



2017. 11. 1.(수)
충남서해안기후환경연구소 대회의실

「국정과제 #58 ‘미세먼지 걱정없는 쾌적한 대기환경 조성’ 대응 관련」
미세먼지 원인규명과 예보기술 활용 관계자 워크숍

- (일 시) 2017. 11. 1(수), 15:00~17:30
- (장 소) 충남서해안기후환경연구소 대회의실
- (참 석) 26명(외부전문가 4, 충남연구원 3, 道 10, 시군 9)
- (내 용) 국정과제 #58 관련 “미세먼지 원인규명과 예보 기술 활용”의 주제로 미세먼지 예측 전문가 및 충남도, 시군 관계자를 모시고 상호협력 방안 및 향후 정책방향에 대해 논의



충청남도
Chungcheongnam-do



충남연구원
ChungNam institute

CONTENTS

워크숍 개요	01
[붙임 1] 주요 참석자 명단	03
발 표	
Ⅰ. 충남 대기질 현황과 개선노력 충남연구원 김 동 혁 책임연구원	05
Ⅱ. 미세먼지 기여도 평가와 충남 맞춤형 정책 방향 한국환경정책·평가연구원 문 난 경 선임연구위원	29
Ⅲ. 관측과 모델을 통해 본 충남 미세먼지 현황 국립환경과학원 이 재 범 연구관	55

미세먼지 원인규명과 예보기술 활용 관계자 워크숍

I 추진 배경

- 미세먼지 공포 확산으로 고농도 미세먼지 발생원인과 해소시기에 대한 원초적 해결방안 요구 증대
- 정부차원의 미세먼지 원인규명과 예보기술 제고 방안은 충남의 현안을 수용함에 기술적·제도적 공극 발생
- 환경부와 국가정책기관의 의견 수렴을 통한 협력사업 발굴 및 충남도 차원의 선제적 대응 전략 마련

II 워크숍 목적

- 충남 대기질 현황과 정부 환경정책의 실효성에 대해 진단하고 향후 도정방향에 대해 논의
- 고농도 미세먼지 발생 원인을 진단하고 정부정책 연계방안 및 충남도 차원의 맞춤형 대응 전략 수립
- 정부의 미세먼지 예보기술 현황에 대해 살펴보고 충남도 활용을 위한 기술적·제도적 극복방안 수립

III 워크숍 개요

- (때·곳) 2017. 11. 1(수), 15:00 ~ 17:30 / 서해안기후환경연구소 대회의실
- (참석인원) 26명 (전문가, 연구진, 도 및 시군 공무원 등)
- (주최·주관) 충청남도 환경보전과·충남연구원 서해안기후환경연구소
- (내용) “미세먼지 원인규명과 예보 기술 활용”의 주제로 전문가 및 충남도, 시군 관계자를 모시고 상호협력 방안 및 향후 정책방향에 대해 논의

< 진행 계획 >

시 간		내 용	비고
14:50~15:00	10'	등 록	-
15:00~15:05	5'	개회사 및 참석자 소개	사회자
15:05~15:10	5'	인 사 말 씀	
15:10~15:40	30'	❶ 충남 대기질 현황과 개선노력	충남연구원 김동혁 책임연구원
15:40~16:10	30'	❷ 미세먼지 기여도 평가와 충남 맞춤형 정책 방향	한국환경정책·평가연구원 문난경 선임연구위원
16:10~16:40	30'	❸ 관측과 모델을 통해 본 충남 미세먼지 현황	국립환경과학원 이재범 연구관
16:40~16:50	10'	휴 식	
16:50~17:30	40'	종 합 토 론	
17:30		폐 회	사회자

붙임 1

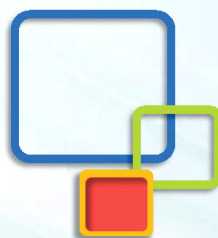
주요 참석자 명단

구 분	성 명	소 속	비 고
계			26명
외부전문가 (4)	김종호	한서대학교 환경공학과 교수	토 론(좌장)
	문난경	KEI 환경평가모니터링센터장	발표 및 토론
	이재범	국립환경과학원 대기질통합예보센터	발표 및 토론
	홍현수	(주)나인에코 대표	토론
충남연구원 (3)	김동혁	충남연구원, 책임연구원	발표 및 토론
	윤종주	충남연구원, 책임연구원	토론
	신우석	충남연구원, 책임연구원	토론
도 (10)	안재수	충청남도, 환경보전과장	토론
	박상환	충청남도, 환경보전과 대기환경팀장	토론
	김은영	충청남도, 환경보전과	
	안정준	충청남도, 환경보전과	
	최진하	충남보건환경연구원장	토론
	김준겸	충남보건환경연구원 환경조사과장	토론
	김재식	충남보건환경연구원 대기보전과장	
	정금희	충남보건환경연구원 대기보전과	
	신인철	충남보건환경연구원 대기보전과	토론
	신동호	충남보건환경연구원 환경조사과	토론
시.군 (9)	정명진	공주시, 환경자원과	
	구본일	서산시, 환경보전과	
	김응열	당진시, 환경정책과	
	김종현	당진시, 환경정책과	
	김종갑	청양군, 환경보호과	
	손대승	홍성군, 환경과	
	유지혜	예산군, 환경과	
	박태순	태안군, 환경산림과	
	김상천	태안군, 환경산림과	

발표 |

충남 대기질 현황과 개선노력

충남연구원 _ 김 동 혁 책임연구원



충남 대기질 현황과 개선노력

2017. 11. 01.

기후변화대응연구센터 책임연구원 김동혁



Contents

I 충청남도 미세먼지 현황

II 미세먼지 저감정책

III 미세먼지 개선을 위한 과학적 노력

IV 향후 정책 방향 모색

I 충청남도 미세먼지 현황

1. 지리조건
2. 배출현황
3. 대기현황

미세먼지 불똥 충청남도로

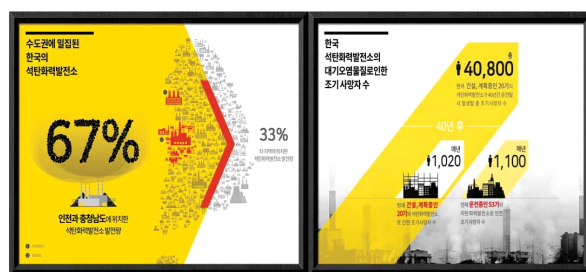
■ 화력발전소 증설 관련 관심과 우려 확산

- ✓ 화력발전소 증설 관련 건강영향 Greenpeace 보고서(2015)
 - 충청도내 발전소 신규건설(9기, 8,160MW)로 매년 750명 조기사망 추정
- ✓ 초미세먼지 원인으로 화력발전소 지목, 절반이상 충남 및 인천에 밀집

■ 충남 화력발전소 발 미세먼지 봄철 전국적 영향

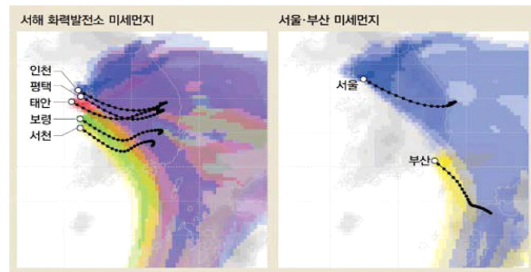
- ✓ 한미 공동 대기질 연구(KORUS-AQ)에 의한 충청남도 입지 화력발전소에 의한 대거 발생
- ✓ 봄철 북서풍을 타고 한반도 전역으로 확산
- ✓ 황산화물 과다배출에 의한 2차 미세먼지 생성 가능성 큼

석탄화력발전소 운영에 의한 피해 사례



화력발전소에 의한 건강영향(자료: Greenpeace Report)

서해 화력발전소 발 미세먼지 전국 확산



미세먼지 이동경로 (자료: KORUS-AQ)

미세먼지 불동 충청남도

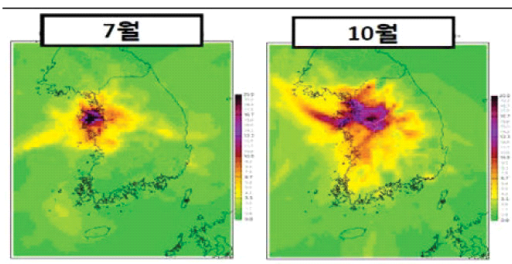
■ 충청남도 석탄화력발전소 수도권 미세먼지 영향

- ✓ 2015' 감사원 '수도권 대기환경개선 특별법' 감사보고서에 충청남도 화력발전소 지목
- ✓ 충남소재 화력발전소에 의해 수도권 미세먼지 농도에 최대 28% 기여
- ✓ 석탄화력발전소 대기오염 저감을 위한 노력 부족 지적

■ 서해안 석유화학단지의 대기오염물질 배출 급증

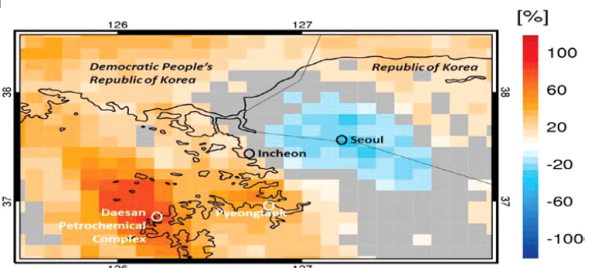
- ✓ NASA 최근10년 이산화질소(NO₂) 모니터링 결과 발표
- ✓ 인도의 잠나가르(Jamnagar)와 함께 서산지역 주목
- ✓ 국내언론 인용보도 증가 및 주민민원 폭발

석탄화력발전소 운영에 의한 피해 사례



화력발전소 확산범위(자료:감사원보고서)

서산 대산석유화학단지의 이산화질소(NO₂) 배출량 급증



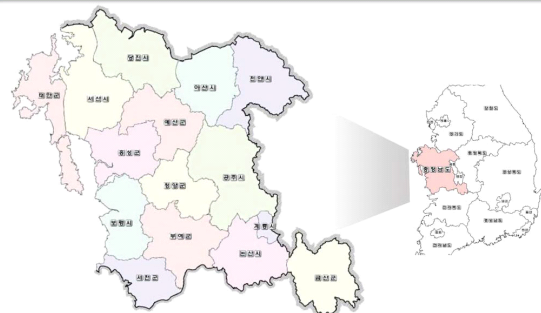
10년간 국내 NO₂발생량 변화량

5

1. 지리조건

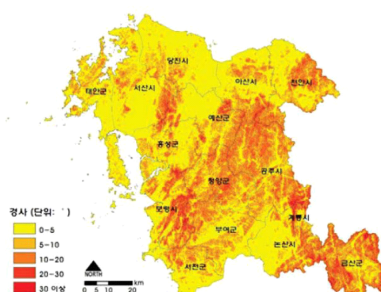
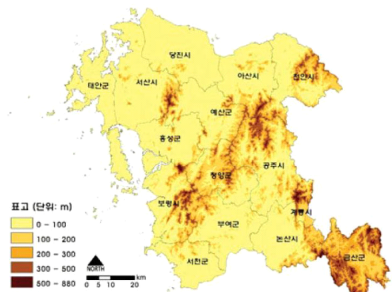
- 충청남도는 국토의 중서부에 위치하며, 8개 시, 7개 군으로 구성되어 있음.
- 2016년 12월 기준 총 면적 8,226km²로 전국(100,339km²)의 약 8.2%를 차지함.

시청 소재지	단	경도와 위도의 극점		연장거리
		지명	극점	
충남 홍성군 홍북면 충남대로 21	동단	금산군 부리면 방우리	북위 36°01'47" 동경 127°38'31"	동서간 187.7km
	서단	태안군 근흥면 가의도리	북위 36°36'37" 동경 125°32'21"	
	남단	금산군 남일면 신동리	북위 35°58'30" 동경 127°29'15"	남북간 120.8km
	북단	당진시 석문면 난지도리	북위 37°03'44" 동경 126°25'46"	



표고 100m 이하 약 65.7%(대표적인 저지대)

경사 5° 이하 약 53.4%(개발잠재성 높음)

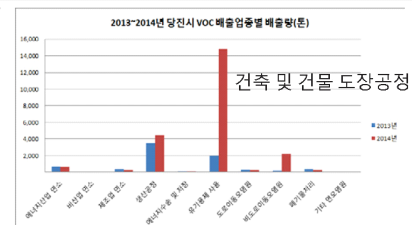
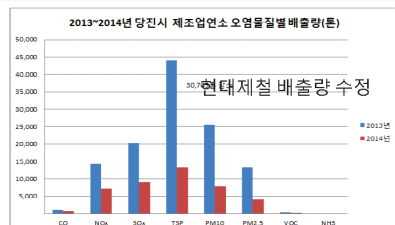
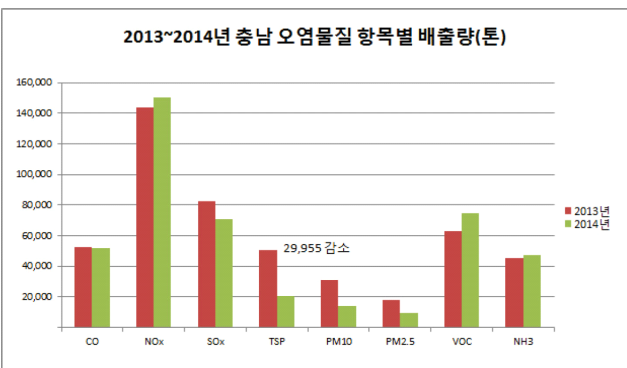


6

-
- 2013~2014년 전국 대기오염물질 배출량(톤)**
- | 지역 | 2013년 (톤) | 2014년 (톤) |
|----|-----------|-----------|
| 강원 | 160,000 | 170,000 |
| 경기 | 509,802 | 510,000 |
| 경남 | 330,000 | 290,000 |
| 광주 | 390,000 | 320,000 |
| 대구 | 50,000 | 90,000 |
| 대전 | 60,000 | 90,000 |
| 부산 | 160,000 | 120,000 |
| 서울 | 250,000 | 200,000 |
| 세종 | 20,000 | 20,000 |
| 울산 | 270,000 | 240,000 |
| 인천 | 160,000 | 150,000 |
| 전주 | 386,975 | 380,000 |
| 전남 | 170,000 | 160,000 |
| 제주 | 50,000 | 50,000 |
| 충남 | 480,000 | 438,933 |
| 충북 | 160,000 | 150,000 |
| 바다 | 0 | 150,000 |

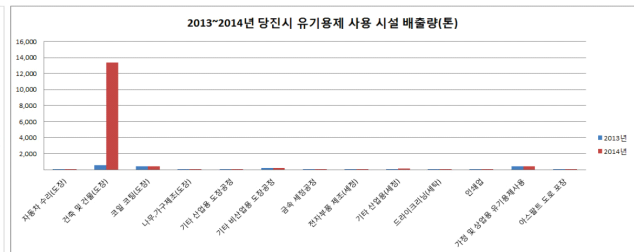
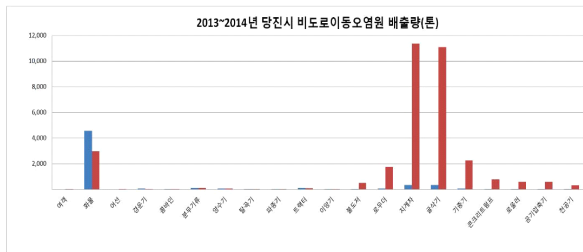
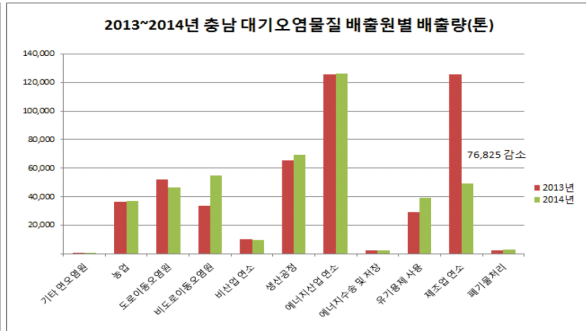
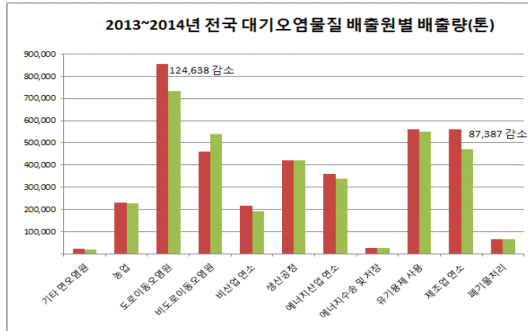


-
- | 오염물질 항목 | 2013년 (톤) | 2014년 (톤) |
|---------|------------|------------|
| CO | ~680,000 | ~580,000 |
| NOx | ~1,080,000 | ~1,150,000 |
| SOx | ~400,000 | ~350,000 |
| TSP | ~180,000 | ~150,000 |
| PM10 | ~120,000 | ~100,000 |
| PM2.5 | ~80,000 | ~70,000 |
| VOC | ~900,000 | ~900,000 |
| NH3 | ~280,000 | ~280,000 |



2. 배출현황(오염원별)

- '14년 전국의 가장 큰 오염원은 도로이동오염원으로 731,476톤(22.6%)이며, '13년에 비해 124,638톤(14.6%)
- 충남의 가장 큰 오염원은 '13년 제조업연소(25.94%)에서 '14년 에너지산업연소(28.8%)로 바뀌었으며, 제조업연소 부분의 대기오염물질 76,825톤(61%)이 대폭 감소되었음



11

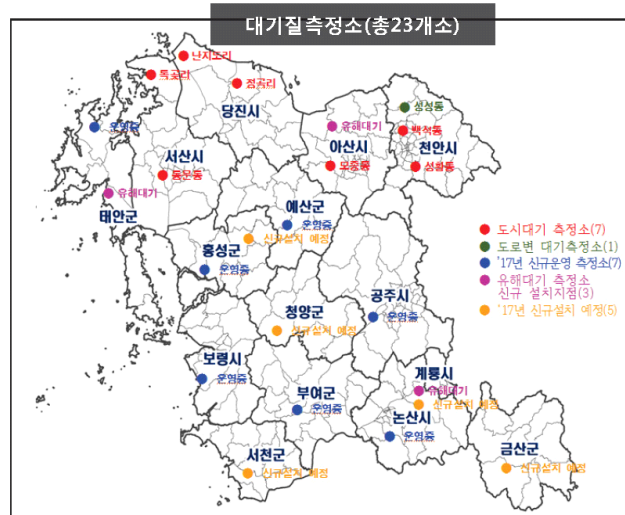
3. 대기현황

- 미세먼지 측정소 턱없이 부족, 충남의 경우 천안에 국한, 대기질 측정소 서북부 편중
- 도시대기 7개소, 도로변 1개소, 17년 신규운영 도시대기 7개소, 설치예정 8개소(유해대기 3개소, 도시대기 5개소)
- 총 23개소 측정망 구성 예정

전국 미세먼지(PM-2.5) 측정소 현황



자료: 환경부 내부자료(2016.8.) 기초로 국회예산정책처 작성함.

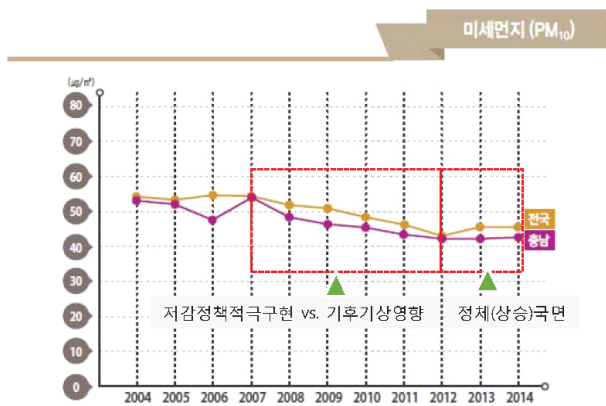


12

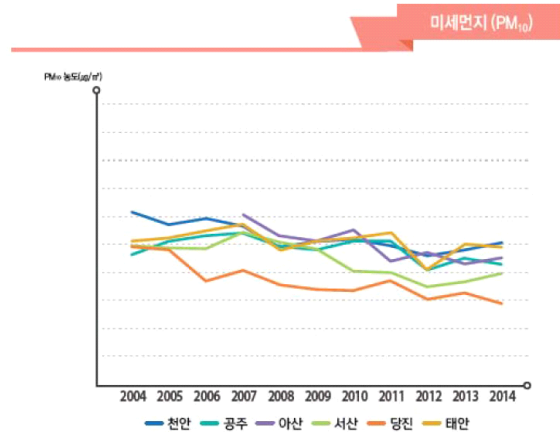
3. 대기현황

- 물질별 전국 시도 최근 10년 측정결과 충남은 전국평균에 비해 다소 낮은 결과를 보임
도내 측정소가 위치하는 6개 시군에 대해 살펴본 결과, 미세먼지 평균농도수준
화력발전소 및 철강/정유 시설의 영향을 판단하기에 한계가 있음

충남의 미세먼지 농도 변화



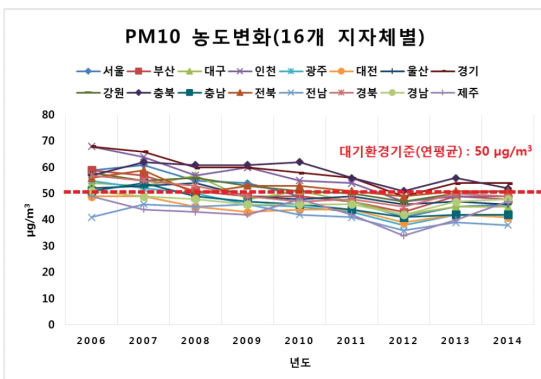
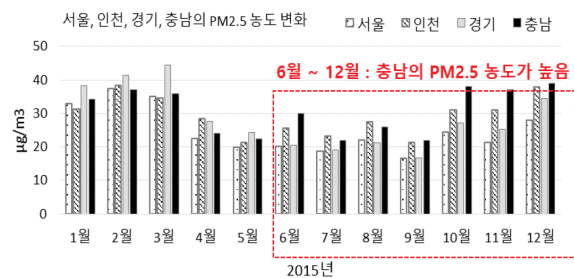
도내 6개 시군 미세먼지 농도 변화



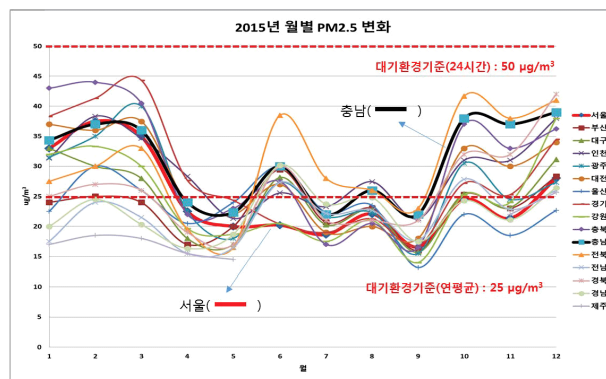
13

3. 대기현황

- ▶ 대부분의 지자체는 환경기준을 초과하고 있으나 점차 감소추세
- ▶ 초미세먼지는 주로 봄과 겨울에 높으며 환경기준을 초과
- ▶ 서울 : 인천 : 경기 : 충남의 비교에서도 충남은 6월 ~ 12월에 초미세먼지의 농도가 상대적으로 높게 나타남



<16개 지자체별 PM10 농도 변화>



<2015년도 16개 지자체의 월별 PM2.5 변화추이>

14

II 미세먼지 저감정책

1. 정책동향
2. 입법추진
3. 연구과제

1. 정책동향



대통령 업무지시 3호 “미세먼지 문제를 국가적 의제로 설정하고 근본적 해결방안 마련위한 미세먼지 대책으로 노후화력발전소 Shutdown 지시”

‘17년 6월 1일부터
노후 석탄화력 발전소
보령 1·2호기, 서천 1·2호기
한시적 중지

제2차 대기환경개선 종합계획

- 계획기간: 2016~2025년
- 비전: 건강 100세 시대를 여는 맑은 공기, 시원한 지구
- 목표: **미세먼지·오존 오염 50% 이상 감축**(기준초과 비율 ½)
- 추진전략: 국민참여적 거버넌스
- 대기·기후(감축·적응) 통합적 접근
- 경제와 환경의 상생·조화
- 과학기술 기반의 혁신

2차 수도권 대기환경관리 기본계획

- 계획기간: 2015~2024년
- 비전: 맑은 공기로 건강한 100세 시대 구현
- 목표: **PM-10 30 μ g/m³, PM-2.5 20 μ g/m³, NO₂ 0.021ppm, O₃ 0.06ppm**
- 기본방향
 - 자동차 관리
 - 배출시설 관리
 - 생활오염원 관리
 - 과학적 관리기반 구축 및 홍보 강화

산업통상자원부 석탄발전 미세먼지 대책

- 계획기간: 2016~2030년
- 목표
 - 노후 석탄발전 10기 폐지
 - 기존 석탄발전 성능 개선 및 환경설비 전면교체
 - 신규 석탄발전 원칙적 진입제한
- 총괄: ‘30년까지 총 11.6조원 투자계획
 - 노후 석탄발전소 폐기 2,032억
 - 1단계 탈황·탈질 설비 보강 2,179억원
 - 2단계 주기기 및 환경설비 교체 9.5조
 - 건설중 발전기 친환경설비 투자 1.7조

1. 정책동향



석탄화력발전소 오염 저감시설 강화, 증설 중단 등으로
미세먼지 배출량을 현재보다 절반 이상 줄여야 ...

대기질 개선관리 추진방안

- 계획기간: 2017~2025년
- 비전: 맑은 공기, 시원한 바람 함께 누리는 행복한 충남!
- 목표: 2025년 PM-10 30 μ g/m³, PM-2.5 20 μ g/m³ 달성
- 추진방향
 - 중앙정부 추진계획과 연계
 - 미세먼지 배출량 많은 전기·가스 사업
 - 집중 배출지에 대한 대기환경규제지역 지정
 - PM-2.5, 특정대기유해물질 저감에 우선 투자
 - 경유차 없는 도로 관리 역점

충청남도 환경보전종합계획

- 계획기간: 2017~2020년
- 비전: 쾌적한 환경, 건강한 사람, 행복한 충남
- 목표: 환경보전을 선도하는 충남, 누구나 건강한 충남
- 추진전략
 - 지역주도 환경보전 역량강화
 - 지역 환경보전 조사연구 기반구축
 - 새로운 환경유해인자 예방관리
 - 환경오염 취약지역·계층 건강격차 해소
 - 도민 공감형 환경보전 확대

제4차 환경보전계획

- 계획기간: 2016~2025년
- 비전: 자연과 사람이 벗하는, 그리고 깊은 충남
- 목표: 2025년 PM-10 38 μ g/m³, O₃ 0.023ppm, 대기오염 측정망 20개소
- 추진전략
 - 선제적 통합 대기오염관리 체계 구축
 - 환경친화적인 산업형 대기오염관리 체계 구축
 - 청정공기를 활용한 치유형 에코시티 추진

17

1. 정책동향

환경부 발표(9/26) 미세먼지 관리 종합대책 분석



미세먼지 관리 패러다임 전환		
구 분	통전 패러다임	신(新) 패러다임
① 관리지역	수도권 및 대도시 중심	우심지역 중심
② 관리방식	개별적 오염물질 관리	통합적 관리 추진
③ 국제협력	연구협력 단계	실질적 저감으로 전환
④ 중심정책	일반 대기오염물질 중심	인제위해성 저감 중심
⑤ 내용기반	개별, 분산된 연구	체계적, 통합적 연구

구 분	중전 6·3대책	금번 종합대책
감축목표	•'21년 국내배출 14% ↓	•'22년 국내배출 30% ↓
발전	석탄 발전	•신규 석탄발전 설치 원칙적 금지 •신규 석탄발전 배출기준 강화
	재생 에너지	•'25년 11%로 확대
산업	먼지관리	-
	배출 부과금	•NOx 배출부과금 신설 검토
수송	총량관리	•수도권 총량관리
	친환경차	•전기차 등 보급
민간계층	선택·건설기계·이륜차	•건설기계 배출 저감
	노후 경유차	•수도권 운행제한
국제협력	환경기준	-
	인프라 확충	•미세먼지 측정망 확대
교육·환경 서비스	교육·환경 서비스	•매뉴얼 마련 및 교육·홍보
	의제 확산	•한·중·일 환경장관
협력 체결	협력 체결	-
	협력 체결	-

18

1. 정책동향

환경부 발표(9/26) 미세먼지 관리 종합대책 분석

분야		주요 대책	
		중 앙(2017.9.26.)	우리 도 관련 사항
배출량 감축	발전	▶ 화력발전소 관리 등 강화	▶ 최고 수준 관리: 신서천 ※ 배출허용강화조례 시행중(17.7.1~)
	산업	▶ 배출 총량제 수도권 외 전국 확대	▶ 충남 북부지역부터 준비 철저
		▶ 제철·석유 등 다량배출 사업장 배출허용기준 강화	▶ 주요 다량배출 사업장 자발적 협약 확대 및 배출 총량제 도입 검토
		▶ 먼지 총량제 신규 도입	
	수송	▶ 노후 경유차 임기내 77% 조기폐차	▶ 중앙 정부와 연계하여 현 상태 추진 유지
		▶ 친환경차 보급 확대(22년 200만대)	▶ 중앙 정부와 연계하여 현 상태 추진 유지
		▶ 노후건설기계 및 선박의 저공해 조치	▶ 정부 계획 검토 후 발표 필요
	생활	▶ 도로청소차량 2배 확충	▶ 중앙 정부와 연계 지속적 보급 확산
		▶ 건설공사장-농촌불법소각 집중 점검	▶ 봄·가을 집중 점검 기간 지정 확대
국외	한·중	▶ 대기질 공동조사, 미세먼지 저감 환경기술 실증사업 강화	▶ 도·장·수성 환경행정교류회를 통한 미세먼지 저감 협력 강화 ※ 우리도 대책 소개 및 공동연구 제안(17.8)
민감층 보호	환경기준	▶ 미세먼지 기준을 미국·일본 등 선진국 수준 강화(50→35 μ g/m ³)	▶ 국가기준 보다 엄격한 지역 환경기준 제정근거 마련 ※ 미세먼지: 국가 50 μ g/m ³ , 우리도 40 μ g/m ³
	활동공간	▶ 어린이 통학차량 친환경차(LPG, CNG)로 전면 교체	▶ 도 교육청과 협의, 연계 방안 마련
		▶ 실내체육시설 및 공기정화장치 설치 지원	▶ 화력발전소 인근 학교 공기정화 장치 보급 확대
	서비스	▶ 독거노인 등 민감계층 찾아가는 케어서비스 실시	▶ 중앙 세부 계획에 따라 추진계획 마련

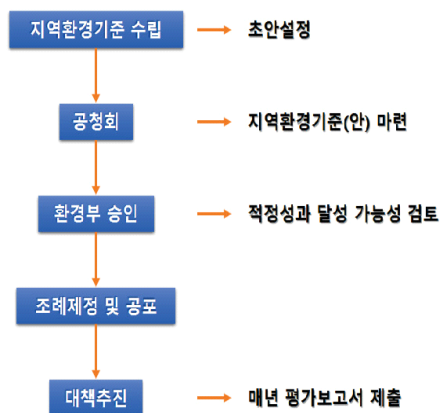
19

2. 입법추진(조례-지역환경기준)

■ 대기환경기준 설정

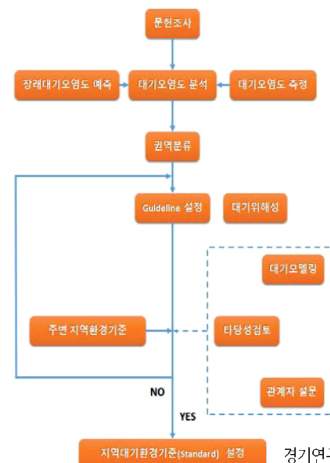
- ✓ 행정적 목표치로써 단기목표치와 장기목표치로 구분하여 설정할 수 있음
- ✓ 환경정책기본법 제12조 1항 및 환경정책기본법 제12조 3항에 근거 확대·강화된 별도의 환경기준(이하 "지역환경기준"이라 한다)을 설정

지역환경기준 제정 절차



경기연구원, 1999(재구성)

경기도 지역대기환경기준 제정 절차



경기연구원, 2007(재구성)

20

2. 입법추진(조례-지역환경기준)

- 현재 국내에서는 총 9개 지역(6개 광역시, 2개 광역자치도, 1개 오염권역)에서 지역대기환경기준을 설정하고 있음
기준항목은 국가대기환경기준 8개 항목을 토대로 설정하고 있으며, 해당지역의 특성과 목표수준을 감안하여 설정됨

국내 대기환경기준

항목		국가	서울	부산	대구	인천	대전	울산	경기도		전라남도 광양만권	제주
									대기관리권역	대기관리권역외 지역		
미세먼지(PM10) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	연간평균치	50	50	50	50	50	40	50	50	30	50	50
	24시간평균치	100	100	100	100	100	100	100	100	50	100	100
미세먼지(PM2.5) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	연간평균치	25			25		25		25	15		25
	24시간평균치	50			50		50		50	25		50

해외 대기환경기준

항목	기준 시간	한국	미국 ¹⁾	일본	캐나다 ¹⁾	호주	홍콩	중국	영국 ¹⁾	EU	WHO
미세먼지 (PM10)	1시간			200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$							
	24시간	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	년	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$					50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
미세먼지 (PM2.5)	24시간	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$			25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	년	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

21

2. 입법추진(조례-지역환경기준)

- 향후 추가적인 연구를 통해 2단계에서는 우리도 행정목표 달성과 도민 환경복지 차원의 건강보호 증진을 위해 WHO 권고기준을 참조하여 최고수준의 기준을 설정하는 것이 필요함

국내 대기환경기준

기준(안)	제안이유
1. 경기도 지역대기환경기준 설정	- 대기오염관리 측면에서 공간적 범위 및 지역적 특성이 충남도와 유사 - 오염물질 다배출 시설지역과, 청정지역으로 구분하여 관리
2. 물질별 시계열 유사지역 기준 설정	- 현실적으로 가장 실현가능성이 높은 방안 - 타 시도와의 형평성 문제 해결
3. 국가대기환경기준 80% 수준 설정	- 대기환경규제지역 지정시 활용하는 방안 - 향후 화력발전소 주변지역 등을 대기환경 규제지역 지정시 정책의 일관성 유지 가능

충청남도 대기환경기준

항목		국가	기준(안)1	기준(안)2	기준(안)3
미세먼지(PM10) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	연간평균치	50	50	50	40(20)
	24시간평균치	100	100	100	80(50)
미세먼지(PM2.5) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	연간평균치	25	25	25	20(10)
	24시간평균치	50	50	50	40(25)

22

2. 입법추진(조례-배출허용기준)

- 배출허용기준은 일반적으로 대기환경기준 달성 정도, 방지시설 기술 및 시설별 배출현황과 선진국의 배출허용기준 수준 등을 고려하여 설정

배출규제기준 제정 절차



국립환경과학원, 1994(재구성)

■ 배출허용기준 설정

✓ 배출허용기준은 환경기준을 실현하기 위한 법적 효력을 갖는 정책수단이자 제도적 장치

✓ 일반적으로 대기오염물질의 배출을 규제하는 방식에는 농도규제방식과 총량규제방식이 있음(경기개발연구원, 2001)

■ 대기환경보전법 제16조 3항, 대기환경보전법 제16조 제5항에 의거

■ 배출허용기준 적용 물질

✓ 대기환경보전법 총 61종 중 25종에 대해 배출허용기준 설정

■ 제정 절차

✓ 대기오염물질 농도와 배출량 사이의 상관관계 분석을 통해 기준 달성이 가능한 오염삭감량을 추정하며, 그 값은 현 배출량을 고려한 대기확산모델링을 통한 검증을 통해 환경용량과 함께 정할 수 있음

23

2. 입법추진(조례-배출허용기준)

- 2016년 기준 국내 운영 중인 발전설비용량 100MW 이상의 11개 발전소를 대상으로 배출허용기준기준 적용하고 있음

충남 배출허용기준(석탄화력발전소)

오염물질	배출시설	대상시설	적용시기 및 배출허용기준	
먼지 (mg/5m³)	1. 발전시설 중 고체연료사용시설 (설비용량 100MW 이상)			
	가. 2001년 6월 30일 이전 설치시설	보령 3~6호기, 당진 1,3,4호기, 태안 1~4호기	2021년 1월 1일 부터 15(6)ppm이하 2023년 1월 1일 부터 5(6)ppm이하	
		나. 2001년 7월 1일 이후 설치시설	보령 1~2호기 당진 2, 5~8호기, 태안 5~8호기	2021년 1월 1일 부터 15(6)ppm이하 2026년 1월 1일 부터 5(6)ppm이하
			보령 7~8호기	2021년 1월 1일 부터 12(6)ppm이하 2026년 1월 1일 부터 5(6)ppm이하
	다. 2015년 1월 1일 이후 설치시설	신보령 1~2호기, 태안 9~10호기, 당진 9~10호기,	2026년 1월 1일 부터 5(6)ppm이하	
		신서천 1호기 당진예코 1~2호기	5(6)ppm이하	

24

2. 입법추진(특별법)

- 배출허용기준 강화에도 불구하고 대기오염 계속 악화
사후적인 농도규제로는 급증하는 배출량 총량관리 불가능

특별법 발의 배경 (안희정 지사 기자회견 후 초안 마련)

- 석탄화력발전소가 건강에 치명적인 초미세먼지를 다량 배출함으로써 각종 암, 중금속 오염 등 국민의 신체 및 건강에 심각한 문제를 야기하는 에너지원임에도 불구하고 이에 대한 관련 대책이 미비한 실정
- 국내 석탄화력발전소에서 발생하는 미세먼지 등 오염물질을 저감하고, 주변 지역의 환경 및 건강영향 조사를 실시토록 하는 법안이 발의(한정에 국회의원, 2017년 3월 3일)

석탄화력발전소 주변지역 대기환경개선에 관한 특별법 내용

- 석탄화력발전소 설치 지역을 포함한 주변지역을 ‘석탄화력발전소 주변 지역’으로 설정하고, 해당 지역의 대기환경 개선을 위해 10년마다 대기오염물질을 줄이기 위한 석탄화력발전소 주변 지역 대기환경관리 기본계획을 수립
- **대기오염물질 배출허용총량도 도입**해 이를 초과할 경우 총량초과부과금을 부과·징수할 수 있도록 하고, 사업자로 하여금 환경영향조사 및 건강영향조사를 실시토록 (c.f. 배출부과금 면제, 저감시설 설치 재정지원, 배출허용기준 완화 등의 인센티브 제공)

25

3. 연구과제

- 도차원에서 대기환경개선을 위한 종합적 검토를 통해 충청남도 미래 대기환경 청사진을 제시하고자 함
우선적으로 석탄화력발전소를 대상으로 실질적/구체적인 기후-대기환경-보건 영향을 파악하고자 함

대기환경개선 5개년 종합계획 수립 연구

- 미세먼지를 포함한 대기오염도 충남도의 환경현황을 종합적/체계적으로 진단하고 실용적 환경관리 개선방안 마련하여 **충청남도 미래 청정대기환경의 청사진을 제시**하고자 함
- 2017년 5월 ~ 2018년 3월 (10개월), 140,000천원

석탄화력발전소 주변지역 기후환경/건강 영향조사 용역 수행

- 화력발전소 주변지역 기후환경변화에 대한 모니터링과 분석, 대기질 모델링 시스템 구축 등을 통한 **과학적 실증자료 축적**과 이에 따른 충남지역 화력발전소에 따른 사회적 피해비용 산정, 화력발전소의 배출규제 강화를 위한 제도적 방안 도출
- 충남도내 화력발전소 주변지역 피해입증을 위한 과학적 실증자료를 축적하고 지역자원시설에 표준세를 향상 및 제도개선안 검토를 바탕으로 **충남도 지역맞춤형 지역자원시설세 활용방안을 마련**
- **2016년 11월 ~ 2021년 11월 (5년간), 5,000,000천원**

26

3. 연구과제

- ▶ 민관산학 협의체(대산지역 환경협의회)를 통한 과제 발주
- ▶ 대기유해물질 위주의 실측조사수행, NASA조사결과 대응, 상생방안 마련 목표

대산공단지역 대기환경영향조사

- 대산지역의 이산화질소 오염 심각성에 대한 저널 발표로 이목 집중
 - 미국항공우주국(NASA)이 최근 10년간(2004~2014) 전 세계 195개 도시 상공의 이산화질소 농도를 관측한 결과 대산지역이 인도의 잠나가르와 더불어 세계에서 가장 급격하게 심해진 도시로 밝힘
- 시민, 환경단체 및 충청남도 시군 의회에서 환경영향조사 촉구
 - 대산지역은 메이저 석유화학공장 및 70여 개가 넘는 유사 중소기업이 가동되고 있고 지역주민의 악취 및 대기오염물질 피해 민원이 지속적으로 제기됨에도 1993년 이후로 종합적인 환경영향조사가 실시된 적이 없음
- 대기환경영향조사를 통한 환경피해 진단과 종합대책의 기초자료 마련
 - 유해화학물질의 직·간접 피해에 대해 대기는 일차적인 매개체이므로 최우선적인 조사가 이루어져야하며, 축적된 자료를 토대로 토양·해양·수환경 등의 피해에 대해 순차적인 영향조사가 가능함

대산 석유화학단지 주변지역의 대기환경 조사를 시행함으로써 대기오염 실태를 파악하고 지역 주민의 건강보호와 삶의 질 개선을 위한 종합적인 대책 수립의 기초자료를 마련하는데 목적이 있음

2017년 10월 ~ 2019년 10월(2년간), 735,000천원

III 미세먼지 저감을 위한 과학적 노력

1. 실측 조사
2. 모델링 예측
3. 과학기반 통합행정

1. 대기오염도 조사

한미 대기질 합동 연구(KORUS-AQ) 결과 분석

- ▶ 지역 내 오염원이 2차 미세먼지 생성에 지배적 기여(VOCs, NOx, SO₂, NH₃ 배출량 감축이 PM-2.5 감축과 직결)
- ▶ 대산 화학단지 상공 내 벤젠, 1,3-부타디엔 농도가 지역 평균 값을 상회(지상 관측소 측정값 더 높을 것으로 예상)

목적

2차 미세먼지 및 주민 건강 보호를 위한 NOx 및 VOCs 저감 정책 필요

방향

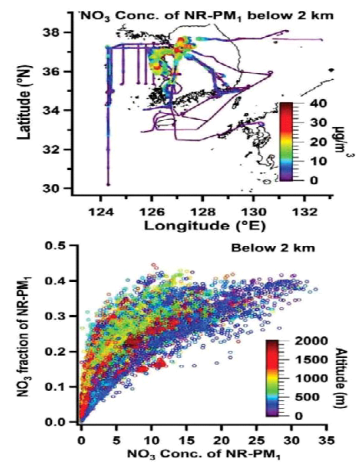
VOCs 배출 사업장 관리 강화를 위한 법적 근거 마련 : 규제지역 지정

- VOCs 관리를 위한 특별대책지역 또는 대기환경규제지역 지정
- VOCs 관련 대기배출시설 중 방지시설 면제 사업장에 대한 규제

벤젠 및 1,3-부타디엔 등 VOCs 배출 저감 대책 강구

- VOCs 배출 사업장 대상 대기오염물질 저감을 위한 자발적 협약 확대
- 1,3-부타디엔의 발생 및 배출 원인 분석을 통해 저감 방안 마련

대산화학단지 주변 VOCs 모니터링 강화



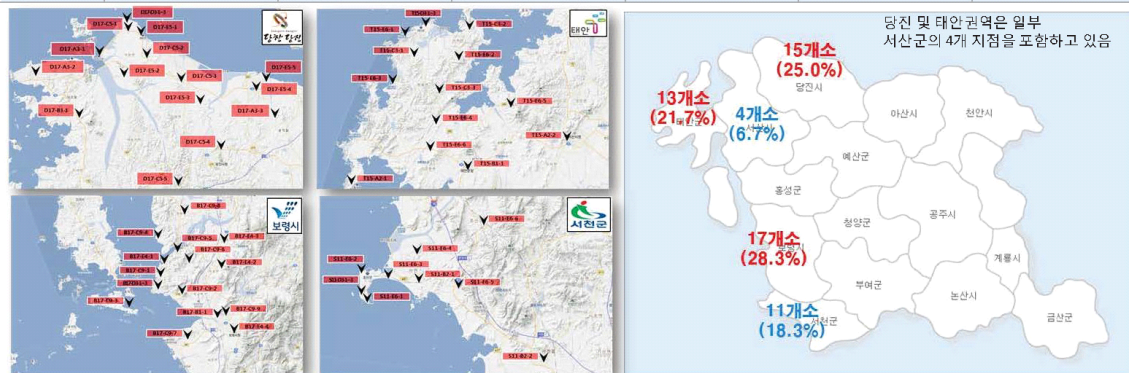
* DG-8에서 관찰한 2 km 이하의 하층 대기 내 미세먼지의 질산염 농도 지도 (좌)와 질산염 농도 대비 미세먼지에서 질산염이 차지하는 부분 (우) (이태원교수 한국외국어대학교)

1. 대기오염도 조사

화력발전소 연구구역 - 간이대기오염 측정기 운영 현황

- 화력발전 주변 지역의 대기질 평가 : 60개 지점 * 4계절별 수행 중 (NO₂, SO₂, O₃, TSP, PM₁₀, CO₂, 중금속, VOCs)
- 충남도 대기환경개선 5개년 종합계획 수립을 위해 당진, 태안, 서산, 보령, 서천권역의 자료로 활용

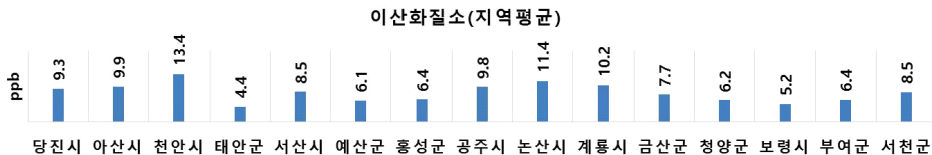
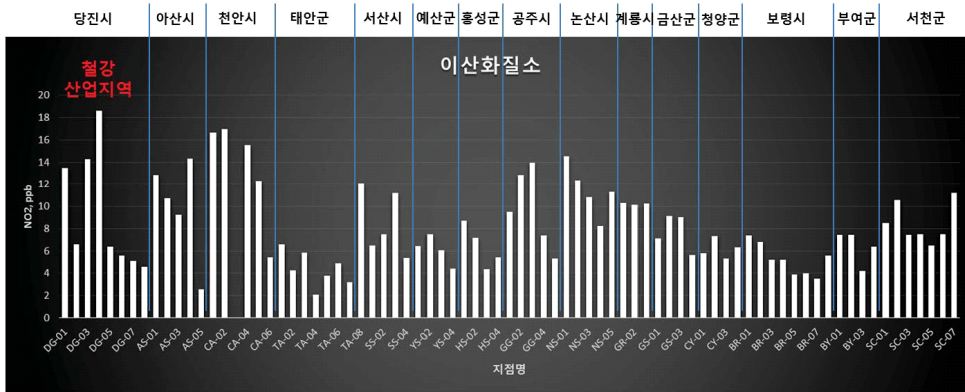
구분	기존 국가측정소 (도시, 교외)	신규 계획측정소	발전소 외부	화력발전 관련 측정소	발전소 내부	합계
당진권역	3	1	5	5	3	17(2개소 서산)
태안권역	2	1	6	3	3	15 (2개소 서산)
보령권역	-	1	4	9	3	17
서천권역	-	2	6	-	3	11
소계	5	5	21	17	12	60



1. 대기오염도 조사

측정결과 - NO2

- 이산화질소 농도범위 : 최소 (2.1 ppb) ~ 최대 (18.6 ppb), 평균 (8.1 ppb)
- 지역간 비교에 의하면 1)천안시 > 2)논산시 > 3)계룡시 > 4)아산시 > 5)당진시 > 15)태안군



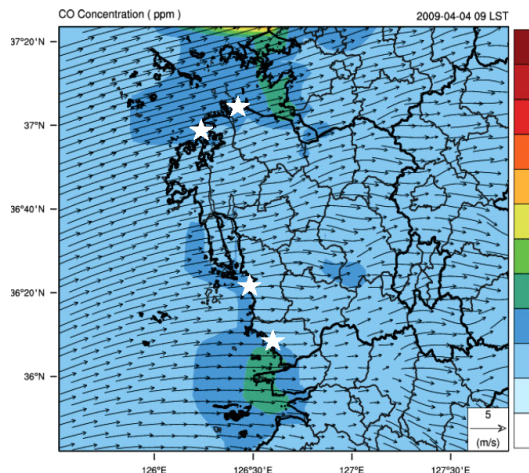
31

2. 모델링 예측

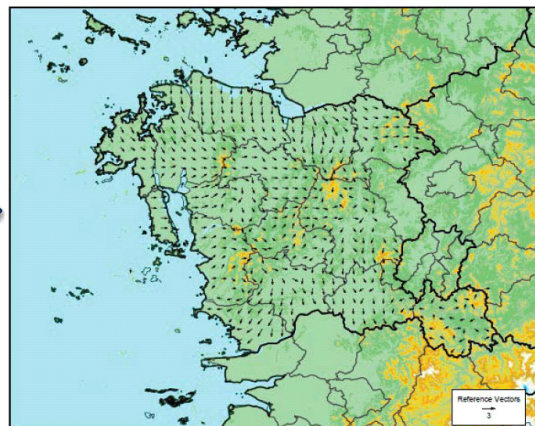
- 수치모델을 이용하여 격자별 바람장 생성 및 충남권역 격자 바람 추출
- 동서성분과 남북성분으로 구분하여 평균장 생성 및 군집분석에 입력자료로 활용

기상모델결과를 활용한 바람기후 분석

수치모델 예측



평균바람분포(바람기후지도)



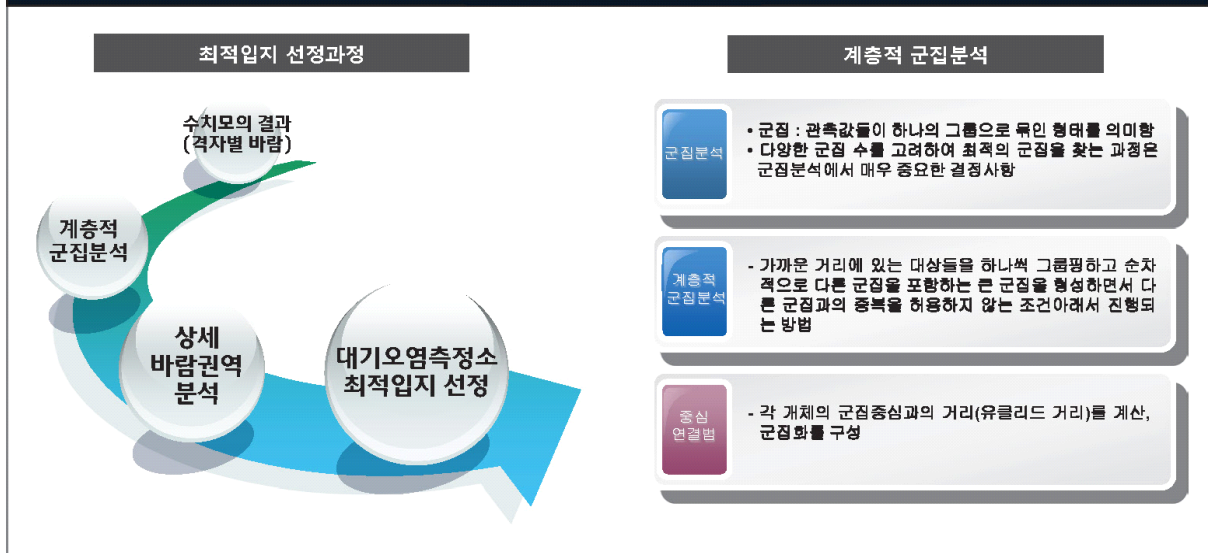
32

2. 모델링 예측



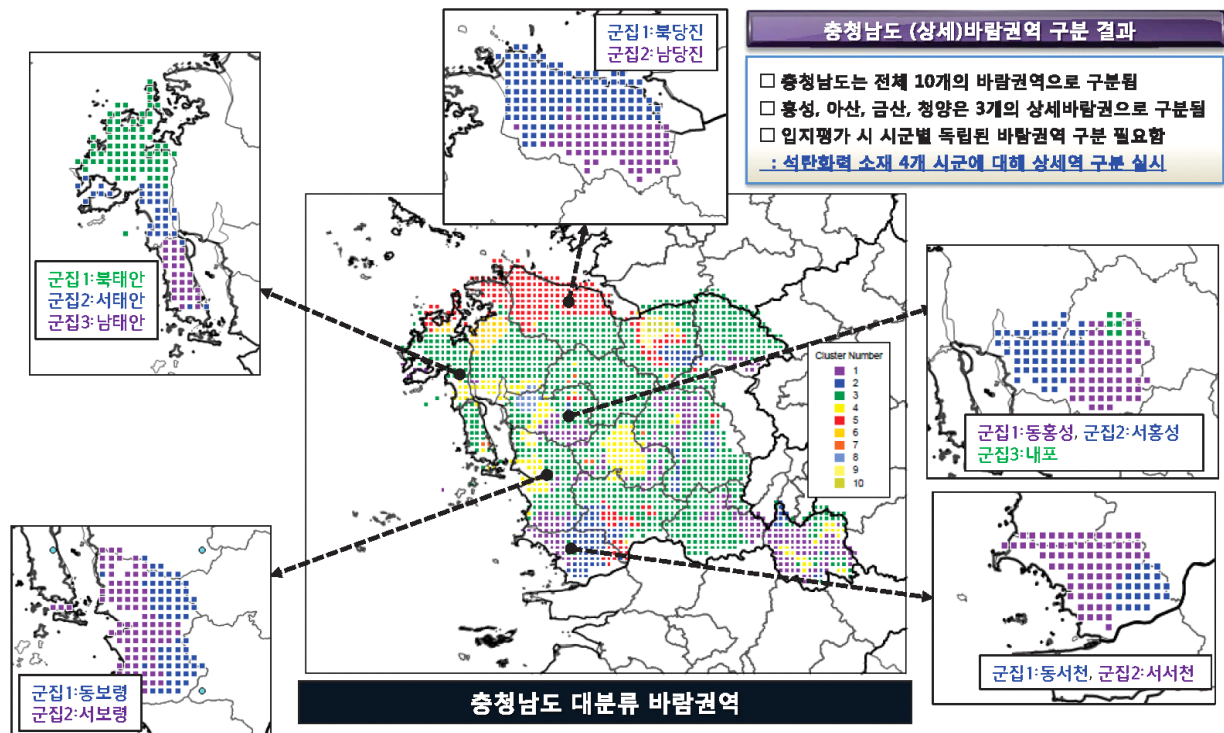
- ◉ 석탄화력발전소 집중측정소 최적입지 선정 방법론 제시
- ◉ 기상조건을 감안한 통계분석을 통해 바람권역 구분

모델링 시스템 구축 방안



33

2. 모델링 예측



34

2. 모델링 예측



- ▶ 바람권역 구분에 의해 요구되는 12개소 중 9개소(운영중+예정:7, 산림+농축산권역 :2) 제외함
- ▶ 결론적으로 기준지점 1(내포) 및 배경지점 3개소 추가가 필요하며 순차적으로 설치해 나갈 것임

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

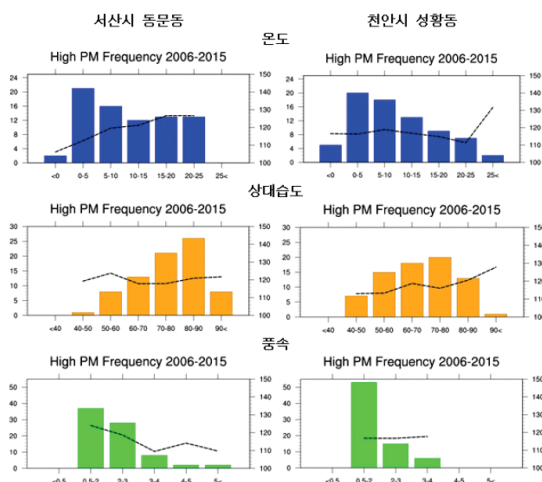
대기질측정소 운영현황
(2017년 7월 현재)



2. 모델링 예측



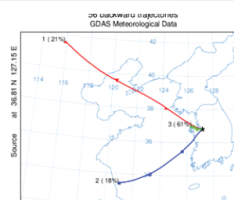
- ▶ 고농도 미세먼지 발생시 기온, 상대습도, 풍속 구간별 발생빈도와 평균농도에 대해 살펴봄
- ▶ 고농도 미세먼지 발생시 역궤적 분석을 통해 기원을 추정한 결과, 3개의 군집으로 분류됨
- ▶ 외부요인과 내부요인으로 구분해 볼 때, 대략 43:57의 비율로 조사됨



【그림 3-3】 기상요소 구간별 고농도 발생빈도 및 평균농도

【표 3-5】 고농도 미세먼지 발생 시 역궤적 군집 결과

지역 구분	서산시 동문동				천안시 성황동			
	군집	기원	기여율 (%)	농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	군집	기원	기여율 (%)	농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2015년	군집1	몽골	16	45.5	군집1	몽골	4	44.5
	군집2	내부	42	37.2	군집2	만주	21	52.1
	군집3	화남	26	41.4	군집3	내부	64	49.9
	군집4	러시아	16	9.6	군집4	러시아	10	24.7
고농도	군집1	몽골	17	190.7	군집1	몽골	21	197.0
	군집2	내부	56	109.8	군집2	화남	18	113.3
	군집3	화북	28	147.2	군집3	내부	61	108.5



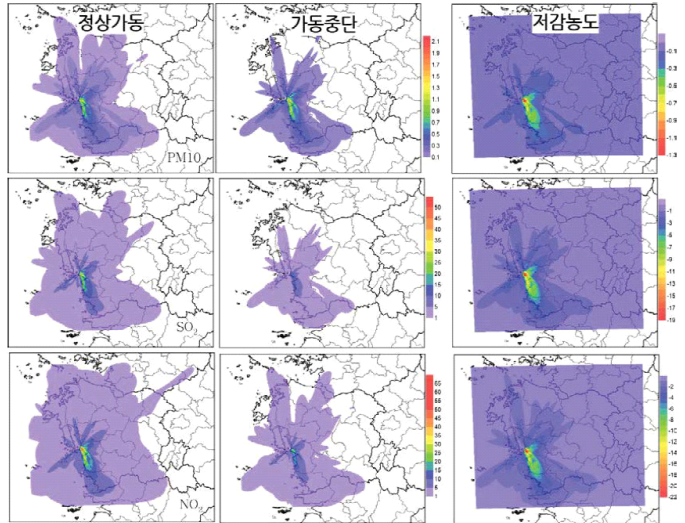
【그림 3-7】 고농도 미세먼지 발생 시 역궤적 군집 결과

2. 모델링 예측



- 2017년 6월, 전국의 30년 이상 노후 석탄화력 발전소가 한 달 동안 일시 가동중단에 들어감. 충남에서는 보령과 서천에 각 2기씩 총 4기가 해당되는바, 그에 따른 주변지역 대기질 변화여부를 살필 필요가 제기되어 연구를 수행함. 고농도 미세먼지 발생시 기온, 상대습도, 풍속 구간별 발생빈도와 평균농도에 대해 살펴봄

NO ₂ (ppb, 24h)	방 향	거리 (km)	현황농도(평균)			예측농도(최대)			
			2015	2016	2017	증감 (%)	정상 가동	가동 중단	증감 (%)
오포	E	3.0	4.67	8.42	8.36	-0.7	35.8	16.3	-44.6
송학	SE	4.5	8.02	7.55	7.04	-6.8	47.9	24.6	-37.7
죽정	SE	11.9	10.02	4.34	4.26	-1.8	8.9	4.5	-39.6
신흥	SSW	10.0	8.85	2.98	2.96	-0.7	32.4	18.1	-32.8
학성	N	5.5	8.94	5.92	4.89	-17.4	6.5	4.0	-20.6
오천	ENE	4.8	8.52	8.00	2.81	-64.9	6.6	2.7	-25.0
교성	NE	5.1	7.49	5.30	4.91	-7.4	11.1	5.8	-37.1
천북	NNE	10.1	9.83	9.57	2.39	-75.0	12.8	7.3	-32.4
원산	WS W	5.6	7.18	6.56	2.62	-60.1	2.3	1.9	-7.1
평균			8.2	6.5	4.5	-26.1	18.3	9.5	-30.8

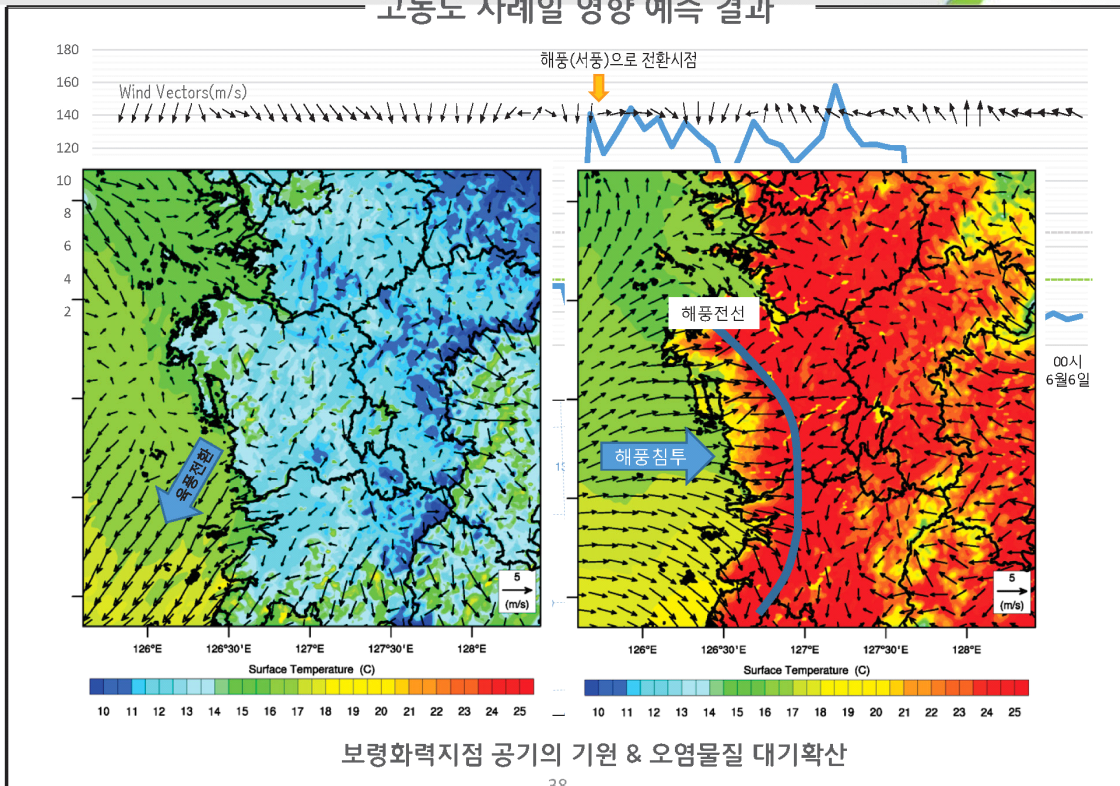


37

2. 모델링 예측



고농도 사례일 영향 예측 결과



38

3. 과학기반 통합행정

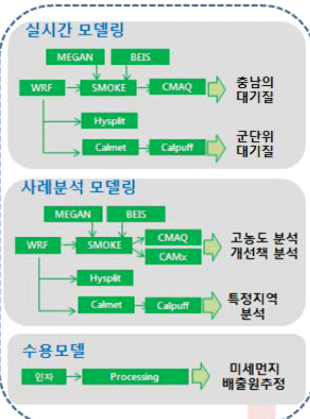


- ▶ 국정과제(#58) 대응 및 미세먼지 예경보 조례시행
- ▶ 고농도 미세먼지 원인규명 / 구군단위 예경보제 지원 / 중장기 저감 정책 지원

[데이터 처리]



[대기질 모델링]

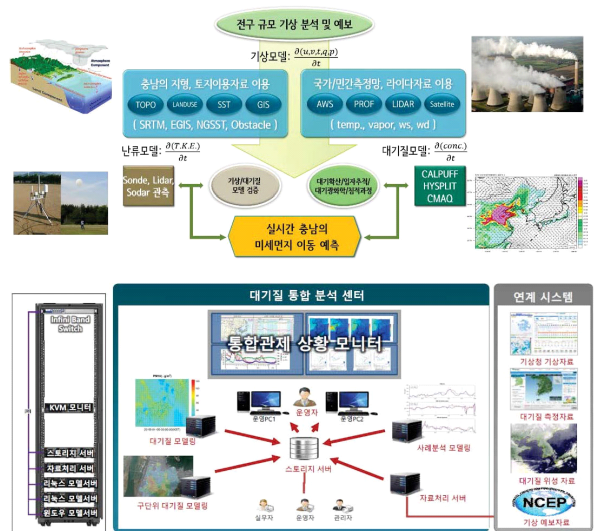


자료분석 프로그램

[진단·예측]



충남 맞춤형 대기화학수송 예측 시스템 개요



39

VI 향후 정책 방향 모색

향후 정책 방향 모색



배출 제어

규제와 더불어 자발적 협약 유도

- 특별법 및 조례 제정 한계 인식
- 미세먼지 총량제, 규제지역 등 도입
- 배출량 감축 자발적 협약 유도

원인 규명

미세먼지는 복합적 요인에 의해 발생

- 지역내 미세먼지 발생원 등 총체적 파악(ex. 선박항만공항 등)
- 기준물질 외 성분분석 가능한 종합대기질 측정소 확충

연구 지원

미세먼지 저감을 위한 과학적 노력 확산

- 미세먼지 예보 정확도 향상을 위한 노력
- 지자체, 중앙정부, 국제공동협력 추진
- 대기진단예측시스템 도입 추진

상생 방안

민관산학 대화협력의 장 마련

- 시민의 불안불신해소를 위해 다각적 노력
- 협의체 운영 활성화 등 대화의 장 마련
- 시민참여 대기질 측정, 대기오염 관련자료 공개 투명화

국가 대책 수립

- 국가 대기환경 개선종합계획(2015)
- 미세먼지 관리 특별대책 수립(2016)
- 미세먼지 관리 종합대책(2017)

지자체 맞춤형 대책수립

- 인천, 2020 미세먼지 저감 종합대책
- 충남 대기질 개선 기본계획
- 성남, 군포, 당진 등 기초지자체 수립

충청남도 대응

- 지역 대기환경기준 설정
- 미세먼지 예보 및 경보 조례 제정
- 화력발전소 배출허용기준 강화
- 청정 대기질 관리 추진 방안 수립



과학적 근거와 실효성 있는
대기질 개선계획 수립

41



Thank You!

“맑은 공기, 시원한 바람” 함께 누리는 행복한 충남

42

미세먼지 기여도 평가와 충남 맞춤형 정책 방향

한국환경정책·평가연구원 _ 문 난 경 선임연구위원

미세먼지 기여도 평가와 충남 맞춤형 정책 방향

2017. 11. 1.

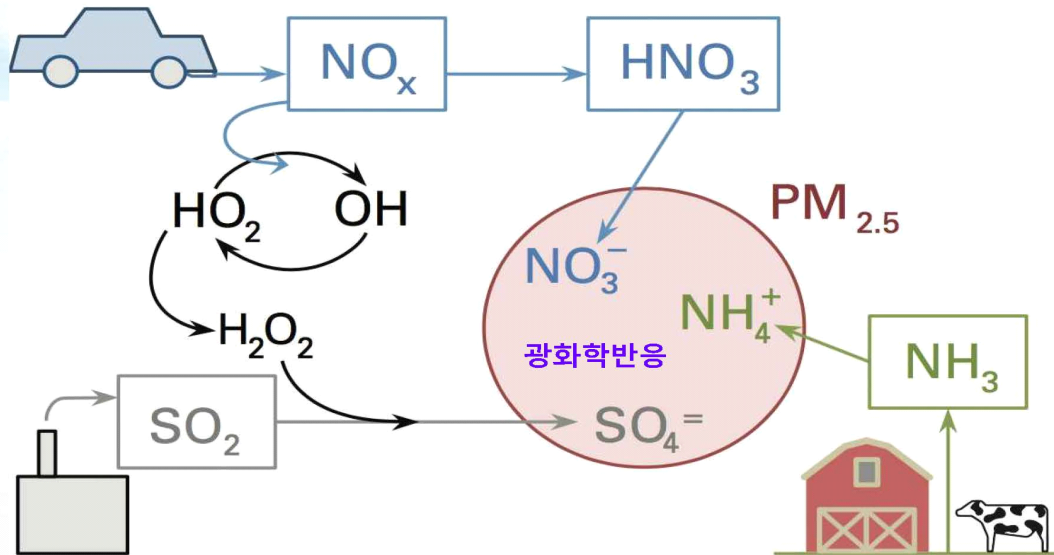
문난경



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/>)

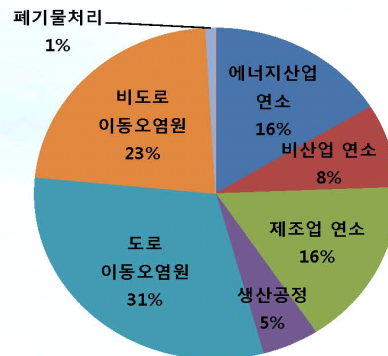


5

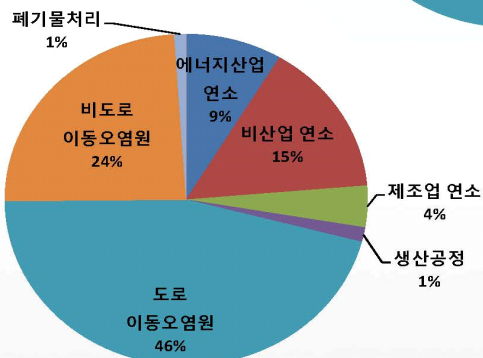
NOx 배출 비율

전국 : NOx

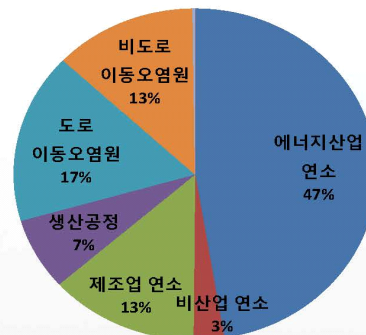
*자료: 국립환경과학원(2015),
2013 국가 대기오염물질 배출량



수도권 : NOx



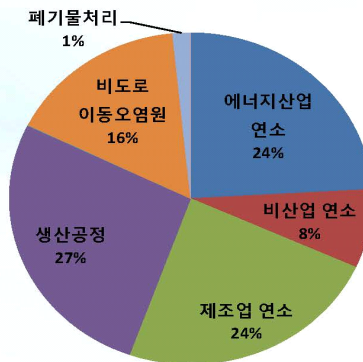
충남 : NOx



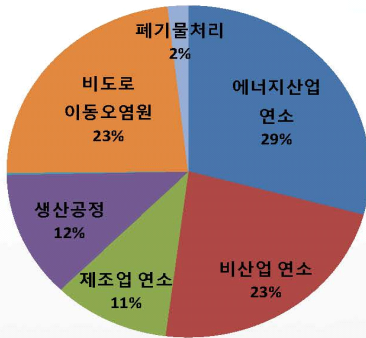
SOx 배출 비율

전국 : SOx

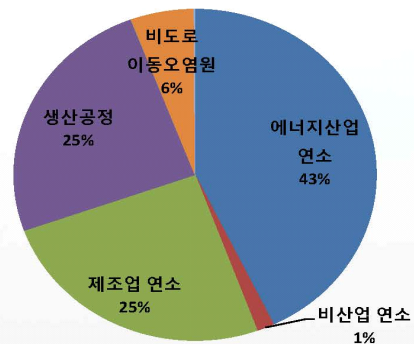
*자료: 국립환경과학원(2015),
2013 국가 대기오염물질 배출량



수도권 : SOx



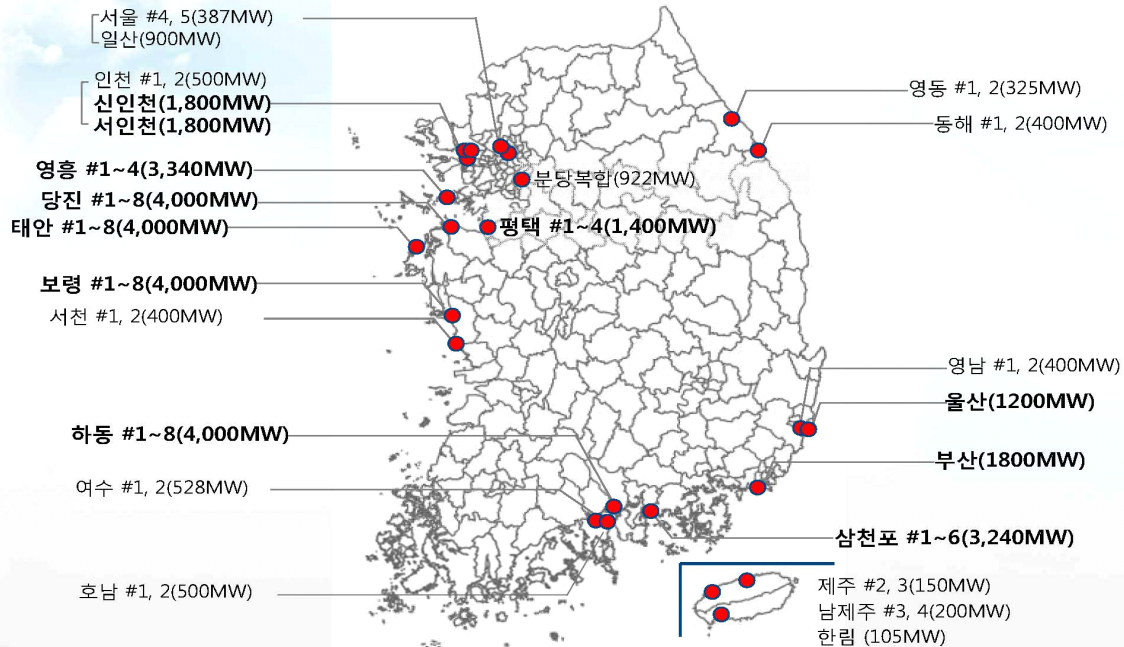
충남 : SOx



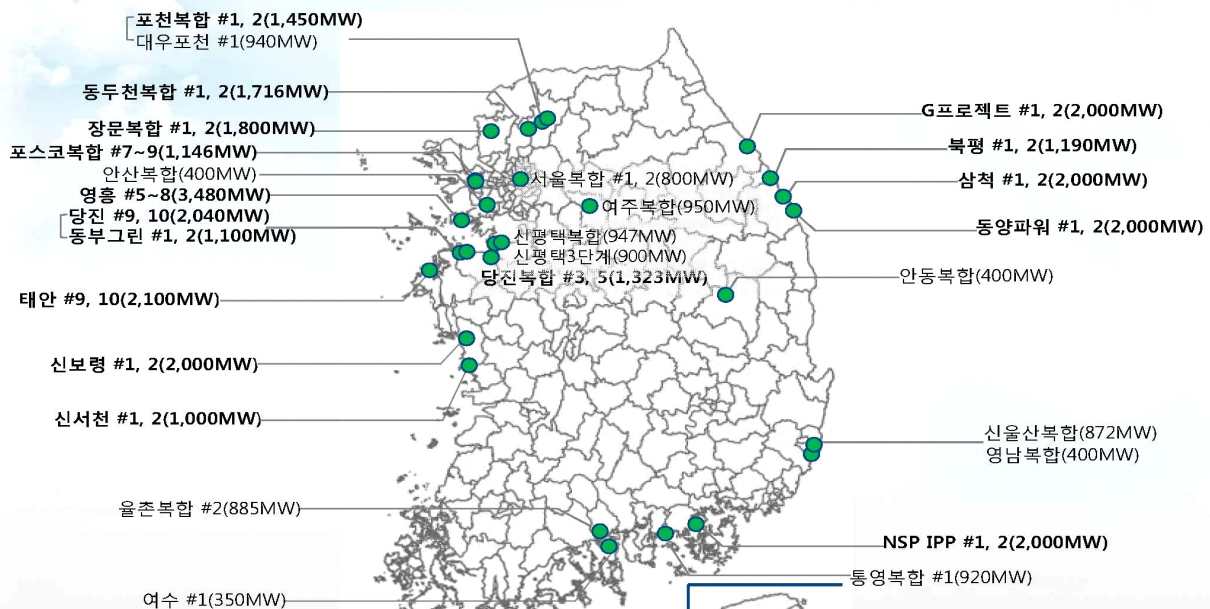
연구 수행 내용

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

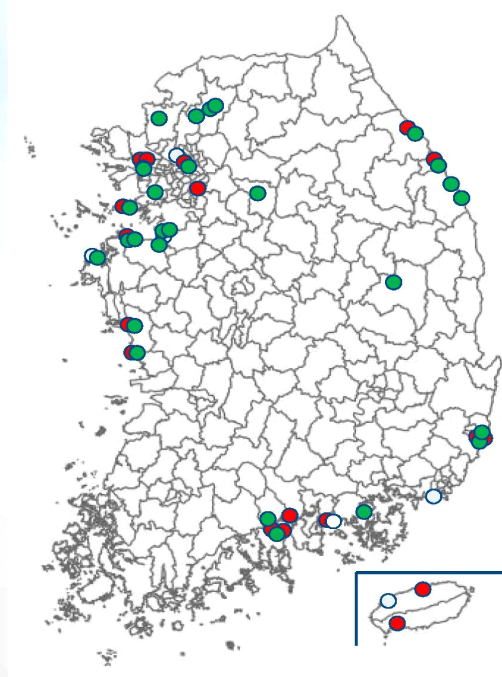
국내 화력발전소 운영 현황



화력발전소 추가 계획



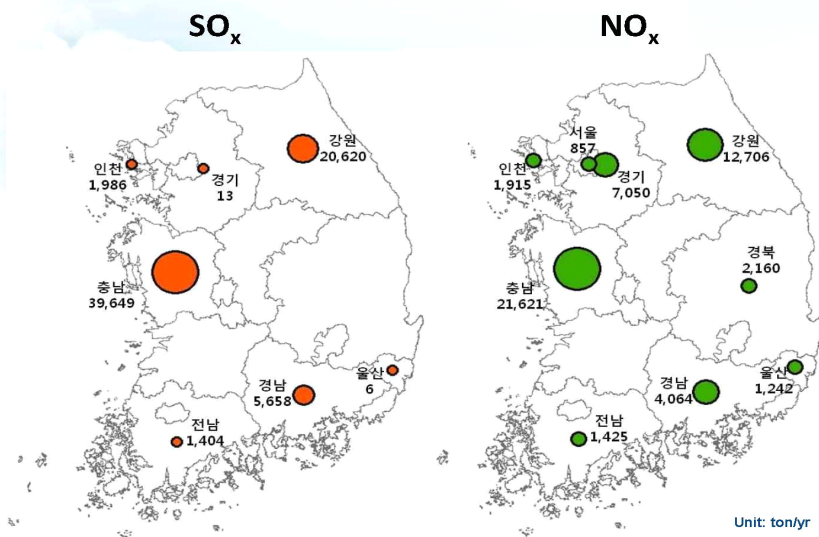
화력발전소(운영 + 추가 계획)



- 기존화력발전소
- 계획화력발전소

11

6차 전력수급기본계획에 의한 추가 배출량

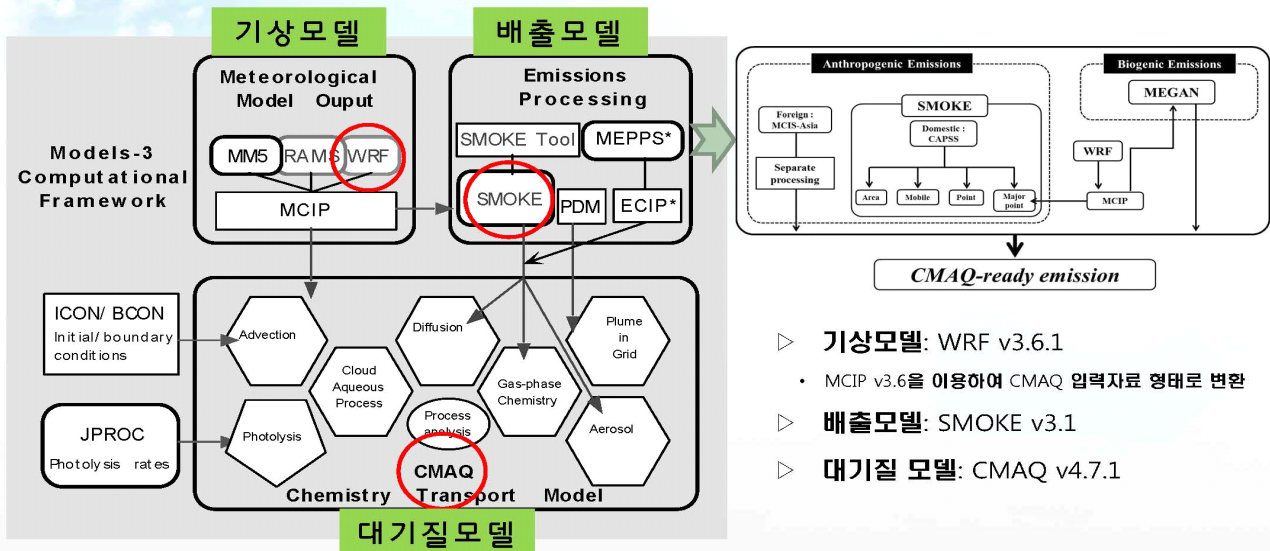


- ▷ 제6차 전력수급기본계획에 따라 환경영향평가 협의완료된 화력발전소에서 예상되는 배출량은 NO_x의 경우 53,044ton/yr, SO_x의 경우 69,540ton/yr로 이는 남한 전체 NO_x 배출량대비 5%, SO_x 배출량대비 16%를 차지

12

대기환경평가 시스템

◆ 시스템 개요

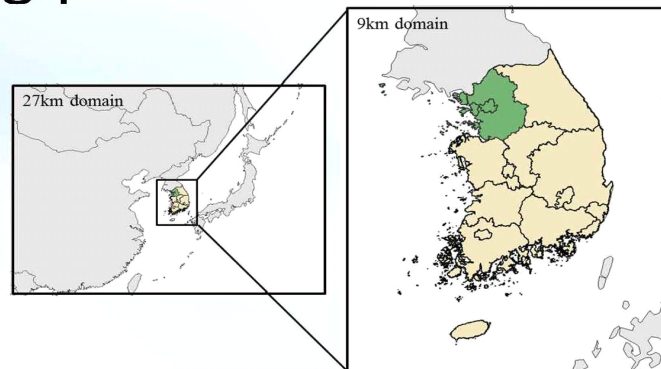


- ▷ 기상모델: WRF v3.6.1
 - MCIP v3.6을 이용하여 CMAQ 입력자료 형태로 변환
- ▷ 배출모델: SMOKE v3.1
- ▷ 대기질 모델: CMAQ v4.7.1

13

대기환경평가 시스템

◆ 모델링 분석 영역

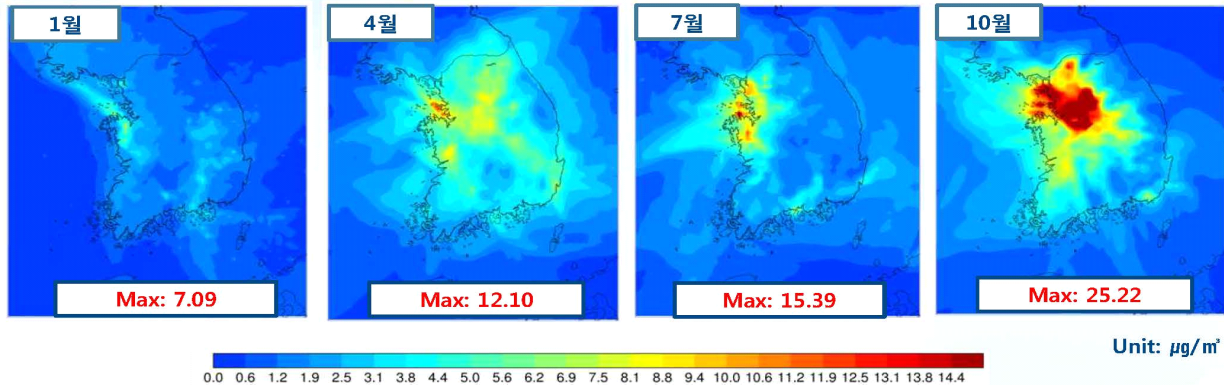


- ▷ 모사영역: 한반도를 포함한 27-9km 격자 도메인
- ▷ 모사수행: WRF(기상) - SMOKE(배출량) - CMAQ(대기질 모사) 시스템 운영

14

화력발전소 운영(기존+계획)에 따른 대기질 영향

24시간 평균 PM10 최대 기여 농도

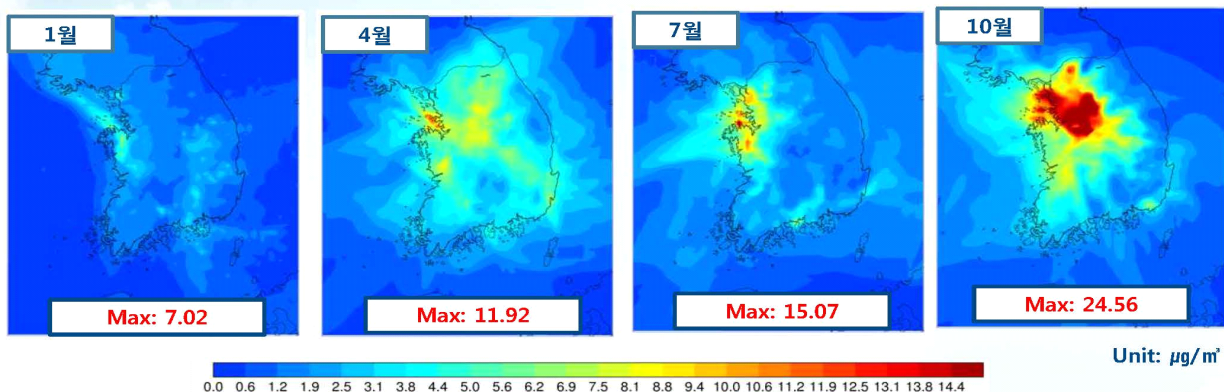


각 월별 가중농도의
환경기준치 비율

	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

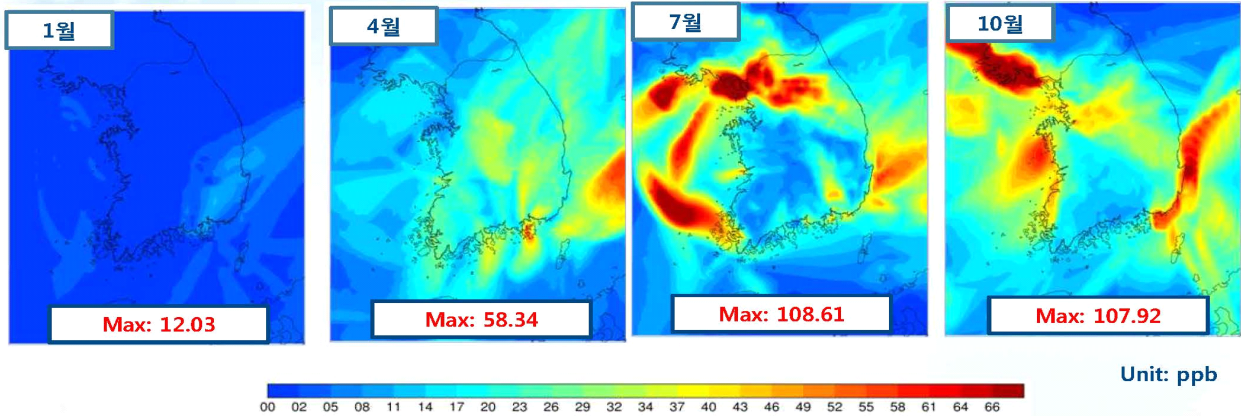


각 월별 가중농도의
환경기준치 비율

	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

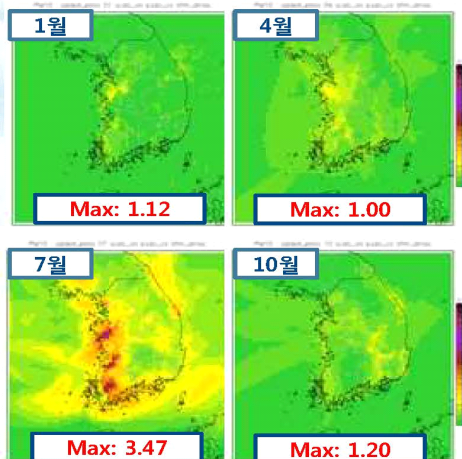


각 월별 가중농도의
환경기준치 비율

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

6차 전력수급계획에 따른 추가 발전소 영향

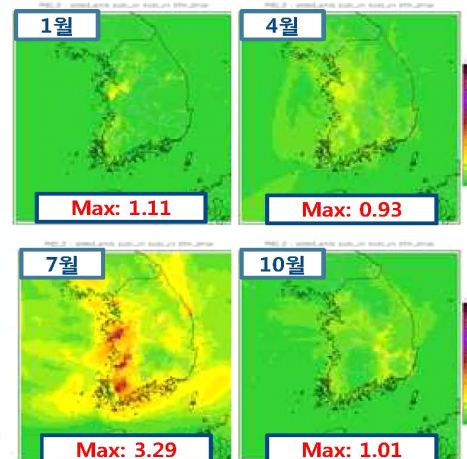
PM10 일평균 최대 기여 농도



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



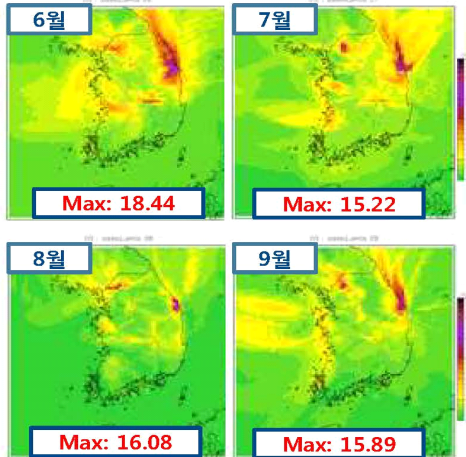
각 권역별 최대 기여 농도

	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

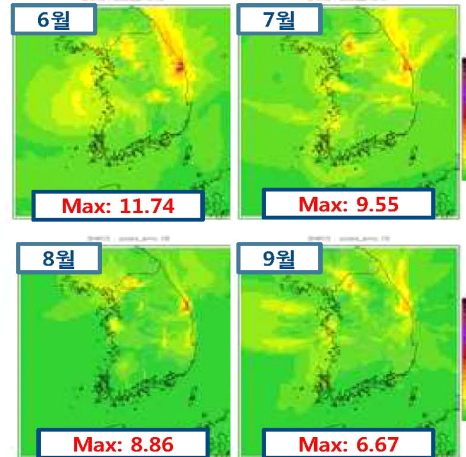


Unit: ppb

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

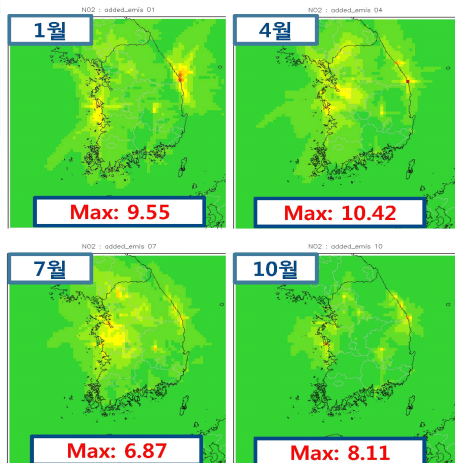
	수도권 및 충남	강원	경상	광양
6월	5.73	11.74(20%)	6.08	1.55
7월	8.04	9.55(16%)	5.01	1.95
8월	6.92	8.86(15%)	3.89	0.91
9월	8.13	6.67(11%)	2.51	0.78

()안의 값은 가중농도의 환경기준치 비율

연구원
ite

6차 전력수급계획에 따른 추가 발전소 영향

NO₂ 1시간 평균 최대 기여 농도

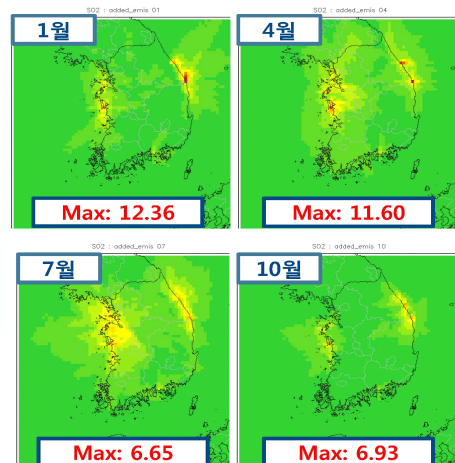


Unit: ppb

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

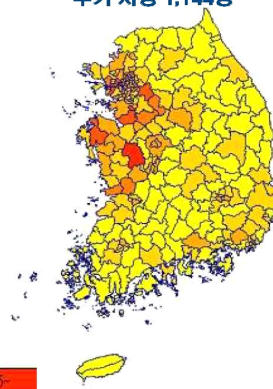
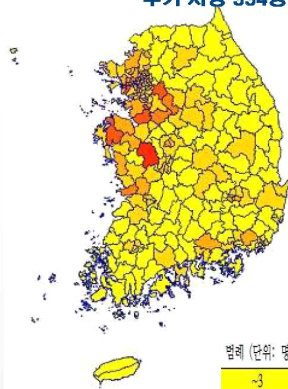
화력발전소 운영에 따른 위해성 평가

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

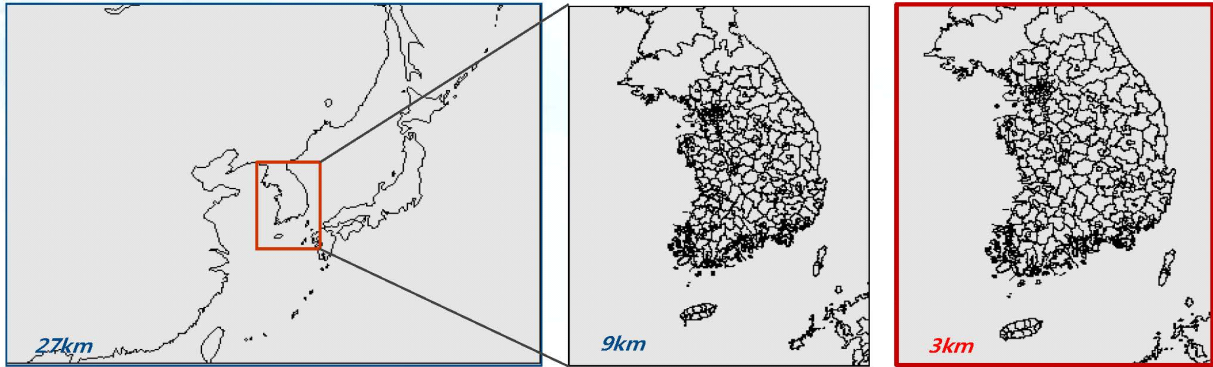
주요 국가산업단지가
인접지역 대기질에 미치는
영향

- 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

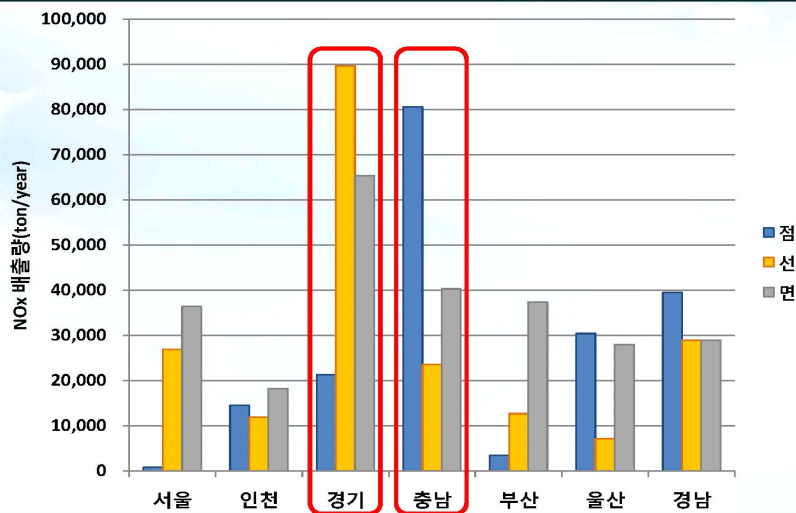
● 모델링 영역 및 해상도



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

25

지자체별 NOx 배출 특성

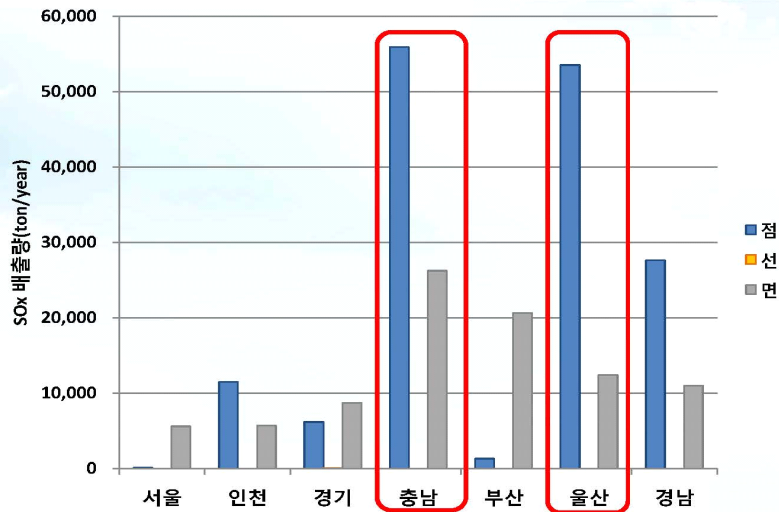


	서울	인천	경기	충남	부산	울산	경남
점	761	14,490	21,268	80,578	3,380	30,422	39,515
선	26,875	11,879	89,671	23,582	12,660	7,139	28,917
면	36,397	18,212	65,390	40,271	37,370	28,010	28,940
합계	64,033	44,581	176,328	144,431	53,411	65,571	97,372

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

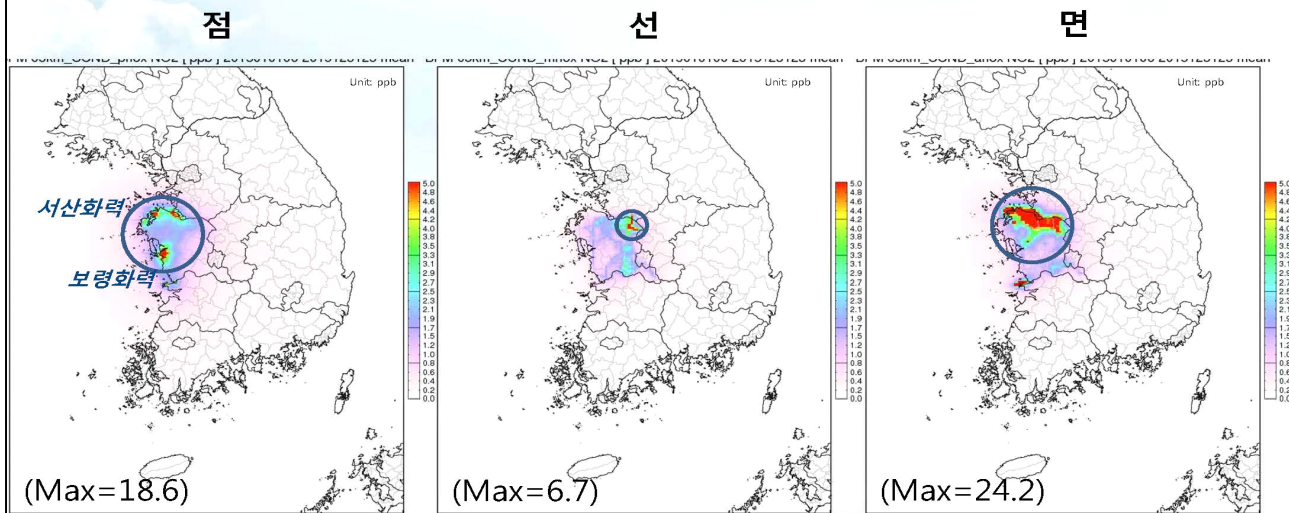
지자체별 기여도 분석

- 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

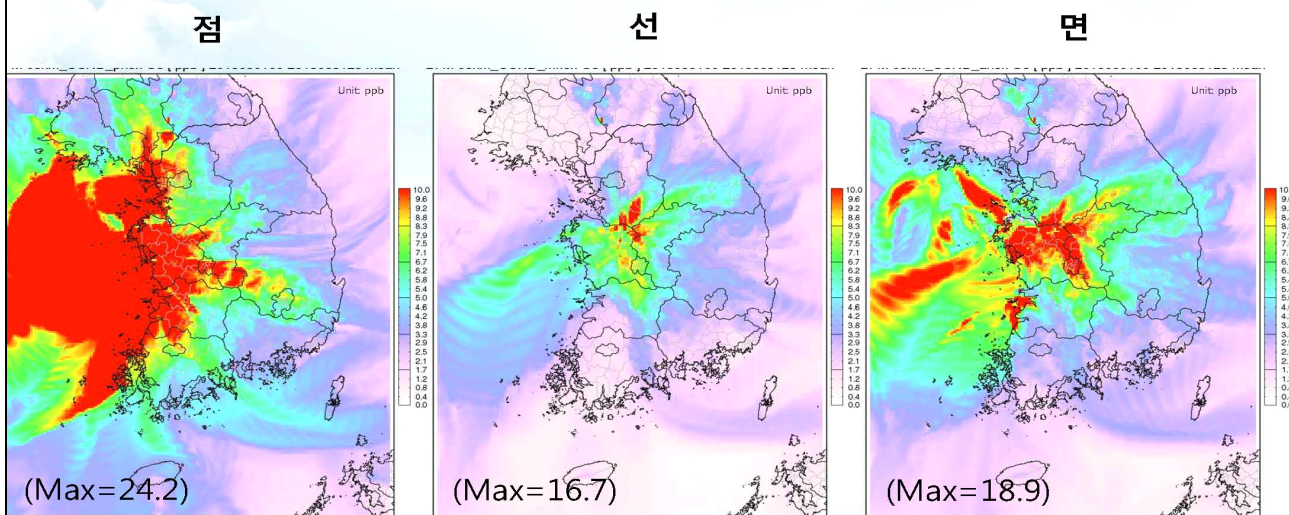
충청남도 NOx 배출량의 NO₂ 기여도



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

29

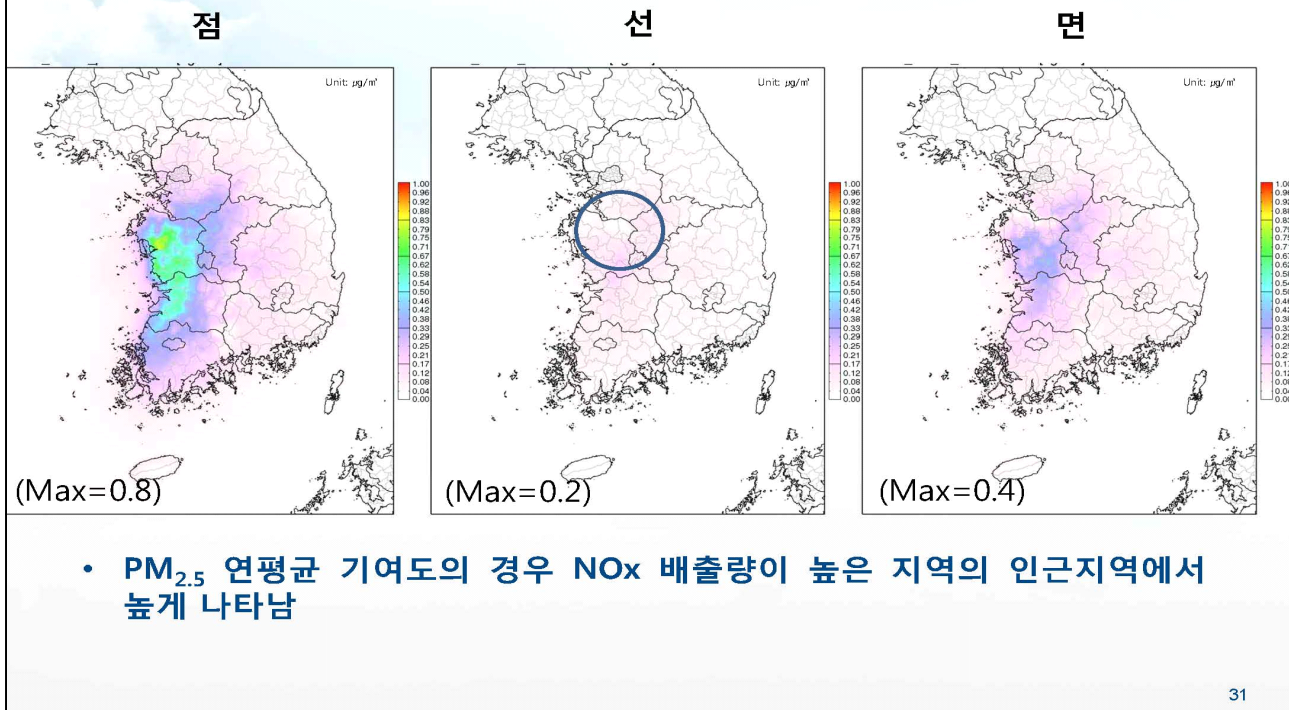
충청남도 NOx 배출량의 O₃ 기여도



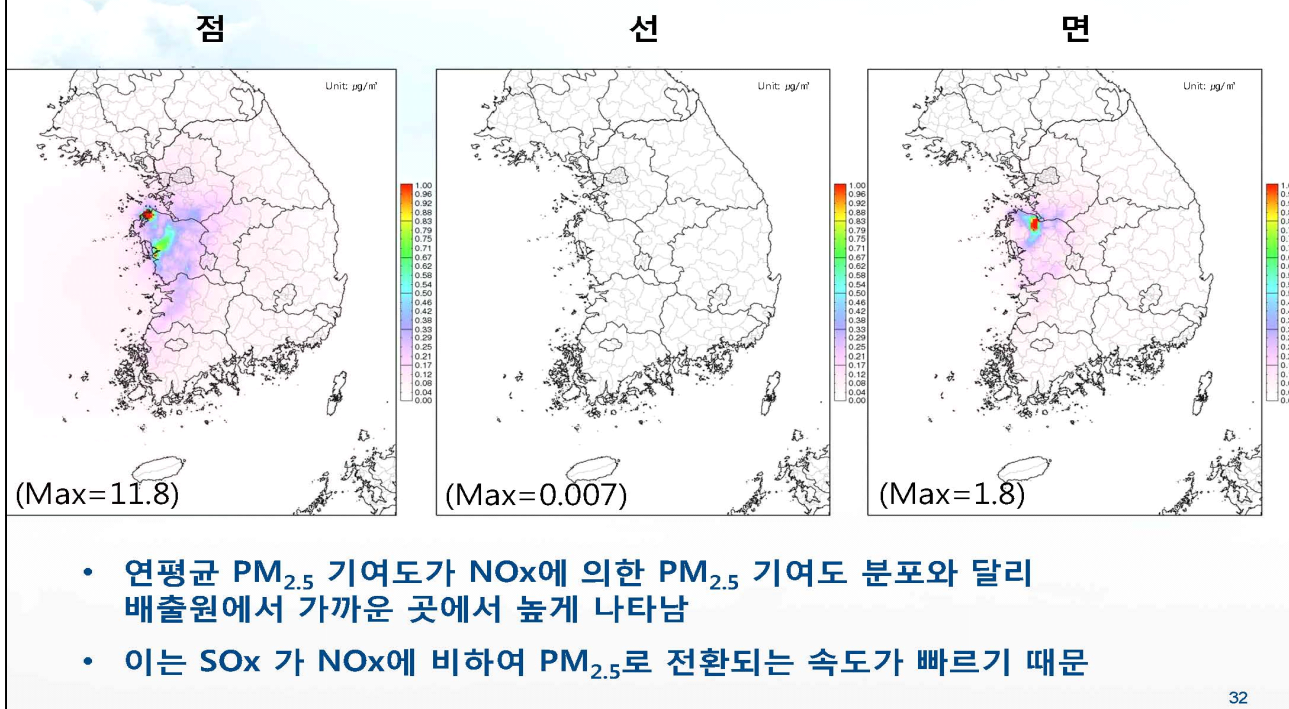
- 점 오염원으로 인한 O₃ 연평균 기여도가 최대 24.2ppb로 가장 크게 나타남

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\지역		PM _{2.5} 기여도(μg/m³)																
		서울	인천	경기	충남	세종	대전	충북	광주	전북	전남	부산	울산	대구	경남	경북	강원	제주
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)

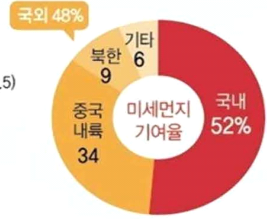
지난해 5~6월 NASA 등과 함께 조사
항공기와 지상 관측 병행 정밀 분석

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)



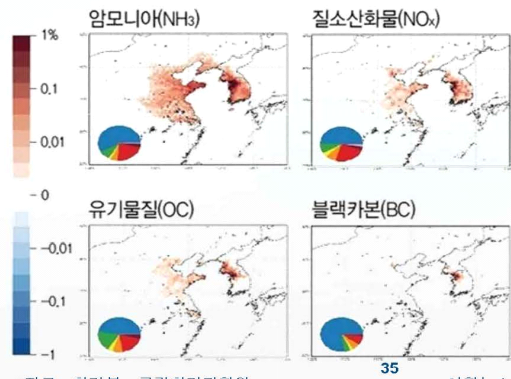
미세먼지 생성 전구물질 분석 결과
성분별 국내외 기여율

■ 국내 ■ 북한 ■ 일본
■ 압록강 북서쪽 중국 내륙(라오동반도)
■ 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

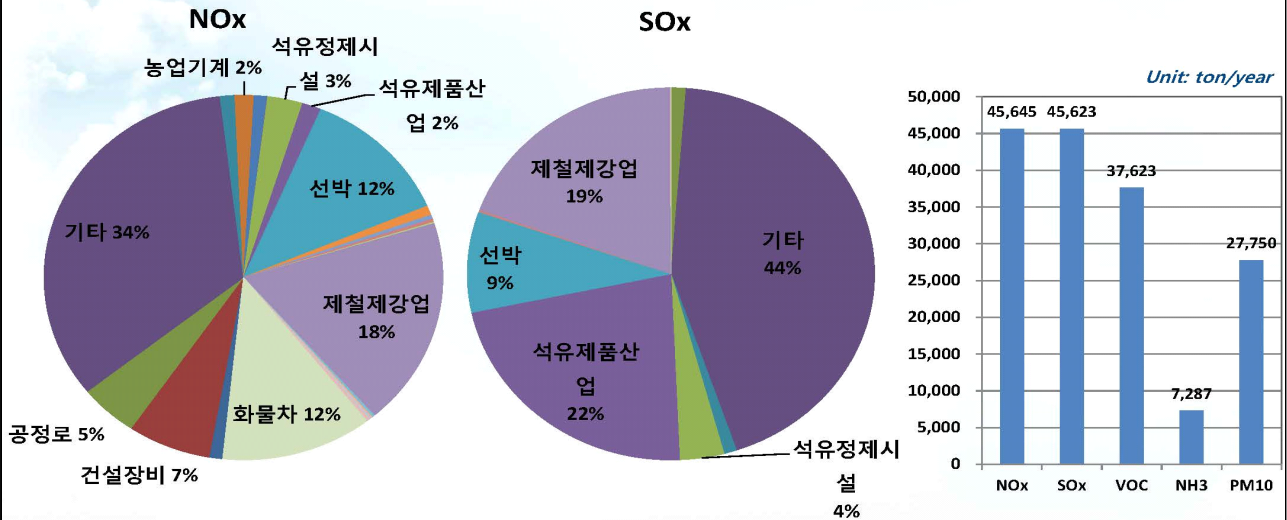


- 현대제철산업단지
- 송산2일반산업단지
- 당진1철강산업단지
- 아산국가산업단지(고대지구, 부곡지구)
- 아산테크노밸리 일반산업단지
- 아산디스플레이시티1 일반산업단지

36

3-1 국가산업단지별 대기오염물질 배출 특성

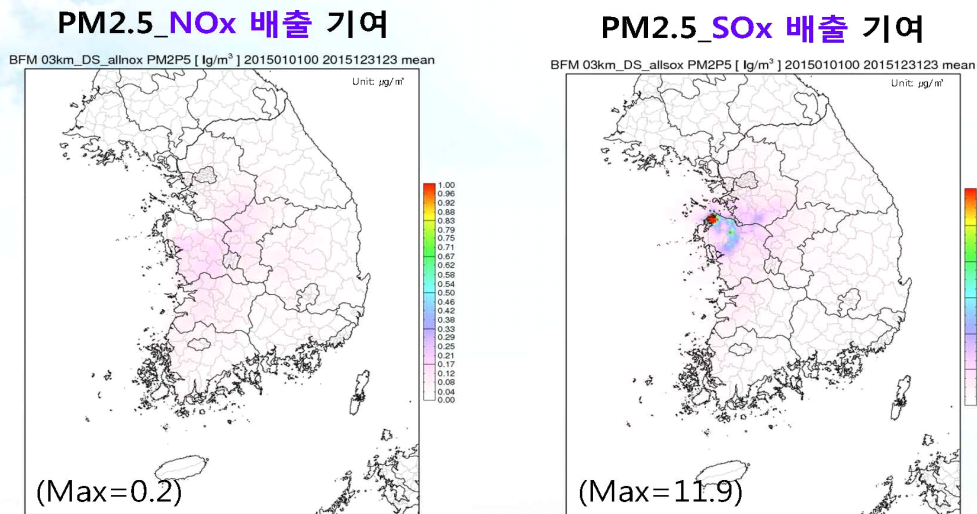
■ 대산석유화학단지 및 인근지역 산단



- 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

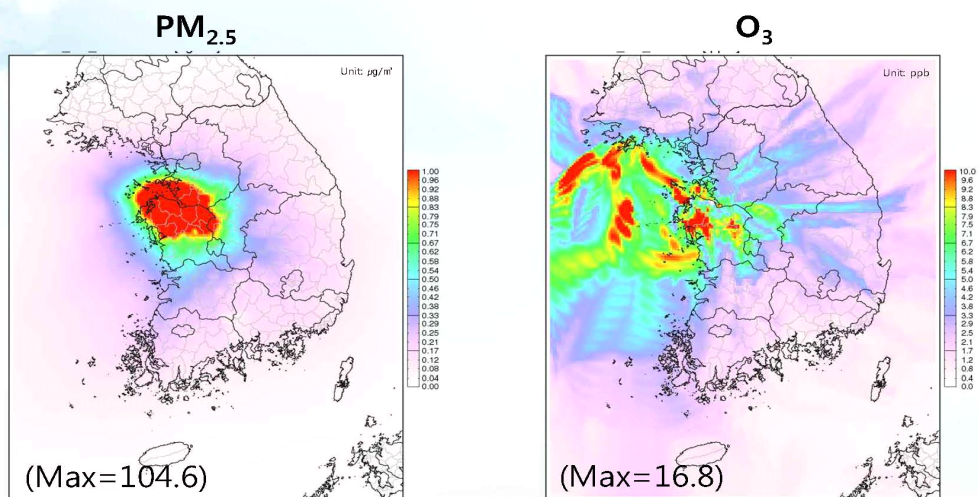
대산석유화학단지 물질별 연평균 기여도

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

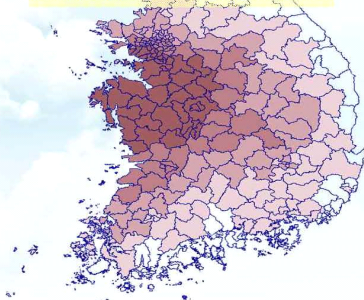
■ 대산석유화학단지 및 인근지역 배출량의 PM_{2.5} 기여도

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 석유화학 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

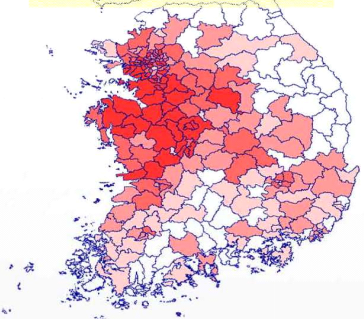
0.127< and <=0.196

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!

관측과 모델을 통해 본 충남 미세먼지 현황

국립환경과학원 _ 이 재 범 연구관

관측과 모델을 통해 본 충남 미세먼지 현황

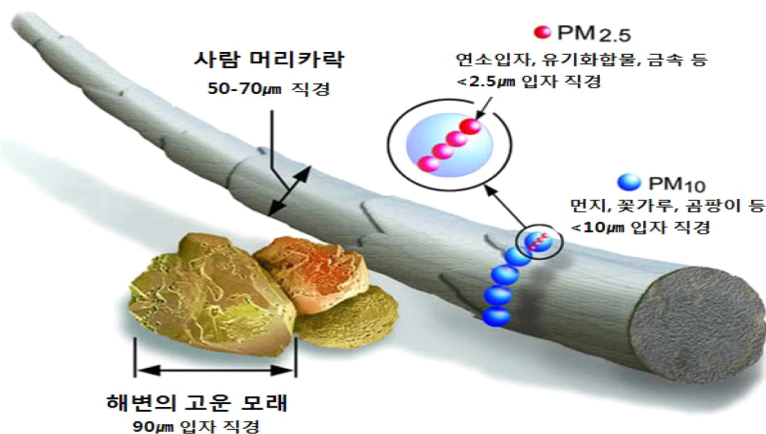
국립환경과학원
대기질통합예보센터

이재범, 최기철, 임용재



0 미세먼지의 위해성

- 세계보건기구(WHO) 산하 국제 암 연구소가 지정(2013년) 한 **1군 발암물질**
 - 입자크기가 매우 작아 폐, 혈관, 뇌까지 침투하여 **각종 질병(천식, 폐질환 등) 유발**과 **조기사망률**을 증가시키는 물질
 - 미세먼지(PM₁₀) 10 μ m 이하(머리카락 1/5~7), 초미세먼지(PM_{2.5}) 2.5 μ m 이하(머리카락 1/20~30)



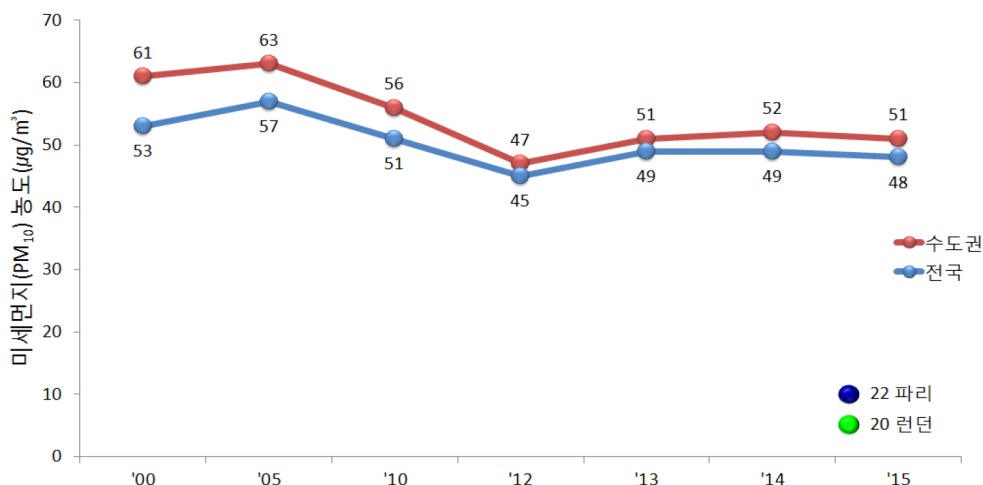
0 미세먼지의 경제학적 평가 (출처: OECD 보고서)

- 전세계 조기사망자 수: 2010년에 약 3 백만명 -> 2060년에 6~9 백만명
 - ※ 한국: 인구 100만 명당 359명('10) → 1,109명 ('60) 수준으로 3.1배 증가
 - 중국: 662명 → 2,052명, 인도: 508명 → 2,039명
- 2060년에 노동 생산력 감소, 추가적 건강관리비용, 작물 수량 감소로 인해 대기오염에 의한 손실은 전 지구 GDP의 1%(2.6조 달러) 수준
 - 한국: GDP 손실은 2060년에 0.63%로서 OECD 회원국 중 최대 (미국: 0.11%, 일본: 0.42%)
- (해석 시 주의점) 경제학적 전망, 대기오염의 생물물리학적 영향의 정량화·비용평가의 불확실성에 고려한 해석 필요

3

0 연도별 미세먼지 변화

- 2000년 이후 다양한 대기개선 노력으로 미세먼지 농도는 지속적으로 감소 [2013년부터 정체] 하였으나, 여전히 선진국의 주요 도시보다 높은 수준



4

0 국가 대기질 예보제 운영 현황

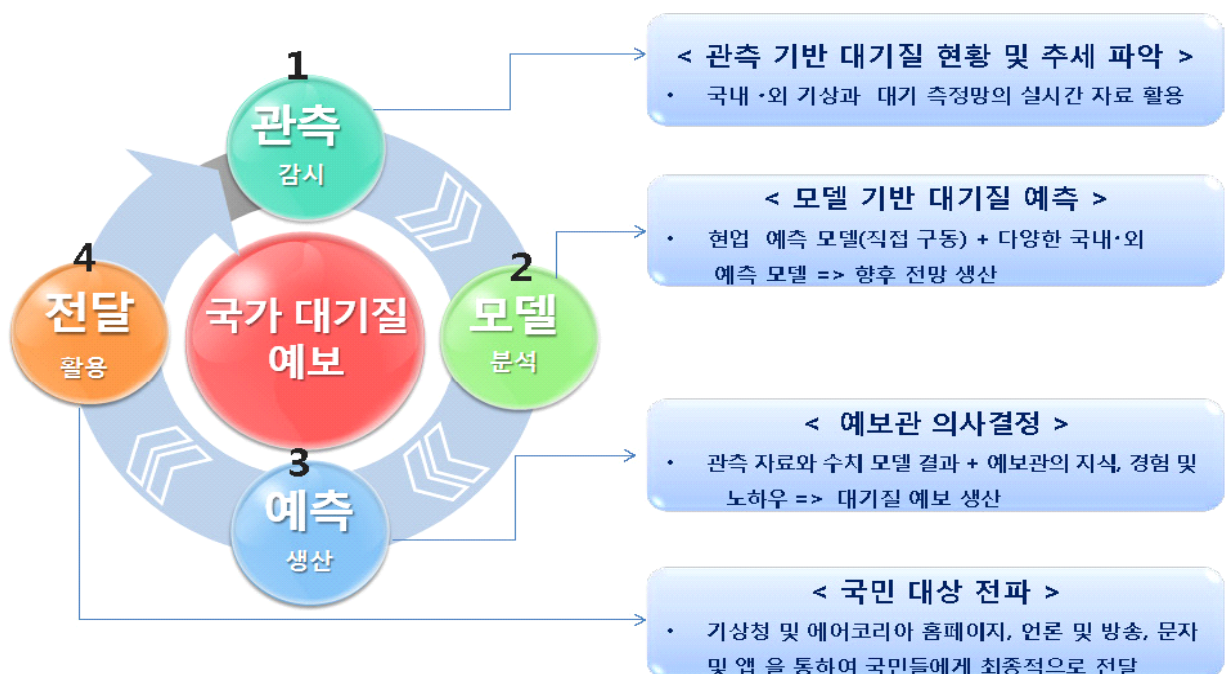
국가 대기질 예보

- ✓ 대상 물질 - 시작('13) : 미세먼지(PM₁₀)
-> 현재 : **미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}), 오존**
- ✓ 대상 지역 - 시작('13) : 1개 권역(수도권)
-> 현재 : **19개 권역(광역시도 이상 권역)**
- ✓ 예보 주기 - 시작('13) : 1일 1회(17시)
-> 현재 : **1일 4회(5시, 11시, 17시, 23시)**
- ✓ 예보 기간 2일(오늘과 내일) 예보 : **19개 권역 대상 4개 등급별 예보**
- 3일(모레) 예보 : 전국 대상 개괄예보 -> **'17년 11월 등급예보 전환**

Category	Materials	Low	Moderate	High	Very high
Concentration	PM ₁₀	0~30	31~80	81~150	151~
	PM _{2.5}	0~15	1~50	51~100	101~
	O ₃	0~30	31~90	91~150	151~

5

0 국가 대기질 예보 절차



6

목 차

1. 올해 1~3월 간 고농도 초미세먼지 발생 원인

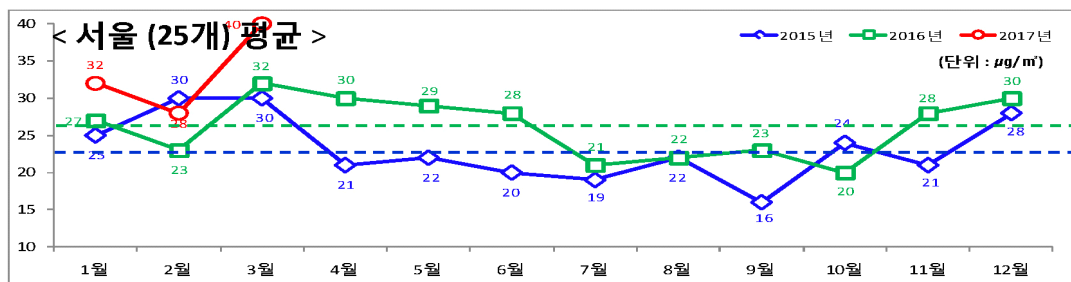
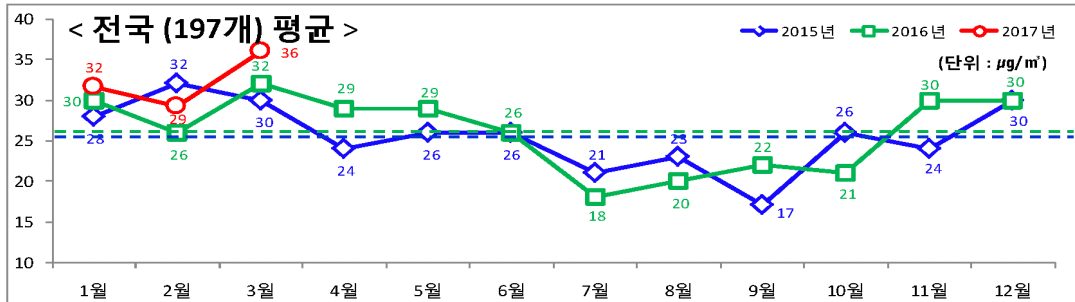
2. 모델을 통해 본 지역 간 초미세먼지 기여도 분석

3. 항공 집중관측을 통해 본 충남의 미세먼지 배출 특성

1. 올해 1~3월 간 고농도 미세먼지 발생 원인

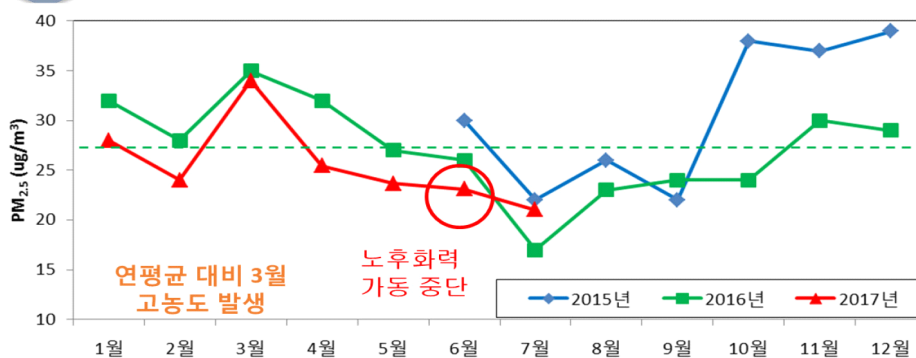
1 최근 3년간 전국 및 서울의 초미세먼지(PM_{2.5}) 월변화

전국 및 서울지역은 3년간 월 평균농도 중 **올해 3월이 가장 높은 농도**

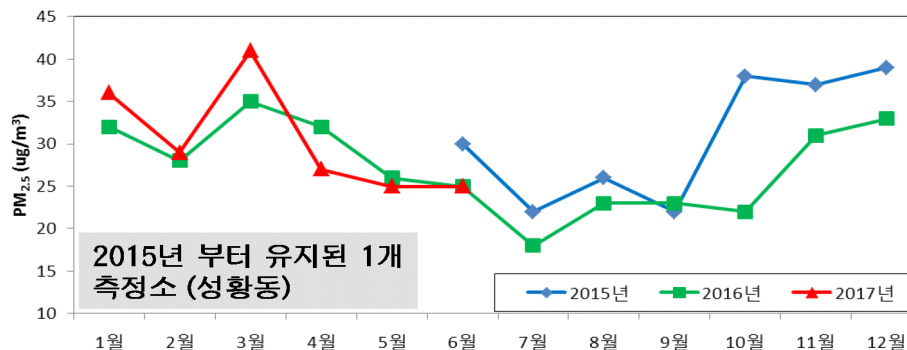


9

1 최근 3년간 충남 초미세먼지(PM_{2.5}) 월변화



*PM_{2.5} 측정소
1개(2015년),
1~5개(2016년),
7개(2017년)



올해 충남도 3월이 가장 높은 농도
34 µg/m³ (전 측정소 평균)
41 µg/m³ (단일측정소)

10

(농도) 올해 1~3월의 전국 평균 PM_{2.5} (32 μ g/m³)는

최근 3년 중 가장 높은 수준(서울: 6 μ g/m³ 증가)

(나쁨일 수) 국민들이 체감하는 대기질인 나쁨일 수도

서울지역에서 14회 발생 (**15년 대비 3배, 16년 대비 7배 증가**)

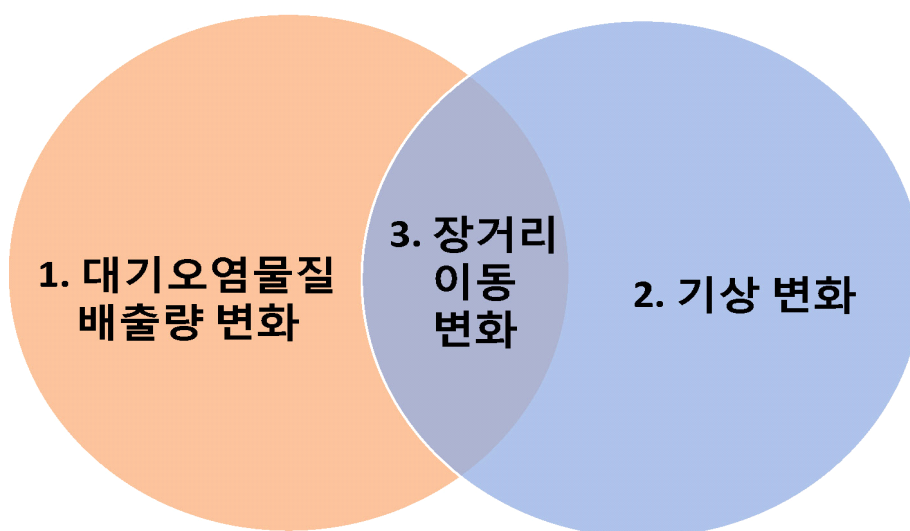
< 최근 3년간 1~3월 동안의 전국 초미세먼지(PM_{2.5}) 현황 >

구 분	'15년	'16년	'17년
평균농도 (μ g/m ³)	30 (28)	30 (28)	32 (34)
나쁨일 수 (일)	8 (5)	4 (2)	8 (14)
주의보 (회)	55 (3)	48 (0)	86 (3)

* 괄호 수치는 서울지역에 대한 값임

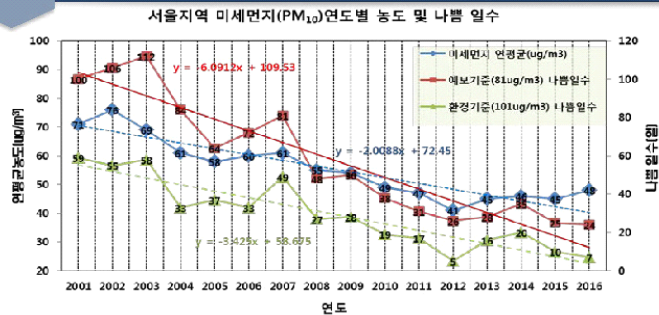
11

대기 중 미세먼지 농도변화에 미치는 주 요인

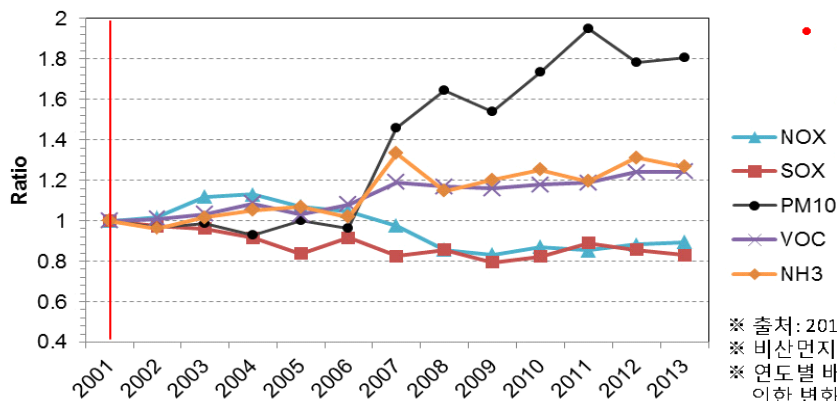


12

1-1 장기간 국내 대기오염물질 배출량 변화



국내 대기오염물질별 배출량 변화 추이(2001년 기준)



- (장기추이)
NO_x와 SO_x는 점진적 **감소**,
PM₁₀, VOC, NH₃는
2006년 이후 **증가**
- (최근추이) 2010년 이후
모든 배출량은 큰 변화 없음
- **미세먼지 농도 추이를 국내
배출량과의 관계성만으로
설명하는 데는 무리가 있음**

※ 출처: 2013 국가 대기오염물질 배출량
※ 비산먼지, 생물성 연소 및 식생 제외
※ 연도별 배출량은 배출원 추가, 산정방식 개선 등에 의한 변화를 포함하고 있음

13

1-2 기상 인자가 대기질에 미치는 영향

Source: Atmospheric Environment (Jacob & Winner, 2009)

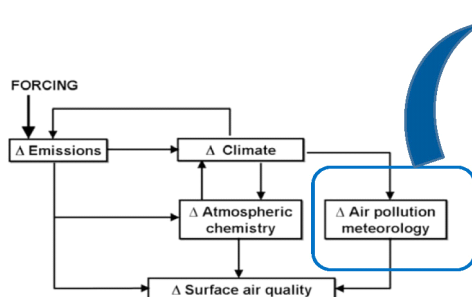


Fig. 2. Effect of climate change on surface air quality placed in the broader context of chemistry-climate interactions. Change is forced by a perturbation to anthropogenic emissions resulting from socio-economic factors external to the chemistry-climate system. This forcing triggers interactive changes (Δ) within the chemistry-climate system resulting in perturbation to surface air quality.

Dependence of surface air quality on meteorological variables.^a

Variable	Ozone	PM
Temperature	++	-
Regional stagnation	++	++
Wind speed	-	-
Mixing depth	=	+-
Humidity	=	+
Cloud cover	-	-
Precipitation	=	+-

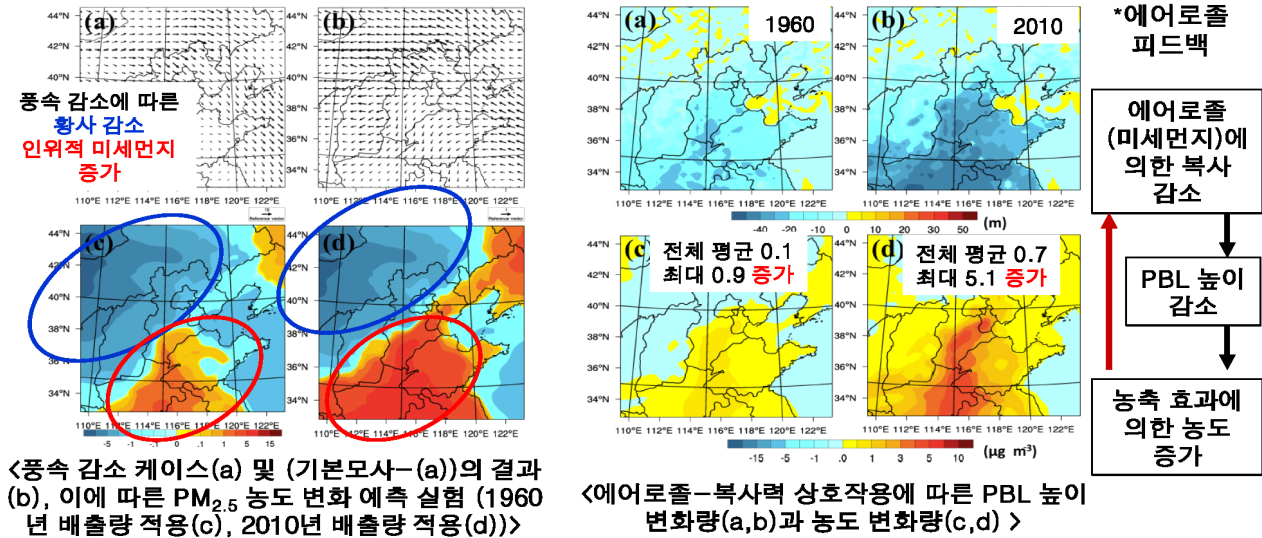
^a Sensitivities of surface ozone and PM concentrations in polluted regions as obtained from the model perturbation studies reviewed in Section 4. Results are summarized as consistently positive (++), generally positive (+), weak or variable (=), generally negative (-), and consistently negative (--) See text for discussion, including comparison to observed correlations (Section 3).

- **미세먼지 농도에 영향을 미치는 주요 기상 인자로는,**
 - ✓ 대기 정체(Regional stagnation) : 양의 상관
 - ✓ 혼합고(Mixing depth): 음의 상관
 - ✓ 강우(Precipitation): 음의 상관
 - ✓ 풍속(Wind Speed): 음의 상관

14

1-2 기상 변화(풍속&혼합고)에 따른 미세먼지 영향

Source: ACP (Gao et al., 2016)



- 13년 1월의 중국 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도는 기상(풍속 감소, 에어로졸 피드백에 의한 혼합고 감소) 변화에 의해 증가될 수 있음을 시사함

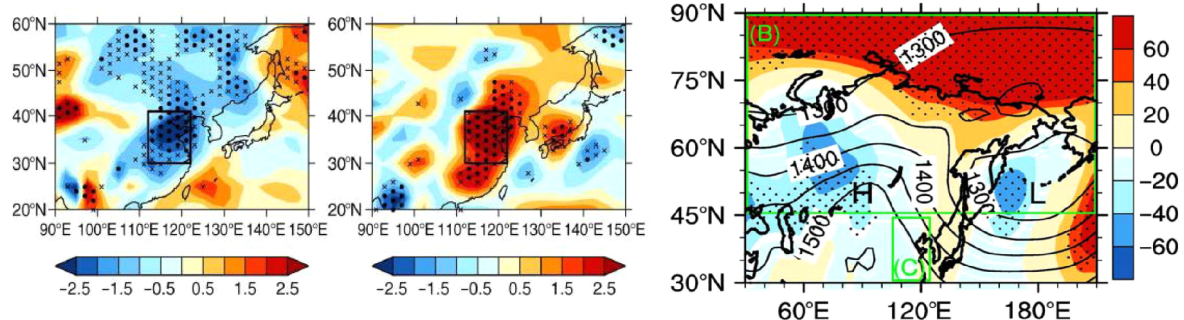
15

1-2 기상 변화(풍속&혼합고)에 따른 미세먼지 영향

Source: Science advances (Zou et al., 2017)

- 북극 해빙 감소로 인해 유라시아 적설 증가
→ 중국 동부 지역에서 풍속 감소와 연직 안정도 증가

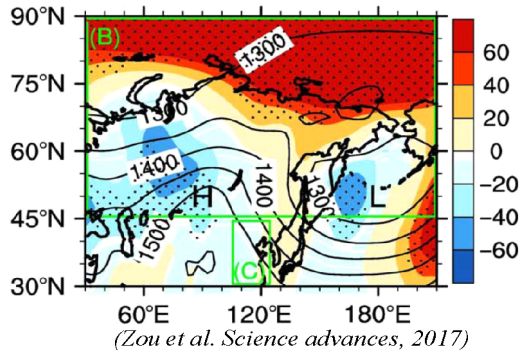
<지난 30년간 1월 대비 2013년 1월의 풍속 및 안정도 편차>



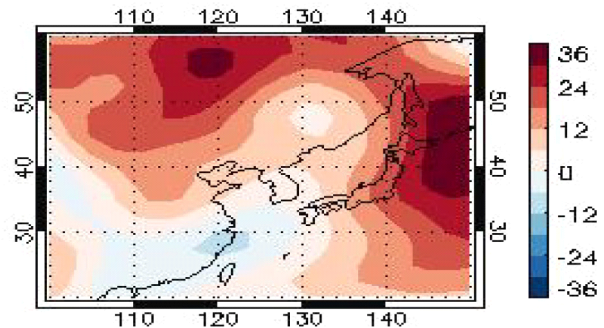
16

1-2 올해 1~3월 동안의 기압변화 분석

2013년 1월 중국
고농도 사례일 기상 패턴(HGT850)



2017년 1~3월 서울 PM₁₀
고농도 사례일 평균 기상 패턴(HGT1000)



- 2013년 1월 중국의 고농도 사례에 대한 국제 연구 결과와 최근 2017년 1~3월 고농도 사례일과 유사한 기상 패턴을 나타냄
- 최근 3년 중 올해 대기 정체일수 증가 및 강수량도 감소 (강수에 의한 세정효과 감소)

< 서울지역의 3년(1~3월)의 기상조건 변화 >

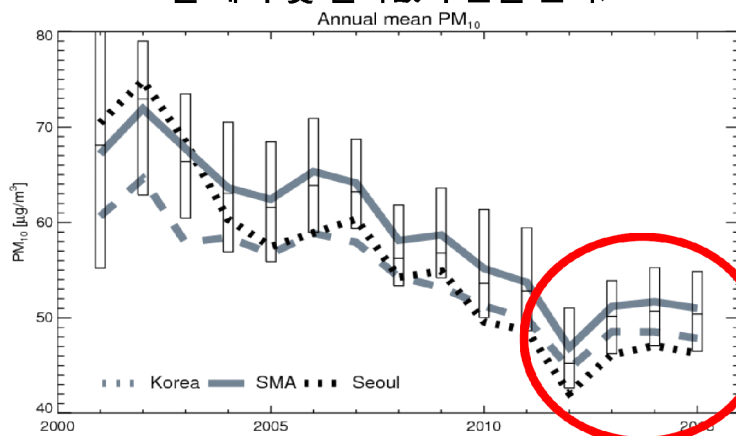
구분	'15년	'16년	'17년
풍속 [2m/s 미만]	13일	16일	29일
강수량	43.6mm	89.1mm	33.9mm

17

1-2 국내 미세먼지 연간 농도변화와 풍속과의 관계

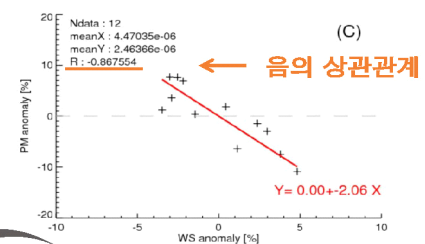
Source: SREP (Kim et al., 2017)

<서울, 수도권, 국내 미세먼지 연평균 농도에 대한
모델 예측 및 관측값의 연간 변화>

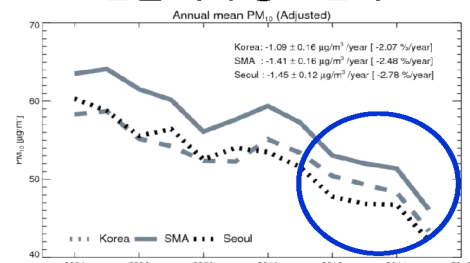


- 풍속 감소가 장기적인 추세인지에 대해서는 불분명하나, 풍속 저하에 의한 정체가 최근 국내 미세먼지 수준에 영향을 준 것으로 분석됨

<풍속 및 미세먼지 농도의
상관관계 분석>



<기상 변동인자 제거 시
연간 예측 농도 변화>



1-3 장거리 이동 영향 변화

Source: 주중인민공화국대한민국대사관(2017.4)

[중국의 대기오염 개선노력]

1) 중국 북경시는 **고농도 대기오염발생시 응급조치 메뉴얼*** 을 강력시행

* 강력한 차량 2부제, 노후차량 운행정지 및 오염물질 배출사업장 조업중단 정책

< 긴급대응메뉴얼 실시 상황 불시 감찰 (환경보호부장, 4.4) >

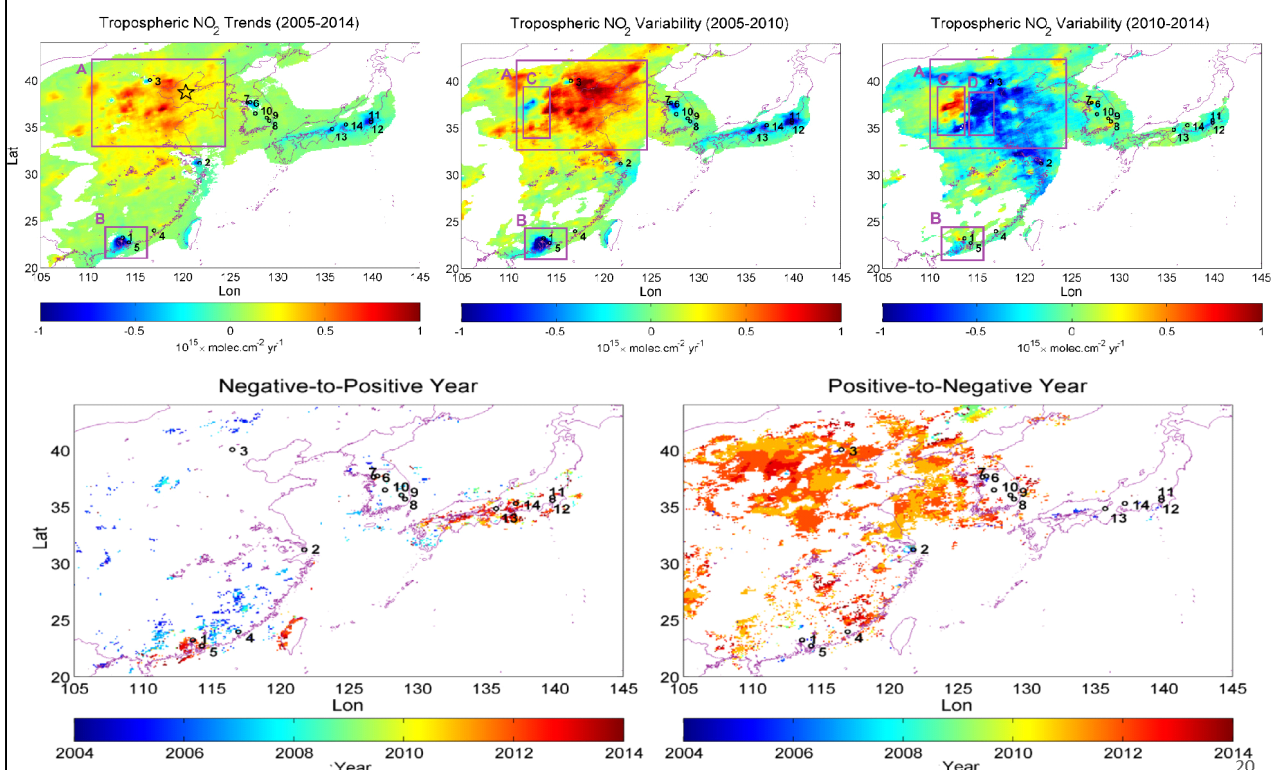
중국석유화학 연산지사 등 2개 업체에게 오염물질의 실질적인
배출감축 지시 및 비산먼지 관리 강화토록 조치 요청

2) “대기오염방지 행동계획” 등 강력한 정책 시행으로 **대기오염은 점진적 개선**

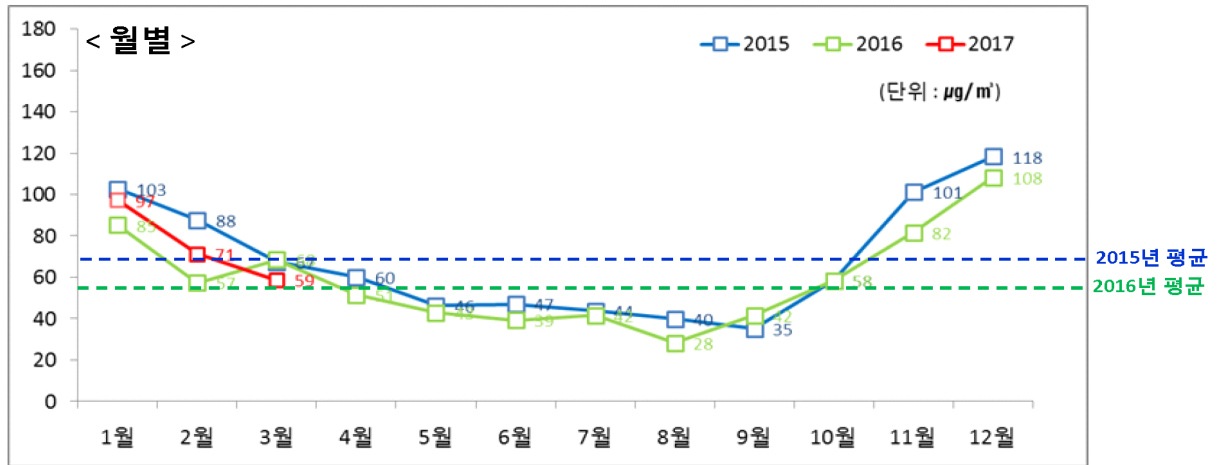
3) 최근 중국 과학자들은 **기후변화인자와 지정학적 위치와의 관련성 등에서
고농도사례 원인을 찾으려는 노력을 진행 중**

19

1-3 중국 및 동아시아 지역의 연직 적분된 NO₂ 농도 변화



1-3 중국 9개 지역 평균 15~17년 초미세먼지(PM_{2.5}) 월변화



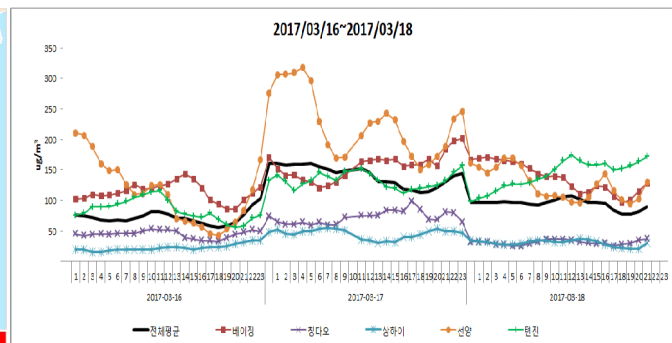
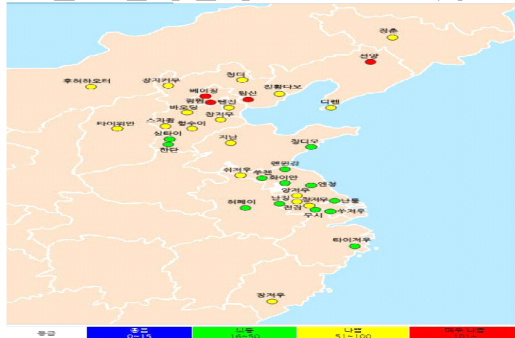
※ 베이징, 톈진, 스자좡, 칭다오, 상하이, 난징, 하얼빈, 장춘, 선양 등 9개 지역

- 중국의 연평균 초미세먼지 농도는 15년 대비 16년 개선되었으며, 올해 3월은 앞의 두 해에 비해 가장 좋은(59) 수준
- 그러나, 올해 3월 고농도 사례(3월 16~21일) 전 중국 베이징은 약 114µg/m³ 로 월평균 농도 대비 약 2배 증가 → **국내 유입으로 고농도 미세먼지 발생**

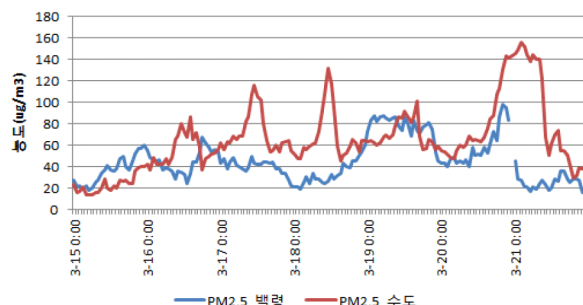
21

1-3 3월 17~21일 고농도 초미세먼지(PM_{2.5}) 사례 (장거리이동)

<중국지역 PM_{2.5} 관측 농도>
3월 16일 평균 농도 : 26 ~ 114 µg/m³



<국내 PM_{2.5} 관측 농도>

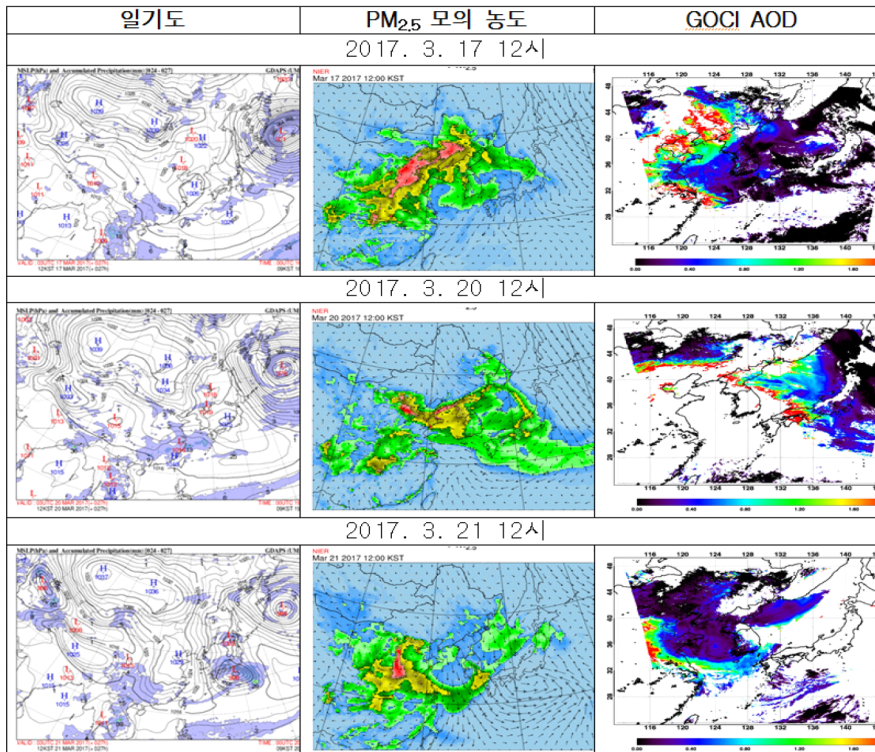


<국외 기여도 산정결과>

- 전국 : 51(18일)~73(21일)%
- 수도권 : 52(20일)~86(21일)%

22

1-3 3월 17~21일 고농도 초미세먼지(PM_{2.5}) 사례 (장거리이동)



북쪽지역으로부터
국외 초미세먼지
유입 및 대기정체로
고농도 발생



대륙고기압 확장과
저기압 후면 강수로
해소

23

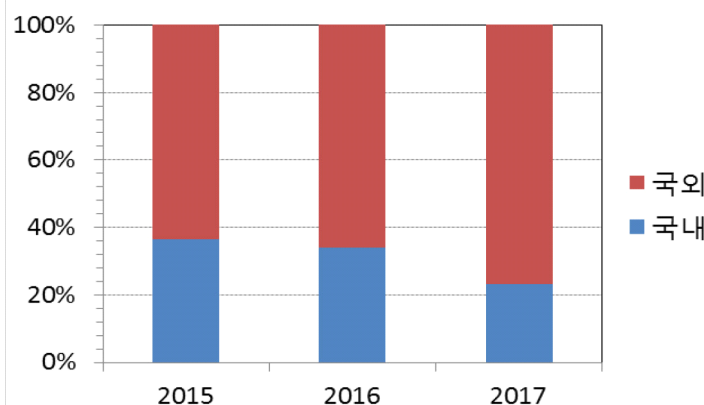
1-3 장거리이동영향 변화

< 서울 기준 >

	`15년(1-3월)	`16년(1-3월)	`17년(1-3월)
풍향(서풍 계열) 일수	67	19	75
나쁨일 (PM _{2.5})	5	2	14

나쁨일 평균
PM_{2.5} 국내·외
기여도*

*Brute Force Method
방법에 기반한 대기
질 모델 민감도 실험
도출 결과 (수도권)



평균 PM_{2.5} 관측 농도 : 28.3ug/m³ 27.7ug/m³ 33.5ug/m³

24

올해 1~3월의 미세먼지 고농도 발생은

중국[단속 강화] 및 국내[단속 강화 및 경기침체] 배출량 감소경향에도 불구하고,

기상학적 요인변화(대기정체 증가, 풍속 및 강수량 감소)와

초미세먼지 장거리 이동(국외 기여) 영향 증가로 설명될 수 있음

2. 모델을 통해 본 지역 간 미세먼지 기여도 분석

2 연구 방법 (배출지역 구분은 26개로 국외 7개 및 국내 19개)

- (중국) 중국의 배출강도를 고려, 중국 북부지역, 수도권(京津冀) 주변, 산둥 반도를 포함하는 중부 지역, 상하이를 포함하는 동남부 지역, 그리고 중국기타로 5개 지역
 ➤ 중국 지역 내 우선저감 지역을 도출하기 위해 배출강도가 높은 중국 동부지역을 위도에 따라 세분화
- (한국) 현재 대기질 예보에 활용되고 있는 광역시도 이상 19개 지역
- (기타) 중국을 제외한 국외지역은 북한과 기타지역으로 2개 지역

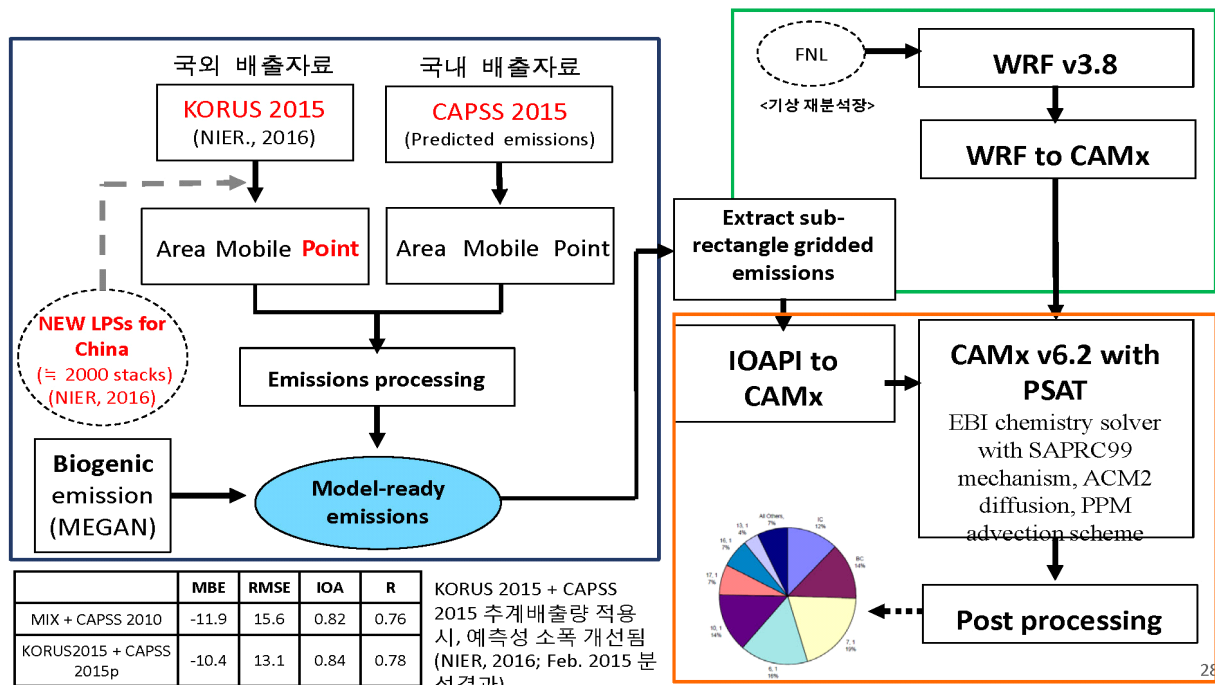


27

2 연구 방법 (모델링체계)

➤ 대상 기간: 2015년 3월

* PSAT: 배출지역별 배출량에 이름표(추적지표)를 할당하여 미세먼지 농도에 미치는 기여도 산출방법

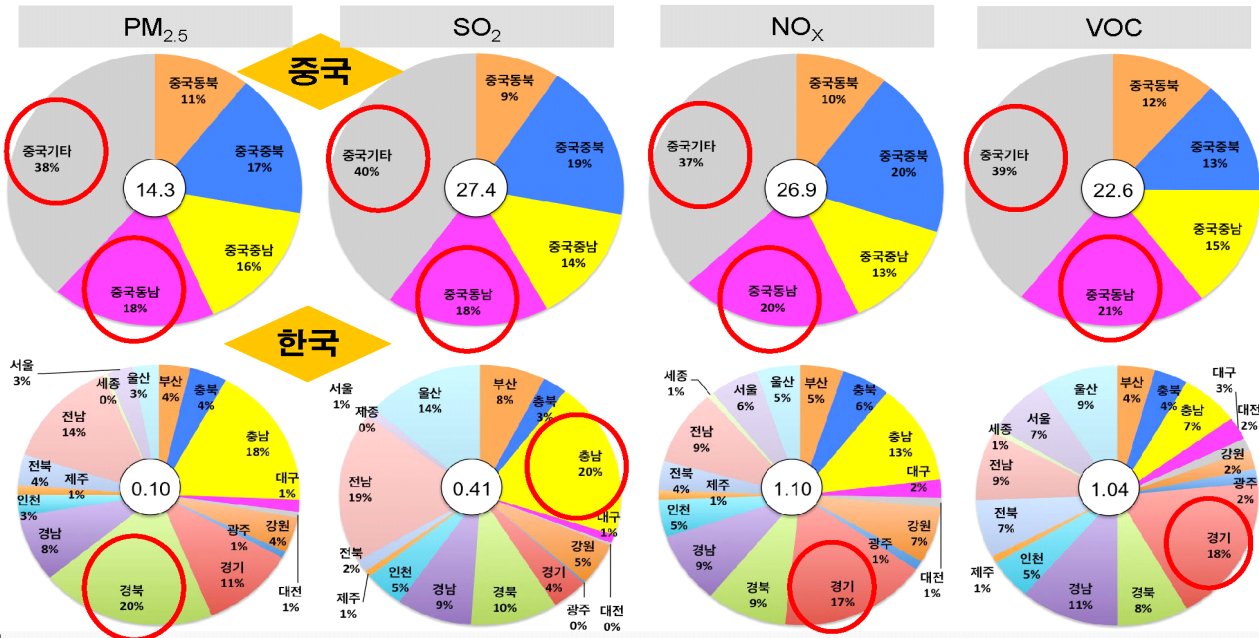


28

2

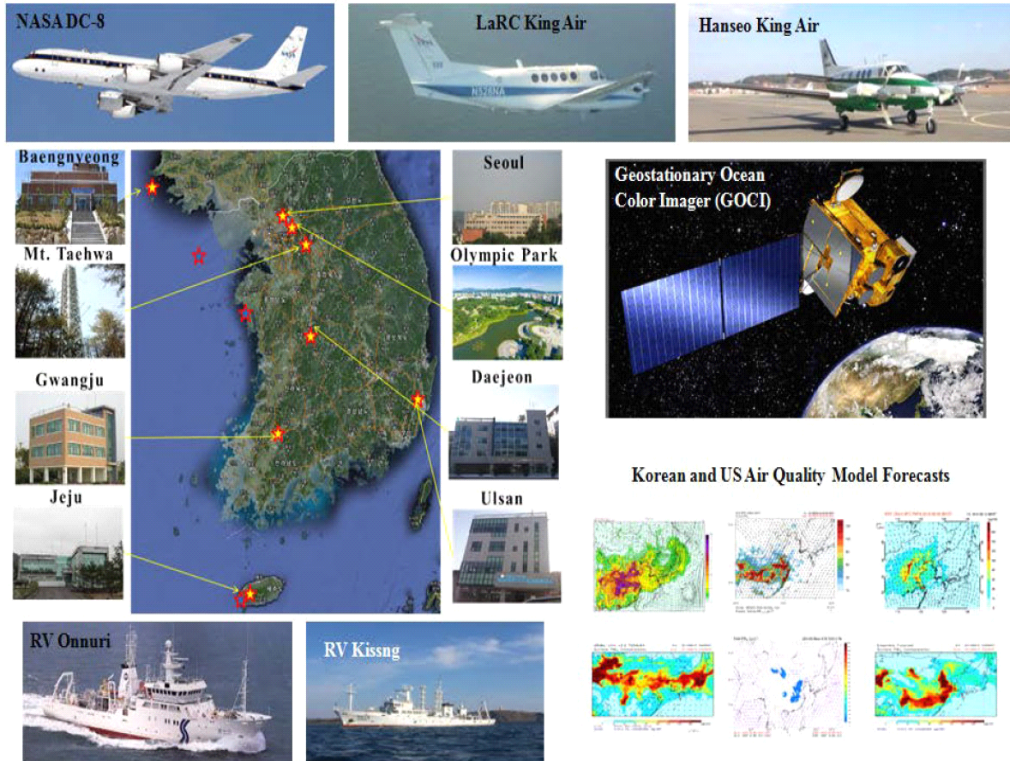
연구 결과 (배출지역별 배출량 및 비율)

※ 배출량 단위: Tg/year



- ✓ 중국: 중국기타 및 동남지역이 모든 배출물질에서 높은 비율을 차지함
- ✓ 국내: 직접배출량(PM_{2.5})은 경북, SO_x는 충남, NO_x 및 VOC는 경기도가 높은 비율을 차지

3. 항공 집중관측(16년 5월)을 통해 본 충남 배출 특성



31

3 국내 주요 사업장의 물질별 배출량 분포

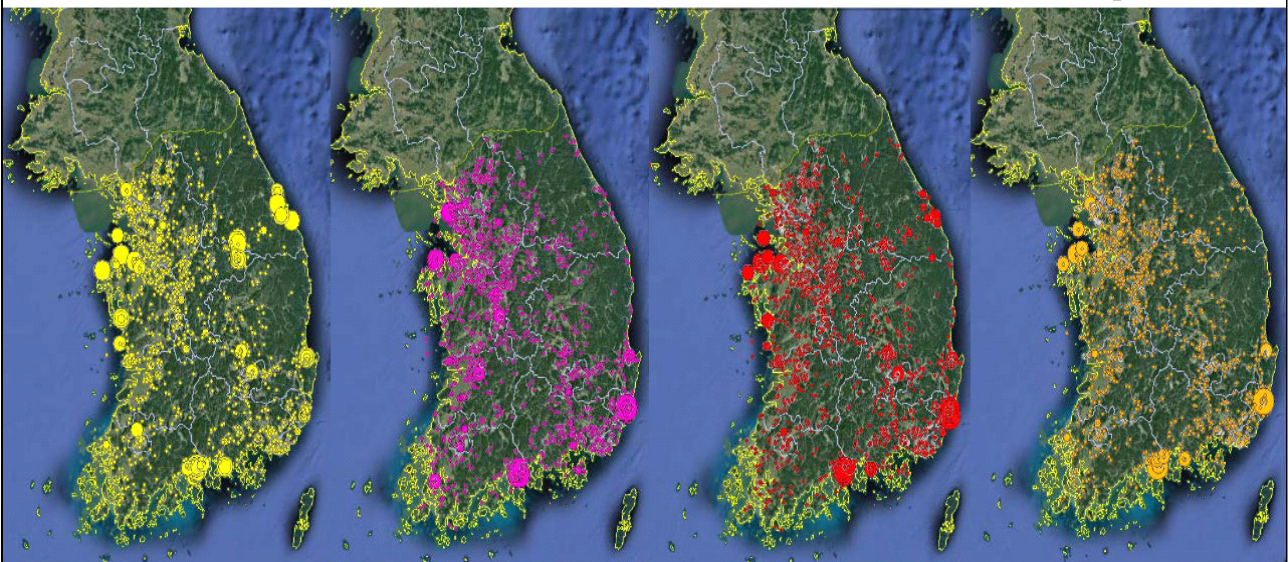
Q: KORUS-AQ 관측을 통해 검증한 최근 국내 배출량의 양적 수준과 배출원은?

NO_x

VOCs

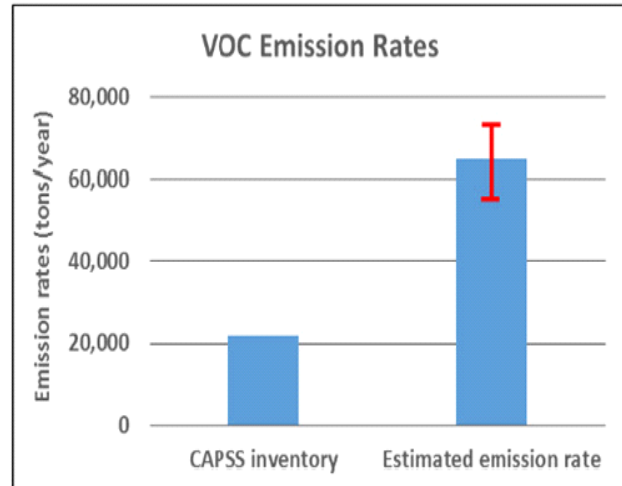
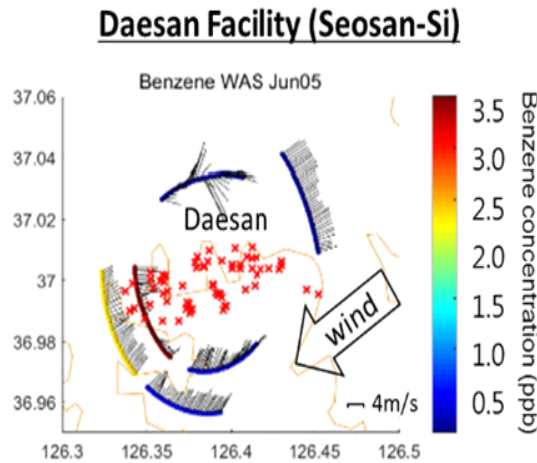
SO_x

NH₃



32

☞ **사업장에서의 VOCs 배출량이 실제 관측 대비 과소 산정된 것으로 확인**

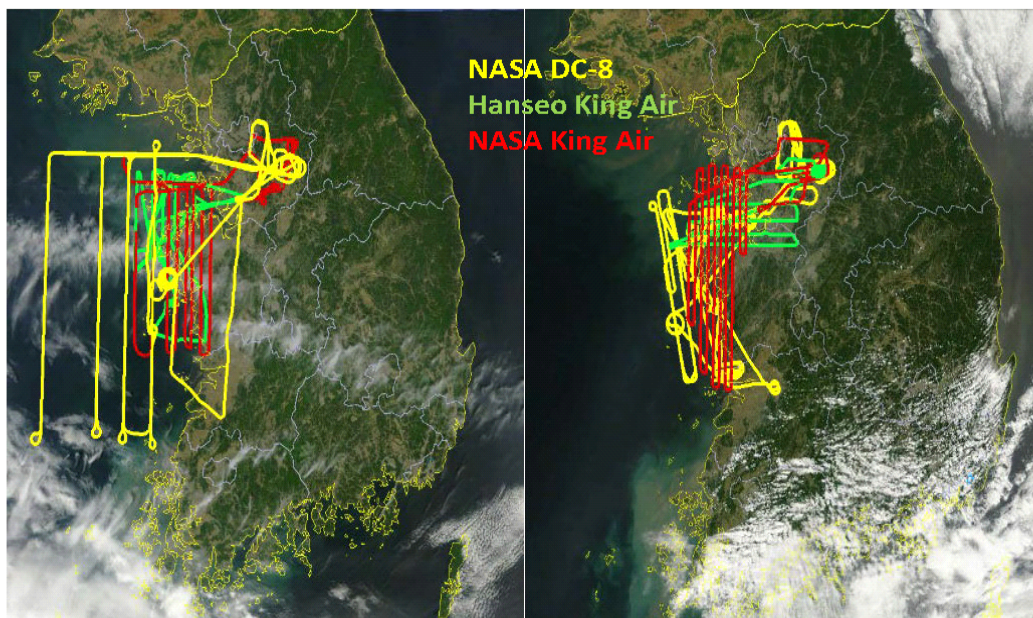


VOC emissions derived from DC-8 observations using the mass balance approach.

33

3 충남 지역의 점오염원이 주변에 미치는 영향

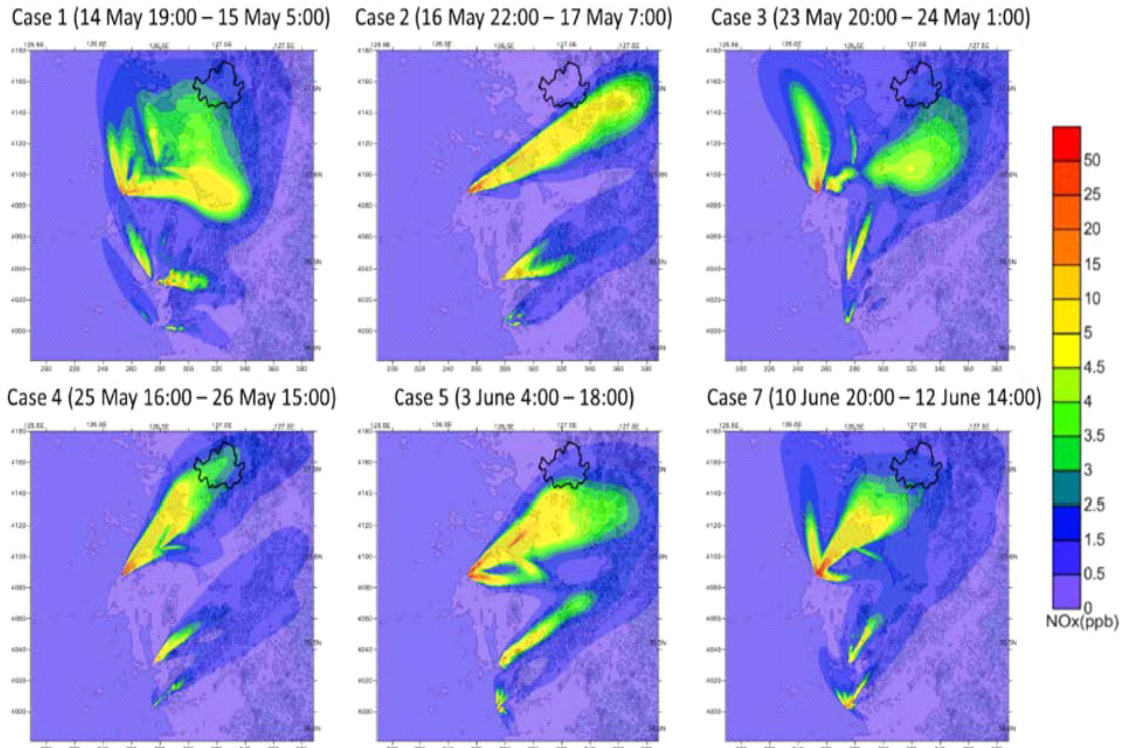
Q: 충남 서해안의 대형 점오염원이 수도권에 미치는 영향은?



Coordinated airborne sampling of point sources on 22 May and 5 June during KORUS-AQ

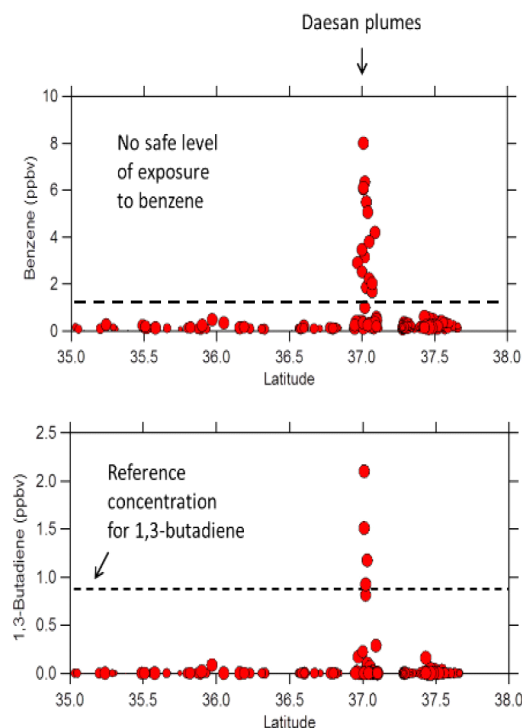
34

☞ 발전소 배출이 서울 남부지역에 영향을 미치는 것으로 확인됨 (CALPUFF 모델 실험)

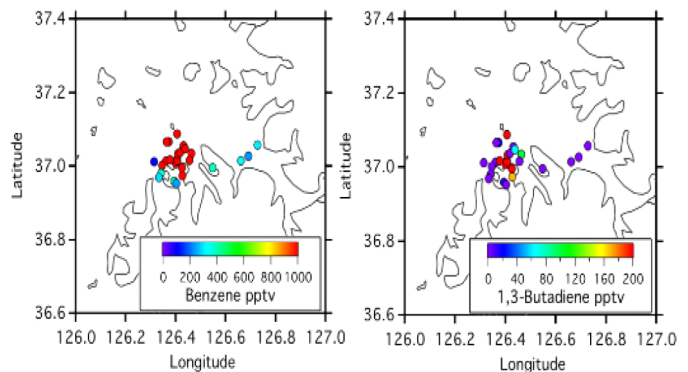


35

☞ 충남 대산 공단 지역에서 기준을 초과하는 독성 물질 (벤젠, 1,3-부타디엔)들이 관측됨



Daesan low-altitude plumes and “background”



DC-8 observations for overflight of Daesan compared to the larger region.

36

충남 지역의 배출(점오염원)은 수도권까지 영향을 미칠 수 있으며, 과소 평가된 배출량(대산공단 등)이 확인됨에 따라,

충청권 및 수도권 대기개선 측면에서 **중요 배출 권역**으로 관리가 필요하며, 정확한 **배출량 재산정** 노력이 동시에 요구됨

전체 결론

1. 올해 1~3월의 고농도 미세먼지는 주로 **기상학적 요인**[대기정체, 혼합고 감소, 강수량 감소]과 **대기오염물질 장거리 이동**에 의한 영향으로 풀이됨
2. 국내 미세먼지 개선을 위해서는 **우선적으로 국가간 협력**이 수반되어야 하며, 더불어 **국내 저감 노력도 병행**되어야 함
3. 전국, 충청권, 수도권의 동시개선을 위한 **효과적인 저감대상 지역**은 국내에서는 **충남**인 것으로 분석됨(배출 기여도 높은 에너지산업연소 및 제조업 연소 우선 저감 필요)
4. 충남 지역의 **누락/과소 평가된 배출량**(대산공단 등)에 대한 재평가 및 관리 필요

경청해 주셔서 감사합니다.