

발 간 등 록 번 호

최종보고서(대산공단협의회)

대산공단지역 대기환경영향조사

(사)한국대기환경학회

(재)충남연구원

대 산 공 단 협 의 회

제 출 문

대산공단협의회 분임재무관 귀하

본 보고서를 “대산공단지역 대기환경영향조사” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019년 10월

연구기관명 :	(사)한국대기환경학회, (재)충남연구원
연구책임자 :	전 준 민 ((주)그린환경종합센터)
	이 상 신 ((재)충남연구원)
공동연구원 :	김 중 범 ((재)충남연구원)
	윤 중 주 ((재)충남연구원)
	신 우 석 ((재)충남연구원)
	정 중 관 ((재)충남연구원)
	이 정 주 (용인대학교)
	강 병 욱 (한국교통대학교)
	이 경 용 (극동대학교)
	홍 현 수 (나인에코)
	김 필 수 (나인에코)
연구원 :	오 경 철 ((주)그린환경종합센터)
	채 정 석 ((주)그린환경종합센터)
	장 미 경 ((주)그린환경종합센터)
	황 성 철 ((주)그린환경종합센터)
	손 용 남 ((주)그린환경종합센터)
	송 옥 주 ((주)그린환경종합센터)
	허 해 원 ((주)그린환경종합센터)
	김 선 식 ((주)그린환경종합센터)
	이 종 호 ((주)그린환경종합센터)
	김 성 원 ((주)그린환경종합센터)
	김 민 재 ((주)그린환경종합센터)
	박 재 현 ((주)그린환경종합센터)
	유 정 훈 (한서대학교)
	고 영 선 (한국교통대학교)
	최 나 은 (한국교통대학교)
	윤 수 향 ((재)충남연구원)
	정 석 한 ((재)충남연구원)
	김 아 람 ((재)충남연구원)
	전 민 지 ((재)충남연구원)
	나 수 민 (용인대학교)

요 약 문

I. 연구개요

연구과제명	국문	대산공단지역 대기환경영향조사		
연구기관	(사)한국대기환경학회 (재)충남연구원	연구책임자	소속	(주)그린환경종합센터
			성명	전 준 민
연구기간	2017. 10. 01 ~ 2019. 10. 31 (24개월)			
연구비	일금 칠억천이백만원(₩712,000,000원)			

II. 연구목적 및 필요성

본 연구·조사 대산석유화학단지 주변지역의 대기환경 조사를 시행함으로써 대기오염 실태를 파악하고, 지역 주민의 건강보호와 삶의 질 개선을 위한 종합적인 대책 수립의 기초자료 마련하고자 한다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

☐ 본 연구용역 사업의 공간적 범위와 시간적 범위는 아래와 같다.

- 공간적 범위 : 대산산단 주변지역
- 시간적 범위 : 계약일로부터 24개월

☐ 본 연구용역 사업의 내용적 범위는 아래와 같이 요약된다.

- 대기오염물질 조사 및 분석
 - 조사물질의 출현특성 및 지역별/계절별 농도분포 분석
 - 대산지역에 위치한 국가대기측정망 자료(환경부)와 비교·분석
 - 타 지역 국가산단 조사자료와 비교 분석

IV. 연구 결과 요약

대산지역의 대기 중 VOCs 총 58종을 분석한 결과, 대체로 대죽1리에서 높은 농도특성을 보이는데 이는 대죽1리가 대산석유화학단지와 대산 제3산업단지, 대죽자원비축 국가산업단지 등과 인접해 있어 산업단지 내에 VOCs 성분들을 배출하는 업종들의 영향을 받았다고 사료된다. 또한

Passive Sampler를 이용해 검출된 VOCs는 대산석유화학단지 인근의 독곶1리, 독곶2리, 대죽1리에서 농도가 높은 경향을 보여 검출된 VOCs가 산업단지의 영향을 받았다고 추측된다. 대죽1리 마을회관과 독곶사거리에서 이동측정차량을 이용해 측정한 benzene 농도의 경우 북풍의 영향이 클 때 높아져 대산석유화학단지에 존재하는 배출원의 영향을 받는 지역이라는 것을 알 수 있다.

카보닐화합물 10종을 분석한 결과, 모든 측정지점에서 공통적으로 농도 1~3순위 물질은 formaldehyde, acetaldehyde, acetone으로 나왔으며 그 순위는 조금씩 상이하였고, 농도 4순위는 2-butanone으로 나타났다. Formaldehyde의 경우 가장 높은 농도로 검출된 대산리는 석유화학단지의 영향을 가장 적게 받을 것으로 예상되는 대조지역으로 formaldehyde가 석유화학단지의 영향뿐만 아니라 주거지역 내에 존재하는 배출원의 영향을 받은 것으로 보인다. 여름철에 카보닐화합물의 측정농도가 전반적으로 높게 나타났고 겨울철(2월)에 감소하였음 이는 사업장에서의 배출뿐만 아니라 여름철의 기온상승과 높은 일사량으로 인한 광화학 반응이 카보닐화합물의 농도 상승에 크게 기여했을 것으로 판단된다.

Cr^{6+} 을 포함한 중금속 총 8종을 분석한 결과, 본 연구의 측정시기 동안 대산지역에서 석유화학단지를 비롯한 산업단지에 의한 주변지역으로의 중금속 오염 영향을 고려할만한 지점별 농도 차이가 크지 않았다. 또한 중금속별로 높게 검출되는 계절이 다르게 나타나 계절별 특성을 발견할 수 없었다.

PAH 물질 23종 분석결과, 측정지점들 중 대로3리에서 대부분의 PAHs의 평균농도가 높은 수준으로 나타났고, PAH 농도합계측면에서 살펴보아도 다른 측정지점들에 비해 대로3리가 적게는 1.6배에서 많게는 3.6배 높게 측정되었다. 대로3리는 산업단지와 약 4 km이상 떨어진 지점으로 대산지역의 PAHs 오염도가 산업단지의 영향을 받았다고 파악하는데는 어려움이 있다. 또한 PAHs 중 위해도 측면에서 중요한 benzo[a]pyrene의 경우 평균농도는 0.18 ng/m^3 로 낮은 농도 특성을 보이고, dibenz[a,h]anthracene의 경우 평균농도는 0.03 ng/m^3 로 매우 낮게 나타났다.

프탈레이트류 6종을 분석한 결과, 대로3리 지점의 경우 산업단지와 비교적 근거리에 위치한 대죽1리, 화곡2리 보다 높게 관측되는 것으로 확인되어, 공장으로부터 배출되는 오염물의 영향에 의한 것인지 기타 생활환경 활동에 소비되는 여러 제품들에 의한 것인지 명확하게 결론을 내리기에는 어려움이 있었다. 국내 타 산단지역의 프탈레이트류와 비교하면, 본 연구의 조사시기 동안 대산지역의 오염도가 2011년 대산산단의 조사결과에 비해 낮고, 2009년 조사된 울산산단의 조사결과와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

다이옥신류 총 17종을 분석한 결과, 전체 다이옥신의 농도 합은 $0.044 \text{ pg-TEQ/Sm}^3$ (다이옥신류의 총합은 $0.011 \text{ pg-TEQ/Sm}^3$, 퓨란류의 총합은 $0.033 \text{ pg-TEQ/Sm}^3$)로 나타났다. 다이옥신의 국내 대기환경기준은 연평균 0.6 pg-TEQ/Sm^3 로 설정되어 있는데, 대산지역에서 대기환경기준치의

1/13배 수준으로 낮게 나타났다.

불화수소 분석결과, 대산지역의 평균농도는 0.02 ppb로 8시간 평균 0.5 ppm(500 ppb)의 기준치에 비해서 낮은 농도 수치를 보임 측정지점별로 살펴보면, 모든 지점에서 유사하게 측정되어 위치 특성을 발견할 수 없었다.

2세부인 충남연구원에서는 석유화학단지로부터 인근 주변 대기환경에 미치는 영향을 검토하기 위해 서산시와 대산읍에 대한 일반현황 조사하였고, 그 결과를 바탕으로 주민들의 의견을 수렴, 모델링과 위해성평가를 통해 대기영향을 평가 후 이에 대한 개선방안을 제시하였다.

통계자료를 바탕으로 서산시의 기후대기 현황을 조사하였고, 그 결과 2008년 대비 온도는 0.1℃ 상승하였고, 강수량은 10 mm 감소한 것으로 나타났다. 주풍은 봄, 여름의 경우 서풍계열의 바람이 주로 불었고, 가을과 겨울철에는 북서풍이 주로 불어 인근 마을에서는 1년 중 대부분을 북서쪽에 위치하고 있는 산업단지의 영향을 받고 있는 것으로 확인되었다. 대산석유화학단지는 울산, 여수와 함께 전국 3대 석유화학단지로 알려져 있고, 국가단지 1개, 일반단지 11개, 농공단지 3개 등 총 15개의 산업단지로 구성되어 있다. 대기오염배출시설은 서산시에 위치하고 있는 총 204개의 배출시설 중 대산읍에 51개가 위치하고 있고, 1종 사업장 27개 중 17개가 위치하고 있어 서산시 전체적인 측면에서도 대기오염 배출물질의 많은 부분을 배출하고 있는 것으로 조사되었다. 여수나 울산과 같은 타 석유화학단지와 대기오염물질배출량과 PRTR자료 분석결과 절대적인 양은 1/3~1/5 수준에 불과하지만 면적과 위치하고 있는 사업장 대비에서는 반대로 높은 계수를 확인할 수 있었다. 또한 1세부 대기환경학회에서 수행한 대기측정방법 중 고체흡관법의 단점인 실시간 농도변화를 알수 없다는 점을 보완하기 위해 실시간 측정장비를 활용하여 약 5일간 석유화학단지 인근인 대죽1리에서 고정측정과 이동측정차량을 활용한 산업단지 인근 도로변의 VOCs의 공간분포를 확인하였고, 그 결과 독곶1리 교차로와 화곡교차로, 대산쓰레기 매립장 인근에서 높은 농도를 보였는데 특히 쓰레기 매립장의 경우 충청남도 환경보건연구원에서 2016년부터 조사하여 보고한 자료와 유사한 경향을 보여 이에 대한 추가적인 관리방안 마련이 시급한 것으로 나타났다. 주민들의 의견수렴을 위해 2차에 걸친 설문조사를 실시하였고, 여기서 나온 의견들은 주민공청회나 설명회를 통해 조치사항을 보고하였다. 이 외에도 과제 진행에 있어 주민들의 의견을 적극 반영하기 위해 이장님들을 포함한 주민분들과 접촉의 기회를 많이 가졌다. 석유화학단지에서 배출된 오염물질의 주변 영향권 분석을 위해 모델링 분석을 했고, 모델링 결과와 1세부 측의 측정결과를 기반으로 위해성평가를 수행 포름알데히드나 1,2디클로로에탄, 벤젠과 같은 일부 물질에 대한 관리가 필요하다는 것을 확인 할 수 있었다. 이렇게 조사된 결과들을 바탕으로 총 13개의 개선방안을 제시하였고, 이에 대한 세부계획을 수립, 추진 할 예정이다.

목 차

제 출 문	i
요 약 문	ii
목 차	v
표 목 차	vii
그림목차	xi
 I. 서론	1
제 1 장 조사연구사업의 개요	1
제 1 절 연구사업배경 및 필요성	1
제 2 절 연구사업의 목표	2
제 3 절 연구사업의 범위	3
제 2 장 사업추진체계	4
 II. 대기환경 측정	5
제 1 장 대기오염물질 조사방법	5
제 1 절 조사 개요	5
제 2 절 조사지점 및 조사시기	6
제 3 절 측정물질 및 분석방법	16
제 2 장 대기오염물질 측정 및 분석결과	49
제 1 절 휘발성유기화합물 (VOCs)	49
제 2 절 카보닐화합물	68
제 3 절 중금속	80
제 4 절 다환방향족탄화수소 (PAHs)	92
제 5 절 프탈레이트류	106
제 6 절 다이옥신류	117
제 7 절 불화수소	121
제 8 절 결론	124
 III. 대기영향 조사	127
제 1 장 대산석유화학단지 지역 현황	127
제 1 절 일반현황	127
제 2 절 산업단지 현황	130
제 3 절 대기오염 현황	132
제 4 절 주민 의견 조사	141
제 2 장 국내 대기환경정책 현황	160
제 1 절 국내 정책 동향	160
제 2 절 충청남도 및 서산시의 대기환경 개선 노력	166
제 3 장 대기영향 예측	168
제 1 절 모델링 개요	168
제 2 절 기상특성 분석	183

제 3 절 배출량 분석	193
제 4 절 대기영향 예측 결과	215
제 4 장 대기 위해성 평가	256
제 1 절 위해성평가 방법	256
제 2 절 물질별 위해성 평가 결과	267
제 3 절 지역별 위해성 평가 결과	273
제 4 절 위해성 결과	285
제 5 장 대기환경 개선 대책	288
제 1 절 문제점 분석	288
제 2 절 대산석유화학단지 대기질 개선 대책 제안	293
VI. 참고문헌	305
VII. 부록	307

표 목 차

표 1. 조사항목별 조사지점 현황	7
표 2. 대기오염물질 측정 항목	16
표 3. 대기오염물질 시료채취 및 분석방법	17
표 4. VOCs 분석 위한 자동열탈착 장치 및 GC/MS 운전조건	19
표 5. VOCs 방법검출한계(MDL) 및 분석재현성(RSD)	20
표 6. 카보닐화합물 분석 위한 HPLC 운전조건	23
표 7. 카보닐화합물 방법검출한계(MDL) 및 분석재현성(RSD)	24
표 8. PAHs 및 프탈레이트류 분석을 위한 GC/MS 운전조건	27
표 9. PAHs 체류시간의 재현성 평가	28
표 10. 프탈레이트류 체류시간의 재현성 평가	31
표 11. PAHs 기기검출한계(IDL) 및 방법검출한계(MDL), 분석재현성(RSD)	33
표 12. 프탈레이트류 기기검출한계(IDL) 및 방법검출한계(MDL), 분석재현성(RSD)	33
표 13. 내부표준물질(IS) 및 대리표준물질(SS)을 이용한 시료 추출 회수율(%)	34
표 14. 중금속 분석 위한 ICP 운전조건	36
표 15. 중금속 표준물질의 방법검출한계(MDL) 및 분석재현성(RSD)	37
표 16. 6가 크롬 분석을 위한 IC 운전조건	39
표 17. IC를 이용한 6가 크롬 분석법의 정밀도(재현성) 평가	40
표 18. 6가 크롬 분석법의 회수율 및 방법검출한계(MDL)	40
표 19. 다이옥신 표준물질 회수율 (단위 : %)	42
표 20. 불화수소 검출한계(MDL)	43
표 21. 대산 대죽리 AWS에서의 계절별 기상개황 (2018년 3월~2019년 2월)	45
표 22. 대산 대죽리 AWS에서의 일별 기상개황 (2018년 3월~2019년 2월)	46
표 23. 대산지역 측정지점별 대기 중 VOCs 농도 (단위 : ppb)	51
표 24. 대산지역 대죽1리 계절별 VOCs 농도 (단위 : ppb)	54
표 25. 대산지역 화곡2리 계절별 VOCs 농도 (단위 : ppb)	54
표 26. 대산지역 대로3리 계절별 VOCs 농도 (단위 : ppb)	55
표 27. 대산지역 오지리 계절별 VOCs 농도 (단위 : ppb)	55
표 28. 대산지역 대산리 계절별 VOCs 농도 (단위 : ppb)	56
표 29. 대산지역 전체지점 계절별 VOCs 농도 (단위 : ppb)	56
표 30. 국내 유해대기물질측정망과 본 연구의 VOCs 농도 비교 (단위 : ppb)	59
표 31. Passive Sampler에 의한 대산지역 측정지점별 VOCs 농도 (단위 : ppb)	62
표 32. 대산 쓰레기매립장 측정시기별 benzene 농도 (단위 : ppb)	65
표 33. 대죽1리 마을회관 benzene 농도 (단위 : ppb)	65
표 34. 독곶사거리 측정시기별 benzene 농도 (단위 : ppb)	66
표 35. 서산화학재난합동방재센터 측정시기별 benzene 농도 (단위 : ppb)	67
표 36. 대산지역 측정지점별 카보닐화합물 농도 (단위 : ppb)	70
표 37. 대산지역 대죽1리 계절별 카보닐화합물 농도 (단위 : ppb)	73
표 38. 대산지역 화곡2리 계절별 카보닐화합물 농도 (단위 : ppb)	73
표 39. 대산지역 대로3리 계절별 카보닐화합물 농도 (단위 : ppb)	73

표 40. 대산지역 오지리 계절별 카보닐화합물 농도 (단위 : ppb)	74
표 41. 대산지역 대산리 계절별 카보닐화합물 농도 (단위 : ppb)	74
표 42. 대산지역 전체지점 계절별 카보닐화합물 농도 (단위 : ppb)	74
표 43. 국내 타 산단지역 연구사례와 본 연구의 카보닐화합물 농도 비교 (단위 : ppb)	77
표 44. 대산지역 측정지점별 중금속 농도 (단위 : ng/m)	82
표 45. 대산지역 대죽1리 계절별 중금속 농도 (단위 : ng/m)	85
표 46. 대산지역 화곡2리 계절별 중금속 농도 (단위 : ng/m)	85
표 47. 대산지역 대로3리 계절별 중금속 농도 (단위 : ng/m)	85
표 48. 대산지역 오지리 계절별 중금속 농도 (단위 : ng/m)	86
표 49. 대산지역 대산리 계절별 중금속 농도 (단위 : ng/m)	86
표 50. 대산지역 전체지점 계절별 중금속 농도 (단위 : ng/m)	86
표 51. 국내 대기중금속측정망과 본 연구의 중금속 농도 비교 (단위 : ng/m)	89
표 52. 대산지역 측정지점별 PAHs 농도 (단위 : ng/m)	94
표 53. 대산지역 대죽1리 계절별 PAHs 농도 (단위 : ng/m)	98
표 54. 대산지역 화곡2리 계절별 PAHs 농도 (단위 : ng/m)	98
표 55. 대산지역 대로3리 계절별 PAHs 농도 (단위 : ng/m)	99
표 56. 대산지역 오지리 계절별 PAHs 농도 (단위 : ng/m)	99
표 57. 대산지역 대산리 계절별 PAHs 농도 (단위 : ng/m)	100
표 58. 대산지역 전체지점 계절별 PAHs 농도 (단위 : ng/m)	100
표 59. 국내 유해대기물질측정망과 본 연구의 PAHs 농도 비교 (단위 : ng/m)	103
표 60. 대산지역 측정지점별 프탈레이트류 농도 (단위 : ng/m)	108
표 61. 대산지역 대죽1리 계절별 프탈레이트류 농도 (단위 : ng/m)	111
표 62. 대산지역 화곡2리 계절별 프탈레이트류 농도 (단위 : ng/m)	111
표 63. 대산지역 대로3리 계절별 프탈레이트류 농도 (단위 : ng/m)	111
표 64. 대산지역 오지리 계절별 프탈레이트류 농도 (단위 : ng/m)	112
표 65. 대산지역 대산리 계절별 프탈레이트류 농도 (단위 : ng/m)	112
표 66. 대산지역 전체지점 계절별 프탈레이트류 농도 (단위 : ng/m)	112
표 67. 국내 타 산단지역 연구사례와 본 연구의 프탈레이트류 농도 비교(단위 : ng/m)	115
표 68. 대산지역 측정지점별 다이옥신류 농도 (단위 : pg I-TEQ/Sm)	119
표 69. 대산지역 측정지점별 불화수소 농도 (단위 : ppb)	122
표 70 대산읍 일반산업단지 및 석유정제품 제조업체 현황	127
표 71 국내 총 화학물질 유통량 변화 현황	130
표 72 2018년 대산읍 내 대기오염물질 배출사업장 수 현황	131
표 73 대기오염물질 배출 사업장 선정 기준	132
표 74 연도별 충청남도 대기오염물질 배출량 현황 (단위: 톤)	133
표 75 2016년 충청남도 서산시 대기 오염물질별 배출원 분석	137
표 76 국내 3대 석유산업단지 대기오염물질 배출 현황	139
표 77 이동측정차량을 활용한 대산 지역 측정 위치와 일정	153
표 78 대산 인근지역 BTEX 측정 결과	154
표 79 MiTAP의 VOCs 측정항목	157
표 80 측정기간 대기오염물질들의 농도 요약	157
표 81 본 연구결과와 타 지역에서 수행된 연구결과 비교	159

표 82 대기관리권역 편입 전·후 비교	165
표 83 대기모델의 특성	168
표 84 연구기간 기상 개황	188
표 85 모델링 운영기간 서산기상대 풍향·풍속 빈도표(unit : %)	191
표 86 서산시 화학물질 배출량(2015년)	199
표 87 국외 대기오염물질 배출량 현황	206
표 88 CO 배출원별 아시아 배출량	207
표 89 국외 NOx 배출량 현황	208
표 90 SOx 배출원별 아시아 배출량	209
표 91 PM10 배출원별 아시아 배출량	210
표 92 PM2.5 배출원별 아시아 배출량	211
표 93 NMVOC 배출원별 아시아 배출량	212
표 94 NH3 배출원별 아시아 배출량	213
표 95 대기질 모델링을 위한 도메인 내역	221
표 96 CMAQ에 적용되는 물리·화학·확산 알고리즘 적용 내역	222
표 97 자연배출량 처리 모델인 MEGAN 모델 입력 자료 구성	224
표 98 CMAQ에 적용되는 물리·화학·확산 처리방법	226
표 99 모델링 결과 정합도 분석 통계 방법	227
표 100 현황관측값과 기상모델값의 통계분석결과(2017년 9월)	229
표 101 현황관측값과 기상모델값의 통계분석결과(2018년 1월)	235
표 102 PM10 관측값과 수치모델 값의 통계분석결과	241
표 103 관측값과 수치모델 값의 통계분석결과(2018년 4월)	243
표 104 PM2.5 연간 모델링 결과(2018년)	244
표 105 PM10 연간 모델링 결과(2018년)	245
표 106 1,3-부타디엔 모델링 결과	250
표 107 헥산 모델링 결과	251
표 108 벤젠 모델링 결과	252
표 109 톨루엔 모델링 결과	253
표 110 포름알데히드 모델링 결과	254
표 111 니켈 및 그 화합물 모델링 결과	255
표 112 U.S. EPA, ACGIH, IARC의 발암 등급	258
표 113 VOCs 발암물질 독성정보 및 건강영향	259
표 114 카르보닐 발암물질 독성정보 및 건강영향	259
표 115 중금속 발암물질 독성정보 및 건강영향	260
표 116 PAHs 화합물 발암물질 독성정보 및 건강영향	260
표 117 위해성 평가를 위한 노출 인자들에 대한 설정값	263
표 118 연구에 사용된 노출계수	263
표 119 지역별 민감도 분석 결과	266
표 120 VOCs 발암성 물질에 대한 발암 위해도	268
표 121 VOCs 비발암성 물질에 대한 발암 위해도	269
표 122 카르보닐 물질에 대한 위해도	271
표 123 중금속 물질에 대한 위해도	272

표 124 대죽 1리 발암성 물질 위해도 순위	273
표 125 대죽 1리 비발암성 물질 위해지수 순위	274
표 126 화곡 2리 발암성 물질 위해도 순위	275
표 127 화곡 2리 비발암성 물질 위해지수 순위	276
표 128 대로 3리 발암성 물질 위해도 순위	278
표 129 대로 2리 비발암성 물질 위해지수 순위	278
표 130 오지리 발암성 물질 위해도 순위	279
표 131 오지리 비발암성 물질 위해지수 순위	280
표 132 대산리 발암성 물질 위해도 순위	282
표 133 대산리 비발암성 물질 위해지수 순위	282
표 134 지점별 발암성 물질 위해도 순위	285
표 135 지점별 비발암성 물질 위해지수 순위	286
표 136 선행연구자료 비교 - 50 percentile 발암성 물질	287
표 137 거버넌스 운영 연차별 추진계획	293
표 138 영향분석 연차별 추진계획	294
표 139 화학사고 발생대응 연차별 추진계획	295
표 140 유해물질 배출량 조사 연차별 추진계획	296
표 141 배출시설 후처리 조사 연차별 추진계획	297
표 142 유해대기물질 모니터링 구축 연차별 추진계획	298
표 143 특별관리 권역지정 연차별 추진계획	298
표 144 산업단지 주변지역 지원 연차별 추진계획	299
표 145 대규모 배출시설 대기오염물질 저감 평가 연차별 추진계획	300
표 146 대기질 정보센터 운영 연차별 추진계획	301
표 147 산업단지 배출시설 개선 지원 연차별 추진계획	302
표 148 DPF 의무장착 및 LEZ운영 연차별 추진계획	302
표 149 대기보전 특별대책지역 지정 연차별 추진계획	303

그 립 목 차

그림 1. 본 연구사업의 추진체계	4
그림 2. 대산지역 유해대기오염물질 조사지점 위치도	8
그림 3. 유해대기오염물질 대죽1리 조사지점 및 측정전경	8
그림 4. 유해대기오염물질 화곡2리 조사지점 및 측정전경	9
그림 5. 유해대기오염물질 대로3리 조사지점 및 측정전경	9
그림 6. 유해대기오염물질 오지2리 조사지점 및 측정전경	9
그림 7. 유해대기오염물질 대산리 조사지점 및 측정전경	10
그림 8. 대산지역 공간분포 오염도 조사지점 위치도	10
그림 9. 공간분포 오염도 조사지점 및 측정전경	11
그림 10. 다이옥신 조사지점 위치도	14
그림 11. 다이옥신 D1 조사지점 및 측정전경	15
그림 12. 다이옥신 D2 조사지점 및 측정전경	15
그림 13. 다이옥신 D3 조사지점 및 측정전경	15
그림 14. VOCs 분석기기 - GC/MS/TD	19
그림 15. 측정대상 주요 VOCs 검정곡선	21
그림 16. 카보닐화합물 분석기기 - HPLC	23
그림 17. 측정대상 카보닐화합물 검정곡선	24
그림 18. PAHs 및 프탈레이트류 분석기기(GC/MS)	27
그림 19. PAHs 물질별 검정곡선	29
그림 20. 프탈레이트류 물질별 검정곡선	31
그림 21. Cyclone 및 중량측정용 천칭	35
그림 22. 중금속 분석장비 (ICP/AES)	36
그림 23. 중금속 성분 검정곡선	37
그림 24. 측정대상 중금속 성분 검정곡선	43
그림 25. 대산 대죽리 측정기간 계절별 바람장미	45
그림 26. 대산 대죽리 측정기간 중 일별 바람장미	47
그림 27. 대산지역 측정지점별 VOCs 농도 비교	52
그림 28. 대산지역 계절별 VOCs 농도 비교	57
그림 29. 유해대기물질측정망과 대산지역 VOCs 측정농도 비교	60
그림 30. 대산지역 측정지점별 VOCs 공간오염도	63
그림 31. 대산지역 계절별 benzene, toluene 공간오염도	63
그림 32. 이동측정차량에 의한 VOCs 조사지점 위치도	64
그림 33. 대산 쓰레기매립장 풍향별 benzene 농도 분포	65
그림 34. 대죽1리 마을회관 풍향별 농도 분포	66
그림 35. 독곶사거리 풍향별 benzene 농도 분포	67
그림 36. 서산화학재난합동방재센터 풍향별 benzene 농도 분포	67
그림 37. 대산지역 측정지점별 카보닐화합물 농도 분포	71
그림 38. 대산지역 계절별 카보닐화합물 농도 분포	75

그림 39. 타 산단지역 연구사례와 대산지역 카보닐화합물 측정농도 비교	78
그림 40. 대산지역 측정지점별 중금속 농도 분포	83
그림 41. 대산지역 계절별 중금속 농도 분포	87
그림 42. 대기중금속측정망과 대산지역 중금속 측정농도 비교	90
그림 43. 대산지역 측정지점별 PAHs 농도 분포	96
그림 44. 대산지역 계절별 PAHs 농도 분포	101
그림 45. 유해대기물질측정망과 대산지역 PAHs 측정농도 비교	104
그림 46. 대산지역 측정지점별 프탈레이트류 농도 분포	109
그림 47. 대산지역 계절별 프탈레이트류 농도 분포	113
그림 48. 타 산단지역 연구사례와 대산지역 프탈레이트류 측정농도 비교	116
그림 49. 대산지역 측정지점별 2378-TCDD 농도 분포	120
그림 50. 대산지역 계절별 2378-TCDD 및 PCDFs+PCDDs 농도 분포	120
그림 51. 대산지역 측정지점별 불화수소 농도 분포	123
그림 52. 대산지역 계절별 불화수소 농도 분포	123
그림 53. 대산석유화학단지 주변지역 입지 지도	128
그림 54. 대산을 성별·연령별 인구변화 추이	129
그림 55. 국내 3대 석유화학단지 입지도 및 일반 현황	131
그림 56. 대산 산업단지 입지 현황 지도	132
그림 57. 2016년도 충청남도 시군별 배출 비율 현황	133
그림 58. 서산시 일산화탄소 배출량 변화 추이	135
그림 59. 서산시 질소산화물 배출량 변화 추이	135
그림 60. 서산시 황산화물 배출량 변화 추이	135
그림 61. 서산시 미세먼지 PM10 배출량 변화 추이	136
그림 62. 서산시 휘발성유기화합물 배출량 변화 추이	136
그림 63. 서산시 암모니아 배출량 변화 추이	136
그림 64. 2016년 서산시 오염물질별 배출원 배출 비중 분석	137
그림 65. 서산시 유해대기측정망 측정 결과 변화 추이	138
그림 66. 국내 3대 석유화학단지 내 2018년 유해대기물질 측정 결과	140
그림 67. 대산 석유화학단지 주변 이장단 대상 대면 설문조사	141
그림 68. 1차 설문조사를 위한 설문내용	141
그림 69. 대산 석유화학단지 주변지역 환경협의체 대상 설문조사	142
그림 70. 2차 설문조사를 위한 설문 내용	142
그림 71. 1차 설문조사 중 대기환경문제 인지도 분석 결과	143
그림 72. 1차 설문조사 중 대기질 인식 분석 결과	143
그림 73. 1차 설문조사 중 대기질 현황 인지 매체 분석 결과	144
그림 74. 1차 설문조사 중 선호 정책 분석 결과	144
그림 75. 1차 설문조사 중 정책 만족도 조사 분석 결과	145
그림 76. 2차 설문조사 중 응답자의 참여도 분석 결과	146
그림 77. 2차 설문조사 중 중간보고회 결과 신뢰도 분석 결과	146
그림 78. 2차 설문조사 중 연구 우선 선호도, 모니터링 대상 선정 파악	147
그림 79. 2차 설문조사 중 고정측정망 신뢰도 분석	147
그림 80. 2차 설문조사 중 산업단지 지원정책 선호도 분석 결과	148

그림 81 2차 설문조사 중 정책 방향 우선 선호도	149
그림 82 충남보건환경연구원 이동측정자료 리스트	151
그림 83 충남보건환경연구원에서 운영 중인 대기 모니터링 차량	151
그림 84 충남보건환경연구원 대기 모니터링 결과 보고서	152
그림 85 충남연구원에서 수행한 VOCs 연속측정 캠페인 수행 지도	156
그림 86 측정기간 TVOCs 변화 및 개별물질들의 일변화	158
그림 87 국가 대기배출원 관리 현황	162
그림 88 미세먼지 등 대기환경 개선을 위해 신규 시행되는 대기환경 법규	163
그림 89 대기관리권역 지도 및 주요 통계	164
그림 90 충청남도 대기환경 개선대책 8대전략과 43개 과제 추진전략	167
그림 91 CALMET/CALPUFF 모델링 시스템	171
그림 92 CALMET 모델링 시스템	172
그림 93 CALPUFF 모델링 시스템 구조	173
그림 94 CCTM 모델 지배방정식	178
그림 95 CMAQ 인터페이스 과정	180
그림 96 Arakawa B 격자와 Arakawa C 격자(u & v: 동서 및 남북 바람 성분, s: 스칼라 성분, ρ : 대기 밀도)	181
그림 97 서산기상대 월평균 기온변화(2009 ~ 2018)	183
그림 98 서산기상대 연도별 기온변화(2009 ~ 2018)	184
그림 99 서산기상대 최근 10년 월별평균 강수량 변화	184
그림 100 2006 ~ 2016년 서산기상대의 바람장미	185
그림 101 서산 기상대 최근 10년간 월별 바람장미	186
그림 102 모델링 운영기간 기상 개황	189
그림 103 모델링 운영기간 바람장미도	190
그림 104 모델링 운영기간 계절별 바람장미도	192
그림 105 2015년도 서산시 대기오염물질 면오염원 배출량 공간분포 현황	193
그림 106 2015년도 서산시 대기오염물질 면오염원 배출량 공간분포 현황 (계속)	194
그림 107 2015년도 서산시 대기오염물질 이동오염원 배출량 공간분포 현황	195
그림 108 2015년도 서산시 대기오염물질 이동오염원 배출량 공간분포 현황	196
그림 109 2015년도 서산시 대기오염물질 점오염원 배출량 공간분포 현황	197
그림 110 2015년도 서산시 대기오염물질 점오염원 배출량 공간분포 현황	198
그림 111 서산시 1,3-부타디엔 및 n-헥산 배출량 공간분포 현황	200
그림 112 서산시 포름알데히드 및 나프탈렌 배출량 공간분포 현황	201
그림 113 서산시 벤젠 및 에틸벤젠 배출량 공간분포 현황	202
그림 114 서산시 자일렌 및 톨루엔 배출량 공간분포 현황	203
그림 115 서산시 알루미늄, 니켈 및 그 화합물 배출량 공간분포 현황	204
그림 116 서산시 구리, 크롬 및 그 화합물 배출량 공간분포 현황	205
그림 117 국외 오염원별 CO 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)	207
그림 118 국외 오염원별 NOx 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)	208
그림 119 국외 오염원별 SOx 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)	209
그림 120 국외 오염원별 PM10 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)	210
그림 121 국외 오염원별 PM2.5 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)	211

그림 122	국외 오염원별 NMVOC 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)	212
그림 123	국외 오염원별 NH ₃ 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)	213
그림 124	국외 농업부분 NH ₃ 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)	214
그림 125	대기질 모델링 체계도	215
그림 126	WRF 모델 운영 흐름도	216
그림 127	병렬방식 배출량 처리과정	217
그림 128	CMAQ 운영체계도	218
그림 129	서산지역 대기질 모델 운영 구성도 예	220
그림 130	SMOKE 모델 배출량 입력자료 전처리 과정 설계	223
그림 131	자연배출량 처리를 위한 MEGAN 구조도	225
그림 132	기온 관측값과 모델결과 시계열분포(2017년 9월)	230
그림 133	풍속 관측값과 모델결과 시계열분포(2017년 9월)	231
그림 134	기온 관측값과 모델결과 상관성분석(2017년 9월)	232
그림 135	기상모델 결과(2017년 9월)	233
그림 136	기상모델 결과(2017년 9월) 계속	234
그림 137	기온 관측값과 모델결과 시계열분포(2018년 1월)	236
그림 138	풍속 관측값과 모델결과 시계열분포(2018년 1월)	237
그림 139	기온 관측값과 모델결과 상관성분석(2018년 1월)	238
그림 140	기상모델 결과(2018년 1월)	239
그림 141	기상모델 결과(2018년 1월) 계속	240
그림 142	PM ₁₀ 관측값과 모델결과 시계열분포	241
그림 143	PM ₁₀ 관측값과 모델결과 상관성분포	241
그림 144	모델결과와 PM ₁₀ 확산분포도(2017년 9월)	242
그림 145	2018년 4월 관측값과 모델결과 시계열분포	243
그림 146	PM ₁₀ 관측값과 모델결과 상관성 분석(2018년 4월)	243
그림 147	지점별 PM _{2.5} 모델링 결과	244
그림 148	지점별 PM ₁₀ 모델링 결과	245
그림 149	지점별 시간별 PM _{2.5} 모델링 결과(2018년 1월)	246
그림 150	지점별 시간별 PM ₁₀ 모델링 결과(2018년 1월)	246
그림 151	PM _{2.5} 모델링 결과(2018년 1월)	247
그림 152	PM ₁₀ 모델링 결과(2018년 1월)	248
그림 153	화학물질 모델링 운영개요	249
그림 154	1,3-부타디엔 공간분포(24시간 평균 최대값)	250
그림 155	헥산 공간분포(24시간 평균 최대값)	251
그림 156	벤젠 공간분포(24시간 평균 최대값)	252
그림 157	톨루엔 공간분포(24시간 평균 최대값)	253
그림 158	포름알데히드 공간분포(24시간 평균 최대값)	254
그림 159	니켈 및 그 화합물 공간분포(24시간 평균 최대값)	255
그림 160	위해성 평가 단계	257
그림 161	불확실성 분석을 위한 Monte Carlo 시뮬레이션의 일례	264
그림 162	화곡 2리 발암성 물질 위해도 순위	276
그림 163	화곡 2리 비발암성 물질 위해지수 순위	277

그림 164	오지리 발암성 물질 위해도 순위	280
그림 165	오지리 비발암성 물질 위해지수 순위	281
그림 166	대산리 발암성 물질 위해도 순위	283
그림 167	대산리 비발암성 물질 위해지수 순위	284
그림 168	일반현황 조사(Ⅰ)에서 발견된 문제점 검토	289
그림 169	대기질 측정(Ⅱ)에서 발견된 문제점 검토	290
그림 170	설문조사(Ⅲ)에서 발견된 문제점 검토	291
그림 171	모델링(Ⅳ)에서 발견된 문제점 검토	291
그림 172	위해성평가(Ⅴ)에서 발견된 문제점 검토	292

1. 서론

I. 서론

제 1 장 조사연구사업의 개요

제 1 절 연구사업배경 및 필요성

- 석유화학단지에서 배출되는 휘발성유기화합물(VOCs)과 질소산화물(NOx)이 전구물질로 작용해서 생성된 오존(O3)물질에 의해 천식 등 호흡기계 질환과 폐질환, 심혈관계 질환의 유병률과 증상 악화에 영향을 미칠 수 있음
- 국립환경과학원(2012년)에서 대산지역을 대상으로 휘발성유기화합물의 위해성 평가 결과, 1,2-디클로로에탄, 벤젠의 발암 위해도는 자연발생발암위해도 수준을 나타내는 허용위해도를 초과하는 것으로 나타났음
- 석유화학단지 주변지역 주민 1,358명을 대상으로 자각증상과 질병상태를 조사한 연구(2007년)에 의하면, 농어촌 지역주민에 비해 통계적으로 유의한 차이로 호소한 자각증상은 두통, 메스꺼움, 목구멍이 아픈 현상, 가슴에서 “썹썹” 거리는 소리가 발생하는 천명현상인 것으로 분석됨. 악취발생을 느꼈다고 응답한 주민들의 가족들 중에서 천식발생은 15.4%, 호흡기계질환 발생은 12.4%, 신경계질환 발생은 9.1%, 피부질환발생은 27.8%로 농어촌지역에 비해 통계적으로 유의한 수준으로 높았음
- 대산지역은 1988년부터 석유화학산업에 대한 투자와 중국과 가까운 지리적 장점에 의해 석유화학단지가 조성되기 시작하여 여수, 울산과 같이 한국의 3대 석유화학단지로 성장하였음
- 그동안 대산석유화학단지는 입주업체, 생산량 및 규모 등이 증가하면서 환경오염에 의한 환경생태 등이 변화되었으며, 악취·소음 등의 생활환경불편, 건강피해 우려 등에 대한 민원이 빈번하게 발생하고 있는 상황임
- 충남도와 서산시는 이러한 환경오염문제를 협의하고 해결방안을 모색하기 위해 2012년도부터 주민대표, 기업대표, 환경NGO, 전문가, 공무원 등 22명으로 구성된 ‘대산지역 환경협의회’를 구성·운영하고 있으며, 그동안의 여건변화에 따른 주변지역의 환경영향조사의 필요성에 대한 주민들의 공감대가 형성되고있는 상황임
- 대산 4사(현대오일뱅크, LG화학, 롯데케미칼, 한화토탈)에서 주로 취급되는 유해화학물질은 중화제로 사용되는 황산, 가성소다 및 석유화학제품의 원료로 사용되는 BTX류 등이며, 현대오일뱅크에서는 11종, LG화학 24종, 롯데케미칼 18종, 한화토탈은 9종의 유해화학물질이 취급되고 있음

- 최근 대산지역은 미국 항공우주국(NASA; National Aeronautics and Space Administration)이 지난 10년간(2004년~2014년) 전 세계195개 도시 상공의 이산화질소 농도를 관측한 결과 인도의 잠나가르와 더불어 이산화질소 오염도가 가장 급격하게 심해진 도시라고 저널 발표로 이목이 집중되고 있음
- 이에 시민들과 환경단체 및 충청남도 시군 의회에서 환경영향조사를 촉구하였고, 2017년 9월에는 ‘대산지역 대기환경규제지역 지정을 위한 의정토론회’가 개최됨
- 국립환경과학원 자료에 의하면, 벤젠 농도의 경우 환경기준 농도 이하로 조사되었지만 다른 지역의 일반 주거지점보다 농도가 높았음. 또한 톨루엔·에틸벤젠·자일렌의 경우 역시 전반적으로 높게 나와 대산지역은 산업체에서 생산·사용되는 휘발성 유기화합물이 인근 주거지역에 영향을 미치는 것으로 판단됨
- 따라서 본 연구에서는 대산지역 산단의 업종별 유해대기오염물질 배출현황을 파악하고 이들 지역에서 배출되는 대기 중 유해대기오염물질의 농도를 측정으로써, 지역 주민의 건강을 보호하기 위한 근본적인 대책 수립의 기초자료를 마련하기 위하여 대규모의 종합적인 연구조사를 수행함

제 2 절 연구사업의 목표

- 대산 석유화학단지 주변지역의 대기환경 조사를 시행함으로써 대기오염실태를 파악하고 지역주민의 건강보호와 삶의 질 개선을 위한 종합적인 대책 수립의 기초자료를 마련하는데 목적이 있음
- 본 연구 사업을 통해서 측정결과를 토대로 주요 유해성대기오염물질에 대한 인체 노출수준 및 위해성을 평가하여 향후 대산지역에서 위해성 물질의 관리방안 마련을 위한 기초 정보를 제공하고자 함

제 3 절 연구사업의 범위

☐ 조사시기 : 4계절 (봄, 여름, 가을, 겨울), 계절별

- 봄철: 2018년 03월 07일 ~ 13일
- 여름철: 2018년 06월 14일 ~ 20일
- 가을철: 2018년 10월 18일 ~ 24일
- 겨울철: 2019년 02월 20일 ~ 26일

☐ 조사지점

- 유해대기오염물질 조사: 대산산단 주변 5곳(대죽1리, 화곡1리, 대로3리, 오지리, 대산리)
- 다이옥신조사: 소각장 주변 3 지점
- VOCs 공간오염도 조사: 31지점

☐ 조사항목

- 휘발성(할로겐화 포함) 유기화합물(58종)
- 카보닐화합물(10종)
- 다환방향족탄화수소(23종)
- 프탈레이트(5종)
- 불화수소
- 공간분포: 휘발성유기화합물(10종)
- 다이옥신: 다이옥신류(7종) 및 퓨란류(10종)

제 2 장 사업추진체계

- 본 사업의 전반적인 추진체계 아래 그림과 같음

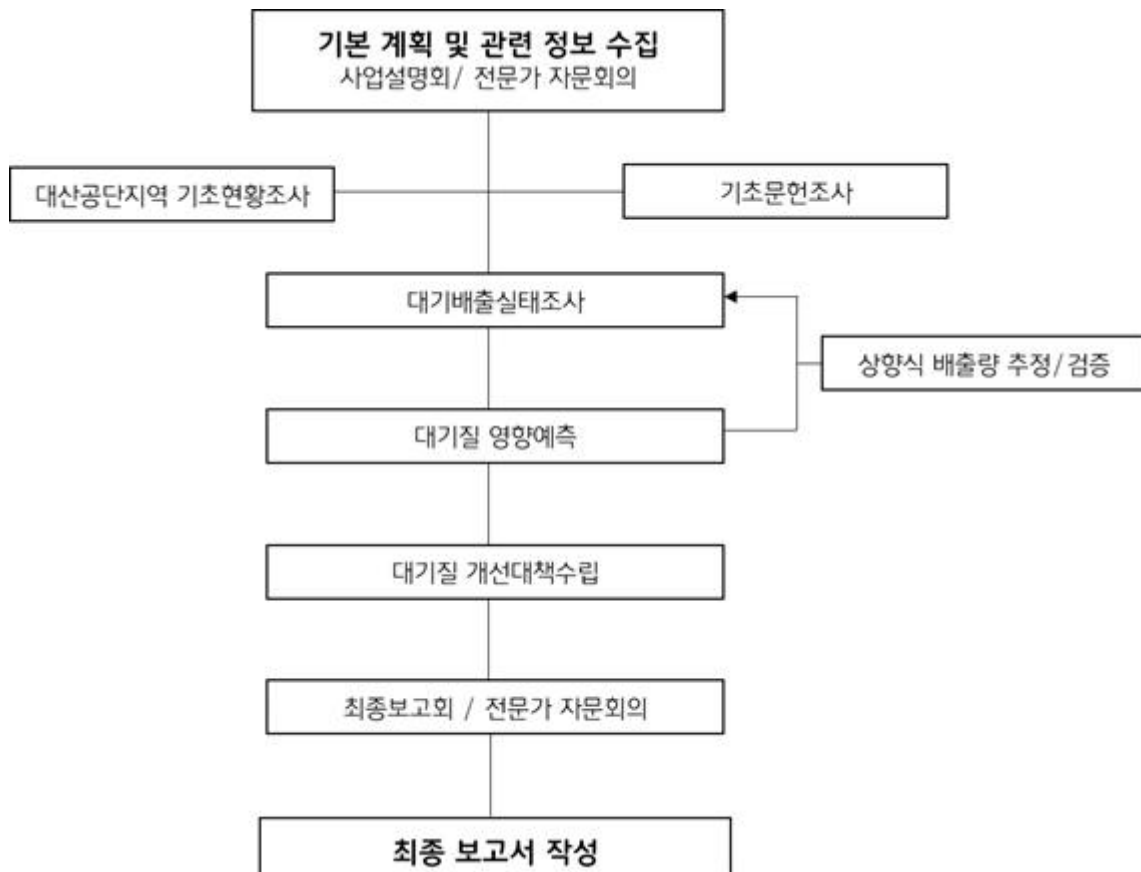


그림 1. 본 연구사업의 추진체계

II. 대기환경 측정

II. 대기환경 측정

제 1 장 대기오염물질 조사방법

제 1 절 조사 개요

- 충청남도 서산시에 입지하여 있는 대산산업단지의 주변지역을 대상으로 유해대기오염물질(Hazardous Air Pollutants, 이하 HAPs)을 조사하였음
- 주요 HAPs 조사지점은 대죽1리, 화곡2리, 대로3리, 오지리와 대조지점인 대산리를 포함한 총 5개 지역에서 각 대표 1지점을 선정하였으며 각 지점들은 감독기관 및 지역주민들과 상의 하에 최종적으로 선정된 지점임
- HAPs의 조사항목은 휘발성유기화합물(VOCs), 카보닐화합물, 다환방향족탄화수소(PAHs), 프탈레이트류, 중금속, 불화수소이며 위 항목들의 조사기간은 4계절(봄철, 여름철, 가을철, 겨울철) 동안 이루어졌고, 각 계절에 7일 연속으로 측정되었음
- 앞서 측정지점 외에 대산읍에 분포하고 있는 31개 마을의 상대적인 공간분포 오염수준을 파악코자 각 마을 대표지점에 수동식 시료채취기인 VOC 뱃지(badge)를 부착하여 계절별 7일 동안 대기 중에 노출시켰음. 이를 통해 각 마을별 오염도가 높은 지역이 어디인지 상대적으로 평가하였음
- 대산석유화학단지 외에 대기오염물질 배출시설로 의심되는 소각시설이 산단 주변에 존재하여 소각시설 인근에서 다이옥신(다이옥신류 및 퓨란류)을 조사

□ 조사지점

- 유해대기오염물질(HAPs) 집중 조사
: (5개지점) 대죽1리, 화곡2리, 대로3리, 오지리, 대산리
- 공간분포 오염도 조사
: (31개지점) 대죽1리, 독곶1-2리, 화곡1-3리, 대로1-3리, 대로3리(2지점), 대산1-6리, 대산종합시장, 운산1-5리, 영탑1-3리, 기은1-2리, 오지리1-2리, 오지2리(2지점), 웅도리
- 다이옥신 조사
: (3개지점) 대죽리 소각시설 인근

□ 측정항목

- HAPs : 휘발성유기화합물(58종), 카보닐화합물(10종), 중금속(5종), 6가크롬
다환방향족탄화수소(23종), 프탈레이트(5종), 미세먼지, 불화수소
- 공간분포 : 휘발성유기화합물(10종)
- 다이옥신 : 다이옥신류(7종) 및 퓨란류(10종)

□ 조사시기

- 봄 철 (2018년 03월 07일~13일)
- 여름철 (2018년 06월 14일~20일)
- 가을철 (2018년 10월 18일~24일)
- 겨울철 (2019년 02월 20일~26일)

□ 시료채취 횟수

- 휘발성유기화합물, 카보닐화합물
: 1일 2회 (오전, 오후 각 1시간 시료채취) 7일 연속 시료채취
- 중금속, 6가크롬, 다환방향족탄화수소, 프탈레이트, 미세먼지, 불화수소
: 1일 1회 (24시간 시료채취) 7일 연속 시료채취
- 다이옥신 : 2일(48시간 연속) 1회, 총 3회 연속 시료채취

제 2 절 조사지점 및 조사시기

- 측정대상 대기오염물질별로 측정이 이루어진 세부 조사지점 현황을 표 1에 제시하였음
- 또한 측정조사 지점의 분포 전경을 그림 2, 그림 8, 그림 10과 같이 지도상에 도식하였고, 각 측정항목별 조사지점의 현장측정사진으로 유해대기오염물질 측정은 그림 3 ~ 그림 7에, 공간분포 측정은 그림 9에, 다이옥신 측정은 그림 11 ~ 그림 13에 제시하였음

표 1. 조사항목별 조사지점 현황

측정 항목	지점명	주 소
유해대기오염물질 (HAPs)	대죽1리	대산읍 죽엽로 197
	화곡2리	대산읍 개화1길 3
	대로3리	대산읍 물안2길 12 (명지j 타워)
	오지2리	대산읍 별천포길 93-25
	대산리	대산읍 충의로 1942 (대산종합시장)
휘발성유기화합물 (VOCs 공간분포)	화곡1리	대산읍 반곡길 54-6
	화곡2리	대산읍 개화1길 3
	화곡3리	대산읍 삼길포3길 8
	독곶1리	대산읍 독곶수등길 61
	독곶2리	대산읍 평신1로 438
	대죽1리	대산읍 대죽웃말길 9
	대로1리	대산읍 가로림로 264
	대로2리	대산읍 명지2로183-14
	대로3리	대산읍 영화동길120 (1번지점)
	대로3리	대산읍 물안2길 12 (명지j타워) (2번지점)
	기은1리	대산읍 명지1로 142
	기은2리	대산읍 기은고지 2길 141
	오지1리	대산읍 오지자각산길19
	오지2리	대산읍 가로림로 504 (1번지점)
	오지2리	대산읍 별천포길 93-25 (2번지점)
	대산1리	대산읍 구진로50-5
	대산2리	대산읍 대산2길57-1
	대산3리	대산읍 대산리 1306-3
	대산4리	대산읍 대산4길 76
	대산5리	대산읍 대산5길 10
	대산6리	대산읍 관아지1길 11-9
	대산리	대산읍 충의로 1942 (대산종합시장)
	운산1리	대산읍 망일산로 622-70
	운산2리	대산읍 운산리길 223
	운산3리	대산읍 운산청량1길 3
	운산4리	대산읍 운산리길 1432
	운산5리	대산읍 운산나루터길 37-16
	영탑1리	대산읍 영전1길 157-4
	영탑2리	대산읍 탑성골1길 127
	영탑3리	대산읍 충의로 1839-7
	웅도리	대산읍 웅도1길 92
다이옥신	D1	대산읍 대죽리 834-2 (식당)
	D2	대산읍 대죽리 834-25 (대죽1리 경로당)
	D3	대산읍 대죽리 858-1 (소 축사)



그림 2. 대산지역 유해대기오염물질 조사지점 위치도



그림 3. 유해대기오염물질 대죽1리 조사지점 및 측정전경



그림 4. 유해대기오염물질 화곡2리 조사지점 및 측정전경

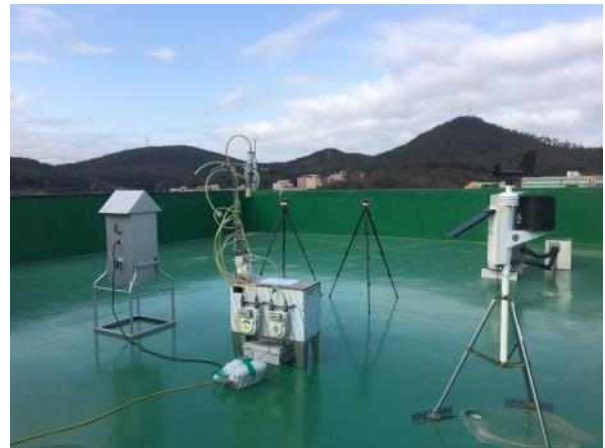


그림 5. 유해대기오염물질 대로3리 조사지점 및 측정전경



그림 6. 유해대기오염물질 오지2리 조사지점 및 측정전경



대죽1리



독곶1리



독곶2리



화곡1리



화곡2리



화곡3리



대로1리



대로2리



대로3리(1번지점)



대로3리(2번지점)

그림 9. 공간분포 오염도 조사지점 및 측정전경



대산1리



대산2리



대산3리



대산4리



대산5리



대산6리



대산종합시장



운산1리



운산2리



운산3리

그림 9. 공간분포 오염도 조사지점 및 측정전경 (계속)



운산4리



운산5리



영탑1리



영탑2리



영탑3리



기은1리



기은2리



오지리1리



오지리2리(1번지점)



오지리2리(2번지점)

그림 9. 공간분포 오염도 조사지점 및 측정전경 (계속)



웅도리

그림 9. 공간분포 오염도 조사지점 및 측정전경 (계속)



그림 10. 다이옥신 조사지점 위치도



그림 11. 다이옥신 D1 조사지점 및 측정전경



그림 12. 다이옥신 D2 조사지점 및 측정전경



그림 13. 다이옥신 D3 조사지점 및 측정전경

제 3 절 측정물질 및 분석방법

1. 측정대상 대기오염물질

□ 대기오염물질 측정항목

- 휘발성유기화합물(VOCs; 58종), 카보닐화합물(10종), 다환방향족탄화수소(PAHs; 23종), 미세먼지(PM-10), 중금속(7종), 6가크롬, 프탈레이트류(6종), 불화수소(HF), 다이옥신류 및 퓨란류(17종) 등 총 124종을 조사하였으며, 세부 조사항목을 표 2에 제시함

표 2. 대기오염물질 측정 항목

NO	VOCs		NO	PAHs	
1	Freon 12	36	1,1,2-Trichloroethane	1	Naphthalene
2	Methylchloride	37	Toluene	2	Acenaphthylene
3	Freon 114	38	2-Hexaneone	3	Acenaphthene
4	Vinyl chloride	39	Dibromochloromethane	4	Fluorene
5	1,3-Butadiene	39	Dibromochloromethane	5	Phenanthrene
6	Methyl bromide	40	1,2-Dibromoethane	6	Anthracene
7	Ethylchloride	41	Tetrachloroethylene	7	Fluoranthene
8	Isopropyl alcohol	42	Chlorobenzene	8	Pyrene
9	Freon 11	43	Ethylbenzene	9	Benzo[c]phenanthrene
10	1,1-Dichloroethene	44	m,p-Xylene	10	Benz[a]anthracene
11	Dichloromethane	45	Tribromomethane	11	Chrysene
12	Freon 113	46	Styrene	12	Benzo[b]fluoranthene
13	Carbondisulfide	47	1,1,2,2-Tetrachloroethane	13	Benzo[j+k]fluoranthene
14	trans 1,2-Dichloroethylene	48	o-Xylene	14	7,12-Dimethylbenz(a)anthracene
15	1,1-Dichloroethane	49	4-Ethyltoluene	15	Benzo[e]pyrene
16	Methyl-tert-butyl-ether	50	1,3,5-Trimethylbenzene	16	Benzo[a]pyrene
17	Vinyl Acetate	51	1,2,4-Trimethylbenzene	17	3-Methylcholanthrene
18	cis-1,2-Dichloroethylene	52	Benzyl Chlororide	18	Indeno[1,2,3-cd]pyrene
19	Ethylacetate	53	1,4-Dichlorobenzene	19	Dibenz[a,h]anthracene
20	Hexane	54	1,3-Dichlorobenzene	20	Benzo[g,h,i]perylene
21	Chloroform	55	1,2-Dichlorobenzene	21	Dibenzo[a,h]pyrene
22	Tetrahydrofuran	56	1,2,4-Trichlorobenzene	22	Dibenzo[a,i]pyrene
23	1,2-Dichloroethane	57	Naphthalene	23	Dibenzo[a,l]pyrene
24	Methyl chloroform	58	Hexachloro 1,3-butadiene	NO	미 세 먼 지
25	Benzene	NO	Carbonyl compounds	1	PM-10
26	Carbontetrachloride	1	Formaldehyde	NO	중 금 속
27	Cyclohexane	2	Acetaldehyde	1	Al
28	1,2-Dichloropropane	3	Acetone	2	As
29	Bromodichloromethane	4	Acroleine	3	Cr
30	Trichloroethylene	5	Propionaldehyde	4	Cu
31	Methyl methacrylate	6	2-Butanone	5	Mn
32	Heptane	7	Butyraldehyde	6	Ni
33	cis-1,3-Dichloropropene	8	Benzaldehyde	7	Zn
34	Methyl isobutyl ketone	9	iso-Valeraldehyde	NO	6가크롬
35	trans-1,3-Dichloropropene	10	n-Valeraldehyde	1	Cr+6

NO	Dioxin	NO	Furan	NO	Phthalate
1	2378-TCDD	1	2378-TCDF	1	Dimethyl phthalate
2	12378-PeCDD	2	12378-PeCDF	2	Diethyl phthalate
3	123478-HxCDD	3	23478-PeCDF	3	Dibutyl phthalate
4	123678-HxCDD	4	123478-HxCDF	4	Butyl benzyl phthalate
5	123789-HxCDD	5	123678-HxCDF	5	Di(2ethylhexyl) phthalate
6	1234678-HpCDD	6	123789-HxCDF	6	Di-n-octyl phthalate
7	OCDD	7	234678-HxCDF	NO	불화수소
		8	1234678-HpCDF	1	Hydrogen fluoride(HF)
		9	1234789-HpCDF		
		10	OCDF		

2. 시료채취 및 분석방법

□ 대기오염물질 시료채취 및 분석방법

- 국내 대기오염공정시험방법 및 미국 EPA method을 준수하여 진행
- 참고로 국립환경과학원에서 국내 산단지역을 대상으로 연구하고 HAPs 분석보고서를 발간한 바 있으며, 본 연구에서 이를 적용하였음
- 각 측정항목별 시료채취방법 및 분석방법을 표 3에 요약 정리하여 제시

표 3. 대기오염물질 시료채취 및 분석방법

항목	시료채취방법	채취장치 및 매체	채취유량	채취시간	분석방법 및 기기
VOCs	펌프흡입방식 (흡착관법)	Low-Volume 샘플러/ Tanex-TA sorbent	100 mL/min	1 hr (오전,오후)	GC/MS
카보닐화합물	펌프흡입방식	Low-Volume 샘플러/ 2,4-DNPH 카트리지	1 L/min	1 hr (오전,오후)	HPLC/UV
PAHs (입자상)	블로워흡입방식	High-Volume 샘플러/ 석영섬유필터(8"×10")	600 L/min	24 hr	GC/MS
Phthalates (입자상)	블로워흡입방식	High-Volume 샘플러/ 석영섬유필터(8"×10")	600 L/min	24 hr	GC/MS
PM-10	블로워흡입방식	Low-Volume 샘플러/ 석영섬유필터	16.7 L/min	24 hr	중량법
중금속	블로워흡입방식	Low-Volume 샘플러/ 석영섬유필터	16.7 L/min	24 hr	ICP/MS
6가크롬	펌프흡입방식	Mid-Volume 샘플러/ 셀룰로오스 필터	10 L/min	24 hr	IC/UV법
불화수소	블로워흡입방식	Low-Volume 샘플러/ 멤브레인필터	20 L/min	24 hr	UV/vis
다이옥신 (입자상)	블로워흡입방식	High-Volume 샘플러/ 석영섬유필터(8"×10")	600 L/min	24 hr	GC/MS

가. 휘발성유기화합물(VOCs)

- 흡착관법에 의한 휘발성유기화합물(VOCs) 측정에서는 흡착법의 특성상 저분자, 고휘발성의 VOCs를 제외하고, 환경 독성이 높은 방향족과 유기염소계 VOCs를 분석대상으로 총 50종 이상을 측정
- VOCs의 정성·정량 분석에 사용된 기체상 표준혼합물질은 독성 VOCs 58종의 물질이 들어 있는 SUPELCO사의 TO-15용 VOCs 표준혼합시료(공칭 1 ppm)를 사용
- 나프탈렌은 1,000 µg/mL 함유되어 있는 표준액(Accustandard, USA)을 메탄올로 희석하여 표준용액(100 µg/µl)을 제조하여 사용

A. 시료채취 방법

- VOCs 시료 채취용 매체로는 대기환경 중에 존재하는 물리·화학적 성상이 서로 다른 여러 종류의 VOCs에 대해 우수한 흡착능과 탈착능을 나타내는 Tenax-TA (40/60 mesh, Markers Inc., UK) 280 mg을 스테인레스 스틸 흡착관 (1/4 " × 9 cm, Perkin Elmer, UK)에 충전된 것을 사용
- VOC 시료 채취는 대기공정시험법 및 미국 EPA TO-17 분석방법의 근본 원리와 특성에 준하는 동일한 방법을 채택하여 VOC 현장시료 채취를 수행하였으며 VOC 농도의 하루 중 변동양상을 파악하기 위하여 오전·오후를 구분하여 1일 2회씩 연속으로 7일간 시료를 채취하여 이를 통해 일간 측정 농도의 대표성을 확보하고자 하였음
- VOC 측정에 사용된 펌프는 측정 전·후의 유량변동이 적은 mini-pump air sampler(SIBATA MP-Σ30KN, JAPAN)을 사용하여, 약 100 mL/min의 유량으로 흡착관 1개당 1시간 동안 가동하여 하루에 2개의 시료를 채취함으로써 측정지점 1개 지점당 계절별로 14개의 시료를 채취

B. 분석방법

- 표준시료 및 현장시료에 함유된 대기 중 VOCs 대상 물질의 분석에는 자동 열탈착 장치(TurboMatrix, PerkinElmer, USA)가 GC컬럼(DB-1, 0.32 mm × 60 m × 3 µm, Agilent Technologies, USA)으로 직접 연결된 GC/MS(HP 6890/5973 inert, Hewlett Packard, USA)시스템을 사용
- 본 연구에서 VOCs 시료 분석에 사용된 GC/MS 기기는 그림 14와 같고 운전조건을 표 4에 나타냄



그림 14. VOCs 분석기기 - GC/MS/TD

표 4. VOCs 분석 위한 자동열탈착 장치 및 GC/MS 운전조건

MAKERS Unity-xr/Ultra-xr/AirServer-xr		GC/MSD (HP6890/5973, Hewlett Packard, USA)	
Flow path temperature	120 °C	GC column	DB-1(0.32 mm, 60 m, 3 µm)
Prepurge time	1.0 min	Initial temp.	50 °C (10 min)
Desob temp.	300°C	Oven ramp rate	5 °C/min
Desob time	10 min	Final temp.	220 °C (10 min)
Trap flow	50 ml/min	Post run	250 °C (5 min)
Trap purge time	1 min	Column flow	1.2 mL/min
Trap purge flow	30 ml/min	Detector type	Quadropole
Trap low temperature	-20 °C	Q-pole temp.	150 °C
Trap high temperature	300 °C	MS Source temp.	230 °C
Trap desorb time	4 min	Mass range	35 ~ 350 amu
Split flow	15 ml/min	Electron energy	70 eV

C. 정도관리

- VOC를 측정함에 있어 자료의 신뢰성 검증이라는 목적을 달성하고 시료채취 및 분석에 사용된 흡착관/열탈착/GC/MSD의 전반적인 성능을 평가하기 위하여 시료의 검출저한계, 재현성 및 실제 현장에서의 중복 시료 채취를 통한 중복재현성, 검정곡선의 선형성과 상관성을 평가하였음
- 일반적으로 특정 물질에 대한 검출저한계(Lower Detection Limits, 이하 LDL)는 기기 검출한계(Instrumental Detection Limits, 이하 IDL)와 방법검출한계(Method Detection Limits, 이하 MDL)로 구분하여 추정함
- MDL의 추정을 위해 분석대상물질 각 50 ng을 7개의 흡착관에 함침한 후 GC/MSD로 분석하여 얻은 결과를 위의 식을 이용하여 계산하였으며, 그 결과는 표 5에 나타냈음

- 방법검출한계(MDL)를 추정된 결과, 대부분의 VOC에 대하여 0.02 ~ 0.09 ppb 의 범위로 나타났음. 참고로 미국 EPA TO-17에 따르면 MDL 값이 0.5 ppb 이내 수준을 유지하도록 권고하고 있음
- 본 보고서에서는 개별물질의 검출한계 이하로 나타난 시료의 농도는 N.D로 표기
- 본 연구는 GC/MS를 이용한 VOC 분석방법의 재현성을 표준혼합시료 A, B의 감응계수(Response Factor, 이하 RF)에 대한 상대표준편차(Relative Standard Deviation, 이하 RSD)로 평가하였음
- 표준혼합 시료를 이용한 외부보정법에 대한 재현성 평가는 표준물질 100 ng(benzene 기준)을 흡착관에 함침하여 수행하였으며, 일중 7회 분석한 분석재현성을 평가하여 나타냄
- 대부분의 VOC의 분석재현성이 20% 이내로 나타났으며 미국 EPA TO-17에서 제시하고 있는 권고치 20 %에 만족하는 결과를 보임

표 5. VOCs 방법검출한계(MDL) 및 분석재현성(RSD)

No.	VOCs	방법검출한계(MDL)		분석재현성 (RSD, %) ^{b)}
		ng	ppb ^{a)}	
1	1,3-Butadiene	0.14	0.06	0.38
2	Ethyl chloride	0.24	0.09	1.55
3	Trichlorofluoromethane	0.09	0.02	3.33
4	1,1-Dichloroethene	0.18	0.04	3.36
5	Methylene chloride	0.15	0.04	6.91
6	Methyl tert-butyl ether	0.12	0.03	3.97
7	1,1-Dichloroethane	0.10	0.03	3.86
8	Methyl ethyl ketone	0.05	0.02	1.12
9	Chloroform	0.10	0.02	2.07
10	1,2-Dichloroethane	0.09	0.02	4.86
11	1,1,1-Trichloroethane	0.12	0.02	0.80
12	Benzene	0.25	0.08	3.53
13	Carbon tetrachloride	0.14	0.02	1.57
14	1,2-Dichloropropane	0.08	0.02	3.16
15	Trichloroethylene	0.48	0.09	2.59
16	Toluene	0.12	0.03	3.93
17	Tetrachloroethylene	0.41	0.06	2.71
18	Chlorobenzene	0.18	0.04	3.73
19	Ethylbenzene	0.19	0.04	3.91
20	mp-Xylenes	0.26	0.06	8.62
21	Styrene	0.20	0.05	7.47
22	o-Xylene	0.18	0.04	4.86
23	1,3,5-Trimethylbenzene	0.22	0.05	7.48
24	1,2,4-Trimethylbenzene	0.20	0.04	7.45
25	1,2-Dichlorobenzene	0.32	0.05	5.80

a) 실제시료에 대한 공기채취량의 평균 (24 L)을 적용함. b) 일중 표준시료의 10회 분석결과에 대한 상대표준편차.

- 측정대상 VOC 물질에 대해 선형성과 상관성을 평가하기 위해 표준가스의 경우 함침 시간을 다르게 하여 함침 하였으며, 표준용액의 경우 희석율을 다르게 희석하여 제조
- 함침량은 benzene 기준으로 10 ng, 20 ng, 50 ng으로, 시료 수는 각각 2 개씩 함침 하여 분석하였고 그 결과는 그림 15에 수록
- R2값은 대체로 0.99 이상이 나와서 선형성과 상관성은 양호한 결과를 얻음

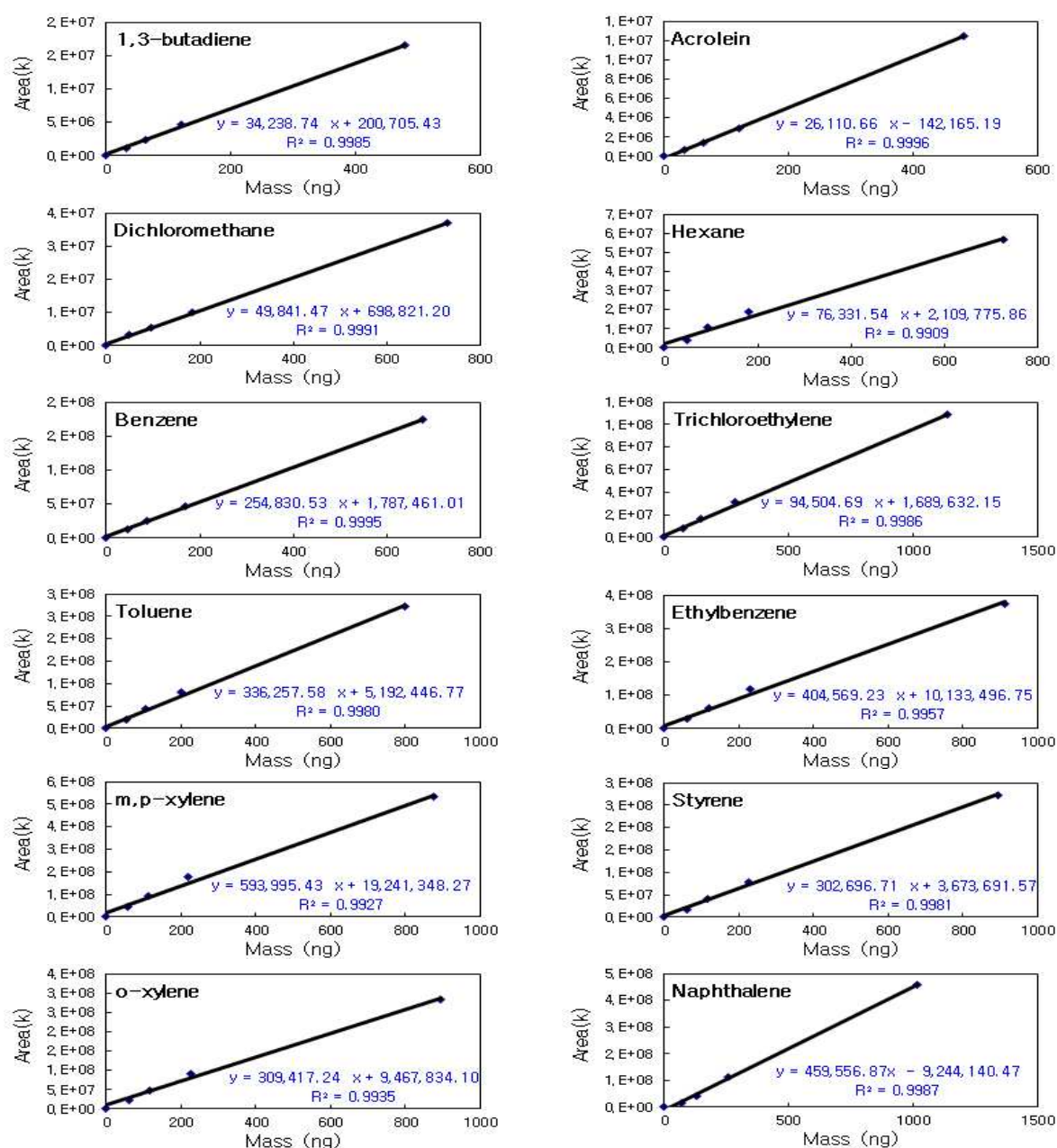


그림 15. 측정대상 주요 VOCs 검정곡선

나. 카보닐화합물

- 카보닐화합물이란 알데하이드류와 케톤류를 총칭하는 용어로 본 연구에서는 환경대기 중 검출빈도가 높은 formaldehyde와 acetaldehyde를 비롯한 총 10종의 카보닐화합물을 측정
- 카보닐화합물의 정성·정량을 위해 Carbonyl-2,4-DNPH 혼합표준물질(Custom Mix 50 µg/ml in acetonitrile, LC10224)을 formaldehyde를 기준으로 약 1.0 µg/ml, 0.5 µg/ml, 0.1 µg/ml, 0.05 µg/ml, 0.01 µg/ml 의 다섯 단계 농도수준으로 희석하여 사용함

A. 시료채취 방법

- 대기 중 카보닐화합물의 시료는 1 cm (i.d) × 6 cm (length)의 폴리프로필렌튜브에 DNPH-실리카가 충전된 카트리지(Top trading, Korea)를 사용하여 채취
- 이때 시료의 흡착과 오염의 방지를 위하여 판막식 펌프로 구성된 흡입펌프(SIBATA MP-Σ300N, JAPAN)를 사용하였으며, 바닥으로부터 약 1.5 m의 높이에서 약 1 L/min의 유량으로 채취
- 채취된 총 유량은 약 60 L 정도가 되도록 함
- 카보닐화합물은 대기 중 오존에 의하여 시료채취 과정에서 방해받게 되므로 오존의 영향을 배제하기 위하여 1 cm (i.d) × 2 cm (length)의 테플론 튜브에 약 1.5g의 KI가 충전된 오존스크러버(Ozone Scrubber, Top trading, Korea)를 2,4-DNPH 카트리지 앞에 장착하여 시료를 채취하였음
- 시료채취 시 빛에 의한 영향을 방지하기 위해 알루미늄 호일로 카트리지를 감싼 후 시료를 채취함
- 측정기간 중 오전, 오후로 나누어 하루에 2개씩 채취함으로써 일간 측정 농도의 대표성을 확보하고자 하였고, 측정지점 1개 지점 당 계절별로 14개의 시료를 채취

B. 분석방법

- 2,4-DNPH와 반응하여 형성된 카보닐-DNPH 유도체는 HPLC 등급의 아세트나이트릴을 2.5 ml씩 두 번 주입하여 약 1분 동안 DNPH 유도체를 추출하였고 추출액은 갈색 바이알에 담은 후 테플론 테이프로 밀봉하여 냉장보관 하였음
- 추출 시의 오염을 최소화하기 위해 모든 유리 기구는 아세트나이트릴로 세척한 후 70 °C에서 건조하여 사용하였으며, 유리 기구 및 추출액은 공기 중 노출을 최소화함
- DNPH 유도체 카보닐화합물은 자외선 검출기의 파장을 360 nm에 고정시켜 고성능액체크로마토그래피(HPLC)를 이용하여 분석하였으며 카보닐화합물 분석 시 사용된

HPLC 분석기기는 그림과 16 같고 운전조건을 표 6에 나타냄



그림 16. 카보닐화합물 분석기기 - HPLC

표 6. 카보닐화합물 분석 위한 HPLC 운전조건

Variables	Analytical Conditions
HPLC	YL9100
Detector	UV / VIS 360 nm
Analytical Column	ZORBAX Eclipse XDB-C18 column (4.6 mm × 250 mm, 5 μ m)
Analysis Time	25.5 min
Flow rate	1.0ml/min
Injection Volume	25 μ l
Column oven Temperature	30 $^{\circ}$ C
Mobile Phases	A : Acetonitrile(ACN) B : (Water/ACN/Tetrahydrofuran(THF)= 50/40/10)
Mobile Phases ratio	A:B=0/100(v/v), 5min 0/100, 20min 60/40 20.1min 100/0, 25.1min 0/100
Pump mode	gradient

C. 정도관리

- 본 연구에 사용된 HPLC 분석방법에 대한 MDL은 카보닐화합물의 IDL의 3 ~ 5배 되는 낮은 농도 (formaldehyde 기준 약 0.002 μ g/ml)의 액상표준물질을 5회 반복 분석한 농도를 추정함
- 카보닐화합물 분석에 사용된 HPLC 분석방법의 재현성을 표준시료의 감응계수에 대한 상대표준편차로 평가하였으며, 그 결과를 표 7에 요약하였음
- 모든 분석대상물질에 대하여 7회 반복 분석을 하였으며, 감응계수의 상대표준편차는 5% 미만으로 나타나 재현성이 양호한 것으로 나타남
- 검정곡선의 직성성은 그림 17과 같고, R2값은 대체로 0.99 이상이 나와서 선형성과 상관성은 양호한 결과를 얻었다.

표 7. 카보닐화합물 방법검출한계(MDL) 및 분석재현성(RSD)

카보닐화합물	MDL (ppb)	RSD (%)
Formaldehyde	0.07	0.61
Acetaldehyde	0.06	0.65
Acetone	0.08	2.10
Acrolein	0.06	0.91
Propionaldehyde	0.05	1.40
2-Butanone	0.06	2.45
Butyraldehyde	0.09	2.61
Benzaldehyde	0.02	2.93
iso-Valeraldehyde	0.08	2.42
n-Valeraldehyde	0.07	3.64

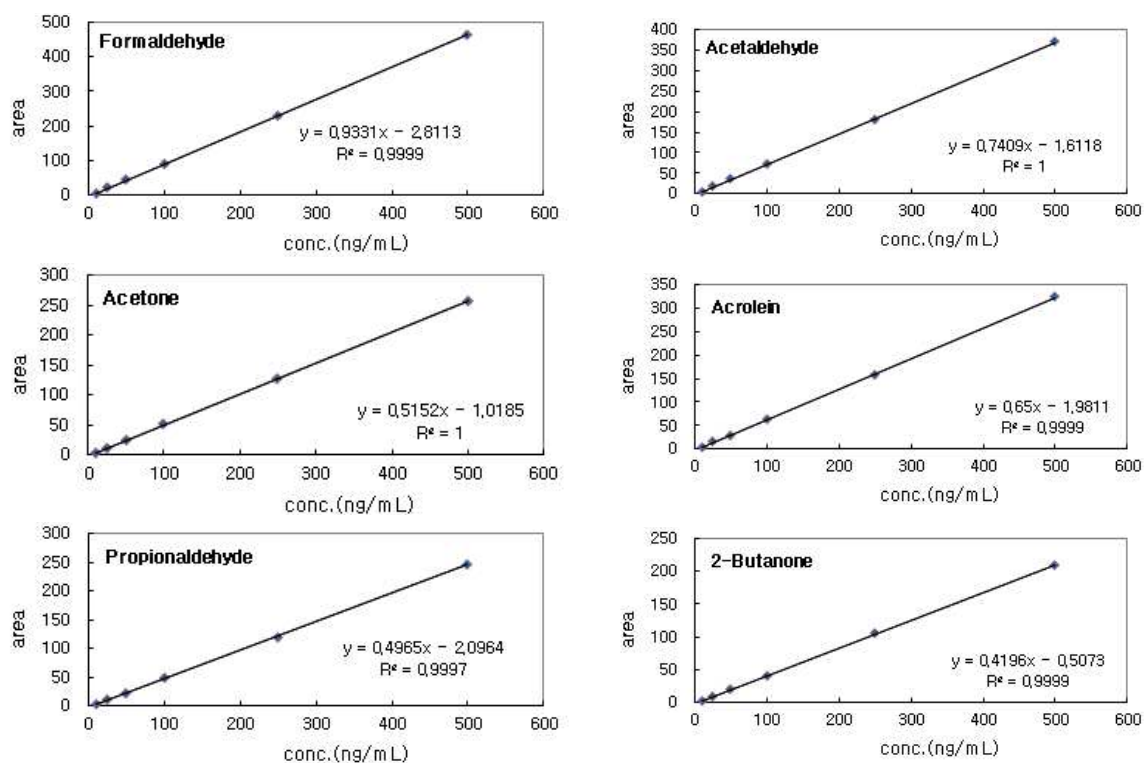


그림 17. 측정대상 카보닐화합물 검정곡선

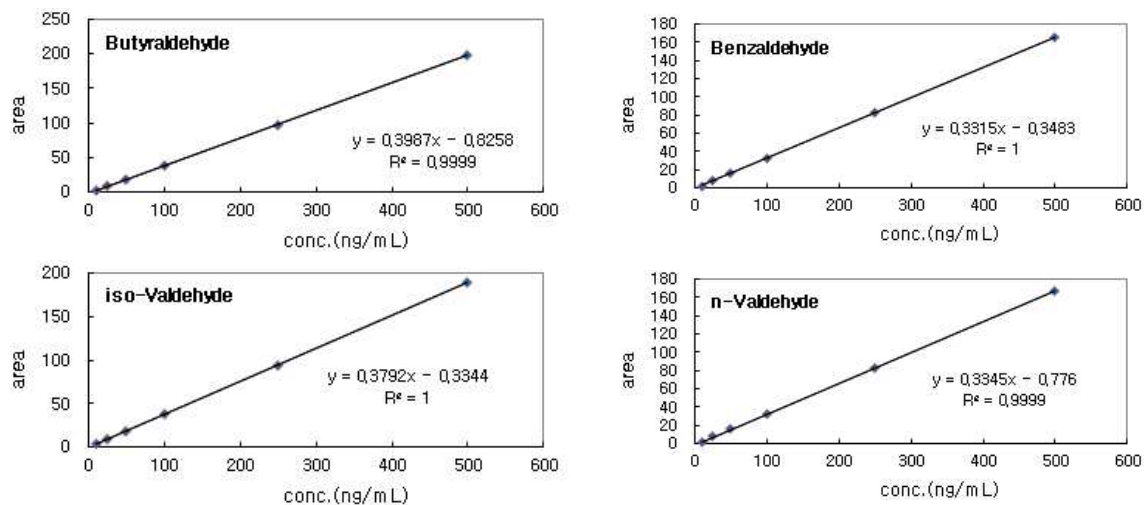


그림 17. 측정대상 카보닐화합물 검정곡선 (계속)

다. 다환방향족탄화수소(PAHs) 및 프탈레이트류

- 본 연구에서는 총부유먼지(Total Suspended Particle, 이하 TSP) 시료를 채취 후 목적에 맞게 일정량을 분취하여, 입자상 다환방향족탄화수소(PAHs) 및 프탈레이트류 성분들을 분석
- TSP 시료의 채취를 위해 고용량 샘플러(TE-PNY1123, Tisch Environmental Inc., USA)를 이용하였는데, 고용량 샘플러는 미국 EPA에서 제공하고 있는 독성유기화합물의 측정을 위한 공정시험방법 중 PAH와 PCB, 다이옥신, Pesticide 등 반휘발성 유기화합물의 시료채취에 권장되고 있음
- 본 연구의 측정지점에 동일한 샘플러를 각각 설치하여 시료를 채취하였음

A. 시료채취 방법

- TSP 시료 채취용 매체로는 8" × 10" 석영섬유필터(QMA filter, Whatman Inc., USA)를 사용하였는데 이때 시료채취용 필터는 사용 전에 유기성 불순물을 제거하기 위하여 HPLC 등급의 메탄올(HPLC grade Methanol, Burdick & Jackson, USA)에 담근 후 초음파 세척기 (PowerSonic 420, 화신테크, Korea)를 이용하여 전처리 하였음
- 본 연구에서는 실제 시료채취 시 약 600~700 L/min의 유량으로 약 24시간 연속 채취
- 현장 시료채취시작은 대략 오전 9시에서 11시 사이에 이루어졌으며, 일간 800 ~ 1,100 m³ 정도의 공기를 채취하였음

B. 분석방법

- PAH 분석을 위해 10 $\mu\text{g/mL}$ 의 PAH 대리표준물질(6 deuterated PAHs, NIST SRM 2270)과 프탈레이트류 대리표준물질(Z-014J, Accustandard Inc., USA)을 각각 100 μL 를 문힌 석영섬유필터를 추출용 cell(Unilab korea, 내경 2 cm, size 33 mL)에 말아 넣고 전처리 장비(ASE 200E, Dionex Corp., USA)에 셋팅한 후 장비 내부에 연결된 유리병에 채워진 추출용매로 150 $^{\circ}\text{C}$ 로 15분 동안 추출
- 시료추출용 용매로는 비극성 용매인 헥산과 극성 5.4에 해당하는 acetone 혼합용매 (부피비 9:1)를 사용하였고, 시료 농축을 위하여 회전증발농축증발기(Heidolph, Germany)와 자동 농축장치 Turbovap (Zymark, USA)을 사용함
- Turbovap은 시료를 데우면서 고순도 질소를 시료 위로 분사하여 시료를 신속하게 농축시키는 장치인데, 본 연구에서는 3 ~ 4 mL 정도로 농축시킬 때 약 40분 정도가 소요되었음
- 시료가 3 ~ 4 mL 정도 농축되면 무수황산나트륨 컬럼을 사용하여 수분을 제거하였는데, 이때 추출용매를 2 mL 정도 컬럼에 넣어 줌으로써 무수황산나트륨 컬럼에 시료가 남는 것을 최소화하였음
- 수분이 제거된 시료는 고순도 질소를 이용하여 최종 1 mL까지 농축하고, 최종 농축된 시료는 파스퇴르 피펫을 이용하여 바이알에 옮겨 담고 10 $\mu\text{g/mL}$ 의 PAH 내부표준물질(5개의 deuterated PAH mixture, NIST SRM 2269 사용)과 20 $\mu\text{g/mL}$ 의 프탈레이트류 내부표준물질(Chem Service Inc., USA) 각각 100 μL 를 주입하였음
- 분석방법은 Agilent GC/MS(HP-6890/HP-5973N)를 이용하여 EPA TO-13A Method와 국내 대기오염공정시험기준(ES 01552.1)의 분석절차를 적용함
- GC column은 HP-5로 길이 30 m, 외경 0.32 mm, 내경 0.25 μm 이고, 시료는 2.5 μL 씩 주입하여 분석하였고, GC/MS 분석 후에는 시료추출 전에 주입한 대리표준물질(surrogate standard, SS)의 회수율을 이용하여 개별시료 추출에 의한 손실율을 계산하고 이를 농도보정에 사용함
- PAHs 및 프탈레이트류 분석 시 사용된 GC/MS 분석기기는 그림 18과 같고, 운전조건을 표 8에 나타냄



그림 18. PAHs 및 프탈레이트류 분석기기(GC/MS)

표 8. PAHs 및 프탈레이트류 분석을 위한 GC/MS 운전조건

Variables	Analytical Conditions
GC	Agilent technologies 6890
Detector	MS(Agilent technologies 5973N)
Column	J&W HP-5(30 m × 0.32 mm × 0.25 μm)
Column flow	1.5 ml/min
Auto Injector	G4513A
Purge flow	He(99.999%), 15.0 ml/min
Inlet temperature	280℃
GC Temperature Program	60℃(1 min) → 10℃/min → 200℃(5 min) → 10℃/min → 310℃(10min) → 320℃(5 min)

C. 정도관리

- 본 연구에서는 PAHs 측정 자료의 신뢰성을 높이기 위해 AccuStandard (AccuStandard Inc., U.S.A)에서 제공하는 PAHs standard(Quebec Ministry of Environ PAHs 24 Mix), Supelco에서 제공하는 Phthalate standard(SS EPA Phthalate Esters Mix) 와 대리표준물질(surrogate standard, SS), 그리고 Cambridge(Cambridge Isotope Laboratories, Inc., U.S.A)에서 제공하는 내부표준물질(internal standard, IS) 을 이용하여 정도관리 (QC/QA)를 수행
- 대리표준물질(SS)에는 Naphthalene-d8, Acenaphthene-d10, Phenanthrene-d10, Chrysene-d12, Perylene-d12, Dibutyl phthalate-d4 등 6종이 함유되어 있고, 내부표준 물질(IS)에는 Benzo(a)pyrene-D12, Pyrene-D10, Dioctyl phthalate-d4 등 3종이 함유되어 있음

- 정도관리는 검정곡선의 선형성(linearity) 및 체류시간의 재현성 평가, 검출한계[기기 검출한계(IDL), 방법검출한계(MDL)], 시료 전처리 회수율(recovery factor) 평가를 수행하였음

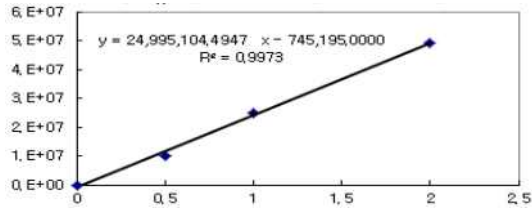
□ 검량선의 선형성(linearity) 및 체류시간(RT)의 재현성 평가

- 아래의 표 9는 PAHs의 체류시간(RT)의 재현성(n=7) 평가이며, 그림 19는 대표적인 23종 PAHs 물질별 검정곡선을 나타낸 것임
- 국내 대기오염공정시험기준에서는 대기 중 농도 표준용액 1 ng ~ 10 pg 범위에서 $R^2 = 0.98$ 이상으로 규정하고 있는데, 0.5 ng ~ 2.0 ng 범위에서 검정곡선을 작성한 결과 대부분의 물질에서 상관계수(R^2)가 0.98 이상의 양호한 직선성을 보였음.
- 체류시간의 7회 분석 재현성 (RSD%)도 0.1% 이하로 만족스러운 결과를 얻었음

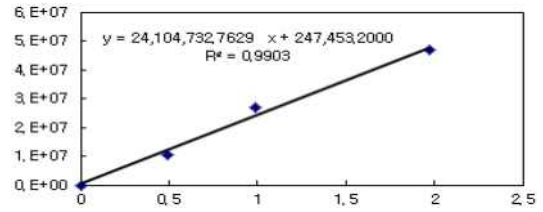
표 9. PAHs 체류시간의 재현성 평가

PAHs	Retention time (RT)							Mean	S.D.	RSD (%)
	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회			
Naphthalene	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96	0.001	0.014
Acenaphthylene	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	0.001	0.007
Acenaphthene	10.94	10.94	10.94	10.94	10.94	10.94	10.94	10.94	0.001	0.005
Fluorene	12.12	12.12	12.12	12.12	12.12	12.12	12.12	12.12	0.001	0.006
Phenanthrene	14.30	14.31	14.31	14.30	14.31	14.30	14.30	14.30	0.001	0.007
Anthracene	14.41	14.41	14.41	14.41	14.41	14.41	14.41	14.41	0.001	0.004
Fluoranthene	17.74	17.75	17.75	17.75	17.75	17.75	17.75	17.75	0.002	0.009
Pyrene	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	0.002	0.010
Benzo(c)phenanthrene	23.49	23.49	23.49	23.49	23.49	23.49	23.49	23.49	0.001	0.005
Benz(a)anthracene	24.19	24.20	24.20	24.20	24.19	24.19	24.19	24.19	0.001	0.006
Chrysene	24.32	24.32	24.32	24.32	24.32	24.32	24.32	24.32	0.001	0.006
Benzo(b)fluoranthene	27.38	27.38	27.38	27.38	27.38	27.38	27.38	27.38	0.001	0.004
Benzo(j+k)fluoranthene	27.38	27.38	27.38	27.38	27.38	27.38	27.38	27.38	0.001	0.004
7,12-Dimethylbenz(a)anthracene	27.45	27.45	27.45	27.45	27.45	27.45	27.45	27.45	0.001	0.003
Benzo(e)pyrene	27.95	27.95	27.95	27.95	27.95	27.95	27.95	27.95	0.001	0.005
Benzo(a)pyrene	28.06	28.06	28.06	28.06	28.06	28.06	28.06	28.06	0.001	0.003
3-Methylcholanthrene	28.99	28.99	28.99	28.99	28.99	28.99	28.99	28.99	0.001	0.004
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	30.36	30.36	30.36	30.36	30.36	30.36	30.36	30.36	0.001	0.003
Dibenz(a,h)anthracene	30.45	30.45	30.45	30.45	30.45	30.45	30.45	30.45	0.001	0.004
Benzo(g,h,i)perylene	30.79	30.80	30.80	30.80	30.80	30.80	30.79	30.80	0.001	0.005
Dibenzo(a,h)pyrene	33.09	33.10	33.10	33.10	33.10	33.10	33.10	33.10	0.002	0.007
Dibenzo(a,i)pyrene	34.20	34.21	34.21	34.21	34.21	34.21	34.21	34.21	0.002	0.006
Dibenzo(a,l)pyrene	34.38	34.38	34.38	34.38	34.38	34.38	34.38	34.38	0.003	0.008

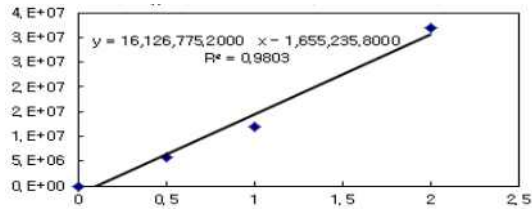
Y
축
면
적
값



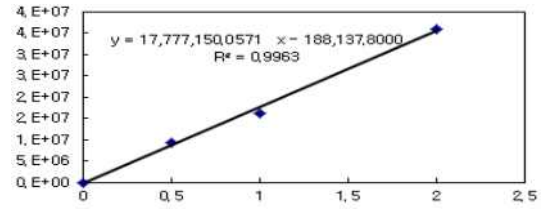
naphthalene



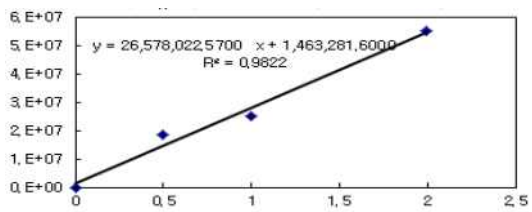
acenaphthylene



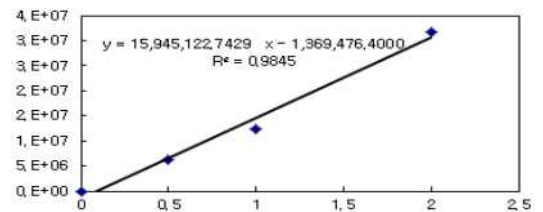
acenaphthene



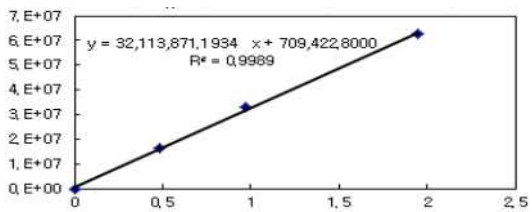
fluorene



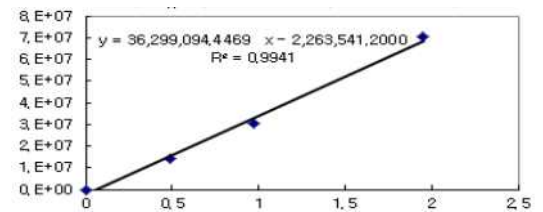
phenanthrene



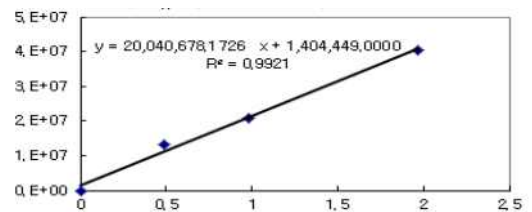
anthracene



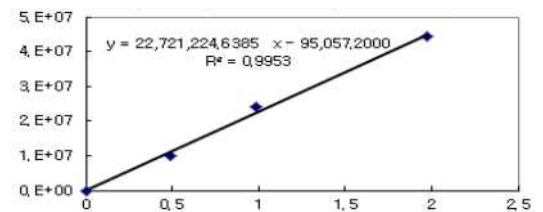
fluoranthene



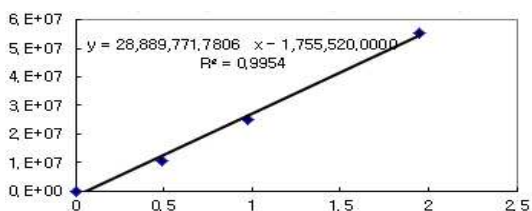
pyrene



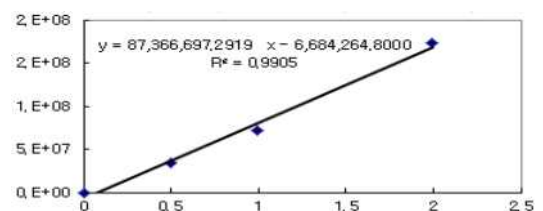
benzo(c)phenanthrene



benzo(a)anthracene



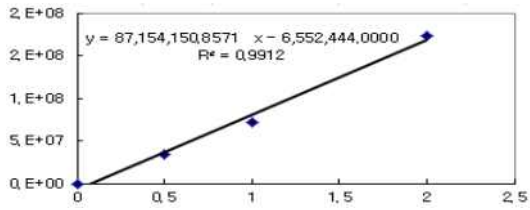
chrysene



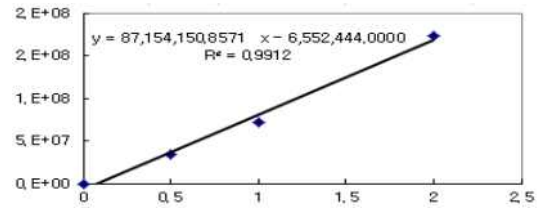
benzo(b)fluoranthene

X축 농도값(ng/uL)

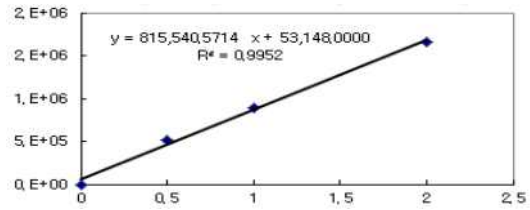
그림 19. PAHs 물질별 검정곡선



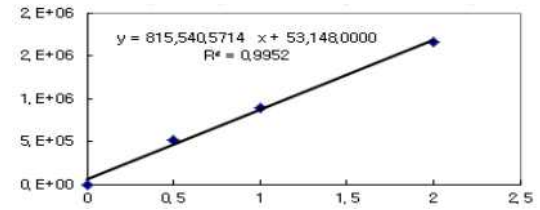
benzo(j)fluoranthene



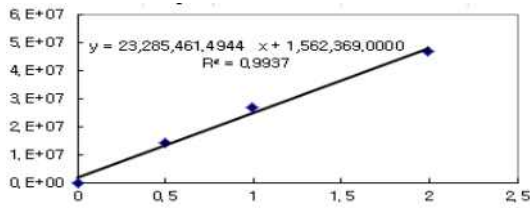
benzo(k)fluoranthene



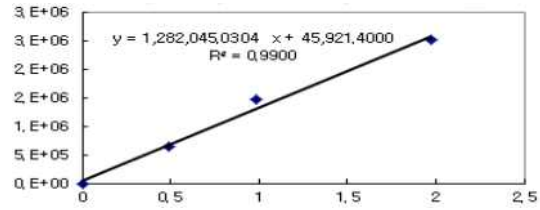
DMBA(7,12-Dimethylbenz(a)anthracene)



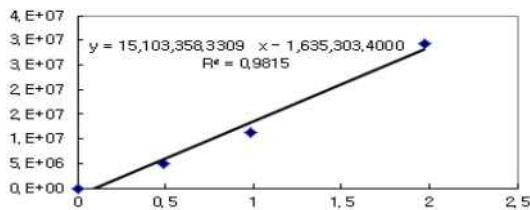
benzo(e)pyrene



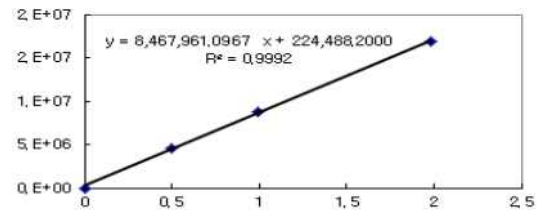
benzo(a)pyrene



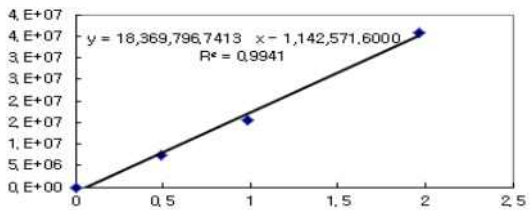
3-Methylcholanthrene



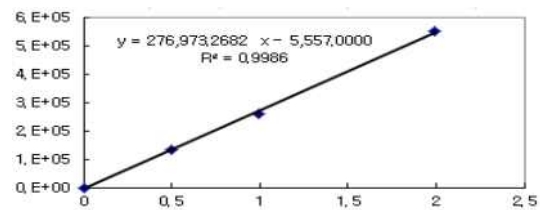
indeno(1,2,3-c,d)pyrene



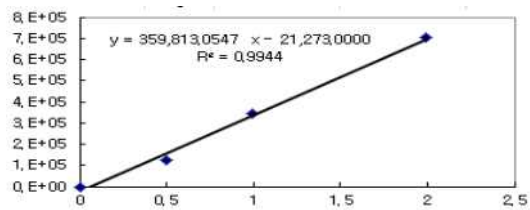
Dibenz(a,h)anthracene



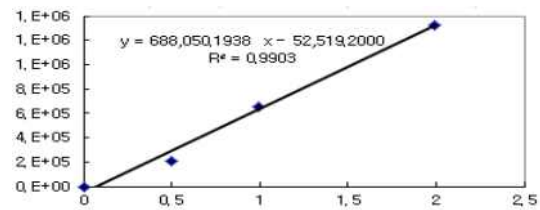
benzo(g,h,i)perylene



Dibenzo(a,h)pyrene



Dibenzo(a,i)pyrene



Dibenzo(a,l)pyrene

X축 농도값(ng/uL)

그림 19. PAHs 물질별 검정곡선 (계속)

- 프탈레이트류의 검정곡선을 작성한 결과, 그림 20과 같이 대부분의 물질에서 상관계수(R²)가 0.99 이상의 양호한 직선성을 보였음
- 또한 체류시간의 7회 분석 재현성 (RSD%)도 표 10과 같이 0.1% 이하로 만족스러운 결과를 얻었음

표 10. 프탈레이트류 체류시간의 재현성 평가

Phthalate	Retention time (RT)							Mean	S.D.	RSD (%)
	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회			
Dimethyl phthalate	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.41	10.41	10.40	0.001	0.010
Diethyl phthalate	12.08	12.08	12.08	12.07	12.07	12.08	12.08	12.08	0.003	0.029
Dibutyl phthalate	15.98	15.98	15.98	15.98	15.97	15.97	15.97	15.97	0.003	0.021
Butyl benzyl phthalate	22.69	22.69	22.69	22.69	22.68	22.67	22.67	22.68	0.008	0.036
Di(2ethylhexyl) phthalate	25.11	25.11	25.11	25.11	25.11	25.11	25.11	25.11	0.002	0.007
Di-n-octyl phthalate	26.94	26.94	26.94	26.93	26.94	26.94	26.94	26.94	0.003	0.009
Fluoranthene	17.74	17.75	17.75	17.75	17.75	17.75	17.75	17.75	0.002	0.009

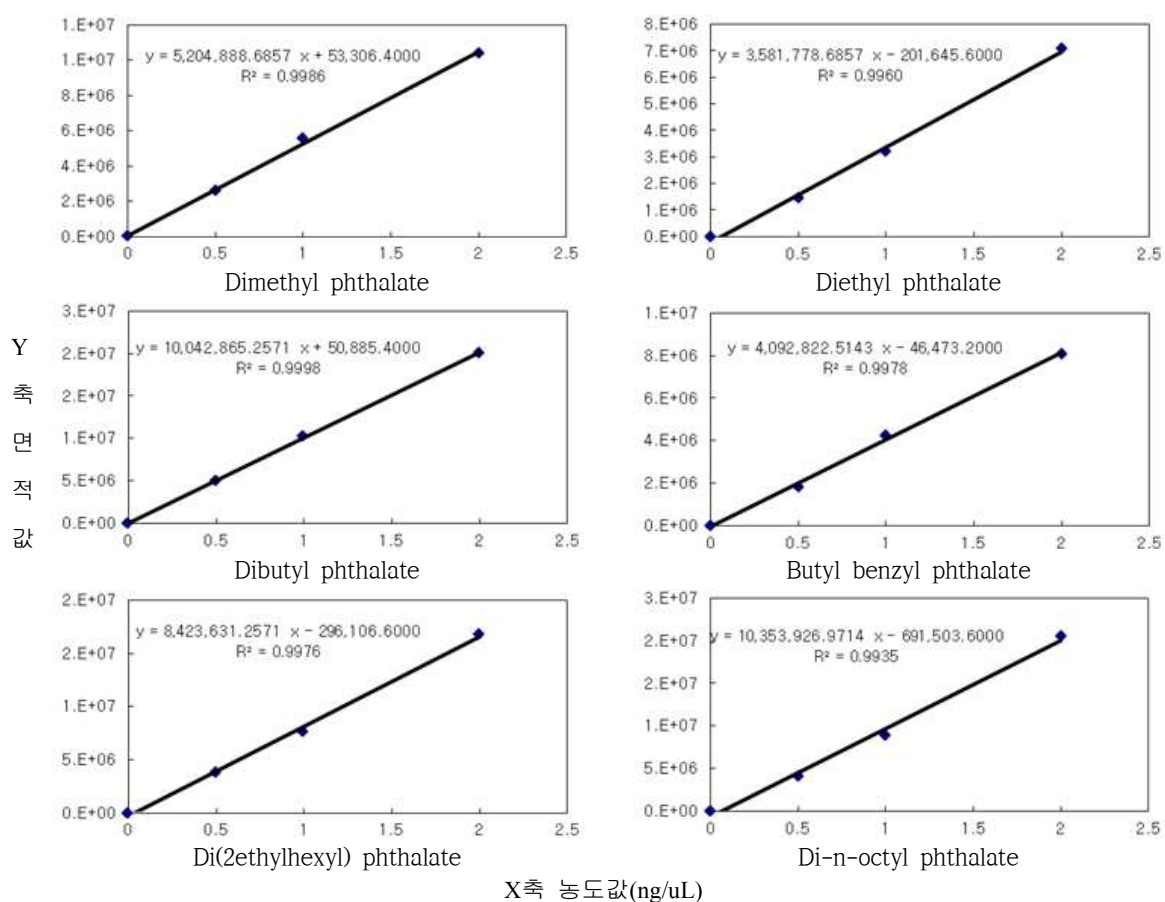


그림 20. 프탈레이트류 물질별 검정곡선

□ 재현성(RSD%) 및 검출한계(IDL, MDL) 평가

- 기기검출한계(IDL, Instrument Detection Limit)는 시험분석 대상물질을 기기가 검출할 수 있는 최소한의 농도 또는 양으로서, 일반적으로 S/N비(signal to noise, 신호대 잡음비)의 2 ~ 5배 농도 또는 바탕시료를 반복 측정 분석한 결과의 표준편차에 3배한 값을 말한다
- 국내 대기오염공정시험기준에서 benzo(a)pyrene이 2.0 ng/μl의 농도일 때 RSD는 10% 이내로 규정하고 있음
- 표 11과 같이 정도관리 수행 결과, benzo(a)pyrene 기준의 재현성은 RSD가 2.12%로 나타나 양호한 결과를 얻었음
- 방법검출한계(MDL, method detection limit)은 시료와 비슷한 매질 중에서 시험분석 대상을 검출할 수 있는 최소한의 농도로서, 제시된 정량한계 부근의 농도를 포함하도록 준비한 n개의 시료를 반복 측정하여 얻은 결과의 표준편차(s)에 99% 신뢰구간에서의 t-분포값을 곱한 것임
- 국내 대기오염공정시험기준은 benzo(a)pyrene 기준으로 검출한계를 0.2 ng/μl 이하로 규정하고 있는데, 본 연구에서 benzo(a)pyrene 기준으로 MDL 질량농도는 0.02 ng/μl이었으며, 또한 현장시료 채취유량(7,200 L)을 적용하여 공기 중 농도로 환산할 경우 검출한계는 0.003 ng/m³이었음
- 표 12의 프탈레이트류 경우 RSD는 3% 미만, MDL은 0.005 ng/m³ 이하로 나타났음

표 11. PAHs 기기검출한계(IDL) 및 방법검출한계(MDL), 분석재현성(RSD)

PAHs	IDL (ng/μℓ)	MDL		RSD (%)
		질량 (ng/μℓ)	실제대기* (ng/m³)	
Naphthalene	0.03	0.01	0.002	5.31
Acenaphthylene	0.01	0.02	0.002	2.32
Acenaphthene	0.02	0.02	0.002	3.93
Fluorene	0.02	0.01	0.002	3.61
Phenanthrene	0.02	0.01	0.002	3.59
Anthracene	0.02	0.02	0.002	2.80
Fluoranthene	0.01	0.02	0.002	2.28
Pyrene	0.01	0.02	0.002	2.14
Benzo(c)phenanthrene	0.01	0.02	0.003	1.78
Benz(a)anthracene	0.01	0.02	0.003	2.13
Chrysene	0.02	0.02	0.003	2.65
Benzo(b)fluoranthene	0.01	0.02	0.003	1.99
Benzo(j+k)fluoranthene	0.02	0.02	0.003	1.99
7,12-Dimethylbenz(a)-anthracene	0.01	0.03	0.004	2.02
Benzo(e)pyrene	0.01	0.02	0.003	2.25
Benzo(a)pyrene	0.01	0.02	0.003	2.12
3-Methylcholanthrene	0.02	0.01	0.002	4.06
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.01	0.01	0.001	2.39
Dibenz(a,h)anthracene	0.01	0.01	0.002	2.76
Benzo(g,h,i)perylene	0.01	0.01	0.002	2.12
Dibenzo(a,h)pyrene	0.01	0.01	0.001	3.71
Dibenzo(a,i)pyrene	0.01	0.00	0.001	1.75
Dibenzo(a,l)pyrene	0.01	0.00	0.001	1.78

* 시료채취유량(7,200L) 적용하여 환산한 값

표 12. 프탈레이트류 기기검출한계(IDL) 및 방법검출한계(MDL), 분석재현성(RSD)

PAHs	IDL (ng/μℓ)	MDL		RSD (%)
		질량 (ng/μℓ)	실제대기 (ng/m³)	
Dimethyl phthalate	0.036	0.001	0.001	1.32
Diethyl phthalate	0.061	0.002	0.002	2.24
Dibutyl phthalate	0.068	0.005	0.005	2.63
Butyl benzyl phthalate	0.062	0.003	0.004	2.43
Di(2ethylhexyl) phthalate	0.015	0.006	0.001	0.49
Di-n-octyl phthalate	0.031	0.005	0.005	1.02

□ 현장시료에 대한 전처리 추출 회수율(%) 평가

- 표 13에 시료 추출 회수율평가 결과를 나타냄
- PAHs 추출 회수율(%) 평가는 전체 측정시료(입자상)에 대하여 전처리 과정 중 손실량을 보정하기 위해 대리표준물질(SS: 10 μg/ml) 80 ~ 100 μℓ, 내부표준물질(IS: 10 μg

/ml) 30 ~ 50 μ l 을 주입하여 평가하였음

- 입자상 채취 매체(filter)의 평균 회수율은 Naphthalene-d8 77.6%, Acenaphthene-d10 132.5%, Phenanthrene-d10 127.6%, Chrysene-d12 73.1%, Perylene-d12 57.7%로 Naphthalene-d8, Chrysene-d12의 2가지 물질에서 US EPA Method 8100 에서 권장하고 있는 회수율 범위(60 ~ 120%)를 만족하는 것으로 나타났으며, 프탈레이트류 표준 물질 또한 이 범위를 만족하는 것으로 나타났음

표 13. 내부표준물질(IS) 및 대리표준물질(SS)을 이용한 시료 추출 회수율(%)

표준물질		Filter(n=48)		
		AM ¹⁾ (min~max)	S.D ²⁾	GM ³⁾
PAHs	Naphthalene-d8	78.6 (31.4~170.5)	38.4	71.2
	Acenaphthene-d10	130.4 (50.0~315.7)	55.6	120.6
	Phenanthrene-d10	126.9 (47.1~303.2)	53.5	114.8
	Chrysene-d12	74.2 (31.5~119.7)	24.7	70.2
	Perylene-d12	62.0 (21.6~86.4)	17.3	57.2
phthalates	Dibutyl phthalate-d4	85.01 (75.6~95.4)	6.83	84.8
	Diocetyl phthalate-d4	96.54 (80.1~117.2)	9.47	109.4

* US EPA(Method 8100)에서는 회수율 범위를 60 ~ 120%를 만족해야 한다.

1)Arithmetic mean, 2)Standard deviation, 3)Geometric mean

라. 미세먼지 (PM-10)

- 대기 중 미세먼지의 측정은 그림 21과 같은 Cyclone sampler(U.R.G corp., U.S.A)를 이용하였고, 시료 채취 시 흡인유량은 16.7 L/min으로 각 지점당 24시간동안 연속 측정하였음
- PM-10 측정에 사용한 필터(ϕ 47 mm(PM-2.5는 37 mm), Teflon filter, ADVANTEC, Japan)는 측정 전 20 $^{\circ}$ C, 50% 조건의 데시케이터(5317-0180, Nalgene®, U.S.A)에 24 시간 동안 보관하였다가 0.001 mg 이상의 감도를 갖는 분석용 천칭(AT261, Mettler toledo, Switzerland)으로 5회 반복하여 중량을 측정한 후 그 결과를 평균하였음
- 또한 시료채취가 끝난 필터는 시료 채취 전과 동일한 과정을 거친 후 중량을 측정하였으며, 측정 전·후 필터의 중량 차이를 측정유량으로 나누어 PM-10의 농도를 산출하였음

- 미세먼지의 측정에 있어 중량법을 이용하여 농도를 산출할 경우 온도와 습도 등은 필터의 중량 측정에 오차를 발생시킬 수 있는 요인으로 작용할 수 있으므로 발생될 수 있는 오차를 최소화하기 위해 field blank 필터를 사용하여 시료채취 전·후 PM-10 측정용 필터와 동일한 방법으로 blank 필터의 중량 차이를 각각의 시료 채취용 필터에 적용함



그림 21. Cyclone 및 중량측정용 천칭

마. 중금속

A. 분석 방법

- 중금속은 앞서 채취된 미세먼지 시료를 분석하였음
- 본 연구에서 사용한 시료여지 중에 함유된 중금속을 포함한 금속성분의 추출은 ODLAB사의 산분해 방식의 시료 전처리 장비를 사용하였고, 추출용매는 대기오염공정시험방법의 산분해법(1.03M HNO₃과 2.23M HCl 혼합용액)를 사용하였음
- 채취된 시료 여지를 바이알에 넣고 추출용매로서 1.03 M 질산과 2.23 M 염산의 혼합액(1:1)을 30 mL를 바이알에 가한 후 산분해 장치(sonication) 위에 셋팅 후 100 °C에 2시간 동안 분해함
- 추출기에서 꺼낸 후 초순수량 20 mL를 추가하여 최종 추출액의 양을 50 mL가 되게 하고, 최종적으로 전량 필터링한 후 분석기기로 분석
- 중금속을 포함하는 미량 원소물질은 그림 22의 유도결합플라즈마 (ICP)방출 분광광도계 (ICPE-9800, SHIMADZU, JAPAN)를 이용하여 7개 항목인 알루미늄(Al), 비소(As), 크롬(Cr), 구리(Cu), 망간(Mn), 니켈(Ni), 아연(Zn)을 분석함
- 표 14는 중금속 분석 시 분석기기의 운전 조건을 나타내었고, ICP/AES 분석 시 검정곡선을 작성하고, 정량을 위해 AccuStandard 각 개별물질을 사용함

- 검정곡선 작성용 표준용액의 희석 배수는 문헌에 나타나는 국내 공단지역 중금속 농도 자료를 바탕으로 본 실험에 포함된 측정대상 물질들의 예상 농도범위를 추정하여 제작하였음



그림 22. 중금속 분석장비 (ICP/AES)

표 14. 중금속 분석 위한 ICP 운전조건

ICP/AES		ICPE-9800 (SHIMADZU Corp., Japan)
Spectrometer	Wavelength range	190 - 800 nm
	Ignition Mode	Normal(Water)
	Attached Instrument	Mini Torch
Plasma	Plasma gas flow	10 L/min
	Auxiliary gas flow	0.60 L/min
	Nebulizer gas flow	0.70 L/min
	RF generator power	1.20 kW
	Plasma view	Axial
Peristaltic pump	Sample flow rate	1.00 L/min
Autosampler	S10 Autosampler(SHIMADZU)	
	Wash	Between samples
	Rate	1.0 mL/min
Calibration	Elements	Wavelength(nm)
	Al	167.081
	As	193.759
	Cr	205.552
	Cu	324.754
	Mn	259.373
	Ni	221.647
	Zn	206.200

B. 정도관리

- 본 연구에서는 먼지 시료에서 추출·분석된 중금속 등 각종 금속성분의 농도를 공시험인 필터 blank값들로 각각 보정하였고, 또한 중금속 성분의 전반적인 분석 정확도를 평가하기 위하여 정도관리 실험을 수행하였음
- 표 15과 그림 23에는 중금속 표준물질의 정도관리에 대한 자료를 수록함
- 표준물질에 대한 재현성인 RSD는 2 % 미만으로 우수하게 나타났고, 방법검출한계(MDL)는 0.5 이하, 표준오차는 0.2 % 미만 결과를 보임

표 15. 중금속 표준물질의 방법검출한계(MDL) 및 분석재현성(RSD)

중금속류	방법검출한계 (MDL) (ng/m ³)	S.D (ng/m ³)	분석재현성 (RSD %)
Al	14.11	0.25	1.028
As	0.12	0.02	0.122
Cr	0.55	0.05	0.304
Cu	0.07	0.01	0.446
Mn	0.35	0.03	0.605
Ni	0.47	0.04	0.265
Zn	0.09	0.01	1.177

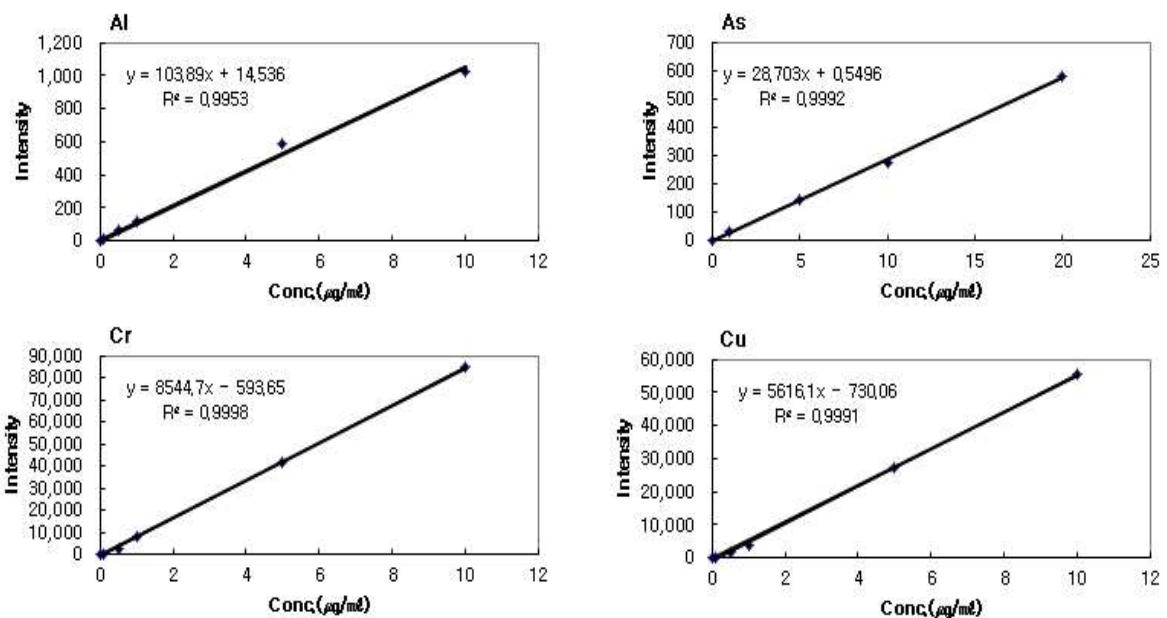


그림 23. 중금속 성분 검정곡선

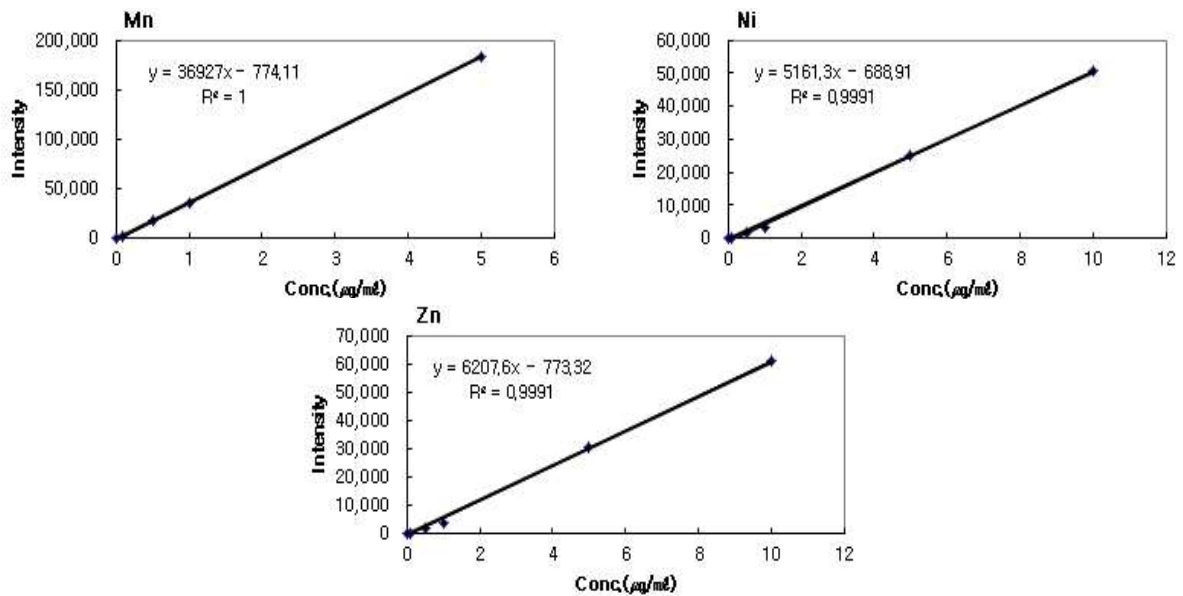


그림 23. 중금속 성분 검정곡선 (계속)

바. 6가 크롬

A. 시료채취 방법

- 대기 중 6가 크롬(hexavalent chromium) 분석을 위한 먼지시료의 채취는 37 mm cellulose 여과지를 사용하였고, 시료채취에 사용할 37 mm cellulose 여과지(Whatman, No. 41)는 직경 110 mm의 여과지를 절단하여 사용함
- 시료채취 시에 3가 크롬의 산화나 6가 크롬의 환원을 최소화하기 위하여 다음과 같은 전처리과정을 거침
 - 준비된 시료채취용 여과지는 여과지상의 불순물을 제거하기 위하여 10% 농도의 질산용액조에 담가서 2시간 동안 여과지상의 불순물을 세척함
 - 질산용액에 의해 충분히 세척된 여과지는 초순수를 이용하여 3회 이상 세척하여 질산용액을 제거하고 질소가스를 이용하여 여과지가 완전히 건조될 때까지 질소가스를 흘려줌
 - 건조된 여과지는 여과지의 침적을 위하여 0.12 M sodium bicarbonate 용액에 담가 12시간 이상 담가두고, 20 mM sodium bicarbonate 용액에서 12시간 이상 담가두었던 여과지를 꺼내어 Glove box에서 위와 같은 방식으로 질소를 이용하여 여과지가 완전히 건조될 때까지 질소가스를 흘려주면서 건조시킴
 - 완전히 건조된 여과지는 각각 47 mm 펄트리디쉬에 넣고 밀폐시킨 후 지퍼 백에 넣어서 시료채취 시까지 냉장고에 냉동 보관함

- 대기 중 6가 크롬 농도분석을 위한 시료 채취 시 흡인공기유량은 먼지부하에 따른 여과지상에서의 여과저항을 고려하여 10 L/min으로 24시간동안 시료를 채취하였음
- 시료채취가 끝난 여과지는 페트리디쉬에 넣어 밀폐한 후 분석 시까지 냉동고에 보관함

B. 분석 방법

- 시료가 채취된 여과지는 여과지상에서 Cr^{3+} 와 Cr^{6+} 의 산화/환원문제를 최소화시키기 위해서 시료채취 후 가능한 빠른 시간에 분석을 수행하였으며, 여과지의 추출은 분석을 위한 모든 준비가 완료되면 최대한 신속하게 진행하였음
- 시료 분석을 위한 여과지의 추출은 99.999% 질소로 채워진 Glove box 내부에서 이루어지며, PVC 장갑을 끼고 핀셋을 이용하여 페트리디쉬로부터 시료가 포집된 여과지를 마개가 달린 14 mL polyethylene 시험관에 필터를 반으로 접어서 넣고 추출용액(20 mM sodium bicarbonate) 10 mL을 가함
- 추출용액을 가한 시험관은 Glove box에서 꺼내어 초음파세척기에 넣고 1시간 초음파 추출한 후 분석용 시료용액으로 하며 표 16에 분석에 사용된 IC 운전조건을 나타냄

표 16. 6가 크롬 분석을 위한 IC 운전조건

Variables	Analytical Conditions
Guard column	IonPac NG1
Analytical column	IonPac AS7
Eluent flow rate	1.5 mL/min
Post Column reagent flow rate	0.5 mL/min
Detection wavelength	540 nm
Sample volume	1000 μ L

- 6가 크롬의 분석을 위한 표준원액은 99.99%의 potassium dichromate($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) (Sigma-Aldrich 사제)을 이용하여 1000 μ g/mL Cr+6을 제조한 후 이 용액을 이용하여 0.5, 1.0, 2.0 ng/mL의 표준용액을 만들어서 검정곡선을 작성함
- 이온크로마토그래피의 용리액으로는 250 mM ammonium sulfate와 100 mM ammonium hydroxide를 혼합하여 사용하였고, Post-column 유도시약으로는 1,5-diphenylcarbazide와 황산(순도 99.99%)을 혼합하여 제조하였음

C. 정도 관리

- 시료채취에 따른 QC 절차로서 현장에서 반송된 필터가 이물질에 의해서 오염되지 않았는지, 필터에 구멍 등 손상이 없는지 확인함
- 시료유량 및 시료채취시간이 정해진 범위 내에서 이루어졌는지를 확인하였는데, 이때 자료의 검증을 위한 정도관리 절차로 검정곡선 작성을 위한 표준용액(0.5 ng/ml)의 결과 값을 이용하여 상대표준편차(relative standard deviation, 이하 RSD)로 평가하였음
- 표 17에 IC를 이용한 6가 크롬 분석법의 정밀도 평가를 위하여 측정한 상대표준편차(RSD)의 결과를 나타냄

표 17. IC를 이용한 6가 크롬 분석법의 정밀도(재현성) 평가

Compounds	Concentration (ng/mL)	Average (ng/mL)	S.D (ng/mL)	RSD(%)
Cr+6	0.502	0.51	0.00	0.07
	0.506			
	0.507			
	0.509			

- 시료분석을 위한 검정곡선 작성용 표준용액은 0.5 ~ 2.0 ng/mL 범위이며 초기교정에서 상관계수가 0.995 이상인지를 확인하였음
- 시료채취용 필터와 동일하게 사전에 처리된 깨끗한 필터에 일정 농도(0.5 ng/ml)가 되도록 크롬 표준액을 필터에 spike 한 후, 시료와 동일한 추출과정을 거쳐서 분석한 결과 회수율은 98 ~ 101%를 나타내었음
- 측정결과를 바탕으로 99% 신뢰도 수준에서 MDL(Method Detection Limit)를 계산한 결과 분석검출한계는 0.081 ng/ml로 나타남 (대기농도값으로 환산시 0.013 ng/m³ (참조 표 18).

표 18. 6가 크롬 분석법의 회수율 및 방법검출한계(MDL)

	Spikes							Mean	S.D.	MDL	
	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회			(ng/ml)	(ng/m ³)
Conc. (ng/ml)	0.5	0.5	0.5	0.51	0.49	0.49	0.49	0.5	0.006	0.018	0.013
Recovery (%)	101	101	100	101	99	98	99	99	1.13		

사. 다이옥신

A. 시료채취 및 분석 방법

- 다이옥신 대기시료 채취는 하이볼륨샘플러 (Sibata, HV-700F, Japan)를 사용하였으며, 시료 채취는 EPA-Method TO-9A 방법에 따라 수행하였음
- 다이옥신 샘플링 유속은 400 L/min로, 2일간 샘플링을 실시하여 총 포집된 유량은 1728m³임
- 입자와 가스상 농도를 각각 산출하기 위해서, 석영필터(20 π 25 cm; ADVENTEC, QR-100, Japan)와 두 개의 PUF (Polyurethane Foam, length 5 π 2 cm, diameter 9cm; Sibata, 080130-0941A, Japan) 각각 구별하여 측정 분석하였음

B. 분석방법과 정도관리

- 샘플링이 완료된 시료의 다이옥신 분석절차는 이전 연구 (Heo et al., 2010)와 같이 각각 EPA Method 1613에 따라 수행하였음
- 석영필터 및 PUF는 속실텍 추출장치 (Soxhlet extractor)를 이용하여 톨루엔으로 16 시간 이상 추출하였으며, 추출 전에 ¹³C₁₂-labeled 표준물질을 주입하였고 추출 후 다층실리카겔 및 알루미나 정제과정을 실시함
- 본 연구의 대상물질은 고분해능 가스크로마토그래피/질량분석계 (HRGC/HRMS, Trace GC Ultra/DFS, Thermo Scientific, Germany)를 이용하였으며, 분해능 10,000 이상에서 각 동질체의 2개 이온을 선택한 SIM (Selected Ion monitoring) Mode에서, 다이옥신은 2378-치환 이성질체 17종을 각각 정성/정량 하였음
- 본 연구에서는 독성등가환산농도 (Toxicity Equivalent, TEQ)로 표현하기 위해서 다이옥신은 국제독성등가계수 (International-Toxic Equivalency Factors, I-TEFs)를 사용하였고, 다이옥신 분석을 위해 DB-5MS (60 m π 0.2 mm π 0.25 μ m; J&W Scientific, USA) 칼럼을 사용하였음
- 표 19에 정리한 다이옥신 표준물질 회수율은 70.9~117.5%로 나타나 기준 회수율 (50~120%) 이내의 양호한 결과를 보였다.

표 19. 다이옥신 표준물질 회수율 (단위 : %)

		해오름식당 (n=3)				대죽1리 경로당 (n=3)				대죽리 우사 (n=3)			
		봄	여름	가을	겨울	봄	여름	가을	겨울	봄	여름	가을	겨울
다이옥신류 (Dioxin)	2378-TCDD	82.6	91.9	97.3	104.8	89.8	94.4	95.9	102.4	93.5	87.7	99.7	108.8
	12378-PeCDD	88.4	97.9	102.8	100.6	96.5	99.4	100.8	93.8	97.5	92.7	106.4	96.3
	123478-HxCDD	90.2	93.6	97.5	104.1	92.6	93.6	94.9	104.7	95.6	90.5	98.9	99.2
	123678-HxCDD	94.2	93.2	104.9	110.2	98.6	93.3	103.1	95.6	99.4	94.7	105.0	105.4
	1234678-HpCDD	94.9	90.6	92.4	113.3	99.9	91.0	94.9	106.5	99.4	89.9	96.1	104.5
	OCDD	112.0	89.5	87.4	92.6	116.8	89.9	93.0	88.2	116.0	89.0	92.9	85.2
퓨란류 (Furan)	2378-TCDF	88.9	90.2	89.2	97.9	99.6	91.3	87.6	93.0	100.2	87.2	93.3	95.5
	12378-PeCDF*	83.6	95.2	100.0	106.0	97.6	94.8	97.9	99.3	98.6	90.1	98.4	101.6
	23478-PeCDF	103.9	92.3	90.2	92.1	114.6	93.2	89.0	94.3	114.5	87.0	93.5	94.0
	123478-HxCDF*	91.5	93.1	94.6	111.0	99.0	92.3	92.6	107.3	98.2	90.2	96.8	108.6
	123678-HxCDF	93.1	92.5	97.2	111.9	84.8	91.6	94.9	107.9	84.7	90.9	95.5	107.6
	123789-HxCDF	113.1	89.9	87.2	106.4	117.5	91.0	86.4	101.7	116.8	89.8	87.6	102.6
	234678-HxCDF	109.3	90.1	85.4	99.1	112.4	90.7	85.8	95.0	109.9	89.8	86.4	94.6
	1234678-HpCDF	92.9	84.9	88.5	97.5	98.7	82.0	88.7	93.8	99.3	82.5	93.6	91.2
	1234789-HpCDF	103.3	76.2	94.5	108.4	108.7	70.9	93.4	96.3	108.9	76.6	101.3	98.3

* SP-2331 column으로 분석할 경우 이 두 물질은 2종의 이성질체가 함께 용리되므로 정량치를 2로 나누었음.
(j. of Chromatography 541.131.1991)

아. 불화수소

A. 시료채취 및 분석 방법

- 환경 대기 중의 가스상 불소화합물의 시료 채취는 직경 47 mm필터를 장착할 수 있는 필터 홀더(테프론재질)에 여지를 장착하여 20 L/min의 유량으로 24시간 연속 채취하였고 시료채취 매체로서 셀룰로즈 에스테르계 멤브레인 필터(직경 47 mm 입경 0.8 μ m)을 사용하였음
- 사용전 필터를 탄산나트륨용액 (1%)에 침적시킨 후 건조기에서 60-70℃로 2시간 가열하여 건조한 후 건조한 필터는 폴리에틸렌 봉지에 1 장씩 집어넣어 밀봉해 보존함
- 시료를 포집한 알카리 여지는 비이커에 넣고 물 20 mL을 가하고 끓는 수욕조에서 약 20분간 가열한 후 필터 No. 51로 여과함
- 증류수로 세정하고 여액과 세액을 합해 25 mL 메스플라스크에 옮겨 넣고 물을 가해 25 mL으로 하고 시료액을 조제한 후 란탄 알리자린 콤플렉션법으로 정량함
- 표준액을 물에 희석하여 1 mL중 0.4-2.0 μ g 범위로 표준액을 만들고, 이 표준액을 각각 20 mL 취해 50 mL 메스플라스크에 넣고 란탄 알리자린 콤플렉션용액 10 mL

을 가하고 아세톤을 가하여 50 mL가 되게 함

- 이를 실온에서 1 시간 방치한 후 파장 620 nm 부근의 흡광도를 측정하며 대조액은 증류수로 하며 같은 방식의 과정을 거침

B. 정도관리

- 불화수소 표준용액량을 0 mL, 5 mL, 10 mL, 20 mL로 각각 분취하여 제조된 분취 농도와 이때의 흡광도를 이용하여 작성된 검정곡선의 결정계수는 그림 24와 같이 0.99 이상으로 나타남
- 방법검출한계(MDL, method detection limit)는 시료와 비슷한 매질 중에서 시험분석 대상을 검출할 수 있는 최소한의 농도로서, 제시된 정량한계 부근의 농도를 포함하도록 준비한 n개의 시료를 반복 측정하여 얻은 결과의 표준편차(s)에 99% 신뢰구간에서의 t-분포값을 곱한 것임
- 본 연구에서는 7회 반복하여 이때의 t-분포값인 3.14를 곱하여 계산하였고, 그 결과 검출한계 농도는 0.0008 ppb로 평가되었음
- 또한 불화수소 표준용액을 10 mL을 3회 반복하여 재현성을 평가한 결과 RSD가 0.763%로 양호한 결과를 얻었음

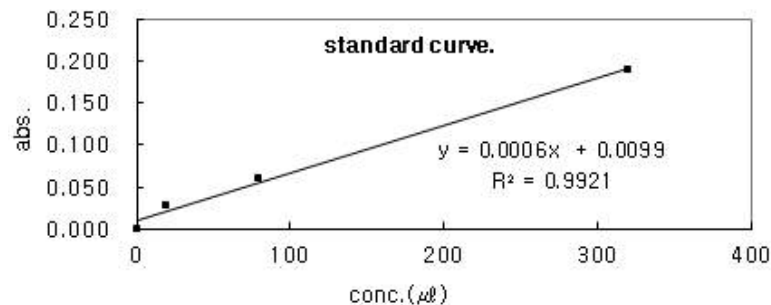


그림 24. 측정대상 중금속 성분 검정곡선

표 20. 불화수소 검출한계(MDL)

반복분석횟수	흡광도(Abs.)	불화수소량(μL)	농도(ppb)
1	0.031	0.771	0.002
2	0.034	0.829	0.002
3	0.032	0.800	0.002
4	0.032	0.886	0.003
5	0.033	0.943	0.003
6	0.034	0.971	0.003
7	0.035	1.000	0.003
평균	0.033	0.886	0.003
표준편차 (S)	0.001	0.089	0.0003
MDL (ppb)	0.004	0.279	0.0008

3. 측정기간 중 기상개황

- 4계절 측정기간 동안의 기상자료 정리는 서산시 대산읍 대죽리에 위치한 자동기상관측소 (Auto Weather Station, 이하 AWS)의 자료를 활용하였음
- 대죽리 AWS는 서산시 대산읍 도심지 북쪽 방향에 위치하여 서산시 대산 일반산단의 일반적인 바람특성을 파악하는데 양호하다고 판단되지만, 측정지점 현장의 조건을 직접적으로 반영한다고는 할 수 없으므로 본 연구에서는 이들 자료를 국지적 오염현상을 설명할 때 단지 참고자료로만 활용함
- 표 21은 조사기간 2018년 3월~2019년 2월 (3월, 6월, 10월, 2월) 동안의 평균자료를 분석하고 정리한 것으로 표의 통계치는 시료채취시간과 동일하게 당일 오전 9시부터 7일간 익일 오전 8시 50분까지의 자료를 취합하여 산정함
- 강수량은 시료채취기간 중 누적량으로 나타냈고, 주풍향은 시간별 풍향자료 및 풍속자료를 이용하여 AWS 지점별로 일간 풍배도를 그려 빈도가 가장 높은 풍향으로 표현함
- 본 자료는 계절별 7일간이라는 짧은 측정기간 동안의 기상자료를 정리한 것이기 때문에 본 연구의 현장측정기간 중 기상개황은 해당지점의 계절적 특성을 종합적으로 반영한 것은 아님
- 대산 대죽리 AWS에서의 측정기간 중 평균기온은 봄철(3월) 5.5 ℃, 여름철(6월) 18.8 ℃, 가을철(10월) 14.9 ℃, 겨울철(2월) 3.4 ℃이었으며, 각 계절별 누적강수량은 봄철은 8 mm, 여름철은 1.5 mm, 가을철은 3 mm, 겨울철은 0 mm의 강수가 있었음
- 7일 연속 측정일 동안 일부시기에 강수량이 집계되었으나 대부분 미량으로 관측되어 본 연구의 측정기간 중 측정농도에는 큰 영향이 없을 것으로 판단됨
- 일반적으로 대기오염물질 측정기간 중 강수현상이 있을 수 있으나, 이는 사전에 예측 불가능하며 측정일정을 변경조정하기 어려운 경우가 많지만 그럼에도 집중호우 등 급격한 기상변동이 없다면 또한 시료채취 횟수가 많다면 측정치의 통계적 유의성은 확보할 수 있음
- 대산 대죽리 AWS에서의 측정기간 중 평균풍속은 봄철 3.2 m/s(0.1~8.1 m/s), 여름철 2.6 m/s(0~9.9 m/s), 가을철 2.2 m/s(0~10.7 m/s), 겨울철 2.0 m/s(0~6.0 m/s) 범위를 보임
- 시료채취기간 중 풍향의 빈도 및 풍속을 풍배도로 표현하여 그림 25에 도식하였음
- 대산지역 풍배도를 살펴보면, 풍향은 여름철과 겨울철의 경우, 대체로 북서풍의 영향이 크게 나타났고, 봄철은 남풍, 가을철은 동북쪽에서 불어오는 동북동풍이 작용하였고, 따라서 산업단지로부터 대기오염물질이 배출되었을 경우 남쪽에 위치한 주거지

역으로의 영향은 여름철과 겨울철에 더 크게 받았을 것으로 판단됨

표 21. 대산 대죽리 AWS에서의 계절별 기상개황 (2018년 3월~2019년 2월)

기간	기온 (℃)				풍속 (m/sec)				1)강수량 (mm)	2)주 풍향
	평균	표준 편차	최저	최고	평균	표준 편차	최저	최대		
봄철	5.5	4.2	0.0	14.8	3.2	1.7	0.1	8.1	8.0	S
여름철	18.8	2.1	15.2	25	2.6	1.9	0.0	9.9	1.5	WNW
가을철	14.9	1.6	11.4	18.7	2.2	1.2	0.0	10.7	3.0	ENE
겨울철	3.4	1.8	0.0	11.4	2.0	1.0	0.0	6.0	0.0	NW

1) 측정기간의 누적강수량을 나타냄, 2) 측정기간 중 빈도가 가장 높은 바람을 주풍향으로 나타냄.

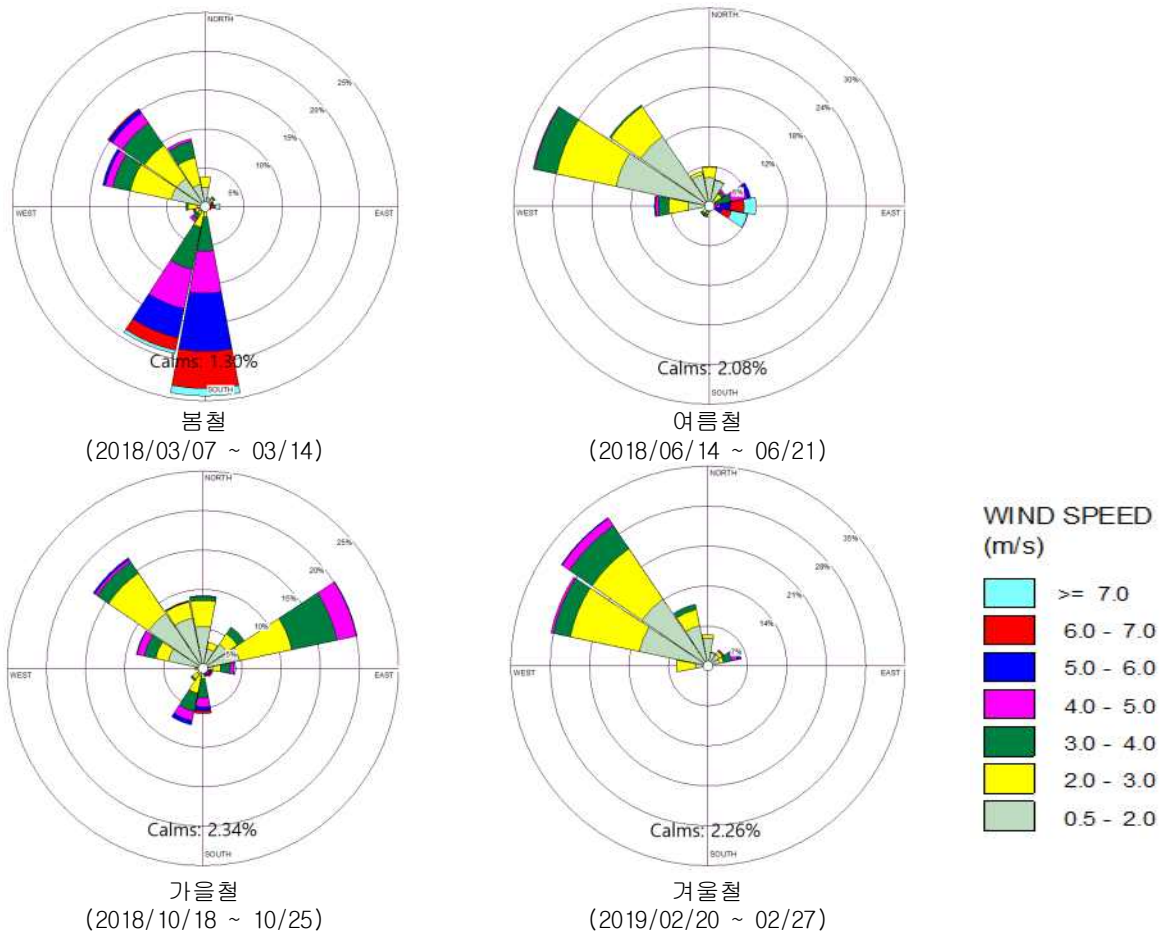


그림 25. 대산 대죽리 측정기간 계절별 바람장미

표 22. 대산 대죽리 AWS에서의 일별 기상개황 (2018년 3월~2019년 2월)

기간		기온 (℃)				풍속 (m/sec)				1)강수량 (mm)	2)주풍향
		평균	표준 편차	최저	최고	평균	표준 편차	최저	최대		
봄철 (2018년)	3/7	5.8	2.3	2.8	10.2	3.0	2.2	0.3	8.1	2.5	NW
	3/8	2.8	0.8	1.6	5.4	3.3	1.2	0.5	6.2	5.5	NW
	3/9	2.8	1.1	1.5	5.3	2.4	0.9	0.1	4.4	0.0	S
	3/10	4.3	2.6	0.7	8.7	3.0	0.9	0.4	4.8	0.0	SSW
	3/11	2.5	1.6	0.0	5.4	1.9	0.8	0.3	3.7	0.0	WNW
	3/12	5.3	4.0	0.0	12.6	2.5	1.4	0.1	6.3	0.0	S
	3/13	12.0	1.8	7.2	14.8	5.2	1.1	3.0	8.0	0.0	S
	3/14	13.1	0.4	12.5	14.7	5.8	0.8	3.4	8.1	0.0	SSW
여름철 (2018년)	6/14	20.5	1.6	17.6	23.7	3.3	2.1	0.3	9.9	1.5	E
	6/15	20.4	2.1	17.5	25.0	4.4	2.2	0.5	9.1	0.0	E
	6/16	19.7	2.1	16.6	24.2	4.0	2.3	0.4	8.9	0.0	WNW
	6/17	17.4	1.4	15.2	21.3	1.5	0.6	0.0	3.8	0.0	NW
	6/18	18.2	1.7	15.3	21.3	1.7	0.5	0.3	3.1	0.0	WNW
	6/19	18.0	2.0	15.9	23.2	1.7	0.8	0.2	4.5	0.0	NW
	6/20	18.2	1.2	16.0	21.0	2.2	1.0	0.4	5.5	0.0	WNW
	6/21	17.9	0.8	16.8	19.2	1.9	0.5	1.0	3.3	0.0	WNW
가을철 (2018년)	10/18	14.1	1.4	11.4	16.3	3.1	1.6	0.9	10.7	3.0	N
	10/19	14.9	1.6	12.2	18.0	2.3	0.8	0.6	4.7	0.0	NW
	10/20	15.0	1.4	12.2	17.9	1.6	0.6	0.2	4.3	0.0	NW
	10/21	15.0	1.8	11.5	18.6	1.6	0.9	0.0	4.0	0.0	ENE
	10/22	15.2	1.9	11.8	18.7	2.3	1.1	0.1	5.2	0.0	SSW
	10/23	15.4	1.2	13.5	18.6	3.5	1.2	0.5	6.5	0.0	NW
	10/24	15.1	1.2	13.4	17.6	1.7	0.7	0.1	3.8	0.0	NW
	10/25	13.2	0.7	12.1	15.1	2.0	1.3	0.1	4.7	0.0	ENE
겨울철 (2019년)	2/20	3.1	0.9	1.7	4.8	3.3	0.9	1.5	5.3	0.0	NW
	2/21	2.3	1.3	0.4	5.1	1.8	0.7	0.3	3.7	0.0	NW
	2/22	2.5	1.5	0.0	5.5	1.7	0.6	0.3	3.2	0.0	WNW
	2/23	4.8	2.9	0.6	11.4	2.3	1.4	0.6	6.0	0.0	ENE
	2/24	3.8	1.7	1.1	7.7	2.0	0.9	0.2	4.0	0.0	WNW
	2/25	3.3	1.4	1.2	5.9	1.9	1.0	0.0	4.3	0.0	NW
	2/26	3.6	1.4	1.3	6.7	2.0	0.7	0.2	4.0	0.0	NW
	2/27	3.7	0.4	3.1	4.6	1.4	0.5	0.3	2.8	0.0	WNW

1) 측정기간의 누적 강수량을 나타냄; 2) 측정기간 중 빈도가 가장 높은 바람을 주풍향으로 나타냄.

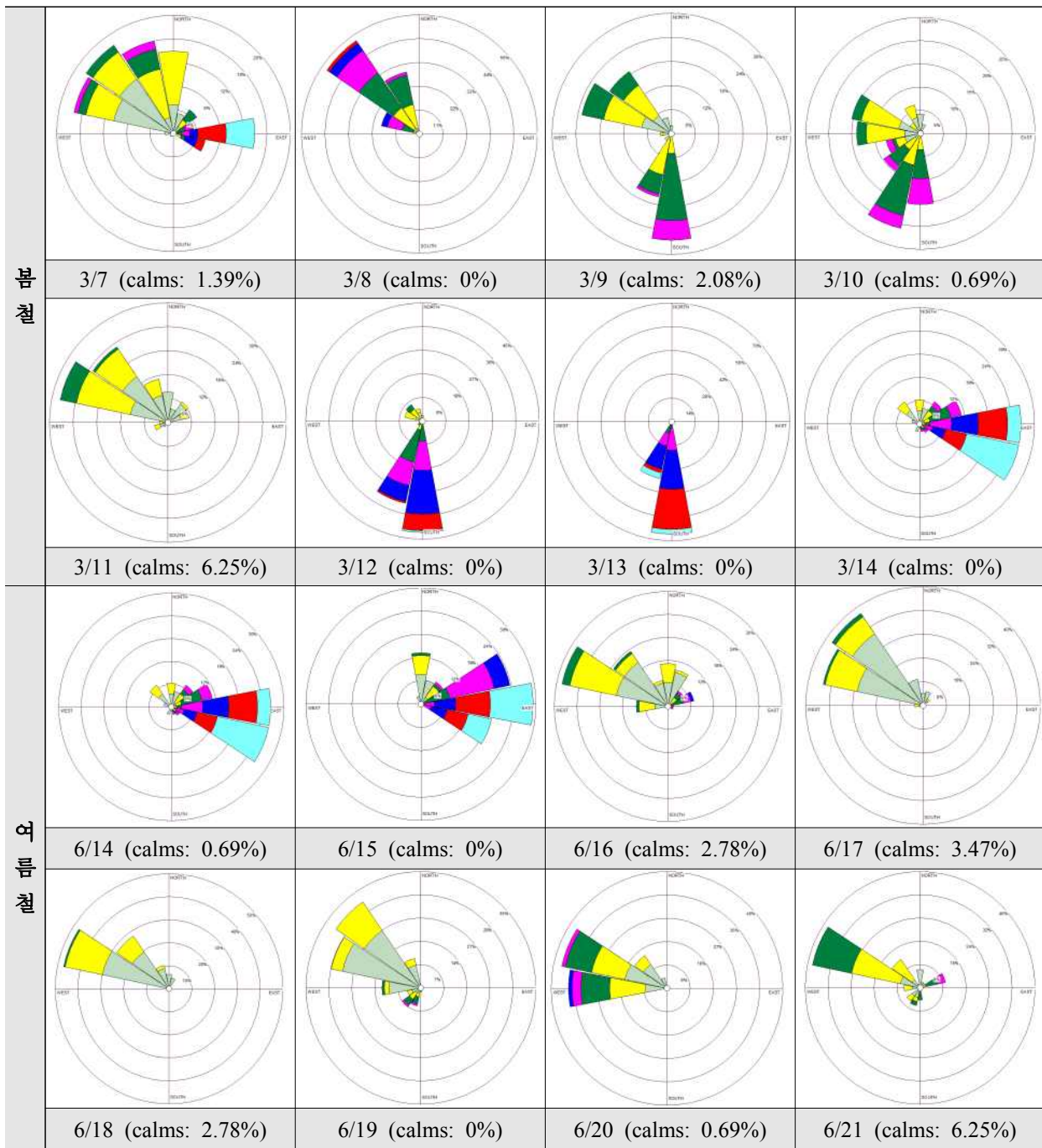


그림 26. 대산 대죽리 측정기간 중 일별 바람장미

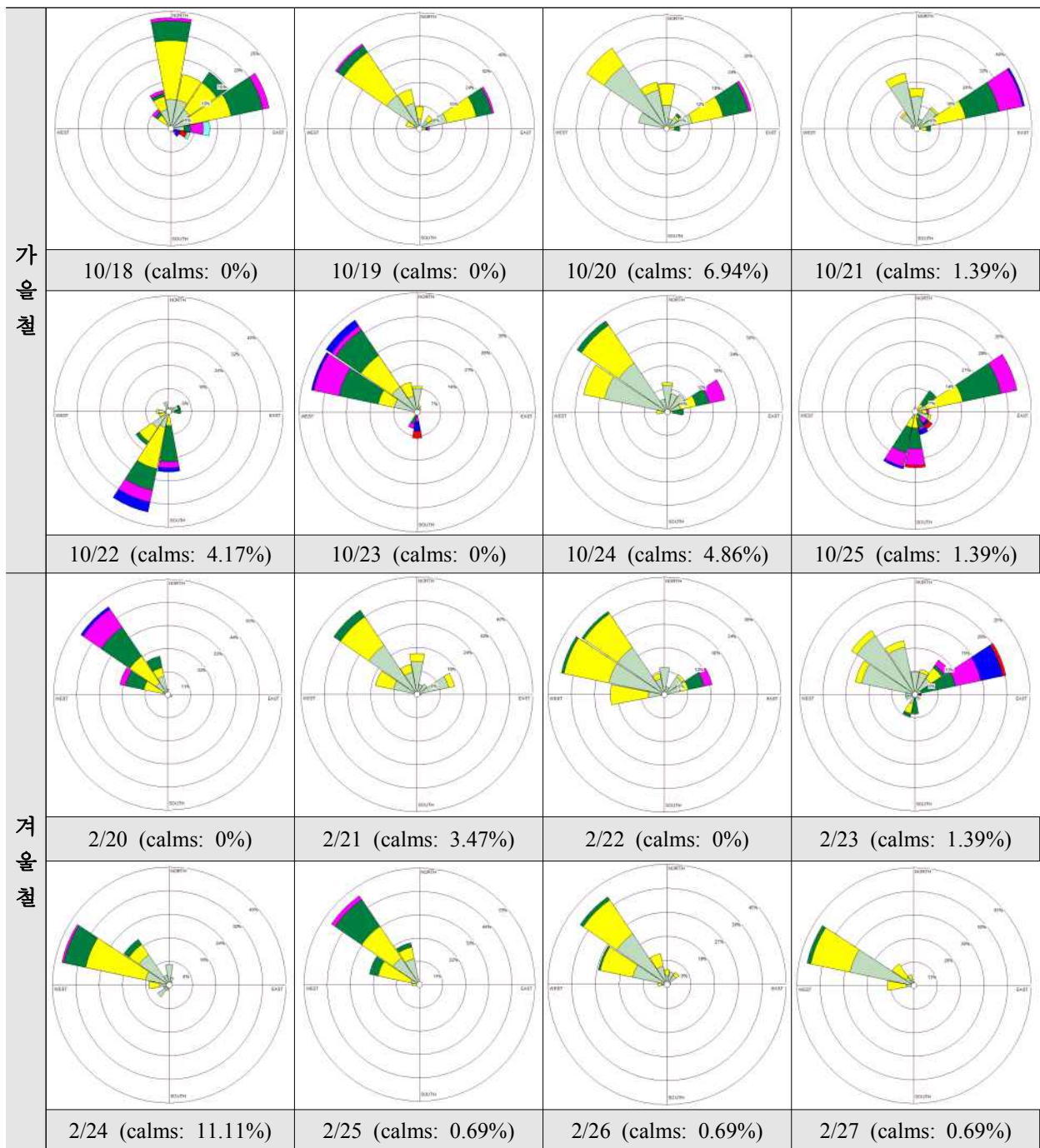


그림 26. 대산 대죽리 측정기간 중 일별 바람장미 (계속)

제 2 장 대기오염물질 측정 및 분석결과

제 1 절 휘발성유기화합물 (VOCs)

- 휘발성유기화합물(VOCs)은 증기압이 높아 대기 중으로 쉽게 증발되는 액체 또는 기체상 유기화합물의 총칭으로, 산업체에서 많이 사용하는 용매에서부터 화학 및 제약 공장이나 플라스틱 건조공정에서 배출되는 유기가스에 이르기까지 매우 다양하며 끓는점이 낮은 액체연료, 파라핀, 올레핀, 방향족화합물 등 생활주변에서 흔히 사용하는 탄화수소류가 거의 해당됨
- 일반적으로 VOCs는 저농도에서도 악취를 유발하며 그중 일부는 발암성 물질임
- 환경 및 인체에 직접적으로 유해하거나, 대기 중에서 광화학반응에 관여하여 광화학 산화물 등 2차 오염물질을 생성시키고 또한 지구온난화의 원인물질이므로 국가마다 배출을 줄이기 위해 정책적으로 관리하고 있음
- VOCs는 주로 석유화학, 정유, 도료, 도장의 제조와 저장과정, 자동차 배출가스, 페인트나 접착제, 건축자재, 주유소의 저장탱크 등에서 인위적으로 발생함

1. 대산지역 대기 중 VOCs의 출현특성

- 본 연구에서는 총 58종의 VOCs를 측정·분석하였음
- 대기 중에 존재하는 수많은 VOCs 중에서 국내외 대기 중 출현(검출) 빈도가 높고 고농도인 VOC 개별물질을 특정할 수 있다면, 주요 관리대상 VOCs를 쉽게 파악할 수 있음
- 표 23에 전체 조사지점에서 측정한 VOCs 자료(n=280) 중 유해대기물질측정망 상에서 측정이 이루어지는 VOC 14종에 대해 정리하였고, 그림 27에 주요 VOCs의 측정지점별 농도 분포를 박스도표로 표현함
- 대산지역의 VOCs 중에서 환경보건학적 중요성이 높은 BTEX 그룹 중 benzene, toluene, ethylbenzene과 dichloromethane이 50% 이상의 비교적 높은 빈도로 검출되어 대산지역 대기 중에 분포하고 있는 주요 물질임을 알 수 있음
- 이 중 benzene은 국가대기환경기준 설정 항목으로 IARC에서 “사람에게 암을 일으키는 물질”인 발암 1등급으로 분류하고 있으며(WHO, 2000), 미국 EPA에서도 “사람에게 암을 일으키는 것으로 알려진 물질”로 발암성 A등급으로 분류하고 있음

(USEPA, 2016)

- 국내는 대기환경 기준치가 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (약 1.5 ppb)로 설정되어 있으며, 영국과 독일의 연평균 환경기준 또한 국내와 동일하게 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (약 1.5 ppb)이고, 일본이 $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (약 0.9 ppb)으로 VOC 물질들 중 가장 대표적인 규제 물질임(국립환경과학원, 2015)
- 대산지역에서는 평균농도 0.61 ppb로 검출되어 연평균 대기환경기준치보다는 낮게 나타났지만 검출빈도가 77.1%로 나타났고 위해성이 큰 만큼 지속적인 관측과 관리가 필요할 것으로 사료됨
- Toluene은 benzene과 물리·화학적 특성은 비슷하지만 상대적으로 독성이 낮아서 유성페인트나 접착제 등을 만들 때 용매로서 폭넓게 이용되는 물질로 공기 중에 빠르게 날아가 호흡을 통해 흡수하기가 쉽고, 고농도의 toluene에 노출되면 피부, 점막 등에 자극을 일으키는 유해물질임
- 대산지역에서 toluene의 평균은 0.76 ppb로 낮은 농도 수준을 보임
- 대산지역 대기 중 VOCs를 측정지점별로 살펴보면, 대죽1리에서 benzene, toluene, styrene, 1,3-butadien, 대로3리에서 ethylbenzene, m,p-xylene, o-xylene, 대산리에서 dichloromethane이 평균농도가 높게 검출되었고, 또한 1 ppb가 넘는 물질의 수는 대죽1리에서 3종, 대죽1리를 제외한 지점에서는 1종으로 나타남
- 대체로 대죽1리에서 높은 농도특성을 보이는데, 이는 대죽1리가 대산석유화학단지와 대산 제3산업단지, 대죽자원비축 국가산업단지 등과 인접해 있어 산업단지 내에 VOCs 성분들을 배출하는 업종들의 영향을 받았다고 사료됨
- 위해도 측면에서 중요한 benzene의 평균농도는 대죽1리에서 1.08 ppb, 화곡2리 0.47 ppb, 대로3리 0.67 ppb, 오지리 0.35 ppb, 대산리 0.48 ppb로 대죽1리가 다른 지점들 보다 약 2배 높게 검출됨

표 23. 대산지역 측정지점별 대기 중 VOCs 농도

(단위 : ppb)

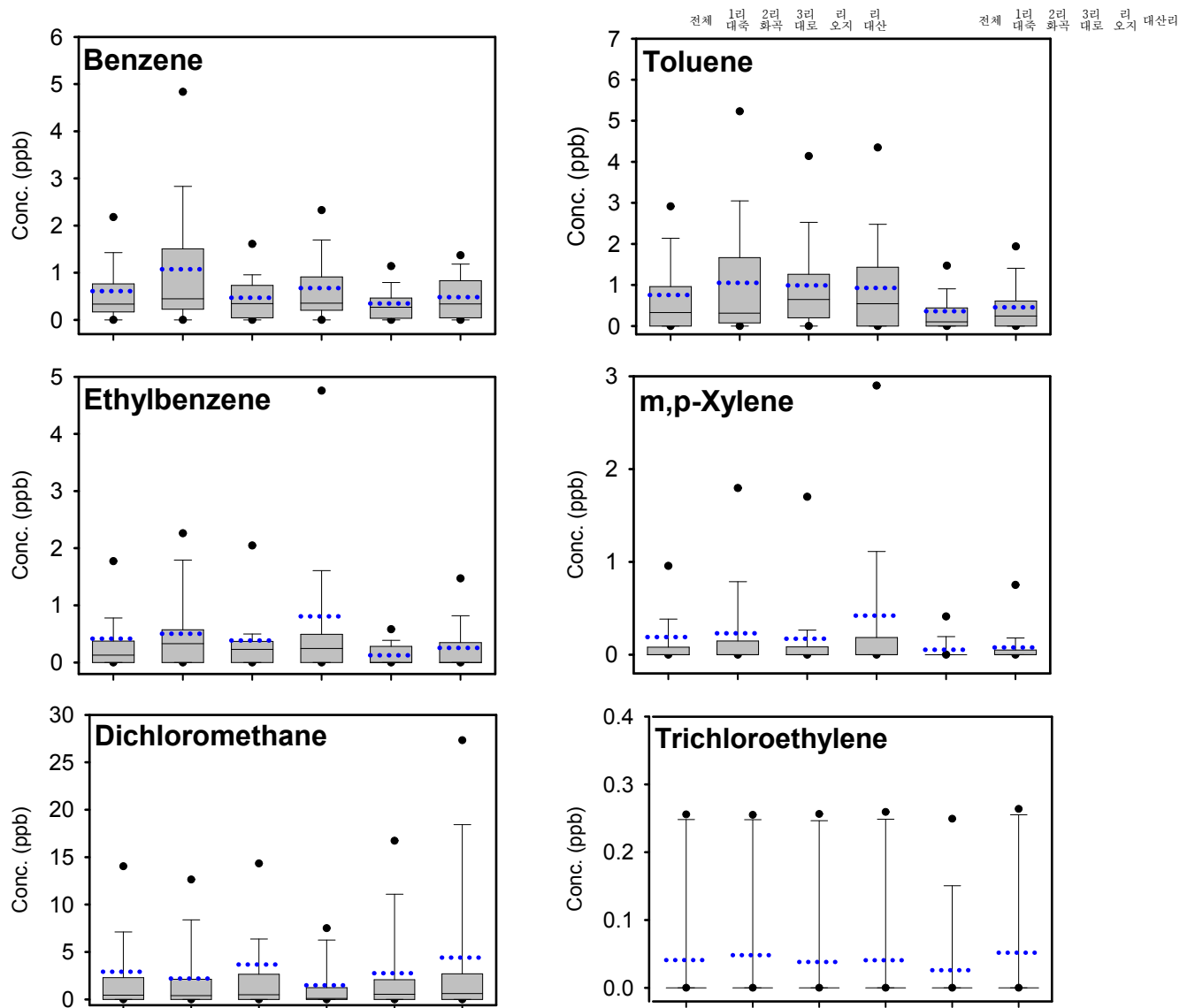
VOCs	전체지점 (n=280)					대죽1리 (n=56)					화곡2리 (n=56)				
	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)
1,3-Butadiene	0.19	N.D	7.20	0.95	12.5	0.81	N.D	7.20	1.98	30.4	0.03	N.D	0.79	0.12	10.7
1,1-Dichloroethane	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dichloromethane	2.91	0.45	83.39	7.72	62.9	2.21	0.40	22.33	4.37	58.9	3.68	0.49	83.39	12.25	62.5
Chloroform	0.07	N.D	0.83	0.11	38.2	0.09	N.D	0.83	0.15	46.4	0.07	N.D	0.26	0.09	46.4
Methyl chloroform	<0.01	N.D	0.16	0.01	0.4	<0.01	N.D	0.16	0.02	1.8	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzene	0.61	0.34	6.24	0.85	77.1	1.08	0.45	6.24	1.38	80.4	0.47	0.34	2.10	0.47	75.0
Carbontetrachloride	0.07	N.D	0.24	0.10	32.9	0.06	N.D	0.24	0.10	26.8	0.06	N.D	0.24	0.09	28.6
Trichloroethylene	0.04	N.D	0.30	0.09	18.9	0.05	N.D	0.27	0.09	23.2	0.04	N.D	0.26	0.09	17.9
Toluene	0.76	0.33	6.35	1.13	73.9	1.05	0.31	5.88	1.47	78.6	0.99	0.65	4.99	1.15	87.5
Tetrachloroethylene	0.05	N.D	0.38	0.11	17.9	0.08	N.D	0.38	0.13	28.6	0.05	N.D	0.37	0.11	19.6
Ethylbenzene	0.42	0.13	16.04	1.23	51.8	0.50	0.33	2.40	0.65	67.9	0.39	0.23	5.70	0.88	58.9
m,p-Xylene	0.19	N.D	8.71	0.71	27.9	0.23	N.D	2.54	0.53	30.4	0.17	N.D	2.80	0.55	30.4
Styrene	0.17	N.D	3.80	0.35	44.6	0.31	0.17	3.80	0.66	53.6	0.19	0.17	1.93	0.29	53.6
o-Xylene	0.13	N.D	2.85	0.32	41.4	0.18	N.D	1.85	0.36	42.9	0.12	N.D	1.95	0.29	41.1

표 23. 대산지역 측정지점별 대기 중 VOCs 농도 (계속)

(단위 : ppb)

VOCs	대로3리 (n=56)					오지리 (n=56)					대산리 (n=56)				
	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)
1,3-Butadiene	0.07	N.D	2.41	0.34	8.9	0.01	N.D	0.21	0.04	5.4	0.02	N.D	0.46	0.09	7.1
1,1-Dichloroethane	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dichloromethane	1.49	0.10	8.53	2.50	55.4	2.77	0.55	25.31	5.37	71.4	4.42	0.62	48.72	9.63	66.1
Chloroform	0.07	N.D	0.37	0.10	39.3	0.06	N.D	0.30	0.10	26.8	0.06	N.D	0.32	0.10	32.1
Methyl chloroform	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzene	0.67	0.35	5.91	0.95	80.4	0.35	0.27	1.42	0.34	75.0	0.48	0.34	1.65	0.45	75.0
Carbontetrachloride	0.07	N.D	0.24	0.10	33.9	0.07	N.D	0.24	0.10	35.7	0.08	N.D	0.24	0.10	39.3
Trichloroethylene	0.04	N.D	0.26	0.09	17.9	0.03	N.D	0.26	0.07	12.5	0.05	N.D	0.30	0.10	23.2
Toluene	0.93	0.54	6.35	1.29	73.2	0.36	0.10	4.34	0.70	62.5	0.46	0.24	2.34	0.59	67.9
Tetrachloroethylene	0.04	N.D	0.37	0.10	14.3	0.04	N.D	0.37	0.09	14.3	0.03	N.D	0.37	0.10	12.5
Ethylbenzene	0.81	0.24	16.04	2.44	55.4	0.13	N.D	0.69	0.19	33.9	0.26	N.D	2.54	0.47	42.9
m,p-Xylene	0.42	N.D	8.71	1.35	35.7	0.05	N.D	0.81	0.15	17.9	0.08	N.D	1.03	0.22	25.0
Styrene	0.15	N.D	0.82	0.19	46.4	0.10	N.D	0.34	0.14	35.7	0.11	N.D	0.63	0.17	33.9
o-Xylene	0.23	0.05	2.85	0.49	50.0	0.07	N.D	0.65	0.14	33.9	0.07	N.D	0.70	0.13	39.3

그림 27. 대산지역 측정지점별 VOCs 농도 비교



2. 계절별 대기 중 VOCs 농도분포

- 표 24 ~ 표 28에 측정기간 동안 대산지역 VOCs 중 유해대기물질측정망에서 측정되고 있는 14종의 VOC를 계절별로 정리하여 평균농도와 중앙값, 표준편차, 최댓값으로 나타냄
- 또한 이를 취합하여 종합적으로 VOCs 전체 측정 자료를 표 29에 제시하였고, 주요 VOCs에 대한 계절별 농도 분포 현황을 그림 28에 도식하였음
- 14종의 VOC 중 대산지역에서 검출된 성분의 수는 봄에 13종, 여름에 12종, 가을에 6종, 겨울에 7종으로 가을·겨울철 보다 봄·여름철에 더 많은 성분이 검출되었고, 또한 전체계절 중 여름철(6월) 측정농도는 다른 계절과 비교하여 전반적으로 높음
- 개별 VOC를 각각 살펴보면 BTEX 그룹 중 toluene, ethylbenzene, m,p-xylene, o-xylene과 trichloroethylene, styrene이 여름철(6월)에 농도가 높았는데, 이는 여름에 이들 VOCs의 배출량이 늘었다기보다는 기온이 높아 VOCs의 휘발량이 증가했기 때문으로 판단됨
- benzene의 경우 4계절 평균농도가 봄 0.73 ppb, 여름 0.59 ppb, 가을 0.27 ppb, 겨울 0.86 ppb로 가을철에 낮고 겨울철에 높은 경향을 보임
- 각 지점 및 계절별 농도 특성을 살펴보면, toluene, ethylbenzene, m,p-xylene, o-xylene, styrene과 같은 주요 VOCs가 석유화학단지 배출원의 영향이 있을 것으로 판단되는 지점들뿐만 아니라 대조지역으로 선정된 대산리에서도 전반적으로 여름철에 높은 농도 수준을 보임
- 앞에 서술한 바와 같이, 온도가 상승하는 시기인 봄철에 농도가 상승하여 여름철에 고농도로 검출되었다는 것은 계절적인 특성이 반영된 결과로 사료됨

표 24. 대산지역 대죽1리 계절별 VOCs 농도

(단위 : ppb)

VOCs	봄철 (n=14)				여름철 (n=14)				가을철 (n=14)				겨울철 (n=14)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
1,3-Butadiene	0.09	N.D	0.11	0.25	0.07	N.D	0.13	0.32	N.D	N.D	N.D	N.D	3.08	3.15	3.01	7.20
1,1-Dichloroethane	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dichloromethane	1.79	1.48	1.60	4.32	N.D	N.D	N.D	N.D	6.08	3.09	7.11	22.33	0.97	0.42	2.09	8.12
Chloroform	0.16	0.20	0.11	0.29	0.07	0.09	0.06	0.16	N.D	N.D	N.D	N.D	0.15	0.04	0.25	0.83
Methyl chloroform	0.01	N.D	0.04	0.16	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzene	0.95	0.48	1.19	4.78	1.09	0.31	1.46	5.12	0.81	N.D	1.82	6.24	1.45	1.16	0.97	3.70
Carbontetrachloride	0.11	0.19	0.10	0.20	0.12	0.12	0.12	0.24	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Trichloroethylene	0.07	N.D	0.08	0.16	0.13	0.12	0.13	0.27	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Toluene	0.57	0.29	0.76	2.92	1.95	1.61	1.58	5.88	0.92	N.D	1.95	5.75	0.77	0.22	1.06	3.35
Tetrachloroethylene	0.15	0.20	0.10	0.21	0.16	N.D	0.19	0.38	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Ethylbenzene	0.70	0.36	0.70	2.24	0.94	0.63	0.76	2.40	0.11	N.D	0.19	0.55	0.27	N.D	0.47	1.66
m,p-Xylene	0.20	0.06	0.31	0.90	0.73	0.38	0.85	2.54	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Styrene	0.25	0.20	0.17	0.68	0.88	0.33	1.11	3.80	0.06	N.D	0.21	0.77	0.05	N.D	0.18	0.69
o-Xylene	0.18	0.12	0.13	0.51	0.52	0.37	0.58	1.85	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

표 25. 대산지역 화곡2리 계절별 VOCs 농도

(단위 : ppb)

VOCs	봄철 (n=14)				여름철 (n=14)				가을철 (n=14)				겨울철 (n=14)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
1,3-Butadiene	0.01	N.D	0.05	0.18	0.02	N.D	0.08	0.30	N.D	N.D	N.D	N.D	0.10	N.D	0.22	0.79
1,1-Dichloroethane	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dichloromethane	1.96	1.87	1.40	4.43	0.01	N.D	0.02	0.09	11.62	2.87	23.17	83.39	1.14	0.27	1.85	6.18
Chloroform	0.22	0.21	0.03	0.26	0.06	0.09	0.05	0.12	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	N.D	0.03	0.10
Methyl chloroform	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzene	0.67	0.67	0.47	2.10	0.52	0.28	0.47	1.86	N.D	N.D	N.D	N.D	0.68	0.50	0.40	1.56
Carbontetrachloride	0.18	0.19	0.05	0.20	0.05	N.D	0.10	0.24	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Trichloroethylene	0.04	N.D	0.07	0.16	0.11	N.D	0.13	0.26	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Toluene	0.54	0.42	0.60	2.40	1.10	0.94	0.66	2.85	0.81	0.49	0.92	2.83	1.52	0.61	1.85	4.99
Tetrachloroethylene	0.10	0.10	0.11	0.21	0.11	N.D	0.17	0.37	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Ethylbenzene	0.35	0.37	0.11	0.46	1.11	0.38	1.55	5.70	0.05	N.D	0.08	0.23	0.03	N.D	0.08	0.23
m,p-Xylene	0.09	0.08	0.10	0.38	0.61	0.13	1.00	2.80	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Styrene	0.21	0.19	0.06	0.38	0.38	0.33	0.10	0.68	N.D	N.D	N.D	N.D	0.17	N.D	0.52	1.93
o-Xylene	0.14	0.13	0.03	0.22	0.33	0.14	0.53	1.95	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

표 26. 대산지역 대로3리 계절별 VOCs 농도

(단위 : ppb)

VOCs	봄철 (n=14)				여름철 (n=14)				가을철 (n=14)				겨울철 (n=14)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
1,3-Butadiene	0.03	N.D	0.09	0.28	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	N.D	0.04	0.15	0.24	N.D	0.67	2.41
1,1-Dichloroethane	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dichloromethane	0.73	N.D	1.68	4.83	N.D	N.D	N.D	N.D	1.58	0.53	2.10	5.91	3.65	2.39	3.33	8.53
Chloroform	0.22	0.20	0.05	0.37	0.01	N.D	0.04	0.15	N.D	N.D	N.D	N.D	0.05	0.02	0.07	0.24
Methyl chloroform	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzene	0.71	0.48	0.48	1.57	0.51	0.28	0.53	2.18	0.54	N.D	1.59	5.91	0.94	0.52	0.80	2.58
Carbontetrachloride	0.18	0.19	0.01	0.19	0.09	N.D	0.12	0.24	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Trichloroethylene	0.04	N.D	0.07	0.21	0.13	0.12	0.13	0.26	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Toluene	0.29	0.20	0.24	0.65	1.57	0.98	1.50	6.35	0.69	N.D	1.45	4.33	1.17	1.03	1.30	4.43
Tetrachloroethylene	0.07	N.D	0.10	0.22	0.08	N.D	0.16	0.37	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Ethylbenzene	0.40	0.33	0.29	1.25	2.73	0.69	4.44	16.04	0.06	N.D	0.14	0.49	0.05	N.D	0.18	0.67
m,p-Xylene	0.10	0.07	0.11	0.33	1.58	0.67	2.40	8.71	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Styrene	0.27	0.20	0.23	0.82	0.34	0.33	0.02	0.40	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
o-Xylene	0.15	0.13	0.04	0.23	0.76	0.48	0.78	2.85	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

표 27. 대산지역 오지리 계절별 VOCs 농도

(단위 : ppb)

VOCs	봄철 (n=14)				여름철 (n=14)				가을철 (n=14)				겨울철 (n=14)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
1,3-Butadiene	0.03	N.D	0.07	0.21	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	N.D	0.05	0.18
1,1-Dichloroethane	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dichloromethane	0.38	N.D	0.70	2.56	0.13	N.D	0.20	0.68	5.68	2.38	7.57	25.31	4.89	1.28	6.03	19.41
Chloroform	0.22	0.20	0.04	0.30	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	<0.01	N.D	0.01	0.04
Methyl chloroform	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzene	0.64	0.46	0.39	1.42	0.21	0.20	0.05	0.32	N.D	N.D	N.D	N.D	0.54	0.49	0.24	1.10
Carbontetrachloride	0.16	0.19	0.07	0.19	0.14	0.24	0.12	0.24	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Trichloroethylene	0.03	N.D	0.06	0.15	0.07	N.D	0.12	0.26	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Toluene	0.21	0.14	0.16	0.49	0.47	0.42	0.38	1.27	0.06	N.D	0.19	0.69	0.71	N.D	1.28	4.34
Tetrachloroethylene	0.09	N.D	0.11	0.21	0.05	N.D	0.13	0.37	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Ethylbenzene	0.22	0.33	0.21	0.57	0.27	0.27	0.22	0.69	0.01	N.D	0.04	0.14	N.D	N.D	N.D	N.D
m,p-Xylene	0.04	N.D	0.05	0.13	0.18	N.D	0.27	0.81	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Styrene	0.10	0.08	0.10	0.24	0.29	0.31	0.08	0.34	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
o-Xylene	0.12	0.12	0.04	0.14	0.17	N.D	0.24	0.65	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

표 28. 대산지역 대산리 계절별 VOCs 농도

(단위 : ppb)

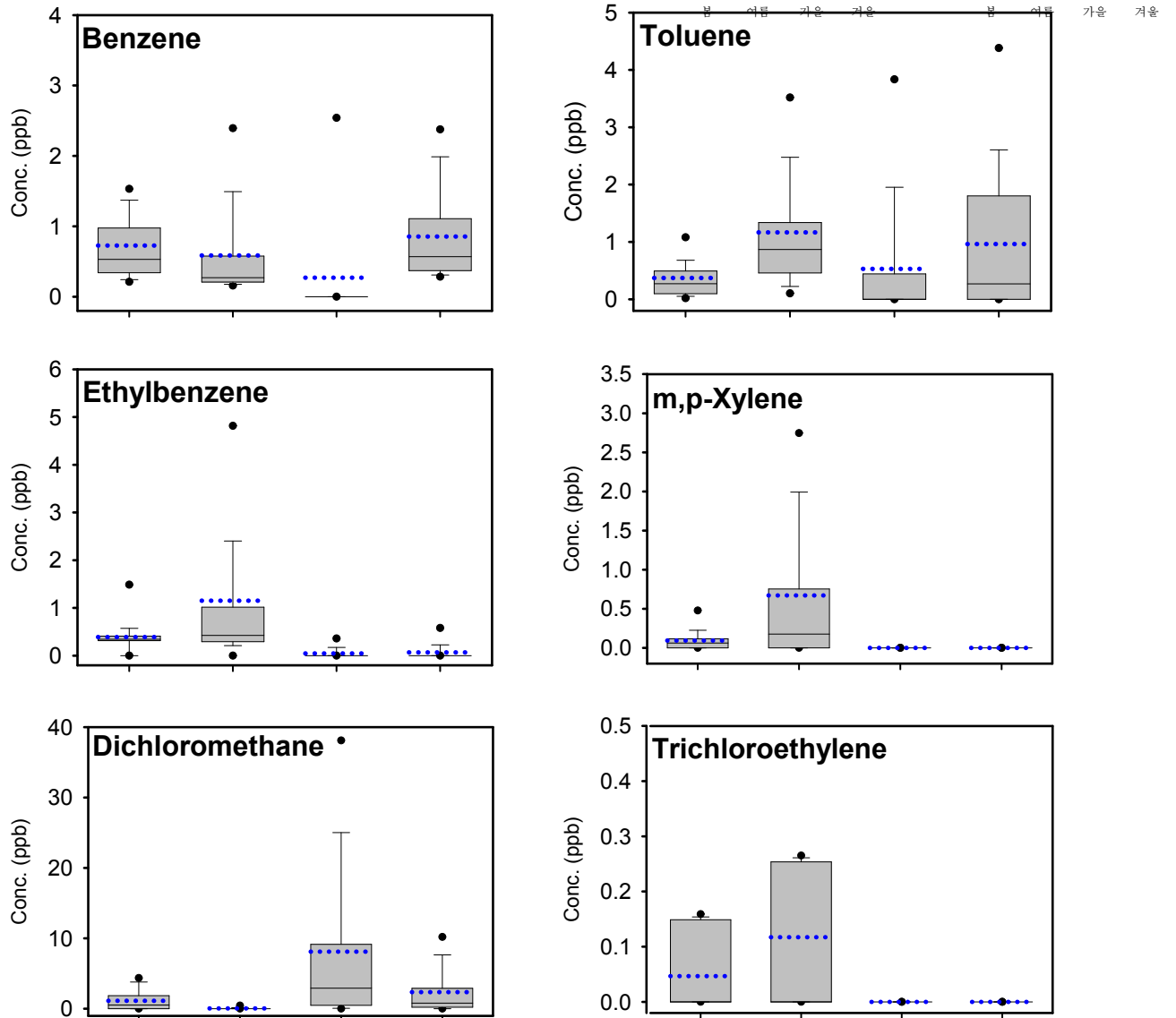
VOCs	봄철 (n=14)				여름철 (n=14)				가을철 (n=14)				겨울철 (n=14)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
1,3-Butadiene	0.03	N.D	0.08	0.24	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.07	N.D	0.17	0.46
1,1-Dichloroethane	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dichloromethane	0.85	0.95	0.74	2.31	0.08	N.D	0.19	0.52	15.58	10.52	14.44	48.72	1.16	0.52	1.86	6.62
Chloroform	0.23	0.22	0.04	0.32	0.02	N.D	0.04	0.12	N.D	N.D	N.D	N.D	<0.01	N.D	0.01	0.03
Methyl chloroform	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzene	0.67	0.69	0.36	1.19	0.60	0.39	0.50	1.65	N.D	N.D	N.D	N.D	0.67	0.54	0.40	1.43
Carbontetrachloride	0.17	0.18	0.05	0.19	0.15	0.24	0.12	0.24	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Trichloroethylene	0.06	N.D	0.08	0.18	0.15	0.25	0.14	0.30	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Toluene	0.25	0.24	0.19	0.62	0.75	0.56	0.58	2.34	0.17	N.D	0.43	1.48	0.65	0.26	0.80	1.97
Tetrachloroethylene	0.06	N.D	0.10	0.21	0.08	N.D	0.16	0.37	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Ethylbenzene	0.29	0.33	0.24	0.92	0.71	0.42	0.71	2.54	0.02	N.D	0.05	0.15	N.D	N.D	N.D	N.D
m,p-Xylene	0.05	0.03	0.07	0.23	0.26	0.05	0.38	1.03	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Styrene	0.09	N.D	0.11	0.27	0.35	0.33	0.13	0.63	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
o-Xylene	0.13	0.12	0.02	0.16	0.15	0.05	0.23	0.70	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

표 29. 대산지역 전체지점 계절별 VOCs 농도

(단위 : ppb)

VOCs	봄철 (n=70)				여름철 (n=70)				가을철 (n=70)				겨울철 (n=70)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
1,3-Butadiene	0.04	N.D	0.08	0.28	0.02	N.D	0.07	0.32	<0.01	N.D	0.02	0.15	0.70	N.D	1.80	7.20
1,1-Dichloroethane	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dichloromethane	1.14	0.53	1.40	4.83	0.04	N.D	0.13	0.68	8.11	2.93	13.64	83.39	2.36	0.80	3.70	19.41
Chloroform	0.21	0.20	0.06	0.37	0.03	N.D	0.05	0.16	N.D	N.D	N.D	N.D	0.04	N.D	0.13	0.83
Methyl chloroform	<0.01	N.D	0.02	0.16	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzene	0.73	0.53	0.65	4.78	0.59	0.27	0.79	5.12	0.27	N.D	1.11	6.24	0.86	0.57	0.69	3.70
Carbontetrachloride	0.16	0.19	0.07	0.20	0.11	N.D	0.12	0.24	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Trichloroethylene	0.05	N.D	0.07	0.21	0.12	N.D	0.13	0.30	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Toluene	0.37	0.27	0.47	2.92	1.17	0.87	1.16	6.35	0.53	N.D	1.20	5.75	0.96	0.27	1.31	4.99
Tetrachloroethylene	0.09	N.D	0.10	0.22	0.09	N.D	0.16	0.38	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Ethylbenzene	0.39	0.34	0.40	2.24	1.15	0.43	2.26	16.04	0.05	N.D	0.12	0.55	0.07	N.D	0.24	1.66
m,p-Xylene	0.09	0.06	0.16	0.90	0.67	0.18	1.31	8.71	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Styrene	0.18	0.18	0.16	0.82	0.45	0.33	0.54	3.80	0.01	N.D	0.09	0.77	0.04	N.D	0.25	1.93
o-Xylene	0.14	0.13	0.07	0.51	0.39	0.16	0.55	2.85	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

그림 28. 대산지역 계절별 VOCs 농도 비교



3. 유해대기측정망과 대기 중 VOCs 농도 비교

- 국내에서 환경부가 운영하는 유해대기물질측정망의 VOCs 농도자료(대기환경월보, 월 1회(2018년 3월, 6월 자료) 또는 월 2회(2018년 10월, 2019년 2월 자료))를 계절별로 본 연구의 측정농도와 비교하여, 위해성이 높은 BTEX 그룹을 포함한 주요 VOCs 대해 표 30과 그림 29에 제시함
- 대표적으로 석유화학단지가 입지해 있는 울산, 여수와 본 연구의 조사지역인 서산의 자료를 비교하여 정리하였음
- 본 연구에서 조사된 대산지역의 VOCs 농도는 전반적으로 석유화학단지 인근의 울산 여천동 측정망에 비해 낮았고, 여수 여천동 측정망에 비해 높거나 유사함
- 또한 대산지역의 검출농도가 대체로 같은 지역인 서산 독곶리의 측정망보다 다소 높게 나타났는데, 이러한 농도 차이의 요인으로 채취시기와 채취시기 동안의 기상조건, 채취횟수, 조사지점 등의 다양한 요건에 의해 측정값의 변화를 가져올 수 있기 때문에 정확한 원인 파악을 위해서는 더욱 정밀한 연구 조사가 필요할 것으로 보여짐

표 30. 국내 유해대기물질측정망과 본 연구의 VOCs 농도 비교

(단위 : ppb)

			Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m,p-Xylene	o-Xylene	Styrene	Trichloroethylene
봄철 (3월)	본 연구	대죽1리	0.95	0.57	0.70	0.20	0.18	0.25	0.07
		화곡2리	0.67	0.54	0.35	0.09	0.14	0.21	0.04
		대로3리	0.71	0.29	0.40	0.10	0.15	0.27	0.04
		오지리	0.64	0.21	0.22	0.04	0.12	0.10	0.03
		대산리	0.67	0.25	0.29	0.05	0.13	0.09	0.06
	측정망	서산 독곶리	0.05	0.24	0.01	0.04	0.01	0.01	N.D
		울산 신정동	0.08	0.37	0.03	0.09	0.02	0.01	N.D
		울산 여천동	1.67	7.14	1.74	4.56	1.41	0.24	0.09
		여수 여천동	0.18	0.21	0.05	0.02	0.01	0.06	N.D
여름철 (6월)	본 연구	대죽1리	1.09	1.95	0.94	0.73	0.52	0.88	0.13
		화곡2리	0.52	1.10	1.11	0.61	0.33	0.38	0.11
		대로3리	0.51	1.57	2.73	1.58	0.76	0.34	0.13
		오지리	0.21	0.47	0.27	0.18	0.17	0.29	0.07
		대산리	0.60	0.75	0.71	0.26	0.15	0.35	0.15
	측정망	서산 독곶리	0.76	1.05	0.25	0.52	0.14	0.36	N.D
		울산 신정동	0.20	1.37	0.38	0.34	0.27	0.10	0.06
		울산 여천동	1.48	5.77	1.80	5.49	1.66	0.33	0.06
		여수 여천동	0.33	0.98	0.26	0.21	0.16	0.11	0.01
가을철 (10월)	본 연구	대죽1리	0.81	0.92	0.11	N.D	N.D	0.06	N.D
		화곡2리	N.D	0.81	0.05	N.D	N.D	N.D	N.D
		대로3리	0.54	0.69	0.06	N.D	N.D	N.D	N.D
		오지리	N.D	0.06	0.01	N.D	N.D	N.D	N.D
		대산리	N.D	0.17	0.02	N.D	N.D	N.D	N.D
	측정망	서산 독곶리	1.32	0.72	0.35	0.16	0.05	0.14	N.D
		울산 신정동	0.18	0.82	0.23	0.22	0.15	0.13	0.07
		울산 여천동	0.26	3.93	0.93	2.44	0.84	0.23	0.01
		울산 전하동	0.21	0.66	0.54	0.57	0.49	0.01	0.11
		여수 여천동	0.61	0.81	0.22	0.14	0.12	0.18	N.D
겨울철 (2월)	본 연구	대죽1리	1.45	0.77	0.27	N.D	N.D	0.05	N.D
		화곡2리	0.68	1.52	0.03	N.D	N.D	0.17	N.D
		대로3리	0.94	1.17	0.05	N.D	N.D	N.D	N.D
		오지리	0.54	0.71	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
		대산리	0.67	0.65	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	측정망	서산 독곶리	1.24	1.17	0.87	0.24	0.08	1.18	0.05
		울산 신정동	0.32	0.89	0.16	0.13	0.10	0.09	0.10
		울산 여천동	1.50	16.50	3.27	15.78	7.19	0.44	0.05
		울산 전하동	0.30	0.59	0.28	0.29	0.25	N.D	0.07
		여수 여천동	0.26	0.29	0.03	0.01	0.01	0.01	N.D

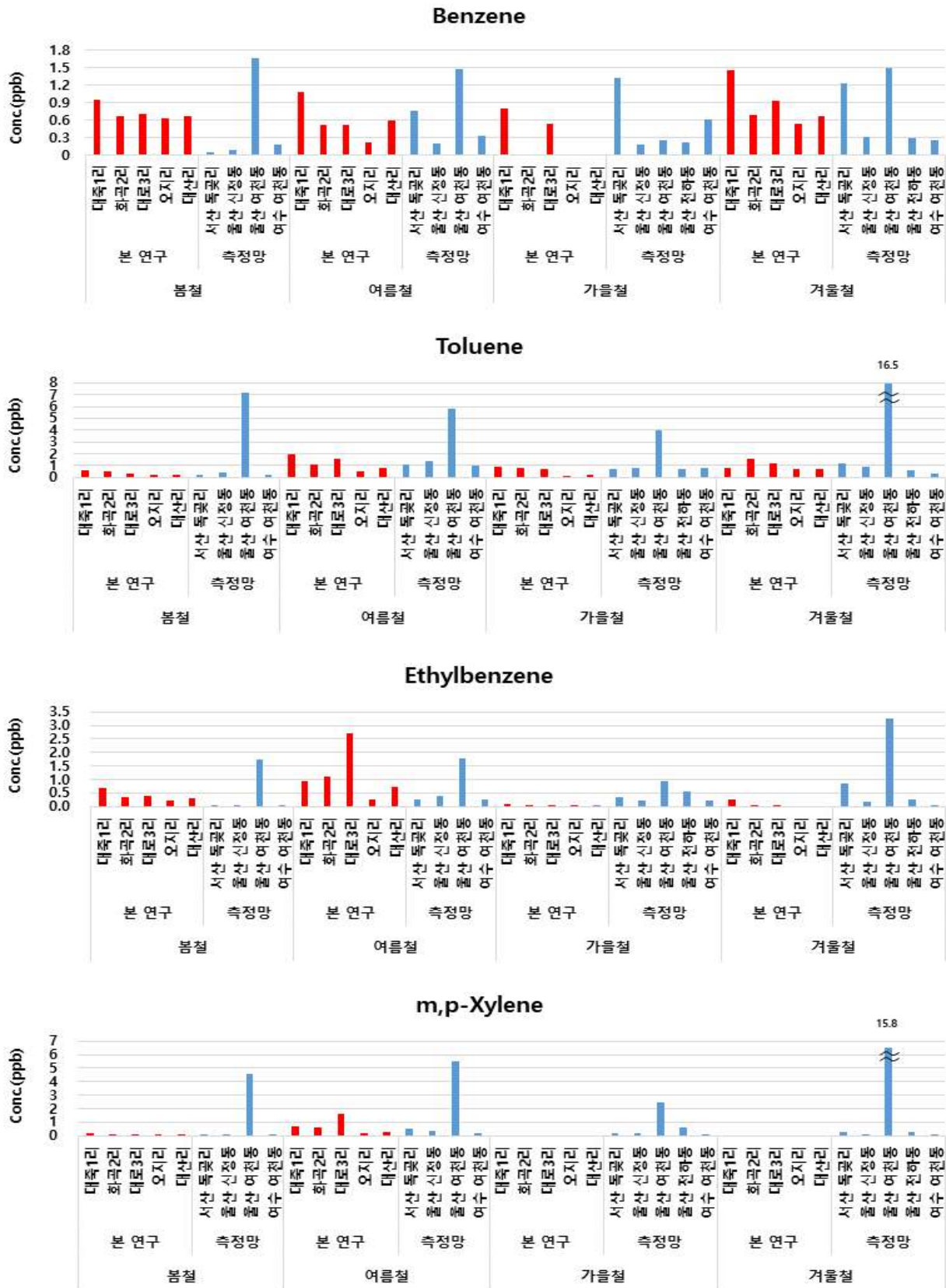


그림 29. 유해대기물질추정망과 대산지역 VOCs 측정농도 비교

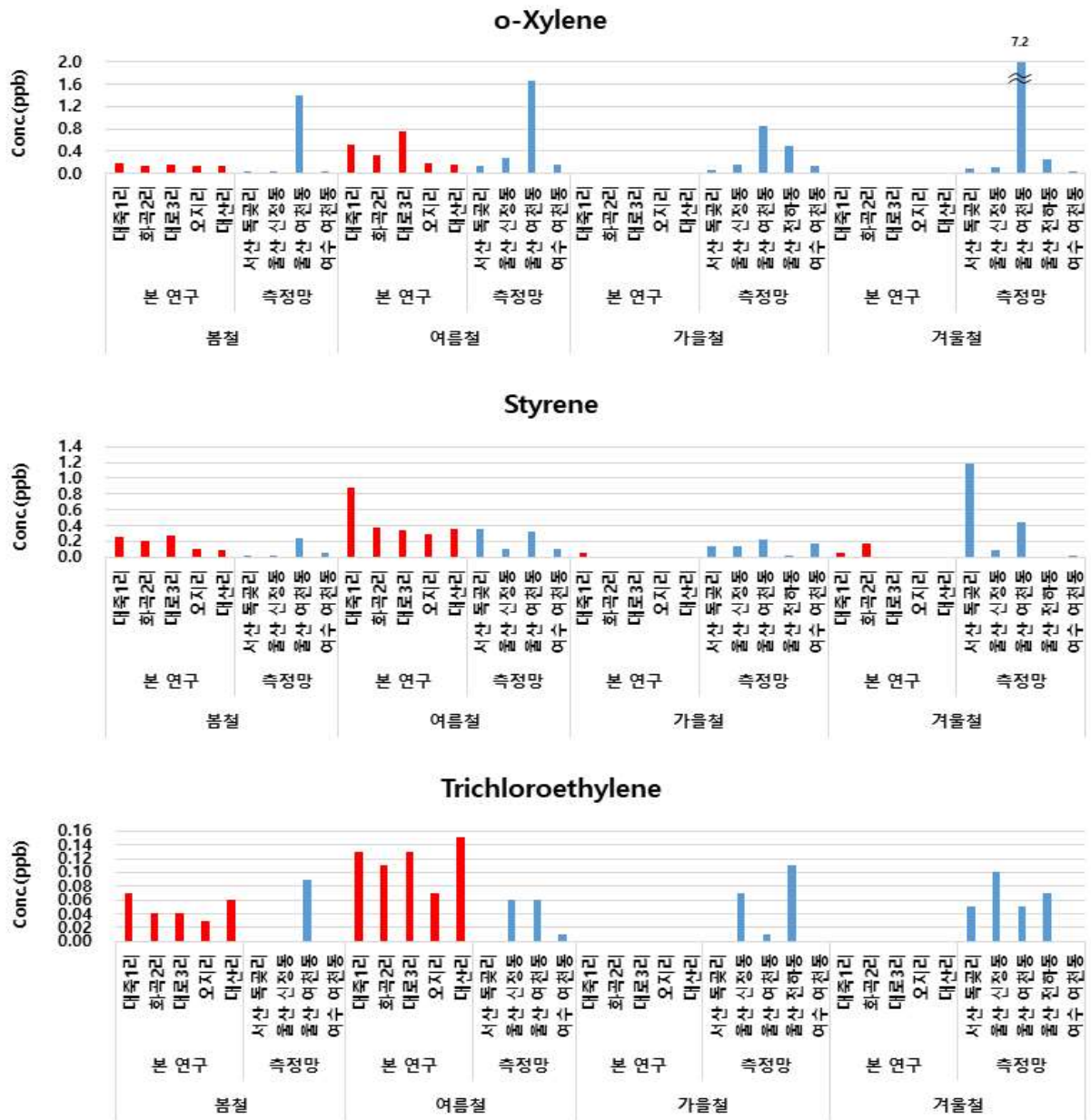


그림 29. 유해대기물질측정망과 대산지역 VOCs 측정농도 비교 (계속)

4. 공간오염도 조사

- Passive Sampler에 의한 대산지역 대기 중의 VOCs를 봄철(3월), 여름철(6월), 가을철(10월), 겨울철(2월)에 7일 동안 시료를 채취하는 것을 원칙으로 하여 총 12개 지점에서 측정함
- 총 10종의 VOC에 대한 자료 분석결과를 정리하여 표 31, 그림 30에 나타내었음

- 검출된 VOCs는 대산석유화학단지 인근의 독곶1리, 독곶2리, 대죽1리에서 농도가 높은 경향을 보여 검출된 VOCs가 산업단지의 영향을 받았다고 추측됨
- 또한 10종의 VOC 중 고농도로 검출된 benzene과 toluene의 계절별 공간분포 오염도 결과를 그림 31에 나타냄
- Benzene과 toluene의 경우도 계절에 관계없이 산업단지에 인접해 있는 독곶1리, 독곶2리, 대죽1리에서 높은 농도 특성을 보였음

표 31. Passive Sampler에 의한 대산지역 측정지점별 VOCs 농도 (단위 : ppb)

	Benzene	Toluene	Chlorobenzene	Ethylbenzene	m,p-Xylene	o-Xylene	Styrene	1,3-Dichlorobenzene	1,4-Dichlorobenzene	1,2-Dichlorobenzene
화곡1리	3.46	6.62	0.42	2.21	1.65	0.20	1.32	N.D	N.D	N.D
화곡2리	3.94	6.02	0.16	1.47	1.02	0.67	0.53	N.D	N.D	N.D
화곡3리	2.75	4.84	0.12	1.32	1.04	0.05	0.62	N.D	N.D	N.D
독곶1리	7.20	7.97	0.17	2.34	2.59	0.19	1.13	N.D	N.D	N.D
독곶2리	9.71	8.39	0.23	3.82	1.55	2.11	1.00	N.D	N.D	N.D
대죽1리	12.63	8.08	0.31	3.60	1.41	4.85	0.72	N.D	N.D	N.D
대로1리	3.53	3.75	0.07	0.93	0.57	0.11	0.40	N.D	N.D	N.D
대로2리	4.87	5.24	0.10	1.71	0.92	0.65	0.48	N.D	N.D	N.D
대로3리	5.86	5.31	0.08	1.67	0.86	0.77	0.56	N.D	N.D	N.D
기운1리	5.12	5.16	0.08	1.66	0.91	0.66	0.54	N.D	N.D	N.D
기운2리	4.86	5.75	0.12	1.60	0.83	0.34	0.52	N.D	N.D	N.D
오지1리	3.26	4.08	0.06	0.92	0.67	0.05	0.45	N.D	N.D	N.D
오지2리	3.10	4.18	0.04	0.92	0.62	0.03	0.49	N.D	N.D	N.D
대산1리	3.52	4.70	0.09	1.34	0.89	0.23	0.74	N.D	N.D	N.D
대산2리	3.70	4.58	0.04	1.27	0.76	0.14	0.69	N.D	N.D	N.D
대산3리	3.88	4.73	0.12	1.13	0.73	0.18	0.53	N.D	N.D	N.D
대산4리	3.65	5.78	0.05	1.57	0.95	0.13	0.76	N.D	N.D	N.D
대산5리	4.23	4.92	0.13	1.26	0.78	0.21	0.53	N.D	N.D	N.D
대산6리	3.52	4.27	0.09	1.14	0.75	0.15	0.60	N.D	N.D	N.D
운산1리	3.75	4.58	0.08	1.23	0.71	0.24	0.53	N.D	N.D	N.D
운산2리	3.97	4.88	0.10	1.30	0.79	0.18	0.57	N.D	N.D	N.D
운산3리	2.62	3.44	0.07	1.27	0.64	0.03	0.46	N.D	N.D	N.D
운산4리	3.14	4.47	0.11	1.35	0.88	0.01	0.78	N.D	N.D	N.D
운산5리	3.22	4.95	0.10	1.60	0.81	0.22	0.69	N.D	N.D	N.D
영탑1리	3.07	4.32	0.09	1.11	0.67	N.D	0.55	N.D	N.D	N.D
영탑2리	3.18	4.36	0.06	1.01	0.63	0.03	0.57	N.D	N.D	N.D
영탑3리	3.71	5.41	0.14	1.38	0.87	0.18	0.74	N.D	N.D	N.D
웅도리	1.76	2.58	0.06	0.59	0.39	0.03	0.31	N.D	N.D	N.D
명지j 타워	4.46	4.81	0.11	1.55	0.90	0.59	0.68	N.D	N.D	N.D
별천포	3.16	5.58	0.07	1.14	0.98	N.D	0.66	N.D	N.D	N.D
대산종합시장	4.51	4.63	0.13	1.18	0.84	0.40	0.69	N.D	N.D	N.D

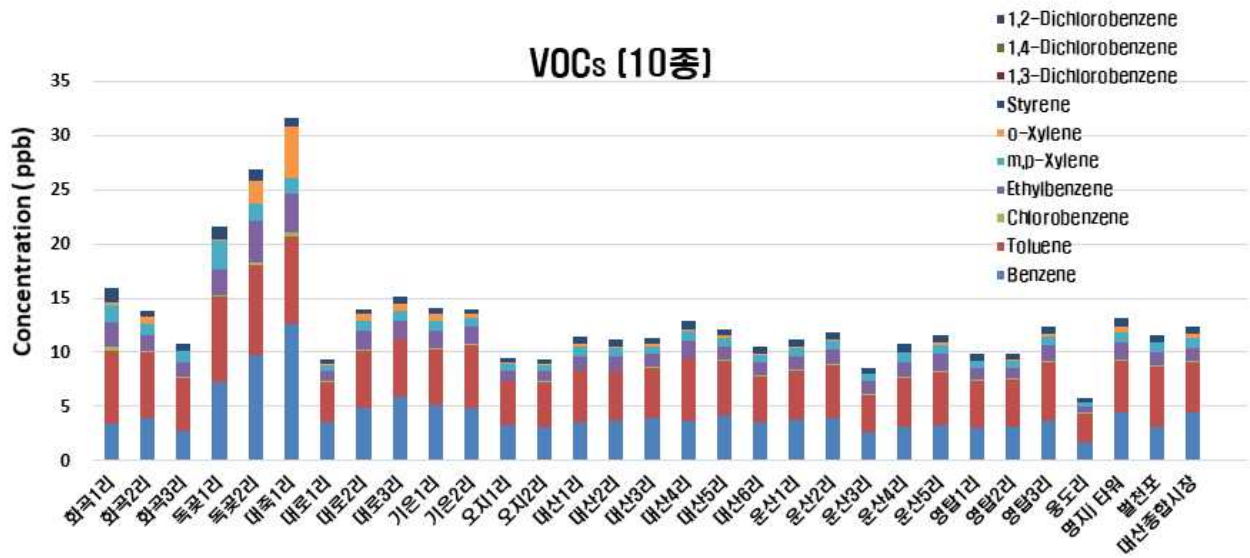


그림 30. 대산지역 측정지점별 VOCs 공간오염도

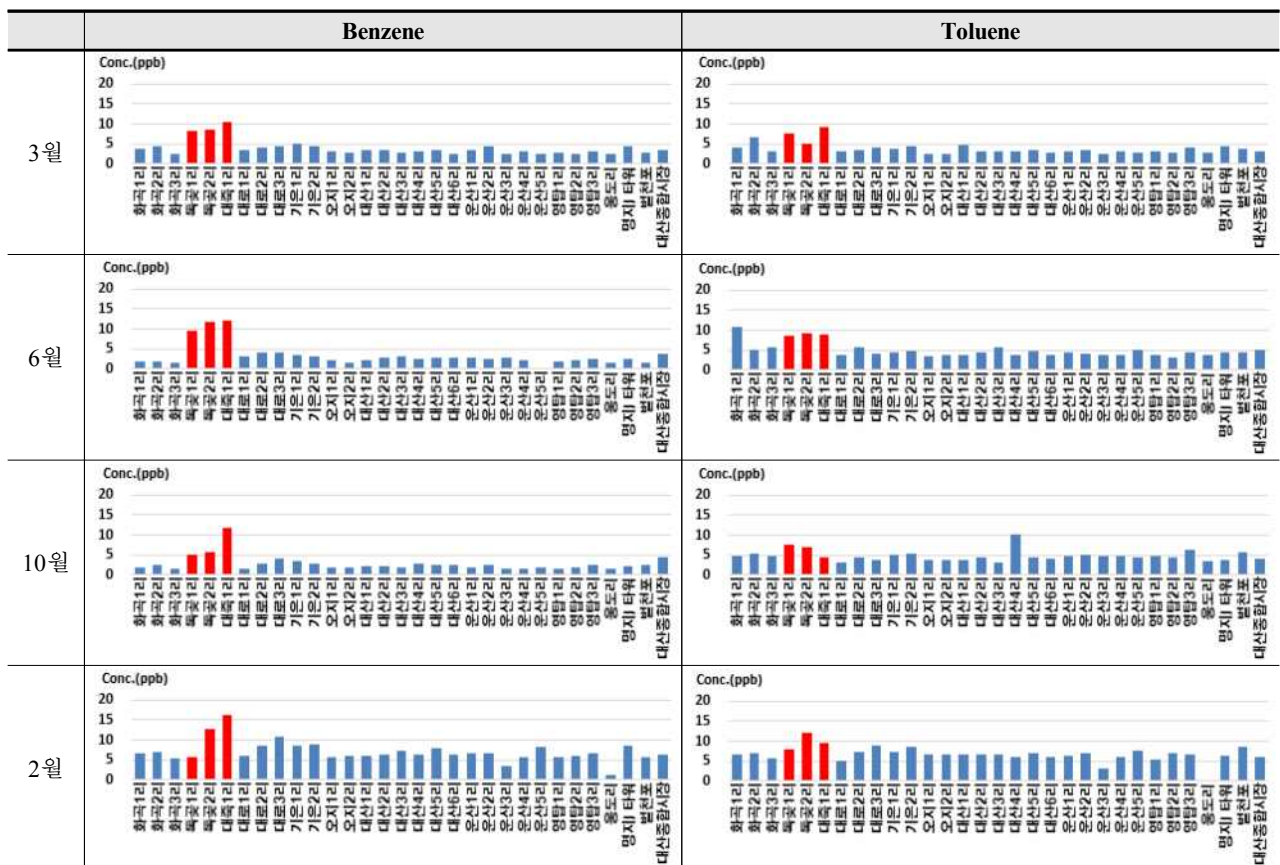


그림 31. 대산지역 계절별 benzene, toluene 공간오염도

5. 이동측정차량

- VOC 물질들 중 위해성이 높은 benzene의 농도를 이동하는 차량에서 측정하였음
- 조사지점은 대산 쓰레기매립장, 대죽1리 마을회관, 독곶4거리, 서산화학재난합동방재센터 총 4곳으로 그림 32에 나타내었음
- 표 32 ~ 표 35에는 각 측정지점별 benzene 농도를 정리하였고, 그림 33 ~ 그림 36에는 benzene의 풍향별 농도 변화를 표현하였음
- 대산 쓰레기매립장은 대산석유화학단지 내에 존재하여 benzene의 평균농도가 다른 측정지점들보다 높고, 평균농도가 풍향에 따라 변화하는 특성을 보이지는 않음
- 반면 대죽1리 마을회관과 독곶사거리에서는 북풍의 영향이 클 때 benzene의 농도가 높아져 대산석유화학단지에 존재하는 배출원의 영향을 받는 지역이라는 것을 알 수 있음
- 서산화학재난합동방재센터는 다른 지점들에 비해 산업단지의 영향을 가장 적게 받을 것으로 예상되는 지점이었는데, 측정결과도 다른 지점들보다 benzene의 농도가 낮고 풍향에 따른 평균농도 변화가 크게 나타나지 않은 것으로 나타났음



그림 32. 이동측정차량에 의한 VOCs 조사지점 위치도

표 32. 대산 쓰레기매립장 측정시기별 benzene 농도

(단위 : ppb)

년도	측정시기	평균	중양값	최대	표준편차
2018년	03.01-03.07	7.8	2.7	68.2	11.5
	08.31-09.06	13.6	11.1	57.6	11.4
2019년	03.29-04.04	26.4	14.2	228.8	39.3
	05.24-05.30	14.4	3.2	245.6	32.6
	05.31-06.04	32.7	11.8	477.9	72.8
	06.19-06.25	31.2	16.3	155.3	35.5
	08.14-08.21	5.8	0.6	80.4	14.5

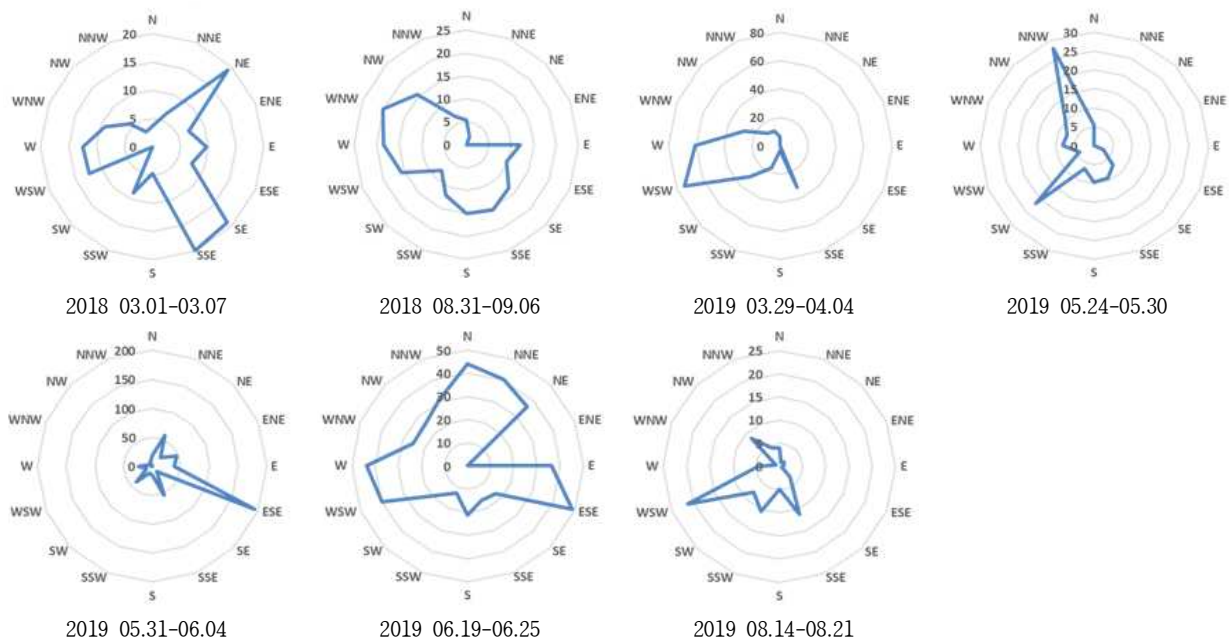


그림 33. 대산 쓰레기매립장 풍향별 benzene 농도 분포

표 33. 대죽1리 마을회관 benzene 농도

(단위 : ppb)

년도	측정시기	평균	중양값	최대	표준편차
2018년	03.15-03.21	11.4	8.3	257.4	25.8
	09.07-09.13	2.7	0.8	30.0	4.1
2019년	03.13-03.19	1.3	0.6	10.9	1.8
	05.22-05.28	3.9	0.8	47.5	8.5
	05.29-06.04	2.1	0.7	52.2	6.2
	06.05-06.11	4.3	1.0	72.3	10.1
	06.12-06.18	8.6	1.8	66.4	12.5
	08.15-08.21	3.9	1.1	43.4	7.2

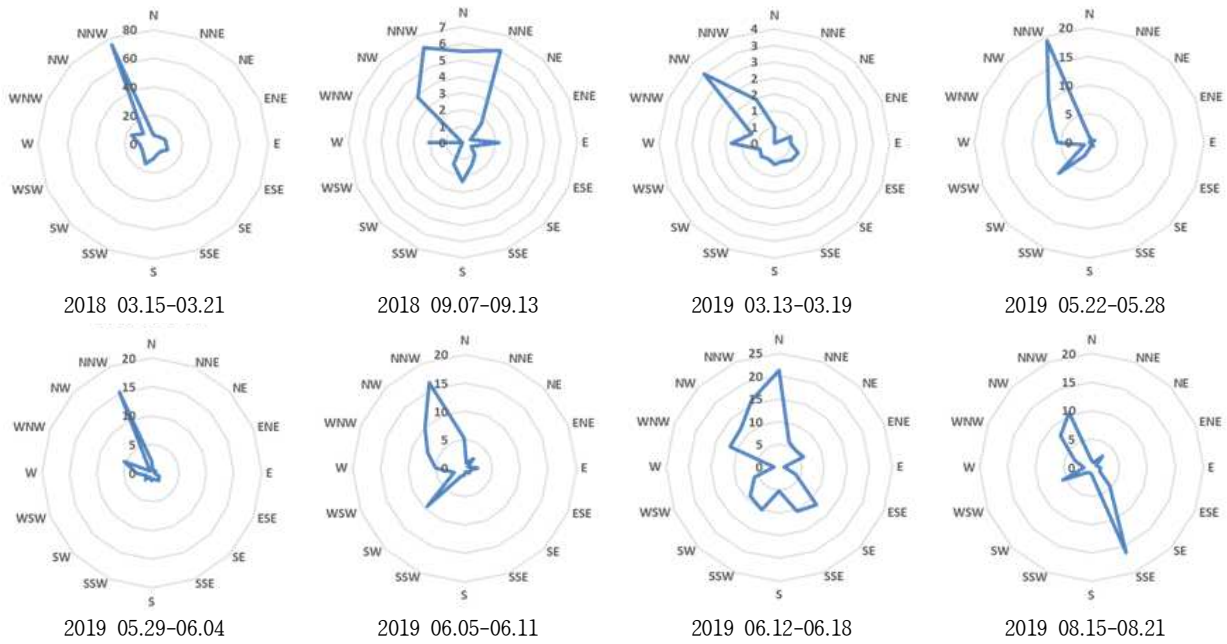


그림 34. 대죽1리 마을회관 풍향별 농도 분포

표 34. 독곶사거리 측정시기별 benzene 농도 (단위 : ppb)

년도	측정시기	평균	중양값	최대	표준편차
2018년	03.08-03.14	2.3	0.0	52.0	6.3
	06.15-06.21	3.5	1.9	34.7	4.8
	09.14-09.20	5.5	1.4	36.5	8.1
	10.19-10.25	1.1	0.6	6.4	1.1
2019년	02.16-02.26	2.8	1.8	20.9	3.0
	03.08-03.14	14.3	4.0	149.7	28.3
	05.17-05.19	3.6	0.5	45.2	9.6
	05.18-05.23	1.2	0.5	39.7	4.1
	06.05-06.11	10.6	1.9	103.2	21.0
	08.23-08.30	2.2	1.1	20.9	2.9

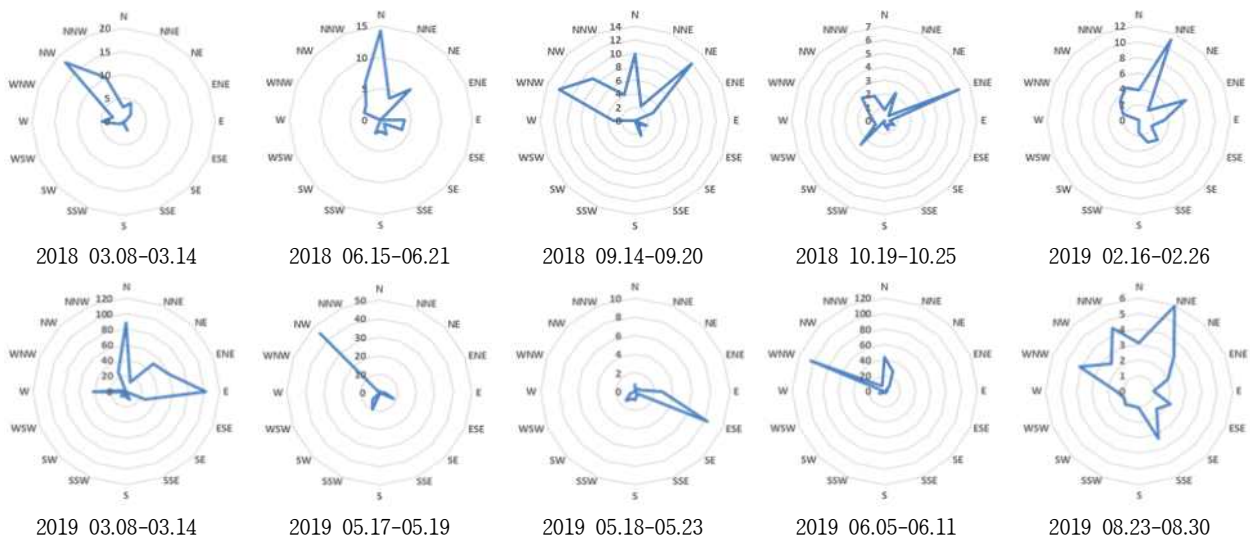


그림 35. 독곶사거리 풍향별 benzene 농도 분포

표 35. 서산화화재난합동방재센터 측정시기별 benzene 농도 (단위 : ppb)

년도	측정시기	평균	중양값	최대	표준편차
2019년	02.27-03.05	2.5	1.9	12.5	2.1
	06.12-06.18	4.4	0.9	41.1	7.9
	08.22-08.28	1.8	0.9	11.7	2.2

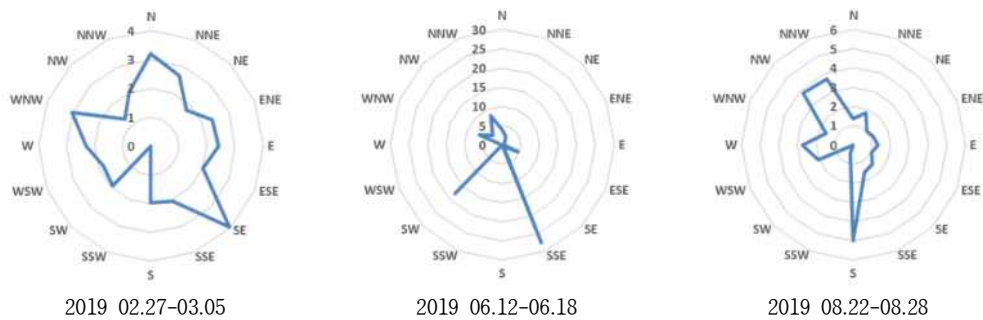


그림 36. 서산화화재난합동방재센터 풍향별 benzene 농도 분포

제 2 절 카보닐화합물

- 카보닐화합물은 카보닐기($>C=O$)를 가진 화합물이며, 알데하이드·케톤·카복실산·에스터·아마이드·산염화물 등으로 분류할 수 있으며 생산공정이나 차량과 같은 1차오염원에서 배출되거나 대기 중 탄화수소류의 광산화에 의해 2차적으로 생성됨 (Chang and Lee, 1995)
- 도시지역의 카보닐화합물은 에탄올 등의 산소함유 연료를 사용하는 차량에서 상당량 배출되는데, 포름알데하이드와 아세트알데하이드가 가장 많은 부분을 차지한다고 알려져 있음 (Magnusson et al., 2002)
- Propionaldehyde, butyraldehyde, benzaldehyde 등은 연료의 연소공정을 통해 배출되기도 하고(Zhang and Smith, 1999), 특히 formaldehyde의 경우 눈, 피부 및 호흡기에 자극을 주거나 피부에 과민성을 유발할 수 있으며, 건축자재에서 배출되면 새집증후군을 유발하기도 함 (국립환경과학원, 2016)
- 또한 IARC에서는 formaldehyde를 ‘사람에게 암을 일으키는 물질’인 발암1등급 물질로, acetaldehyde를 ‘사람에게 암을 일으킬 가능성이 있는 물질’인 발암2B 등급으로 분류하고 있음
- 본 연구에서 카보닐화합물 측정은 카보닐화합물과 2,4-DNPH와의 반응에 의해 생성되는 DNPH 유도체를 분석하는 방법으로, 채취 시 알데하이드류 뿐만 아니라 케톤과도 반응하여 안정한 유도체를 형성하는 2,4-DNPH 유도체화 방법으로 측정함

1. 카보닐화합물의 출현특성

- 본 연구에서는 대기 중에서 검출되는 카보닐화합물 중 환경학적 중요성이 높은 formaldehyde, acetaldehyde, acetone, acrolein, 2-butanone(또는 methyl ethyl ketone), propionaldehyde를 포함한 총 10종의 물질에 대한 농도분포 특성을 조사함
- 표 36은 대산지역 전체 조사지점에서 카보닐화합물의 측정자료(n=280)에 대해 정리하였고, 그림 37에 주요 카보닐화합물의 측정지점별 농도 분포를 박스도표로 표현하였음
- 카보닐화합물 중 formaldehyde, acetaldehyde, acetone은 100%의 높은 검출빈도와 높은 평균농도를 보여 대산지역 내에 상존하는 주요 화합물임을 알 수 있었음
- 이외에 2-butanone은 약 90%의 높은 검출빈도를 보였고, propionaldehyde, butyraldehyde, benzaldehyde는 50% 이상의 검출빈도를 보였음
- 총 10종의 물질 중 3종(formaldehyde, acetaldehyde, acetone)은 3 ppb 이상의 농도를

보였고, 2-butanone은 1 ppb 이상, 이외의 6종의 물질은 평균농도 0.3 ppb 미만을 보임

- 탄소, 목재, 설탕 등 대부분 유기물질의 불완전연소 과정에서 생성되므로 연기와 불꽃 속에 포함되어 있고 대기 중에도 미량 존재하고 대기 중에 메탄이 광화학반응에 의해 산화되며 생성되는 2차오염물질(secondary pollutants)이기도 한 formaldehyde의 경우, 검출빈도가 100%이고, 평균농도는 3.55 ppb로 나타났음
- 가죽 및 고무 제조산업에서 접합용 용매로 사용되는 acetone은 평균농도 3.38 ppb, 검출빈도 100%를 보임
- 무색의 휘발성 액체로서 특유의 톡 쏘는 고약한 냄새가 나며, 눈과 피부에 자극성이 있고 인체발암 가능성이 있고 대표적인 악취물질 중 하나인 acetaldehyde는 평균농도 3.25 ppb였고, 검출빈도 100%로 나타남
- 평균농도 1.40 ppb, 검출빈도 또한 89.3%로 검출된 2-butanone은 표면코팅제, 접착제, 인쇄잉크, 살충제, 폴리스티렌의 중합공정, 스티렌-부타디엔 고무, 아크릴로니트릴-부타디엔, 활엽수의 펄프 등의 추출용매로 사용되며, 윤활유, 페인트, 시멘트와 접착제의 탈납 및 무색 합성수지, 무연화약, 인공가죽, 고무, 라커, 광택제, 접착제의 제조에 사용됨 (ACGIH, 1991; Ashford, 1994)
- 측정지점별로 살펴보면, 높은 빈도로 검출되는 1~5순위 물질의 종은 모든지점에서 동일하게 나타났으며, 대죽1리와 오지리, 대산리에서는 butyraldehyde, 화곡2리와 대로3리에서는 benzaldehyde가 6번째로 높은 빈도로 나타났음
- 평균농도 측면에서 살펴보면, formaldehyde의 경우 대산리 4.47 ppb > 대죽1리 3.98 ppb > 대로3리 3.61 ppb > 화곡2리 3.12 ppb > 오지리 2.56 ppb 순으로 측정됨
- Formaldehyde가 가장 높은 농도로 검출된 대산리는 석유화학단지의 영향을 가장 적게 받을 것으로 예상되는 대조지역으로 formaldehyde가 석유화학단지의 영향뿐만 아니라 주거지역 내에 존재하는 배출원의 영향을 받은 것으로 보임
- 모든 측정지점에서 공통적으로 농도 1~3순위 물질은 formaldehyde, acetaldehyde, acetone으로 나왔으며 그 순위는 조금씩 상이하였고, 농도 4순위는 2-butanone으로 나타남

표 36. 대산지역 측정지점별 카보닐화합물 농도

(단위 : ppb)

Carbonyl	전체지점(n=280)					대죽1리(n=56)					화곡2리(n=56)				
	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도(%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도(%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도(%)
Formaldehyde	3.55	2.73	29.13	2.90	100.0	3.98	2.84	29.13	4.25	100.0	3.12	2.52	8.95	1.88	100.0
Acetaldehyde	3.25	2.78	17.30	1.92	100.0	3.27	2.54	11.81	2.02	100.0	3.05	2.71	7.22	1.49	100.0
Acetone	3.38	2.93	13.29	2.14	100.0	3.73	2.98	10.68	2.54	100.0	3.66	3.11	13.29	2.39	100.0
Acroleine	0.02	N.D	1.10	0.11	3.6	0.05	N.D	1.10	0.2	7.1	0.01	N.D	0.42	0.06	1.8
Propionaldehyde	0.21	0.16	1.34	0.23	69.3	0.26	0.21	1.2	0.26	75.0	0.20	0.14	0.82	0.22	64.3
2-Butanone	1.40	0.65	6.99	1.59	89.3	1.57	0.70	6.13	1.81	89.3	1.55	0.90	6.65	1.60	100.0
Butyraldehyde	0.18	0.08	1.25	0.27	57.1	0.24	0.09	1.25	0.33	58.9	0.19	0.11	1.09	0.27	55.4
Benzaldehyde	0.10	0.04	2.32	0.22	51.8	0.17	0.05	2.32	0.37	55.4	0.09	0.05	1.26	0.18	57.1
iso-Valeraldehyde	<0.01	N.D	0.29	0.02	3.6	0.01	N.D	0.29	0.04	12.5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
n-Valeraldehyde	0.03	N.D	0.60	0.06	31.4	0.05	N.D	0.6	0.10	33.9	0.02	N.D	0.14	0.04	32.1

표 36. 대산지역 측정지점별 카보닐화합물 농도 (계속)

(단위 : ppb)

Carbonyl	대로3리(n=56)					오지리(n=56)					대산리(n=56)				
	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도(%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도(%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도(%)
Formaldehyde	3.61	3.01	11.94	2.31	100.0	2.56	2.53	7.29	1.39	100.0	4.47	3.63	16.05	3.41	100.0
Acetaldehyde	3.19	2.66	8.23	1.59	100.0	2.60	2.64	5.50	1.14	100.0	4.15	3.46	17.30	2.71	100.0
Acetone	3.21	2.86	8.17	1.86	100.0	2.80	2.85	6.68	1.55	100.0	3.51	2.91	8.61	2.13	100.0
Acroleine	0.01	N.D	0.25	0.04	3.6	0.01	N.D	0.55	0.07	1.8	0.01	N.D	0.39	0.07	3.6
Propionaldehyde	0.22	0.16	1.34	0.25	69.6	0.14	0.12	0.50	0.14	64.3	0.25	0.18	1.15	0.25	73.2
2-Butanone	1.31	0.62	5.96	1.59	82.1	1.13	0.58	5.78	1.47	82.1	1.44	0.86	6.99	1.49	92.9
Butyraldehyde	0.16	0.06	0.86	0.24	53.6	0.13	0.07	0.86	0.21	53.6	0.20	0.09	1.13	0.29	64.3
Benzaldehyde	0.09	0.06	0.71	0.14	57.1	0.04	N.D	0.81	0.11	30.4	0.11	0.06	0.75	0.18	58.9
iso-Valeraldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	<0.01	N.D	0.04	0.01	3.6	<0.01	N.D	0.03	N.D	1.8
n-Valeraldehyde	0.03	N.D	0.14	0.04	32.1	0.02	N.D	0.10	0.03	26.8	0.03	N.D	0.19	0.05	32.1

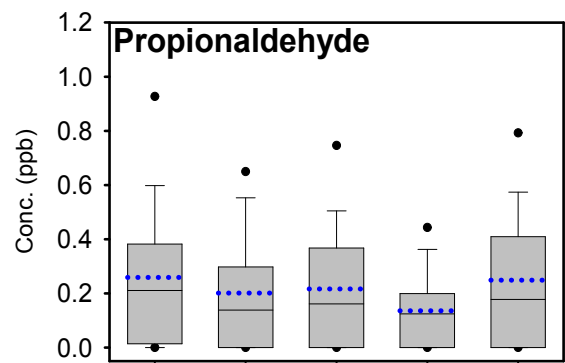
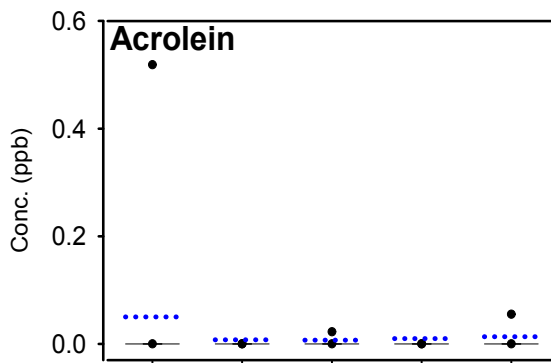
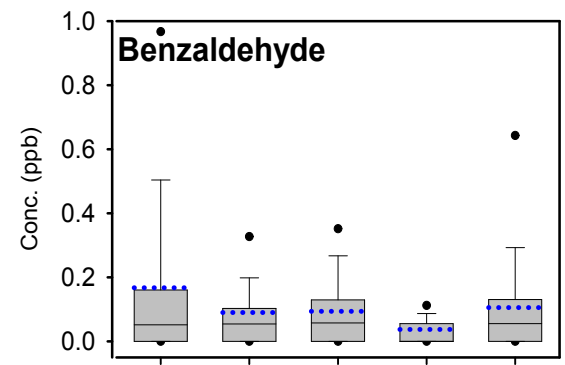
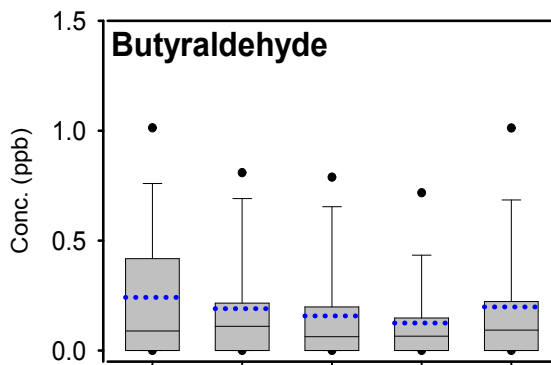
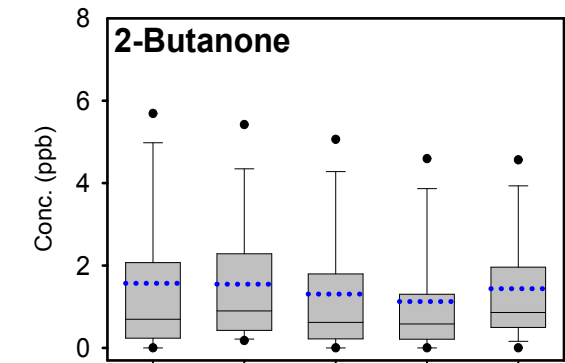
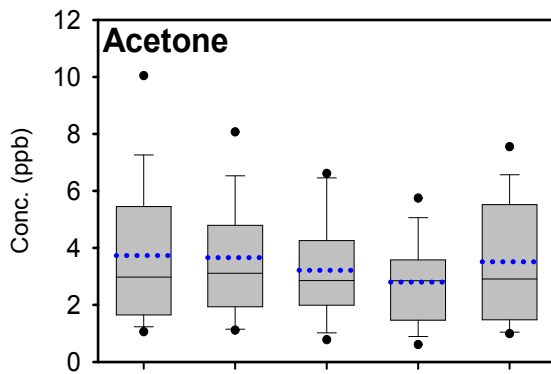
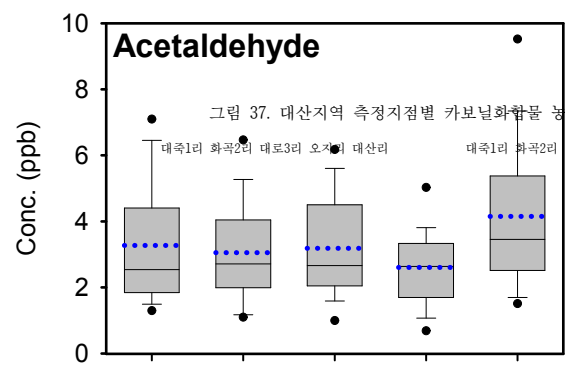
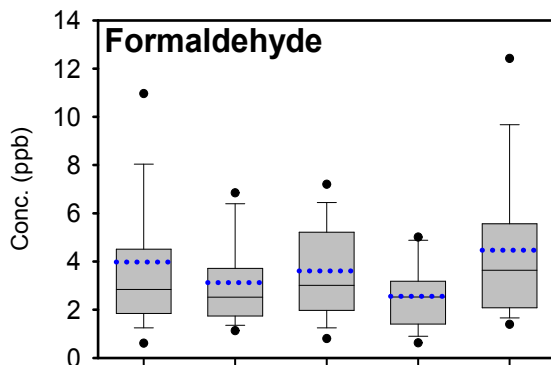


그림 37. 대산지역 측정지점별 카보닐화합물 농도 분포

대죽1리 화곡2리 대로3리 오거리 대산리 대죽1리 화곡2리 대로3리 오거리 대산리

2. 카보닐화합물의 계절별 농도분포

- 표 37 ~ 표 41에 측정 계절에 따른 카보닐화합물의 평균농도와 중앙값, 표준편차, 최댓값을 정리하여 나타냈고, 또한 이를 취합하여 종합적으로 카보닐화합물 전체 측정 자료를 계절별로 정리하여 표 42에, 계절별 농도 분포 현황을 그림 38과 같이 나타냈음
- Formaldehyde는 대죽1리, 화곡2리, 대로3리, 대산리에서는 여름철(6월) 평균농도가 가장 높았고, 오지리에서는 가을철(10월)에 높았음
- Formaldehyde 이외의 다른 카보닐화합물들도 모든 지점에서 여름철에 가장 높은 농도 수준을 보임
- 대산지역에서 4계절 측정시기 동안 타 계절과 비교하여 살펴보면, 여름철에 카보닐화합물의 측정농도가 전반적으로 높게 나타났고 겨울철(2월)에 감소하였음
- 이는 카보닐화합물이 제조공정이나 차량에서 직접 배출될 뿐만 아니라 광산화생성물이기 때문이라고 추측되는데, 즉 여름철에 사업장에서의 배출뿐만 아니라 높은 일사량으로 인한 광화학 반응과 기온상승이 카보닐화합물의 농도 상승에 크게 기여했을 것으로 판단됨

표 37. 대산지역 대죽1리 계절별 카보닐화합물 농도

(단위 : ppb)

Carbonyl	봄철 (n=14)				여름철 (n=14)				가을철 (n=14)				겨울철 (n=14)			
	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대
Formaldehyde	2.77	1.80	2.32	9.86	7.01	5.02	6.82	29.13	3.43	2.84	2.97	10.75	2.72	2.20	1.51	6.54
Acetaldehyde	3.04	2.54	1.37	7.06	5.46	4.72	2.17	11.81	2.95	2.52	1.52	6.86	1.64	1.77	0.41	2.11
Acetone	2.06	1.98	1.00	4.34	6.44	5.62	2.22	10.68	4.70	4.35	2.20	10.01	1.73	1.57	0.47	2.58
Acrolein	N.D	N.D	N.D	N.D	0.11	N.D	0.31	1.10	0.09	N.D	0.25	0.90	N.D	N.D	N.D	N.D
Propionaldehyde	0.16	0.10	0.17	0.66	0.53	0.45	0.26	1.20	0.23	0.21	0.26	0.92	0.11	0.08	0.12	0.28
2-Butanone	0.53	0.42	0.48	1.62	3.83	4.23	1.72	6.13	1.18	0.70	1.41	5.36	0.74	0.36	1.08	3.92
Butyraldehyde	0.09	0.07	0.10	0.37	0.72	0.69	0.25	1.25	0.15	0.13	0.20	0.73	0.01	N.D	0.05	0.18
Benzaldehyde	0.10	N.D	0.18	0.62	0.39	0.12	0.62	2.32	0.17	0.07	0.29	1.10	0.02	N.D	0.03	0.07
iso-Valeraldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.05	0.02	0.08	0.29	N.D	N.D	N.D	N.D
n-Valeraldehyde	0.01	N.D	0.02	0.08	0.14	0.10	0.13	0.60	0.05	N.D	0.10	0.35	N.D	N.D	N.D	N.D

표 38. 대산지역 화곡2리 계절별 카보닐화합물 농도

(단위 : ppb)

Carbonyl	봄철 (n=14)				여름철 (n=14)				가을철 (n=14)				겨울철 (n=14)			
	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대
Formaldehyde	2.87	2.41	2.09	8.95	5.05	5.08	1.60	7.67	2.57	2.27	1.40	6.66	2.00	2.15	0.56	2.88
Acetaldehyde	3.36	3.12	1.27	7.22	4.68	4.74	1.18	6.67	2.38	2.41	0.84	4.27	1.78	1.73	0.74	3.74
Acetone	2.85	2.20	3.11	13.29	5.72	5.75	1.22	7.71	4.06	3.96	1.99	10.08	2.00	1.86	0.81	3.50
Acrolein	N.D	N.D	N.D	N.D	0.03	N.D	0.11	0.42	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Propionaldehyde	0.19	0.14	0.16	0.72	0.43	0.47	0.20	0.82	0.05	N.D	0.14	0.47	0.13	N.D	0.19	0.64
2-Butanone	0.89	0.62	0.80	3.18	3.27	3.58	2.05	6.65	0.77	0.50	0.68	2.47	1.26	0.76	1.06	3.64
Butyraldehyde	0.09	0.11	0.07	0.26	0.57	0.64	0.30	1.09	0.09	N.D	0.11	0.30	0.01	N.D	0.05	0.19
Benzaldehyde	0.06	N.D	0.08	0.25	0.22	0.11	0.32	1.26	0.05	0.05	0.05	0.12	0.03	N.D	0.06	0.22
iso-Valeraldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
n-Valeraldehyde	0.01	N.D	0.03	0.11	0.07	0.06	0.04	0.14	0.01	0.00	0.02	0.06	N.D	N.D	N.D	N.D

표 39. 대산지역 대로3리 계절별 카보닐화합물 농도

(단위 : ppb)

Carbonyl	봄철 (n=14)				여름철 (n=14)				가을철 (n=14)				겨울철 (n=14)			
	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대
Formaldehyde	2.87	2.09	1.93	6.18	5.35	5.22	2.24	11.94	3.86	3.09	2.57	10.03	2.37	2.24	1.32	5.81
Acetaldehyde	3.07	2.70	1.09	5.09	5.00	4.70	1.29	8.23	2.80	2.41	1.30	6.17	1.88	2.03	0.80	3.57
Acetone	2.14	2.18	0.71	3.13	5.29	5.21	1.10	6.63	3.77	3.24	1.76	8.17	1.66	1.40	0.98	3.87
Acrolein	N.D	N.D	N.D	N.D	0.02	N.D	0.07	0.25	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	N.D	0.04	0.15
Propionaldehyde	0.17	0.11	0.12	0.40	0.36	0.39	0.18	0.76	0.09	N.D	0.21	0.74	0.24	0.19	0.36	1.34
2-Butanone	0.64	0.62	0.30	1.33	2.85	2.78	2.10	5.96	0.83	0.45	0.89	2.97	0.91	N.D	1.39	4.19
Butyraldehyde	0.09	0.08	0.05	0.20	0.49	0.55	0.27	0.86	0.02	N.D	0.08	0.28	0.02	N.D	0.06	0.18
Benzaldehyde	0.10	N.D	0.14	0.31	0.13	0.09	0.14	0.57	0.11	0.06	0.19	0.71	0.03	N.D	0.05	0.17
iso-Valeraldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
n-Valeraldehyde	0.01	N.D	0.02	0.07	0.09	0.09	0.02	0.14	0.01	N.D	0.03	0.08	N.D	N.D	N.D	N.D

표 40. 대산지역 오지리 계절별 카보닐화합물 농도

(단위 : ppb)

Carbonyl	봄철 (n=14)				여름철 (n=14)				가을철 (n=14)				겨울철 (n=14)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
Formaldehyde	2.44	2.53	0.74	3.48	3.04	2.70	1.02	5.08	3.52	3.54	1.69	7.29	1.23	1.10	0.76	2.93
Acetaldehyde	2.74	2.89	0.63	3.64	3.79	3.66	0.91	5.50	2.62	2.44	0.75	3.98	1.26	1.26	0.54	2.20
Acetone	1.99	1.84	0.79	3.53	4.04	3.51	1.11	6.27	3.85	3.65	1.34	6.68	1.33	1.05	0.80	2.98
Acrolein	N.D	N.D	N.D	N.D	0.04	N.D	0.15	0.55	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Propionaldehyde	0.15	0.15	0.07	0.34	0.27	0.20	0.15	0.50	0.07	N.D	0.10	0.26	0.05	N.D	0.10	0.28
2-Butanone	0.50	0.50	0.25	0.92	1.99	0.89	2.13	5.78	0.99	0.61	1.17	4.44	1.02	0.16	1.36	3.60
Butyraldehyde	0.07	0.07	0.05	0.15	0.37	0.24	0.28	0.86	0.05	N.D	0.08	0.17	0.02	N.D	0.05	0.13
Benzaldehyde	0.03	N.D	0.05	0.17	0.09	0.02	0.21	0.81	0.03	N.D	0.04	0.09	<0.01	N.D	0.01	0.05
iso-Valeraldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	<0.01	N.D	0.01	0.04
n-Valeraldehyde	0.01	N.D	0.03	0.09	0.07	0.07	0.03	0.10	<0.01	N.D	0.01	0.05	N.D	N.D	N.D	N.D

표 41. 대산지역 대산리 계절별 카보닐화합물 농도

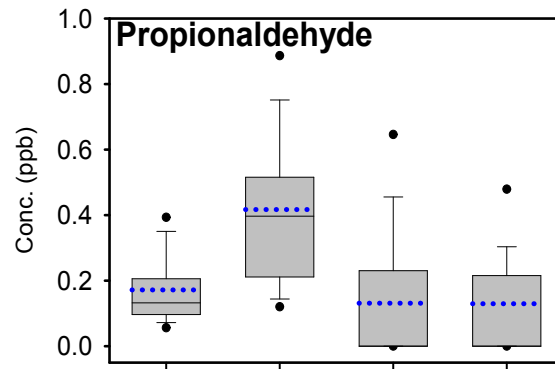
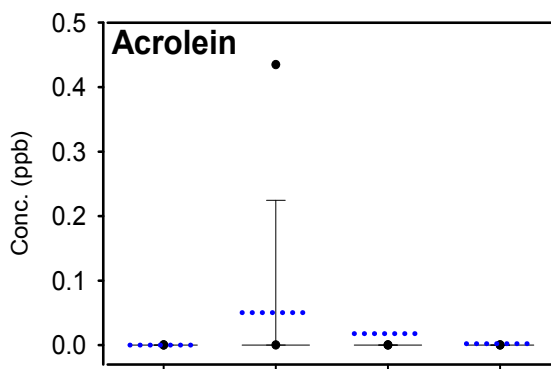
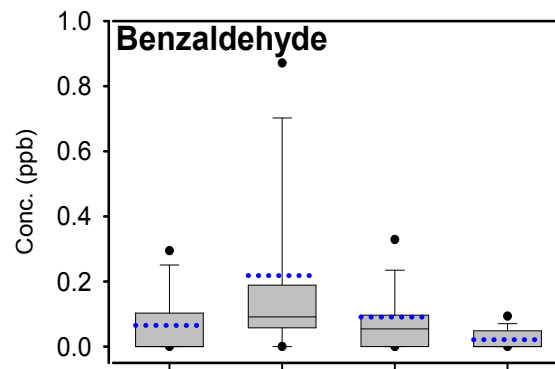
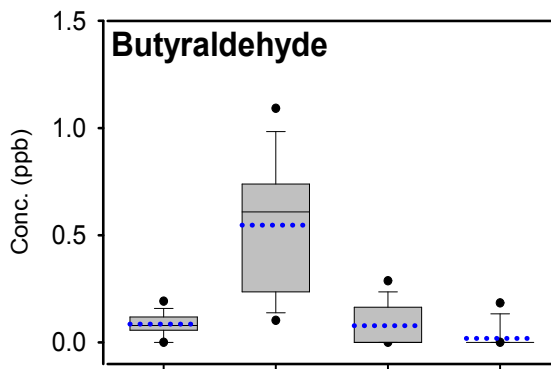
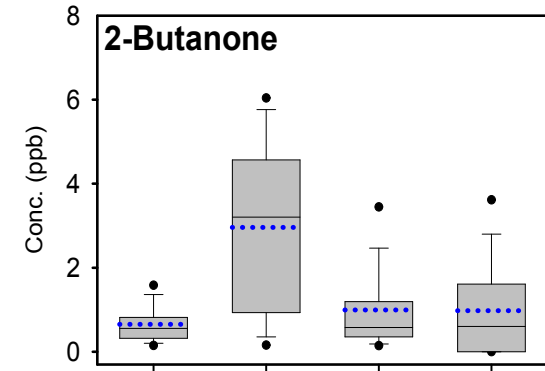
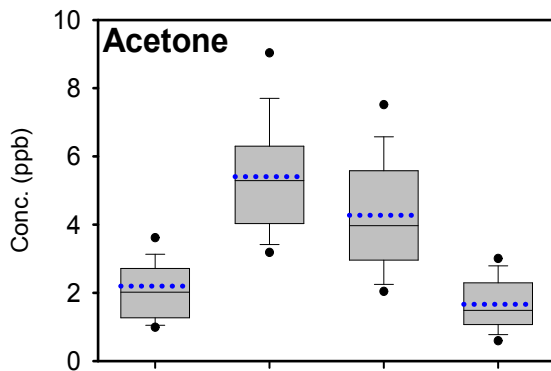
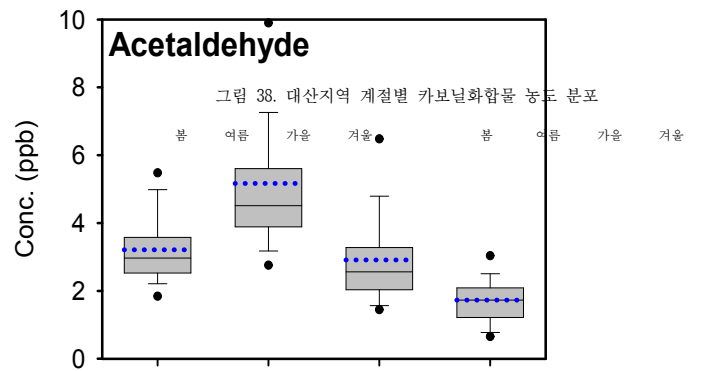
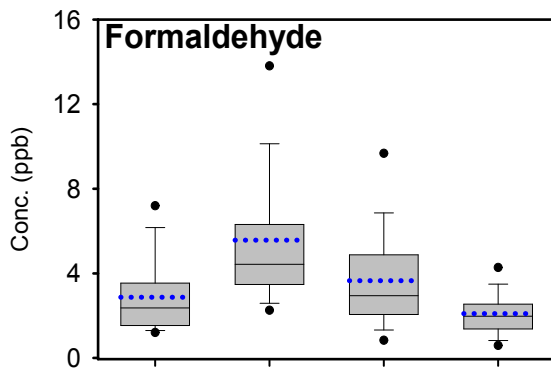
(단위 : ppb)

Carbonyl	봄철 (n=14)				여름철 (n=14)				가을철 (n=14)				겨울철 (n=14)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
Formaldehyde	3.41	2.48	2.11	7.95	7.41	5.07	4.42	16.05	4.91	4.07	2.88	11.75	2.16	2.02	0.66	3.50
Acetaldehyde	3.84	3.71	1.01	5.56	6.90	5.90	3.67	17.30	3.79	3.42	1.76	7.35	2.08	1.98	0.58	3.10
Acetone	1.94	1.83	0.82	3.71	5.54	5.35	1.60	8.61	4.98	5.67	1.49	6.76	1.59	1.39	0.67	2.66
Acrolein	N.D	N.D	N.D	N.D	0.05	N.D	0.14	0.39	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Propionaldehyde	0.18	0.14	0.10	0.38	0.49	0.48	0.28	1.15	0.21	0.20	0.25	0.76	0.12	N.D	0.18	0.48
2-Butanone	0.70	0.61	0.48	2.18	2.87	2.77	2.05	6.99	1.21	0.94	1.03	4.02	0.98	0.96	0.90	2.37
Butyraldehyde	0.09	0.08	0.05	0.18	0.59	0.66	0.34	1.13	0.09	0.06	0.10	0.26	0.03	N.D	0.07	0.20
Benzaldehyde	0.05	N.D	0.07	0.20	0.26	0.13	0.27	0.75	0.10	0.06	0.11	0.34	0.02	N.D	0.03	0.07
iso-Valeraldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	<0.01	N.D	0.01	0.03
n-Valeraldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	0.11	0.10	0.04	0.19	0.02	N.D	0.03	0.06	N.D	N.D	N.D	N.D

표 42. 대산지역 전체지점 계절별 카보닐화합물 농도

(단위 : ppb)

Carbonyl	봄철 (n=70)				여름철 (n=70)				가을철 (n=70)				겨울철 (n=70)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
Formaldehyde	2.87	2.36	1.89	9.86	5.57	4.43	4.06	29.13	3.66	2.95	2.44	11.75	2.10	1.97	1.12	6.54
Acetaldehyde	3.21	2.97	1.14	7.22	5.17	4.51	2.29	17.30	2.91	2.56	1.34	7.35	1.73	1.73	0.67	3.74
Acetone	2.20	2.02	1.57	13.29	5.41	5.29	1.67	10.68	4.27	3.97	1.80	10.08	1.66	1.48	0.77	3.87
Acrolein	N.D	N.D	N.D	N.D	0.05	N.D	0.17	1.10	0.02	N.D	0.11	0.90	<0.01	N.D	0.02	0.15
Propionaldehyde	0.17	0.13	0.13	0.72	0.42	0.40	0.23	1.20	0.13	N.D	0.21	0.92	0.13	N.D	0.21	1.34
2-Butanone	0.65	0.56	0.51	3.18	2.96	3.21	2.05	6.99	1.00	0.58	1.05	5.36	0.98	0.61	1.15	4.19
Butyraldehyde	0.09	0.08	0.07	0.37	0.55	0.61	0.30	1.25	0.08	N.D	0.13	0.73	0.02	N.D	0.06	0.20
Benzaldehyde	0.07	N.D	0.11	0.62	0.22	0.09	0.36	2.32	0.09	0.05	0.17	1.10	0.02	N.D	0.04	0.22
iso-Valeraldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	N.D	0.04	0.29	<0.01	N.D	0.01	0.04
n-Valeraldehyde	0.01	N.D	0.02	0.11	0.10	0.09	0.07	0.60	0.02	N.D	0.05	0.35	N.D	N.D	N.D	N.D



3. 타 산단지역 카보닐화합물 연구사례와의 비교

- 표 43과 그림 39에 국립환경과학원에서 수행한 기존 산단지역 연구사례 중 대산지역의 특성을 고려하여 여수와 울산의 연구결과와 본 연구진이 수행한 카보닐화합물 측정결과를 비교하였음
- 타 연구사례와의 비교과정에서 측정시기 및 측정횟수가 동일하지 않지만, 기존 측정자료와 간접적으로 비교함으로써 대산지역의 카보닐화합물 오염수준을 짐작할 수 있었음
- 대산지역의 카보닐화합물 농도 수준은 석유화학단지가 존재하는 여수, 울산과 전반적으로 유사하게 나타났지만 여수 산업단지 인근의 해산동, 주삼동보다는 저농도의 특성을 보이는 것으로 조사됨
- 2011년 대산지역의 조사결과와 비교하면, formaldehyde 농도가 산업단지 내에 위치한 독곶리를 제외하면 본 연구의 조사결과에서 소폭 상승하였음
- 또한 나열된 카보닐화합물 성분들 중 propionaldehyde 이외의 물질들은 2011년의 조사결과에 비해 본 연구의 조사결과가 다소 높은 농도로 나타났으므로 카보닐화합물의 농도를 줄일 수 있는 방향으로 갈 수 있도록 지속적인 관측과 관리가 필요하다고 사료됨

표 43. 국내 타 산단지역 연구사례와 본 연구의 카보닐화합물 농도 비교

측정지역	대산				대산(본 연구)						여수				
지점명	독곶리	대죽리	대산읍	전체 평균	대죽 1리	화곡 2리	대로 3리	오지리	대산리	전체 평균	해산동	주삼동	묘도동	전체 평균	삼
용도구분	공업	공업	주거		주거*	주거*	주거	주거	주거		주거*	주거*	주거		주
측정연도	2011년				2018-2019년						2016-2017년				
측정주기	계절별 7일간 (5월, 8월, 10월, 12월)				계절별 7일간 (3월, 6월, 10월, 2월)						계절별 7일간 (5월, 8월, 11월, 1월)				
자 료 수	48	48	49	145	56	56	56	56	56	280	56	56	56	168	
Formaldehyde	5.84	3.52	2.90	4.09	3.98	3.12	3.61	2.56	4.47	3.55	6.11	6.25	4.52	5.63	3
Acetaldehyde	2.84	2.32	2.21	2.46	3.27	3.05	3.19	2.60	4.15	3.25	3.88	3.63	2.95	3.49	1
Acetone	3.70	3.07	2.77	3.18	3.73	3.66	3.21	2.80	3.51	3.38	3.27	3.61	2.85	3.24	3
Acrolein	0.01	N.D	N.D	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.26	0.33	0.23	0.27	
Propionaldehyde	0.32	0.30	0.29	0.30	0.26	0.20	0.22	0.14	0.25	0.21	0.34	0.37	0.15	0.29	0
2-Butanone	1.21	1.07	0.97	1.08	1.57	1.55	1.31	1.13	1.44	1.40	0.60	0.74	0.61	0.65	1
Butyraldehyde	0.11	0.09	0.11	0.10	0.24	0.19	0.16	0.13	0.20	0.18	0.38	0.41	0.31	0.37	
Benzaldehyde	0.52	0.31	0.28	0.37	0.17	0.09	0.09	0.04	0.11	0.10	0.07	0.26	0.04	0.12	

*산업단지 인근(2km 이내) 주거지역

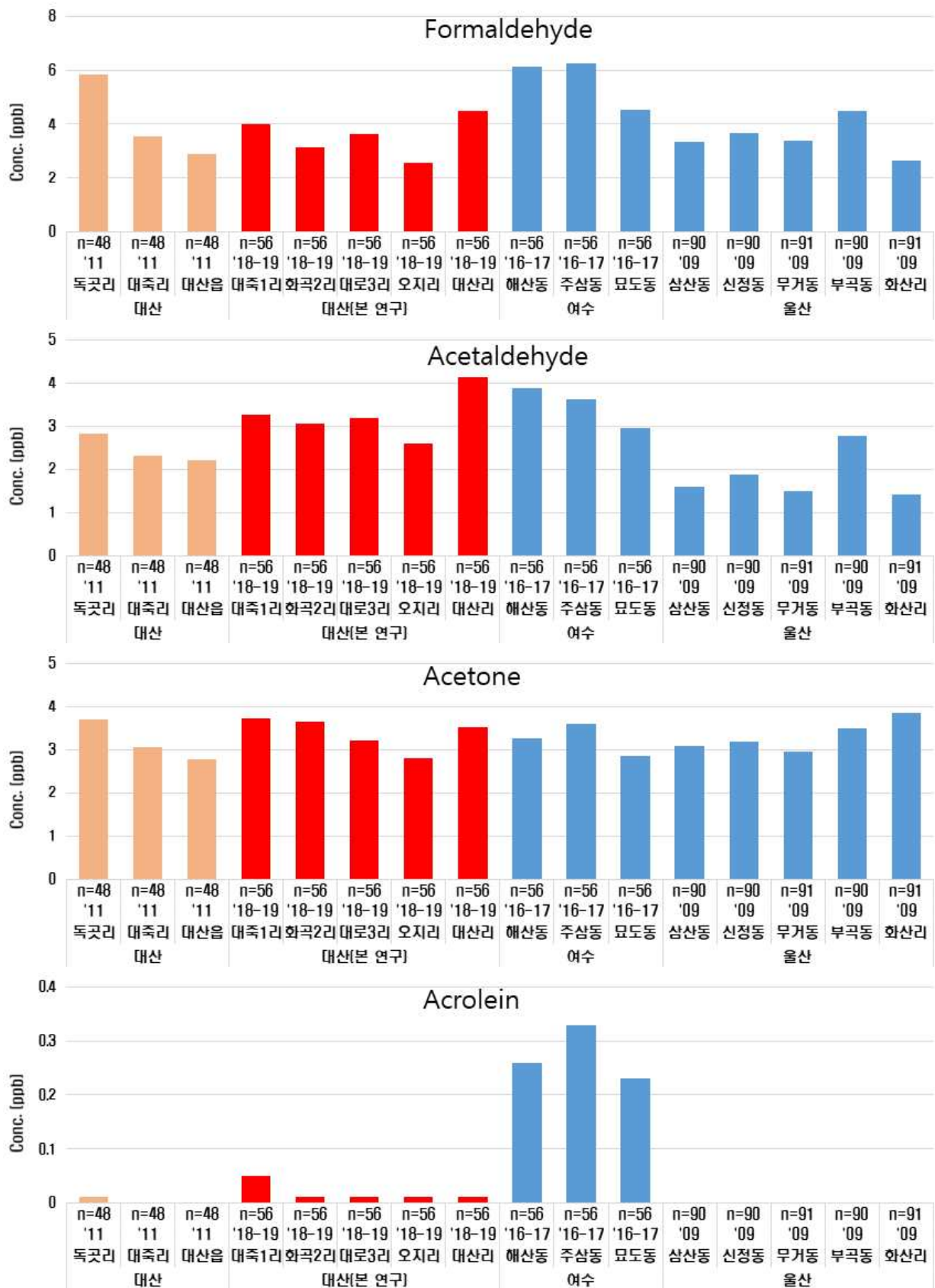


그림 39. 타 산단지역 연구사례와 대산지역 카보닐화합물 측정농도 비교

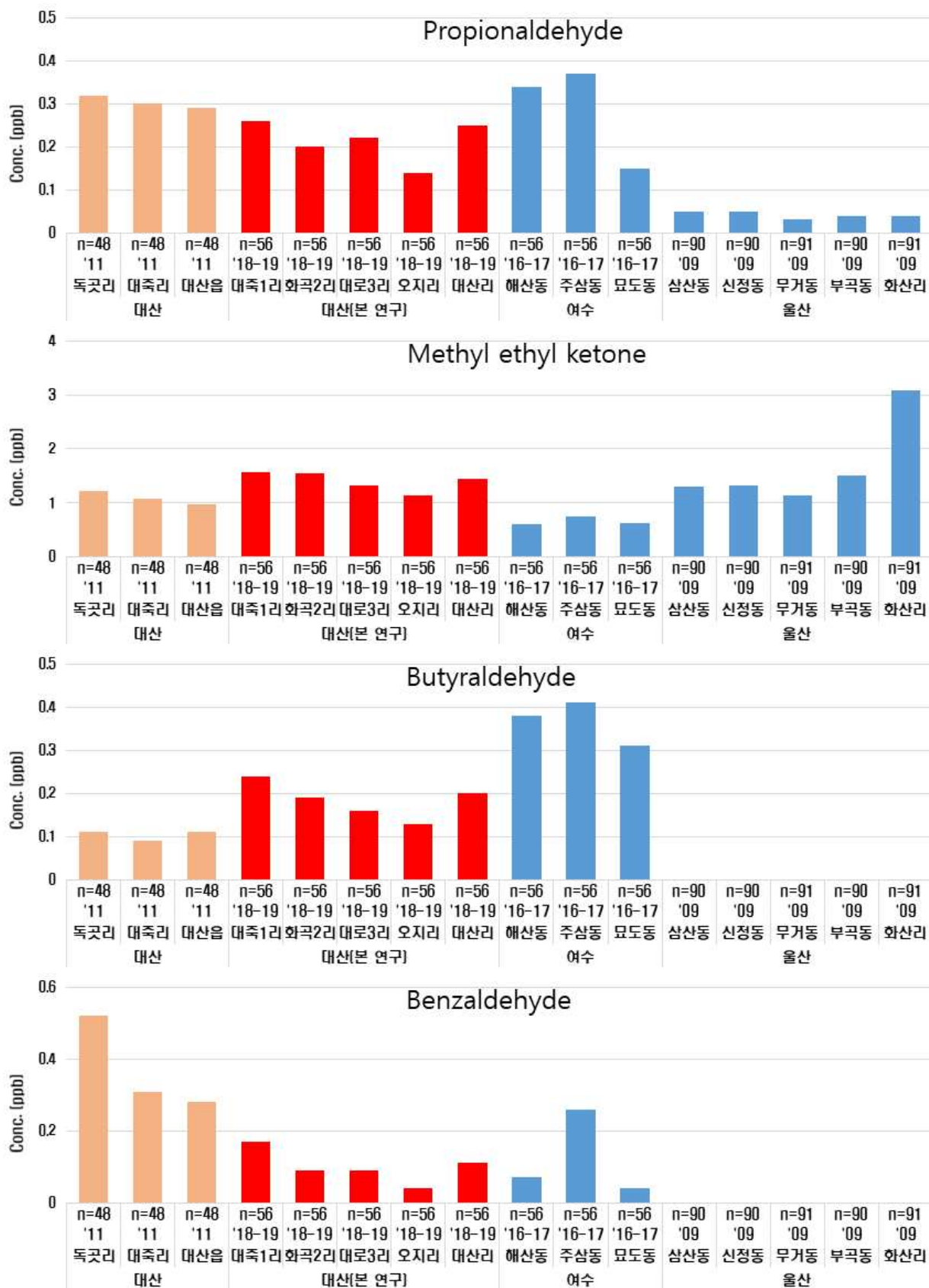


그림 39. 타 산단지역 연구사례와 대산지역 카보닐화합물 측정농도 비교 (계속)

제 3 절 중금속

- 금속류 중에서 비중이 5 이상인 10여 종 (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn 등)을 중금속이라고 하고 이 때 As는 비중이 4.8로 낮으나 그 독성과 형태가 이들과 비슷하여 중금속으로 취급함
- 중금속은 암석의 풍화작용, 광석과 금속의 제련과정, 금속과 금속화합물의 이용과정, 생활쓰레기 및 산업폐기물 처리장, 침출수, 그리고 중금속을 함유한 배설물 등을 통해 환경 중으로 배출됨
- 중금속은 배출되면 장시간 환경에 남아 순환하는 지속성 오염물질에 속하며 생물체 내에 농축되거나 먹이사슬을 따라 그 농도가 점점 커지기도 함
- 사람이 물이나 식품을 통해 중금속을 섭취하면 분해되지 않고 체내에 그대로 축적돼 소화기관과 신장 등 장기에 만성 장애를 일으키는 등 인체에 치명적인 해를 줄 수 있음
- 예를 들면, 납(Pb)은 체내에 축적되어 신경계통에 심한 손상으로 인한 신경위축, 뇌성마비, 발육장애 등을 일으키고, Cd은 ‘이타이이타이’ 병을 발생시켜 심장 및 신경계 영향, 골다공증, 돌연변이의 악영향을 미친다고 알려짐

1. 중금속 출현특성

- 본 연구에서는 Al, Cr, Cr^{6+} , Cu, Zn 등 총 8종의 중금속을 측정·분석하였음
- 표 44과 그림 40에 대산지역 전체 조사지점에서 분석한 중금속 자료(n=140)와 측정지점별 자료(각각 n=28)에 대하여 평균, 중앙값, 최댓값, 표준편차, 검출빈도를 정리함
- Mn은 약 98%의 높은 검출빈도를 보였으며, Cu와 Ni 또한 각각 검출빈도 75%, 73%를 보임
- 평균농도를 살펴보면, 7종의 중금속 중 5종의 물질이 10 ng/m^3 이상으로 측정되었고, 2종의 물질이 10 ng/m^3 미만의 낮은 농도를 보임
- 전성과 연성이 뛰어나고 전기 전도성이 좋아 고압 전선의 재료로 쓰이고 녹이 잘 슬지 않아 창틀의 재료와 같은 광택이 오래 지속될 수 있는 부분에 많이 쓰이며, 가볍고 내구성이 큰 특성을 이용해 항공기, 선박, 차량의 주요 재료로 쓰이는 Al의 평균 농도는 2587.2 ng/m^3 로 대산지역의 중금속 중 가장 높은 농도로 검출되었음
- Al 다음으로 평균농도가 높은 Zn은 평균농도 184.2 ng/m^3 로 주로 철의 내부식성 도금, 구리와 합금인 황동 제조, 건전지 등에 사용되며, 산화아연은 흰색 안료, 자외

선 차단제, 복사기, 유리 및 세라믹 제품 등에 사용된다. Zn에 장기 노출되면 호흡기 압박, 고열, 오한, 위장염 등의 증세가 발생하기도 함

- Cu는 그 자체뿐 아니라 황동·청동 등 합금의 용도도 매우 넓으며, 전선을 비롯하여 신동품으로서 많이 쓰임. 대산지역 Cu의 평균농도는 32.3 ng/m^3 로 나타남
- 광산이나 제련소에서 많이 다루면서 직업상으로 흡입하여 노출된 경우 파킨슨병과 유사한 상태인 망간독성이 유발되는 Mn은 약 98%의 검출빈도를 나타내며 28.6 ng/m^3 의 평균농도로 검출되었음. 세계적인 Mn 소비의 90% 이상은 철과 강철제조와 관련 있음
- 각종 비철금속용 합금, 전기·전자제품, 부품의 도금용 재료 및 부식 방지용, 금속 표면처리제로 주로 사용되며, 국제암연구소(IARC) 3등급으로 인체발암성 미분류 물질인 Cr의 평균농도는 10.4 ng/m^3 로 검출됨
- 자극성이 심하며 호흡기의 점막에 심한 장애를 주고 피부를 통해 접촉하면 피부점막을 자극하여 부종 및 궤양 등 피부염을 일으키며 또한 발암물질 중의 하나로 간장, 신장, 골수에 축적되며, 신장, 대변을 통해 배출되는 Cr^{6+} 의 평균농도는 0.3 ng/m^3 로 낮은 수준임
- 대산지역의 중금속 농도 수준을 측정지점별로 살펴보면, Cu는 가장 가까운 지점인 대죽1리에서 가장 높았고, 대조지역인 대산리에서 낮게 나왔지만 Al, Mn은 대산리에서 가장 높게 나타났음
- As는 대로3리에서 가장 높게 검출되고, Cr, Ni, Zn은 오지리에서 가장 높은 농도로 검출되어 중금속별로 고농도 지점이 다르게 나타남
- 따라서 본 연구의 측정시기 동안 대산지역에서 석유화학단지를 비롯한 산업단지에 의한 주변지역으로의 중금속 오염 영향을 고려할만한 지점별 농도차이가 크지 않음

표 44. 대산지역 측정지점별 중금속 농도

(단위 : ng/m³)

Heavy metal	전체지점 (n=140)					대죽1리 (n=28)					화곡2리 (n=28)				
	평균	중앙값	최대	표준 편차	검출 빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준 편차	검출 빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준 편차	검출 빈도 (%)
Al	2587.2	193.8	16923.6	3896.7	67.9	3084.3	697.3	12391.6	3700.9	75.0	1618.6	120.7	8026.5	2694.0	53.6
As	2.7	N.D	29.5	4.7	45.7	1.7	N.D	11.8	3.1	35.7	1.6	N.D	17.1	4.0	35.7
Cr	10.4	6.7	64.7	13.3	62.1	8.5	0.9	43.7	12.3	50.0	6.9	2.8	38.3	9.8	50.0
Cu	32.3	14.2	218.4	44.4	75.0	56.9	36.6	184.5	54.5	96.4	34.8	14.8	203.6	46.5	71.4
Mn	28.6	18.4	275.6	38.6	97.9	20.5	18.7	67.9	13.5	96.4	18.7	15.2	95.5	16.7	100.0
Ni	5.6	4.5	28.4	5.7	72.9	3.9	3.3	11.0	3.9	64.3	3.7	2.5	12.4	4.1	60.7
Zn	184.2	53.0	1173.3	282.4	62.1	183.3	22.5	1173.3	318.4	50.0	207.6	107.5	805.8	262.6	67.9
Cr ⁶⁺	0.3	0.2	0.7	0.1	99.3	0.3	0.3	0.6	0.1	96.4	0.2	0.2	0.5	0.1	100.0

표 44. 대산지역 측정지점별 중금속 농도 (계속)

(단위 : ng/m³)

Heavy metal	대로3리 (n=28)					오지리 (n=28)					대산리 (n=28)				
	평균	중앙값	최대	표준 편차	검출 빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준 편차	검출 빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준 편차	검출 빈도 (%)
Al	2458.3	796.5	13646.1	3544.2	78.6	2597.2	124.5	12265.3	3918.2	67.9	3177.8	205.6	16923.6	5262.7	64.3
As	4.6	0.5	15.1	5.3	57.1	3.9	1.6	29.5	6.5	57.1	1.6	N.D	12.4	3.1	42.9
Cr	8.3	6.9	36.7	10.8	60.7	16.2	10.6	64.7	16.5	82.1	12.3	6.4	49.2	14.7	67.9
Cu	27.9	13.9	218.4	42.8	78.6	27.4	8.5	173.5	42.0	67.9	14.7	7.0	69.9	20.7	60.7
Mn	22.8	20.0	82.5	16.5	96.4	35.9	19.4	206.6	48.4	96.4	44.9	24.5	275.6	63.7	100.0
Ni	5.8	5.9	17.6	4.9	78.6	7.8	6.9	26.5	6.5	82.1	6.7	4.8	28.4	7.6	78.6
Zn	132.9	36.2	711.7	198.0	64.3	223.8	39.3	1045.7	331.1	64.3	173.6	60.2	1108.9	293.6	64.3
Cr ⁶⁺	0.2	0.2	0.7	0.1	100.0	0.3	0.3	0.6	0.1	100.0	0.3	0.2	0.6	0.1	100.0

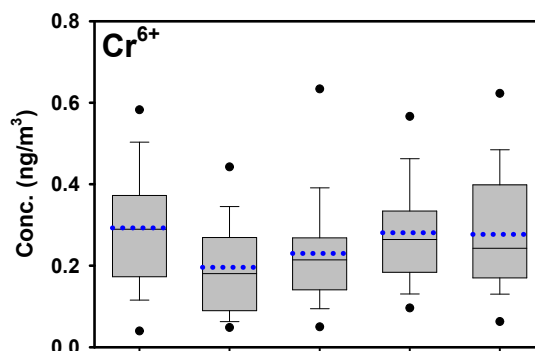
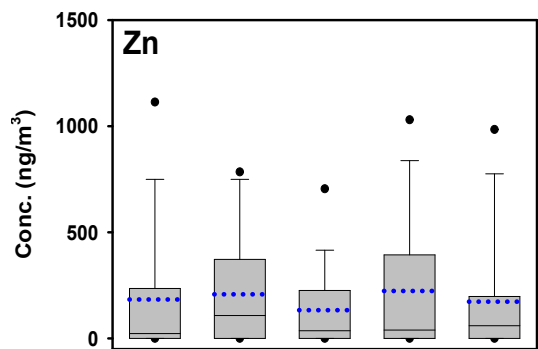
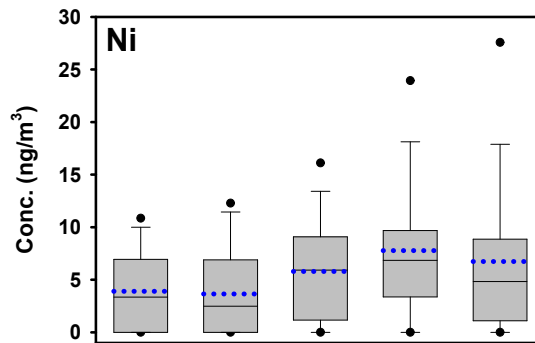
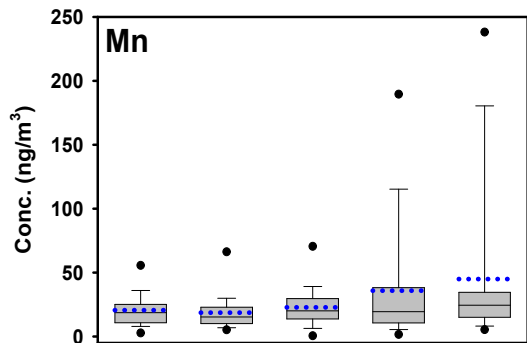
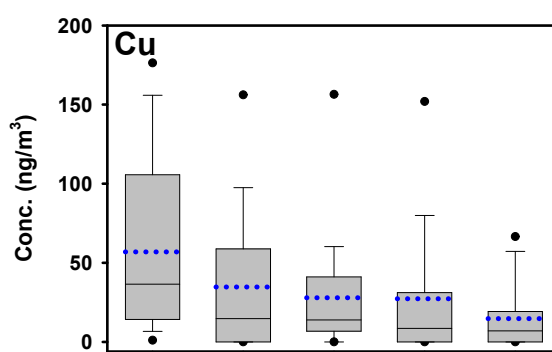
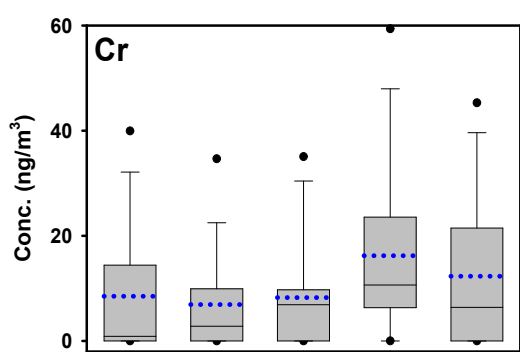
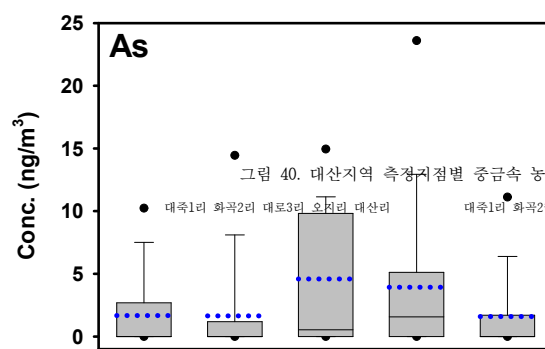
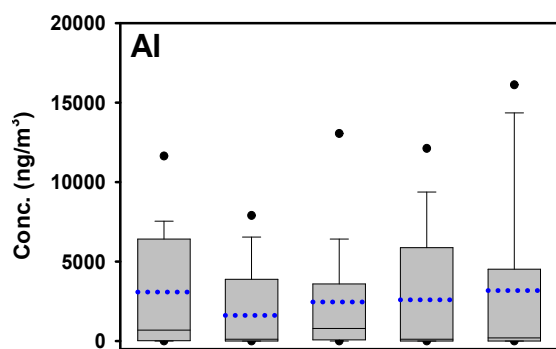


그림 40. 대산지역 측정지점별 중금속 농도 분포

● 대죽1리 화곡2리 대로3리 오지리 대산리

2. 중금속의 계절별 농도분포

- 표 45 ~ 표 49에 측정기간 동안 대산지역의 중금속 농도를 계절별로 평균농도와 중앙값, 표준편차, 최댓값으로 정리함
- 또한 이를 취합하여 전체 지점의 중금속 평균농도를 계절별로 정리하여 표 50에 나타내었고, 계절별 농도 분포 현황을 그림 41과 같이 나타내었음
- 측정지점별로 살펴보면, 산단 인근의 대죽1리와 주변에 주거 및 상업 밀집지역이 존재하는 대로3리에서 전반적으로 여름철에 농도가 높게 나타남
- 종합적으로 대산지역에서 고농도로 검출된 중금속인 Al, Zn은 다른 계절에 비해 여름철에 농도가 높게 검출되었고, As, Cr은 가을철, Cu, Mn은 겨울철에 높음
- 위와 같이 중금속별로 높게 검출되는 계절이 다르게 나타나 계절별 특성을 발견할 수 없었음

표 45. 대산지역 대죽1리 계절별 중금속 농도

(단위 : ng/m³)

Heavy metal	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
Al	2498.1	1478.8	2898.2	7196.9	5021.4	5381.9	4244.4	12391.6	4632.5	6722.3	4223.6	10705.6	185.4	188.9	52.7	260.8
As	1.5	N.D	2.5	6.3	N.D	N.D	N.D	N.D	4.8	2.7	4.4	11.8	0.4	N.D	1.0	2.7
Cr	3.7	2.7	3.7	9.8	11.0	14.3	7.7	18.2	9.6	N.D	16.4	35.3	9.6	N.D	17.4	43.7
Cu	26.9	14.2	29.2	85.4	86.6	113.3	79.2	184.5	30.6	34.3	9.7	39.8	83.7	64.5	48.9	166.3
Mn	14.4	10.1	7.8	24.4	19.5	14.4	8.1	34.7	19.0	18.5	12.7	40.5	29.4	25.3	19.7	67.9
Ni	5.1	3.6	2.8	9.5	6.5	6.7	3.9	11.0	N.D	N.D	N.D	N.D	4.1	5.7	4.1	9.9
Zn	N.D	N.D	N.D	N.D	593.9	535.3	418.0	1173.3	36.7	N.D	97.1	256.9	102.5	82.8	58.5	201.4
Cr6+	0.3	0.3	0.2	0.5	0.4	0.4	0.1	0.6	0.3	0.3	0.1	0.4	0.2	0.2	0.2	0.6

표 46. 대산지역 화곡2리 계절별 중금속 농도

(단위 : ng/m³)

Heavy metal	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
Al	1607.3	N.D	2089.7	4349.6	2966.8	N.D	3741.2	8026.5	1733.7	N.D	3113.9	7737.7	166.6	150.0	50.2	233.4
As	1.4	0.3	2.8	7.8	N.D	N.D	N.D	N.D	4.6	1.8	6.8	17.1	0.6	N.D	1.1	2.9
Cr	7.5	6.8	1.6	9.8	5.7	N.D	7.3	16.1	14.5	11.4	15.8	38.3	N.D	N.D	N.D	N.D
Cu	41.8	19.1	35.6	97.5	10.0	N.D	23.3	62.4	6.1	6.8	6.6	16.2	81.3	75.0	60.0	203.6
Mn	15.9	14.5	9.5	29.8	10.3	9.8	4.7	18.8	31.7	24.3	29.0	95.5	16.9	15.4	4.2	26.1
Ni	3.6	3.4	2.5	7.0	6.5	4.3	5.0	12.4	2.6	N.D	4.6	11.4	1.9	N.D	3.3	6.9
Zn	337.5	456.7	334.1	758.1	376.8	214.5	291.2	805.8	16.9	N.D	44.6	118.1	99.1	80.0	51.9	192.2
Cr6+	0.2	0.2	0.1	0.4	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	0.3	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2

표 47. 대산지역 대로3리 계절별 중금속 농도

(단위 : ng/m³)

Heavy metal	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
Al	2236.6	2921.7	1276.8	3404.8	5091.2	3897.3	5848.2	13646.1	2338.9	1136.8	2529.9	5567.5	166.6	172.1	62.3	237.1
As	1.5	N.D	3.7	9.8	9.9	10.0	0.6	10.7	6.9	6.9	6.2	15.1	N.D	N.D	0.1	0.2
Cr	9.9	8.7	2.7	14.4	10.6	3.2	15.0	36.7	11.5	8.2	14.3	33.0	1.1	N.D	2.8	7.4
Cu	20.8	18.0	15.7	54.7	50.2	19.6	77.2	218.4	4.2	N.D	5.6	13.6	36.4	39.7	25.1	80.7
Mn	16.6	13.6	8.8	32.8	20.1	18.1	10.5	31.6	23.9	20.9	8.1	37.2	30.4	21.3	29.2	82.5
Ni	6.4	5.9	4.0	14.3	4.8	4.4	3.1	9.8	8.3	9.1	6.5	17.6	3.6	N.D	5.0	12.7
Zn	147.8	N.D	276.2	711.7	293.6	241.9	211.6	695.0	6.5	N.D	9.1	20.5	83.6	69.5	58.3	205.4
Cr6+	0.3	0.3	0.2	0.7	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.4

표 48. 대산지역 오지리 계절별 중금속 농도

(단위 : ng/m³)

Heavy metal	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
Al	3564.3	1445.4	4080.9	9090.4	2626.7	N.D	4753.5	11916.8	4094.5	3467.6	4344.0	12265.3	103.1	109.9	40.7	138.1
As	1.4	N.D	2.2	5.5	3.3	3.1	2.3	7.5	11.1	8.2	9.7	29.5	N.D	N.D	N.D	N.D
Cr	9.6	9.4	5.0	19.7	8.9	7.2	10.9	30.1	21.4	18.7	22.6	64.7	25.0	19.3	18.2	52.8
Cu	23.6	5.3	32.7	73.8	50.1	N.D	71.9	173.5	6.2	N.D	10.0	27.2	29.6	24.0	21.3	74.8
Mn	14.9	16.4	6.2	20.7	13.1	14.4	8.2	21.9	20.0	12.0	13.8	38.6	95.6	58.3	68.5	206.6
Ni	6.0	6.1	2.6	10.2	7.2	5.3	5.6	17.8	8.0	N.D	11.3	26.5	9.9	8.6	3.7	17.1
Zn	95.0	N.D	154.2	387.3	729.2	770.5	250.9	1045.7	45.3	N.D	75.5	175.9	25.8	19.0	26.1	71.9
Cr6+	0.3	0.3	0.1	0.4	0.3	0.3	0.1	0.6	0.3	0.3	0.1	0.5	0.3	0.3	0.2	0.5

표 49. 대산지역 대산리 계절별 중금속 농도

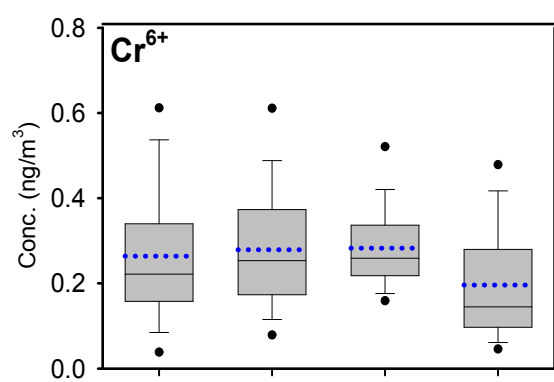
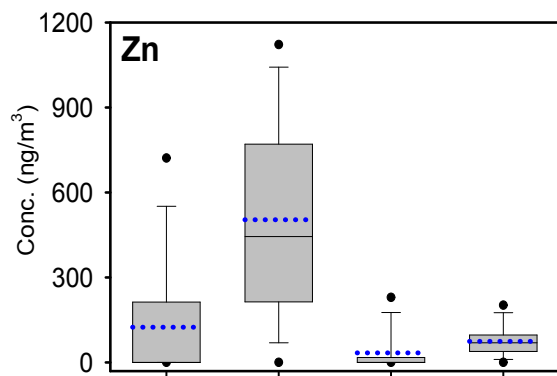
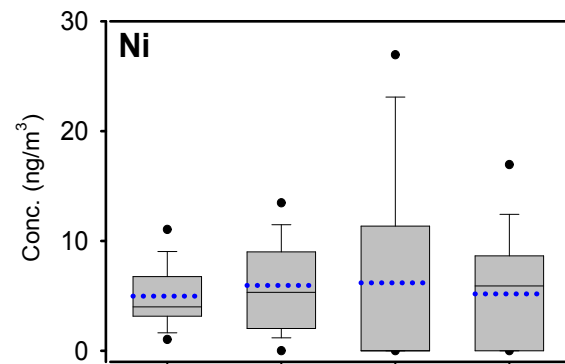
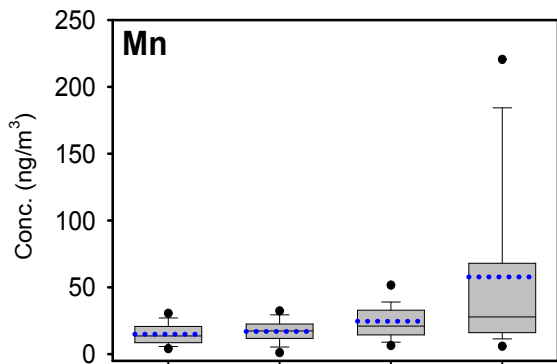
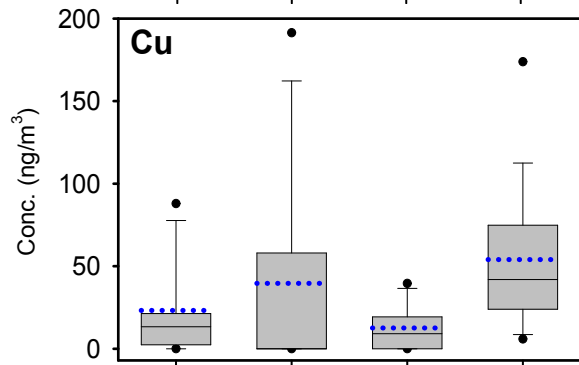
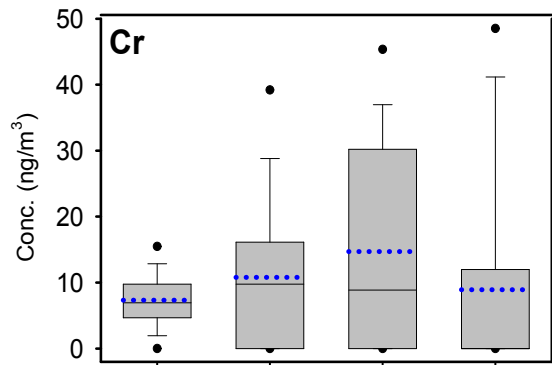
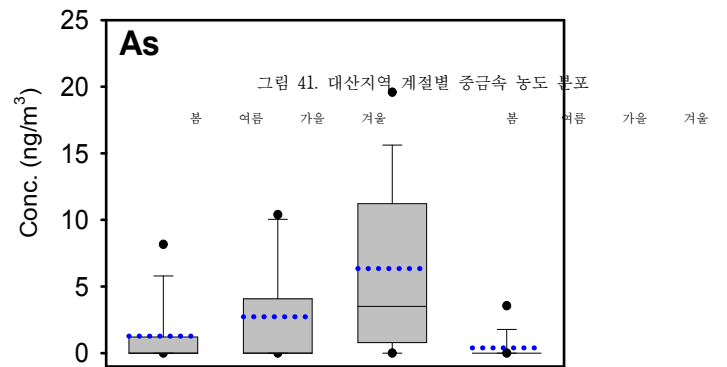
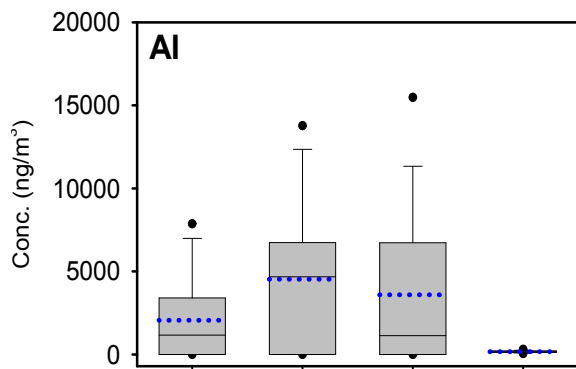
(단위 : ng/m³)

Heavy metal	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
Al	386.5	N.D	1022.5	2705.2	6920.9	5634.3	5099.5	14270.8	5190.7	218.3	7560.5	16923.6	213.1	192.9	72.6	305.3
As	0.5	0.1	0.8	1.7	0.5	N.D	1.2	3.2	4.4	3.1	4.8	12.4	1.0	N.D	2.2	6.0
Cr	6.0	6.3	3.7	13.3	17.7	11.5	17.0	49.2	16.5	19.3	17.3	40.5	9.0	N.D	16.0	39.5
Cu	3.1	1.7	4.2	10.9	1.1	N.D	2.8	7.5	15.7	13.3	11.9	39.3	39.1	45.5	26.3	69.9
Mn	12.8	8.6	9.1	26.6	21.9	21.7	5.7	30.1	28.5	32.6	9.2	39.4	116.3	79.7	99.8	275.6
Ni	3.8	4.0	1.6	5.9	4.7	5.4	3.1	8.5	12.0	13.6	12.4	28.4	6.4	8.4	6.6	16.9
Zn	41.4	N.D	81.0	213.2	526.7	657.8	419.6	1108.9	64.8	N.D	95.4	222.4	61.4	67.2	41.0	115.8
Cr6+	0.2	0.2	0.2	0.6	0.3	0.3	0.1	0.5	0.3	0.3	0.2	0.6	0.2	0.3	0.1	0.4

표 50. 대산지역 전체지점 계절별 중금속 농도

(단위 : ng/m³)

Heavy metal	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
Al	2058.6	1169.2	2606.6	9090.4	4525.4	4674.8	4775.1	14270.8	3598.1	1133.8	4608.8	16923.6	167.0	163.5	64.7	305.3
As	1.3	N.D	2.4	9.8	2.7	N.D	4.0	10.7	6.3	3.5	6.8	29.5	0.4	N.D	1.2	6.0
Cr	7.3	6.9	4.1	19.7	10.8	9.8	12.2	49.2	14.7	8.9	17.0	64.7	8.9	N.D	15.5	52.8
Cu	23.2	13.4	27.7	97.5	39.6	N.D	64.5	218.4	12.6	9.2	13.2	39.8	54.0	41.9	44.0	203.6
Mn	14.9	13.6	7.9	32.8	17.0	17.3	8.6	34.7	24.6	20.9	16.2	95.5	57.7	27.8	66.9	275.6
Ni	5.0	4.0	2.9	14.3	5.9	5.3	4.1	17.8	6.2	N.D	8.9	28.4	5.2	5.9	5.2	17.1
Zn	124.3	N.D	229.7	758.1	504.1	444.6	347.2	1173.3	34.0	N.D	71.3	256.9	74.5	69.5	54.0	205.4
Cr6+	0.3	0.2	0.7	0.2	0.3	0.3	0.6	0.1	0.3	0.3	0.6	0.1	0.2	0.1	0.6	0.1



3. 대기중금속측정망과 중금속 농도 비교

- 국내에서 환경부가 운영하는 대기중금속측정망의 PM10 중 중금속을 분석한 농도자료(대기환경월보, 월 5회)를 계절별로 본 연구의 측정농도와 비교하여 표 51과 그림 42에 제시하였음
- 이 때 대표적으로 석유화학단지가 입지해 있는 울산, 여수와 본 연구의 조사지역인 서산의 자료를 비교하여 정리함
- 조사결과가 전체적으로 서산 독곶리의 측정망보다 높게 측정되었는데, 측정지점 및 측정시기가 동일하지 않고 조사 횟수의 차이가 있으므로 단지 참고자료로서만 활용해야할 것임
- 종합적으로 서산 독곶리, 울산 여천동, 여수 여천동과 같은 석유화학단지 인근의 측정망이 울산 신정동 측정망보다 더 높은 농도 수준을 보임

표 51. 국내 대기중금속측정망과 본 연구의 중금속 농도 비교

(단위 : ng/m³)

			Al	As	Cr	Cu	Mn	Ni
봄철 (3월)	본 연구	대죽1리	2,498.1	1.5	3.7	26.9	14.4	5.1
		화곡2리	1,607.3	1.4	7.5	41.8	15.9	3.6
		대로3리	2,236.6	1.5	9.9	20.8	16.6	6.4
		오지리	3,564.3	1.4	9.6	23.6	14.9	6.0
		대산리	386.5	0.5	6.0	3.1	12.8	3.8
	측정망	서산 독곶리	150.7	0.9	1.3	5.9	11.4	3.0
		울산 신정동	123.6	N.D	0.2	5.2	7.6	2.5
		울산 여천동	199.9	1.4	0.8	8.6	19.8	4.9
		여수 여천동	67.5	3.8	1.3	8.1	19.9	1.7
여름철 (6월)	본 연구	대죽1리	5,021.4	N.D	11.0	86.6	19.5	6.5
		화곡2리	2,966.8	N.D	5.7	10.0	10.3	6.5
		대로3리	5,091.2	9.9	10.6	50.2	20.1	4.8
		오지리	2,626.7	3.3	8.9	50.1	13.1	7.2
		대산리	6,920.9	0.5	17.7	1.1	21.9	4.7
	측정망	서산 독곶리	223.9	0.5	0.2	6.5	15.5	4.6
		울산 신정동	68.9	N.D	0.4	3.8	7.9	N.D
		울산 여천동	111.9	2.2	1.3	7.8	22.7	3.6
		여수 여천동	89.4	1.3	0.8	6.7	29.1	2.9
가을철 (10월)	본 연구	대죽1리	4,632.5	4.8	9.6	30.6	19.0	N.D
		화곡2리	1,733.7	4.6	14.5	6.1	31.7	2.6
		대로3리	2,338.9	6.9	11.5	4.2	23.9	8.3
		오지리	4,094.5	11.1	21.4	6.2	20.0	8.0
		대산리	5,190.7	4.4	16.5	15.7	28.5	12.0
	측정망	서산 독곶리	229.5	2.1	1.8	14.1	19.5	1.0
		울산 신정동	228.5	0.7	1.4	8.9	20.3	2.2
		울산 여천동	274.2	4.0	2.5	11.7	41.1	3.1
		여수 여천동	98.7	2.7	1.5	5.3	19.5	2.1
겨울철 (2월)	본 연구	대죽1리	185.4	0.4	9.6	83.7	29.4	4.1
		화곡2리	166.6	0.6	N.D	81.3	16.9	1.9
		대로3리	166.6	N.D	1.1	36.4	30.4	3.6
		오지리	103.1	N.D	25.0	29.6	95.6	9.9
		대산리	213.1	1.0	9.0	39.1	116.3	6.4
	측정망	서산 독곶리	1044.1	0.1	N.D	6.3	20.5	N.D
		울산 신정동	313.2	0.8	N.D	8.7	19.8	1.9
		울산 여천동	322.7	0.6	0.4	9.1	24.4	2.9
		여수 여천동	233.9	1.7	1.2	7.7	25.0	2.5

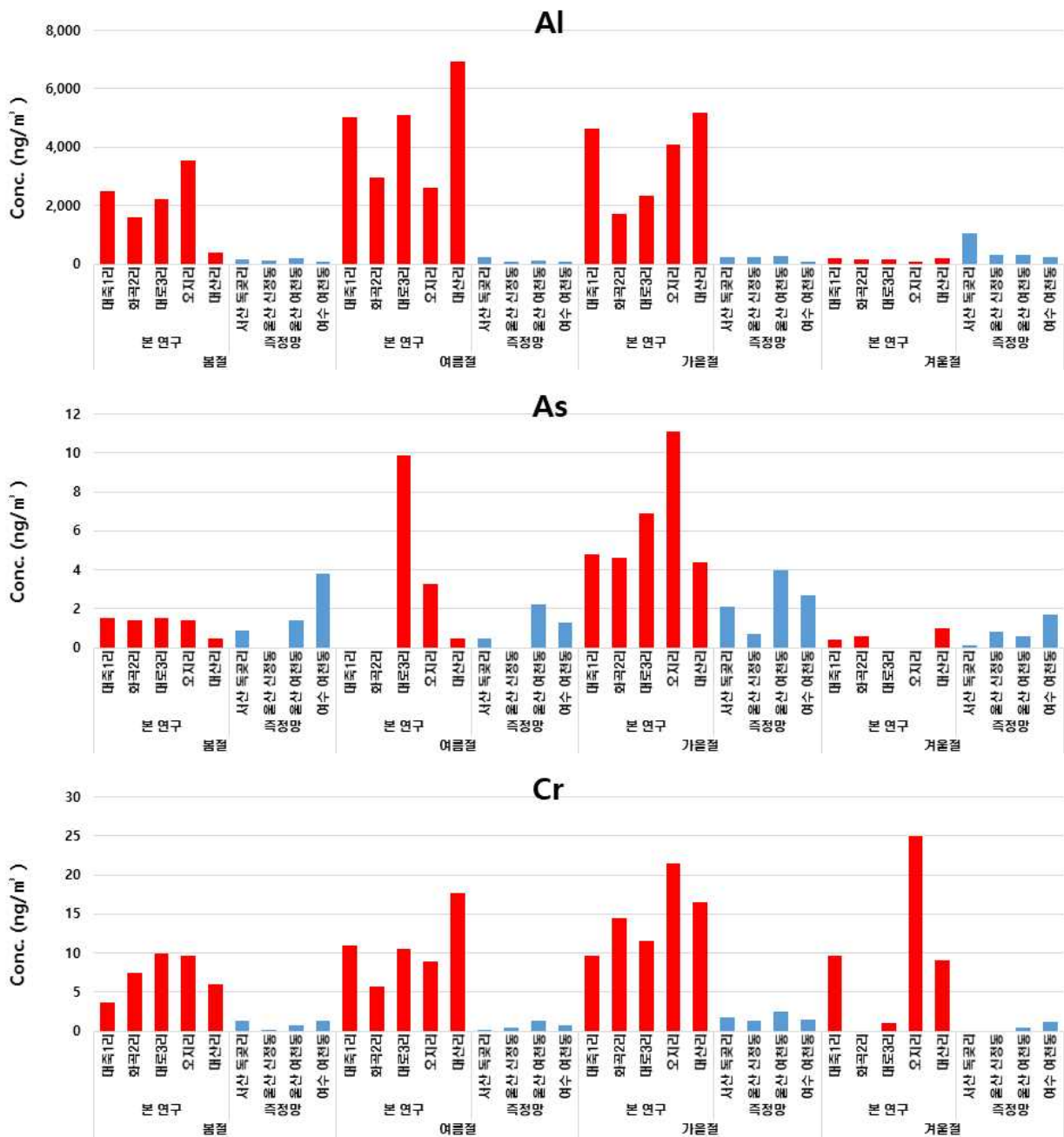


그림 42. 대기중금속추정망과 대산지역 중금속 추정농도 비교

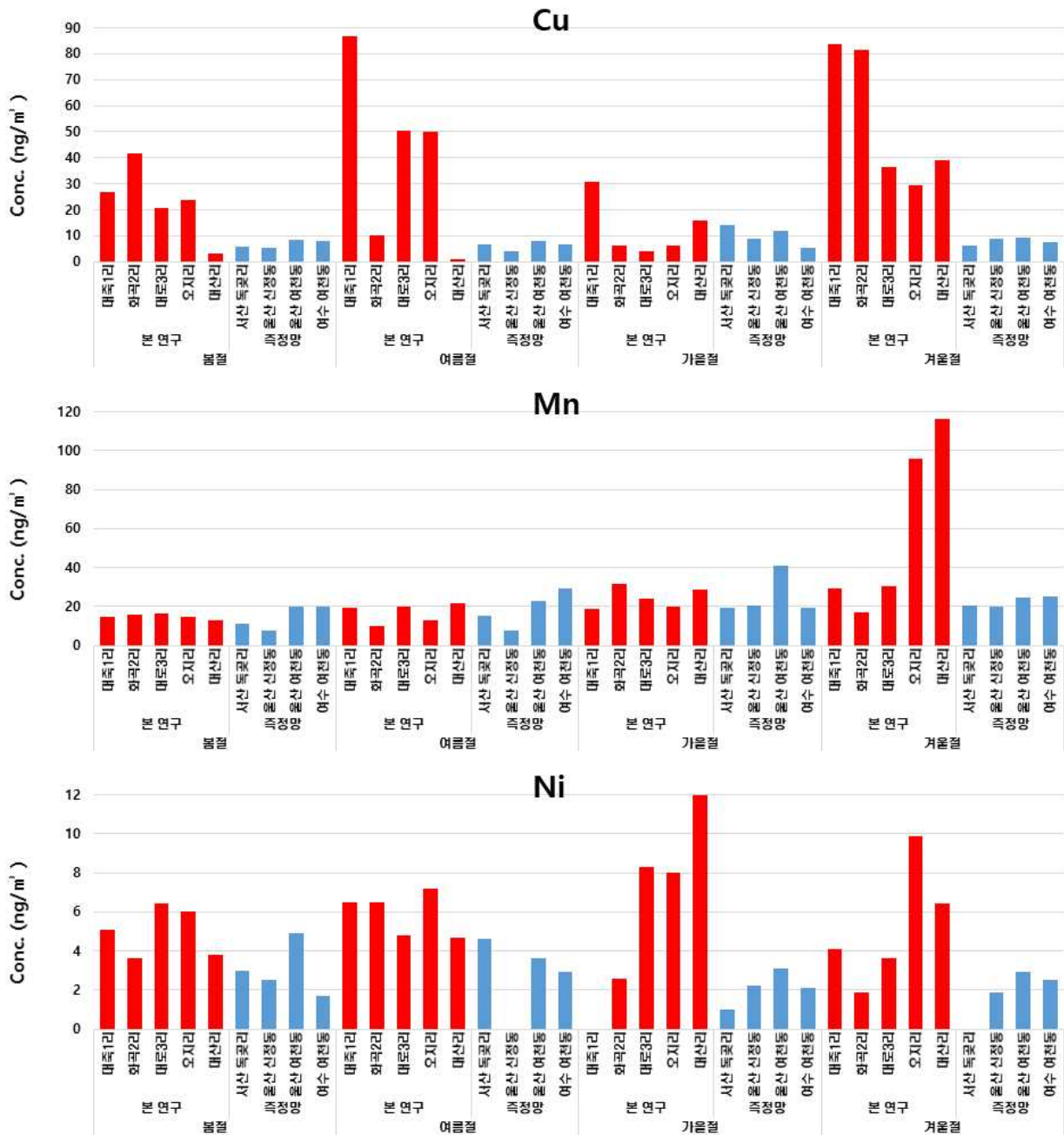


그림 42. 대기중금속측정망과 대산지역 중금속 측정농도 비교 (계속)

제 4 절 다환방향족탄화수소 (PAHs)

- PAHs는 2개 또는 그 이상의 방향족 고리로 연결되어 있는 유기화합물로 잠재적 발암성이 있다는 연구결과들이 많아 현재 인체나 환경에 중요한 오염물질로 주목받고 있음
- PAHs는 상온에서 고체로 존재하며, 비점과 융점이 높고, 증기압은 낮으며, 분자량 증가에 따라 극히 낮은 수용해도를 나타내는 특성을 가지고 있으며 여러 유기용매에 용해되며 친유성이 큼
- PAHs의 배출원은 자연적 배출원과 인위적 배출원으로 구분할 수 있는데, 인위적 배출원의 경우 자동차, 난방설비, 산업시설, 소각로, 발전소 등에서 사용되는 화석연료의 연소, 쓰레기 및 폐기물 등의 불완전연소, 토양 잔재의 연소가 90%를 차지함 (WHO, 1987)
- PAHs가 대기 중으로 방출될 때는 대부분 가스 상이지만 대기 중에서 냉각되어 응축과 흡착에 의해 입자상으로 빠르게 상변환이 일어남
- 휘발성이 좀 더 강한 PAHs, 즉 분자량이 작고 가벼운 PAHs (벤젠고리가 2~3개) 중 상당수는 가스 상으로 존재하며 좀 더 무거운 PAHs (벤젠고리가 5~6개)는 배출가스가 냉각됨에 따라 흡착 또는 응축에 의해 배출되는 입자상물질에 빠르게 부착됨
- 비휘발성 PAHs는 직경이 1 μm 보다 작은 입자에 주로 흡착되며, 휘발성 PAHs 성분은 직경이 1 μm 보다 큰 입자에 응축됨
- 일반적으로 미세입자는 비표면적이 넓어 거대입자에 비해 상대적으로 많은 양의 PAHs를 흡착할 수 있고, 대기 중 체류시간이 길며 사람의 폐 깊숙이까지 침투도가 큼 (Van Vaeck, 1984)

1. PAHs의 출현 특성

- 본 연구에서 총 23종의 PAHs를 4계절 측정하고 분석하였으며 표 52에 대산지역 전체 조사지점에서 PAH 측정자료(n=140)를 정리함
- 분석된 23종 입자상 PAHs 중 100%의 검출빈도를 보인 물질은 benzo[a]pyrene, naphthalene, benz[a]anthracene, chrysene 등 8종으로 확인되었으며, benzo[b]fluoranthene, benzo[j+k]fluoranthene, benzo[c]phenanthrene 또한 90%의 높은 검출빈도를 보임
- 전체적으로 15종의 PAHs가 50% 이상의 검출빈도를 보였고 3종이 불검출 되었음
- 농도측면에서 상대적으로 높게 측정된 물질은 fluoranthene 0.68 ng/m^3 , chrysene

0.67 ng/m³, pyrene 0.54 ng/m³ 순으로 높았고, 그 외의 PAHs들은 0.5 ng/m³ 미만으로 낮게 검출됨

- WHO에서 발암성물질로 관리하고 있는 benzo[a]pyrene은 단위위해도 (unit risk)가 8.7×10^{-2} 로 발암성이 매우 높고, 다른 PAHs들과 비교하여 상대독성등가 (toxicity equivalency factors, TEFs)가 매우 높은 대표적 발암성 물질임
- EU에서는 PM10 중 benzo[a]pyrene이 연평균 1 ng/m³을 넘지 않도록 규제하고 있으며, 영국의 연평균 대기환경기준은 0.25 ng/m³, 중국의 경우 일평균 대기환경기준을 0.01 µg/m³로 규제하고 있음
- 대산지역의 benzo[a]pyrene의 평균농도는 0.18 ng/m³로 낮은 농도 특성을 보임
- PAHs 중 위해도 측면에서 또 하나 중요한 물질로는 dibenz[a,h]anthracene을 들 수 있는데, 최근 연구결과에 의하면 benzo[a]pyrene보다 상대독성등가를 더 높게 평가하고 있음(US EPA, 2010; Ramirez et al, 2011)
- dibenz[a,h]anthracene의 평균농도는 0.03 ng/m³로 농도가 매우 낮게 나타남
- 표 52에 측정지점별 PAH 농도를 정리하였고, 또한 이들 자료를 이용하여 그림 43과 같이 박스도표로 도식하였음
- 측정지점들 중 대로3리에서 대부분의 PAHs의 평균농도가 높은 수준으로 나타났음
- PAH 농도합계측면에서 살펴보아도 다른 측정지점들에 비해 대로3리가 적게는 1.6배에서 많게는 3.6배 높게 측정됨
- 대로3리는 산업단지와 약 4 km이상 떨어진 지점으로 대산지역의 PAHs 오염도가 산업단지의 영향을 받았다고 파악하는데는 어려움이 있음

표 52. 대산지역 측정지점별 PAHs 농도

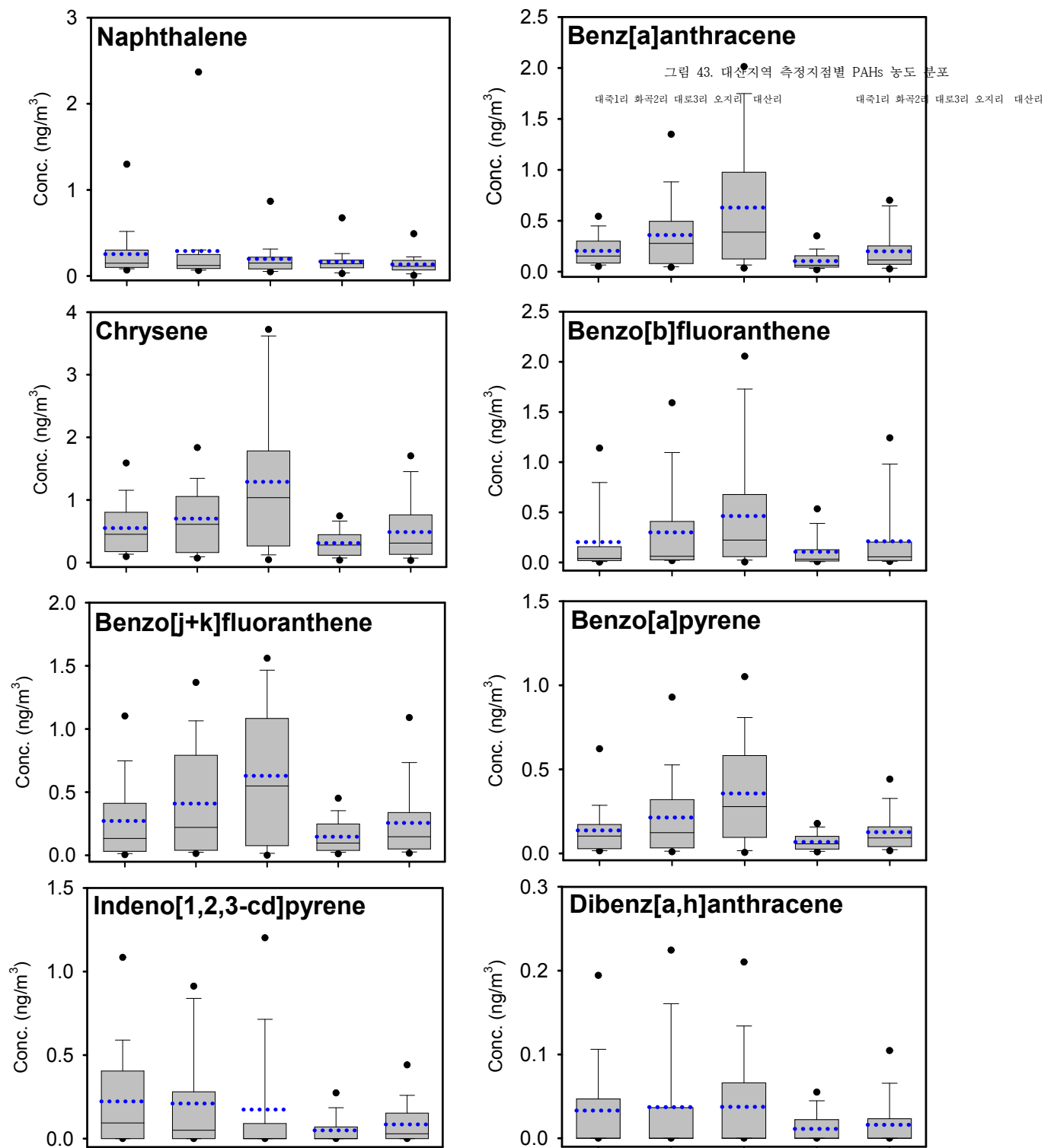
(단위 : ng/m³)

PAHs	전체지점 (n=140)					대죽1리 (n=28)					화곡2리 (n=28)				
	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)
Naphthalene	0.21	0.13	4.03	0.39	100.0	0.25	0.15	1.79	0.33	100.0	0.29	0.12	4.03	0.74	100.0
Acenaphthylene	0.05	0.04	0.47	0.05	84.2	0.05	0.04	0.18	0.04	100.0	0.06	0.05	0.47	0.08	100.0
Acenaphthene	0.05	0.03	0.21	0.06	57.1	0.06	0.05	0.18	0.06	75.0	0.07	0.06	0.21	0.07	60.7
Fluorene	0.05	0.04	0.28	0.05	59.4	0.06	0.06	0.11	0.02	92.3	0.05	0.05	0.15	0.04	67.9
Phenanthrene	0.39	0.21	2.98	0.43	100.0	0.32	0.17	1.11	0.28	100.0	0.40	0.27	1.48	0.33	100.0
Anthracene	0.08	0.06	0.71	0.08	100.0	0.08	0.05	0.71	0.13	100.0	0.10	0.09	0.29	0.05	100.0
Fluoranthene	0.68	0.34	5.07	0.87	100.0	0.54	0.36	1.47	0.50	100.0	0.73	0.34	3.51	0.90	100.0
Pyrene	0.54	0.27	3.95	0.68	100.0	0.45	0.27	1.56	0.44	100.0	0.45	0.23	1.80	0.48	100.0
Benzo[c]phenanthrene	0.13	0.07	0.94	0.18	94.2	0.12	0.11	0.32	0.08	100.0	0.14	0.13	0.55	0.12	100.0
Benzo[a]anthracene	0.30	0.14	2.19	0.38	100.0	0.20	0.15	0.59	0.15	100.0	0.36	0.28	1.63	0.37	100.0
Chrysene	0.67	0.42	3.79	0.73	100.0	0.55	0.45	1.81	0.42	100.0	0.70	0.61	2.12	0.52	100.0
Benzo[b]fluoranthene	0.26	0.06	2.13	0.42	98.6	0.20	0.04	1.39	0.35	96.4	0.30	0.06	1.73	0.46	100.0
Benzo[j+k]fluoranthene	0.34	0.18	1.60	0.40	97.9	0.27	0.13	1.32	0.32	96.4	0.41	0.22	1.49	0.43	100.0
7,12-Dimethylbenz(a)anthracene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzo[e]pyrene	0.30	0.17	1.66	0.32	100.0	0.21	0.15	0.94	0.21	100.0	0.36	0.19	1.66	0.40	100.0
Benzo[a]pyrene	0.18	0.10	1.20	0.22	100.0	0.14	0.10	0.88	0.17	100.0	0.21	0.12	1.16	0.25	100.0
3-Methylcholanthrene	0.03	N.D	0.89	0.09	25.0	0.02	N.D	0.38	0.07	17.9	0.02	N.D	0.25	0.05	25.0
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.15	N.D	1.43	0.26	48.6	0.22	0.09	1.34	0.31	64.3	0.21	0.05	0.93	0.30	57.1
Dibenz[a,h]anthracene	0.03	N.D	0.26	0.05	43.4	0.03	N.D	0.26	0.06	46.4	0.04	N.D	0.25	0.07	46.4
Benzo[g,h,i]perylene	0.12	N.D	1.38	0.26	46.4	0.13	0.02	1.32	0.28	53.6	0.17	0.01	1.38	0.34	50.0
Dibenzo[a,h]pyrene	N.D	N.D	0.09	0.01	5.8	N.D	N.D	0.03	0.01	7.1	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,i]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,l]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Σ PAH	4.55	2.27	35.26	5.93		3.91	2.40	17.70	4.21		5.08	2.88	25.08	6.01	

표 52. 대산지역 측정지점별 PAHs 농도 (계속)

(단위 : ng/m³)

PAHs	대로3리 (n=28)					오지리 (n=28)					대산리 (n=28)				
	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)
Naphthalene	0.20	0.15	1.28	0.23	100.0	0.17	0.14	1.01	0.18	100.0	0.14	0.11	0.68	0.13	100.0
Acenaphthylene	0.06	0.05	0.18	0.05	82.1	0.03	0.02	0.12	0.03	74.1	0.03	0.03	0.08	0.03	64.3
Acenaphthene	0.04	0.02	0.16	0.06	50.0	0.04	0.01	0.18	0.05	50.0	0.04	0.01	0.13	0.05	50.0
Fluorene	0.06	0.04	0.28	0.08	53.6	0.03	N.D	0.11	0.03	46.4	0.03	N.D	0.14	0.05	39.3
Phenanthrene	0.61	0.32	2.98	0.72	100.0	0.26	0.17	0.69	0.20	100.0	0.34	0.19	1.38	0.36	100.0
Anthracene	0.10	0.07	0.34	0.08	100.0	0.06	0.07	0.14	0.03	100.0	0.06	0.05	0.14	0.03	100.0
Fluoranthene	1.25	0.68	5.07	1.35	100.0	0.35	0.28	1.07	0.30	100.0	0.56	0.23	2.17	0.65	100.0
Pyrene	1.08	0.60	3.95	1.11	100.0	0.25	0.21	0.89	0.22	100.0	0.46	0.23	1.92	0.53	100.0
Benzo[c]phenanthrene	0.29	0.13	0.94	0.33	100.0	0.06	0.05	0.19	0.05	96.4	0.08	0.03	0.38	0.10	75.0
Benzo[a]anthracene	0.63	0.39	2.19	0.61	100.0	0.10	0.06	0.43	0.09	100.0	0.20	0.12	0.72	0.21	100.0
Chrysene	1.29	1.04	3.79	1.19	100.0	0.31	0.28	0.76	0.21	100.0	0.49	0.31	1.79	0.48	100.0
Benzo[b]fluoranthene	0.46	0.22	2.13	0.61	96.4	0.11	0.03	0.54	0.15	100.0	0.21	0.06	1.37	0.35	100.0
Benzo[j+k]fluoranthene	0.63	0.55	1.60	0.53	92.9	0.15	0.10	0.47	0.13	100.0	0.26	0.15	1.18	0.28	100.0
7,12-Dimethylbenz(a)anthracene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzo[e]pyrene	0.54	0.51	1.34	0.39	100.0	0.13	0.10	0.33	0.09	100.0	0.25	0.16	1.03	0.26	100.0
Benzo[a]pyrene	0.36	0.28	1.20	0.31	100.0	0.07	0.06	0.19	0.05	100.0	0.13	0.09	0.52	0.12	100.0
3-Methylcholanthrene	0.06	N.D	0.89	0.17	32.1	0.01	N.D	0.08	0.03	25.0	0.03	N.D	0.15	0.05	25.0
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.17	N.D	1.43	0.35	35.7	0.05	N.D	0.30	0.08	35.7	0.09	0.03	0.52	0.13	50.0
Dibenz[a,h]anthracene	0.04	N.D	0.26	0.06	42.9	0.01	N.D	0.06	0.02	34.6	0.02	N.D	0.11	0.03	46.2
Benzo[g,h,i]perylene	0.16	N.D	1.38	0.32	42.9	0.04	N.D	0.25	0.07	42.9	0.08	N.D	0.67	0.16	42.9
Dibenzo[a,h]pyrene	<0.01	N.D	0.09	0.02	3.7	N.D	N.D	0.02	N.D	3.6	<0.01	N.D	0.04	0.01	14.8
Dibenzo[a,i]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,l]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Σ PAH	8.03	5.04	31.48	8.58		2.23	1.57	7.83	2.03		3.49	1.80	15.13	4.02	



2. PAHs의 계절별 농도분포

- 표 53 ~ 표 57에 측정기간 동안 대산지역의 중금속 농도를 계절별로 평균농도와 중앙값, 표준편차, 최댓값으로 정리함
- 또한 이를 취합하여 전체 지점의 중금속 평균농도를 계절별로 정리하여 표 58에 나타내었고, 계절별 농도 분포 현황을 그림 44와 같이 나타내었음
- PAHs 23종 중 검출된 물질의 계절별 평균농도 수준을 살펴보면, 봄 0.04~0.96 ng/m³, 여름 0.01~0.49 ng/m³, 가을 0.01~0.61 ng/m³, 겨울 0.04~1.35 ng/m³의 범위를 보여 겨울철 농도가 여름과 가을에 비하여 높았음
- 또한 Σ PAH의 값이 봄·겨울철이 여름, 가을철에 비해 각각 4배, 2배 가량 높게 조사되어 계절간 농도차이가 크게 나타남
- 일반적으로 PAHs 농도는 동고하저 경향을 보이는데, 기존 문헌들에 따르면 이러한 겨울철 고농도 특성 요인으로 겨울철 난방 연료의 사용량 증가를 들고 있음
- 따라서 대산지역의 PAHs 관리는 계절적 특성을 고려하여 주로 온도가 낮은 시기에 집중되어야 할 것으로 판단됨

표 53. 대산지역 대죽1리 계절별 PAHs 농도

(단위 : ng/m³)

PAHs	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대
Naphthalene	0.10	0.11	0.02	0.12	0.62	0.35	0.53	1.79	0.20	0.18	0.04	0.27	0.11	0.10	0.02	0.15
Acenaphthylene	0.04	0.04	0.03	0.10	0.05	0.03	0.06	0.18	0.03	0.03	0.01	0.04	0.07	0.07	0.02	0.10
Acenaphthene	0.04	0.04	0.01	0.07	0.14	0.14	0.03	0.18	0.07	0.07	0.02	0.11	N.D	N.D	N.D	N.D
Fluorene	0.05	0.05	0.02	0.08	0.05	0.05	0.03	0.08	0.06	0.07	0.01	0.08	0.07	0.06	0.02	0.11
Phenanthrene	0.31	0.24	0.22	0.69	0.10	0.10	0.03	0.16	0.17	0.16	0.07	0.28	0.69	0.70	0.24	1.11
Anthracene	0.04	0.04	0.01	0.06	0.04	0.04	0.02	0.07	0.05	0.05	0.01	0.07	0.20	0.11	0.23	0.71
Fluoranthene	0.75	0.45	0.58	1.47	0.08	0.07	0.03	0.14	0.27	0.23	0.13	0.47	1.04	1.11	0.31	1.45
Pyrene	0.69	0.38	0.57	1.56	0.07	0.07	0.03	0.11	0.21	0.19	0.10	0.37	0.81	0.85	0.28	1.19
Benzo[c]phenanthrene	0.07	0.05	0.04	0.14	0.04	0.03	0.01	0.06	0.15	0.14	0.05	0.21	0.21	0.21	0.08	0.32
Benz[a]anthracene	0.22	0.17	0.16	0.48	0.08	0.08	0.02	0.12	0.23	0.22	0.11	0.42	0.28	0.28	0.19	0.59
Chrysene	0.55	0.49	0.31	0.97	0.15	0.17	0.04	0.19	0.48	0.41	0.17	0.75	1.03	0.99	0.45	1.81
Benzo[b]fluoranthene	0.70	0.77	0.40	1.39	0.03	0.03	0.01	0.05	0.07	0.05	0.05	0.17	0.02	0.02	0.01	0.03
Benzo[j+k]fluoranthene	0.68	0.71	0.36	1.32	0.02	0.02	0.01	0.04	0.29	0.31	0.14	0.45	0.10	0.12	0.05	0.16
7,12-Dimethylbenz(a)anthracene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzo[e]pyrene	0.46	0.47	0.25	0.94	0.04	0.05	0.02	0.07	0.21	0.23	0.10	0.32	0.12	0.15	0.05	0.16
Benzo[a]pyrene	0.31	0.25	0.27	0.88	0.02	0.02	0.00	0.03	0.12	0.10	0.06	0.22	0.11	0.13	0.04	0.15
3-Methylcholanthrene	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	N.D	0.02	0.04	0.05	N.D	0.14	0.38	0.02	N.D	0.04	0.10
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.48	0.41	0.40	1.34	0.10	0.11	0.05	0.16	0.31	0.39	0.31	0.77	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenz[a,h]anthracene	0.11	0.10	0.07	0.26	0.02	0.02	0.01	0.03	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzo[g,h,i]perylene	0.48	0.37	0.39	1.32	0.03	0.02	0.01	0.04	0.02	N.D	0.06	0.15	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,h]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	N.D	0.01	0.03	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,i]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,l]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Σ PAH	6.08	5.14	4.11	13.19	1.7	1.4	0.97	3.57	2.99	2.83	1.58	5.53	4.88	4.9	2.03	8.14

표 54. 대산지역 화곡2리 계절별 PAHs 농도

(단위 : ng/m³)

PAHs	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대
Naphthalene	0.09	0.08	0.02	0.12	0.83	0.29	1.41	4.03	0.16	0.18	0.03	0.18	0.09	0.09	0.02	0.10
Acenaphthylene	0.06	0.04	0.03	0.10	0.09	0.02	0.17	0.47	0.04	0.05	0.01	0.06	0.06	0.06	0.02	0.09
Acenaphthene	0.06	0.06	0.02	0.09	0.15	0.16	0.05	0.21	0.05	N.D	0.07	0.17	N.D	N.D	N.D	N.D
Fluorene	0.08	0.06	0.04	0.15	0.03	0.05	0.03	0.07	0.04	N.D	0.05	0.09	0.05	0.07	0.04	0.10
Phenanthrene	0.58	0.39	0.51	1.48	0.15	0.15	0.03	0.20	0.26	0.25	0.06	0.35	0.61	0.63	0.19	0.78
Anthracene	0.06	0.05	0.04	0.12	0.09	0.08	0.02	0.14	0.13	0.11	0.08	0.29	0.12	0.13	0.02	0.13
Fluoranthene	1.43	0.85	1.37	3.51	0.08	0.07	0.03	0.14	0.26	0.25	0.06	0.35	1.15	1.13	0.48	1.88
Pyrene	0.67	0.51	0.47	1.38	0.08	0.08	0.03	0.14	0.13	0.11	0.08	0.29	0.92	0.83	0.47	1.80
Benzo[c]phenanthrene	0.09	0.04	0.08	0.22	0.02	0.02	0.01	0.04	0.19	0.19	0.05	0.28	0.26	0.24	0.15	0.55
Benz[a]anthracene	0.50	0.33	0.55	1.63	0.06	0.05	0.02	0.08	0.51	0.44	0.23	0.87	0.37	0.28	0.32	1.01
Chrysene	0.78	0.79	0.48	1.48	0.11	0.12	0.03	0.14	0.82	0.84	0.30	1.31	1.10	1.00	0.53	2.12
Benzo[b]fluoranthene	0.93	0.96	0.53	1.73	0.03	0.02	0.02	0.07	0.20	0.20	0.14	0.47	0.04	0.03	0.03	0.10
Benzo[j+k]fluoranthene	0.80	0.82	0.45	1.49	0.02	0.03	0.01	0.03	0.71	0.71	0.29	1.05	0.11	0.11	0.05	0.21
7,12-Dimethylbenz(a)anthracene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzo[e]pyrene	0.77	0.63	0.54	1.66	0.04	0.05	0.02	0.07	0.47	0.47	0.20	0.72	0.14	0.13	0.06	0.25
Benzo[a]pyrene	0.40	0.31	0.39	1.16	0.02	0.02	0.01	0.03	0.30	0.32	0.15	0.51	0.14	0.13	0.08	0.30
3-Methylcholanthrene	N.D	N.D	N.D	N.D	0.09	0.06	0.08	0.25	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.55	0.53	0.34	0.93	0.11	0.12	0.07	0.21	0.19	N.D	0.32	0.68	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenz[a,h]anthracene	0.11	0.10	0.08	0.25	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	N.D	0.07	0.19	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzo[g,h,i]perylene	0.59	0.52	0.45	1.38	0.03	0.03	0.02	0.06	0.08	N.D	0.20	0.54	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,h]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,i]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,l]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Σ PAH	8.55	7.07	6.39	18.88	2.04	1.43	2.07	6.41	4.57	4.12	2.39	8.40	5.16	4.86	2.46	9.42

표 55. 대산지역 대로3리 계절별 PAHs 농도

(단위 : ng/m³)

PAHs	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
Naphthalene	0.06	0.06	0.01	0.08	0.40	0.25	0.39	1.28	0.14	0.14	0.04	0.22	0.20	0.17	0.08	0.36
Acenaphthylene	0.05	0.05	0.02	0.08	0.03	0.01	0.05	0.15	0.03	0.04	0.02	0.06	0.13	0.13	0.04	0.18
Acenaphthene	0.05	0.05	0.03	0.11	0.12	0.14	0.04	0.16	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Fluorene	0.06	0.05	0.03	0.11	0.01	N.D	0.03	0.09	N.D	N.D	N.D	N.D	0.17	0.15	0.06	0.28
Phenanthrene	0.50	0.31	0.40	1.25	0.10	0.10	0.05	0.18	0.29	0.32	0.11	0.43	1.55	1.61	0.83	2.98
Anthracene	0.05	0.04	0.02	0.08	0.04	0.04	0.02	0.07	0.09	0.09	0.03	0.14	0.22	0.22	0.07	0.34
Fluoranthene	1.36	0.75	1.15	3.23	0.12	0.08	0.08	0.22	0.66	0.65	0.25	1.05	2.85	2.72	1.37	5.07
Pyrene	1.31	0.67	1.12	3.02	0.11	0.07	0.08	0.21	0.59	0.59	0.27	1.01	2.29	2.09	1.04	3.95
Benzo[c]phenanthrene	0.12	0.07	0.09	0.23	0.03	0.04	0.02	0.06	0.24	0.23	0.13	0.38	0.74	0.91	0.28	0.94
Benz[a]anthracene	0.42	0.26	0.31	0.79	0.08	0.09	0.04	0.14	0.68	0.72	0.37	1.23	1.33	1.50	0.66	2.19
Chrysene	1.01	0.72	0.62	1.84	0.15	0.17	0.08	0.24	1.11	1.14	0.51	1.90	2.89	3.28	1.07	3.79
Benzo[b]fluoranthene	1.32	1.35	0.64	2.13	0.03	0.03	0.02	0.06	0.36	0.28	0.22	0.75	0.15	0.08	0.12	0.36
Benzo[j+k]fluoranthene	1.04	1.09	0.49	1.60	0.04	0.03	0.03	0.09	0.99	1.06	0.34	1.46	0.45	0.34	0.33	1.04
7,12-Dimethylbenz(a)anthracene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzo[e]pyrene	0.77	0.79	0.35	1.23	0.05	0.04	0.05	0.13	0.71	0.74	0.26	1.07	0.63	0.51	0.35	1.34
Benzo[a]pyrene	0.48	0.53	0.31	0.87	0.03	0.02	0.03	0.09	0.41	0.34	0.22	0.80	0.50	0.45	0.34	1.20
3-Methylcholanthrene	N.D	N.D	N.D	N.D	0.07	0.06	0.04	0.14	N.D	N.D	N.D	N.D	0.16	N.D	0.34	0.89
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.66	0.58	0.43	1.43	0.02	N.D	0.04	0.09	0.01	N.D	0.03	0.09	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenz[a,h]anthracene	0.12	0.10	0.07	0.26	0.01	0.01	0.02	0.04	0.01	N.D	0.03	0.09	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzo[g,h,i]perylene	0.62	0.52	0.39	1.38	0.04	0.02	0.05	0.14	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,h]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	N.D	0.03	0.09	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,i]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,l]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Σ PAH	10.00	7.99	6.48	19.72	1.49	1.20	1.19	3.67	6.32	6.34	2.83	10.68	14.26	14.16	6.98	24.91

표 56. 대산지역 오지리 계절별 PAHs 농도

(단위 : ng/m³)

PAHs	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
Naphthalene	0.06	0.04	0.05	0.17	0.34	0.23	0.30	1.01	0.14	0.14	0.02	0.18	0.13	0.10	0.04	0.19
Acenaphthylene	0.03	0.02	0.02	0.07	0.04	0.02	0.04	0.12	N.D	N.D	N.D	N.D	0.06	0.06	0.02	0.08
Acenaphthene	0.03	0.03	0.01	0.03	0.12	0.12	0.04	0.18	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Fluorene	0.03	0.03	0.02	0.06	0.03	N.D	0.03	0.07	N.D	N.D	N.D	N.D	0.05	0.08	0.05	0.11
Phenanthrene	0.21	0.14	0.21	0.67	0.12	0.12	0.05	0.19	0.19	0.17	0.06	0.31	0.52	0.57	0.15	0.69
Anthracene	0.03	0.02	0.02	0.08	0.06	0.07	0.02	0.09	0.07	0.06	0.01	0.09	0.10	0.10	0.02	0.14
Fluoranthene	0.37	0.29	0.34	1.07	0.07	0.07	0.02	0.09	0.30	0.27	0.16	0.63	0.66	0.63	0.21	0.99
Pyrene	0.30	0.21	0.29	0.89	0.06	0.07	0.02	0.09	0.21	0.20	0.12	0.44	0.43	0.41	0.17	0.72
Benzo[c]phenanthrene	0.03	0.03	0.02	0.07	0.02	0.02	N.D	0.03	0.09	0.09	0.06	0.19	0.10	0.09	0.04	0.16
Benz[a]anthracene	0.09	0.05	0.08	0.25	0.05	0.05	0.01	0.06	0.20	0.16	0.11	0.43	0.09	0.06	0.06	0.18
Chrysene	0.29	0.24	0.23	0.72	0.09	0.09	0.03	0.13	0.40	0.39	0.19	0.76	0.46	0.45	0.16	0.65
Benzo[b]fluoranthene	0.31	0.25	0.18	0.54	0.03	0.01	0.02	0.07	0.06	0.03	0.05	0.13	0.03	0.02	0.01	0.05
Benzo[j+k]fluoranthene	0.29	0.29	0.14	0.47	0.03	0.03	0.01	0.04	0.19	0.19	0.11	0.34	0.09	0.09	0.05	0.17
7,12-Dimethylbenz(a)anthracene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzo[e]pyrene	0.21	0.23	0.10	0.33	0.04	0.05	0.02	0.07	0.14	0.15	0.08	0.24	0.11	0.13	0.06	0.22
Benzo[a]pyrene	0.10	0.07	0.05	0.19	0.02	0.01	0.01	0.03	0.06	0.05	0.04	0.13	0.09	0.09	0.04	0.16
3-Methylcholanthrene	N.D	N.D	N.D	N.D	0.05	0.05	0.02	0.08	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.17	0.17	0.09	0.30	0.03	N.D	0.04	0.07	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenz[a,h]anthracene	0.04	0.04	0.01	0.05	0.02	0.01	0.02	0.06	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzo[g,h,i]perylene	0.15	0.17	0.07	0.25	0.03	0.02	0.02	0.06	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,h]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	0.02	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,i]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,l]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Σ PAH	2.74	2.32	1.93	6.21	1.25	1.04	0.73	2.56	2.05	1.90	1.01	3.87	2.92	2.88	1.08	4.51

표 57. 대산지역 대산리 계절별 PAHs 농도

(단위 : ng/m³)

PAHs	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
Naphthalene	0.08	0.08	0.02	0.09	0.28	0.22	0.18	0.68	0.09	0.11	0.06	0.13	0.10	0.12	0.05	0.15
Acenaphthylene	0.05	0.05	0.02	0.08	0.03	0.03	0.02	0.08	N.D	N.D	N.D	N.D	0.05	0.08	0.04	0.08
Acenaphthene	0.05	0.06	0.02	0.08	0.10	0.12	0.03	0.13	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Fluorene	0.07	0.06	0.02	0.10	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.07	0.08	0.06	0.14
Phenanthrene	0.43	0.29	0.31	0.92	0.10	0.09	0.04	0.18	0.12	0.12	0.09	0.26	0.73	0.72	0.43	1.38
Anthracene	0.05	0.05	0.02	0.09	0.04	0.04	0.01	0.06	0.05	0.05	0.03	0.09	0.09	0.11	0.04	0.14
Fluoranthene	0.90	0.58	0.69	1.83	0.12	0.08	0.08	0.25	0.15	0.14	0.13	0.39	1.07	0.94	0.73	2.17
Pyrene	0.83	0.50	0.67	1.92	0.11	0.08	0.05	0.20	0.13	0.11	0.10	0.30	0.78	0.63	0.51	1.68
Benzo[c]phenanthrene	0.07	0.04	0.06	0.19	0.03	0.03	0.01	0.05	N.D	N.D	N.D	N.D	0.20	0.14	0.13	0.38
Benz[a]anthracene	0.27	0.16	0.24	0.72	0.08	0.07	0.03	0.13	0.16	0.12	0.17	0.53	0.30	0.17	0.26	0.68
Chrysene	0.65	0.46	0.46	1.44	0.14	0.13	0.07	0.25	0.25	0.21	0.24	0.74	0.90	0.77	0.59	1.79
Benzo[b]fluoranthene	0.67	0.43	0.47	1.37	0.03	0.02	0.02	0.07	0.04	0.03	0.04	0.11	0.12	0.13	0.07	0.21
Benzo[j+k]fluoranthene	0.58	0.37	0.39	1.18	0.03	0.03	0.01	0.05	0.16	0.13	0.09	0.31	0.26	0.25	0.13	0.42
7,12-Dimethylbenz(a)anthracene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzo[e]pyrene	0.40	0.28	0.25	0.77	0.05	0.05	0.02	0.08	0.11	0.10	0.06	0.20	0.46	0.42	0.30	1.03
Benzo[a]pyrene	0.21	0.12	0.17	0.52	0.03	0.03	0.01	0.05	0.07	0.06	0.04	0.12	0.20	0.16	0.10	0.32
3-Methylcholanthrene	N.D	N.D	N.D	N.D	0.10	0.12	0.04	0.15	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.25	0.19	0.15	0.52	0.09	0.07	0.05	0.21	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenz[a,h]anthracene	0.05	0.04	0.04	0.11	0.01	0.01	0.01	0.03	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzo[g,h,i]perylene	0.29	0.18	0.22	0.67	0.03	0.04	0.03	0.06	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,h]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	0.02	0.03	0.02	0.04	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,i]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,l]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Σ PAH	5.90	3.94	4.22	12.60	1.42	1.29	0.73	2.75	1.33	1.18	1.05	3.18	5.33	4.72	3.44	10.57

표 58. 대산지역 전체지점 계절별 PAHs 농도

(단위 : ng/m³)

PAHs	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대	평균	중앙값	표준편차	최대
Naphthalene	0.08	0.08	0.02	0.17	0.49	0.25	0.49	4.03	0.14	0.14	0.01	0.27	0.12	0.10	0.03	0.36
Acenaphthylene	0.05	0.04	0.01	0.10	0.05	0.02	0.06	0.47	0.02	0.03	0.01	0.06	0.07	0.07	0.01	0.18
Acenaphthene	0.05	0.05	0.01	0.11	0.13	0.14	0.01	0.21	0.03	N.D	0.03	0.17	N.D	N.D	N.D	N.D
Fluorene	0.06	0.05	0.01	0.15	0.02	N.D	0.02	0.09	0.02	N.D	0.02	0.09	0.08	0.08	0.02	0.28
Phenanthrene	0.41	0.29	0.13	1.48	0.12	0.10	0.01	0.20	0.21	0.17	0.02	0.43	0.82	0.70	0.28	2.98
Anthracene	0.04	0.04	0.01	0.12	0.06	0.04	0.01	0.14	0.08	0.06	0.03	0.29	0.15	0.11	0.09	0.71
Fluoranthene	0.96	0.58	0.42	3.51	0.09	0.07	0.03	0.25	0.33	0.25	0.07	1.05	1.35	1.11	0.46	5.07
Pyrene	0.76	0.50	0.31	3.02	0.09	0.07	0.02	0.21	0.25	0.19	0.08	1.01	1.05	0.83	0.33	3.95
Benzo[c]phenanthrene	0.08	0.04	0.03	0.23	0.03	0.03	N.D	0.06	0.13	0.14	0.05	0.38	0.30	0.21	0.09	0.94
Benz[a]anthracene	0.30	0.17	0.18	1.63	0.07	0.07	0.01	0.14	0.36	0.22	0.11	1.23	0.47	0.28	0.22	2.19
Chrysene	0.65	0.49	0.15	1.84	0.13	0.13	0.02	0.25	0.61	0.41	0.14	1.90	1.28	0.99	0.33	3.79
Benzo[b]fluoranthene	0.79	0.77	0.17	2.13	0.03	0.02	N.D	0.07	0.14	0.05	0.08	0.75	0.07	0.03	0.05	0.36
Benzo[j+k]fluoranthene	0.68	0.71	0.13	1.60	0.03	0.03	0.01	0.09	0.47	0.31	0.11	1.46	0.20	0.12	0.12	1.04
7,12-Dimethylbenz(a)anthracene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzo[e]pyrene	0.52	0.47	0.16	1.66	0.05	0.05	0.01	0.13	0.33	0.23	0.09	1.07	0.29	0.15	0.15	1.34
Benzo[a]pyrene	0.30	0.25	0.13	1.16	0.02	0.02	0.01	0.09	0.19	0.10	0.08	0.80	0.21	0.13	0.13	1.20
3-Methylcholanthrene	N.D	N.D	N.D	N.D	0.06	0.06	0.03	0.25	0.01	N.D	0.06	0.38	0.04	N.D	0.15	0.89
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.42	0.41	0.15	1.43	0.07	0.07	0.01	0.21	0.10	N.D	0.17	0.77	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenz[a,h]anthracene	0.09	0.10	0.03	0.26	0.01	0.01	0.01	0.06	0.01	N.D	0.03	0.19	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzo[g,h,i]perylene	0.42	0.37	0.16	1.38	0.03	0.02	0.02	0.14	0.02	N.D	0.09	0.54	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,h]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	N.D	0.01	0.09	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,i]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dibenzo[a,l]pyrene	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Σ PAH	6.66	5.41	2.21	21.98	1.59	1.2	0.79	7.18	3.45	2.3	1.28	12.84	6.5	4.91	2.46	25.28

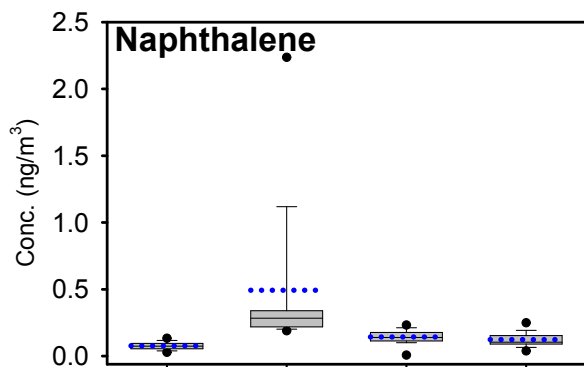
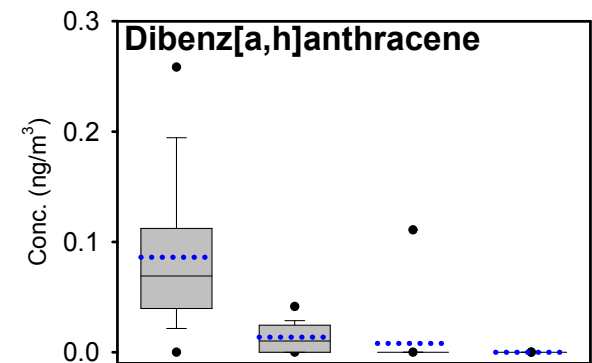
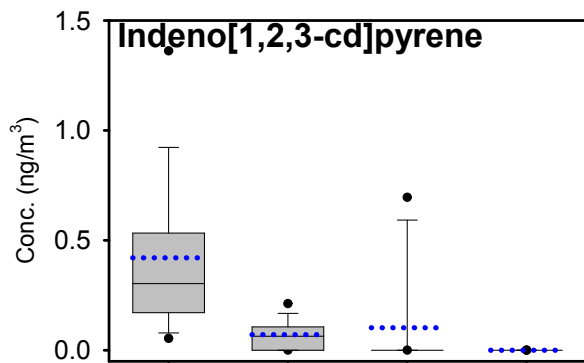
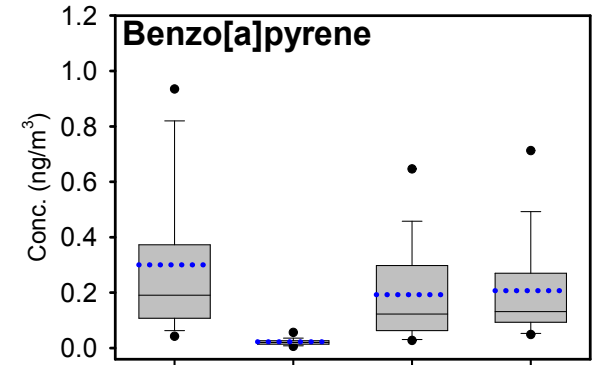
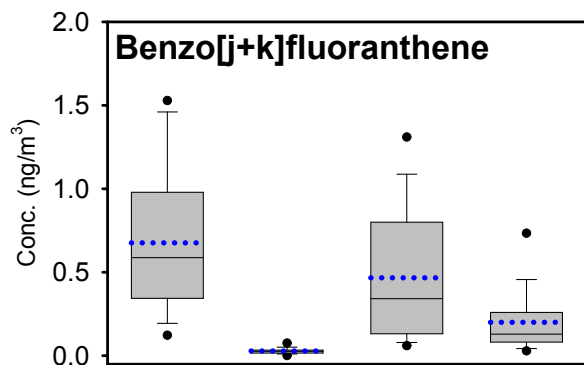
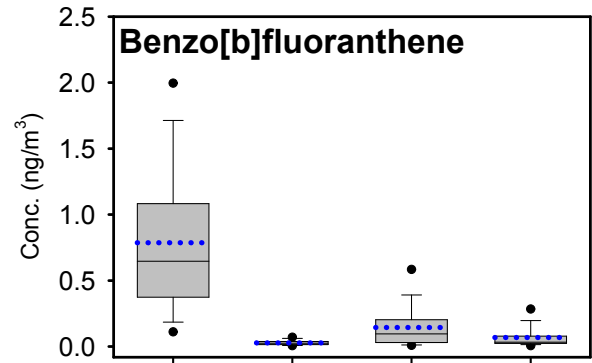
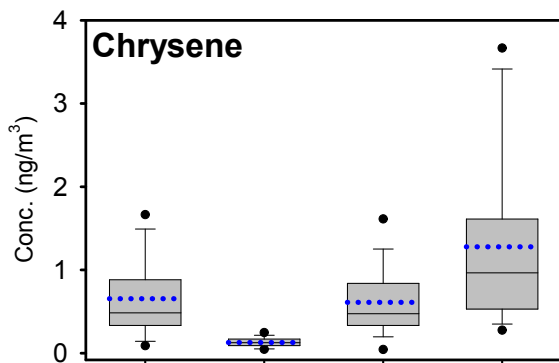
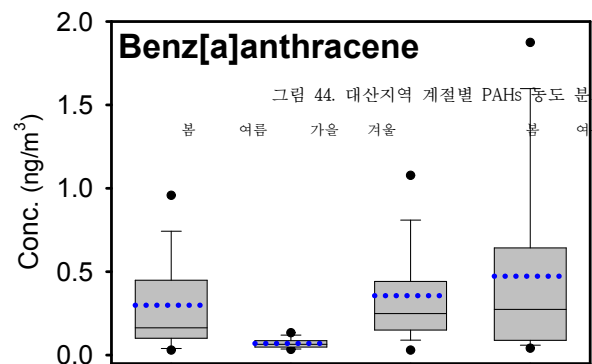


그림 44. 대산지역 계절별 PAHs 농도 분포

봄 여름 가을 겨울



3. 타지역 PAHs 측정사례와의 비교

- 표 59와 그림 45에 국내에서 환경부가 운영하는 유해대기물질측정망의 PAH 농도자료(대기환경월보, 월 1회(2018년 3월, 6월 자료) 또는 월 2회(2018년 10월, 2019년 2월 자료))를 정리함
- 이 때, 서산과 더불어 석유화학단지가 입지해 있는 울산, 여수의 자료와 비교하여 대산지역의 오염도를 비교하고자 하였음
- 주로 화곡2리, 대로3리에서 울산 및 여수보다 높은 농도가 나타나 산단의 영향보다는 주변 소각시설의 영향이 클 것으로 사료됨
- 그러나 채취지점의 차이, 채취시기 동안의 기상조건 등의 다양한 요건에 의해 측정값의 변화를 가져올 수 있기 때문에 정확한 원인 파악을 위해서는 더욱 정밀한 연구조사가 필요할 것으로 보여짐

표 59. 국내 유해대기물질측정망과 본 연구의 PAHs 농도 비교

(단위 : ng/m³)

			Benzo(a)anthracene	Chrysene	Benzo(b)fluoranthene	Benzo(k)fluoranthene	Dibenzo(a,h)anthracene	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	Benzo(a)pyrene
봄철 (3월)	본 연구	대죽1리	0.22	0.55	0.70	0.68*	0.11	0.48	0.31
		화곡2리	0.50	0.78	0.93	0.80*	0.11	0.55	0.40
		대로3리	0.42	1.01	1.32	1.04*	0.12	0.66	0.48
		오지리	0.09	0.29	0.31	0.29*	0.04	0.17	0.10
		대산리	0.27	0.65	0.67	0.58*	0.05	0.25	0.21
	측정망	서산 독곶리	N.D.	0.08	0.17	0.03	N.D.	0.08	0.05
		울산 신정동	0.09	0.20	0.16	0.07	N.D.	0.14	0.12
		울산 여천동	0.08	0.21	0.07	0.05	N.D.	0.18	0.12
		여수 여천동	0.12	0.24	0.16	0.07	N.D.	0.13	0.11
여름철 (6월)	본 연구	대죽1리	0.08	0.15	0.03	0.02*	0.02	0.10	0.02
		화곡2리	0.06	0.11	0.03	0.02*	0.01	0.11	0.02
		대로3리	0.08	0.15	0.03	0.04*	0.01	0.02	0.03
		오지리	0.05	0.09	0.03	0.03*	0.02	0.03	0.02
		대산리	0.08	0.14	0.03	0.03*	0.01	0.09	0.03
	측정망	서산 독곶리	N.D.	N.D.	0.08	N.D.	N.D.	N.D.	0.02
		울산 신정동	N.D.	0.23	N.D.	N.D.	N.D.	0.06	0.06
		울산 여천동	0.09	0.50	N.D.	N.D.	N.D.	0.07	0.06
		여수 여천동	0.08	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.04
가을철 (10월)	본 연구	대죽1리	0.23	0.48	0.07	0.29*	N.D.	0.31	0.12
		화곡2리	0.51	0.82	0.20	0.71*	0.03	0.19	0.30
		대로3리	0.68	1.11	0.36	0.99*	0.01	0.01	0.41
		오지리	0.20	0.40	0.06	0.19*	N.D.	N.D.	0.06
		대산리	0.16	0.25	0.04	0.16*	N.D.	N.D.	0.07
	측정망	서산 독곶리	N.D.	0.17	N.D.	N.D.	N.D.	0.17	N.D.
		울산 신정동	0.11	0.22	N.D.	N.D.	N.D.	0.15	N.D.
		울산 여천동	0.05	0.19	N.D.	N.D.	N.D.	0.14	N.D.
		여수 여천동	0.37	0.87	0.55	0.21	N.D.	0.38	0.29
겨울철 (2월)	본 연구	대죽1리	0.28	1.03	0.02	0.10*	N.D.	N.D.	0.11
		화곡2리	0.37	1.10	0.04	0.11*	N.D.	N.D.	0.14
		대로3리	1.33	2.89	0.15	0.45*	N.D.	N.D.	0.50
		오지리	0.09	0.46	0.03	0.09*	N.D.	N.D.	0.09
		대산리	0.30	0.90	0.12	0.26*	N.D.	N.D.	0.20
	측정망	서산 독곶리	0.36	0.74	0.68	0.29*	0.07	N.D.	0.16
		울산 신정동	0.26	0.54	0.59	0.29*	N.D.	N.D.	0.10
		울산 여천동	0.14	0.30	0.35	0.24*	N.D.	N.D.	0.02
		여수 여천동	0.74	1.57	1.61	0.49*	0.11	N.D.	0.53

*=Benzo[j+k]fluoranthene

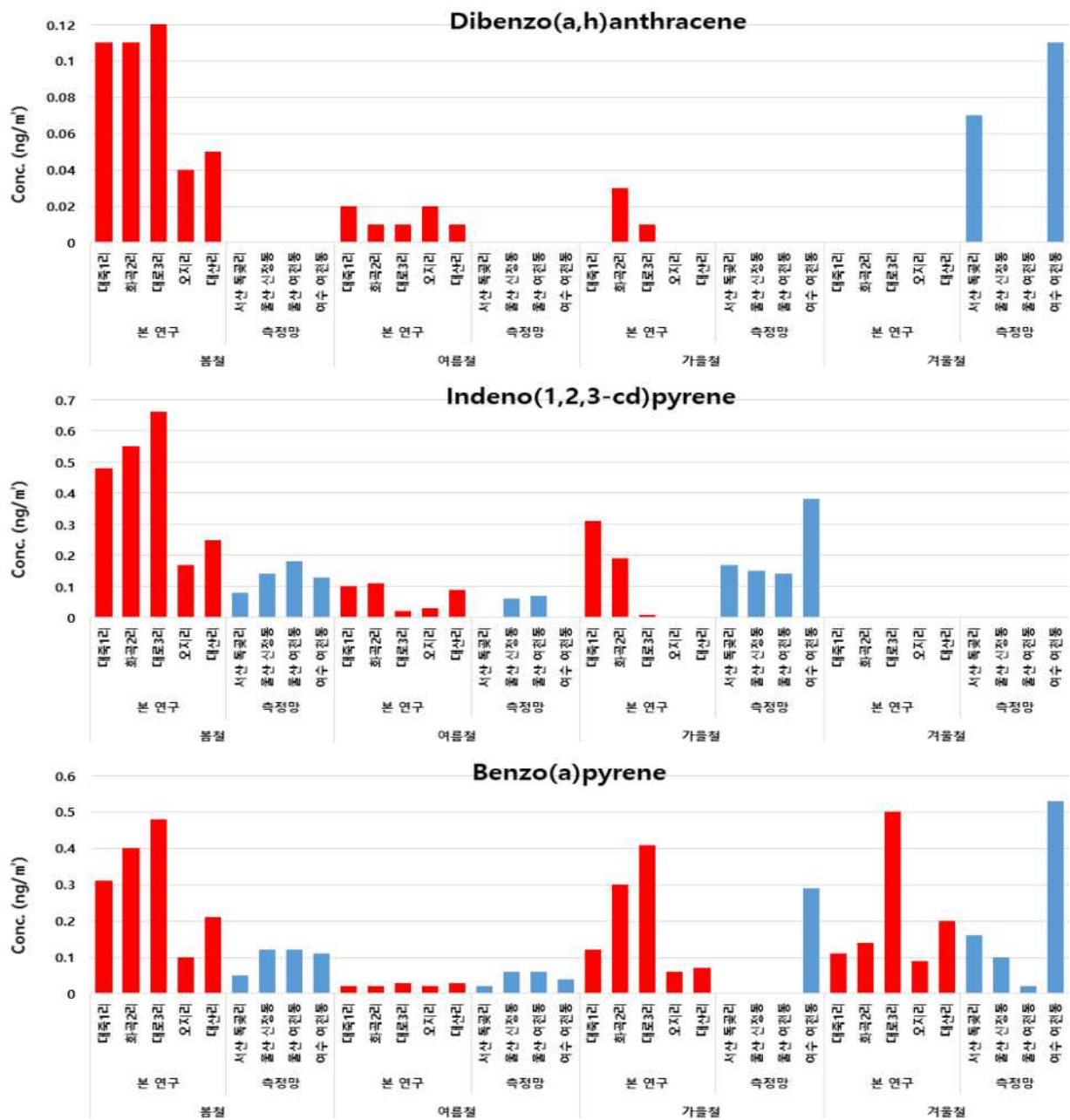


그림 45. 유해대기물질측정망과 대산지역 PAHs 측정농도 비교 (계속)

제 5 절 프탈레이트류

- 프탈레이트류는 탈염산이라고 부르기도 하며 건설 재료, 케이블, 바닥재, 장난감, 식기류 등 다양한 곳에 사용되는 쓰이는 플라스틱 제품을 부드럽고 유연하게 만드는데 첨가되는 가소제이고, 또한 화장품의 용매로 사용되기도 하며 향수의 휘발 보유제, 헤어스프레이, 피부 완화제로 사용되기도 함
- 프탈레이트류 화합물에는 다이메틸프탈레이트(dimethyl phthalate, 이하 DMP), 디에틸프탈레이트(diethyl phthalate, 이하 DEP), 다이알릴프탈레이트(diallyl phthalate, 이하 DAP), 다이부틸프탈레이트(dibutyl phthalate, 이하DBP), 다이에틸헥실프탈레이트(di(2-ethyl hexyl)phthalate, 이하 DEHP)등 20여종의 물질이 있음
- 이러한 프탈레이트류는 제조과정, 사용 중, 사용 후 매립과정에서 환경으로 방출되며 독일의 한 연구에 따르면 가정용 폐기물 중에 존재하는 프탈레이트류 중의 90 % 이상이 PVC 가소제인 DEHP인 것으로 보고되었음 (Bauer and Hermann, 1997)
- 또한 증발작용을 통해 모체로부터 떨어져 나와 공기 중으로 방출될 수 있으며 프탈레이트의 배출계수는 온도에 따라 증가하는 것으로 알려져 있음(Wang et al., 2007)
- 대기 중으로 유입된 프탈레이트류는 기체상 또는 입자상으로 재분배되거나 산화, 광분해 작용과 같은 제거 mechanism을 거쳐 습식·건식으로 침적되며 증기화와 침전은 동시에 일어나며 이들의 평형관계는 풍속, 기온, 증기압, 수압, 수중 용해도와 같은 화합물들의 물리·화학적 특성 및 여러 요인에 의해 결정됨 (Teil et al., 2006)

1. 프탈레이트류의 출현 특성

- 대산지역의 5개 지점을 대상으로 4계절간 측정된 대기 중 과업지정 대상 물질 2종(dibutyl phthalate 이하 DBP, di(2-ethyl hexyl)phthalate 이하 DEHP)을 포함한 기본 측정물질 6가지(DBP와 DEHP를 포함한 dimethyl phthalate(이하 DMP), diethyl phthalate(이하 DEP), butyl benzyl phthalate(이하 BBP), di-n-octyl phthalate(이하 DOP))에 대한 농도수치와 검출빈도를 표 60, 그림 46에 나타내었음
- DBP, DEHP와 DEP, DOP 총 4종의 물질이 100%로 검출되어 대산지역 대기에 항상 존재하고 있는 물질임을 알 수 있음
- DMP는 97.1%, BBP는 79.3%로 본 연구에서 조사한 6종의 프탈레이트류 물질이 모두 높은 빈도로 검출되었음
- 전체자료의 입자상 프탈레이트류 평균 농도를 살펴보면 프탈레이트류 중에서 가장 독성이 강하다고 알려진 DEHP의 경우 평균농도 14.23 ng/m³으로 대산지역에서 프탈

레이트류 중 가장 고농도로 검출됨

- 또한 DEP, DBP가 각각 6.96 ng/m³, 6.05 ng/m³으로 나타났고, 이외의 3종은 1 ng/m³ 이하의 농도로 나타남
- 대산지역의 프탈레이트류 농도를 측정지점별로 살펴보면, DEHP의 경우 대로3리가 16.01 ng/m³로 가장 높은 평균 농도를 보였으며, 화곡2리 15.09 ng/m³, 오지리 14.00 ng/m³, 대죽1리 13.32 ng/m³, 대산리 12.72 ng/m³ 순으로 나타남
- DBP의 경우 또한 대로3리에서 7.80 ng/m³으로 가장 높고, 화곡2리 6.11 ng/m³, 대산리 6.10 ng/m³, 대죽1리 5.26 ng/m³, 오지리 5.01 ng/m³ 순으로 나타남
- 이 외의 물질도 본 조사기간 동안 대로3리에서 전반적으로 높은 경향성을 보임
- 프탈레이트류의 경우 일반적으로 PAHs 보다 고농도로 나타나는데 이는 주위의 산업 활동에 의해 배출되는 특정 배출원의 영향뿐만 아니라 생활환경에서도 많이 배출되기 때문임
- 본 연구에서 대로3리 지점의 경우 산업단지와 비교적 근거리에 위치한 대죽1리, 화곡2리 보다 높게 관측되는 것으로 확인되어, 공장으로부터 배출되는 오염물의 영향에 의한 것인지 기타 생활환경 활동에 소비되는 여러 제품들에 의한 것인지 명확하게 결론을 내리기에는 어려움이 있음

표 60. 대산지역 측정지점별 프탈레이트류 농도

(단위 : ng/m³)

프탈레이트류	전체지점 (n=140)					대죽1리 (n=28)					화곡2리 (n=28)				
	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)
Dimethyl phthalate	0.40	0.29	2.70	0.46	97.1	0.43	0.30	2.04	0.46	100.0	0.45	0.28	2.70	0.57	100.0
Diethyl phthalate	6.96	6.52	17.12	3.17	100.0	6.97	6.12	13.08	2.52	100.0	7.71	6.85	17.12	4.32	100.0
Dibutyl phthalate	6.05	6.17	20.00	2.54	100.0	5.26	5.06	8.36	1.75	100.0	6.11	5.84	16.66	3.25	100.0
Butyl benzyl phthalate	0.16	0.16	0.95	0.16	79.3	0.13	0.13	0.33	0.09	92.9	0.12	0.12	0.26	0.08	78.6
Di(2ethylhexyl) phthalate	14.23	13.31	36.03	5.89	100.0	13.32	12.49	24.59	4.77	100.0	15.09	14.13	27.66	5.75	100.0
Di-n-octyl phthalate	0.49	0.22	3.36	0.58	100.0	0.38	0.21	2.08	0.42	100.0	0.45	0.18	3.36	0.72	89.3

표 60. 대산지역 측정지점별 프탈레이트류 농도 (계속)

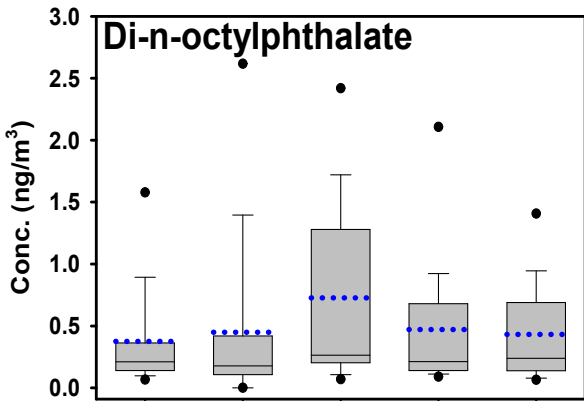
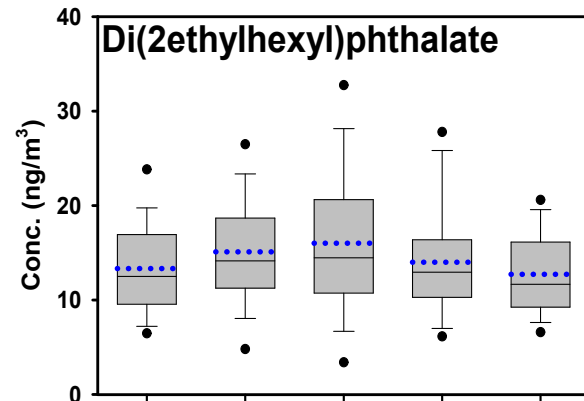
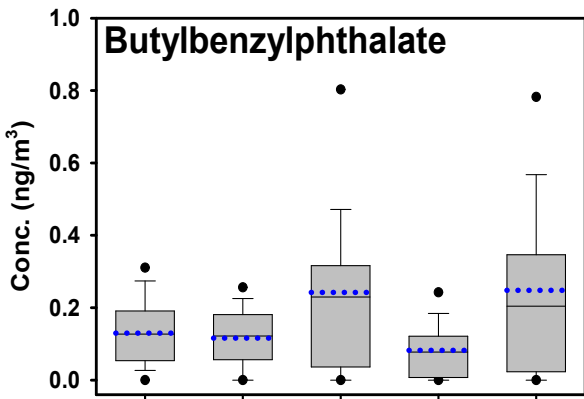
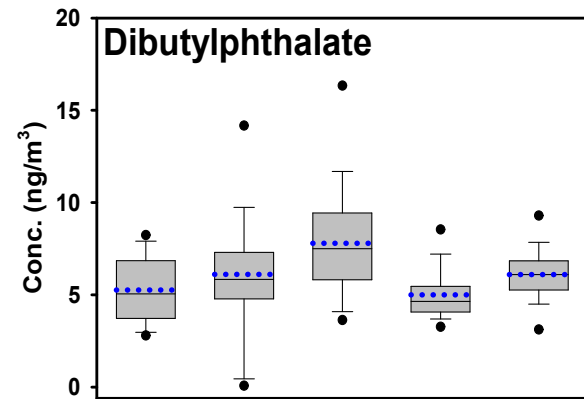
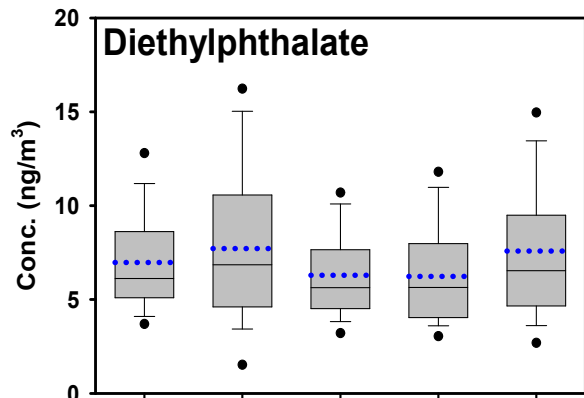
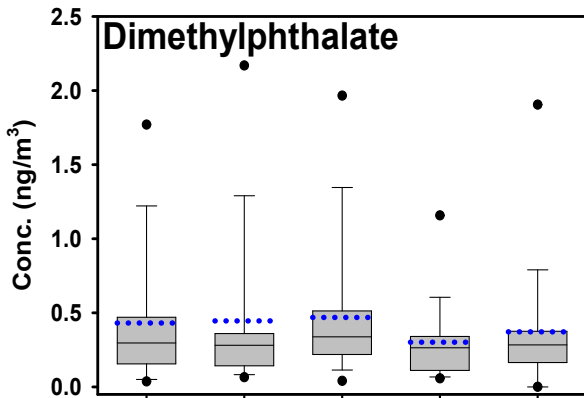
(단위 : ng/m³)

프탈레이트류	대로3리 (n=28)					오지리 (n=28)					대산리 (n=28)				
	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)	평균	중앙값	최대	표준편차	검출빈도 (%)
Dimethyl phthalate	0.47	0.34	2.26	0.49	96.4	0.30	0.26	1.41	0.28	100.0	0.37	0.28	2.45	0.47	89.3
Diethyl phthalate	6.29	5.64	11.08	2.20	100.0	6.23	5.64	11.95	2.66	100.0	7.59	6.54	15.71	3.60	100.0
Dibutyl phthalate	7.80	7.51	20.00	3.29	100.0	5.01	4.64	9.43	1.36	100.0	6.10	6.10	9.97	1.43	100.0
Butyl benzyl phthalate	0.24	0.23	0.95	0.21	75.0	0.08	0.08	0.25	0.07	75.0	0.25	0.20	0.92	0.23	75.0
Di(2ethylhexyl) phthalate	16.01	14.47	36.03	7.88	100.0	14.00	12.94	28.09	5.98	100.0	12.72	11.65	21.17	4.20	100.0
Di-n-octyl phthalate	0.73	0.26	2.92	0.74	100.0	0.47	0.21	2.67	0.54	100.0	0.43	0.24	1.48	0.39	100.0

그림 46. 대산지역 측정지점별 프탈레이트류 농도 분포

대죽1리 화곡2리 대로3리 오지리 대산리

대죽1리 화곡2리 대로3리 오지리 대산리



2. 프탈레이트류의 계절별 농도 분포

- 표 61 ~ 표 65에 측정기간 동안 대산지역의 중금속 농도를 계절별로 평균농도와 중앙값, 표준편차, 최댓값으로 정리함
- 또한 이를 취합하여 전체 지점의 중금속 평균농도를 계절별로 정리하여 표 66에 나타내었고, 계절별 농도 분포 현황을 그림 47과 같이 나타내었음
- 계절별 농도수준을 살펴보면, DEHP, DBP를 포함한 총 4종은 봄철에 농도가 가장 높았고, DMP, DEP는 가을철에 가장 높았음
- 이중 계절별 농도 변화가 큰 물질은 DEHP, DEP로 나타남
- DEHP의 경우 겨울철에 농도가 높게 나타난 오지리를 제외한 다른 지점들에서 봄철에 높은 농도가 관측되었고, DEP는 화곡2리, 오지리, 대산리에서 가을철에 농도가 높음

표 61. 대산지역 대죽1리 계절별 프탈레이트류 농도

(단위 : ng/m³)

프탈레이트류	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대
Dimethyl phthalate	0.09	0.06	0.07	0.22	0.39	0.39	0.07	0.48	0.72	0.48	0.64	2.04	0.52	0.24	0.55	1.44
Diethyl phthalate	6.32	5.10	2.38	10.43	7.42	6.66	2.60	12.44	7.69	6.17	3.58	13.08	6.47	6.59	1.27	7.92
Dibutyl phthalate	4.92	4.99	1.23	6.41	6.64	7.42	1.62	8.36	5.60	5.18	1.51	7.89	3.89	3.14	1.65	7.40
Butyl benzyl phthalate	0.06	0.04	0.03	0.13	0.20	0.20	0.08	0.33	0.13	0.14	0.04	0.20	0.13	0.14	0.10	0.28
Di(2ethylhexyl) phthalate	17.34	15.46	5.04	24.59	12.42	11.83	2.17	17.03	7.66	7.40	1.13	9.28	15.88	16.55	2.48	19.35
Di-n-octyl phthalate	0.94	0.80	0.54	2.08	0.15	0.14	0.07	0.29	0.18	0.14	0.09	0.36	0.23	0.23	0.04	0.30

표 62. 대산지역 화곡2리 계절별 프탈레이트류 농도

(단위 : ng/m³)

프탈레이트류	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대
Dimethyl phthalate	0.10	0.10	0.04	0.16	0.30	0.30	0.04	0.36	0.85	0.45	0.91	2.70	0.53	0.34	0.52	1.52
Diethyl phthalate	7.44	7.52	3.99	15.02	5.08	4.90	2.78	8.45	12.80	13.64	3.80	17.12	5.53	5.10	1.42	7.38
Dibutyl phthalate	9.12	7.43	3.83	16.66	5.22	6.31	3.63	8.71	5.46	5.13	0.87	6.70	4.62	4.85	2.07	7.18
Butyl benzyl phthalate	0.09	0.08	0.03	0.13	0.14	0.14	0.03	0.19	0.21	0.22	0.05	0.26	0.03	N.D	0.08	0.21
Di(2ethylhexyl) phthalate	21.08	21.85	6.33	27.66	12.55	12.52	2.72	17.10	9.91	11.06	3.85	14.23	16.81	17.28	1.56	19.12
Di-n-octyl phthalate	1.33	1.15	1.03	3.36	0.20	0.12	0.17	0.44	0.08	0.10	0.08	0.19	0.19	0.18	0.07	0.35

표 63. 대산지역 대로3리 계절별 프탈레이트류 농도

(단위 : ng/m³)

프탈레이트류	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대
Dimethyl phthalate	0.17	0.14	0.09	0.34	0.35	0.32	0.11	0.53	0.73	0.35	0.80	2.26	0.62	0.44	0.45	1.61
Diethyl phthalate	6.24	7.35	1.65	7.80	5.40	5.04	1.66	7.63	7.40	7.66	2.42	11.08	6.13	4.93	2.85	10.22
Dibutyl phthalate	8.41	7.72	1.98	11.85	8.16	7.55	2.54	11.67	6.59	6.36	2.14	9.93	8.02	7.47	5.61	20.00
Butyl benzyl phthalate	0.44	0.33	0.27	0.95	0.31	0.29	0.09	0.45	0.22	0.21	0.06	0.31	N.D	N.D	N.D	N.D
Di(2ethylhexyl) phthalate	19.73	19.17	6.55	28.09	13.14	13.23	1.74	15.44	7.71	8.79	3.34	11.74	23.44	22.24	7.20	36.03
Di-n-octyl phthalate	0.84	0.36	0.73	1.81	0.93	1.11	0.64	1.71	0.31	0.21	0.34	1.08	0.83	0.24	1.06	2.92

표 64. 대산지역 오지리 계절별 프탈레이트류 농도

(단위 : ng/m³)

프탈레이트류	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대
Dimethyl phthalate	0.08	0.07	0.03	0.14	0.30	0.28	0.07	0.41	0.51	0.34	0.42	1.41	0.32	0.22	0.26	0.85
Diethyl phthalate	5.90	5.94	2.52	10.90	5.21	4.37	1.80	8.20	9.08	9.84	2.59	11.95	4.71	4.75	1.42	6.78
Dibutyl phthalate	4.58	4.39	0.62	5.50	6.21	5.72	1.76	9.43	4.60	4.03	1.26	7.18	4.64	4.54	0.99	6.23
Butyl benzyl phthalate	0.05	0.05	0.01	0.07	0.15	0.15	0.05	0.25	0.13	0.12	0.05	0.23	N.D	N.D	N.D	N.D
Di(2ethylhexyl) phthalate	20.95	20.93	6.67	28.09	12.53	12.07	3.30	16.84	9.07	7.13	3.29	14.02	13.44	14.48	2.72	16.68
Di-n-octyl phthalate	0.98	0.73	0.84	2.67	0.62	0.64	0.20	0.83	0.14	0.14	0.04	0.20	0.15	0.14	0.04	0.20

표 65. 대산지역 대산리 계절별 프탈레이트류 농도

(단위 : ng/m³)

프탈레이트류	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대
Dimethyl phthalate	0.26	0.16	0.23	0.74	0.34	0.32	0.06	0.44	0.73	0.38	0.84	2.45	0.15	0.20	0.14	0.31
Diethyl phthalate	5.79	5.70	1.52	8.22	5.53	6.14	1.89	7.65	12.58	13.27	2.32	15.71	6.44	6.26	2.78	11.66
Dibutyl phthalate	6.88	6.32	1.67	9.97	5.95	5.73	0.98	7.16	6.16	6.19	0.72	7.17	5.41	5.76	1.90	8.47
Butyl benzyl phthalate	0.53	0.54	0.22	0.92	0.31	0.34	0.06	0.35	0.15	0.16	0.03	0.19	N.D	N.D	N.D	N.D
Di(2ethylhexyl) phthalate	16.84	16.14	2.85	21.17	11.41	11.22	1.05	12.77	8.50	8.87	1.62	10.52	14.11	14.69	4.75	19.86
Di-n-octyl phthalate	0.52	0.34	0.40	1.31	0.41	0.18	0.38	0.90	0.37	0.46	0.25	0.74	0.43	0.15	0.55	1.48

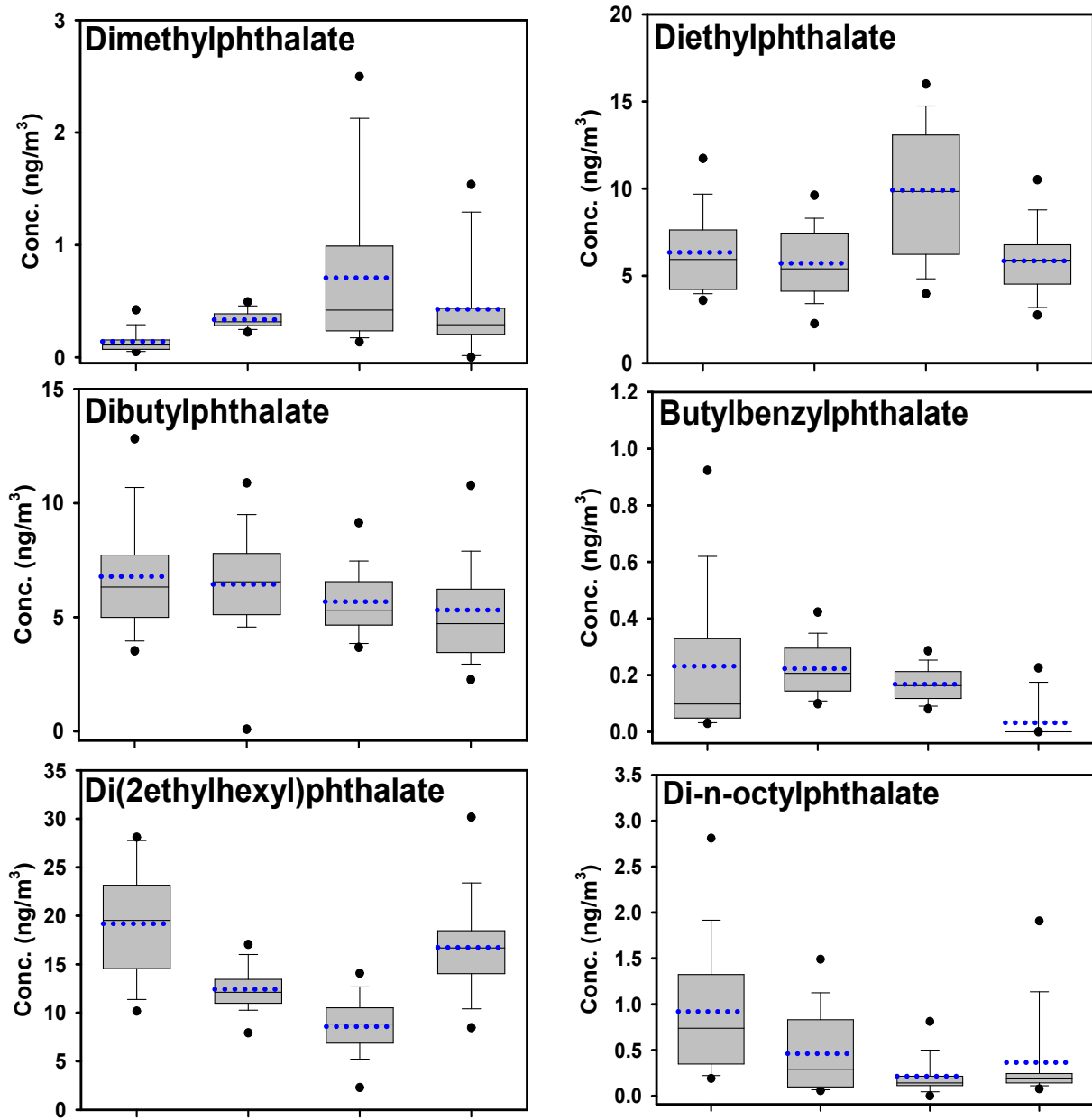
표 66. 대산지역 전체지점 계절별 프탈레이트류 농도

(단위 : ng/m³)

프탈레이트류	봄철 (n=35)				여름철 (n=35)				가을철 (n=35)				겨울철 (n=35)			
	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대	평균	중앙 값	표준 편차	최대
Dimethyl phthalate	0.14	0.10	0.08	0.74	0.34	0.32	0.02	0.53	0.71	0.38	0.20	2.70	0.43	0.24	0.18	1.61
Diethyl phthalate	6.34	5.94	0.99	15.02	5.73	5.04	0.51	12.44	9.91	9.84	0.69	17.12	5.86	5.10	0.79	11.66
Dibutyl phthalate	6.78	6.32	1.21	16.66	6.44	6.31	1.02	11.67	5.68	5.18	0.56	9.93	5.32	4.85	1.82	20.00
Butyl benzyl phthalate	0.23	0.08	0.12	0.95	0.22	0.20	0.02	0.45	0.17	0.16	0.01	0.31	0.03	N.D	0.05	0.28
Di(2ethylhexyl) phthalate	19.19	19.17	1.61	28.09	12.41	12.07	0.87	17.10	8.57	8.79	1.20	14.23	16.74	16.55	2.26	36.03
Di-n-octyl phthalate	0.92	0.73	0.25	3.36	0.46	0.18	0.22	1.71	0.22	0.14	0.13	1.08	0.36	0.18	0.45	2.92

그림 47. 대산지역 계절별 프탈레이트류 농도 분포

봄 여름 가을 겨울 봄 여름 가을 겨울



3. 타 산단지역 프탈레이트류 연구사례와의 비교

- 프탈레이트류와 같이 채취 및 분석 절차가 복잡한 오염물질의 경우에는 작업자 및 측정 방법, 주변 상황 및 매체, 실험장치 및 분석기기 등에 따라 동일조건 및 동일 측정시간이라 하더라도 측정결과가 다양하게 나타날 수 있음
- 따라서 본 연구방법과 같은 방법으로 프탈레이트류를 측정한 대산산단(2011년) 및 울산산단(2009년)의 연구결과와 비교하여 표 67에 정리하였음
- 또한 그림 48에 타 산단지역과 프탈레이트류의 농도를 비교하여 그래프로 나타내 대산지역의 프탈레이트에 대한 상대적인 오염도를 평가함
- 그 결과 본 연구의 조사시기 동안 대산지역의 오염도가 2011년 대산산단의 조사결과에 비해 낮고, 2009년 조사된 울산산단의 조사결과와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났음
- DEHP의 경우 본 연구의 조사결과 14.23 ng/m^3 이 나왔는데, 2011년 대산의 경우 약 12배, 울산의 경우 약 5배 높은 값이 측정되었음

표 67. 국내 타 산단지역 연구사례와 본 연구의 프탈레이트류 농도 비교

측정지역	대산				대산(본 연구)						
지점명	독곶리	대죽리	대산읍	전체 평균	대죽1리	화곡2리	대로3리	오지리	대산리	전체 평균	삼산
용도구분	공업	공업	주거		주거*	주거*	주거	주거	주거		주거
측정연도	2011년				2018-2019년						
측정주기	계절별 7일간 (5월, 8월, 10월, 12월)				계절별 7일간 (3월, 6월, 10월, 2월)						
자 료 수	28	28	28	84	28	28	28	28	28	140	32
Dimethyl phthalate	1.91	2.24	3.03	2.39	0.43	0.45	0.47	0.30	0.37	0.40	0.4
Diethyl phthalate	30.90	37.53	46.98	38.47	6.97	7.71	6.29	6.23	7.59	6.96	9.6
Dibutyl phthalate	148.85	60.27	82.80	97.31	5.26	6.11	7.80	5.01	6.10	6.06	18.
Butyl benzyl phthalate	3.11	3.47	2.97	3.18	0.13	0.12	0.26	0.08	0.25	0.17	0.5
Di(2ethylhexyl) phthalate	169.41	176.63	160.41	168.82	13.32	15.09	16.01	14.00	12.72	14.23	53.
Di-n-octyl phthalate	1.14	0.57	2.09	1.27	0.38	0.45	0.73	0.47	0.43	0.49	0.1

*산업단지 인근(2km 이내) 주거지역

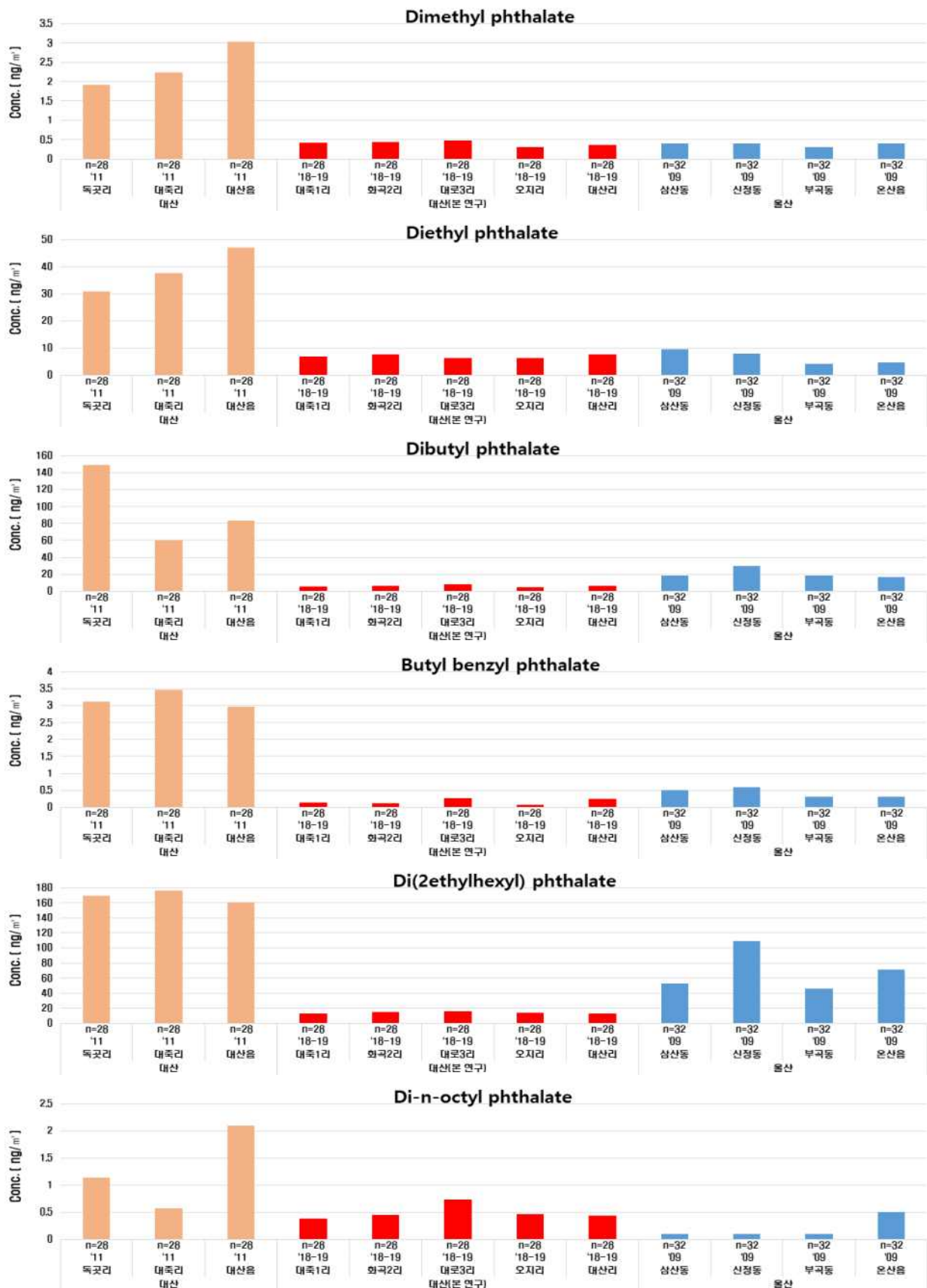


그림 48. 타 산단지역 연구사례와 대산지역 프탈레이트류 측정농도 비교

제 6 절 다이옥신류

- 다이옥신류는 고리가 세 개인 방향족 화합물에 여러 개의 염소가 붙어 있는 화합물을 말하며, 가운데 고리에 산소원자가 두개인 다이옥신계 화합물(Polychlorinated-dibenzo-p-dioxin : PCDDs 또는 CDDs)과 산소원자가 하나인 퓨란계 화합물(Polychlorinated-dibenzofuran: PCDFs 또는 CDFs)이 있는데 일반적으로 다이옥신과 퓨란을 합하여 다이옥신류라고 하며, 다이옥신류에는 이론적으로 210개의 이성체(isomer)가 존재함 (KFSRI)
- 다이옥신은 대표적인 잔류성유기오염물질(Persistent organic pollutants; POPs)로서 환경 중의 높은 잔류성, 생물 농축성, 장거리이동의 특성을 지니고 있음 (UNEP, 1999)
- 이런 POPs의 특성으로 인해 인간의 건강과 환경생태계의 악영향을 줄 수 있어 사회적으로 많은 관심을 받는 대표적인 오염물질이며, 스톡홀름 협약 발효 이후 전 세계적인 관심이 증가하고 있음
- 잔류성유기오염물질 중 다이옥신은 비의도적으로 발생한 화합물이며, 대부분은 소각 시설 등과 같은 연소공정이 주요 배출원임(Choi et al., 2008)
- 이들 화합물의 장거리이동 특성으로 인해 전 지구적으로 검출되고 있으며, 대부분의 POPs는 대기 이동 후, 건식/습식 침강에 의해 토양 속에 존재 후 수중 및 퇴적층으로 이동하여, 수생생태계 영향을 미치는 것으로 알려짐 (Abad et al., 2007)

1. 다이옥신류의 출현 특성

- 다이옥신의 경우 염소의 치환위치 및 수에 따라 독성강도가 다르고, 210종의 이성체 중 독성이 가장 강한 것은 2,3,7,8-T4CDD(사염화다이옥신)임
- 동물 실험 결과 면역독성, 발암성, 심장기능장애, 축적성 및 난분해성 등이 있는 독성 물질로 알려져 있으나, 큰 동물일수록 독성의 영향이 크게 완화되는 것으로 알려져 있음
- 발암성 물질의 분류에서 다이옥신의 독성은 미국 EPA에서는 “동물실험결과 암을 일으키거나 역학조사 결과 인간에게 암을 일으킬 가능성이 있는 물질”인 B1으로, IARC(국제암연구센터)에서는 group 2A에서 1998년도에 “인간에게 암을 일으킨다는 증거가 충분히 있는 물질”인 group 1로 조정됨
- 다이옥신류 210종 중 2,3,7,8-T4CDD를 제외한 다른 다이옥신류에 대해서는 암 유발가능성의 평가가 불충분하여 정형화되지 않았음 (국립환경연구원, 1999)
- 본 연구에서는 소각장 주변 3곳을 선정하여 대산지역 다이옥신류 오염도의 소각시설

영향 정도를 알아보고자 함

- 표 68과 그림 49에 대산지역 다이옥신류의 측정지점별 평균농도를 정리하였음
- 다이옥신의 국내 대기환경기준은 연평균 0.6 pg-TEQ/Sm^3 로 설정되어 있는데, 측정 결과 전체 다이옥신의 농도 합은 $0.044 \text{ pg-TEQ/Sm}^3$ (다이옥신류의 총합은 $0.011 \text{ pg-TEQ/Sm}^3$, 퓨란류의 총합은 $0.033 \text{ pg-TEQ/Sm}^3$)로 대기환경기준치의 1/13배 수준으로 낮게 나타남
- 그림 50에 제시한 다이옥신류의 계절별 농도분포를 그래프를 살펴보면, 여름(6월) · 겨울(2월)철보다 봄(3월) · 가을(11월)철에 다소 높았음
- 다이옥신류의 발생원은 염화페놀 제조공정, 폐기물 소각, 염소화합물에 의한 표백처리 공정 등에서부터 담배연기, 자동차 휘발유 첨가제, 화산, 화재 등 광범위하므로 계절별 특성보다는 시료채취 시기에 측정지점 주변에서 일시적으로 소량의 다이옥신이 배출되었을 가능성도 있다고 판단됨

표 68. 대산지역 측정지점별 다이옥신류 농도

(단위 : pg I-TEQ/Sm³)

2,3,7,8 - 치환 이성체	전체지점 (n=30)			대죽리 해오름식당						대죽1리 경로당						대죽리 우사				
	평균	최대	빈도 (%)	3월 (n=3)	6월 (n=2)	11월 (n=3)	2월 (n=2)	평균 (n=10)	3월 (n=3)	6월 (n=2)	11월 (n=3)	2월 (n=2)	평균 (n=10)	3월 (n=3)	6월 (n=2)	11월 (n=3)	2월 (n=2)	평균 (n=10)		
다이옥신류 (Dioxin)	2378-TCDD	0.003	0.008	100.0	0.003	0.004	0.004	0.005	0.004	0.002	0.004	0.003	0.005	0.003	0.002	0.004	0.004	0.005	0.004	
	12378-PeCDD	0.004	0.008	100.0	0.004	0.004	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	
	123478-HxCDD	0.001	0.002	66.7	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	N.D	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
	123678-HxCDD	0.001	0.003	90.0	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	
	123789-HxCDD	0.001	0.002	86.7	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
	1234678-HpCDD	0.001	0.001	100.0	0.001	N.D	0.001	N.D	<0.001	0.001	N.D	0.001	N.D	<0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
	OCDD	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	
퓨란류 (Furan)	PCDDs	0.011	0.019	100.0	0.01	0.01	0.013	0.012	0.011	0.009	0.008	0.01	0.011	0.009	0.012	0.011	0.013	0.013	0.012	
	2378-TCDF	0.002	0.005	100.0	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	
	12378-PeCDF*	0.001	0.003	90.0	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
	23478-PeCDF	0.017	0.04	100.0	0.017	0.016	0.024	0.015	0.018	0.014	0.013	0.017	0.012	0.014	0.019	0.016	0.027	0.014	0.02	
	123478-HxCDF*	0.002	0.004	100.0	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.004	0.002	0.003	
	123678-HxCDF	0.004	0.008	100.0	0.004	0.003	0.005	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.004	0.006	0.003	0.007	0.004	0.005	
	123789-HxCDF	0.001	0.001	63.3	0.001	N.D	0.001	0.001	<0.001	0.001	N.D	0.001	0.001	<0.001	0.001	N.D	0.001	0.001	<0.001	
	234678-HxCDF	0.004	0.008	100.0	0.005	0.003	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.005	0.004	0.006	0.003	0.005	
	1234678-HpCDF	0.001	0.002	93.3	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	
	1234789-HpCDF	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	
전체 평균 농도값 (PCDFs+PCDDs)	OCDF	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	
	PCDFs	0.033	0.069	100.0	0.034	0.028	0.042	0.027	0.034	0.03	0.023	0.032	0.023	0.028	0.039	0.028	0.05	0.028	0.038	
		0.044	0.088	100.0	0.044	0.037	0.055	0.038	0.045	0.039	0.03	0.042	0.033	0.037	0.051	0.038	0.063	0.041	0.05	

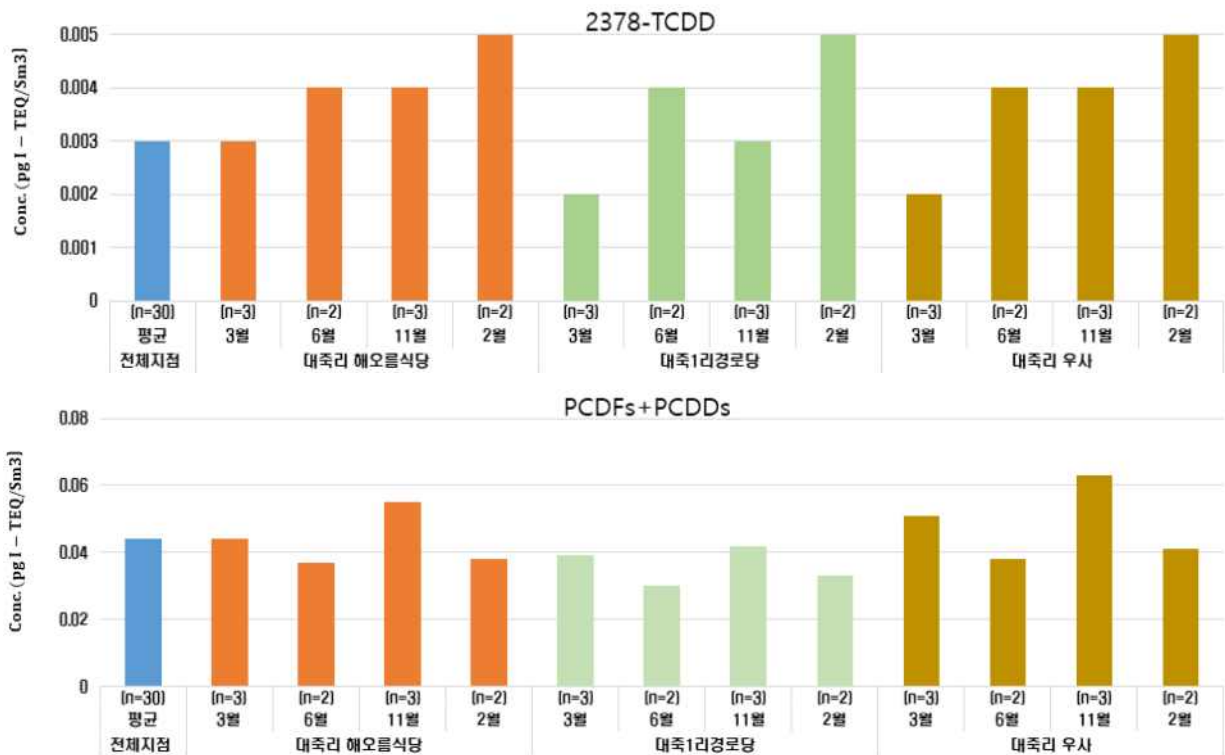
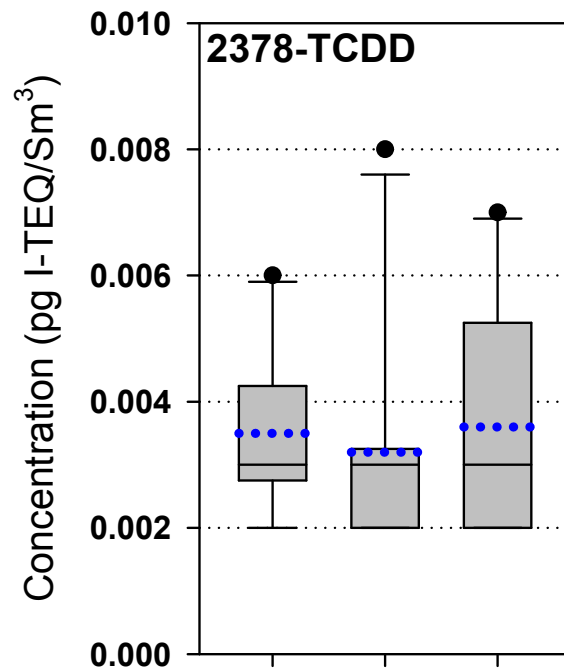


그림 50. 대산지역 계절별 2378-TCDD 및 PCDFs+PCDDs 농도 분포

제 7 절 불화수소

- 불화수소(HF: Hydrogen Fluoride)는 무색의 자극적인 냄새를 가지는 화학종으로 호흡기 노출시 기도나 폐가 손상될 수 있고 폐부종, 기관지염, 폐장의 출혈·괴사, 갑상선 기능 이상이 발생할 수도 있음
- 또한, 강한 산성을 가지기 때문에 가스 상태로 인체에 노출시, 피부, 안구, 호흡기 점막에 부식, 화상을 일으키며, 심한 경우 각막 화상, 실명, 폐수종에 의하여 사망에 이를 수 있으며 일반적으로 알려진 표적 장기는 간장, 위장이며 높은 농도에 노출된 경우, 호흡기를 통하지 않고 피부로 침투하여 통증을 유발할 수 있음 (KOSHA, 2011)
- 고농도의 불소 화합물은 여러 가지 피해를 입히지만, 뼈와 치아의 부식을 막는 효과가 있어 문제점이 크게 부각되지 않았음 그러나 Oxidative Stress를 유발하고, 세포내부의 산화·환원 반응을 통한 항상성 유지를 방해, 유전자 손상을 발생시켜 세포의 순환(Cell Cycle), 증식(Proliferation), 물질 이동(Migration), 호흡(Respiration), 분비(Secretion) 및 식균작용(Endocytosis)등을 방해하는 위험성을 가짐 (Olivier arbier et al., 2010)
- Hydrogen은 2011년 Xiaochen Qiu의 연구를 통하여 Hydrogen의 흡입이 폐의 염증을 상당히 약화시켰으며 폐에 손상에 의한 사망률을 개선하였다는 결과를 보여주었는데 이를 통하여 추가적인 연구가 필요하지만 Hydrogen은 잠재적인 치료물질로 간주된다고 밝혔음 (Xiaochen Qiu et al., 2011)
- 그러나 전기음성도(electronegativity)의 차이에 의한 분자사이의 수소결합으로 생성된 HF는 건축 내장재의 연소가스로 발생할 수 있는 물질로 접촉부위에 따라 화상, 구역질, 위장통증 또는 심장 부정맥을 일으킬 수 있음
- 연소가스에 의한 HF 노출은 급성노출로 분류되며, 호흡기 노출시 점막 자극 및 기침 유발, 기관지의 협착 등을 일으키나 높은 농도인 경우 상부기도의 인후가 즉각적인 축소와 팽창을 일으킬 수 있으며 폐에 액체 상태로 축적되며 이로 인하여 폐의 조직 손상을 발생시킬 수도 있음
- 호흡기를 통하여 유입된 HF의 일부는 소화기관에 영향을 미칠 수 있는데 이때에는 기관 내부에 부식성 손상, 출혈, 염증을 일으켜 메스꺼움, 구토, 설사, 복통 등을 발생시킬 수 있음

1. 불화수소의 출현 특성

- 불화수소의 경우 산업안전보건법 제 39조 제 2항 및 제 42조, 시행규칙 제 81조의 2 화학물질 노출기준에서는 8시간 평균 0.5 ppm(500 ppb)의 기준치를 정하고 있음
- 표 69, 그림 51에 정리한 불화수소의 측정지점별 평균농도를 살펴보면, 대산지역의 평균농도는 0.02 ppb로 나타나 기준치에 비해서는 낮은 농도 수치를 보임
- 2012년 발생한 구미 제4공단 내 화학공장에서 원인 불명의 폭발누출사고에서 사고현장 불화수소 측정결과 1 ppm 정도 검출이 되었는데, 본 연구지역은 0.02 ppb로 5만분의 1 수준으로 낮게 나타남
- 측정지점별로 살펴보면, 대죽1리, 화곡2리, 오지리, 대산리는 0.02 ppb, 대로3리는 0.03 ppb로 평균농도가 모든 지점에서 유사하게 측정되어 위치 특성을 발견할 수 없었음
- 또한 그림 52에 나타난 계절별 불화수소 농도 그래프에서 봄철에 높고 겨울철에 낮은 계절특성을 보였음

표 69. 대산지역 측정지점별 불화수소 농도

(단위 : ppb)

물질명	대죽1리 (n=28)				화곡2리 (n=28)				대로3리 (n=28)			
	평균	중앙값	최대	빈도(%)	평균	중앙값	최대	빈도(%)	평균	중앙값	최대	빈도(%)
불화수소 (HF)	0.02	0.01	0.15	60.71	0.02	0.01	0.12	64.29	0.03	0.00	0.45	57.14
	오지리 (n=28)				대산리 (n=28)				전체지점 (n=140)			
	평균	중앙값	최대	빈도(%)	평균	중앙값	최대	빈도(%)	평균	중앙값	최대	빈도(%)
	0.02	0.01	0.20	64.29	0.02	0.01	0.11	67.86	0.02	0.01	0.45	62.86

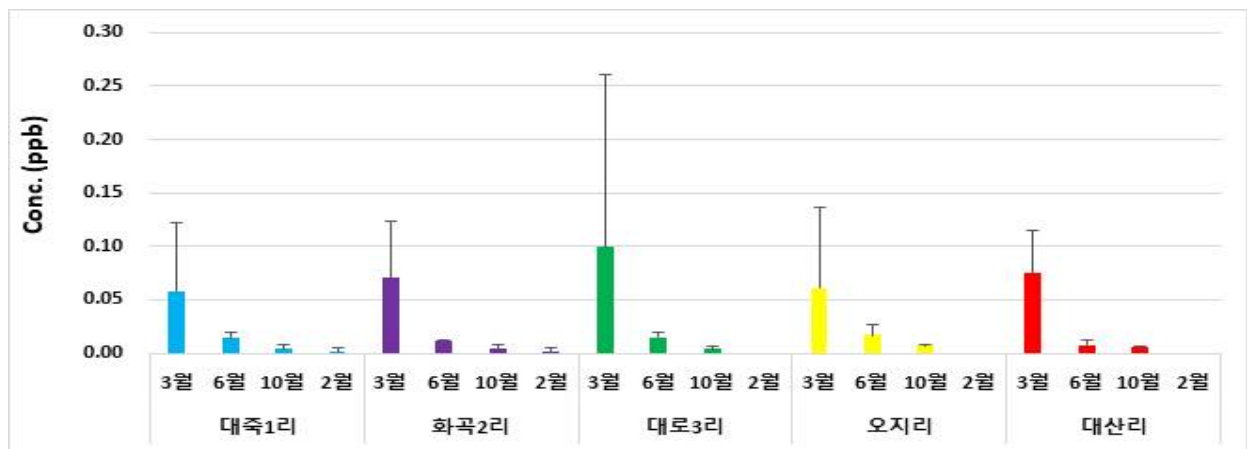
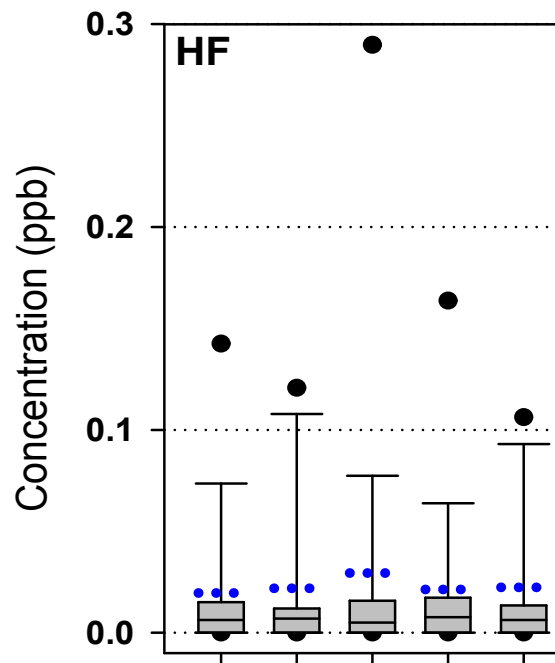


그림 52. 대산지역 계절별 불화수소 농도 분포

제 8 절 결론

가. 휘발성유기화합물(VOCs)

- 대산지역의 VOCs는 대체로 대죽1리에서 높은 농도특성을 보이는데, 이는 대죽1리가 대산석유화학단지과 대산 제3산업단지, 대죽자원비축 국가산업단지 등과 인접해 있어 산업단지 내에 VOCs 성분들을 배출하는 업종들의 영향을 받았다고 사료됨
- Toluene, ethylbene 등의 주요 VOCs는 석유화학단지 배출원의 영향이 있을 것으로 판단되는 지점들뿐만 아니라 대조지역으로 선정된 대산리에서도 전반적으로 여름철에 높은 농도 수준을 보여 온도가 상승하는 시기에 고농도로 검출되는 계절적인 특성이 반영된 결과로 사료됨
- 유해대기물질측정망과 비교하면, 대산지역의 대기 중 VOCs 오염 정도는 석유화학단지 인근의 울산 여천동 측정망에 비해서는 낮게 나왔고, 여수 여천동 측정망에 비해 높거나 유사하게 나타남
- Passive Sampler를 이용해 검출된 VOCs는 대산석유화학단지 인근의 독곶1리, 독곶2리, 대죽1리에서 농도가 높은 경향을 보여 검출된 VOCs가 산업단지의 영향을 받았다고 추측됨
- 대죽1리 마을회관과 독곶사거리에서 이동측정차량을 이용해 측정한 benzene의 농도는 북풍의 영향이 클 때 높아져 대산석유화학단지에 존재하는 배출원의 영향을 받는 지역이라는 것을 알 수 있음

나. 카보닐화합물

- 모든 측정지점에서 공통적으로 농도 1~3순위 물질은 formaldehyde, acetaldehyde, acetone으로 나왔으며 그 순위는 조금씩 상이하였고, 농도 4순위는 2-butanone으로 나타남
- Formaldehyde가 가장 높은 농도로 검출된 대산리는 석유화학단지의 영향을 가장 적게 받을 것으로 예상되는 대조지역으로 formaldehyde가 석유화학단지의 영향뿐만 아니라 주거지역 내에 존재하는 배출원의 영향을 받은 것으로 보임
- 여름철에 카보닐화합물의 측정농도가 전반적으로 높게 나타났고 겨울철(2월)에 감소하였음 이는 사업장에서의 배출뿐만 아니라 여름철의 기온상승과 높은 일사량으로 인한 광화학 반응이 카보닐화합물의 농도 상승에 크게 기여했을 것으로 판단됨

- 국내 타 산단지역의 카보닐화합물 농도와 비교해보면, 대산지역의 카보닐화합물 농도 수준은 석유화학단지가 존재하는 여수, 울산과 전반적으로 유사하게 나타났지만 여수 산업단지 인근의 해산동, 주삼동보다는 저농도의 특성을 보이는 것으로 조사됨

다. 중금속

- 본 연구의 측정시기 동안 대산지역에서 석유화학단지를 비롯한 산업단지에 의한 주변지역으로의 중금속 오염 영향을 고려할만한 지점별 농도차이가 크지 않음
- 또한 중금속별로 높게 검출되는 계절이 다르게 나타나 계절별 특성을 발견할 수 없었음

라. 다환방향족탄화수소(PAHs)

- PAHs 중 위해도 측면에서 중요한 benzo[a]pyrene의 경우 평균농도는 0.18 ng/m³로 낮은 농도 특성을 보이고, dibenz[a,h]anthracene의 경우 평균농도는 0.03 ng/m³로 매우 낮게 나타남
- 측정지점들 중 대로3리에서 대부분의 PAHs의 평균농도가 높은 수준으로 나타났고, PAH 농도합계측면에서 살펴보아도 다른 측정지점들에 비해 대로3리가 적게는 1.6배에서 많게는 3.6배 높게 측정됨
- 대로3리는 산업단지와 약 4 km이상 떨어진 지점으로 대산지역의 PAHs 오염도가 산업단지의 영향을 받았다고 파악하는데는 어려움이 있음
- 또한 계절별 특성을 살펴보면, 겨울철 농도가 여름과 가을에 비하여 높았음 일반적으로 PAHs 농도는 동고하저 경향을 보이는데 기존 문헌들에 따르면 이러한 겨울철 고농도 특성 요인으로 겨울철 난방 연료의 사용량 증가를 들고 있음
- 따라서 대산지역의 PAHs 관리는 계절적 특성을 고려하여 주로 온도가 낮은 시기에 집중되어야 할 것으로 판단됨
- 국내 유해대기물질측정망과 비교하여 살펴보면, 주로 화곡2리, 대로3리에서 울산 및 여수보다 높은 농도가 나타나 산단의 영향보다는 주변 소각시설의 영향이 클 것으로 사료됨

마. 프탈레이트류

- 프탈레이트류의 경우 일반적으로 PAHs 보다 고농도로 나타나는데 이는 주위의 산업 활동에 의해 배출되는 특정 배출원의 영향뿐만 아니라 생활환경에서도 많이 배출되기 때문임
- 본 연구에서 대로3리 지점의 경우 산업단지와 비교적 근거리에 위치한 대죽1리, 화곡2리 보다 높게 관측되는 것으로 확인되어, 공장으로부터 배출되는 오염물의 영향에 의한 것인지 기타 생활환경 활동에 소비되는 여러 제품들에 의한 것인지 명확하게 결론을 내리기에는 어려움이 있음
- 국내 타 산단지역의 프탈레이트류와 비교하면, 본 연구의 조사시기 동안 대산지역의 오염도가 2011년 대산산단의 조사결과에 비해 낮고, 2009년 조사된 울산산단의 조사결과와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났음

바. 다이옥신

- 다이옥신의 국내 대기환경기준은 연평균 0.6 pg-TEQ/Sm^3 로 설정되어 있는데, 측정결과 전체 다이옥신의 농도 합은 $0.044 \text{ pg-TEQ/Sm}^3$ (다이옥신류의 총합은 $0.011 \text{ pg-TEQ/Sm}^3$, 퓨란류의 총합은 $0.033 \text{ pg-TEQ/Sm}^3$)로 대기환경기준치의 1/13배 수준으로 낮게 나타남

사. 불화수소

- 8시간 평균 $0.5 \text{ ppm}(500 \text{ ppb})$ 의 기준치를 정하고 있는데, 대산지역의 평균농도는 0.02 ppb 로 나타나 기준치에 비해서는 낮은 농도 수치를 보임
- 측정지점별로 살펴보면, 모든 지점에서 유사하게 측정되어 위치 특성을 발견할 수 없었음

III. 대기영향 조사

Ⅲ. 대기영향 조사

제 1 장 대산석유화학단지 지역 현황

제 1 절 일반현황

1. 대산지역 기본정보

□ 지리적 특징

- 충청남도 서산시 북부에 위치한 대산산업단지는 LG화학, 한화토탈, 현대오일뱅크 등 개인 산업부지를 포함, 대산일반 산업단지, 대죽일반산업단지 대산2일반산업단지 대산3일반산업단지 대산컴플렉스 산업단지를 통틀어 약 14km²의 부지로 구성되어있음
- 본 과제에서 다루는 대산산업단지라 규정하는 용지면적의 범위는 [표 1]에 해당하는 대산읍에 위치한 화학, 석유정제품과 관련한 업체와 산업단지를 포함하였음

표 70 대산읍 일반산업단지 및 석유정제품 제조업체 현황

구분	용지면적(m ²)	업종 분류
대산일반산업단지	1,103,336	석유정제품 제조
대죽일반산업단지	2,101,483	화학물질 및 화학제품 제조, 비금속광물제품 제조, 금속가공제품 제조
대산2 일반산업단지	1,142,205	코크스, 연탄 및 석유정제품 제조
대산3 일반산업단지	563,000	석유정제품 제조
대산컴플렉스 일반산업단지	637,130	화학물질 및 화학제품 제조, 비금속 광물제품 제조, 금속가공제품 제조, 기타 기계및 장비 제조
현대대죽일반산업단지	787,000	석유정제품 제조
(주) 엘지화학	1,230,673	화학물질 및 화학제품 제조, 석유정제품 제조
롯데케미칼 (주)	945,059	석유정제품 제조
한화토탈 (주)	2,687,148	석유정제품 제조
현대오일뱅크 (주)	1,507,413	석유정제품 제조
현대오일뱅크 (주) MBTE공장	6,197	석유정제품 제조
대죽자원비축산업단지	911,653	석유비축 시설

- 서쪽과 북쪽이 황해와 맞닿아 있으며, 남쪽으로 서산시 읍내로 이어짐. 동쪽으로는 당진시와 맞닿아 있어 당진 화력발전소의 영향역시 존재함



그림 53 대산석유화학단지 주변지역 입지 지도

□ 사회적 특징

- 과거 대산 지역은 교통이 불편하여 도시화과정이 이루어지지 않아, 농업, 염업, 수산업 중심의 산업구조를 유지하고 있었으나, 1980년 후반 중국과의 최단거리에 위치하는 지리적 특성에 의해 주목을 받기 시작했으며, 해안의 만들을 매립하여 대규모 부지를 확보, 이후 대산지역내 민간 기업들의 단지유치가 이루어지며 울산, 여수와 함께 우리나라 제3의 석유화학단지로 조성됨
- 공공기관에서 조성하고 관리하지 않은 민간 기업에 의한 자체적인 개발이 이루어졌으며 난개발이 산발적으로 이루어진 이후에 일부 지역이 산업단지로 지정되었으며, 대죽자원비축단지를 제외한 모든 지역이 민간 운영·관리됨

□ 인구현황

- 읍·면·동 인구집계가 시행된 1998년 이래로 대산읍의 총인구는 꾸준히 감소중이며, 2017년 약 15,000여명이 대산읍에 거주하고 있음. 이러한 인구감소는 특히 2000년 6,600여명이던 0-19세 인구가, 2017년 기준 2,600여명으로 급격하게 감소한 점이 원인으로 보이며, 20-29세 청년층 인구비중은 2010년 이후 약 2,000여명 선에서 유지 중임
- 하지만 노년층 인구비중은 꾸준히 증가하여 총인구의 15% 정도를 차지하고 있으며, 노년층 인구증가는 기후변화, 대기질 변화에 따른 취약성과 위해성 증가 부문에 악영향을 미칠수 있음

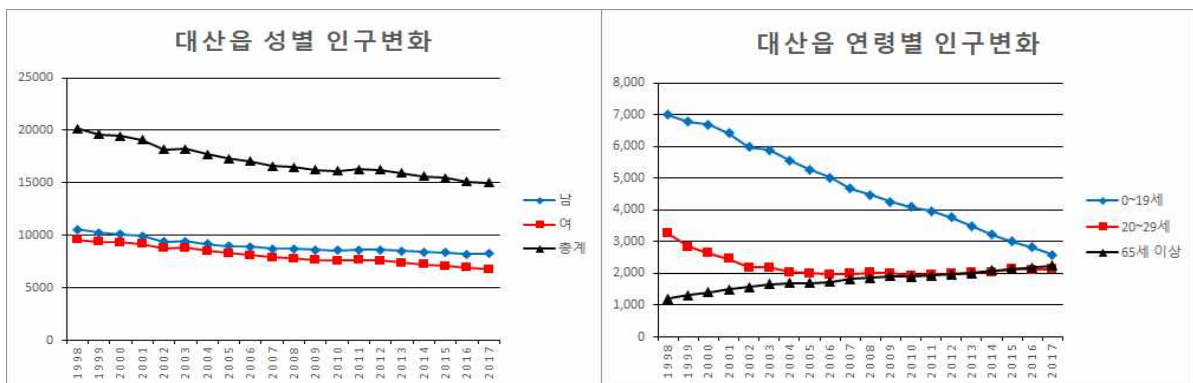


그림 54 대산읍 성별·연령별 인구변화 추이

□ 대산산업단지 장래 개발계획

- 산업통상자원부는 2018년 2월 충청남도 대산 석유화학단지에서 ‘화학산업 발전 간담회’를 개최 화학산업 성장과 일자리 창출에 기여하고자 석유화학과 정밀화학·플라스틱 산업간 상생협력이 활성화되도록 “첨단화학 산업으로 고도화”의 세가지 전략을 중점 추진함

1) 3대 화학단지 르네상스 추진

기존 대산2산업단지와 4지역 총 200만m²를 첨단화학 특화단지로 신규 조성함으로써 기존 입주기업의 부지부족 문제를 해소, 신규투자 촉진을 통한 첨단화학 생태계조성

2) 첨단화학 산업으로 포트폴리오 다변화

국내 5대 수요산업(반도체, 디스플레이, 전기전자, 자동차, 에너지)과 연계한 10대 정밀화학 소재선정을 통해 인력지원 강화

3) 화학산업 상생협력 2.0

대기업의 기술 인력 자금을 통해 중소기업 온실가스 미세먼지 감축 여력확보
기술형 강소기업 지원 강화

제 2 절 산업단지 현황

□ 국내 대기오염물질 배출 사업장 현황 (점오염원 배출현황)

- 국내 대기오염물질 배출 총 사업장수는 2018년도 기준 57,500개소로 충청남도에는 3,293개소가 있으며 그중 204개소가 서산시에 위치함
- 환경부에서는 1998년도 이후 4년 주기로 화학물질 통계조사를 진행하고 있으며, 2015년에 시행된 화학물질 관리법에 따라 2년 주기로 단축하여 실시함
- 국내 화학물질 유통량 조사 결과에 따르면 1998년도 175백만톤에서 최근 조사결과인 2016년 558백만톤으로 지속적으로 증가했으며, 배출업체 수 역시 13,052개소에서 21,911개소로 67% 증가하였음
- 국내 총 화학물질 유통량 중 전남, 울산, 충남에서 전체 유통량중 72.7%인 약 461백만톤이 유통되었으며, 산단별로는 여수산단 23.7%, 울산·미포산단 17.2%, 울산 온산산단 9.0%, 광양산단 8.0%, 대산산단 6.1%로 기록되었음
- 2017년 위험물 통계자료에 따르면 전국의 저장위험물 액체류 4천7백만kl 중 1천1백kl (약25%)를 대산석유화학단지에서 담당하고 있음

표 71 국내 총 화학물질 유통량 변화 현황

연도	'98년도	'02년도	'06년도	'10년도	'14년도	'16년도
대상 화학물질(종)	8,030	9,358	14,604	15,840	16,150	16,874
업체 수(개소)	13,052	13,773	16,404	16,547	22,661	21,911
유통량(백만톤)	175.4	287.4	417.9	432.5	496.9	558.6

□ 국내 석유화학단지 관리현황

- 대산석유화학단지를 포함한 국내 3대 석유화학단지(여수, 울산, 대산)의 관리 현황을 조사
- 서산시 대산읍에 위치한 대기오염물질 배출 업체 수는 51개소로 (2018년기준) 울산·미포 298개소, 온산 181개소, 여수 151개소 다음 규모의 화학단지가 조성되어있음
- 울산 석유 화학단지의 경우 울산·미포 국가산업단지와 온산 국가산업단지, 2개의 국가산업단지로 관리되고 있으며, 2011년 대기질 개선 중장기 종합대책, 2017년 대기환경 개선 실천계획등을 수립하여 대기 관리를 시행하고 있음

- 여수 석유 화학단지 역시 1974년 여수 국가산업단지로 지정되어 한국 수자원공사와 한국 산업단지공단에 의해 관리 되었으며 2004년 제1차 대기환경개선 실천계획, 2011년 제2차 광양만권역 대기환경개선 계획, 2017년 대기환경개선 실천계획 이행평가 수정 등 의 관련 대기 개선과업등을 시행하고 있음

국내 3대 석유화학단지 현황



그림 55 국내 3대 석유화학단지 입지도 및 일반 현황

□ 대산 석유화학단지 내 입지시설 현황

- 충청남도 대산지역 내에는 서해안을 통한 유류 이동이라는 지리적 이점을 이용해, 대규모의 석유화학 업체들이 자리 잡았으며, 대산 내 대죽자원비축산업단지에 석유 비축 시설을 국가적 차원에서 마련하며 석유정제, 석유화학 관련 업체들이 다수 입주하고 있음
- 국내 대기환경보전법에서는 각 사업장별 대기오염물질 발생량의 연간 배출량에 따라 1종부터 5종까지 구분을 두어 관리하고 있으며 [표 72], 서산시 사업장의 경우 1-2종은 충청남도에서 3-5종은 서산시에서 관할하여 관리되고있음
- 2018년 기준 대산읍에 위치한 대기오염배출 업체로 등록된 사업장수는 51곳이며 산업단지별 용지면적은 [표 70]에서 다루었음

표 72 2018년 대산읍 내 대기오염물질 배출사업장 수 현황

	총계	1종	2종	3종	4종	5종
사업장수	51	17	4	3	11	16

해 큰폭의 변동을 보이고 있으나 2015년과 2016년을 보았을 때 약 20,000톤 상승하여 지속적으로 상승하는 것으로 보임

- 휘발성 유기화합물 부문에서는 2015년 신설된 부문에서는 배출량이 미미하였으나 2014년부터 배출량이 일정 변동폭으로 유지되고 있는 것으로 보임
- 암모니아 배출량은 2013년 이후 지속적으로 상승하는 추세로 확인됨
- 일부물질의 경우 배출량 오류 수정, 배출량 산정 방식변경 등의 이유로 과거자료와의 큰 차이를 보여 중앙정부와의 적극적인 협조를 토대로 인벤토리 구축이 이루어져야함

표 74 연도별 충청남도 대기오염물질 배출량 현황 (단위: 톤)

년도	CO	NOx	SOx	TSP	PM10	PM2.5	VOC	NH3
2016년	64,146	134,889	81,843	85,217	38,379	18,822	73,310	49,585
2015년	64,995	135,487	77,465	66,591	28,650	13,845	69,545	48,227
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

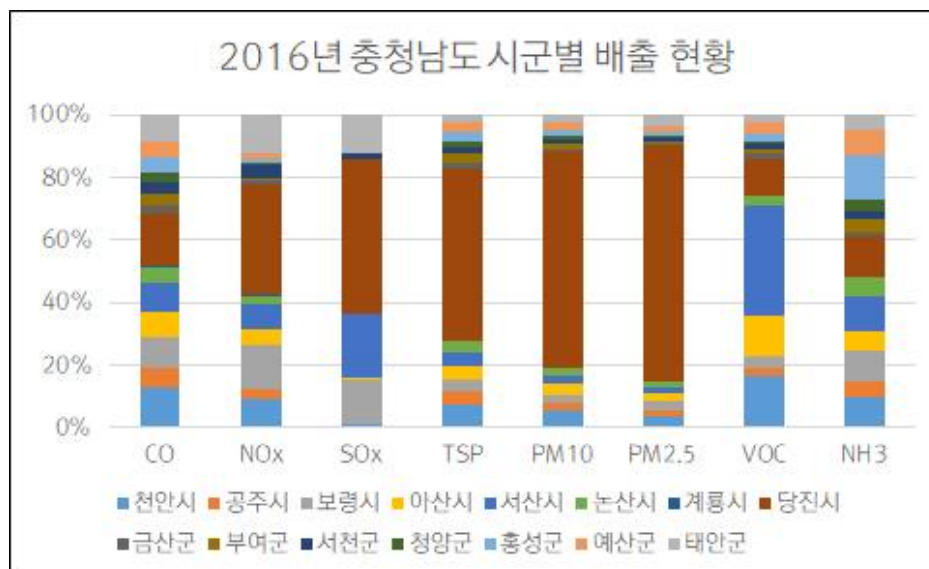


그림 57. 2016년도 충청남도 시군별 배출 비율 현황

- 2016년 충청남도 시군별 배출 비율 분포에 의하면 VOC의 경우 서산에서 충청남도 전체 배출량 중 35.1%를 배출하고 있으며, SOx 역시 당진 49.0% 다음으로 두 번째로 많은 양인 20.2%를 배출하고 있어 서산시 VOCs에 대한 집중 관리가 필요한 것으로 보임

□ 서산시 배출량 분석 (국가대기오염물질 배출량)

- 서산시 배출량의 6년간 대기오염물질별 변화 추이에 대한 분석을 실시하였음
- 일산화탄소 배출량은 2016년 기준 6,054톤으로 충청남도 전체 배출량중 9.4%이며 도로이동오염원과 생산공정에 의한 배출이 47%를 차지하고있음
- 도로이동오염원의 일산화탄소배출량은 2010년 2,056톤에서 2016년 1,029톤으로 대폭 감소하는 추세이나 생산공정의 경우 소폭 상승하였음
- 2015년에 신설된 생물성연소 부문에서 많은 배출량이 추가되어 이에 따른 추가적인 정책 방향설정이 필요해 보임
- 질소산화물 배출량의 경우 2016년 기준 10,752톤으로 충청남도 전체 배출량 중 8.0%를 배출하였으며 주 배출오염원으로는 비도로이동오염원 32% > 제조업 연소 21% > 에너지산업 연소 18% > 도로이동오염원 18% 순 이였으나 기준 년도에 따라 배출량 순위는 일부 변화함
- 가장 높은 배출량을 기록한 2013년 이후 제조업 연소부문과 에너지 산업연소부문은 지속적으로 감소하는 추세를 보이거나 비도로이동오염원과 도로이동오염원 배출량의 경우 뚜렷한 변화를 보이지 않음
- 황산화물 배출량추이를 살펴보면 2010년 이후 지속적으로 상승하며 2016년 가장 많은 배출량인 16,568톤을 배출, 충청남도 전체 배출량중 20.2%를 배출하였으며 주 배출오염원인 생산공정 부문이 2010년 4,638톤에서 2016년 13,077톤으로 대폭 상승하여 황산화물 감축을 위한 조치가 요구됨
- 미세먼지(PM10) 배출량은 기존에 비도로이동오염원에서 50%를 상회하는 배출량을 차지하였으나, 2015년 비산먼지부문이 신설되면서 2016년 기준 63%가 넘는 배출량이 비산먼지에서 발생하는 것으로 파악됨
- 2016년 기준 총 배출량은 1,124톤으로 충청남도 총 배출량 대비 2.9%를 배출함
- 휘발성 유기화합물의 경우 2016년을 기준으로 총 25,738톤을 배출하였으며 이는 충청남도 총 배출량 중 35.1%로 충청남도 시·군중 가장많은 배출량을 기록하였음
- 주요 배출원으로는 석유산업으로인한 생산공정으로 확인되며 2011년이후 소폭 등락을 반복하던 배출량은 2016년 약 2,500톤 정도가 크게 상승하였음
- 마지막으로 암모니아 배출량의 경우 2016년기준 5,580톤으로 집계되었으며 충청남도 총 배출량대비 11.3%에 해당하였음
- 주 배출원으로는 농업 부문과 농·축산물 생산공정으로 파악되며 2014년까지 소폭 감소하는 추세 었으나 이후 배출량이 서서히 증가하는 것으로 보임

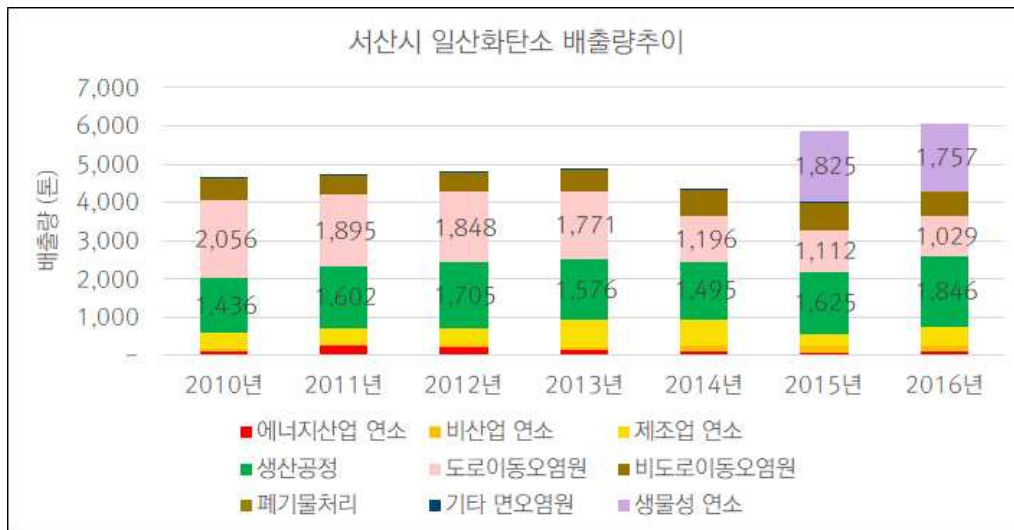


그림 58. 서산시 일산화탄소 배출량 변화 추이

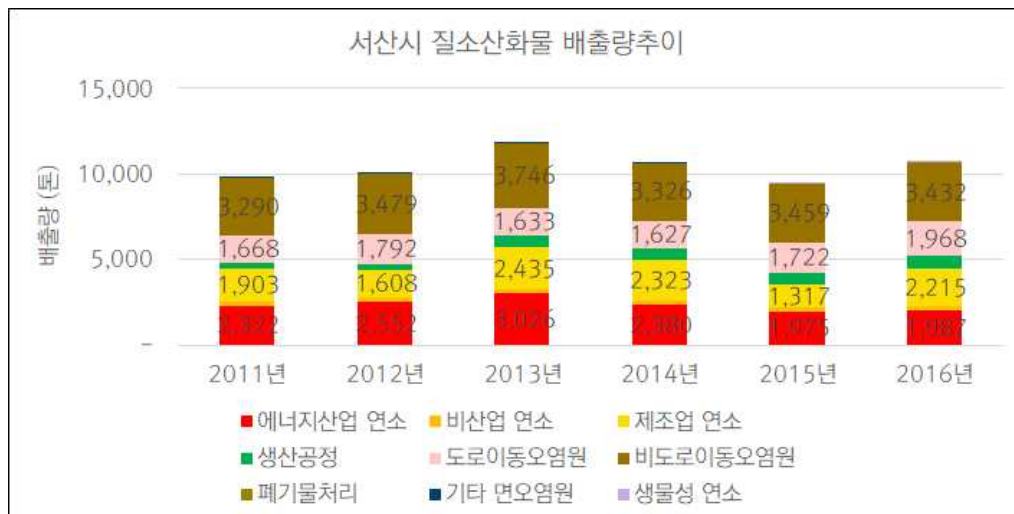


그림 59. 서산시 질소산화물 배출량 변화 추이

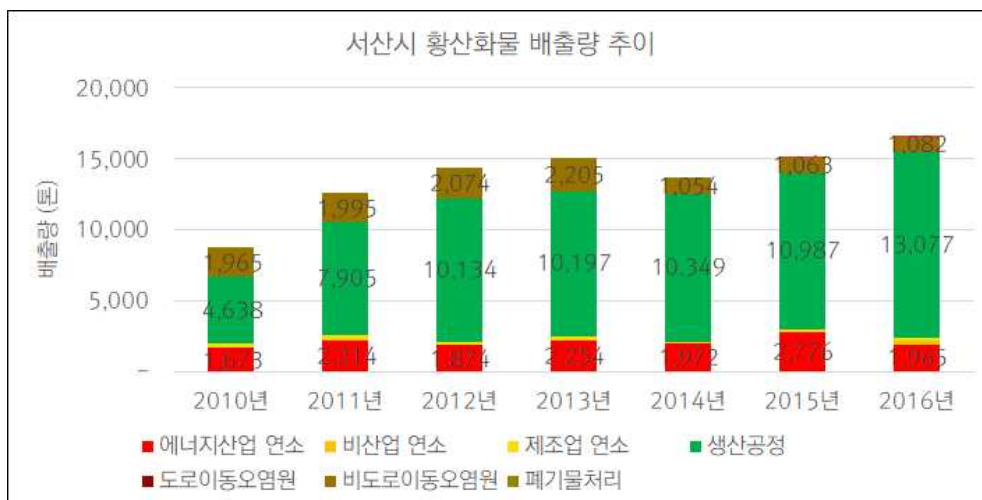


그림 60. 서산시 황산화물 배출량 변화 추이

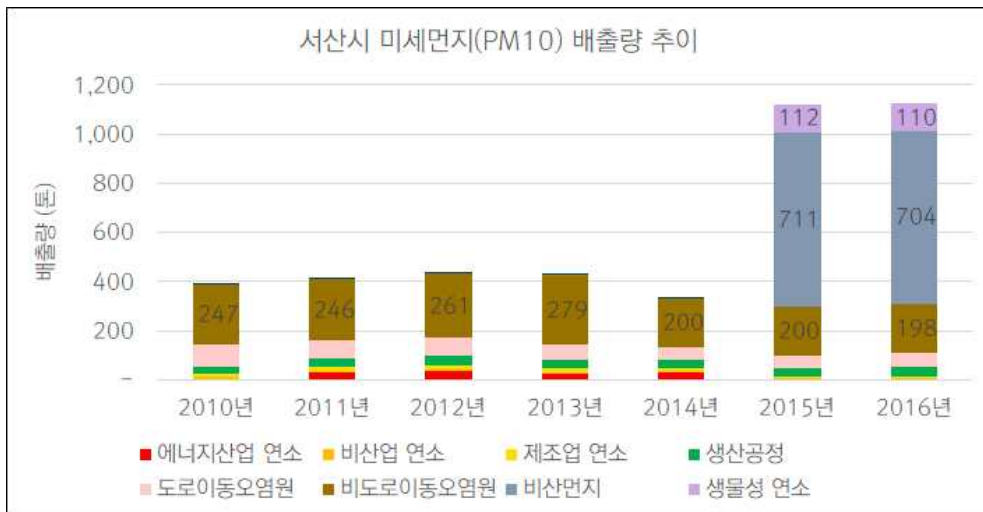


그림 61. 서산시 미세먼지 PM10 배출량 변화 추이

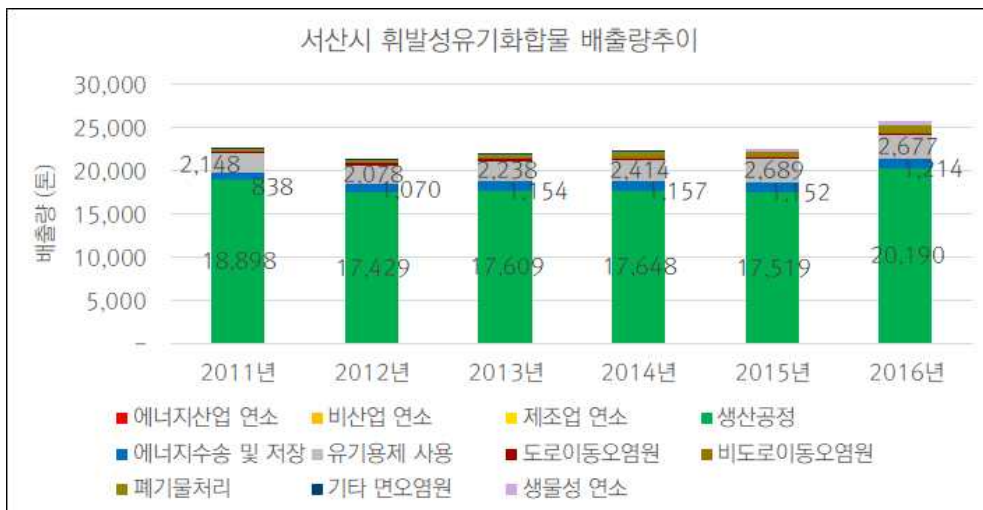


그림 62. 서산시 휘발성유기화합물 배출량 변화 추이

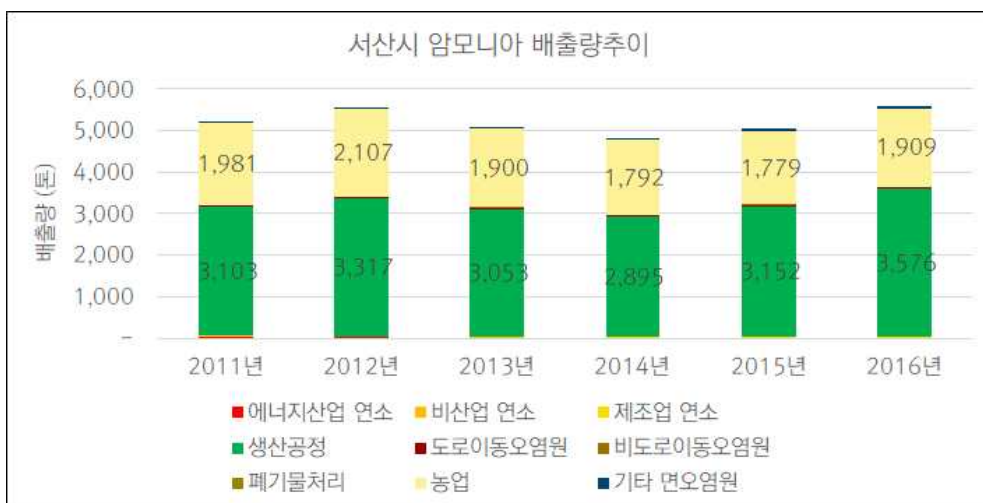


그림 63. 서산시 암모니아 배출량 변화 추이

표 75 2016년 충청남도 서산시 대기 오염물질별 배출원 분석

구분	CO	NOx	SOx	TSP	PM10	PM2.5	VOC	NH3
에너지산업 연소	92	1,987	1,965	41	2	1	13	5
비산업 연소	159	287	295	7	7	4	9	6
제조업 연소	511	2,215	141	20	7	7	78	19
생산공정	1,846	757	13,077	139	40	9	20,190	3,576
에너지수송 및 저장							1,214	
유기용제 사용							2,677	
도로이동오염원	1,029	1,968	1	53	53	49	166	20
비도로이동오염원	628	3,432	1,082	198	198	180	196	1
폐기물처리	7	42	6	2	1	1	730	0
농업								1,909
기타 면오염원	26	1		2	1	1	2	43
비산먼지				2,693	704	116		
생물성 연소	1,757	64	1	256	110	90	462	
서산시 소계	6,054	10,753	16,568	3,411	1,124	458	25,738	5,580
충청남도	64,146	134,889	81,843	85,217	38,379	18,822	73,310	49,585

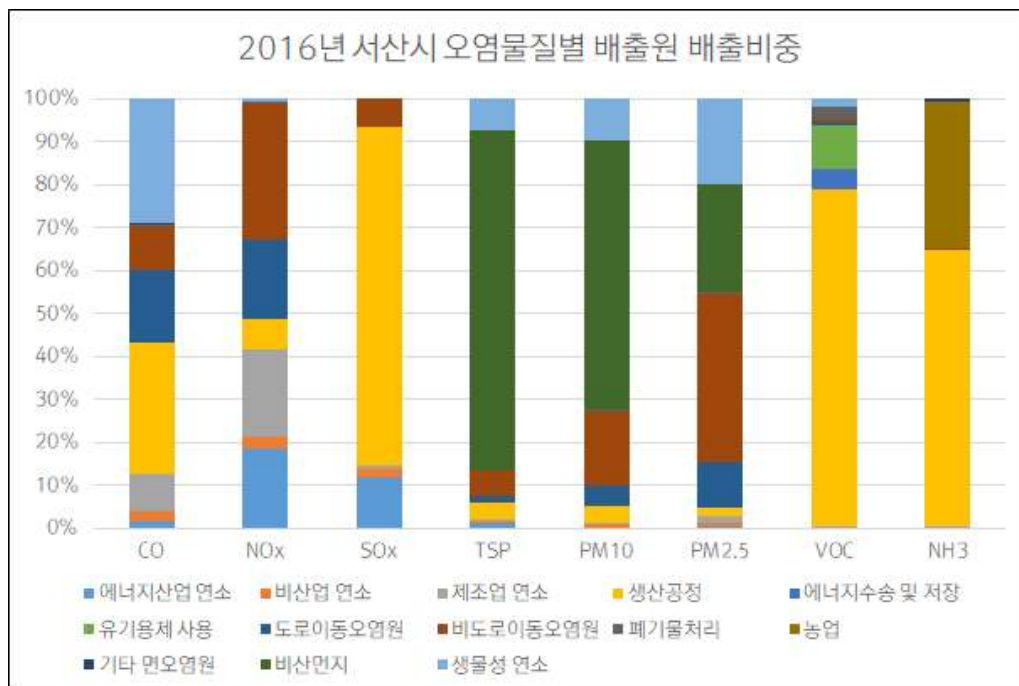


그림 64. 2016년 서산시 오염물질별 배출원 배출 비중 분석

□ 서산시 휘발성 유기화합물 대기 농도 현황

- 국가에서는 휘발성 유기화합물질에 대해 고정측정망 종류 중 광화학대기오염측정망과 유해대기오염물질 측정망을 구성하여 측정 고시 하고있음
- 광화학대기오염 측정망의 경우 오존생성에 기여하는 VOCs에 대한 감시를 위해 구축되어 VOCs 56종에대한 1시간 연속 데이터를 측정하고 있으나 서울과 경기 수도권 위주로 측정지점이 선정되어 2019년 11월을 기준으로 충남지역에는 측정소가 부재함
- 유해대기오염물질 측정망은 인체에 유해한 VOCs 와 HAPs의 농도파악을 위해 구축되어 VOCs 16종에대해 측정하며 서산시 독곶리 지점에 유해대기 측정망이 존재함
- 2018년 까지 월1회 1일 측정값을 기준으로 년 12회 측정하며 국립환경과학원에서는 지속적으로 자동측정망 전환을 실시하고있음
- 2017년부터 2018년까지 서산시 대산읍 독곶리에 위치한 유해대기 측정물질 변화 추이를 살펴보았음
- 월1회 측정으로 인하여 측정 시기에 따른 변동폭은 존재하나 2년 평균 벤젠농도 0.76ppb, 톨루엔 농도 1.77ppb 로 톨루엔이 벤젠보다 높게 측정되었으며, 벤젠의 경우 국내 환경 농도기준인 연평균농도 1.53ppb를 넘지 않았으나, 2017년 8월, 9월 등의 특정 월의 경우 초과하는 것으로 확인되어 벤젠의 위험성에대한 평가가 필요함

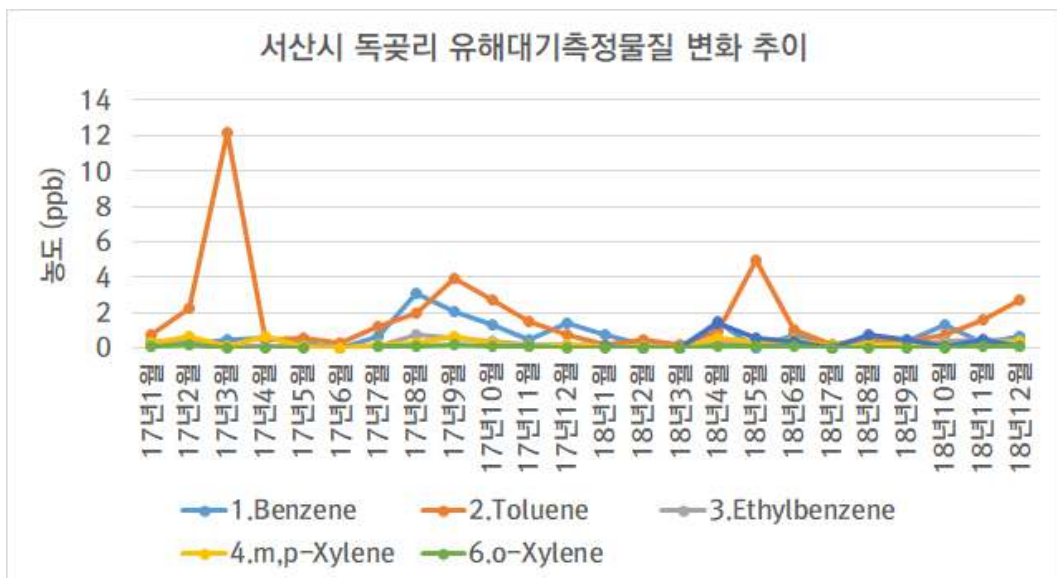


그림 65 서산시 유해대기측정망 측정 결과 변화 추이

□ 국내 석유화학단지 대기오염물질 배출 현황비교

- 최신 화학물질 배출·이동량 정보공개(이하 PRTR) 자료와, 국가 대기오염물질 배출량 서비스(이하 CAPSS), 2016년 자료를 활용하여 각 산업단지별 절대 대기배출량을 비교 분석하였음
- PRTR은 사업장의 제조 또는 사용 과정에서 환경으로 배출되는 화학물질량을 파악하기 위한 조사로써 화학물질관리법 제11조에 의해 시행되고있음
- 415종의 대상 화학물질에 대해 사업장 내 자체조사 후 검증을 통해 수집됨
- 지자체 단위까지 조사가 이루어져 대산읍 배출량을 포함한 서산시 자료를 비교대상으로 선정하였음
- 서산시의 PRTR대기배출량은 2016년기준 483톤으로 여수시나 울산광역시 산업단지대비 2~3.5배 정도 낮은 수준이었음
- CAPSS 총 배출량은 68,104톤으로 (PM10, PM2.5는 제외 -> TSP에 포함됨) 타 산업단지 대비 1.2배에서 1.9배 정도 낮은 수준이었음
- CAPSS중 VOCs 만을 비교한 결과 울산 울주군과는 비슷한 수준이었으나 여수시와 울산·미포 산업단지대비 각각 1.7배, 1.9배 낮은 수준이었음
- 그러나 단위면적당 배출량, 배출사업장당 배출량으로 확인하였을 때, 규모는 타 산업단지보다 작으나 배출량은 많은 것으로 확인되었음

표 76 국내 3대 석유산업단지 대기오염물질 배출 현황

2016년		충남 서산시 (대산)	전남 여수시 (여수)	울산 남구 (울산·미포)	울산 울주군 (온산)
총 면적		12,710천㎡	51,228천㎡	48,111천㎡	20,475천㎡
대기배출 사업장 수		51개소	151개소	298개소	181개소
PRTR 대기배출량(톤)		483	992 (2.1배)	1,707 (3.5배)	972 (2.0배)
대기오염 배출량 (CAPSS)	배출량 (톤)	68,104	125,411 (1.8배)	130,423 (1.9배)	83,532 (1.2배)
	VOCs 배출량 (톤)	25,738	43,456 (1.7배)	49,836 (1.9배)	23,367 (0.9배)
	단위면적당 VOCs 배출량 (톤/천㎡)	2.03	0.85	1.03	1.14
	배출 사업장당 총배출량 (톤/사업장)	1,335	830	437	461

- 각 산업단지에 위치한 유해대기 측정망 2018년 측정 평균값을 분석하였음
- 서산시는 벤젠농도 0.57ppb, 1.17ppb 로 관측되어 울산시 평균 농도인 0.87ppb, 2.89ppb 보다 낮게 관측되었으나 여수시 측정농도보다는 높게 관측되었으며, 특히 스티렌의 경우 두산단보다 높은 결과를 나타내었음
- 특히 여수시 보다 높은 벤젠과 톨루엔 농도는 규모나 배출량 면에서 대산읍지역의 해당 물질에 대한 배출정도가 높을 수 있다는 것을 증명하는 자료로 활용될수 있음

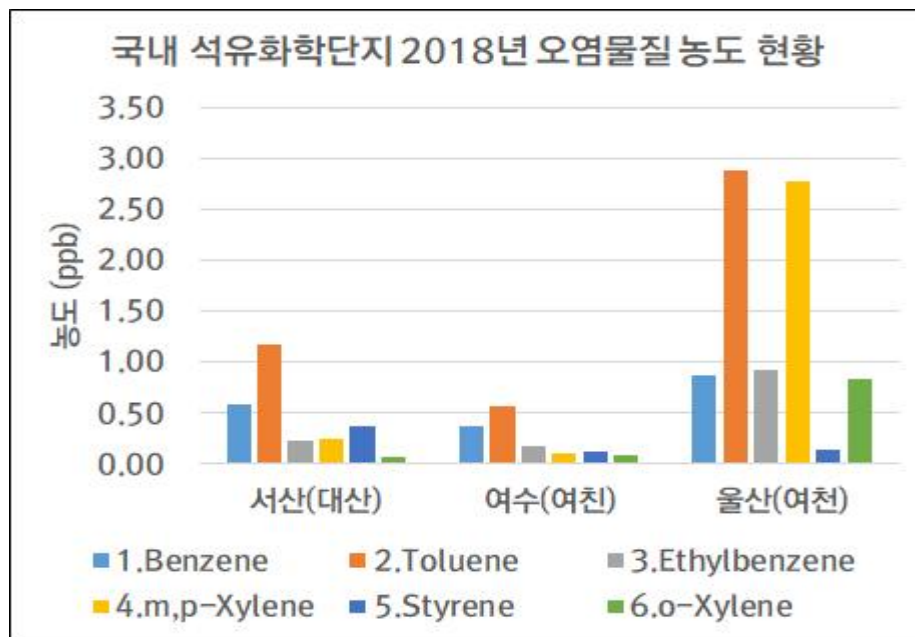


그림 66 국내 3대 석유화학단지 내 2018년 유해대기물질 측정 결과

제 4 절 주민 의견 조사

□ 지역주민 설문 조사 추진 현황

1) 1차 설문조사

- 대산 석유화학단지 주변지역 거주지 내 지역 주민들의 환경문제 인식도 및 대기 오염에 대한 이해수준 파악과 더불어 마을별 측정에 대한 협조 요청 등을 위한 기초자료 확보 실시
- 설문조사 대상 선정은 1차적으로 서산시 대산읍 소재의 마을 이장단 대상 설문조사를 실시함
- 조사 대상의 특성상 설문내용에 대한 세부 설명과 마을단위 자료 수집을 위해 본 연구에 대한 전문 지식을 갖춘 내부 연구진이 직접 참여하여 1:1 형식의 대면 설문조사를 실시하였으며 2018년 3월 21일부터 23일까지 3일간 조사를 실시하였음
- 응답률은 28명중 28명으로 100%로 집계되었으며 해당 데이터에 대한 정량적 정성적 분석을 실시하였음.

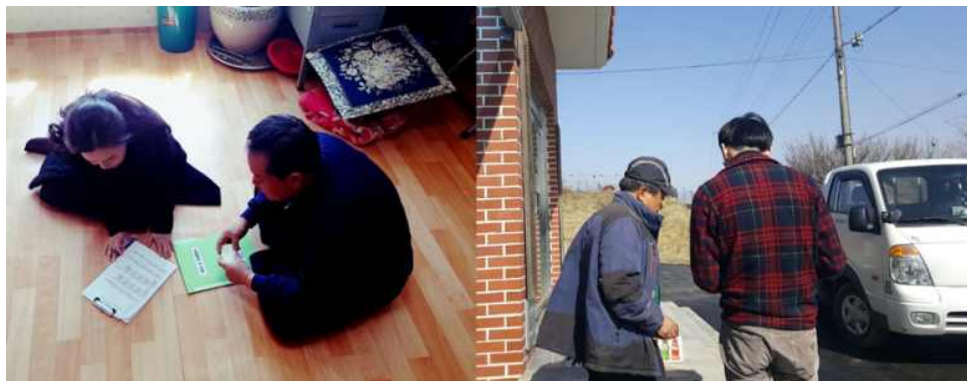


그림 67 대산 석유화학단지 주변 이장단 대상 대면 설문조사

<p>동자읍 제33조(비밀)의 보호 등: ■ 동자읍사무소에 비치된 서명도장은 '본인 또는 본인이나 단체의 이름에 써서는 안됨'으로 하여야 함.</p> <p>대산공단지역 대기환경영향조사를 위한 지역주민 의견조사</p> <p>「대기환경보전법」 제33조(비밀)의 보호 등: 동자읍사무소에 비치된 서명도장은 '본인 또는 본인이나 단체의 이름에 써서는 안됨'으로 하여야 함.</p> <p>본 설문지는 대산공단지역 대기환경영향조사에 대한 주민들의 의견을 수렴하기 위한 것으로, 설문 결과는 대산공단지역 대기환경영향조사에 반영될 예정입니다. 설문 결과는 대산공단지역 대기환경영향조사에 반영될 예정입니다.</p> <p>본 설문지는 대산공단지역 대기환경영향조사에 대한 주민들의 의견을 수렴하기 위한 것으로, 설문 결과는 대산공단지역 대기환경영향조사에 반영될 예정입니다. 설문 결과는 대산공단지역 대기환경영향조사에 반영될 예정입니다.</p> <p>본 설문지는 대산공단지역 대기환경영향조사에 대한 주민들의 의견을 수렴하기 위한 것으로, 설문 결과는 대산공단지역 대기환경영향조사에 반영될 예정입니다. 설문 결과는 대산공단지역 대기환경영향조사에 반영될 예정입니다.</p> <p>본 설문지는 대산공단지역 대기환경영향조사에 대한 주민들의 의견을 수렴하기 위한 것으로, 설문 결과는 대산공단지역 대기환경영향조사에 반영될 예정입니다. 설문 결과는 대산공단지역 대기환경영향조사에 반영될 예정입니다.</p>	<p>Q1. 귀하께서는 대산공단지역에서 어떤 환경문제를 가장 심각하게 느끼십니까? (복수응답가능)</p> <p><input type="checkbox"/> 소음/진동 <input type="checkbox"/> 대기 <input type="checkbox"/> 수질 <input type="checkbox"/> 기타</p> <p>Q2. 귀하께서는 대산공단지역에서 어떤 환경문제를 가장 심각하게 느끼십니까? (복수응답가능)</p> <p><input type="checkbox"/> 소음/진동 <input type="checkbox"/> 대기 <input type="checkbox"/> 수질 <input type="checkbox"/> 기타</p> <p>Q3. 귀하께서는 대산공단지역에서 어떤 환경문제를 가장 심각하게 느끼십니까? (복수응답가능)</p> <p><input type="checkbox"/> 소음/진동 <input type="checkbox"/> 대기 <input type="checkbox"/> 수질 <input type="checkbox"/> 기타</p> <p>Q4. 귀하께서는 대산공단지역에서 어떤 환경문제를 가장 심각하게 느끼십니까? (복수응답가능)</p> <p><input type="checkbox"/> 소음/진동 <input type="checkbox"/> 대기 <input type="checkbox"/> 수질 <input type="checkbox"/> 기타</p> <p>Q5. 귀하께서는 대산공단지역에서 어떤 환경문제를 가장 심각하게 느끼십니까? (복수응답가능)</p> <p><input type="checkbox"/> 소음/진동 <input type="checkbox"/> 대기 <input type="checkbox"/> 수질 <input type="checkbox"/> 기타</p> <p>Q6. 귀하께서는 대산공단지역에서 어떤 환경문제를 가장 심각하게 느끼십니까? (복수응답가능)</p> <p><input type="checkbox"/> 소음/진동 <input type="checkbox"/> 대기 <input type="checkbox"/> 수질 <input type="checkbox"/> 기타</p>	<p>Q7. 귀하께서는 대산공단지역에서 어떤 환경문제를 가장 심각하게 느끼십니까? (복수응답가능)</p> <p><input type="checkbox"/> 소음/진동 <input type="checkbox"/> 대기 <input type="checkbox"/> 수질 <input type="checkbox"/> 기타</p> <p>Q8. 귀하께서는 대산공단지역에서 어떤 환경문제를 가장 심각하게 느끼십니까? (복수응답가능)</p> <p><input type="checkbox"/> 소음/진동 <input type="checkbox"/> 대기 <input type="checkbox"/> 수질 <input type="checkbox"/> 기타</p> <p>Q9. 귀하께서는 대산공단지역에서 어떤 환경문제를 가장 심각하게 느끼십니까? (복수응답가능)</p> <p><input type="checkbox"/> 소음/진동 <input type="checkbox"/> 대기 <input type="checkbox"/> 수질 <input type="checkbox"/> 기타</p> <p>Q10. 귀하께서는 대산공단지역에서 어떤 환경문제를 가장 심각하게 느끼십니까? (복수응답가능)</p> <p><input type="checkbox"/> 소음/진동 <input type="checkbox"/> 대기 <input type="checkbox"/> 수질 <input type="checkbox"/> 기타</p> <p>Q11. 귀하께서는 대산공단지역에서 어떤 환경문제를 가장 심각하게 느끼십니까? (복수응답가능)</p> <p><input type="checkbox"/> 소음/진동 <input type="checkbox"/> 대기 <input type="checkbox"/> 수질 <input type="checkbox"/> 기타</p> <p>Q12. 귀하께서는 대산공단지역에서 어떤 환경문제를 가장 심각하게 느끼십니까? (복수응답가능)</p> <p><input type="checkbox"/> 소음/진동 <input type="checkbox"/> 대기 <input type="checkbox"/> 수질 <input type="checkbox"/> 기타</p>
---	---	--

그림 68 1차 설문조사를 위한 설문내용

2) 2차 설문조사

- 1차 설문조사가 반영된 중간보고 이후 더 넓은 수준의 의견 수렴을 위해 대산읍 이장단 협의회를 포함하여 서산시에 위치한 지역 환경협의체 조사를 실시하였음
- 서산시에 위치한 대산 산업단지와 관련된 협의체를 선택하여 정책 우선순위 선정, 정책 지원방향 설정을 위해 2차 설문조사를 실시하였음
- 2019년 2월부터 4월까지 설문조사를 실시하였으며, 대면 설문조사를 포함하여 협의체 대표자 면담을 통한 설문지 배부 후 방문·우편수거 형태로 조사를 실시하였음
- 응답률은 235명중 95명으로 약40%로 집계됨



그림 69 대산 석유화학단지 주변지역 환경협의회 대상 설문조사

[illegible]

그림 70 2차 설문조사를 위한 설문 내용

□ 1차 설문조사 결과 활용

- 우선 지역의 환경문제에 대한 인식조사 부문에서는 대산 지역내 가장 심각한 환경문제로 악취를 선택하였으며 미세먼지와, 농수산물 오염이 두번째를 차지하였음. 하지만 대산지역 내 대기질 악화에 영향을 주는 유해물질에 대해서는 54%(28명 중 15명)가 모른다고 응답하였음
- 이에 악취 개선 연구와 정책이 추가적으로 수행 되어야 할 것이라 판단함

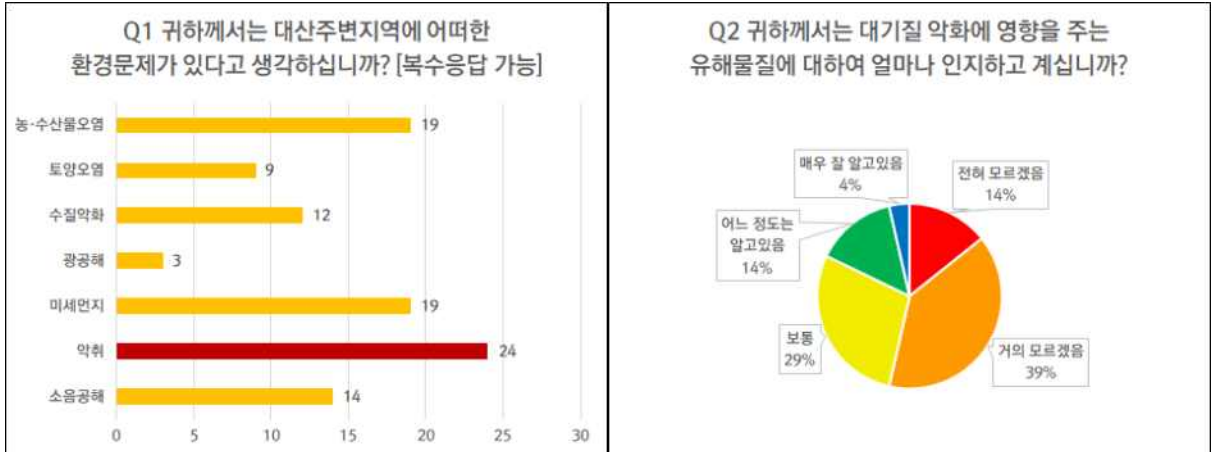


그림 71 1차 설문조사 중 대기환경문제 인지도 분석 결과

- 대산지역 대기질 상태와 관련해서는 75%가 현재 대기질 상태가 나쁘다고 생각하고 있으며 긍정적인 응답은 0명으로 집계되었음
- 제공받는 대기 정보 수준 역시 50%가 나쁘다고 응답하며 악취에 대한 문제에 인식은하고 있으나 대기 정보 부족으로 인한 불만이 높은 것으로 확인됨

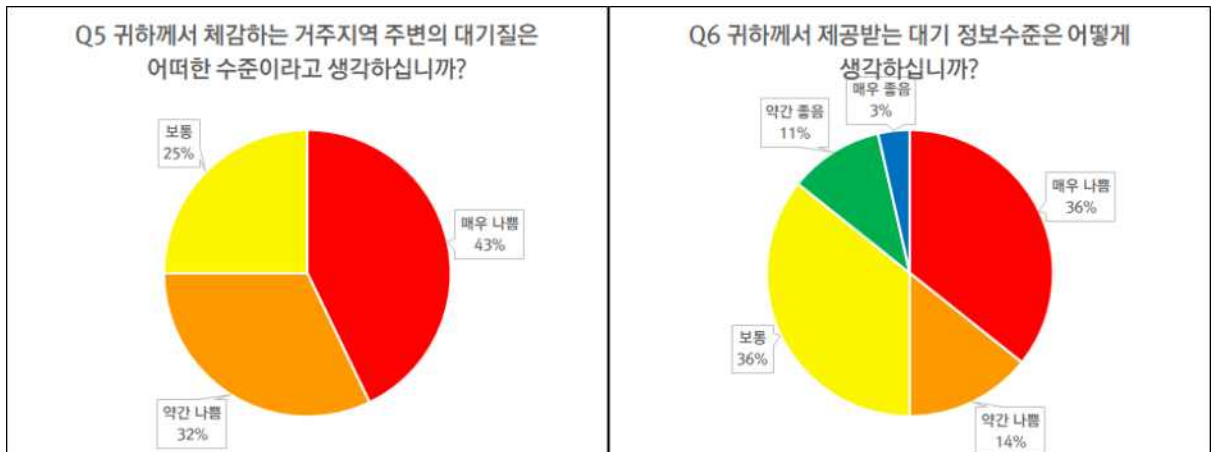


그림 72 1차 설문조사 중 대기질 인식 분석 결과

- 특히 대산지역 대기 현황에 대해서 언론매체나 전광판알람보다 직관적인 경험에 의해 나쁘다고 인지한다는 응답이 33%를 차지할 정도로 악취에 의해 직접 체감하는 정도가 높은 것으로 확인되었음

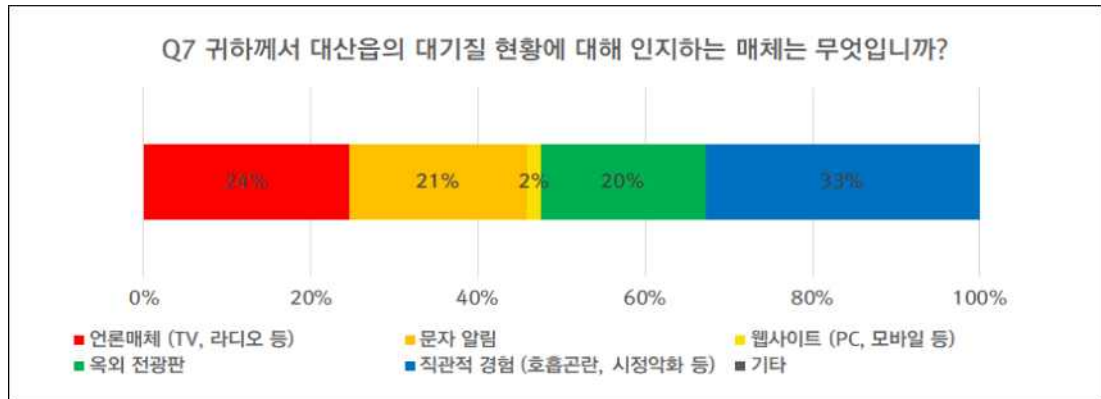


그림 73 1차 설문조사 중 대기질 현황 인지 매체 분석 결과

- 대산 산업단지에 대한 정책의 필요성과 시급성에 대한 문항에서는 5가지 종류에 대한 우선순위도를 살펴보았는데, 시급성의 경우 배출기준치 강화 21.3%, 집진시설 보수·보강 21.0%, 주민지원 교육 및 피해보상 확대 21.0% 순이었으며
- 필요성부문의 경우 주민지원 교육 및 피해보상 확대 21.1%, 배출기준치 강화 21.1%, 집진시설 보수·보강 20.9% 순이었음

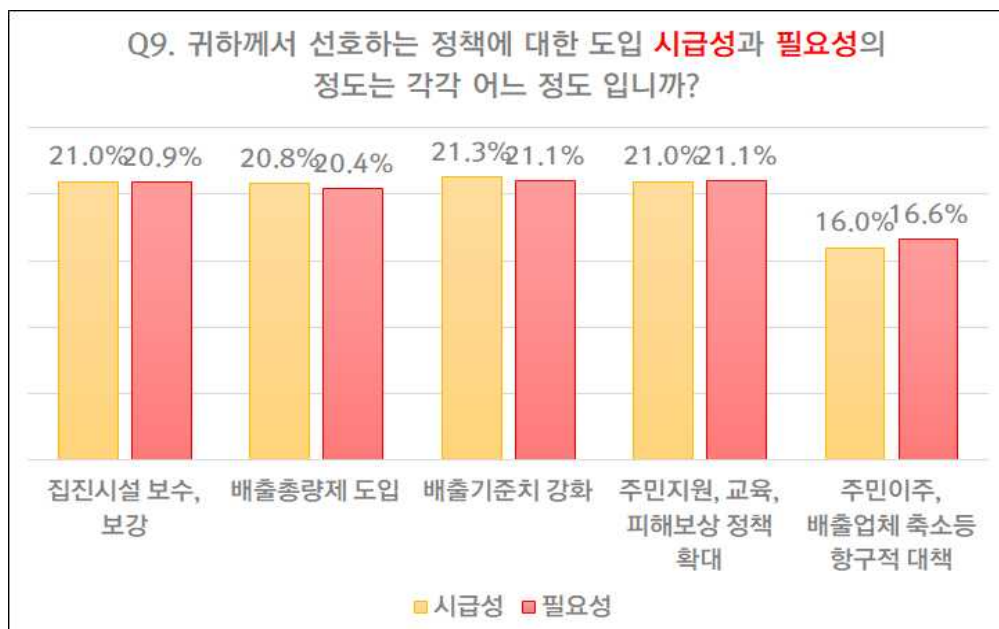


그림 74 1차 설문조사 중 선호 정책 분석 결과

- 한편 서산시와 충청남도에서 시행중인 산업단지와 관련된 정책에 대한 선호 응답 부분에서는 89%가 불만족을 나타내었으며, 대기질 개선을 위한 주체로써 지자체 보다 국가 환경부에서 직접 나서야 한다는 응답이 53%로 집계되어 현 지자체에 대한 정책불신이 높은 것으로 확인
- 지역 주민 눈높이에 맞는 정보생산과 다양한 홍보가 병행되어야 할 것이며, 현재 대산읍 인접 국가 도시대기측정망자료(독곡리 측정소)가 대산읍 명지사거리에 노출되고 있으나, 주민들의 신뢰성과 활용도면에서는 미흡한편으로 보임

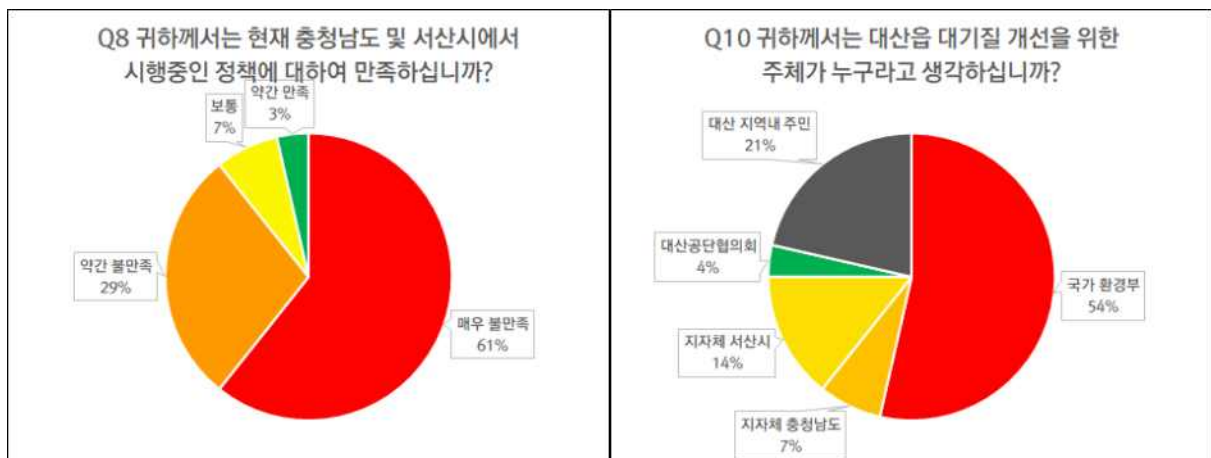


그림 75 1차 설문조사 중 정책 만족도 조사 분석 결과

- 마을별 대기질 정보 제공과 지역주민 대상 국가측정망, 대기 관련 교육이 우선적으로 필요한 것으로 보이며 주민들의 대기 정보에 대한 이해·인지도 부족이 정책방향 설정에 대해 부정적으로 작용 할 수 있음
- 기존 수치로 제공되는 측정 항목별 오염도에대한 직관적인 표현방식을 활용한 이해도 증진방법을 모색해야함

□ 2차 설문조사 결과 활용

- 본 과제를 수행함에 있어 지속적으로 시행되는 설문조사·설명회에 대한 응답자의 참여에 대한 질문에서는 54%가 적극 참여하겠다고 응답하였으며, 41%는 일정과 상황을 고려하여 참여할 것이라고 응답하며 높은 관심도를 나타내었음
- 이러한 설문조사나 주민설명회는 어떠한 경로를 통해 공지하는 것이 효과적인지를 묻는 질문에서는 지역 협의체를 통하여 홍보해 줄 것을 응답자중 59%가 선택하였음

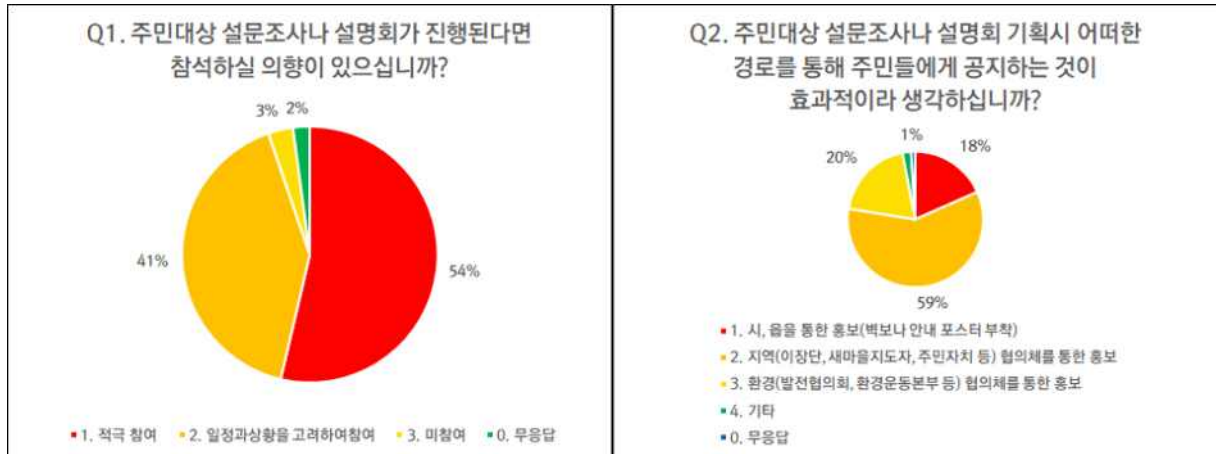


그림 76 2차 설문조사 중 응답자의 참여도 분석 결과

- 응답자중 45%(43명)가 본 과제 중간보고회에 참석하였었으나 중간 보고회 발표 연구 결과에 대해 42%(18명)가 부정적 이었으며 그 이유로 연속적이지 않은 일부분의 측정데이터로 대표성이 부족 하다는 응답이 44%를 차지하였음

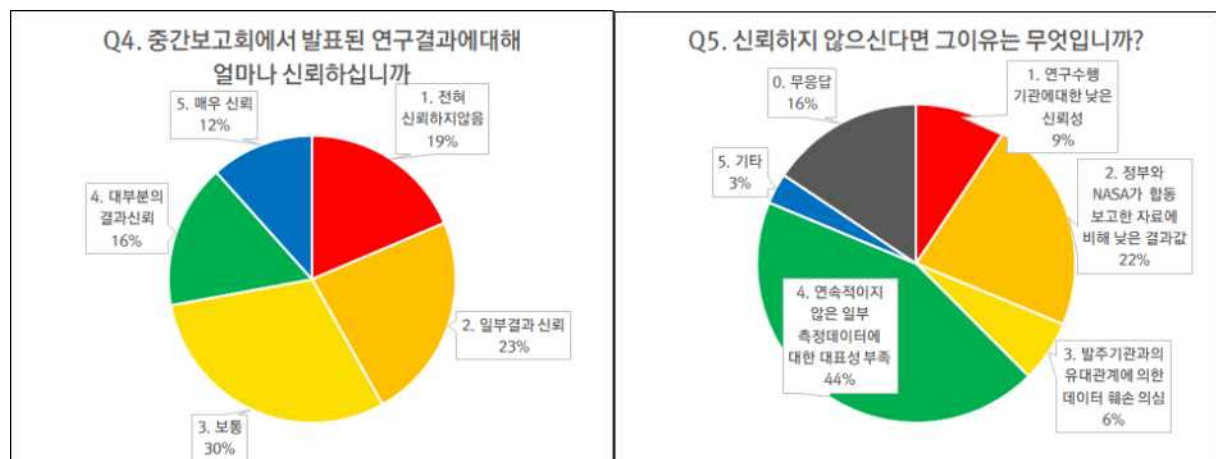


그림 77 2차 설문조사 중 중간보고회 결과 신뢰도 분석 결과

- 본 과제 수행과 더불어 앞으로 진행되어야 할 연구 중 우선시 되어야하는 연구를 묻는 질문에서는 대기오염물질 배출실태조사 32%, 대기 위해성평가 30%, 대기질 개선·지원 정책 수립 24% 순 이였으나
- 대기오염 농도측정을 위해 이동측정차량을 활용한 모니터링 계획시 중점 측정을 수행해야할 지역을 묻는 질문에 대해서는 대산 산업단지 내부보다 인근 마을이나, 산업단지로부터 일정거리 떨어진 이격거리에 따른 측정을 해야 한다는 응답이 68%를 차지하였음

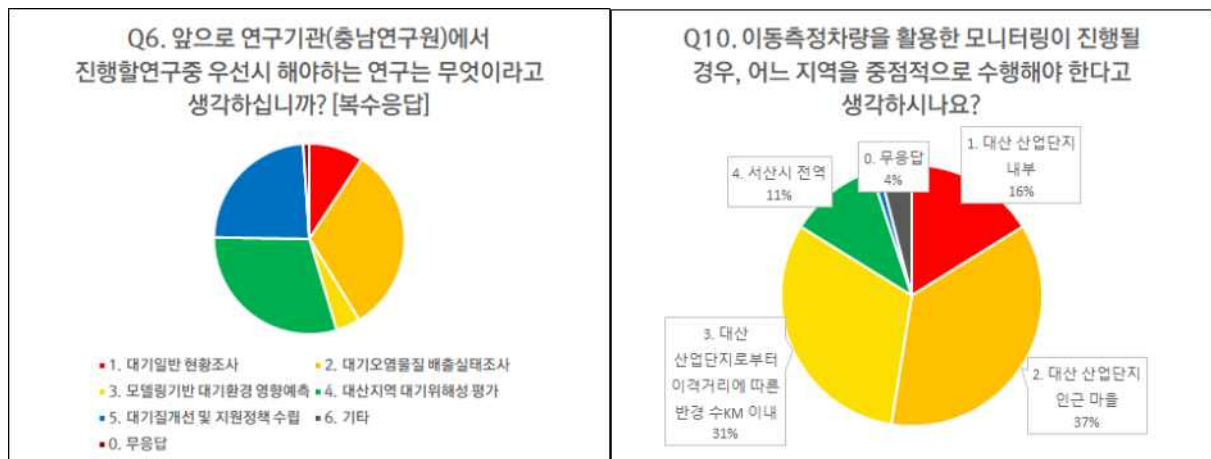


그림 78 2차 설문조사 중 연구 우선 선호도, 모니터링 대상 선정 파악

- 대산 산업단지 주변지역의 도시대기 측정소에 대한 신뢰도는 53%가 부정적인 응답을 보였으며 그 이유로 측정 기관에 대한 신뢰성부족 35% > 측정소 위치 문제 25% > 제공정보와 현재 위치의 거리 차이 20% 순이었음

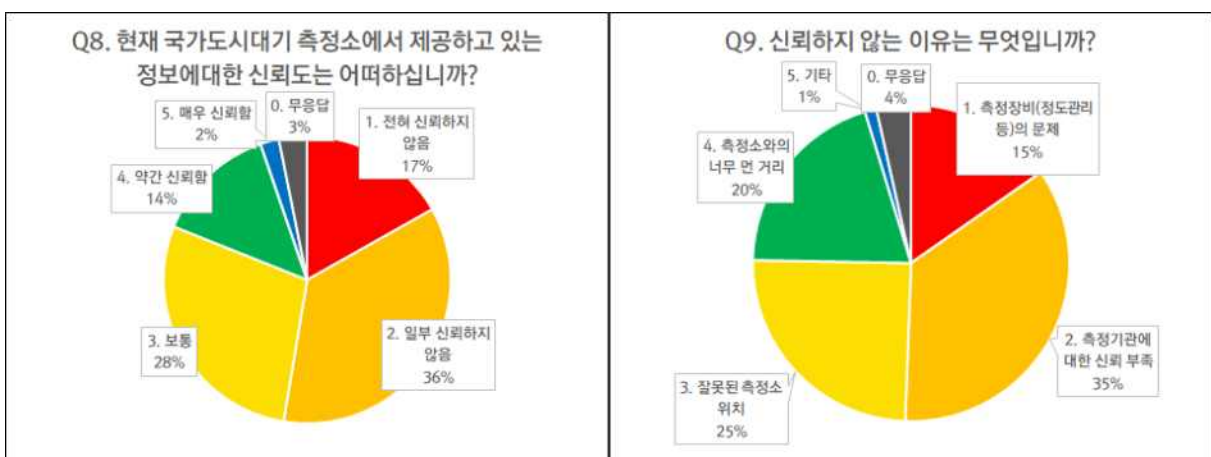


그림 79 2차 설문조사 중 고정측정망 신뢰도 분석

- 현재 충청남도 또는 서산시에서 진행 중인 산업단지와 관련된 지원 정책에 대한 질문에 대해서는 38%가 전혀 모른다고 응답하였으며 현재 추진 중인 지원정책 사업에 대해 설명하고 이에 대한 필요성에 대해 각각 5점 척도를 통해 조사하였음
- 총 7가지의 지원정책 사업종류로 구분하였으며 매우 필요한 사업으로 환경보호 방지 조치에 관한 사업이 95명중 40명이 응답하여(42%) 1위로 집계되었으며, 이어서 의료 지원 38명, 대피·보호 시설 설치 35명, 산업단지내 거주민 우선고용 33명 순이었음.

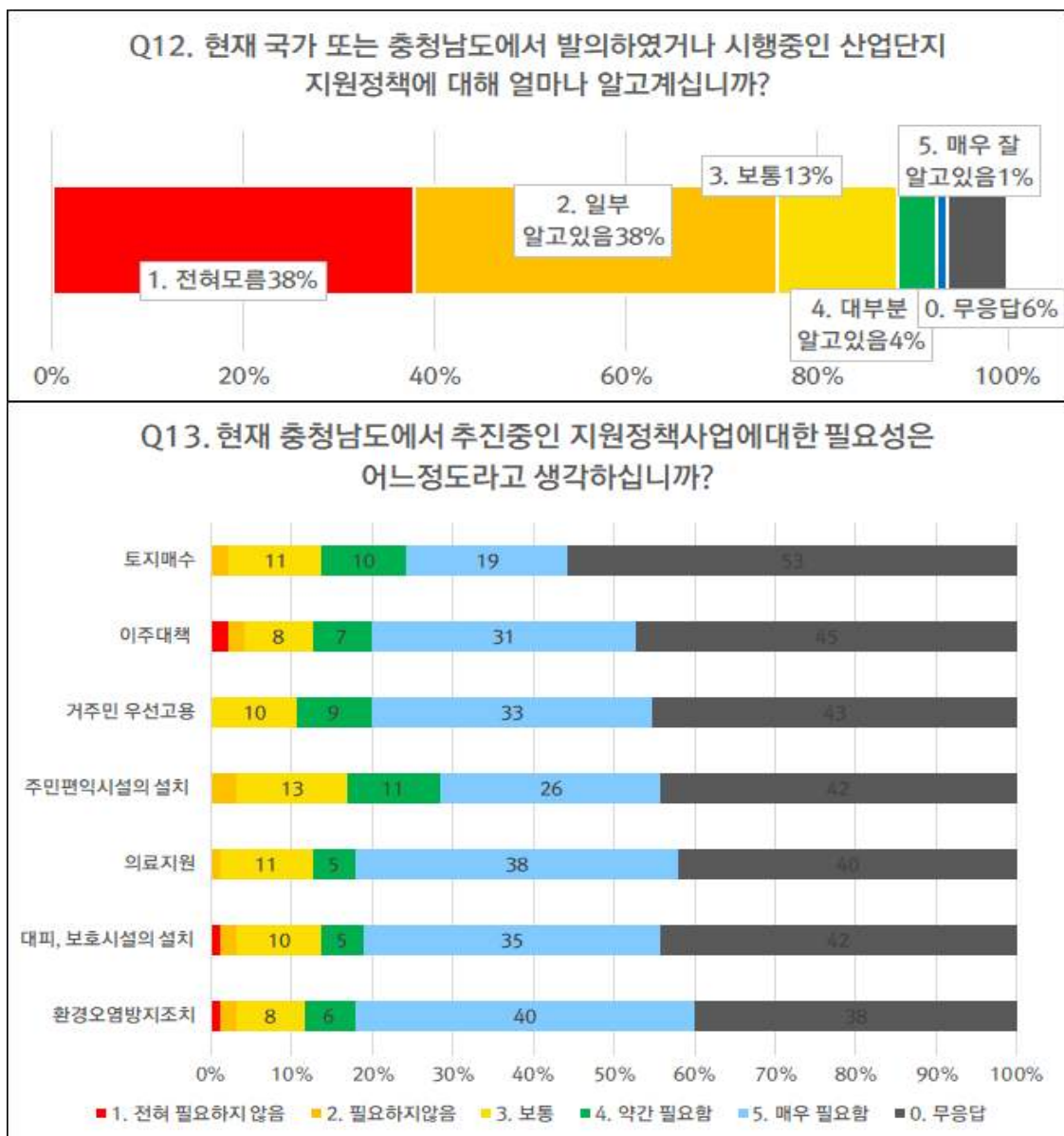


그림 80 2차 설문조사 중 산업단지 지원정책 선호도 분석 결과

- 장기적인 관점에서 볼 때 시·읍민 만족도 향상과 삶의 질 향상을 위해 우선시 해야 할 정책을 묻는 질문에서는 만족도 부문에서 배출 규제강화 34%로 우선시 하며, 주민지원 20% > 정보 지원확대 18% 순이었으며, 도민의 삶의 질 향상을 위해서는 배출시설의 원료전환 및 기초적인 저감시설 확충을 우선시 해야한다고 집계되었음

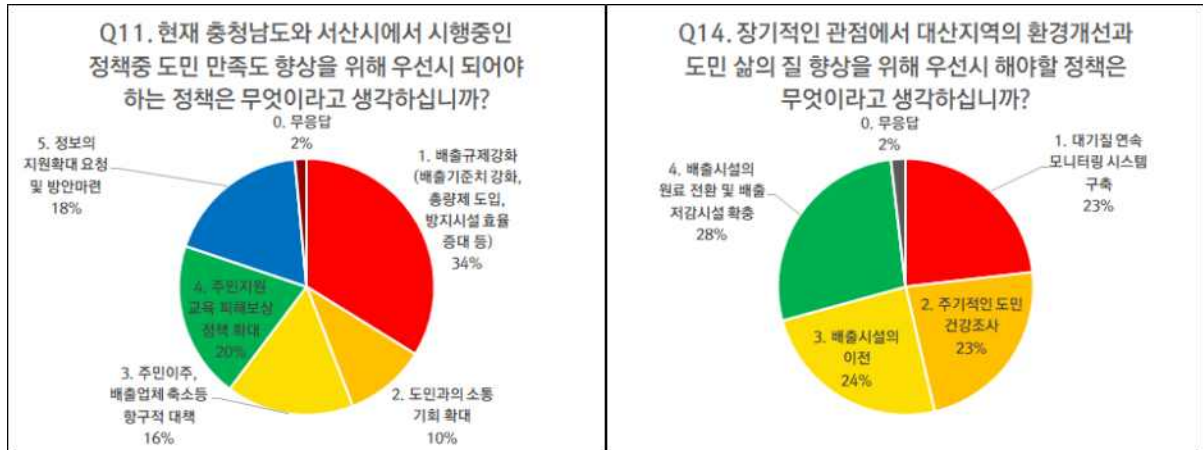


그림 81 2차 설문조사 중 정책 방향 우선 선호도

- 추가 기타의견으로 본 대기조사와 더불어 대산 지역주민 종합건강조사를 요청하는 민원이 많았으며, 취약종, 서식종, 멸종종 파악등을위한 농·수산물 생태계 모니터링 역시 추가적인 조사를 요청 하였음
- 대산공단 사업장들과 지역민의 상생안으로써 친환경 연료전환과 상생가능한 정책발굴을 요청 하였으며 직간접적인 영향권 설정을통해 종합적인 지원·보상 정책 제시를 요청하였음

제 5 절 VOCs 연속측정 자료 분석

□ 연속측정의 필요성

- 현재 환경부에서 고시하고 있는 대기오염공정시험기준에서는 환경대기 중 유해 휘발성 유기화합물(VOCs)에 대한 시험방법으로 “고체흡착법”을 주시험방법으로 권고하고 있음
- 이 방법은 대기 중에 미량으로 존재하는 VOCs를 스테인리스강 또는 파이렉스 유리로 이루어진 고체흡착관에 펌프를 연결하여 현장 시료채취 후 실험실로 돌아와 열탈착 후 GC/MS를 이용하여 정량화하는 방법임
- 현장 시료채취는 16~67 ml/min이 유량으로 1~4 L를 포집하기 위해 1시간동안 포집하였음
- 현 공정시험방법의 경우 수십년간 활용되어온 방법으로 측정자의 경험과 측정법이 정확하다는 전제하에 정확성과 정밀도가 보장되지만, 하루 1개에서 수개의 시료를 가지고 당일 농도를 가늠해야 된다는 단점이 있음
- 최근 이러한 시료의 부재를 충족시키고, 장단기적인 농도변화 특성을 검토하기 위해 실시간 측정장비를 활용한 연구가 수행되고 있음
- 본 연구에서는 주민들의 요구와 석유화학단지에서 배출되는 오염물질의 특성을 조사하기 위해 실시간 측정장비를 활용 현장 평가를 수행하였음
- 또한 주민 민원해소와 측정소의 값을 신뢰하기 어려운 지역에 대한 농도관리를 위해 충청남도 보건환경연구원에서 운영 중인 이동측정차량에서 측정하여 제시한 연구결과를 분석하였음

□ 충청남도 보건환경연구원의 이동측정차량 연구결과 분석

- 충청남도 보건환경연구원(이하 충남보건연)에서는 2016년부터 이동측정차량을 활용해서 대기질 모니터링을 수행하고 있으며, 측정된 자료는 충청남도 홈페이지에 보고서 형식으로 제공하고 있음 (충청남도 홈페이지→행정→기후환경→환경소식)
- 이동측정차량은 환경부의 대기오염측정망 설치 및 운영지침에 의거 대기오염측정망이 없는 지역의 대기질 측정, 지역 주민 요청지점에 대한 대기질 측정, 초등·중학생 등 환경홍보가 필요시, 측정소 신설 및 이전 위치 선정시 대기질 사전 조사 등에 활용되고 있음

행복충남 충청남도

추천검색어 : 충남도립대학교 미디어플러스 충남가을축제

통합검색

검색

비 10%

미세먼지 보통

11.10(월) 초하룻새먼지 보통

정보공개 | 소통 | 민원 | 행정 | 생활 | 산업 | 충남소개

통합복지

행정

도청공고

도청보고

도청소식

법무행정

농축수산임 정보

사람정보

산림자원

기후환경

환경소식

환경정책

기후변화대책

자연환경상대개

환경조사평가

환경분쟁조정

환경관리

성안관리

안전정책

환경소식

계시를 작성시 주민등록번호 및 기타 개인정보 게재를 금지하여 주시기 바랍니다.

전체 568개, 현재 1/2페이지

전체 검색어를 입력하세요

검색

번호	제목	담당부서	작성일	첨부	조회
568	도시 저영향개발(IID) 기법 교육프로그램 안내	환경보전과	2019-11-06	0	13
567	대기환경 모니터링 결과(당진 복운공원)	환경연구부	2019-11-06	0	12
566	대기환경 모니터링 결과(태안 이일양수강)	환경연구부	2019-10-23	0	33
565	대기환경 모니터링 결과(아산 독산농공단지)	환경연구부	2019-10-22	0	35
564	대기환경 모니터링 결과(천안 명송산업환경 주변)	환경연구부	2019-10-10	0	44
563	대기환경 모니터링 결과(서천 강항군민체육관)	환경연구부	2019-10-07	0	37
562	대기환경 모니터링 결과(논산 연무읍사무소)	환경연구부	2019-09-27	0	46
561	대기환경 모니터링 결과(서산 성연면사무소)	환경연구부	2019-09-27	0	48
560	대기환경 모니터링 결과(예산 다목적화관)	환경연구부	2019-09-24	0	48
559	대기환경 모니터링 결과(당진 초록2리마을회관)	환경연구부	2019-09-17	0	62

10개 출력 확인

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

그림 82 충남보건환경연구원 이동측정자료 리스트



그림 83 충남보건환경연구원에서 운영 중인 대기 모니터링 차량

대기환경 모니터링 결과

1 현 황

- 측정지점 : 서산시 청연면 마루들길 15(청연면사무소)
- 측정구분 : 농공단지, 산업단지 변형
- 측정항목 : PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, CO, O₃ 등
- 측정방법 : 이동측정시스템 이용 24시간 연속측정
- 측정기간 : 2019. 9. 5. ~ 9. 6.,
2019. 9. 10. ~ 9. 11.(4일간)

측정일	9. 5. ~ 9. 6.	9. 10. ~ 9. 11.	비 고
조치사항	예비측정	정상측정	



<그림 1. 풍배도 및 기상상태, 측정지점 위치>

그림 84 충남보건환경연구원 대기 모니터링 결과 보고서

2 측정 결과

<일반항목>

- PM₁₀ : 일평균 농도는 12~26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 24시간 도 환경기준(80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 만족함
- PM_{2.5} : 일평균 농도는 4~13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 24시간 도 환경기준 (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 만족함
- SO₂ : 일평균측정값은 0.003~0.004ppm으로 1시간 도 환경기준(0.10ppm) 및 24시간 도 환경기준(0.03ppm) 모두 만족함
- NO₂ : 일평균 농도 범위는 0.008~0.009ppm으로 1시간 도 환경기준(0.08ppm) 및 24시간 도 환경기준(0.04ppm) 모두 만족함

표 1. 대기오염물질 측정결과(일반항목)

일차	항목	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	CO (ppm)	비고
9.5		12	5	0.003	0.008	0.008	0.4	
9.6(-8:00)		14	4	0.003	0.008	0.003	0.4	
9.10		26	13	0.003	0.008	0.042	0.2	
9.11(-8:00)		15	10	0.004	0.008	0.043	0.2	
환경 기준	국가	100 / 일	35 / 일	0.05 / 일 0.15 / 시간	0.08 / 일 0.1 / 시간	0.06 / 8시간 0.1 / 시간	9 / 8시간 25 / 시간	
	충청 남도	80 / 일	40 / 일	0.03 / 일 0.10 / 시간	0.04 / 일 0.08 / 시간	0.06 / 8시간 0.1 / 시간	5 / 8시간 10 / 시간	

※9.7. ~ 9.9. 대풍·강당 대마를 위한 장비 잔류 OXF 관제로 데이터 사용불가

- 이동측정차량의 측정항목은 PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, CO, CO₂, O₃, VOCs, H₂S, CH₄, 풍향, 풍속 등이 있으나 본 보고서에서는 VOCs에 관해서만 정리를 하였음
- 이동측정자료는 2017년부터 2019년 4월까지의 자료를 정리하였으며, 측정위치는 대산 쓰레기매립장, 대죽1리 마을회관, 독곶사거리, 한국건설생활시험연구원, 한익익스프레스, 서산화학재난합동방재센터 등 총 6개소에서 측정을 실시하였고, 수집된 자료는 총 19회 임
- 측정위치별로는 대산 쓰레기매립장이 5회, 대죽1리 마을회관 5회, 한익익스프레스 4회, 독곶사거리 3회, 한국건설생활시험연구원 1회, 서산화학재난합동방재센터 1회 순으로 나타났음

표 77 이동측정차량을 활용한 대산 지역 측정 위치와 일정

연도	측정지점	측정기간	
		상반기	하반기
2017	대산 쓰레기매립장	02.28-03.06	08.23-08.28
		03.14-03.20	08.29-09.04
	대죽1리 마을회관	03.21-03.28	09.05-09.11
		03.21-03.28	09.05-09.11
	독곶사거리	03.21-03.28	09.05-09.11
	한국건설생활시험연구원	03.21-03.28	09.05-09.11
2018	대산매립장	03.01-03.07	08.31-09.06
		03.15-03.21	09.07-09.13
	대죽1리 마을회관	03.08-03.14	03.14-09.20
		03.14-09.20	
	독곶리 99-2 (한익스프레스)	06.14-06.21	
	독곶리 99-2 (한익스프레스)	10.18-10.25	
	독곶리 99-2 (한익스프레스)	02.16-02.26	
	서산화학재난합동방재센터	02.27-03.05	
2019	독곶리 99-2 (한익스프레스)	03.08-03.14	
	대죽1리 마을회관	03.13-03.19	
	대산 쓰레기매립장	03.29-04.04	

표 78 대산 인근지역 BTEX 측정 결과

연도	측정지점		Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m,p-Xylene	O-Xylene	Styrene
	환경기준 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	도	3	기준치 없음				
		국가	5	기준치 없음				
2017	대산 쓰레기매립장	상반기	1.19	1.66	0.97	1.97	미측정	미측정
		하반기	3.09	2.72	1.24	2.33	미측정	미측정
	대죽1리 마을회관	상반기	1.98	1.26	0.68	1.1	미측정	미측정
		하반기	0.91	1.91	0.4	0.7	미측정	미측정
	독곶사거리		1.73	1.7	0.6	1.18	미측정	미측정
	한국건설생활시험연구원		0.74	1.85	0.7	0.7	미측정	미측정
2018	대산매립장	상반기	7.2	4.5	1.6	8.4	1	7.4
		하반기	12.6	7.5	2.3	5.7	0.3	34
	대죽1리 마을회관	상반기	0.9	1.4	0.6	0.4	0.2	0
		하반기	2.5	4.8	0.9	1.1	0.2	1.5
	독곶사거리	상반기	3.9	2.4	0.6	1.2	0.3	0.9
		하반기	3.7	6.6	1.1	1.6	0.3	1.3
	독곶리 99-2 (한익스프레스)		5.5	1.66	0.44	미측정	미측정	0.9
	독곶리 99-2 (한익스프레스)		1.1	0.4	0.1	미측정	미측정	0.1
2019	독곶리 99-2 (한익스프레스)		2.8	5.5	1.2	1.3	0.3	0.8
	서산화학재난합동방재센터		2.4	3.3	0.9	1.2	0.5	1.4
	독곶리 99-2 (한익스프레스)		14.3	8.6	10.4	11.8	5.7	
	대죽1리 마을회관		1.3	1.3	1.4	0.5	0.2	0.5
	대산 쓰레기매립장		26.4	13.8	8.2	25.6	1.5	

- VOCs에 대해서는 TVOC에 대한 관리기준은 없고, 환경정책기본법에 의거 개별물질 중 벤젠만이 연평균 농도 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (약 1.5 ppb) 이하로 관리되고 있으며, 현재 충청남도에서는 충청남도 환경기본조례에 의거 $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (약 0.9 ppb)로 관리하고 있음
- 기준치가 존재하는 벤젠을 기준으로 대죽1리 마을회관의 경우 2017년 측정시 $0.91\sim 1.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 국가와 도의 기준치를 만족하였고, 2018년와 2019년도 모두 $0.9\sim 2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 기준치 내로 확인되었음
- 독곶사거리의 경우 2017년에는 $1.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 기준치를 만족하였으나, 2018년도에 수행된 조사에서는 $3.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 도 기준치를 초과하였음
- 2018년부터 조사를 시작한 한익익스프레스에서의 측정결과는 4회 중 2회가 국가와 도의 기준치 초과하였고, 2019년도 3월에 수행된 마지막 측정에서는 $14.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 국가기준 대비 2.9배, 도 기준 대비 4.8배나 높게 나타났음
- 대죽 1리 마을회관과 같이 가장 많은 5회 측정이 이루어진 대산 쓰레기매립장의 경우 2017년 측정시 $1.2\sim 3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 도 기준을 약간 상회하였으나, 2018년에 $7.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $12.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2019년도에는 $26.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 지속적으로 증가하는 것으로 나타났고, 농도 값 또한 최근 조사된 가장 높은 농도는 도 기준 대비 8.8배나 높은 농도로 확인되었음
- 쓰레기 매립장의 경우 산업단지 위치 내에 존재하는 만큼 주변보다 훨씬 높은 농도 값을 보였고, 대산방재센터에서 측정된 연간 주풍방향이 북서풍인 만큼 산업단지에서 고농도의 오염물질 존재시 기상조건에 따라 주변 마을로 확산되어 영향을 미칠 수 있기 때문에 이에 대한 원인분석 및 관리방안 마련이 시급할 것으로 판단됨

□ 충남연구원 자체 측정결과 분석

- 대산 지역의 VOCs 측정을 위해 1세부에 현 대기환경공정시험기준에 의거하여 고체 흡착포집을 통한 GC/MS 분석법을 활용 계절별 농도분포를 조사하였음
- 공정시험기준에 의거한 조사방법은 지역 분쟁이나 정확한 농도값을 요구하는 조사 연구에 적합하지만 재료채취 구간에 대한 값을 하루 전체 대푯값으로 봐야 하는 점과 휘발성3건을 수렴 대죽1리 마을회관을 대상지점으로 선정하였음
- 측정은 2019년 6월 10월 14시부터 14일 10시까지 약 5일간 진행하였고, 측정항목은 입자상 오염물질 중 BC와 PM10, PM2.5, PN을, 가스상 물질 중에는 VOCs 16종을 선정하였음
- BC의 경우 Aethalometer(AE51, Magee)를 이용하여 1분 간격으로 측정하였고, 입자계 수농도의 경우 Portable aerosol spectrometer(1.109, Grimm)을 활용하여 $0.25\sim 35 \mu\text{m}$ 범위의 입자를 1분 간격으로 측정, 환산계수를 활용하여 PM10과 PM2.5로 환산하여

제시하였고, 그 결과를 주변 도시대기측정망(air quality monitoring station, AQMS)과 비교 분석하였음

- VOCs의 경우 MiTAP(P310, Tricornntech)를 활용하여 벤젠을 포함한 16종의 물질을 측정하였고, 각 자료는 최소단위인 30분 단위로 저장하여 데이터를 획득하였음



그림 85 충남연구원에서 수행한 VOCs 연속측정 캠페인 수행 지도

표 79 MiTAP의 VOCs 측정항목

Substance	Compound	CAS NO.	Formular
Alkanes & Alkenes	Propene	115-07-1	C ₃ H ₆
	1,3-Butadiene	106-99-0	C ₄ H ₆
	Hexane	110-54-3	C ₆ H ₁₄
Aromatics	Benzene	71-46-2	C ₆ H ₆
	Toluene	108-88-3	C ₇ H ₈
	Ethylbenzene	100-41-4	C ₈ H ₁₀
	p-Xylene	106-42-3	C ₈ H ₁₀
	m-Xylene	108-38-3	C ₈ H ₁₀
	o-Xylene	95-47-6	C ₈ H ₁₀
	Styrene	100-42-5	C ₈ H ₈
Oxygenated VOCs	Acetone	67-64-1	C ₃ H ₆ O
	Butanone	78-93-3	C ₄ H ₈ O
	Ethyl Acetate	141-78-6	C ₄ H ₈ O ₂
Chlorinated VOCs	Tetrachloethylene (PCE)	127-18-4	C ₂ Cl ₄
	Trichloroethylene (TCE)	79-01-6	C ₂ HCl ₃
	1,4-Dichlorobenzene (1,4 DCB)	106-46-7	C ₆ H ₄ Cl ₂
	1,2-Dichlorobenzene (1,2 DCB)	95-50-1	C ₆ H ₄ Cl ₂
	Vinyl chloride monomer (VCM)	75-01-4	C ₂ H ₃ Cl

- 측정기간 동안 대죽1리 마을회관에서 측정된 대기오염물질의 평균 농도는 PM10 16.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 12.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고, 측정지점으로부터 위쪽 1.5 km 떨어져 있는 AQMS의 경우 PM10과 PM2.5 농도가 각각 24.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 15.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 대죽1리 마을회관보다 높게 나타났으며, 대기질은 모두 매우 좋은 수준이었음
- TVOCs는 평균 46.1 ppb로 나타났으며, 벤젠은 이동측정차량 모든 조사에서 기준치인 1.5 ppb를 만족하였으나, 본 조사에서는 2.6 ppb로 기준치 보다 1.7배 높게 확인되었음

표 80 측정기간 대기오염물질들의 농도 요약

	PAS			AQMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Aethalometer ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MiTAP (ppb)	
	PM ₁₀	PM _{2.5}	PN	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	TVOC	Benzene
	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		#/ cm^3					
6월 10일	15.1	12.8	54.4	22.6	13.0	0.5	25.4	2.1
6월 11일	16.8	12.1	50.9	22.8	15.0	0.9	40.7	2.3
6월 12일	12.7	9.2	38.0	21.9	12.7	0.7	36.4	1.3
6월 13일	17.4	12.7	53.4	27.3	19.9	0.9	73.7	4.5
6월 14일	27.6	19.8	89.2	32.8	20.4	1.5	25.4	1.3
평균±편차	16.9±8.6	12.4±5.7	53±28	24.8±7.7	15.9±5.4	0.9±0.8	46.1±42.2	2.6±3.5

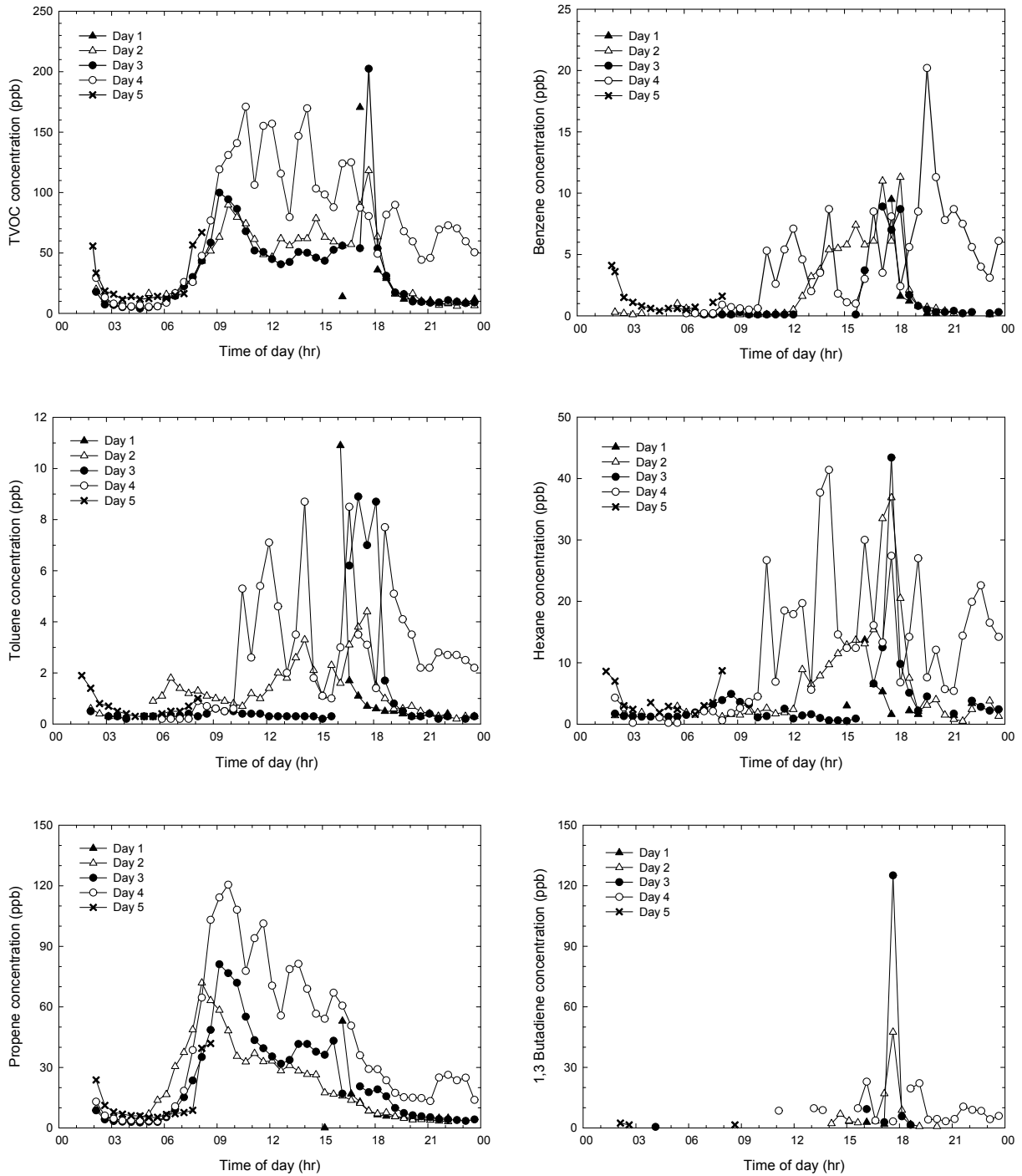


그림 86 측정기간 TVOCs 변화 및 개별물질들의 일변화

- TVOC는 측정전체 구간에 대해 평균 농도 46.1 ppb를 보였는데 최대 200 ppb에서 20~30 ppb까지 시간대별 편차가 최대 7~10배까지 나타나는 것으로 확인되었음
- 또한 전체 측정기간 5일 중 4일차를 제외하고는 유사한 농도변화를 보였음

- 그 외 주요 VOCs 물질인 벤젠, 톨루엔, 헥산, 프로판 등은 6시부터 21시 사이에 일정하지 않은 농도변화를 보였음. 이는 본 조사에서 측정지점인 대죽1리에 영향을 미치고 있는 VOCs들이 어느 한 공정에서 배출되는 것이 아니라 석유화학단지 내에서 다양한 공정에서 복합적인 영향으로 나타난 결과란 것을 나타내는 결과임
- 특히 독성이 강한 1-3부타디엔은 주로 15시에서 18시경 급격한 증가를 확인할 수 있었는데 1-3부타디엔은 주로 금속물질 등의 세척에 많이 사용되는 만큼 오전부터 제품생산이나 정제공정을 위해 사용된 장치를 세척, 관리하는 과정에서 급격하게 발생하여 나타난 결과로 판단되며, 이러한 공정이 다수 존재할 것으로 예상됨
- 외국에서 석유화학단지를 대상으로 수행된 연구결과 검토 결과 산업단지 내 TVOCs 농도는 33.8~135.9 ppb로 본 연구결과에서 조사된 46.1 ppb는 상대적으로 낮은 농도로 나타났음
- 허나 주요 오염물질인 벤젠의 경우 2.6 ppb로 이는 기존 연구결과 대비 높은 수준이며, 국내 타 석유화학단지인 울산과 여수 대비도 유사하거나 약간 높은 수치임
- 또한 앞서 충남보건의에서 이동측정차량을 활용한 조사에서도 대산지역의 벤젠농도가 지속적으로 상승하는 추세를 보이는 만큼 이에 대한 원인분석이 필요할 것으로 판단됨
- 본 조사는 주민들의 요청으로 인해 약 5일간 단기간에 대해 측정된 결과를 분석한 결과이며, 추후 노출물질들에 대한 원인규명과 관리방안 마련을 위해서는 좀 더 장기적이고 포괄적인 추가 연구가 필요할 것으로 판단됨

표 81 본 연구결과와 타 지역에서 수행된 연구결과 비교

Region	Substances (Unit : ppb)				Author
	Benzene	Toluene	Ethly-benzene	TVOCs	
Lanzhou (China)	4.5	4.0	3.0	125	Jia et al (2016)
Kaohsiung (Taiwan)	1.9	22	3.7	103.3	Lin et al (2004)
Izmir (Turkey)	-	-	-	135.9	Cetin et al (2003)
Shiohama (Japan)	2.1	5.2	2.9	88.0	Tiwari et al (2010)
Negishi (Japan)	0.7	3.1	0.8	47.9	
Honmoku (Japan)	0.4	1.6	0.7	33.8	
Aliaga (Spain)	1.5	1.03	0.2	-	Civan et al (2015)
Kocaeli (Turkey)	5.6	14.5	2.5	47.17	Pekey et al (2015)
Ulsan (Korea)	1.25	5.25	1.07	-	NIER (2010)
Yesu (Korea)	3.65	3.25	1.09	-	NIER (2009)
	1.32	4.55	0.27	-	CND (2019)
Gwangyang (Koera)	1.64	0.94	0.40	-	NIER (2009)
This study (Korea)	2.6	1.4	0.6	46.1	-

제 2 장 국내 대기환경정책 현황

제 1 절 국내 정책 동향

1. 대기환경정책 현황

□ 대기환경규제의 변천사

- 1945년 8월 15일 일본으로부터 독립 후 1950년부터 1953년까지 6·25전쟁을 거치면서 국내 재정과 삶은 매우 피폐해 질 수 밖에 없었으며, 이러한 국내여건을 개선하고자 1962년부터 1981년까지 20년간 경제개발 5개년 계획을 추진하였음
- 이 과정에서 전력, 석탄 등 에너지를 확보하여 기반산업을 구축하였고, 공업화, 중화학 공장 건설, 과학기술 개발 등 “한강의 기적”이라 불릴 만큼 눈부신 경제성장을 이룩하였음
- 하지만 이 과정에서 반대로 환경은 급격히 악화되었으며, 이를 개선하기 위해 1973년 위생국 내 공해과가 1978년 국립환경연구소가 신설되었고, 국내 최초로 이산화황(SO₂)에 대해 일평균 0.15 ppm, 연평균 0.05 ppm의 대기환경 기준을 설정하였음
- 1980년 환경청이 발족하였고, 이를 계기로 1983년 일산화탄소(CO)와 이산화질소(NO₂), 총부유분진(TSP)에 대해 환경기준으로 추가 신설함
- 환경청은 1990년 환경처로 승급 개편되었고, 이 과정에서 환경정책기본법과 대기환경보전법(1990.8.1.)이 제정되었음
- 1993년 기존 SO₂와 CO, NO₂의 기준을 강화하면서 미세먼지(PM₁₀) 기준을 신설하였음
- 1996년 지하생활공간공기질관리법을 제정하여 지하역사나 지하생활공간에 대한 공기질 관리를 시작하였고, 2003년 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법으로 전면 개정하면서 관리 대상을 지하역사와 지하생활공간에서 병원, 어린이집, 향만시설 등 불특정 다수가 이용하는 다중이용시설로 확대 관리를 실시하기 시작하였음
- 이러한 노력에도 불구하고 수도권 지역의 대기질이 개선되지 않자 정부에서는 2005년 수도권 대기환경개선에 관한 특별법을 제정하여, 수도권 지역에 대해 고체연료 사용 제한, 차량 운행 규제 등 추가적인 제제를 시작하였음
- PM₁₀에 대한 이슈가 발생하고 작은 입자에 의한 건강영향이 우려된다는 연구결과가 지속적으로 보도되자 2012년 초미세먼지(PM_{2.5})에 대한 기준을 신설하였고, 2015년에는 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법을 실내공기질 관리법으로 일부 개정하면서

그 관리 영역을 PC방, 영화상영관, 대중교통수단 등으로 확대 관리 중에 있음

□ 특별대책지역 선정

- 1962년부터 시행된 경제개발 5개년의 일환으로 정부 주도적 산업단지가 개발되기 시작하였고, 산업단지는 규제완화와 수출입의 접근성, 정부의 지원 등으로 전국적으로 확대 개설되기 시작하였고, 그 과정에서 울산미포와 온산국가산업단지가 조성되었음
- 울산미포 및 온산국가산업단지는 1962년 조성된 산업단지로 환경정책이 전무하던 시기 방지시설에 대한 인식도 없는 상태로 사업체에서 배출되는 오염물질로 주민들과 농작물에 피해가 발생하기 시작
- 무계획적인 산업단지 조성으로 공장과 마을이 혼재하였고 이 과정에서 대기오염으로 인한 분쟁이 발생하기 시작하였고, 이 과정에서 KIST에서 수행된 연구결과 대기질이 사람이 살 수 없을 정도로 악화되었다는 결과가 보도되면서 1986년 4월 대기보전특별대책 지역으로 선정되었음
- 대기보전특별대책지역이란 환경정책기본법 제38조에 의거 “환경오염이 현저하거나 현저하게 될 우려지역으로 주민의 건강·재산이나 생물의 생육에 중대한 위해를 갖을 우려가 있다고 인정되는 경우” 지정할 수 도록 하였으며, 1986년 3월 울산·미포 및 온산국가산업단지가 지정된 이후 1996년 9월 여수 여천국가산업단지가 지정되었음
- 현재 국내 3대 석유화학단지인 울산, 여수, 서산 중 유일하게 서산만이 대기보전특별대책지역으로 지정되지 못하고 있음
- 대기환경보전법상 대기환경기준을 초과하거나 초과할 우려가 있는 지역을 대상으로 “대기환경규제지역” 으로 지정할 수 있으며, 현재 수도권(서울, 인천, 경기도)를 포함하여 부산권역(부산, 김해)과 대구권역, 광양만권역(경남 하동군, 전남 광양·순천·여수) 등이 지정되어 관리 중에 있음
- 이 외에도 2005년부터 시행 중인 수도권 대기환경개선에 관한 특별법이 개정되었고, 이 법에 따라 “수도권 지역 중 대기오염이 심각하다고 인정되는 지역과 해당 지역에서 배출되는 대기오염물질이 수도권지역의 대기오염에 크게 영향을 미친다고 인정되는 지역” 을 대상으로 국가에서 기본계획을 수립하여 사업장 오염물질 총량관리나 자동차 배출가스 및 VOCs 배출 억제 등을 추진하였으나 2020년 4월 “대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법” 이 시행됨에 따라 대체 폐지될 예정임



그림 87 국가 대기배출원 관리 현황

□ 대기환경 개선을 위한 신규 법규 시행

- 대기환경에 대한 모니터링을 시작해온 1989년 이후 국내 미세먼지 농도는 꾸준히 감소하는 추세에 있으며, 2012년 이후 소폭 증가하거나 유지하는 등 감소폭이 작아진 했지만 최근까지 감소하는 추세에 있음
- 하지만 2013년부터 고농도 미세먼지 사례가 발생하기 시작하면서 국민적 관심이 증가하였고, 이로 인한 인터넷 및 방송매체에 의한 노출빈도가 증가, 국민적 우려와 걱정이 커지고 있음
- 국민적 불안해소를 위해 국가차원의 노력이 이루어지고 있으며, 2016년 과학기술정보통신부를 중심으로 환경부와 보건복지부가 공동으로 수립한 미세먼지 범부처 프로젝트 사업단이 발족하여 과학기술과 정책의 융합된 미세먼지 솔루션 제시를 목적으로 운영 중에 있으며, 2019년 대통령령으로 국가기후환경회의가 설치되어 운영 중에 있음
- 이와 더불어 일명 “미세먼지법”으로 불리는 “미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법”이 2019년 3월 시행되고 있음
- 이 법은 미세먼지 및 미세먼지 생성물질의 배출을 저감 하고, 그 발생을 지속적으로 관리함으로써 국민건강에 미치는 위해를 예방하고 대기환경을 적정하게 관리·보호하여 쾌적한 생활환경 조성을 목적으로 두고 있음

- 주체는 정부로 5년마다 미세먼지 관리 종합계획을 수립하고 여기에는 미세먼지 농도 개선목표 및 기본방향, 미세먼지 농도현황 및 전망, 미세먼지 등의 배출저감 목표와 이를 달성하기 위한 시책, 미세먼지 취약계층 보호에 관한 사항 등이 포함되어 있으며, 수립된 계획은 시·도지사와 협의하여 시행하도록 되어 있음

미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법 (미세먼지법) 2019.03.26 시행	대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법 (대기관리권역법) 2020.04.03 시행
<ul style="list-style-type: none"> ❖ 목적 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 미세먼지 및 미세먼지 생성물질의 배출을 저감하고 그 발생을 지속적으로 관리함으로써 국민건강에 미치는 위해를 예방하고 대기환경을 적정하게 관리보호하여 쾌적한 생활환경의 조성 ❖ 주체: 정부 (5년마다 미세먼지 관리 종합계획 수립) <ul style="list-style-type: none"> ✓ 미세먼지 농도 개선목표 및 기본방향 ✓ 미세먼지 농도현황 및 전망 ✓ 미세먼지 등의 배출량 현황 및 전망 ✓ 미세먼지 등의 배출저감 목표와 이를 달성하기 위한 시책 ✓ 미세먼지가 국민건강에 미치는 영향에 관한 조사·연구 ✓ 미세먼지 취약계층 보호에 관한 사항 ❖ 시행 주체: 시·도지사와 협의 (시행계획 수립) ❖ 대상물질 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 미세먼지 (PM₁₀, PM_{2.5}) ✓ 질소산화물 (Nox) ✓ 황산화물 (Sox) ✓ 휘발성유기화합물 (VOCs) ✓ 그 밖에 환경부령으로 정하는 물질 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ 지정요건 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 대기오염이 심각하다고 인정되는 지역 ✓ 해당지역에서 배출되는 대기오염물질이 가독 지역의 대기오염에 크게 영향을 미친다고 인정되는 지역 ❖ 지정 주체: 환경부장관 (5년마다 기본계획 수립) ❖ 시행 주체: 중앙행정기관 및 시·도지사와 협의 (시행계획 수립) ❖ 세부시행 계획 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 대기환경개선의 목표 및 기본방향에 관한 사항 ✓ 배출원별 대기오염물질 배출량의 현황 과 그 전망 ✓ 대기오염도의 현황과 그 전망 ✓ 대기관리권역의 배출원별 대기오염물질 배출량의 저감계획 ✓ 총량관리대상 오염물질 배출 사업장에 대한 지원 ❖ 대상물질 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 질소산화물 (Nox) ✓ 황산화물 (Sox) ✓ 휘발성유기화합물 (VOCs) ✓ 먼지 (TSP, PM₁₀, PM_{2.5}) ✓ 오존 (O₃)

그림 88 미세먼지 등 대기환경 개선을 위해 신규 시행되는 대기환경 법규

- 또 다른 법으로는 2020년 4월 시행 예정인 대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법, 일명 “대기관리권역법” 임
- 이 법은 기존 수도권 등의 대기환경개선에 관한 특별법에 의해 관리되던 수도권 외에 중부권, 동남권, 남부권을 권역으로 추가 설정하여 총 77개의 특광역시 및 시군을 권역으로 관리할 예정임
- 권역은 배출량과 기상 여건 등을 종합하여 국내 PM2.5 농도에 미치는 기여율이 높은 지역을 중심으로 설정하였으며, 환경부는 관계 중앙행정기관의 장 및 권역에 포함된 시도지사와 협의하여 권역별 대기환경 개선 목표, 시도별 배출허용총량 및 배출원별 저감 계획 등을 수립하여 추진할 예정임
- 대상물질로는 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 먼지(TSP, PM10, PM2.5), 오존(O3), 휘발성유기화합물(VOCs) 등이 포함되며, 대기관리 권역은 심각, 우려, 관리, 유지, 예외 등 총 5개로 구분하여 관리 할 예정임

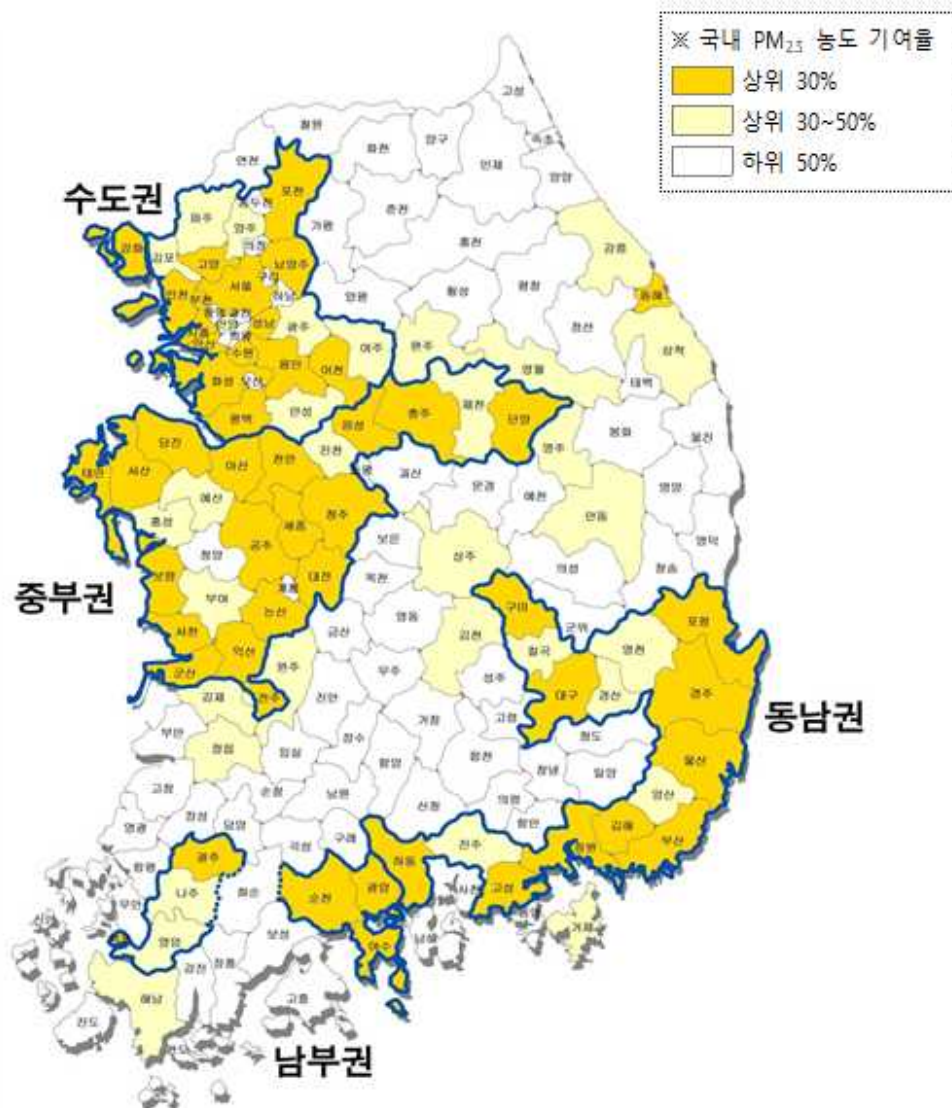


그림 89 대기관리권역 지도 및 주요 통계

< 권역별 기본계획에 포함되는 내용(대기관리권역법 제9조제2항) >

- ① 권역별 대기환경개선 목표 및 기본방향
- ② 배출원별 대기오염물질 배출량 및 대기오염도의 현황·전망
- ③ 권역별 배출원별 대기오염물질의 배출허용총량 및 저감계획
- ④ 권역에 포함된 광역지자체별 대기오염물질 배출허용총량
- ⑤ 저공해 자동차의 보급에 관한 사항
- ⑥ 총량 관리 대상 오염물질의 배출허용총량 할당기준(하위법령 규정사항)
- ⑦ 대기환경개선 사업을 위한 지자체 및 사업자에 대한 지원 사항
- ⑧ 기본계획 시행에 필요한 재원의 규모 및 재원조달계획

표 82 대기관리권역 편입 전·후 비교

구분	권역 편입 전	권역 편입 이후	지원사항*
관리 체계	<ul style="list-style-type: none"> · 지자체별, 개별 오염원별 관리 	<ul style="list-style-type: none"> · (변경) 권역 중심의 광역적·체계적 대기질 관리 <ul style="list-style-type: none"> ① 권역별 대기환경관리위원회 구성·운영 ※(위원장) 환경부장관/(위원) 관계부처, 지자체, 전문가 ② 권역별 기본계획 수립(위원회 심의·확정) ※ 권역별 목표농도 설정, 지역배출허용총량 설정 등 ③ 권역내 시·도별 시행계획 수립(시·도지사) 	<ul style="list-style-type: none"> · 지자체 PM2.5 측정망 설치 지원
배출 시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> · 농도관리 (대기환경보전법) 	<ul style="list-style-type: none"> · (추가) 다량배출 사업장에 대한 총량관리 <ul style="list-style-type: none"> ① 다량배출* 사업장에 5년마다 지역총량 내 사업장 총량 할당(환경부장관, 시·도에 위임 가능) * 1~3종 중 연간 NOx 4톤, SOx 4톤, TSP 0.2톤 ② 최적방지시설 설치 및 TMS 부착 의무 ③ 기본부과금 면제, 농도기준 완화(3종) 등 특례 	<ul style="list-style-type: none"> · 중소사업장 TMS 설치·관리 지원 · 중소사업장 방지시설 설치 지원
차량 관리	<ul style="list-style-type: none"> · 일반 배출허용 기준 적용 · 경유자동차에 저공해조치 명령 가능 (시·도, 시·군 조례) 	<ul style="list-style-type: none"> · (강화) 특정경유자동차(5등급 차량) 관리 강화 <ul style="list-style-type: none"> ① 특정경유자동차 배출허용기준 강화 ② 기준 초과 차량 저공해조치 의무화 ③ 종합검사 의무 * 특정경유자동차 외 차량은 정밀검사(시·도 조례) ④ 상시 운행제한 가능(시·도, 시·군 조례) ⑤ 특정용도 자동차*의 경유자동차 사용 제한 * ('23.4월부터) 어린이 통학버스, 택배 화물차 대상 	<ul style="list-style-type: none"> · 노후경유차 저공해화 지원 ※ 조기폐차, DPF 부착, 엔진개조 등 · LPG 화물차 신차 구입 지원 · 어린이통학 차량 LPG 전환 지원
기타 배출 관리	<ul style="list-style-type: none"> · (건설기계) 저공해조치 명령 가능 (시·도, 시·군 조례) · (VOCs 배출시설) 방지시설 설치 의무(일부 지역) 	<ul style="list-style-type: none"> · (강화) (건설기계) 특정건설기계 관리 강화 <ul style="list-style-type: none"> ① 저공해화 계획 수립(시·도지사, 시장·군수) ② 100억원 이상 관급공사에는 저공해 조치가 완료된 건설기계·경유차만 사용 · (신규) (항만·선박) 저감대책 수립(해수부장관) · (신규) (공항) 대기개선계획 수립(공항운영자) · (신규) (소규모 배출원) 오염물질 행위제한 및 방지시설 설치 명령 등 가능(시·도 조례) ※ 목재연료 난방기기 유통 제한 등 · (신규) (가정용 보일러) 환경부 인증 받은 친환경 보일러만 제조 및 유통 의무화 · (확대) (휘발성유기화합물 배출시설) 권역 소재 석유·화학 제조업, 저유소·주유소의 방지시설 설치(2년내), 주유소 유증기 회수설비 설치 	<ul style="list-style-type: none"> · 건설기계 저공해화 지원 · ※ DPF 부착, 엔진개조 등 · 가정용 저녹스 보일러 보급 · 중소사업장 유증기 회수설비 지원

제 2 절 충청남도 및 서산시의 대기환경 개선 노력

1. 충청남도의 대기환경 개선 대책

□ 미세먼지 중심 충청남도 대기환경 개선 계획 수립

- 민선 7기 도지사의 공약으로 쾌적한 생활환경 조성과 국민건강을 지키기 위해 미세먼지에 대한 적극적 해결방안 마련
 - (기준) ‘25년까지 PM2.5 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ’ 13년 대비 대기오염물질 35% 감축(94,685톤)
 - (개선) ‘22년까지 PM2.5 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ’ 15년 대비 대기오염물질 35.% 감축(98,571톤)

□ 최근 미세먼지 관리 여건 변화 반영

- 2018년 3월 환경기준 강화로 실효적인 대책 요구
- 환경부 「미세먼지 관리 종합대책」 보완 계획에 따른 도 계획 보완
- 2016년 2월 충청남도 “미세먼지 관리 종합대책” 수립
- 2017년 6월 중기 대기질 개선관리 추진계획 수립 및 시행
- 2018년 5월 고농도 미세먼지 발생 시 비상저감조치 시행
- 2019년 10월 제3회 탈석탄 친환경 에너지전환 국제 컨퍼런스 개최

□ 과학적 통계 기반 정책 추진

- 비전 : 깨끗한 공기, 푸른 하늘 더 행복한 충남!
- 목표 : 2022년 대기질 PM10 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 달성
- 8대 전략 43개 과제 수행 중
 - 전략 1 : 에너지산업연소 관리 - 6개 사업
 - 전략 2 : 산업부문 저감 대책 - 7개 사업
 - 전략 3 : 이동배출원 관리 - 8개 사업
 - 전략 4 : 대기오염물질 총량관리제 도입 - 2개 사업
 - 전략 5 : 과학적인 관리기반 구축 - 6개 사업
 - 전략 6 : 건강보호 등 생활환경 개선 - 6개 사업
 - 전략 7 : 대외협력 및 정책건의 - 4개 사업
 - 전략 8 : 교육 및 홍보 - 4개 사업



그림 90 충청남도 대기환경 개선대책 8대전략과 43개 과제 추진전략

제 3 장 대기영향 예측

제 1 절 모델링 개요

1. 적용모델링 선정

- 대기질 예측에 사용되는 모델은 종류도 다양하고 각각의 특징을 가지고 있어, 모든 지역에서 일률적으로 적용하기 어렵다. 따라서 우리나라에서 적용가능한 모델을 선정하기 위하여 미국 EPA에서 배포하고 있는 우선/추천 모델과 국내에서 많이 적용되고 있는 ahepff를 중심으로 스크리닝 모델, 서오염원 모델, 가우시안 플룸 모델, 가우시안 퍼프모델, 3차원 광화학 모델을 중심으로 구분하여 각각의 특성을 아래의 표에 나타냄.

표 83 대기모델의 특성

모델형태	모델명	대상물질	특성
Screening Model	AerScreen	점,선,면 오염원 (비반응성)	AERMOD 모델의 screening version으로 배출조건과 간단한 지형조건만으로 실제로 발생할 수 있는 최악의 경우의 예측결과를 제공하는 간이 평가 모델
선 오염원 모델	CALINE3	선 오염원 (비반응성)	적용의 편의성이 뛰어나고 Pasquill확산곡선을 이용 연속된 선 오염원의 영향을 모사
	CAL3HC/ CAL3QHCR	선 오염원 (비반응성)	자동차가 정체하는 지역 특히, 교차로 등에서의 오염물질 농도계산에 적합하나 입력자료 복잡
Gaussian Plume Model	ISC3	점,선,면 오염원 (비반응성)	장기(ISCLT3) 및 단기(ISCST3) 모델로 나뉘고 오염물질의 반감기 및 화학 변환률과 입자의 중력침강, 흡성 및 건성 침적, Plume rise와 Building downwash를 고려함.
	AERMOD	점,선,면 오염원 (비반응성)	ISC3 모델의 단점이었던 대기상태가 공간적으로 균일하다는 가정과 복잡지형에서 적용 문제점을 보완하며, 비교적 간단한 사업에 대해 사용이 간편하여 현재 국내에서 가장 많이 쓰이고 있음.
Gaussian Puff Model	CALPUFF	점,선,면 오염원 (비반응성)	기상모델의 결과로서 제공되는 3차원 기상장을 입력자료로 사용하여 복잡한 바람장과 지형을 충분히 고려해줄 수 있는 모델
3D Eulerian Model	C M A Q , CAMx, UAM	점,선,면 오염원 (1차, 2차)	대기 중에서 일어날 수 있는 오염물의 농도를 결정짓는 모든 과정(이류, 확산 및 반응)을 고려해 줄 수 있는 장점이 있으나 배출량 산정과 운영이 어려워 쉽게 적용하기 힘든 것인 단점.

- 본 연구에서는 일반적인 미세먼지(PM-10, PM-2.5)를 예측하기 위한 모델로 3차원 광화학 모델과 건강영향평가를 위한 화학물질의 모의는 CALPUFF 모델을 적용하였으며, 각각의 모델의 상세한 내용을 아래에 정리하였음.

□ CALPUFF 모델 개요

- 규제용 도구로 활용하기 위해 일반화된 비정상상태 대기질 모델링 시스템을 개발하기 위한 연구의 일환으로 Sigma Research Corporation(현재는 Earth Tech, Inc.의 일부)에서는 CALMET 기상모델을 포함하는 CALPUFF 확산 모델과 이와 연관된 여러 프로그램들을 개발하였다. CALPUFF와 CALMET를 개발하는데 있어 California Air Resources Board(CARB)가 후원 하였고 Systems Application, Inc.(SAI)가 CALMET 모델의 기상장 모델링 분야의 개발에 책임을 맡음.
- 퍼프모델(Puff model)은 굴뚝에서 연속적으로 배출되는 연기가 잘게 나누어진 각각의 연기덩어리(puff)로 배출된다고 가정하고, 이 배출된 퍼프가 공간적 해상도를 갖는 바람장을 따라서 이동 및 확산이 될 때 퍼프가 미치는 영향을 종합하여 농도를 계산하는 모델이다. CALPUFF 는 시간 및 공간에 따른 바람장의 변화를 퍼프의 이동에 고려할 수 있기 때문에 비정상상태(Unsteady state)모델이다¹⁰⁾. 따라서 정상상태 모델인 ISCST3나 AERMOD보다 정확히 시간에 따른 풍향 및 풍속의 변화를 확산에 반영할 수 있음.
- CALPUFF 모델은 복잡지형에서 산곡풍이나 해륙풍 순환과 같은 급격한 바람장 변화를 나타내는 지역에 유용한 모델이다. 또한CALPUFF 모델은 우리나라와 같이 삼면이 바다로 되어있고 도시나 공단 등이 해안지역에 위치한 경우 해륙풍 순환의 영향을 받는 풍하측에서의 농도 예측에 적합한 모델이다. CALPUFF 모델의 대상 영역은 소규모에서 대규모까지 다양하다. CALPUFF 모델을 성공적으로 수행하기 위해서는 정밀한 3차원 바람장 자료가 요구되는데 바람장 자료를 작성하기 위해서 바람장 모델인 WRF 등의 전처리 프로그램이 추가로 요구됨.
- CALPUFF 모델의 기본적 특징은 다음과 같다. 첫째, 점·면 오염원에 대한 시간적인 농도변화 계산 능력이 있고, 둘째, 오염원으로부터 수십 미터에서 수백 킬로미터까지 모델링이 가능하며, 셋째, 한 시간에서 일 년까지의 평균화시간에 대한 농도 예측이 가능하고, 넷째, 비활성 오염물질은 물론 화학변화를 일으키는 오염물질에 대해서도 예측 가능하다. 마지막으로 거칠고 복잡한 지형상황에 대해서도 모델링이 가능.
- CALPUFF 모델은 다음의 세 가지 요소로 구성되었다. 첫째, 진단(diagnostic) 및 예측(Prognostic) 기상장 생성 모듈을 포함하는 기상 모델링 도구, 둘째, 화학적 제거 및 건·습식 침적, 복잡지형 알고리즘, 빌딩 다운워시, 연기침강(Plume fumigation) 및

기타 효과들을 다루는 가우시안 퍼프 확산 모델, 셋째, 기상 자료와 농도 및 침적량(deposition fluxes)에 대한 결과를 볼 수 있는 후처리 프로그램.

- U.S EPA에서는 CALPUFF모델링 시스템을 장거리 수송과 비정상상태의 효과(기상장의 공간변화나 무풍(calm winds), 연기침강(Fumigation), 재순환(recirculation)과 정체현상(stagnation), 지형이나 해안효과)가 크게 나타날 수 있는 곳에 대한 사례연구를 함에 있어 규제용 기본 모델로 제안하고 있음.
- CALPUFF 모델은 개발된 이후로 많은 부분 개선되었는데 대표적으로 산불과 같은 면오염원과 선오염원, 입체오염원으로부터의 확산과 부력 상승(buoyant rise), 복잡지형에 대한 처리능력 개선, 규제용 목적으로 사용하기 위한 추가적인 모델, 퍼프를 자름으로 인한 바람 쉬어향(wind shear)의 처리능력 향상, 이류조건에서의 확산 모사를 위한 확률밀도함수(probability density function)의 사용 등이 있음.
- 그림에서 보는 바와 같이 CALPUFF 모델링 시스템은 세 가지 주요한 요소인 CALMET, CALPUFF, CALPOST 및 기상과 지형 처리 프로그램으로 구성되어 있다. 단순히 말해서 CALMET은 3차원 격자 모델링 영역에서 시간별 바람장 및 온도장을 생성해 내는 기상모델이다. 혼합고도, 지표특성, 확산특성과 같은 2차원 자료 또는 CALMET을 통해 생성됨.
- CALPUFF는 오염원으로부터 배출된 퍼프를 확산 및 프로세스를 통해 모사하는 확산·수송 모델이다. CALPUFF의 일차적인 결과에는 특정 지역에서의 시간별 농도나 시간별 침적 플럭스(deposition fluxes) 둘 중 하나를 포함된다. CALPOST는 이러한 결과 파일을 처리하기 위해 사용된다. 예를 들어, 각각의 리셉터에서 3시간 평균 최고 농도나 두 번째 높은 농도를 확인하는 등 시뮬레이션 결과를 요약하여 표로 만드는 작업을 하는 것임.

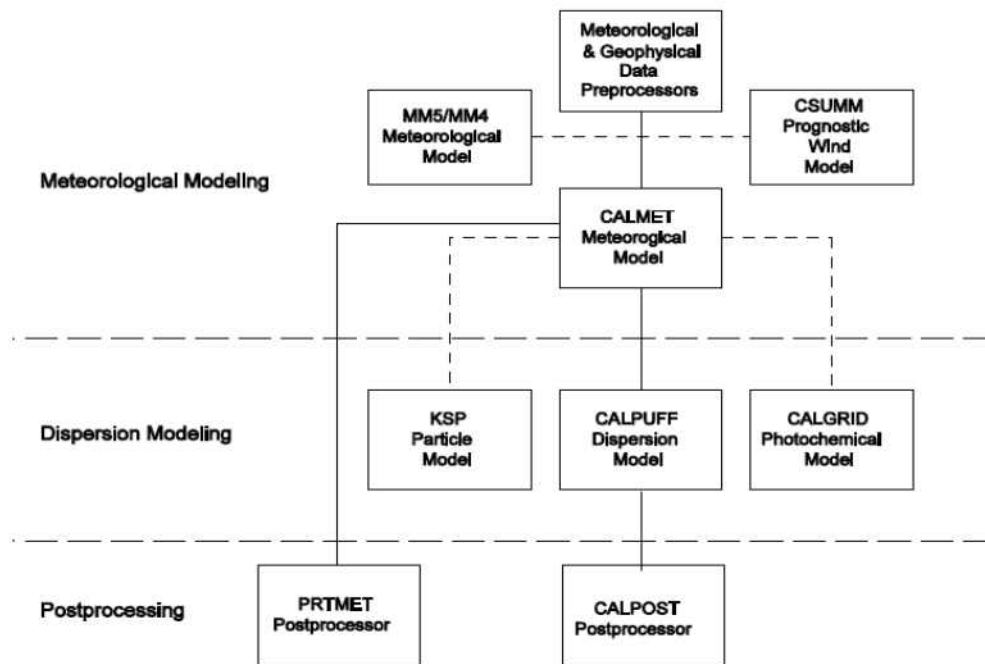


그림 91 CALMET/CALPUFF 모델링 시스템

- 아래에 CALMET의 모식도를 나타낸 것이다. CALMET의 가장 중요한 기능은 3차원 격자 모델링 영역을 사용하여 매 시간별 바람과 기온자료를 사용하는 기상모델로 MM5의 결과를 사용할 수 있다는 것이다. 이로써 가우시안 확산모델의 가장 큰 비중을 가지는 기상 부분에 대한 정확도를 향상 시킬 수 있다. 또한, 상층기상자료, 지상 기상자료, 강수자료, 지형자료, 토지이용도 등을 이용하여 바람장을 산출한다. <Fig 3-2>에 CALPUFF의 모식도를 나타낸 것이다. CALPUFF는 이동·확산모델로 모델소스로부터 방출된 물질의 퍼프를 이류 시키고 확산과 변형 기장을 통해 모사함.
- CALPUFF는 CALMET에서 생성된 3차원 기상자료를 이용해 격자별 또는 원하는 지점의 농도를 예측할 수 있는 주 프로그램이다. CALPUFF에서 산출된 주요 결과(output)는 선택된 수용체에서 계산된 시간별 농도 혹은 시간별 침적 플럭스(deposition flux)를 포함한다.

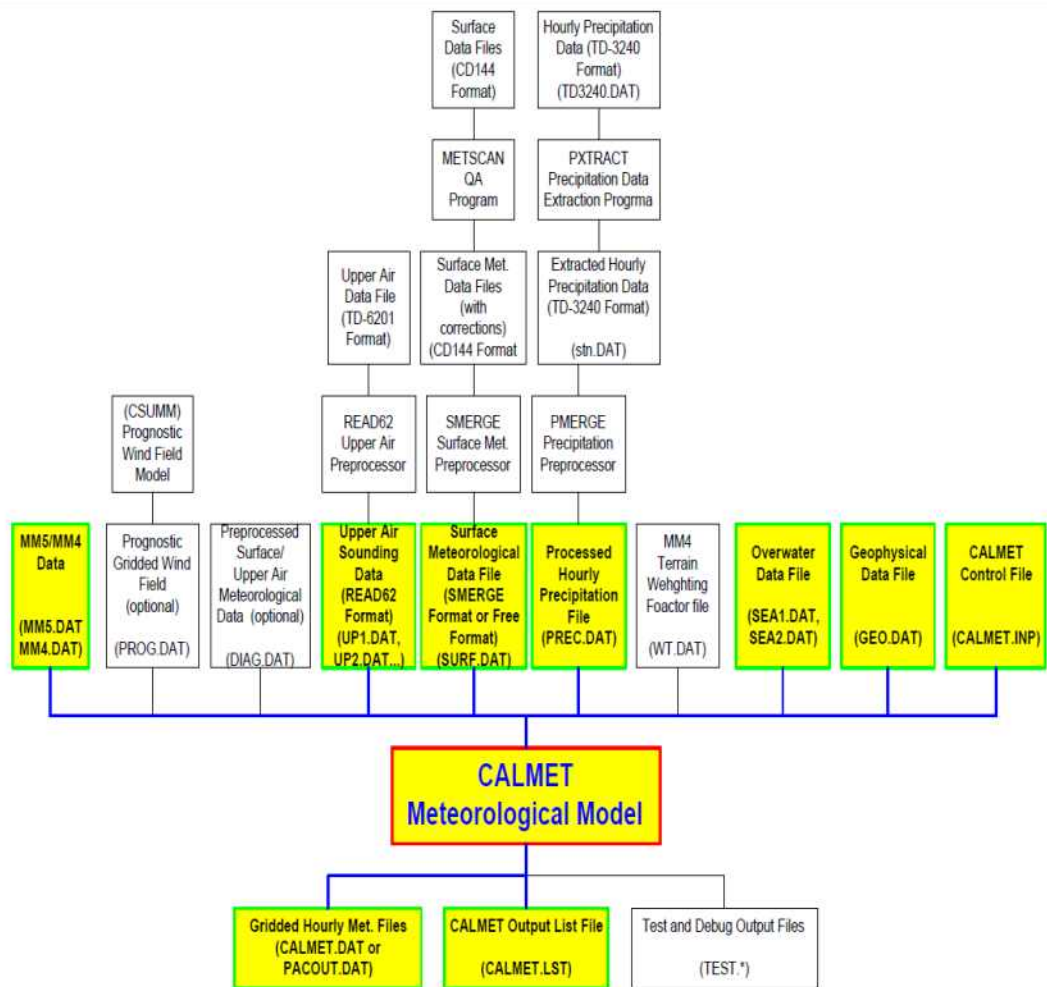


그림 92 CALMET 모델링 시스템

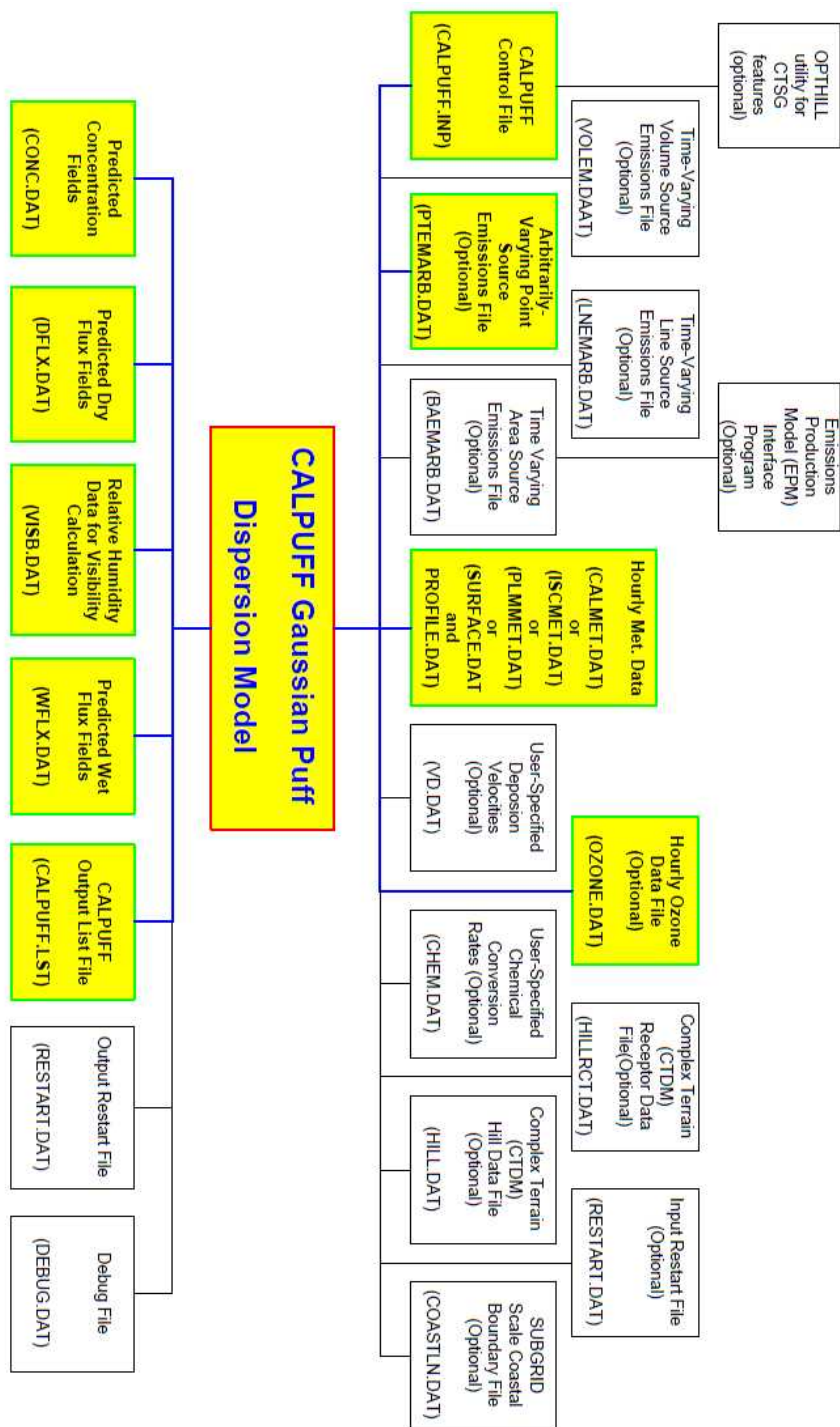


그림 93 CALPUFF 모델링 시스템 구조

□ 격자 체계

- CALPUFF를 실행하기 위해서는 기상자료와 배출량 자료 등이 필요하다. 기상자료는 보통 MM5, WRF 모델 결과를 활용하게 된다. 그런데 MM5 모델 결과를 CALMET의 입력자료로 사용하기 위해서는 CALMM5 프로그램을 이용한 MM5 결과변환이 요구된다. 그 이유는 MM5의 수평격자체계는 Arakawa B grid를 사용하여 온도, 비습 등의 스칼라 변수는 Cross point에서 동서바람성분(u)과 남북바람성분(v)은 Dot point에서 정의되지만 CALMET은 각각의 격자 셀의 중심에서 grid point가 정의되는 non-staggered horizontal grid system을 사용하기 때문이다.

□ CALPUFF 특징 및 옵션

- CALPUFF는 오염물질의 수송, 변형, 제거과정에 대해서 시·공간적 기상조건의 변화 효과를 모사할 수 있는 다중층(multi-layer), 다종(multi-species) 비정상상태 퍼프모델이다. CALPUFF는 CALMET에 의해 생성된 3차원 기상장을 사용할 수도 있고, 기상장을 단순하게 ISCST3(13), CTDMPUS(14), 혹은 AUSPLUME(15)와 같은 정상상태 가우시안 플룸 모델로부터 나온 기상장을 사용할 수도 있다. 그러나 ISCST3, CTDMPUS, AUSPLUME와 같은 단순모형은 신중하게 생각하고 사용해야만 한다. 왜냐하면 이와 같은 모델을 이용해 CALPUFF 모델이 공간적으로 변화하는 기상장을 처리하기에는 한계가 있기 때문이다.
- CALMET 모델은 진단적인 기상장 생성 모듈과 육지 및 해상 경계층 모듈을 가지고 있다. CALMET 모델은 CSUMN 진단 기상장 모델이나 객관분석 과정을 통해 실측 자료를 포함하고 있는 MM5/MM4 모델에 의해 생성된 기상장을 결합시킬 수 있는 능력을 가지고 있음.
- CALPUFF 모델은 오염물질 제거(습성 침적, 건성 침적), 화학 변형, 연직 바람 쉬어항(Vertical wind shear), 해상 수송 및 해안 상호 효과(coastal interaction effects)와 같은 장거리 효과는 물론 빌딩 다운워시, 연기 상승(transitional plume rise), 부분적인 연기 침투(partial plume penetration), 세부 격자 규모의 지형 작용(subgrid scale terrain interactions)과 같은 단거리 효과를 위한 알고리즘을 포함하고 있다. 이는 자유롭게 변화하는 점오염원이나 격자화된 면오염원 배출원에 도움이 될 수 있다. 대부분의 알고리즘은 물리적인 과정을 처리하기 위한 여러 가지 옵션들을 가지고 있음.

- CALPUFF 모델에서 고려하는 주요한 특징들을 간략히 정리하면 아래와 같이 표현할 수 있다.

(1) 배출원 형태

- 점오염원(고정 혹은 유동오염물질 배출 모두 고려)
- 선오염원(고정 혹은 유동오염물질 배출 모두 고려)
- 입체오염원(고정 혹은 유동오염물질 배출 모두 고려)
- 면오염원(고정 혹은 유동오염물질 배출 모두 고려)

(2) 비정상상태 배출 및 기상 조건

- 3차원 격자화된 기상변수(바람, 온도)
- 공간적으로 변화하는 혼합고, 마찰속도, 대류속도 규모, 모닝-오브코프 길이, 강수율
- 연직 또는 수평적으로 변화하는 난류와 확산률
- 시간에 따른 오염원과 배출량 자료

(3) Efficient sampling functions

- 통합된 퍼프 공식(Integrated puff formulation)
- 연장된 퍼프 공식(Elongated puff(slug) formulation)

(4) 확산계수(σ_y , σ_z) 옵션

- σ_v 와 σ_w 의 직접적인 측정
- 상사이론(Similarity theory)에 기초한 σ_v 와 σ_w 의 추정값
- 파스킬-길포드(P-G) 확산 계수(시골 지역)
- 맥머리-폴러(MP) 확산 계수(도시 지역)
- CTDM 확산 계수(중립-안정)

(5) 연직 바람 쉼어항(vertical wind shear)

- 퍼프 절단(Puff splitting)
- 특이한 이류나 확산

(6) 연기 상승(Plume rise)

- 부분침투(Partial penetration)
- 부력 및 운동량 상승(Buoyant and momentum rise)
- 굴뚝 끝 효과(Stack tip effects)
- 연직 바람 쉼어항(Vertical wind shear)
- 빌딩 다운워시 효과(Building downwash effects)

(7) 빌딩 다운워시(Building downwash)

- Huber-Snyder 방법
- Schulman-Scire 방법

(8) 세부 격자 규모의 복잡 지형(Subgrid scale complex terrain)

- 유선형 구분, Hd:

- Hd 윗부분에서는 퍼프가 언덕 위로 흐르고 확산물의 변함
 - Hd 아랫부분에서는 퍼프가 언덕이나 갈라진 틈 주위를 비껴가고 언덕주위를 휘감음
- (9) 배출량 생성 모델(Emissions Production Model; EPM)과의 인터페이스
- 시간에 따라 변화하는 열 플럭스(heat flux)와 화재에 의해 발생하는 배출량
- (10) 건성 침적(Dry Deposition)
- 가스상 및 입자상 물질
 - 세 가지 옵션:
 - 저항모델을 통한 침적의 시·공간적 변화에 대한 완벽한 처리
 - 각 오염물질의 주간 순환
 - 건성 침적 없음
- (11) 해상 및 해안 상호 효과(Overwater and coastal interaction effects)
- 해상경계층 파라미터(Overwater boundary layer parameters)
 - 해안경계층(coastal boundary)에서 연기 확산 및 기상조건의 갑작스러운 변화
 - 연기 침강(plume fumigation)
 - 세부 격자 규모(subgrid scale)의 열적 내부경계층(Thermal Internal Boundary Layers; IBLs)에서 coastal grid cells로 도입시키기 위한 옵션
- (12) 화학적 변형 옵션(Chemical transformation options)
- SO_2 , SO_4 , NO_x , HNO_3 , NO_3 -에 대한 일차 유도(Pseudo-first-order) 화학 메커니즘 (MESOPUFF II method)
 - 변형률(transformation rate)의 주간 순환
 - 화학 변화 없음
- (13) 습식 제거(Wet Removal)
- Scavenging coefficient approach
 - 강우 강도와 강우 형태에 따른 제거율
- (14) GUI(Graphical User Interface)
- Point-and-click model setup and data input
 - 입력 자료에 대한 오차 조사 강화
 - 온라인 도움말

□ CALPUFF 농도 계산식

- 수용체에서 퍼프의 농도 계산은 다음 제시된 식을 기본 식으로 한다.

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} g \exp\left[-\left(\frac{d_a^2}{2\sigma_x^2}\right)\right] \exp\left[-\left(\frac{d_c^2}{2\sigma_y^2}\right)\right]$$

$$g = \frac{2}{(2\pi)^{1/2}} \sum_{i=-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(H_e + 2ih)^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

여기서, C : 지표농도(g/m^3)

Q : 퍼프에서의 오염물질질량(g)

δ_x : 풍향과 같은 방향에서의 가우시안분포의 표준편차(m)

δ_y : 풍향과 직교하는 방향에서의 가우시안분포의 표준편차(m)

δ_z : 연직 방향에서의 가우시안분포의 표준편차(m)

d_a : 풍향과 같은 방향에서의 퍼프 중심으로부터
수용체(*receptor*)까지의 거리(m)

d_c : 풍향과 직교하는 방향에서의 퍼프 중심으로부터
수용체(*receptor*)까지의 거리(m)

g : 가우시안 방정식의 연직 높이(m)

H : 지면위에서 퍼프중심의 효율적인 높이(m)

h : 혼합층 고도(m)

□ CMAQ 모델

- 1970년대부터 대기오염 물질이 국가간 분쟁의 대상이 되면서 2세대 모델이라고 할 수 있는 오일러리안 모델들이 개발되었고 화학반응을 고려할 수 있다는 이점으로 인하여 현재까지 다양하게 개발 및 적용되고 있다. 대표적인 오일러리안 모델로는 ROM(Regional Oxidant Model), RADM(Regional Acid Deposition Model), 그리고 현재 US EPA에서 기본 모델(regulatory model)로 사용하고 있는 UAM(Urban Airshed Model) 등이 있다. 그러나 이들 오일러리안 모델들은 공통적으로 몇몇 한계를 가지고 있는데 이를테면 모델 프로그램이 충분히 모듈화 되어 있지 않으므로 모델의 서브프로그램간의 교환 및 새로운 서브프로그램의 추가 및 삭제 등에 많은 시간과 노력이 소모되고, 대용량화된 모델 출력자료에 대한 접근 및 처리가 쉽지 않다는 점 등임.

- 미국 환경부(US EPA)에서는 기존의 대기오염 모델의 단점을 보완하여 최근에 제3세대 모델이라고 할 수 있는 CMAQ을 개발하였다. Models-3의 목표는 효과적인 정책결정 지원시스템을 제공하고, 모델과 모델링 시스템의 점차적인 구축을 위한 체계를 제공하는 것임.

□ Models-3/CMAQ 개요 및 구성

- CMAQ은 1998년 6월에 1차 공식 버전이 발표되었고 현재도 활발하게 개선되고 있는 모델이다. 이 모델의 큰 장점은 첫 번째로 모듈구조로 되어있다는 특징을 가지고 있다. 따라서 각 서브프로그램 간 그리고 각 전처리 단계간의 상호 호환이 쉽게 되어 있어 기존의 모델들에서처럼 동일하거나 유사한 서브프로그램을 필요한 단계마다 다시 만들어야 하는 비능률적 측면이 지양되었다. 두 번째로 모델링 영역의 규모가 다양함.
- 지금까지는 국지규모 또는 도시규모 또는 지역규모 모델은 각기 별개의 모델을 구성하고 있었다. 그러나 CMAQ 모델은 국지규모에서 지역규모 모델링까지 다양하게 동시에 모델링이 가능하다. 세 번째 특성으로는 여러 가지 오염물질을 동시에 고려할 수 있다는 것이다. 이 모델은 황 화합물이나 오존화합물 뿐 아니라 최근 들어 기후적 측면과 국지오염의 측면 등에서 중요한 관심사가 되고 있는 에어로졸도 동시에 고려할 수 있음.
- CCTM 모델의 지배 방정식은 아래에 나타낸 식과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial \varphi_i^*}{\partial t} + \widehat{\nabla}_\varepsilon \cdot [\varphi_i^* \widehat{V}_\varepsilon] + \frac{\partial(\varphi_i^* \widehat{\nu}^3)}{\partial \widehat{\chi}^3} + \widehat{\nabla}_\varepsilon \cdot [\widehat{\rho} \sqrt{\widehat{r}} \widehat{F}_{q_i}] + \frac{\partial(\widehat{\rho} \sqrt{\widehat{r}} \widehat{F}_{q_i}^3)}{\partial \widehat{\chi}^3} \\
 & \quad \quad \quad (a) \quad \quad \quad (b) \quad \quad \quad (c) \quad \quad \quad (d) \\
 & = \sqrt{\widehat{r}} R_{q_i}(\overline{\varphi}_1, \dots, \overline{\varphi}_N) + \sqrt{\widehat{r}} S_{q_i} + \frac{\partial(\varphi_i^*)}{\partial t} \Big|_{\text{cid}} + \frac{\partial(\varphi_i^*)}{\partial t} \Big|_{\text{new}} + \frac{\partial(\varphi_i^*)}{\partial t} \Big|_{\text{aero}} \\
 & \quad \quad \quad (e) \quad \quad \quad (f) \quad \quad \quad (g) \quad \quad \quad (h) \quad \quad \quad (i)
 \end{aligned}$$

Where $\varphi_i^* = \sqrt{\widehat{r}} \overline{\varphi}_i = (J_\varepsilon / m^2) \overline{\varphi}_i$

\widehat{V}_ε : horizontal wind vector

$\widehat{\nu}^3$: vertical wind component

$\varphi_i^* = \sqrt{\widehat{r}} \overline{\varphi}_i$: species concentrations ($\overline{\varphi}_i$) coupled with the Jacobian($\sqrt{\widehat{r}}$)

- \widehat{F}_{q_i} 와 $\widehat{F}_{q_i}^3$: turbulent fluxes

그림 94 CCTM 모델 지배방정식

- 위 식에서 (a)항과 (b)항은 각각 수평 및 연직방향으로의 이류항을 나타낸 것이고, (c)항과 (d)항은 수평 및 연직 방향으로의 확산항을 의미하는 것이다. (e)항은 화학반응에 의한 생성 및 소멸항, (f)는 배출율, (g)는 구름에 의한 생성 및 소멸항, (h)는 plume-in-grid 효과를 고려한 항이고 (i)는 에어로졸의 생성 및 소멸에 관한 항임.
- CMAQ은 6개의 전처리(pre-processing) 모델과 주 모델인 화학·수송 모델(CCTM, CMAQ Chemical Transport Model)로 구성되어 있다. 전처리 모델은 기상장 처리 모델인 MCIP(Meteorology Chemistry Interface Model), 지형자료 처리모델인 LUPROC(Land Use PROCessor), 배출량 처리 모델인 ECIP(Emission Chemistry Interface Model), 광해리율 산출 모델인 JPROC, 초기조건을 생성하는 ICON(Initial CONditions processor)과 경계조건을 생성하는 BCON(Boundary CONditions processor)의 6개임.
- 그림에 CMAQ의 실행과정을 나타낸 것이다. 먼저, JPROC 처리 모델을 실행하여 모델링 기간 동안의 광해리율을 산출하고, ICON과 BCON 전처리 모델을 실행하여 모델링 영역의 초기조건 농도와 경계조건 농도를 산출하여 광화학 확산과정을 계산하는 주 모델인 CCTM에 입력한다. 또한, MM5에 의하여 생성된 기상자료는 MCIP 기상 처리 과정을 거쳐 CCTM의 입력 자료에 입력되게 되며, 시간별 격자별로 netCDF(Network Common Data Form) 포맷으로 작성된 배출량 자료는 ECIP과정을 거쳐 CCTM에 입력되게 된다. 주 모델인 CCTM은 이러한 입력 자료를 이용하여 3차원 이류·확산방정식을 수치적으로 풀어서 3차원 공간상에서 매시간별 오염물질의 농도를 계산한다. CMAQ 시스템의 주 모델인 CCTM은 다음을 고려할 수 있는모듈로 구성되어 있음.
 - 수평적인 이류계산(Horizontal advection)
 - 수직적인 이류계산(Vertical advection)
 - 이류과정계산에서 mass conservation 적용
 - 수평 및 수직 확산 고려
 - Gas-phase 화학반응 계산
 - Aqueous-phase 반응 및 cloud mixing 고려
 - Aerosol dynamics and size distributions 고려
 - Plume chemistry 효과 고려
 - Aerosol 의 침적속도 추정
 - 광해리율 계산
 - Process analysis

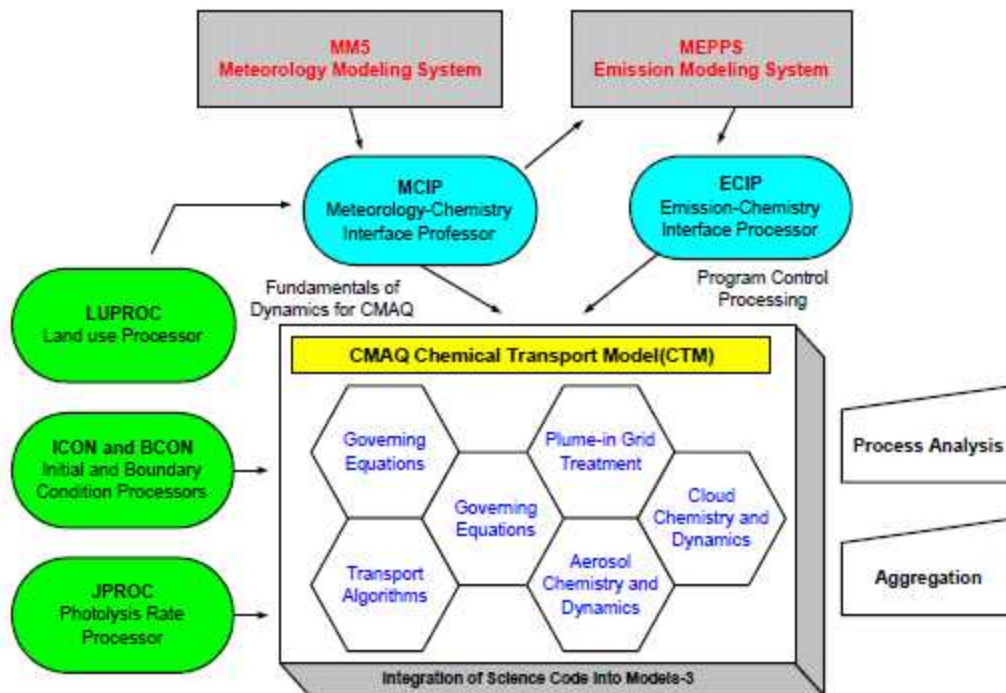


그림 95 CMAQ 인터페이스 과정

□ CMAQ 격차 체계

- CMAQ의 수평격자체계는 Arakawa C-grid를 사용하며 수직격자체계는 기상모델인 MM5에 사용되는 σ 좌표계를 이용한다. 그림은 Arakawa B-grid와 Arakawa C-grid를 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 기상모델 MM5에 적용되는 Arakawa B-grid와의 차이점은 벡터성분의 계산값을 표시하는 영역이 다르다는 것이다. 예를 들어 Arakawa C-grid에서는 u , v 값을 Arakawa B-grid의 양 모서리 값을 내삽하여 계산함.

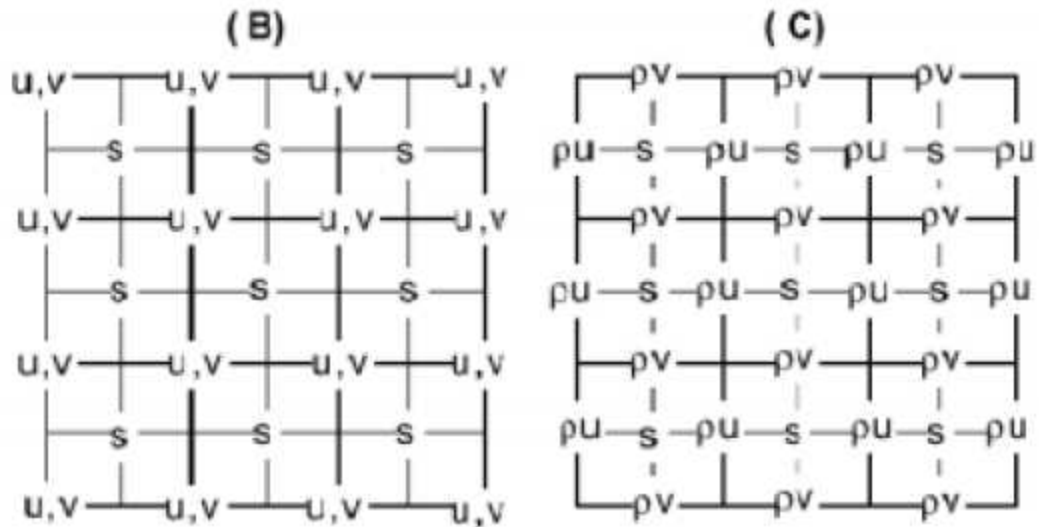


그림 96 Arakawa B 격자와 Arakawa C 격자(u & v: 동서 및 남북 바람 성분, s: 스칼라 성분, ρ : 대기 밀도)

□ 모델 적용방법

- 광화학모델인 Models-3/CMAQ를 실행시키기 위해서는 미리 net-CDF(Network Common Data Form), EDSS(Environmental Decision Support System) ROOT와 CVS(Concurrent Versions System) tool이 설치되어 있어야 한다. 광화학 모델링을 위해 필요한 소스 코드는 EPA에서 승인한 모델로 누구나 쉽게 다운로드 받을 수 있다. 또한, 모델링에 앞서 모델링 대상영역을 설정하여야 하며 수평격자에 대한 정보 및 연직격자에 대한 정보를 제공하여야 한다. 이때, Map center, Map origin, resolution, model top, Sigma value, vertical layer 등의 정보를 입력함.

(1) ICON & BCON

- CMAQ과 같은 3차원 광화학 격자모델을 실행하기 위해서는 모델링 영역에서 대기오염물질의 초기 농도 자료(Initial Condition)와 모델링 경계지역에서의 매 시간 농도자료(Boundary Condition)가 필요하다. 초기 농도 자료는 모델 실행을 시작하는 시간에 각 격자에 존재하는 오염물질의 농도로서 모델 실행 초기의 오염물질 예측농도에 큰 영향을 미침.
- 경계 조건 농도를 필요로 하는 3차원 광화학 격자 모델의 경우에는 항공기를 이용하여 대기오염물질의 농도를 측정하여 경계조건농도자료로 이용하는 방법이 있으나 시공간적으로 농도를 연속적으로 측정하는 것이 현실적으로 불가능하다. 따라서 CMAQ 모델은 대류권의 배경농도자료(constant boundary condition)를 이용하거나 관심영역보다 더 큰 영역의 모델에서 생성된 매시간 결과를 경계조건농도자료(dynamic boundary condition)로 이용하여 다시 재실행하는 방법을 채택하고 있다. ICON과 BCON은 광화학모델인 CMAQ을 실행시키기 위한 전처리 프로그램으로 대상

영역에 대한 초기 및 경계조건 입력 자료를 산출함.

(2) JPROC

- JPROC processor는 특정한 날에 대해 광해리울 참조표(look-up table)을 작성하는 과정이다. 참조표(Look-up table)은 다양한 위도, 경도, 시간각에 대해 광해리울로 구성되어 있다. TOMS와 같은 장비로 측정된 최근 자료가 있다면 JPROC 프로그램 과정에서 이용할 수 있음.

(3) ECIP

- ECIP(Emissions-Chemistry Interface Processor)은 주 프로그램인 CCTM의 배출량자료를 제공하기 위한 전처리(preprocessor) 과정이다. ECIP은 이동, 먼, 점오염원이 포함된 MEPPS에 의해 생성된 각각의 배출형태 자료로부터 시간별 3차원 배출자료를 생성한다. ECIP은 점오염원의 연기상승과 초기연직 연기확산을 계산한다. 기상조건이 점오염원의 연기상승이나 자연배출원에 영향을 미치기 때문에 MCIP으로부터의 기상자료 또한 ECIP에서 사용됨.

(4) MCIP

- MCIP(Meteorology-chemistry Interface Processorncdump)은 기상모델인 MM5에서 얻어진 결과를 CCTM의 입력 자료로 전환시키기 위한 전처리 과정이다. 기상 입력 자료는 RAMS, SAIMM, WRF 등에서 얻어진 자료를 이용할 수도 있음.

(5) CCTM

- 제3세대 모델이라고 일컫는 Models-3/CMAQ은 BCON, ICON, JPROC, LUPROC, ECIP, MCIP의 6개 전처리 프로그램에서 생성된 자료를 입력 자료로 이용하여 주 프로그램인 CCTM을 실행함.

(6) 기여도 분석(Process analysis)

- 대기오염모델의 중요한 기능은 현재 대기상태의 오염물질과 다른 물질들의 공간적, 시간적 기여도를 예측하는 것이다. 복잡한 오일러리안 격자모델에서, 물질들의 농도분포는 수치 방정식을 풀어냄으로써 구할 수 있다. 이러한 수식들을 통해 0 일련의물리적 화학적 과정 때문에 생기는 화학종 농도의 시간적 변화를 알 수 있다. 그러나 대부분의 격자 모델은 대기에서의 과정과 화학적 반응의 결과에 대한 양적 정보를 제공하기 위해 사용된다. 이러한 형태의 정보는 제공하는 다양한 분석기술을 발전시키기 위해 어떤 모델이 어떻게 예측하는지에 관한 설명으로 사용되어 왔음.

- 기여도 분석은 격자모델에 포함될 필요는 없지만 모델 과정을 평가할 때 유용한 추가적인 정보를 제공해 준다. 모델 예측에서 각 과정의 기여도를 산출하는 것은 한 모델의 예측되는 과정과 각 과정의 상대적인 중요성에 대한 정보를 제공 0 0 공한다. 이런 정보는 모델 실행과 그것의 입력과정에서의 에러를 확인하는데 유용하게 사용될 수 있다. 이러한 내용은 모델 결과를 해석하는데 유용하게 사용된다. 특히 모델 자체에서 일어나는 모델 예측치의 차이점 또는 입력 자료에서 야기되는 모델예측치의 차이점을 이해하는데 유용하다. 또한 화학반응 기여도 분석으로부터 나온 정보는 다른 화학 메카니즘의 중요 특징을 결정하는데 유용하다. 이것은 특히 VOC, NOx 한계점 같은 화학적 구조에서의 메카니즘 차이점을 조사하는데 유용하게 활용될 수 있음.

제 2 절 기상특성 분석

1. 과거 서산기상 특성 분석

1.1 서산기상대 기온특성 분석

□ 서산기상대 기온변화

- 서산기상대에서 2009년부터 2018년까지 최근 10년 동안 관측한 연도별 기온 자료를 정리하였으며, 세부적으로 평균, 최고, 최저기온 등을 정리하였다. 서산기상대의 최근 10년간 월별 최고 기온 평균은 8월이 평균 29.9 ℃로 연중 가장 높았으며, 1월에 가장 최저기온 평균값은 -2.2 ℃의 기온분포를 나타내었다. 년 평균 기온은 11.5 ~ 12.9 ℃ 관측되고 있음.



그림 97 서산기상대 월평균 기온변화(2009 ~ 2018)

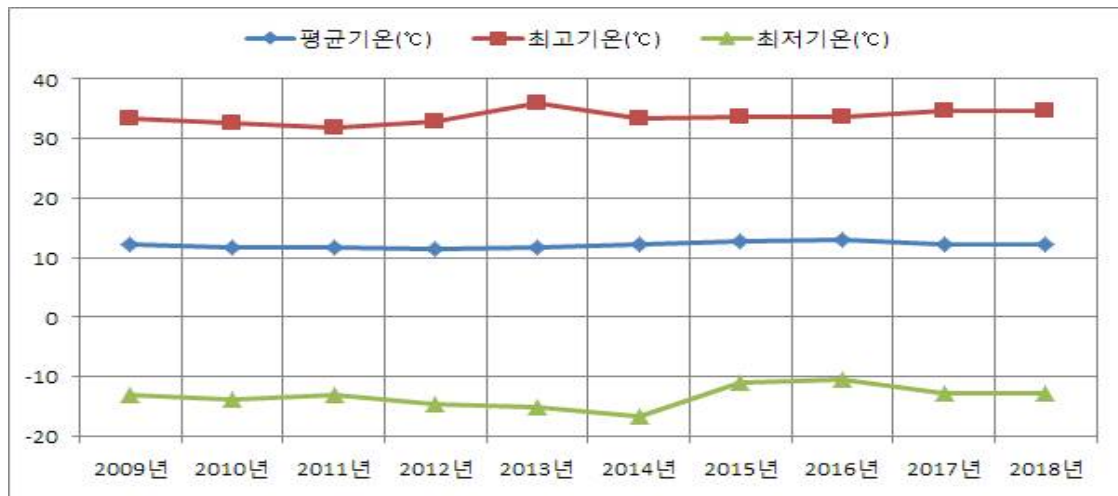


그림 98 서산기상대 연도별 기온변화(2009 ~ 2018)

□ 서산기상대 강수량 변화

- 최근 10년간 서산기상대에서 관측한 월별 강수량 자료를 평균적으로 정리하였으며, 그 변화의 추이를 나타내었다. 서산기상대의 강수량은 6월부터 9월 사이에 집중되고 있는 것으로 분석되었으며, 10월부터 4월까지 상대적으로 적은양의 강수량을 보이는 것으로 관측되었다. 가장 강수량이 적은 달은 관측 자료의 평균이 22.3 mm인 1월이며, 강수량이 가장 많은 경우는 계절적인 영향이 있는 7월로서 303.6 mm인 것으로 나타났다.

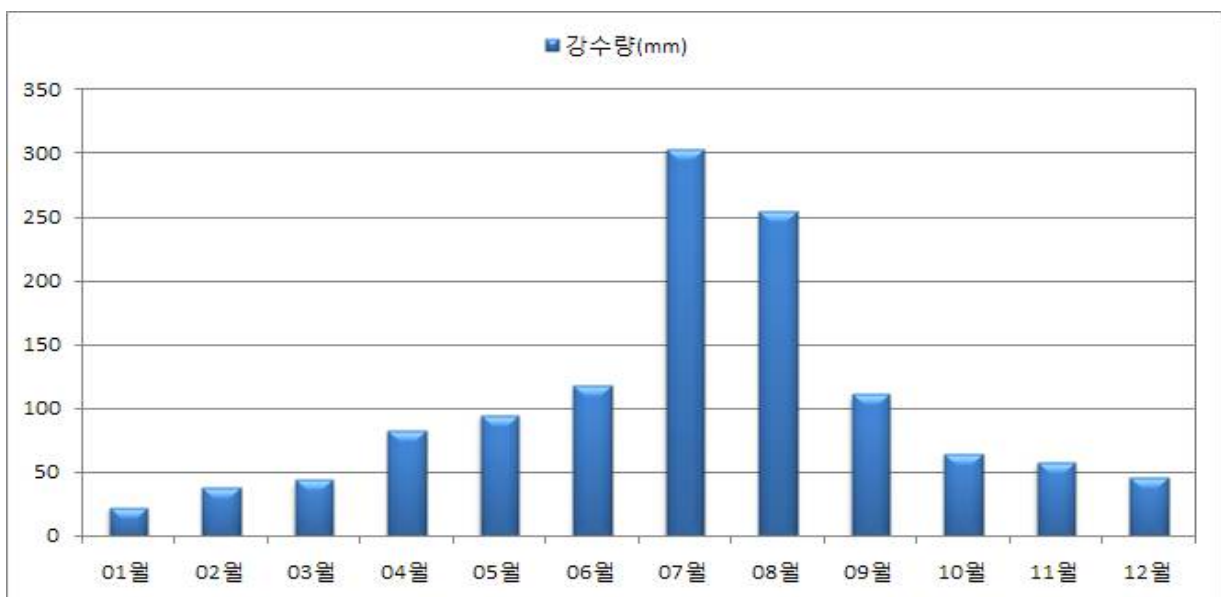


그림 99 서산기상대 최근 10년 월별평균 강수량 변화

1.2 서산기상대 바람장미 특성

- 오염원으로부터 오염물질이 대기로 방출될 경우 오염물질의 이동은 기상조건에 의해서 가장 크고 다양한 영향을 받게 된다. 일반적으로 혼합고가 낮고 풍속이 약하며 대기가 안정한 상태에서 대기오염물질이 멀리까지 이동하지 못하고 주변공기와의 혼합이 제한되어 자연적인 희석과정이 일어나지 못하고, 배출지역에 그대로 축적되어 심각한 대기오염문제를 유발하게 된다. 또한, 오염물질의 이동 경로는 바람 방향에 의해서 직접적으로 영향을 받고 장기간에 걸친 바람장미의 특성을 분석하는 것은 오염물질의 이동경로를 추정하는데 많은 도움을 준다.

□ 최근 10년간 풍향 및 풍속 특성

- 최근 10년간 서산기상대에서 관측된 기상 자료를 이용하여 서산의 풍향 및 풍속 특성을 분석하였다. 16방위에 따른 풍향 및 풍속의 빈도분포 분석결과를 <Table 3-4>에 정리하였다. 2009년에서 2018년까지 서산기상대의 풍향의 경우에는 최빈풍향은 북동(NE)풍으로 8.55 %를 나타내었으며, 전체적인 풍향을 분석해보면 북동풍계열(NNE, NE, ENE)이 22.43%, 남남서풍계열(S, SSW, SW)이 22.24%로 전체 44.67%로 나타남. 한편 남동풍계열(ESE, SE, SSE) 4.57 %로 매우 낮게 나타났다. 풍속의 경우에는 0.5 ~ 2.0 m/s가 35.15 %로 가장 높게 관측되었으며, 풍속이 8.0 m/s 이상의 경우는 0.57 %로 매우 낮게 나타났으며 무풍의 빈도는 17.16 %로 나타났다. 또한 평균 풍속은 2.3 m/s로 관측되었다.

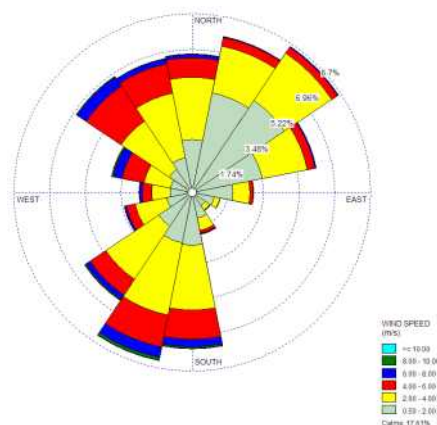
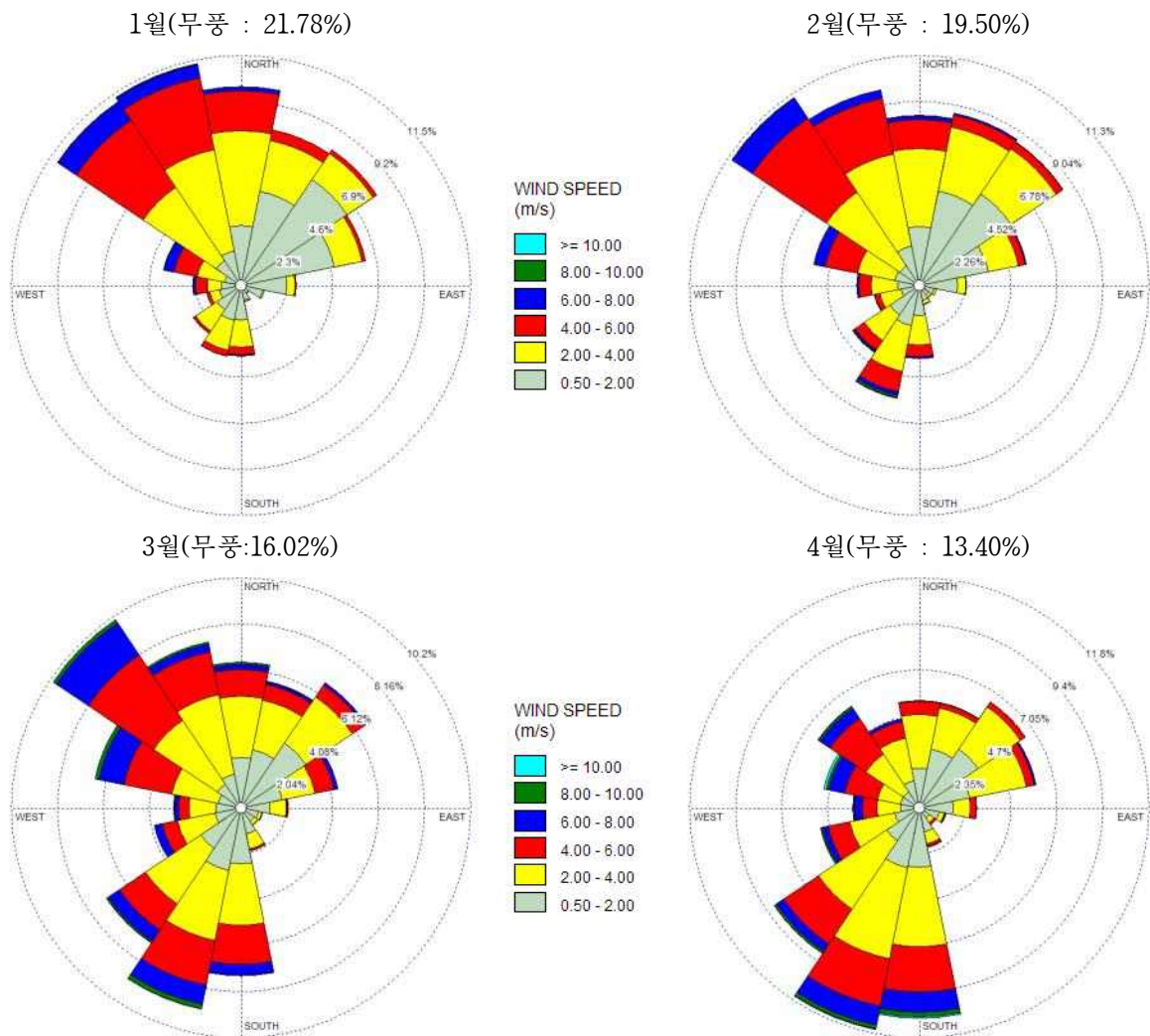


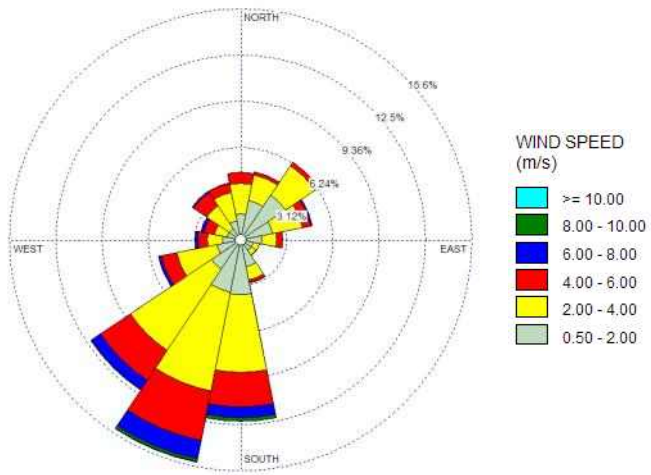
그림 100 2006 ~ 2016년 서산기상대의 바람장미

□ 서산기상대의 최근 10년간 월별 바람장미

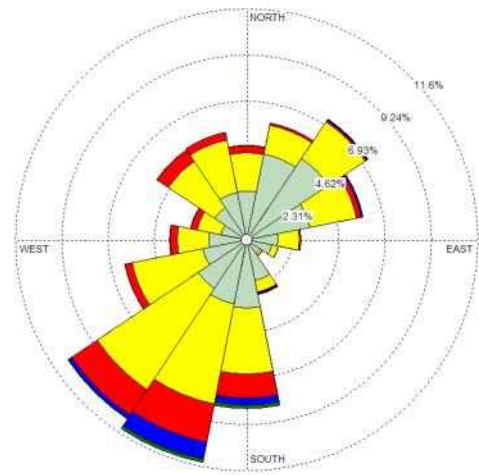
- 국지적인 바람의 특성 표현에 가장 일반적으로 사용하는 방법은 바람장미도를 이용하는 방법이며, 특정 지역에서 일정 기간 동안 관측된 풍향 및 풍속자료를 이용하여 방위별로 풍속의 크기에 따라 관측된 빈도분포 결과를 그림으로 표현한 것으로 특정 지역에서의 오염물질 확산패턴을 조사하는데 사용함.
- 서산기상대에서 10년 동안 관측한 자료를 이용하여 월별 풍향·풍속의 특징을 <Fig. 3-10>에 정리하였다. 관측된 풍향 중 1, 2, 3, 9, 10, 11, 12월에는 북서 및 북동풍 등 북풍의 빈도가 높고 4, 5, 6, 7, 8월에는 남서풍 계열이 빈도가 높은 것으로 분석되었으며, 무풍의 빈도는 9, 10, 11월에 20%가 넘는 빈도를 보여주고 있음.



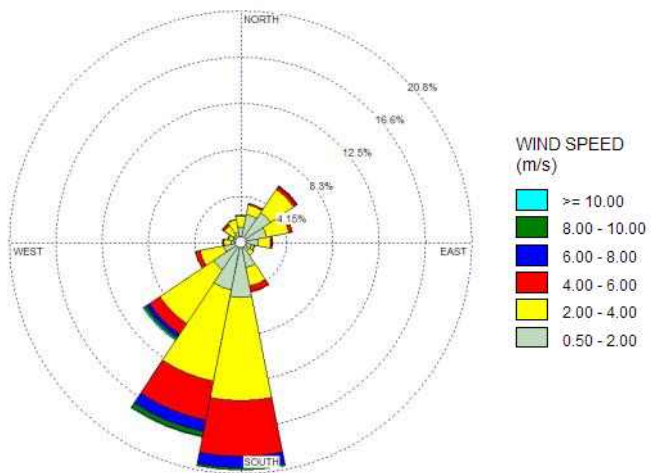
5월(무풍 : 11.92%)



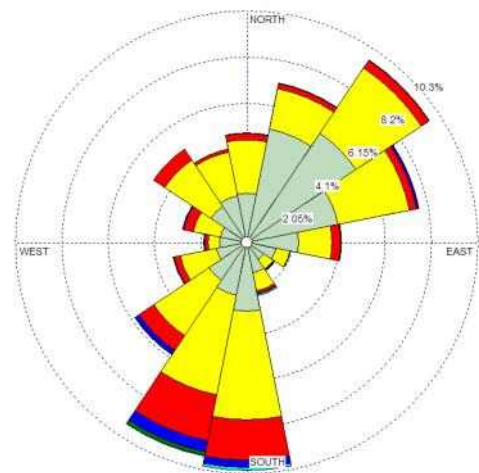
6월(무풍 : 13.70%)



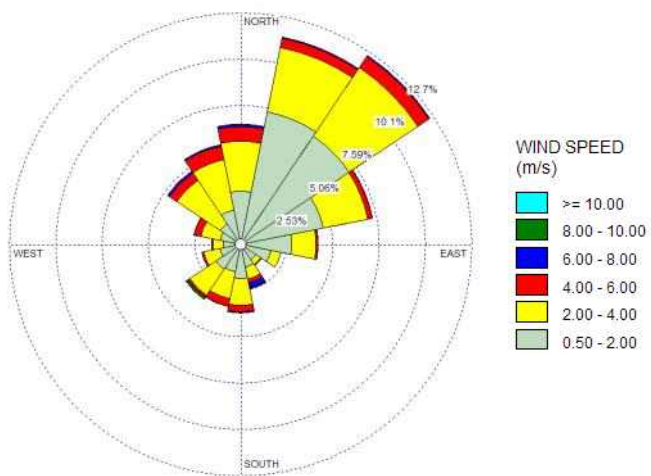
7월(무풍 : 12.87%)



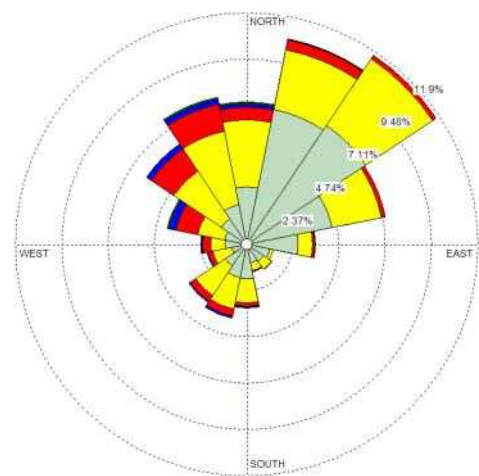
8월(무풍 : 17.39%)



9월(무풍 : 24.13%)



10월(무풍 : 22.08%)



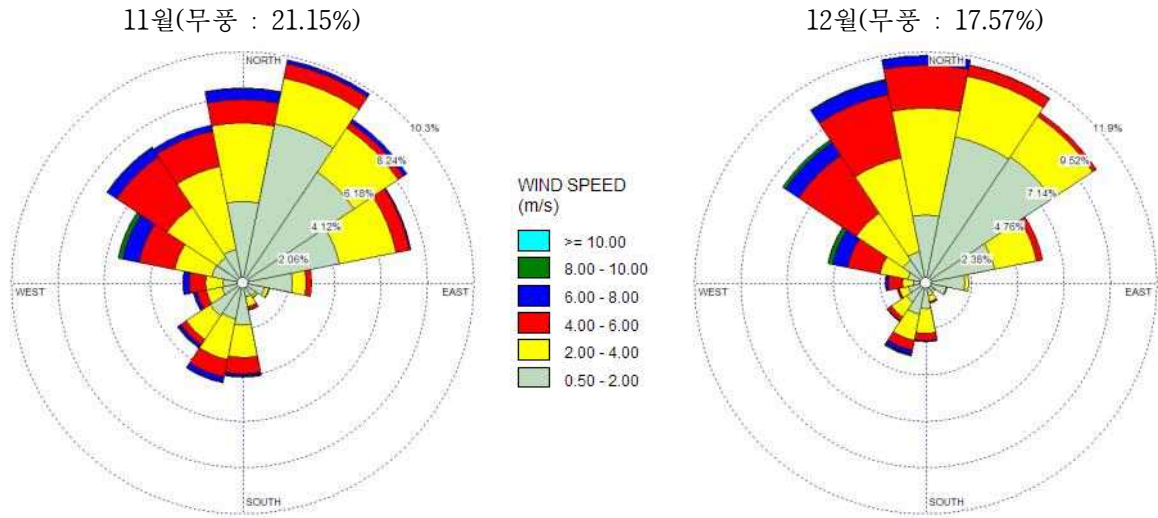


그림 101 서산 기상대 최근 10년간 월별 바람장미

2. 모델링 운영기간 기상 특성 분석

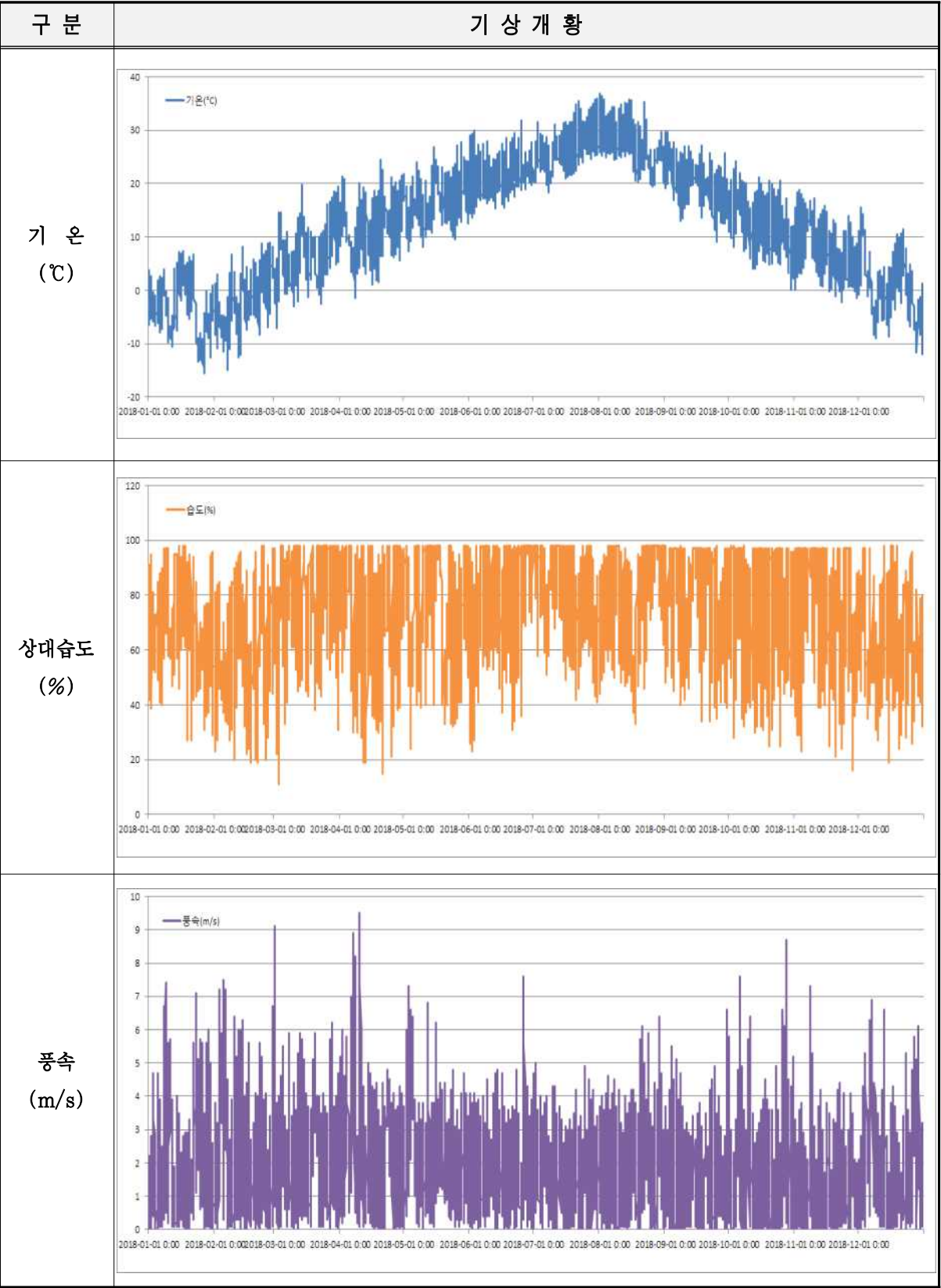
2.1 기상 개황

- 서산기상의 2018년부터 1월 1일 부터 2018년 12월 31일까지 기상 현황 자료를 [표 84]에 정리하였으며, 세부적으로 평균, 최고, 최저기온 등을 정리하였다.
- 서산기상대는 정규기상대로 기온, 풍향, 풍속, 습도, 강수량, 해면기압 등 기상개황을 파악할 수 있는 항목에 대하여 관측이 되고 있음.
- 모델링 운영기간 서산 기상대의 최고기온 평균은 17.6 ℃, 평균기온은 12.3 ℃, 최저기온 평균은 7.4 ℃로 나타났으며, 모델링 운영기간 동안 평균상대습도를 살펴보면 인천기상대 82%, 평균 풍속은 1.9 m/s로 나타났다. 또한, 모델링 운영기간 강수량은 1227.2mm로 관측되었으며, 평균해면기압은 1,017.5 hPa로 나타났음.
- [그림 102] 에 모델링 운영기간 동안의 서산기상대 기온, 풍속 및 습도 변화를 나타냄.

표 84 연구기간 기상 개황

구 분 년 도	기 온 (℃)			강수량 (mm)	상대습도 (%)	풍속(m/sec)		해면기압 (hPa)
	최고평균	평 균	최저평균			평균	최대	
서산기상대	17.6	12.3	7.4	1227.2	82	1.9	9.9	1017.5

그림 102 모델링 운영기간 기상 개황



2.2 모델링 운영기간 바람 특성

- 모델링 운영기간 동안 관측된 풍향·풍속 자료를 이용하여 대상지역의 풍향 및 풍속 특성을 분석하였다. 16방위에 따른 풍향 및 풍속의 빈도분포 분석결과를 정리하였음.
- 모델링 운영기간 동안 관측된 풍향·풍속의 특성을 살펴보면 서산 기상대에서 관측된 주풍향은 북북동풍(13.47%), 북동풍(10.15%), 북풍(9.72%) 계열로 전체 중 33.34%를 나타내고 있음.
- 풍속 구간별 빈도 분포를 살펴보면 서산 기상대에서 관측된 자료는 0.5 ~ 2 m/s 구간의 빈도가 39.61%로 나타나고 있으며, 풍속 0.5m/s 이하의 무풍 빈도는 19.90%로 나타나고 있음.

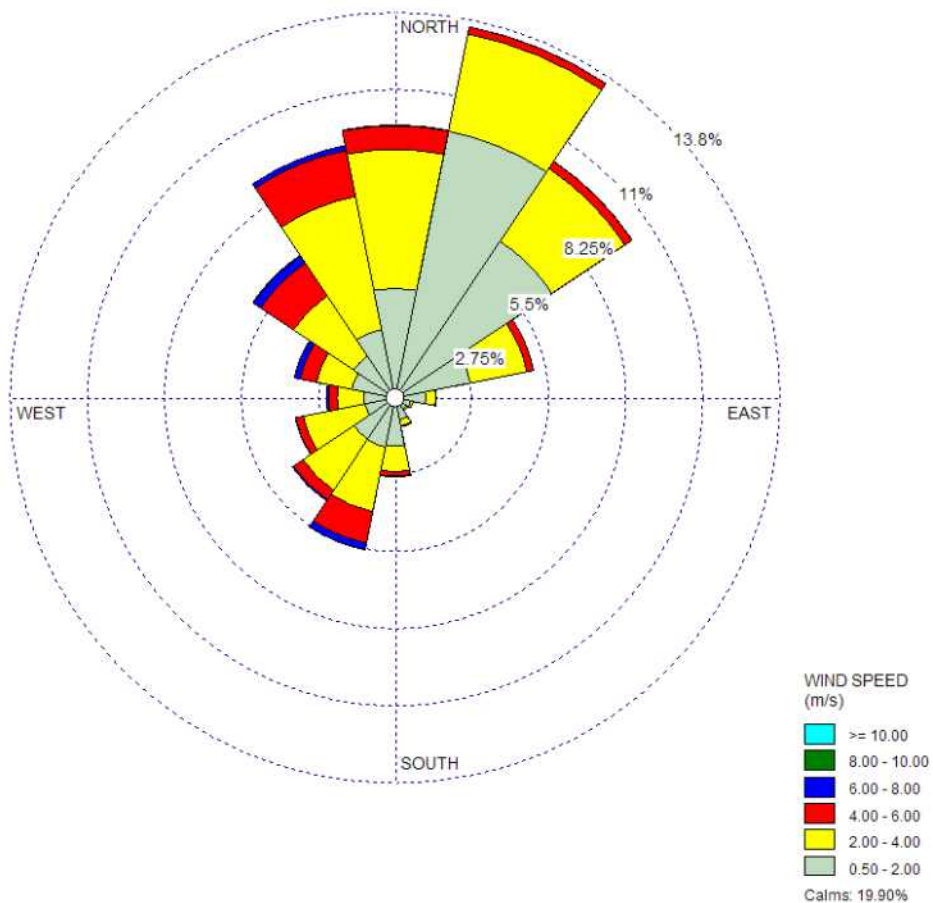


그림 103 모델링 운영기간 바람장미도

표 85 모델링 운영기간 서산기상대 풍향·풍속 빈도표(unit : %)

<div> <div>풍속(m/s)</div> <div>풍향</div> </div>	0.5-2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-8.0	8.0-10.0	>10.0	Total
N	3.91	4.93	0.85	0.02	0.00	0.00	9.72
NNE	9.68	3.53	0.25	0.01	0.00	0.00	13.47
NE	6.73	3.11	0.30	0.01	0.00	0.00	10.15
ENE	2.76	2.04	0.24	0.00	0.00	0.00	5.04
E	1.11	0.35	0.03	0.00	0.00	0.00	1.50
ESE	0.60	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69
SE	0.53	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58
SSE	0.82	0.23	0.02	0.00	0.00	0.00	1.08
S	1.74	0.92	0.15	0.02	0.01	0.00	2.84
SSW	1.81	2.33	1.13	0.24	0.01	0.00	5.53
SW	1.79	2.19	0.40	0.06	0.00	0.00	4.43
WSW	1.12	2.23	0.27	0.02	0.00	0.00	3.65
W	1.13	0.95	0.30	0.09	0.00	0.00	2.47
WNW	1.59	1.28	0.60	0.21	0.01	0.00	3.69
NW	1.80	2.58	1.40	0.31	0.03	0.00	6.11
NNW	2.50	4.82	1.67	0.17	0.00	0.00	9.16
Total	39.61	31.64	7.61	1.17	0.07	0.00	80.10

* 값 중에 '0.00' 은 0이 아니라 0.00이하의 값을 뜻함. '- ' 이 0을 뜻함.(무풍:17.61%)

- 계절별로 살펴보면 봄 남남서풍, 여름 북동풍, 가을 북북동풍, 겨울 북풍이 주풍으로 나타내고 있으며, 무풍의 빈도는 가을에 31.23%로 가장 높게 나타나고 있어 계절적으로 서로 다른 특징을 보여주고 있음.

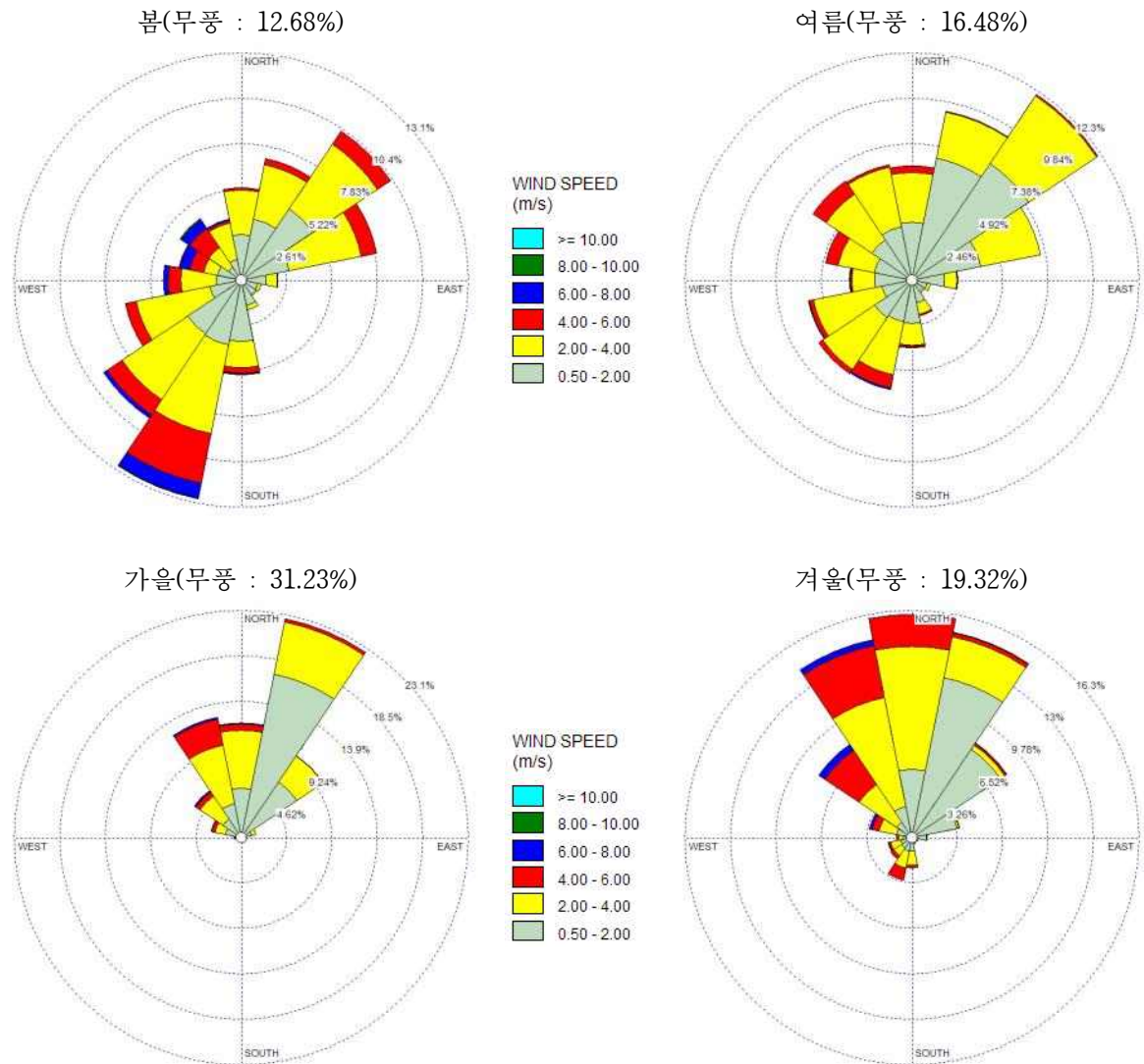


그림 104 모델링 운영기간 계절별 바람장미도

제 3 절 배출량 분석

1.4 서산 대기오염물질 배출량 공간분포 현황

□ 면오염원

- PM10, PM2.5 대부분의 면오염원 배출원은 서산의 중심부에서 배출강도가 높게 나타나는 특징을 보여주고 있으며, SOx, NOx 배출량은 북쪽 및 중심에서 높은 배출강도를 보여주고 있다. VOC 배출량의 경우 산단지역이 밀집한 지역에서 배출강도 높게 나타나고 있음.



그림 105 2015년도 서산시 대기오염물질 면오염원 배출량 공간분포 현황

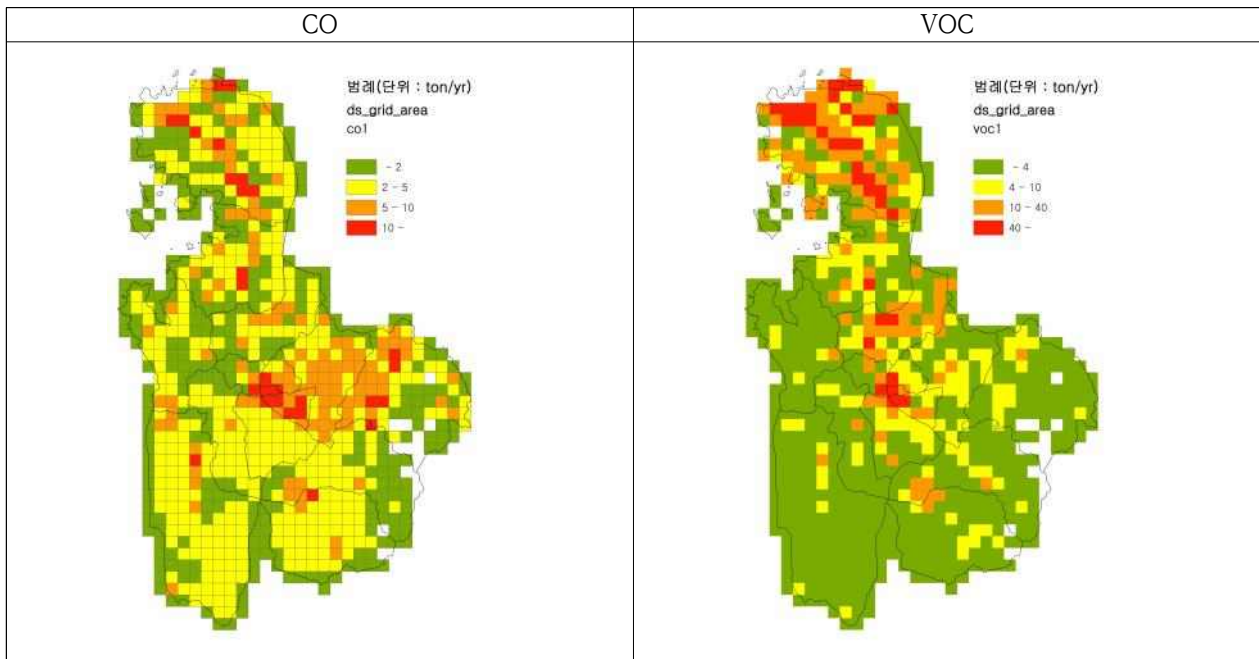


그림 106 2015년도 서산시 대기오염물질 면오염원 배출량 공간분포 현황 (계속)

□ 이동오염원

- PM10, PM2.5 대부분의 면오염원 배출원은 서산의 도로를 중심으로 배출강도가 높게 나타나고 있으며, 항구를 중심으로 한 선박에 의한 비도로이동오염원의 배출강도가 높게 나타나고 있음.
- SOx 배출은 비도로이동오염원에 의한 배출강도가 주를 이루고 있으며, NOx 배출량은 도로에 의한 배출강도가 높게 나타나고 있음.
- VOC 배출량도 NOx와 마찬가지로 도로와 항구를 중심으로 한 부분에서 높은 배출강도를 나타내고 있음.

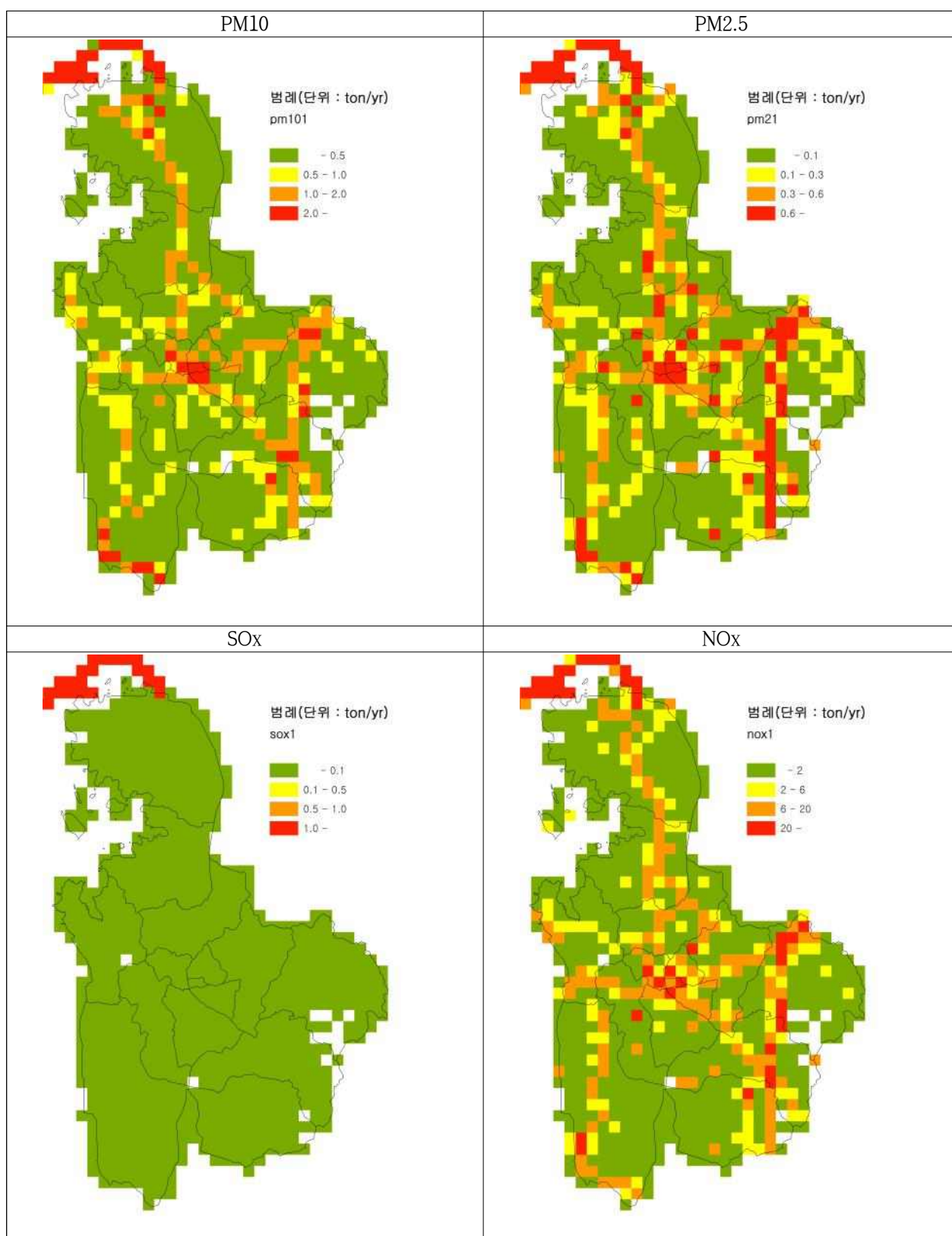


그림 107 2015년도 서산시 대기오염물질 이동오염원 배출량 공간분포 현황

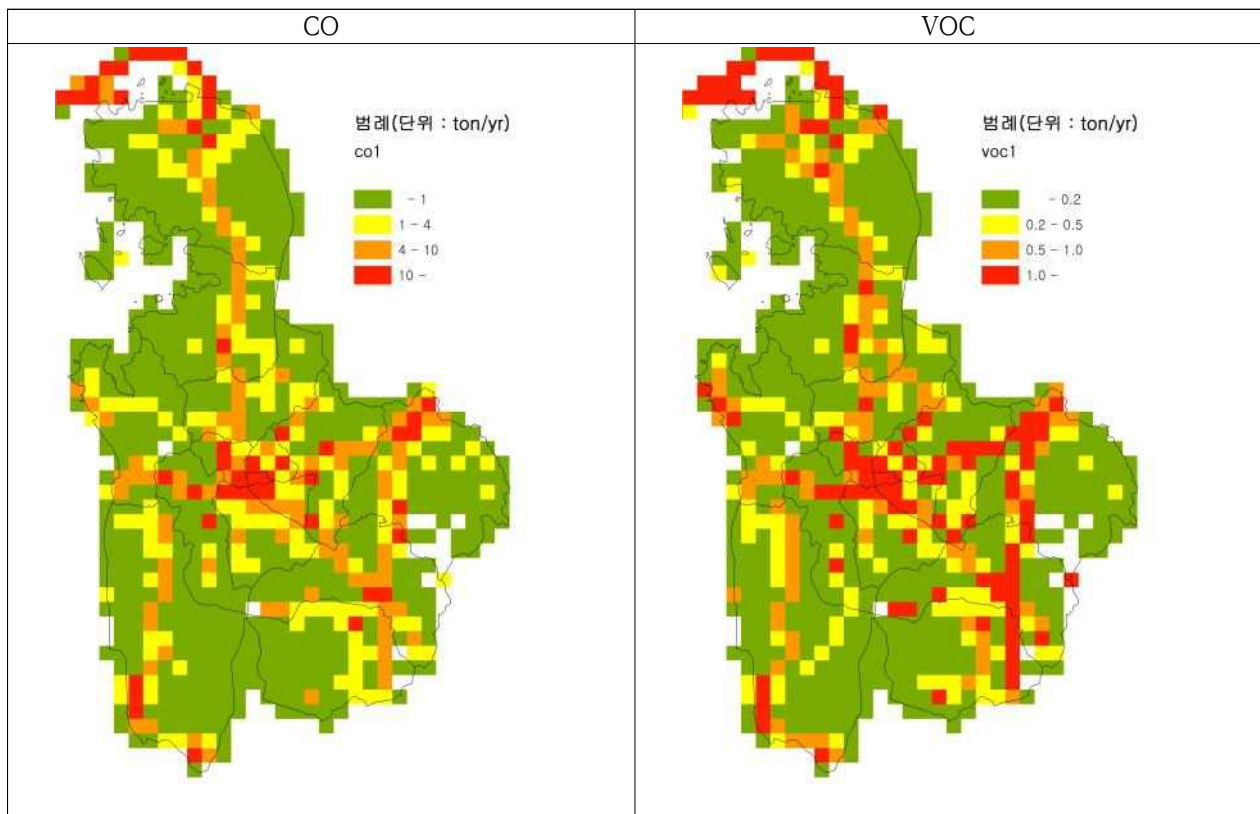


그림 108 2015년도 서산시 대기오염물질 이동오염원 배출량 공간분포 현황

□ 점오염원

- 점오염원은 서산시의 대기오염물질 배출시설에서 나오는 오염물질 발생량에 따라 1종부터 5종까지로 구분되는데 이중 대형 배출시설인 1~3종까지의 배출시설에 대하여 위치별로 배출은 표현하였다. 모든물질 대규모 사업장이 밀집되어 있는 부분을 중심으로 배출강도 높게 나타나고 있음.

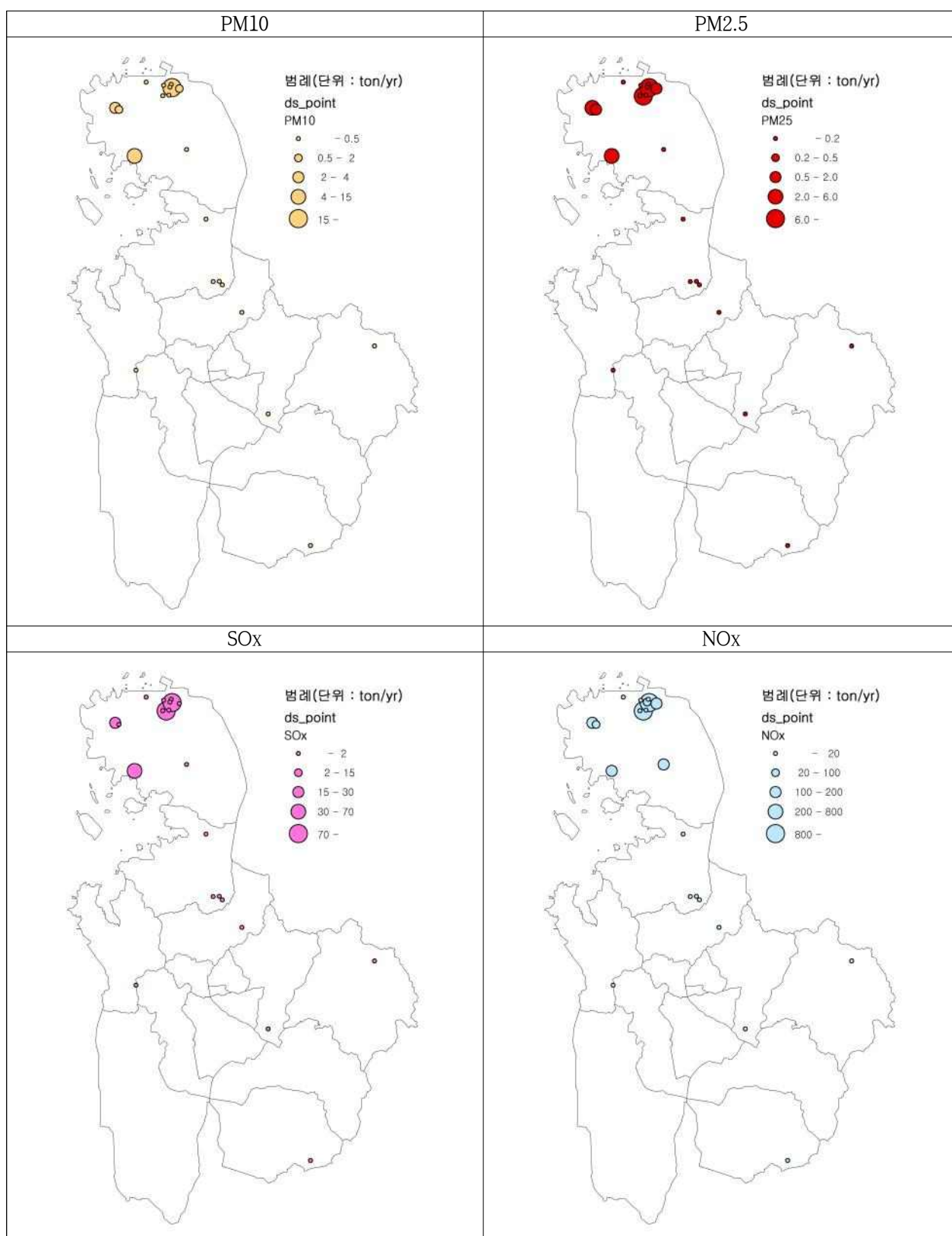


그림 109 2015년도 서산시 대기오염물질 점오염원 배출량 공간분포 현황

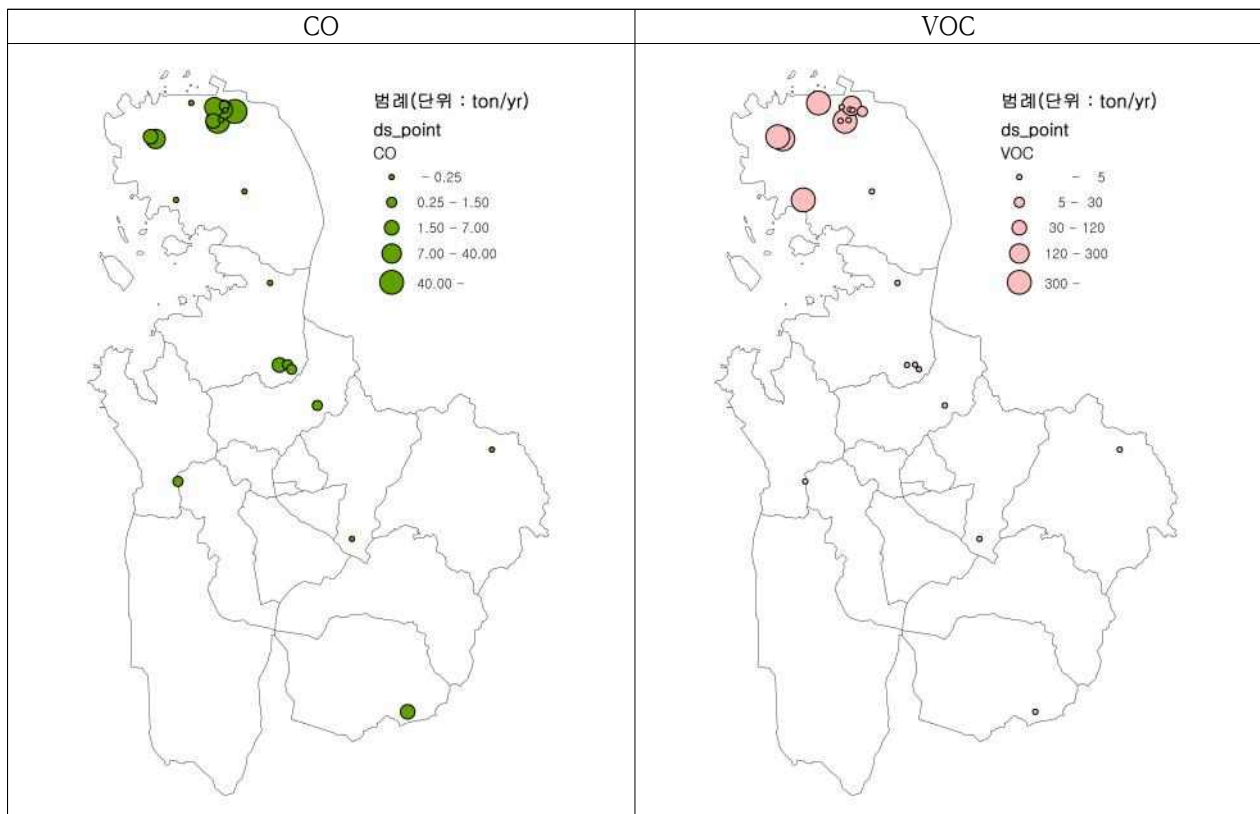


그림 110 2015년도 서산시 대기오염물질 점오염원 배출량 공간분포 현황

2. 서산시 화학물질 배출량 현황

- 화학물질 배출량 조사제도(Prtr, Pollutant Release and Transper Registers)는 사업장의 제조 또는 사용과정에서 환경(대기,수계,토양)으로 배출되는 화학물질의 양을 사업자 스스로 파악토록 하고, 배출저감 노력으로 제품이나 원료물질의 배출 손실을 줄여 기업의 생산성을 향상시키고, 환경오염을 최소화하려는데 목적을 가지고 만들어진 제도
- 화학물질 배출·이동량 정보를 기준으로 2016년 서산지역의 대기부분에서 배출되는 배출량을 조사하여 정리하였음.
- 서산시 화학물질 중 대기로 배출되는 물질은 2-프로판올 외 65종이 배출되고 있으며, 이중 가장 많이 배출되는 물질 2-프로판올로 69,117kg/year로 조사되었으며, 부탄 50,431kg/year, 프로필렌 46,305kg/year 순으로 배출되고 있음.

표 86 서산시 화학물질 배출량(2015년)

CAS No.	화학물질명	업 체 수	대기배출 량(kg/yr)	CAS No.	화학물질명	업체 수	대기배출 량(kg/yr)
000067-63-0	2-프로판올	2	69,117	000075-01-4	염화 비닐	1	1,079
000106-97-8	부탄	7	50,431	NA-(주14)	코발트 및 그 화합물	2	0
000115-07-1	프로필렌	4	46,305	000080-05-7	4,4'-비스페놀 에이	5	885
000074-85-1	에틸렌	3	36,247	000091-20-3	나프탈렌	3	836
000108-88-3	톨루엔	10	28,048	007647-01-0	염화 수소	3	721
001330-20-7	자일렌	10	25,280	000123-31-9	하이드로퀴논	1	619
000110-54-3	n-헥산	7	24,527	000098-01-1	푸르푸랄	3	330
000071-43-2	벤젠	7	23,641	000624-92-0	이황화 메틸	4	317
000108-05-4	아세트산 비닐	4	20,582	000107-13-1	아크릴로니트릴	1	314
000075-21-8	산화 에틸렌	9	19,099	000141-78-6	아세트산 에틸	2	275
000100-42-5	스티렌	5	15,796	084852-15-3	가지형 4-노닐페놀	4	194
000064-19-7	아세트산	2	13,560	000102-82-9	트리부틸아민	1	187
000106-98-9	1-부텐	5	12,802	000075-00-3	염화 에틸	1	124
016893-85-9	헥사플루오르규산 나트륨	2	11,091	000090-43-7	비페닐-2-올	4	103
001634-04-4	메틸 tert-부틸 에테르	3	10,935	NA-(주20)	아연 및 그 화합물	3	94
000078-79-5	이소프렌	3	10,462	NA-(주1)	납 및 그 화합물	2	72
008030-30-6	나프타	5	8,282	007704-34-9	황	2	72
000106-99-0	1,3-부타디엔	4	7,426	007664-93-9	황산	10	71
000067-56-1	메틸 알코올	9	7,011	001310-58-3	수산화 칼륨	4	59
007783-06-4	황화 수소	2	5,149	000124-40-3	디메틸아민	1	53
000107-06-2	1,2-디클로로에탄	1	4,202	007722-84-1	과산화 수소	2	40
007664-41-7	암모니아(수산화 암모늄 (CAS No. 1336-21-6) 포 합)	3	3,360	000106-93-4	1,2-디브로모에탄	1	33
000100-41-4	에틸벤젠	8	3,232	NA-(주6)	카드뮴 및 그 화합물	1	19
000068-12-2	N,N-디메틸포름아미드	3	3,092	000075-09-2	디클로로메탄	1	13
000107-01-7	2-부텐	2	2,430	001310-73-2	수산화 나트륨	14	13
000127-18-4	테트라클로로에틸렌	2	2,331	000077-78-1	황산 디메틸	1	8
000108-95-2	페놀	6	2,273	000050-00-0	포름알데히드	1	7
000075-56-9	산화 프로필렌	4	2,216	025154-52-3	노닐페놀	2	6
007681-49-4	플루오르화 나트륨	1	1,961	NA-(주12)	바륨 및 그 화합물	2	6
000110-82-7	시클로헥산	5	1,877	000107-18-6	알릴 알코올	2	5
025068-38-6	4,4'-(1-메틸에틸리덴)비스 페놀과 (클로로메틸)옥시란 의 중합체	1	1,854	NA-(주11)	안티몬 및 그 화합물	2	3
000074-87-3	염화 메틸	2	1,729	000109-86-4	2-메톡시에탄올	1	2
NA-(주10)	알루미늄 및 그 화합물	9	219	000140-66-9	4-tert-옥틸페놀	3	2

□ 주요 배출물질에 대한 공간분포 현황

- 서산시 화학물질의 대기 배출량은 산업단지 지역에 밀집되어 있는 것을 보여주고 있으며, 1-3 부타디엔의 경우 여수시보다 업체수는 적으나 배출량은 많은 것을 특징적으로 보여주고 있으며, n-헥산 또한 마찬가지로 나타나고 있음.

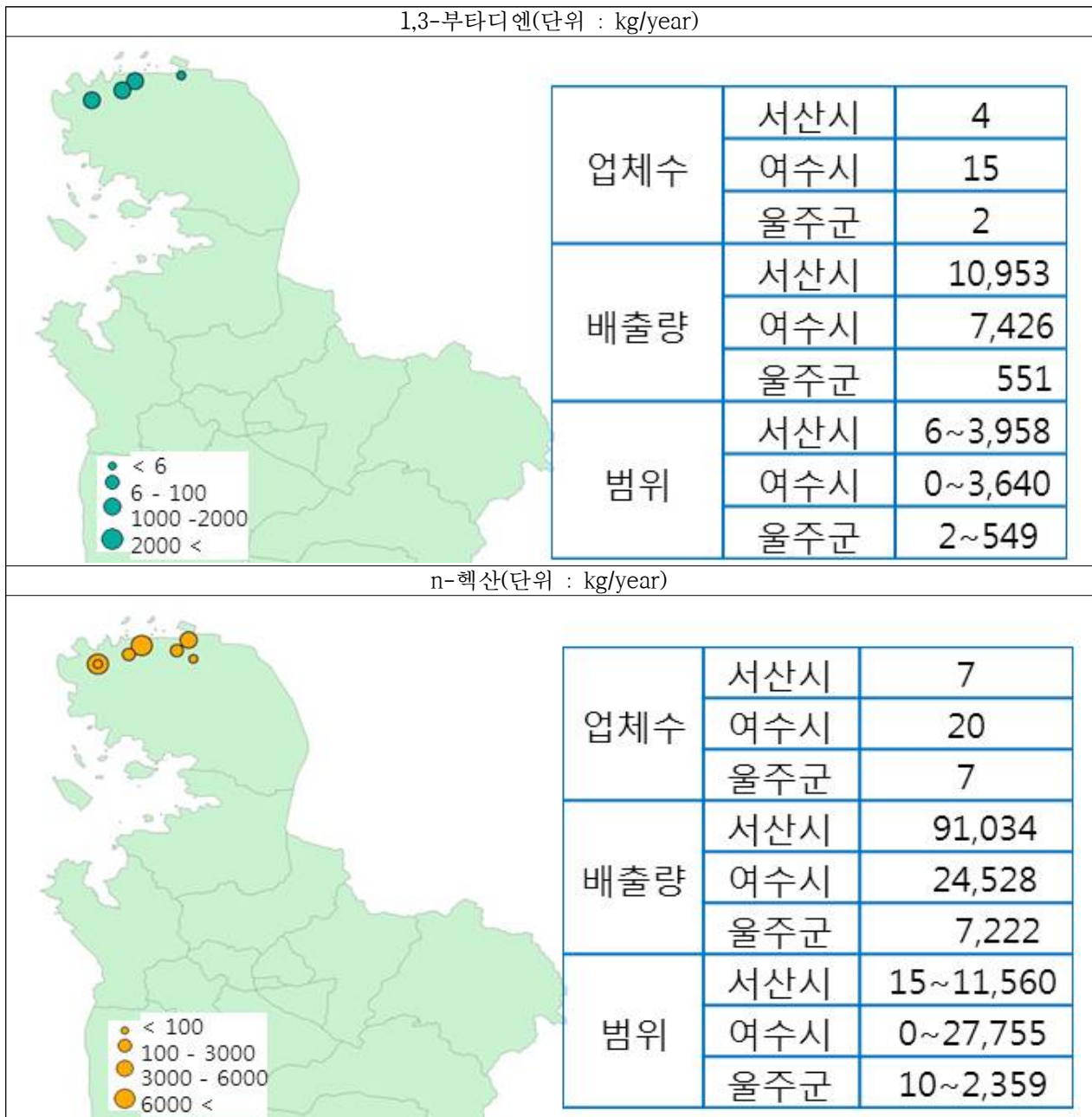


그림 111 서산시 1,3-부타디엔 및 n-헥산 배출량 공간분포 현황

- 포름알데히드는 서산에서 한개의 업체에서 배출되는 것으로 조사되었으며, 나프탈렌의 경우는 두개의 업체가 배출되는 것으로 조사되었으며, 두 화학물질 모두 타 지역보다 대기 배출량이 상당히 적게 배출되고 있는 것을 보여주고 있다.

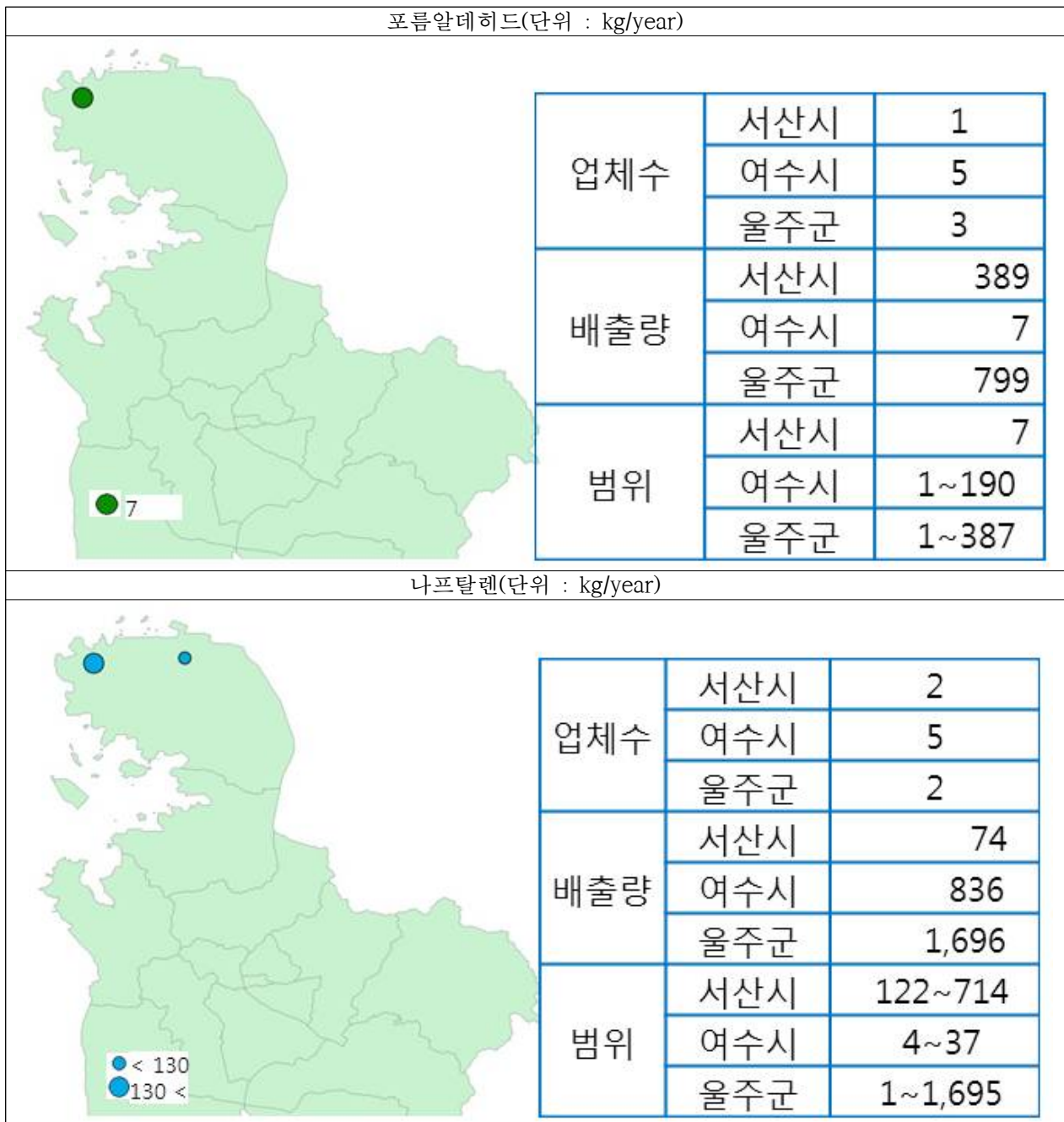


그림 112 서산시 포름알데히드 및 나프탈렌 배출량 공간분포 현황

- 벤젠 화학물질은 서산지역이 타지역보다 배출량이 높게 배출되고 있으며, 주로 산업단지를 중심으로 배출되고 있는 공간분포를 보여주고 있다. 에틸벤젠은 울주보다는 적고 여수지역 보다는 많이 배출되고 있는 것으로 나타나고 있음.

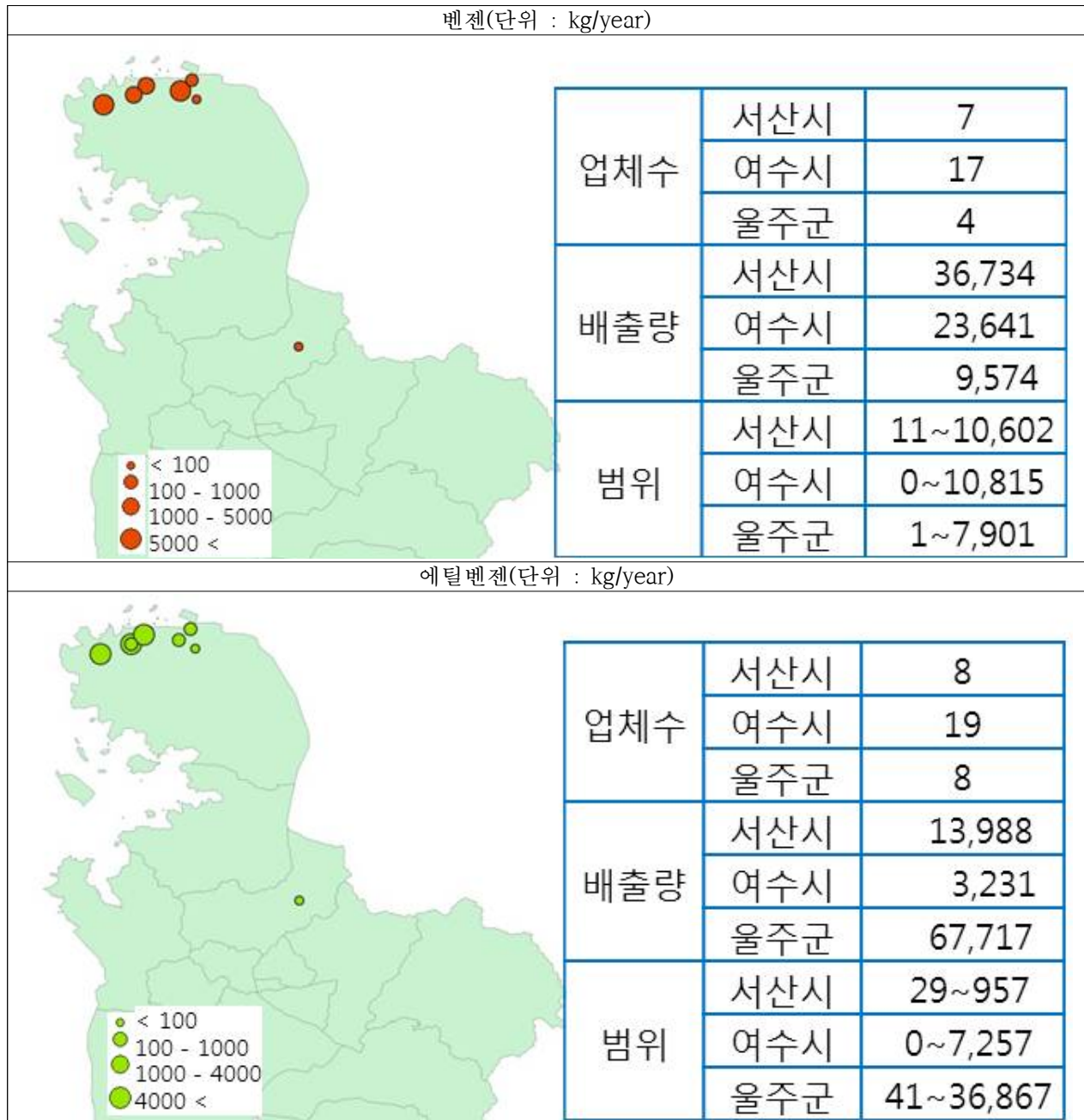


그림 113 서산시 벤젠 및 에틸벤젠 배출량 공간분포 현황

- 자일렌의 경우 산업단지 이외의 지역에서도 배출이 되고 있으며, 여수시 보다는 적게 많으며, 울주군 보다는 적게 배출되고 있으며, 톨루엔도 자일렌과 비슷한 경향을 보여주고 있음.

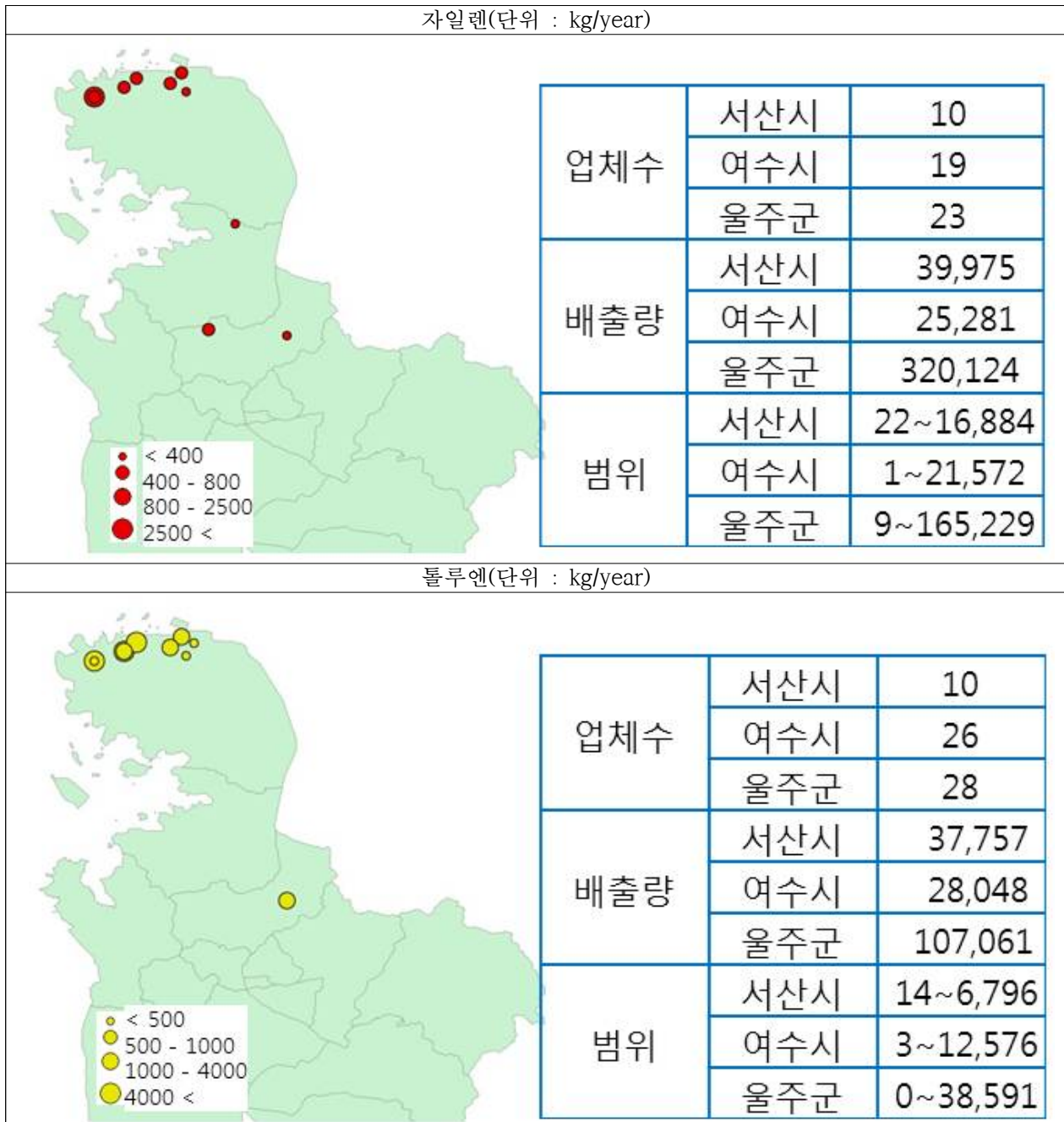


그림 114 서산시 자일렌 및 톨루엔 배출량 공간분포 현황

- 알루미늄은 여수 지역보다 업체수는 적으나 배출량은 많이 배출되고 있으며, 니켈은 울주 지역이 상대적으로 많이 배출되고 있는 것으로 조사되었음.

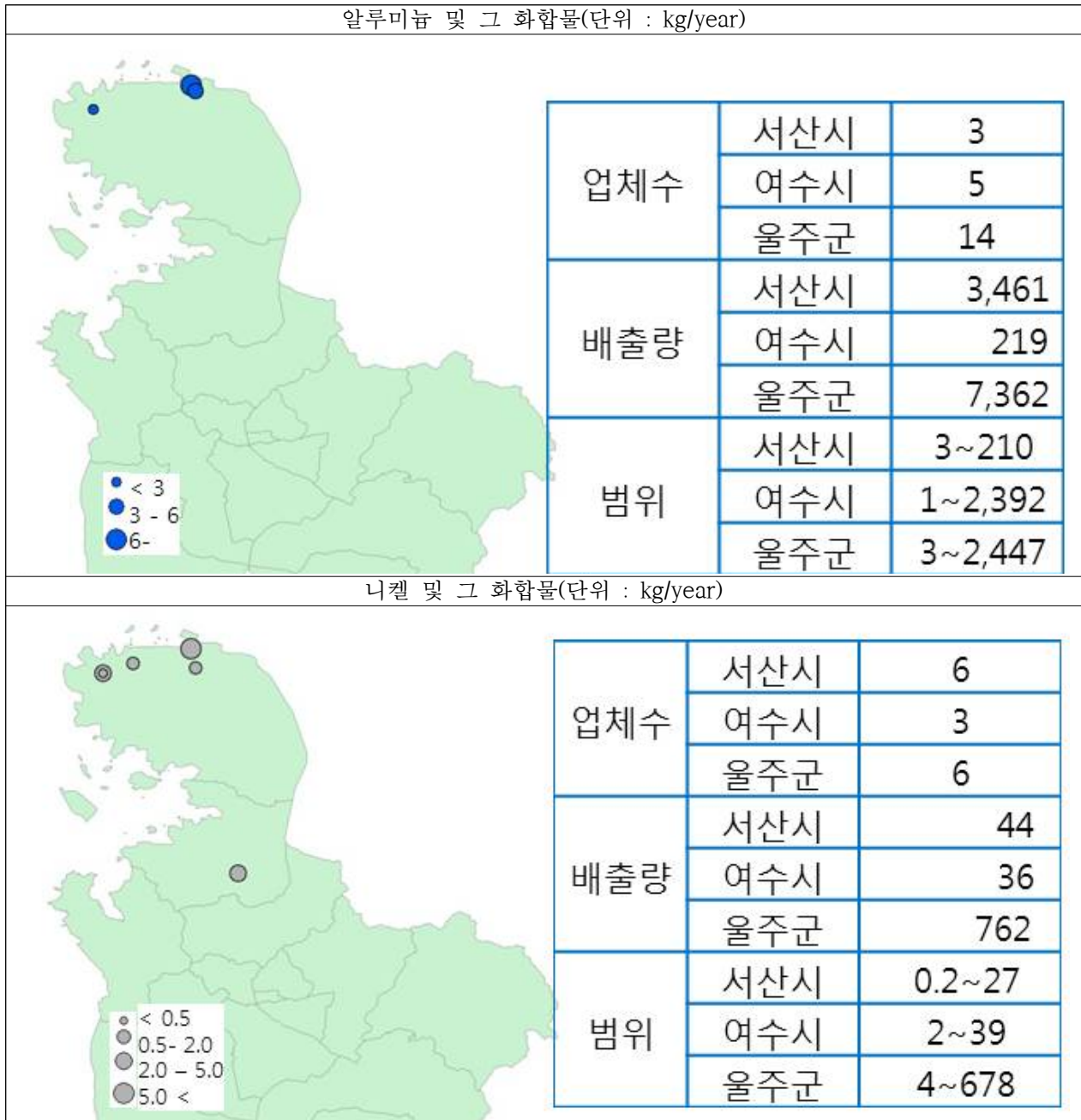


그림 115 서산시 알루미늄, 니켈 및 그 화합물 배출량 공간분포 현황

- 구리 및 그 화합물에 대한 배출은 5개 업체에서 1,570kg/year로 배출되어 여수보다는 많고 울주보다는 적게 배출되고 있으며, 크롬 및 그 화합물은 5개 업체에서 97kg/year로 배출되고 있음

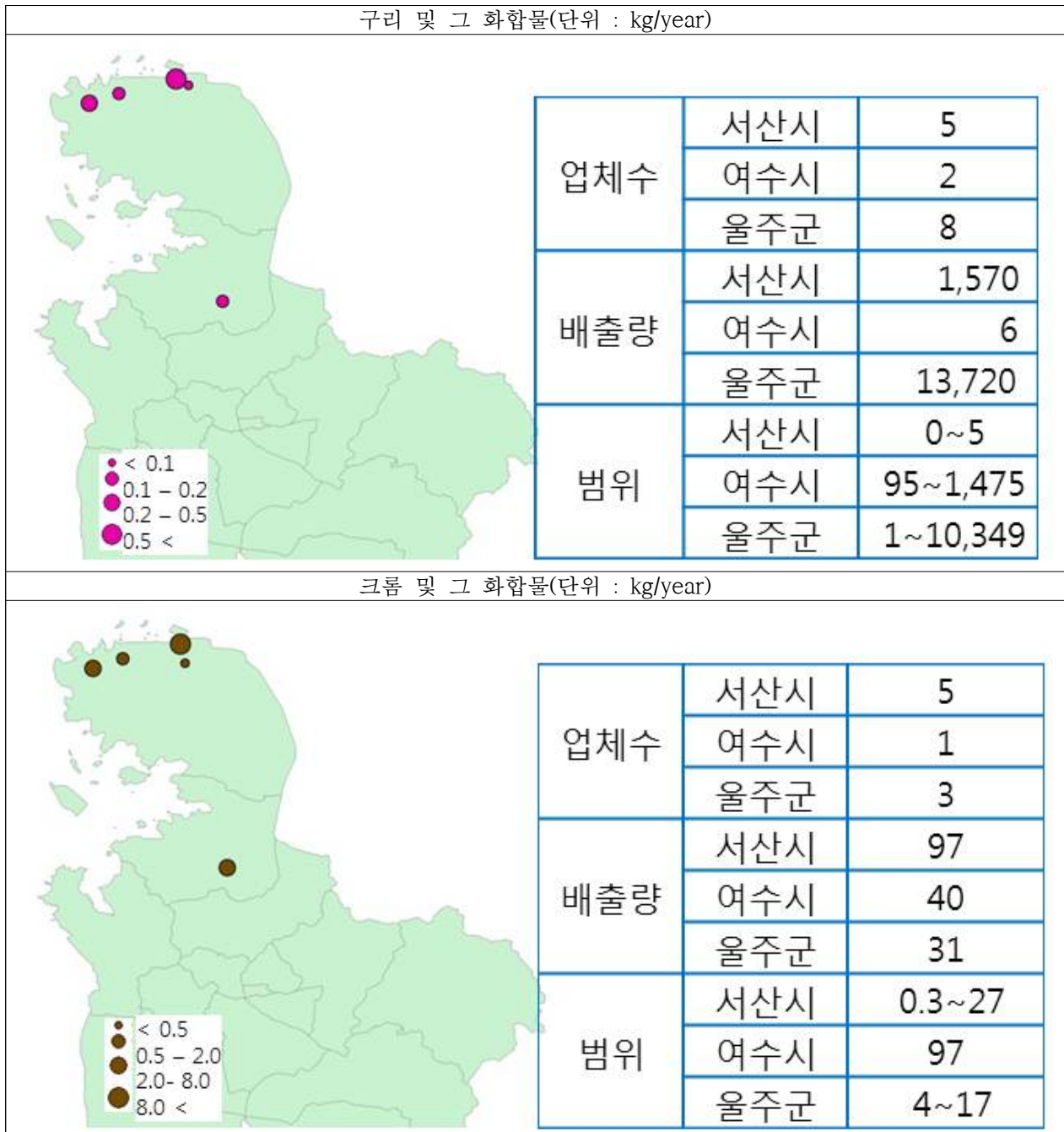


그림 116 서산시 구리, 크롬 및 그 화합물 배출량 공간분포 현황

2. 국외 대기오염물질 배출량 현황

2.1 대기오염물질 배출량 현황

- 국외 배출량 자료는 MIX에서 연구한 자료로 MIX는 2008년과 2010년 아시아에 대한 새로운 인위적 배출량 자료이며, 본 연구에서는 2010년 자료를 적용하였음.
- MIX 모델은 칭화대 (Tsinghua University)가 개발 한 중국의 다 해상도 배출량 인벤토리 (Multiple Resolution Emission Inventory for China, MEIC)를 포함하여 아시아 및 러시아 배출량이 포함되었음.
- MIX는 2008 년과 2010 년 동안 아시아에 대한 배출량 산정치를 제공하고 있으며, MIX의 영역은 서쪽의 카자흐스탄에서 동쪽의 극동 러시아까지, 그리고 남쪽의 인도네시아에서 북쪽의 시베리아까지 30 개 국가와 지역을 포괄함.
- 배출량은 전력, 산업, 주거, 운송 및 농업(NH3)의 5 개 분야로 분류를 하였으며, 배출량 산정물질로는 SOx, NOx, CO, NMVOC, NH3, PM10, PM2.5, BC, OC, CO2 등 10 종을 포함하여 MIX 목록에 포함되며, 월별 배출량은 부문별로 0.25° x 0.25°로 제공됨.

표 87 국외 대기오염물질 배출량 현황

Unit:Gg Year: 2010	SO2	NOx	CO	NMVOC	NH3	PM10	PM2.5	BC	OC	CO2
China	28,663	29071	170874	23619	9804	16615	12200	1765	3386	10124154
Other East Asia	1,437	3275	10339	2215	875	610	328	60	37	1734958
India	9,259	9565	67423	16892	9871	7093	5216	1019	2530	2277220
Other South Asia	1,704	1712	16193	3910	3436	1290	1082	200	699	420657
South East Asia	4,449	5120	50925	16640	4592	3051	2278	378	1452	1526602
Central Asia	1,648	971	5227	1162	133	963	458	21	46	386695
Russia Asia	4,164	2405	15605	2597	105	2103	1188	87	172	830408
Total	51,324	52118	336588	67034	28816	31726	22749	3530	8322	17300692

주) 2010년 국내 배출량 포함한 통계

2.2 물질별 격자별 배출량 공간분포 현황

□ CO 배출량 현황

- CO 배출량 중 중국에서 차지 하는 비중은 전력 35%, 산업 69%, 주거 50%, 수송 28% 이며, 전체 량 중 51%를 차지하고 있는 것으로 나타나고 있으며, 그외 인도를 포함한 South Asia에서 높게 배출되고 있음.

표 88 CO 배출원별 아시아 배출량

Unit:Gg Year: 2010	Power	Industry	Residential	Transportation	total
China	2076.7	71275.9	76579.2	20942.3	170874.2
Other East Asia	70.0	3329.1	1402.0	5538.1	10339.2
South Asia	2726.9	20699.5	46464.5	13725.9	83616.8
South East Asia	580.0	4308.6	26803.8	19232.9	50925.3
Central Asia	40.1	354.4	575.7	4257.2	5227.4
Russia Asia	478.2	2727.2	1056.3	11343.6	15605.4
Total	5971.9	102694.8	152881.5	75040.0	336588.2

주) 2010년 국내 배출량 포함한 통계

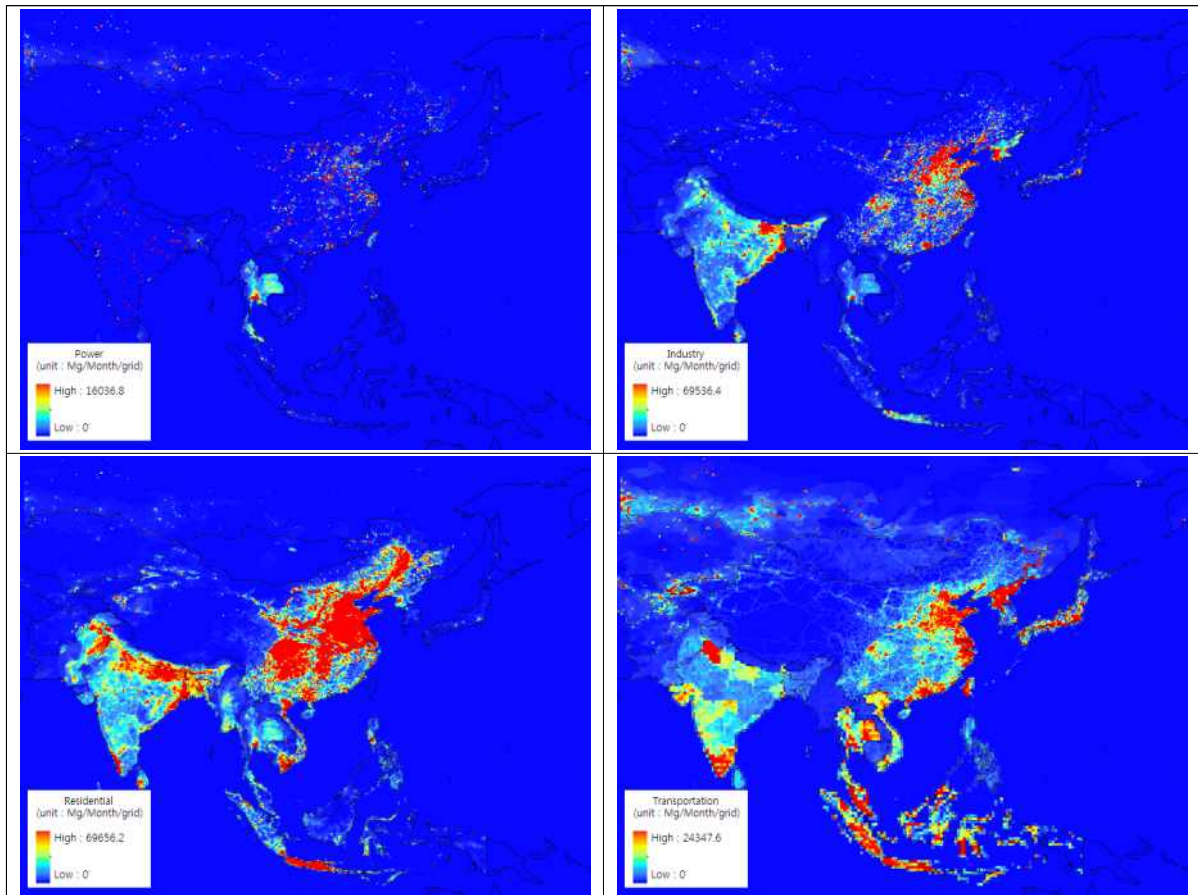


그림 117 국외 오염원별 CO 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)

□ NOx 배출량 현황

- NOx 배출량 중 중국에서 차지 하는 비중은 전력 62%, 산업 80%, 주거 33%, 수송 38% 이며, 전체 56%를 차지하고 있는 것으로 나타나고 있으며, 그외 인도를 포함한 South Asia에서 높게 배출되고 있음.

표 89 국외 NOx 배출량 현황

Unit:Gg Year: 2010	Power	Industry	Residential	Transportation	total
China	9455.5	11217.9	1140.0	7257.3	29070.8
Other East Asia	460.0	648.7	360.9	1805.2	3274.8
South Asia	2680.9	1137.9	1362.4	6095.6	11276.7
South East Asia	1135.6	747.8	395.8	2840.5	5119.8
Central Asia	378.7	133.7	131.4	327.0	970.9
Russia Asia	1148.9	178.6	87.2	989.8	2404.5
Total	15259.6	14064.7	3477.7	19315.5	52117.5

주) 2010년 국내 배출량 포함한 통계

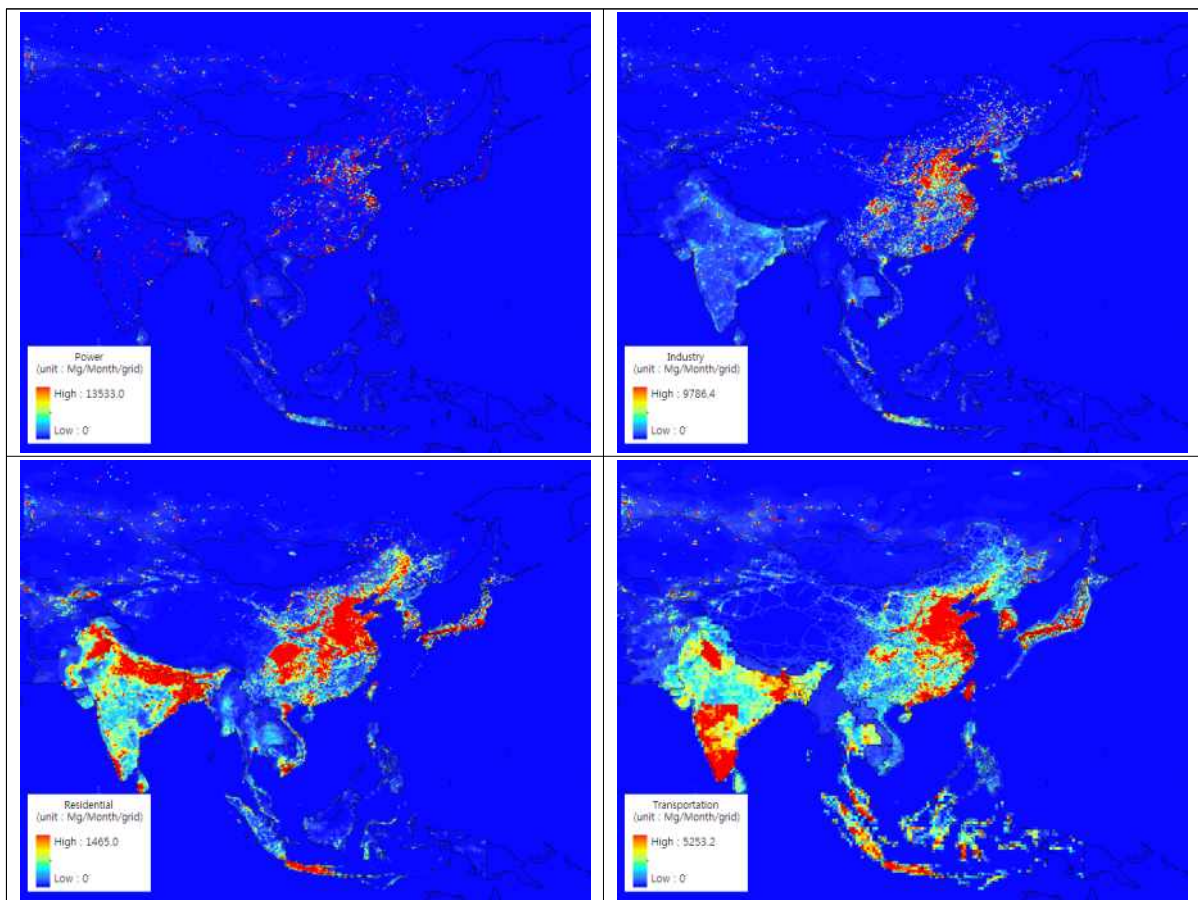


그림 118 국외 오염원별 NOx 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)

□ SOx 배출량 현황

- SOx 배출량 중 중국에서 차지 하는 비중은 전력 42%, 산업 66%, 주거 68%, 수송 18% 이며, 전체 56%를 차지하고 있는 것으로 나타나고 있으며, 그외 인도를 포함한 South Asia에서 높게 배출되고 있음.

표 90 SOx 배출원별 아시아 배출량

Unit:Gg Year: 2010	Power	Industry	Residential	Transportation	total
China	8165.9	16775.1	3488.6	233.7	28663.2
Other East Asia	426.7	644.4	189.2	176.3	1436.6
South Asia	6250.8	3505.6	837.4	369.3	10963.2
South East Asia	1596.5	2100.8	363.6	388.5	4449.3
Central Asia	1066.4	406.9	154.1	20.1	1647.6
Russia Asia	1980.7	1996.0	101.0	86.4	4164.1
Total	19487.0	25428.8	5134.0	1274.1	51323.9

주) 2010년 국내 배출량 포함한 통계

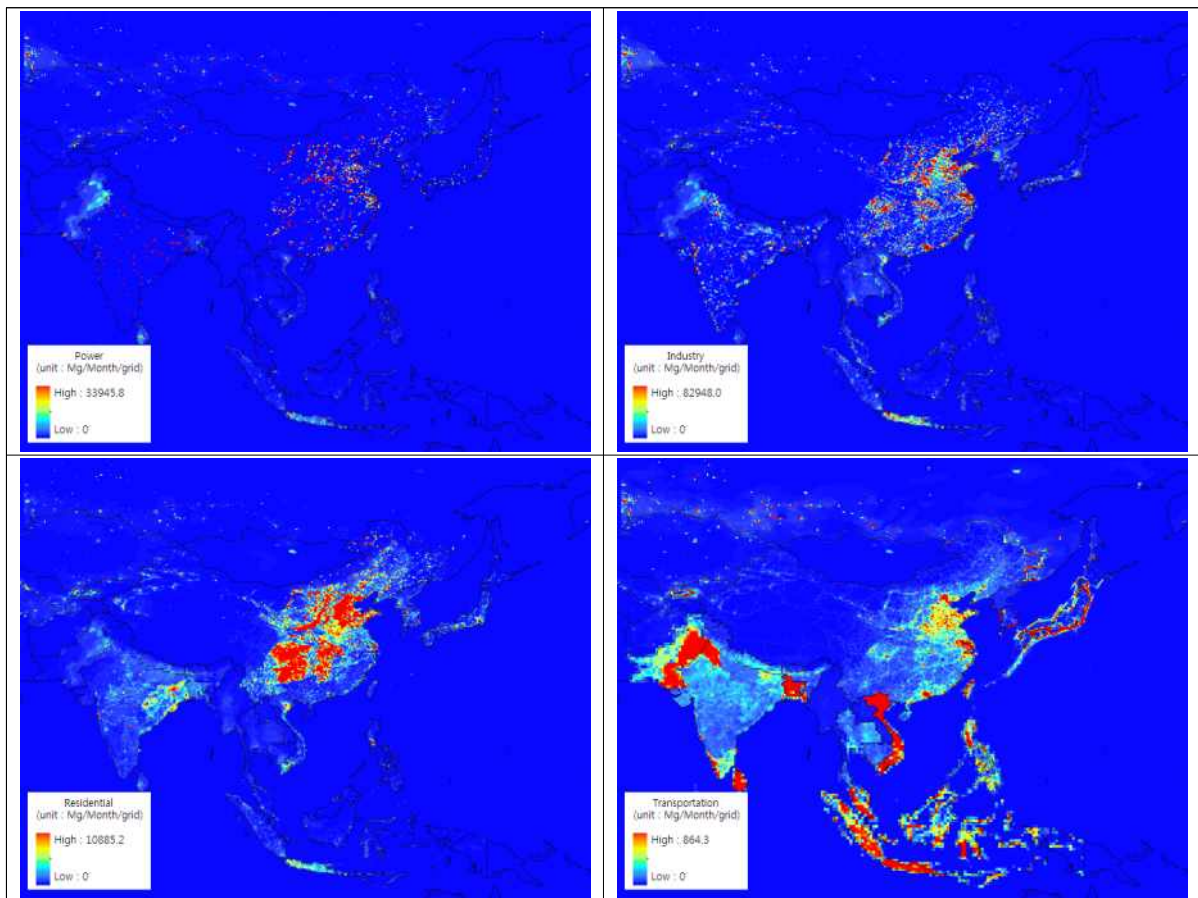


그림 119 국외 오염원별 SOx 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)

□ PM10 배출량 현황

- PM10 배출량 중 중국에서 차지 하는 비중은 전력 33%, 산업 62%, 주거 50%, 수송 29% 이며, 전체 52%를 차지하고 있는 것으로 나타나고 있음

표 91 PM10 배출원별 아시아 배출량

Unit:Gg Year: 2010	Power	Industry	Residential	Transportation	total
China	1389.1	9451.0	5246.3	528.6	16615.1
Other East Asia	162.2	284.5	76.9	86.8	610.4
South Asia	2053.0	1683.5	3723.4	923.5	8383.4
South East Asia	539.6	901.8	1478.4	130.9	3050.7
Central Asia	4.1	929.8	3.4	26.0	963.3
Russia Asia	27.1	1949.2	22.5	104.6	2103.4
Total	4175.1	15199.9	10550.9	1800.4	31726.3

주) 2010년 국내 배출량 포함한 통계

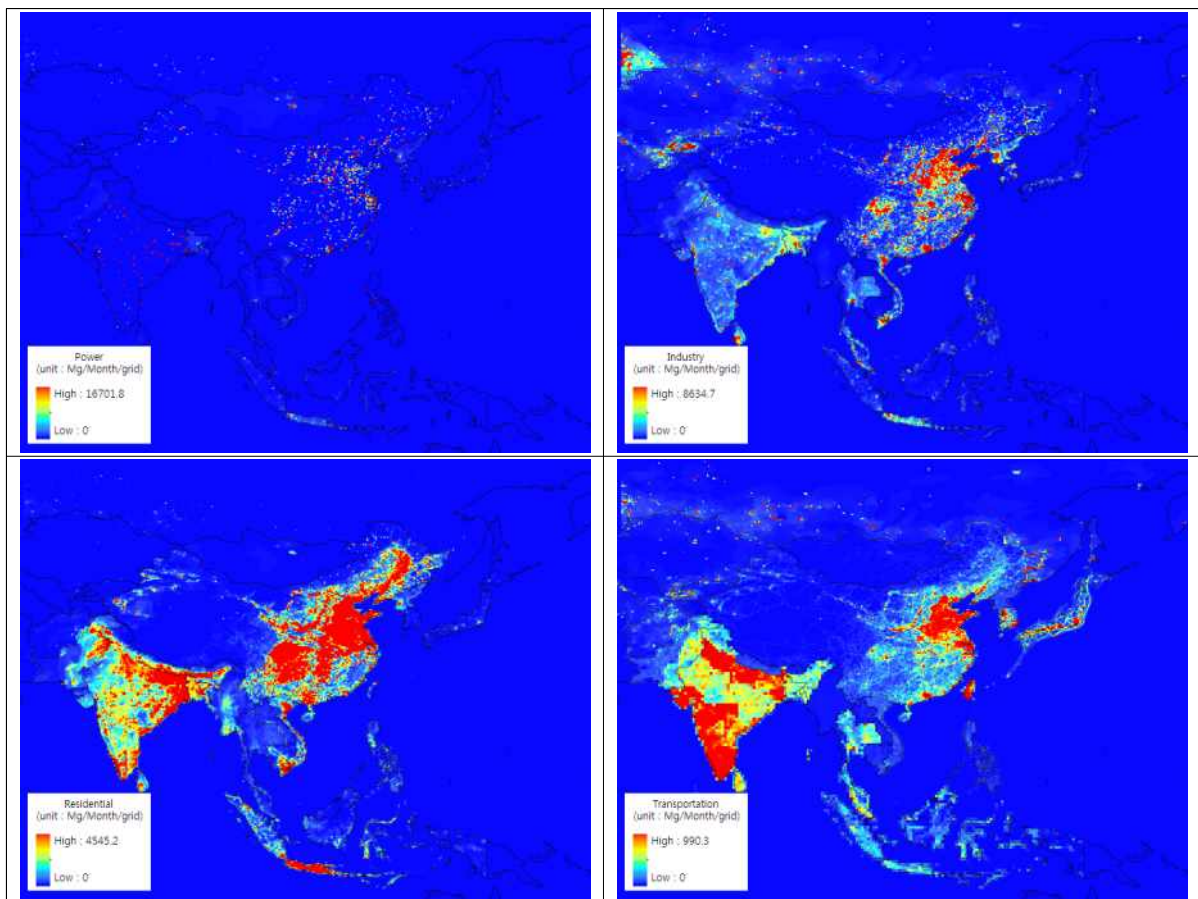


그림 120 국외 오염원별 PM10 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)

□ PM2.5 배출량 현황

- PM2.5 배출량 중 중국에서 차지 하는 비중은 전력 45%, 산업 64%, 주거 49%, 수송 29% 이며, 전체 54%를 차지하고 있는 것으로 나타나고 있음

표 92 PM2.5 배출원별 아시아 배출량

Unit:Gg Year: 2010	Power	Industry	Residential	Transportation	total
China	892.8	6060.6	4737.4	508.9	12199.7
Other East Asia	64.3	142.1	47.4	74.4	328.2
South Asia	854.0	1162.3	3392.8	889.0	6298.1
South East Asia	156.5	565.6	1429.6	126.3	2278.0
Central Asia	1.1	428.5	2.6	25.5	457.8
Russia Asia	15.3	1049.6	20.2	102.6	1187.7
Total	1984.0	9408.7	9630.0	1726.8	22749.5

주) 2010년 국내 배출량 포함한 통계

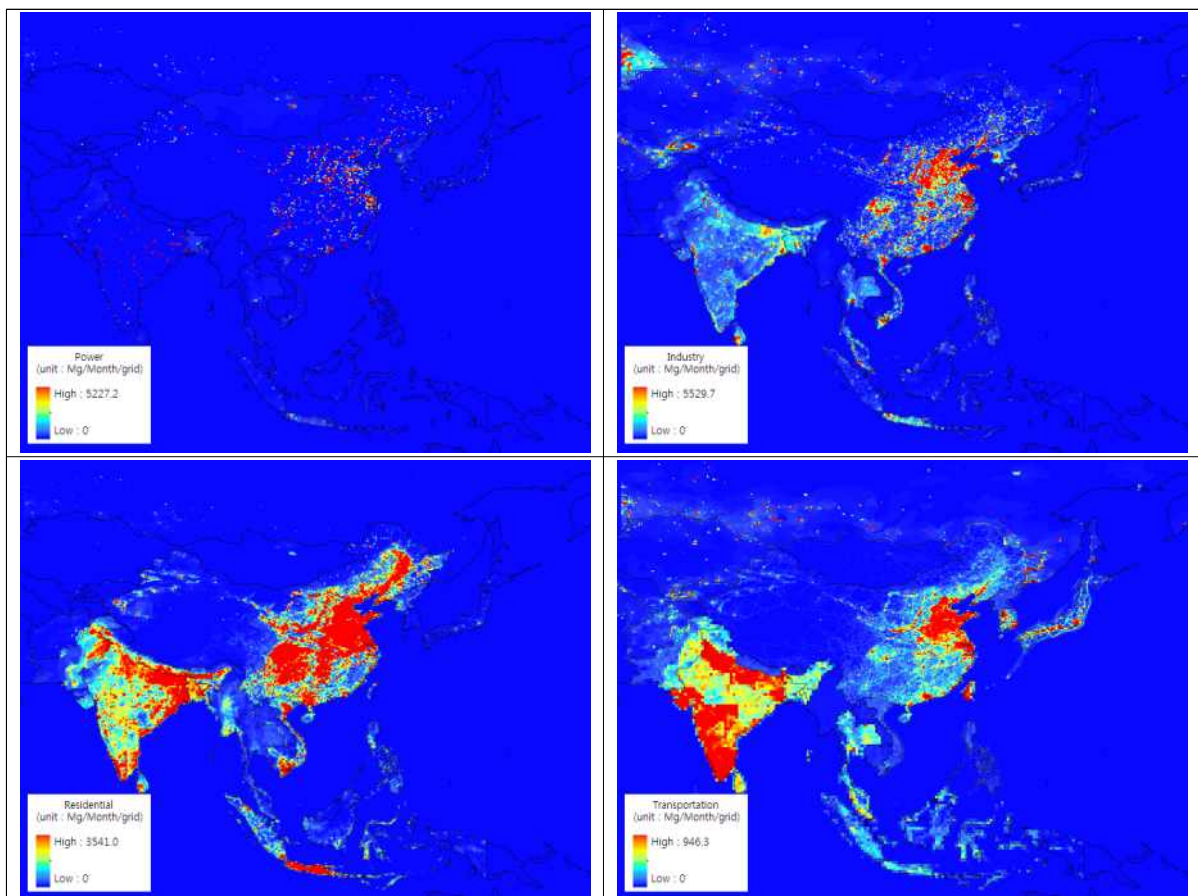


그림 121 국외 오염원별 PM2.5 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)

□ NMVOC 배출량 현황

- NMVOC 배출량 중 중국에서 차지 하는 비중은 전력 47%, 산업 57%, 주거 30%, 수송 14% 이며, 전체 35%를 차지하고 있는 것으로 나타나고 있음

표 93 NMVOC 배출원별 아시아 배출량

Unit:Gg Year: 2010	Power	Industry	Residential	Transportation	total
China	255.5	14461.2	6349.0	2553.3	23619.0
Other East Asia	13.2	1474.8	259.4	467.0	2214.5
South Asia	131.1	4006.6	9910.9	6753.3	20801.9
South East Asia	109.7	3181.6	5792.5	7556.0	16639.8
Central Asia	7.1	622.8	159.3	372.8	1161.9
Russia Asia	26.4	1519.8	235.7	815.1	2597.0
Total	543.0	25266.9	22706.8	18517.5	67034.2

주) 2010년 국내 배출량 포함한 통계

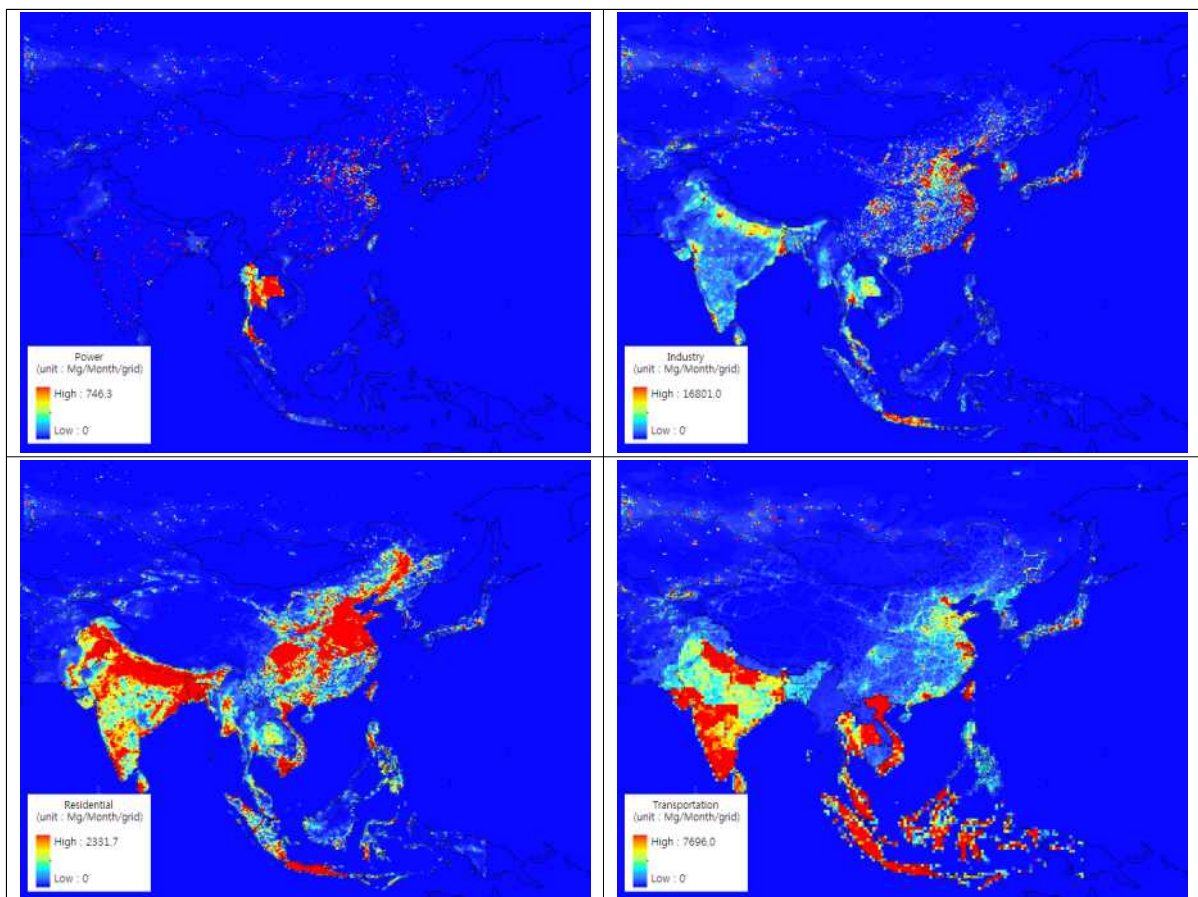


그림 122 국외 오염원별 NMVOC 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)

□ NH₃ 배출량 현황

- NH₃ 배출량 중 중국에서 차지 하는 비중은 전력 0%, 산업 38%, 주거 9.4%, 수송 59.7%, 농업 39%이며, 전체 34%를 차지하고 있는 것으로 나타나고 있으며, 전력 부분은 동남아시아에서 34.6%로 가장 많이 배출하는 것으로 나타남.

표 94 NH₃ 배출원별 아시아 배출량

Unit:Gg Year: 2010	Power	Industry	Residential	Transportation	Agriculture	total
China	0.0	238.6	450.2	75.6	9039.7	9804.1
Other East Asia	3.3	25.6	143.5	22.9	680.2	875.5
South Asia	8.0	210.0	2908.9	10.2	10169.4	13306.4
South East Asia	9.5	133.1	1139.3	14.7	3295.7	4592.4
Central Asia	0.9	6.9	84.7	1.0	39.2	132.7
Russia Asia	5.8	14.4	57.5	2.2	24.9	104.8
Total	27.6	628.6	4784.2	126.5	23249.1	28816.0

주) 2010년 국내 배출량 포함한 통계

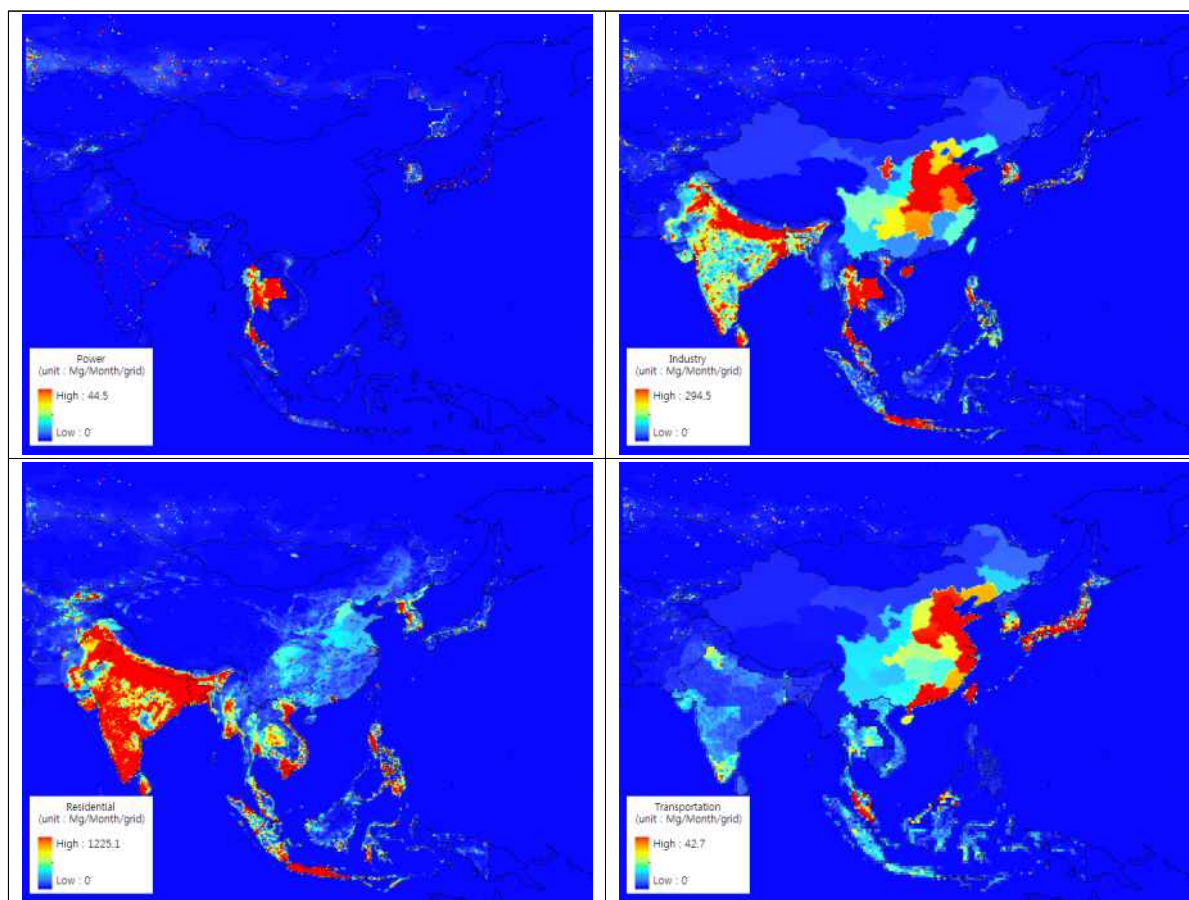


그림 123 국외 오염원별 NH₃ 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)

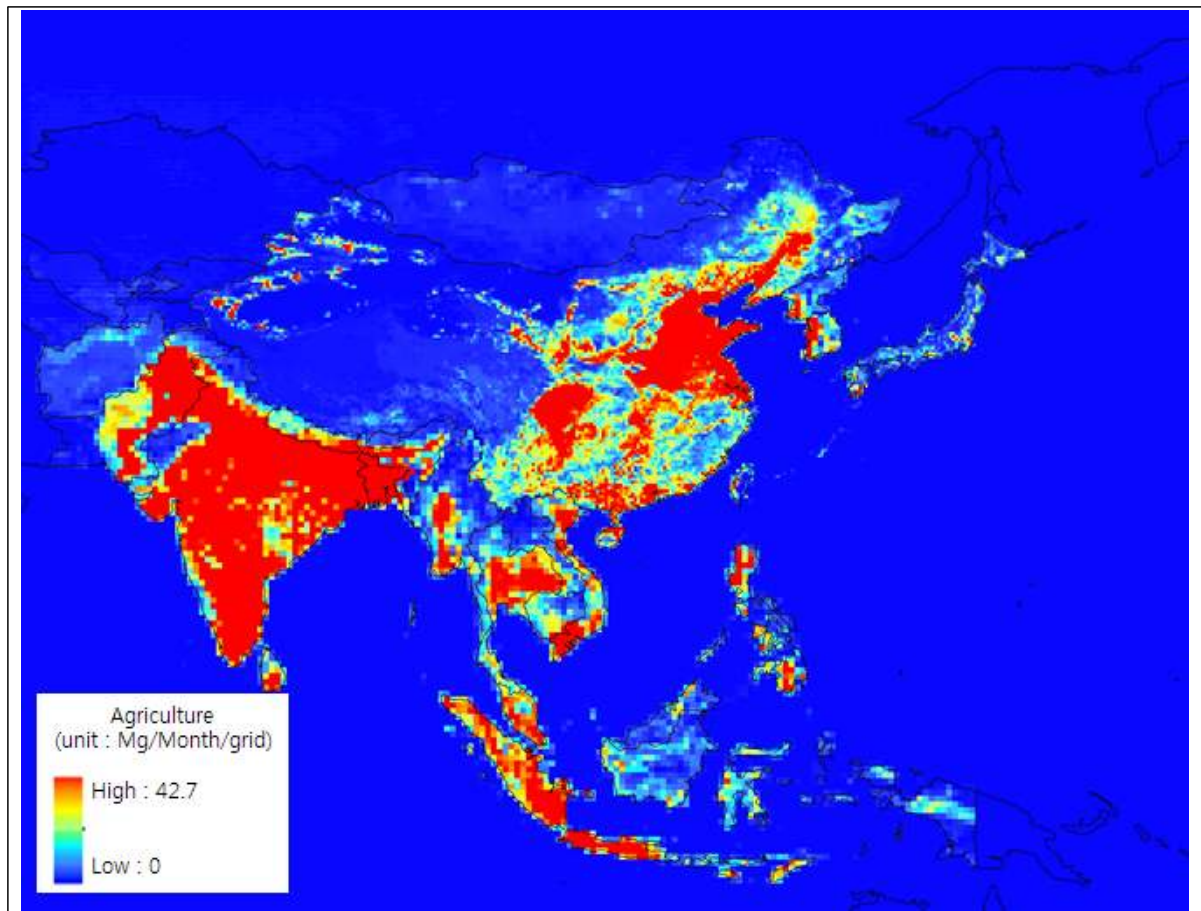


그림 124 국외 농업부분 NH₃ 배출량 공간분포 현황(단위 : Mg/month/grid)

제 4 절 대기영향 예측 결과

1. 대기오염물질 예측 개요

- 대기질 모델링 운영방법은 「대기환경보전법」 제18조, 제19조 제1항 및 동법 시행규칙 제18조 제1항에 따른 「대기환경규제지역의 실천계획 작성지침」(환경부예규 제420호, 2013.10.11.)에 제시되어 있으며 오염물질별 장래 대기오염물질 예측방법과 관련한 가이드라인은 「국가 대기정책 수립 및 평가를 위한 대기질 모델링 가이드라인, 국립환경과학원, 2011.10」에 대기환경개선을 위한 국가 또는 시도의 대기정책 수립 및 평가에 사용되는 대기질 모델링의 투명성, 신뢰성 및 활용성을 제고하기 위하여 대기질 모델링 수행 일련의 과정 및 평가방법 등을 제시하고 있음.

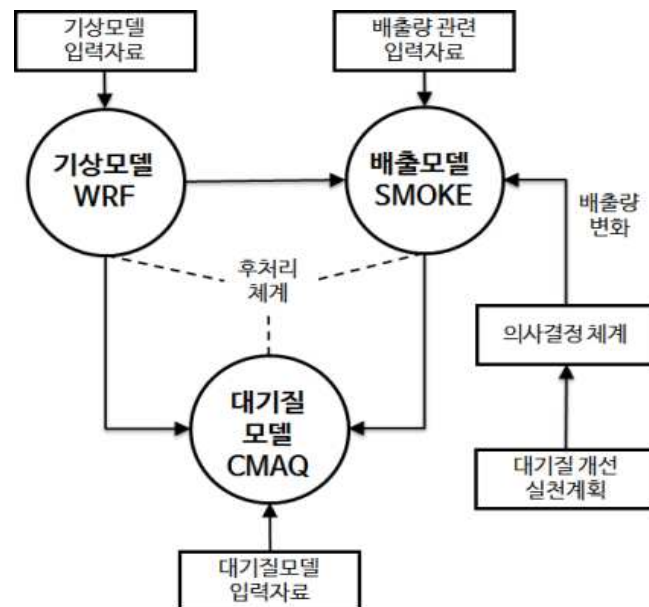


그림 125 대기질 모델링 체계도

- 해당 가이드라인에 맞추어 대기오염도 예측 모델을 선정하였고 이를 통해 정책활동도 제고를 위한 신뢰성 있고 정확도가 높은 결과를 산출하고자 하였음.
- 대기오염도 예측을 위한 모델링 수행은 기상 모델, 배출량 모델, 대기질 모델로 나누어 수행되지만 서로 유기적인 관계로 운영되며 연구지역에 적합한 각각의 모델로는 기상 모델 WRF(The Weather Research & Forecasting Model), 배출량 모델 SMOKE(The Sparse Matrix Operator Kernel Emissions), 대기질 모델로 광화학 격자모델인 CMAQ(Community Multi-Scale Air Quality)을 선정하였고 아래 그림에 대기질 모델 체계도를 제시하였음.

1.1 기상모델 WRF 개요

- WRF(The Weather Research & Forecasting Model)는 기상 연구 및 예측 모델로 대기 연구 및 운영 예측을 위해 개발된 중규모 수치 기상 예측 시스템으로 미국국립대기과학연구소(NCAR), 미국국립해양대기청(NOAA)의 국립환경예측센터(NCEP)와 예측시스템연구소(FSL), 미국 공군기상국(AFWA), 오클라호마 대학, 미국 연방항공청(FAA)의 협업으로 만들어짐

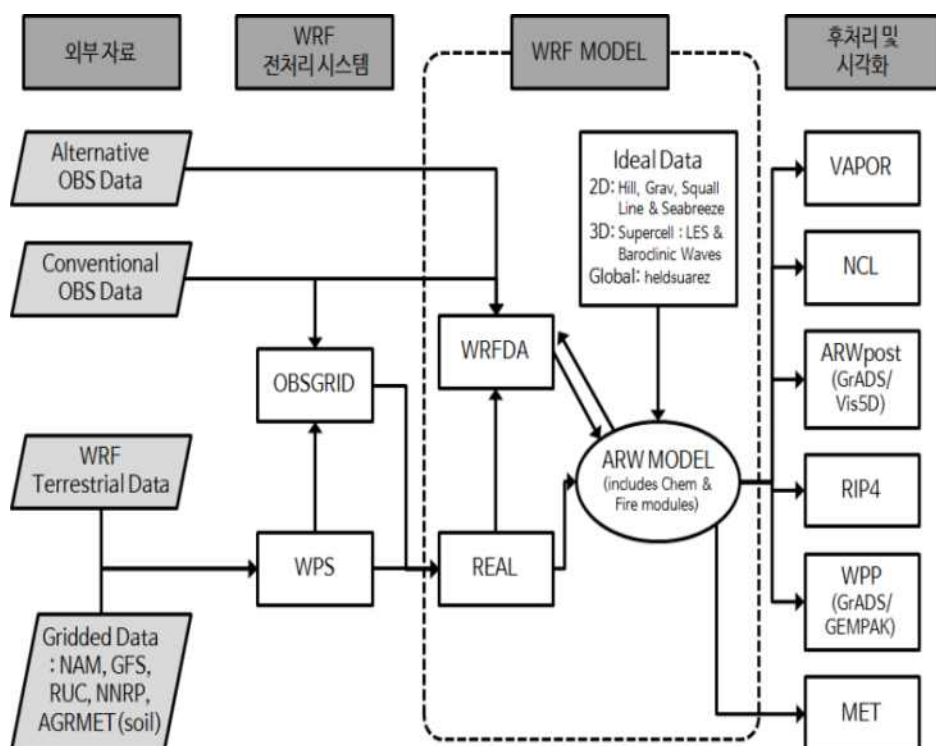


그림 126 WRF 모델 운영 흐름도

- WRF는 기상조사, 실시간 NWP, 이상적 대기 시뮬레이션, 데이터 연구 및 개발, 다른 지구 규모 모델에 사용, 모델링 및 모델사용에 대한 교육등에 활용이 가능함. WRF 모델은 제한된 지역에서 사용할 수 있는 지역 모델로서 완전 압축성 비정수계(Fully compressible non-hydrostatic) 모형으로 수평격자는 Arakawa-C 격자체계를 사용하며, 연직격자로는 Eulerian 질량 좌표계(mass-based terrain following coordinate)를 사용함
- 제시된 그림은 WRF 모델 운영 흐름도로 프로그램 순서와 자료의 흐름, 개별의 기본

기능을 간략하게 나타냄. 지형과 토지이용도 자료는 WRF 모델의 전처리 도구인 WPS(WRF Pre- Processing System)의 GEOGRID과정을 거쳐 Terrestrial data를 생성

- GRIB 형식의 NCEP Global Analyses 자료는 UNGRIB 과정을 거쳐 WRF 모델에서 사용할 수 있는 포맷으로 변환되고 GEOGRID 와 UNGRIB에서 생성된 개개의 자료는 METGRID 과정에서 격자체계에 맞게 기상자료가 수평내삽 됨
- WPS 전처리 과정을 통하여 수평내삽된 자료는 WRF 본 모델의 REAL 과정에서 기상자료를 연직내삽하여 경계자료와 초기자료를 산출함. 마지막 단계인 WRF 과정에서는 REAL에서 분석된 자료를 수치 적분하여 원하는 대상기간과 대상지역에 대하여 기상상태를 모사하고 사용자의 분석에 도움을 주기 위하여 WRF의 결과를 묘사하는 postprocessing 도구(NCL, RIP4, ARWpost, VAPOR등)가 지원됨

1.2 배출모델 SMOKE 개요

- SMOKE는 The Sparse Matrix Operator Kernel Emissions 모델링 시스템의 약자로 University of North Carolina의 Carolina Environmental Program (CEP)에서 개발 및 개선. 배출모델의 주요 특징은 배출량 입력 자료 생성이며 배출원별 연간 배출량 자료로 구성된 배출목록을 기본으로 격자별(girdded), 시간별(hourly), 화학종 분화된(speciated) 배출량을 생성
- SMOKE는 대기오염물질 배출목록을 이용하여 미래 또는 과거 배출량을 구하는 것과 배출량에 대한 배출원별 화학종분류와 시간에 따른 배출량 할당이 각각 병렬로 처리되고, 처리된 각 결과들이 합쳐져 대기질 모델에 필요한 배출량 입력 자료를 생성

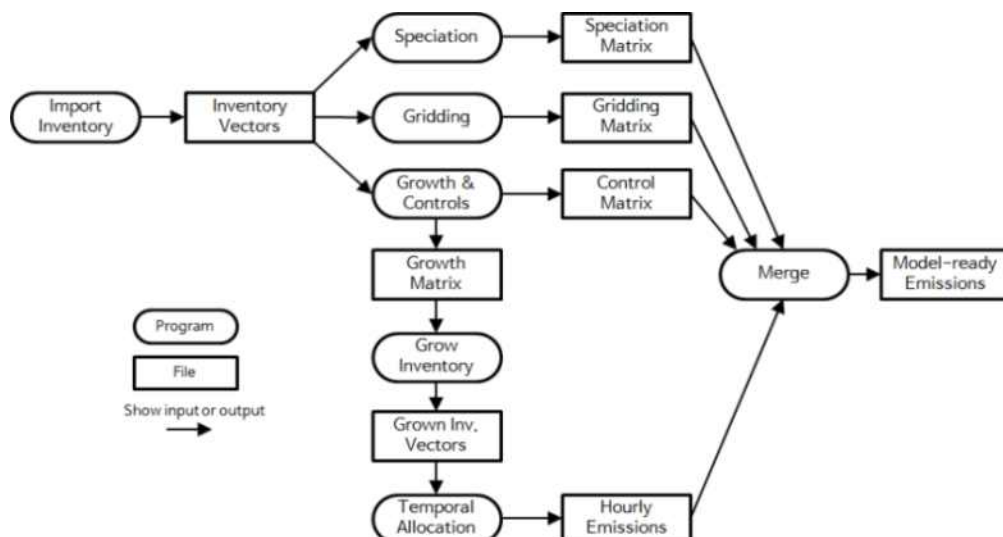


그림 127 병렬방식 배출량 처리과정

- 대기질 모델에 사용되는 CB(Carbon Bond), RADM(Regional Acid Depositoin Model),

SAPRC(Statewide Air pollution Research Center) 등의 다양한 화학반응 메카니즘의 화학종으로 구분할 수 있는 기능을 포함

1.3 대기질모델 CMAQ 개요

- Community Multi-Scale Air Quality(CMAQ)은 미국 EPA Atmospheric Science Modeling Division에서 오픈소스로 개발한 프로그램으로 CMAS(Community Modeling and Analysis System)센터에서 모델관련 지원 및 배포를 하고 있음
- CMAQ은 오일러리안 모델에 기초한 3차원 광화학 대기오염모델로써 대상영역을 국지, 지역규모 등으로 다양하게 설정할 수 있으며 화학반응, 이류, 확산 등에 대한 최신 이론을 반영하고 있으며 모듈화하여 사용자 선택이 가능하며 황화합물, 오존, 에어로졸 예측이 가능함
- MCIP(Meteorology-Chemistry Interface Processor)는 기상모델 결과자료를 CCTM 수행에 필요한 입력 형태로 변화하는 과정을 수행함
- CON(Initial Conditions Processor) CMAQ 수행전 모형 격자 내의 초기 농도 값을 설정해 주는 과정을 수행함

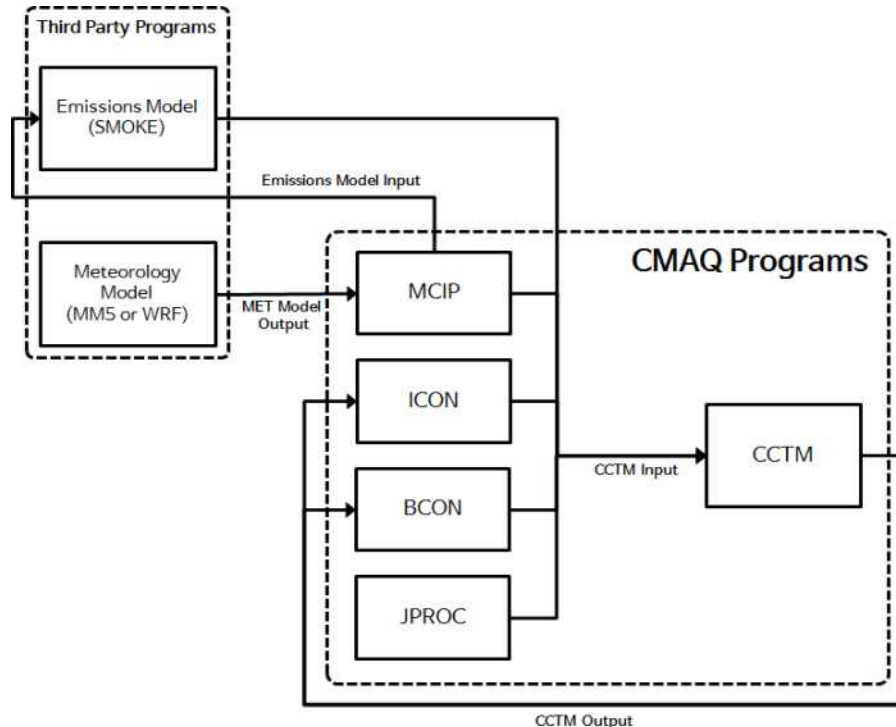


그림 128 CMAQ 운영체제도

- BCON(Boundary Conditions Processor) CMAQ 수행전 모형 격자 내의 경계조건을 설정해 주는 과정을 수행함. JPROC(Photolysis Rates Processor)은 화학반응에 관여하는 광해리 계수를 계산하여 CCTM에 입력하기 위한 과정을 수행함
- CCTM(Chemistry-Transport Mdel) CMAQ 결과 도출 과정을 수행하며 CCTM수행을 위해서는 수평 · 연직 이류 및 수평·연직 확산, 이류작용에 대한 질량보존, 오염물배출, 침적량계산, 가스형태의 화학적 작용, 에어로졸의 역학 열역학 · 화학작용 계산, 광해리율 계산 등이 고려되어야함.

2. 현황 대기질 예측 모델링

2.1. 모델링 기간 및 도메인 구성

- 모델링 기간 선정을 위한 조건으로 다양한 기상조건을 고려할 수 있는 기간, 측정망의 관측값이 대기환경기준을 초과 또는 근접한 날을 포함하는 기간, 대기질 모델링 결과와 비교 가능한 대기질 및 기상자료가 충분한 기간, 대기환경기준을 초과하는 관측값이 주말에 나타나는 경우에는 주말을 포함하는 기간 등이 고려되어야함
- 서산지역의 모델링 기간은 위 조건을 고려하여 평가대상물질인 미세먼지의 농도의 연간 농도 변화를 살펴보고 미세먼지 주의보 발령일에 대하여 분석을 할 수 있는 2018년 1월 1일 부터 12월 31일까지 연간 운영을 하였으며, 예비모델을 위하여 2017년 9월에 대하여 예비 모델을 수행함.
- 대기질 도메인은 동북아, 한반도, 남한, 충남, 서산 지역을 포함 할 수 있도록 구성함.
- 모사영역은 일반적으로 둥지기법(nested method)을 사용하며 충남권역의 모델운영을 위해 광역도메인인 동아시아 권역을 시작으로 한반도, 남한, 서산을 포함한 충남권역으로 nesting 함.



그림 129 서산지역 대기질 모델 운영 구성도 예

표 95 대기질 모델링을 위한 도메인 내역

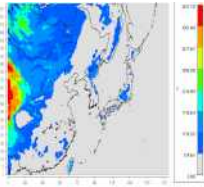
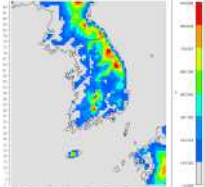
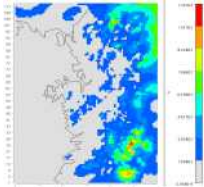
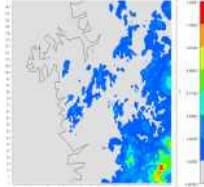
구 분	설 명			
도메인중점	126° E, 38° N			
지도투영법	Lambert conformal conic			
표준위도선	30° , 60°			
도메인이름	동아시아	한반도	중부권	서산포함 충남권역
	cn_d27_01	cn_d09_01	cn_d03_01	cn_d01_01
격자 크기 및 개수	27km	9km	3km	1km
	118×125	79×94	76×112	166×166
X-orgen	-1,579,500m	-234,000m	-33,000m	-2,000m
X-orgen	-1,674,000m	-639,000m	-303,000m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

표 96 CMAQ에 적용되는 물리·화학·확산 알고리즘 적용 내역

Module		Description
Control/Utility Modules	ModDriver	Model data flow and synchronizing of fractional time steps
	ModInit	초기 내용 설정
Science Moudles	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

2.2 기상모델 입력자료 구성

- 모사영역은 일반적으로 등지기법(nested method)을 사용하며, 기상모델을 운영을 위해 지상·고층 관측자료, 지형고도자료, 토지이용도 자료가 필요함. WRF 모델 운영을 위한 입력자료는 NCEP/NCAR 재분석 자료를 이용함
- 서산지역을 포함한 충남 권역의 모델운동을 위해 기상모델 입력자료 구성 지표기상 관측자료를 이용하여 지표부분의 자료동화인 surface FDDA 과정을 수행하였으며, 지표 및 고층기상 관측자료로는 NCEP ADP(Automated Data Processing)에서 제공하는 세계 중관 기상자료 사용. 지형고도 자료는 SRTM, 토지이용자료는 환경부 작성 자료 활용

2.3 배출량 모델링 입력자료 구성

- 배출량 모델 운영을 위한 입력자료로 동아시아 배출량은 MICS-ASIA III 2010년 자료, 자연배출량 자료는 MEGAN2.10을 이용하였으며, 국내 배출량은 CAPSS 최신자료인 2015년 자료를 사용

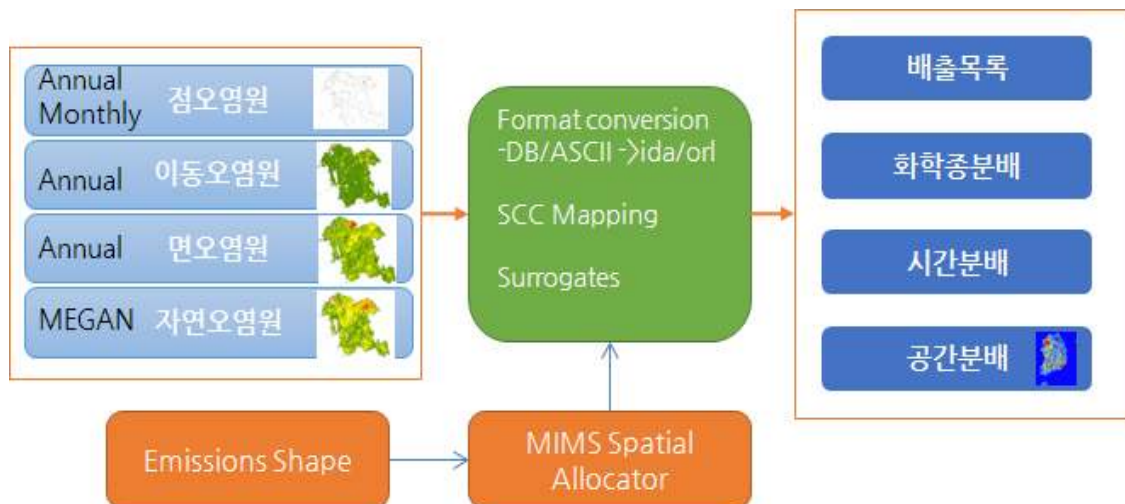


그림 130 SMOKE 모델 배출량 입력자료 전처리 과정 설계

- 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($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$)

γ_i : 화합물 i의 배출 활동도

표 97 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 radiatin	Calculate light-dependent emission activity

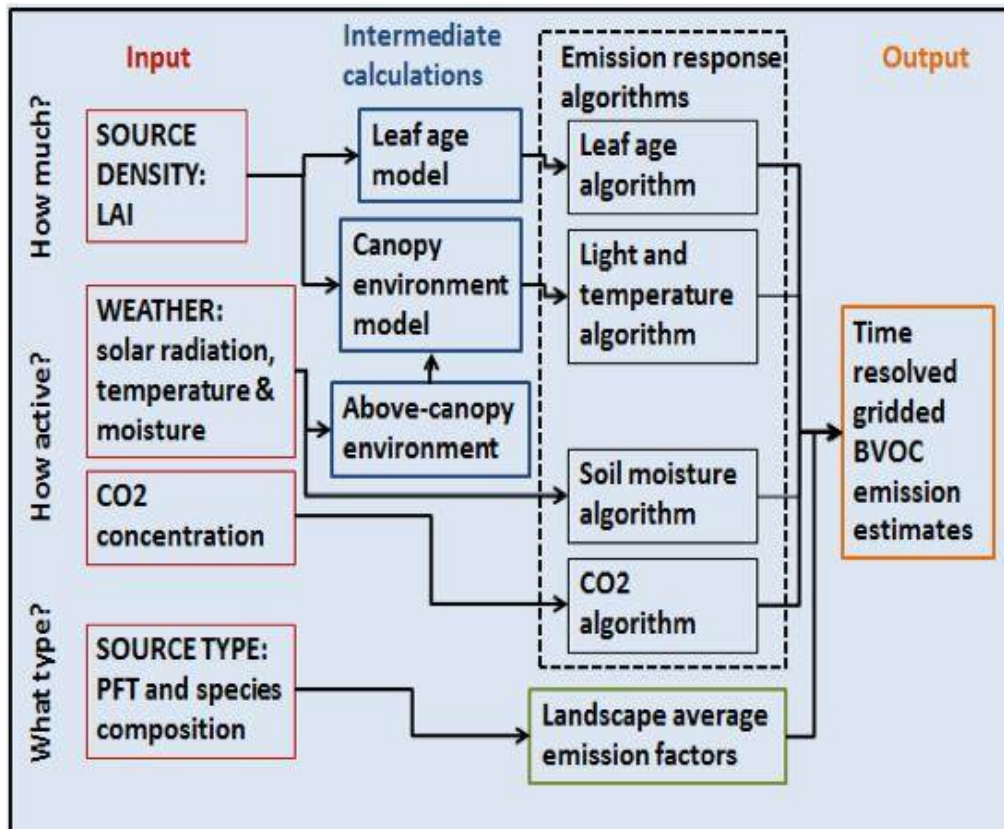


그림 131 자연배출량 처리를 위한 MEGAN 구조도

2.4. 대기질 모델링 입력자료 구성

- 도메인 1의 경우 초기 조건과 경계조건은 CMAQ 모델에서 제공하는 기본값을 사용, 대상 물질인 오존과 미세먼지 대기질 모델링의 초기조건은 오존은 2일의 ramp-up 기간, 미세먼지는 5일의 ramp-up 기간을 적용함
- 도메인 2 와 3의 초기조건 및 경계조건은 각 도메인의 상위 도메인에서 추출하였으며 수직층은 기상모델과 동일하게 적용함. 대기질 모델링 CMAQ을 이용하였고 물리, 화학, 확산 처리방법 옵션을 아래 표에 정리

표 98 CMAQ에 적용되는 물리·화학·확산 처리방법

Module		Description
Control/Utility Modules	ModDriver	Model data flow and synchronizing of fractional time steps
	ModInit	초기 내용 설정
Science Moudles	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

2.5 모델 결과분석 및 검증

- 모델결과 검증 및 분석 통계처리방법으로 NMB, MNGE, RMSE, IOA, R이 있으며 각각의 특징은 다음과 같음
- Normalized Mean Bias(NMB) 모델이 관측된 공간적·시간적 패턴을 재현할 근거 판단에 활용, Mean Normalized Gross Error(MNGE) 절대오차를 참값의 백분율로 나타낸 오차인 상대오차로 모델의 정확성 판단, Root Mean Square Error(RMSE) 관측값·모델링 예측값의 오차 산포 정도를 평가하기 위한 값으로 그 값이 0일수록 예측값의 정확도가 높음.
- IOA(일치도지수)는 관측값과 예측값 간의 일치도 평가는 0.5이상의 값을 가질 때 적절하며 1의 값을 가질 때는 매우 적합, R(상관계수)은 두 변수간의 관련성 정도 측정으로 +1 두 현상 사이에 완전한 적극적 상관관계, -1 완전한 소극적 상관관계, 0 관계없음을 의미.

표 99 모델링 결과 정합도 분석 통계 방법

항 목	수 식
MOD.	$\overline{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$ P_i : 모델 결과값, n : 시간
OBS.	$\overline{O}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i$ O_i : 관측값
Normalized Mean Bias (NMB)	$\text{NMB}(\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P_i - O_i}{\overline{O}_i} \times 100$
Mean Normalized Gross Error (MNGE)	$\text{MNGE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{ P_i - O_i }{O_i} \times 100$
Root Mean Square Error (RMSE)	$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}$
Index of Agreement (IOA)	$\text{IOA} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \overline{O}_i + O_i - \overline{O}_i)^2}$
Correlationn Coefficient(R)	$R = \frac{\sum_{i=1}^n P_i O_i - (\sum_{i=1}^n P_i)(\sum_{i=1}^n O_i)/n}{\sqrt{\sum_{i=1}^n P_i^2 - (\sum_{i=1}^n P_i)^2/n} \sqrt{\sum_{i=1}^n O_i^2 - (\sum_{i=1}^n O_i)^2/n}}$

2.6 RRF(상대반응계수, Relative Response Factor ; RRF) 방식에 의한 비율 보정

- 대기질 모델링을 이용하여 현재 및 미래에 대한 농도를 예측하게 된다. 현재 및 미래에 대하여 예측된 농도는 절대값으로서 평가될 수도 있지만, 측정값을 바탕으로 한 상대 반응 계수(Relative Response Factor ; RRF)를 계산하여 평가될 수도 있음
- RRF를 적용하는 경우에는 미래년도에 대한 대기오염물질의 농도는 각 측정소별로 산정된 RRF를 측정값에 반영하여 계산하고 그 농도가 대기환경기준에 부합하는지를 조사한다. 미래년도에 대한 개선효과를 측정값을 기준으로 하는 상대적인 변화 정도로 평가하는 이유는 모사결과 만을 이용할 경우 미래년도 농도에 대한 잘못된 해석을 할 수 있기 때문이다. 오존의 경우 각 측정소별로 하나의 RRF를 산정하면 되나, 미세먼지의 경우 SO₄, NO₃, NH₄, EC, OC 등 각 구성 물질별로 산정하여 계산한다. 다음의 식을 이용하여 미래년도에 대한 예측 농도를 산정 할 수 있음.

$$(DVF)_I = (RRF)_I (DVB)_I$$

- 여기서 (DVB)_I는 측정소 I에서 측정된 기준농도 (baseline concentration) (ppb or µg/m³)를 나타내며, (RRF)_I는 측정소 I 부근에서 계산된 RRF를 나타내며(단위 없음), (DVF)_I 는 달성 목표연도에서의 추정된 미래 측정값(design value) (ppb or µg/m³)을 나타낸다. 자세한 계산방법 및 예시자료는 미국 환경청 보고서(U.S.A. EPA, 2007)를 참고할 것을 권함.

3. 대기오염물질 모델링 결과

3.1 기상모델링 수행결과

□ 2017년 9월 기상모델링 결과

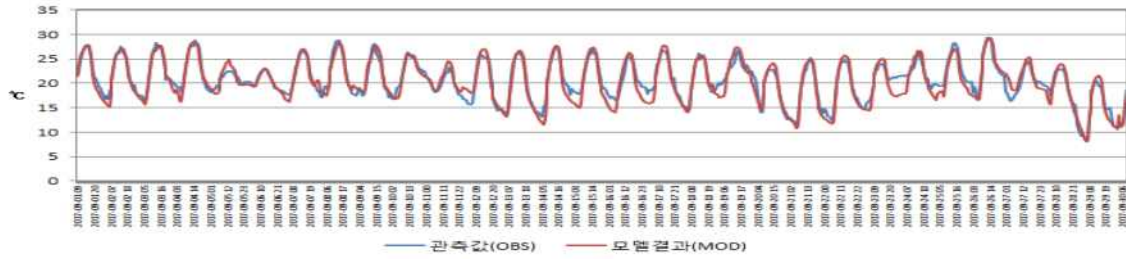
- 서산기상대를 중심으로 충남 지역의 기상대 측정지점을 이용하여 2017년 9월 1일부터 9월 30일까지 온도, 풍속 관측값과 수치모델 결과 비교. 관측값과 수치모델결과의 평균제곱근오차(RMSE), 일치도 지수(IOA) 상관계수(R) 분석.
- IOA와 R은 0과 1사이의 값으로 0은 전혀 일치하지 않거나 상관성없음, 1은 완벽하게 일치 하거나 상관성이 큼을 의미.
- RMSE값은 모델결과와 관측값의 평균적인 오차를 나타내는 것으로 작은 값을 나타낼 수록 모델의 수치모의 능력이 높음. Emery and Tai(2001)에서 풍속 오차범위 RMSE 2.0이하, IOA 0.6 이상, 기온 IOA 0.8 이상이 추천범위임.

- 서산기상대를 포함한 충남지역 기상대 풍속의 RMSE, IOA, 기온 IOA 분석. 분석대상 기간의 풍속 시계열 분포와 관측값과의 패턴 분석
- 서산기상대 기온 IOA는 0.98, 풍속 IOA는 0.85를 나타내고 있으며, 그외 기온 IOA는 0.95 ~ 0.98, 풍속 IOA는 0.65 ~ 0.85를 보여주고 있어 Emery and Tai(2001) 추천범위에 모두 들어오는 것을 분석었으며, 모델결과가 관측값과 유사한 패턴으로 나타나고 있음.

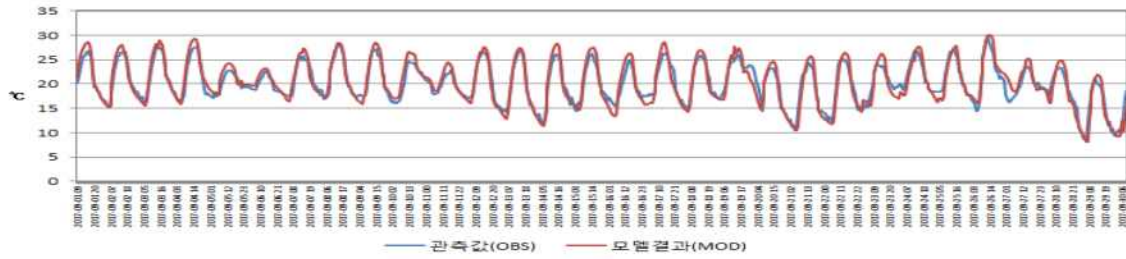
표 100 현황관측값과 기상모델값의 통계분석결과(2017년 9월)

기상대	항 목	NMB	MNGE	RMSE	IOA	R
서산 기상대	기 온	-1.2	5.1	1.3	0.98	0.96
	풍 속	-20.3	109.0	0.9	0.85	0.76
홍성 기상대	기 온	1.0	5.6	1.4	0.97	0.96
	풍 속	58.6	151.8	1.4	0.67	0.60
천안 기상대	기 온	2.2	5.6	1.3	0.98	0.97
	풍 속	71.4	232.5	1.5	0.65	0.54
부여 기상대	기 온	7.6	8.7	1.8	0.96	0.98
	풍 속	71.3	211.2	1.3	0.71	0.67
보령 기상대	기 온	-1.7	6.9	1.7	0.95	0.94
	풍 속	65.3	168.3	1.6	0.66	0.57

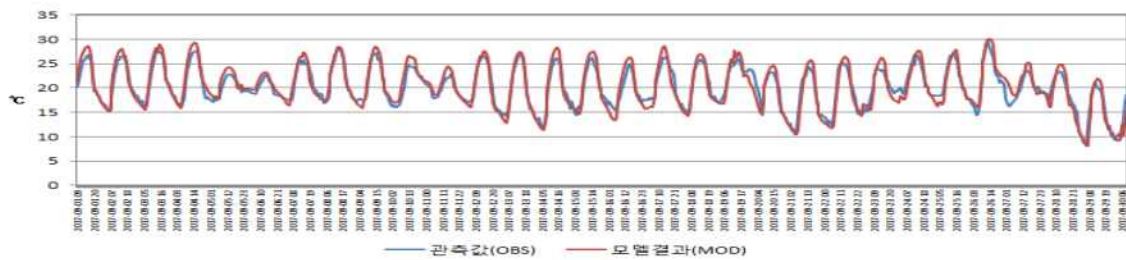
서산기상대



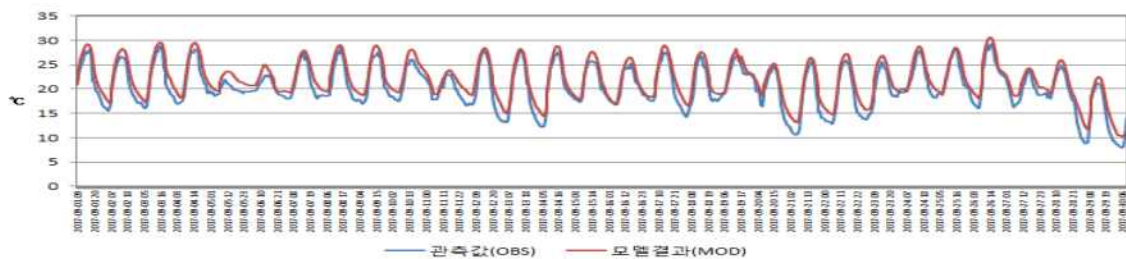
홍성기상대



천안기상대



부여기상대



보령기상대

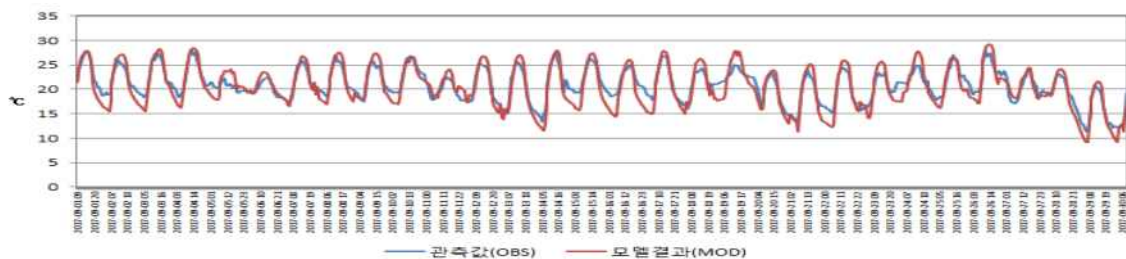
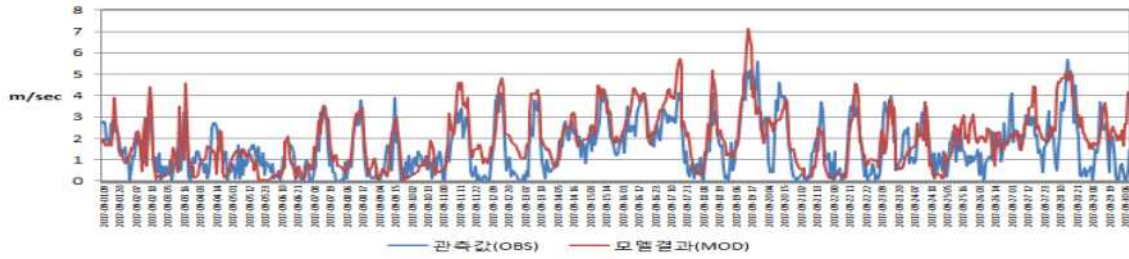
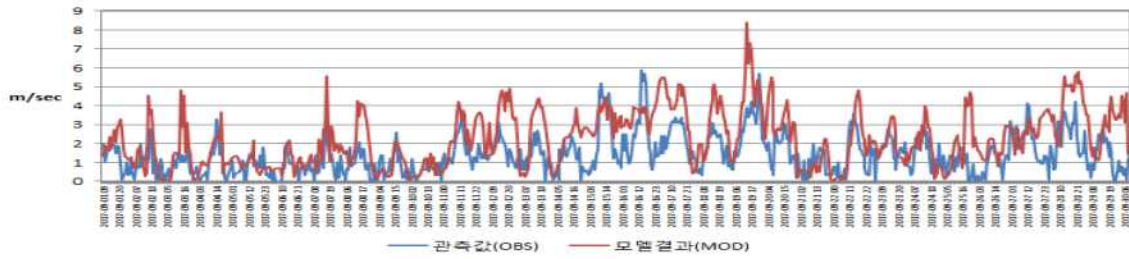


그림 132 기온 관측값과 모델결과 시계열분포(2017년 9월)

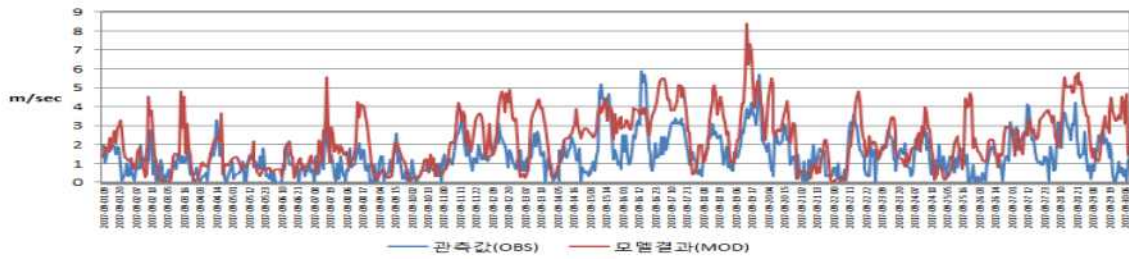
서산기상대



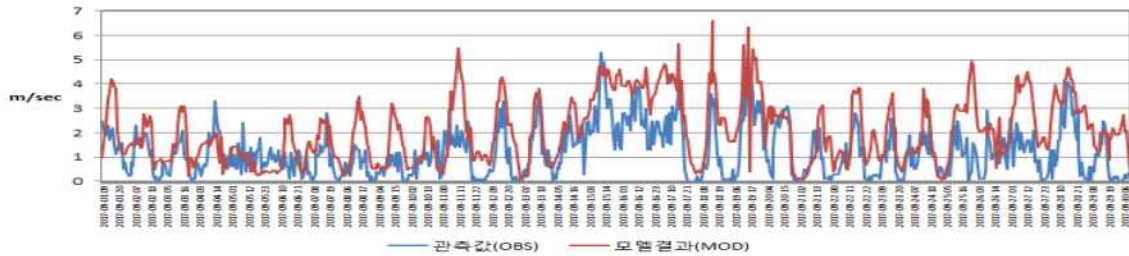
홍성기상대



천안기상대



부여기상대



보령기상대



그림 133 풍속 관측값과 모델결과 시계열분포(2017년 9월)

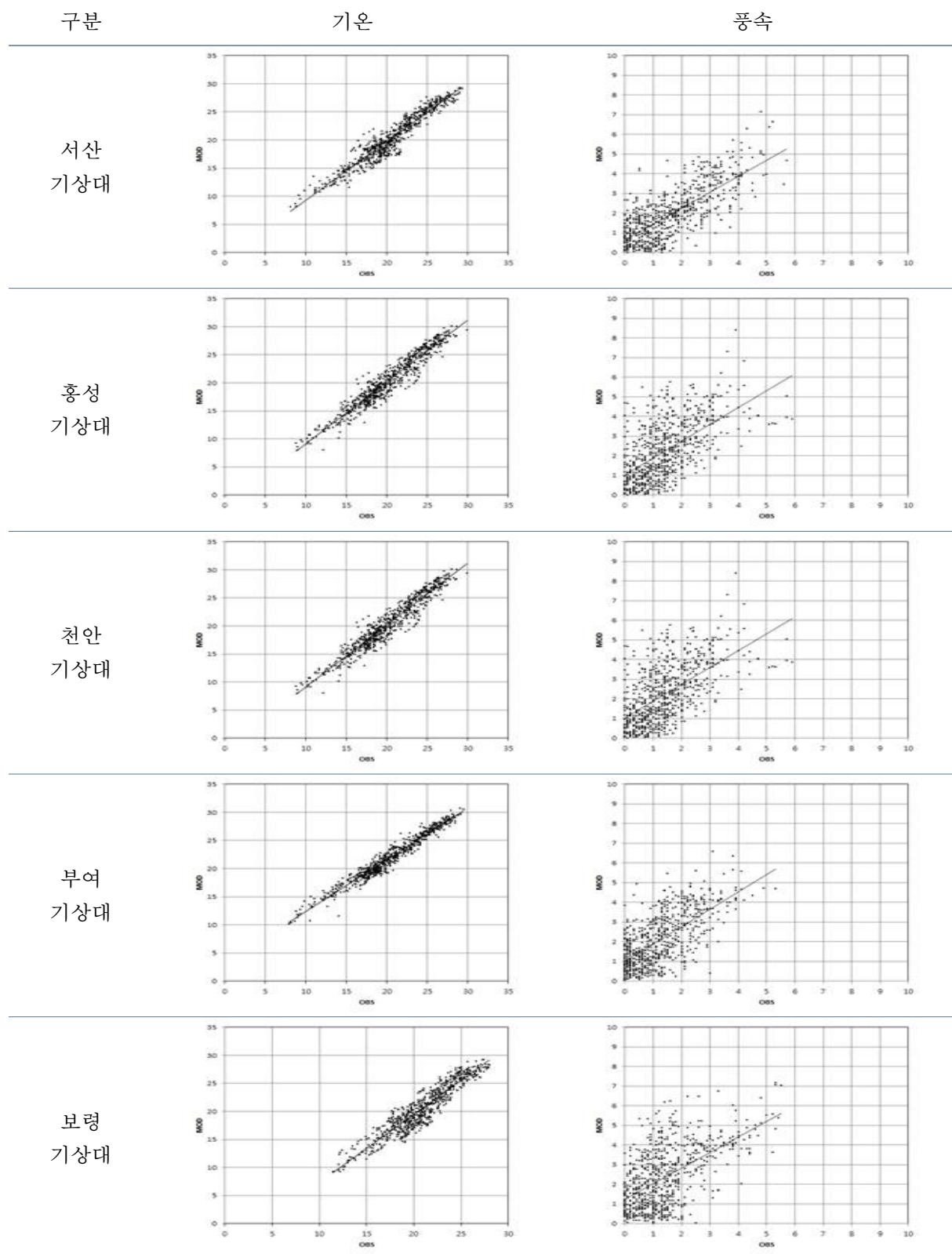


그림 134 기온 관측값과 모델결과 상관성분석(2017년 9월)

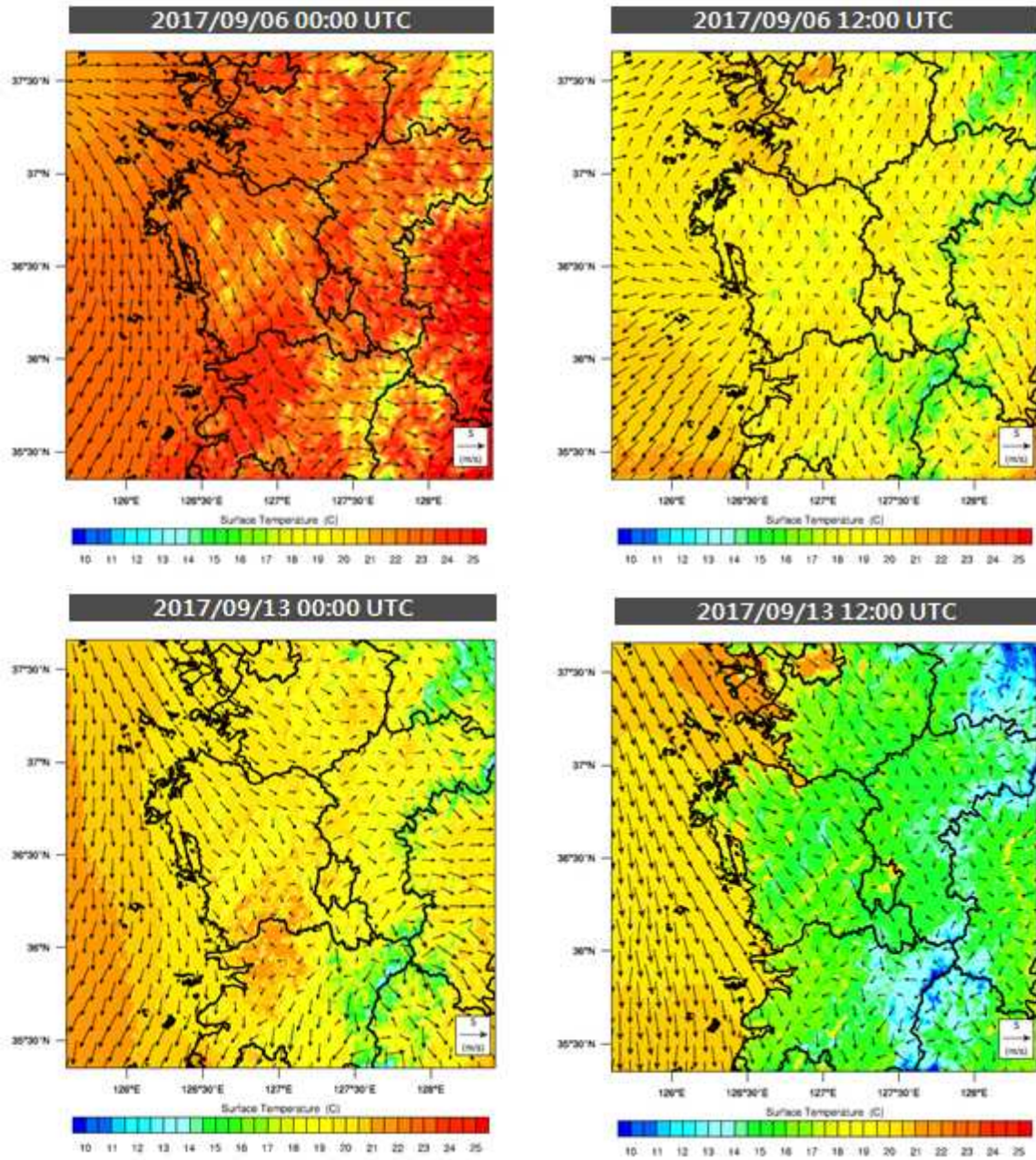


그림 135 기상모델 결과(2017년 9월)

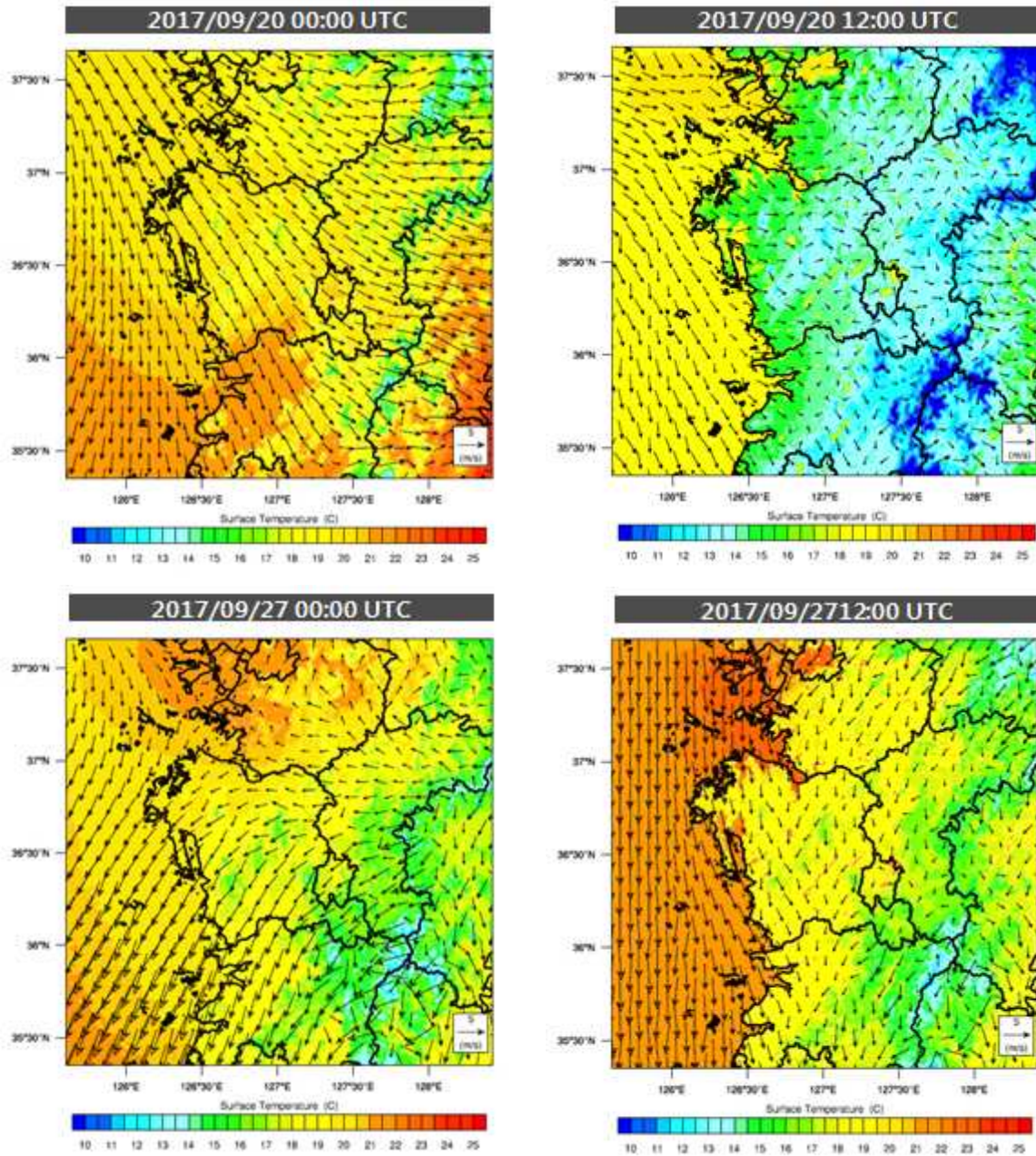


그림 136 기상모델 결과(2017년 9월) 계속

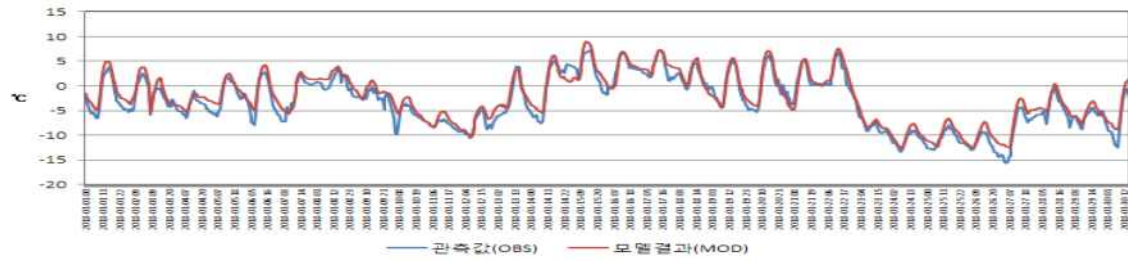
□ 2018년 1월 기상모델링 결과

- 충남 지역의 기상대 측정지점을 이용하여 2018년 1월 1일부터 1월 31일까지 온도, 풍속 관측값과 수치모델 결과 비교. 관측값과 수치모델결과의 평균제곱근오차(RMSE), 일치도 지수(IOA) 상관계수(R) 분석
- 충남지역 기상대 풍속의 RMSE, IOA, 기온 IOA 분석. 분석대상 기간의 풍속 시계열 분포와 관측값과의 패턴 분석
- 기온 IOA는 0.98 ~ 0.99, 풍속 IOA는 0.62 ~ 0.81를 보여주고 있어 Emery and Tai(2001) 추천범위에 모두 들어오는 것을 분석었으며, 모델결과가 관측값과 유사한 패턴으로 나타나고 있음

표 101 현황관측값과 기상모델값의 통계분석결과(2018년 1월)

기상대	항 목	NMB	MNGE	RMSE	IOA	R
서산 기상대	기 온	-29.8	-5.5	1.4	0.98	0.98
	풍 속	-72.1	265.0	1.9	0.74	0.72
홍성 기상대	기 온	-27.6	-6.7	1.6	0.98	0.97
	풍 속	95.6	290.1	1.7	0.62	0.57
천안 기상대	기 온	-9.1	-11.68	1.4	0.98	0.97
	풍 속	41.1	155.5	1.0	0.81	0.74
부여 기상대	기 온	-20.6	-4.3	1.3	0.99	0.98
	풍 속	55.3	195.5	1.2	0.73	0.63
보령 기상대	기 온	-29.1	-10.3	1.3	0.98	0.98
	풍 속	73.8	193.9	1.6	0.64	0.61

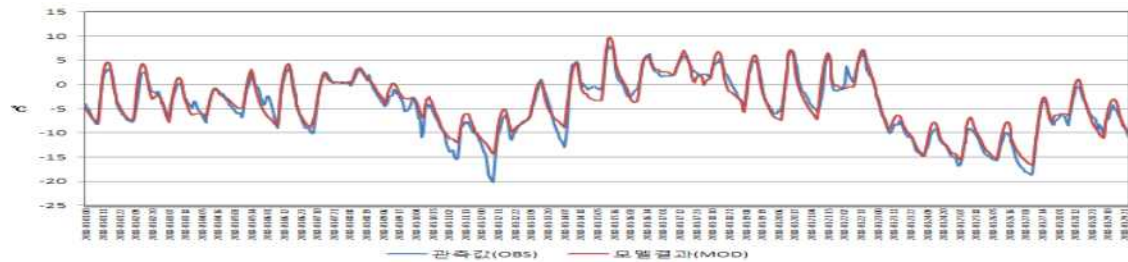
서산기상대



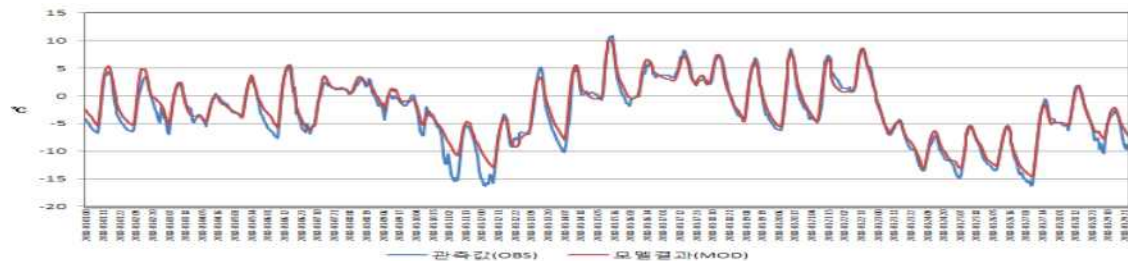
홍성기상대



천안기상대



부여기상대



보령기상대

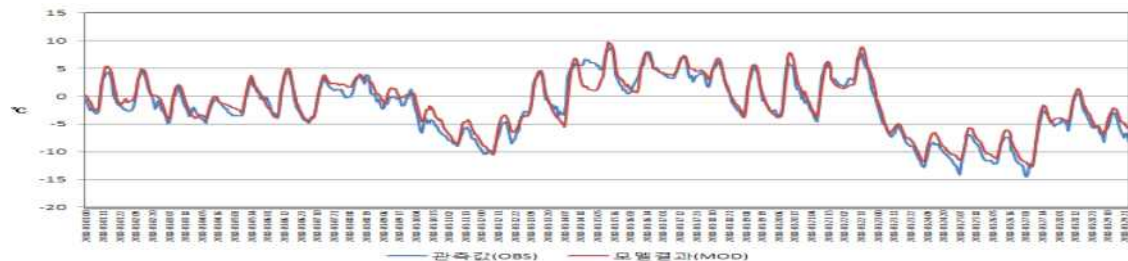
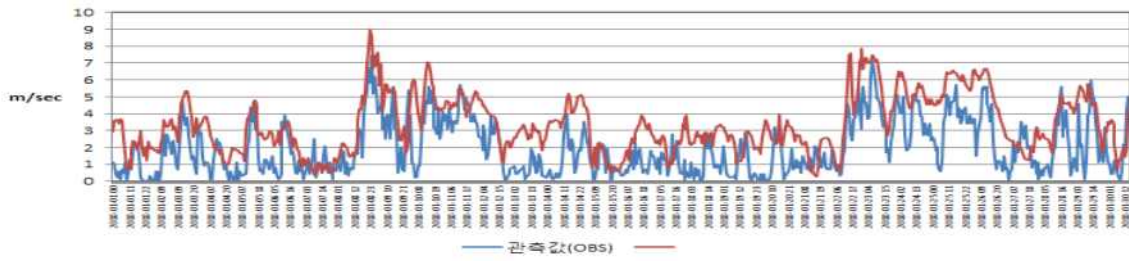
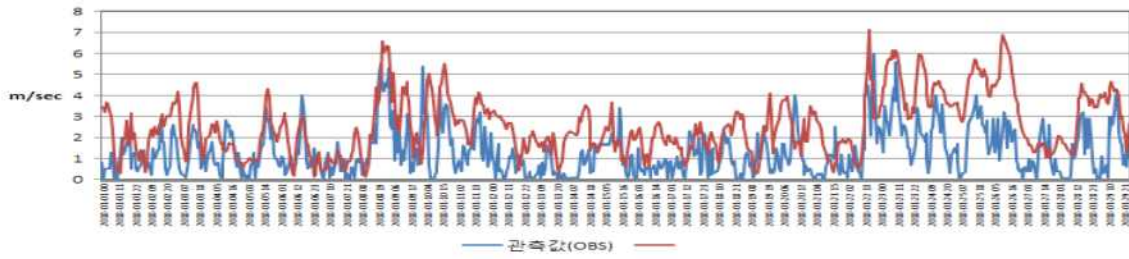


그림 137 기온 관측값과 모델결과 시계열분포(2018년 1월)

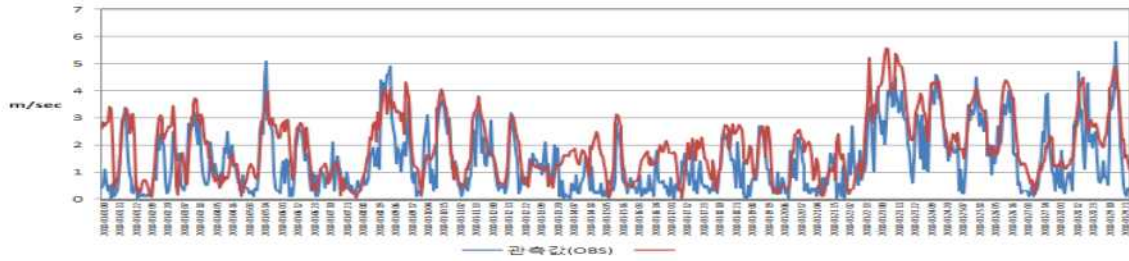
서산기상대



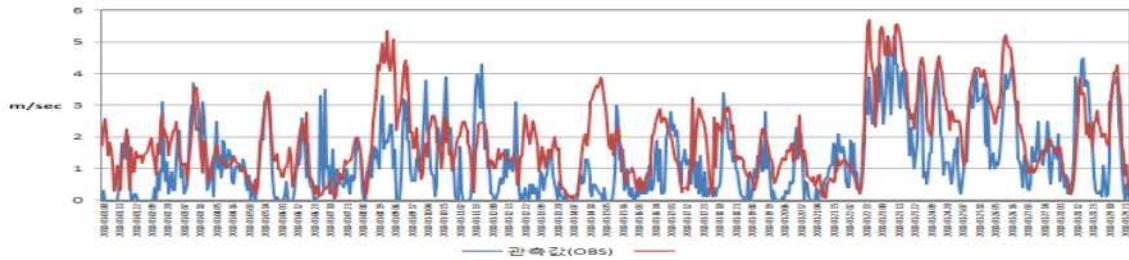
홍성기상대



천안기상대



부여기상대



보령기상대



그림 138 풍속 관측값과 모델결과 시계열분포(2018년 1월)

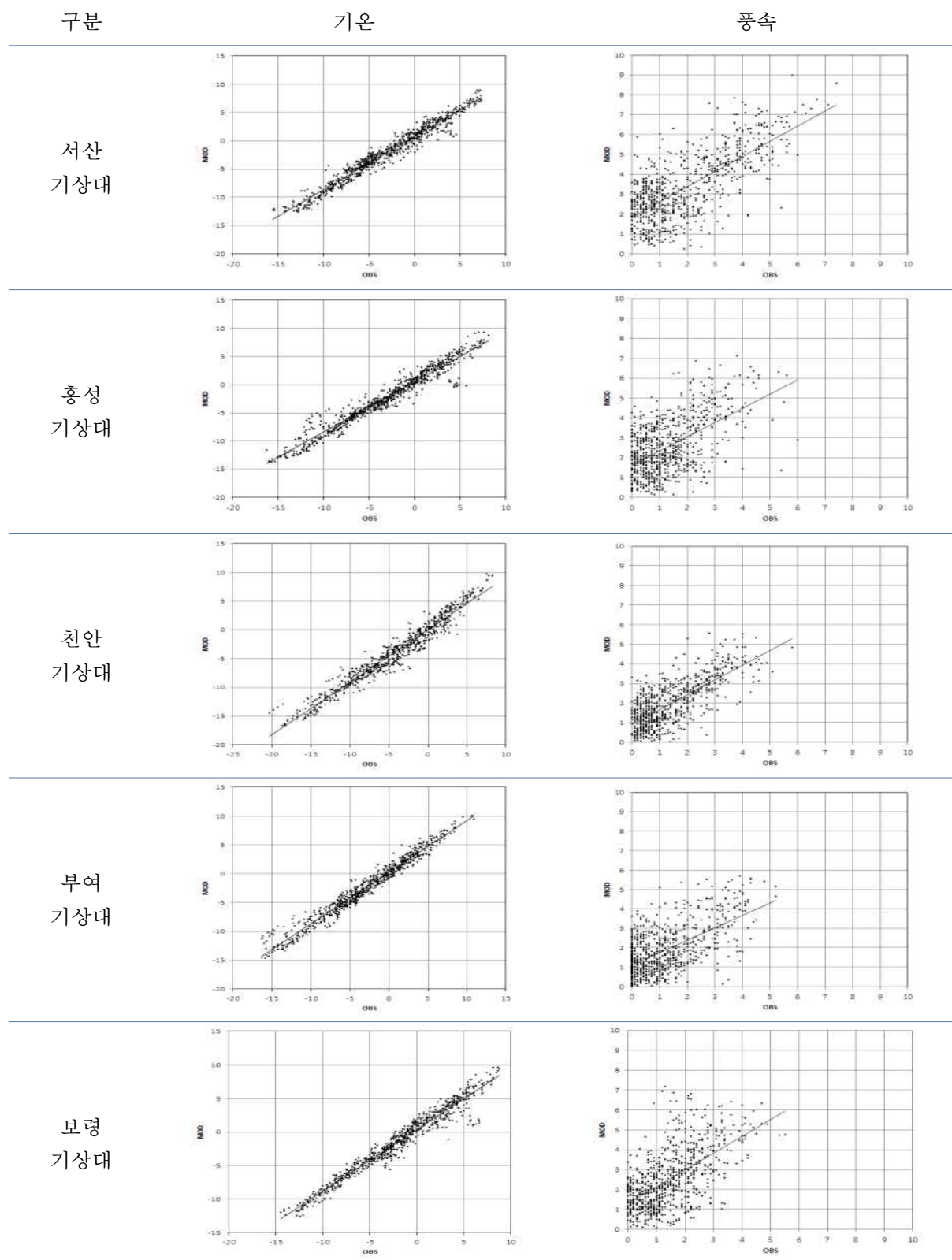


그림 139 기온 관측값과 모델결과 상관성분석(2018년 1월)

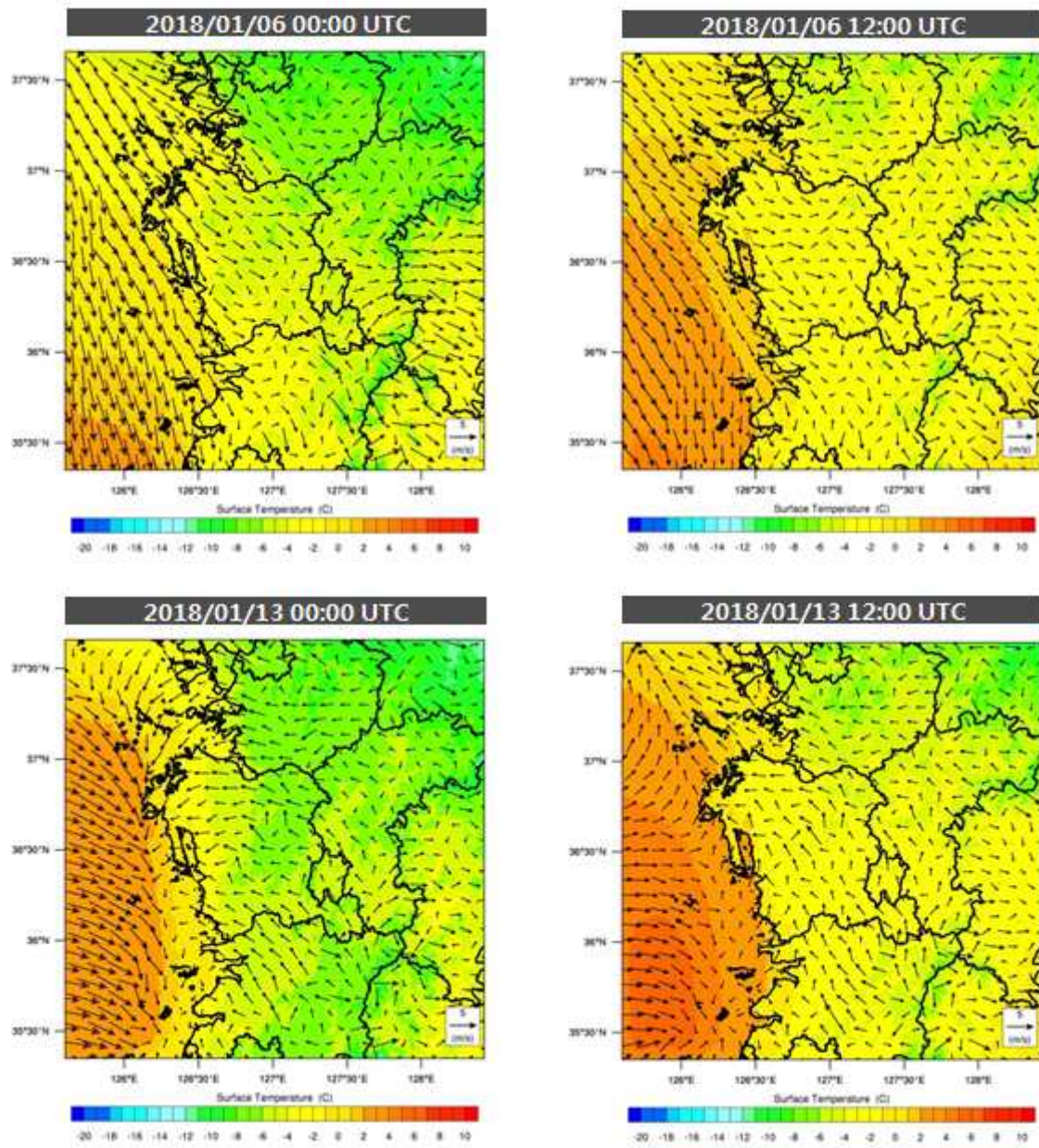


그림 140 기상모델 결과(2018년 1월)

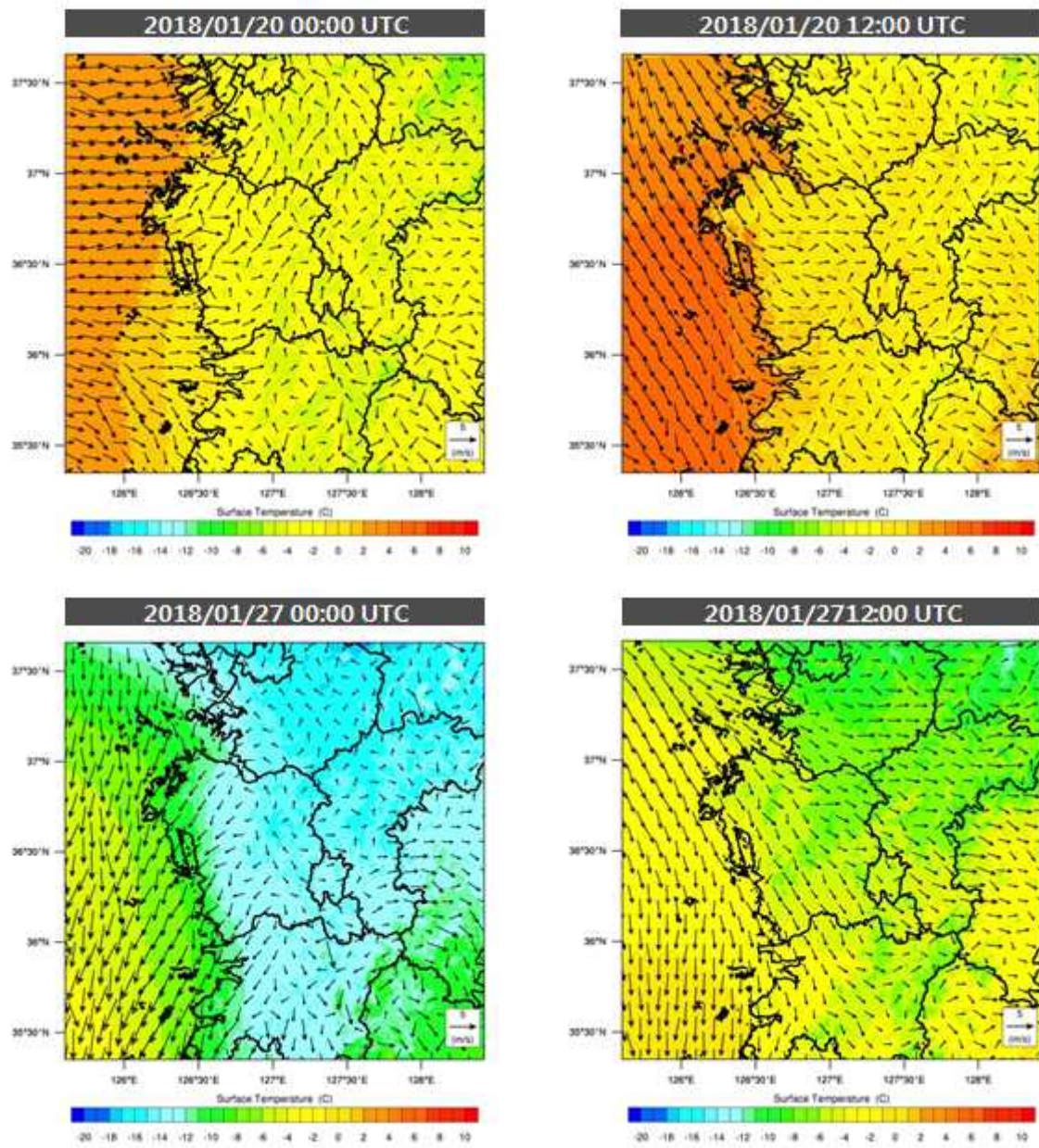


그림 141 기상모델 결과(2018년 1월) 계속

3.2 PM10 모델링 수행결과

□ 예비모델 결과

- 서산시 대기오염도 측정망을 대상으로 2017년 9월 1일부터 9월 30일까지 PM10 일평균 관측값과 수치모델 결과 비교. 측정망 수치모델결과와 관측값의 IOA, RMSE, 상관계수(R) 분석한 결과, 모델결과와 관측값의 유사성 검토

표 102 PM10 관측값과 수치모델 값의 통계분석결과

항목	지점	NMB	MNGE	RMSE	IOA	R
PM10	서산	-13.5	18.8	12.7	0.68	0.85

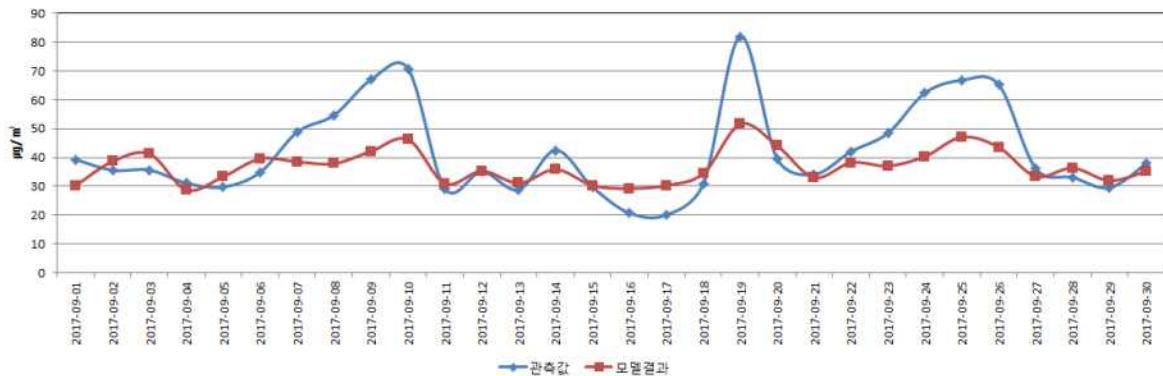


그림 142 PM10 관측값과 모델결과 시계열분포

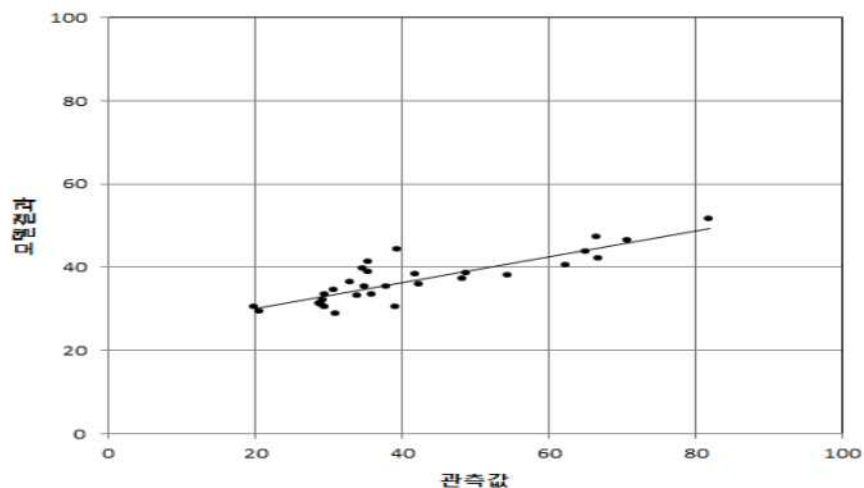


그림 143 PM10 관측값과 모델결과 상관성분포

- 2017년 9월 중 관측값과 모델결과의 유사성이 높은 19일 0시 ~ 20일 06시 모델결과
6시간 간격 PM10 확산분포 특성 파악

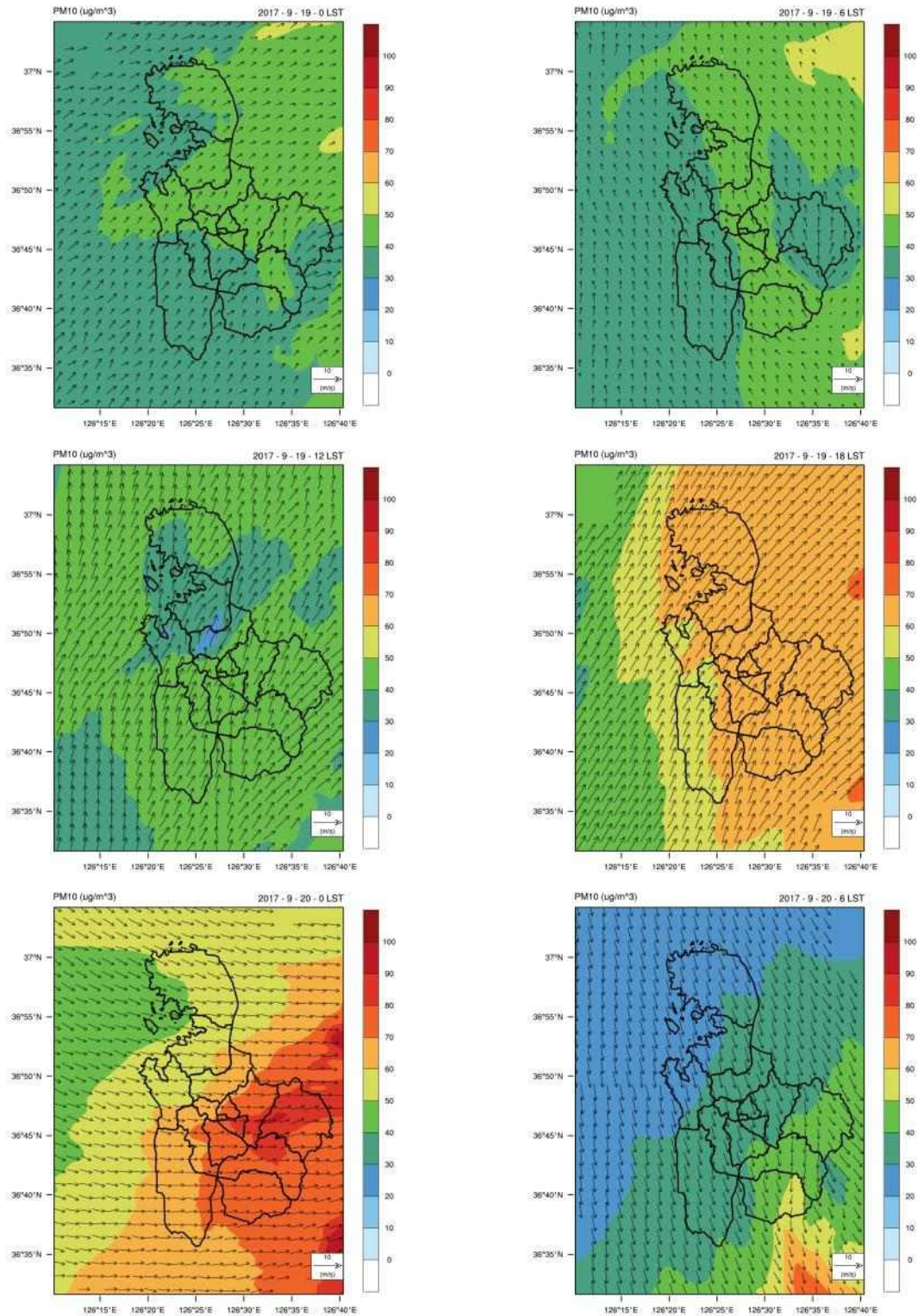


그림 144 모델결과 PM10 확산분포도(2017년 9월)

□ 2018년 4월 모델결과 검증

- 2018년 서산 독곶리 측정소에서 관측한 대기질 자료와 2018년 4월 1일 ~ 4월 30일까지 PM10 및 PM2.5 수치모델결과와 결과 비교. 측정망 수치모델결과와 관측값의 IOA, RMSE, 상관계수(R) 분석한 결과, 모델결과와 관측값의 유사성 검토

표 103 관측값과 수치모델 값의 통계분석결과(2018년 4월)

시기	항목	NMB	MNGE	RMSE	IOA	R
2018.04	PM10	0.1	15.79	12.74	0.93	0.91
	PM2.5	0.8	36.65	5.50	0.93	0.91

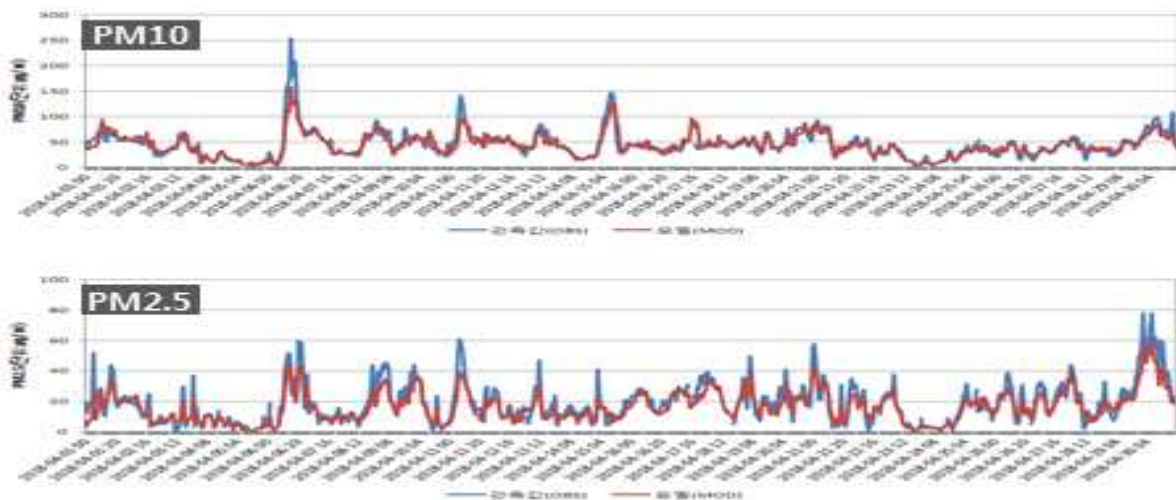


그림 145 2018년 4월 관측값과 모델결과 시계열분포

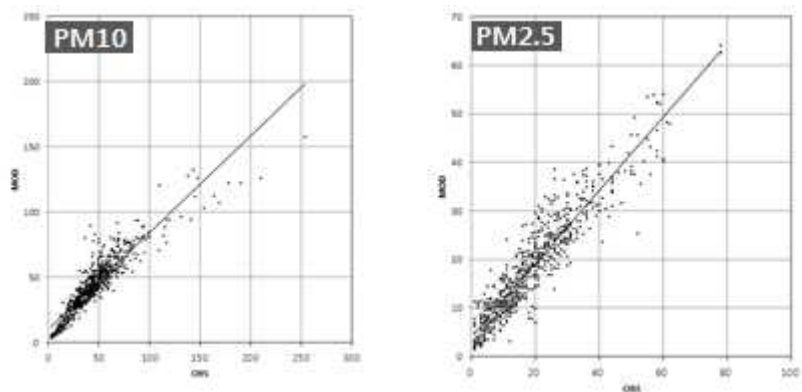


그림 146 PM10 관측값과 모델결과 상관성 분석(2018년 4월)

□ 2018년 년간 대기질 모의결과

• PM2.5 모의 결과

연구대상지역의 지점별 연간 모의결과를 살펴보면 연평균 결과 오지리 지점이 $19.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 모의 되었으며, 대로리에서 $17.52\mu\text{g}/\text{m}^3$ 모의되어 전지점 모두 P2.5 대기환경기준(연평균 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 상회하는 것으로 모의되었음

표 104 PM2.5 연간 모델링 결과(2018년)

월	대죽리	화곡리	대로리	오지리	대산리
01	27.74	26.67	27.29	29.08	26.46
02	25.87	26.45	25.44	27.11	26.24
03	23.65	23.84	22.91	27.19	23.70
04	16.07	16.10	15.68	17.97	17.26
05	14.78	15.28	14.55	15.52	15.17
06	19.58	20.30	19.26	20.52	20.14
07	12.81	12.97	12.60	13.43	12.87
08	13.26	13.66	13.04	13.90	13.55
09	8.74	9.01	8.60	9.16	8.94
10	13.33	13.51	13.11	13.97	13.40
11	22.99	24.14	22.61	24.09	23.95
12	15.97	17.29	15.71	16.74	17.15
평균	17.85	18.21	17.52	19.00	18.18

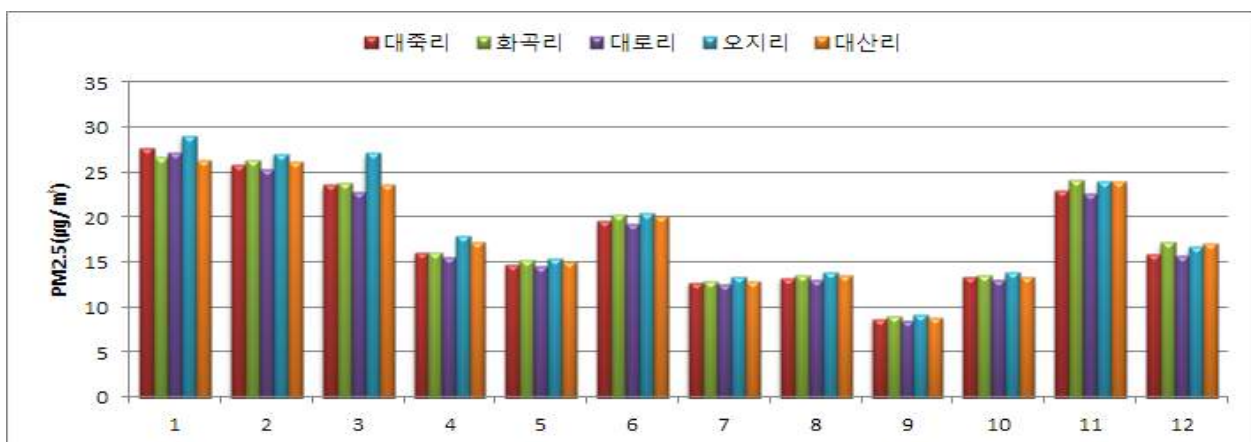


그림 147 지점별 PM2.5 모델링 결과

- PM10 모의 결과

연구대상지역의 지점별 연간 모의결과를 살펴보면 연평균 결과 오지리 지점이 $40.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 모의 되었으며, 대로리에서 $36.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 모의되어 전지점 모두 PM10 대기환경기준(연평균 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)을 만족하는 것으로 모의되었음

표 105 PM10 연간 모델링 결과(2018년)

월	대죽리	화곡리	대로리	오지리	대산리
1	46.69	45.3	45.46	50.4	45.2
2	46.65	47.1	45.42	50.35	47
3	40.39	40.67	38.99	49.22	41.28
4	43.29	43.46	41.55	50.74	46.94
5	38	41.29	37.01	41.08	41.22
6	31.33	34.83	30.5	33.81	34.75
7	22.5	24.71	21.91	24.29	24.66
8	29.35	31.37	28.58	31.68	31.3
9	23.59	25.07	22.97	25.46	25.02
10	31.32	31.61	30.5	33.81	31.54
11	51.18	53.57	49.83	55.24	53.45
12	37.11	39.82	36.13	40.06	39.73
평균	36.70	38.15	35.65	40.42	38.42

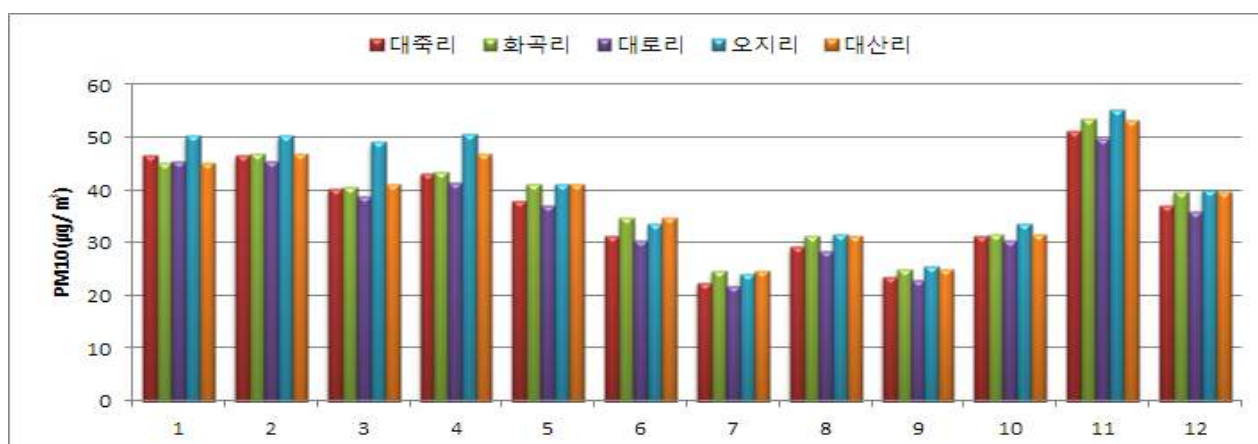


그림 148 지점별 PM10 모델링 결과

□ 2018년 1월 미세먼지 주의보 발령시 모의결과

- 2018년 1월 PM10 및 PM2.5 주의보 발령시(2018년 1월 20일 20시 발령, 1월 21일 08시 해제)모의한 결과 전반적으로 모델링 결과와 측정결과가 유사한 추세를 보여주고 있으며, 시간별 모의결과 측정값을 그림과 같이 비교하였음.

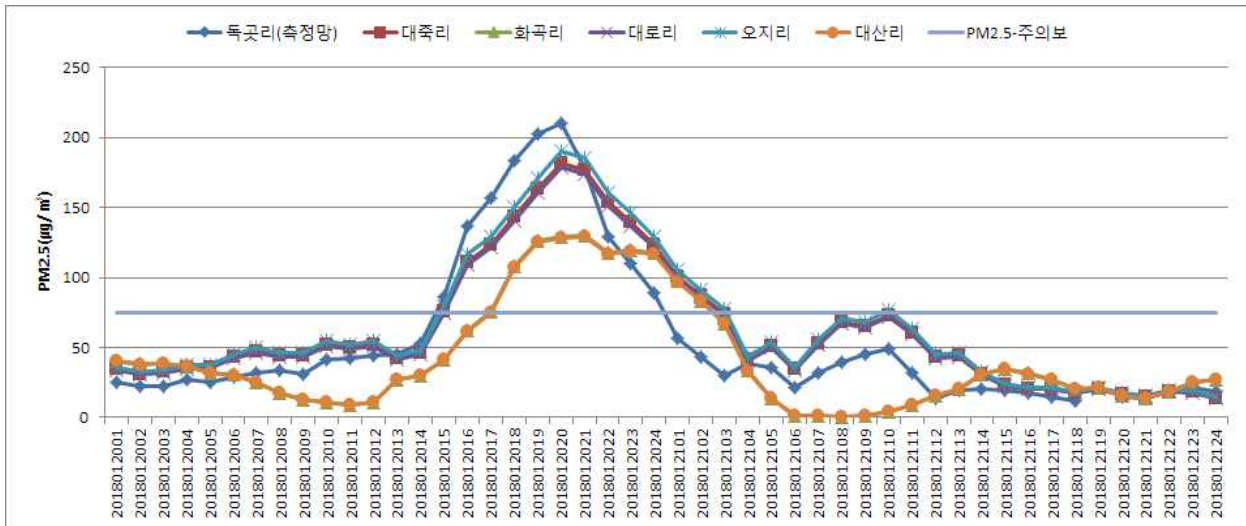


그림 149 지점별 시간별 PM2.5 모델링 결과(2018년 1월)

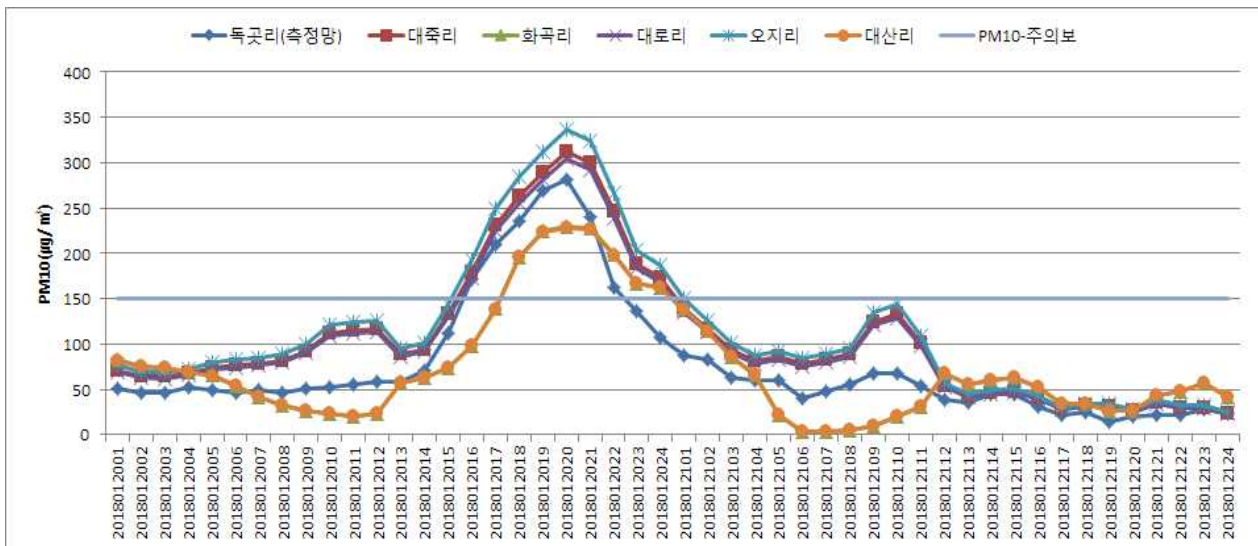


그림 150 지점별 시간별 PM10 모델링 결과(2018년 1월)

미세먼지 주의보 발령시의 2018년 1월 20일 12시 부터 21일 03시까지 3시간별 PM10 및 PM2.5 오염도 공간 분포 현황 그림과 같이 표현하였음.

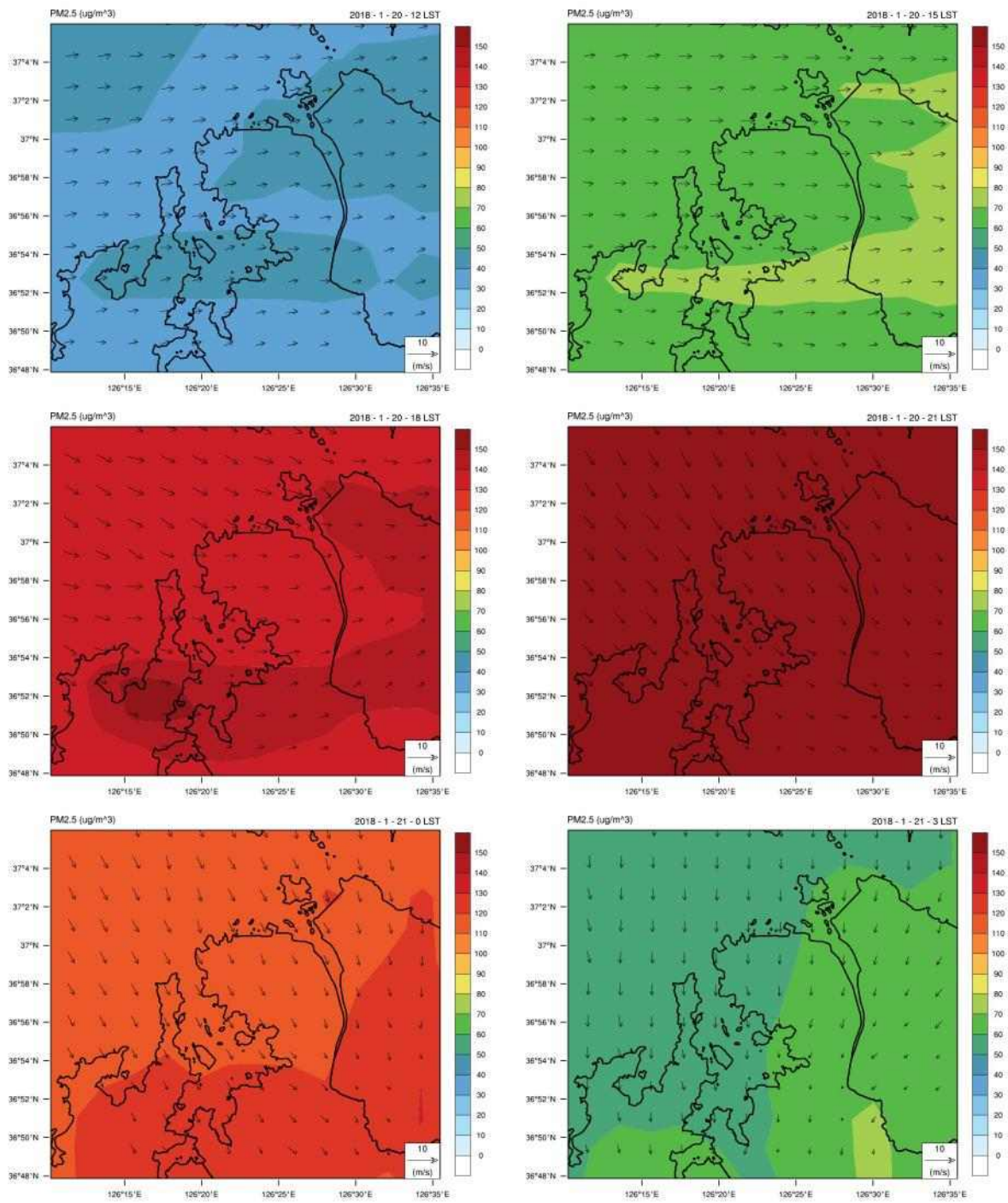


그림 151 PM2.5 모델링 결과(2018년 1월)

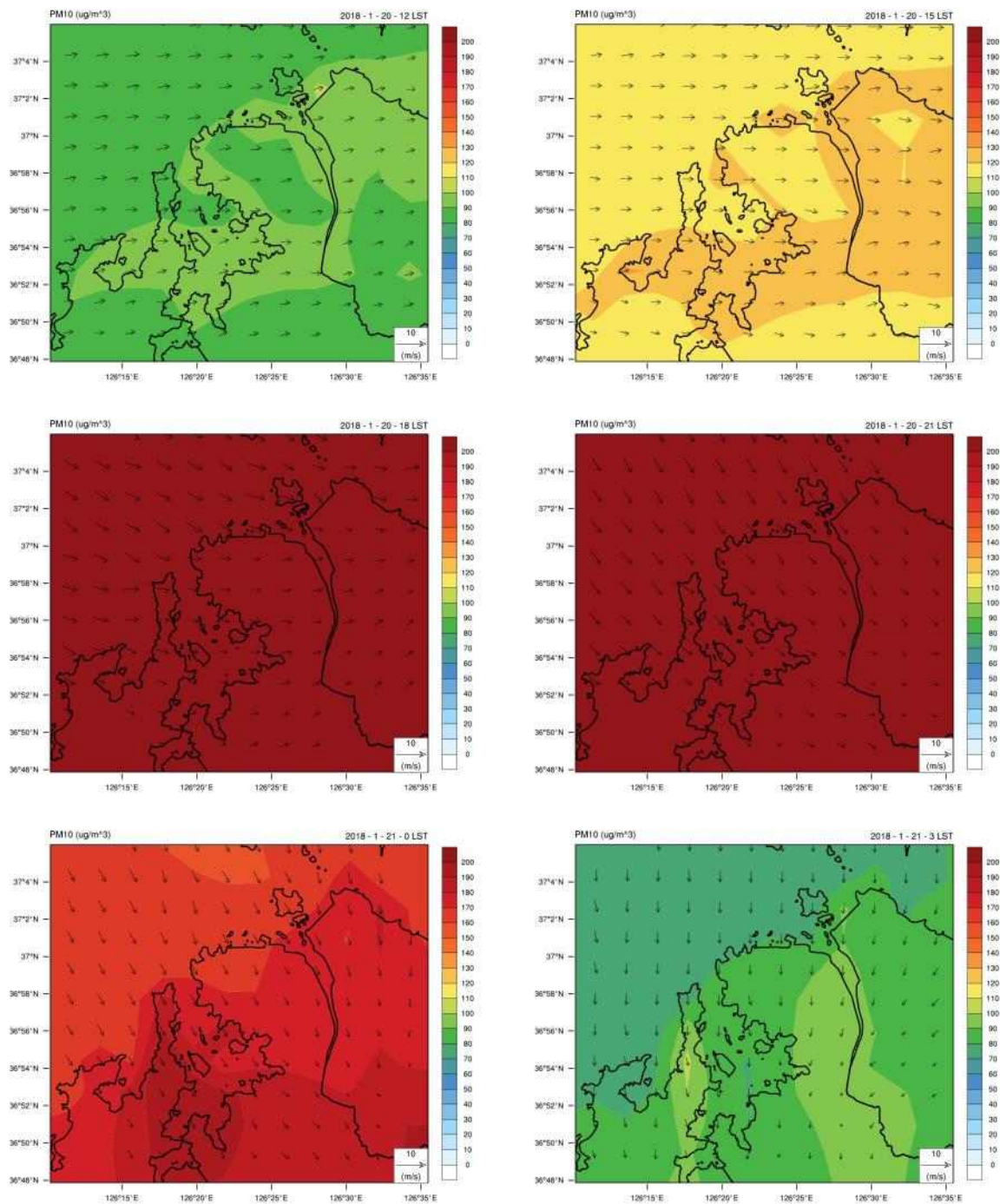


그림 152 PM10 모델링 결과(2018년 1월)

3.3 화학물질 모델링 결과

3.3.1 화학물질 모델링 운영 개요

- 화학물질 모델링 운영은 앞절에서 산정한 배출량 중 건강영향평가 관련 주요 물질에 대하여 모델링을 수행하였다. 모델링의 운영 개요는 그림과 같음.
- 모델링 적용 화학물질은 1,3-부타디엔, n-헥산, 벤젠, 톨루엔, 포름알데하이드, 니켈 및 그화합물 6개 물질에 대하여 연간 1일 평균 농도 값에 대하여 모델링을 수행함.
- 지표기상자료는 서산기상대(2018년), 고층자료는 오산기상대(2018년)를 적용하였으며, 지형자료는 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission) 1초 간격(약 30m)자료, 토지피복도 자료는 환경부 토지피복도 중분류자료를 적용함
- 모델링 결과는 측정지점별 측정자료를 바탕으로 RRF(상대반응계수)를 적용하여 모델링결과에 반영하여 보정하여 계산하였음.

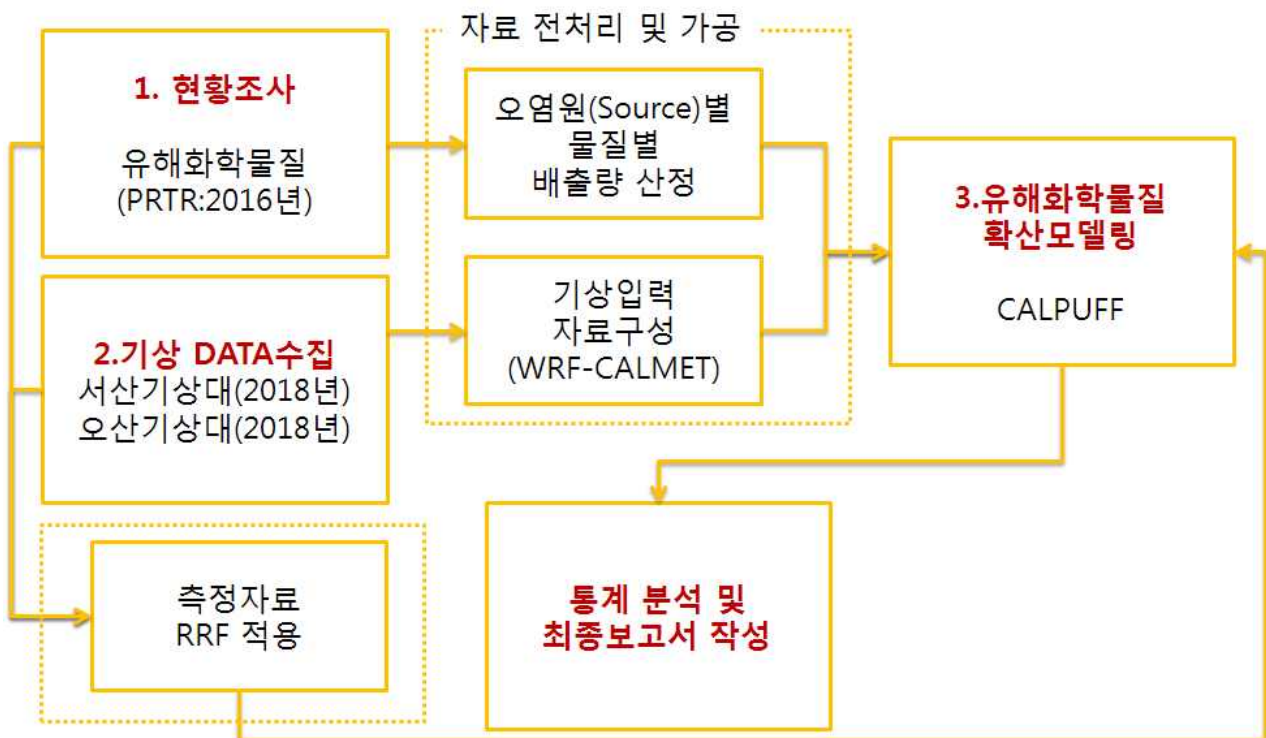


그림 153 화학물질 모델링 운영개요

3.3.2 화학물질 모델링 결과

□ 1,3-부타디엔

- 1,3-부타디엔 모의결과 1일평균 최대 농도는 대죽리 지점 $2.95\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 모의 되었으며, 연평균 $5.64\text{E}-02 \sim 3.42\text{E}-01\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났음.

표 106 1,3-부타디엔 모델링 결과

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
구분	대죽리	화곡리	대로리	오지리	대산리
연간평균	3.42E-01	6.87E-02	1.50E-01	5.90E-02	5.64E-02
표준편차	4.82E-01	1.28E-01	2.23E-01	1.38E-01	8.54E-02
1일 최대평균	2.95E+00	7.89E-01	1.33E+00	1.04E+00	5.48E-01

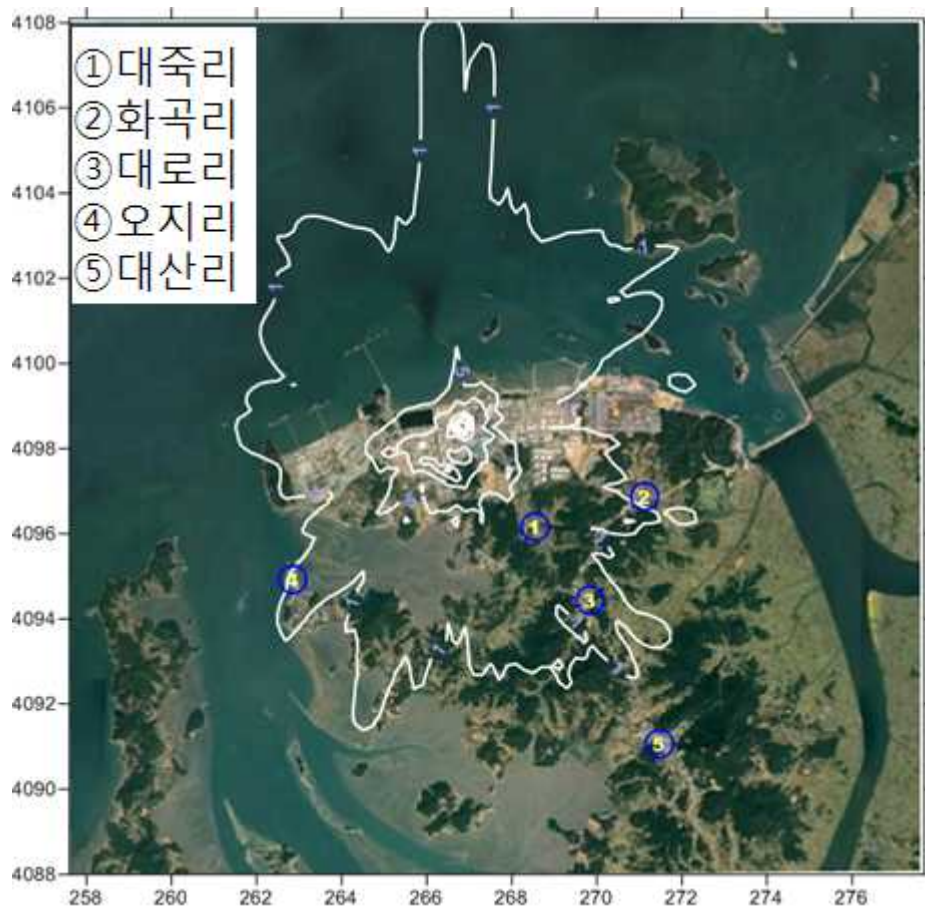


그림 154 1,3-부타디엔 공간분포(24시간 평균 최대값)

□ 핵산

- 핵산 모의결과 1일평균 최대 농도는 대죽리 지점 $1.20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 모의 되었으며, 연평균 $3.07\text{E}-02 \sim 1.34\text{E}-01\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났음.

표 107 핵산 모델링 결과

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분	대죽리	화곡리	대로리	오지리	대산리
연간평균	1.34E-01	3.87E-02	6.53E-02	3.07E-02	3.33E-02
표준편차	1.82E-01	5.39E-02	8.63E-02	6.45E-02	4.18E-02
1일 최대평균	1.20E+00	3.14E-01	4.88E-01	5.49E-01	2.45E-01

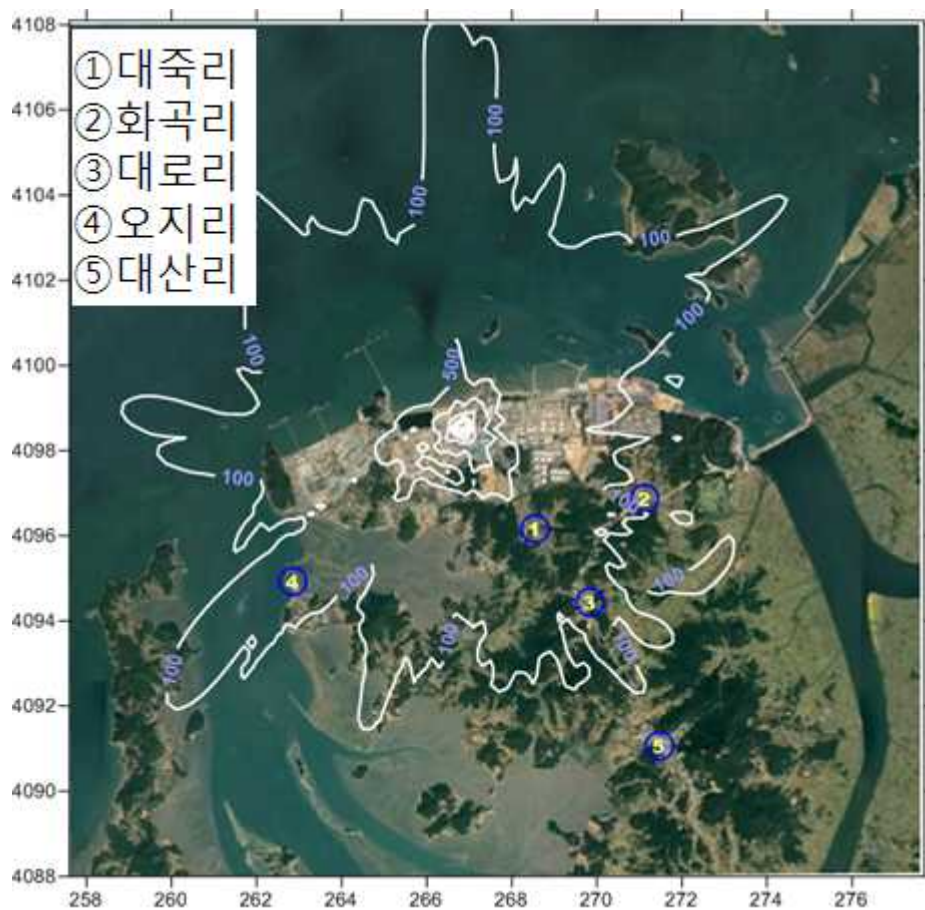


그림 155 핵산 공간분포(24시간 평균 최대값)

□ 벤젠

- 벤젠 모의결과 1일평균 최대 농도는 대죽리 지점 $35.60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 모의 되었으며, 연평균 $1.37 \sim 4.79\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났음.

표 108 벤젠 모델링 결과

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분	대죽리	화곡리	대로리	오지리	대산리
연간평균	4.79E+00	1.70E+00	2.62E+00	1.37E+00	1.39E+00
표준편차	5.95E+00	2.47E+00	3.14E+00	2.83E+00	1.69E+00
1일 최대평균	3.56E+01	1.36E+01	1.73E+01	2.26E+01	8.58E+00

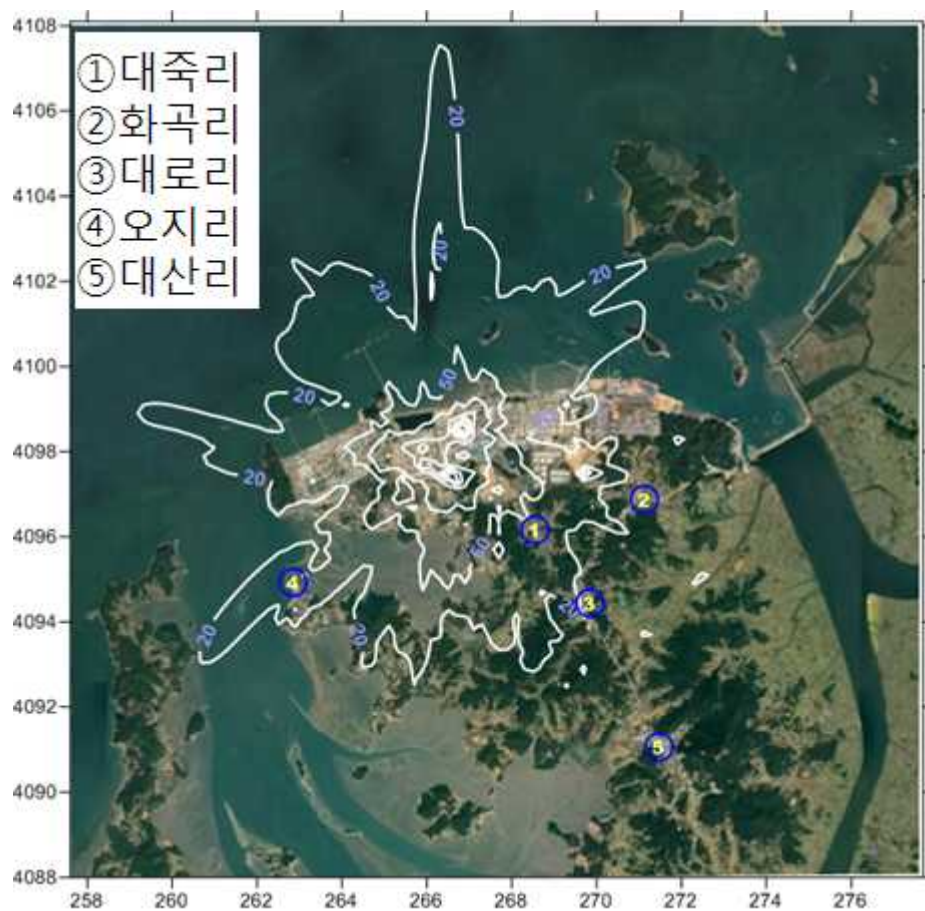


그림 156 벤젠 공간분포(24시간 평균 최대값)

□ 톨루엔

- 톨루엔 모의결과 1일평균 최대 농도는 대죽리 지점 $24.50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 모의 되었으며, 연평균 $2.47 \sim 4.65\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났음.

표 109 톨루엔 모델링 결과

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분	대죽리	화곡리	대로리	오지리	대산리
연간평균	4.65E+00	2.69E+00	3.25E+00	2.47E+00	2.49E+00
표준편차	3.81E+00	1.42E+00	2.02E+00	1.64E+00	1.04E+00
1일 최대평균	2.45E+01	1.01E+01	1.32E+01	1.40E+01	7.32E+00

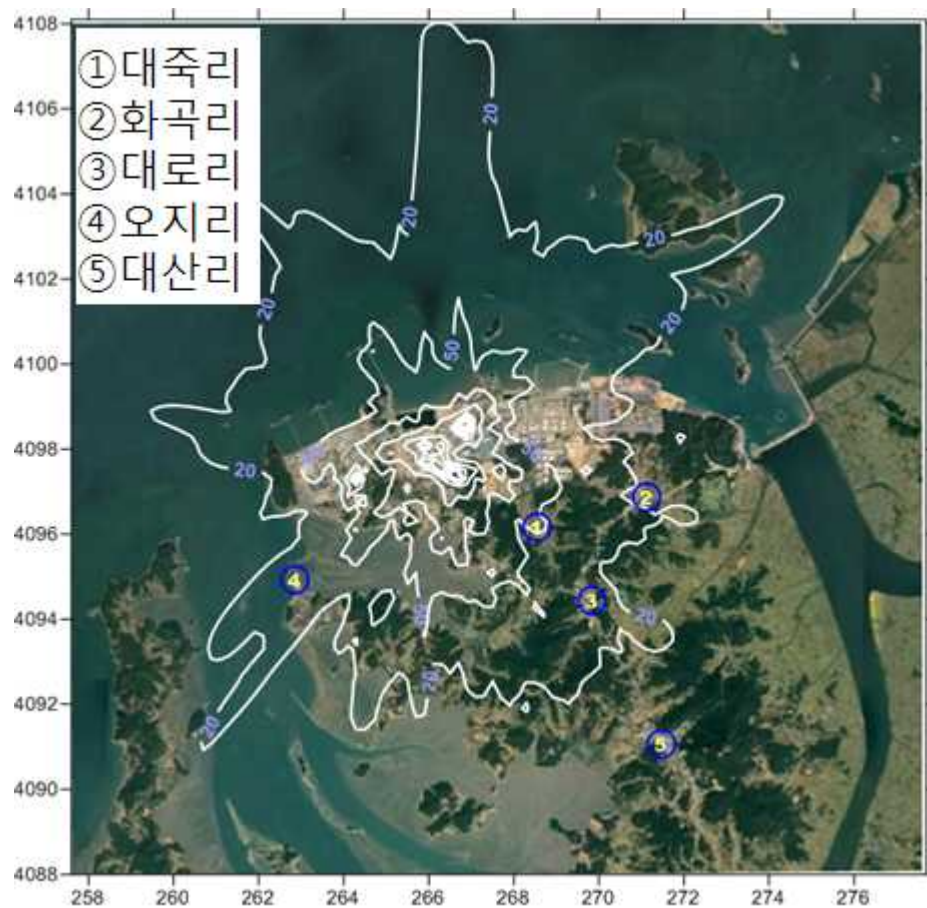


그림 157 톨루엔 공간분포(24시간 평균 최대값)

□ 포름알데히드

- 포름알데히드 모의결과 1일평균 최대 농도는 오지리 지점 $14.70\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 모의 되었으며, 연평균 $4.08\text{E}-03 \sim 1.01\text{E}-02\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났음.

표 110 포름알데히드 모델링 결과

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분	대죽리	화곡리	대로리	오지리	대산리
평균	$5.34\text{E}-03$	$4.19\text{E}-03$	$4.82\text{E}-03$	$1.01\text{E}-02$	$4.08\text{E}-03$
표준편차	$4.34\text{E}-03$	$1.77\text{E}-03$	$3.32\text{E}-03$	$1.72\text{E}-02$	$1.38\text{E}-03$
최대	$3.10\text{E}-02$	$1.26\text{E}-02$	$2.55\text{E}-02$	$1.47\text{E}-01$	$1.22\text{E}-02$

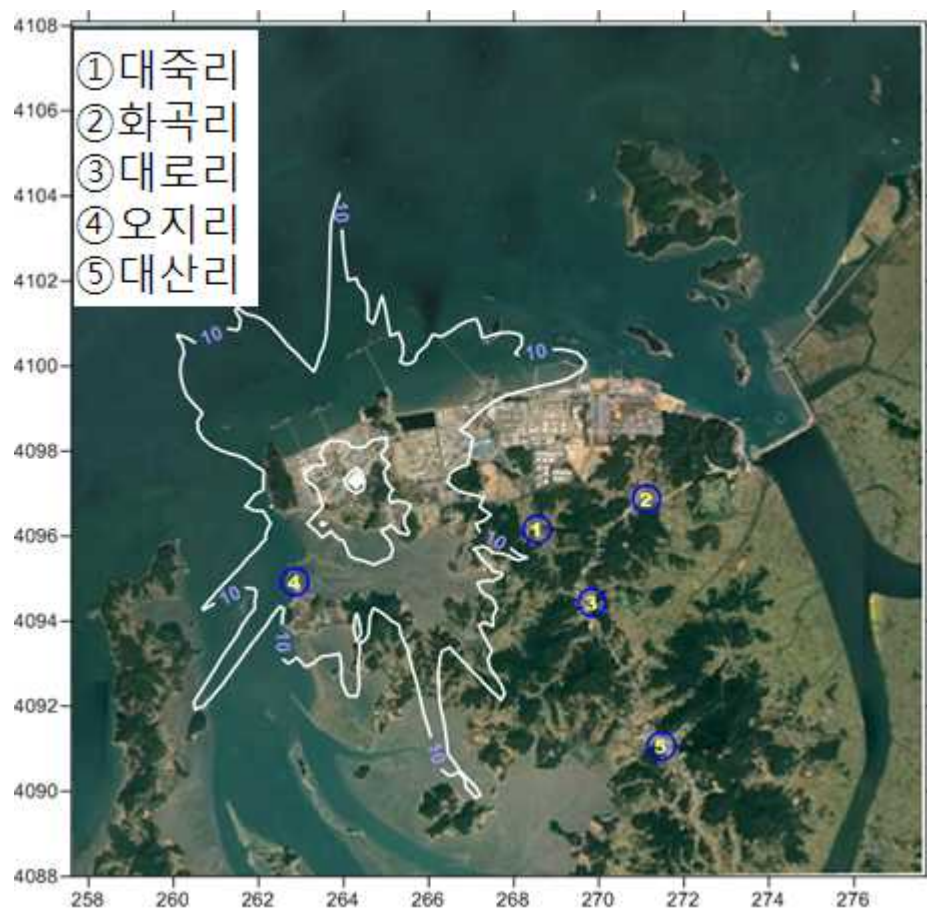


그림 158 포름알데히드 공간분포(24시간 평균 최대값)

□ 니켈 및 그 화합물

- 니켈 및 그 화합물에 대한 모의결과 대죽리에서 1일평균 최대 농도는 화곡리 지점 116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 모의 되었으며, 연평균 2.30 ~ 11.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났음.

표 111 니켈 및 그 화합물 모델링 결과

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

구분	대죽리	화곡리	대로리	오지리	대산리
평균	5.16E+00	1.13E+01	5.09E+00	2.30E+00	4.03E+00
표준편차	7.79E+00	1.54E+01	8.53E+00	4.37E+00	6.69E+00
최대	4.86E+01	1.16E+02	5.82E+01	2.79E+01	3.79E+01

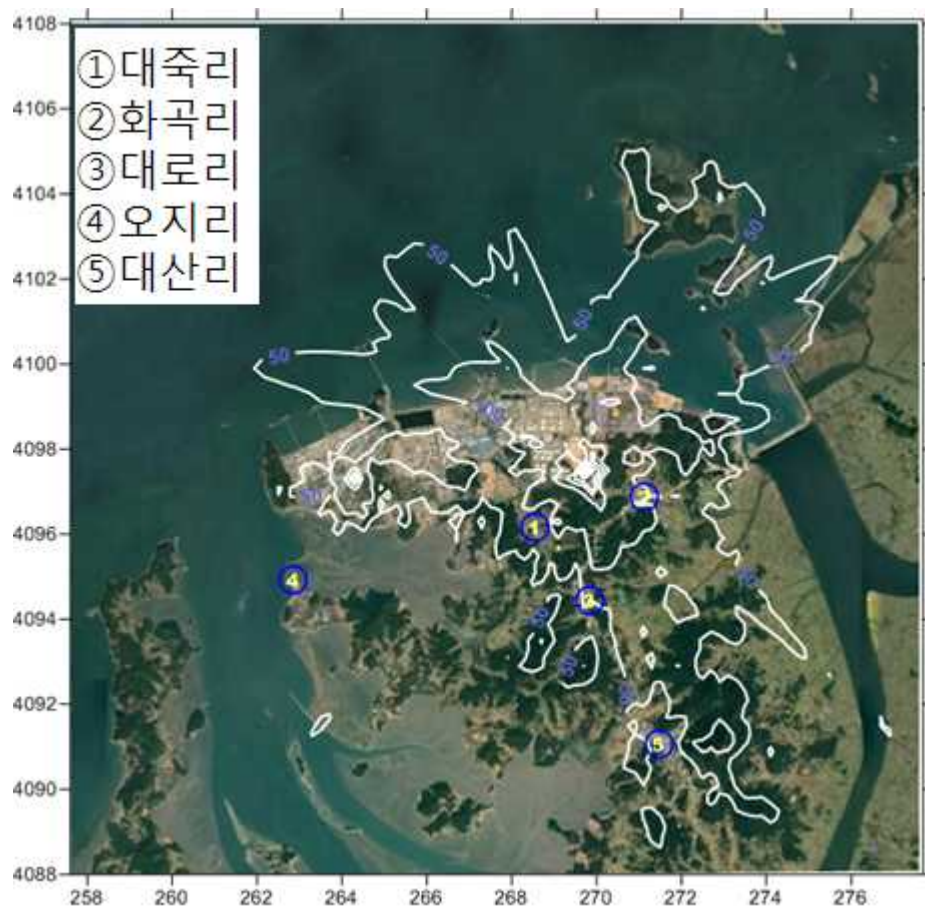


그림 159 니켈 및 그 화합물 공간분포(24시간 평균 최대값)

제 4 장 대기 위해성 평가

제 1 절 위해성평가 방법

- 인체 유해성이 높은 VOCs, Aldehyde류 및 중금속 성분은 장기적인 노출에 따라 인체 위해성이 증가함에 따라 대산지역 주민들의 건강에 악영향을 초래할 수 있음. 따라서 실제 측정된 결과를 이용하여 대기 중에 이러한 화합물이 배출되어 해당 지역에 주거 및 생활하는 주민의 건강영향을 예측 및 예방하기 위해서는 위해성 평가가 매우 중요한 요소로 고려됨
- 본 연구는 석유화학산업이 밀집된 대산석유화학단지 주변의 주민 건강 영향정도를 파악하고자 위해성 평가 방법을 조사 및 정리하였으며, 실제 분석을 통하여 각각의 유해성물질 및 발암물질을 대상으로 한 위해성 평가를 실시함
- 대상물질에 대하여 국·내외 역학연구자료 및 U.S. EPA, ACGIH, IARC의 독성연구자료가 확보된 물질을 바탕으로 대산산단에서 28일 동안에 걸쳐 측정한 유해대기오염물질(hazardous air pollutants, HAPs)에 대하여 지역 주민의 인체 건강 위해성 평가를 실시함
- 위해성 평가과정의 전반적인 절차는 아래 그림과 같이 크게 4단계로 구분될 수 있다. 우선 유해대기오염물질이 무엇인지를 확인하는 위해성 확인 단계에서 EPA IRIS, ACGIH, IARC의 독성정보 DB를 검색 및 물질별 DB 작성이 1단계로 이루어졌다. 확인된 유해대기오염물질을 대상으로 용량-반응을 평가하는 작업 (reference dose, RfD, reference concentration, RfC, slope factor, SF 산출)이 2단계로 진행하였다. 그리고 노출수준을 평가하는 일일 평균 인체 노출량(life average daily dose, LADD) 산출 작업인 3단계 과정을 거쳐 시뮬레이션 분석을 통한 위해지수 (hazard quotient, HQ) 및 발암 위해도 (cancer risk, CR)를 산출하여 최종적으로 위해성 평가를 수행함

□ 위해성 확인

- 위해성 확인 (hazard identification)이란 화학물질의 독성 및 작용기전에 대한 연구자료를 바탕으로 화학물질이 인체나 생태에 미치는 유해영향을 규명하고, 그 증거의 확실성을 검증하는 것으로, 이러한 위험성 확인은 대상 대기오염물질의 인체 위해성을 판단하기 위한 역학연구, 동물실험, 기타 보조적인 독성 평가 자료들을 수집하고, 고찰하는 것으로써 위해성 평가를 위한 초기의 정성 단계로 관심화합물이 인체에 유

해한 영향을 유발시키는가를 결정하기 위해 이용할 수 있는 모든 적절한 자료를 수집하는 것에서부터 출발함

- 유해성 확인 단계에서 가장 중요한 부분은 대기오염물질이 동물 및 사람에게 미치는 영향에 대한 연구 결과들을 종합하여 발암성의 여부와 발암성의 강도는 어느 정도인지를 평가하는 일이다. U.S. EPA, ACGIH, IARC에서 제안하고 있는 발암 등급을 비교하면 아래 표와 같다. 본 연구에서는 U.S. EPA 발암 등급에 따라 발암성 물질과 비발암성 물질을 분류함



그림 160 위해성 평가 단계

표 112 U.S. EPA, ACGIH, IARC의 발암 등급

발암 등급	U.S. EPA		IARC		ACGIH	
발 암 성 물 질	인체 발암물질 (역학 연구를 통해 충분한 증거가 있는 경우)	A	인체에 대한 발암물질 (인체에 대한 발암성 증거가 충분한 경우)	1	인체 발암성 확인 물질 (역학적으로 인체에 충분한 발암성 근거 있음)	A1
	유력한 인체 발암물질 (인체에 대한 발암성 증거가 제한적이나, 실험동물에 대한 발암성 증거가 충분한 경우)	B	인체에 대한 유력한 발암물질 (인체에 대한 발암성 증거는 제한적이나, 실험동물에 대한 발암성 증거가 충분한 경우)	2A	인체 발암성 의심 물질 (인체에 대한 발암성 증거는 제한적이나, 실험동물에 대한 발암성 증거가 충분한 경우)	A2
	가능한 인체 발암물질 (인체에 대한 자료는 없으나 실험동물에 대한 발암성 증거가 제한적인 경우)	C	인체에 대한 가능한 발암물질 (인체에 대한 발암성 증거가 제한적이며, 실험동물에 대한 발암성 증거가 충분치는 않은 경우)	2B	동물 발암성 확인물질, 인체 발암성 모름	A3
비 발 암 성 물 질	인체에 대한 발암물질로 분류할 수 없음 (인체 및 실험 동물모두에 대한 발암성 증거가 불충분하거나 없는 경우)	D	인체에 대한 발암물질로 분류할 수 없음 (인체에 대한 발암성 증거가 불충분하고, 실험동물에 대한 발암성 증거가 불충분하거나 제한적인 경우, 어떤 다른 분류 기준에 속하지 않을 노출 환경이나 물질군인 경우)	3	인체 발암성 미분류 물질	A4
	인체 발암물질이 아님 (실험동물에 대한 결과에서 발암성이 없는 것으로 입증된 사례가 최소 2가지 이상인 경우)	E	인체에 대한 발암물질이 아님 (인체 및 실험동물 발암성에 대한 지지 증거가 부족한 경우)	4	인체 발암성 미분류 물질	A5

- 독성자료는 순차적으로 U.S. EPA의 IRIS, IARC, ACGIH에서 수집하였고, 독성자료에 대한 정보는 IRIS에서 우선적으로 인용함

표 113 VOCs 발암물질 독성정보 및 건강영향

		1,2-Dichloroethane	Benzene	1,3-Butadiene
CAS NO.		107-06-2	71-43-2	106-99-0
US EPA		B2	A	A
IARC		2B	1	1
RfC		-	3.00E-02	2.00E-03
Unit risk		2.60E-05	7.80E-06	3.00E-05
Inhalation slope factor		1.17E-01	3.50E-02	1.35E-01
용량-반응 자료	Tumor type	혈관육종	백혈병	백혈병
	Route	흡입	흡입	흡입
	Reference	NCI, 1978	Rinsky et al., 1981, 1987; Paustenbach et al., 1993; Crump and Allen, 1984; Crump, 1992, 1994; U.S. EPA, 1998.	Health Canada, 1998; U.S. EPA, 2002
	last revised	1987.03.31	2003.04.17	2002.11.05

표 114 카르보닐 발암물질 독성정보 및 건강영향

		Formaldehyde	Acetaldehyde
CAS NO.		50-00-0	75-07-0
US EPA		B1	B2
IARC		1	2B
RfC		-	9.00E-03
Unit risk		1.30E-05	2.20E-06
Inhalation slope factor		5.84E-02	9.88E-02
용량-반응 자료	Tumor type	편평상피세포 암	코의 편평상피세포암, 선암
	Route	흡입	흡입
	Reference	Kerns et al., 1983	Woutersen and Appleman, 1984
	last revised	1990.9.1	1991.10.1

표 115 중금속 발암물질 독성정보 및 건강영향

		Cr6+	Ni
CAS NO.		18540-29-9	7440-02-0
US EPA		A	A
IARC		1	1
RfC		1.00E-04	-
Unit risk		1.20E-02	2.40E-04
Inhalation slope factor		5.39E+01	1.08E+00
용량-반응 자료	Tumor type	폐암	폐암, 비강암
	Route	흡입	흡입
	Reference	Mancuso, 1975	Enterline and Marsh, 1982; Chovil et al., 1981; Peto et al., 1984; Magnus et al., 1982
	last revised	1998.09.03	1987.09.30

표 116 PAHs 화합물 발암물질 독성정보 및 건강영향

		Benzo[a]pyrene
CAS NO.		50-32-8
US EPA		A
IARC		1
RfC		-
Unit risk		6.00E-04
Inhalation slope factor		2.69E+00
용량-반응 자료	Tumor type	후두, 기도, 비강의 편평상피세포암
	Route	흡입
	Reference	Thyssen et al., 1981
	last revised	2017.01.19

□ 용량-반응 평가(dose response)

- 용량-반응평가 (dose response)는 사람이 유해대기오염물질의 특정 용량에 노출되었을 경우, 과연 유해한 영향을 받을 것인지 아닌지를 파악하는 단계로서 주로 건강영향 발생 확률이 얼마인지를 결정하는 단계
- 일반적으로 용량 반응 평가를 적용하기 위한 기초 자료로는 정량적인 용량-반응 관계가 관찰된 역학 연구 자료가 가장 우선적으로 활용되며, 적합한 역학 자료가 없을 경우에는 동물 실험 자료를 이용하여 용량-반응 평가를 수행함. 그러나 동물실험 결과를 활용하는 경우에는 사람과 동물간의 차이를 비롯하여 동물 실험에 사용한 용량을 인체에 적용하기 위해 변환하는 과정 등에서 오차를 발생시킬 수 있어 분석결과에 대한 해석에 신중을 기해야함
- 본 연구에서 대상물질 중 위해성 평가 1단계 위해성 확인 단계에서 수집한 독성 정보 중 발암성 물질의 경우 inhalation slope factor, inhalation unit risk가 필요하였으며, 비발암성 물질의 경우 inhalation reference dose, inhalation reference concentration가 평가 요인으로 사용됨.
- 그러나 발암성 물질 평가를 위한 초과 발암위해도(cancer risk) 산출시 사용되는 inhalation slope factor가 없는 경우 inhalation unit risk를 이용하여 산출하였고, 비발암성 물질 평가를 위해 사용되는 RfD (reference dose)가 없는 경우 RfC (reference concentration)를 이용하여 산출함. 체중은 한국 성인 평균 64.2kg, 호흡률은 한국 성인 일일평균 호흡률 14.3m³를 사용함

$$inhalation\ SF\ (mg/kg/day)^{-1} = \frac{inhalation\ UR(\mu g/m^3)^{-1} \times 64.2kg}{14.3m^3/day} \times 1000\ \mu g/mg$$

$$inhalation\ RfD\ (mg/kg/day) = \frac{RfC(mg/m^3) \times 14.3m^3/day}{64.2kg}$$

□ 노출평가 (exposure assessment)

- 노출평가 (exposure assessment)란 환경 중 화학물질의 정성 및 정량적 분석 자료를 근거로 화학물질이 인체나 기타 수용체 내부로 들어오는 노출 수준을 추정하는 것을 말한다. 용량-반응 평가로부터 화학물질에 단위농도의 노출로 부과될 수 있는 위해도를 산출하였으나, 실제적인 노출환경으로부터 노출 가능한 인구집단이 어느 정도의 위해에 해당하는지를 알기 위해서는 노출량을 평가하는 단계임
- 노출평가에서는 노출된 인구집단의 크기, 강도 (strength), 빈도 (frequency) 및 노출기간 (duration), 그리고 노출경로를 통해 인체노출량을 추정할 수 있으며, 이에 따른 대기오염물질에 대한 일일평균인체노출량(Life Average Daily Dose, LADD) 산정식은 아래와 같음

$$\begin{array}{l} \text{일일평균} \\ \text{인체 노출량} \\ \text{(LADD ;} \\ \text{mg/kg/day)} \end{array} = \frac{\begin{array}{l} \text{오염도} \times \text{단위환산계수} \times \text{일일 호흡률} \times \text{노출빈도} \times \text{노출기간} \\ \text{(ng/m}^3\text{)} \text{ (0.000001mg/ng)} \text{ (m}^3\text{/day)} \text{ (day/year)} \text{ (year)} \end{array}}{\begin{array}{l} \text{체중} \times \text{기대수명} \\ \text{(kg)} \text{ (day)} \end{array}}$$

- 노출기간 (exposure duration) : 대기오염물질 호흡기간으로 일반적으로 환경기준 설정의 경우에는 70년을 가정하였음
- 유해대기오염물질에 대한 위해도 평가를 위해 직접 노출 경로인 호흡노출경로만을 고려하였을 경우 다음과 같은 항목들이 검토되어야 함. 우선적으로 호흡노출량을 산출하기 위하여 일일호흡률을 고려하고, 인체 흡수량을 파악하기 위하여 체중을 파악해야 하며, 일반적으로 대기오염물질에 대한 인체 노출량을 산정하기 위해서는 노출빈도, 일일 호흡률, 노출기간, 체중, 기대수명에 대한 실측자료가 있어야 하지만 부재로 인체노출량 추정을 위하여 한국인을 대상으로 조사한 한국노출계수핸드북(환경부)을 국립환경과학원 고시 화학물질 위해성평가의 구체적 방법 등에 관한 규정(제2014-48호) 중 위해성평가를 위한 인체 노출계수에서 활용함

표 117 위해성 평가를 위한 노출 인자들에 대한 설정값

노출계수	구분	대표값	표준편차
체중 (kg)	성인남자	70.6	0.1
	성인여자	57.8	0.1
	성인전체평균	64.2	0.1
기대수명 (year)	전체	75	-
	발암성 물질 평가 시	70	-
일일 호흡률 (m^3/day)	성인남자	15.7	1.2
	성인여자	12.8	0.9
	성인전체평균	14.3	-

표 118 연구에 사용된 노출계수

변 수	분포 형태 및 계수	
대기오염물질 농도	Lognormal	실측결과에 따른 Lognormal 분포 추정
일일 호흡률	Normal	Mean= 14.3 m^3/day , S.D.= 1.1 m^3/day
노출빈도	Triangular	Min=180, Max=365, Likeliest=345
노출기간	Point	25 year
체중	Normal	Mean= 64.2 kg, S.D.= 0.1 kg
기대수명	Point	발암성: 70 year, 비발암성: 75 year

- 대기오염물질을 얼마나 흡입하는가를 하나의 수치로 표현하는 것은 결정론적 접근 (deterministic approach)으로 불리는데, 이 접근 방법으로 도출된 노출량이나 위해성 정보를 바탕으로 정책 결정을 하는데에는 많은 한계가 있음
- 이러한 한계로 인하여 다양한 정보를 제공함으로써 다양한 정책 결정의 기대효과를 가늠할 수 있도록 하기 위해 확률론적 접근 (probability approach)이 많이 사용됨
- 확률론적 접근방법의 하나로서 불확실한 대기오염물질 노출량을 산출하기 위하여 몬테카를로 시뮬레이션 방법이 이용되는데, 예를 들어 대기 중 오염물질의 농도는 수시로 변하는 상황에서 흡입되는 대기오염물질의 양이 일정한 분포 범위 안에 존재할 것이라고 보고 이 범위 안에서 흡입되는 대기오염물질의 농도값을 시뮬레이션 할 수 있음.
- 이에 본 연구에서는 Crystal Ball 11.0을 이용하여 확률론적 평가를 위한 Monte Carlo

시뮬레이션을 실시하였다.

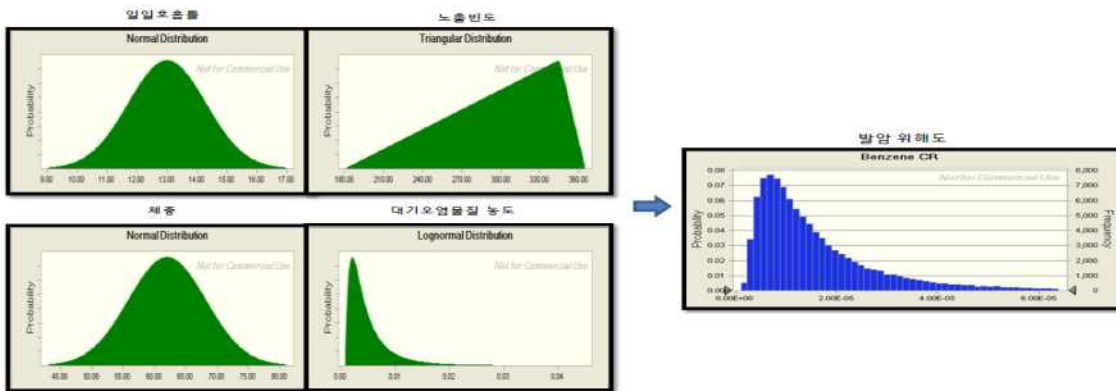


그림 161 불확실성 분석을 위한 Monte Carlo 시뮬레이션의 일례

□ 위험도 결정 (risk characterization)

- 위험도 결정 (risk characterization)은 용량-반응 평가와 인체 노출평가에서 산출된 정보를 종합하여 유해대기오염물질에 특정농도로 노출되었을 경우, 개인이나 인구집단에서 유해한 영향 즉, 암과 같은 영향이 발생할 확률을 결정하는 단계이며, 발암물질과 비발암 물질로 나누어 위험도를 결정하였음.
- 발암성 물질의 경우 용량-반응 평가를 통해 산출된 발암 잠재력과 인체 노출평가를 통해 얻어진 일일 평균 인체노출량으로 초과발암위험도를 산출함

※ Excess Cancer Risk (초과발암위험도) = LADD × Inhalation Slope Factor (발암잠재력)

- 위험도 평가결과에 대한 해석은 발암물질의 경우 U.S. EPA 위험도 관리 범위인 백만분의 1에서 만분의 1의 범위를 기본으로 하나 환경기준이 없는 발암물질의 경우 U.S. EPA에서 벤젠에 적용된 10^{-5} 을 관리기준 위험도로 하여 초과하는 물질을 관리기준으로 삼도록 서술되었고, 비발암물질인 경우 위험지수 1을 관리기준으로 일반적으로 표현되었다. 따라서 일반화된 방법으로 평가된 위험도 결과를 참고하여 관심물질에 대해서는 비용편익분석을 감안하여 관리수준을 정책적으로 판단하여 활용되어야 할 것임
- 현실적으로 환경성 발암물질의 경우, 여러 가지 투자비용에 대한 경제적 손익, 공학적 처리 기술이나 분석기술에 대한 조건들이 감안되어 법적인 규제치는 약 $1.00E-06 \sim 1.00E-04$ (백만명당 1명 ~ 만명당 1명의 초과발암 확률)정도의 위험도에 상응하는 농도에서 결정되는 경우가 대부분으로, 법적인 규제가 필요하다고 판단되는 위험도 수준은 $1.0E-04$ 로 보고 있음.

- 비발암 물질에 대한 위해도 결정은 용량-반응 평가를 통해 산출된 호흡 노출 참고치와 일일평균인체노출량의 비를 이용하여 위해지수 (hazard quotient)를 산출하는 것이다. 현 오염수준으로 인한 일일 노출량을 일일 허용용량인 참고치와 비교함으로써 현 오염수준이 1을 초과하는 경우에는 유해영향이 발생할 가능성이 있음을 제시해주며 1이하인 경우에는 발생할 가능성이 낮다고 해석 할 수 있음
- 위해도 평가는 예측치라는 한계점을 지니므로 위해도 평가 결과를 “기준 값이 초과하였다” , “초과하지 않았다” 라고 단순하게 해석하거나 절대적인 의미를 부여하기 보다는 오염물질 기준치 마련 등 정책적 평가에 활용하는 것이 바람직할 것임.
- 노출량 평가시 사용하는 농도 분포는 로그노말분포를 하는 것으로 알려져 있다. 본 연구의 28일 측정된 결과를 가지고 농도의 노출 분포를 판단하는 것이 적절한가에 문제가 제기 됨. 따라서 불확실성 분석에 사용되는 Crystall Ball 11.0 버전을 통해 해당 농도와 가장 적합한 분포를 선택하였으며, 이 분포가 로그노말분포임을 확인함.
- 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 Crystall Ball 11.0 버전은 위해성 평가에 필요한 노출 인자의 분포를 산출 및 결합하여, LADD라고 하는 위해도를 분포값으로 나타내는 package를 말함.
- 이처럼 위해도 결과를 산출함에 있어 어떤 노출 인자로 인해 변이가 크게 나타나는지를 분석하는 것이 민감도 분석인데, 이를 바탕으로 위해성 평가에 있어 어떤 인자가 가장 위해도 결과값을 변동시키는지 알아보고자 함.
- 본 연구에서 Crystall Ball 11.0 버전을 통해 대상 물질에 대한 민감도 분석을 하였으며, 유해물질의 농도, 노출빈도, 일일호흡률, 체중 순으로 영향력이 있는 것으로 확인
- 민감도 분석 결과 농도의 변이가 클 경우, 노출 농도로 인한 민감도 영향력이 크게 나타났으며, 이와 반대로 노출 빈도의 변이가 적을 경우, 농도로 인한 민감도 영향력은 작게 나타남. 본 연구의 민감도 분석 결과 대체적으로 위해도 값을 변동시키는 노출 인자는 노출 농도, 노출빈도, 일일호흡률, 체중 순으로 확인
- 충남 서산 대산읍의 전체 인구는 총 2,181,416명(통계청, 2018 기준)으로, 0 - 19세의 인구수는 410,686명이고, 20 - 69세 인구는 1,510,050명, 70세 이상 인구는 260,680명으로 구성되어 있음(통계청, 2018).
- 이처럼 대상 지역의 위해성 평가를 가장 현실적으로 반영 및 평가하기 위해서는 지역 주민의 사회인구학적 특징이 요구되나, 본 연구에서는 충남 서산 대산읍을 대상으로 한 인구 수, 호흡률, 몸무게, 기대수명 등의 사회인구학적 특성의 부재로 평가할 수 없었음.
- 따라서 환경부에서 제시한 일반적인 인구의 특성을 반영한 노출 인자를 적용하여 위해성 평가를 진행함

표 119 지역별 민감도 분석 결과

물질명	영향인자	지역명				
		대죽 1리	화곡 2리	대로 3리	오지리	대산리
Formaldehyde	노출농도 (mg/m ³)	93.4%	91.7%	91.9%	89.0%	93.9%
	노출빈도 (day/year)	5.2%	6.5%	6.1%	8.6%	4.7%
	일일호흡률 (m ³ /day)	1.5%	1.7%	2.0%	2.4%	1.4%
1,2-Dichloroethane	노출농도 (mg/m ³)	97.3%	95.8%	96.3%	96.0%	95.9%
	노출빈도 (day/year)	2.1%	3.2%	2.9%	3.2%	3.2%
	일일호흡률 (m ³ /day)	0.6%	0.9%	0.8%	0.8%	0.9%
Benzene	노출농도 (mg/m ³)	97.5%	96.5%	97.1%	96.2%	96.7%
	노출빈도 (day/year)	1.9%	2.8%	2.2%	3.0%	2.5%
	일일호흡률 (m ³ /day)	0.5%	0.7%	0.7%	0.8%	0.8%
Mn	노출농도 (mg/m ³)	94.4%	93.7%	90.9%	98.0%	97.3%
	노출빈도 (day/year)	4.4%	4.9%	7.1%	1.5%	2.1%
	일일호흡률 (m ³ /day)	1.2%	1.4%	2.0%	0.5%	0.6%
propionaldehyde	노출농도 (mg/m ³)	97.7%	96.0%	95.8%	95.6%	97.5%
	노출빈도 (day/year)	1.7%	3.1%	3.3%	3.4%	1.9%
	일일호흡률 (m ³ /day)	0.6%	0.8%	0.9%	1.0%	0.6%
Hexane	노출농도 (mg/m ³)	96.5%	98.9%	98.7%	99.3%	99.1%
	노출빈도 (day/year)	2.7%	0.8%	1.0%	0.4%	0.8%
	일일호흡률 (m ³ /day)	0.8%	0.3%	0.3%	0.2%	0.2%

제 2 절 물질별 위해성 평가 결과

- 대산산단 주변지역에서 측정한 VOCs, 카르보닐화합물, 중금속, PAHs 중 일부 물질만 평가가 가능하였다. 독성정보의 부재, 검출자료의 부족으로 인하여 평가가 불가능하였음. 또한, 위해도와 농도를 광주 산단지역('17), 광양 산단지역(' 17)에서 수행된 연구보고서와 비교하여 검토하였다. 위해성 평가 결과는 절대적인 기준치가 아니므로 기준치 마련, 상대적 위해도 비교로 판단하여야 함

□ VOCs 위해성 평가 결과

- 유해대기오염물질 측정 농도 값 및 수집한 독성정보 및 노출계수를 이용하여 광주산단 주변지역의 측정지점별 Monte carlo 시뮬레이션 분석한 결과로써 발암성 VOCs에 대한 발암 위해도(cancer risk)를 나타내었다. 인구집단의 50%가 영향을 받는 위해도를 평균 위해도로 가정할 경우 관리기준 위해도($1.0E-05$)를 초과하지 않는 것으로 나타나 인체에 유해한 건강영향이 비교적 적을 것으로 판단됨
- 대산산단 주변지역 측정지점에 대한 발암성 VOCs에 대한 발암 위해도를 살펴보면, 평가된 VOCs 발암 위해도 중 1,2-Dichloroethane(전지역)에 대한 발암 위해도가 가장 높게 나타났으며 인구의 95%가 영향을 받는 수준에서 관리기준 위해도($1.0E-05$)를 초과하는 것으로 나타났기 때문에 추후 지속적인 관찰이 필요함. 다만, 50% 영역에서는 이를 기준으로 할 경우 과대평가의 우려가 있을 수 있을 수 있다고 판단됨.
- 대산산단 주변지역에서 측정한 비발암성 VOCs에 대한 위해지수 (hazard quotient)를 나타낸 표이다. 모든 물질은 평균 위해성을 고려하여 50 percentiles 일 때 관리기준 위해지수 (1)를 초과하지 않음.
- 위해지수가 관리기준 위해지수 (1)에 못 미쳐 인체에 유해한 건강영향이 비교적 적을 것으로 판단되며, 인구집단의 95%가 영향을 받는 위해도를 대상으로 할 경우에 관리기준 위해지수인 1을 초과하는 경우는 나타나지 않았음.

표 120 VOCs 발암성 물질에 대한 발암 위험도

	물질명	지역	Percentiles						
			5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
발 암 성 물 질	1,2-Dichloroethane	대죽1리	1.67E-06	2.36E-06	4.25E-06	8.02E-06	1.51E-05	2.69E-05	3.81E-05
		화곡2리	1.04E-06	1.38E-06	2.20E-06	3.71E-06	6.25E-06	9.95E-06	1.32E-05
		대로3리	1.33E-06	1.81E-06	3.03E-06	5.35E-06	9.40E-06	1.55E-05	2.12E-05
		오지리	8.27E-07	1.11E-06	1.81E-06	3.10E-06	5.29E-06	8.55E-06	1.14E-05
		대산리	1.16E-06	1.53E-06	2.46E-06	4.16E-06	7.02E-06	1.12E-05	1.48E-05
	Benzene	대죽1리	1.13E-06	1.65E-06	3.11E-06	6.29E-06	1.27E-05	2.42E-05	3.56E-05
		화곡2리	6.90E-07	9.28E-07	1.55E-06	2.72E-06	4.74E-06	7.86E-06	1.07E-05
		대로3리	6.61E-07	9.27E-07	1.63E-06	3.05E-06	5.65E-06	9.90E-06	1.39E-05
		오지리	5.12E-07	6.89E-07	1.14E-06	1.98E-06	3.47E-06	5.71E-06	7.68E-06
		대산리	6.41E-07	8.77E-07	1.49E-06	2.68E-06	4.80E-06	8.14E-06	1.11E-05
	Dichloromethane	대죽1리	1.10E-09	1.79E-09	4.10E-09	1.03E-08	2.61E-08	6.02E-08	9.81E-08
		화곡2리	9.49E-10	1.64E-09	4.06E-09	1.12E-08	3.08E-08	7.68E-08	1.32E-07
		대로3리	1.84E-11	4.54E-11	2.06E-10	1.10E-09	5.82E-09	2.63E-08	6.40E-08
		오지리	1.21E-09	1.99E-09	4.60E-09	1.18E-08	2.98E-08	6.89E-08	1.15E-07
		대산리	6.97E-11	1.81E-10	8.89E-10	5.29E-09	3.22E-08	1.62E-07	4.26E-07
	1,3-Butadiene*	대죽1리	6.45.E-09	1.76.E-08	9.08.E-08	5.73.E-07	3.55.E-06	1.86.E-05	5.07.E-05
		화곡2리	9.78.E-10	2.94.E-09	1.62.E-08	1.08.E-07	6.99.E-07	3.76.E-06	1.03.E-05
		대로3리	1.25.E-08	2.95.E-08	1.06.E-07	3.98.E-07	1.46.E-06	4.72.E-06	9.52.E-06
		오지리	1.42.E-08	3.31.E-08	9.39.E-08	2.50.E-07	6.24.E-07	1.38.E-06	2.22.E-06
		대산리	9.97.E-09	2.57.E-08	8.11.E-08	2.38.E-07	6.52.E-07	1.56.E-06	2.62.E-06

표 121 VOCs 비발암성 물질에 대한 발암 위해도

	물질명	지역	Percentiles						
			5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
비 발 암 성 물 질	Hexane	대죽1리	3.71.E-03	5.02.E-03	8.37.E-03	1.48.E-02	2.63.E-02	4.35.E-02	5.90.E-02
		화곡2리	6.84.E-04	1.16.E-03	2.80.E-03	7.46.E-03	1.98.E-02	4.82.E-02	8.18.E-02
		대로3리	3.96.E-04	6.41.E-04	1.45.E-03	3.62.E-03	8.97.E-03	2.03.E-02	3.35.E-02
		오지리	3.37.E-04	6.79.E-04	2.26.E-03	8.43.E-03	3.17.E-02	1.04.E-01	2.13.E-01
		대산리	1.08.E-03	1.95.E-03	5.28.E-03	1.58.E-02	4.72.E-02	1.26.E-01	2.30.E-01
	Vinyl Acetate	대죽1리	3.39.E-04	5.80.E-04	1.42.E-03	3.86.E-03	1.04.E-02	2.50.E-02	4.25.E-02
		화곡2리	1.93.E-04	2.74.E-04	4.95.E-04	9.54.E-04	1.82.E-03	3.28.E-03	4.69.E-03
		대로3리	2.36.E-04	3.45.E-04	6.52.E-04	1.32.E-03	2.69.E-03	5.09.E-03	7.45.E-03
		오지리	1.06.E-04	1.49.E-04	2.62.E-04	4.90.E-04	9.18.E-04	1.63.E-03	2.28.E-03
		대산리	1.58.E-04	2.25.E-04	4.10.E-04	7.90.E-04	1.52.E-03	2.74.E-03	3.91.E-03
	Cyclohexane	대죽1리	2.21.E-05	3.53.E-05	7.71.E-05	1.84.E-04	4.38.E-04	9.63.E-04	1.52.E-03
		화곡2리	1.77.E-06	3.91.E-06	1.50.E-05	6.61.E-05	2.93.E-04	1.13.E-03	2.55.E-03
		대로3리	7.78.E-07	1.57.E-06	4.94.E-06	1.82.E-05	6.67.E-05	2.13.E-04	4.25.E-04
		오지리	8.55.E-06	9.30.E-06	1.07.E-05	1.23.E-05	1.39.E-05	1.53.E-05	1.62.E-05
		대산리	1.81.E-05	2.74.E-05	5.52.E-05	1.19.E-04	2.60.E-04	5.21.E-04	7.90.E-04
	Ethylbenzene	대죽1리	8.82.E-05	1.25.E-04	2.21.E-04	4.17.E-04	7.88.E-04	1.39.E-03	1.94.E-03
		화곡2리	5.32.E-05	7.66.E-05	1.41.E-04	2.79.E-04	5.44.E-04	1.01.E-03	1.46.E-03
		대로3리	8.53.E-05	1.32.E-04	2.69.E-04	6.03.E-04	1.34.E-03	2.75.E-03	4.25.E-03
		오지리	2.11.E-05	3.01.E-05	5.43.E-05	1.04.E-04	1.99.E-04	3.60.E-04	5.09.E-04
		대산리	3.86.E-05	5.59.E-05	1.02.E-04	2.01.E-04	3.93.E-04	7.15.E-04	1.03.E-03
	Tetrahydrofuran	대죽1리	1.41.E-05	1.92.E-05	3.21.E-05	5.61.E-05	9.79.E-05	1.62.E-04	2.20.E-04
		화곡2리	2.03.E-05	2.64.E-05	4.08.E-05	6.62.E-05	1.07.E-04	1.66.E-04	2.15.E-04
		대로3리	1.84.E-05	2.43.E-05	3.85.E-05	6.45.E-05	1.07.E-04	1.71.E-04	2.25.E-04
		오지리	1.73.E-05	2.30.E-05	3.65.E-05	6.04.E-05	1.01.E-04	1.60.E-04	2.12.E-04
		대산리	1.57.E-05	2.13.E-05	3.53.E-05	6.16.E-05	1.06.E-04	1.75.E-04	2.35.E-04
	Toluene	대죽1리	2.14.E-05	3.21.E-05	6.27.E-05	1.32.E-04	2.76.E-04	5.40.E-04	8.08.E-04
		화곡2리	3.81.E-05	5.20.E-05	8.79.E-05	1.56.E-04	2.79.E-04	4.68.E-04	6.41.E-04
		대로3리	2.09.E-05	3.05.E-05	5.75.E-05	1.15.E-04	2.33.E-04	4.34.E-04	6.29.E-04
		오지리	1.37.E-06	2.64.E-06	7.64.E-06	2.50.E-05	8.17.E-05	2.37.E-04	4.50.E-04
		대산리	1.29.E-05	1.84.E-05	3.32.E-05	6.45.E-05	1.24.E-04	2.23.E-04	3.17.E-04

□ 카르보닐 위해성 평가 결과

- 유해대기오염물질 측정 농도 값 및 수집한 독성정보 및 노출계수를 이용하여 대산산단 주변지역의 측정지점별 Monte carlo 시뮬레이션 분석한 결과로써 발암성 카르보닐 화합물에 대한 발암 위해도(cancer risk)를 나타냄.
- 인구집단의 50%가 영향을 받는 위해도를 평균 위해도로 가정할 경우 Formaldehyde는 전지역에서 관리기준 위해도($1.0E-05$) 수준으로 나타났기 때문에 추후 지속적인 관찰이 필요함. 다만, 50% 영역에서는 이를 기준으로 할 경우 과대평가의 우려가 있을 수 있을 수 있다고 판단됨. Acetaldehyde의 50%가 영향을 받는 위해도는 전지역에서 허용 가능한 수준($1.0E-06$)으나, 대산리의 경우 인구의 95%가 영향을 받는 수준에서 관리기준 위해도($1.0E-06$)를 초과하였음
- 대산산단 주변지역에서 측정한 비발암성 카르보닐 화합물에 대한 위해지수 (hazard quotient)를 살펴보면, Propionaldehyde, 2-Butanone은 평균 위해성을 고려하는 50 percentiles 일 때 관리기준 위해지수 (1)를 초과하지 않아 인체에 유해한 건강영향이 비교적 적을 것으로 판단됨

표 122 카르보닐 물질에 대한 위해도

	물질명	지역	Percentiles						
			5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
발 암 성 물 질	Formaldehyde	대죽1리	5.05.E-06	6.58.E-06	1.03.E-05	1.68.E-05	2.74.E-05	4.26.E-05	5.52.E-05
		화곡2리	6.04.E-06	6.88.E-06	8.88.E-06	1.26.E-05	1.93.E-05	2.98.E-05	3.93.E-05
		대로3리	6.64.E-06	7.84.E-06	1.07.E-05	1.54.E-05	2.27.E-05	3.28.E-05	4.10.E-05
		오지리	3.94.E-06	5.62.E-06	8.63.E-06	1.24.E-05	1.67.E-05	2.11.E-05	2.39.E-05
		대산리	8.02.E-06	1.01.E-05	1.46.E-05	2.21.E-05	3.33.E-05	4.83.E-05	6.02.E-05
	Acetaldehyde	대죽1리	1.94.E-06	2.32.E-06	3.10.E-06	4.29.E-06	5.92.E-06	7.90.E-06	9.39.E-06
		화곡2리	1.45.E-06	1.77.E-06	2.46.E-06	3.47.E-06	4.84.E-06	6.46.E-06	7.65.E-06
		대로3리	1.70.E-06	1.95.E-06	2.52.E-06	3.46.E-06	4.90.E-06	6.81.E-06	8.39.E-06
		오지리	1.14.E-06	1.53.E-06	2.23.E-06	3.13.E-06	4.15.E-06	5.21.E-06	5.88.E-06
		대산리	2.69.E-06	3.06.E-06	3.88.E-06	5.23.E-06	7.32.E-06	1.02.E-05	1.26.E-05
비 발 암 성 물 질	Propionaldehyde	대죽1리	1.76.E-03	2.88.E-03	6.52.E-03	1.60.E-02	3.90.E-02	8.66.E-02	1.40.E-01
		화곡2리	3.62.E-03	4.83.E-03	7.74.E-03	1.31.E-02	2.23.E-02	3.59.E-02	4.78.E-02
		대로3리	3.93.E-03	5.20.E-03	8.38.E-03	1.42.E-02	2.39.E-02	3.85.E-02	5.09.E-02
		오지리	2.63.E-03	3.44.E-03	5.50.E-03	9.18.E-03	1.52.E-02	2.43.E-02	3.19.E-02
		대산리	2.21.E-03	3.42.E-03	7.11.E-03	1.60.E-02	3.62.E-02	7.51.E-02	1.17.E-01
	2-Butanone	대죽1리	3.56.E-05	4.27.E-05	6.80.E-05	1.47.E-04	3.92.E-04	1.01.E-03	1.82.E-03
		화곡2리	3.92.E-05	5.13.E-05	8.68.E-05	1.64.E-04	3.26.E-04	6.17.E-04	9.13.E-04
		대로3리	3.00.E-05	4.29.E-05	7.70.E-05	1.47.E-04	2.84.E-04	5.11.E-04	7.29.E-04
		오지리	2.61.E-05	3.68.E-05	6.52.E-05	1.24.E-04	2.35.E-04	4.14.E-04	5.86.E-04
		대산리	4.93.E-05	6.68.E-05	1.12.E-04	1.98.E-04	3.52.E-04	5.84.E-04	8.00.E-04

□ 중금속 위해성 평가 결과

- 대산산단 주변지역의 측정지점별 Monte carlo 시뮬레이션 분석한 결과로써 중금속에 대한 발암 위해도(cancer risk)를 나타냄. Cr6+, Ni은 50%, 95%가 영향을 받는 위해도를 대상으로 관리기준 위해도(1.0E-05)를 초과하지 않는 것으로 나타남.
- 대산산단 주변지역에서 측정한 비발암성 중금속에 대한 위해지수 (hazard quotient)를 살펴보면, Mn은 평균 위해성을 고려하는 50%, 95% 일 때 관리기준 위해지수 (1)를 초과하지 않아 인체에 유해한 건강영향이 비교적 미미할 것으로 판단됨.

표 123 중금속 물질에 대한 위해도

	물질명	지역	Percentiles						
			5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
발암성 물질	Cr6+	대죽1리	3.25.E-07	4.38.E-07	6.56.E-07	9.55.E-07	1.32.E-06	1.74.E-06	2.01.E-06
		화곡2리	1.77.E-07	2.41.E-07	3.80.E-07	5.91.E-07	8.87.E-07	1.25.E-06	1.52.E-06
		대로3리	2.26.E-07	3.01.E-07	4.59.E-07	7.02.E-07	1.03.E-06	1.43.E-06	1.73.E-06
		오지리	3.57.E-07	4.51.E-07	6.37.E-07	9.00.E-07	1.24.E-06	1.61.E-06	1.88.E-06
		대산리	2.93.E-07	3.85.E-07	5.79.E-07	8.63.E-07	1.24.E-06	1.68.E-06	2.00.E-06
	Ni	대죽1리	3.26.E-09	6.75.E-09	2.27.E-08	8.66.E-08	3.35.E-07	1.12.E-06	2.31.E-06
		화곡2리	2.54.E-09	5.31.E-09	1.80.E-08	7.12.E-08	2.82.E-07	9.51.E-07	2.02.E-06
		대로3리	6.24.E-09	1.26.E-08	4.03.E-08	1.46.E-07	5.25.E-07	1.66.E-06	3.38.E-06
		오지리	1.32.E-08	2.54.E-08	7.54.E-08	2.53.E-07	8.47.E-07	2.54.E-06	4.90.E-06
		대산리	7.52.E-09	1.49.E-08	4.65.E-08	1.69.E-07	5.99.E-07	1.89.E-06	3.76.E-06
비발암성 물질	Mn	대죽1리	2.24.E-02	3.44.E-02	5.95.E-02	9.69.E-02	1.47.E-01	2.07.E-01	2.51.E-01
		화곡2리	2.85.E-02	3.59.E-02	5.29.E-02	8.12.E-02	1.25.E-01	1.82.E-01	2.28.E-01
		대로3리	2.07.E-02	3.71.E-02	6.47.E-02	9.78.E-02	1.34.E-01	1.70.E-01	1.93.E-01
		오지리	1.30.E-02	2.33.E-02	5.13.E-02	1.12.E-01	2.30.E-01	4.30.E-01	6.28.E-01
		대산리	3.14.E-02	4.08.E-02	6.78.E-02	1.30.E-01	2.65.E-01	5.16.E-01	7.72.E-01

제 3 절 지역별 위해성 평가 결과

- 위해도 평가의 한계점은 어디까지나 예측치이며, 위해도 평가 결과 “기준 값이 초과하였다”, “초과하지 않았다” 라는 단순한 의미 해석보다는 정책적 평가 즉, 오염 물질 기준치 마련에 참고 사항으로 이용할 수 있으나 절대적인 의미를 부여해서는 안 됨. 기준치는 U.S. EPA에서 제시한 환경기준이 없는 발암성 물질의 경우 U.S. EPA에서 벤젠에 적용된 10^{-5} 을 관리기준 위해도로 하여 본 연구의 위해도 결과에 반영함

□ 대죽 1리

- 대산산단 주변지역의 조사지역 중 대죽 1리 지점에서의 발암 위해도 순위를 아래 표로 나타내었다. 인구집단의 50%가 영향을 받는 위해도를 평균 위해도로 가정할 경우인 50 percentiles 대상으로 순위를 정하였음. 카르보닐 Formaldehyde, VOCs 1,2-Dichloroethane, Benzene, 카르보닐 Acetaldehyde, 중금속 Cr6+, VOCs 1,3-Butadiene, 중금속 Ni, PAHs Benzo[a]pyrene, VOCs Dichloromethane 순임.
- 대산산단 주변지역의 조사지역 중 대죽 1리 지점에서의 카르보닐 Formaldehyde를 제외한 발암물질에 대하여 50% 영역에서는 관리기준 위해도($1.0E-05$)를 초과하지 않는 것으로 나타남. 발암성 물질 카르보닐 Formaldehyde, VOCs 1,2-Dichloroethane, Benzene, 1,3-Butadiene에 대하여 인구집단의 95%가 영향을 받는 95 percentiles 대상의 발암 위해도는 관리기준 위해도($1.0E-05$)를 초과하는 것으로 나타나 추후 지속적인 관찰이 필요함

표 124 대죽 1리 발암성 물질 위해도 순위

순위	분류	물질	Percentiles						
			5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
1	카르보닐	Formaldehyde	5.05.E-06	6.58.E-06	1.03.E-05	1.68.E-05	2.74.E-05	4.26.E-05	5.52.E-05
2	VOCs	1,2-Dichloroethane	1.67E-06	2.36E-06	4.25E-06	8.02E-06	1.51E-05	2.69E-05	3.81E-05
3	VOCs	Benzene	1.13E-06	1.65E-06	3.11E-06	6.29E-06	1.27E-05	2.42E-05	3.56E-05
4	카르보닐	Acetaldehyde	1.94.E-06	2.32.E-06	3.10.E-06	4.29.E-06	5.92.E-06	7.90.E-06	9.39.E-06
5	중금속	Cr6+	3.25.E-07	4.38.E-07	6.56.E-07	9.55.E-07	1.32.E-06	1.74.E-06	2.01.E-06
6	VOCs	1,3-Butadiene*	6.45.E-09	1.76.E-08	9.08.E-08	5.73.E-07	3.55.E-06	1.86.E-05	5.07.E-05
7	중금속	Ni	3.26.E-09	6.75.E-09	2.27.E-08	8.66.E-08	3.35.E-07	1.12.E-06	2.31.E-06
8	PAHs	Benzo[a]pyrene	2.36E-09	3.46E-09	6.72E-09	1.40E-08	2.92E-08	5.59E-08	8.26E-08
9	VOCs	Dichloromethane	1.10E-09	1.79E-09	4.10E-09	1.03E-08	2.61E-08	6.02E-08	9.81E-08

- 대산산단 주변지역의 조사지역 중 대죽 1리 지점에서의 비발암 위해지수 순위를 표로 나타내었다. 50 percentiles 대상으로 순위를 정하였고 중금속 Mn, 카르보닐 Propionaldehyde, VOCs Hexane, Vinyl Acetate 순이었다. 대상 지점의 50%, 95% 영역에서 비발암 위해지수는 관리기준 위해지수(1)을 초과하지 않아 인체에 유해한 영향이 비교적 적을 것으로 판단됨

표 125 대죽 1리 비발암성 물질 위해지수 순위

순 위	분류	물질	Percentiles						
			5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
1	중금속	Mn	2.24.E-02	3.44.E-02	5.95.E-02	9.69.E-02	1.47.E-01	2.07.E-01	2.51.E-01
2	카르보닐	Propionaldehyde	1.76.E-03	2.88.E-03	6.52.E-03	1.60.E-02	3.90.E-02	8.66.E-02	1.40.E-01
3	VOCs	Hexane	3.71.E-03	5.02.E-03	8.37.E-03	1.48.E-02	2.63.E-02	4.35.E-02	5.90.E-02
4	VOCs	Vinyl Acetate	3.39.E-04	5.80.E-04	1.42.E-03	3.86.E-03	1.04.E-02	2.50.E-02	4.25.E-02
5	VOCs	Ethylbenzene	8.82.E-05	1.25.E-04	2.21.E-04	4.17.E-04	7.88.E-04	1.39.E-03	1.94.E-03
6	VOCs	Cyclohexane	2.21.E-05	3.53.E-05	7.71.E-05	1.84.E-04	4.38.E-04	9.63.E-04	1.52.E-03
7	카르보닐	2-Butanone	3.56.E-05	4.27.E-05	6.80.E-05	1.47.E-04	3.92.E-04	1.01.E-03	1.82.E-03
8	VOCs	Toluene	2.14.E-05	3.21.E-05	6.27.E-05	1.32.E-04	2.76.E-04	5.40.E-04	8.08.E-04
9	VOCs	Tetrahydrofuran	1.41.E-05	1.92.E-05	3.21.E-05	5.61.E-05	9.79.E-05	1.62.E-04	2.20.E-04

□ 화곡 2리

- 대산산단 주변지역의 조사지역 중 화곡 2리 지점에서의 발암 위험도 순위를 아래 표로 나타내었다. 인구집단의 50%가 영향을 받는 위험도를 평균 위험도로 가정할 경우인 50 percentiles 대상으로 순위를 정하였음. 카르보닐 Formaldehyde, VOCs 1,2-Dichloroethane, 카르보닐 Acetaldehyde, VOCs Benzene, 중금속 Cr6+, VOCs 1,3-Butadiene*, 중금속 Ni, PAHs Benzo[a]pyrene, VOCs Dichloromethane 순임.
- 대산산단 주변지역의 조사지역 중 화곡 2리 지점에서의 카르보닐 Formaldehyde를 제외한 발암물질에 대하여 50% 영역에서는 관리기준 위험도(1.0E-05) 초과하지 않는 것으로 나타났음. 발암성 물질 카르보닐 Formaldehyde, VOCs 1,2-Dichloroethane, Benzene, 1,3-Butadiene*에 대하여 인구집단의 95%가 영향을 받는 95 percentiles 대상의 발암 위험도는 관리기준 위험도(1.0E-05)를 초과하는 것으로 나타나 추후 지속적인 관찰이 필요함

표 126 화곡 2리 발암성 물질 위험도 순위

순위	분류	물질	Percentiles						
			5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
1	카르보닐	Formaldehyde	6.04.E-06	6.88.E-06	8.88.E-06	1.26.E-05	1.93.E-05	2.98.E-05	3.93.E-05
2	VOCs	1,2-Dichloroethane	1.04E-06	1.38E-06	2.20E-06	3.71E-06	6.25E-06	9.95E-06	1.32E-05
3	카르보닐	Acetaldehyde	1.45.E-06	1.77.E-06	2.46.E-06	3.47.E-06	4.84.E-06	6.46.E-06	7.65.E-06
4	VOCs	Benzene	6.90E-07	9.28E-07	1.55E-06	2.72E-06	4.74E-06	7.86E-06	1.07E-05
5	중금속	Cr6+	1.77.E-07	2.41.E-07	3.80.E-07	5.91.E-07	8.87.E-07	1.25.E-06	1.52.E-06
6	VOCs	1,3-Butadiene*	9.78.E-10	2.94.E-09	1.62.E-08	1.08.E-07	6.99.E-07	3.76.E-06	1.03.E-05
7	중금속	Ni	2.54.E-09	5.31.E-09	1.80.E-08	7.12.E-08	2.82.E-07	9.51.E-07	2.02.E-06
8	PAHs	Benzo[a]pyrene	2.00E-09	3.41E-09	7.85E-09	1.91E-08	4.58E-08	9.94E-08	1.59E-07
9	VOCs	Dichloromethane	9.49E-10	1.64E-09	4.06E-09	1.12E-08	3.08E-08	7.68E-08	1.32E-07

- 대산산단 주변지역의 조사지역 중 화곡 2리 지점에서의 비발암 위험지수 순위를 표로 나타내었다. 50 percentiles 대상으로 순위를 정하였고 중금속 Mn, 카르보닐 Propionaldehyde, VOCs Hexane, Vinyl Acetate 순이었음. 대상 지점의 50%, 95% 영역에서 비발암 위험지수는 관리기준 위험지수(1)을 초과하지 않아 인체에 유해한 영향이 비교적 적을 것으로 판단되었음.

표 127 화곡 2리 비발암성 물질 위해지수 순위

순위	분류	물질	Percentiles						
			5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
1	중금속	Mn	2.85.E-02	3.59.E-02	5.29.E-02	8.12.E-02	1.25.E-01	1.82.E-01	2.28.E-01
2	카르보닐	Propionaldehyde	3.62.E-03	4.83.E-03	7.74.E-03	1.31.E-02	2.23.E-02	3.59.E-02	4.78.E-02
3	VOCs	Hexane	6.84.E-04	1.16.E-03	2.80.E-03	7.46.E-03	1.98.E-02	4.82.E-02	8.18.E-02
4	VOCs	Vinyl Acetate	1.93.E-04	2.74.E-04	4.95.E-04	9.54.E-04	1.82.E-03	3.28.E-03	4.69.E-03
5	VOCs	Ethylbenzene	5.32.E-05	7.66.E-05	1.41.E-04	2.79.E-04	5.44.E-04	1.01.E-03	1.46.E-03
6	카르보닐	2-Butanone	3.92.E-05	5.13.E-05	8.68.E-05	1.64.E-04	3.26.E-04	6.17.E-04	9.13.E-04
7	VOCs	Toluene	3.81.E-05	5.20.E-05	8.79.E-05	1.56.E-04	2.79.E-04	4.68.E-04	6.41.E-04
8	VOCs	Tetrahydrofuran	2.03.E-05	2.64.E-05	4.08.E-05	6.62.E-05	1.07.E-04	1.66.E-04	2.15.E-04
9	VOCs	Cyclohexane	1.77.E-06	3.91.E-06	1.50.E-05	6.61.E-05	2.93.E-04	1.13.E-03	2.55.E-03

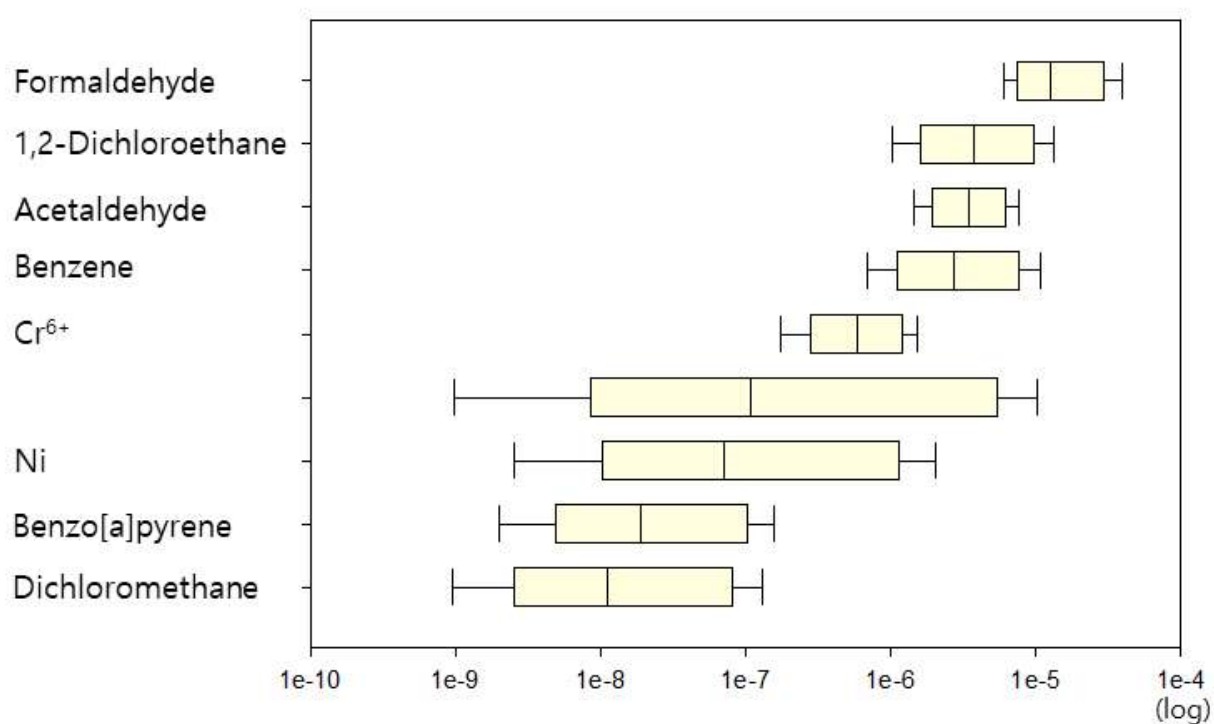


그림 162 화곡 2리 발암성 물질 위해도 순위

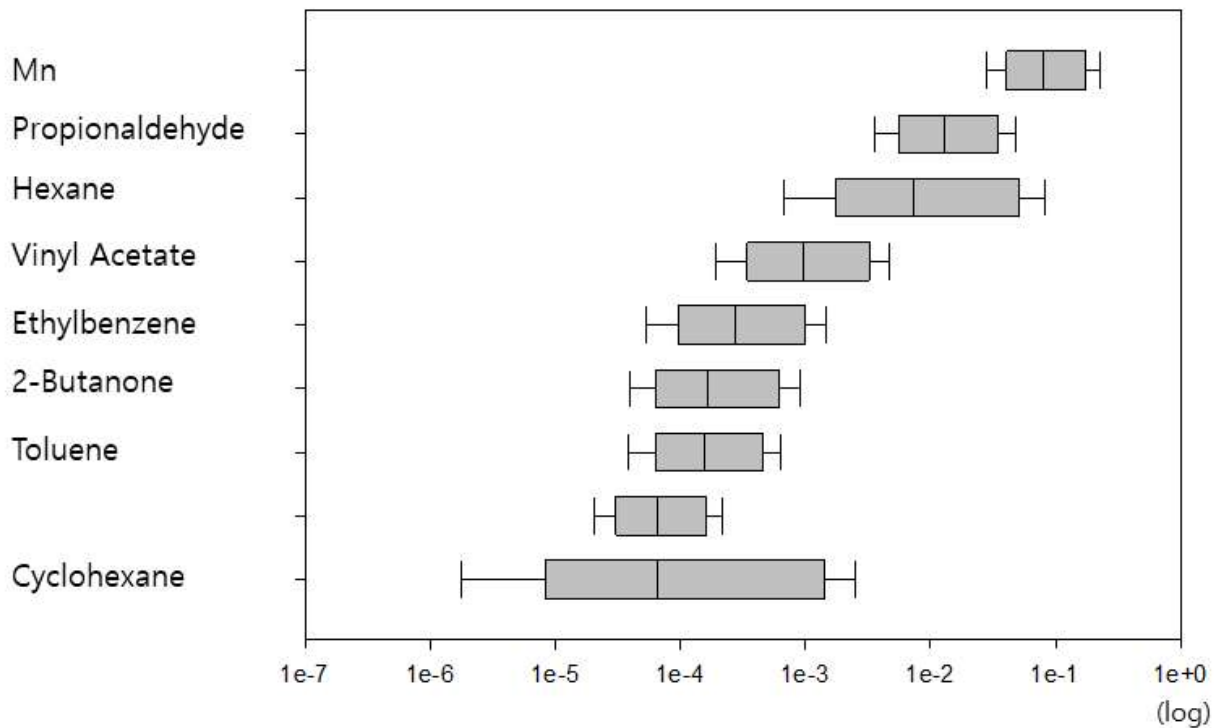


그림 163 화곡 2리 비발암성 물질 위해지수 순위

□ 대로 3리

- 대산산단 주변지역의 조사지역 중 대로 3리 지점에서의 발암 위해도 순위를 아래 표로 나타내었다. 인구집단의 50%가 영향을 받는 위해도를 평균 위해도로 가정할 경우인 50 percentiles 대상으로 순위를 정하였음. 카르보닐 Formaldehyde, VOCs 1,2-Dichloroethane, 카르보닐 Acetaldehyde, VOCs Benzene, 중금속 Cr6+, VOCs 1,3-Butadiene*, 중금속 Ni, PAHs Benzo[a]pyrene, VOCs Dichloromethane 순이었음.
- 대산산단 주변지역의 조사지역 중 대로 3리 지점에서의 카르보닐 Formaldehyde를 제외한 발암물질에 대하여 50% 영역에서는 관리기준 위해도(1.0E-05) 초과하지 않는 것으로 나타남. 발암성 물질 카르보닐 Formaldehyde, VOCs 1,2-Dichloroethane, Benzene에 대하여 인구집단의 95%가 영향을 받는 95 percentiles 대상의 발암 위해도는 관리기준 위해도(1.0E-05)를 초과하는 것으로 나타나 추후 지속적인 관찰이 필요함.

표 128 대로 3리 발암성 물질 위해도 순위

순위	분류	물질	Percentiles						
			5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
1	카르보닐	Formaldehyde	6.64.E-06	7.84.E-06	1.07.E-05	1.54.E-05	2.27.E-05	3.28.E-05	4.10.E-05
2	VOCs	1,2-Dichloroethane	1.33E-06	1.81E-06	3.03E-06	5.35E-06	9.40E-06	1.55E-05	2.12E-05
3	카르보닐	Acetaldehyde	1.70.E-06	1.95.E-06	2.52.E-06	3.46.E-06	4.90.E-06	6.81.E-06	8.39.E-06
4	VOCs	Benzene	6.61E-07	9.27E-07	1.63E-06	3.05E-06	5.65E-06	9.90E-06	1.39E-05
5	중금속	Cr6+	2.26.E-07	3.01.E-07	4.59.E-07	7.02.E-07	1.03.E-06	1.43.E-06	1.73.E-06
6	VOCs	1,3-Butadiene*	1.25.E-08	2.95.E-08	1.06.E-07	3.98.E-07	1.46.E-06	4.72.E-06	9.52.E-06
7	중금속	Ni	6.24.E-09	1.26.E-08	4.03.E-08	1.46.E-07	5.25.E-07	1.66.E-06	3.38.E-06
8	PAHs	Benzo[a]pyrene	2.21E-09	4.78E-09	1.24E-08	2.97E-08	6.71E-08	1.39E-07	2.10E-07
9	VOCs	Dichloromethane	1.84E-11	4.54E-11	2.06E-10	1.10E-09	5.82E-09	2.63E-08	6.40E-08

- 대산산단 주변지역의 조사지역 중 대로 3리 지점에서의 비발암 위해지수 순위를 표로 나타냄. 50 percentiles 대상으로 순위를 정하였고 중금속 Mn, 카르보닐 Propionaldehyde, VOCs Hexane, Vinyl Acetate 순이었음. 대상 지점의 50%, 95% 영역에서 비발암 위해지수는 관리기준 위해지수(1)을 초과하지 않아 인체에 유해한 영향이 비교적 적을 것으로 판단됨.

표 129 대로 2리 비발암성 물질 위해지수 순위

순위	분류	물질	Percentiles						
			5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
1	중금속	Mn	2.07.E-02	3.71.E-02	6.47.E-02	9.78.E-02	1.34.E-01	1.70.E-01	1.93.E-01
2	카르보닐	Propionaldehyde	3.93.E-03	5.20.E-03	8.38.E-03	1.42.E-02	2.39.E-02	3.85.E-02	5.09.E-02
3	VOCs	Hexane	3.96.E-04	6.41.E-04	1.45.E-03	3.62.E-03	8.97.E-03	2.03.E-02	3.35.E-02
4	VOCs	Vinyl Acetate	2.36.E-04	3.45.E-04	6.52.E-04	1.32.E-03	2.69.E-03	5.09.E-03	7.45.E-03
5	VOCs	Ethylbenzene	8.53.E-05	1.32.E-04	2.69.E-04	6.03.E-04	1.34.E-03	2.75.E-03	4.25.E-03
6	카르보닐	2-Butanone	3.00.E-05	4.29.E-05	7.70.E-05	1.47.E-04	2.84.E-04	5.11.E-04	7.29.E-04
7	VOCs	Toluene	2.09.E-05	3.05.E-05	5.75.E-05	1.15.E-04	2.33.E-04	4.34.E-04	6.29.E-04
8	VOCs	Tetrahydrofuran	1.84.E-05	2.43.E-05	3.85.E-05	6.45.E-05	1.07.E-04	1.71.E-04	2.25.E-04
9	VOCs	Cyclohexane	7.78.E-07	1.57.E-06	4.94.E-06	1.82.E-05	6.67.E-05	2.13.E-04	4.25.E-04

□ 오지리

- 대산산단 주변지역의 조사지역 중 대로 3리 지점에서의 발암 위험도 순위를 아래 표로 나타냄. 인구집단의 50%가 영향을 받는 위험도를 평균 위험도로 가정할 경우인 50 percentiles 대상으로 순위를 정하였음. 카르보닐 Formaldehyde, Acetaldehyde, VOCs 1,2-Dichloroethane, Benzene, 중금속 Cr6+, Ni, VOCs 1,3-Butadiene*, Dichloromethane, PAHs Benzo[a]pyrene 순이었음
- 대산산단 주변지역의 조사지역 중 오지리 지점에서의 카르보닐 Formaldehyde를 제외한 발암물질에 대하여 50% 영역에서는 관리기준 위험도(1.0E-05) 초과하지 않는 것으로 나타났으며, 발암성 물질 카르보닐 Formaldehyde, VOCs 1,2-Dichloroethane에 대하여 인구집단의 95%가 영향을 받는 95 percentiles 대상의 발암 위험도는 관리기준 위험도(1.0E-05)를 초과하는 것으로 나타나 추후 지속적인 관찰이 필요함

표 130 오지리 발암성 물질 위험도 순위

순위	분류	물질	Percentiles						
			5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
1	카르보닐	Formaldehyde	3.94.E-06	5.62.E-06	8.63.E-06	1.24.E-05	1.67.E-05	2.11.E-05	2.39.E-05
2	카르보닐	Acetaldehyde	1.14.E-06	1.53.E-06	2.23.E-06	3.13.E-06	4.15.E-06	5.21.E-06	5.88.E-06
3	VOCs	1,2-Dichloroethane	8.27E-07	1.11E-06	1.81E-06	3.10E-06	5.29E-06	8.55E-06	1.14E-05
4	VOCs	Benzene	5.12E-07	6.89E-07	1.14E-06	1.98E-06	3.47E-06	5.71E-06	7.68E-06
5	중금속	Cr6+	3.57.E-07	4.51.E-07	6.37.E-07	9.00.E-07	1.24.E-06	1.61.E-06	1.88.E-06
6	중금속	Ni	1.32.E-08	2.54.E-08	7.54.E-08	2.53.E-07	8.47.E-07	2.54.E-06	4.90.E-06
7	VOCs	1,3-Butadiene	1.42.E-08	3.31.E-08	9.39.E-08	2.50.E-07	6.24.E-07	1.38.E-06	2.22.E-06
8	VOCs	Dichloromethane	1.21E-09	1.99E-09	4.60E-09	1.18E-08	2.98E-08	6.89E-08	1.15E-07
9	PAHs	Benzo[a]pyrene	1.86E-09	2.78E-09	5.02E-09	9.04E-09	1.56E-08	2.51E-08	3.32E-08

- 대산산단 주변지역의 조사지역 중 오지리 지점에서의 비발암 위험지수 순위를 표로 나타내었음. 50 percentiles 대상으로 순위를 정하였고 중금속 Mn, 카르보닐 Propionaldehyde, VOCs Hexane, Vinyl Acetate 순임. 대상 지점의 50%, 95% 영역에서 비발암 위험지수는 관리기준 위험지수(1)을 초과하지 않아 인체에 유해한 영향이 비교적 적을 것으로 판단됨

표 131 오지리 비발암성 물질 위해지수 순위

순위	분류	물질	Percentiles						
			5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
1	중금속	Mn	1.30.E-02	2.33.E-02	5.13.E-02	1.12.E-01	2.30.E-01	4.30.E-01	6.28.E-01
2	카르보닐	Propionaldehyde	2.63.E-03	3.44.E-03	5.50.E-03	9.18.E-03	1.52.E-02	2.43.E-02	3.19.E-02
3	VOCs	Hexane	3.37.E-04	6.79.E-04	2.26.E-03	8.43.E-03	3.17.E-02	1.04.E-01	2.13.E-01
4	VOCs	Vinyl Acetate	1.06.E-04	1.49.E-04	2.62.E-04	4.90.E-04	9.18.E-04	1.63.E-03	2.28.E-03
5	카르보닐	2-Butanone	2.61.E-05	3.68.E-05	6.52.E-05	1.24.E-04	2.35.E-04	4.14.E-04	5.86.E-04
6	VOCs	Ethylbenzene	2.11.E-05	3.01.E-05	5.43.E-05	1.04.E-04	1.99.E-04	3.60.E-04	5.09.E-04
7	VOCs	Tetrahydrofuran	1.73.E-05	2.30.E-05	3.65.E-05	6.04.E-05	1.01.E-04	1.60.E-04	2.12.E-04
8	VOCs	Toluene	1.37.E-06	2.64.E-06	7.64.E-06	2.50.E-05	8.17.E-05	2.37.E-04	4.50.E-04
9	VOCs	Cyclohexane	8.55.E-06	9.30.E-06	1.07.E-05	1.23.E-05	1.39.E-05	1.53.E-05	1.62.E-05

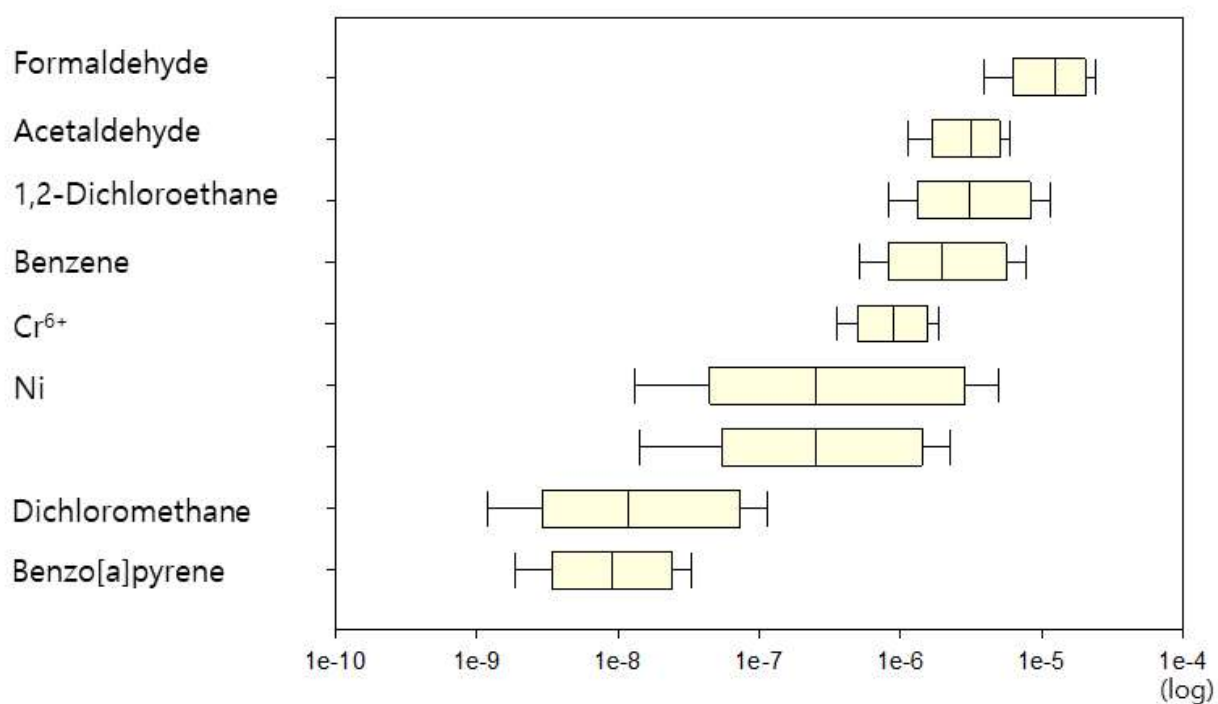


그림 164 오지리 발암성 물질 위해도 순위

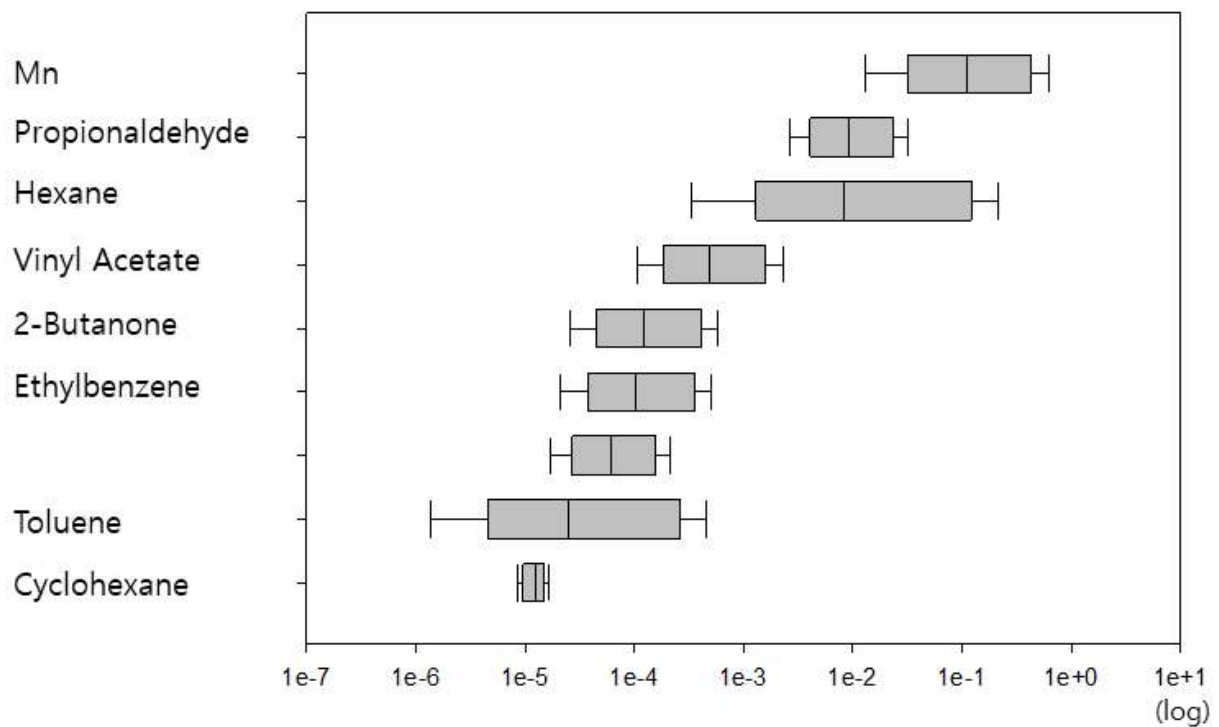


그림 165 오지리 비발암성 물질 위해지수 순위

□ 대산리

- 대산산단 주변지역의 조사지역 중 대산리 지점에서의 발암 위해도 순위를 아래 표로 나타냄. 인구집단의 50%가 영향을 받는 위해도를 평균 위해도로 가정할 경우인 50 percentiles 대상으로 순위를 정함. 카르보닐 Formaldehyde, Acetaldehyde, VOCs 1,2-Dichloroethane, Benzene, 중금속 Cr6+, VOCs 1,3-Butadiene*, 중금속 Ni, PAHs Benzo[a]pyrene, VOCs Dichloromethane 순이었음
- 대산산단 주변지역의 조사지역 중 대산리 지점에서의 카르보닐 Formaldehyde를 제외한 발암물질에 대하여 50% 영역에서는 관리기준 위해도(1.0E-05) 초과하지 않는 것으로 나타남. 발암성 물질 카르보닐 Formaldehyde, Acetaldehyde, VOCs 1,2-Dichloroethane, 1,3-Butadiene*에 대하여 인구집단의 95%가 영향을 받는 95 percentiles 대상의 발암 위해도는 관리기준 위해도(1.0E-05)를 초과하는 것으로 나타나 추후 지속적인 관찰이 필요함.

표 132 대산리 발암성 물질 위해도 순위

순위	분류	물질	Percentiles						
			5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
1	카르보닐	Formaldehyde	8.02.E-06	1.01.E-05	1.46.E-05	2.21.E-05	3.33.E-05	4.83.E-05	6.02.E-05
2	카르보닐	Acetaldehyde	2.69.E-06	3.06.E-06	3.88.E-06	5.23.E-06	7.32.E-06	1.02.E-05	1.26.E-05
3	VOCs	1,2-Dichloroethane	1.16E-06	1.53E-06	2.46E-06	4.16E-06	7.02E-06	1.12E-05	1.48E-05
4	VOCs	Benzene	6.41E-07	8.77E-07	1.49E-06	2.68E-06	4.80E-06	8.14E-06	1.11E-05
5	중금속	Cr6+	2.93.E-07	3.85.E-07	5.79.E-07	8.63.E-07	1.24.E-06	1.68.E-06	2.00.E-06
6	중금속	Ni	9.97.E-09	2.57.E-08	8.11.E-08	2.38.E-07	6.52.E-07	1.56.E-06	2.62.E-06
7	VOCs	1,3-Butadiene	7.52.E-09	1.49.E-08	4.65.E-08	1.69.E-07	5.99.E-07	1.89.E-06	3.76.E-06
8	PAHs	Benzo[a]pyrene	2.95E-09	4.08E-09	7.18E-09	1.39E-08	2.75E-08	5.11E-08	7.43E-08
9	VOCs	Dichloromethane	6.97E-11	1.81E-10	8.89E-10	5.29E-09	3.22E-08	1.62E-07	4.26E-07

- 대산산단 주변지역의 조사지역 중 대산리 지점에서의 비발암 위해지수 순위를 표로 나타내었으며, 50 percentiles 대상으로 순위를 정하였고 중금속 Mn, 카르보닐 Propionaldehyde, VOCs Hexane, Vinyl Acetate 순이었음. 대상 지점의 50%, 95% 영역에서 비발암 위해지수는 관리기준 위해지수(1)을 초과하지 않아 인체에 유해한 영향이 비교적 적을 것으로 판단되었음

표 133 대산리 비발암성 물질 위해지수 순위

순위	분류	물질	Percentiles						
			5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
1	중금속	Mn	3.14.E-02	4.08.E-02	6.78.E-02	1.30.E-01	2.65.E-01	5.16.E-01	7.72.E-01
2	카르보닐	Propionaldehyde	2.21.E-03	3.42.E-03	7.11.E-03	1.60.E-02	3.62.E-02	7.51.E-02	1.17.E-01
3	VOCs	Hexane	1.08.E-03	1.95.E-03	5.28.E-03	1.58.E-02	4.72.E-02	1.26.E-01	2.30.E-01
4	VOCs	Vinyl Acetate	1.58.E-04	2.25.E-04	4.10.E-04	7.90.E-04	1.52.E-03	2.74.E-03	3.91.E-03
5	VOCs	Ethylbenzene	3.86.E-05	5.59.E-05	1.02.E-04	2.01.E-04	3.93.E-04	7.15.E-04	1.03.E-03
6	카르보닐	2-Butanone	4.93.E-05	6.68.E-05	1.12.E-04	1.98.E-04	3.52.E-04	5.84.E-04	8.00.E-04
7	VOCs	Cyclohexane	1.81.E-05	2.74.E-05	5.52.E-05	1.19.E-04	2.60.E-04	5.21.E-04	7.90.E-04
8	VOCs	Toluene	1.29.E-05	1.84.E-05	3.32.E-05	6.45.E-05	1.24.E-04	2.23.E-04	3.17.E-04
9	VOCs	Tetrahydrofuran	1.57.E-05	2.13.E-05	3.53.E-05	6.16.E-05	1.06.E-04	1.75.E-04	2.35.E-04

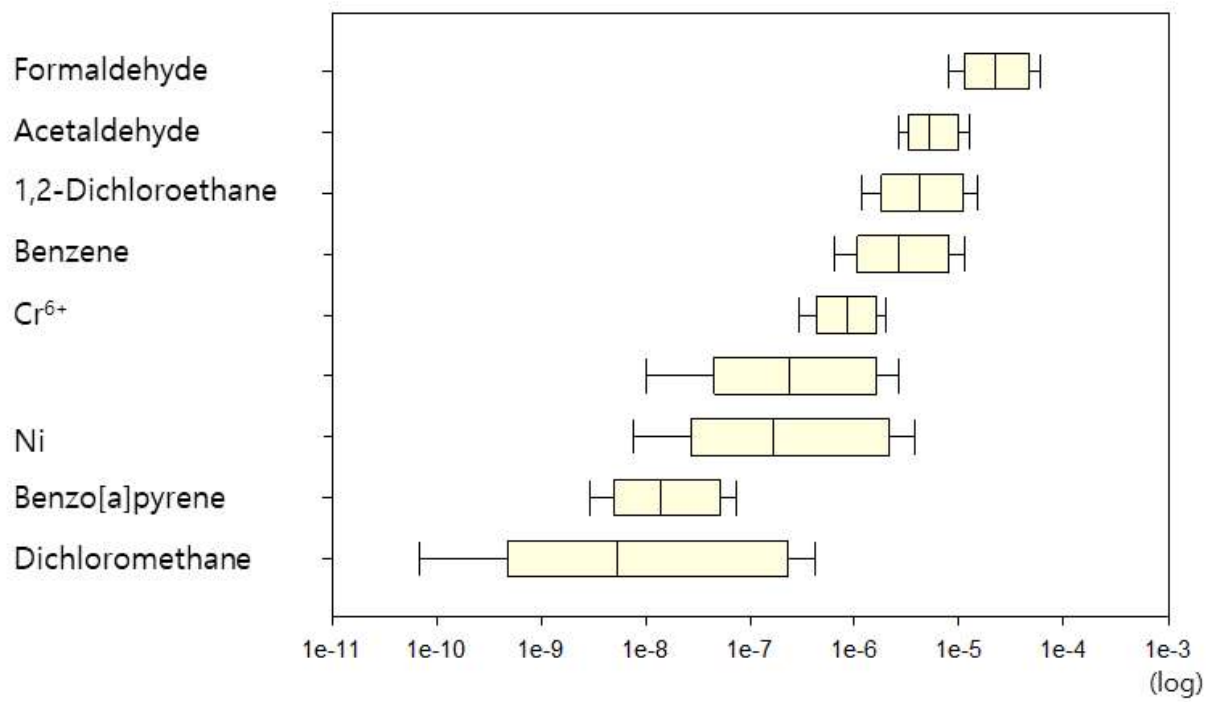


그림 166 대산리 발암성 물질 위해도 순위

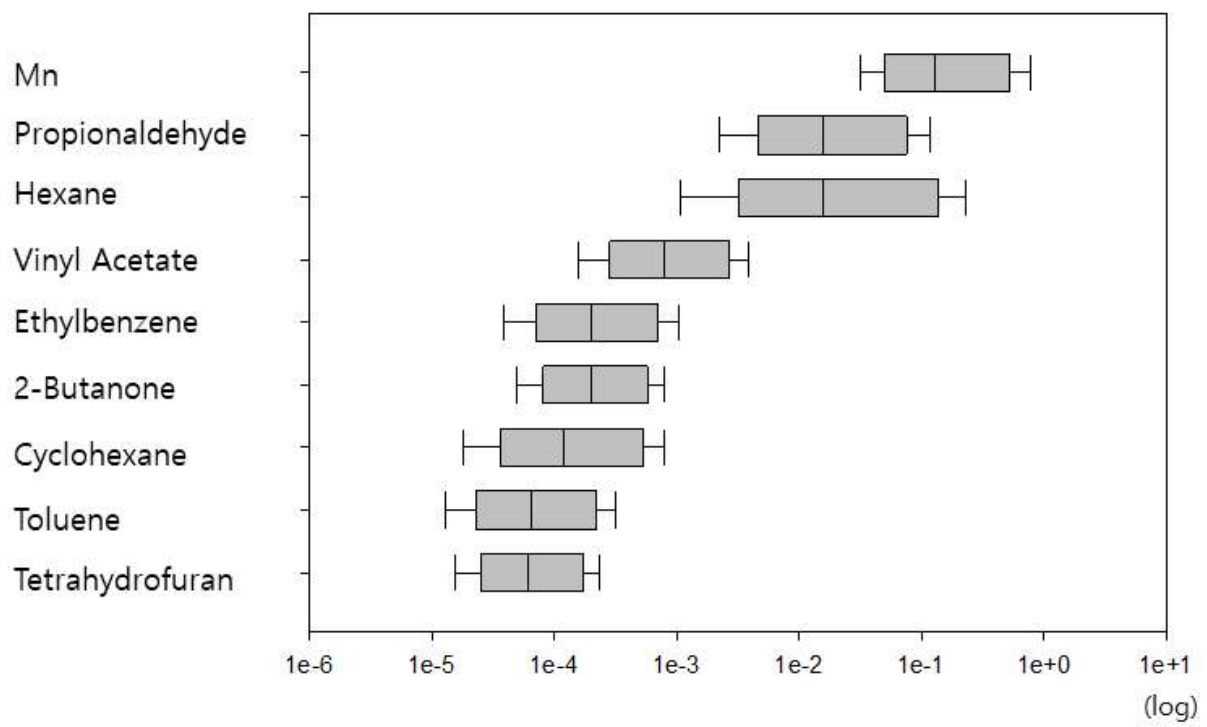


그림 167 대산리 비발암성 물질 위해지수 순위

제 4 절 위해성 결과

- 대산산단 주변지역에서 평가한 발암물질 중 주요 발암성 물질을 대상으로 선행연구 지역인 광주지역('18년), 거제지역('18년)의 각 주거지역과 본 연구의 조사지역의 발암 위해도를 비교한 표를 작성하였음. 인구의 50%가 영향을 받는 위해도를 평균 위해도로 가정할 경우인 50 percentiles 대상으로 발암 위해도를 서술함. 각 산단지역에 대한 특성이 다르므로 발암 위해도 및 비발암 위해지수에 대한 상대적인 비교로 판단하여야 함

표 134 지점별 발암성 물질 위해도 순위

대죽 1리	화곡 2리	대로 3리	오지리	대산리
Formaldehyde (1.68.E-05)	Formaldehyde (1.26.E-05)	Formaldehyde (1.54.E-05)	Formaldehyde (1.24.E-05)	Formaldehyde (2.21.E-05)
1,2-Dichloroethane (8.02E-06)	1,2-Dichloroethane (3.71E-06)	1,2-Dichloroethane (5.35E-06)	Acetaldehyde (3.13.E-06)	Acetaldehyde (5.23.E-06)
Benzene (6.29E-06)	Acetaldehyde (3.47.E-06)	Acetaldehyde (3.46.E-06)	1,2-Dichloroethane (3.10.E-06)	1,2-Dichloroethane (4.16.E-06)
Acetaldehyde (4.29.E-06)	Benzene (2.72.E-06)	Benzene (3.05.E-06)	Benzene (1.98.E-06)	Benzene (2.68.E-06)
Cr6+ (9.55.E-07)	Cr6+ (5.91.E-07)	Cr6+ (7.02.E-07)	Cr6+ (9.00.E-07)	Cr6+ (8.63.E-07)
1,3-Butadiene (5.73.E-07)	1,3-Butadiene (5.91E-07)	1,3-Butadiene (3.98.E-07)	Ni (2.53.E-07)	1,3-Butadiene (2.38.E-07)
Ni (8.66.E-08)	Ni (7.12.E-08)	Ni (1.46.E-07)	1,3-Butadiene (2.50.E-07)	Ni (1.69.E-07)
Benzo[a]pyrene (1.40E-08)	Benzo[a]pyrene (1.91E-08)	Benzo[a]pyrene (2.97E-08)	Dichloromethane (1.18.E-08)	Benzo[a]pyrene (1.39E-08)
Dichloromethane (1.03.E-08)	Dichloromethane (1.12.E-08)	Dichloromethane (1.10.E-09)	Benzo[a]pyrene (9.04.E-09)	Dichloromethane (5.29.E-09)

표 135 지점별 비발암성 물질 위해지수 순위

대죽 1리	화곡 2리	대로 3리	오지리	대산리
Mn (9.69.E-02)	Mn (8.12.E-02)	Mn (9.78.E-02)	Mn (1.12.E-01)	Mn (1.30.E-01)
Propionaldehyde (1.60.E-02)	Propionaldehyde (1.31.E-02)	Propionaldehyde (1.42.E-02)	Propionaldehyde (9.18.E-03)	Propionaldehyde (1.60.E-02)
Hexane (1.48.E-02)	Hexane (7.46.E-03)	Hexane (3.62.E-03)	Hexane (8.43.E-03)	Hexane (1.58.E-02)
Vinyl Acetate (3.86.E-03)	Vinyl Acetate (9.54.E-04)	Vinyl Acetate (1.32.E-03)	Vinyl Acetate (4.90.E-04)	Vinyl Acetate (7.90.E-04)
Ethylbenzene (4.17.E-04)	Ethylbenzene (2.79.E-04)	Ethylbenzene (6.03.E-04)	2-Butanone (1.24.E-04)	Ethylbenzene (2.01.E-04)
Cyclohexane (1.84.E-04)	2-Butanone (1.64.E-04)	2-Butanone (1.47.E-04)	Ethylbenzene (1.04.E-04)	2-Butanone (1.98.E-04)
2-Butanone (1.47.E-04)	Toluene (1.56.E-04)	Toluene (1.15.E-04)	Tetrahydrofuran (6.04.E-05)	Cyclohexane (1.19.E-04)
Toluene (1.32.E-04)	Tetrahydrofuran (6.62.E-05)	Tetrahydrofuran (6.45.E-05)	Toluene (2.50.E-05)	Toluene (6.45.E-05)
Tetrahydrofuran (5.61.E-05)	Cyclohexane (6.61.E-05)	Cyclohexane (1.82.E-05)	Cyclohexane (1.23.E-05)	Tetrahydrofuran (6.16.E-05)

- 본 연구의 위해성 평가 대상인 발암성 물질 카르보닐 Formaldehyde은 평균 위해도인 50% 영역에서는 관리기준 위해도(1.0E-05)를 초과하는 것으로 나타나, 지속적인 관찰과 대책이 요구됨. 이를 제외한 발암성 물질은 50% 영역에서는 관리기준 위해도(1.0E-05)를 초과하지 않는 것으로 나타났으며, 비발암성 물질은 전지역에서 관리기준 위해지수(1)을 초과하지 않아 인체에 유해한 영향이 비교적 적을 것으로 판단됨

표 136 선행연구자료 비교 - 50 percentile 발암성 물질

	2019년					2018년	2018년
	대산					광주	거제
	대죽 1리	화곡 2리	대로 3리	오지리	대산리	서석동	아주동
Formaldehyde	1.68.E-05	1.26.E-05	1.54.E-05	1.24.E-05	2.21.E-05	1.45.E-05	1.14.E-05
Acetaldehyde	4.29.E-06	3.47.E-06	3.46.E-06	3.13.E-06	5.23.E-06	2.45.E-06	2.51E-06
Benzene	6.29E-06	2.72.E-06	3.05.E-06	1.98.E-06	2.68.E-06	2.18.E-06	5.50E-07
1,2-Dichloroethane	8.02E-06	3.71E-06	5.35E-06	3.10.E-06	4.16.E-06	4.65.E-06	7.69E-07
Ni	8.66.E-08	7.12.E-08	1.46.E-07	2.53.E-07	1.69.E-07	4.18.E-08	3.65.E-07
Benzo[a]pyrene	1.40E-08	1.91E-08	2.97E-08	9.04.E-09	1.39E-08	1.02.E-08	-

- 지점별 위해도 결과를 국내 타산단지역과 비교해 본다면, 발암성 물질의 경우, 카르보닐 Formaldehyde은 10-5 수준으로, 관리기준 위해도(1.0E-05)를 초과하였으며, 광주지역과 거제지역의 10-5 수준과 비슷한 것으로 나타남. 카르보닐 Acetaldehyde는 관리기준 위해도(1.0E-05)를 초과하였으며, 광주지역과 거제지역은 10-6 수준으로 비슷한 것으로 나타남
- VOCs Benzene, 1,2-Dichloroethane은 10-6 수준으로 관리기준 위해도(1.0E-05)를 초과하지 않았으며, 광주지역과 거제지역은 10-6, 10-7 수준으로 비슷하거나 높은 것으로 나타남
- 중금속 Ni은 10-7~10-8 수준으로 관리기준 위해도(1.0E-05)를 초과하지 않았으며, 광주지역과 거제지역의 10-8, 10-7 수준으로 비슷하거나 높은 것으로 보임
- PAHs Benzo[a]pyrene은 10-8~10-9 수준으로 관리기준 위해도(1.0E-05)를 초과하지 않았으며, 광주지역의 10-8 수준으로 비슷하거나 낮은 것으로 나타남

제 5 장 대기환경 개선 대책

제 1 절 문제점 분석

□ 일반 현황 조사 (7가지 문제점을 발견)

- 이동오염원의 증가(I -1)

- 서산시는 지난 10년간 꾸준히 자동차 등록대수가 증가하고 있으며, 특히 2018년에는 90,710대로 2011년 67,279대 대비 35%나 증가하였음

- 특히 대형사업장이 밀집해 있는 산업단지 특성상 원료운송 및 제품 운반 등에 활용되는 대형 트럭들이 다수 운행 중에 있으며, 주기적으로 유해화학물질 운반차량의 전복 등의 사고로 주민들의 우려와 피해사례가 발생하고 있었음

- 평균기온 상승과 강수량 감소(I -2)

- 2018년도 연평균 기온은 12.2℃로 2009년 12.1℃ 대비 0.1℃ 상승하였고, 강수량은 2009년 1,237 mm에서 2018년 1227 mm로 소폭 감소하였음

- 기후변화 등의 요인으로 타 지역의 변화양상과 마찬가지로 온도 상승, 강수량 감소가 나타나고 있지만 타 지역에 비해서는 미미한 수준으로 나타남

- 서풍(북서풍) 계열 바람 우세(I -3)

- 대산항에 위치한 기상방재센터의 자료 분석결과 주풍은 서풍(북서풍)으로 주풍이 불어 올 경우 산업단지에서 배출된 오염물질에 의한 영향을 주변 마을에서 직접적으로 받을 수 있을 것으로 예상됨

- 타 지역 석유화학단지(울산, 여수) 배출량 대비 유사한 대기질 농도 유지(I -4)

- 대산석유화학단지는 울산 여수에 비해 면적면에서 1/4~1/2 수준이고, 사업장 개수 측면에서는 1/2~1/6 수준임

- 허나 단위면적당 배출량 산정시(톤/㎡) 여수의 3.1, 울산 남구의 2.0, 울산 온산의 2.6에 비해 4.0으로 많으며, 사업장당 배출량(톤/사업장) 역시 여수 658, 울산 남구 304, 울산 온산 298에 비해 992로 상당히 높은 수준으로 나타남

- 높음 VOCs 배출량 및 고농도 벤젠 발생, 시간대별 높은 농도 편차(I -5,6,7)

- TVOCs의 경우 타 지역에 연구자료에 비해 낮은 수준으로 나타났으며, 개별 오염물질 별로 분석시 독성이 강한 벤젠이나 1-3부타디엔의 농도가 높게 나타났음

- 특히 실시간 측정결과 시간대별 편차가 크게 나타나 이에 대한 정밀 조사가 필요할 것으로 판단됨

No.	현황·문제점	대책 방향
I-1	이동 오염원 ▲	노후 운반차량 관리
I-2	평균기온 ▲ / 강수량 ▼	미세먼지 증가 우려로 종합대책 수립
I-3	(풍향) 서풍 계열 우세	고농도 발생에 따른 <u>풍향별</u> 대책 수립
I-4	타 지역 석유화학단지 배출량 대비 유사한 <u>대기질</u> 농도 유지	<u>대기질</u> 농도 관리대책 집중
I-5	높은 VOCs 배출량	VOCs <u>물질별</u> 원인과 대응책 개발
I-6	(이동 측정·실시간 측정 결과) 고농도 벤젠 발생	벤젠 관리 프로세스 확립
I-7	(이동 측정·실시간 측정 결과) 시간대별 높은 농도 차이 발생	원인 분석과 맞춤형 관리

그림 168 일반현황 조사(I)에서 발견된 문제점 검토

□ 대기질 측정 (3가지 문제점을 발견)

- 타 산단 대비 벤젠, 1-3부타디엔 농도 유사 또는 일부 고농도
 - 대산석유화학단지는 타 석유화학단지에 비해 면적이나 배출사업장의 숫자는 적자만 반대로 좁은 면적에서 다량의 오염물이 배출되고 있음
 - 특히 국가산업단지로 계획된 울산이나 여수에 비해 일반산업단지로 산업단지와 주거지역이 밀접해 있고, 현재도 계속 개발·확장 중이라 이에 대한 주민과 사업체간 마찰이 빈번히 발생하고 있음
- 서북서풍시 상대적 고농도 발생
 - 바닷가와 인접해 있는 지역적 특성상 계절별로 영향을 미치는 서북풍 외에 비열차이로 인해 발생하는 해륙풍에 의한 영향이 더욱 자주 발생할 것으로 판단됨
 - 산업단지에 비해 동남쪽에 주거지역이 위치해 있는 만큼 서북서풍이 불 경우 산업단지에서 배출되는 오염물질들이 직접적으로 인접 마을에 영향을 미칠 것으로 판단됨
- 다이옥신 등 타 지역 대비 낮은 농도 유지
 - 다이옥신은 산업단지나 발전소와 같은 배출시설보다는 도시쓰레기 등을 소각하는 소각시설에서의 발생이 빈번히 발생하고 있으나 최근 강화된 환경규제에 의해 대부분 후처리장치에서 처리되고 있는 것으로 보고되고 있음
 - 허나 각 마을별로 이루어지고 있는 노천소각이나 공동 쓰레기 소각시 다이옥신이 다수 발생할 수 있어 이에 대한 교육과 홍보가 적극적으로 필요할 것으로 판단됨

No.	현황·문제점	대책 방향
II-1	타 산단 대비 벤젠, 1,3-부타디엔 농도 유사 또는 일부 고농도	물질별 맞춤형 대책 수립
II-2	서북서풍 시 상대적 고농도 발생	고농도 시 대책 수립
II-3	다이옥신 등 타지역 대비 낮은 농도 유지(농도 편차 심함)	측정시기 문제 해결(실시간 측정 필요)

그림 169 대기질 측정(II)에서 발견된 문제점 검토

□ 설문조사 (5가지 문제점을 발견)

- 악취, 미세먼지, 암모니아, VOCs 피해 우려
 - 주민들은 타 오염물질보다 감각적으로 보고(미세먼지)와 느낄 수 있는 (악취, 암모니아, VOCs)에 대한 관심이 더욱 많았음
 - 본 연구과제 수행 결과 일반 대기오염물질인 미세먼지의 경우 상대적으로 낮게 나타난 반면, 독성이 강한 벤젠이나 1-3부타디엔의 농도가 순간 순간 높게 나타나 이에 대한 모니터링과 원인 분석이 시급한 것으로 나타났음
- 대기질 정보에 대한 주민 접근성이 제한적
 - 주민들은 대부분의 정보를 TV나 인터넷을 통해 접하고 있으나, 요즘과 같은 정보의 홍수세대에서 양질의 정확한 정보를 확보하기에는 많은 어려움이 있음
 - 최근 많이 이용되고 있는 에어코리아나 정보제공 서비스는 컴퓨터나 스마트폰을 통한 어플리케이션 형태로 제공되고 있으나, 대산지역의 경우 대다수 주민분들이 중장년층 이다보니 이러한 정보를 쉽게 접하거나 얻을 수 없었음
 - 정보제공 형태도 SNS나 어플 형태의 양방향 소통프로그램보다는 고전적인 등기나 문자 등의 매체를 더욱 선호하는 것으로 나타났음
- 배출기준 강화, 배출 총량제 도입 요구
 - 현재 산업단지에 적용되고 있는 배출기준보다 강화된 “대기보전 특별대책지역” 수준의 배출기준이나 총량제를 도입하여 운영하는 것을 요청
- 주민 지원 및 피해 예방·보상 요구
 - 과거부터 수십년동안 받아온 피해에 대한 보상을 요구하며, 특히 대죽1리의 경우 타 지역에 비해 많은 영향을 받고 있는 것이 확인된 만큼 시급한 이주대책이 마련되길 요청함
- 대기질 정보 신뢰도 문제
 - 현재 독곶리에서 운영 중인 도시대기측정소의 경우 대산지역에서 배출되고 있는 오염물질에 대한 주민 피해를 대표하지 못할 것으로 판단되며, 측정소 위치를 대죽1리 인근으로 이동해 주길 요구하고 있음

No.	현황·문제점	대책 방향
Ⅲ-1	악취, 미세먼지, 암모니아, VOCs 피해 우려	배출 원인규명과 관리체계 강화
Ⅲ-2	대기질 정보에 대한 주민 접근성 제한적	정보 통합 관리 및 홍보 확대
Ⅲ-3	배출기준 강화, 배출총량제 도입 요구	법·제도 적용 가능성 분석
Ⅲ-4	주민 지원 및 피해 예방·보상 요구 증가	배출규제, 저감시설 확충, 의료지원 확대 등
Ⅲ-5	대기질 정보 신뢰도 문제	측정소 확충과 관리기관의 신뢰성 확보

그림 170 설문조사(Ⅲ)에서 발견된 문제점 검토

□ 모델링 (2가지 문제점을 발견)

- 모델 입력자료 부족
 - 측정 자료를 바탕으로 유해성이 높은 물질들을 대상으로 위해성평가를 검토하였으나 현재 국내외 적으로 구축된 라이브러리가 부족하여 일부 물질에 대해서만 위해성 평가를 수행하였음
- 자연발생 VOCs(NVOCs) 반영의 어려움
 - 현재 학계에서 알려진 바에 의하면 인위적 발생에 의한 VOCs보다 자연적 발생의 VOCs의 양이 약 10배정도 높은 것으로 보고되고 있으며, 대부분 산림이나 해양에서 발생하고 있는 것으로 나타나고 있음
 - 현 기술력과 처리능력을 감안하였을 때 이 부분에 대한 감축은 불가능 할 것으로 보이며, NVOCs의 경우 인위적인 VOCs에 비해 위해성이 큰 개별 VOCs가 적기 때문에 우선적으로 인위적 VOCs를 먼저 개선하는 것을 목표로 추가연구가 진행되어야 할 것임

No.	현황·문제점	대책 방향
IV-1	모델 입력자료 부족	배출량 자료 확보와 현실화
IV-2	자연발생 VOCs(NVOCs) 반영의 어려움	NVOCs의 최신 연구동향 반영 방법론 개발

그림 171 모델링(Ⅳ)에서 발견된 문제점 검토

□ 위해성 평가 (2가지 문제점을 발견)

- 포름알데히드 등 4가지 물질의 위해성 관리 필요성 인지
 - 5개 마을을 대상으로 발암성 및 비발암성 물질 총 17개종에 대해 위해성평가를 수행하였고, 그 결과 마을별로 약간 상이하긴 하지만 발암물질인 포름알데히드, 1,2디클로로에탄, 벤젠, 아세트알데히드 등의 관리가 필요한 것으로 나타남
 - 비발암물질의 경우 대부분 위해도가 낮게 나타났음
- 타 지역 대비 유의한 수준의 위해도 결과 도출

- 오염물질의 농도수준이 일부 오염물질을 제외하고 타 산업단지와 유사한 수준임
- 하지만 벤젠과 1-3부타디엔과 같이 독성이 강한 발암물질들이 순간적으로 고농도로 발생하는 것을 확인한 만큼 이에 대한 관리방안 마련이 시급할 것으로 판단됨

No.	현황·문제점	대책 방향
V-1	포름알데히드 등 4가지 물질의 위해성 관리 필요성 인지	발생원의 명확화와 집중관리 방법론 개발
V-2	타 지역 대비 유의한 수준의 위해도 결과 도출	지속적인 관리 계획 수립

그림 172 위해성평가(V)에서 발견된 문제점 검토

제 2 절 대산석유화학단지 대기질 개선 대책 제안

1. 우선사업 (3개 우선추진 사업)

□ 민·관·사 거버넌스 운영(관련근거 : III-2)

- 배경 및 필요성

- 수십년간 석유화학단지로부터 배출된 오염물질에 의해 직간접적인 피해를 받아 온 주민들은 사업체와 시에 대한 불신이 팽배함
- 어떠한 조사결과와 개선방안이 수립되어도 신뢰도가 밑바탕 되지 않은 정책은 성공하기 어려움
- 효과적인 도와 시의 정책 시행과 사업체의 현실적 대응방안 마련, 주민들의 환경복지 향상을 위해 민·관·사 거버넌스 구축이 요구됨
- 구축된 거버넌스를 기점으로 본 연구에서 제안된 개선방안에 대한 우선순위 선정 및 연구과제 개발이 이루어져야 할 것임

- 소요예산

- 2.5억원

- 연차별 추진계획

표 137 거버넌스 운영 연차별 추진계획

연도	연차별 추진계획
2019	- 거버넌스 구성, 체계 및 영역 설정 - 운영방안(조례 등) 수립
2020	- 거버넌스 발족 및 분과위원회 구성 운영 - 민·관·사 상생방안 검토
2021	- 거버넌스 운영 및 개선사항 보완

- 기대효과

- 지역 소수의견을 취합하여 수렴된 주민의견 반영 가능
- 사업체와 도 및 시에 대한 주민 불신 완화
- 효과적인 개선 정책 추진에 따른 지역대기환경 개선

- 국내외 적용사례

- 여수시에서는 석유화학단지 인근지역 주민과 사업체간의 상생을 위해 2019년 초부터 민·관·사 거버넌스를 구축하여 운영 중에 있음

□ 산업단지 주변 지역(주민건강, 토양, 농작물 등) 영향 분석(관련근거 : III-4)

- 배경 및 필요성

- 환경부 주관으로 단발적인 주민건강영향조사가 수행되고 있지만 수행 결과에 대한 주민정보전

달 부족과 DB관리방안 전무

- 1994년 환경영향조사 결과에 따라 매년 일부 지역에 대해 농작물 피해보상을 수행 중에 있으며, 이로 인한 주민 갈등 발생
- 지속적으로 증축 중인 석유화학단지에 의한 피해는 나날이 증가하고 있으며, 이에 대한 장기적이고 연속적인 관리방안 마련이 필요
- 특히 그 중 주민 생활에 가장 밀접한 건강영향과 농작물 피해, 토양오염 등에 대한 장기적이고 연속적이 모니터링이 요구 됨

• 소요예산

- 3억원(연간, 건강영향조사) / 대산읍 피해지역 60세이상 인구 1/2 기준
- 2억원/5개년마다 추진(토양 및 농작물 피해 조사)

• 연차별 추진계획

표 138 영향분석 연차별 추진계획

연도	연차별 추진계획
2020	- 주민 건강영향 조사(A)
2021	- 주민 건강영향 조사(B) - 토양오염 및 농작물 피해 조사
2022	- 주민 건강영향 조사(A)

• 기대효과

- 실질적인 피해영향권에 위치한 주민 건강에 대한 조사 및 관리 가능
- 주기적인 건강영향 조사에 따른 주민 불안감과 불신 해소
- 지속적인 진단과 자료 축적에 따른 장기적 계획 수립 가능

• 국내외 적용사례

- 환경부나 지자체에서 단발적으로 대규모 배출시설 인근지역에 대한 영향조사 과제를 수행하고 있으나 장기적이지 못한 단발적 수행으로 지역주민들에게 실질적인 효과는 미미한 것으로 보고됨

□ 화학사고 발생 대응 매뉴얼 개발 및 주기적인 훈련계획 수립 (관련근거 : I-7, II-2)

• 배경 및 필요성

- 한화토탈 유증기 발생사고 등 대산석유화학단지 인근, 수시 화학물질 노출 사고가 발생
- 현재 재난방재청 등에서 관리하고 있는 화학물질 사고관련 매뉴얼이 있으나 현실이 반영되지 못한 수백페이지의 원칙론적인 방안 수록
- 대응 매뉴얼은 있으나 주기적인 담당자 교체와 대응방안 미숙으로 인해 사건사고 발생시 즉각적인 대응 불가
- 서산(대산읍) 맞춤형 화학사고 대응 매뉴얼 개발과 주기적인 학습·훈련을 통한 민·관·사의 능동적 대처능력 습득

- 소요예산
 - 1.4억원(현재 추진중인 과제 연계 검토 중)
- 연차별 추진계획

표 139 화학사고 발생대응 연차별 추진계획

연도	연차별 추진계획
2020	- 화학사고 대응 매뉴얼 개발 및 현장 적용 - 현장적용 및 문제점 해결을 통한 최종 매뉴얼 개발 및 주기적인 민·관·사 훈련 실시
2021	- 주기적인 민·관·사 훈련을 통한 능동 대처

- 기대효과
 - 맞춤형 대응 매뉴얼 개발에 따른 사건발생시 빠른 대응 가능
 - 학습을 통한 민·관·사 화학사고 대응 능력 향상
 - 화학사고에 의한 주민건강 피해 감소
- 국내외 적용사례
 - 현재 화학방재처나 화학안전관리단 등에서 화학사고 대응 매뉴얼을 개발 보급하고 있음
 - 허나 각 지역 맞춤형이 아닌 일반화된 대응 매뉴얼로 현장에서 즉각 대응체계 구축을 위해서는 각 지역 맞춤형 매뉴얼 개발이 요구됨

2. 필수사업 (3개 필수추진 사업)

□ 주요 유해물질 공정 및 배출량 조사(관련근거 : II-1, II-3)

- 배경 및 필요성
 - 화학 사고에 대한 대응방안 마련을 위해 화학물질 사용에 따른 공정별 배출오염물질 정보가 필요하나 기밀누출 문제로 자료요청 불응
 - 화학원료와 배출공정, 배출오염물질간의 정보가 밝혀져야 화학물질 관리방안 수립 및 사건사고시 대응방안 모색 가능
 - 대기환경 문제에 대한 시대적 공감대와 환경우선적 발전기조로 인해 정부차원의 강한 압력과 기업별 자발적 저감 노력 시행
- 소요예산
 - 1.5억원
- 연차별 추진계획

표 140 유해물질 배출량 조사 연차별 추진계획

연도	연차별 추진계획
2020	- 각 사업장별 사용화학물질, 공정, 배출오염물질에 대한 조사 및 분류표 작성 - 그 동안 산정되지 못했던 대산지역 대기오염물질 총 배출량 산정
2021	- 자발적 감축목표 설정 및 규제 강화 - 감축 이행목표 설정 및 강력한 이행 평가
2022	- 정책반영에 따른 대기환경개선 효과 분석

- 기대효과
 - 그 동안 산정되지 못했던 비산 대기오염물질의 배출량 DB 구축
 - 실질적인 배출량과 위해성 기반의 관리방안 설정 가능
 - 대기권역법 발효에 따른 총량규제 등에 대한 선도적 대응 가능
- 국내외 적용사례
 - 대부분의 화학물질 정보를 PRTR이나 SEMS 자료를 근거로 활용하고 있으나 본 조사를 통해 보다 정확한 DB를 구축할 수 있으며, 과학적 근거를 기반으로 한 대응방안 수립 및 정책 활용 가능

□ 배출시설 후처리 시설현황 조사(관련근거 : I-4, I-5)

- 배경 및 필요성
 - 연간 일정배출량 이상의 사업장을 대상으로 TMS를 부착하거나 SEMS를 작성하여 배출량과 농도를 관리해 오고 있음
 - 최근 연구에서 TMS와 SEMS의 정확도에 대해 의문의 제기하였고, 일정 배출구가 아닌 산업공

- 정에서 비산되는 오염물질 다수 발견됨
- 배출후처리시설의 경우 초기 적용시 처리농도를 기준으로 사용하고 있으며, 운영과정에서 후처리시설에 대한 관리방안이 전무함
- 각 공정별 정확한 배출량 산정과 효과적인 개선대책 수립을 위해 각 공정에 대한 조사와 후처리시설의 처리효율에 대한 조사가 필요함
- 소요예산
 - 1.0억원+@ (추후 미비 공정 발견시 각 업체별 자발적 장착 의무화)
- 연차별 추진계획

표 141 배출시설 후처리 조사 연차별 추진계획

연도	연차별 추진계획
2020	<ul style="list-style-type: none"> - 공정별 후처리설비 현황 및 처리효율 조사 - 비산 추정배출량에 대한 검증 및 정량화 - 실배출량 대비 업체별 자발적 감축량 산정
2021	<ul style="list-style-type: none"> - 미비공정에 대한 자발적 장착 권고 - 후처리시설에 대한 지속적 모니터링
2022	<ul style="list-style-type: none"> - 정책반영에 따른 대기환경개선 효과 분석

- 기대효과
 - 후처리설비 저감효과 분석을 통한 정량적 저감량 산정 가능
 - 최적의 후처리설비 운영에 따른 오염물질 효과적 감축
 - 실질적인 배출량과 위해성 기반의 관리방안 설정 가능
- 국내외 적용사례
 - 아직 국내 환경법상 설치 된 후처리시설에 대한 성능을 측정·분석하여 관리하도록 하는 법은 없으며, 관련 조례 지정을 통한 관리시 대기배출 오염물질에 대한 효과적인 관리가 가능할 것으로 기대 됨

□ 유해대기물질 실시간 모니터링 시스템 구축(관련근거 : IV-1, IV-2, III-5, V-1)

- 배경 및 필요성
 - 2008년부터 충청남도의 VOCs 배출량을 지속적으로 증가 중에 있으며, 그 중 서산시에서 35.1%가 발생 (석유화학단지 기인)
 - 단편적인 측정자료보다는 공정 가동에 따른 배출특성 조사 필요
 - 조사결과 공정 가동에 따른 일변화 편차 크게 나타남
 - 충청남도 자체 조사 결과 대산지역 벤젠, 1,3부타디엔 등 유해물질 농도 지속적 증가 (충남보건연, 충남연구원 조사 결과)
- 소요예산
 - 12.5억원
 - VOCs 간이 모니터링 조사 운영 (2억)

- VOCs 연속 모니터링 시스템 구축 (8억)
- 연차별 추진계획

표 142 유해대기물질 모니터링 구축 연차별 추진계획

연도	연차별 추진계획
2020	- VOCs에 대한 고정/이동 측정 DB 구축 - 산업단지 실시간 모니터링 조례 지정
2021	- VOCs 고정 측정소 건의 및 대책 수립 - 지속 운영 및 유지보수

- 기대효과
 - 석유화학단지에서 배출되는 VOCs에 대한 시공간적 DB 구축
 - 배출특성 목록화에 따른 우선순위 관리대상 선정 활용
 - 주민 알권리 충족 및 민원 해결 / 주민 대응방안 수립 가능
- 국내외 적용사례
 - 산업단지 모니터링을 위한 고정측정망은 아직 없으며, 지자체별로 이동측정차량을 활용하여 민원 지역에 대해 간헐적 모니터링 실시

3. 확장사업 (6개 확장사업)

□ 특별관리권역 지정, 배출규제 추진(관련근거 : I -3, III -3)

- 배경 및 필요성
 - 미세먼지 대응의 일환으로 정부에서는 2020년 <대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법>을 개정 시행 예정에 있음
 - 서산시(충청남도)는 관리권역으로 편입 예정이며, 이에 따라 세부시행 계획에 의거 저감 계획 수립 및 향후 개선대책 마련이 요구 됨
 - 2020년 편입이 확실시되는 대기환경권역법의 강화된 규정에 맞춰 개선 대책을 수립하고 규제 대응을 위한 시설개선과 추가설비 설치 등이 요구 됨
- 소요예산
 - 6.0억원+@ (사업장 현황 조사에 따른 후속조치 필요)
- 연차별 추진계획

표 143 특별관리 권역지정 연차별 추진계획

연도	연차별 추진계획
2020	- 기존 사업장에 대한 배출허용기준 초과여부 조사 및 강화된 기준치 달성여부 검토 - 사업장별 강화된 기준치 대응 방안 마련 - 미비 사업장에 대한 개선대책 수립 및 보고
2021	- 총량규제 대응을 위한 기존 배출량 및 저감계획 수립 제출 - 이행평가를 통한 계획 완수여부 판단

- 기대효과
 - 기존 배출기준에 비해 강화된 기준 만족을 위한 사업장별 개선 대책 수립 및 이를 통한 대기환경 개선 효과
 - 선도적 조치를 통한 신규 법안 적용 우수사례
 - 총량규제 대응을 통한 지역 대기오염 배출량 저감 효과
- 국내외 적용사례
 - 2020년 적용 예정인 법규로 지역별 대응 방안 마련이나 선도적인 조치를 위한 준비과정에 있으며, 충청남도(서산시)의 선도적 조치를 통해 대기환경 개선 효과를 기대할 수 있음

□ 산업단지 주변지역 지원 사업 벧 제도 구축(관련근거 : III-4)

- 배경 및 필요성
 - 국토교통부에서 추진 중인 <산업입지 및 개발에 관한 법률>에 의거 산업단지 주변 지역 지원 사업 조례를 지정하도록 함
 - 국산업단지를 포함한 일반사업단지 및 도시첨단산업단지까지 포함
 - 산업단지 입주에 따른 주민 피해를 보상·지원하고자 제정
 - 공단협의회 등의 지원금과 국고보조금 등을 활용하여 신설 가능
- 소요예산
 - 1.5억원
- 연차별 추진계획

표 144 산업단지 주변지역 지원 연차별 추진계획

연도	연차별 추진계획
2020	- 조례안 작성 및 예산확보방안 마련 - 지역 거버넌스 구축 및 세부 시행계획 수립
2021	- 추진체계 및 정량적 효과분석 방안 개발 - 산업단지 주변지역 지원사업 추진

- 기대효과
 - 기금활용을 통한 지역주민 숙원사업 해결
 - 기금을 활용하여 생활환경 개선
 - 주민과 사업체간의 공동체 의식 함양
- 국내외 적용사례
 - 충북 제천과 음성에서 동일한 법령에 의거한 조례가 지정되어 수행되고 있으나, 실질적으로 활용은 잘 되고 있지 않음 (기금조성과 활용처 등에 대한 주민의견 분열에 따름)
 - 새로이 구축 될 거버넌스의 활용에 따라 활용방안과 운영 결과가 상이하게 나타날 것으로 판단 됨

□ 대규모 배출시설 대기오염물질 저감 계획 이행 평가

(관련근거 : I-4, III-1, V-2)

• 배경 및 필요성

- 충청남도는 발전소, 산업단지, 제철소와 같은 대규모 배출시설이 다수 밀집되어 있음
- 서산의 경우 전국 3대 석유화학단지인 대산공단과 인근에 당진, 태안발전소와 현대제철 등 다량 배출시설이 위치하여 대기질에 악영향
- 충청남도과 서산시의 강력한 규제하여 대규모 배출시설들은 자발적 감축계획을 수립, 추진 중에 있음
- 하지만 이에 대해 정확히 이행되고 있는지에 대한 정량적 평가가 이루어지고 있지 않아 효과적인 대기환경 개선효과 이룩을 위해 대기환경 분야에 대한 이행평가가 요구 됨

• 소요예산

- 2.0억원

• 연차별 추진계획

표 145 대규모 배출시설 대기오염물질 저감 평가 연차별 추진계획

연도	연차별 추진계획
2020	- 이행평가 체계 구축 - 사업장별 자체감축량 조사 및 평가 수행
2021	- 연차별 대기환경개선 이행평가 실시
2022	- 연차별 대기환경개선 이행평가 실시

• 기대효과

- 대기환경개선효과에 대한 정량적 평가 가능
- 연간 평가결과에 대한 검증과 이를 기반으로 하는 신규 목표 설정
- 미비사항에 대한 반성과 개선방안 도출 가능

• 국내외 적용사례

- 아직까지 대기환경개선분야에 대한 이행평가는 이루어지고 있지 않으며, 현재 기후변화 대응 분야에서 주로 수행되고 있음

□ 주민지원 대기질 정보 센터 운영방안 구축(관련근거 : III-2)

• 배경 및 필요성

- 최근 나날이 증가하고 있는 폭염과 고농도 미세먼지 발생 등 기후환경관련 환경취약계층의 건강문제가 대두됨
- 환경취약계층의 경우 일반인에 비해 환경변화에 민감하게 반응할 수 있으나 정보부족으로 인한 피해사례가 증가하고 있음
- 환경취약계층과 주민들의 건강보호를 위해 기후환경문제에 대해 홍보교육과 문제발생시 문제

해결의 중추역할을 수행할 센터 필요성 증가

- 소요예산
 - 2.0억원
- 연차별 추진계획

표 146 대기질 정보센터 운영 연차별 추진계획

연도	연차별 추진계획
2020	- 대기질정보센터의 역할 및 체계 수립 - 예산확보 및 운영방안 계획
2021	- 환경관련 교육 및 정보제공 방안 마련 - 장기적 DB관리 및 지역활용방안 모색
2022	- 대기질 정보센터 운영 및 보완 개선

- 기대효과
 - 기후환경관련 장기적 DB관리를 통한 대응방안 도출 가능
 - 환경취약계층에 대한 체계적이고 전문적인 정보전달 가능
 - 지역 기후환경 전문가 양성을 통한 지역문제 해결방안 제시 가능
- 국내외 적용사례
 - 황사, 고농도 미세먼지, 기후환경분야에 대해 환경부와 기상청에서 각자 영역에 대해 관리구체는 존재하나 지역 특성에 맞춘 정보센터는 아직 운영 되지 못하고 있음

□ 산업단지 배출시설 설비 개선 지원 추진(관련근거 : I -4, I -5)

- 배경 및 필요성
 - 매년 증가하고 있는 고농도 미세먼지 사례와 국민적 불안해소를 위해 정부차원의 미세먼지 저감 대책방안이 수립되어 추진 중에 있음
 - 그 동안 관심의 사각지대에 있던 소규모 사업장의 노후 방지시설에 대해 조사 및 지원사업이 수행되고 있음
 - 소규모 배출사업장은 배출량 면에서 전체적인 기여도는 미미할 수 있으나 인체 위해도면에서 매우 중요한 관리 요소임
 - 정부에서는 노후시설에 대한 자체적인 설비 점검과 적극적 시설 개선을 요청하였음
- 소요예산
 - 1.0억원+@ (사업장 현황 조사에 따른 후속조치 필요)

- 연차별 추진계획

표 147 산업단지 배출시설 개선 지원 연차별 추진계획

연도	연차별 추진계획
2020	- 노후사업장을 포함한 배출시설 설비 점검 - 우선 지원 사업장 선정 및 개선사업 실시
2021	- 설비 개선 전후의 배출량(비산먼지 포함) 산정 및 배출저감 계획 반영
2022	- 장기적 모니터링 수행(저감효과 분석)

- 기대효과

- 기존 노후설비에서 처리되지 못한 물질에 대한 저감효과 기대
- 공정조사에 따른 미비된 누출량에 대한 설비보완 가능
- 최신기술 도입에 따른 장기적인 배출량 감소 효과

- 국내외 적용사례

- 국가차원의 대기환경개선방안으로 소규모 사업장에 대해 노후시설 교체 지원사업을 추진 중에 있으며, 당해연도 8월 고시된 지침으로 현재 수요조사 및 현황과악 단계로 파악되고 있음

□ 산업단지 운행차량 DPF 의무장착 및 LEZ 운영(관련근거 : I -1)

- 배경 및 필요성

- 정부에서는 대도시를 중심으로 노후 경유차를 대기오염배출 주범으로 인지하고 이를 관리하기 위한 정책을 수행 중에 있음
- 대산읍의 경우 석유화학공정의 원료나 부재료가 되는 다양한 물질의 운반을 위해 대형 디젤 차량들이 빈번히 운행되고 있음
- 이러한 차량에서 다량의 유독성 대기오염물질(디젤입자 1급 발암물질)과 함께 다양한 사고로 외부 노출이 빈번히 발생하고 있음
- 장기적인 정부의 정책방향과 에너지 변환에 맞서 친환경 자동차(전기 및 수소차)로의 전환이 요구 됨

- 소요예산

- 9.5억원(건설기계 엔진교체, LPG 화물차 신차구입, 전기차 보급, 노후 경유차 조기 폐차 등)

- 연차별 추진계획

표 148 DPF 의무장착 및 LEZ운영 연차별 추진계획

연도	연차별 추진계획
2020	- 지역내 차량 친환경차량 전환 유도 - 산업단지 운행차량 친환경차량 전환 유도 - 계도기간 부여 및 홍보/교육
2021	- LEZ 선정 및 친환경 교통체계 구축 시운영
2022	- 친환경 교통인프라 구축 및 활성화

- 기대효과
 - 지역 내 대형차량에서 발생하는 다량의 대기오염물질 감소
 - 정부 정책에 대한 선도적 대응 및 산업단지 우수사례
- 국내외 적용사례
 - 중국 베이징이나 지린성, 일본 도쿄 등에서 시범운행을 거쳐 추진 중에 있으며, 국내에서도 당진시와 서울시에서 친환경 전차(수소)버스 도입 및 친환경건설차량 교체 사업 등 꾸준히 진행 중에 있음
 - 하지만 아직까지 산업단지 내 친환경 교통인프라 구축과 같은 대형 적용 사례는 없어 서산시의 선도적 대응이 필요한 시기임

4. 진행사업 (1개 진행 사업)

□ 대기보전 특별대책지역 지정 추진(관련근거 : I -2, I -4, I -5)

- 배경 및 필요성
 - 국가에서는 환경오염 또는 자연생태계의 변화가 현저하거나 우려가 있는 지역을 대상으로 대기보전특별대책지역으로 지정 관리하고 있음
 - 기존 석유화학단지인 울산과 여수시는 1980~90년대 지정되어 관리되고 있으나 이와 유사한 환경의 대산석유화학단지는 아직 대상이 아님
 - 조사 결과 단위면적이나 업체 수 면에서 울산이나 여수산업단지에 비해 영세하나 단위면적 또는 배출업체 수 대비 배출량은 대산석유화학단지가 상대적으로 높게 나타남
- 소요예산
 - 기초자료 조사 : 0.5억원
 - 영향권 분석 및 건강영향 조사 : 5.5억원
- 연차별 추진계획

표 149 대기보전 특별대책지역 지정 연차별 추진계획

연도	연차별 추진계획
2020	- 기초자료조사 및 주민 의식 조사
2021	- 대기오염 영향권 분석 및 건강영향 조사 - 특별대책지역 지정 건의
2022	- 미비 사항 보완 및 대책 지역 선정 완료

- 기대효과
 - 지역적 관리주체에서 정부차원의 관리방안 수립을 통한 장기적이고 포괄적인 관리방안 제시 가능
 - 강화된 대기환경기준에 따른 대기환경 개선효과

- 환경개선에 따른 주민 환경복지 실현
- 국내외 적용사례
 - 국가산업단지로 지정되어 운영 중인 여수나 울산석유화학단지의 경우 1980~90년대에 이미 지정되어 관리되고 있으나 대산석유화학단지의 경우 상대적으로 작은 규모와 일반산업단지로 분류되어 아직까지 지정, 관리 받지 못하고 있음

VI. 참고문헌

VI. 참고문헌

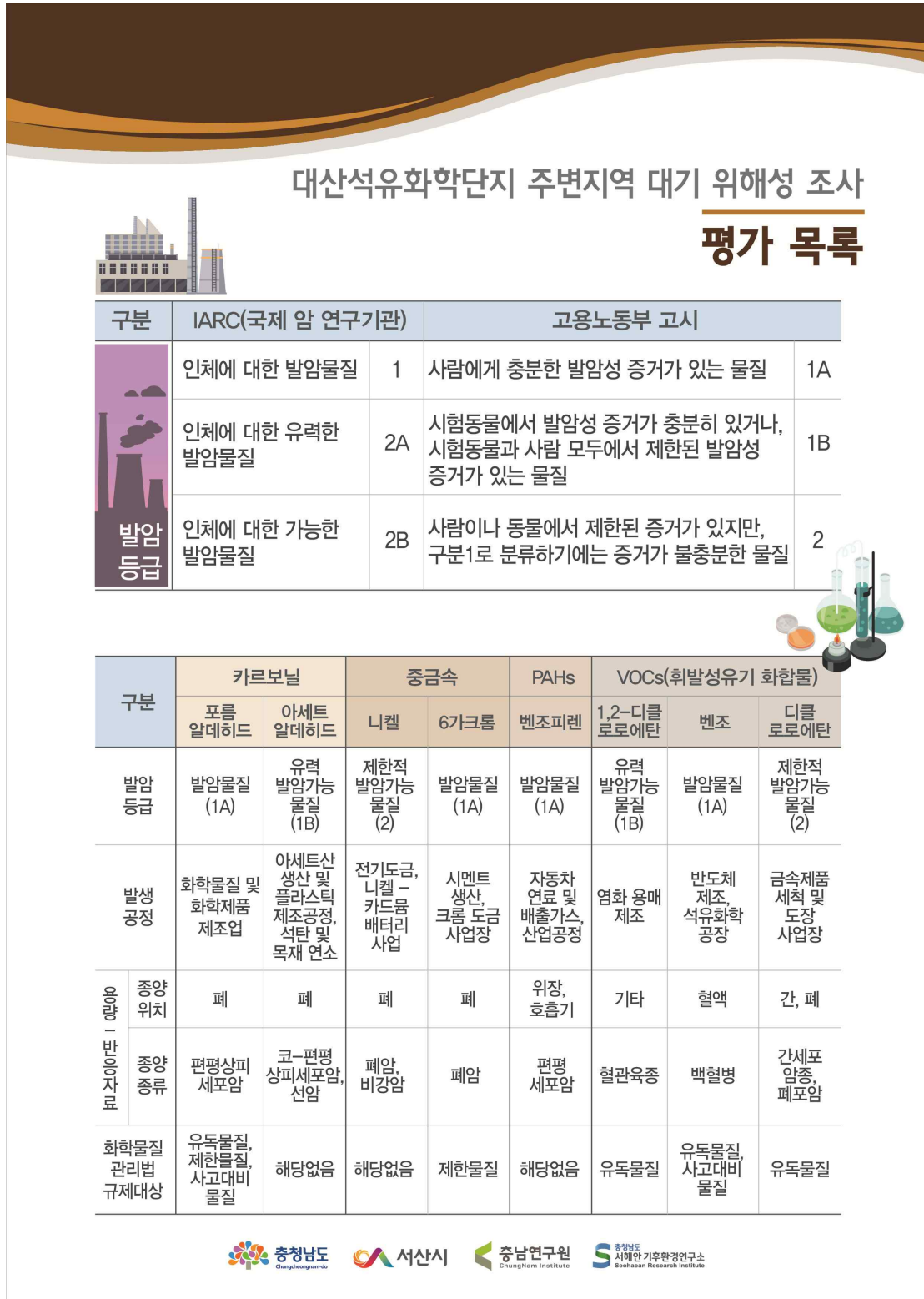
- 국립환경과학원(20013~2018), 국가 대기오염물질 배출량
- 국립환경과학원(2010), 백령도 측정소 자료활용도 제고를 위한 배경 지역 농도특성 파악 및 장거리이동량 산정 연구
- 환경부(2014), 대기질 모델입력용 배출량 생성프로그램 개발
- 환경부(2011), 국가 대기정책 수립 및 평가를 위한 대기질 모델링 가이드라인에 따른 대기질 모델링 보고서 작성예시
- 환경부(2013), 대기모델링 선진화방안 마련을 위한 연구(I)
- The University of North Carolina(2012), SMOKE v3.1 User' s Manual
- U.S. EPA(2013), Speciation Tool User' s Guide-Version 3.1
- The University of North Carolina(2010), Operational Guidance for the Community Multiscale Air Quality(CMAQ) Modeling System-Version 4.7.1
- 환경부(2009), 해염입자가 미세먼지농도 측정에 미치는 영향 조사 연구
- Chow, J.C., Watson, J.G., Lu, Z., Lowenthal, D.H., Frazer, C.A., Solomon, P.A., Thuillier, R.H., and Magliano, K(1996). Descriptive analysis of PM2.5 and PM10 at regionally representative locations during SJVAQS/AUSPEC, Atmospheric Environment, 30, 2079-2112
- 당진시(2016) 대기개선실천계획 수립 및 대기오염조사
- Joseph S. Scire, David G. Strimaitis, Robert J. Yamartino(2000), A User' s guide for the CALPUFF dispersion model, Earth Tech. Inc.
- Earth Tech. Inc(2000)., A User' s guide for the CALMET Meteorological Model(Version 5)
- Do Woo-gon, Kim Min-kyoung, Yoo Eun-chul, Lee So-lim, Park Gee-hyeong(2013), Estimation of Pontential Source of PM10 in Busan Using PSCF Model, The annual Report of Busan Metropolitan City Institue of Heath & Environment 23(1) 194~209
- 국립환경과학원(2014) 화학물질 위해성평가의 구체적 방법 등에 관한 규정
- US EPA (1989) Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A)
- US EPA, Integrated Risk Information System
- IARC, MONOGRAPHS ON THE IDENTIFICATION OF CARCINOGENIC HAZARDS TO HUMANS
- US EPA(2011), Exposure Factor Handbook : 2011 Edition
- 안전보건공단, 화학물질정보(MSDS)

- 국립환경과학원(2017), 광양만권 산단 주변 주거지역 주요 대기오염물질 평가 연구
- 국립환경과학원(2014), 광양만권 산단 주변 주거지역 주요 대기오염물질 평가 연구
- 국립환경과학원(2009), 여수·광양지역 유해대기오염물질(HAPs) 조사 연구
- 국립환경과학원(2018), 도시지역 유해대기오염물질 모니터링(Ⅳ)
- 국립환경과학원(2019), 경남 거제시 산업단지 주변지역 유해대기오염물질 측정 및 분석
- 환경부(2009), 화학물질 배출량 정보를 이용한 초기 위해성 평가 해설서
- 고용노동부(2017), 위험성평가 해설지침서
- 통계청, 국가통계포털(KOSIS)
- Oracle Crystal Ball 11.0

VII. 부록

VII. 부록

1. 주변지역 대기 위해성 조사 결과 인포그래픽



대산석유화학단지 주변지역 대기 위해성 조사 평가 결과

위해성 ↑	대죽 1리	화곡 2리	대로 3리	오지리	대산리
	포름알데히드	포름알데히드	포름알데히드	포름알데히드	포름알데히드
	1,2-디클로로에탄	1,2-디클로로에탄	1,2-디클로로에탄	아세트알데히드	아세트알데히드
	벤젠	아세트알데히드	아세트알데히드	1,2-디클로로에탄	1,2-디클로로에탄
	아세트알데히드	벤젠	벤젠	벤젠	벤젠
	6가크롬	6가크롬	6가크롬	6가크롬	6가크롬
	니켈	니켈	니켈	니켈	니켈
	벤조피렌	벤조피렌	벤조피렌	디클로로메탄	벤조피렌
↓ 위해성	디클로로메탄	디클로로메탄	디클로로메탄	벤조피렌	디클로로메탄

※ 본 조사는 충청남도 '대산공단지역 대기환경영향조사'의 일환으로 수행되었습니다.
※ 본 결과는 마을별 상대적인 값으로 측정환경과 시기에 따라 일부 차이가 있을 수 있습니다.

① 화학물질 누출시 개인 보호구 착용

	3ppm	7.5ppm	15ppm
포름알데히드	5ppm	12.5ppm	25ppm
벤젠	100ppm	250ppm	500ppm
1,2-디클로로에탄	500ppm	1,250ppm	2,500ppm
아세트알데히드	500ppm	1,250ppm	2,500ppm
디클로로메탄	0.1mg/m³	0.25mg/m³	0.5mg/m³
6가크롬	1mg/m³	2.5mg/m³	5mg/m³
니켈			
벤조피렌			

여과식 방진 마스크 착용

화학물질을 흡입 하였다면?

- 노출되거나 노출이 우려되면 의학적인 조치·조언을 구하세요
- 과량의 먼지에 노출된 경우 깨끗한 공기로 제거하고 기침이나 다른 증상이 있을 경우 의료 조치를 취하세요
- 흡입하여 호흡이 어려워지면 신선한 공기가 있는 곳으로 옮기고 호흡하기 쉬운 자세로 안정을 취하세요
- 호흡기 증상이 나타나면 의료기관(의사)의 진찰을 받으세요



주 의

1. 이 보고서는 대산공단협의회에서 시행한 연구용역과제 결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 대산공단협의회에서 시행한 연구용역과제의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.
4. 이 보고서와 관련된 문의사항은 주관기관인 대산공단협의회로 하시면 됩니다.