

미세먼지 기여도 평가와 충남 맞춤형 정책 방향

한국환경정책·평가연구원 _ 문 난 경 선임연구위원

미세먼지 기여도 평가와 충남 맞춤형 정책 방향

2017. 11. 1.

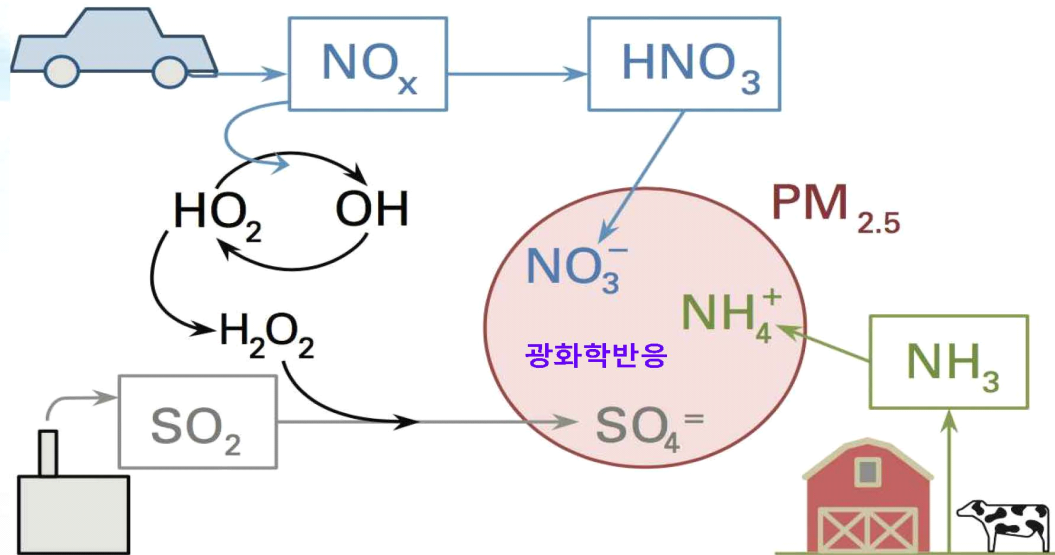
문난경



발표 내용

- 1** 화력발전소가 대기질에 미치는 영향
- 2** 지자체별 대기오염물질 기여도 평가
- 3** 대산석유화학단지 기여도 평가
- 4** 과학적 자료를 기반한 정책방향 설정

미세먼지 생성



http://www.selingroup.org/news2015/post_id-1

3

대기오염 특성

- ❑ 대기오염은 바람을 타고 화학반응을 하며 확산되는 누적적이고 광역적인 특성을 가짐
- ❑ 우리나라는 국토가 좁고 인구밀도가 매우 높아 대기현상의 특성을 고려해볼 때 지자체별 관리체계만으로는 효율적이지 못함
- ❑ 특히 미세먼지, 오존 현상 등의 2차 오염물질은 배출량이 많은 지역에서 고농도가 발생하는 단순한 논리가 적용되지 않음
- ❑ 정책 및 특정 사업의 대기환경 영향평가 시 해당지역 뿐만 아니라 인접 지역과의 영향을 고려하는 것이 필요함
- ❑ 따라서 인접 지역의 대기오염물질 기여도를 정량적으로 분석하여 환경평가 또는 정책 수립 시 기초자료로 제공하고자 함
- ❑ 대기오염물질 배출량과 농도 관계의 정량화를 통하여 큰 틀에서의 개발계획 적정성과 대기개선을 위한 배출량 규제 등의 정책 도출이 가능

4

미세먼지 발생원

- 미세먼지 원인은 중국 등 국외영향과 국내배출로 구분되며, 월별(계절별)로 기상조건(풍향/풍속, 강수량 등)에 따라 미세먼지 발생원인이 달라짐
- 국외영향: 평상시 30~50%, 고농도시 60~80%

(자료: <https://www.me.go.kr/issue/finedust2/>)

5월 미세먼지 농도 '최고'

KBS1

고농도 미세먼지

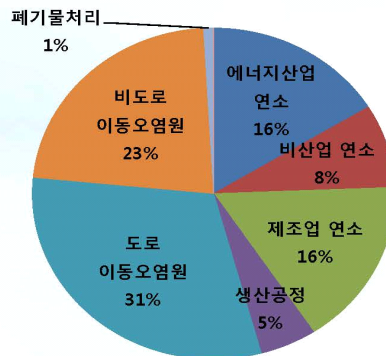
중국 60~80%

5

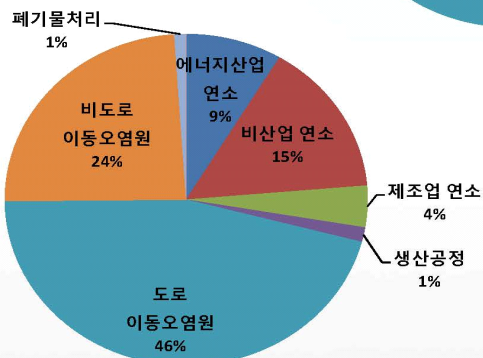
NOx 배출 비율

전국 : NOx

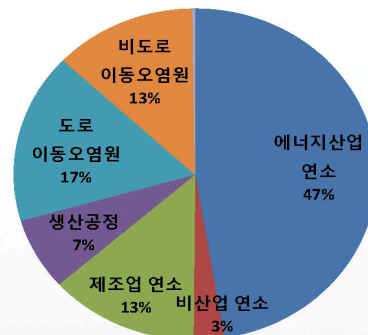
*자료: 국립환경과학원(2015),
2013 국가 대기오염물질 배출량



수도권 : NOx



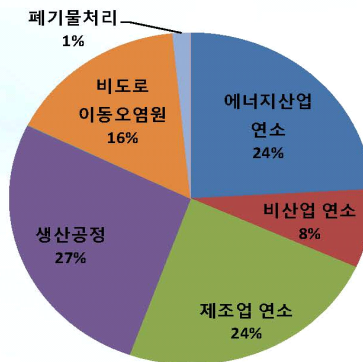
충남 : NOx



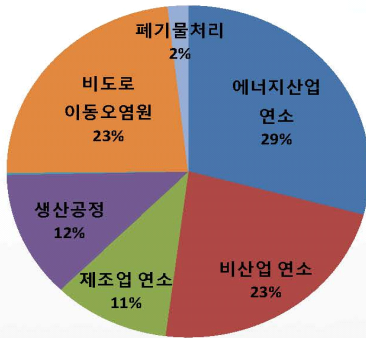
SOx 배출 비율

전국 : SOx

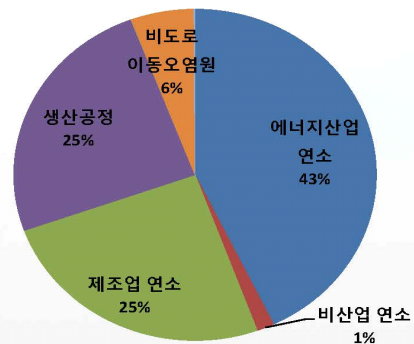
*자료: 국립환경과학원(2015),
2013 국가 대기오염물질 배출량



수도권 : SOx



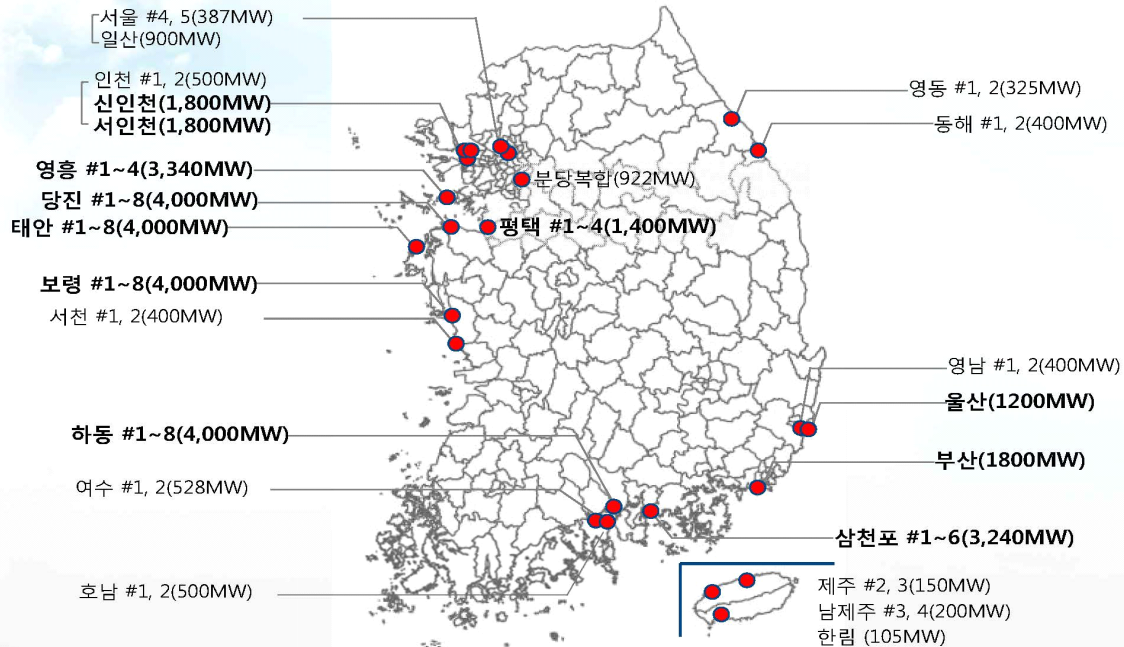
충남 : SOx



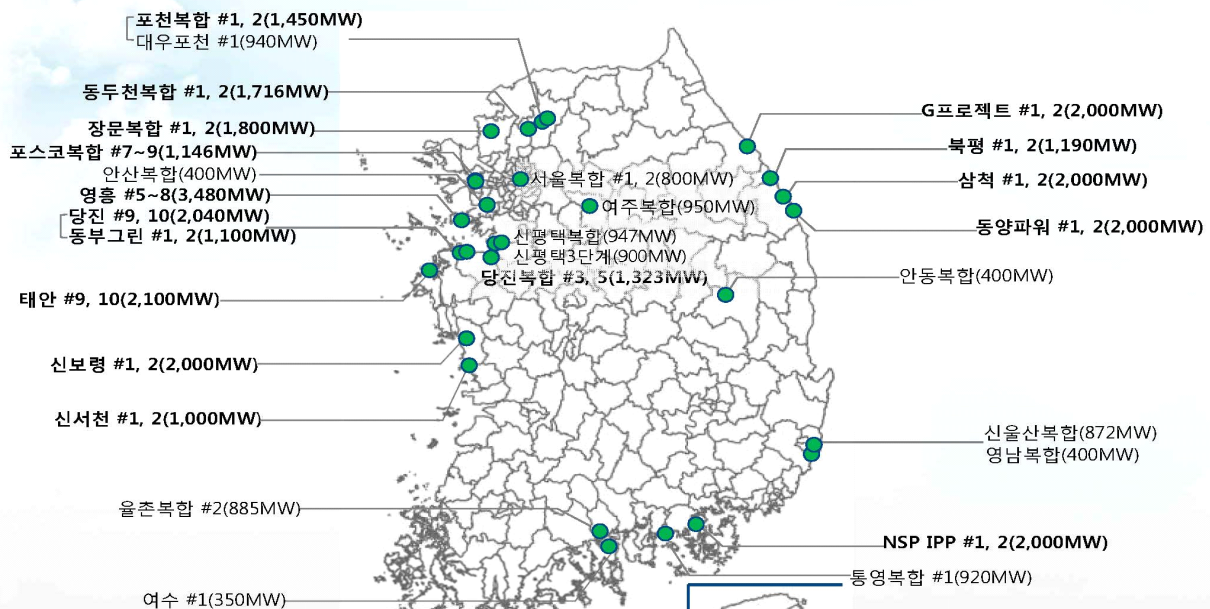
연구 수행 내용

- 1** 화력발전소가 대기질에 미치는 영향
- 2** 지자체별 대기오염물질 기여도 평가
- 3** 대산석유화학단지 기여도 평가
- 4** 과학적 자료를 기반한 정책방향 설정

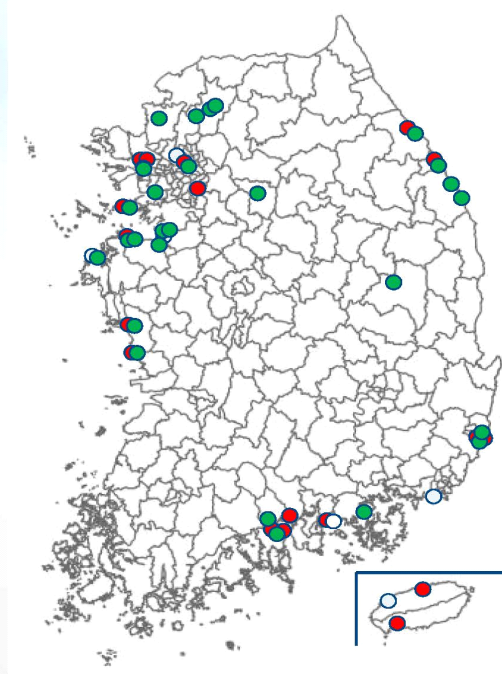
국내 화력발전소 운영 현황



화력발전소 추가 계획



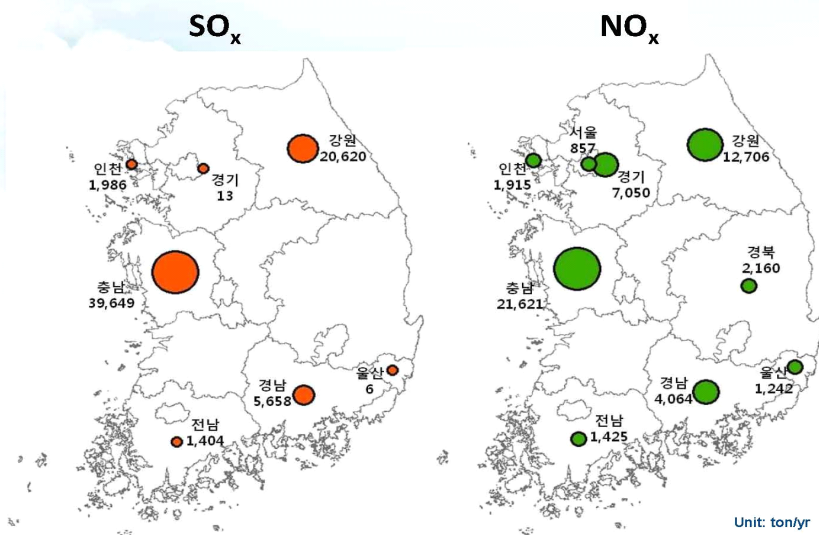
화력발전소(운영 + 추가 계획)



- 기존화력발전소
- 계획화력발전소

11

6차 전력수급기본계획에 의한 추가 배출량

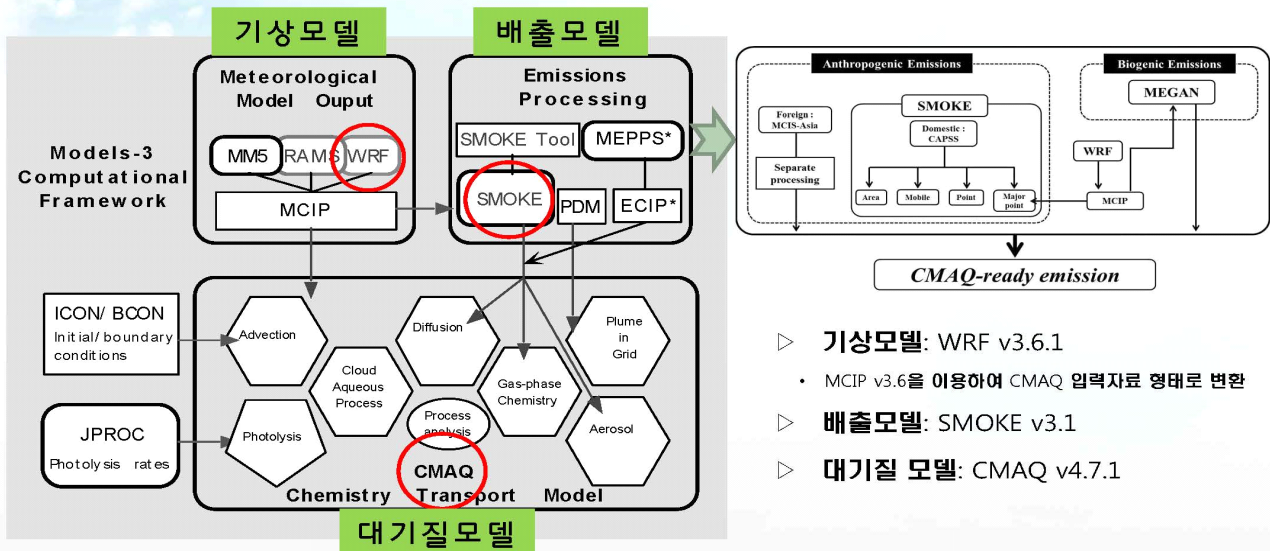


- ▷ 제6차 전력수급기본계획에 따라 환경영향평가 협의완료된 화력발전소에서 예상되는 배출량은 NO_x의 경우 53,044ton/yr, SO_x의 경우 69,540ton/yr로 이는 남한 전체 NO_x 배출량대비 5%, SO_x 배출량대비 16%를 차지

12

대기환경평가 시스템

◆ 시스템 개요

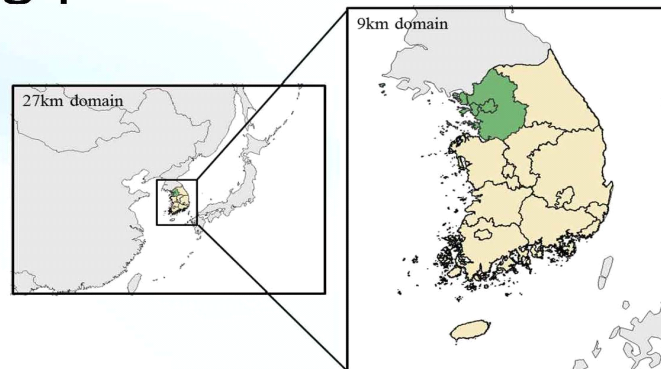


- ▷ 기상모델: WRF v3.6.1
 - MCIP v3.6을 이용하여 CMAQ 입력자료 형태로 변환
- ▷ 배출모델: SMOKE v3.1
- ▷ 대기질 모델: CMAQ v4.7.1

13

대기환경평가 시스템

◆ 모델링 분석 영역

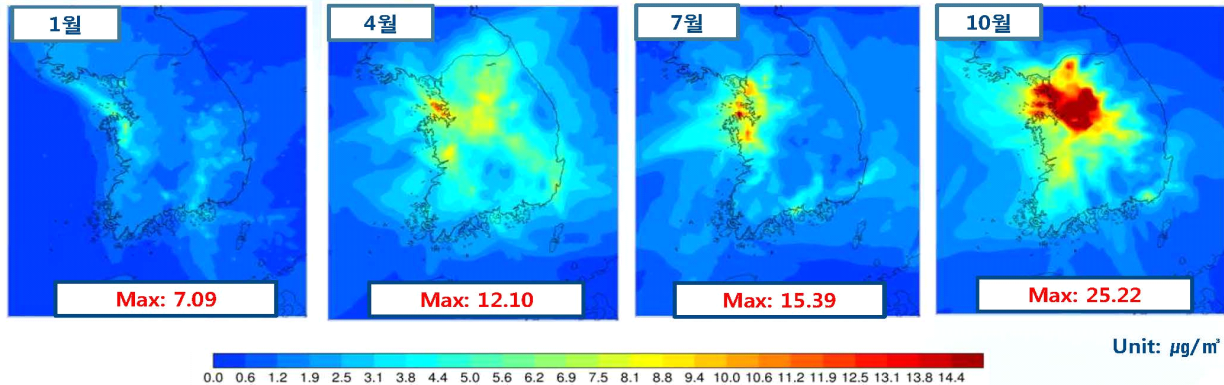


- ▷ 모사영역: 한반도를 포함한 27-9km 격자 도메인
- ▷ 모사수행: WRF(기상) - SMOKE(배출량) - CMAQ(대기질 모사) 시스템 운영

14

화력발전소 운영(기존+계획)에 따른 대기질 영향

24시간 평균 PM10 최대 기여 농도

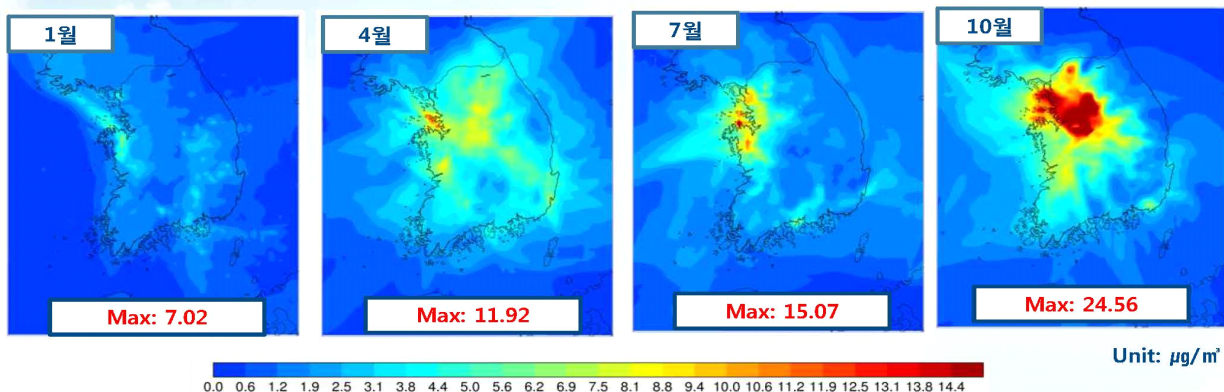


각 월별 가중농도의
환경기준치 비율

	1월	4월	7월	10월
24h PM10	7%	12%	15%	25%

화력발전소 운영(기존+계획)에 따른 대기질 영향

24시간 평균 PM2.5 최대 기여 농도

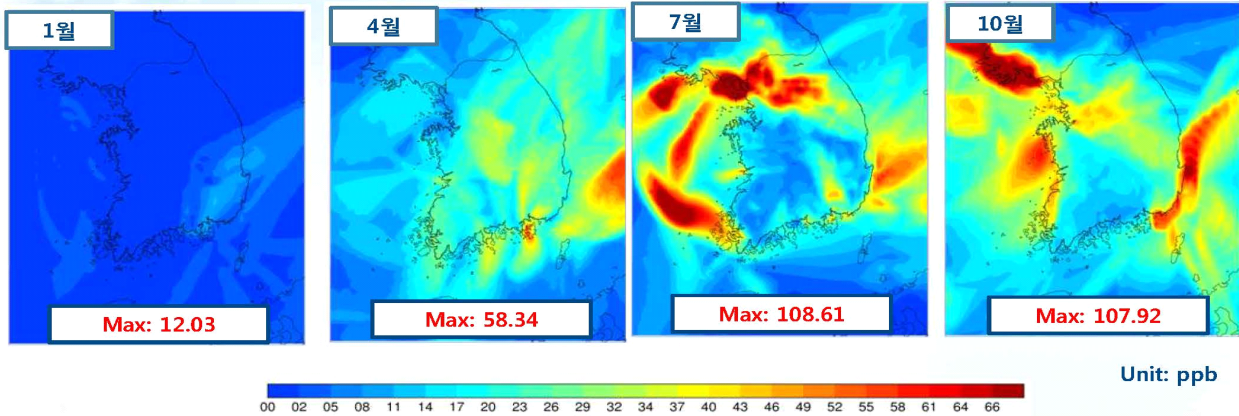


각 월별 가중농도의
환경기준치 비율

	1월	4월	7월	10월
24h PM2.5	14%	24%	30%	49%

화력발전소 운영(기존+계획)에 따른 대기질 영향

1시간 평균 O₃ 최대 기여 농도

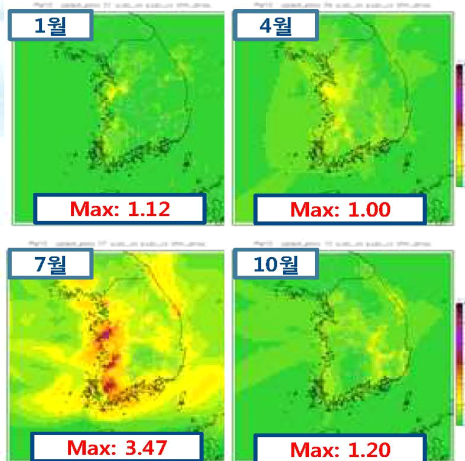


각 월별 가중농도의
환경기준치 비율

	1월	4월	7월	10월
1h O ₃	12%	58%	109%	108%

6차 전력수급계획에 따른 추가 발전소 영향

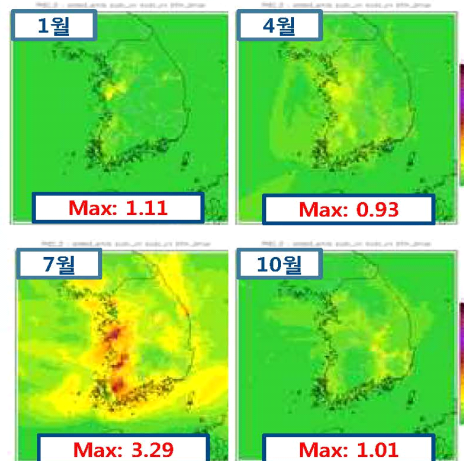
PM10 일평균 최대 기여 농도



각 권역별 최대 기여 농도

	수도권 및 충남	강원	경상	광양
1월	1.12(1%)	0.64	0.29	0.25
4월	1.00(1%)	0.76	0.52	0.76
7월	3.47(3%)	2.16	1.10	1.71
10월	0.76(1%)	1.20	0.92	0.56

PM2.5 일평균 최대 기여 농도



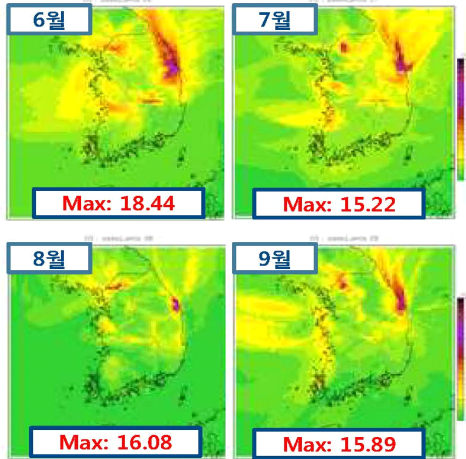
각 권역별 최대 기여 농도

	수도권 및 충남	강원	경상	광양
1월	1.11(2%)	0.50	0.24	0.22
4월	0.93(2%)	0.36	0.49	0.69
7월	3.29(7%)	2.11	1.09	1.65
10월	1.01(2%)	0.60	0.89	0.54

()안의 값은 가중농도의 환경기준치 비율

6차 전력수급계획에 따른 추가 발전소 영향

O₃ 1시간 평균 최대 기여 농도

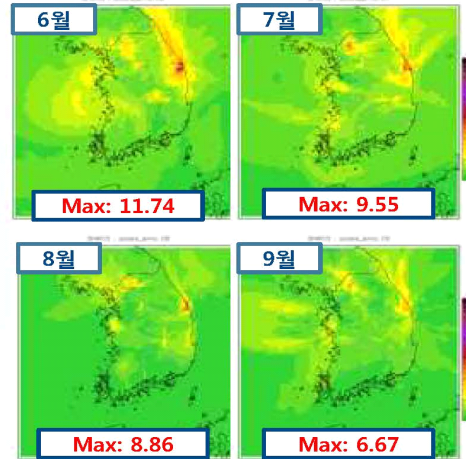


Unit: ppb

각 권역별 최대 기여 농도

	수도권 및 충남	강원	경상	광양
6월	9.60	18.44(18%)	9.31	2.46
7월	12.30	15.22(15%)	7.64	2.85
8월	11.16	16.08(16%)	5.86	1.47
9월	14.10	15.89(16%)	6.47	1.15

O₃ 8시간 평균 최대 기여 농도



각 권역별 최대 기여 농도

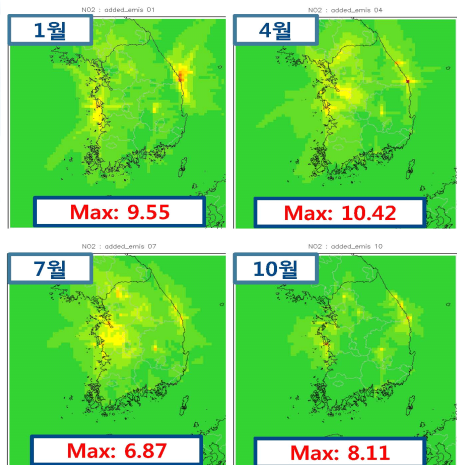
	수도권 및 충남	강원	경상	광양
6월	5.73	11.74(20%)	6.08	1.55
7월	8.04	9.55(16%)	5.01	1.95
8월	6.92	8.86(15%)	3.89	0.91
9월	8.13	6.67(11%)	2.51	0.78

()안의 값은 가중농도의 환경기준치 비율

연구원
ite

6차 전력수급계획에 따른 추가 발전소 영향

NO₂ 1시간 평균 최대 기여 농도

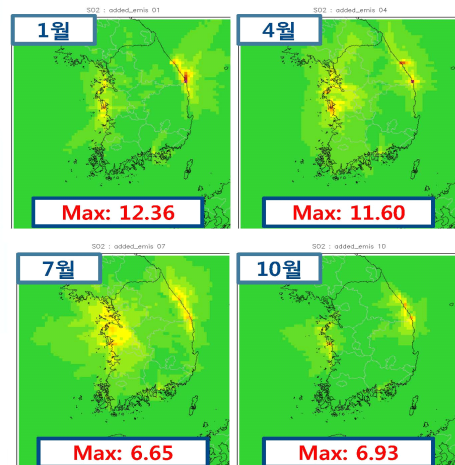


Unit: ppb

각 권역별 최대 기여 농도

	수도권 및 충남	강원	경상	광양
1월	6.06	9.55(10%)	4.76	1.73
4월	5.87	10.42(10%)	4.02	1.86
7월	6.87	5.04(5%)	6.32	1.82
10월	8.11	6.74(7%)	4.45	1.88

SO₂ 1시간 평균 최대 기여 농도



각 권역별 최대 기여 농도

	수도권 및 충남	강원	경상	광양
1월	6.67	12.36(8%)	1.51	2.55
4월	9.07	11.60(8%)	1.45	2.84
7월	6.51	6.65(4%)	1.56	2.90
10월	6.70	6.93(5%)	1.17	2.26

()안의 값은 가중농도의 환경기준치 비율

연구원
ite

화력발전소 운영에 따른 위해성 평가

건강편의 산출 방법론

◆ 건강편의(BenMAP; Benefit Mapping Air-pollution Program 활용)

- 산출 공식 $\text{Excess death} = [1 - 1/\exp(\beta \times \text{delta Q})] \times \text{Incidence} \times \text{Population}$

◆ 농도 반응 함수(CR-function: β) 도출: 메타분석(랜덤효과 모형)

- $w_i = 1/(SE(\beta_i)^2)$, $\beta = (\sum w_i \beta_i) / (\sum w_i)$, $SE(\beta) = 1/\sqrt{\sum w_i}$

◆ 대기질 변화(Delta Q)

- 화력발전소로 인한 대기질 변화

◆ 지역사회 사망률(Incidence) 및 인구수(Population)

- 통계청의 2010년 인구동태조사 및 주민등록 연앙 인구자료 활용

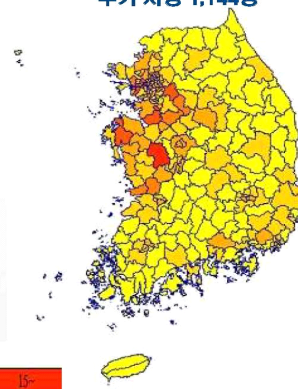
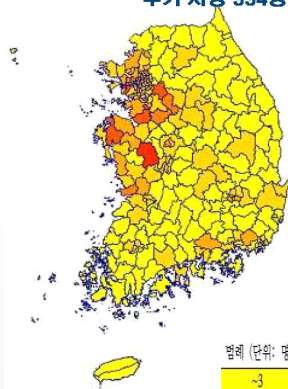
화력발전소 운영에 따른 위해성 평가

산출결과: 전국 건강편의 변화

대기질	대기질 변화 요인	대기질 산출	전국의 추가 사망자수 (단위: 명)
PM2.5	기존 화력발전소	연평균 변화	994
		최대 변화	9,812
	기존 및 추가 화력발전소	연평균 변화	1,144
		최대 변화	9,943

◆ 기존 화력발전소: PM2.5 최대값 연평균 변화 추가 사망 994명

◆ 기존 및 추가 화력발전소: PM2.5 최대값 연평균 변화 추가 사망 1,144명



단위: (단위: 명)



연구 수행 내용

1 화력발전소가 대기질에 미치는 영향

2 지자체별 대기오염물질 기여도 평가

3 대산석유화학단지 기여도 평가

4 과학적 자료를 기반한 정책방향 설정

23

국가산단 및 지자체별 대기질 기여도 평가

지자체별 대기오염물질이
인접지역 대기질에 미치는
영향

- 국가 중 배출물질이 대기질에 미치는 영향
 - 오염원별, 물질별 기여도 분석
 - 오염원: 점, 선, 면 / 물질: NOx, SOx, NH₃, PM_{2.5}
- **지자체별 대기오염물질 기여도 평가**
 - 오염원별, 물질별 기여도 분석 및 전환율 산정
 - 대상 지자체: 서울, 인천, 경기, **충남**, 부산, 울산, 경남
 - 오염원: 점, 선, 면 / 물질: NOx, SOx

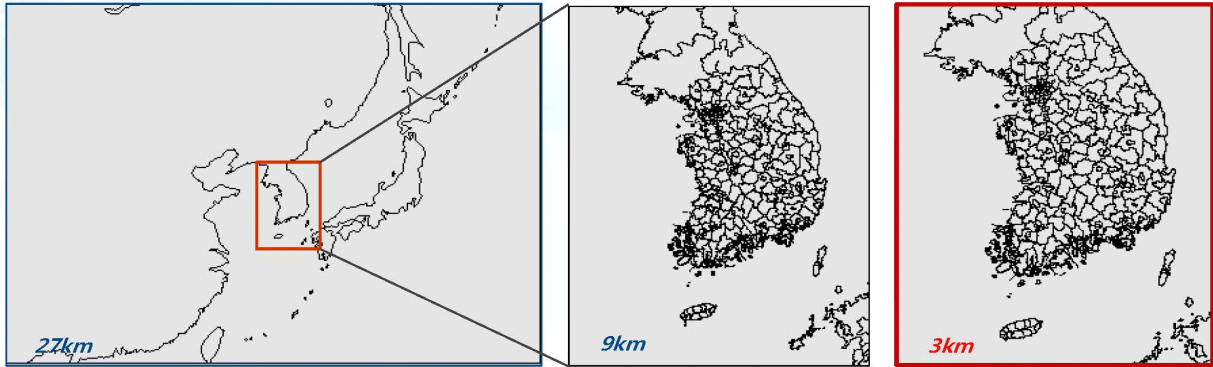
주요 국가산업단지가
인접지역 대기질에 미치는
영향

- 주요 국가산업단지 대기오염물질 기여도 평가
 - 주요 국가산업단지별, 물질별 기여도 분석 및 전환율 산정
 - 대상국가산업단지: 시화·반월국가산업단지, **대산석유화학단지**,
대기보전특별대책지역 및 인근지역 산단
 - 물질: 산단 중 배출량, NOx, SOx

**개발계획 적정성 평가 및 대기개선 정책 도출시
기초자료 제공**

지자체별 기여도 평가 모델링

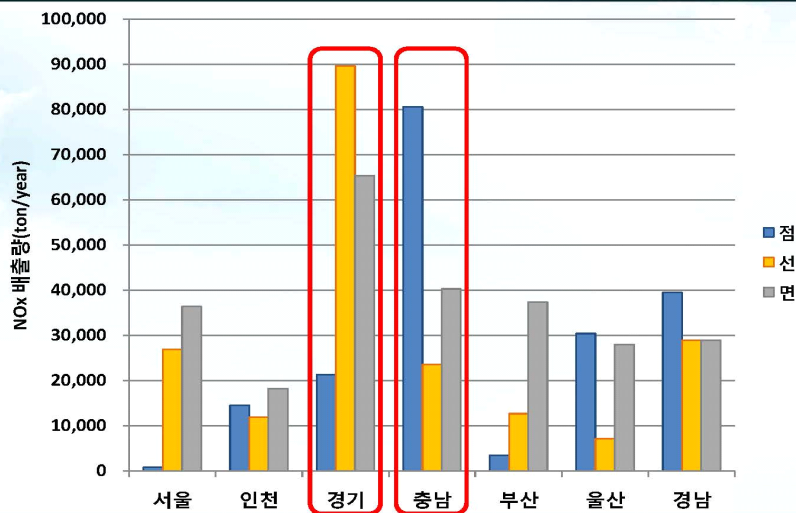
● 모델링 영역 및 해상도



- ▷ 모사영역: 한반도를 포함한 27-9-3km 격자 도메인
- ▷ 모사수행: WRF(기상) - SMOKE(배출량) - CMAQ(대기질 모사) 시스템 운영

25

지자체별 NOx 배출 특성

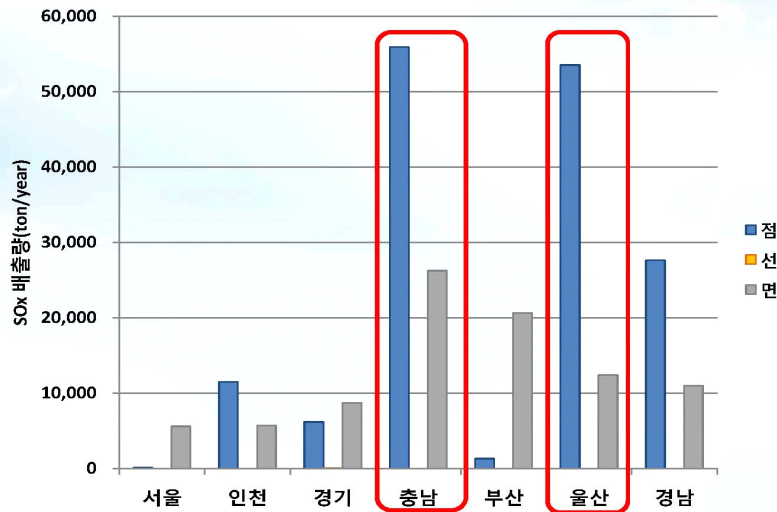


	서울	인천	경기	충남	부산	울산	경남
점	761	14,490	21,268	80,578	3,380	30,422	39,515
선	26,875	11,879	89,671	23,582	12,660	7,139	28,917
면	36,397	18,212	65,390	40,271	37,370	28,010	28,940
합계	64,033	44,581	176,328	144,431	53,411	65,571	97,372

Unit: ton/yr

26

지자체별 SOx 배출 특성



	서울	인천	경기	충남	부산	울산	경남
점	102	11,525	6,185	55,910	1,300	53,551	27,620
선	18	7	48	11	9	4	15
면	5,591	5,708	8,710	26,260	20,653	12,408	11,009
합계	5,711	17,241	14,942	82,181	21,961	65,964	38,644

27

지자체별 기여도 분석

- 지자체 구분
 - 17개 광역 자치단체를 대상으로 분석

단위	지역명	단위	지역명
도	경기도	특별시	서울특별시
	강원도		부산광역시
	충청북도		인천광역시
	충청남도		대전광역시
	전라북도		울산광역시
	전라남도		대구광역시
	경상북도		광주광역시
	경상남도		
	제주특별자치도	특별자치시	세종특별자치시

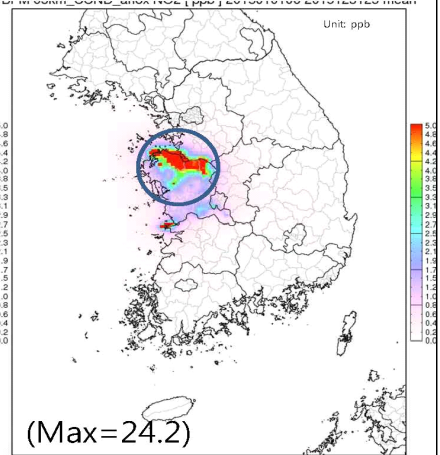
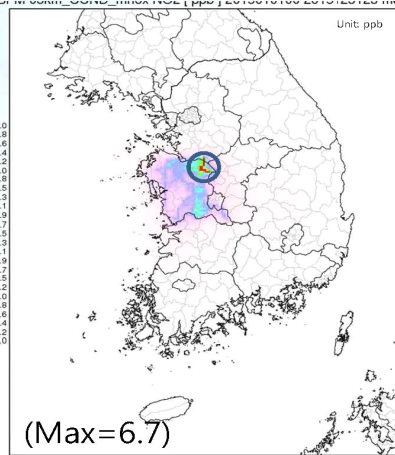
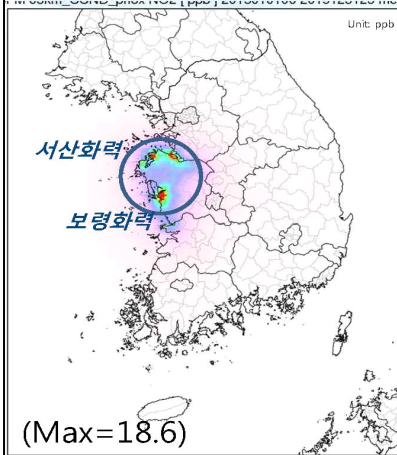
28

충청남도 NOx 배출량의 NO₂ 기여도

점

선

면



- 오염원별 NO₂ 기여농도는 점오염원의 경우 발전소 위치 지역, 선오염원의 경우 천안부근 고속도로, 면오염원의 경우 현대제철을 비롯한 산업단지 밀집지역에서 고농도로 나타남

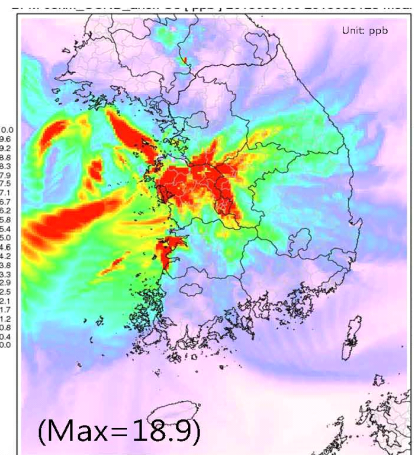
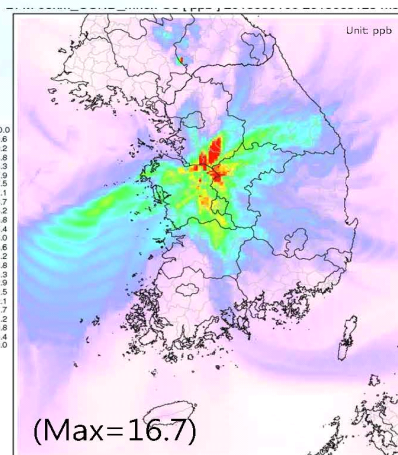
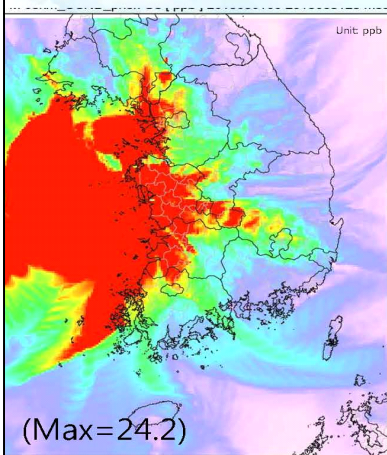
29

충청남도 NOx 배출량의 O₃ 기여도

점

선

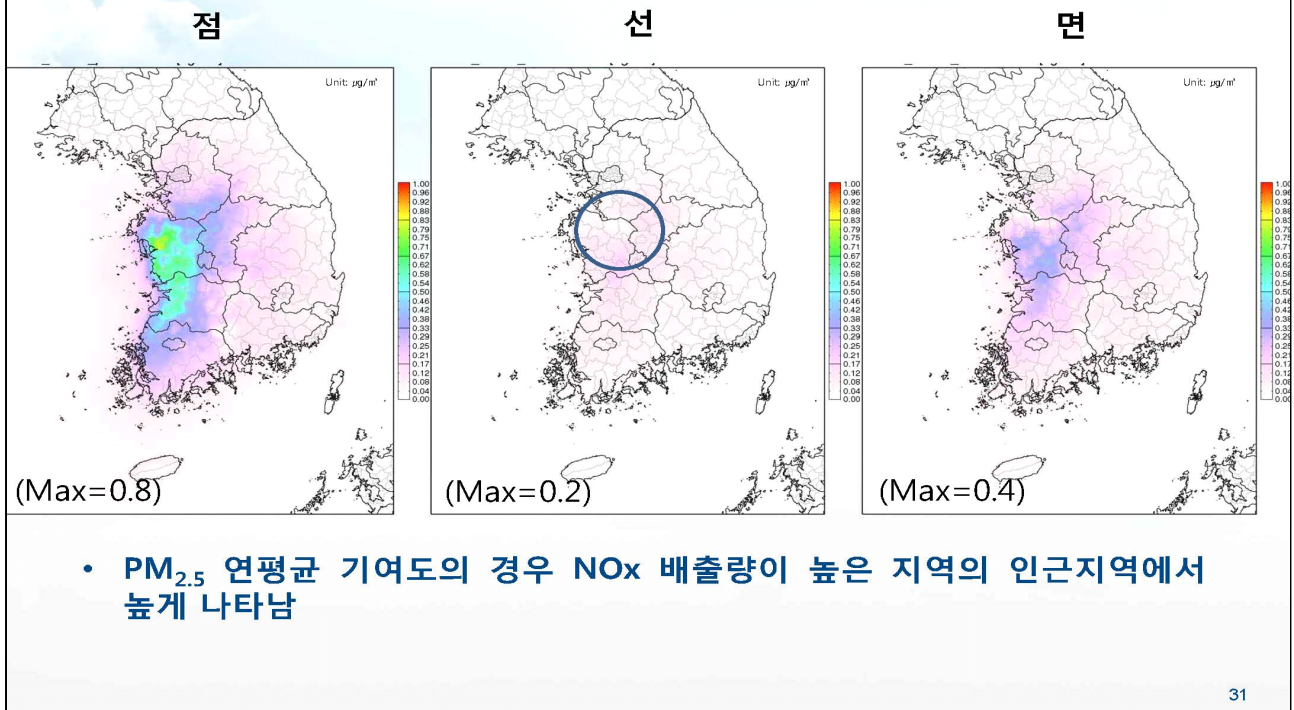
면



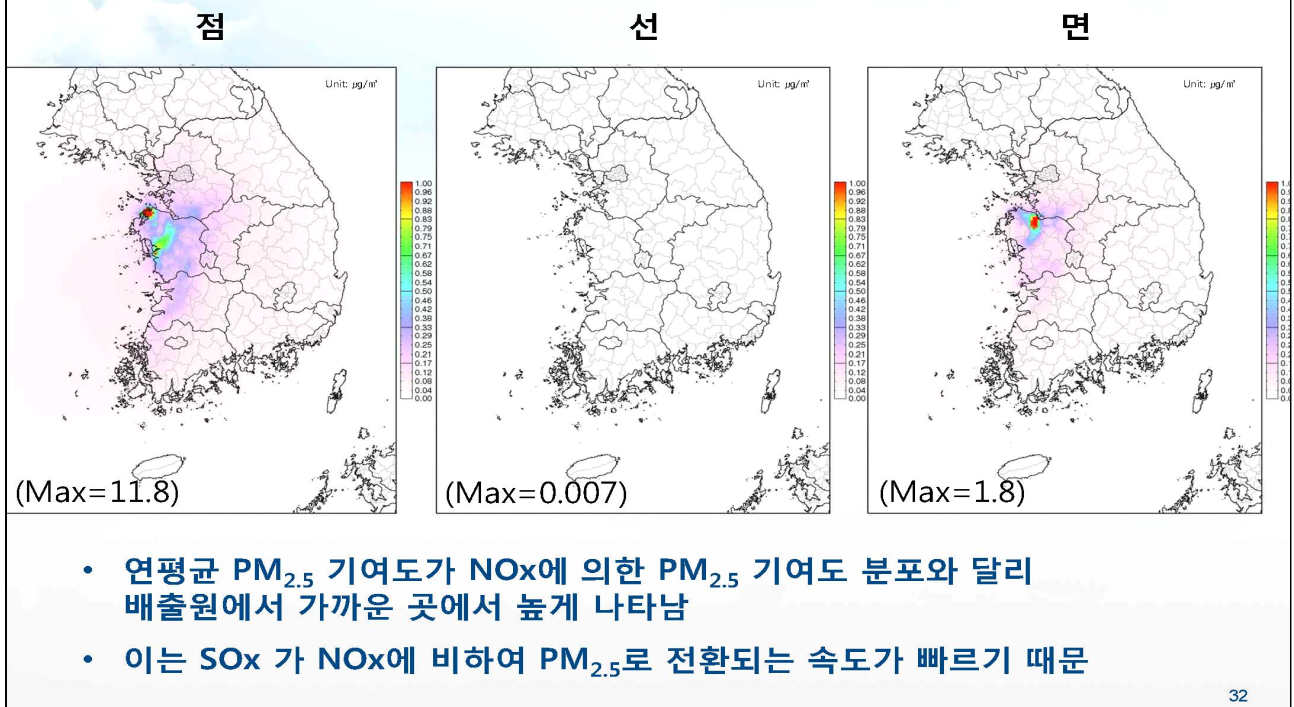
- 점 오염원으로 인한 O₃ 연평균 기여도가 최대 24.2ppb로 가장 크게 나타남

30

충청남도 NOx 배출량의 PM_{2.5} 기여도



충청남도 SOx 배출량의 PM_{2.5} 연평균 기여도



2-4 물질별, 오염원별 배출량 기여도(예시)

충청남도 NOx, SOx의 PM_{2.5} 기여도

배출원		PM _{2.5} 기여도(μg/m³)																
		지역	서울	인천	경기	충남	세종	대전	충북	광주	전북	전남	부산	울산	대구	경남	경북	강원
NOx 중량비	점	0.151	0.085	0.167	0.446	0.421	0.324	0.233	0.287	0.345	0.205	0.056	0.052	0.094	0.091	0.097	0.056	0.048
	선	0.017	0.010	0.033	0.079	0.101	0.099	0.074	0.065	0.082	0.044	0.021	0.020	0.033	0.033	0.036	0.016	0.011
	면	0.055	0.032	0.080	0.195	0.240	0.184	0.145	0.115	0.158	0.079	0.032	0.032	0.058	0.052	0.062	0.030	0.017
	전체	0.222	0.127	0.280	0.720	0.762	0.606	0.452	0.467	0.585	0.327	0.109	0.104	0.185	0.176	0.196	0.102	0.075

배출원		PM _{2.5} 기여도(μg/m ³)																
		지역	서울	인천	경기	충남	세종	대전	충북	광주	전북	전남	부산	울산	대구	경남	경북	강원
SOx	점	0.1205	0.0994	0.1308	0.3425	0.2346	0.1517	0.1175	0.1020	0.1457	0.0811	0.0388	0.0377	0.0559	0.0514	0.0565	0.0488	0.0230
	선	-0.0010	-0.0004	-0.0003	0.0000	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0000	-0.0002	-0.0001	0.0002	0.0001	-0.0003	-0.0004	-0.0002	-0.0002	0.0000
	면	0.0494	0.0356	0.0671	0.1888	0.1269	0.0702	0.0550	0.0366	0.0586	0.0284	0.0153	0.0171	0.0236	0.0189	0.0253	0.0224	0.0081
	전체	0.1689	0.1346	0.1976	0.5313	0.3615	0.2218	0.1725	0.1386	0.2041	0.1094	0.0544	0.0549	0.0792	0.0699	0.0817	0.0710	0.0311

33

연구 수행 내용

1 화력발전소가 대기질에 미치는 영향

2 지자체별 대기오염물질 기여도 평가

3 대산석유화학단지 기여도 평가

4 과학적 자료를 기반한 정책방향 설정

34

한-미 협력 국내 대기질 공동조사(KORUS-AQ)

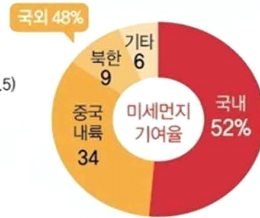
지난해 5~6월 NASA 등과 함께 조사
항공기와 지상 관측 병행 정밀 분석

국내 오염이 52%, 국외 오염 48%
중국에서 날아온 비중은 34% 차지

오존 오염도 6~7km 상공까지 심각
서해안 석탄화력 오염 수도권에 영향
석유화학공단 상공 고농도 '발암물질'

5~6월 발생 미세먼지, 34% 중국발

한-미 협력 국내 대기질
공동 조사(KORUS-AQ) 결과
2016년 5월2일 ~ 6월12일,
서울 올림픽공원 측정 미세먼지(PM2.5)



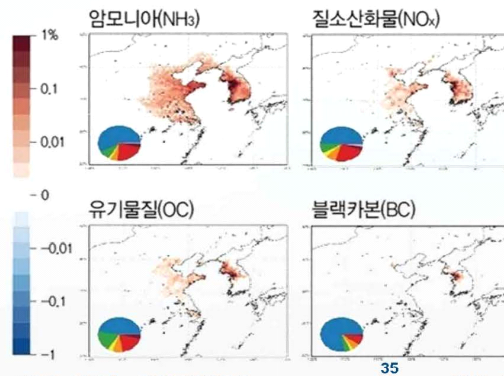
미세먼지 생성 전구물질 분석 결과
성분별 국내외 기여율

■ 국내 ■ 북한 ■ 일본
■ 압록강 북서쪽 중국 내륙(랴오둥반도)
■ 베이징 ■ 산둥반도 ■ 상하이

<서울의 미세먼지 오염에 대한 지역별 기여율>

*자료: 국립환경과학원

지역	기여율(%)
대한민국(남한)	52
북한	9
중국 베이징 지역	7
중국 산둥 지역	22
중국 상하이 지역	5
중국 만주, 서해, 일본 등	5



* 자료: 환경부, 국립환경과학원

연합뉴스

자료: 중앙일보 (2017.7.19)

35

주요 국가산업단지 대기오염물질 기여도 평가

국가산업단지별, 물질별 기여도 분석

- 3대 중소기업 산업단지
- 기계·전기·전자업종이 74%
- 주거·교육·생활·환경 등 배후도시 공존

시화·반월국가산업단지



- 정유공장 등 대규모 석유화학산업체가 위치
- VOC를 비롯한 각종 유해대기오염물질의 배출

대산석유화학단지 및 인근산단



- 울산·미포국가산단: 대단위 석유정제, 석유화학, 자동차 및 조선공업
- 온산국가산단: 비철금속류 및 석유화학산업
- 여수국가산단: 석유화학산업

대기보전특별대책 지역 및 인근산단

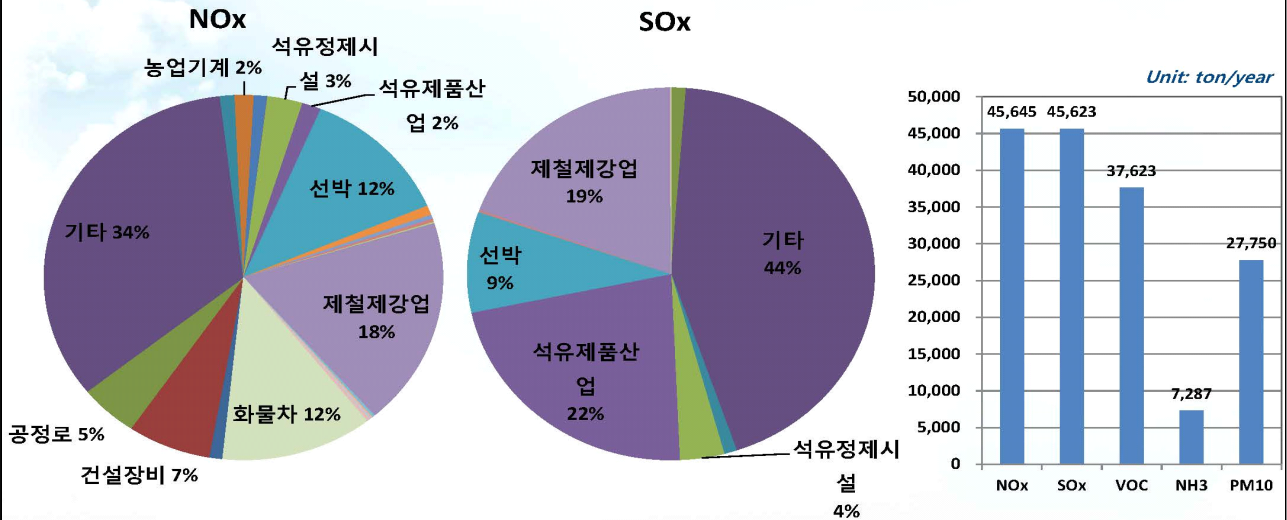


- 현대제철산업단지
- 송산2일반산업단지
- 당진1철강산업단지
- 아산국가산업단지(고대지구, 부곡지구)
- 아산테크노밸리 일반산업단지
- 아산디스플레이시티1 일반산업단지

36

3-1 국가산업단지별 대기오염물질 배출 특성

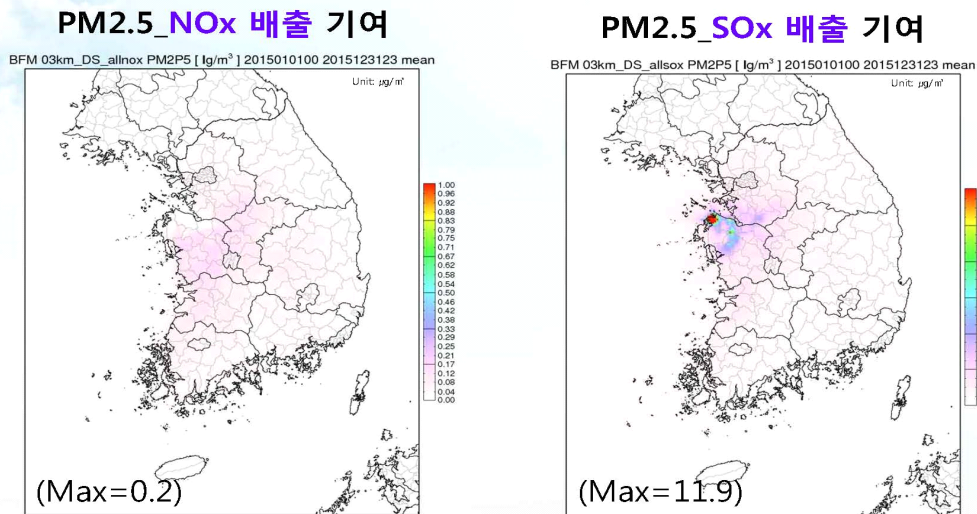
■ 대산석유화학단지 및 인근지역 산단



- NOx의 경우 제조업 연소의 기타 15,447톤, 생산공정의 제철제강업 8,402톤
 ✓ 제조업 연소의 기타는 제1차 금속산업이 대부분을 차지
- SOx의 경우 제조업 연소의 기타 19,891톤, 생산공정의 석유제품산업 10,193톤
 ✓ 제조업 연소의 기타는 제1차 금속산업이 대부분을 차지

37

대산석유화학단지 배출량의 PM_{2.5} 기여도



- SOx 배출량으로 인한 PM_{2.5} 기여도가 더 높게 나타남
- SOx가 NOx에 비하여 PM_{2.5}로 전환되는 속도가 빠르기 때문에 SOx로 인한 기여농도가 배출원에서 더 가까운 인근지역에서 나타남

38

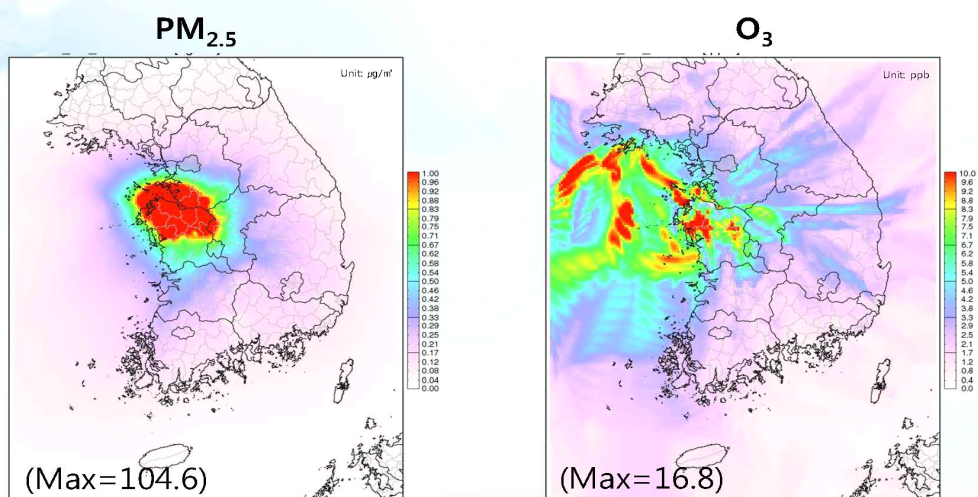
대산석유화학단지 물질별 연평균 기여도

■ 대산석유화학단지 및 인근지역 배출량의 PM_{2.5} 기여도

		PM _{2.5} 기여도(μg/m ³)																
배출원	지역	서울	인천	경기	충남	세종	대전	충북	광주	전북	전남	부산	울산	대구	경남	경북	강원	제주
대산석유화학단지	NOx	0.0424	0.0155	0.0477	0.0838	0.1443	0.0953	0.0840	0.0596	0.0804	0.0421	0.0237	0.0209	0.0384	0.0345	0.0391	0.0199	0.0101
	SOx	0.0743	0.0574	0.0883	0.1990	0.1370	0.0743	0.0683	0.0414	0.0564	0.0331	0.0215	0.0239	0.0326	0.0243	0.0326	0.0301	0.0102

39

대산석유화학단지 총 배출량의 PM_{2.5}, O₃ 연평균 기여도



40

대산석유화학단지 운영으로 인한 PM_{2.5} 기여도

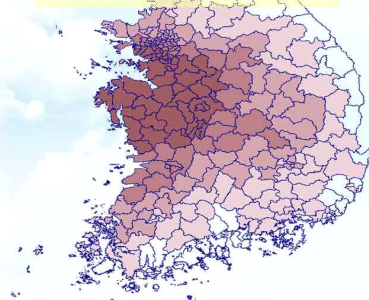
대산석유화학단지 및 인근지역 배출량의 PM_{2.5} 기여도

PM _{2.5} 기여도(μg/ m³)																		
배출원 \ 지역	서울	인천	경기	충남	세종	대전	충북	광주	전북	전남	부산	울산	대구	경남	경북	강원	제주	
대산 석유 화학 단지 (총배출량)	0.3458	0.3636	0.5337	1.8636	1.1194	0.6164	0.4609	0.1957	0.3042	0.1522	0.1168	0.1198	0.1958	0.1416	0.1926	0.1310	0.0352	

41

대산석유화학단지 운영에 따른 위해성 평가

대기질 변화(μg/m³)



<=0.127

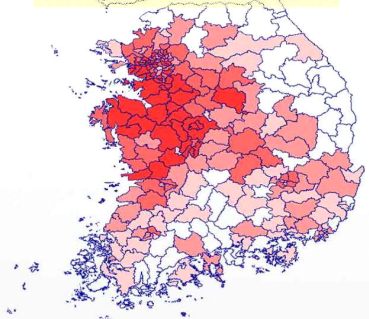
0.127< and <=0.196

0.196< and <=0.302

0.302< and <=0.501

0.501<

조기사망자수(명)



<=0.373

0.373< and <=0.746

0.746< and <=1.386

1.386< and <=2.647

2.647<

시도	연간 평균농도(μg/m ³)	30세 이상 조기사망자수(명)
서울	0.346	60.8
부산	0.117	10.1
대구	0.201	10.8
인천	0.403	24.0
광주	0.184	5.8
대전	0.598	16.7
울산	0.120	2.4
경기	0.517	118.0
강원	0.128	7.2
충북	0.556	26.7
충남	1.400	102.2
전북	0.316	20.2
전남	0.159	10.5
경북	0.190	17.4
경남	0.140	12.4
제주	0.027	0.4
전체	0.369	445.5

42

연구 수행 내용

1 화력발전소가 대기질에 미치는 영향

2 지자체별 대기오염물질 기여도 평가

3 대산석유화학단지 기여도 평가

4 과학적 자료를 기반한 정책방향 설정

43

정책 방향(1)

대기오염물질 배출량 국가정보체계 구축

- 미세먼지 농도를 줄이기 위해서는 국내 배출원별 배출량을 아는 것이 가장 기본적이며 중요한 사항임
- CAPSS(Clean Air Policy Support System, 국가배출인벤토리), SEMS(Stack Emission Management System, 대기배출원관리시스템), PRTR(Pollutant Release and Transfer Register, 화학물질 배출·이동량) 등 다양한 배출량 정보 시스템이 각기 운영
 - 각 시스템의 배출량 및 관련 정보간 연계성이 부족하여 실효성 및 유용성에 한계가 존재함 (업종별, 연료 종류별, 지역별, 공정별 배출량 등의 통합적인 정보 조회 시 한계 등)
- 따라서 개별적으로 운영되고 있는 시스템에 대한 포괄적이고 체계적인 대기오염물질 배출량 **국가정보체계 구축** 필요

44

정책 방향(2)

미세먼지 메커니즘 규명을 위한 과학적 분석

- 미세먼지 메커니즘을 과학적인 분석을 통한 이해 및 적용
 - 실험 · 측정을 통한 성상 분석
 - 정책평가를 위한 대기질 모델링 분석
 - 인체위해성과 연계하여 환경경제분석을 통한 정책 우선 순위를 도출
 - 개발계획 수립 시 필요한 환경용량 분석

45

정책 방향(3)

대기질 관리권역 체계

- 우리나라는 상대적으로 국토가 좁고 인구밀도가 매우 높아 현재와 같은 지자체별 관리체계는 대기현상의 특성을 고려해볼 때 효율적이지 못함
- 미세먼지는 기상 흐름과 화학반응에 의한 2차 생성물질로 배출량이 많은 지역에서 고농도가 발생하는 단순한 논리가 적용되지 않음
- 현재와 같이 지자체별 관리로는 미세먼지 해결책을 마련하기 어려움
- 실효성 있는 미세먼지 대책 마련을 위해서는 **대기 흐름을 고려한 관리권역 설정**이 필요함

46

정책 방향(4)

세부대책 이행에 관한 정책평가 수행

- 지금까지의 대기정책은 배출량이 많은 지역의 배출량을 줄이면 대기질이 개선될 것이라는 인식으로 이루어졌다고 볼 수 있음
 - ※ 실제로 우리나라의 경우 한 지역에서의 배출원은 인근에 국한되지 않고 전국적으로 영향을 미침
- 실효성 있는 정책을 도출하기 위해서는 복잡한 대기 흐름과 미세먼지 생성 메커니즘을 이해하고 국내 여건을 고려한 단기-중기-장기 정책 로드맵 마련
- 미세먼지 대책 마련을 위한 지속적인 정책평가 시스템 마련이 필요함
 - ※ 오염물질 배출량 감소량과 미세먼지 농도 저감은 비례하지 않으므로 노후화력발전소를 단계적으로 줄일 경우 어느 수준까지 줄여야 하는 지에 대한 세부 평가 필요
 - ※ 지자체별 세부 기여도 평가를 통한 과학적 자료에 근거한 실효성 있는 정책 도출
- 에너지 믹스, 수송, 사업장 등 분야별 **대책별 저감효과 및 비용에 관한 정책 평가를 지속적인 수행 필요**

47

감사합니다!