자동차 배기가스		1.217 ± 0.002	NIER (2014b)
철강생산시설 고로공정(고로슬러지)	37.616	1.163	NIER (2014b)
철강생산시설 고로공정(괴재+수재슬래그)	38.004 ± 0.013	1.179	NIER (2014b)
철강생산시설 고로공정(미분탄(유연탄))	38.126 ± 0.403	1.180 ± 0.009	NIER (2014b)
철강생산시설 고로공정(배출가스)	37.851 ± 0.088	1.222 ± 0.013	NIER (2014b)
철강생산시설 고로공정(소결광)	37.313 ± 0.065	1.172 ± 0.001	NIER (2014b)
철강생산시설 고로공정(정립광)	37.253 ± 1.085	1.150 ± 0.062	NIER (2014b)
철강생산시설 고로공정(코크스)	38.426 ± 0.175	1.189 ± 0.006	NIER (2014b)
철강생산시설 소결+코크스공정(배출가스)	37.944 ± 0.028	1.221 ± 0.003	NIER (2014b)
철강생산시설 소결+코크스공정(원료탄)	38.485 ± 0.269	1.200 ± 0.000	NIER (2014b)
철강생산시설 소결+코크스공정(코크스 먼지)	38.743	1.195	NIER (2014b)
철강생산시설 소결+코크스공정(코크스)	37.734 ± 0.526	1.172 ± 0.029	NIER (2014b)
철강생산시설 소결공정(배출가스)	37.378 ± 0.164	1.201 ± 0.003	NIER (2014b)
철강생산시설 소결공정(비산재)	37.707 ± 0.060	1.185 ± 0.008	NIER (2014b)
철강생산시설 소결공정(소결광)	37.087 ± 0.205	1.166 ± 0.027	NIER (2014b)
철강생산시설 소결공정(중탄산나트륨)	41.171	1.134	NIER (2014b)
철강생산시설 소결공정(철광석)	37.501 ± 0.369	1.173 ± 0.015	NIER (2014b)
철강생산시설 제선공정(소결광)		1.172 ± 0.001	NIER (2014b)
철강생산시설 제선공정(슬래그)		1.168 ± 0.009	NIER (2014b)
철강생산시설 제선공정(슬러지)		1.186 ± 0.021	NIER (2014b)

[표 7.10] 납 안정동위원소비 국내 석탄화력발전시설 라이브러리

구분	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	출처
석탄화력발전시설 (바닥재)			38.789 ± 0.315	1.189 ± 0.012	NIER (2014b)
석탄화력발전시설 (배출가스)			38.374 ± 0.085	1.237 ± 0.006	NIER (2014b)
석탄화력발전시설 (비산재)			38.510 ± 0.448	1.193 ± 0.018	NIER (2014b)
석탄화력발전시설 (석고가루)			38.724 ± 0.594	1.213 ± 0.025	NIER (2014b)
석탄화력발전시설 (석회석)			37.808 ± 0.754	1.200 ± 0.019	NIER (2014b)
석탄화력발전시설 (소비탄)			38.318 ± 0.160	1.178 ± 0.007	NIER (2014b)
석탄화력발전시설 (유연탄)			38.304 ± 0.321	1.185 ± 0.015	NIER (2014b)
석탄화력발전시설 (폐수처리오니)			38.589 ± 0.607	1.193 ± 0.016	NIER (2014b)

구분	$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	출처
석탄화력발전시설 (국내산 무연탄)				1.176, 1.182	NIER (2014b)
석탄화력발전시설 (무연탄)		2.092 ± 0.004	39.310 ± 1.046	1.186 ± 0.008	NIER (2013a)
석탄화력발전시설 (바닥재)		2.063 ± 0.017	39.515 ± 2.009	1.203 ± 0.012	NIER (2013a)
석탄화력발전시설 (비산재)		2.064 ± 0.014	38.748 ± 0.198	1.201 ± 0.008	NIER (2013a)
석탄화력발전시설 (유연탄)		2.070 ± 0.014	36.326 ± 2.511	1.186 ± 0.005	NIER (2013a)
수입 무연탄				1.189, 1.195	NIER (2014b)
중부발전 (바닥재)	2.47 ± 0.01		38.47 ± 0.17	1.20 ± 0.00	NIER (2014b)
중부발전 (배출가스)	2.44		38.37	1.23	NIER (2014b)
중부발전 (비산재)	2.47 ± 0.00		38.32 ± 0.24	1.19 ± 0.00	NIER (2014b)
중부발전 (석고가루)	2.47		39.1	1.22	NIER (2014b)
중부발전 (석회석)	2.43		38.16	1.22	NIER (2014b)
중부발전 (유연탄)	2.47 ± 0.01	38.42 ± 0.21	38.42 ± 0.21	1.19 ± 0.02	NIER (2014b)
중부발전 (폐수처리오니)	2.48		39.02	1.2	NIER (2014b)
중부발전 1km (PM _{2.5})			37.757 ± 0.144	1.171 ± 0.011	NIER (2014b)
중부발전 1km (PM _{2.5})			38.222 ± 0.202	1.178 ± 0.009	NIER (2014b)
중부발전 1km (PM _{2.5})			37.998 ± 0.257	1.184 ± 0.012	NIER (2014b)
중부발전 1km (강우)				1.150 ± 0.008	NIER (2014b)
중부발전 20km (PM _{2.5})			37.640 ± 0.239	1.178 ± 0.001	NIER (2014b)
중부발전 20km (PM _{2.5})			37.906 ± 0.204	1.179 ± 0.006	NIER (2014b)
중부발전 20km (PM _{2.5})			38.119 ± 0.171	1.187 ± 0.014	NIER (2014b)
중부발전 20km 강우				1.149 ± 0.005	NIER (2014b)
중부발전 인근 침엽수잎			38.25 ± 0.17	1.171 ± 0.002	NIER (2014b)
중부발전 인근 토양			38.73 ± 0.71	1.167 ± 0.038	NIER (2014b)
중부발전 인근 퇴적물			39.02 ± 0.42	1.173 ± 0.010	NIER (2014b)
중부발전 인근 호소 및 저수지				1.110~1.133	NIER (2014b)

[표 7.11] 납 안정동위원소비 국내 폐기물 소각시설 및 제철산업단지, 기타 라이브러리

구분	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	출처
생활계폐기물 소각시설 (바닥재)				38.026 ± 0.237	1.153 ± 0.007	NIER (2014b)
생활계 폐기물 소각시설 (배출가스)				37.818 ± 0.002	1.231 ± 0.007	NIER (2014b)
생활계 폐기물 소각시설 (보일러재+비산재)				38.082 ± 0.106	1.151 ± 0.002	NIER (2014b)
생활계 폐기물 소각시설 (분말활성탄)				36.566	1.134	NIER (2014b)

구분	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	출처
생활계 폐기물 소각시설 소각폐기물				38.352	1.169	NIER (2014b)
생활계 폐기물 소각시설 (폐수처리오니)				37.808	1.152	NIER (2014b)
지정폐기물 소각시설 (바닥재)				37.454 ± 0.364	1.148 ± 0.009	NIER (2014b)
지정폐기물 소각시설 (배출가스)				37.650 ± 0.154	1.195 ± 0.046	NIER (2014b)
지정폐기물 소각시설 (보일러재+비산재)				37.701 ± 0.239	1.153 ± 0.002	NIER (2014b)
지정폐기물 소각시설 (소각폐기물)				38.191 ± 0.540	1.155 ± 0.013	NIER (2014b)
지정폐기물 소각시설 (폐수처리오니)				37.738 ± 0.023	1.154 ± 0.004	NIER (2014b)
포항제철산업단지 (Clinker+P/C)	18.543 ± 0.192	0.8530 ± 0.0021	2.0880 ± 0.0059			조완근 등(2011)
포항제철산업단지 (Coal)	18.765 ± 0.197	0.8471 ± 0.0025	0.8471 ± 0.0025			조완근 등(2011)
포항제철산업단지 (EAFD Ferroalloy)	16.138 ± 0.166	0.8532 ± 0.0021	1.9701 ± 0.0089			조완근 등(2011)
포항제철산업단지 (EAFD Iron)	16.358 ± 0.143	0.832 ± 0.0031	1.9510 ± 0.0047			조완근 등(2011)
포항제철산업단지 (Iron Dust)	18.196 ± 0.169	0.8691 ± 0.0017	2.1182 ± 0.0112			조완근 등(2011)
포항제철산업단지 (Slag Cement)	18.364 ± 0.157	0.8620 ± 0.0024	2.1062 ± 0.0127			조완근 등(2011)
포항제철산업단지 (Slag)	18.177 ± 0.114	0.8691 ± 0.0018	2.1222 ± 0.0096			조완근 등(2011)
포항제철산업단지 (TAS)	17.823 ± 0.174	0.8752 ± 0.0027	2.1352 ± 0.0072			조완근 등(2011)
축산단지 (토양)		0.843~0.856				NIER (2015b)
축산분뇨처리시설 (PM2.5)		0.854~0.858				NIER (2015b)
터널 (PM2.5)					1.160 ± 0.004	NIER (2014b)
톨게이트(PM2.5)					1.163 ± 0.015	NIER (2014b)
남인천 TG					1.137~1.176	NIER (2015b)
남산3호 터널					1.153~1.164	NIER (2015b)
홍지문 터널					1.156~1.166	NIER (2015b)

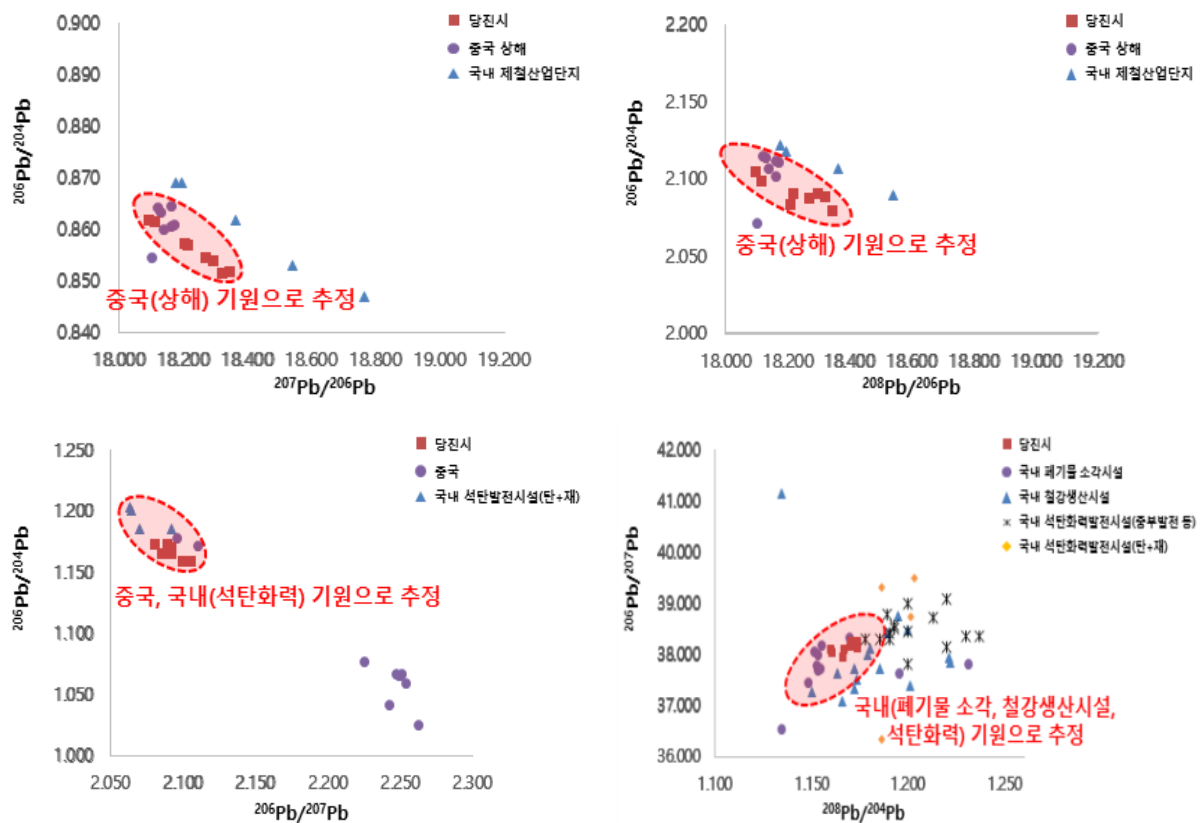
- 라이브러리를 활용한 기원추정의 경우 정량적 기여도 추정에는 한계가 있어 오일리리안 또는 라그랑지안 모델링을 병행하여 기여도를 추정해야할 것으로 판단됨

1.4 라이브러리를 활용한 대기오염물질 기원추정

- 유기탄소와 납 안정동위원소비 분석결과를 본 연구를 통해 구축한 라이브러리 DB와 매칭하여 대기오염물질 기원을 추정
- 유기탄소 안정동위원소비 분석결과 계절별로 결과 값이 상이하였으나, 이동오염원과 노천소각의 영향이 상대적으로 높은 것으로 추정
 - 봄철 $\delta^{13}\text{C}$ 는 멕시코 Avenida Chapultepec터널, 브라질 리우데자네이루터널, 일본 아키타현, 국내 홍지문 터널과 서울 및 남인천 톨게이트와 유사한 값을 보이는 것으로 분석되었고 가솔린차량 연소, 자동차 배기가스, 연료유(중유) 연소, 화석연료(액체), 바이오매스(농작물)연소 등의 영향을 받은 것으로 추정
 - 여름철 $\delta^{13}\text{C}$ 는 캐나다 Cassier터널과 유사한 값을 보였으며, 주로 바이오매스(C3식물, 목재류)연소, 자동차 배기가스, 가솔린 연소, C3식물, 벚짚과 잣나무잎 연소 등에 기인한 것으로 추정
 - 가을철 $\delta^{13}\text{C}$ 는 중국 베이징과 일본 유리혼조시에서 측정한 값과 유사한 것으로 분석되었고 석탄화력발전시설 비산재, 숯, 차콜, 자동차 배기가스 등의 영향을 많이 받은 것으로 추정
 - 겨울철 $\delta^{13}\text{C}$ 는 멕시코 Avenida Chapultepec터널, 중국 베이징의 석탄+자동차연소, 일본 아키타현의 여름겨울철 부유입자물질(SPM)과 PM10, 태안(파도리측정소)의 겨울철 측정값, 보령화력 인근 1km에서 측정한 여름철 측정값, 서울 및 남인천 톨게이트와 유사한 값을 보이는 것으로 분석되었고, 가솔린차량(경차 등) 연소, 디젤차량(자동차, 버스, 대형차량 등) 연소 등에서 기인한 것으로 추정
- 납 안정동위원소비 분석결과는 원소비별 상관관계 비교($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)를 통해 대기오염물질의 기원을 추적하였으며, 결과적으로 외부요인으로 중국(상해 등)의 영향과 국내 석탄화력발전시설 및 철강생산시설, 폐기물 소각시설에 의한 영향에 기인하는 것으로 추정
 - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 와 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 동위원소비 분석을 통한 기원 추정결과 중국 상해(HongKou, JingAn, MiaoMiao, PuTuo, XuHui, YangPu 지역과

유사한 패턴) 기원의 오염물질이 유입된 것으로 추정되며, 국내 제철산업단지의 영향은 없었던 것으로 분석

- $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 동위원소비 분석을 통한 기원 추정결과 국외요인으로서는 중국 남부에 위치한 광둥지역의 범구(Fankou)광산과 남서부에 위치한 운남지역의 금정(Jinding)광산 기원의 오염물질에 의한 영향이 상대적으로 높은 것으로 분석되며, 국내요인으로 석탄화력발전시설의 유무연탄에 의한 영향에 기인하는 것으로 추정
- $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 동위원소비 분석결과 국내요인으로 석탄화력발전시설, 철강생산시설, 폐기물 소각시설에 의한 오염원이 유입된 것으로 추정



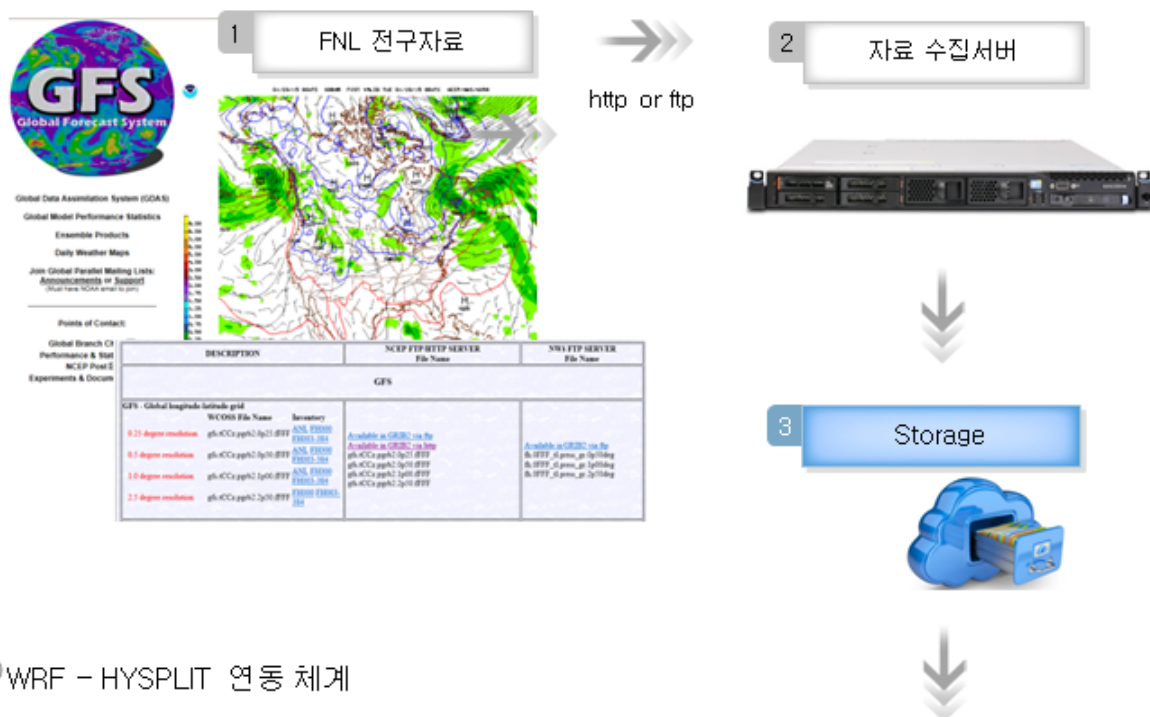
[그림 7.2] 납 안정동위원소비 기원별 라이브러리와 당진시 측정결과 분포도

2. 모델링에 의한 기여도 조사

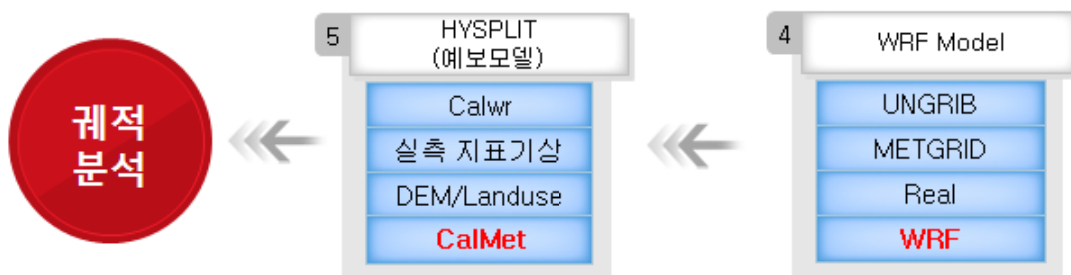
2.1 분석방법 개요

- 5장에서 구축한 기상 모델링 시스템에 HYSPLIT 모델과 커플링하여 Trajectory를 분석하고, 각 궤적별 발생원의 위치를 추정할 수 있는 PSCF(Potentail source contribution function) 모델을 적용하여 안정동위원소에 대한 기여도를 분석할 수 있는 방안을 구성

WRF 입력자료 수신체계



WRF - HYSPLIT 연동 체계



[그림 7.4] 기상모델과 HYSPLIT을 이용한 궤적 분석 구성도

2.2 Trajectory 분석 결과

○ HYSPLIT 모델

- 유체의 어느 점에서 그린 접선이 그 점에서의 유체의 순간적인 속도에 평행한 선을 유선(stream line) 이라고 한다. 일기도 상에서는 임의의 점에서 풍향을 따라 선을 그렸을 때, 이것이 유선이 됨
- 이러한 개념에 대하여 공기덩어리가 실제로 바람을 타고 통과하는 길은 유적선(trajecctory)이 된다. 일기도의 등압선(또는 등고선)의 모양은 유선을 나타낸다고 볼 수 있으나, 유적선은 하나하나의 작은 공기덩어리의 행방을 일기도상의 바람을 이용하여 시간에 따라 추적하여야 함
- Trajectory의 분석방법에는 backward와 forward의 두 가지 형태가 있다. Forward trajectory는 오염원을 중심으로 시간을 앞으로 추적하여 얻어지는 유적선으로 화산폭발이나 Chernobyl 원전사고 등의 자연적, 인위적 오염물질 유출사고 발생 시의 환경피해를 예측하는데 사용한다. 이와는 반대로 backward trajectory는 피해지점을 중심으로 시간을 뒤로 추적하여 구한 유적선으로 주로 인접지역 또는 국가의 오염원이 목표지역에 미치는 영향을 평가하는 데 이용되고 있음
- HYSPLIT 모델은 각종 기상예측 모델의 결과인 격자 기상자료를 입력자료로 하여 공기덩어리의 이동경로를 계산하며, 기상모델로부터 얻어진 격자 기상자료는 지형자료에 선형적으로 외삽하여 적용
- 기상모델로부터 도출된 수평 풍속성분의 U와 V, 온도 T, 고도 Z, 압력 P 그리고 지표에서의 압력 P_0 를 이용하여 이류에 의한 3차원 궤적이 계산되며, 초기궤적의 위치인 $P(t)$, 첫 예상 궤적 위치 $P(t+\Delta t)$ 는 다음 식으로 계산 되며, 여기서 V는 삼차원 속도 벡터 임

$$P'(t+\Delta t) = P(t) + V(P,t) \Delta t \quad (\text{식 1})$$

$$P(t+\Delta t) = P(t) + 0.5 [V(P,t) + V(P',t+\Delta t)] \Delta t \quad (\text{식 2})$$

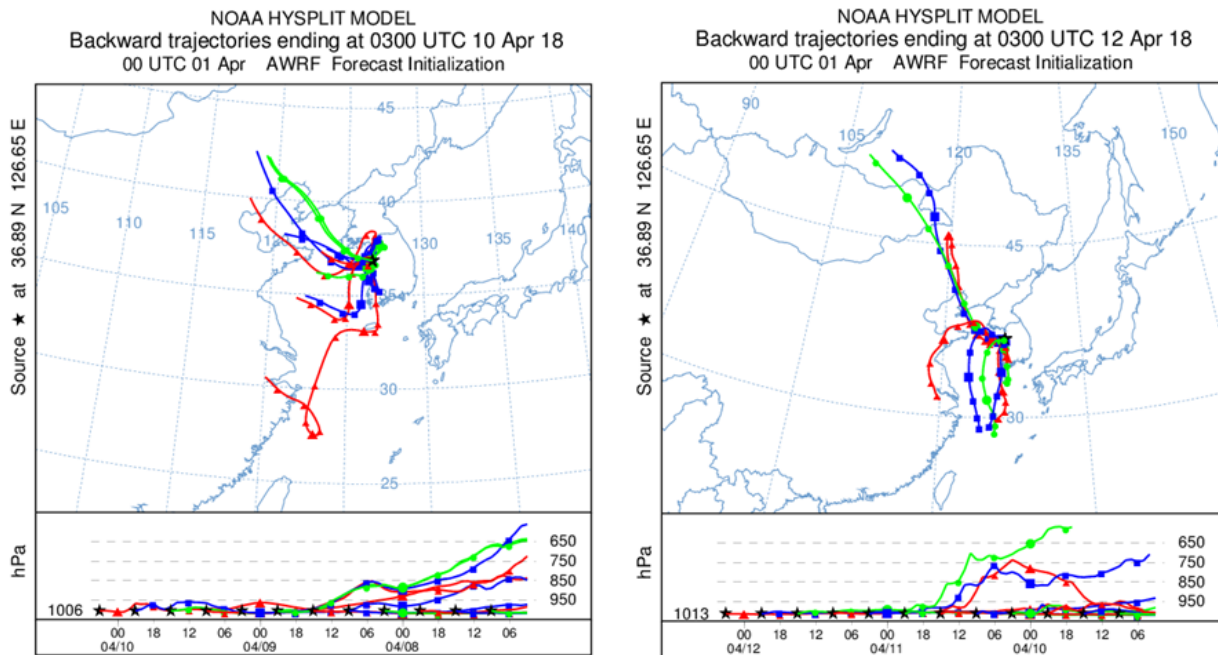
○ HYSPLIT 모델 결과

- HYSPLIT을 이용하여 안정동위원소 조사기간을 대상으로 측정지점에 영향을 미치는 바람궤적을 분석하기 위한 예측 시나리오는 다음과 같이 계획하여 운영

[표 7.12] 분석 시나리오

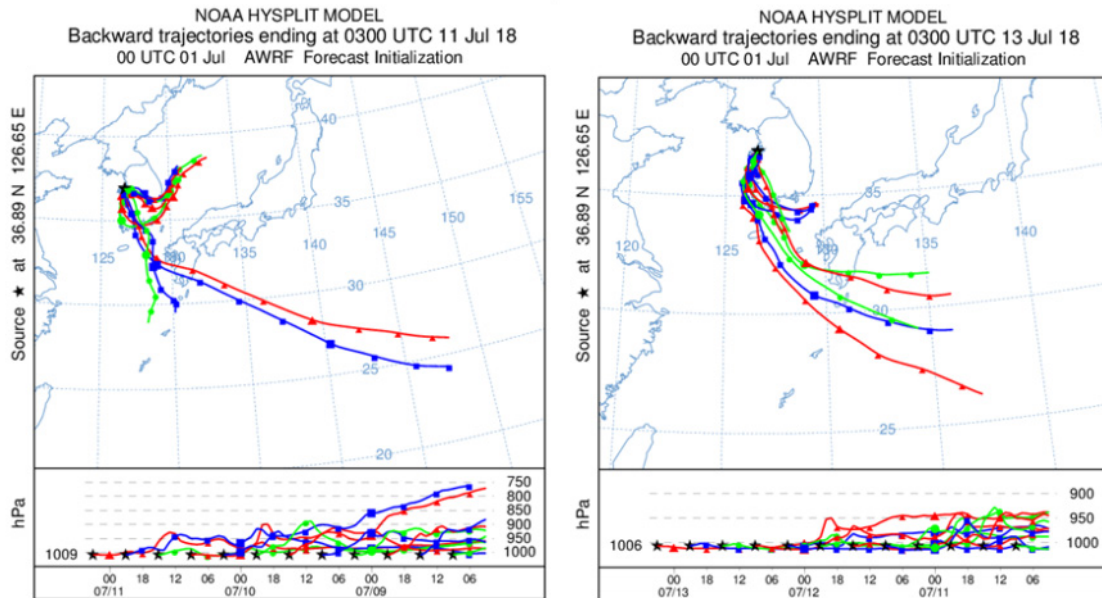
구분	기간	비고
1차(봄철)	2018.04.09. ~ 12.	일별 72시간 Back trajectory 분석
2차(여름철)	2018.07.11. ~ 13.	
3차(가을철)	2018.10.17. ~ 19.	
4차(겨울철)	2019.01.16. ~ 18.	

- 1차 봄철 trajectory 분석 결과 주로 서북방향에서 주로 측정지점에 영향을 주는 것으로 나타남.



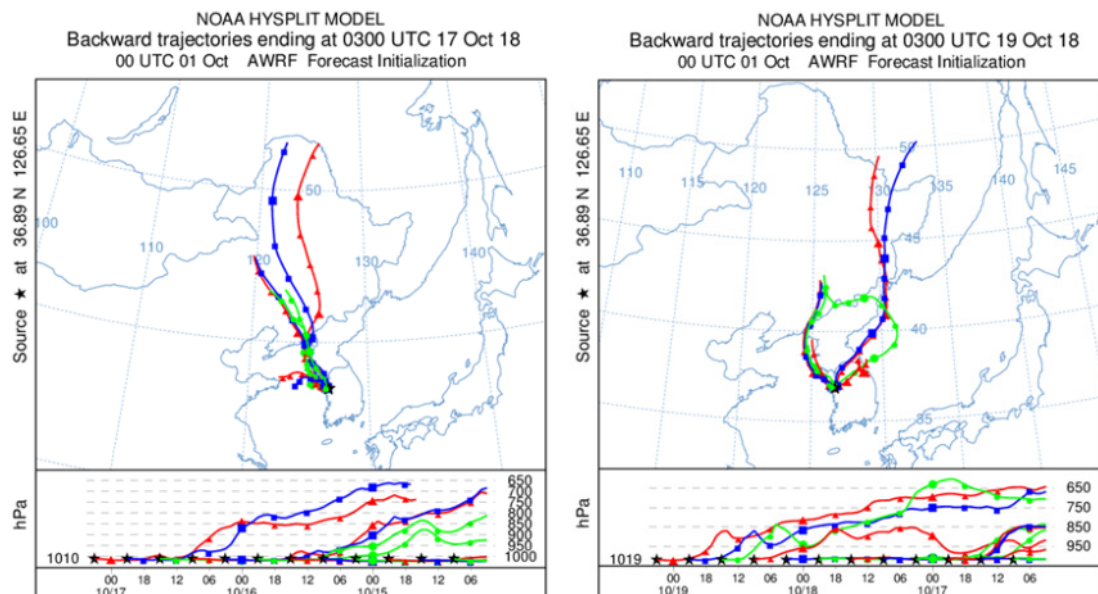
[그림 7.7] 봄철 Trajectory 분석 결과

- 2차 여름철 trajectory 분석 결과 주로 일본 및 태평양 방향에서 주로 측정지점에 영향을 주는 것으로 나타남.



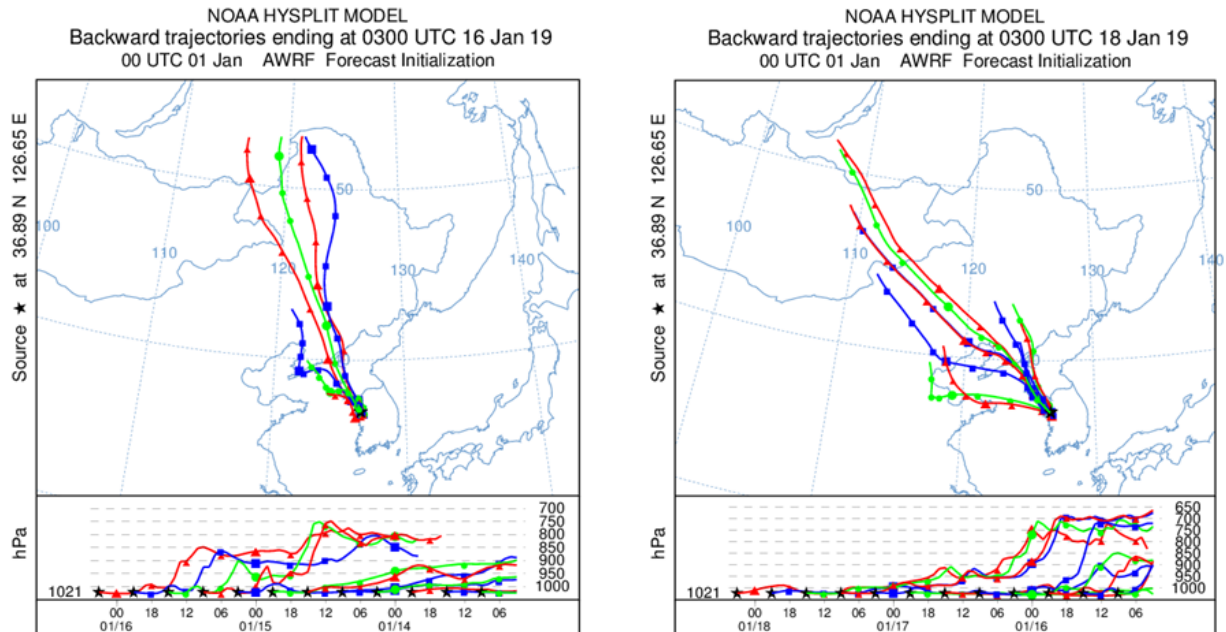
[그림 7.8] 여름철 Trajectory 분석 결과

- 3차 가을철 trajectory 분석 결과 주로 중국 및 러시아를 시작하여 북한을 통과하여 측정지점에 영향을 주는 것으로 나타남.



[그림 7.9] 가을철 Trajectory 분석 결과

- 4차 겨울철 trajectory 분석 결과 주로 계절적인 영향으로 북서쪽에 위치한 지역으로 부터 측정지점에 영향을 주는 것으로 나타남.



[그림 7.10] 겨울철 Trajectory 분석 결과

- 결과적으로 유기탄소 및 납 동위원소에 대한 측정일자에 대한 HYSPLIT 모델을 이용한 역궤적 분석결과와 두 원소의 분석결과를 비교한 결과, 납의 경우에는 뚜렷한 계절적 특성이 없었으며, 계절에 따른 구분이 명확한 유기탄소 동위원소의 경우 해양 기원의 남동풍 계열 유입 시 낮은 값이 측정되었고 중국 기원의 북서풍 유입 시 상대적으로 고농도로 측정

2.3 PSCF 모델

○ PSCF 모델 개요

- PSCF 모델은 조건부 확률 분석으로 어떤 지리적 격자지역을 지나는 궤적이 수용지점에 도달하여 기준치 이상의 높은 농도를 나타낼 확률이며, PSCF의 값을 계산하는 방법은 각 셀 내에서 종료되는 궤도 세그먼트 중점을 이용하여 계산함(Ashbaugh 등, 1985)

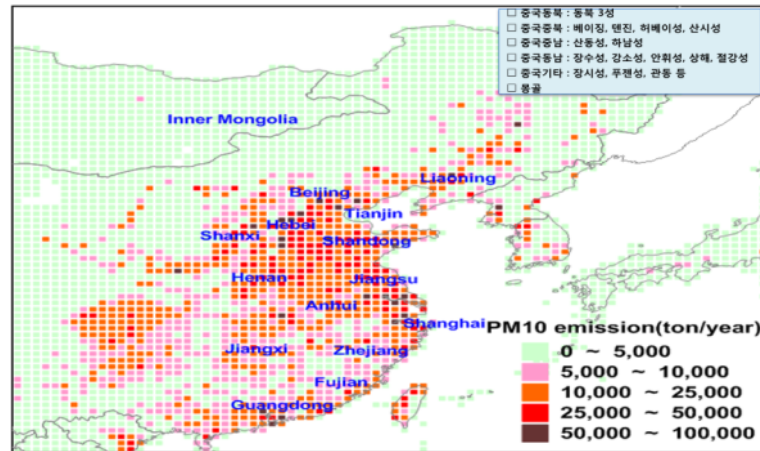
- ij번째 그리드 셀에 속하는 끝점의 수는 n_{ij} 로 지정되며, 임의로 설정된 기준보다 높은 값에 대응하는 샘플링 사이트에서 도달 시간을 갖는 동일한 셀에 대한 종단점의 수는 m_{ij} 로 정의되며, ij번째 그리드 셀에 대한 PSCF 값은 다음과 같이 정의됨

$$PSCF_{ij} = \frac{m_{ij}}{n_{ij}} \quad (\text{식 1})$$

- PSCF 결과를 분석하는데 있어서 몇몇 주의해야 할 점들이 있는데 먼저 PSCF 결과는 정확한 오염원 위치를 제공하는 것이 아니라 수용지점에 영향을 줄 높은 확률을 가진 특정 격자지역의 위치만을 지정하기에 높은 PSCF 결과를 가진 격자지역은 수용지점에 영향을 주었을 확률이 높은 잠재 오염원 지역이거나 가능한 경로이거나, PSCF 결과는 지역의 모든 오염원의 위치를 반영하지 않음(Do Woo-gon 등, 2013)
- 높은 확률의 오염원을 갖는 격자지역일지라도 작은 값의 n_{ij} 효과를 줄이기 위해 PSCF 값에 임의의 가중치 함수 W_{ij} 를 곱하여 이러한 셀 값의 불확실성을 줄이는 방법(Polissar et al., 1999)이 적용되며, 본 연구에는 가중치 함수는 특정 셀의 끝점의 총 수가 각 셀당 끝점의 평균 값의 약 3 배의 평균 궤적점 수를 적용 하였으며, 기류의 군집은 4개의 클러스터로 분류

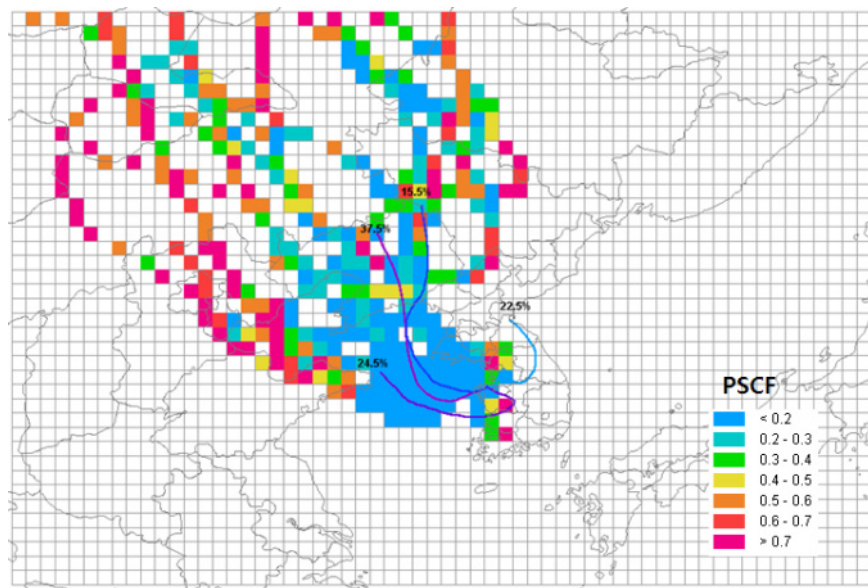
○ PSCF 모델 결과

- 각 군집별 기류의 이동경로와 안정동위소에 의한 오염원의 기여도를 살펴보기 위하여 NASA Intercontinental Chemical Transport Experiment Phase B(INTEX-B) 계획에 의거하여 산정된 2006년의 동아시아 지역의 PM10 0.5도 간격의 그리드 배출량 자료를 참고자료로 활용함



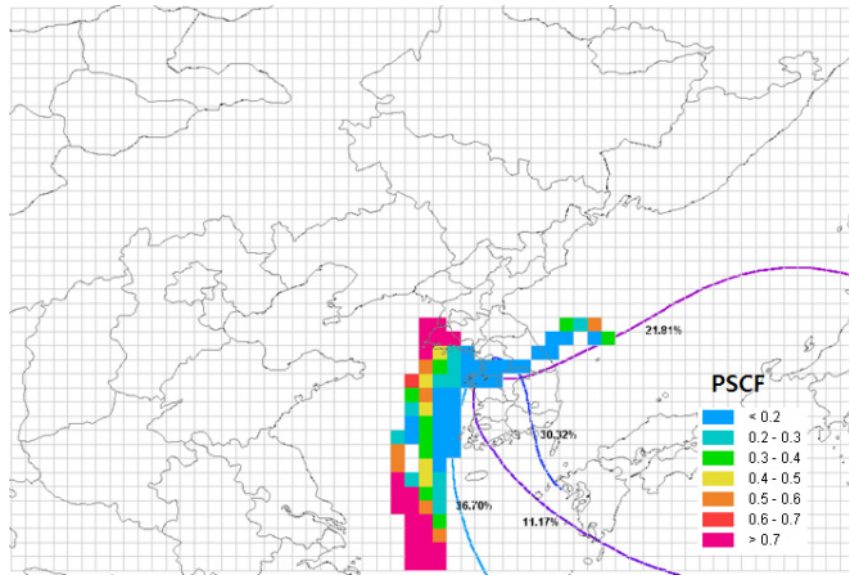
[그림 7.11] 동아시아의 PM10 배출량(INTEX-B, 2006)

- 봄철 궤적 군집을 4개로 분류하고 군집별로 PSCF를 분석한 결과 중국 중북 지역에서 37.5%, 중국 중남 24.5%, 강원도 22.5%, 중국 동북 15.5%로 나타남



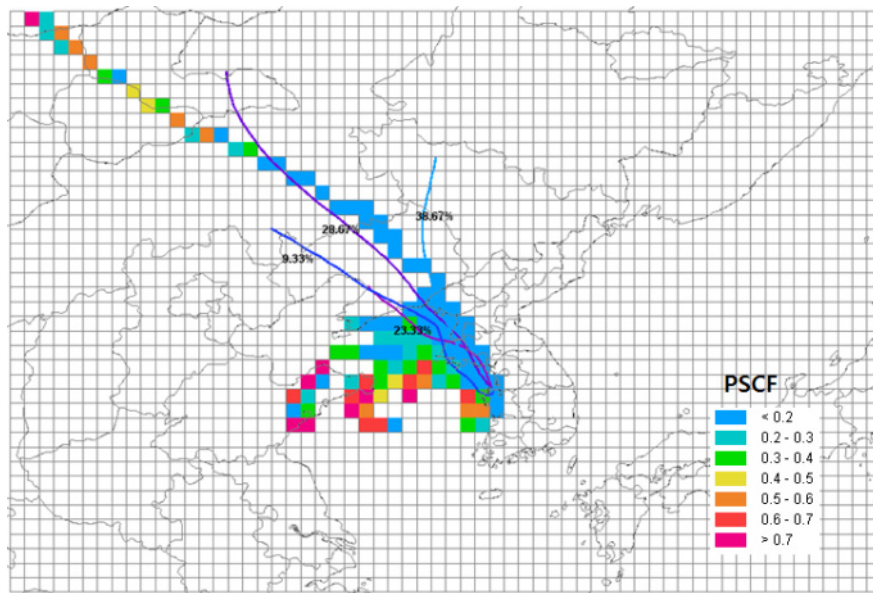
[그림 7.12] 봄철 PSCF 분석 결과

- 여름철 궤적 군집을 4개로 분류하고 군집별로 PSCF를 분석한 결과 해양 등 자연 36.7%, 경상도 30.3%, 충북과 강원도 21.8%, 전남 11.2%로 나타남



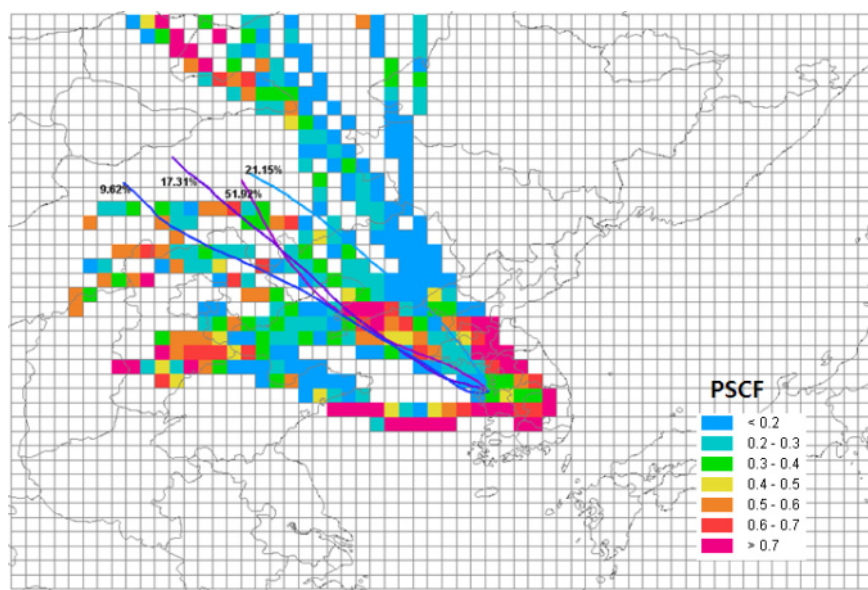
[그림 7.13] 여름철 PSCF 분석 결과

- 가을철 궤적 군집을 4개로 분류하고 군집별로 PSCF를 분석한 결과 중국 동북 38.7%, 몽골 28.7%, 중국 산둥성 23.3%, 중국 중북 9.3%로 나타남



[그림 7.14] 가을철 PSCF 분석 결과

- 겨울철 궤적 군집을 4개로 분류하고 군집별로 PSCF를 분석한 결과 계절적 영향으로 주로 중국에 의한 영향으로 중국 중북 51.9%, 중국 동북 21.2% 나타남



[그림 7.15] 겨울철 PSCF 분석 결과

제8장 거버넌스 및 환류체계 구축

1. 지역주민 의견수렴
2. 거버넌스 현황조사 및 분류
3. 지역주민 요구대응(자원순환센터 주변 대기영향조사)

1. 지역주민 의견수렴

1.1 추진현황

- 화력발전소 주변지역 마을 이장과 주민을 대상으로 주민설명회를 진행하여 지역주민과의 연구진행사항과 결과 등에 대한 공유, 생활권 대기질 정보 제공을 위한 협조 요청을 실시
 - － 화력발전소가 위치한 보령시 오천면, 당진시 석문면, 서천군 서면, 태안군 원북면과 화력발전소가 인접해있는 보령시 주교면, 당진시 고대면, 서천군 비인면, 태안군 이원면을 대상으로 실시



[그림 8.1] 화력발전소 주변지역 거주 도민 대상 의견수렴

- 또한, 지역주민 불신 해소와 신뢰성 회복을 위한 심층인터뷰(In-depth interview) 형식의 대면설문조사와 집단 심층면접(Focus Group Interview)을 통해 생활권 대기질 정보 제공 및 주민참여형 대기질 측정의 필요성, 정보전달(표현) 방식과 선호매체, 정보의 활용처 등에 대한 다양한 의견을 수렴
 - － 보령시 주교면, 오천면 2018.08.16.~2018.08.17., 당진시 고대면, 석문면 2018.08.10., 2018.08.20., 2018.08.22., 서천군 비인면, 서면 2018.08.06., 2018.08.09., 태안군 원북면, 이원면 2018.08.21., 2018.08.27.~2018.08.28. 의견수렴 진행



[그림 8.2] 화력발전소 주변지역 거주 도민 대상 대면 설문조사

- 설문조사는 생활권 대기질 정보 제공 희망마을 대상 119개 마을을 대상으로 본 연구에 대한 전문지식과 연구경험 등을 갖춘 내부 연구진이 직접 참여하여 정량적이고 정성적인 데이터를 도출하였으며, 응답률은 72.3%로 집계

충남연구원
Chungnam Research Institute

본계보 제33호(비밀의 보호 등)
■ 본계보(연구결과)에 실린 사항으로서
개인 또는 법인이거나 집단의 비밀에 속하
는 사항은 보호되어야 한다.

주 관 기 관 : 충청남도충남연구원
조 사 기 관 : 충남연구원

**충남도민 대상 마을별 대기질 정보 제공 지원을
위한 지역주민 의견조사**

안녕하십니까? 충청남도에서는 '화력발전소 주변지역 기후환경 영향조사'를 위하여 화력발전소 소재
4개 시군(당진, 보령, 태안, 서천) 지역주민을 대상으로 의견조사를 진행 중입니다. 조사 결과는
화력발전소 소재 4개 시군(당진, 보령, 태안, 서천)의 생활권 대기질 수준 정보 제공과 주민참여
대기오염 모니터링을 위하여 주민들의 의견을 최대한 반영하기 위한 기초자료로 활용되오니 적극
적인 협조 부탁드립니다.

아울러 본 조사에 응답하신 모든 내용은 통계목적 이외에는 절대 사용할 수 없으며, 그 비밀을 보호
하도록 통계법(제33조, 제34조)에 규정되어 있습니다. 또한 개인정보 보호법(제30조)에 따라 정보
주체의 개인정보 보호를 보호하고 있음을 알려드립니다.

바쁘시더라도 잠시만 시간을 내주시기 바랍니다. 감사합니다.

[주관기관] : 충남남도
[조사기관] : (재)충남연구원

조사 기관: (재)충남연구원
담당자: 윤수환, 정석현 연구원
Tel: 041)630-3925, 3929
e-mail: perfume3443@cni.re.kr

• 응답해 주실 때 꼭 지켜 주시기 바랍니다 •

1. 질문을 끝까지 모두 읽고 응답하여 주시기 바랍니다.
2. 질문과 관련된 안내문이 있는 경우 안내문을 숙지하시고 응답하여 주시기 바랍니다.
3. 질문 앞에 특별한 언급이 없는 한 모든 질문에 답해 주십시오.
4. 질문에 응답하실 때 특별한 지시가 없으면 보기번호 중 한 가만 골라주시기 바랍니다.
5. 응답을 직접 기재해야 하는 경우 본인의 솔직한 의견을 기재하여 주시고, 무의미한 문자 및 특성의
기재를 삼가 하여 주시기 바랍니다.

Q1. 위하에서 생활권 대기질 수준 정보를 제공받기 위한 **방법**로 선호하는 것은 무엇입니까?(복수응답 가능)

☐ ① 옥외 생활권
☐ ② 실시간(PC, 모바일 등)
☐ ③ 문자 알림
☐ ④ 스마트폰 어플리케이션
☐ ⑤ 우편 발송
☐ ⑥ 기타()

Q2. 위하에서는 생활권 대기질 수준 정보의 정보제공, 보실 또는 표현으로 적합한 것이 무엇이라고 생각하십니까?

☐ ① 기준의 00% (예, WHO 권고 기준의 10%, 대기환경기준의 20% 등)
☐ ② 수치와 단위 표기(예, 미세먼지 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 오존 0.02ppm 등)
☐ ③ 5점 척도(예, 매우 좋음, 좋음, 보통, 나쁨, 매우 나쁨) (매우 좋음, 좋음, 보통, 나쁨, 매우 나쁨)
☐ ④ 기타()

Q3. 위하에서는 생활권 대기질 수준 정보 제공과 주민참여 대기오염 모니터링이 얼마나 필요하다고 생각하십니까?(예, 매우 필요, 필요, 약간 필요, 매우 필요)

매우 필요	약간 필요	보통	약간 필요	매우 필요
①	②	③	④	⑤

Q4. 위하에서는 생활권 대기질 수준 정보 제공과 주민참여 대기오염 모니터링이 왜 필요하다고 생각하십니까?(복수응답 가능)

☐ ① 외부활동 할 때
☐ ② 건강영향 우려
☐ ③ 환경(국가, 민간) 자료의 신뢰성
☐ ④ 주변지역과의 비교
☐ ⑤ 민원 제기/정책 제안 자료로서의 활용

Q5. 위하에서는 생활권 대기질 수준 정보 제공과 주민참여 대기오염 모니터링을 위해 어떠한 추가적인 노력이 필요하
다고 보십니까?

■ 마지막까지 성실하게 응답해 주셔서 감사드립니다.

[그림 8.3] 의견수렴을 위한 설문지

- 분석결과는 생활권 대기질 수준 정보제공 시 기초자료로 활용되며, 더 나은 서비스를 위해 지속적으로 도민들과 소통할 계획

1.2 분석결과 및 활용

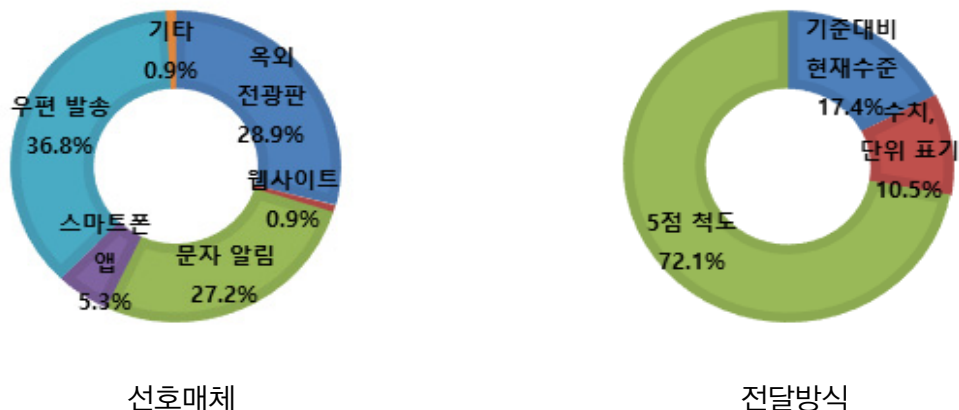
- 설문조사에 응답한 사람은 총 86명이며, 거주지역 분포는 보령시 20명(23.3), 당진시 20명, 서천군 16명, 태안군 30명으로 집계

[표 8.1] 대면 설문 응답자의 거주 지역 분포

(N=86, 단위: 명, %)

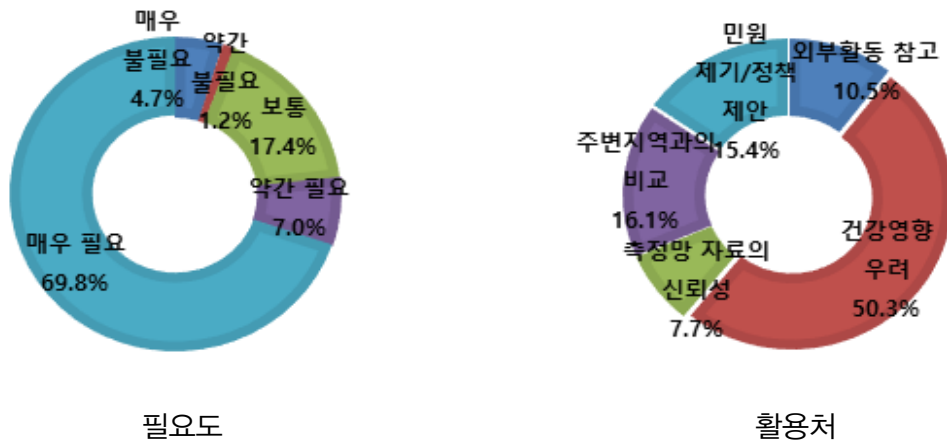
구분	보령시		당진시		서천군		태안군	
	주교면	오천면	고대면	석문면	비인면	서면	원북면	이원면
전체	11(12.8)	9(10.5)	16(18.6)	4(4.7)	15(17.4)	1(1.2)	17(19.8)	14(15.1)

- 생활권 대기질 정보 제공의 선호매체 분석결과, 우편발송(36.8%) > 옥외전광판(28.9%) > 문자알림(27.2%) > 스마트폰 앱(5.3%) > 웹사이트(0.9%)로 집계되었으며, 기타의견으로 전화를 선호한다는 답변이 0.9%를 차지
- 생활권 대기질 정보 제공의 전달방식에 대한 선호도 분석결과, 5점 척도(72.4%) > 기준대비 현재 수준(% 표기, 17.2%) > 수치와 단위 모두 표기(10.3%) 순으로 높은 비중을 차지하는 것으로 분석



[그림 8.4] 선호매체와 전달방식 설문조사 분석결과

- 생활권 대기질 정보 제공과 주민참여형 대기질 측정에 대한 필요성 분석을 위한 5점 척도문항의 응답률 분석결과, 매우 필요(69.8%) > 보통(17.4%) > 약간 필요(7.0%) > 매우 불필요(4.7%) > 약간 불필요(1.2%)로 집계되어 응답자의 대다수가 상당한 관심을 가지고 있고 필요성에 대한 인식이 높은 것으로 분석
- 생활권 대기질 관련 정보의 활용처에 대한 분석결과, 건강영향의 우려(50.3%) > 주변지역과의 비교(16.1%) > 민원 제기/정책 제안 자료로의 활용(15.4%) > 외부활동 참고(10.5%) > 측정망(국가, 민간) 자료와의 비교(7.7%)로 집계



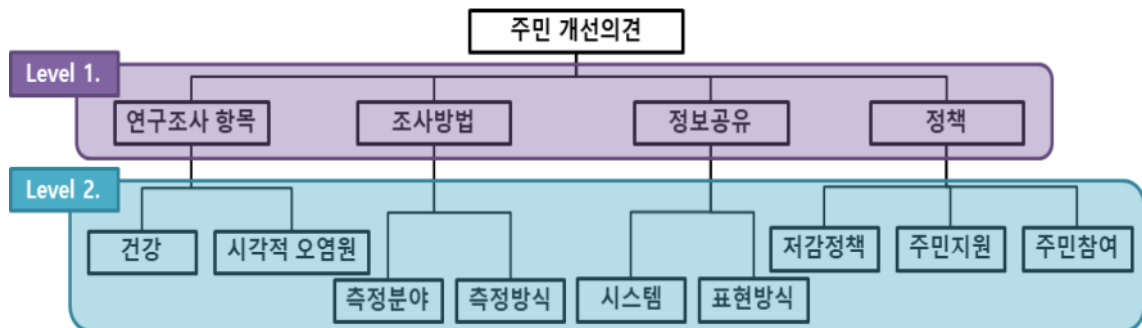
[그림 8.5] 필요도와 활용처 설문조사 분석결과

- 이외에 응답자의 44.2%에 해당하는 38명의 생활권 대기질 정보 제공과 주민참여형 대기질 측정에 대한 개선의견을 제안하여 이를 유형화한 후 AHP 분석(계층화분석)을 통해 우선순위를 선정
 - 대분류(Level 1)와 중분류(Level 2)로 구분하여 개선의견에 대한 유형을 분류하고 대분류의 경우 연구조사항목, 조사방법, 정보공유, 정책으로 구분하고 중분류의 경우 연구조사항목(건강, 시각적 오염원), 조사방법(측정분야, 측정방식), 정보공유(시스템, 표현방식), 정책(저감정책, 주민지원, 주민참여)로 분류

[표 8.2] 개선의견 유형 분류기준

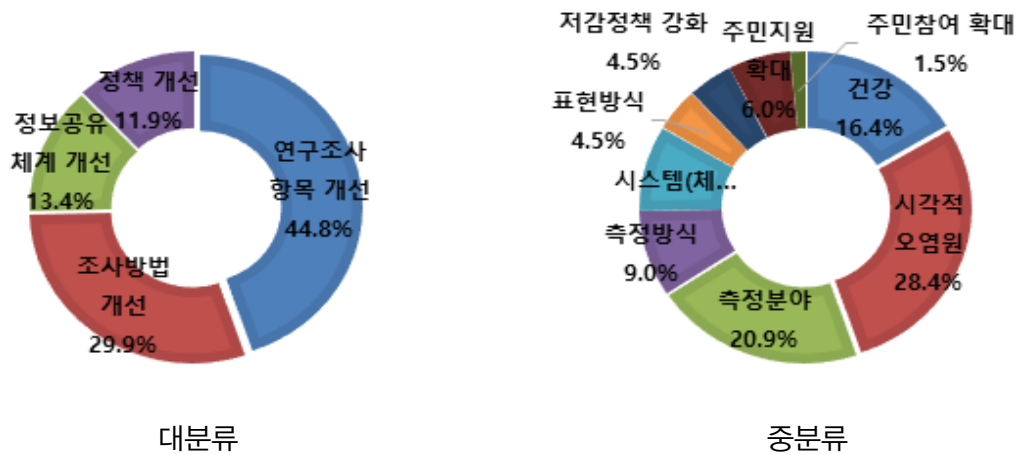
대분류	중분류	개선의견
연구조사항목 개선	건강	건강영향조사
		건강검진

대분류	중분류	개선의견
	시각적 오염원	환경영향조사(악취)
		환경영향조사(대기)
		환경영향조사(소음)
		환경영향조사(해양)
		환경영향조사(토양)
		환경영향조사(전자파)
		기여도 조사(기상기후)
		환경영향평가(소각장)
조사방법 개선	측정분야	대기오염(검은 연기, 분진, 비산먼지, 미세먼지, 악취)
		해양오염(악취, 탄재, 폐수·온배수 방류, 어패류 감소·폐사)
		토양오염(농작물 등)
	측정방식	소음
		측정 신뢰성 담보
		측정 신속성 담보
정보공유체계 개선	시스템(체계)	측정횟수 확대
		상시 연속 측정 도입
		분석결과 알림체계 구축
	표현방식	옥외전광판 설치
		문자알림서비스 도입
정책 개선	저감정책 강화	주민 눈높이에 맞는 정보 생산
		발전소 저감시설 도입
	주민지원 확대	국가차원의 노력 필요
		보상/지원 강화
	주민참여 확대	교육
		주민참여형 감시체계 마련



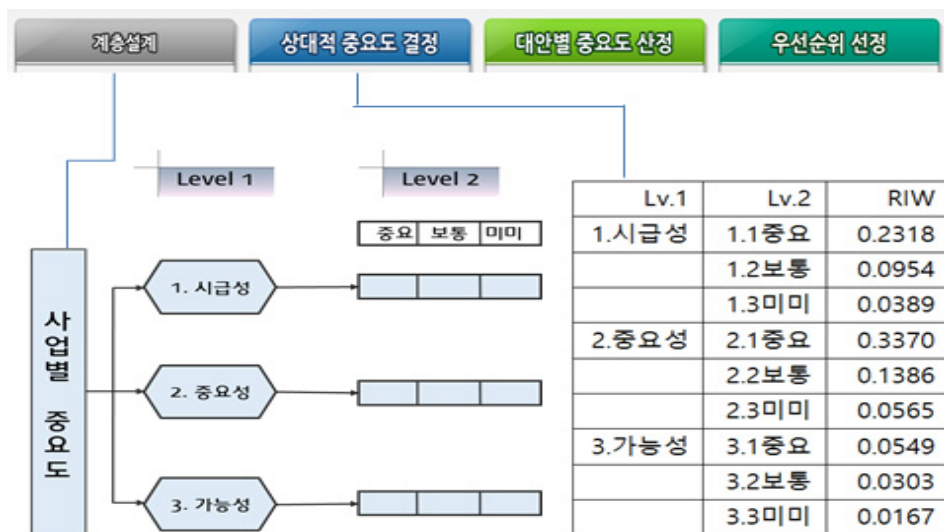
[그림 8.6] 개선의견 유형화 분류체계도

- 주민 개선의견을 대분류로 분류할 경우 연구조사 항목 개선에 대한 의견이 44.8%로 가장 높은 것으로 분석되었으며, 조사방법 개선(29.9%) > 정보공유체계(13.4%) > 정책 개선(11.9%) 순으로 높은 응답률을 보이는 것으로 집계



[그림 8.7] 개선의견 유형화

- 대분류 기준을 적용한 개선의견 유형화 결과를 토대로 지원사업의 우선순위 도출을 위해 AHP 분석을 실시한 결과, 1순위는 주민참여 확대 정책개선, 2순위 건강 연구조사 항목 개선, 3순위 측정방식 조사방법 개선으로 도출되었으며, 추가적으로 주체별 역할 정립과 세부 개선방안 마련 필요



[그림 8.8] 대안의 상대적 중요도 비교를 위한 AHP 분석

- 주민들의 개선요구에 충족을 위해 추가적으로 주체별 역할 분류를 제안하였으며, 결과적으로 연구조사항목 개선은 정책결정자, 연구기관, 발전소의 역할이 중요하고 조사방법 및 정보공유체계 개선은 연구기관, 정책 개선의 경우 정책결정자, 발전소, 도민의 역할이 중요한 것으로 분석

Level 1.	Level 2.	세부내용	
연구조사 항목 개선	건강	건강영향조사, 건강검진	발전소(산)
	시각적 오염원	환경영향조사(악취, 대기, 소음, 해양, 토양, 전자파), 환경영향평가(소각장, 기여도 조사(기상기후))	정책결정자(관)
조사방법 개선	측정분야	대기오염(검은연기, 비산먼지, 미세먼지, 분진, 악취), 해양오염(악취, 탄재, 폐·수온배수 방류로 인한 어패류 감소 및 폐사), 토양오염(농작물 피해)	
	측정방식	측정 신뢰성 담보, 측정 신속성 담보, 측정 횟수 확대, 상시 연속 측정 도입	
정보공유체계 개선	시스템(체계)	분석결과 알림체계 구축, 옥외전광판 설치, 문자알림서비스 도입	
	표현방식	주민 눈높이에 맞는 정보 생산	연구기관(연)
정책 개선	저감정책 강화	발전소 저감시설 도입, 국가차원의 노력 필요	정책결정자(관)
	주민지원 확대	보상/지원 강화, 교육	발전소(산)
	주민참여 확대	주민참여형 감시체계 마련	도민(민)

[그림 8.9] 개선요구에 따른 주체별 역할 분류

2. 거버넌스 현황조사 및 분류

2.1 거버넌스 현황조사

- 화력발전소 주변지역에 거주하고 있는 도민들의 요구 수용과 관련 정책의 실효성 증진을 위하여 분산되어 있는 다수의 거버넌스를 통합적으로 운영할 수 있는 대표 거버넌스 조직을 위해 분포현황을 파악하고 이를 분류할 수 있는 분류기준을 제시
- 지역별 거버넌스 DB구축을 위해 지역 행정기관 협조와 자료조사를 통해 현황을 파악하고 1차 필터링을 통해 관련성이 낮은 거버넌스를 제외하여 81개 거버넌스 를선별

[표 8.3] 화력발전소 주변지역 내 분포하고 있는 거버넌스 현황

지역	거버넌스 현황
보령시 (9)	오천면 이장단협의회, 오천면 노인회, 오천면 새마을지도자협의회, 오천면 새마을부녀회, 오천면 주민자치위원회, 오천면번영회, 보령시지속가능발전협의회, 보령시민참여연대, 보령환경보호 국민운동본부
당진시 (25)	고대면 이장협의회, 고대면 새마을지도자 협의회, 고대면 새마을부녀회, 고대면 지역총화협의회, 고대면 주민자치위원회, 고대면 노인회, 고대면 개발위원회, 고대면 농업인 5개단체 협의회, 고대면 농업경영인회, 고대면 생활개선회, 당진시농민회 고대면지회, 고대면 청년연합회, 석문면 이장단협의회, 석문면 노인회, 석문면 주민자치위원회, 석문면 새마을협의회, 석문면 부녀회, 석문면 개발위원회, 당진시지속가능발전협의회, 당진환경운동연합, 당진참여자치시민연대, 당진시 송전선로 발전소 범시민대책위원회, 당진화력발전소 민간환경감시센터, 당진환경보호 국민운동본부, 당진환경감시국민운동본부
서천군 (15)	비인면 이장단협의회, 비인면 노인회, 비인면 주민자치위원회, 비인면 새마을지도자회, 비인면 새마을부녀회, 비인면 발전협의회, 서면 이장단협의회, 서면 경로당 · 노인회, 서면 주민자치회, 서면새마을협의회, 바르게살기운동서면위원회, 서면부녀회, 서면어촌계협의회, 서면 발전협의회, 서천군지속가능발전협의회
태안군 (32)	원북면 이장단협의회, 원북면 새마을지도자협의회, 원북면 새마을부녀회, 원북면 노인회, 원북면 농촌지도자협의회, 원북면 여성농업경영인회, 수산경영인회 원북지회, 원북면갈두천권역위원회, 원북면매화동봉마을위원회, 원북면 신두리번영회, 원북면 구례포번영회, 원북면학암포번영회, 원북면 신두리어촌계, 원북면 청산리어촌계, 원북면학암포어촌계, 원북생활개선회, 원북면바르게살기협의회, 원북면 생활한전협의회, 원북면 주민자치위원회, 원북면 발전협의회, 이원면 이장단협의회, 이원면 노인회, 이원면 새마을지도자협의회, 이원면 새마을부녀회, 이원면 주민자치위원회, 이원면 지역발전협의회, 태안군지속가능발전협의회, 서산태안환경운동연합, 태안참여자치시민연대, 국제환경운동연합 태안지부, 태안환경보호 국민운동본부, (사)태안군 개발위원회

- 거버넌스별 설치목적, 주요사업, 재원 등의 자료조사를 통해 DB를 구축하고 지원사업의 우선순위 도출과 지원 주체 매칭 시 기초자료로 활용

[표 8.4] 거버넌스별 설립목적과 역할

구분	설립목적	인원(명)	주요사업(역할)	재원(수입)
이장단협의체	읍·리를 대표하여 · 면장 업무 중 그 일부를 도와주는 기능	-보령시 주교면(19), 오천면(22) -당진시 고대면(18), 석문면(19) -서천군 비인면(22), 서면(24) -태안군 원북면(24), 이원면(16)	-지역주민의 의견을 수렴하여 행정기관에 전달 반영 -리의 발전을 위한 자주적 · 자율적 업무처리 -지역주민 간 화합단결과 이해의 조정에 관한 사항 -지역주민을 위한 복지 도우미 역할 수행 -기타 지역주민의 편의증진과 봉사	
노인회	노인의 권익신장과 복지증진 그리고 봉사활동 등을 통하여 사회발전에 기여	-보령시 주교면(19), 오천면(22) -당진시 고대면(18), 석문면(19) -서천군 비인면(22), 서면(24) -태안군 원북면(24), 이원면(16)	-노인 일자리 및 사회활동 지원사업 · 교육 -노인지도자 전문교육 -경로당 프로그램 활동 지원 -노인 자원봉사클럽 운영 -냉·난방비 보조금 지원 관련 교육 -웰다잉, 노인안전 교육	
새마을지도자협의회	새마을정신을 바탕으로 지역사회 발전을 도모하고 공익적 봉사활동을 통해 밝고 건강한 사회건설에 기여	-4개 시 · 군 지회장(1),협 의회장(1) -보령시 주교면(19), 오천면(22) -당진시 고대면(18), 석문면(19) -서천군 비인면(22), 서면(24) -태안군 원북면(24), 이원면(16)	-새마을사업에 대한 계획수립 및 추진 -새마을사업에 대한 주민교육 및 홍보 -새마을사업에 대한 사업평가 및 지도 -회원 상호간의 친목도모 및 정보교환 -기타 목적달성을 위한 사업	-보조금 및 지원금 -회비 -기금의 과실 수익금 -기타 수익금
새마을부녀회	여성으로서의 새마을정신을 바탕으로 건전한	-4개 시 · 군 지회장(1),협 의회장(1)	-새마을부녀회 사업의 계획수립 및 추진 -교육 및 홍보활동	-회비 -단체개인의 출연금

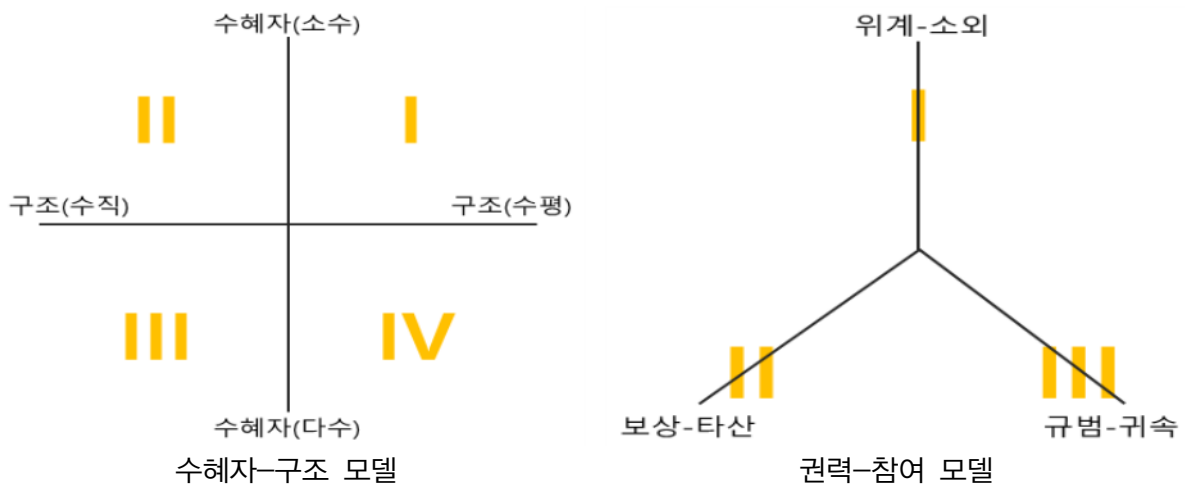
구분	설립목적	인원(명)	주요사업(역할)	재원(수입)
	가정 육성과 지역봉사활동을 통하여 밝고 건강한 사회를 이루는데 기여	-보령시 주교면(19), 오천면(22) -당진시 고대면(18), 석문면(19) -서천군 비인면(22), 서면(24) -태안군 원북면(24), 이원면(16)	-부녀새마을운동에 관한 조사연구 -각급 새마을부녀회에 대한 업무조정, 지도 육성·지원 -회원상호간의 친목유대강화 -기타 본회의 목적달성에 필요한 사업	기부금 -특별기금의 과실금 -기타 수익금
주민 자치 위원회	읍·면·동 주민자치센터 운영에 관한 사항을 심의하거나 결정하기 위해 지자체 조례에 따라 설치된 주민협의체	-당진시 고대면(30) -태안군 이원면(24)	-주민자치센터의 시설 설치 및 운영과 면민문화·복지·편의 증진에 관한 사항, 자치활동강화, 지역공동체 형성에 관한 사항 등을 심의·자문 -주민자치위원회 위원은 무보수 명예직으로, 면민을 위한 봉사자로서의 역할 수행	-자치단체 예산 -자체사업 수입 -회비 -국·시비 보조금
(사) 국제환경운 동연합	자연환경지킴이 운동 및 오염 감시, 환경에 대한 교육과 홍보, 강습자바다갯벌 등 자연 훼손 및 오염 감시 활동, 대기오염 사전예방·계몽운동 등을 위해 설립(비영리단체)	-59명	-해수욕장 자연정화 활동 및 환경 캠페인 -태안화력 증설 반대 집회 등 -각종 환경오염 신고사항 접수처리 -노천 소각 등 계몽운동	-회비 -후원금 -기부금 등
(사) 환경 보호 국민 운동 본부	환경오염 방지를 위한 연구 조사, 각종 학술회의 개최, 사회 각 계층에 대한 간담회 등의 교육사업 수행, 환경관련 단체와 연계 환경보전운동 및 정보교환시스템	-152,400명 (정회원 64,000)	-환경단체 등과 학술회의 개최 -환경교육 홍보활동, 환경관련 출판물 발간 -환경보호 국민운동 전개 및 기타 필요한 사업	-가입비 -회비 -후원금 및 기부금 -기타 보조금

구분	설립목적	인원(명)	주요사업(역할)	재원(수입)
	구축, 전국민의 환경 친화적 생활양식 정책에 기여(비영리단체)			
지속 가능 발전 협의회	국가와 지역 경제·사회·환경 이 균형 있게 통합된 지속가능한 발전을 이룩하도록 지속가능발전 역량강화와 「지방의제21」의 전국적 활성화	-공동회장단/ 감사(20) -운영위원회 : 광역(18), 기초(7) -네트워크(10) -사무총국(1) -당진: 116명 -태안: 56명	-지속가능발전과 지방의제21 추진 관련 국내·외 지자체, NGO들 간 정보교류 및 협력 -지속가능발전과 지방의제21 추진 계획 수립 및 실천을 위한 교육·훈련 -지속가능발전과 지방의제21 활성화를 위한 수범사례 발굴 및 보급, 프로젝트 개발 및 적용, 추진실태 모니터링 -지역 간 파트너십 강화를 위한 전국 또는 국제 협력 -국가의 지속가능한 발전을 위한 정책 제언 -지속가능발전 시민운동 확산을 위한 연구, 조사, 홍보사업 -기타 본 회의 목적을 달성하기 위해 운영세칙으로 정한 사업	-회비 -분담금 -지방자치단체 지원금 -환경부 지원금 -기부금 -기타 수입금
참여 자치 지역 운동 연대	시민의 자발적 참여로 권력을 감시하고, 정책과 대안을 제시하며, 시민행동을 통하여 참여민주주의를 실현		-참여민주주의를 실현하기 위한 정책과 방법에 관한 연구, 토론, 교육 등 시민들의 의사 형성을 위한 사업 -모든 권력에 대한 시민들의 감시와 참여 -인권 옹호 및 향상을 위한 사회적·제도적 노력 -기타 목적에 부합하는 지역사회 연대활동, 필요 사업	-회비 -후원금 -특별 모금 -기타 수익
환경운동연 합	생명·평화·생태·참 여를 핵심가치로 삼아 지구촌 모든 사람들과 힘을 합쳐 우리와 미래세대를 위한 지속가능한 세상을 만들어 나감	-당진(60) -서산·태안(21)	-환경오염과 생태계 파괴를 방지하기 위한 사업 -환경운동을 위한 조직사업 -환경에 대한 시민들의 인식을 높이기 위한 교육 및 홍보 사업 -환경문제에 대한 조사·연구 및 정책 제시 사업 -환경피해지역과 지역단위사업을 지원하는 제반 활동	-회비 -후원금 -특별 모금 -사업 수익금 -기타 수익

구분	설립목적	인원(명)	주요사업(역할)	재원(수입)
			-환경권침해에 대한 법률적 구조 및 대책 사업 -국내외 환경단체 및 환경운동에 뜻을 같이 하는 사회단체와의 연대사업 -기타 환경연합의 목적을 달성하는데 필요한 사업 -(당진) 석탄화력발전소와 송전선로에 따른 대응 활동 -(당진) 폐기물 처리시설, 폐수처리업체 입주 관련 대응 활동	
환경 감시 국민 운동 본부	환경오염행위 사전예방, 환경보호관련 범국민 의식 고취및지역주민의 홍보 계몽, 지역 사회발전을 위하여 저해요인 배척, 환경 헌장준수, 봉사적 정신을 바탕으로 환경운동에 그 목적이 있으며, 행정당국의 손길이 미치지 않는 사각지대의 감시, 고발 활동을 전국적으로 펼쳐 나가고 있음 궁극적으로는 환경운동의 단계를 높여 감시, 고발을 정책화 체계화하여 강력한 운동을 전제로 함은 물론 국민들의 깨끗한 주거환경 정립에 보탬이 되는 단체로 거듭나고자 하며 국가의 환경정책에 일조	-110명	-환경감시국민운동본부[목적]구 현사업 -환경파괴 방지를 위한 전국적인 계도 및 홍보사업 -환경[오폐수, 폐기물, 매연, 유기화합물 등]오염방지 및 감사고발 -각종 사회봉사 및 복지사업 -낙시터 감시활동 -산불예방활동 -재활용품 수거처리 -전국 각 지부 지회 회원 상호간의 감시관련 제반사업 -전국 공단지역과 주택가 세탁소를 비롯한 인체유해성 물질 유발업체 감시 . 고발 -기타 본회의 환경감시를 위한 제반사업 -본 운동본부를 유지하기 위한 특수목적 수익사업 -환경에 관한 조사, 연구 및 간행물 발간 -언론 관련 출판사업 및 방송 -연수교육 및 학원사업 -전국 지회, 지부 사무실 및 연구소, 박물관, 연수원 설립 및 운영에 관한 부동산 임대사업 및 건축 관련 부대사업	-가입비 -회비 -정부 보조금 -지방자치단체 보조금 -후원금 -기부금 -기타 보조금 -자산 수입 -시범사업 수반 수입 -기타 수익금

2.2 조직유형별 분류체계 수립

- 효율적인 거버넌스 운영을 위하여 유형 분류기준을 수립(수혜자-구조 모델, 권력-참여 모델)하고 기준에 따라 거버넌스 DB를 적용하여 적합한 모델을 제안
- 유형분류를 위한 모델은 기존 조직 분류모델을 개선한 대안 모델로 수혜자-구조 모델과 권력-참여 모델로 구분하며, 전자의 경우 P. M. Blau & W. R. Scott의 분류체계를 일부 수정하여 적용하였고 후자는 A. Etzioni가 제안한 분류체계를 본 연구에 적합하도록 일부 수정하여 적용
 - P. M. Blau & W. R. Scott는 수혜자에 따라 호혜조직, 사업조직, 서비스조직, 공익조직으로 조직유형을 제시
 - A. Etzioni는 복종관계를 고려하여 상급자의 권력행태(강제적, 보상적, 규범적)와 하급자의 대응행태(소외적, 타산적, 도덕적)에 따른 9가지 조직유형을 제시

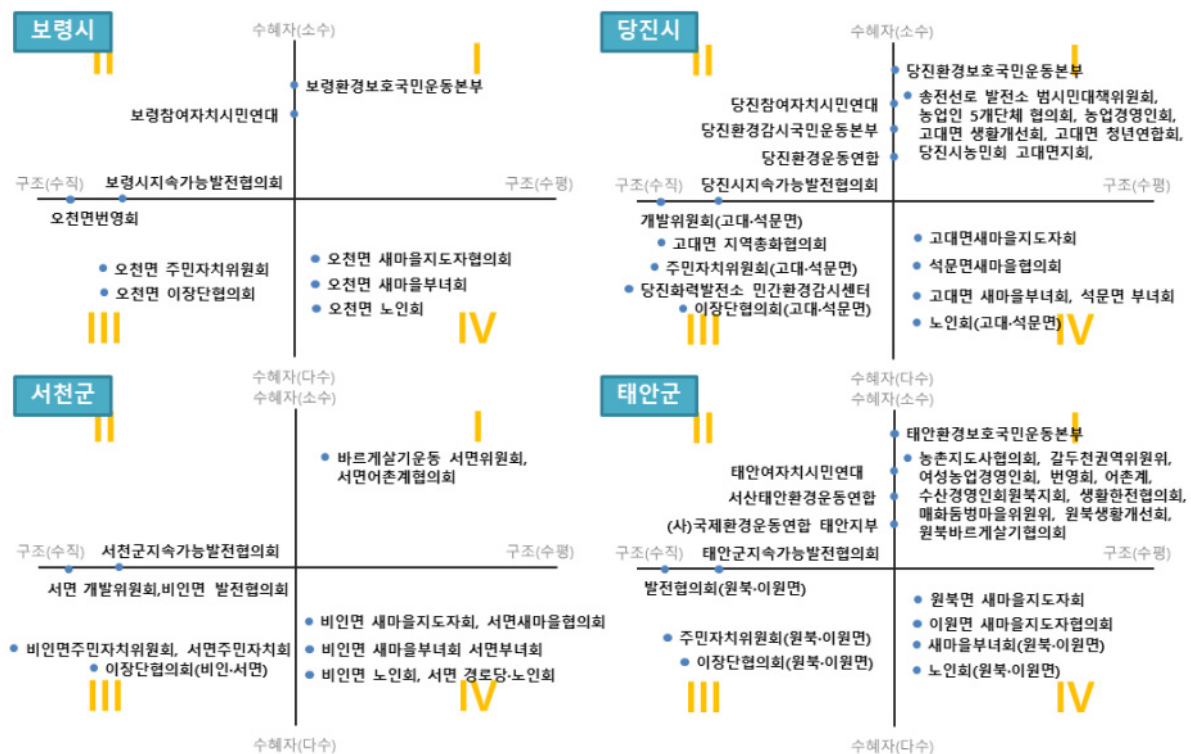


[그림 8.10] 거버넌스 유형화를 위한 분류모델

- 수혜자-구조 모델은 모든 조직은 궁극적으로 이익추구를 위해 형성되었다는 가정 하에 수혜 대상과 조직원 간 구조를 변수로 설정한 분류체계로 정의하며, 산출물(이익 등)에 대한 수혜자와 조직구조를 고려하여 호혜조직, 사업조직, 공익조직, 서비스조직으로 구분하고 거버넌스 DB에 적용하여 유형을 분류
 - 지역 거버넌스의 조직 유형별 분포도 파악에 용이하나, 유형 간 경계의 불분명, 특정조직이 다수 유형에 포함되는 한계를 지님

[표 8.5] 수혜자-구조 모델의 개념도

구	주요내용
호혜조직	민주적으로 운영, 모든 구성원의 의견을 수용하는 형태 조직원의 만족과 직접적 이익추구
사업조직	체계적이며, 특정인이 대표 또는 소유하는 형태 간접적 영리(이익)추구
공익조직	조직원의 자율성은 보장되나, 지자체 등의 간섭이 있는 형태 도민 전체의 이익추구
서비스조직	특정인 또는 소수가 수혜자가 되는 형태 조직원과 연관 있는 도민의 이익추구

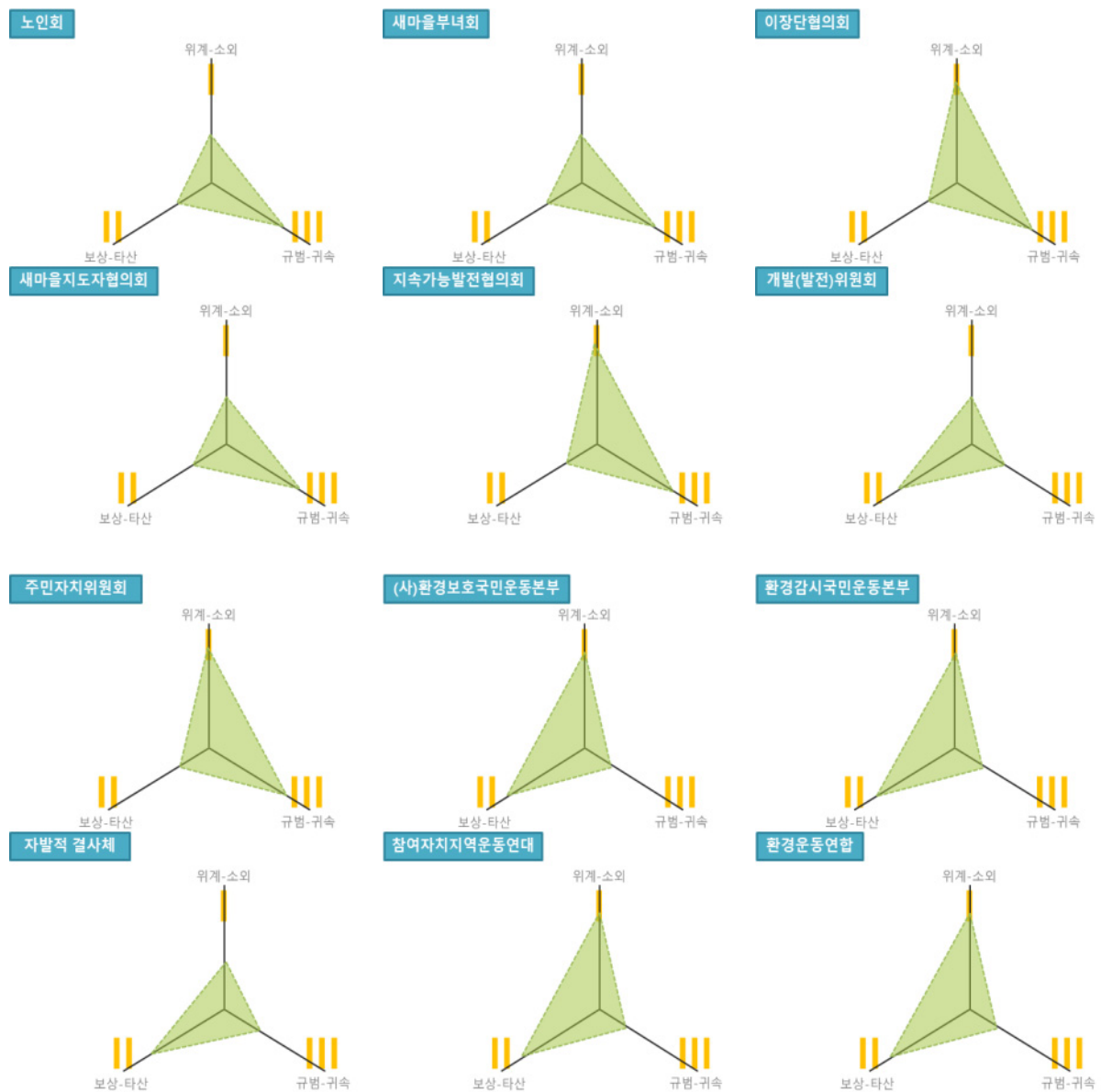


[그림 8.11] 수혜자-구조 모델에 의한 거버넌스 유형화 결과

- 권력-참여모델은 조직의 목표를 이익/목적추구형으로 구분, 조직(상급자)가 행사하는 권력과 조직원의 대응력을 변수로 설정한 분류체계로 정의하며, 조직의 권력 행사 정도와 조직원이 몰입하는 형태를 고려한 모델로 위계조직, 공리조직, 규범조직으로 구분하고 거버넌스 DB에 적용하여 유형을 분류
- 조직이 지향하는 목표 파악에 용이해 지원방안 제시에 편리하나, 특정 조직이 다수 유형에 포함될 시 정체성 파악에 한계

[표 8.6] 권력-참여 모델의 개념도

구분	주요내용
위계조직	위계 · 수직적 권력, 조직원의 타의적 관여가 있는 형태 조직 또는 특정인의 이익(목적)지향
공리조직	보상 · 수평적 권력, 조직원의 계산적 관여가 있는 형태 조직원의 이익(목적)지향
규범조직	규범 · 사회적 권력, 조직원의 적극적 관여가 있는 형태 도민의 목표(이익)지향



[그림 8.12] 권력-참여 모델에 의한 거버넌스 유형화 결과

- 각각의 분류기준에 따라 거버넌스 DB를 적용하여 시뮬레이션 결과 분석을 통해 적합한 모델을 선정한 결과 권력-참여모델이 적합한 것으로 판단되어 해당 모델을 제안

2.3 정책 우선순위 제안

- 주민의견, 거버넌스별 역할 등을 고려하여 화력발전소 주변지역 관련 26개의 지원사업을 도출하고 AHP분석을 통해 우선순위를 선정한 결과, 환경영향조사와 주민참여형 감시에 대한 중요도가 높은 것으로 분석되어 우선순위에 따른 구체적 지원방안 마련이 시급한 것으로 파악

[표 8.7] 화력발전소 주변지역 관련 지원사업 AHP분석 결과

지원사업	중요도	우선순위
1. 건강영향조사	0.5991	3
2. 건강검진	0.2888	12
3. 환경영향조사	0.6237	1
4. 환경영향평가	0.2888	12
5. 정보공유체계 개선	0.4626	9
6. 발전소 저감시설 도입 및 개선	0.5991	3
7. 환경오염물질 및 영향 관련 교육	0.4872	7
8. 주민참여형 감시	0.6237	1
9. 모니터링(환경오염감시, 저감 등)	0.5991	3
10. 환경 관련 인체유해물질, 업체 감시 및 고발	0.4491	10
11. 노인 일자리 및 사회활동 지원·교육	0.2077	20
12. 노인지도자 전문교육	0.2077	20
13. 경로당 프로그램 활동 지원	0.2077	20
14. 노인 자원봉사클럽 운영	0.1502	23
15. 냉·난방비 보조금 지원 관련 교육	0.2888	12
16. 웰다잉, 노인안전 교육	0.1120	25
17. 주민교육 및 홍보	0.4872	7
18. 환경미화(꽃심기 등)	0.1120	25
19. 자원봉사 운영	0.1256	24
20. 지역주민 복지 및 편의시설 증진, 개선	0.2642	16
21. 지속가능한 상생발전	0.5991	3
22. 지역민 이주	0.2507	19
23. 피해보상	0.2642	16

지원사업	중요도	우선순위
24. 보조금 지원	0.2888	12
25. 혐오 및 환경오염 유발업체 입주 반대	0.4491	10
26. 자연정화	0.2642	16

- 화력발전소 주변지역 관련 지원사업의 효과적 운영을 위해 주체별 역할을 분류하여 제안하였으며, 거버넌스 유형에 적합한 실효성 있는 지원정책 마련과 지역 거버넌스의 효율적 운영방안 수립 등이 후속되어야 할 것으로 판단

[표 8.8] 화력발전소 주변지역 관련 지원사업 AHP분석 결과

지원사업	지원주체
1. 건강영향조사	지자체, 발전소
2. 건강검진	지자체
3. 환경영향조사	지자체, 발전소
4. 환경영향평가	지자체, 발전소
5. 정보공유체계 개선	지자체, 연구기관
6. 발전소 저감시설 도입 및 개선	지자체, 발전소
7. 환경오염물질 및 영향 관련 교육	지자체, 연구기관
8. 주민참여형 감시	지자체, 연구기관
9. 모니터링(환경오염감시, 저감 등)	지자체, 연구기관
10. 환경 관련 인체유해물질, 업체 감시 및 고발	지자체
11. 노인 일자리 및 사회활동 지원·교육	지자체
12. 노인지도자 전문교육	지자체
13. 경로당 프로그램 활동 지원	지자체
14. 노인 자원봉사클럽 운영	지자체
15. 냉·난방비 보조금 지원 관련 교육	지자체
16. 웰다잉, 노인안전 교육	지자체
17. 주민교육 및 홍보	지자체
18. 환경미화(꽃심기 등)	지자체
19. 자원봉사 운영	지자체
20. 지역주민 복지 및 편의시설 증진, 개선	지자체, 발전소
21. 지속가능한 상생발전	연구기관
22. 지역민 이주	발전소
23. 피해보상	발전소
24. 보조금 지원	지자체
25. 혐오 및 환경오염 유발업체 입주 반대	지자체
26. 자연정화	지자체

3. 지역주민 요구대응(자원순환센터 주변 대기영향조사)

- 서천군 비인면 이장단 대상 주민설명회 및 의견수렴 중 자원순환센터 주변 악취 관련 조사요청이 있어 요구대응을 위해 서천군 비인면 관3리와 서천군 자원순환센터의 대기영향조사를 실시

C23. 자원순환센터 대기영향조사

① 악취 발생량

② 악취 발생원

③ 악취 발생원

④ 악취 발생원

⑤ 악취 발생원

⑥ 악취 발생원

⑦ 악취 발생원

⑧ 악취 발생원

⑨ 악취 발생원

⑩ 악취 발생원

⑪ 악취 발생원

⑫ 악취 발생원

⑬ 악취 발생원

⑭ 악취 발생원

⑮ 악취 발생원

⑯ 악취 발생원

⑰ 악취 발생원

⑱ 악취 발생원

⑲ 악취 발생원

⑳ 악취 발생원

㉑ 악취 발생원

㉒ 악취 발생원

㉓ 악취 발생원

㉔ 악취 발생원

㉕ 악취 발생원

㉖ 악취 발생원

㉗ 악취 발생원

㉘ 악취 발생원

㉙ 악취 발생원

㉚ 악취 발생원

㉛ 악취 발생원

㉜ 악취 발생원

㉝ 악취 발생원

㉞ 악취 발생원

㉟ 악취 발생원

㊱ 악취 발생원

㊲ 악취 발생원

㊳ 악취 발생원

㊴ 악취 발생원

㊵ 악취 발생원

㊶ 악취 발생원

㊷ 악취 발생원

㊸ 악취 발생원

㊹ 악취 발생원

㊺ 악취 발생원

㊻ 악취 발생원

㊼ 악취 발생원

㊽ 악취 발생원

㊾ 악취 발생원

㊿ 악취 발생원

이런편 자라리 소각에 저감조치의 공기정화 하에 용기(환영)요청
공정부담드립니다

[그림 8.13] 자원순환센터 주변 대기영향조사 요청

- 대기영향조사에 앞서 서천군 자원순환센터 현황파악을 위한 사전답사와 자료조사를 선행
 - 건축시설은 496 m²(지상 3층)로 소각용량 625 kg/시간(16시간 운영 시 10톤), 이동 화상식소각로(환경신기술 2호) 형식으로 소각하는 것으로 파악
 - 처리용량은 40톤/일로 재활용 15톤/일(플라스틱, 유리병, 캔, 알루미늄캔, 스티로폼, 포장비닐), 소각 10톤/일, 매립 15톤/일, 기타(침출수처리) 200m³/일(물리화학적+생물학적+고도처리)
 - 염화수소(HCl), 질소산화물(NO_x), 이산화황(SO₂), 일산화탄소(CO), 먼지(DUST), 산소(O₂), 배출량(Sm³), 토출온도(℃) 항목에 대해 상시 모니터링 진행
- 2019.02.20.~2019.02.22. 기간 동안 서천군 자원순환센터와 관3리 지점에 대한 대기시료 채취를 통한 중금속과 휘발성유기화합물(VOCs) 항목을 분석
 - 중금속은 로우볼륨샘플러(PMS104, 16.7LPM)를 활용하여 시료를 채취하고 필터시료를 원자흡수분광광도법(대기오염공정시험기준, ES01400.1a)을 적용하여 구리(Cu), 납(Pb), 아연(Zn), 망간(Mn), 비소(As), 니켈(Ni), 크롬(Cr), 카드뮴(Cd) 항목에 대해 한국기초과학지원연구원에 시험분석을 의뢰

- 휘발성유기화합물의 경우 흡착관(Tenax tube)에 4L(135ml/min, 30분)의 대기시료를 포집하여 기체크로마토그래피(대기오염공정시험기준, ES01511.1a) 적용하여 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스틸렌 항목에 대해 한국산업기술시험원에 시험분석을 의뢰



[그림 8.14] 자원순환센터 및 관3리 현장조사

- 중금속 분석결과 모든 항목이 미량 검출되었으며, 유량정보를 포함하여 단위 환산한 결과를 대기환경보전법 시행규칙 별표8에 따른 대기오염물질의 배출허용기준(제15조 관련)과 비교한 결과, 모든 물질이 기준을 충족(망간항목 기준 없음)하는 것으로 분석
 - 비소화합물(As) : 0.25ppm 이하(가스형태의 물질, 폐수·폐기물·폐가스 소각처리시설 (소각보일러 포함) 및 고형연료제품 사용시설 기준)
 - 카드뮴화합물(Cd) : 0.1mg/Sm³ 이하(입자형태의 물질, 폐수·폐기물·폐가스 소각처리시설 (소각보일러 포함)의 소각용량이 시간당 200킬로그램 이상 2톤 미만인 시설 기준)
 - 납화합물(Pb) : 0.5mg/Sm³ 이하(입자형태의 물질, 폐수·폐기물·폐가스 소각처리시설 (소각보일러 포함)의 소각용량이 시간당 200킬로그램 이상 2톤 미만인 시설 기준)
 - 크롬화합물(Cr) : 0.3mg/Sm³ 이하(입자형태의 물질, 폐수·폐기물·폐가스 소각처리시설 기준)
 - 구리화합물(Cu) : 5mg/Sm³ 이하(입자형태의 물질, 모든 배출시설 기준)
 - 니켈 및 그 화합물 : 2mg/Sm³ 이하(입자형태의 물질, 모든 배출시설 기준)
 - 아연화합물(Zn) : 5mg/Sm³ 이하(입자형태의 물질, 모든 배출시설 기준)

[표 8.9] 중금속 분석결과

(단위: mg/m³)

	구분	Cu	Pb	Zn	Mn	As	Ni	Cr	Cd
관3리	2019.02.20.~21.	0.18	0.17	0.49	0.16	0.03	0.02	0.03	0.01
	2019.02.21.~22.	0.54	0.44	1.36	0.40	0.07	0.04	0.08	0.01
소각장	2019.02.20.~21.	0.87	0.50	1.41	0.56	0.09	0.06	0.09	0.02
	2019.02.21.~22.	0.37	0.47	1.49	0.43	0.07	0.04	0.07	0.01

- 휘발성유기화합물 분석결과 모든 항목이 미량 검출되었으며, 대기환경보전법 시행규칙 별표8에 따른 대기오염물질의 배출허용기준(제15조 관련)에 벤젠만 기준이 있고 이외의 물질은 허용 기준이 없어 문헌과의 비교결과 우려할 수준은 아닌 것으로 분석
- － 벤젠 : 10ppm 이하(모든 배출시설(내부부상 지붕형 또는 외부부상 지붕형 저장시설 제외) 기준)

[표 8.10] 휘발성유기화합물 분석결과

(단위: ppm)

	구분	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	자일렌	스타이렌
관3리	2019.02.20.~21.	0.001	0.026	0.000	0.001	0.000
	2019.02.21.~22.	0.002	0.069	0.001	0.002	0.000
소각장	2019.02.20.~21.	0.001	0.031	0.000	0.001	0.000
	2019.02.21.~22.	0.001	0.028	0.001	0.001	0.000

- 민원대응을 위한 현장조사 분석결과 소각시설 원료별 배출물질이 상이하여 지속적인 관리와 도내 전수조사가 후속되어야 할 것으로 판단

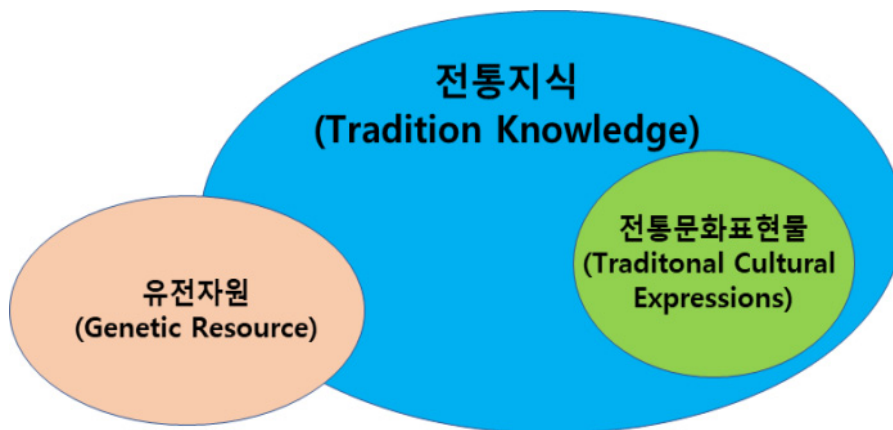
제9장 발전소 주변지역 생물종 조사제안

1. 생물종에 대한 전통지식 조사 필요성과 활용성
2. 전통지식 조사방법론 조사
3. 충청남도 전통지식 조사 단계별 로드맵 제안

1. 생물종에 대한 전통지식 조사 필요성과 활용성

1.1 전통지식

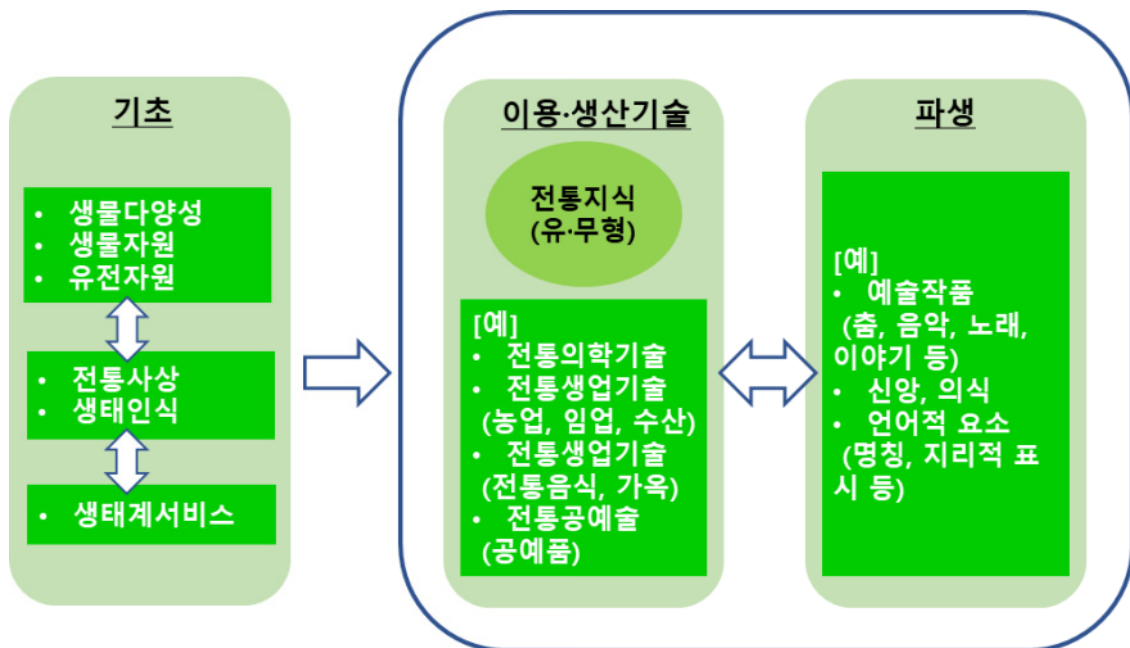
- 전통지식(Tradition Knowledge)은 문화적 또는 영적 정체성의 일부를 형성하며, 지역 사회 내에서 발생, 유지 및 전달되는 지식, 노하우, 기술, 관습으로 정의된다. 전통지식은 일반적인 의미에서 지식 자체의 내용과 전통지식과 관련된 고유한 표기와 기호를 비롯한 전통문화표현물(Traditonal Cultural Expressions)을 모두 포함하고 있음
- 협의의 전통지식은 전통적 맥락에서의 지적 활동으로 인한 지식을 말하며 노하우, 실전, 기술 및 혁신을 포함함
- 전통지식에 대한 세계지식재산기구(World Intellectual Property Organization)의 프로그램은 유전자원(Genetic Resource), 전통문화표현물(Traditonal Cultural Expressions)을 포함하여 다루고 있음



[그림 9.1] 전통지식의 범위(한국환경정책·평가연구원, 2012)

- 전통지식은 이용하는 수준에 따라 기초, 이용·생산기술, 파생의 지식으로 구분할 수 있음(그림 9.2). 기초적인 전통지식은 전통지식의 주된 내용을 형성되는 기반 자원을 일컫는 것으로 유형의 생물다양성, 생물자원, 유전자원 및 무형의 전통사상, 생태인식과 생태계서비스 등으로 이루어져 있으며, 이를 토대로 활용 가능한 수준의 전통지식 1차 생산물을 만들어낼 수 있는데 이것이 유·무형의 이용·생산기술임

- 유·무형의 이용·생산기술은 전통의학기술 및 농경, 임업, 수산분야에 걸친 전통생업기술, 전통음식 혹은 전통가옥과 관련된 전통생활기술과 공예술 등을 포함하고 있음
 - 이 기술을 이용하여 최종적으로 생산되는 2차 지식산물이 파생 전통지식으로 음악, 춤, 노래, 신앙, 의식, 명칭, 상징 등의 민속문화 등을 포함하고 있음
- 이 중 생물자원과 직접적으로 관련된 전통지식은 기초 및 이용·생산기술의 두 단계이며, 전통의약품, 음식, 건축, 공예품과 같은 산물들은 문화 콘텐츠 등으로 전통지식의 파생과 관련한 다양한 활용이 가능함



[그림 9.2] 전통지식의 기본개념 및 활용산물의 특성(국립생물자원관, 2017)

1.2 전통지식 이익주장과 권리보호 근거마련

1.2.1 나고야의정서에 대응하여 생물자원에 대한 기반구축 필요

- 2010년 「생물다양성협약(Convention on Biological Diversity: CBD) 부속 유전자원에 대한 접근과 이용에 따른 이익의 공정하고 공평한 공유(Access to genetic resources and Benefit-Sharing, ABS)에 관한 나고야의정서」의 채택으로 인해 생물자원과 생물서식지에

대한 가치인식이 전환됨에 따라 생물자원의 활용을 위한 기반구축의 필요성이 크게 증가되고 있음

- 나고야의정서에 따르면 생물자원과 이에 관련된 전통지식의 접근 및 이용을 위해서는 자원을 제공하는 당사국의 사전접근승인이 있어야 하며, 당사국간 생물유전자원과 이에 관련된 전통지식의 이용으로 발생한 금전적, 비금전적 이익을 상호 합의된 계약조건에 따라 공유하여야 함
- 따라서 정부에서는 12개 부처 합동 「나고야의정서 범정부대책(‘11.11.8, 국무회의 보고)」를 마련하였고 범정부대책의 체계적 이행을 위한 부처별 「세부추진사업 구체화 및 연차별(‘12년~’20년) 세부추진계획」을 수립하였으며, 국가생물다양성전략을 수립하고 각 기관별 전통지식 조사 연구사업을 진행(표 9.1)하고 있음
- 또한 연구결과에 의해 체계적인 데이터베이스를 구축하고 이에 기초하여 경제, 생태관광, 문화적 부가가치를 창출할 수 있는 잠재적 우수 생물자원을 발굴하기 위해 노력하고 있으며 발굴한 생물자원을 활용한 지자체별 맞춤형 생물산업화 방안을 마련하고 있음

[표 9.1] 기관별 전통지식 조사연구사업(정종덕, 2018)

기관명	조사 대상 자원
국립생물자원관	자생 생물자원
국립해양생물자원관	해양 수산자원
국립수목원	전통 식물자원
국립산림과학원	산림 전통지식
국립공원관리공단	국립공원 역사문화자원
산림청	백두대간 역사문화자원
농촌진흥청	농촌 전통 지식자원, 전통향토음식
한국식품연구원	전통식품
한국한의학연구원	전통의과학 지식
특허청	전통지식 전반
국립민속박물관	민속자료
농림축산식품부	향토자원
행정자치부	향토자원(자연, 문화, 기술, 특산물 등)

1.2.2 중국, 일본과 생물자원 및 전통지식의 유사성으로 선제적 확보필요

1.2.3 선진국 대비 확보 생물자원과 전통지식 DB 구축 미흡

- 최근 선진국가의 기업이 풍부한 경험, 정보 및 자금력을 바탕으로 유전자원 관련 전통지식을 소재로 하여 연구개발을 행하고 있으며, 그 연구 성과를 지식재산권화 하는 사례가 급증하고 있음
- 선진국 기업 및 연구자들이 개발도상국의 선주민 또는 지역공동체가 보존·전승하여 온 생물유전자원 및 관련 전통지식의 일부를 입수, 이용, 개발하여 특허등록을 하는 사례가 등장한 것으로, 생명공학의 발전으로 유전자원과 전통지식을 이용한 의약품이 막대한 경제적 가치를 지닌 것으로 판명됨에 따라 전통지식의 보호문제가 이해당사자간에 첨예하게 대립 중이며, 선진국 기업 및 연구자들은 생물유전자원 및 관련 전통지식을 대부분 선주민 또는 지역공동체의 허락 없이 입수하고 있을 뿐만 아니라 그들에게 어떠한 보상이나 이익환원을 하지 않고 있음
- 이러한 상황 하에서 캐나다의 NGO인 RAFI(Rural Advancement Foundation International) 및 인도의 Vandana Shiva가 중심이 되어 선진국기업의 유전자원 및 관련 전통지식의 약탈행위를 ‘Bio-Piracy’로 간주하고 세계적인 반대운동을 전개, 개발도상국 정부는 TRIPs 협정과 생물다양성에 관한 협약(Convention on Biological Diversity: CBD)의 정합성에 대한 문제를 제기하고 있음

1.3 전통지식 계승과 보존

- 최근 무형의 전통지식이나 문화표현물이 새로운 자원으로 부각되고 있으며, 자유무역협정(FTA) 등으로 세계 경제 질서가 새롭게 재편됨에 따라 세계 각국은 전통지식(traditional knowledge)과 전통문화표현물(Traditional Cultural Expressions) 등과 같은 전통자원을 새로운 경제적 자원으로 인식하고 있음
- “유전자원(genetic resources), 전통지식, 전통문화표현물”은 인류의 공동유산(common heritage)으로 취급되어 그 ‘보존’에 초점 집중되어 왔으며, 전통지식은 인류의

공동유산이기 때문에 누구나 자유로이 접근, 이용할 수 있는 것으로 취급되어 옴

- 그런데 최근 과학 기술 발전에 따라 공동유산 중에 지금까지 인식되지 않았던 '자원' 으로서의 가치가 발견되어 '전통지식 등의 계승 및 보존' 에 대한 중요성이 증대되고 있어 전통적으로 계승되어 온 지식자원의 권리보호 방안을 마련하고, 자원 발굴, 평가 및 이를 활용한 지식재산권 창출을 강화하고 있음
- 근대화 이후에도 전통지식이 전승되어 온 농어촌과 산간지역도 개발 및 도시화, 현대화된 생활양식에 의해 다양한 생물을 접할 기회가 적어짐에 따라 전통지식의 소실이 가속화되고 있으며, 또한 현대사회에서 전통지식 보유자는 대부분 고령자이며 구전될 기회가 적어서 가까운 미래에 전통지식이 사라질 위기에 처하여 있음

1.4 자생생물 전통지식 유용성 탐색

- 전통지식은 유구한 인류의 역사 속에서 형성되고 검증되어진 실천적인 지식으로 전통지식을 활용한 제품의 개발은 화학적 합성과 같은 현대 기술에 의존한 것보다 안전성을 확보하기 쉬워 제품개발 비용을 절감할 수 있으며 성공 가능성이 높아 자생생물 전통지식의 유용성 탐색의 필요성이 증가함

2. 전통지식 조사방법론 조사

- 전통지식 조사는 문헌을 활용한 조사를 기본으로 하고 있어 고전문헌, 전통지식 포털 등을 이용한 전통지식 자료 조사, 최신 국내·외 의과학 논문자료, 국립 생물자원관 등 전통지식관련 보고서 자료 활용, 국내·외 문헌 벤치마킹 등을 통해 진행됨

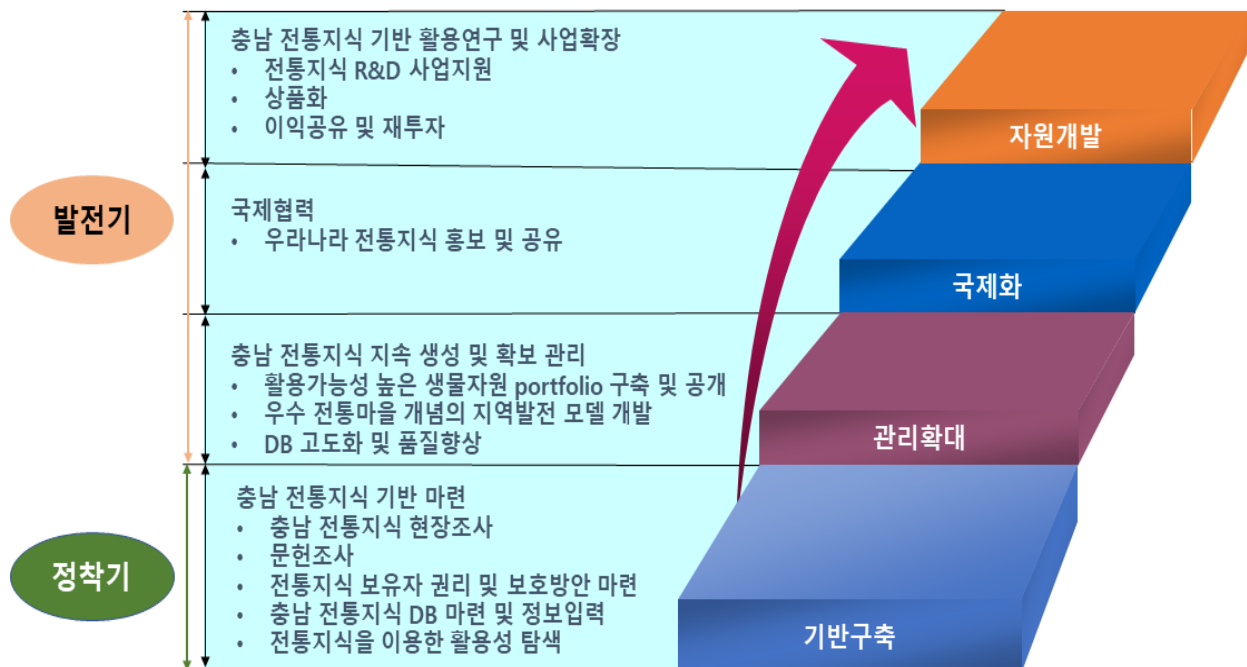
[표 9.2] 기관별 전통지식 조사연구사업(정종덕, 2018)

DB이름(웹주소)	관리기관	검색키	자료량
한반도의 생물다양성 · 유용성 정보 (http://species.nibr.go.kr)	국립생물자원관	생물종, 용도	54,399
국가 생물 종 지식 정보시스템 · 식물자원 · 민속식물 (http://www.nature.go.kr)	국립수목원	식물명, 특허, 용도	17,852
농식품종합정보시스템 (http://koreanfood.rda.go.kr)	농촌진흥청	식품명, 지역, 식품유형, 식재료 등	3,300
ㅎ · ㄴ ㅁ ㅂ · ㄴ ㅅ 한국전통식품포털 (http://tradifood.한맛한얼.net)	한국식품연구원	전통식품명	140
한국식품지식정보시스템 (http://www.tradifood.net)	한국식품연구원	식품명, 식품분류, 식품유형, 출전문헌	11,005
한의고전명서 (http://jisik.kiom.re.kr)	한국한의학연구원	서명, 전통요법, 본초	고문헌1,800권, 전통요법 658건등
한의학고전 DB (http://mediclassics.kr)	한국한의학연구원	서명	고문헌73종
한국전통지식포털 (http://www.koreantk.com)	특허청	분야, 통합검색	391,813
한국고전종합 DB (http://db.itkc.or.kr)	한국고전번역원	서지정보, 통합검색	메타데이터 500만건

- 지속적인 현지 방문과 면담을 통해 구전되어 오는 전통지식을 탐색하고 발굴하는 조사 방법을 활용하며 조사항목은 다음과 같으며, 현지조사표, 조사 마을 전경 사진, 면담 사진, 정보제공자 사진, 면담 녹취, 녹취 스크립트, 면담 동영상 파일 등의 증빙자료 확보가 필요함
 - 전통지식 보유자 정보 : 성명, 연령, 성별, 주소 등
 - 식물명 : 국명, 학명, 지방명, 생약명, 자생지(재배, 야생) 등
 - 용도분류 : 약용, 관상, 향료, 염료, 유지, 섬유, 수지, 밀원, 연료, 식용 (생채, 숙채, 묵나물, 잡채, 당분, 전분), 목재, 용재 및 잠재적 가치 등
 - 이용방법 : 채취시기, 이용실태, 습득경로 등
 - 관련 무형자료 : 신화, 전설, 민담 등

3. 충청남도 전통지식 조사 단계별 로드맵 제안

- 전통지식 조사는 크게 정착기와 발전기로 나눌 수 있음. 정착기는 전통지식 기반을 마련하는 단계로 충남 전통지식의 현장조사, 문헌조사, 전통지식 보유자 권리 및 보호방안 마련, 충남 전통지식 DB 마련 및 정보입력, 전통지식을 이용한 활용성 탐색 등이 이루어지는 기반구축 단계이며, 발전기는 관리확대 단계, 국제화 단계, 자원개발 단계로 구분할 수 있음
- 관리확대 단계는 충남 전통지식의 지속 생성 및 확보 관리하는 단계로 활용가능성 높은 생물자원의 portfolio를 구축하고 충남의 생물자원을 공개하고, 우수 전통마을 개념의 지역발전 모델을 개발과 DB 고도화 및 품질향상 등을 이루는 단계임
- 국제화 단계는 국제협력을 이루는 단계로 충남 전통지식의 홍보 및 공유할 수 있음
- 자원개발 단계는 충남 전통지식 기반 활용연구 및 사업확장의 단계로 전통지식 R&D 사업을 지원하고 상품화를 이루며, 이로 인해 발생한 이익을 공유하고 재투자하여 선순환적 구조를 완성하는 단계임



[그림 9.3] 충청남도 전통지식 조사 발전 단계(안)

- ‘화력발전소 주변지역 기후환경영향연구’에서는 2차년도 화력발전소 주변지역의 전통지식 조사 필요성을 확보하고 3~5차년도 연구에 걸쳐 화력발전소 주변지역의 전통지식을

현장조사를 통해 관련 DB를 구축할 계획이었으나 2차년도 연구 진행 중 과제 연계성 등에 대한 자문의견을 반영하여 독립적 과제로 추진할 예정임

- 이에 따라 본 연구보고서에는 충청남도 차원에서 전통지식 조사사업을 진행할 경우 단계별 중점적으로 고려해야할 내용에 대해서만 제안하며, 실제 사업추진 여부는 지역주민, 전문가, 행정 등이 함께 심도 깊은 논의를 거쳐 결정하고 추진 할 필요가 있음
- － 2차년도 연구에서는 식용 식물자원 이용사례 조사와 충청남도 식용 식물자원에 대한 문헌조사와 식용 식물자원 산업화 방안에 대한 전문가 원고자문을 진행하여 관련 사업발굴을 위한 기초자료로 활용함



제10장 결론 및 제언

- 1세부 “대기환경정보구축” 분야에서는 화력발전소 주변지역의 기후환경 영향분석과 정책지원 체계구축, 도민 눈높이 맞춤정보 제공, 기후환경 관련 정보확대와 관리체계 마련을 위한 시스템 구축, 관련 거버넌스 구축 등의 목표를 달성함



[표 10.1] 제1세부 대기환경정보구축 분야 주요연구 목표

- **지역기후변화 분석** : 미세먼지 농도변화와 상관성이 높은 풍속, 습도, 기온에 대해 과거 30년 이동평균분석을 실시함
 - 보령지역의 풍속 감소가 두드러지며(2002년 대비 2018년 1.88m/s 감소) 습도는 충청남도 평균 약 2.8% 감소하여 미세먼지 농도 증가에 기여할 것으로 판단됨
 - 지역별 풍속변화 차이는 존재하나 충남 전지역에 온도증가와 습도 감소로 온난 건조 추세를 보임

[제언] 기후변화가 지역 미세먼지 농도변화에 미치는 영향 정량화 추가 연구로 지역차원의 기후변화대응 필요성 당위성 확인 필요

- **고정측정망 운영** : 당진화력발전소의 배경농도로 1차년도 구축한 대난지도 측정소 운영현황 분석과 2차년도 추가 구축
 - 당진화력발전소 풍상, 풍하 측정소인 대난지도 측정소와 당진시청 측정소 PM10 농도비교 결과 북서풍시 당진시청의 농도가 높고, 남동풍의 경우 대난지도에서 상대적으로 고농도 발생하여 측정소간 영향을 확인 하였으나 PM2.5는 풍향과 무관함
 - 2차년도에는 보령화력발전소의 거리별 농도변화 분석을 위해 보령시 청라면 측정소 구축

- **기후환경 정보시스템 구축** : 기후환경 통합 DB를 설계하고 대기모델링 시스템 구축 적용
 - 대기질모델링 시스템을 구축하고 비상저감조치 발령시 운영한 결과 고농도 발생시 무풍지역이 다수 발생하여 대기 정체를 확인할 수 있었으며, 2019년 3월 고농도 사례발생일 7일간 평균 최대 5.2%의 PM10 저감효과가 나타남

[제언] 고농도 사례일 등 다양한 시나리오별 정책지원 결과를 즉시 도출할 수 있는 시스템으로 발전 필요

- **생활권 대기질 정보 제공** : 정보제공 마을확대와 측정자료 기반 관리 핫스팟 지점 선정
 - 기존 4개면 61개 마을의 생활권 대기질 정보제공을 8개면 119개 마을로 확대, 마을주민 정보접근성 강화로 도민 알권리 충족을 위한 노력경주
 - 계절별·마을별 측정자료 분석을 통해 중점관리(고농도 발생 빈도가 높은 마을)와 우선관리(대기환경 기준을 다수 초과하는 마을) 마을 지정

[제언] 중점·우선관리 대상 영향조사, 모니터링 등 종합분석을 통한 정책지원 집중필요

- **지역 대기오염물질 기원 및 기여도 추정** : 계절별 물질에 대한 지역별, 원인별 기원추정과 시뮬레이션을 통한 충청남도외 기여도 추정
 - 당진시 2개지점(당진시청, 석문면사무소) 대기샘플링 후 유기탄소, 납 동위원소 분석결과와 라이브러리 DB와 매칭을 통해 당진시 대기에 영향을 미치 것으로 추정되는 계절별 오염기원과 지역 추정
 - 궤적 클러스터링(4개 군집) 후 PSCF 모델 시뮬레이션 결과 여름을 제외한 전 계절에서 중국의 영향이 높은 것으로 확인됨

[제언] 조사지점 확대와 모델고도화를 통해 화력발전소 대기오염 기여도와 확산에 따른 영향규명 근거자료로 활용

- **거버넌스 및 환류체계 구축** : 지역 설명회를 통해 지역주민 불신해소와 연구에 대한 신뢰성 확보 노력 경주, 관련 거버넌스 현황조사 분석과 유형화를 통해 거버넌스 유형 분류기준을 수립하였으며, 주민의견과 거버넌스별 역할을 고려하여 지원사업의 우선순위를 도출함

[제언] 발전소 관련 거버넌스 통합운영과 지원체계 구축을 위한 적용성 검토 필요

Part 2

대기질 측정분석

제1장 서론 | 277p

제2장 화력발전소(시설) 주변지역 현황 조사 · 분석 | 289p

제3장 환경민감지역의 대기질 조사 | 335p

제4장 옥외 저탄장의 배출량 분석 | 407p

제5장 결론 및 제언 | 447p

제1장 서론

1. 연구 배경 및 목적
2. 연구 범위 및 내용
3. 연구추진체계

1. 연구 배경 및 목적

- 석탄은 우리나라에서 경제성 등의 이유로 중요한 에너지원으로서 지속적으로 사용되어져 왔음. 그러나 석탄이 채굴·운송(하역, 저장)·연소·처리 등의 과정에서 환경과 건강에 영향을 미치는 것으로 밝혀짐¹⁾
- 충청남도에서 석탄화력으로 생산한 발전량은 총 18,178.05 MW로 이는 전국 석탄화력 발전량 34,310.65 MW의 절반 이상 수준인 53%를 차지하는 것이며, 전국 59기 중 30기가 위치하고 있고, 충청남도에서 생산된 전기의 절반 이상이 수도권으로 보내지고 있음(전력통계정보시스템, 2019, 2019.4.15. 기준, 민간발전사업자 제외)
- 미국 환경보호청은 2011년도에 석유 및 석탄화력 발전소를 대상으로 배출기준을 강화하면서, 이에 따른 건강편익을 추정해 바 있음. 추정 결과에 따르면 대기배출기준의 강화로 매년 4,200명에서 11,000명에 이르는 조기사망, 2,800명의 만성기관지염, 4,700명의 급성심장질환, 130,000명의 급성천신발병, 5,700명의 병원 및 응급실 내원자 수 등과 같은 건강피해가 줄어들 것으로 평가하였음
- 우리나라에서도 전기 생산은 필요하기 때문에 어디에선가는 전기를 생산해야 하는데, 문제는 전기를 생산하는 지역과 그 지역 주민들이 너무 많은 피해를 보고 있고 그 지역이 충청남도인 것은 사실임²⁾
- 산업통상자원부의 제8차 전력수급기본계획(2017~2031)을 살펴보면, 충청남도의 화력발전은 증설 또는 완공, 폐지를 거듭하면서 최종적으로는 2025년까지 8,151 MW의 발전설비용량이 계획되었고, 반대로 감소되는 발전용량은 2,400 MW로 폐지되는 발전용량보다 5,751 MW의 용량이 증가하는 것으로 확인됨
- 산업통상자원부는 올 하반기 제9차 전력수급기본계획을 수립하면서 충청남도·수도권 일대 대규모 석탄화력발전소의 연료 전환을 추진할 계획을 밝혔지만, 실질적으로 발전소를

1) 석탄화력발전과 미세먼지, 그리고 건강, 명형남, 열린충남(2016)

2) 석탄화력발전 문제, 더 이상 미룰 수 없다, 강현수, 열린충남(2016)

완전하게 폐지하는 것이 아니라 단순히 노후화된 발전소를 없애고 새로운 석탄화력발전소를 건설하거나 또는 발전원을 변경한 발전소를 건설하는 있음. 결국, 충청남도의 발전량은 감소가 아닌 증가하는 추세로 보여짐

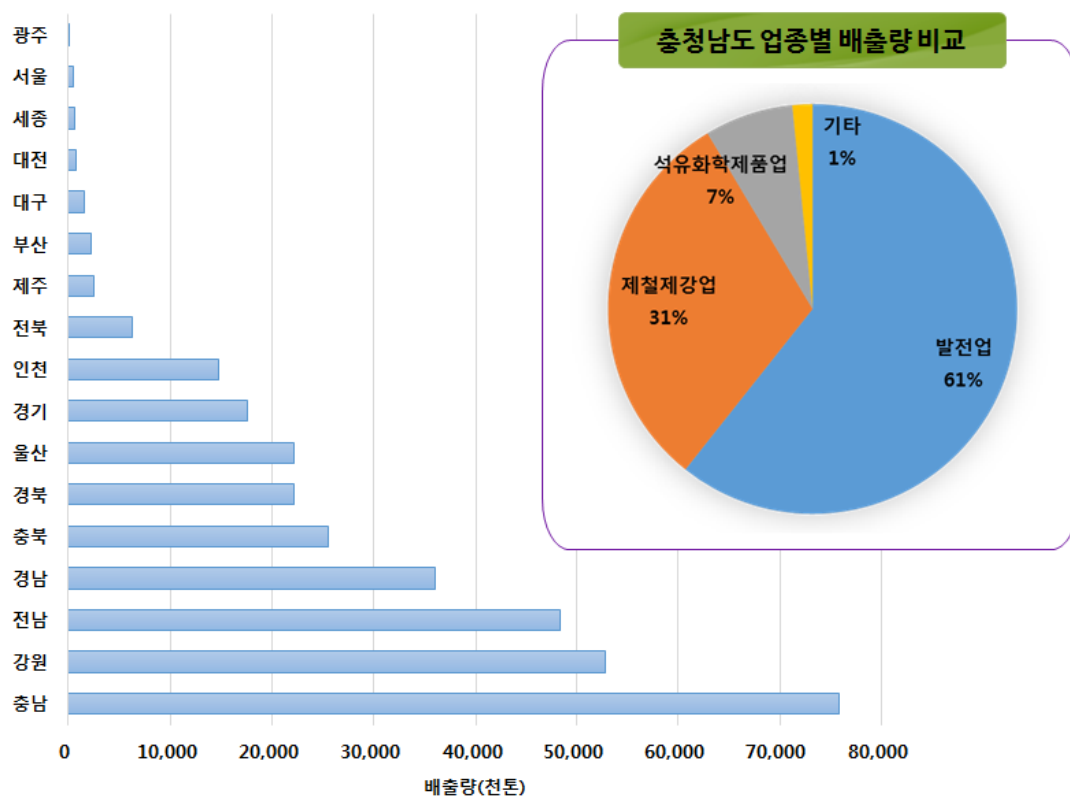
[표 1.1] 제8차 전력수급기본계획에 의한 충청남도 발전설비 건설계획

연도	월	발전설비	증설/완공	폐지	설비용량 (MW)	발전원
2017	1	한국동서발전(당진#9)	●		+90	유연탄
	4	GS 당진발전소(복합#4)	●		846	LNG
	5	한국동서발전(당진#10)	●		+90	유연탄
	6	한국서부발전(태안#10)	●		1,050	유연탄
		한국중부발전(신보령#1)	●		926	유연탄
	7	한국중부발전(서천#1)		●	-200	무연탄
		한국중부발전(서천#2)		●	-200	무연탄
	9	한국중부발전(신보령#2)	●		926	유연탄
2018	6	한국중부발전(신보령#1)	●		+93	유연탄
	9	한국중부발전(신보령#2)	●		+93	유연탄
2020	3	한국중부발전(신서천#1)	●		1,000	유연탄
	12	내포신도시 집단에너지시설	●		97	SRF
2022	5	한국중부발전(보령#1)		●	-500	유연탄
		한국중부발전(보령#2)		●	-500	유연탄
2024	12	SK E&S(당진에코#1)	●		970	LNG
		SK E&S(당진에코#2)	●		970	LNG
2025	12	한국서부발전(태안#1)		●	-500	유연탄
		한국서부발전(태안#2)		●	-500	유연탄
		한국서부발전(태안#1)	●		500	LNG
		한국서부발전(태안#2)	●		500	LNG

증가/완공된 발전용량 : 8,151MW, 감소한 발전용량 : 2,400 MW

출처 : 제8차 전력수급기본계획(산업통상자원부, 2017. 12. 29)

- 최근 환경부에서 발표한 보도에 따르면 ‘굴뚝 자동측정기기(굴뚝 TMS)’가 부착된 전국 626개 사업장이 20018년에 배출한 대기오염물질은 33만 46톤으로 이는 2016년 대비 3만 1,413톤이 감소한 결과임. 시·도별로는 충청남도 7만 5,825톤(23%), 강원도 5만 2,810톤(16%), 전라남도 4만 8,370톤(15%), 경상남도 3만 6,078톤(11%), 충청북도 2만 5,572톤(8%) 등의 순으로 나타남 ³⁾
- 충청남도 업종별 배출량을 비교하면, 발전업에 46,011 톤/년으로 화력발전이 충청남도 배출량에 61%를 차지하고 있으며, 제철제강업 31%(23,304 톤/년), 석유화학제품업 7%(5,306 톤/년) 등으로 나타남



[그림 1.1] 2018년 굴뚝자동측정기기 부착사업장 대기오염물질 배출량 비교

- 이를 사업장별로 분석하면 2018년도 배출된 대기오염물질 33만 46톤에서 충청남도에 위치한 현대제철이 배출한 대기오염물질이 2만 3,291톤으로 전국 1위이며, 한국서부발전

3) 환경부 보도자료(2019. 4. 1)

(태안화력) 5위(1만 4,993톤), 한국동서발전(당진화력) 8위(1만 3,428톤), 한국중부발전(보령화력) 9위(1만 1,347톤)로 충청남도의 사업장이 높은 배출량 순위를 차지하였음

- 한편, 지난해 전국의 대기오염물질 배출량은 2017년 대비 약 9% 감소하였다고 밝힘. 질소산화물(NOx)과 황산화물(SOx), 먼지(TSP)의 2018년 배출량은 2015년 배출량 40만 892톤 대비 18% 감소한 32만 6,731톤으로 나타남. 이는 ‘미세먼지 저감대책에 따라 노후 화력발전소의 가동중지 및 대기오염물질 방지 시설의 개선 효과’ 때문이라는 분석이 가능함
- 따라서, 대기오염물질 다배출 시설이 밀집한 충청남도의 대기오염취약지역에 대한 장기적인 대기환경조사 연구가 필요하고, 대기질로부터 도민의 건강보호와 지역의 지속가능한 발전을 도모하고자 현재의 대기오염도를 종합적으로 평가하고 중·장기적인 대기오염 개선계획과 정책목표 설정과 관련한 자료 구축이 필요
- 이에, 제2세부에서는 충청남도 내에 환경취약지역인 화력발전소 주변지역의 전반적인 현황을 조사하기 위해 크게 1)화력발전소(시설) 주변지역 현황조사·분석을 위해 각종 통계 연보와 수집된 자료를 바탕으로 연구대상지역의 일반 현황분석, 화력발전소 운영 자료 분석, 국가 대기오염물질 배출량의 최신 및 경향성 분석 등을 수행함
- 또한, 2)대기질 관리 종합시스템 구축을 위해 환경오염취약지역 주변의 대기질 조사와 분석, 민간 대기오염측정소 자료의 분석을 통한 운영상태 정도 평가 등을 분석하였고, 3)화력발전소 면오염원의 배출량을 분석하기 위해서 화력발전 내 저탄장(옥외) 중심의 실측 배출량 분석을 실시하고자 함
- 저탄장 배출량 분석은 보령화력, 당진화력, 태안화력의 옥외 저탄장을 중심으로 실측에 의한 평가를 실시하고, 현재의 저탄장 배출량이 국가에서 산정하는 면오염 배출량과 어느 정도 차이가 발생하는지를 비교하여 면오염원 배출량 자료에 대한 실측 결과를 충청남도과 정부에 제공하고자 함

2. 연구 범위 및 내용

2.1 시간적 범위

- 연구수행기간 : 2018. 4. 20 ~ 2019. 4. 19(1년)
- 현황 자료 분석 : 최근년도 기준 5 ~ 10년 자료 수집과 분석
 - － 충남도내 통계자료, 기상자료, CAPSS 배출량 자료, 일반대기오염측정망(교외대기, 도시대기) 및 민간 대기오염측정소 자료
- 실측에 의한 대기오염조사 : 2018. 4 ~ 2019. 4 (4계절 평가)

2.2 공간적 범위

- 충청남도 전역으로 하되, 대기오염이 예상되는 화력발전지역 및 일부 조사연구가 필요한 환경취약지역을 포함
 - － 당진권역(당진화력, 현대제철, 환영철강), 태안화력, 보령화력, 서천화력, 화력발전 시설과 인접한 서산시 일반대기오염측정망

2.3 내용적 범위

- 화력발전소(시설) 주변지역 현황조사·분석
- 대기질 관리 종합시스템 구축을 위한 대기오염측정소의 정도 평가
- 화력발전 내 저탄장(옥외) 중심의 실측 배출량 분석

2.3.1 화력발전소(시설) 주변지역 현황조사 · 분석

- 대기질 예보 및 평가를 위한 충청남도 일반 환경 조사 실시와 1차년도와 연계한 최신 자료 업데이트
- 각종 통계연보와 활동도 자료를 통한 자료 구축
 - － 충청남도 · 시 · 군 통계연보, 기상청 통계연보, 에너지통계연보 등을 활용
- 국가 대기오염물질 배출량 CAPSS 최신자료의 분석
 - － 연도별, 지역별, 물질별 자료 분석
- 발전소별 원료 사용량, 발전량, 대기오염 배출량 등 현황조사(발전사 제공자료 또는 수집이 가능한 범위에서 수행)
- 현재의 배출량 산정방법의 한계와 문제점 도출

2.3.2 대기질 관리 종합시스템 구축을 위한 대기오염측정소의 정도 평가

- 보령, 당진, 태안, 서천권역의 대기질 실측조사
 - － 계절별(봄, 여름, 가을, 겨울), 물질별(이산화질소, 아황산가스, 오존, 총부유먼지, 미세먼지, 중금속 8종)
 - － 보령권역 10개소, 당진권역 12개소, 태안권역 7개소, 서천권역 3개소로 총 32개소의 계절별 조사 수행
 - － 민간 대기오염측정소 및 일반대기오염측정망을 비교하여 정도관리 실시
- 간이대기오염측정기 운영을 위한 화력발전시설의 대기오염 영향권 파악
- 민간 대기오염측정소의 정도 평가

2.3.3 화력발전 내 저탄장(옥외) 중심의 실측 배출량 분석

- 대상시설 : 보령화력, 당진화력, 태안화력의 옥외 저탄장 시설
- 평가방법 : Flux-Gradient Method(경도법)를 이용한 옥외 저탄장 시설의 비산먼지 배출량 평가
 - 3차원 기상장비, 미세먼지 측정기(광산란방식) 활용
- 국가 대기오염배출량과 비교평가
- 저탄장 비산먼지 저감을 위한 관리 및 대책 방안 제시

3. 연구추진체계

3.1 화력발전소(시설) 주변지역 현황조사 · 분석

- 화력발전소 주변지역 자료구축을 위해 각종 통계연보 분석을 위해 현장자료를 수집하여 ‘연구대상 지역의 일반 현황분석’ 자료구축과 당진권역, 태안권역, 보령권역, 서천권역 주변의 상세 분석을 통한 ‘대기오염 취약지역의 집중분석, 충청남도의 에너지사용 및 배출량의 분석을 위해 ‘에너지통계연보 및 국가 대기오염배출량 자료의 비교 분석’ 을 실시



[그림 1.2] 충청남도 및 화력발전소 주변지역의 자료 분석 방법

3.2 대기질 측정

- 충청남도 차원의 화력발전소 주변지역 측정소 확보를 위해 발전사에서 운영하고 있는 민간 대기오염측정소의 실효성 및 적절성 검토를 일반대기오염측정망과 간이대기오염측정기를 이용하여 실시하고자, 보령권역, 당진권역, 태안권역, 서천권역으로 구분하여 조사를 실시

- 대기질 기준물질인 이산화질소(NO_2), 아황산가스(SO_2), 오존(O_3), 총부유먼지(TSP), 미세먼지(PM_{10}), 중금속 8종(비소, 카드뮴, 크롬, 구리, 철, 망간, 수은, 납)에 대하여 계절별로 평가하였고, 권역별 및 계절별로 비교 평가를 실시

구분	기존 국가측정소 (도시, 교외)	화력발전 관련 측정소	기타	합계
당진권역	4	5	3	12
태안권역	4	3	-	7
보령권역	2	8	-	10
서천권역	2	-	1	3
소계	12	16	4	32



[그림 1.3] 화력발전소 주변지역의 대기오염도 조사 수량

3.3 화력발전소 옥외 저탄장 실측 배출량 평가

- 면오염원(저탄장)에 대한 국가 배출량과 실측 결과와의 비교분석을 통해 배출량 수 정보완자료를 생성하여 충청남도 및 정부에 제시하고자 Flux-Gradient Method(경도법)를 이용하여 배출량을 평가

- 계절별, 일자별, 환경변화에 따라 저탄장 시설의 비산먼지 배출량의 변화를 실시간적으로 평가하고자 하며, 저감 방안에 대하여 제시하고자 함



[그림 1.4] 옥외 저탄장 중심의 배출량 조사 방법

제2장 화력발전소(시설) 주변지역 현황 조사 · 분석

1. 연구대상 지역의 일반 현황분석
2. 화력발전소 현황분석
3. 국가 대기오염배출량의 분석
4. 소결론

1. 연구대상 지역의 일반 현황분석

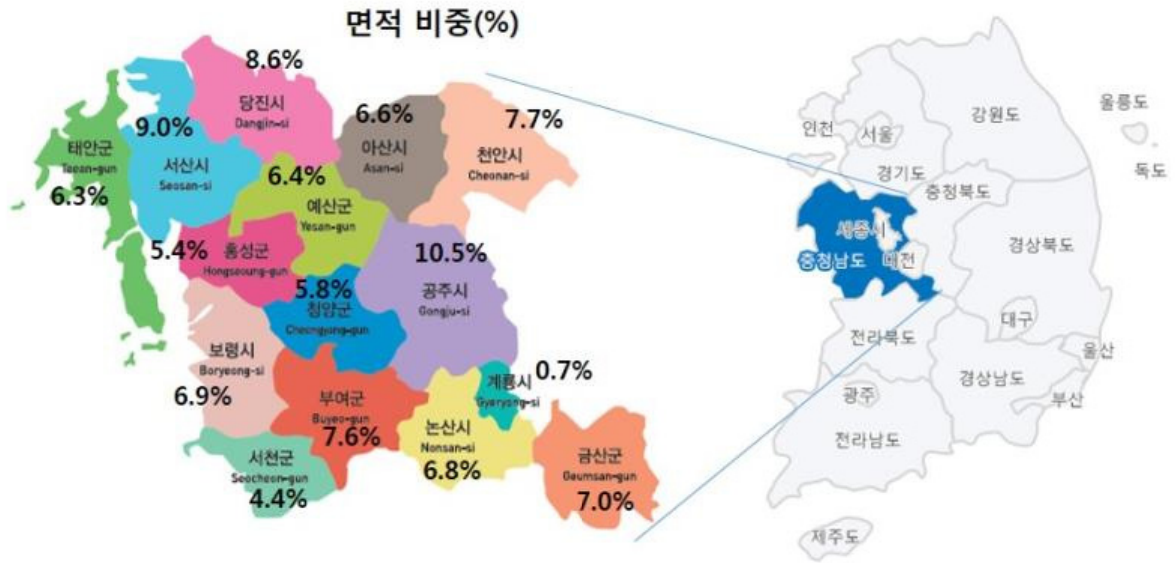
1.1 입지여건

- 충청남도는 8개시 7군으로 구성되어 있으며, 총 면적 8,226 km²로 전국(100,339 km²)의 약 8.2%를 차지하고 있음. 국토의 중서부에 위치하며, 북쪽은 경기도, 동쪽은 충청북도 · 세종특별자치시 · 대전광역시 위치하고 있고 남쪽은 전라북도, 서쪽은 서해와 연결함

[표 2.1] 충청남도의 행정구조(2017년 12월말 기준)

시	군	읍	면	동	출장소		행정	통	반
					도	읍면	리		
8	7	25	136	46	—	4	4,372	1,293	24,934

- 충청남도의 행정구역 면적 비중은 공주시가 10.5%로 가장 넓고 서산시 9.0%, 당진시 8.6%, 천안시 7.7% 등의 순이며 서천군이 4.4%로 가장 적은 행정구역 비중을 보이고 있음. 석탄화력발전소가 위치하고 있는 보령시, 당진시, 태안군, 서천군은 충청남도 전체 면적에 26.2%를 차지하고 있음
- 충청남도는 중국의 관문항인 대련항 · 청도항과 최단거리에 입지하고 있어 높은 교류잠재력을 보유하고 있음. 해양과 내륙을 연계시킬 수 있는 항만개발 적지를 다수 보유하여 동북아 교류거점 구축이 용이
- 국토의 중심부이며 교통의 요충지로 수도권과 비수도권, 영 · 호남을 연결하면서 수도권의 압출여력을 흡수하여 비수도권으로 확산시키는 역할 수행 가능. 고속도로, 철도 등이 충청남도 지역을 동서 · 남북으로 통과하거나 계획되어 있어 지역 내 도로망과 연계체계 구축이 용이



[그림 2.1] 충청남도 위치 및 행정구역

[표 2.2] 충청남도의 경위도상 위치

구 분	지 명	극 점	연장거리(km)
동단	금산군 부리면 방우리	북위 36 ° 01' 47" 경도 127 ° 38' 31"	동서간 187.7
서단	태안군 근흥면 가의도리	북위 36 ° 36' 37" 경도 125 ° 32' 21"	
남단	금산군 남일면 신동리	북위 35 ° 58' 30" 경도 127 ° 29' 15"	남북간 120.8
북단	당진시 석문면 난지도리	북위 37 ° 03' 44" 경도 126 ° 25' 46"	

1.2 지형분석

- 충청남도 지역은 전체적으로 저지대형 지형으로 차령산맥이 본 지역의 중앙부를 북동쪽에서 서남방향으로 가로질러서 서북부와 동남부로 분리됨
- 충청남도 지역 전체면적의 65%가 표고 100 m 이하의 평지이고, 평균표고는 전국 평균 482 m보다 훨씬 낮은 100 m로서 전국으로 가장 낮음

[표 2.3] 표고별 면적분포

구 분	면적(km ²)	구성비(%)
계	8,600.5	100.0
100m 이하	5,607.6	65.2
100~200m	1,664.6	19.3
200~500m	1,279.0	14.9
500m 이상	51.3	0.6

자료출처 : 충청남도종합계획(2012~2020), 2012.3

주) 위 자료는 GIS(AreView)분석에 의한 수치로 실제 면적과는 차이가 발생할 수 있음

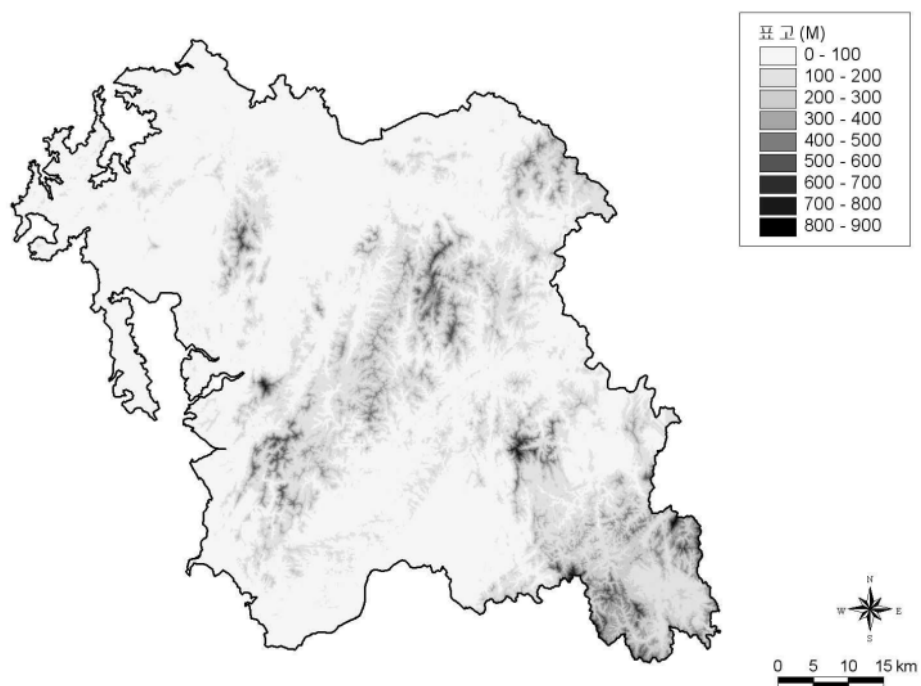
- 경사도 또한 5도 이하로 완만한 지역이 전체면적의 43.8%, 15도 이상의 경사지역은 전체 면적의 30.0%를 차지하고 있음
 - 중부 내륙지역과 남동부 산악지역은 비교적 경사도가 높으나 나머지 지역은 경사가 낮은 평지 또는 구릉지를 형성

[표 2.4] 경사별 면적분포

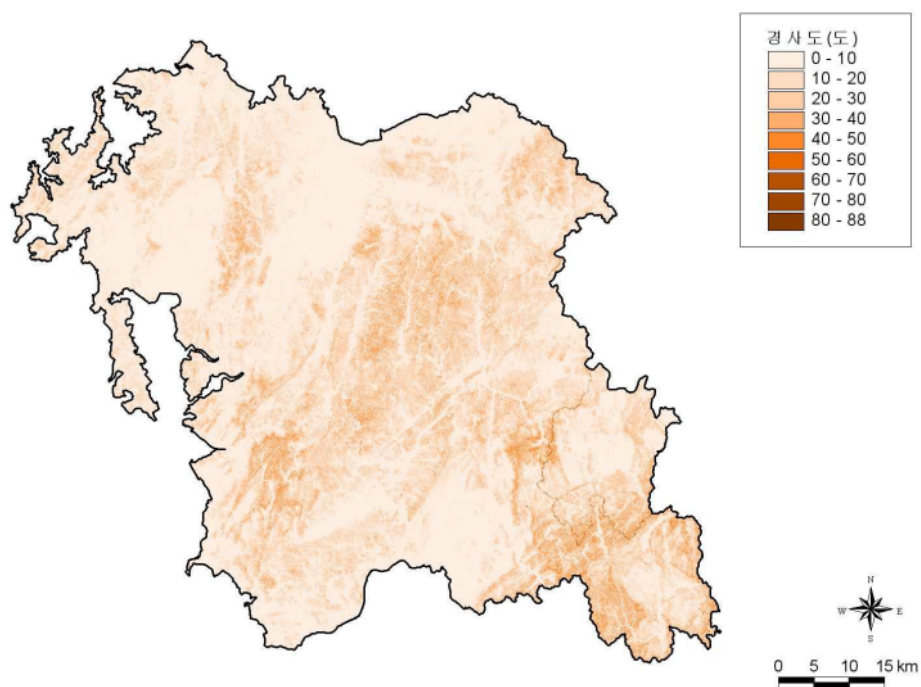
구분	면적(km ²)	구성비(%)	구분	면적(km ²)	구성비(%)
5도 이하	3,768.8	43.8	20~25도	738.5	8.6
5~10도	1,138.3	13.2	25도 이상	863.0	10.1
10~15도	1,118.4	13.0	계	8,600.4	100.0
15~20도	973.5	11.3			

자료출처 : 충청남도종합계획(2012~2020), 2012.3

주) 위 자료는 GIS(AreView)분석에 의한 수치로 실제 면적과는 차이가 발생할 수 있음



[그림 2.2] 표고분석도



[그림 2.3] 경사분석도

1.3 인구현황

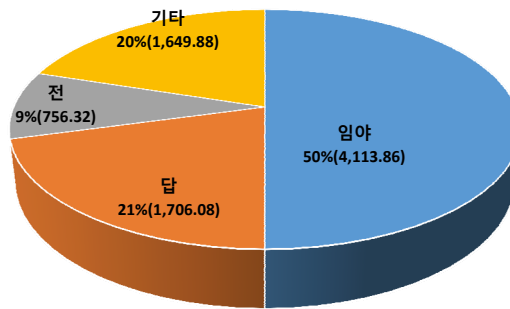
- 충청남도의 총 인구는 2018년 12월 기준, 2,126,282 명으로 세대수는 943,611 세대이며 세대당 인구수는 2.25 명임
- － 시·군별 인구수는 천안시(646,075명), 아산시(312,822명), 서산시(174,162명), 당진시(167,770명) 순으로 많으며, 적은 순으로는 청양군(32,296명), 계룡시(43,731명), 금산군(53,222명), 서천군(53,922명), 태안군(63,238명)으로 나타남
- － 화력발전소 지역 내에서의 인구증감율은 당진시(0.44%)를 제외한 보령시(-1.17%), 서천군(-2.7%), 태안군(-1.09%)은 모두 인구수가 감소 추세임

[표 2.5] 시군별 인구현황

구분	2017년 말	2018년 12월	세대수	인구증감율 ('17년 대비)
충청남도 계	2,116,770	2,126,282	943,611	0.45%
시 계	1,659,938	1,674,361	727,069	0.87%
천안시	631,531	646,075	273,851	2.30%
공주시	108,432	107,581	50,134	-0.78%
보령시(화력)	103,198	101,990	47,705	-1.17%
아산시	311,453	312,822	132,159	0.44%
서산시	171,678	174,162	75,091	1.45%
논산시	120,240	120,230	56,729	-1.64%
계룡시	43,967	43,731	15,860	-0.54%
당진시(화력)	167,439	167,770	75,540	0.2%
군 계	456,832	451,921	216,542	-1.08%
금산군	53,894	53,222	25,588	-1.25%
부여군	69,086	68,078	33,193	-1.46%
서천군(화력)	55,175	53,922	26,433	-2.27
청양군	32,837	32,296	16,274	-1.65%
홍성군	101,570	101,082	45,358	-0.48%
예산군	80,338	80,083	38,060	-0.32%
태안군(화력)	63,932	63,238	31,636	-1.09%

1.4 토지이용

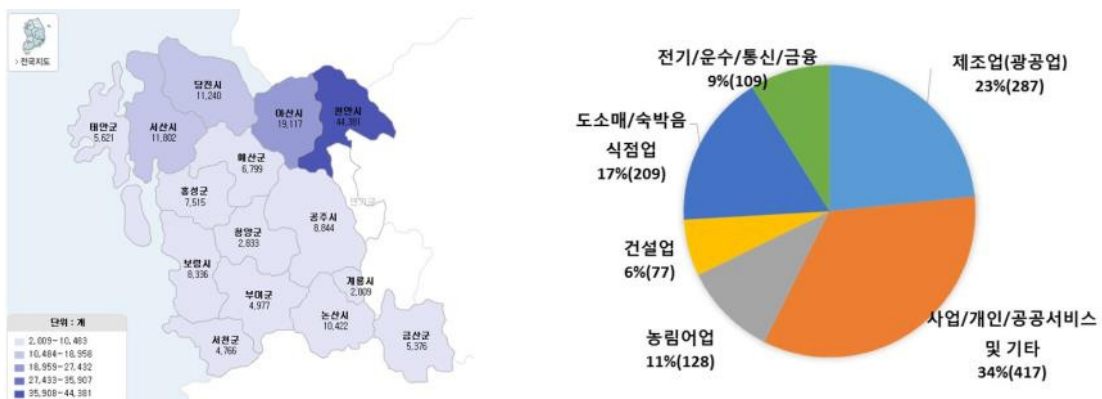
- 충청남도 지역의 2016년 12월 기준 토지종별 현황을 살펴보면, 임야가 50% (4,113.86 km²)로 가장 많으며, 답 21%(1,706.08 km²), 기타 20%(1,649.88 km²), 전 9%(756.32 km²) 순으로 나타남



[그림 2.4] 토지종별(2016년 12월 기준) 현황

1.5 산업 · 경제활동

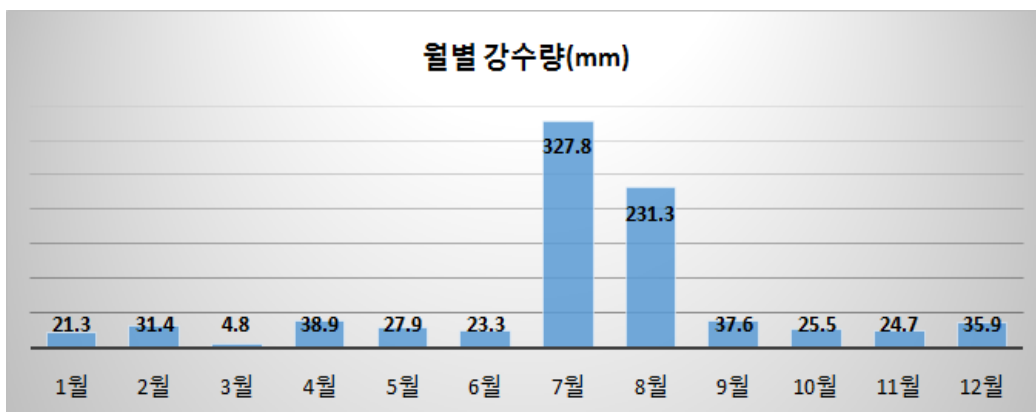
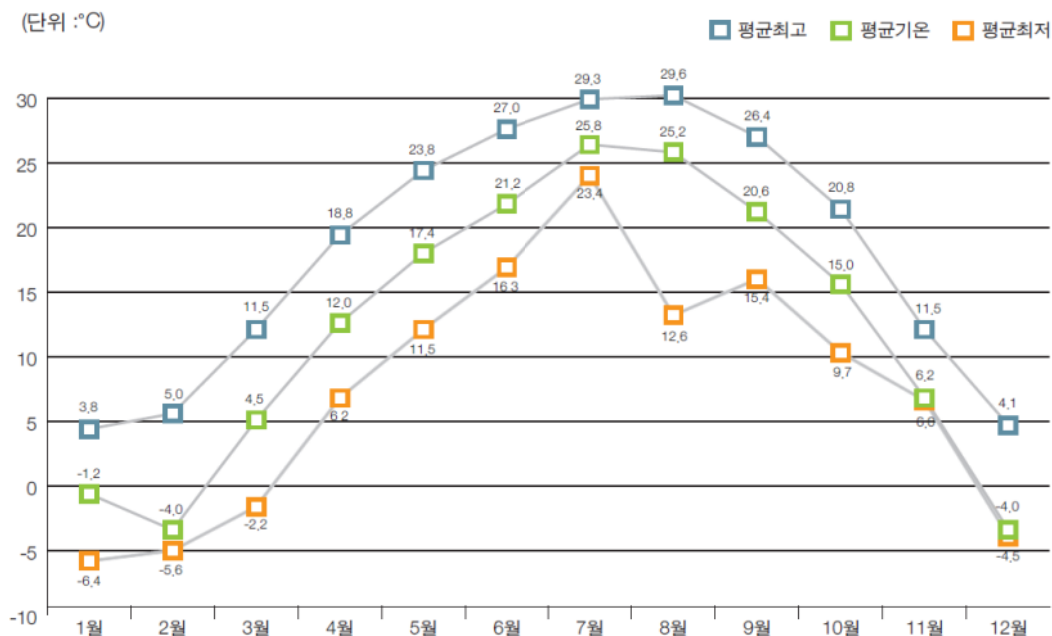
- 2015년 12월 경제활동별 부가가치액을 기준으로 산업구조를 보면, 충청남도는 사업 · 개인 · 공공서비스 및 기타업 34%(417 천명), 제조업(광공업) 23%(287 천명), 도소매 · 숙박음식점업 17%(209 천명)의 비중이 크고 건설업이 6%(77 천명)로 비중이 낮은 경제활동 인구로 분석됨



[그림 2.5] 지역별 산업 활동(2014년 기준) 및 산업별 취업자 현황(2015년 기준)

1.6 기상 및 기후특성

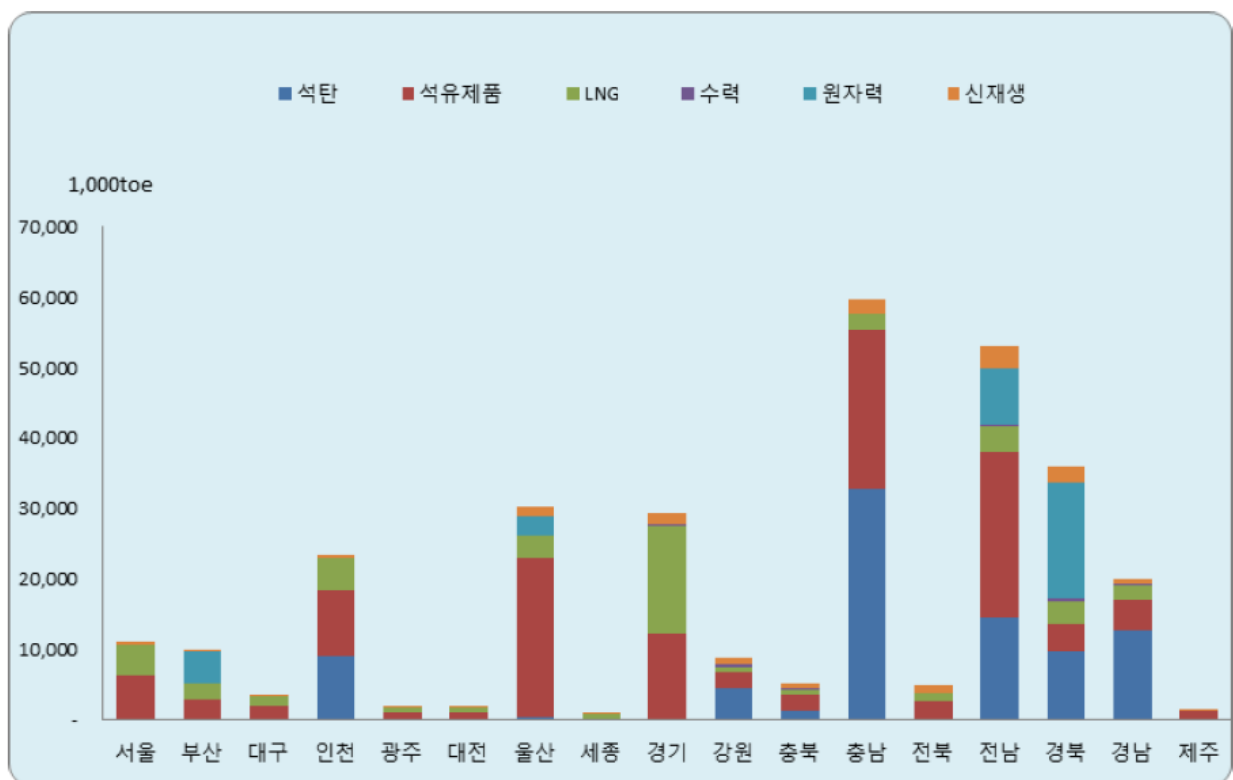
- 2017년 기준 충청남도의 월별 기온변화는 최저기온 -6.4°C 로 1월의 기온이 낮아 가장 추웠으며, 반대로 8월이 29.6°C 로 가장 더웠던 것으로 관측됨. 연평균 기온 또한 8월이 가장 더웠고 1월이 가장 추웠던 것으로 나타나고 있음
- 월별 강수량은 7월, 8월, 4월 순으로 높았으며 각각 327.8 mm, 231.3 mm, 38.9 mm로 확인됨. 3월이 4.8 mm로 가장 낮은 강수량을 보이고 있음



[그림 2.6] 월별 기온 및 강수량 변화(2017년 기준)

1.7 에너지 사용량

- 2018년도 지역에너지 통계연보(산업통상자원부, 에너지경제연구원)에 의하면 충청남도는 2017년 기준 59,748 천 톤의 1차 에너지를 공급 받았으며, 이중 석탄 32,761 천 toe(55.0%), 석유제품 22,641 천toe(38.0%), LNG 2,114 천toe(4.0%), 수력 17 천 toe, 신재생 2,214 천toe(4.0%)로 석탄에 의한 에너지 공급이 가장 높음
- 석탄에 의한 1차 에너지 공급을 지역별로 비교하면, 충청남도 32,761 천toe (38.0%), 전남 14,573 천toe(17.0%), 경남 12,854 천toe(15.0%), 경북 9,855 천toe(11.0%), 인천 9,005 천toe(10.0%) 순으로 충청남도의 석탄 에너지 공급량이 전국 1위임



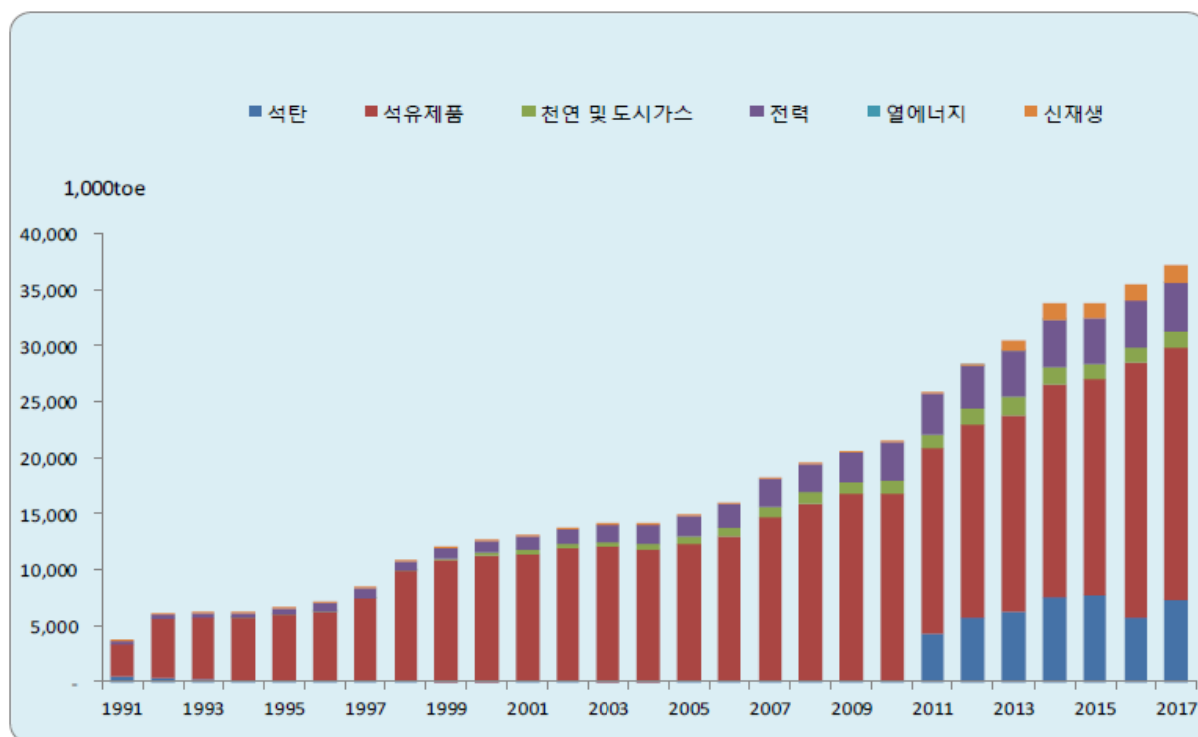
[그림 2.7] 지역별 1차 에너지 공급량(2018 지역에너지 통계연보)

- 2018년 지역에너지 통계연보에 의한 충청남도 1991년 ~ 2017년 석탄류 소비량을 분석하면, 충청남도는 2011년 4,291 천 톤으로 급격한 석탄사용이 발생하였고, 이어서 2014년 7,552 천toe, 2017년 7,324 천toe로 과거 석탄화력발전소가 운영되고 있었음에도

불구하고 2011년 전에는 석탄에 의한 에너지 사용이 50 천toe 수준이고, 2011년 이후에 크게 증가하였음

[표 2.6] 충청남도 최종에너지 원별 소비량(단위 : 천 toe)

구분	합계	석탄	석유제품	천연 및 도시가스	전력	열에너지	신재생
2009	20,660	52	16,772	985	2,762	—	89
2010	21,468	50	16,742	1,262	3,338	—	77
2011	25,908	4,291	16,565	1,262	3,668	—	122
2012	28,424	5,812	17,184	1,454	3,826	5	143
2013	30,612	6,341	17,390	1,730	4,112	6	1,032
2014	33,747	7,552	18,967	1,588	4,277	14	1,348
2015	34,045	7,735	19,352	1,288	4,067	—	1,603
2016	35,487	5,825	22,727	1,317	4,167	—	1,451
2017	37,195	7,324	22,551	1,391	4,315	42	1,572



[그림 2.8] 충청남도의 원별 에너지 소비량(지역에너지 통계연보)

- 이러한 원인은 충청남도의 제철용-유연탄은 2011년 6,065,000 톤으로 2010년 0 톤에서 급격히 증가하였고, 산업-무연탄은 2012년 2,551,000 톤으로 2011년 0 톤에서 급격히 증가하여 발생한 결과로 보임
- 결국 원료사용량은 충청남도의 배출량 증가와 연계하여 직접적으로 관련된 사항이므로 과거 급격한 석탄 사용과 관련한 발생원인 분석과 국가 대기오염배출량에 정량적으로 얼마나 기여하고 있는지 확인이 필요함

2. 화력발전소 현황분석

2.1 지리적 특성

- 충청남도 화력발전소는 도(道)내 서해안 연안에 위치한 보령시, 당진시, 서천군, 태안군 4개시·군에 위치하고 있으며, 한국중부발전(보령시, 서천군), 한국동서발전(당진시), 한국서부발전(태안군) 등 3개의 발전사에서 운영 중임. 한국중부발전의 서천화력은 2017년 7월 400 MW급 무연탄 화력발전을 폐지되고 발전원을 유연탄으로 변경하여 1,000 MW급 신서천화력을 2020년 3월에 준공 예정임

[표 2.7] 충청남도 내 화력발전소 위치

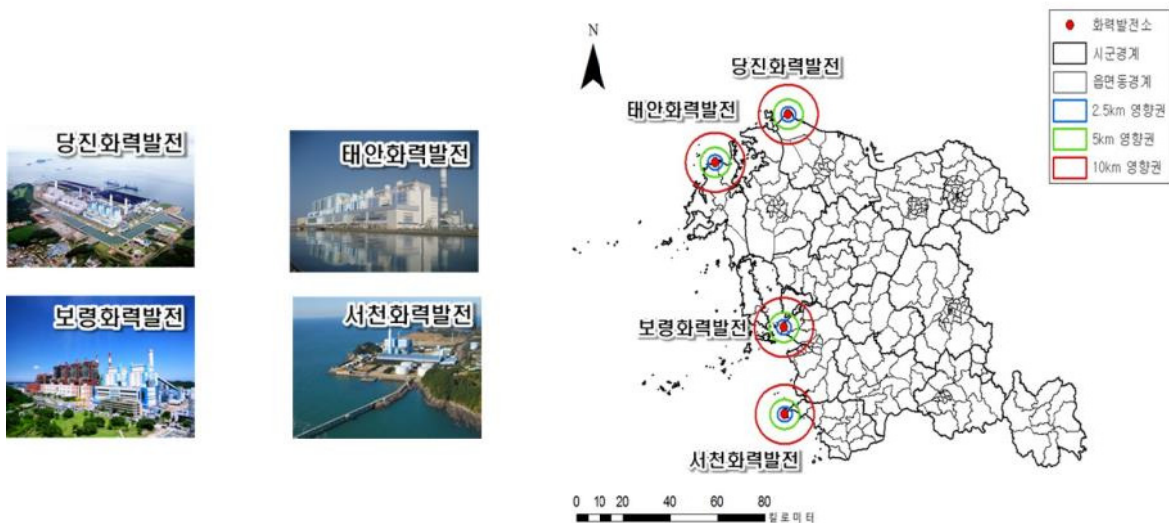
발전소명	주 소	위도	경도
한국중부발전 (보령화력)	• 보령시 오천면 오천해안로 89-37	36 ° 24' 8.3"	126 ° 29' 4.8"
	• 보령시 주교면 송도길 201(신보령)	36 ° 23' 5.6"	126 ° 29' 4.0"
한국동서발전 (당진화력)	• 당진시 석문면 교로리 30	36 ° 1' 52.3"	126 ° 30' 4.4"
한국중부발전 (서천화력)	• 서천군 서면 서인로 235번길	36 ° 8' 12.5"	126 ° 29' 8.3"
한국서부발전 (태안화력)	• 태안군 원북면 발전로 457	36 ° 54' 13.5"	126 ° 13' 6.8"

- 보령화력은 충청남도 보령시 오천면 오포리(오천해안로 89-37)에 위치한 화력발전소로, 1983년 12월 제1발전소(500 MW × 2기)를 시작으로 1993년 제2발전소(500 MW × 4기), 2008년 제3발전소(500 MW × 2기)를 건설하여 현재까지 운영 중에 있음. 2017년 6월과 9월에 유연탄을 발전원으로 상업운전을 시작한 2,000 MW(1,000 MW × 2기)급 신보령화력 발전을 포함하여 총 10호기가 6,000 MW급으로 운영되고 있음
- － 보령시는 국토의 중서부인 충청남도 서해안의 남부에 위치하며, 북측으로 홍성군, 동측으로 청양군, 남측으로 서천군과 부여군에 접해 있음. 보령시 동측으로 차령산맥이 남북방향으로 자리 잡고 있으며, 오서산(790.7 m), 성주산(680.1 m), 아

- 미산(636.0 m), 월명산(544.0 m)으로 이어지는 산세가 청양군 및 부여군과의 경계를 형성하고 있음
- 보령화력 #1~2호기(1,000 MW)는 수명기간이 완료됨에 따라 2022년 폐지예정이나, 2017년도에 완공된 신보령화력 2기에 의해 2,000 MW급이 새롭게 운영되어 결과적으로는 총 8호기는 유지되고 1,000 MW급의 발전용량만 증가된 사항임
- 당진화력발전은 충청남도의 최북단에 위치하며, 동쪽으로 아산만, 서쪽으로 서산시, 남쪽으로 예산군과 접하고 있으며 북쪽으로 남양만을 사이에 두고 경기도에 접하고 있음
- 당진시는 충청남도의 최북단에 위치하여 동측은 아산만, 서측은 서산시, 남측은 예산군과 접하고 있으며, 북측은 4개면 일대가 남양만을 사이에 두고 경기도에 접하고 있음. 또한, 북쪽으로는 대·소난지도와 그 밖의 섬들이 분포되어 있으며, 당진시의 중앙에는 이배산, 다불산 및 최고봉(해발 349.5 m)의 아미산이 남북으로 분수령을 이루고 있음
 - 당진화력은 유연탄을 발전원으로 하며, #1~8호기는 각각 500 MW급이며, #9~10호기는 호기당 1,020 MW급으로 당진화력의 총 발전용량은 6,040 MW급임. 2017년에 #9호기, #10호기는 기존 설비용량에 각각 90 MW씩 증가시켰음
- 서천화력은 한국중부발전(보령화력)에서 운영하는 서해안의 유일한 무연탄 발전소로 1984년 11월 500 MW급 2기를 준공하여 2017년 9월까지 약 33년 동안 운영하다가 2017년 6월 1일 가동중단 후 9월에 폐지하였음. 그러나 현재 유연탄을 발전원으로 하는 신서천화력(1,000 MW)을 건설 중에 있음
- 서천군은 충청남도 서남부에 위치하고 있으며, 북측으로는 보령시, 남측으로는 금강을 사이에 두고 전라북도 군산시와 접해 있음. 장항선 철도가 지나고, 서해안고속도로와 서천-공주고속도로가 연결된 2읍 11면의 행정구역으로 되어 있음
- 태안화력발전은 충청남도의 서북부에 위치하고 있으며, 동시에 최서단에 해당되는 지역으로 저산성 구릉지역임. 태안화력의 발전용량은 유연탄을 발전원으로 사용하고 있으며, 500 MW급이 10개로 총 5,000 MW의 발전시설이 운영되고 있음
- 태안반도의 전체적인 지세는 군의 동쪽 서산시 일대의 가야산지에서 갈라져 나온 지맥이 군의 중앙에 솟아 있는 백화산(284 m)을 중심으로 사방으로 뻗어 파랑상

의 구릉을 형성하고 있으며, 백화산을 중심으로 군의 북쪽에는 금굴산(49 m), 이화산(170 m), 이교산(181 m), 노인봉(165 m), 후망(144 m), 산제산(109 m), 서쪽에는 퇴비산(165 m), 철마산(208 m), 대소산(221 m), 남쪽으로는 국사봉(107 m)등 300 m 내외의 저산성 산지들이 솟아 있음

- 태안화력은 유연탄을 사용하는 #1~2호기(1,000 MW)가 수명 완료로 2025년 폐지예정이고, 이와 동시에 LNG를 발전원으로 사용하는 태안화력 #1~2호기가 1,000 MW급으로 준공될 예정임. 태안화력 또한 결과적으로는 폐지 대상인 호기의 발전원만 유연탄에서 LNG로 변경될 뿐 최종적인 발전량과 발전호기 수량에는 변화가 없음

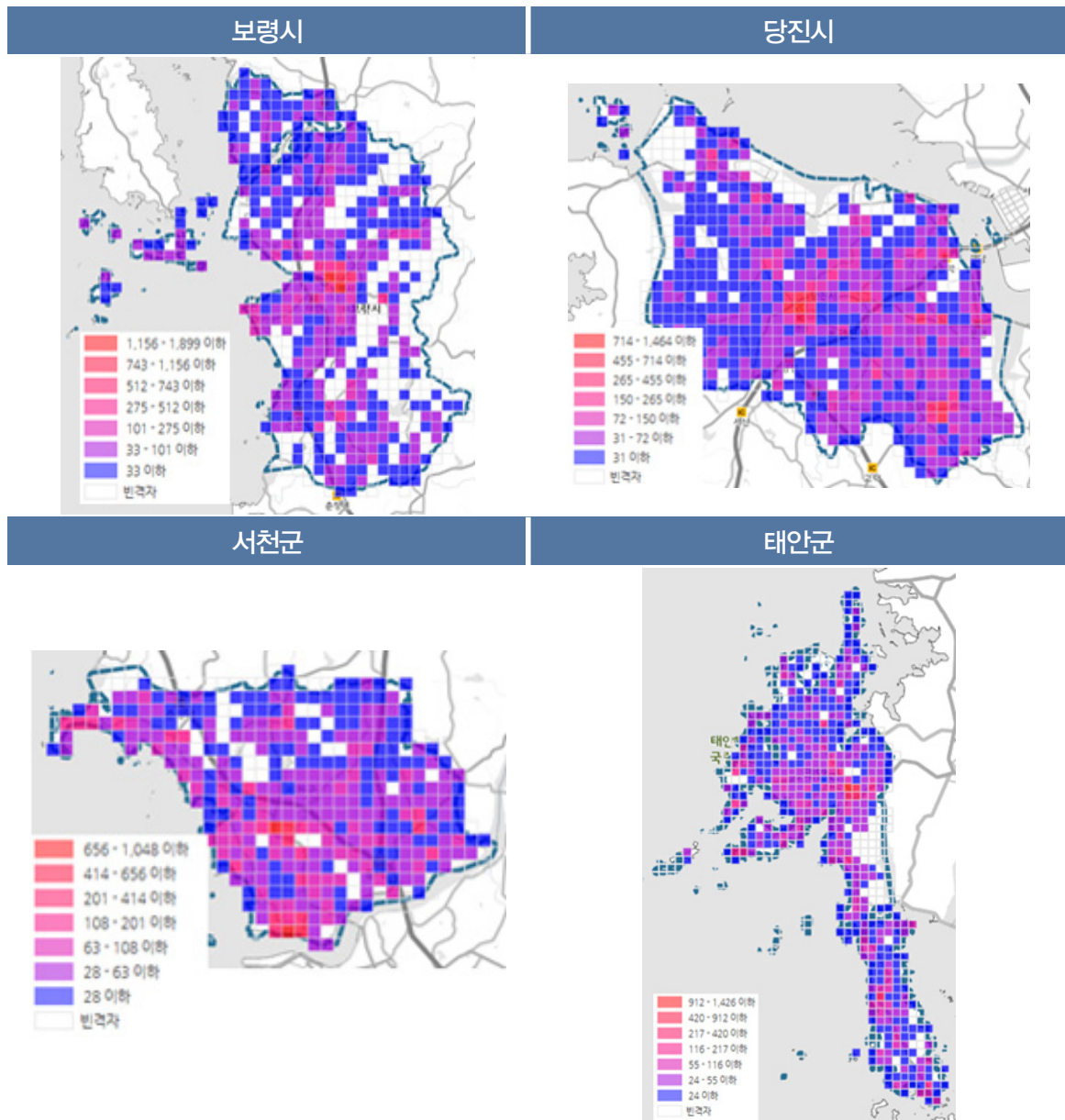


[그림 2.9] 충청남도 석탄화력발전소의 위치

2.2 화력발전소 주변 지역의 고령화 인구분포

- 충청남도 내 화력발전소는 2개시(당진시, 보령시)와 2개군(태안군, 서천군)에 위치하고 있고, 각 행정구역을 1 km × 1 km로 구분하여 격자별 고령화 인구분포를 분석하였음
- 65세 이상 고령화 인구분포를 분석한 결과, 대부분 시·군의 도심을 중심으로 높게 분포하고 있으며, 발전시설 주변 및 외각 지역의 고령화 분포는 보령시 101명 이하, 당진시 72명 이하, 서천군 108명 이하, 태안군 116명 이하로 나타났음

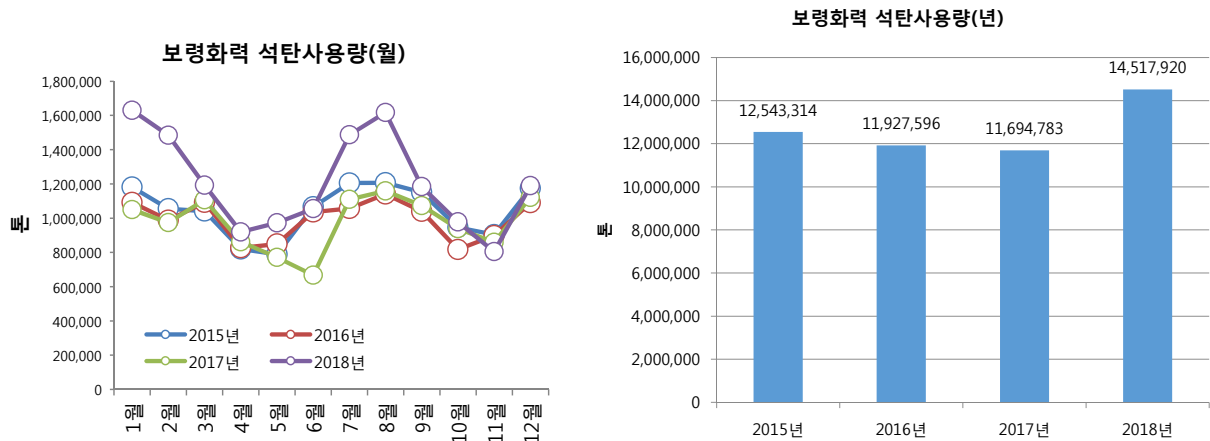
- 통계자료에 의한 화력발전지역의 2018년 노령화 지수(유소년인구 1백 명당 고령인구)는 보령시 208.5, 당진시 110.5, 서천군 405.4, 태안군 293.2로 당진시가 상대적으로 낮으며 서천군이 상대적으로 매우 높음



[그림 2.10] 화력발전소 지역의 고령화 인구분포(1km×1km)

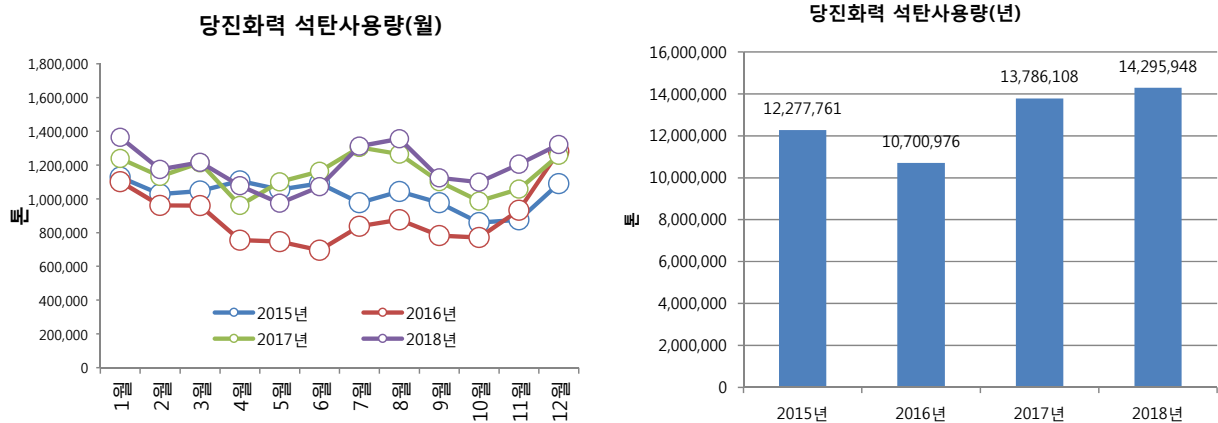
2.3 발전사별 석탄 사용량 비교

- 정상적으로 가동하여 전력을 생산하는 발전소 기준으로 최근 4년간(2015년~2018년) 각 발전사(보령화력, 당진화력, 태안화력)별로 제공받은 자료를 분석함
- 보령화력은 냉/난방에 의해 전력소비가 많은 겨울(12월~3월)과 여름(6월~9월)의 석탄사용량이 매우 높으며 최근 2018년도의 석탄사용량이 14,517,920 톤으로 2017년 이후 다시 석탄사용량이 증가하고 있음



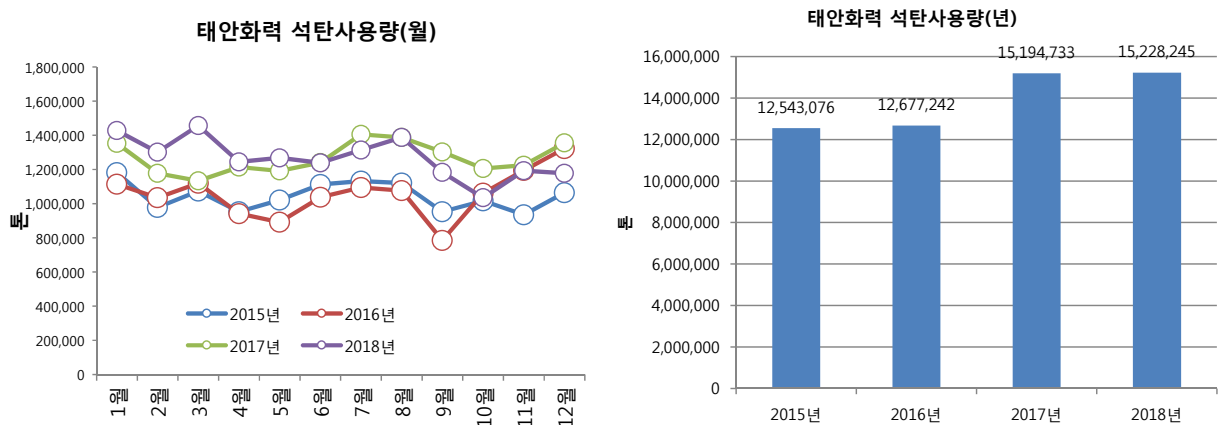
[그림 2.11] 보령화력발전소의 월 및 연도별 석탄사용량

- 당진화력은 냉/난방에 의해 전력소비가 많은 겨울(12월~3월)과 여름(6월~9월)의 석탄사용량이 높은 패턴이 보이나 전체적으로 월별 사용량에 큰 변동이 없는 사항임. 연도별 사용량은 2016년을 기점으로 증가하는 추세로 2017년 13,786,108 톤, 2018년 14,295,948 톤임



[그림 2.12] 당진화력발전소의 월 및 연도별 석탄사용량

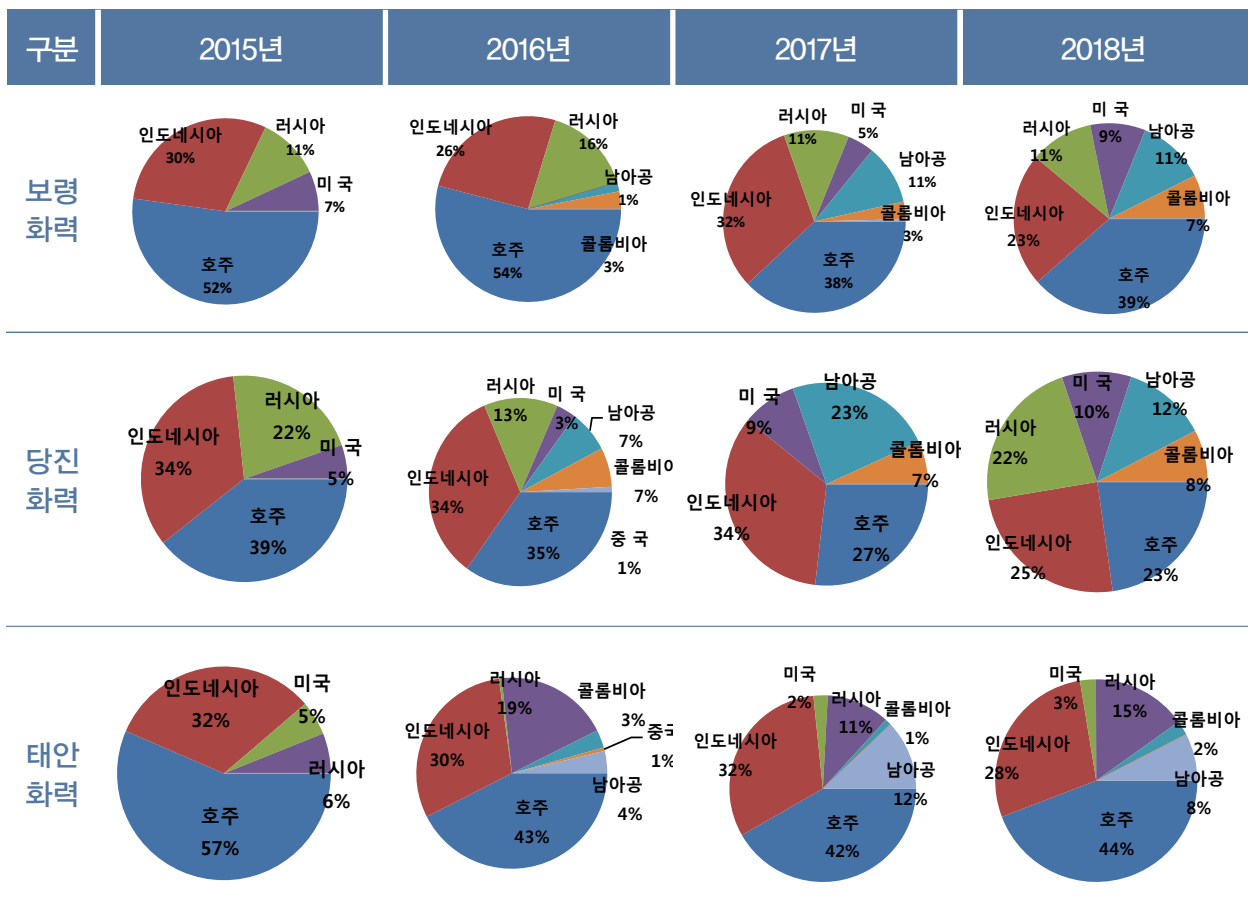
- 태안화력 또한 보령화력처럼 계절별 뚜렷한 석탄사용 패턴이 보이지는 않지만, 전체적으로 냉/난방에 의해 전력소비가 많은 겨울(12월~3월)과 여름(6월~9월)의 석탄사용량이 높고 당진화력과 유사하게 월별 사용량에 큰 변동이 없는 사항임. 연도별 사용량은 지속적으로 증가하는 추세로 2015년 12,543,076 톤, 2017년 15,194,733 톤, 2018년 15,228,245 톤으로 늘어나고 있음



[그림 2.13] 태안화력발전소의 월 및 연도별 석탄사용량

- 석탄(유연탄) 수입국가 현황은 각 발전사별로 약간의 차이가 있는 것으로 보령화력과 태안화력은 대체적으로 호주산 및 인도네시아산이 약 60~70%를 차지하고 있으며, 수입국들 간의 비중이 최근 4년간 유사하게 변화하고 있음

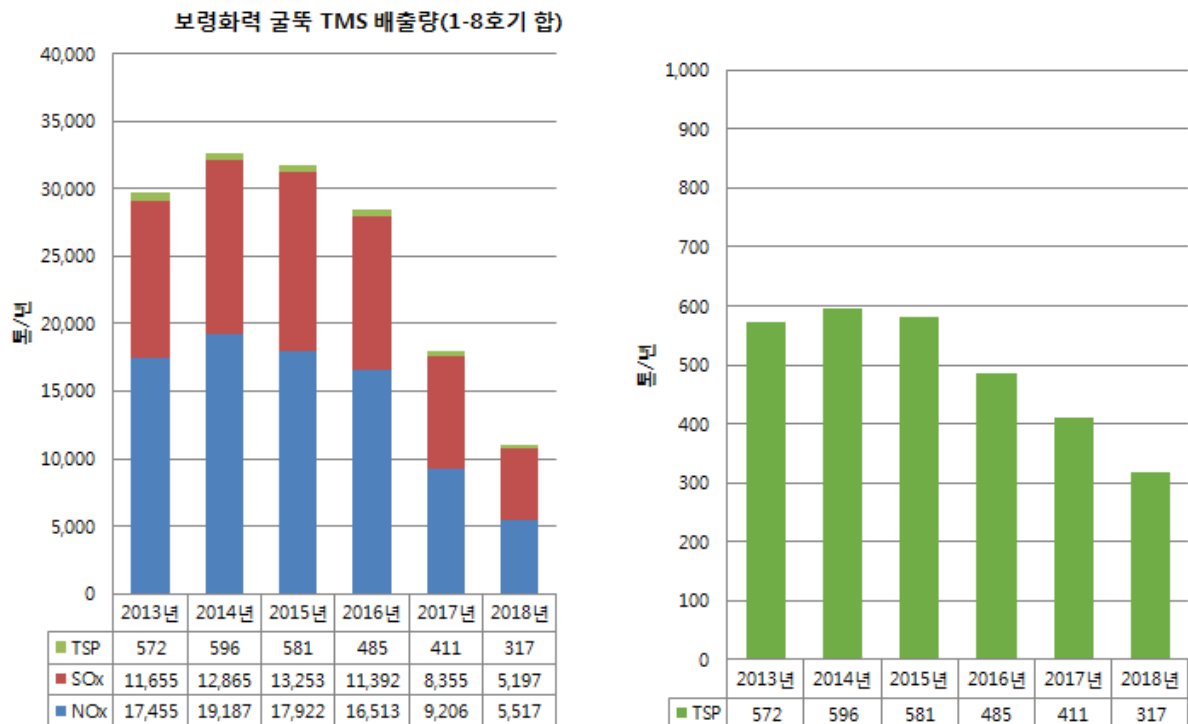
- 당진화력은 2016년까지는 호주산과 인도네시아산의 유연탄 사용이 69 ~ 73%로 높았고, 2017년 러시아산 사용을 일시 중단하면서 남아프리카산의 석탄사용이 23%로 높아짐. 이후 2018년에 다시 러시아산을 22% 사용하면서 대체적으로 인도네시아, 호주, 러시아산의 유연탄 사용이 약 70%를 차지하고 있음
- 당진화력과 태안화력은 한시적으로 2016년 1% 수준인 중국산 유연탄을 사용하다가 2017년부터 사용을 하지 않고 있음
- 당진화력 중국산 유연탄 사용량 : 2016년, 119,000 톤
 - 태안화력 중국산 유연탄 사용량 : 2016년 74,000 톤
 - 보령화력 중국산 유연탄 사용량 : 0 톤



[그림 2.14] 발전사별 석탄사용에 따른 수입국가 비교

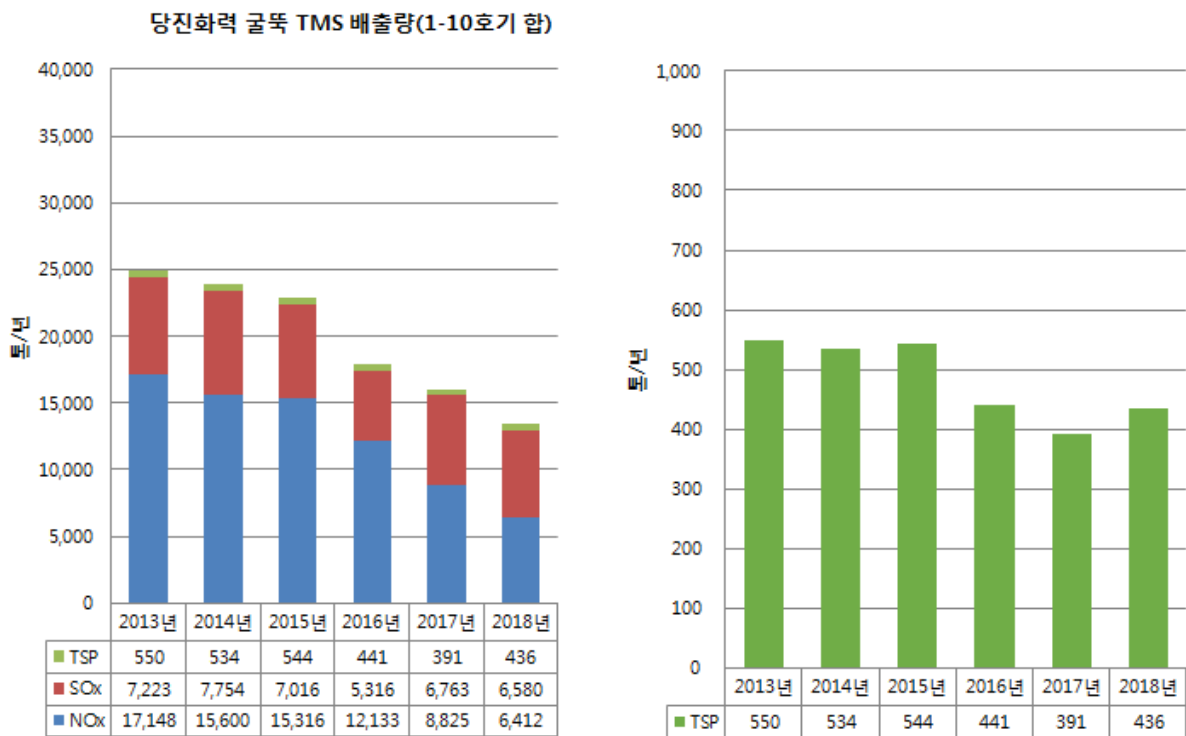
2.4 굴뚝 TMS에 의한 발전사별 대기오염 배출량 비교

- 점오염원 형태인 굴뚝 TMS 측정 결과를 발전사별로 제공을 받아 2013년 ~ 2018년(6년간)간의 대기오염물질을 분석하였음. 분석항목은 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 총부유먼지(TSP)의 연간 총배출량을 비교 분석함
- 보령화력은 총 #1~8호기에서 굴뚝 TMS가 부착되어 관리되고 있고, 아래 그림과 같이 각 호기별 합산 배출량은 2014년 질소산화물 19,187 톤/년, 황산화물 12,865 톤/년, 총부유먼지 596 톤/년으로 최근 5년간 가장 높은 배출량을 보이고 있고, 2014년 이후 배출량이 점차 감소하면서 2018년에는 질소산화물 5,517 톤/년, 황산화물 5,197 톤/년으로 2014년 대비 질소산화물은 71%, 황산화물 60% 감소하였음
- 보령화력의 총부유먼지 또한 연도별 지속적으로 감소하는 경향으로 2014년과 2015년 각각 596 톤/년, 581 톤/년에서 매년 감소하여 2018년에는 317 톤/년으로 2014년 대비 45% 감소하였음



[그림 2.15] 보령화력 연도별 굴뚝 TMS 배출량 비교

- 당진화력 배출량은 #1~10기호의 합으로 2013년 이후 지속적으로 감소하는 추세를 보이고 있음. 2013년 배출량은 질소산화물 17,148 톤/년, 황산화물 7,223 톤/년, 총부유먼지 550 톤/년이며, 2018년에는 질소산화물 19,187 톤/년, 황산화물 12,865 톤/년, 총부유먼지 436 톤/년으로 2013년 대비 각각 63%, 9%, 21% 감소하였음. 상대적으로 황산화물 감축량이 9%로 낮고 질소산화물이 63%로 높은 감축량을 보이고 있음
- 당진화력에서 배출되는 총부유먼지 만을 살펴보면 총부유먼지 배출량은 2013년 ~ 2015년 약 531~550 톤/년의 배출량을 보이다가 2016년과 2017년에 각각 441 톤/년, 391 톤/년으로 일시적으로 감소하였고 2018년 다시 증가하는 추세로 436 톤/년의 배출량을 보이고 있음

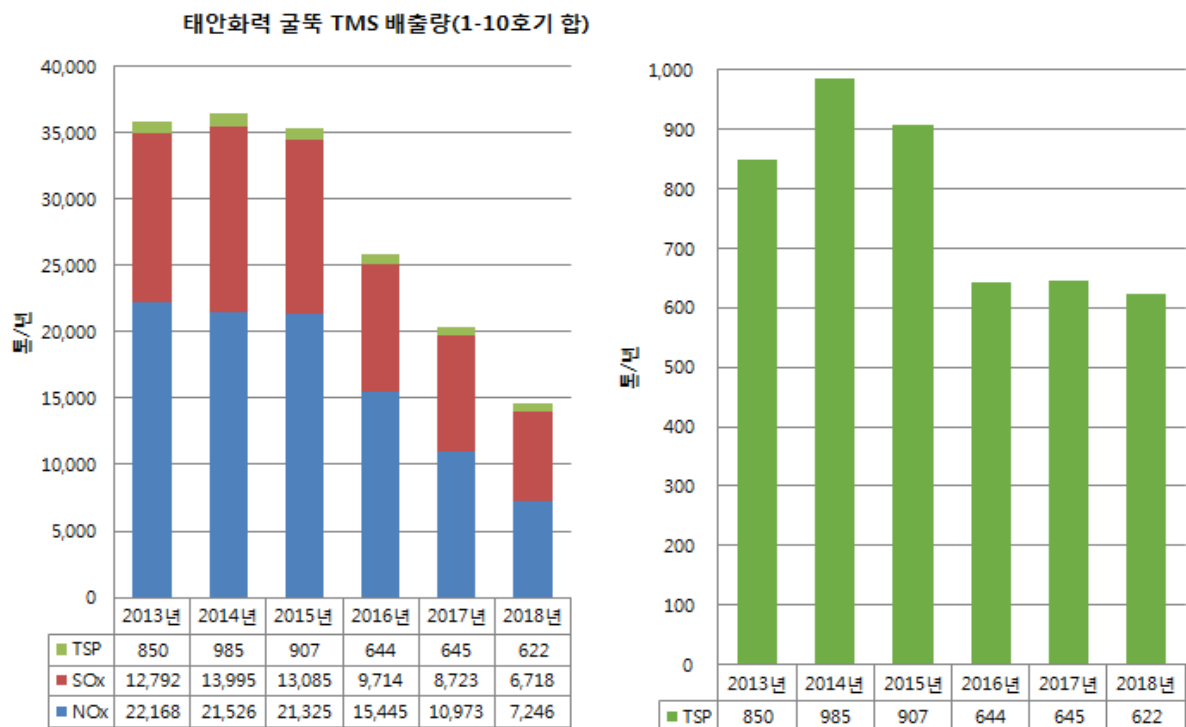


[그림 2.16] 당진화력 연도별 굴뚝 TMS 배출량 비교

- 태안화력의 굴뚝 TMS 배출량(1~10호기 합)은 보령 및 당진화력의 배출량보다 상대적으로 높게 배출되고 있는 것이 특징임. 2014년의 질소산화물 21,526 톤/년, 황산화물 13,995 톤/년, 총부유먼지 985 톤/년으로 최근 6년간 가장 높은 배출량을 보였고,

2016년 이후 크게 감소하면서 2018년에 물질별 배출량이 2014년 대비 질소산화물 21,526 톤/년(67% 감소), 황산화물 6,718 톤/년(47% 감소), 총부유먼지 622 톤/년(27% 감소)으로 확인됨

- 태안화력의 총부유먼지 배출량은 2014년 대비 많은 감축량을 보였으나, 2016년 이후 2018년까지 총부유먼지의 배출량은 감소보다는 정체 경향을 보이고 있음
- 발전사별로 배출량과 감축량에 차이는 있으나, 대부분의 발전소의 배출량은 감소하는 추세를 보이고 있음. 이는 봄철 고농도 가동정지와 2017년 ~ 2018년 기간에 수행한 발전설비의 대대적인 성능개선 공사와 단계적 저감계획 노력 등의 효과로 판단되며 현재의 노력을 넘어 지속적인 저감 노력을 수행하기 위한 자발적인 감축노력이 필요함



[그림 2.17] 태안화력 연도별 굴뚝 TMS 배출량 비교

- 2018년의 전력생산량 대비 총부유먼지 발생을 통해 1 MW당 먼지발생량(g)을 분석한 결과 먼지배출량이 높은 태안화력이 17.5 g/MW의 배출량을 보였고, 당진화력 12.0 g/MW, 보령화력 8.5 g/MW로 보령화력이 상대적으로 낮은 먼지 배출량을 보이고 있음

[표 2.8] 2018년 기준 전력생산 1MW당 총부유먼지 발생량

구분	보령화력	당진화력	태안화력
2018년	8.5g	12.0g	17.5g

2.5 발전사별 저탄장 운영 현황 및 환경개선 노력

- 충청남도의 석탄화력발전은 대부분 옥외 저탄장 시설을 통해 유연탄을 저장하고 있는 사항임. 당진화력의 저탄장 총 부지면적은 510,000 m²(1저탄장 20만 m², 2저탄장 31만 m²)로 저장용량 또한 149만 톤으로 가장 넓은 면적과 저장용량으로 파악됨. 보령화력은 397,689 m²로 127만 톤 저장용량을 보유하고 있고, 태안화력은 352,863 m²에 43만 톤(실적기준)임
- 모든 발전사는 저탄장 주변에 바람에 의한 비산먼지 발생량을 최소화하기 위해 방풍림 및 방진펜스를 설치하여 관리하고 있고, 저장 석탄 더미의 높이(평균 12 m)에 맞춰 방풍림 및 방진펜스의 높이를 10~18.5 m 범위 내로 높이가 설정되어 있음
- 선박에서 저탄장으로 하역하는 하탄 작업시간은 약 12~15시간 정도이며, 저탄장에 저장된 석탄을 발전용 화력으로 투입하는 상탄시간은 약 12~15시간 정도로 대부분 낮에 석탄을 운송하는 작업을 실시하고 있는 것으로, 낮에 상탄 또는 하탄 작업을 연계하여 실시하는 것으로 파악됨

[표 2.9] 발전사별 옥외 저탄장 운영현황

구분	보령화력	당진화력	태안화력
총부지면적 (m ²)	397,689	510,000	352,836
저장용량 (만 톤)	127	149	43(실적기준)
방풍림 및 반진펜스 높이(m)	18.5	15	방풍림 : 10 반진펜스 : 18
저장 석탄의 평균 높이(m)	10~12	5~10	8~14
석탄 더미별 평균 길이(m)	250	60	80~240
상탄 작업시간 (하루 평균, 시간)	12~14	12	15.5
하탄 작업시간 (하루 평균, 시간)	13~15	12	15.9

자료 : 2017년 발전사별로 제공한 자료 기준

- 발전사별로 시기적인 차이는 있지만 현재의 옥외 저탄장을 옥내화하기 위한 계획을 갖고 있음. 보령화력은 1단계 37만 톤으로 2018년 ~ 2022년까지 계획하고 있고, 2단계는 74만 톤 용량으로 2023년 ~ 2026년에 계획하고 있음



[그림 2.18] 보령화력 주변지역 및 저탄장 시설 현황

- 당진화력은 현재 #9~10호기 전용인 44만 톤 용량의 옥내 저탄장을 운영하고 있고, 2023년에 추가적으로 61만 톤의 1저탄장을 옥내화할 계획이며, 2026년까지 88만 톤의 2저탄장을 완공할 것을 계획하고 있음



[그림 2.19] 당진화력 주변지역 및 저탄장 시설 현황

- 태안화력 또한 부분적으로 모든 옥외 저탄장 시설을 옥내화 할 계획으로 1단계 #5~8호기를 2023년 10월까지 준공하고, 2단계로 #1~4호기 전용의 240만 톤 옥내저탄장을 2026년 10월까지 준공할 계획을 갖고 있으며, 태안화력의 9~10호기는 현재 옥내화 완료 상태임



[그림 2.20] 태안화력 주변지역 및 저탄장 시설 현황

- 이외에도 신보령화력은 준공 시부터 저탄장을 옥내화하여 운영하고 있으며, 신보령화력의 옥내저탄장 부지면적은 46,640 m²이고 저장용량은 50만 톤임

- 발전사는 발전소주변의 대기환경을 모니터링하고 그 정보를 지역주민에게 공유하고자 민간 대기오염측정소를 설치하여 운영하고 있음. 보령화력은 1992년부터 9개소를 설치하여 현재까지 운영하고 있으며, 2018년 12월 현재까지 당진화력 12개소, 태안화력 10개소가 설치되어 있음
- 여기에 신보령화력에서 계획하고 있는 2개소를 포함한다면 장래 화력발전소와 연관된 민간 대기오염측정소는 총 33개소로 운영될 전망

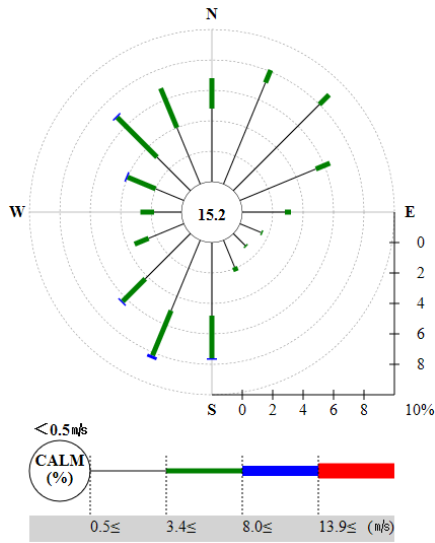
[표 2.10] 발전사별 대기오염측정소 운영 및 설치계획

구분	보령화력	신보령화력	당진화력	태안화력
1992년	9개소	—	—	—
1998년	—	—	4개소	—
1999년	—	—	—	3개소
2005년	PM10 6대, O ₃ 5대 측정항목 추가	—	—	—
2006년	SO ₂ 및 NO ₂ 9대, PM10 3대, O ₃ 4대 노후장비 교체	—	—	—
2007년	—	—	2개소	—
2015년	—	—	석문중학교 PM2.5 측정항목 추가	—
2017년	—	—	—	PM2.5, O ₃ , CO측정항목 추가
2018년 이후	—	2개소(계획)	6개소(설치완료) (12개소 O ₃ , AWS 측정항목 추가)	7개소 (설치완료)
합계	9개소	2개소	12개소	10개소

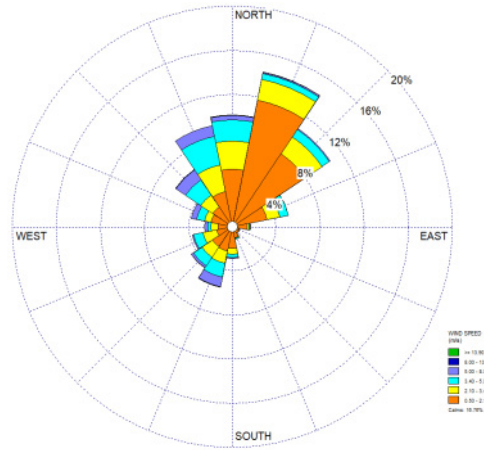
2.5 화력발전소 주변 바람특성 분석

- 발전소 지역을 당진 & 태안권역, 보령 & 서천권역으로 구분하여 바람특성을 분석하였음. 당진 & 태안권역의 기상자료를 분석하기 위해 서산기상대(129), 보령 & 서천권역 기상자료는 보령권역 보령기상대(235)의 10년간 자료를 수집하여 분석하였음
- 2018년 당진 & 태안권역의 기상특성을 살펴보면 북동풍 약 15% 이상의 빈도로 주풍으로 확인되며, 봄에는 남서풍의 영향을 받으며 여름은 북동풍, 가을과 겨울은 북풍 및 북동풍계열의 영향을 받음
- 보령 & 서천권역의 2018년도 기준 주풍은 북동풍이 17% 이상의 빈도로 높고 남서풍 또한 약 10%의 빈도로 높은 사항임. 계절별 풍향변화도 봄과 여름에는 남서풍, 가을과 겨울은 북풍 또는 북서풍계열의 풍향의 빈도가 높은 것으로 확인됨

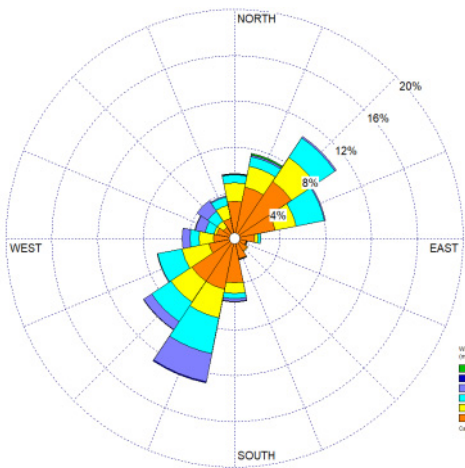
10년 누적



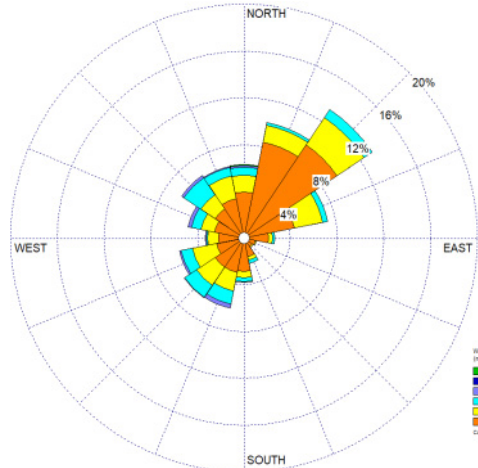
2018년



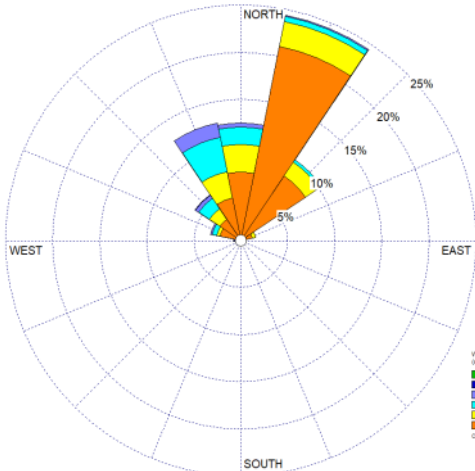
2018년 봄(3~5월)



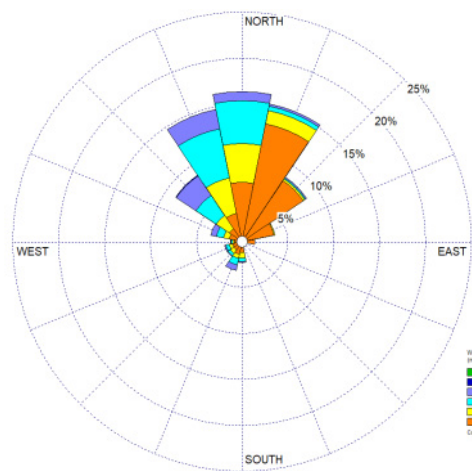
2018년 여름(6~8월)



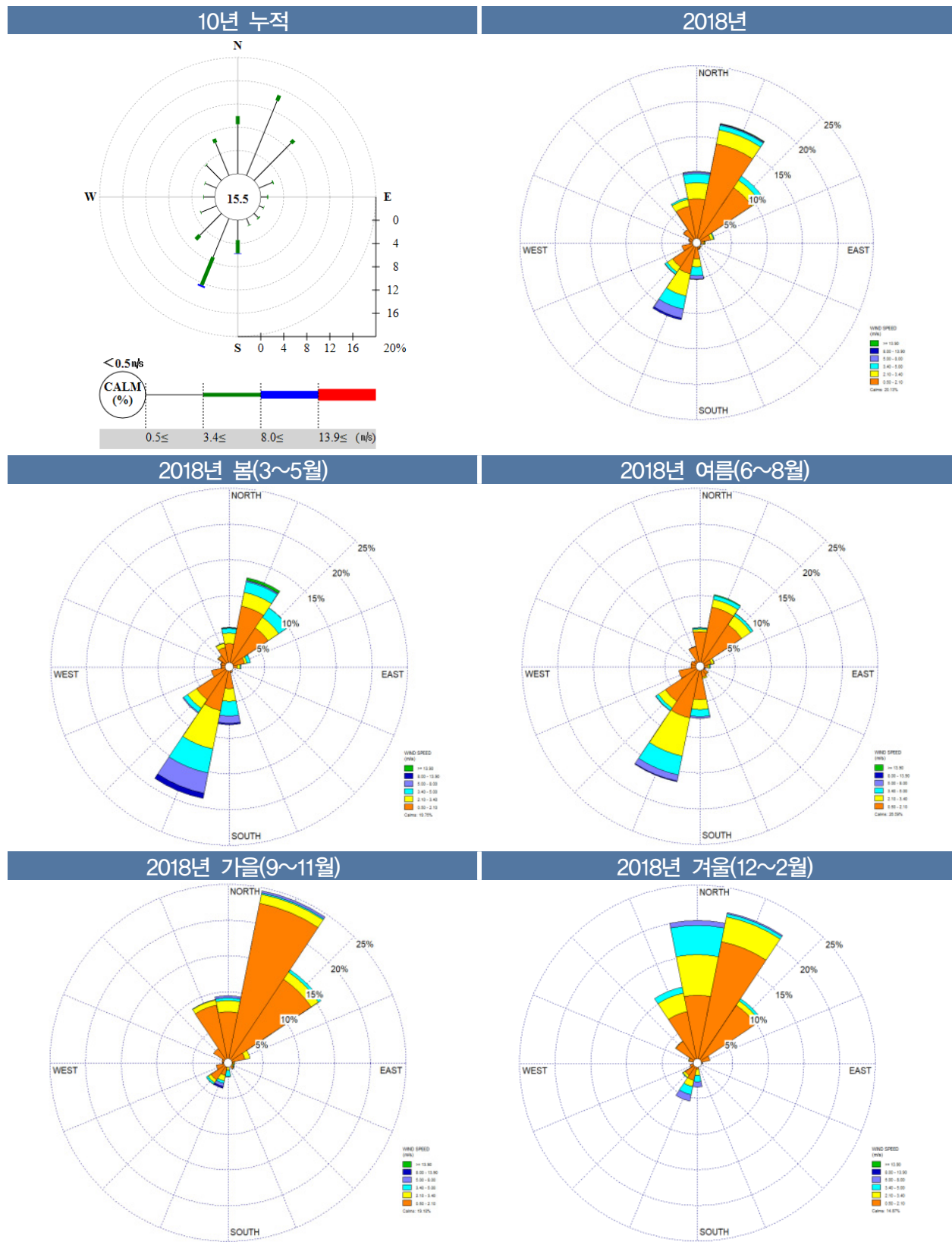
2018년 가을(9~11월)



2018년 겨울(12~2월)



[그림 2.21] 당진 및 태안권역 바람장 분석



[그림 2.22] 보령 및 서천권역 바람장 분석

3. 국가 대기오염배출량의 분석

3.1 국가 대기오염배출량 분석

- 오염원별 대기오염물질 배출량 현황은 환경부 국립환경과학원의 대기정책지원시스템 (CAPSS : Clean Air Policy Support System)에서 제공하는 2009년 ~ 2015년(7년간) 보고서 내용을 분석하여 정리하였음

3.1.1 전국 대기오염물질 배출량

- 2009년부터 2015년까지의 7년간 전국대기오염물질 배출량 중 일산화탄소(CO)의 변화추이는 2009년 817,979 톤에서 점진적으로 감소하여 2012년 703,586 톤, 2015년 560,321 톤으로 조사됨. 일산화탄소의 전년대비 증감률은 5.7%로 감소하였음. 반대로 질소산화물(NO_x)은 점차 증가하는 추세로 2009년 1,014,318 톤에서 2012년 1,075,207 톤, 2015년은 전년대비 1.2% 증가한 1,148,845 톤으로 확인됨
- 황산화물(SO_x)은 7년간 소폭 증가와 감소를 반복하는 추세로 2009년은 387,727 톤에서 2011년까지 433,959 톤으로 증가추세였고, 다시 2014년까지 343,161 톤의 감소추세를 보였음. 이후 2015년에는 352,213 톤으로 전년대비 2.6% 증가한 배출량을 보이고 있음. 총부유먼지(TSP) 및 PM₁₀ 또한 증가와 감소를 반복하는 경향으로 2009년부터 2011년까지는 증가하다가 2014년까지 다시 감소하는 추세였고, 최근 2015년도에는 총부유먼지 165,818 톤(전년대비 12.7% 증가), PM₁₀ 108,991 톤(전년대비 11.3% 증가)으로 다시 증가하는 추세를 보이고 있음
- 2011년도부터 배출량 조사가 시행된 PM_{2.5}는 점차 배출량이 감소하는 경향으로 2011년 81,793 톤에서 2013년 76,802 톤, 2015년 69,499톤으로 변화하고 있어 이후 확정 배출량 자료의 축적과 연계한 지속적인 관심과 분석이 필요할 것으로 보임

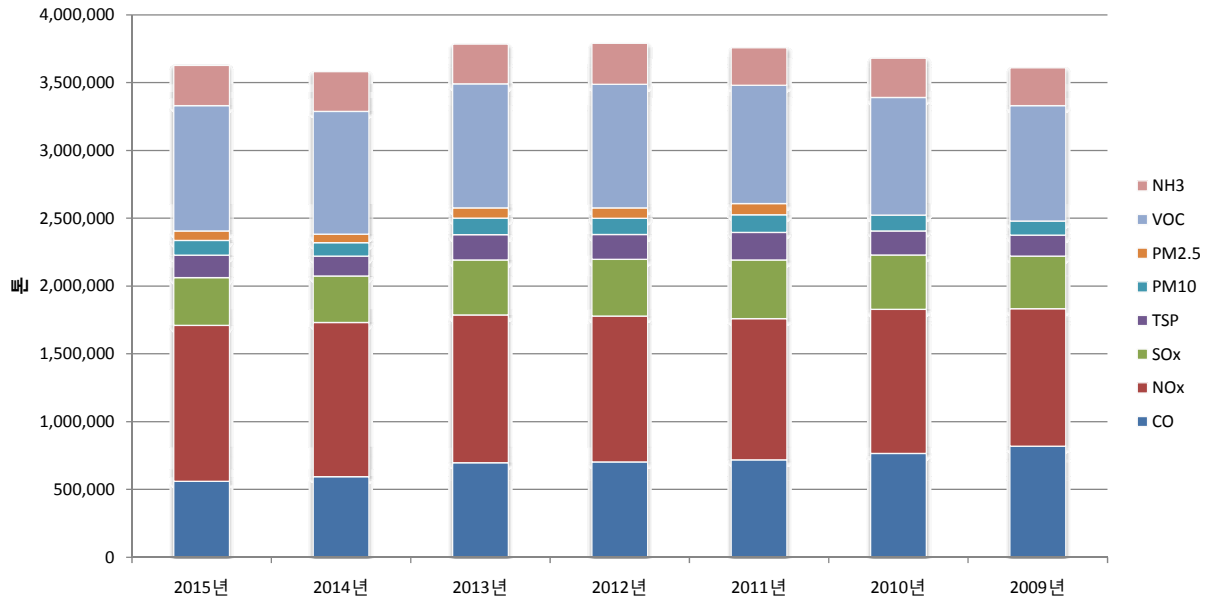
- 휘발성유기화합물(VOC)은 꾸준히 증가하는 추세로 2009년 851,162 톤에서 2013년 913,573 톤으로 계속 증가하였고 2015년에는 전년보다 2.1% 증가한 924,759 톤으로 나타남. 농업과 관련한 암모니아 또한 매년 증가와 감소를 반복하면서 2009년 278,210 톤에서 2015년 297,151 톤으로 최근 2013년부터 2015년까지 배출량 유지되고 있음

[표 2.11] 최근 9년간 연도별 전국 대기오염물질 배출량 변화(단위 : 톤)

연도	CO	NOx	SOx	TSP
2015년	560,321 (-5.1%)	1,148,845 (1.2%)	352,213 (2.6%)	165,818 (12.7%)
2014년	594,454	1,135,743	343,161	147,194
2013년	696,682	1,090,614	404,660	185,986
2012년	703,586	1,075,207	417,645	182,744
2011년	718,345	1,040,214	433,959	201,810
2010년	766,269	1,061,210	401,741	177,601
2009년	817,979	1,014,318	387,727	155,497
연도	PM10	PM2.5	VOC	NH ₃
2015년	108,991 (11.3%)	69,499 (9.8%)	924,759 (2.1%)	297,151 (1.6%)
2014년	97,918	63,286	905,803	292,501
2013년	121,563	76,802	913,573	292,973
2012년	119,980	76,287	911,322	303,463
2011년	131,176	81,793	873,108	276,415
2010년	116,808	—	866,358	289,766
2009년	103,735	—	851,162	278,201

주) PM2.5는 2011년도부터 시행

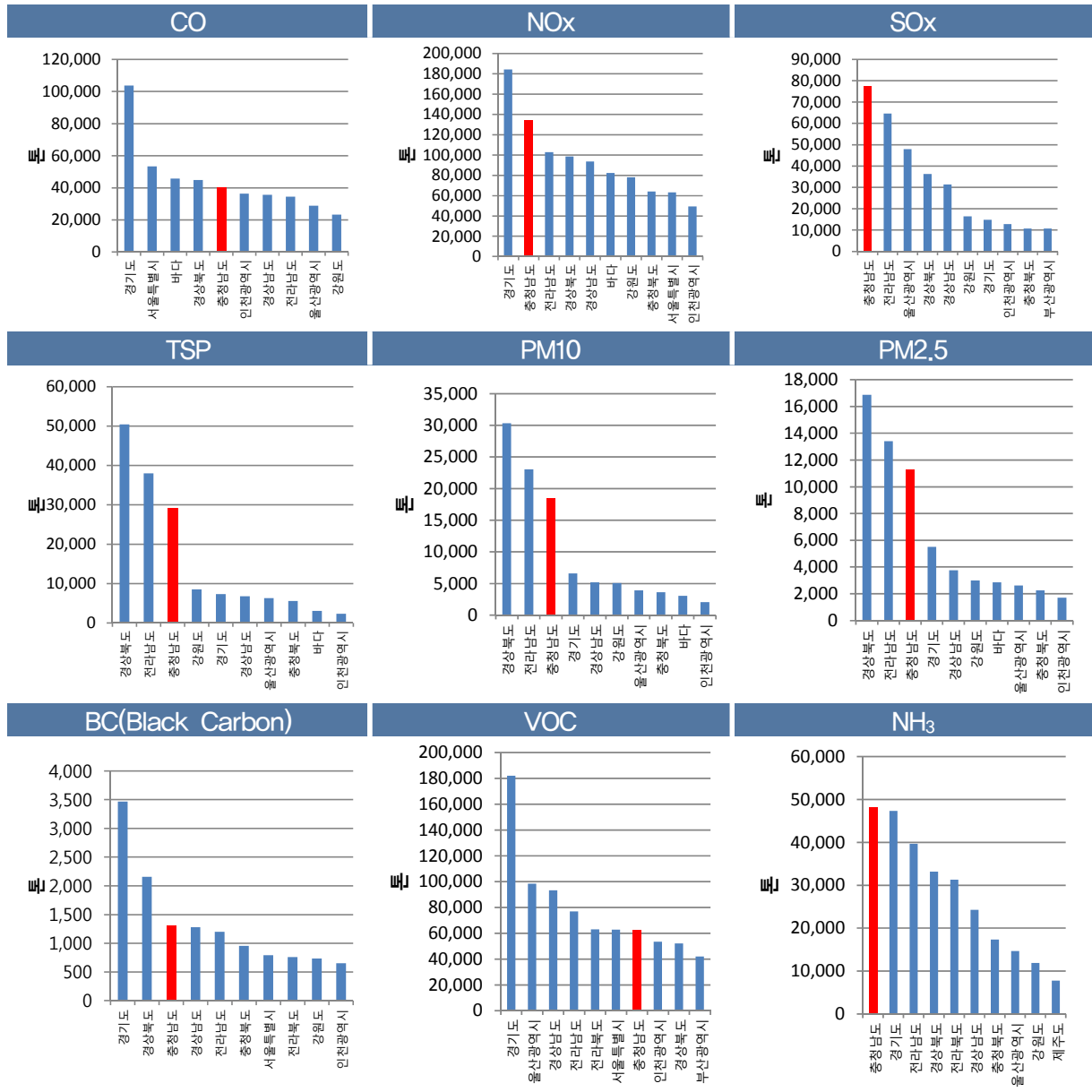
주) 비산먼지, 생물성 연소 및 식생 제외



[그림 2.23] 최근 9년간 전국의 대기오염물질 배출량 추이

3.1.2 2015년 시도별 대기오염물질 배출량 현황

- 경기도는 일산화탄소 103,765 톤, 질소산화물 184,311 톤, 휘발성유기화합물 182,093 톤으로 전국 1위의 배출량 보임. 경상북도는 총부유먼지 50,435 톤, PM10 30,347 톤, PM2.5 16,877 톤으로 전국 1위의 먼지 배출량 특성을 보이는 지역으로 분석됨
- 충청남도의 대기오염물질을 살펴보면 황산화물 77,457 톤, 암모니아 48,225 톤으로 이들 물질은 전국 1위 수준의 높은 배출물질이며, 질소산화물은 134,573 톤으로 경기도에 이어 2위이고 먼지류인 총부유먼지 29,082 톤, PM10 18,519 톤, PM2.5 11,267 톤은 경상북도와 전라남도에 이어 전국 3위 수준의 배출량 보이고 있음



[그림 2.24] 2015년 시도별 대기오염물질 배출량 순위

[표 2.12] 2015년 전국 대기오염물질 배출원별 배출량 현황(단위 : 톤)

구분	CO	NOx	SOx	TSP	PM10	PM2.5	VOC	NH ₃
서울특별시	53,419	63,188	5,508	,1507	1,465	1,309	62,800	4,668
부산광역시	21,394	43,738	10,658	2,182	1,990	1,684	42,021	1,978
대구광역시	18,834	26,137	4,184	1,888	1,381	867	30,668	2,099
인천광역시	36,362	49,355	12,853	2,356	2,069	1,713	53,569	7,333
광주광역시	7,781	10,512	399	309	301	269	15,287	1,137
대전광역시	10,808	13,862	957	413	398	357	14,747	970
울산광역시	28,825	47,461	47,979	6,295	3,927	2,617	98,316	14,668
세종특별자치 시	3,604	6,151	175	236	232	214	5,812	3,248
경기도	103,765	184,311	14,801	7,326	6,581	5,504	182,093	47,300
강원도	23,225	77,964	16,371	8,506	5,082	2,990	17,646	11,883
충청북도	21,437	64,198	10,674	5,544	3,632	2,263	29,629	17,350
충청남도	40,181	134,573	77,457	29,082	18,519	11,267	62,427	48,225
전라북도	19,888	35,812	5,906	1,435	1,323	1,139	63,018	31,327
전라남도	34,406	102,898	64,637	37,985	23,050	13,398	76,970	39,698
경상북도	44,928	98,626	36,353	50,435	30,347	16,877	52,082	33,209
경상남도	35,681	93,616	31,426	6,770	5,167	3,752	93,263	24,297
제주도	9,932	14,230	1,702	493	471	418	8,452	7,756
바다	45,850	82,214	10,174	3,055	3,055	2,859	14,959	7
평균	31,129	63,825	19,567	9,665	6,055	3,861	51,320	16,509

주) 비산먼지, 생물성 연소 및 식생 제외

3.2 충청남도의 연도별 대기오염물질 배출량 현황

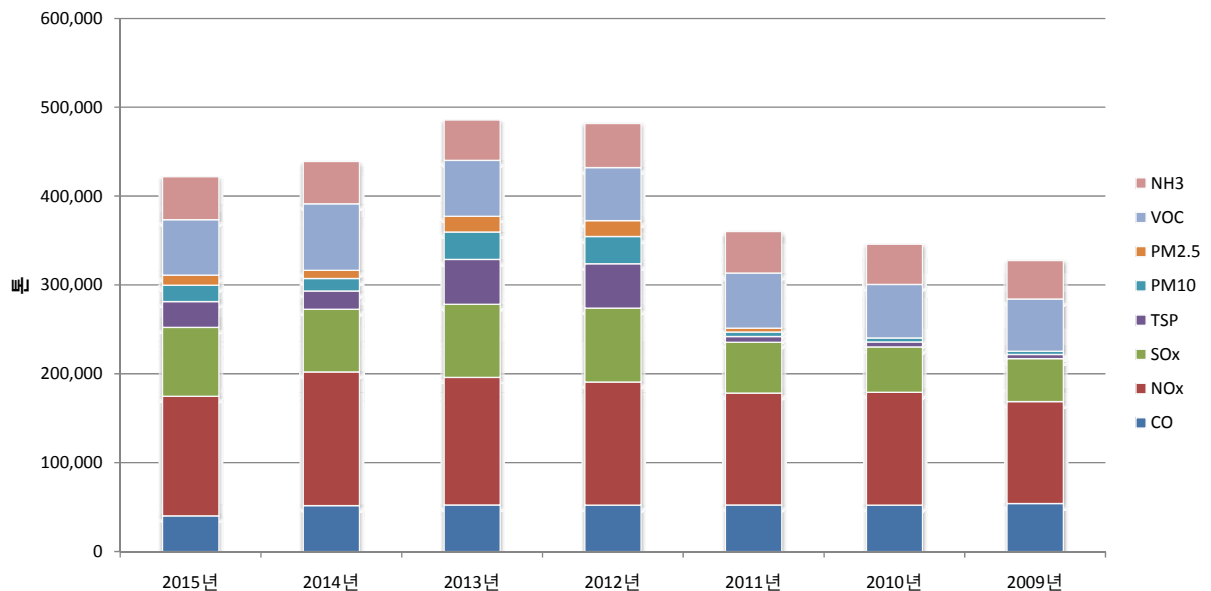
- 충청남도의 대기오염배출량을 분석하기 위해 2009년 ~ 2015년 자료를 분석하였음. 일산화탄소는 소폭 감소하는 추세로 2009년 53,971 톤에서 2012년 52,008 톤으로 점차 감소추세이며 2015년에는 40,181 톤으로 2014년 대비 22.2% 감소한 배출량이 확인됨. 질소산화물은 2009년 114,836 톤에서 2014년 150,356 톤까지 꾸준히 증가하다가 2015년 134,573 톤으로 전년대비 10.5% 감소한 결과를 보이고 있음
- 황산화물질은 증가와 감소를 반복되면서 2012년과 2013년 각각 83,130 톤, 82,267 톤으로 최근 9년간 가장 높은 배출량을 보였고, 2015년에는 77,457 톤으로 2012년과 2013년보다는 감소하였지만 2014년 대비 9.5% 증가하였음. 총부유먼지 또한 2012년과 2013년의 배출량이 각각 49,934 톤, 50,440 톤으로 가장 높았고 이후 2014년에 20,485 톤으로 감소하다가 다시 2015년에는 29,082 톤으로 전년대비 42.1%로 매우 높게 배출량이 증가한 사항임
- 이러한 경향은 PM10과 PM2.5의 배출량에서도 나타나고 있는 사항으로 이는 2012년 충청남도의 배출량 산정에서 당진시의 현대제철 배출량 산정에 문제가 있어 수정 배출량을 적용한 사항임. 중앙정부에 충청남도의 적극적인 배출량 오류 수정을 요구하여야 하며 향후 동일 문제를 미연에 예방하기 위한 지자체 차원의 지역별 배출량 인벤토리 구축이 필요한 사항임
- 휘발성유기화합물(VOC)은 2009년 58,621 톤에서 2014년까지 꾸준히 증가하여 74,985 톤으로 나타났고, 2015년에는 2014년 대비 약 21.4% 감소한 11,267 톤으로 확인됨
- 충청남도의 암모니아 배출량은 2009년부터 꾸준히 증가하고 있으며, 2015년에는 48,225 톤으로 나타남. 충청남도의 암모니아 발생은 주로 농업분야에서 발생한 배출원으로 판단할 수 있음

[표 2.13] 충청남도 년도별 배출량 변화(단위 : 톤)

년도	CO	NOx	SOx	TSP	PM10	PM2.5	VOC	NH ₃
2015년	40,181 (-22.2%)	134,573 (-10.5%)	77,457 (9.5%)	29,082 (42.0%)	18,519 (32.5%)	11,267 (21.6%)	62,427 (-16.7%)	48,225 (1.6%)
2014년	51,679	150,356	70,721	20,485	13,976	9,266	74,985	47,466
2013년	52,430	143,565	82,267	50,440	30,976	17,698	62,739	45,532
2012년	52,008	138,730	83,130	49,934	30,818	17,743	59,682	49,713
2011년	52,307	125,981	57,312	6,270	5,312	4,316	61,736	47,027
2010년	52,198	127,177	50,782	5,697	4,446	—	60,136	45,376
2009년	53,971	114,836	48,243	4,677	3,729	—	58,621	43,350

주) PM2.5는 2011년도부터 시행

주) 비산먼지, 생물성 연소 및 식생 제외



[그림 2.25] 최근 7년간 충청남도의 배출량 변화 추이

3.2.1 2015년 충청남도의 대기오염물질 배출원별 배출량 현황

- 2015년도 충청남도의 대기오염물질 배출원별 배출량 중 물질별 비중이 큰 배출원을 살펴 보면, 일산화탄소는 도로이동오염원에 의해 14,250 톤, 질소산화물은 에너지산업 연소에 의해 61,872 톤, 황산화물 에너지산업 연소 37,182 톤, 총부유먼지 제조업 연소 22,789 톤, PM10 제조업 연소 13,266 톤, PM2.5 제조업 연소 6,918 톤, 휘발성유기 화합물 유기용제 사용 28,722 톤, 암모니아 농업 37,331 톤으로 조사됨
- 충청남도는 에너지산업 연소에 의한 질소산화물 및 황산화물 배출원 관리와 제조업 연소에 의한 총부유먼지, PM10, PM2.5의 배출 비중이 크게 나타났고, 농업(축산)에 의한 암모니아 배출원 및 시설에 대한 적극적인 관리가 필요함

[표 2.14] 2015년 충청남도의 전국 대기오염물질 배출원별 배출량 현황(단위 : 톤)

배출원 대분류	CO	NOx	SOx	TSP
에너지산업 연소	11,203	61,872	37,182	2,181
비산업 연소	3,678	3,710	2,949	118
제조업 연소	1,768	11,322	10,616	22,789
생산공정	2,921	15,710	24,412	2,302
에너지수송 및 저장	—	—	—	—
유기용제 사용	—	—	—	—
도로이동오염원	14,250	26,197	14	746
비도로이동오염원	5,815	15,255	2,184	901
폐기물처리	91	496	100	15
농업	—	—	—	—
기타 면오염원	456	11	—	30
합계	40,181	134,573	77,457	29,082
배출원 대분류	PM10	PM2.5	VOC	NH ₃
에너지산업 연소	2,070	1,669	1,473	65
비산업 연소	101	64	104	73
제조업 연소	13,266	6,918	422	57
생산공정	1,405	1,076	22,016	9,600
에너지수송 및 저장	—	—	2,843	—
유기용제 사용	—	—	28,722	—
도로이동오염원	746	686	2,206	567
비도로이동오염원	901	827	1,770	11
폐기물처리	11	9	2,832	1
농업	—	—	—	37,331
기타 면오염원	19	17	38	519
합계	18,519	11,267	62,427	48,225

주) 비산먼지, 생물성 연소 및 식생 제외

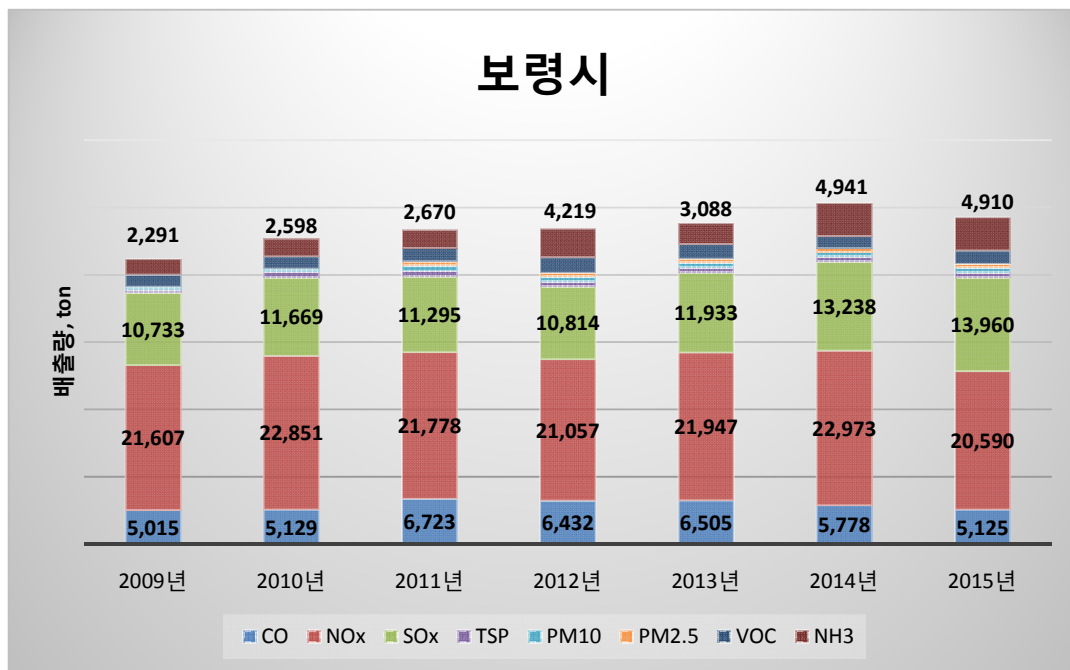
- 2015년 배출량 자료를 충청남도 15개 시·군으로 분류하여 물질별로 분석한 결과, 일산화탄소는 10,551 톤으로 당진시의 배출량이 높으며, 이어서 보령시 6,728 톤, 서산시 5,852 톤, 태안군 5,429 톤, 아산시 5,072 톤의 순으로 나타남. 계룡시가 356 톤으로 충청남도에서 가장 낮은 일산화탄소 배출량을 보이고 있음
- 질소산화물은 당진시가 45,258 톤으로 1위 배출량 지역이며, 태안군 22,769 톤, 보령시 20,659 톤 순이고, 계룡시와 청양군의 각각 364 톤, 846 톤으로 가장 낮음
- 황산화물 또한 발전시설과 철강산업이 발전한 당진시의 배출량이 31,218 톤으로 가장 높으며 서산시 15,070 톤, 보령시 13,961 톤, 태안군 13,592 톤으로 조사됨. 총유먼지, PM10, PM2.5 또한 당진시가 각각 29,196 톤, 16,322 톤, 8,860 톤으로 당진시의 먼지 배출량이 상대적으로 높음
- 휘발성유기화합물은 석유화학단지가 위치한 서산시가 22,646 톤으로 가장 높으며 당진시 8,796 톤, 아산시 8,778 톤, 천안시 서북구 7,921 톤 순으로 나타남
- 암모니아는 충청남도 전역에서 배출되는 것으로 홍성군이 6,881 톤으로 가장 높으며, 당진시 6,462 톤, 서산시 5,039 톤, 보령시 4,910 톤으로 나타남. 계룡시가 32 톤으로 가장 낮은 암모니아 배출량을 보이고 있음
- 충청남도의 높은 대기오염배출량 지역은 발전시설과 철강산업 등 공업단지의 비중이 높은 당진시의 배출량이 높으며, 이어서 화력발전지역인 태안군과 보령시, 석유화학시설이 운영 중인 서산시 등의 대기오염배출량이 높게 나타나고 있음

[표 2.15] 2015년 충청남도의 지역별 대기오염물질 배출원별 배출량 현황(단위 : 톤)

지역	CO	NOx	SOx	TSP
천안시 동남구	3,563	5,464	83	3,822
천안시 서북구	4,831	5,721	608	2,928
공주시	3,855	3,849	108	3,368
보령시	6,728	20,659	13,961	2,927
아산시	5,072	6,078	645	3,731
서산시	5,852	9,520	15,070	3,329
논산시	3,275	3,425	447	3,070
계룡시	356	364	11	163
당진시	10,551	45,258	31,218	29,196
금산군	1,750	1,240	97	1,293
부여군	2,560	1,389	102	2,348
서천군	2,401	4,970	1,329	1,750
청양군	2,237	846	42	1,422
홍성군	3,005	1,848	65	2,731
예산군	3,533	2,089	88	2,629
태안군	5,429	22,769	13,592	2,185
합계	64,995	135,487	77,465	66,591
지역	PM10	PM2.5	VOC	NH ₃
천안시 동남구	1,106	352	4,657	3,154
천안시 서북구	1,192	365	7,921	1,822
공주시	862	306	2,212	2,430
보령시	1,241	707	2,385	4,910
아산시	1,235	401	8,778	2,827
서산시	1,121	453	22,646	5,039
논산시	823	277	1,915	3,040
계룡시	49	19	293	32
당진시	16,322	8,860	8,796	6,462
금산군	325	119	1,000	483
부여군	577	184	1,153	1,960
서천군	481	206	1,104	1,237
청양군	378	140	762	1,622
홍성군	826	261	1,672	6,881
예산군	834	309	2,829	3,928
태안군	1,276	884	1,422	2,397
합계	28,650	13,845	69,545	48,227

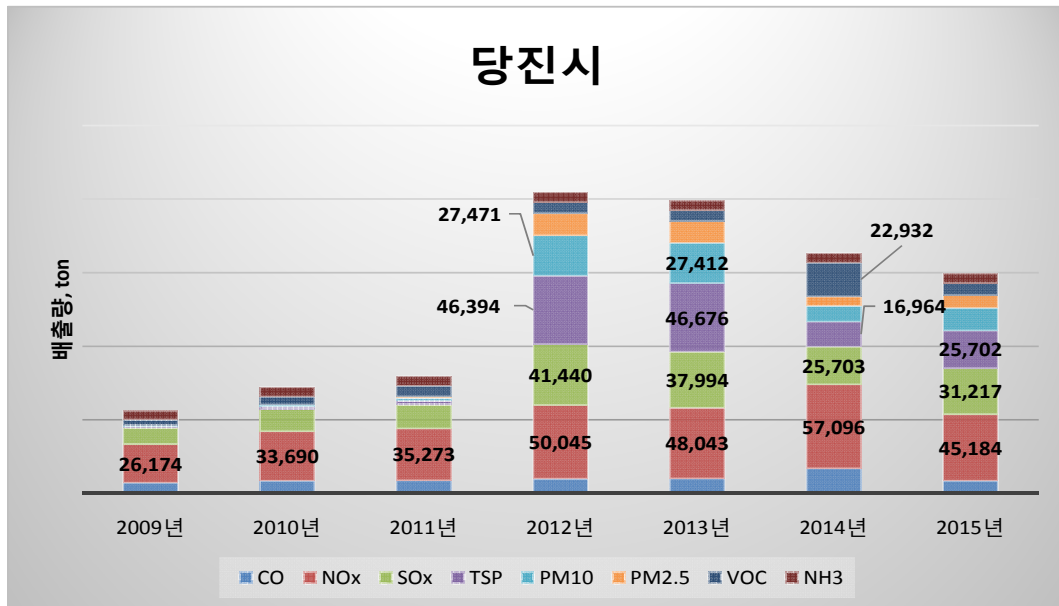
3.2.2 화력발전지역의 대기오염물질 배출원별 배출량 현황

- 보령시의 배출량이 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있음. 질소산화물과 황산화물질의 배출량이 높으며, 2015년 기준에 의하면 질소산화물 20,590 톤으로 가장 높은 비중을 차지하고 있고, 황산화물 13,960 톤, 일산화탄소 5,125 톤으로 나타남



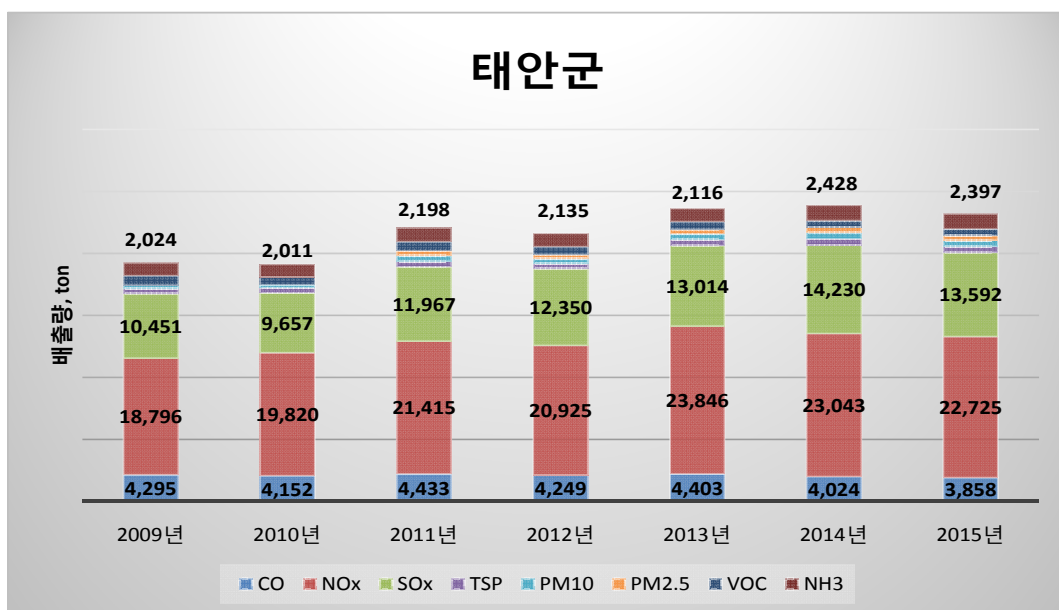
[그림 2.26] 보령시의 최근 7년간 배출량 변화 추이

- 한국동서발전, 현대그린파워, GS 당진발전소가 운영 중인 당진시의 배출량 변화를 살펴 보면 당진시는 2012년을 기점으로 배출량이 급증하였고 2014년도부터 점차 감소하는 경향을 보이고 있음
- 2015년 기준 물질별로는 질소산화물 45,184 톤으로 가장 많으며 2012년 총부유먼지가 46,394 톤에서 2015년 25,702 톤으로 45% 감소한 결과를 확인할 수 있음. 이는 현대제철 당진공장의 석탄사용 배출량 오류 문제를 바로 잡은 사항으로 2012년 및 2013년의 오류 배출량 또한 수정이 필요한 사항임



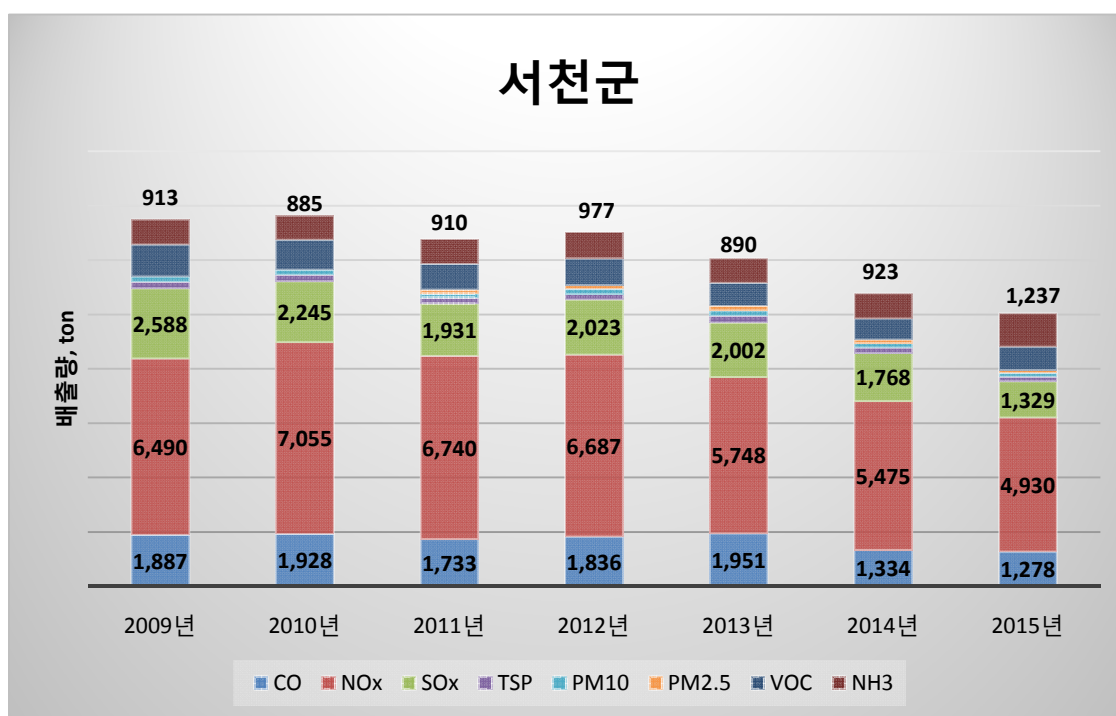
[그림 2.27] 당진시의 최근 7년간 배출량 변화 추이

- 한국서부발전이 운영 중인 태안군의 배출량 변화를 살펴보면, 당진시와는 다르게 최근 7년간 큰 배출량 변화를 확인할 수 없으나 태안군의 경우 매년 배출량이 소폭 증가하는 경향으로 질소산화물과 황산화물의 배출량이 지배적임



[그림 2.28] 태안군의 최근 7년간 배출량 변화 추이

- 서천군 배출량은 매년 감소하는 경향으로 2017년 9월 폐지한 서천화력의 영향으로 서천군의 배출량은 당분간 감소할 것으로 판단됨. 그러나 유연탄을 연료로 하는 신서천화력이 완공되는 2020년 3월에는 배출량이 다시 증가할 것으로 예상됨



[그림 2.29] 서천군의 최근 7년간 배출량 변화 추이

4. 소결론

- 충청남도 화력발전소 지역의 인구 증가율은 2018년 기준 보령시 1.17% 감소, 당진시 0.44% 증가, 서천군 2.7% 감소, 태안군 1.1% 감소하는 사항임. 화력발전소 지역의 노령화 지수는 보령시 208.5, 당진시 110.5, 서천군 405.4, 태안군 293.2로 당진시가 상대적으로 낮으며 서천군이 상대적으로 매우 높음
- 충청남도는 2011년부터 석탄사용량이 급증한 사실을 지역에너지 통계연보와 비교하여 확인할 수 있음. 이러한 결과는 현재 국립환경과학원의 국가 대기오염 배출량 통계자료는 전적으로 실측조사와 평가가 아닌 각종 통계자료를 근거로 하여 산출되고 있어 나타난 결과로 보여짐. 이러한 배출량 산정방법에 의해 충청남도의 2012년 배출량 중 TSP, PM10, PM2.5는 2011년 대비 급격하게 증가한 사항임
- 국가 대기오염물질 배출량 분석 결과, 2015년 기준 충청남도는 전국 2위 수준의 오염물질 다배출지역이며, 그 중 황산화물 및 암모니아는 전국 1위, 질소산화물 전국 2위, TSP 및 PM2.5는 전국 3위의 배출지역임. 에너지산업연소에 의한 질소산화물과 황산화물 관리가 중요하며, 제조업연소에 의한 총부유먼지, PM10, PM2.5의 관리, 농업분야에서 축산에 의한 암모니아 배출원 관리에 집중이 필요함
- 2012년 기준 충청남도의 배출량은 철강산업에서의 석탄사용량 문제로 급증하였고 이후 2014년을 기점으로 점차 감소 추세에 있음. 이는 과거 통계량에 의해 산정되는 배출량의 오류로 파악되며 중앙정부차원이 아닌 충청남도 자체의 배출량 산정과 지속적인 관심이 필요한 사항임. 또한, 충청남도의 적극적인 배출량 오류 수정을 요구하고 향후 동일문제를 미연에 예방하기 위해 충청남도 차원의 지역별 배출량 인벤토리 구축이 필요한 사항임
- 충청남도 내의 화력발전시설은 주로 유연탄을 사용하고 있음. 산업통상자원부의 제8차 전력수급기본계획(2017~2031)을 살펴보면, 충청남도의 화력발전시설은 증설 또는 준공, 폐지를 거듭하면서 최종적으로 2025년까지 8,151MW의 발전설비용량이 계획되어있고,

반대로 감소되는 발전용량은 2,400 MW로 폐지되는 발전용량보다 5,751 MW의 용량이 증가하는 것으로 확인됨. 산업통상자원부는 충청남도 · 수도권 일대 대규모 석탄화력발전소의 연료전환을 추진할 계획을 밝혔지만, 실질적으로 발전소를 완전하게 폐지하는 것이 아니라 단순히 노후화된 발전소를 없애고 새로운 석탄화력발전소를 건설하거나 또는 발전원을 변경한 복합화력 발전소를 건설하면서 발생하는 결과로 충청남도의 발전량은 감소가 아닌 증가하는 추세로 보여짐

- 서천화력 무연탄 400 MW ⇒ 2020년 신서천화력 유연탄 1,000 MW 전환 예정
- 보령화력 #1~2호기 2022년 1,000 MW 폐지 ⇒ 신보령화력 2018년부터 2,038 MW 운영 중
- LNG 발전시설 추가 또는 전환 : 당진지역 1,940 MW(2024년 예정), 태안화력 1~2호기 LNG 전환 1,000 MW(2025년 예정)

- 화력발전시설과 관련한 민간 대기오염측정소는 2018년 12월 현재 보령화력 9개소, 당진화력 12개소, 태안화력 10개소로 총 31개소가 운영 중이며, 여기에 신보령화력이 2개소의 민간 대기오염측정소를 신규 설치할 계획임. 결과적으로 충청남도에는 기존의 일반대기오염측정망뿐만 아니라 민간 대기오염측정소까지 통합하여 관리하게 된다면 전국(수도권 제외)에서 가장 많은 대기오염측정소를 보유하는 사항임. 민간 대기오염측정소를 충청남도 차원의 관리와 운영을 실시하게 된다면 해상도 높은 환경민감 지역의 대기질 자료 확보가 가능한 사항임
- 충청남도 지역의 화력발전시설의 석탄사용량 및 발전량은 최근 증가하고 있음. 반대로 굴뚝으로 배출되는 대기오염물질은 발전사별로 배출량에 차이는 발생하고 있으나, 대부분 발전소의 배출량은 감소하는 추세를 보이고 있음. 이는 봄철 고농도 가동정지와 2017년 ~ 2018년 기간에 수행한 발전설비의 대대적인 성능개선 공사와 단계적 저감 계획과 같은 노력의 효과로 판단되며 현재의 노력을 넘어 지속적인 저감을 위한 자발적인 감축노력이 필요

제3장 환경민감지역의 대기질 조사

1. 대기질 조사
2. 민간 대기오염측정소의 자료 분석
3. 민간 대기오염측정소의 정도 평가
4. 소결론

- 1차년도에 적용한 Passive Air Sampler(간이대기측정기)를 이용하여 공간분포적으로 대기질 조사를 실시하였고, 민간 대기오염측정소의 2018년 자료 분석 및 간이대기측정기의 대기질 조사 결과와 민간 대기오염측정소의 자료를 비교·분석하여 민간 대기오염측정소의 정도 평가를 실시함

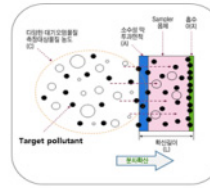
1. 대기질 조사

1.1 조사 방법 및 물질

- 대기오염공정시험기기준(방법)으로 충청남도 전역의 대기오염도를 동시간대에 조사하기에는 시간과 비용 등의 한계가 있어, 이를 극복하고자 본 과업에서는 1차년도에 사용한 간이대기측정기를 이용하여 대기질 조사를 실시하였음
- 간이대기측정기는 흡인펌프, 전원 장비 등이 필요 없으며, 대류확산 원리를 이용하기에 조사 과정이 단순하여 학생, 일반 시민 등 비전문가도 간단한 교육만으로 사용할 수 있고, 간단한 조작과 저렴한 비용으로 광범위한 지역 내에서 여러 지점을 동시간대에 측정할 수 있다는 장점을 가지고 있음

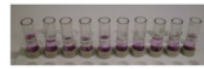
기본 원리 : 오염물질의 분자확산 및 침강 현상을 이용

<Passive Air Sampler>



● NO_2

트리에탄올아민 흡수액 → 대기 중 NO_2 흡수 → 살츠만 발색액 → 흡광도 측정
- Saltman 법에 기초, NO_2 +살츠만 용액 → 붉은 색 아조(Azo) 색소 생성



● HCHO

트리에탄올아민 흡수액 → 대기 중 HCHO 흡수 → NaOH + AHMT + KIO_4 발색액 → 흡광도 측정
- AHMT법 기초, AHMT+ HCHO 반응 KIO_4 에 산화되어 적자색

● NH_3

인산+글리세린 용액 → 대기 중 NH_3 흡수 → 페놀-니트로프루시드 나트륨 + 차아염소산나트륨 발색액 → 흡광도 측정
- 인도페놀법에 기초, 인도페놀분류 생성

● SO_2

Na_2CO_3 흡수액 → 대기 중 SO_2 흡수 → H_2O_2 추출액 → I.C. 측정
- 산화반응에 의해 생성된 황산이온 분석

● O_3

p-AAP+염화칼륨+붕산+탄산나트륨 흡수액 → 대기 중 O_3 흡수 → 아스코르브산 환원제 → N, N-dimethylformamide 추출액 → 형광광도계 측정

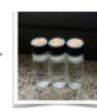
● VOCs

활성탄 흡착 → 대기 중 VOCs 흡착 → CS_2 추출액 → G.C. 측정



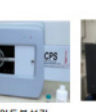
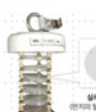
● CO_2

$\text{Ba}(\text{OH})_2$ 흡수액 → 대기 중 CO_2 흡수 → 탁도 측정
- $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \Rightarrow \text{BaCO}_3$ 침전물



● TSP, PM10, PM2.5, 중금속

패드 → 대기 중 입자상 물질 부착 → 초순수 탈착액 → 탁도계 / 입도분석기 / 원자방출분광기

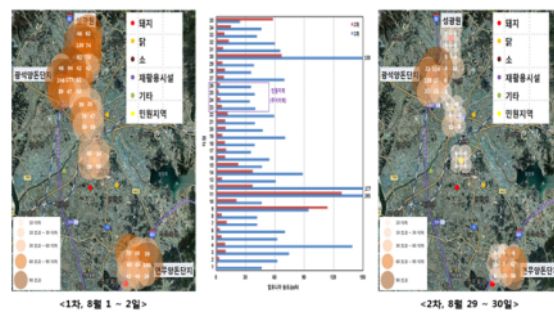


[그림 3.1] 간이대기측정기의 원리

2016. 당시시 대기개선실천계획 수립 및 대기오염조사 연구
(NO_2 , SO_2 , O_3 , VOCs, NH_3 , H_2S , TSP)



2016. 가축악취가 논산시에 미치는 영향조사 및 피해 해소 대책
(NH_3)



[그림 3.2] 간이대기측정의 활용 사례

- 조사 물질은 1차년도 결과를 바탕으로 도시 및 교외 대기오염측정망에서 측정하고 있는 이산화질소(NO_2), 아황산가스(SO_2), 오존(O_3), PM10과 대기 중 중금속 파악을 위하여 총부유먼지(TSP) 및 중금속(8종 : As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb)으로 총 6개 항목임

1.2 조사 지점

- 1차년도와의 연계성 및 지속적인 자료 축적을 위하여 1차년도 조사지점을 바탕으로 국가 및 지자체에서 운영하고 있는 일반대기오염측정망 12개소(도시대기 11개소, 교외대기 1개소)와 화력 발전소에서 운영하고 있는 민간 대기오염측정소 16개소로 28개소를 선정하였고, 추가로 철강산업에서 운영하고 있는 대기오염측정소 3개소와 신규 화력발전소의 영향에 대한 배경농도 자료 확보 차원의 1개소로 총 32개소에 대해 조사를 실시함
- 간이대기측정기의 권역별 운영 지점을 살펴보면, 당진권역 12개소(도시대기 오염측정망 4개소, 민간 대기오염측정소 5개소, 현대제철 대기오염측정소 2개소, 환영철강 대기오염측정소 1개소), 태안권역 7개소(도시대기측정망 3개소, 교외대기측정망 1개소, 민간 대기오염측정소 3개소), 보령권역 10개소(도시대기측정망 2개소, 민간 대기오염측정소 8개소), 서천권역 3개소(도시대기 2개소, 배경농도 1개소)임

[표 3.1] 간이대기측정기 운영 지점 수

구분	지자체 (도시대기)	국가 (교외대기)	화력발전 (민간)	제철소 및 철강	기타	계
당진권역	4	—	5	3	—	12
태안권역	3	1	3	—	—	7
보령권역	2	—	8	—	—	10
서천권역	2	—	—	—	1	3
계	11	1	16	3	1	32

- 각 지점별로 ID를 부여하였는데, 1차년도와 연계하기 위하여 1단계로 당진은 D, 태안은 T, 보령은 B, 서천은 S, 2단계로 일반대기오염측정망(도시대기, 교외대기)은 A, 민간 대기오염측정소는 C, 그 이외의 제철소 및 철강 대기오염측정소와 배경농도는 E로, 3단계로는 아라비아 숫자로 수량을 의미하는 방식 ID를 부여하였음(예 : 난지도리 1차년도 D17-A3-1 ⇒ 2차년도 DA1)

[표 3.2] 당진 및 태안 권역 간이대기측정기 조사 지점의 정보

지역	측정망(소) 구분	세부 주소	지점명	ID
당진 권역 (12)	도시대기 (4개소)	당진시 송산면 유곡로 342-27 공공하수폐수처리시설	난지도리	DA1
		서산시 대산읍 평신1로 한국수자원공사 대산산업용수센터	독곶리	DA2
		당진시 시창1로 1 당진시청사	당진시청사	DA3
		서산시 지곡면 충의로 1942 대산종합시장 옥상	대산리	DA4
	일 반 대 기	당진시 석문면 교로길 30	당진화력발전소	DC1
		당진시 석문면 대호로 1533-6	석문중학교	DC2
		당진시 석문면 통정3길 2	석문면사무소	DC3
		당진시 범절로 2-31	호서중학교	DC4
	철강(1개소)	당진시 정미면 사관리 231-1	신당진발전소	DC5
		당진시 석문면 보덕포로 587	환영철강	DE1
		당진시 송악읍 북부산업로 1480(현대제철 서측 변전소)	현대제철 서측	DE2
		당진시 송악읍 북부산업로 1480(현대제철 냉연 변전소)	현대제철 냉연	DE3
태안 권역 (7)	교외대기 (1개소)	태안군 소원면 파도길 51-19	파도리	TA1
		서산시 동문동 918-3 (서산초등학교)	서산초	TA2
		태안군 태안읍 군청6길 (태안군 장애인종합복지관)	태안읍	TA3
		태안군 이원면 분지길 14(이원면사무소 1층 나동옥상)	이원면	TA4
	도시대기 (3개소)	태안군 원북면 학암포길 29(방갈2리 마을회관)	방갈2리 마을회관	TC1
		태안군 이원면 원리로 1956(관동분교)	관동분교	TC2
		태안군 원북면 원리로 849-3(원북초등학교)	원북초등학교	TC3
		민간대기 (3개소)		

[표 3.2] 당진 및 태안 권역 간이대기측정기 조사 지점의 정보(계속)

지역	지점구분	세부 주소	지점명	ID
보령 권역 (10)	일반 대기	도시대기	대전2동	BA1
		(2개소)	주교면	BA2
		보령시 주교면 울계큰길 396(주교면사무소 옥상)		
		보령시 주교면 고정리 234(남부회치리수 리턴펍프룸)	남부회치리수 리턴펍프룸	BC1
		보령시 주교면 토정로 796-52(송학초등학교)	송학초등학교	BC2
		보령시 천북면 학성리 254-4(바다횃집펜션 우측 컨테이너)	학성리바다횃집	BC3
		보령시 오천면 충청수영로 802-5(오천초등학교 뒤편)	오천초등학교 뒤편	BC4
	민간대기 (8개소)	보령시 오천면 김신길 31(교성1리 마을회관)	교성1리 마을회관	BC5
		보령시 대천항중앙길 46(보령항만관리사무소)	보령항만관리사무소	BC6
		보령시 천북면 하궁길 45(천북초등학교)	천북초등학교	BC7
서천 권역 (3)		보령시 봉황로 69 한전아파트(한전사택 201동 앞)	한전사택	BC8
	일반 대기	도시대기	서면	SA1
		(2개소)	서천군 서천읍 서천로 14번길 20(서천문예의전당 주차장)	SA2
	배경농도(1개소)	서천군 서면 홍원길87번길 14(홍원마을회관)	홍원마을회관	SE1

1.3 조사 기간의 기상개황

- 간이대기측정기 조사 기간의 권역별 주풍, 풍속, 기온, 강수량의 기상개황을 당진권역은 616 방재기상관측, 태안권역은 627 방재기상관측, 보령권역은 235 종관기상관측, 서천권역은 614 방재기상관측 자료를 수집하여 분석함
- 1차와 2차 측정 시 강우가 있었지만, 3차와 4차 측정 시에는 강우가 없음. 풍속은 전체적으로 2.0 m/s 전후의 기상 조건이었음

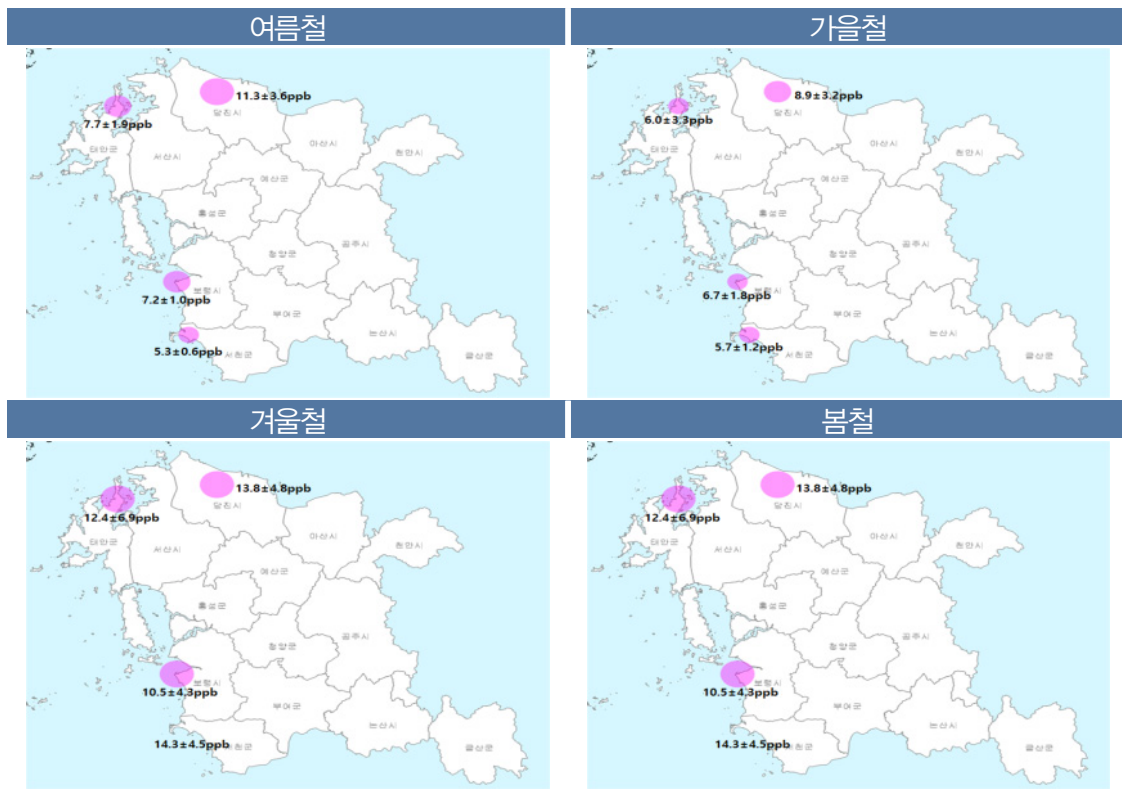
[표 3.3] 조사 기간 동안의 기상정보

구분 (관측소)	1차(여름) 2018.08.21.~08.22	2차(가을) 2018.10.30.~10.31	3차(겨울) 2019.01.22~01.23	4차(봄) 2019.03.07~03.08
당진권역 (616)	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 북풍 • 풍속 : 2.3m/s • 기온 : 27.0℃ (22.6~36.5℃) • 강수량 : 15.5mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 서북서풍 • 풍속 : 1.5m/s • 기온 : 7.0℃ (0. ~12.6℃) • 강수량 : 0.1mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 남풍 • 풍속 : 1.9m/s • 기온 : 3.2℃ (-0.9~8.2℃) • 강수량 : 0.0mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 남남서풍 • 풍속 : 2.1m/s • 기온 : 5.4℃ (-1.0~12.0℃) • 강수량 : 0.0mm
태안권역 (627)	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 북풍 • 풍속 : 2.3m/s • 기온 : 27.0℃ (22.6~36.5℃) • 강수량 : 15.5mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 서북서풍 • 풍속 : 1.5m/s • 기온 : 7.0℃ (0.1~12.6℃) • 강수량 : 0.1mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 북풍 • 풍속 : 1.5m/s • 기온 : 3.1℃ (-0.5~7.3℃) • 강수량 : 0.0mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 북서풍 • 풍속 : 2.0m/s • 기온 : 4.5℃ (-1.9~10.3℃) • 강수량 : 0.0mm
보령권역 (235)	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 북풍 • 풍속 : 2.0m/s • 기온 : 28.0℃ (22.5~35.9℃) • 강수량 : 6.9mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 북풍 • 풍속 : 1.0m/s • 기온 : 8.0℃ (2.8~13.3℃) • 강수량 : 0.4mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 북풍 • 풍속 : 1.0m/s • 기온 : 3.5℃ (-0.7~8.6℃) • 강수량 : 0.0mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 북풍 • 풍속 : 1.2m/s • 기온 : 4.6℃ (-1.6~10.0℃) • 강수량 : 0.0mm
서천권역 (614)	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 서북서풍 • 풍속 : 1.9m/s • 기온 : 28.3℃ (21.1~28.3℃) • 강수량 : 0.4mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 서풍 • 풍속 : 1.3m/s • 기온 : 7.0℃ (0.7~14.0℃) • 강수량 : 0.0mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 북풍 • 풍속 : 1.2m/s • 기온 : 2.2℃ (-3.6~9.0℃) • 강수량 : 0.0mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 주풍 : 북풍 • 풍속 : 1.9m/s • 기온 : 4.8℃ (-3.4~10.9℃) • 강수량 : 0.0mm

1.4 간이대기측정기의 조사 결과

1.4.1 이산화질소

- 4계절 동안의 권역별 평균값을 비교해 보면, 당진권역(11.0 ± 4.3 ppb) > 태안권역(8.2 ± 4.8 ppb) > 서천권역(8.0 ± 4.5 ppb) > 보령권역(7.4 ± 3.2 ppb) 순으로 높게 나타남
- 32개소의 계절별 평균값을 비교해 보면, 겨울(12.5 ± 5.1 ppb) > 여름(8.7 ± 3.2 ppb) > 봄(7.33 ± 3.8 ppb) > 가을(7.28 ± 2.9 ppb) 순으로 높게 나타남
- 계절별로 권역별 평균값을 비교해 보면, 여름철은 당진 > 태안 > 보령 > 서천, 가을철은 당진 > 보령 > 태안 > 서천, 겨울철은 서천 > 당진 > 태안 > 보령, 봄철은 당진 > 서천 > 태안 > 보령 순으로 높게 나타남



[그림 3.3] 권역별 이산화질소 평균농도의 공간분포 비교

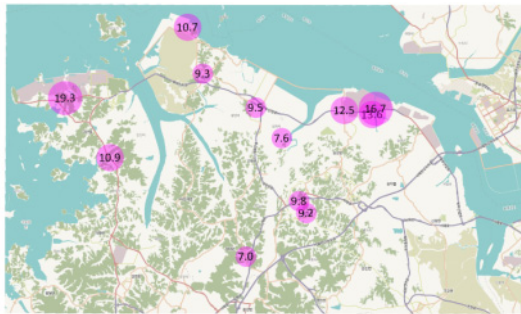
[표 3.4] 간이대기측정기를 이용한 지점별 이산화질소 측정 결과

구분	지점 ID	측정결과(ppb)				
		여름	가을	겨울	봄	평균
당진권역	DA1	13.6	12.3	11.5	9.7	11.8
	DA2	19.3	6.3	12.2	8.5	11.6
	DA3	9.2	10.6	11.8	10.8	10.6
	DA4	10.9	10.6	16.9	11.7	12.5
	DC1	10.7	4.0	10.5	4.4	7.4
	DC2	9.3	3.9	11.7	5.4	7.6
	DC3	9.5	5.8	10.2	5.9	7.9
	DC4	9.8	11.4	16.2	9.9	11.8
	DC5	7.0	9.9	8.0	7.5	8.1
	DE1	7.6	8.6	12.1	9.7	9.5
	DE2	12.5	10.8	20.0	14.0	14.3
	DE3	16.7	12.9	25.0	20.0	18.7
	평균	11.3	8.9	13.8	9.8	11.0
태안권역	TA1	5.3	3.6	9.6	3.7	5.6
	TA2	9.6	11.3	22.4	13.4	14.2
	TA3	8.5	9.4	22.4	9.3	12.4
	TA4	6.4	3.6	9.6	4.2	6.0
	TC1	10.5	3.7	8.5	4.2	6.7
	TC2	7.5	3.2	6.9	6.3	6.0
	TC3	6.4	7.3	7.5	4.1	6.3
	평균	7.7	6.0	12.4	6.5	8.2

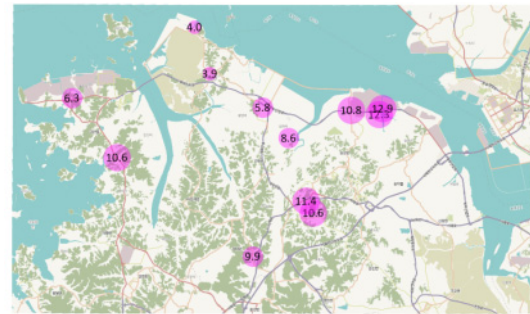
[표 3.4] 간이대기측정기를 이용한 지점별 이산화질소 측정 결과(계속)

구분	지점 ID	측정결과(ppb)				
		여름	가을	겨울	봄	평균
보령권역	BA1	5.9	5.3	18.0	7.5	9.2
	BA2	8.5	8.1	14.9	8.6	10.0
	BC1	7.5	8.1	9.6	4.3	7.4
	BC2	6.4	4.8	5.4	2.7	4.8
	BC3	7.0	7.6	7.5	3.2	6.3
	BC4	7.6	5.6	8.6	4.3	6.5
	BC5	7.0	5.2	5.3	3.2	5.2
	BC6	8.5	7.2	12.7	7.0	8.9
	BC7	8.1	9.9	9.1	4.3	7.9
	BC8	5.9	4.7	14.3	7.0	8.0
	평균	7.2	6.7	10.5	5.2	7.4
서천권역	SA1	4.7	5.8	14.8	5.4	7.7
	SA2	5.3	6.8	18.5	9.5	10.0
	SE1	5.8	4.5	9.5	4.9	6.2
	평균	5.3	5.7	14.3	6.6	8.0
기초통계	평균	8.7	7.3	12.5	7.3	9.0
	최소	4.7	3.2	5.3	2.7	4.8
	최대	19.3	12.9	25.0	20.0	18.7
	표준편차	3.2	2.9	5.1	3.8	3.2

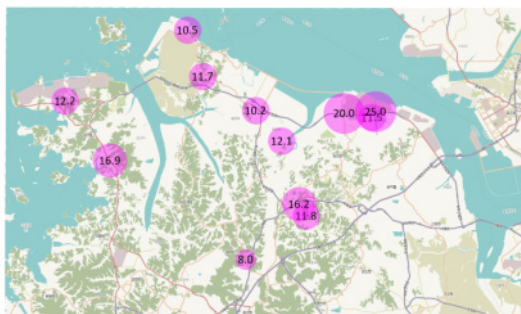
당진권역 여름철



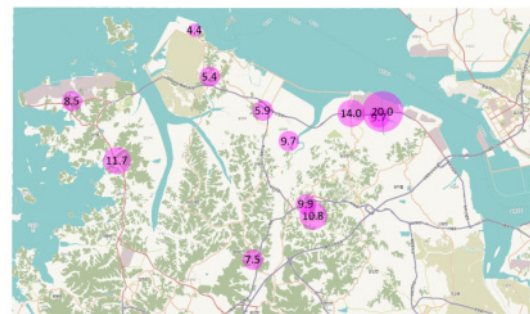
당진권역 가을철



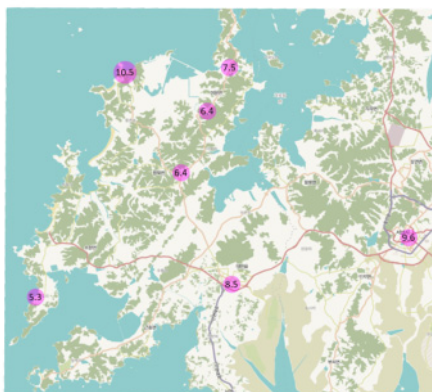
당진권역 겨울철



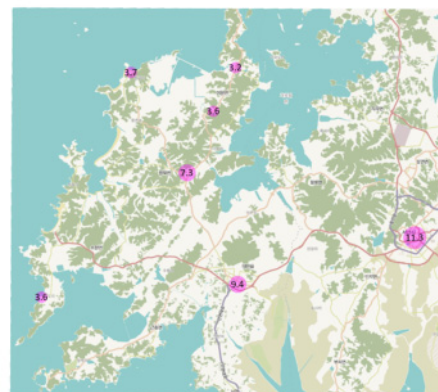
당진권역 봄철



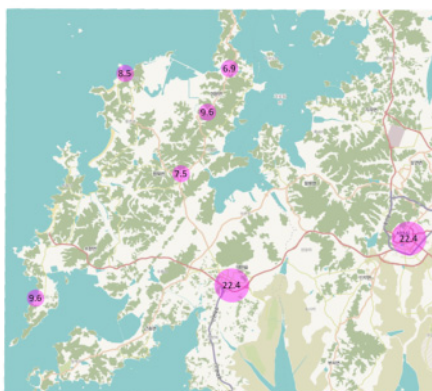
태안권역 여름철



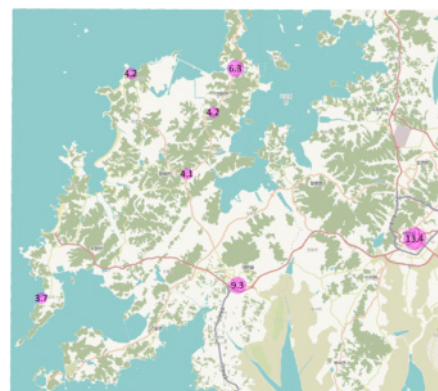
태안권역 가을철



태안권역 겨울철

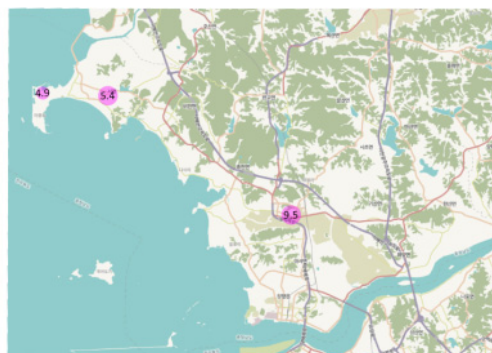


태안권역 봄철



[그림 3.4] 당진 및 태안 권역의 계절별 이산화질소 농도의 공간분포 비교

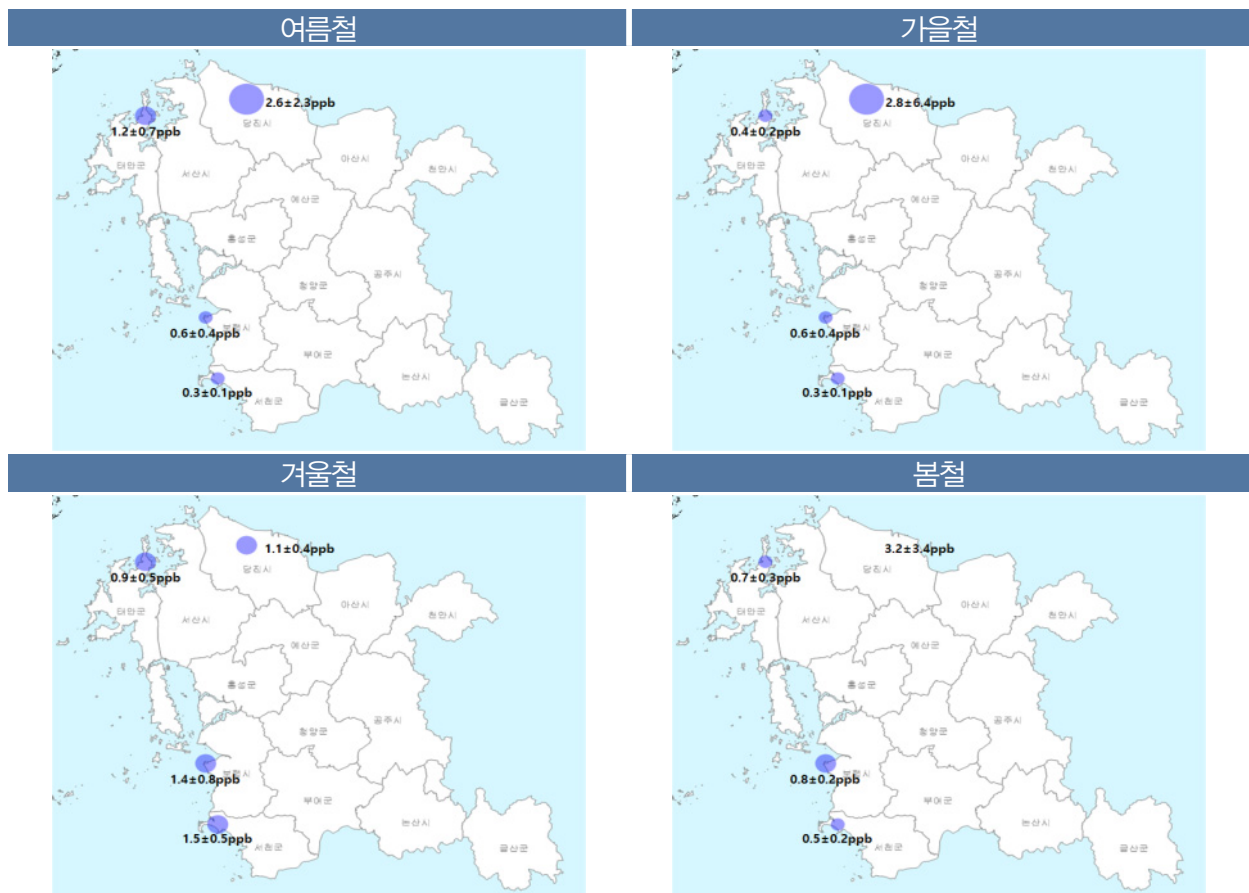
서천권역 봄철



347

1.4.2 아황산가스

- 4계절 동안의 권역별 평균값을 비교해 보면, 당진권역(2.4 ± 3.8 ppb) > 보령권역(0.9 ± 0.6 ppb) > 태안권역(0.8 ± 0.5 ppb) > 서천권역(0.6 ± 0.2 ppb)순으로 높게 나타남
- 32개소의 계절별 평균값을 비교해 보면, 봄(1.7 ± 2.4 ppb) > 여름(1.5 ± 1.7 ppb) > 가을(1.3 ± 4.0 ppb) > 겨울(1.2 ± 0.6 ppb) 순으로 높게 나타남
- 계절별로 권역별 평균값을 비교해 보면, 여름철은 당진 > 태안 > 보령 > 서천, 가을철은 당진 > 보령 > 태안 > 서천, 겨울철은 서천 > 보령 > 당진 > 태안, 봄철은 당진 > 보령 > 태안 > 서천 순으로 높게 나타남



[그림 3.6] 권역별 아황산가스 평균농도의 공간분포 비교

[표 3.5] 간이대기측정기를 이용한 지점별 아황산가스 측정 결과

구분	지점 ID	측정결과(ppb)				
		여름	가을	겨울	봄	평균
당진권역	DA1	5.2	23.0	0.9	10.4	9.9
	DA2	6.4	1.3	0.4	2.2	2.6
	DA3	0.6	0.9	1.6	0.9	1.0
	DA4	1.1	0.4	1.3	0.8	0.9
	DC1	4.3	1.4	0.8	2.3	2.2
	DC2	0.6	0.4	1.3	2.1	1.1
	DC3	1.0	0.8	1.2	3.9	1.7
	DC4	0.8	0.7	0.8	1.6	1.0
	DC5	0.5	0.1	1.4	0.5	0.6
	DE1	0.6	0.6	1.6	1.2	1.0
	DE2	5.1	0.8	1.1	2.6	2.4
	DE3	5.0	2.7	0.9	9.9	4.6
	평균	2.6	2.8	1.1	3.2	2.4
태안권역	TA1	0.4	0.2	1.7	0.9	0.8
	TA2	1.4	0.6	0.3	1.3	0.9
	TA3	2.2	0.5	0.6	0.7	1.0
	TA4	0.9	0.4	1.0	0.9	0.8
	TC1	2.0	0.4	1.1	0.2	0.9
	TC2	0.2	0.2	1.1	0.7	0.6
	TC3	1.1	0.2	0.4	0.5	0.6
	평균	1.2	0.4	0.9	0.7	0.8

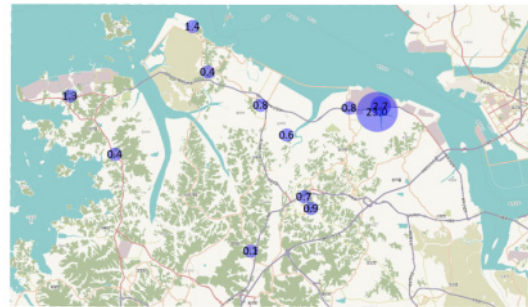
[표 3.5] 간이대기측정기를 이용한 지점별 아황산가스 측정 결과(계속)

구분	지점 ID	측정결과(ppb)				
		여름	가을	겨울	봄	평균
보령권역	BA1	0.5	0.3	1.5	0.8	0.8
	BA2	0.7	0.4	1.1	0.8	0.8
	BC1	1.8	1.3	3.5	0.9	1.9
	BC2	0.3	0.2	0.8	0.7	0.5
	BC3	0.4	0.4	1.3	0.4	0.6
	BC4	0.5	0.4	1.0	0.9	0.7
	BC5	0.6	0.4	1.2	1.3	0.9
	BC6	0.8	1.3	1.0	0.6	0.9
	BC7	0.5	0.7	1.1	1.0	0.8
	BC8	0.3	0.5	1.2	0.6	0.7
	평균	0.6	0.6	1.4	0.8	0.9
서천권역	SA1	0.2	0.3	1.0	0.4	0.5
	SA2	0.3	0.2	1.5	0.7	0.7
	SE1	0.4	0.3	1.9	0.3	0.7
	평균	0.3	0.3	1.5	0.5	0.8
기초통계	평균	1.5	1.3	1.2	1.7	1.5
	최소	0.2	0.1	0.3	0.2	0.5
	최대	6.4	23.0	3.5	10.4	9.9
	표준편차	1.7	4.0	0.6	2.4	0.7

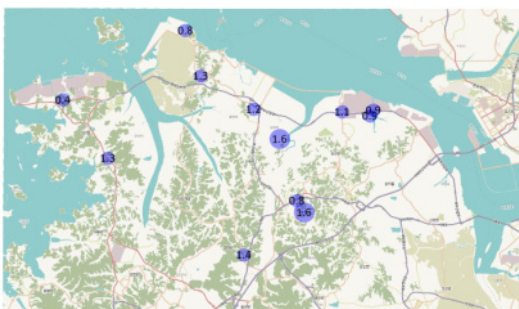
당진권역 여름철



당진권역 가을철



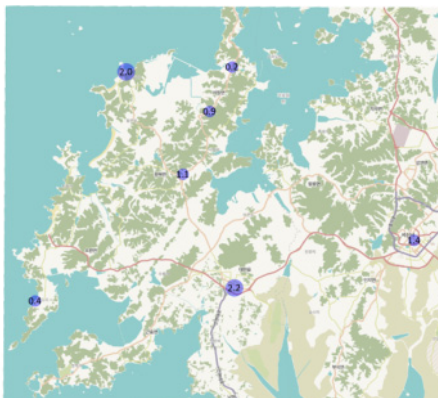
당진권역 겨울철



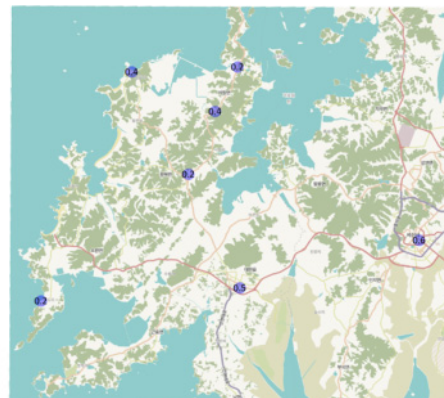
당진권역 봄철



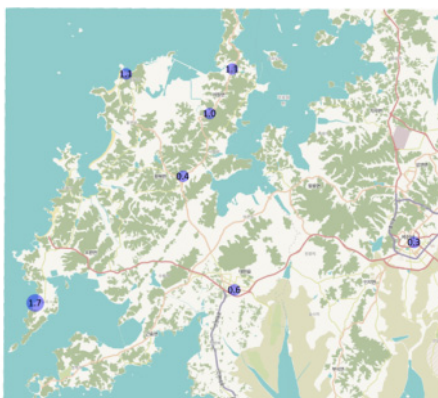
태안권역 여름철



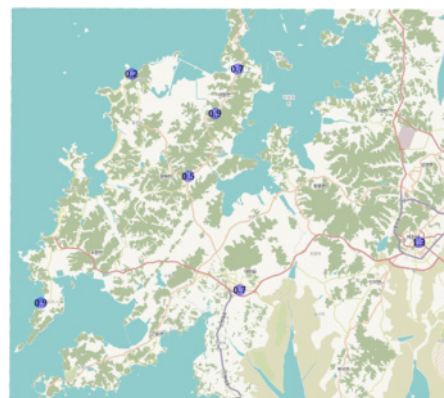
태안권역 가을철



태안권역 겨울철

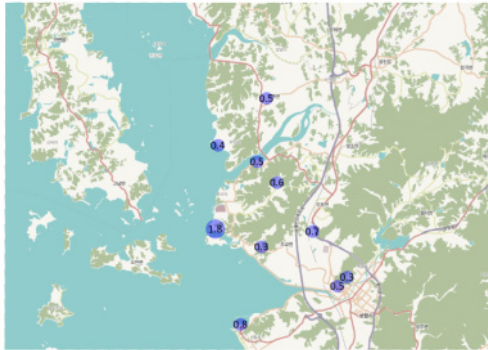


태안권역 봄철

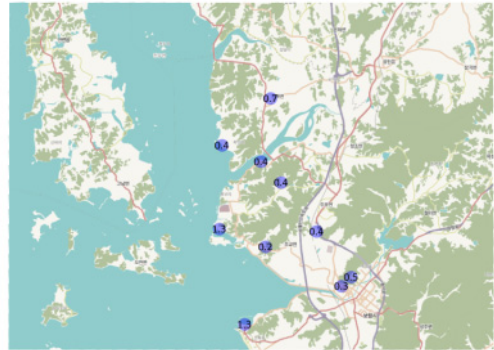


[그림 3.7] 당진 및 태안 권역의 계절별 아황산가스 농도의 공간분포 비교

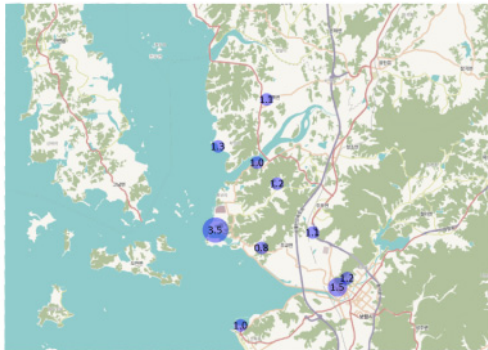
보령권역 여름철



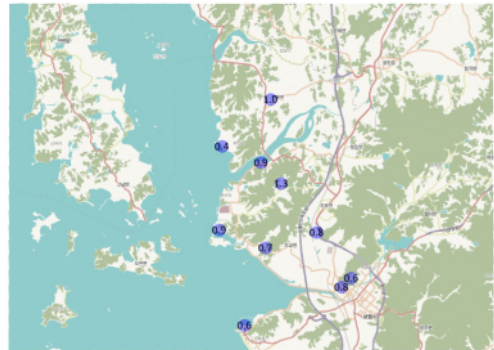
보령권역 가을철



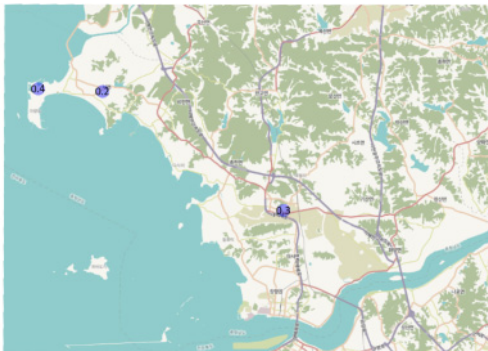
보령권역 겨울철



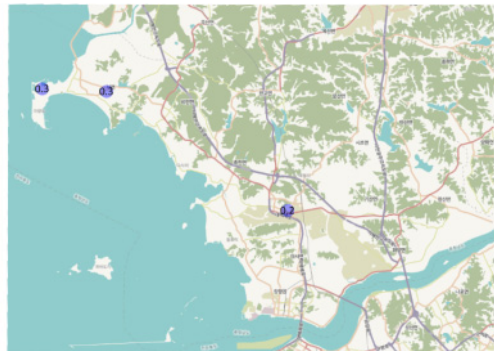
보령권역 봄철



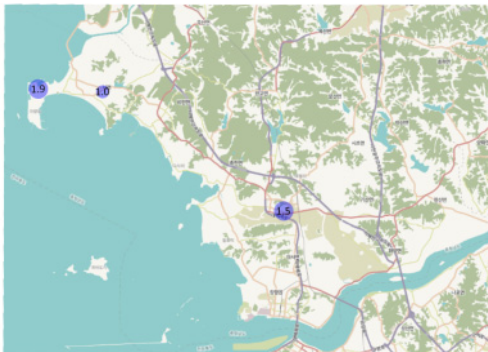
서천권역 여름철



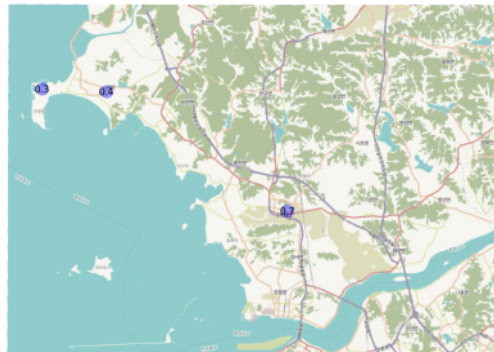
서천권역 가을철



서천권역 겨울철



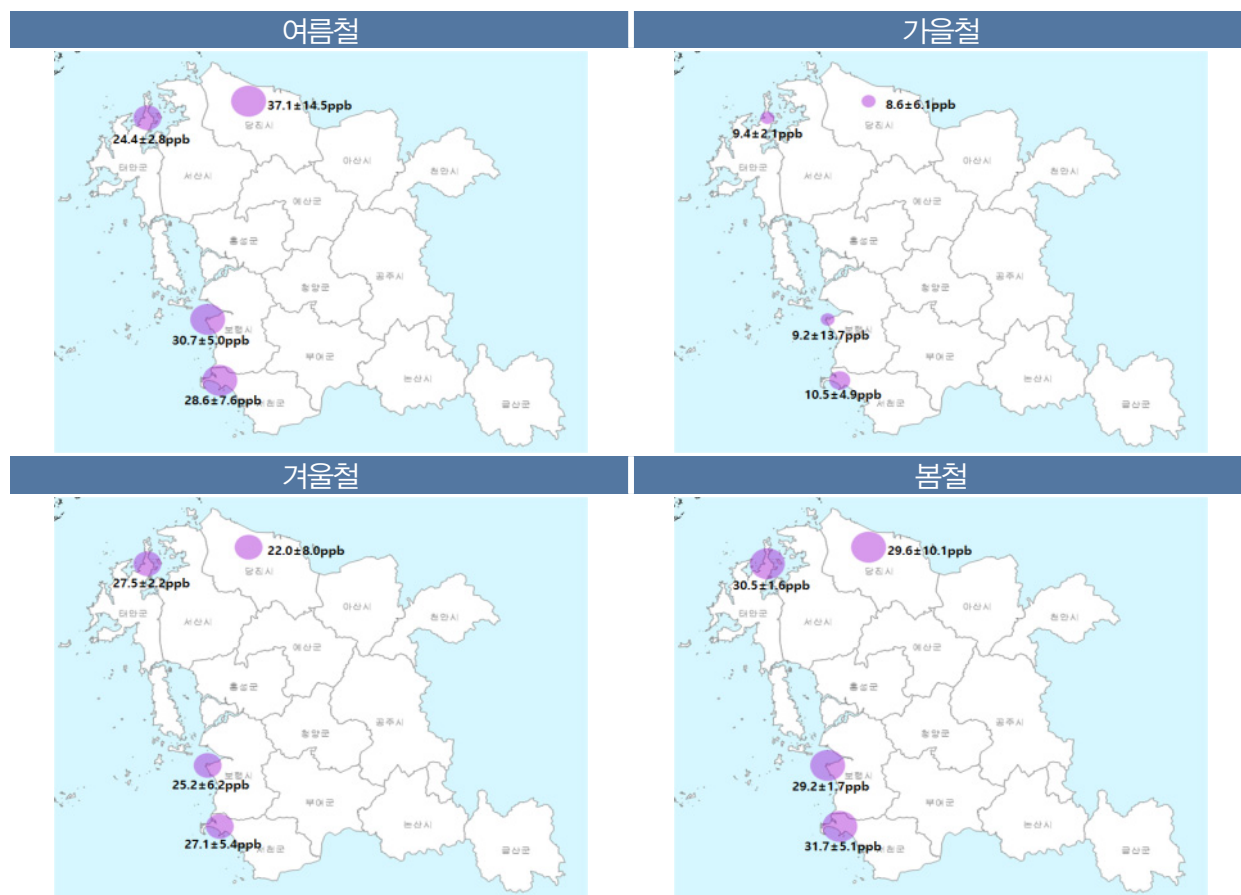
서천권역 봄철



[그림 3.8] 보령 및 서천 권역의 계절별 아황산가스 농도의 공간분포 비교

1.4.3 오존

- 4계절 동안의 권역별 평균값을 비교해 보면, 서천권역(24.5 ± 4.6 ppb) > 당진권역(24.3 ± 13.6 ppb) > 보령권역(23.6 ± 10.3 ppb) > 태안권역(23.0 ± 11.2 ppb) 순으로 높게 나타남
- 32개소의 계절별 평균값을 비교해 보면, 여름(31.5 ± 11.5 ppb) > 봄(29.9 ± 6.0 ppb) > 겨울(24.7 ± 7.9 ppb) > 가을(9.2 ± 2.3 ppb) 순으로 높게 나타남
- 계절별로 권역별 평균값을 비교해 보면, 여름철은 당진 > 보령 > 서천 > 태안, 가을철은 서천 > 태안 > 보령 > 당진, 겨울철은 태안 > 서천 > 보령 > 당진, 봄철은 서천 > 태안 > 당진 > 보령 순으로 높게 나타남



[그림 3.9] 권역별 오존 평균농도의 공간분포 비교

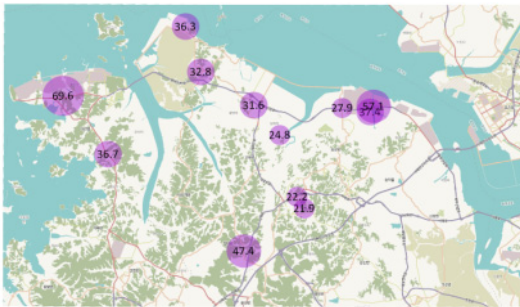
[표 3.6] 간이대기측정기를 이용한 지점별 오존 측정 결과

구분	지점 ID	측정결과(ppb)				
		여름	가을	겨울	봄	평균
당진권역	DA1	37.4	9.9	24.3	27.6	24.8
	DA2	69.6	6.7	26.0	27.2	32.4
	DA3	21.9	9.1	18.0	20.6	17.4
	DA4	36.7	11.9	27.7	40.3	29.2
	DC1	36.3	9.2	20.9	28.0	23.6
	DC2	32.8	6.0	16.3	23.7	19.7
	DC3	31.6	6.0	25.8	28.6	23.0
	DC4	22.2	7.4	14.1	27.5	17.8
	DC5	47.4	6.5	23.9	25.6	25.9
	DE1	24.8	9.3	15.9	26.5	19.1
	DE2	27.9	6.2	21.0	30.7	21.5
	DE3	57.1	15.1	29.6	48.5	37.6
	평균	37.1	8.6	22.0	29.6	24.3
태안권역	TA1	21.7	6.2	19.3	38.7	21.5
	TA2	35.8	12.7	50.2	23.1	30.5
	TA3	26.9	10.6	43.8	29.3	27.7
	TA4	19.3	10.0	22.3	33.2	21.2
	TC1	26.2	8.8	22.0	27.4	21.1
	TC2	23.5	9.6	14.4	31.4	19.7
	TC3	17.4	8.0	20.4	30.6	19.1
	평균	24.4	9.4	27.5	30.5	23.0

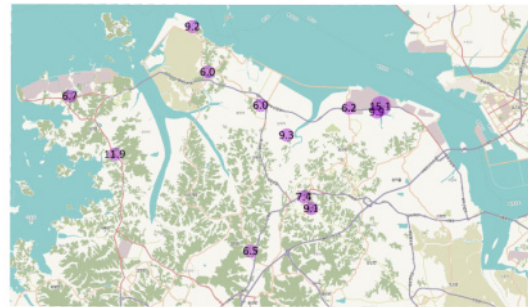
[표 3.6] 간이대기측정기를 이용한 지점별 오존 측정 결과(계속)

구분	지점 ID	측정결과(ppb)				
		여름	가을	겨울	봄	평균
보령권역	BA1	27.8	10.0	25.7	27.8	22.8
	BA2	23.9	11.9	37.9	29.3	25.8
	BC1	32.4	9.5	26.9	32.8	25.4
	BC2	25.7	9.8	24.4	25.4	21.3
	BC3	50.3	8.5	20.2	39.0	29.5
	BC4	23.3	9.0	32.0	26.2	22.6
	BC5	30.2	7.1	15.9	26.5	19.9
	BC6	26.8	5.8	23.5	36.8	23.2
	BC7	29.9	7.6	21.0	21.2	19.9
	BC8	36.3	13.1	24.1	27.3	25.2
	평균	30.7	9.2	25.2	29.2	23.6
서천권역	SA1	22.2	12.2	28.8	37.0	25.1
	SA2	23.3	9.0	27.1	26.9	21.6
	SE1	40.3	10.2	25.5	31.1	26.8
	평균	28.6	10.5	27.1	31.7	24.5
기초통계	평균	31.5	9.2	24.7	29.9	24
	최소	17.4	5.8	14.1	20.6	17
	최대	69.6	15.1	50.2	48.5	38
	표준편차	11.5	2.3	7.9	6.0	4.5

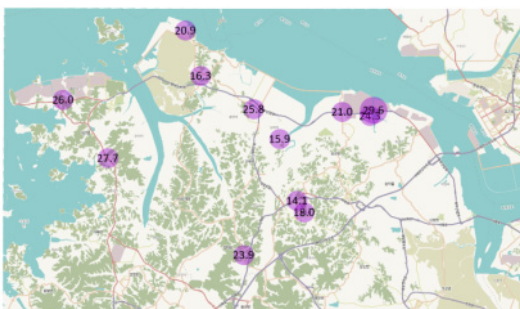
당진권역 여름철



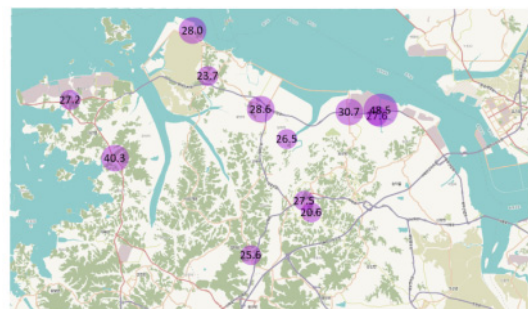
당진권역 가을철



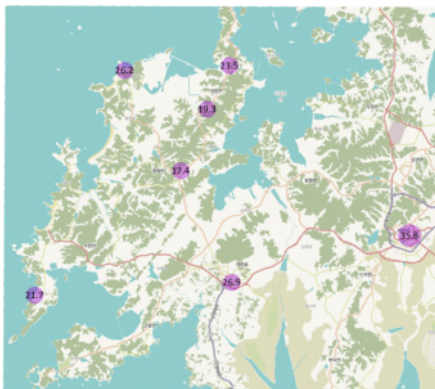
당진권역 겨울철



당진권역 봄철



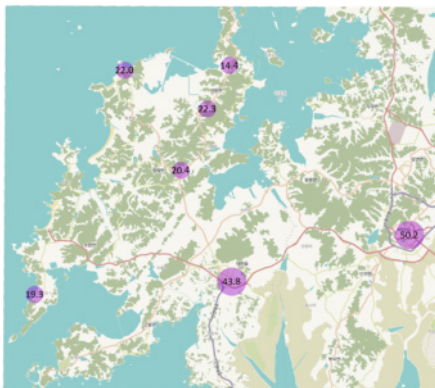
태안권역 여름철



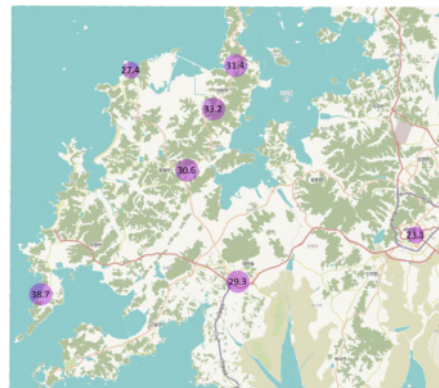
태안권역 가을철



태안권역 겨울철

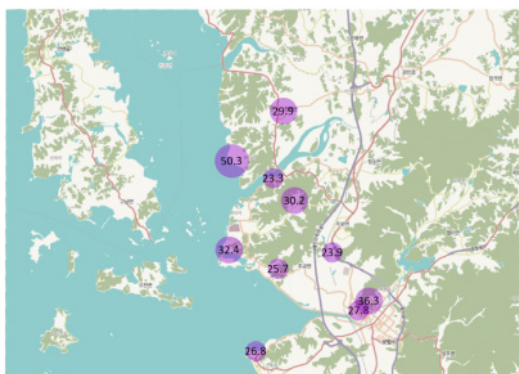


태안권역 봄철

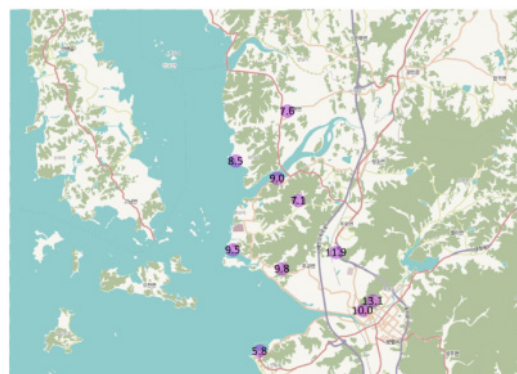


[그림 3.10] 당진 및 태안 권역의 계절별 오존 농도의 공간분포 비교

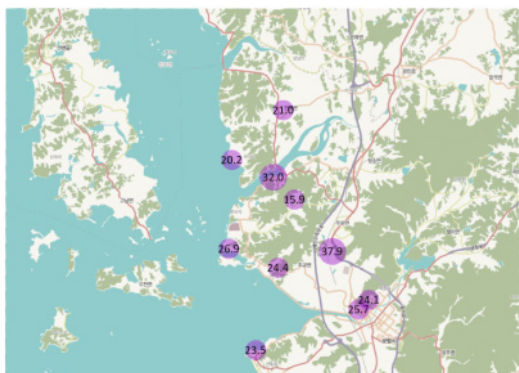
보령권역 여름철



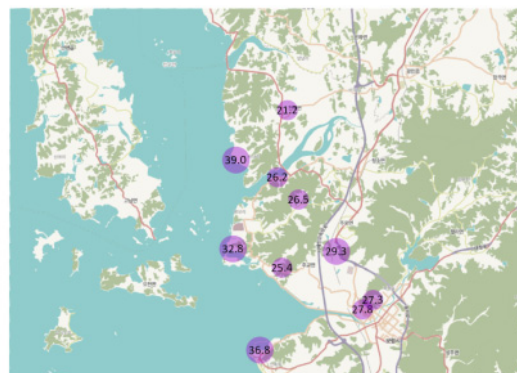
보령권역 가을철



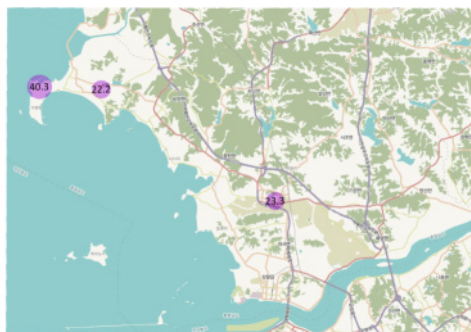
보령권역 겨울철



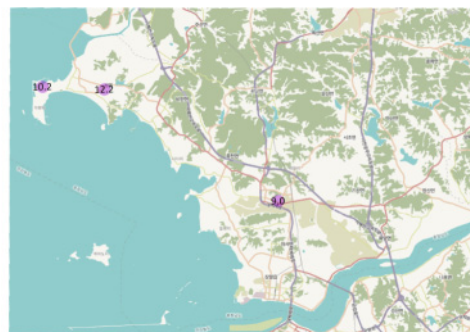
보령권역 봄철



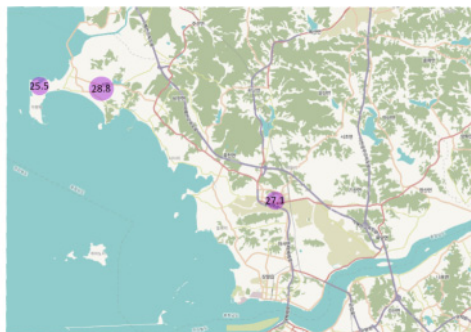
서천권역 여름철



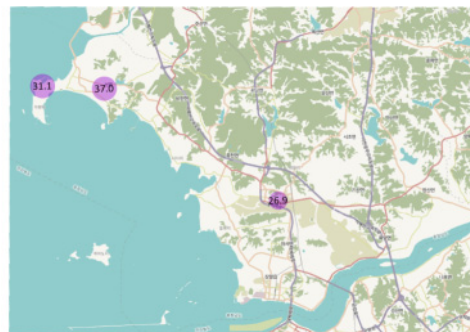
서천권역 가을철



서천권역 겨울철



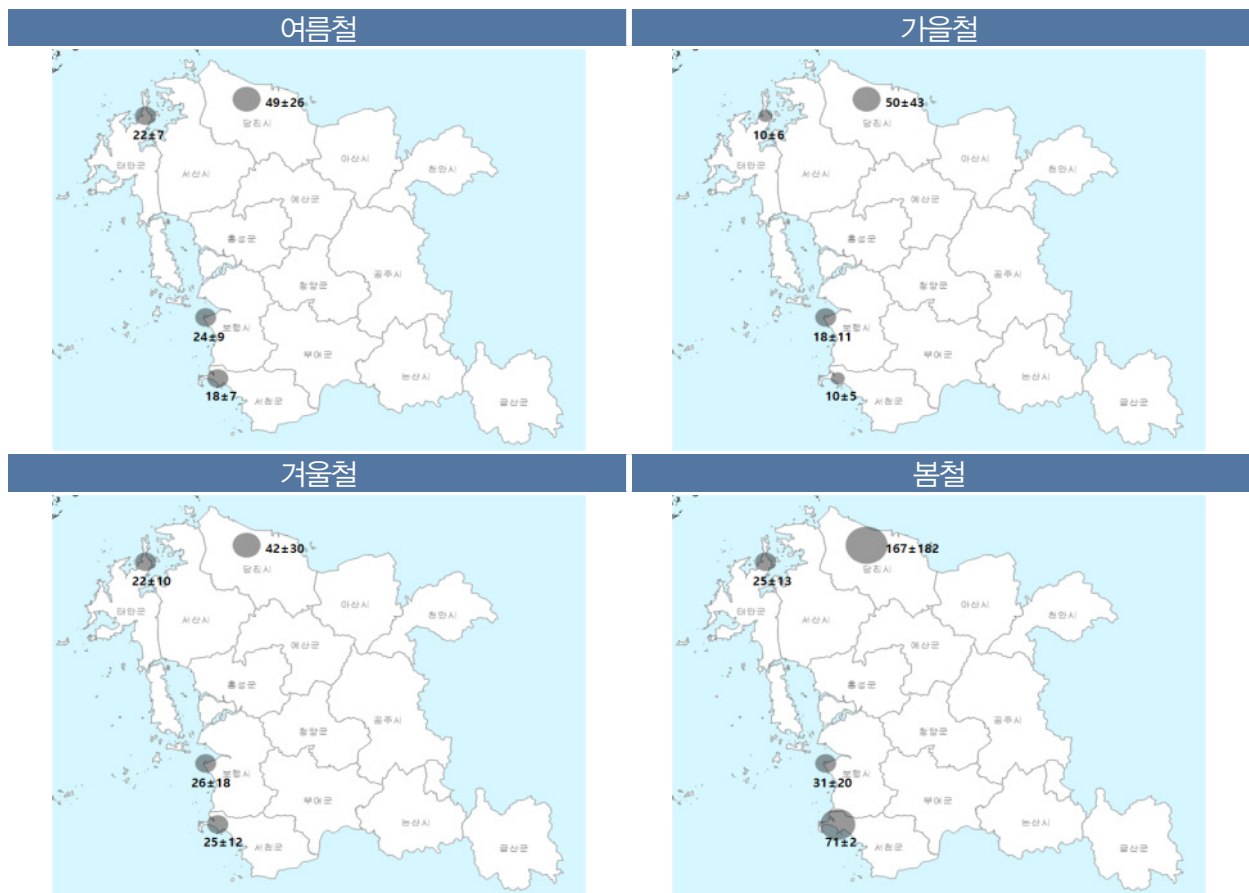
서천권역 봄철



[그림 3.11] 보령 및 서천 권역의 계절별 오존 농도의 공간분포 비교

1.4.4 총부유먼지

- 4계절 동안의 권역별 평균값을 비교해 보면, 당진권역($77 \pm 106 \text{ mNTU/cm}^2/\text{day}$) > 서천권역($31 \pm 6 \text{ mNTU/cm}^2/\text{day}$) > 보령권역($25 \pm 15 \text{ mNTU/cm}^2/\text{day}$) > 태안권역($20 \pm 11 \text{ mNTU/cm}^2/\text{day}$) 순으로 높게 나타남
- 32개소의 계절별 평균값을 비교해 보면, 봄($84 \pm 128 \text{ mNTU/cm}^2/\text{day}$) > 여름($32 \pm 21 \text{ mNTU/cm}^2/\text{day}$) > 겨울($31 \pm 23 \text{ mNTU/cm}^2/\text{day}$) > 가을($28 \pm 32 \text{ mNTU/cm}^2/\text{day}$) 순으로 높게 나타남
- 계절별로 권역별 평균값을 비교해 보면, 여름철은 당진 > 보령 > 태안 > 서천 순, 가을철, 겨울철과 봄철은 당진 > 보령 > 서천 > 태안 순으로 높게 나타남



[그림 3.12] 권역별 총부유먼지(TSP) 평균농도의 공간분포 비교

[표 3.7] 간이대기측정기를 이용한 지점별 총부유먼지 측정 결과

구분	지점 ID	측정결과(mNTU/cm2/day)				
		여름	가을	겨울	봄	평균
당진권역	DA1	57	95	25	602	195
	DA2	82	38	10	127	64
	DA3	17	11	23	81	33
	DA4	31	24	9	54	30
	DC1	77	112	12	93	74
	DC2	32	5	74	23	34
	DC3	31	22	32	85	43
	DC4	28	30	54	96	52
	DC5	36	6	28	24	24
	DE1	29	96	80	205	103
	DE2	99	117	48	138	101
	DE3	65	46	102	472	171
	평균	49	50	42	167	77
태안권역	TA1	16	5	16	19	14
	TA2	26	14	14	39	23
	TA3	19	20	29	38	27
	TA4	34	10	30	13	22
	TC1	27	7	27	8	17
	TC2	17	4	6	20	12
	TC3	15	10	32	37	24
	평균	22	10	22	25	20

[표 3.7] 간이대기측정기를 이용한 지점별 총부유먼지 측정 결과(계속)

구분	지점 ID	측정결과(mNTU/cm ² /day)				
		여름	가을	겨울	봄	평균
보령권역	BA1	37	16	39	77	42
	BA2	33	14	14	51	28
	BC1	37	26	64	22	37
	BC2	18	9	32	12	18
	BC3	22	30	9	22	21
	BC4	14	5	11	16	12
	BC5	17	6	33	28	21
	BC6	31	38	34	35	35
	BC7	17	22	10	34	21
	BC8	17	14	13	14	15
	평균	24	18	26	31	25
서천권역	SA1	25	11	12	72	30
	SA2	17	5	32	72	32
	SE1	12	15	32	68	32
	평균	18	10	25	71	31
기초통계	평균	32	28	31	84	44
	최소	12	4	6	8	12
	최대	99	117	102	602	195
	표준편차	21.3	31.8	22.9	127.4	42.9

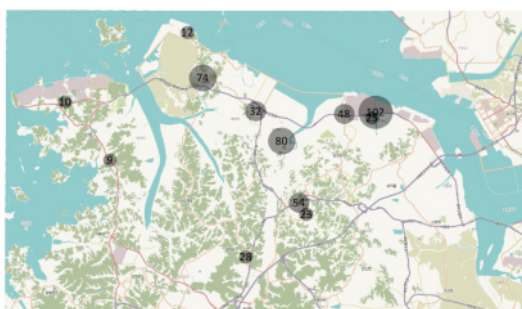
당진권역 여름철



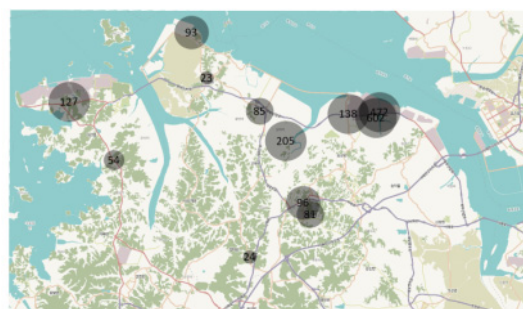
당진권역 가을철



당진권역 겨울철



당진권역 봄철



태안권역 여름철



태안권역 가을철



태안권역 겨울철

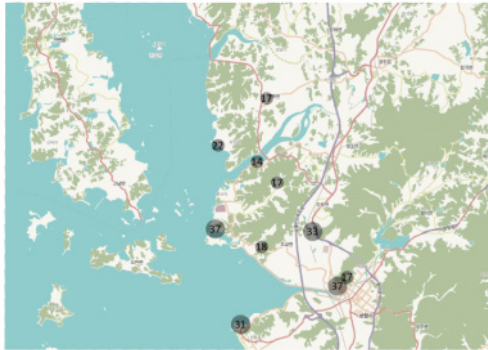


태안권역 봄철

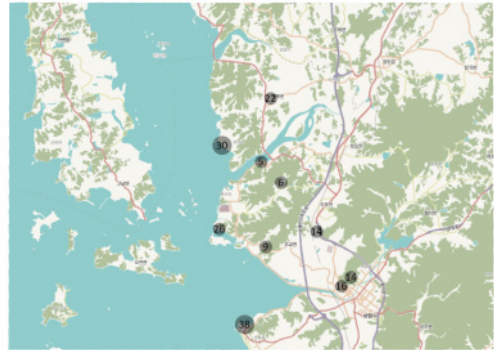


[그림 3.13] 당진 및 태안 권역의 계절별 총부유먼지 농도의 공간분포 비교

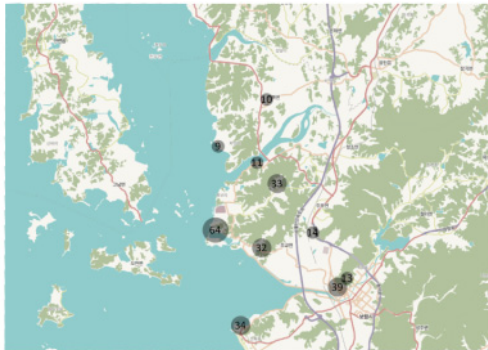
보령권역 여름철



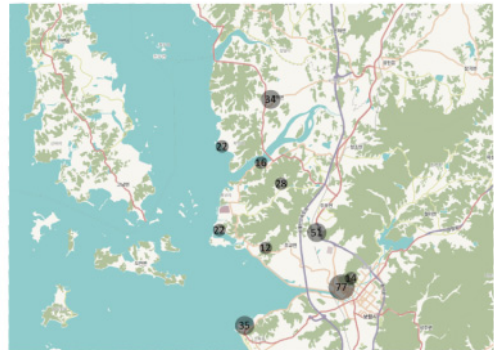
보령권역 가을철



보령권역 겨울철



보령권역 봄철



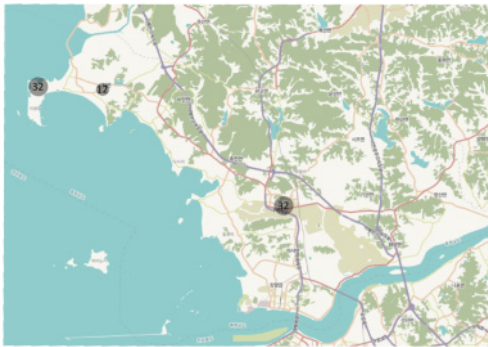
서천권역 여름철



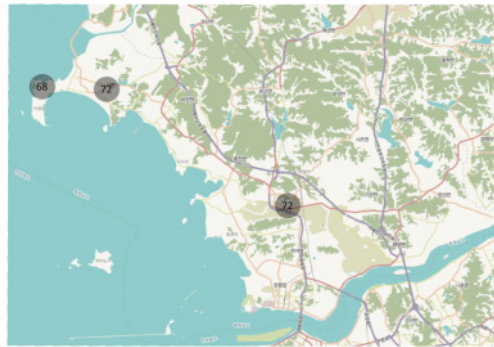
서천권역 가을철



서천권역 겨울철



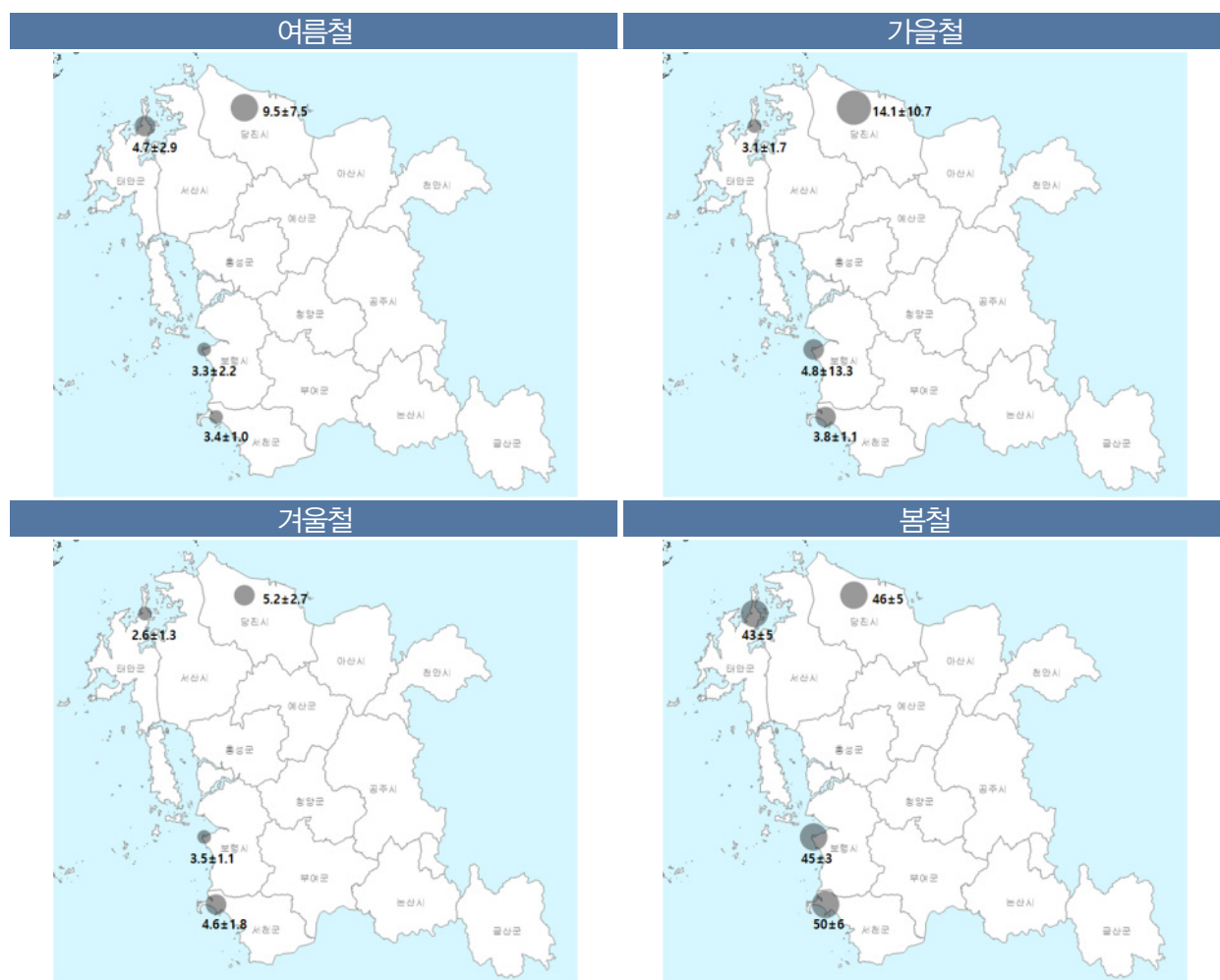
서천권역 봄철



[그림 3.14] 보령 및 서천 권역의 계절별 총부유면지 농도의 공간분포 비교

1.4.5 PM10

- 32개소의 계절별 평균값을 비교해 보면, 여름 $5.9 \pm 5.6 \text{ mg/cm}^2/\text{day}$, 가을 $7.8 \pm 8.3 \text{ mg/cm}^2/\text{day}$, 겨울 $4.1 \pm 2.2 \text{ mg/cm}^2/\text{day}$, 봄 $45 \pm 4 \mu\text{g/m}^3$ 로 나타남
(조사방법 : 여름, 가을, 겨울 - 간이대기측정기, 봄 - 광산란법 미세먼지 측정기)
- 계절별로 권역별 평균값을 비교해 보면, 여름철은 당진 > 태안 > 서천 > 보령, 가을철은 당진 > 보령 > 서천 > 태안, 겨울철은 당진 > 서천 > 보령 > 태안, 봄철은 서천 > 당진 > 보령 > 태안 순으로 높게 나타남



[그림 3.15] 권역별 PM10 평균농도의 공간분포 비교

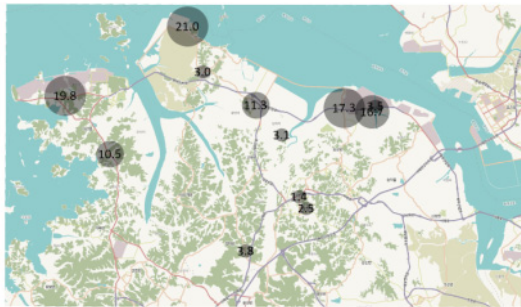
[표 3.8] 간이대기측정기를 이용한 지점별 PM10 측정 결과

구분	지점 ID	측정결과(mg/cm2/day)			($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		여름	가을	겨울	봄
당진권역	DA1	16.7	30.7	3.7	51
	DA2	19.8	12.3	3.8	39
	DA3	2.5	8.0	3.6	49
	DA4	10.5	4.9	4.1	40
	DC1	21.0	30.9	2.0	40
	DC2	3.0	3.4	4.2	—
	DC3	11.3	7.8	3.5	—
	DC4	1.4	3.4	7.4	47
	DC5	3.8	4.5	5.4	48
	DE1	3.1	27.1	12.1	50
	DE2	17.3	18.5	6.0	—
	DE3	3.5	18.2	7.1	50
	평균	9.5	14.1	5.2	46
태안권역	TA1	2.8	1.9	1.8	40
	TA2	10.1	4.9	3.5	49
	TA3	5.2	5.7	5.2	48
	TA4	5.1	2.0	2.8	43
	TC1	5.8	2.8	2.0	37
	TC2	1.9	1.0	1.8	39
	TC3	1.6	3.4	1.4	44
	평균	4.7	3.1	2.6	43

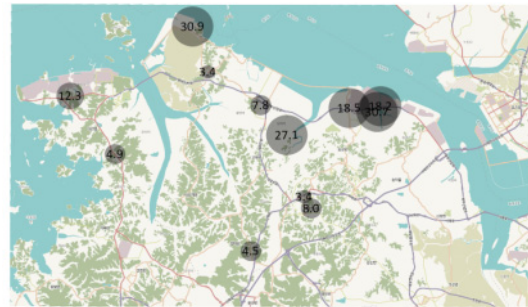
[표 3.8] 간이대기측정기를 이용한 지점별 PM10 측정 결과(계속)

구분	지점 ID	측정결과(mg/cm2/day)			($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		여름	가을	겨울	봄
보령권역	BA1	7.5	4.6	4.0	45
	BA2	3.3	1.9	2.5	—
	BC1	7.0	6.3	3.3	45
	BC2	1.3	1.8	2.3	40
	BC3	1.9	11.3	3.0	49
	BC4	3.1	2.2	3.0	47
	BC5	1.9	2.9	5.0	46
	BC6	3.0	9.3	2.5	43
	BC7	2.3	4.7	5.8	—
	BC8	1.5	3.0	3.3	47
	평균	3.3	4.8	3.5	45
서천권역	SA1	4.2	4.5	2.7	46
	SA2	3.6	4.4	6.3	54
	SE1	2.2	2.5	4.8	—
	평균	3.4	3.8	4.6	50
기초통계	평균	5.9	7.8	4.1	45
	최소	1.3	1.0	1.4	37
	최대	21.0	30.9	12.1	54
	표준편차	5.6	8.3	2.2	4

당진권역 여름철



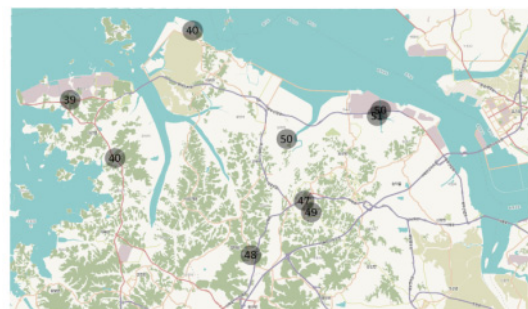
당진권역 가을철



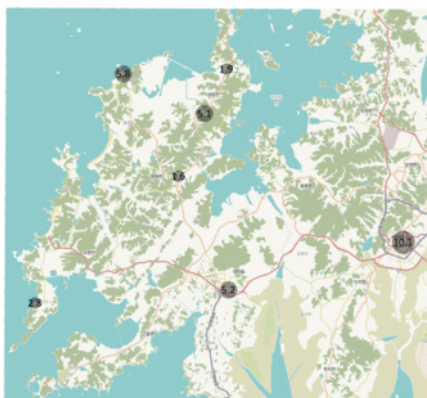
당진권역 겨울철



당진권역 봄철



태안권역 여름철



태안권역 가을철



태안권역 겨울철

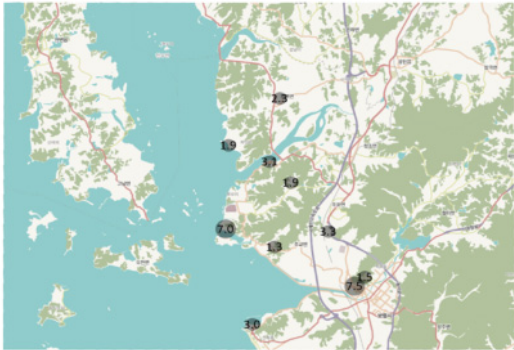


태안권역 봄철

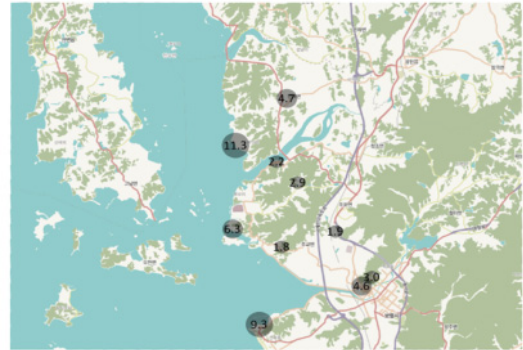


[그림 3.16] 당진 및 태안 권역의 계절별 PM10 농도의 공간분포 비교

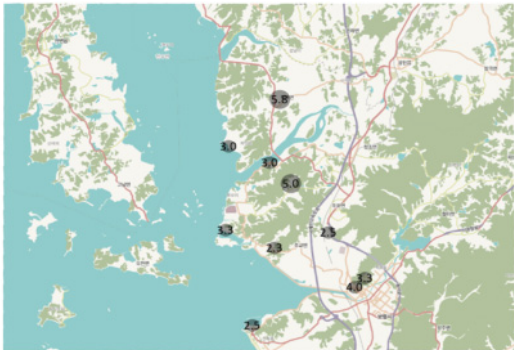
보령권역 여름철



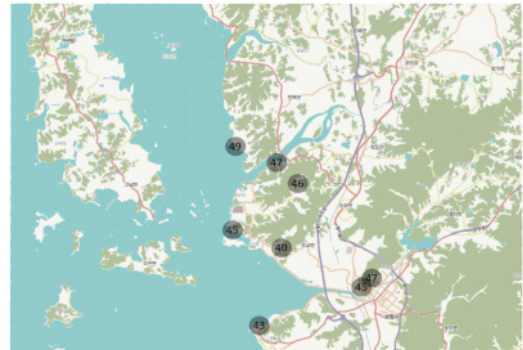
보령권역 가을철



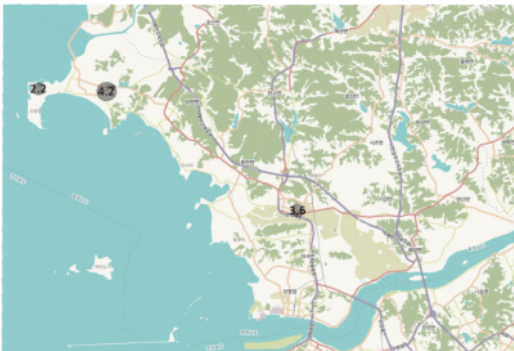
보령권역 겨울철



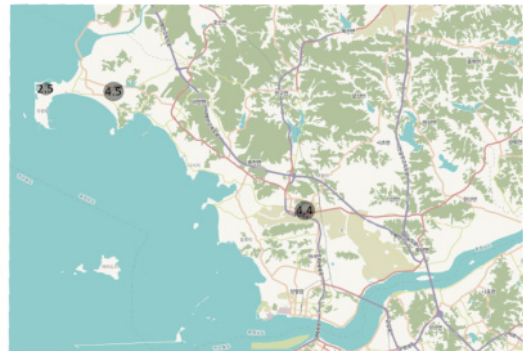
보령권역 봄철



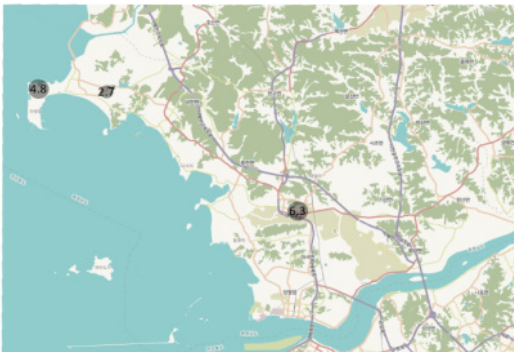
서천권역 여름철



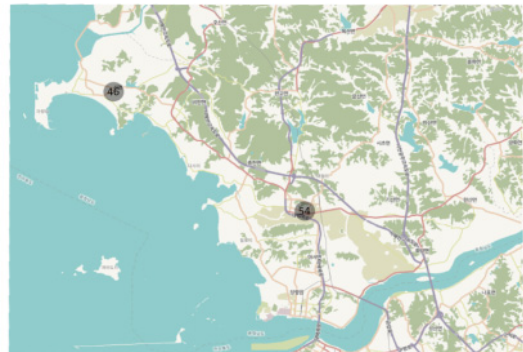
서천권역 가을철



서천권역 겨울철



서천권역 봄철



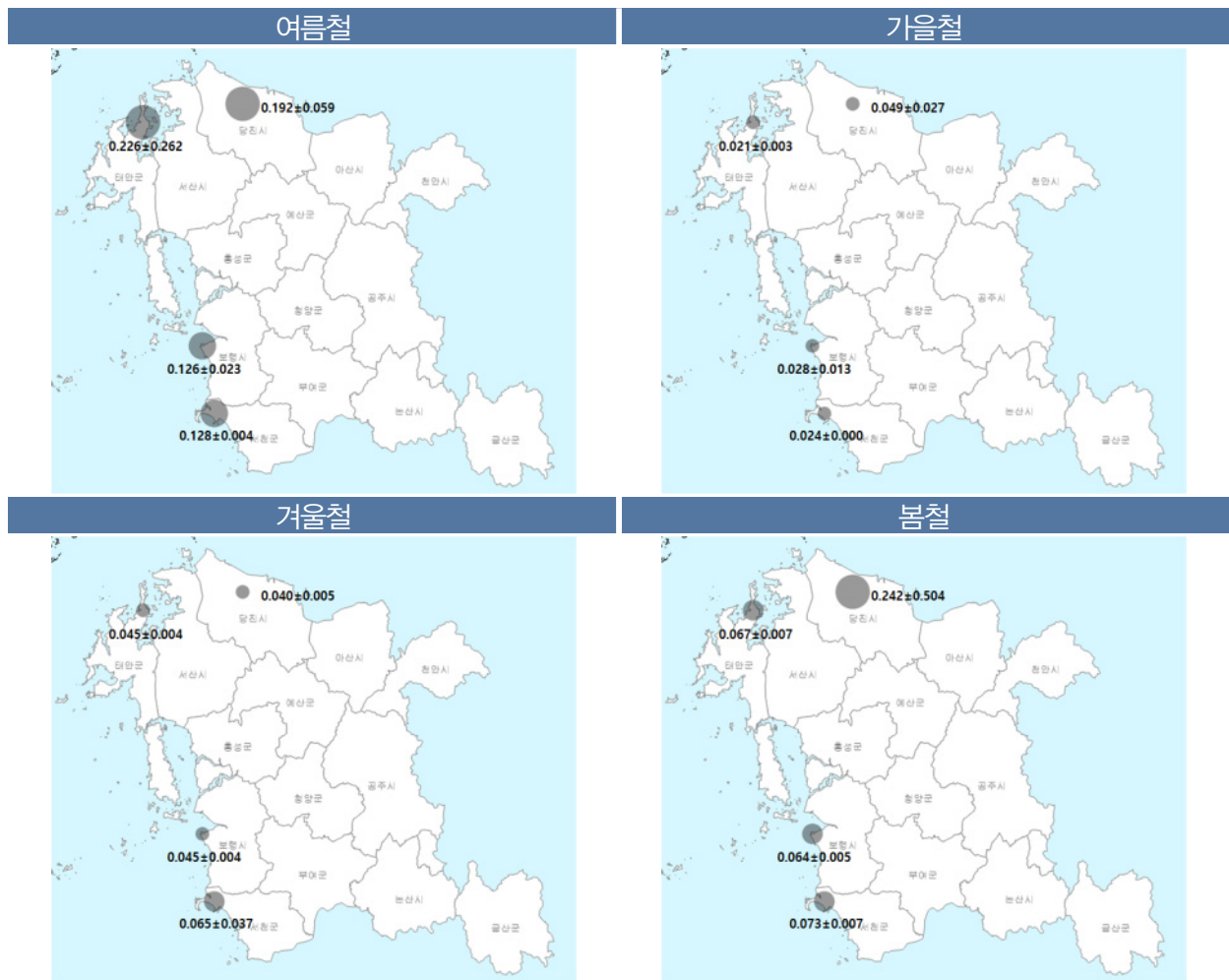
[그림 3.17] 보령 및 서천 권역의 계절별 PM10 농도의 공간분포 비교

1.4.6 중금속

- 4계절 동안의 권역별 Σ 중금속 평균값을 비교해 보면, 당진권역($0.131 \pm 0.262 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$) > 태안권역($0.090 \pm 0.148 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$) > 서천권역($0.073 \pm 0.012 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$) > 보령권역($0.066 \pm 0.040 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$) 순으로 높게 나타남
- 32개소의 계절별 Σ 중금속 평균값을 비교해 보면, 여름($0.173 \pm 0.128 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$) > 봄($0.132 \pm 0.313 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$) > 겨울($0.045 \pm 0.012 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$) > 가을($0.034 \pm 0.021 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$) 순으로 높게 나타남
- 계절별로 권역별 Σ 중금속 평균값을 비교해 보면, 여름철은 태안 > 당진 > 서천 > 보령 순, 가을철은 당진 > 보령 > 서천 > 태안, 겨울철은 서천 > 보령 > 태안 > 당진 순, 봄철은 당진 > 서천 > 태안 > 보령 순으로 높게 나타남
- 수은과 카드뮴은 4계절 모든 지점에서 불검출 되었으며, 납은 여름철에 7개소, 봄철에 1개소에서 검출되었음
- 비소는 여름철과 가을철에 32개 전 지점에서 검출되었는데, 겨울철과 봄철에는 전 지점에서 불검출됨. 여름철 평균 농도는 $0.0036 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$ 이고, 가을철 평균 농도는 $0.019 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$ 임
- 크롬은 여름철만 검출되었으며, $0.011 \sim 0.017 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$ 범위로 평균 $0.013 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$ 로 나타남
- 구리는 4계절 대부분 지점에 검출되었으며, 32개소 전체 평균 농도를 기준하여 살펴보면, 여름철($0.023 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$) > 봄철($0.011 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$) > 가을철($0.006 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$) > 겨울철($0.005 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$) 순으로 높게 나타남. 계절별로 권역별로 살펴보면, 권역별 차이는 크지 않는 것으로 나타남
- 철의 32개소 전체 평균 농도를 기준하여 살펴보면, 여름철($0.076 \mu \text{g/cm}^2/\text{day}$) > 겨

울철($0.036 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$) > 봄철($0.034 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$) > 가을철($0.015 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$) 순으로 높게 나타남. 계절별에 따른 권역별로 살펴보면, 봄철을 제외한 여름철, 가을철, 겨울철에는 당진권역이 다른 권역보다 높은 수준으로 나타남

- 망간의 경우, 일부 지점에서만 검출되었는데, 당진권역에서는 4계절 내내 검출되었고, 태안권역과 보령권역에서는 여름철과 가을철에만 검출되었고, 서천권역의 경우 가을철에만 검출됨



[그림 3.18] 권역별 2중금속 평균농도의 공간분포 비교

[표 3.9] 간이대기측정기를 이용한 지점별 총중금속 측정 결과

구분	지점 ID	측정결과(μ g/cm ² /day)				
		여름	가을	겨울	봄	평균
당진권역	DA1	0.192	0.031	0.043	1.822	0.522
	DA2	0.224	0.025	0.038	0.077	0.091
	DA3	0.172	0.042	0.037	0.065	0.079
	DA4	0.157	0.048	0.034	0.051	0.073
	DC1	0.200	0.058	0.032	0.069	0.090
	DC2	0.124	0.017	0.042	0.052	0.059
	DC3	0.182	0.044	0.045	0.063	0.084
	DC4	0.131	0.048	0.038	0.066	0.071
	DC5	0.128	0.022	0.036	0.060	0.062
	DE1	0.205	0.071	0.050	0.330	0.164
	DE2	0.324	0.117	0.040	0.063	0.136
	DE3	0.262	0.064	0.043	0.189	0.140
	평균	0.192	0.049	0.040	0.242	0.131
태안권역	TA1	0.136	0.022	0.041	0.065	0.066
	TA2	0.820	0.024	0.053	0.074	0.243
	TA3	0.130	0.019	0.043	0.065	0.064
	TA4	0.138	0.020	0.042	0.071	0.068
	TC1	0.129	0.024	0.048	0.055	0.064
	TC2	0.127	0.017	0.043	0.076	0.066
	TC3	0.105	0.024	0.048	0.061	0.060
	평균	0.226	0.021	0.045	0.067	0.090

[표 3.9] 간이대기측정기를 이용한 지점별 총중금속 측정 결과(계속)

구분	지점 ID	측정결과(μ g/cm ² /day)				
		여름	가을	겨울	봄	평균
보령권역	BA1	0.129	0.026	0.043	0.066	0.066
	BA2	0.136	0.024	0.045	0.066	0.068
	BC1	0.187	0.053	0.053	0.061	0.089
	BC2	0.111	0.051	0.043	0.062	0.067
	BC3	0.113	0.024	0.044	0.061	0.061
	BC4	0.109	0.018	0.043	0.064	0.059
	BC5	0.123	0.026	0.044	0.060	0.063
	BC6	0.127	0.020	0.041	0.066	0.064
	BC7	0.121	0.018	0.042	0.075	0.064
	BC8	0.107	0.019	0.049	0.059	0.059
	평균	0.126	0.028	0.045	0.064	0.066
서천권역	SA1	0.125	0.024	0.042	0.071	0.066
	SA2	0.127	0.024	0.108	0.067	0.082
	SE1	0.133	0.024	0.045	0.080	0.071
	평균	0.128	0.024	0.065	0.073	0.073
기초통계	평균	0.173	0.034	0.045	0.132	0.096
	최소	0.105	0.017	0.032	0.051	0.059
	최대	0.820	0.117	0.108	1.822	0.522
	표준편차	0.128	0.021	0.012	0.313	0.087

당진권역 여름철



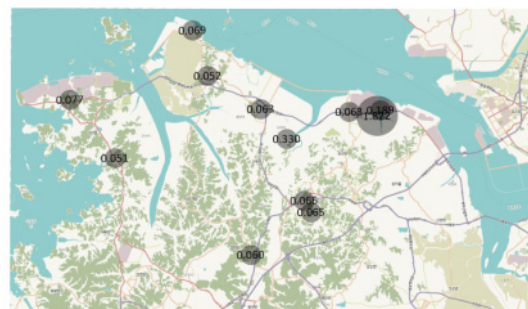
당진권역 가을철



당진권역 겨울철



당진권역 여름철



태안권역 여름철



태안권역 가을철



태안권역 겨울철

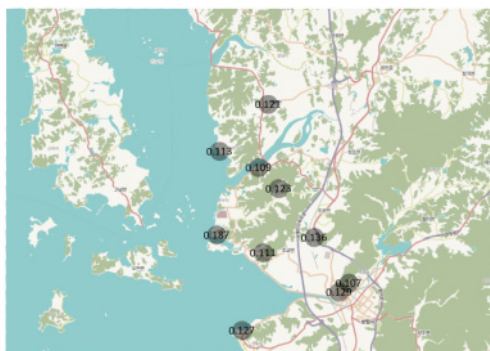


태안권역 여름철

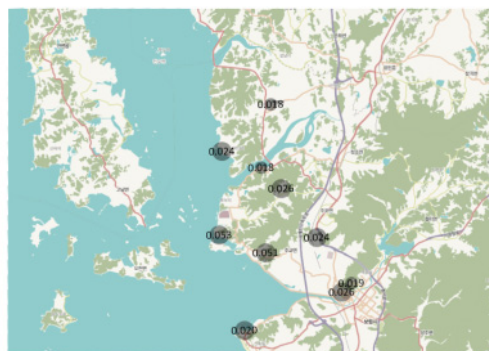


[그림 3.19] 당진 및 태안 권역의 계절별 2중금속 농도의 공간분포 비교

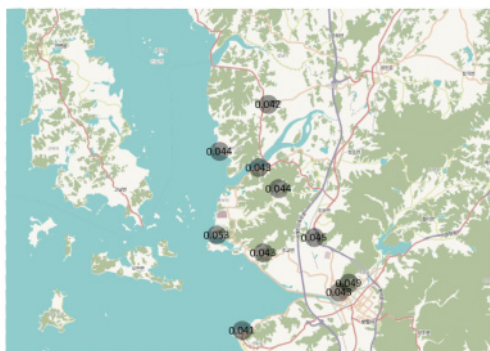
보령권역 여름철



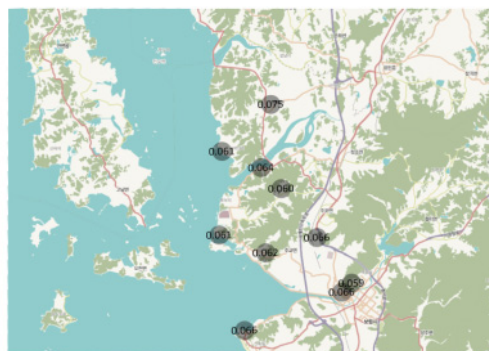
보령권역 가을철



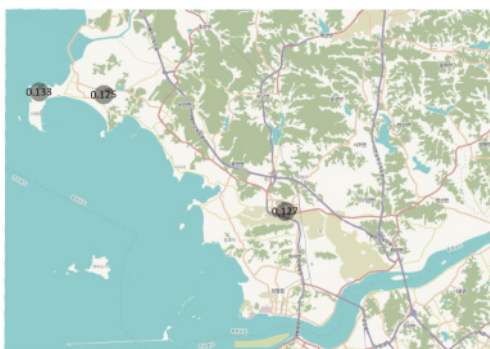
보령권역 겨울철



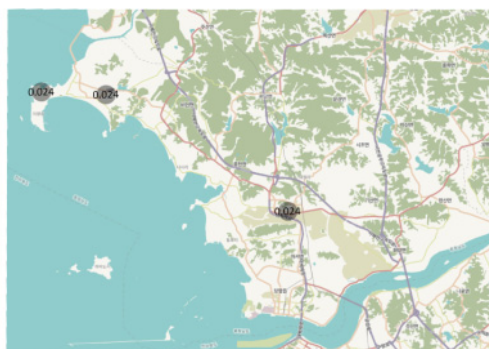
보령권역 여름철



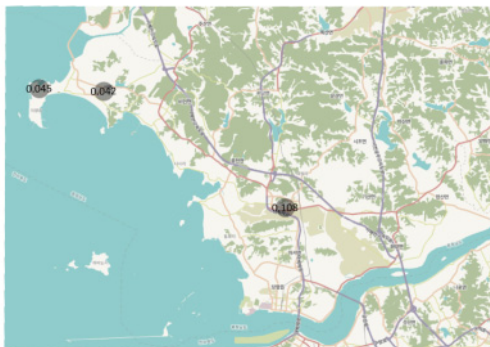
서천권역 여름철



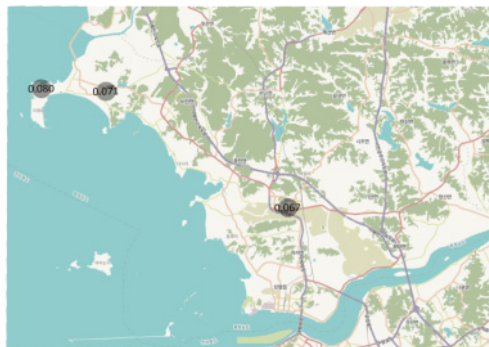
서천권역 가을철



서천권역 겨울철



서천권역 여름철



[그림 3.20] 보령 및 서천 권역의 계절별 2중금속 농도의 공간분포 비교

[표 3.10] 간이대기측정기를 이용한 지점별 여름철 중금속 측정 결과

구분	지점 ID	측정결과(μ g/cm ² /day)							
		납	비소	수은	크롬	카드뮴	구리	철	망간
발전 권역	DA1	0.003	0.030	N.D.	0.017	N.D.	0.021	0.106	0.016
	DA2	0.003	0.037	N.D.	0.017	N.D.	0.027	0.131	0.009
	DA3	N.D.	0.038	N.D.	0.017	N.D.	0.023	0.081	0.013
	DA4	N.D.	0.037	N.D.	0.012	N.D.	0.023	0.081	0.005
	DC1	0.003	0.034	N.D.	0.011	N.D.	0.034	0.114	0.003
	DC2	N.D.	0.034	N.D.	0.011	N.D.	0.019	0.055	0.004
	DC3	N.D.	0.036	N.D.	0.017	N.D.	0.043	0.084	0.002
	DC4	N.D.	0.036	N.D.	0.012	N.D.	0.020	0.064	N.D.
	DC5	N.D.	0.035	N.D.	0.011	N.D.	0.026	0.051	0.003
	DE1	N.D.	0.037	N.D.	0.017	N.D.	0.020	0.115	0.016
태안 권역	DE2	0.003	0.036	N.D.	0.017	N.D.	0.017	0.233	0.018
	DE3	N.D.	0.038	N.D.	0.017	N.D.	0.018	0.171	0.018
	평균	0.003	0.036	-	0.015	-	0.024	0.107	0.010
	TA1	0.003	0.034	N.D.	0.011	N.D.	0.026	0.062	N.D.
	TA2	N.D.	0.040	N.D.	0.011	N.D.	0.022	0.136	0.611
	TA3	N.D.	0.035	N.D.	0.011	N.D.	0.019	0.062	0.002
	TA4	N.D.	0.037	N.D.	0.017	N.D.	0.027	0.056	N.D.
	TC1	N.D.	0.035	N.D.	0.011	N.D.	0.022	0.061	N.D.
	TC2	N.D.	0.035	N.D.	0.011	N.D.	0.036	0.045	N.D.
	TC3	N.D.	0.035	N.D.	0.011	N.D.	0.014	0.045	N.D.
	평균	0.003	0.036	-	0.012	-	0.024	0.067	0.307
									중금속
									0.192
									0.224
									0.172
									0.157
									0.200
									0.124
									0.182
									0.131
									0.128
									0.205
									0.324
									0.262
									0.192
									0.136
									0.820
									0.130
									0.138
									0.129
									0.127
									0.105
									0.226

[표 3.10] 간이대기측정기를 이용한 지점별 여름철 중금속 측정 결과(계속)

구분	지점 ID	측정결과(μ g/cm ² /day)										Σ중금속
		납	비소	수은	크롬	카드뮴	구리	철	망간			
보령 권역	BA1	N.D.	0.039	N.D.	0.017	N.D.	0.022	0.051	N.D.	0.129		
	BA2	N.D.	0.034	N.D.	0.011	N.D.	0.019	0.068	0.004	0.136		
	BC1	0.004	0.036	N.D.	0.011	N.D.	0.064	0.062	0.010	0.187		
	BC2	N.D.	0.036	N.D.	0.011	N.D.	0.018	0.045	N.D.	0.111		
	BC3	N.D.	0.035	N.D.	0.011	N.D.	0.015	0.052	N.D.	0.113		
	BC4	N.D.	0.036	N.D.	0.011	N.D.	0.016	0.046	N.D.	0.109		
	BC5	N.D.	0.035	N.D.	0.011	N.D.	0.019	0.057	N.D.	0.123		
	BC6	N.D.	0.036	N.D.	0.011	N.D.	0.018	0.062	N.D.	0.127		
서천 권역	BC7	N.D.	0.038	N.D.	0.012	N.D.	0.025	0.046	N.D.	0.121		
	BC8	N.D.	0.035	N.D.	0.011	N.D.	0.015	0.045	N.D.	0.107		
	평균	0.004	0.036	—	0.012	—	0.023	0.054	0.007	0.126		
	SA1	0.004	0.034	N.D.	0.011	N.D.	0.025	0.050	N.D.	0.125		
	SA2	N.D.	0.035	N.D.	0.011	N.D.	0.020	0.061	N.D.	0.127		
	SE1	N.D.	0.035	N.D.	0.017	N.D.	0.019	0.062	N.D.	0.133		
	평균	0.004	0.035	—	0.013	—	0.021	0.058	—	0.128		
	평균	0.003	0.036	—	0.013	—	0.023	0.076	0.049	0.171		
기초 통계	최소	0.003	0.030	—	0.011	—	0.011	0.045	0.002	0.105		
	최대	0.004	0.040	—	0.017	—	0.064	0.233	0.611	0.820		
	표준편차	0.001	0.002	—	0.003	—	0.010	0.042	0.156	0.128		

[표 3.11] 간이대기측정기를 이용한 지점별 가을철 중금속 측정 결과

구분	지점 ID	측정결과(μ g/cm ² /day)								
		납	비소	수은	크롬	카드뮴	구리	철	망간	Σ중금속
당진 권역	DA1	N.D.	0.018	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.013	0.031
	DA2	N.D.	0.018	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	N.D.	0.003	0.025
	DA3	N.D.	0.017	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.025	N.D.	0.042
	DA4	N.D.	0.017	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.031	N.D.	0.048
	DC1	N.D.	0.018	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.037	0.003	0.058
	DC2	N.D.	0.017	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.017
	DC3	N.D.	0.018	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.026	N.D.	0.044
	DC4	N.D.	0.018	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.024	0.006	0.048
	DC5	N.D.	0.017	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	0.022
	DE1	N.D.	0.018	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.037	0.017	0.071
	DE2	N.D.	0.021	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	0.080	0.011	0.117
	DE3	N.D.	0.018	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.037	0.009	0.064
	평균	—	0.018	—	—	—	0.005	0.037	0.008	0.049
태안 권역	TA1	N.D.	0.018	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	N.D.	N.D.	0.022
	TA2	N.D.	0.019	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	N.D.	N.D.	0.024
	TA3	N.D.	0.019	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.019
	TA4	N.D.	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.020
	TC1	N.D.	0.018	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	N.D.	N.D.	0.024
	TC2	N.D.	0.017	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.017
	TC3	N.D.	0.019	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	N.D.	N.D.	0.024
	평균	—	0.019	—	—	—	0.005	—	—	0.021

[표 3.11] 간이대기측정기를 이용한 지점별 가을철 중금속 측정 결과(계속)

구분	지점 ID	측정결과($\mu\text{g/cm}^2/\text{day}$)							
		납	비소	수은	크롬	카드뮴	구리	철	망간
보령 권역	BA1	N.D.	0.019	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	N.D.	N.D.
	BA2	N.D.	0.019	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	N.D.	N.D.
	BC1	N.D.	0.019	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	0.028	N.D.
	BC2	N.D.	0.017	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.034	N.D.
	BC3	N.D.	0.019	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	N.D.	N.D.
	BC4	N.D.	0.018	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	BC5	N.D.	0.019	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	N.D.	N.D.
	BC6	N.D.	0.020	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
서천 권역	BC7	N.D.	0.018	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	BC8	N.D.	0.019	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	평균	-	0.019	-	-	-	0.006	0.031	-
	SA1	N.D.	0.019	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	N.D.	N.D.
	SA2	N.D.	0.019	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	N.D.	N.D.
	SE1	N.D.	0.019	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	N.D.	N.D.
	평균	-	0.019	-	-	-	0.005	-	-
	평균	-	0.018	-	-	-	0.005	0.036	0.008
기초 통계	최소	-	0.017	-	-	-	0.005	0.024	0.003
	최대	-	0.021	-	-	-	0.006	0.080	0.017
	표준편차	-	0.001	-	-	-	0.001	0.016	0.005

[표 3.12] 간이대기측정기를 이용한 지점별 겨울철 중금속 측정 결과

구분	지점 ID	측정결과($\mu\text{ g/cm}^2\text{/day}$)								
		납	비소	수은	크롬	카드뮴	구리	철	망간	Σ중금속
당진 권역	DA1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.012	0.032	N.D.	0.043
	DA2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	0.032	N.D.	0.038
	DA3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.007	0.030	N.D.	0.037
	DA4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.008	0.026	N.D.	0.034
	DC1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	0.026	N.D.	0.032
	DC2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.010	0.032	N.D.	0.042
	DC3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.013	0.031	N.D.	0.045
	DC4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.009	0.029	N.D.	0.038
	DC5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.008	0.028	N.D.	0.036
	DE1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.007	0.031	0.011	0.050
태안 권역	DE2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.009	0.032	N.D.	0.040
	DE3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.009	0.032	0.003	0.043
	평균	-	-	-	-	-	0.009	0.030	0.007	0.040
	TA1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.007	0.034	N.D.	0.041
	TA2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.007	0.046	N.D.	0.053
	TA3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.009	0.034	N.D.	0.043
	TA4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.008	0.035	N.D.	0.042
	TC1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.009	0.039	N.D.	0.048
	TC2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.008	0.035	N.D.	0.043
	TC3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.008	0.040	N.D.	0.048
평균	-	-	-	-	-	0.008	0.037	-	0.045	

[표 3.12] 간이대기측정기를 이용한 지점별 겨울철 중금속 측정 결과(계속)

구분	지점 ID	측정결과(μ g/cm ² /day)								
		납	비소	수은	크롬	카드뮴	구리	철	망간	Σ중금속
보령 권역	BA1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.009	0.034	N.D.	0.043
	BA2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.011	0.034	N.D.	0.045
	BC1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.008	0.045	N.D.	0.053
	BC2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.009	0.034	N.D.	0.043
	BC3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.010	0.034	N.D.	0.044
	BC4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.009	0.034	N.D.	0.043
	BC5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.010	0.034	N.D.	0.044
	BC6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.007	0.034	N.D.	0.041
서천 권역	BC7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.008	0.034	N.D.	0.042
	BC8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.009	0.040	N.D.	0.049
	평균	—	—	—	—	—	0.009	0.036	—	0.045
	SA1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.008	0.034	N.D.	0.042
	SA2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.074	0.034	N.D.	0.108
	SE1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.011	0.034	N.D.	0.045
	평균	—	—	—	—	—	0.031	0.034	—	0.065
	평균	—	—	—	—	—	0.011	0.034	0.007	0.044
기초 통계	최소	—	—	—	—	—	0.006	0.026	0.003	0.028
	최대	—	—	—	—	—	0.074	0.046	0.011	0.108
	표준편차	—	—	—	—	—	0.012	0.004	0.006	0.012

[표 3.13] 간이대기측정기를 이용한 지점별 봄철 중금속 측정 결과

구분	지점 ID	측정결과($\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$)							
		납	비소	수은	크롬	카드뮴	구리	철	망간
발전 권역	DA1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.009	1.707	0.106
	DA2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.004	0.064	0.009
	DA3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	0.050	0.009
	DA4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.047	0.004
	DC1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	0.058	0.006
	DC2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	0.047	N.D.
	DC3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	0.052	0.006
	DC4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.004	0.054	0.008
	DC5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	0.052	0.003
	DE1	0.003	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.007	0.246	0.073
태안 권역	DE2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	0.053	0.004
	DE3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	0.171	0.014
	평균	0.003	-	-	-	-	0.006	0.217	0.022
	TA1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.008	0.057	N.D.
	TA2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.008	0.063	0.003
	TA3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.062	0.003
	TA4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	0.064	0.003
	TC1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	0.050	N.D.
	TC2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	0.070	N.D.
	TC3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.057	0.005
	평균	-	-	-	-	-	0.006	0.060	0.003
									중금속
									1.822
									0.077
									0.065
									0.051
									0.069
									0.052
									0.063
									0.066
									0.060
									0.330
									0.063
									0.189
									0.242
									0.065
									0.074
									0.065
									0.071
									0.055
									0.076
									0.061
									0.067

[표 3.13] 간이대기측정기를 이용한 지점별 봄철 중금속 측정 결과(계속)

구분	지점 ID	측정결과(μ g/cm ² /day)									
		납	비소	수은	크롬	카드뮴	구리	철	망간	Σ중금속	
보령 권역	BA1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	0.057	0.004	0.066	
	BA2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	0.057	0.004	0.066	
	BC1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.007	0.051	0.003	0.061	
	BC2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	0.057	N.D.	0.062	
	BC3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.007	0.051	0.003	0.061	
	BC4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	0.051	0.007	0.064	
	BC5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	0.051	0.004	0.060	
	BC6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	0.057	0.003	0.066	
서천 권역	BC7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.009	0.057	0.010	0.075	
	BC8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	0.051	0.002	0.059	
	평균	-	-	-	-	-	0.006	0.054	0.005	0.064	
	SA1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	0.062	0.004	0.071	
	SA2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.062	0.005	0.067	
	SE1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.007	0.068	0.005	0.080	
	평균	-	-	-	-	-	0.006	0.064	0.005	0.073	
	평균	-	-	-	-	-	0.006	0.015	0.011	0.130	
기초 통계	최소	-	-	-	-	-	0.004	0.047	0.002	0.051	
	최대	-	-	-	-	-	0.009	1.707	0.106	1.822	
	표준편차	-	-	-	-	-	0.001	0.293	0.023	0.313	

1.5 광산란법 PM10 측정기를 이용한 조사

- 최근 국민적 관심사인 미세먼지에 대해 공간해상도 향상 및 실시간 자료를 확보하고자 저렴한 비용과 비전문가도 접근할 수 있는 광산란 방식의 미세먼지 센서를 이용하여 자체적으로 미세먼지 측정기를 제작하여 활용함
- 대기오염공정시험기준의 총칙 1.4에서는 ‘이 시험법에 규정한 방법이 분석화학적으로 반드시 최고의 정밀도와 정확도를 갖는다고는 할 수 없으며 공정시험기준 이외의 방법이라도 측정결과가 같거나 그 이상의 정확도가 있다고 국내외에서 공인된 방법은 이를 사용할 수 있다.’ 라고 언급되어 있음
- 국가 및 지자체에서 운영하는 대기오염측정망에 사용되는 미세먼지 측정방법의 경우 대부분 베타선법의 측정기로써 고가로 인하여 많은 수량을 운영하기에는 한계가 있으며, 비전문가 사용하기에도 어려움이 있음
- 이에, 비교적 저렴하고 비전문가도 접근할 수 있는 광산란법 미세먼지 센서를 이용하여 연구진 자체적으로 광산란법 미세먼지 측정기를 제작하여 평가 및 조사를 진행하였음
- 사용한 미세먼지는 센서는 PMS 7003M으로 PM1.0, PM2.5, PM10을 동시에 측정할 수 있으며, 측정 간격은 1초 단위로도 가능함(본 조사에서는 자료의 양을 고려하여 5분 간격으로 측정 결과를 저장하게 설정하였음)
- 총 32대를 제작하였으며, 측정 지점은 간이대기측정기를 이용한 대기질 조사 지점과 동일한 32개소(태안 7개소, 당진 12개소, 서천 3개소, 보령 10개소)이며, 측정 기간은 2019년 2월 26일부터 3월 8일까지 11일간임



[그림 3.21] 평가에 사용된 광산란법 PM10 센서 및 현장 설치 모습

1.5.1 광산란법 미세먼지 측정기의 등가성 평가 및 측정기 간 교정

- 광산란법 미세먼지 측정기의 성능 검증 및 32대 측정기 간 편차가 있을 수 있기에 이를 최소화하기 위하여 등가성 평가 및 측정기 간 교정 실시함
- 등가성 평가는 대기오염공정시험기준의 ES 01605.1(환경대기 중 미세먼지 자동측정법)에 준하여 2019년 3월 11월부터 3월 15일까지 5일간 사전 등가성 평가가 완료된 베타선법 미세먼지 측정기(E-BAM, 베타레이)를 기준하여 광산란법 미세먼지 측정기를 평가함
- 베타선법 미세먼지 측정기 1대와 광산란법 미세먼지 측정기 33대에 대해 등가성 평가와 광산란법 미세먼지 측정기 간 교정을 실시함
 - CN01(1대) : 대표 광산란법 PM10 측정기
 - TA1 ~ BC8(32대) : 대기질 조사와 민간 대기오염측정소의 정도 평가를 위한 광산란법 PM10 측정기(T : 태안권역, D : 당진권역, S : 서천권역, B : 보령권역)

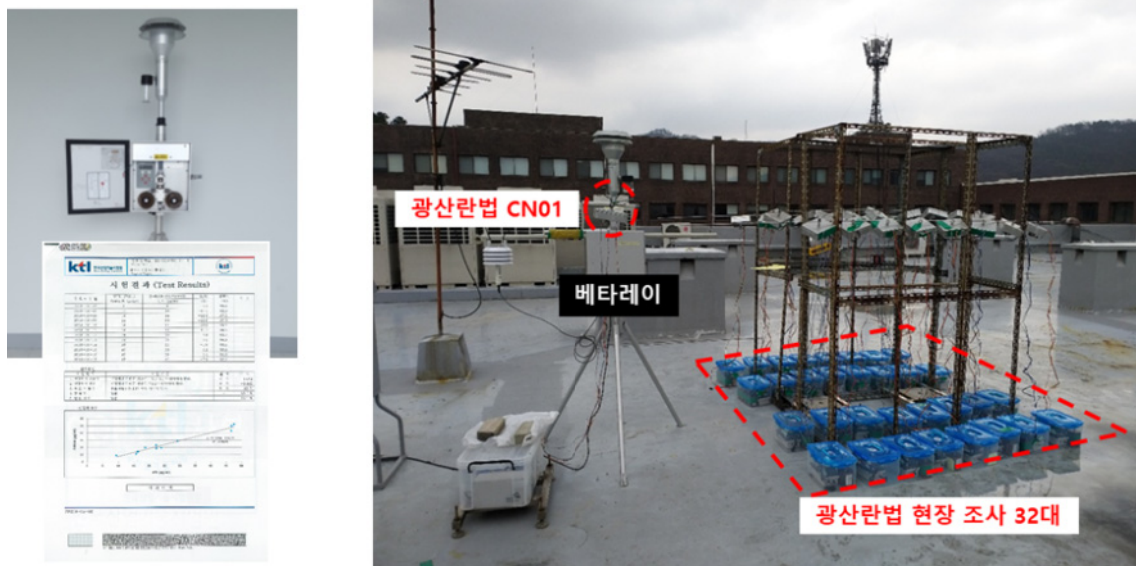
6.3 등가성 평가

6.3.1 현장 등가성 평가는 국가기준측정시스템과 비교 측정하여 성능을 검증받은 중량농도법 측정기 (Class I, 1대)와 검증대상 자동측정기 (Class II, 1대)를 동시에 비교 측정하고, 자동측정기에서 측정된 일평균 ((24 ± 1)시간) 자료를 산술평균하여 중량농도법 측정치와 비교 분석하도록 한다.

6.3.2 신규 또는 교체하는 자동측정기는 중량농도법과 비교측정을 통해 등가성을 확인하여야 한다. 일평균자료 (베타선법)와 중량농도법 측정자료 최소 10 일 이상을 대상으로 상관 직선을 최소제곱법으로 구하여 기울기의 범위가 0.9 ~ 1.1, 절편의 값은 -5.0 ~ 5.0 이어야 한다. 등가성 평가 후 교정용 스펠필름을 삽입하여 10 분 동안 측정기를 안정화 한 뒤에 농도값을 읽어 기록한다.

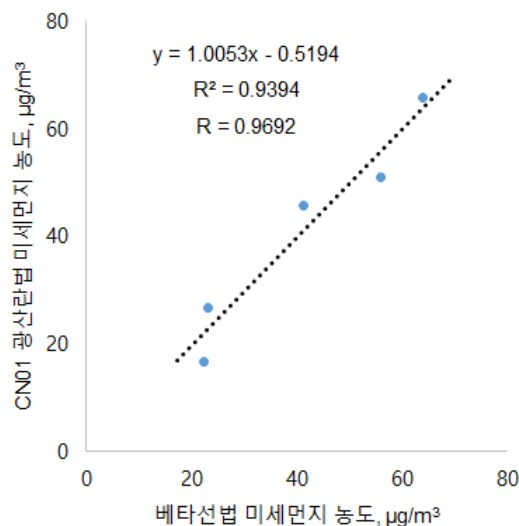
6.3.3 상시 운영되는 베타선 자동측정기는 10 일/년 이상 중량농도법과 동시에 비교 측정하여 등가성을 확인하여야 한다. 장비의 이동 및 수리 등 급격한 변동 시에는 정밀교정을 하여야 한다.

[그림 3.22] ES 01605.1(환경대기 중 미세먼지 자동측정법) 내의 등가성 평가 내용



[그림 3.23] 광산란법 PM10 측정기의 성능 평가

- 베타선법 측정기의 경우 1시간 당 1개의 측정 자료가 나오며, 광산란법 PM10 측정기의 경우 5분마다 1개의 측정 자료가 나옴. ES 01605.1 에서는 자동측정기에서 측정된 자료는 일평균 자료를 산술평균하도록 되어 있기에, 베타선법 측정기(n=12)와 광산란법 PM10 측정기(n=288)의 결과에 대한 비교 및 분석은 산술평균을 통한 일평균 자료를 활용하였음
- 베타선법 측정기와 대표 광산란법 측정기(CN01)의 등가성 평가 결과, 기울기는 1.0053로 ES 01605.1 범위(0.9 ~ 1.1)를 만족하며, Y절편은 -0.5194로 ES 01605.1 범위(-5.0 ~ 5.0)를 만족하기에 자체 제작한 광산란법 PM10 측정기에 대한 신뢰성이 있다고 판단됨



[그림 3.24] 베타선법과 광산란법 PM10 측정기의 등가성 평가 결과

- 대표 광산란법 PM10 측정기와 대기질 조사 및 민간 대기오염측정소 자료 검정을 위한 광산란법 PM10 측정기의 비교 · 분석은 산술평균을 통한 시간 자료를 활용하였음
- 대표 광산란법 PM10 측정기(CN01)와 대기질 조사 및 민간 대기오염측정소 자료 검정을 위한 광산란법 PM10 측정기(TA1 ~ BC8) 간의 기울기는 1.21 ~ 1.58 수준으로 대기질 조사 및 민간 대기오염측정소 자료 검정용 광산란법 PM10 측정기가 높은 결과이지만, 상관계수가 0.9 이상으로 양호한 상관관계로 평가됨

[표 3.14] 대표 광산란법 측정기와 현장 조사용 광산란법 측정기 간 상관관계 분석 결과

당진권역		DA1	DA2	DA3	DA4	DC1	DC2	DC3
	기울기	1.29	1.37	1.36	1.27	1.35	1.43	1.51
	상관계수	0.9867	0.9885	0.9921	0.9841	0.9885	0.9880	0.9887
		DC4	DC5	DE1	DE2	DE3		
	기울기	1.36	1.32	1.27	1.37	1.37		
태안권역	상관계수	0.9829	0.9878	0.9552	0.9899	0.9889		
		TA1	TA2	TA3	TA4	TC1	TC2	TC3
	기울기	1.22	1.40	1.37	1.41	1.37	1.40	1.58
보령권역	상관계수	0.9814	0.9893	0.9863	0.9838	0.9858	0.9891	0.9942
		BA1	BA2	BC1	BC2	BC3	BC4	BC5
	기울기	1.51	1.41	1.31	1.27	1.33	1.30	1.25
	상관계수	0.9854	0.9876	0.9863	0.9846	0.9815	0.9867	0.9864
		BC6	BC7	BC8				
서천권역	기울기	1.48	1.21	1.44				
	상관계수	0.9852	0.9501	0.9881				
		SA1	SA2	SE1				
	기울기	1.41	1.33	1.41				
서천권역	상관계수	0.9842	0.9873	0.9877				

- 공간분포적인 대기오염도와 민간 대기오염측정소 자료 평가 시, 32대 광산란법 미세먼지 측정기의 최종 측정 결과는 32대와 대표 광산란법 미세먼지 측정기와의 관계 및 베타레이 측정기와의 등가성 평가 결과를 상호 보정한 자료를 활용하여 비교·분석하였음

1.5.2 광산란법 PM10 측정기의 측정 결과

- PM10 일평균 농도를 기준으로 2019년 2월 27일부터 3월 7일까지의 평균값을 비교해 보면, 서천 > 보령 > 당진 > 태안 순으로 높게 나타남
- 최대 최소 농도의 차는 서천 > 보령 > 태안 > 당진 순으로 크며, 최대 농도는 3월 1일 서천권역으로 나타남
- 4개 권역 모두 2월 28일부터 미세먼지 농도가 높아지다가 3월 3일에 낮고, 다시 높아졌다가 3월 5일 가장 높은 농도 이후 다시 낮아짐

[표 3.15] 광산란법 미세먼지 측정기를 이용한 미세먼지 측정 결과

구 분	측정결과($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	당진권역	태안권역	보령권역	서천권역
02/27	64	50	64	69
02/28	110	131	142	142
03/01	140	142	180	220
03/02	156	135	134	142
03/03	116	99	117	96
03/04	145	152	151	145
03/05	158	161	178	202
03/06	122	123	122	104
03/07	58	50	65	70
평균	119	116	128	132
최소	58	50	64	69
최대	158	161	180	220
최대-최소	101	111	117	150



[그림 3.25] 광산란법 PM10 측정기를 이용한 측정 결과

2. 민간 대기오염측정소의 자료 분석

- 민간 대기오염측정소 17개소의 2018년도 측정 결과를 살펴보고자, 충청남도 지역 내 일반대기오염측정망(도시대기, 교외대기) 총 30개소(2018년 확정자료)의 평균값을 이용하여 비교·분석하였음

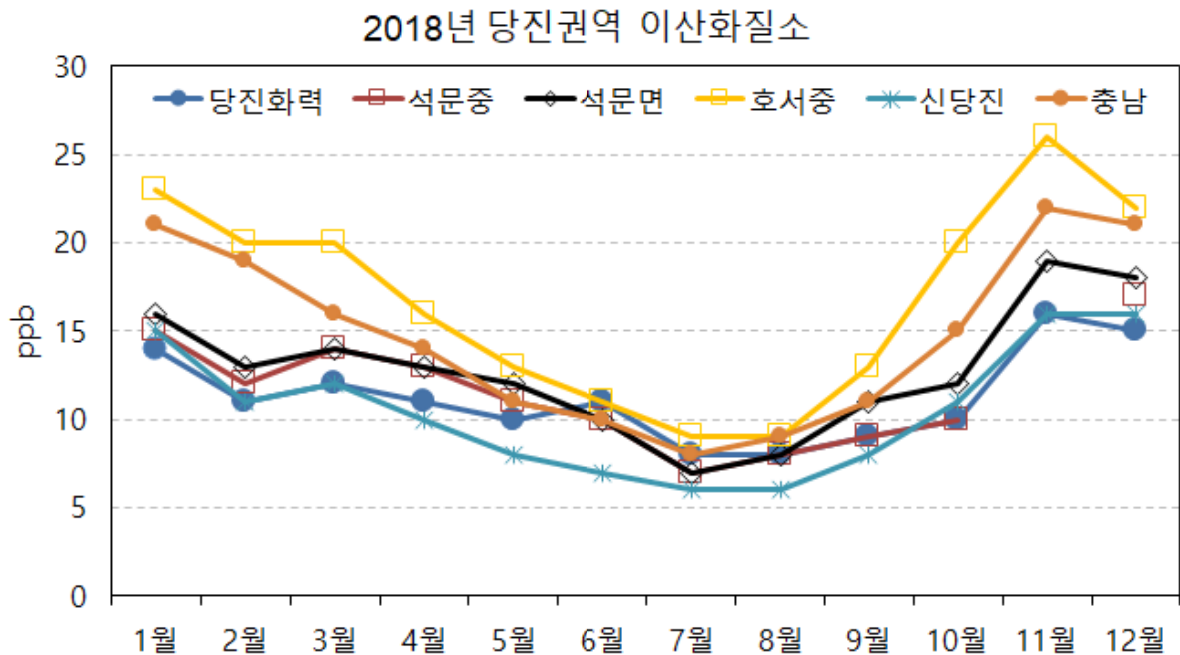
[표 3.16] 민간 대기오염측정소 및 일반대기오염측정망 현황

구 분	민간 대기오염측정소			일반대기오염측정망		
	당진	태안	보령	도시	도로변	교외
수(개소)	5	3	9	28		2
지점명	당진화력, 석문중, 석문면, 호서중, 신당진 변전소	학암포, 원북면, 이원면	신흥, 천북, 교성, 송학, 죽정, 오포, 오천, 학성, 원산	공주, 논산, 당진시청사, 대산리, 대천2동, 금산읍, 도고면, 독곶리, 동문동, 둔포면, 모종동, 배방읍, 백석동, 부여읍, 서면, 서천읍, 성거읍, 성황동, 송산면, 엄사면, 예산군, 이원면, 인주면, 주교면, 청양읍, 태안읍, 홍성읍	성성동	사곡면, 파도리

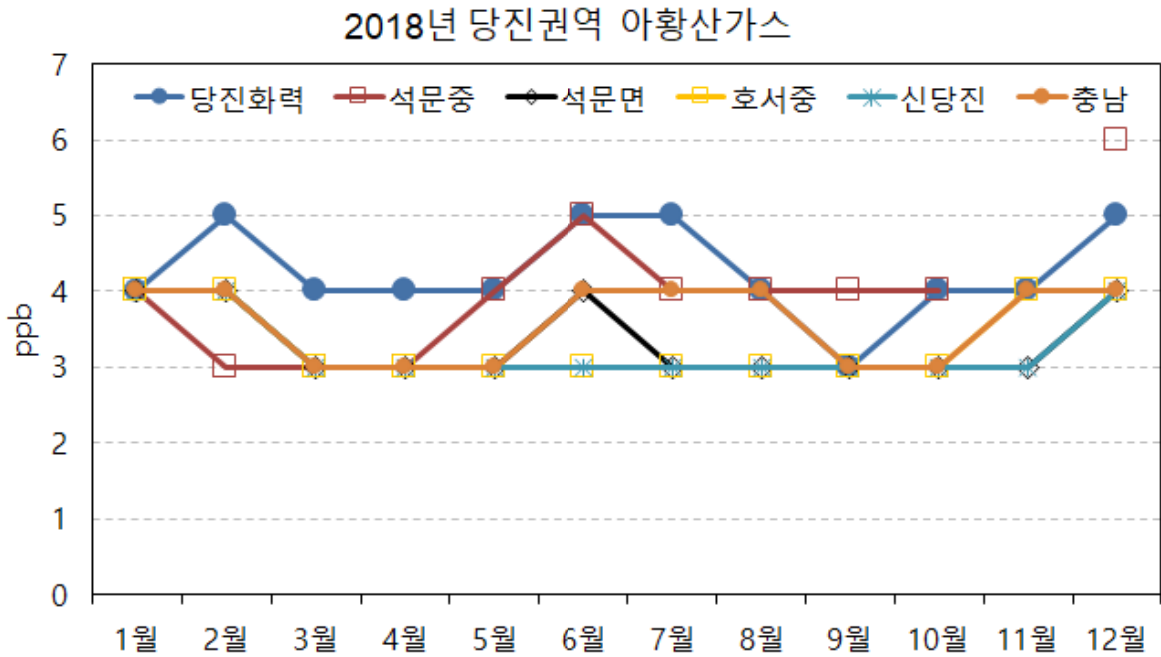
2.1 당진화력 대기오염측정소 자료의 분석 결과

- 당진화력에서 운영 중인 민간 대기오염측정소는 5개소(당진화력, 석문중, 석문면, 호서중, 신당진)로 이산화질소, 아황산가스, 미세먼지(PM10, PM2.5)를 측정하고 있음
- 이산화질소의 경우, 민간 및 일반대기오염측정망 모두 1월 이후 7월까지 농도가 낮아지고, 11월까지 높아지다가 12월에 낮아지는 경향으로 월별 농도 변화의 경향이 유사함
- 2018년의 평균 농도를 비교하면, 신당진변전소, 당진화력, 석문중(11 ppb), 석문면(13 ppb)은 일반대기오염측정망 15 ppb보다 낮으며, 호서중 지점만 17 ppb로 일반대기오염측정망보다 높게 나타남

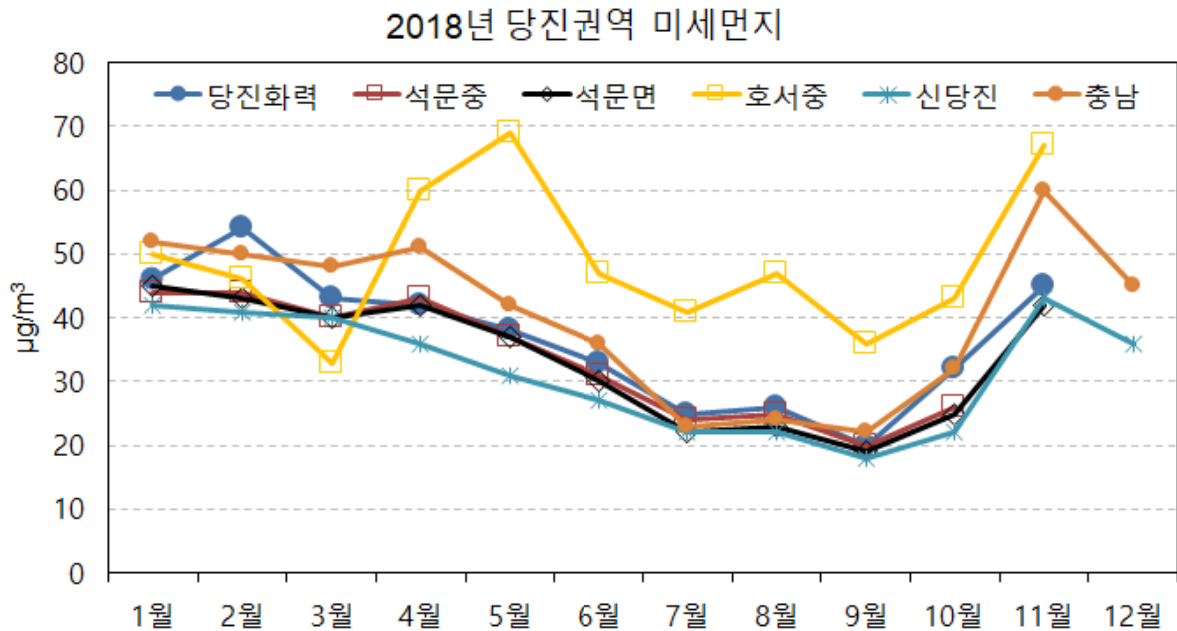
- 아황산가스의 경우, 민간 및 일반대기오염측정망 모두 3 ~ 4 ppb 수준으로 나타남
- PM10의 경우, 호서중 지점만 제외한 민간 및 일반대기오염측정망 모두 1월 이후 9월까지 농도가 낮아지고, 11월까지 높아지다가 12월에 다시 낮아지는 경향이 유사함
- 호서중 지점의 경우 5월에 가장 높으며 9월까지 낮아지다가 11월에 다시 높아지는 경향임
- 2018년의 평균 농도를 비교하면, 신당진($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 석문중($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 석문면($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 당진화력($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$)은 일반대기오염측정망 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮으며, 호성중만 $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 일반대기오염측정망보다 높게 나타남



[그림 3.26] 2018년 당진권역 월별 이산화질소 농도(당진 민간 대기오염측정소)



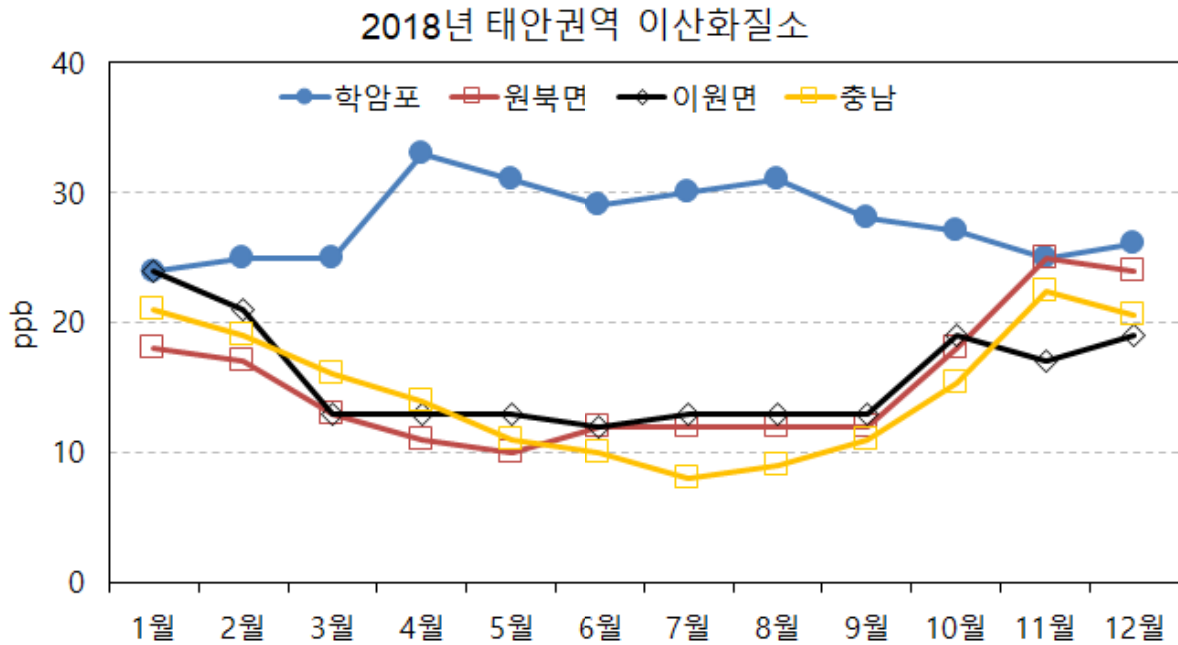
[그림 3.27] 2018년 당진권역 월별 아황산가스 농도(당진 민간 대기오염측정소)



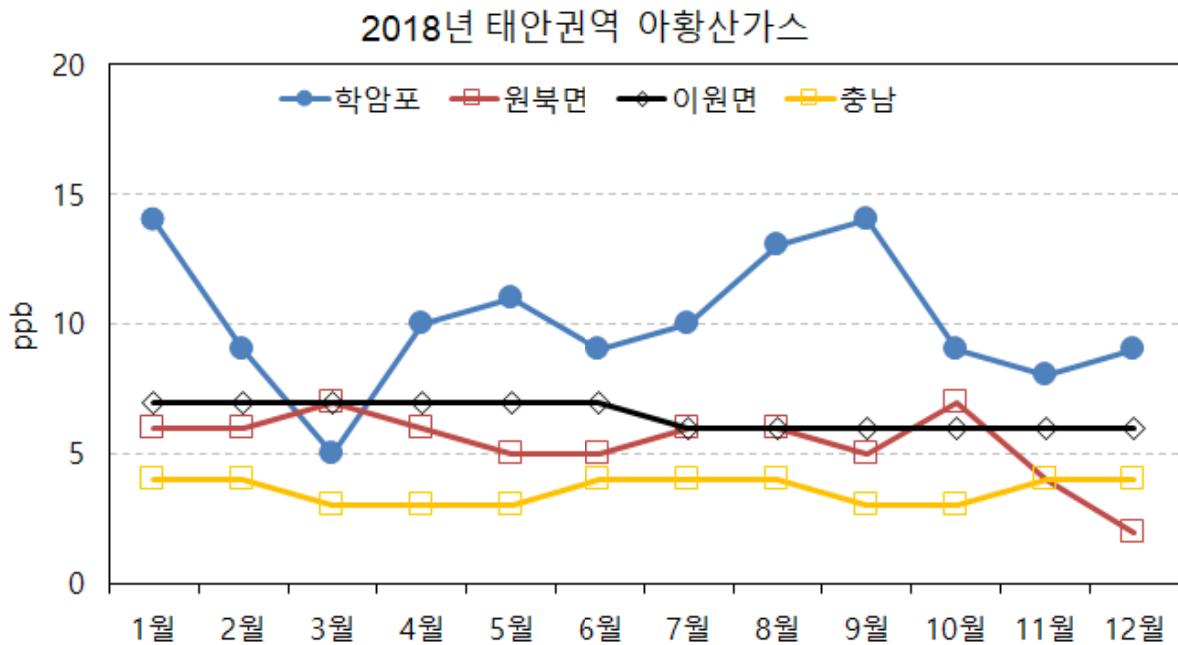
[그림 3.28] 2018년 당진권역 월별 PM10 농도(당진 민간 대기오염측정소)

2.2 태안화력 대기오염측정소 자료의 분석 결과

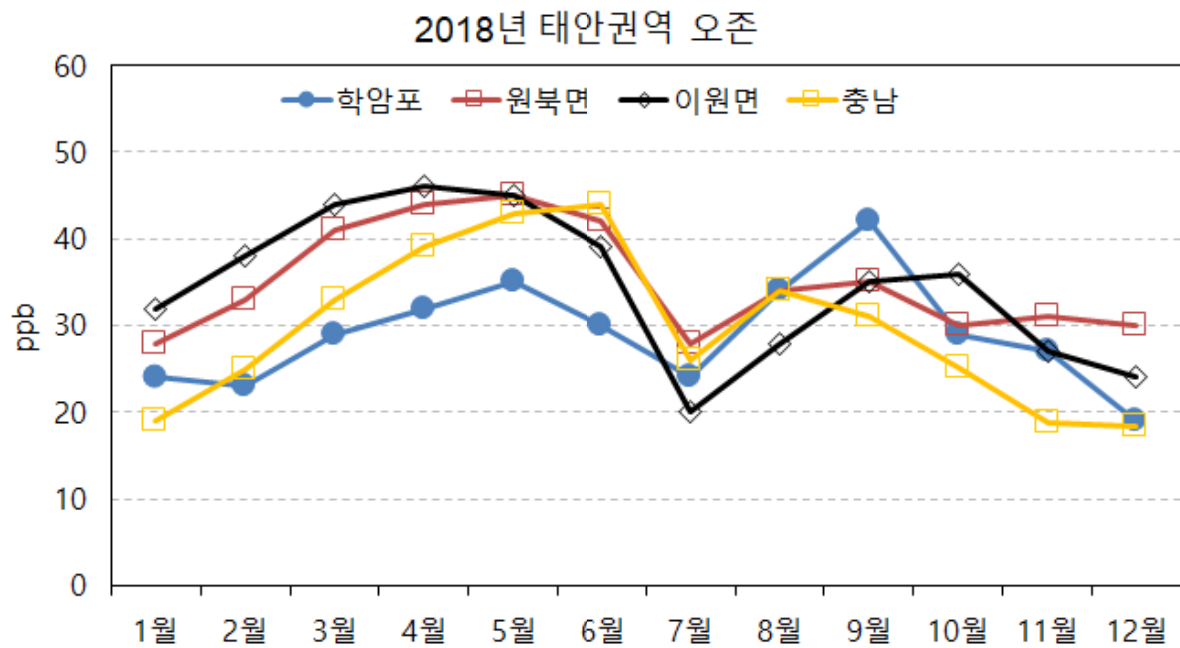
- 태안화력에서 운영 중인 민간 대기오염측정소는 3개소(학ampo, 원북면, 이원면)로 이산화질소, 아황산가스, 오존, 미세먼지(PM10, PM2.5), 일산화탄소를 측정하고 있음
- 이산화질소의 경우, 원북면과 이원면 지점은 일반대기오염측정망과 농도 수준이 유사할 뿐만 아니라 월별 농도 변화의 경향도 유사하게 나타났으나, 학ampo 지점의 농도는 다른 지점에 비해 높으며, 월별 농도 변화의 경향도 다르게 나타남
- 아황산가스의 경우, 민간 대기오염측정소가 일반대기오염측정망 보다 높은 수준으로 2018년의 평균 농도를 비교해 보면, 학ampo(10 ppb) > 이원면 (7 ppb) > 원북면 (5 ppb) > 일반대기오염측정망(4 ppb) 순으로 높게 나타남
- 원북면(최소~최대, 2 ~ 7 ppb), 이원면(6 ~ 7 ppb)과 일반대기오염측정망(3 ~ 4 ppb)의 경우 월별 농도 변화가 크지 않는 반면, 학ampo 지점 5 ~ 14 ppb로 월별 농도 변화 크게 나타남
- 오존의 경우, 민간 및 일반대기오염측정망의 월별 농도 변화의 경향이 유사하게 1월 이후 높아지다가 7월에 급격히 낮아졌다가 8월에 다시 올라가는 경향임
- PM10의 경우, 민간 및 일반대기오염측정망 모두 1월 이후 9월까지 농도가 낮아지는 경향으로 월별 농도 변화의 경향이 유사하게 나타남
- 민간 대기오염측정소가 일반대기오염측정망보다 낮은 수준으로 나타났으며, 2018년의 평균 농도를 비교해 보면, 일반대기오염측정망($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 이원면($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 원북면($26 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 학ampo($23 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 높게 나타남



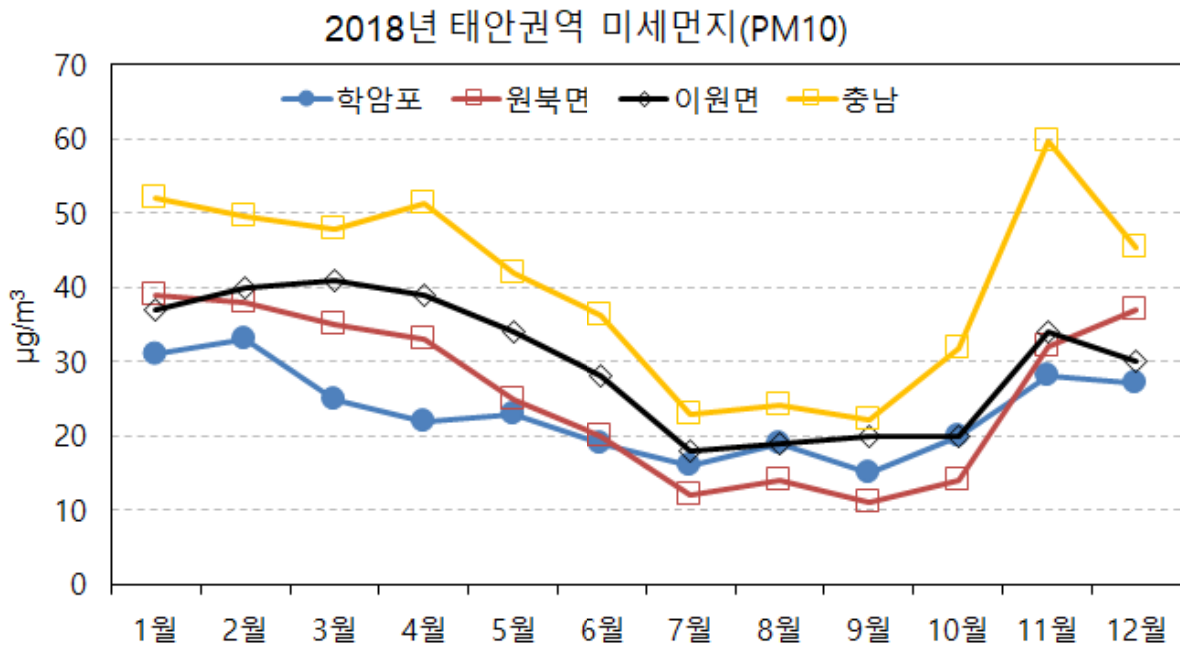
[그림 3.29] 2018년 태원권역 월별 이산화질소 농도(태안 민간 대기오염측정소)



[그림 3.30] 2018년 태원권역 월별 아황산가스 농도(태안 민간 대기오염측정소)



[그림 3.31] 2018년 태원권역 월별 오존 농도(태안 민간 대기오염측정소)

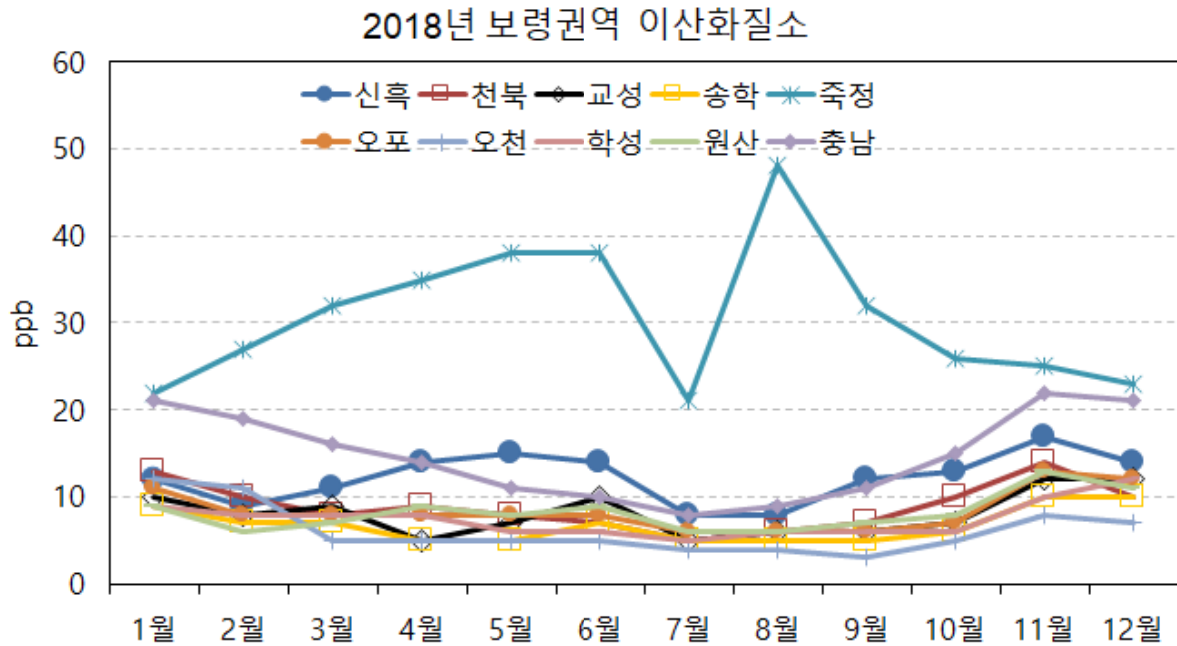


[그림 3.32] 2018년 태원권역 월별 PM10 농도(태안 민간 대기오염측정소)

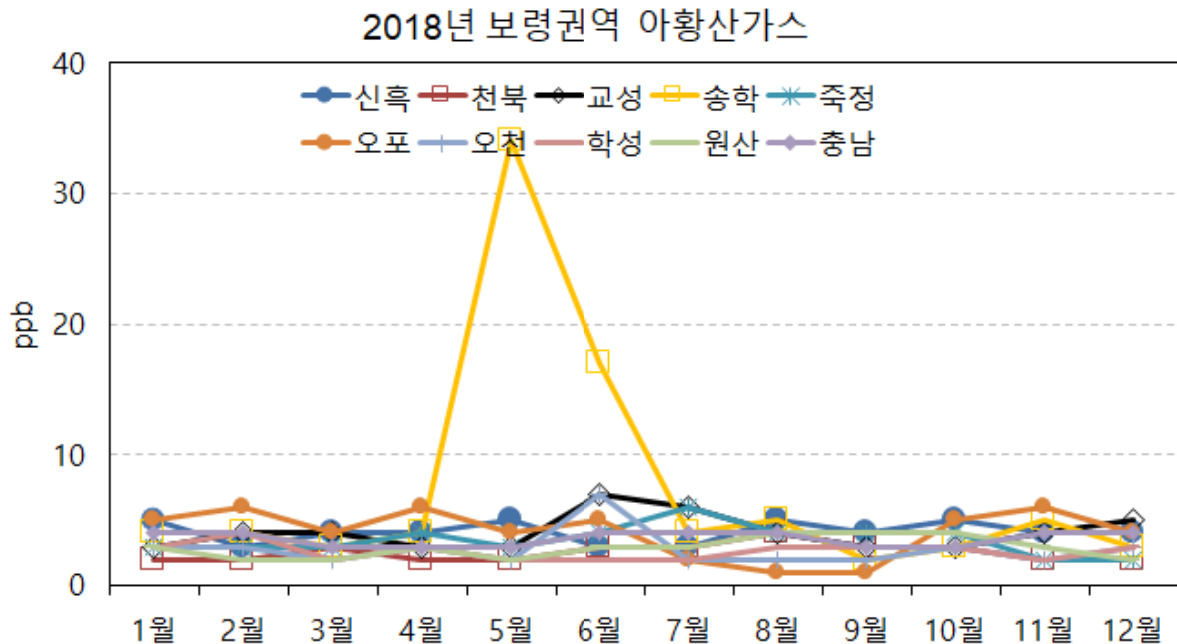
2.3 보령화력 대기오염측정소 자료의 분석 결과

- 보령화력에서 운영 중인 민간 대기오염측정소는 9개소(신흥, 천북, 교성, 송학, 죽정, 오포, 오천, 학성, 원산)로 이산화질소, 아황산가스, 오존, 미세먼지(PM10, PM2.5)를 측정하고 있음
- 이산화질소의 경우, 9개소 중 죽정 지점만을 제외한 나머지 천북 외 8개소 지점은 일반 대기오염측정망의 농도보다 낮게 나타났으며, 9월까지의 평균 농도를 비교해 보면, 죽정(31 ppb) >> 일반대기오염측정망(15 ppb) > 신흥(12 ppb) > ... > 학성(8 ppb) > 송학(7 ppb) > 오천(6 ppb) 순으로 높게 나타남
- 일반대기오염측정망의 경우 1월부터 8월까지의 농도는 낮아지는 경향이거나, 신흥과 죽정은 3월부터 증가하다가 5월 이후 낮아지는 경향으로 나타남. 특히, 죽정 지점의 경우 6월, 7월, 8월, 10월의 변화 폭이 큰 것으로 나타남
- 아황산가스의 경우, 송학 지점의 5월과 6월을 제외하고 민간 및 일반대기오염측정망의 농도가 10 ppb 이하로 나타남. 송학 지점의 5월과 6월 농도는 각각 34 ppb와 17 ppb로 다른 월에 비해 월등히 높게 나타남
- 월별 최대 농도를 살펴보면, 일반대기오염측정망이 4 ppb, 송학 34 ppb, 교성과 오천 7 ppb, 죽정과 오포 6 ppb, 신흥 5 ppb, 천북, 학성, 원산은 4 ppb로 나타남
- 오존의 경우, 민간 및 일반대기오염측정망의 월별 농도 변화의 경향이 유사하게 1월부터 6월까지 높아지다가 7월에 급격히 낮아진 다음에 8월에 높아져 12월까지 내려가는 경향임
- 2018년의 평균 농도를 비교하면, 모든 민간 대기오염측정소(학성과 원산 39 ppb > 오천 37 ppb > 송학 33 ppb > 신흥, 교성, 죽정, 오포 31 ppb > 천북 30 ppb)가 일반대기오염측정(30 ppb)보다 높게 나타남

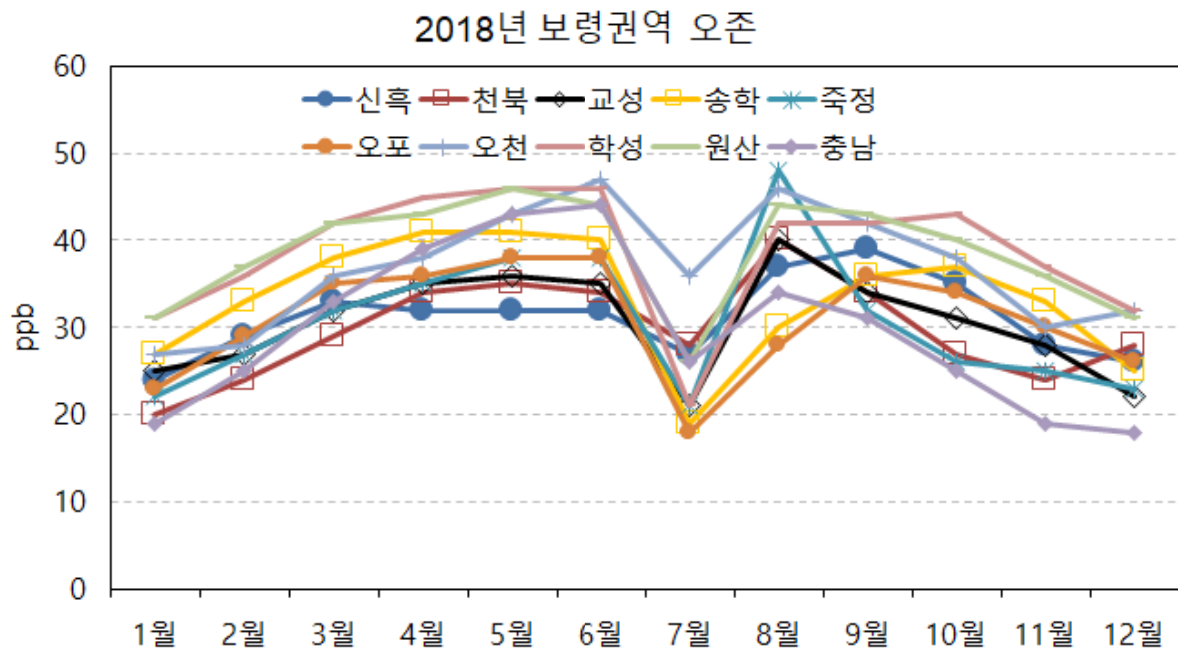
- 월별 농도 변화는 죽정 지점이 21 ~ 48 ppb(27 ppb)로 가장 크게 나타났으며, 신흥 지점이 24 ~ 39 ppb(15 ppb)로 가장 낮게 나타남
- PM10의 경우, 민간 및 일반대기오염측정망 모두 1월 이후 9월까지 농도가 낮아지는 경향으로 월별 농도 변화의 경향이 유사하며, 민간 대기오염측정소의 경우 10월부터 다시 농도가 높아지는 경향이 나타남
- 2018년의 평균 농도를 비교하면, 송학($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 교성과 죽정($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 오포와 오천($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)은 일반대기오염측정망 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮으며, 신흥, 학성, 원산($42 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 천북($47 \mu\text{g}/\text{m}^3$)은 일반대기오염측정망보다 높게 나타남



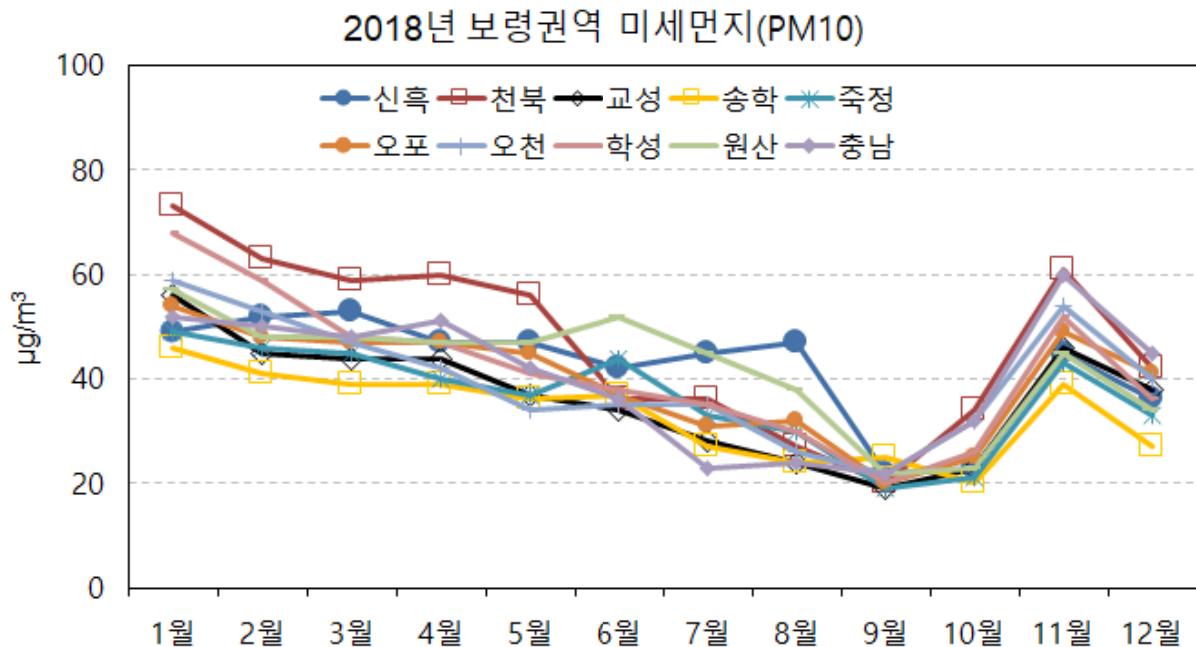
[그림 3.33] 2018년 보령권역 이산화질소 오존 농도(보령 민간 대기오염측정소)



[그림 3.34] 2018년 보령권역 아황산가스 오존 농도(보령 민간 대기오염측정소)



[그림 3.35] 2018년 보령권역 월별 오존 농도(보령 민간 대기오염측정소)



[그림 3.36] 2018년 보령권역 월별 PM10 농도(보령 민간 대기오염측정소)

3. 민간 대기오염측정소의 정도 평가

- 국가 및 지자체에서 운영하는 일반대기오염측정망은 매년 1회 교정을 실시하나, 화력발전소에서 운영하는 대기오염측정소의 경우 운영 현황을 외부에서 알 수 없는 실정이기에, 간이대기측정기를 이용하여 일반대기오염측정망과 민간 대기오염측정소의 상대적 비교·분석을 통해 민간 대기오염측정소의 정도 평가를 실시함
- 측정 지점의 위치, 기상, 주변 상황 등 다양한 여건의 차이로 인하여 절대적 평가에 한계가 있기에, 동시간대의 일반대기오염측정망과 민간 대기오염측정소의 상황을 동시간대 평가가 가능한 간이대기측정기를 이용하여 상대적으로 비교·분석하였음

3.1 정도 평가 방법

- 민간 대기오염측정소의 정도 평가를 위해 일반대기오염측정망 12개소와 민간 대기오염측정소 16개소, 총 28개소의 자료를 비교·분석함

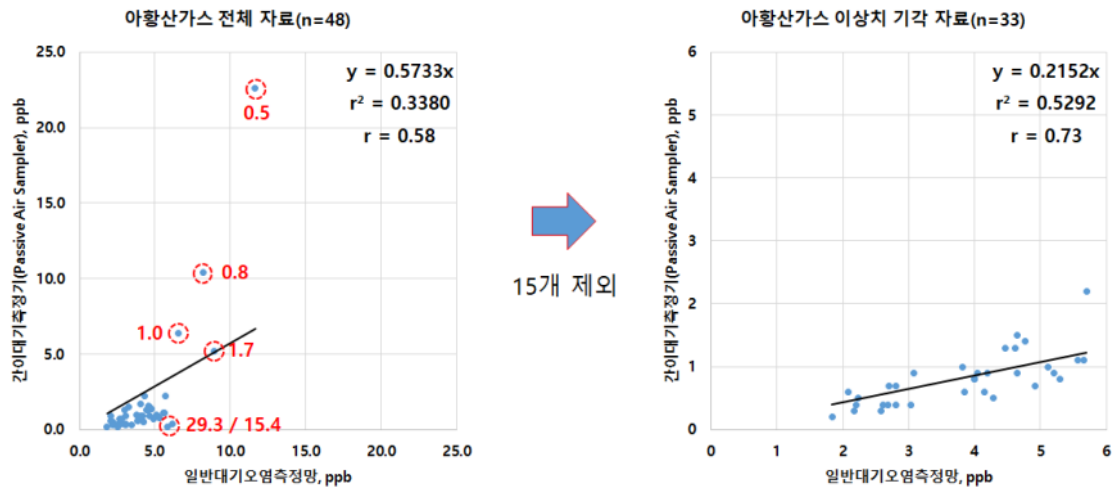
[표 3.17] 정도 평가를 위한 일반대기오염측정망 및 민간 대기오염측정소의 현황

측정망(소)구분	권역	수(개소)	지점명
일반 대기	도시	당진	난지도리, 독곶리, 당진시청사, 대산리
		태안	서산초, 태안읍, 이원면
		보령	대천2동, 주교면
		서천	서면, 서천군
	교외	태안	파도리
		계	12 -
화력 발전 대기	당진	5	당진화력, 석문중, 석문면, 호서중, 신당진
	태안	3	학암포, 원북면, 이원면
	보령	8	신흥, 천북, 교성, 송학, 죽정, 오포, 오천, 학성, 원산
	계	16	-

- 평가 물질 : 아황산가스, 이산화질소, 오존, 미세먼지
- 평가 방법
 - ① 민간 및 일반대기오염측정망과 간이대기측정기의 동시 평가
 - ② 일반대기오염측정망과 간이대기측정기와의 통계분석을 통해 두 측정방법 간의 관계 평가
 - － 동시 평가한 12개소 각각의 일반대기오염측정망과 간이대기측정기의 결과를 이용하여 상관 및 회귀 분석 실시
 - － 상관분석을 통해 일반대기오염측정망과 간이대기측정기의 상관성을 분석하고, 회귀분석을 통해 두 측정방법 간의 함수적인 관련성 분석
 - ③ 회귀분석을 통해 산출된 결과를 이용하여 민간 대기오염측정소와 동시 평가한 간이대기측정기의 결과를 환산함
 - ④ 상대적 비교를 위해 환산된 간이대기측정기의 결과와 민간 대기오염측정소의 결과를 비교·분석하여 정도 평가를 실시함

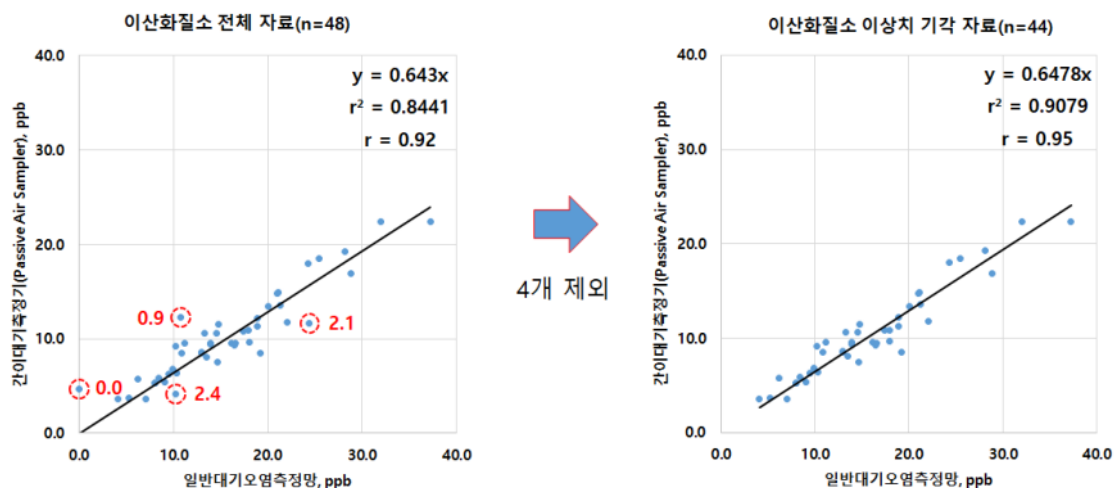
3.2 일반대기오염측정망과 간이대기측정기와의 물질별 통계분석 결과

- 아황산가스에 대한 두 측정방법 간의 관계 평가를 위해 4계절 동안 측정한 48개 측정 자료를 이용하여 상관 및 회귀 분석을 실시함
- 기각 자료 없이 모든 자료에 대해 상관분석을 실시한 결과, 간이대기측정기와 일반대기오염측정망의 상관계수(r)는 0.58로 낮은 상관관계로 나타남
- 간이대기측정기와 일반대기오염측정망 간의 비를 분석해 보면, 0.52 ~ 29.29 범위로 일반대기오염측정망이 간이대기측정기보다 평균 약 5.74배 높게 나타남
- 간이대기측정기와 일반대기오염측정망의 평균 비(5.74)와 비교하여 차이가 큰 자료(이상치)를 기각한 후 상관분석을 재 실시한 결과, 상관계수(r)는 0.73으로 증가함



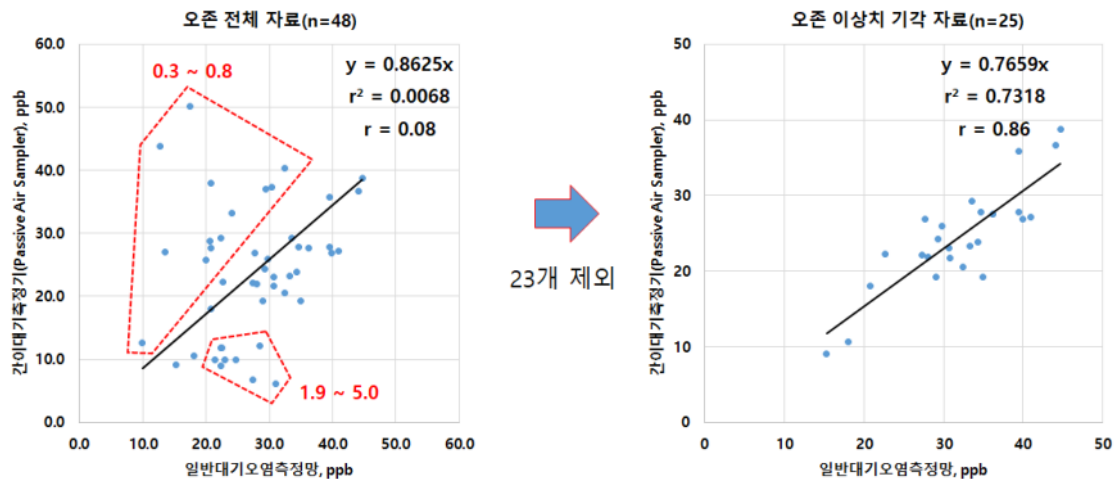
[그림 3.37] 아황산가스에 대한 일반대기오염측정망과 간이대기측정기의 통계분석

- 이산화질소에 대한 두 측정방법 간의 관계 평가를 위해 4계절 동안 측정한 48개 측정 자료를 이용하여 상관 및 회귀 분석을 실시함
- 기각 자료 없이 모든 자료에 대한 두 측정방법의 상관계수는 0.92로 양호한 상관관계이지만, 두 측정방법의 비(1.52)를 분석하여 이상치(0.0 ~ 2.4)로 판단된 자료를 제외하고, 상관분석을 재 실시한 결과 상관계수(r)는 0.95로 더 양호한 상관관계로 나타남



[그림 3.38] 이산화질소에 대한 일반대기오염측정망과 간이대기측정기의 통계분석

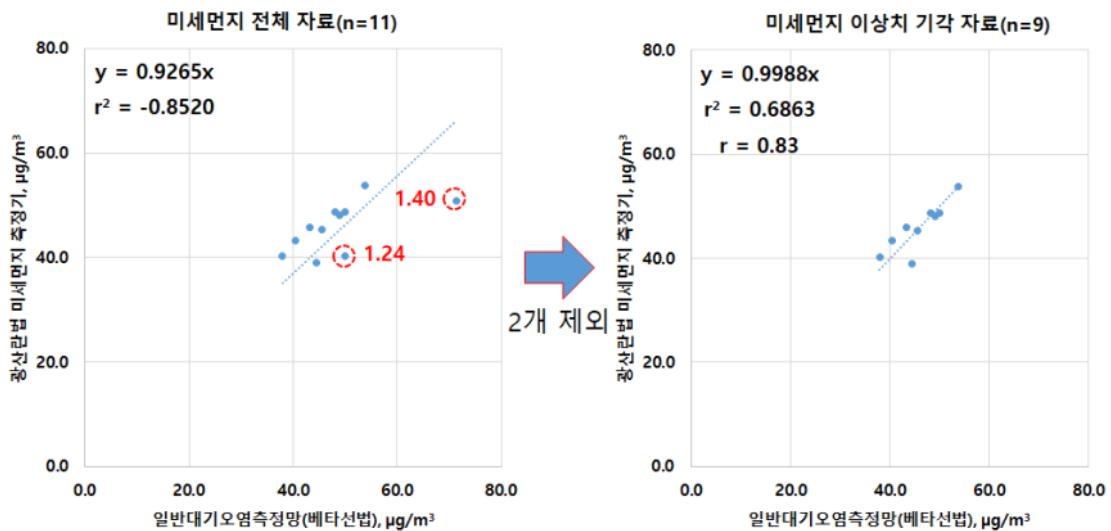
- 오존에 대한 두 측정방법 간의 관계 평가를 위해 4계절 동안 측정한 48개 측정 자료를 이용하여 상관 및 회귀 분석을 실시함
- 상관분석을 실시한 결과, 기각 자료 없이 모든 자료에 대한 상관계수(r)는 0.08로 낮은 상관관계로 나타남. 오존의 경우, 해안성 오존에 의한 영향 등이 직간접적으로 측정기에 영향을 주어 나타난 결과로 판단됨. 실질적으로 충청남도해안성 오존과 당진권역에는 도심성 오존이 혼재되어 발생하고 있음
- 간이대기측정기와 일반대기오염측정망 간의 비를 분석해 보면, 0.29 ~ 5.01 범위로 일반대기오염측정망이 간이대기측정기보다 평균 약 1.40배 높게 나타남
- 간이대기측정기와 일반대기오염측정망의 평균 비(1.40)와 비교하여 차이가 큰 자료(이상치)를 기각한 후 상관분석을 재 실시한 결과, 상관계수(r)는 0.86으로 증가함



[그림 3.39] 오존에 대한 일반대기오염측정망과 간이대기측정기의 통계분석

- 광산란법 측정기를 이용하여 PM10에 대한 두 측정방법 간의 관계 평가를 위해 봄철에 측정한 11개 측정 자료를 이용하여 상관분석을 실시한 결과, 기각 자료 없이 모든 자료에 대한 상관계수(r)는 0.62로 양호한 상관관계로 나타남

- 광산란법과 베타선법 간의 비를 분석해 보면, 0.93 ~ 1.40 범위로 베타선법이 광산란법보다 평균 약 1.06배 높게 나타남
- 광산란법과 베타선법의 비(1.06)와 차이가 큰 자료(이상치)를 기각한 후 상관분석을 재 실시한 결과, 상관계수(r)는 0.83로 증가하였음

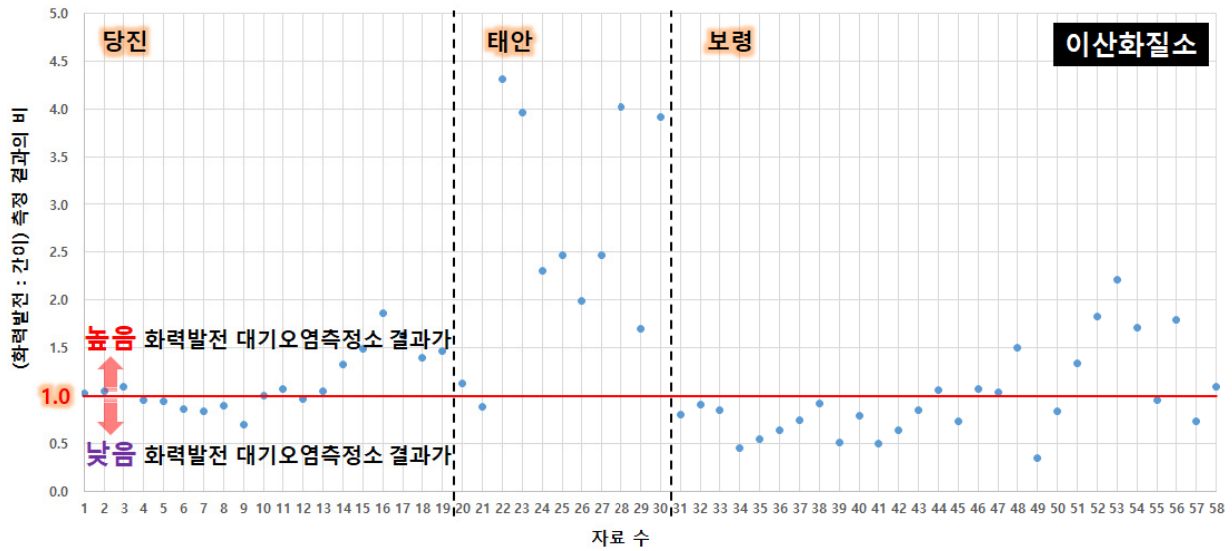


[그림 3.40] PM10에 대한 일반대기오염측정망과 간이대기측정기의 통계분석

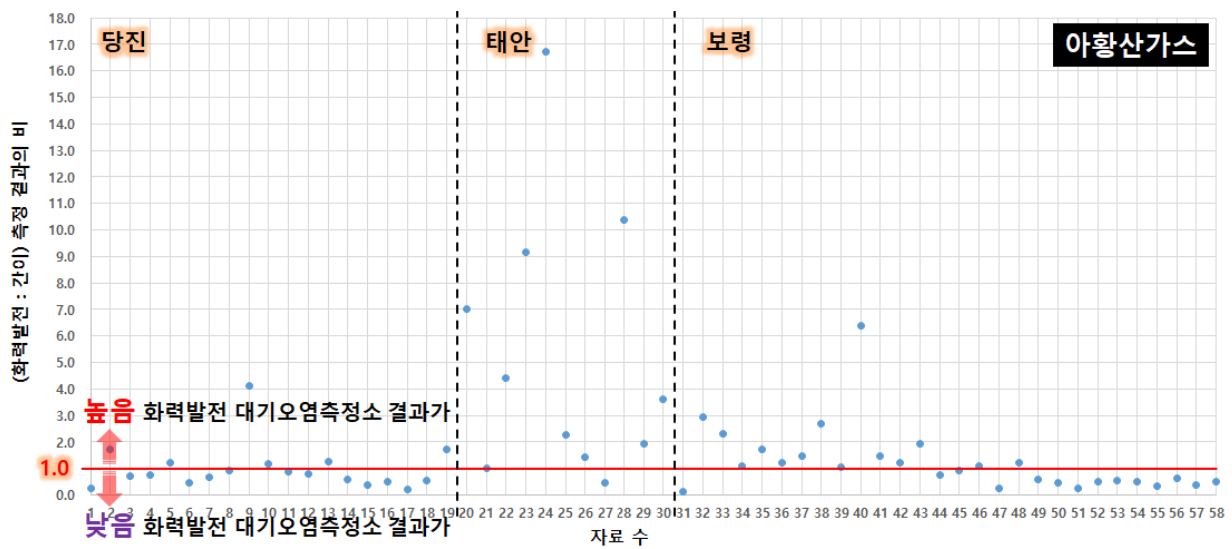
3.3 민간 대기오염측정소의 정도 평가 결과

- 민간 대기오염측정소와 같이 평가한 간이대기측정기의 결과와 상대적으로 비교하기 위하여 회귀분석에 의한 산출된 함수를 통해 환산하여 비교·분석한 결과, 대부분의 결과는 간이대기측정기와 민간 대기오염측정소의 비가 1에 근접함
- 태안권역의 민간 대기오염측정소가 타 권역 민간 대기오염측정소에 비해 높게 나타나는 경향이 나타남
- 타 물질에 비해, PM10의 경우 간이대기측정기와 민간 대기오염측정소 결과의 차이가 크지 않게 나타남

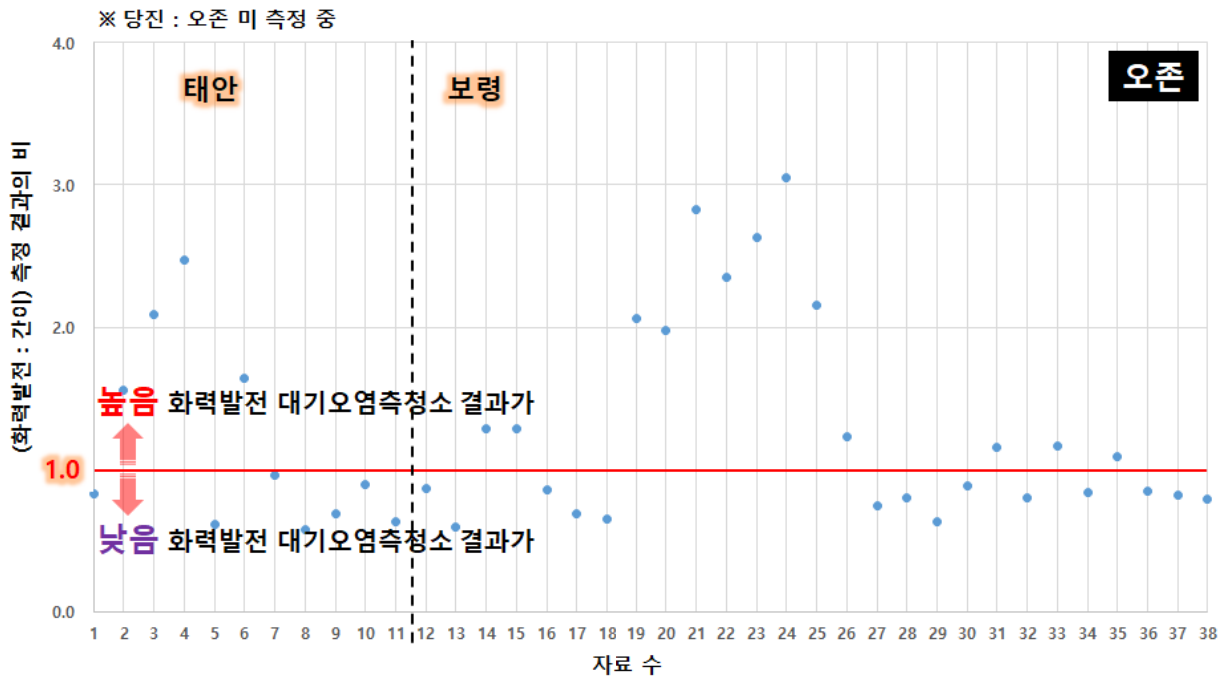
- 정확한 정도관리와 유지보수 등을 통한 민간 대기오염측정소의 효과적인 관리를 위해서는 간이대기측정기 등을 활용한 지속적인 평가관리가 필요할 것으로 사료됨



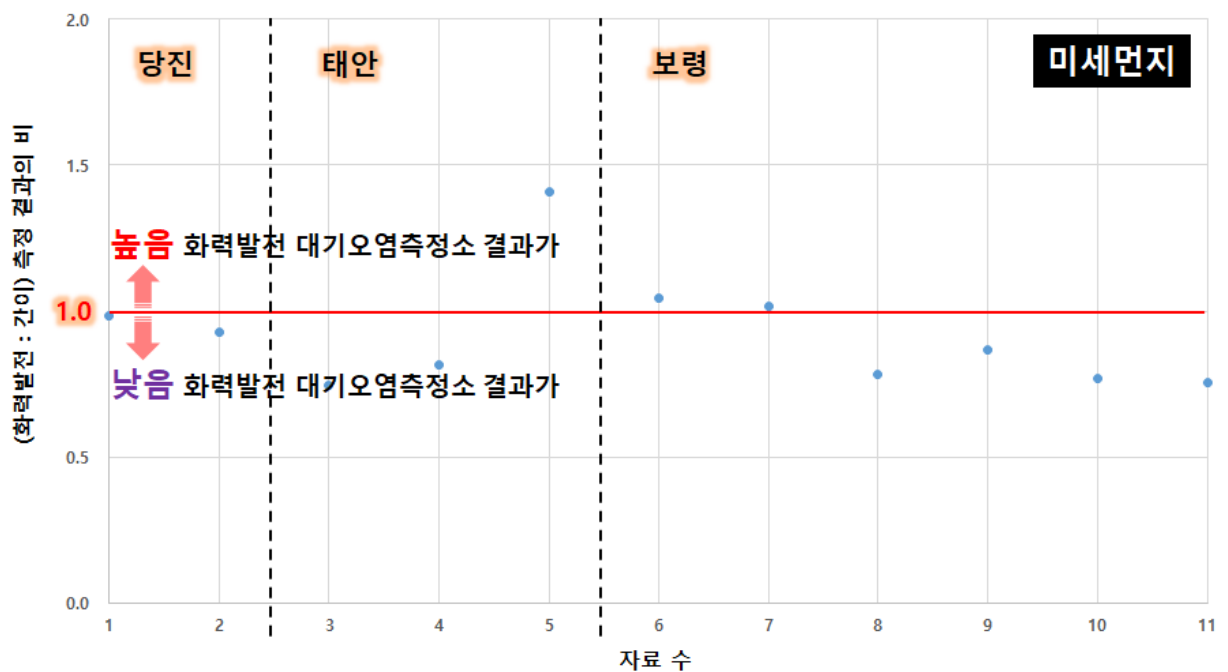
[그림 3.41] 이산화질소에 대한 민간 대기오염측정소의 정도 평가 결과



[그림 3.42] 아황산가스에 대한 민간 대기오염측정소의 정도 평가 결과



[그림 3.43] 오존에 대한 민간 대기오염측정소의 정도 평가 결과



[그림 3.44] PM10에 대한 민간 대기오염측정소의 정도 평가 결과

4. 소결론

- 간이대기측정기를 이용한 대기질 조사 결과, 상대적으로 당진권역이 다른 권역에 비해 대기오염도가 높은 것으로 나타남

구분	이산화질소	아황산가스	오존	총부유먼지	Σ중금속
1순위	당진	당진	서천	당진	당진
2순위	태안	보령	당진	서천	태안
3순위	서천	태안	보령	보령	서천
4순위	보령	서천	태안	태안	보령

- 민간 대기오염측정소의 자료 분석 결과, 태안화력은 학ampo 지점, 보령화력은 죽정과 송학 지점에서 이산화질소와 아황산가스 물질의 경향이 다른 지점과 상이함을 확인할 수 있었음
- 민간 대기오염측정소의 정도 평가 결과, 태안권역이 다른 권역에 비해 비교적 높은 농도로 측정되고 있는 것으로 나타났으며, 입자상(PM10) 측정이 가스상(이산화질소 등) 측정정보다 간이대기측정기와 민간 대기오염측정소 측정 결과의 비가 양호한 것으로 나타남

제4장 옥외 저탄장의 배출량 분석

1. 국가 배출량의 비산먼지/하역 및 야적 산정방법
2. 배출량 조사 기법
3. 저탄장 배출량 조사
4. 소결론

1. 국가 배출량의 비산먼지/하역 및 야적 산정방법

1.1 국가 배출량 산정방법

- 2018년 7월에 발간된 「2015년 국가 대기오염물질 배출량, 국립환경과학원」에 비산먼지, 생물성 연소 배출원이 공식 배출원으로 추가함
- 대분류 배출원인 비산먼지의 중분류 배출원 분류체계에 저탄장은 없으나, 유사한 배출원으로 하역 및 야적(중분류)/석탄(소분류)이 있음
- 비산먼지/하역 및 야적 배출원의 국가 배출량 산정과정은 2015년 2월 발간된 「대기오염물질 배출계수(2012년 대기오염물질 배출량 기준), 국립환경과학원」에 제시되어 있고, 입자분포, 평균풍속, 수분함량의 계수가 포함된 산정식을 이용하여 대상물질의 배출계수를 산정하도록 되어 있음

부록 D. 비산먼지/하역 및 야적 산정식

알갱이 물질을 하역 및 야적시에는 알갱이 물질을 일정 높이에서 떨어트리게 된다. 알갱이 물질 낙하시에 발생하는 비산먼지는 다음 식과 같이 산정한다. 평균 풍속은 시도별 일별 풍속을 평균한 값을 적용한다.

$$EF = k \times 0.0016 \times [(U/5)^{1.3}/(M/2)^{1.4}]$$

EF : emission factor

k : 입자분포, particle size multiplier (k=0.35 for PM₁₀, k=0.035 for PM_{2.5})

U : 평균 풍속, mean wind speed(m/s)

M : 수분함량, material moisture content(%)

〈표 D-1〉 알갱이 물질 하역 및 야적 시 비산먼지 배출계수 적용조건

SCC	대상물질	수분함량(%)
12050100	모래	7.4
12050200	석탄	4.5
12050300	복토재	12
12050400	알갱이 성상 폐기물	27

* 출처 : 국립환경과학원, 비산먼지 배출량 산정방법 개선 및 도로 재비산 먼지 실시간 측정방법 개발 I, II(X2009)

[그림 4.1] 비산먼지/하역 및 야적 대기오염물질 배출계수

- 중분류 배출원 하역 및 야적 중 석탄 하역량은 「국가 대기오염물질 배출량 기초자료 구축을 위한 표준업무절차서(2015년 배출량 기준), 국립환경과학원, 2018. 8」에 항만별 화물처리실적 입수방법이 제시되어 있고 기본 자료로 통계청, 외내항 품목별 화물입출항 현황을 이용함. 품목별 하역량 중 충청남도 내 석탄 하역 항만은 대산, 보령, 태안 3곳이 제시되어 있음

1장. 유원기관 자료

(3-26) 항만별 화물처리실적

가. 입수방법

기본자료	통계청, 외내항 품목별 화물 입출항현황(2015년)
입수방법	역입/출퇴차
시/공간해상도	항명/자적

나. 입수자료 형식

항만	항	품목별 하역량 (톤)			
		합계	석탄	석탄	기타

다. 등록자료 형식

항만	오지 하역(단위)	석탄 하역(단위)	시도	시군구	구	유역권
----	-----------	-----------	----	-----	---	-----

라. 자료변환 내용

- ① 폐수처리시설분리설비의 자료는 동해/목포항을 통합하여 제공되기 때문에, 인천지정유역항만항 으로부터 추가로 입수하여 자료를 구성하였다.
- ② 입수자료 내 '기타' 항만은 무역항을 제외한 나머지 항만(수요로 연안항 및 국가 어항 등)에 대한 것으로 확인되어 제외하였다.
- ③ 등록자료 형식에 맞추어 구성하였다.

마. 입수자료와 등록결과 비교

- ④ 입수자료와 등록결과가 동일하였다.

품목	입수자료		등록결과	차이
	연세 항만	기타 항만		
모래	60,932,425	29,952,161	30,980,264	0
무연탄	5,268,085	0	5,268,085	0
유연탄	128,348,378	258,176	128,090,202	0

국가 대기오염물질 배출량 기초자료구축을 위한 표준업무절차서 - 2015년 배출량 기준

바. 전년 자료 비교

- ⑤ 최근 3년간 품목별 하역량 증감추이를 분석하였다.

항만	모래				석탄			
	2013년	2014년	2015년	전년대비 증감률	2013년	2014년	2015년	전년대비 증감률
대전	-	62,300	26,796	-57.0%	276	180	347	87.8%
고창	304,331	221,852	357,548	61.2%	-	-	-	-
광양	1,041,665	892,051	900,336	0.9%	22,446,571	24,078,248	25,551,570	6.1%
군산	831,029	1,093,874	825,543	-24.5%	-	4,933	-	-
대산	-	-	-	-	13,033,235	12,341,223	12,344,461	5.7%
동해	11,056	3,430	9,223	171.3%	5,257,664	5,215,291	6,718,496	-9.5%
인천	1,086,528	1,366,772	1,855,913	35.8%	-	-	-	-
목포	1,380,319	1,369,468	1,013,110	-26.0%	364,316	524,469	487,579	-12.8%
목포	13,400	31,198	-	-	25,284	15,489	-	-
보령	24,466	-	-	-	13,246,369	12,787,598	13,103,076	2.8%
부산	1,730,386	1,319,893	1,649,479	9.8%	21,889	17,279	83,815	385.1%
삼척	-	-	-	-	-	-	-	-
상항유	464,130	413,677	634,729	51.0%	11,153,260	10,550,591	10,382,897	-1.6%
서산	148,750	197,580	220,240	11.5%	-	-	-	-
속초	-	-	-	-	-	6	-	-
태수	4,000	2,200	48,000	2081.8%	-	-	-	-
죽계	-	-	-	-	544,970	445,081	373,470	-16.1%
원도	32,100	20,700	15,490	-25.4%	-	-	-	-
울산	915,610	1,081,398	1,281,438	18.5%	1,486,065	1,686,502	1,825,440	8.2%
연평	13,839,987	15,360,648	17,630,999	14.8%	10,079,228	12,707,870	15,148,687	19.4%
청양	-	61,769	-	-	-	-	-	-
지주	514,190	453,257	480,860	-0.6%	-	-	-	-
천혜	1,879,779	1,661,661	2,079,053	25.1%	-	-	-	-
태안	-	-	-	-	13,517,268	12,674,686	12,734,199	0.5%
동명	-	14,950	20,160	34.8%	-	-	-	-
영덕	1,513,030	1,628,214	1,696,327	1.7%	6,937,710	9,162,440	9,413,108	2.7%
유원	460,051	514,307	506,224	-1.6%	12,890,688	14,713,700	14,096,560	-4.2%
홍천	-	-	-	-	-	-	73,713	-
해운대	-	-	-	-	13,197,327	12,325,650	12,430,087	0.8%
합계	26,192,611	27,770,937	30,980,264	11.6%	124,186,116	125,151,327	133,368,287	3.3%

161

162

[그림 4.2] 국가 배출량 산정에 사용되는 항만별 화물처리실적

- 2015년 국가 대기오염물질 배출량 중 비산먼지/하역 및 야적/석탄의 PM10 배출량은 총 7,855 kg/년으로 이 중 충청남도는 1,640 kg/년(21%)으로 이 중 보령시 554 kg/년, 서산시 547 kg/년, 태안군 539 kg/년임

[표 4.1] 2015년 비산먼지/하역 및 야적/석탄 국가 대기오염물질 배출량

시도	시군구	배출원 대분류	배출원 중분류	배출원 소분류	2015년 (kg/년)								
					CO	NOx	SOx	TSP	PM10	PM2.5	VOC	NH3	BC
충청남도	보령시	비산먼지	하역 및 야적	석탄				1,583	554	55			2
충청남도	서산시	비산먼지	하역 및 야적	석탄				1,564	547	55			2
충청남도	태안군	비산먼지	하역 및 야적	석탄				1,539	539	54			2
부산광역시	동구	비산먼지	하역 및 야적	석탄				23	8	1			
인천광역시	중구	비산먼지	하역 및 야적	석탄				4,260	1,491	149			7
인천광역시	서구	비산먼지	하역 및 야적	석탄									
울산광역시	남구	비산먼지	하역 및 야적	석탄				332	116	12			1
경기도	평택시	비산먼지	하역 및 야적	석탄				1,110	389	39			2
강원도	강릉시	비산먼지	하역 및 야적	석탄				55	19	2			
강원도	동해시	비산먼지	하역 및 야적	석탄				691	242	24			1
강원도	삼척시	비산먼지	하역 및 야적	석탄				11	4				
전라남도	목포시	비산먼지	하역 및 야적	석탄				110	39	4			
전라남도	광양시	비산먼지	하역 및 야적	석탄				6,148	2,152	215			9
경상북도	포항시 남구	비산먼지	하역 및 야적	석탄				2,358	825	83			4
경상남도	사천시	비산먼지	하역 및 야적	석탄				1,210	424	42			2
경상남도	하동군	비산먼지	하역 및 야적	석탄				1,449	507	51			2

제4장 옥외 저탄장의 배출량 분석

- 국가 대기오염물질 배출량 산정방식을 이용하여 각 발전사별 저탄장 PM10 배출량을 아래와 같은 조건으로 산정함
 - 발전사에 사용된 석탄은 저탄장에 보관된 후 사용하는 것으로 가정
 - 하역 및 야적의 배출계수 산정식을 이용하여 배출계수를 산정함
 - 각 계숫값은 입자분포(k) 0.35, 평균풍속 1.7 m/s(15년 보령기상대 연평균), 석탄수분 함량 4.5% 적용
- 최근 3년간의 발전사별 저탄장 PM10 연 배출량은 보령 510~633 kg/년, 당진 466~623 kg/년, 태안 522~663 kg/년으로 산정되었고 이를 일 배출량으로 환산하면 보령 1.4~1.7 kg/일, 당진 1.3~1.7 kg/일, 태안 1.5~1.8 kg/일로 산정됨
- 국가 대기오염물질 배출량의 배출원 지역은 발전사가 위치한 지역이 아닌 하역작업이 이뤄지는 항만 지역이며 산정된 배출량도 항상 일정하다는 한계가 발생

[표 4.2] 최근 3년간 연도별 석탄 사용량 및 PM10 연·일 배출량 산정 결과

구분	발전사	2016년	2017년	2018년
석탄 연간 사용량 (톤/년)	보령	11,927,596	11,694,783	14,517,920
	당진	10,700,946	13,786,108	14,295,948
	태안	12,677,242	15,194,733	15,228,245
PM10 연 배출량 (kg/년)	보령	520	510	633
	당진	466	601	623
	태안	552	662	663
PM10 일 배출량 (kg/일)	보령	1.4	1.4	1.7
	당진	1.3	1.6	1.7
	태안	1.5	1.8	1.8

2. 배출량 조사 기법

2.1 저탄장의 실측 배출량 조사방법

- 화력발전소 연료 수입으로 인한 석탄 하역작업은 주 2~3회 실시되고 있으며 이로 인하여 비산먼지가 발생되고 있음
- 현재 국가 배출량의 하역작업에 의해 발생하는 비산먼지 발생량이 제시되고 있으나 앞서 정리한 것처럼 발전사가 위치한 지역이 아닌 항만이 위치한 지역이고 산정된 배출량도 항상 동일한 배출량만 발생하는 한계를 확인할 수 있었음
- 이러한 한계를 해결하는 방안으로 발전사별 하역 및 저장과정에서의 비산먼지 발생량 조사가 필요하며 조사 시설은 발전소의 옥외 저탄장을 대상으로 함
- 옥외 저탄장의 배출량 분석을 위한 평가방법으로 다양한 플럭스 관측방법 중 에디 공분산 방법(Eddy Covariance Method)을 이용하여 연속 배출량 평가를 수행하였음

2.1.1 에디 공분산 방법

- 에디 공분산 방법은 비교적 적은 가정을 통해 가장 직접적으로 플럭스를 관측할 수 있는 기술로써, 장기간 연속적인 관측이 가능한 장점이 있고 관측된 플럭스는 취주거리(fetch length)와 지표 균질성 등에 따라 달라지기는 하나, 비교적 넓은 지역의 통합된 성질을 반영하기 때문에 한 지점의 관측만으로 넓은 지역을 대표할 수 있어 널리 활용되고 있음⁴⁾
- 에디 공분산 방법의 이론적 배경은 보전방정식을 지배방정식으로 난류에 의해 발생하는 열, 수증기 또는 기체의 연직 플럭스를 측정하고, 여기서 플러스는 연직 바람속도의 순간적 편차와 관심 있는 물질에 대한 순간적 편차의 공분산을 일정시간 평균함으로써 계산됨

4) 수문기상 관측망 플럭스 관측자료 품질관리, 국립기상연구소, 2014

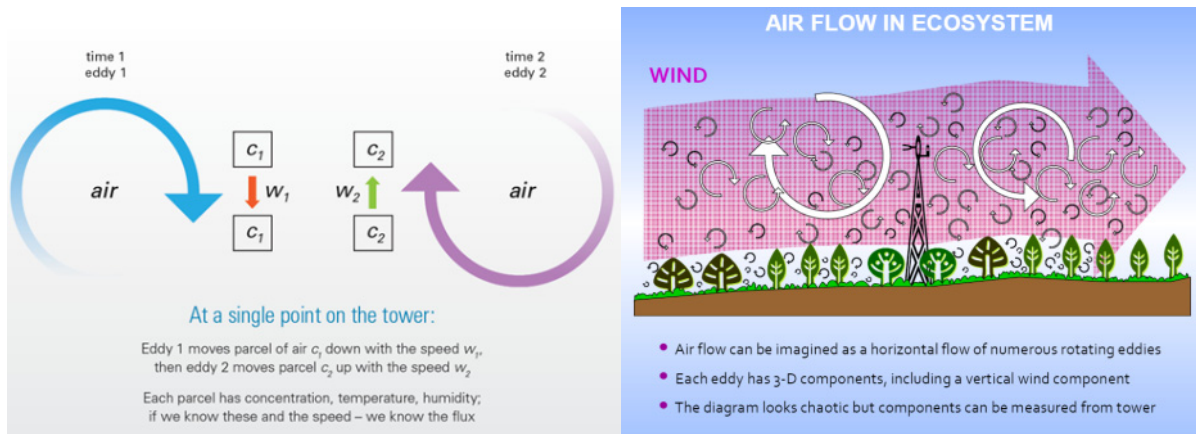
- 플럭스는 연직 풍속과 혼합비 편차의 공분산($\overline{w's'}$)과 공기 밀도(ρ_a , kg/m³)와의 곱을 평균한 값과 거의 일치함(식 4.1). 잠열플럭스(LE, W/m²)는 수증기의 혼합비를 사용하여 같은 방법으로 계산되며 기화열(L, J/kg)을 곱하여 에너지 단위로 환산(식 4.2). 또한, 현열 플럭스(H, W/m²)는 연직 풍속과 온도 편차의 공분산과 공기 밀도와의 곱의 평균값에 공기 비열(C_p , J/kg/°C)을 곱하여 에너지 단위로 환산(식 4.3)

$$F \simeq \overline{\rho_a w's'} \quad (\text{식 4.1})$$

$$LE = L \overline{w'q'} \quad (\text{식 4.2})$$

$$H = \rho_a C_p \overline{w'T'} \quad (\text{식 4.3})$$

- 여기서, $\overline{w's'}$ (kg/m/s)는 연직풍속과 수증기 편차의 공분산, $\overline{w'T'}$ (m°C/s)는 연직 풍속과 온도 편차의 공분산임



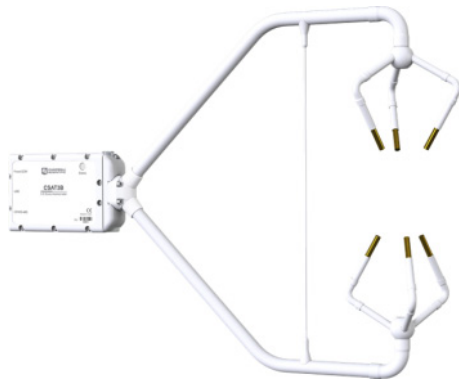
자료: Brief Guide to eddy covariance measurements, Burba & Anderson 2010

[그림 4.3] 난류흐름 모식도와 플럭스 타워

- 에디 공분산 방법의 주요가정은 관측 장소가 수평적으로 균질하고 편평하여 이류의 효과를 무시할 수 있으며, 측정변수의 시간에 따른 변화를 무시할 수 있고 측정 변수의 밀도 변동과 흐름의 발산 및 수렴을 무시할 수 있다면 에디 공분산 값으로 플럭스를 산출할 수 있음
- 국내에서는 중국 사막, 산림, 논, 축사, 매립지에서 CH_4 , CO_2 등 온실가스를 평가하는데 활용하고 있음

2.1.2 에디 공분산 방법 측정을 위한 장비 구성

- 에디 공분산 방법에 사용된 측정 장비는 3차원 기상센서, 광산란법 미세먼지 측정기, PM10 측정기가 있음
 - 3차원 기상센서(3차원 초음파 풍향풍속센서)는 Campbell Scientific inc. 의 CSAT3B로 직각 바람 성분(orthogonal wind component) 3개(u_x , u_y , u_z 풍속계 축 기준), 음파 온도(sonic temperature, T_s)가 최대 100 Hz 속도로 측정되고 출력이 가능함
 - 광산란법 미세먼지 측정기는 케이웨더사의 실외공기측정기(OAQ Station)로 광산란(적외선) 검출 센서 형식으로 측정범위 $0 \sim 500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 출력신호 PWM(Pulse Width Modulation)기준기와의 비교 및 연구자료에 근거한 PM10 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 변환값, 오차범위 $\text{RMSE} \pm 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이내임
 - PM10 측정기는 Met One사의 실시간 베타선 측정기인 E-BAM로 미국 EPA 규정에 따른 PM10측정, 측정범위 $0 \sim 65\text{mg}/\text{m}^3$, 섬광측정기(Scintillation probe) 디텍터를 사용함



Measurements

- Operation temperature range: -30 to +50 °C, equivalent to 312 to 368 m s⁻¹ in speed of sound
- Outputs: u_x , u_y , u_z , T_s (u_x , u_y , u_z are wind components referenced to the anemometer axes; T_s is sonic temperature in degrees Celsius)
- Speed of sound: Determined from three acoustic paths; corrected for crosswind effects
- Wind direction range: 2.5 to 357.5° in CSAT3B coordinate system; 0 to 360° customized
- Filter Bandwidths: 5, 10, 20, or 25 Hz

[그림 4.4] 3차원 기상측정장비 CSAT3B



미세먼지 (PM10, PM2.5)	<p>센서 형식 : 광산란(적외선) 검출</p> <p>측정 범위 : 0 ~ 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</p> <p>출력 신호 : PWM(Pulse Width Modulation)</p> <p>기준기와의 비교 및 연구자료에 근거한 PM10 및 PM2.5 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 변환 값</p> <p>오차 범위 : RMSE $\pm 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이내</p> <p>- 미세먼지 농도변화 오차</p>
온도	<p>센서 형식 : 반도체(Band Gap)</p> <p>측정 범위 : -40 ~ 125 °C</p> <p>출력 신호 : 디지털(I2C)</p> <p>오차 범위 : $\pm 0.3 \text{ }^\circ\text{C}$ (20~40 °C), $\pm 1.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 이하 (0~70 °C)</p>

[그림 4.5] 광산란법 미세먼지 측정기

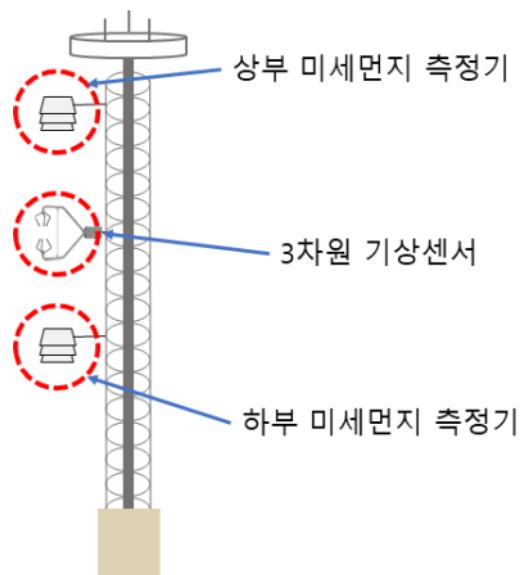


Specifications

Range	0 - 65 mg per cubic meter
Accuracy	2.5 μg or 10% in 24 hour period
Measurement Cycle	Hourly measurements with 1, 5, 10, 15, or 30 min real-time averages
Beta Source	C14, less than 75 microcurie, Half life of 5730 years
Detector:	Scintillation probe
Analog Output	0-1V, 0-2.5V, 0-5V, selectable hourly or real-time output
Filter Tape	Continuous glass fiber filter
Inlet	Compatible with EPA PM10 and PM2.5 inlets
Flow Rate:	16.7 liters per minute, adjustable
Flow accuracy	+/- 2% of reading, volumetric flow controlled
Sample Pump	Dual diaphragm type, DC powered, 4000 hr rating
Alarm Signals	Filter, flow, power and operation failure
Input Power	12 Volts DC @ 48 Watts max
Alarm Contact Closure	2 Amp @ 240 VAC max
Operating Temperature	-30 Deg C to 50 Deg C
Enclosure	41 cm x 36 cm x 20 cm, 13kg

[그림 4.6] PM10 측정기(베타선)

- PM10 측정기는 타워에 설치 및 관리가 용이한 광산란법 미세먼지 측정기를 사용하여 타워 상부와 하부에 설치하였고 그 중간부에 3차원 기상센서를 설치함
- 물질별 측정값 저장시간은 미세먼지 측정기의 경우 1분, 3차원 기상센서의 경우 10 Hz로 설정하였음




[그림 4.7] 저탄장 에디 공분산법 측정장비 설치 개념도

2.2 배출량 평가에 사용된 광산란법 미세먼지 측정기의 등가성 평가

- 광산란법 미세먼지 측정기 성능에 대한 검증을 위해 대기오염공정시험기준(ES 01605.1: 환경대기 중 미세먼지 자동측정법)에 준하여 평가를 실시
- 기준장비인 베타선 미세먼지 측정기(E-BAM)는 공인기관(KTL, 한국산업기술시험원)에서 ES 016505.1에 준하여 사전 검증 완료한 장비로 광산란법 미세먼지 측정기 2대에 대하여 등가성 평가를 수행
- 평가를 위한 측정은 대전대학교 공학관 옥상에서 2018년 12월14일부터 2019년 1월 16일까지 34일간 수행함


시험성적서
(TEST REPORT)



한국산업기술시험원
Korea Testing Laboratory

상기서 번호 : 18-059788-01-1
Report No.

페이지 (1) / (총 2)
Page of Pages



한국산업기술시험원
Korea Testing Laboratory

1. 의뢰자 (Client)
기 관 명 (Name) : (제)충남연구원
주 소 (Address) : 충청남도 공주시 연수원길 73-26
의뢰일자 (Date of Receipt) : 2018. 09. 18.

2. 시험대상자의 용도 (Use of Report) : 미세먼지 등가성 시험

3. 시험대상품목/물품/시료명 (Test Sample)
제 품 명 (Description) : 대기(미세먼지PM10)연속자동측정기 및 그 부착기기
제 품 회사 (Manufacturer) : Met One Instruments, Inc.
모 델 명 (Model Name) : E-BAM
제 품 번호 (Serial Number) : X20085
기 타 (Remark) :

4. 시험기간 (Date of Test) : 2018년 10월 06일 ~ 2018년 10월 17일

5. 시험규격/방법 (Test Standard/Method) : 대기오염측정법 원리 - 운영저항/
대기오염공정시험기준 (ES01605.1)

6. 시험환경 (Testing Environment)
온도 (Temperature) : - ℃ 습도 (Humidity) : - % RH

7. 시험결과 (Test Results) : 별첨결과 참조 (Refer to the attached results)

비고 (Note) : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제출한 자료에 대한 시험결과이며,
(The test results contained apply only to the test sample(s) supplied by the client.)
2. 우리 원의 사명, 위치, 장비, 측정방법의 일부 혹은 전체를 복제할 수 없습니다.
(This test report shall not be reproduced in full or in part without approval of the KTL in advance.)

인 정 (Affirmation)

의뢰자 (Tested by)

성 명 (Name) : 권희성

검 사 (Signature)

기술책임자 (Technical Manager)

성 명 (Name) : 김익승

2018. 10. 22.

한국산업기술시험원장

충청남도 공주시 연수원길 73-26 (충청남도 공주시 연수원길 73-26) 충청남도 공주시 연수원길 73-26

Tel: 052-791-3655 Fax: 052-791-3649

PP204-01-03

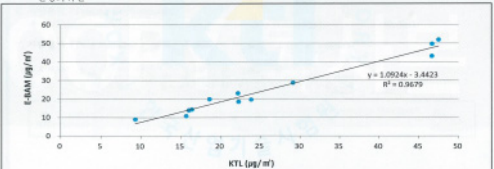
시험결과 (Test Results)

유 호 시 험 일	KTL (PM10) 기준농도 (µg/m³)	E-BAM (SN-X20085) 농도 (µg/m³)	RPD (%)	정확도 (%)	비 고
2018-10-06	9	9	-3.2	95.6	
2018-10-07	22	18	-17.1	82.9	
2018-10-08	16	14	-12.5	87.5	
2018-10-09	24	20	-16.0	82.0	
2018-10-10	16	11	-30.9	69.1	
2018-10-11	16	14	-12.5	86.8	
2018-10-12	19	20	5.3	93.2	
2018-10-13	22	23	3.7	96.3	
2018-10-14	29	29	-1.5	98.5	
2018-10-15	47	50	6.2	93.8	
2018-10-16	47	52	9.1	90.9	
2018-10-17	47	43	-7.9	92.1	

- 결과확인

시 험 항 목	시 험 기 준	결 과	비 고
1. 선형회귀 기술기	선형회귀에 따른 기술기는 0.9~1.1 이내여야 한다.	적 합	1.092
2. 선형회귀 절편	선형회귀에 따른 절편은 ±5.0 이내여야 한다.	적 합	-3.442
3. 유 호 시 험 일	유 호 시 험 일 은 10 일 이상 이어야 한다.	적 합	12 일
4. 정 확 도	정 확 도	-	89.2 %
5. 변 동 계 수	변 동 계 수	-	12.1 %

- 선형회귀선



이 하 여 백

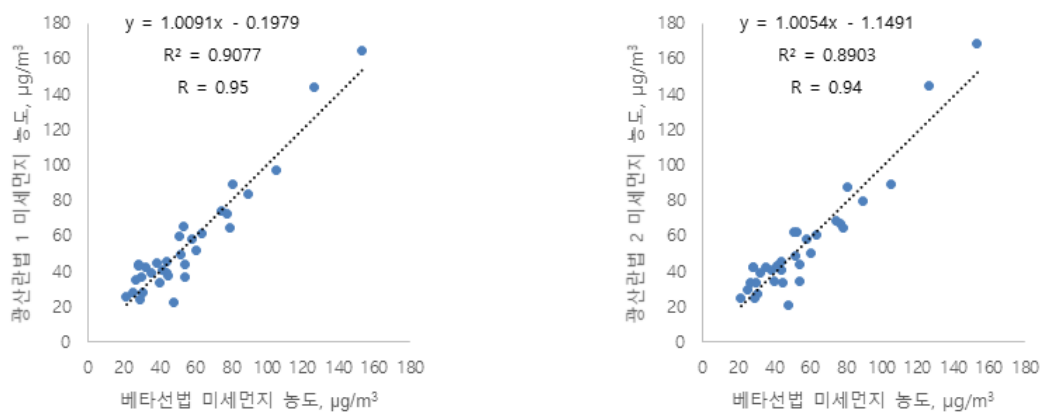
PP204-02-02

[그림 4.8] 베타선 측정기 시험성적서



[그림 4.9] 광산란법 측정기 자체 등가성 평가 실험 전경

- ES 0.1605.1(환경대기 중 미세먼지 자동측정법)의 등가성 평가에 따르면 “평균자료(베타산법)와 중량 농도법 측정자료 최소 10일 이상을 대상으로 상관 직선을 최소제곱법으로 구하여 기울기의 범위가 0.9~1.1, 절편의 값은 -5.0~5.0 이어야 한다.” 고 명시됨
- 광산란법 미세먼지 측정기의 등가성 평가결과 베타산법과 광산란법 간의 기울기는 각각 1.0091, 1.0051, 절편의 값은 각각 -0.1979, -1.1491로 ES 0.1605.1(환경대기 중 미세먼지 자동측정법) 범위를 만족함



[그림 4.10] 베타산법 측정기 대 광산란법 측정기 상관분석도

2.3 Flux-gradient Method(경도법) 계산과정

- 연구진이 측정한 3차원 기상장비 및 미세먼지 자료를 이용한 플럭스 계산방법은 미세먼지 측정자료의 측정시간이 1분으로 측정시간이 10 Hz 이상일 경우 지표위의 두 높이에 서 평균상태량 측정값을 사용하여 결정할 수 있는 Flux-gradient법(경도법)을 이용함⁵⁾
- 경도법은 난류 수송량이 풍속과 기온의 평균치 연직분포와 연관있는 관계식으로 결부되기 때문에, 평균치 연직분포의 관측으로부터 수송량을 구할 수 있음
- 난류 수송량이라 함은 지표면으로부터 난류 수송에 의해 연직방향으로 운반되는 것은 운동량, 현열, 수증기(증발), 그 외에 기체 성분이나 미립자들임. 이들 물리량의 수송방향은 순간적으로 위 아래로 바뀌며 이 위, 아래 방향을 어느 시간 동안 평균한 것임
- 연직 먼지 배출/침착 플럭스의 먼지 농도(PM10)C를 산정하기 위한 경도법을 이용한 접근 방법은 아래 식과 같고 여기서, K_z 는 z 높이에서의 에디 확산계수를 나타냄

$$F_c = K_z \frac{dC}{dz}$$

- 에디 확산계수 K_z 를 산정하기 위해서는 Karman 상수($k \simeq 0.4$), 영면변위길이(d), 마찰속도(u^*), 열에 대한 무차원 구배함수(ϕ_h)가 필요함

$$K_z = \frac{k(z-d)u_*}{\phi_h}$$

5) Xuhui Lee, Fundamentals of Boundary-Layer Meteorology, Springer, 2017

- 열에 대한 무차원 구배함수(ϕ_h)는 L(Monin-Obukhov 길이)에 따라 두 가지 경우로 계산됨

$$\text{불안정}(L < 0), \phi_h = \left(1 - \frac{15z}{L}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\text{안정}(L > 0), \phi_h = 1 + \frac{5z}{L}$$

- Monin-Obukhov 길이는 운동량 플럭스에 대한 열적 플럭스의 비를 나타내어 안정도 길이(stability length)라고 부르기도 하며 평균온위(\bar{T}), 중력가속도(g), 열유동 운동에너지($\overline{w'T'}$)에 의해 결정됨

$$L = - \frac{\bar{T} u_*^3}{g \overline{w'T'}}$$

- 앞에서 제시된 내용 중 마찰속도(u_*)는 x, z방향 풍속 평균 공분산과 y, z방향 풍속 평균 공분산으로 산정되고 대류속도(w_*)는 온위, 수직방향 열플럭스 평균 공분산을 이용함

$$u_* = \left(\left(-\overline{u'w'} \right)^2 + \left(-\overline{v'w'} \right)^2 \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$w_* = \left(\frac{g}{\theta_0} \overline{w'T' z} \right)^{\frac{1}{3}}$$

3. 저탄장 배출량 조사

3.1 태안화력발전소 저탄장 배출량 조사결과

3.1.1 태안화력 옥외 저탄장 비산먼지 배출량 조사 방법

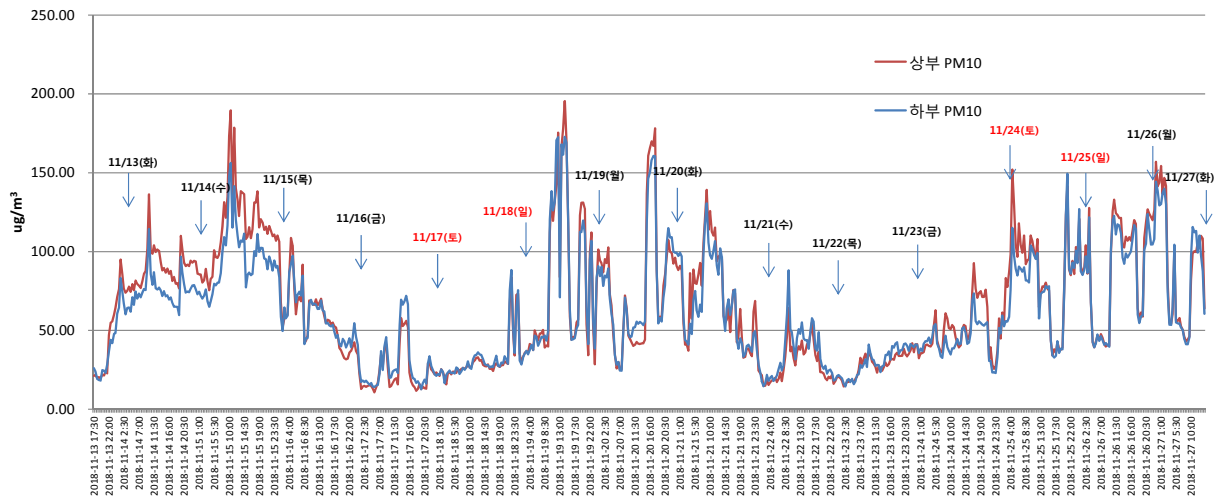
- 태안화력 옥외 저탄장(면적: 352,837 m²)의 비산먼지 배출량 조사지점은 저탄장 내부에 측정장비 설치 및 운영이 가능한 장소 확보가 용이하지 않아 저탄장에 인접하고 있는 건물의 옥상에서 측정을 수행함
- 측정장비 운영기간은 2018년 11월 13일부터 11월 27일까지 15일간 연속측정을 수행하였고, 실질적으로 측정지점은 저탄장의 높이 보다 3배 높은 건물임



[그림 4.11] 태안화력발전소 저탄장 배출량조사 측정 설치지점 및 장비 전경

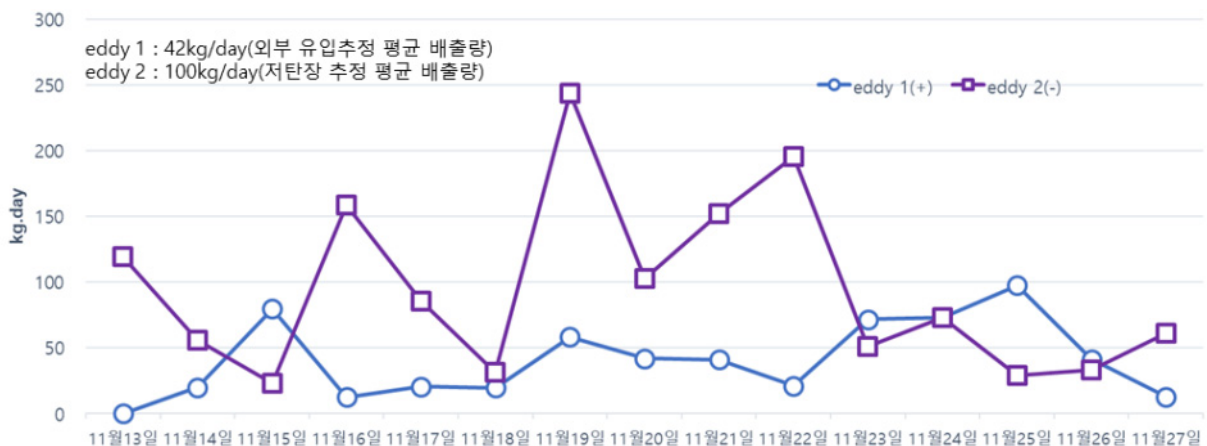
3.1.2 태안화력 옥외 저탄장 비산먼지 배출량 조사 결과

- 상·하부 미세먼지 측정결과 15일간 상부 PM10 측정기의 평균농도는 $64.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 하부 미세먼지 측정기의 평균농도는 $60.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 상부보다 하부의 PM10 농도가 낮음



[그림 4.12] 태안화력 저탄장 상·하부 미세먼지(PM10) 측정결과

- 태안화력 저탄장 시설에서 비산먼지(PM10) 배출량은 측정기간 평균적으로 약 100 kg/일 배출특성이 나타났고 최대 288 kg/일, 최소 24kg/일로 분석됨. 여기서 에디 1(+)은 외부에서 저탄장으로 유입될 것으로 추정되는 비산먼지(량)이며, 반대로, 에디 2(-)는 저탄장에서 발생한 비산먼지 발생량임



[그림 4.13] 태안화력 저탄장 미세먼지 배출량

3.2 보령화력발전소 저탄장 배출량 조사결과

3.2.1 보령화력 옥외 저탄장 비산먼지 배출량 조사 방법

- 보령화력발전소 저탄장의 면적은 397,689 m², 저장량은 127 만 톤으로 측정지점은 옥외 저탄장 북쪽에 위치하고 있는 CCTV 타워에서 진행하였고 운영기간은 2019년 1월 18일부터 2월 17일까지 약 30일 동안 연속적으로 측정하고 데이터를 분석함
- 측정장비의 설치높이는 CCTV 타워(최대 높이 25.0 m)의 22.0 m에 상부 PM10 측정기, 19.0 m에 3D 기상장비(3차원 기상장비), 16.0 m에 하부 PM10 측정기를 설치하여 운영함



[그림 4.14] 보령화력발전소 저탄장 배출량조사 측정기 설치위치

보령화력(한국중부발전) 저탄장(397,689m², 127만톤 저장량)

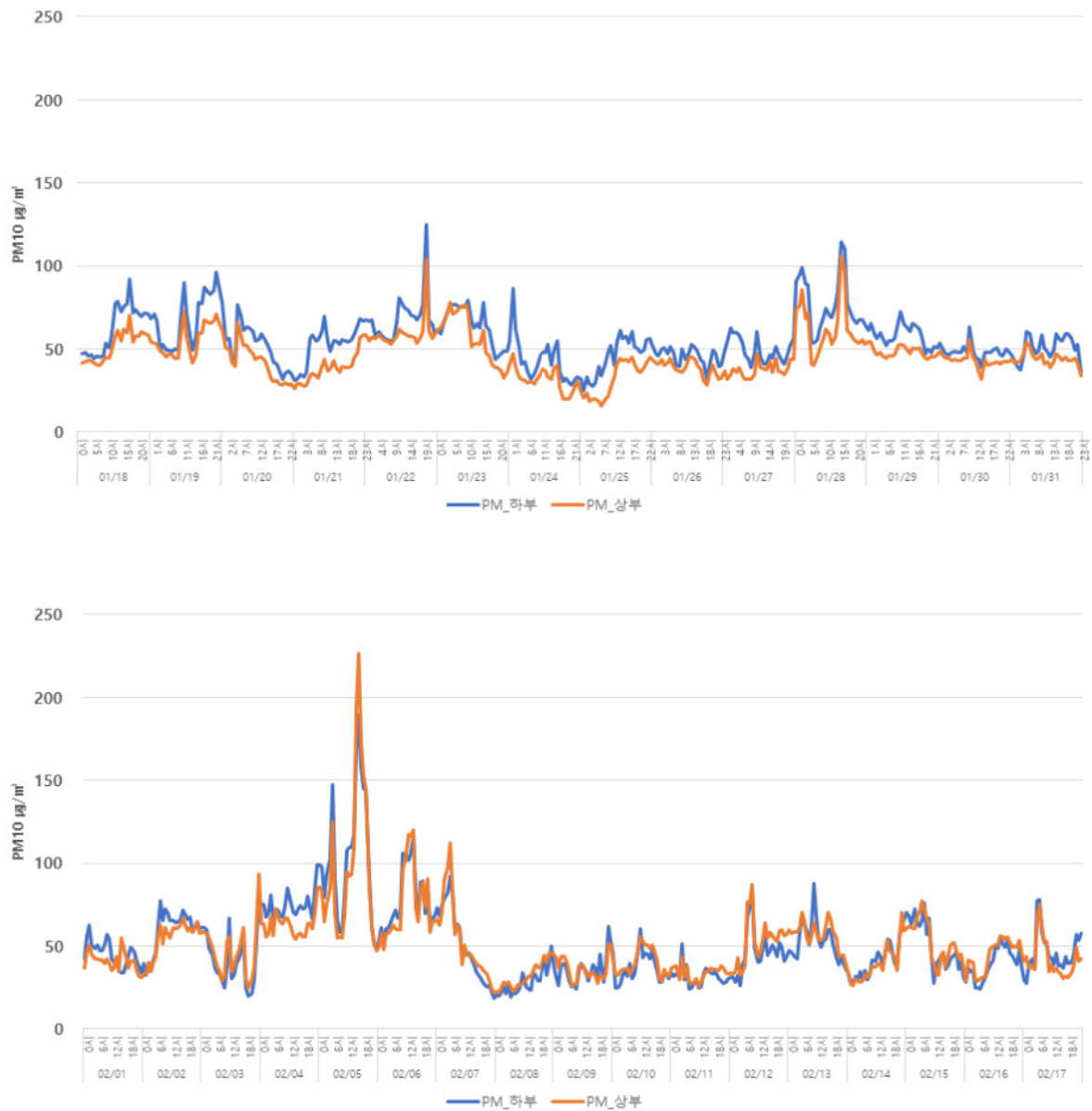
- 운영기간: 2019.01.18~02.18(1개월 연속 운영)



[그림 4.15] 보령화력발전소 저탄장 배출량조사를 위한 측정기 운영 모습

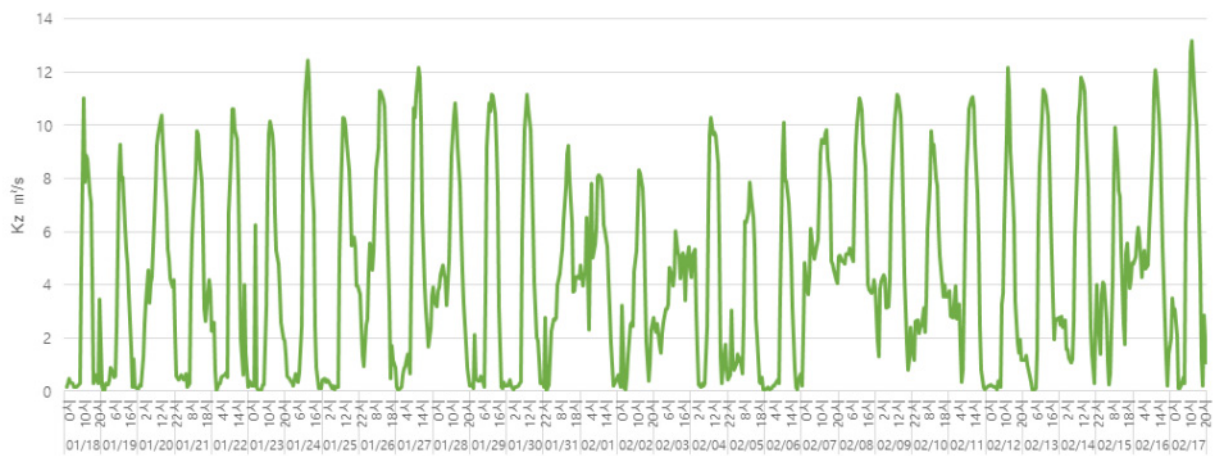
3.2.2 보령화력 옥외 저탄장 비산먼지 배출량 조사 결과

- 옥외 저탄장 비산먼지 배출량 조사를 위해 측정된 자료는 60분 평균과 표준편차를 계산하여 이용함
- 측정기간의 상부와 하부의 미세먼지(PM10) 농도를 분석하면 측정기간 평균은 상부 $48.4 \pm 19.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 하부 $53.0 \pm 20.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 하부가 높았고, 최고농도는 상부 $226.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 하부 $189.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 최소농도는 상부 $15.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 하부 $18.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정됨

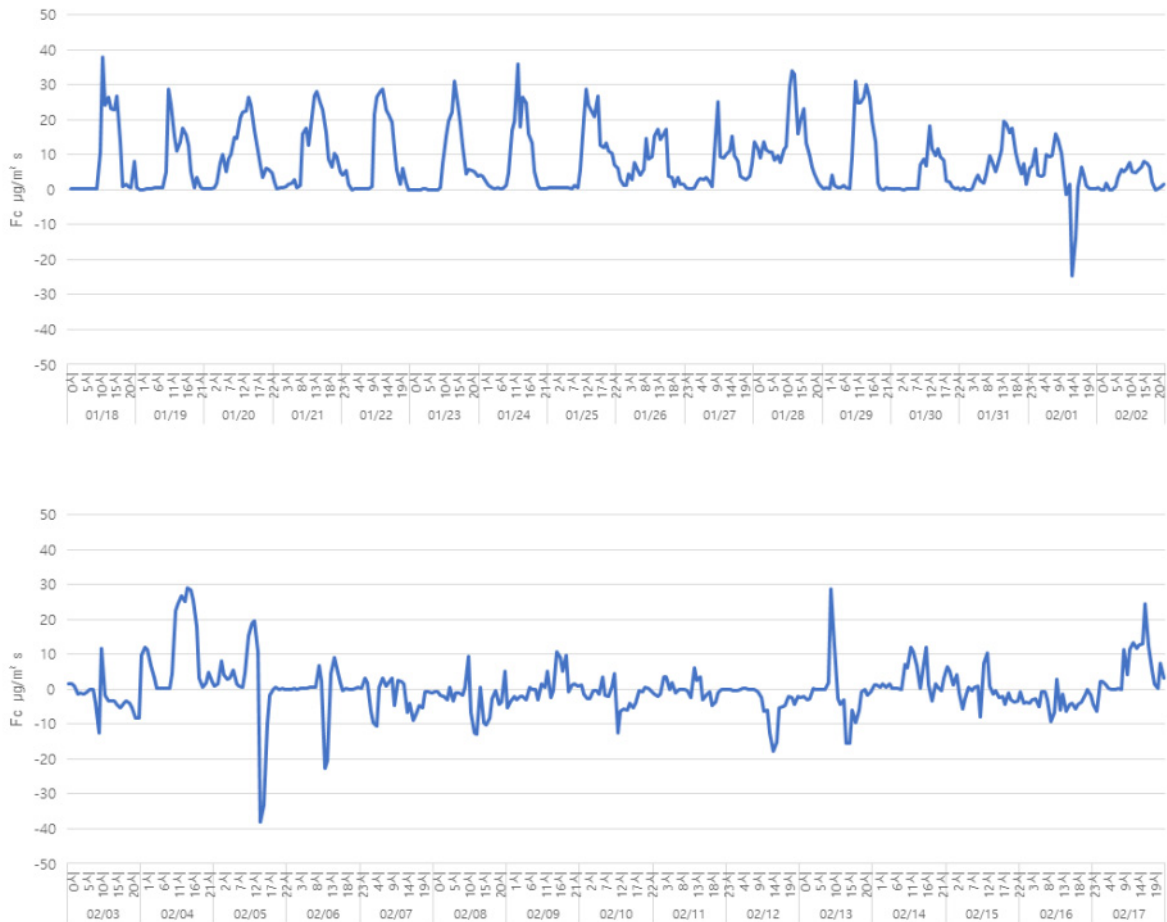


[그림 4.16] 보령화력 저탄장 상·하부 미세먼지(PM10) 측정결과

- 보령화력 저탄장의 미세먼지 Flux(F_c)산정을 위해 미세먼지 농도차/높이차비(dC/dz)와 3차원 기상 측정자료를 이용하여 에디 확산계수(K_z)를 산정함
 - dC/dz 는 최대 $6.98 \mu\text{g}/\text{m}^4$, 최저 $-5.18 \mu\text{g}/\text{m}^4$, 에디 확산계수(K_z)는 최대 $13.17 \text{ m}^2/\text{s}$ 로 산정됨

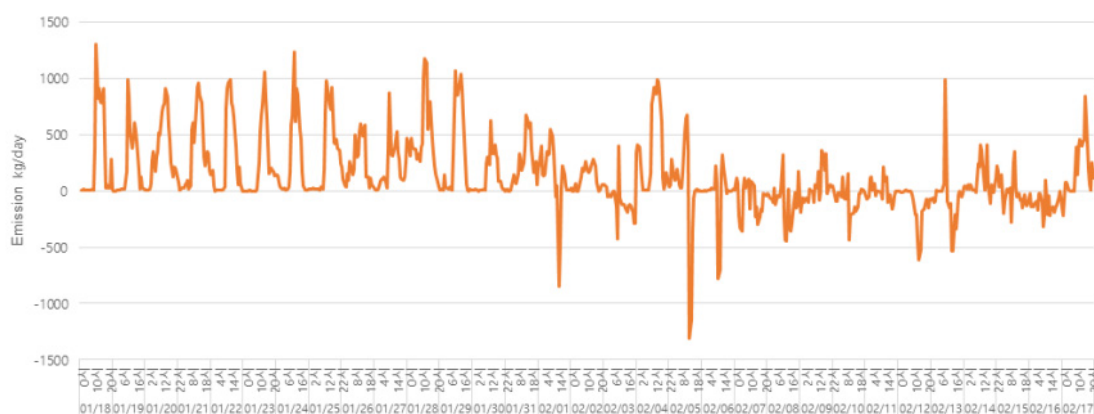
[그림 4.17] 보령화력 저탄장의 측정기간 dC/dz 값[그림 4.18] 보령화력 저탄장의 측정기간 에디확산계수(K_z)

- 보령화력 저탄장 미세먼지 Flux(F_C)의 측정기간 평균은 $4.0 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 로 측정기간 중 강우가 있었던 2월 3일(강우량 7.0 mm)을 기준으로 1월 18일부터 2월 2일까지의 F_C 평균값은 $7.7 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{s}$, 2월 3일부터 2월 17일까지의 F_C 평균값은 $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 로 산정됨



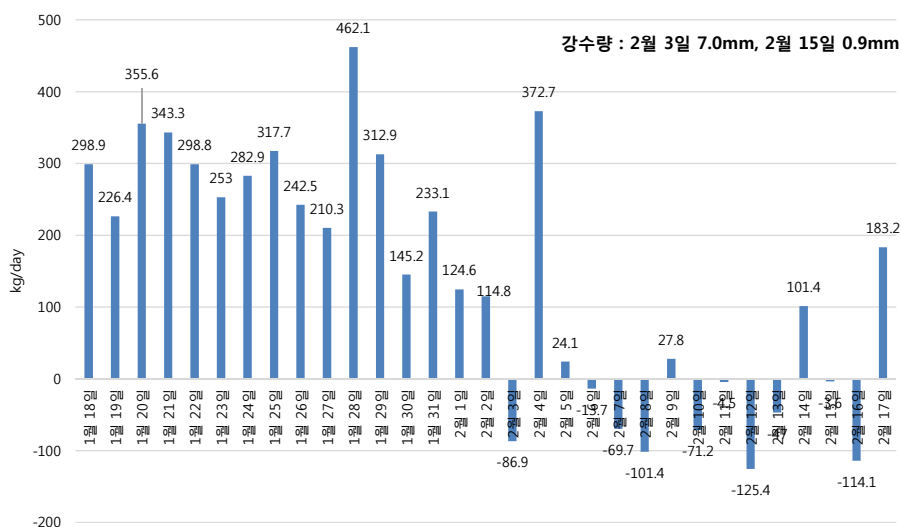
[그림 4.19] 보령화력 저탄장의 측정기간 플럭스(F_C)

- 보령화력 실외 저탄장 시설면적(397,689 m²)을 고려한 측정기간의 실시간 배출량(kg/일) 산정결과 2월 3일을 기준으로 1월 18일부터 2월 2일까지의 평균값은 263.8 kg/일, 2월 3일부터 2월 17일까지는 4.8 kg/일로 산정됨



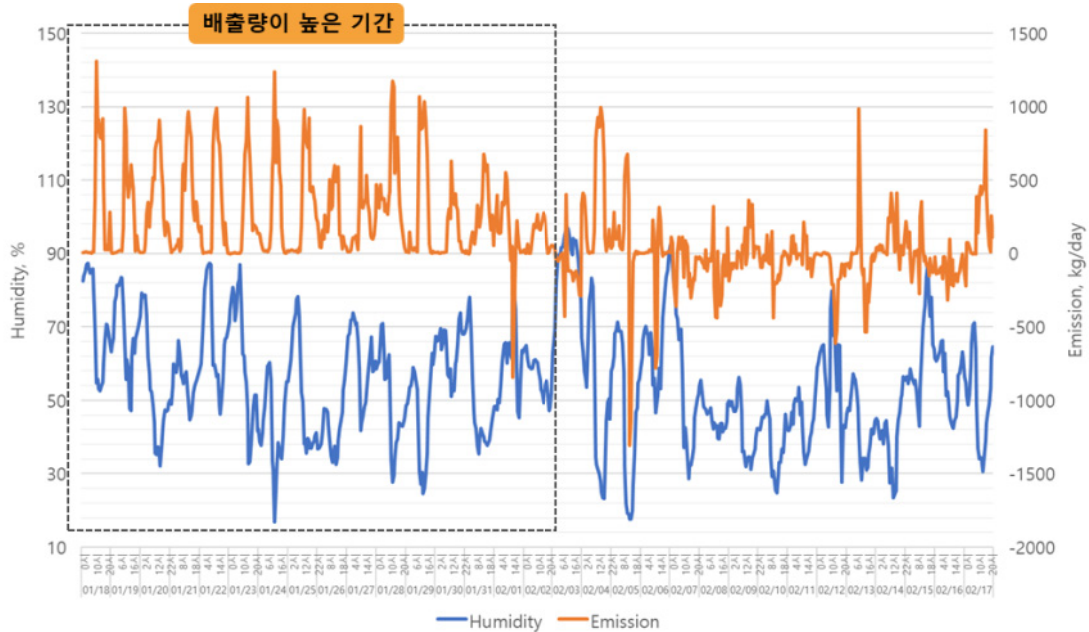
[그림 4.20] 보령화력 저탄장의 실시간 배출량(kg/일)

- 보령화력 저탄장의 일평균 배출량은 최대 432.1 kg/일, 최소 -125.4 kg/일, 기간 평균은 138.3 kg/일임. 측정기간의 특징으로 1월 18일부터 2월 2일까지 일평균 배출량은 양(+)의 값만 나타나다가 강우가 있었던 2월 3일의 경우 일평균 배출량이 -86.9 kg/일로 음(-)의 값이 산정됨. 이와 같이 일평균 배출량이 음(-)값으로 산정된 경우는 저탄장 내부의 발생원영향보다 기상 등 외부 영향요인에 의한 것으로 추정됨

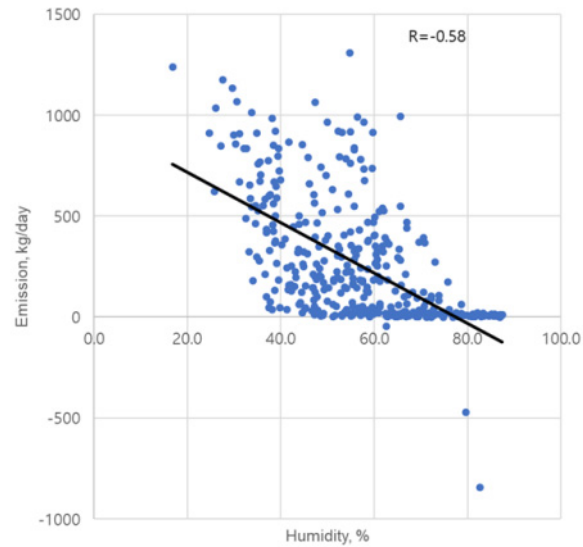


[그림 4.21] 보령화력 저탄장의 일평균 배출량(kg/일)

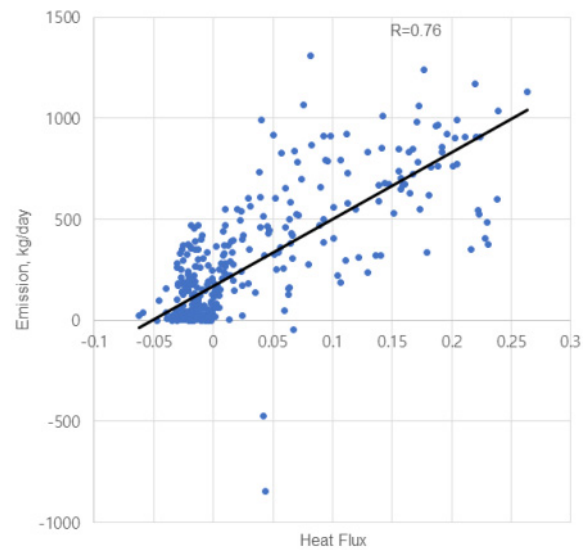
- 기상요소 중 강우가 배출량 변화에 영향을 주는 것을 확인되어 기상관측 요소 중 수분과 관련 있는 상대습도와 열플럭스를 대상으로 배출량과 비교하여 어떤 영향요인으로 작용하는지 분석함
- 측정기간 중 배출량이 높게 측정된 기간인 1월 18일부터 2월 2일까지의 실시간 배출량과 습도 및 열플럭스 상관분석결과 실시간 배출량에 대한 상대습도의 상관계수(r)는 -0.58로 배출량 감소인자로 분석되었고, 실시간 배출량에 대한 열플럭스의 상관계수(r)은 0.76으로 배출량 증가인자로 분석됨



[그림 4.22] 보령화력 저탄장의 실시간 배출량과 상대습도

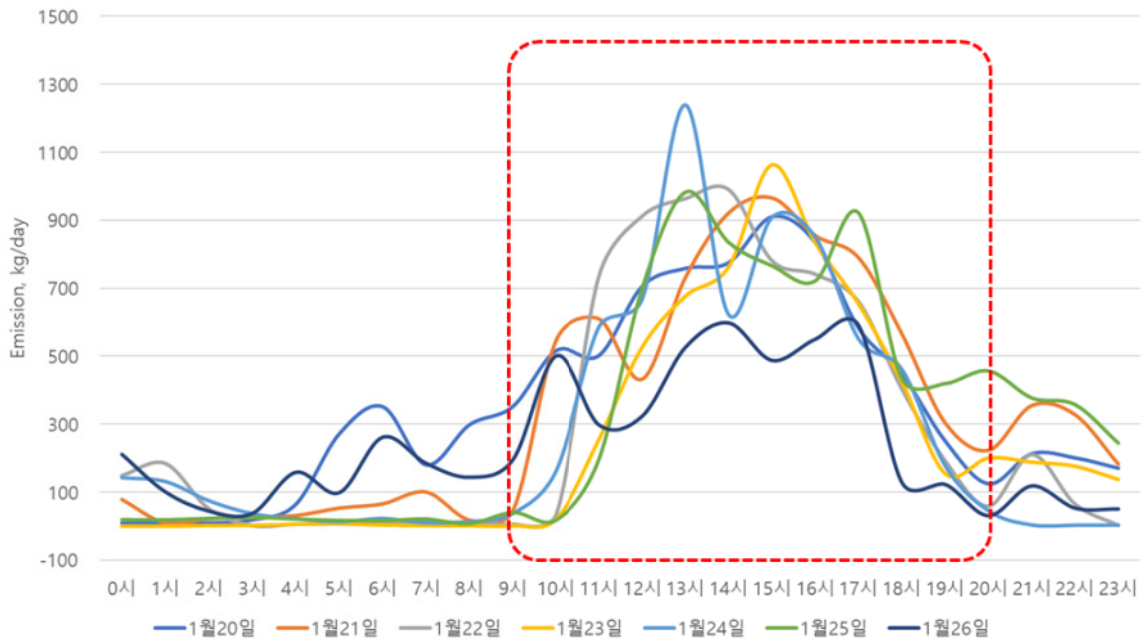


[그림 4.23] 보령화력 저탄장의 배출량 높은 기간 실시간 배출량과 상대습도 상관분석



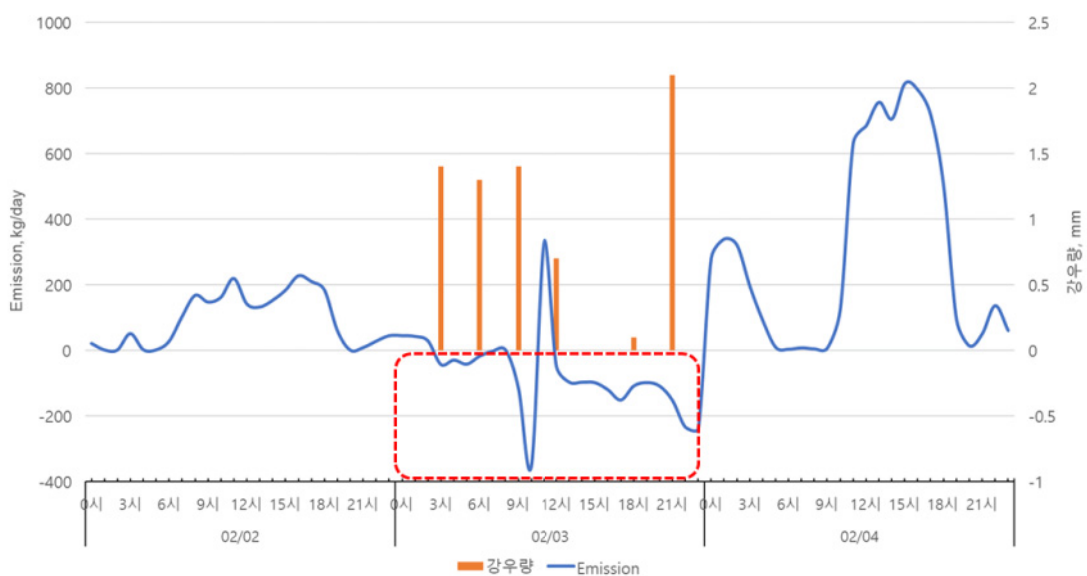
[그림 4.24] 보령화력 저탄장의 배출량 높은 기간 실시간 배출량과 열플럭스 상관분석

- 배출량이 높게 측정된 기간 중 1월 20일부터 1월 26일까지의 주간(09시~20시), 야간의 시간변화에 따른 배출량을 비교한 결과 야간 87 kg/일, 주간 511 kg/일로 주간 시간대에 배출량이 많은 것으로 분석됨



[그림 4.25] 보령화력 저탄장 주야간 배출량 비교

- 측정기간 중 강우 발생일인 2월 3일 전후의 실시간 배출량은 강우가 처음 발생한 03시 이후 배출량이 음(-)값으로 산정되었고 마지막 강우발생 시간인 21시 이후인 2월 4일 0시부터 배출량이 양(+)값으로 산정되는 경향이 나타남. 이와 같이 강우로 인한 저탄장 배출량이 감소하는 경향을 확인함



[그림 4.26] 강우발생일 전후 실시간 배출량

3.3 당진화력발전소 저탄장 배출량 조사결과

3.3.1 당진화력 옥외 저탄장 비산먼지 배출량 조사 방법

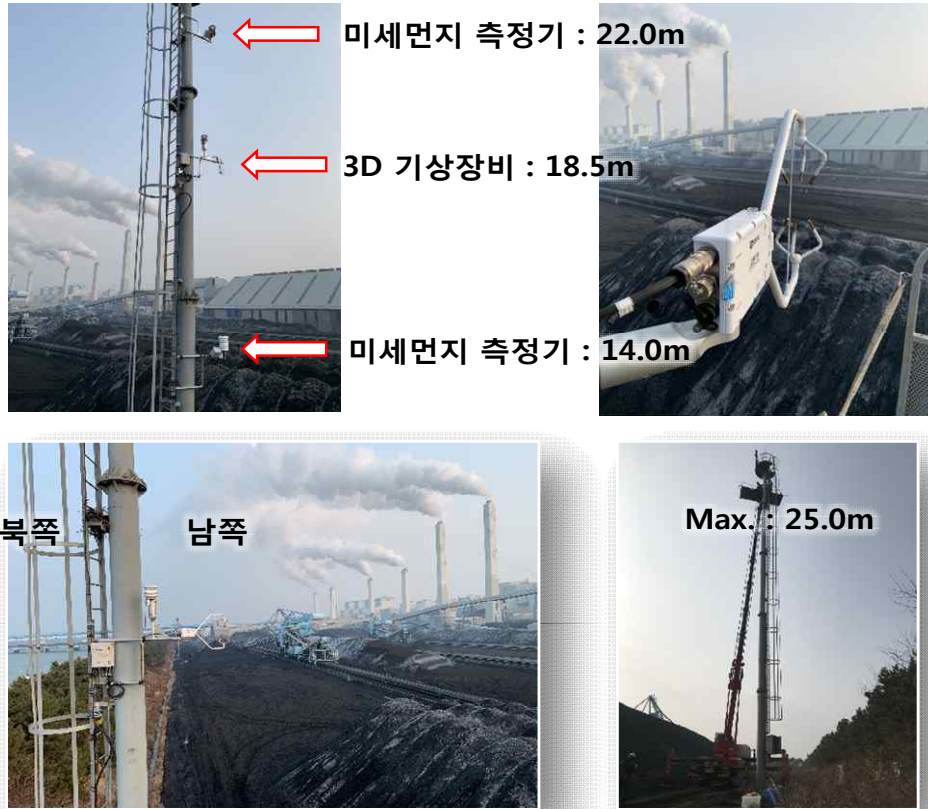
- 당진화력발전소 저탄장의 면적은 510,000m², 저장량은 149 만 톤으로 배출량 조사 지점은 옥외 저탄장 북측에 측정장비를 설치하여 2019년 2월 21일부터 3월 13일까지 연속 측정을 수행함
- 측정장비의 설치높이는 CCTV 타워의 22.0 m에 상부 PM10 측정기, 18.5 m에 3D 기상장비(3차원 기상장비), 14.0 m에 하부 PM10 측정기(하부)를 설치하여 운영함



[그림 4.27] 당진화력발전소 저탄장 배출량조사 측정기 설치위치

당진화력(한국동서발전) 저탄장(510,000m², 149만톤저장량)

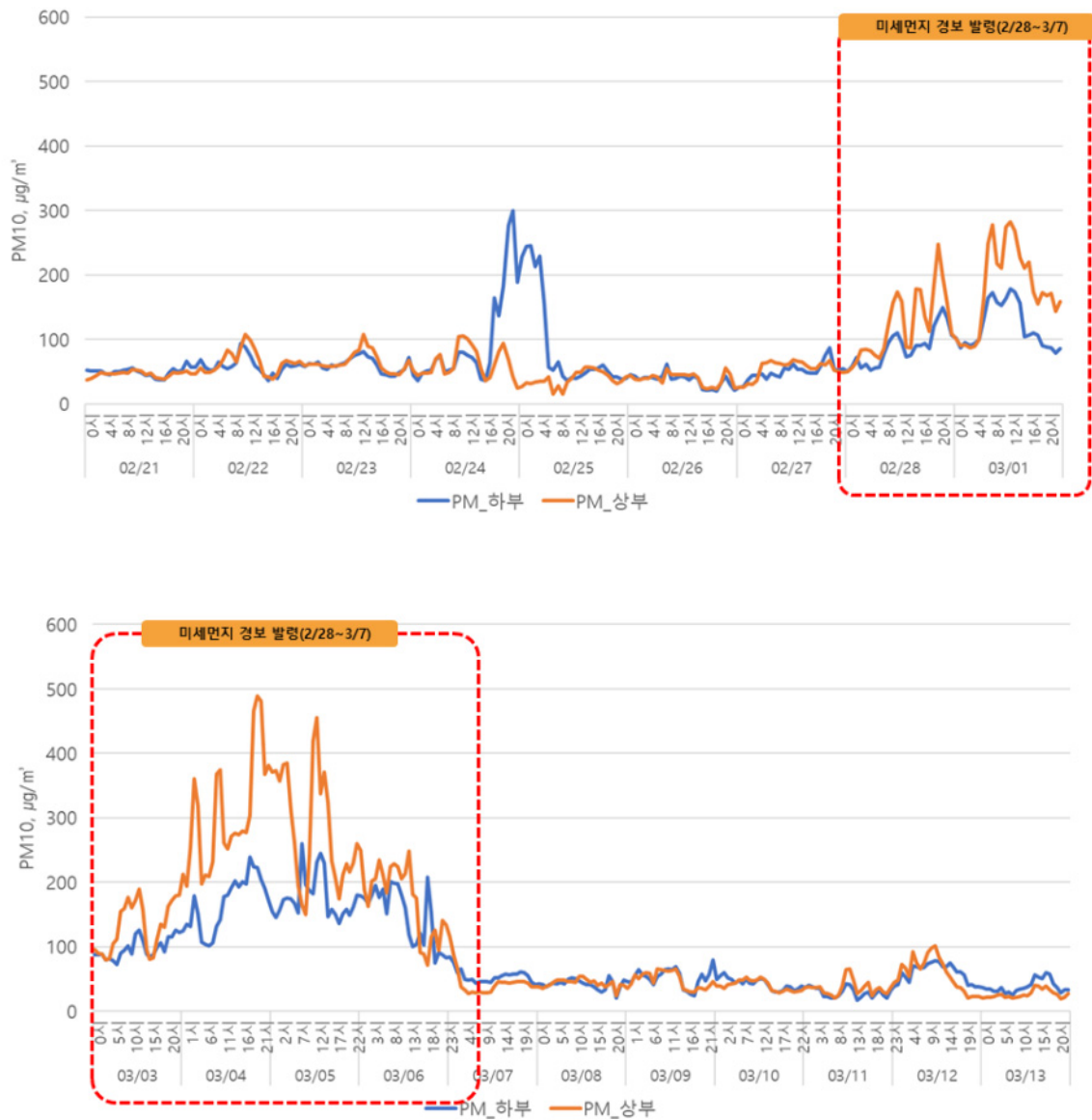
- 운영기간: 2019.02.21~현재까지



[그림 4.28] 당진화력발전소 저탄장 배출량조사를 위한 측정기 운영 모습

3.2.2 당진화력 옥외 저탄장 비산먼지 배출량 조사 결과

- 옥외 저탄장 비산먼지 배출량 조사를 위해 측정된 자료는 60분 평균과 표준편차를 계산하여 이용함
- 측정기간의 상부와 하부의 미세먼지(PM10) 농도를 분석하면 측정기간 평균은 상부 94.7 \pm 87.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 하부 82.1 \pm 59.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 하부가 높았고, 최고농도는 상부 488.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 하부 324.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 최소농도는 상부 15.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 하부 17.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정됨. 측정기간 중 특이사항으로는 2월 28일부터 3월 6일까지 미세먼지 경보가 발령됨

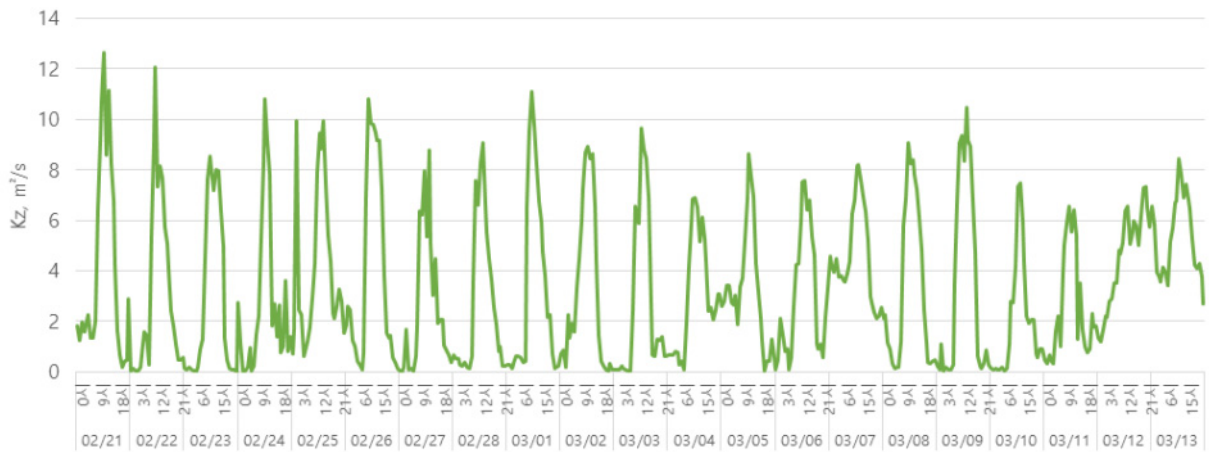


[그림 4.29] 당진화력 저탄장 상·하부 미세먼지(PM10) 측정결과

- 당진화력 저탄장의 미세먼지 Flux(F_C)산정을 위해 미세먼지 농도차/높이차비(dC/dz)와 3차원 기상 측정자료를 이용하여 에디 확산계수(K_z)를 산정함
 - dC/dz 는 최대 $35.53 \mu\text{g}/\text{m}^4$, 최저 $-34.57 \mu\text{g}/\text{m}^4$, 에디 확산계수(K_z)는 최대 $12.63 \text{ m}^2/\text{s}$ 로 산정됨

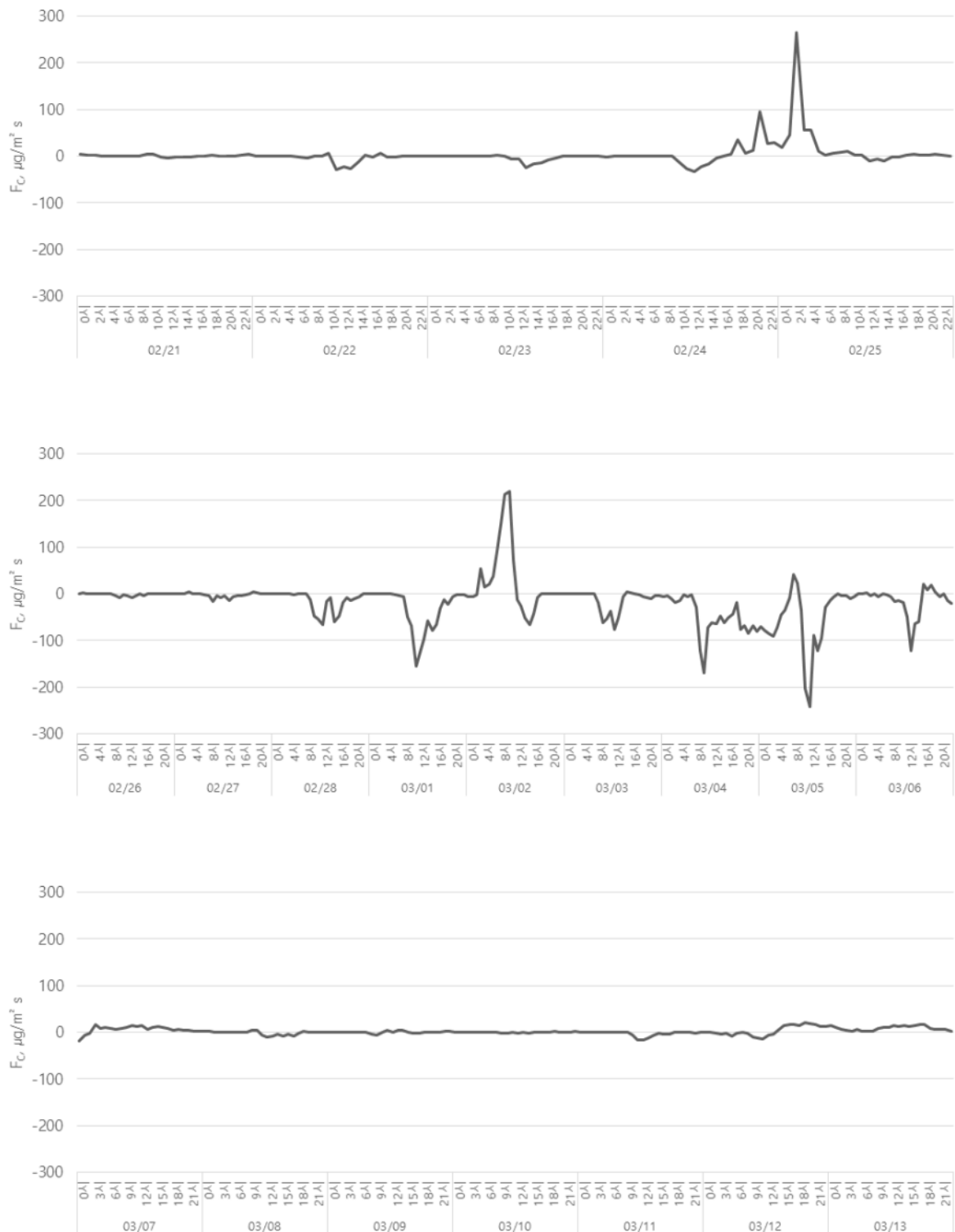


[그림 4.30] 당진화력 저탄장의 측정기간 dC/dz 값

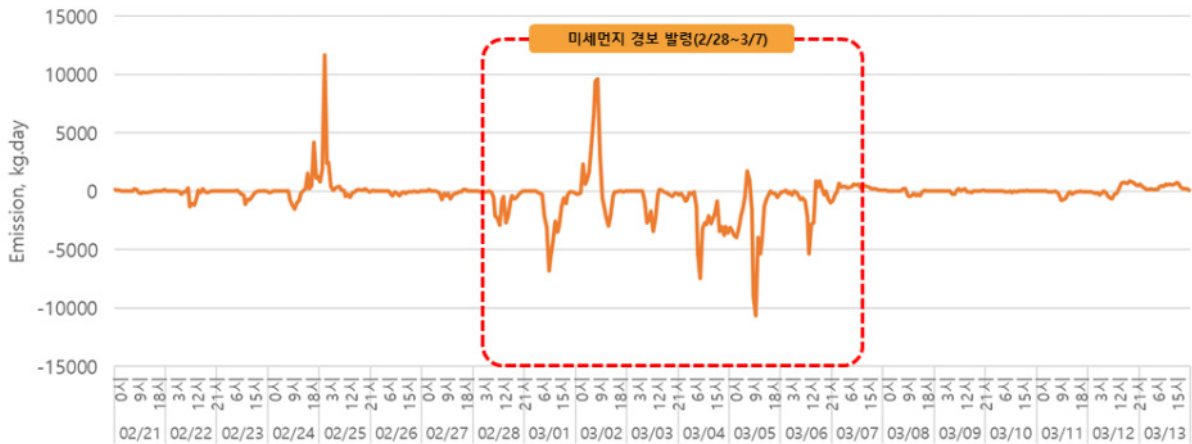


[그림 4.31] 당진화력 저탄장의 측정기간 에디 확산계수(K_z)

- 당진화력 저탄장 미세먼지 Flux(F_c)의 측정기간 평균은 $-6.2 \mu g/m^2 \cdot s$, 미세먼지 경보 발령기간 이전인 2월 21일부터 2월 25일까지 평균은 $3.1 \mu g/m^2 \cdot s$, 미세먼지 경보 발령기간인 2월 28일부터 3월 6일까지 평균은 $-17.7 \mu g/m^2 \cdot s$, 3월 7일부터 3월 13일까지 평균은 $1.7 \mu g/m^2 \cdot s$ 로 산정됨

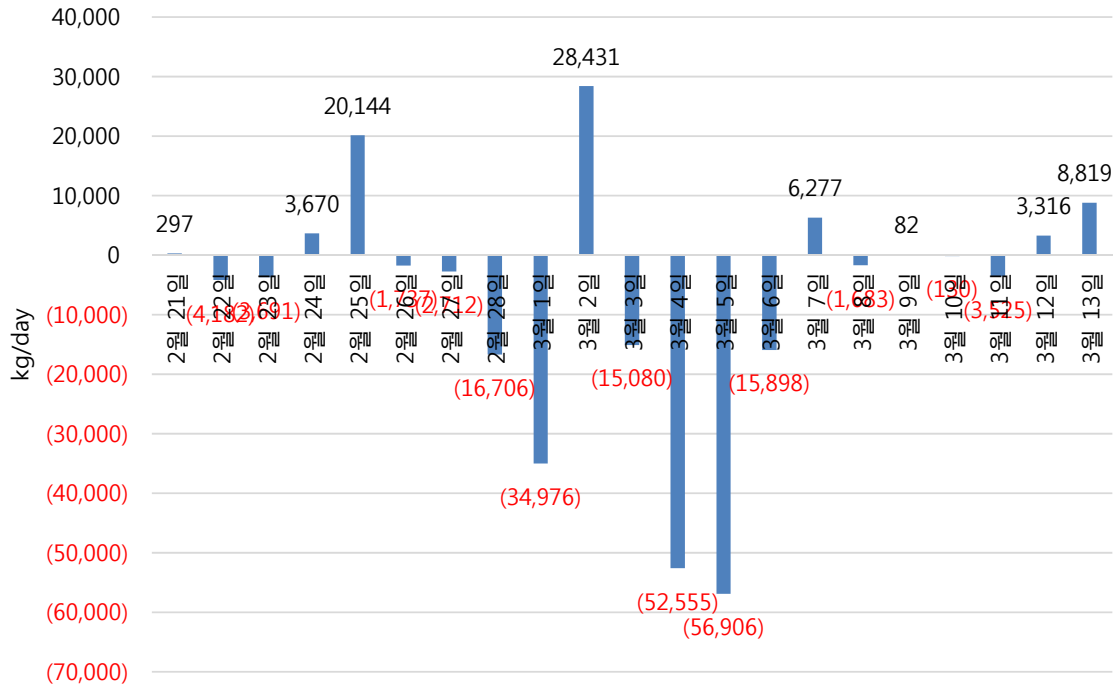
[그림 4.32] 당진화력 저탄장의 측정기간 플럭스(F_C)

- 당진화력 설외 저탄장 시설면적(397,689 m²)을 고려한 측정기간의 실시간 배출량(kg/일) 2월 21일부터 2월 27일까지의 평균값은 70.2 kg/일, 미세먼지 경보 발령기간인 2월 28일부터 3월 6일까지 평균값은 -974.3 kg/일, 3월 7일부터 3월 13일까지 평균값은 783 kg/일로 산정됨



[그림 4.33] 당진화력 저탄장의 실시간 배출량(kg/일)

- 당진화력 저탄장의 일평균 배출량은 최대 28,431kg/일, 최소 -56,906 kg/일, 기간 평균은 -6,607 kg/일임, 미세먼지 경보 발령기간 동안(3월 2일 제외) 일평균 배출량은 -56,906~-15,080 kg/일로 산정됨
- 측정기간 중 2월 28일부터 3월 7일을 제외한 당진화력 저탄장의 평균배출량은 1,436 kg/일로 산정됨



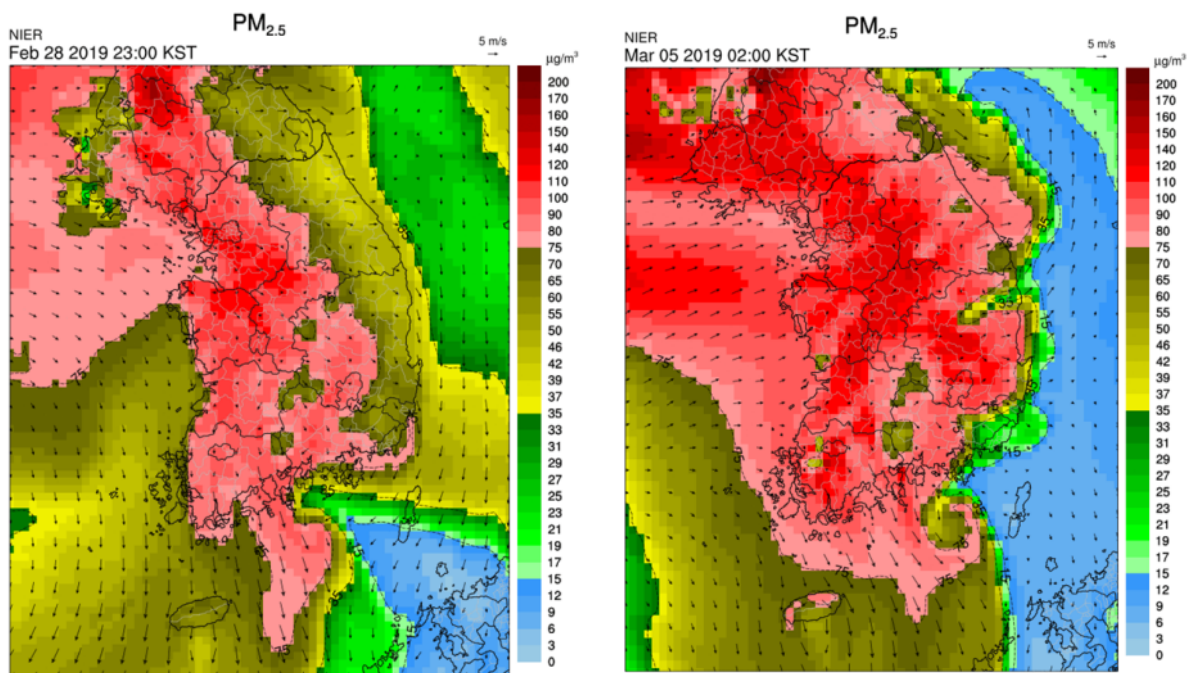
[그림 4.34] 당진화력 저탄장의 일평균 배출량(kg/일)

- 당진화력 저탄장 조사기간 중 충청남도 지역 미세먼지 경보 및 주의보 발령기간은 2월 28일부터 3월 8일까지와 3월 12일로 조사되었고 미세먼지 경보가 발령된 기간의 한반도 대기질 예측결과에 따르면 외부 발생물질이 한반도 유입되는 경향이 나타남
- 이와 같이 당진화력 저탄장 조사기간 중 미세먼지 측정에 외부영향을 많이 받음

[표 4.3] 당진화력 저탄장 조사기간 중 충청남도 지역 미세먼지 경보·주의보 발령기간

지역	권역	항목	경보단계	발령시간	해제시간
충남	북부권역	PM2.5	주의보	2019-02-28 18	2019-02-28 22
		PM10	주의보	2019-02-28 19	2019-03-07 07
		PM2.5	경보	2019-02-28 22	2019-03-07 07
		PM2.5	주의보	2019-03-07 07	2019-03-08 02
		PM2.5	주의보	2019-03-12 10	2019-03-12 17

자료: 에어코리아(www.airkorea.go.kr)

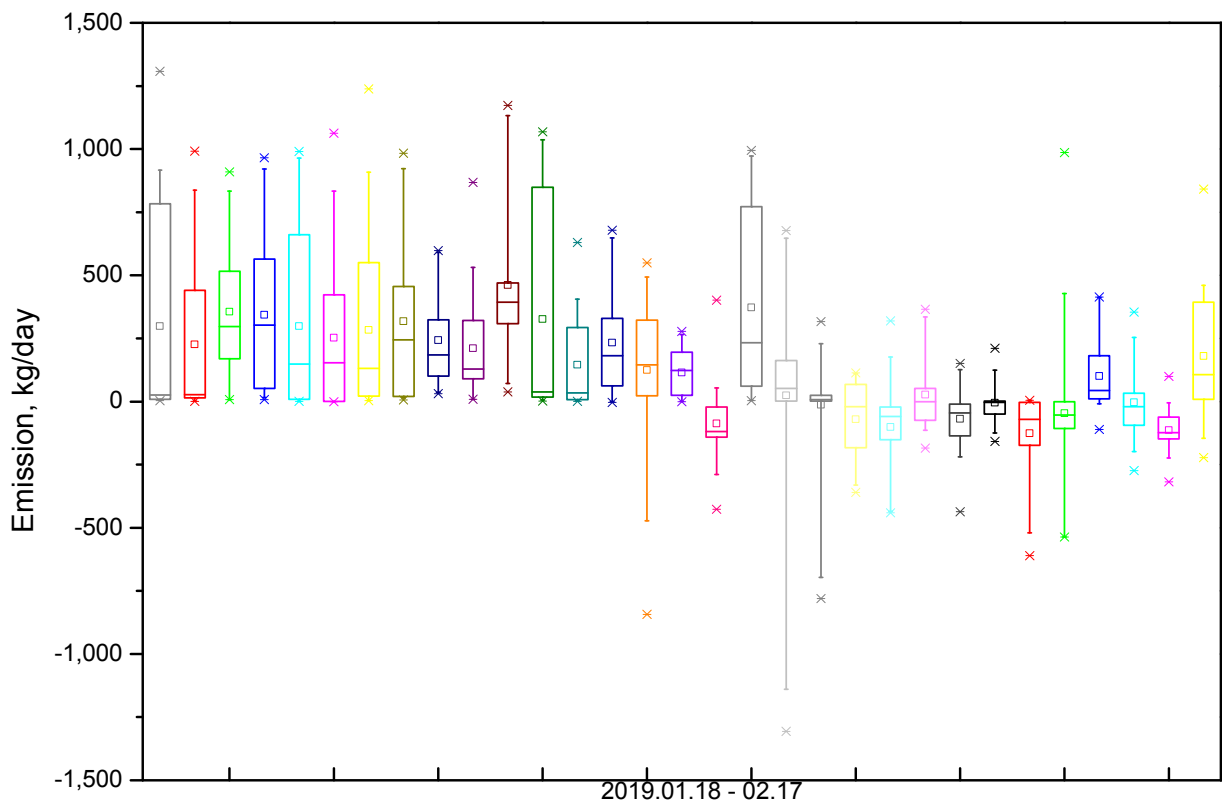


자료:에어코리아(www.airkorea.or.kr)

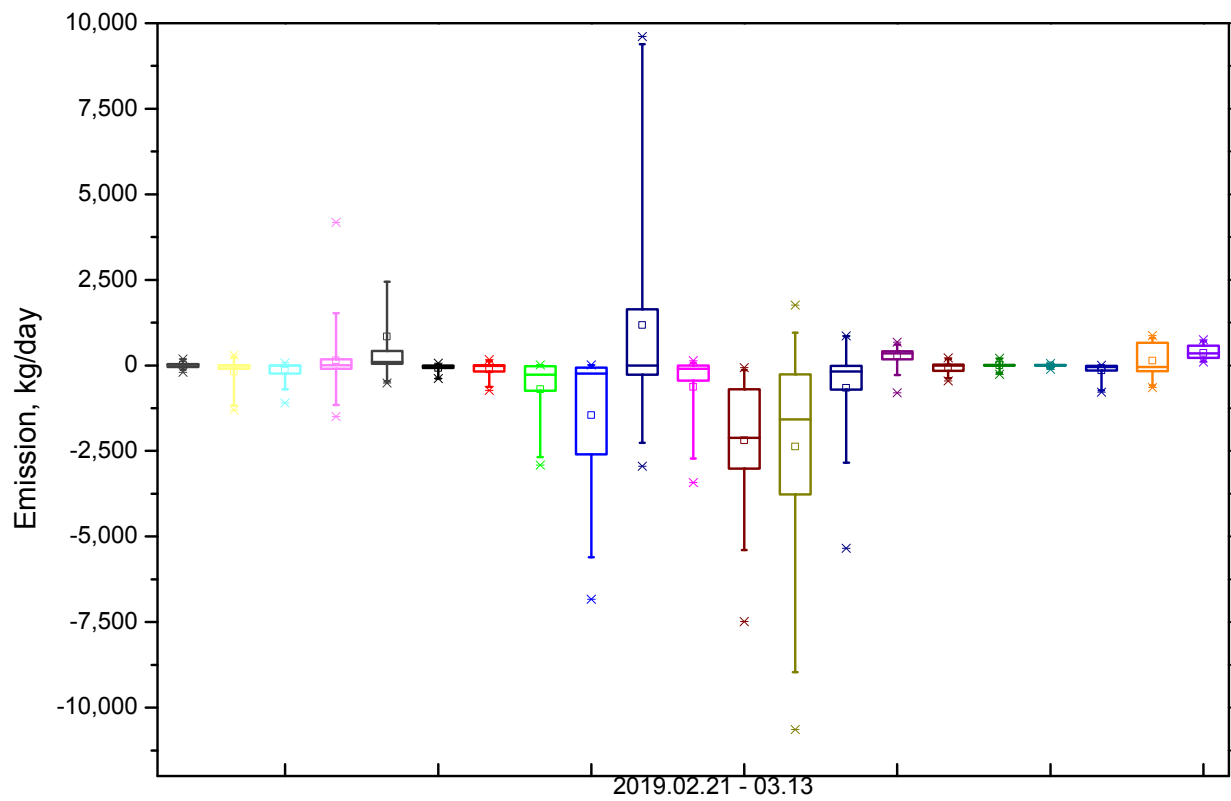
[그림 4.35] 미세먼지 경보 발령 기간 중 한반도 대기질 모델 예측결과

3.4 발전사별 저탄장 비산먼지 배출량 일변화 관찰

- 발전사별 저탄장 미세먼지 배출량 조사결과 일자별, 주야간별, 기상요소 변화에 따른 저탄장 시설 내 미세먼지 배출량이 일정한 것이 아니라 배출량도 변화하는 것을 확인 할 수 있었음. 이러한 결과를 통해 실시간 미세먼지 배출량 관리의 필요성을 확인할 수 있었음



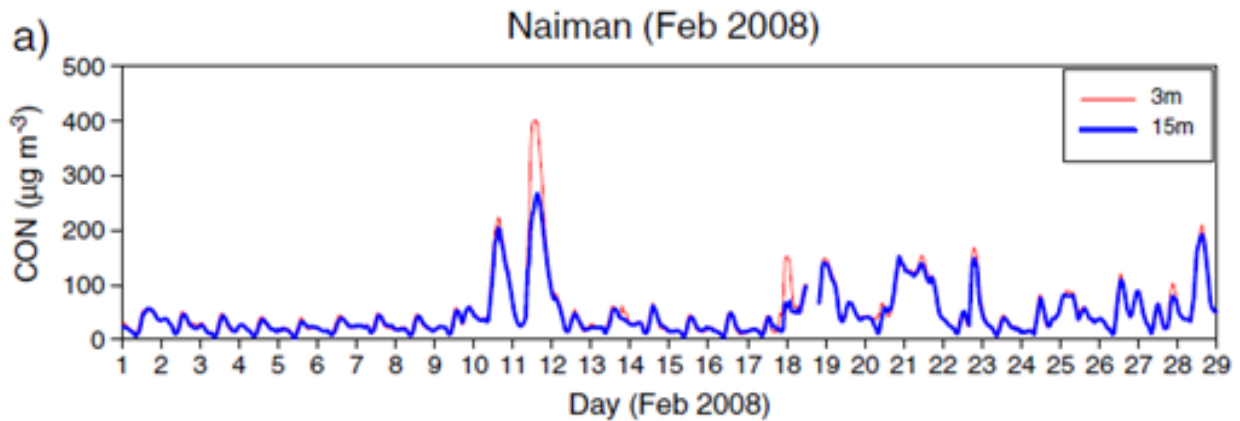
[그림 4.36] 보령화력 저탄장 일 배출량 박스 그래프



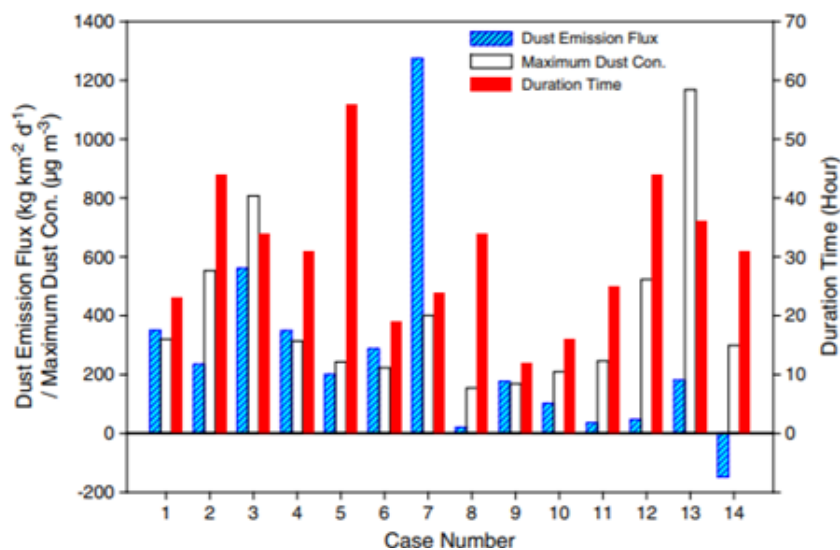
[그림 4.37] 당진화력 저탄장 일 배출량 박스 그래프

3.5 비산먼지 배출과 관련한 타 연구 사례 조사

- 본 측정결과와 타 사례 비교를 위한 자료로 Improved parameterization of dust emission(PM10) fluxes by the gradient method using the Naiman tower data at the Horqin desert in China, Moon-Soo Park 외 2인, 2011를 인용함
- 중국사막에서의 미세먼지 평균 농도는 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 미세먼지 배출량은 평균 $400 \text{ kg}/\text{km}^2$ 일로 보령화력 저탄장과 비교하면 미세먼지 평균 농도는 $50.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 미세먼지 배출량은 $347.9 \text{ kg}/\text{km}^2$ 일로 두 결과가 유사하게 나타남



[그림 4.38] 중국 사막에서의 높이별 미세먼지 농도



[그림 4.39] 중국 사막에서의 미세먼지 배출량

4. 소결론

- 국가 대기오염물질 배출량 산정방식을 이용한다면 발전사별 저탄장의 최근 3년간 PM10 배출량 산정결과는 태안화력 1.5 ~ 1.8 kg/일, 보령화력 1.4 ~ 1.7 kg/일, 당진화력 1.3~1.7 kg/일로 산정됨
- 국가 대기오염물질 배출량의 배출원 지역은 발전사가 위치한 지역이 아닌 하역작업이 이루어지는 항만지역에 포함되며 산정된 배출량도 항상 일정하다는 한계가 발생
- 이러한 한계를 해결하는 방안으로 발전사별 옥외 저탄장을 대상으로 비산먼지 발생량 조사기 필요하며, 배출량 분석을 위한 평가방법으로 에디 공분산 방법을 이용한 연속 배출량 평가를 수행함
- 발전사별 조사기간이 부족한 한계가 있었지만 실시간 미세먼지 배출량 산정의 가능성과 각 발전사별 매일 변동하는 일평균 배출량을 확인 할 수 있었음. 이러한 결과는 실측이 아닌 평균적인 배출량을 적용하는 국가 대기오염물질 배출량과 크게 차이가 나는 결과로, 실질적으로 저탄장에서는 1~2 kg/일의 배출량이 아닌, 수백 kg/일 단위로 배출되고 있고 배출량 또한 시시각각 변화하고 있는 사항임

발전사	측정조사기간	일평균배출량(kg/일)			특이사항
		평균	최대	최소	
보령	18년 11월 13일 ~ 18년 11월 27일	100	288	24	
태안	19년 1월 18일 ~ 19년 2월 17일	138	432	-125	
당진	19년 2월 21일 ~ 19년 3월 13일	1,436	20,144	-4,182	2월 28일 ~ 3월 7일 미세먼지 경보 발령 기간 제외

- 에디 공분산 방법을 통해 저탄장 시설의 비산먼지 배출특성 파악이 가능하였음
 - 시간별, 주야간별, 일별 저탄장 시설의 비산먼지 배출량이 시시각각 변화하고 있음
 - 비산먼지 배출량 감소 인자로 습도(수분), 배출량 증가 인자로 온도 및 바람임을 수치적으로 확인함
 - 이러한 인자들에 의한 비산먼지 배출량의 능동적 제어가 필요함
- 충청남도는 화력발전소의 면오염원인 저탄장에 대한 실시간 비산먼지 감시체계와 경보체계를 구축하기 위해 노력이 필요함. 이에 ‘미세먼지 중심 충청남도 대기환경개선 계획’과 관련하여 Flux 중심의 저탄장 시설 비산먼지 감시 체계 검토가 필요

6 옥외 저탄장 실시간 비산먼지 관리

❖ 화력발전소 저탄장에 의한 비산먼지 날림에 대한 정확한 원인파악 및 실시간 감시를 위해 저탄장 내부와 인근에 미세먼지 측정기 설치·운영

□ 설치대상 : 도내 석탄화력 발전소

□ 사업기간 : 2019년 ~ 2020년

□ 사업비 : 7.8억원(도비 3.9, 기타 3.9)

□ 사업내용 : 저탄장 미세먼지 전용 측정기 설치·운영

(단위 : 개)

사업장	계	2019년(저탄장 내부)	2020년(반경 5km 이내)
계	12	6	6
당진화력	4	2	2
태안화력	4	2	2
보령화력	4	2	2

- 계절별, 인자별, 발전소 활동도 자료에 의한 명확한 배출계수 도출이 필요
 - 야간보다는 주간의 비산먼지 배출량이 높은 사항으로 시간대별 저탄장 작업일지와 연계하여 해석이 필요
 - 현재는 기존에 저탄장내 운영 중인 CCTV 타워를 활용하였으나 향후 저탄장 비산먼지 측정 및 배출량 관리를 위한 전용 인프라와 공간적인 협조가 필요
 - 현재 기 설치된 방진펜스, 방풍림, 살수설비 등에 대해서도 환경개선 효과 분석이 필요



제5장 결론 및 제언

- 국립환경과학원의 대기오염배출량산정방법(CAPSS, 대기정책지원 시스템)을 살펴보면 사업장 배출원의 경우, 사업장이 입력한 SEMS(대기배출원관리시스템) 배출량 신고 자료를 반영하고 있음. 또한, 활동도 자료는 유관기관의 각종 통계자료 의존하고 있어 당진시 현대제철과 같은 잘못 산정된 배출량 문제는 또다시 발생할 수 있음

[제언] 중앙정부 주체가 아닌 충청남도 차원의 지역 배출량 관련 인벤토리 구축이 필요

- 충청남도는 에너지산업연소에 의한 질소산화물과 황산화물 배출량 관리가 중요하며, 제조업연소에 의한 총부유먼지, 미세먼지(PM10, PM2.5)의 관리, 농업분야 특히 축산시설에서의 암모니아 관리에 집중할 필요성 있음
- 산업통상자원부는 충청남도·수도권 일대 대규모 석탄화력발전소의 연료전환을 추진할 계획을 밝혔지만, 실질적으로 발전소를 완전하게 폐지하는 것이 아니라 단순히 노후화된 발전소를 없애고 새로운 석탄화력발전소를 건설하거나 또는 발전원을 변경한 복합화력발전소를 건설하면서 발생하는 결과로 충청남도의 발전량은 감소가 아닌 증가하는 추세로 보여짐
- 충청남도 지역의 화력발전시설의 석탄사용량 및 발전량은 최근 증가하고 있으나 반대로 굴뚝으로 배출되는 대기오염물질은 감소하는 추세를 보이고 있음. 이는 봄철 고농도 가동정지와 2017년 ~ 2018년 기간에 수행한 발전설비의 대대적인 성능개선 공사와 단계적 저감 계획과 같은 노력의 효과로 판단. 현재의 노력을 넘어 지속적인 저감을 위한 자발적인 감축노력이 필요

[제언] 석탄화력발전소 배출허용기준 강화와 대기오염물질 배출사업장 자발적 감축 이행 및 대상을 확대하여 대형사업장의 대기오염물질 저감

- 화력발전시설과 관련한 대기오염측정소는 2018년 12월 현재 보령화력 9개소, 당진화력 12개소, 태안화력 10개소로 총 31개소가 운영 중이며 여기에 신보령화력이 2개소의 대기측정소를 신규 설치할 계획임. 결과적으로 충청남도에는 기존의 도시대기측정소뿐만 아니라 화력발전 대기오염측정소까지 통합하여 관리하게 된다면 해상도 높은 대기질 자료 확보가 가능

[제언] 화력발전 및 철강산업 시설에서 운영되고 있는 민간대기오염측정소의 통합관리로 해상도 높은 환경민감지역의 대기질 자료 확보와 다각적인 분석

- 간이대기오염측정기로 화력발전지역의 조사한 결과, 산업시설과 발전시설이 밀집하여 환경오염 부하용량이 큰 당진시의 대기오염도가 상대적으로 높은 사항. 당진권역의 대기오염저감을 위한 노력과 체계적인 대책마련이 필요

[제언] 당진권역 대기오염물질 배출사업장 자발적 감축이행 및 대상을 확대하여 대기오염 물질을 감축하고 다각적인 관리 체계를 도입

[제언] 별도의 환경영향 연구 조사를 통해 ‘철강산업시설과 LNG 발전시설’에 대한 전수조사와 실태 파악이 필요

- 면오염시설(저탄장)에 대하여 실측조사를 통해 비산먼지 배출량을 평가한 결과 저탄장의 비산먼지는 시간별, 주/야간별, 환경인자에 따라 시시각각 배출량이 변화하고 있음. 이러한 결과는 국가 대기오염배출량 산정방법과 크게 차이가 나는 결과로, 단순 배출량 평가를 위한 계수 산정이 아닌 비산먼지 상시 감시체계 도입이 필요

[제언] 저탄장 비산먼지 측정을 위한 저탄장 시설 내에 전용 인프라와 공간 마련으로 상시 감시체계 도입은 물론 비산먼지 저감을 위한 살수제어 장치와 연계한 비산먼지 발생의 능동적 제어 ⇒ 비산먼지 조기경보제 시행과 인근지역 피해를 최소화 (미세먼지 중심 충청남도 대기환경개선 계획과 연동하여 추진)

[제언] 기존의 저탄장 시설의 방풍림 및 방진펜스 시설에 대한 비산먼지 저감 성능의 객관적인 평가 실시

[제언] 전적으로 배출계수에 의해 산정되는 국가 배출량에 대한 수정보완 요청 ⇒ 정부에 발전소 인근 피해지역 지원을 위한 ‘지역자원시설세’ 추가 지원 요청

부 록

○ 대기질 조사용 광산란법 미세먼지 측정기의 등가성 평가 자료

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

시	베타 레이	광산란법		시	베타 레이	광산란법		시	베타 레이	광산란법		시	베타 레이	광산란법	
		CN01	TA1			CN01	TA1			CN01	TA1			CN01	TA1
2019.03.11															
00시	49	54		00시	75	59	76	00시	14	17	10	00시	14	17	13
01시	86	51		01시	72	56	75	01시	25	18	14	01시	55	19	16
02시	34	52		02시	28	59	77	02시	23	18	12	02시	27	17	14
03시	49	54		03시	155	91	116	03시	21	18	14	03시	-	22	17
04시	37	53		04시	109	94	120	04시	23	19	14	04시	28	18	15
05시	46	54		05시	144	91	117	05시	9	18	14	05시	25	19	15
06시	55	56		06시	17	87	112	06시	22	19	16	06시	29	19	17
07시	25	56		07시	42	104	132	07시	-	19	15	07시	-	26	21
08시	-	54	-	08시	-	98	124	08시	20	19	16	08시	3	21	19
09시	-	52		09시	57	87	110	09시	13	17	12	09시	13	18	12
10시	29	47		10시	73	83	108	10시	18	17	12	10시	7	16	11
11시	23	42		11시	78	83	107	11시	28	19	14	11시	15	17	13
12시	30	40		12시	85	86	108	12시	10	16	10	12시	16	23	18
13시	51	50		13시	81	86	108	13시	22	14	7	13시	19	27	25
14시	41	52		14시	76	80	98	14시	24	13	6	14시	21	29	30
15시	77	52		15시	52	67	84	15시	18	13	7	15시	33	35	41
16시	102	47	58	16시	85	51	67	16시	15	14	7	16시	22	32	34
17시	102	43	50	17시	74	37	41	17시	27	14	7	17시	18	34	37
18시	-	39	44	18시	17	38	39	18시	20	14	8	18시	27	38	44
19시	41	44	56	19시	28	36	37	19시	15	15	9	19시	19	41	50
20시	110	52	68	20시	21	34	38	20시	18	15	10	20시	35	45	55
21시	58	57	76	21시	-	21	18	21시	31	17	11	21시	28	37	40
22시	72	57	77	22시	32	18	13	22시	31	17	11	22시	28	32	34
23시	-	57	75	23시	7	16	12	23시	64	19	14	23시	29	32	32
평균	56	51	-	평균	64	66	-	평균	22	17	-	평균	23	27	-

※ TA1 광산란법 미세먼지 측정기는 2019.03.11, 16시부터 측정을 시작함

○ 저탄장 배출량 조사용 광산란법 미세먼지 측정기의 등가성 평가 자료

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

평가일시	베타레이	광산란법(배출량 조사용)	
		하부	상부
2018.12.14	29	24	25
2018.12.15	42	41	43
2018.12.16	44	39	41
2018.12.17	63	62	60
2018.12.18	33	43	40
2018.12.19	77	73	67
2018.12.20	79	65	65
2018.12.21	75	74	69
2018.12.22	89	84	80
2018.12.23	53	65	62
2018.12.24	22	26	25
2018.12.25	31	28	28
2018.12.26	38	45	41
2018.12.27	48	23	21
2018.12.28	54	37	34
2018.12.29	45	38	34
2018.12.30	25	28	30
2018.12.31	36	39	42
2019.01.01	40	34	35
2019.01.02	27	35	34
2019.01.03	30	37	34
2019.01.04	54	44	44
2019.01.05	51	60	62
2019.01.06	29	44	42
2019.01.07	60	52	50
2019.01.08	52	50	49
2019.01.09	29	43	43
2019.01.10	44	46	46
2019.01.11	58	59	58
2019.01.12	81	90	88
2019.01.13	105	97	89
2019.01.14	153	164	169
2019.01.15	127	144	145

Part 3

사회적비용 평가 분야

제1장 서론 | 455p

제2장 충청남도 석탄화력발전 피해범위 | 459p

제3장 농도-반응 함수 | 469p

제4장 건강피해 비용 | 531p

제5장 석탄화력발전의 피해 비용 | 605p

제6장 화력발전 지역자원시설세 운용 개선방안 | 633p

제7장 결론 | 679p



제1장 서론

1. 연구배경 및 목적
2. 연구내용 및 추진체계

1. 연구배경 및 목적

- 석탄화력발전은 석탄 채굴, 수송, 연소 (에너지 생산), 폐기물 처리 등 전 과정에 걸쳐 영향을 미침
- 현 에너지가격은 석탄화력발전으로 인해 발생하는 피해 비용을 충분히 반영하지 못하는 상황임
- 적정 에너지 가격을 결정하기 위한 기초자료로서, 석탄화력발전이 야기하는 피해 비용 평가가 필요함
- 충청남도에는 전국 석탄화력발전소의 절반 이상이 위치하여, 이로 인한 피해가 꾸준히 제기되어왔음
- 특히 미세먼지로 인한 건강피해가 심각한 위협으로 떠오름에 따라 충청남도 또한 미세먼지 저감을 주요 정책기조로 삼고 있음
- 본 연구는 충청남도 내 석탄화력발전소로 인해 충청남도가 부담하고 있는 피해 비용을 평가하고,
- 석탄화력발전으로 인해 발생하는 피해를 완화하기 위한 수단 중 하나로 화력발전 지역자원시설세 운용 현황을 분석하고 개선안을 제시함으로써, 석탄화력발전의 미세먼지 대책마련에 기여하고자 함

2. 연구내용 및 추진체계

- 석탄화력발전으로 인한 대기오염의 건강피해 비용은 석탄화력이 없었을 경우 충청남도의 건강피해 규모와 석탄화력이 있는 현재 여건에서 충청남도의 건강피해 규모를 비교하고, 피해 규모 차이를 비용으로 평가하였음
- 현재 여건, 즉 석탄화력이 있는 상황에서 충청남도의 대기오염농도 수준은 환경공단 에어코리아에서 발표되는 지역별 대기오염물질별 농도자료를 활용하였음
- 건강영향평가를 위한 인구자료는 행정안전부의 주민등록통계인구를 이용하였으며, 통계청의 사망원인통계, 국민건강보험공단의 표본코호트DB를 활용하여 충청남도의 현재 건강 피해 수준을 분석하였음
- 사망피해에 따른 비용은 국내외에서 이루어진 생명가치 평가자료를 분석·종합하여 대푯값을 선정하였음
- 질병 피해에 따른 비용은 질병비용법을 이용하여, 질병치료에 직접 소요되는 비용인 의료비용과 간병비용, 교통비용뿐만 아니라 질병으로 인한 생산성 손실 비용을 함께 반영하여 산출하였음
- 한편 정부의 석탄화력 최근 정책이 반영된 8차 전력수급 기본계획상의 충청남도 발전량을 기반으로 2030년까지의 화력발전 지역자원시설세 징수액을 전망하였음
- 그리고 현 체제하의 현실적 개선방안을 제시하고자 충청남도 시군을 포함한 중기재정계획의 지출현황을 분석하였음
- 최종적으로 대기·온실가스감축, 에너지 신산업 부문 대책의 효과성, 미세먼지 노출에 취약한 석탄화력 발전소 주변지역의 도민 건강확보를 주안점에 두고 향후 화력발전 지역자원시설세 운용의 기본방향을 제안하였음

제2장 충청남도 석탄화력발전 피해범위

1. 개요
2. 석탄화력발전의 영향 및 피해
3. 분석 틀
4. 연구자료
5. 요약 및 시사점

1. 개요

- 본 장에서는 석탄화력발전시설이 지역사회에 미치는 영향과 그에 따른 피해의 종류를 살펴보고 본 연구의 피해 비용 분석범위를 설정하였음
- 석탄화력발전은 석탄 채굴, 수송, 연소 (에너지 생산), 폐기물 처리의 전 과정에 걸쳐 영향을 미치며, 사회적으로 인적·물적 피해를 유발하고 비용을 발생시킴
- 석탄화력발전으로 인한 영향은 광범위하기 때문에 이를 모두 비용으로 평가하는 것은 시간과 자료의 한계로 어려움이 있으며 비용 추정치의 불확실성이 커, 유의미한 정책적 시사점을 이끌어내기 어려움
- 이에 따라 석탄화력발전으로 인한 여러 피해 중 충청남도의 지역 현안에 집중하여 본 연구의 피해 비용 분석범위를 설정하였음
- 또한, 본 장에서는 주요 선행연구의 피해 비용 분석 방법론을 고찰하고 본 연구에서 사용된 분석 방법론을 기술하였음
- 마지막으로 피해 비용 분석을 위해 사용된 연구자료의 수집, 가공, 분석 절차를 다루었음

2. 석탄화력발전의 영향 및 피해

- 석탄화력발전은 석탄 채굴, 수송, 연소 (에너지 생산), 폐기물 처리의 전 과정에 걸쳐 영향을 미치며, 사회적으로 인적·물적 피해를 유발하고 비용을 발생시킴
- 그러나 현재 에너지가격은 석탄화력발전으로 인해 발생하는 피해 비용¹⁾을 충분히 반영하고 있지 않음
- 이에 따라 적정 에너지 가격을 결정하기 위해 석탄화력발전이 야기하는 피해 비용을 평가하려는 시도가 이루어져 왔음
- 그러나 석탄화력발전으로 인한 피해 비용을 정확하게 추정하기 위해서는 각각의 영향에 대해 적절한 방법론을 이용하여 개별적으로 분석하여야 하며, 신뢰할 수 있는 데이터 확보와 충분한 분석 기간이 요구됨
- 특히 석탄 연소 시 발생하는 대기오염물질로 인한 건강 피해 비용은 여러 선행연구를 통해 추정되었으며, 석탄화력발전시설이 유발하는 피해 비용 중 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 알려져 있음 (Epstein et al., 2011; Bickel and Friedrich, 2005; Grausz, 2011; National Research Council, 2010)
 - Bickel and Friedrich (2005)은 석탄화력발전 피해 비용을 평가할 경우 기후변화 영향 다음으로 대기오염으로 인한 피해 비용이 가장 크게 나타난다고 하였음
 - Grausz (2011) 또한 주요한 피해 비용 유발 요인으로 대기질 악화를 꼽았음
- 석탄화력발전의 기후변화 영향은 전 지구적으로 발생하기 때문에 충청남도에 국한하여 피해 비용을 분석하는 것이 적절하지 않으며, 불확실성이 큼²⁾

1) 석탄화력발전소로 인해 발생하는 피해는 석탄화력발전소에서 생산하는 전력을 구매하는 소비자와, 이를 공급하는 생산자 외에 다른 주체에도 영향을 미친다. 제삼자의 피해로 인해 유발되는 비용이 제품가격에 포함되지 않는 현상을 경제의 외부효과 (externalities)라고 하며, 제삼자의 피해 비용 또는 손실을 외부비용이라고 함. 사회적비용은 외부비용과 내부비용 (또는 사적비용)의 합을 의미함. 본 연구에서 추정하고자 하는 것은 외부비용, 즉 피해 비용이며, 용어의 직관성을 고려하여 외부비용 대신 피해 비용으로 칭함

2) 석탄화력발전시설에서 배출되는 온실가스는 지구의 대기에 고르게 혼합되면서 전지구적으로 영향을 미치기 때문에 석탄화력발전시설 인근 지역에 미치는 국지적 영향을 분석하는 것은 적절하지 않음. 마찬가지로 충청남도가 겪고 있는 지구온난화 영향 또한 충청남도 내 석탄화력발전시설 뿐만 아니라 전 세계에서 배출되는 온실가스로 인한 영향임

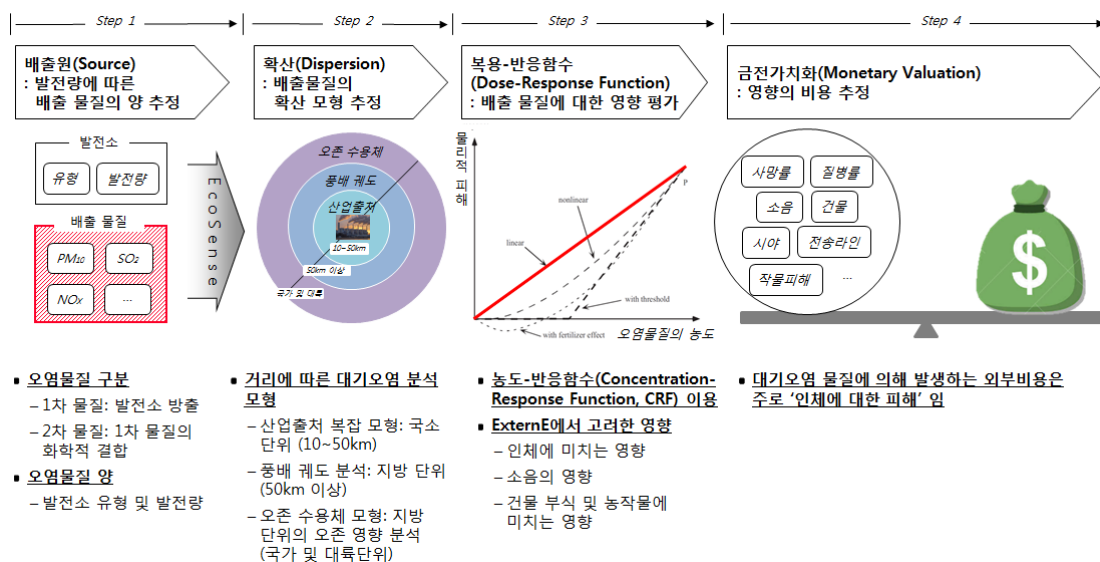
- 대기오염으로 인한 건물, 작물 등 기타 피해의 경우 자료 구득 및 상관관계 규명이 어려워 우리나라를 대상으로 평가한 사례가 거의 없으며, 해외에서도 제한적으로 이루어짐
- 따라서 본 연구에서는 석탄화력발전으로 인한 피해 비용 중 가장 큰 비중을 차지하는 대기오염의 건강영향을 중심으로 피해 비용을 분석하였음
- 한편 대기오염물질은 석탄화력발전시설 외에도 자동차, 산업시설 등 여러 배출원에서 배출되며, 의학 및 보건 분야를 중심으로 인체에 미치는 영향이 활발히 연구되어왔음
- 세계 보건 기구 (World Health Organization, 이하 WHO)는 전 세계에서 연간 4.2백만명이 대기오염으로 인해 조기사망한다고 (2016년 기준) 추정하고 있으며, 인과관계가 비교적 명확히 확인된 PM, O₃, NO₂, SO₂에 대한 외기 농도 권고 기준을 설정함
 - WHO 산하 국제암연구소 (International Centre for Research on Cancer, IARC)는 외기 중 대기오염을 발암물질로 규정하였음
- 이에 본 연구 또한, 여러 대기오염물질 중 영향관계가 분명히 규명되고, 국내외 분석사례가 많은 PM₁₀, PM_{2.5}, SO_x, NO_x를 대상으로 호흡기계 질환과 심혈관계 질환의 영향을 분석하였음

3. 분석 틀

- 석탄화력으로 인한 피해 비용을 추정하는 방법은 크게 세 가지가 있음
- 첫 번째는 국내 또는 해외 선행연구에서 도출된 피해 비용을 바탕으로 물가, 환율, 인구 등 피해 비용에 영향을 미치는 요인들을 분석 대상지역에 적합하도록 보정하여 연구대상지역의 피해 비용을 추정하는 방법으로 편익이전, 함수이전 등으로 불림
 - 값을 조정한다 하더라도 타 지역에서 이루어진 연구 결과를 분석 대상지역으로 이전하기 때문에 분석 대상 지역에 적합한 비용을 도출하기 어렵다는 한계가 있음
 - 특히 건강영향의 경우 해당 지역의 인구 속성, 공공보건 체계, 평균 대기오염 수준 등 여러 요인이 복합적으로 작용하기 때문에 이를 모두 고려하여 조정된 값을 제시하기 어려움
- 두 번째는 조건부 가치측정법, 회피행위법 등 경제학에서 활용되는 비시장재의 가치추정 방법임
 - 연구자의 연구 설계 방식에 따라 비용 추정결과가 크게 편향될 우려가 있어 객관적인 결과를 도출하기 어려움
- 세 번째는 연구대상지역의 피해 규모를 정량적으로 평가하고 이를 화폐가치로 환산하여 피해 비용을 추정하는 방법으로, 피해 규모를 평가하기 위해 피해 원인과 피해 반응 사이의 관계를 나타내는 함수가 사용되기 때문에 피해함수법으로 불림
- 이 중 피해함수법은 피해 규모 정량화를 통해 피해 비용 추정치에 대한 직관적인 해석이 가능하며, 보다 객관적인 결과를 도출할 수 있다는 장점이 있어, 유럽위원회 (Bickel & Friedrich, 2015), 미국 환경청 (EPA, 2011), 환경부 (환경부, 2006; 환경부, 2007) 등에서 널리 사용됨
- 특히, 유럽의 에너지 피해 비용 평가 프로젝트인 ExternE에서는 화력발전에서 배출되는 대기오염 피해 비용을 평가하기 위해 피해함수법을 사용하면서 이를 영향경로접근법으로 칭하고 있음 (Bickel & Friedrich, 2015)

○ 영향경로접근법에 따르면 피해 비용 평가는 배출원 → 확산 → 복용-반응함수 → 화폐가치평가의 4단계로 세분화됨

1. 배출원 (source): 발전소에서 배출되는 물질의 종류와 양을 정의
2. 확산 (dispersion): 배출물질이 수용체에 도달하는 기작 및 수용체의 배출물질 노출량을 추정 (대기질 모델링 기반)
3. 복용-반응 함수 (dose-response function): 배출 물질의 복용/노출에 따른 수용체의 피해반응 (기대수명, 유병률, 농작물 생산량 변화 등)을 추정하는 단계로 대기오염물질로 인한 피해반응을 분석하는 경우, 복용-반응 함수 (dose-response function)를 농도-반응 (concentration-response) 함수로 일컫기도 함³⁾
4. 화폐가치평가 (monetary valuation): 피해반응을 화폐가치로 변환함.



[그림 2.1] 영향경로접근법을 활용한 피해 비용 산정 절차

3) 인체 피해는 체내에 흡입된 오염물질의 양에 비례하므로 대기오염물질의 흡입량과 피해반응 사이의 관계를 나타낸다는 의미에서 '복용' -반응 함수가 적절하나, 대기오염물질 흡입량과 대기오염농도 (노출량)가 비례한다는 전제 하에 농도-반응 함수라고 일컫기도 함 (Bickel & Europäische Kommission, 2005)

4. 연구자료

- 본 연구의 대기오염 자료는 한국환경공단 에어코리아에서 발표하는 실시간 대기오염 측정자료를 대상으로 하였으며, 충청남도의 대기오염 농도를 파악하기 위해 충청남도 내 설치된 측정소의 측정값을 산술평균 하였음
 - 환경공단이 정기적으로 발표하는 대기오염통계월보, 대기오염통계연보에서 각 시도에 위치한 대기오염농도 측정망의 측정값들을 산술평균하여 시도의 대기오염물질 월 평균 또는 연 평균 농도로 제시하고 있음에 따라 동일한 기준을 적용하였음
- 인구자료는 행정안전부의 주민등록통계인구를 이용하였으며, 피해영향 평가를 위한 상병자료는 사망의 경우 통계청의 사망원인통계, 질병의 경우 국민건강보험공단의 표본코호트DB를 활용하였음
 - 국내 질병 관련 통계는 국민건강보험공단 전산자료, 국민건강영양조사자료, 한국의료패널조사 자료가 대표적임
 - 이 중 국민건강보험공단 자료는 우리나라 국민 대부분이 가입한 국민건강보험을 대상으로 보험가입자의 의료서비스 이용에 따른 보험료 청구자료임
 - 따라서 대기오염으로 인한 건강영향 중에서도 실제 의료서비스를 이용한 건에 대해 그 피해 비용을 추정할 수 있다는 점에서 보다 객관적인 결과를 도출할 수 있다는 장점이 있음
 - 단, 보험청구자료의 특성 상 청구건이 곧 질병을 의미하지 않기 때문에 해석에 주의가 요구되며, 본 연구에서는 국민건강보험자료를 사용한 선행연구의 방법론을 충분히 조사하여 데이터를 가공, 활용하였음
- 사망피해 비용 추정을 위한 일인당 생명가치는 국내외에서 이루어진 생명가치 평가 연구자료를 분석·종합하여 대푯값을 선정하였음
 - 생명은 시장에서 거래가 이루어지지 않기 때문에 연구자의 주관, 연구의 목적, 연구 설계, 응답자의 성격 등 여러 요인에 따라 가치 추정결과가 크게 달라짐
 - 이는 최종적으로 산출되는 석탄화력발전 피해 비용에 대한 객관성과 신뢰성을 저해하는 원인이 될 수 있음
 - 따라서 본 연구를 통해 직접 사망피해 비용을 산출하는 것보다 여러 선행연구 결과를

종합한 대푯값을 이용하는 것이 피해 비용 평가결과의 신뢰도를 높일 수 있음

- 질병 피해에 따른 비용은 질병비용법 (Cost of illness, COI)을 이용하여, 질병치료에 직접 소요되는 비용인 의료비용과 교통비용뿐만 아니라 질병으로 인한 생산성 손실을 고려하여 시간기회비용을 함께 반영하였음
 - 의료비용의 경우 국민건강보험공단의 건강보험청구명세서를 사용하여 치료에 수반되는 비용을 산출하였고, 교통비용은 한국의료패널의 의료기관 방문 시 교통수단별 이용비율 및 비용자료를 이용하였음
 - 시간기회비용은 충청남도 인구집단의 연령대와 성별을 고려하여 고용노동부 및 한국보건사회연구원의 급여 통계를 바탕으로 산출함으로써 충청남도의 여건을 고려한 시간기회비용이 반영되도록 함

5. 요약 및 시사점

- 본 장에서는 본 연구의 석탄화력발전 피해 비용 평가 범위 설정 과정을 기술하였음
- 석탄화력발전은 석탄 채굴부터 최종 폐기물 처리의 전 과정에 걸쳐 주변 환경에 영향을 미치며, 석탄화력발전시설이 소재한 주변지역과 관련된 피해는 대기오염으로 인한 지역민의 건강악화, 작물 및 건물 피해 등이 있음
- 이 중 석탄 연소 과정에서 발생하는 대기오염물질로 인한 건강피해 비용은 국외 여러 선행 연구를 통해 석탄화력발전시설로 인한 피해 비용 중 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 알려져 있음
- 석탄화력발전으로 인한 피해 비용을 정확하게 추정하기 위해서는 각각의 영향에 대해 적절한 방법론을 이용하여 개별적으로 추정해야 하며, 신뢰할 수 있는 데이터 확보와 충분한 분석 기간이 요구됨에 따라 본 연구에서는 석탄화력발전으로 인한 건강영향에 집중하여 피해 비용을 평가하였음
- 석탄화력발전시설에서 발생하는 여러 대기오염물질 중 인체에 미치는 영향이 비교적 명확히 규명되고, WHO가 주요 대기오염물질로 지정한 PM10, PM2.5, SO_x, NO_x의 4종 오염물질을 대상으로 피해 비용을 추정하였음
- 대기오염으로 인한 건강영향 분석범위 또한 국내외 연구사례가 많고, 대기오염으로 인한 사망 원인 중 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 알려진 (WHO, 2016) 심혈관계 질환과 호흡기계 질환을 중심으로 하였음
- 피해 비용 추정 방법론은 석탄화력발전의 대기오염 피해를 평가하고 이를 비용으로 환산하는 피해함수 접근법을 사용하였음
 - 피해 비용 추정결과에 대한 해석이 용이하며, 보다 객관적이고 수용 가능한 결과를 도출할 수 있음

제3장 농도-반응 함수

1. 개요
2. 농도-반응 함수와 건강영향평가
3. 분석 범위
4. 농도-반응 함수 메타분석
5. 농도-반응 함수 직접추정
6. 요약 및 시사점

1. 개요

- 본 장에서는 피해 비용 추정에 앞서 피해영향평가에 필요한 농도-반응 함수를 선정하였음
- 농도-반응 함수는 대기오염 노출 수준에 따른 피해 규모를 나타내는 함수로, 적절한 농도-반응 함수를 사용하는 것은 신뢰할만한 피해 비용을 추정하는데 있어 매우 중요함
- 단, 농도-반응 함수를 직접 구하는 것은 충분한 자료와 시간이 요구되기 때문에 피해 비용 평가를 목적으로 하는 연구의 경우 선행연구에서 제시한 농도-반응 함수를 사용하기도 함
- 본 연구에서는 기존 문헌자료를 바탕으로 통계적으로 유의미한 결과를 도출하는 메타분석 기법을 활용하여 농도-반응 함수를 선정하였음
- 추가로 본 연구에 적합한 농도-반응 함수를 직접추정하기 위해 필요한 데이터와 방법론을 검토하고 일부 건강영향에 대해 농도-반응 함수를 시범 추정하였음
- 이를 통해 기존 연구를 바탕으로 한 농도-반응 함수 선정결과와 직접 추정한 농도-반응 함수의 차이를 비교함으로써 중장기적으로 충청남도에 맞는 농도-반응 함수 개발을 통한 피해 비용 고도화 필요성을 제시하였음

2. 농도-반응 함수와 건강영향평가

- 피해 비용의 크기는 피해 규모에 비례하며, 피해 규모는 대기오염 노출수준에 비례함
- 농도-반응 함수는 대기오염 노출 수준에 따른 피해 규모를 나타내는 함수로 대부분 다음과 같은 형태로 가정됨⁴⁾
 - 식에서 Y 는 대기오염 농도 x 에서 피해 규모이며, α 와 β 는 상수임

$$Y = e^{\beta X + \alpha}$$

- 피해 비용 평가 연구에서 관심을 두는 것은 농도-반응 함수 자체가 아닌 대기오염 농도 수준이 변화할 때 피해 규모가 얼마나 달라지는가이며, 이는 다음과 같이 표현할 수 있음
 - 식에서 Y_0, Y_1 는 각각 대기오염 농도가 x_0, x_1 일 때 피해 규모를 의미함

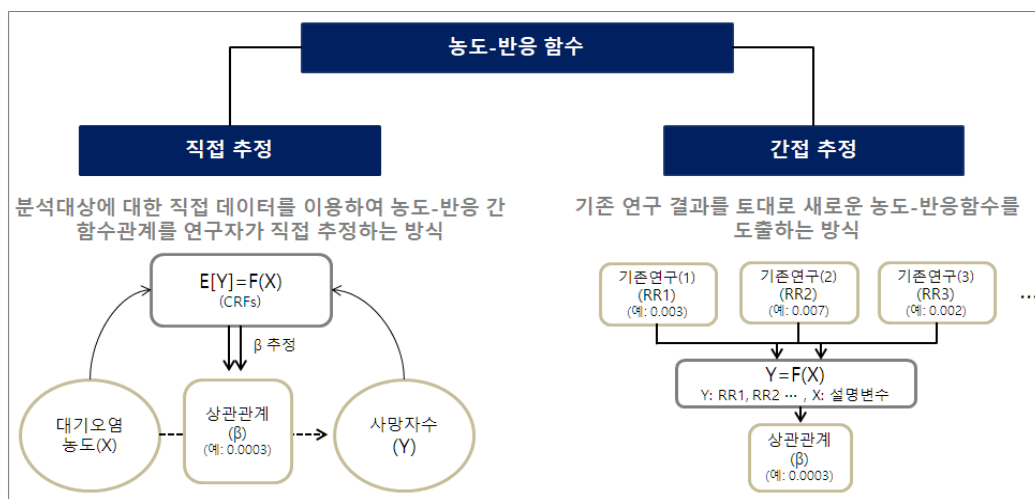
$$\Delta Y = Y_0 - Y_1 = Y_0(1 - e^{\beta(x_0 - x_1)}) = Y_0(1 - e^{\beta \Delta X})$$

- 즉, 대기오염 농도차이 ΔX 로 발생하는 초과피해 ΔY 는 농도-반응 함수의 계수 β 에 따라 결정됨
- 따라서 피해 비용을 평가하기 위해서는 적절한 계수 β 를 사용하는 것이 중요함
- β 는 피해 비용 분석 대상 인구 집단의 상병 자료와 대기오염 농도자료를 바탕으로 통계적으로 추정하거나, 기존 역학 연구 (epidemiology)⁵⁾에서 도출된 값을 사용할 수 있음
- β 를 직접 추정할 경우 피해 비용 추정결과의 정확도와 신뢰성을 높일 수 있다는 장점이 있으며, 이는 피해 비용을 바탕으로 한 정책적 의사결정 단계에서 이해관계자의 수용성 향상으로 이어질 수 있음

4) 농도-반응 함수의 형태는 연구자마다 다르게 설정할 수 있으며, 선형, 로그 선형, 로지스틱, 콕스 비례위험모형 등 여러 종류가 있음. 이 중 대기오염물질의 단기 노출에 따른 영향을 평가하는데 있어 로그 선형 모형이 주로 사용되므로 본 보고서에서는 로그 선형 모형을 중심으로 기술하였음

5) 역학이란 인구 집단의 질병 분포와 이를 결정하는 요인을 연구하는 의학의 한 분야임

- 그러나 농도-반응 함수를 직접 구하는 것은 충분한 자료와 시간이 요구되며, 종종 통계적으로 유의미한 농도-반응 함수가 도출되지 않기도 함
 - 국내에서도 수도권 및 일부 광역시를 대상으로 농도-반응 함수 연구사례가 제한적으로 존재할 뿐이며, 충청남도를 대상으로 농도-반응 함수를 직접 추정 사례는 없음
- 따라서 피해 비용 평가를 목적으로 하는 연구에서는, 분석 범위에 맞는 β 를 직접 추정하기도 하지만, 선행연구에서 도출된 β 을 사용하기도 함
 - 환경부 (2006)은 미국에서 미국 내 6개 도시를 대상으로 도출된 농도-반응 함수를 활용하여 국내 대기질 개선에 따른 편익을 추정하였음
- 특히 선행연구의 농도-반응 함수를 종합하여 대푯값을 도출하는 메타분석 방법의 경우, 기존 연구들을 바탕으로 통계적인 방법으로 농도-반응 함수를 구하기 때문에 단일 연구보다 결론의 타당성이 높고, 체계적이고 정확한 결론을 이끌어낼 수 있다는 장점이 있음



[그림 3.1] 농도-반응 함수 결정 방법

3. 분석 범위

3.1 건강영향 단위

- 건강 영향을 평가하기에 앞서 인구 집단의 건강 상태를 어떠한 정량 지표로 나타낼 것인지 정의하여야 함
 - 이는 농도-반응 함수의 종속변수인 y 를 무엇으로 정의할 것인지를 의미함
- 인구집단의 건강 상태는 사망률로 나타내거나 특정 질병을 가진 환자의 비율, 특정 질병에 대한 치료를 목적으로 의료 기관을 이용한 횟수 등 여러 지표로 나타낼 수 있음
- 본 연구에서는 국내 피해 비용 연구사례, 국내 농도-반응 함수 연구사례를 참고하여 사망의 경우 사망률, 질병의 경우 입원과 외래 건수를 지표로 사용하였음(환경부, 2006; 최현 외, 2000; 주영수 & 조수현, 2001 등)
- 사망 영향을 분석하기 위해 널리 활용되는 지표인 사망률은 전체 인구 대비 사망자 수로 정의되며, 대기오염의 단기 영향을 분석하기에 적합함
 - 사망 시점의 연령과 기대수명과의 차이를 반영함으로써 조기사망을 엄밀하게 정의하는 손실사망연수를 지표로 활용하기도 하나, 국내에서는 사례가 제한적임

[표 3.1] 사망 피해 분석을 위한 피해 단위

건강영향	단위	정의
사망	사망률 (mortality)	전체 인구 (general population) 대비 사망자 수
	YOLL (Year of Life Lost; YLL; Year of Potential Life Lost)	손실사망연수. 나이별로 존재하는 기대수명 대비 손실 또는 특정 나이 대비 손실로 정의

- 단, 대기오염으로 인한 건강피해의 결과로 사망을 해석할 때, 사망의 원인이 온전히 미세먼지에 기인한다고 보는 것은 적절하지 않음
- 사망에 이르게 한 원인은 여러 가지가 있기 때문에, 대기오염이 이 중 하나의 원인으로 작용하여 사망에 기여하였을 가능성이 큼

- 따라서 사망 영향을 평가하는 연구는, 특히 단기노출 영향을 분석하는 경우 대기오염으로 인해 촉발된 사망, 즉 조기사망으로 해석하는 것이 적절함
- 대기오염이 사망에 영향을 미치는 메커니즘을 Künzli et al. (2001)은 다음과 같이 분류하였음 (환경부 (2006) 재인용)
 - 1) 대기오염이 사망원인이 되는 만성질환에 영향을 미쳤고 이 질환자들이 사망하는데 영향을 미치는 경우, 예를 들면 대기오염에 의한 장기적인 영향으로 만성 기관지염이 생겼고 대기오염이 단기적으로 높아졌을 때 기관지염이 악화되어 사망한 경우
 - 2) 대기오염이 만성질환에는 영향을 미쳤지만 직접 사망에는 영향을 미치지 않은 경우, 예를 들면 대기오염 때문에 만성기관지염이 생겼지만 대기오염이 심하지 않은 기간에 유행한 인플루엔자 때문에 사망한 경우
 - 3) 대기오염이 만성질환에는 영향을 미치지 않았지만 만성질환자들의 사망위험을 단기적으로 높인 경우, 예를 들면 대기오염과 상관없이 다른 원인으로 당뇨를 오래 앓고 있던 사람이 대기오염의 단기적 상승으로 심근경색이 발생하여 사망한 경우
 - 4) 대기오염이 질환이나 사망에 영향을 미치지 않은 경우
- 1), 2), 3)의 효과를 모두 측정하기 위해 코호트 연구가 필요하나 연구에 장기간이 소요되기 때문에 국내외에서 이를 실시한 사례는 제한적임
- 시계열적 연구는 1)과 3)의 효과만 측정할 수 있기 때문에 대기오염의 영향을 과소추정할 우려가 있음
- 질병 이환을 정의하는 지표는 유병률과 발생률, 의료서비스 이용 건수 등이 있으며, 자료 확보가 용이한 이유로 의료서비스 이용 건수가 널리 사용됨
 - 의료서비스 이용건수는 특정 기간 동안 발생하는 입원, 외래, 응급실 등 수진형태별 의료기관 방문 건수로 정의됨

[표 3.2] 질병 피해 분석을 위한 피해 단위

건강영향	단위	정의
질병	발생률 (incidence rate)	일정기간 동안 한 인구 집단 내에서 새로 발생한 (new cases) 특정 질병환자
	유병률 (prevalence rate)	한 인구집단 내에서 어떤 질병에 걸려있는 (이환) 환자의 수로 어느 한 시점 (point prevalence) 또는 특정 기간 (period prevalence)으로 정의
	의료서비스 수진 건수 (Hospitalization, hospital visits)	일정 기간 동안 발생하는 의료 이용 건수

- 의료 서비스 수진건수는 우리나라 국민 대부분⁶⁾이 가입한 국민건강보험의 건강보험청구 자료를 통해 집계할 수 있기 때문에 분석의 공간 범위, 시간 범위, 분석 대상 질환을 다양하게 설정할 수 있음
 - 유병률과 발생률을 파악할 수 있는 국내 공공통계는 특정 질병에 대해서만 제공되거나, 표본 수가 제한적이기 때문에 피해 비용 연구에 사용하기 어려움
 - 발생률의 경우 법정 감염병에 대한 발생률 통계만 제공하고 있어 감염병이 아닌 질환 (예. 천식, 만성폐쇄성 폐질환 등)에 대한 발생률 자료는 없음
 - 유병률의 경우, 국민 건강영양조사를 통해 만성질환 (뇌졸중, 천식, 알레르기 비염, 아토피 피부염), 고혈압, 당뇨, 고중성지방혈증, 빈혈, 고콜레스테롤혈증, 폐쇄성 폐질환에 대한 정보를 제공하고 있으나, 전국 4천여 가구를 대상으로 한 설문자료이기 때문에 충청남도에 국한하여 분석하기에는 수가 제한적임
- 단, 질병 피해 규모를 건강보험청구 자료를 통해 파악할 경우, 질병이 있음에도 의료기관을 방문하지 않은 사람은 포함되지 않기 때문에 실제 질병 피해 규모를 과소 추정할 우려가 있음
- 그럼에도 불구하고 적절한 유병률, 발생률 통계가 없는 현재 여건에서 건강보험청구 자료는 다양한 질병 영향을 파악할 수 있는 최선의 기초자료임
- 또한, 보험청구 자료라는 특성 상 의료서비스 이용 건별로 지출된 의료비용을 파악할 수 있어 질병 피해 평가결과와 피해 비용을 연결하기 용이하다는 장점이 있음

6) 2017년 건강보험 적용인구는 5,094만명, 의료보장 인구의 97.2%임

3.2 대기오염 노출 기간

- 대기오염의 영향은 대기오염에 노출된 기간에 따라 대기오염의 급성 효과와 만성효과로 구분됨
- 급성효과는 일, 주 단위 단기간의 대기오염 노출에 따른 건강 영향을 의미하며, 만성효과는 월, 년 단위 이상의 장기간 노출에 따른 영향을 의미함
 - 단기간의 대기오염 노출에 따른 건강 영향의 대표적인 예로 런던 스모그 발생 시 며칠 또는 몇 주 이후에 나타나기 시작한 상병 및 사망 에피소드가 있음
- 저농도의 대기오염이라도 장기간 노출될 경우 건강에 영향을 주는 것으로 알려져 있기 때문에 장기 노출에 대한 농도-반응 함수의 계수 (Beta)는 단기 노출보다 5~10배 크게 나타남 (Künzli et al., 2001)
- 일반적으로 단기 노출 영향조사는 인구집단 수준 연구 (population level study)의 시계열분석 또는 환자교차연구 (case-cross over study)로 수행됨
- 장기 노출 영향조사는 개인 단위의 연구 (individual level study)의 코호트 분석으로 (cohort analysis) 수행되며, 많은 사람에 대한 추적조사가 필요하기 때문에 시간적, 경제적 노력이 크게 요구됨
- 이로 인해 국내는 물론 해외에서도 대기오염의 장기 노출 영향을 분석한 사례는 일부 질병에 국한되어 있으며, 분석 사례도 제한적임 (배현주, 2014; 안소은, 2015; 환경부, 2015)
- 본 연구에서는 단기 노출 영향을 나타내는 농도-반응 함수를 활용하여 피해 비용을 추정하였음

4. 농도-반응 함수 메타분석

4.1 분석 방법

- 메타회귀분석(meta-regression analysis)은 상대위험비(Relative Risk, RR)와 정량화가 가능한 연구특성 간의 상관관계를 통계적 기법을 사용하여 요약·추정하는 방법임
- 개념적으로 메타회귀분석 함수 이전은 가치이전이나 농도-반응 함수 이전기법들과 비교하여 다음과 같은 장점을 지님
 - 첫째, 상대적으로 많은 수의 연구로부터 정보를 활용하기 때문에 선행연구의 농도-반응 함수 분포에 상대적으로 덜 민감한 대표값을 선정할 수 있음
 - 둘째, 개별 연구 방법론이 상대위험비(RR)에 미치는 영향을 메타회귀분석을 활용한 추정치 산정 과정에서 통제할 수 있음
 - 즉, 메타회귀 함수는 동일한 목적을 지닌 여러 연구들의 결과를 합리적이고 체계적으로 종합하여 개별 연구들이 갖는 한계점을 보완할 수 있다는 것이 특징임
 - 셋째, 농도-반응 함수 추정치 산출 과정에서 추정하고자 하는 대상지의 특성에 맞게 조정이 가능하기 때문에 기존 연구 대상지(study site)와 특정 대상지(policy site) 간의 특성 차이에 대한 통제가 가능함
- 메타회귀 분석 절차는 크게 네 단계로 구분됨
 - ① 연구 자료 범위 선정 및 수집 단계
 - 메타회귀 분석을 위해 사용될 기초 자료를 수집하는 단계로서, 우선적으로 자료수집 기준을 선정한 후 기준에 적합한 문헌자료의 결과를 수집함
 - ② 모형 설정
 - 연구 목적 및 수집된 자료의 특성과 부합하는 메타회귀모형을 설정하는 단계임
 - ③ 회귀식 추정
 - 앞서 설정한 메타회귀 모형을 직접 추정하는 단계임

④ 분석 결과 제시 및 해석

- 추정된 메타회귀 분석 결과를 제시하고, 통계적 유의도 등 추정을 위한 기본 가정을 검토하는 단계임
- 분석 결과와 기존 연구 결과 간 상호 비교를 통해 추정치에 대한 신뢰도 검증도 이 단계에 포함됨

- 메타회귀 분석 시 가장 중요한 것은 모형 및 가중치 설정 등 기술적인 문제가 아니라, 연구자료에 해당하는 문헌고찰과 원자료 선정에 있음(하종식 외, 2016)
- 본 연구에서는 세 가지 기준으로 메타분석에 활용되는 원자료(기존 연구)를 선정 하였음
- 첫째, 논문 선정의 범위가 명확해야 함
 - 학술지에 게재된 논문만을 원자료로 선정할지, 연구보고서까지 포함시킬지 등 선정 범위에 대한 명확한 조건 설정이 필요함
 - 사망 영향에 대한 농도-반응 함수는 국내를 대상으로 농도-반응 함수를 직접 추정한 연구들 중 해외 학술지에 게재된 논문을 원자료로 선정하였으며, 질병 영향에 대한 농도-반응 함수는 국내 대상 연구문헌의 제약으로 해외 학술지 뿐만 아니라 한국학술지인용색인 (Korean Citation Index, KCI) 등재 학술지, 정부 및 국가 연구기관 보고서를 추가로 수집하였음
- 둘째, 원자료에서 제시하는 효과 크기에 해당하는 값이 통계적으로 유의(p-value)해야 함.
 - 통계적으로 유의하지 않은 분석 결과를 메타분석 자료로 사용할 시 편의가 발생가능하기 때문에 이를 제외하여 자료를 구축해야 함
 - 본 연구는 첫 번째 조건(국내 대상 해외학술 논문)에 부합하는 연구 중, 통계적 유의도(p-value)가 5% 이내에서 추정된 연구 결과(농도-반응 함수)를 메타회귀 분석의 원자료로 선정하였음
- 셋째, 충분한 선행연구 결과물이 존재해야 함
 - 메타분석에서 통계적 추정과정의 신뢰성을 확보하기 위해선 기존 연구의 수가 일정 수준 이상일 때 가능함

→ 사망 영향에 대한 농도-반응 함수는 첫 번째(해외학술 논문), 두 번째 조건(5% p -value)에 부합하는 연구 결과물(농도-반응 함수)이 최소 10개 이상일 때 메타회귀 분석을 실시하였으며, 질병 영향에 대한 농도-반응 함수는 해당 조건에 부합하는 연구 결과물이 3개 이상일 때 메타회귀 분석을 실시하였음

[표 3.3] 자료 선정 기준

자료 선정 기준		본 연구
사망	연구 범위	국내를 대상으로 직접 추정한 농도-반응 함수 연구 중 해외학술지 게재된 논문
	통계적 유의도	p -value 5% 이내 연구 결과
	양적 수준	최소 10개 이상의 연구 결과물
질병	연구 범위	국내를 대상으로 직접 추정한 농도-반응 함수 연구 중 해외학술지 또는 KCI 등재 학술지 게재 논문, 정부 및 국가 연구기관 보고서
	통계적 유의도	p -value 5% 이내 연구 결과
	양적 수준	최소 3개 이상의 연구 결과물

id	study name	rr	high ci	low ci	dose
1	Kim et al(2015)	1			0
1	Kim et al(2015)	1.022	1.035	1.01	60.78571
1	Kim et al(2015)	1.019	1.033	1.005	60.09091
1	Kim et al(2015)	1.029	1.05	1.009	67.4
1	Kim et al(2015)	1.017	1.035	0.999	69
1	Kim et al(2015)	1.006	1.024	0.988	68
1	Kim et al(2015)	1.008	1.027	0.989	67
1	Kim et al(2015)	1.016	1.035	0.997	64.8
1	Kim et al(2015)	1.018	1.036	0.999	61.8
1	Kim et al(2015)	1.031	1.052	1.009	59
1	Kim et al(2015)	1.037	1.058	1.015	57.6
1	Kim et al(2015)	1.029	1.05	1.007	55.8
1	Kim et al(2015)	1.026	1.048	1.005	53.2
2	Bae and Park(2009)	1			0
2	Bae and Park(2009)	1.037	1.052	1.023	64.81
2	Bae and Park(2009)	1.027	1.05	1.004	64.39
2	Bae and Park(2009)	1.045	1.064	1.027	65.11
3	Son and Bell(2013)	1			0
3	Son and Bell(2013)	1.009	1.017	1	63.5
3	Son and Bell(2013)	1.012	1.023	1	63.8
3	Son and Bell(2013)	1.01	1.018	1.003	64.5

[그림 3.2] 메타분석을 위한 자료수집결과 (예시)

국외 문헌은 해외 의료분야 학술색인인 PUBMED, Embase를 대상으로 다음 검색어를 이용하여 수집하였음

[표 3.4] 국외 학술색인 문헌 수집 검색어

구분	검색어	비고
사망 영향	대기오염 관련 Air Pollution, PM10, PM2.5, Fine Particles, Particulate Matter	구분 내 OR 검색, 구분 간 AND 검색
	건강영향 관련 Health Impact, Mortality, Death, Hospitalization, Morbidity, Asthma, Cardiovascular, Respiratory	
	지역 관련 Korea	
질병 영향	대기오염 관련 air pollution, air pollutant, air pollutants, particulate matter, PM10, PM2.5, PM, NO2, SO2, nitrogen dioxide, sulfur dioxide,	
	건강영향 관련 morbidity, admission, hospitalization, inpatient, outpatient, hospital visit, cardiovascular, respiratory	
	지역 관련 Korea	

- 검색을 통해 수집된 논문 중 앞서 선정 기준에 부합하지 않거나 Pubmed, Embase에서 중복 수집된 논문을 제외하였음
- 선별된 문헌을 대상으로 농도-반응 함수를 포함하여 연구 특성과 연구 결과를 다음과 같이 수집하였음⁷⁾
 - 상대위험도 (95% 신뢰구간), 분석모형, 통제변수, 연구기간, 연구대상지역, 연령, 대기오염 증가분, 지연효과 등

[표 3.5] 문헌 수집 항목

수집항목	내용
서지정보	저자, 저널 및 출판정보 등 참고문헌 정보
연구형태	시계열 연구, 단면 연구 등
분석방법	통계 모형 (포아송회귀모형, 로짓모형 등)
분석데이터	분석에 사용한 보건통계자료
노출기간	장기, 단기
연구기간	분석 대상 기간
연구계절	봄, 여름 등 특정 계절에 대해 분석한 경우 해당 계절
연구지역	서울, 부산 등 분석대상 지역
인구집단	고령, 유아인구, 남성, 여성 등 분석 대상 인구 특성
대기오염모델	co-pollutant, single pollutant 등
혼란변수	대기오염 영향 분석을 위해 통제한 변수들 (기상변수 등)

7) 문헌 목록은 본 보고서 내 부록에 수록하였음

수집항목	내용
대기오염물질	PM10, PM2.5, SO2, NO2 등
건강영향	호흡기 입원, 호흡기 외래, 심혈관계 입원, 심혈관계 외래 등
오염물질 단위	오염물질 한 단위 변화량
위해도	오염물질 한 단위 변화 시 위해도
신뢰구간	위해도 추정치의 95% 신뢰구간
지연일	오염물질 농도 변화가 건강영향 변화에 미치는 지연기간

○ 수집된 농도-반응 함수는 다음 기준에 따라 분류하였음

[표 3.6] 농도-반응 함수 분류기준

구분/선별 기준	설명
대기오염물질	PM10, PM2.5 (단, 질병의 경우 SO2, NO2)
노출기간	단기, 장기
노출시기	봄, 여름, 가을, 겨울, 황사철 등 계절별/시기별 농도-반응 함수 구분
인구집단	연령, 성별 등
건강영향 단위	사망: 전체 원인 사망, 호흡기계 질환 원인 사망, 심혈관계 질환 원인 사망 질병: 호흡기계 질환 또는 심혈관계 질환 관련 입원, 외래 및 기타 (유병률, 응급실 방문 등)
지역	연구자가 여러 지역별로 농도-반응 함수를 제시한 경우 이를 모두 포함하되, 지역별로 종합한 하나의 농도-반응 함수를 제시한 경우 해당 농도-반응 함수 선정
지연일	효과가 가장 크게 나타나는 지연일
오염물질 모델	단일 오염물질 모델, 복합 오염물질 모델을 구분하여 수집하되, 연구자가 하나의 모델을 선정하여 제시할 경우 해당 농도-반응 함수를 사용하고 그렇지 않을 경우 단일 오염물질 모델을 채택함.

- 일부 건강영향의 경우 국외학술색인만으로 농도-반응 함수가 충분히 수집되지 않아 추가로 국내 학술색인 (DBpia)과 정부 및 국가연구기관의 보고서를 수집하여 분석대상에 포함하였음
- 문헌수집기준과 농도-반응 함수 분류 방식은 국외학술색인 문헌수집과정과 동일함

[표 3.7] 국내 학술색인 문헌 수집 검색어

구분	검색어	비고
대기오염 관련	대기오염, PM10, PM2.5, 미세먼지, 초미세먼지, SO2, NO2, 이산화황, 이산화질소	구분 내 OR 검색, 구분 간 AND 검색
건강영향 관련	입원, 외래, 응급실, 호흡기, 심혈관, 순환기, 순환계, 건강	
지역 관련	-	

[표 3.8] 국내 농도-반응 함수 연구보고서

연구책임자	발주기관	연도	제목
박정임	환경부	2007	환경오염 저감정책의 건강편익산정 모형확립 및 적용
박정임	환경부	2008	한국형 BenMap을 활용한 대기질개선 정책의 건강편익 산정 연구
배현주	국립환경과학원	2010	기후변화 및 대기오염에 의한 건강영향의 시공간적 분포 연구
박윤희	질병관리본부	2011	기후변화의 대기오염, 호흡기 및 알레르기질환 발생을 상관성 조사 연구
배현주	국립환경과학원	2011	기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구
배현주	한국환경정책·평가연구원	2014	코호트자료를 이용한 대기오염의 만성건강영향 평가체계 구축
배현주	한국환경정책·평가연구원	2015	국민건강보험 빅데이터 연계 기후변화 건강영향평가
안소은	한국환경정책·평가연구원	2015	빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향 평가 및 피해 비용 추정
안소은	한국환경정책·평가연구원	2017	환경·경제 통합분석을 위한 환경가치 종합연구

- 본 연구는 대기오염에 따른 건강영향함수 추정을 위한 모형으로 가중회귀모형 (weighted linear regression model)을 아래와 같이 설정하였음

$$\ln(RR_{i,j}) = \alpha + \beta X_{i,j} + \epsilon_{i,j}$$

- 이와 같은 모형 형태는 관찰되는 상대위험도의 차이가 대부분 대기오염 농도 간의 차이로부터 기인한다고 가정하고 그 이외의 인자들의 영향은 상수항에 반영됨
- 구체적으로, i 는 개별 연구, j 는 관측치를 나타내며, 독립변수 벡터 X 는 개별 연구의 노출량 관측치(대기오염 농도)이며, 종속변수는 효과 크기로서 로그 변환된 상대위험도 ($\log RR$)임
 - 한편, 메타분석을 위한 모형 설정 시 메타분석 자체를 위한 회귀모형인지, 아니면 편익이전을 위한 회귀모형인지 개념적으로 구분이 필요함
 - 예를 들어, 원자료의 방법론적 특성이 추정된 결과에 미치는 영향을 분석하는 것이 메타회귀의 주목적일 경우 연구자가 검증하고자 하는 가설이 존재하고, 따라서 모형에 포함되어야 하는 독립변수 종류가 결정됨
 - 반면, 본 연구 메타분석의 주목적은 충청남도 석탄화력발전소 대기오염 피해 비용 산정이며, 이를 위해 피해 비용 산정 이전 단계에 농도-반응 함수를 산정하여 이를

충청남도에 편익 이전하는 것임

- 따라서 본 연구에서는 농도-반응 함수 산정을 위해 상대위험도(RR)와 노출수준(대기오염 농도) 간 관계에 초점을 맞춘 모형을 설정함

○ 선행연구에 의하면 대부분의 메타분석의 경우, 동일한 연구로부터 다수의 관측치를 추출하기 때문에 일반적인 OLS를 사용하여 모형을 추정하는 것이 적합하지 않다는 지적이 존재함 (Shim et al., 2016; 안소은, 2007)

- 이는 동일한 연구로부터 도출된 관측치들은 그 특정 연구만이 갖는 고유한 특성을 공유하기 때문에 오차항에 대한 동분산(homoscedasticity) 가정에 위배될 확률이 높기 때문임
- 이러한 경우 패널 데이터와 유사한 구조를 띄게 되며, 구체적으로 개별 연구로부터 추출된 관측치 수가 동일하지 않는 것이 일반적이기 때문에 불균형 패널 데이터 성격을 갖게 됨
- 이와 같은 특성을 고려하지 않고 일반적인 OLS를 적용할 경우 가성회귀문제 문제가 발생 가능함

○ 이에 본 연구에서는 선행연구에서 제시한 메타분석 시 OLS추정기법이 갖는 한계점을 보완하기 위해 가장 일반적으로 사용되는 변량효과 모형(random effect regression)을 적용한 Two-stage method를 사용함(Shim et al., 2016)

- 구체적으로, Two-stage method 추정기법은 개별연구 각각의 회귀계수를 구한 다음 개별회귀계수들의 가중치를 산출해서 전체 계수를 추정하는 두 단계를 거치는 것이며, 이 기법을 적용하기 위해서는 선형성을 가정해야 함

○ 메타분석에서 개별 연구들의 효과크기(effect size)를 통합(aggregation)하는데 필요한 가중치는 크게 세 가지 방법이 존재하며, 이 중 본 연구의 가중치는 추정결과와 정밀성을 판단할 수 있는 분산의 역수를 사용하였음

- 첫째, 개별 연구의 표본 수(Sample size)를 가중치로 사용하는 방법
- 둘째, 개별 연구의 사건 발생률(예: 사망률)을 가중치로 사용하는 방법(단, 생존자료 형태에서 가능)
- 셋째, 개별 연구의 분산의 역수를 가중치로 사용하는 방법

- 원자료에서 표준오차를 제시할 경우 그대로 활용하고, 그렇지 않을 경우에는 logRR과 95% 신뢰구간을 활용하여 별도로 계산하여 적용함

4.2 자료 수집

4.2.1 사망 영향

① PM10

(가) 전체 원인

- 앞서 제시한 원자료 기준에 따라, PM10 노출에 의한 전체원인 사망은 Kim et al.(2015) 등 6개의 문헌이 선정됨
 - 일반적으로 개별 논문에서 둘 이상의 농도-반응 함수를 제시하므로, 본 연구에서는 PM10 전체사망 메타분석 기초자료로 총 34개의 농도-반응 함수를 선정함
 - 개별 논문에서 제시한 농도-반응 함수와 PM10 농도 간 회귀분석을 일차적으로 실시한 이후, 추정된 회귀계수 별 가중치를 적용하여 최종 Beta값을 도출하는 과정임
 - 구체적으로 개별 논문에서 다수의 농도-반응 함수 간은 이질성이 크지 않다는 가정 하에 고정효과 회귀식을 통해 일차 Beta를 추정하였으며, 연구 간에는 분석기간이나 분석대상 등 차이가 존재하기 때문에 확률효과 모형을 사용하여 농도-반응 함수 계수 beta를 종합하였음

[표 3.9] PM10 전체원인 사망의 농도-반응 함수 메타분석 대상

참고문헌	Beta	SE	농도-반응 함수 (개수)
Kim et al.(2015)	0.000524	0.000071	12
Bae and Park(2009)	0.000350	0.000075	5
Son et al.(2013)	0.000145	0.000046	5
Kim et al.(2003)	0.000438	0.000104	3
Bae(2014)	0.000360	0.000096	3
Hong et al.(1999)	0.000188	0.000004	5

(나) 호흡기계 질환

- Park et al.(2011) 등 5개 학술논문이 선행연구 자료로 선정되었으며, 이들 연구에 포함된 농도-반응 함수 총 23개를 기초자료로 사용하여 PM10 노출에 의한 호흡기계 사망 통합 농도-반응 함수를 추정하였음
- 개별 연구의 Beta를 비교해서 살펴보면, Son et al.(2013)을 제외한 나머지 세 연구는 유사한 수준인 것으로 나타남
 - Son et al.(2013)의 경우 개별 연구 농도-반응 함수 추정결과는 가장 적은 수준으로 도출되었으며, 유의수준을 함의하는 표준편차 역시 원자료 중 가장 적은 수준인 것으로 나타남

[표 3.10] PM10 호흡기계 질환 원인 사망의 농도-반응 함수 메타분석 대상

참고문헌	Beta	SE	농도-반응 함수(개수)
Kim et al.(2015)	0.00116	0.000571	12
Son et al.(2013)	0.00021	0.000046	5
Kim et al.(2003)	0.00144	0.000604	3
Park et al.(2011)	0.00192	0.000696	3

(다) 심혈관계 질환

- Kim et al.(2015) 등 5개의 학술논문이 선정되었으며, 최종적으로 메타회귀분석에 기초자료로 사용된 농도-반응 함수는 총 27건임
- 개별 연구의 일차 Beta 추정결과를 살펴보면, Bae(2014)가 0.001034으로 가장 높은 수준이며, Kim et al(2015)이 0.000766으로 도출됨

[표 3.11] PM10 호흡기계 질환 원인 사망의 농도-반응 함수 메타분석 대상

참고문헌	Beta	SE	농도-반응 함수(개수)
Kim et al.(2015)	0.000766	0.000732	12
Bae and Park(2009)	0.000524	0.000421	3
Son et al.(2013)	0.000274	0.000313	5
Kim et al.(2003)	0.000502	0.000414	4
Bae(2014)	0.001034	0.008030	3

② PM2.5

(가) 전체 원인

- PM2.5 노출에 의한 전체원인 사망 농도-반응 함수 수집을 위해 Cho et al.(2008) 등 네 개 논문의 원자료가 선정되었으며, 해당 논문에서 포함하고 있는 농도-반응 함수 총 21개를 기초자료로 사용하여 메타분석을 실시하였음

[표 3.12] PM2.5 전체원인 사망의 농도-반응 함수 메타분석 대상

참고문헌	Beta	SE	농도-반응 함수(개수)
Kim et al.(2015)	0.000124	0.000071	9
Bae(2014)	0.000275	0.000096	4
Cho et al.(2008)	0.000313	0.000104	4
Son et al.(2013)	0.000366	0.000046	4

(나) 호흡기계 질환

- 심혈관계 질환 사망과 동시에 PM2.5 노출에 의한 호흡기계 질환 사망 영향 농도-반응 함수 메타분석을 실시하였음
 - Son et al.(2011) 등 3개 학술논문이 선행연구 자료로 최종 선정되었으며, 이들 연구에 포함된 농도-반응 함수 총 17개를 기초자료로 사용하여 메타분석을 수행하였음
 - 개별 연구의 Beta를 비교해서 살펴보면, Son et al.(2013)을 제외한 나머지 세 연구는 유사한 수준인 것으로 나타남
 - Son et al.(2013)의 경우 개별 연구 농도-반응 함수 추정결과는 가장 적은 수준으로 도출되었으며, 유의수준을 함의하는 표준편차 역시 원자료 중 가장 적은 수준인 것으로 나타남

[표 3.13] PM2.5 호흡기계 질환 원인 사망의 농도-반응 함수 메타분석 대상

참고문헌	Beta	SE	농도-반응 함수(개수)
Kim et al.(2015)	0.000548	0.000057	9
Cho et al.(2008)	0.001762	0.000046	3
Son et al.(2013)	0.000985	0.000046	5

(다) 심혈관계 질환

- Kim et al.(2015)을 포함하여 3개의 학술논문이 선정되었으며, 최종적으로 메타회귀분석에 기초자료로 사용된 농도-반응 함수는 총 17개임
 - 개별 연구의 일차 Beta 추정결과를 살펴보면, Cho et al.(2008)이 0.000805로 가장 높은 수준이며, Kim et al(2015)이 0.000284로 원자료 중 가장 낮은 수준을 보임

[표 3.14] PM2.5 심혈관계 질환 원인 사망의 농도-반응 함수 메타분석 대상

참고문헌	Beta	SE	농도-반응 함수(개수)
Kim et al.(2015)	0.000284	0.000112	9
Bae(2014)	0.000444	0.000421	5
Cho et al.(2008)	0.000805	0.000723	3

4.2.2 질병 영향

① PM10

(가) 호흡기계 입원

- PM10 단기노출의 호흡기계 입원 영향을 분석한 연구로 Kim et al. (2017)을 포함하여 총 8편의 문헌이 선정되었음
- 동 문헌에서 제시된 농도-반응 함수 중 선별 기준에 부합하는 농도-반응 함수의 Beta와 표준오차를 아래와 같이 수집하였음

[표 3.15] PM10 호흡기계 입원 영향 농도-반응 함수 수집결과

참고문헌	Beta	SE	농도-반응 함수(개수)
Kim et al. (2017)a	0.0006926	0.0000790	10
Jo et al. (2017)	0.0049738	0.0014038	4
Son et al. (2013)	0.0005353	0.0000444	21
환경부 (2007)	0.0007087	0.0001412	2
환경부 (2008)	0.0007204	0.0001130	2
질병관리본부 (2011)	0.0007275	0.0000996	24
Bae 2011	0.0012367	0.0002206	12
배현주 외(2008)	0.0004239	0.0001282	7

(나) 심혈관계 입원

- PM10 단기노출의 심혈관계 입원 영향을 분석한 연구로 Son et al. (2013)을 포함하여 총 5편의 문헌이 선정되었음
- 동 문헌에서 제시된 농도-반응 함수 중 선별 기준에 부합하는 농도-반응 함수의 Beta와 표준오차를 아래와 같이 수집하였음

[표 3.16] PM10 호흡기계 입원 영향 농도-반응 함수 수집결과

참고문헌	Beta	SE	농도-반응 함수(개수)
Son et al.(2013)	0.0001889	0.00002	7
Lee et al.(2003)	-0.0100503	.0129521	1
질병관리본부(2011)	0.0008259	.0000816	8
국립환경과학원(2011)	0.0005982	.0001339	6
배현주 (2014)	0.0177417	.0087962	1

(다) 호흡기계 외래

- 앞서 수립한 선별 기준 중 하나인 전 연령을 대상으로 하여 PM10 단기노출로 인한 호흡기계 외래진료 영향을 분석한 농도-반응 함수가 없음
- 대신 최병철 외(2000)에서 제시된 15세 이상 64세 이하에 대해 추정된 분석된 농도-반응 함수를 수집하였음
- 15세 이상 64세 이하 인구는 어린이 (15세 미만), 노인 (65세 이상)에 비해 대기오염 영향에 대한 민감도가 낮은 것으로 알려져 있음
- 따라서 15세 이상 64세 이하에 대한 농도-반응 함수를 전연령 대상 건강영향평가에 활용할 경우 피해규모를 과소평가하는 것이기 때문에 비용의 과다 추정을 방지할 수 있음

[표 3.17] PM10 호흡기계 외래 영향 농도-반응 함수 수집결과

참고문헌	Beta	SE
최병철 외(2000)	0.0006	0.0001

(라) 심혈관계 외래

- PM10의 심혈관계 외래 영향을 분석한 문헌은 이형숙 (2016)이 유일하나 월 단위 영향을 분석하고 있어 농도-반응 함수 수집 기준에 부합하지 않음
- Beta 추정치 또한 유의하지 않게 나타나, 분석에 활용할 수 없음

[표 3.18] PM10 심혈관계 외래 영향 농도-반응 함수 수집결과

참고문헌	Beta	SE
이형숙 2016	-0.003356	0.000026
이형숙 2016	-0.002634	0.000105

- 심혈관계 외래 진료건수와 PM10 농도 간의 영향 연구는 국내뿐만 아니라 해외에서도 드물며, Cao et al.(2009)와 같이 중국을 대상으로 한 연구사례가 일부 존재함
- 단, 중국 대상 농도-반응 함수를 국내에 적용하기에 한계가 있어, PM10의 심혈관계 외래 영향을 분석 범위에서 제외하였음

[표 3.19] PM10 심혈관계 외래 영향 농도-반응 함수 국외 사례

참고문헌	Beta	SE
Cao et al. (2009)	0.000110	0.000074

PM2.5

(마) 호흡기계 입원

- PM2.5 단기노출의 호흡기계 입원 영향을 분석한 연구로 Jo et al. (2018)을 포함하여 총 4편의 문헌이 선정되었음
- 동 문헌에서 제시된 농도-반응 함수 중 선별 기준에 부합하는 농도-반응 함수의 Beta와 표준오차를 아래와 같이 수집하였음

[표 3.20] PM2.5 호흡기계 입원 영향 농도-반응 함수 수집결과

참고문헌	Beta	SE	농도-반응 함수(개수)
Jo et al.(2018)	0.0003299	0.0002711	4
Kim et al.(2017)	0.0015634	0.0001546	20
Jo et al.(2017)	0.0139215	0.0032288	4
안소은 (2017)	0.0135083	0.0040519	1

(바) 심혈관계 입원

- 심혈관계 입원의 경우 전연령을 대상으로 한 농도-반응 함수 사례가 없으며, 배현주 (2016)이 65세 이상을 대상으로 농도-반응 함수를 도출한 사례가 유일함
- 단, 이는 본 연구의 농도-반응 함수 수집 기준에 부합하지 않음
- 또한, 65세 이상을 대상으로 노출한 농도-반응 함수를 전연령의 건강평가에 활용할 경우 피해규모가 과대평가될 수 있어 심혈관계 입원 영향을 분석 범위에서 제외함

[표 3.21] PM2.5 심혈관계 입원 영향 농도-반응 함수 수집결과

참고문헌	Beta	SE
배현주 2016	0.003672	0.000866

(사) 호흡기계 외래

- PM2.5의 호흡기계 외래 영향에 대한 농도-반응 함수를 다룬 문헌은 Jo et al.(2018)이 유일함
- 해당 문헌에 제시된 농도-반응 함수는 총 5건으로 이 중 유의수준이 5%이내이면서 Beta값이 가장 큰 농도 함수를 선정하였음
- Jo et al.(2018)외 다른 문헌에서 수집된 농도-반응 함수가 없기 때문에 호흡기계 외래 영향에 대한 메타분석을 추가로 수행하지 않았음

[표 3.22] PM2.5 호흡기계 외래 영향 농도-반응 함수 수집결과

참고문헌	Beta	SE
Jo et al.(2018)	0.000250	0.000102

(아) 심혈관계 외래

- 심혈관계 외래 영향에 대한 국내 대상 농도-반응 함수 연구사례가 없음
- 국외의 경우 대기오염 농도가 높은 중국을 대상으로 한 연구(Li et al., 2017; Zhang et al., 2017)가 일부 존재함
- 단, 국외를 대상으로 도출된 농도-반응 함수를 국내에 적용하는데 한계가 있어 심혈관계 외래 영향을 분석 범위에서 제외함

② NO₂

(가) 호흡기계 입원

- NO₂의 호흡기계 입원 영향에 대한 농도-반응 함수를 제시한 문헌은 Son et al.(2013)이 유일함
- 해당 문헌에서 제시된 호흡기계 입원 농도-반응 함수 중 유의수준 5% 이내이며, Beta 값이 가장 큰 농도-반응 함수를 대표로 선정하였음

[표 3.23] NO₂ 호흡기계 입원 농도-반응 함수 수집결과

참고문헌	Beta	SE
Son et al.(2013)	0.002104	0.001019

(나) 심혈관계 입원

- NO₂ 심혈관계 입원 영향을 분석한 문헌은 Son et al.(2013)을 포함하여 총 3편이 수집되어 이를 모두 분석에 포함하였음

[표 3.24] NO₂ 심혈관계 입원 농도-반응 함수 수집결과

참고문헌	Beta	SE	농도-반응 함수(개수)
Son et al.(2013)	0.001784	0.000470	7
Lee et al.(2003)	0.000000	0.001049	1
배현주 (2014)	0.003367	0.000269	1

(다) 호흡기계 및 심혈관계 외래

- NO₂의 호흡기계 입원 영향을 분석한 문헌을 수집하지 못하여 분석 범위에서 제외하였음

③ SO₂

(가) 호흡기계 입원

- SO₂ 호흡기계 입원 영향을 분석한 문헌은 Son et al.(2013)이 유일함
- 해당 문헌에서 제시된 호흡기계 입원 농도-반응 함수 중 유의수준 5% 이내이며, Beta 값이 가장 큰 농도-반응 함수를 대표로 선정하였음

[표 3.25] SO₂ 호흡기계 입원 농도-반응 함수 수집결과

참고문헌	Beta	SE
Son et al.(2013)	0.005474	0.002078

(나) 심혈관계 입원

- SO₂의 심혈관계 입원 영향을 분석한 문헌으로 Son et al.(2013)을 포함하여 3편을 수집하였음
- 동 문헌에서 제시된 농도-반응 함수 중 선별 기준에 부합하는 농도-반응 함수의 Beta와 표준오차를 아래와 같이 수집하였음

[표 3.26] SO₂ 심혈관계 입원 농도-반응 함수 수집결과

참고문헌	Beta	SE	농도-반응 함수(개수)
Son et al.(2013)	0.003772	0.001740	7
Lee et al.(2003)	-0.009278	0.004252	1
배현주 (2014)	0.006009	0.002525	1

(다) 호흡기계 및 심혈관계 외래

- NO₂의 호흡기계 입원 영향을 분석한 문헌을 수집하지 못하여 분석 범위에서 제외하였음

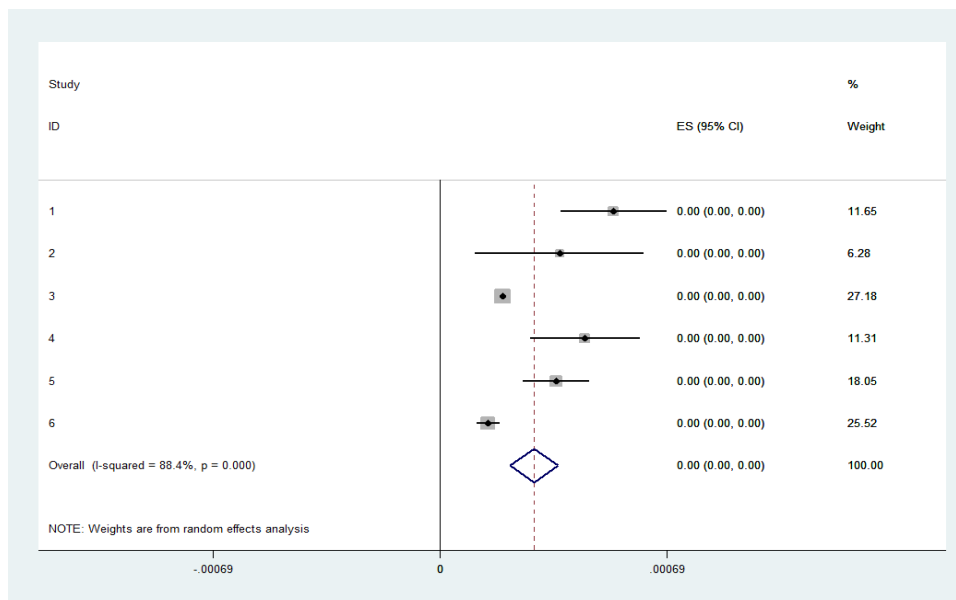
4.3 분석 결과

4.3.1 사망 영향

① PM10

(가) 전체 원인

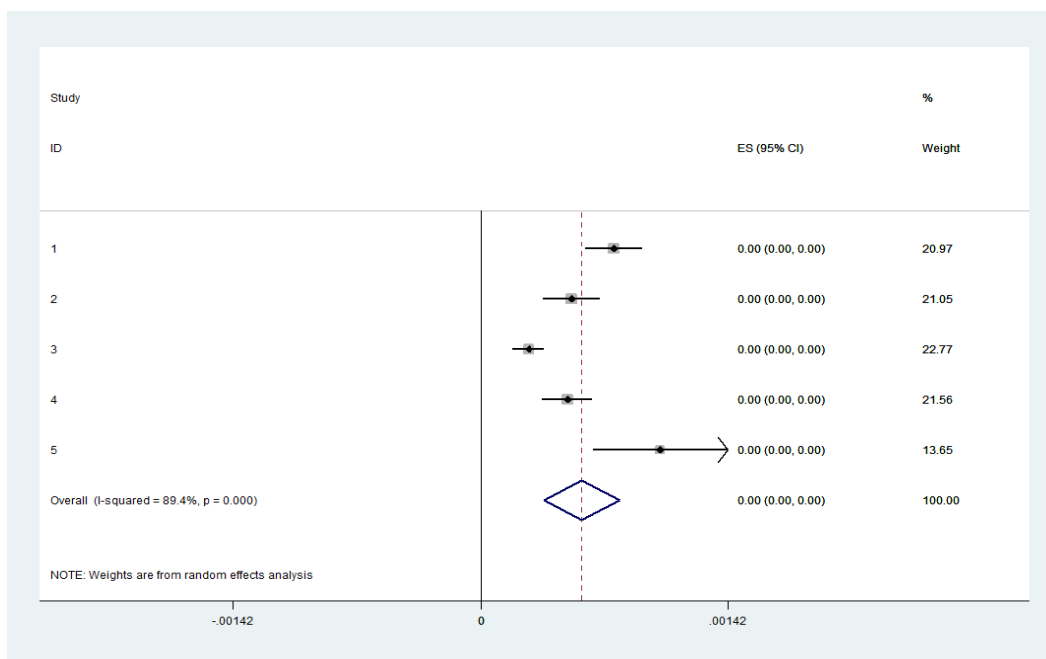
- 농도-반응 함수 메타회귀분석 결과 PM10농도 변화에 따른 전체원인 사망 영향함수가 유의한 것으로 나타남
 - 개별 연구들 간 통합된 농도-반응 함수 계수 Beta는 약 0.000338으로 도출됨
 - 유의 확률(p-value)은 0.000으로, Beta값이 둘 간의 관계에 유의하지 않다는 귀무가설을 통계적으로 0.00%이내 기각하는 결과임
 - [그림 3.3]는 농도-반응 함수 통합 시 개별 연구들의 가중치 및 신뢰구간을 나타냄
 - 농도-반응 함수 Beta값에 대한 신뢰구간이 작은 연구인 Son et al.(2013) 27.2% Hong et al.(1999) 25.5% 순으로 가중치가 높게 반영되어 통합 농도-반응 함수가 도출됨



[그림 3.3] PM10 전체사망 영향 농도-반응 함수 메타분석 결과

(나) 심혈관계 질환

- 추정결과 전체사망 영향과 분석 결과와 마찬가지로 PM10 농도 변화에 따른 심혈관계 사망 통합 농도-반응 함수가 유의한 것으로 나타남
 - 상대위험도 수준을 나타내는 통합 농도-반응 함수는 0.000597로 도출되어, 전체사망 통합 농도-반응 함수보다 다소 높게 나타남
 - p-value도 0.00% 이내로 도출되어 통합 농도-반응 함수 분석 결과가 유의한 값으로 검정됨.
 - [그림 3.4]에서 제시한 바와 같이, 개별 연구의 가중치는 Bae(2014) 13.6%를 제외한 나머지 네 연구는 유사한 가중치가 적용되어 통합 농도-반응 함수가 도출된 것으로 나타남
 - 이는 Bae(2014) Beta의 표준편차가 다른 연구들의 수준보다 더 크게 도출되었으며, 다른 네 연구의 표준편차가 상대적으로 유사하기 때문임

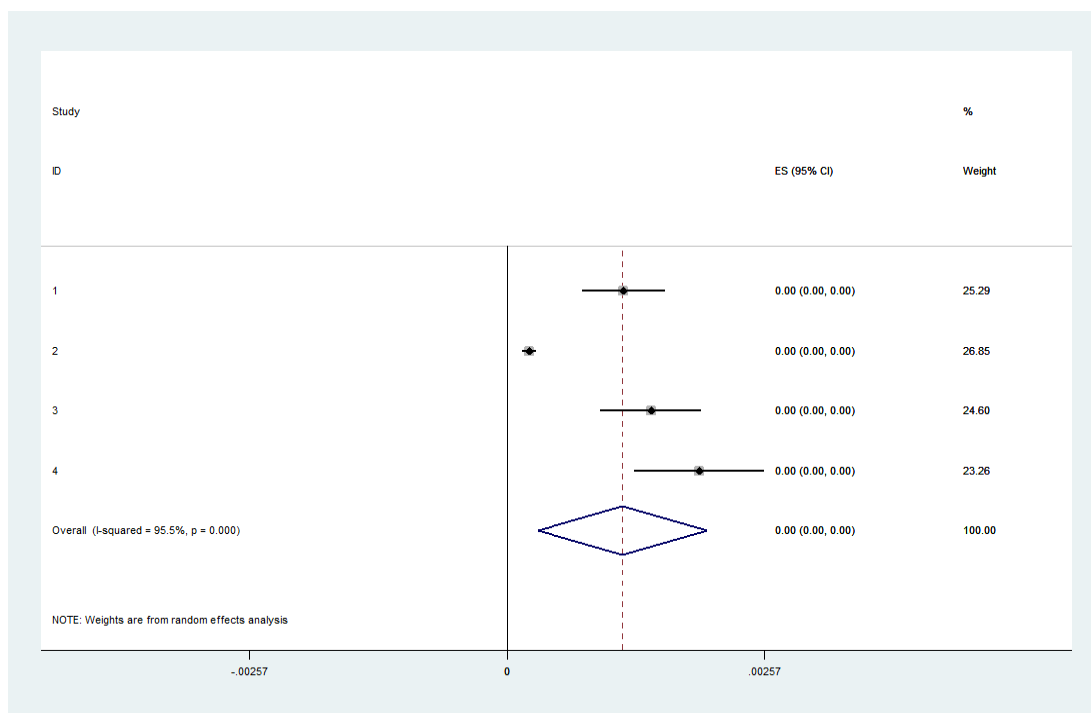


[그림 3.4] PM10 심혈관계 사망 영향 농도-반응 함수 메타분석 결과

(다) 호흡기계 질환

- PM10 농도 변화에 따른 호흡기계 사망 통합 농도-반응 함수 추정결과는 0.001157이며 통계적으로 0% 이내로 유의한 수준으로 도출됨

- 개별 연구의 가중치는 원자료인 네 연구 모두 23~26% 수준으로 유사하게 반영됨
- [그림 3.5]에서 나타난 바와 같이, Son et al.(2013)을 제외한 나머지 세 연구의 경우 Beta 추정결과가 모두 0.0011이상임
- 이에 통합 농도-반응 함수 추정결과가 0.0011과 최대 값인 0.0019 수준 사이에 도출되어 하지만, Son et al.(2013)의 표준편차가 가장 낮기 때문에 세 연구 Beta 최소값 수준으로 추정된 것으로 판단됨



[그림 3.5] PM10 호흡기계 사망 영향 농도-반응 함수 메타분석 결과

(라) 요약

- PM10농도-사망 간 농도-반응 함수 메타분석 결과를 종합비교하였음
- 앞서 언급한 바와 같이 전체사망, 심혈관계 질환 사망, 호흡기계 질환 사망 통합 농도-반응 함수 모두 유의하게 추정됨
 - 상대위험도 크기 수준은 호흡기계가 질환 사망 영향이 가장 크고, 다음으로 심혈관계이며, 전체사망 영향이 가장 적은 수준으로 분석됨

- 한편, 메타회귀 분석 결과에 대한 신뢰도를 파악하기 위해 최근 수행된 하중식(2016)의 메타분석 결과와 상호 비교하였음
- 본 연구의 전체사망, 심혈관계 사망, 호흡기계 사망 통합 농도-반응 함수 추정결과 모두 하중식(2016) 분석 결과와 유사하게 나타남
 - 다만, 전체사망과 심혈관계 사망 농도-반응 함수 메타분석 결과에서는 하중식(2016)보다 다소 높은 수준으로 도출된 반면, 호흡기계 사망 분석 결과는 선행연구보다 다소 적은 수준으로 분석됨
 - 이는 두 연구 간 메타분석에 사용한 원자료가 다르기 때문인 것으로 판단됨
 - 하중식(2016)은 원자료로 서울을 대상으로 수행한 연구를 원자료로 사용한 반면, 본 연구에서는 국내 대상 연구를 원자료로 사용하였음

[표 3.27] PM10 사망 농도-반응 함수 선정 결과 및 선행연구 비교

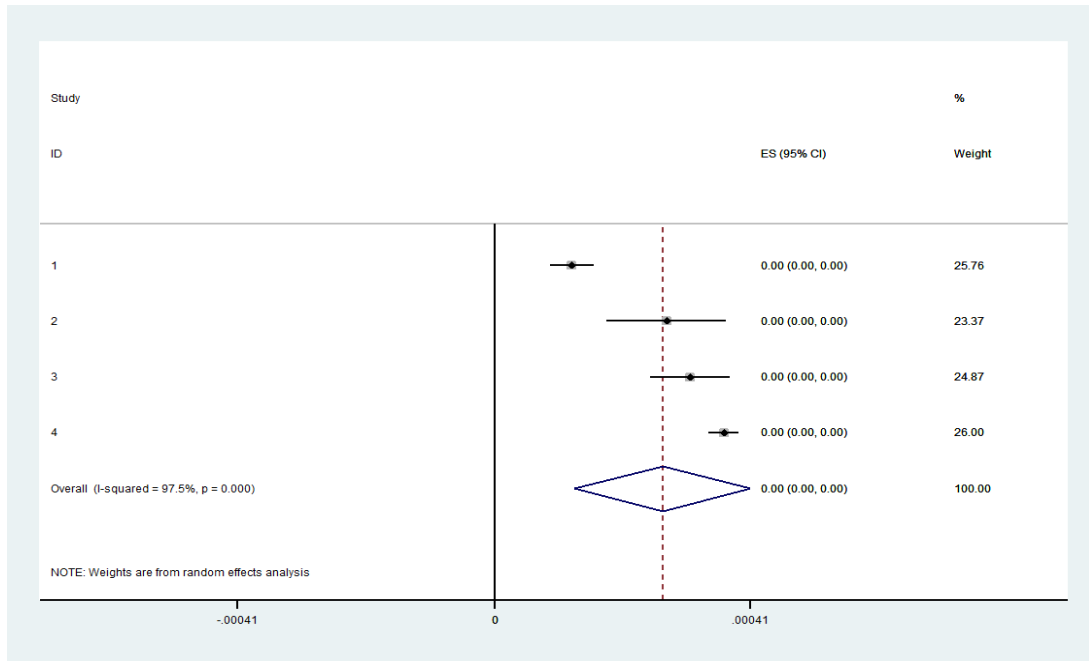
대기오염물질	건강영향	농도-반응 함수 개수	메타분석 결과	하중식(2016)	
PM10	사망	전체사망	34	0.000338	0.000306
		호흡기계	23	0.001157	0.001290
		심혈관계	28	0.000597	0.000450

② PM2.5

(가) 전체 원인

- 메타회귀분석 결과 PM2.5 농도 변화에 따른 전체원인 사망 통합 농도-반응 함수 추정치는 0.000227으로 도출됨
 - 이는 PM10 전체사망, 심혈관계, 호흡기계 사망 통합 농도-반응 함수 추정결과 보다 모두 낮은 수준임
 - 유의 수준(p-value)은 0.000으로 도출되었으며, 이는 Beta값이 둘 간의 관계에 유의하지 않다는 귀무가설을 통계적으로 0.00%이내 기각하는 결과임
 - [그림 3.6]은 농도-반응 함수 통합 시 개별 연구들의 가중치 및 신뢰구간을 나타내며,

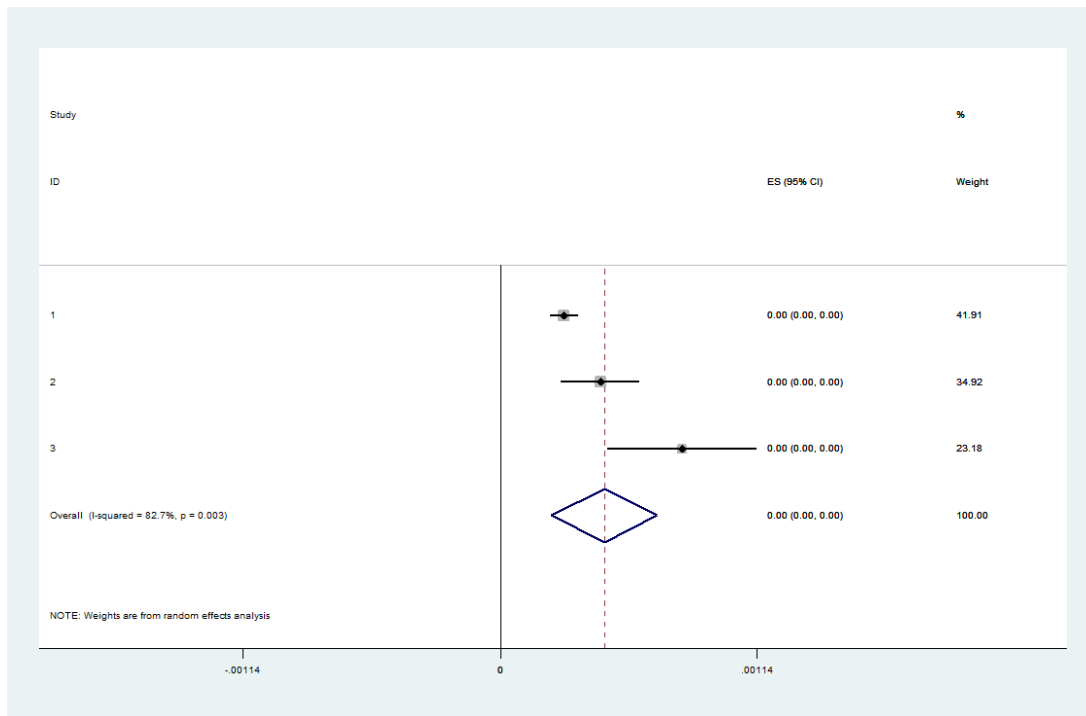
농도-반응 함수 통합과정에서 반영된 개별 연구의 가중치는 원자료 모두 유사한 수준인 것으로 분석됨



[그림 3.6] PM2.5 전체사망 영향 농도-반응 함수 메타분석 결과

(나) 심혈관계 질환

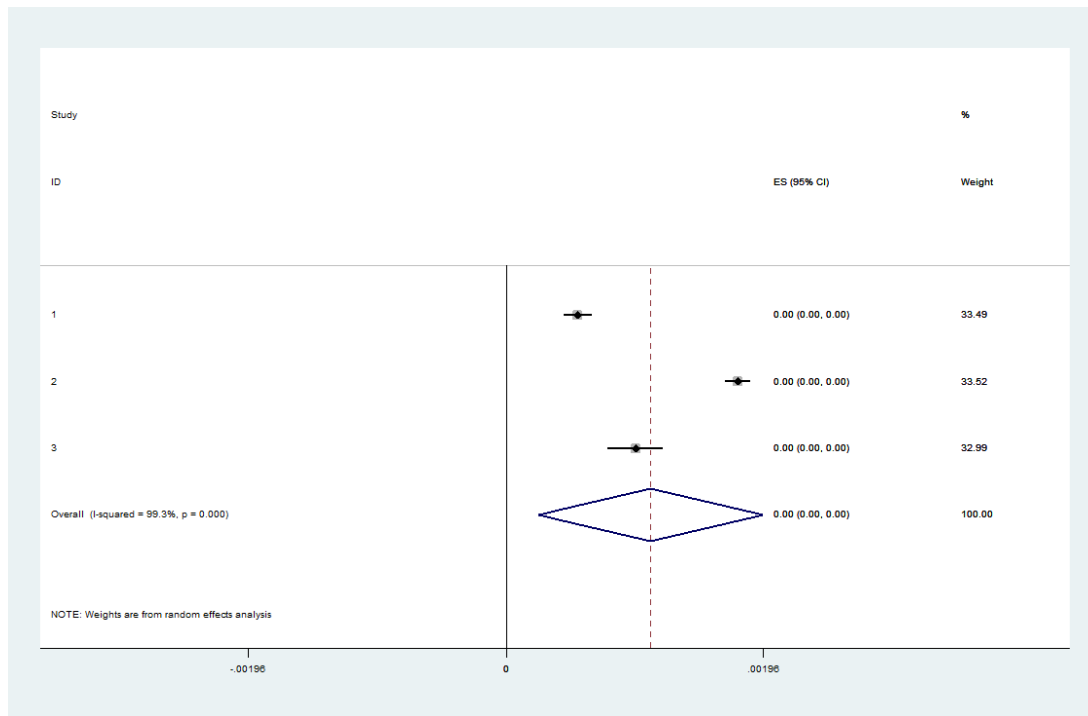
- 추정결과 PM2.5 농도 변화에 따른 심혈관계 사망 통합 농도-반응 함수가 유의한 것으로 나타남
 - 상대위험도 수준을 나타내는 통합 농도-반응 함수는 0.000451로 도출되어, 전체사망 통합 농도-반응 함수보다 약 2배 수준으로 분석됨
 - [그림 3.7]에서 제시한 바와 같이, Kim et al.(2015)이 42%으로 농도-반응 함수 통합과정에 가장 높은 가중치가 반영되었으며, 다음으로 Bae(2014)의 가중치는 35%, Cho et al.(2008)은 23%인 것으로 추정됨
 - 이는 Kim et al.(2015) 연구의 Beta 추정치에 대한 표준편차가 다른 연구들보다 적은 수준이기 때문임
 - 이처럼 개별연구의 일차 Beta 추정결과 및 가중치가 반영되어 PM2.5 노출에 의한 심혈관계 농도-반응 함수가 통합됨



[그림 3.7] PM2.5 심혈관계 사망 영향 농도-반응 함수 메타분석 결과

(다) 호흡기계 질환

- PM2.5 농도 변화에 따른 호흡기계 사망 통합 농도-반응 함수 추정결과는 0.00119이며 통계적으로 0% 이내로 유의한 수준으로 도출됨
 - 개별 연구의 가중치는 원자료 모두 32~34% 수준으로 유사하게 반영됨
 - 한편 개별 연구의 일차 Beta 추정결과는 모두 상이한 수준으로 분석됨
 - Kim et al.(2015)가 0.000548으로 세 연구 추정결과 중 최소값이며, Cho et al.(2008)이 최대값 0.00176으로 도출됨
 - 이에 세 연구의 가중치가 유사한 수준으로 통합 농도-반응 함수에 반영되었기 때문에 최소값과 최대값 사이 중간 수준에서 최종 농도-반응 함수가 결정된 것으로 판단됨



[그림 3.8] PM2.5 호흡기계 사망 영향 농도-반응 함수 메타분석 결과

(라) 요약

- PM2.5 노출에 의한 사망 통합 농도-반응 함수 메타분석결과 전체사망, 심혈관계 질환 사망, 호흡기계 질환 사망 통합 농도-반응 함수 모두 유의하게 추정됨
 - 상대위험도 크기 수준은 PM10 메타분석 결과와 마찬가지로 호흡기계가 질환 사망 영향이 가장 크고, 다음으로 심혈관계이며, 전체사망 영향이 가장 적은 수준으로 분석됨
 - 이는 최근 수행된 하종식(2016) 연구 결과와 유사한 추세인 반면, 사망원인 별 농도-반응 함수 수준은 다소 차이가 존재하는 것으로 분석됨
 - 특히, 하종식(2016)의 PM2.5노출에 의한 호흡기계 사망 농도-반응 함수 메타분석 결과는 0.002148으로 본 연구의 추정치인 0.001199보다 약 2배 높은 수준으로 도출됨

[표 3.28] PM2.5 사망 영향 농도-반응 함수 선정결과 및 선행연구 비교

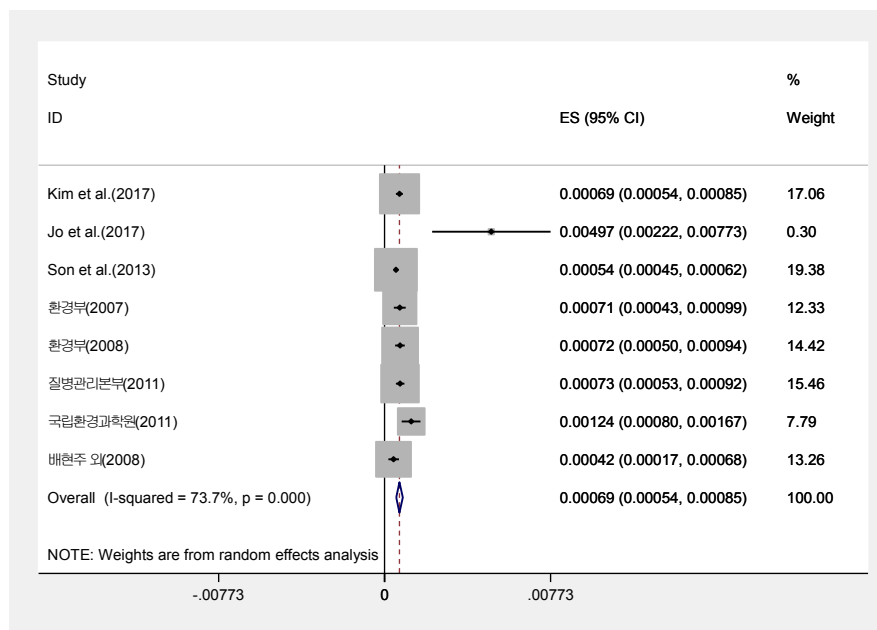
대기오염물질	건강영향	농도-반응 함수 개수	메타분석 결과	하중식(2016)	
PM2.5	사망	전체원인	21	0.000271	0.000302
		호흡기계	17	0.001199	0.002148
		심혈관계	17	0.000451	0.000656

4.3.2 질병 영향

① PM10

(가) 호흡기계 입원

○ 농도-반응 함수 계수 베타를 종합 결과 유의수준 5% 이내에서 0.00069로 추정됨



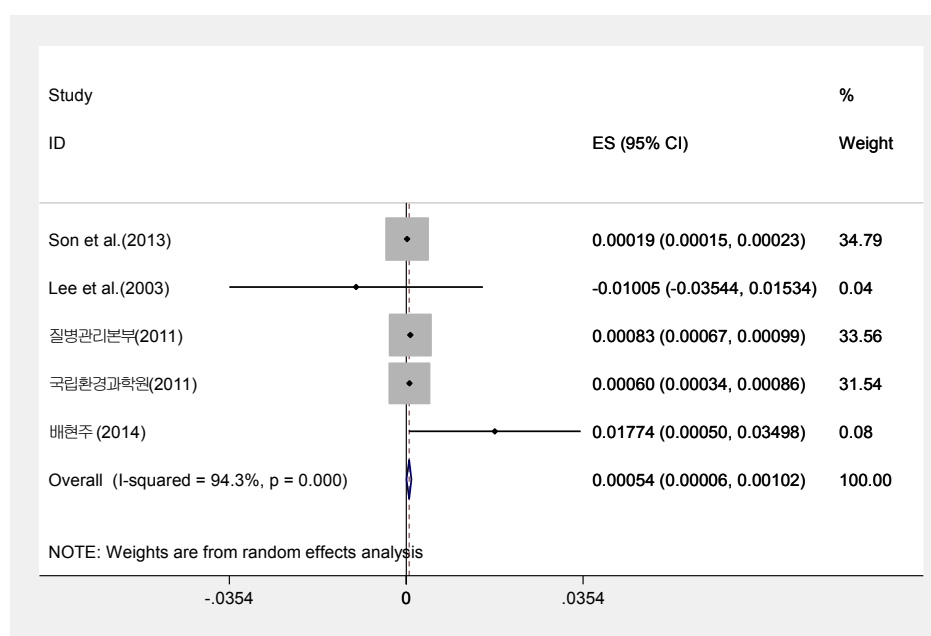
[그림 3.9] PM10 호흡기계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과

[표 3.29] PM10 호흡기계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과

Pooled Est	95% 신뢰구간		p-val
	하한	상한	
0.00069	0.00054	0.00085	0.000

(나) 심혈관계 입원

- 앞서 수집된 농도-반응 함수 계수 베타를 종합한 추정치는 0.0005이며 유의수준 5% 이내임



[그림 3.10] PM10 심혈관계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과

[표 3.30] PM10 심혈관계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과

Pooled Est	95% 신뢰구간		p-val
	하한	상한	
0.00054	0.00006	0.00102	0.00

(다) 호흡기계 외래

- PM10 단기노출 호흡기계 외래진료 농도-반응 함수는 최병철 외(2000)가 유일하여 동 문헌에 제시된 농도-반응 함수를 종합하였음

[표 3.31] PM10 호흡기계 외래 농도-반응 함수 메타분석 결과

Pooled Est	95% 신뢰구간		p-val
	하한	상한	
0.0006	0.0005	0.0006	—

(라) 요약

- PM10농도-질병 간 농도-반응 함수 메타분석 결과를 종합해서 비교하였음
- 앞서 언급한 바와 같이 질병 영향의 경우 농도-반응함수가 적은 일부의 경우 메타분석 대신 하나의 대푯값을 선정하기도 하였음
- 메타분석을 시행한 사례 모두 농도-반응 함수가 유의하게 추정됨
 - 계수 베타의 크기는 호흡기계 입원 영향이 가장 크고, 다음으로 심혈관계 입원, 호흡기계 외래 순임
- 분석 결과에 대한 신뢰도를 파악하기 위해 최근 수행된 하종식(2016)의 메타분석 결과와 상호 비교한 결과 유사한 범위의 값을 가지는 것으로 나타남
 - 단, 하종식(2016)에서 제시하지 않은 호흡기 외래, 심혈관계 외래는 비교하지 못함
 - 심혈관계 입원보다 호흡기 입원 영향이 더 크게 나타나는 경향이 하종식(2016)과 동일하게 관측됨

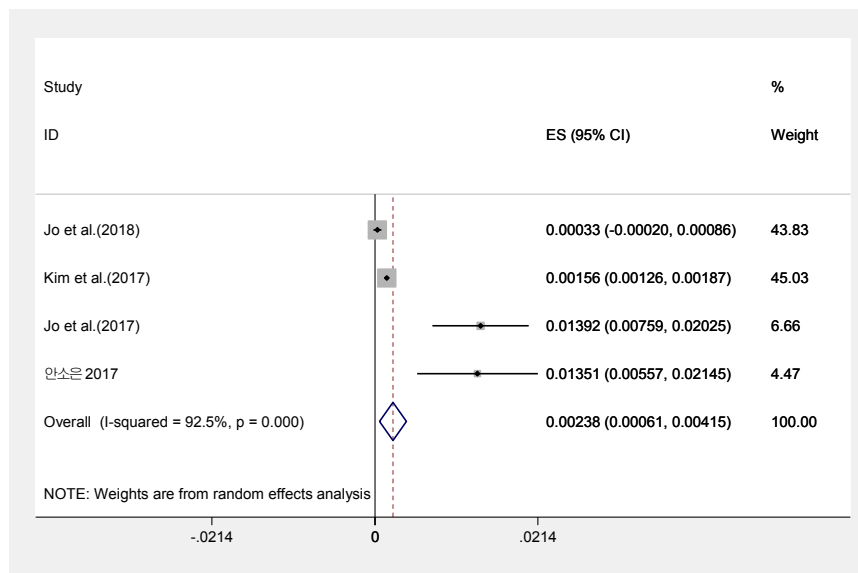
[표 3.32] PM10 질병 영향 농도-반응 함수 선정 결과 및 선행연구 비교

대기오염물질	건강영향	농도-반응 함수 개수	선정결과	하종식(2016)
PM10	호흡기 입원	82	0.00069	0.000549
	심혈관계 입원	23	0.00054	0.000227
	호흡기 외래	—	0.00060	미제시
	심혈관계 외래	—	산출불가	미제시

② PM2.5

(가) 호흡기계 입원

- 앞서 수집된 농도-반응 함수 계수 베타를 종합한 추정치는 0.00238이며 유의수준 5% 이내임
- 특히 Jo et al.(2018)과 Kim et al.(2017)의 표준오차가 다른 연구에 비해 훨씬 적어서 각각 40% 이상의 가중치를 차지함



[그림 3.11] PM2.5 호흡기계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과

[표 3.33] PM2.5 호흡기계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과

Pooled Est	95% 신뢰구간		p-val
	하한	상한	
0.00238	0.00061	0.00415	0.000

(나) 요약

- PM2.5 농도-질병 간 농도-반응 함수 메타분석 결과를 종합해서 비교하였음
- 앞서 언급한 바와 같이 질병 영향의 경우 농도-반응함수가 적은 일부의 경우 메타분석 대신 하나의 대푯값을 선정하기도 하였음

- 메타분석을 시행한 사례 모두 농도-반응 함수가 유의하게 추정됨
 - 계수 베타의 크기는 심혈관계 입원 영향이 가장 크고, 다음으로 호흡기 입원과 호흡기 외래 순임
 - 이는 입자가 작은 PM2.5가 심혈관계 관련 질환에 미치는 영향이 PM10보다 크다는 기존의 역학 연구와 일치하는 결과임
- PM10과 달리 PM2.5의 분석 결과를 상호 비교할 수 있는 선행연구가 부재함
 - 하종식(2016)은 PM2.5의 상병 영향으로 심혈관계 질환과 관련된 급성 심정지건수에 대한 농도-반응함수를 선정하였음
 - 단, 이는 호흡기 외래, 심혈관계 외래가 아닌 다른 변수로 메타분석 결과와 직접 비교할 수 없으며, 그 외 국내 분석 사례가 없어 기존 연구와 비교하지 못함

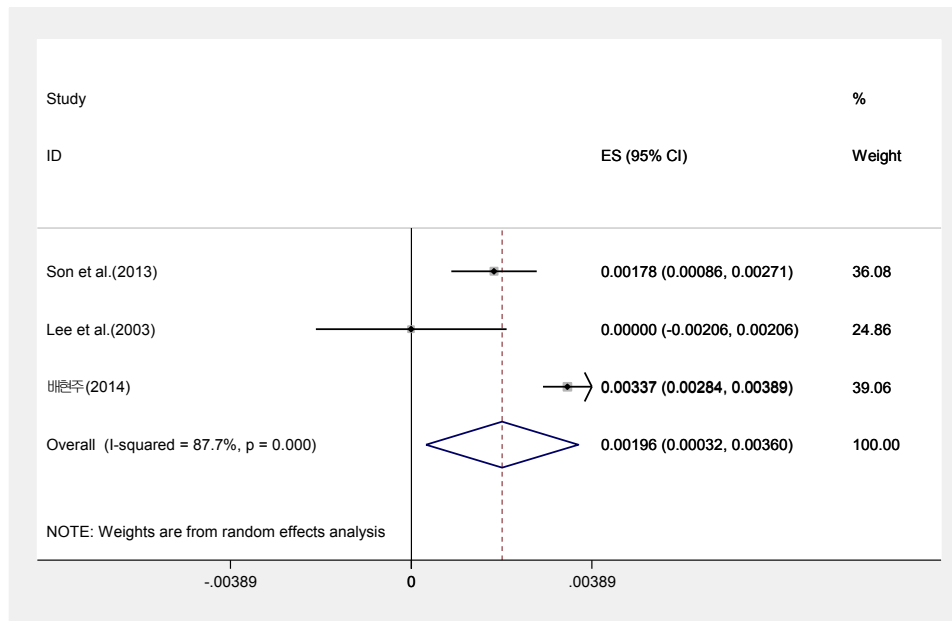
[표 3.34] PM2.5 질병 영향 농도-반응 함수 선정 결과

대기오염물질	건강영향	농도-반응 함수 개수	선정결과
PM2.5	호흡기 입원	29	0.002380
	심혈관계 입원	1	0.003672
	호흡기 외래	-	0.000250
	심혈관계 외래	-	

③ NO2

(가) 심혈관계 입원

- 총 3편의 문헌에서 농도-반응 함수가 수집된 심혈관계 입원에 한하여 메타분석을 수행하였음
- 분석결과 추정치는 유의수준 5% 이내에서 유의미한 것으로 나타남



[그림 3.12] NO2 심혈관계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과

[표 3.35] NO2 심혈관계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과

Pooled Est	95% 신뢰구간		p-val
	하한	상한	
0.00196	0.00032	0.00360	0.019

(나) 요약

- NO2 농도-반응 함수 메타분석 결과를 종합하였음
- 앞서 언급한 바와 같이 질병 영향의 경우 농도-반응함수가 적은 일부의 경우 메타분석 대신 하나의 대푯값을 선정하기도 하였음
- 메타분석을 시행한 사례는 심혈관계 입원 영향이 유일하며, 유의수준 내에서 유의미하게 추정됨
- NO2의 분석 결과를 상호 비교할 수 있는 메타분석 선행연구가 부재함
 - 하중식(2016)은 PM10, PM2.5, O3를 대상으로만 메타분석을 시행함

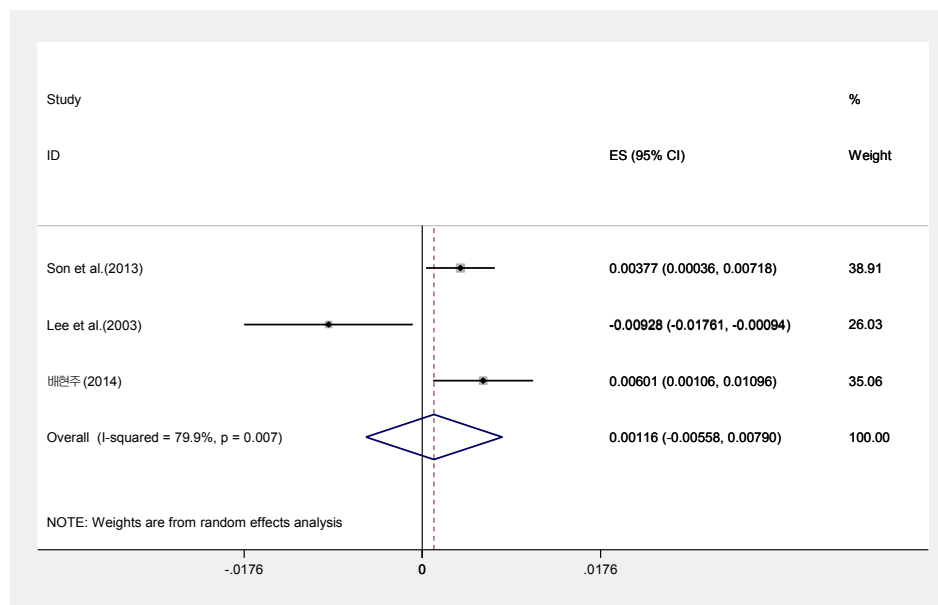
[표 3.36] NO₂ 질병 영향 농도-반응 함수 선정 결과

대기오염물질	건강영향	농도-반응 함수 개수	선정결과
NO ₂	호흡기 입원	1	0.002104
	심혈관계 입원	9	0.001960
	호흡기 외래	—	—
	심혈관계 외래	—	—

④ SO₂

(가) 심혈관계 입원

- 총 3편의 문헌에서 농도-반응 함수가 수집된 심혈관계 입원에 한하여 메타분석을 수행하였음
- 분석결과 추정치의 하한이 음의 값을 가지며, 유의수준을 벗어나는 것으로 나타났음

[그림 3.13] SO₂ 심혈관계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과

[표 3.37] SO₂ 심혈관계 입원 농도-반응 함수 메타분석 결과

Pooled Est	95% 신뢰구간		p-val
	하한	상한	
0.00116	-0.00558	0.00790	< 0.05

- SO₂ 심혈관계 입원 영향에 대한 농도-반응 함수를 메타분석을 통해 선정할 수 없어, 기존 연구 결과 중 분석 결과가 유의미하며 상대적으로 계수 값이 작은 Son et al. (2013)의 농도-반응 함수를 선정함

(나) 요약

- SO₂ 농도-반응 함수 메타분석 결과를 종합하였음
- 메타분석을 시행한 사례는 심혈관계 입원 영향이 유일하며, 호흡기계 입원 영향의 경우 농도-반응함수 사례가 적어 선행연구의 농도-반응함수를 차용하였음
- 그 외 건강 영향은 선행연구 사례가 없어 농도-반응함수를 선정하지 못함

[표 3.38] SO₂ 질병 영향 농도-반응 함수 선정결과

대기오염물질	건강영향	농도-반응 함수 개수	선정결과
SO ₂	호흡기 입원	1	0.005474
	심혈관계 입원	9	0.001160
	호흡기 외래	—	—
	심혈관계 외래	—	—

4.3.3 종합

- 사망 및 질병관련 농도-반응 함수를 추정된 선행연구 결과를 종합하여 아래와 같이 건강영향평가에 적용될 농도-반응 함수를 선정하였음

[표 3.39] 농도-반응 함수 선정결과

오염물질	건강영향		메타분석 대상 Beta값 개수	Beta	SE
PM10	사망	전체사망	34	0.000338	0.000112
		호흡기계	28	0.001157	0.000096
		심혈관계	23	0.000597	0.000049
PM2.5	사망	전체원인	21	0.000271	0.000109
		호흡기계	17	0.001199	0.000072
		심혈관계	17	0.000451	0.000085
PM10	질병	호흡기 입원	82	0.00069	0.00008
		심혈관계 입원	23	0.00054	0.00024
		호흡기 외래	1	0.0006	0.00003
		심혈관계 외래	—	—	—
PM2.5	질병	호흡기 입원	29	0.00238	0.00090
		심혈관계 입원	—	—	—
		호흡기 외래	—	0.000250	0.000102
		심혈관계 외래	—	—	—
NO2	질병	호흡기 입원	1	0.002104	0.001019
		심혈관계 입원	9	0.001960	0.00084
		호흡기 외래	—	—	—
		심혈관계 외래	—	—	—
SO2	질병	호흡기 입원	1	0.005474	0.002078
		심혈관계 입원	9	0.003772	0.001740
		호흡기 외래	—	—	—
		심혈관계 외래	—	—	—

5. 농도-반응 함수 직접추정

- 피해 비용을 정확히 평가하기 위해서는 분석 대상지역에 적합한 계수 β (Beta)를 사용하는 것이 중요함
- β 는 피해 비용 분석 대상 인구 집단의 상병 자료와 대기오염 농도자료를 바탕으로 통계적으로 추정하거나, 기존 역학 연구 (epidemiology)⁸⁾에서 도출된 값을 사용할 수 있음
- β 를 직접 추정할 경우 피해 비용 추정결과의 정확도와 신뢰성을 높일 수 있다는 장점이 있으며, 이는 피해 비용을 바탕으로 한 정책적 의사결정 단계에서 이해관계자의 수용성 향상으로 이어질 수 있음
- 그러나 농도-반응 함수를 직접 구하는 것은 충분한 자료와 시간이 요구되며, 종종 통계적으로 유의미한 농도-반응 함수가 도출되지 않기도 함
 - 국내에서도 수도권 및 일부 광역시를 대상으로 농도-반응 함수 연구사례가 제한적으로 존재할 뿐이며, 충청남도를 대상으로 농도-반응 함수를 직접 추정한 사례는 없음
- 따라서 피해 비용 평가를 목적으로 하는 연구에서는, 분석 범위에 맞는 β 를 직접 추정하기도 하지만, 선행연구에서 도출된 β 를 사용하기도 함
 - 환경부 (2006)은 미국에서 미국 내 6개 도시를 대상으로 도출된 농도-반응 함수를 활용하여 국내 대기질 개선에 따른 편익을 추정하였음
 - 안소은 외(2017) 등 최근 수행된 연구의 경우 직접 추정을 시도하긴 하지만, 최종적으로 연구에서 사용한 농도-반응 함수는 메타분석을 통해 도출함
- 국내에서 농도-반응 함수에 대한 직접 추정이 제한적으로 수행된 주요 원인은 크게 세 가지로 분류 가능함
 - 첫째, 대기오염 피해에 대한 연구 수요가 미미하였음
 - 최근 미세먼지가 사회적인 이슈로 등장하기 이전에는 국내에서는 대기질 역학 연구가 한정적으로 수행되었음

8) 역학이란 인구 집단의 질병 분포와 이를 결정하는 요인을 연구하는 의학의 한 분야임

- 둘째, 대기오염 농도 데이터 집계가 제한적이었음
 - 농도-반응 함수에 대한 직접 추정이 가능하기 위해서는 일정 이상의 데이터 양과 누적에 필요한데, 수도권 등 일부 지역을 제외한 나머지 지역의 대기오염 관측소 분포가 2017년 이전까지는 미미한 수준이었음
 - 셋째, 질병 영향 데이터가 부재하였음
 - 최근 건강보험관리공단에서 제공하고 있는 건강 코호트DB 이전까지는 질병 자료에 대한 연구자의 접근이 불가능하였음
- 그럼에도 불구하고, 대기오염과 건강 영향 간 관계에 대한 보다 면밀한 규명을 위해서는 중장기적으로 농도-반응 함수에 대한 직접 추정이 필요함
- 이는 기상 및 인구구조 등 사회·경제·환경적 요인을 고려해야 국내 또는 특정 지역에 대한 보다 정확한 농도-반응 함수 추정이 가능하기 때문임
 - 즉, 시간적 공간적 변화에 따라 농도-반응 함수가 상이해질 가능성이 높기 때문임
 - 특히, 특정 지역을 대상으로 분석을 실시하는 본 연구에서는 지역의 사회·경제·환경적 요인이 농도-반응 함수 범주 수준에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에 직접 추정의 신뢰도가 더 클 수 있음
- 이에 본 연구에서는 대기오염 농도-반응 함수를 직접 추정하기 위해 필요한 기초자료와 분석 방법론을 검토하고, 이를 바탕으로 PM10의 호흡기계 원인 사망 및 호흡기계 원인 일부 건강영향에 대한 농도-반응 함수를 시범 추정하였음

5.1 자료 수집 및 가공

5.1.1 사망 자료

- 본 연구에서 사망자 수와 대기오염 간 영향함수를 추정하기 위해 설정한 모형에 투입된 기초자료는 사망자 수, 대기오염 농도, 기상변수로 구분됨
- 사망자 수 자료는 통계청에서 매년 발표하는 사망원인 통계를 사용하였음
 - 2018년 8월 기준으로 가장 최근 자료인 2016년 사망원인 통계를 사용하였으며, 통계청 마이크로데이터서비스(MDIS)를 통해 획득함

- 대기오염 농도는 한국환경공단의 도시대기 측정망 자료이며, 시간별 평균농도 자료를 일별 평균농도 자료로 변환하여 변수로 활용함
- 기상변수는 평균기온과 상대습도를 대기오염-사망 간 관계에 혼란변수로 활용하였으며, 기초자료는 기상청의 기상자료개방포털을 통해 획득하였음

[표 3.40] 사망 영향 농도-반응 함수 분석 기초자료

구분	사망자 수	대기오염 농도	기상변수
출처	통계청 사망원인	환경공단 도시대기측정망	기상청 기상자료개방포털
구분	전체사망 / 호흡기계 질환 / 심혈관계 질환	PM10 / PM2.5	평균기온 / 상대습도
시간 / 공간 단위	일별 / 광역사도		

5.1.2 질병 자료

① 표본 코호트 DB 개요

- 표본코호트 DB는 건강보험에 가입한 전국민 중 추출된 100만명을 대상으로 의료이용 현황, 사회경제적 현황을 제공함
 - 100만명은 전국민 모집단의 2%로 2002년 1년 동안 건강보험가입 자격을 유지한 인원 중, 우리나라 국민의 성·연령·가입자구분·보험료 분위·지역별 분포를 고려하여 모집단에서 층화추출한 표본집단임
 - 상기 100만 명을 대상으로 한 2002년부터 2013년까지 (12개년)의 의료이용현황, 건강검진 내역, 사회경제적 현황 (자격, 보험료, 장애, 사망 등)을 자료와 함께 동 기간 내 요양기관 현황을 다음과 같이 제공하고 있음

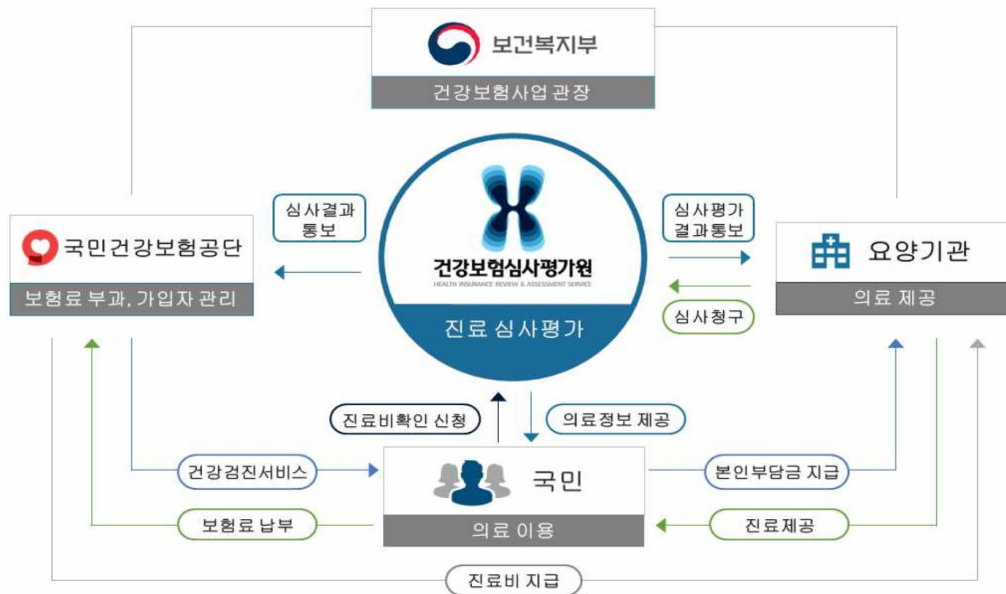
[표 3.41] 표본코호트 DB 데이터 구조

구분	세부 특성
자격DB	<ul style="list-style-type: none"> 대상 : 건강보험가입자 및 의료급여수급권자(외국인 제외) 변수 : 성, 연령대, 지역, 가입자 구분, 소득분위 등 대상자의 사회경제적 변수 및 장애, 사망관련 총 14개 변수로 구성 추가자료(2종) : 통계청 사망원인(세분류, 중분류), 시군구자료 → 필요시 검토 후 제공, 통계청 사망자료는 통계청에 제공 내역 통보
진료DB *10개 세부DB	<ul style="list-style-type: none"> 내용 : 대상자가 요양기관에 방문하여 진료 등을 받은 내역에 대해 요양기관으로부터 요양급여가 청구된 자료 구성 : 의과_보건기관 (T1), 치과_한방 (T2), 약국 (T3)자료에 대한 명세서 (20t), 진료내역 (30t), 상병내역 (40t), 처방전교부 상세내역 (60t)의 10개 세부DB로 구성 변수 : 명세서 공통, 진료, 상병, 처방 관련 총 57개 변수로 구성 의료급여수급권자 2008년 이전 진료상세자료 없음
건강검진DB	<ul style="list-style-type: none"> 내용 : 건강검진 주요 결과 및 문진에 의한 생활습관 및 행태관련 자료 → 1차 일반건강검진 자료, 2008년부터 생애전환기건강진단 자료 포함 구성 : 2002~2008년, 2009~2013년 건강검진DB 별도 구성 → 검진제도 개편(2009년)으로 주요 검진 및 문진항목 변경
요양기관DB	<ul style="list-style-type: none"> 내용 : 요양기관의 종별, 설립구분별, 지역(시도)별 현황 및 시설, 장비, 인력관련 자료 변수 : 총 10개 변수로 구성

- 표본코호트 DB자료에서 제공하는 가장 최신의 데이터가 2013년이기 때문에 농도-반응 함수 직접 추정을 위한 시간적 분석범위는 2013년 1월 1일부터 2013년 12월 31일까지 1년을 대상으로 함

② 에피소드 정의

- 병원 진료는 크게 입원과 외래로 구분되며, 본 연구에서는 둘을 구분하여 영향평가를 수행하였음
- 만일 환자가 외래진료를 받은 날로부터 며칠이 지나 증상이 악화되어 입원하는 경우 각각 외래 1건, 입원 1건으로 간주함
 - 외래의 경우 일반 외래 진료와 응급실을 구분하지 않고 동일한 건수를 간주하였음
- 표본코호트 DB의 건강보험청구자료는 의료 서비스 이용건에 대해 요양기관이 건강보험공단에 보험료를 청구하기 위해 작성하는 “요양급여비용 청구명세서” (이하 ‘청구건’) 중 지급 심사 및 지급이 완료된 청구건을 대상으로 추출한 자료임



[그림 3.14] 요양급여비용 청구, 심사, 지급 절차

- 김록영 외 (2013)에 따르면 청구 명세서는 다음 경우에 발생함
 - 의료기관에서는 월별 혹은 일별로 건강보험심사평가원 (이하 ‘심평원’)에 환자 당 한 건의 건강보험 요양급여를 청구함
 - 입원의 경우 입원기간에 상관없이 1개월을 기준으로 명세서를 청구함
 - 병원급 이상은 월간 진료내역을 통합 청구, 의원급은 방문일자별로 구분청구, 약국은 일자별 구분 청구함
 - 따라서 한 환자가 종합병원에 3개월 입원 시 세장의 청구명세서가 발생하며, 한 환자가 다른 병원으로 옮길 경우에도 새로운 청구명세서가 발생함
 - 만성질환의 경우 병원을 여러 곳을 다니더라도 만성질환 유병자로 간주하는 반면 감기 같은 경증 질환의 경우 수개월 간격으로 내원하더라도 동일 감기라 보기어려움
- 따라서 건강보험 청구자료만으로 환자의 발병시기와 완치시기를 알아내는 것은 불가능하며, 특정 상병으로 처음 외래진료를 한 시기와 입원 기간, 퇴원일, 최종 외래 진료일만 추적 가능함
- 특히 입원의 경우 하나의 입원 건이라 하더라도 분할 청구될 수 있기 때문에 동일인이 동일한 질병에 대하여 여러 건을 청구한 경우 이를 하나의 상병 단위로 묶기 위해

질환의 발생부터 종료 (사망, 치료 종료, 회복 등)까지를 하나의 에피소드로 정의하는 것이 필요하며, 이를 ‘입원 에피소드’ 라고 함

- 에피소드는 기관 에피소드, 입원 에피소드, 진료 에피소드 등으로 구분⁹⁾하기도 하며 여기서는 선행연구 (배현주 (2016), 안소은 (2016) 등)에서 활용된 입원 에피소드를 사용하였음

[표 3.42] 에피소드 정의 방법

구분	정의
기관에피소드	동일인이 동일기관에서 이용한 연속된 입원서비스를 묶는 에피소드
입원에피소드	동일인이 서로 다른 요양기관에서 이용한 입원서비스까지 묶는 에피소드
진료에피소드	동일인이 정해진 무 진료기간 이내에 이용한 모든 입원 및 외래 서비스를 묶는 에피소드

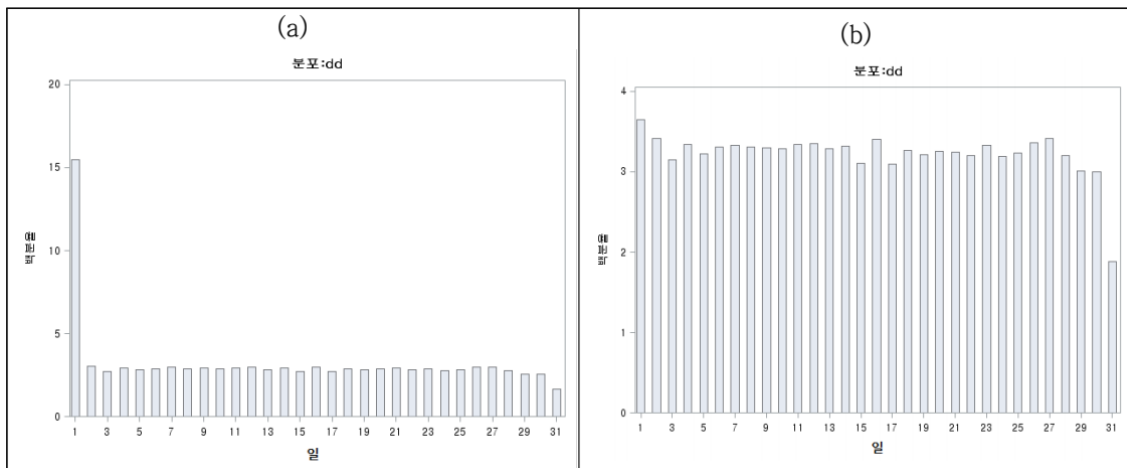
- 따라서 서로 분할된 청구 건을 통합하기 위해 무진료 기간을 정의함(김록영 외, 2013)
 - 무진료기간이란 동일 질병군으로 며칠내 또 다시 의료이용이 있을때 이를 동일한 에피소드로 간주할 일정기간으로 만성질환과 같이 완치가 어려운 질환의 무진료기간은 무한대, 감기 같은 질환은 무진료 기간 정의에 따라 발병건수가 상이함
- 선행연구에서는 임상 전문의 소견, 통계적 기법 등 연구진에 따라 다양한 방식으로 무진료 기간을 정의하고 있음

9) 건강보험심사평가원. 건강보험 청구자료의 소개 및 활용

[표 3.43] 선행연구 무진료기간, 에피소드 정의 사례

참고 문헌	에피소드, 무진료 기간 정의 방법
안소은 (2017)	호흡기계 질환으로 인한 최초 입원 후 재입원까지의 시간이 2일 이하인 경우 1개 에피소드로 간주
엄태웅 (2015)	(임상기준) 부산대학교 한방병원 의료진 의견 수합하여 주요 급성은 30일, 아급성은 90일, 만성은 182일 적용
박해용	동일인의 연속된 입원 의료 서비스에 대해서 요양기관 동일여부에 상관없이 퇴원 이후 재입원까지의 기간별 전체자료의 분포를 평가하여 하나의 입원에피소드로 묶을 최대일수 확인. 무진료기간 0일로 할 때 가장 큰 입원 진료 에피소드 자료 감소 확인
김재용 (2003)	환자단위로 정리된 진료데이터베이스를 구축하고 방문일간 간격의 분포를 분석하여 급성상기도 감염과 급성기관지염, 만성 비인두염 모두 무진료기간을 7일 이내로 구분하는 것이 적합하다는 결론 도출
환경부 (2007)	동일 인물의 천식 입원 발생 청구건들을 진료개시일 기준으로 나열한 후 입원개시일 사이 기간이 0또는 1일이면 동일 에피소드로 정의

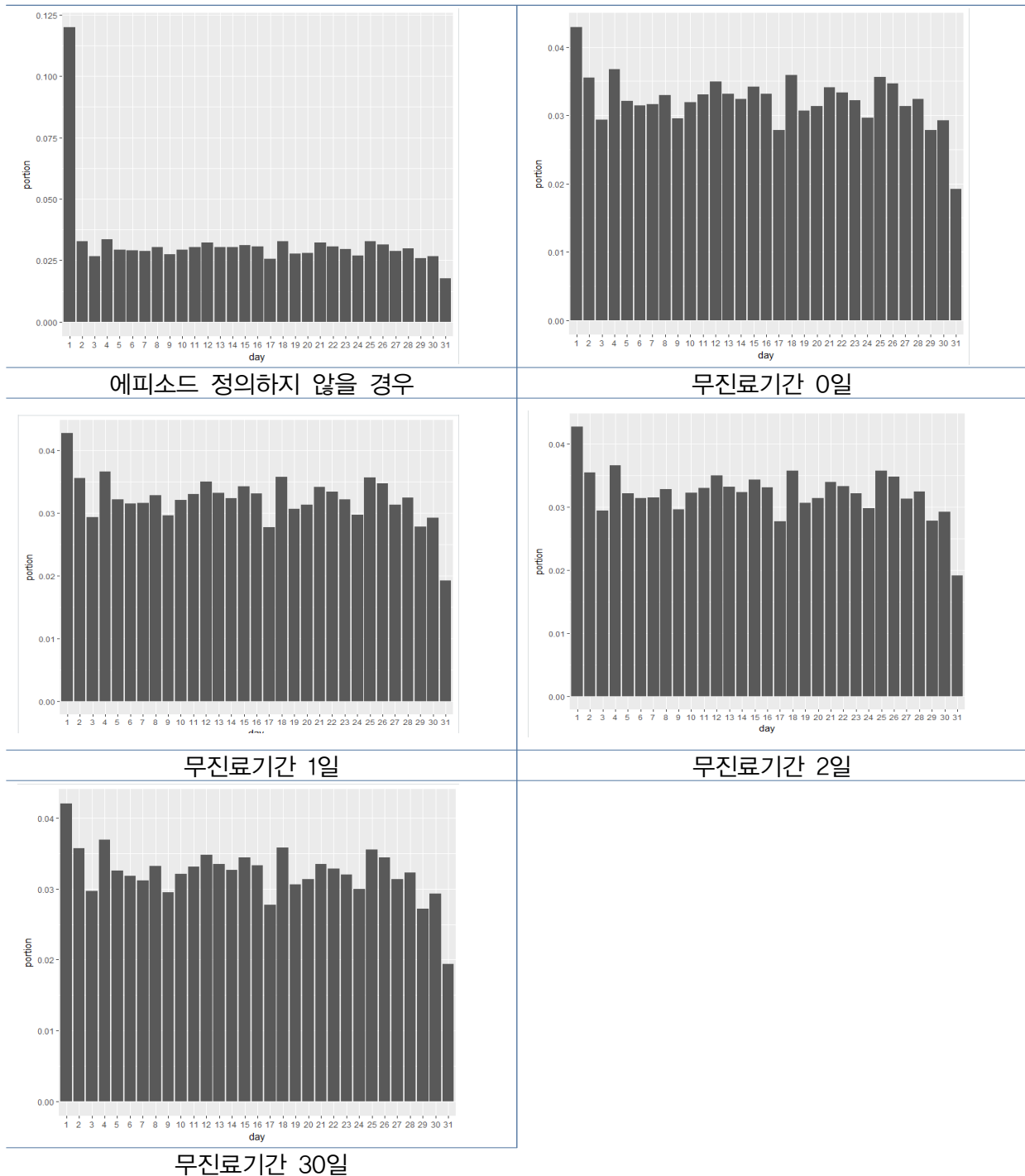
- 안소은 (2017)은 호흡기계 입원에 대해 무진료 기간을 2일로 가정 시 일별 청구건수 분포가 고르게 나타남을 보임



[그림 3.15] 안소은 (2017) 에피소드 정의에 따른 일별 입원 건수 분포 분포

- 충청남도 연간 호흡기계 질환 원인 입원건수에 대해 무진료 기간 정의에 따른 분포를 분석하였음

- 에피소드를 정의할 경우 일별 청구건수 분포가 균일해지는 것이 확인됨
- 대신 무진료기간을 0~30일로 달리 설정하였을 때 분포 경향이 크게 다르지 않은 것으로 나타남



[그림 3.16] 에피소드 정의 및 무진료기간 가정에 따른 일별 입원건수 분포

- 이에 따라 본 연구에서는 안소은 (2017)과 같이 표본 코호트 DB를 바탕으로 무진료기간을 2일로 가정하여 에피소드를 병합하였음
- 이를 위해 서식코드가 입원인 청구건을 추출하고 다음과 같이 데이터를 가공함
 - 통계청 한국표준질병사인분류표 (KCD 코드 6차 개정)의 상병분류기호를 기준으로 주상병, 제1부상병이 호흡기계 (J00~J99)인 청구건 추출
 - 입원환자가 충청남도 거주자인 청구건 추출 (자격DB 기준)
 - 퇴원 당일 입원, 퇴원 다음날 입원을 이전 입원건의 연속으로 간주 (에피소드 정의)
 - 분석시점의 첫 번째 청구건 (2013/01/01)은 에피소드 정의 방법의 특성을 고려¹⁰⁾하여 제외

5.1.3 대기오염 농도 및 기상 자료

- 대기오염 농도 자료는 환경공단 도시대기측정망 일별 농도를 이용하여 (교외, 배경농도 제외) 측정망 소재지를 기준으로 시도별 산술 평균 하였음
 - 충청남도 내 측정망 (성황동 (천안), 백석동 (천안), 독곶리 (서산), 동문동 (서산), 난지도리 (당진), 정곡리 (당진), 모종동 (아산)) 자료를 산술 평균하였음

10) 연속된 두건이상의 입원을 빠른 시점의 입원과 연결하는 에피소드 정의 방법의 특성 상 분석 시점의 가장 첫 번째 데이터에 가장 많은 입원건수가 병합됨. 이 경우 당일 오염물질 농도의 영향이 왜곡될 수 있음

[표 3.44] 충청남도 대기오염 측정망 현황 (14.12. 기준)

측정지점	측정망 종류	측정항목	운영
천안시	성황동 도시 대기측정망	- SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} - 풍향, 풍속, 온도, 상대습도 - Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Ni, As, Be(대기중금속)	지자체
	백석동 도시 대기측정망	- SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , CO, PM ₁₀ - 풍향, 풍속, 온도, 상대습도	지자체
	성성동 도로변 대기측정망	- SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , CO, PM ₁₀ - 풍향, 풍속, 온도, 상대습도	지자체
서산시	독곶리 도시 대기측정망	- SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , CO, PM ₁₀ - 풍향, 풍속, 온도, 상대습도 - Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Ni, As, Be(대기중금속)	지자체
	동문동 도시 대기측정망	- SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , CO, PM ₁₀ - 풍향, 풍속, 온도, 상대습도	지자체
아산시	모종동 도시 대기측정망	- SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , CO, PM ₁₀ - 풍향, 풍속, 온도, 상대습도	지자체
당진시	난지도리 도시 대기측정망	- SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , CO, PM ₁₀ - 풍향, 풍속, 온도, 상대습도	지자체
	정곡리 도시 대기측정망	- SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} - 풍향, 풍속, 온도, 상대습도	지자체
공주시	사곡면 교외 대기측정망	- SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} - 풍향, 풍속, 온도, 상대습도 - Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Ni, As, Be(대기중금속)	국가
태안군	파도리 교외 대기측정망	- SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} - 풍향, 풍속, 온도, 상대습도 - VOCs 13개 항목 - PAHs 7개 항목(유해대기) - PH, 강수량, 전기전도도, 이온농도 (산성강하물)	국가

자료: 충남연구원 (2015) 수도권에 집중된 대기측정망, 충남 도내 확대가 필요하다, 충남리포트 제198호

- 교외대기 측정망과 국가배경농도 측정망, 도로변 대기오염 측정망은 설치 목적 상 지역 주민의 건강에 영향을 미치는 농도를 반영한다고 간주하기 어려워 제외하였음
- 도로변 대기오염측정망은 도로변에서 차량으로 인한 오염을 측정하기 위한 것으로 석탄화력발전으로 인한 대기오염 영향을 분석하기에 적절하지 않아 제외하였음

[표 3.45] 일반 대기오염 측정망 종류

구분	운영주체	측정방법	설치목적	측정항목
도시대기	지자체	연속	도심(거주)지역의 평균대기질 농도 측정	SO ₂ , CO, NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , 풍향, 풍속, 온도, 습도
교외대기	국가	연속	도시를 둘러싼 교외 지역의 배경농도 측정	SO ₂ , CO, NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , 풍향, 풍속, 온도, 습도
국가 배경농도	국가	연속	국가의 배경농도를 파악하고 외국으로의 오염물질 유입, 유출상태 등을 파악	SO ₂ , CO, NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , 풍향, 풍속, 온도, 습도
도로변 대기	지자체	연속	자동차 통행량과 유동인구가 많은 도로변 대기농도 측정	SO ₂ , CO, NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ , 풍향, 풍속, 온도, 습도 ※ 필요시 Pb, HC, 교통량 추가

자료: 환경부 · 국립환경과학원 (2018) 대기오염측정망 설치운영지침

- 기상자료는 기상청 국가기후데이터 센터에서 제공하는 측정소별 일 평균 기온, 일 평균 습도, 일 평균 풍속, 강수량자료를 수집하여 시도별 측정소 소재지를 기준으로 산술평균하였음
- 충청남도 소재 측정소 (서산, 천안, 보령, 부여, 금산) 자료를 산술 평균하였음

5.2 분석 모형

- 농도-반응 함수 추정 모형은 시간에 따라 변하는 대기오염 농도 측정값과 사망 등 건강피해 발생 건수 사이의 시계열적 연관성을 분석하는데 사용되는 일반화부가모형 (General Additive Model, 이하 GAM)을 선택하였음¹¹⁾
 - GAM은 종속변수와 설명변수 사이의 로그 선형 관계를 가정하는 로그 선형 모형의 일종임
 - 분석모형의 종속변수는 사망 건수, 입원 건수 등 일정기간 동안 분석 대상 인구집단 범위 내에서 드물게 일어나는 사건의 수이므로 포아송 분포를 가정함
- GAM은 대기오염 농도뿐만 아니라 건강 영향과 대기오염 농도 사이의 관계에 영향을 미치는 비선형 혼란변수를 통제할 수 있으며, 이에 따라 분석모형의 형태는 다음과 같음

$$\ln[E(Y)] = \beta_0 + \beta_1 X_1 + s_2(X_2) + s_3(X_3) + \dots s_n(X_n)$$

11) 통계모형별 비교 등 세부 내용은 본 연구 1차년도 다루었음

- 위 식에서 x_1 는 대기오염 농도이며, y 는 사망 건수, 입원 건수 등 피해반응의 크기를 의미함
- $x_{i=2 \sim n}$ 은 대기오염 농도와 건강 피해 반응 사이의 관계에 영향을 주는 혼란변수이며, $s_i(\cdot)$ 은 혼란변수 $x_{i=2 \sim n}$ 와 종속변수 사이의 비선형 관계를 모형화하는 평활함수임
 - 본 연구에서는 natural cubic splines 평활함수를 이용하였음
- 혼란변수 $x_{i=2 \sim n}$ 는 사망의 경우 기온, 상대습도를 고려하였고, 입원의 경우 진료 요일을 추가로 고려하였음
 - 시계열자료 분석에서는 계절적 변동을 우선적으로 고려하여야하며, 여러 선행연구에서도 기온, 습도 등 기상요인으로 계절 변동을 보정하였음에 따라 본 연구에서도 이를 포함하여 모형을 설계하였음
 - 입원의 경우 평일보다 주말 또는 휴일의 내원건수가 두드러지게 적으며, 매달 첫째 날은 요일과 관계없이 증가하기 때문에 이를 보정하여야 함
- 많은 연구에서 대기오염의 단기노출 영향은 대기오염에 노출된 당일뿐만 아니라 1주일 이상 지연되어 나타나기도 하는 것으로 드러나, 본 연구에서도 일별 대기오염 농도와 당일, 그리고 1주일 전까지 사망 및 입원 건수와의 영향을 분석하였음
- 이상과 같이 본 분석에서 가정된 모형은 다음과 같음

$$\begin{aligned}
 (\text{사망}) \quad \ln[E(Y)] &= \alpha + \beta X + s(\text{Temperature}) + s(\text{Humid}) \\
 (\text{질병}) \quad \ln[E(Y)] &= \alpha + \beta X + \gamma(\text{Day of Week}) + s(\text{Temperature}) + s(\text{Humid})
 \end{aligned}$$

5.3 분석 결과

5.3.1 사망 영향

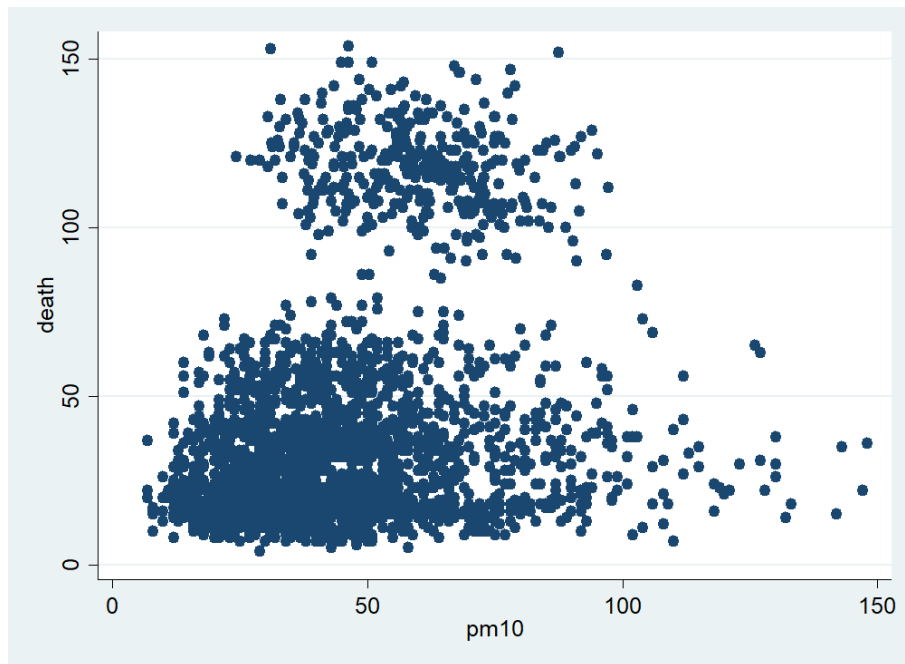
① 기초통계

- 대기오염-사망 간 건강영향 함수 추정에 앞서, 주요 변수들의 기초통계 분석을 실시하였음
- 구체적으로 산포도 및 상관분석을 통해 변수들 간 상호관계를 대략적으로 살펴보았음

[표 3.46] 기초통계 분석 결과

변수	관측수	평균	표준편차	최소	최대
PM10 농도	5,840	45.95	25.67	6	519
사망자 수	5,840	47.07	36.26	2	190
평균기온	5,840	13.78	8.95	-9.8	31.3
상대습도	5,839	67.96	15.20	20.9	99.9

- 전국 광역시·도 단위 사망자 수와 PM10 농도 간 산포도를 살펴보면, 두 변수 간 뚜렷한 추세(trend)를 파악하기는 어려움
- 단, PM10 농도가 50mg/m³을 기점으로 일별 50명 이하로 사망자 수 분포가 감소하는 것을 확인할 수 있었음
- 또한 35 μ g/m³~40 μ g/m³ 농도 수준에서 사망 분포가 크게 두 개로 구분되는 현상을 볼 수 있음
- 뚜렷한 점은 30 μ g/m³ 이하 농도일 때 일별 사망자 수가 70명을 초과하지 않는 것으로 나타남



[그림 3.17] 전국 단위 일별 PM10 농도-사망자 수 산포도

- 전국 광역·시·도 일별 PM10 농도 및 전체 사망자 수 등 주요 변수 간 상관관계 분석 결과 모든 변수들 사이에 유의한 관련성이 존재하는 것으로 나타남
- 특히, PM10 농도와 전체 사망자 수는 1% 유의확률 이내로 양의 관계가 존재하는 것으로 분석됨
- PM10 농도와 사망자 수 간 상관성 결과와 달리, PM10 농도와 기상변수들 간에는 서로 음의관계가 1% 통계적 유의확률로 존재하는 것으로 분석되었으며, 전체 사망자 수와 기상변수들 간 관계도 통계적으로 음의 상관관계로 나타남
- 즉, 기온이 상승하거나 습도가 높은 날에 PM10 농도가 낮을 가능성이 높은 것으로 해석이 가능함
 - 뿐만 아니라, 사망자 수와 기상변수들 간에도 서로 음의 상관성이 유의하게 존재하는 것으로 분석됨
 - 춥거나 건조한 날씨에 사망자 수가 증가할 가능성이 높다고 해석됨

[표 3.47] 일별 PM10 농도와 주요 변수 간 상관관계

상관계수 (유의확률)	PM10 농도	전체 사망자 수	평균기온	상대습도
PM10 농도	1.0000			
전체 사망자 수	0.1497 (0.0000)	1.0000		
평균기온	-0.1087 (0.0000)	-0.1832 (0.0001)	1.0000	
상대습도	-0.1554 (0.0000)	-0.2217 (0.0000)	0.3201 (0.0000)	1.0000

② 농도-반응 함수

- 충청남도 일별 PM10 농도-호흡기계 질환에 따른 사망자 수 간 영향을 전체 사망자 수 GAM 모형과 동일한 형태로 분석하였음
 - 분석 결과 호흡기계 질환 사망자 수에 PM10농도가 양의 영향을 미치는 것으로 도출되었으며, 통계적 유의확률도 전체 사망자 수와 마찬가지로 1% 이내에서 귀무가설을 기각하는 것으로 분석됨
 - 한편, 기상변수에 따른 사망 영향 계수가 통계적으로 유의하지 않게 도출된 전체사망 GAM 추정결과와 달리, 호흡기계 질환에 따른 사망자 수 영향 추정결과에서는 평균기온 및 상대습도 모두 유의한 영향관계로 도출됨
 - 이는 평균기온과 상대습도의 변화가 전체 사망자 수에 영향을 미치지 않는 반면, 호흡기계 질환 사망자 수에는 양의 관계, 즉 기온과 습도가 높거나 지속될 경우 초과 사망자 수가 증가될 가능성 높은 것으로 해석됨

[표 3.48] PM10 호흡기계 사망 영향 농도-반응 함수 직접추정 결과

Beta	SE	p-value	비고
0.00273	0.000799	0.001 **	—

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

5.3.2 질병 영향

① 기초통계

- 분석 기간인 2013년 동안 표본코호트 DB에 포함된 충청남도 인구는 40,637명이며, 일평균 대기오염 농도는 $41.95\mu\text{g}/\text{m}^3$, 평균 기온은 12.21°C , 평균 상대습도는 73.74%임

[표 3.49] 기초 통계량

변수	최소	1사분위	중간값	평균값	3사분위	최대값	N
호흡기계 입원 (건)	0	2	3	3.096	4	11	364
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10.94	27.58	37.65	41.95	51.63	149.45	364
기온 ($^\circ\text{C}$)	-11.82	3.15	11.76	12.21	22.28	29.14	364
습도 (%)	39.00	66.55	75.10	73.74	81.60	95.40	364

② 농도-반응 함수

- PM10으로 인한 충청남도 호흡기계 입원 영향을 분석하기 위하여 일별 평균 PM10 농도를 설명변수로 하고 PM10 농도 (pollution), 기온 (Temp), 강수량 (Prep), 풍속 (Wind), 상대습도 (Hum), 요일 (DOW)을 통제변수로 고려하여 각 모형의 설명력을 비교하였음
- 분석 모형은 아래와 같이 대기오염 농도는 선형으로 가정, 요일은 가변수, 기타 기상관련 통제변수는 평활함수로 가정하였으며, 선행연구에 따라 입원의 지연효과를 발생 당일부터 6일 전까지 평가하였음
- 미세먼지 (PM10)가 호흡기계 입원에 미치는 영향을 평가한 결과 충청남도의 경우 입원 발생 6일전의 농도와 가장 관련이 있는 것으로 나타났음
 - 단, 유의수준 5% 내에서 유의미한 추정치는 아님
- 추정된 계수 값은, 일별 미세먼지 농도 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가 시 충청남도의 호흡기계 입원위험이 2.73% (95% CI: $-0.001\sim 5.6\%$) 높아진다고 해석할 수 있음

[표 3.50] PM10 호흡기계 입원 영향 농도-반응 함수 직접추정 결과

Beta	SE	p-value	비고
0.00269	0.001428	0.059 .	지연일 6
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			

5.4 결과 비교

- 앞서 선행연구를 바탕으로 선정한 농도-반응 함수와 본 절에서 충청남도의 대기오염농도, 인구, 보건 데이터로 직접 추정한 농도-반응 함수를 비교하였음
- 표와 같이 모두 국내를 대상으로 한 연구임에도 농도-반응 함수의 계수가 약 3배가량 다르게 나타났음
- 이는 메타분석을 통해 선정된 건강영향함수가 충청남도의 건강영향을 정확히 반영하지 못할 가능성 있음을 의미함
- 따라서 피해 비용을 정확히 추정하기 위해서는 보다 정확한 데이터를 반영한 농도-반응 함수를 활용하는 것이 필요함

[표 3.51] 메타분석 및 직접추정 결과 비교

오염물질	건강영향		메타분석 Beta (95% 신뢰구간)	직접추정 Beta (95% 신뢰구간)
PM10	호흡기	사망	0.001157	0.002732 (0.00116~0.00429)
	호흡기	입원	0.001000	0.002693 (-0.00011~0.00549)

6. 요약 및 시사점

- 대기오염의 건강영향평가는 정책 시행에 따른 대기오염 농도 변화량을 추정하고, 대기오염농도와 건강피해 사이의 관계를 나타내는 농도-반응 함수를 활용하여 농도 변화량에 따른 초과건강피해를 계산하는 것임
- 본 장에서는 건강영향평가에 활용할 농도-반응 함수를 결정하기 위해 선행연구의 농도-반응 함수를 통계적 기법으로 종합하여 각 대기오염물질별, 건강영향별로 대표 농도-반응 함수를 선정하였음
- 메타분석에 의한 농도-반응 함수 선정 방법은 여러 상이한 연구 결과의 해석상 한계를 부분적으로 해소하고 연구 결과를 통합함으로써 보다 신뢰성 있는 결론을 도출할 수 있다는 장점이 있음
- 단, 동일한 대기오염농도에서도 건강피해 규모는 인구 집단, 사회여건 등 여러 요인에 의해 달라질 수 있기 때문에, 충청남도를 대상으로 도출된 농도-반응 함수를 사용할 필요가 있음
- 현재 충청남도를 대상으로 농도-반응 함수를 직접 도출한 사례가 없으며, 농도-반응 함수를 직접 추정하기 위해서는 충분한 데이터와 시간이 확보되어야 함
- 따라서 장기적으로는 충청남도에 적합한 농도-반응 함수를 직접 추정하여 건강영향평가에 활용하는 방안을 검토할 필요가 있음
- 본 연구에서는 이를 위해 추가로, 농도-반응 함수 직접 추정에 요구되는 데이터 수집, 가공 절차를 살펴보고 충청남도를 대상으로 한 농도-반응 함수 직접추정 가능성을 살펴보았음
- 아울러, 직접추정 가능성 검토 결과를 바탕으로 PM10에 한하여 일부 건강영향에 대한

농도-반응 함수를 시범적으로 산정하고 선행연구를 통해 선정한 농도-반응 함수와 비교하였음

- 본 장에서 선정한 농도-반응 함수를 바탕으로 제5장에서 석탄화력발전예 따른 건강피해 규모를 평가하고 피해 비용을 추정하였으며, 직접-추정한 농도-반응 함수를 이용한 피해 비용 추정결과와의 차이를 고찰하였음

제4장 건강피해 비용

1. 개요
2. 사망 비용
3. 질병 비용
4. 대기오염물질 당 피해 비용
5. 요약 및 시사점

1. 개요

- 본 장에서는 건강피해를 화폐가치로 환산하기 위한 단위 비용을 추정하였음
- 사망피해를 화폐가치로 환산하기 위한 단위 비용은 1인당 통계적 생명가치로, 시장에서 측정할 수 없는 가치이기 때문에 연구자에 의한 의도적, 비의도적 편향이 존재할 수 있음
- 이로 인해 연구에 따라 통계적 생명가치가 매우 다르게 나타나며, 신뢰할만한 연구기관에서 수행된 것이라 하더라도 편향성에 대한 논란이 발생할 수 있음
- 따라서 본 연구에서는 보편적으로 수용할 수 있는 사망비용을 도출하기 위해 국내외 문헌에서 도출된 통계적 생명가치를 바탕으로 대푯값을 도출하였음
 - 기존 문헌에서 추정된 가치를 기준년도의 국내가치로 이전하기 위해, 구매력평가지수, 1인당 국내총생산, 국내총생산 디플레이터 등 화폐가치에 영향을 주는 요인을 반영하여 편익이전 (Benefit Transfer)하였음
- 질병의 단위 비용은 질병으로 인한 진료비와 생산성 손실 등을 화폐단위로 직접 추정하는 질병비용법 (Cost of Illness, COI)을 이용하였으며, 입원과 외래를 구분하여 추정하였음
 - 진료비와 시간기회비용, 간병비용, 교통비용을 고려하였으며, 충청남도의 현황에 맞는 질병비용을 추정하기 위해 국민건강보험공단의 표본코호트DB, 국민건강영양조사, 한국의료패널의 데이터를 활용하였음
- 한편 사망비용 및 질병비용과 별도로, 오염물질 배출량 당 피해 비용을 추정하였음

2. 사망 비용

2.1 분석 방법론

2.1.1 사망의 개념 정의

- 사망의 단위비용은 사망자 1인당 생명의 가치로 정의하며, 이는 통계적 생명가치 (VSL: Value of Statistical Life)를 의미함
- 사망의 원인은 교통사고를 비롯한 개인사고, 작업현장에서의 안전사고, 암 또는 기타 질병으로 인한 사망 등 다양할 수 있음
- 그러나 생명가치는 사망의 원인에 따라 달라지지 않기 때문에 본 연구에서는 사망원인을 특정하지 않고 기존 생명가치 추정사례를 모두 수집하고 이를 바탕으로 피해 비용을 추정하는데 적용할 생명가치를 도출하였음
 - ExternE(2004)의 경우, 유럽 및 북미지역에서 정책결정을 위해 권고된 통계적 생명가치(VSL)는 약 1~5백만유로 수준이며 기존 ExternE 연구에서는 약 3백만유로의 값을 사용하였음

2.1.2 편익이전

- 일반적으로 사회적 비용 산정 연구에서 가장 큰 비중을 차지하는 비용은 인체피해 비용이며¹²⁾ 이는 질병 비용과 사망 비용으로 구분됨
- 이 중 질병 비용은 코호트 자료 또는 건강보험 및 임금 관련 자료 등 비교적 객관적인 자료로부터 비용 추정이 가능함
- 그러나 사망의 경우 생명의 가치를 직접적으로 산출할 수 없는 특성 상, 다양한

12) ExternE(2004)에 따르면 SO₂로 야기되는 외부비용의 98%가 인체에 대한 피해인 것으로 나타났으며 이 중 80%가 사망률에 영향을 주는 것으로 나타남

방법론, 다양한 연구자의 주관적 견해가 반영되기 때문에 신뢰할만한 연구 간에도 추정치의 범위가 매우 넓은 특성이 있음

- 이로 인해 의도적 또는 비의도적인 편익(bias)가 발생할 가능성이 있어, 생명가치를 직접 추정할 경우 편익에 대한 논란이 제기되는 경우가 많음
- 따라서 편익 발생 가능성을 줄이고 연구 결과에 대한 보편성을 확보하기 위해 본 연구에서는 다양한 범주의 사망 관련 연구를 반영한 편익이전(Benefit Transfer 또는 Value Transfer) 방법론을 사용하여 사망의 가치를 산정하였음
 - 본 연구에서는 해외 251건, 국내 28건, 총 279건의 통계적 생명가치 추정 연구를 분석하여 사망의 단위비용을 산출하였음
 - 분석 결과에 앞서 우선 아래와 같이 산정방법론을 설명함
- 환경부(2007)는 편익이전법을 사용하여 미국 환경청의 통계적 생명가치 VSL을 다음과 같은 방식으로 가치를 이전하였음

$$VSL(Korea, 2005) = VSL(USA, 2000) \times R_{adj}$$

$$\text{여기서 } R_{adj} = \left(\frac{PPP(2000)_{KOREA}}{PPP(2000)_{USA}} \right) \times \left(\frac{\text{per capita GDP}(2000)_{KOREA}}{\text{per capita GDP}(2000)_{USA}} \right) \times \left(\frac{GDP \text{ deflator}(2005)_{KOREA}}{GDP \text{ deflator}(2000)_{KOREA}} \right),$$

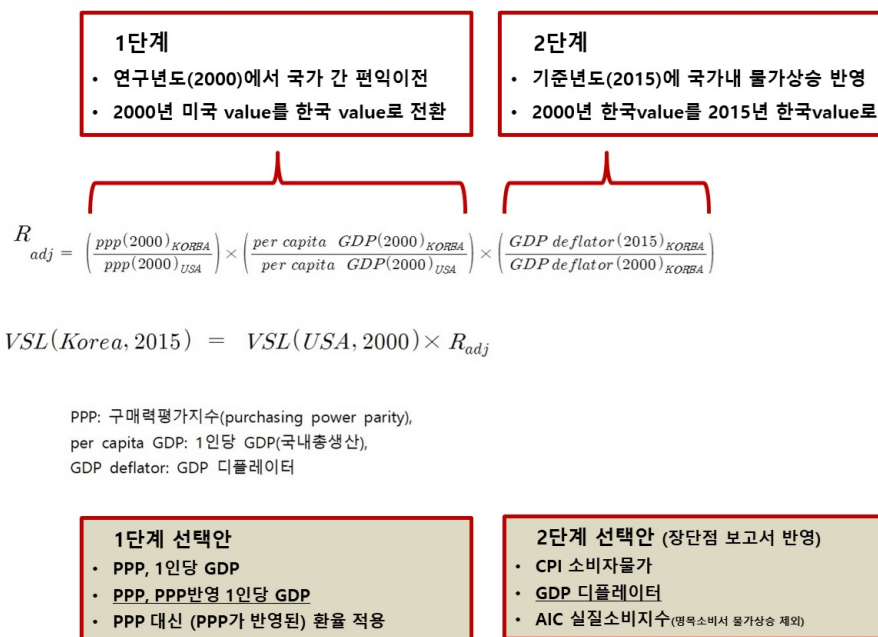
PPP: 구매력평가지수(purchasing power parity),

per capita GDP: 1인당 GDP(국내총생산),

GDP deflator: GDP 디플레이터

- OECD(2012)는 실질소비지수를 활용하여 편익이전을 실시하였음
 - 실질소비지수(AIC: Actual Individual Consumption)란 명목소비에서 물가상승분을 제외한 지표로서 OECD(2012)는 이 지수를 적용하여 국가 간 물가차이를 반영하여 가치를 이전하였음
- 편익이전 절차는 다음과 같음
 - 우선 연구년도에 대상국가의 가치를 한국 가치로 전환함

- 이때 국가 간 가치 차이를 반영할 수 있는 방법은 ① PPP(구매력평가지수)와 1인당 GDP를 적용하는 방법, ② PPP와 1인당 GDP(PPP가 반영된 GDP), ③ PPP가 반영된 환율을 적용하는 방법임
- PPP는 국가 간 구매력을 바탕으로 한 물가수준 및 환율이 반영된 지수로서 미국 달러 기준으로 제시되어 있음
- 그 다음, 과거 한국의 가치를 현재(기준년도) 한국의 가치로 전환해야 하며 이는 국가 내에서 시점 간 물가상승을 반영함을 의미함
- 이를 위한 방법은 ① 소비자물가지수(CPI)를 적용하는 방법, ② GDP 디플레이터를 적용하는 방법, ③ 실질소비지수(AIC)를 사용하는 방법이 있음



[그림 4.1] 편익이전 절차

- 실질소비지수란 명목가격에서 물가상승분을 제거한 가치로서, 이는 실질가격의 산출을 의미함
- 실질가격(constant price)의 산출을 위해 일반적으로는 소비자물가지수(CPI)와 GDP deflator가 활용됨
- 또는 국가마다 공급자물가지수(volume index)를 각자 개발해서 사용하기도 함(예, 노르웨이)

- 각 국가가 개별적으로 개발하는 방안(예, 노르웨이)에 대한 대안으로 세 가지 지표(CPI, GDP deflator, AIC)를 고려할 수 있는데, AIC(Actual individual Consumption)는 R&D나 수출입과 관련된 것들을 제외하고 순수하게 ‘재화 및 서비스’를 대상으로 산출한 값임
- 명목GDP와 실질GDP의 차이는 국민경제 전체의 물가수준, 즉 GDP 디플레이터로 설명되며 GDP디플레이터는 명목GDP를 실질GDP로 나눈 값임
 - 대표적인 물가지수인 소비자물가지수의 경우 소비자가 구입하는 재화와 서비스를 기준으로 산출함
 - GDP 디플레이터의 경우 일정기간 동안 국내에서 일어난 모든 경제활동(가계소비, 수출, 투자, 정부지출 등)을 포괄하여 산출함
 - 그러므로 소비자가 직접적으로 영향을 받는 물가변동을 측정할 때에는 소비자물가지수, 국가의 총체적인 물가변동을 측정할 때에는 GDP 디플레이터를 활용함
- 본 연구에서는 사망의 단위 비용(VSL)을 산출하기 위해 기존 연구를 분석해 범주화한 이후 아래와 같은 방법으로 편익이전하였음

$$VSL(KOREA, 2015) = VSL(\text{대상국가}country, \text{대상년도}year) \times R_{adj}$$

$$\text{여기서 } R_{adj} = \left(\frac{PPP(year)_{KOREA}}{PPP(year)_{country}} \right) \times \left(\frac{per\ capita\ GDP(year)_{KOREA}}{per\ capita\ GDP(year)_{country}} \right) \times \left(\frac{GDP\ deflator(2015)_{KOREA}}{GDP\ deflator(year)_{KOREA}} \right),$$

- VSL(Korea, 2015): 2015년(기준년도) 기준, 한국 화폐가치의 VSL
- VSL(country, year): year(연구대상년도) 기준, country(연구대상국가) 화폐가치의 VSL
- R_{adj} : 편익이전을 위한 조정계수
- PPP: 구매력평가지수(purchasing power parity),
- per capita GDP: 1인당 GDP(국내총생산),
- GDP deflator: GDP 디플레이터

2.2 국외 사례

2.2.1 선행연구 분류

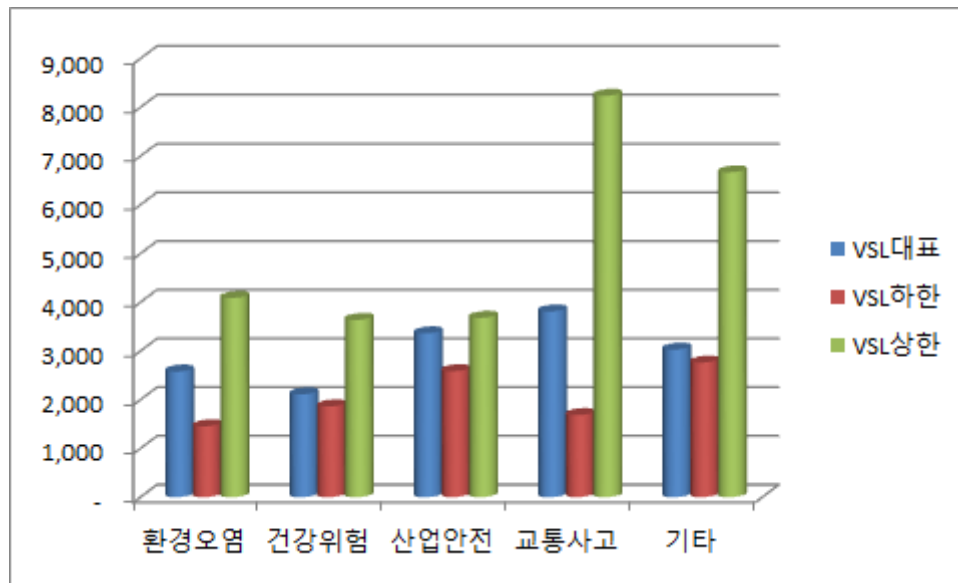
- 분석 대상 연구는 총 265건으로 이중 14건은 기초통계량 분석 결과 제거된 극단값 또는 필터링 과정에서 제거된 연구이며 최종적으로 251건의 연구가 분석에 포함됨
- 이를 단계별로 필터링한 이후 사망원인별, 연구수행주체별, 연구대상지역별로 범주화하여 편익이전을 실시하였음
 - 분석과정에서 필터링된 14건은 모두 민간이 수행한 연구에 해당됨
 - 연구대상 국가별 GDP 수준과 생명가치 상한값은 비례하는 경향을 보이고 GDP와 생명가치는 회귀분석 결과 유의(t-value)한 것으로 나타났음

2.2.2 분석 결과

- 선행연구에서 추정된 생명가치를 사망원인별, 연구 수행주체별, 연구대상 지역별로 구분하여 생명가치 추정 결과의 경향성을 분석하였음
- 사망원인은 크게 환경오염, 건강위험, 산업안전, 교통사고로 구분할 수 있으며, 이 중 산업안전 및 교통사고에 대한 연구 비중이 가장 높음
- 교통사고를 대상으로 추정한 통계적 생명가치가 38억원으로 가장 높고, 산업안전 33억원, 환경오염은 25억원으로 분석됨

[표 4.1] 국외연구의 사망원인별 통계적 생명가치

사망원인	1인당 생명가치 (백만원)	최저값 (백만원)	최고값 (백만원)	비고	건수
환경오염	2,578	1,454	4,085	대기오염 포함 질병	33
건강위험	2,109	1,862	3,637	환경오염 이외 질병	12
산업안전	3,361	2,585	3,680	산업 현장 안전사고	95
교통사고	3,810	1,683	8,236	교통 사고	66
기타	3,028	2,761	6,664		45

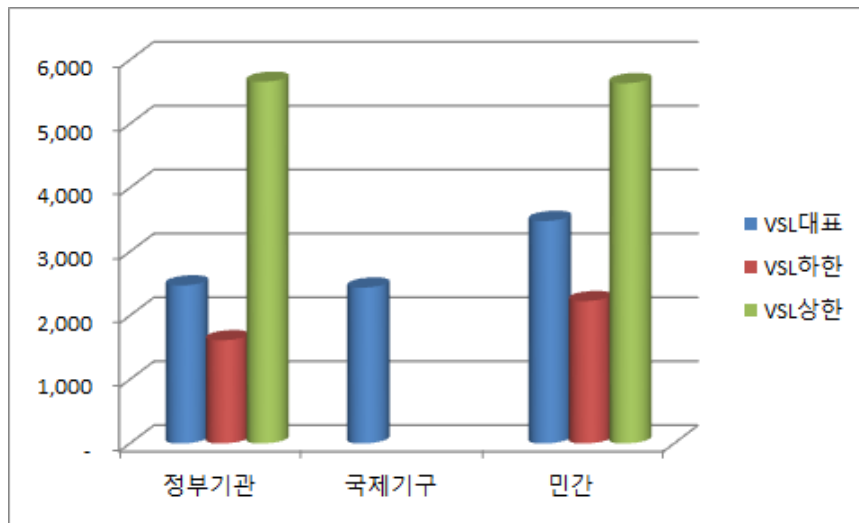


[그림 4.2] 사망원인별 비교

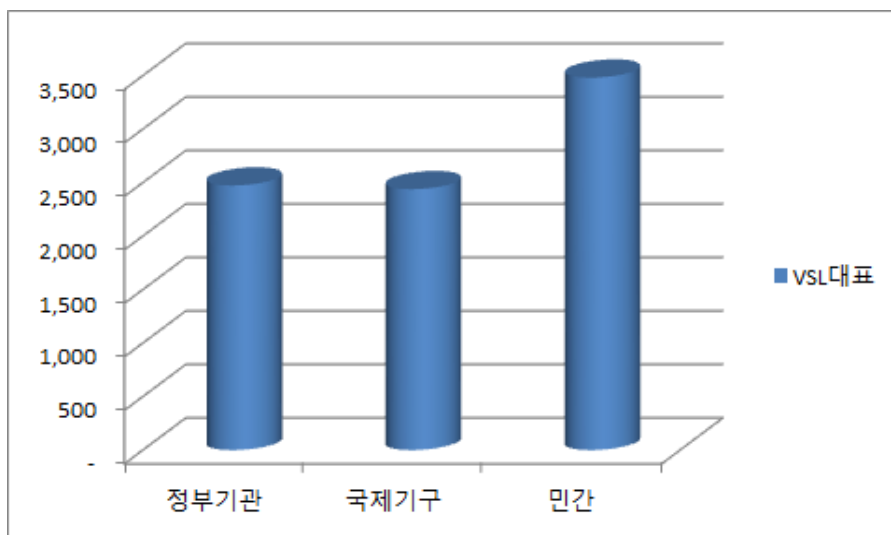
- 연구수행주체는 크게 정부기관, 국제기구, 민간부문 연구로 구분할 수 있음
 - 민간부문 연구는 공공기관, 정부 및 정부산하기관 연구원, 국제기구를 제외한 민간 연구소 및 논문 등을 의미함
- 연구수행주체별 생명가치를 보면 정부기관 및 국제기구가 24억원 수준이고 민간연구는 34억원 수준으로서 민간연구의 생명가치가 약10원 더 큰 것으로 분석됨

[표 4.2] 국외연구의 연구수행주체별 통계적 생명가치

연구수행주체	1인당 생명가치 (백만원)	최저값 (백만원)	최고값 (백만원)	비고	건수
정부기관	2,474	1,615	5,659	정부기관	45
국제기구	2,439	—	—	OECD, WB	7
민간	3,482	2,229	5,637	민간연구소, 개인논문	199



[그림 4.3] 연구수행주체별 비교

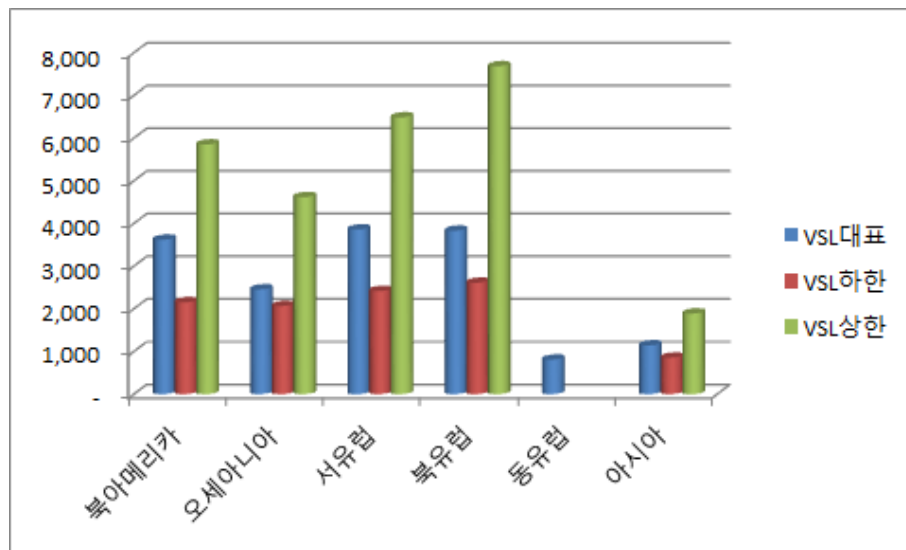


[그림 4.4] 연구수행주체별 비교

- 연구대상 지역은 대륙별로 북아메리카, 오세아니아, 서유럽, 북유럽, 동유럽, 아시아로 구분하였음
 - 북미지역 36억원, 서유럽 및 북유럽은 38억원 수준으로서 동유럽 8억원, 아시아 11억원에 비해 3~4배 높음
 - 특히 아시아의 경우에는 연구대상국가가 일본, 대만, 홍콩으로서 타 아시아 국가에 비해 상대적으로 소득수준이 높은 국가가 대상이라는 점을 참고할 필요가 있음

[표 4.3] 국외 연구의 지역별 통계적 생명가치

지역	통계적 생명가치 (백만원)	최저값 (백만원)	최고값 (백만원)	비고	건수
북아메리카	3,617	2,153	5,850	미국, 캐나다	149
오세아니아	2,454	2,067	4,615	호주, 뉴질	28
서유럽	3,859	2,417	6,484	UK, 독일, 프랑스, 오스트리아, 스위스	35
북유럽	3,829	2,610	7,682	덴마크, 스웨덴	8
동유럽	809	—	—	폴란드, 러시아	2
아시아	1,145	854	1,889	일본, 대만, 홍콩	29



[그림 4.5] 연구대상지역별 비교

2.3 국내 사례

2.3.1 선행연구 분류

① 국내 부처별 생명가치

- 산업안전보건기준 등 국내 부처별 생명가치 기준에 따르면, 환경부는 아파트, 단독주택 등 실내공기질 관련 규제에서 생명의 가치를 7억 9천 6백만원으로 산정해 조사된 부처 중 가장 높게 평가하였음

- 반면, 고용노동부는 타워크레인 노동자의 사망사고의 경우 2억 6천 6백만원, 국민안전처는 승강기 사망사고 일 경우 3억원, 경찰청은 총기사망사고 관련 4억 3천 9백만원 등으로 우리나라 국민의 생명가치를 측정하는 것으로 나타남

[표 4.4] 부처별 생명가치

구분	관련 규제	산출근거	생명가치	출처
고용 노동부	산업안전보건기준 (타워크레인 작업장)	14년 산업재해현황분석, 산재보상금지급현황	2억 6천 6백만원	e-규제영향 분석시스템
	산업안전보건기준 (대형화재 작업장)	14년 산업재해현황분석, 산재보상금지급현황	2억 7천 1백만원	e-규제영향 분석시스템
	산업안전보건기준 (밀폐공간작업장)	15년 산재보상금 지급현황	2억 9천 5백만원	e-규제영향 분석시스템
	산업안전보건기준 (안전보건관리책임자 임명)	총 산재보상금/ 총 산재노동자수 (‘10년 기준)	1억 7천 8백만원 (사망·부상 가중평균값)	규개위 심사안 (‘13.5.24)
환경부	실내공기질 관리시행규칙 (라돈측정기준)	KEI ‘라돈의 실내공기질 규제에 따른 위해저감효과 및 건강편익의 산정’	7억 9천 6백만원	e-규제영향 분석시스템
국민 안전처	승강기의 안전성 개선	승강기안전관리제도 발전방향연구(‘05년)	3억원	e-규제영향 분석시스템
경찰청	총포도검화약류등 단속법 시행규칙	도로교통공단 발표 ‘13년도 도로교통사고 비용 추계’	4억 3천 9백만원	규개위 심사안 (‘15.10.30)

※ 출처: 2016.10.05. 국회의원 채이배의원실 보도자료(국무조정실, 고용노동부, 국민안전처, 경찰청, 환경부 제출자료 분석)

- 이와 같은 차이는 주로 부처별 생명가치 추정방법론 차이에 기인함

- 고용노동부의 경우 지급된 산업재해보상금을 기준으로 계산하는 반면, 경찰청은 민간 생명보험사가 지급한 생명보험금을 기준으로 삼았음
- 환경부는 사람들에게 최대로 지불할 용의가 있는 금액을 설문조사하는 방식의 통계적 생명가치(VSL)법을 사용하였음

② 국내 연구기관별 생명가치

- 국내 연구기관에서는 대부분 인적자본접근법으로 산출한 결과를 생명가치로 활용하고 있음¹³⁾
- 추가로 정신적 피해 비용 산정을 위해 조건부가치측정법의 지불의사금액(WTP)을 토대로 비시장재화인 심리적 비용을 산출하기도 하나 설문지 구성 및 연구방법에 따라 그 편차가 커서 세심한 주의가 필요함
- 한국교통연구원(2013)¹⁴⁾에 따르면, 사고비용을 크게 물리적 비용과 심리적 비용으로 구분하고 물리적 비용을 총생산손실접근법, 정신적 피해 비용을 조건부가치측정법의 지불의사금액(WTP)을 토대로 산출하였음
 - 그러나 정신적 피해 비용이 설문방법에 따라 편차가 크므로 선행연구에서 산출한 값을 그대로 적용할 경우 세심한 주의가 필요함
- 한국보건의료연구원(2013)은 보건의료분야에서 생산성손실비용 추정 시 인적자본의 범위를 임금·소득을 발생시키는 자본으로만 국한한 협의관점으로 볼 것인지, 여가를 포함한 후생의 모든 종류가 인적자본에 포함되는 광의관점으로 볼 것인지를 구분함
 - 즉, 시간을 유급근무시간 손실, 무급근무시간 손실, 여가시간 손실 세 가지로 구분하고 협의의 관점에서는 유급근무시간 손실만 포함하며 광의의 관점에서는 세 가지의 시간 손실을 모두 포함하였음
 - 이로부터 산출된 1인당 사망의 가치(교통사고비용)는 6억 5,131만원(정신적 피해 비용

13) 김윤희(2016)는 인간생명가치 산정방법 관련 연구에서 한국교통연구원, 한국보건산업진흥원, 한국개발연구원 등 국내 주요 연구기관별 생명가치 산출방법을 조사함

14) 한국교통연구원(2013) '교통사고비용 추정 방법론 정립', 심재익·성낙문

제외 시 3억 7,035만원)으로 산정됨

- 이 중 생산성 손실비용은 1인당 평균 3억 5,699만원 (남성 사망자 1인당 4억 4,141만원, 여성 사망자 1인당 1억 2,922만원), 의료비용은 797만원, 장례비는 203만원 등임
- 이 때 남성과 여성의 생산성 손실비용의 차이는 임금수준과 고용률의 차이에 기인함

○ 한국개발연구원(2012)에서는 우리나라 응급사망자 1인당 평균 생명가치를 제시함

- 여기에는 생산성 손실비용 및 정신적 피해 비용을 포함하고 있으며 정신적 피해 비용은 한국교통연구원에서 산출한 값을 적용하고 생산성 손실비용은 인적자본접근법을 이용하여 산출하였음

○ 한국보건산업진흥원(2008)은 조기사망예방에 따른 편익을 산출하기 위해 인적자본접근법을 적용하여 생산성손실비용을 산출하였음

- 이 연구에서는 경제활동 연령대가 아닌 19세 이하 연령군의 경우 15~19세 이하 임금의 50%를 적용하고, 70세 이상의 경우는 60~64세 이상 임금의 50%를 적용하여 생산성손실비용을 추정하였음
- 또한 분석의 편의성을 위해 임금상승률과 할인율을 동일하게 적용하여 수식에서 상쇄되는 것으로 계산하였음

[표 4.5] 주요 기관별 산출 사례

구분	연구방법	비고
한국교통연구원(2013)	인적자본접근법 (물리적 비용)	생산성손실비용, 의료비용, 물적 피해 비용, 행정비용 등
	조건부가치측정법 (심리적 비용)	정신적 피해 비용을 조건부가치측정법의 지불의사금액(WTP)을 토대로 산출
한국보건의료연구원 (2013)	인적자본접근법 (광의의 생산성손실비용)	유급근무시간 손실, 무급근무시간 손실, 여가시간 손실
	인적자본접근법 (협의의 생산성손실비용)	유급근무시간 손실만 포함

구분	연구방법	비고
한국개발연구원 (2012)	인적자본접근법	생산성손실비용
	편익이전	정신적 피해 비용은 교통연구원(2013)의 값을 사용
한국보건산업진흥원 (2008)	인적자본접근법	생산성손실비용

- 한편 국내 연구기관이 수행한 예비타당성조사에서 사용된 생명가치 적용사례를 살펴보았음
 - 예비타당성조사에서 편익을 추정할 때 생명가치를 다수 적용하고 있음
 - 예를 들어 병원을 설립하게 되면 설립지역 인근 주민들의 응급후송시간 단축으로 응급환자 사망이 감소함으로써 편익이 발생하는 것으로 봄
- 양산 부산대학병원 건립사업, 국방의료원 신축사업, 마산의료원 신축사업 등의 예비타당성조사에서는 사망 감소에 따른 편익 산출 시 한국교통연구원에서 산출한 사망자 1인당 교통사고 비용을 적용하였음
 - 분석 시점을 보정하기 위해 물가상승률을 적용하였으며, 연구에 따라 경우에 따라 정신적 피해 비용을 제외하거나 포함함으로써 2억원에서 5억원 수준의 생명가치를 적용하였음

[표 4.6] 국내 예비타당성 조사 사례 중 생명가치 산출 사례

구분	생명가치 (적용시점)	비고	생명가치 출처
양산 부산대병원 건립사업 예비타당성조사 (2003)	2억 5,600만원 (2002년 기준)	-	한국교통연구원 (2001년 기준)
국방의료원 신축사업 예비타당성조사 (2007)	3억 9,600만원 (2006년 기준)	-	한국교통연구원 (2004년 기준)
경북대학교 임상실습동 건립사업 예비타당성조사 (2009)	5억 5,219만원 (2008년 기준)	정신적 피해 비용 1억 1,304만원 포함	한국교통연구원 (2007년 기준)
경상대학교 분원 건립사업 예비타당성조사 (2010)	5억 5,219만원 (2008년 기준)	정신적 피해 비용 1억 1,304만원 포함	한국교통연구원 (2007년 기준)

구분	생명가치 (적용시점)	비고	생명가치 출처
마산의료원 신축사업 타당성재조사 (2011)	5억 6,700만원 (2009년 기준)	정신적 피해 비용 1억 1,607만원 포함	한국교통연구원 (2007년 기준)
권역외상센터 설립사업 예비타당성조사 (2011)	1억 5,511만원 (2009년 기준)	장례비용 제외	한국보건산업 진흥원 (2008년 기준)
군산전북대학교병원 건립사업 예비타당성조사 (2012)	2억 2,569만원 (2010년 기준)	정신적 피해 비용 8,480만원 포함	한국개발연구원 (2011년 기준)
세종충남대학교병원 건립사업 예비타당성조사 (2014)	2억 4,317만원 (2012년 기준)	정신적 피해 비용 9,011만원 포함	한국개발연구원 (2011년 기준)

③ 대기오염의 생명가치 관련 주요 연구

- 안소은 (2017)은 대기질 개선을 통한 경제적 편익을 산정하기 위해 대기질 개선으로 인한 사망확률 감소에 대한 지불의사액 (Willingness to Pay, WTP)으로부터 통계적 생명가치를 산출하였음
 - 대기질 개선 시나리오는 2015년 기준 대기 중 PM10 및 PM2.5 농도를 ① WHO 연평균 권고기준($20\mu\text{g}/\text{m}^3$, $10\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 감소시킬 경우, ② WHO 연평균 잠정목표3($30\mu\text{g}/\text{m}^3$, $15\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 감소시킬 경우, ③ 30% 감축하였을 경우로 설계하였음¹⁵⁾
- 즉, 대기오염의 사망위험(확률) 감소에 대한 지불의사액(WTP)에 근거하여 통계적 생명가치(VSL)를 산출하였고, 총 피해 비용 산정을 위해 1인당 사망의 비용으로 1,014,130천원을 적용함
- 구체적으로는 설문에서 제시한 지불기간인 10년을 고려하는 과정에서 현재가치화를 고려하지 않은 경우 (시나리오 1)와 일반적으로 적용되는 사회적 할인율 5.5%를 고려한 경우 (시나리오 2)로 구분하였음
- 분석결과 시나리오 1에 따른 생명가치 (VSL)는 10억 1,413만원, 시나리오 2에 따른 생명가치 (VSL)는 8억 646만원으로 나타남

15) 정부에서 발표한 『미세먼지 관리 종합대책』(2017.9.26)의 미세먼지 배출량 30%감축 목표를 고려함

[표 4.7] 선행연구 생명가치 추정결과: 한국환경정책·평가연구원 (2017)

구분	생명가치 (VSL)	비고
시나리오1	1,014,130,000 원	10년 간(2016~2025) 동일 WTP 가정
시나리오2	806,455,977 원	10년 간(2016~2025) 연간 WTP의 현재가격 반영

- 환경부(2007)은 수도권 대기질 개선으로 기대되는 편익을 추정하기 위해 조기 사망 감소에 대한 생명가치를 도출함
- 동 연구에서는 편익이전법을 이용하여 미국 환경청에서 이용하고 있는 통계적 생명가치(VSL)값과 국내 기존 연구에서 대기오염 관련성이 높은 연구의 통계적 인간생명가치(VSL) 값을 2005년을 기준으로 편익이전하여 제시하였음

[표 4.8] 선행연구 생명가치 추정결과: 환경부 (2007)

연구방법	생명가치(원)	비고
인적자본접근법 (생산성 손실 비용)	약 10억	19세이하 사망
	약 1억	55~59세 사망
편익이전	약 5억(2005년 기준)	국내 대기오염 연구

- 기타 국내 연구논문에서는 편익이전 방법 대신 비시장재 가치추정 방법론을 활용하여 생명가치를 산출하였음

[표 4.9] 선행연구 생명가치 추정결과: 국내 논문

구분	사망원인	생명가치	연구방법
신영철(2008)	암 사망	3억 2110만원 (1억6055만원~6억4219만원)	-회피행위법
이용진 외(2004)	암 사망	3억5644만원	-울산지역 -CVM

구분	사망원인	생명가치	연구방법
신영철, 조승헌 (2003)	환경정책과 관련된 미래 사망 가능성	4억6600만원 (3억3900만원~5억9400만원)	-서울지역 -CVM
신영철(2003), Shin et al.(2002), Joh et al.(2001)	조기사망	11억4950만원 (2억4280만원~23억1380만원)	-서울지역 -CVM
엄영숙(1997)	안전벨트 미착용으로 인한 사망	1억8000만원~8억6000만원	-회피행위법
엄영숙(1996)	물에 잔류하는 유해물질로 인한 사망	630만원~11억6000만원	-회피행위법

2.3.2 분석 결과

- 연구 형태 분류별 사망의 가치는 아래와 같음
- 우선 국내 연구 분석 결과 사망원인별로는 산업안전사고의 생명가치는 3억원, 환경오염의 생명가치는 8억원으로 나타남

[표 4.10] 사망원인별 사망의 가치

구분	관측치 (비중, %)	최소값 (백만원)	최대값 (백만원)	생명가치 (백만원)
산업안전사고	32	171	483	297
교통사고	21	262	680	504
질병(암)	14	117	1,000	480
환경오염	33	407	1,656	823

- 연구방법론별로는 시장가치를 근거로 하여, 근로자 임금을 반영한 생산성 손실 가치를

산정한 연구에서는 생명가치가 4.5억원인 것으로 나타났고, 지불의사액 등 비시장가치 방법론을 적용한 연구에서는 생명가치가 6.8억원인 것으로 나타남

[표 4.11] 연구방법론별 사망의 가치

구분	관측치 (비중, %)	최소값 (백만원)	최대값 (백만원)	생명가치 (백만원)
생산성손실	36	114	4,200	451
지불의사액(WTP)	25	353	1,194	685
편익이전 및 기타	39	222	992	501

- 심리적 비용 포함여부에 따라 비교하면, 포함시 6.3억원, 불포함시 3.9억원으로서 심리적비용이 포함된 연구의 생명가치가 더 높게 나타남

[표 4.12] 심리적비용 포함유무에 따른 사망의 가치

구분	관측치 (비중, %)	최소값 (백만원)	최대값 (백만원)	생명가치 (백만원)
심리적비용 포함	21	264	1,116	638
심리적비용 불포함	21	120	1,066	389
기타(미확인 및 일부포함)	58	178	1,433	554

- 연구수행주체별로는 정부연구 및 예비타당성조사 연구에서 사용된 생명가치는 약 4억원 수준이고 민간 수행 연구는 약 7억원 수준으로 분석됨

[표 4.13] 연구 수행주체별 사망의 가치

구분	관측치 (비중, %)	최소값 (백만원)	최대값 (백만원)	생명가치 (백만원)
정부 관련	25	190	820	381
국책연구(예타)	29	171	629	419
국책연구	21	117	1,173	632
논문	25	366	1,433	726

- 위 결과를 종합하여 산출된 사망의 가치는 5억 3천 2백만원으로서 이 값을 사망 총비용 산출을 위한 사망 단위비용으로 적용하였음
- 분석 결과와 함께, 국내 기존 사망 단위비용 중 가장 보수적인 수준의 생명가치로서 산업안전보건 기준 상 산재보상금 수준을 적용하여 사망 총비용에서 비교값을 제시하였음

[표 4.14] 산업안전보건 기준 상 사망의 가치

구분	생명가치 (백만원)	
산업안전보건기준 (타워크레인작업장)	266 ('14년기준)	272 ('15년기준)
산업안전보건기준 (대형화재작업장)	271 ('14년기준)	278 ('15년기준)
산업안전보건기준 (밀폐공간작업장)	295 ('15년기준)	295 ('15년기준)
산업안전보건기준 (안전관리책임자임명)	178 ('10년기준)	190 ('15년기준)
평균	259	

- 또한 안소은(2017)이 설문조사를 통한 WTP를 분석하여 도출한 약 10억원의 생명가치를 적용하여 사망 총비용에서 비교값을 제시하였음

[표 4.15] 안소은(2017) 사망의 가치

구분	생명가치(백만원)	비고
안소은(2017) 분석 시나리오1 결과	1,014	10년 간(2016~2025) 동일 WTP 가정

2.4 소결

- 해외 연구 분석 결과 사망원인별로는 교통사고 사망의 가치가 38억원으로 가장 높고 환경오염 사망의 가치는 이보다 낮은 25억원으로 분석됨
- 연구수행주체별로는 정부기관 및 국제기구가 수행한 연구의 생명가치는 24억원, 그리고 민간 수행 연구의 생명가치는 34억원 수준으로 나타남

- 연구대상지역에 따라 북미는 36억원, 서유럽 및 북유럽은 38억원으로 상대적으로 높은 수준을 보이며, 동유럽 8억원, 아시아 11억원으로 상대적으로 낮은 것으로 분석됨
- 국내 연구 분석 결과 사망원인별로는 산업안전사고의 생명가치는 3억원, 환경오염의 생명가치는 8억원으로 나타남
- 연구방법론별로는 시장가치를 근거로 하여, 근로자 임금을 반영한 생산성 손실 가치를 산정한 연구에서는 생명가치가 4.5억원인 것으로 나타났고, 지불의사액 등 비시장가치 방법론을 적용한 연구에서는 생명가치가 6.8억원인 것으로 나타남
- 한편 심리적 비용 포함여부에 따라 비교하면, 포함 시 6.3억원, 불포함 시 3.9억원으로서 심리적비용이 포함된 연구의 생명가치가 약 1.5배 높음
- 연구수행주체별로는 정부연구 및 예비타당성조사 연구에서 사용된 생명가치는 약 4억원 수준이고 민간 수행 연구는 약 7억원 수준으로 분석됨
- 해외와 국내 연구 결과를 비교하면, 해외는 산업안전사고의 생명가치가 환경오염 보다 약 1.5배 높은 데 반해, 국내는 환경오염의 생명가치가 산업안전사고 보다 약 2배 더 높은 것으로 나타남
- 연구수행주체별로는 해외와 국내 모두 민간 수행 연구가 정부 및 산하연구원이 수행한 연구보다 생명가치가 약 1.5배 높은 것으로 분석됨
- 요컨대 사망원인별 사망의 가치는 국내와 해외 간 상당한 차이가 있는 반면, 연구수행주체별로는 국내와 해외 모두, 민간 수행연구가 정부 및 산하연구원이 수행한 연구보다 다소 높은 것으로 나타남

3. 질병 비용

3.1 질병비용 종류 및 정의

○ 질병비용 분석 관점과 비용항목

- 질병비용을 추정하기 위해서는 질병비용이 어떤 항목을 포함하고 있는지에 대한 검토가 필요함. 질병비용은 관점에 따라 서로 다른 항목을 포함하며, 사회적, 보건의료체계, 보험자 관점으로 분류됨 (한국보건의료연구원, 2011; 한국보건의료연구원 2013 ; 건강보험심사평가원, 2011)
- 사회적 관점은 비용을 지불하는 주체와 관계없이 사회 전반에 걸쳐 비용이 발생했다면 이를 모두 포함함. 즉, 질병으로 인해 지출한 직접적인 의료비용과 교통비용, 환자의 시간비용(대기시간, 진료시간 등), 간병비용 등의 비 의료비용뿐만 아니라 질병 이환으로 인해 환자의 노동력이 손상 혹은 상실된 생산성 손실비용까지 고려함
- 보건의료체계 관점은 생산성 손실비용을 제외한 의료비용과 비 의료비용을 포함함.
- 보험자 관점은 비 의료비용과 생산성 손실비용을 제외하고 건강보험공단 부담금과 본인부담금의 의료 직접비용만을 포함함
- 일반적으로 질병비용 연구에서는 사회 전반에 걸친 비용을 포괄적으로 추정하기 위해 사회적 관점을 채택함

[표 4.16] 관점에 따른 질병비용 항목 구분

구분	사회적 관점	보건의료체계 관점	보험자 관점
의료비용	공식적 의료비용 - 급여 내 보험자부담비용 - 급여 내 본인부담비용 비공식적 의료비용	공식적 의료비용 - 급여 내 보험자부담비용 - 급여 내 본인부담비용 비공식적 의료비용	공식적 의료비용 - 급여 내 보험자부담비용 - 급여 내 본인부담비용
비의료비용	교통비용 환자 시간비용* 간병비용	교통비용 환자 시간비용 간병비용	
생산성 손실비용	이환비용 조기사망비용		

* 사회적 관점에서는 일반적으로 환자 시간비용을 이환비용에 포함하여 분석함
출처: 한국보건의료원, 보건의료분야에서 비용 산출방법, 2013

- 안소은(2015)는 사회적 관점에서 질병비용을 의료비용, 교통비용, 간병비용, 생산성 손실비용으로 구분함

[표 4.17] KEI(2015)가 정의한 질병비용의 종류 및 개념

비용의 종류	개념
의료비용	입원비용: 질병의 치료에 소요된 입원 진료비
	외래비용: 질병의 치료에 소요된 외래 진료비
	약제비용: 질병의 치료에 소요된 약제 진료비
교통비용	환자 및 보호자가 질병치료 과정에서 의료기관 방문 시 소요된 교통비
간병비용 (시간비용)	유급간병인의 고용을 위해 지불한 비용 또는 환자의 가족 및 친척들이 간병을 위해 소요한 시간이나 임금손실
생산성 손실 (이환비용)	환자가 노동능력을 상실하거나 일부 감소하였을 경우 이로 인한 손실비용

- 환경부(2007)는 사회적 관점에서 직접 의료비용, 비의료 직접비용, 환자의 기회비용, 간병활동에 의한 기회비용으로 분류하여 호흡기질환으로 인한 질병비용을 산정함

[표 4.18] 환경부(2007)이 정의한 질병비용의 종류 및 개념

비용의 종류	개념
직접 의료비용	입원 및 외래를 구분하지 않는 질병에 따른 총 진료비
비의료 직접비용	교통비용 및 기타 소요비용
환자의 기회비용	질환자가 치료를 받는 과정에서 소요된 시간이나 방문 소요 시간의 기회비용
간병활동에 의한 기회비용	간병인 비용과 보호자의 간병활동 기회비용

- 본 연구는 질병이 사회 전반에 미치는 영향을 포괄적으로 추정하기 위해 사회적 관점을 채택하였으며, 질병비용의 세부항목을 의료 직접비용, 교통비용, 시간 기회비용, 간병 기회비용으로 나누어 분석하였음
- 의료 직접비용은 분석 대상 질병으로 환자가 의료기관에 방문하여 입원 및 외래 서비스를 이용함으로써 지출한 비용을 의미함
- 교통비용은 환자 및 보호자가 질병치료를 위해 의료기관에 방문할 때 발생하는 왕복 교통비를 의미함
- 시간 기회비용은 질병으로 인해 입원 혹은 외래 서비스를 받기 위해 소요되는

- 시간을 비용으로 환산함
- 즉, 환자가 질병으로 입원할 경우, 혹은 외래진료를 위해 일시적으로 노동능력이 상실되는 경우를 의미함
- 간병비용은 입원 시 유급간병인 고용을 위해 지불한 비용 또는 환자의 가족 및 친척이 간병할 경우 소요되는 보호자의 시간 기회비용을 의미함

3.2 분석자료

- 질병비용 분석을 위한 핵심 자료를 제공하고 있는 국내의 다양한 의료데이터의 특징을 파악하고 데이터별 장단점을 비교함
- 국내에서 활용 가능한 의료데이터는 국민건강보험공단의 코호트DB, 한국보건사회연구원과 국민건강보험공단의 한국의료패널, 질병관리본부의 국민건강영양조사가 있음
 - 코호트DB
 - 코호트DB는 국민건강보험공단에서 제공하는 빅데이터로, 특정 기간 동안 동일한 인구의 보험료 자료를 바탕으로 가공된 연속성이 있는 의료보험 데이터임
 - 그 중 표본코호트DB는 100만 명을 표본으로 하며, 맞춤형DB의 경우 그 이상의 인구에 대한 분석이 가능함
 - 한국의료패널
 - 한국의료패널은 한국보건사회연구원과 국민건강보험공단에서 제공하는 설문조사 자료로서, 의료이용형태와 의료비 지출 규모뿐만 아니라 의료 행위에 영향을 미치는 요인들을 포괄적으로 파악하고 분석하기 위해 구축된 패널 데이터임
 - 2008년 표본가구로 7,866가구가 선정되었으며, 일부 탈락가구를 제외하고 2017년 말 총 6,607가구가 지속적으로 등록, 관리되고 있음(한국보건사회연구원, 2017)
 - 2008년부터 현재까지 매년 동일한 가구를 대상으로 조사원의 직접 방문 면접조사를 통해 수집됨
 - 초기 선정된 표본가구 중 이사, 응답거부 등의 이유로 탈락한 가구를 보완하고자 2012년 2,222가구를 신규로 선정하였음

– 국민건강영양조사

- 국민건강영양조사는 질병관리본부에서 국민의 건강수준, 건강행태, 식품 및 영양섭취 실태를 조사하기 위해 수행하는 전국 규모의 건강 및 영양조사 자료임
- 인구주택 총 조사 자료를 바탕으로 시도, 동·읍면, 주택유형을 기준으로 층화하고, 주거면적 비율, 가구주 학력 비율 등을 기준으로 내재적 층화하여 표본을 추출함
- 2013–2015년도 시행된 제6기 국민건강영양조사는 연간 3,840가구, 총 11,520가구를 조사하였으며, 3년 총 조사대상자 29,321명 중 78.3%인 22,948명이 조사에 참여했음
- 국민건강영양조사는 가구원확인조사, 건강설문조사, 검진조사, 영양조사를 통해 조사 자료를 수집함
- 즉, 주로 설문조사를 통해 이루어짐

[표 4.19] 각 의료데이터별 장단점

구분	코호트DB	국민건강영양조사	한국의료패널
개요	보험료, 진료내역, 사망 등 전 국민 보험청구 데이터를 기반으로 가공된 자료	국민의 건강 및 영양상태에 관한 현황 및 추이 파악을 위한 설문조사 자료	의료이용형태와 의료비 지출 규모 파악을 위한 설문조사 자료
장점	<ul style="list-style-type: none"> 빅데이터로, 표본코호트DB의 경우 100만 명, 맞춤형DB의 경우 그 이상의 인구에 대한 분석이 가능함. 특정 기간에 따라 동일한 인구를 분석하였기 때문에 연속성이 있음. 실제 청구된 보험료 데이터를 제공하므로 객관적임. 	<ul style="list-style-type: none"> 교육 및 경제수준 등 비시장가치의 고려가 가능하여 의료비용 외 기회비용(특히 질병 대상자의 시간 기회비용) 산정 시 정확도를 높일 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> 교육 및 경제수준 등 비시장가치의 고려가 가능하여 의료비용 외 기회비용(특히 질병 대상자의 시간 기회비용) 산정 시 정확도를 높일 수 있음. 동일한 가구를 대상으로 분석하였기 때문에 연속성이 있음.
단점	<ul style="list-style-type: none"> 보험료 데이터를 이용하여 기회비용을 단순 추정하여야 하므로 정확도가 떨어짐. 	<ul style="list-style-type: none"> 연간 2-3만명 수준으로 데이터 크기가 작아 대표성이 떨어짐. 조사연도별로 대상 인구가 달라짐. 설문조사를 바탕으로 하기 때문에 데이터의 정확도가 떨어짐. 일부 주요 데이터(교통비, 간병비 등)의 경우 데이터 조사 시점이 과거임. 	<ul style="list-style-type: none"> 연간 2-3만명 수준으로 데이터 크기가 작아 대표성이 떨어짐. 설문조사를 바탕으로 하기 때문에 데이터의 정확도가 떨어짐.

－ 본 연구는 의료 직접비용의 경우 코호트DB를 활용하였음

－ 교통비용 및 시간 기회비용은 코호트DB와 한국의료패널에서 필요한 자료들을 추출하였으며, 간병 기회비용은 한국의료패널을 활용하였음

○ (의료직접비용) 의료직접비용은 코호트DB의 질병 발생건수 및 비용, 입·내원일수를 활용하였음

－ 단, 코호트DB의 질병비용은 환자가 지불한 전체 진료비에서 비급여 본인부담금을 제외한 비용이므로 국민건강보험공단(2018)의 ‘2017년도 건강보험환자 진료비 실태조사’ 자료를 이용하여 비급여 본인부담금을 추정함

[표 4.20] 건강보험 보장률 (%)

연도	건강보험보장률	법정보인 부담률	비급여 본인부담률
2012	62.5	20.3	17.2
2013	62	20.0	18.0
2014	63.2	19.7	17.1
2015	63.4	20.1	16.5
2016	62.6	20.2	17.2
2017	62.7	20.2	17.1

출처: 국민건강보험공단, 2017년도 건강보험환자 진료비 실태조사, 2018.12.

- **(교통비용)** 교통비용은 한국의료패널의 교통수단별 이용비율 및 비용자료를 이용하였음
- 단, 자가차량을 이용했다고 응답한 경우 비용을 파악할 수 없어 한국운수산업연구원 (2016)에서 발표한 ‘2014년도 교통수단별 운행비용 비교분석 연구’의 교통수단별 인-km당 사적비용 데이터를 활용하여 추정하였음
 - 동 자료는 자가용, 버스, 철도, 택시 등을 이용함으로써 발생하는 사적비용을 정량적으로 도출하고 있음
 - 본 연구에서는 대중교통 대비 자가차량의 사적비용 비율을 도출하여 자가차량을 이용했다고 응답한 환자의 교통비용을 추정하였음

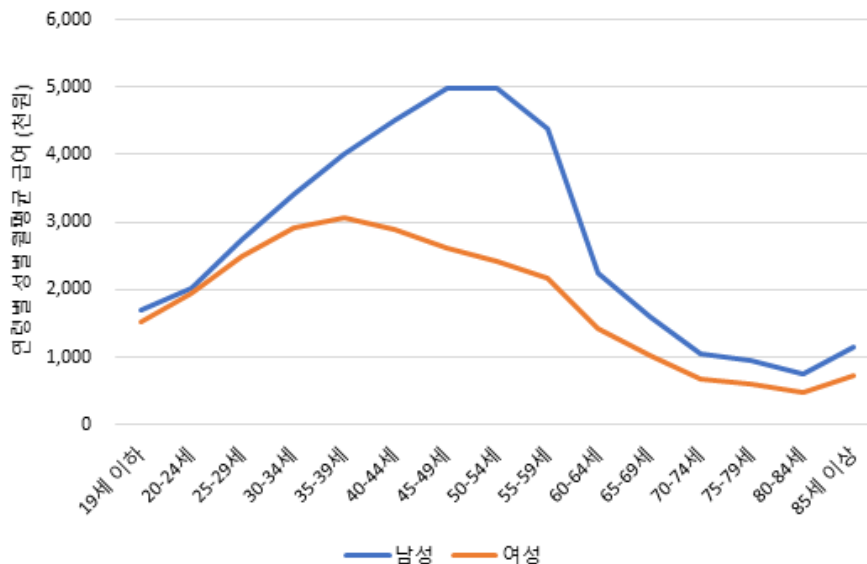
[표 4.21] 교통수단별 사적비용 및 대중교통 대비 자가용의 사적비용 비율

구분	인-km당 사적비용(원)	비율도출을 위한 평균 사적비용(원)	비율
자가용	818.2	759.7	
시내버스	186.7		
시외버스	95.6		
고속버스	74.6		
도시철도	133	257.2	2.95
고속철도	61.2		
택시	992.2		

출처: 한국운수산업연구원, 2014년도 교통수단별 운행비용 비교분석 연구, 2016.12.

- **(시간기회비용)** 시간기회비용은 코호트DB에서 질병별 환자의 연령대와 성별을 기준으로 고용노동부(2018) ‘2017년도 고용형태별 근로실태조사’ 자료의 연령별 성별 월평균 급여자료와 한국보건사회연구원 (2017)의 ‘2017년도 노인실태조사’에서 제공하고 있는 65세 이상 연령별 월평균 급여자료를 활용하였음

- [그림 4.6]은 2017년 기준 연령별 성별 월평균 급여를 나타내는 그래프로, 남성의 경우 45-54세에, 여성의 경우 35-39세에 가장 많은 급여를 받으며 이후 여성과 남성 모두 감소하는 추세를 보이거나, 85세 이상에서 상승함



출처: 고용노동부, 고용형태별 근로실태조사, 2018.6. / 한국보건사회연구원, 2017년도 노인실태조사, 2017.11.

[그림 4.6] 연령별 성별 월평균 급여 (2017년 기준)

- 외래는 이찬희(2014)의 진료과별 적정 외래 진료시간에 관한 연구를 바탕으로 적정 진료시간 4.2분 및 진료대기시간 12.6분을 적용하였음. 또한 외래의 경우 한 번 방문하면 수일 동안 머무르는 입원과 달리 병원에 방문하는 빈도수가 잦기 때문에 이동하는 시간에 드는 비용(교통시간에 따른 비용)을 별도로 산정해주었음
 - 이찬희(2014)는 수도권 소재의 단일 종합병원에서 시행한 연구로 진료과별로 차이가 있지만, 종합병원의 경우 진료시간이 매우 짧게 나타남. 진료대기시간 또한 상황에 따라 다르게 나타나지만 본 연구는 평균값을 이용함
 - 교통시간은 한국의료패널에서 충청남도 호흡기계 및 심혈관계 질병으로 인한 외래 교통시간을 각각 활용하였음
- (간병비용) 입원 시 간병비용은 한국패널자료의 간병인 이용 비율과 서울간병인협회의 공시자료 중 일반환자 24시간 기본비용을 활용하였음
- 입원기간 동안 간병하는 사람이 있다고 응답한 경우 가족, 친구, 무급간병인,

유급간병인 등을 구분하지 않고 유급간병인 이외의 사람이 간병한 경우에도 간병비용을 적용하여 추정하였음

- 한국의료패널의 간병비용은 실제 환자가 지불했다고 응답하는 비용이므로 간병인을 어느 기간 동안 사용했는지는 확인되지 않음
- 이 경우 객관적인 비교가 어렵기 때문에 서울간병인협회의 공시자료 중 일반환자 24시간 기본비용을 활용하여 보완하였음

3.3 분석 방법론

3.3.1 입원

- 호흡기계 및 심혈관계 질병으로 인한 피해 비용을 추정한 안소은(2015)와 환경부(2007)가 활용한 데이터 및 추정 방법론을 비교·분석하였음
- 본 연구는 선행연구의 자료를 바탕으로 충청남도의 지역적 특성에 맞는 자료를 추출하여 적용하였음
 - 안소은(2015)는 코호트DB와 한국의료패널 데이터를 활용하여 2013년 기준 전국 호흡기계 및 심혈관계 질환 환자의 질병비용을 산정하였음
 - 환경부(2007)는 국민건강영양조사를 바탕으로 2001년 기준 전국 만성기관지염, 폐기종, 폐쇄성 폐질환 및 심근경색 질환 환자의 질병비용을 추정하였음
 - 본 연구는 안소은 외(2015)와 마찬가지로 코호트DB와 한국의료패널 데이터를 활용하여 2013년 기준 충청남도 전체 호흡기계 및 심혈관계 질환 환자의 질병비용을 추정하였으며, 환경부(2007)와의 비교를 위해 심근경색 질환 환자의 질병비용을 별도로 산정하였음

① 의료 직접비용

- 안소은(2015)의 의료 직접비용은 코호트DB를 활용하였으며, 코호트DB의 의료비용은 비급여 본인부담금을 포함하고 있지 않기 때문에 국민건강보험공단의 진료비 실태조사 자료를 활용하여 보완하였음
- 환경부(2007) 연구는 국민건강영양조사를 활용하였는데 국민건강영양조사의 질병비용은 코호트DB와 달리 비급여 본인부담금은 포함하고 있으나 건강보험 부담금을 제외하고

있기 때문에 국민건강보험공단의 진료비 실태조사 자료를 활용하여 건강보험 부담금을 보정하였음

- 본 연구는 안소은 외(2015)와 같은 방법으로 의료 직접비용을 산정하였음

[표 4.22] 입원으로 인한 의료 직접비용 추정방법론

구분	추정방법
안소은 (2015)	$\frac{\text{심결요양급여비용}}{\text{질병발생건수}} + \left(\frac{\text{심결요양급여비용}}{\text{질병발생건수}} \times \frac{\text{비급여 본인부담률}}{\text{건강보험 보장률} + \text{법정본인 부담률}} \right)$ <p style="text-align: center;">에피소드당 입원일수</p> <p style="text-align: center;">코호트DB, 국민건강보험공단</p>
환경부 (2007)	$\frac{\text{본인부담 치료비} + \text{본인부담 치료비} \times \frac{\text{건강보험 보장률}}{\text{법정본인 부담률} + \text{비급여 본인부담률}}}{\text{에피소드당 입원일수}}$ <p style="text-align: center;">국민건강영양조사, 국민건강보험공단</p>
본연구	$\frac{\text{심결요양급여비용}}{\text{질병발생건수}} + \left(\frac{\text{심결요양급여비용}}{\text{질병발생건수}} \times \frac{\text{비급여 본인부담률}}{\text{건강보험 보장률} + \text{법정본인 부담률}} \right)$ <p style="text-align: center;">에피소드당 입원일수</p> <p style="text-align: center;">코호트DB, 국민건강보험공단</p>

② 교통비용

- 안소은(2015)의 교통비용은 한국의료패널 데이터를 활용하였으며, 자가차량 비용의 경우 운수산업연구원의 인-km당 사적비용 데이터를 통해 추정하였음
- 환경부(2007)의 교통비용은 국민건강영양조사의 교통비용과 기타소요비용을 활용하였음
- 본 연구의 교통비용은 의료 직접비용과 마찬가지로 안소은 외(2015)의 방법을 활용하였음

[표 4.23] 입원으로 인한 교통비용 추정방법론

구분	추정방법
안소은 외 (2015)	$\frac{\text{왕복대중교통비} \times (1 - \text{자가차량 이용비율}) + \text{왕복대중교통비} \times \frac{\text{자가차량 사적비용}}{\text{대중교통 사적비용}} \times \text{자가차량 이용비율}}{\text{에피소드당 입원일수}}$ <p>한국의료패널, 운수산업연구원</p>
환경부 (2007)	$\frac{\text{교통비용} + \text{기타 소요비용}}{\text{에피소드당 입원일수}}$ <p>국민건강영양조사</p>
본연구	$\frac{\text{왕복대중교통비} \times (1 - \text{자가차량 이용비율}) + \text{왕복대중교통비} \times \frac{\text{자가차량 사적비용}}{\text{대중교통 사적비용}} \times \text{자가차량 이용비율}}{\text{에피소드당 입원일수}}$ <p>한국의료패널, 운수산업연구원</p>

③ 시간기회비용

- 안소은(2015)의 시간기회비용은 고용노동부 근로실태조사 보고서를 통해 월 임금총액을 월 근로일수로 나누었으며, 환자의 연령과 성별 등은 고려하지 않았음
- 환경부(2007)의 시간기회비용은 국민건강영양조사의 응답 결과를 바탕으로 환자의 성별 및 직업을 고용노동부 근로실태조사 데이터와 1:1로 매칭하여 활용하였음
- 본 연구의 시간기회비용은 코호트DB의 연령 범위자료 및 성별자료를 고용노동부 및 보건복지부 급여자료와 매칭하여 활용하였음
 - 코호트DB의 자격코드 중 성 코드가 2(여자)이고 연령대 코드가 6(25~29세)일 경우 고용노동부의 25~29세 여성의 월급여 평균인 2,002천원을 적용하였음

[표 4.24] 입원으로 인한 시간 기회비용 추정방법론

구분	추정방법
안소은 (2015)	$\frac{\text{월 임금총액}}{\text{월 근로일수}}$ 고용노동부
환경부 (2007)	$\frac{\text{월 급여총액}}{\text{월 총 근로시간}} \times \text{일평균 근로시간} + \frac{\text{방문 소요시간} \times \frac{\text{월 총 근로시간}}{60(\text{분})}}{\text{에피소드당 입원일수}}$ 국민건강영양조사 및 고용노동부 데이터
본연구	$\frac{\text{'성별, 연령별' 월 임금총액}}{\text{월 총 근무일수}}$ 코호트DB, 고용노동부, 보건복지부

④ 간병비용

- 안소은(2015)의 간병비용은 한국의료패널의 간병인 이용율과 1인 평균 간병비용을 활용하였음
- 환경부(2007)의 간병비용은 여성 보호자가 간병한다는 가정 하에 여성 단순노무종사자의 급여와 일평균 근로시간을 적용하였음
- 본 연구는 한국의료패널의 간병인 이용율 자료와 서울간병인협회의 일반환자 24시간 기본 간병비용인 80,000원을 적용하였음

[표 4.25] 입원으로 인한 간병비용 추정방법론

구분	추정방법
안소은 (2015)	$\text{간병인 이용율} \times 1\text{인 평균간병비용}$ 한국의료패널
환경부 (2007)	$(\text{여성 단순노무종사자의}) \frac{\text{월 급여총액}}{\text{월 총 근로시간}} \times \text{일평균 근로시간}$ 국민건강영양조사, 고용노동부
본연구	$\text{간병인 이용율} \times \text{서울간병인협회 공시 일반환자 24시간 기본 간병비용}$ 한국의료패널, 서울간병인협회

⑤ 결과 분석

- 안소은(2015)의 호흡기계 입원으로 인한 입원비용 추정결과는 361,384원/일임
 - 의료 직접비용은 175,102원/일, 교통비용은 16,441원/일, 시간 기회비용은 134,905원/일, 간병 기회비용은 34,936원/일로 질병비용 중 의료 직접비용과 시간 기회비용이 전체의 85%를 차지하고 있음
- 환경부(2007)의 만성기관지염, 폐기종, 폐쇄성 폐질환 입원비용 추정결과는 374,901원/일임
 - 의료 직접비용은 263,644원/일, 교통 및 기타비용은 13,345/일, 시간 기회비용은 70,093원/일, 간병 기회비용은 27,819원/일로 안소은(2015)와 마찬가지로 의료 직접비용과 시간 기회비용이 전체의 89%를 차지하고 있음

[표 4.26] 선행연구의 입원으로 인한 질병비용

[단위 : 원/일, %]

구분	안소은(2017)		환경부(2007)			
	호흡기계 입원		만성기관지염, 폐기종, 폐쇄성 폐질환 입원		심근경색 입원	
의료 직접비용	175,102	48.45	263,644	70.32	612,003	89.3
교통비용	16,441	4.55	13,345	3.56	9,703	1.42
시간 기회비용	134,905	37.33	70,093	18.70	35,743	5.22
간병 기회비용	34,936	9.67	27,819	7.42	27,877	4.07
합계	361,384	100	374,901	100	685,326	100
비고	2013년도 기준		2001년도 기준			

3.3.2 외래

- 외래 방문 시 비용 산정방법론도 입원비용과 마찬가지로 선행연구에서 활용한 방법론을 비교·분석하여 본 연구에 활용하였음
 - 안소은(2017)¹⁶⁾는 전국 대상으로 호흡기질환 외래 시 질병비용을 산정하였음
 - 입원비용 추정 시 코호트DB를 활용한 것과 달리 한국의료패널 데이터를 활용하였으며,

16) 한국환경·정책평가연구원, 빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향 평가 및 피해 비용 추정(III), 2017

- 의료 직접비용의 경우 공단부담금을 제외한 개인부담 의료비용만을 산정하였음
- 환경부(2007)는 국민건강영양조사 데이터를 활용하여 입원 시 질병비용과 같은 방법으로 추정하였으므로 설명을 생략함

① 의료 직접비용

- 안소은(2017)는 한국의료패널의 개인부담 의료비용을 활용하였음
 - 공단부담금을 포함하지 않은 비용이므로 별도의 보완하지 않았음
- 본 연구는 입원비용 산정방법론과 마찬가지로 코호트DB를 활용하였으며 코호트DB가 포함하고 있지 않은 개인부담 비용에 대해서는 국민건강보험공단의 자료로 보완하였음

[표 4.27] 외래 방문으로 인한 의료비용 추정방법론

구분	추정방법
안소은 (2017)	외래진료수납금액 + 처방약값 한국의료패널
환경부 (2007)	본인부담 치료비 + 본인부담 치료비 $\times \frac{\text{건강보험보장률}}{\text{법정본인 부담률} + \text{비급여 본인부담률}}$ 국민건강영양조사 및 건강보험환자 진료비 실태조사 데이터
본연구	$\frac{\text{심결요양급여비용}}{\text{질병발생건수}} + \left(\frac{\text{심결요양급여비용}}{\text{질병발생건수}} \times \frac{\text{비급여본인부담률}}{\text{건강보험보장률} + \text{법정본인부담률}} \right)$ 코호트DB, 국민건강보험공단

② 교통비용

- 안소은(2017)의 외래로 인한 교통비용 추정방법은 입원으로 인한 교통비용 추정방법과 같음
- 본 연구 또한 입원으로 인한 교통비용과 같은 방법으로 추정하였음

[표 4.28] 외래 방문으로 인한 교통비용 추정방법론

구분	추정방법				
	교통수단	이용건수	비율(%)	교통비용 (왕복:원)	교통시간 (왕복: 분)
안소은 (2017)	자가차량	14,091	24.9	11,101	27.05
	택시	1,968	3.5	6,500	21.2
	대중교통	7,760	13.7	2,420	49.26
	기차/비행기	12	0.02	97,000	427.67
	도보/자전거	32,052	56.7	0	18.95
	오토바이/경운기	454	0.8	11,101	23.53
	기타(무료셔틀버스)	153	0.3	0	29.37
	합계/평균	56,490	100	3,438 원/건	25.37
한국의료패널 및 운수산업연구원 데이터					
환경부 (2007)	교통비용 + 기타 소요비용				
	국민건강영양조사				
본연구	$\frac{\text{왕복대중교통비} \times (1 - \text{자가차량 이용비율}) + \text{왕복대중교통비} \times \frac{\text{자가차량 사적비용}}{\text{대중교통 사적비용}} \times \text{자가차량 이용비율}}{\text{에피소드당 입원일수}}$				
	한국의료패널 및 운수산업연구원 데이터				

시간기회비용

- 안소은(2017)의 시간기회비용은 한국의료패널의 가구원DB 직종 정보와 고용노동부 자료를 이용하여 응답자의 성별, 교육수준, 학력 등을 가중치로 두었으며, 외래진료에 소요된 시간은 이찬희(2014) 데이터를 활용하여 계산하였음
- 본 연구의 시간기회비용은 이찬희(2014)의 연구 결과에 따라 적정 외래 진료시간, 그리고 한국의료패널의 충청남도 호흡기계 및 심혈관계 질환으로 인한 교통비용을 모두 합한 값(호흡기계 31.8분, 심혈관계 46.4분)을 적용하였으며, 입원 시 시간 기회비용과 마찬가지로 성별과 연령을 고려하여 추정하였음

[표 4.29] 외래 방문으로 인한 시간 기회비용 추정방법론

구분	추정방법
안소은 (2017)	$(\text{교통시간} + \text{진료시간} + \text{진료대기시간}) \times \frac{\text{시간당 임금}}{60(\text{분})}$ <p>한국의료패널, 고용노동부, 이찬희(2014)</p>
환경부 (2007)	$\text{방문 소요시간(분)} \times \frac{\frac{\text{월급여총액}}{\text{월총근로시간}}}{60(\text{분})}$

구분	추정방법
국민건강영양조사, 고용노동부	
본연구	$(교통시간 + 진료시간 + 진료대기시간) \times \left\{ \left(\frac{\text{'성별 연령별' 월 임금총액}}{\text{월 총 근무일}} \right) \div 60 \right\}$ 코호트DB, 고용노동부, 보건복지부, 이찬희(2014)

③ 결과 분석

- 안소은(2017)의 분석 결과 호흡기계 외래로 인한 개인부담 의료비용은 8,324원/건, 교통비용은 3,438원/건, 시간기회비용은 3,204원/건임
- 환경부(2007)의 만성기관지염, 폐기종, 폐쇄성 폐질환 외래 산정 결과는 의료 직접비용은 24,666원/건, 교통 및 기타비용은 1,057원/건, 시간기회비용은 2,165원/건으로 나타났음
 - 심근경색의 경우 총 79,645원/건으로 나타남

[표 4.30] 선행연구의 외래로 인한 질병비용

구분	안소은(2017)		환경부(2007)			
	호흡기계 외래		만성기관지염, 폐기종, 폐쇄성 폐질환 외래		심근경색 외래	
	원/건	비중(%)	원/건	비중(%)	원/건	비중(%)
의료 직접비용	8,324	55.62	24,666	88.45	72,492	91.02
교통비용	3,438	22.97	1,057	3.9	1,214	1.52
시간기회비용	3,204	21.41	2,165	7.76	5,939	7.46
합계	14,966	100	27,888	100	79,645	100
비고	2013년도 기준		2001년도 기준			

3.4 분석결과

3.4.1 호흡기계 입원

- (의료 직접비용) 2013년 충청남도 호흡기계 입원으로 인한 의료 직접비용은 표본코호트DB의 진료DB 명세서 중 심결요양급여비용 총액을 활용하여 추정하였음
 - 입원 에피소드 관련 의료 직접비용의 일평균 비용은 204,781원임

- 에피소드 발생 건수, 총 금액, 총 입·내원일 수, 에피소드당 입원일수는 [표 4.31]과 같음
- 2013년 충청남도 호흡기계 입원 에피소드는 총 1,127건 발생하였으며, 심결요양 급여비용 합계는 약 20억원임

[표 4.31] 2013년 충청남도 호흡기계 입원 에피소드 건수 및 입원일수

건수(건)	총금액(천원)	평균(천원)	총 입·내원일수(일)	에피소드당 입원일수(일)
1,127	2,017,400	1,790	12,014	10.66

- 코호트DB의 심결요양급여비용은 비급여 비용을 포함하지 않고 있기 때문에 국민건강보험공단의 자료를 이용하여 전체진료비 대비비급여 본인부담률을 적용하였음.
- 2013년 총 의료비용은 [표 4.32]와 같음
- 비급여 본인부담금을 포함한 충청남도 호흡기계 입원으로 인한 입원기간 동안의 평균 의료비용은 2,183,002원이고, 이를 에피소드 당 입원일수로 나뉘준 일평균 비용은 204,781원임

[표 4.32] 2013년 호흡기계 입원 에피소드 총비용 및 일평균 비용

평균(원)	전체진료비 대비 비급여 본인부담금비율	비급여 본인부담금(원)	합계(원)	일평균 비용(원/일)
1,790,062	0.220(=18.0/82.0)	392,940	2,183,002	204,781

- **(교통비용)** 2013년 충청남도 호흡기계 질환으로 인한 교통비용은 한국보건사회연구원과 국민건강보험공단에서 제공하는 한국의료패널 자료를 이용하여 추정하였음
 - 2013년 충청남도 호흡기계 입원 에피소드 관련 교통비용은 교통수단별 교통비용 자료를 이용하였음
 - 호흡기계 질환으로 인해 입원한 환자 중 구급차를 이용했다고 응답한 환자는 38%, 자가차량을 이용한 경우는 50%임
 - 12%의 환자는 도보, 자전거 등 비용이 발생하지 않는 수단을 이용하였음
 - 자가차량을 이용한 경우 한국운수산업연구원의 ‘2014년도 교통수단별 운행비용 비교분석 연구’를 활용하여 대중교통 대비 자가용의 사적비용 비율인 2.95를

- 적용하여 교통비용을 추정하였음
- 2013년도 호흡기계 질환으로 인한 입원환자의 대중교통비용은 충청남도 전체 평균인 12,860원(편도)을 적용하였으며, 자가차량 교통비는 대중교통비용의 2.95배인 75,965원, 구급차 교통비는 413,334원임
 - 따라서 수단별 비율을 적용한 교통비 총합은 195,049원/일임

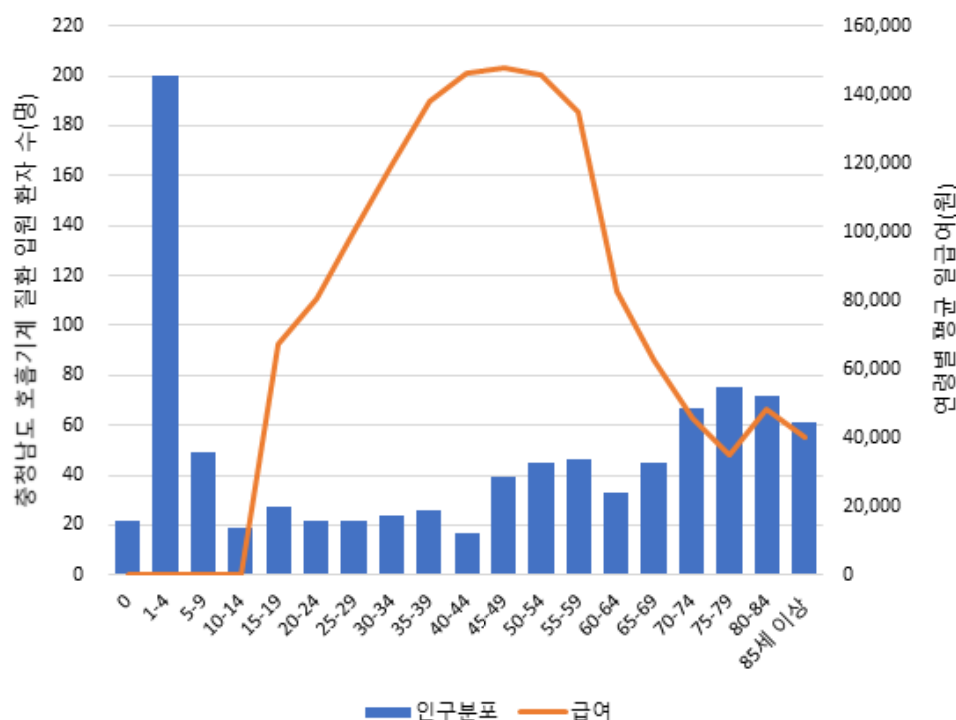
[표 4.33] 충청남도 호흡기계 입원으로 인한 교통비용

대중교통비(왕복)(원)	구급차 교통비(원)	자가차량 교통비(원)	대중교통 비율(%)	구급차 비율(%)	자가차량 비율(%)	교통비 총합(원)
25,720	413,334	75,965	—	38	50	195,049

* 호흡기계 입원 환자의 12%는 도보, 자전거 등 비용이 발생하지 않는 수단을 이용하였음

- (시간기회비용) 2013년 충청남도 호흡 질환으로 인한 시간기회비용은 55,395원/일임
- 코호트DB에서 충청남도 호흡 질환 환자의 연령대와 성별을 기준으로 고용노동부의 고용노동통계, 보건복지부와 한국보건사회연구원의 노인실태조사의 월평균 급여 자료를 이용하였음
 - 코호트DB는 환자의 연령을 5세 단위로 분류하여 제공하고 있음
 - 고용노동부 자료는 19세 이하, 20-29세(5세 단위), 60세 이상의 월평균 급여 자료를 제공하고 있으며 보건복지부 자료는 고용노동부 자료 외에 65-69세, 70-74세, 75-79세, 80-84세, 85세 이상 인구의 월평균 급여 자료를 제공하고 있음
 - 이를 이용하여 연령대별 평균 임금을 적용하였음¹⁷⁾
 - 또한 고용노동부에서 제공하고 있는 성별에 따른 임금 수준을 차등 적용하였음
 - 본 연구에서 분석한 충청남도 호흡기계 질환 환자 수와 연령별 평균 급여 수준을 비교한 결과는 [그림 4.7]과 같음
 - 평균 급여가 높은 수준인 연령대의 환자들의 호흡기질환으로 인한 입원 건수는 적으나, 평균 급여 수준이 상대적으로 낮은 연령대인 1-9세, 70세 이상의 입원 환자수가 큼

17) 우리나라의 경우 초등, 중등 교육은 의무교육에 해당하기 때문에 15세 미만의 급여는 0으로 간주하였음



[그림 4.7] 충청남도 호흡기계 질환 입원환자 연령별 분포 및 급여수준

- (간병비용) 2013년 충청남도 호흡기계 질환으로 입원했을 경우 간병비용은 한국패널자료의 간병인 이용 비율과 서울간병인협회 공시자료를 이용하였음
 - 입원기간 동안 간병하는 사람이 있다고 응답한 경우 가족, 친구, 무급간병인, 유급간병인 등을 구분하지 않고 유급간병인 이외의 사람이 간병한 경우에도 간병비용을 적용하여 추정하였음
 - 한국의료패널의 간병비용은 실제 환자가 지불했다고 응답하는 비용이므로 간병인을 어느 기간 동안 사용했는지는 확인되지 않음
 - 이 경우 객관적인 비교가 어렵기 때문에 서울간병인협회의 공시자료에 따라 일반환자 24시간 기본 간병비용을 활용하였음
 - 형태에 관계없이 간병하는 사람이 있었다고 응답한 비율은 75%였으며, 평균 간병비용은 80,000원임
 - 따라서 2013년 충청남도 호흡기계 질환으로 입원한 환자의 일평균 간병비용은 60,000원/일임

- 2013년 기준 충청남도의 호흡기계 질환으로 인한 결과를 항목별로 살펴보면 입원

일평균 총 비용은 338,473원/일임

- 환경부(2007)는 전체 호흡기계 질병 대상의 분석이 아닌 만성기관지염, 폐기종, 폐쇄성 폐질환(KCD 질병코드 J40, J41, J43, J44)를 분석하였음
- 선행연구와 비교했을 때 시간기회비용의 비중이 다소 낮게 나타났음
- 이는 선행연구에서는 모든 환자에 평균 임금을 적용하였던 반면, 본 연구에서는 성별, 연령별 임금 차이를 고려함에 따른 것으로 보다 정교하게 추정한 것이라 할 수 있음

[표 4.34] 호흡기계 입원으로 인한 질병비용

[단위 : 원/일, %]

구분	본 연구 분석 결과		안소은(2015)		환경부(2007)	
	호흡기계 입원		호흡기계 입원		만성기관지염, 폐기종, 폐쇄성 폐질환 입원	
	원/일	비중(%)	원/일	비중(%)	원/일	비중(%)
의료 직접비용	204,781	60.50	175,102	48.45	263,644	70.32
교통비용	18,297	5.41	16,441	4.55	13,345	3.56
시간기회비용	55,395	16.37	134,905	37.33	70,093	18.70
간병비용	60,000	17.73	34,936	9.67	27,819	7.42
합계	338,473	100	361,384	100	374,901	100
비고	충청남도, 2013년도 기준		전국, 2013년도 기준		전국, 2001년도 기준	

3.4.2 호흡기계 외래

- (의료 직접비용) 2013년 충청남도 호흡기계 외래 에피소드 관련 의료 직접비용은 18,012원/건임
 - 에피소드 발생 건수, 총 금액은 [표 4.35]와 같음
 - 2013년 충청남도 호흡기계 질병으로 인한 외래 에피소드는 총 166,214건 발생하였으며, 심결요양급여비용 합계는 약 25억원임
 - 입원비용과 마찬가지로 비급여 본인부담금을 별도로 추정하였음

[표 4.35] 2013년 호흡기계 외래 에피소드 비용

건수(건)	총금액 (천원)	평균 (원/건)	전체진료비 대비 비급여 본인부담금비율	비급여 본인부담금(원)	합계(원/건)
166,214	2,454,914	14,770	0.220(=18.0/82.0)	3,242	18,012

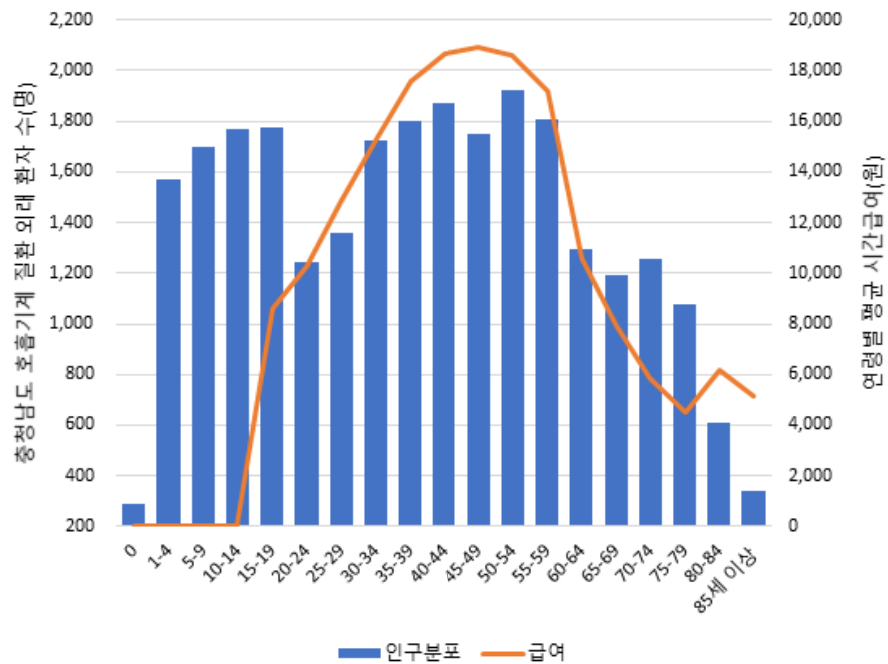
- 2013년 충청남도 호흡기계 외래 에피소드 관련 교통비용도 마찬가지로 한국의료패널의 자료를 활용하였으며, 건당 평균 교통비 총합은 5,181원임
- 외래의 경우 도보, 자전거 등 비용이 발생하지 않는 수단을 이용하여 방문한 비중이 28.86%로 입원보다 높음

[표 4.36] 호흡기계 외래로 인한 교통비용

대중교통비(왕복)	자가차량 교통비	대중교통 비율	자가차량 비율	교통비 총합
3,167원	9,352원	23.80%	47.34%	5,181원/건

* 호흡기계 외래 환자의 28.86%는 도보, 자전거 등 비용이 발생하지 않는 수단을 이용하였음.

- 호흡기계 외래로 인한 시간기회비용은 이찬희(2014)의 진료과별 적정 외래 진료시간에 관한 연구를 바탕으로 적정 진료시간 및 진료대기시간과 한국의료패널의 교통시간을 모두 더하여 추정하였음
- 이찬희(2014)에 따르면 적정 진료시간은 4.2분, 진료 대기시간은 12.6분이며, 한국의료패널 자료에 따르면 충청남도 호흡기계 외래로 인한 교통시간은 15분으로 나타남. 이를 반영한 외래진료로 인한 시간 기회비용은 5,370원/건으로 나타남
- 외래환자의 연령별 분포는 입원과 달리 모든 연령구간에서 고르게 나타남



[그림 4.8] 충청남도 호흡기계 질환 외래환자 연령별 분포 및 급여수준

- 2013년 충청남도의 외래로 인한 질병비용은 28,563원/건으로 나타나며, 이를 선행연구와 비교한 것은 [표 4.37]과 같음
 - 안소은(2017)는 한국의료패널 자료를 이용하여 ‘환자 개인부담금’ 만을 포함하여 의료비용을 산정하였음
 - 즉, 의료비에서 가장 큰 비중을 차지하는 공단부담금을 별도 추정하지 않았기 때문에 낮게 나타남

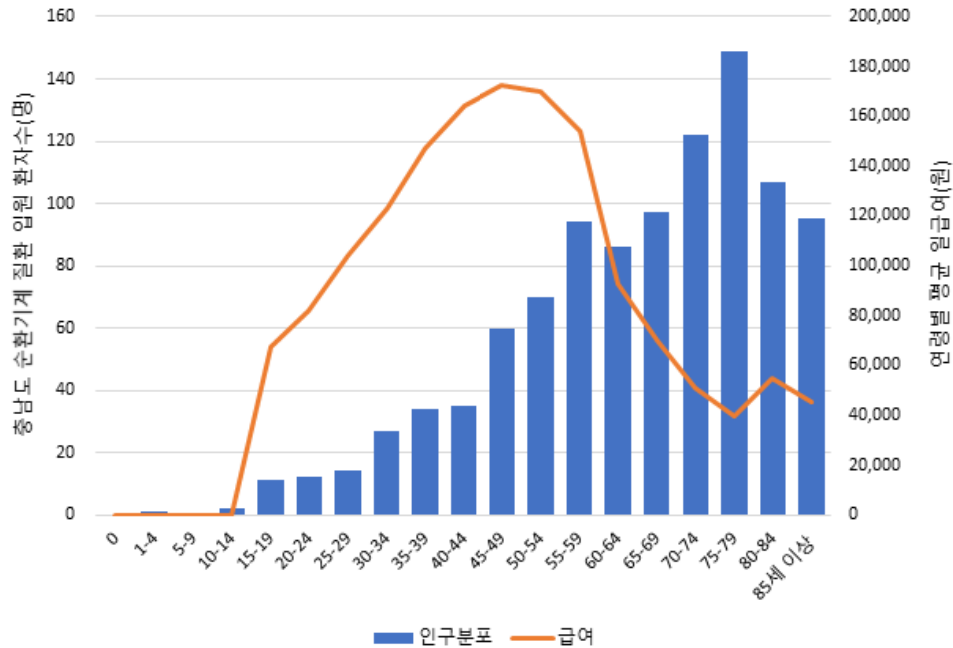
[표 4.37] 호흡기계 외래로 인한 질병비용

[단위 : 원/건, %]

구분	본 연구 분석 결과		안소은(2017)		환경부(2007)	
	호흡기계 외래		호흡기계 외래		만성기관지염, 폐기종, 폐쇄성 폐질환 외래	
	원/일	비중(%)	원/일	비중(%)	원/일	비중(%)
의료 직접비용	18,012	63.06	8,324	55.62	24,666	88.45
교통비용	5,181	18.14	3,438	22.97	1,057	3.9
시간기회비용	5,370	18.80	3,204	21.41	2,165	7.76
합계	28,563	100	14,966	100	27,888	100
비고	충청남도, 2013년도 기준		전국, 2013년도 기준		전국, 2001년도 기준	

3.4.3 심혈관계 입원

- 2013년 충청남도 심혈관계 입원으로 인한 질병비용은 호흡기계 질병비용과 동일한 방법으로 추정하였음
- 심혈관계 질병의 경우 환경부(2007)에서 심근경색(I21, I22)을 대상으로 질병비용을 분석한 선행사례가 있음
- 심근경색은 전체 질병 중에서 비용이 높게 나타나는 질병에 속하기 때문에 본 연구에서는 동일한 코드의 질병에 대해 별도로 추정한 후 비교하였음
 - **(의료 직접비용)** 심혈관계 질환으로 입원한 건수는 총 1,091건이며, 총 입원일 수는 22,743일임
 - 따라서 에피소드당 입원일수는 20.85일로, 호흡기계로 입원한 환자(10.66일/에피소드) 보다 2배가량 오래 입원하는 것으로 나타남
 - **(교통비용)** 심혈관계 입원으로 인한 교통수단 이용비율은 대중교통이 11.76%, 구급차 이용비율이 41.18%, 자가차량 이용비율이 47.06%로 나타남
 - 따라서 에피소드당 교통비는 호흡기계 입원(195,049원/에피소드) 보다 높은 209,984원임
 - **(시간기회비용)** 연령이 높을수록 심혈관계 질환으로 인한 입원 빈도가 높은 것으로 나타남



[그림 4.9] 충청남도 심혈관계 질환 입원환자 연령별 분포 및 급여수준

– (간병비용) 심혈관계 질환 환자의 간병인 이용 비율은 호흡기계보다 낮은 59%로 나타남

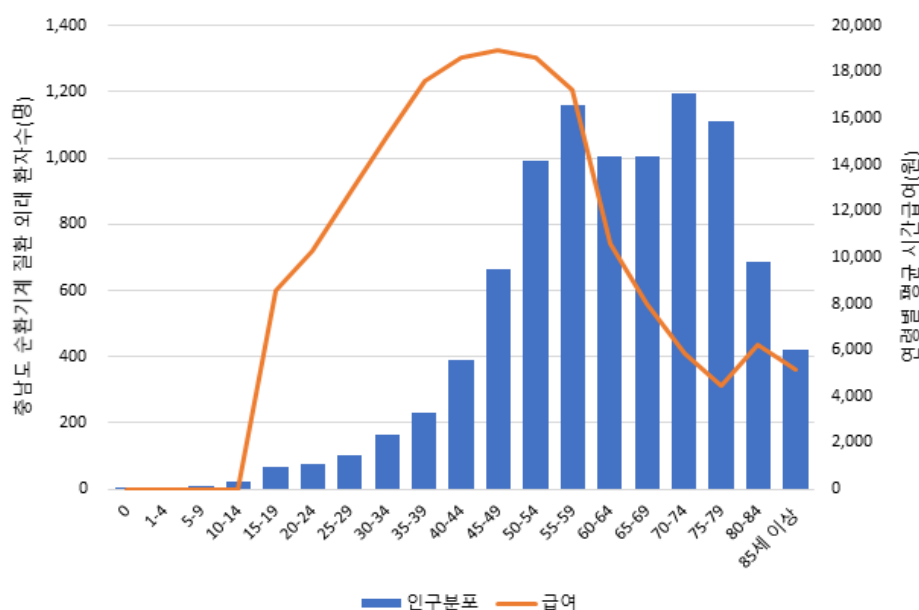
○ 2013년 충청남도 전체 심혈관계 입원 환자의 질병비용은 332,484원/일이며, 심근경색으로 인한 질병비용은 전체 심혈관계 질환(질병코드 I계열)으로 인한 환자의 질병비용보다 약 3배 이상 큰 1,039,204원/일로 나타났음

[표 4.38] 심혈관계 입원으로 인한 질병비용

구분	본 연구 분석 결과				환경부(2007)	
	심혈관계 입원		심근경색 입원		심근경색 입원	
	원/일	비중(%)	원/일	비중(%)	원/일	비중(%)
의료 직접비용	199,074	59.87	886,695	85.32	612,003	89.30
교통비용	10,025	3.02	23,906	2.30	9,703	1.42
시간기회비용	76,345	22.96	81,563	7.85	35,743	5.22
간병비용	47,040	14.15	47,040	4.53	27,877	4.07
합계	332,484	100	1,039,204	100	685,326	100
비고	충청남도, 2013년도 기준		충청남도, 2013년도 기준		전국, 2001년도 기준	

3.4.4 심혈관계 외래

- 2013년 충청남도 심혈관계 외래로 인한 질병비용도 마찬가지로 호흡기계 외래로 인한 질병비용과 같은 방법으로 추정하였음
 - (의료 직접비용) 심혈관계 외래 에피소드 건수는 76,441건, 총 질병비용은 약 18억 정도로, 비급여 본인부담금을 포함한 일평균 비용은 28,632원임
 - 방문 건수는 호흡기계 질환에 비해 적지만 금액은 1.5배가량 높음
 - (교통비용) 심혈관계 외래 방문을 위해 충청남도 주민들이 주로 이용한 교통수단은 대중교통으로, 일평균 교통비는 6,508원임
 - (시간기회비용) 전 연령대에서 환자수가 고르게 나타나는 호흡기계 외래와 달리 심혈관계 외래의 경우 입원과 마찬가지로 낮은 연령대에서는 방문수가 많지 않고, 연령대가 높아질수록 환자의 방문 빈도가 커짐



[그림 4.10] 충청남도 심혈관계 질환 외래환자 연령별 분포 및 급여수준

- 2013년 충청남도 전체 심혈관계 외래 환자의 질병비용은 43,471원/건이며, 심근경색으로 인한 질병비용은 입원비용보다는 그 차이가 크지 않지만 전체 심혈관계 질환(질병코드 I계열)으로 인한 환자의 질병비용보다 77,871원/건임

[표 4.39] 심혈관계 외래로 인한 질병비용

구분	본 연구 분석 결과				환경부(2007)	
	심혈관계 외래		심근경색 외래		심근경색 외래	
	원/건	비중(%)	원/건	비중(%)	원/건	비중(%)
의료 직접비용	28,632	65.87%	63,684	81.78	72,492	91.02
교통비용	6,508	14.97%	6,508	8.36	1,214	1.52
시간기회비용	8,330	19.16%	7,679	9.86	5,939	7.46
합계	43,471	100	77,871	100	79,645	100
비고	충청남도, 2013년 기준		충청남도, 2013년 기준		전국, 2001년도 기준	

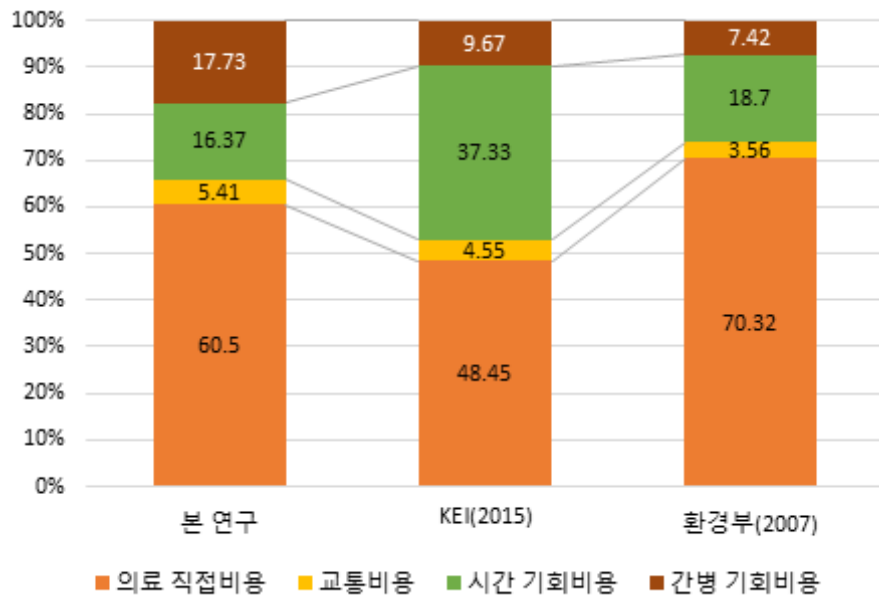
3.5 요약

- 4.2장은 의료 빅데이터인 코호트DB를 활용하여 2013년도 충청남도 호흡기계 및 심혈관계 질환으로 인한 질병비용을 산정함으로써 석탄화력발전소가 배출하는 오염물질로 인한 주요 질병의 영향을 비용으로 정량화하고자 하였음
 - 데이터의 조사 목적 및 분석방법, 규모 등을 비교하여 최종적으로 의료 직접비용의 경우 코호트DB를, 교통비용 및 시간 기회비용은 코호트DB와 한국의료패널에서 필요한 자료들을 추출하여 사용하고, 간병 기회비용은 한국의료패널을 활용하여 추정하였음
- 입원비용은 호흡기계 질환이 338,473원/일, 심혈관계 질환이 332,484원/일로 일별 비용은 호흡기계 질환이 크게 나타남
- 하지만 에피소드 건당 입원일수가 심혈관계 질환이 20.85일, 호흡기계로 입원한 환자가 평균 에피소드 건당 10.66일로 나타나 에피소드 건당 비용은 심혈관계 질환이 더 큼

[표 4.40] 2013년도 충청남도 입원 질병비용

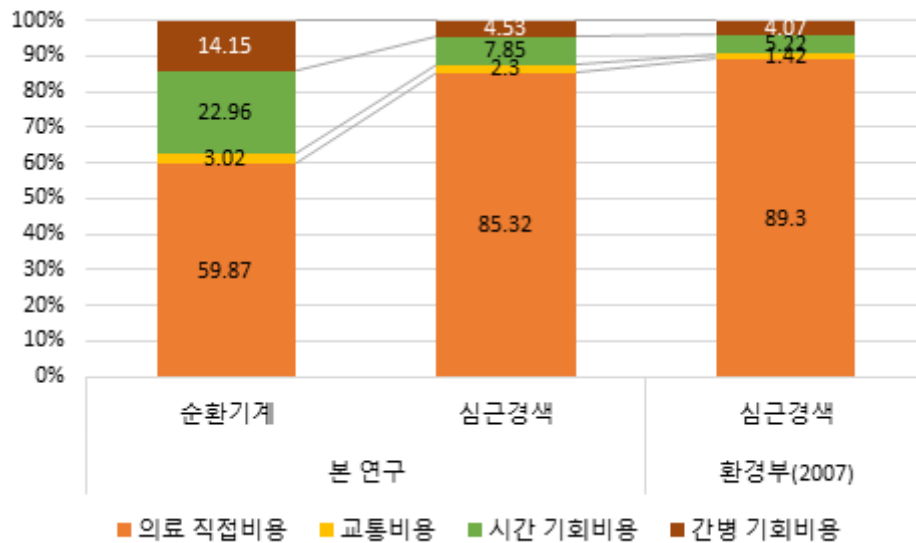
구분	호흡기계 질환 입원		심혈관계 질환 입원	
	원/일	비중(%)	원/일	비중(%)
의료 직접비용	204,781	60.50	199,074	59.87
교통비용	18,297	5.41	10,025	3.02
시간 기회비용	55,395	16.37	76,345	22.96
간병 기회비용	60,000	17.73	47,040	14.15
합계	338,473	100	332,484	100
에피소드 건당 비용	3,608,112		6,932,291	

- 본 연구와 선행연구의 항목별 입원비용 규모를 비교해본 결과, 질병과 관계없이 의료 직접비용이 전체 비용 중에서 가장 큰 비중을 차지하고 있음
- 호흡기계 입원비용의 경우 본 연구와 안소은(2015)에서 가장 크게 차이 나는 항목은 시간 기회비용임
- 안소은(2015)의 경우 모든 환자에게 우리나라 평균 급여를 적용해주었으나, 본 연구는 환자의 성별과 나이를 고려하여 개인의 특성에 맞는 시간 기회비용을 적용해주어 비용이 과대평가 될 수 있는 부분을 보완하였음
- 본 연구와 환경부(2007)을 비교해본 결과 가장 크게 차이가 나는 항목은 간병 기회비용임
- 환경부(2007)는 유급 간병인을 사용한 경우에 한해서만 비용을 산정하였으나, 본 연구는 간병인이 있었던 경우(유급 간병인을 포함하여 가족, 친지 등이 간병을 한 경우)를 모두 비용이 발생한 것으로 간주하여 적용하였기 때문에 높음



[그림 4.11] 호흡기계 입원비용 선행연구 비교

- 심혈관계 입원비용의 경우 환경부(2007)에서는 전체 심혈관계 질병비용을 산정하지 않고 심근경색에 한정하여 산정하였음
- 심근경색의 경우 의료비용이 전체에 비해 크게 나타나는 경향이 있어 본 연구에서는 선행연구와의 비교를 위해 심근경색으로 인한 비용을 별도로 산정하였음
- 본 연구와 환경부(2007)에서 산정한 심근경색의 항목별 비용은 비슷한 수준으로 나타났음
- 심근경색은 의료비용이 전체의 85% 이상을 차지하고 있음



[그림 4.12] 심혈관계 입원비용 선행연구 비교

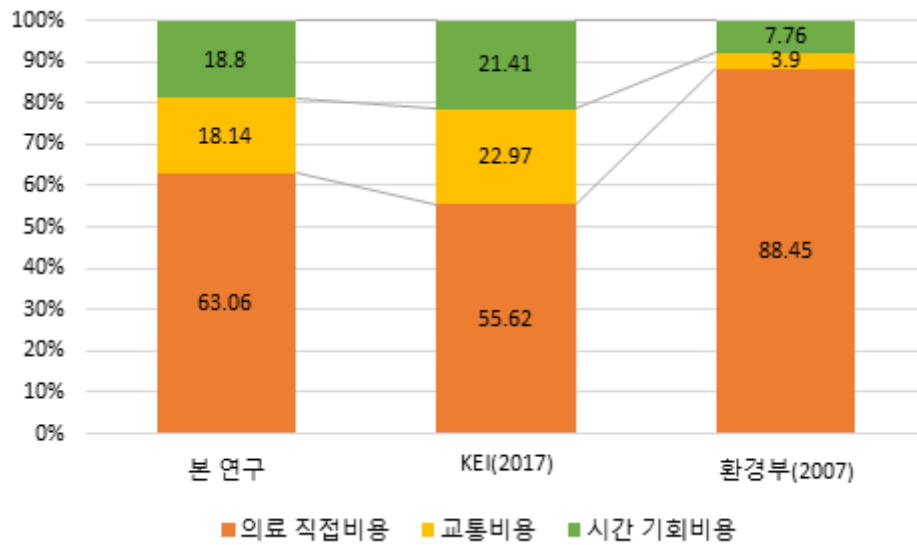
- 외래비용은 질환별로 전체 비용에서 각 항목이 차지하는 비율은 비슷하나 총 비용에서 심혈관계 질환이 41,128월/건으로 호흡기계 질환에 비해서 큼

[표 4.41] 2013년도 충청남도 외래 질병비용

[단위 : 원/건, %]

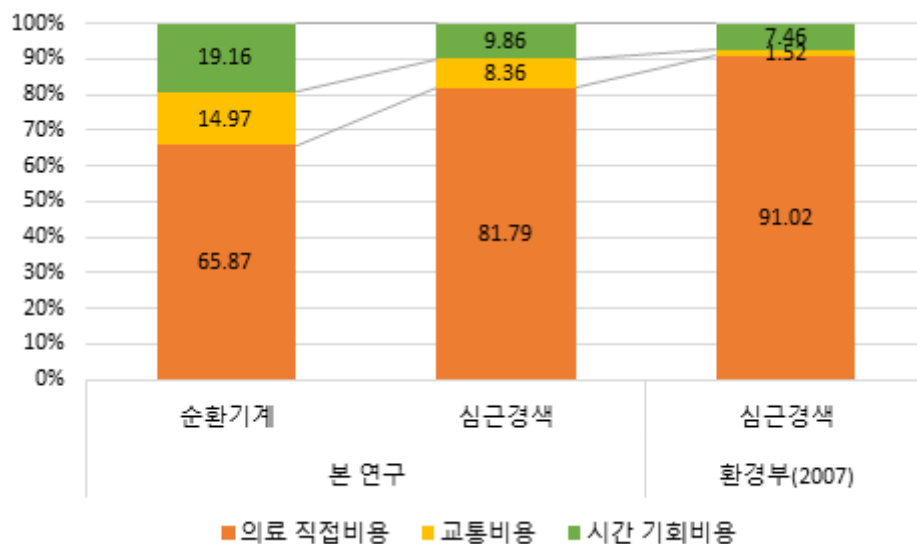
구분	호흡기계 질환 외래		심혈관계 질환 외래	
의료 직접비용	18,012	63.06	28,632	65.87
교통비용	5,181	18.14	6,508	14.97
시간 기회비용	5,370	18.80	8,330	19.16
합계	28,563	100	41,128	100

- 입원비용과 마찬가지로 본 연구와 선행연구의 항목별 외래비용을 비교하면 의료 직접비용이 전체 비용 중에서 절반 이상을 차지하고 있음
 - 안소은(2017)의 경우 의료 직접비용에 환자의 개인부담금만 포함하였기 때문에 공단 부담금을 포함할 경우 의료 직접비용이 더 증가할 것으로 추정됨
 - 환경부(2007)에서 추정한 호흡기계 외래비용은 의료 직접비용이 약 90% 가까이 차지하고 있음



[그림 4.13] 호흡기계 외래비용 선행연구 비교

- 심근경색으로 인한 외래비용을 비교하면 입원과 마찬가지로 의료 직접비용이 전체 비용의 대부분을 차지하고 있음



[그림 4.14] 심혈관계 외래비용 선행연구 비교

4. 대기오염물질 당 피해 비용

- 본 절에서는 석탄화력발전소에서 발생하는 대기오염물질인 PM, SO_x, NO_x을 대상으로 오염물질 배출량 당 단위 피해 비용을 추정하였음
- 본 연구에서 피해 비용 추정에 활용된 영향경로접근법 대신 기존 국내외 연구에서 도출한 피해 비용 추정치를 바탕으로, 2017년 화폐가치를 반영하여 편익 이전하고 종합하여 피해 비용을 도출하였음

4.1 분석방법

4.1.1 자료수집

- 선행연구는 연구범위가 국외인 연구와 국내인 연구를 구분하여 조사하였으며, 각 문헌에서 제시된 피해 비용을 수집하되, 최소값과 최대값을 범위로 나타낸 경우 평균값을 수집하였음

① 국외 연구

- Saez and Linares(1999)은 Extern E 연구의 일환으로 EU 15개국의 전력 생산을 위한 연료 사용에 따른 외부비용을 평가하였음
 - 오염물질이 건강, 작물, 생태계 등에 미치는 영향을 분석하기 위해 개발된 EcoSense 모델을 활용하여 SO₂, NO_x, 분진(PM)의 오염물질별 비용을 추정하였음
 - 분석 결과는 기대수명의 손실을 나타내는 수명손실년수(YOLL, Years of Life Lost) 접근법을 활용하였으며, 1995년 영국의 SO₂, NO_x, 분진으로 인한 배출 톤당 피해 비용은 각각 6,027-10,025유로, 5,736-9,612유로, 8,000-22,917유로임
- Barker and Rosendahl(2000)은 유럽의 대규모 계량 경제모델인 E3ME(Econometric Model of Europe)를 활용하여 서유럽 19개 국가를 대상으로 SO₂, NO_x, PM₁₀의 오염물질 저감에 의한 편익을 추정함
 - 1994년 오염물질 배출량 기준으로 1990년 환율을 적용한 결과 영국의 SO₂, NO_x,

PM₁₀ 배출로 인한 배출 톤당 피해 비용은 각각 16,500유로, 16,800유로, 5,100유로임

- Matthews and Lave(2000)은 Economic Input-Output Life Cycle Assessment (EIO-LCA) 방법론을 활용하여 1992년 미국에서 100,000 달러의 전력(석탄, 천연가스, 운송서비스 등)을 생산할 때 대기오염으로부터 발생하는 피해 비용을 추정하였음
 - 이 과정에서 8개 선행연구의 오염물질(CO, NO_x, SO₂, PM₁₀, VOC 등) 배출 톤당 외부비용의 최소값, 최대값, 중간값, 평균값을 나열하였으며, 본 연구는 평균값을 적용하였음
 - 선행연구 분석 결과 NO_x, SO₂, PM₁₀의 배출 톤당 피해 비용은 각각 220-9,500달러, 770-4,700달러, 950-16,200달러임
- Holland and Watkiss(2002)은 EC(European Commission) 환경국 연구의 일환으로 유럽 15개국의 지방/인구별(10만, 50만, 100만, 수백만) 도시/해안 지역의 오염물질별 외부비용을 추정함
 - 1998년 배출량 기준 영국 시골(rural) 지역의 SO₂, NO_x, PM_{2.5} 배출로 인한 외부비용을 2000년 환율로 환산한 값은 각각 4,500유로, 2,600유로, 9,700유로임
 - 10만 명이 거주하고 있는 영국 도시(urban) 지역의 SO₂, PM_{2.5} 배출로 인한 외부비용은 배출 톤당 6,000유로, 33,000유로 더 크게 나타남
 - 즉, 각각 총 5,100유로, 42,700유로임
 - 50만 명이 거주하고 있는 도시 지역은 10만 명이 거주하고 있는 지역의 추가적인 외부비용보다 5배 선형적으로 더 크지만, 100만 명이 거주하고 있는 지역은 7.5배, 수백만 명이 거주하고 있는 지역은 15배 큼
- AEA(2005)는 ExternE의 IPA 방법론을 이용하여 EU 25개국뿐만 아니라 주변 해안지역(대서양 동쪽, 발트해, 지중해, 북해)의 오염물질로 인한 인체건강, 농작물 등의 피해 비용을 추정하였음
 - 사망의 가치화에는 통계적 생명가치(VSL)과 연간수명가치(VOLY)를 이용하였으며, 오존 농도가 시간 당 35ppb를 초과할 때 건강에 영향을 미친다고 가정하였음
- Preiss et al.(2008)는 EcoSense를 이용해 유럽 국가뿐만 아니라 인근의 해안

- 지역(발트해, 흑해, 지중해, 북해, 기타 북동쪽에 위치한 대서양)의 피해 비용을 분석함.
 - 건강피해와 함께 NO_x, SO₂로 인한 건물 부식, 생물다양성, 농작물 등의 피해까지 포괄하고 있음
 - 또한 굴뚝 높이(high, low)를 고려한 오염물질 톤당 비용을 추정하였음
 - 분석 결과 굴뚝 높이가 높을 경우(high) PM_{2.5}로 인한 비용은 2000년 기준 12,414유로/톤, NO_x는 5,363유로/톤, SO₂는 6,195유로/톤으로 추정되며, 낮을 경우(low) 각각 26,055유로/톤, 7,062유로/톤, 6,775유로/톤임
- Ricardo-AEA(2014)는 오염물질별 피해 비용 업데이트를 위해 EU 통합으로 시행된 NEEDS(New Energy Externalities Developments for Sustainability) 프로젝트의 결과를 바탕으로 수송부문의 오염물질별 피해 비용을 추정하였음
- PM_{2.5}의 경우 인구밀도를 기준으로 지방(rural), 교외지역(suburban), 도시(urban)로 구분하였음
 - 지방은 인구밀도 150명/km² 이하, 교외지역은 인구밀도 300명/km², 도시는 인구밀도 1,500명/km²인 지역임
 - 2010년 기준 EU 평균 PM_{2.5} 배출 톤당 피해 비용은 지방 28,180유로, 교외지역 70,258유로, 도시 270,178유로로 나타났으며, NO_x는 10,640유로, SO₂는 10,241유로로 추정됨
- IMF(2014)은 156개 국가를 대상으로 각 국가의 발전원별 발전소 위치를 고려하여 2,000km 내의 인구와 오염물질 배출로 인한 사망위험, 국가별 GDP 등을 이용하여 SO₂, NO₂, PM_{2.5}의 외부비용을 추정하였음
- 단, LNG 발전소에서 SO₂, PM_{2.5}가 발생하는 경우의 피해 비용 등과 같이 실제 발생하지 않는 비용도 포함하고 있음(조성진, 2018)
 - 분석 결과 2010년 기준 영국의 석탄화력발전소에서 발생하는 SO₂, NO₂, PM_{2.5}로 인한 피해 비용은 각각 36,577달러, 22,857달러, 45,415달러로 나타남

[표 4.42] 주요 선행연구의 대기오염물질 당 피해 비용 추정결과

선행연구	오염물질	기준 연도	국가(8)	비용	단위	PPP(대상국가 가치/US\$)	PPP를 고려한 1인당 GDP(US\$)	GDP Deflator	인구밀도 (명/km ²)
Saez and Ilnaites(1999)	SO ₂	1995	벨기에	11,765	Euro/톤	0.93	22,530	78	336
		1990	독일	7,744	Euro/톤	0.95	19,433	75	228
		1990	이탈리아	8,850	Euro/톤	0.69	18,557	55	193
		1994	네덜란드	6,893	Euro/톤	0.91	22,062	71	456
		1995	영국	8,026	Euro/톤	0.71	20,424	73	240
	NO _x	1995	벨기에	11,916	Euro/톤	0.93	22,530	78	336
		1990	독일	13,023	Euro/톤	0.95	19,433	75	228
		1990	이탈리아	9,084	Euro/톤	0.69	18,557	55	193
		1994	네덜란드	5,783	Euro/톤	0.91	22,062	71	456
		1995	영국	7,674	Euro/톤	0.71	20,424	73	240
Barker and Rosendahl (2000)	미세먼지	1995	벨기에	24,537	Euro/톤	0.93	22,530	78	336
		1990	독일	21,458	Euro/톤	0.95	19,433	75	228
		1990	이탈리아	13,200	Euro/톤	0.69	18,557	55	193
		1994	네덜란드	15,918	Euro/톤	0.91	22,062	71	456
		1995	영국	15,459	Euro/톤	0.71	20,424	73	240
	SO ₂	1994	벨기에	10,394	Euro/톤	0.93	21,601	78	335
		1994	독일	10,107	Euro/톤	0.99	22,770	87	233
		1994	이탈리아	6,685	Euro/톤	0.76	21,217	67	193
		1994	네덜란드	6,164	Euro/톤	0.91	22,062	71	456
		1994	영국	6,118	Euro/톤	0.67	19,576	66	239
미세먼지	NO _x	1994	벨기에	11,594	Euro/톤	0.93	21,601	78	335
		1994	독일	12,194	Euro/톤	0.99	22,770	87	233
		1994	이탈리아	7,649	Euro/톤	0.76	21,217	67	193
		1994	네덜란드	6,491	Euro/톤	0.91	22,062	71	456
		1994	영국	7,339	Euro/톤	0.67	19,576	66	239
	미세먼지	1994	벨기에	22,222	Euro/톤	0.93	21,601	78	335
		1994	독일	18,013	Euro/톤	0.99	22,770	87	233

선행연구	오염물질	기준 연도	국가(8)	비용	단위	PPP(대상국가 가치/US\$)	PPP를 고려한 1인당 GDP(US\$)	GDP Deflator	인구밀도 (명/km2)
Matthews (2000)		1994	이탈리아	7,984	Euro/톤	0.76	21,217	67	193
		1994	네덜란드	13,158	Euro/톤	0.91	22,062	71	456
		1994	영국	11,972	Euro/톤	0.67	19,576	66	239
	NOx	1992	미국	2,800	\$/톤	1.00	25,493	69.72	28
	SO2	1992	미국	2,000	\$/톤	1.00	25,493	69.72	28
	PM10	1992	미국	4,300	\$/톤	1.00	25,493	69.72	28
	SOx	1998	유럽 15개국 수평균도시	95,200	Euro/톤	-	-	-	-
	NOx	1998	수평균도시	4,200	Euro/톤	-	-	-	-
	PM2.5	1998	평균	509,000	Euro/톤	-	-	-	-
	Preiss et al. (2008)		2000	벨기에	9,206	Euro/톤	0.90	27,984	83
2000			독일	8,949	Euro/톤	0.94	27,294	90	236
2000			영국	5,911	Euro/톤	0.70	26,246	80	243
2000			이탈리아	6,742	Euro/톤	0.81	27,023	80	194
2000			네덜란드	9,085	Euro/톤	0.89	31,592	81	472
NOx		2000	벨기에	7,348	Euro/톤	0.90	27,984	83	339
		2000	독일	10,077	Euro/톤	0.94	27,294	90	236
		2000	영국	4,106	Euro/톤	0.70	26,246	80	243
		2000	이탈리아	7,546	Euro/톤	0.81	27,023	80	194
		2000	네덜란드	6,979	Euro/톤	0.89	31,592	81	472
PM2.5	2000	벨기에	33,408	Euro/톤	0.90	27,984	83	339	
	2000	독일	32,089	Euro/톤	0.94	27,294	90	236	
	2000	영국	20,710	Euro/톤	0.70	26,246	80	243	
	2000	이탈리아	21,417	Euro/톤	0.81	27,023	80	194	
	2000	네덜란드	34,714	Euro/톤	0.89	31,592	81	472	
Ricardo-AEA (2014)	PM2.5 (교외)	2010	벨기에	60,407	Euro/톤	0.84	40,091	100	360
		2010	독일	73,221	Euro/톤	0.81	39,226	100	235
		2010	이탈리아	50,121	Euro/톤	0.77	35,042	100	202
		2010	네덜란드	48,352	Euro/톤	0.85	44,543	100	493

선행연구	오염물질	기준 연도	국가 ¹⁸⁾	비용	단위	PPP(대상국가 가치/US\$)	PPP를 고려한 1인당 GDP(US\$)	GDP Deflator	인구밀도 (명/km ²)
	NOx	2010	영국	47,511	Euro/톤	0.70	35,875	100	259
		2010	벨기에	10,927	Euro/톤	0.84	40,091	100	360
		2010	독일	17,039	Euro/톤	0.81	39,226	100	235
		2010	이탈리아	10,824	Euro/톤	0.77	35,042	100	202
		2010	네덜란드	11,574	Euro/톤	0.85	44,543	100	493
	SO2	2010	영국	6,576	Euro/톤	0.70	35,875	100	259
		2010	벨기에	13,622	Euro/톤	0.84	40,091	100	360
		2010	독일	14,516	Euro/톤	0.81	39,226	100	235
		2010	이탈리아	9,875	Euro/톤	0.77	35,042	100	202
		2010	네덜란드	16,738	Euro/톤	0.85	44,543	100	493
IMF (2014)	SO2	2010	영국	9,192	Euro/톤	0.70	35,875	100	259
		2010	벨기에	53,017	\$/톤	0.84	40,091	100	360
		2010	독일	53,192	\$/톤	0.81	39,226	100	235
		2010	이탈리아	26,627	\$/톤	0.77	35,042	100	202
		2010	네덜란드	53,065	\$/톤	0.85	44,543	100	493
	NO2	2010	영국	36,577	\$/톤	0.70	35,875	100	259
		2010	벨기에	34,613	\$/톤	0.84	40,091	100	360
		2010	독일	35,624	\$/톤	0.81	39,226	100	235
		2010	이탈리아	20,905	\$/톤	0.77	35,042	100	202
		2010	네덜란드	35,421	\$/톤	0.85	44,543	100	493
	PM	2010	영국	22,857	\$/톤	0.70	35,875	100	259
		2010	벨기에	64,698	\$/톤	0.84	40,091	100	360
		2010	독일	65,936	\$/톤	0.81	39,226	100	235
		2010	이탈리아	33,654	\$/톤	0.77	35,042	100	202
		2010	네덜란드	65,304	\$/톤	0.85	44,543	100	493
		2010	영국	45,415	\$/톤	0.70	35,875	100	259

18) 표에서 표기하고 있는 자료는 우리나라의 인구밀도(2017년 기준 528명/km²)와 비슷한 유럽 5개국에 대한 자료임.

② 국내 연구

- 이인희(2013)는 AEA(2005)의 해안지역 평균 오염물질별 피해 비용을 적용하여 충청남도의 연도별 피해 비용을 추정하였음
 - 보고서 내에 기술되어 있는 2010년 기준 오염물질별 배출량 및 피해 비용을 이용하여 배출 톤당 피해 비용을 구한 결과 충남 화력발전소의 2010년 SO_x, NO_x, PM₁₀ 배출 톤당 각각 8,704천원, 5,803천원, 29,013천원의 피해 비용이 산출됨
 - AEA(2005) 연구의 VOLY median, VSL median 값을 적용하여 추정된 값을 활용함
 - 또한 해안가에 위치한 충청남도의 지리적 여건을 고려하여 해안지역 값을 적용하였음
- IMF(2014)는 국외뿐만 아니라 한국을 대상으로 발전원별 발전소 위치, GDP 등을 고려한 SO₂, NO₂, PM_{2.5}의 외부비용을 추정하였음
 - 2010년 기준 석탄화력발전소에서 발생하는 SO₂, NO₂, PM_{2.5}로 인한 피해 비용은 각각 35,228달러, 25,439달러, 46,054달러임
- 강만옥(2015)은 AEA(2005)의 연구 결과를 활용하여 인구밀도, 1인당 실질 GDP(PPP 기준), 환율을 고려하여 2013년 기준 오염물질 배출로 인한 피해 비용을 가치 이전하였음
 - 분석 결과 2013년 PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO_x로 인한 배출 톤당 피해 비용은 각각 277,799,000원, 166,679,000원, 59,917,000원, 44,666,000원임
- 조성진(2015)은 1인당 GDP(명목 기준 \$25,998)와 인구밀도 (515.87명/km²)를 고려하여 메타회귀분석을 통해 SO₂, NO_x, PM의 톤당 지불의사액을 도출하였으며, 이를 이용하여 각각의 전력생산단위당 외부비용을 도출하였음
 - 분석 결과 2013년 기준 SO₂, NO_x, PM의 배출 톤당 지불의사액은 13,955달러, 14,645달러, 26,416달러로 나타났으며, 환율 1,120원/달러를 적용하면 각각 15,630천원, 16,403천원, 29,858천원임
 - 이를 통해 오염물질별 전력생산단위당 외부비용은 유연탄과 무연탄 구분 없이 각각 5.05원/kWh, 8.31원/kWh, 0.51원/kWh임

- 전호철(2017)은 Preiss et al.(2008)의 결과를 인구수와 상수항을 설명변수로 하여 회귀분석 하였으며, 추정된 계수에 인구와 전체 면적을 이용하여 국내 비용을 추정하였음
 - PM2.5의 경우 Ricardo-AEA (2014)의 지역별 비용 비중을 적용하여 지역에 따른 비용 차이를 고려해주었음
 - 2016년 기준 굴뚝의 높이가 낮을 때(low) PM2.5로 인한 피해 비용은 지방 77,959,710원/톤, 교외 194,863,400원/톤, 도시 749,347,307원/톤으로 나타났으며, NOx는 27,833,874원/톤, SOx는 24,336,277원/톤임
- 이동규(2018)는 가치이전법을 이용해서 IMF(2014)과 Ricardo-AEA (2014)의 결과를 2016년 기준 국내 비용으로 이전하였음
 - IMF(2014)의 결과이전을 위해 환율, GDP 상승률, 물가상승률 등을 고려하였으며, 국가별 임금차이를 고려해주기 위해 1%의 실질임금 변화에 따른 사망률의 변화를 나타내는 소득탄력성 ε 를 적용하였음
 - 소득탄력성 ε 를 1로 가정하고 대기오염물질의 환경비용을 산정한 결과 SOx, NOx, PM2.5의 톤당 비용은 각각 52,255,636원, 37,735,072원, 68,314,439원임
 - Ricardo-AEA (2014)에서 제시된 국가별 환경가치, 인구밀도를 변수로 회귀분석 하였음
 - 이를 통해 추정된 계수 값과 국내 환율, GDP 상승률, 물가상승률, 인구밀도 등을 고려하여 2016년 오염물질 발생 톤당 비용은 SOx는 32,950,744원, NOx는 28,306,328-34,519,440원, PM은 78,588,408-170,958,544원임

[표 4.43] 선행연구별 오염물질 톤당 피해 비용

선행연구	오염물질	오염물질 톤당 비용 (원/톤)	분석 방법 및 변수
이인희 (2013)	SOx	8,704,111	AEA(2005) 해안지역 평균 유로/톤→ 원/톤 환율로 단순 환산 (1,527원/유로)
	NOx	5,802,999	
	PM10	29,013,139	
IMF (2014)	SO2	39,455,360	발전원별 발전소 위치, GDP 등 고려 확산모형 \$/톤 → 원/톤 (1,120원/\$)
	NO2	28,491,680	
	PM	51,580,480	

선행연구	오염물질	오염물질 톤당 비용 (원/톤)	분석 방법 및 변수
강만옥 (2015)	SO ₂	59,917,000	AEA(2005) EU 25개국 평균 편익이전 인구밀도, 1인당 GDP (PPP기준) 고려 원/kg → 원/톤
	NO _x	44,666,000	
	PM ₁₀	166,679,000	
	PM _{2.5}	277,799,000	
조성진 (2015)	SO _x	15,629,600	메타회귀분석 1인당 GDP, 인구밀도 고려
	NO _x	16,402,400	
	PM	29,585,920	
전호철 (2017)	SO _x	24,336,277	Preiss et al.(2008) 회귀분석 인구수 고려
	NO _x	24,961,450	
	PM _{2.5}	58,064,884	Ricardo-AEA (2014)에 따라 비율적용
	PM _{2.5}	145,135,489	
	PM _{2.5}	558,118,599	
이동규 (2018)	SO _x	32,950,744	Preiss et al. (2008) 1) 회귀분석을 통해 인구밀도, 환경가치 변수의 계수값 도출 2) 인구밀도, 환율, GDP 상승률, 물가상승률 고려하여 편익이전
	NO _x	15,912,884	
	PM	124,773,476	
	SO _x	52,255,636	IMF (2014) 가치이전 국가별 임금차이, 환율, GDP 상승률, 물가상승률 고려
	NO _x	37,735,072	
	PM _{2.5}	68,314,439	

- 국내를 대상으로 하고 있는 선행연구는 분석 기준연도, 고려한 변수(인구밀도, GDP 등) 그리고 분석한 방법론(편익이전, 회귀분석 등)이 다르기 때문에 직접 비교하기에는 어려움이 있음
 - 이인희(2013)와 강만옥(2015)는 모두 AEA(2005)를 활용하였으나 활용한 선행연구의 결과값, 분석 방법론, 고려 변수 등이 다르기 때문에 비용 차이가 큼
- 모든 결과를 직접 비교하기는 어려우나, 대략적인 오염물질별 톤당 피해 비용의 규모를 살펴보기 위해 인구밀도를 고려한 연구를 대상으로 최소값과 최대값을 비교하였음
 - 우리나라는 다른 국가에 비해 인구밀도가 굉장히 높은 수준(2017년 전국 528명/km²)이기 때문에 변수로 고려되면 비용차이가 큼
 - 전호철(2017)은 Ricardo-AEA (2014)에 따라 PM_{2.5}의 피해 비용에 지방, 교외, 도시지역의 가중치를 적용하였기 때문에 우리나라 인구밀도와 상대적으로 비슷한 교외지역의 값을 기준으로 하였음

[표 4.44] 오염물질 톤당 피해 비용 요약

[단위 : 원/톤]

오염물질	최소	최대
SO	15,629,600	59,917,000
NO	15,912,884	44,666,000
PM	29,585,920	166,679,000
PM2.5	68,314,439	277,799,000

- SO의 톤당 피해 비용은 최소 15,629,600원에서 최대 59,917,000원, NO는 15,912,884원-44,666,000원, PM은 최소 29,585,920원 최대 166,679,000원, PM2.5는 68,314,439원-277,799,000원임

[표 4.45] 대상 물질별 오염물질 톤당 피해 비용

[단위 : 원/톤]

오염물질	선행연구	기준 연도	피해 비용 ¹⁸⁾
SO	조성진 (2015)	2013	15,629,600
	전호철 (2017)	2016	24,336,277
	이동규 (2018)	2016	32,950,744
	이동규 (2018)	2016	52,255,636
	강만옥 (2015)	2013	59,917,000
NO	이동규 (2018)	2016	15,912,884
	조성진 (2015)	2013	16,402,400
	전호철 (2017)	2016	24,961,450
	이동규 (2018)	2016	37,735,072
	강만옥 (2015)	2013	44,666,000
PM	조성진 (2015)	2013	29,585,920
	이동규 (2018)	2016	124,773,476
	강만옥 (2015)	2013	166,679,000
PM2.5	이동규 (2018)	2016	68,314,439
	전호철 (2017)	2016	145,135,489
	강만옥 (2015)	2013	277,799,000

18) 1,120원/\$ 적용

4.1.2 편익이전

- 선행연구의 오염물질별 피해 비용 결과를 2017년 기준 국내 비용으로 편익이전하기 위해 아래와 같은 방법론을 활용하였음¹⁹⁾

$$\boxed{\text{오염물질 단위비용[원/톤]}(Korea, 2017)} = \text{오염물질 단위비용(해당국가, 2000)} \times R_{adj} \times \text{환율}$$

기존의 오염물질 단위비용이 원/\$가 아닐 경우,
단위 환산을 위해 적용

$$R_{adj} = \left(\frac{ppp(2000)_{KOREA}}{ppp(2000)_{USA}} \right) \times \left(\frac{GDP \text{ per capita, } ppp(2000)_{KOREA}}{GDP \text{ per capita, } ppp(2000)_{USA}} \right) \times \left(\frac{GDP \text{ deflator}(2017)_{KOREA}}{GDP \text{ deflator}(2000)_{KOREA}} \right) \\ \times \frac{Population \text{ Density}(2017)_{KOREA}}{Population \text{ Density}(2000)_{USA}}$$

PPP : 구매력평가지수 (Purchasing Power Parity) [National currency units/USD\$],
GDP per capita, ppp : PPP를 반영한 1인당 GDP [USD\$],
GDP deflator : GDP 디플레이터

[그림 4.15] 편익이전 방법론

- PPP(Purchasing Power Parity, 구매력 평가지수)의 경우 OECD의 자료를 활용하였으며, 단위는 자국 통화(원, 유로, 크로나 등)/USD\$임
 - World Bank의 자료와 달리 OECD 회원국의 자료만 공개하고 있음
 - PPP를 반영한 1인당 GDP와 GDP 디플레이터, 인구밀도는 World Bank의 자료를 활용하였음
- 선행연구의 기준 분석연도, 국가, 환율, PPP, PPP를 반영한 1인당 GDP, GDP 디플레이터 등을 연결하였음

19) 2000년 미국 기준의 비용을 2017년 한국 기준 비용으로 이전하는 식임

대상물질	연구자	대상		환율		PPP (미국달러/\$)		GDP, PPP (\$)		GDP Deflator		인구밀도 (명/km2)				대상물질	비용		단위
		국가	화폐	(미국달러/\$)	한국	분석국/\$	한국	분석국/\$	한국	2017 환	분석국/\$	2017 환	2017 환	최저	최고		각종값		
NO2	IMF (2014)	일본		510.25	359.837	840.890	18.265	30.377	94	100	111	23	528	261	NO2	1,029	1,029	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	폴란드		1,898.57	1,111.170	840.890	10.573	30.377	85	100	111	41	528	261	NO2	1,162	1,162	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	체코		2.83	1.455	840.890	9.755	30.377	109	100	111	23	528	261	NO2	290	290	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	오스트리아	유로	1.00	0.842	840.890	42.047	30.377	100	100	111	101	528	261	NO2	31,812	31,812	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	벨기에	유로	1.00	0.837	840.890	40.091	30.377	100	100	111	360	528	261	NO2	34,613	34,613	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	불가리아	불가리아	1.48	0.677	840.890	14.934	30.377	100	100	111	68	528	261	NO2	19,472	19,472	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	크로아티아	크로아티아	5.50	3.874	840.890	19.233	30.377	100	100	111	79	528	261	NO2	28,197	28,197	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	체코		19.10	13.673	840.890	27.694	30.377	100	100	111	136	528	261	NO2	40,836	40,836	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	덴마크	덴마크	5.62	7.591	840.890	43.042	30.377	100	100	111	131	528	261	NO2	20,048	20,048	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	핀란드	유로	1.00	0.901	840.890	38.775	30.377	100	100	111	18	528	261	NO2	12,152	12,152	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	프랑스	유로	1.00	0.855	840.890	35.935	30.377	100	100	111	119	528	261	NO2	24,511	24,511	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	독일	유로	1.00	0.805	840.890	39.226	30.377	100	100	111	235	528	261	NO2	35,624	35,624	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	그리스	유로	1.00	0.722	840.890	28.176	30.377	100	100	111	86	528	261	NO2	16,843	16,843	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	헝가리	헝가리	207.94	126.421	840.890	21.556	30.377	100	100	111	110	528	261	NO2	30,712	30,712	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	아일랜드	유로	1.00	0.850	840.890	43.299	30.377	100	100	111	66	528	261	NO2	10,468	10,468	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	이탈리아	유로	1.00	0.773	840.890	35.042	30.377	100	100	111	202	528	261	NO2	20,905	20,905	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	마케도니아	마케도니아	46.49	18.732	840.890	11.274	30.377	117	100	111	82	528	261	NO2	13,541	13,541	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	네덜란드	유로	1.00	0.854	840.890	44.543	30.377	100	100	111	493	528	261	NO2	35,421	35,421	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	폴란드	폴란드	3.02	1.805	840.890	21.069	30.377	100	100	111	124	528	261	NO2	28,429	28,429	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	포르투갈	유로	1.00	0.623	840.890	27.335	30.377	100	100	111	115	528	261	NO2	9,265	9,265	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	루마니아	루마니아	3.18	1.538	840.890	16.966	30.377	159	100	111	88	528	261	NO2	21,377	21,377	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	슬로바키아	유로	1.00	0.502	840.890	24.987	30.377	100	100	111	112	528	261	NO2	32,616	32,616	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	슬로베니아	유로	1.00	0.638	840.890	27.766	30.377	100	100	111	102	528	261	NO2	39,744	39,744	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	스페인	유로	1.00	0.727	840.890	31.954	30.377	100	100	111	93	528	261	NO2	13,364	13,364	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	스웨덴	스웨덴	7.21	9.025	840.890	41.628	30.377	100	100	111	23	528	261	NO2	13,005	13,005	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	터키	터키	1.50	0.920	840.890	17.443	30.377	107	100	111	94	528	261	NO2	5,746	5,746	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	영국	영국	0.65	0.702	840.890	35.875	30.377	100	100	111	259	528	261	NO2	22,857	22,857	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	라트비아	유로	1.00	0.487	840.890	17.559	30.377	100	100	111	34	528	261	NO2	19,784	19,784	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	이스라엘		3.74	3.976	840.890	28.828	30.377	100	100	111	352	528	261	NO2	15,717	15,717	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	남아프리카		7.32	4.574	840.890	11.647	30.377	100	100	111	43	528	261	NO2	1,031	1,031	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	호주		1.09	1.502	840.890	39.275	30.377	92	100	111	3	528	261	NO2	1,129	1,129	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	중국		6.77	3.308	840.890	9.333	30.377	88	100	111	142	528	261	NO2	15,530	15,530	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	인도		45.73	14.208	840.890	4.316	30.377	92	100	111	414	528	261	NO2	5,683	5,683	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	인도네시아		9,090.43	3,425.297	840.890	8.263	30.377	100	100	111	134	528	261	NO2	2,492	2,492	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	중국		6.77	3.308	840.890	9.333	30.377	88	100	111	142	528	261	NO2	24,230	24,230	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	한국		1,156.00	840.890	840.890	30.377	30.377	100	100	111	510	528	261	NO2	25,439	25,439	\$/톤	
NO2	IMF (2014)	뉴질랜드		1.39	1.496	840.890	31.266	30.377	100	100	111	17	528	261	NO2	479	479	\$/톤	
PM	IMF (2014)	캐나다		1.03	1.222	840.890	40.027	30.377	100	100	111	4	528	261	PM	4,887	4,887	\$/톤	
PM	IMF (2014)	멕시코		12.64	7.677	840.890	14.859	30.377	89	100	111	60	528	261	PM	2,700	2,700	\$/톤	
PM	IMF (2014)	미국		1.00	1.000	840.890	48.375	30.377	100	100	111	34	528	261	PM	21,402	21,402	\$/톤	
PM	IMF (2014)	아르헨티나		3.90	2.199	840.890	18.334	30.377	248	100	111	15	528	261	PM	10,420	10,420	\$/톤	
PM	IMF (2014)	브라질		1.76	1.386	840.890	14.243	30.377	100	100	111	24	528	261	PM	2,626	2,626	\$/톤	
PM	IMF (2014)	일본		510.25	359.837	840.890	18.265	30.377	94	100	111	23	528	261	PM	1,730	1,730	\$/톤	

[그림 4.16] 편익이전을 위한 자료 연결 예시

4.2 분석결과

4.2.1 국외 연구

- 국외 대상 선행연구의 오염물질별 톤당 추정비용을 2017년 기준 국내 비용으로 편익이전 하였음
- Ricarod-AEA(2014)는 오염물질 배출 대상을 수송부문으로 한정하고 있기 때문에 분석 대상에서 제외하였음
- 한국의 인구밀도는 다른 국가의 인구밀도에 비해 아주 높은 수준이기 때문에 1) 인구밀도를 적용하지 않은 추정값, 2) 2017년 기준 전국의 인구밀도인 528명/km²을 적용한 추정값, 3) 2017년 기준 충청남도의 인구밀도인 261명/km²을 적용한 추정값을 분석하였음
- 인구밀도를 반영하지 않은 오염물질별 톤당 피해 비용은 SO, NO, PM, PM2.5 각각 중앙값 기준으로 7,052,955원, 7,737,902원, 12,719,338원, 17,154,160원임

[표 4.46] 오염물질별 피해 비용 분석 결과 (인구밀도 반영 안함)

[단위 : 원/톤]

오염물질	최저	최대	중앙값
SO	721,442	165,948,734	7,052,995
NO	404,324	150,917,884	7,737,902
PM	1,112,222	276,429,493	12,719,338
PM2.5	3,192,891	118,917,535	17,154,160

- 2017년 기준 한국(전국)의 인구밀도를 적용하여 국외 대상 선행연구의 오염물질별 톤당 피해 비용을 편익이전한 결과 SO, NO, PM, PM2.5의 중앙값은 각각 45,219,279원, 50,581,504원, 92,314,035원, 78,675,941원으로 나타남
- 한국의 인구밀도는 분석 대상이 된 다른 국가에 비해 매우 크기 때문에 환산 결과 비용 차이가 큼

[표 4.47] 오염물질별 피해 비용 분석 결과 (전국 인구밀도 반영)

[단위 : 원/톤]

오염물질	최저	최대	중앙값
SO	5,076,946	1,209,887,379	45,219,279
NO	4,762,429	1,029,434,540	50,581,504
PM	10,009,188	1,547,638,067	92,314,035
PM2.5	30,917,684	547,666,186	78,675,941

- 2017년 기준 충청남도의 인구밀도를 반영하여 오염물질별 톤당 피해 비용을 편익이전한 결과 SO, NO, PM, PM2.5의 중앙값은 각각 22,356,183원, 25,007,240원, 45,639,593원, 38,886,988원임

[표 4.48] 오염물질별 피해 비용 분석 결과 (충청남도 인구밀도 반영)

[단위 : 원/톤]

오염물질	최저	최대	중앙값
SO	2,510,016	598,162,214	22,356,183
NO	2,354,521	508,947,241	25,007,240
PM	4,948,492	765,144,449	45,639,593
PM2.5	15,285,547	270,763,398	38,886,988

4.2.2 국내 연구

- 국내 대상 선행연구의 오염물질별 톤당 비용을 2017년 기준 국내 비용으로 편익이전하기 위해 국외 대상 선행연구 분석과 마찬가지로 전국의 인구밀도와 충청남도의 인구밀도를 각각 적용하였으며, 인구밀도를 고려하지 않고 분석한 이인희(2013)와 IMF(2014)는 분석대상에서 제외하였음
- 국내를 대상으로 하는 선행연구의 오염물질 톤당 피해 비용을 2017년 기준 전국 인구밀도를 적용하여 편익이전한 결과는 SO, NO, PM, PM_{2.5}의 중앙값은 각각 33,842,125원, 30,016,743원, 128,148,839원, 174,528,917원임

[표 4.49] 오염물질별 톤당 피해 비용 요약 (전국 인구밀도 적용)

[단위 : 원/톤]

오염물질	최저	최고	중앙값
SO	16,742,991	95,164,126	33,842,125
NO	16,343,358	71,381,544	30,016,743
PM	31,693,503	263,088,404	128,148,839
PM _{2.5}	70,162,476	435,744,781	174,528,917

- 2017년 충청남도의 인구밀도인 261명/km²을 적용했을 때 SO의 피해 비용은 8,277,650원/톤부터 최대 47,048,664원/톤이며, 중앙값은 16,731,376원/톤임
- NO의 피해 비용은 SO보다 조금 낮은 8,080,074원/톤, 35,290,675원/톤이며, 중앙값은 14,840,126원임
- PM은 15,669,108원/톤부터 130,069,579원/톤의 범위로 나타났으며, 중앙값은 63,356,139원/톤임. PM_{2.5}는 34,687,974원/톤부터 215,430,021원/톤으로 대상 물질 중 피해 비용이 가장 크고, 중앙값 또한 가장 큰 86,286,216원/톤임

[표 4.50] 오염물질별 톤당 피해 비용 요약 (충청남도 인구밀도 적용)

[단위 : 원/톤]

오염물질	최저	최고	중앙값
SO	8,277,650	47,048,664	16,731,376
NO	8,080,074	35,290,675	14,840,126
PM	15,669,108	130,069,579	63,356,139
PM2.5	34,687,974	215,430,021	86,286,216

○ 국내 대상 선행연구의 결과값을 2017년 기준으로 편익이전한 결과값은 [표 4.51]과 같음

[표 4.51] 대상 물질별 오염물질 톤당 피해 비용 편익이전 결과값

[단위 : 원/톤]

오염물질	선행연구	피해 비용	
		전국 인구밀도 적용	충청남도 인구밀도 적용
SO	조성진 (2015)	16,742,991	8,277,650
	전호철 (2017)	29,264,959	14,468,448
	이동규 (2018)	33,842,125	16,731,376
	이동규 (2018)	53,669,251	26,533,807
	강만옥 (2015)	95,164,126	47,048,664
NO	이동규 (2018)	16,343,358	8,080,074
	조성진 (2015)	17,570,842	8,686,935
	전호철 (2017)	30,016,743	14,840,126
	이동규 (2018)	38,755,878	19,160,711
	강만옥 (2015)	71,381,544	35,290,675
PM	조성진 (2015)	31,693,503	15,669,108
	이동규 (2018)	128,148,839	63,356,139
	강만옥 (2015)	263,088,404	130,069,579
PM2.5	이동규 (2018)	70,162,476	34,687,974
	전호철 (2017)	174,528,917	86,286,216
	강만옥 (2015)	435,744,781	215,430,021

4.3 요약

- 4.3장은 편익이전법을 이용하여 주요 오염물질인 PM, SO_x, NO_x에 대한 오염물질별 톤당 피해 비용을 추정하였음
- 국내외를 대상으로 하고 있는 선행연구의 결과값을 2017년 기준으로 편익이전 하였으며, 결과값이 범위로 나타나 있는 경우 평균값을 사용하였음
- 각 선행연구 결과값은 분석 기준연도, 고려한 변수(인구밀도, GDP 등) 그리고 분석한 방법론(편익이전, 회귀분석 등)이 다르기 때문에 직접 비교하기에는 어려움이 있음
 - 이인희(2013)와 강만옥(2015)는 모두 AEA(2005)를 활용하였으나 활용한 선행연구의 결과값, 분석 방법론, 고려 변수 등이 다르기 때문에 비용 차이가 큼
- 편익이전을 위해 PPP (구매력 평가지수), PPP를 반영한 1인당 GDP, GDP 디플레이터, 인구밀도를 반영하였음
- 국외를 대상으로 하고 있는 선행연구의 결과값을 2017년 기준 충청남도의 인구밀도를 반영하여 오염물질별 톤당 피해 비용을 편익이전한 결과 SO, NO, PM, PM_{2.5}의 중앙값은 각각 22,356,183원, 25,007,240원, 45,639,593원, 38,886,988원임

[표 4.52] 국외 대상 선행연구 오염물질별 피해 비용 분석 결과 (충청남도 인구밀도 반영) [단위 : 원/톤]

오염물질	최저	최대	중앙값
SO	2,510,016	598,162,214	22,356,183
NO	2,354,521	508,947,241	25,007,240
PM	4,948,492	765,144,449	45,639,593
PM _{2.5}	15,285,547	270,763,398	38,896,988

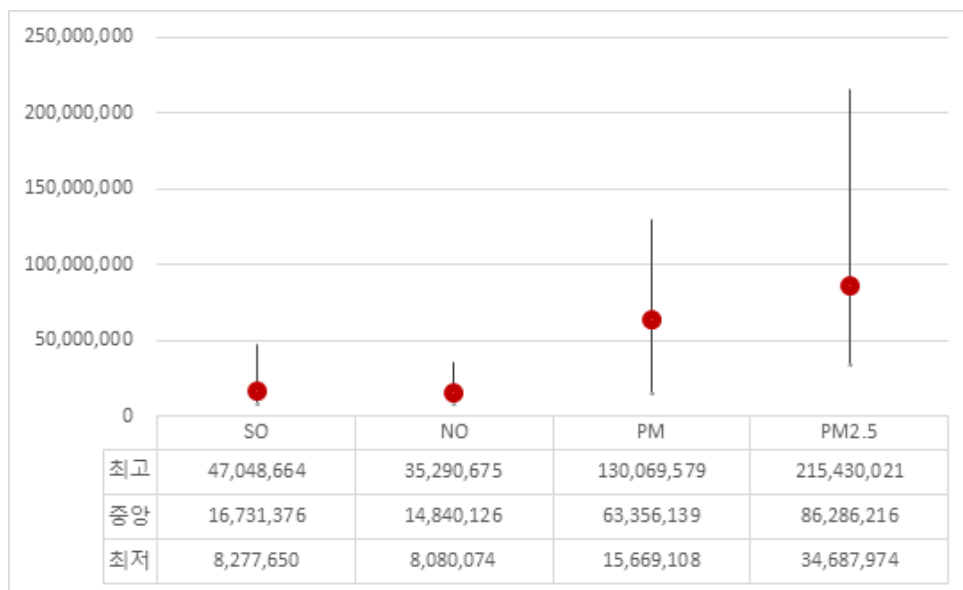
- 국내를 대상으로 하고 있는 선행연구의 결과값을 2017년 충청남도의 인구밀도인 261명/km²을 적용하여 편익이전한 결과 SO의 피해 비용은 8,277,650원/톤부터 최대 47,048,664원/톤으로 나타났으며, 중앙값은 16,731,376원/톤임

- NO의 피해 비용은 SO보다 조금 낮은 8,080,074원/톤, 35,290,675원/톤이며, 중앙값은 14,840,126원임
- PM은 15,669,108원/톤부터 130,069,579원/톤의 범위로 나타났으며, 중앙값은 63,356,139원/톤임
- PM2.5는 34,687,974원/톤부터 215,430,021원/톤으로 대상 물질 중 피해 비용이 가장 크게 나타나며, 중앙값 또한 가장 큰 86,286,216원/톤임

[표 4.53] 국내 대상 선행연구 오염물질 톤당 피해 비용 요약 (충청남도 인구밀도 적용) [단위 : 원/톤]

오염물질	최저	최대	중앙값
SO	8,277,650	47,048,664	16,731,376
NO	8,080,074	35,290,675	14,840,126
PM	15,669,108	130,069,579	63,356,139
PM2.5	34,687,974	215,430,021	86,286,216

- 국내 대상 선행연구의 결과값을 2017년 기준으로 편익이전한 결과값의 분포 범위는 [그림 4.17]과 같음



[그림 4.17] 국내 대상 선행연구 오염물질 톤당 피해 비용 결과 (충청남도 인구밀도 적용)

5. 요약 및 시사점

- 본 장에서는 석탄화력으로 인한 영향을 비용으로 환산하기 위해, 사망 및 질병 피해의 단위 당 비용을 추정하였음
- 사망의 단위 비용을 산정하는 연구에서, 사망 비용 산출방법은 주로 두 가지 방법으로 구분됨
 - 첫째 생존 시 1년의 가치를 산정하고 여기에 손실된 햇수를 곱하여, 잔여생존시의 기회비용을 산정하는 방법임
 - 둘째 1인당 사망의 가치를 직접 산정하는 방법으로서 이는 위에서 언급한 시장재 가치 평가 방법과 비시장재 가치 평가 방법을 포괄함
 - 위에서 전자의 생명가치는 주로 통계적 생명가치(VSL)로 지칭되며, 둘째에서의 생명가치는 주로 연간 생명가치(VOLY)로 언급됨
- 본 장에서 분석되는 사망의 단위비용은 통계적 생명가치인 VSL로서 1인당 생명의 가치를 의미함
- 또한 사망의 원인은 교통사고를 비롯한 개인사고, 작업현장에서의 안전사고, 암 또는 기타 질병으로 인한 사망 등 다양한데, 본 연구에서 편익이전의 대상이 되는 선행연구는 다양한 종류의 사망원인을 포함함
- 선행연구에서의 경험을 토대로, 사회적 비용 중 가장 큰 비중을 차지하는 비용은 인체피해 비용이며 이는 질병 비용과 사망 비용으로 구분됨
- 이 중 질병 비용은 코호트 자료 또는 건강보험 및 임금 관련 자료 등 비교적 객관적인 자료로부터 비용산출이 가능함
- 그러나 사망의 경우 아직 실행되지 않은 미래 사망의 가치를 추정함에 있어서, 다양한 방법론, 다양한 연구자의 주관적 견해가 반영됨에 따라, 그 결과값의 범위가 매우 넓은 특성이 있고 이에 따라 다양한 편의(bias)가 발생할 가능성이 높음

- 따라서 사망의 가치 관련 연구 결과, 가치가 너무 낮거나 높은 경우 편익 개입 가능성 등 논란이 제기되는 경우가 많음
- 따라서 다양한 편익 발생 가능성을 줄이고 연구 결과에 대한 보편성을 확보하기 위해 본 연구에서는 다양한 범주의 사망 관련 연구를 반영한 편익이전 방법론을 사용하여 사망의 가치를 산정하였음
- 해외 연구 분석 결과 사망원인별로는 교통사고 사망의 가치가 38억원으로 가장 높고 환경오염 사망의 가치는 이보다 낮은 25억원으로 분석됨
- 연구수행주체별로는 정부기관 및 국제기구가 수행한 연구의 생명가치는 24억원, 그리고 민간 수행 연구의 생명가치는 34억원 수준으로 나타남
- 연구대상지역은 북미 36억원, 서유럽 및 북유럽 38억원으로 상대적으로 높고, 동유럽 8억원, 아시아 11억원으로 상대적으로 낮은 것으로 분석됨
- 국내 연구 분석 결과 사망원인별로는 산업안전사고의 생명가치는 3억원, 환경오염의 생명가치는 8억원으로 나타남
- 연구방법론별로는 시장가치를 근거로 하여, 근로자 임금을 반영한 생산성 손실 가치를 산정한 연구에서는 생명가치가 4.5억원인 것으로 나타났고, 지불의사액 등 비시장가치 방법론을 적용한 연구에서는 생명가치가 6.8억원인 것으로 나타남
- 한편 심리적 비용 포함여부에 따라 비교하면, 포함시 6.3억원, 불포함시 3.9억원으로서 심리적비용이 포함된 연구의 생명가치가 약 1.5배 높음
- 연구수행주체별로는 정부연구 및 예비타당성조사 연구에서 사용된 생명가치는 약 4억원 수준이고 민간 수행 연구는 약 7억원 수준으로 분석됨
- 해외와 국내 연구 결과를 비교하면, 해외는 산업안전사고의 생명가치가 환경오염 보다

약 1.5배 높은 데 반해, 국내는 환경오염의 생명가치가 산업안전사고 보다 약 2배 더 높은 것으로 나타남

- 연구수행주체별로는 해외와 국내 모두 민간 수행 연구가 정부 및 산하연구원이 수행한 연구보다 생명가치가 약 1.5배 높은 것으로 분석됨
- 요건대 사망원인별 사망의 가치는 국내와 해외 간 상당한 차이가 있는 반면, 연구수행주체별로는 국내와 해외 모두, 민간 수행연구가 정부 및 산하연구원이 수행한 연구보다 다소 높은 것으로 나타남
- 질병비용은 호흡기계 질환과 심혈관계 질환으로 구분하여 입원 건당 비용과 외래 건당 비용을 추정하였음
- 의료 빅데이터인 코호트DB를 활용하여 2013년도 충청남도 호흡기계 및 심혈관계 질환으로 인한 질병비용을 산정함으로써 석탄화력발전소가 배출하는 오염물질로 인한 주요 질병의 영향을 비용으로 정량화하였음
 - 데이터의 조사 목적 및 분석방법, 규모 등을 비교하여 최종적으로 의료 직접비용의 경우 코호트DB를, 교통비용 및 시간 기회비용은 코호트DB와 한국의료패널에서 필요한 자료들을 추출하여 사용하고, 간병 기회비용은 한국의료패널을 활용하였음
- 입원비용은 호흡기계 질환이 338,473원/일, 심혈관계 질환이 332,484원/일로 일별 비용은 호흡기계 질환이 크게 나타남
- 하지만 에피소드 건당 입원일수가 심혈관계 질환이 20.85일, 호흡기계로 입원한 환자가 평균 에피소드 건당 10.66일로 에피소드 건당 비용은 심혈관계 질환이 더 큼

[표 4.54] 2013년도 충청남도 입원 질병비용 (원/일, %)

구분	호흡기계 질환 입원		심혈관계 질환 입원	
의료 직접비용	204,781	60.50	199,074	59.87
교통비용	18,297	5.41	10,025	3.02
시간 기회비용	55,395	16.37	76,345	22.96
간병 기회비용	60,000	17.73	47,040	14.15
합계	338,473	100	332,484	100
에피소드 건당 비용	3,608,112		6,932,291	

- 외래비용은 질환별로 전체 비용에서 각 항목이 차지하는 비율은 비슷하나 총 비용에서 호흡기계 질환은 28,563원/건, 심혈관계 질환이 41,128원/건으로 큼

[표 4.55] 2013년도 충청남도 외래 질병비용 (원/건, %)

구분	호흡기계 질환 외래		심혈관계 질환 외래	
의료 직접비용	18,012	63.06	28,632	65.87
교통비용	5,181	18.14	6,508	14.97
시간 기회비용	5,370	18.80	8,330	19.16
합계	28,563	100	41,128	100

- 편익이전법을 이용하여 주요 오염물질인 PM, SO_x, NO_x에 대한 오염물질별 톤당 피해 비용을 추정하였으며, 편익이전을 위해 PPP (구매력 평가지수), PPP를 반영한 1인당 GDP, GDP 디플레이터, 인구밀도를 반영하였음
- 국외를 대상으로 하고 있는 선행연구의 결과값을 2017년 기준 충청남도의 인구밀도를 반영하여 오염물질별 톤당 피해 비용을 편익이전한 결과 SO, NO, PM, PM_{2.5}의 중앙값은 각각 22,356,183원, 25,007,240원, 45,639,593원, 38,886,988원임

[표 4.56] 국외 대상 선행연구 오염물질별 피해 비용 분석 결과 (충청남도 인구밀도 반영)

오염물질	최저	최대	중앙값
SO	2,510,016	598,162,214	22,356,183
NO	2,354,521	508,947,241	25,007,240

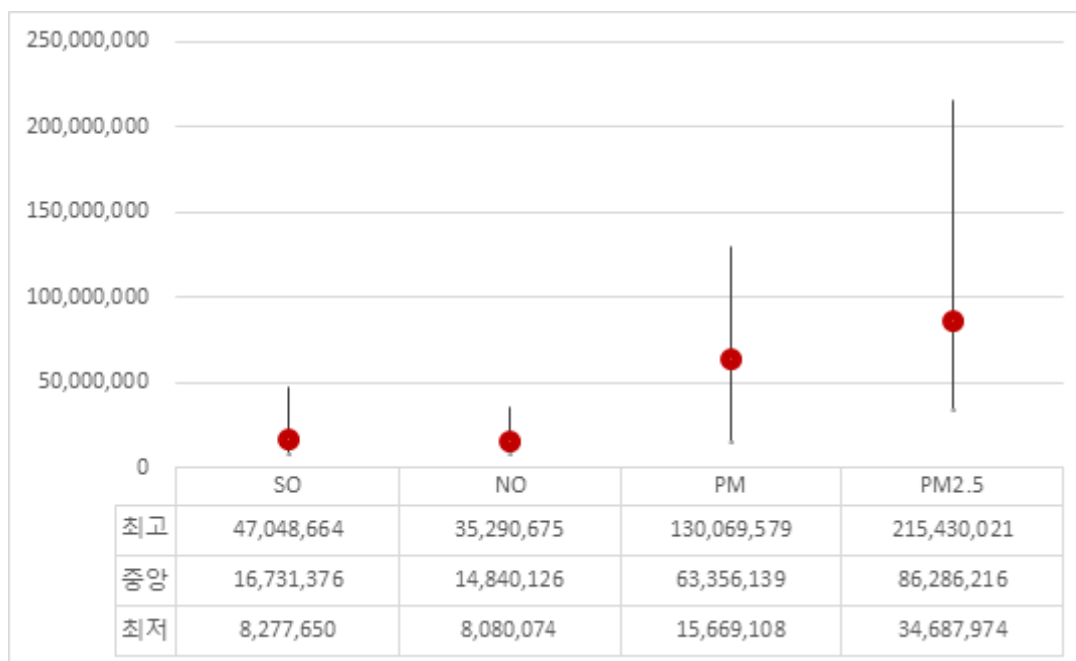
오염물질	최저	최대	중양값
PM	4,948,492	765,144,449	45,639,593
PM2.5	15,285,547	270,763,398	38,896,988

- 국내를 대상으로 하고 있는 선행연구의 결과값을 2017년 충청남도의 인구밀도인 261명/km²을 적용하여 편익이전한 결과 SO의 피해 비용은 8,277,650원/톤부터 최대 47,048,664원/톤이며, 중양값은 16,731,376원/톤임
- NO의 피해 비용은 SO보다 조금 낮은 8,080,074원/톤, 35,290,675원/톤이며, 중양값은 14,840,126원임
- PM은 15,669,108원/톤부터 130,069,579원/톤의 범위로 나타났으며, 중양값은 63,356,139원/톤임
- PM2.5는 34,687,974원/톤부터 215,430,021원/톤으로 대상 물질 중 피해 비용이 가장 크게 나타나며, 중양값 또한 가장 큰 86,286,216원/톤임

[표 4.57] 국외 대상 선행연구 오염물질 톤당 피해 비용 요약 (충청남도 인구밀도 적용)

오염물질	최저	최대	중양값
SO	8,277,650	47,048,664	16,731,376
NO	8,080,074	35,290,675	14,840,126
PM	15,669,108	130,069,579	63,356,139
PM2.5	34,687,974	215,430,021	86,286,216

- 국내 대상 선행연구의 결과값을 2017년 기준으로 편익이전한 결과값의 분포 범위는 [그림 4.18]과 같음



[그림 4.18] 국내 대상 선행연구 오염물질 톤당 피해 비용 편익이전 결과

제5장 석탄화력발전의 피해 비용

1. 개요
2. 분석 전제
3. 시나리오별 분석 결과
4. 요약 및 시사점

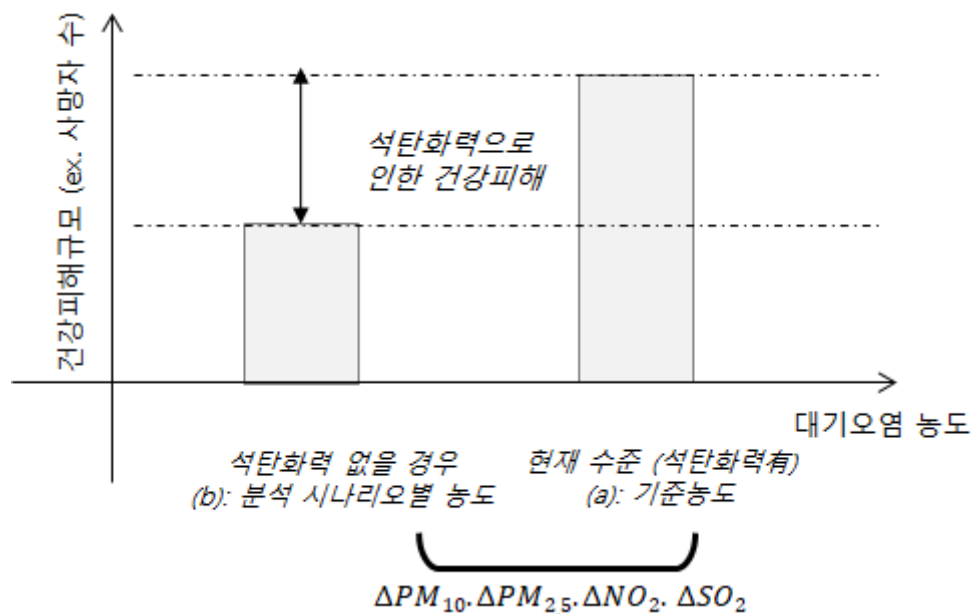
1. 개요

- 본 장에서는 앞서 도출한 농도-반응 함수와 사망 및 질병 단위비용을 바탕으로 석탄화력발전으로 인한 피해 비용을 산출함
- 도내 석탄화력발전으로 인해 충청남도가 부담하고 있는 피해를 비용으로 정량화함으로써 향후 충청남도의 관련 정책비용 결정 시 기초 연구로 활용하고자 함
- 농도-반응 함수로 석탄화력발전의 건강피해를 평가하기 위해서는 석탄화력발전이 충청남도 대기오염농도에 기여하는 양이 전제되어야 하나, 충청남도를 대상으로 석탄화력발전이 PM10, PM2.5, NO_x, SO_x 농도 기여량을 추정한 사례가 없어 본 연구에서는 배출량 등 가용한 다른 통계자료와 선행연구자료를 활용하여 시나리오를 가정하였음
- 시나리오에 기반한 대기오염농도 기여량을 바탕으로 제3장에서 선정한 농도-반응 함수를 활용하여 석탄화력발전으로 유발되는 건강피해를 평가하고, 이를 비용으로 환산하였음

2. 분석 전제

2.1 석탄화력 대기오염 기여도

- 충청남도 석탄화력 발전시설에서 배출되는 대기오염으로 인해 충청남도가 부담하는 건강피해 비용은 석탄화력 발전시설이 없을 경우에 비해 추가로 발생하는 피해에 비례함
- 이를 그림으로 나타내면 다음과 같음
- 현재 충청남도의 대기오염 수준 (a)는 충청남도의 석탄화력발전시설과 그 외 다른 배출원 (예. 산업시설, 타 시도 및 국외 배출원 등)이 모두 기여한 것임
- 석탄화력발전시설이 없다면, 충청남도의 대기오염 수준은 현재보다 낮을 것임 (b)



[그림 5.1] 피해 비용 가정 시나리오

- 다른 모든 조건이 동일하다면 충청남도의 건강피해는 대기오염이 높은 (a)보다 대기오염이 낮은 (b)에서 더 적게 발생할 것임
- 충청남도 석탄화력발전시설로 인해 충청남도가 추가로 부담하는 건강피해는 (a)와 (b)의 농도 차이에 따른 건강피해 규모의 차이와 같음

- 본 연구에서 (a)는 충청남도의 연평균 대기오염농도로 가정함
 - 충청남도 15개 시·군 중 대기오염 측정소가 부재한 계룡시와 서천군을 제외한 13개 시·군의 2017년 연평균 PM10 및 PM2.5 농도를 적용함
 - 주요 기초자료인 사망 자료와 대기오염 자료(배출, 농도 등)가 확정 통계가 되기까지 약 6개월 이상의 시차가 존재하기 때문에 현 시점에서 가장 최근 연도인 2017년을 시간적 범위로 설정함
 - 대기오염농도 자료는 국립환경과학원의 연도별 최종확정 자료를 사용함²⁰⁾
- 2017년 충청남도 대기오염물질별 연평균 농도는 PM10가 $44\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5가 $23\mu\text{g}/\text{m}^3$, 이산화황(SO₂) 0.003ppm, 이산화질소(NO₂) 0.016ppm임

[표 5.1] 2017년 충청남도 시·군 PM10 및 PM2.5 연평균 농도 (단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

2017	천안	당진	서산	아산	논산	태안	보령
PM10	46	49	44	56	39	38	36
PM2.5	27	25	20	27	21	18	21
2017	홍성	공주	부여	청양군	금산군	예산군	충청남도
PM10	41	32	39	42	46	37	44
PM2.5	24	23	20	29	29	17	23

- (b)의 대기오염 농도 수준을 가정하기 위해서는 충청남도 석탄화력발전시설이 충청남도의 대기오염농도에 기여하는 양 또는 기여도를 파악하여야 함
 - 이는 대기오염의 배출-확산-농도 관계에 대한 모델링 분석을 요함
- 특히 석탄화력발전시설이 대기오염 농도에 미치는 영향은 계절 등 기상요인에 크게 좌우되기 때문에 피해 비용 추정에 활용될 기여도는 충분한 기간을 대상으로 한 대표성 있는 값이어야 함
- 현 시점에서 이러한 조건을 충족하는 기여도가 부재하기 때문에, 본 연구에서는

20) 최종확정자료는 실시간 측정 자료 중 이상치를 제거한 자료이며, 한국환경공단에서 운영하는 에어코리아(<https://www.airkorea.or.kr>)에서 제공됨

- 충청남도 석탄화력발전시설의 대기오염 배출량을 기준으로 두 가지 시나리오를 설정하여, 기여도를 가정하였음
- 시나리오 1은 충청남도 전체 대기오염 배출량 중 화력발전시설의 배출량 비중을 기여도라고 가정하였음
 - 시나리오 2는 2017년 정부가 발표한 노후석탄발전소 가동중단에 따른 대기오염 농도 개선효과 자료와 굴뚝원격감시체계 자료 (Telemonitoring Systems, TMS) 측정결과를 활용하여 석탄화력발전의 배출량 비중을 추정하고 이를 기여도로 가정하였음
- 한편, 대기오염 농도자료는 NO₂에 대해 측정되는 반면, 배출량 통계는 NO₂ 외에도 NO, N₂O₃ 등을 모두 포함하는 질산화물 (NO_x)의 배출량으로 제공되고 있어 본 연구에서는 NO₂에 대해 도출된 농도-반응 함수와 건강영향 평가 결과를 NO_x를 기준으로 가정한 기여도를 적용하여 분석하였음
- 마찬가지로 SO₂ 또한 농도자료는 SO₂를 대상으로 하나, 배출량 자료는 황산화물 (SO_x) 전체에 대해 제공되고 있어, 본 연구에서는 SO₂에 대해 도출된 농도-반응 함수와 건강영향 평가 결과를 SO_x를 기준으로 가정한 기여도를 적용하여 분석하였음

2.1.1 시나리오 1: 충청남도 내 석탄화력발전소 배출량 비중 적용

- 국가대기오염물질 배출량 통계 (국립환경과학원, 2018)에 따르면, 2015년 기준 충청남도에 위치한 석탄화력발전시설의 대기오염물질 배출량²¹⁾은 NO_x 57,345톤, SO_x 34,201톤, PM₁₀ 2,027톤, PM_{2.5} 1,626톤임
- 이는 충청남도 내에서 연간 배출되는 NO_x, SO_x, PM₁₀, PM_{2.5} 배출량의 42.3%, 44.2%, 7.1%, 11.7%를 차지함
- 미세먼지(PM₁₀)와 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도의 경우 PM₁₀과 PM_{2.5} 직접 배출과 동시에 NO_x, SO_x 배출로부터 2차 생성되는 대기오염 물질이 주요 인자인 것으로 알려져 있음

21) 국가 대기오염물질 배출량 통계에서 충청남도 내에서 배출원 대분류/중분류/소분류가 각각 '에너지산업 연소', '공공발전시설', '1,2,3중(보일러)' 이면서, 연료 대분류가 '유연탄' 또는 '무연탄' 인 대기오염물질별 배출량을 집계함. 공표된 대기오염물질 배출량 통계 자료 2015년 자료가 최신

- 따라서 중국 및 국내 다른 시도에서 발생한 대기오염 배출의 복합적 영향이 존재하더라도, 충청남도 전체 배출량 중 석탄화력발전시설이 7~44%까지 기여하는 것은 충청남도 대기오염 농도에 화력발전시설의 기여가 클 것으로 추측됨
- 이러한 배경 하에, 본 연구는 앞서 제시한 2017년 충청남도 시·군 연평균 농도를 기준으로 화력발전소 배출량이 농도에 미치는 기여도를 충청남도 총 배출 대비 오염물질별 화력발전시설 배출 비중으로 가정하여 아래 표와 같이 시나리오 1을 설정하였음

[표 5.2] CAPPS 기준 2015년 충청남도 대기오염 배출량 및 충청남도 내 화력발전시설 배출 비중

배출량	NOx	SOx	PM10	PM2.5
충청남도 전체 (톤)	135,487	77,465	28,650	13,845
석탄화력 (톤)	57,345	34,201	2,027	1,626
배출 비중 (%)	42.3	44.2	7.1	11.7
대기오염 농도	NOx (ppm)	SOx (ppm)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
연평균 (2017)	0.016	0.003	44	23
시나리오 1	0.0092	0.0017	40.89	20.30

2.1.2 시나리오 2: 노후석탄 가동중단 효과 활용

- 시나리오2는 충청남도 노후석탄화력발전 중단에 따른 PM2.5배출 저감 및 월평균(40개 지점) 농도 저감 효과를 시·공간적으로 비례 확장하였음
- 문재인 정부는 2017년 6월 한 달간 노후 석탄발전소 전국 8기(충청남도 4기 포함) 가동 중단 효과를 발표함
- 시나리오 1은 대기오염 농도를 오염물질 별로 설정되어 오염물질 별 피해 비용을 추정 가능한 반면, 시나리오 2의 경우 정부가 제시한 대기질 모델링 결과가 PM2.5로 국한하기 때문에 대기오염 감소에 따른 피해 비용을 PM2.5 농도에 집중하여 분석을 실시함
- 산업통상자원부(2017)에 따르면, 충청남도 보령·서천 석탄화력발전소(4기) 가동중단으로 PM2.5 배출량이 141톤 저감됨

- BFM (Brute Force Method)²²⁾을 이용하여 지난 3년간의 기상조건을 반영한 대기질 모델링 결과, 중단후의 충청남도 월평균 PM2.5 농도는 중단전 대비 월평균 기준 1.1%, 최대영향지점을 기준으로 3.3% 감소한 것으로 분석됨
-
- 한편, 노후석탄발전소 가동중단은 기간이 2017년 6월 한 달인 것과 동시에 충청남도 내 4기(보령 #1·#2, 서천 #1·#2)를 대상으로 실시한 것이기 때문에 위에서 제시한 기여도를 충청남도 전체로 확장하기 위해서는 별도의 조정이 필요함
- 이에 본 연구에서는 2017년 TMS 측정결과를 기준으로 충청남도 석탄화력발전소 대기오염 배출에 따른 충청남도 대기오염 농도 기여 수준을 아래와 같이 세 단계를 통해 재계산하였음
 - ① 산업통상자원부(2017)가 제시한 '17년 6월 노후석탄 가동중지에 따른 배출량 저감량을 2017년 한 해 전체로 비례 계산함
 - ② 환경부(2018)에서 제시한 2017년 굴뚝자동측정기기 측정결과를 활용하여 충청남도 전체 석탄화력발전시설 대기오염 배출 대비 노후석탄발전시설 배출 비중을 도출함

[표 5.3] 노후석탄 4기 가동중지에 따른 배출 저감량 비교분석 결과

구분	총먼지 (TSP)	황산화물 (SOx)	질소산화물 (NOx)	미세먼지 (PM2.5)	출처
가동중단 (톤/월)	14	361	644	141	산업통상자원부 (2017)
가동중단 (톤/연)	168	4,332	7,728	1,692	본 연구 계산
충청남도 석탄화력 (톤/연)	1,448	23,840	29,228	8,724	환경부 (2018)
충청남도 석탄화력/가동중단 (톤/연)	8.62	5.50	3.78	5.16	본 연구 계산

* 산업통상자원부 (2017) 자료에서 제시한 배출 성분 중 총먼지(TSP) 66%, 황산화물 24%, 질소산화물 7% 분율로 미세먼지(PM2.5) 배출량을 계산함

** 충청남도 석탄화력발전시설의 배출량(톤/연)은 태안화력본부, 보령화력본부, 당진화력본부 연간 배출량을 합산한 수치임

22) 기본 대기질 모사 외에 분석 대상이 되는 배출량을 임의로 변화시킨 민감도 모사를 추가적으로 수행하여, 농도 변화를 통해 기여도를 추정하는 방법(배민아 외, 2018)

- ③ 이를 산업통상자원부(2017)에서 제시한 가동중지에 따른 모델링 결과(대기질 개선효과)에 적용하여 충청남도 전체 석탄발전시설 중단 시 PM2.5 농도(연평균) 감소량을 추정하였음

[표 5.4] 2017년 가동중지에 따른 모델링 결과를 활용한 본 연구의 시나리오 2

PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		중단 전	중단 후	감소량	출처
충청남도 모델링결과	월평균 (40개 지점)	26.3	26.0	0.3 (1.1%)	산업통상자원부 (2017)
PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		기준농도	중단 시	감소량	출처
시나리오 2		23	21.45	1.55 (6.7%)	본 연구 계산

- 이상과 같이 본 연구에서 설정한 충청남도 석탄화력발전소 부재시 대기오염 농도 시나리오 1, 2는 다음과 같음

[표 5.5] 2017년 충청남도 대기오염 수준 및 시나리오별 농도

농도	NOx (ppm)	SOx (ppm)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2017년 연평균	0.016	0.003	44	23
시나리오 1	0.0092	0.0017	40.89	20.3
시나리오 2	—	—	—	21.45

- (요약 및 한계) 면밀한 피해 비용 추정을 위해서는 충청남도 석탄화력 오염물질 배출에 따른 대기오염 농도 기여수준에 대한 실측자료가 필요함
- 현재 기여분에 대한 실측자료가 부재한 상황에서, 본 연구는 배출량과 정부 보도자료를 기준으로 시나리오를 설정하여 피해 비용을 추정하였음
- 충청남도 내 석탄화력 발전 배출 비중이 농도에 비례 기여한다는 가정 아래 시나리오를 설정하였기 때문에 기상 및 외부요인 등 배출확산의 불확실성이 반영되지 않은 시나리오라는 한계점이 존재함

- 다만, 본 연구는 배출 및 농도, 대기질 모델링 결과 등 가용한 범위 내 최대한 신뢰성이 높은 자료를 기준으로 시나리오를 설정하였음
- 또한 시나리오 1과 시나리오 2의 PM2.5 농도 수준을 비교해서 살펴보면, 정부 대기질 개선 모델링 결과를 반영한 PM2.5 농도와 CAPSS 비중을 적용한 시나리오 1의 농도가 유사한 수준인 것으로 분석됨
 - 따라서, 시나리오의 한계점은 분명히 존재하지만, 배출-농도 기여수준 차원에서 보수적으로 시나리오가 설정된 것으로 판단됨

2.2 기준 발생률

- 오염물질 농도 차이에 따른 건강피해 규모는 앞서 선정한 사망 및 질병 농도-반응 함수를 통해 다음과 같이 도출하였음
 - Y_a , Y_b 를 각각 대기오염 농도 (a), (b)에서 사망 피해 또는 질병 피해 발생건수라고 할 때,
 - 대기오염농도 차이에 따른 사망피해는,

$$Y_a - Y_b = (y_a - y_b) \cdot POP$$

단, Y_a 는 대기오염농도 (a)에서 연간 사망자 수

Y_b 는 대기오염농도 (b)에서 연간 사망자 수

y_a, y_b 는 인구 당 연간 사망률

$$(Y_a = y_a \cdot POP, Y_b = y_b \cdot POP)$$

POP은 총 인구 수

- 대기오염농도 차이에 따른 질병 피해는,

$$Y_a - Y_b = (y_a - y_b) \cdot POP$$

단, Y_a 는 대기오염농도 (a)에서 연간 입원 또는 외래진료 발생건수

Y_b 는 대기오염농도 (b)에서 연간 입원 또는 외래진료 발생건수

y_a, y_b 는 인구 당 연간 입원 또는 외래진료 발생률

$$(Y_a = y_a \cdot POP, Y_b = y_b \cdot POP)$$

POP은 총 인구 수

- 로그선형모형을 가정하는 농도-반응 함수에 따라 y_a , y_b 는 다음과 같음. 단, β (Beta)는 농도-반응 함수의 계수임

$$y_a = e^{\beta X_a + \alpha}$$

$$y_b = e^{\beta X_b + \alpha}$$

$$y_a/y_b = e^{\beta(X_a - X_b)}$$

$$y_b = y_a e^{-\beta(X_a - X_b)}$$

– 따라서 초과 피해는,

$$Y_a - Y_b = (y_a - y_b) \cdot POP$$

$$Y_a - Y_b = y_a(1 - e^{-\beta(X_a - X_b)}) \cdot POP$$

$$\Delta Y = y_a(1 - e^{-\beta \Delta X}) \cdot POP$$

$$\Delta Y = y_a(1 - e^{-\beta \Delta X}) \cdot POP$$

- 상기와 같이 대기오염 농도 차이에 따른 초과 피해를 정량화하기 위해서는 기준 농도 수준, 즉 석탄화력발전시설이 있는 상황에서의 건강피해발생률 y_a 를 알아야 함
- 사망 영향 평가에서 건강피해발생률 y_a 는 사망률로 정의되며, 통계청(2018)에서 제공하는 사망원인 통계를 사용하였음
 - 사망률 산출을 위해 전체원인 및 심혈관계, 호흡기계 사망 관련 정보를 구축하였음
 - 원인별 사망자 수는 제6차 개정 한국표준질병·사인분류(KCD: Korean Standard Classification of Disease and Cause of Death)에서 제시한 질병분류 코드를 기준으로 집계하였음
 - 전체원인 사망 자료는 질병이환 및 사망의 외인 (코드: V01-Y89)을 제외한 모든 사망원인을 포함함
 - 심혈관계 사망은 한국표준질병사인분류 (Korean Standard Classification of Diseases, KCD)에 따른 심혈관계통 질환 (코드: I00~I99)으로 자료를 집계하였으며, 호흡기계 사망은 호흡계통의 질환 (코드: J00~J99)으로 한정함

[표 5.6] 2017년 충청남도 사망원인 별 사망자 수 및 사망률

구분	사망자 수(명)	사망률(십만명 당)
전체원인	15,321	732.2
전체원인 (질병의 이환 및 사망의 외인 제외)*	13,696	654.6
심혈관계	3,182	152.1
호흡기계	1,724	82.4

※ 자료: 통계청, 사망원인통계

* 주: 전체 사망자 수에서 질병의 이환 및 사망의 외인 (V01-Y89)으로 분류된 사망자 수를 제외한 값

- 질병 영향 평가의 경우 건강피해발생률 y_a 는 인구 당 입원 및 외래 진료 발생률로 다음과 같이 정의함
- 입원 및 외래 진료건수는 선행연구 사례 (환경부, 2008; 국립환경과학원, 2013)를 참고하여 국민건강보험청구자료인 표본코호트DB를 통해 연간 발생건수를 집계하고, 이를 인구 수로 나누어 기준 발생률을 계산하였음
 - 환경부 (2008)은 대기오염으로 인한 천식 입원에 대한 영향을 평가하기 위해 국민건강보험공단의 건강보험 청구 자료를 이용하여 부산지역의 2003년부터 2005년까지 3년 동안 천식입원건수를 집계하고 이를 바탕으로 천식입원의 기준 발생률을 도출하였음
- 단, 기준 농도를 정의한 2017년의 건강보험청구자료를 구득할 수 없어, 건강보험청구 자료는 건강보험공단의 표본코호트DB 1.0²³⁾ 기준 가장 최근 연도인 2011~2013년 자료를 기반으로 기준 발생률을 계산하였음
 - 표본코호트 DB에 포함된 충청남도 거주 인구는 약 4만명으로, 이를 이용하여 인구 당 발생률을 산출하였음
 - 2011~2013년 인구 당 발생률에 충청남도의 2017년 주민등록 연앙인구²⁴⁾ 수 2,092,354명을 적용하여 발생건수를 산출함

[표 5.7] 호흡기 및 심혈관계 입원 발생률

구분	연도	발생건수 (건/연)	인구 수 (코호트DB기준)	인구 당 발생률 (건/연/십만명)
호흡기계 입원	2011	1,213	41,552	2,919
	2012	1,220	40,199	3,035
	2013	1,116	40,637	2,746
	3년평균			2,900
심혈관계 입원	2011	1,134	41,552	2,729
	2012	1,207	40,199	3,003
	2013	1,163	40,637	2,862
	3년평균			2,865

23) 표본코호트 DB는 우리나라 전체 인구를 대상으로 한 건강보험청구자료 중 지역, 연령 차이를 고려하여 100만명에 대한 건강보험청구자료를 표본추출한 데이터임

24) 연앙인구는 출생률과 사망률을 산출할 때 한 해의 중간인 7월 1일을 기준으로 하여 산출한 인구로, 통계청 사망원인통계 또한 2017년 충청남도의 연앙인구를 적용하여 사망률을 산출함

[표 5.8] 호흡기 및 심혈관계 외래 발생률

구분	연도	발생건수 (건/연)	인구 수 (코호트DB기준)	인구 당 발생률 (건/연/십만명)
호흡기계 외래	2011	167,016	41,552	401,945
	2012	170,564	40,199	425,145
	2013	166,289	40,637	409,206
	3년 평균			412,099
심혈관계 외래	2011	75,488	41,552	181,671
	2012	75,320	40,199	187,368
	2013	76,456	40,637	188,144
	3년 평균			185,728

2.3 농도-반응 함수

- 제3장에서 선정한 농도-반응 함수를 건강영향평가에 활용하였음
 - 이는 특정 연구로부터 농도-반응 함수를 차용하기보다는 메타분석을 통해 선정된 농도-반응 함수 계수 Beta임

[표 5.9] 농도-반응 함수 선정결과

오염물질	건강영향		메타분석 대상 Beta값 개수	Beta	SE
PM10	사망	전체사망	34	0.000338	0.000112
		호흡기계	28	0.001157	0.000096
		심혈관계	23	0.000597	0.000049
PM2.5	사망	전체원인	21	0.000271	0.000109
		호흡기계	17	0.001199	0.000072
		심혈관계	17	0.000451	0.000085
PM10	질병	호흡기 입원	82	0.00069	0.00008
		심혈관계 입원	23	0.00054	0.00024
		호흡기 외래	1	0.0006	0.00003
		심혈관계 외래	—	—	—
PM2.5	질병	호흡기 입원	29	0.00238	0.00090
		심혈관계 입원	—	—	—
		호흡기 외래	—	0.000250	0.000102

오염물질	건강영향	메타분석 대상 Beta값 개수	Beta	SE
NO ₂	심혈관계 외래	—	—	—
	호흡기 입원	1	0.002104	0.001019
	심혈관계 입원	9	0.001960	0.00084
	호흡기 외래	—	—	—
	심혈관계 외래	—	—	—
SO ₂	호흡기 입원	1	0.005474	0.002078
	심혈관계 입원	9	0.001160	0.003440
	호흡기 외래	—	—	—
	심혈관계 외래	—	—	—

2.4 단위 비용

- 건강영향평가로 도출된 건강피해 규모는 제4장에서 산출한 1인 당 사망피해 비용 (생명가치) 또는 입원 한 건 당 질병비용, 외래 한 건 당 질병비용 등 단위 비용과 곱하여 비용으로 환산하였음
- 사망피해 비용 추정을 위한 1인 당 생명가치는 기존 연구결과를 편익이전하여 도출한 5억 3천 2백만원 (2억 5천 9백만원 ~ 10억원)을 적용하였음
- 입원의 경우 4장에서 산출한 호흡기 및 심혈관계 평균입원일수와 입원일 당 비용을 적용하여 입원 건 (case) 당 비용을 계산하였음
 - 심혈관계 입원의 경우 $20.85(\text{일}) \times 303,101 (\text{원/일}) = 6,319,656\text{원}$, 호흡기계 입원의 경우 $10.66(\text{일}) \times 318,941 (\text{원/일}) = 3,399,911\text{원}$
 - 외래의 경우 4장에서 산출한 호흡기 및 심혈관계 외래진료 건 당 비용을 적용하였으며, 호흡기계 입원의 경우 27,968원, 심혈관계 입원의 경우 41,128원임

3. 시나리오별 분석 결과

3.1 사망

3.1.1 PM10

- 충청남도 석탄화력발전시설 대기오염 배출 비중을 가정한 시나리오 1의 경우, 석탄화력발전 배출 PM10으로 인한 전체원인 초과 사망자 수는 14.4명 (95% 신뢰구간: 5~24명), 비용은 76.6억원 (95% 신뢰구간: 26.8~126.2억원)임
- 호흡기계 질환 및 심혈관계 질환 연간 초과사망자 수는 각각 6.2명 (95% 신뢰구간: 5~7명), 5.9명 (95% 신뢰구간: 5~7명)으로, 그에 따른 피해 비용은 각각 32.9억 (95% 신뢰구간: 27.6~38.3억원), 31.4억원 (95% 신뢰구간: 26.4~36.4억원)으로 산정됨

[표 5.10] PM10 사망 영향 및 피해 비용

건강영향	초과 사망자 수 (명)		피해 비용 (억원)	
	추정치	95% 신뢰구간	추정치	95% 신뢰구간
전체원인	14.4	5~24	76.6	26.8~126.2
호흡기계	6.2	5~7	32.9	27.6~38.3
심혈관계	5.9	5~7	31.4	26.4~36.4

- 통계적 생명가치(VSL)의 불확실성을 보완하는 차원에서, 본 연구에서는 직접 산정한 단위 사망피해 비용(5.32억원) 뿐 아니라 국내 기존연구에서 제시한 VSL을 적용하여 충청남도 석탄발전의 대기오염의 의한 사망 피해 비용 수준을 비교·분석함
- 두 종류의 VSL을 활용하여 피해 비용을 추가 산정하였는데, 하나(피해 비용 b)는 산업안전보건공단에서 비용 산정 및 보상 시 사용하고 있는 사망비용이며, 다른 하나(피해 비용 c)는 안소은 외(2017)에서 직접 추정한 결과임
- 산업안전보건공단 사망 비용은 약 2.59억원으로, 국내외 기존 연구 결과 보다는 상대적으로 보수적인 수준임
- 안소은 외(2017)은 대기오염 오염에 따른 영향을 감소하기 위한 개인의 지불의사액을 진술선호를 통해 직접 추정한 연구로서, 사망 피해 비용은 10.14억원으로 추정됨

- 이는 기존 국내 연구 결과와 비교해서 다소 높은 수준인 반면, 해외 연구에서 추정된 피해 비용에는 크게 미치지 못하는 수준임
- PM10 시나리오 1의 경우, 산업안전보건기준을 적용한 전체원인 사망 피해 비용b는 약 37.3억원이며, 안소은 외(2017)을 적용한 피해 비용c는 약 145.9억원으로 도출되어 두 비용 간 큰 차이가 존재하는 것으로 나타남

[표 5.11] 생명가치 차이에 따른 PM10 사망 영향 및 피해 비용

건강영향	피해 비용a (억원)		피해 비용b (억원)		피해 비용c (억원)	
	추정치	95% 신뢰구간	추정치	95% 신뢰구간	추정치	95% 신뢰구간
전체원인	76.6	26.8~126.2	37.3	13.1~61.5	145.9	51.2~240.6
호흡기계	32.9	27.6~38.3	16.0	13.4~18.6	62.8	52.6~73
심혈관계	31.4	26.4~36.4	15.3	12.8~17.7	59.9	50.2~69.5

*피해 비용 a: 본 연구의 사망 단위비용 분석 결과를 적용한 사망 총 비용

*피해 비용 b: 국내 산업안전보건기준 상 사망의 가치를 적용한 사망 총 비용

*피해 비용 c: 안소은 외(2017) 사망의 가치를 적용한 사망 총 비용

3.1.2 PM2.5

- 석탄화력발전 대기오염 배출비중을 적용한 시나리오 1의 경우, 석탄화력발전 배출 PM2.5 노출으로 인한 전체원인 초과 사망자 수는 약 10명 (95% 신뢰구간: 2~18명)으로 추정됨
 - 이를 피해 비용으로 환산하면 약 53.3억원 (95% 신뢰구간: 11.3~95.3억원)임
 - 동일한 시나리오와 방식으로 추정된 호흡기계 질환 연간 초과사망자 수는 5.6명 (95% 신뢰구간: 5~6명)이며, 피해 비용은 약 29.6억원 (95% 신뢰구간: 26.2~33.1억원)임
 - 심혈관계 질환 연간 초과사망자 수는 3.9명 (95% 신뢰구간: 2~5명)으로 추정되었으며 피해 비용으로 환산하면 약 20.6억원 (95% 신뢰구간: 13~28.2억원)임
- 2017년 노후석탄 가동중단 효과를 가정한 시나리오 2의 경우, 석탄화력발전 배출 PM2.5으로 인한 초과사망자 수는 약 5.8명 (95% 신뢰구간: 1~10명)으로 추정됨
 - 이를 피해 비용으로 환산하면 약 30.6억원 (95% 신뢰구간: 6.5~54.7억원)임
 - 동일한 시나리오와 방식으로 추정된 호흡기계 질환 연간 초과사망자 수는 3.2명 (95% 신뢰구간: 3~4명), 피해 비용은 약 17억원 (95% 신뢰구간: 15~19억원)임

- 심혈관계 질환 연간 초과사망자 수는 2.2명 (95% 신뢰구간: 1~3명)으로 추정되었으며 이를 피해 비용으로 환산하면 약 11.8억원 (95% 신뢰구간: 7.5~16.2억원)임

[표 5.12] PM2.5 사망 영향 및 피해 비용

시나리오	건강영향	초과 사망자 수 (명)		피해 비용 (억원)	
		추정치	95% 신뢰구간	추정치	95% 신뢰구간
1	전체원인	10.0	2~18	53.3	11.3~95.3
	호흡기계	5.6	5~6	29.6	26.2~33.1
	심혈관계	3.9	2~5	20.6	13~28.2
2	전체원인	5.8	1~10	30.6	6.5~54.7
	호흡기계	3.2	3~4	17.0	15~19
	심혈관계	2.2	1~3	11.8	7.5~16.2

- PM10과 마찬가지로 직접 산정한 단위 사망피해 비용(5.32억원) 뿐 아니라 국내 기존연구에서 제시한 VSL을 적용하여 충청남도 석탄발전의 대기오염의 의한 사망 피해 비용 수준을 비교하였음

[표 5.13] 생명가치 차이에 따른 PM2.5 사망 영향 및 피해 비용

시나리오	건강영향	피해 비용a (억원)		피해 비용b (억원)		피해 비용c (억원)	
		추정치	95% 신뢰구간	추정치	95% 신뢰구간	추정치	95% 신뢰구간
1	전체원인	53.3	11.3~95.3	25.9	5.5~46.4	101.6	21.5~181.6
	호흡기계	29.6	26.2~33.1	14.4	12.7~16.1	56.5	49.9~63.1
	심혈관계	20.6	13~28.2	10.0	6.3~13.7	39.3	24.8~53.8
2	전체원인	30.6	6.5~54.7	14.9	3.2~26.6	58.3	12.3~104.3
	호흡기계	17.0	15~19	8.3	7.3~9.3	32.5	28.6~36.3
	심혈관계	11.8	7.5~16.2	5.8	3.6~7.9	22.5	14.2~30.9

*피해 비용 a: 본 연구의 사망 단위비용 분석 결과를 적용한 사망 총 비용

*피해 비용 b: 국내 산업안전보건기준 상 사망의 가치를 적용한 사망 총 비용

*피해 비용 c: 안소는 외(2017) 사망의 가치를 적용한 사망 총 비용

3.2 질병

3.2.1 PM10

- 충청남도 석탄화력발전시설 대기오염 배출 비중을 가정한 시나리오 1에서, 석탄화력발전 배출 PM10으로 인한 호흡기계 입원 초과 발생건수는 130건 (95% 신뢰구간: 101~160건), 피해 비용은 4.4억원 (95% 신뢰구간: 3.4~5.4억원)임
- 동일한 시나리오와 방식으로 추정된 심혈관계 입원 초과 발생건수는 101건 (95% 신뢰구간: 13~188건), 피해 비용은 약 6.4억원 (95% 신뢰구간: 0.8~11.9억원)임
- 호흡기계 외래 초과 발생건수는 16,075건 (95% 신뢰구간: 14,501~17,648건)으로 추정되었으며 이를 피해 비용으로 환산하면 약 4.5억원 (95% 신뢰구간: 4.1~4.9억원)으로 산정됨
- 심혈관계 외래 영향 및 피해 비용은 농도-반응 함수가 없어 분석하지 못하였음

[표 5.14] PM10 질병 영향 및 피해 비용

건강영향	초과 발생건수 (건)		피해 비용 (억원)	
	추정치	95% 신뢰구간	추정치	95% 신뢰구간
호흡기계 입원	130	101~160	4.4	3.4~5.4
심혈관계 입원	101	13~188	6.4	0.8~11.9
호흡기계 외래	16,075	14,501~17,648	4.5	4.1~4.9
심혈관계 외래	—	—	—	—

3.2.2 PM2.5

- 석탄화력발전 대기오염 배출비중을 적용한 시나리오 1의 경우, 석탄화력발전 배출 PM2.5으로 인한 호흡기계 입원 초과 발생건수는 약 389건 (95% 신뢰구간: 101~675건)으로 추정됨
- 이를 피해 비용으로 환산하면 약 13.2억원 (95% 신뢰구간: 3.4~23억원)임
- 호흡기계 외래 초과 발생건수는 5,818건 (95% 신뢰구간: 1,166~10,468건)으로 추정되었으며, 피해 비용으로 환산하면 약 1.6억원 (95% 신뢰구간: 0.3~2.9억원)임
- 심혈관계 입원, 외래에 대한 영향 및 피해 비용은 농도-반응 함수가 없어 분석하지 못하였음

- 2017년 노후석탄 가동중단 효과를 가정한 시나리오 2의 경우, 석탄화력발전 배출 PM2.5으로 인한 호흡기계 입원 초과 발생건수는 약 223건 (95% 신뢰구간: 58~389건)으로 추정됨
 - 이를 피해 비용으로 환산하면 약 7.6억원 (95% 신뢰구간: 2~13.2억원)임
 - 호흡기계 외래 초과 발생건수는 3,341건 (95% 신뢰구간: 699~6,011건)으로 추정되었으며, 피해 비용으로 환산하면 약 0.9억원 (95% 신뢰구간: 0.2~1.7억원)임
 - 심혈관계 입원, 외래에 대한 영향 및 피해 비용은 농도-반응 함수가 없어 분석하지 못하였음

[표 5.15] PM2.5 질병 영향 및 피해 비용

시나리오	건강영향	초과 발생건수 (건)		피해 비용 (억원)	
		추정치	95% 신뢰구간	추정치	95% 신뢰구간
1	호흡기계 입원	389	101~675	13.2	3.4~23
	심혈관계 입원	-	-	-	-
	호흡기계 외래	5,818	1,166~10,468	1.6	0.3~2.9
	심혈관계 외래	-	-	-	-
2	호흡기계 입원	223	58~389	7.6	2~13.2
	심혈관계 입원	-	-	-	-
	호흡기계 외래	3,341	669~6,011	0.9	0.2~1.7
	심혈관계 외래	-	-	-	-

3.2.3 NOx

- 충청남도 석탄화력발전시설 대기오염 배출 비중을 가정한 시나리오 1에서, 석탄화력발전 배출 NOx로 인한 호흡기계 입원 초과 발생건수는 862건 (95% 신뢰구간: 44~1,669건), 피해 비용은 29.3억원 (95% 신뢰구간: 1.5~56.7억원)임
 - 동일한 시나리오와 방식으로 추정된 심혈관계 입원 초과 발생건수는 794건 (95% 신뢰구간: 128~1,452건), 피해 비용은 약 50.1억원 (95% 신뢰구간: 8.1~91.8억원)임
 - 호흡기계 및 심혈관계 외래 영향과 피해 비용은 농도-반응 함수가 없어 분석하지 못하였음

[표 5.16] NOx 질병 영향 및 피해 비용

건강영향	초과 발생건수 (건)		피해 비용 (억원)	
	추정치	95% 신뢰구간	추정치	95% 신뢰구간
호흡기계 입원	862	44~1,669	29.3	1.5~56.7
심혈관계 입원	794	128~1,452	50.1	8.1~91.8
호흡기계 외래	—	—	—	—
심혈관계 외래	—	—	—	—

3.2.4 SOx

- 충청남도 석탄화력발전시설 대기오염 배출 비중을 가정한 시나리오 1에서, 석탄화력발전 배출 SOx로 인한 호흡기계 입원 초과 발생건수는 430건 (95% 신뢰구간: 110~748건), 피해 비용은 14.6억원 (95% 신뢰구간: 3.8~25.4억원)임
 - 심혈관계 입원 초과 발생건수는 293건 (95% 신뢰구간: 109~739건), 피해 비용은 약 18.5억원 (95% 신뢰구간: 6.9~46.7억원)임
 - 호흡기계 및 심혈관계 외래 영향과 피해 비용은 농도-반응 함수가 없어 분석하지 못하였음

[표 5.17] SOx 질병 영향 및 피해 비용

건강영향	초과 발생건수 (건)		피해 비용 (억원)	
	추정치	95% 신뢰구간	추정치	95% 신뢰구간
호흡기계 입원	430	110~748	14.6	3.8~25.4
심혈관계 입원	293	109~739	18.5	6.9~46.7
호흡기계 외래	—	—	—	—
심혈관계 외래	—	—	—	—

3.3 결과 분석

- 시나리오에 따른 오염물질별 사망 및 질병 영향평가 및 피해 비용 추정 결과는 다음과 같음

[표 5.18] 석탄화력발전 건강 영향 및 피해 비용 (시나리오 1 기준)

구분	건강영향	초과 사망자수 또는 발생건수 (명 또는 건)		피해 비용 (억원)	
		추정치	95% 신뢰구간	추정치	95% 신뢰구간
PM10	전체원인 사망	14.4	5~24	76.6	26.8~126.2
	호흡기계 사망	6.2	5~7	32.9	27.6~38.3
	심혈관계 사망	5.9	5~7	31.4	26.4~36.4
	호흡기계 입원	130	101~160	4.4	3.4~5.4
	심혈관계 입원	101	13~188	6.4	0.8~11.9
	호흡기계 외래	16,075	14,501~17,648	4.5	4.1~4.9
	심혈관계 외래	—	—	—	—
	소계			79.6 (91.8*)	62.30~96.90 (35.10~148.40*)
PM2.5	전체원인 사망	10.0	2~18	53.3	11.3~95.3
	호흡기계 사망	5.6	5~6	29.6	26.2~33.1
	심혈관계 사망	3.9	2~5	20.6	13~28.2
	호흡기계 입원	389	101~675	13.2	3.4~23
	심혈관계 입원	—	—	—	—
	호흡기계 외래	5,818	1,166~10,468	1.6	0.3~2.9
	심혈관계 외래	—	—	—	—
	소계			65.1 (68.1*)	42.9~87.2 (15~121.20*)
NO2	호흡기계 입원	862	44~1,669	29.3	1.5~56.7
	심혈관계 입원	794	128~1,452	50.1	8.1~91.8
	호흡기계 외래	—	—	—	—
	심혈관계 외래	—	—	—	—
	소계			79.5	9.6~148.5
SO2	호흡기계 입원	430	110~748	14.6	3.8~25.4
	심혈관계 입원	293	109~739	18.5	6.9~46.7
	호흡기계 외래	—	—	—	—
	심혈관계 외래	—	—	—	—
	소계			33.2	10.7~72.1

[표 5.19] 석탄화력발전 PM2.5 건강 영향 및 피해 비용 (시나리오 1, 2 비교)

구분	건강영향	초과 사망자수 또는 발생건수 (명 또는 건)		피해 비용 (억원)	
		추정치	95% 신뢰구간	추정치	95% 신뢰구간
시나리오 1	전체원인 사망	10.0	2~18	53.3	11.3~95.3
	호흡기계 사망	5.6	5~6	29.6	26.2~33.1
	심혈관계 사망	3.9	2~5	20.6	13~28.2
	호흡기계 입원	389	101~675	13.2	3.4~23
	심혈관계 입원	—	—	—	—
	호흡기계 외래	5,818	1,166~10,468	1.6	0.3~2.9
	심혈관계 외래	—	—	—	—
소계				65.1 (68.1*)	42.9~87.2 (15~121.20*)
시나리오 2	전체원인 사망	5.8	1~10	30.6	6.5~54.7
	호흡기계 사망	3.2	3~4	17.0	15~19
	심혈관계 사망	2.2	1~3	11.8	7.5~16.2
	호흡기계 입원	223	58~389	7.6	2~13.2
	심혈관계 입원	—	—	—	—
	호흡기계 외래	3,341	669~6,011	0.9	0.2~1.7
	심혈관계 외래	—	—	—	—
소계				37.4 (39.1*)	24.7~50.1 (8.70~69.6*)

* 주: 괄호 안의 숫자는 전체 원인 사망 피해 비용과 질병비용의 합계

- 일부 건강영향에 대해 비용을 산출하지 못하였기 때문에 분석결과를 바탕으로 시사점을 도출하는데 제약이 있으나, 다음과 같은 경향을 확인할 수 있었음
- 사망 피해 비용과 질병 피해 비용을 모두 평가한 PM10과 PM2.5를 보면, 사망 피해 비용이 질병 피해 비용보다 큰 것으로 나타남
 - 본 연구에서 1인당 사망비용을 5.32억원으로 가정하였으나 안소은 (2017)과 같이 단위 사망비용을 더 크게 가정할 경우, 사망비용과 질병비용의 차이는 더욱 크게 나타날 수 있음
 - 단, 일부 질병 영향에 대해 비용을 산출하지 못하여 동등한 비교는 어려우나, PM10의 경우 호흡기계 사망 비용보다 호흡기계 질병 비용 (입원 및 외래)이 더 크게 나타났으며, 심혈관계 사망 비용 또한 심혈관계 입원 비용 보다 더 크게 나타남

- PM10의 경우, 분석 범위로 설정한 건강 영향 중 심혈관계 외래를 제외한 모든 건강 영향에 대해 피해 비용을 추정하였으며, 91.8억원 (95% 신뢰구간: 35.10~148.40)으로 나타남
- 그 외 다른 오염물질은 일부 건강영향에 대해서만 비용을 추정하여 오염물질 간 비교가 어려움
- 대신 호흡기계 입원 비용은 모든 오염물질에 대해 비용을 산출할 수 있었는데, 오염물질 중 호흡기 질환 입원 피해 비용이 가장 크게 추정된 오염물질은 NO_x임
- 이는 충청남도 총 배출량 대비 석탄화력발전소의 NO_x 배출 비중이 다른 다른 오염물질에 비해 크게 나타났으며, NO_x의 대기오염 농도 절대값이 SO_x보다 커 석탄화력발전소가 없었을 경우 농도 저감량이 큰 것으로 가정되었기 때문임
 - NO_x와 SO_x 모두 배출량 비중은 42.3%, 44.2%로 유사함
 - 대신 NO_x의 평균 대기오염 농도는 0.016ppm, SO_x는 0.003ppm이므로, 기여도를 가정할 경우, 석탄화력 발전에서 배출되는 NO_x의 충청남도 대기오염 농도 기여량은 0.0068ppm, SO_x의 기여량은 0.0013ppm으로 추정됨
- 이인희·오혜정 (2013)는 국외연구에서 산정한 오염물질 배출량 톤당 피해 비용을 국내 여건에 맞추어 편익이전 한 후, 충청남도 화력발전의 연간 배출량과 곱하여 연 단위 피해 비용을 산출하였음
 - 국외연구의 피해 비용은 유럽지역을 대상으로 국가별 석탄화력발전의 피해 비용을 산출한 AEA (2012)의 연구결과를 사용함
 - AEA (2012)는 영향경로접근법 (ExternE, 2005)를 이용하여 건강피해 비용과 작물피해 비용을 추정하였으며, 피해 비용 중 대부분이 건강피해, 특히 사망피해로 인한 것으로 나타남 (작물피해 비용은 1% 내외)
 - 건강피해 비용으로 사망피해 외에도 호흡기계, 심혈관계 입원으로 인한 비용, 활동제약에 따른 피해 비용 등이 고려되었음
 - AEA (2012)에서 사망에 따른 1인당 생명가치는 약 2백만유로 (25~30억원 수준)로 가정되었음
 - 이는 제4장에서 추정된 생명가치의 5~6배 수준임

- 이인희·오혜정 (2013)은 배출량 당 피해 비용에 2010년 보령, 서천, 태안, 당진 4곳의 화력발전소에서 배출되는 대기오염 배출량을 곱하여 오염물질별 피해 비용을 다음 표와 같이 산정함
 - 단, PM2.5의 경우, 당시 국내 PM2.5 배출통계가 제공되지 않아 PM10의 배출량과 AEA (2012)에서 제시된 PM2.5 배출량 당 피해 비용을 국내로 편익이전한 값을 곱하여 산출하였음 (유연탄의 PM2.5 배출량은 PM10의 0.8배 수준임)

[표 5.20] 선행연구 충청남도 4개 시군 화력발전 피해 비용

구분	CO	NOx	SOx	PM10	VOC
배출량 (톤)	10,205.8	60,633.5	29,390.1	1,126.0	1,304.2
피해 비용 (백만원)	73,155.2	351,856.2	255,811.4	32,668.6	2,197.6
배출량 당 피해 비용 (천원)**	7,168	5,803	8,704	29,013	1,685

* 자료: 이인희·오혜정 (2013)

** 주: 4개 시군 화력발전소의 배출량과 피해 비용만을 제시하고 있어 피해 비용에 배출량을 나누어 배출량 당 피해 비용을 역산함

- 상술한 바와 같이 이인희·오혜정 (2013)와 본 연구는 피해 비용 추정 방법론에 있어 근본적인 차이가 존재하기 때문에 두 결과를 직접 비교하는 것은 적절하지 않음
- 대신 오염물질 배출량 당 피해 비용을 다음과 같이 비교할 수 있음
- 본 연구에서 분석 범위로 설정한 건강영향 부문 중 심혈관계 외래를 제외한 전체 건강영향 부문, 즉 전체 사망, 호흡기계 사망, 심혈관계 사망, 호흡기계 입원, 호흡기계 외래, 심혈관계 입원에 대해 모두 피해 비용을 추정한 오염물질은 PM10이 유일함
 - 다른 오염물질은 일부 건강영향에 대한 농도-반응함수가 없어 피해 비용을 추정하지 못하였기 때문에 이인희·오혜정 (2013)의 피해 비용과 비교할 수 없음
- PM10의 전체사망, 호흡기계 입원, 호흡기계 외래, 심혈관계 입원, 심혈관계 외래에 따른 영향에 따른 총 비용은 91.8억원
- 2015년 석탄화력발전 PM10 배출량은 2,027톤이므로, PM10 배출량 톤 당 피해 비용은 약 4,529천원임

- 이인희·오혜정 (2013)의 단위 피해 비용이 29,013천원임을 고려하였을 때, 약 7분의 1 수준임
- 피해 비용에서 사망 피해 비용이 가장 큰 비중을 차지하기 때문에, 이러한 결과의 차이 또한 단위 생명가치 가정의 차이에서 기인함
 - 이인희·오혜정 (2013)이 인용한 AEA (2005)연구에서 단위 생명가치는 1인 당 2백만유로 (25~30억원 수준)로 본 연구에서 가정한 5.32억원의 6분의 1 수준임
- 따라서 생명가치의 차이를 고려할 경우, 본 연구에서 추정된 피해 비용은 기존 연구에서 추정된 피해 비용과 유사한 수준을 보임

4. 요약 및 시사점

- 본 장에서는 제3장에서 선정한 농도-반응 함수를 이용하여 충청남도 내 석탄화력발전으로 인한 충청남도의 건강피해 규모를 정량화하고, 제4장에서 도출된 사망 및 질병 단위피해 비용을 바탕으로 하여 석탄화력발전으로 인한 건강 피해 비용을 평가하였음
- 농도-반응 함수 기반 건강영향평가를 위해 충청남도 내 석탄화력발전이 충청남도의 대기오염농도에 기여하는 양이 적용되어야 함
- 그러나 충청남도를 대상으로 지역의 석탄화력발전 대기오염농도 기여량을 도출한 사례가 없어 본 연구에서는 대기오염 배출량 통계, 미세먼지 가동 중지 효과 등을 활용하여 대기오염 농도 기여량을 추정하고 비용평가에 활용함
- 최종적으로 PM₁₀, PM_{2.5}, NO_x, SO_x의 4종 오염물질에 대하여 사망, 질병영향에 따른 피해 비용을 분석하였음
- 대기오염 배출량 통계에 기반한 시나리오1에 따르면, 대기오염물질별 피해 비용은 전체원인 사망의 경우 PM₁₀의 피해 비용이 86.09억원으로 오염물질 중 가장 크게 나타났으며, 호흡기계 질환으로 인한 사망 및 심혈관계 질환으로 인한 사망 또한 각각 PM₁₀이 31.24억원, 32.03억원으로 크게 나타남
- PM_{2.5}의 경우 다른 오염물질과 달리 노후석탄화력 가동 중단 효과를 고려한 시나리오 2를 추가로 분석하였으며, 전체 원인 사망의 경우 피해 비용 규모가 34.03~90.71억원으로 나타남
- 농도-반응 함수의 한계로 본 연구의 분석대상 범위 전체에 대해 피해 비용을 산출하지 못함
 - 특히, 대기오염으로 인한 폐암 영향은 심혈관계 질환, 호흡기계 질환 다음으로 주요한 사망 원인²⁵⁾으로 지목되고 있으나, 폐암 영향에 대한 농도-반응 함수 사례가 충분하지

않아 본 연구의 피해영향 평가 및 비용 평가 범위에서 제외되었음

- 이로 인해 오염물질 간 피해 비용을 동등한 조건에서 비교할 수 없음
- 사망으로 인한 총 피해 비용과 질병으로 인한 총 피해 비용은 서로 중첩되지 않기 때문에 둘을 단순히 더해서 총 비용을 산출할 수 있으며, 사망 비용이나 질병비용에서 질환별로 구분된 비용 또한 합하여 총 비용을 산출할 수 있음
 - 입원과 외래 또한 별개로 집계된 자료임에 따라 둘을 합하여 질병 피해 비용을 산출할 수 있음
 - 반면 전체 원인으로 인한 사망과 관련된 피해 비용은 호흡기계 질환으로 인한 사망 피해 비용과 심혈관계 질환으로 인한 사망 피해 비용을 포함하고 있어 합할 수 없음
- 그러나 대기오염으로 인한 건강피해반응 (사망, 입원 등)은 개별 오염물질의 영향이 중첩되어 발생하는 것이므로 각 오염물질별 피해 비용을 합계한 값을 총 피해 비용으로 간주할 수 없음
- 따라서 도내 석탄화력발전이 충청남도 지역민의 건강에 미치는 실제 피해 비용을 추정하기 위해서는 산출된 피해 비용을 다각적으로 해석하는 것이 필요함
- 4종 오염물질의 피해 비용을 단순 합계한 값은 중첩효과로 인해 실제 4종의 오염물질이 충청남도에 미치는 피해를 환산한 비용은 4종 오염물질 피해 비용의 합계보다 작으며, 단일 오염물질 중 피해 비용이 가장 큰 오염물질의 총 피해 비용 (즉, 사망과 질병 피해 비용의 합계)보다는 클 것이므로, 이는 다음과 같이 표현할 수 있음

단일오염물질의 피해 비용 \leq 4종 오염물질로 인한 실제 건강피해 비용 \leq 4종 오염물질별 피해 비용의 합계

- 본 연구의 충청남도 석탄발전 대기오염에 따른 피해 비용 추정은 크게 세 가지 한계가 존재함
- 첫째, 충청남도 석탄화력 대기오염 배출이 대기질(농도)에 미치는 영향에 대한 실측값이

25) 한국 표준 질병사인 분류에 따라 폐암은 악성 신생물 (분류코드: C00-99)로 분류되어 호흡기계 질환 (분류코드: J00-99)과 구분됨

부재함

- 시기 별 발전량, 기상 및 중국 영향 등 복합적인 요인에 의해 결정되는 배출-농도 관계에 대한 명확한 규명을 토대로 비용을 추정해야 보다 면밀한 피해수준을 분석할 수 있음
 - 그러나 본 연구는 이러한 한계에도 불구하고 가능한 최대한 신뢰할 수 있는 자료를 토대로 시나리오를 설계하여 피해 비용을 직접 산정하였음
- 둘째, 본 연구에서 추정한 농도-반응 함수는 충청남도를 대상으로 직접 추정한 것이 아니라, 기존 국내 연구들에 대한 메타회귀 분석 결과이기 때문에 현 시점에서 피해 비용 수준과는 다소 차이가 존재할 가능성이 있음
- 일별 대기오염농도가 과거대비 최근 더 악화되었을 가능성이 존재한다는 가정 하에, 원자료로 사용한 기존 연구들이 대부분 과거 농도 및 영향 자료를 사용했으므로 본 연구에서 추정한 농도-반응 함수가 과소추정 되었을 가능성이 존재함
 - 다만, 본 연구는 원자료 수집 단계에서부터 국내외 등재지 및 공공기관 발표 문헌을 기준으로 선정하고 추정결과를 기존 연구 결과와 비교분석함으로써 농도-반응 함수 선정결과에 대한 신뢰성을 확보하고자 하였음
- 셋째, 단위 사망 비용에 대한 불확실성이 존재함
- 국내외 다수 연구에 대한 검토를 통해 합리적인 수준에서 추정하고자 하였지만, 안소은 외(2017) 등 최근 연구에서 추정한 피해 비용 수준과는 다소 차이가 존재함
 - 이에 본 연구에서 추정한 충청남도 석탄발전 대기오염에 따른 사망 피해 비용은 과소추정의 가능성이 존재함
 - 다만, 본 연구는 시나리오 설정부터 비용 산정까지의 모든 단계에서 가능한 한 보수적인 관점에서 분석을 수행하였음

제6장 화력발전 지역자원시설세 운용 개선방안

1. 개요
2. 지역자원시설세 개요
3. 지역자원시설세 징수 현황 및 전망
4. 충청남도 특정자원 지역자원시설세 운용현황
5. 화력발전 지역자원시설세 운용 개선방향
6. 요약 및 향후 연구과제

1. 개요

- 본 장의 목적은 충청남도의 화력발전 지역자원시설세의 전망 분석 결과를 바탕으로 충청남도의 특성을 반영한 향후 화력발전 지역자원시설세 운용의 개선방안을 제안하는 것임
- 화력발전 지역자원시설세는 석탄화력으로 유발되는 피해 비용에 근거해 그 취지에 부합되도록 우선지원방안을 구체화하는 정책적 대안 모색이 요구됨
- 본 장에서는 석탄화력 관련 최근의 정책기조가 반영된 8차 전력수급 기본계획을 기반으로 2030년까지 충청남도 화력발전 지역자원시설세 징수액을 전망하였음
- 그리고 현 체제하의 현실적 개선방안을 제시하고자 충청남도 시군을 포함한 중기재정계획의 지출현황을 분석하였음
- 본 연구에서는 향후 화력발전 지역자원시설세 운용의 기본방향으로서 두 가지를 제안하였음
- 첫째, 대기·온실가스감축, 에너지 신산업 부문 대책을 위한 효과적 운용, 둘째, 미세먼지 노출에 취약한 석탄화력 발전소 주변지역의 도민 건강확보 우선지원임
- 이와 같은 개선방향이 이행되기 위해서는 제도적(특정자원 지역자원시설세의 시군 특별회계화 추진) 개선이 요구됨
- 동시에 발전소 주변지역 피해 비용 지원을 위해 발주지법 상의 발전소 건설과 관련한 이주자 및 생활기반을 상실하였다고 인정되는 지역주민 지원사업을 특히 우선순위로 설정하고 정기건강검진 및 미세먼지 관련 질환 대상의 실손보험 연계 지원 등 구체적인 이행수단 마련이 중요함

2. 지역자원시설세 개요

2.1 지역자원시설세 의의

- 지역자원시설세 특정자원분은 조세법률주의에 부합하면서도 지자체의 과세자주권을 확보할 수 있다는 면에서 중요한 의미를 갖는 세원임
 - － 세목의 설치근거와 과세대상, 세율 등은 지방세법에서 규정하여 조세법률주의 원칙에 부합함
 - － 한편, 제한적이지만 과세여부 및 탄력세율 적용 등 부과징수에 대한 세부사항을 조례에서 규정할 수 있는 재량권을 주어 지자체의 과세자주권 확보라는 의미도 갖고 있음
- 이러한 지역자원시설세 특정자원분이 활발히 운용된다면 자주재원을 확대시킬 수 있고, 과세자주권을 신장시키는 조세수단으로 작용할 수 있음²⁶⁾
- 특히 지역자원시설세 특정자원분에 속하는 세원의 경우, 경제활동 과정에서 환경오염, 공해, 자연경관 파괴 등의 문제를 야기하기 때문에 이와 관련하여 해당 지자체의 재정지출을 수반하고 있음
- 특히 원자력, 화력과 같은 발전원의 경우 발전소 인근지역의 환경적·사회적·경제적 피해가 지속적으로 주장되어 왔음
- 이러한 원인자 부담원칙에 더해, 지자체가 제공하는 행정서비스 또는 지역경제활동과 밀접하게 관련된 시설물을 이용한다는 점, 외부불경제의 내부화 관점에서 동 세목이 지방세에 귀속되어있는 당위성이 있다고 할 수 있음²⁷⁾
- 따라서 충청남도의 지역자원시설세 화력발전원의 과세 논거는 다음과 같이 정리할 수 있음²⁸⁾
 - － 외부불경제로 인한 후생손실보전 재원마련

26) 충남발전연구원(2014) '지역자원시설세 활용을 위한 사례연구' 인용

27) 충남발전연구원(2014) '지역자원시설세 활용을 위한 사례연구' 참고

28) 충청남도(2015) '충청남도 화력발전 지역자원시설세 재원의 중장기 운용계획'

- 지방자치단체 공공서비스에 대한 납세의무
- 발전소 주변지역 지원금의 문제점 해소

2.2 지역자원시설세 과세체계

- 지역자원시설세 특정자원분은 특정 지역의 부존자원을 채굴하거나 이용하는 과정에서 발생하는 외부효과에 대응하기 위해 해당 자원이나 시설의 이용에 대하여 과세됨
 - 발전용수, 지하수, 지하자원, 컨테이너, 원자력발전, 화력발전 등을 개발하거나 해당 시설을 이용하는 자에게 과세함으로써 해당 지역의 부존자원 고갈과 환경오염에 따른 보상 및 복구 재원을 확보하고 지역의 균형개발을 도모하는 것이 목적임
 - 대상 납세지는 발전소의 소재지, 채수공(採水孔)의 소재지, 광업권이 등록된 토지의 소재지, 컨테이너를 취급하는 부두의 소재지 등임
 - 지역자원시설세 특정자원분의 납세의무자는 발전용수를 이용하여 수력발전 하는 자, 지하수 개발자, 지하자원 채광자, 컨테이너 입·출항자, 원자력 및 화력을 이용하여 발전하는 자로서 납기 및 신고납부 방법을 조례로 규정함

[표 6.1] 지역자원시설세 과세 체계

구분	특정자원분						특정부동산분		
목적	지역자원의 보호 및 개발, 안전관리사업 및 환경보호 개선사업, 지역균형개발사업에 필요한 재원 확보 공공시설에 필요한 비용의 충당								
과세대상	발전용수	지하수	지하자원	컨테이너	원자력발전	화력 발전	건축물	선박	토지
납세의무자	발전을 하는 자	채수하는 자	채광하는 자	컨테이너를 입·출항시키는 자	발전을 하는 자	발전을 하는 자	소유자	소유자	소유자
납세지	발전소 소재지	채수공 소재지	토지 소재지	부두 소재지	발전소 소재지	발전소 소재지	건축물 소재지	선적항 소재지	토지 소재지

구분	특정자원분					특정부동산분			
과세표준 및 세율	10m³ 당 2원	음용수: 200원/m³ 온천수: 100원/m³ 기타: 20원/m³	광물가액의 5/1,000	TEU 당 15,000원	발전량 kWh당 1원	발전량 kWh당 0.3원	건축물 가액/ 시가표준 액 (세부기준 생략)	선박 가액/ 시가표준 액 (세부기준 생략)	토지 건축물/ 가액 (세부기준 생략)
과세여부	지방세법 제142조에 열거된 과세대상 가운데 시 도 조례로 정하는 바에 따라 과세여부 결정								
과세지역	시 도 조례로 정하는 지역 (대부분 부과대상지역을 시 도의 전역으로 정하고 있음)								

* 자료: 한국지방세연구원(2014) 「지역특정자원에 대한 선택적 지방세 과세방안 연구」 참고, 2014년 이후 지방세법 개정에 따라 일부 내용은 수정

2.3 화력발전 지역자원시설세 과세 경과

- 화력발전은 수력, 원자력에 비해 주변지역에 더 많은 오염물질을 배출하는 등 각종 피해를 유발함
- 그러나 수력발전은 1992년부터, 원자력발전은 2006년부터 지역자원시설세가 과세된 반면, 화력발전은 지역자원시설세 과세 대상이 아니었음
- 전국 화력발전의 약 40%를 차지하고 있는 충청남도가 수력 및 원자력발전과의 과세 형평성 차원에서 2007년 처음으로 화력발전 과세입법 당위성을 제기하였음
- 이에 따라 화력발전 소재지역의 안정적 재원확보로 지역균형발전을 도모하고자 2011년 지방세법이 개정되면서 화력발전에 대한 지역자원시설세 특정자원분 항목이 추가되고 2014년 1월부터 과세가 시작됨
- 당초 화력발전에 대한 지역자원시설세 세율은 발전량 1kWh당 0.15원으로 설정되었으나, 2014년 12월 지방세법이 개정되면서, 발전량 1kWh당 0.3원으로 인상됨

[표 6.2] 화력발전에 대한 지역자원시설세 과세 추진경과

구분	추진경과
2007.09	지방세법 개정안 발의 - 충남 주관으로 인천, 강원, 전남, 경남, 부산, 울산, 경기 등 화력발전 소재 8개 시도와 협의회 개최
2008.08	지방세법 개정안 발의 - 행안위(형평성 차원에서 과세필요)와 한전(오염배출부과금 납부 중, 전기요금 인상우려)의 입장차이 표명
2010.11	국회 행안위 법안소위 심의 - 지경부 반대, 부처간 합의요구
2011.02	행안부와 지경부 합의 - 1kWh당 0.15원, 2년간 유예기간 거쳐 2014년 1월부터 과세
2011.03	국회 행안위·법사위 본회의 의결(3.11) - 지방세법 제142조 등 개정(2년간 유예 후, 2014년1월1일부터 시행)
2014.01	화력발전분 지역자원시설세 과세 - 특례에 따라 세수의 65%를 화력발전소 소재 시군에 배분
2014.09	지방세법 일부개정안 국회의원 입법발의 - 화력발전 서울 1kWh당 0.15원→0.75원 인상(안) 발의
2014.12	지방세법 제146조 개정 - 화력발전 서울 1kWh당 0.15원→0.3원 인상

* 참고: 충남연구원(2014) 지역자원시설세 활용을 위한 사례연구

2.4 화력발전 지역자원시설세의 시·군 배분

- 충청남도는 특정자원에 부과되는 지역자원시설세의 수입과 지출을 명확히 하고 특정자원과 관련된 환경개선사업 등을 위해 특정자원 지역자원시설세 특별회계를 설치함
- 특별회계의 설치 및 관리·운영 근거를 마련하기 위해, 2015년 7월 30일 「충청남도 특정자원 지역자원시설세 특별회계 설치 조례」(충청남도 조례 제4012호)를 제정하였음
- 충청남도를 포함하여, 전국 광역지자체 중 화력발전소 지역자원시설세 관련 조례를 제정한 지자체는 6곳(강원도, 경상북도, 경상남도, 울산광역시, 세종특별자치시)임

- 이들 중 일부 조례는 광역지자체가 지역자원시설세를 시·군 등 기초지자체에 배분하는 비율을 조례에 포함하고 있음
- 충청남도의 경우 「충청남도 특정자원 지역자원시설세 특별회계 설치 조례」 제3조(세입)에서 「지방재정법」을 인용하여 화력발전 지역자원 시설세의 시·군 배분에 대한 근거를 담고 있음²⁹⁾
 - － 「지방재정법」 제29조(시·군 조정교부금) ③항에 따르면 시·도지사는 화력발전·원자력발전에 대한 각각의 지역자원시설세의 100분의 65에 해당하는 금액을 화력발전소·원자력발전소가 있는 시·군에 각각 배분하여야 함 (개정 2016.12.27.)
- 이에 따라 충청남도는 화력발전 지역자원시설세 세입의 65%는 화력발전소가 소재한 기초지자체에 그리고 35%는 도에 배분하고 있음
- 지역자원시설세는 도세이자 목적세로서 광역지자체인 충청남도 차원에서는 특별회계로 운영되고 있으나, 이를 교부받은 시·군 등 기초지자체에서는 일반회계로 운영되는 사례가 있음
- 때문에, 발전소 인근 주민에 대한 실질적인 환경오염 피해구제를 위해 기초지자체 단위의 조례 제정 필요성도 제기된 바 있음

29) 「충청남도 특정자원 지역자원시설세 특별회계 설치 조례」 제3조(세입) 3. 「충청남도 도세 조례」 제31조에 따라 신고·납부하는 화력발전에 대한 지역자원시설세액 중 「지방재정법」 제29조의 시·군 조정교부금과 「지방세기본법 시행령」 제55조의 징수교부금을 제외한 지역자원시설세액

3. 지역자원시설세 징수 현황 및 전망

3.1 현황

- 2016년 기준 충청남도의 전체 지역자원시설세 (857억원) 중 특정자원분 (318억원)이 약 37%, 특정부동산분 (538억원)이 약 62.8%의 비중을 차지함

[표 6.3] 지자체별 지역자원시설세 (2016년 세액 기준)

(세액 단위 : 천원)

구 분	합 계	과 세 분			비과세분
		소계	특정자원	특정부동산	특정자원
전 국	1,476,955,076	1,476,779,626	287,403,045	1,189,376,581	175,450
서 울	263,066,187	263,037,703	363,756	262,673,947	28,484
부 산	124,997,519	124,980,339	44,815,072	80,165,267	17,180
대 구	48,261,461	48,257,491	1,190,670	47,066,821	3,970
인 천	90,075,336	90,075,336	19,742,934	70,332,402	—
광 주	28,875,130	28,859,317	271,875	28,587,442	15,813
대 전	31,437,467	31,421,935	239,367	31,182,568	15,532
울 산	39,308,468	39,307,311	5,790,647	33,516,664	1,157
세 종	6,901,096	6,901,096	907,409	5,993,687	—
경 기	319,356,524	319,353,707	19,474,334	299,879,373	2,817
강 원	36,883,568	36,877,839	8,249,668	28,628,171	5,729
충 북	36,263,537	36,248,506	2,153,769	34,094,737	15,031
충 남	85,705,646	85,705,503	31,846,350	53,859,153	143
전 북	33,881,415	33,879,347	2,571,415	31,307,932	2,068
전 남	90,126,756	90,110,172	51,644,040	38,466,132	16,584
경 북	133,595,738	133,571,812	78,032,399	55,539,413	23,926
경 남	94,621,547	94,594,531	18,896,214	75,698,317	27,016
제 주	13,597,681	13,597,681	1,213,126	12,384,555	—

* 출처: 행정자치부, 2017 지방세통계연감

- 2016년 기준 충청남도의 지역자원시설세 특정자원분 (318억원) 중에서 화력발전 (313억원) 이 차지하는 비중은 약 98.3%이고, 충청남도의 전체 지역자원시설세 (857억원)에서 특정자원분 화력발전 (313억원)이 차지하는 비중은 약 36.5% 수준임

[표 6.4] 지역자원시설세 특정자원분 (2016년 세액 기준)

(세액 단위: 천원)

구분	발전용수	지하수	지하자원	컨테이너	원자력		화력	
	세 액	세 액	세 액	세 액	천 kWh	세 액	천 kWh	세 액
전 국	6,154,396	8,125,521	4,385,696	—	163,638,280	163,638,280	350,915,147	105,274,602
서 울	—	275,568	—	—	—	—	388,904	116,672
부 산	—	581,176	—	—	42,149,428	42,149,428	7,005,493	2,101,648
대 구	—	321,722	—	—	—	—	2,909,713	872,918
인 천	—	57,432	—	—	—	—	65,618,244	19,685,502
광 주	—	197,644	—	—	—	—	300,148	90,044
대 전	—	203,001	—	—	—	—	172,958	51,898
울 산	—	204,948	1,919	—	1,995,293	1,995,293	11,965,478	3,589,644
세 종	—	13,230	11,627	—	—	—	2,941,841	882,552
경 기	1,951,890	1,373,038	249,418	—	—	—	53,009,336	15,902,805
강 원	1,788,131	795,152	3,436,098	—	—	—	7,453,374	2,236,016
충 북	1,313,652	326,576	486,850	—	—	—	139,072	41,722
충 남	—	535,263	12,380	—	—	—	104,329,498	31,298,850
전 북	77,255	245,701	3,929	—	—	—	7,488,660	2,246,598
전 남	139,528	277,843	134,760	—	44,235,441	44,235,441	22,910,173	6,873,052
경 북	233,895	857,849	48,715	—	75,258,118	75,258,118	5,525,819	1,657,748
경 남	650,045	1,387,295	—	—	—	—	56,286,294	16,885,890
제 주	—	472,083	—	—	—	—	2,470,142	741,043

* 출처: 행정자치부, 2017 지방세통계연감

[표 6.5] 충청남도 기초지자체별 지역자원시설세

구분	2013			2014			2015		
	세수 총액 (백만원)	지역 자원 시설세 (백만원)	비중 (%)	세수 총액 (백만원)	지역 자원 시설세 (백만원)	비중 (%)	세수 총액 (백만원)	지역 자원 시설세 (백만원)	비중 (%)
합계	2,226,001	36,492	1.64	2,624,962	61,238	2.33	2,836,473	80,377	2.83
천안시	601,883	11,575	1.92	689,631	13,863	2.01	776,349	14,662	1.89
보령시	80,757	1,285	1.59	79,879	6,592	8.25	103,436	11,117	10.75
아산시	393,385	7,798	1.98	505,406	9,863	1.95	464,830	10,711	2.30
서산시	182,534	2,941	1.61	204,369	3,388	1.66	231,302	3,977	1.72
당진시	237,876	5,271	2.22	256,494	13,731	5.35	300,701	20,114	6.69
서천군	36,393	545	1.50	38,310	1,011	2.64	41,667	1,377	3.30
태안군	56,965	812	1.43	70,713	5,457	7.72	89,911	10,421	11.59

* 출처: 행정자치부, 지방세통계연감

3.2 충청남도 화력발전 지역자원시설세 전망

3.2.1 충청남도 석탄화력발전시설 관련 최근의 여건 변화

- 본 연구는 8차 전력수급기본계획(이하 8차 기본계획, 산업통상자원부, 2017.12)에서 제시한 2030년까지 충청남도 발전 설비용량을 기준으로 지역자원시설세를 전망하였음
- 한편, 최근 충청남도는 노후석탄화력의 폐쇄시기를 8차 기본계획에서 제시한 시점보다 앞당기기 위해 노후석탄화력 조기폐쇄 특별전담조직을 가동함
 - 이와 동시에 충청남도에 위치한 발전사(중부, 서부, 동서)를 중심으로 석탄화력 성능개선 사업 추진(예비타당성 조사, 설명회 및 주민 의견수렴 등)을 통해 석탄발전사 수명연장을 시도하고 있다는 논란이 공존하는 상황임
- 이에 본 연구에서는 지역자원시설세 전망에 앞서 분석에 기본전제가 되는 화력발전 시설용량의 변동성을 점검·확인하여 전망결과에 대한 신뢰도를 높이고자 하였음

- 8차 기본계획에 따르면 충청남도에 2030년까지 신규 계획된 발전소는 총 2,160MW임
 - 이 중 신서천 #1(1,000MW)는 당초 예정대로 석탄발전으로 증설이 확정된 반면, 당진에코파워 #1, #2(총 1,160MW)는 당초 계획과 달리 LNG발전으로 확대 전환(총 1,160MW→ 1,900MW)되기로 확정됨
 - 당진에코파워의 경우 당초에는 충청남도 당진시에 위치할 예정이었으나 #1호기는 충북 음성, #2호기는 울산광역시에 건설되기로 각각 변경되어, 본 연구의 전망에는 제외하였음
- 동 기간 동안 폐지 계획 용량은 2,000MW로 수준으로 확정됨
 - 이 중 보령 #1, #2(총 1,000MW)는 2022년 폐지가 확정된 반면, 태안 #1, #2(총 1,000MW)는 당초 폐지계획과 달리 2025년 LNG발전으로 연료전환이 확정됨

[표 6.6] 8차 전력수급기본계획에 따른 충청남도 화력발전소 신규·폐쇄 계획(~2030)

구분	발전기	설비용량 (MW)	완공/폐쇄 기간	LNG 전환여부 (최종)	비고
신규	신서천 #1	1,000	2019	X	
	당진에코파워 #1	580	2021	O	950MW 확대전환 (충북 음성)
	당진에코파워 #2	580	2022	O	950MW 확대전환 (울산)
폐지	보령 #1	500	2022	X	
	보령 #2	500	2022	X	
	태안 #1	500	2025	O	연료 전환
	태안 #2	500	2025	O	연료 전환

* 자료: 관계부처 합동(2017), p.11, 산업통상자원부(2017) 토대로 연구진 작성

- 이와 더불어 최근 충청남도가 추진 중인 노후석탄발전소 조기 폐지 계획을 검토하였으나, 현재까지 8차 기본계획에 대한 변동·확정사항이 발표된 바 없음에 따라 본 연구에서는 8차 기본계획을 중심으로 지역자원시설세를 전망하였음
 - 특히, 충청남도 노후석탄발전 조기폐쇄 특별전담조직 (Task Force, T/F)에서 중점적으로 추진 중인 보령 #1, #2기 조기폐지는 8차 기본계획 상 예정된 폐지시점인 2022년을 2020년으로 2년 앞당기는 것임

– 단, 이는 현재 추진 단계로서 국가 단위에서 변동·확정된 사항이 아님

- [표 6.7]은 현재 논란이 되고 있는 주요 쟁점을 언론 및 보도 자료를 토대로 정리한 결과임

[표 6.7] 2019년 충청남도 노후석탄발전소 주요 쟁점 및 관련 자료(∼2030)

출처	일시	주요 내용
KBS 등 다수 언론자료 (충남환경운동연합)	‘19.1.9~	충남시민단체는 발전사들에 정보공개를 청구해 받은 KDI 예타 보고서를 인용하면서, 당진 1~4호기, 보령 3~6호기, 태안 3~4호기 등 충청남도 소재 10기 노후 석탄발전소*가 수명연장을 추진하고 있는 것으로 주장
조선일보 등 다수 언론자료	‘19.1.24~	양승조 충청남도지사 “충남 노후발전소 10기 성능 개선 사업을 위해 정부(발전사)가 실시한 예타 조사 결과 신뢰할 수 없으며, 노후 화력발전 조기 폐쇄를 위한 이론적 근거를 마련하기 위해 연구용역 발주 검토 중”
충청남도 보도자료	‘19.1.30	노후석탄화력 조기폐쇄 TF팀 가동하였으며, 주요 전략 중 보령발전소 #1, #2호기의 당초 사용 수명 2022년(8차 기본계획)에서 2020년으로 앞당겨지도록 추진하는 내용이 포함됨
충청남도 보도자료	‘19.2.7	충청남도, 충북도, 대전시, 세종시 단체장은 ‘노후 석탄화력 폐쇄를 위한 충청권 공동선언문’을 발표하였으며, 주요 내용으로 노후 석탄화력 조기 폐쇄 및 수명연장을 위한 성능개선 사업 즉각 중단이 포함됨

* 논란이 되고 있는 예비타당성 조사 대상 10기는 8차 기본계획 상 폐지계획에 포함되지 않은 발전소임

3.2.2 분석과정 및 결과

- 본 연구에서는 원별 설비용량과 2015년부터 2017년까지의 원별 이용률을 적용하여 2018년부터 2030년까지의 충청남도 발전사별 발전량을 전망하였음
- 발전량 전망결과에 현재 발전량 당 세율을 적용하여 2030년까지의 지역자원시설세를 추정하였음

- 현재 2017년 충청남도에 위치한 석탄화력은 보령 4,000MW, 신보령 1,852MW, 태안 6,100MW, 당진 6,040MW로 총 17,992MW의 석탄화력설비가 설치되어 있음
- 그리고 충청남도에 위치한 복합화력은 보령 LNG복합화력 1,350MW, 당진 LNG복합화력 2,261.7MW, 당진 부생가스복합화력 800MW, 서산(대산) 경유복합화력 465.8MW로 총 4,877.5MW의 복합화력설비가 설치되어 있음
- 따라서 2017년 12월 기준 충청남도에는 석탄화력 17,992MW 및 복합화력 4,877.5MW를 포함하여 총 22,869.5MW의 화력발전설비가 위치하고 있음

[표 6.8] 충청남도 화력발전 설비 현황 (2017년12월 기준, 단위: MW)

구분	소재지	방식	연료	준공년	설비용량		합계
중부발전	서천	기력	석탄	'84년	#1	200	0 *
					#2	200	
				'83년	#1	500	4,000
				'84년	#2	500	
				'93년	#3	500	
					#4	500	
					#5	500	
					#6	500	
	보령	기력	석탄	'94년	#7	500	1,852
				'08년	#8	500	
				'17년	신보령 #1	926	
					신보령 #2	926	
	보령	복합 (#1~3)	LNG	'97년	GT	150×6	1,350
				'02년	ST	150×3	
서부발전	태안	기력	석탄	'95년	#1	500	6,100
				'97년	#2	500	
					#3	500	
				'01년	#4	500	
					#5	500	
				'02년	#6	500	
				'07년	#7	500	
					#8	500	
				'16년	#9	1,050	

구분	소재지	방식	연료	준공년	설비용량		합계
동서발전	당진	기력	석탄	'17년	#10	1,050	6,040
				'99년	#1	500	
					#2	500	
				'00년	#3	500	
				'01년	#4	500	
				'05년	#5	500	
				'06년	#6	500	
				'07년	#7	500	
					#8	500	
				'16년	#9	1,020	
					#10	1,020	
GS EPS	당진	복합	LNG	'00년	#1	GT 161×2	2,261.7
				'01년		ST 179×1	
				'08년	#2	GT 175×2	
						ST 184×1	
				'13년	#3	GT 250×1	
						ST 132×1	
				'17년	#4	GT 270×2	
						ST 306×1	
현대 그린파워 **	당진	복합	부생가스	'09년	#1	100	800
					#2	100	
				'10년	#3	100	
					#4	100	
				'13년	#5	100	
					#6	100	
					#7	100	
					#8	100	
씨지엔 대산전력 ***	서산	복합	경유	'98년	GT	93.7×4	465.8
					ST	91×1	

※ 자료: 전력거래소(2018.07) 「2017년도 발전설비 현황」 보고서를 토대로 연구진 작성

* 서천화력은 국내 무연탄을 사용하는 총 400MW급 화력발전소로서 2017년 7월 폐지됨

** 현대그린파워는 한국중부발전과 현대제철이 공동 출자한 회사로서, 당진 현대제철소에 위치하며 제철공정에서 발생하는 부생가스로 발전함

*** 엠피씨대산전력(주)는 2016년 씨지엔대산전력(주)로 변경됨

[표 6.9] 충청남도 화력발전 연도별 설비용량 (단위: MW) (제8차전력수급 기본계획 반영)

년도		2017	2018	2019	2020	2021
합계		22,869.5	23,055.5	24,055.5	24,055.5	24,055.5
전년 대비		▲ 3,528	▲ 186	▲ 1,000	—	—
중부발전(서천)	석탄	0	0	1,000 ①	1,000	1,000
중부발전(보령)	석탄	5,852	6,038 ②	6,038	6,038	6,038
	LNG복합	1,350	1,350	1,350	1,350	1,350
서부발전(태안)	석탄	6,100	6,100	6,100	6,100	6,100
	LNG복합	—	—	—	—	—
동서발전(당진)	석탄	6,040	6,040	6,040	6,040	6,040
GS EPS(당진)	LNG복합	2,261.7	2,261.7	2,261.7	2,261.7	2,261.7
현대 그린 파워 (당진)	부생가스복합	800	800	800	800	800
씨지엔 대산전력(서산)	경유복합	465.8	465.8	465.8	465.8	465.8
년도		2022	2023	2024	2025	2030
합계		23,055.5	23,055.5	23,055.5	23,055.5	23,055.5
전년 대비		▽ 1,000	—	—	—	—
중부발전(서천)	석탄	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
중부발전(보령)	석탄	5,038 ③	5,038	5,038	5,038	5,038
	LNG복합	1,350	1,350	1,350	1,350	1,350
서부발전(태안)	석탄	6,100	6,100	6,100	5,100 ④	5,100 ④
	LNG복합	—	—	—	1,000 ④	1,000 ④
동서발전(당진)	석탄	6,040	6,040	6,040	6,040	6,040
GS EPS(당진)	LNG복합	2,261.7	2,261.7	2,261.7	2,261.7	2,261.7
현대 그린 파워 (당진)	부생가스복합	800	800	800	800	800
씨지엔 대산전력(서산)	경유복합	465.8	465.8	465.8	465.8	465.8

※ 자료1: 전력거래소(2018.07) 「2017년도 발전설비 현황」

※ 자료2: 산업통상자원부(2017.12) 「제8차 전력수급기본계획(2017~2031)」-발전설비 건설계획- 참고

* 참고①: 2019년 신서천(#1) 1,000MW 초초임계 석탄화력 추가 예정

* 참고②: 2018년 신보령(#1) 93MW, 신보령(#2) 93MW 용량 추가 예정

* 참고③: 2022년 보령(#1) 500MW, 보령(#2) 500MW 폐지 예정

* 참고④: 2025년 태안(#1) 500MW, 태안(#2) 500MW의 석탄화력을 폐지하고

대신 태안(LNG#1) 500MW, 태안(LNG#2) 500MW의 LNG로 연료전환 예정

* 참고④: 8차 기본계획에서 제시한 2030년 충남 내 화력발전 설비용량 및 구성은 2025년과 동일함

○ 기존 서천화력은 국내산 무연탄을 사용하는 총 400MW급 화력발전소로서 2017년 7월 폐지됨

— 향후 기존 부지에는 고효율 초초임계압 발전소인 1,000MW급 신서천화력발전소가 신규로 건설될 예정임

- 보령화력의 경우 기존 4,000MW 발전소에서 2017년 926MW급 신보령화력 1호기 및 2호기가 준공되어 총 5,852MW의 석탄화력발전 설비를 보유하게 됨
 - 또한 2018년 신보령화력은 1호기 2호기 각각 93MW의 용량이 추가될 예정이며 2022년에는 보령화력 1호기 및 2호기 각 500MW가 폐지될 예정임
- 태안화력은 기존 4,000MW 발전소에서 2016년과 2017년 각각 1,050MW급 설비를 증설하여 총 6,100MW의 석탄화력발전 설비를 보유하고 있음
 - 그리고 향후 2025년에는 태안 1호기 및 2호기 각 500MW의 석탄화력발전소를 LNG로 연료전환할 예정임
- 현대그린파워는 한국중부발전(지분율 29%)과 현대제철(지분율 29%)이 공동 출자한 특수목적법인으로서 당진 현대제철소에 위치하며, 제철공정에서 발생하는 부생가스로 발전함
 - 단, 부생가스는 현재 신재생에너지로 분류되어 본 연구의 지역자원시설세 전망에서는 제외함
- 한편 당진에코파워는 당초 석탄화력발전소로 건설될 계획이었으나, 정부의 석탄화력발전 축소계획에 따라 충북 음성에 970MW급 LNG 복합화력발전소를, 울산에 970MW급 LNG · LPG 복합화력발전소를 건설하는 것으로 변경됨³⁰⁾
 - 기존에는 SK가스, 동서발전, 산업은행이 지분을 보유하여 당진에 1.16GW급(580MW급 2기) 석탄화력발전소 건설을 추진 중이었음

30) 당진에코파워는 기존 화력발전계획을 대신하여 당진에 9.8MW규모의 태양광발전시설과 24.5MWh 규모의 에너지저장시설(ESS)을 건설하는 신재생 에너지 사업을 추진할 예정임

[표 6.10] 충청남도 화력발전소별 이용률

구분	소재지	연료	이용률 (%)			
			2015년	2016년	2017년	3년 평균
중부발전	서천	석탄	72.1	78.0	—	75.1
		석탄	92.1	87.8	85.5	88.5
	보령	석탄(신보령)	—	—	66.3	—
		복합(LNG)	4.6	8.1	6.2	6.3
서부발전	태안	석탄	92.6	74.6	72.5	79.9
동서발전	당진	석탄	94.1	63.2	66.6	74.6
GS EPS	당진	복합(LNG)	35.6	38.0	37.4	37.0
현대그린파워	당진	복합(부생)	67.0	64.3	73.4	68.2

* 출처 : 한국전력공사 한국전력통계(2016, 2017, 2018)

- 제8차 전력수급 기본계획(2017.12.)을 반영한 충청남도 화력발전소 설비용량과 과거 3개년도(2015년~2017년)의 발전소별 설비 이용률을 반영하여, 향후 충청남도 화력발전소별 발전량을 산정하였음
- 이용률의 경우, 서천화력은 2017년 폐지되었으나 2019년부터 신서천화력이 가동될 예정임에 따라 기존 서천화력의 평균 이용률(75.1%)를 적용하였음
- 신보령화력의 경우 2017년 가동개시로 당해연도 이용률이 높지 않아 보령화력의 이용률(88.5%)을 적용하였음
- 또한 2025년에는 태안화력의 일부 설비가 LNG로 연료전환 예정임에 따라, 이 설비에는 국내 LNG 복합화력의 평균 이용률(25.1%)³¹⁾을 적용하였음
- 한편 씨지엔대산전력은 경유를 사용하는 특성상 비용문제 등으로 전력 비상시에만 가동하고 있어서 이용률이 낮고(2014년 1%, 2015년 3%) 충청남도 전체 발전량에서 차지하는 비중이 매우 작아서 본 연구의 지역자원시설세 전망에서 제외하였음

31) 2017 한국전력통계 중 한전자회사 LNG 복합화력발전소 평균 이용률(2017년 기준) 적용

[표 6.11] 충청남도 화력발전소 발전량 전망 (단위: GWh)

구분	소재지 (연료)	2017*	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
중부 발전	서천 (석탄)	—	—	6,574	6,574	6,574	6,574	6,574	6,574	6,574	6,574
	보령 (석탄)	29,960	30,999	30,999	30,999	30,999	23,249	23,249	23,249	23,249	23,249
	신보령 (석탄)	10,758	15,800	15,800	15,800	15,800	15,800	15,800	15,800	15,800	15,800
	보령 (LNG)	737	745	745	745	745	745	745	745	745	745
서부 발전	태안 (석탄)	38,749	42,695	42,695	42,695	42,695	42,695	42,695	42,695	35,696	35,696
	태안 (LNG)	—	0	—	—	—	—	—	—	2,199	2,199
동서 발전	당진 (석탄)	35,213	39,489	39,489	39,489	39,489	39,489	39,489	39,489	39,489	39,489
GS EPS	당진 (LNG)	7,406	7,329	7,329	7,329	7,329	7,329	7,329	7,329	7,329	7,329
현대 그린 파워	당진 (부생)	5,143	4,782	4,782	4,782	4,782	4,782	4,782	4,782	4,782	4,782
합계		127,967	141,839	148,413	148,413	148,413	140,663	140,663	140,663	135,863	135,863

* 2017년 발전량은 실제 발전량이고(자료: 전력거래소 「2017년도 발전설비 현황」), 2018년부터는 전망치임

* 8차 전력수급기본계획 상에 나타난 2030년 충청남도 내 화력발전 설비용량 및 구성은 2025년과 동일함

- 위 표에서 2017년 발전량은 실제 발전량이며, 2018년 발전량부터는 설비계획과 이용률을 반영한 전망치임
- 충청남도의 2017년 화력발전소 발전량이 약 127,966 GWh인데 비하여 2018년 발전량이 141,838 GWh로 비교적 큰 폭으로 증가함
- 그 이유는 2017년 신보령 설비(1,852MW)가 추가되었으나 운영개시년도에는 이용률이 낮았고 2018년 이후부터는 그보다 높은 이용률을 가정했기 때문임
- 또한 태안화력(석탄)과 당진화력(석탄)의 경우 2017년 발전량은 당해연도 당해설비의 실제 이용률을 적용하였으나, 2018년 이후부터는 과거 평균 이용률을 적용하였는데 이는 평균 이용률이 2017년 이용률보다 약간 높은데 기인함

- 충청남도 화력발전 지역자원시설세를 현재 과세율(화력발전 발전량 kWh당 0.3원)로 전망하면 아래와 같이 2020년 약 445억원으로 증가한 후 2025년에는 407억원으로 감소할 것으로 예상됨
 - 신서천화력 준공(2019년)으로 증가하며, 보령화력의 일부 폐지(2022년)와 태안화력의 일부 연료전환(2025년) 영향으로 감소함

[표 6.12] 충청남도 화력발전 지역자원시설세 전망 (발전회사별, 단위: 백만원)

구분	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
중부발전	12,436	14,263	16,235	16,235	16,235	13,910	13,910	13,910	13,910	13,910
서부발전	11,625	12,809	12,809	12,809	12,809	12,809	12,809	12,809	11,368	11,368
동서발전	10,564	11,847	11,847	11,847	11,847	11,847	11,847	11,847	11,847	11,847
GS EPS	2,222	2,199	2,199	2,199	2,199	2,199	2,199	2,199	2,199	2,199
현대 그린 파워	1,543	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435
합계	38,390	42,552	44,524	44,524	44,524	42,199	42,199	42,199	40,759	40,759

* 참고: 화력발전 지역자원시설세는 충청남도 화력발전소 발전량 전망치에 해당 과세율(화력발전 발전량 kWh 당 0.3원)을 적용하여 전망치를 산정하였음

* 8차 기본계획에서 제시한 2030년 충청남도 내 화력발전 설비용량 및 구성은 2025년과 동일함

- 충청남도 화력발전 지역자원시설세를 기초지자체별로 전망하면 아래와 같음
- 충청남도 지역자원시설세 특정자원분 관련 조례(충청남도 조례 제4012호) 및 지방재정법 제29조에 근거하여 화력발전을 대상으로 한 지역자원시설세는 도에 35% 그리고 화력발전소가 위치한 시군에 65%가 배분됨
- 이 비율을 반영하면 2017년 충청남도 화력발전 지역자원시설세 총 384억원은 도에 134억원 시군에 249억원이 배분되며, 2020년에는 총 445억원중 도에 155억원 시군에 289억원이 배분될 전망이다

[표 6.13] 충청남도 화력발전 지역자원시설세 전망 (기초지자체별, 단위: 천원)

구분	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	2024년	2025년	2030년
서천군	도	-	-	690	690	690	690	690	690	690
	시군	-	-	1,282	1,282	1,282	1,282	1,282	1,282	1,282
	합계	-	-	1,972	1,972	1,972	1,972	1,972	1,972	1,972
보령시	도	4,353	4,992	4,992	4,992	4,992	4,178	4,178	4,178	4,178
	시군	8,084	9,271	9,271	9,271	9,271	7,760	7,760	7,760	7,760
	합계	12,436	14,263	14,263	14,263	14,263	11,938	11,938	11,938	11,938
태안군	도	4,069	4,483	4,483	4,483	4,483	4,483	4,483	3,979	3,979
	시군	7,556	8,326	8,326	8,326	8,326	8,326	8,326	7,390	7,390
	합계	11,625	12,809	12,809	12,809	12,809	12,809	12,809	11,368	11,368
당진시	도	5,015	5,418	5,418	5,418	5,418	5,418	5,418	5,418	5,418
	시군	9,314	10,062	10,062	10,062	10,062	10,062	10,062	10,062	10,062
	합계	14,329	15,480	15,480	15,480	15,480	15,480	15,480	15,480	15,480
합계	도	13,436	14,893	15,583	15,583	15,583	14,770	14,770	14,266	14,266
	시군	24,953	27,659	28,941	28,941	28,941	27,429	27,429	26,493	26,493
	합계	38,390	42,552	44,524	44,524	44,524	42,199	42,199	40,759	40,759

* 참고: 화력발전 지역자원시설세는 충청남도 화력발전소 발전량 전망치에 해당 과세율(화력발전 발전량 kWh 당 0.3원)을 적용하여 전망치를 산정하였음

* 참고: 화력발전(특정자원) 지역자원시설세 배분비율인 도(35%) : 시군(65%)을 적용하여 시군별 세입을 산정하였음

[표 6.14] 충청남도 화력발전 지역자원시설세 전망 (과세율 수준별, 단위: 억원)

구분	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
설비용량 (MW)	22,869	23,055	24,055	24,055	24,055	23,055	23,055	23,055	23,055	23,055
발전량 (GWh)	127,966	141,838	148,413	148,413	148,413	140,663	140,663	140,663	135,862	135,862
지역 자 원 시 설 세	0.3원/ kWh (현행)	384	425	445	445	445	422	422	407	407
	1.0원/ kWh (가정)	1,279	1,418	1,484	1,484	1,484	1,406	1,406	1,358	1,358
	2.0원/ kWh (가정)	2,559	2,837	2,968	2,968	2,968	2,813	2,813	2,717	2,717

3.3 충청남도 화력발전 지역자원시설세 여건 변화

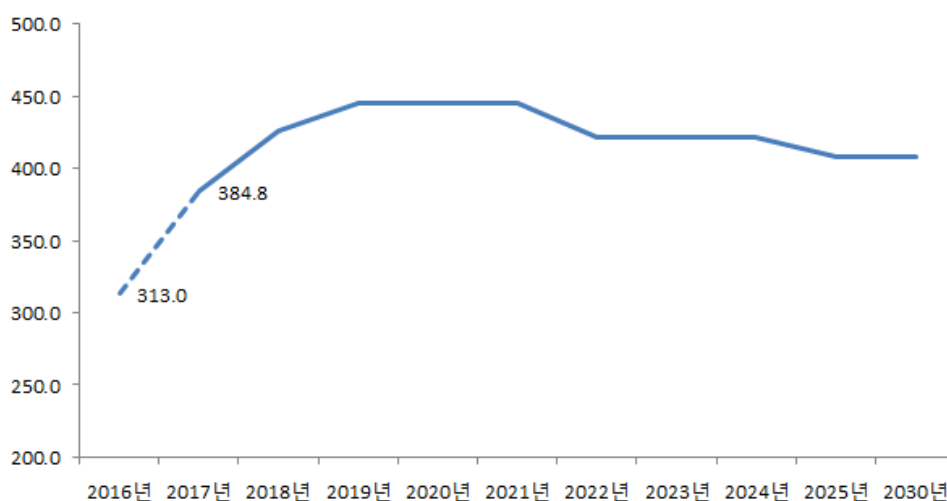
- 최근 충청남도의 지역자원시설세는 증가 추세에 있음(2016년 843억원 → 2017년 963억원). 이와 같은 증가의 주요 원인은 화력발전 특정자원분에 기인되고 있음(2016년 313억원 → 2017년 385억원)

[표 6.15] 충청남도 지역자원시설세(과세분) 및 특정자원분(화력) 징수현황 (2016, 2017) (천원)

2016			2017		
소계	특정자원	특정부동산	소계	특정자원	특정부동산
84,363,964	31,827,826 (화력 31,298,850)	52,536,138	96,307,486	39,015,874 (화력 38,479,472)	57,291,612

자료: 행정안전부, 지방세통계 (http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=110&tblId=DT_11007_A755&conn_path=13)에서 재작성

- 한편, 최근 정부의 미세먼지 및 에너지전환 대책에 근거해 본 연구에서 도출된 화력발전 지역자원시설세는 현재 대비 증가가 유지될 것으로 전망됨
- 그러나 이와 같은 증가추세는 시기별로 차이가 발생될 것으로 예상됨
- 2018년부터 400억원(2018년)을 초과해 2020년 445억원까지 지속 증가하다가 2022년 이후 2030년 기간 중에서는 증가세가 둔화되어 400억원 수준에서 정체될 것으로 전망됨



[그림 6.1] 충청남도 화력발전 지역자원시설세 추세 전망 (억원)

자료: 연구진

- 2030년 화력발전 지역자원시설세는 지역별로 현재(2017년) 대비 증감률과 비중이 변화가 있을 것으로 전망됨
- 우선, 감소되는 지역은 보령시와 태안군이며, 특히 보령시에서 높은 감소율(4%)이 예상됨
- 이에 따라 전체 지역자원시설세에서 차지하는 비중도 이들 지역에서 하락이 예상됨
- 한편, 당진시는 증가되는 지역에 속하는데 증가율은 8%임
- 그러나 이에 비해 비중은 2017년 현재 37.2%에서 다소 증가하는 수준에 그쳐 38%에 이를 것으로 분석됨
- 이는 서천군에서 그 동안 발생되지 않던 지역시설세가 2019년부터 도입 예정된 신서천 1호기가 가동되면서 비중이 2030년 4.8%로 추가 편입되는 것에서 비롯됨

[표 6.16] 충청남도 화력발전 지역별 지역자원시설세 증감률 및 비중 전망 (천원)

구분	2017년	2030년	증감률
서천군	1,972,314 (0%)	1,972,314 (4.8%)	0.0%
보령시	12,436,381 (32.3%)	11,938,112 (29.3%)	-4.0%
태안군	11,624,603 (30.2%)	11,368,465 (27.9%)	-2.2%
당진시	14,328,716 (37.2%)	15,480,007 (38.0%)	8.0%

*서천군은 2019년 기준임. 괄호안의 값은 지역별 지역자원시설세 비중임
자료: 연구진

- 위와 같은 분석 결과에 의하면, 2030년까지 화력발전 지역자원시설세의 증가세 둔화, 지역별 기여의 변동으로 요약되며 이와 같은 방향으로의 여건 변화가 예상됨
- 이와 같은 여건변화는 근본적으로 노후 화력발전 폐쇄, 화력발전의 신증설 및 연료전환 등 정부의 에너지전환 정책기조에 의해 비롯됨
- 이에 따라 충청남도의 화력발전 지역자원시설세는 2020년 까지는 445억원까지 증가되

지만 이후 성장세가 정체되면서, 궁극적으로 2017년 385억원 대비 중장기적으로 크게 증가하지 않고 400억톤 수준에서 유지될 것으로 분석됨

- 그리고 이 과정에서 서천, 보령·태안, 당진의 세 지역별 과세 비중의 변동이 발생할 것임
- 지금까지의 충청남도 지역자원시설세 운용방식은 이런 여건변화를 반영해 향후 개선방안이 마련될 필요가 있음
- 본 연구에서는 현재의 운용현황 분석을 바탕으로, 중장기 기본 개선방향을 재정립하고, 이에 근거한 우선 지원순위 및 지원방식의 중점 방안을 제시하였음

4. 충청남도 특정자원 지역자원시설세 운용현황

4.1 충청남도

- 충청남도 특정자원 지역자원시설세 특별회계 예산은 2018년 현재 약 200억원임
(<http://www.chungnam.net:8100/getBudgetInfo.do>)
 - 이는 같은 기간 특별회계 총 예산(약 4,630억원)의 4.4%에 해당됨
- (세부사업) 총 42개 사업을 대상으로 매우 광범위하게 사용되고 있으며, 지출비중이 높은 사업은 취약계층 에너지복지(13.9%)와 국가보조사업인 신재생에너지 융복합지원(12.9%), 도 공공시설 LED 조명교체(9.0%), 보건환경 연구 및 시책추진 지원(8.3%) 사업 등임
- 다음으로 국가직접지원 보조사업인 신재생에너지 주택지원(4.5%), 농어촌 마을단위 LPG소형저장탱크(4.7%), 도시가스 공급시설 설치비 지원(4.7%), 지하수자원 보존관리(3.9%) 지원 사업도 상대적으로 높은 지출 비중을 보이고 있음
 - 반면 대기질 개선과 관련해서는 연간 2억원 수준에 불과한 1% 수준에 그치고 있음
- (사업구분) 세부 사업은 지자체 자체에서 추진하는 자체사업과 중앙정부 차원에서 추진되는 보조사업으로 대별됨
 - 보조사업은 총 지출의 52.4%를 차지하여 자체사업보다 높은 비중을 점하고 있음
- (지원대상 분야) 지원은 산업 및 중소기업 대상이 절대 주류를 이루고 있으며, 이외에 보건 및 환경분야에 일정 부분이 지원되고 있음
 - 현재까지의 지원은 지역주민에 대한 피해 비용이나, 직접적인 환경개선에 상대적으로 낮은 중요도로 접근되고 있는 것으로 분석됨

[표 6.17] 충청남도 특정자원 지역자원시설세 특별회계 예산 지출 현황(2018년)

세부사업명	사업 구분	편성액 (백만원)	지출액		분야
			(백만원)	(%)	
에너지수급기반조성	자체	24.8	22.7	0.12	산업 · 중소기업
친환경에너지 산업벨트 조성을 위한 TF 운영	자체	9.0	7.6	0.04	산업 · 중소기업
보건환경 연구 및 시책추진 지원	자체	1,588.5	1,588.5	8.32	보건
에너지 전환 추진	자체	138.5	137.2	0.72	산업 · 중소기업
에너지절약 · 교육 · 홍보	자체	76.3	73.8	0.39	산업 · 중소기업
지역에너지계획수립지원	보조	1.0	1.0	0.01	산업 · 중소기업
환경오염 피해지역 주변 주민건강영향조사	자체	0.0	234.2	1.23	환경보호
지하수자원 보존관리 지원	자체	483.2	744.5	3.90	환경보호
신재생에너지 주택지원(국가직접지원)	보조	859.0	859.0	4.50	산업 · 중소기업
국고보조반환금	자체	27.4	27.4	0.14	기타
신재생에너지 주택지원	보조	639.7	639.7	3.35	산업 · 중소기업
수소에너지 포럼	자체	99.0	96.5	0.51	산업 · 중소기업
도 공공시설 LED조명 교체	자체	1,890.0	1,724.8	9.03	산업 · 중소기업
신재생에너지 건물지원(국가직접지원)	보조	261.0	261.0	1.37	산업 · 중소기업
신재생에너지 융복합지원(도)	자체	239.9	239.9	1.26	산업 · 중소기업
신재생에너지육성	자체	81.0	81.0	0.42	산업 · 중소기업
취약계층 에너지복지	보조	2,657.2	2,657.2	13.92	산업 · 중소기업
농어촌 마을단위 지원(충청남도)	보조	300.0	300.0	1.57	산업 · 중소기업
지역지원(시군경상)	보조	524.3	524.3	2.75	산업 · 중소기업
시설보조사업	보조	283.0	283.0	1.48	산업 · 중소기업
화력발전소 주변지역 기후환경 영향 연구	자체	0.0	578.0	3.03	환경보호
농어촌 마을단위 LPG소형저장탱크	자체	900.0	900.0	4.71	산업 · 중소기업
스마트그리드 확산사업(국가직접지원)	보조	209.3	209.3	1.10	산업 · 중소기업
사회복지시설 태양광 설치	자체	500.0	500.0	2.62	산업 · 중소기업
신재생에너지 융복합지원(국가직접지원)	보조	2,466.4	2,466.4	12.92	산업 · 중소기업
서민층 가스시설 개선	보조	1,010.7	1,010.7	5.29	산업 · 중소기업
청정에너지타운 조성	자체	500.0	500.0	2.62	산업 · 중소기업
대기질 개선	자체	108.0	205.6	1.08	환경보호
도시가스 공급시설 설치비 지원	자체	900.0	900.0	4.71	산업 · 중소기업

세부사업명	사업 구분	편성액 (백만원)	지출액		분야
			(백만원)	(%)	
환경기초시설 설치(탄소중립프로그램)	보조	345.1	345.1	1.81	환경보호
스마트 수소충전소 구축 연계 카셰어링 사업	보조	100.0	100.0	0.52	산업 · 중소기업
충청남도 녹색성장 포럼 운영	자체	45.0	45.0	0.24	산업 · 중소기업
신재생에너지 건물지원	자체	100.0	100.0	0.52	보건
온실가스 감축	자체	75.0	75.0	0.39	산업 · 중소기업
지역지원(도)	보조	359.1	344.0	1.80	산업 · 중소기업
친환경에너지타운 조성	보조	0.0	0.0	0.00	산업 · 중소기업
예비비	자체	1,178.8	0.0	0.00	예비비
해양보호관리	자체	190.0	0.0	0.00	농림해양수산
공공청사 신재생에너지설비 설치	자체	340.0	310.9	1.63	산업 · 중소기업
패키지형 수소충전 플랫폼 모델개발 및 실증사업	보조	250.0	0.0	0.00	산업 · 중소기업
에너지센터 설립 및 운영	자체	0.0	0.0	0.00	산업 · 중소기업
수소테마타운 시범조성 사업	보조	0.0	0.0	0.00	산업 · 중소기업
합계		19,760	19,093		

자료: <http://www.chungnam.net:8100/getBudgetInfo.do> 에서 저자 재작성

- 충청남도 특정자원 지역자원시설세 특별회계 예산 지출은 기본적으로 충청남도 특정자원 지역자원시설세 특별회계 설치 조례 4조 세출 기준에 근거해 운용되는 것임

[표 6.18] 충청남도 특정자원 지역자원시설세 특별회계 설치 조례 4조(세출)

화력발전에 의한 지역자원시설세는 다음 각 호의 사업 등에 사용.

1. 화력발전소 소재 시·군의 안전·방재 대책 및 환경개선 사업·조사·연구
2. 발전시설(송전소, 변전소 포함) 주변지역의 안전·방재 대책 및 환경개선 사업·조사·연구
3. 충청남도 지역에너지 종합계획에 의한 사업
4. 도 및 시·군이 추진하는 신재생에너지 개발·보급·지원사업
5. 도 및 시·군이 추진하는 에너지절약 사업 및 홍보·교육·연구 등에 필요한 경비
6. 에너지산업 육성 및 에너지 관련 민간 위탁사업

- 그러나 현재의 세출 원칙은 포괄적 지원사업 대상 중심으로 제시되어 있어, 사업간 우선순위, 지원규모, 지원대상의 형평성 등에 관한 세부 운용방안이 향후 보다 체계적으로 정립될 필요가 있을 것으로 분석됨

- 특히, 최근 미세먼지와 같은 사회적 현안 및 여건변화를 고려할 때 이와 같은 세부 운용방안의 개선은 더욱 요구되는 시기라 할 수 있음

4.2 석탄화력발전소 소재 시·군

- 충청남도 지역별(당진, 태안, 보령, 서천) 화력발전소 주변지역 예산 지출액 배분현황 (2018년)은 다음과 같음

[표 6.19] 당진시 특정자원 지역자원시설세 특별회계 예산 지출 현황(2018년)

회계구분	세부사업명	사업 구분	분야	편성액 (백만원)	지출액	
					(백만원)	(%)
현대그린 파워(주) 제철화력 발전소특 별회계	현대그린파워(주)발전소 주변지역 특별지원사업			340.635	337	1.75
	발전소주변지역 공공사회복지(민간자본사업보조)			162.465	101	0.53
	현대그린파워(주)발전소 주변지역 지원사업			0	622	3.23
	특별지원사업 발전소주변지역 공공사회복지(송산사회복지시설 건립)	보조	산업 · 중소 기업	0	436	2.27
	특별지원사업 발전소주변지역 공공사회복지(송악주민자치복지센터)			0	306	1.59
	특별지원사업발전소주변지역공공사회복지 (삼선산 수목원 조성사업)			84.943	85	0.44
	예비비-현대그린파워발전소			951.212	0	0.00
당진화력 발전소주 변지역지 원사업특 별회계	발전소주변지역 공공사회복지(시설비)			413.142	392	2.04
	발전소주변지역 그밖의지원			49.3	39	0.20
	특별지원사업 발전소주변지역 공공사회복지(면천읍성 복원정비)			0	2,233	11.61
	특별지원사업 발전소주변지역 공공사회복지(합덕제 복원정비)			0	372	1.93
	특별지원사업 발전소주변지역 공공사회복지(시설비)			64	2,083	10.83
	발전소주변지역 소득증대(민간자본사업보조)	보조	산업 · 중소 기업	5,412.671	4,084	21.23
	특별지원사업 발전소주변지역 공공사회복지(당진종합운동장 확장)			3,495	1,316	6.84
	특별지원사업 발전소주변지역 공공사회복지(민간자본보조)			1,205.196	783	4.07
	발전소주변지역 공공사회복지(민간자본사업보조)			1,203.808	529	2.75
	석문에너지지역 특별지원사업 발전소 주변지역(공공사회복지)			2,286	1,343	6.98

회계구분	세부사업명	사업 구분	분야	편성액 (백만원)	지출액	
					(백만원)	(%)
평택화력 발전소주 변지역지 원사업특 별회계	발전소주변지역 공공사회복지(민간경상사업보조)	보조	산업 · 중소 기업	30	30	0.16
	특별지원사업 발전소주변지역 소득증대(민간자본보조)			2,036,543	37	0.19
	화력발전소 주변지역 민간환경감시기구 지원(민간경상보조)			300	300	1.56
	당진화력 주변지역 지원사업			0	90	0.47
	당진화력발전소주변지역 그밖의 지원(민간행사보조)			25	25	0.13
	발전소주변지역 주민복지 및 기업유치지원(민간융자금)			100	100	0.52
	예비비 - 당진화력			9,373,503	0	0.00
	발전소주변지역 공공사회복지(시설비 등)			251,517	249	1.29
	발전소주변지역 공공사회복지(민간자본사업보조)			140,799	100	0.52
	신평택 발전소 주변지역 공공사회복지 (민간자본보조)			8,23	8	0.04
GSEPS 복합화력 특별회계	예비비-평택화력	보조	산업 · 중소 기업	588,915	0	0.00
	발전소주변지역 공공사회복지(시설비)			14,519	14	0.07
	평택화력발전소주변지역 주민복지지원 및 기업유치지원(민간융자금)			0	0	0.00
	신평택 발전소주변지역 공공사회복지(시설비)			6.63	7	0.03
	발전소주변지역 공공사회복지(민간자본사업보조)			252,286	310	1.61
	특별지원사업 발전소주변지역 공공사회복지 (전통시장 시설개선 및 보수)			0	593	3.08
	발전소주변지역 소득증대(민간자본사업보조)			24.02	20	0.11
	발전소주변지역 공공사회복지(민간경상사업보조)			1.5	2	0.01
	발전소 주변지역 공공사회복지 (민간자본사업보조-바이오매스)			51	19	0.10
	특별지원사업 발전소주변지역 공공사회복지 (신평도시계획도로 개설사업)			591	1,863	9.68
	예비비-GSEPS복합화력			1,699,147	0	0.00
	발전소주변지역공공사회복지 (시설비)			441,014	409	2.13
	특별지원사업 발전소주변지역 공공사회복지(도시가스 설치사업)			111.2	0	0.00

회계구분	세부사업명	사업 구분	분야	편성액 (백만원)	지출액	
					(백만원)	(%)
	발전소주변지역 공공사회복지 (시설비-연료전지)			0,509	1	0.00
	발전소주변지역 공공사회복지 (민간자본사업보조-연료전지)			0	0	0.00
	GSEPS바이오매스발전소주변지역 소득증대(민간자본사업보조)			0	0	0.00
	GSEPS바이오매스 발전소 공공사회복지(시설비)			0,845	1	0.00
합계				31,717	19,239	

자료: <http://www.chungnam.net:8100/getBudgetInfo.do> 에서 저자 재작성

[표 6.20] 태안군 특정자원 지역자원시설세 특별회계 예산 지출 현황(2018년)

회계구분	세부사업명	사업 구분	분야	편성액 (비중)	지출액	
					(백만원)	(%)
발전소 주변지역 지원사업	발전소 주변 지역 지원 사업	자체		11,277	7,735	76.0
	발전소 주변지역 주민 소득증대 지원	보조		3,589	1,654	16.2
	신재생에너지 발전소주변지역 개발	보조	산업 · 중소 기업	246	249	2.4
	발전소 주변지역 개발	보조		975	504	5.0
	예비비	자체		39,582	-	0.0
	발전소주변지역특별지원사업	보조		0.0	41	0.4
합계				55,669	10,183	100

자료: <http://www.chungnam.net:8100/getBudgetInfo.do> 에서 저자 재작성

[표 6.21] 보령시 특정자원 지역자원시설세 특별회계 예산 지출 현황(2018년)

회계구분	세부사업명	사업 구분	분야	편성액 (백만원)	지출액	
					(백만원)	(%)
발전소 주변지역 지원사업	발전소주변지역소득증대(특별)	보조		11,629	7,727	60.4
	발전소주변지역소득증대(기본)-주포	보조	산업 · 중소 기업	262	135	1.1
	발전소주변지역소득증대(기본)-오천	보조		1,435	1,268	9.9
	발전소주변지역소득증대(기본)-천북	보조		496	367	2.9
	발전소주변지역소득증대(기본)-웅천	보조		101	75	0.6

회계구분	세부사업명	사업 구분	분야	편성액 (백만원)	지출액	
					(백만원)	(%)
	발전소주변지역소득증대(기본)-주교	보조		852	389	3.0
	발전소주변지역소득증대(기본)-주교	보조		913	444	3.5
	발전소주변지역소득증대(기본)-오천	보조		873	665	5.2
	발전소주변지역소득증대(기본)	보조		22	26	0.2
	발전소주변지역소득증대(기본)	보조		20	20	0.2
	발전소주변지역소득증대(특별)	보조		83	83	0.6
	발전소주변지역소득증대(기본)	보조		20	2	0.0
	발전소주변지역소득증대(특별)	보조		83	81	0.6
	발전소주변지역소득증대(특별)	보조		29	33	0.3
	발전소주변지역소득증대(기본)-오천	보조		20	20	0.2
	발전소주변지역소득증대(기본)	보조		433	393	3.1
	발전소주변지역소득증대(기본)-주산	보조		11	7	0.1
	발전소주변지역 소득증대	보조		2,410	0	0.0
	발전소주변지역소득증대(기본)	보조		1	0	0.0
	발전소주변지역소득증대(특별)	보조		2	0	0.0
발전소 주변지역 지원사업 용자금	민간융자금	자체	산업 · 중소 기업	3,000	1,054	8.2
합계				22,696	12,789	100

자료: <http://www.chungnam.net:8100/getBudgetInfo.do> 에서 저자 재작성

[표 6.22] 서천군 특정자원 지역자원시설세 특별회계 예산 지출 현황(2018년)

회계구분	세부사업명	사업 구분	분야	편성액 (백만원)	지출액	
					(백만원)	(%)
	어업인복지회관 건립	자체		20	18	2.1
발전소 주변지역 지원사업	발전소주변지역지원(신서천화력)	보조	산업 · 중소 기업	630	520	60.6
	발전소주변지역지원(고라햇빛발전소)	보조		36	36	4.2
	발전소주변지역지원(제이파워발전소)	보조		36	35	4.1

회계구분	세부사업명	사업 구분	분야	편성액 (백만원)	지출액	
					(백만원)	(%)
	발전소주변지역지원 (선도리태양광발전소)	보조		81	81	9.4
	발전소주변지역지원(서천화력)(자체)	자체		107	107	12.4
	발전소주변지역지원(군장에너지)	보조		53	30	3.5
	발전소주변지역지원(군산복합화력)	보조		41	30	3.6
	예비비	자체		155	0	0.0
	예비비(발전소주변)	자체		2,480	0	0.0
합계				3,639	858	100

자료: <http://www.chungnam.net:8100/getBudgetInfo.do> 에서 저자 재작성

- 화력발전소 주변 지역인 4개 시군의 2018년 현재 특정자원 지역자원시설세 예산 지출은 당진시가 192억원으로 가장 높고, 다음으로 보령시(128억원)와 태안군(101억원), 서천군은 8.5억원 수준으로 파악됨
- 당진시의 경우, 해당 소재지 화력발전소별로 공공사회복지 및 소득증대 사업들이 주류를 이루고 있음
 - 공공사회복지는 시설비(도시가스 설치, 도로건설 등) 및 민간사업(바이오매스, 연료전지 등) 대상으로 지원되고 있으며, 소득증대는 민간자본보조 형태로 운용되고 있음
- 한편, 보령시와 서천군은 포괄적으로 소득증대 형태로만 제시되고 있어, 상대적으로 발전소 주변지역 지원사업의 구체적 내용이 미흡한 것으로 평가됨
- 이와 같이 각 시군별 예산지출 현황 분석 결과에 따르면, 충청남도 대비 특별회계 운용의 구체성과 투명성이 미흡한 것으로 평가됨³²⁾
 - 이는 각 시군들에서 지역자원시설세를 일반회계에 편성해 충청남도 조례에서 정한 사업을 추진하는 데에서 비롯됨
 - 따라서 목적세에 부합되도록 안전과 환경개선, 신재생 에너지 사업 등 구체성과 투명성 관점에서 효과적으로 추진되지 못하는 것으로 평가됨

32) 충청남도는 특정자원 지역자원시설세를 특별회계로 구분하고 있으며, 사업 및 예산정보를 홈페이지에 공개하고 있음

- 예를 들어, 당진시는 충청남도로부터 2018년 86억원의 교부금을 받아 안전분야, 환경분야, 방재분야, 신재생 등의 사업을 추진하고 있음
- 그러나 일반회계로 포괄적으로 편성해 세부 세출항목이 불분명한 것으로 평가됨
- 2018년 당진시는 안전분야 84억원, 환경분야 242억원, 방재분야 142억원, 신재생 9억원 등의 사업을 추진하며 지역자원시설세 세입액 86억원의 5배 이상이 집행되었음
- 이와 같은 상황은 당진시 뿐 아니라, 기타 시군들도 마찬가지로인 상황임
- 따라서 다음과 같은 지출, 사업내용 관점에서 다양한 문제점들이 유발되는 요인이 되고 있음

[표 6.23] 충청남도 특정자원 지역자원시설세 운영 상의 문제점들

구분	비고
지출	<ul style="list-style-type: none"> • (지원사업 선정기준 문제) 사업종류별 실행사업의 범위가 포괄적, 선정사업 우선순위의 모호성 • (특정사업 치중 문제) 소득증대사업은 농기계구입, 공공사회복지사업은 도로·상수도시설, 마을회관 증개축, 주민복지 지원사업 지출은 전반적으로 미미
사업내용	<ul style="list-style-type: none"> • 지원사업의 목적 및 세부내용이 포괄적 • 주민 체감과 실제 집행사업간 괴리 <ul style="list-style-type: none"> * (주민 선호) 건강검진, 발전소입지로 인한 경제적 피해 보상 * (실제 사업집행) 인프라정비, 시설·기기 분야 중심

* 자료: 발전소주변지역지원에 관한 법률에 의한 특별회계 운영실태 분석 및 개선방향(충남발전연구원, 2014)에서 저자 재작성

5. 충청남도 화력발전 지역자원시설세 운용 개선방향

5.1 중기지방재정계획 기반의 개선방향

- 화력발전 지역자원시설세 운용의 개선을 위해서는, 무엇보다 충청남도 중기재정운용방향(기본방향, 세부기준, 목표) 및 지역자원시설세 특별회계 취지에 부합되는 현실적 보완방향 마련이 필요함
- 중기지방재정계획(지방재정법 제33조 및 지방재정법 제44조의2)은 지방자치단체의 발전계획과 수요를 중장기적으로 전망하여 반영한 다년도 예산으로서, 효율적인 자원배분을 통한 계획적인 지방재정 운용을 위해 수립하는 5년간의 연동화 계획(Rolling Plan)임
- 특히, 중기지방재정계획은 일반회계, 특별회계, 기금 투자사업을 포함하고 있어, 지역자원시설세 특별회계 운용과 밀접한 관계가 있음
- 현재까지 마련된 충청남도의 중기지방재정계획(2018~2022년) 5년간의 총 재정규모는 36조 7,823억원이며, 연평균 증가율은 2.3%임
- 이중 일반회계는 29조 9,239억원(81.4%)으로 연평균 4.3% 증가, 특별회계는 2조 4,258억원(6.6%)으로 연평균 1.4% 증가하는 반면, 기금은 4조 4,326억원(12.0%)으로 연평균 10.2% 감소되고 있음
- 충청남도의 중기지방재정계획에 따르면 지역자원시설세의 5년간(2018~2022년) 총 수입은 약 5천억원(연평균 증가율 2.4%)임
 - 이는 같은 기간 지방세 총 수입의 5.3%에 해당됨³³⁾
- 특정부동산은 전 년도 주택가격, 토지가격 추이와 매년 과표 증감률 및 지역별 특수요인, 특정자원은 전력소비 증가율 및 발전소 증설 등(세입 성장률 2.4%)을 반영하여 각각 추계되었음

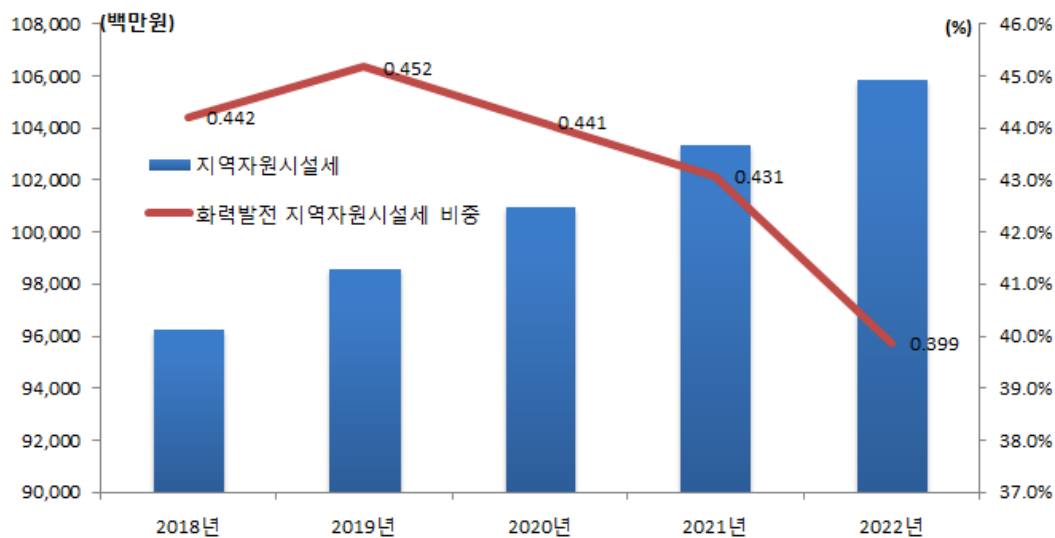
33) 세외수입은 5년 간 총 5천5백3십억원

[표 6.24] 충청남도 중기재정계획상(2018~2022년)의 지역자원시설세 세입 전망(단위: 백만원, %)

2018	2019	2020	2021	2022	합계	총 세입 대비 비중	연평균 증가율
96,248	98,558	100,923	103,346	105,826	504,901	5.3	2.4

자료: 충청남도 중기지방재정계획(2018~2022)에서 저자 재작성

- 위 중기재정계획상(2018~2022년)의 지역자원시설세 세입 중 본 연구에서 분석한 화력발전 지역발전시설세가 차지하는 비중은 2019년부터 감소 추세로 전환되어 2019년 최대 45.2%에서 2022년에는 39.9% 까지 감소될 것으로 전망됨



[그림 6.2] 충청남도 지역자원시설세 중 화력발전 지역자원시설세 비중 전망 (2018~2022년)

자료: 연구진

- 한편, 지역자원시설세의 세출계획은 아래와 같으며, 이중 특정자원 지역자원시설세는 2018~2022년 기간 중 연간 약 2백억원으로 동일하게 책정되어 있음

[표 6.25] 충청남도 특정자원 지역자원시설세 특별회계 중기재정계획(2018~2022년) 세출 전망 (단위: 백만원, %)

구분	2018	2019	2020	2021	2022	합계	비중	연평균 증가율
총	7,038,646	7,222,080	7,335,065	7,492,146	7,694,348	36,782,285	100	2.3
일반회계	5,503,921	5,718,505	5,966,721	6,228,893	6,505,898	29,923,938	81.4	4.3
특별회계	466,715	494,396	481,942	489,459	493,279	2,425,791	6.6	1.4
특정 부동산 지역자원 시설세	82,790	87,095	91,625	96,388	101,401	459,299	1.2	5.2
특정자원 지역자원 시설세	20,023	20,023	20,023	20,023	20,023	100,115	0.3	0

자료: 충청남도 중기지방재정계획(2018~2022)에서 저자 재작성

- 위와 같은 특정자원 지역자원시설세 관련 세출은 주로 다음과 같은 분야·부문별로 사용되는 것으로 예정되어 있음
- 환경보호(대기), 사회복지(취약계층), 산업·중소기업(산업금융지원, 산업기술지원, 무역 및 투자 지원, 산업진흥·고도화, 에너지 및 자원개발, 산업·중소기업 일반 산업·중소기업 분야가 가장 높은 비중(총 세출 대비 5.2%), 다음으로 취약계층 대상의 사회복지(3.6%), 산업금융지원(3.2%) 분야임
 - 대기 분야의 환경오염 개선, 산업기술지원, 산업진흥·고도화, 에너지 및 자원개발 부문은 상대적으로 낮은 비중을 점하고 있음
 - 이중 산업기술지원, 산업진흥·고도화 부문은 연평균 증가율이 감소하여, 재정지출에서 차지하는 비중이 약화되고 있음

[표 6.26] 충청남도 중기재정계획(2018~2022년) 상 특정자원 지역자원시설세 관련 주요 세출 분야별 비중

구분	총 세출 대비 비중 (%)	연평균 증가율 (%)
환경보호(대기)	0.2	0.9
사회복지(취약계층)	3.6	3.8
산업·중소기업	5.2	2.9
산업금융지원	3.2	3.8
산업기술지원	0.2	-8.5
산업진흥·고도화	0.4	-1.2
에너지 및 자원개발	0.5	1.8

자료: 충청남도 중기지방재정계획(2018~2022)에서 저자 재작성

- 보다 구체적으로 특정자원 지역자원시설세 운용과 직접 관련이 있는 특별회계 중 분야별 투자 분야를 보면, 전통적으로 사회복지 분야가 가장 높은 비중(60.5%)을 차지하고 있음
- 공공질서 및 안전 영역도 상대적으로 높은 비중(18.9%)이며, 2022년까지 연평균 증가율(5.2%)도 높게 지속되는 분야임
- 연평균 증가율 관점에서 국토 및 지역개발(17.5%)은 가장 두드러지는 분야임
- 환경보호 분야는 특별회계 중 세출비중(0.5%)이 낮은 영역이며, 2022년까지 연평균 증가율도 감소(20.9%)되는 것으로 나타나고 있음

[표 6.27] 충청남도 중기재정계획(2018~2022년) 상 특별회계 주요 지출 분야 (단위 : 백만원, %)

분야	2018	2019	2020	2021	2022	합계	비중	연평균 증가율
합 계	466,715	494,396	481,942	489,459	493,279	2,425,791	100.0	1.4
공공질서 및 안전	82,790	87,095	91,625	96,388	101,401	459,299	18.9	5.2
교육	771	612	567	0	0	1,950	0.1	△100.0
문화 및 관광	26,164	38,707	14,948	1,080	245	81,144	3.3	△68.9
환경보호	3,754	2,711	2,577	2,281	1,469	12,792	0.5	△20.9
사회복지	284,021	287,366	293,049	298,883	304,863	1,468,182	60.5	1.8
보건	788	788	788	788	788	3,940	0.2	0.0
농림해양수산	13,763	14,503	15,326	200	200	43,992	1.8	△65.3
산업·중소기업	17,456	18,395	20,723	16,754	17,566	90,894	3.7	0.2
수송 및 교통	2,457	2,487	1,577	628	628	7,777	0.3	△28.9
국토 및 지역개발	34,582	41,562	40,592	72,287	66,025	255,048	10.5	17.5
기타	169	170	170	170	94	773	0.0	△13.6

자료: 충청남도 중기지방재정계획(2018~2022)

- 중기지방재정계획 상의 특별회계 및 특정자원 지역자원시설세 관련 주요 세출 분야를 2018년 예산 지출 현황과 비교하면 다음과 같음
 - 2018년 특정자원 지역자원시설세의 예산 지출의 주요 비중은 산업·중소기업(80%) 환경보전(11%), 보건(9%) 분야임

- 사업 방식에 따르면 자체사업 48%, 보조사업 52%임
- 산업·중소기업은 계속 중요한 분야로 유지되고 있는 반면, 환경보전 분야는 중기지방재정계획에서 2018년 현재보다 상대적으로 지출비중이 감소되는 것으로 평가됨
- 사회복지(취약계층) 분야는 중기지방재정계획에서 비중이 증가하고 있음
- 향후 사회복지(취약계층) 분야는 환경보전 분야의 감소추세를 보완하고, 동시에 화력발전소로 기인된 미세먼지의 피해 비용 증가 문제를 해결한다는 관점에서 화력발전소 주변지역의 취약계층 중심의 자체사업 지출운영 방안에 초점을 두는 것이 중요할 것으로 분석됨
- 위와 같은 분석을 통해 향후 충청남도 화력발전 지역자원시설세의 우선 지원순위 및 지원방식을 고려한 기본 개선방안은 다음과 같이 정립하는 것이 중요함

5.2 향후 화력발전 지역자원시설세 운용의 기본방향

- 충청남도 환경 및 국내외 정책 여건을 반영한 운용 방향 마련이 중요함
 - 미세먼지, 온실가스 배출 등 대기오염과 기후변화에 대응하고, 지역의 재생에너지 확산과 관련된 에너지 신산업 분야에 초점을 둔 지원 증대 방안을 마련하는 것임
 - 즉, 대기·온실가스·에너지의 통합적 대책에 효과적으로 작동될 수 있는 화력발전 지역자원시설세 운용임
- 특히, 최근에는 미세먼지 증가에 따른 대기오염도 악화, 국민들의 관심이 증가되면서 국가는 물론 각 지방자치단체에서는 미세먼지 관리대책을 마련 중에 있음
 - 충청남도는 물론, 당진시, 천안시 등 모든 시군에서도 미세먼지 종합관리대책을 마련하였음
 - 이와 동시에 충청남도는 2019년 초부터 석탄발전소 조기폐쇄 태스크포스(TF)를 가동하기 시작했고 정부에 1984년 준공된 보령 1·2호기의 폐쇄 시점을 당초 계획된 2022년에서 2020년으로 2년 앞당길 것을 요구하고 있음³⁴⁾

- 일반적으로 미세먼지 관리대책에는 핵심 배출원(발전, 산업, 수송, 생활)의 감축방안이 포함되며, 실생활과 관련해 미세먼지 취약군(노인, 유아 등) 대상의 대책방안이 마련되고 있음
- 이와 같은 관점에서 화력발전 지역자원시설세 운용방안을 검토함에 있어 충청남도의 미세먼지 배출 특성상 미세먼지 노출에 특히 취약한 석탄화력 발전소 주변지역의 도시민건강 확보에 초점을 둔 지원방안 마련이 중요함

충청남도 화력발전 지역자원시설세 운용 기본방향

- 대기온실가스감축, 에너지 신산업 부문 대책에 효과적 운용
- 미세먼지 노출에 취약한 석탄화력 발전소 주변지역의 도시민건강 확보에 우선지원

5.3 화력발전 지역자원시설세 운용 개선방안

5.3.1 특정자원 지역자원시설세의 시·군 특별회계화 추진

- 우선, 현 특정자원 지역자원시설세 특별회계 중기재정 운용방향의 보완 및 정교화가 요구됨
- 정부의 에너지 신산업 활성화 정책과 연계된 사업 추진을 기반으로 하되, 동시에 미세먼지 발생으로 인한 피해 비용을 예방, 보상하는 주민 안전 중심으로의 재정 운영방안에 관한 더욱 구체화된 보완 방안을 마련해야 함
- 특히, 미세먼지가 사회적 현안으로 대두되는 상황에서 현재 충청남도 내 존재하는 미세먼지 종합대책 수단들의 안착이 중요함
- 미세먼지 종합대책 이행을 위해 요구되는 예산은 국비·도비·시비로 구성되는데, 시군의 경우 미세먼지 취약계층 지원 예산은 일반적으로 시비에 주로 의존하고 있으며 부분적으로 도비가 지원되고 있는 실정임

34) 이외에도 충청남도는 정부 및 국회 미세먼지 특별위원회에 다양한 내용을 건의하였음(석탄화력발전소 배출 허용기준 강화 및 증설 철회, 석탄화력발전소 주변지역 대기환경개선특별법 제정, 대기오염물질 총량제 확대 도입, 충청남도 대기관리권역 지정 추진, 노후 경유차 운행 제한, 미세먼지 비상저감조치 확대 도입, 미세먼지 건강피해조사 및 민감계층 보호 강화 등)

- 또한 해당 지원 규모도 상대적으로 미미한 수준이며, 지원 대상별 예산, 사후관리방안 등 구체적 계획도 현재보다 보완이 필요한 상황임
- 현재의 충청남도 중기재정계획 운용방안은 미래 청정에너지 산업 육성 및 깨끗하고 안전한 환경 구현 관점에서 일자리 창출과 환경위해 요소로부터 도민을 보호하는 것으로 설정되어 있음
- 향후 특정자원 지역자원시설세 운용개선을 위해서는 현 중기재정계획의 특별회계 재원배분 방향을 화력발전에 의한 미세먼지 피해 비용 예방 및 보상에 초점을 두어 그 대상과 범위를 더욱 구체화하는 것이 중요함
- 이와 같은 중장기 특별회계 재원배분 방향 재설정과 동시에 특정자원 지역자원시설세의 시·군 특별회계화가 추진되어야 함
- 현재와 같은 각 시군들의 지역자원시설세 일반회계 편성은 충청남도 특정자원 지역자원시설세 특별회계 조례에서 정한 사업들을 추진하는데 안정성과 지속성 관점에서 많은 한계를 노정할 수 있음
- 각 시군들에서는 안전·환경·방재·신재생 사업 분야 등에서 다양한 사업들이 추진되고 있음
- 그러나 일반회계 편성방식으로 인한 세부 지출항목의 파악과 사업 추진 효과 검증 등과 관련된 문제가 제기되고 있음
- 따라서 향후에는 특정자원 지역자원시설세의 효과적 운용을 위한 목적세(화력발전소 주변지역 피해 비용 예방과 지원 중심) 확립을 위한 시·군 특별회계화의 제도적 기반을 마련해야 함
- 이와 같은 방식으로 각 시·군의 세출항목과 우선순위, 배분방식을 명확히 설정하는 방향으로 전개되는 것이 중요함

5.3.2 지원방안 및 우선순위

- 지역자원시설세의 궁극적인 지원사업 대상은 앞서 제시된 “충청남도 특정자원 지역자원시설세 특별회계 설치조례”에 기반되어야 함
- 조례에서 규정된 6가지 사업의 성격은 에너지와 에너지 관련 환경분야로 구분되며 이에 근거해 구체적인 사업의 성격과 우선순위, 재원 배분이 결정되어야 함
- 2017년 현재 충청남도의 총 지역자원시설세는 963억원(특정자원 390억원, 화력발전 385억원)임
- 한편 본 연구 분석 결과에 따르면 2030년 화력발전소 소재지 각 시군별 화력발전 지역자원시설세는 총 400억원으로 추정됨
- 충청남도의 총 지역자원시설세(100%) 가운데 충청남도에는 35%, 보령시, 당진시, 태안군, 서천군, 서산시 등 화력발전 소재 시군에는 65%가 배정되어 활용되고 있음
- 충청남도에 배분되는 지역자원시설세 운용과 관련해서는 화력발전소 소재 시군에 배분되는 재원이 발전소 소재 주민들에게 사용되는 것을 감안해야 함
- 따라서 충청남도에 배분되는 지역자원시설세는 에너지 사업과 환경개선 사업 중심으로 운영되어야 함
- 에너지사업은 에너지·온실가스 감축 분야 및 신재생에너지 산업 투자 분야에 집중하는 것이 중요함
- 환경개선사업은 화력발전소 주변지역 환경에 노출되어 있는 주민들에 대한 건강 및 미세먼지측정망 설치 등에 기본적인 투자가 이루어져야함
- 그리고 화력발전소 소재 시군의 환경개선사업은 지역자원시설세 65%가 배분되는 것을 감안해야 함

- 각 시군에서 시군에게 지원되는 재원으로 지역 특성에 맞는 사업을 추진할 경우, 충청남도과 도내 시군들이 공동 매칭사업으로 연계효과를 높일 수 있도록 도모하는 것이 필요함
- 본 연구의 전체내용과 분석 결과와 관련해, 향후 환경개선사업 대상의 초점은 화력발전에 따른 미세먼지 피해 비용을 고려한 발전소 주변지역임
- 제4장의 분석결과에 따르면 대기오염에 따른 충청남도의 입원비용은 호흡기계 질환 338,473(원/일), 심혈관계 질환 332,484(원/일), 외래비용은 호흡기계 질환 28,563(원/일), 심혈관계 질환 41,128(원/일)으로 추정되었음
- 명형남 (2017)의 연구 결과에서도 미세먼지 관련 질병(천식, 아토피피부염, 알레르기비염)이 화력발전소 소재지인 보령, 당진에서 높은 유병률과 증가율을 보이고 있음
- 또한 발전소 일시 가동중단 전후의 건강실태조사에서도 가동중단에 따라 다양한 신체증상(기침, 가래, 피부가려움) 개선이 있는 것으로 분석되었음
- 이와 같은 분석 결과에 의하면 화력발전소 주변지역의 피해 비용은 충청남도 전체 평균보다 높을 것이며, 이에 대한 대책 강화는 화력발전 지역자원시설세 향후 운영 시 중요하게 반영되어야 할 것임
- 현재 화력발전소 주변지역의 개념은 “발전소주변지역자원에 관한 법률(발주지법)”에 근거하고 있음
 - － 동 법률에서 주변지역은 전기사업법에 따른 발전사업자가 가동·건설중 혹은 건설예정인 발전소의 발전기(1만kW 초과)가 설치되어 있거나 설치될 지점으로부터 반경 5km 이내의 육지 및 섬지역이 속하는 읍·면·동 지역으로 정의되어 있음
- 발주지법의 재정은 전력산업기반기금, 지역자원시설세, 원자력과 수력발전 사업자지원 사업비로 구성됨
- 그리고 화력발전소 주변지역의 지원사업은 기본지원사업, 특별지원사업, 기타지원사업으로 구분되어 있음

[표 6.28] 발전소주변지역 지원사업 (발전소주변지역자원에 관한 법률)

사업종류	대상	시행주체	법령근거
기본지원사업	소득증대사업	지자체장	발주지법 제10조 및 동법 시행령 제19조
	공공사회복지사업		
	주민복지지원사업		
	기업유치지원사업	발전사업자	
	육영사업		
	전기요금보조사업 그 밖의 지원사업		
특별지원사업	‘주변지역’ 이 속한 지자체 관할지역	지자체장	발주지법 제10조 및 동법 시행령 제22조
원자력 대국민 홍보사업	일반국민	법인 (원자력문화재단)	발주지법 제10조 및 동법 시행령 제24조
기타지원사업	지원사업 관리·연구·평가 및 홍보사업	발전소 소재지역	
	원전주변 환경 및 방사선 안전		
	감시기구 설치·운영	지자체장	발주지법 제10조 및 동법 시행령 제25조
	지원사업 화력발전소 주변의 환경보전 및 감시를 위한 지원사업	‘주변지역’	
	기타사업	발전사업자	

자료: 충남연구원(발전소주변지역자원에 관한 법률’에 의한 특별회계 운영실태 분석 및 개선방향, 이민정, 2016)에서 재인용

- 화력발전 지역자원시설세 향후 운영이 주변지역 피해 비용 지원 중심으로 전개되기 위해서는, 현 발주지법의 주요사업을 바탕으로 주변지역 피해 비용 사업을 우선순위로 재조정하는 것이 효과적일 것으로 판단됨
- 현 발주지법 상의 지원사업 우선순위는 다섯 가지임
 - ① 전원설비 건설임지 확보와 연계된 사업,
 - ② 발전소 건설과 관련한 이주자 및 생활기반을 상실하였다고 인정되는 지역주민에 대한 지원사업,
 - ③ 소득증대 및 고용증진효과 기대사업,
 - ④ 발전소주변지역 주민의 민원성 숙원사업, ⑤인재육성사업

- 이중 미세먼지 등에 의한 건강피해 비용과 가장 관련이 있는 대상은 “② 발전소 건설과 관련한 이주자 및 생활기반을 상실하였다고 인정되는 지역주민에 대한 지원사업” 이라 할 수 있으며, 향후 이에 근거한 지원사업의 강화가 마련될 필요가 있음
- 한편, 화력발전 지역자원시설세가 발전소 주변지역 피해 비용 지원 중심으로 전개되기 위한 이행제도 보완장치 개발도 중요한 과제임
- 현 충청남도 특정자원 지역자원시설세의 발전소 주변지역에 대한 지원책은 주로 사회복지시설 설립과 같은 공공사회복지 지원, 소득증대를 위한 민간자본사업보조 등으로써 산업·중소기업 대상 성격의 지원임
- 그리고 최근 미세먼지 종합대책의 관련 피해 비용 지원책은 주로 건강취약계층 실내공기질 측정, 미세먼지 마스크 보급, 어린이집과 경로당 공기청정기 설치 지원 및 안전대책 등과 같은 주민복지사업임
- 미세먼지가 사회적 이슈로 떠오르면서 미세먼지 노출에 특히 취약한 석탄화력 발전소 주변지역의 도민건강 확보 차원에서 체감형 주민복지사업의 강화가 요구되는 상황임
- 관련해 최근 보험업계에서도 대기오염 및 미세먼지 특화 보험도 검토되고 있는 실정임
- 그러나 미세먼지와 질병 간 인과관계가 명확하지 않아 그 현실성과 확산성은 현재로써 미지수임
- 발전소 주변지역 피해 비용 지원의 이행방안의 일례로, 취약계층 (유아, 노인)을 대상으로 정기 건강검진을 실시하는 방안, 정기 건강검진 결과를 바탕으로 미세먼지 관련 질환(예; 편도염, 축농증, 급성상기도염, 인후질환, 후각질환 등) 대상의 실손보험 연계 지원 방안 등이 검토될 수 있음
- 이와 같이 실생활에 도움이 되는 주민복지사업 개발 검토도 요구됨

6. 요약 및 향후 연구과제

- 본 연구는 충청남도 석탄화력 대기오염 건강피해 영향 및 피해 비용을 산정하고, 피해 비용에 따른 지역자원시설세 우선 지원방안을 제시하는 것임
- 피해 비용 기반 지역자원시설세의 정책적 대안 제시를 위해서는 석탄화력에서 기인되는 피해 비용 산정이 전제되어야 함
- 즉, 충청남도에 해당되는 이와 같은 피해 비용 산출을 위해서는 화력발전 대기오염 영향 및 충청남도 건강영향 평가가 전제되어야 함
- 그러나 본 연구에서는 이와 같은 분석자료 및 분석 결과 활용의 어려움으로 인해 불확실성이 내재된 석탄화력발전 피해 비용을 산정하였음
- 이와 같은 연구여건 하에서 구체적인 석탄화력발전으로 야기되는 피해 비용, 이에 근거한 지역자원시설세의 구체적 정책대안을 제시하는데 한계를 지니고 있음
- 본 연구에서는 현재의 피해 비용 부담 현황과 피해 비용 전망 분석의 대안으로 화력발전 지역자원시설세 징수현황과 전망을 실시하였음
- 그리고 최근까지의 지역자원시설세 지출과 중기재정계획 분석을 통해 지역자원시설세 운용현황을 분석하였음
- 이를 바탕으로 향후 지역자원시설세 운용 개선을 위한 기본방향을 제시하고, 현실적으로 개선 보완되어야할 제도적 사항, 발전소 주변지역 지원에 관한 우선순위에 초점을 두어 정책적 제안을 하였음
- 구체적으로 본 연구에서는 향후 화력발전 지역자원시설세 운용의 기본방향으로서 두 가지를 제안하였음
- 첫째, 대기·온실가스감축, 에너지 신산업 부문 대책을 위한 효과적 운용, 둘째,

미세먼지 노출에 취약한 석탄화력 발전소 주변지역의 도민 건강확보 우선지원임

- 이와 같은 개선방향이 이행되기 위해서는 특정자원 지역자원시설세의 시군 특별회계화의 제도적 추진을 강조하였음
- 동시에 발전소 주변지역 피해 비용 지원을 위해 발주지법 상의 발전소 건설과 관련한 이주자 및 생활기반을 상실하였다고 인정되는 지역주민 지원사업을 특히 우선순위로 설정하며, 정기건강검진 및 미세먼지 관련 질환 대상의 실손보험 연계 지원 등 구체적인 이행수단 마련을 제안하였음
- 화력발전 지역자원시설세는 석탄화력으로 유발되는 피해 비용에 근거해 그 취지에 부합되도록 우선지원방안을 구체화하는 정책적 대안 모색이 요구됨
- 향후 석탄화력 지역자원시설세의 구체적 지원방안 마련을 위해서는 무엇보다 피해 비용 부담 현황과 피해 비용 전망 간 비교분석이 전제되어야 함
- 또한 발전소 소재시 시군의 재원배분(국비·지방비·민간자본) 기준, 발전소 주변지역 지원사업을 포함한 모든 관련 지원사업들의 비교평가, 지역에너지 종합계획과 환경보전종합계획 등 관련 기본계획 분석, 지원방안에 따른 사회경제적 효과 등 체계적이고 광범위한 분석이 요구됨



제7장 결론

본 장에서는 충청남도 『화력발전소 주변지역 기후환경 영향연구』의 일환으로서 수행된 ‘사회적 피해 비용 평가 분야’의 제2차년도 주요 연구 내용을 요약하고 시사점과 향후 계획을 서술하였음

- 2차년 연구의 목적은 충청남도 석탄화력발전 피해 비용을 평가하여 지역자원시설세 증세 방안을 마련하는 것임
- 이를 위해 제2장에서 석탄화력발전 피해 비용 평가 범위와 방법론을 설정하였음
 - 피해 비용 평가는 석탄화력 발전시설로 인한 피해 비용 중 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 알려진 대기오염물질의 건강 피해 비용을 중심으로 하였음
 - 특히, 대기오염으로 인한 사망 원인 중 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 나타난 심혈관계 질환과 호흡기계 질환을 대상으로 하였음
 - 피해 비용 추정 결과의 객관성과 엄밀성을 높이고자 석탄화력발전의 대기오염으로 인한 건강피해를 추정하고 이를 비용으로 환산하는 영향경로접근법을 사용하였음
- 제3장에서는 석탄화력발전의 대기오염 건강피해를 추정하는데 필요한 농도-반응 함수를 선정하였음
 - 국내외 선행연구에서 제시된 사망 및 질병 피해 관련 농도-반응 함수 분석 사례를 조사하고, 여러 상이한 연구 결과를 통합하여 보다 신뢰성 있는 농도-반응 함수를 도출하기 위해 메타분석 방법을 적용하였음
 - 단, 동일한 대기오염농도에서도 분석 시점, 인구 집단, 사회여건 등 여러 요인에 의해 농도-반응 함수가 달라질 수 있기 때문에, 본 연구의 분석범위에 맞는 농도-반응 함수를 사용할 필요가 있음
 - 이에 본 연구에서는 추가로 농도-반응 함수를 직접 추정하기 위해 요구되는 데이터 수집, 가공 절차를 살펴보고 직접추정 가능성을 살펴보았음
 - 아울러 일부 건강영향에 대해 농도-반응 함수를 시범적으로 직접 추정하고, 메타분석 결과와 비교한 결과 두 결과 사이에 상당한 차이가 있음을 확인하였음
 - 이를 통해 중장기적으로 충청남도에 적합한 농도-반응 함수를 도출하여 피해 비용 추정결과를 고도화할 필요가 있음을 제시하였음
- 제4장에서는 건강피해를 비용으로 환산하기 위해, 피해 단위 당 비용을 추정하였음

- 사망 피해의 단위비용은 1인 당 통계적 생명가치로서, 추정치의 편향을 방지하고 연구 결과에 대한 보편성을 확보하기 위해 다양한 범주에서 관련 연구를 반영한 편익이전 방법론을 사용하였음
 - 질병 피해의 단위비용은 입원과 외래로 구분하여 진료 건당 비용과 외래 건당 비용을 추정하였으며, 진료비, 간병비, 교통비뿐만 아니라 질병 이환에 따른 생산성 손실의 기회비용을 함께 고려하였음
 - 한편, 피해 단위 당 비용 외에 추가로 대기오염물질 배출량 당 피해 비용을 추정하였음
 - 국내외 연구에서 도출된 대기오염물질 배출량 당 피해 비용 추정치를 충청남도에 이전하기 위해 화폐가치에 영향을 미치는 요인인 PPP (구매력 평가지수), PPP를 반영한 1인당 GDP, GDP 디플레이터, 인구밀도를 반영하였음
- 제5장에서는 제3장에서 선정한 농도-반응 함수와 제4장에서 추정한 사망 및 질병 단위피해 비용을 적용하여 석탄화력발전 피해 비용을 평가하였음
- 피해 비용 평가에 앞서 농도-반응 함수를 이용하여 건강피해를 추정하였음
 - 석탄화력발전의 대기오염 농도 기여도는, 배출량-농도 관계를 규명할 수 있는 대기질 모사를 통해 추정될 수 있으나, 현재 충청남도를 대상으로 추정된 사례가 없어 대기오염 배출원별 배출 비중, 미세먼지 가동 중지 효과 등을 활용하여 가정하였음
 - 최종적으로 PM10, PM2.5, NOx, SOx의 4종 오염물질에 대하여 사망, 질병영향에 따른 피해 비용을 분석하였음
 - 단, 일부 건강영향의 경우 적절한 농도-반응 함수가 없어 건강피해를 추정할 수 없었으며 이로 인해 피해 비용을 정량화하지 못하였음
 - 또한 석탄화력발전 대기오염 농도 기여도를 배출량에 기반하여 가정함에 따라 석탄화력발전에서 배출되는 비중이 높은 대기오염 물질의 피해 비용이 가장 크게 나타났음
 - 이는 피해 비용을 평가함에 있어 기여도가 큰 영향을 미치며, 여러 다양한 건강 영향을 고려하여 피해 비용을 추정하기 위해서는 적절한 농도-반응 함수 개발이 필요함을 시사함
- 제6장에서는 충청남도 화력발전 지역자원시설세를 분석하여 운용 개선 방안을 제시하였음
- 화력발전 지역자원시설세 징수현황과 전망을 실시하고 최근까지의 지역자원시설세

지출과 중기재정계획 분석을 통해 지역자원시설세 운용현황을 분석하였음

- 향후 화력발전 지역자원시설세 운용의 기본방향으로서 첫째, 대기·온실가스감축, 에너지 신산업 부문 대책을 위한 효과적 운용, 둘째, 미세먼지 노출에 취약한 석탄화력 발전소 주변지역의 도민 건강 확보 우선지원을 제안하였음
- 이와 같은 개선방향이 이행되기 위해서는 특정자원 지역자원시설세의 시군 특별회계화의 제도적 추진을 필요함을 강조하였음
- 동시에 발전소 주변지역 피해 비용 지원을 위해 발주지법 상의 발전소 건설과 관련한 이주자 및 생활기반을 상실하였다고 인정되는 지역주민 지원사업을 특히 우선순위로 설정하며, 정기건강검진 및 미세먼지 관련 질환 대상의 실손보험 연계 지원 등 구체적 이행수단 마련을 제안하였음

○ 본 연구의 피해 비용 추정과 지역자원시설세 운용 개선 방안 마련은 크게 세 가지 한계가 존재함

- 첫째, 충청남도 석탄화력발전소 대기오염농도 기여도를 배출량 비중 등으로 가정함으로써 충청남도 내 석탄화력발전소로 인해 추가로 발생하는 건강피해를 충분히 고려하지 못함
 - 배출-농도 관계는 계절별 발전량 변동, 기상 요소 및 석탄화력발전소 외 타 배출원 영향 등 복합적인 요인에 의해 결정되기 때문에 충분한 기간을 대상으로 신뢰할 데이터를 활용한 대기질 모사가 필수적임
 - 배출-농도 관계에 대한 명확한 규명을 토대로 비용을 추정해야 보다 면밀한 피해수준을 분석할 수 있음
 - 본 연구를 통해 도출된 피해 비용 추정치는 충청남도 석탄화력발전의 대기오염 농도 기여도가 도출된 이후 이를 반영하여 보다 신뢰할 수 있는 결과로 재추정하는 것이 필요함
- 둘째, 기존 연구를 종합한 농도-반응 함수를 피해 비용 추정에 활용하였기 때문에 현 시점에서 충청남도의 건강피해 수준을 반영하기 어려움
 - 분석범위에 맞게 직접 추정한 농도-반응 함수를 피해 비용평가에 활용할 경우 피해 비용 추정치의 정확도를 높이고 이해관계자의 수용성을 향상시킬 수 있음
- 셋째, 불확실성이 내재된 피해 비용을 추정함으로써 지역자원시설세 관련 구체적 정책대안을 제시하는데 한계를 지니고 있으며, 발전소 소재 시군의 자원배분 및

지원사업에 대한 분석자료의 한계로 재원 운용 현황을 심도 있게 분석하지 못함

- 그럼에도 불구하고 본 연구에서는 충청남도 석탄화력발전의 배출량 비중을 반영하는 등 가용한 데이터 범위 내에서 다양한 데이터와 방법론을 적용하여 피해 비용을 추정하였으며, 이러한 전제 내에서 정책적 시사점을 도출하였음
- 충청남도의 대기오염 피해 비용평가방법을 정립함으로써 석탄화력발전소의 대기오염 농도 기여도 등 향후 수행될 추가연구 결과를 반영하여 피해 비용 추정치를 고도화할 수 있는 틀을 제시하였음
 - 본 연구에서 추정된 통계적 생명가치와 질병비용을 바탕으로 기여도, 농도-반응 함수 개선안을 반영하여 피해 비용을 재추정할 수 있음
- 또한, 기존 지역자원시설세 운용 현황 및 미래 세수 전망 분석을 바탕으로 화력발전 지역자원시설세의 향후 방향을 검토하고 화력발전 피해지역 우선지원을 위한 논리를 마련하였다는 점에 의의가 있음
- 향후 석탄화력 지역자원시설세의 구체적 지원방안 마련을 위해서는 무엇보다 피해 비용 부담 현황과 피해 비용 전망 간 비교분석이 전제되어야 함
- 아울러, 발전소 소재시 시군의 재원배분 (국비·지방비·민간자본) 기준, 발전소 주변지역 지원사업을 포함한 모든 관련 지원사업들의 비교평가, 지역에너지 종합계획과 환경보전종합계획 등 관련 기본계획 분석, 지원방안에 따른 사회경제적 효과 등 체계적이고 광범위한 분석이 요구됨

Part 4

생태환경 모니터링

제1장 서론 | 687p

제2장 충남지역 생태환경 문헌분석 | 707p

제3장 화력발전소 주변지역 생물분포 현황분석 | 755p

제4장 결론 및 제언 | 925p



제1장 서론

1. 연구배경 및 목적

2. 연구추진방법

1. 연구배경 및 목적

- 화력발전소 등에서 분출되는 미세먼지 등 대기오염 물질과 석탄 폐기물들은 주변 지역의 생물(동물·식물 등)의 서식과 분포에 영향을 미칠 것으로 예상됨
- 화력발전소 주변의 기후변화로 인해 주변 지역의 생물이 받는 영향을 파악하기 위해서는 그 지역에서 지속적으로 서식하고 있는 다양한 생물(동물·식물)에 대한 장기간의 연구와 분석이 필요함
- 화력발전소 주변지역의 생물(동물·식물)에 대한 장기 모니터링을 통하여 화력발전소 주변지역의 생태계 영향을 체계적으로 조사하고 분석하고자 함
 - 곤충은 종이 다양하며, 세대기간이 짧고, 채집이 쉬우며, 다양한 영양단계에 나타나고 에너지순환에 있어 중요한 분류군이라고 정리하였음. 뿐만 아니라 곤충은 미시환경에도 영향을 받으므로 환경변화의 지표종으로 유용하다. 곤충은 주변 식생구조와 연결되어 있어, 채집되는 곤충의 생태적 특징이나 종 구성을 기반으로 해당지역의 환경을 파악할 수 있음
 - 어류분야는 화력발전소에서 배출되는 산업배수가 주변 수계에 미치는 영향을 파악하기 위해 수질 및 어류조사를 바탕으로 장기적인 수질 변화 및 어류군집의 변화의 분석을 이용하여 화력발전소의 영향을 분석하는데 목적이 있음
- 화력발전소 주변 생물 중 현황을 파악하고 모니터링하여 화력발전소 주변 생물 중 다양성 분석을 통한 생물다양성 관리방안을 구축하고 함
 - 화력발전소 주변 지역의 장기 생태 환경 모니터링을 통해 생물 다양성 관리 전략을 수립하고 이를 보전하기 위한 중·장기 전략을 마련하고자 함
 - 화력발전소 주변 지역의 기후변화 민감종 및 취약종 관리 방안 마련을 통한 정책 자료를 개발하기 위함임
- 본 연구는 2018년부터 2021년까지 화력발전소 주변 지역의 생물 중 모니터링을 실시하여 화력발전소 주변 지역의 생물 다양성을 연구하고 분석하고자 함

- 연구 1년차에는 화력발전소 주변 지역 조사지 현황 분석 및 조사지역을 선정하여 현지조사를 통해 생물 종 현황을 분석하여 종 목록 구축을 목표로 함. 조사지역의 지형, 인문, 생물학적 특성 등을 고려하여 조사방법을 수립함
- 연구 2년차에는 화력발전소 주변 지역 생물 종 조사를 계속 이어가며 기후변화 취약종을 분석하여 파악하고자 함. 이후에 연구결과를 이용하여 화력발전소 주변 생태지도 구축을 목표로 함
- 연구 3년차 이후에는 화력발전소 주변 지역 취약종을 선정하여 조사 및 분석을 실시할 예정이며 이를 통해 화력발전소 주변지역 생물 종 영향을 분석하고 분석결과에 기초한 정책자료를 발굴할 예정임

2. 연구추진방법

2.1 화력발전소 주변 지역 생태모니터링

- 1년차와 2년차에서 현장 조사 결과 구축된 생물 종 목록 자료 및 국내외 문헌을 분석하여 화력발전소 주변의 기후현황을 잘 반영할 수 있는 기후변화 취약종을 분류군별로 선정하여 생태모니터링을 수행함
- 1년차와 2년차 동안 조사지역을 대상으로 생물다양성 현황을 파악할 예정임
 - 조사지역내 분류군별 생물 종 목록 구축
 - 생물종의 조사지내 지리적 분포 현황 분석
 - 기후변화 관련 국내외 문헌 및 관련 기관 조사
 - 생물 종 목록 및 분포 현황 등 현장조사결과와 문헌조사결과를 기후변화 취약종 선정에 활용

2.2 생태모니터링 조사 분야

2.2.1 식물분야

- 식물분야의 기후변화 취약생물종 선정 및 변화추이 분석 및 조사
 - 조사결과로 구축한 식물상 목록 중 한반도 기후변화적응 대상 식물300(오병운 등, 2010)에 포함되는 종을 선발하며 조사 방형구를 설치한 후 주기적인 조사를 통해 변화추이를 분석할 예정임

2.2.2 곤충분야

- 곤충분야의 취약종 선정 및 변화 추이 분석 및 조사
 - 환경부에서 선정한 기후변화생물지표(2010)에 포함된 곤충 21종 중 조사대상지에 서식하는 종을 선발하여 종 수 및 개체수의 변화추이를 조사할 예정임

2.2.3 포유류분야

- 포유류분야의 취약종 선정 및 변화 추이 분석 및 조사
 - 국내외 기후변화와 관련된 포유동물의 연구논문 조사 및 목록화를 실시함
 - 논문 분석 결과를 통한 연구대상종의 표준화된 연구방법론 도출 및 정책 제언 자료를 발굴할 예정임
 - 기후변화 포유동물 관련 출간 문헌 종류, 연구 성향 및 연구범위에 따라 분석할 예정임

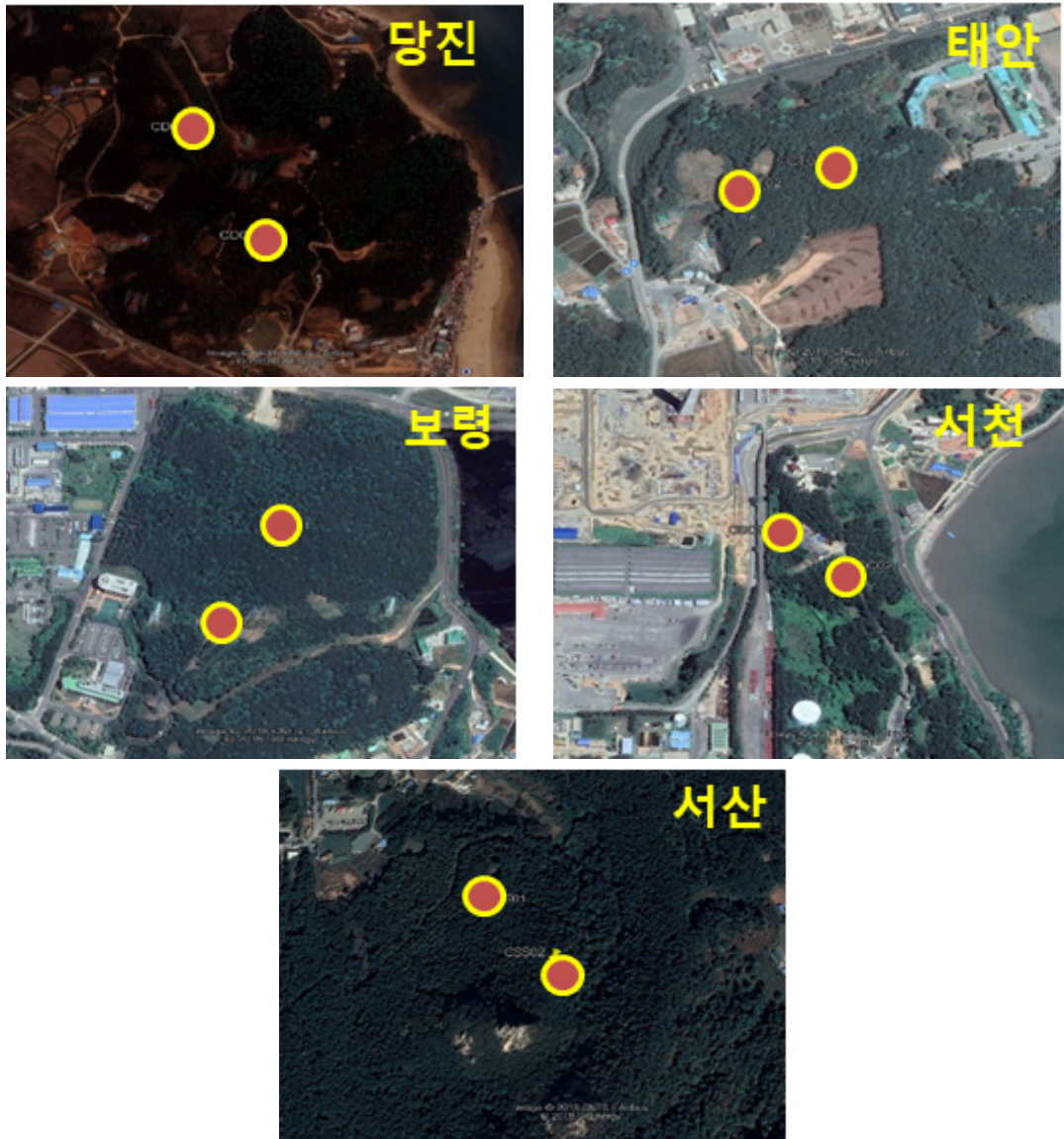
2.2.4 어류분야

- 어류분야의 기후변화 취약종 선정 및 변화 추이 분석 및 조사
 - 일반적으로 우리나라 토속어종의 수온 내성은 28-29℃이며 붕어 및 잉어 등 하류성 어종은 31-33℃ 정도라고 알려져 있어(정 등, 2011; 강 등, 2013) 관련 분야의 문헌 분석 및 현장 어류조사를 통해 향후 취약종을 선정할 예정임

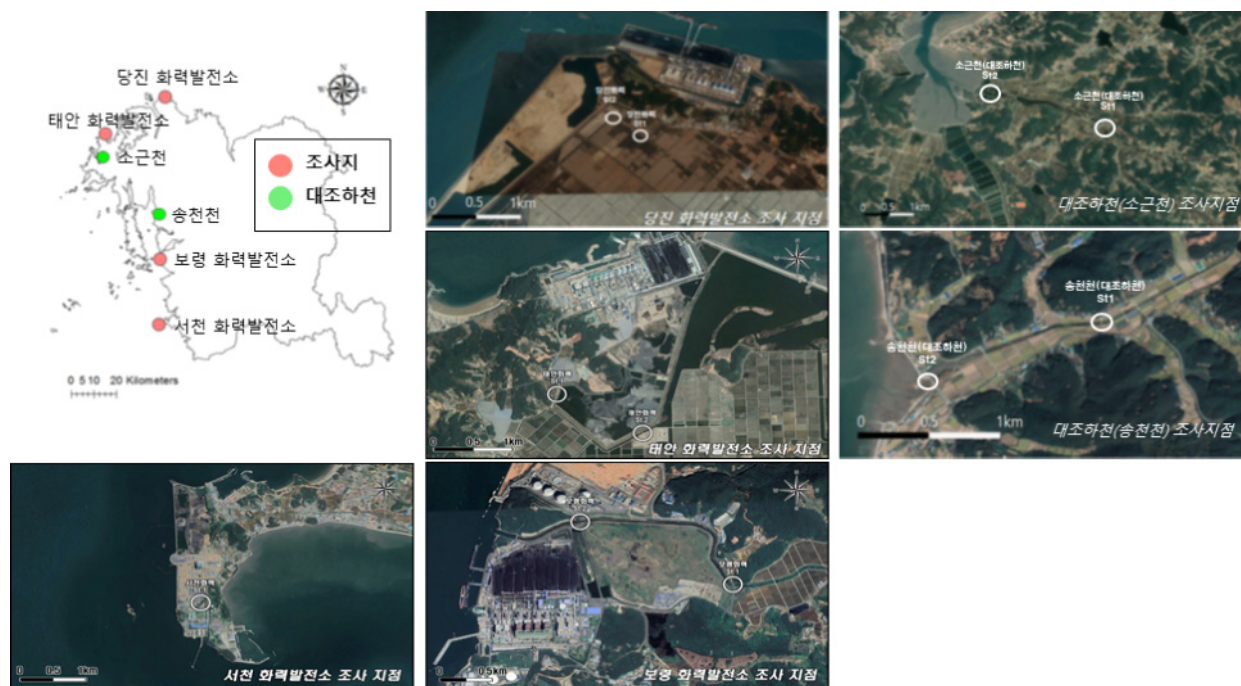
2.2 조사지 선정

- 화력발전소 주변 지역의 생태환경 모니터링을 위한 조사지는 화력발전소 주변 지역의 지형과 생물학적 특성을 고려하여 선정하였음
- 화력발전소 주변을 대상으로 각 분야별 특성에 맞춰 조사지역을 선정하여 조사함
 - 식물분야는 선정된 조사지점을 중심으로 반경 2km이내를 조사하였음
 - 곤충분야는 화력발전소 주변 20km이내에 조사지점을 선정 후 조사를 진행하였음
 - 포유류조사는 화력발전소 주변 지역의 포유동물 흔적조사를 통하여 무인센서카메라를 설치함
 - 어류 조사지점은 각 화력발전소 인근 하천 및 2개의 대조하천을 선정하여 각 하천별로 2개 지점을 선정하여 어류조사를 실시함. 단, 서천 화력발전소 주변의 경우 수계가 매우 협소하여 1개의 조사지점을 선정함

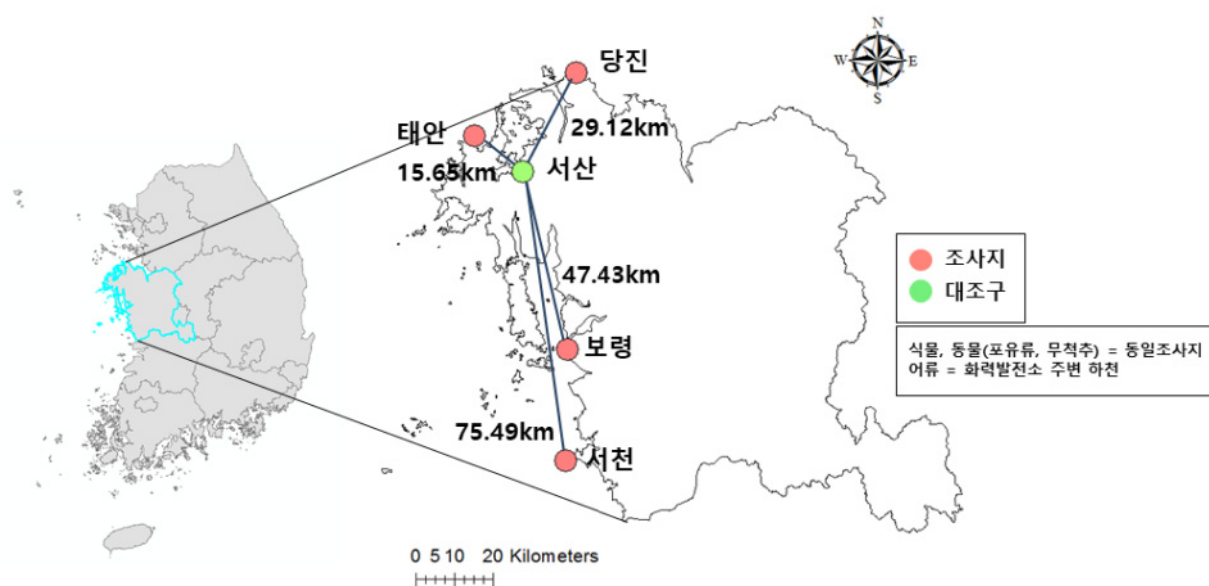
- 대조구는 화력발전소와 가까이 위치하지 않으며 해안기후의 영향을 받고 충분한 산림을 가지고 있는 충남 서산지역의 팔봉산으로 선정하였음



[그림 1.1] 조사지역 위성사진(붉은점: 무인센서카메라 설치지역)



[그림 1.2] 충남화력발전소 주변지역 및 대조하천 어류 조사 지점



[그림 1.3] 생태환경모니터링 조사지, 대조구 위치

[표 1.1] 조사지 및 대조구 현황

조사 대상지	주 소	좌 표
당진	충남 당진시 석문면 왜목길 9	37° 02' 50.25" N, 126° 31' 23.59" E
태안	충남 태안군 원북면 학암포길 243-6	36° 53' 48.68" N, 126° 13' 41.21" E
보령	충남 보령시 오천면 오포리 727-2	36° 24' 03.80" N, 126° 30' 01.59" E
서천	충남 서천군 서면 서인로 235번길 85	36° 08' 28.48" N, 126° 29' 55.85" E
서산 (대조구)	충남 서산시 팔봉면 어송리	36° 48' 54.97" N, 126° 22' 14.67" E

2.3 화력발전소 주변 지역 분야별 연구방법

2.2.1 식물분야

○ 충남지역 생태환경 문헌 분석

- 화력발전소가 소재한 충남 지역의 식물상 연구에 대한 문헌 자료 분석
- 출현분류군의 특산식물(정규영 등, 2017), 멸종위기식물(국립생물자원관, 2012), 희귀식물(국립수목원, 2008), 기후변화대상식물(산림청과 국립수목원, 2010), 귀화식물(이유미 등, 2011) 등을 분석

○ 화력발전소 주변지역 생물분포 현황분석

- 계절별 개화기와 결실기를 중심으로 양치식물 이상의 관속식물을 종류별로 수집하여 분류군을 동정하며, 동정은 정태현(1956, 1957), 이우철(1996), 이창복(2003), 이영노(2006), 그리고 한국양치식물연구회(2005) 등의 도감을 참고
- 소산식물목록은 국가표준식물목록(국립수목원과 한국식물분류학회, 2007)의 순서를 적용

- 조사된 자료를 근거로 특산식물(정규영 등, 2017), 멸종위기식물(국립생물자원관, 2012), 희귀식물(국립수목원, 2008), 기후변화대상식물(산림청과 국립수목원, 2010), 귀화식물(이유미 등, 2011)을 분석

2.2.2 곤충분야

○ 충남지역 곤충 분포현황 문헌분석

- 조사지역의 기존 문헌자료 수집
- 지역별 곤충 종 목록, 곤충 목별 구성 파악
- 주요 곤충 자원(멸종위기종, 기후변화생물지표종, 고유종, 국외반출승인대상종)의 서식 현황분석

○ 화력발전소 주변지역 생물분포 현황분석

- 곤충강은 동물계 내에서 가장 큰 분류군으로 먹이와 그에 따른 분포환경 등 생태적 특성이 매우 다양하다. 따라서 조사지역의 곤충상을 효과적으로 파악하기 위해서 다양한 생태적 특성을 고려하여 다양한 채집방법을 이용해야함. 본 연구에서는 쓸어잡기(Sweeping), 채어잡기(Brandishing), 털어잡기(Beeting)를 통해 주간에 하층식생 및 수관 하부에 서식하는 곤충을 채집하고, 함정트랩(Pitfall trap)을 이용하여 지표면을 배회하는 곤충을 채집함. 목질부를 섭식하는 천공성곤충을 다중깔때기트랩(Multifunnel trap)으로 포획하였으며, 주광성 곤충을 채집하기 위해 야간에 유아등트랩(Light trap)을 이용함
- 쓸어잡기, 채어잡기 및 털어잡기 : 쓸어잡기는 곤충 채집법 가운데 가장 기본적인 방법으로 포충망을 이용하여 하층식생 및 수관 하부를 배회하는 곤충을 무작위로 포획하는 방법. 채어잡기는 육안으로 관찰된 곤충을 대상으로 쓸어잡기와 마찬가지로 포충망을 이용하며 채집하는 방법. 본 연구에서는 구경 50cm의 3단 포충망을 이용함. 쓸어잡기 및 채어잡기는 주로 나비류, 벌류, 파리류, 노린재류 등의 채집이 가능함
- 털어잡기는 수관 하부의 잎이나 나뭇가지 아래에 네트망(1000mm* 1000mm)을 깔고 막대 등으로 식물 및 수목의 가지를 털어 식물 및 수목에 머물던 곤충을 낙하시켜 채집하는 방법. 주로 수관에 서식하며 비행성이 약한 노린재류, 딱정벌레류 등을 채

- 집할 수 있음. 채집된 곤충은 나비류 및 잠자리류는 삼각지에 보관하였고, 그 외의 딱정벌레류나, 노린재류 등의 곤충은 에틸아세테이트로 처리한 후 실험실로 옮겨 동정함
- 함정트랩(Pitfall trap) : 함정트랩은 지표면을 배회하던 곤충이 트랩에 낙하하도록 하는 채집방법으로 상대적으로 비행성이 약해 트랩을 벗어나지 못하는 딱정벌레류, 개미류 등을 채집할 수 있음. 트랩은 연구 목적이나 주변 환경 등에 따라 다양한 형태와 크기가 있으며, 트랩 내부에 유인제나 보조제를 첨가하기도함. 이 연구에서는 함정트랩(Pitfall trap; 플라스틱 재질, 상부직경 70mm, 높이 70mm)을 Litter층이 잘 발달되어 있거나 하층이 피복되어 있는 지역에 2m 간격으로 200개씩 설치하고, 유인효과가 높은 먹이물(누에가루 등)을 트랩 내에 첨가함. 설치한 트랩은 24시간 후에 포획된 곤충을 채집하고 동종포식 및 부패 등 훼손을 방지하기 위해 에틸아세테이트 처리한 후 실험실로 옮겼음
- 유아등트랩(Light trap) : 유아등트랩(Light trap)은 주광성 곤충을 채집하는 방법. 특히 유아등 트랩(LED등, 발전기, 모기장)은 불빛에 유인되는 곤충을 채집하는 방법이므로 인위적인 조명과 거리가 있고 불빛이 멀리 퍼질 수 있는 상층부가 개방된 장소에 설치함. 유인된 곤충들을 포획한 후 에틸아세테이트 처리한 후에 실험실로 옮겼음
- 다중깔때기트랩(Multifunnel trap) : 다중깔때기트랩(Multifunnel trap; 7단, 건식)은 나무좀류의 조사를 위해 개발된 것으로(Lindgren, 1983), 하늘소류나 비단벌레류 등 목질부를 섭식하는 천공성곤충의 채집에 효과적임. 트랩 상단부에 유인제로 에탄올(80ml)과 알파피넨(30ml)을 부착함. 다중깔때기트랩은 조사구마다 2개씩 총 10개의 트랩을 지표면에서 3m높이에 설치함.
- 동정 및 다양성 분석 : 쓸어잡기, 채어잡기 및 털어잡기, 함정트랩, 다중깔때기 트랩, 유아등트랩을 이용해 포획한 곤충은 생태도감과 분류논문 등 관련문헌을 이용하여 동정함. 분류체계는 한국곤충총목록(자연과 생태, 2010)을 참조하였으며, 동정 후 채집된 곤충상을 토대로 종수, 개체수를 파악해 종 목록을 기록함. 다양성 분석은 종 다양도 지수(Diversity Index)를 사용했다. 종 다양도 지수는 한 군집 내 종의 다양성과 종간 개체의 균등성을 확인할 수 있는 지수로, 본 연구에서는 Shannon-Weaver 다양도 지수를 이용함

$$H' = -\sum P_i (\log P_i)$$

(P_i = i종의 개체수, $P = N$; N = 전체 개체수)

2.2.3 포유류분야

○ 현장조사(Field Survey)

- 포유류 서식 현황을 조사하기 위해서는 고라니 혹은 다람쥐처럼 직접 관찰하는 방법이 가장 확실하고 정확한 방법이지만, 야생동물은 경계심이 많고 항상 은신하여 살아가고 청각, 후각 등의 감각이 매우 발달하여 직접 관찰하는 것은 매우 어려움
- 야생동물 조사방법에서는 각종의 동물들이 스스로 남기는 족적(footprint), 배설물(scats), 털(hair), 섭식흔적(food foraging), 이동통로(tunnel) 등의 흔적증거를 수집하고 그 증거물의 형태 및 각종 분석결과를 이용하여 출현 종을 동정하는 조사방법인 흔적조사를 이용
- 이동 중 흔적 등을 통하여 서식 종을 파악하며 확인된 종은 GPS좌표(Garmin, GPSMAP 62s, WGS84)를 기록



[그림 1.4] 수달 흔적조사

○ 무인센서카메라 조사(Camera-trapping)

- 무인센서카메라는 동작감응식 무인센서카메라(Bushnell Trophy Camera HD Brown)를 이용하였으며, 각 대상 지역별 2대씩 설치하였음
- 무인센서카메라에서 포착된 종을 식별한 후(윤 외 2004), 시간대별로 정리하였으며, 동일 개체로 판단되는 개체가 지속적으로 촬영이 된 경우에는 1회만 기록

- 무인센서카메라의 데이터는 관찰시기, 관찰시간, 관찰종으로 구분하여 Excel을 이용하여 기록하였으며, 시간은 24시간으로 구분함



[그림 1.5] 설치된 무인센서카메라(Bushnell Trophy Camera HD)와 설치 모습

○ 포획트랩(Sherman live-trapping)을 이용한 소형포유류 조사

- 소형포유류는 관찰조사 및 흔적조사 방법으로 조사가 불가능하므로 포획에 의한 조사를 실시
- 여러 가지 포획법 중 Sherman live trap이라는 생포트랩을 이용하여 수행
- 쥐과와 침서과 등 소형포유류의 서식지역은 다양함으로 조사 지역 내 최대한 여러 지역에서 포획 조사 실시
- 셔먼트랩은 5~10m 간격으로 설치하였으며, 유인 먹이로는 비스킷을 이용하였음
- 셔먼트랩의 설치시간은 낮에 설치 시 다람쥐나 조류가 먹이를 먹기 위해 포획되는 경우가 간혹 있으므로 낮보다는 오후에 설치
- 설치류가 굶주려 아사하거나 포획 후 체온저하에 따른 폐사를 방지하기 위해 오후 4시 이후에 설치하여 다음날 오전 9시 이전에 트랩 확인
- 셔먼트랩을 이용하여 포획한 개체는 현장에서 종 동정 및 암수 구분 후 방사



[그림 1.6] Sherman live trap 설치 모습과 설치류 조사 지점



[그림 1.7] 포획된 땃쥐(좌측) 및 등줄쥐(우측) 수컷의 방사장면

2.2.4 어류분야

2.2.4.1 조사시기

- 충남 화력발전소 주변 및 대조하천의 어류 조사는 2018년 4월부터 2018년 11월까지 총 3회에 걸쳐 실시함

[표 1.2] 충남 화력발전소 주변지역의 어류 조사 시기

차수	조사시기
1차 조사	2018년 4월 26일~2018년 4월 27일
2차 조사	2018년 8월 15일~2018년 8월 17일
3차 조사	2018년 11월 1일~2018년 11월 3일

2.2.4.2 조사 방법

○ 어류 조사

- 어류는 족대(망목 5×5 mm)와 투망(망목 10×10 mm)을 이용하여 조사했으며, 생물 측정망 조사 및 평가지침(국립환경과학원, 2017)에 의하여 투망 10회 족대 30분을 기준으로 정량조사함
- 채집된 어류는 가능한 현장에서 분류·동정하였으며 필요에 따라 10% 포르말린액으로 고정하여 실험실로 운반하여 전장 및 습중량을 측정함
- 어류의 동정은 국내에서 발표된 검색표 및 도감(内田, 1939; 정, 1977; 김, 1982, 1984, 1988, 1997; 김 등, 1985; 손, 1987; 이, 1988; 전, 1980, 1983, 1984, 1986, 1989; 최 등, 1990, 2002; 김과 강, 1993, 김과 오, 2005)를 이용하였으며, 분류체계는 Nelson(2006)을 따랐음



투망조사



족대조사

[그림 1.8] 충남 화력발전소 주변 지역 어류 조사 방법

○ 수질 조사

- 수질 조사는 YSI 58 휴대용 다항목 수질측정기를 이용하여 수온, 전기전도도, 염분도, 용존산소포화도, 용존산소량을 측정함

- 보다 정밀한 수질 측정을 위해 각 지점별로 4L 무균채수병을 이용하여 물을 채수하여 강원도보건환경연구원 수계조사과의 수질분석을 의뢰함



[그림 1.9] 현장 수질 분석 및 채수

○ 군집분석

- 군집분석은 각 조사지점에 대하여 우점도, 종 다양도, 균등도를 산출하였다(Simpson 1949; Shannon and Weaver 1963; Pielou 1969)
- 우점도(Dominance index) : 우점도는 각 지점의 개체수가 가장 많은 2종을 전체 개체수로 나눈 값을 의미함. 각 조사지점별로 개체수 현존량에 의하여 우점종 2종을 선정하였으며, 지수의 산출은 Mcnaughton's dominance index(DI)에 의함(McNaughton, 1967). 따라서 지수의 값이 높을수록 환경이 좋지 않음을 의미함. 그러나 상류는 예외임

$$DI = (n1 + n2) / N$$

DI : 우점도지수

N : 총개체수

n1, n2 : 제 1, 2 우점종의 개체수

- 다양도(Diversity index) : Margalef(1958)에 의하여 유도된 Shannon-Wiever

function(1963)을 사용하여 산출. 다양도지수는 군집내 종풍부 정도와 개체수의 상대적 균형성을 의미하며 군집의 복잡성을 나타냄. 값이 높을수록 종이 다양함과 환경이 양호함을 나타냄

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i (\ln P_i)$$

H' : 다양도

S : 전체 종수

P_i : i 번째에 속하는 개체수의 비율 (n_i/N)으로 계산

(N : 군집내의 전 개체수, n_i : 각 종의 개체수)

-균등도(Evenness index) : 균등도는 각 지수의 최대치에 대한 실제치의 비로서 표현. 각 다양도지수는 군집내 모든 종의 개체수가 동일할 때 최대가 되므로 결국 균등도지수는 군집내 종 구성(개체수)의 균일한 정도를 나타냄. Pielou(1975)의 식을 사용하여 산출

$$E = H' / \ln(S)$$

E : 균등도

H' : 다양도

S : 전체 종수

-종풍부도(Richness index) : 종풍부도지수는 총 개체수와 총 종수만을 가지고 군집의 상태를 표현하는 지수로서 지수 값이 높을수록 종의 구성이 풍부하게 되므로 서식환경이 양호하다는 것을 전제로 함. 조사에서는 대표적인 Margalef(1958)의 지수를 사용하여 산출함

$$RI = (S-1) / \ln(N)$$

RI : 풍부도

S : 전체종수

N : 총 개체수

- Length-weight relationship 및 Condition factor(K) 분석 : Length-weight relationship 분석은 체중에 대한 전장의 지수 함수적 관계로 표현되고, 이때 나타나는 성장곡선의 회귀계수 값을 비교하여 각 개체군의 환경 적응도를 평가할 수 있음 (Anderson and Gutreuter 1983; Ney 1993)
- 일반적으로 회귀계수(b) 값은 3.0을 기준으로 높으면 개체군이 증가하는 추세를 보이고 반대로 낮으면 개체군이 감소하는 경향을 보이는 것으로 알려져 있음 (Anderson and Neumann, 1996)

$W=aTL^b$ W: 무게 TL: 전장, a, b : 상수, b=회귀계수 값

- Condition factor(K)는 개체군 전체 평균 체중을 전장의 세제곱 값으로 나누어 산출하며 어류의 비만화 정도를 평가할 수 있음
- 이때 나타나는 각 개체 condition factor(K)의 기울기 값이 양의 값을 보이면 비만화 경향을 나타내고, 음의 값을 보이면 왜소화 경향을 나타냄

$W= cTL+d$ c, d : 상수, c=Condition factor의 기울기

- 순위풍부도 곡선을 이용한 군집평가 : R 프로그램의 Vegan package 상의 radfit함수를 이용하여 순위풍부도 곡선을 산출하여 군집을 평가(Whittaker, 1965; Wilson, 1991; 박, 2014; 이, 2018)
- 순위풍부도 곡선은 무효 값인 Null, 직선 형태의 Preemption, 우세종의 영향이 큰 Zipf, 우세종의 영향이 적은 Mandelbrot, 중간 경쟁에서 특별히 우세하거나 열악한 개체군이 없고 군집 내 생태적 지위가 적절히 유지되는 Lognormal 등 5개의 곡선으로 되어있음
- 5개의 곡선을 이용하여 어류 군집을 다음과 같이 평가
- Lognormal(대수정규): 중간 경쟁에서 특별히 우세 또는 열세한 개체군이 많지 않고, 군집 내의 생태적 지위에 맞는 종이 적절히 서식하고 있음-생태학적으로 가장 안정적인

군집

- Mandelbrot: 다양한 종이 서식하고 있음(우세종의 영향이 적은 군집)-비교적 서식처가 다양하고 안정된 군집 유지
- Zipf: 다양한 종이 서식하고 있으나 우세종의 영향이 큼-교란 초기 단계의 군집구조
- Preemption: 직선형으로 단순한 환경 또는 크기가 작은 군집-교란의 정도가 심한 군집 구조
- Null: 무효 값-교란이 심각한 군집구조(하천 최상류의 어류군집 예외)
- 어류 군집 유사도 분석 : 어류의 지점별 군집유사도분석은 PC-ORD(ver 5.0)를 이용하여 통계처리 하였으며 분석 자료는 출현종수 및 현존량을 바탕으로 Bray-Cutis 방식을 적용하여 비가중평균연결에 의한 주성분분석(Cluster Analysis)을 실시함(Bray and Curtis, 1957)

제2장 충남지역 생태환경 문헌분석

1. 식물분야
2. 곤충분야
3. 포유류분야
4. 어류분야

1. 식물분야

1.1 당진시

1.1.1 식물의 종류구성

- 당진시의 식물상 문헌 2건(신현철과 박현기, 2000; 최갑림과 이형희, 2015)에서 보고된 관속식물은 80과 234속 295종 5아종 35변종 7품종으로 총 342분류군이었음
- 문헌에서 확인된 342분류군의 종류조성은 쌍자엽식물(259분류군)-단자엽식물(68분류군)-양치식물(10분류군)-나자식물(5분류군) 순으로 높게 나타났음

[표 2.1] 당진시 식물상 문헌에서 확인된 관속식물의 종류구성

분류계급	과	속	종	아종	변종	품종	합계
양치식물	6	8	9	·	1	·	10
나자식물	2	3	5	·	·	·	5
피자식물	72	223	281	5	34	7	327
쌍자엽식물	62	176	223	4	26	6	259
단자엽식물	10	47	58	1	8	1	68
합계	80	234	295	5	35	7	342

- 과별 구성 중에 의한 다양성은 국화과가 47분류군으로 가장 많았으며, 다음으로는 벼과(25분류군), 장미과(24분류군), 콩과(21분류군), 백합과(15분류군)등의 순으로 나타났다

1.1.2 특산식물

- 당진시의 문헌에서 확인된 특산식물은 은사시나무(재), 개나리(재), 오동나무(재),

병꽃나무, 고려엉겅퀴, 신이대 등 총 6과 6분류군이었음

[표 2.2] 당진시 식물상 문헌에서 확인된 특산식물

과명	학명	국명
Salicaceae 버드나무과	<i>Populus tomentiglandulosa</i> T.B.Lee	은사시나무(재)
Oleaceae 물푸레나무과	<i>Forsythia koreana</i> (Rehder) Nakai	개나리(재)
Scrophulariaceae 현삼과	<i>Paulownia coreana</i> Uyeki	오동나무(재)
Caprifoliaceae 인동과	<i>Weigela subsessilis</i> (Nakai) L.H.Bailey	병꽃나무
Compositae 국화과	<i>Cirsium setidens</i> (Dunn) Nakai	고려엉겅퀴
Gramineae 벼과	<i>Sasa coreana</i> Nakai	신이대

1.1.3 멸종위기 및 희귀식물

- 멸종위기식물은 확인되지 않음
- 문헌에서 확인된 희귀식물은 총 7분류군이었으며, 등급별로는 취약종(VU, vulnerable)에 개박하, 버들금불초, 금붓꽃 등 3분류군, 약관심종(least concerned, LC)에 개벼룩과 모새달 등 2분류군, 자료부족종(data deficient, DD)에 큰개고사리와 벗풀 등 2분류군이었음

[표 2.3] 당진시 식물상 문헌에서 확인된 희귀식물

등급*	학명	국명
취약종(VU)	<i>Nepeta cataria</i> L.	개박하
	<i>Inula salicina</i> var. <i>asiatica</i> Kitam.	버들금불초
	<i>Iris minutiaurea</i> Makino	금붓꽃
약관심종(LC)	<i>Moehringia lateriflora</i> (L.) Fenzl	개벼룩
	<i>Phacelurus latifolius</i> (Steud.) Ohwi	모새달
자료부족종(DD)	<i>Diplazium mesosorum</i> (Makino) Koidz.	큰개고사리
	<i>Sagittaria sagittifolia</i> subsp. <i>leucopetala</i> (Mig.) Hartog	벗풀

* VU: vulnerable, LC: least concern, DD: data deficient

1.1.4 기후변화대상식물

- 문헌에서 확인된 기후변화대상식물은 남방계식물에 장딸기 1분류군이었음

[표 2.4] 당진시 식물상 문헌에서 확인된 기후변화대상식물

구분	과명	학명	국명
남방계	Rosaceae 장미과	<i>Rubus hirsutus</i> Thunb.	장딸기

1.1.5. 귀화식물

- 문헌에서 확인된 귀화식물은 소리쟁이, 미국자리공, 자리공, 창명아주, 좀명아주 등 총 14과 32분류군이었음
- 확인된 귀화식물에는 가시박, 돼지풀, 미국쑥부쟁이, 털물참새피 등 4종류의 생태계 교란야생식물이 포함되어 있었음

[표 2.5] 당진시 식물상 문헌에서 확인된 귀화식물

과명	학명	국명*
Polygonaceae 마디풀과	<i>Rumex crispus</i> L.	소리쟁이
Phytolaccaceae 자리공과	<i>Phytolacca americana</i> L.	미국자리공
	<i>Phytolacca esculenta</i> VanHoutte	자리공
Chenopodiaceae 명아주과	<i>Atriplex hastata</i> L.	창명아주
	<i>Chenopodium ficifolium</i> Smith	좀명아주
Amaranthaceae 비름과	<i>Amaranthus spinosus</i> L.	가시비름
Cruciferae 십자화과	<i>Lepidium apetalum</i> Willd.	다닥냉이
Leguminosae 콩과	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	족제비싸리(재)
	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	아까시나무(재)
	<i>Trifolium pratense</i> L.	붉은토끼풀
	<i>Trifolium repens</i> L.	토끼풀
Euphorbiaceae 대극과	<i>Euphorbia supina</i> Raf.	애기땅빈대
Simaroubaceae 소태나무과	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	가죽나무(재)
Cucurbitaceae 박과	<i>Sicyos angulatus</i> L.	가시박*
Onagraceae 바늘꽃과	<i>Oenothera biennis</i> L.	달맞이꽃
Convolvulaceae 메꽃과	<i>Cuscuta pentagona</i> Engelm.	미국실새삼
Solanaceae 가지과	<i>Solanum carolinense</i> L.	도깨비가지
Compositae 국화과	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	돼지풀*
	<i>Aster pilosus</i> Willd.	미국쑥부쟁이*
	<i>Bidens frondosa</i> L.	미국가막사리
	<i>Carduus crispus</i> L.	지느러미엉겅퀴
	<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	실망초
	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	망초
	<i>Erechtites hieracifolia</i> Raf.	붉은서나물
	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	개망초
	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	뚱단지(재)

과명	학명	국명*
Gramineae 벼과	<i>Solidago serotina</i> Aiton	미국미역취
	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	서양민들레
	<i>Xanthium strumarium</i> L.	도꼬마리
	<i>Briza minor</i> L.	방울새풀
	<i>Dactylis glomerata</i> L.	오리새
	<i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i> Shinnars	털물참새피*

* 생태계교란야생식물

1.2 태안군

1.2.1 식물의 종류조성

- 태안군의 식물상 문헌 2건(이은복과 서정수, 2001; 현진오 등, 2014)에서 보고된 관속식물은 98과 256속 333종 3아종 38변종 5품종으로 총 379분류군이었음
- 식물의 종류조성은 쌍자엽식물(272분류군)-단자엽식물(83분류군)-양치식물(17분류군)-나자식물(7분류군) 순으로 높게 나타났음

[표 2.6] 태안군 식물상 문헌에서 확인된 관속식물의 종류조성

분류계급	과	속	종	아종	변종	품종	합계
양치식물	6	12	16	·	1	·	17
나자식물	5	5	7	·	·	·	7
피자식물	98	239	310	3	37	5	355
쌍자엽식물	75	183	236	2	30	4	272
단자엽식물	12	56	74	1	7	1	83
합계	98	256	333	3	38	5	379

- 과별 구성종에 의한 다양성은 벼과가 41분류군으로 가장 많았으며, 다음으로는 국화과(40분류군), 콩과(22분류군), 장미과(19분류군), 마디풀과와 사초과(14분류군)등의 순으로 나타났음

1.2.2 특산식물

- 문헌에서 확인된 특산식물은 키버들, 할미밀망, 병꽃나무, 백운산 원추리 등 총 4과 4분류군이었음

[표 2.7] 태안군 식물상 문헌에서 확인된 특산식물

과명	학명	국명
Salicaceae 버드나무과	<i>Salix koriyanagi</i> Kimura	키버들
Ranunculaceae 미나리아재비과	<i>Clematis trichotoma</i> Nakai	할미밀망
Caprifoliaceae 인동과	<i>Weigela subsessilis</i> (Nakai) L.H.Bailey	병꽃나무
Liliaceae 백합과	<i>Hemerocallis hakuunensis</i> Nakai	백운산원추리

1.2.3 멸종위기 및 희귀식물

- 멸종위기식물은 확인되지 않음
- 문헌에서 확인된 희귀식물은 총 4분류군이었으며, 등급별로는 취약종(vulnerable, VU)에 주목(재)과 물잔디 등 2분류군, 약관심종(least concerned, LC)과 자료부족종(data deficient, DD)에 모새달과 벚풀 각각 1분류군이었음

[표 2.8] 태안군 식물상 문헌에서 확인된 희귀식물

등급*	학명	국명
취약종(VU)	<i>Taxus cuspidata</i> Siebold & Zucc.	주목(재)
	<i>Pseudoraphis ukishiba</i> Ohwi	물잔디
약관심종(LC)	<i>Phacelurus latifolius</i> (Steud.) Ohwi	모새달
자료부족종(DD)	<i>Sagittaria sagittifolia</i> subsp. <i>leucopetala</i> (Mig.) Hartog	벗풀

* VU: vulnerable, LC: least concern, DD: data deficient

1.2.4 기후변화대상식물

- 문헌에서 확인된 기후변화대상식물은 총 2분류군으로 북방계와 남방계식물에 복자기와 수리딸기 각각 1분류군이었음

[표 2.9] 태안군 식물상 문헌에서 확인된 기후변화대상식물

구분	과명	학명	국명
북방계	Aceraceae 단풍나무과	<i>Acer triflorum</i> Kom.	복자기
남방계	Rosaceae 장미과	<i>Rubus corchorifolius</i> L.f.	수리딸기

1.2.5. 귀화식물

- 문헌에서 확인된 귀화식물은 소리쟁이, 돌소리쟁이, 미국자리공, 유럽점나도나물, 좁명아주 등 총 16과 39분류군이었음
- 확인된 귀화식물에는 서양등골나물과 서양금혼초 등 2종류의 생태계교란야생식물이 포함되어 있었음

[표 2.10] 태안군 식물상 문헌에서 확인된 귀화식물

과명	학명	국명*
Polygonaceae 마디풀과	<i>Rumex crispus</i> L.	소리쟁이
	<i>Rumex obtusifolius</i> L.	돌소리쟁이
Phytolaccaceae 자리공과	<i>Phytolacca americana</i> L.	미국자리공
Caryophyllaceae 석죽과	<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	유럽점나도나물
Chenopodiaceae 명아주과	<i>Chenopodium ficifolium</i> Smith	좀명아주
	<i>Chenopodium glaucum</i> L.	취명아주
Amaranthaceae 비름과	<i>Amaranthus lividus</i> L.	개비름
	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	털비름
Cruciferae 십자화과	<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern.	갯(재)
	<i>Lepidium virginicum</i> L.	콩다닥냉이
Leguminosae 콩과	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	족제비싸리(재)
	<i>Lotus corniculatus</i> L.	서양벌노랑이
	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	아까시나무(재)
	<i>Trifolium pratense</i> L.	붉은토끼풀
	<i>Trifolium repens</i> L.	토끼풀
Euphorbiaceae 대극과	<i>Euphorbia supina</i> Raf.	애기땅빈대
Simaroubaceae 소태나무과	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	가죽나무(재)
Onagraceae 바늘꽃과	<i>Oenothera biennis</i> L.	달맞이꽃
Convolvulaceae 메꽃과	<i>Cuscuta pentagona</i> Engelm.	미국실새삼
	<i>Quamoclit coccinea</i> Moench	둥근잎유홍초
Scrophulariaceae 현삼과	<i>Veronica persica</i> Poir.	큰개불알풀
Plantaginaceae 질경이과	<i>Plantago lanceolata</i> L.	창질경이
Compositae 국화과	<i>Bidens frondosa</i> L.	미국가막사리
	<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	코스모스(재)
	<i>Erechtites hieracifolia</i> Raf.	붉은서나물
	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	개망초

과명	학명	국명*
	<i>Erigeron strigosus</i> Muhl.	주걱개망초
	<i>Eupatorium rugosum</i> Houtt.	서양등골나물*
	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	뚥탄지(재)
	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	서양금혼초*
	<i>Senecio vulgaris</i> L.	개쑥갓
	<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	큰방가지뚥
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	방가지뚥
	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	서양민들레
Commelinaceae 닭의장풀과	<i>Tradescantia reflexa</i> Raf.	자주닭개비(재)
Gramineae 벼과	<i>Dactylis glomerata</i> L.	오리새
	<i>Eragrostis curvula</i> Nees	능수참새그렁
	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	큰김의털
	<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	쥐보리

* 생태계교란야생식물

1.3 보령시

1.3.1 식물의 종류조성

- 보령시의 식물상 문헌 2건(신현철과 박현기, 2000; 이두범 등, 2015)에서 보고된 관속식물은 90과 248속 312종 4아종 33변종 7품종으로 총 356분류군이었음
- 식물의 종류조성은 쌍자엽식물(265분류군)-단자엽식물(71분류군)-양치식물(15분류군)-나자식물(5분류군) 순으로 높게 나타났음
- 과별 구성종에 의한 다양성은 국화과가 40분류군으로 가장 많았으며, 다음으로는 벼과(39분류군), 콩과(20분류군), 장미과(18분류군), 백합과(13분류군)등의 순으로 나타났음

[표 2.11] 보령시 식물상 문헌에서 확인된 관속식물의 종류조성

분류계급	과	속	종	아종	변종	품종	합계
양치식물	7	12	14	·	1	·	15
나자식물	3	4	5	·	·	·	5
피자식물	80	232	293	4	32	7	336
쌍자엽식물	69	177	230	4	24	7	265
단자엽식물	11	55	63	·	8	·	71
합계	90	248	312	4	33	7	356

1.3.2 특산식물

- 문헌에서 확인된 특산식물은 키버들, 닥나무, 은꿩의다리, 왕벚나무(재), 오동나무(재) 등 총 6과 6분류군이었음

[표 2.12] 보령시 식물상 문헌에서 확인된 특산식물

과명	학명	국명
Salicaceae 버드나무과	<i>Salix koriyanagi</i> Kimura	키버들
Moraceae 뽕나무과	<i>Broussonetia kazinoki</i> Siebold	닥나무
Ranunculaceae 미나리아재비과	<i>Thalictrum actaeefolium</i> var. <i>brevistylum</i> Nakai	은꿩의다리
Rosaceae 장미과	<i>Prunus yedoensis</i> Matsum.	왕벚나무(재)
Scrophulariaceae 현삼과	<i>Paulownia coreana</i> Uyeki	오동나무(재)
Caprifoliaceae 인동과	<i>Weigela subsessilis</i> (Nakai) L.H.Bailey	병꽃나무

1.3.3 멸종위기 및 희귀식물

- 멸종위기식물은 확인되지 않음
- 문헌에서 확인된 희귀식물은 총 6분류군이었으며, 등급별로는 멸종위기종(critically

endangered, CR)에 왕벚나무(재) 1분류군, 취약종(vulnerable, VU)에 큰처녀고사리와 산들개 등 2분류군, 약관심종(least concerned, LC)에 모새달 1분류군, 그리고 자료부족종(data deficient, DD)에 큰개고사리와 채고추나물 등 2분류군이었음

[표 2.13] 보령시 식물상 문헌에서 확인된 희귀식물

등급*	학명	국명
멸종위기종(CR)	<i>Prunus yedoensis</i> Matsum.	왕벚나무(재)
취약종(VU)	<i>Thelypteris quelpaertensis</i> (H.Christ) Ching	큰처녀고사리
	<i>Mosla japonica</i> (Benth.) Maxim.	산들개
약관심종(LC)	<i>Phacelurus latifolius</i> (Steud.) Ohwi	모새달
자료부족종(DD)	<i>Diplazium mesosorum</i> (Makino) Koidz.	큰개고사리
	<i>Hypericum attenuatum</i> Choisy	채고추나물

* CR: critically endangered, VU: vulnerable, LC: least concern, DD: data deficient

1.3.4 기후변화대상식물

- 문헌에서 확인된 기후변화대상식물은 남방계식물에 산검양옻나무 1분류군이었음

[표 2.14] 보령시 식물상 문헌에서 확인된 기후변화대상식물

구분	과명	학명	국명
남방계	Anacardiaceae 옻나무과	<i>Rhus sylvestris</i> Siebold & Zucc.	산검양옻나무

1.3.5. 귀화식물

- 문헌에서 확인된 귀화식물은 애기수영, 소리쟁이, 돌소리쟁이, 미국자리공, 창명아주 등 총 10과 28분류군이었음
- 확인된 귀화식물에는 애기수영, 돼지풀, 서양금혼초 등 3종류의 생태계교란야생식물이 포함되어 있었음

[표 2.15] 보령시 식물상 문헌에서 확인된 귀화식물

과명	학명	국명*
Polygonaceae 마디풀과	<i>Rumex acetosella</i> L.	애기수영*
	<i>Rumex crispus</i> L.	소리쟁이
	<i>Rumex obtusifolius</i> L.	돌소리쟁이
Phytolaccaceae 자리공과	<i>Phytolacca americana</i> L.	미국자리공
Chenopodiaceae 명아주과	<i>Atriplex hastata</i> L.	창명아주
	<i>Chenopodium album</i> L.	흰명아주
	<i>Chenopodium glaucum</i> L.	취명아주
Cruciferae 십자화과	<i>Lepidium apetalum</i> Willd.	다닥냉이
Leguminosae 콩과	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	족제비싸리(재)
	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	아까시나무(재)
	<i>Trifolium repens</i> L.	토끼풀
Simaroubaceae 소태나무과	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	가죽나무(재)
Onagraceae 바늘꽃과	<i>Oenothera biennis</i> L.	달맞이꽃
Convolvulaceae 메꽃과	<i>Quamoclit coccinea</i> Moench	둥근잎유홍초
Compositae 국화과	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	돼지풀*
	<i>Aster subulatus</i> Michx.	비짜루국화
	<i>Carduus crispus</i> L.	지느러미영경귀
	<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	실망초
	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	망초
	<i>Conyza parva</i> (Nutt.) Cronquist	애기망초
	<i>Erechtites hieracifolia</i> Raf.	붉은서나물
	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	개망초
	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	서양금혼초*
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	방가지뚥
	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	서양민들레
	<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P.Beauv. ex J.Presl & C.Presl	개나래새
	<i>Dactylis glomerata</i> L.	오리새
	<i>Poa pratensis</i> L.	왕포아풀

* 생태계교란야생식물

1.4 서천군

1.4.1 식물의 종류조성

- 서천군의 식물상 문헌 1건(이웅빈과 전유미, 2001)에서 보고된 관속식물은 55과 114속 129종 1아종 18변종 1품종으로 총 149분류군이었음
- 식물의 종류조성은 쌍자엽식물(113분류군)-단자엽식물(31분류군)-양치식물(4분류군)-나자식물(1분류군) 순으로 높게 나타났음

[표 2.16] 서천군 식물상 문헌에서 확인된 관속식물의 종류조성

분류계급	과	속	종	아종	변종	품종	합계
양치식물	3	3	4	·	·	·	4
나자식물	1	1	1	·	·	·	1
피자식물	51	110	124	1	18	1	144
쌍자엽식물	45	86	96	1	15	1	113
단자엽식물	6	24	28	·	3	·	31
합계	55	114	129	1	18	1	149

- 과별 구성중에 의한 다양성은 국화과가 15분류군으로 가장 많았으며, 다음으로는 벼과(14분류군), 콩과(12분류군), 백합과(10분류군), 장미과(9분류군)등의 순으로 나타났음

1.4.2 특산식물

- 문헌에서 확인된 특산식물은 은평의다리, 흰괭이눈, 병꽃나무 등 총 3과 3분류군이었음

[표 2.17] 서천군 식물상 문헌에서 확인된 특산식물

과명	학명	국명
Ranunculaceae 미나리아재비과	<i>Thalictrum actaeifolium</i> var. <i>brevistylum</i> Nakai	은평의다리
Saxifragaceae 범의귀과	<i>Chrysosplenium pilosum</i> var. <i>fulvum</i> (N.Terracc.) H. Hara	흰괭이눈
Caprifoliaceae 인동과	<i>Weigela subsessilis</i> (Nakai) L.H.Bailey	병꽃나무

1.4.3 멸종위기 및 희귀식물

- 멸종위기 및 희귀식물은 확인되지 않음

1.4.4 기후변화대상식물

- 문헌에서 확인된 기후변화대상식물은 남방계식물에 여우팔 1분류군이었음

[표 2.18] 서천군 식물상 문헌에서 확인된 기후변화대상식물

구분	과명	학명	국명
남방계	Leguminosae 콩과	<i>Dunbaria villosa</i> (Thunb.) Makino	여우팔

1.4.5. 귀화식물

- 문헌에서 확인된 귀화식물은 자리공, 콩다닥냉이, 족제비싸리(재), 달맞이꽃, 미국가막사리 등 총 6과 8분류군이었음

[표 2.19] 서천군 식물상 문헌에서 확인된 귀화식물

과명	학명	국명
Phytolaccaceae 자리공과	<i>Phytolacca esculenta</i> VanHoutte	자리공
Cruciferae 십자화과	<i>Lepidium virginicum</i> L.	콩다닥냉이
Leguminosae 콩과	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	족제비싸리(재)

과명	학명	국명
Onagraceae 바늘꽃과	<i>Oenothera biennis</i> L.	달맞이꽃
Compositae 국화과	<i>Bidens frondosa</i> L.	미국가막사리
	<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist	실망초
	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	망초
Gramineae 벼과	<i>Dactylis glomerata</i> L.	오리새

1.5 서산시(대조구)

1.5.1 식물의 종류조성

- 서산시(대조구)의 식물상 문헌 1건(홍성조와 유호상, 1997)에서 보고된 관속식물은 70과 149속 175종 2아종 24변종 2품종으로 총 203분류군이었음
- 식물의 종류조성은 쌍자엽식물(160분류군)-단자엽식물(31분류군)-나자식물(7분류군)-양치식물(5분류군) 순으로 높게 나타났음
- 과별 구성종에 의한 다양성은 국화과가 19분류군으로 가장 많았으며, 다음으로는 장미과(15분류군), 콩과(13분류군), 백합과(12분류군), 벼과(10분류군)등의 순으로 나타났음

[표 2.20] 서산시(대조구) 식물상 문헌에서 확인된 관속식물의 종류조성

분류계급	과	속	종	아종	변종	품종	합계
양치식물	5	5	3	·	2	·	5
나자식물	3	5	7	·	·	·	7
피자식물	62	139	165	2	22	2	191
쌍자엽식물	53	113	138	2	18	2	160
단자엽식물	9	26	27	·	4	·	31
합계	70	149	175	2	24	2	203

1.4.2 특산식물

- 문헌에서 확인된 특산식물은 검팽나무, 닥나무, 할미밀망, 병꽃나무 등 총 4과 4분류군이었음

[표 2.21] 서산시 식물상 문헌에서 확인된 특산식물

과명	학명	국명
Ulmaceae 느릅나무과	<i>Celtis chosoniana</i> Nakai	검팽나무
Moraceae 뽕나무과	<i>Broussonetia kazinoki</i> Siebold	닥나무
Ranunculaceae 미나리아재비과	<i>Clematis trichotoma</i> Nakai	할미밀망
Caprifoliaceae 인동과	<i>Weigela subsessilis</i> (Nakai) L.H.Bailey	병꽃나무

1.4.3 멸종위기 및 희귀식물

- 멸종위기식물은 확인되지 않음
- 문헌에서 확인된 희귀식물은 총 2분류군이었으며, 등급별로는 취약종(vulnerable, VU)과 약관심종(least concerned, LC)에 통발과 검팽나무 각각 1분류군이었음

[표 2.22] 서산시 식물상 문헌에서 확인된 희귀식물

등급*	학명	국명
취약종(VU)	<i>Utricularia vulgaris</i> var. <i>japonica</i> (Makino) Tamura	통발
약관심종(LC)	<i>Celtis chosoniana</i> Nakai	검팽나무

* VU: vulnerable, LC: least concern, DD: data deficient

1.4.4 기후변화대상식물

- 문헌에서 확인된 기후변화대상식물은 남방계식물에 수리딸기 1분류군이었음

[표 2.23] 서산시 식물상 문헌에서 확인된 기후변화대상식물

구분	과명	학명	국명
남방계	Rosaceae 장미과	<i>Rubus corchorifolius</i> L.f.	수리딸기

1.4.5. 귀화식물

- 문헌에서 확인된 귀화식물은 소리쟁이, 아까시나무(재), 달맞이꽃, 실망초 등 총 4과 4분류군이었음

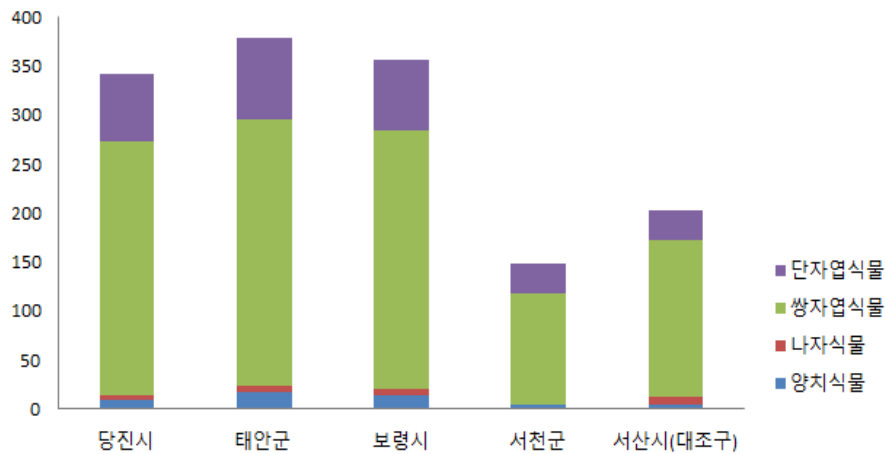
[표 2.24] 서산시 식물상 문헌에서 확인된 귀화식물

과명	학명	국명
Polygonaceae 마디풀과	<i>Rumex crispus</i> L.	소리쟁이
Leguminosae 콩과	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	아까시나무(재)
Onagraceae 바늘꽃과	<i>Oenothera biennis</i> L.	달맞이꽃
Compositae 국화과	<i>Conyza bonariensis</i> (L.)	실망초

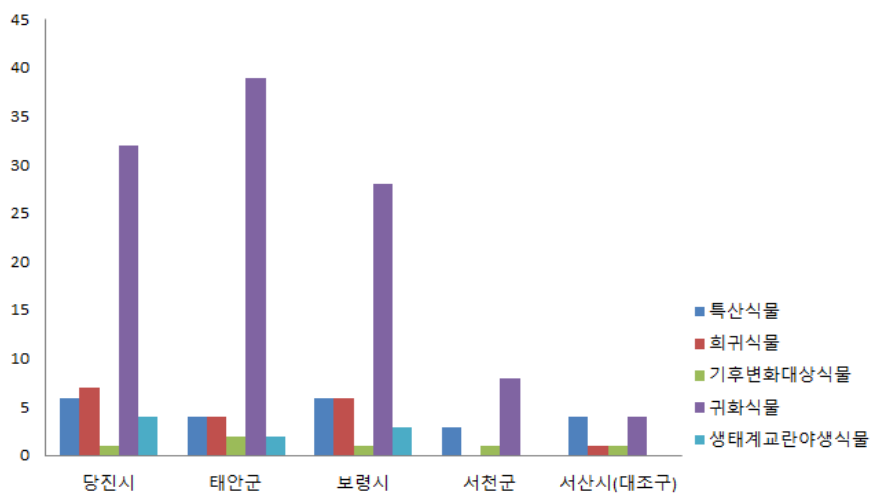
1.6 지역별 비교 및 특징

- 충남지역의 식물상 문헌에서 확인된 관속식물은 태안이 98과 256속 379분류군으로 가장 많았고, 서천이 55과 114속 149분류군으로 가장 적었으며, 서산시(대조구)는 70과 149속 203분류군이었음
- 식물의 종류조성은 대조구인 서산시를 제외하고는 나머지 4개 지역 모두 쌍자엽식물-단자엽식물-양치식물-나자식물 순으로 높게 나타났음
- 특산식물은 당진시와 보령시가 6분류군으로 가장 많았으며, 서천군이 3분류군으로 가장 적었고, 서산시(대조구)는 4분류군이 확인됨
- 희귀식물은 당진시가 7분류군으로 가장 많았으며, 서천군에서는 조사되지 않았고, 서산시(대조구)는 1분류군이 확인됨

- 기후변화대상식물은 태안군(2분류군)을 제외한 나머지 지역 모두에서 1분류군이 확인됨
- 귀화식물은 태안군이 39분류군으로 가장 많았으며, 서천군이 8분류군으로 가장 적었고, 서산시(대조구)에서는 4분류군이 확인됨
- 귀화식물 중 생태계교란야생식물은 당진시(4분류군)에서 가장 많이 조사되었으며, 서천군과 서산시(대조구)에서는 확인되지 않음



[그림 2.1] 식물상 문헌에서 확인된 관속식물의 종류조성



[그림 2.2] 식물상 문헌에서 확인된 주요 식물

1.7 요약 및 소결론

- 충남지역의 식물분포 현황을 파악하기 위하여 당진시 2건, 태안군 2건, 보령시 2건, 서천군 1건, 서산시(대조구) 1건 등 총 8건에 대한 문헌 조사를 수행함
- 확인된 관속식물은 태안군(379분류군)이 가장 많았으며, 다음으로는 보령시(356분류군), 당진시(342분류군), 서천군(149분류군)의 순이었고, 서산시(대조구)는 203분류군이었음
- 화력발전소가 위치한 4개 지역에서 조사된 특산식물은 은사시나무(당진시/재), 키버들(태안군, 보령시), 닥나무(보령시), 할미밀망(보령시), 은평의다리(보령시, 서천군), 흰팽이는(서천군), 왕벚나무(보령시/재), 개나리(당진시/재), 오동나무(당진시, 보령시/재), 병꽃나무(당진시, 태안군, 보령시, 서천군), 고려엉겅퀴(당진시), 백운산원추리(태안군), 신이대(당진시) 등 총 14분류군이었고, 서산시(대조구)에서는 닥나무, 할미밀망, 병꽃나무 외에 검팽나무 1종류가 추가로 조사되어 총 4분류군이 확인됨
- 멸종위기식물은 확인되지 않음
- 희귀식물은 큰처녀고사리(보령시), 큰개고사리(당진시, 보령시), 주목(태안군/재), 개벼룩(당진시), 채고추나물(보령시), 왕벚나무(보령시/재), 산들개(보령시), 개박하(당진시), 버들금불초(당진시), 벚풀(당진시, 태안군), 금붓꽃(당진시), 모새달(당진시, 태안군, 보령시), 물잔디(태안군) 등 총 15분류군이었고, 서산시(대조구)에서는 검팽나무와 통발 2분류군이 확인됨
- 기후변화대상식물은 북방계식물인 복자기(태안군)와 남방계식물인 수리딸기(태안군), 장딸기(당진시), 여우팔(서천군), 산검양옻나무(보령시) 등 총 5분류군이었으며, 서산시(대조구)에서는 수리딸기 1분류군이 확인됨
- 귀화식물은 생태계교란야생식물인 애기수영(보령시), 가시박(당진시), 돼지풀(당진시, 보령시), 미국쑥부쟁이(당진시), 서양등골나물(태안군), 서양금혼초(태안군, 보령시), 털물참새피(당진시) 등 7분류군을 포함하여 총 60분류군이 확인되었고, 서산시(대조구)에서는 소

리쟁이, 아까시나무(재), 달맞이꽃, 실망초 등 총 2분류군으로 생태계교란야생식물은 조사되지 않음

- 화력발전소가 위치한 4개 지역 모두에서 조사된 귀화식물은 족제비싸리(재), 달맞이꽃, 오리새 등 총 3종류였음
- 이상의 결과, 4개 지역의 화력발전소 주변에 분포하는 관속식물은 서산시(대조구)에 비해 대부분 우세하였으나, 이는 문헌 수의 차이에 기인 것으로 생각됨
- 또한 문헌 대부분은 4개 지역의 화력발전소와 인접하지 않은 산림 지역으로 제 2, 3, 4차 전국자연환경조사 시 중점조사지인 산림지역에 포함되어 있으므로, 기존 문헌을 이용하여 화력발전소 주변 지역의 식물 분포 현황을 파악하기에는 무리가 있음
- 따라서 화력발전소 주변 지역에 분포하는 식물 분포 현황을 정확히 파악하기 위해서는 해당 지점을 중심으로 한 연구가 필요할 것으로 판단됨

2. 곤충분야

- 화력발전소 인근의 충남지역에 분포하는 무척추동물(곤충)자원에 대하여 보고된 문헌을 확인하였으며, 지역별로 분포현황을 정리함. 충남지역 내 곤충상에 대하여 조사한 주요기관으로는 국립생태원, 국립공원연구원이 있으며, 최근 10년간 27건의 보고서와 2건의 논문이 발표되었음

2.1 당진시

- 당진시의 곤충상에 대한 연구는 국립생태원에 의해 4차 전국자연환경조사 (2014)가 이루어짐. 이러한 7건의 보고서에 따르면, 10목 117과 764종이 확인됨. 보고된 곤충 중 나비목이 49%로 가장 다양했으며, 딱정벌레목은 22%, 벌목은 11%로 나타남. 4차 전국자연환경조사(2014)의 조사에서 멸종위기종은 확인되지 않았으나 기후변화생물지표종은 각시메뚜기와 남방노랑나비 2종이 확인되었으며, 고유종은 각시메뚜기, 갈색여치, 긴꼬리, 고마로브집게벌레 등을 포함한 29종, 국외반출승인대상종은 노랑무늬먼지벌레, 조롱박먼지벌레, 긴알락꽃하늘소 등 56종이 서식하고 있는 것이 확인됨

2.2 태안군

- 태안군의 곤충상에 대한 연구는 국립생태원의 4차 전국자연환경조사(2014)와 국립공원연구원의 국립공원자연자원조사(2014)가 있었음. 태안해안국립공원의 곤충상에 대해 두 편의 논문이 게재되었음. 4차 전국자연환경조사(2014)에 의하면, 목 과 771종이 기록되었음. 또한 국립공원자연자원조사(2014) 결과에 따르면 16목 211과 1,561종이 확인됨. 논문의 경우, 강(2017)에 의해 17목 215과 1,540종이 기록되었고, 정(2018)은 딱정벌레과 군집을 대상으로 15속 30종을 보고함. 10건의 보고서와 2건의 논문에서 16목 223과 1855종이 기록되었음. 태안군에서 멸종위기종은 비단벌레, 물방개, 애기뿔소뿔구리 등 8종, 기후변화생물지표종은 말매미, 각시메뚜기, 남방노랑나비 등 7종이 기록되었다. 고유종은 소뿔구리붙이, 갈고리박각시, 어리고려매미충 등 91종, 국외반출승인대상종은 옥색긴꼬리산 누에나방, 장수풍뎅이, 대유동방아벌레 등 158종의 서식이 기록되었음

2.3 보령시

- 보령시의 곤충상에 대한 연구는 국립생태원에 의해 4차 전국자연환경조사 (2014)가 이루어짐. 2건의 보고서에서 총 11목 82과 323종이 기록되었음. 보고된 곤충 중 나비목이 41%로 가장 다양했으며, 딱정벌레목이 22%, 노린재목이 15%, 벌목이 11%, 메뚜기목이 5%로 나타남. 멸종위기종과 기후변화생물지표종은 보고된 바 없으나, 고유종은 묘향산거저리, 팔중이, 갈로이스등에 등 18종, 국외반출승인대상종은 대륙뱀잠자리, 주홍박각시, 검정파리매 등 27종이 기록됨

2.4 서천군

- 서천군의 곤충상에 대한 연구는 국립생태원에 의해 4차 전국자연환경조사 (2014)가 이루어짐. 3건의 보고서에서 총 9목 97과 404종의 곤충이 기록됨. 보고된 곤충 중 나비목이 42%로 가장 다양하게 나타났으며, 딱정벌레목이 23%, 노린재목이 15%, 벌목이 9%, 파리목이 6%로 나타났다. 서천군에는 멸종위기종과 기후변화생물지표종은 보고된 바 없으나, 고유종은 흰점박이꽃무지, 줄우단풍뎅이, 어리발톱잎벌레 등 15종, 국외반출승인대상종은 가중나무고치나방, 갈고리박각시, 주홍박각시 등 35종의 서식이 기록됨

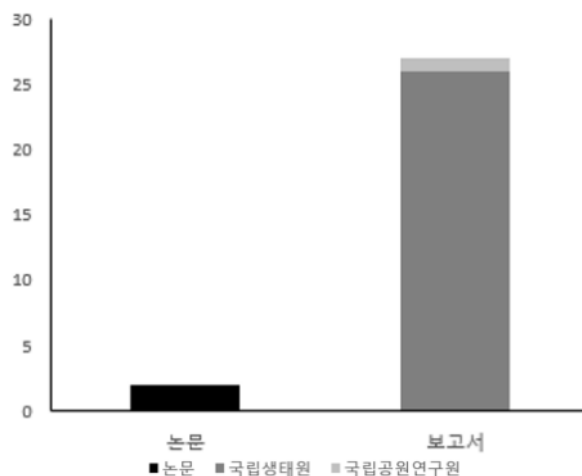
2.5 서산시(대조구)

- 대조구인 서산시의 곤충상에 대한 연구는 국립생태원에 의해 4차 전국자연환경 조사 (2014)가 이루어짐. 보고서 5건에서 총 11목 120과 791종의 곤충이 보고됨. 보고된 곤충 중 나비목이 51%로 가장 다양하게 나타났고, 딱정벌레목이 24%, 노린재목이 9%, 벌목이 8%였다. 멸종위기종은 나타나지 않았고, 각시메뚜기와 남방노랑나비 2종의 기후변화생물지표종이 확인됨. 고려둥글잎벌레, 십자애밤바구미, 방울벌레 등 32종의 고유종과 검정꽃무지, 굵은줄제비가지나방, 금테줄배벌 등 59종의 국외반출승인대상종의 서식이 확인됨
- 문헌조사에서 확인된 곤충 종수는 태안군이 16목 223과 1855종으로 가장 많았으며, 보령시에서 11목 82과 323종으로 가장 적은 종수가 확인됨. 태안군에서 가장 많은 종이 확인되었는데, 태안군은 태안해안국립공원이 위치해 있어 생물보전이 양호한

편이며, 국립공원의 중요성으로 인해 많은 연구가 진행됨. 따라서 많은 연구가 진행되었고 생물보전이 양호하기 때문에 많은 종들이 확인된 것으로 보임. 실제로 대부분의 종은 태안해안국립공원 내에서 확인됨. 보령시는 다른 지역에 비해 11목 82과 323종으로 적은 종이 확인됨. 전국자연환경조사(2014)의 육상곤충조사에서 보령시의 도엽이 많이 누락됨에 따라 기록된 종이 적은 것으로 보임. 5개 조사구에서 총 16목 229과 2187종이 확인 되었으며, 멸종위기종 8종, 기후변화생물지표종 9종, 고유종 98종 및 국외반출승인대상종 187종의 서식이 확인됨

2.6 문헌 출판 형태에 따른 분석

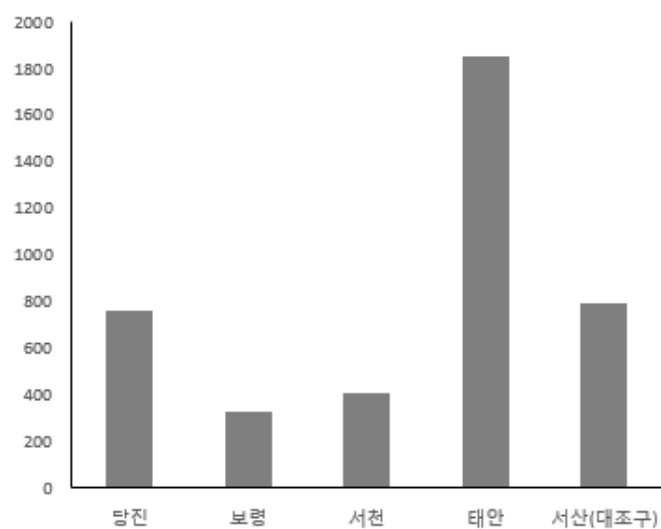
- 문헌 출판 형태는 크게 보고서와 논문으로 분류하여 분석함. 논문의 경우 학술지에 투고 후 게재된 사례를 선정하여 분석에 포함. 분석 결과, 화력발전소 주변지역에 서식하고 있는 무척추동물에 대한 전체 29건의 기존 연구 사례 중 단행본이 27건이었고, 논문 형태의 사례가 2건으로 비교적 현저히 적게 나타남



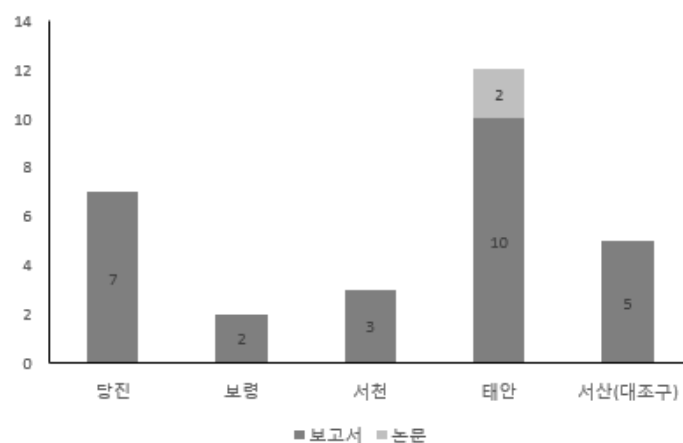
[그림 2.3] 문헌 출판 형태에 따른 문헌 수

2.7 연구 지역에 따른 분석

- 화력발전소 주변지역에 대한 연구자료를 지역별로 분석한 결과, 당진 조사구 7건, 보령 조사구 2건, 서천 조사구 3건, 태안 조사구 12건, 서산 조사구(대조구) 5건으로 국립공원이 위치해 있는 태안에서 12건으로 가장 많은 연구사례가 있었으며, 유일하게 논문 형태의 연구사례가 확인됨



[그림 2.4] 문헌에 보고된 지역별 곤충 종수



[그림 2.5] 연구 지역에 따른 문헌 수

2.8 요약 및 소결론

- 충남 화력발전소 주변지역에 서식하는 곤충의 다양성 및 모니터링 관련 연구사례를 분석한 결과, 최근 10년간 총 29건의 문헌이 확인됨. 대부분이 국립생태원과 국립공원연구원이 출간한 보고서였다. 이러한 기존의 문헌에 따르면 5개 조사구에서 총 16목 229과 2187종이 확인됨
- 지역별로 문헌을 분석한 결과, 당진시에서 10목 117과 763종, 태안군에서 16목 223과 1855종, 보령시에서 11목 82과 323종, 서천시에서 9목 97과 404종, 서산(대조구)에서 11목 120과 791종이 기록되었다. 태안군에서 16목 223과 1855종으로 가장 많은 종이 기록되었고, 보령시에서 11목 82과 323종으로 가장 적은 종이 보고됨. 태안군에서 가장 많은 종이 기록된 것은 태안군은 태안해안국립공원이 위치해 생물보전이 양호하며, 국립공원의 중요성으로 많은 연구가 진행되어 총 12건의 가장 많은 연구사례가 있었음. 이에 따라 대부분의 종은 태안해안국립공원 내에서 보고되는 양상을 보임. 보령시에서 가장 적은 종이 기록되었는데 이는 보령시에서는 연구사례가 2건으로 가장 적었고, 4차 전국자연환경조사(2014)의 육상곤충조사에서 누락된 도엽이 많았음
- 문헌 출판 형태에 따라 분석한 결과, 무척추동물에 대한 전체 29건의 기존 연구 사례 중 단행본이 27건이었고, 논문 형태의 사례가 2건으로 비교적 현저히 적게 나타남
- 화력발전소 주변지역에 대한 연구자료를 지역별로 분석한 결과, 국립공원이 위치해 있는 태안에서 12건으로 가장 많은 연구사례가 있었으며, 유일하게 논문 형태의 연구사례가 확인됨

3. 포유류분야

○ 기존 문헌 포유동물의 공간적 범위

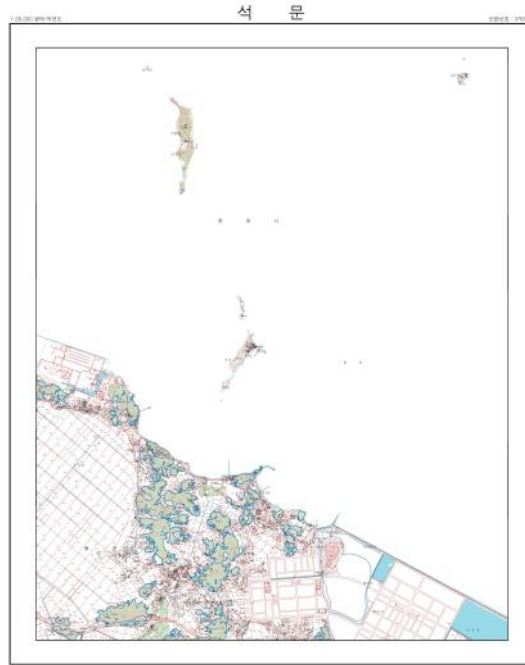
-당진(석문; 환경부, 2009B), 태안(방갈; 환경부 2006), 보령(대야; 환경부, 2009A), 서천(웅천; 환경부, 2010), 서산(태안; 환경부, 1997)

○ 환경부 전국자연환경조사 보고서에 의하면 현장조사결과 당진 12종(환경부, 2009B), 태안 2종(환경부, 2006), 보령 6종(환경부, 2009A), 서천 10종(환경부, 2010), 서산 14종(환경부, 1997) 등이 보고되어 있음

[표 2.25] 문헌조사 결과

	당진 (석문,2009B)	태안 (방갈,2006)	보령 (대야,2009A)	서천 (웅천,2010)	서산 (태안,1997)
현장조사결과	고라니	멧발쥐	고라니	고라니	고라니
	고양이	청설모	두더지	너구리	고양이
	너구리		등줄쥐	두더지	너구리
	두더지		멧발쥐	다람쥐	두더지
	등줄쥐		집쥐	멧토끼	등줄쥐
	땃쥐		청설모	살	땃쥐
	멧토끼			수달	멧토끼
	살			염소	생쥐
	생쥐			족제비	살
	족제비			청설모	애급쥐
	집쥐				족제비
	청설모				집쥐
					작은땃쥐
					청설모
청문 등 결과		너구리	고양이		
		족제비	너구리		
		멧돼지	멧돼지		
		고라니	다람쥐		
		다람쥐	멧토끼		
총 종 수	12	8	11	10	14

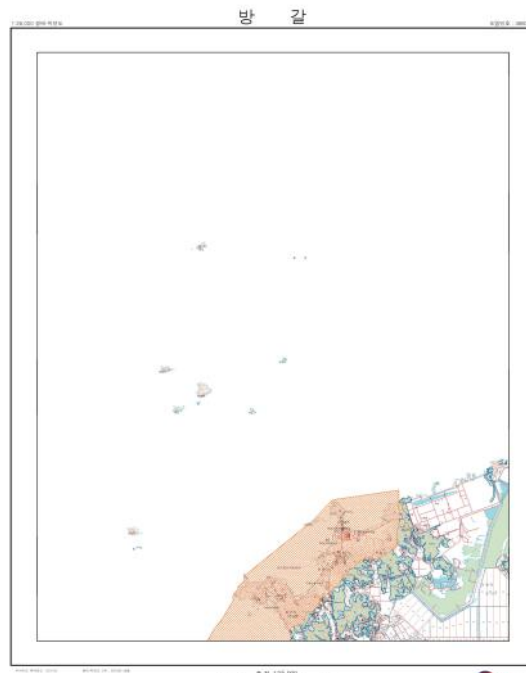
- 당진은 석문 도엽으로 지도는 다음과 같음



[그림 2.6] 자연환경조사 석문 지도(환경부, 2009B)

- 석문에서 현장조사결과 고라니, 고양이, 너구리, 두더지, 등줄쥐, 맛쥐, 멧토끼, 삥, 생쥐, 족제비, 집쥐, 청설모로 총 12종 확인(환경부, 2009B)
 -이 중 멸종위기야생동물은 II 급인 삥 1종 확인

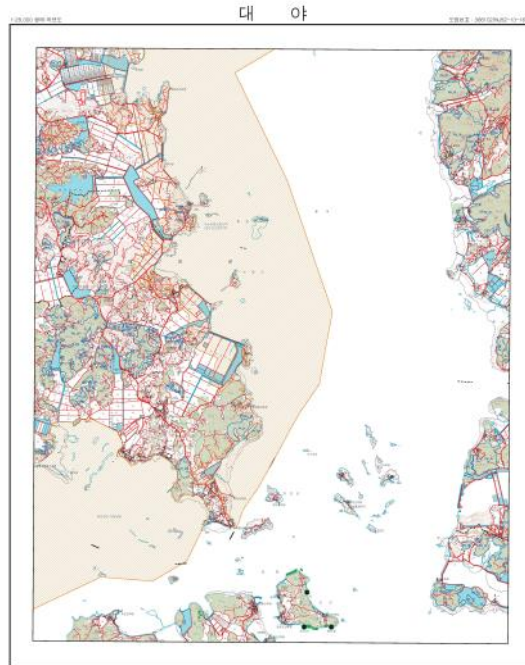
- 태안은 방갈 도엽으로 지도는 다음과 같음



[그림 2.7] 자연환경조사 방갈 지도(환경부, 2006)

- 방갈에서 현장조사결과 청설모, 멧밭쥐 2종이 확인되었고, 청문 등에 의하여 너구리, 족제비, 멧돼지, 고라니, 다람쥐, 등줄쥐 6종이 확인(환경부, 2006)
-방갈에서는 멸종위기야생동물이 확인되지 않았음

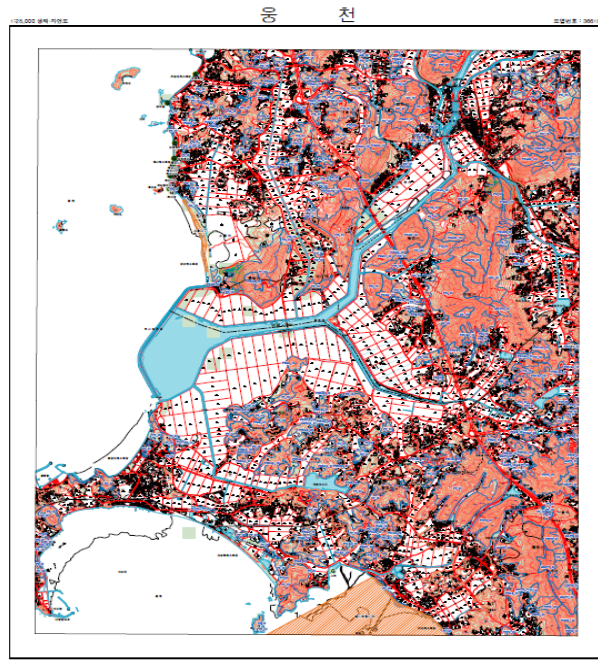
○ 보령은 대야 도읍으로 지도는 다음과 같음



[그림 2.8] 자연환경조사 대야 지도(환경부, 2009A)

- 대야에서 현장조사결과 고라니, 두더지, 등줄쥐, 멧밭쥐, 집쥐, 청설모 6종이 확인되었고, 청문 등에 의하여 고양이, 너구리, 다람쥐, 멧돼지, 멧토끼 5종이 확인(환경부, 2009A)
- 보령에서는 멸종위기야생동물이 확인되지 않았음

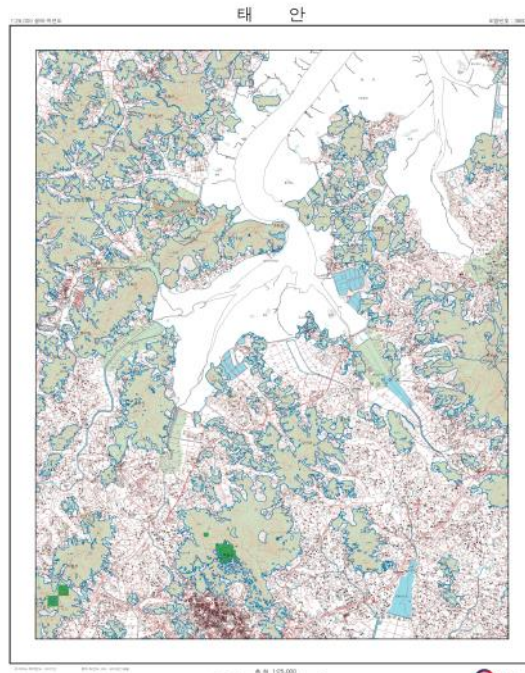
- 서천은 웅천 도읍으로 지도는 다음과 같음



[그림 2.9] 자연환경조사 웅천 지도(환경부, 2010)

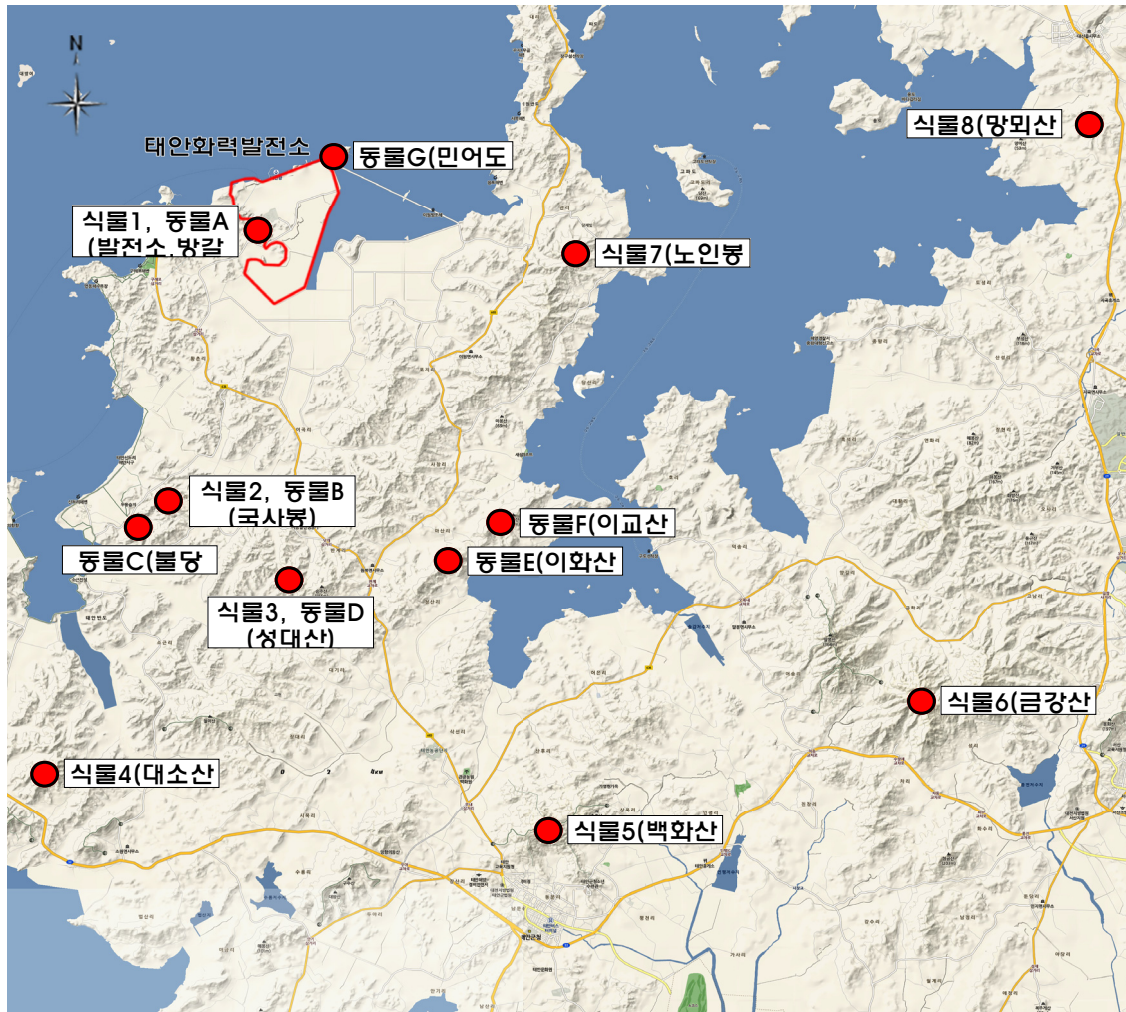
- 웅천에서 현장조사결과 고라니, 너구리, 다람쥐, 두더지, 멧토끼, 삥, 수달, 염소, 족제비, 청설모 11종이 확인(환경부, 2010)
- 웅천에서는 멸종위기야생동물 I 급이자 천연기념물 제330호인 수달과 멸종위기야생 동물 II 급인 삥 2종이 확인

- 서산은 태안 도읍으로 지도는 다음과 같음



[그림 2.10] 자연환경조사 대야 지도(환경부, 1997)

- 태안에서 현장조사결과 두더지, 작은땃쥐, 땃쥐, 너구리, 족제비, 산, 고양이, 고라니, 멧토끼, 청설모, 집쥐, 애급쥐, 생쥐, 등줄쥐가 확인되어 총 14종이 확인(환경부, 1997)
-태안에서는 멸종위기야생동물 II 급인 산 1종이 확인
- 환경영향평가 정보지원시스템의 경우 태안화력발전소 만이 정보를 제공하고 있고 타 화력발전소의 경우 평가서 확인불가
- 태안화력발전소 건설사업 사후환경영향조사결과서(2016)에 의하면 태안화력발전소를 중심으로 약 10km 주변을 조사한 결과 총 6개 지역에서 10~14종이 조사되었고, 법정보호종은 산 1종이 확인
- 조사지점인 방갈리의 발전소의 동물A 지점에서는 동물 흔적 확인이 되지 않았음

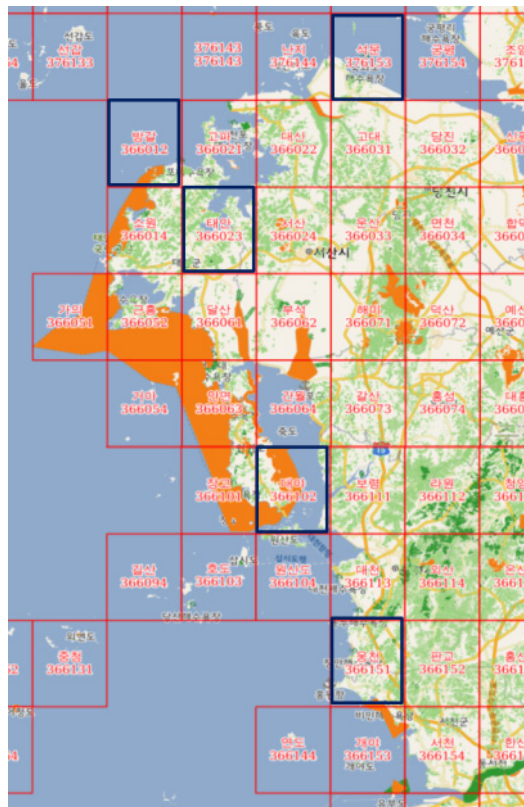


[그림 2.11] 태안화력발전소 건설사업 사후영향평가 조사 동물 조사 지역(한국서부발전, 2016)

3.1 요약 및 소결론

- 환경부 전국자연환경조사 보고서에 의하면 현장조사결과 당진 12종(환경부, 2009B), 태안 2종(환경부, 2006), 보령 6종(환경부, 2009A), 서천 10종(환경부, 2010), 서산 14종(환경부, 1997) 등이 보고되어 있음
- 환경영향평가 정보지원시스템의 태안의 결과 화력발전소 내부에서는 동물 흔적 없음
- 사후환경영향조사 시 화력발전소 지역인 동물A 지점에서 동물의 흔적이 확인되지 않음

- 문헌조사결과 화력발전소 인근의 경우 동물이 서식하기 좋은 장소는 아님을 추측할 수 있음
- 전국자연환경조사의 지도는 10km×12km로 이뤄져 있어, 지도에 있는 모든 지역을 조사하여 보고서를 작성하므로 넓은 지역에서 조사를 수행할 경우 많은 종이 발견됨
- 기존 문헌조사의 한계점은 본 조사의 경우 화력발전소에서 약 1km 이내의 좁은 지역을 중심으로 조사를 실시하였으나 문헌조사의 경우 넓은 지역에서 수행 하여, 문헌 결과와 본 조사 결과 종 수 차이가 있음



[그림 2.12] 문헌조사 격자를 지도에 나타난 모습(파란네모)

4. 어류분야

- 충남 화력발전소 주변 지역의 어류상에 관한 자료는 ‘충남의 자연’ (최기철, 1986)과 ‘제3차 전국자연환경조사’ (국립환경과학원, 2006~2010)의 기록이 있으나 이들 자료는 본 연구 대상 하천과 완전히 일치하지는 않으며 본 연구지역과 인접한 지역의 어류상으로 어류상의 직접적인 비교는 어려운 실정임

4.1 당진화력발전소 주변 지역

- 당진화력발전소 주변지역의 어류상 자료는 ‘충남의 자연’ (최기철, 1986)의 당진군 석문면의 어류상과 ‘제3차 전국자연환경조사’ (백현민과 김힐, 2009)의 석문 일대의 담수어류 등의 자료가 있음
- 충남의 자연에서는 뱀장어, 은어, 피라미, 치리, 왜매치, 참붕어, 잉어, 붕어, 미꾸리, 동자개, 메기, 송사리, 가물치, 얼룩동사리, 풀망둑 등 10과 15종이 보고되었고, 이중 한국고유종은 치리, 왜매치, 얼룩동사리 등 3종이 출현한 것으로 나타남
- 제3차 전국자연환경조사 석문 일대의 담수어류에서는 붕어, 참붕어, 미꾸리 등 2과 3종이 출현한 것으로 보고되고 있으며, 한국고유종은 출현하지 않았음
- 따라서 지금까지 당진화력발전소 주변에서 보고된 담수어류는 총 10과 15종이었으며 이중 한국고유종은 3종이 출현한 것으로 보고되고 있음
- 1986년 자료의 송사리의 경우 현재 대륙송사리로 동정되어야 될 것으로 판단됨
- 1986년에는 송사리와 대륙송사리가 분류되지 않았으며 이후 염색체의 차이로 인하여 송사리와 대륙송사리가 분류되었기 때문에 1986년의 송사리는 대륙송사리로 정정하는 것이 타당할 것으로 판단됨
- 1986년 자료보다 2009년 자료의 출현 어종이 적게 나타난 것은 1986년 자료는 석문면

전체 어류상을 수록한 자료이지만 2009년 자료는 석문면의 일부 지점에서 채집된 자료를 수록했기 때문에 출현 어종수의 차이가 심하게 나는 것으로 보임

[표 2.26] 당진화력발전소 주변의 과거 어류상

	국명	1986	2009
ANGUILLIDAE	뱀장어과		
<i>Anguilla japonica</i>	뱀장어	●	
CYPRINIDAE	잉어과		
<i>Abbottina springeri</i>	왜매치	●	
<i>Carassius auratus</i>	붕어	●	●
<i>Cyprinus carpio</i>	잉어	●	
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	치리	●	
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어	●	●
<i>Zacco platypus</i>	피라미	●	
COBITIDAE	미꾸리과		
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	●	●
SILURIDAE	메기과		
<i>Silurus asotus</i>	메기	●	
BAGRIDAE	동자개과		
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	동자개	●	
OSMERIDAE	바다빙어과		
<i>Plecoglossus altivelis</i>	은어	●	
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과		
<i>Oryzias latipes</i>	송사리	●	
ODONTOBUTIDAE	동사리과		
<i>Odontobutis interrupta</i>	얼룩동사리	●	
GOBIIDAE	망둑어과		
<i>Synechogobius hasta</i>	풀망둑	●	
CHANNIDAE	가물치과		
<i>Channa argus</i>	가물치	●	
과/종		10/15	2/3

4.2 태안화력발전소 주변 지역

○ 태안화력발전소 주변지역의 어류상 자료는 ‘충남의 자연’ (최기철, 1986)의 서산군 원

북면의 어류상과 ‘제3차 전국자연환경조사’ (변화근과 변명섭, 2006)의 방갈 일대의 담수어류 등의 자료가 있음

- 충남의 자연에서는 뱀장어, 잉어, 붕어, 미꾸리, 미꾸라지, 쌀미꾸리, 송사리, 가물치, 꼭저구 등 7과 9종이 보고됨
- 제3차 전국자연환경조사 방갈 일대의 담수어류에서는 붕어, 참붕어, 미꾸리, 빙어, 가숭어, 대륙송사리, 꼭저구, 가물치 등 7과 8종이 출현한 것으로 보고됨
- 따라서 지금까지 태안화력발전소 주변에서 보고된 담수어류는 총 9과 13종이었으나, 1986년에는 송사리와 대륙송사리가 분류되지 않았으며 이후 염색체의 차이로 인하여 송사리와 대륙송사리가 분류되었기 때문에 1986년의 송사리는 대륙송사리로 정정하는 것이 타당할 것으로 판단됨
- 따라서 태안화력발전소 주변에서 보고된 담수어류는 실질적으로 9과 12종인 것으로 판단됨

[표 2.27] 태안화력발전소 주변의 과거 어류상

학명	국명	1986	2006
ANGUILLIDAE	뱀장어과		
<i>Anguilla japonica</i>	뱀장어	●	
CYPRINIDAE	잉어과		
<i>Carassius auratus</i>	붕어	●	●
<i>Cyprinus carpio</i>	잉어	●	
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어		●
COBITIDAE	미꾸리과		
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	●	●
<i>Misgurnus mizolepis</i>	미꾸라지	●	
BALITORIDAE	종개과		
<i>Lefua costata</i>	쌀미꾸리	●	
OSMERIDAE	바다빙어과		
<i>Hypomesus nipponensis</i>	빙어		●
MUGILIDAE	송어과		
<i>Chelon haematocheilus</i>	가송어		●
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과		
<i>Oryzias latipes</i>	송사리	●	
<i>Oryzias sinensis</i>	대륙송사리		●
GOBIIDAE	망둑어과		
<i>Gymnogobius urotaenia</i>	꼭저구	●	●
CHANNIDAE	가물치과		
<i>Channa argus</i>	가물치	●	●
과/종		7/9	7/8

4.3 보령화력발전소 주변 지역

- 보령화력발전소 주변지역의 어류상 자료는 ‘충남의 자연’ (최기철, 1986)의 보령군 오천면의 어류상과 ‘제3차 전국자연환경조사’의 대야 일대의 담수어류(고명훈과 유민정, 2009)와 보령 일대의 담수어류(백현민과 김힐, 2009) 등의 자료가 있음
- 충남의 자연에서는 뱀장어, 피라미, 참붕어, 붕어, 가시납지리, 미꾸리, 참종개, 메기, 송사리, 가물치, 드렁허리, 꺾저기, 모치망둑, 날개망둑, 말뚝망둑어 등 9과 15종이 보고되

었고, 이중 한국고유종은 가시납지리, 얼룩동사리 2종이 출현한 것으로 나타남

- 제3차 전국자연환경조사 대야 일대의 담수어류에서는 송사리, 가숭어, 민물검정망둑 등 3과 3종, 보령 일대의 담수어류에서는 뱀장어, 왜물개, 붕어, 살치, 참붕어, 흰줄납줄개, 각시붕어, 갈겨니, 미꾸리, 송사리 등 4과 10종이 출현한 것으로 보고되었다. 출현 어종 중 한국고유종은 각시붕어 1종으로 나타남
- 따라서 지금까지 보령화력발전소 주변에서 보고된 담수어류는 총 10과 22종이었고, 한국 고유종은 가시납지리, 각시붕어, 얼룩동사리 3종이 출현한 것으로 나타남
- 한편 1986년 송사리는 이후 대륙송사리로 재분류 되었으며, 2009년 송사리는 대륙송사리를 오동정 했을 가능성이 높은 것으로 판단됨

[표 2.28] 보령화력발전소 주변의 과거 어류상

학명	국명	1986	2009(대야)	2009(보령)
ANGUILLIDAE	뱀장어과			
<i>Anguilla japonica</i>	뱀장어	●		●
CYPRINIDAE	잉어과			
<i>Acheilognathus chankaensis</i>	가시납지리	●		
<i>Aphyocypris chinensis</i>	왜물개			●
<i>Carassius auratus</i>	붕어	●		●
<i>Hemiculter leuciscus</i>	살치			●
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어	●		●
<i>Rhodeus ocellatus</i>	흰줄납줄개			●
<i>Rhodeus uyekii</i>	각시붕어			●
<i>Zacco platypus</i>	피라미	●		
<i>Zacco temminckii</i>	갈겨니			●
COBITIDAE	미꾸리과			
<i>Iksookimia koreensis</i>	참종개	●		
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	●		●
SILURIDAE	메기과			
<i>Silurus asotus</i>	메기	●		
MUGILIDAE	송어과			
<i>Chelon haematocheilus</i>	가송어		●	
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과			
<i>Oryzias latipes</i>	송사리	●	●	●
SYNBRANCHIDAE	드렁허리과			
<i>Monopterus albus</i>	드렁허리	●		
CENTROPOMIDAE	క్క지과			
<i>Coreoperca kawamebari</i>	క్క저기	●		
GOBIIDAE	망둑어과			
<i>Favonigobius gymnauchen</i>	날개망둑	●		
<i>Mugilogobius abei</i>	모치망둑	●		
<i>Periophthalmus modestus</i>	말뚝망둥어	●		
<i>Tridentiger brevispinis</i>	민물검정망둑		●	
CHANNIDAE	가물치과			
<i>Channa argus</i>	가물치	●		
과/종		9/15	3/3	4/10

4.4 서천화력발전소 주변 지역

- 서천화력발전소 주변지역의 어류상 자료는 ‘충남의 자연’ (최기철, 1986)의 서천군 서면의 어류상과 ‘제3차 전국자연환경조사’ (채병수와 정주학, 2010)의 웅천 일대의 담수어류 등의 자료가 있음
- 충남의 자연에서는 웅어, 뱀장어, 은어, 국수뱅어, 피라미, 왜몰개, 치리, 참붕어, 잉어, 붕어, 미꾸리, 미꾸라지, 동자개, 메기, 송사리, 가물치, 드렁허리, 풀망둑 등 11과 18종이 보고되었고, 이중 한국고유종은 치리 1종이 출현한 것으로 나타남
- 제3차 전국자연환경조사 웅천 일대의 담수어류에서는 왜몰개, 붕어, 치리, 참붕어, 피라미, 송사리 등 2과 6종이 보고되었고, 이중 한국고유종은 치리 1종임
- 따라서 지금까지 서천화력발전소 주변에서 보고된 담수어류는 총 11과 18종이었고, 한국고유종은 치리 1종이 출현한 것으로 나타남
- 한편 1986년 송사리는 이후 대륙송사리로 재분류 되었으며, 2010년 송사리는 대륙송사리를 오동정 했을 가능성이 높은 것으로 판단됨
- 2010년 자료에서 출현한 어종이 1986년보다 적게 나타난 것은 2010년의 조사 지역이 1986년보다 협소했기 때문으로 판단됨

[표 2.29] 서천화력발전소 주변의 과거 어류상

학명	국명	1986	2010
ANGUILLIDAE	뱀장어과		
<i>Anguilla japonica</i>	뱀장어	●	
ENGRAULIDAE	멸치과		
<i>Coilia nasus</i>	웅어	●	
CYPRINIDAE	잉어과		
<i>Aphyocypris chinensis</i>	왜몰개	●	●
<i>Carassius auratus</i>	붕어	●	●
<i>Cyprinus carpio</i>	잉어	●	
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	치리	●	●
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어	●	●
<i>Zacco platypus</i>	피라미	●	●
COBITIDAE	미꾸리과		
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	●	
<i>Misgurnus mizolepis</i>	미꾸라지	●	
SILURIDAE	메기과		
<i>Silurus asotus</i>	메기	●	
BAGRIDAE	동자개과		
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	동자개	●	
OSMERIDAE	바다빙어과		
<i>Plecoglossus altivelis</i>	은어	●	
<i>Salanx ariakensis</i>	국수뱅어	●	
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과		
<i>Oryzias latipes</i>	송사리	●	●
SYNBRANCHIDAE	드렁허리과		
<i>Monopterus albus</i>	드렁허리	●	
GOBIIDAE	망둑어과		
<i>Synechogobius hasta</i>	풀망둑	●	
CHANNIDAE	가물치과		
<i>Channa argus</i>	가물치	●	
과/종		11/18	2/6

4.5 대조하천 주변 지역의 과거 어류상

4.5.1 소근천(태안)

- 소근천(대조하천) 주변지역의 어류상 자료는 ‘충남의 자연’ (최기철, 1986)의 서산군 소원면의 어류상과 ‘제3차 전국자연환경조사’ (변화근과 변명수, 2006)의 소원 일대의 담수어류 등의 자료가 있음
- 충남의 자연에서는 뱀장어, 치리, 참붕어, 잉어, 붕어, 미꾸리, 동자개, 메기, 송사리, 가물치, 드렁허리, 갈문망둑 등 9과 12종이 보고되었고, 이중 한국고유종은 치리 1종이 출현한 것으로 나타남
- 제3차 전국자연환경조사 소원 일대의 담수어류에서는 피라미, 왜물개, 붕어, 참붕어, 미꾸리, 미꾸라지, 대륙송사리, 얼룩동사리, 꼭저구, 밀어 등 5과 10종이 보고되었고, 이중 한국고유종은 얼룩동사리 1종임
- 따라서 지금까지 소근천 주변에서 보고된 담수어류는 총 10과 19종이었고, 한국고유종은 치리, 얼룩동사리 2종이 출현한 것으로 나타남. 그러나 1986년에 보고된 송사리는 이후 대륙송사리로 재분류되어 실제로 소근천 주변에서 출현한 어종은 10과 18종인 것으로 판단됨

[표 2.30] 소근천 주변의 과거 어류상

학명	국명	1986	2006
ANGUILLIDAE	뱀장어과		
<i>Anguilla japonica</i>	뱀장어	●	
CYPRINIDAE	잉어과		
<i>Aphyocypris chinensis</i>	왜몰개		●
<i>Carassius auratus</i>	붕어	●	●
<i>Cyprinus carpio</i>	잉어	●	
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	치리	●	
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어	●	●
<i>Zacco platypus</i>	피라미		●
COBITIDAE	미꾸리과		
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	●	●
<i>Misgurnus mizolepis</i>	미꾸라지		●
SILURIDAE	메기과		
<i>Silurus asotus</i>	메기	●	
BAGRIDAE	동자개과		
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	동자개	●	
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과		
<i>Oryzias latipes</i>	송사리	●	
<i>Oryzias sinensis</i>	대륙송사리		●
SYNBRANCHIDAE	드렁허리과		
<i>Monopterus albus</i>	드렁허리	●	
ODONTOBUTIDAE	동사리과		
<i>Odontobutis interrupta</i>	얼룩동사리		●
GOBIIDAE	망둑어과		
<i>Gymnogobius urotaenia</i>	꼭저구		●
<i>Rhinogobius brunneus</i>	밀어		●
<i>Rhinogobius giurinus</i>	갈문망둑	●	
CHANNIDAE	가물치과		
<i>Channa argus</i>	가물치	●	
과/종		9/12	5/10

4.5.2 송천천(홍성)

- 송천천(대조하천) 주변지역의 어류상 자료는 ‘충남의 자연’ (최기철, 1986)의 홍성군 서부면의 어류상과 ‘제3차 전국자연환경조사’ (이충렬과 전병일, 2007)의 간월 일대의 담수어류 등의 자료가 있음
- 충남의 자연에서는 뱀장어, 은어, 버들치, 피라미, 모래무지, 잉어, 붕어, 미꾸리, 미꾸라지, 점줄종개, 메기, 송사리, 가물치, 드렁허리, 줄망둑, 풀망둑, 꼭저구 등 9과 17종이 보고됨
- 제3차 전국자연환경조사 간월 일대의 담수어류에서는 가숭어, 빙어, 꺾정어, 농어, 문절망둑, 민물두줄망둑 등 5과 6종이 보고됨
- 따라서 지금까지 송천천 주변에서 보고된 담수어류는 총 12과 23종이었고, 한국고유종은 출현하지 않았음
- 한편 1986년 송사리는 이후 대륙송사리로 재분류됨
- 2007년 조사에서 1986년 조사보다 출현 어종이 적은 것은 조사 지역의 차이 때문인 것으로 판단됨

[표 2.31] 송천천 주변의 과거 어류상

학명	국명	1986	2007
ANGUILLIDAE	뱀장어과		
<i>Anguilla japonica</i>	뱀장어	●	
CYPRINIDAE	잉어과		
<i>Carassius auratus</i>	붕어	●	
<i>Cyprinus carpio</i>	잉어	●	
<i>Pseudogobio esocinus</i>	모래무지	●	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	버들치	●	
<i>Zacco platypus</i>	피라미	●	
COBITIDAE	미꾸리과		
<i>Cobitis lutheri</i>	점줄종개	●	
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	●	
<i>Misgurnus mizolepis</i>	미꾸라지	●	
SILURIDAE	메기과		
<i>Silurus asotus</i>	메기	●	
OSMERIDAE	바다빙어과		
<i>Hypomesus nipponensis</i>	빙어		●
<i>Plecoglossus altivelis</i>	은어	●	
MUGILIDAE	송어과		
<i>Chelon haematocheilus</i>	가송어		●
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과		
<i>Oryzias latipes</i>	송사리	●	
SYNBRANCHIDAE	드렁허리과		
<i>Monopterus albus</i>	드렁허리	●	
COTTIDAE	독종개과		
<i>Trachidermus fasciatus</i>	꺼정어		●
MORONIDAE	농어과		
<i>Lateolabrax japonicus</i>	농어		●
GOBIIDAE	망둑어과		
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	문절망둑		●
<i>Acentrogobius pflaumii</i>	줄망둑	●	
<i>Gymnogobius urotaenia</i>	꼭저구	●	
<i>Synechogobius hasta</i>	풀망둑	●	
<i>Tridentiger bifasciatus</i>	민물두줄망둑		●
CHANNIDAE	가물치과		
<i>Channa argus</i>	가물치	●	
과/종		9/17	5/6

4.6 요약 및 소결론

- 충남화력발전소 주변지역의 과거 어류상을 분석한 결과 당진화력발전소 주변에서는 10과 15종, 태안화력발전소 주변에서는 9과 12종, 보령화력발전소 주변에서는, 10과 22종, 서천화력발전소 주변에서는 11과 18종이 출현한 것으로 보고되고 있음
- 한편 대조하천의 과거 어류상을 분석한 결과 소근천 인근 지역에서는 10과 18종, 송천천 인근지역에서는 12과 23종이 보고됨
- 그러나 과거 조사 자료는 본 조사지역과 일치하지 않기 때문에 본 조사와 출현 어종수의 증감을 직접적으로 비교하기에는 무리가 있을 것으로 판단됨

제3장 화력발전소 주변지역 생물분포 현황분석

1. 식물분야
2. 곤충분야
3. 포유류분야
4. 어류분야

1. 식물분야

1.1. 당진

- 현지조사는 2018년 4월부터 2019년 2월까지 총 4회에 걸쳐 수행함

1.1.1 식물의 종류 조성

- 당진시 화력발전소 일대에서 채집된 증거표본에 의한 관속식물은 81과 214속 246종 2아종 27변종 3품종으로 총 278분류군이 조사되었음
- 당진시 화력발전소 일대에 분포하는 것으로 확인된 278분류군의 종류조성은 쌍자엽식물(216분류군)-단자엽식물(49분류군)-양치식물(8분류군)-나자식물(5분류군) 순으로 높게 나타났음

[표 3.1] 당진시에서 조사된 관속식물의 종류조성

분류계급	과	속	종	아종	변종	품종	합계
양치식물	6	7	7	·	1	·	8
나자식물	4	4	5	·	·	·	5
피자식물	71	203	234	2	26	3	265
쌍자엽식물	63	164	193	2	18	3	216
단자엽식물	8	39	41	·	8	·	49
합계	81	214	246	2	27	3	278

- 과별 구성 중에 의한 다양성은 국화과가 45분류군으로 가장 많았으며, 다음으로는 벼과(25류군), 콩과(22분류군), 장미과(14분류군), 꿀풀과(9분류군) 등의 순으로 나타났음

1.1.2 특산식물

- 당진시에서 조사된 특산식물은 개나리(재)와 오동나무(재) 등 총 2과 2분류군이었음

[표 3.2] 당진시에서 조사된 특산식물

과명	학명	국명
Oleaceae 물푸레나무과	<i>Forsythia koreana</i> (Rehder) Nakai	개나리(재)
Scrophulariaceae 현삼과	<i>Paulownia coreana</i> Uyeki	오동나무(재)

1.1.3 희귀식물

- 멸종위기식물은 확인되지 않음
- 당진시에서 조사된 희귀식물은 취약종(VU, vulnerable)에 모감주나무(재) 1분류군이었음

[표 3.3] 당진시에서 조사된 희귀식물

등급*	학명	국명
취약종(VU)	<i>Koelreuteria paniculata</i> Laxmann	모감주나무(재)

* VU: vulnerable

1.1.4 기후변화대상식물

- 당진시에서 조사된 기후변화대상식물은 북방계식물에 들완두 1분류군이었음

[표 3.4] 당진시에서 조사된 기후변화대상식물

구분	과명	학명	국명
북방계	Leguminosae 콩과	<i>Vicia bungei</i> Ohwi	들완두

1.1.5 귀화식물

- 당진시에서 조사된 귀화식물은 애기수영, 소리쟁이, 미국자리공, 쯤명아주, 개비름 등 총 13과 35분류군이었음
- 조사된 귀화식물에는 애기수영, 돼지풀, 미국쭉부쟁이, 가시상추 등 4종류의 생태계 교란야생식물이 포함되어 있었음

[표 3.5] 당진시에서 조사된 귀화식물

과명	학명	국명*
Polygonaceae 마디풀과	<i>Rumex acetosella</i> L.	애기수영*
	<i>Rumex crispus</i> L.	소리쟁이
Phytolaccaceae 자리공과	<i>Phytolacca americana</i> L.	미국자리공
Chenopodiaceae 명아주과	<i>Chenopodium ficifolium</i> Smith	쯤명아주
Amaranthaceae 비름과	<i>Amaranthus lividus</i> L.	개비름
Cruciferae 십자화과	<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern.	갯(재)
Cruciferae 십자화과	<i>Lepidium apetalum</i> Willd.	다닥냉이
Leguminosae 콩과	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	족제비싸리(재)
	<i>Melilotus suaveolens</i> Ledeb.	전동싸리
	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	아까시나무(재)
	<i>Trifolium repens</i> L.	토끼풀
Euphorbiaceae 대극과	<i>Euphorbia supina</i> Raf.	애기땅빈대
Malvaceae 아욱과	<i>Abutilon theophrasti</i> Medicus	어저귀
Onagraceae 바늘꽃과	<i>Oenothera biennis</i> L.	달맞이꽃
Convolvulaceae 메꽃과	<i>Ipomoea purpurea</i> Roth	등근잎나팔꽃
Scrophulariaceae 현삼과	<i>Veronica arvensis</i> L.	선개불알풀
	<i>Veronica persica</i> Poir.	큰개불알풀
Compositae 국화과	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	돼지풀*

과명	학명	국명*
	<i>Aster pilosus</i> Willd.	미국쑥부쟁이*
	<i>Bidens frondosa</i> L.	미국가막사리
	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	망초
	<i>Coreopsis lanceolata</i> L.	큰금계국(재)
	<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	코스모스(재)
	<i>Erechtites hieracifolia</i> Raf.	붉은서나물
	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	개망초
	<i>Galinsoga ciliata</i> (Raf.) S.F.Blake	털별꽃아재비
	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	동탄지(재)
	<i>Lactuca scariola</i> L.	가시상추*
	<i>Senecio vulgaris</i> L.	개쑥갓
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	방가지뚥
	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	서양민들레
	<i>Xanthium strumarium</i> L.	도꼬마리
Gramineae 벼과	<i>Dactylis glomerata</i> L.	오리새
	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	큰김의털
	<i>Panicum dichotomiflorum</i> Michx.	미국개기장

* 생태계교란야생식물

1.2. 태안군

○ 현지조사는 2018년 4월부터 2019년 2월까지 총 4회에 걸쳐 수행함

1.2.1 식물의 종류 조성

○ 태안군 화력발전소 일대에서 채집된 증거표본에 의한 관속식물은 75과 188속 221종 2아종 25변종 2품종으로 총 250분류군이 조사되었음

- 태안군 화력발전소 일대에 분포하는 것으로 확인된 250분류군의 종류조성은 쌍자엽식물(190분류군)-단자엽식물(46분류군)-양치식물(11분류군)-나자식물(3분류군) 순으로 높게 나타났다

[표 3.6] 태안군에서 조사된 관속식물의 종류구성

분류계급	과	속	종	아종	변종	품종	합계
양치식물	6	9	10	·	1	·	11
나자식물	2	2	3	·	·	·	3
피자식물	67	177	208	2	24	2	236
쌍자엽식물	59	142	170	2	16	2	190
단자엽식물	8	35	38	·	8	·	46
합계	75	188	221	2	25	2	250

- 과별 구성 중에 의한 다양성은 국화과가 37분류군으로 가장 많았으며, 다음으로는 벼과(24분류군), 콩과(18분류군), 장미과(15분류군), 백합과(12분류군) 등의 순으로 나타났다

1.2.2 특산식물

- 태안군에서 조사된 특산식물은 오동나무(재) 1분류군이었음

[표 3.7] 태안군에서 조사된 특산식물

과명	학명	국명
Scrophulariaceae 현삼과	<i>Paulownia coreana</i> Uyeki	오동나무(재)

1.2.3 희귀식물

- 멸종위기식물과 희귀식물은 조사되지 않음

1.2.4 기후변화대상식물

- 태안군에서 조사된 기후변화대상식물은 남방계식물에 수리딸기, 장딸기, 여우팔, 보리장나무 등 4분류군이었음

[표 3.8] 태안군에서 조사된 기후변화대상식물

구분	과명	학명	국명
남방계	Rosaceae 장미과	<i>Rubus corchorifolius</i> L.f.	수리딸기
		<i>Rubus hirsutus</i> Thunb.	장딸기
	Leguminosae 콩과	<i>Dunbaria villosa</i> (Thunb.) Makino	여우팔
	Elaeagnaceae 보리수나무과	<i>Elaeagnus glabra</i> Thunb.	보리장나무

1.2.5 귀화식물

- 태안군에서 조사된 귀화식물은 닭의덩굴, 소리쟁이, 미국자리공, 쯤명아주, 다닥냉이 등 총 11과 24분류군이었음
- 조사된 귀화식물에는 미국쑥부쟁이, 서양금혼초, 가시상추 등 3종류의 생태계교란야생식물이 포함되어 있었음

[표 3.9] 태안군에서 조사된 귀화식물

과명	학명	국명*
Polygonaceae 마디풀과	<i>Fallopia dumetorum</i> (L.) Holub	닭의덩굴
	<i>Rumex crispus</i> L.	소리쟁이
Phytolaccaceae 자리공과	<i>Phytolacca americana</i> L.	미국자리공
Chenopodiaceae 명아주과	<i>Chenopodium ficifolium</i> Smith	쯤명아주
Cruciferae 십자화과	<i>Lepidium apetalum</i> Willd.	다닥냉이
Leguminosae 콩과	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	족제비싸리(재)
	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	아까시나무(재)

과명	학명	국명*
Euphorbiaceae 대극과	<i>Euphorbia supina</i> Raf.	애기땅빈대
Simaroubaceae 소태나무과	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	가죽나무(재)
Onagraceae 바늘꽃과	<i>Oenothera biennis</i> L.	달맞이꽃
Scrophulariaceae 현삼과	<i>Veronica arvensis</i> L.	선개불알풀
	<i>Veronica persica</i> Poir.	큰개불알풀
Compositae 국화과	<i>Aster pilosus</i> Willd.	미국쑥부쟁이*
	<i>Bidens frondosa</i> L.	미국가막사리
	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	망초
	<i>Erechtites hieracifolia</i> Raf.	붉은서나물
	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	개망초
	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	서양금혼초*
	<i>Lactuca scariola</i> L.	가시상추*
	<i>Senecio vulgaris</i> L.	개쑥갓
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	방가지뚥
	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	서양민들레
Gramineae 벼과	<i>Dactylis glomerata</i> L.	오리새
	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	큰김의털

* 생태계교란야생식물

1.3. 보령시

○ 현지조사는 2018년 4월부터 2019년 2월까지 총 4회에 걸쳐 수행함

1.3.1 식물의 종류 조성

○ 보령시 화력발전소 일대에서 채집된 증거표본에 의한 관속식물은 77과 202속 224종 3아종 23변종 4품종으로 총 254분류군이 조사되었음

- 보령시 화력발전소 일대에 분포하는 것으로 확인된 254분류군의 종류조성은 쌍자엽식물(191분류군)-단자엽식물(52분류군)-양치식물(7분류군)-나자식물(4분류군) 순으로 높게 나타났음

[표 3.10] 보령시에서 조사된 관속식물의 종류조성

분류계급	과	속	종	아종	변종	품종	합계
양치식물	5	6	6	·	1	·	7
나자식물	3	3	4	·	·	·	4
피자식물	69	193	214	3	22	4	243
쌍자엽식물	60	149	171	3	13	4	191
단자엽식물	9	44	43	·	9	·	52
합계	77	202	224	3	23	4	254

- 과별 구성 중에 의한 다양성은 국화과가 36분류군으로 가장 많았으며, 다음으로는 벼과(28분류군), 콩과(23분류군), 장미과(13분류군), 백합과(10분류군) 등의 순으로 나타났음

1.3.2 특산식물

- 보령시에서 조사된 특산식물은 할미밀망과 오동나무(재)등 총 2분류군이었음

[표 3.11] 보령시에서 조사된 특산식물

과명	학명	국명
Ranunculaceae 미나리아재비과	<i>Clematis trichotoma</i> Nakai	할미밀망
Scrophulariaceae 현삼과	<i>Paulownia coreana</i> Uyeki	오동나무(재)

1.3.3 희귀식물

- 멸종위기식물은 조사되지 않음

- 보령시에서 조사된 희귀식물은 위기종(EN, endangered)에 왕자귀나무(재) 1분류군이 있었음

[표 3.12] 보령시에서 조사된 희귀식물

등급*	학명	국명
위기종(EN)	<i>Albizia kalkora</i> Prain	왕자귀나무(재)

* EN: endangered

1.3.4 기후변화대상식물

- 보령시에서 조사된 기후변화대상식물은 남방계식물에 수리딸기 1분류군이 있었음

[표 3.13] 보령시에서 조사된 기후변화대상식물

구분	과명	학명	국명
남방계	Rosaceae 장미과	<i>Rubus corchorifolius</i> L.f.	수리딸기

1.3.5 귀화식물

- 보령시에서 조사된 귀화식물은 소리쟁이, 미국자리공, 개비름, 다닥냉이, 족제비싸리(재) 등 총 10과 23분류군이 있었음
- 조사된 귀화식물에는 돼지풀, 미국쑥부쟁이, 가시상추 등 3종류의 생태계교란야생식물이 포함되어 있었음

[표 3.14] 보령시에서 조사된 귀화식물

과명	학명	국명*
Polygonaceae 마디풀과	<i>Rumex crispus</i> L.	소리쟁이
Phytolaccaceae 자리공과	<i>Phytolacca americana</i> L.	미국자리공
Amaranthaceae 비름과	<i>Amaranthus lividus</i> L.	개비름

과명	학명	국명*
Cruciferae 십자화과	<i>Lepidium apetalum</i> Willd.	다닥냉이
Leguminosae 콩과	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	족제비싸리(재)
	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	아까시나무(재)
	<i>Trifolium repens</i> L.	토끼풀
	<i>Vicia villosa</i> Roth	벧지
Euphorbiaceae 대극과	<i>Euphorbia supina</i> Raf.	애기땅빈대
Onagraceae 바늘꽃과	<i>Oenothera biennis</i> L.	달맞이꽃
Scrophulariaceae 현삼과	<i>Veronica arvensis</i> L.	선개불알풀
Compositae 국화과	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	돼지풀*
	<i>Aster pilosus</i> Willd.	미국쑥부쟁이*
	<i>Bidens frondosa</i> L.	미국가막사리
	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	망초
	<i>Coreopsis lanceolata</i> L.	큰금계국(재)
	<i>Erechtites hieracifolia</i> Raf.	붉은서나물
	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	개망초
	<i>Lactuca scariola</i> L.	가시상추*
	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	서양민들레
Gramineae 벼과	<i>Dactylis glomerata</i> L.	오리새
	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	큰김의털
	<i>Panicum dichotomiflorum</i> Michx.	미국개기장

* 생태계교란야생식물

1.4. 서천군

○ 현지조사는 2018년 4월부터 2019년 2월까지 총 4회에 걸쳐 수행함

1.4.1 식물의 종류 조성

- 서천군 화력발전소 일대에서 채집된 증거표본에 의한 관속식물은 70과 188속 214종 1아종 22변종 4품종으로 총 241분류군이 조사되었음
- 서천군 화력발전소 일대에 분포하는 것으로 확인된 241분류군의 종류조성은 쌍자엽식물(191분류군)-단자엽식물(46분류군)-양치식물(4분류군)-나자식물(3분류군) 순으로 높게 나타났음

[표 3.15] 서천군에서 조사된 관속식물의 종류조성

분류계급	과	속	종	아종	변종	품종	합계
양치식물	3	4	3	·	1	·	4
나자식물	2	3	3	·	·	·	3
피자식물	65	181	208	1	21	4	234
쌍자엽식물	56	143	171	1	15	4	191
단자엽식물	9	38	37	·	6	·	43
합계	70	188	214	1	22	4	241

- 과별 구성 중에 의한 다양성은 국화과가 37분류군으로 가장 많았으며, 다음으로는 벼과(25분류군), 콩과(20분류군), 꿀풀과(10분류군), 마디풀과와 장미과(8분류군) 등의 순으로 나타났음

1.4.2 특산식물

- 서천군에서 조사된 특산식물은 오동나무(재) 1분류군이었음

[표 3.16] 서천군에서 조사된 특산식물

과명	학명	국명
Scrophulariaceae 현삼과	<i>Paulownia coreana</i> Uyeki	오동나무(재)

1.4.3 희귀식물

- 멸종위기식물은 조사되지 않음
- 서천군에서 조사된 희귀식물은 약관심종(least concerned, LC)에 측백나무(재)와 쥐방울덩굴 등 2분류군이었음

[표 3.17] 서천군에서 조사된 희귀식물

등급*	학명	국명
약관심종(LC)	<i>Thuja orientalis</i> L.	측백나무(재)
	<i>Aristolochia contorta</i> Bunge	쥐방울덩굴

* LC: least concern

1.4.4 기후변화대상식물

- 서천군에서 조사된 기후변화대상식물은 남방계식물에 여우팔, 예덕나무, 보리장나무 등 3분류군이었음

[표 3.18] 서천군에서 조사된 기후변화대상식물

구분	과명	학명	국명
남방계	Leguminosae 콩과	<i>Dunbaria villosa</i> (Thunb.) Makino	여우팔
	Euphorbiaceae 대극과	<i>Mallotus japonicus</i> (Thunb.) Muell. Arg.	예덕나무
	Elaeagnaceae 보리수나무과	<i>Elaeagnus glabra</i> Thunb.	보리장나무

1.4.5 귀화식물

- 서천군에서 조사된 귀화식물은 닭의덩굴, 소리쟁이, 미국자리공, 유럽점나도나물, 개비름 등 총 15과 38분류군이었음

- 조사된 귀화식물에는 돼지풀, 미국쑥부쟁이, 가시상추 등 3종류의 생태계교란야생식물이 포함되어 있었음

[표 3.19] 서천군에서 조사된 귀화식물

과명	학명	국명*
Polygonaceae 마디풀과	<i>Fallopia dumetorum</i> (L.) Holub	닭의덩굴
	<i>Rumex crispus</i> L.	소리쟁이
Phytolaccaceae 자리공과	<i>Phytolacca americana</i> L.	미국자리공
Caryophyllaceae 석죽과	<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	유럽점나도나물
Amaranthaceae 비름과	<i>Amaranthus lividus</i> L.	개비름
	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	털비름
Cruciferae 십자화과	<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern.	갯(재)
	<i>Lepidium apetalum</i> Willd.	다닥냉이
	<i>Thlaspi arvense</i> L.	말냉이
Leguminosae 콩과	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	족제비싸리(재)
	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	아까시나무(재)
	<i>Trifolium repens</i> L.	토끼풀
	<i>Vicia villosa</i> Roth	벧지
Euphorbiaceae 대극과	<i>Euphorbia supina</i> Raf.	애기땅빈대
Simaroubaceae 소태나무과	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	가죽나무(재)
Onagraceae 바늘꽃과	<i>Oenothera biennis</i> L.	달맞이꽃
Rubiaceae 꼭두서니과	<i>Diodia teres</i> Walter	백령풀
Convolvulaceae 메꽃과	<i>Ipomoea purpurea</i> Roth	둥근잎나팔꽃
Labiatae 꿀풀과	<i>Lamium purpureum</i> L.	자주광대나물
Scrophulariaceae 현삼과	<i>Veronica arvensis</i> L.	선개불알풀
	<i>Veronica persica</i> Poir.	큰개불알풀
Compositae 국화과	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	돼지풀*
	<i>Aster pilosus</i> Willd.	미국쑥부쟁이*

과명	학명	국명*
	<i>Bidens frondosa</i> L.	미국가막사리
	<i>Erechtites hieracifolia</i> Raf.	붉은서나물
	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	개망초
	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	뚱딴지(재)
	<i>Lactuca scariola</i> L.	가시상추*
	<i>Senecio vulgaris</i> L.	개쑥갓
	<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	큰방가지뚱
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	방가지뚱
	<i>Taraxacum laevigatum</i> DC.	붉은씨서양민들레
	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	서양민들레
	<i>Xanthium strumarium</i> L.	도꼬마리
Gramineae 벼과	<i>Dactylis glomerata</i> L.	오리새
	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	큰김의털
	<i>Lolium perenne</i> L.	호밀풀
	<i>Panicum dichotomiflorum</i> Michx.	미국개기장

* 생태계교란야생식물

1.5. 서산시(대조구)

- 현지조사는 2018년 4월부터 2019년 2월까지 총 3회에 걸쳐 수행함

1.5.1 식물의 종류 조성

- 서산시(대조구) 일대에서 채집된 증거표본에 의한 관속식물은 90과 254속 320종 3아종 37변종 7품종으로 총 367분류군이 조사되었음
- 서산시(대조구) 일대에 분포하는 것으로 확인된 367분류군의 종류조성은 쌍자엽식물(281분류군)-단자엽식물(65분류군)-양치식물(17분류군)-나자식물(4분류군) 순으로 높게 나타났음

[표 3.20] 서산시(대조구)에서 조사된 관속식물의 종류조성

분류계급	과	속	종	아종	변종	품종	합계
양치식물	6	11	15	·	2	·	17
나자식물	3	3	4	·	·	·	4
피자식물	81	240	301	3	35	7	346
쌍자엽식물	71	195	245	3	27	6	281
단자엽식물	10	45	56	·	8	1	65
합계	90	254	320	3	37	7	367

- 과별 구성 중에 의한 다양성은 국화과가 40분류군으로 가장 많았으며, 다음으로는 벼과(26분류군), 장미과와 콩과(22분류군), 백합과(16분류군) 등의 순으로 나타났음

1.5.2 특산식물

- 서산시(대조구)에서 조사된 특산식물은 닥나무, 할미밀망, 개나리(재), 오동나무(재), 병꽃나무 등 7분류군이었음

1.5.3 희귀식물

- 멸종위기식물은 조사되지 않음
- 서산시(대조구)에서 조사된 희귀식물은 총 3분류군이었으며, 등급별로는 위기종(endangered, EN)에 왕자귀나무(재) 1분류군, 약관심종(least concerned, LC)에 쥐방울덩굴과 두루미천남성 등 2분류군이었음

[표 3.21] 서산시(대조구)에서 조사된 특산식물

과명	학명	국명
Moraceae 뽕나무과	<i>Broussonetia kazinoki</i> Siebold	닥나무
Ranunculaceae 미나리아재비과	<i>Clematis trichotoma</i> Nakai	할미밀망
Oleaceae 물푸레나무과	<i>Forsythia koreana</i> (Rehder) Nakai	개나리(재)
Scrophulariaceae 현삼과	<i>Paulownia coreana</i> Uyeki	오동나무(재)
Caprifoliaceae 인동과	<i>Weigela subsessilis</i> (Nakai) L.H.Bailey	병꽃나무
Compositae 국화과	<i>Aster koraiensis</i> Nakai	벌개미취
	<i>Cirsium setidens</i> (Dunn) Nakai	고려엉겅퀴

[표 3.22] 서산시(대조구)에서 조사된 희귀식물

등급*	학명	국명
위기종(EN)	<i>Albizia kalkora</i> Prain	왕자귀나무(재)
약관심종(LC)	<i>Aristolochia contorta</i> Bunge	쥐방울덩굴
	<i>Arisaema heterophyllum</i> Blume	두루미천남성

* EN: endangered, LC: least concern

1.5.4 기후변화대상식물

- 서산시(대조구)에서 조사된 기후변화대상식물은 남방계식물에 수리딸기와 보리장나무 등 2분류군이었음

[표 3.23] 서산시(대조구)에서 조사된 기후변화대상식물

구분	과명	학명	국명
남방계	Rosaceae 장미과	<i>Rubus corchorifolius</i> L.f.	수리딸기
	Elaeagnaceae 보리수나무과	<i>Elaeagnus glabra</i> Thunb.	보리장나무

1.5.5 귀화식물

- 서산시(대조구)에서 조사된 귀화식물은 닭의덩굴, 소리쟁이, 미국자리공, 개비름, 다닥냉이 등 총 13과 24분류군이었음
- 조사된 귀화식물에는 돼지풀, 미국쑥부쟁이, 가시상추 등 3종류의 생태계교란야생식물이 포함되어 있었음

[표 3.24] 서산시에서 조사된 귀화식물

과명	학명	국명*
Polygonaceae 마디풀과	<i>Fallopia dumetorum</i> (L.) Holub	닭의덩굴
	<i>Rumex crispus</i> L.	소리쟁이
Phytolaccaceae 자리공과	<i>Phytolacca americana</i> L.	미국자리공
Amaranthaceae 비름과	<i>Amaranthus lividus</i> L.	개비름
Cruciferae 십자화과	<i>Lepidium apetalum</i> Willd.	다닥냉이
Leguminosae 콩과	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	아까시나무(재)
	<i>Trifolium repens</i> L.	토끼풀
Euphorbiaceae 대극과	<i>Euphorbia supina</i> Raf.	애기땅빈대
Simaroubaceae 소태나무과	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	가죽나무(재)
Malvaceae 아욱과	<i>Abutilon theophrasti</i> Medicus	어저귀
Onagraceae 바늘꽃과	<i>Oenothera biennis</i> L.	달맞이꽃
Solanaceae 가지과	<i>Datura stramonium</i> var. <i>chalybaea</i> W.D.J. Koch	독말풀
Scrophulariaceae 현삼과	<i>Veronica persica</i> Poir.	큰개불알풀
Compositae 국화과	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	돼지풀*
	<i>Aster pilosus</i> Willd.	미국쑥부쟁이*
	<i>Bidens frondosa</i> L.	미국가막사리
	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	망초
	<i>Erechtites hieracifolia</i> Raf.	붉은서나물

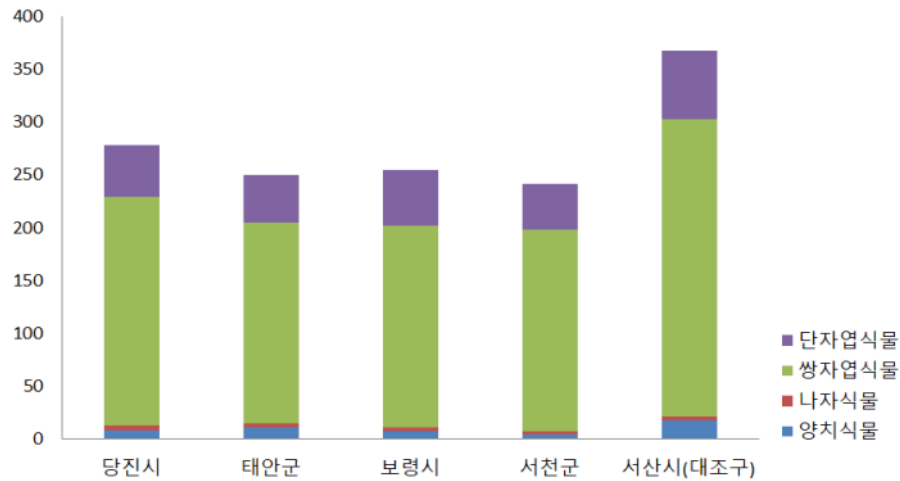
과명	학명	국명*
	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	개망초
	<i>Lactuca scariola</i> L.	가시상추*
	<i>Senecio vulgaris</i> L.	개쑥갓
	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	서양민들레
Gramineae 벼과	<i>Dactylis glomerata</i> L.	오리새
	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	큰김의털

* 생태계교란야생식물

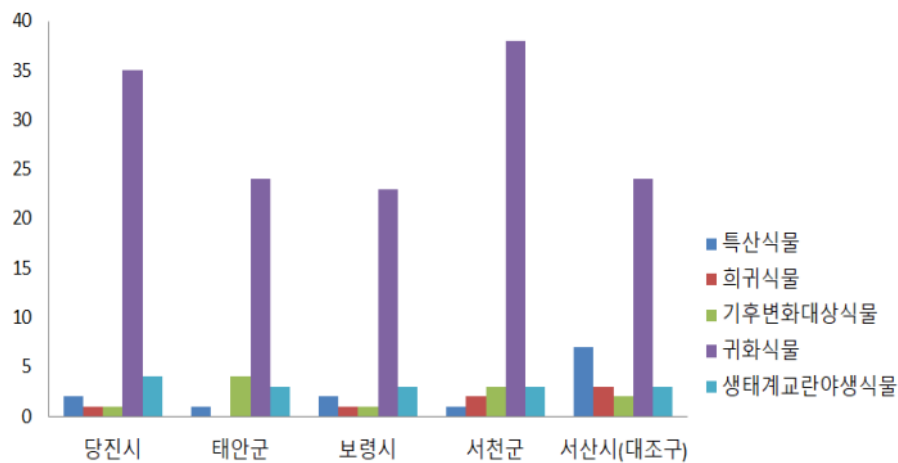
1.6 지역별 비교 및 특징

- 충청남도 소재 화력발전소 일대(당진시, 태안군, 보령시, 서천군)에서 조사된 관속식물은 당진시가 81과 214속 278분류군으로 가장 많았고, 서천군이 70과 188속 241분류군으로 가장 적었으며, 서산시(대조구)는 90과 254속 367분류군이었음
- 식물의 종류조성은 대조구인 서산시를 포함한 모든 지역에서 쌍자엽식물-단자엽식물-양치식물-나자식물 순으로 높게 나타났음
- 특산식물은 당진시와 보령시가 2분류군으로 가장 많았으며, 태안군과 서천군이 1분류군으로 가장 적었고, 서산시(대조구)에서는 7분류군이 확인됨
- 희귀식물은 서천군이 2분류군으로 가장 많았으며, 태안군에서는 조사되지 않았고, 서산시(대조구)는 3분류군이 확인됨
- 기후변화대상식물은 태안군이 4분류군으로 가장 많았고, 당진시와 보령시가 1분류군으로 가장 적었으며, 서산시(대조구)에서는 2분류군이 조사됨
- 귀화식물은 당진시가 35분류군으로 가장 많았으며, 보령시가 23분류군으로 가장 적었고, 서산시(대조구)에서는 24분류군이 확인됨

- 귀화식물 중 생태계교란야생식물은 당진시(4분류군)에서 가장 많이 조사되었으며, 태안군, 보령시, 서천군, 서산시(대조구)에서는 각각 3분류군이 확인됨



[그림 3.1] 충청남도 소재 화력발전소 일대(당진시, 태안군, 보령시, 서천군)에서 조사된 관속식물의 종류조성



[그림 3.2] 충청남도 소재 화력발전소 일대(당진시, 태안군, 보령시, 서천군)에서 조사된 주요 식물

1.7 요약 및 소결론

- 충청남도 소재 화력발전소 일대(당진시, 태안군, 보령시, 서천군)와 서산시(대조구)조구에 분포하는 관속식물상을 파악하기 위하여 2018년 4월부터 2019년 2월까지 총 19회에 걸쳐 조사를 수행함
- 조사된 관속식물은 당진시(278분류군)가 가장 많았으며, 다음으로는 보령시(254분류군), 태안군(250분류군), 서천군(241분류군)의 순이었고, 서산시(대조구)는 367분류군이었음
- 4개 지역의 화력발전소 일대에서 조사된 특산식물은 할미밀망(보령시), 개나리(당진시/재), 오동나무(태안군, 보령시, 서천군/재) 등 3분류군이었고, 서산시(대조구)에서는 닥나무, 병꽃나무, 벌개미취, 고려엉겅퀴 등 4분류군이 추가로 조사되어 총 7분류군이 확인됨
- 멸종위기식물은 조사되지 않음
- 희귀식물은 측백나무(서천군/재), 쥐방울덩굴(서천군), 왕자귀나무(보령시/재), 모감주나무(당진시/재) 등 4분류군이 조사되었고, 서산시(대조구)에서는 쥐방울덩굴, 왕자귀나무(재), 두루미천남성 등 3분류군이 확인됨
- 기후변화대상식물은 북방계식물인 들완두(당진시)와 남방계식물인 수리딸기(태안군, 보령시), 장딸기(태안군), 여우팻(태안군, 서천군), 예덕나무(서천군), 보리장나무(태안군, 서천군) 등 총 6분류군이 조사되었으며, 서산시(대조구)에서는 수리딸기와 보리장나무 2분류군이 확인됨
- 귀화식물은 생태계교란야생식물인 애기수영(당진시), 돼지풀(당진시, 보령시, 서천군), 미국쑥부쟁이(당진시, 태안군, 보령시, 서천군), 서양금혼초(태안군), 가시상추(당진시, 태안군, 보령시, 서천군) 등 5분류군을 포함하여 총 48분류군이 확인되었고, 서산시(대조구)에서는 돼지풀, 미국쑥부쟁이, 가시상추 등을 포함하여 총 24분류군이 조사됨

- 4개 지역의 화력발전소 일대 모두에서 조사된 귀화식물은 소리쟁이, 미국자리공, 다닥냉이, 족제비싸리(재), 아까시나무(재), 애기땅빈대, 달맞이꽃, 선개불알풀, 미국쭉부쟁이, 미국가막사리, 붉은서나물, 개망초, 가시상추, 서양민들레, 오리새, 큰김의털 등 16종류였으며, 특히 미국자리공과 서양민들레는 넓은 면적에 분포하는 것으로 확인됨
- 이상의 결과, 4개 지역의 화력발전소 주변에 분포하는 관속식물은 서산시(대조구)에 비해 열세하였음
- 또한 화력발전소 주변에서 조사된 주요 식물(특산, 희귀, 기후변화대상식물)은 대부분 재배식물로 구분된 반면, 생태계교란야생식물과 같은 귀화식물의 출현 비율은 서산시(대조구)에 비해 높은 것으로 조사되었음
- 따라서 화력발전소 주변 지역에 분포하는 식물 분포 현황을 객관적으로 파악하기 위해서는 이러한 식물 종류를 대상으로 분포학적 특성을 분석하고 생육 범위를 조사하는 등 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단됨

2. 곤충분야

2.1 조사구별 서식하는 무척추동물(곤충)상

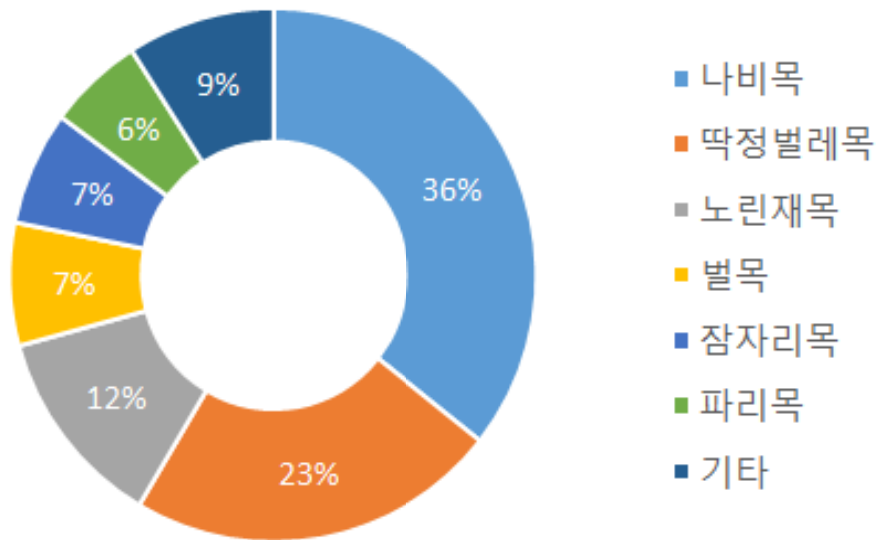
- 화력발전소 주변지역에 5개의 조사구를 선정하여 곤충상을 조사한 결과, 당진 조사구에서 10목 63과 166종 593개체, 태안 조사구에서 10목 59과 157종 831개체, 보령 조사구에서 10목 47과 82종 282개체, 서천 조사구에서 10목 38과 55종 180개체, 서산 대조구에서 10목 65과 158종 447개체의 곤충이 확인됨. 종수는 5개 조사구 중 당진 조사구에서 가장 많았으며, 개체수는 태안 조사구에서 가장 많이 확인됨

[표 3.25] 조사구별 채집 곤충상

조사구	채집 곤충상
당진시	10목 63과 166종 593개체
태안군	10목 59과 157종 831개체
보령시	10목 47과 82종 282개체
서천군	10목 38과 55종 180개체
서산시	10목 65과 157종 447개체

2.1.1 당진 조사구

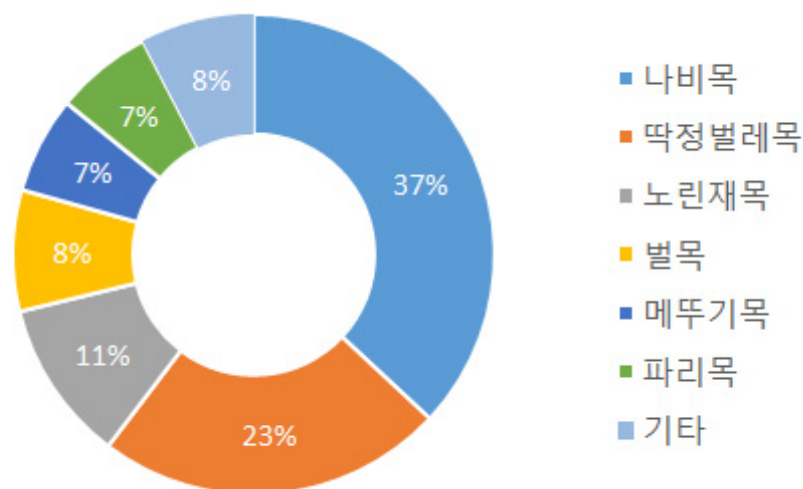
- 당진 조사구에서 쓸어잡기, 채어잡기 및 털어잡기, 함정트랩, 다중갈때기트랩, 유아등 트랩을 이용하여 곤충상을 조사한 결과, 나비목, 딱정벌레목, 노린재목, 벌목, 잠자리목, 파리목 등 10목 63과 166종 593개체가 채집됨. 그 중 나비목의 곤충이 36%로 가장 다양했으며, 딱정벌레목이 23%, 노린재목이 12%, 벌목과 잠자리목이 7%, 파리목이 6%를 차지함. 채집방법별 곤충상을 분석한 결과, 쓸어잡기, 채어잡기 및 털어잡기에서 8목 40과 76종, 함정트랩에서 4목 8과 12종 81개체, 다중갈때기트랩에서 2목 4과 4종 23개체, 유아등트랩에서 9목 34과 85종 489개체로 나타남
- 채집된 곤충 중 중에서 고유종은 고려소똥풍뎡이, 긴꼬리, 모메뚜기 등 10종, 국외반출승인대상종은 풍이, 제일줄나비, 극남부전나비, 다리무늬침노린재, 방아깨비 등 13종의 서식이 확인되었으며, 멸종위기종과 기후변화생물지표종의 서식은 확인되지 않았음



[그림 3.3] 당진조사구에서 채집된 곤충의 목별 종수 구성비율(%)

2.1.2 태안 조사구

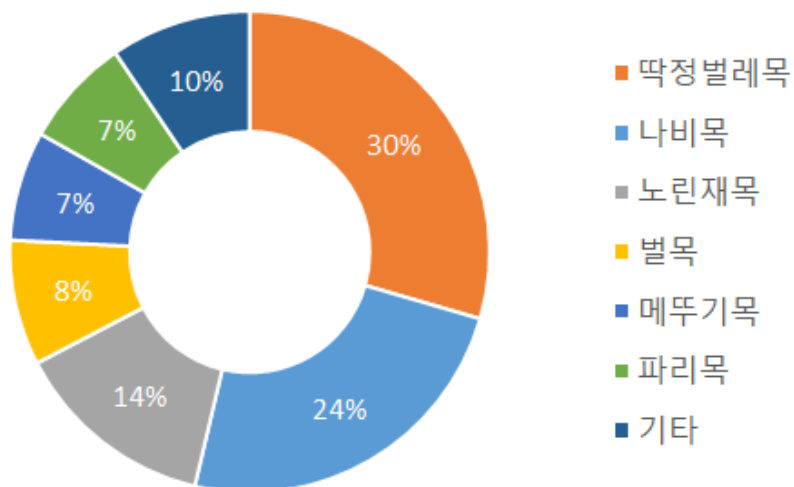
- 태안 조사구에서 쓸어잡기, 채어잡기 및 털어잡기, 함정트랩, 다중갈때기트랩, 유아등 트랩을 이용하여 곤충상을 조사한 결과, 나비목, 딱정벌레목, 노린재목, 벌목, 메뚜기목, 파리목 등 10목 59과 157종 831개체가 채집됨. 그 중 나비목의 곤충이 37%로 가장 다양했으며, 딱정벌레목이 23%, 노린재목이 11%, 벌목이 8%, 파리목과 메뚜기목이 7%를 차지함. 채집방법별 곤충상을 분석한 결과, 쓸어잡기, 채어잡기 및 털어잡기에서 8목 26과 37종, 함정트랩에서 5목 15과 28종 239개체, 다중갈때기트랩에서 3목 4과 6종 9개체, 유아등트랩에서 9목 37과 95종 583개체로 나타남
- 채집된 곤충 중 중에서 고유종은 갈색여치, 땅강아지, 왕귀뚜라미 등 11종, 국외반출승인 대상종은 검정파리매, 애매미, 톱하늘소, 방아깨비 등 16종과 기후변화생물지표종인 말매미의 서식이 확인되었으며, 멸종위기종의 서식은 확인되지 않았음



[그림 3.4] 태안조사구에서 채집된 곤충의 목별 종수 구성비율(%)

2.1.3 보령 조사구

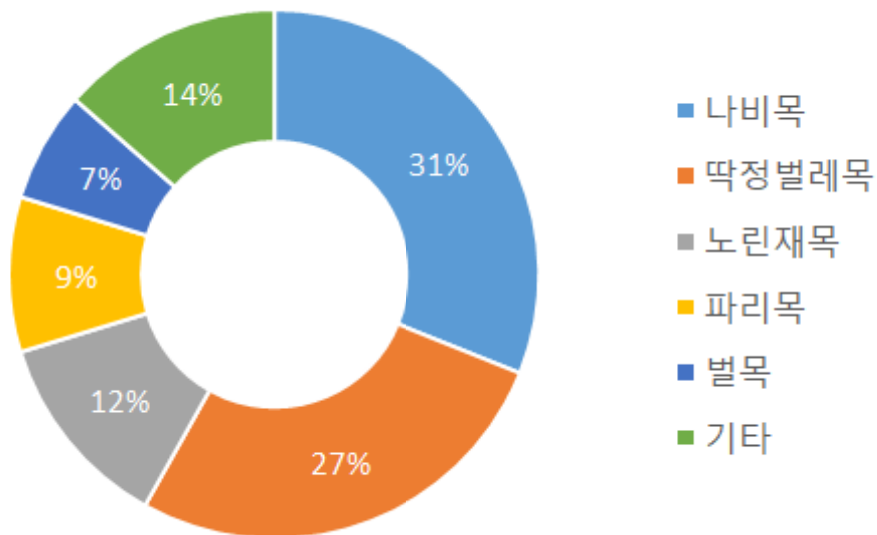
- 보령 조사구에서 쓸어잡기, 채어잡기 및 털어잡기, 함정트랩, 다중갈때기트랩, 유아등 트랩을 이용하여 곤충상을 조사한 결과, 나비목, 딱정벌레목, 노린재목, 벌목, 메뚜기목, 파리목 등이 확인되었으며, 총 10목 47과 82종 282개체가 채집됨. 그 중 딱정벌레목의 곤충이 30%로 가장 다양했으며, 나비목이 24%, 노린재목이 14%, 벌목이 8%, 메뚜기목과 파리목이 7%를 차지했다. 채집방법별 곤충상을 분석한 결과, 쓸어잡기, 채어잡기 및 털어잡기에서 8목 24과 31종, 함정트랩에서 5목 12과 18종 103개체, 다중갈때기트랩에서 2목 3과 4종 12개체, 유아등트랩에서 8목 19과 34종 167개체로 나타남
- 채집된 곤충종 중에서 고유종은 갈색여치, 대한맵시벌, 왕귀뚜라미, 광릉다색우단풍뎅이 등 7종, 국외반출승인대상종은 다리무늬침노린재, 대한맵시벌, 등빨간먼지벌레 등 10종의 서식이 확인되었으며, 멸종위기종과 기후변화생물지표종의 서식은 확인되지 않았음



[그림 3.5] 보령조사구에서 채집된 곤충의 목별 종수 구성비율(%)

2.1.4 서천 조사구

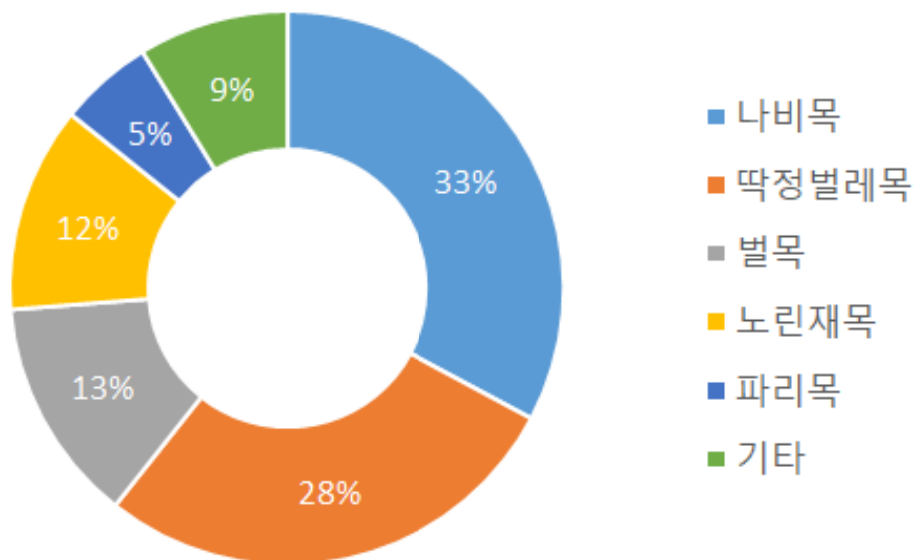
- 서천 조사구에서 쓸어잡기, 채어잡기 및 털어잡기, 함정트랩, 다중갈때기트랩, 유아등 트랩을 이용하여 곤충상을 조사한 결과, 나비목, 딱정벌레목, 노린재목, 벌목, 잠자리목, 파리목 등이 확인되었으며, 총 10목 38과 55종 180개체가 채집됨. 그 중 나비목의 곤충이 31%로 가장 다양했으며, 딱정벌레목이 27%, 노린재목이 12%, 파리목이 9%, 벌목이 7%를 차지함. 채집방법별 곤충상을 분석한 결과, 쓸어잡기, 채어잡기 및 털어잡기에서는 7목 16과 17종, 함정트랩에서 4목 5과 7종 48개체, 다중갈때기트랩에서 2목 3과 3종 3개체, 유아등트랩에서 7목 22과 31종 129개체로 나타남
- 채집된 곤충종 중에서 고유종은 광릉다색우단풍뎅이, 꼬등이, 끝마디통통집게벌레, 산바퀴 등 5종의 고유종, 국외반출승인대상종은 검정파리매, 다리무늬침노린재, 쌍무늬먼지벌레, 애매미 등 7종의 서식이 확인되었으며, 멸종위기종과 기후변화생물지표종의 서식은 확인되지 않았음



[그림 3.6] 서천조사구에서 채집된 곤충의 목별 종수 구성비율(%)

2.1.5 서산 조사구(대조구)

- 서산 조사구에서 쓸어잡기, 채어잡기 및 털어잡기, 함정트랩, 다중갈때기트랩, 유아등 트랩을 이용하여 곤충상을 조사한 결과, 나비목, 딱정벌레목, 노린재목, 벌목, 파리목 등이 확인되었으며, 총 10목 65과 157종 447개체가 채집됨. 그 중 나비목의 곤충이 33%로 가장 다양했으며, 딱정벌레목이 28%, 벌목이 13%, 노린재목이 12%, 파리목이 5%를 차지함. 채집방법별 곤충상을 분석한 결과, 쓸어잡기, 채어잡기 및 털어잡기에서는 10목 42과 69종, 함정트랩에서는 4목 14과 21종 163개체, 다중갈때기트랩에서는 3목 8과 9종 26개체, 유아등트랩에서는 8목 33과 73종 268개체로 나타남
- 채집된 곤충종 중에서 고유종은 고마로브집게벌레, 산바퀴, 왕귀뚜라미 등 7종, 국외반출 승인대상종은 개미붙이, 검정파리매, 넓적사슴벌레, 다리무늬침노린재 등 10종의 서식이 확인되었으며, 멸종위기종과 기후변화생물지표종의 서식은 확인되지 않았음



[그림 3.7] 서산조사구(대조구)에서 채집된 곤충의 목별 종수 구성비율(%)

2.2 트랩별 채집된 무척추동물(곤충)상

2.2.1 지표배회성 곤충

- 5개 조사구에서 함정트랩을 이용하여 곤충상을 조사한 결과, 총 5목 24과 50종 634개체의 곤충이 채집됨
- 지역별로 채집된 곤충 상을 분석한 결과, 당진 조사구에서 4목 8과 12종 81개체, 태안 조사구에서 5목 15과 28종 239개체, 보령 조사구에서 5목 12과 18종 103개체, 서천 조사구에서 4목 5과 7종 48개체, 서산 조사구(대조구)에서 4목 14과 21종 163개체가 출현함. 종수는 태안 조사구에서 28종으로 가장 많았으며, 서천 조사구에서 7종으로 가장 적게 확인됨. 개체수는 종수와 마찬가지로 태안 조사구에서 239개체로 가장 많은 개체가 채집되었고, 서천조사구에서 48개체로 가장 적게 채집됨
- 함정트랩에 채집된 곤충의 종수와 개체수를 이용하여 시기별 다양도지수를 산출함. 시기에 따른 다양도지수는 일정한 양상은 나타나지 않았음. 지역에 따라서는 태안 조사구가 1.05로 가장 높게 나타났으며, 서천 조사구가 가장 낮게 나타남. 그 이유는 태안 조사구는 국립공원이 위치해 있는 등 산림의 면적이 넓고 보존이 잘되어있는 반면, 서천 조사구는 산림의 단편화가 많이 진행되어있고, 산림의 면적이 좁아 조사구간 다양도 지수에 차이가 있었던 것으로 보임
- 채집된 곤충종 중에서 고유종은 왕귀뚜라미, 꼬등이, 모메뚜기, 갈색여치 등 6종, 국외반출승인대상종은 등빨간먼지벌레, 쌍무늬먼지벌레, 홍딱지반날개, 왕귀뚜라미 등 6종의 서식이 확인되었으며, 멸종위기종과 기후변화생물지표종의 서식은 확인되지 않았음

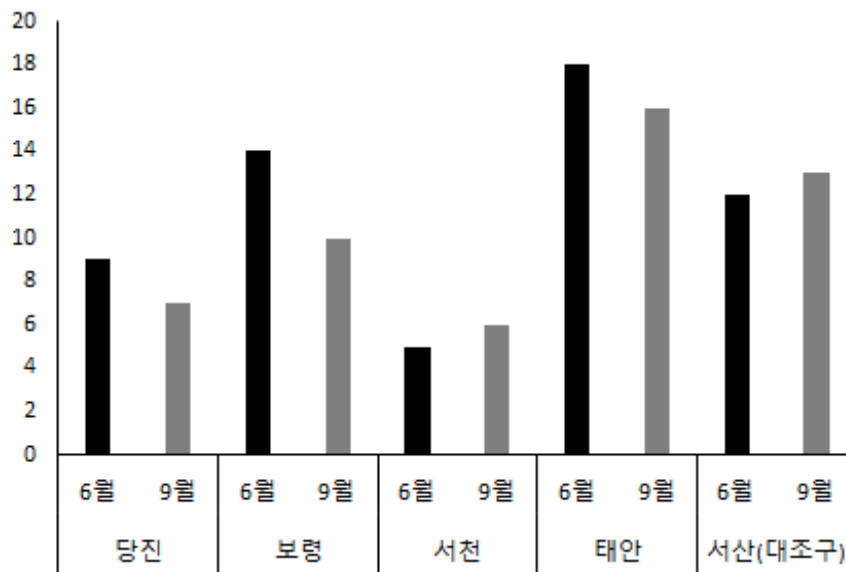
[표 3.26] 함정트랩(Pitfall trap)에 포획된 곤충 중, 개체수

목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
메뚜기목	꿩등이과	꿩등이	<i>Diestrammena coreana</i>		13	1	1	6
	여치과	갈색여치	<i>Paralamtocus ussuriensis</i>		2			2
	귀뚜라미과	왕귀뚜라미	<i>Teleogryllus emma</i>		1			1
		탈귀뚜라미	<i>Velarifictorus aspersus</i>			1		
		모메뚜기	<i>Tetrix japonica</i>			3		
집게벌레목	민집게벌레과	끝마디통통집게벌레	<i>Anisolabella marginalis</i>	14	11		4	22
	집게벌레과	좁집게벌레	<i>Anechura japonica</i>			2		
노린재목	쌔기노린재과	미니날개큰쌔기노린재	<i>Himacerus apterus</i>			1		
	긴노린재과	큰흰무늬긴노린재	<i>Metochus abbreviatus</i>	2	2	1		
		땅노린재	<i>Macroscytus japonensis</i>	4	11	19	7	1
	노린재과	갈색날개노린재	<i>Plautia stali</i>		1			
		아래검은우단풍등이	<i>Maladera opaciventris</i>	2				
	검정풍등이과	알모양우단풍등이	<i>Maladera cariniceps</i>					2
딱정벌레목	딱정벌레과	갈색다리가슴먼지벌레	<i>Nebria chinensis tsushimae</i>		1			
		긴머리먼지벌레	<i>Oxycentrus argutoroides</i>	2				
		끝무늬녹색먼지벌레	<i>Chlaenius micans</i>					3
		동글길쭉먼지벌레	<i>Pterostichus subovatus</i>					2
		등빨간먼지벌레	<i>Dolichus halensis halensis</i>		2			
		먼지벌레	<i>Anisodactylus signatus</i>			1		
		모래사장먼지벌레	<i>Diplocheila zeelandica</i>					2
		밑빠진먼지벌레	<i>Cymindis daimio</i>	1				
		붉은줄납작먼지벌레	<i>Colpodes lampros</i>	6				
		쌍무늬먼지벌레	<i>Chlaenius naevigor</i>	8	15	54	16	44
		애먼지벌레	<i>Anisodactylus tricuspidatus</i>			2		

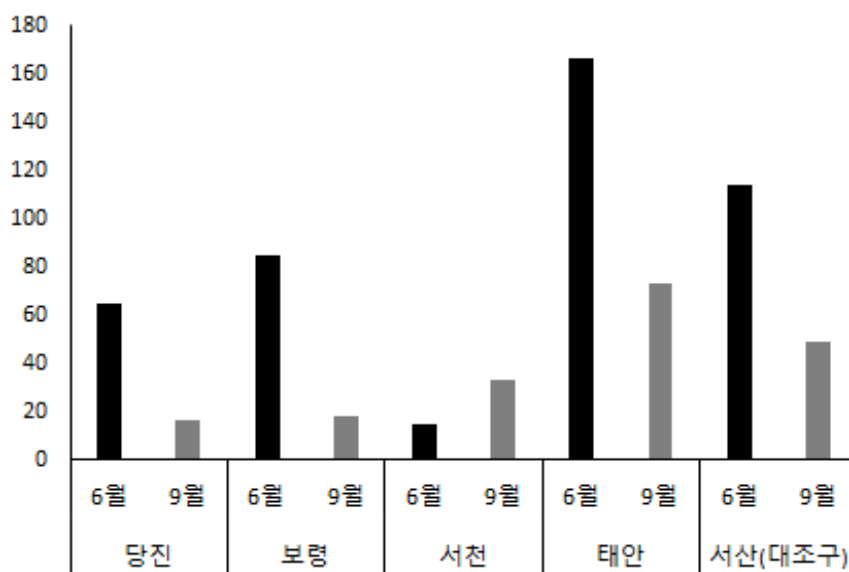
목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
	포랭이벌이과	윤남작면지벌레	Synuchus nitidus	28	13	34	5	19
		일본줄납작면지벌레	Colpodes japonicus		17	28	14	56
		줄면지벌레	Macrochaenites costiger					3
		큰면지벌레	Lesticus magnus		1			3
		홍단딱정벌레	Colptolabus smaragdinus		1	1		1
		동근줄포랭이벌이	Atholus pirithous		1			
		수중다리송장벌레	Necrodes nigricornis					2
		큰넓적송장벌레	Eusilpha jakowlewi					1
		반날개	Algon spaericollis	7			1	4
		홍딱지반날개	Platydracus brevicornis		1	4		3
사슴벌레과	소뿔구리과	넓적사슴벌레	Dorcus titanus castanicolor			1		
		피마외뿔소뿔포랭이	Onthophagus olsoufieffi					2
		마틴소뿔포랭이	Onthophagus marginalis					2
		보기드문소뿔포랭이	Onthophagus uniformis	1		1		
		흑가슴검정소뿔포랭이	Onthophagus atripennis		1			
		큰뿔포랭이	Aphodius rufipes			2		
		검은방아벌레	Cardiophorus vulgaris			1		
		녹슬은방아벌레	Agrypnus binodulus			2		
		루이스방아벌레	Tetrigus lewisi			1		1
		제주거저리	Pedinus strigosus					1
개미과	바구미과	왕바구미	Sipalinus gigas			3		2
		솔곰보바구미	Hylobius haroldi					1
		숲곰개미	Formica hayashi	6				
		일본왕개미	Camponotus japonicus		9			41
		주름개미	Tetramorium caespitum					2
		황개미	Lasius flavus					10

[표 3.27] 지역별 지표배회성 곤충의 다양도지수

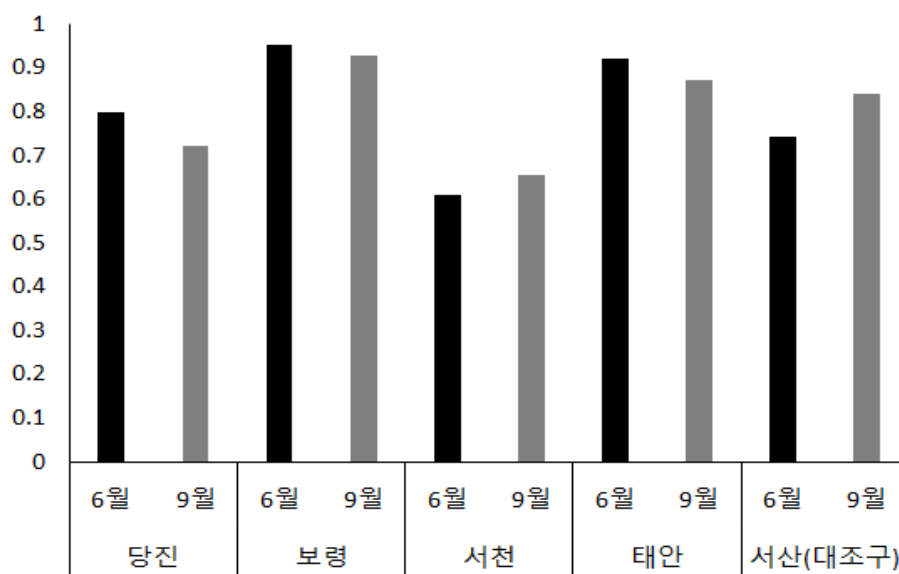
	당진	보령	서천	태안	서산(대조구)
6월	0.80	0.95	0.61	0.92	0.74
9월	0.72	0.93	0.65	0.87	0.84
전체	0.88	1.03	0.70	1.05	0.87



[그림 3.8] 시기별 함정트랩(Pitfall trap)에 포획된 곤충의 종수



[그림 3.9] 시기별 함정트랩(Pitfall trap)에 포획된 곤충의 개체수



[그림 3.10] 시기별 함정트랩(Pitfall trap)에 포획된 곤충의 다양도지수

2.2.2 천공성 곤충

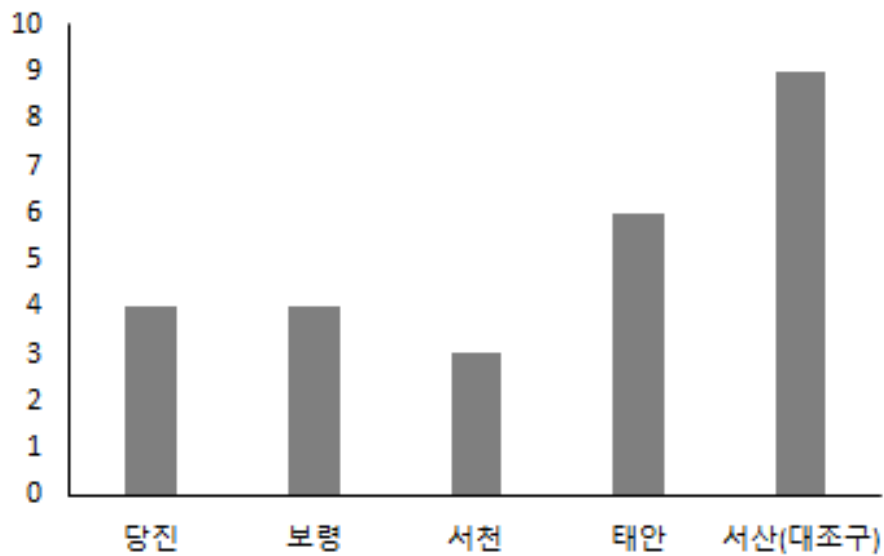
- 5개 조사구에서 다중갈때기 트랩을 이용하여 곤충상을 조사한 결과, 총 3목 14과 22종 73개체가 채집됨
- 당진 조사구에서 2목 4과 4종 23개체, 태안 조사구에서 3목 4과 6종 9개체, 보령 조사구에서 2목 3과 4종 12개체, 서천 조사구에서 2목 3과 3종 3개체, 서산 조사구(대조구)에서 3목 8과 9종 26개체가 출현함. 종수는 서산 조사구에서 9종으로 가장 많았으며, 서천 조사구에서 3종으로 가장 적게 확인됨. 개체수는 종수와 마찬가지로 서산 조사구에서 26개체로 가장 많은 개체가 채집되었고, 서천조사구에서 3개체로 가장 적게 채집됨
- 다중갈때기트랩에 채집된 곤충의 종수와 개체수를 이용하여 시기별 다양도지수를 산출함. 대조구인 서산 조사구에서 0.80으로 가장 높게 나타났으며, 서천 조사구가 가장 낮게 나타남
- 채집된 곤충종 중에서 고유종은 우리흰별소바구미 1종, 국외반출승인대상종은 풍이, 애사슴벌레, 톱하늘소 등 5종의 서식이 확인되었으며, 멸종위기종과 기후변화생물지표종의 서식은 확인되지 않았음

[표 3.28] 다중갈매기트랩(Multifunnel trap)에 포획된 곤충 중, 개체수

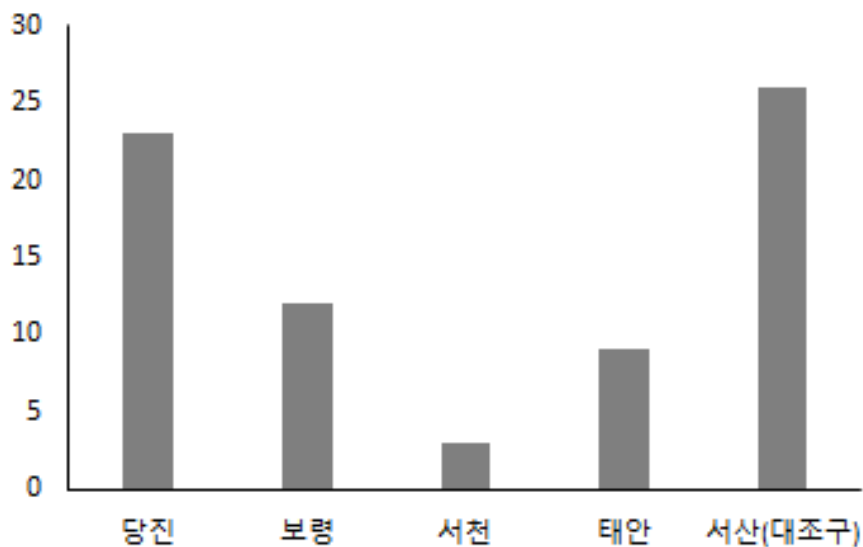
목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
노린재목	노린재과	무시바노린재	Menida musiva		1			
		늑털매미	Suisha coreana					2
		쓰름매미	Meimuna mongolica	3				
		참매미	Sonata fuscata					1
	매미과	털매미	Platyleura kaempleri	3	4			2
		검정명주딱정벌레	Calosoma maximowicz					1
		검정송장벌레	Nicrophorus concolor	3				
		넓적송장벌레	Silpha perforata	1				
		가슴반날개	Algon spaericollis		3			
		애사슴벌레	Dorcus rectus			1		
딱정벌레목	검정풍뎡이과	하이덴갈색줄풍뎡이	Sophrops heydeni	3				
		외뿔장수풍뎡이	Eophileurus chinensis			2		
	꽃무지과	풍이	Pseudotorynorrhina japonica	18				
	방아벌레과	루이스방아벌레	Tetrigus lewisi	2				
		큰뺨살방아벌레	Melanotus niger			1		
	히늘소과	검정히늘소	Spondylis buprestoides			3		
		솔수염히늘소	Monochamus alternatus			1		
		툰히늘소	Prionus insularis					2
	왕바구미과	왕바구미	Sipalinus gigas				1	
	소바구미과	우리흰별소바구미	Platystomos sellatus longicrus				1	
벌목	송곳벌과	왜송곳벌	Urocerus japonicus	2				1
		젓나무송곳벌	Urocerus gigas			1		

[표 3.29] 지역별 천공성 곤충의 다양도지수

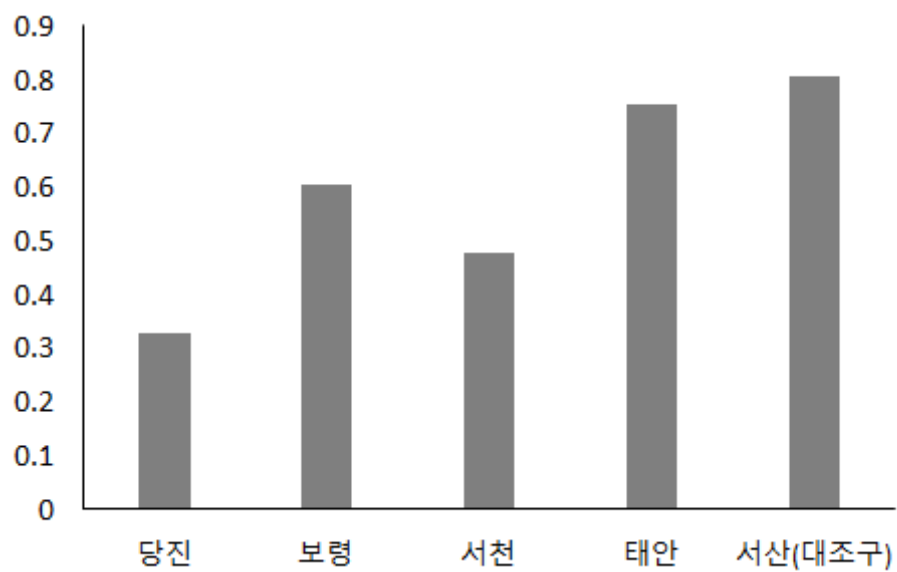
	당진	보령	서천	태안	서산(대조구)
전체	0.33	0.60	0.48	0.75	0.80



[그림 3.11] 시기별 다중갈때기트랩(Multifunnel trap)에 포획된 곤충의 종수



[그림 3.12] 시기별 다중갈때기트랩(Multifunnel trap)에 포획된 곤충의 개체수



[그림 3.13] 시기별 다중갈때기트랩(Multifunnel trap)에 포획된 곤충의 다양도지수

2.2.3 쓸어잡기, 털어잡기 및 채어잡기

- 5개 조사구에서 쓸어잡기, 털어잡기 및 채어잡기로 곤충상을 조사한 결과, 총 10목 61과 171종이 채집됨
- 당진 조사구에서 8목 40과 76종, 태안 조사구에서 8목 26과 37종, 보령 조사구에서 8목 24과 31종, 서천 조사구에서 7목 16과 17종, 서산 조사구(대조구)에서 10목 42과 69종이 출현함. 당진 조사구에서 76종으로 가장 다양한 종이 확인되었으며, 서천 조사구에서 17종으로 가장 적은 종이 확인됨
- 채집된 곤충종 중에서 고유종은 제일줄나비, 줄우단풍뎅이, 긴꼬리, 왕귀뚜라미, 방아깨비 등 13종, 국외반출승인대상종은 극남부전나비, 산제비나비, 애매미, 예사키뿔노린재, 다리무늬침노린재 등 26종의 서식이 확인되었으며, 멸종위기종과 기후변화생물지표종의 서식은 확인되지 않았음

[표 3.30] 주간채집으로 포획된 곤충 종, 개체수

목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
잡자리목	실잡자리과	북방아시아실잡자리	Ishnura elegans	○				
		아시아실잡자리	Ishnura asiatica		○			○
		왕실잡자리	Paracercion v-nigrum	○	○			
	왕잡자리과	왕잡자리	Anax parthenope julius		○			○
		깃동잡자리	Sympetrum infuscatum			○		○
		낙점박이잡자리	Libellula quadrimaculata	○				
	잡자리과	노란잡자리	Sympetrum croceolum	○				
		들깃동잡자리	Sympetrum risi	○				
		밀잡자리	Orthetrum albistylum	○	○		○	○
		밀잡자리붙이	Deilia phaon	○				
		홀쪽밀잡자리	Orthetrum lineostigma	○				
바퀴목	바퀴과	바퀴	Blattella germanica	○				
		산바퀴	Blattella nipponica			○	○	○
		사마귀	Tenodera angustipennis		○			
	사마귀과	줄사마귀	Statilia maculata	○				○
		갈색여치	Paratlantococcus ussuriensis					○
		잔날개여치	Chizuella bonneti	○				
	여치과	줄베짱이	Ducetia japonica	○				
		긴꼬리	Oecanthus longicauda	○				
		왕귀뚜라미	Teleogryllus emma			○		○
	메뚜기목		탈귀뚜라미	Velarifictorus aspersus		○		
모메뚜기과		모메뚜기	Tetrix japonica	○				
섬서구메뚜기과		섬서구메뚜기	Atractomorpha lata	○				
메뚜기과		두꺼비메뚜기	Trilophidia annulata					○

목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
집게벌레목	집게벌레과	방아깨비	Acrida cinerea					
		수염치레메뚜기	Chorthippus schmidtii	○				
		고마로브집게벌레	Timomenus komarowi			○		
	장님노린재과	밀감무늬검정장님노린재	Deraeocoris ater			○		
		보리장님노린재	Stenodema rubrinervis					○
		탈장님노린재	Eurystylus coelestialium	○	○	○	○	
	침노린재과	다리무늬침노린재	Sphedanolestes impressicollis	○			○	
	긴노린재과	꼬마긴노린재	Stigmatonotum rufipes	○				
		등줄빨간긴노린재	Arocatus melanostoma	○				
		큰딱부리긴노린재	Geocoris varius			○		
		큰흰무늬긴노린재	Metochus abbreviatus			○		
		폐허리노린재	Hygia lativentris					○
노린재목	하리노린재과	넓적배하리노린재	Homoeocerus dilatatus	○				
		애허리노린재	Hygia opaca	○				
		우리가시허리노린재	Cletus schmidtii	○				
		장수허리노린재	Anoplocnemis dallasi					
		에사키뿔노린재	Sastragala esakii	○				
	뿔노린재과	땅노린재	Macroscytus japonensis					
	땅노린재과	가시노린재	Carbula putoni	○				
		갈색날개노린재	Plautia stali	○				
		구슬노린재	Sepontia aenea					
		메추리노린재	Aelia fieberi	○				
		얼룩대장노린재	Placosternum esakii	○				
	노린재과	주둥이노린재	Picromerus lewisi					
		홍다리주둥이노린재	Pinthaeus sanguinipes					

목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
꽃잡자리목	거품벌레과	만주거품벌레	Aphrophora stictica					
	상투벌레과	깃동상투벌레	Orthopagus lunulifer	○				
		상투벌레	Dictyophara patruelis	○				
	매미과	말매미	Cryptotympana atrata					○
		애매미	Meimuna opalifera		○	○	○	○
	꽃매미과	꽃매미	Lycorma emelianovi		○	○		
	뱀잠자리과	좁보날개풀잠자리	Spilosmylus tuberculatus			○		
		꼬마길앞잡이	Cinidela elisae		○			
	딱정벌레과	어리둥글먼지벌레	Amara congrua			○		
		팔점박이먼지벌레	Lebidia octoguttata			○		
딱정벌레목	검정풍뎅이과	줄우단풍뎅이	Gastroserica herzi		○			
		홀쭉우단풍뎅이	Scarabaeus holosericea	○				
	풍뎅이과	등얼룩풍뎅이	Blitopertha orientalis	○				
		홀출풍뎅이	Bifurcanomala aulax		○			
	방아벌레과	녹슬은방아벌레	Agrypnus binodulus			○		
		큰빛살방아벌레	Melanotus niger	○				
	버섯벌레과	털보왕버섯벌레	Episcapha fortunii			○		
	개미붙이과	개미붙이	Thanassimus lewisi			○		
		꼬마남생이무당벌레	Propylea japonica	○				
	무당벌레과	무당벌레	Harmonia axyridis	○	○	○	○	
하늘소과	잎벌레붙이과	큰남색잎벌레붙이	Cerogria janthinipennis			○		
		방아거저리	Tarpela elegantula			○		
	거저리과	제주거저리	Pedinus strigosus			○		
		꽃하늘소	Leptura aethiops	○				
	하늘소과	붉은산꽃하늘소	Corymbia rubra		○	○	○	○

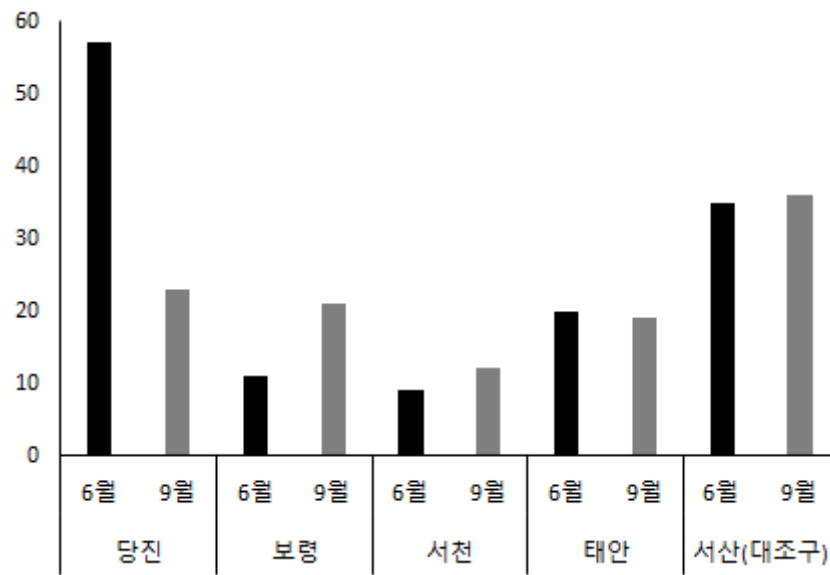
목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
벌목	요빌레과	육점박이범하늘소	Chlorophorus similimus	○				
		홀쭉사과하늘소	Oberea fuscipennis	○				
		홍가슴꽃하늘소	Megaleptura thoracica	○				
		민가슴요빌레	Coptocephala orientalis		○			
		붉은가슴요빌레	Lema honorata	○				
		소요산요빌레	Cryptocephalus fortunatus	○				
		열점박이요빌레	Lema decempunctata		○			
		오리나무요빌레	Agelastica coerulea			○		
		노랑배거위빌레	Cycnotrachelus roelofsi	○				
		얼룩소바구미	Aphaulimia debilis			○		
		털보바구미	Enaptorrhinus granulatus			○		
		흑바구미	Episomus turritus	○				
		먹요빌	Taxonus crabonarius			○		
		줄검정요빌	Macrophya timida	○				
		대만맵시벌	Pterocornus arisanus			○		
		청뺨족맵시벌	Chlorophorus coreanus			○		
말벌	대모벌과	대모벌	Cyphononyx dorsalis			○		
		검은등말벌	Vespa velutina nigrithorax		○			
		꼬마쌍살벌	Polistes japonicus	○				
		등검정쌍살벌	Polistes jokahamae			○		
		말벌	Vespa crabro			○		
		민호리병벌	Eumenes architectus	○		○		
		뱀허물쌍살벌	Parapolybia varia					○
		애호리병벌	Eumenes pomiformis	○		○		
		요빌레살이감탕벌	Symmorphus captivus	○				

목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
		줄무늬감탕벌	Orancistrocerus drewseni			○		
		털보말벌	Vespa similima similima			○		
		호리병벌	Orancistrocerus drewseni	○	○	○	○	
		황테감탕벌	Anterhynchium flavomarginatum					○
	구멍벌과	노랑점나니	Sceliphron deforme			○		
	어리꿀벌과	에사키어리꿀벌	Colletes esakii	○				
	애꽃벌과	동근허리에꽃벌	Andrena yamato	○				
		야스마쓰곤봉애꽃벌	Rhopalomeissa yasumatsui koreana	○				
		애뒤영벌	Bombus anachoreta			○		
	꿀벌과	애수염줄벌	Tetralonia mitsukurii		○			
양봉꿀벌		Apis mellifera		○	○	○	○	
호박벌		Bombus ignitus			○			
흰줄벌		Amegilla florea			○			
모기과		흰줄숲모기	Aedes albopictus				○	○
동애등에과	동애등에	Plecticus tenebrifer	○	○		○	○	
	검정파리매	Trichomachimus scutellaris			○	○	○	
파리매과	왕파리매	Cophinopoda chinensis						○
	파리매	Promachus yesonicus		○	○	○	○	○
	홍다리파리매	Antipalus pedestris		○				
	검정대모꽃등에	Volucella nigricans	○					
파리목	고려꽃등에	Paragus haemorrhous				○		
	광꽃등에	Melanostoma scalare						○
	광불이꽃등에	Melanostoma mellinum	○					
	꼬마꽃등에	Sphaerophoria menthastri						○
	꽃등에	Eristalis tenax	○					

파리목

목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
나비목	검정파리과	대만넓적꽃등에	Metasyrphus confrater	○				
		멍꽃등에	Didea alneti					○
		물결넓적꽃등에	Metasyrphus nitens			○		
		반월넓적꽃등에	Metasyrphus luniger			○		
		배짚은꽃등에	Eristalis cerealis	○				
		별넓적꽃등에	Metasyrphus corollae		○			
		얼룩무늬노랑꽃등에	Dideoides latus	○	○	○		
		호리꽃등에	Allograpta balteata	○				
		금파리	Lucilia caesar		○			○
		연두금파리	Lucilia illustris		○			
	쉬파리과	검정불기쉬파리	Helicophagella melanura					○
		고리쉬파리	Pieretia josephi			○		
	알락나방과	검은선두리알락나방	Ililiberis dirce			○		
		굴뚝알락나방	Clelea fusca		○			
	자나방과	점얼룩가시나방	Abraxas miranda		○			
		노랑날개무늬가시나방	Obeidia tigrata			○		
나비목	박각시과	검은꼬리박각시	Macroglossum saga		○			
		목도리불나방	Macrobrotis staudingeri		○			
	불나방과	무늬흰불나방	Nyctemera adversata			○		
		뒷노랑수염나방	Hypena amica			○		
	밤나방과	무궁화밤나방	Thyas juno		○			
		흰줄태극나방	Metoptia rectifasciata			○		
	팔랑나비과	산팔랑나비	Polytremis zina		○			○
		왕팔랑나비	Lobocla bifasciata		○			
		우리창떠들썩팔랑나비	Ochlodes subhvalina			○		

목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
호랑나비과		긴꼬리제비나비	Papilio macilentus					○
		시향제비나비	Atrophaneura alcinous			○		
		산제비나비	Papilio maackii			○		
		산호랑나비	Papilio machaon		○	○		
		제비나비	Papilio maackii			○		
		호랑나비	Papilio xuthus	○		○	○	○
		노랑나비	Colias erate	○	○			
		배추흰나비	Pieris rapae	○		○	○	○
		줄흰나비	Pieris dulcinea	○				
		극남부전나비	Zizina otis	○				
부전나비과		남방부전나비	Pseudozizeeria maha					○
		부전나비	Pleubeius argyrogmonon	○	○	○	○	○
		산푸른부전나비	Celastrina sugitanii		○			
		네발나비	Polygonia c-aureum	○				
		물결나비	Ypthima multistriata		○	○	○	○
		부처사촌나비	Mycalasis francisca	○				
네발나비과		세줄나비	Neptis philyra		○			
		암검은표범나비	Damora sagana			○		
		애기세줄나비	Neptis sappho			○		○
		제일줄나비	Limenitis helmanni	○				
		청띠신나비	Nymphalis canace		○	○		
		흰줄표범나비	Argyrogonome laodice			○		



[그림 3.14] 시기별 주간채집으로 포획된 곤충의 종수

2.2.4 주광성 곤충

- 따라서 화력발전소 주변 지역에 분포하는 식물 분포 현황을 정확히 파악하기 위해서는 해당 지점을 중심으로 한 연구가 필요할 것으로 판단됨. 5개 조사구에서 유아등 트랩(Light trap)으로 곤충상을 조사한 결과, 총 9목 51과 191종 1636개체가 채집됨
- 따라서 화력발전소 주변 지역에 분포하는 식물 분포 현황을 정확히 파악하기 위해서는 해당 지점을 중심으로 한 연구가 필요할 것으로 판단됨. 당진 조사구에서 9목 34과 85종 489개체, 태안 조사구에서 9목 37과 95종 583개체, 보령 조사구에서 8목 19과 34종 167개체, 서천 조사구에서 7목 22과 31종 129개체, 서산 조사구(대조구)에서 8목 33과 73종 268개체가 출현했다. 태안 조사구에서 95종으로 가장 다양한 종이 확인되었으며, 서천 조사구에서 31종으로 가장 적은 종이 확인됨. 개체수는 태안 조사구에서 583개체로 가장 많이 채집되었고, 서천 조사구에서 129개체로 가장 적은 개체가 채집됨
- 따라서 화력발전소 주변 지역에 분포하는 식물 분포 현황을 정확히 파악하기 위해서는 해당 지점을 중심으로 한 연구가 필요할 것으로 판단됨. 유아등 트랩에 채집된 곤충의 종수와 개체수를 이용하여 시기별 다양도지수를 산출함. 전체적으로 시기에 따른 다양도지수는 9월보다 6월에 채집한 곤충이 더 높게 나타남. 지역에 따라서는 서산 조사구가 1.57로 가장 높게 나타났으며, 보령 조사구가 가장 낮게 나타남. 이러한 결과는 종수와 개체수가 서산 조사구보다 태안 조사구가, 서천 조사구보다 보령 조사구가 많았지만 서산 조사구가 태안 조사구보다 균등하게 종이 분포했고, 서천조사구가 보령 조사구보다 종이 균등하게 분포했기 때문임
- 따라서 화력발전소 주변 지역에 분포하는 식물 분포 현황을 정확히 파악하기 위해서는 해당 지점을 중심으로 한 연구가 필요할 것으로 판단됨. 채집된 곤충종 중에서 고유종은 제일줄나비, 줄우단풍뎅이, 긴꼬리, 왕귀뚜라미, 방아깨비 등 13종, 국외반출승인대상종 극남부전나비, 산제비나비, 애매미, 예사키뿔노린재, 다리무늬침노린재 등 26종의 서식이 확인되었으며, 멸종위기종과 기후변화생물지표종의 서식은 확인되지 않았음

[표 3.31] 유이등트랩(Light trap)에 포획된 곤충 종, 개체수

목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
잠자리목	실잠자리과	북방아시아실잠자리	Ischnura elegans			1	1	9
		새노란실잠자리	Ceragrion auranticum	4				
		아시아실잠자리	Ischnura asiatica	1				
		작은등줄실잠자리	Paracercion melanotum		1			
	잠자리과	두점박이줄잠자리	Sympetrum eroticum	3				
		홀쭉밀잠자리	Orthetrum lineostigma			1	1	1
		좀사마귀	Statilia maculata	1				2
바퀴목	여치과	색새기	Conocephalus chinensis	5				1
		알락귀뚜라미	Loxoblemmus arietulus					4
	귀뚜라미과	왕귀뚜라미	Teleogryllus emma			1		1
		탈귀뚜라미	Velarifictorus aspersus		1	15		1
	땅강아지과	땅강아지	Gryllotalpa orientalis					1
		모메뚜기	Tetrix japonica	2				
	메뚜기목	모메뚜기과	장삼모메뚜기	Euparatettix insularis			1	
섬서구메뚜기			Atractomorpha lata	1				
메뚜기과		방아깨비	Acrida cinerea	1				
		탈장님노린재	Eurystylus coelestialium					1
긴노린재과		큰흰무늬긴노린재	Metochus abbreviatus	4	38	15	15	273
		삿포로잡초노린재	Rhopalus (Aeschynotelus) sapporensis	1				
노린재목		뿔노린재과	남방뿔노린재	Elasmostethus nubilus				
	땅노린재		Macroscytus japonensis	1	1	19	7	1
	땅노린재과	갈색날개노린재	Plautia stali	4	1	4	3	4
		느티나무노린재	Homalagonia grisea					1
	노린재과	두점박이노린재	Laprius gastricus			1		
		썩덩나무노린재	Halyomorpha halys	1		1	1	1

목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
풀잡자리목	매미과	쓰름매미	Meimuna mongolica	1		7	3	2
		칠성풀잡자리벌레	chrysopa pallens	10	5	2	1	11
	명주잡자리과	애명주잡자리	Mymeleon formicarius					2
		가슴털머리먼지벌레	Harpalus (Pseudoophonus) eous	10	3		43	
		검정하늘소	Spodylis buprestoides		7	25	5	7
		날개끝가시먼지벌레	Colpodes (Metacolpodes) buchanani			2		
	딱정벌레과	등빨간먼지벌레	Dolichus halensis halensis	1				
		쌍무늬먼지벌레	Chlaenius naevigor		1			
		알타이강변먼지벌레	Bembidion (Plataphus) altaicum	1				
		일본줄납작먼지벌레	Colpodes japonicus	5			3	
		중국머리먼지벌레	Harpalus (Pseudoophonus) sinicus	10				
		한국머리먼지벌레	Harpalus (Harpalus) crates	1				
딱정벌레목	물방개과	꼬마줄물방개	Hydaticus (Guignotites) grammicus	1				4
		새가슴물팽이	Berosus (Berosus) japonicus	17			28	
	물팽이과	애넓적물팽이	Enochrus (Holcophilydrus) simulans	143	42	4	23	
		애물팽이	Sternolophus (Sternolophus) rufipes	3		3		4
		잔물팽이	Hydrochara affinis		1			1
		점박이물팽이	Berosus (Berosus) punctipennis	1				
	사슴벌레과	넓적사슴벌레	Dorcus titanus castanicolor		3			
		애사슴벌레	Dorcus rectus			1		
	송장벌레과	수중다리송장벌레	Nicrodes nigricornis			2		
		고려소똥풍뎅이	Onthophagus (Palaeonthophagus) koryoensis	2				
검정풍뎅이과	소똥구리과	고려다색풍뎅이	Holotrichia koraiensis		1			
		광릉다색우단풍뎅이	Sericania koryoensis		1		1	1
		밤색우단풍뎅이	Maladera castanea koreana	1				
		빨간색우단풍뎅이	Maladera verticalis					1

목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
장수풍뎅이과 풍뎅이과 방아벌레과 무당벌레과 하늘소과 소바구미과 바구미과	장수풍뎅이	알모양우단풍뎅이	Maladera cariniceps					1
	장수풍뎅이	장수풍뎅이	Allomyrina dichotoma		1			
	주둥무늬차색풍뎅이		Adoretus tenuimaculatus		2			
	붉은다리빛살방아벌레		Melanotus (Spheniscosomus) cete cete	1				
	왕빛살방아벌레		Pectocera fortunei	5	6	2	2	1
	무당벌레		Harmonia axyridis	2		2	5	6
	열석점긴다리무당벌레		Hippodamia (Hemisphaerica) tredecimpunctata	1				
	큰꼬마남생이무당벌레		Propylea quatuordecimpunctata				1	
	넓적어깨하늘소		Stenocorus (Stenocorus) amurensis	1				
	이른봄꽃하늘소		Enoploderes (Pyrenoploderes) sp.	2				
맷시벌과 개미과	복방길쭉소바구미		Ozotomerus japonicus laferi	1				
	밤바구미		Curculio sikkimensis	1	2			
	검정빨자루맷시벌		Aphanistes bellicoides		2			
	곤봉자루맷시벌		Habronyx (Habronyx) insidiator	1				
	단색자루맷시벌		Netelia (Netelia) unicolor		3			
	대한맷시벌		Coelichneumon (Coelichneumon) coreanus	1				
	동양수중다리몽톡맷시벌		Spudaeus orientalis		6			
	두색맷시벌		Holcojoppa bicolor		1			
	마쓰무라자루맷시벌		Dicamptus nigropictus		2			
	민지루맷시벌		Netelia (Bessobates) latungula			3	5	
벌목	보라자루맷시벌		Dictyonotus purpurascens	2				
	수염맷시벌		Hoplismenus terrificus				1	
	수원맷시벌		Vulgichneumon suigenis				1	
	어리줄몽톡맷시벌		Pseudometopius egawai	1				
	참줄몽톡맷시벌		Metopius coreanus	1				
	불개미		Formica yessensis					1

목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
	말벌과	일본왕개미	Camponotus japonicus			3		5
		호리가슴개미	Temnothorax congruus					2
	등에과	말벌	Vespa crabro		1	1	3	10
		깨다시등에	Haematopota pluvialis		1			
		소등에	Tabanus trigonus		2			
	파리매과	재등에	Tabanus mandarinus	2				
		검정파리매	Trichomachimus scutellaris		3			
		호랑무늬파리매	Astochia virgatipes	1				
	꽃등에과	얼룩무늬노랑꽃등에	Dideoides latus					1
		검정불기쉬파리	Volucella nigricans	1		1	1	2
나비목		집나방과	참회나무집나방	Yponomeuta siciatus			1	
	검스레집명나방		Termioptycha inimica			3		3
	검은점뽕족명나방	Endotricha olivacealis					1	
	날개뽕족명나방	Endotricha minialis					1	
	네눈들명나방	Pleuroptya quadrimaculalis	5					
	목화명나방	Haritalodes derogata	2	5				
	몸노랑들명나방	Pleuroptya chlorophanta	15			2	3	
	복숭아명나방	Conogethes punctiferalis	3		5	5	3	
	명나방과	은빛포충나방	Pseudocatharylla simplex	21	3			3
		제비날개들명나방	Analthes maculalis			1		
큰각시들명나방		Glyphodes quadrimaculalis	1					
큰홍색뽕족명나방		Endotricha consocia	21	8	39	17	12	
포도들명나방		Herpetogramma luctuosalis	3		3	3		
흑명나방		Cnaphalocrocis medinalis	54	1	1	1	8	
회양목명나방		Glyphodes perspectalis	1	1				
흰띠명나방		Spoladea recurvalis			1		3	

목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
갈고리나방과 뽕족날개나방과	갈고리나방	금빛갈고리나방	<i>Callidrepana patrana pallaeolus</i>				1	1
		만주흰갈고리나방	<i>Ditrigona komarovi</i>	2				
		멋쟁이갈고리나방	<i>Oreta loochooana timula</i>	1				
		황줄점갈고리나방	<i>Nordstromia japonica</i>		1			
		넓은뽕족날개나방	<i>Tethea (Tethea) ampliata</i>	11				4
	뽕족날개나방	홍백띠뽕족날개나방	<i>Tethea (Saronaga) consimilis consimilis</i>	4				
		각시얼룩가지나방	<i>Abraxas niponibia</i>	21	3	2	10	6
		굵은줄가지나방	<i>Cleora repulsaria</i>					1
		노랑날개무늬가지나방	<i>Obeidia tigrata</i>		2			
		노랑띠알락가지나방	<i>Piston panterinaria</i>			1	1	2
자나방과	자나방	뒷노랑점가지나방	<i>Arichanna melanaria</i>	2	1	1	2	2
		배노랑물결자나방	<i>Callabraxas compositata</i>			1		1
		별박이지나방	<i>Naxa seriaria</i>			4		
		북방구름무늬가지나방	<i>Jankowskia pseudathleta</i>	1				
		쌍무늬물결자나방	<i>Catarhoe obscura</i>	7			2	1
		쌍줄푸른자나방	<i>Geometra glaucaria</i>		1			
		아지랑이물결가지나방	<i>Aethalura ignobilis</i>					1
		알락흰가지나방	<i>Antipercnia albinigrata</i>	1		1		
		점줄흰가지나방	<i>Problepsis plagiata</i>	1				
		큰눈노랑가지나방	<i>Ophthalmitis albosignaria</i>	1				1
	자나방	큰알락흰가지나방	<i>Paraperonia giraffata</i>			1		
		큰홍띠애기자나방	<i>Timandra dichela</i>					2
		홍띠애기자나방	<i>Timandra comptaria</i>	3				
		흑갈색가지나방	<i>Devenilia corearia</i>			3		
		흑점박이지나방	<i>Lomographa temerata</i>	1				
		흰띠왕가지나방	<i>Xandrames dholaria</i>					1

목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
솔나방과 산누에나방과	흰띠푸른재나방 흰무늬노랑가시나방 흰제비가시나방 사과나무나방	옥색긴꼬리산누에나방 물결박각시	Geometra sponsaria	1		3		1
			Parectropis similaria		1			
			Ourapteryx maculicaudaria				1	2
			Odonestis pruni rufescens		2			1
박각시과	산누에나방과	옥색긴꼬리산누에나방 물결박각시	Actias gnomia mandsahurica		2	1	1	7
			Dolbina tancrei		4			
			Macroglossum pyrrhostictum				1	
			Phyllosphingia dissimilis			2	1	
재주나방과	솔나방과	솔박각시	Sphinx morio arestus		1			1
			Rhagastis mongoliana			1		
			Marumba spectabilis			1		
			Uropya meticulodina	1				
독나방과	독나방과	기생재주나방 긴날개재주나방 노고지리재주나방	Peridea lativitta					1
			Peridea elzet					1
			Micromelalopha vicina	18	1			
			Elilda branickii					1
불나방과	불나방과	목도리불나방 수검은줄점불나방 알락노랑불나방	Hupodonta corticalis					1
			Spatalia doerriesi			1		
			Euproctis pulverea	3				
			Euproctis piperita					1
주홍테불나방	주홍테불나방	상제독나방 교차무늬주홍테불나방 목도리불나방	Euproctis piperita			10	4	5
			Arctornis album					
			Barsine aberrans	1				
			Macrobroschis staudingeri	2	1	8	3	5
주홍테불나방	주홍테불나방	수검은줄점불나방 알락노랑불나방	Lemyra imparilis					1
			Stigmatophora flava					2
			Mitochrista miniata	1				1

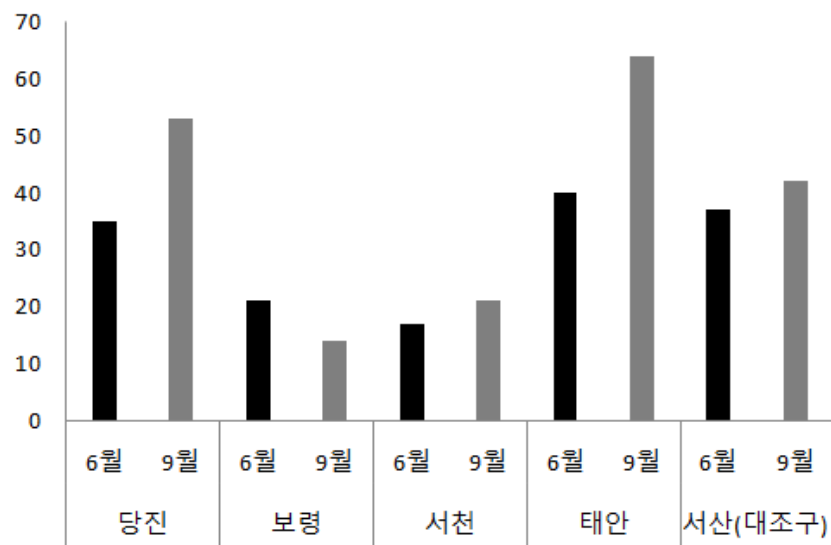
목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
밤나방과	국명	출점불나방	Spilarctia seriatoopunctata			4		7
		검은꿀찹름나방	Pangrapta obscurata	1				
		검은띠수염나방	Hadenia incongruens				1	1
		고려툰날무늬밤나방	Meganephria (Belosticta) parki					
		붉은줄노랑뿔날개나방	Catocala doerriesi		1			
		긴금무늬밤나방	Ctenoplusia (Ctenoplusia) albostrigata	3				2
		꼬마금무늬밤나방	Diachrysia nadeja	1				
		꼬마뽕인밤나방	Sphragifera biplagiata	4			1	2
		꼬마세줄수염나방	Sinarella aegrota					7
		노랑뿔날개나방	Catocala patala	1				
		노랑뿔저녁나방	Moma kolthoffi					1
		다갈색밤나방	Siglophora ferreilutea	12				
		뒷노랑얼룩나방	Sarbanissa subflava		1			
		마른잎노랑뿔날개나방	Catocala obscura					1
		메밀거세미나방	Trachea atriplicis	3				
		무궁화밤나방	Thyas juno	1	1	2		
		무궁화잎밤나방	Anomis mesogona	1				
		보리끝수중다리밤나방	Dysgonia maturata					1
		붉은갈고리밤나방	Oraesia excavata	3				1
		비행기밤나방	Eutelia geyeri	2				
		산노랑뿔날개나방	Catocala ella	6				
		세줄무늬수염나방	Hemimna arenosa	1				7
		쌍띠밤나방	Mythimna (Mythimna) turca		1			10
		쌍복판눈수염나방	Edessena hamada	3	2	1	1	1
		썩은밤나방	Axylla putris					3
		얼룩찢름나방	Lophomilia polybapta	1				

밤나방과

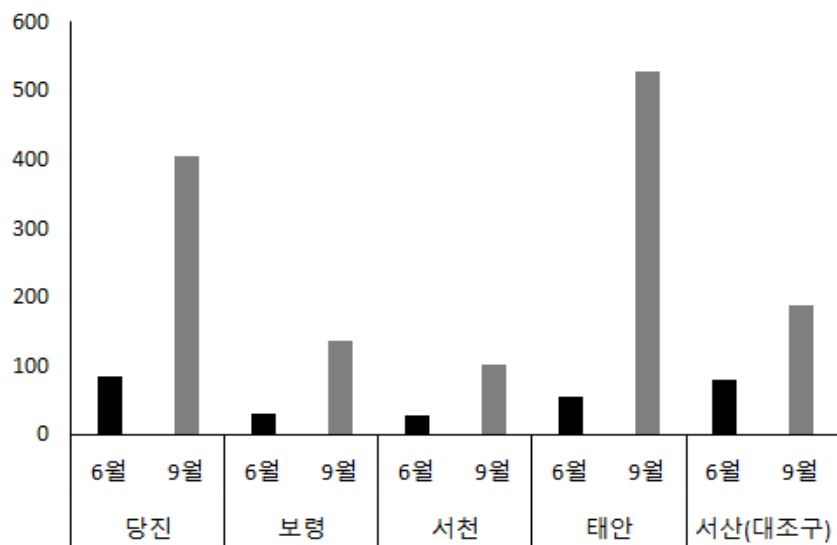
목명	과명	국명	학명	당진	보령	서산	서천	태안
네발나비과	괴명	영강퀴범나방	Nipponyx segregata					1
		왕담배나방	Helicoverpa armigera					2
		점노랑짚나방	Rivula sericealis					1
		참산녹색범나방	Polia goliath		3			
		총채수염나방	Mosopia sordidum	1				
		콩은무늬범나방	Ctenoplia (Acanthoplia) agnata	11	1	1		12
		큰뒷노랑범나방	Olivenebula oberthueri					2
		툰니태극나방	Spirama helicina	1		1		
		흰줄태극나방	Metopta rectifasciata	1		1		
		흰줄표범나비	Argyrogonome laodice					2

[표 3.32] 지역별 주광성 곤충의 다양도지수

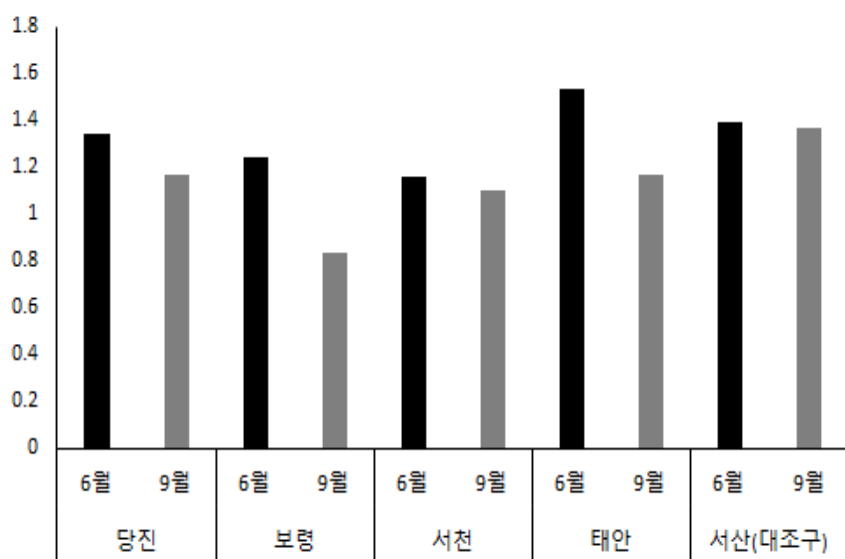
	당진	보령	서천	태안	서산(대조구)
6월	1.34	1.24	1.16	1.54	1.40
9월	1.17	0.84	1.10	1.17	1.38
전체	1.39	0.71	1.26	1.20	1.57



[그림 3.15] 시기별 주광성 곤충의 종수



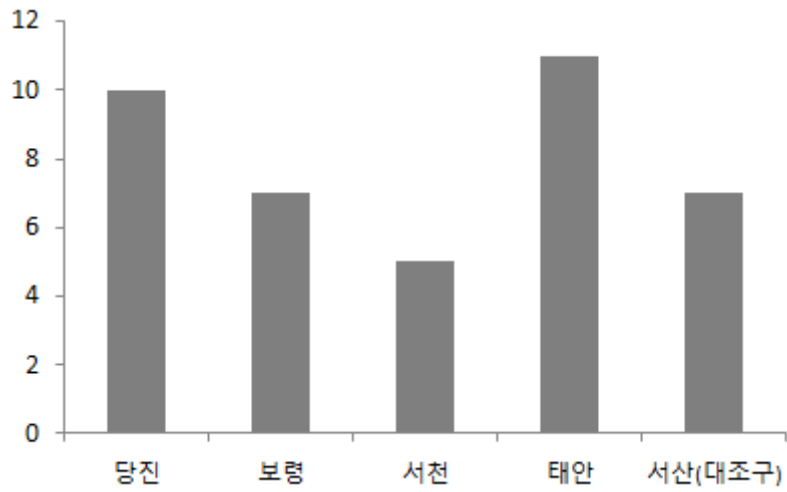
[그림 3.16] 시기별 주광성 곤충의 개체수



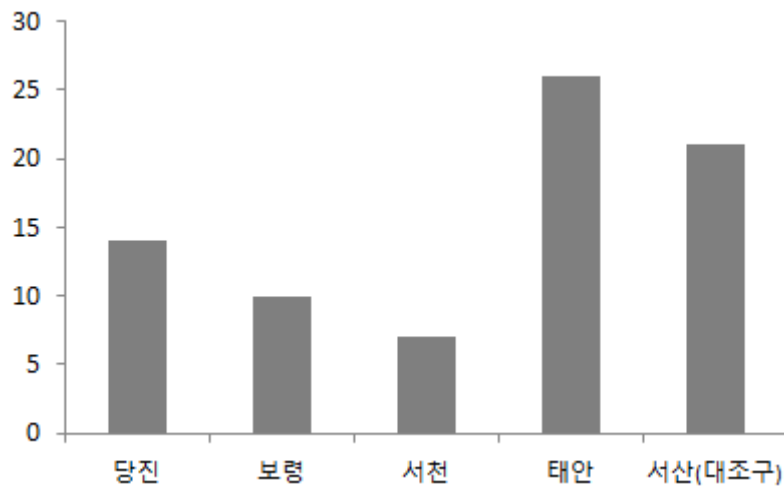
[그림 3.17] 시기별 주광성 곤충의 다양도지수

2.3 주요 곤충자원

- 따라서 화력발전소 주변 지역에 분포하는 식물 분포 현황을 정확히 파악하기 위해서는 해당 지점을 중심으로 한 연구가 필요할 것으로 판단됨. 이번 조사에서 멸종위기종은 확인되지 않았으며, 기후변화 생물지표종 1종, 고유종 24종, 국외반출승인대상종 44종의 서식이 확인됨
- 따라서 화력발전소 주변 지역에 분포하는 식물 분포 현황을 정확히 파악하기 위해서는 해당 지점을 중심으로 한 연구가 필요할 것으로 판단됨. 기후변화 생물지표종은 태안 조사구에서 말매미 1종이 확인되었으며, 고유종은 당진 조사구에서 긴꼬리, 모메뚜기, 방아깨비 등 10종, 태안 조사구에서 갈색여치, 꼬등이, 장삼모메뚜기 등 11종, 보령 조사구에서 줄우단풍뎅이, 꼬등이, 대한매패시벌 등 7종, 서천 조사구에서 꼬등이, 산바퀴, 우리흰벌소바구미 5종, 서산 조사구(대조구)에서 왕귀뚜라미, 산바퀴, 꼬등이 등 7종이 확인됨
- 따라서 화력발전소 주변 지역에 분포하는 식물 분포 현황을 정확히 파악하기 위해서는 해당 지점을 중심으로 한 연구가 필요할 것으로 판단됨. 국외반출승인대상종은 당진 조사구에서 쌍무늬먼지벌레, 예사키뿔노린재, 등빨간먼지벌레 14종, 태안 조사구에서 옥색긴꼬리산누에나방, 톱하늘소, 왕파리매, 등 26종, 보령 조사구에서 왕귀뚜라미, 다리무늬흰노린재 등 10종, 서천 조사구에서 파리매, 애매미 등 7종, 서산 조사구(대조구)에서 대한매패시벌, 다리무늬침노린재 등 21종이 확인됨



[그림 3.18] 지역별 고유종 분포



[그림 3.19] 지역별 국외반출승인대상종 분포

[표 3.33] 화력발전소 주변지역 주요 곤충자원 분포현황

구분	국명	학명	조사구				
			당진	보령	서산	서천	태안
고유종	갈색여치	Paratlamtocus ussuriensis		○			○
	고려소뽕뽕뎡이	Onthophagus (Palaeonthophagus) koryoensis	○				
	고려톱날무늬밤나방	Meganephria (Belosticta) parki					○
	고마로브집게벌레	Timomenus komarowi			○		
	광릉다색우단뽕뎡이	Sericania koryoensis		○		○	○
	긴꼬리	Oecanthus longicauda	○				
	꼭등이	Diestrammena coreana		○	○	○	○
	끝마디통통집게벌레	Anisolabella marginalis	○	○	○	○	○
	대한맵시벌	Coelichneumon (Coelichneumon) coreanus		○			
	동근허리에꽃벌	Andrena yamato	○				
	땅강아지	Gryllotalpa orientalis					○
	모메뚜기	Tetrix japonica	○		○		
	방아깨비	Acrida cinerea	○				○
	산바퀴	Blattella nipponica			○	○	○
	섬서구메뚜기	Atractomorpha lata		○			
	수염치레애메뚜기	Chorthippus schmidti	○				
	알락귀뚜라미	Loxoblemmus arietulus					○

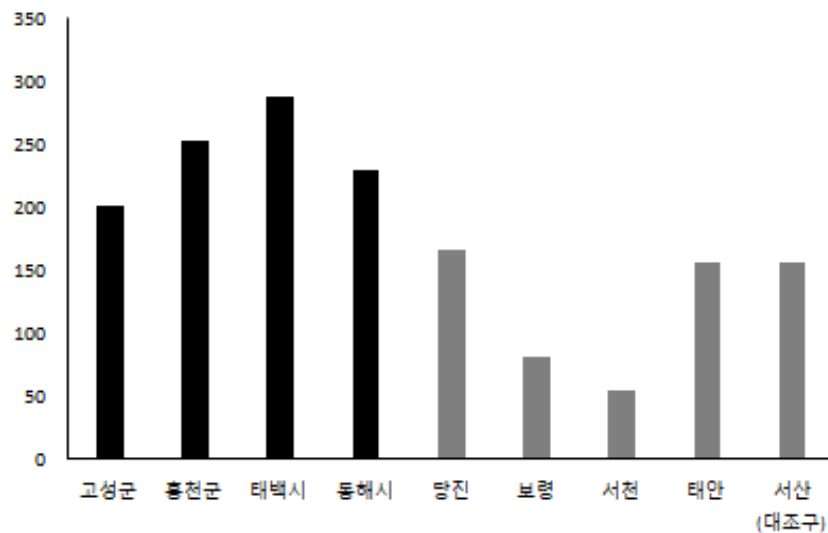
구분	국 명	학명	조사구				
			당 진	보령	서산	서천	태안
국외반출승인대상종	왕귀뚜라미	Teleogryllus emma		○	○		○
	우리흰별소바구미	Platystomos sellatus longicrus				○	
	잔날개여치	Chizuella bonneti	○				
	장삼모메뚜기	Euparatettix insularis			○		○
	제일줄나비	Limenitis helmanni	○				
	좁집게벌레	Anechura japonica			○		
	줄우단풍뎅이	Gastroserica herzi		○			
	개미붙이	Thanassimus lewisi		○			
	검정파리매	Trichomachimus scutellaris			○	○	○
	고려소똥풍뎅이	Onthophagus (Palaeonthophagus) koryoensis	○				
	고려툰날무늬밤나방	Meganephria (Belosticta) parki					○
	극남부전나비	Zizina otis	○				
	넓적사슴벌레	Dorcus titanus castanicolor			○		
	다리무늬침노린재	Spheadanolestes impressicollis	○	○	○	○	○
	대모벌	Cyphononyx dorsalis		○			
	대한뱀시벌	Coelichneumon (Coelichneumon) coreanus		○			
	두색뱀시벌	Holcjooppa bicolor			○		
	동근허리에꽃벌	Andrena yamato	○				

구분	국 명	학명	조사구				
			당진	보령	서산	서천	태안
등빨간먼지벌레		Dolichus halensis halensis	○	○			
	땅강아지	Gryllotalpa orientalis					○
	말매미	Cryptotympana atrata					○
	물결넓적꽃등에	Metasyrphus nitens		○			
	반월넓적꽃등에	Metasyrphus luniger		○			
	방아깨비	Acrida cinerea	○				○
	사마귀	Tenodera angustipennis		○			
	산제비나비	Papilio maackii			○		
	새노랑실잠자리	Ceriatrigon auranticum	○				
	쌍무늬먼지벌레	Chlaenius naevigor	○	○	○	○	○
	애매미	Meimuna opalifera		○	○	○	○
	애사슴벌레	Dorcus rectus rectus			○		
	에시키벌레노린재	Sastragala esakii	○				
	옥색긴꼬리산누에나방	Actias gnoma mandsahurica			○	○	○
	왕귀뚜라미	Teleogryllus emma		○	○	○	○
	왕파리매	Cophinopoda chinensis					○
	외뿔장수풍뎅이	Eophileurus chinensis			○		
	우리흰별소바구미	Platystomos sellatus longicrus				○	

구분	국 명	학명	조사구				
			당진	보령	서산	서천	태안
기후변화생물지표종	장수풍뎅이	Allomyrina dichotoma		○			
	제일줄나비	Limenitis helmanni	○				
	줄면지벌레	Macrochlaenites costiger					○
	줄우단풍뎅이	Gastroserica herzi		○			
	큰남색잎벌레붙이	Cerogria janthinipennis			○		
	털보바구미	Enaptorrhinus granulatus			○		
	툽하늘소	Prionus insularis					○
	파리매	Promachus yesonicus		○	○	○	○
	풍이	Pseudotorynorrhina japonica	○				
	호박벌	Bombus ignitus			○		
	흙쭉밀잠자리	Orthetrum lineostigma	○				
	흙쭉사과하늘소	Oberea fuscipennis	○				
	홍기슴꽃하늘소	Megaleptura thoracica	○				
	홍딱지반날개	Platydracus brevicornis		○	○	○	○
	황테감탕벌	Anterhynchium flavomarginatum					○
	말매미	Cryptotympana atrata					○

2.4 강원지역과 충남지역의 곤충상 비교

- 강원지역의 현지조사(강원도 기후변화 생태모니터링, 2010~2014)결과, 고성군에서 201종, 홍천군에서 253종, 태백시에서 287종, 동해시에서 230종이 확인됨. 반면 본 연구를 통한 충남지역의 현지조사 결과, 5개 지역에서 당진 166종, 보령 82종, 서천 55종, 태안 157종, 서산 157종이 확인되어 강원지역에 비해 곤충의 다양성이 매우 낮게 나타남. 이는 충남의 산림면적 비율이 강원지역보다 비교적 낮기 때문으로 보이며, 생물다양성 보전을 위해 지속적인 모니터링과 보호방안의 수립이 필요함



[그림 3.20] 강원지역과 충남지역의 무척추동물(곤충)상 다양성

2.5 문헌조사와 현지조사 결과 비교

- 현지조사를 통해 10목 91과 388종이 확인되었으며, 문헌조사를 통해 16목 229과 2187종이 확인되어 합계 16목 238과 2320종의 서식이 확인됨. 새로 확인된 종은 당진 조사구에서 10목 44과 100종, 태안 조사구에서 6목 20과 40종, 보령 조사구에서 10목 33과 55종, 서천 조사구에서 10목 26과 31종, 서산 조사구(대조구)에서 8목 45과 81종으로 문헌에는 서식이 기록되지 않았으나 현지조사를 통해 새롭게 확인된 종은 9목 49과 132종으로 나타남. 현지조사를 통해 새롭게 확인된 종은 당진 조사구에서 10목 44과 100종으로 가장 많은 종이 확인되었고, 서천 조사구에서 10목 26과 31종으로 가장 적은 종이 확인됨

[표 3.34] 전체 곤충상

구분	문헌조사		현지조사		전체	
	과수	종수	과수	종수	과수	종수
잡자리목	7	33	3	14	8	40
강도래목	2	2	—	—	2	2
바퀴목	4	10	2	4	5	12
대벌레목	2	2	—	—	2	2
메뚜기목	11	77	6	15	11	78
집게벌레목	3	7	2	3	3	7
다듬이벌레목	1	1	—	—	1	1
충채벌레목	1	1	—	—	1	1
노린재목	47	227	13	39	47	236
풀잡자리목	6	13	3	3	7	16
뱀잡자리목	1	1	—	—	1	1
딱정벌레목	50	597	26	101	52	638
파리목	28	135	7	28	28	145
밀들이목	1	2	—	—	1	2
나비목	42	952	18	134	45	935
벌목	22	199	11	47	25	232

2.6 요약 및 소결론

- 5개 조사구에서 쓸어잡기, 채어잡기, 털어잡기, 함정트랩, 유아등트랩 등의 방법을 사용하여 곤충다양성 조사를 실시한 결과, 총 10목 91과 388종 2333개체가 확인됨
- 당진 조사구에서 10목 63과 166종 593개체, 태안 조사구에서 10목 59과 157종 831개체, 보령 조사구에서 10목 47과 82종 282개체, 서천 조사구에서 10목 38과 55종 180개체, 서산 대조구에서 10목 65과 158종 447개체의 곤충이 확인됨. 종수는 당진 조사구에서 가장 많았으며, 개체수는 태안 조사구에서 가장 많이 확인됨. 서산, 당진, 태안, 보령, 서천의 순으로 종 다양성이 높게 확인됨
- 함정트랩을 이용하여 지표배회성 곤충상을 조사한 결과, 총 5목 24과 50종 634개체의 곤충이 채집됨. 당진 조사구에서 4목 8과 12종 81개체, 태안 조사구에서 5목 15과 28종 239개체, 보령 조사구에서 5목 12과 18종 103개체, 서천 조사구에서 4목 5과 7종 48개체, 서산 조사구(대조구)에서 4목 14과 21종 163개체가 출현함. 종수와 개체수는 태안 조사구에서 가장 많았으며, 서천 조사구에서 가장 적게 확인되었으며 다양도지수도 태안 조사구에서 가장 높게 나타나고, 서천 조사구에서 가장 낮게 나타남. 그 이유는 태안 조사구는 국립공원이 위치해 있는 등 산림의 면적이 넓고 보존이 잘 되어있는 반면, 서천 조사구는 산림의 단편화가 많이 진행되어있고, 산림의 면적이 좁아 조사구간 다양도 지수에 차이가 있었던 것으로 보임
- 다중갈때기 트랩을 이용하여 천공성 곤충상을 조사한 결과, 총 3목 14과 22종 73개체가 채집됨. 당진 조사구에서 2목 4과 4종 23개체, 태안 조사구에서 3목 4과 6종 9개체, 보령 조사구에서 2목 3과 4종 12개체, 서천 조사구에서 2목 3과 3종 3개체, 서산 조사구(대조구)에서 3목 8과 9종 26개체가 출현함. 종수와 개체수는 서산 조사구에서 가장 많았으며, 서천 조사구에서 가장 적게 확인됨, 다양도지수도 서산 조사구에서 가장 높았으며, 서천 조사구에서 가장 낮게 나타남
- 쓸어잡기, 털어잡기 및 채어잡기로 곤충상을 조사한 결과, 총 10목 61과 171종이 채집됨. 당진 조사구에서 8목 40과 76종, 태안 조사구에서 8목 26과 37종, 보령 조사

구에서 8목 24과 31종, 서천 조사구에서 7목 16과 17종, 서산 조사구(대조구)에서 10목 42과 69종이 출현함. 당진 조사구에서 76종으로 가장 다양한 종이 확인되었으며, 서천 조사구에서 17종으로 가장 적은 종이 확인됨

- 유아등 트랩(Light trap)으로 주광성 곤충상을 조사한 결과, 총 9목 51과 191종 1636개체가 채집됨. 당진 조사구에서 9목 34과 85종 489개체, 태안 조사구에서 9목 37과 95종 583개체, 보령 조사구에서 8목 19과 34종 167개체, 서천 조사구에서 7목 22과 31종 129개체, 서산 조사구(대조구)에서 8목 33과 73종 268개체가 출현함. 종 수와 개체수는 태안 조사구에서 가장 많이 채집됨, 서천 조사구에서 가장 적은 개체가 채집됨. 종수와 개체수는 서산 조사구보다 태안 조사구가, 서천 조사구보다 보령 조사구가 많았음. 하지만 다양도지수는 서산조사구가 가장 높게 나타났고, 보령조사구가 가장 낮게 나타남. 이는 종의 분포가 균등한 정도에 차이가 있어서 이와 같은 결과가 나타난 것으로 보임
- 이번 조사에서 멸종위기종은 확인되지 않았으며, 기후변화 생물지표종 1종, 한반도 고유종 24종, 국외반출승인대상종 44종의 서식이 확인됨. 강원지역의 현지조사(강원도 기후변화 생태모니터링, 2010~2014)결과와 본 연구 결과를 비교해본 결과, 강원지역의 조사 종수는 201~287종인데 반해, 충남지역의 출현 종수는 55종~166종으로 확인되어 곤충의 다양성이 매우 낮게 나타남. 이는 충남의 산림면적 비율이 비교적 낮기 때문으로 보임. 현지조사를 통해 10목 91과 388종이 확인되었으며, 문헌조사를 통해 16목 229과 2187종이 확인되어 합계 16목 238과 2320종의 서식이 확인됨

3. 포유류분야

- 흔적조사, 무인센서카메라 조사 및 포획트랩을 이용한 조사 결과 총 5목 10과 15종이 조사됨
- 지역별로 당진과 보령 및 서천에서 9종이 조사되었고, 태안과 대조구인 서산이 8종 조사됨
- 이 중 멸종위기야생동물 I 급이자 천연기념물 제330호인 수달 1종이 당진과 보령 화력발전소 주변에서 흔적으로 확인되었고, 멸종위기야생동물 II 급인 삵은 보령에서 흔적으로 확인되었고, 서천과 서산에서는 센서카메라에 촬영되어 실체를 확인함
- 유해야생동물은 고라니와 멧돼지가 조사되었는데, 전 지역에서 고라니의 흔적이 조사되었고, 센서카메라에도 촬영되었으며, 멧돼지의 경우 서산에서만 센서카메라에 촬영되었음
- 소형포유류의 경우 당진에서 땃쥐와 등줄쥐가 포획되었고, 보령을 제외한 전 지역에서 등줄쥐가 포획되었으나 지속적인 모니터링 필요

[표 3.35] 각 지역별 포유류 조사 결과

목 (Order)	과 (Family)	종 (Species)	조 사 지 역				
			당진	태안	보령	서천	서산 (대조구)
식충목	두더지과	두더지			흔		흔
척서목	참서과	땃쥐	트				
		족제비	흔			센	
	족제비과	오소리	센	센	흔,센	흔,센	센
		수달	흔		흔		
식육목	개과	개		센		센	
		너구리	센	센	센	센	흔,센
	고양이과	고양이		센	센	센	
		삾			흔	센	센
	소과	염소	흔				
우제목	사슴과	고라니	흔,센	흔,센	흔,센	흔,센	흔,센
	멧돼지과	멧돼지					흔,센
토끼목	토끼과	멧토끼		센	흔		
설치목	청설모과	청설모	센	센	흔,센	센	센
	쥐과	등줄쥐	트	트		트	트
유해야생동물종 수		2					
멸종위기종 수		2					
지역별 총 종 수			9	8	9	9	8
총 종 수		15					

3.1 현장조사 결과

○ 흔적조사 결과 총 5목 9과 11종 확인

○ 조사지역 중 대조구를 제외한 흔적조사결과 5목 6과 9종이 조사되었고, 대조구에서는 3목 4과 4종이 조사됨

- 흔적조사결과 당진에서 4종(죽제비, 수달, 염소, 고라니), 태안에서 1종(고라니), 보령에서 7종(두더지, 오소리, 수달, 산, 고라니, 멧토끼, 청설모), 서천에서 2종(오소리, 고라니), 서산(대조구)에서 4종(두더지, 너구리, 고라니, 멧돼지)의 흔적을 확인
- 조사지역 중 보령이 7종으로 가장 많은 흔적이 조사됨
- 멸종위기야생동물은 당진과 보령에서 멸종위기야생동물 I 급이자 천연기념물제330호 인 수달의 흔적이 확인되었고, 보령에서는 멸종위기야생동물 II 급인 산의 흔적이 확인
- 보령의 경우 수달과 산 모두 서식함을 확인 하였고, 수달 흔적의 경우 보령 화력발전소 주변 하천에 넓게 분포함을 확인
- 우리나라에 서식하는 수달은 하천과 바다 모두 1종(*Lutra lutra*)이 서식하고 바닷가에 서식하는 수달의 약 90%이상, 하천의 경우 약 65% 이상의 먹이원이 어류인 것으로 보고되어 있음(Choi and Yoon, 2012)
- 바다에 서식하는 수달의 경우 민물은 몸에 묻은 소금기를 제거하는 중요한 자원중 하나이므로, 바닷가에서는 민물이 꼭 필요함(Kruuk, 2006)
- 보령에서 수달의 배설물이 확인된 지점은 화력발전소 주변으로, 인적이 드물고 관리지역이므로 사람의 접근이 상대적으로 적기 때문에 수달이 서식하는 것으로 판단됨
- 바다로 직접 만나는 하천이 있기 때문에 수달이 바다와 하천 모두 이용할 것으로 추측되지만 내부 조사가 불가능하여 추측만 가능함



멧돼지 배설물



오소리 배설물



멧토끼 배설물



고라니 배설물

[그림 3.21] 화력발전소 인근 야생동물 흔적

[표 3.36] 각 지역별 흔적조사 결과 비교

목 (Order)	과 (Family)	종 (Species)	조 사 지 역				
			당진	태안	보령	서천	서산 (대조구)
식충목	두더지과	두더지			○		○
식육목		족제비	○				
	족제비과	오소리			○	○	
		수달	○		○		
	개과	너구리					○
	고양이과	삿			○		
우제목	소과	염소	○				
	사슴과	고라니	○	○	○	○	○
	멧돼지과	멧돼지					○
토끼목	토끼과	멧토끼			○		
설치목	청설모과	청설모			○		
유해야생동물종 수		2					
멸종위기종 수		2					
지역별 총 종 수			4	1	7	2	4
총 종 수		11					



[그림 3.22] 화력발전소 주변에 서식하는 수달 배설물(좌측)과 삿 배설물(우측)



[그림 3.23] 보령화력발전소 인근 수달 흔적 확인지점

3.2 무인센서카메라 조사 결과

- 무인센서카메라 조사결과 총 4목 7과 10종의 서식을 확인
- 대조구를 제외한 4개 지역(당진, 태안, 보령, 서천)의 총 종 수는 4목 6과 9종으로 대조구인 서산은 3목 6과 6종으로 조사되었음
- 무인센서카메라 조사결과 확인된 종은 당진에서는 4종(오소리, 너구리, 고라니, 청설모), 태안에서는 7종(오소리, 개, 너구리, 고양이, 고라니, 멧토끼, 청설모), 보령에서는 5종(오소리, 너구리, 고양이, 고라니, 멧토끼), 서천에서는 8종(족제비, 오소리, 개, 너구리, 고양이, 삶, 고라니, 청설모), 대조구인 서산 팔봉산에서는 6종(오소리, 너구리, 삶, 고라니, 멧돼지, 청설모)을 확인
- 조사지역 중 서천이 8종으로 가장 많이 확인됨
- 멸종위기야생동물은 Ⅱ 급인 삶이 서천과 서산에서 무인센서카메라에 촬영

- 유해야생동물은 고라니와 멧돼지가 촬영
- 전 지역에서 고라니가 촬영되었고, 서산에서만 멧돼지가 촬영

[표 3.37] 각 지역별 센서카메라 조사 결과 비교

목 (Order)	과 (Family)	종 (Species)	조 사 지 역				
			당진	태안	보령	서천	서산 (대조구)
식육목	족제비과	족제비				○	
		오소리	○	○	○	○	○
	개과	개		○		○	
		너구리	○	○	○	○	○
	고양이과	고양이		○	○	○	
우제목		삽				○	○
	사슴과	고라니	○	○	○	○	○
	멧돼지과	멧돼지					○
토끼목	토끼과	멧토끼		○	○		
설치목	청설모과	청설모	○	○		○	○
유해야생동물종 수		2					
멸종위기종 수		1					
지역별 총 종 수			4	7	5	8	6
총 종 수		10					



[그림 3.24] 무인센서카메라에 촬영된 삶(좌측 서천, 우측 서산)

3.2.1 당진화력발전소 주변지역 야생동물 활동시간

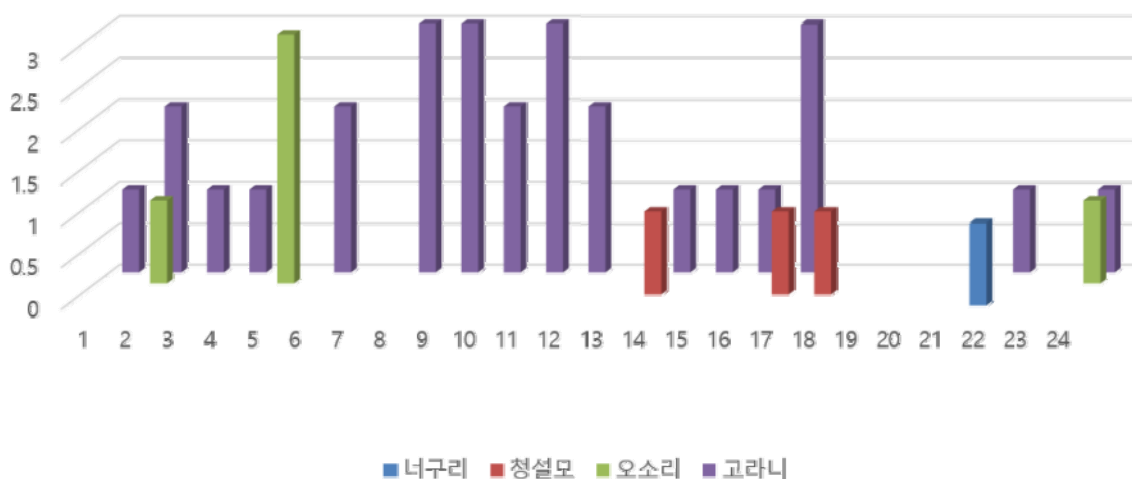
- 화력발전소 주변지역 야생동물 활동시간은 무인센서카메라에 촬영된 시간을 기준으로 정리
- 당진화력발전소 주변지역 야생동물의 총 촬영횟수 중 3회 이상 촬영된 시간은 오전 2시, 5시, 7~8시, 11시, 17시에 야생동물이 많은 활동을 하는 것으로 분석됨
- 일반적으로 야생동물은 주행성보다는 야행성이 많은 것으로 알려져 있으나 사람의 인적이 드문 곳이면 주간에도 많이 활동하기도 함
- 당진의 경우 조사지 주변에 민가가 없고 사람의 접근이 없기 때문에 주간에 활동하는 빈도가 높을 것이라 예상됨

[표 3.38] 당진화력발전소 주변지역에 서식하는 야생동물 촬영 시간 및 촬영 빈도 비교

당진	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	총수	빈도 (%)
너구리																						1			1	2.7
청설모													1				1	1							3	8.1
오소리		1			3																			1	5	13.5
고라니	1	2	1	1		2		3	3	2	3	2		1	1	1	3					1		1	28	75.7
총촬영수	1	3	1	1	3	2	0	3	3	2	3	2	0	2	1	1	4	1	0	0	0	2	0	2	37	100.0
촬영 빈도(%)	2.7	8.1	2.7	2.7	8.1	5.4	0.0	8.1	8.1	5.4	8.1	5.4	0.0	5.4	2.7	2.7	10.8	2.7	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	5.4	100.0	

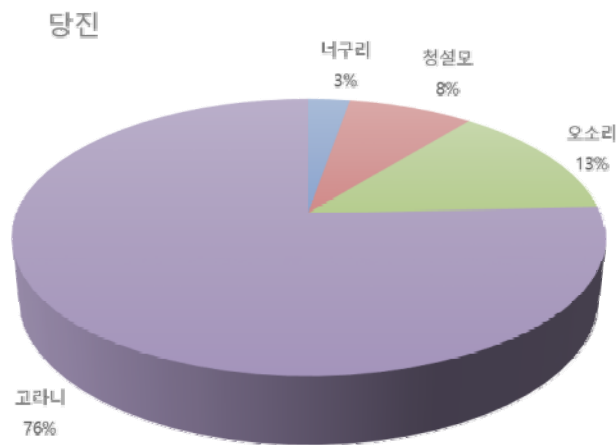
- 당진화력발전소 주변에 서식하는 야생동물 활동 시간을 종별로 비교한 결과 너구리와 오소리는 야간에만 활동하는 것으로 확인
- 청설모의 경우 주간에만 활동하는 것으로 확인되었고, 고라니는 대부분 주간과 야간에 상관없이 활동함

당진



[그림 3.25] 당진화력발전소 주변에 서식하는 야생동물 활동시간 비교

- 당진화력발전소 주변지역에서 활동하는 포유류의 대부분인 76%는 고라니로 확인되었고 그 다음으로 오소리와 청설모의 활동이 많은 것으로 분석



[그림 3.26] 당진화력발전소 주변에 서식하는 포유류 활동 빈도 비교

3.2.2 태안화력발전소 주변지역 야생동물 활동시간

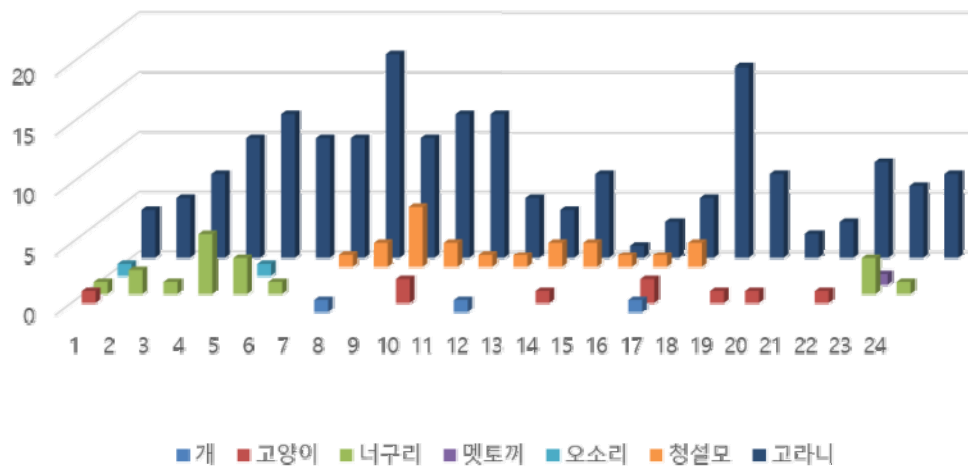
- 화력발전소 주변지역 야생동물 활동시간은 무인센서카메라에 촬영된 시간을 기준으로 정리
- 태안화력발전소 주변지역 야생동물의 총 촬영횟수 중 15회 이상 촬영된 시간은 4~5시, 8~10시, 18시에 야생동물이 많은 활동을 하는 것으로 분석됨
- 일반적으로 야생동물은 주행성보다는 야행성이 많은 것으로 알려져 있으나 사람의 인적이 드문 곳이면 주간에도 많이 활동하기도 함
- 태안의 경우 조사지 주변에 민가가 있고 무덤도 있으나 조사지가 화력발전소와 인접된 야산이고, 일정 시기를 제외하면 사람의 접근이 없기 때문에 주간에 활동하는 빈도가 높을 것이라 예상됨

[표 3.39] 태안화력발전소 주변지역에 서식하는 야생동물 촬영 시간 및 촬영 빈도 비교

태안	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	총수	빈도 (%)
개							1					1				1									3	1.3
고양이	1								2				1			2		1	1		1				9	3.8
너구리	1	2	1	5	3	1																	3	1	17	7.2
멧토끼																							1		1	0.4
오소리	1				1																				2	0.9
청설모							1	2	5	2	1	1	2	2	1	1	2								20	8.5
고라니	4	5	7	10	12	10	10	17	10	12	12	5	4	7	1	3	5	16	7	2	3	8	6	7	183	77.9
총 촬영수	7	7	8	15	16	11	11	20	15	16	13	7	6	10	2	4	10	16	8	3	3	9	10	8	235	100.0
촬영 빈도(%)	3.0	3.0	3.4	6.4	6.8	4.7	4.7	8.5	6.4	6.8	5.5	3.0	2.6	4.3	0.9	1.7	4.3	6.8	3.4	1.3	1.3	3.8	4.3	3.4	100.0	

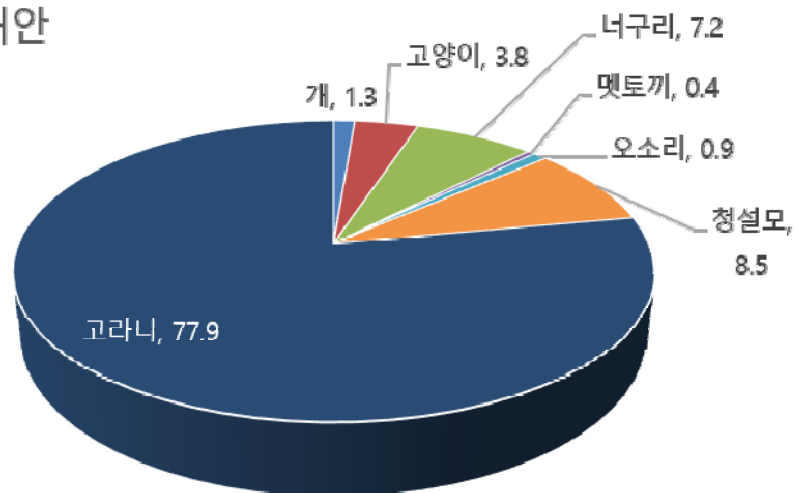
- 태안화력발전소 주변지역에 서식하는 야생동물 활동 시간을 종별로 비교한 결과 개, 고양이, 청설모는 주로 주간에 활동하는 것으로 확인되었고, 너구리는 야간에 주로 활동하며 고라니는 주간과 야간 대부분 활동하는 것으로 연구
- 태안화력발전소 주변에 서식하는 야생동물의 활동 빈도를 비교한 결과 고라니가 약 78%로 대부분 활동하는 것으로 확인되었고, 그 다음이 청설모와 너구리의 활동이 많은 것으로 분석

태안



[그림 3.27] 태안화력발전소 주변에 서식하는 야생동물 활동시간 비교

태안



[그림 3.28] 태안화력발전소 주변에 서식하는 야생동물 활동 빈도 비교

3.2.3 보령화력발전소 주변지역 야생동물 활동시간

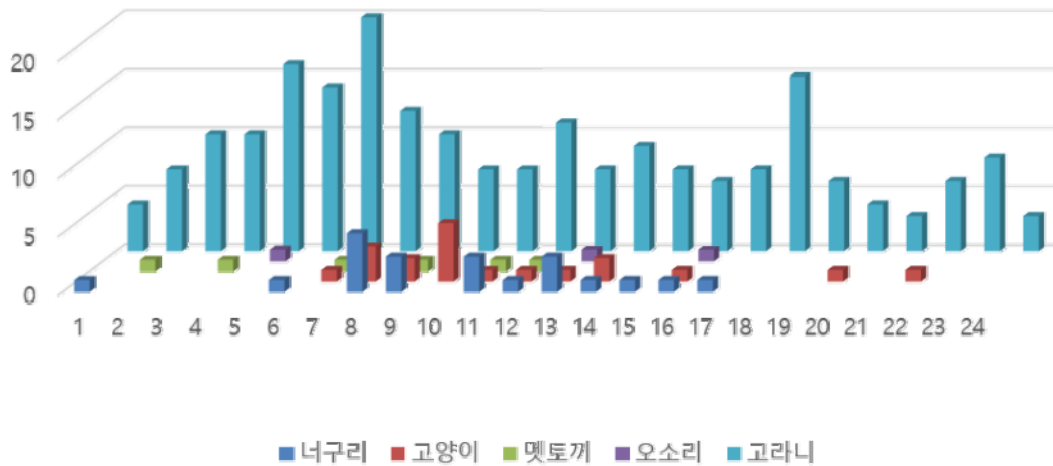
- 화력발전소 주변지역 야생동물 활동시간은 무인센서카메라에 촬영된 시간을 기준으로 정리

- 보령화력발전소 주변지역 야생동물의 총 촬영횟수 중 15회 이상 촬영된 시간은 5시~9시, 18시에 야생동물이 많은 활동을 하는 것으로 분석됨
- 일반적으로 야생동물은 주행성보다는 야행성이 많은 것으로 알려져 있으나 사람의 인적이 드문 곳이면 주간에도 많이 활동하기도 함
- 보령의 경우 조사지 주변에 민가가 있지만 화력발전소와 인접된 야산이고 사람의 접근이 없기 때문에 주간에 활동하는 빈도가 높은 것으로 판단됨
- 보령화력발전소 주변지역에 서식하는 야생동물 활동 시간을 종별로 비교한 결과 너구리, 고양이, 오소리는 주로 주간에 활동하는 것으로 확인되었고, 멧토끼와 고라니는 주간과 야간 대부분 활동하는 것으로 연구

[표 3.40] 보령화력발전소 주변지역에 서식하는 야생동물 촬영 시간 및 촬영 빈도 비교

보령	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	총수	빈도(%)
너구리	1					1		5	3		3	1	3	1	1	1	1								21	8.1
고양이							1	3	2	5	1	1	1	2		1				1		1			19	7.4
멧토끼		1		1			1		1		1	1													6	2.3
오소리					1								1			1									3	1.2
고라니	4	7	10	10	16	14	20	12	10	7	7	11	7	9	7	6	7	15	6	4	3	6	8	3	209	81.0
총 촬영수	5	8	10	11	17	15	22	20	16	12	12	14	12	12	8	9	8	15	6	5	3	7	8	3	258	100.0
촬영 빈도(%)	1.9	3.1	3.9	4.3	6.6	5.8	8.5	7.8	6.2	4.7	4.7	5.4	4.7	4.7	3.1	3.5	3.1	5.8	2.3	1.9	1.2	2.7	3.1	1.2	100.0	

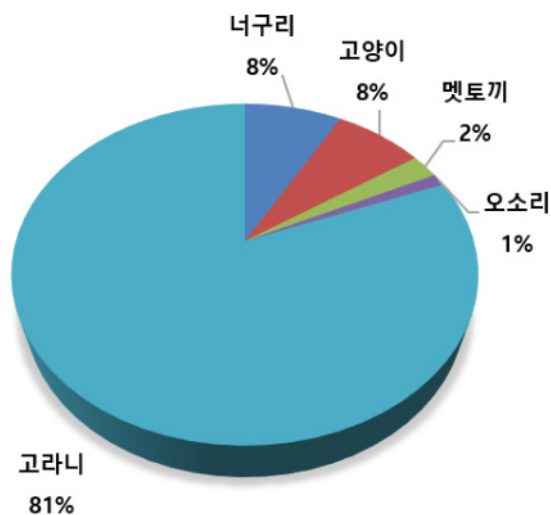
보령



[그림 3.29] 보령화력발전소 주변에 서식하는 야생동물 활동시간 비교

- 보령화력발전소 주변에 서식하는 야생동물의 활동 빈도를 비교한 결과 고라니가 81%로 대부분을 활동하는 것으로 확인되었고, 그 다음이 너구리와 고양이의 활동이 많은 것으로 분석

보령



[그림 3.30] 보령화력발전소 주변에 서식하는 야생동물 활동 빈도 비교

3.2.4 서천화력발전소 주변지역 야생동물 활동시간

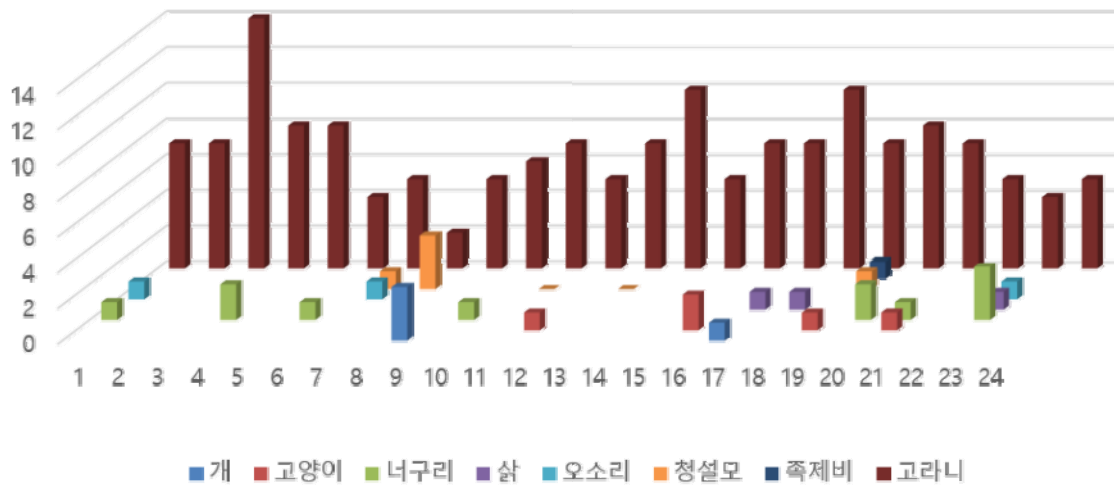
- 화력발전소 주변지역 야생동물 활동시간은 무인센서카메라에 촬영된 시간을 기준으로 정리
- 서천화력발전소 주변지역 야생동물의 총 촬영횟수 중 10회 이상 촬영된 시간은 3시~4시, 14시, 18~20시에 야생동물이 많은 활동을 하는 것으로 분석됨

[표 3.41] 서천화력발전소 주변지역에 서식하는 야생동물 촬영 시간 및 촬영 빈도 비교

서천	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	총수	빈도 (%)
개									3							1									4	2.1
고양이											1				2			1		1					5	2.6
너구리	1			2		1				1										2	1		3		11	5.7
삵																	1	1					1		3	1.6
오소리	1						1																1		3	1.6
청설모							1	3											1						5	2.6
족제비																			1						1	0.5
고라니	7	7	14	8	8	4	5	2	5	6	7	5	7	10	5	7	7	10	7	8	7	5	4	5	160	83.3
총 촬영수	9	7	14	10	8	5	7	5	8	7	7	6	7	10	5	9	9	11	10	10	9	5	9	5	192	100.0
촬영 빈도(%)	4.7	3.6	7.3	5.2	4.2	2.6	3.6	2.6	4.2	3.6	3.6	3.1	3.6	5.2	2.6	4.7	4.7	5.7	5.2	5.2	4.7	2.6	4.7	2.6	100.0	

- 서천화력발전소 주변지역에 서식하는 야생동물 활동 시간을 종별로 비교한 결과 개, 오소리, 청설모는 주로 주간에 활동하는 것으로 확인되었고, 너구리, 삵은 야간에, 고양이, 고라니는 주간과 야간 대부분 활동하는 것으로 분석

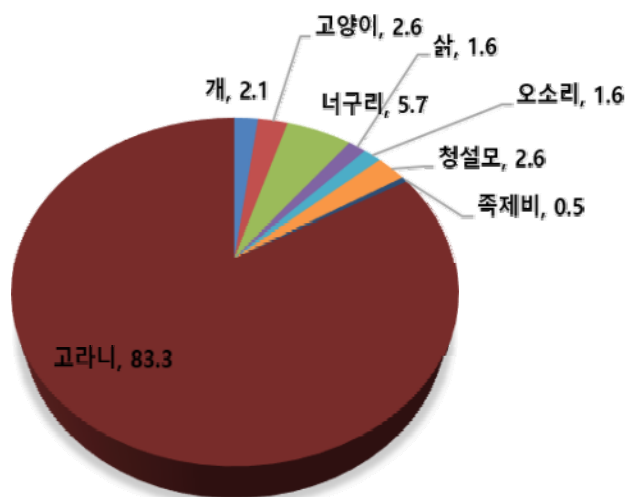
서천



[그림 3.31] 서천화력발전소 주변에 서식하는 야생동물 활동시간 비교

- 서천화력발전소 주변에 서식하는 야생동물의 활동 빈도를 비교한 결과 고라니가 83%로 대부분을 활동하는 것으로 확인되었고, 그 다음이 너구리와 고양이 및 청설모의 활동이 많은 것으로 분석

서천



[그림 3.32] 서천화력발전소 주변에 서식하는 야생동물 활동 빈도비교

3.2.5 서산 팔봉산(대조구) 주변지역 야생동물 활동시간

- 야생동물 활동시간은 무인센서카메라에 촬영된 시간을 기준으로 정리
- 서산 팔봉산지역 야생동물의 총 촬영횟수 중 5회 이상 촬영된 시간은 1시, 4~5시, 9시, 13시에 야생동물이 많은 활동을 하는 것으로 분석됨
- 일반적으로 야생동물은 주행성보다는 야행성이 많은 것으로 알려져 있으나 사람의 인적이 드문 곳이면 주간에도 많이 활동하기도 함
- 팔봉산의 경우 인근에서 많은 등산객이 찾는 지역으로 주간과 야간의 활동시간 차이가 많이 나지 않는 점은 야간에도 어느 정도 교란을 받기 때문인 것으로 판단되고 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 판단

[표 3.42] 서산(팔봉산)에 서식하는 야생동물 촬영 시간 및 촬영 빈도 비교

서산	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	총수	빈도 (%)
샐							1															1			2	3.0
너구리	2			2	2												2		1			1			10	14.9
멧돼지	1	1			1																				3	4.5
오소리																		1			1				2	3.0
청설모							2		1	1		1	4	1	1	1	1								13	19.4
고라니	4	2		3	4	3	1	3	4	2	1		1		2	1		1	1	1	1			2	37	55.2
총 촬영수	7	3	0	5	7	3	4	3	5	3	1	1	5	1	3	2	3	2	2	1	2	2	0	2	67	100.0
빈도 (%)	10.4	4.5	0.0	7.5	10.4	4.5	6.0	4.5	7.5	4.5	1.5	1.5	7.5	1.5	4.5	3.0	4.5	3.0	3.0	1.5	3.0	3.0	0.0	3.0	100.0	

- 서산(팔봉산)에 서식하는 야생동물 활동 시간을 종별로 비교한 결과 청설모는 주로 주간에 활동하는 것으로 확인되었고, 너구리, 샐, 멧돼지는 야간에, 고라니는 주간과 야간 대부분 활동하는 것으로 연구

- 서산(팔봉산)의 경우 조사지역 중 유일하게 멧돼지의 서식이 확인된 지역임
- 멧돼지는 유해야생동물로 지정되어 있어 개체수가 많으면 인근 농경지로 피해가 발생될 가능성이 높음
- 그러나 아직은 1개체만이 확인되어 지속적인 모니터링 요망



2019년 1월 20일



2019년 1월 24일

[그림 3.33] 서산 팔봉산(대조구)에서 촬영된 멧돼지

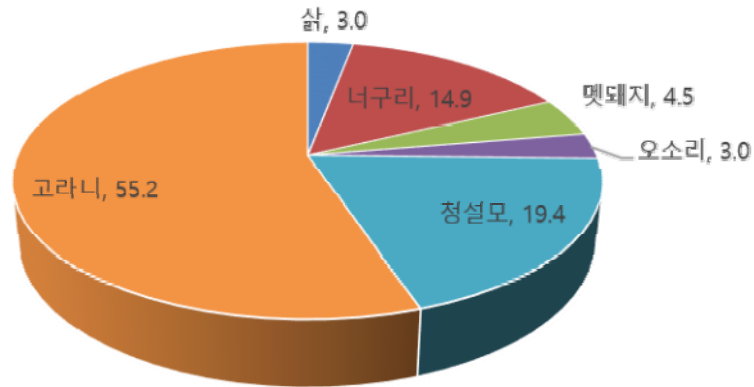
서산



[그림 3.34] 서산(팔봉산)에 서식하는 야생동물 활동시간 비교

- 서산(팔봉산)에 서식하는 야생동물의 활동 빈도를 비교한 결과 고라니가 55.2%로 대부분을 활동하는 것으로 확인되었고, 그 다음이 청설모와 너구리의 활동이 많은 것으로 분석

서산



[그림 3.35] 서산(팔봉산)에 서식하는 야생동물 활동 빈도비교

3.3 포획트랩을 이용한 소형포유류 조사 결과

- 포획트랩(Sherman live trap)을 이용한 소형포유류 조사결과 총 2목 2과 2종(맞쥐, 등줄쥐) 포획
- 보령을 제외하고 전 지역에서 등줄쥐 포획, 당진에서는 맞쥐와 등줄쥐 2종 포획

[표 3.43] 각 지역별 포획트랩을 이용한 소형포유류 조사 결과 비교

목 (Order)	과 (Family)	종 (Species)	조 사 지 역				
			당진	태안	보령	서천	서산 (대조구)
참서목	참서과	맞쥐	○				
설치목	쥐과	등줄쥐	○	○		○	○
유해야생동물종 수							
멸종위기종 수							
지역별 총 종 수			2	1	0	1	1
총 종 수		2					

- 소형포유류는 산림생태계 내에서 고차 소비자의 먹이가 되며 종자 분산에 대한 매개체로서 식생천이를 유도하는 등 중요한 역할을 수행(이우신 외, 2010)

- 이후 3차년도(2019년)는 조사구를 추가하여 더욱 정밀한 조사 수행 예정



[그림 3.36] 포획된 땃쥐와 등줄쥐

3.4 요약 및 소결론

- 2018년 4월부터 2019년 4월까지 당진, 태안, 보령, 서천 및 대조구로 서산 팔봉산지역에서 포유류 조사 실시
- 흔적조사, 무인센서카메라 조사 및 포획트랩을 이용한 조사를 실시한 결과 총 5목 10과 15종이 확인
- 지역별로 당진과 보령 및 서천이 9종 확인되었고, 태안과 대조구인 서산이 8종 확인
- 이 중 멸종위기야생동물 I 급이자 천연기념물 제330호인 수달 1종의 흔적이 당진과 보령 화력발전소 인근지역에서 흔적을 확인하였고, 멸종위기야생동물 II 급인 삵은 보령에서 흔적을 확인하였고, 서천과 서산에서는 센서카메라에 촬영되어 실체를 확인함
- 유해야생동물의 경우 전 지역에서 고라니가 센서카메라에 촬영되었으며, 멧돼지의 경우 서산(대조구)의 산림 내부에서만 촬영되었음
- 소형포유류의 경우 보령을 제외한 전 지역에서 모두 소형포유류를 포획하였으나 지속적인 모니터링 필요

4. 어류분야

4.1 당진 화력발전소

4.1.1 조사지 개황

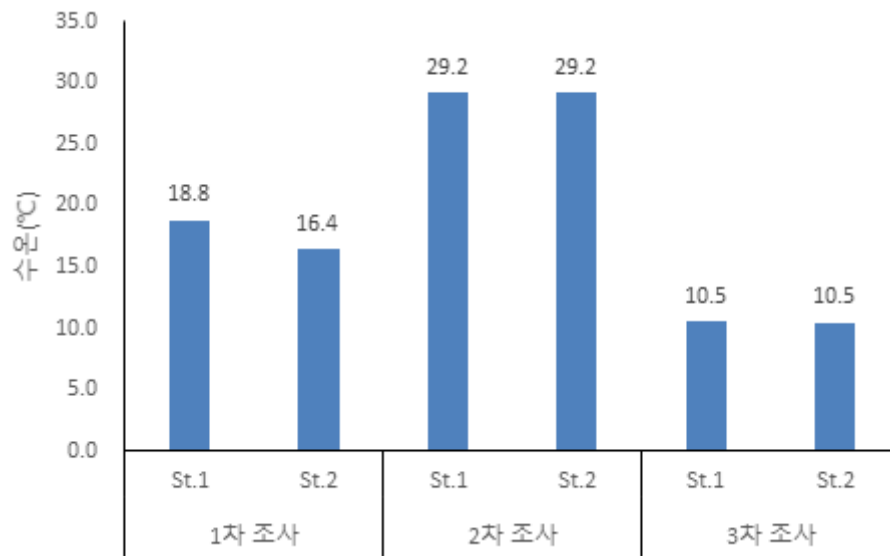
[표 3.44] 조사지점 개황

당진화력발전소			
St1	하천유형	평지형	
	하 폭(m)	20	
	수 폭(m)	3.0~5.0	
	수 심(m)	0.5~1.2	
	제 방	좌 : 인공(흙) 우 : 인공(흙)	
	탁 도	탁함	
	토지이용 (제방인근)	좌 : 농경지 우 : 농경지	
	오염원	농경지	
St.2	하천유형	평지형	
	하 폭(m)	20	
	수 폭(m)	5.0~10.0	
	수 심(m)	0.5~1.6	
	제 방	좌 : 인공(흙) 우 : 인공(흙)	
	탁 도	탁함	
	토지이용 (제방인근)	좌 : 농경지 우 : 농경지	
	오염원	농경지	

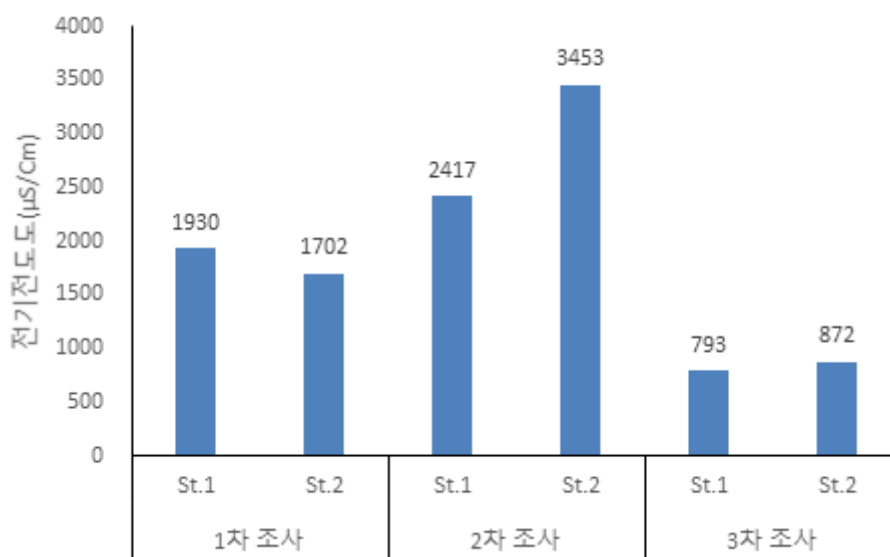
4.1.2 수질 분석 결과

- 조사기간 동안 당진화력발전소 지역의 수온을 측정한 결과 지점 1에서는 10.5–29.2℃로 평균 수온은 19.5℃였으며 지점 2에서는 10.5–29.2℃의 범위로 나타났으나 평균 수온은 18.7℃로 지점 2에서 평균 수온이 다소 낮게 나타남
- 전기전도도는 지점 1에서 793–2,417 μ S/cm 범위였으며 평균 1,713 μ S/cm로 나타났고, 지점 2에서는 872–3,453 μ S/cm 범위로 나타나 평균 2,009 μ S/cm로 일반적인 하천에 비해 전기전도도가 다소 높게 나타남. 이는 본 조사 지역이 바다를 메워 형성된 간척지이기 때문에 일반적인 하천에 비해 전기전도도가 높게 나타난 것으로 판단됨
- 염분도는 지점 1에서 0.39–1.23 ‰로 평균 0.87‰이었고, 지점 2에서는 0.43–1.80 ‰로 평균 1.03‰로 나타남
- 용존산소량(DO)는 지점 1에서 1.09–9.85 mg/L의 범위로 평균 5.39 mg/L이었고, 지점 2에서는 2.57–8.26 mg/L의 범위로 평균 5.95 mg/L로 나타남. 용존산소량의 경우 여름철에 일시적으로 어류가 서식하기 어려운 상태까지 낮아지는 것으로 나타났으나 전반적으로는 어류가 서식하는데 영향이 없을 것으로 판단됨
- 용존산소포화도(DO%)는 지점 1에서 14.3–106%로 평균 55.9% 였으며, 지점 2에서는 33.9–84.9%의 범위로 평균 60.6%로 나타남
- pH는 지점 1에서 8.04–8.43의 범위로 평균 8.17로 나타났고, 지점 2에서는 8.08–8.23의 범위로 평균 8.18로 나타나 어류가 서식하는 데는 큰 영향이 없는 것으로 나타남
- 채수를 통한 수질을 분석한 결과 지점 1에서는 BOD 2.0 mg/L, COD 10.1 mg/L, TP 0.182mg/L, TN 1.817mg/L, NO₃⁻ 0.929 mg/L, Ca²⁺ 56.30 mg/L, Mg²⁺ 48.62 mg/L, Na⁺ 376.00 mg/L, Al³⁺ 0.03 mg/L, Mn²⁺ 0.032 mg/L, Fe²⁺ 0.04 mg/L, K⁺ 19.28 mg/L, F⁻ 0.71 mg/L, Cl⁻ 720.0 mg/L, SO₄⁻ 70 mg/L 으로

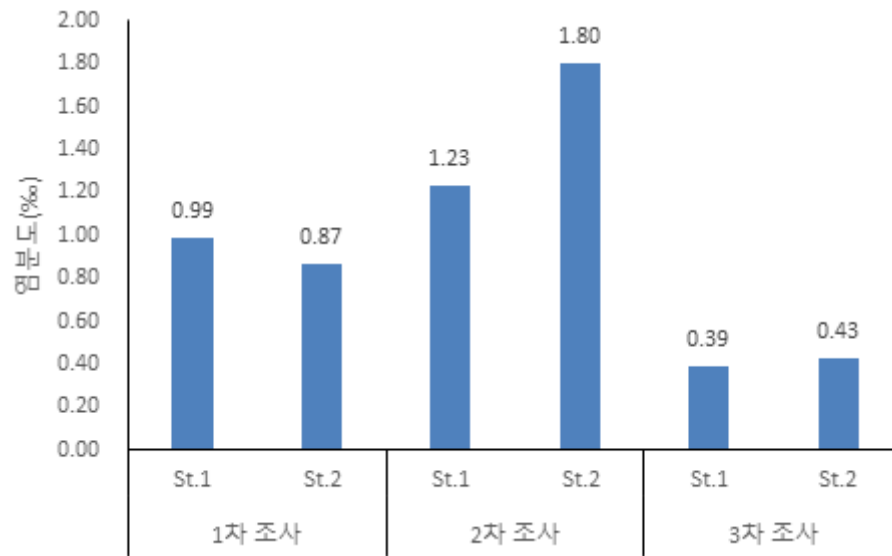
분석되었고, 지점 2에서는 BOD 1.2 mg/L, COD 9.8 mg/L, TP 0.249mg/L, TN 1.801mg/L, NO₃⁻ 0.930 mg/L, Ca²⁺ 57.36 mg/, Mg²⁺ 49.08 mg/L, Na⁺ 381.20 mg/L, Al³⁺ 0.02 mg/L, Mn²⁺ 0.009 mg/L, Fe²⁺ 불검출 mg/L, K⁺ 19.53 mg/L, F⁻ 0.69 mg/L, Cl⁻ 721.5 mg/L, SO₄⁻ 73 mg/L 등으로 나타나 전형적인 간척지의 수질을 보임



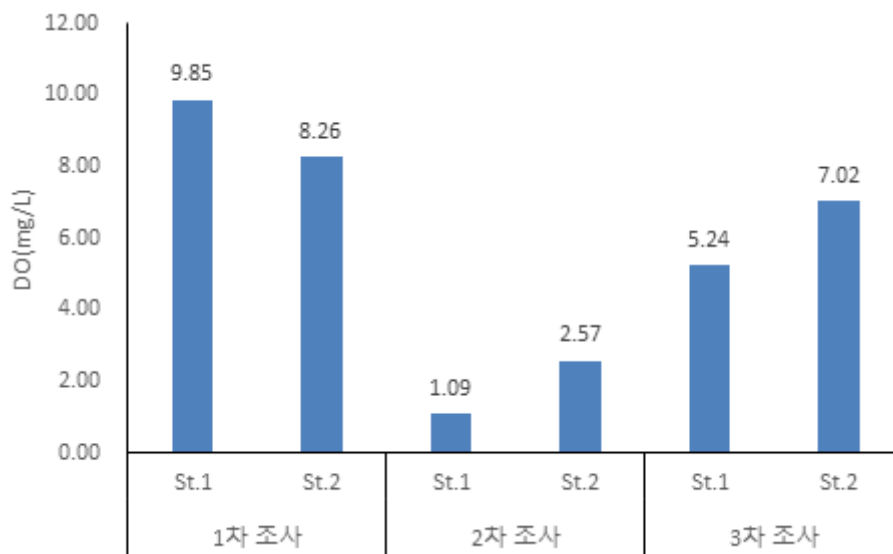
[그림 3.37] 당진화력발전소 주변 하천의 수온 변화



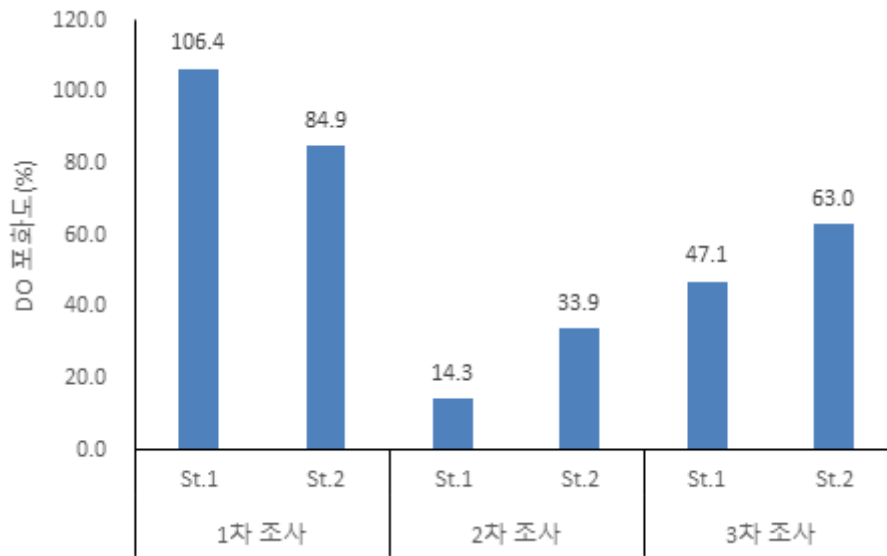
[그림 3.38] 당진화력발전소 주변 하천의 전기전도도 변화



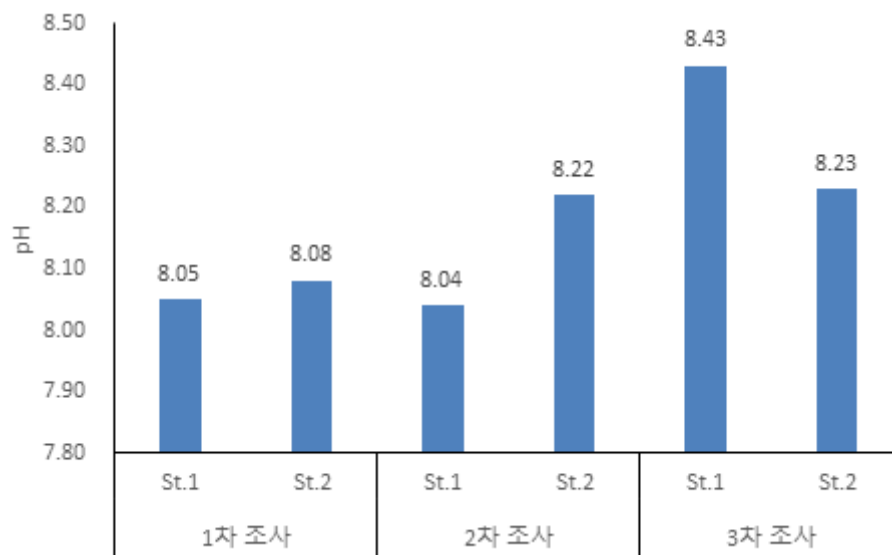
[그림 3.39] 당진화력발전소 주변 하천의 염분도 변화



[그림 3.40] 당진화력발전소 주변 하천의 DO 변화



[그림 3.41] 당진화력발전소 주변 하천의 DO 포화도 변화



[그림 3.42] 당진화력발전소 주변 하천의 pH 변화

[표 3.45] 당진화력발전소 주변 하천의 수질 정밀 분석 결과

수질 항목	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)
St.1	2	10.1	0.182	1.817	0.929	56.3	48.62	376
St.2	1.2	9.8	0.249	1.801	0.93	57.36	49.08	381.2
수질 항목	Al ³⁺ (mg/L)	Mn ²⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻ (mg/L)	
St.1	0.03	0.032	0.04	19.28	0.71	720	70	
St.2	0.02	0.009	불검출	19.53	0.69	721.5	73	

4.1.3 어류상 및 어류 군집

4.1.3.1 어류상

- 당진화력발전소 주변의 어류를 조사한 결과 1차 조사에서는 총 6과 11종 313개체가 출현하였고, 이중 법적보호종 및 한국고유종은 출현하지 않았으며, 외래도입종은 생태계교란어종인 블루길 1종이 출현함
- 1차 조사에서는 붕어가 49.20%로 비교풍부도가 가장 높게 나타났고, 다음으로는 살치 22.04%, 대륙송사리 10.22%, 왜물개 4.47%, 버들붕어 3.51%, 민물두줄망둑 2.88%, 문절망둑 1.92%, 블루길과 밀어가 각각 1.60%, 민물검정망둑과 미꾸리가 각각 1.28%의 순으로 나타남
- 2차 조사 결과 총 6과 10종 210개체가 출현하였고, 법적보호종은 출현하지 않았고, 한국고유종은 얼룩동사리 1종이 출현하였으며, 외래도입종은 떡붕어와 블루길(생태계교란어종) 2종이 채집됨
- 비교풍부도는 붕어가 55.24%로 가장 높게 나타났고, 다음은 밀어 18.10%, 살치 8.57%, 얼룩동사리 4.76%, 감문망둑과 블루길이 각각 3.81%, 민물두줄망둑과 떡붕어가 각각 1.90%, 버들붕어와 미꾸리가 각각 0.95%의 순으로 나타남

- 3차 조사 결과 총 7과 12종 260개체가 출현하였고, 법적보호종은 채집되지 않았으며, 한국고유종은 얼룩동사리 1종이 채집되었고, 외래도입종은 떡붕어와 블루길(생태계교란어종) 2종이 채집됨
- 비교풍부도는 붕어가 41.15%로 가장 높게 나타났고, 다음은 살치 51.92%, 대륙송사리 16.15%, 블루길과 왜몰개가 각각 4.62%, 민물두줄망둑 3.85%, 미꾸리 3.31%, 버들붕어와 민물검정망둑이 각각 1.54%, 밀어, 얼룩동사리, 떡붕어가 각각 0.77%의 순으로 나타남
- 1-3차의 어류조사를 종합한 결과 당진화력발전소 주변에서는 총 6과 14종 789개체의 어류가 출현하였고, 이중 법적보호종은 출현하지 않았으며, 한국고유종은 얼룩동사리 1종이 출현하였으며, 외래도입종은 떡붕어와 블루길(생태계교란어종) 2종이 채집됨
- 비교풍부도는 붕어가 47.78%로 가장 높게 나타났고, 살치 18.25%, 대륙송사리 9.38%, 밀어 5.70%, 왜몰개 3.30%, 블루길 3.17%, 민물두줄망둑 2.92%, 버들붕어 2.15%, 문절망둑과 얼룩동사리, 미꾸리가 각각 1.52%, 민물검정망둑과 갈문망둑이 각각 1.01%, 떡붕어가 0.76%의 순으로 나타남
- 어류 조사 결과 법적보호종은 출현하지 않았고 한국고유종의 비율이 낮았으며 출현종의 대부분이 수질오염에 내성이 강한 어종인 것으로 보임

[표 3.46] 당진화력발전소 주변의 1차 조사 어류상

학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도(%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
Aphyocypris chinensis	왜몰개	2	12	14	4.47
Carassius auratus	붕어	28	126	154	49.20
Hemiculter leucisculus	살치	28	41	69	22.04
COBITIDAE	미꾸리과				
Misgurnus anguillicaudatus	미꾸리		4	4	1.28
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과				
Oryzias sinensis	대룩송사리		32	32	10.22
CENTRACHIDAE	검정우럭과				
Lepomis macrochirus	블루길		5	5	1.60
GOBIIDAE	망둑어과				
Acanthogobius flavimanus	문절망둑		6	6	1.92
Rhinogobius brunneus	밀어		5	5	1.60
Tridentiger bifasciatus	민물두줄망둑		9	9	2.88
Tridentiger brevispinis	민물검정망둑	2	2	4	1.28
OSPHRONEMIDAE	버들붕어과				
Macropodus ocellatus	버들붕어	6	5	11	3.51
과		3	6	6	
종		5	12	11	
개체수		66	253	313	

[표 3.47] 당진화력발전소 주변의 2차 조사 어류상

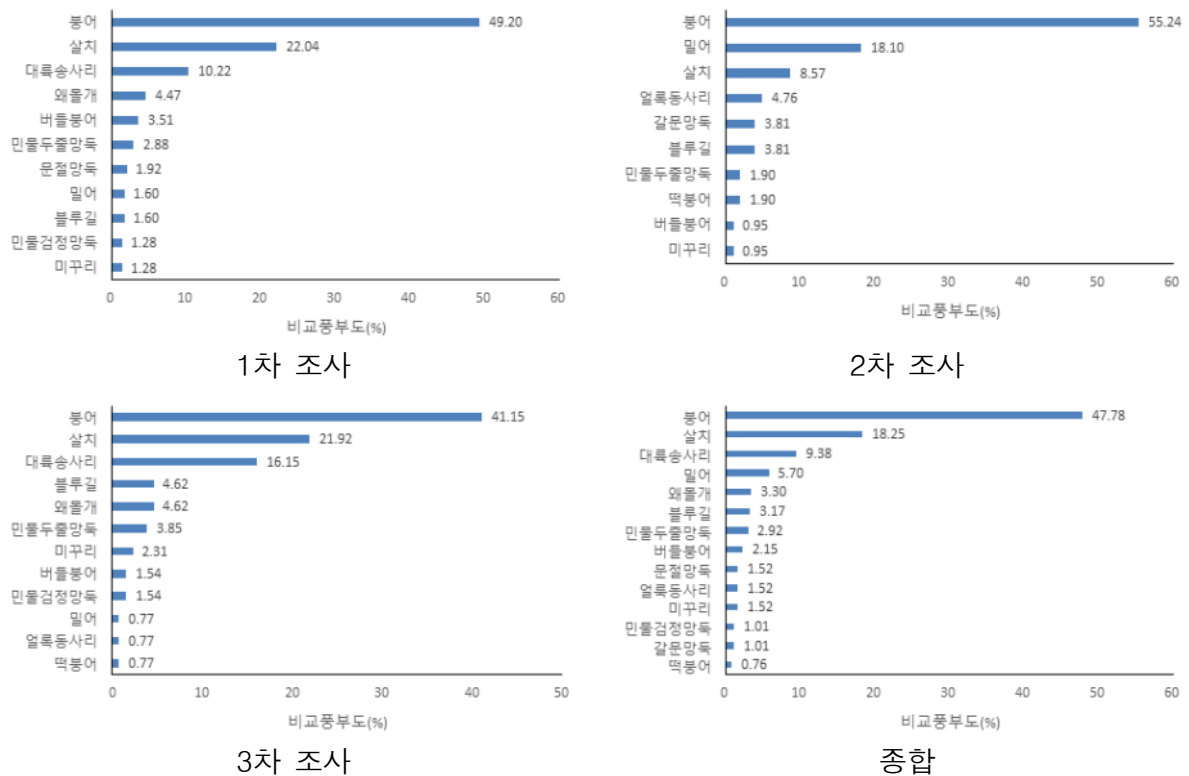
학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
Carassius auratus	붕어	70	46	116	55.24
Carassius cuvieri	떡붕어		4	4	1.90
Hemiculter leuciscus	살치	4	14	18	8.57
COBITIDAE	미꾸리과				
Misgurnus anguillicaudatus	미꾸리	2		2	0.95
CENTRACHIDAE	검정우럭과				
Lepomis macrochirus	블루길	8		8	3.81
ODONTOBUTIDAE	동사리과				
Odontobutis interrupta	얼룩동사리	2	8	10	4.76
GOBIIDAE	망둑어과				
Rhinogobius brunneus	밀어	2	36	38	18.10
Rhinogobius giurinus	갈문망둑	4	4	8	3.81
Tridentiger bifasciatus	민물두줄망둑	4		4	1.90
OSPHRONEMIDAE	버들붕어과				
Macropodus ocellatus	버들붕어	2		2	0.95
과		6	3	6	
종		9	6	10	
개체수		98	115	210	

[표 3.48] 당진화력발전소 주변의 3차 조사 어류상

학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
Aphyocypris chinensis	왜몰개	2	10	12	4.62
Carassius auratus	붕어	32	75	107	41.15
Carassius cuvieri	떡붕어		2	2	0.77
Hemiculter leuciscus	살치	28	29	57	21.92
COBITIDAE	미꾸리과				
Misgurnus anguillicaudatus	미꾸리	2	4	6	2.31
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과				
Oryzias sinensis	대룩송사리		42	42	16.15
CENTRACHIDAE	검정우럭과				
Lepomis macrochirus	블루길	6	6	12	4.62
ODONTOBUTIDAE	동사리과				
Odontobutis interrupta	얼룩동사리		2	2	0.77
GOBIIDAE	망둑어과				
Rhinogobius brunneus	밀어	2		2	0.77
Tridentiger bifasciatus	민물두줄망둑		10	10	3.85
Tridentiger brevispinis	민물검정망둑	2	2	4	1.54
OSPHRONEMIDAE	버들붕어과				
Macropodus ocellatus	버들붕어	4		4	1.54
과		5	6	7	
종		8	10	12	
개체수		78	182	260	

[표 3.49] 당진화력발전소 주변의 어류상 종합

학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
Aphyocypris chinensis	왜물개	4	22	26	3.30
Carassius auratus	붕어	130	247	377	47.78
Carassius cuvieri	떡붕어		6	6	0.76
Hemiculter leuciscus	살치	60	84	144	18.25
COBITIDAE	미꾸리과				
Misgurnus anguillicaudatus	미꾸리	4	8	12	1.52
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과				
Oryzias sinensis	대룩송사리		74	74	9.38
CENTRACHIDAE	검정우럭과				
Lepomis macrochirus	블루길	14	11	25	3.17
ODONTOBUTIDAE	동사리과				
Odontobutis interrupta	얼룩동사리	2	10	12	1.52
GOBIIDAE	망둑어과				
Acanthogobius flavimanus	문절망둑		12	12	1.52
Rhinogobius brunneus	밀어	4	41	45	5.70
Rhinogobius giurinus	갈문망둑	4	4	8	1.01
Tridentiger bifasciatus	민물두줄망둑	4	19	23	2.92
Tridentiger brevispinis	민물검정망둑	4	4	8	1.01
OSPHRONEMIDAE	버들붕어과				
Macropodus ocellatus	버들붕어	12	5	17	2.15
과		6	3	6	
종		11	14	14	
개체수		242	547	789	



[그림 3.43] 당진화력발전소 출현 어종의 비교풍부도

4.1.3.2 군집분석

- 1차 조사 결과 다양도는 지점 1에서 1.16, 지점 2에서 1.42로 지점 2에서 높게 나타남. 균등도는 지점 1에서 0.72로 지점 2의 0.59보다 높게 나타남. 종풍부도는 지점 1에서 0.95, 지점 2에서 1.82로 지점 2가 보다 높게 나타남. 우점도는 지점 1에서 0.85, 지점 2에서 0.68로 지점1이 다소 높게 나타남. 우점종은 지점 1과 2에서 모두 뽕어였으며, 아우점종은 지점 1과 2에서 살치로 나타남
- 2차 조사 결과 다양도는 지점 1에서 1.15, 지점 2에서 1.42로 나타났고, 균등도는 지점 1에서 0.53, 지점 2에서 0.79였으며, 종풍부도는 지점 1에서 1.74, 지점 2에서 1.06으로 나타남. 우점도는 지점 1에서 0.80, 지점 2에서 0.73으로 비교적 높게 나타남. 우점종은 지점 1과 2에서 모두 뽕어로 나타났고, 아우점종은 지점 1에서 블루길, 지점 2에서는 밀어로 나타남

- 3차 조사 결과 다양도는 지점 1에서 1.46, 지점 2에서는 1.75로 비교적 높게 나타났고, 균등도는 지점 1에서 0.70, 지점 2에서 0.73으로 전반적으로 출현어류의 개체수가 고르게 출현한 것으로 나타남. 종풍부도는 지점 1에서 1.61, 지점 2에서 1.91로 나타났고, 우점도는 지점 1에서 0.77, 지점 2에서 0.62로 나타남. 우점종은 지점 1과 2에서 모두 붕어로 나타났고, 아우점종은 지점 1과 2에서 모두 살치로 나타남
- 1-3차 조사를 종합한 결과 다양도는 지점 1에서 1.44, 지점 2에서 1.75로 나타났고, 균등도는 지점1에서 0.60, 지점 2에서 0.66이었으며, 종풍부도는 지점 1에서 1.82, 지점 2에서 2.06이었음. 우점도는 지점 1에서 0.79, 지점 2에서 0.61로 나타남. 우점종은 지점 1과 2 모두 붕어였고, 아우점종은 모두 살치로 나타남

[표 3.50] 당진화력발전소 주변 어류의 군집지수

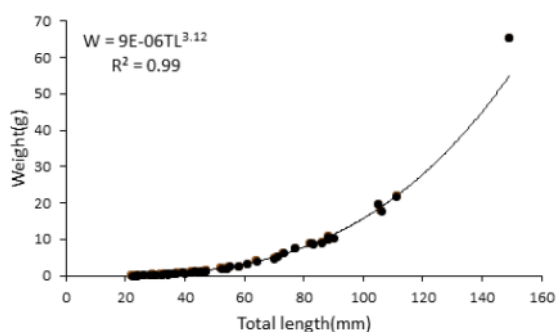
차수	지점	다양도	균등도	종풍부도	우점도	우점종	아우점종
1차조사	St.1	1.16	0.72	0.95	0.85	붕어	살치
	St.2	1.42	0.59	1.82	0.68	붕어	살치
2차조사	St.1	1.15	0.53	1.74	0.80	붕어	블루길
	St.2	1.42	0.79	1.06	0.73	붕어	밀어
3차조사	St.1	1.46	0.70	1.61	0.77	붕어	살치
	St.2	1.75	0.73	1.91	0.62	붕어	살치
종합	St.1	1.44	0.60	1.82	0.79	붕어	살치
	St.2	1.75	0.66	2.06	0.61	붕어	살치

4.1.3.3 Length-weight relationship 및 condition factor(K) 분석

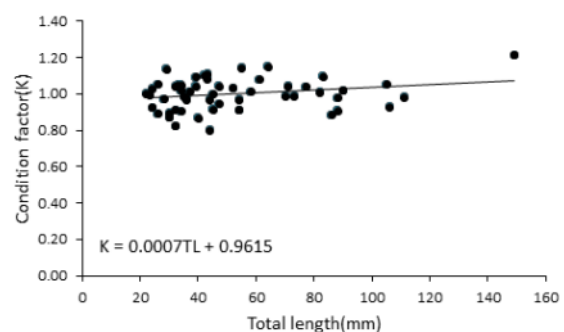
- 일반적으로 $TW=a(TL)^b$ 로 표현되는 전장과 체중의 관계식에서 상수 부분인 a값 보다는 지수 부분인 b값의 변화에 더 민감함. 따라서 동일 개체군의 성장 정도를 평가할 때 b값의 대소에 따라 시기별, 지역별 비교분석이 가능해짐
- 또한, Length-Weight Relationship과 함께 Condition factor(K)는 어류의 건강성 및 개체군 평가에서 광범위하게 사용되어왔음. 높은 비만도는 일반적으로 어류에 있어

풍부한 먹이원 유용을 반영하는 높은 에너지 축적으로 설명되고, 이는 특히 생활하수 및 유기물 오염으로 인한 지역에 서식하는 어류에서 많이 나타나기도함

- 반면에 영양결핍, 질병 또는 중금속에 의한 수질오염과 같은 경우 어류에 직간접적으로 영향을 주어 결과적으로 낮은 비만도를 보이기도함(Miller et al., 1992; Adams, 2002)
- 특히 오염원으로 인한 질병은 어류의 섭식 활동을 교란하여 빈약한 먹이 섭취를 유도하며 체내에서 면역시스템 내 추가적 에너지 소모 때문에 체중감소로 이어져 상대적으로 낮은 비만도 나타냄(Schmitt and Dethloff, 2000)
- 당진화력발전소 주변 지역에서 우점종으로 출현한 붕어 개체군을 대상으로 Length-weight relationship 및 condition factor(K) 분석을 실시함
- 그 결과 성장 정도를 나타내는 Length-weight relationship의 회귀계수(b)값은 3.12로 나타났고, 비만화 정도를 나타내는 Condition factor(K)값의 기울기는 양(+)의 값을 보여 우점종인 붕어 개체군은 당진화력발전소 주변에서 안정적인 개체군을 유지하고 있는 것으로 판단됨



붕어의 Length-weight relationship



붕어의 Condition factor 분석

[그림 3.44] 당진화력발전소 출현한 붕어의 length-weight relationship 및 condition factor 분석

4.2 태안 화력발전소

4.2.1 조사지 개황

[표 3.51] 조사지점 개황

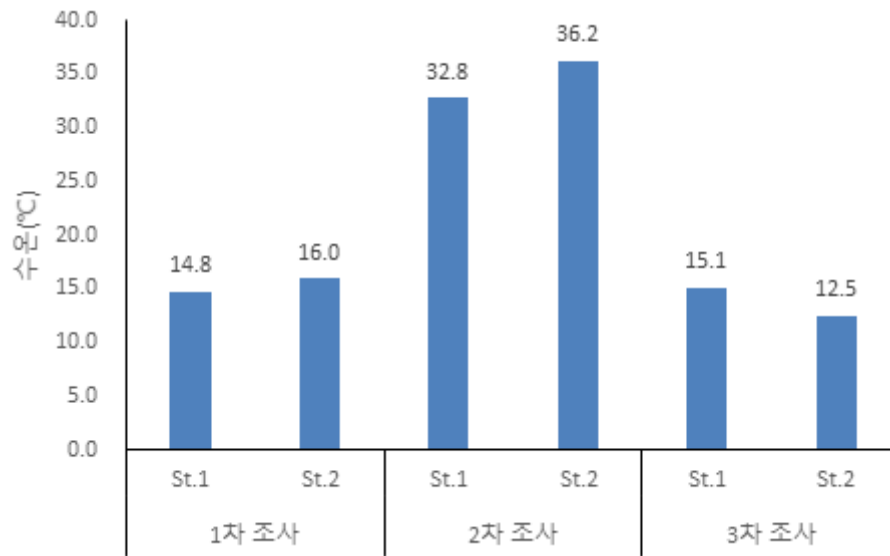
태안화력발전소		
St1	하천유형	평지형
	하 폭(m)	10
	수 폭(m)	1.0~3.0
	수 심(m)	0.3~0.7
	제 방	좌 : 인공(흙) 우 : 인공(흙)
	탁 도	맑음
	토지이용 (제방인근)	좌 : 농경지 우 : 석탄슬러지 야적장
St.2	오염원	슬러지 야적장, 농경지
	하천유형	평지형
	하 폭(m)	30
	수 폭(m)	20
	수 심(m)	1.2~2.0
	제 방	좌 : 인공(흙) 우 : 인공(흙)
	탁 도	탁함
St.2	토지이용 (제방인근)	좌 : 농경지 우 : 석탄슬러지 야적장
	오염원	슬러지 야적장, 농경지



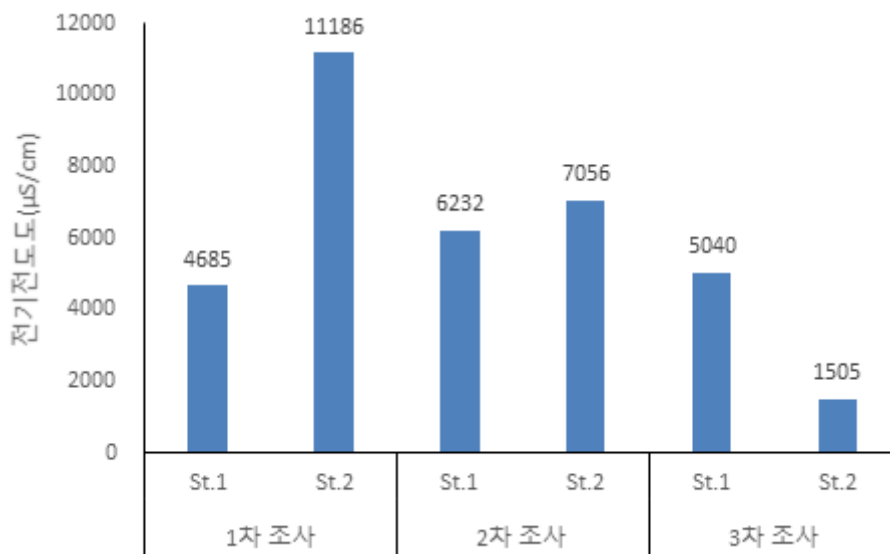
4.2.2 수질 분석 결과

- 조사기간 동안 태안화력발전소 지역의 수온을 측정한 결과 지점 1에서는 14.8~32.8℃로 평균 수온은 20.9℃였으며 지점 2에서는 12.5~36.2℃의 범위로 평균 수온은 21.6℃로 나타남

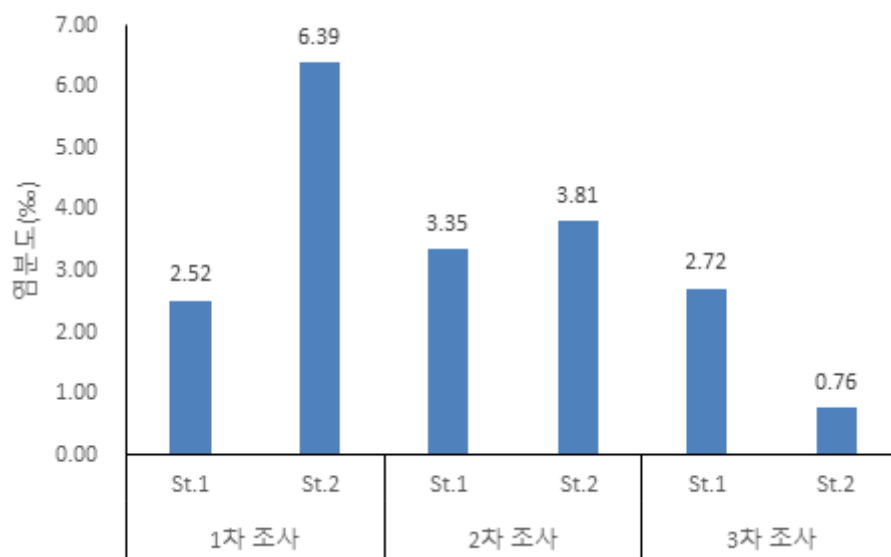
- 전기전도도는 지점 1에서 4,685–6,232 μ S/cm 범위였으며 평균 5,319 μ S/cm로 나타났고, 지점 2에서는 1,505–11,186 μ S/cm 범위로 나타나 평균 6,582 μ S/cm로 전기전도도가 높게 나타남. 본 지역이 간척지이기는 하지만 전기전도도가 높게 나타나는 이유는 추후 정밀한 조사가 요구됨
- 염분도는 지점 1에서 2.52–3.35 ‰로 평균 2.86‰이었고, 지점 2에서는 0.76–6.39 ‰로 평균 3.65‰로 나타남
- 용존산소량(DO)는 지점 1에서 7.93–16.04 mg/L의 범위로 평균 10.87 mg/L이었고, 지점 2에서는 9.02–11.33 mg/L의 범위로 평균 9.98 mg/L로 나타남. 용존산소의 경우 비교적 높게 측정되었는데 이는 식물성플랑크톤의 광합성으로 인한 결과로 판단됨
- 용존산소포화도(DO%)는 지점 1에서 79.4–162.2%로 평균 121.3% 였으며, 지점 2에서는 100.8–135.1%의 범위로 평균 114.2%로 나타남
- pH는 지점 1에서 8.65–9.26의 범위로 평균 8.95로 나타났고, 지점 2에서는 8.86–9.00의 범위로 평균 8.88로 나타나 어류가 서식하는 데는 큰 영향이 없는 것으로 나타남
- 채수를 통한 수질을 분석한 결과 지점 1에서는 BOD 1.8 mg/L, COD 8.8 mg/L, TP 0.036mg/L, TN 0.579mg/L, NO₃⁻ 0.314 mg/L, Ca²⁺ 226.30 mg/, Mg²⁺ 116.70 mg/L, Na⁺ 1094.0 mg/L, Al³⁺ 0.05 mg/L, Mn²⁺ 0.028 mg/L, Fe²⁺ 불검출, K⁺ 57.31 mg/L, F⁻ 1.18 mg/L, Cl⁻ 4300.0 mg/L, SO₄⁻ 11.40 mg/L 으 로 분석되었고, 지점 2에서는 BOD 15.5 mg/L, COD 16.3 mg/L, TP 0.293mg/L, TN 3.765 mg/L, NO₃⁻ 2.654 mg/L, Ca²⁺ 76.65 mg/, Mg²⁺ 125.40 mg/L, Na⁺ 1001.0 mg/L, Al³⁺ 0.11 mg/L, Mn²⁺ 0.528 mg/L, Fe²⁺ 0.31 mg/L, K⁺ 60.16 mg/L, F⁻ 083 mg/L, Cl⁻ 2005.3 mg/L, SO₄⁻ 254 mg/L 등으로 나타나 지점 2의 경우 Mn²⁺ 와 SO₄⁻ 가 높게 검출되어 석탄 슬러지 폐수의 영향을 받고 있는 것으로 판단됨



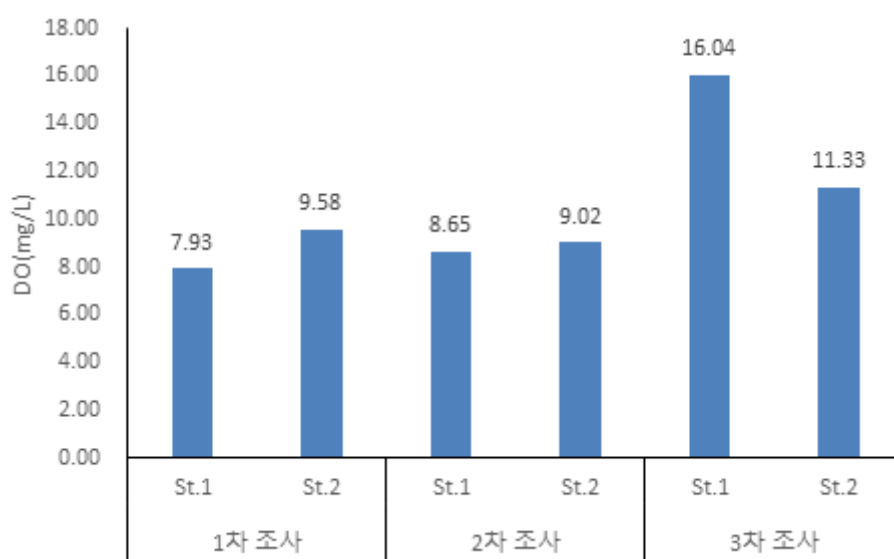
[그림 3.45] 태안화력발전소 주변 하천의 수온 변화



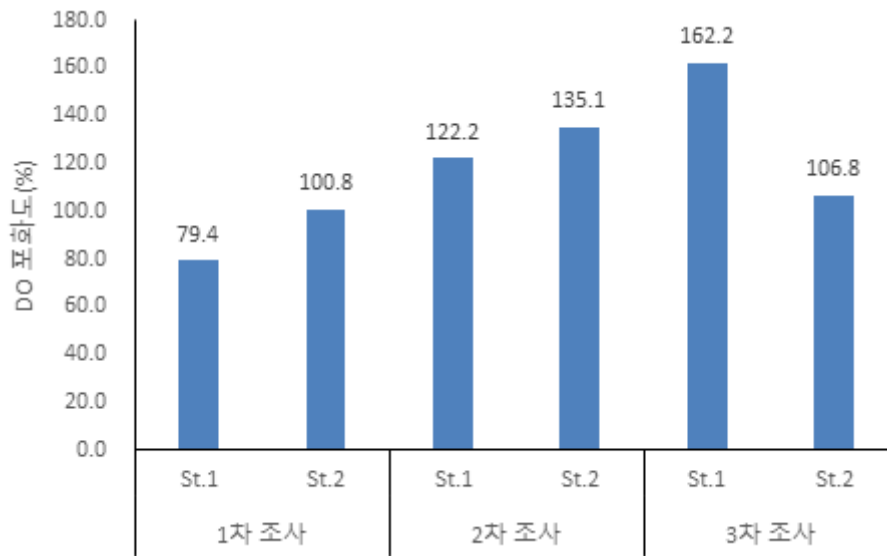
[그림 3.46] 태안화력발전소 주변 하천의 전기전도도 변화



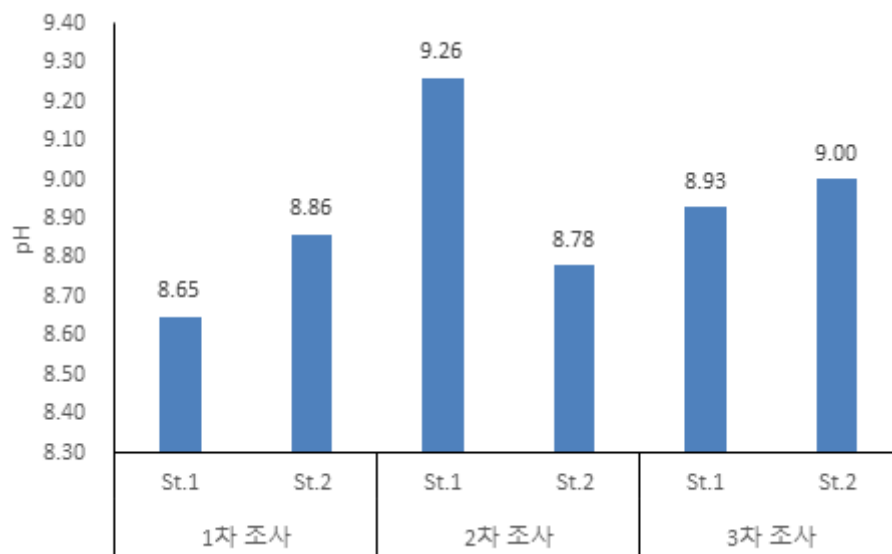
[그림 3.47] 태안화력발전소 주변 하천의 염분도 변화



[그림 3.48] 태안화력발전소 주변 하천의 DO 변화



[그림 3.49] 태안화력발전소 주변 하천의 DO 포화도 변화



[그림 3.50] 태안화력발전소 주변 하천의 pH 변화

[표 3.52] 태안화력발전소 주변 하천의 수질 정밀 분석 결과

수질 항목	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)
St.1	1.8	8.8	0.036	0.579	0.314	226.30	116.70	1094.0
St.2	15.5	16.3	0.293	3.765	2.654	76.65	125.40	1001.0
수질 항목	Al ³⁺ (mg/L)	Mn ²⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻ (mg/L)	
St.1	0.05	0.028	불검출	57.31	1.18	4300.0	11.40	
St.2	0.11	0.528	0.31	60.16	0.83	2005.3	254	

4.2.3 어류상 및 어류 군집

4.2.3.1 어류상

- 태안화력발전소 주변의 어류를 조사한 결과 1차 조사에서는 총 6과 13종 106개체가 출현하였고, 이중 법적보호종 및 한국고유종, 외래도입어종은 출현하지 않았음
- 비교풍부도는 민물두줄망둑이 23.58%로 가장 높게 나타났고, 다음으로는 붕어 19.81%, 송어 14.15%, 대륙송사리 13.21%, 살치 10.38%, 민물검정망둑 7.55%, 풀망둑과 꼭저구, 왜물개가 각각 1.98%, 동자개와 참붕어가 각각 0.94%의 순으로 나타남
- 2차 조사 결과 총 4과 9종 429개체가 출현하였고, 법적보호종 및 한국고유종은 출현하지 않았고, 외래도입어종은 떡붕어 1종이 출현함
- 비교풍부도는 대륙송사리가 33.57%로 가장 높게 나타났고, 다음은 붕어 26.57%, 민물두줄망둑 17.25%, 살치 11.89%, 참붕어 4.43%, 떡붕어 2.56%, 잉어 2.33%, 버들붕어 0.93%, 문절망둑 0.47%의 순으로 나타남
- 3차 조사 결과 총 5과 11종 300개체가 출현하였고, 이중 법적보호종 및 한국고유종, 외래도입어종은 출현하지 않았음

- 비교풍부도는 대륙송사리가 26.00%로 가장 높게 나타났고, 다음은 붕어 25.33%, 민물두줄망둑 22.67%, 송어 8.00%, 살치 6.00%, 참붕어 3.33%, 민물검정망둑과 문절망둑이 각각 2.67%, 버들붕어와 왜물개가 각각 1.33%, 꼭저구 0.67%의 순으로 나타남
- 1-3차의 어류조사를 종합한 결과 태안화력발전소 주변에서는 총 6과 15종 835개체의 어류가 출현하였고, 이중 법적보호종은과 한국고유종은 출현하지 않았으며, 외래도입종은 떡붕어 1종이 채집됨
- 비교풍부도는 붕어가 47.78%로 가장 높게 나타났고, 살치 18.25%, 대륙송사리 9.38%, 밀어 5.70%, 왜물개 3.30%, 블루길 3.17%, 민물두줄망둑 2.92%, 버들붕어 2.15%, 문절망둑과 얼룩동사리, 미꾸리가 각각 1.52%, 민물검정망둑과 갈문망둑이 각각 1.01%, 떡붕어가 0.76%의 순으로 나타남
- 어류 조사 결과 법적보호종은 출현하지 않았고 한국고유종의 비율이 낮았으며 출현종의 대부분이 수질오염에 내성이 강한 어종인 것으로 보임

[표 3.53] 태안화력발전소 주변의 1차 조사 어류상

학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
<i>Aphyocypris chinensis</i>	왜물개	2		2	1.89
<i>Carassius auratus</i>	붕어	14	7	21	19.81
<i>Hemiculter leucisculus</i>	살치		11	11	10.38
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어	1		1	0.94
BAGRIDAE	동자개과				
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	동자개	1		1	0.94
MUGILIDAE	송어과				
<i>Mugil cephalus</i>	송어		15	15	14.15
ADRIANICHTHYOIDEAE	송사리과				
<i>Oryzias sinensis</i>	대륙송사리	14		14	13.21
GOBIIDAE	망둑어과				
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	문절망둑		3	3	2.83
<i>Gymnogobius urotaenia</i>	꼭저구	2		2	1.89

학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
<i>Synechogobius hasta</i>	풀망둑	2		2	1.89
<i>Tridentiger bifasciatus</i>	민물두줄망둑	25		25	23.58
<i>Tridentiger brevispinis</i>	민물검정망둑	8		8	7.55
OSPHRONEMIDAE	버들붕어과				
<i>Macropodus ocellatus</i>	버들붕어	1		1	0.94
과		5	3	6	
종		10	5	13	
개체수		70	39	106	

[표 3.54] 태안화력발전소 주변의 2차 조사 어류상

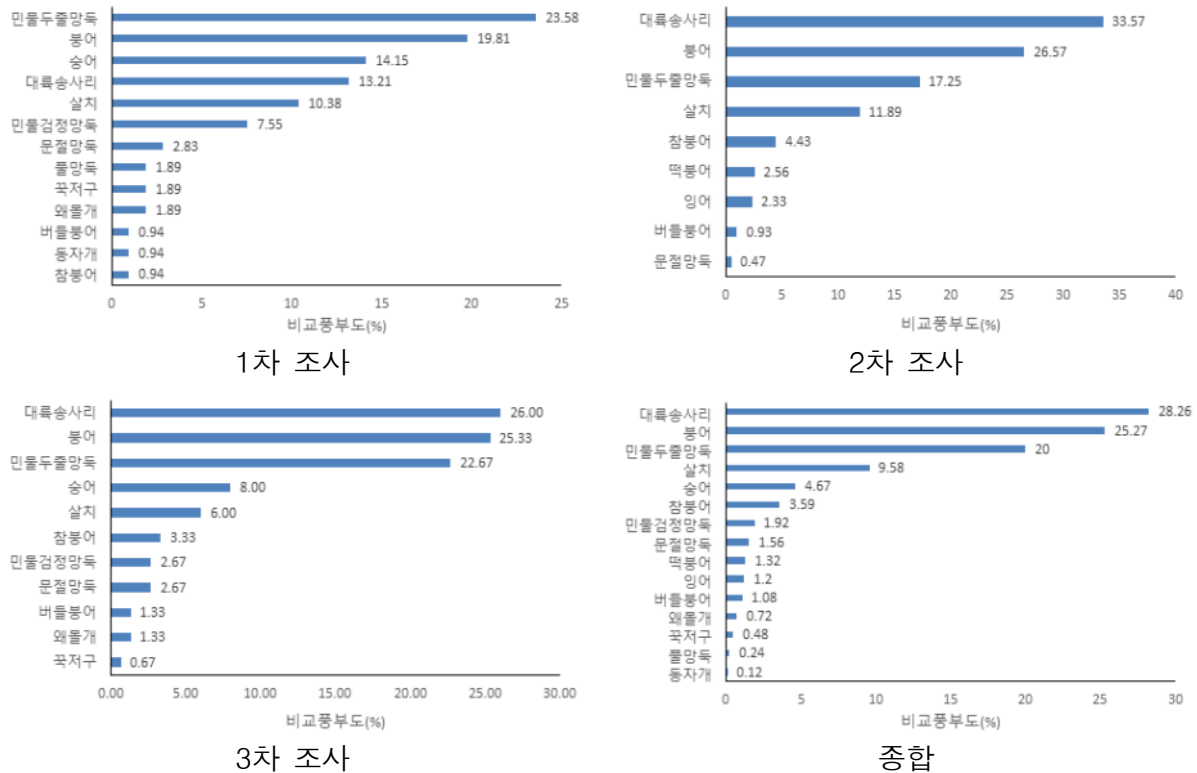
학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
<i>Carassius auratus</i>	붕어	26	88	114	26.57
<i>Carassius cuvieri</i>	떡붕어		11	11	2.56
<i>Cyprinus carpio</i>	잉어	8	2	10	2.33
<i>Hemiculter leuciscus</i>	살치		51	51	11.89
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어	4	15	19	4.43
ADRIANICHTHYOIDEAE	송사리과				
<i>Oryzias sinensis</i>	대룩송사리	132	12	144	33.57
GOBIIDAE	망둑어과				
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	문절망둑	2		2	0.47
<i>Tridentiger bifasciatus</i>	민물두줄망둑	14	60	74	17.25
OSPHRONEMIDAE	버들붕어과				
<i>Macropodus ocellatus</i>	버들붕어		4	4	0.93
과		3	4	4	
종		6	8	9	
개체수		186	247	429	

[표 3.55] 태안화력발전소 주변의 3차 조사 어류상

학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
Aphyocypris chinensis	왜물개	4		4	1.33
Carassius auratus	붕어	24	52	76	25.33
Hemiculter leuciscus	살치		18	18	6.00
Pseudorasbora parva	참붕어	6	4	10	3.33
MUGILIDAE	송어과				
Mugil cephalus	송어		24	24	8.00
ADRIANICHTHYOIDEAE	송사리과				
Oryzias sinensis	대륙송사리	70	8	78	26.00
GOBIIDAE	망둑어과				
Acanthogobius flavimanus	문절망둑	2	6	8	2.67
Gymnogobius urotaenia	꼭저구	2		2	0.67
Tridentiger bifasciatus	민물두줄망둑	20	48	68	22.67
Tridentiger brevispinis	민물검정망둑	8		8	2.67
OSPHRONEMIDAE	버들붕어과				
Macropodus ocellatus	버들붕어		4	4	1.33
과		3	5	5	
종		8	8	11	
개체수		136	164	300	

[표 3.56] 태안화력발전소 주변의 어류상 종합

학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
Aphyocypris chinensis	왜몰개	6		6	0.72
Carassius auratus	붕어	64	147	211	25.27
Carassius cuvieri	떡붕어		11	11	1.32
Cyprinus carpio	잉어	8	2	10	1.20
Hemiculter leuciscus	살치		80	80	9.58
Pseudorasbora parva	참붕어	11	19	30	3.59
BAGRIDAE	동자개과				
Pseudobagrus fulvidraco	동자개	1		1	0.12
MUGILIDAE	송어과				
Mugil cephalus	송어		39	39	4.67
ADRIANICHTHYOIDEAE	송사리과				
Oryzias sinensis	대룩송사리	216	20	236	28.26
GOBIIDAE	망둑어과				
Acanthogobius flavimanus	문절망둑	4	9	13	1.56
Gymnogobius urotaenia	꼭저구	4		4	0.48
Synechogobius hasta	풀망둑	2		2	0.24
Tridentiger bifasciatus	민물두줄망둑	59	108	167	20.00
Tridentiger brevispinis	민물검정망둑	16		16	1.92
OSPHRONEMIDAE	버들붕어과				
Macropodus ocellatus	버들붕어	1	8	9	1.08
과		3	4	6	
종		12	10	15	
개체수		392	443	835	



[그림 3.51] 태안화력발전소 출현 어종의 비교풍부도

4.2.3.2 군집분석

- 1차 조사 결과 다양도는 지점 1에서 1.69, 지점 2에서 1.25로 나타났고, 균등도는 지점 1에서 0.73, 지점 2의 0.90이었으며, 종풍부도는 지점 1에서 2.12, 지점 2에서 0.84로 나타남. 우점도는 지점 1에서 0.56, 지점 2에서 0.72로 나타남. 우점종은 지점 1에서 민물두줄망둑, 지점 2에서 송어로 나타났고, 아우점종은 지점 1에서 붕어, 지점 2에서 살치로 나타남
- 2차 조사 결과 다양도는 지점 1에서 0.98, 지점 2에서 1.61로 나타났고, 균등도는 지점 1에서 0.55, 지점 2에서 0.77이었으며, 종풍부도는 지점 1에서 0.96, 지점 2에서 1.27로 나타남. 우점도는 지점 1에서 0.85, 지점 2에서 0.61로 나타남. 우점종은 지점 1에서 대륙송사리, 지점 2에서 붕어로 나타났고, 아우점종은 지점 1에서 붕어, 지점 2에서는 민물두줄망둑으로 나타남

- 3차 조사 결과 다양도는 지점 1에서 1.46, 지점 2에서는 1.70으로 나타났고, 균등도는 지점 1에서 0.70, 지점 2에서 0.82였으며, 종풍부도는 지점 1에서 1.42, 지점 2에서 1.37로 나타났고, 우점도는 지점 1에서 0.69, 지점 2에서 0.61로 나타남. 우점종은 지점 1에서 민물두줄망둑, 지점 2에서 가숭어로 나타났고, 아우점종은 지점 1에서 붕어, 지점 2에서는 살치로 나타남
- 1-3차 조사를 종합한 결과 다양도는 지점 1에서 1.43, 지점 2에서 1.78로 나타났고, 균등도는 지점1에서 0.58, 지점 2에서 0.77이었으며, 종풍부도는 지점 1에서 1.84, 지점 2에서 1.48이었음. 우점도는 지점 1에서 0.71, 지점 2에서 0.58로 나타남. 우점종은 지점 1에서 민물두줄망둑, 지점 2에서는 가숭어였고, 아우점종은 지점 1에서 붕어, 지점 2에서는 살치로 나타남

[표 3.57] 태안화력발전소 주변 어류의 군집지수

차수	지점	다양도	균등도	종풍부도	우점도	우점종	아우점종
1차조사	St.1	0.98	0.55	0.96	0.85	대륙 송사리	붕어
	St.2	1.61	0.77	1.27	0.61	붕어	민물 두줄망둑
2차조사	St.1	1.46	0.70	1.42	0.69	민물 두줄망둑	붕어
	St.2	1.70	0.82	1.37	0.61	가숭어	살치
3차조사	St.1	1.46	0.70	1.42	0.69	민물 두줄망둑	붕어
	St.2	1.70	0.82	1.37	0.61	가숭어	살치
종합	St.1	1.43	0.58	1.84	0.71	민물 두줄망둑	붕어
	St.2	1.78	0.77	1.48	0.58	가숭어	살치

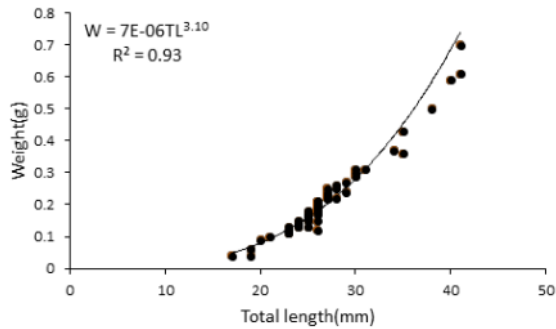
4.2.3.3 Length-weight relationship 및 condition factor(K) 분석

- 일반적으로 $TW=a(TL)^b$ 로 표현되는 전장과 체중의 관계식에서 상수 부분인 a값 보

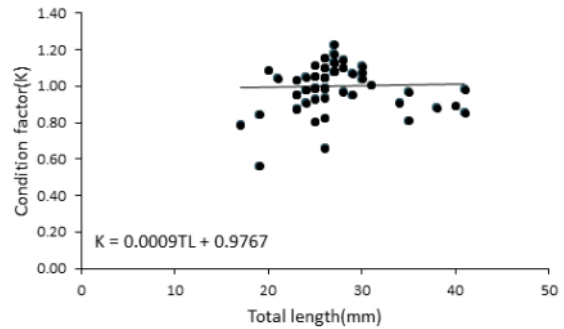
다는 지수 부분인 b값의 변화에 더 민감함. 따라서 동일 개체군의 성장 정도를 평가할 때 b값의 크기에 따라 시기별, 지역별 비교분석이 가능함

- 또한, Length-Weight Relationship과 함께 Condition factor(K)는 어류의 건강성 및 개체군 평가에서 광범위하게 사용되어왔음. 높은 비만도는 일반적으로 어류에 있어 풍부한 먹이원 유용을 반영하는 높은 에너지 축적으로 설명되고, 이는 특히 생활하수 및 유기물 오염으로 인한 지역에 서식하는 어류에서 많이 나타나기도함
- 반면에 영양결핍, 질병 또는 중금속에 의한 수질오염과 같은 경우 어류에 직간접적으로 영향을 주어 결과적으로 낮은 비만도를 보이기도함(Miller et al., 1992; Adams, 2002)
- 특히 오염원으로 인한 질병은 어류의 섭식 활동을 교란하여 빈약한 먹이 섭취를 유도하며 체내에서 면역시스템 내 추가적 에너지 소모 때문에 통해 체중감소로 이어져 상대적으로 낮은 비만도 나타냄(Schmitt and Dethloff, 2000)
- 태안화력발전소 주변 지역에서 우점종 및 우세종으로 출현한 대륙송사리, 붕어, 살치 개체군을 대상으로 Length-weight relationship 및 condition factor(K) 분석을 실시함
- 그 결과 대륙송사리는 성장 정도를 나타내는 Length-weight relationship의 회귀계수(b)값이 3.10로 나타났고, 비만화 정도를 나타내는 Condition factor(K)값의 기울기는 양(+)의 값을 보임
- 붕어 개체군은 성장 정도를 나타내는 Length-weight relationship의 회귀계수(b)값이 3.07로 나타났고, 비만화 정도를 나타내는 Condition factor(K)값의 기울기는 양(+)의 값을 보임
- 붕어 개체군은 성장 정도를 나타내는 Length-weight relationship의 회귀계수(b)값이 3.40로 나타났고, 비만화 정도를 나타내는 Condition factor(K)값의 기울기는 양(+)의 값을 보임

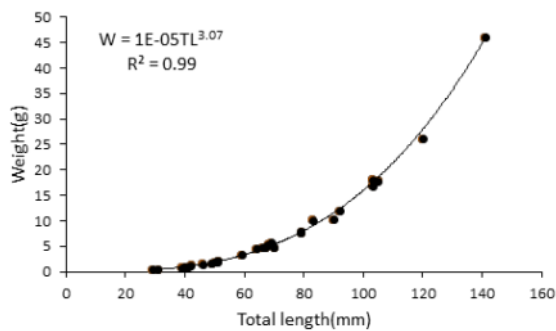
- 따라서 이와 같은 결과로 볼 때 대륙송사리, 붕어, 살치 개체군은 태안화력발전소 주변에서 안정적인 개체군을 유지하고 있는 것으로 판단됨



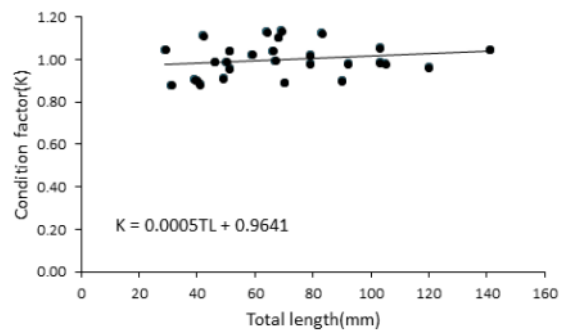
대륙송사리의 Length-weight relationship



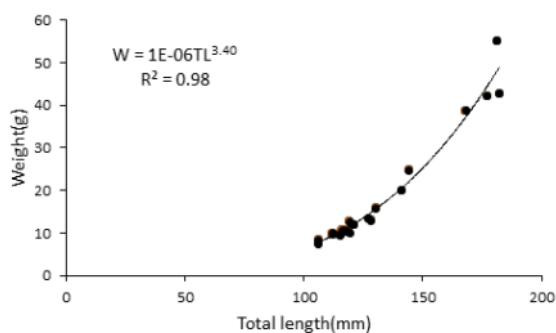
대륙송사리의 Condition factor 분석



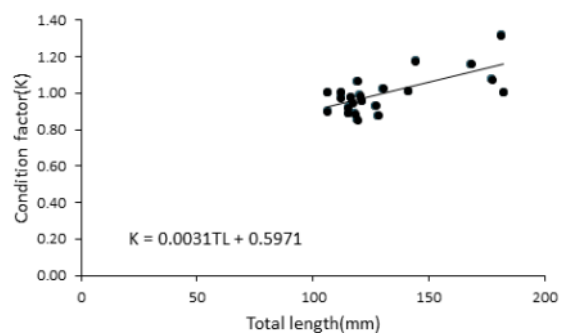
붕어의 Length-weight relationship



붕어의 Condition factor 분석



살치의 Length-weight relationship





살치의 Condition factor 분석

[그림 3.52] 태안화력발전소 출현한 주요 어류의 length-weight relationship 및 condition factor 분석

4.3 보령 화력발전소

4.3.1 조사지 개황

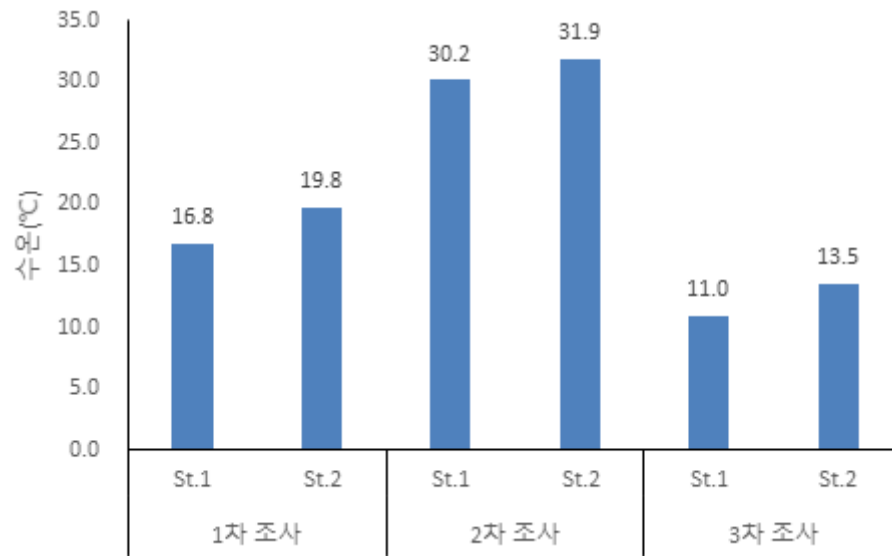
[표 3.58] 조사지점 개황

보령화력발전소			
St1	하천유형	평지형	
	하 폭(m)	40	
	수 폭(m)	5.0~16.0	
	수 심(m)	0.3~0.7	
	제 방	좌 : 흙+거석 우 : 흙+거석	
	탁 도	맑음	
St.2	토지이용 (제방인근)	좌 : 산지 우 : 석탄슬러지 야적장+농경지	
	오염원	슬러지 야적장, 농경지	
	하천유형	평지형	
	하 폭(m)	70	
	수 폭(m)	30	
	수 심(m)	0.5~1.6	
St.2	제 방	좌 : 거석 우 : 거석	
	탁 도	탁함	
	토지이용 (제방인근)	좌 : 산업단지 우 : 석탄슬러지 야적장+화력발전 소	
	오염원	슬러지 야적장+화력발전 소	

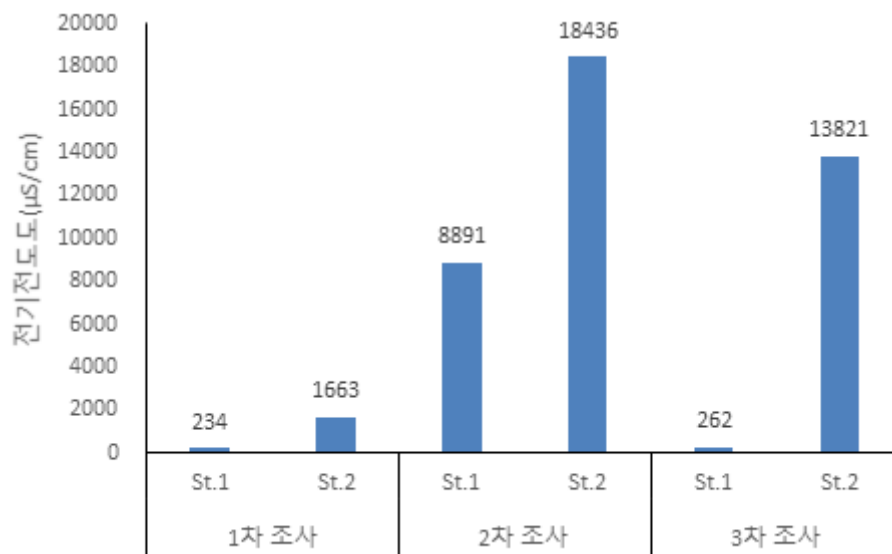
4.3.2 수질 분석 결과

- 조사기간 동안 보령화력발전소 지역의 수온을 측정한 결과 지점 1에서는 11.0~30.2℃로 평균 수온은 19.3℃였으며 지점 2에서는 13.5~31.9℃의 범위로 평균 수온은 21.7℃로 나타남

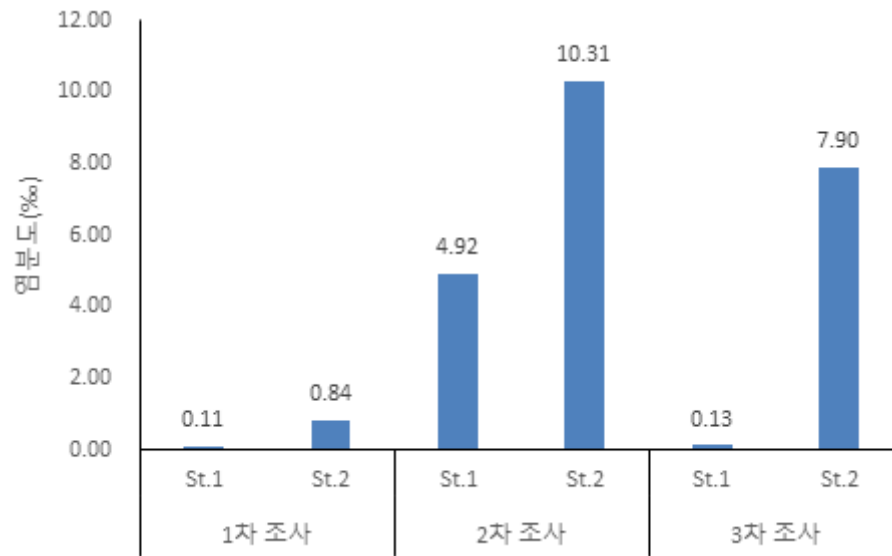
- 전기전도도는 지점 1에서 234-8,891 μ S/cm 범위였으며 평균 3,129 μ S/cm로 나타났고, 지점 2에서는 1,633-18,463 μ S/cm 범위로 나타나 평균 11,307 μ S/cm로 전기전도도가 높게 나타남
- 염분도는 지점 1에서 0.11-4.92 ‰로 평균 1.72‰이었고, 지점 2에서는 0.84-10.31 ‰로 평균 6.35‰로 나타남
- 용존산소량(DO)는 지점 1에서 3.94-11.90 mg/L의 범위로 평균 8.66 mg/L이었고, 지점 2에서는 7.71-10.94 mg/L의 범위로 평균 8.91 mg/L로 나타남
- 용존산소포화도(DO%)는 지점 1에서 53.7-122.7%로 평균 89.5% 였으며, 지점 2에서는 77.7-120.7%의 범위로 평균 105.2%로 나타남
- pH는 지점 1에서 8.67-9.18의 범위로 평균 8.85로 나타났고, 지점 2에서는 7.37-9.29의 범위로 평균 8.33으로 나타나 어류가 서식하는 데는 큰 영향이 없는 것으로 나타남
- 채수를 통한 수질을 분석한 결과 지점 1에서는 BOD 1.3 mg/L, COD 5.4 mg/L, TP 0.148 mg/L, TN 0.315 mg/L, NO₃⁻ 0.256 mg/L, Ca²⁺ 222.00 mg/, Mg²⁺ 91.65 mg/L, Na⁺ 1511.0 mg/L, Al³⁺ 0.03 mg/L, Mn²⁺ 불검출, Fe²⁺ 0.03 mg/L, K⁺ 71.48 mg/L, F⁻ 0.16 mg/L., Cl⁻ 2958.0 mg/L, SO₄⁻ 572 mg/L 으로 분석되었고, 지점 2에서는 BOD 4.1 mg/L, COD 8.5 mg/L, TP 0.116 mg/L, TN 1.616 mg/L, NO₃⁻ 1.029 mg/L, Ca²⁺ 261.90 mg/, Mg²⁺ 311.10 mg/L, Na⁺ 3051.0 mg/L, Al³⁺ 0.07 mg/L, Mn²⁺ 0.119 mg/L, Fe²⁺ 0.06 mg/L, K⁺ 126.20 mg/L, F⁻ 1.07 mg/L, Cl⁻ 5956.0 mg/L, SO₄⁻ 9.36 mg/L 등으로 나타나 보령화력발전소 주변의 경우 Mn²⁺ 가 높게 검출되어 석탄 슬러지 폐수의 영향을 받고 있는 것으로 판단됨



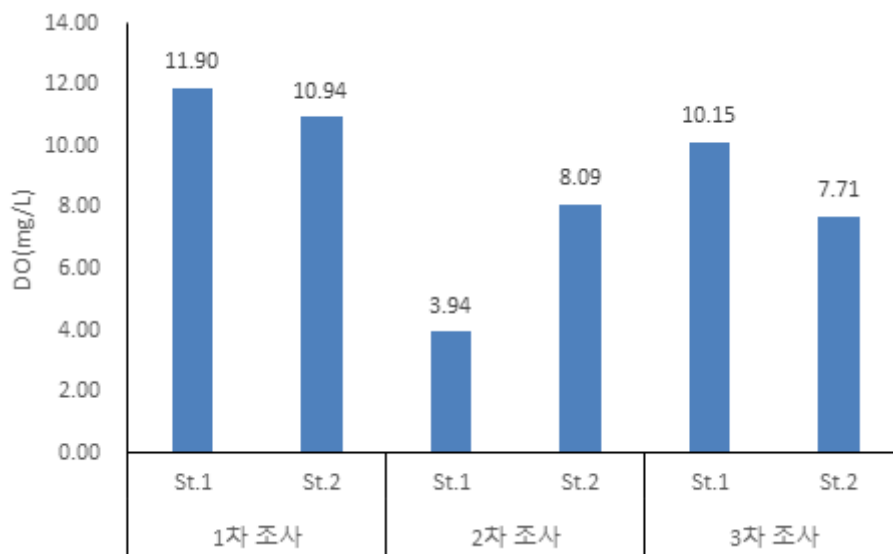
[그림 3.53] 보령화력발전소 주변 하천의 수온 변화



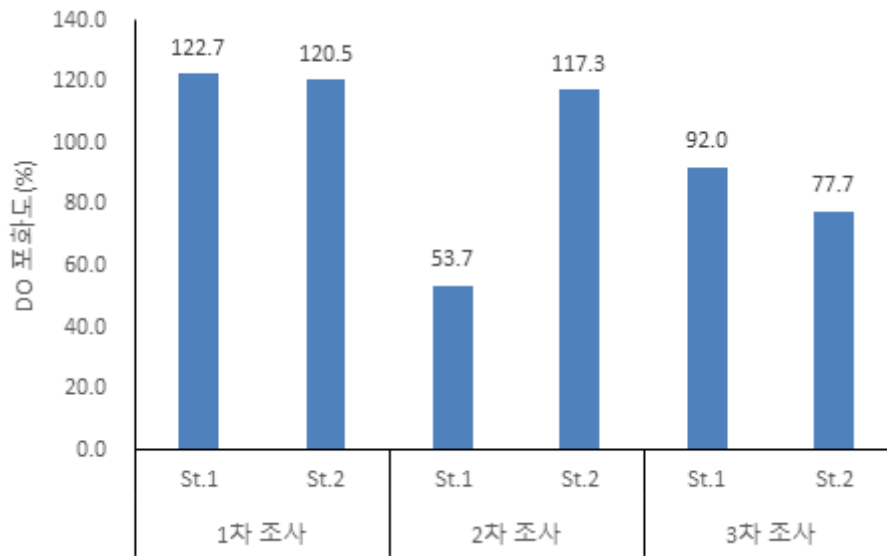
[그림 3.54] 보령화력발전소 주변 하천의 전기전도도 변화



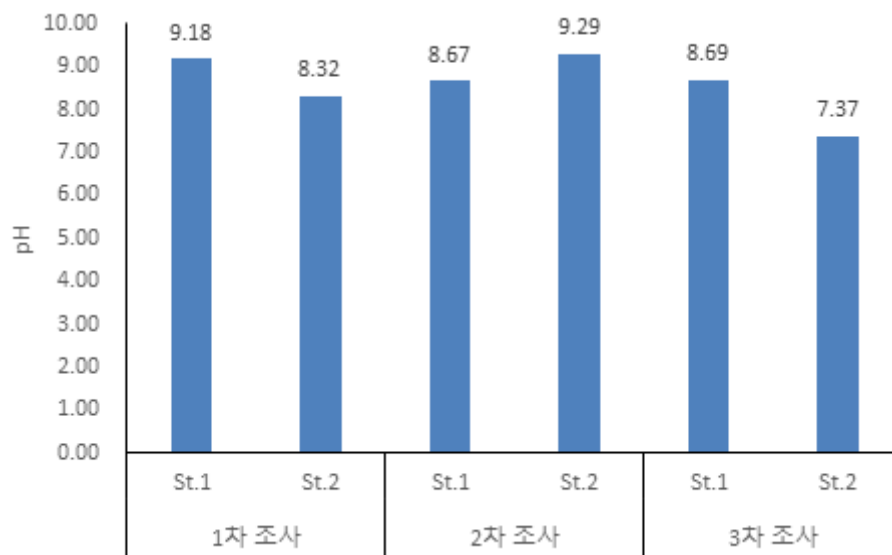
[그림 3.55] 보령화력발전소 주변 하천의 염분도 변화



[그림 3.56] 보령화력발전소 주변 하천의 DO 변화



[그림 3.57] 보령화력발전소 주변 하천의 DO 포화도 변화



[그림 3.58] 보령화력발전소 주변 하천의 pH 변화

[표 3.59] 보령화력발전소 주변 하천의 수질 정밀 분석 결과

수질 항목	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)
St.1	8.09	1.3	5.4	0.148	0.315	0.256	222.00	91.65
St.2	3.94	4.1	8.5	0.116	1.616	1.029	261.90	311.10
수질 항목	Al ³⁺ (mg/L)	Mn ²⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻ (mg/L)	
St.1	0.03	불검출	0.03	71.48	0.16	2958.0	572	
St.2	0.07	0.119	0.06	126.20	1.07	5956.0	9.36	

4.3.3 어류상 및 어류 군집

4.3.3.1 어류상

- 보령화력발전소 주변의 어류를 조사한 결과 1차 조사에서는 총 6과 13종 749개체가 출현하였고, 이중 법적보호종과 외래도입종은 출현하지 않았고, 한국고유종은 각시붕어 1종이 출현함
- 비교풍부도는 붕어가 68.36%로 가장 높게 나타났고, 다음으로는 대륙송사리 25.77%, 참붕어 1.60%, 꼭저구 1.20%, 버들붕어 0.67%, 민물검정망둑, 모치망둑, 미꾸리가 각각 0.53%, 밀어 0.27%, 동자개, 미꾸라지, 각시붕어, 왜물개가 각각 0.13%의 순으로 나타남
- 2차 조사 결과 총 8과 14종 194개체가 출현하였고, 법적보호종과 외래도입종은 출현하지 않았으며, 한국고유종은 얼룩동사리 1종이 출현함
- 비교풍부도는 붕어가 24.74%로 가장 높게 나타났고, 다음은 민물검정망둑 20.62%, 대륙송사리 13.40%, 참붕어 10.31%, 버들붕어 7.22%, 꼭저구 6.19%, 모치망둑 4.12%, 민물두줄망둑과 문절망둑이 각각 3.09%, 동자개와 미꾸리가 각각 2.06%,

밀어, 얼룩동사리, 숭어가 각각 1.03%의 순으로 나타남

- 3차 조사 결과 총 6과 12종 333개체가 출현하였고, 이중 법적보호종과 외래도입종은 출현하지 않았고, 한국고유종은 각시붕어 1종이 출현함
- 비교풍부도는 붕어가 47.75%로 가장 높게 나타났고, 다음은 대륙송사리 28.83%, 민물검정망둑 8.41%, 참붕어 3.60%, 숭어 3.30%, 문절망둑 2.10%, 꼭저구 1.80%, 버들붕어와 모치망둑이 각각 1.20%, 미꾸라지, 각시붕어, 왜몰개가 각각 0.60%의 순으로 나타남
- 1-3차의 어류조사를 종합한 결과 보령화력발전소 주변에서는 총 8과 17종 1,276개체의 어류가 출현하였고, 이중 법적보호종과 외래도입종은 출현하지 않았으며, 한국고유종은 각시붕어, 얼룩동사리 2종이 출현함
- 비교풍부도는 붕어가 56.35%로 가장 높게 나타났고, 대륙송사리 24.69%, 민물검정망둑 5.64%, 참붕어 3.45%, 꼭저구 2.12%, 버들붕어 1.80%, 모치망둑 1.25%, 문절망둑과 숭어가 각각 1.02%의 순으로 나타남. 비교풍부도가 1%미만인 희소종은 미꾸리, 민물두줄망둑, 동자개, 밀어, 미꾸라지, 각시붕어, 왜몰개, 얼룩동사리 등 8종임
- 어류 조사 결과 법적보호종은 출현하지 않았고 한국고유종의 비율이 낮았으며 출현종의 대부분이 수질오염에 내성이 강한 어종인 것으로 보임

[표 3.60] 보령화력발전소 주변의 1차 조사 어류상

학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
Aphyocypris chinensis	왜몰개	1		1	0.13
Carassius auratus	붕어	506	6	512	68.36
Pseudorasbora parva	참붕어	12		12	1.60
Rhodeus uyekii	각시붕어	1		1	0.13
COBITIDAE	미꾸리과				
Misgurnus anguillicaudatus	미꾸리	4		4	0.53
Misgurnus mizolepis	미꾸라지	1		1	0.13
BAGRIDAE	동자개과				
Pseudobagrus fulvidraco	동자개	1		1	0.13
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과				
Oryzias sinensis	대룩송사리	109	84	193	25.77
GOBIIDAE	망둑어과				
Gymnogobius urotaenia	꼭저구	2	7	9	1.20
Mugilogobius abei	모치망둑		4	4	0.53
Rhinogobius brunneus	밀어	2		2	0.27
Tridentiger brevispinis	민물검정망둑	1	3	4	0.53
OSPHRONEMIDAE	버들붕어과				
Macropodus ocellatus	버들붕어	5		5	0.67
과		6	3	6	
종		12	5	13	
개체수		645	104	749	

[표 3.61] 보령화력발전소 주변의 2차 조사 어류상

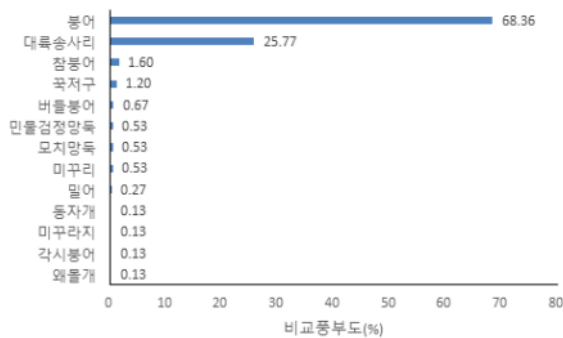
학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
<i>Carassius auratus</i>	붕어	32	16	48	24.74
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어	4	16	20	10.31
COBITIDAE	미꾸리과				
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	4		4	2.06
BAGRIDAE	동자개과				
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	동자개	4		4	2.06
MUGILIDAE	송어과				
<i>Mugil cephalus</i>	송어		2	2	1.03
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과				
<i>Oryzias sinensis</i>	대룩송사리		26	26	13.40
ODONTOBUTIDAE	동사리과				
<i>Odontobutis interrupta</i>	얼룩동사리	2		2	1.03
GOBIIDAE	망둑어과				
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	문절망둑		6	6	3.09
<i>Gymnogobius urotaenia</i>	꼭저구	12		12	6.19
<i>Mugilogobius abei</i>	모치망둑		8	8	4.12
<i>Rhinogobius brunneus</i>	밀어	2		2	1.03
<i>Tridentiger bifasciatus</i>	민물두줄망둑		6	6	3.09
<i>Tridentiger brevispinis</i>	민물검정망둑	24	16	40	20.62
OSPHRONEMIDAE	버들붕어과				
<i>Macropodus ocellatus</i>	버들붕어	14		14	7.22
과		6	4	8	
종		9	8	14	
개체수		98	96	194	

[표 3.62] 당진화력발전소 주변의 3차 조사 어류상

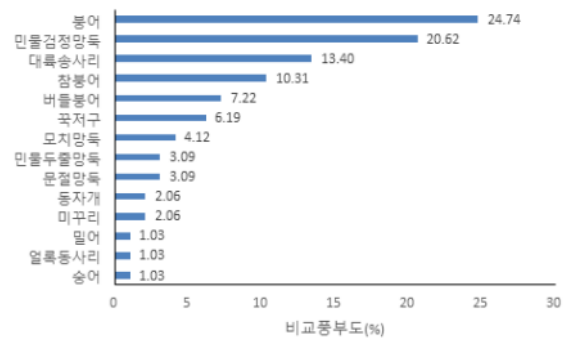
학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
Aphyocypris chinensis	왜몰개	2		2	0.60
Carassius auratus	붕어	130	29	159	47.75
Pseudorasbora parva	참붕어	4	8	12	3.60
Rhodeus uyekii	각시붕어	2		2	0.60
COBITIDAE	미꾸리과				
Misgurnus mizolepis	미꾸라지	2		2	0.60
MUGILIDAE	송어과				
Mugil cephalus	송어		11	11	3.30
ADRIANICHTHYOIDEAE	송사리과				
Oryzias sinensis	대룩송사리	54	42	96	28.83
GOBIIDAE	망둑어과				
Acanthogobius flavimanus	문절망둑		7	7	2.10
Gymnogobius urotaenia	꼭저구		6	6	1.80
Mugilogobius abei	모치망둑		4	4	1.20
Tridentiger brevispinis	민물검정망둑	18	10	28	8.41
OSPHRONEMIDAE	버들붕어과				
Macropodus ocellatus	버들붕어	4		4	1.20
과		5	4	6	
종		8	8	12	
개체수		216	117	333	

[표 3.63] 당진화력발전소 주변의 어류상 종합

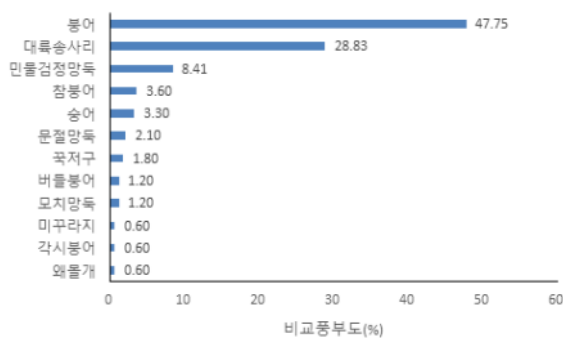
학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
Aphyocypris chinensis	왜물개	3		3	0.24
Carassius auratus	붕어	668	51	719	56.35
Pseudorasbora parva	참붕어	20	24	44	3.45
Rhodeus uyekii	각시붕어	3		3	0.24
COBITIDAE	미꾸리과				
Misgurnus anguillicaudatus	미꾸리	8		8	0.63
Misgurnus mizolepis	미꾸라지	3		3	0.24
BAGRIDAE	동자개과				
Pseudobagrus fulvidraco	동자개	5		5	0.39
MUGILIDAE	송어과				
Mugil cephalus	송어		13	13	1.02
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과				
Oryzias sinensis	대룩송사리	163	152	315	24.69
ODONTOBUTIDAE	동사리과				
Odontobutis interrupta	얼룩동사리	2		2	0.16
GOBIIDAE	망둑어과				
Acanthogobius flavimanus	문절망둑		13	13	1.02
Gymnogobius urotaenia	꼭저구	14	13	27	2.12
Mugilogobius abei	모치망둑		16	16	1.25
Rhinogobius brunneus	밀어	4		4	0.31
Tridentiger bifasciatus	민물두줄망둑		6	6	0.47
Tridentiger brevispinis	민물검정망둑	43	29	72	5.64
OSPHRONEMIDAE	버들붕어과				
Macropodus ocellatus	버들붕어	23		23	1.80
과		6	4	8	
종		13	9	17	
개체수		959	317	1276	



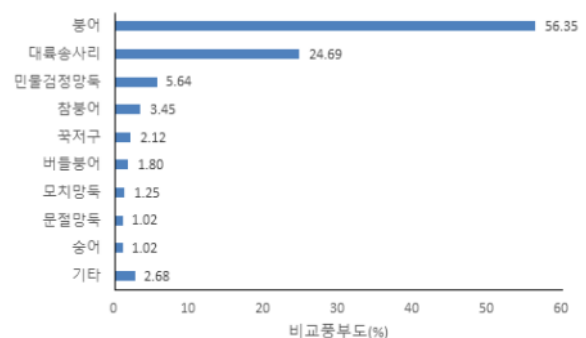
1차 조사



2차 조사



3차 조사



종합

[그림 3.59] 보령화력발전소 출현 어종의 비교풍부도

4.3.3.2 군집분석

- 1차 조사 결과 다양도는 지점 1에서 0.72, 지점 2에서 0.75로 나타났고, 균등도는 지점 1에서 0.29, 지점 2의 0.46이었으며, 종풍부도는 지점 1에서 1.70, 지점 2에서 0.86으로 나타났다. 우점도는 지점 1에서 0.95, 지점 2에서 0.88로 나타남. 우점종은 지점 1에서 붕어, 지점 2에서 대륙송사리로 나타났고, 아우점종은 지점 1에서 대륙송사리, 지점 2에서 꼭저구로 나타남
- 2차 조사 결과 다양도는 지점 1에서 1.80, 지점 2에서 1.88로 나타났고, 균등도는 지점 1에서 0.82, 지점 2에서 0.91이었으며, 종풍부도는 지점 1에서 1.74, 지점 2에서 1.53으로 나타남. 우점도는 지점 1에서 0.57, 지점 2에서 0.44로 나타남. 우점종은 지점 1에서 붕어, 지점 2에서 대륙송사리로 나타났고, 아우점종은 지점 1에서 민물검정망둑, 지점 2에서는 붕어로 나타남

- 3차 조사 결과 다양도는 지점 1에서 1.14, 지점 2에서는 1.77로 나타났고, 균등도는 지점 1에서 0.55, 지점 2에서 0.85였으며, 종풍부도는 지점 1에서 1.30, 지점 2에서 1.47로 나타났고, 우점도는 지점 1에서 0.85, 지점 2에서 0.61로 나타남. 우점종은 지점 1에서 붕어, 지점 2에서 대륙송사리로 나타났고, 아우점종은 지점 1에서 대륙송사리, 지점 2에서는 꼭저구로 나타남
- 1-3차 조사를 종합한 결과 다양도는 지점 1에서 1.08, 지점 2에서 1.68로 나타났고, 균등도는 지점1에서 0.42, 지점 2에서 0.76이었으며, 종풍부도는 지점 1에서 1.75, 지점 2에서 1.39이었음. 우점도는 지점 1에서 0.87, 지점 2에서 0.64로 나타남. 우점종은 지점 1에서 붕어, 지점 2에서는 대륙송사리였고, 아우점종은 지점 1에서 대륙송사리, 지점 2에서는 꼭저구로 나타남

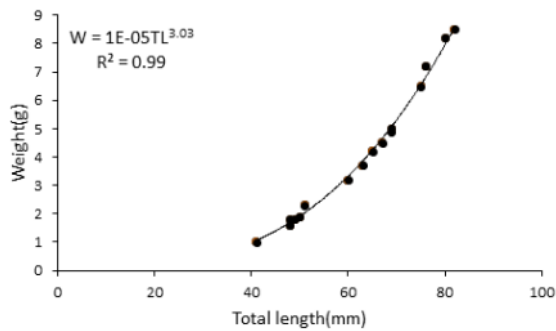
[표 3.64] 보령화력발전소 주변 어류의 군집지수

차수	지점	다양도	균등도	종풍부도	우점도	우점종	아우점종
1차조사	St.1	0.72	0.29	1.70	0.95	붕어	대륙송사리
	St.2	0.75	0.46	0.86	0.88	대륙송사리	꼭저구
2차조사	St.1	1.80	0.82	1.74	0.57	붕어	민물검정망둑
	St.2	1.88	0.91	1.53	0.44	대륙송사리	붕어
3차조사	St.1	1.14	0.55	1.30	0.85	붕어	대륙송사리
	St.2	1.77	0.85	1.47	0.61	대륙송사리	꼭저구
종합	St.1	1.08	0.42	1.75	0.87	붕어	대륙송사리
	St.2	1.68	0.76	1.39	0.64	대륙송사리	꼭저구

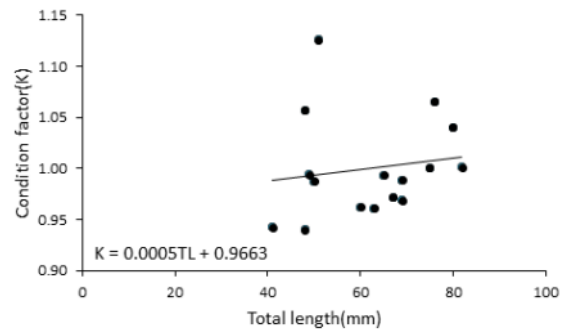
4.3.3.3 Length-weight relationship 및 condition factor(K) 분석

- 일반적으로 $TW=a(TL)^b$ 로 표현되는 전장과 체중의 관계식에서 상수 부분인 a값 보다는 지수 부분인 b값의 변화에 더 민감함. 따라서 동일 개체군의 성장 정도를 평가할 때 b값의 크기에 따라 시기별, 지역별 비교분석이 가능함

- 또한, Length-Weight Relationship과 함께 Condition factor(K)는 어류의 건강성 및 개체군 평가에서 광범위하게 사용되어왔다. 높은 비만도는 일반적으로 어류에 있어 풍부한 먹이원 유용을 반영하는 높은 에너지 축적으로 설명되고, 이는 특히 생활하수 및 유기물 오염으로 인한 지역에 서식하는 어류에서 많이 나타나기도함
- 반면에 영양결핍, 질병 또는 중금속에 의한 수질오염과 같은 경우 어류에 직간접적으로 영향을 주어 결과적으로 낮은 비만도를 보이기도함(Miller et al., 1992; Adams, 2002)
- 특히 오염원으로 인한 질병은 어류의 섭식 활동을 교란하여 빈약한 먹이 섭취를 유도하며 체내에서 면역시스템 내 추가적 에너지 소모 때문에 통해 체중감소로 이어져 상대적으로 낮은 비만도 나타냄(Schmitt and Dethloff, 2000)
- 보령화력발전소 주변 지역에서 우점종으로 출현한 붕어 개체군을 대상으로 Length-weight relationship 및 condition factor(K) 분석을 실시함
- 그 결과 붕어는 성장 정도를 나타내는 Length-weight relationship의 회귀계수(b)값이 3.03으로 나타났고, 비만화 정도를 나타내는 Condition factor(K)값의 기울기는 양(+)의 값을 보임
- 따라서 이와 같은 결과로 볼 때 보령화력발전소 주변의 붕어 개체군은 비교적 안정된 개체군을 유지하고 있는 것으로 판단됨



붕어의 Length-weight relationship



붕어의 Condition factor 분석

[그림 3.60] 보령화력발전소 출현한 주요 어류의 length-weight relationship 및 condition factor 분석

4.4 서천 화력발전소

4.4.1 조사지 개황

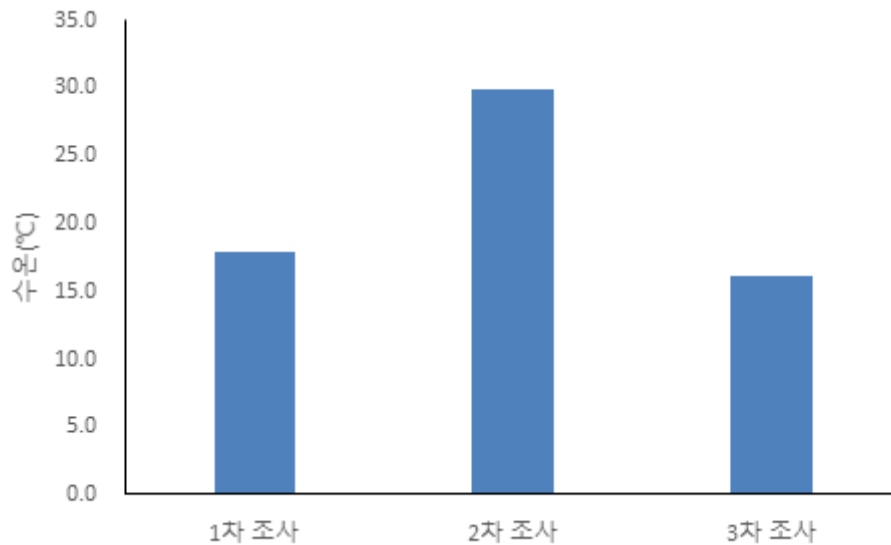
[표 3.65] 조사지점 개황

서천화력발전소			
하천유형	평지형		
하 폭(m)	32		
수 폭(m)	7.0~16.0		
수 심(m)	0.5~2.0		
St1	제 방	좌 : 거석 우: 콘크리트	
	탁 도	탁함	
	토지이용 (제방인근)	좌 : 발전소예정지 우 : 발전소	
	오염원	발전소	

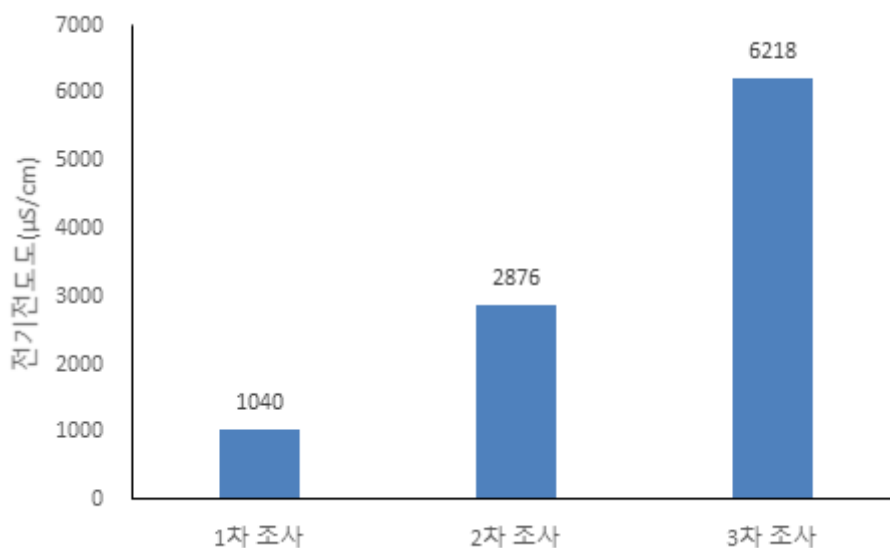
4.4.2 수질 분석 결과

- 조사기간 동안 태안화력발전소 지역의 수온을 측정한 결과 16.1-29.9로 평균 수온은 21.3℃로 나타남
- 전기전도도는 1040-6218 μ S/cm 범위였으며 평균 3378 μ S/cm로 나타남
- 염분도는 0.52-3.41 ‰로 평균 1.80 ‰로 나타남
- 용존산소량(DO)는 4.65-8.03 mg/L의 범위로 평균 6.41 mg/L로 나타남
- 용존산소포화도(DO%)는 42.8-89.0 ‰로 평균 74.1 ‰로 나타남

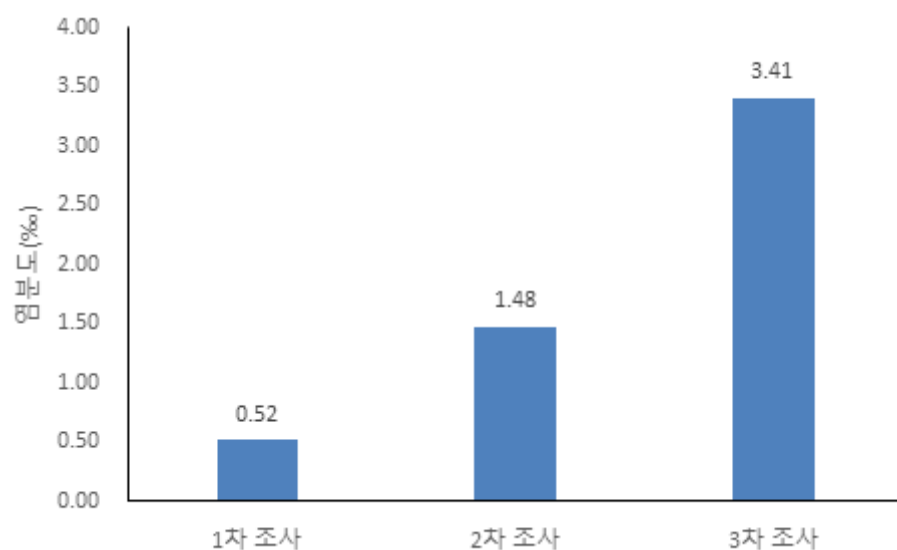
- pH는 8.01-9.18의 범위로 평균 8.53으로 나타남
- 채수를 통한 수질을 분석한 결과 BOD 4.6 mg/L, COD 5.9 mg/L, TP 0.075 mg/L, TN 0.721 mg/L, NO₃⁻ 0.532 mg/L, Ca²⁺ 78.96 mg/L, Mg²⁺ 49.27 mg/L, Na⁺ 272.50 mg/L, Al³⁺ 0.05 mg/L, Mn²⁺ 0.279 mg/L, Fe²⁺ 0.03 mg/L, K⁺ 17.64 mg/L, F⁻ 1.24 mg/L, Cl⁻ 923.5 mg/L, SO₄⁻ 176 mg/L로 분석됨



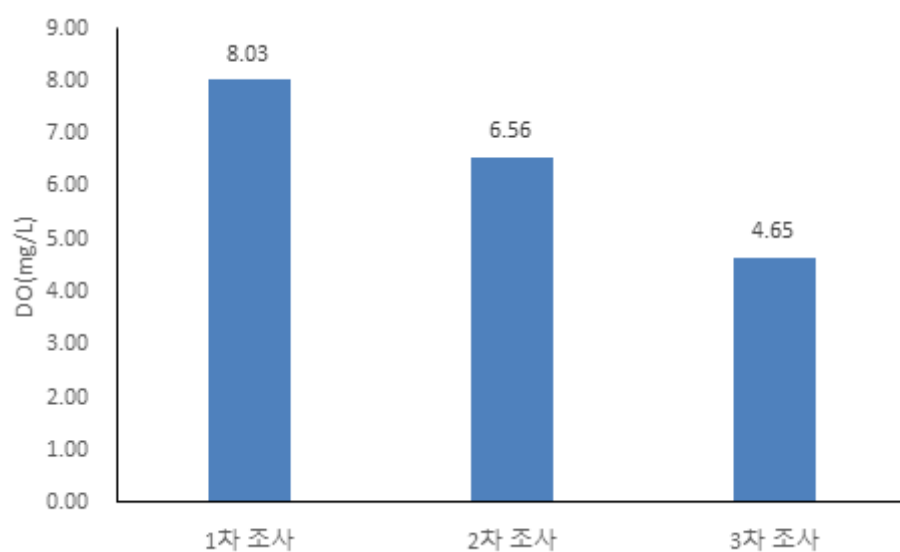
[그림 3.61] 서천화력발전소 주변 하천의 수온 변화



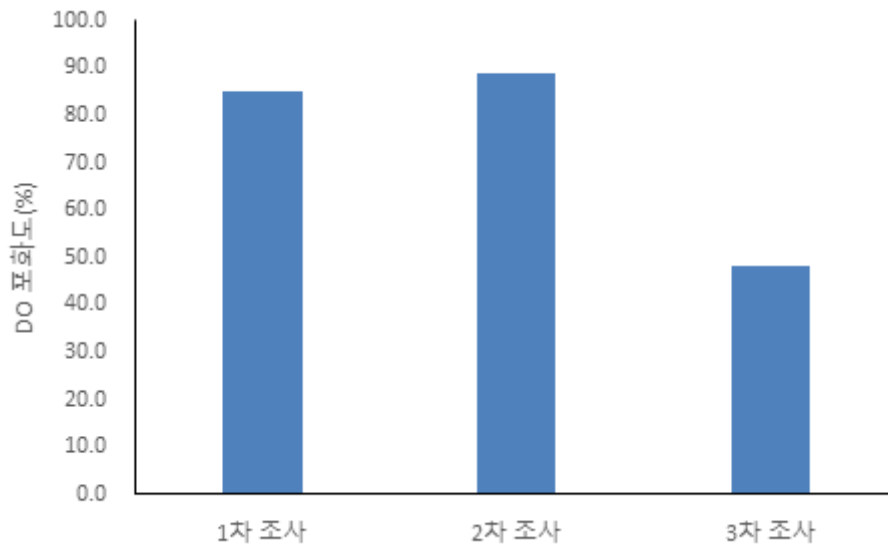
[그림 3.62] 서천화력발전소 주변 하천의 전기전도도 변화



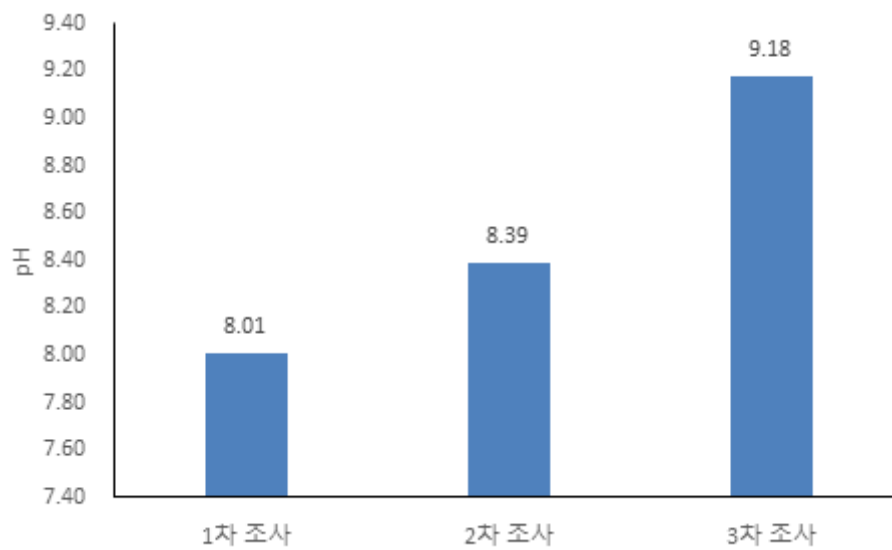
[그림 3.63] 서천화력발전소 주변 하천의 염분도 변화



[그림 3.64] 서천화력발전소 주변 하천의 DO 변화



[그림 3.65] 당진화력발전소 주변 하천의 DO 포화도 변화



[그림 3.66] 당진화력발전소 주변 하천의 pH 변화

[표 3.66] 서천화력발전소 주변 하천의 수질 정밀 분석 결과

수질 항목	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)
1	4.6	5.9	0.075	0.721	0.532	78.96	49.27	272.50
수질 항목	Al ³⁺ (mg/L)	Mn ²⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻ (mg/L)	
St.1	4.6	5.9	0.075	0.721	0.532	78.96	49.27	

4.4.3 어류상 및 어류 군집

4.4.3.1 어류상

- 서천화력발전소 주변의 어류를 조사한 결과 1차 조사에서는 총 2과 2종 45개체가 출현하였고, 이중 법적보호종 및 한국고유종, 외래도입어종은 출현하지 않았음
- 비교풍부도는 가승어가 66.67%로 가장 높게 나타났고, 다음으로 붕어가 33.33%로 나타남
- 2차 조사 결과 총 2과 2종 69개체가 출현하였고, 법적보호종 및 한국고유종, 외래도입어종은 출현하지 않았음
- 비교풍부도는 붕어가 66.67%로 가장 높게 나타났고, 다음은 가승어가 33.33%로 나타남
- 3차 조사 결과 총 2과 2종 79개체가 출현하였고, 적보호종 및 한국고유종, 외래도입어종은 출현하지 않았음
- 비교풍부도는 붕어가 64.56%로 가장 높게 나타났고, 다음은 가승어가 35.44%로 나타남
- 1-3차의 어류조사를 종합한 결과 서천화력발전소 주변에서는 총 2과 2종 193개체의 어류가 출현하였고, 법적보호종 및 한국고유종, 외래도입어종은 출현하지 않았음

○ 비교풍부도는 붕어가 65.80%로 가장 높게 나타났고, 다음은 가송어가 34.20%로 나타남

[표 3.67] 서천화력발전소 주변의 1차 조사 어류상

학명	국명	서천화력발전소	비교풍부도(%)
CYPRINIDAE	잉어과		
Carassius auratus	붕어	15	33.33
MUGILIDAE	송어과		
Chelon haematocheilus	가송어	30	66.67
과		2	
종		2	
개체수		45	

[표 3.68] 서천화력발전소 주변의 2차 조사 어류상

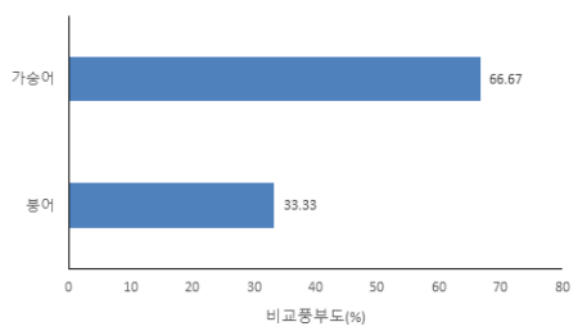
학명	국명	서천화력발전소	비교풍부도(%)
CYPRINIDAE	잉어과		
Carassius auratus	붕어	46	66.67
MUGILIDAE	송어과		
Chelon haematocheilus	가송어	23	33.33
과		2	
종		2	
개체수		69	

[표 3.69] 서천화력발전소 주변의 3차 조사 어류상

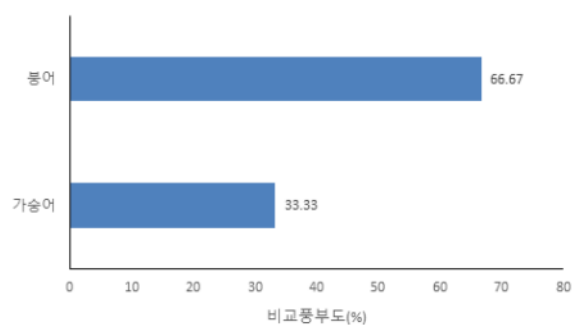
학명	국명	서천화력발전소	비교풍부도(%)
CYPRINIDAE	잉어과		
Carassius auratus	붕어	51	64.56
MUGILIDAE	송어과		
Chelon haematocheilus	가송어	28	35.44
과		2	
종		2	
개체수		79	

[표 3.70] 서천화력발전소 주변의 어류상 종합

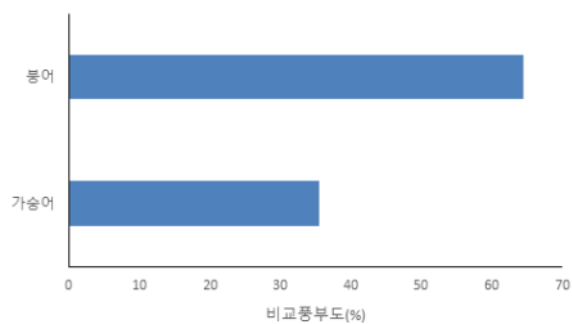
학명	국명	서천화력발전소	비교풍부도(%)
CYPRINIDAE	잉어과		
Carassius auratus	붕어	127	65.80
MUGILIDAE	송어과		
Chelon haematocheilus	가송어	66	34.20
과		2	
종		2	
개체수		193	



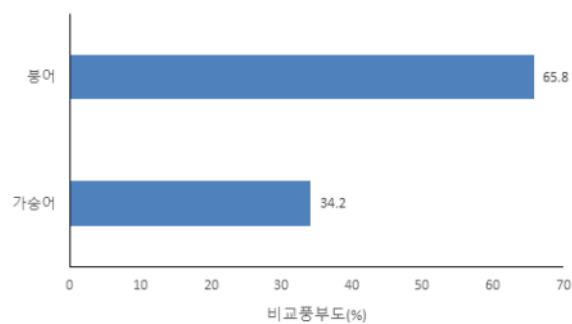
1차 조사



2차 조사



3차 조사



종합

[그림 3.67] 태안화력발전소 출현 어종의 비교풍부도

4.4.3.2 군집분석

- 1차 조사 결과 다양도는 0.64, 균등도는 0.92, 종풍부도는 0.26, 우점도는 1.00으로 나타났고 우점종은 가송어, 아우좁종은 붕어로 나타남

- 2차 조사 결과 다양도는 0.64, 균등도는 0.92, 종풍부도는 0.24, 우점도는 1.00으로 나타났고, 우점종은 붕어, 아우점종은 가승어였음
- 3차 조사 결과 다양도는 0.65, 균등도는 0.94, 종풍부도는 0.23, 우점도는 1.00으로 나타났고, 우점종은 붕어, 아우점종은 가승어였음
- 1-3차 조사를 종합한 결과 다양도는 0.64, 균등도는 0.93, 종풍부도는 0.19, 우점도는 1.00으로 나타났고, 우점종은 붕어, 아우점종은 가승어로 나타남

[표 3.71] 서천화력발전소 주변 어류의 군집지수

차수	다양도	균등도	종풍부도	우점도	우점종	아우점종
1차조사	0.64	0.92	0.26	1.00	가승어	붕어
2차조사	0.64	0.92	0.24	1.00	붕어	가승어
3차조사	0.65	0.94	0.23	1.00	붕어	가승어
종합	0.64	0.93	0.19	1.00	붕어	가승어

4.5 소근천(대조하천)

4.5.1 조사지 개황

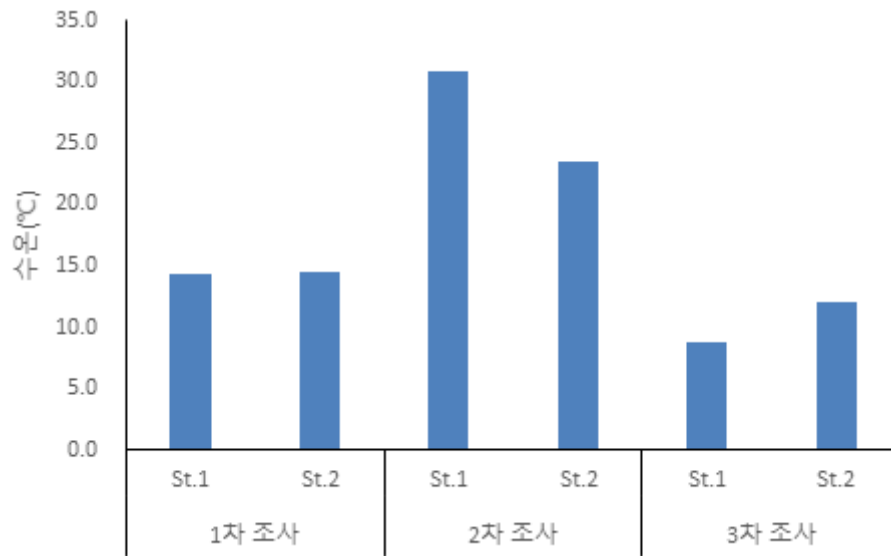
[표 3.72] 조사지점 개황

소근천(대조하천)			
St1	하천유형	평지형	
	하 폭(m)	15	
	수 폭(m)	10	
	수 심(m)	0.5~2.0	
	제 방	좌 : 콘크리트 우 : 콘크리트	
	탁 도	탁함	
	토지이용 (제방인근)	좌 : 농경지 우 : 농경지	
	오염원	농경지, 인가	
St.2	하천유형	평지형	
	하 폭(m)	40	
	수 폭(m)	15~30	
	수 심(m)	1.2~2.0	
	제 방	좌 : 거석 우 : 돌+콘크리트	
	탁 도	탁함	
	토지이용 (제방인근)	좌 : 농경지 우 : 산지	
	오염원	농경지, 인가	

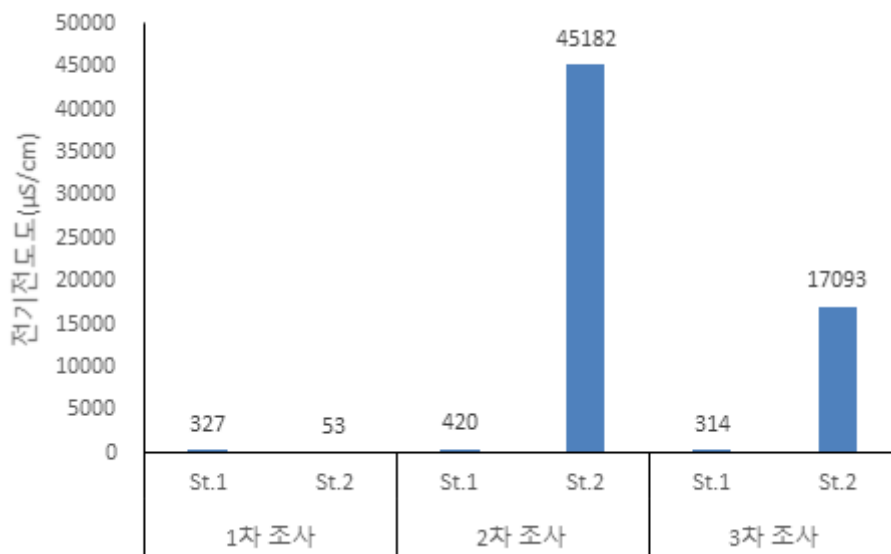
4.5.2 수질 분석 결과

- 조사기간 동안 소근천(대조하천)의 수온을 측정한 결과 지점 1에서는 8.7~30.8℃로 평균 수온은 18.0℃였으며 지점 2에서는 12.1~23.5℃의 범위로 평균 수온은 16.7℃로 나타남

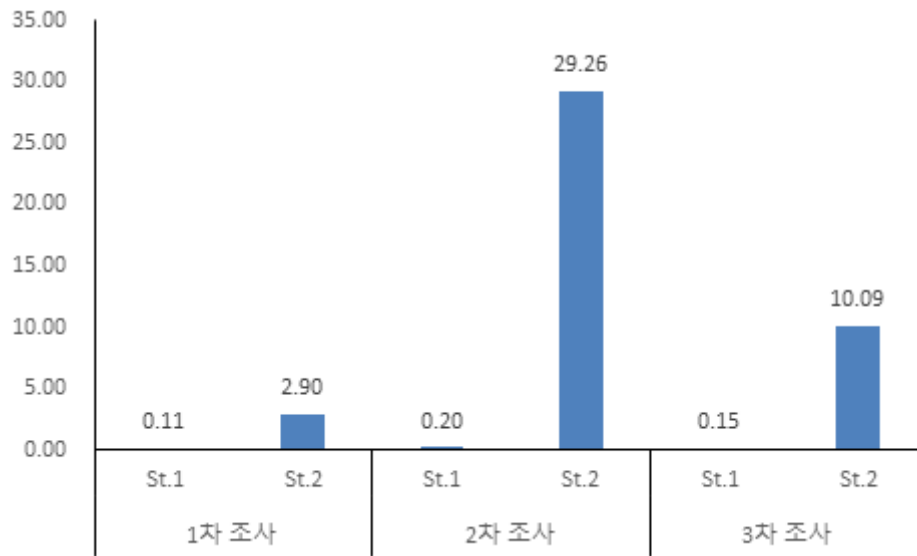
- 전기전도도는 지점 1에서 314–420 μ S/cm 범위였으며 평균 353.7 μ S/cm로 나타났고, 지점 2에서는 53–45182 μ S/cm 범위로 나타나 평균 20776 μ S/cm로 전기전도도가 높게 나타남
- 염분도는 지점 1에서 0.11–0.20 ‰로 평균 0.20 ‰이었고, 지점 2에서는 2.90–29.26 ‰로 평균 14.08‰로 나타남. 따라서 지점 1은 담수 지역 이었고, 지점 2는 해수의 영향을 받는 기수지역으로 나타남
- 용존산소량(DO)는 지점 1에서 4.95–12.06 mg/L의 범위로 평균 9.10 mg/L이었고, 지점 2에서는 6.14–11.07 mg/L의 범위로 평균 9.15 mg/L로 나타남
- 용존산소포화도(DO%)는 지점 1에서 66.5–109.3%로 평균 93.2%였으며, 지점 2에서는 85.6–110.5%의 범위로 평균 99.2%로 나타남
- pH는 지점 1에서 8.24–9.62의 범위로 평균 8.80으로 나타났고, 지점 2에서는 8.29–8.56의 범위로 평균 8.43으로 나타남
- 채수를 통한 수질을 분석한 결과 지점 1에서는 BOD 7.5 mg/L, COD 11.7 mg/L, TP 0.184 mg/L, TN 2.367 mg/L, NO₃⁻ 2.128 mg/L, Ca²⁺ 19.30 mg/L, Mg²⁺ 10.24 mg/L, Na⁺ 47.02 mg/L, Al³⁺ 0.12 mg/L, Mn²⁺ 0.121 mg/L, Fe²⁺ 0.10 mg/L, K⁺ 8.42 mg/L, F⁻ 0.56 mg/L, Cl⁻ 70.9 mg/L, SO₄⁻ 17 mg/L로 분석되었고, 지점 2에서는 BOD 0.9 mg/L, COD 4.2 mg/L, TP 0.031mg/L, TN 0.203 mg/L, NO₃⁻ 0.181 mg/L, Ca²⁺ 324.6 mg/L, Mg²⁺ 1223.0 mg/L, Na⁺ 9555.0 mg/L, Al³⁺ 0.05 mg/L, Mn²⁺ 불검출, Fe²⁺ 0.01 mg/L, K⁺ 396.35 mg/L, F⁻ 4.48 mg/L, Cl⁻ 18750 mg/L, SO₄⁻ 2584 mg/L 등으로 나타남



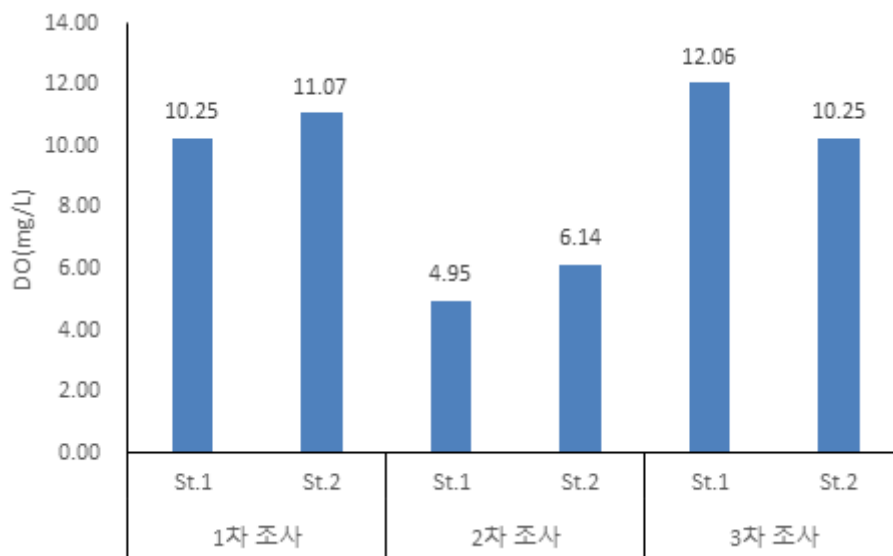
[그림 3.68] 소근천의 수온 변화



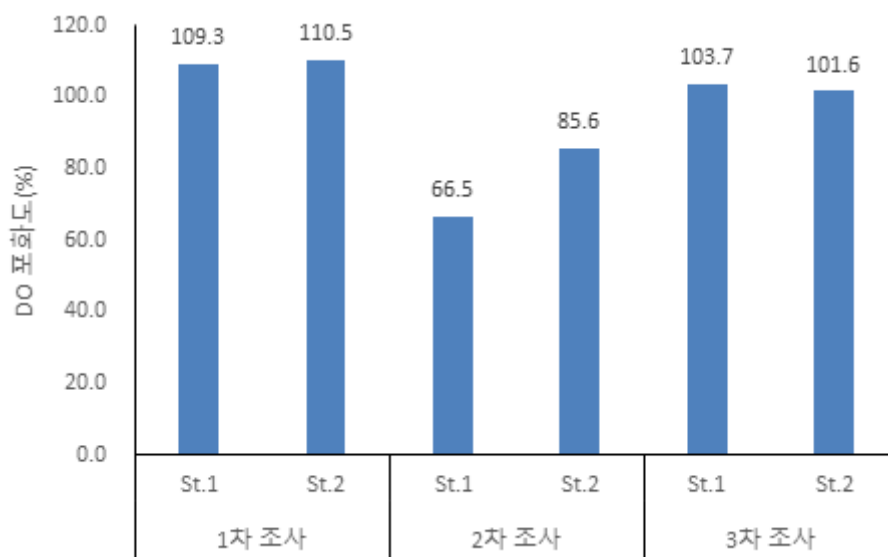
[그림 3.69] 소근천의 수온 변화



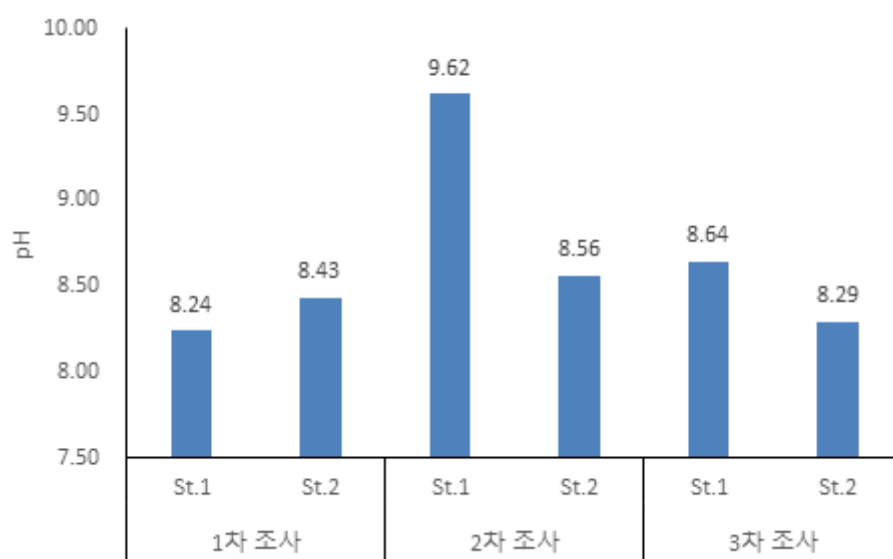
[그림 3.70] 소근천의 염분도 변화



[그림 3.71] 소근천의 DO 변화



[그림 3.72] 소근천의 DO 포화도 변화



[그림 3.73] 소근천의 pH 변화

[표 3.73] 소근천의 수질 정밀 분석 결과

수질 항목	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)
St.1	1.8	8.8	0.036	0.579	0.314	226.30	116.70	1094.0
St.2	15.5	16.3	0.293	3.765	2.654	76.65	125.40	1001.0
수질 항목	Al ³⁺ (mg/L)	Mn ²⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻ (mg/L)	
St.1	0.05	0.028	불검출	57.31	1.18	4300.0	11.40	
St.2	0.11	0.528	0.31	60.16	0.83	2005.3	254	

4.5.3 어류상 및 어류 군집

4.5.3.1 어류상

- 소근천의 어류를 조사한 결과 1차 조사에서는 총 3과 7종 108개체가 출현하였고, 법적보호종 및 한국고유종, 외래도입어종은 출현하지 않았음
- 비교풍부도는 민물두줄망둑이 27.78%로 가장 높게 나타났고, 다음으로는 흰발망둑 25.93%, 붕어 19.44%, 민물검정망둑 14.81%, 가숭어 7.41%, 송어 3.70%, 날망둑 0.93%의 순으로 나타남
- 2차 조사 결과 총 2과 4종 56개체가 출현하였고, 법적보호종 및 한국고유종, 외래도입어종은 출현하지 않았음
- 비교풍부도는 대륙송사리가 78.57%로 가장 높게 나타났고, 다음은 민물두줄망둑 14.29%, 민물검정망둑과 문절망둑이 각각 3.57%의 순으로 나타남
- 3차 조사 결과 총 2과 3종 36개체가 출현하였고, 법적보호종 및 한국고유종, 외래도입어종은 출현하지 않았음

- 비교풍부도는 대륙송사리가 83.33%로 가장 높게 나타났고, 다음은 민물두줄망둑 11.11%, 문절망둑 5.56%의 순으로 나타남.
- 1-3차의 어류조사를 종합한 결과 소근천에서는 총 4과 9종 200개체의 어류가 출현하였고, 법적보호종 및 한국고유종, 외래도입어종은 출현하지 않았음
- 비교풍부도는 대륙송사리가 37.00%로 가장 높게 나타났고, 민물두줄망둑 21.00%, 흰발망둑 14.00%, 붕어 10.50%, 민물검정망둑 9.00%, 가숭어 4.00%, 문절망둑과 숭어가 각각 2.00%, 날망둑 0.50%의 순으로 나타남
- 어류 조사 결과 법적보호종은 출현하지 않았고 한국고유종의 비율이 낮았으며 출현종의 대부분이 수질오염에 내성이 강한 어종인 것으로 보임

[표 3.74] 소근천의 1차 조사 어류상

학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
<i>Carassius auratus</i>	붕어	14	7	21	19.44
MUGILIDAE	숭어과				
<i>Chelon haematocheilus</i>	가숭어		8	8	7.41
<i>Mugil cephalus</i>	숭어		4	4	3.70
GOBIIDAE	망둑어과				
<i>Acanthogobius lactipes</i>	흰발망둑		28	28	25.93
<i>Gymnogobius breunigii</i>	날망둑		1	1	0.93
<i>Tridentiger bifasciatus</i>	민물두줄망둑		30	30	27.78
<i>Tridentiger brevispinis</i>	민물검정망둑		16	16	14.81
과		1	3	3	
종		1	7	7	
개체수		14	94	108	

[표 3.75] 소근천의 2차 조사 어류상

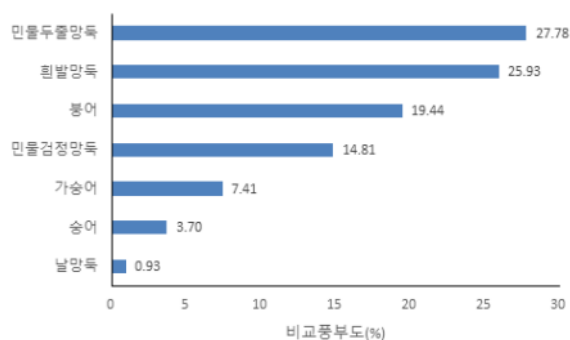
학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과				
Oryzias sinensis	대륙송사리		44	44	78.57
GOBIIDAE	망둑어과				
Tridentiger bifasciatus	민물두줄망둑		8	8	14.29
Tridentiger brevispinis	민물검정망둑		2	2	3.57
과			2	2	
종			4	4	
개체수			56	56	

[표 3.76] 소근천의 3차 조사 어류상

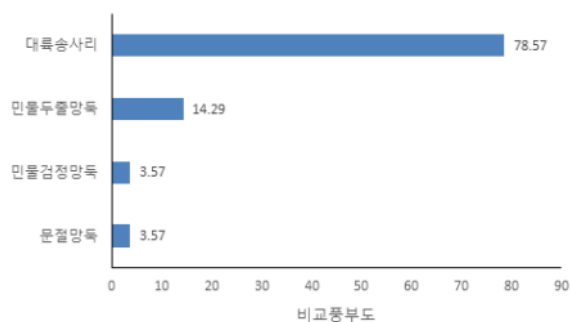
학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과				
Oryzias sinensis	대륙송사리		30	30	83.33
GOBIIDAE	망둑어과				
Acanthogobius flavimanus	문절망둑		2	2	5.56
Tridentiger bifasciatus	민물두줄망둑		4	4	11.11
과			2	2	
종			3	3	
개체수			36	36	

[표 3.77] 소근천의 어류상 종합

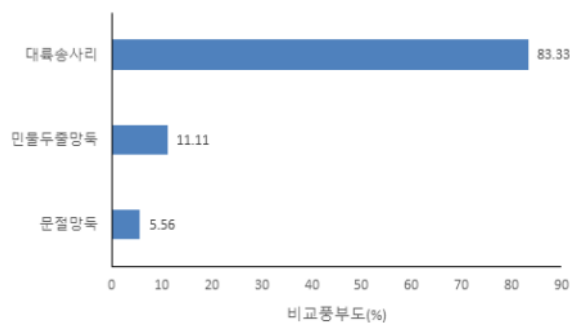
학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
Carassius auratus	붕어	14	7	21	10.50
MUGILIDAE	송어과				
Chelon haematocheilus	가송어		8	8	4.00
Mugil cephalus	송어		4	4	2.00
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과				
Oryzias sinensis	대륙송사리		74	74	37.00
GOBIIDAE	망둑어과				
Acanthogobius flavimanus	문절망둑		4	4	2.00
Acanthogobius lactipes	흰발망둑		28	28	14.00
Tridentiger bifasciatus	민물두줄망둑		42	42	21.00
Tridentiger brevispinis	민물검정망둑		18	18	9.00
과			2	2	
종		1	9	9	
개체수		14	186	200	



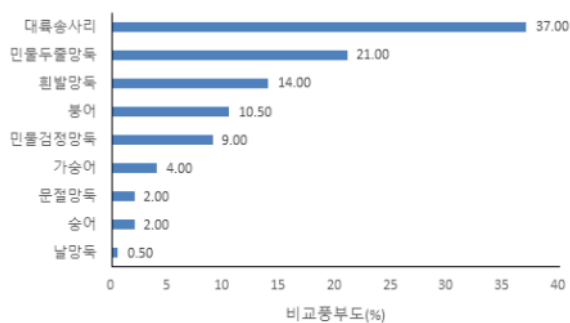
1차 조사



2차 조사



3차 조사



종합

[그림 3.74] 소근천 출현 어종의 비교풍부도

4.5.3.2 군집분석

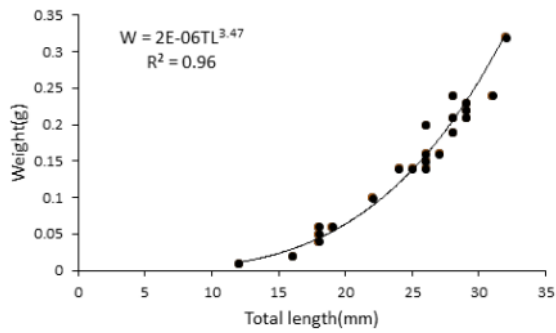
- 소근천의 경우 지점 1에서 조사시기별로 출현 어종수가 1종이거나 출현종이 없어 군집지수를 산출할 수 없었음
- 1차 조사 결과 지점 2의 다양도는 1.61, 균등도는 0.83, 종풍부도는 1.32, 우점도는 0.62로 나타났고, 우점종은 민물두줄망둑, 아우점종은 흰발망둑이었음
- 2차 조사 결과 지점 2의 다양도는 0.71, 균등도는 0.51, 종풍부도는 0.75, 우점도는 0.93으로 나타났고, 우점종은 대륙송사리, 아우점종은 민물두줄망둑이었음
- 3차 조사 결과 지점 2의 다양도는 0.56, 균등도는 0.51, 종풍부도는 0.56, 우점도는 0.94로 나타났고, 우점종은 민물두줄망둑, 아우점종은 흰발망둑이었음
- 1-3차 조사를 종합한 결과 지점 2의 다양도는 1.67, 균등도는 0.76, 종풍부도는 1.53, 우점도는 0.62로 나타났고, 우점종은 민물두줄망둑, 아우점종은 흰발망둑이었음

[표 3.78] 소근천에서 출현한 어류의 군집지수

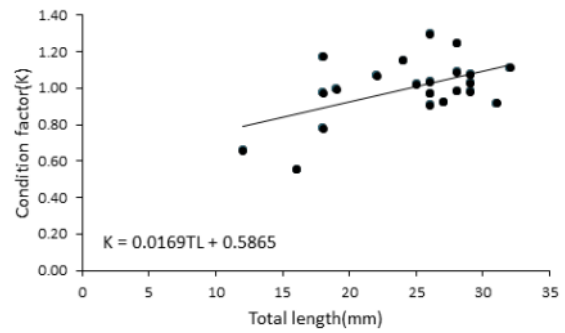
차수	지점	다양도	균등도	종풍부도	우점도	우점종	아우점종
1차조사	St.1	-	-	-	-	붕어	-
	St.2	1.61	0.83	1.32	0.62	민물 두줄망둑	흰발망둑
2차조사	St.1	-	-	-	-	-	-
	St.2	0.71	0.51	0.75	0.93	대륙 송사리	민물 두줄망둑
3차조사	St.1	-	-	-	-	붕어	-
	St.2	0.56	0.51	0.56	0.94	민물 두줄망둑	흰발망둑
종합	St.1	-	-	-	-	붕어	-
	St.2	1.67	0.76	1.53	0.62	민물 두줄망둑	흰발망둑

4.5.3.3 Length-weight relationship 및 condition factor(K) 분석

- 일반적으로 $TW=a(TL)^b$ 로 표현되는 전장과 체중의 관계식에서 상수 부분인 a 값 보다는 지수 부분인 b 값의 변화에 더 민감하다. 따라서 동일 개체군의 성장 정도를 평가할 때 b 값의 크기에 따라 시기별, 지역별 비교분석이 가능해짐
- 또한, Length-Weight Relationship과 함께 Condition factor(K)는 어류의 건강성 및 개체군 평가에서 광범위하게 사용되어왔다. 높은 비만도는 일반적으로 어류에 있어 풍부한 먹이원 유용을 반영하는 높은 에너지 축적으로 설명되고, 이는 특히 생활하수 및 유기물 오염으로 인한 지역에 서식하는 어류에서 많이 나타나기도함
- 반면에 영양결핍, 질병 또는 중금속에 의한 수질오염과 같은 경우 어류에 직간접적으로 영향을 주어 결과적으로 낮은 비만도를 보이기도함(Miller et al., 1992; Adams, 2002)
- 특히 오염원으로 인한 질병은 어류의 섭식 활동을 교란하여 빈약한 먹이 섭취를 유도하며 체내에서 면역시스템 내 추가적 에너지 소모 때문에 통해 체중감소로 이어져 상대적으로 낮은 비만도 나타냄(Schmitt and Dethloff, 2000)
- 소근천에서 우세종으로 출현한 대륙송사리 개체군을 대상으로 Length-weight relationship 및 condition factor(K) 분석을 실시함
- 그 결과 대륙송사리는 성장 정도를 나타내는 Length-weight relationship의 회귀계수(b)값이 3.47로 나타났고, 비만화 정도를 나타내는 Condition factor(K)값의 기울기는 양(+)의 값을 보임
- 따라서 이와 같은 결과로 볼 때 소근천의 대륙송사리 개체군은 비교적 안정된 개체군을 유지하고 있는 것으로 판단됨



대륙송사리의 Length-weight relationship



대륙송사리의 Condition factor 분석

[그림 3.75] 소근천에서 출현한 대륙송사리의 length-weight relationship 및 condition factor 분석

4.6 송천천(대조하천)

4.6.1 조사지 개황

[표 3.79] 조사지점 개황

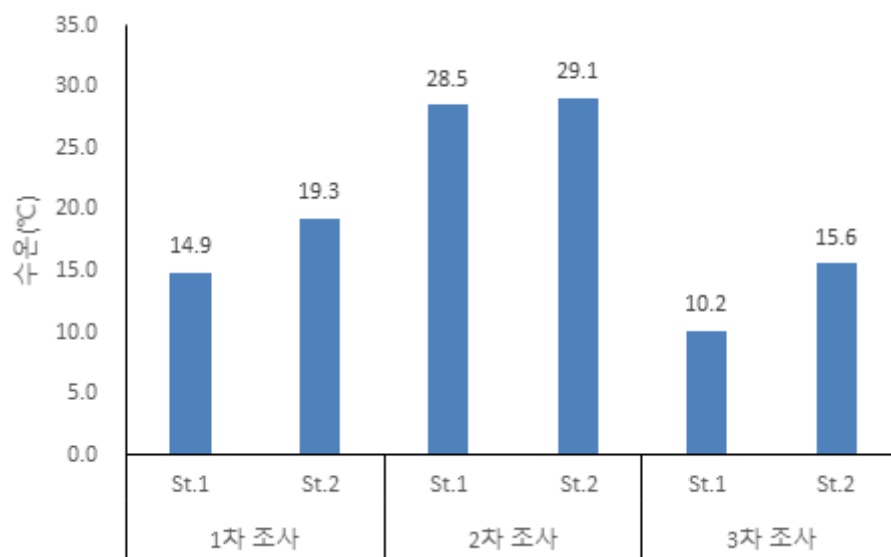
송천천(대조하천)		
St1	하천유형	평지형
	하 폭(m)	25
	수 폭(m)	4.0~16.0
	수 심(m)	0.3~1.5
	제 방	좌 : 인공(흙) 우: 인공(흙)
	탁 도	탁함
	토지이용 (제방인근)	좌 : 농경지 우 : 농경지
	오염원	농경지, 민가
St.2	하천유형	평지형
	하 폭(m)	85
	수 폭(m)	8.0~70
	수 심(m)	0.5~2.0
	제 방	좌 : 거석 우 : 거석
	탁 도	탁함
	토지이용 (제방인근)	좌 : 농경지 우 : 농경지
	오염원	농경지, 민가



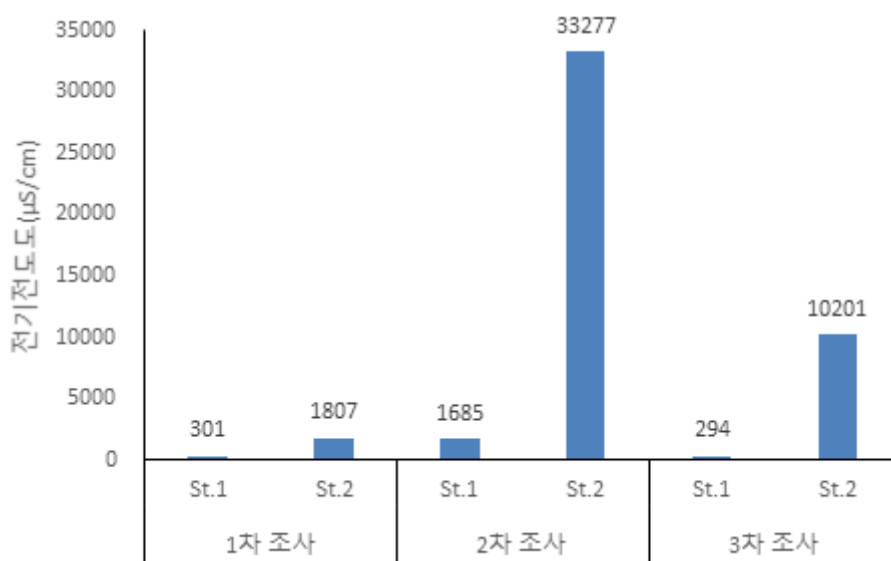
4.6.2 수질 분석 결과

- 조사기간 동안 송천천의 수온을 측정한 결과 지점 1에서는 10.2~28.5℃로 평균 수온은 17.9℃였으며 지점 2에서는 15.6~29.1℃의 범위로 평균 수온은 21.3℃로 나타남

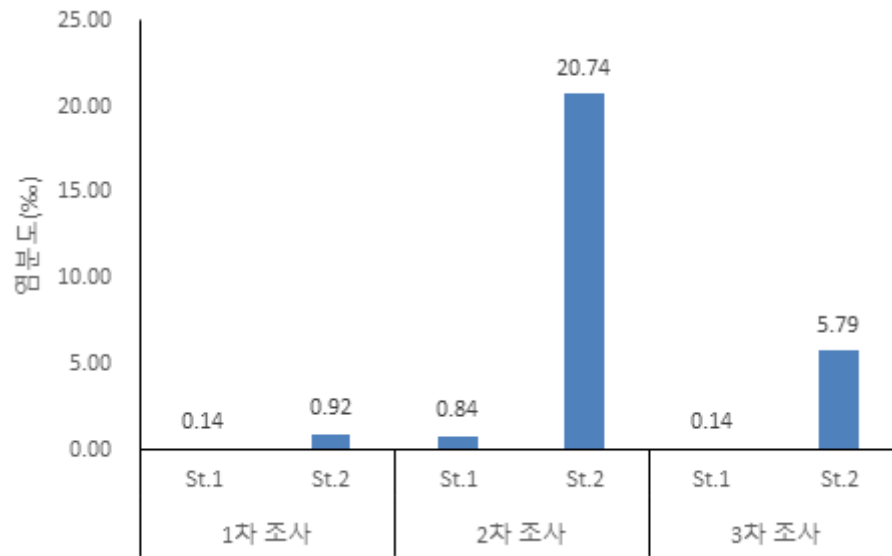
- 전기전도도는 지점 1에서 294–1685 μ S/cm 범위였으며 평균 760 μ S/cm로 나타났고, 지점 2에서는 1807–33277 μ S/cm 범위로 나타나 평균 15095 μ S/cm로 전기전도도가 높게 나타남
- 염분도는 지점 1에서 0.14–0.84 ‰로 평균 0.37 ‰이었고, 지점 2에서는 0.92–20.74 ‰로 평균 9.15 ‰로 나타남
- 용존산소량(DO)는 지점 1에서 5.08–13.21 mg/L의 범위로 평균 9.57 mg/L이었고, 지점 2에서는 4.19–13.80 mg/L의 범위로 평균 9.73 mg/L로 나타남
- 용존산소포화도(DO%)는 지점 1에서 65.8–130.8 ‰로 평균 96.4 ‰였으며, 지점 2에서는 61.5–150.5 ‰의 범위로 평균 109.4 ‰로 나타남
- pH는 지점 1에서 8.31–8.47의 범위로 평균 8.38로 나타났고, 지점 2에서는 7.91–8.85의 범위로 평균 8.24로 나타나 어류가 서식하는 데는 큰 영향이 없는 것으로 나타남
- 채수를 통한 수질을 분석한 결과 지점 1에서는 BOD 5.4 mg/L, COD 10.2 mg/L, TP 0.209 mg/L, TN 2.164 mg/L, NO₃⁻ 1.471 mg/L, Ca²⁺ 37.06 mg/L, Mg²⁺ 31.66 mg/L, Na⁺ 240.60 mg/L, Al³⁺ 0.04 mg/L, Mn²⁺ 0.048 mg/L, Fe²⁺ 0.23 mg/L, K⁺ 21.05 mg/L, F⁻ 0.44 mg/L, Cl⁻ 460.2 mg/L, SO₄⁻ 68 mg/L로 분석되었고, 지점 2에서는 BOD 1.7 mg/L, COD 6.0 mg/L, TP 0.100 mg/L, TN 0.783 mg/L, NO₃⁻ 0.338 mg/L, Ca²⁺ 259.60 mg/L, Mg²⁺ 6945.0 mg/L, Na⁺ 0.17 mg/L, Al³⁺ 0.042 mg/L, Mn²⁺ 0.14 mg/L, Fe²⁺ 295.85 mg/L, K⁺ 3.84 mg/L, F⁻ 3.84 mg/L, Cl⁻ 13420 mg/L, SO₄⁻ 1820 mg/L 등으로 나타남



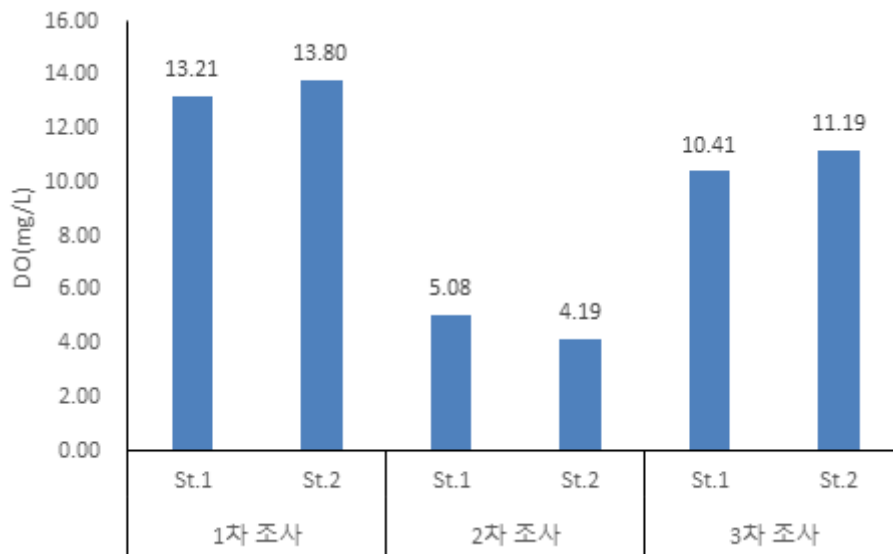
[그림 3.76] 송천천의 수온 변화



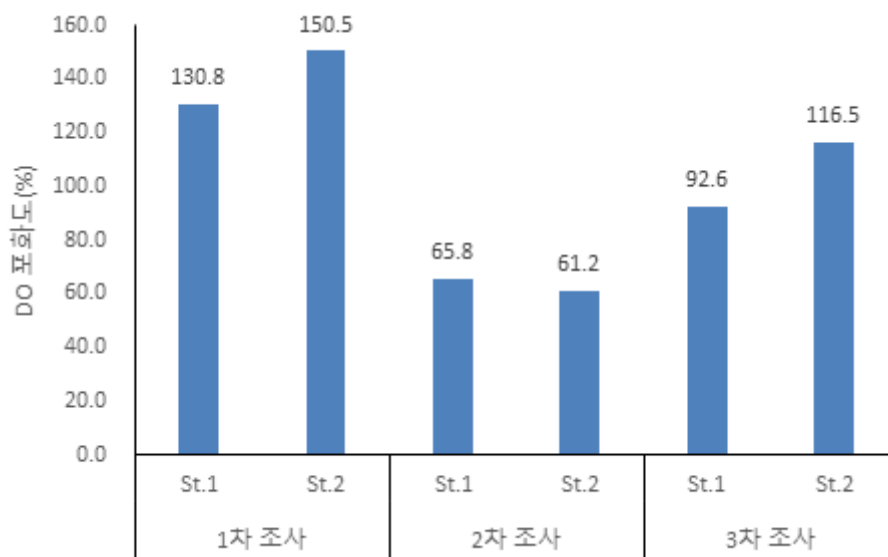
[그림 3.77] 송천천의 전기전도도 변화



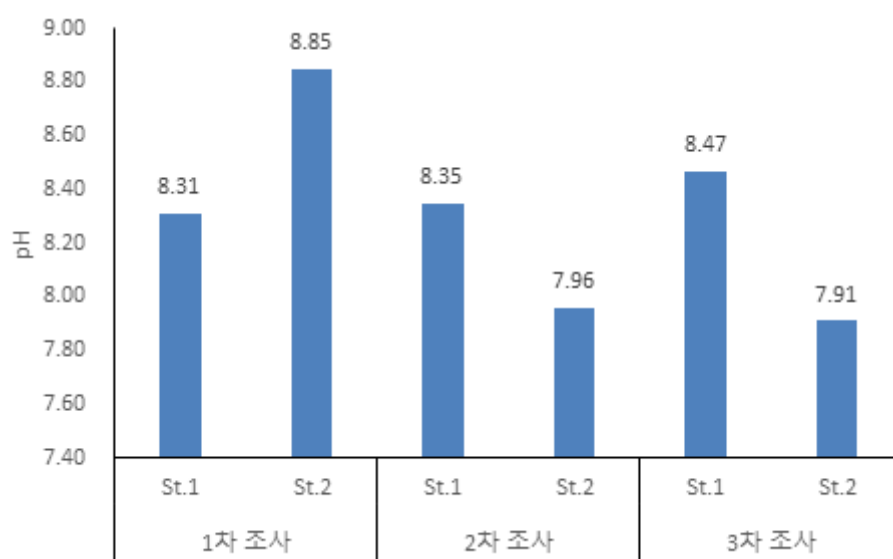
[그림 3.78] 송천천의 염분도 변화



[그림 3.79] 송천천의 DO 변화



[그림 3.80] 송천천의 DO 포화도 변화



[그림 3.81] 송천천의 pH 변화

[표 3.80] 태안화력발전소 주변 하천의 수질 정밀 분석 결과

수질 항목	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)
St.1	5.4	10.2	0.209	2.164	1.471	37.06	31.66	240.60
St.2	1.7	6.0	0.100	0.783	0.338	259.60	6945.0	0.17
수질 항목	Al ³⁺ (mg/L)	Mn ²⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻ (mg/L)	
St.1	5.4	10.2	0.209	2.164	1.471	37.06	31.66	
St.2	1.7	6.0	0.100	0.783	0.338	259.60	6945.0	

4.6.3 어류상 및 어류 군집

4.6.3.1 어류상

- 송천천의 어류를 조사한 결과 1차 조사에서는 총 4과 10종 397개체가 출현하였고, 법적보호종 및 외래도입어종은 출현하지 않았으며, 한국고유종은 얼룩동사리 1종이 출현함
- 비교풍부도는 민물두줄망둑이 49.87%로 가장 높게 나타났고, 다음으로는 민물검정망둑 16.62%, 미꾸리 13.60%, 붕어 5.54%, 문절망둑 5.29%, 흰발망둑 4.53%, 말뚝망둑어와 얼룩동사리가 각각 1.51%, 참붕어 1.01%, 날망둑 0.50%의 순으로 나타남
- 2차 조사 결과 총 6과 12종 377개체가 출현하였고, 법적보호종은 출현하지 않았고, 한국고유종은 얼룩동사리 1종이 출현하였으며, 외래도입어종은 떡붕어 1종이 출현함
- 비교풍부도는 참붕어가 36.60%로 가장 높게 나타났고, 다음은 문절망둑 25.46%, 민물두줄망둑 11.41%, 떡붕어 8.49%, 풀망둑 4.77%, 민물검정망둑과 미꾸리가 각각 2.65%, 말뚝망둑어와 얼룩동사리가 각각 2.12%, 왜물개 1.59%, 대륙송사리와 동자개가 각각 1.06%의 순으로 나타남

- 3차 조사 결과 총 5과 10종 244개체가 출현하였고, 법적보호종 및 외래도입어종은 출현하지 않았으며, 한국고유종은 얼룩동사리 1종이 출현함
- 비교풍부도는 민물두줄망둑이 38.52%로 가장 높게 나타났고, 다음은 참붕어 18.03%, 민물검정망둑 16.39%, 문절망둑 12.30%, 말뚝망둥어 4.10%, 미꾸리 3.28%, 대륙송사리와 붕어가 각각 2.46%, 얼룩동사리 1.64%, 날망둑 0.82%의 순으로 나타남
- 1-3차의 어류조사를 종합한 결과 송천천에서는 총 6과 15종 1,018개체의 어류가 출현하였고, 법적보호종은 출현하지 않았고, 한국고유종은 얼룩동사리 1종이 출현하였으며, 외래도입어종은 떡붕어 1종이 출현함
- 비교풍부도는 민물두줄망둑이 32.91%로 가장 높게 나타났고, 참붕어 18.27%, 문절망둑 14.44%, 민물검정망둑 11.39%, 미꾸리 7.07%, 떡붕어 3.14%, 붕어 2.75%, 말뚝망둥어 2.36%, 풀망둑, 흰말망둑, 얼룩동사리가 각각 1.77%, 대륙송사리 0.98%, 왜물개 0.59%, 날망둑과 동자개가 각각 0.39%의 순으로 나타남
- 어류 조사 결과 법적보호종은 출현하지 않았고 한국고유종의 비율이 낮았으며 출현종의 대부분이 수질오염에 내성이 강한 어종인 것으로 보임

[표 3.81] 송천천의 1차 조사 어류상

학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
Carassius auratus	붕어	22		22	5.54
Pseudorasbora parva	참붕어	4		4	1.01
COBITIDAE	미꾸리과				
Misgurnus anguillicaudatus	미꾸리	54		54	13.60
ODONTOBUTIDAE	동사리과				
Odontobutis interrupta	얼룩동사리	6		6	1.51
GOBIIDAE	망둑어과				
Acanthogobius flavimanus	문절망둑		21	21	5.29
Acanthogobius lactipes	흰발망둑		18	18	4.53
Gymnogobius breunigii	날망둑	2		2	0.50
Periophthalmus modestus	말뚝망둥어		6	6	1.51
Tridentiger bifasciatus	민물두줄망둑		198	198	49.87
Tridentiger brevispinis	민물검정망둑		66	66	16.62
과		4	1	4	
종		5	5	10	
개체수		88	309	397	

[표 3.82] 송천천의 2차 조사 어류상

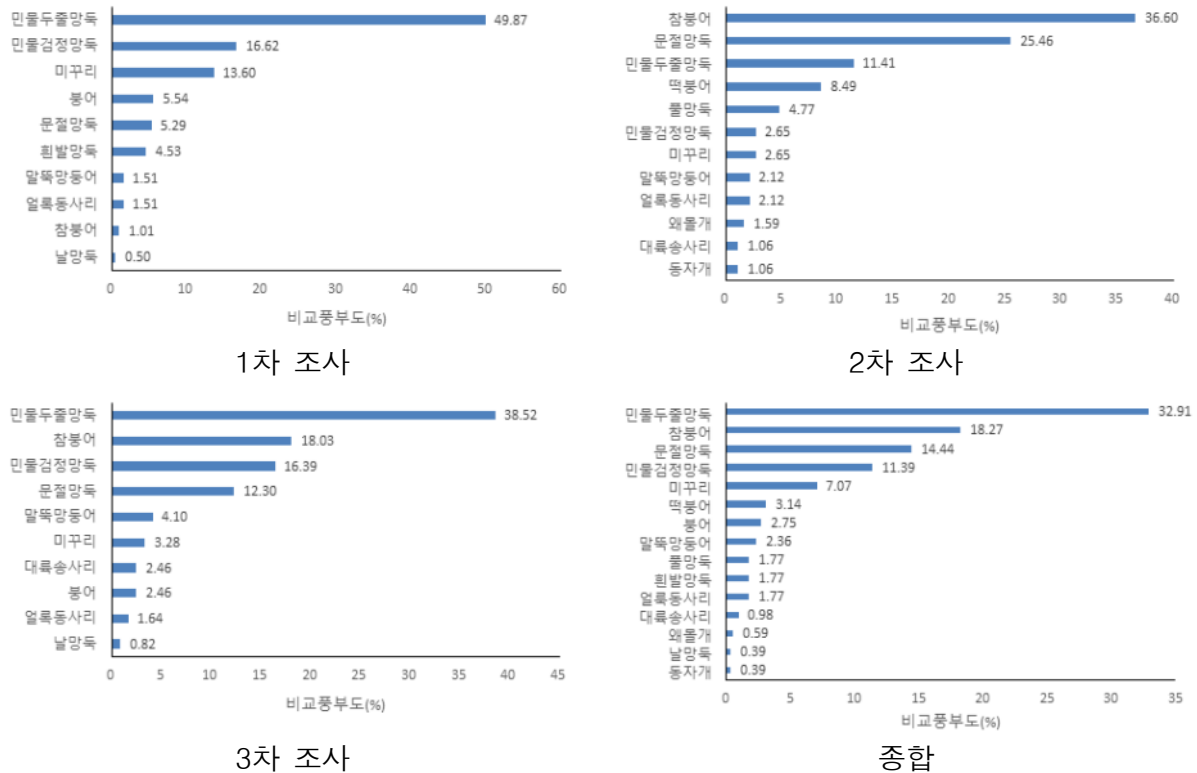
학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
Aphyocypris chinensis	왜물개	6		6	1.59
Carassius cuvieri	떡붕어	32		32	8.49
Pseudorasbora parva	참붕어	138		138	36.60
COBITIDAE	미꾸리과				
Misgurnus anguillicaudatus	미꾸리	10		10	2.65
BAGRIDAE	동자개과				
Pseudobagrus fulvidraco	동자개	4		4	1.06
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과				
Oryzias sinensis	대륙송사리	4		4	1.06
ODONTOBUTIDAE	동사리과				
Odontobutis interrupta	얼룩동사리	8		8	2.12
GOBIIDAE	망둑어과				
Acanthogobius flavimanus	문절망둑		96	96	25.46
Periophthalmus modestus	말뚝망둥어		8	8	2.12
Synechogobius hasta	풀망둑		18	18	4.77
Tridentiger bifasciatus	민물두줄망둑		43	43	11.41
Tridentiger brevispinis	민물검정망둑		10	10	2.65
과		5	1	6	
종		7	5	12	
개체수		202	175	377	

[표 3.83] 송천천의 3차 조사 어류상

학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
<i>Carassius auratus</i>	붕어	6		6	2.46
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어	44		44	18.03
COBITIDAE	미꾸리과				
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	8		8	3.28
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과				
<i>Oryzias sinensis</i>	대룩송사리	6		6	2.46
ODONTOBUTIDAE	동사리과				
<i>Odontobutis interrupta</i>	얼룩동사리	4		4	1.64
GOBIIDAE	망둑어과				
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	문절망둑		30	30	12.30
<i>Gymnogobius breunigii</i>	날망둑	2		2	0.82
<i>Periophthalmus modestus</i>	말뚝망둥어		10	10	4.10
<i>Tridentiger bifasciatus</i>	민물두줄망둑		94	94	38.52
<i>Tridentiger brevispinis</i>	민물검정망둑		40	40	16.39
과		5	1	5	
종		6	4	10	
개체수		70	174	244	

[표 3.84] 송천천의 어류상 종합

학명	국명	조사지점		합계	비교풍부도 (%)
		1	2		
CYPRINIDAE	잉어과				
<i>Aphyocypris chinensis</i>	왜몰개	6		6	0.59
<i>Carassius auratus</i>	붕어	28		28	2.75
<i>Carassius cuvieri</i>	떡붕어	32		32	3.14
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어	186		186	18.27
COBITIDAE	미꾸리과				
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	72		72	7.07
BAGRIDAE	동자개과				
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	동자개	4		4	0.39
ADRIANICHTHYOIDAE	송사리과				
<i>Oryzias sinensis</i>	대룩송사리	10		10	0.98
ODONTOBUTIDAE	동사리과				
<i>Odontobutis interrupta</i>	얼룩동사리	18		18	1.77
GOBIIDAE	망둑어과				
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	문절망둑		147	147	14.44
<i>Acanthogobius lactipes</i>	흰발망둑		18	18	1.77
<i>Gymnogobius breunigii</i>	날망둑	4		4	0.39
<i>Periophthalmus modestus</i>	말뚝망둥어		24	24	2.36
<i>Synechogobius hasta</i>	풀망둑		18	18	1.77
<i>Tridentiger bifasciatus</i>	민물두줄망둑		335	335	32.91
<i>Tridentiger brevispinis</i>	민물검정망둑		116	116	11.39
과		5	1	6	
종		9	6	15	
개체수		360	658	1018	



[그림 3.82] 송천천 출현 어종의 비교풍부도

4.6.3.2 군집분석

- 1차 조사 결과 다양도는 지점 1에서 1.06, 지점 2에서 1.042로 나타났으며, 균등도는 지점 1에서 0.66, 지점 2는 0.66였으며, 종풍부도는 지점 1에서 0.89, 지점 2에서 0.70으로 나타남. 우점도는 지점 1에서 0.86, 지점 2에서 0.85로 나타났고, 우점종은 지점 1에서 미꾸리, 지점 2에서 민물두줄망둑으로 나타났고, 아우점종은 지점 1에서 붕어, 2에서 민물검정망둑으로 나타남
- 2차 조사 결과 다양도는 지점 1에서 1.09, 지점 2에서 1.21로 나타났고, 균등도는 지점 1에서 0.56, 지점 2에서 0.75였으며, 종풍부도는 지점 1에서 1.13, 지점 2에서 0.77로 나타남. 우점도는 지점 1에서 0.84, 지점 2에서 0.79로 나타남. 우점종은 지점 1에서 참붕어, 지점 2에서 문절망둑으로 나타났고, 아우점종은 지점 1에서 떡붕어, 지점 2에서는 민물두줄망둑으로 나타남

- 3차 조사 결과 다양도는 지점 1에서 1.23, 지점 2에서는 1.14로 나타났고, 균등도는 지점 1에서 0.68, 지점 2에서 0.82로 나타났으며 종풍부도는 지점 1에서 1.18, 지점 2에서 0.58로 나타남. 우점도는 지점 1에서 0.74, 지점 2에서 0.0.77로 나타났고, 우점종은 지점 1에서 미꾸리, 지점 2에서는 민물두줄망둑으로 나타났고, 아우점종은 지점 1에서 붕어, 지점 2에서는 민물검정망둑으로 나타남
- 1-3차 조사를 종합한 결과 다양도는 지점 1에서 1.49, 지점 2에서 1.30으로 나타났고, 균등도는 지점1에서 0.68, 지점 2에서 0.73이었으며, 종풍부도는 지점 1에서 1.36, 지점 2에서 0.77이었음. 우점도는 지점 1에서 0.72, 지점 2에서 0.73으로 나타났고, 우점종은 지점 1에서 미꾸리, 지점 2에서는 민물두줄망둑으로 나타났고, 아우점종은 지점 1에서 붕어, 지점 2에서는 민물검정망둑이었음

[표 3.85] 송천천 어류의 군집지수

차수	지점	다양도	균등도	종풍부도	우점도	우점종	아우점종
1차조사	St.1	1.06	0.66	0.89	0.86	미꾸리	붕어
	St.2	1.04	0.65	0.70	0.85	민물 두줄망둑	민물 검정망둑
2차조사	St.1	1.09	0.56	1.13	0.84	참붕어	떡붕어
	St.2	1.21	0.75	0.77	0.79	문절망둑	민물 두줄망둑
3차조사	St.1	1.23	0.68	1.18	0.74	미꾸리	붕어
	St.2	1.14	0.82	0.58	0.77	민물 두줄망둑	민물 검정망둑
종합	St.1	1.49	0.68	1.36	0.72	미꾸리	붕어
	St.2	1.30	0.73	0.77	0.73	민물 두줄망둑	민물 검정망둑

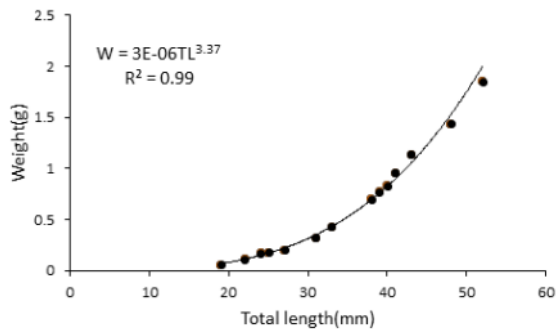
4.6.3.3 Length-weight relationship 및 condition factor(K) 분석

- 일반적으로 $TW=a(TL)^b$ 로 표현되는 전장과 체중의 관계식에서 상수 부분인 a값 보다는 지수 부분인 b값의 변화에 더 민감함. 따라서 동일 개체군의 성장 정도를 평가할 때 b값의 크기에 따라 시기별, 지역별 비교분석이 가능해짐

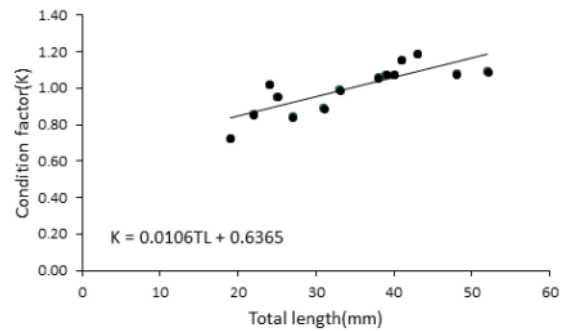
- 또한, Length-Weight Relationship과 함께 Condition factor(K)는 어류의 건강성 및 개체군 평가에서 광범위하게 사용되어왔다. 높은 비만도는 일반적으로 어류에 있어 풍부한 먹이원 유용을 반영하는 높은 에너지 축적으로 설명되고, 이는 특히 생활하수 및 유기물 오염으로 인한 지역에 서식하는 어류에서 많이 나타나기도함
- 반면에 영양결핍, 질병 또는 중금속에 의한 수질오염과 같은 경우 어류에 직간접적으로 영향을 주어 결과적으로 낮은 비만도를 보이기도함(Miller et al., 1992; Adams, 2002)
- 특히 오염원으로 인한 질병은 어류의 섭식 활동을 교란하여 빈약한 먹이 섭취를 유도하며 체내에서 면역시스템 내 추가적 에너지 소모 때문에 통해 체중감소로 이어져 상대적으로 낮은 비만도 나타냄(Schmitt and Dethloff, 2000)
- 보령화력발전소 주변 지역에서 우점종 및 우세종으로 출현한 민물두줄망둑, 떡붕어, 문절망둑, 참붕어 개체군을 대상으로 Length-weight relationship 및 condition factor(K) 분석을 실시함
- 그 결과 민물두줄망둑은 성장 정도를 나타내는 Length-weight relationship의 회귀계수(b)값이 3.37으로 나타났고, 비만화 정도를 나타내는 Condition factor(K)값의 기울기는 양(+)의 값을 보임
- 문절망둑은 성장 정도를 나타내는 Length-weight relationship의 회귀계수(b)값이 3.06으로 나타났고, 비만화 정도를 나타내는 Condition factor(K)값의 기울기는 음(-)의 값을 보임
- 참붕어는 성장 정도를 나타내는 Length-weight relationship의 회귀계수(b)값이 3.06으로 나타났고, 비만화 정도를 나타내는 Condition factor(K)값의 기울기는 양(+)의 값을 보임
- 떡붕어는 성장 정도를 나타내는 Length-weight relationship의 회귀계수(b)값이

3.05으로 나타났고, 비만화 정도를 나타내는 Condition factor(K)값의 기울기는 양(+)의 값을 보임

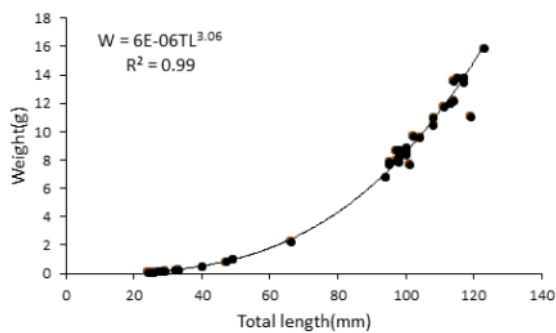
- 따라서 이와 같은 결과로 볼 때 송천천에서 출현한 어종 중 민물두줄망둑, 참붕어, 떡붕어 개체군은 비교적 안정된 개체군을 유지하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 문절망둑의 경우 비만화 정도가 다소 불량한 것으로 볼 때 먹이 섭식에 다소 장애가 있는 것으로 보임



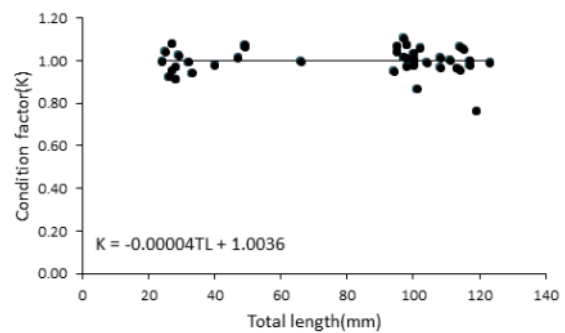
민물두줄망둑의 Length-weight relationship



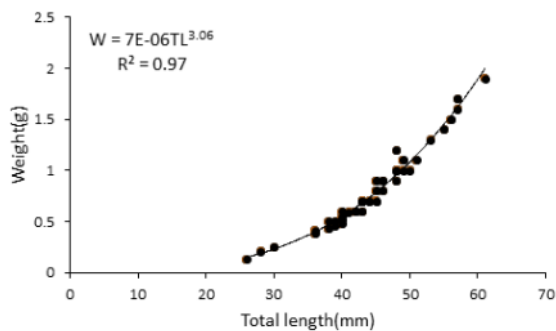
민물두줄망둑의 Condition factor 분석



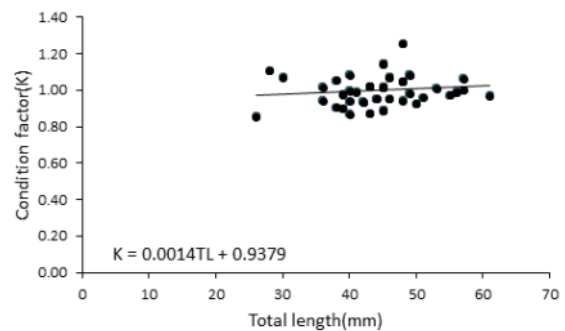
문절망둑의 Length-weight relationship



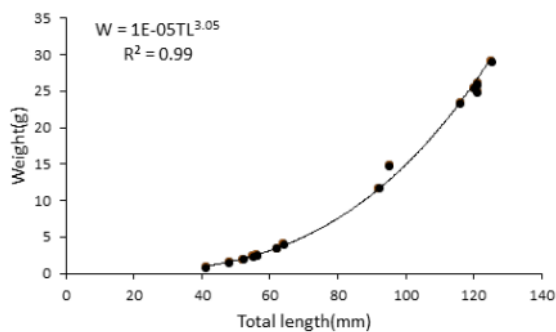
문절망둑의 Condition factor 분석



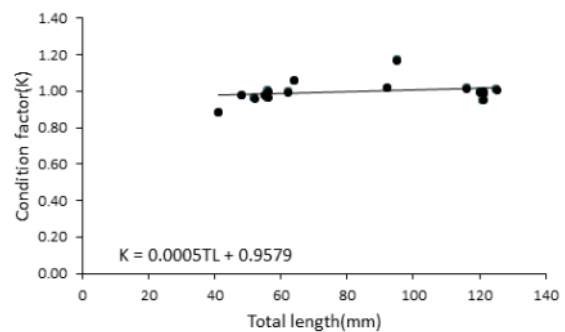
참붕어의 Length-weight relationship



참붕어의 Condition factor 분석



떡붕어의 Length-weight relationship

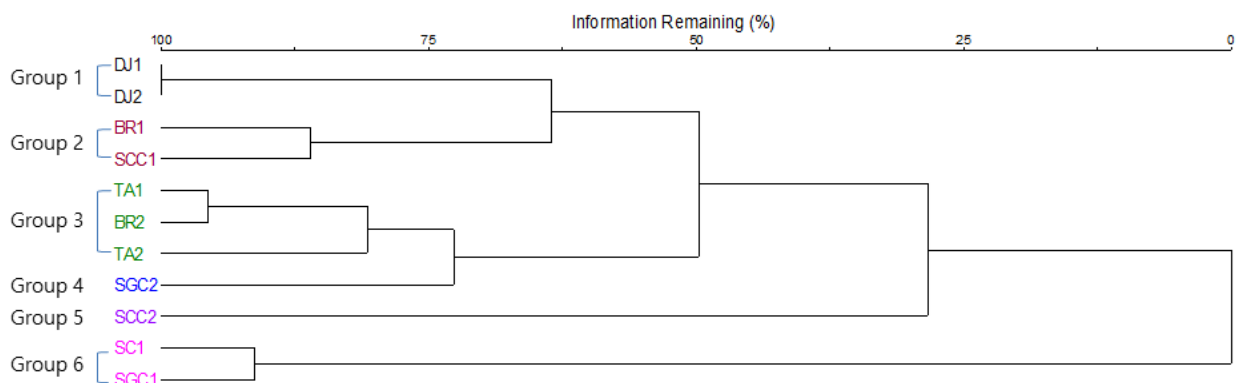


떡붕어의 Condition factor 분석

[그림 3.83] 송천천에서 출현한 주요 어류의 length-weight relationship 및 condition factor 분석

4.7 지점별 어류 군집 유사도 분석

- 충남화력발전소 주변 및 대조하천의 어류 조사 결과를 바탕으로 각 조사 지점별 어류 군집의 유사도를 분석함
- 그 결과 총 6개의 어류 군집으로 나뉘는 것으로 나타남
- 1group은 화력발전소 영향이 적으며 해수의 영향이 적은 어류 군집으로 보이며, 2group은 담수 어류 군집이고, 3group은 화력발전소산업배수 영향을 받는 어류 군집으로 판단됨
- 4와, 5group은 해수의 영향을 받는 어류 군집(대조하천)으로 판단되며, 6group은 출현한 어종이 적어 매우 빈약한 어류군집으로 분석됨



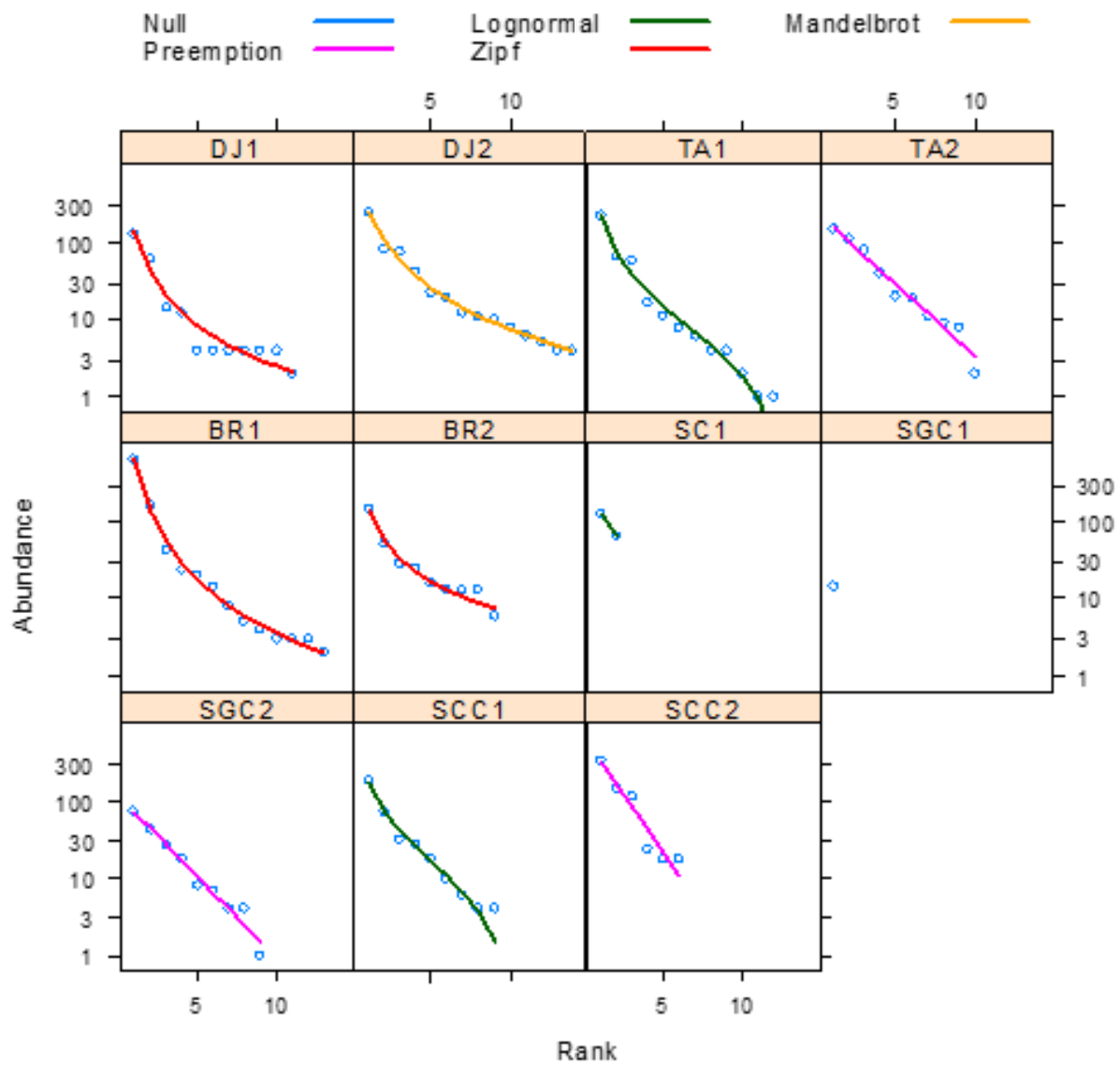
[그림 3.84] 충남 화력발전소 주변 및 대조하천의 지점별 어류 유사도 분석

(DJ: 당진화력발전소, BR: 보령화력발전소, TA: 태안화력발전소, SC: 서천화력발전소, SGC: 소근천, SCC: 송천천)

4.8 순위풍부도곡선을 이용한 어류군집 평가

- 충남화력발전소 주변 및 대조하천의 어류 조사 결과를 바탕으로 순위풍부도곡선을 사용하여 각 조사지점의 어류군집을 평가함

- 그 결과 태안화력발전소 지점 1과 송천천 지점1의 어류군집은 Lognomal 곡선으로 분석되어 어류군집이 안정된 것으로 평가됨
- 당진화력발전소 지점 2의 어류군집은 Mandelbrot 곡선으로 분석되어 다양한 어종이 서식하지만 우점종의 영향이 적은 어류 군집으로 평가됨
- 당진화력발전소 지점 1과 보령화력발전소 지점1, 지점 2의 어류군집은 Zipf 곡선으로 분석되어 서식하지만 우점종의 영향이 큰 어류군집으로 평가됨
- 태안화력발전소 지점 2와 소근천 지점2, 송천천 지점 2의 어류군집은 Preemption 곡선으로 분석되어 어류서식처가 단순하거나 군집의 크기가 작은 어류군집으로 평가됨
- 서천화력발전소 조사지점과 소근천 지점 1의 어류군집은 Null로 분석되어 어류 군집의 크기가 매우 작은 어류군집으로 평가됨



[그림 3.85] 각 조사지점별 순위풍부도 곡선

(DJ: 당진화력발전소, BR: 보령화력발전소, TA: 태안화력발전소, SC: 서천화력발전소, SGC: 소근천, SCC: 송천천)

4.9 요약 및 소결론

- 충남지역 4개 화력발전소 및 대조하천의 어류조사 결과 총 9과 27종 4311개체가 채집됨
- 출현어종 중 법적보호종은 출현하지 않았고, 한국고유종은 얼룩동사리와 각시붕어 2종이 출현하였고, 외래도입어종은 떡붕어와 블루길(생태계교란어종) 2종이 출현함
- 연구지역에서 출현한 주요 어종의 length-weight relationship 및 condition factor을 분석한 결과 분석된 모든 어류의 개체군이 안정된 개체군을 유지하고 있는 것으로 분석됨
- 각 지점별 군집 유사도 분석 결과 화력발전소의 영향 및 해수의 영향 유무에 따라 6개의 어류 군집으로 분석됨
- 순위풍부도를 이용해 지점별 어류군집을 평가한 결과 태안화력발전소 지점1과 송천천 지점 1이 가장 안정된 어류군집으로 분석되었으며, 서천화력발전소 조사지점과 소근천 지점1의 어류군집이 가장 교란 받고 있는 것으로 나타남
- 서천화력발전소의 어류조사지점의 어류군집은 주변의 발전소건설공사의 영향으로 수제가 제한되어 교란이 심각한 것으로 보이나, 소근천 지점 1은 가뭄으로 인한 건천화가 어류군집의 교란요인으로 판단됨



제4장 결론 및 제언

1. 결론 및 제언

1.1 식물분야

- 충청남도 소재 화력발전소 일대(당진시, 태안군, 보령시, 서천군)와 서산시(대조구)에 분포하는 관속식물상을 파악하기 위하여 총 8건의 문헌과 19회의 현장 조사를 실시함
- 조사된 관속식물은 문헌 조사결과에서는 태안군(379분류군)-보령시(356분류군)-당진시(342분류군)-서천군(149분류군)의 순이었고, 현장 조사 결과에서는 당진시(278분류군)-보령시(254분류군)-태안군(250분류군), 서천군(241분류군)순으로 차이가 있었음. 서산시(대조구)는 문헌 및 현장 조사에서 각각 203분류군과 367분류군이 확인됨
- 특산식물은 문헌 및 현장 조사에서 각각 14분류군과 3분류군이 확인되었으며, 현장 조사에서 확인된 할미밀망(보령시), 개나리(당진시/재), 오동나무(태안군, 보령시, 서천군/재) 등 3종류는 문헌 조사에서 확보한 목록에 모두 포함되어 있었음. 서산시(대조구)는 문헌 및 현장 조사에서 각각 3분류군과 7분류군이 확인됨
- 멸종위기식물은 문헌 및 현장 조사 모두에서 확인되지 않음
- 희귀식물은 문헌 및 현장 조사에서 각각 15분류군과 4분류군이 확인되었으며, 각각의 조사에서 중복되는 종류는 확인되지 않음. 서산시(대조구)에서는 문헌 및 현장 조사에서 각각 2분류군과 3분류군이 조사됨
- 기후변화대상식물은 문헌 및 현장 조사에서 각각 5분류군과 6분류군이 확인되었으며, 남방계식물인 수리딸기, 장딸기, 여우팔 등 3종류가 중복적으로 확인됨. 서산시(대조구)에서는 문헌 및 현장 조사에서 각각 1분류군과 2분류군이 조사됨
- 귀화식물은 문헌 및 현장 조사에서 각각 60분류군과 48분류군이 확인되었으며, 생태

계교란야생식물은 애기수영, 돼지풀, 미국쑥부쟁이, 서양금혼초 등 4종류가 중복적으로 확인됨. 서산시(대조구)에서는 문헌 및 현장 조사에서 각각 2분류군과 24분류군이 조사되었고, 이 중 생태계교란야생식물은 현장 조사에서만 돼지풀, 미국쑥부쟁이, 가시상추 등 3종류가 확인됨

- 8건의 문헌 대부분은 4개 지역의 화력발전소와 인접하지 않은 산림 지역을 중점적으로 조사한 것이므로 기존 문헌을 이용하여 화력발전소 일대의 식물 분포 현황을 파악하기에는 무리가 있음
- 이러한 조사 지역 및 범위 차이로 인해 기존의 문헌과 현장 조사에서 확인된 관속식물의 종류가 상이한 것으로 판단되므로 이를 직접적으로 비교하기에는 무리가 있을 것으로 생각됨

1.2 곤충분야

- 충남 화력발전소 주변지역에 서식하는 곤충의 다양성 및 모니터링 관련 연구사례를 분석한 결과, 최근 10년간 확인된 문헌은 총 29건으로 대부분이 국립생태원과 국립공원연구원이 출간한 보고서였음. 이러한 기존의 문헌에 따르면 5개 조사구에서 총 16목 229과 2187종이 확인됨
- 지역별로 문헌을 분석한 결과, 태안군에서 16목 223과 1855종으로 가장 많은 종이 기록되었고, 보령시에서 11목 82과 323종으로 가장 적은 종이 보고됨. 문헌 출판 형태에 따라 분석한 결과, 무척추동물에 대한 전체 29건의 기존 연구 사례 중 단행본이 27건이었고, 논문 형태의 사례가 2건으로 보고서에 비해 현저히 적게 나타남. 화력발전소 주변지역에 대한 연구 자료를 지역별로 분석한 결과, 국립공원이 위치해 있는 태안에서 12건으로 가장 많은 연구사례가 있었으며, 유일하게 논문 형태의 연구사례가 확인됨
- 5개 조사구에서 쓸어잡기, 채어잡기, 털어잡기, 함정트랩, 유아등트랩 등의 방법을 사용하여 곤충다양성 조사를 실시한 결과, 총 10목 91과 388종 2333개체가 확인됨. 서산 조사

구(대조구)에서 10목 65과 158종 447개체의 곤충이 확인됨. 종수는 당진 조사구에서 10목 63과 166종로 가장 많았으며, 개체수는 태안 조사구에서 831개체로 가장 많이 확인됨. 서산, 당진, 태안, 보령, 서천 순으로 종 다양성이 높게 나타남

- 함정트랩을 이용하여 지표배회성 곤충상을 조사한 결과, 총 5목 24과 50종 634개체의 곤충이 채집됨. 종수와 개체수는 태안 조사구에서 5목 15과 28종 239개체로 가장 많았으며, 서천 조사구에서 4목 5과 7종 48개체로 가장 적게 확인되었으며 다양도지수도 태안 조사구에서 가장 높게 나타나고, 서천 조사구에서 가장 낮게 나타남. 다중갈때기 트랩을 이용하여 천공성 곤충상을 조사한 결과, 총 3목 14과 22종 73개체가 채집됨. 종 수와 개체수는 서산 조사구(대조구)에서 가장 많았으며, 서천 조사구에서 가장 적게 확인되었고, 다양도지수도 서산 조사구에서 가장 높았으며, 서천 조사구에서 가장 낮게 나타남. 쓸어잡기, 털어잡기 및 채어잡기로 곤충상을 조사한 결과, 총 10목 61과 171종이 채집됨. 당진 조사구에서 8목 40과 76종으로 가장 다양한 종이 확인되었으며, 서천 조사구에서 7목 16과 17종으로 가장 적은 종이 확인됨. 유아등 트랩(Light trap)으로 주광성 곤충상을 조사한 결과, 총 9목 51과 191종 1636개체가 채집됨. 종 수와 개체수는 서산 조사구보다 태안 조사구가, 서천 조사구보다 보령 조사구가 많이 나타남. 하지만 다양도지수는 서산조사구가 가장 높게 나타났고, 보령조사구가 가장 낮게 확인됨
- 이번 조사에서 멸종위기종은 확인되지 않았으며, 기후변화 생물지표종 1종, 한반도 고유종 24종, 국외반출승인대상종 44종의 서식이 확인됨. 강원지역의 현지조사(강원도 기후변화 생태모니터링, 2010~2014)결과와 본 연구 결과를 비교해본 결과, 강원지역의 조사 종수는 201~287종인데 반해, 충남지역의 출현 종수는 55종~166종으로 확인되어 곤충의 다양성이 매우 낮게 나타남. 현지조사를 통해 10목 91과 388종이 확인되었으며, 문헌조사를 통해 16목 229과 2187종이 확인되어 합계 16목 238과 2320종의 서식이 확인됨
- 지역별 문헌조사 결과, 최근 10년간 태안군에서 10건의 보고서와 2건의 논문으로 가장 많고, 당진시에서 7건, 서산시(대조구)에서 5건, 서천시에서 3건, 보령시에서 2건의 보고서로 나타났고 서식 곤충상에 대해서는 태안군에서 16목 223과 1855종, 서

산(대조구)에서 11목 120과 791종, 당진시에서 10목 117과 763종, 서천시에서 9목 97과 404종, 보령시에서 11목 82과 323종으로 나타남. 이처럼 지역별로 문헌의 수에 차이가 남에 따라 보고된 곤충상에도 크게 차이가 나타남. 하지만, 현지조사 결과, 태안 조사구에서 10목 59과 157종 831개체, 당진 조사구에서 10목 63과 166종 593개체, 서산 대조구에서 10목 65과 158종 447개체, 보령 조사구에서 10목 47과 82종 282개체, 서천 조사구에서 10목 38과 55종 180개체의 곤충이 확인됨. 이처럼 현지조사 결과는 문헌조사의 결과와 달리 종 수에 큰 차이가 나타나지 않음. 따라서 보고된 곤충으로 곤충상에 대해 파악할 시 많은 오차가 발생할 수 있으므로, 지역에 따른 곤충상에 대한 지속적인 데이터 구축이 필요하며, 이를 통해 화력발전소나 기타 영향 평가에 활용할 수 있음

1.3 포유류분야

- 중대형포유류 뿐만 아니라 설치류를 포함한 소형포유류를 함께 조사하여 화력발전소 인근지역에 대한 종 정보를 확보
- 흔적조사를 기본으로 흔적이 많이 확인된 장소에 무인센서카메라를 설치하여 화력발전소 인근 지역에 서식하는 야생동물의 종을 확보하고, 활동시간을 확인
- 흔적조사결과 총 5목 9과 11종의 서식을 확인하였고, 이 중 멸종위기야생동물 I 급이자 천연기념물 제330호인 수달을 당진과 보령에서 각각 확인하였고, 멸종위기야생동물 II 급인 삵의 흔적을 보령에서 확인함
- 무인센서카메라 조사결과 4목 7과 10종의 서식을 확인하였고, 이 중 멸종위기야생동물 II 급인 삵을 서천과 서산 팔봉산에서 촬영하여 서식을 확인함
- 트랩조사를 통하여 화력발전소 인근 지역 및 서산 팔봉산지역(대조구)에 서식하는 소형포유류를 조사한 결과 당진에서는 땃쥐와 등줄쥐를 포획하였고, 태안, 서천 및 서산 팔봉산지역에서 등줄쥐를 포획하여 총 2목 2과 2종의 서식을 확인함

- 흔적조사와 무인센서카메라 조사 및 트랩조사를 통하여 총 5목 10과 15종의 포유류 서식을 확인하였고, 이 중 당진화력발전소 인근지역에서 9종, 태안화력발전소 인근지역에서 8종, 보령화력발전소 인근지역에서 9종, 서천화력발전소 인근지역에서 9종, 서산 팔봉산(대조군)에서 8종이 각각 확인
- 국내에서 가장 자연환경이 잘 보존되어 있는 백두대간지역과 화력발전소 주변지역과 비교한 결과 백두대간 산림생물다양성 사업단 조사결과(2014) 백두대간은 진부령, 오대산, 태백산, 두타산, 청옥산을 조사하여 총 7목 13과 29종의 포유류가 조사된 반면 화력발전소 주변지역에서는 5목 10과 15종이 조사됨
- 백두대간 지역에서 멸종위기야생동물은 산양, 수달, 작은관코박쥐, 무산쇠족제비, 하늘다람쥐, 담비, 산 7종이 조사된 반면, 화력발전소 주변지역에서는 수달과 산 2종이 조사됨
- 백두대간은 백두대간보호법 등 법령을 통해 자연환경이 잘 보전되어 생물다양성이 아주 높은 지역이지만, 화력발전소 인근지역의 경우 불빛, 소음 등 여러 간접 요인에 노출되어 있어 야생동물의 서식지로 좋은 환경은 아님
- 그러나 당진, 보령 및 서천에서 9종의 포유류가 서식하고, 태안에서 8종의 포유류가 서식하는 것은 좋은 서식지는 아니지만 많은 동물이 서식지로 이용함을 알 수 있음
- 실제 조사지역의 경우 넓은 면적이 아니므로 많은 개체가 서식하지는 않는 것으로 판단됨
- 넓은 면적이 아니므로 적은 개체수가 좁은 지역에서 활발히 활동을 하는 것으로 판단되고, 이러한 좁은 서식지는 외부 영향에 의해 쉽게 생태계가 파괴되어 관리가 필요
- 야생포유류 중 서식밀도가 높아 농업, 임업 등 피해를 주고 있는 고라니와 멧돼지의 경우 관리가 필요하지만 화력발전소 인근의 경우 고라니가 대부분 서식하고 있고

멧돼지는 서산 팔봉산의 대조구에서만 확인되고 있지만, 타 지역에 비해 그 수가 적어 큰 문제는 일어나지 않을 것으로 판단

- 고라니의 경우 주변 농지에 대한 민원 발생 시 무인센서카메라를 이용한 활동시간 및 번식생태를 연구하고, GIS를 활용하여 수집된 유해야생동물의 위치좌표와 공간 분석이 가능한 환경변수를 중첩시켜 서식지 특성을 분석·정량화 시켜 주민들에게 기초자료를 제공하여 동물과 사람과의 마찰을 줄이고자 함
- 무인센서카메라를 적극 활용하여 동물 다양성 조사를 지속적으로 실시할 예정이고, 행동패턴도 함께 조사 후 분석 예정
- 화력발전소 주변의 생물다양성과 서식지 현황을 목록화 하고 생태지도를 작성하여 이를 이용한 브로슈어(brochure) 발간 예정
- 흔적조사를 통하여 멸종위기야생동물의 분포 조사를 흔적이 확인되지 않은 지역까지 더욱 넓혀 조사 할 예정이나 화력발전소와의 협력이 우선시 되지 않는다면 좋은 결과가 도출되지 않을 것으로 판단됨
- 파편화된 화력발전소 인근 지역을 이동통로(corridor)로 서식지를 식생대로 연결하는 띠조각형 이동통로(strip corridor)로 연결한다면, 파편화된 서식지를 동물들이 이동 가능하여 유전자 이동을 용이하게 하고, 국지적 소멸을 겪는 종들의 서식지 재정착을 도울 수 있음(Tomas and Robert, 2011)
- 화력발전소 주변 수계에서 발견되는 멸종위기종이자 천연기념 생물종인 수달의 서식지 안정화와 보호대책 수립이 필요함

1.4 어류분야

- 충남지역 4개 화력발전소 및 대조하천의 어류조사 결과 총 9과 27종 4311개체가 채집됨
- 출현어종 중 법적보호종은 출현하지 않았고, 한국고유종은 얼룩동사리와 각시붕어 2종이 출현하였고, 외래도입어종은 떡붕어와 블루길(생태계교란어종) 2종이 출현함
- 연구지역에서 출현한 주요 어종의 length-weight relationship 및 condition factor을 분석한 결과 분석된 모든 어류의 개체군이 안정된 개체군을 유지하고 있는 것으로 분석됨
- 각 지점별 군집 유사도 분석 결과 화력발전소의 영향 및 해수의 영향 유무에 따라 6개의 어류 군집으로 분석됨
- 순위풍부도를 이용해 지점별 어류군집을 평가한 결과 태안화력발전소 지점1과 송천천 지점 1이 가장 안정된 어류군집으로 분석되었으며, 서천화력발전소 조사지점과 소근천 지점1의 어류군집이 가장 교란 받고 있는 것으로 나타남
- 서천화력발전소의 어류조사지점의 어류군집은 주변의 발전소건설공사의 영향으로 수제가 제한되어 교란이 심각한 것으로 보이나, 소근천 지점 1은 가뭄으로 인한 건천화가 어류군집의 교란요인으로 판단됨
- 과거 자료와 비교를 위해 문헌 자료를 분석하였으나 조사 지역의 차이로 인하여 직접적인 비교는 불가능 하였다, 그러나 강원의 자연(최기철, 1986)의 결과 보다는 출현한 어종수가 적었으나, 제3차 전국자연환경조사(국립환경과학원, 2006~2010)의 결과 보다는 출현어종 수가 많은 것으로 분석됨

Part 5

부록

[부록]

[표 1] 충남 지역 식물상 문헌에서 확인된 식물 목록

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
Equisetaceae 속새과					
<i>Equisetum arvense</i> L. 쇠뜨기	○	○	○	○	○
Ophioglossaceae 고사리삼과					
<i>Sceptridium ternatum</i> (Thunb.) Lyon 고사리삼			○		
Osmundaceae 고비과					
<i>Osmunda japonica</i> Thunb. 고비	○	○	○		○
Dennstaedtiaceae 잔고사리과					
<i>Dennstaedtia hirsuta</i> (Sw.) Mett. ex Miq. 잔고사리		○			
<i>Dennstaedtia willfordii</i> (T.Moore) H.Christ 황고사리	○				
<i>Deparia conillii</i> (Franch. & Sav.) M.Kato 좁진고사리	○		○	○	
<i>Deparia japonica</i> (Thunb.) M.Kato 진고사리	○	○			
<i>Lepisorus ussuriensis</i> (Regel & Maack) Ching 산일엽초			○		
Davalliaceae 넉줄고사리과					
<i>Davallia mariesii</i> T.Moore ex Baker 넉줄고사리		○			○
<i>Thelypteris decursivepinnata</i> (H.C.Hall) Ching 설설고사리			○		
<i>Thelypteris japonica</i> (Baker) Ching 지네고사리		○	○		
<i>Thelypteris quelpaertensis</i> (H.Christ) Ching 큰처녀고사리			○		
<i>Woodsia manchuriensis</i> Hook. 만주우드풀	○				
Aspleniaceae 꼬리고사리과					
<i>Asplenium incisum</i> Thunb. 꼬리고사리		○	○		
<i>Asplenium sarelii</i> Hook. 돌담고사리		○			
<i>Athyrium iseanum</i> Rosenst. 가는잎개고사리			○		
<i>Athyrium niponicum</i> (Mett.) Hance 개고사리			○		
<i>Athyrium yokoscense</i> (Franch. & Sav.) H.Christ 뱀고사리		○			
<i>Diplazium mesosorum</i> (Makino) Koidz. 큰개고사리	○		○		

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw. ex A.Heller 고사리	○	○	○		○
Dryopteridaceae 면마과					
<i>Arachniodes borealis</i> Seriz. 왁살고사리		○			
<i>Cyrtomium fortunei</i> J.Sm. 쇠고비		○			
<i>Dryopteris bissetiana</i> (Baker) C.Chr. 산족제비고사리		○			
<i>Dryopteris chinensis</i> (Baker) Koidz. 가는잎족제비고사리		○	○		
<i>Dryopteris crassirhizoma</i> Nakai 관중				○	
<i>Dryopteris lacera</i> (Thunb.) Kuntze 비늘고사리		○			
<i>Dryopteris sacrosancta</i> Koidz. 애기족제비고사리		○			
<i>Dryopteris saxifraga</i> H.Ito 바위족제비고사리	○				
<i>Dryopteris uniformis</i> (Makino) Makino 곰비늘고사리		○			
<i>Dryopteris varia</i> (L.) Kuntze 족제비고사리	○			○	
<i>Onoclea sensibilis</i> var. <i>interrupta</i> Maxim. 야산고비					○
<i>Polystichum tripterum</i> (Kunze) C.Presl 십자고사리			○		
Ginkgoaceae 은행나무과					
<i>Ginkgo biloba</i> L. 은행나무		○	○		○
Pinaceae 소나무과					
<i>Cedrus deodara</i> (Roxb. ex D.Don) G.Don 개잎갈나무(재)					○
<i>Larix kaempferi</i> (Lamb.) Carrière 일본잎갈나무(재)	○		○		○
<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc. 소나무	○	○	○		○
<i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc. 잣나무(재)		○			
<i>Pinus rigida</i> Mill. 리기다소나무(재)	○		○		○
<i>Pinus thunbergii</i> Parl. 곰솔	○				○
Taxodiaceae 낙우송과					
<i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu & W.C.Cheng 메타세콰이아(재)		○			
Cupressaceae 측백나무과					
<i>Juniperus chinensis</i> L. 향나무(재)		○			
<i>Juniperus rigida</i> Siebold & Zucc. 노간주나무(재)	○	○	○	○	○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
Taxaceae 주목과					
<i>Taxus cuspidata</i> Siebold & Zucc. 주목(재)		○			
Juglandaceae 가래나무과					
<i>Juglans mandshurica</i> Maxim. 가래나무					○
<i>Platycarya strobilacea</i> f. <i>coreana</i> (Miq.) W.T.Lee 털굴피나무			○		
<i>Platycarya strobilacea</i> Siebold & Zucc. 굴피나무	○		○		
Salicaceae 버드나무과					
<i>Populus alba</i> L. 은백양(재)		○	○		
<i>Populus tomentiglandulosa</i> T.B.Lee 은사시나무(재)	○				
<i>Salix babylonica</i> L. 수양버들		○			
<i>Salix caprea</i> L. 호랑버들		○			
<i>Salix gracilistyla</i> Miq. 갯버들	○	○	○		
<i>Salix koreensis</i> Andersson 버드나무		○			
<i>Salix koriyanagi</i> Kimura 키버들		○	○		
<i>Salix pseudolasiogyne</i> H.Lév. 능수버들		○			
<i>Salix subfragilis</i> Andersson 선버들	○				
Betulaceae 자작나무과					
<i>Alnus firma</i> Siebold & Zucc. 사방오리(재)	○				
<i>Alnus japonica</i> (Thunb.) Steud. 오리나무	○				○
<i>Alnus sibirica</i> Fisch. ex Turcz. 물오리나무	○	○	○	○	○
<i>Betula chinensis</i> Maxim. 개박달나무					○
<i>Betula davurica</i> Pall. 물박달나무					○
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i> (Miq.) H. Hara 자작나무	○				
<i>Betula schmidtii</i> Regel 박달나무			○		
<i>Carpinus cordata</i> Blume 까치박달	○		○		
<i>Carpinus laxiflora</i> (Siebold & Zucc.) Blume 서어나무	○				
<i>Carpinus tschonoskii</i> Maxim. 개서어나무					○
<i>Carpinus turczaninowii</i> Hance 소사나무					○
<i>Corylus heterophylla</i> Fisch. ex Trautv. 개암나무	○	○	○	○	○
<i>Corylus sieboldiana</i> Blume 참개암나무				○	○
Fagaceae 참나무과					
<i>Castanea bungeana</i> Blume 약밤나무(재)				○	
<i>Castanea crenata</i> Siebold & Zucc. 밤나무(재)	○	○	○	○	○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Quercus</i> × <i>dentatomongolica</i> Nakai 떡신갈나무				○	
<i>Quercus acutissima</i> Carruth. 상수리나무	○	○		○	○
<i>Quercus aliena</i> Blume 갈참나무	○		○		○
<i>Quercus dentata</i> Thunb. 떡갈나무	○	○	○		○
<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb. 신갈나무	○	○	○	○	○
<i>Quercus serrata</i> Thunb. 졸참나무	○	○	○		○
<i>Quercus variabilis</i> Blume 굴참나무	○	○	○		○
<i>Quercus xurticifolia</i> Blume 갈줄참나무		○			
Ulmaceae 느릅나무과					
<i>Celtis choseniana</i> Nakai 검팽나무					○
<i>Celtis sinensis</i> Pers. 팽나무		○	○		○
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> (Rehder) Nakai 느릅나무		○			○
<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq. 참느릅나무		○	○	○	○
<i>Zelkova serrata</i> (Thunb.) Makino 느티나무	○	○			○
Moraceae 뽕나무과					
<i>Broussonetia kazinoki</i> Siebold 닥나무			○		○
<i>Morus alba</i> L. 뽕나무(재)	○	○	○		
<i>Morus bombycis</i> Koidz. 산뽕나무	○	○	○		○
Cannabaceae 삼과					
<i>Humulus japonicus</i> Sieboid & Zucc. 환삼덩굴	○	○	○		○
Urticaceae 켄치과					
<i>Boehmeria longispica</i> Steud. 왜모시풀		○			
<i>Boehmeria platanifolia</i> Franch. & Sav. 개모시풀	○		○		○
<i>Boehmeria spicata</i> (Thunb.) Thunb. 좀깨잎나무	○		○	○	○
<i>Boehmeria tricuspis</i> (Hance) Makino 거북꼬리			○		
<i>Boehmeria tricuspis</i> var. <i>unicuspis</i> Makino 풀거북꼬리		○	○		
<i>Pilea hamaoi</i> Makino 큰물통이	○				
<i>Pilea peploides</i> (Gaudich.) Hook. & Arn. 물통이	○				
Polygonaceae 마디풀과					
<i>Aconogonon alpinum</i> (All.) Schur 싱아	○	○	○		
<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench 메밀	○				
<i>Persicaria filiformis</i> (Thunb.) Nakai ex Mori 이삭여뀌		○	○		○
<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Spach 여뀌	○				

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Persicaria japonica</i> (Meisn.) H.Gross ex Nakai 흰꽃여뀌				○	
<i>Persicaria lapathifolia</i> (L.) Gray 흰여뀌	○		○	○	
<i>Persicaria longiseta</i> (Brujin) Kitag. 개여뀌		○	○		
<i>Persicaria perfoliata</i> (L.) H.Gross 머느리배꼽	○	○	○		
<i>Persicaria posumbu</i> var. <i>laxiflora</i> (Meisn.) H. Hara 장대여뀌		○			
<i>Persicaria pubescens</i> (Blume) H. Hara 바보여뀌		○			
<i>Persicaria sagittata</i> (L.) H.Gross 미꾸리늪시	○	○	○		
<i>Persicaria senticosa</i> (Meisn.) H.Gross ex Nakai 머느리밀씻개	○	○	○	○	○
<i>Persicaria thunbergii</i> (Siebold & Zucc.) H.Gross 고마리	○	○	○		○
<i>Polygonum aviculare</i> L. 마디풀	○	○	○		
<i>Rumex acetosa</i> L. 수영		○		○	
<i>Rumex acetosella</i> L. 애기수영			○		
<i>Rumex crispus</i> L. 소리쟁이	○	○	○		○
<i>Rumex japonicus</i> Houtt. 참소리쟁이		○			
<i>Rumex obtusifolius</i> L. 돌소리쟁이		○	○		
Phytolaccaceae 자리공과					
<i>Phytolacca americana</i> L. 미국자리공	○	○	○		
<i>Phytolacca esculenta</i> VanHoutte 자리공	○			○	
Nyctaginaceae 분꽃과					
<i>Mirabilis jalapa</i> L. 분꽃		○			
Molluginaceae 석류풀과					
<i>Mollugo pentaphylla</i> L. 석류풀			○		
Portulacaceae 쇠비름과					
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook. 채송화(재)		○			
<i>Portulaca oleracea</i> L. 쇠비름		○	○		
Caryophyllaceae 석죽과					
<i>Arenaria serpyllifolia</i> L. 벼룩이자리	○				
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill. 유럽점나도나물		○			
<i>Cerastium holosteoides</i> var. <i>hallaisanense</i> (Nakai) Mizush. 점나도나물	○	○	○	○	○
<i>Cucubalus baccifer</i> var. <i>japonicus</i> Miq. 덩굴별꽃			○		
<i>Gypsophila oldhamiana</i> Miq. 대나물	○	○			○
<i>Moehringia lateriflora</i> (L.) Fenzl 개벼룩	○				
<i>Pseudostellaria heterophylla</i> (Miq.) Pax 개별꽃		○			○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Pseudostellaria palibiniana</i> (Takeda) Ohwi 큰개별꽃			○	○	
<i>Silene firma</i> Siebold & Zucc. 장구채		○			
<i>Stellaria alsine</i> var. <i>undulata</i> (Thunb.) Ohwi 벚룩나물	○	○			
<i>Stellaria aquatica</i> (L.) Scop. 쇠별꽃	○		○	○	
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill. 별꽃			○		
Chenopodiaceae 명아주과					
<i>Atriplex gmelinii</i> C.A.Mey. 가는갯는쟁이			○		
<i>Atriplex hastata</i> L. 창명아주	○		○		
<i>Atriplex subcordata</i> Kitag. 갯는쟁이			○		
<i>Chenopodium album</i> L. 흰명아주			○		
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i> Makino 명아주	○	○	○		○
<i>Chenopodium bryoniaefolium</i> Bunge 청명아주			○		
<i>Chenopodium ficifolium</i> Smith 좀명아주	○	○			
<i>Chenopodium glaucum</i> L. 취명아주		○	○		
<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad. 땀싸리		○			
<i>Salicornia europaea</i> L. 통통마디			○		
<i>Suaeda glauca</i> (Bunge) Bunge 나문재			○		
<i>Suaeda japonica</i> Makino 칠면초			○		
<i>Suaeda maritima</i> (L.) Dumort. 해홍나물	○		○		
Amaranthaceae 비름과					
<i>Achyranthes japonica</i> (Miq.) Nakai 쇠무릎	○	○	○		○
<i>Amaranthus lividus</i> L. 개비름		○			
<i>Amaranthus retroflexus</i> L. 털비름		○			
<i>Amaranthus spinosus</i> L. 가시비름	○				
<i>Celosia cristata</i> L. 맨드라미(재)		○			
Magnoliaceae 목련과					
<i>Magnolia denudata</i> Desr. 백목련(재)		○			
<i>Magnolia obovata</i> Thunb. 일본목련(재)		○			
Lauraceae 녹나무과					
<i>Lindera erythrocarpa</i> Makino 비목나무	○		○	○	○
<i>Lindera glauca</i> (Siebold & Zucc.) Blume 감태나무			○		
<i>Lindera obtusiloba</i> Blume 생강나무	○	○	○	○	○
<i>Lindera obtusiloba</i> f. <i>ovata</i> T.B.Lee 둥근잎생강나무				○	
Ranunculaceae 미나리아재비과					
<i>Aconitum jaluense</i> Kom. 투구꽃			○		
<i>Clematis apiifolia</i> DC. 사위질빵	○	○	○	○	○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Clematis terniflora</i> var. <i>mandshurica</i> (Rupr.) Ohwi 으아리	○		○		
<i>Clematis trichotoma</i> Nakai 할미밀망		○			○
<i>Hepatica asiatica</i> Nakai 노루귀				○	
<i>Ranunculus cantoniensis</i> DC. 털개구리미나리		○			
<i>Ranunculus chinensis</i> Bunge 짓가락나물			○		
<i>Ranunculus japonicus</i> Thunb. 미나리아재비	○				
<i>Thalictrum actaeifolium</i> var. <i>brevistylum</i> Nakai 은꿩의다리			○	○	
<i>Thalictrum aquilegifolium</i> var. <i>sibiricum</i> Regel & Tiling 꿩의다리	○	○		○	○
<i>Thalictrum uchiyamai</i> Nakai 자주꿩의다리		○			
Lardizabalaceae 으름덩굴과					
<i>Akebia quinata</i> (Houtt.) Decne. 으름덩굴	○	○	○	○	○
Menispermaceae 방기과					
<i>Cocculus trilobus</i> (Thunb.) DC. 댕댕이덩굴	○	○	○	○	○
Chloranthaceae 홀아비꽃대과					
<i>Chloranthus japonicus</i> Siebold 홀아비꽃대					○
Aristolochiaceae 쥐방울덩굴과					
<i>Asarum sieboldii</i> Miq. 족도리풀				○	
Actinidiaceae 다래나무과					
<i>Actinidia arguta</i> (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq. 다래		○	○		
<i>Actinidia arguta</i> var. <i>rufinervis</i> Nakai 녹다래					○
<i>Actinidia kolomikta</i> (Maxim. & Rupr.) Maxim. 쥐다래	○		○		
<i>Actinidia polygama</i> (Siebold & Zucc.) Planch. ex Maxim. 개다래			○		
Theaceae 차나무과					
<i>Camellia japonica</i> L. 동백나무		○			
Guttiferae 물레나물과					
<i>Hypericum ascyron</i> L. 물레나물	○		○		○
<i>Hypericum attenuatum</i> Choisy 채고추나물			○		
<i>Hypericum erectum</i> Thunb. 고추나물	○		○	○	○
<i>Hypericum japonicum</i> Thunb. 애기고추나물				○	
Papaveraceae 양귀비과					
<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i> (H. Hara) Ohwi 애기똥풀		○	○	○	
Fumariaceae 현호색과					

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Corydalis ambigua</i> Cham. & Schleht. 왜현호색	○		○		
<i>Corydalis remota</i> Fisch. ex Maxim. 현호색		○			
<i>Corydalis speciosa</i> Maxim. 산괴불주머니	○		○		
Cruciferae 십자화과					
<i>Arabis glabra</i> Bernh. 장대나물			○		
<i>Berteroella maximowiczii</i> (Palib.) O.E.Schulz 장대냉이	○				
<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern. 갯(재)		○			
<i>Capsella bursapastoris</i> (L.) L.W.Medicus 냉이	○	○	○		
<i>Cardamine fallax</i> L. 좁쌀냉이	○				
<i>Cardamine flexuosa</i> With. 황새냉이	○	○	○		
<i>Draba nemorosa</i> L. 꽃다지	○	○	○		
<i>Lepidium apetalum</i> Willd. 다닥냉이	○		○		
<i>Lepidium virginicum</i> L. 콩다닥냉이		○		○	
<i>Rorippa palustris</i> (Leyss.) Besser 속속이풀	○	○	○		
Crassulaceae 돌나물과					
<i>Hylotelephium erythrostictum</i> (Miq.) H.Ohba 평의비름					○
<i>Orostachys japonica</i> (Maxim.) A.Berger 바위솔					○
<i>Sedum bulbiferum</i> Makino 말뚝비름		○			
<i>Sedum kamtschaticum</i> Fisch. & Mey. 기린초			○		○
<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge 돌나물			○		○
Saxifragaceae 범의귀과					
<i>Astilbe rubra</i> Hook.f. & Thomson 노루오줌	○		○	○	○
<i>Chrysosplenium pilosum</i> var. <i>fulvum</i> (N.Terracc.) H. Hara 흰괭이눈				○	
<i>Deutzia grandiflora</i> var. <i>baroniana</i> Diels 바위말발도리		○		○	
<i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser. 수국		○			
<i>Philadelphus tenuifolius</i> Rupr. & Maxim. 얇은잎고광나무	○				
<i>Ribes fasciculatum</i> var. <i>chinense</i> Maxim. 까마귀밥나무	○	○			
Rosaceae 장미과					
<i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb. 짚신나물	○	○	○	○	○
<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke 뱀딸기	○	○	○		

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Filipendula glaberrima</i> Nakai 터리풀	○				
<i>Geum aleppicum</i> Jacq. 큰땀무	○	○	○		
<i>Geum japonicum</i> Thunb. 땀무			○		
<i>Potentilla anemonefolia</i> Lehm. 가락지나물		○			
<i>Potentilla dickinsii</i> Franch. & Sav. 돌양지꽃					○
<i>Potentilla fragarioides</i> var. <i>major</i> Maxim. 양지꽃	○		○		○
<i>Potentilla freyniana</i> Bornm. 세잎양지꽃	○	○			○
<i>Potentilla fruticosa</i> var. <i>rigida</i> (Wall.) Th.Wolf 물싸리					○
<i>Potentilla yokusaina</i> Makino 민눈양지꽃				○	
<i>Prunus davidiana</i> (Carrière) Franch. 산복사나무	○				
<i>Prunus glandulosa</i> Thunb. 산옥매					○
<i>Prunus japonica</i> var. <i>nakaii</i> (H.Lév.) Rehder 이스라지	○				
<i>Prunus leveilleana</i> var. <i>pilosa</i> Nakai 털개벚나무	○				
<i>Prunus maximowiczii</i> Rupr. 산개벚지나무				○	
<i>Prunus padus</i> L. 귀룽나무				○	
<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch 복사나무(재)	○		○		
<i>Prunus sargentii</i> Rehder 산벚나무		○		○	
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>pubescens</i> (Makino) Nakai 잔털벚나무	○	○			
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i> (Maxim.) E.H.Wilson 벚나무(재)	○	○	○		○
<i>Prunus verecunda</i> (Koidz.) Koehne 개벚나무	○		○		
<i>Prunus yedoensis</i> Matsum. 왕벚나무(재)			○		
<i>Pyrus calleryana</i> var. <i>fauriei</i> (C.K.Schneid.) Rehder 콩배나무	○				
<i>Pyrus pyrifolia</i> (Burm.f.) Nakai 돌배나무					○
<i>Rosa multiflora</i> Thunb. 찔레꽃	○	○	○	○	
<i>Rosa multiflora</i> var. <i>quelpaertensis</i> (H.Lév.) Nakai 좀찔레				○	
<i>Rosa wichuraiana</i> Crep. ex Franch. & Sav. 돌가시나무		○			
<i>Rubus corchorifolius</i> L.f. 수리딸기		○			○
<i>Rubus coreanus</i> Miq. 복분자딸기		○	○		
<i>Rubus crataegifolius</i> Bunge 산딸기	○	○	○	○	○
<i>Rubus hirsutus</i> Thunb. 장딸기	○				
<i>Rubus oldhamii</i> Miq. 줄딸기	○	○			

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Rubus parvifolius</i> L. 멍석딸기	○	○	○	○	○
<i>Rubus phoenicolasius</i> Maxim. 곰딸기	○	○	○		○
<i>Sanguisorba officinalis</i> L. 오이풀	○	○	○		○
<i>Sorbus alnifolia</i> (Siebold & Zucc.) C.Koch 팔배나무	○	○	○		○
<i>Sorbus alnifolia</i> var. <i>lobulata</i> (Koidz.) Rehder 벌배나무					○
<i>Spiraea prunifolia</i> f. <i>simpliciflora</i> Nakai 조팝나무	○	○	○		
<i>Stephanandra incisa</i> (Thunb.) Zabel 국수나무	○		○		
Leguminosae 콩과					
<i>Aeschynomene indica</i> L. 자귀풀	○	○	○		
<i>Albizia julibrissin</i> Durazz. 자귀나무(재)	○	○	○	○	○
<i>Amorpha fruticosa</i> L. 족제비싸리(재)	○	○	○	○	
<i>Amphicarpaea bracteata</i> subsp. <i>edgeworthii</i> (Benth.) H.Ohashi 새콩	○			○	
<i>Astragalus mongholicus</i> Bunge 황기(재)				○	
<i>Cercis chinensis</i> Bunge 박태기나무		○			
<i>Chamaecrista nomame</i> (Siebold) H.Ohashi 차풀	○		○	○	
<i>Dunbaria villosa</i> (Thunb.) Makino 여우팔				○	
<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc. 돌콩		○	○		○
<i>Indigofera kirilowii</i> Maxim. ex Palib. 땅비싸리	○	○	○		○
<i>Kummerowia striata</i> (Thunb.) Schindl. 매듭풀	○	○	○		○
<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz. 싸리	○		○	○	○
<i>Lespedeza cuneata</i> G.Don 비수리	○		○	○	
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> Miq. 참싸리	○	○	○		
<i>Lespedeza maximowiczii</i> C.K.Schneid. 조록싸리	○	○	○	○	○
<i>Lespedeza maximowiczii</i> var. <i>tomentella</i> Nakai 털조록싸리	○	○			
<i>Lespedeza thunbergii</i> subsp. <i>formosa</i> (Vogel) H.Ohashi 풀싸리	○		○		
<i>Lespedeza tomentosa</i> (Thunb.) Siebold ex Maxim. 개싸리			○		
<i>Lespedeza virgata</i> (Thunb.) DC. 쯔싸리		○			
<i>Lespedeza xrobusta</i> Nakai 고양이				○	
<i>Lotus corniculatus</i> L. 서양별노랑이		○			
<i>Maackia amurensis</i> Rupr. 다릅나무					○
<i>Pueraria lobata</i> (Willd.) Ohwi 칩	○	○	○	○	○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Rhynchosia volubilis</i> Lour. 여우콩		○			
<i>Robinia pseudoacacia</i> L. 아까시나무(재)	○	○	○		○
<i>Sophora flavescens</i> Solander ex Aiton 고삼	○		○		○
<i>Sophora japonica</i> L. 회화나무	○				
<i>Trifolium pratense</i> L. 붉은토끼풀	○	○			
<i>Trifolium repens</i> L. 토끼풀	○	○	○		
<i>Vicia amoena</i> Fisch. ex DC. 갈퀴나물		○			
<i>Vicia angustifolia</i> var. <i>minor</i> (Bertol.) Ohwi 가는갈퀴	○				
<i>Vicia cracca</i> L. 등갈퀴나물		○			
<i>Vicia hirsuta</i> (L.) Gray 새완두				○	
<i>Vicia unijuga</i> A.Braun 나비나물	○		○		○
<i>Vicia venosa</i> (Willd.) Maxim. 연리갈퀴			○		
<i>Vigna angularis</i> var. <i>nipponensis</i> (Ohwi) Ohwi & H.Ohashi 새팥		○	○		○
<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. 동부(재)		○			
<i>Wisteria floribunda</i> (Willd.) DC. 등		○			○
Oxalidaceae 갱이밥과					
<i>Oxalis corniculata</i> L. 갱이밥	○	○	○		○
<i>Oxalis stricta</i> L. 선갱이밥		○	○		
Geraniaceae 쥐손이풀과					
<i>Geranium sibiricum</i> L. 쥐손이풀		○	○	○	
<i>Geranium thunbergii</i> Siebold & Zucc. 이질풀	○	○			
<i>Geranium wilfordii</i> Maxim. 세잎쥐손이		○			
Euphorbiaceae 대극과					
<i>Acalypha australis</i> L. 깨풀	○	○	○		○
<i>Euphorbia humifusa</i> Willd. ex Schldl. 땅빈대			○		
<i>Euphorbia pekinensis</i> Rupr. 대극		○			○
<i>Euphorbia sieboldiana</i> Morren & Decne. 개감수	○				
<i>Euphorbia supina</i> Raf. 애기땅빈대	○	○			
<i>Phyllanthus ussuriensis</i> Rupr. & Maxim. 여우주머니	○	○			
<i>Sapium japonicum</i> (Siebold & Zucc.) Pax & Hoffm. 사람주나무	○		○		○
<i>Securinega suffruticosa</i> (Pall.) Rehder 광대싸리	○		○		○
Rutaceae 운향과					
<i>Citrus junos</i> Siebold ex Tanaka 유자나무		○			
<i>Dictamnus dasycarpus</i> Turcz. 백선	○		○		
<i>Euodia daniellii</i> Hemsl. 쉬나무					○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Zanthoxylum piperitum</i> (L.) DC. 초피나무	○	○	○	○	○
<i>Zanthoxylum planispinum</i> Siebold & Zucc. 개산초	○				
<i>Zanthoxylum schinifolium</i> Siebold & Zucc. 산초나무	○	○	○	○	○
Simaroubaceae 소태나무과					
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle 가죽나무(재)	○	○	○		
<i>Picrasma quassioides</i> (D.Don) Benn. 소태나무	○		○		
Polygalaceae 원지과					
<i>Polygala japonica</i> Houtt. 애기풀		○			
Anacardiaceae 율나무과					
<i>Rhus javanica</i> L. 불나무	○	○	○	○	○
<i>Rhus sylvestris</i> Siebold & Zucc. 산검양율나무			○		
<i>Rhus trichocarpa</i> Miq. 개율나무		○			○
<i>Rhus verniciflua</i> Stokes 율나무				○	
Aceraceae 단풍나무과					
<i>Acer palmatum</i> Thunb. 단풍나무		○	○	○	
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i> (Maxim.) Ohashi 고로쇠나무			○		○
<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom. 당단풍나무	○		○	○	
<i>Acer tataricum</i> subsp. <i>ginnala</i> (Maxim.) Wesm. 신나무	○	○	○		
<i>Acer triflorum</i> Kom. 복자기		○			
Sabiaceae 나도밤나무과					
<i>Meliosma oldhamii</i> Maxim. 합다리나무			○		
Balsaminaceae 봉선화과					
<i>Impatiens balsamina</i> L. 봉선화		○			
<i>Impatiens textori</i> Miq. 물봉선	○		○	○	
Aquifoliaceae 감탕나무과					
<i>Ilex macropoda</i> Miq. 대팻집나무					○
Celastraceae 노박덩굴과					
<i>Celastrus orbiculatus</i> Thunb. 노박덩굴			○		
<i>Euonymus alatus</i> (Thunb.) Siebold 화살나무	○			○	○
<i>Euonymus alatus</i> f. <i>ciliatodentatus</i> (Franch. & Sav.) Hiyama 회잎나무	○	○	○		○
<i>Euonymus hamiltonianus</i> Wall. 참빗살나무			○		
<i>Euonymus japonicus</i> Thunb. 사철나무	○	○			

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Euonymus oxyphyllus</i> Miq. 참회나무		○			
Rhamnaceae 갈매나무과					
<i>Zizyphus jujuba</i> var. <i>inermis</i> (Bunge) Rehder 대추나무(재)		○			
Vitaceae 포도과					
<i>Ampelopsis heterophylla</i> (Thunb.) Siebold & Zucc. 개머루	○	○	○	○	○
<i>Cayratia japonica</i> (Thunb.) Gagnep. 거지덩굴			○		
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold & Zucc.) Planch. 담쟁이덩굴(재)	○		○	○	○
<i>Vitis coignetiae</i> Pulliat ex Planch. 머루		○			
<i>Vitis ficifolia</i> var. <i>sinuata</i> (Regel) H. Hara 까마귀머루		○			○
<i>Vitis flexuosa</i> Thunb. 새머루	○	○		○	
Tiliaceae 피나무과					
<i>Grewia parviflora</i> Bunge 장구밤나무	○				○
<i>Tilia amurensis</i> Rupr. 피나무					○
<i>Tilia miqueliana</i> Maxim. 보리자나무	○				
Malvaceae 아욱과					
<i>Hibiscus syriacus</i> L. 무궁화(재)		○			
Sterculiaceae 벽오동과					
<i>Corchoropsis psilocarpa</i> Harms & Loes. 까치깨		○			
<i>Corchoropsis tomentosa</i> (Thunb.) Makino 수까치깨			○		
Elaeagnaceae 보리수나무과					
<i>Elaeagnus umbellata</i> Thunb. 보리수나무	○	○	○		○
Violaceae 제비꽃과					
<i>Viola acuminata</i> Ledeb. 졸방제비꽃	○		○	○	
<i>Viola albida</i> f. <i>takahashii</i> (Makino) W.T.Lee 단풍제비꽃	○				
<i>Viola albida</i> var. <i>chaerophylloides</i> (Regel) F.Maek. ex Hara 남산제비꽃	○	○	○	○	○
<i>Viola collina</i> Besser 둥근털제비꽃	○	○	○	○	
<i>Viola japonica</i> Langsd. ex Ging. 왜제비꽃			○		
<i>Viola keiskei</i> Miq. 잔털제비꽃			○	○	
<i>Viola mandshurica</i> W.Becker 제비꽃	○	○	○		○
<i>Viola phalacrocarpa</i> Maxim. 털제비꽃	○				
<i>Viola rossii</i> Hemsl. 고깔제비꽃		○	○		○
<i>Viola variegata</i> Fisch. ex Link 알록제비꽃		○			○
<i>Viola yedoensis</i> Makino 호제비꽃		○			
Cucurbitaceae 박과					

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Cucurbita moschata</i> Duchesne 호박(재)		○			
<i>Lagenaria leucantha</i> Rusby 박(재)		○			
<i>Luffa cylindrica</i> Roem. 수세미오이(재)		○			
<i>Sicyos angulatus</i> L. 가시박	○				
<i>Trichosanthes kirilowii</i> var. <i>japonica</i> Kitam. 노랑하늘타리		○			
Lythraceae 부처꽃과					
<i>Lagerstroemia indica</i> L. 배롱나무		○			
Onagraceae 바늘꽃과					
<i>Circaea cordata</i> Royle 쇠털이슬		○			
<i>Epilobium pyrricholophum</i> Franch. & Sav. 바늘꽃					○
<i>Oenothera biennis</i> L. 달맞이꽃	○	○	○	○	○
Haloragaceae 개미탑과					
<i>Haloragis micrantha</i> (Thunb.) R.Br. ex Siebold & Zucc. 개미탑		○			
Alangiaceae 박쥐나무과					
<i>Alangium platanifolium</i> var. <i>trilobum</i> (Miq.) Ohwi 박쥐나무			○	○	
Cornaceae 층층나무과					
<i>Cornus controversa</i> Hemsl. 층층나무			○		
<i>Cornus kousa</i> F.Buerger ex Miquel 산딸나무			○		
Araliaceae 두릅나무과					
<i>Aralia cordata</i> Thunb. 땅두릅	○				
<i>Aralia elata</i> (Miq.) Seem. 두릅나무	○		○		
<i>Kalopanax septemlobus</i> (Thunb.) Koidz. 음나무		○	○		
Umbelliferae 산형과					
<i>Angelica cartilagino-marginata</i> (Makino) Nakai 처녀바디				○	○
<i>Angelica dahurica</i> (Fisch. ex Hoffm.) Benth. & Hook.f. ex Franch. & Sav. 구릿대	○				
<i>Angelica decursiva</i> (Miq.) Franch. & Sav. 바디나물		○	○	○	○
<i>Heracleum moellendorffii</i> Hance 어수리			○		
<i>Hydrocotyle ramiflora</i> Maxim. 큰피막이			○		
<i>Oenanthe javanica</i> (Blume) DC. 미나리		○			
<i>Ostericum grosseserratum</i> (Maxim.) Kitag. 신감채	○		○		
<i>Peucedanum terebinthaceum</i> (Fisch.) Fisch. ex DC. 기름나물			○	○	○
<i>Sium suave</i> Walter 개발나물					○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Torilis japonica</i> (Houtt.) DC. 사상자	○	○	○		
Pyrolaceae 노루발과					
<i>Chimaphila japonica</i> Miq. 매화노루발					○
<i>Pyrola japonica</i> Klenze ex Alef. 노루발	○	○	○	○	○
Ericaceae 진달래과					
<i>Rhododendron mucronulatum</i> Turcz. 진달래	○	○	○	○	○
<i>Rhododendron schlippenbachii</i> f. <i>albiflorum</i> Y.N.Lee 흰철쭉(재)	○				
<i>Rhododendron schlippenbachii</i> Maxim. 철쭉		○	○		
<i>Rhododendron yedoense</i> f. <i>poukhanense</i> (H.Lév.) M.Sugim. T.Yamaz. 산철쭉		○	○		
<i>Vaccinium hirtum</i> var. <i>koreanum</i> (Nakai) Kitam. 산앵도나무	○				
Primulaceae 앵초과					
<i>Lysimachia clethroides</i> Duby 큰까치수염	○	○	○	○	○
Plumbaginaceae 갯질경이과					
<i>Limonium tetragonum</i> (Thunb.) Bullock 갯질경		○			
Ebenaceae 감나무과					
<i>Diospyros kaki</i> Thunb. 감나무(재)		○			
<i>Diospyros lotus</i> L. 고욤나무(재)			○		
Styracaceae 때죽나무과					
<i>Styrax japonicus</i> Siebold & Zucc. 때죽나무	○	○	○	○	○
<i>Styrax obassia</i> Siebold & Zucc. 쪽동백나무			○		○
Symplocaceae 노린재나무과					
<i>Symplocos chinensis</i> f. <i>pilosa</i> (Nakai) Ohwi 노린재나무	○	○	○		○
Oleaceae 물푸레나무과					
<i>Forsythia koreana</i> (Rehder) Nakai 개나리(재)	○				
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance 물푸레나무			○	○	○
<i>Ligustrum obtusifolium</i> Siebold & Zucc. 쥐똥나무	○	○	○	○	○
<i>Syringa oblata</i> var. <i>dilatata</i> (Nakai) Rehder 수수꽃다리		○			
Gentianaceae 용담과					
<i>Gentiana squarrosa</i> Ledeb. 구슬봉이	○				
<i>Gentiana zollingeri</i> Faw. 큰구슬봉이	○				
Asclepiadaceae 박주가리과					
<i>Cynanchum wilfordii</i> (Maxim.) Hemsl. 큰조롱				○	

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino 박주가리	○	○	○		○
Rubiaceae 꼭두서니과					
<i>Galium gracilens</i> (A.Gray) Makino 좁네잎갈퀴		○			
<i>Galium pogonanthum</i> Franch. & Sav. 산갈퀴		○			
<i>Galium spurium</i> var. <i>echinospermon</i> (Wallr.) Hayek 갈퀴덩굴		○	○	○	
<i>Galium verum</i> var. <i>asiaticum</i> Nakai 솔나물	○		○		
<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. 계요등	○		○		
<i>Rubia akane</i> Nakai 꼭두서니	○	○	○	○	
<i>Rubia cordifolia</i> var. <i>pratensis</i> Maxim. 갈퀴꼭두서니	○	○	○		○
Convolvulaceae 메꽃과					
<i>Calystegia dahurica</i> (Herb.) Choisy 선메꽃		○			
<i>Calystegia hederacea</i> Wall. 애기메꽃	○	○			
<i>Calystegia sepium</i> var. <i>japonicum</i> (Choisy) Makino 메꽃	○	○	○		
<i>Cuscuta pentagona</i> Engelm. 미국실새삼	○	○			
<i>Pharbitis nil</i> (L.) Choisy 나팔꽃	○	○			
<i>Quamoclit coccinea</i> Moench 둥근잎유홍초		○	○		
<i>Quamoclit pennata</i> (Desr.) Bojer 유홍초	○				
Boraginaceae 지치과					
<i>Trigonotis peduncularis</i> (Trevir.) Benth. ex Hemsl. 꽃마리	○	○	○		
Verbenaceae 마편초과					
<i>Callicarpa japonica</i> Thunb. 작살나무	○	○	○	○	○
<i>Clerodendrum trichotomum</i> Thunb. 누리장나무	○	○	○		
Labiatae 꿀풀과					
<i>Agastache rugosa</i> (Fisch. & Mey.) Kuntze 배초향	○		○		
<i>Ajuga multiflora</i> Bunge 조개나물	○				
<i>Clinopodium chinense</i> var. <i>parviflorum</i> (Kudo) H. Hara 층층이꽃	○	○	○		
<i>Clinopodium chinense</i> var. <i>shibetchense</i> (H.Lév.) Koidz. 산층층이		○			
<i>Elsholtzia ciliata</i> (Thunb.) Hyl. 향유			○		
<i>Isodon inflexus</i> (Thunb.) Kudo 산박하	○	○	○	○	
<i>Isodon japonicus</i> (Burm.) Hara 방아풀	○	○			○
<i>Lamium amplexicaule</i> L. 광대나물	○	○	○		

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Leonurus japonicus</i> Houtt. 익모초	○	○		○	
<i>Lycopus lucidus</i> Turcz. ex Benth. 습싸리		○	○		○
<i>Meehania urticifolia</i> (Miq.) Makino 벌개덩굴			○		
<i>Mosla dianthera</i> (Buch.-Ham. ex Roxb.) ex Maxim. 쥐깨풀	○	○	○		
<i>Mosla japonica</i> (Benth.) Maxim. 산들깨			○		
<i>Mosla punctulata</i> (J.F.Gmelin) Nakai 들깨풀			○		
<i>Nepeta cataria</i> L. 개박하	○				
<i>Perilla frutescens</i> var. <i>japonica</i> (Hassk.) H. Hara 들깨(재)		○			
<i>Phlomis umbrosa</i> Turcz. 속단					○
<i>Prunella vulgaris</i> var. <i>lilacina</i> Nakai 꿀풀	○	○	○		
<i>Salvia plebeia</i> R.Br. 배암차즈기		○			
Solanaceae 가지과					
<i>Capsicum annuum</i> L. 고추(재)		○			
<i>Lycium chinense</i> Mill. 구기자나무(재)				○	
<i>Solanum carolinense</i> L. 도깨비가지	○				
<i>Solanum melongena</i> L. 가지(재)		○			
<i>Solanum nigrum</i> L. 까마중	○	○			○
Scrophulariaceae 현삼과					
<i>Lindernia micrantha</i> D.Don 논뚝외풀	○				
<i>Lindernia procumbens</i> (Krock.) Borbas 발뚝외풀		○	○		
<i>Mazus pumilus</i> (Burm.f.) Steenis 주름잎	○	○	○		
<i>Melampyrum roseum</i> Maxim. 꽃머느리밥풀	○	○	○	○	○
<i>Melampyrum roseum</i> var. <i>ovalifolium</i> Nakai ex Beauverd 알머느리밥풀					○
<i>Paulownia coreana</i> Uyeki 오동나무(재)	○		○		
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steud. 참오동나무(재)			○		
<i>Pedicularis resupinata</i> L. 송이풀	○				
<i>Phtheirospermum japonicum</i> (Thunb.) Kanitz 나도송이풀			○		
<i>Veronica didyma</i> var. <i>lilacina</i> (H. Hara) T.Yamaz. 개불알풀	○				
<i>Veronica persica</i> Poir. 큰개불알풀		○			
<i>Veronica undulata</i> Wall. 물칭개나물			○		
Bignoniaceae 능소화과					
<i>Catalpa ovata</i> G.Don 개오동		○	○		
Acanthaceae 쥐꼬리망초과					
<i>Justicia procumbens</i> L. 쥐꼬리망초	○	○	○		

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
Pedaliaceae 참깨과					
<i>Sesamum indicum</i> L. 참깨(재)		○			
Lentibulariaceae 통발과					
<i>Utricularia vulgaris</i> var. <i>japonica</i> (Makino) Tamura 통발					○
Phrymaceae 파리풀과					
<i>Phryma leptostachya</i> var. <i>asiatica</i> H. Hara 파리풀		○	○	○	○
Plantaginaceae 질경이과					
<i>Plantago asiatica</i> L. 질경이	○	○	○		
<i>Plantago lanceolata</i> L. 창질경이		○			
<i>Plantago major</i> f. <i>yezomaritima</i> (Koidz.) Ohwi 갯질경이	○		○		
Caprifoliaceae 인동과					
<i>Lonicera harai</i> Makino 길마가지나무		○			
<i>Lonicera japonica</i> Thunb. 인동덩굴	○	○	○		○
<i>Lonicera japonica</i> var. <i>repens</i> (Siebold) Rehder 털인동				○	
<i>Lonicera praeflorens</i> Batalin 올괴불나무					○
<i>Lonicera subhispida</i> Nakai 털괴불나무	○				
<i>Sambucus williamsii</i> var. <i>coreana</i> (Nakai) Nakai 딱총나무			○	○	○
<i>Viburnum carlesii</i> Hemsl. 분꽃나무	○				
<i>Viburnum dilatatum</i> Thunb. 가막살나무	○	○	○	○	○
<i>Viburnum erosum</i> Thunb. 덜꿩나무		○	○		○
<i>Weigela florida</i> (Bunge) A.DC. 붉은병꽃나무		○	○		○
<i>Weigela subsessilis</i> (Nakai) L.H.Bailey 병꽃나무	○	○	○	○	○
Valerianaceae 마타리과					
<i>Patrinia scabiosaefolia</i> Fisch. ex Trevir. 마타리	○	○	○	○	○
<i>Patrinia villosa</i> (Thunb.) Juss. 뚝갈	○	○	○		○
<i>Valeriana fauriei</i> Briq. 쥐오줌풀	○	○			
Campanulaceae 초롱꽃과					
<i>Adenophora remotiflora</i> (Siebold & Zucc.) Miq. 모시대					○
<i>Adenophora stricta</i> Miq. 당잔대			○		
<i>Adenophora triphylla</i> var. <i>japonica</i> (Regel) H. Hara 잔대				○	○
<i>Lobelia chinensis</i> Lour. 수염가래꽃		○			
<i>Platycodon grandiflorum</i> (Jacq.) A.DC. 도라지	○	○	○		○
Compositae 국화과					

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Adenocaulon himalaicum</i> Edgew. 멸가치		○			
<i>Ainsliaea acerifolia</i> Sch.Bip. 단풍취			○		
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L. 돼지풀	○		○		
<i>Arctium lappa</i> L. 우엉		○			
<i>Artemisia annua</i> L. 개똥쑥		○			
<i>Artemisia capillaris</i> Thunb. 사철쑥	○	○			
<i>Artemisia feddei</i> H.Lév. & Vaniot 뽕쑥			○		
<i>Artemisia japonica</i> Thunb. 제비쑥	○	○		○	○
<i>Artemisia keiskeana</i> Miq. 맑은대쑥	○		○	○	○
<i>Artemisia montana</i> (Nakai) Pamp. 산쑥		○			
<i>Artemisia princeps</i> Pamp. 쑥	○	○	○	○	○
<i>Artemisia stolonifera</i> (Maxim.) Kom. 넓은잎외쑥		○			
<i>Aster ageratoides</i> Turcz. 까실쑥부쟁이			○		
<i>Aster associatus</i> Kitag. 민쑥부쟁이				○	
<i>Aster hispidus</i> Thunb. 갯쑥부쟁이	○				
<i>Aster meyerendorffii</i> (Regel & Maack) Voss 개쑥부쟁이	○		○		
<i>Aster pilosus</i> Willd. 미국쑥부쟁이	○				
<i>Aster scaber</i> Thunb. 참취	○		○		○
<i>Aster subulatus</i> Michx. 비짜루국화			○		
<i>Aster tataricus</i> L.f. 개미취	○				
<i>Aster yomena</i> (Kitam.) Honda 쑥부쟁이			○		○
<i>Atractylodes ovata</i> (Thunb.) DC. 삼주	○		○		○
<i>Bidens bipinnata</i> L. 도깨비바늘	○	○	○		○
<i>Bidens biternata</i> (Lour.) Merr. & Sherff ex Sherff 털도깨비바늘			○		
<i>Bidens frondosa</i> L. 미국가막사리	○	○		○	
<i>Bidens tripartita</i> L. 가막사리	○				○
<i>Breia segeta</i> (Willd.) Kitam. 조뱅이	○				
<i>Calendula arvensis</i> L. 금잔화		○			
<i>Callistephus chinensis</i> (L.) Nees 과꽃		○			
<i>Carduus crispus</i> L. 지느러미엉겅퀴	○		○		
<i>Carpesium abrotanoides</i> L. 담배풀	○				
<i>Centipeda minima</i> (L.) A.Br. & Asch. 중대가리풀		○			
<i>Cirsium japonicum</i> var. <i>maackii</i> (Maxim.) Matsum. 엉겅퀴	○	○	○	○	
<i>Cirsium setidens</i> (Dunn) Nakai 고려엉겅퀴	○				
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist 실망초	○		○	○	○
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist 망초	○		○	○	
<i>Conyza parva</i> (Nutt.) Cronquist 애기망초			○		
<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav. 코스모스(재)		○			

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Crepidiastrum denticulatum</i> (Houtt.) Pak & Kawano 이고들빼기	○		○		○
<i>Crepidiastrum sonchifolium</i> (Bunge) Pak & Kawano 고들빼기	○	○	○		○
<i>Dendranthema boreale</i> (Makino) Ling ex Kitam. 산국	○				○
<i>Dendranthema indicum</i> (L.) DesMoul. 감국			○		○
<i>Dendranthema zawadskii</i> var. <i>latilobum</i> (Maxim.) Kitam. 구절초	○		○		
<i>Echinops setifer</i> Ijin 절굿대	○				
<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L. 한련초	○	○	○		
<i>Erechtites hieracifolia</i> Raf. 붉은서나물	○	○	○		
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers. 개망초	○	○	○		
<i>Erigeron strigosus</i> Muhl. 주걱개망초		○			
<i>Eupatorium japonicum</i> Thunb. 등골나물		○	○	○	○
<i>Eupatorium lindleyanum</i> DC. 골등골나물	○				
<i>Eupatorium makinoi</i> var. <i>oppisitifolium</i> (Koidz.) Kawahara & Yahara 벌등골나물		○	○		
<i>Eupatorium rugosum</i> Houtt. 서양등골나물		○			
<i>Gnaphalium affine</i> D.Don 떡쑥		○	○	○	
<i>Helianthus annuus</i> L. 해바라기		○			
<i>Helianthus tuberosus</i> L. 뚱딴지(재)	○	○			
<i>Hemistepta lyrata</i> Bunge 지칭개				○	
<i>Hieracium umbellatum</i> L. 조밥나물		○			
<i>Hypochaeris radicata</i> L. 서양금혼초		○	○		
<i>Inula salicina</i> var. <i>asiatica</i> Kitam. 버들금불초	○				
<i>Ixeridium dentatum</i> (Thunb.) Tzvelev 씀바귀	○	○	○	○	
<i>Ixeris polycephala</i> Cass. 벌씀바귀	○				
<i>Ixeris strigosa</i> (H.Lév. & Vaniot) J.H.Pak & Kawano 선씀바귀	○			○	
<i>Kalimeris pinnatifida</i> (Maxim.) Kitam. 버드쟁이나물	○				
<i>Lactuca indica</i> f. <i>indivisa</i> (Makino) Hara 가는잎왕고들빼기			○		
<i>Lactuca indica</i> L. 왕고들빼기	○	○	○	○	
<i>Lactuca raddeana</i> Maxim. 산씀바귀	○				
<i>Leibnizia anandria</i> (L.) Turcz. 솜나물	○	○	○		○
<i>Petasites japonicus</i> (Siebold & Zucc.) Maxim. 머위		○			

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Picris hieracioides</i> var. <i>koreana</i> Kitam. 쇠서나물		○			
<i>Rhaponticum uniflorum</i> (L.) DC. 뽕꼭채		○			○
<i>Saussurea grandifolia</i> Maxim. 서덜취				○	
<i>Saussurea pulchella</i> (Fisch.) Fisch. 각시취		○			
<i>Senecio vulgaris</i> L. 개쑥갓		○			
<i>Serratula coronata</i> var. <i>insularis</i> (Iljin) Kitam. 산비장이			○		
<i>Solidago serotina</i> Aiton 미국미역취	○				
<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>asiatica</i> Kitam. ex H. Hara 미역취	○	○	○		○
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill 큰방가지뚥		○			
<i>Sonchus brachyotus</i> DC. 사데풀	○		○		
<i>Sonchus oleraceus</i> L. 방가지뚥		○	○		
<i>Syneilesis palmata</i> (Thunb.) Maxim. 우산나물			○		○
<i>Synurus deltoides</i> (Aiton) Nakai 수리취					○
<i>Taraxacum coreanum</i> Nakai 흰민들레	○				
<i>Taraxacum officinale</i> Weber 서양민들레	○	○	○		
<i>Tephroseris kirilowii</i> (Turcz. ex DC.) Holub 솜방망이	○				
<i>Xanthium strumarium</i> L. 도꼬마리	○				
<i>Youngia japonica</i> (L.) DC. 뿌리뱅이	○		○		
Alismataceae 택사과					
<i>Sagittaria aginashi</i> Makino 보풀					○
<i>Sagittaria sagittifolia</i> subsp. <i>leucopetala</i> (Mig.) Hartog 벼풀	○	○			
Potamogetonaceae 가래과					
<i>Potamogeton distinctus</i> A.Benn. 가래					○
Liliaceae 백합과					
<i>Allium monanthum</i> Maxim. 달래		○			
<i>Allium sacculiferum</i> Maxim. 참산부추	○		○	○	
<i>Allium thunbergii</i> G.Don 산부추	○				○
<i>Asparagus schoberioides</i> Kunth 비짜루	○	○	○		○
<i>Convallaria keiskei</i> Miq. 은방울꽃			○		○
<i>Disporum smilacinum</i> A.Gray 애기나리	○	○	○	○	○
<i>Hemerocallis fulva</i> (L.) L. 원추리	○	○	○		○
<i>Hemerocallis hakuunensis</i> Nakai 백운산원추리		○			
<i>Hemerocallis minor</i> Mill. 애기원추리	○				
<i>Hosta capitata</i> (Koidz.) Nakai 일월비비추			○	○	
<i>Hosta longipes</i> (Franch. & Sav.) Matsum. 비비추	○				
<i>Lilium amabile</i> Palib. 털중나리	○				

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Lilium lancifolium</i> Thunb. 참나리			○		
<i>Lilium tsingtauense</i> Gilg 하늘말나리			○	○	
<i>Liriope platyphylla</i> F.T.Wang & T.Tang 맥문동					○
<i>Liriope spicata</i> (Thunb.) Lour. 개맥문동	○	○		○	
<i>Ophiopogon japonicus</i> (L.f.) KerGawl. 소엽맥문동					○
<i>Polygonatum lasianthum</i> Maxim. 죽대					○
<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i> (Miq.) Ohwi 등골레	○	○	○		
<i>Scilla scilloides</i> (Lindl.) Druce 무릇		○	○		
<i>Smilax china</i> L. 청미래덩굴	○	○	○	○	○
<i>Smilax nipponica</i> Miq. 선밀나물	○	○		○	○
<i>Smilax riparia</i> var. <i>ussuriensis</i> (Regel) Hara & T.Koyama 밀나물	○		○	○	○
<i>Smilax sieboldii</i> f. <i>intermis</i> (Nakai) H. Hara 민청가시덩굴	○	○			
<i>Smilax sieboldii</i> Miq. 청가시덩굴		○	○	○	○
<i>Veratrum maackii</i> var. <i>japonicum</i> (Baker) T.Schmizu 여로	○			○	
Dioscoreaceae 마과					
<i>Dioscorea batatas</i> Decne. 마	○	○	○	○	○
<i>Dioscorea japonica</i> Thunb. 참마		○	○		○
<i>Dioscorea quinqueloba</i> Thunb. 단풍마	○				
<i>Dioscorea tenuipes</i> Franch. & Sav. 각시마				○	
<i>Dioscorea tokoro</i> Makino 도꼬로마		○			
Pontederiaceae 물옥잠과					
<i>Monochoria korsakowii</i> Regel & Maack 물옥잠	○		○		
<i>Monochoria vaginalis</i> var. <i>plantaginea</i> (Roxb.) Solms 물달개비					○
Iridaceae 붓꽃과					
<i>Iris minutiaurea</i> Makino 금붓꽃	○				
<i>Iris rossii</i> Baker 각시붓꽃	○				
<i>Iris sanguinea</i> Donn ex Horn 붓꽃	○	○			
Juncaceae 골풀과					
<i>Juncus diastrophanthus</i> Buchenau 별날개골풀		○			
<i>Juncus effusus</i> var. <i>decipiens</i> Buchenau 골풀	○		○		
<i>Juncus gracillimus</i> (Buchenau) V.I.Krecz. & Gontsch. 물골풀		○			
<i>Juncus leschenaultii</i> J.Gay 참비녀골풀	○				

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Juncus tenuis</i> Willd. 길골풀	○				
<i>Luzula capitata</i> (Miq.) Miq. 꿩의밥	○	○	○		
Commelinaceae 닭의장풀과					
<i>Aneilema keisak</i> Hassk. 사마귀풀	○		○		
<i>Commelina communis</i> L. 닭의장풀	○	○	○	○	○
<i>Commelina communis</i> var. <i>angustifolia</i> Nakai 좀닭의장풀		○			
<i>Tradescantia reflexa</i> Raf. 자주닭개비(재)		○			
Gramineae 벼과					
<i>Agropyron ciliare</i> (Trin.) Franch. 속털개밀	○	○	○	○	
<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> (Hack.) Ohwi 개밀	○		○		
<i>Alopecurus aequalis</i> Sobol. 독새풀	○	○			
<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P.Beauv. ex J.Presl & C.Presl 개나래새			○		
<i>Arthraxon hispidus</i> (Thunb.) Makino 조개풀	○		○		
<i>Arundinella hirta</i> (Thunb.) Koidz. 새	○	○	○	○	○
<i>Arundinella hirta</i> var. <i>ciliata</i> Koidz. 털새		○			
<i>Beckmannia syzigachne</i> (Steud.) Fernald 개피		○			
<i>Briza minor</i> L. 방울새풀	○				
<i>Bromus japonicus</i> Thunb. 참새귀리	○	○	○	○	
<i>Bromus pauciflorus</i> (Thunb.) Hack. 꼬리새		○			
<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth 실새풀		○			
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth 산조풀		○	○		
<i>Calamagrostis langsdorfii</i> (Link) Trin. 산새풀			○		
<i>Calamagrostis pseudophragmites</i> (Haller f.) Koeler 갯조풀			○		
<i>Cymbopogon tortilis</i> var. <i>goeringii</i> (Steud.) Hand.-Mazz. 개솔새	○		○		
<i>Dactylis glomerata</i> L. 오리새	○	○	○	○	
<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koel. 바랭이	○	○	○		○
<i>Digitaria violascens</i> Link 민바랭이			○	○	○
<i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) P.Beauv. 돌피	○	○	○	○	
<i>Echinochloa crusgalli</i> var. <i>oryzicola</i> (Vasinger) Ohwi 물피		○			
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn. 왕바랭이	○	○	○		○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Elymus dahuricus</i> Turcz. ex Griseb. 갯보리		○			
<i>Eragrostis curvula</i> Nees 능수참새그령		○			
<i>Eragrostis ferruginea</i> (Thunb.) P.Beauv. 그령			○		
<i>Eragrostis multicaulis</i> Steud. 비노리		○			
<i>Eriochloa villosa</i> (Thunb.) Kunth 나도개피	○	○	○		
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb. 큰김의털		○			
<i>Festuca myuros</i> L. 들묵새		○		○	
<i>Festuca ovina</i> L. 김의털		○			
<i>Festuca parvigluma</i> Steud. 김의털아재비				○	
<i>Hemarthria sibirica</i> (Gand.) Ohwi 쇠치기풀		○	○		
<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>koenigii</i> (Retz.) Pilg. 띪				○	
<i>Isachne globosa</i> (Thunb.) Kuntze 기장대풀	○				
<i>Leptochloa chinensis</i> (L.) Nees 드렁새			○		
<i>Lolium multiflorum</i> Lam. 쥐보리		○			
<i>Microstegium vimineum</i> (Trin.) A.Camus 나도바랭이새		○	○		
<i>Miscanthus sacchariflorus</i> (Maxim.) Benth. 물억새			○		
<i>Miscanthus sinensis</i> Andersson 참억새	○		○	○	
<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> (Andersson) Rendle 억새		○			○
<i>Muhlenbergia japonica</i> Steud. 쥐꼬리새				○	
<i>Oplismenus undulatifolius</i> (Ard.) P.Beauv. 주름조개풀	○		○	○	○
<i>Oplismenus undulatifolius</i> var. <i>japonicus</i> (Steud.) Koidz. 민주름조개풀		○			
<i>Panicum bisulcatum</i> Thunb. 개기장		○	○		
<i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i> Shinners 털물참새피	○				
<i>Paspalum thunbergii</i> Kunth ex Steud. 참새피		○	○		
<i>Pennisetum alopecuroides</i> (L.) Spreng. 수크령			○		
<i>Pennisetum alopecuroides</i> var. <i>viridescens</i> (Miq.) Ohwi 청수크령			○		
<i>Phacelurus latifolius</i> (Steud.) Ohwi 모새달	○	○	○		

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Phalaris arundinacea</i> L. 갈풀		○	○		○
<i>Phragmites communis</i> Trin. 갈대	○		○		
<i>Phragmites japonica</i> Steud. 달뿌리풀	○		○		
<i>Poa annua</i> L. 새포아풀		○			
<i>Poa nipponica</i> Koidz. 큰꾸러미풀	○				
<i>Poa pratensis</i> L. 왕포아풀			○		
<i>Poa sphondylodes</i> Trin. 포아풀		○		○	○
<i>Pseudoraphis ukishiba</i> Ohwi 물잔디		○			
<i>Pseudosasa japonica</i> (Siebold & Zucc. ex Steud.) Makino 이대		○			
<i>Sasa coreana</i> Nakai 신이대	○				
<i>Setaria faberii</i> Herrm. 가을강아지풀		○	○		
<i>Setaria glauca</i> (L.) P.Beauv. 금강아지풀	○	○	○		
<i>Setaria viridis</i> (L.) P.Beauv. 강아지풀	○	○	○		○
<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench 수수		○			
<i>Spodiopogon sibiricus</i> Trin. 큰기름새			○	○	
<i>Sporobolus fertilis</i> (Steud.) Clayton 쥐꼬리새풀		○	○		
<i>Themeda triandra</i> var. <i>japonica</i> (Willd.) Makino 솔새		○	○		○
<i>Zea mays</i> L. 옥수수(재)		○			
<i>Zoysia japonica</i> Steud. 잔디	○		○		
Araceae 천남성과					
<i>Arisaema peninsulae</i> Nakai 점박이천남성			○		
<i>Pinellia ternata</i> (Thunb.) Breitenb. 반하		○			
Lemnaceae 개구리밥과					
<i>Lemna perpusilla</i> Torr. 좀개구리밥			○		
<i>Spirodela polyrrhiza</i> (L.) Sch. 개구리밥		○			○
Typhaceae 부들과					
<i>Typha angustifolia</i> L. 애기부들		○	○		
Cyperaceae 사초과					
<i>Carex bostrychostigma</i> Maxim. 길뚝사초				○	
<i>Carex breviculmis</i> R.Br. 청사초				○	
<i>Carex dickinsii</i> Franch. & Sav. 도깨비사초		○			
<i>Carex dimorpholepis</i> Steud. 이삭사초	○	○			
<i>Carex dispalata</i> Boott 삿갓사초			○		
<i>Carex forficula</i> Franch. & Sav. 산뚝사초			○		
<i>Carex japonica</i> Thunb. 개피버리사초		○			
<i>Carex laevissima</i> Nakai 애괭이사초	○				
<i>Carex leiorhyncha</i> C.A.Mey. 산괭이사초		○			
<i>Carex maximowiczii</i> 왕비늘사초		○			
<i>Carex neurocarpa</i> Maxim. 괭이사초	○	○	○		
<i>Carex sabynensis</i> Less. ex Kunth 실청사초	○				

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Carex siderosticta</i> Hance 대사초	○		○	○	○
<i>Carex thunbergii</i> var. <i>appendiculata</i> (Trautv. & C.A.Mey.) Ohwi 뚝사초	○				
<i>Cyperus amuricus</i> Maxim. 방동사니	○	○	○		○
<i>Cyperus difformis</i> L. 알방동사니	○				
<i>Cyperus iria</i> L. 참방동사니	○	○			
<i>Cyperus microiria</i> Steud. 금방동사니		○			
<i>Eleocharis congesta</i> D.Don 바늘골		○			
<i>Eleocharis tetraquetra</i> Nees 네모골	○				
<i>Eleocharis wichurae</i> Boeck. 좁네모골		○			
<i>Fimbristylis dichotoma</i> (L.) Vahl 하늘지기	○				
<i>Fimbristylis miliacea</i> (L.) Vahl 바람하늘지기		○			
<i>Fimbristylis squarrosa</i> Vahl 민하늘지기	○	○			
<i>Fimbristylis tristachya</i> var. <i>subbispicata</i> (Nees & Meyen) T.Koyama 꼴하늘지기			○		
<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb. 파대가리			○		
<i>Scirpus fluviatilis</i> (Torr.) A.Gray 큰매자기		○			
<i>Scirpus karuizawensis</i> Makino 솔방울고랭이	○				
Orchidaceae 난초과					
<i>Cephalanthera longibracteata</i> Blume 은대난초			○		
<i>Liparis kumokiri</i> F.Maek. 옥잠난초	○	○			
<i>Liparis makinoana</i> Schlech. 나리난초				○	
<i>Spiranthes sinensis</i> (Pers.) Ames 타래난초	○	○	○		

[표 2] 충남 지역 화력발전소 일대에서 조사된 식물 목록

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
Equisetaceae 속새과					
<i>Equisetum arvense</i> L. 쇠뜨기	○	○	○	○	○
<i>Equisetum ramosissimum</i> Desf. 개속새			○		
Osmundaceae 고비과					
<i>Osmunda japonica</i> Thunb. 고비	○	○	○	○	○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
Dennstaedtiaceae 잔고사리과					
<i>Deparia conilii</i> (Franch. & Sav.) M.Kato 좁진고사리					○
<i>Deparia pycnosora</i> (H.Christ) M.Kato 털고사리	○	○			○
Davalliaceae 넉줄고사리과					
<i>Davallia mariesii</i> T.Moore ex Baker 넉줄고사리					○
<i>Thelypteris beddomei</i> (Baker) Ching 가는잎처녀고사리					○
<i>Thelypteris palustris</i> (Salisb.) Schott 처녀고사리	○	○	○		○
<i>Thelypteris phegopteris</i> (L.) Sloss. 가래고사리	○				
<i>Woodsia manchuriensis</i> Hook. 만주우드풀					○
Aspleniaceae 꼬리고사리과					
<i>Asplenium incisum</i> Thunb. 꼬리고사리					○
<i>Athyrium niponicum</i> (Mett.) Hance 개고사리					○
<i>Athyrium yokoscense</i> (Franch. & Sav.) H.Christ 뱀고사리	○	○	○		○
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw. ex A.Heller 고사리	○	○	○	○	○
Dryopteridaceae 면마과					
<i>Dryopteris bissetiana</i> (Baker) C.Chr. 산족제비고사리					○
<i>Dryopteris chinensis</i> (Baker) Koidz. 가는잎족제비고사리	○	○			○
<i>Dryopteris lacera</i> (Thunb.) Kuntze 비늘고사리					○
<i>Dryopteris varia</i> (L.) Kuntze 족제비고사리		○			
<i>Onoclea orientalis</i> (Hook.) Hook. 개면마					○
<i>Onoclea sensibilis</i> var. <i>interrupta</i> Maxim. 야산고비					○
Ginkgoaceae 은행나무과					
<i>Ginkgo biloba</i> L. 은행나무(재)	○		○		○
Pinaceae 소나무과					
<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc. 소나무	○	○	○		○
<i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc. 잣나무			○		
<i>Pinus rigida</i> Mill. 리기다소나무(재)					○
<i>Pinus thunbergii</i> Parl. 곰솔	○	○		○	

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu & W.C.Cheng 메타세콰이아(재)	○				
Cupressaceae 측백나무과					
<i>Juniperus rigida</i> Siebold & Zucc. 노간주나무	○	○	○	○	○
<i>Thuja orientalis</i> L. 측백나무(재)			○		
Juglandaceae 가래나무과					
<i>Juglans mandshurica</i> Maxim. 가래나무	○				○
<i>Juglans regia</i> L. 호두나무(재)	○				
<i>Platycarya strobilacea</i> Siebold & Zucc. 굴피나무	○	○	○		○
Salicaceae 버드나무과					
<i>Populus alba</i> L. 은백양(재)	○		○	○	
<i>Populus davidiana</i> Dode 사시나무(재)			○	○	
<i>Populus deltoides</i> Marsh. 미루나무(재)				○	
<i>Salix caprea</i> L. 호랑버들	○	○			○
<i>Salix koreensis</i> Andersson 버드나무	○		○		○
Betulaceae 자작나무과					
<i>Alnus japonica</i> (Thunb.) Steud. 오리나무		○			
<i>Alnus sibirica</i> Fisch. ex Turcz. 물오리나무	○		○		○
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i> (Miq.) H. Hara 자작나무	○		○		○
<i>Betula schmidtii</i> Regel 박달나무					○
<i>Carpinus laxiflora</i> (Siebold & Zucc.) Blume 서어나무					○
<i>Carpinus turczaninowii</i> Hance 소사나무	○	○			○
<i>Corylus heterophylla</i> Fisch. ex Trautv. 개암나무	○	○	○	○	○
Fagaceae 참나무과					
<i>Castanea crenata</i> Siebold & Zucc. 밤나무	○	○	○	○	○
<i>Quercus acutissima</i> Carruth. 상수리나무	○		○	○	○
<i>Quercus aliena</i> Blume 갈참나무	○			○	○
<i>Quercus dentata</i> Thunb. 떡갈나무	○	○		○	○
<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb. 신갈나무	○	○	○		○
<i>Quercus serrata</i> Thunb. 졸참나무	○	○	○	○	○
<i>Quercus variabilis</i> Blume 굴참나무					○
Ulmaceae 느릅나무과					
<i>Celtis jessoensis</i> Koidz. 풍게나무					○
<i>Celtis sinensis</i> Pers. 팽나무	○			○	○
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> (Rehder) Nakai 느릅나무					○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Zelkova serrata</i> (Thunb.) Makino 느티나무					○
Moraceae 뽕나무과					
<i>Broussonetia kazinoki</i> Siebold 닥나무					○
<i>Cudrania tricuspidata</i> (Carr.) Bureau ex Lavallee 꾸지뽕나무				○	
<i>Morus alba</i> L. 뽕나무(재)	○		○		○
<i>Morus bombycis</i> f. <i>dissecta</i> Nakai ex Mori 가새뽕나무	○			○	○
<i>Morus bombycis</i> Koidz. 산뽕나무	○	○	○	○	○
Cannabaceae 삼과					
<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc. 환삼덩굴	○	○	○	○	○
Urticaceae 쑥대바위과					
<i>Boehmeria longispica</i> Steud. 왜모시풀					○
<i>Boehmeria platanifolia</i> Franch. & Sav. 개모시풀	○				○
<i>Boehmeria spicata</i> (Thunb.) Thunb. 좁개잎나무					○
<i>Pilea mongolica</i> Wedd. 모시물통이					○
Polygonaceae 마디풀과					
<i>Fallopia dumetorum</i> (L.) Holub 닭의덩굴					○
<i>Persicaria filiformis</i> (Thunb.) Nakai ex Mori 이삭여뀌					○
<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Spach 여뀌		○			
<i>Persicaria japonica</i> (Meisn.) H.Gross ex Nakai 흰꽃여뀌	○	○	○	○	○
<i>Persicaria muricata</i> (Meisn.) Nemoto 넓은잎미꾸리낙시					
<i>Persicaria perfoliata</i> (L.) H.Gross 며느리배꼽	○	○		○	○
<i>Persicaria posumbu</i> var. <i>laxiflora</i> (Meisn.) H. Hara 장대여뀌					○
<i>Persicaria pubescens</i> (Blume) H. Hara 바보여뀌	○	○		○	
<i>Persicaria sagittata</i> (L.) H.Gross 미꾸리낙시					○
<i>Persicaria senticosa</i> (Meisn.) H.Gross ex Nakai 며느리밑씻개					○
<i>Persicaria thunbergii</i> (Siebold & Zucc.) H.Gross 고마리	○	○	○		○
<i>Polygonum aviculare</i> L. 마디풀	○	○	○	○	○
<i>Rumex acetosa</i> L. 수영					○
<i>Rumex acetosella</i> L. 애기수영	○				

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Rumex crispus</i> L. 소리쟁이	○	○	○	○	○
Phytolaccaceae 자리공과					
<i>Phytolacca americana</i> L. 미국자리공	○	○	○	○	○
Molluginaceae 석류풀과					
<i>Mollugo pentaphylla</i> L. 석류풀	○				○
Portulacaceae 쇠비름과					
<i>Portulaca oleracea</i> L. 쇠비름	○	○	○	○	○
Caryophyllaceae 석죽과					
<i>Arenaria serpyllifolia</i> L. 벼룩이자리	○	○		○	○
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill. 유럽점나도나물				○	
<i>Cerastium holosteoides</i> var. <i>hallaisanense</i> (Nakai) Mizush. 점나도나물	○	○	○	○	○
<i>Gypsophila oldhamiana</i> Miq. 대나물					○
<i>Pseudostellaria heterophylla</i> (Miq.) Pax 개별꽃					○
<i>Pseudostellaria palibiniana</i> (Takeda) Ohwi 큰개별꽃					○
<i>Sagina japonica</i> (Sw.) Ohwi 개미자리				○	
<i>Silene aprica</i> var. <i>oldhamiana</i> (Miq.) C.Y.Wu 갯장구채	○			○	
<i>Silene firma</i> Siebold & Zucc. 장구채	○	○	○		○
<i>Stellaria alsine</i> var. <i>undulata</i> (Thunb.) Ohwi 벼룩나물		○			
<i>Stellaria aquatica</i> (L.) Scop. 쇠별꽃	○			○	○
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill. 별꽃	○	○	○	○	○
Chenopodiaceae 명아주과					
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i> Makino 명아주	○	○		○	○
<i>Chenopodium ficifolium</i> Smith 좀명아주	○	○			
Amaranthaceae 비름과					
<i>Achyranthes japonica</i> (Miq.) Nakai 쇠무릎	○	○		○	○
<i>Amaranthus lividus</i> L. 개비름	○		○	○	○
<i>Amaranthus retroflexus</i> L. 털비름				○	
Magnoliaceae 목련과					
<i>Liriodendron tulipifera</i> L. 백합나무(재)	○			○	
<i>Magnolia sieboldii</i> K.Koch 함박꽃나무			○		
Lauraceae 녹나무과					
<i>Lindera erythrocarpa</i> Makino 비목나무					○
<i>Lindera obtusiloba</i> Blume 생강나무	○	○	○	○	○
Ranunculaceae 미나리아재비과					
<i>Clematis apiifolia</i> DC. 사위질빵	○		○	○	○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Clematis heracleifolia</i> DC. 병조희풀					○
<i>Clematis terniflora</i> var. <i>mandshurica</i> (Rupr.) Ohwi 으아리	○	○	○	○	○
<i>Clematis trichotoma</i> Nakai 할미밀망					○
<i>Pulsatilla koreana</i> (Yabe ex Nakai) Nakai ex Nakai 할미꽃	○	○			
<i>Ranunculus chinensis</i> Bunge 젓가락나물				○	
<i>Ranunculus japonicus</i> Thunb. 미나리아재비					○
<i>Semiaquilegia adoxoides</i> (DC.) Makino 개구리발톱				○	
<i>Thalictrum aquilegifolium</i> var. <i>sibiricum</i> Regel & Tiling 췌의다리					○
Lardizabalaceae 으름덩굴과					
<i>Akebia quinata</i> (Houtt.) Decne. 으름덩굴					○
Menispermaceae 방기과					
<i>Cocculus trilobus</i> (Thunb.) DC. 댕댕이덩굴	○	○	○	○	○
Nymphaeaceae 수련과					
<i>Nelumbo nucifera</i> Gaertn. 연꽃			○		
<i>Nymphaea tetragona</i> Georgi 수련		○			
Chloranthaceae 홀아비꽃대과					
<i>Chloranthus japonicus</i> Siebold 홀아비꽃대					○
Aristolochiaceae 쥐방울덩굴과					
<i>Aristolochia contorta</i> Bunge 쥐방울덩굴					○
<i>Asarum sieboldii</i> Miq. 족도리풀					○
Actinidiaceae 다래나무과					
<i>Actinidia arguta</i> (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq. 다래					○
Theaceae 차나무과					
<i>Camellia japonica</i> L. 동백나무	○	○		○	
Guttiferae 물레나물과					
<i>Hypericum ascyron</i> L. 물레나물	○				○
<i>Hypericum erectum</i> Thunb. 고추나물	○		○		○
Papaveraceae 양귀비과					
<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i> (H. Hara) Ohwi 애기똥풀					○
Cruciferae 십자화과					
<i>Arabis glabra</i> Bernh. 장대나물					○
<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern. 갯(재)	○			○	
<i>Capsella bursapastoris</i> (L.) L.W.Medicus 냉이	○	○		○	

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Cardamine flexuosa</i> With. 황새냉이					○
<i>Draba nemorosa</i> L. 꽃다지					○
<i>Lepidium apetalum</i> Willd. 다닥냉이	○	○	○	○	○
<i>Rorippa palustris</i> (Leyss.) Besser 속속이풀	○		○		○
<i>Thlaspi arvense</i> L. 말냉이				○	
Crassulaceae 돌나물과					
<i>Hylotelephium erythrostictum</i> (Miq.) H.Ohba 켜의비름					○
<i>Orostachys filirera</i> (Nakai) Nakai 애기바위솔					○
<i>Sedum kamtschaticum</i> Fisch. & Mey. 기린초					○
<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge 돌나물					○
Saxifragaceae 범의귀과					
<i>Astilbe rubra</i> Hook.f. & Thomson 노루오줌					○
<i>Ribes fasciculatum</i> var. <i>chinense</i> Maxim. 까마귀밥나무					○
Rosaceae 장미과					
<i>Agrimonia coreana</i> Nakai 산짚신나물					○
<i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb. 짚신나물	○	○	○	○	○
<i>Chaenomeles speciosa</i> (Sweet) Nakai 명자나무(재)			○		
<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke 뱀딸기	○	○	○	○	○
<i>Geum aleppicum</i> Jacq. 큰뱀무					○
<i>Kerria japonica</i> f. <i>pleniflora</i> (Witte) Rehder 죽단화(재)					○
<i>Potentilla anemonefolia</i> Lehm. 가락지나물	○	○	○		
<i>Potentilla dickinsii</i> Franch. & Sav. 돌양지꽃					○
<i>Potentilla fragarioides</i> var. <i>major</i> Maxim. 양지꽃	○	○			○
<i>Potentilla freyniana</i> Bornm. 세잎양지꽃					○
<i>Pourthiaea villosa</i> (Thunb.) Decne. 윤노리나무					○
<i>Prunus padus</i> L. 귀룽나무	○				
<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch 복사나무	○	○		○	○
<i>Prunus sargentii</i> Rehder 산벚나무	○	○	○	○	○
<i>Pyrus ussuriensis</i> Maxim. 산돌배					○
<i>Rosa multiflora</i> Thunb. 찔레꽃	○	○	○	○	○
<i>Rubus corchorifolius</i> L.f. 수리딸기					○
<i>Rubus coreanus</i> Miq. 복분자딸기	○				

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Rubus crataegifolius</i> Bunge 산딸기	○	○	○		○
<i>Rubus hirsutus</i> Thunb. 장딸기		○			
<i>Rubus oldhamii</i> Miq. 줄딸기					○
<i>Rubus parvifolius</i> L. 멍석딸기	○	○	○	○	○
<i>Rubus phoenicolasius</i> Maxim. 곰딸기					○
<i>Sanguisorba officinalis</i> L. 오이풀	○	○	○	○	○
<i>Sorbus alnifolia</i> (Siebold & Zucc.) C.Koch 팔배나무	○	○	○	○	○
<i>Spiraea prunifolia</i> f. <i>simpliciflora</i> Nakai 조팝나무					○
<i>Stephanandra incisa</i> (Thunb.) Zabel 국수나무	○				○
Leguminosae 콩과					
<i>Albizia julibrissin</i> Durazz. 자귀나무(재)	○		○	○	○
<i>Albizia kalkora</i> Prain 왕자귀나무(재)					○
<i>Amorpha fruticosa</i> L. 족제비싸리(재)	○	○	○	○	
<i>Amphicarpaea bracteata</i> subsp. <i>edgeworthii</i> (Benth.) H.Ohashi 새콩	○	○	○		
<i>Cercis chinensis</i> Bunge 박태기나무					○
<i>Chamaecrista nomame</i> (Siebold) H.Ohashi 차풀	○	○	○	○	○
<i>Desmodium podocarpum</i> var. <i>oxyphyllum</i> (DC.) H.Ohashi 도둑놈의갈고리					○
<i>Dunbaria villosa</i> (Thunb.) Makino 여우팔					
<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc. 돌콩	○		○	○	○
<i>Indigofera kirilowii</i> Maxim. ex Palib. 땅비싸리	○	○	○	○	○
<i>Indigofera pseudotinctoria</i> Matsum. 낭아초		○		○	
<i>Kummerowia striata</i> (Thunb.) Schindl. 매듭풀	○	○	○	○	○
<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz. 싸리	○	○	○	○	○
<i>Lespedeza cuneata</i> G.Don 비수리	○	○	○	○	○
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> Miq. 참싸리	○		○	○	
<i>Lespedeza maximowiczii</i> C.K.Schneid. 조록싸리	○	○	○		○
<i>Lespedeza maximowiczii</i> var. <i>tomentella</i> Nakai 털조록싸리	○	○		○	○
<i>Lespedeza tomentosa</i> (Thunb.) Siebold ex Maxim. 개싸리	○		○		
<i>Lespedeza virgata</i> (Thunb.) DC. 쯔싸리					○
<i>Lotus corniculatus</i> var. <i>japonica</i> Regel 벌노랑이		○			
<i>Maackia amurensis</i> Rupr. 다릅나무	○	○	○		○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Medicago ruthenica</i> (L.) Ledeb. 노랑개자리	○	○	○	○	
<i>Melilotus suaveolens</i> Ledeb. 전동싸리	○				
<i>Pueraria lobata</i> (Willd.) Ohwi 칩	○	○	○	○	○
<i>Robinia pseudoacacia</i> L. 아까시나무(재)	○	○	○	○	○
<i>Sophora flavescens</i> Solander ex Aiton 고삼					○
<i>Trifolium repens</i> L. 토끼풀	○		○	○	○
<i>Vicia amoena</i> Fisch. ex DC. 갈퀴나물	○				
<i>Vicia amurensis</i> Oett. 벌완두					○
<i>Vicia angustifolia</i> var. <i>segetilis</i> (Thuill.) K.Koch. 살갈퀴	○	○		○	
<i>Vicia bungei</i> Ohwi 들완두	○				
<i>Vicia unijuga</i> A.Braun 나비나물					○
<i>Vicia villosa</i> Roth 벧지			○	○	
<i>Vigna angularis</i> var. <i>nipponensis</i> (Ohwi) Ohwi & H.Ohashi 새팍					○
<i>Wisteria floribunda</i> (Willd.) DC. 등					○
Oxalidaceae 팽이밥과					
<i>Oxalis corniculata</i> L. 팽이밥	○	○		○	○
<i>Oxalis stricta</i> L. 선팽이밥	○	○			○
Geraniaceae 쥐손이풀과					
<i>Geranium sibiricum</i> L. 쥐손이풀	○		○		○
<i>Geranium thunbergii</i> Siebold & Zucc. 이질풀					
Euphorbiaceae 대극과					
<i>Acalypha australis</i> L. 깨풀	○	○		○	○
<i>Euphorbia esula</i> L. 흰대극	○				
<i>Euphorbia helioscopia</i> L. 등대풀				○	
<i>Euphorbia pekinensis</i> Rupr. 대극					○
<i>Euphorbia supina</i> Raf. 애기땅빈대	○	○	○	○	○
<i>Mallotus japonicus</i> (Thunb.) Muell. Arg. 예덕나무				○	
<i>Phyllanthus ussuriensis</i> Rupr. & Maxim. 여우주머니	○		○		○
<i>Ricinus communis</i> L. 피마자				○	
<i>Sapium japonicum</i> (Siebold & Zucc.) Pax & Hoffm. 사람주나무					○
<i>Securinega suffruticosa</i> (Pall.) Rehder 광대싸리	○		○		○
Rutaceae 운향과					
<i>Euodia daniellii</i> Hemsl. 쉬나무			○		
<i>Phellodendron amurense</i> f. <i>molle</i> (Nakai) W.T.Lee 털항벽			○		
<i>Poncirus trifoliata</i> (L.) Raf. 탕자나무	○				

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Zanthoxylum piperitum</i> (L.) DC. 초피나무					○
<i>Zanthoxylum schinifolium</i> Siebold & Zucc. 산초나무	○	○	○	○	○
Simaroubaceae 소태나무과					
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle 가죽나무(재)					○
<i>Picrasma quassioides</i> (D.Don) Benn. 소태나무					○
Polygalaceae 원지과					
<i>Polygala japonica</i> Houtt. 애기풀					○
Anacardiaceae 율나무과					
<i>Rhus javanica</i> L. 뽕나무	○	○	○	○	○
<i>Rhus trichocarpa</i> Miq. 개율나무					○
<i>Rhus verniciflua</i> Stokes 율나무					○
Aceraceae 단풍나무과					
<i>Acer palmatum</i> Thunb. 단풍나무					○
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i> (Maxim.) Ohashi 고로쇠나무					○
<i>Acer tataricum</i> subsp. <i>ginnala</i> (Maxim.) Wesm. 신나무					○
Sapindaceae 무환자나무과					
<i>Koelreuteria paniculata</i> Laxmann 모감주나무	○				
Celastraceae 노박덩굴과					
<i>Celastrus flagellaris</i> Rupr. 푸지나무	○				○
<i>Celastrus orbiculatus</i> Thunb. 노박덩굴	○	○	○	○	○
<i>Euonymus alatus</i> (Thunb.) Siebold 화살나무					○
<i>Euonymus alatus</i> f. <i>ciliatodentatus</i> (Franch. & Sav.) Hiyama 회잎나무					○
<i>Euonymus hamiltonianus</i> Wall. 참빗살나무					○
<i>Euonymus japonicus</i> Thunb. 사철나무	○		○	○	
<i>Euonymus macropterus</i> Rupr. 나래회나무					○
<i>Euonymus oxyphyllus</i> Miq. 참회나무					○
<i>Tripterygium regelii</i> Sprague & Takeda 미역줄나무		○			
Staphyleaceae 고추나무과					
<i>Staphylea bumalda</i> DC. 고추나무					○
Buxaceae 회양목과					

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Buxus koreana</i> Nakai ex Chung & al. 회양목(재)			○		
Rhamnaceae 갈매나무과					
<i>Zizyphus jujuba</i> var. <i>inermis</i> (Bunge) Rehder 대추나무(재)	○				
Vitaceae 포도과					
<i>Ampelopsis brevipedunculata</i> f. <i>ciliata</i> (Nakai) T.B.Lee 털개머루					○
<i>Ampelopsis brevipedunculata</i> f. <i>citrulloides</i> Rehder 가새잎개머루	○		○	○	
<i>Ampelopsis heterophylla</i> (Thunb.) Siebold & Zucc. 개머루	○	○	○	○	○
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold & Zucc.) Planch. 담쟁이덩굴	○	○	○	○	○
<i>Vitis ficifolia</i> var. <i>sinuata</i> (Regel) H. Hara 까마귀머루					○
<i>Vitis flexuosa</i> Thunb. 새머루	○	○	○	○	○
Tiliaceae 피나무과					
<i>Grewia parviflora</i> Bunge 장구밤나무	○				
<i>Tilia amurensis</i> Rupr. 피나무					○
Malvaceae 아욱과					
<i>Abutilon theophrasti</i> Medicus 어저귀(재)	○				○
<i>Hibiscus syriacus</i> L. 무궁화(재)	○				○
Sterculiaceae 벽오동과					
<i>Corchoropsis tomentosa</i> (Thunb.) Makino 수까치깨					○
<i>Firmiana simplex</i> (L.) W.F.Wight 벽오동	○				
Elaeagnaceae 보리수나무과					
<i>Elaeagnus glabra</i> Thunb. 보리장나무					○
<i>Elaeagnus umbellata</i> Thunb. 보리수나무	○	○		○	
Violaceae 제비꽃과					
<i>Viola albida</i> var. <i>chaerophylloides</i> (Regel) F.Maek. ex Hara 남산제비꽃					○
<i>Viola collina</i> Besser 둥근털제비꽃		○			
<i>Viola grypoceras</i> A.Gray 낙시제비꽃				○	
<i>Viola japonica</i> Langsd. ex Ging. 왜제비꽃					○
<i>Viola mandshurica</i> W.Becker 제비꽃	○	○	○	○	○
<i>Viola rossii</i> Hemsl. 고갈제비꽃	○	○			○
<i>Viola variegata</i> Fisch. ex Link 알록제비꽃					○
<i>Viola variegata</i> var. <i>chinensis</i> Bunge 자주알록제비꽃	○	○			
<i>Viola verecunda</i> A.Gray 공제비꽃					○
<i>Viola yedoensis</i> Makino 호제비꽃	○				○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
Cucurbitaceae 박과					
<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim. 하늘타리				○	
Lythraceae 부처꽃과					
<i>Lagerstroemia indica</i> L. 배롱나무	○			○	
<i>Lythrum anceps</i> (Koehne) Makino 부처꽃	○				
Trapaceae 마름과					
<i>Trapa japonica</i> Flerow 마름			○		
Onagraceae 바늘꽃과					
<i>Ludwigia prostrata</i> Roxb. 여뀌바늘			○		
<i>Oenothera biennis</i> L. 달맞이꽃	○	○	○	○	○
Haloragaceae 개미탐과					
<i>Haloragis micrantha</i> (Thunb.) R.Br. ex Siebold & Zucc. 개미탐		○	○		
<i>Myriophyllum spicatum</i> L. 이삭물수세미		○			
Alangiaceae 박쥐나무과					
<i>Alangium platanifolium</i> var. <i>trilobum</i> (Miq.) Ohwi 박쥐나무					○
Cornaceae 층층나무과					
<i>Cornus controversa</i> Hemsl. 층층나무			○		
<i>Cornus kousa</i> F.Buerger ex Miquel 산딸나무			○		
<i>Cornus walteri</i> F.T.Wangerin 말채나무			○		
Araliaceae 두릅나무과					
<i>Aralia cordata</i> var. <i>continentalis</i> (Kitag.) Y.C.Chu 독활					○
<i>Aralia elata</i> (Miq.) Seem. 두릅나무	○			○	○
<i>Kalopanax septemlobus</i> (Thunb.) Koidz. 읍나무	○	○	○	○	○
Umbelliferae 산형과					
<i>Angelica decursiva</i> (Miq.) Franch. & Sav. 바디나물					○
<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm. 전호					○
<i>Hydrocotyle maritima</i> Honda 설피막이		○	○	○	
<i>Oenanthe javanica</i> (Blume) DC. 미나리	○	○	○		○
<i>Osmorhiza aristata</i> (Thunb.) Makino & Yabe 긴사상자					○
<i>Peucedanum terebinthaceum</i> (Fisch.) Fisch. ex DC. 기름나물	○	○	○		○
<i>Torilis japonica</i> (Houtt.) DC. 사상자					○
Pyrolaceae 노루발과					
<i>Pyrola japonica</i> Klenze ex Alef. 노루발					○
Ericaceae 진달래과					
<i>Rhododendron mucronulatum</i> Turcz. 진달래	○	○	○	○	○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> Nakai 털진달래	○				○
<i>Vaccinium oldhamii</i> Miq. 정금나무			○		
Primulaceae 앵초과					
<i>Lysimachia barystachys</i> Bunge 까치수염		○			
<i>Lysimachia clethroides</i> Duby 큰까치수염	○	○	○	○	○
Ebenaceae 감나무과					
<i>Diospyros kaki</i> Thunb. 감나무(재)	○				
<i>Diospyros lotus</i> L. 고욤나무(재)					○
Styracaceae 때죽나무과					
<i>Styrax japonicus</i> Siebold & Zucc. 때죽나무	○	○	○	○	○
<i>Styrax obassia</i> Siebold & Zucc. 쪽동백나무					○
Symplocaceae 노린재나무과					
<i>Symplocos chinensis</i> f. <i>pilosa</i> (Nakai) Ohwi 노린재나무	○	○	○		○
<i>Symplocos tanakana</i> Nakai 검노린재나무			○	○	
Oleaceae 물푸레나무과					
<i>Forsythia koreana</i> (Rehder) Nakai 개나리	○				○
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance 물푸레나무	○				○
<i>Ligustrum obtusifolium</i> Siebold & Zucc. 쥐똥나무	○	○	○	○	○
Loganiaceae 마전과					
<i>Mitrasacme pygmaea</i> R.Br. 큰버룩아재비		○			
Asclepiadaceae 박주가리과					
<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino 박주가리	○	○	○	○	○
Rubiaceae 꼭두서니과					
<i>Asperula maximowiczii</i> Kom. 개갈퀴					○
<i>Diodia teres</i> Walter 백령풀				○	
<i>Galium dahuricum</i> Turcz. 큰잎갈퀴					○
<i>Galium pogonanthum</i> Franch. & Sav. 산갈퀴					○
<i>Galium spurium</i> var. <i>echinospermon</i> (Wallr.) Hayek 갈퀴덩굴	○			○	○
<i>Galium trachyspermum</i> A.Gray 네잎갈퀴					○
<i>Galium verum</i> var. <i>asiaticum</i> Nakai 솔나물				○	
<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. 계요등					○
<i>Rubia akane</i> Nakai 꼭두서니					○
<i>Rubia cordifolia</i> var. <i>pratensis</i> Maxim. 갈퀴꼭두서니	○	○	○	○	○
Convolvulaceae 메꽃과					

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Calystegia sepium</i> var. <i>japonicum</i> (Choisy) Makino 메꽃	○		○	○	○
<i>Calystegia soldanella</i> (L.) Roem. & Schultb. 갯메꽃				○	
<i>Cuscuta australis</i> R.Br. 실새삼	○				
<i>Ipomoea purpurea</i> Roth 둥근잎나팔꽃	○			○	
<i>Pharbitis nil</i> (L.) Choisy 나팔꽃	○			○	
Boraginaceae 지치과					
<i>Bothriospermum tenellum</i> (Hornem.) Fisch. & C.A.Mey. 꽃받이	○	○	○	○	○
<i>Trigonotis peduncularis</i> (Trevir.) Benth. ex Hemsl. 꽃마리	○			○	○
Verbenaceae 마편초과					
<i>Callicarpa japonica</i> Thunb. 작살나무	○		○		○
<i>Clerodendrum trichotomum</i> Thunb. 누리장나무	○		○	○	○
Labiatae 꿀풀과					
<i>Agastache rugosa</i> (Fisch. & Mey.) Kuntze 배초향	○			○	○
<i>Ajuga multiflora</i> Bunge 조개나물					○
<i>Clinopodium micranthum</i> (Regel) Hara 두메충충이	○			○	○
<i>Isodon inflexus</i> (Thunb.) Kudo 산박하	○	○	○	○	○
<i>Isodon japonicus</i> (Burm.) Hara 방아풀					○
<i>Lamium amplexicaule</i> L. 광대나물	○	○	○	○	
<i>Lamium purpureum</i> L. 자주광대나물				○	
<i>Leonurus japonicus</i> Houtt. 익모초	○	○	○	○	○
<i>Lycopus lucidus</i> Turcz. ex Benth. 쑥싸리	○				○
<i>Mentha piperascens</i> (Malinv.) Holmes 박하			○	○	
<i>Mosla dianthera</i> (Buch.-Ham. ex Roxb.) ex Maxim. 쥐깨풀	○	○	○	○	○
<i>Phlomis umbrosa</i> Turcz. 속단					○
<i>Prunella vulgaris</i> var. <i>ilacina</i> Nakai 꿀풀	○	○	○	○	○
<i>Salvia plebeia</i> R.Br. 배암차즈기	○	○	○	○	
<i>Scutellaria indica</i> L. 골무꽃					○
Solanaceae 가지과					
<i>Datura stramonium</i> var. <i>chalybaea</i> W.D.J. Koch 독말풀					○
<i>Lycium chinense</i> Mill. 구기자나무(재)					○
<i>Solanum lyratum</i> Thunb. 배풍등	○	○		○	○
<i>Solanum nigrum</i> L. 까마중	○	○	○	○	○
Scrophulariaceae 현삼과					
<i>Lindernia micrantha</i> D.Don 논뚝외풀				○	

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Lindernia procumbens</i> (Krock.) Borbas 발뚝외풀	○		○		
<i>Mazus pumilus</i> (Burm.f.) Steenis 주름잎	○	○	○	○	○
<i>Melampyrum roseum</i> Maxim. 꽃머느리밥풀					○
<i>Paulownia coreana</i> Uyeki 오동나무	○	○	○	○	○
<i>Veronica arvensis</i> L. 선개불알풀	○	○	○	○	
<i>Veronica persica</i> Poir. 큰개불알풀	○	○		○	○
Acanthaceae 쥐꼬리망초과					
<i>Justicia procumbens</i> L. 쥐꼬리망초	○	○			○
Phrymaceae 파리풀과					
<i>Phryma leptostachya</i> var. <i>asiatica</i> H. Hara 파리풀	○	○	○	○	○
Plantaginaceae 질경이과					
<i>Plantago asiatica</i> L. 질경이	○	○	○	○	○
Caprifoliaceae 인동과					
<i>Lonicera japonica</i> Thunb. 인동덩굴	○	○	○	○	○
<i>Lonicera praeflorens</i> Batalin 올괴불나무					○
<i>Sambucus williamsii</i> var. <i>coreana</i> (Nakai) Nakai 딱총나무					○
<i>Viburnum carlesii</i> Hemsl. 분꽃나무		○			
<i>Viburnum erosum</i> Thunb. 덜꿩나무	○	○	○		○
<i>Weigela florida</i> (Bunge) A.DC. 붉은병꽃나무					○
<i>Weigela subsessilis</i> (Nakai) L.H.Bailey 병꽃나무					○
Valerianaceae 마타리과					
<i>Patrinia scabiosaefolia</i> Fisch. ex Trevir. 마타리	○	○	○		○
<i>Patrinia villosa</i> (Thunb.) Juss. 뚝갈	○	○		○	○
Campanulaceae 초롱꽃과					
<i>Adenophora divaricata</i> Franch. & Sav. 넓은잔대			○		
<i>Adenophora remotiflora</i> (Siebold & Zucc.) Miq. 모시대					○
<i>Adenophora stricta</i> Miq. 당잔대					○
<i>Adenophora verticillata</i> Fisch. 층층잔대		○			
<i>Codonopsis lanceolata</i> (Siebold & Zucc.) Trautv. 더덕		○			
<i>Platycodon grandiflorum</i> (Jacq.) A.DC. 도라지	○	○	○		○
Compositae 국화과					
<i>Ainsliaea acerifolia</i> Sch.Bip. 단풍취					○
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L. 돼지풀	○		○	○	○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Artemisia capillaris</i> Thunb. 사철쑥	○	○	○	○	
<i>Artemisia feddei</i> H.Lév. & Vaniot 뽕쑥	○	○	○	○	○
<i>Artemisia japonica</i> Thunb. 제비쑥	○	○	○		○
<i>Artemisia keiskeana</i> Miq. 맑은대쑥	○	○			○
<i>Artemisia princeps</i> Pamp. 쑥	○	○	○	○	○
<i>Artemisia stolonifera</i> (Maxim.) Kom. 넓은잎외잎쑥					○
<i>Aster koraiensis</i> Nakai 벌개미취					○
<i>Aster meyerendorfii</i> (Regel & Maack) Voss 개쑥부쟁이				○	
<i>Aster pekinensis</i> (Hance) Chen 가는쑥부쟁이	○				
<i>Aster pilosus</i> Willd. 미국쑥부쟁이	○	○	○	○	○
<i>Aster scaber</i> Thunb. 참취	○	○	○		○
<i>Aster yomena</i> (Kitam.) Honda 쑥부쟁이					○
<i>Atractylodes ovata</i> (Thunb.) DC. 삽주	○	○	○	○	○
<i>Bidens bipinnata</i> L. 도깨비바늘	○	○		○	○
<i>Bidens frondosa</i> L. 미국가막사리	○	○	○	○	○
<i>Bidens tripartita</i> L. 가막사리	○		○		
<i>Breia segeta</i> (Willd.) Kitam. 조뱅이	○	○	○	○	
<i>Carpesium triste</i> Maxim. 두메담배풀	○		○		○
<i>Centipeda minima</i> (L.) A.Br. & Asch. 중대가리풀	○		○		○
<i>Cirsium japonicum</i> var. <i>maackii</i> (Maxim.) Matsum. 엉겅퀴					○
<i>Cirsium setidens</i> (Dunn) Nakai 고려엉겅퀴					○
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist 망초	○	○	○		○
<i>Coreopsis lanceolata</i> L. 큰금계국(재)	○		○		
<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav. 코스모스(재)	○				
<i>Crepidiastrum denticulatum</i> (Houtt.) Pak & Kawano 이고들빼기	○			○	○
<i>Crepidiastrum sonchifolium</i> (Bunge) Pak & Kawano 고들빼기	○	○		○	○
<i>Dendranthema boreale</i> (Makino) Ling ex Kitam. 산국	○	○	○	○	○
<i>Dendranthema zawadskii</i> var. <i>latilobum</i> (Maxim.) Kitam. 구절초			○		
<i>Echinops setifer</i> Iljin 절굿대		○			
<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L. 한련초	○		○	○	
<i>Erechtites hieracifolia</i> Raf. 붉은서나물	○	○	○	○	○
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers. 개망초	○	○	○	○	○
<i>Eupatorium japonicum</i> Thunb. 등골나물	○	○	○	○	○

학명 및 국명	당진시	태안군	보령시	서천군	서산시 (대조구)
<i>Galinsoga ciliata</i> (Raf.) S.F.Blake 털별꽃아재비	○				
<i>Gnaphalium affine</i> D.Don 떡쑥					○



할미밀망(특산식물)



쥐방울덩굴(희귀식물)



들완두(기후변화대상식물)



수리딸기(기후변화대상식물)



예덕나무(기후변화대상식물)



보리장나무(기후변화대상식물)



애기수영(귀화식물)



돼지풀(귀화식물)



미국쑥부쟁이(귀화식물)



가시상추(귀화식물)



미국자리공(귀화식물)



서양민들레(귀화식물)

[그림 1] 화력발전소 인근에 서식하는 식물



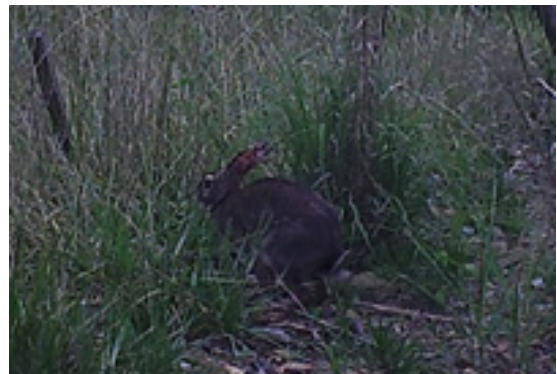
청설모



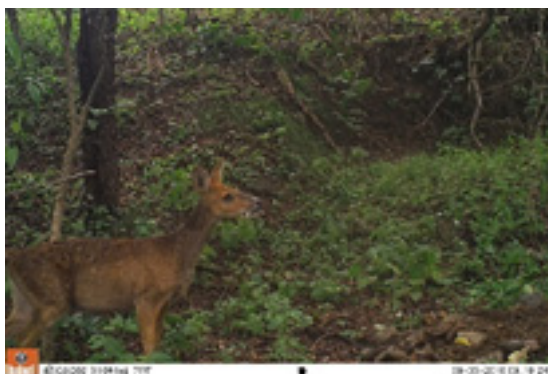
족제비



너구리



멧토끼



고라니



오소리

[그림 2] 화력발전소 인근 무인센서카메라에 촬영된 야생동물

Part 6

참고문헌

[참고문헌]

- 강덕두 외. 2013. 미세먼지 농도와 기상요소와의 시계열 역학분석. 한국기상학회
- 강만옥, 2015, 에너지세제의 환경친화적 개편 및 지속가능한 환경재정체계 구축방안, 한국환경정책평가연구원
- 강원도, 2015. 백두대간 기후변화 생태모니터링
- 건강보험심사평가원, 2011, 의약품 경제성평가지침 개정 전문
- 고명훈, 유민정. 2009. 제3차 전국자연환경조사-대야 일대의 담수어류. 국립환경과학원.
- 고용노동부, 2018, 고용형태별 근로실태조사
- 국가대기오염물질 배출량서비스. 2019.4.15. <http://airemiss.nier.go.kr/>
- 국립기상과학원. 2018. 한반도 100년의 기후변화
- 국립기상연구소, 2014, 수문기상 관측망 플렉스 관측자료 품질관리
- 국립생물자원관. 2012. 제4차 전국자연환경조사 지침. 국립환경과학원.
- 국립생물자원관. 2017. 1차년도 자생 생물자원 전통지식 조사연구 보고서. (주)동북아생물다양성연구소
- 국립수목원. 2008. 한국 희귀식물 목록집. 국립수목원.
- 국립수목원. 한국식물분류학회. 2007. 국가표준식물목록. 국립수목원.
- 국립환경과학원. 2013 “기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구 (Ⅲ).”
- 국립환경과학원. 2006. 기상인자가 미세먼지 농도에 미치는 영향연구
- 국립환경과학원. 2010. “기후변화 및 대기오염에 의한 건강영향의 시공간적 분포 연구.”
- 국립환경과학원. 2011, “기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구.”
- 국립환경과학원. 2012. 2009 국가 대기오염물질 배출량
- 국립환경과학원. 2012. 대기오염물질 배출계수(2012년 대기오염물질 배출량 기준)
- 국립환경과학원. 2013. 2010 국가 대기오염물질 배출량
- 국립환경과학원. 2013. 국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅲ)
- 국립환경과학원. 2014. 2011 국가 대기오염물질 배출량

- 국립환경과학원. 2015. 2012 국가 대기오염물질 배출량
- 국립환경과학원. 2016. 2013 국가 대기오염물질 배출량
- 국립환경과학원. 2016. 대기오염측정망 설치·운영 지침 개정안
- 국립환경과학원. 2016. 대기환경연보
- 국립환경과학원. 2017. 2014 국가 대기오염물질 배출량
- 국립환경과학원. 2017. 대기환경연보
- 국립환경과학원. 2018. 2015 국가 대기오염물질 배출량
- 국립환경과학원. 2018. 국가 대기오염물질 배출량 기초자료구축을 위한 표준업무절차서 (2015년 배출량 기준)
- 국민건강보험공단. 2018. “2017년도 건강보험환자 진료비 실태조사”
- 권오상. 2003. “경기도 대기오염의 사회적비용.” 경기개발연구원.
- 그린피스. 2015. 침묵의 살인자, 초미세먼지. 한국 석탄화력발전의 건강 영향과 정책의 현주소. 그린피스 동아시아 서울사무소
- 그린피스. 2016. 살인면허 —신규 석탄화력발전소의 건강피해—
- 기상청 국가기후데이터센터. <http://sts.kma.go.kr/jsp/home/contents/main/main.do>
- 기상청 기상자료개방포털. <https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>
- 기상청. 2012. 한반도 기후변화 전망보고서
- 기상청. 2016. 지상기상관측지침
- 기상청. 2019. 기후통계지침 개정안
- 기후정보포털. 2017. <http://www.climate.go.kr> 기후변화시나리오
- 김록영, 사공진, 김윤, 김세라, 김수경, 최병호, 정형선, 이태림. 2013. “입원 환자 표본 개발에 관한 연구: 국민건강보험 청구자료를 중심으로.” 보건행정학회지 23(2): 152-61. <https://doi.org/10.4332/KJHPA.2013.23.2.152>.
- 김익수. 1984. 한국산 모래무지아과 어류의 계통분류학적 연구. 한국수산학회지, 17, 436-448.

- 김익수, 1988. 한국담수산 골표상목과 극기상목 어류의 분류. 생물학연구연보, 8, 83-173.
- 김익수, 1997. 한국동식물도감, 제37권 동물편(담수어류), 교육부, 133-520.
- 김익수, 강연중. 1993. 원색 한국어류도감. 아카데미서적, 서울. 477.
- 김익수, 박종영, 2002. 한국의 민물고기. 교학사, 15-453.
- 김익수, 오민기. 2005. 한국산 피라미속 어류 1 신종 *Zacco koreanus* 기재와 같거니.
- 김익수, 이금영, 양서영, 1985. 한국산 황어아과 어류의 계통분류학적 연구. 한국수산학회지. 18, 381-400.
- 김재용. 2007. 근거기반 보건 의료의 활성화를 위한 건강보험자료 활용: 현황과 과제. 대한예방의학회 2007년도 대한예방의학회 동계심포지움
- 당진시청. 2016. 대기개선실천계획 수립 및 대기오염조사
- 대전일보. 2019. 3. 3. 보령·태안·당진 화력발전소 석탄가루 막아낼 ‘저탄장 옥내화’ 도입 하세월
- 머니투데이. 2019. 4. 1. 현대제철 미세먼지 ‘배출왕’ 숨막히는 충남
- 박승철. 2014. 석호에서 환경요인 변화에 따른 어류군집의 특성. 인하대학교박사학위 청구논문. 1-102.
- 박정임, 문난경, 신영철, 이화운, 이해경, 배현주, 하종식, 김명현. 2007. “환경오염 저감정책의 건강편익산정 모형확립 및 적용.” 환경부
- 박정임, 배현주, 김명현, 문난경, 신영철, 이해경, 한준태. 2018. “한국형 BenMap을 활용한 대기질개선 정책의 건강편익 산정 연구.” 환경부
- 박해용, 신용승, 배현주, 김선덕, & 하종식. 2013. 건강보험청구 자료를 이용한 진료에피소드 자료 구축. 한국환경독성학회 춘계학술대회 심포지엄 및 학술대회.
- 배민아, 김현철, 김병욱, 김순태. 2018. 수도권 초미세먼지 농도모사(V) 북한 배출량 영향 추정. 한국대기환경학회지. 34(2)294-305.
- 배현주. 2014. “초미세먼지로 인한 어린이 환경성 질환 영향 연구.” 한국환경정책·평가연구원

- 배현주. 2014. “코호트자료를 이용한 대기오염의 만성건강영향 평가체계 구축.” 한국 환경정책·평가연구원
- 배현주. 2014. “코호트자료를 이용한 대기오염의 만성건강영향 평가체계 구축.” 한국 환경정책·평가연구원
- 배현주. 2015. “국민건강보험 빅데이터 연계 기후변화 건강영향평가.” 환경부
- 배현주. 2016. “초미세먼지의 심혈관계와 호흡기계 입원영향 평가 및 건강편익 산정.” 응용경제 18(3): 125-39.
- 배현주. 2017. “환경·경제 통합분석을 위한 환경가치 종합연구.” 한국환경정책·평가 연구원
- 백현민, 김힐. 2009. 제3차 전국자연환경조사-보령 일대의 담수어류. 국립환경과학원
- 백현민, 김힐. 2009. 제3차 전국자연환경조사-석문 일대의 담수어류. 국립환경과학원
- 변화근, 변명수. 2006. 제3차 전국자연환경조사-방갈 일대의 담수어류. 국립환경과학원
- 변화근, 변명수. 2006. 제3차 전국자연환경조사-소원 일대의 담수어류. 국립환경과학원
- 사업장대기오염물질관리시스템. 2019.4.15. <https://www.stacknsky.or.kr/>
- 산림청과 국립수목원. 2010. 한반도 기후변화 적응 대상식물 300. 국립수목원
- 산업통상자원부. 2017.5.30. 노후 석탄발전기 8기, 6월 한달간 일시 가동중단
- 산업통상자원부. 2017. 제8차 전력수급기본계획(2017~2031)
- 산업통상자원부. 2017.12. “제8차 전력수급 기본계획.”
- 서주희, 하은희, 이보은, 박혜숙, 김호, 홍윤철, 이옥희. 2006. “서울지역의 미세먼지가 호흡기계 질환으로 인한 병원입원에 미치는 영향.” 한국대기환경학회지 (국문) 22(5): 564-573.
- 손영목. 1987. 한국산 통가리과 어류의 계통분류학적 연구. 중앙대학교 박사학위논문. 81.
- 신문기, 이충대, 하현섭, 최춘석, 김용희. 2007. 기상인자가 미세먼지 농도에 미치는 영향. 한국대기환경학회지

- 신영철, 조승헌. 2003. 미래의 사망가능성 감소에 대한 지불의사금액과 통계적 인간생명의 가치 측정 : 환경적 피해와 환경정책의 평가를 위한 통계적 인간생명의 가치, 자원환경경제연구 12(1)
- 신영철. 2002. “대기오염으로 인한 건강효과의 경제적 비용—급성 호흡기 질환 외래환자를 중심으로.” 자원·환경경제연구 11(4): 659-688.
- 신영철. 2003. Economic Valuation of Health Effects Due to Air Pollution Control in Korea, 2000 to 2020, 한국학술정보
- 신영철. 2007. Estimating values of statistical lives using choice experiment method, 자원환경경제연구 16(3)
- 신영철. 2008. 질병예방행위 분석을 통한 확률적 인간생명가치 추정: 암 검진 행위 분석을 중심으로, 자원환경경제연구 17(4)
- 신현철, 박현기. 2000. 성주산과 인근 산지의 식물상. 제2차 전국자연환경조사. 환경부
- 안소은, 2015, 빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향 평가 및 피해비용 추정 (I), 한국환경정책평가연구원
- 안소은, 2016. 빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향 평가 및 피해비용 추정 (II), 한국환경정책평가연구원
- 안소은, 2017. 빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향 평가 및 피해비용 추정 (III), 한국환경정책평가연구원
- 엄영숙. 1996. 확률효용접근법을 통한 소비자들의 건강 위험정보에 대한 반응분석, 경제학연구 44(4)
- 엄영숙. 1997. 자기보호행동을 통한 인간생명 가치의 추정: 안전벨트 착용을 사례로, 자원환경경제연구 6(1)
- 엄영숙. 2000. 실험시장접근법을 이용한 먹는 물 수질개선에 대한 지불의사 측정, 자원환경경제연구 9(4)
- 엄태웅, 김남권, 김신아. 2015. “진료 에피소드를 이용한 협진 의료이용 현황 분석 : 건강보험심사평가원 청구자료를 중심으로.” 대한예방의학회지 19(2): 51-56.

- 에너지경제연구원. 2012. 지역에너지통계연보
- 에너지경제연구원. 2013. 지역에너지통계연보
- 에너지경제연구원. 2014. 지역에너지통계 「신·군·구 세분화 방안」
- 에너지경제연구원. 2014. 지역에너지통계연보
- 에너지경제연구원. 2015. 지역에너지통계연보
- 에너지경제연구원. 2016. 지역에너지통계연보
- 에너지경제연구원. 2017. 지역에너지통계연보
- 에너지경제연구원. 2018. 지역에너지통계연보
- 에너지경제연구원. 2019. 「2018 에너지 통계연보」
- 열린충남. 2016. 석탄화력발전 문제, 더 이상 미룰 수 없다
- 열린충남. 2016. 석탄화력발전과 미세먼지, 그리고 건강
- 우정현, 김선태, 김정욱. 1997. 수동측정기에 의한 대기오염 자동측정망의 지역대표성 조사 및 보완방안에 대한 기초연구. 한국대기보전학회지
- 윤명희, 한상훈, 오홍식, 김장근. 2004. 한국의 포유동물. 동방미디어
- 이광열. 2018. 토교저수지에서토속육식어종을 이용한 외래어종 제어. 강원대학교박사학위청구논문. 1-162.
- 이동규, 2018, 발전용 에너지 제세부담금 체계 합리적 조정방안 연구, 한국조세재정연구원
- 이두범, 조정현, 하승미. 2015. 보령(진당산, 빙도)의 식물상. 제4차 전국자연환경조사. 환경부
- 이영노. 2006. 새로운 한국식물도감. 교학사.
- 이용진 외. 2004. 울산 지역에서 대기중 벤젠으로 인한 암 사망 손실비용 추정 모형에 대한 연구, 자원환경경제연구 13(1)
- 이용진. 2007. “미세먼지 입자크기에 따른 급성사망 영향과 경제적 손실 비용.” 연세대학교
- 이우신, 박찰열, 임신재, 허위행, 정옥식, 최창용, 박용수, 이은재 2010 야생동물 생태 관리학. 라이프사이언스, 서울

- 이우철. 1996. 원색 한국기준식물도감. 아카데미서적.
- 이웅빈, 전유미. 2001. 봉림산(서천, 부여)과 인근 산지의 식물상. 제2차 전국자연환경조사. 환경부
- 이유미, 박수현, 정수영, 오승환, 양종철. 2011. 한국내 귀화식물의 현황과 고찰. 한국식물분류학회지.
- 이은복, 서정수. 2001. 백화산과 그 인근지역의 식물상. 제2차 전국자연환경조사. 환경부
- 이인희. 2013. 충남의 발전관련 시설에 의한 환경 및 경제적 피해 분석 : 화력발전소를 중심으로, 충남발전연구원
- 이창복. 2003. 원색대한식물도감. 향문사
- 이충렬, 전병일. 2007. 제3차 전국자연환경조사-간월 일대의 담수어류. 국립환경과학원.
- 이충열. 1988. 한국산 동자개과 어류의 계통분류학적 연구. 전북대학교 박사학위논문. 전주. 157.
- 이형숙. 2016. 서울지역 미세먼지 농도가 호흡기계 및 심혈관계의 외래 방문 및 입원과 진료비에 미치는 영향. 한국환경보건학회지 42(5): 324-32.
- 임종한, 이종태, 김동기, 신동천, 노재훈. 1998. “서울지역 대기오염이 호흡기계질환 수진건수에 미치는 단기영향에 관한 연구.” 대한산업의학회지 10(3): 333-42.
- 전력통계정보시스템. 2019.4.15. <http://epsis.kpx.or.kr>
- 전상린, 1980. 한국산담수어의 분포에 관하여. 중앙대학교 박사학위논문. 서울. 14-19.
- 전상린, 1983. 한국산 미꾸리과 어류의 분포와 검색에 관하여. 상명여대논문집. 11, 289-321.
- 전상린, 1984. 한국산 동자개과 및 메기과 어류의 분포와 검색에 관하여. 상명여대논문집. 14, 83-115.
- 전상린, 1986. 한국산 농어과 주연성담수어류의 분포와 검색에 관하여. 상명여대논문집. 18, 335-355.
- 전상린, 1989. 한국산 황어속, 연준모치속 및 버들치속(황어아과) 어류의 검색과 분포. 상명여대논문집. 23, 17-36.

- 전의찬. 1996. 대기오염도 실측에 의한 대기오염 자동측정망의 대표성 평가. 환경영향평가
- 전호철. 2017. 전기자동차 보급에 따른 지역간 오염물질 및 온실가스 배출 영향 분석, 한국환경정책평가연구원
- 정규영, 장계선, 정재민, 최혁재, 백원기, 현진오. 2017. 한반도 특산식물 목록. 한국식물분류학회지
- 정문기. 1977. 한국어도보. 일지사. 서울. 727
- 정종덕. 2018. 생물자원 전통지식 조사·발굴. 2018년도 제5차 해양수산 융복합기술 전략 세미나
- 정태현. 1956. 한국식물도감 (하). 신지사
- 정태현. 1957. 한국식물도감 (상). 신지사
- 조성진. 2015. 원자력발전의 경제적 사회적 비용을 고려한 적정 전원믹스 연구 (Ⅲ), 에너지경제연구원
- 조성진. 2018. 발전부문 에너지전환 달성을 위한 세제 개편 방안 연구, 에너지경제연구원
- 주영수, 조수현. 2001. “대기오염과 천식발작의 관련성에 관한 시계열적 연구.” 예방의학회지 34(1): 61-72.
- 질병관리본부. 2015. 기후변화의 대기오염, 호흡기 및 알레르기질환 발생을 상관성 조사 연구. 박윤형
- 채병수, 정주학. 2010. 제3차 전국자연환경조사-웅천 일대의 담수어류. 국립환경과학원.
- 채희정. 2009. 풍속과 풍향이 미세먼지농도에 미치는 영향. 대한환경위생공학
- 최갑림, 이형희. 2015. 당진(송악산)의 식물상. 제4차 전국자연환경조사. 환경부
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목. 1990. 원색한국육수어도감. 향문사. 277.
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목. 2002. 원색 한국담수어도감. 향문사. 6-220.
- 최기철. 1986. 충남의 자연. 한국과학기술진흥재단. 186-226.
- 최병철, 구정완, 박성균. 2000. 서울시 대기오염과 호흡기 질환 환자와의 관련성에 대한 시계열적 연구. 대한산업의학회지 12(1): 70-80.

- 최진수, 백성옥. 1998. 대기 중 TSP와 PM10 농도의 관련성. 한국대기보전학회지. 제4권 제1호
- 최현, 임대현, 김정희. 2000. 인천지역의 대기 오염과 호흡기 질환으로 인하대병원 응급실을 방문한 소아의 내원 건수와의 상호 관계에 대한 연구. 소아과 43(10): 1372-79.
- 충남연구원. 2015. 수도권에 집중된 대기측정망, 충남 도내 확대가 필요하다, 충남리포트 제198호
- 충남연구원. 2016. 충청남도 지역 대기환경기준 설정 기초연구
- 충남연구원. 2017. 고농도 미세먼지 발생 시 기상학적 특성 파악에 대한 연구
- 충남연구원. 2019. 충청남도를 중심으로 살펴본 대기오염물질배출량 Cartogram
- 충청남도. 2016. 화력발전소 기후환경 영향에 따른 중장기 대응전략 수립연구
- 충청남도. 2017. 화력발전소 주변지역 기후환경영향 연구 (1차년도)
- 충청남도. 2018. 미세먼지 중심 충청남도 대기환경개선 계획
- 하경화. 2011. 미세먼지 농도와 심뇌혈관계 질환으로 인한 사망과의 관련성. Journal of the Korean Society of Hypertension 17(2): 74-83.
- 하종식. 2016. 기후·대기 환경정책에 활용하기 위한 건강 위해성 평가 개선 연구: 농도 반응함수의 국내 표준안을 중심으로. 한국환경정책·평가연구
- 한국개발연구원. 2012. 의료시설부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구
- 한국보건사회연구원. 2017. 2017년 한국의료패널 심층분석보고서
- 한국보건사회연구원. 2017. 2017년 한국의료패널 심층분석보고서
- 한국보건사회연구원. 2017. 2017년도 노인실태조사
- 한국보건산업진흥원. 2008. 응급의료체계 구축에 의한 사회적 비용편익분석
- 한국보건의료연구원. 2011. 보건의료분야에서 비용 산출방법
- 한국보건의료연구원. 2013. 보건의료분야에서 비용 산출방법
- 한국양치식물연구회. 2005. 한국양치식물도감. 지오북
- 한국운수산업연구원. 2016. 2014년도 교통수단별 운행비용 비교분석 연구
- 한국전력공사. 2016. 한국전력통계

- 한국전력공사. 2017. 한국전력통계
- 한국전력공사. 2018. 한국전력통계
- 한국환경공단. 실시간 대기정보 공개시스템. <https://www.airkorea.or.kr/>
- 한국환경정책·평가연구원. 2012. 생물자원 전통지식 실용화 기반 구축사업 보고서
- 허인혜, 권원태, 전영문, 이승호. 2006. 우리나라에서 기온 상승이 식생분포에 미치는 영향 -대나무와 마늘을 중심으로-. 환경영향평가
- 현진오, 서원복, 김현희, 전근녀. 2014. 태안(백화산)의 식물상. 제4차 전국자연환경조사. 환경부
- 홍성조, 유호상. 1997. 서산(팔봉산) 지역의 지형경관. 제2차 전국자연환경조사. 환경부.
- 홍승범. 2016. 극한 기후 기상 현상증가에 따른 생태계 영향과 대응. 국립생태원
- 환경부 보도자료. 2016.7. 굴뚝 자동측정기기 부착 사업장, 오염물질 측정결과 공개
- 환경부 보도자료. 2019. 4. 1. 작년 전국 626개 사업장, 대기오염물질 9% 감축
- 환경부. 1997. 전국자연환경조사, 서산 당진(팔봉산) 일대의 포유류 및 양서, 파충류.
- 환경부. 2006. “제3차 통합환경전략 (IES) 연구.”
- 환경부. 2006. 전국자연환경조사, 방갈 일대의 포유류
- 환경부. 2007. 환경오염 저감정책의 건강편익산정 모형확립 및 적용
- 환경부. 2008. “한국형 BenMap을 활용한 대기질개선 정책의 건강편익 산정 연구.”
- 환경부. 2009A. 전국자연환경조사, 대야 일대의 포유류
- 환경부. 2009B. 전국자연환경조사, 석문 일대의 포유류
- 환경부. 2010. 전국자연환경조사, 웅천 일대의 포유류
- 환경부. 2015. “국민건강보험 빅데이터 연계 기후변화 건강영향평가.”
- 환경부. www.me.go.kr
- 환경부·국립환경과학원. 2018. 대기오염측정망 설치운영지침
- 환경영향평가 정보지원시스템. <https://www.eiass.go.kr>
- 竹内清秀 · 近藤純正. 1997, 미기상학 지구문화사, 한영호 역
- 内田恵太郎. 1939. 朝鮮魚類志. 朝鮮總督府水産試験場報告, 6, 1-460.

- Adams, S. M., 2002. Biological indicators of aquatic ecosystem stress. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- AEA, 2005. Damages per Tonne Emission of PM_{2.5}, NH₃, SO₂, NO_x and VOCs from Each EU25 Member State (excluding Cyprus) and Surrounding Seas
- AEA, 2014. Update of the Handbook on External Costs of Transport
- Ancelet, T., Davy, P. K., Trompetter, W. J., Markwitz, A., and Weatherburn, D. C. 2011. Carbonaceous aerosols in an urban tunnel. Atmospheric Environment 45: 4463-4469.
- Anderosn, R.O., and S.J. Gutreuter, 1983. Length, weight and associated structural indices. Page 283 ~ 300 in L.A. Nielsen and D.L. Johnson, editors.
- Anderson, R.O. and R.M. Neumann. 1996. Length, weight, and associated structural indices. Pages 447-482 in B.R. Murphy and D.W.. Willis, editor. Fisheries Techniques, 2nd edition. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Bae and Park, 2009. "Health Benefits of Improving Air Quality in the Rapidly Aging Korean Society" , Sci Total Environ, 407(23), pp.5971-5977.
- Bae et al. 2015. "Non-Linear Concentration-Response Relationships between Ambient Ozone and Daily Mortality" . PLoS One, 10(6), e0129423
- Barker and Rosendahl. 2000. Ancillary Benefits of GHG Mitigation in Europe: SO₂, NO_x and PM₁₀ Reductions from policies to meet Kyoto Targets using the E3ME Model and ExternE Valuations
- Bickel, Peter, and Rainer Friedrich. 2005. eds. ExternE: Externalities of Energy ; Methodology 2005 Update. EUR 21951. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

- Boutton, T. W. 1991. Stable carbon isotope ratios of natural materials: 2, Atmospheric, terrestrial, marine, and freshwater environments. Carbon isotope techniques: 173-186.
- Bray, J. R. and J. T. Curtis. 1957. An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. Ecological Monographs 27:325-349.-Margalef, R., 1958. Information theory in ecology. Gen. Syst., 3: 36-71.-McNaughton, S. J., 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. Nature. 216, 168-144.
- Cao, Junshan, Weihua Li, Jianguo Tan, Weimin Song, Xiaohui Xu, Cheng Jiang, Guohai Chen, et al. 2009,10. "Association of Ambient Air Pollution with Hospital Outpatient and Emergency Room Visits in Shanghai, China." Science of The Total Environment 407, no. 21: 5531-36.
- Cheng H, Hu Y. 2010. Lead (Pb) isotopic fingerprinting and its applications in lead pollution studies in China. Environmental Pollution 158: 1134-1146.
- Cho et al. 2008. "Relationship between Particulate Matter Measured by Optical Particle Counter and Mortality in Seoul, Korea, During 2001" , J Environ Health, 71(2), pp.37-43.
- Cho, Belong, Jaewook Choi, and Yong-Tae Yum. 2000. "Air Pollution and Hospital Admissions for Respiratory Disease in Certain Areas of Korea." Journal of Occupational Health 42(4): 185-91. <https://doi.org/10.1539/joh.42.185>.
- Choi, Jun-Woo, Yoon Myung-Hee. 2012. A study on food habits of the Otter, Lutra lutra, and effects of construction of the Busan new port on its prey. J. Life Science. 22(6), 736-743.
- Duzgoren-Aydin, N.S., Li, X.D., Wong, S.C. 2004. Lead contamination and isotope signatures in the urban environment of Hong Kong. Environment International 30: 209-217.

- EPA, 2011. “The Benefits and Costs of the Clean Air Act from 1990 to 2020,”
- Government of Saskatchewan, 2014. Air Quality Monitoring Study for the City of Regina
- Grausz, Samuel. 2011. “The Social Cost of Coal: Implications for the World Bank,” Climate Advisors,
- Hiroto Kawashima, Yuya Haneishi. 2012. Effects of combustion emissions from the Eurasian continent in winter on seasonal $\delta^{13}C$ of elemental carbon in aerosols in Japan. *Atmospheric Environment* 46: 568–579.
- Holland and Watkiss, 2002, BeTa Version E1.02a, Benefits Table database : Estimates of the marginal external costs of air pollution in Europe
- Hong, YC et al. 1999. “Air Pollution and Daily Mortality in Incheon, Korea” , *J Korean Med Sci*, 14, pp.239–244.
- Hong, YC et al. 1999. “PM10 Exposure, Gaseous Pollutants, and Daily Mortality in Incheon, South Korea” . *Environ Health Perspect*, 107, pp.873–878.
- Huang, L., Brook, J. R., Zhang, W., Li, S. M., Graham, L., Ernst, D., Chivulescu, A., and Lu, G. 2006. Stable isotope measurements of carbon fractions (OC = EC) in airborne particulate: A new dimension for source characterization and apportionment. *Atmospheric Environment* 40: 2690–2705.
- Hwang, Sung-Hee, Jae Young Lee, Seung-Muk Yi, and Ho Kim. 2017. “Associations of Particulate Matter and Its Components with Emergency Room Visits for Cardiovascular and Respiratory Diseases.” Edited by Qinghua Sun. *PLOS ONE* 12(8):e0183224. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183224>.
- IMF, 2014, Getting energy prices right from principle to practice

- IPCC, 2007: Climate change, 2007: The Physical Science Basis. Contributions of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,
- IPCC. 2013. : Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- J. Jung and K. Kawamura. 2011. Springtime carbon emission episodes at the Gosan background site revealed by total carbon, stable carbon isotopic composition, and thermal characteristics of carbonaceous particles. *Atmospheric Chemistry and Physics* 11: 10911~10928.
- J. Moura, C. S. Martens, M. Moreira, R. Lima, I. Sampaio, H. P. Mendlovitz, M. C. Menton. 2008. Spatial and seasonal variations in the stable carbon isotopic composition of methane in stream sediments of eastern Amazonia. *Tellus* 60: 21~31.
- Jo WK, Lee HC, Kim MK. 2011. Evaluation of Airborne Pb Sources in an Industrialized City by Applying Pb Isotope Ratios and Concentrations in PM10, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 33(3): 174~182.
- Jo, Eun-Jung, Woo-Seop Lee, Hyun-Young Jo, Chang-Hoon Kim, Jung-Seop Eom, Jeong-Ha Mok, Mi-Hyun Kim, et al. 2017. "Effects of Particulate Matter on Respiratory Disease and the Impact of Meteorological Factors in Busan, Korea." *Respiratory Medicine* 124: 79-87.

- Jo, Yong Suk, Myoung Nam Lim, Young-Ji Han, and Woo Jin Kim. 2018.1
“Epidemiological Study of PM_{2.5} and Risk of COPD-Related Hospital Visits in Association with Particle Constituents in Chuncheon, Korea.” *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease* 13: 299-307.
- Jun-ji Cao, Judith C. Chow, Jun Tao, Shun-cheng Lee, John G. Watson, Kin-fai Ho, Ge-hui Wang, Chong-shu Zhu, Yong-ming Han. 2011. Stable carbon isotopes in aerosols from Chinese cities: Influence of fossil fuels. *Atmospheric Environment* 45: 1359~1363.
- Kim et al. 2015. Effects of Ambient Air Particles on Mortality in Seoul: Have the effects changed over time?. *Environmental Research*. 140:684-690.
- Kim, H et al. 2003. “The Lag-Effect Pattern in the Relationship of Particulate Air Pollution to Daily Mortality in Seoul, Korea” , *Int J Biometeorol*, 48, pp.25-30.
- Kim, Hoseob, Yoonhyung Park, Kwanjun Park, and Byoungin Yoo. 2016.6.
“Association between Pollen Risk Indexes, Air Pollutants, and Allergic Diseases in Korea.” *Osong Public Health and Research Perspectives* 7, no. 3: 172-79.
- Kim, Hyeonji, Joonghee Kim, Sunhwa Kim, Si-Hyuck Kang, Hee-Jun Kim, Ho Kim, Jongbae Heo, et al. 2017.11. “Cardiovascular Effects of Long-Term Exposure to Air Pollution: A Population-Based Study With 900 845 Person-Years of Follow-up.” *Journal of the American Heart Association* 6, no. 11.
- Kim, Hyomi, Honghyok Kim, Yoon-hyung Park, and Jong-Tae Lee. “Assessment of Temporal Variation for the Risk of Particulate Matters on Asthma Hospitalization.” *Environmental Research* 156 (July 2017): 542-50.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.04.012>.
- Kruuk H. 2006. *Otters: Ecology, Behaviour and Conservation*. Oxford University Press, Oxford.

- Künzli, N. 2001.6 “Assessment of Deaths Attributable to Air Pollution: Should We Use Risk Estimates Based on Time Series or on Cohort Studies?” *American Journal of Epidemiology* 153, no. 11: 1050-55.
- L. A. Martinelli, P. B. Camargo, L. B. L. S. Lara, R. L. Victoria, P. Artaxo. 2002. Stable carbon and nitrogen isotopic composition of bulk aerosol particles in a C4 plant landscape of southeast Brazil. *Atmospheric Environment* 36: 2427~2432.
- Lee, C. S. 2007. Heavy metals and Pb isotopic composition of aerosols in urban and suburban areas of Hong Kong and Guangzhou, South China—Evidence of the long-range transport of air contaminants. *Atmospheric Environment* 41: 432-447.
- Lee, C. S. L., Li, X.D., Shi, W.Z., Cheung, S.C.N., Thornton, I. 2006. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: a study based on GIS and multivariate statistics. *Science of the Total Environment* 356: 45-61.
- Lee, Jong-Tae, Ho Kim, Hoyin Song, Yun-Chul Hong, Yong-Sung Cho, Suk-Youn Shin, Youn-Joo Hyun, and Yoon-Shin Kim. 2002. “Air Pollution and Asthma among Children in Seoul, Korea.” *Epidemiology* 13(4): 481-84.
- Lee, Jong-Tae, Ho Kim, Yong-Sung Cho, Yun-Chul Hong, Eun-Hee Ha, and Hyesook Park. 2003.10. “Air Pollution and Hospital Admissions for Ischemic Heart Diseases among Individuals 64+ Years of Age Residing in Seoul, Korea.” *Archives of Environmental Health: An International Journal* 58, no. 10: 617-23.
- Lee, Jong-Tae, Ji-Young Son, and Yong-Sung Cho. 2007.8. “Benefits of Mitigated Ambient Air Quality Due to Transportation Control on Childhood Asthma Hospitalization during the 2002 Summer Asian Games in Busan, Korea.” *Journal of the Air & Waste Management Association* 57, no. 8: 968-73.

- Lee, Min Woo, Byoung Geol Choi, Suhng Wook Kim, Seung-Woon Rha, Min Suk Shim, Dae Jin Kim, Hong Seog Seo, Dong Joo Oh, Myung ho Jeong, and Other Korea Acute Myocardial Infarction Registry (KAMIR) investigators. 2017.6. “Air Pollution and Short-Term Clinical Outcomes of Patients with Acute Myocardial Infarction.” *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 44, no. 6:
- Lee, Whan Hee, Jee-Young Choo, Ji-Young Son, and Ho Kim. 2016.9. “Association between Long-Term Exposure to Air Pollutants and Prevalence of Cardiovascular Disease in 108 South Korean Communities in 2008-2010: A Cross-Sectional Study.” *Science of The Total Environment* 565: 271-78.
- LI, Guangxi, Haitao LAN, Zhiguo LIU, Ting RUI, Jiapeng LU, Lingjie BIAN, Yinghui WANG, et al. “The Association between Short-Term Exposure to Fine Particulate Matter and Outpatient Visit in Beijing, China.” *Iranian Journal of Public Health* 46, no. 11 (November 2017): 1486-94.
- Lopez-Veneroni, D. 2009. The stable carbon isotope composition of PM_{2.5} and PM₁₀ in Mexico City Metropolitan Area air, *Atmospheric Environment* 43: 4491-4502.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, 3, 36-71.
- Matthews and Iave, 2000, Applications of Environmental Valuation for Determining Externality Costs
- McNaughton, S. J. 1967. Relationship among functional properties of California Glassland. *Nature*. 216, 168-144.
- Md. Aynul Bari, Rhonda Lee T. Curran, Warren B. Kindzierski. 2015. “Field performance evaluation of Maxxam passive samplers for regional monitoring of ambient SO₂, NO₂ and O₃ concentration in Alberta, Canada’ . *Atmospheric Environment*

- Miller, P. A., K.R. Munkittrick, D.G. Dixon. 1992. Relationship between concentrations of copper and zinc in water, sediment, benthic invertebrates, and tissues of white sucker (*Catostomus commersoni*) at metal contaminated sites. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49, 978–984.
- Moon, Jeong Suk, Yoon Shin Kim, Jae Hyoun Kim, Bu Soon Son, Dae Sun Kim, and Wonho Yang. 2009.2. “Respiratory Health Effects among Schoolchildren and Their Relationship to Air Pollutants in Korea.” *International Journal of Environmental Health Research* 19, no. 1: 31–48. <https://doi.org/10.1080/09603120802272201>.
- Moon–Soo Park, Soo–Ung Park, Youngsin Chun. 2011. Improved parameterization of dust emission (PM10) fluxes by the gradient method using the Naiman tower data the Horqin desert in China. *Science of the Total Environment* 412–413: 265–277
- National Research Council. 2010. *Hidden Costs of Energy: Unpriced Consequences of Energy Production and Use*. Washington, D.C.: National Academies Press
- Nelson, J. S. 2006. *Fishes of the world*. John Wiley & Sons. New York, 600.
- Ney J. j. 1993. Bioenergetics Modeling Today: Growing Pains on the Cutting Edge. *Transactions of the American Fisheries Society*. 122(5), 736–748.
- NIER. 2012. Improvement of precision and accuracy in hazardous heavy metal stable isotopic analysis by MC/ICP/MS (I).
- NIER. 2013a. A study on source tracking of long–range transported heavy metals using stable isotopes (I).
- NIER. 2013b. Building data library of stable isotopic compositions for anthropogenic emissions (I).

- NIER. 2014a. A study on source tracking of long-range transported heavy metals using stable isotopes (II).
- NIER. 2014b. Building data library of stable isotopic compositions for anthropogenic emissions (II).
- NIER. 2015a. A study on source tracking of long-range transported heavy metals using stable isotopes (III).
- NIER. 2015b. Building data library of stable isotopic compositions for anthropogenic emissions (III).
- NIER. 2015c. Research base establishment for environmental pollution trace using stable isotope (II).
- NIER. 2016. A study on source tracking of long-range transported heavy metals using stable isotopes (IV).
- NOAA. 2018. NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2017, published online January 2018, retrieved on July 4, 2018 from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201713>.
- Noh, Juhwan, Jungwoo Sohn, Jaelim Cho, Seong-Kyung Cho, Yoon Jung Choi, Changsoo Kim, and Dong Chun Shin. 2016.9. "Short-Term Effects of Ambient Air Pollution on Emergency Department Visits for Asthma: An Assessment of Effect Modification by Prior Allergic Disease History." Journal of Preventive Medicine and Public Health 49, no. 5: 329-41. <https://doi.org/10.3961/jpmph.16.038>.
- Park HW. 2017. Trace source of PM_{2.5} using chemical compositions and isotope analysis. Master thesis, Seoul National University of Science and Technology. (In Korean with English abstract).

- Park, Minjeong, Sheng Luo, Jaymin Kwon, Thomas H. Stock, George Delclos, Ho Kim, and Hong Yun-Chul. 2013. “Effects of Air Pollution on Asthma Hospitalization Rates in Different Age Groups in Metropolitan Cities of Korea.” *Air Quality, Atmosphere & Health* 6, no. 3 : 543-51.
- Pielou EC. 1969. Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and misuse. *Amer. Nat.* 100, 463-465.
- Pielou, E.C. 1975. *Ecological diversity*, Wiley, New york, 165.
- Preiss et al., 2008, *New Energy Externalities Developments for Sustainability*
- RICARDO-AEA, 2014, *Update of the Handbook on External Costs of Transport*
- S. Dai, X. Bi, L. Y. Chan, J. He, B. Wang, X. Wang, P. Peng, G. Sheng, and J. Fu. 2015. Chemical and stable carbon isotopic composition of PM_{2.5} from on-road vehicle emissions in the PRD region and implications for vehicle emission control policy. *Atmospheric Chemistry and Physics* 15: 3097-3108.
- Saez and Linares, 1999, *The national implementation in the EU of the ExternE accounting framework* Madrid
- Schmitt, C.J and G.M. Dethloff. 2000. *Biomonitoring of environmental status and trends (BEST) program: selected methods for monitoring chemical contaminant and their effects in aquatic ecosystem*. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, Information and Technology Report, USGS/BRD/ITR~2000~2005.
- Shannon CE and W Weaver. 1963. *The mathematical theory of communication* Illinois Univ. Pree, Urvana.
- Shapiro, J. 1979. The need for more biology in lake restoration, In: *Lake Restoration, Proceedings of a national conference*, Aug. 22~24, 1978. Minneapolis Minnesota. EPA 440/5-79-001. U. S. Gov't Printing Office, Washington, D. C., 161-167.

- Shim, Sung-Ryul, In-Soo Shin, and Jong-Myon Bae. 2016.2. “Intervention Meta-Analysis Using STATA Software.” *Journal of Health Informatics and Statistics* 41, no. 1: 123-34.
- Simpson, E.H. 1949. Measuremnt of diversity. *Nature*, 163, 68.
- Sohn, Jungwoo, Seng Chan You, Jaelim Cho, Yoon Jung Choi, Boyoung Joung, and Changsoo Kim. “Susceptibility to Ambient Particulate Matter on Emergency Care Utilization for Ischemic Heart Disease in Seoul, Korea.” *Environmental Science and Pollution Research* 23, no. 19 (October 2016): 19432-39.
- Son et al. 2013. “Short-Term Effects of Air Pollution on Hospital Admissions in Korea[Miscellaneous Article]” , *Epidemiology*, 24(4), pp.545-554.
- Son et al. 2013. “The Relationships between Short-Term Exposure to Particulate Matter and Mortality in Korea: Impact of Particulate Matter Exposure Metrics for Sub-Daily Exposures” . *Environ Res Lett*, 8(1), 014015.
- Son, Ji-Young, Jong-Tae Lee, Yoon Hyeong Park, and Michelle L. Bell. 2013. “Short-Term Effects of Air Pollution on Hospital Admissions in Korea.” *Epidemiology* 24, no. 4 (July 2013): 545-54.
- Soo-Ung Park, Jae-Won Ju, In-Hye Lee, Seung Jin Joo. 2016. Aparameterixation of dust emission (PM10) fluxes of dust events odserveed at Naiman in Inner Mongolia using the monitored tower data. *Atmospheric Environment* 140: 420-431
- Tanner, R. L. and Miguel, A. H. 1989. Carbonaceous Aerosol Sources in Rio De Janeiro, *Aerosol Science and Technology* 10: 213-223.
- The World Bank. 2018.3. 「<http://data.worldbank.org>, Electricity production from coal sources(% of total)」
- Tomas M. Smith and Robert Leo Smith. 2011. 생태학. 라이프사이언스, 서울.
- Whittake, R. H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities: Isotopic data (N, S, O, C and Sr). *Environmental Science Technology*. 38, 3254-3262.

- Widory, D. 2006. Combustibles, fuels and their combustion products: A view through carbon isotopes, *Combustion Theory and Modelling* 10: 831-841.
- Widory, D., Roy, S., Le Moullec, Y., Goupil, G., Cocherie, A., and Guerrot, C. 2004. The origin of atmospheric particles in Paris: a view through carbon and lead isotopes, *Atmospheric Environment* 38: 953-961.
- Wilson, J. B. 1991. Methods for fitting dominance/diversity curves, *Journal of Vegetation Science*, 2(1), 250-260.
- Zhang, Quanxi, Jian Zhang, Zhenhua Yang, Yuexia Zhang, and Ziqiang Meng. 2013. "Impact of PM_{2.5} Derived from Dust Events on Daily Outpatient Numbers for Respiratory and Cardiovascular Diseases in Wuwei, China." *Procedia Environmental Sciences*, 2013 International Symposium on Environmental Science and Technology (2013 ISEST), 18 (January 1, 2013): 290-98
- Zheng, J., Tan, M., Shibata, Y., Tanaka, A., Li, Y., Zhang, G., Zhang, Y., Shan, Z. 2004. Characteristics of lead isotope ratios and elemental concentrations in PM₁₀ fraction of airborne particulate matter in Shanghai after the phase-out of leaded gasoline, *Atmospheric Environment* 38: 1191-1200.
- Zhu, B.Q., 1998. *Theory and Application of Isotopic Systematic in Earth Science*. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Zhu, B.Q., Chen, Y.W., Peng, J.H. 2001. Lead isotope geochemistry of the urban environment in the Pearl River Delta, *Applied Geochemistry* 16: 409-417.
- Zhu, B.Q., Wang, H.F., Mao, C.X., Zhu, N.J., Huang, R.S., Peng, J.H., Pu, Z.P. 1989. Geochronology of and Nd-Sr-Pb isotopic evidence for mantle source in the ancient subduction zone beneath Sanshui Basin, Guangdong Province, China, *Chinese Journal of Geochemistry* 8: 65-71.

Part 7

용어사전

[용어사전]

- **가스크로마토그래프법(Gas Chromatography)** : 적당한 방법으로 겹쳐리한 시료를 운반가스에 의하여 크로마토관내에 전개시켜 분리되는 각 성분의 크로마토그램을 이용 분석하는 방법
- **광산란** : 빛이 입자나 매질에 의해서 산란되는 현상을 이용하여 대기 중 입자상 물질을 측정하는 원리 중 하나임
- **교외대기오염측정망** : 광범위한 지역의 배경농도를 파악하기 위한 대기오염측정망으로 국가에서 운영함
- **굴뚝 자동측정기(굴뚝 TMS)** : 굴뚝원격감시체계를 뜻하는 것으로, 대기오염물질 배출사업장에 부착하여 배출현황을 24시간 실시간으로 관리하는 시스템을 말하며, 환경부는 대기오염사고 사전예방 및 행정처분, 배출부과금 부과 등에 활용하고, 사업자는 대기오염물질 배출농도·유량 등을 실시간 확인하여 방지시설 운전조건 개선 등 자율적 환경관리에 활용
 - * 1~3종 대기배출사업장 중 일정용량 이상의 배출시설에 대해 TMS(Telemonitoring System) 부착을 의무화하고 있음
- **기후·생태계 변화유발물질** : 지구온난화 등으로 생태계의 변화를 가져올 수 있는 기체상의 물질로서 온실가스와 염화불화탄소(CFC), 수소염화불화탄소(HCFC)를 말함
- **난류(Turbulence)** : 유체역학의 용어로서, 시간적공간적으로 불규칙한 운동을 하면서 흐르는 유체의 흐름을 의미한다. 대기 속의 난류는 사공간적인 규모에 따라 다양한 특성을 띠게 된다. 난류의 중요한 특성 중 하나는 질량운동량열수증기 등의 수송교환한다는 점을 들 수 있다. 난류의 대체적인 양상은 굴뚝에서 나오는 연기가 확산해가는 모양을 보면 쉽게 상상할 수 있다. 원래 난류는 내부마찰에 의해서 차차 쇠퇴하여 소멸한다. (소멸하지 않는 난류도 있는데, 이는 열역학적 에너지가 어떤 형태로 공급되기 때문이다.) 규모가 작은 대기의 난류는 풍향풍속계에 의해서도 기록되는데, 이와 같은 난류는 지표면 부근 경계층에서 가장 뚜렷해진다. 또한 지표면의 각종 지형지물의 영향을 잘 받을 뿐만 아니라, 대기층의 안정도에도 달라짐
- **농도-반응 함수** : 외기 중 대기오염 물질의 농도와 이로 인한 인체의 반응 사이의 관계를 정량적으로 나타내는 함수

- **대기오염공정시험기준** : 환경분야 시험검사 등에 관한 법률 제6조 규정에 의거 대기오염물질을 측정함에 있어서 측정의 정확 및 통일을 유지하기 위하여 필요한 제반사항에 대하여 규정한 방법
- **대기정책지원시스템(CAPSS)** : 대기오염물질 배출목록에 근거한 대기정책지원시스템(Clean Air Policy Support System)을 활용하여, 점·면·이동오염원 등에서 배출되는 8가지 대기오염물질(CO, NO_x, SO_x, TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, VOC, NH₃)의 배출량을 매년 산정하여 발표, 국가 대기오염물질 배출량 서비스는 오염물질별, 배출원별, 지역별 등의 다양한 통계와 배출량에 적용된 세부정보를 제공함으로써 정부, 각 지자체, 학계 연구자, 대국민 등 통계이용자에게 제공하고 있음
 - * CO : 일산화탄소, NO_x : 질소산화물, SO_x : 황산화물
 - * TSP : 총부유먼지, PM₁₀ : 직경 10 μ m 이하의 먼지, PM_{2.5} : 직경 2.5 μ m 이하의 먼지
 - * VOC : 휘발성유기화합물, NH₃ : 암모니아
- **대조군** : 실험 결과를 도출하는데에 있어 실험군과 달리 요인이 포함되어있지 않은 집단. 본 연구에서는 실험군을 삼림 지역, 대조군을 나대지로 선정함
- **데이터로거** : 데이터의 기록과 저장을 위하여 사용할 수 있는 모든 장치를 일컫는 말
- **도시대기오염측정망** : 도시지역의 평균대기질 농도를 파악하여 환경기준 달성여부를 판정하는 대기오염측정망으로 지자체에서 운영함
- **등가성 평가** : 미세먼지 측정기의 제조사별, 모델별 등 미세먼지 자동측정기의 자료 편차를 줄여 정확도와 신뢰성을 확보하기 위한 평가(국가 기준 측정시스템으로부터 정해진 기준의 소급된 수동측정기와 자동측정기를 동시 측정하고, 각각의 자료를 비교해 검사기준에 적합한지를 평가)
- **라그랑지안 모델** : Lagrangian model, 좌표축이 대기의 평균 이동을 따라가면서 변하며, 난류 유동장 내 입자의 무작위 움직임 모사에 활용 되는 확산모델로 점 오염원을 쉽게 그릴 수 있고 궤적을 따라 이동하는 대기 중 오염물질의 시간에 따른 변화 예측

- **라이브러리 DB** : 데이터의 라이브러리로 관련 파일의 집합을 의미하며, 본 연구에서는 특정 안정동위원소비 데이터의 집합체라는 의미로 사용
- **메타분석** : 두 개 이상 개별 연구의 추정치를 종합하여 요약 추정치를 합성하는 통계적 방법으로 서로 독립적인 연구를 종합하여 일반화된 결론을 이끌어낼 수 있다는 장점이 있음.
- **명목 GDP** : 생산의 가치를 당해연도 가격으로 계산 것으로 물가 상승분을 고려하지 않은 GDP. 명목 GDP를 실질 GDP로 나타냄.
- **미기후** : 주변환경과 다른 국소지역의 특별한 기후나, 지표면으로부터 지상 수 미터 사이의 기후
- **미세먼지 경보주의보 기준** :

항목	주의보	경보
PM10	발령 기상조건 등을 고려하여, 해당 지역의 대기자동측정소 PM10 시간평균농도가 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 지속	기상조건 등을 고려하여, 해당 지역의 대기자동측정소 PM10 시간평균농도가 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 지속
	해제 주의보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여, 대기자동측정소의 PM10 시간평균농도가 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만	경보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여, 대기자동측정소의 PM10 시간평균농도가 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만인 때는 주의보로 전환
PM2.5	발령 기상조건 등을 고려하여, 해당 지역의 대기자동측정소 PM2.5 시간평균농도가 $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 지속	기상조건 등을 고려하여, 해당 지역의 대기자동측정소 PM2.5 시간평균농도가 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 지속
	해제 주의보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여, 대기자동측정소의 PM2.5 시간평균농도가 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만	경보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여, 대기자동측정소의 PM2.5 시간평균농도가 $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만인 때는 주의보로 전환

- **민간 대기오염측정소** : 화력발전소 주변 지역의 대기질을 조사하기 위하여 화력발전소에서 자체적으로 운영·관리하고 있는 대기오염측정소
- **바람장 분석(바람장미)** : 어떤 기상 관측지점에 대하여 해당 기간동안 방위별 풍향 출현 빈도와

풍향별 풍속계급 빈도를 그래프로 나타낸 것. 박대는 바람이 불어오는 방향을 나타내며, 길이는 해당등급의 바람이 불어온 빈도를 백분율로 나타냄. 중앙원속의 값은 무풍(0.5m/s 미만)일 경우를 백분율로 나타낸 것임

- **바람장미** : 어떤 관측지점의 일정기간에 대하여 각 방위별 풍향 출현 빈도를 방사 모양의 그래프로 표현한 것을 의미하며, 출현 빈도의 백분율(%)을 각각의 풍향에 대응하는 방위판 위에 방위선의 길이로 나타내거나 그 바깥 끝을 연결한 선으로 표시
- **방재기상관측** : 지진·태풍·홍수·가뭄 등 기상현상에 따른 자연재해를 막기 위해 실시하는 지상관측
- **방재기상관측** : 태풍·홍수·가뭄 등 기상현상에 따른 자연재해를 막기 위해 실시하는 지상관측으로 관측 공백해소 및 국지적 기상현상파악을 위해 자동기상관측장비(AWS)를 설치하여 자동으로 관측.
- **베타선** : 방사성 원자핵이 β 붕괴할 때 방출되는 방사선으로 투과성을 이용하여 대기 중 입자상 물질을 측정하는 원리 중 하나임
- **베타선흡수법(β -Ray Absorption Method)** : 국가에서 정하고있는 미세먼지 측정방법. 대기중 부유하고있는 입자상물질을 일정시간 여과지위에 포집하여 베타선 투과를 통해 중량농도를 측정
- **비분산적외선분석법(Non-Dispersive infrared Method)** : 국가에서 정하고있는 일산화탄소 측정 방법. 광원에서 방사된 적외선이 시료를 통과할 때 최초 적외선양과 시료통과후의 적외선양의 차이를 측정함
- **상관계수(r)** : 두 변수간의 연관성을 보여주는 지표로, 값이 1이면 두 변수의 움직임이 완전히 같다는 뜻이며 -1이면 움직임이 완전히 역방향임을 의미함
- **상관분석** : 두 변수 간에 어떤 관계(상관성)가 있는지 통계적으로 분석하는 방법
- **세계보건기구(WHO)** : 보건·위생 분야의 국제적 협력을 위하여 설립한 UN 전문기구. 1948년 정식 발족함

- **신뢰구간** : 추정하고자 하는 모수가 존재할 것이라고 예측되는 구간
- **실질 GDP** : 생산의 가치를 당해연도 가격으로 계산 것으로 물가 상승분을 고려하지 않은 GDP 주어진 기준연도의 시장가격으로 제계산한 GDP
- **안정동위원소** : 동위원소 중 자연계에서 방사능을 방출하지 않는 동위원소(방사성동위원소를 제외한 나머지 원소)
- **안정동위원소비 표준물질** : 안정동위원소의 특정 성분의 함량과 불확도가 정확하게 측정된 표준물질로 측정기기의 교정이나 분석방법의 정확성을 확인할 수 있는 기준
- **에디(Eddy)** : 액체나 기체의 기류 중에서 회전을 하고 있는 부분으로서 와류라고도 한다. 따라서 그 세기는 와도로 표시한다. 이러한 소용돌이는 몇 cm 정도의 작은 크기는 물론, 고기압, 저기압 등의 요란, 그 위에 대상류와 같은 지구규모까지 다양하게 존재한다. 소용돌이를 통해, 여러 가지 물질 (수증기, 오존 등)이나 물리량 (열량, 운동량 등)이 전달 및 운송이 이루어짐
- **영면변위(zero-plane displacement)** : 경계층 내부의 지면위를 흐르는 유체와 지면 거칠기 사이에 운동량의 전달이 발생하는 고도의 평균값과 연관성이 있는 거칠기가 높은 지면 위의 난류의 평균고도 규모. 중립 대기에서 로그스케일(log-scale) 바람 변위는 연직축 원점을 영면변위 고도로 이동한 경우 선형화를 한다. 다양한 지표면 성격을 감안하기 위한 여러 가지 관련식이 제안되어 있으며 표준값을 표로 제시하는 경우도 있다. 동질 유체의 경우 변위거리 혹은 변위 두께라고 한다. 평판 위의 유체의 시어 흐름에서 '경계층 두께'로 불리기함
- **오일러리안 모델** : Eulerian model, 좌표축이 고정되어 있는 확산모델로 모델 범위 내 모든 배출원을 고려할 수 있고 화학반응, 제거과정을 고려할 수 있어 모델 범위 내 대기오염 물질의 장거리 수송 배출원-수용체 관계 규명에 적합
- **온실가스** : GHGs(Greenhouse Gases), 지구온난화를 일으키는 원인이 되는 대기 중의 가스 형태 물질
- **외부성** : 경제행위가 시장을 매개로 하지 않고 타인에게 이익을 주거나 혹은 손해를 끼치는 경우에 그 행위는 외부성을 가진다고 한다. 여기서 '시장을 매개로 하지 않는다' 는 것은 이익

을 준 것에 대한 대가를 받지 않고 손해 끼친 것에 대한 보상을 지불하지 않는다는 의미 (한국 행정학회, 온라인행정학전자사전)

- 원자흡광광도법(Atomic Absorption Spectrophotometry) : 국가에서 정하고있는 납 측정방법. 시료를 해리시킨후 중성원자상태로 증기화하여 증기층을 투과하는 특유파장의 빛을 흡수하는 흡광도를 측정
- 유연탄 & 무연탄 : 휘발성 물질이 많이 포함된 석탄으로 석탄을 분류할 때, 휘발성 물질의함유량이 많은 것이 유연탄(역청탄), 적은 것이 무연탄으로, 유연탄은 연소할 때 화염과 연기를 발생 시킴. 무연탄에 있어서 휘발성 물질의 함유량이 14%의 이하이면 무연탄, 14% 초과이면 유연탄으로 구분
- 유의수준 : 통계적 가설 검증 시 가설이 참임에도 이를 기각할 확률이 있는데, 이러한 오류가 발생하지 않을 가능성
- 이동평균 : 주어진 자료내에서 시계열의 각 항을 구분지어 평균하는 방법. 예를들면, 5개년 이동평균이라면 5개년 평균치를 1년씩 옮겨가며 순차 계산함.
- 일반대기오염측정망 : 대기오염도를 측정하기 위하여 국가 및 지자체에서 운영하는 대기오염측정망으로 도시, 교외, 국가배경농도, 도로변대기오염측정망이 여기에 속함
- 자외선광도법(U.V. Photometric Method) : 국가에서 정하고있는 오존 측정방법. 파장 254nm부근에서 오존의 자외선 흡수량을 측정
- 자외선형광측정법(Pulsed U.V. Fluorescence Method) : 국가에서 정하고 있는 아황산가스 측정방법, 자외선영역의 빛을 가스분자에 조사하면 가스분자가 빛을 흡수하여 여기상태로 되었다가 안정상태로 회귀할 때 빛을 발하는 현상을 관측함
- 잠열(latent heat) : 물질이 온도·압력의 변화를 보이지 않고 평형을 유지하면서 한 상에서 다른 상으로 전이할 때 흡수 또는 발생하는 열
- 전력수급기본계획 : 전기를 안정적으로 공급하고 전력산업의 장래와 국가경제를 위한 정부의 장단기 전력수급계획으로 수요예측, 발전설비계획, 수요관리계획, 송변전설비계획, 신재생설비계

획 등 종합적인 계획을 말하며 경기변동과 미래 불확실성에 따른 수요예측의 오차에 대비하고 있으며, 동시에 안정적인 전력수급과 전원확충을 위하여 전력수급계획을 2년주기로 수립하는 보고서

- **조건부가치측정법(Contingent Valuation Method, CVM)** : 환경, 생명 등 시장에서 거래되지 않는 재화의 가치를 측정하는 기법으로 특정 응답자들을 대상으로 설문 또는 면접을 통해 개개인이 부여하고 있는 가치를 측정하는 방법
- **종관기상관측** : 종관규모의 날씨 파악을 위하여 정해진 시각에 모든 관측소에서 같은시간에 실시하는 기상관측
- **종관기상관측** : 종관규모의 날씨를 파악하기 위하여 정해진 시각에 모든 관측소에서 같은 시각에 실시하는 기상관측
- **중량농도법** : 대기중 부유하고있는 입자상 물질을 일정시간 여과지위에 포집하여 채취 전 후의 여과지 중량차이를 이용해 농도를 측정하는 방법
- **지불의사액** : Willingness to Pay, WTP, 개인이 어떤 재화를 구매하기 위해 기꺼이 지불하고자 하는 최대한의 금액
- **취주거리(fetch length)** : 관측지점, 피해지점 또는 기상학적 관심 지역으로부터 지표 특성이 비교적 일정한 상류 쪽으로의 거리
- **코호트** : 특정 기간 동안 공통된 특성이나 경험을 갖는 사용자 집단
- **코호트연구** : 특정 인구집단(코호트)를 일정 기간 추적하여 특정 질병에 대한 발생률 등을 관찰하는 연구
- **통계적 생명가치** : Value of Statistical Life, 조기사망을 회피하기 위한 지불의사액
- **편익이전** : 연구가 완료된 지역에서 획득한 경제적 정보를 데이터 획득이 제한된 연구 대상으로 적용하는 방법

- **플럭스(Flux)** : 1. 어떤 형태의 에너지 흐름에 관하여 흔히 사용되는, 어떤 양의 흐름을. 2. 대기 난류와 경계층 분야에서 플럭스 밀도를 줄여서 사용하는 용어. 플럭스 밀도란 단위 시간에 단위 면적을 통과하는 어떤 양
- **현열(sensible heat)** : 물체가 가열, 냉각에 따라 변화하는데 필요한 열량
- **화학발광법(Chemiluminescent Method)** : 국가에서 정하고 있는 이산화질소 측정방법, 시료중의 오존과 일산화질소의 반응에 의하여 NO₂가 생성될 때 생기는 발광강도를 관측함
- **회귀분석** : 독립변수(다른 변수에 영향을 주는 변수)들과 종속변수(독립변수에 의해 영향을 받는 변수) 간의 함수적인 관련성을 수학적 모형을 이용하여 측정된 변수들의 자료를 근거로 하여 추정하고 분석하는 통계적 방법
- **후행이동평균** : 이동평균 계산 시 시계열의 후열을 평균값으로 사용하는 경우. 예를들면, 2018년의 5개년 후행이동평균은 2018년, 2017년, 2016년, 2015년, 2014년의 평균값을 계산
- **기회비용** : 하나의 재화를 선택함으로써 포기한 다른 재화 중 가장 큰 가치를 지닌 재화의 가치
- **동정** : 생물의 분류학상의 소속이나 명칭을 바르게 정하는 일
- **목질부** : 속씨식물의 관다발 가운데 물관, 헛물관, 목부 유조직, 목질 섬유 따위가 집합한 조직
- **방형구** : 군집의 종조성이나 소밀 등 생태학적 조사를 할 때 이 군집을 대표하는 소면적, 즉 최소면적 이상의 방형틀안의 표본면적.
- **분류군** : 분류를 통하여 모은 무리로서, 그 무리의 독특한 특징으로 다른 무리와 구별됨
- **소산식물** : 해당지역에서 자라고 있는 식물상
- **수관** : 나무의 가지와 잎이 달려 있는 부분
- **용존산소량** : 용존 산소량(Dissolved Oxygen)은 물 속에 포함되어 있는 산소량을 나타내며 수질 오염의 지표로 사용된다. 하천이 오염될수록 용존산소량이 작아진다

- **우점종** : 생물군집에서 그 군집의 성격을 결정하고, 군집을 대표하는 종류
- **종간경쟁** : 한 종과 다른 종 사이에 일어나는 서식지, 먹이원 등에 대한 경쟁
- **주광성곤충** : 빛에 유인되는 곤충
- **지표배회성곤충** : 딱정벌레와 같이 땅 위를 기어다니는 곤충
- **천공성곤충** : 수목줄기에 구멍을 뚫어 목질부를 가해하는 곤충
- **천이** : 같은 장소에서 시간의 흐름에 따라 진행되는 식물군집의 변화
- **AHP 분석(계층화분석)** : AHP(Analytical Hierarchy Process), 의사결정 목표 또는 평가기준이 다중적인 경우, 이를 세부 요인으로 계층화하여 세부 요인별 상대적 중요도 비교 등을 통해 세부 요인들을 순위화시키는 기법
- **ASOS** : Automated Synoptic Observing System의 약자. 종관기상관측장비
- **AWS** : Automatic Weather Station의 약자. 자동기상관측장비
- **Bessel 타원체** : 베셀이 1841년에 발표한 지구의 형상, 지구의 크기와 형상을 산출한 회전 타원체로 기본 측량 또는 공공 측량에서는 베셀 타원체를 바탕으로 측량법을 규정
- **CMAQ (Community Multiscale Air Quality Model)** : 3차원 광화학 대기질 모델로 국지규모에서 지역규모 모델링까지 다양하게 동시에 모델링이 가능하며, 여러 가지 오염물질을 동시에 고려할 수 있다. 이 모델은 황 화합물이나 오존화합물 뿐 아니라 최근 들어 기후적 측면과 국지 오염의 측면 등에서 중요한 관심사가 되고 있는 에어로졸도 동시에 고려할 수 있는 모델
- **EPA (Environmental Protection Agency)** : 미국 환경보호청으로 환경 분야 규제, 입법, 예산을 총괄하는 기관
- **ERD (Entity-Relationship Diagram)** : 구조화된 데이터에 대한 일련의 표현

- Flux-Gradient Method(경도법) : 풍속 분포가 대수법칙에 따르는 경우 운동량, 열, 물질의 연직 플럭스는 어떤 두 높이에 있어서 풍속, 기온, 습도 그리고 탄산가스 농도의 측정치를 이용해 구할 수 있는데, 이를 공기역학적방법 또는 경도법이라 부름
- GDP deflator : 물가지수를 지칭하는 것으로 명목 GDP를 실질 GDP로 나누어 계산
- HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) 모델 : NOAA와 호주기상대에서 개발하였으며, 오염물질의 궤적과 분산 등을 계산하는데 사용되는 모델
- IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change, 기후 변화와 관련된 전 지구적 위험을 평가하고 국제적 대책을 마련하기 위해 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 공동으로 설립한 유엔 산하 국제 협약체
- Karman 상수 : 풍속의 연직분포를 대수분포로 표현하였을 때 나타나는 상수
- MCIP (Meteorology-Chemistry Interface Processor) : 기상 및 화학모델링을 위한 인터페이스 처리 모듈
- MEGAN (Model of Emission of Gases and Aerosols from Nature) : 자연식생 배출 VOC 배출량을 산정하기 위한 모델
- Passive Air Sampler(간이대기측정기) : 대기 중 입자상 및 가스상 오염물질을 채취하는 장비로, 펌프 등을 사용하지 자연적 원리를 이용하기에 상대적으로 저렴하면서 간단한 교육만으로도 사용할 수 있기에 비전문가도 활용하여 대기질 조사를 할 수 있음
- PM₁₀(미세먼지) : 지름 10 μ m 이하인 먼지를 말하며 환경법령에서는 흔히 PM₁₀으로 부른다. 사람의 폐포까지 깊숙하게 침투해 각종 호흡기 질환의 직접적인 원인이 되며 특히 연소작용에 의해 발생하므로 황산염, 질산염, 암모니아 등의 이온 성분과 금속화합물, 탄소화합물 등 유해물질로 이뤄져 있음
- PSCF (Potential Source Contribution Function) : 대기모델에서 셀을 지나는 궤적 계산방법으로 조건부 확률로 계산되며 기여함수는 일반적으로 가장 높은 농도의 50%~90% 기준 값에 의해 결정됨

- **SMOKE (Sparse Matrix Operator Kernel Emissions Model)** : 배출량 모델링의 주요 특징은 배출량 입력 자료 생성이며 배출원별 연간 배출량 자료로 구성된 배출목록을 기본으로 격자별(girded), 시간별(hourly), 화학종 분화된(speciated) 배출량을 생성
- **thorogenic lead** : 고농도의 토륨(Thorium)/우라늄(Uranium)비를 함유한 토륨성분의 납
- **TM좌표** : TM(Transverse Mercator), 횡단메르카토르좌표계로 임의 지역에 대한 기준지점을 좌표원점으로 정해 원점을 중심으로 TM 투영한 평면상에서 원점을 지나는 자오선을 X축, 동서방향의 위도선을 Y축, 각 지점의 위치를 m단위의 평면 직각 좌표계로 표시
- **WRF (Weather Research and Forecasting Model)** : 기상진단 및 예측 모델로 WRF은 기상조사, 실시간 NWP, 이상적 대기 시뮬레이션, 데이터 연구 및 개발, 다른 지구 규모 모델에 사용, 모델링 및 모델사용에 대한 교육등에 활용이 가능함

참여 연구진

연구총괄책임 이상신 충남연구원 서해안기후환경연구소

1세부 : 대기환경정보 구축

연구책임	이상신	충남연구원	책임연구원
연구참여	김종범	충남연구원	책임연구원
	윤종주	충남연구원	책임연구원
	신우석	충남연구원	책임연구원
	윤수향	충남연구원	연구원
	정석한	충남연구원	연구원
	홍현수	(주)나인에코	대표이사
	김필수	(주)나인에코	과장
	류기형	공주대학교	교수
	김미환	공주대학교	연구교수

2세부 : 대기질 측정분석

연구책임	김선태	대전대학교	교수
연구참여	최일환	대전대학교	교수
	권충진	대전대학교	박사
	홍성주	대전대학교	박사
	김주인	대전대학교	박사과정
	정민경	대전대학교	연구원
	장영솔	대전대학교	연구보조원
	어현준	대전대학교	연구보조원
	오재원	대전대학교	연구보조원

3세부 : 사회적 피해비용 평가

연구책임	이진섭	한국품질재단	수석연구원
연구참여	정유심	한국품질재단	책임연구원
	김언정	한국품질재단	책임연구원
	박수현	한국품질재단	수석연구원

문성삼 한국품질재단 주임연구원
강영경 한국품질재단 주임연구원
조은정 한국품질재단 연구원

4세부 : 생태환경 모니터링

연구책임 채희문 강원대학교 교수
연구진 김종국 강원대학교 교수
 박영철 강원대학교 교수
 유기억 강원대학교 교수
 최재석 강원대학교 교수
 이광열 강원대학교 연구원
 김경아 강원대학교 박사
 임상진 강원대학교 연구원
 장태웅 강원대학교 연구원
 김기윤 강원대학교 박사과정
 이한규 강원대학교 석사과정
 배미란 강원대학교 석사과정
 심현진 강원대학교 석사과정
 이수호 강원대학교 석사과정
 김한울 강원대학교 석사과정
 고아름 강원대학교 석사과정

행정책임 및 지원

문경주 충청남도 기후환경국장
황상연 충청남도 기후환경정책과장
박일순 충청남도 기후환경정책과 기후변화대책팀장
박선영 충청남도 기후환경정책과 주무관
오용주 보령시 환경보호과 대기환경팀장
안두현 당진시 환경정책과 기후변화대응팀장
김관태 서천군 환경보호과 환경정책팀장
이범욱 태안군 환경산림과 환경지도팀장

발행일 : 2019년 4월

발행인 : 충청남도지사

발행처 : 충청남도 기후환경정책과

(32258) 충청남도 홍성군 홍북면 충남대로21

홈페이지 www.chungnam.go.kr

발간등록번호 : 74-6440000-000380-01
