대기환경 데이터베이스의 효율적인 정책연구 활용방안

Ⅰ 추진배경

○ 대기환경관리를 위해 환경부는 국가차원의 대기환경측정망을 38개소 설치·운영하고 있으며, 충청남도에는 국가측정소 외에 발전소가 위치해 있는 4개 시·군에 추가적으로 마을대기측정망 38개소가 설치되어 운영 중임

○ 측정소는 대기환경 기준항목 6개(PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO, SO_2, NO_2, O_3)에 대해 시간 데이터를 수집하고 있으며, 수집된 정보를 지역 대기질 현황파악 및 국가정책 추진결과 분석에 활용되고 있음

○ 데이터의 신뢰성 향상과 활용도 극대화를 위해 데이터 생산 및 활용에 관한 최신 연구동향 파악이 중요하며, 다양한 분야에서 활동 중인 전문가들과의 교류가 필요함. 이에 측정소 장비 운영과 데이터 해석, 활용 분야의 전문가를 모시고 연구역량 강화를 위한 세미나를 추진하고자 함

Ⅱ 추진목적

○ 대기환경정책 수립을 위한 대기환경 연구동향 파악

○ 연구진의 대기환경관련 데이터 해석능력 향상

Ⅲ 기대효과

○ 대기환경관련 인적 네트워크 구축

○ 각 분야 데이터를 활용한 연구 결과 활용성 증대

○ 마을대기측정망 등 수집된 데이터의 해석 및 활용방안 모색

Ⅳ 행사개요

○ 대기환경 데이터베이스의 효율적인 정책연구 활용방안

○ 일시 : 2022년 3월 15일 (화) 14:30~18:00

- 각 연사별 발표 30분, 질의응답 10분

○ 주관 : 충남연구원 서해안기후환경연구소

○ 참여 : ㈜선일이앤씨, ㈜미세먼지연구소, 디아이랩(주), 충청권대기환경연구소

○ 장소 : 충남연구원 서해안기후환경연구소 (충남 홍성군 홍북읍 홍예로 360)

○ 참석인원 : 이상신 연구소장 외 11명

Ⅴ 세부일정

시 간	내 용	
3월 15일 (화)		
14:30~14:35(5`)	참석자 소개	김종범 책임연구원 (충남연구원)
14:35~14:40(5`)	환영사	이상신 연구소장 (충남연구원)
14:40~15:20(40`)	대기환경 정책수립을 위한 모델링 활용 및 사례	김수향 차장 ((주)선일이앤씨)
15:20~16:00(40`)	대기환경 측정분석 기기의 현황 및 최첨단 기기활용 사례	김정호 소장 ((주)미세먼지연구소)
16:00~16:20(20`)	휴식	
16:20~17:00(40`)	대기환경연구소 운영 및 데이터 확정 방법 (정도관리 및 등가성평가 중심)	이광열 연구사 (충청권대기환경연구소)
17:00~17:40(40`)	지능형 플랫폼 기반 미세먼지 데이터 서비스	명광민 대표이사 (디아이랩(주))
17:40~18:00(20`)	종합토의	김종범 책임연구원 (충남연구원)

【별첨 1】

참석자 명단 (12명)

소 속	직 위	성 함	비고
충남연구원 (8)	연구위원	이상신	
	책임연구원	김종범	
	책임연구원	박세찬	
	연구원	최영남	
	연구원	김민수	
	연구원	조민철	
	연구원	송혜영	
	연구원	이가혜	
㈜선일이앤씨	차장	김수향	
㈜미세먼지연구소	소장	김정호	
디아이랩(주)	대표이사	명광민	
충청권 대기환경연구소	환경연구사	이광열	

대기환경 정책수립을 위한 모델링 활용 및 사례

2022.03.15

발표자 : ㈜선일이앤씨 김 수 향

대기모델링 적용분야

국토의 장기 개발계획

- 신도시, 공업단지, 발전소, 기간도로망 배치 등 토지이용의 방향을 설정하는 국토의 장기개발계획 수립시 그에 따른 대기질 변화를 예측하고 대책 마련

도시 및 공단지역의 대기질 개선대책

- 도시의 대기질 개선을 위한 연료정책검토, 배출원별 기여도 산출, 대기질 측정망 배치계획 등을 위하여 사용

대기오염 피해파악

- 대기오염으로 야기되는 분쟁조정을 위한 피해파악

배출허용기준 설정

- 특정지역 환경기준 달성을 위한 최대 배출허용량 산출, 총량규제시 배출량 할당

대기오염 예보제

- 대도시 미세먼지, 오존 농도 등 단기농도를 예측

유해물질 누출가스 대책

- 핵누출사고나 공장의 유해물질 누출사고에 대비

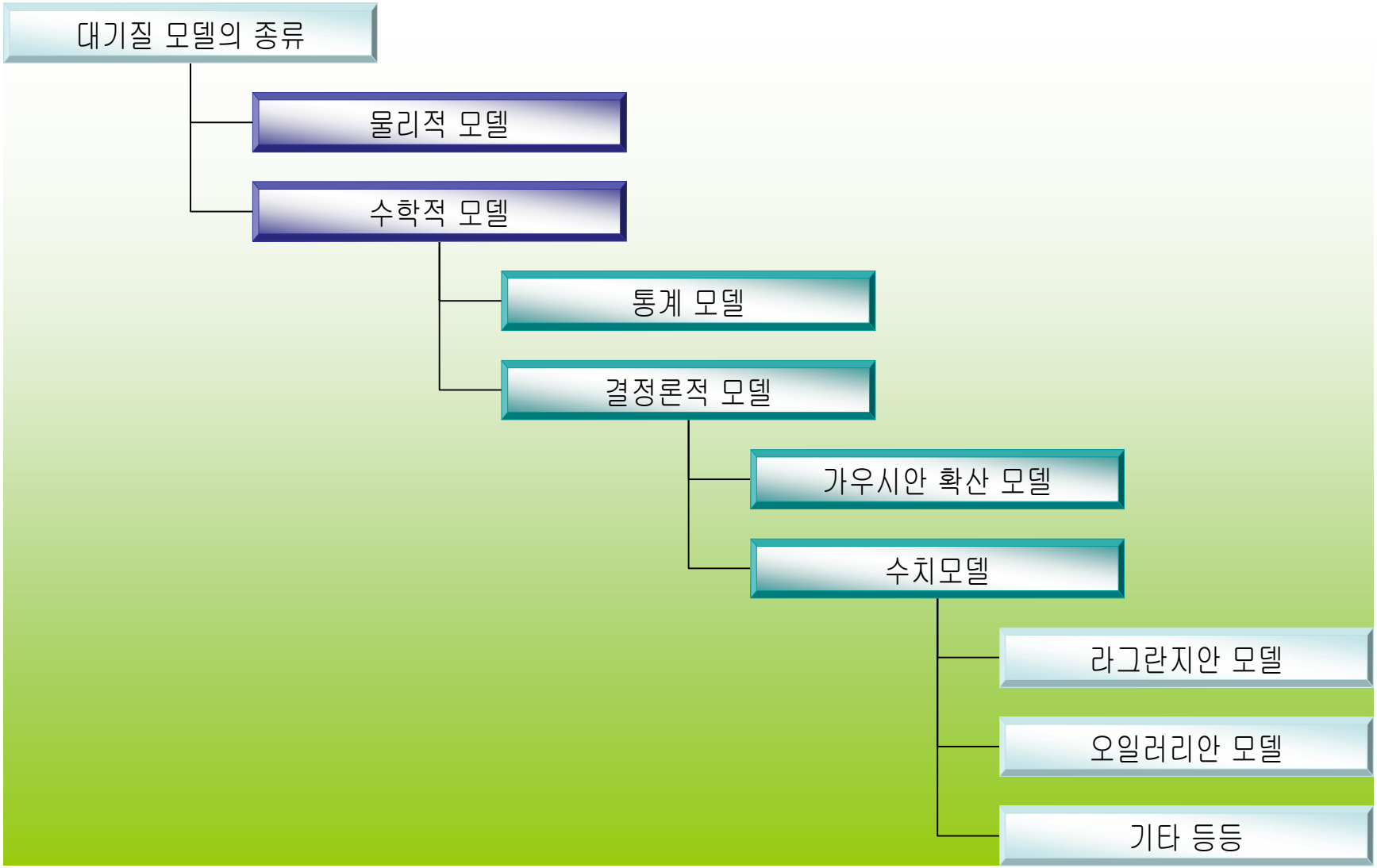
지역, 국가간 오염물질 이동

- 산성우 등 국가간 대기오염물질의 장거리 수송에 따른 문제 대비

환경영향평가

- 각종 건설사업의 시행, 소각장 건설 등에 따른 장래의 대기질을 예측, 대책 수립

Air quality models

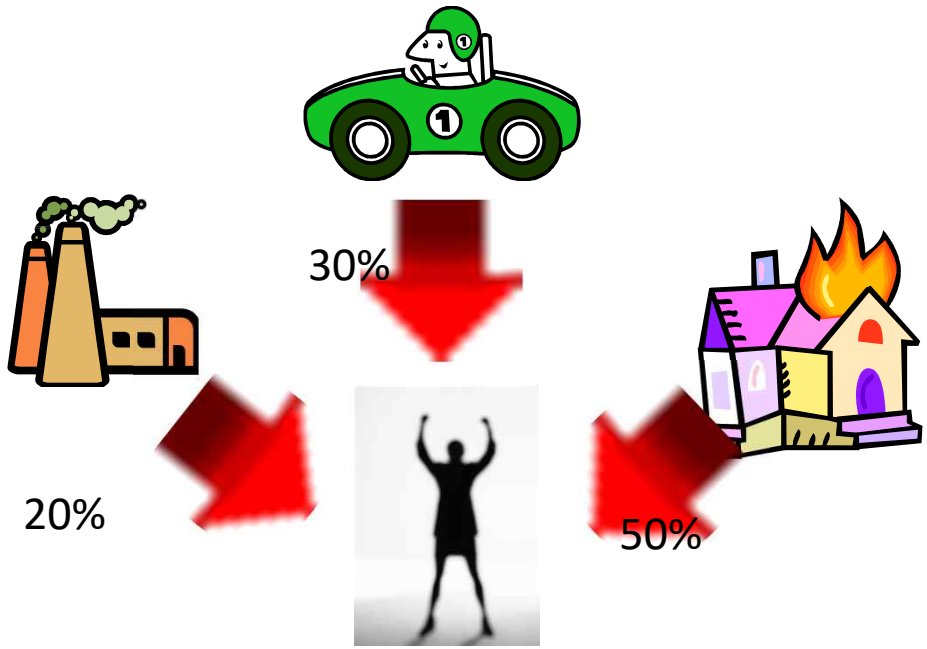


Dispersion vs. Receptor Models

Dispersion model

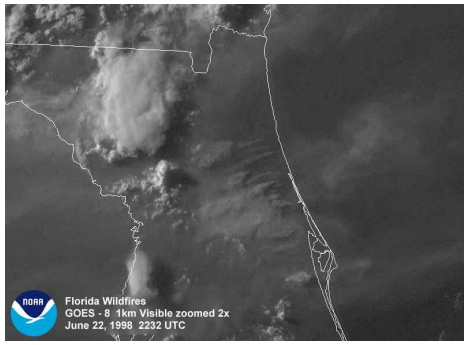
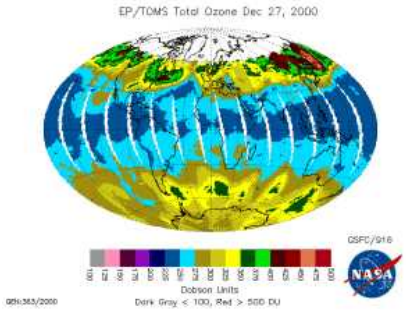
종류 : CALPUFF, CMAQ, AERMOD

Receptor model

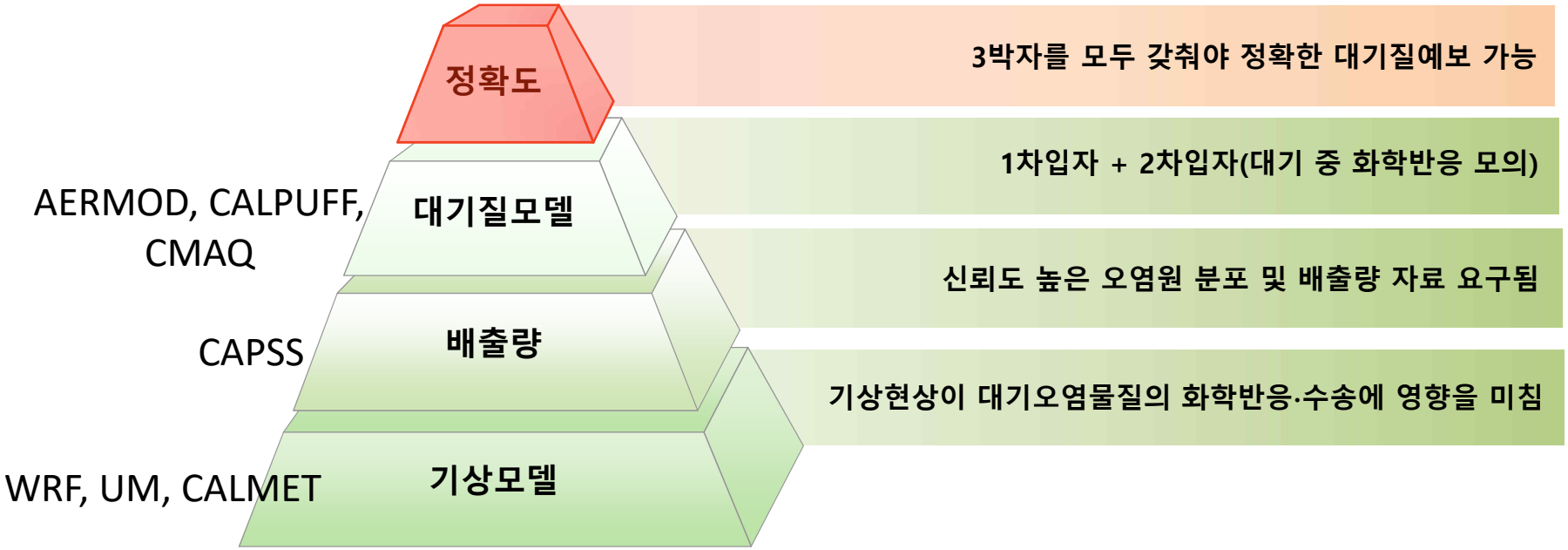


종류 : CMB, PMF

Modeling Scales

Microscale 0-1 km 	**Local Scale 1-10 km**
Regional to Mesoscale 10 – 1,000 km 	**Synoptic to Global Scale >1,000 km** 

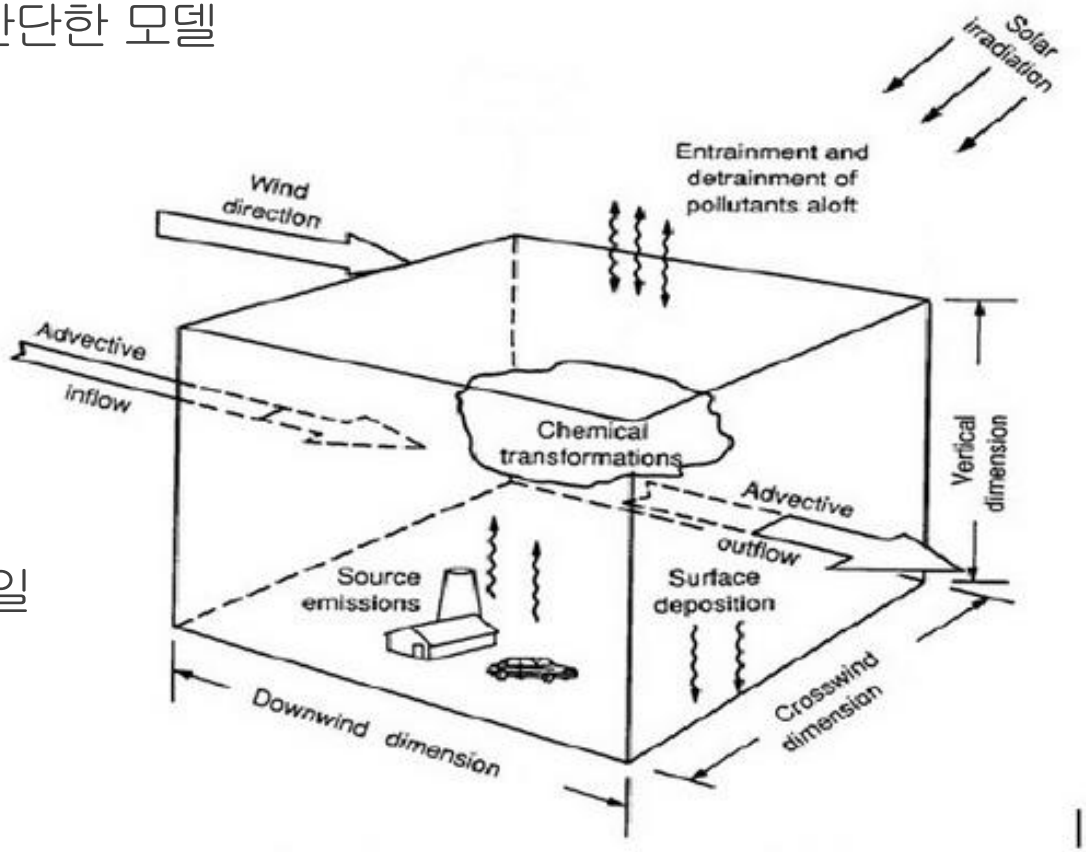
대기질 모델 기본 구조



출처 : 국민건강보호를 위한 초미세먼지 피해저감 연구

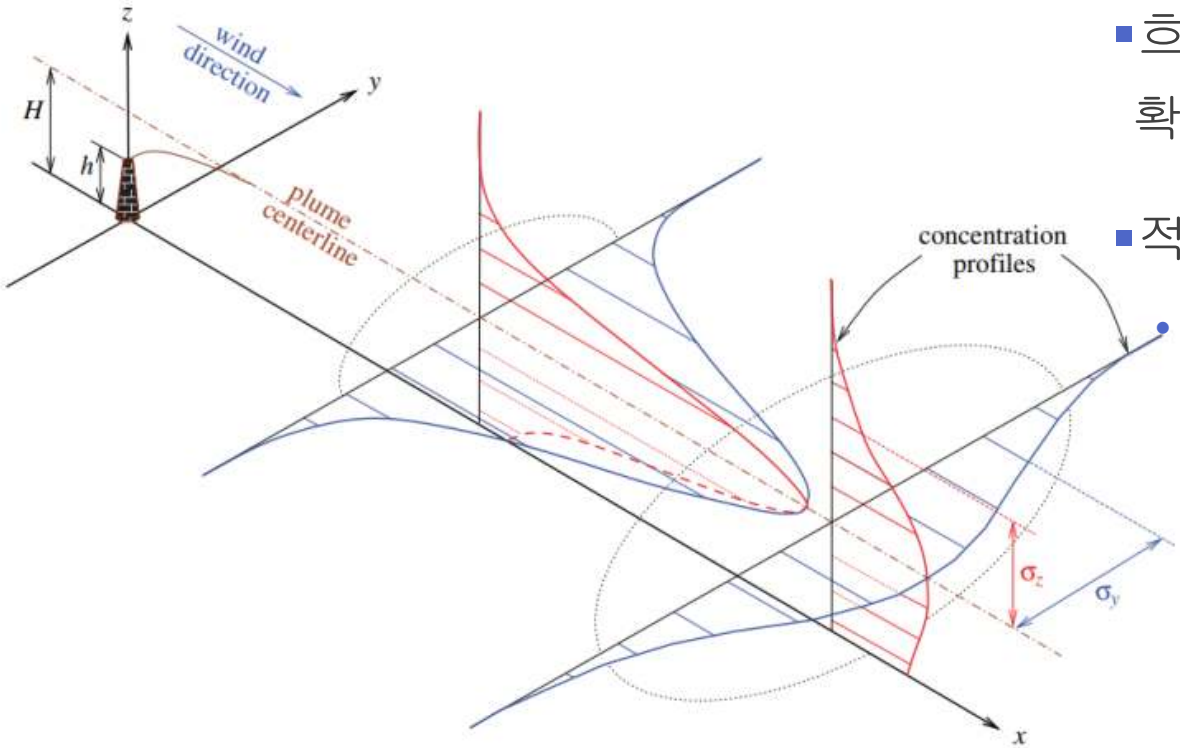
Box Model

- 질량보존 법칙에 기본을 둔 가장 간단한 모델
- 상자내의 농도 균일
- 배출원은 지면 전역에 균일 분포
- 배출된 오염물질은 즉시 공간 내에 균일하게 혼합
- 상자 내의 풍향, 풍속 분포도는 균일



A TYPICAL FIXED BOX MODEL

Gaussian Dispersion Model



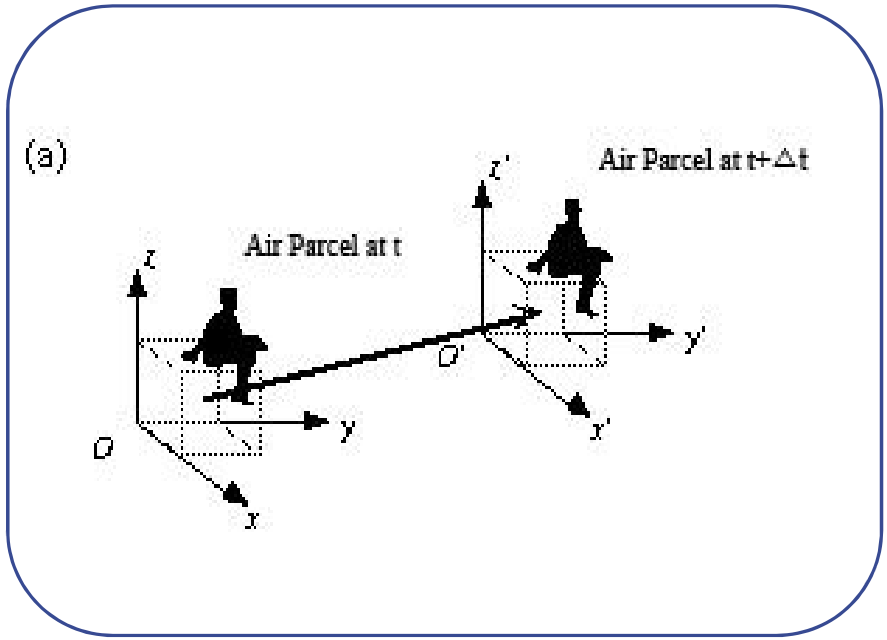
- 흐름(바람)에 수직방향으로의 확산은 정규분포의 형태로 이동
- 적용모델
  - ISC, AERMOD model

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \times \exp\frac{-y^2}{2\sigma_y^2} \times [\exp(\frac{-(z-h)^2}{2\sigma_z^2}) + \exp(\frac{-(z+h)^2}{2\sigma_z^2})]$$

출처 : Stockie, 2011

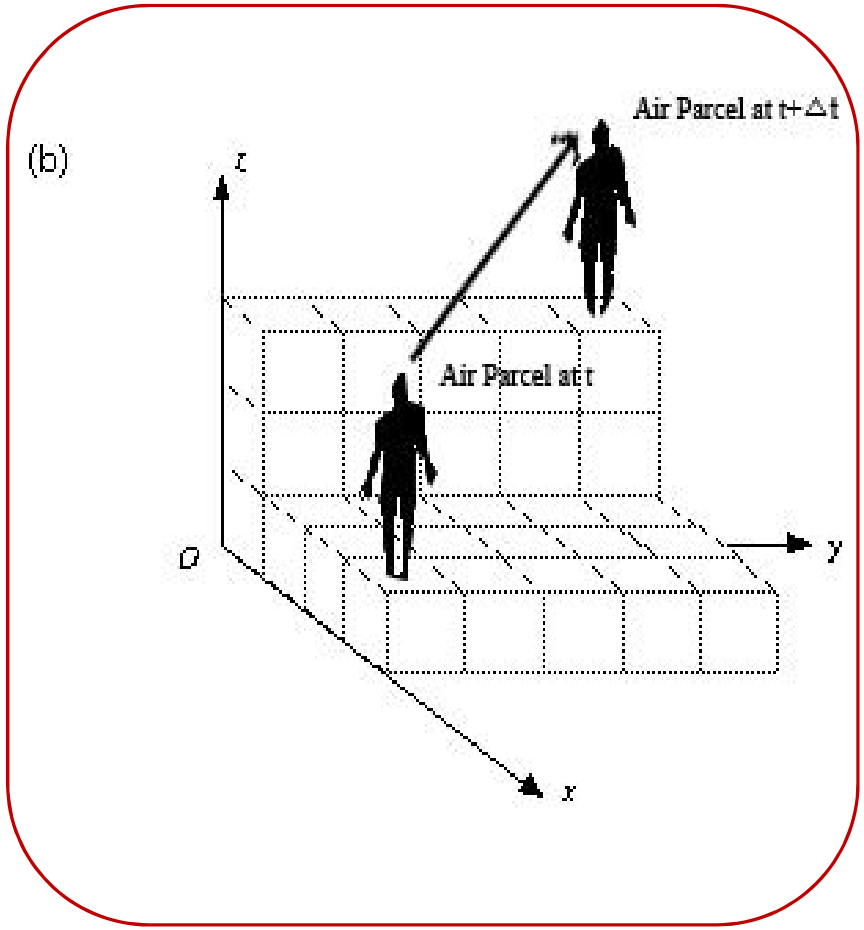
Lagrangian model

- 이동좌표계 사용
  - 좌표축이 대기의 평균 이동을 따라가면서 변화
  - 궤적을 따라 이동하는 대기 중 오염물질의 시간에 따른 변화를 예측하는데 적합
- 컴퓨터의 발달로 Eulerian model 선호
- 적용모델
  - CALPUFF

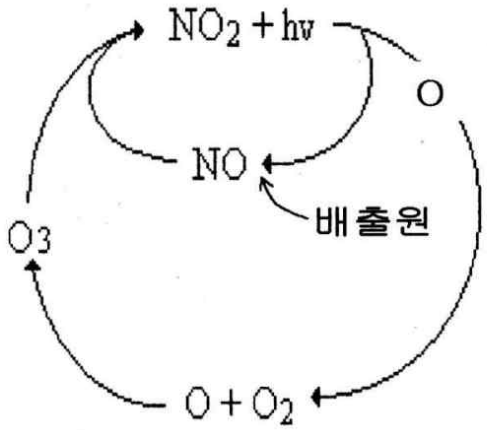


Eulerian model

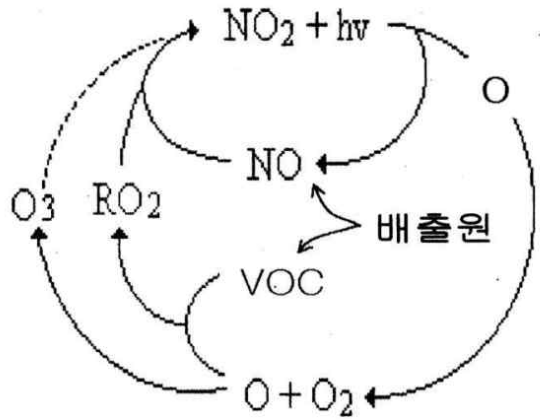
- 고정좌표계 사용
- 각 격자별로 대기의 이류와 확산, 구름의 영향, 침적(습성, 건성) 등의 대기화학 고려 가능
  - 비교적 자세한 화학반응을 고려할 수 있어 주로 광화학모델과 산성침적 모델에 적용
- 수평방향(x, y)은 균일한 격자크기 사용, 수직방향(z)은 지표면에서 멀어질 수록 큰 격자크기를 갖는 불균일 수직격자 사용
- 적용모델
  - CMAQ, CAMx



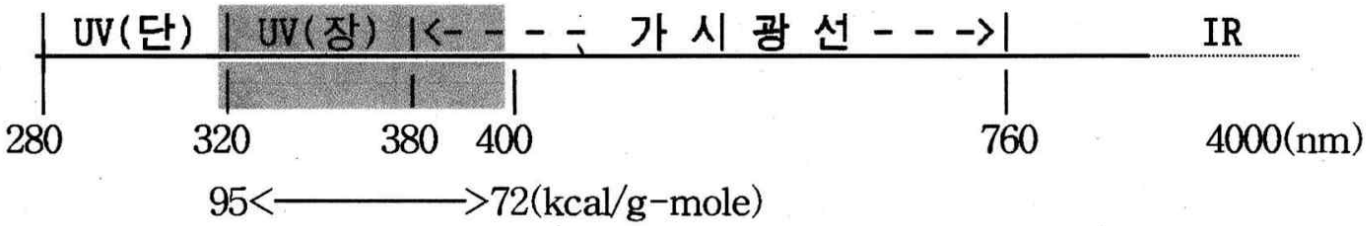
지표면 오존(O_3) 생성 기작



(a)휘발성유기화합물 없을 때의
일정 오존농도 유지 반응

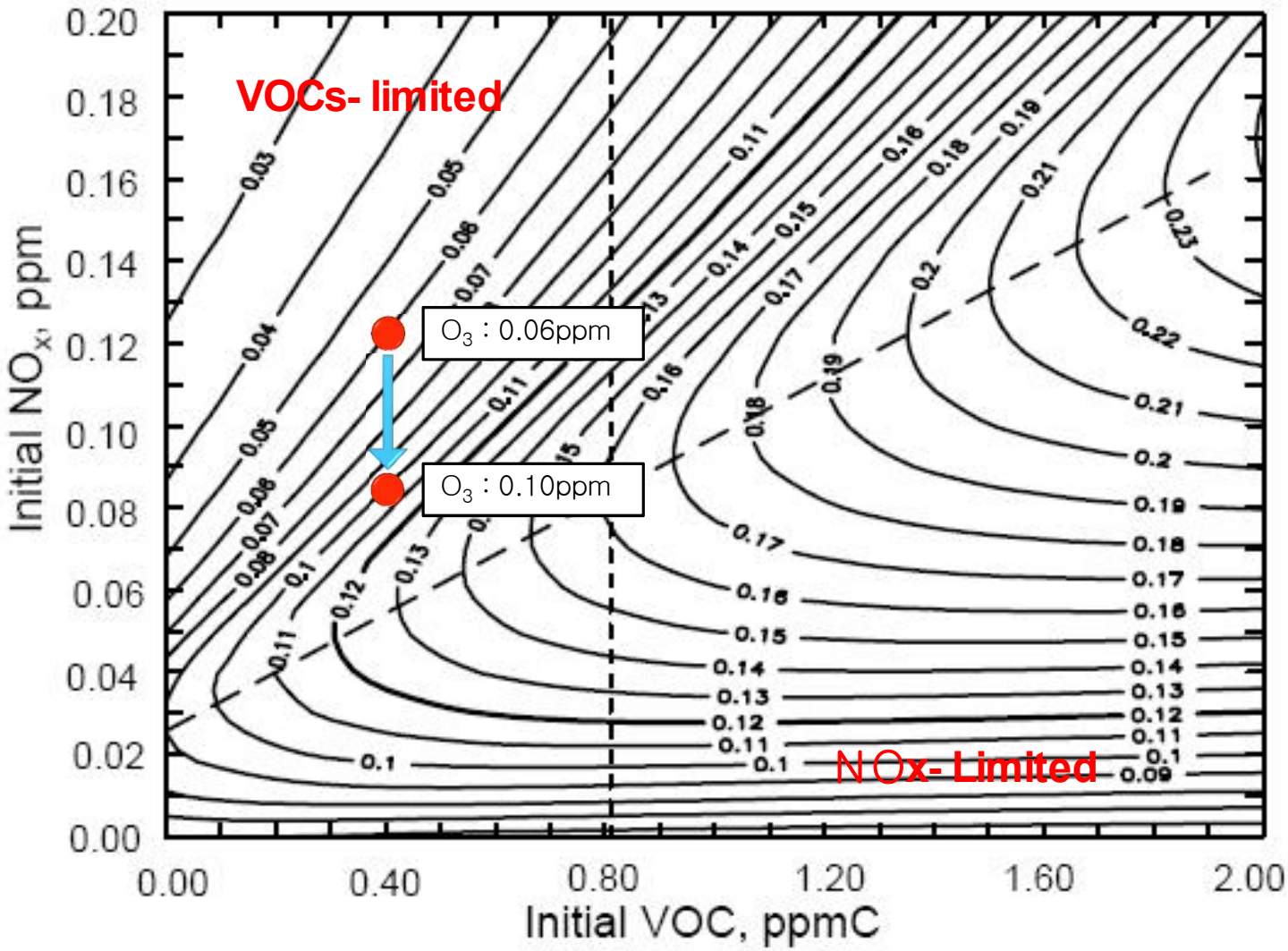


(b)휘발성유기화합물이 있을 때의
오존농도 증가 반응

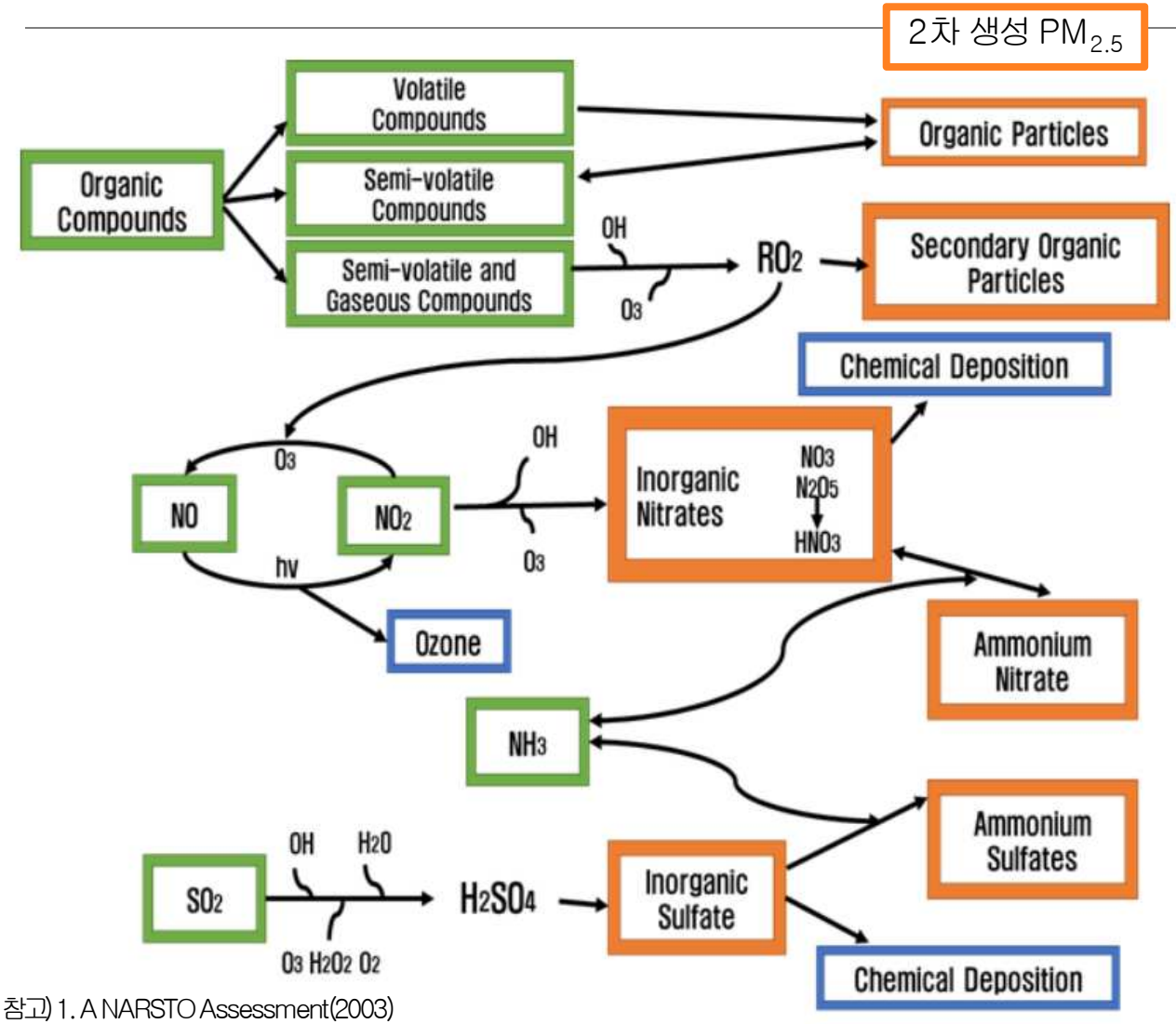


※UV(장)파와 가시광선 중의 단파의 빛이 NO_2를 광분해시키는 주 에너지(90%) 원으로 72 kcal/g-mole 이상의 에너지량이면 분해 가능함

O_3–NOx–VOCs 관계



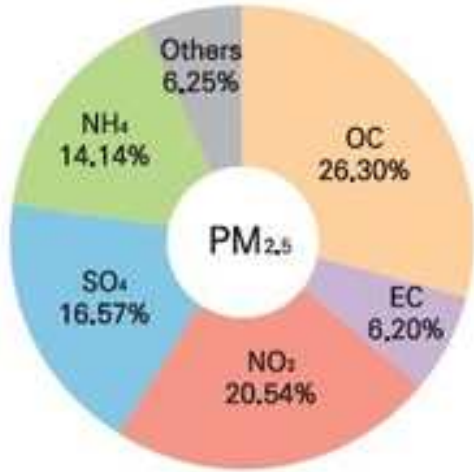
2차 $PM_{2.5}$ 생성 기작



- 오염원에서 배출된 가스상 NOx, SO_2, NH_3, 유기화합물 (1차)이 대기 중 광화학반응을 통해 2차 미세입자로 생성
- 1차 ↔ 2차 생성 반응으로 배출량과 농도는 비선형 관계임

<서울 $PM_{2.5}$ 구성성분>

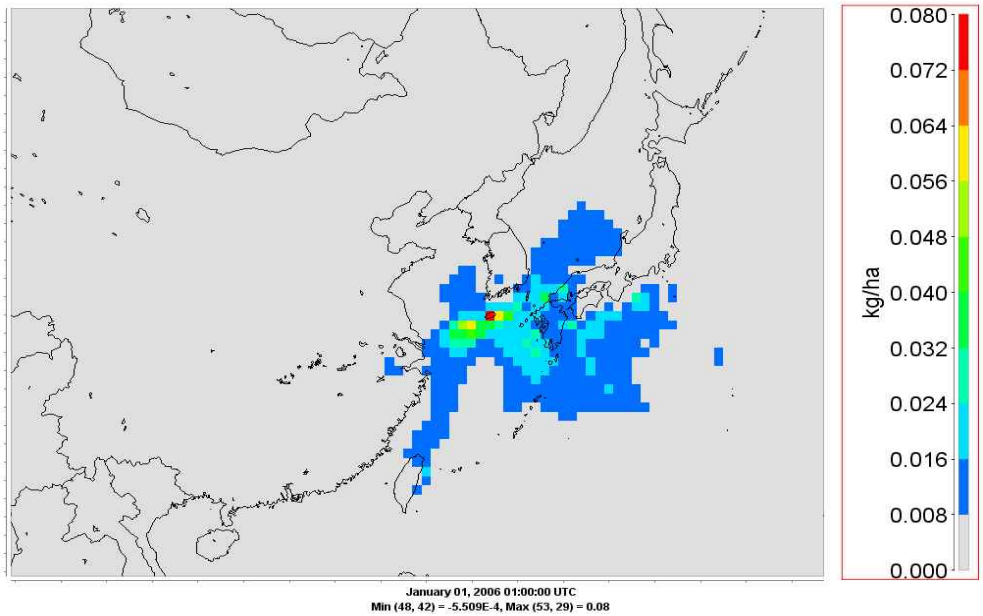
2015~2017년

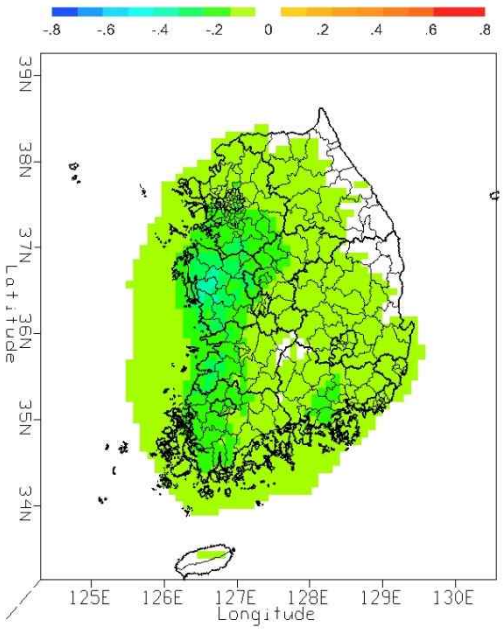


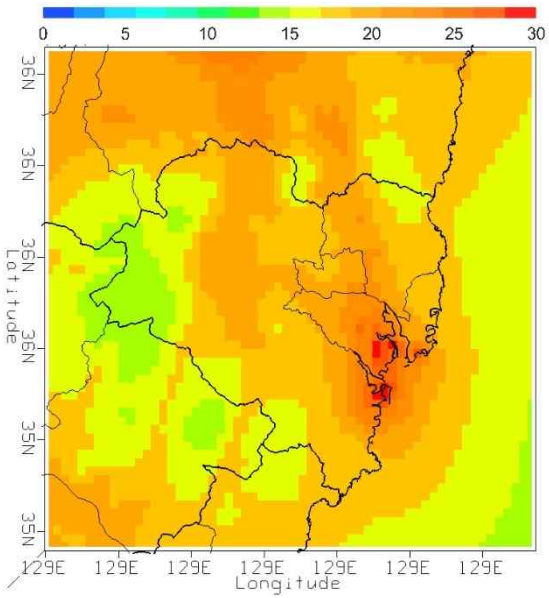
참고) 1. A NARSTO Assessment(2003)
2. 2015~2017년 서울특별시의 초미세먼지(PM-2.5) 구성성분 비율, 뉴시스, 2020.07.13

대기질 모델링 활용 사례

Regional Scale







미세먼지 기여도 분석방법

Brute-Force Method (BFM)

- 배출원, 물질별 기여도 평가방법
- 분석방법

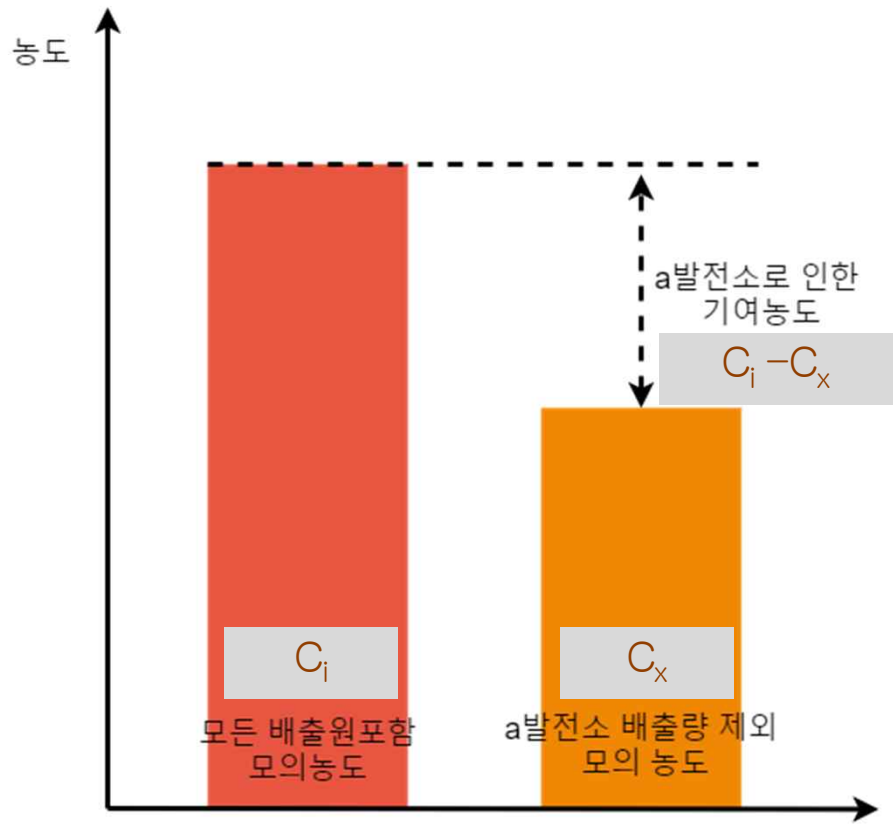
$$S_i = \frac{C_i - C_x}{e_i}$$

S_i : 발전소 i의 배출량 변화에 따른 농도변화

C_i : 기본 모의 결과 (모든 배출원 포함)

C_x : 발전소 i 삭감시 모의농도

e_i : 발전소 i에 의한 삭감폭 (예 100% = 1)



장점

- 적용 쉬움
- 여러 모델에 적용가능
- 대기질 정책효과 평가에 널리 이용되고 있음

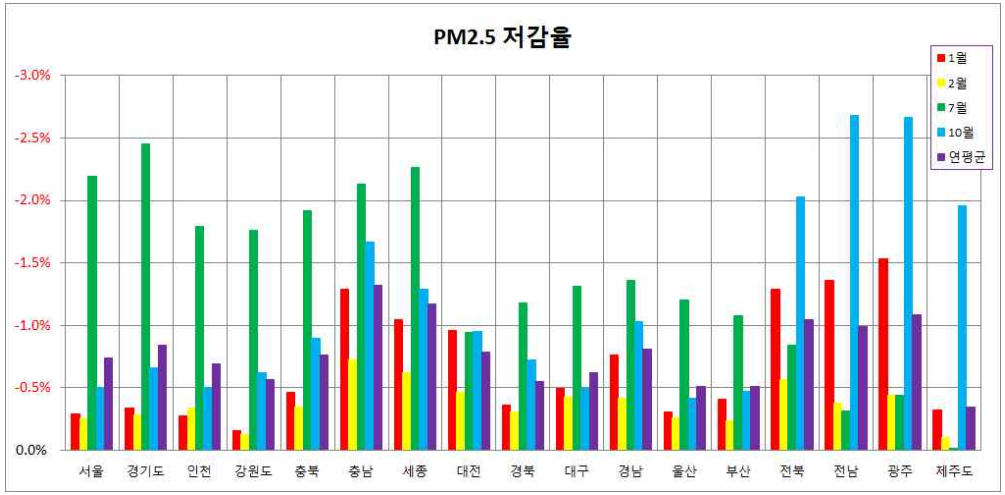
단점

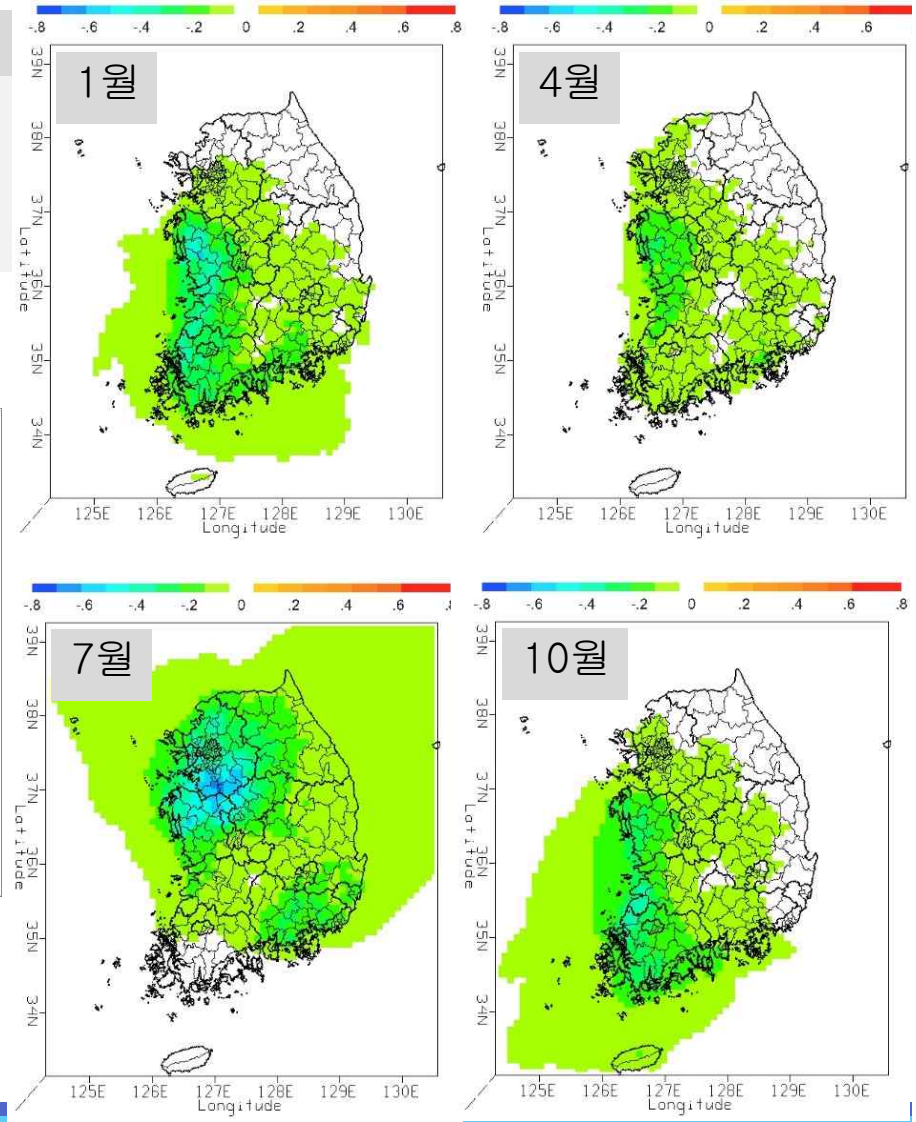
- 평가 대상이 많을수록 모델링 시간 늘어남
- 민감도 문제

대기질 모델링 연구 사례 – 1

(개별)석탄화력발전소 배출량 50% 저감시 $PM_{2.5}$ 농도 변화

- 대상 발전소 : 영흥, 당진, 태안, 보령, 영동, 동해
- 배출량 : 2014년 CAPSS
- 격자크기 : 9km





대기질 모델링 연구 사례 – 2

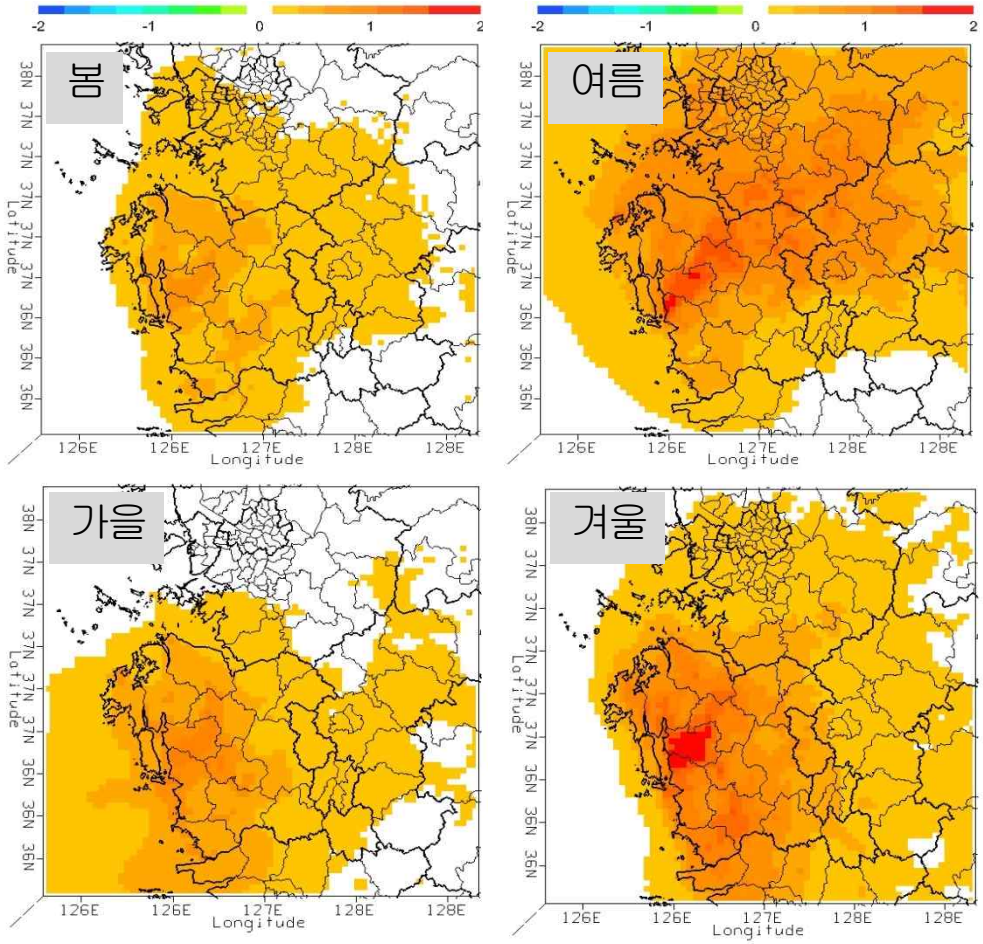
(보고서)미세먼지 측정소 설치·운영 방안 수립 (KEI, 2018)

- 대상 발전소 : 당진, 보령, 신보령, 영흥, 태안발전소
- 배출량 : 2013년
- 격자크기 : 3km

분석 결과

- 영향강도 : 여름 > 겨울 > 봄 > 가을
- 충남내륙에서 큰 영향
- 여름, 겨울 : 경기 남부지역까지 영향 확대

<당진, 보령, 신보령, 영흥, 태안발전소 $PM_{2.5}$ 기여도>



대기질 모델링 연구 사례 – 3

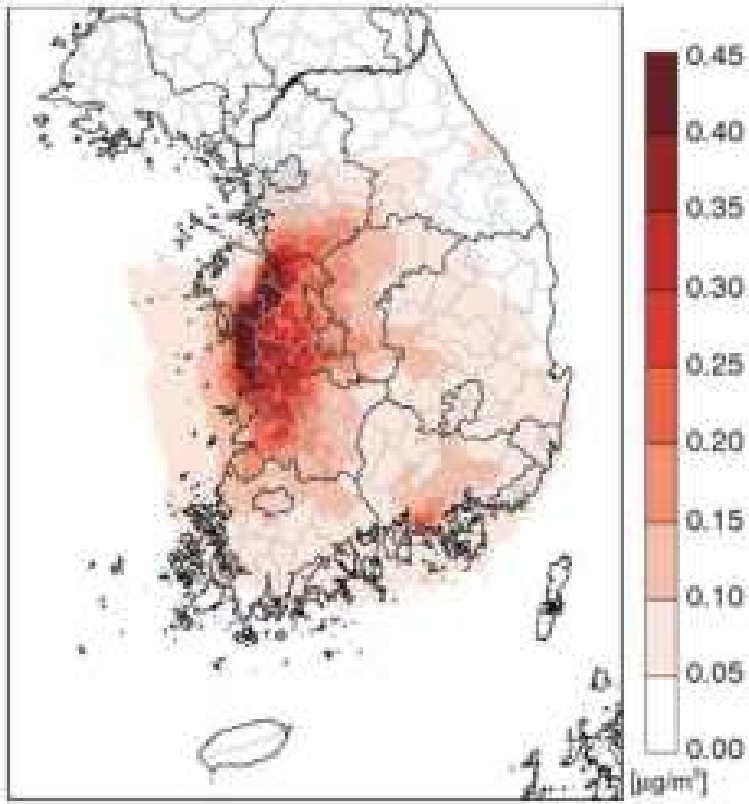
(논문)노후 석탄발전 가동 중단에 따른 $PM_{2.5}$ 및 성분농도 개선 효과 분석,

- 대상 발전소 : 영동 2기, 보령 2기, 삼천포2기, 서천 2기
- 시나리오 : 2017년 3월~9월 가동중단 가정

분석 결과

- 충남 평균 0.23ug/m^3 저감, 일평균 최대 1.04ug/m^3 저감
- Nitrate에 의한 저감효과 큼

<$PM_{2.5}$ 농도변화>



대기질 모델링 연구 사례 – 4

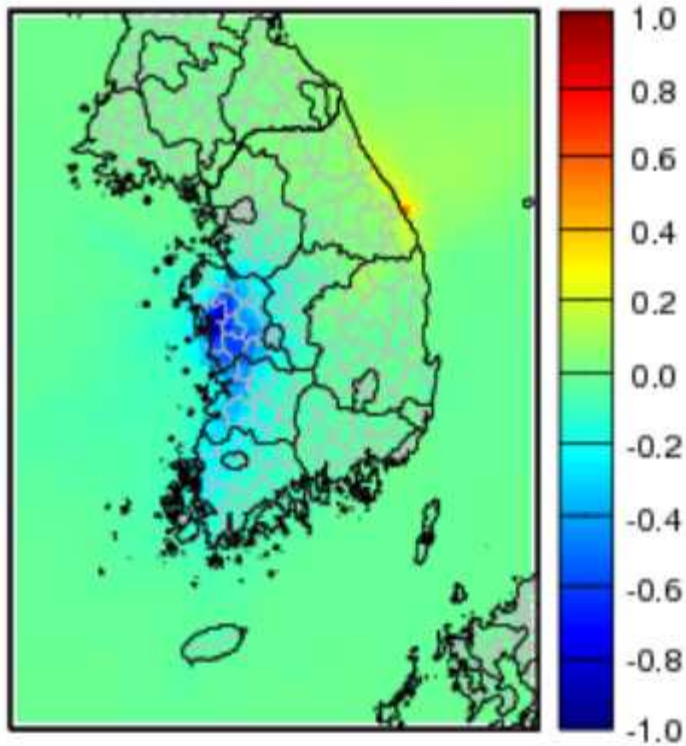
(보고서)석탄화력발전 연료대체 시나리오별 환경·건강영향분석(KEI, 2017)

- 대상 발전소 : 석탄화력발전소 20기
- 시나리오 : 대상발전소를 동해측으로 이전 가정
- 배출량 및 분석기간 : 2015년
- 격자크기 : 9km

<지역별 $PM_{2.5}$ 저감 농도>

지역	PM2.5				
	1월 평균	4월 평균	7월 평균	10월 평균	연평균
서울	0.001	0.001	0.036	0.024	0.015
부산	-0.085	0.070	0.023	0.021	0.007
대구	-0.042	0.070	0.058	0.021	0.027
인천	0.022	-0.019	-0.002	0.078	0.020
광주	0.197	0.234	0.032	0.249	0.178
대전	0.130	0.311	0.287	0.261	0.248
울산	-0.069	0.080	0.049	0.021	0.020
세종	0.154	0.281	0.295	0.275	0.251
경기도	0.015	0.041	0.074	0.031	0.040
강원도	-0.007	-0.034	-0.173	-0.042	-0.064
충청북도	0.074	0.175	0.155	0.045	0.112
충청남도	0.205	0.486	0.563	0.333	0.397
전라북도	0.200	0.356	0.163	0.228	0.237
전라남도	0.113	0.174	0.031	0.247	0.141
경상북도	-0.012	0.026	0.000	-0.001	0.003
경상남도	-0.041	0.078	0.064	0.042	0.036
제주	0.017	0.072	0.011	0.071	0.043

<$PM_{2.5}$ 연간 농도변화>

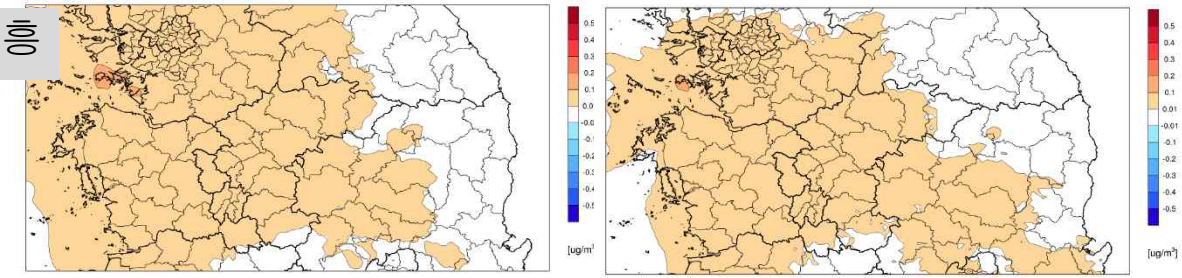


대기질 모델링 연구 사례 – 5

<연간> <계절관리제>

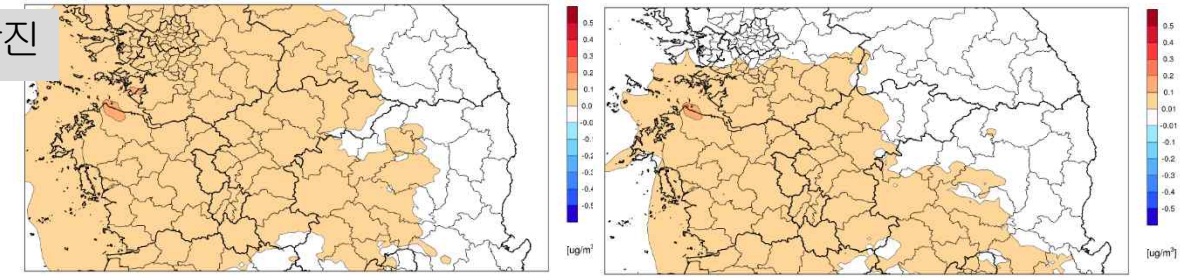
단위 : ug/m³

영흥



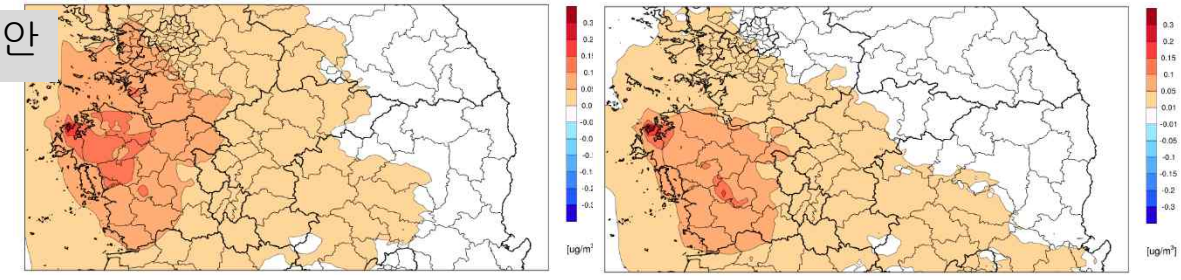
구분	지역	평균농도
연간	인천	0.048
계절관리제	충남	0.027

당진



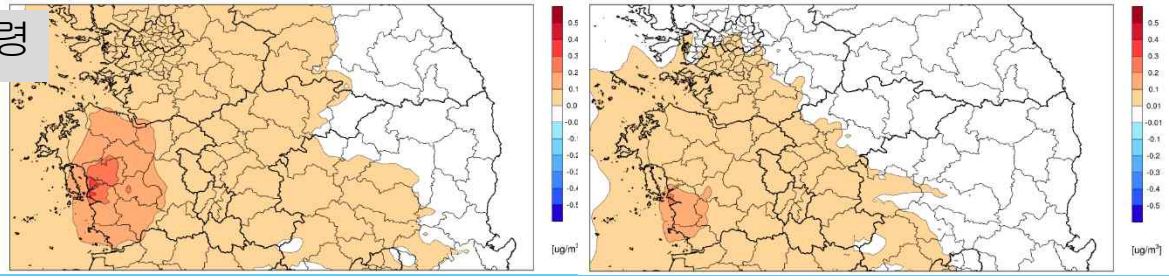
구분	지역	평균농도
연간	충남	0.043
계절관리제	세종	0.039
	충남	0.038

태안



구분	지역	평균농도
연간	충남	0.074
계절관리제	충남	0.068

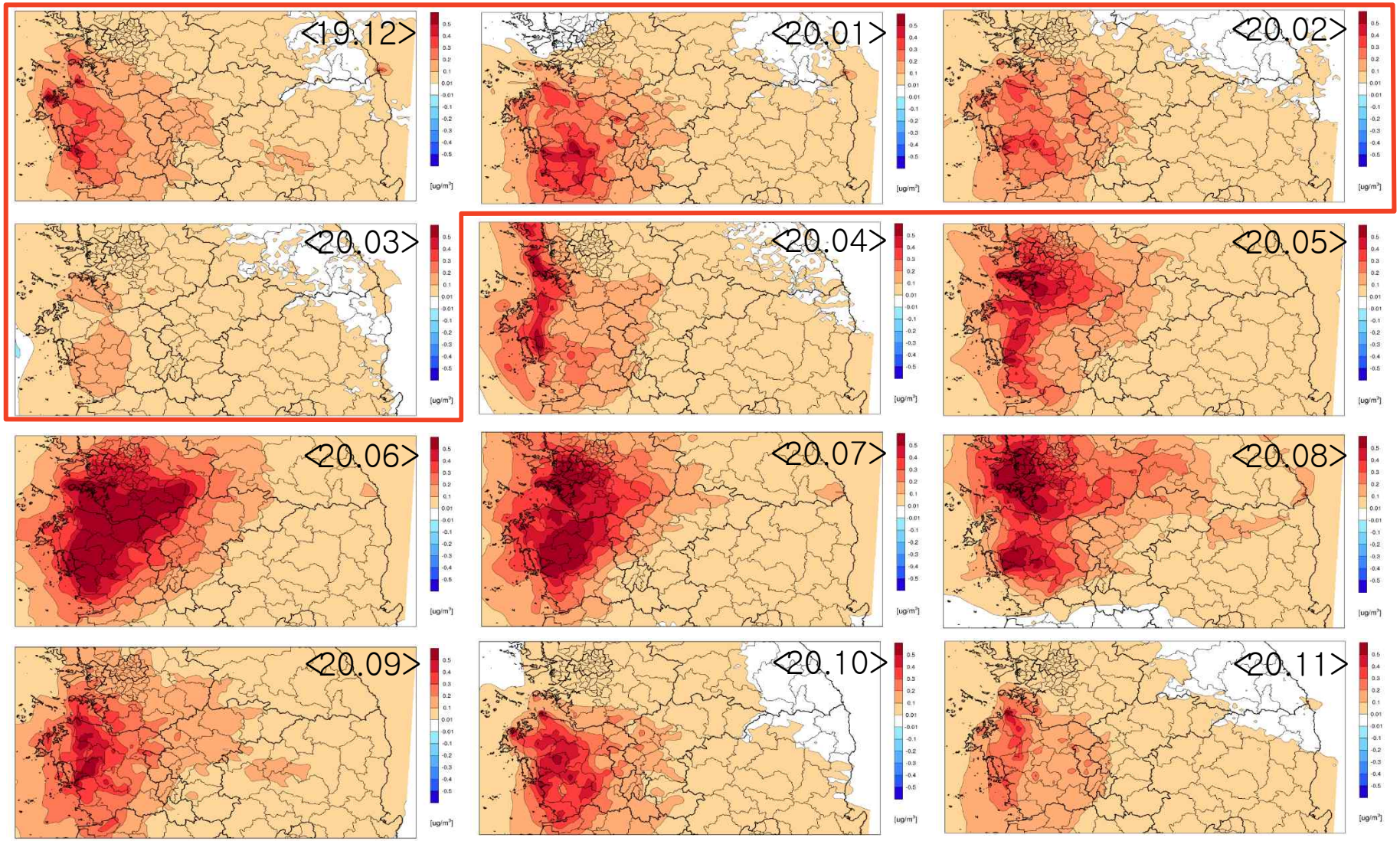
보령



구분	지역	평균농도
연간	충남	0.112
계절관리제	충남	0.052

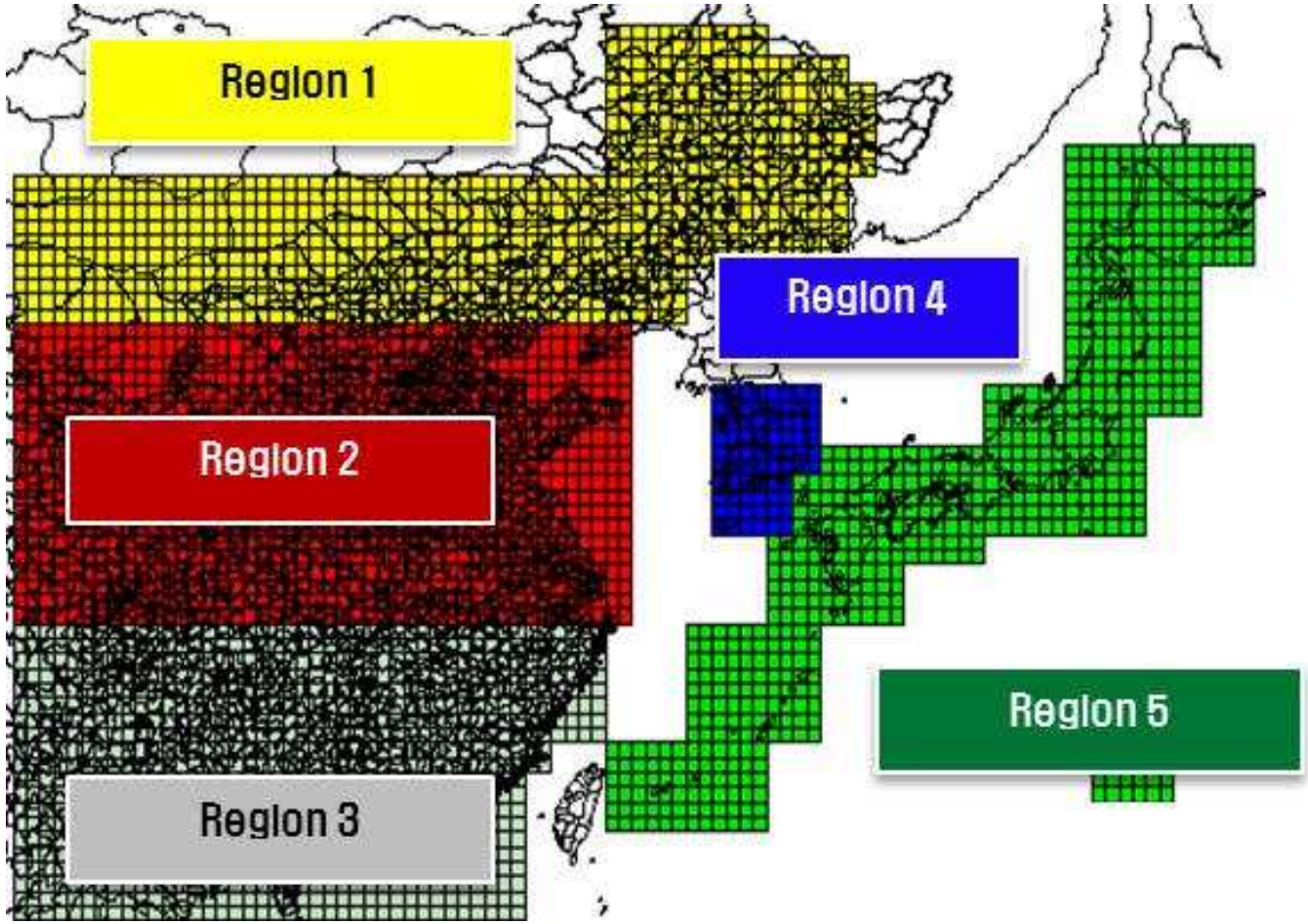
대기질 모델링 연구 사례 – 5

<영흥, 당진, 태안, 보령, 삼척>



대기질 모델링 연구 사례 – 6

동북아시아 산성물질의 배출원-수용지 관계 분석

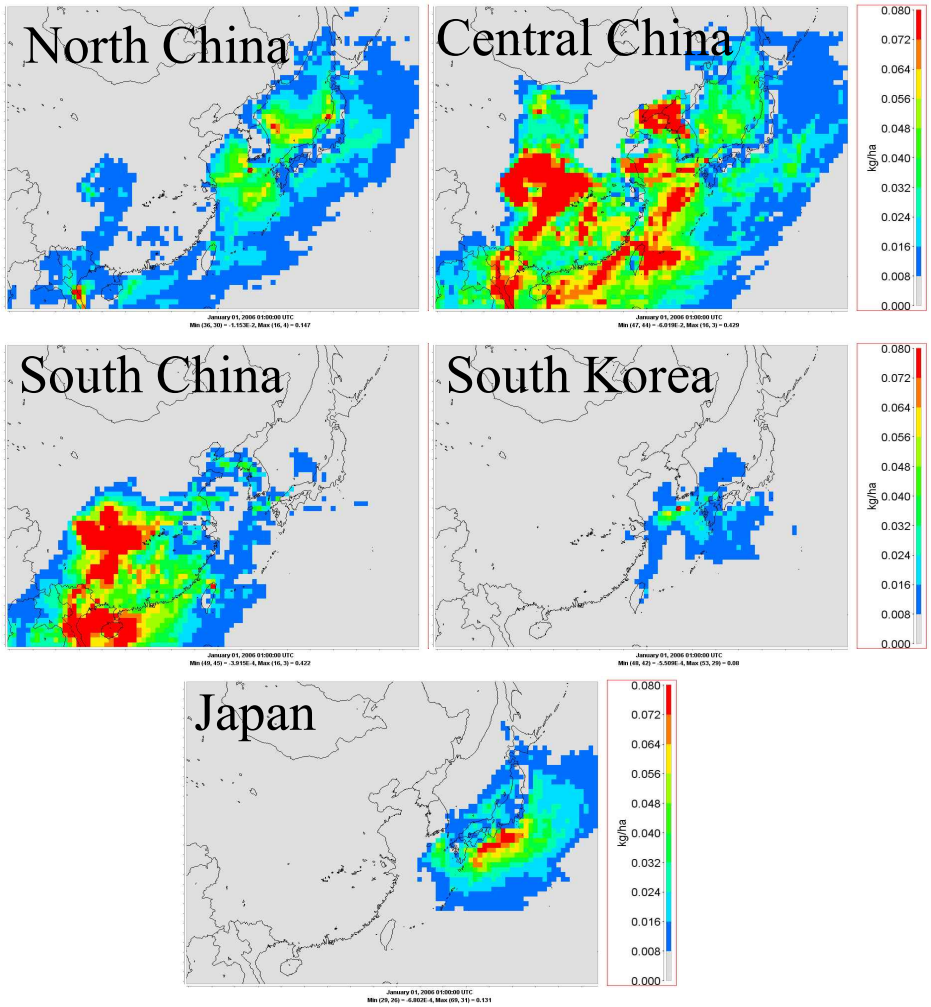


대기질 모델링 연구 사례 – 6

대상물질 : 총질소산화물 침적량

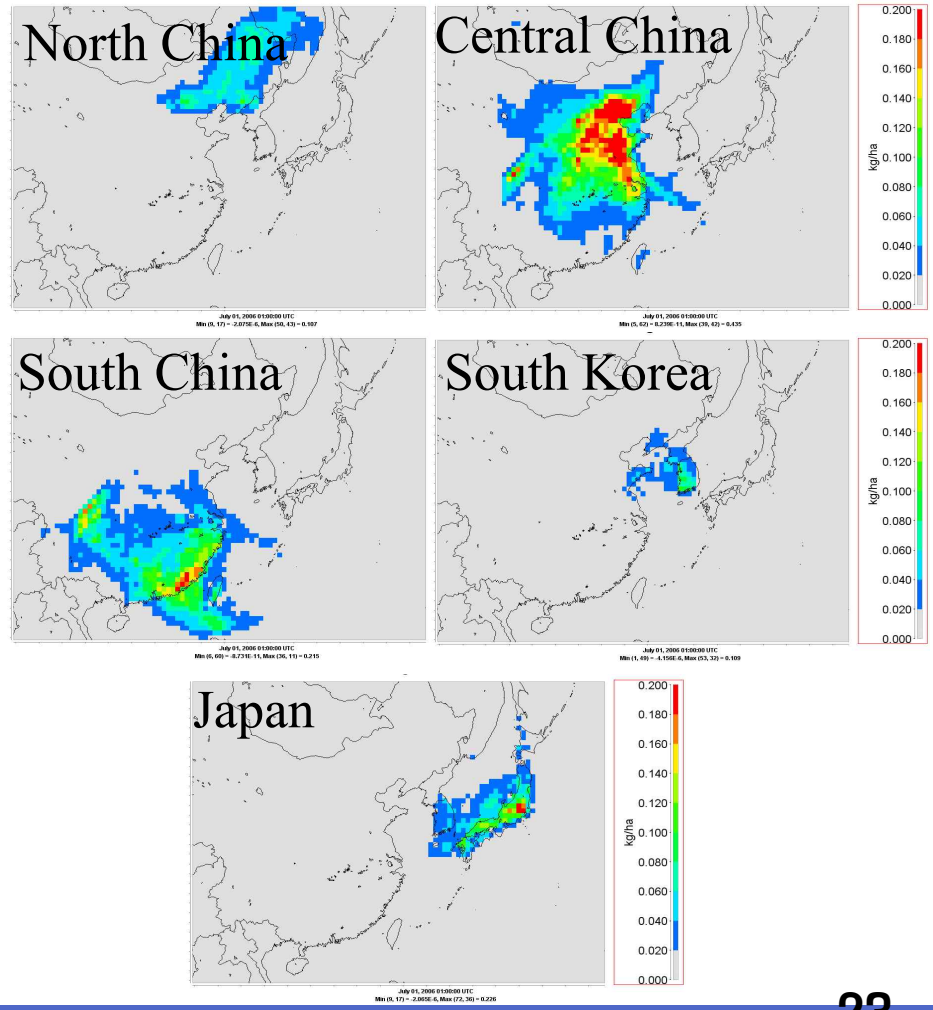
January

Max : 0.08kg/ha



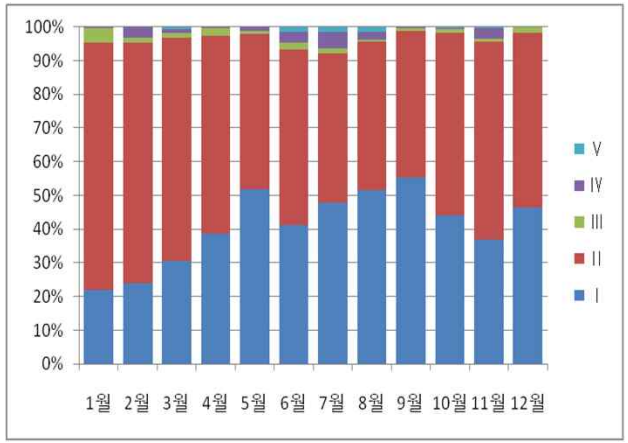
July

Max : 0.2kg/ha

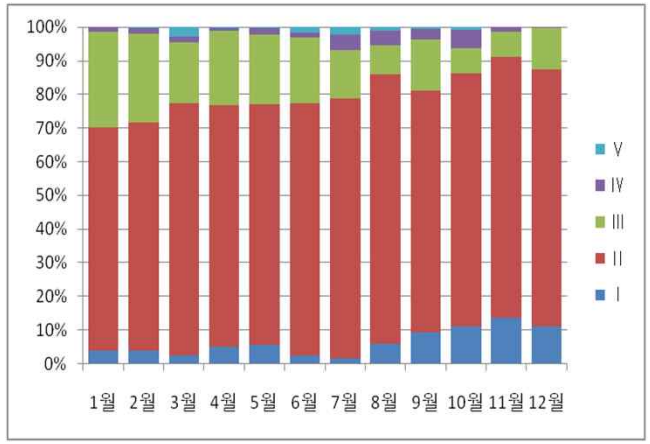


대기질 모델링 연구 사례 – 6

North China

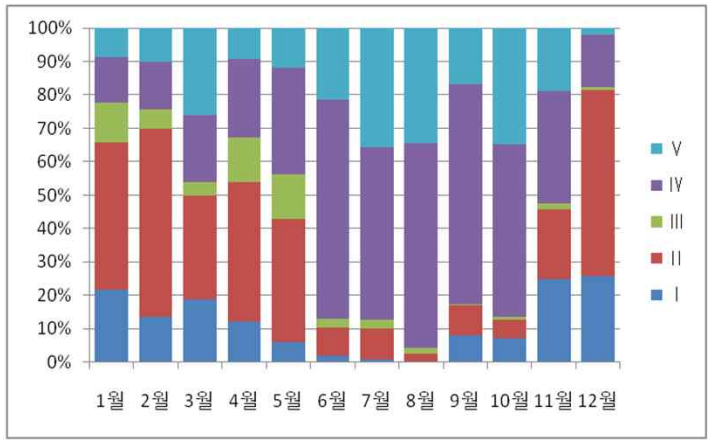


Central China

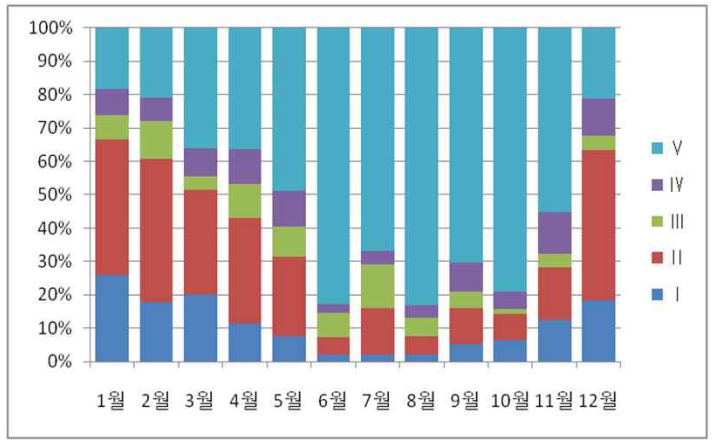


South China

South Korea



Japan



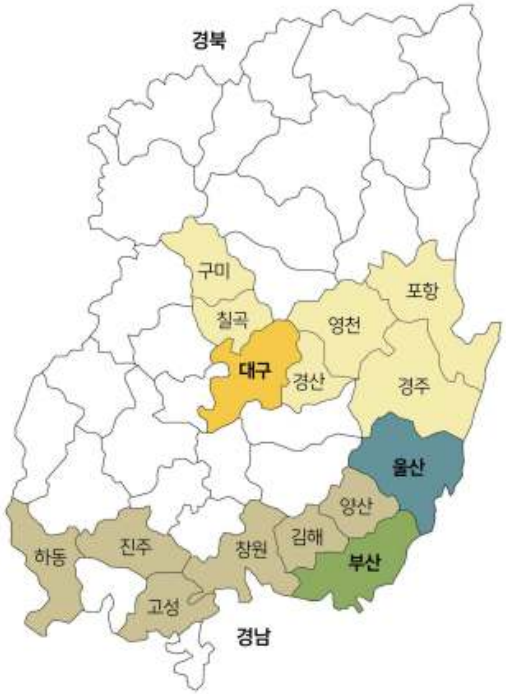
대기질 모델링 연구 사례 – 7

동남권 대기관리 기본계획

비전	맑고 깨끗한 공기, 미세먼지 걱정 없는 대한민국
목표	'24년까지 동남권 대기환경 개선 목표 달성 $PM_{2.5}$ 17㎍/㎥, PM_{10} 33㎍/㎥, NO_2 0.015ppm, O_3 0.060ppm

부산광역시	전 지역
대구광역시	전 지역
울산광역시	전 지역
경상북도	포항시, 경주시, 구미시, 영천시, 경산시, 칠곡군
경상남도	창원시, 진주시, 김해시, 양산시, 고성군, 하동군

자료 : 환경부(2020)



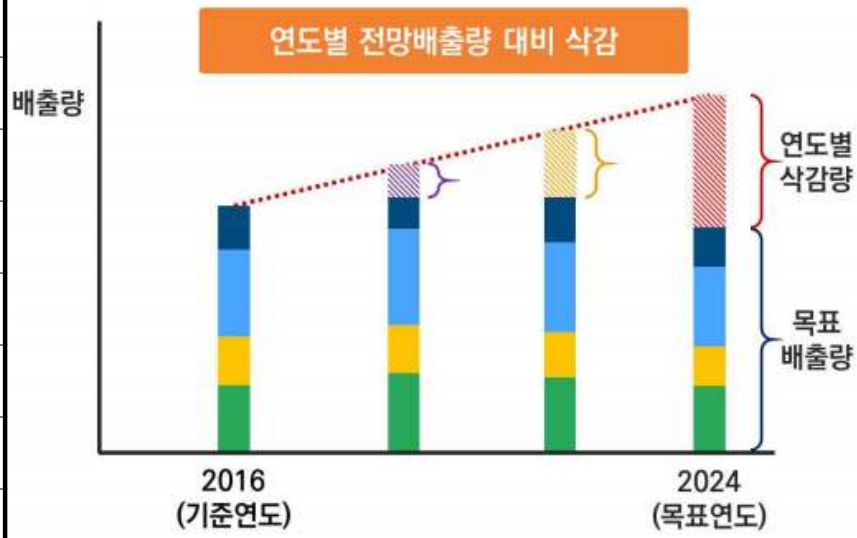
대기질 모델링 연구 사례 – 7

동남권 전망배출량 및 배출허용총량 (단위 : 톤)

구분	$PM_{2.5}$	PM_{10}	NOx	SOx	VOCs
24년 전망배출량	30,952	66,899	298,380	126,724	300,001
배출허용총량 (삭감률)	25,862 (16%)	55,907 (16%)	216,818 (27%)	74,291 (41%)	271,045 (10%)

울산시 전망배출량 및 배출허용총량 (단위 : 톤)

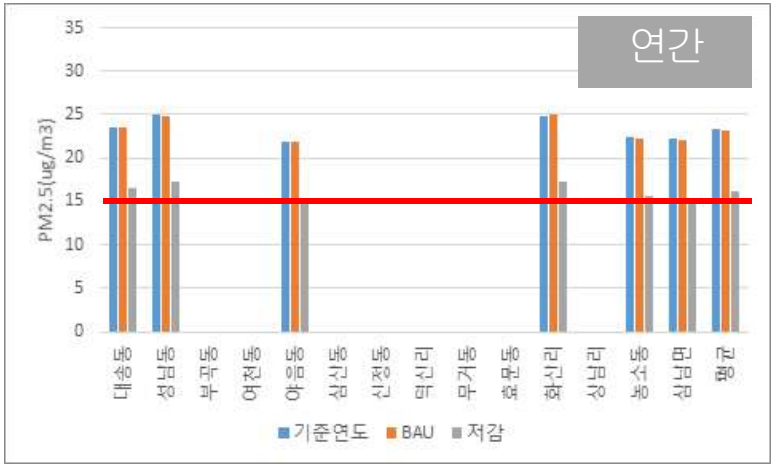
오염물질	2016 (기준)	2024 (BAU)	2024 (목표배출량)
CO	31,658	32,221	30,910
NOx	51,223	51,107	42,673
SOx	49,214	54,346	29,976
PM_{10}	4,739	4,791	4,143
$PM_{2.5}$	2,502	2,605	2,130
VOCs	96,801	110,424	98,224
NH_3	15,134	17,248	11,012

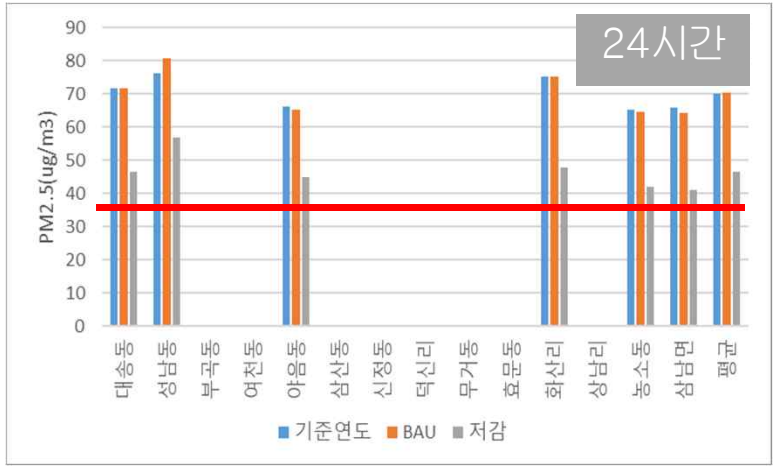


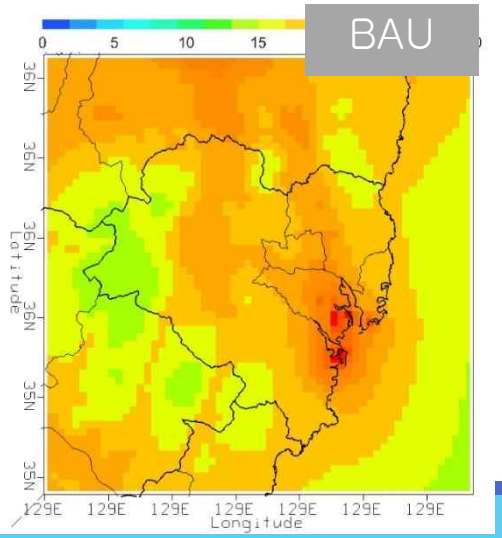
대기질 모델링 연구 사례 – 7

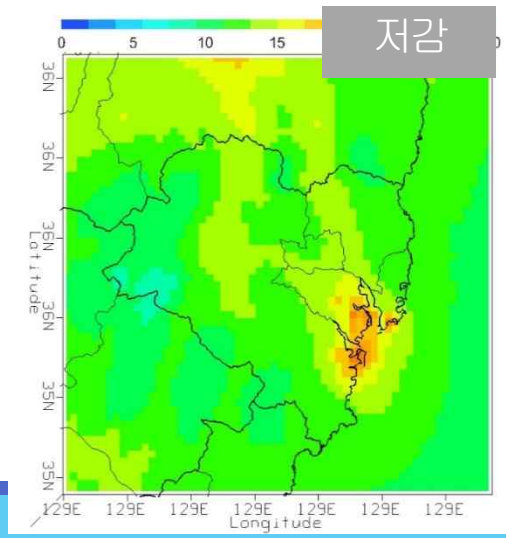
시행계획 농도 저감효과

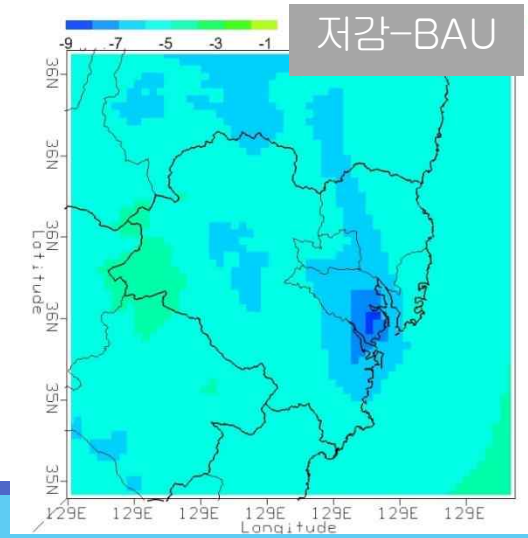
$PM_{2.5}$







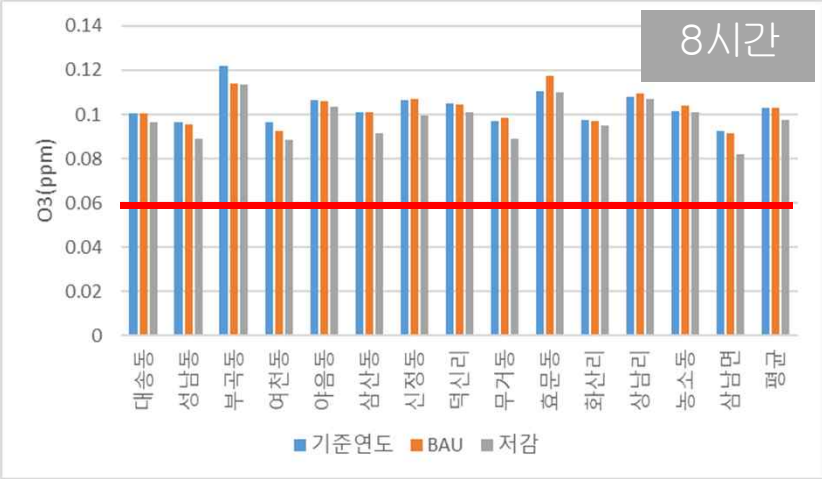


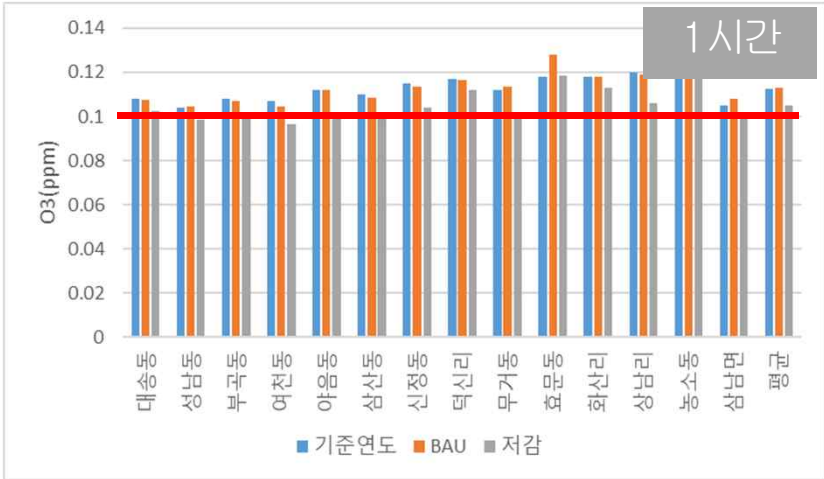


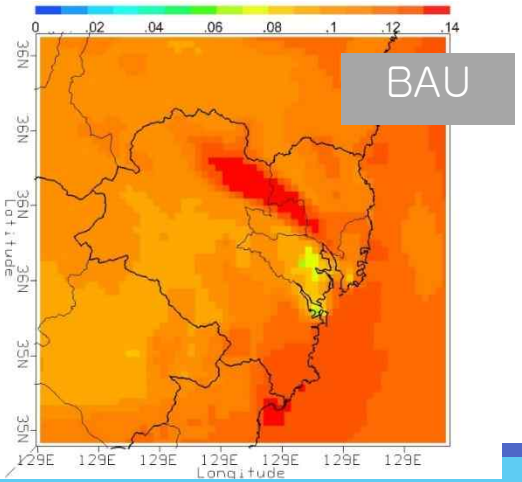
대기질 모델링 연구 사례 – 7

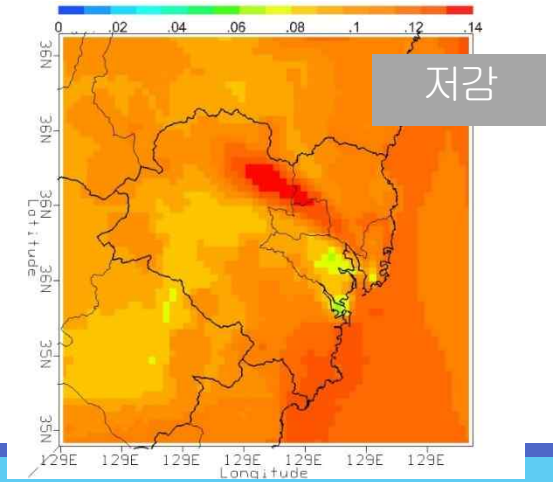
시행계획 농도 저감효과

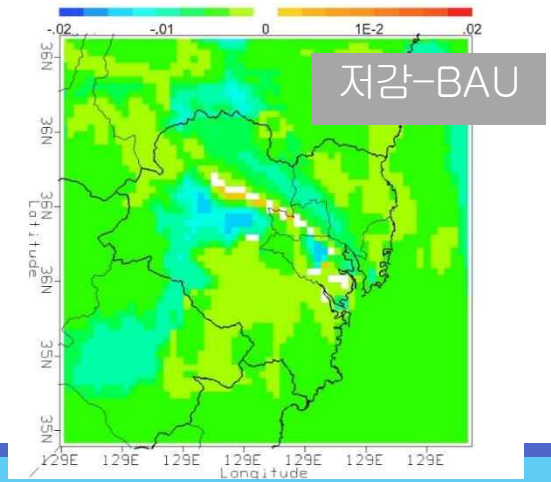
O_3





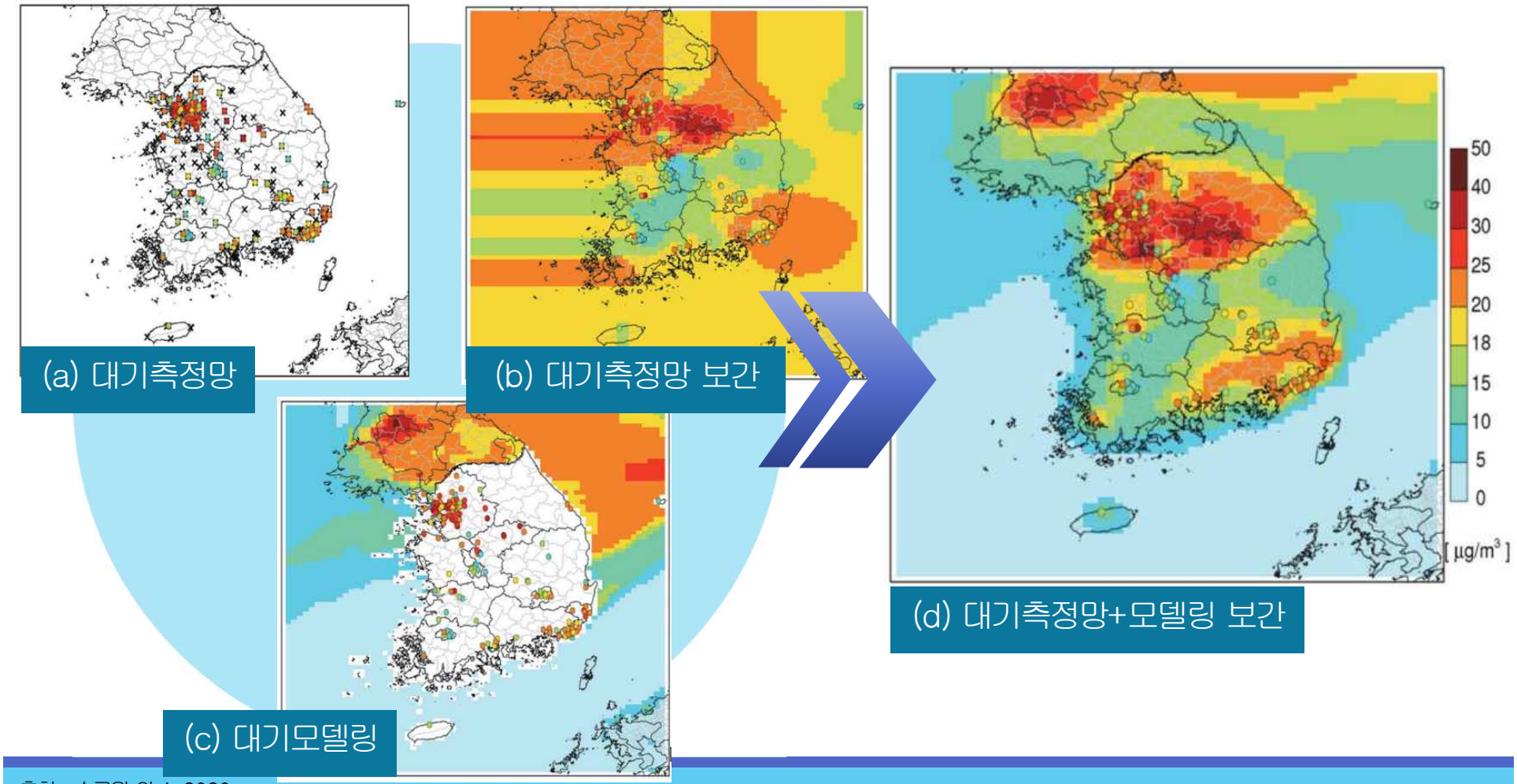






대기질 모델링 연구 사례 – 8

대기측정망과 모델링 결과 보간법



출처 : 손규원 외 4, 2020

PMF(positive matrix factorization) 모델

❖ 수용모델의 방법으로서, 오염원 분류표(**source profile**)가 필요하지 않는 응용통계학 기반의 모델(**Paatero and Tapper, 1994**)

❖ 인자분석과 **PMF** 모델의 주된 차이점

- 인자부하량이 항상 양의 값으로 계산
- 상관행렬의 정보에 의존하는 것이 아니라 개개 자료의 최소 자승값이 최소가 되게 하는(**least- squares minimization**) 알고리즘
- 검출한계 이하의 자료와 결측치(**missing data**)를 분석할 때 오차 추정에 입각하여 그에 상응하는 값으로 추정

▶ 인자분석보다 더 효과적인 정보를 제공하여 진보된 오염원의 정성적 분류가 가능하며, 정량적 기여도를 산출할 수 있음

측정 항목

- 최소 **100**개 이상 자료 필요 **(EPA, 2014)**
- 측정항목 예시

$PM_{2.5}$/ PM_{10} 질량성분 **:** 질량농도

$PM_{2.5}$/ PM_{10} 이온성분

- **SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, Na^+, NH_4^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}**

금속 및 황

- **Al, Fe, Mg, Mn, Ca, K, Cu, Zn, Pb, Ni, Cd, Cr, Ba, V, Ti, Na, S**

탄소성분

- **EC, OC**

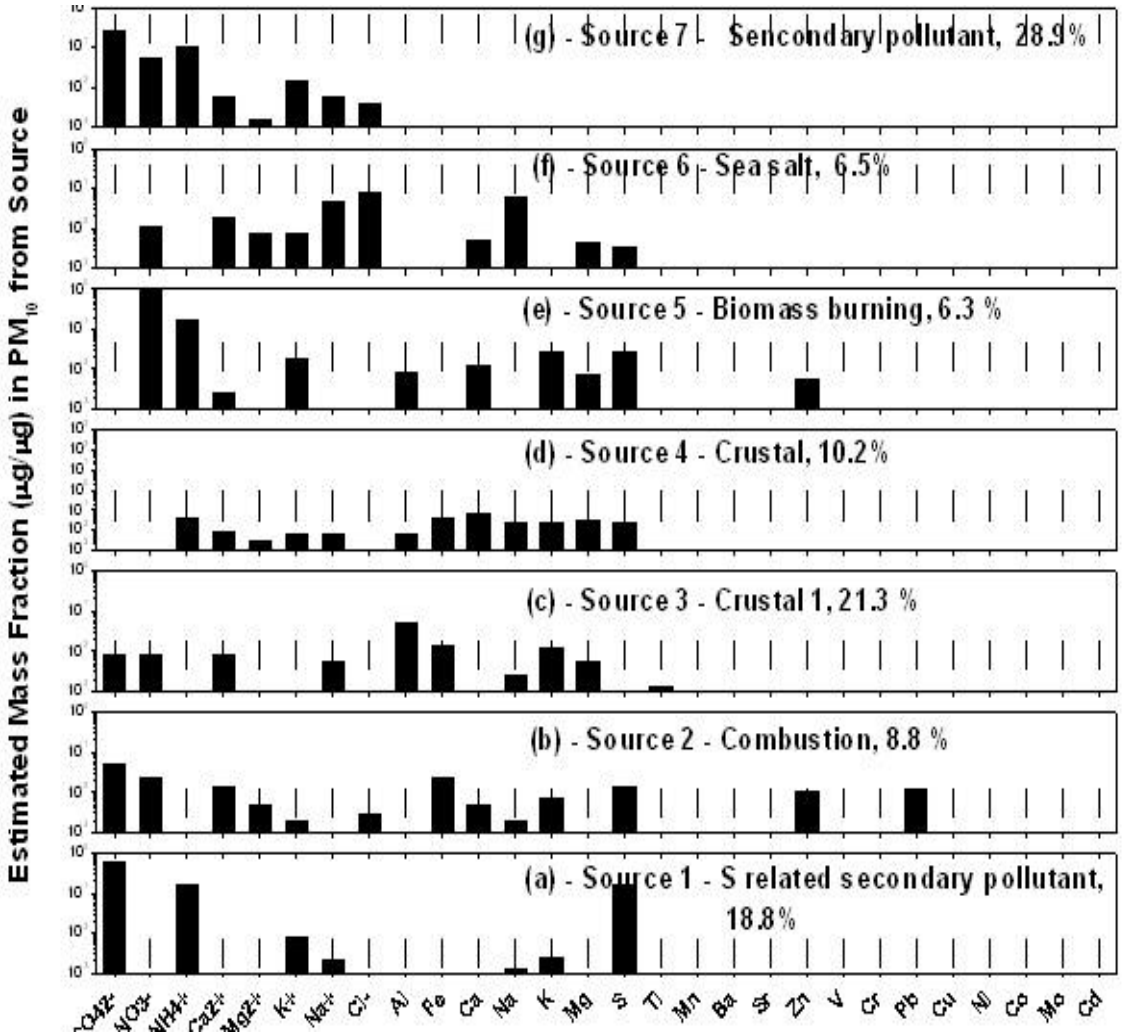
기체상 물질

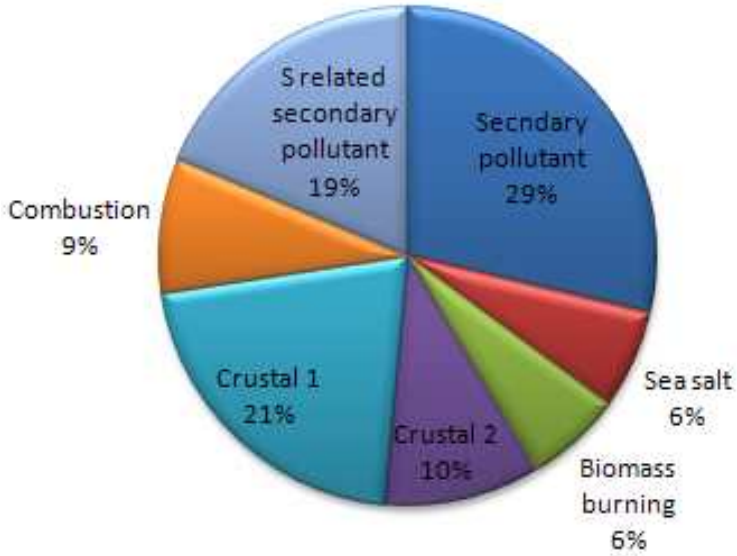
- **HNO_3, NH_3, DMS, CO**

배출원 특성 물질

Source Type	Marker Species	Reference
Soil	– Cr, Mn, Sr, Zn, Ba, Cl, Na^+, S, Cl, Ti, Al, Mg, K, Ca, Fe – Al, Ca, Mn – Al, Ca, Fe, K, Si, Ti	(Chow, 1995) (Qin *et al*., 2002; Song et al., 2001; Polissar et al., 2001)) (Ramadan et al., 2000)
Motor Vehicle	– Cr, Ni, NH_4^+, Si, Cl, Al, Ca, Mn, Fe, Zn, Br, Pb, Cl^-, NO_3^-, NH_4^+, SO_4^{2-}, S, OC, EC – OC, EC, Fe, Ca, Si – OC, EC, NO_3^-, NH_4^+, SO_4^{2-}, Al, Si, S, Ca, Fe, Ba, Pb	(Chow, 1995) (Song *et al*., 2001) (US EPA, 1999)
Field Burning	– Al, Si, Ca, K, Fe, Cl(Wood Burning) – TC, Si, K^+, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, Al – OC, EC, NO_3^-, Al, Si, Na, Cl, Ca, K, Ti	(US EPA, 1999) (Ames *et al*., 2000) (Hopke, 1985)
Oil Combustion	– K^+, OC, Cl, Ti, Se, NH_4^+, Na^+, Zn, Fe, Si, V, Ni, OC, EC, S, SO_4^{2-} – Ni, V, S, SO_4^{2-} – Ni, V	(Chow, 1995) (Polissar *et al*., 2001; US EPA, 1999) (Qin et al., 2002)
Coal Combustion	– Cl, Cr, Mn, As, Se, Br, NH_4^+, K, Ti, V, Ni, Zn, Ba, Pb, SO_4^{2-}, OC, EC, Al, S, Ca, Fe, Si – S, OC, secondary SO_4^{2-} – Se, Fe, As, Sb(aged coal related source)	(Chow, 1995) (Ramadan *et al*., 2000) (Ames et al., 2000)
Industrial	– Ca, Fe, Mg, Na, S, V, Cl – V, Na, Cd, Br – High Na^+, Cl^- – Cl, K, Pb, Zn – Cu, S, Zn	(Polissar *et al*., 2001) (Ames *et al*., 2000) (Qin *et al*., 2002) (Lee et al., 2002) (Polissar *et al*., 2001)
Marine Aerosol	– S, Na, Mg, SO_4^{2-} – Cl^-, Na^+, SO_4^{2-}, Ca, K^+ – Na, Mg, Cl	(Qin *et al*., 2002) (Song *et al*., 2001) (Huang *et al*., 1999)

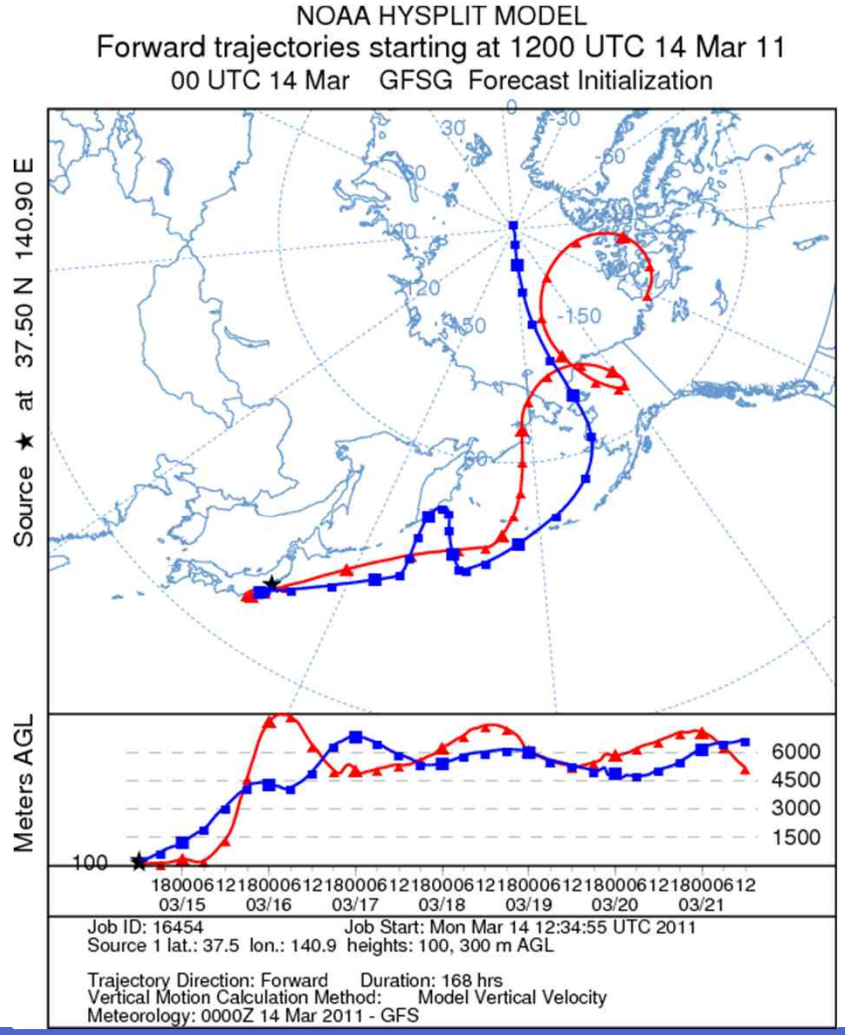
PMF를 이용한 PM_{10}의 오염원 추정



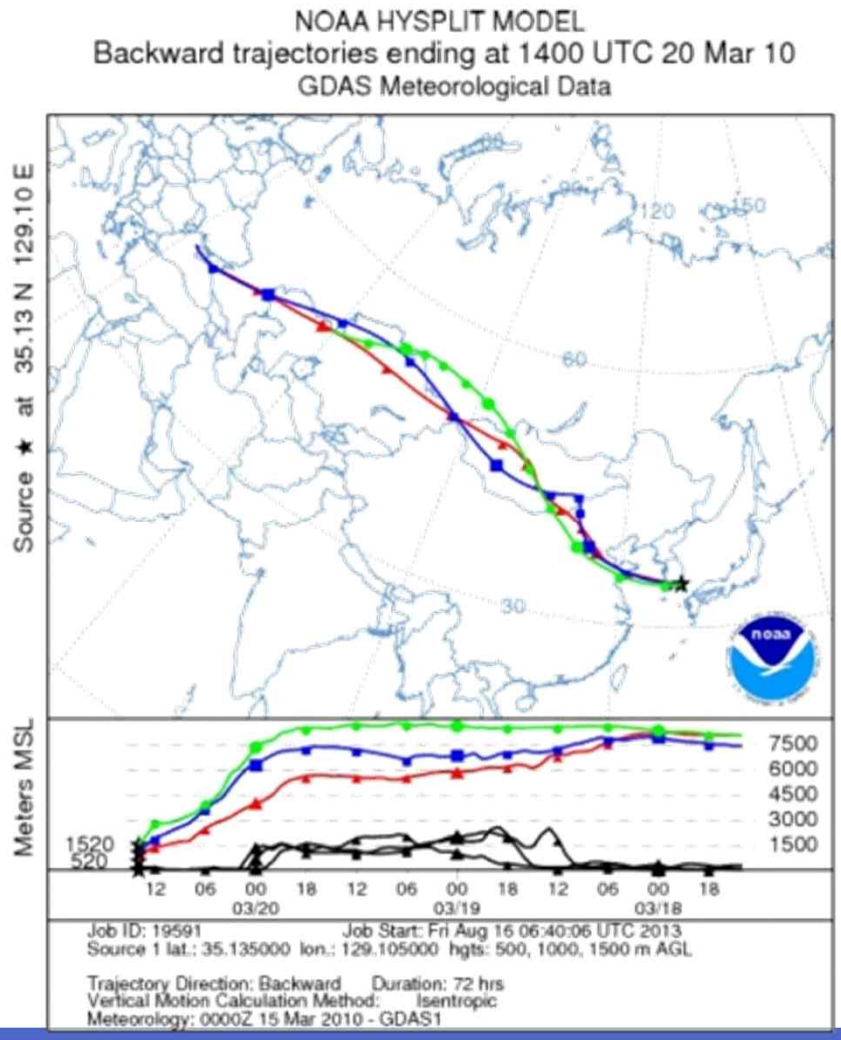


HYSPLIT – 공기궤적 추적모델

Forward trajectory

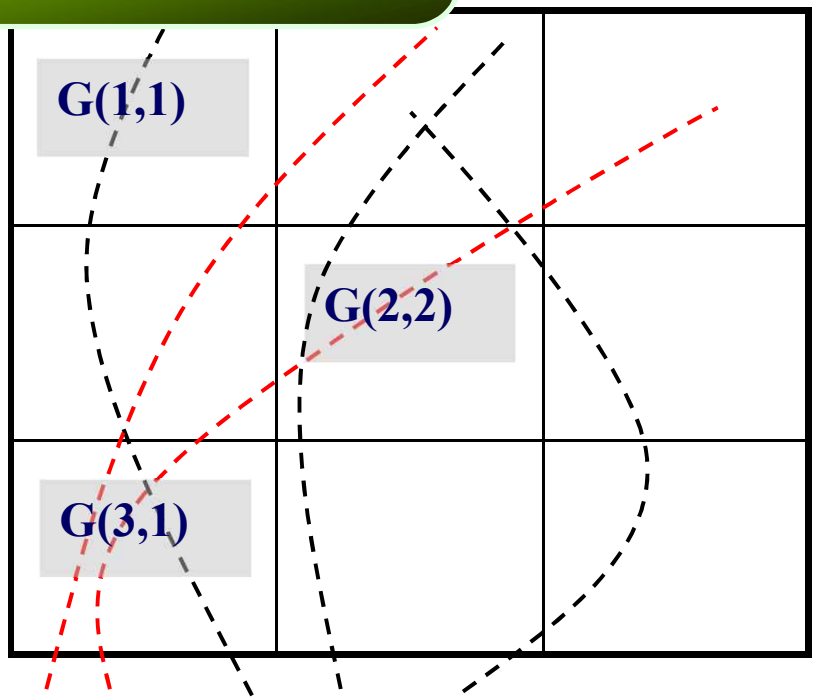


Backward trajectory



PSCF Model

오염원 위치 추정



PSCF value

G(2,2) = High/Total = 1/3

G(3,1) = High/Total = 2/3

$$PSCF_{ij} = \frac{m_{ij}}{n_{ij}}$$

n_{ij} : total number of end points that fall in the ijth cell

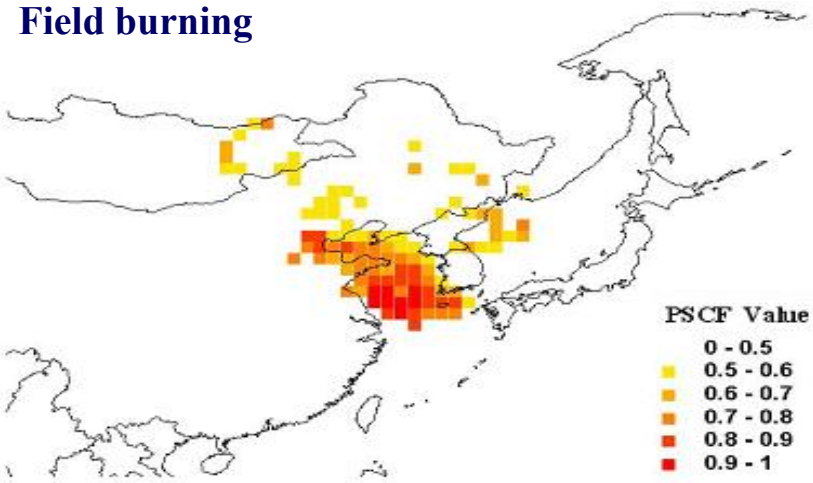
m_{ij} : number of end points that exceeded the threshold criterion

- PSCF

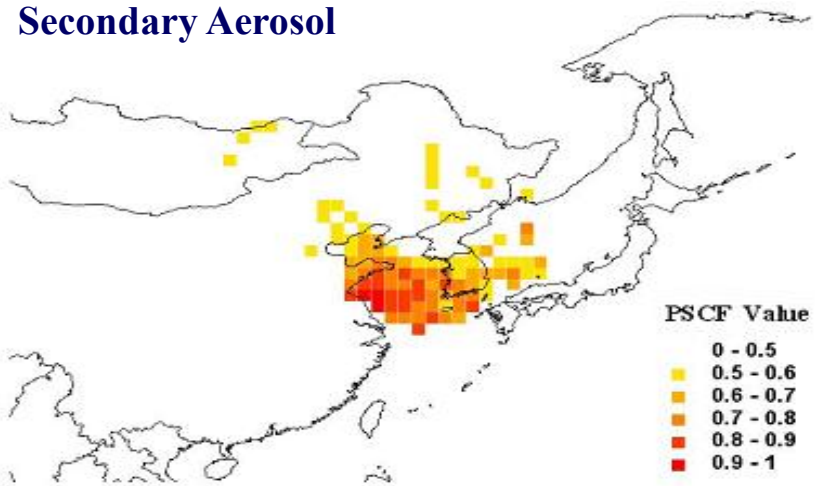
: Potential Source Contribution Function

PSCF Model

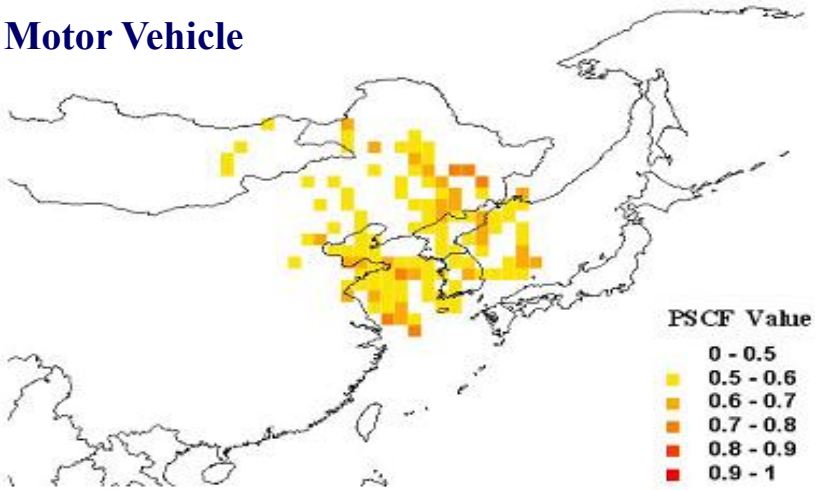
Field burning



Secondary Aerosol

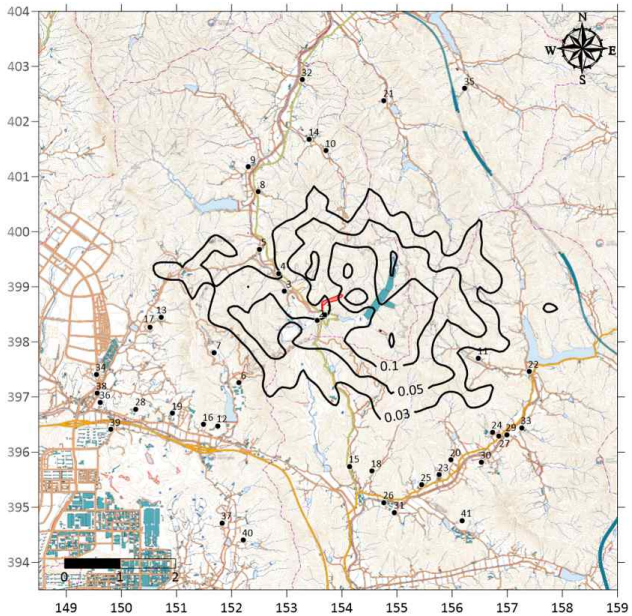


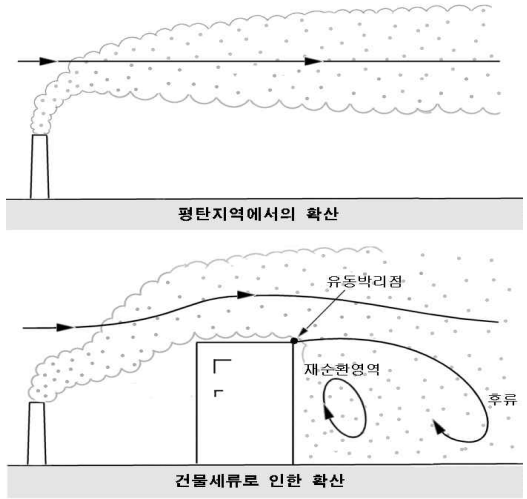
Motor Vehicle



대기질 모델링 활용 사례

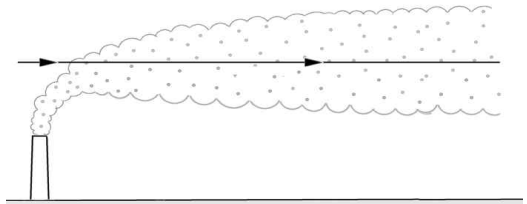
Local Scale



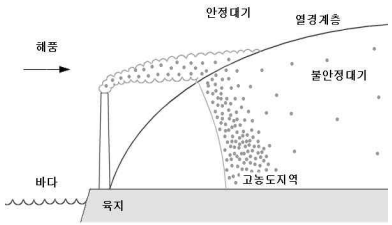


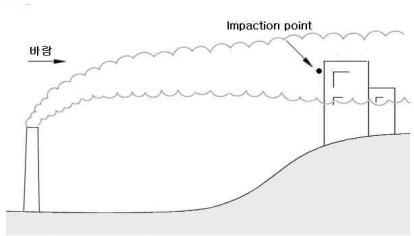
연기 유동현상

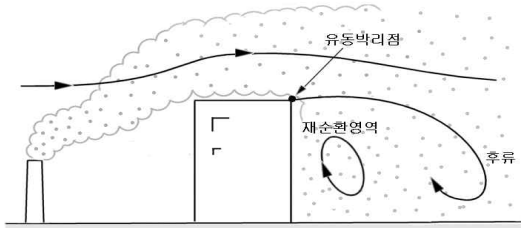
- 지형적 특성으로 인하여 대기오염물질이 확산되지 않고 어느 한 곳에서 고농도로 축적
  - ✓ 연기침강 **(fumigation)**
  - ✓ 연기충돌 **(plume impaction)**
  - ✓ 연기갇힘 **(vallry trapping)**
  - ✓ 빌딩세류 **(building down draught)**
  - ✓ 연돌세류 **(stack- tip down wash)**



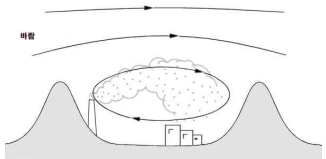
평탄지역에서의 확산





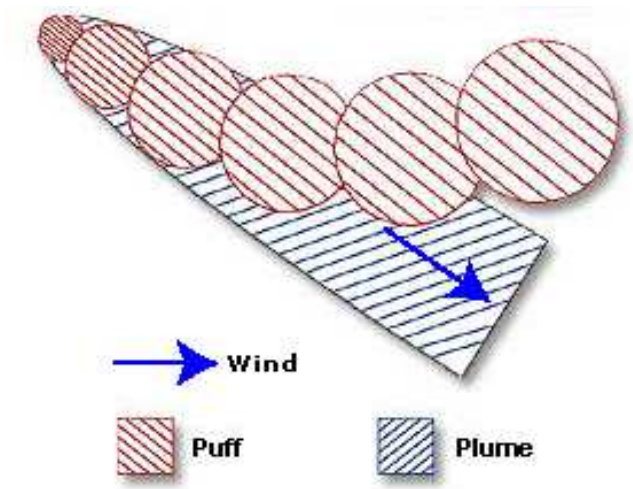


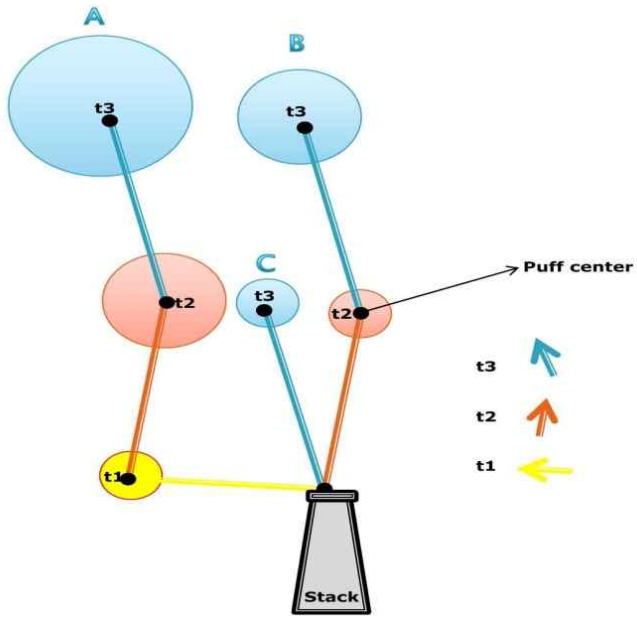
건물세류로 인한 확산



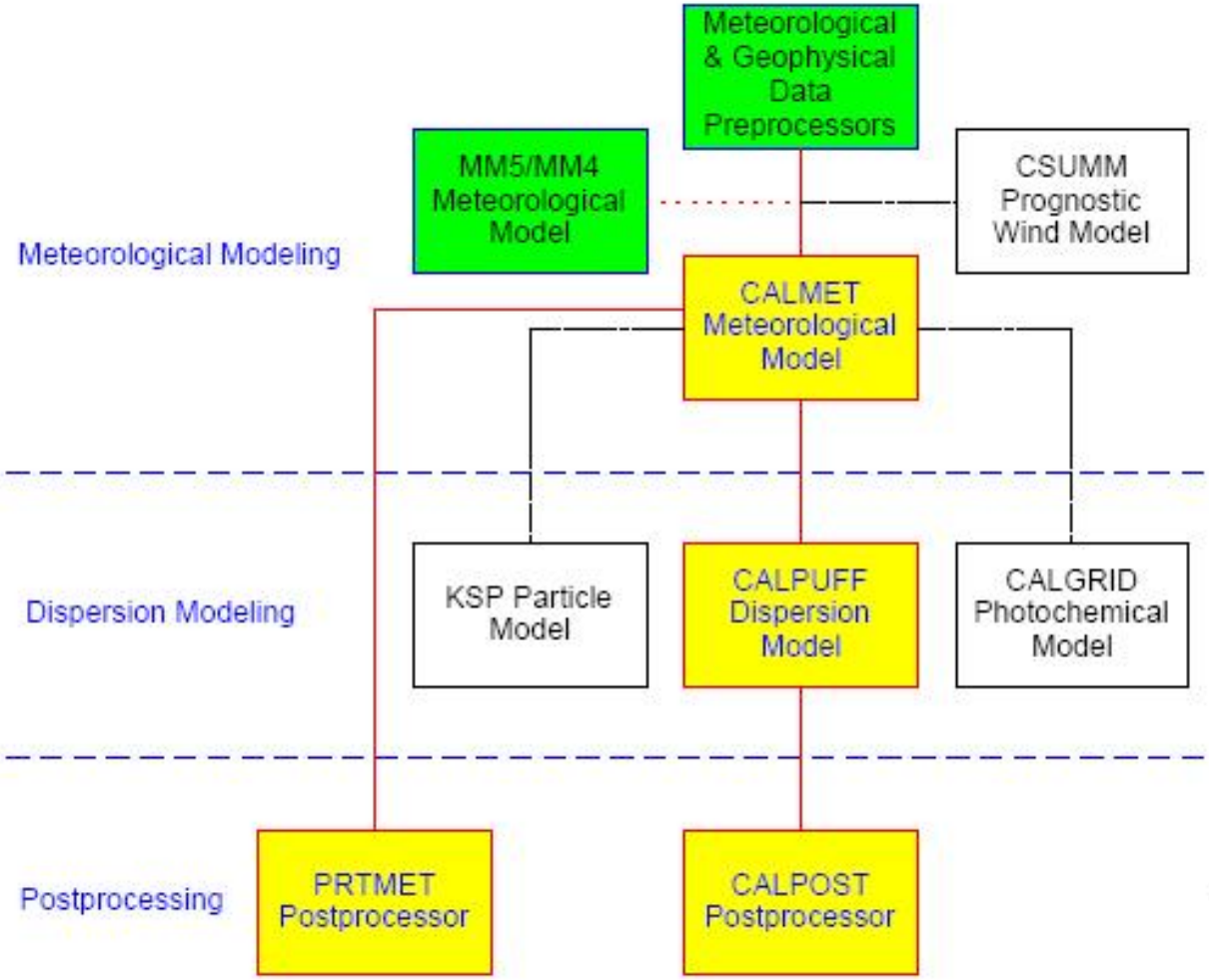
CALPUFF

- 오염원에서 배출된 오염물질은 puff의 형태로 확산
- Lagrangian puff dispersion model
- 각 puff는 Gaussian distribution를 따르고 이류, 확산, 중력의 영향을 받음
- 시간 및 공간에 따른 바람장의 변화를 퍼프의 이동에 고려할 수 있기 때문에 비정상상태(Unsteady state) 모델



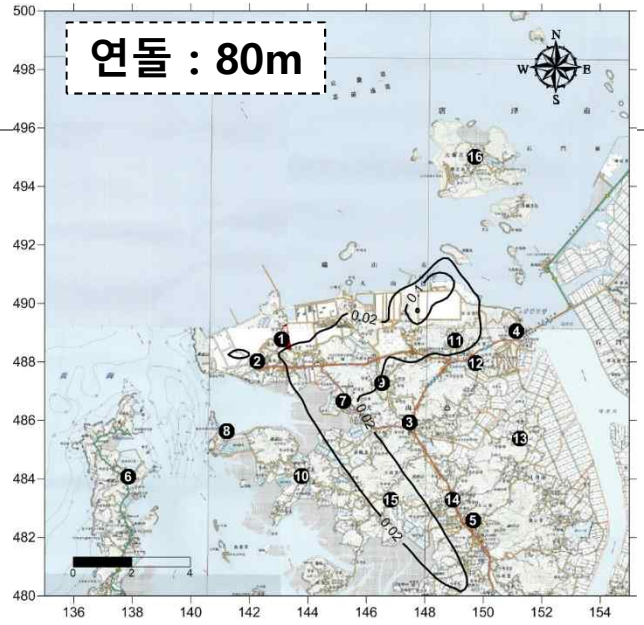


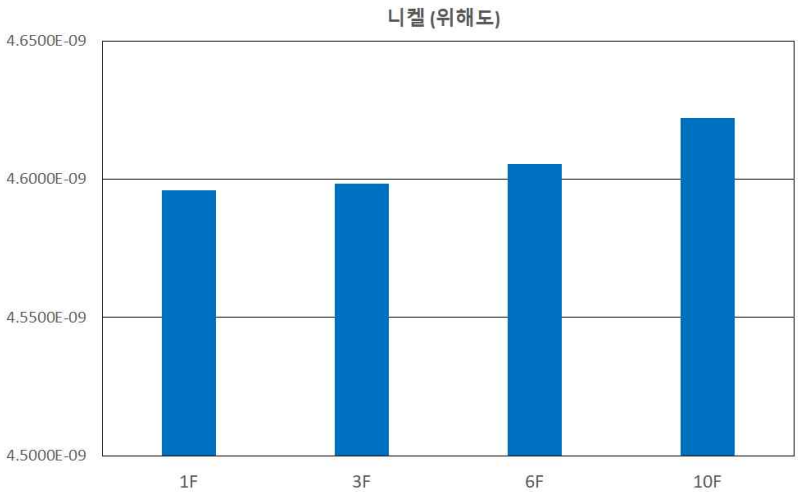
CALPUFF


Meteorological & Geophysical Data Preprocessors
MM5/MM4 Meteorological Model
CSUMM Prognostic Wind Model
Meteorological Modeling
CALMET Meteorological Model
Dispersion Modeling
KSP Particle Model
CALPUFF Dispersion Model
CALGRID Photochemical Model
Postprocessing
PRTMET Postprocessor
CALPOST Postprocessor

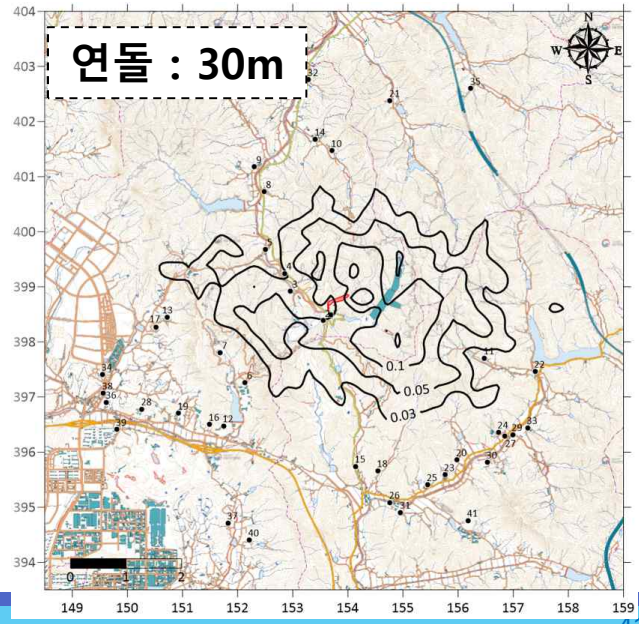
CALPUFF

- 환경영향평가 적용
- 격자크기 : 100~500m
- 영향예측 범위 : 5~30km
- 지형고도, 토지피복 고려
- 빌딩세류, 연기침강, 연기충돌 등 반영 가능



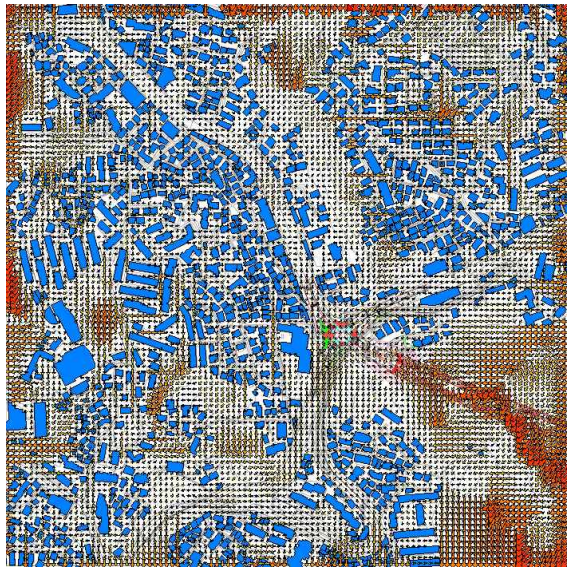


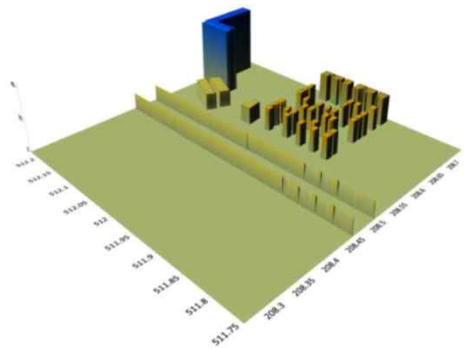
예측지점 높이별 농도 영향

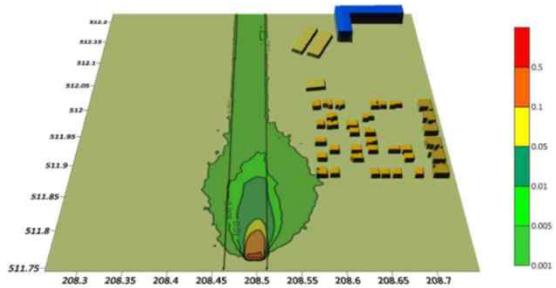


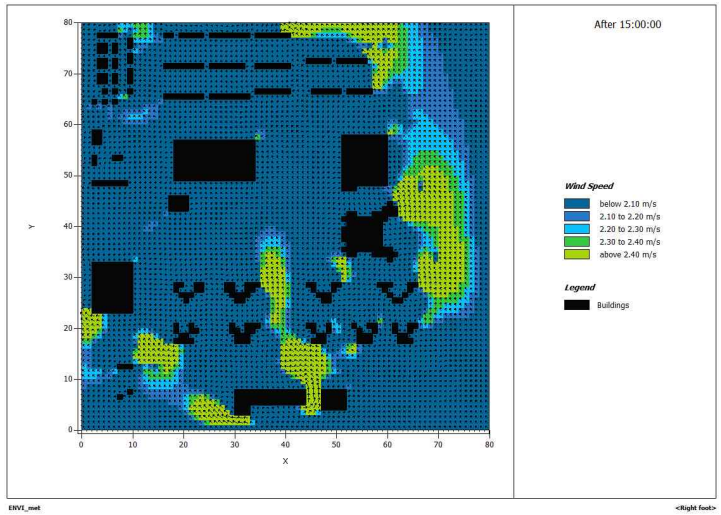
대기질 모델링 활용 사례

Micro Scale





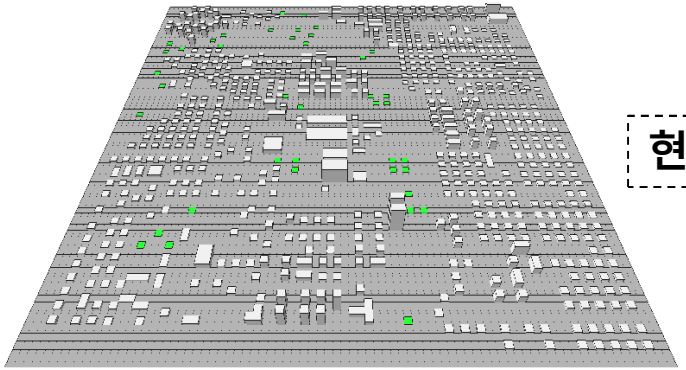




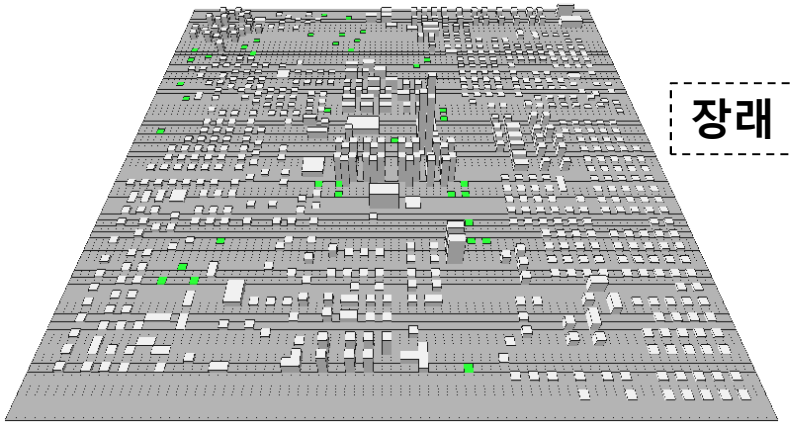
ENVI_MET (미기상변화)

❖ **ENVI_MET** 는 도심 미기상 변화에 적용 **(바람길 분석)**

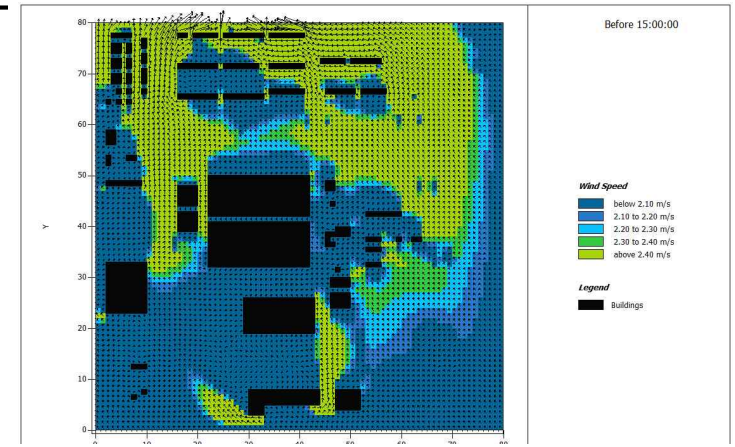
➢ 독일 보쿰대학에서 개발된 모델 **(http://www.envi- met.info)**

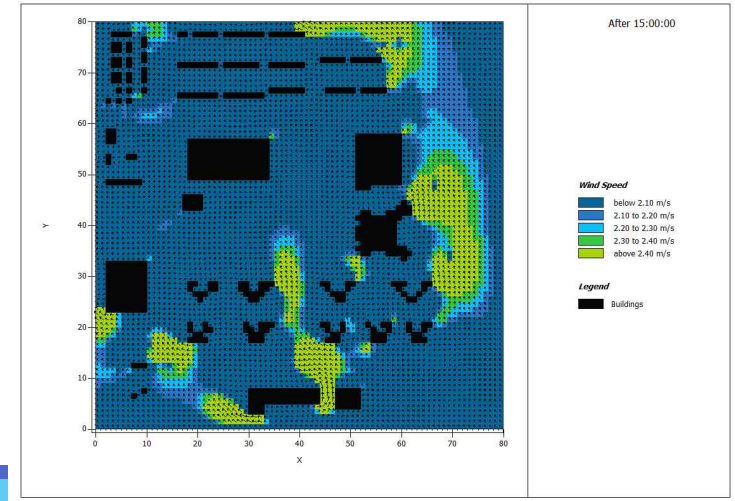


현재



장래

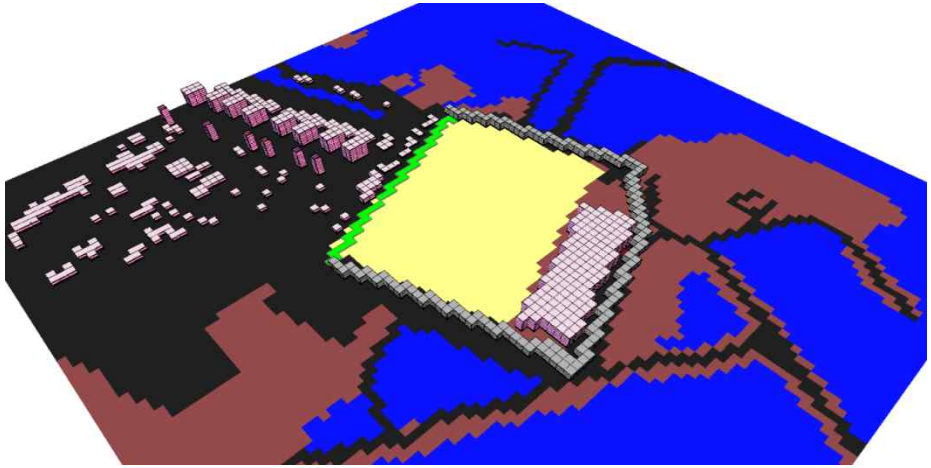


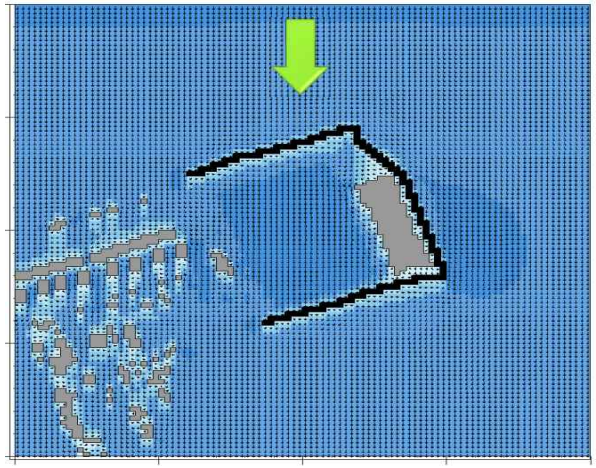


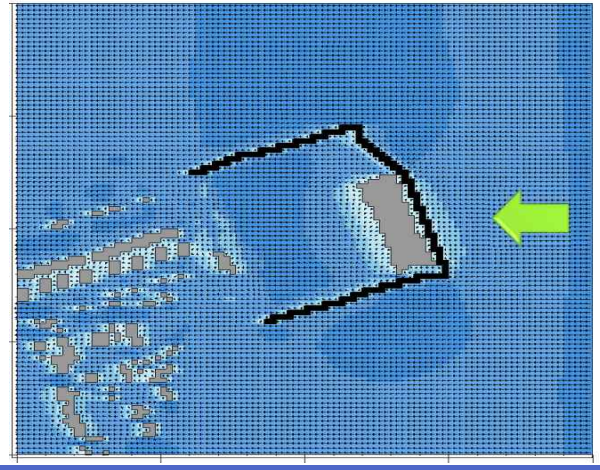
ENVI_MET (미기상변화)

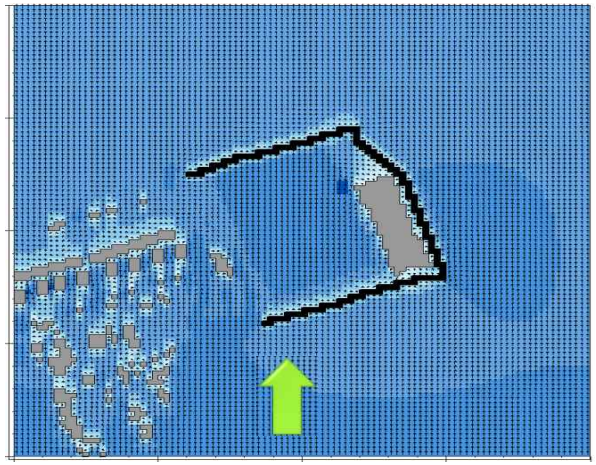
❖ 태안화력 외부 저탄장 방풍벽 바람저감 효과 분석

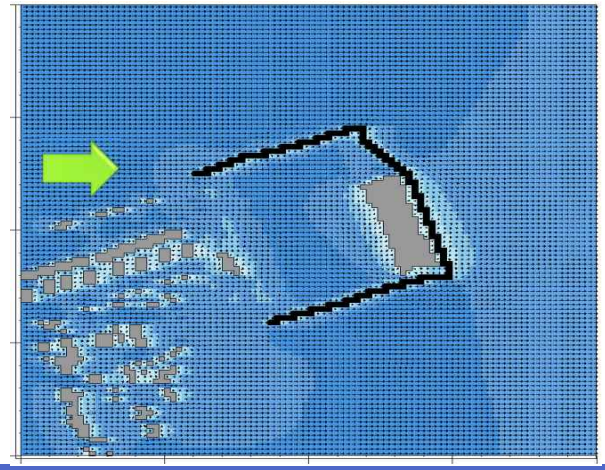
풍속 : 4m/s





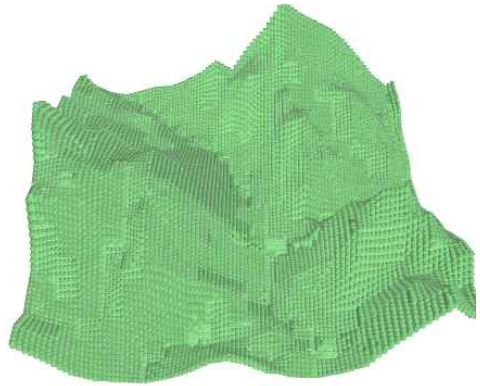


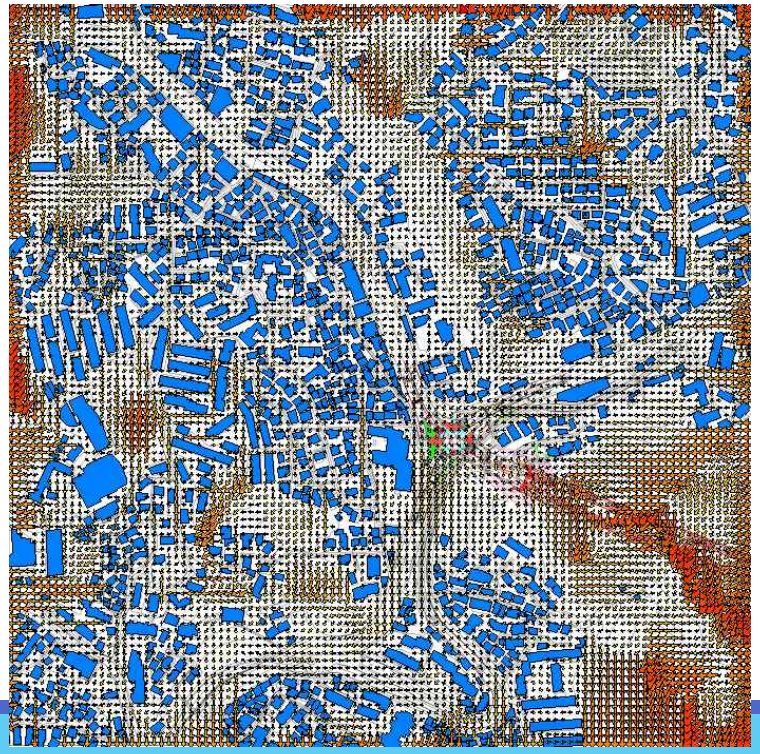


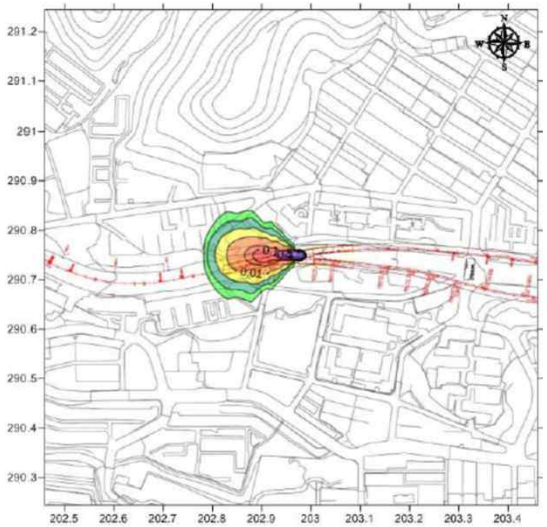


GRAL (Graz Lagrangian Model)

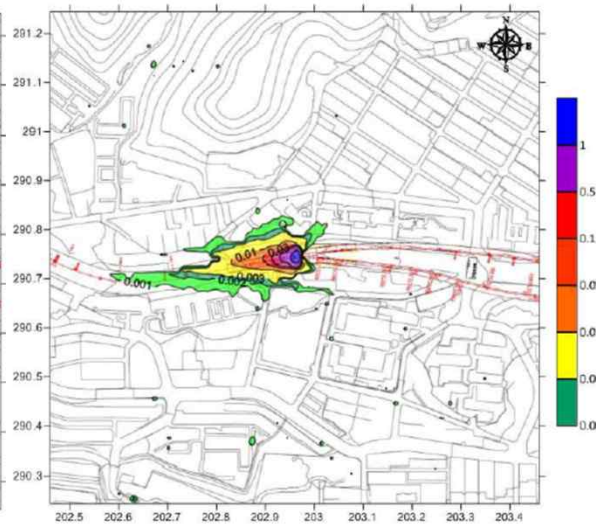
- 라그랑지안 입자모델
- 오스트리아 그라츠대학 개발
- 주로 교통 배출 및 도시 공기 오염의 영향에 초점
- 난류 모사 가능하여 도시의 도로 및 도시협곡 권장







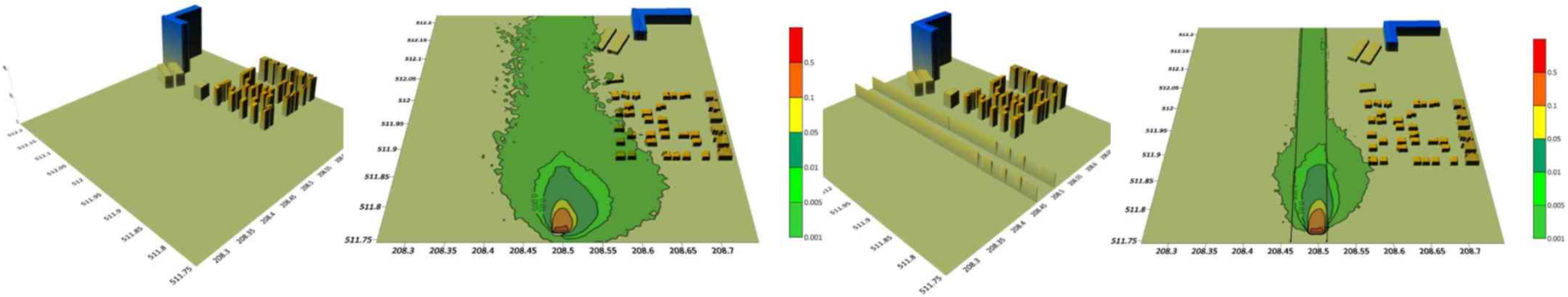
기존 터널 모델
(분류등가모델)

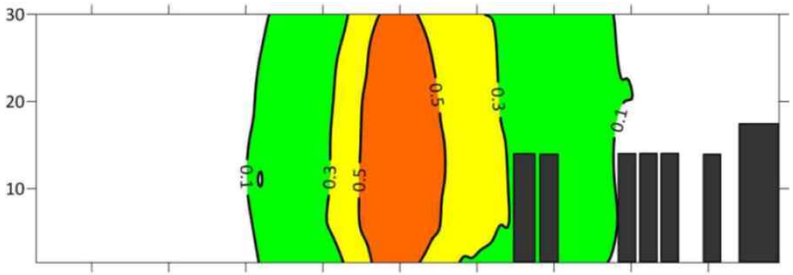


3차원 GRAL 모델

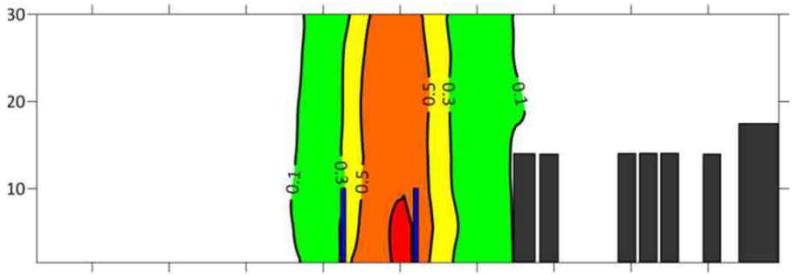
GRAL (Graz Lagrangian Model)

- **민원 검토 사례 (방음벽에 의한 대기영향)**



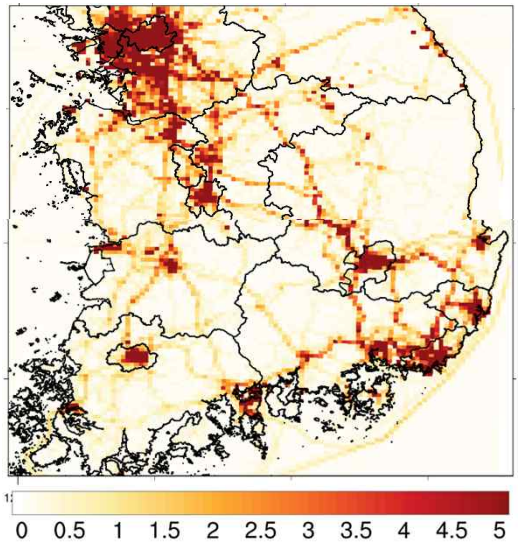


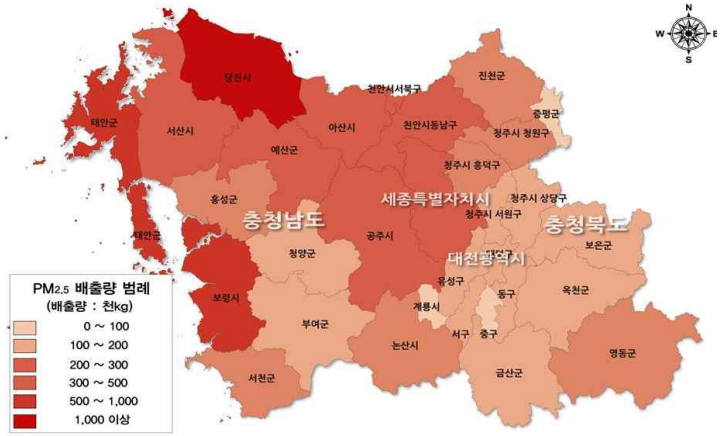
방음벽 설치전



방음벽 설치후

대기오염물질 배출량 정확도 향상





배출량 처리의 필요성

- 배출량 인벤토리
  - 연 단위 자료 (i.e. tons/yr)
  - 시군구 단위의 배출량
  - 기준성 대기오염물질 배출량 (CO, NOx, VOCs, …)

배출량 처리시스템

오염물질별,
배출원별 특성 반영

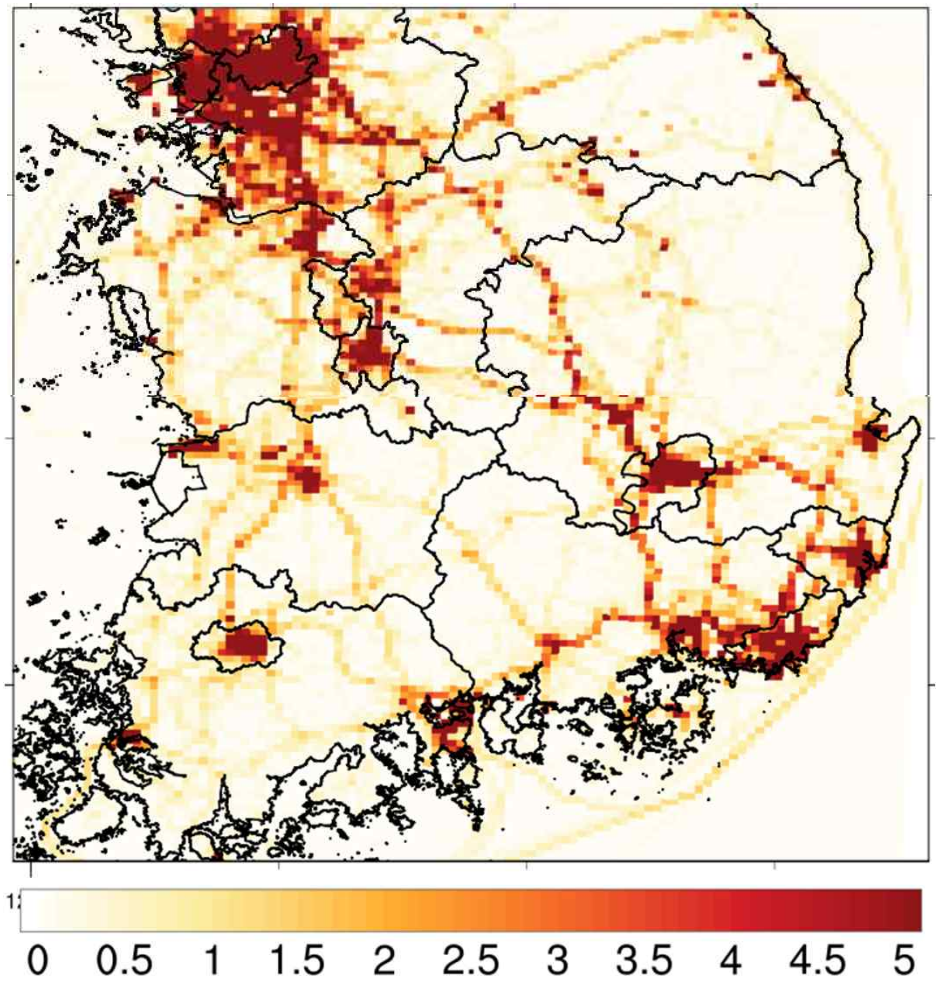
대기질 모델 입력 자료

- 시간별 배출량 (시간할당)
- 자연 배출량
- 격자별 배출량 (공간할당)
- 모델 화학종 VOCs ->SAPRC, CB

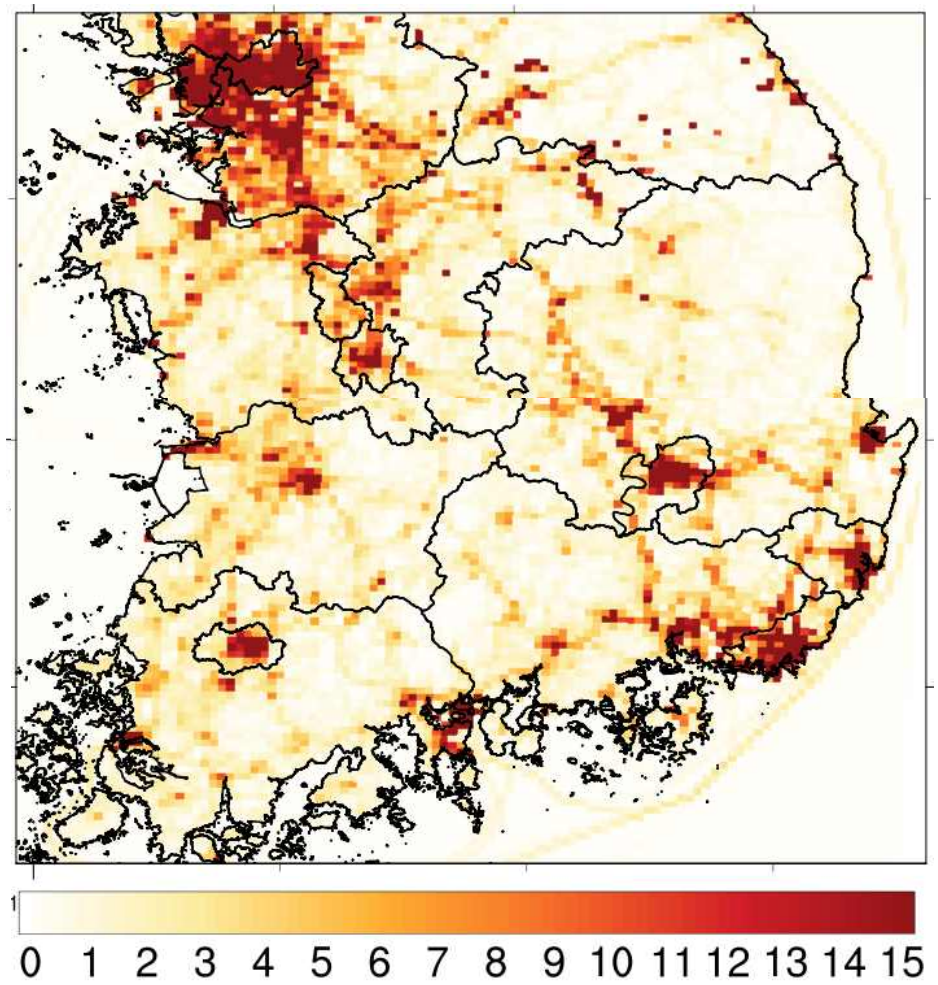
대기질 모델링

대기오염물질 배출량 처리결과

NO_2 도로 특성



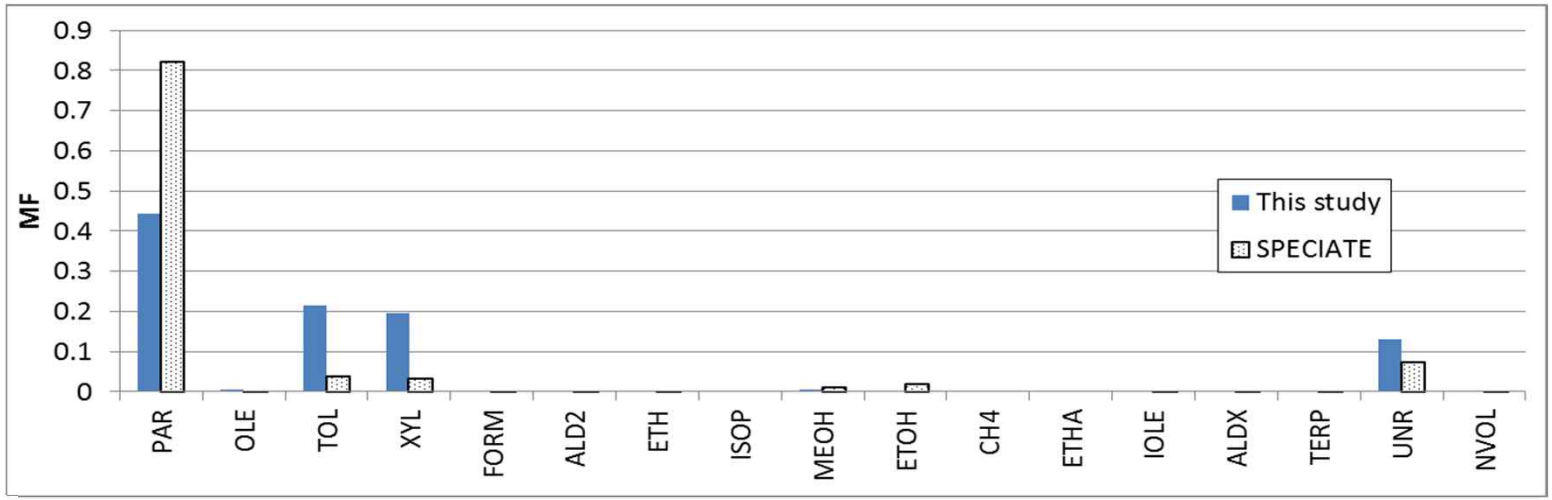
$PM_{2.5}$ 제조업 특성 (2020년 1월 1일 기준)



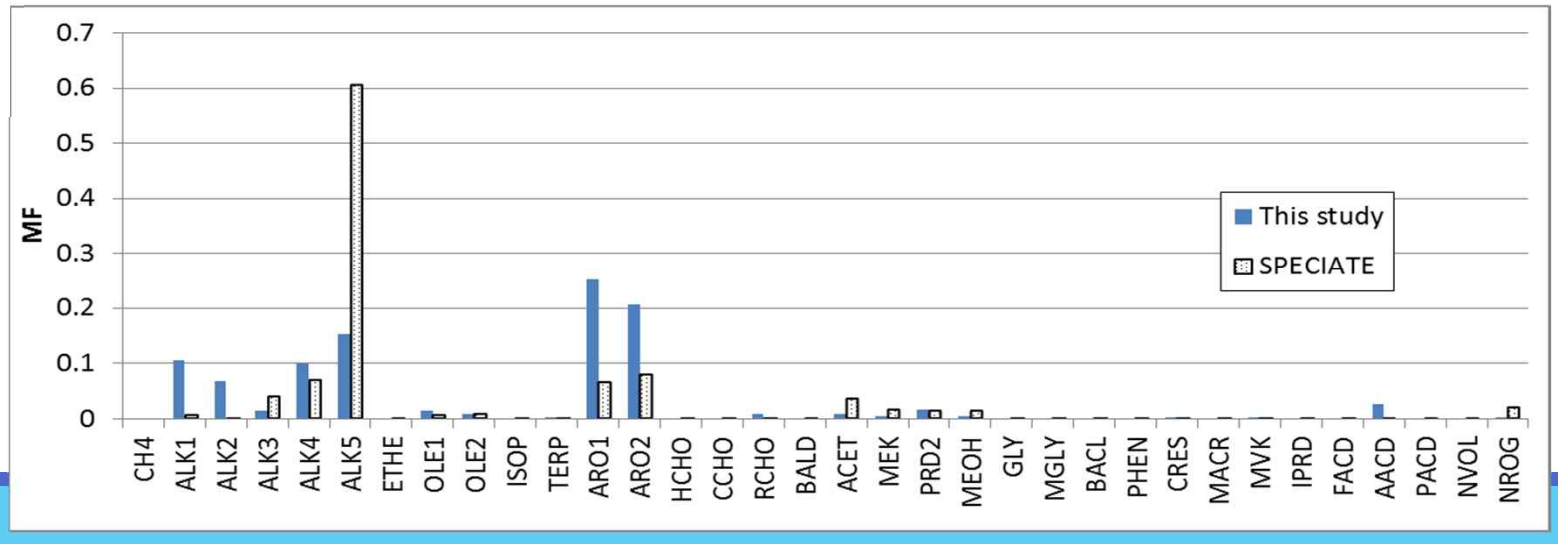
VOCs Speciate 비교

- 본 연구 vs. EPA (건축용 도료)

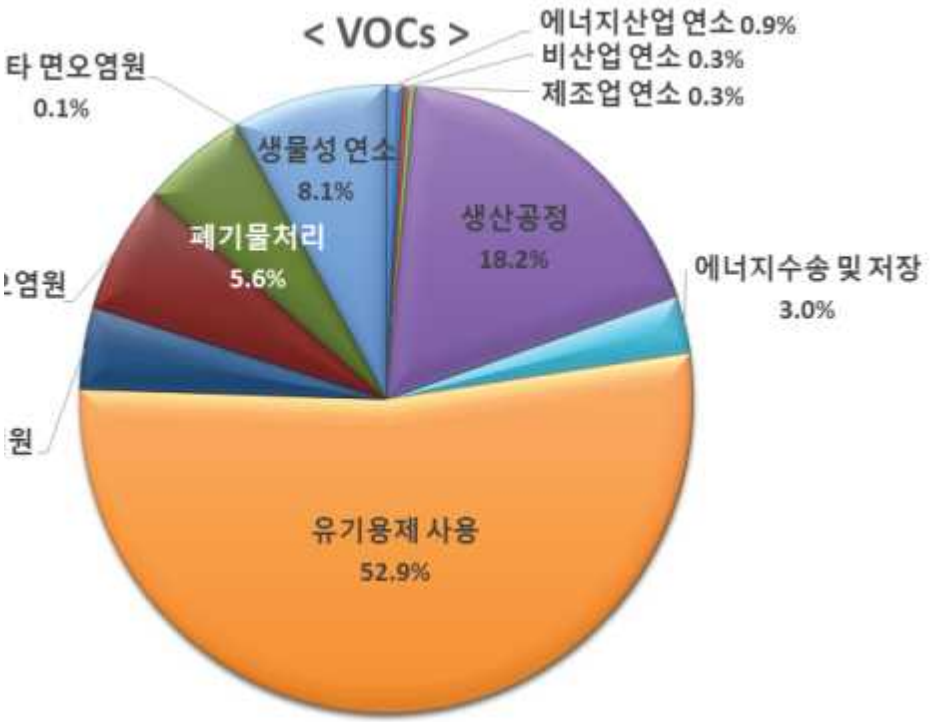
CB05

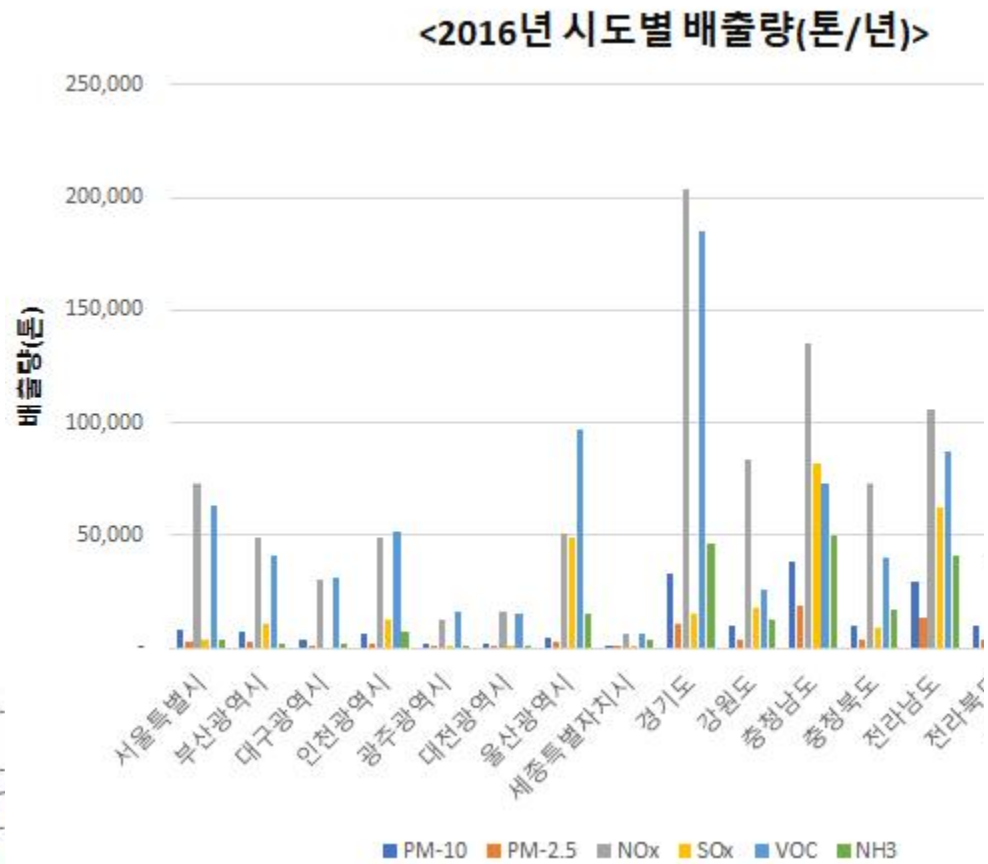


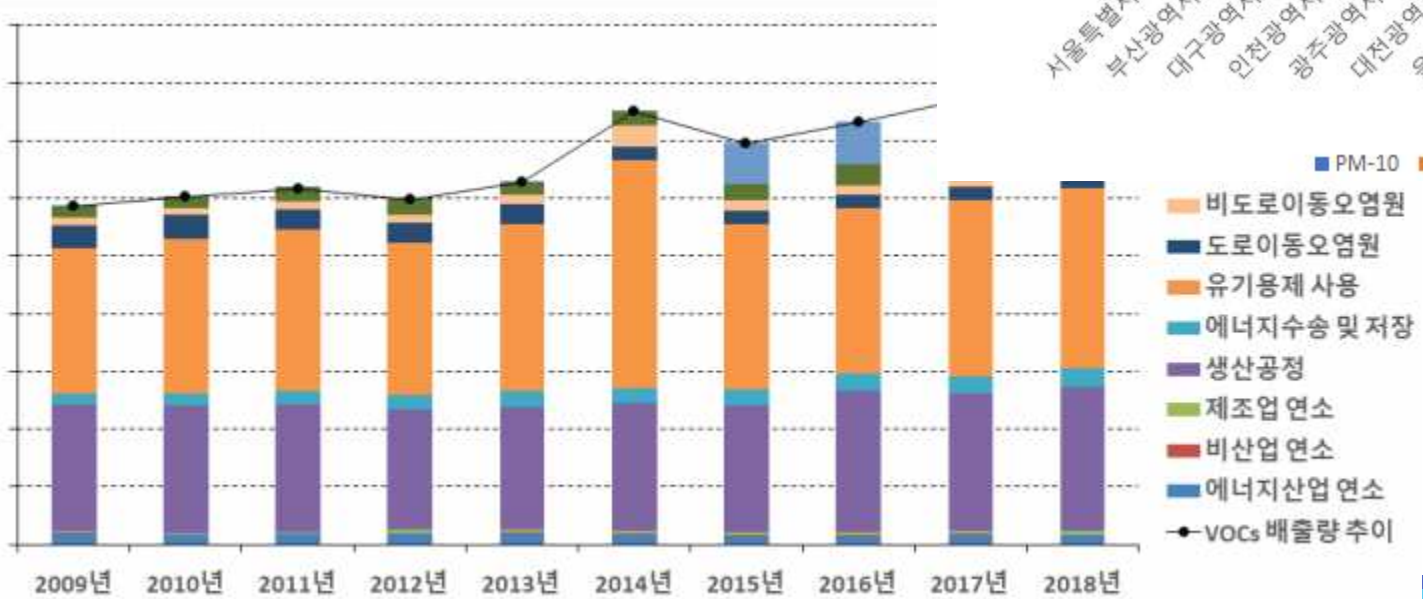
SAPRC99



감사합니다


< VOCs >
에너지산업 연소 0.9%
비산업 연소 0.3%
제조업 연소 0.3%
타 면오염원
0.1%
생물성 연소
8.1%
생산공정
18.2%
폐기물처리
5.6%
에너지수송 및 저장
3.0%
유기용제 사용
52.9%


<2016년 시도별 배출량(톤/년)>
250,000
200,000
150,000
100,000
50,000
배출량(톤)
서울특별시
부산광역시
대구광역시
인천광역시
광주광역시
대전광역시
울산광역시
세종특별자치시
경기도
강원도
충청남도
충청북도
전라남도
PM-10
PM-2.5
NOx
SOx
VOC
NH3


2009년
2010년
2011년
2012년
2013년
2014년
2015년
2016년
2017년
2018년
비도로이동오염원
도로이동오염원
유기용제 사용
에너지수송 및 저장
생산공정
제조업 연소
비산업 연소
에너지산업 연소
VOCs 배출량 추이

대기오염 오염원

- 인위적 오염원
  - 인간의 활동에 오염물질이 배출되는 모든 시설 및 행위
  - 고정 오염원 : 오염원이 특정 지역에 고정되어 있는 형태
    - 점 오염원

      : 공장, 발전 시설 등과 같이 오염물질을 대규모로 배출하는 시설

      : 굴뚝을 통하여 배출되기 때문에 영향 범위가 넓음

대기오염 오염원

- 인위적 오염원
  - 면 오염원

    : 소규모 공장, 가정 등과 같은 오염원.

    : 하나의 배출량은 소량이나 밀집되면 문제발생

    : 오염원의 배출구가 낮아 대기확산이 잘 이루어지지 않아 지표면에 강한 영향을 미침

대기오염 오염원

- 이동 오염원

  : 오염원이 특정 지역에 고정되어 있지 않고 이동되는 형태를 가진 오염원, 자동차, 항공기, 선박 등이 있으며 선 오염원이라 고도 함

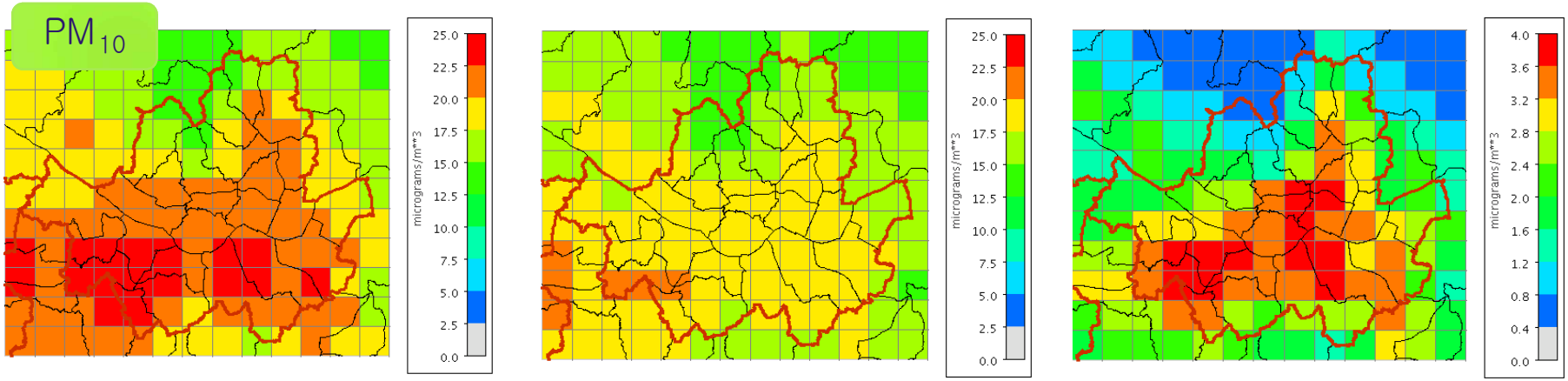
  : 배출구가 낮아 지표면에 강한 영향을 미침. 특히, 도로주변 대기오염문제를 야기함

대기오염모델링 연구사례 2 :
도로이동오염원 배출저감 대책에 따른 대기질 개선효과 분석

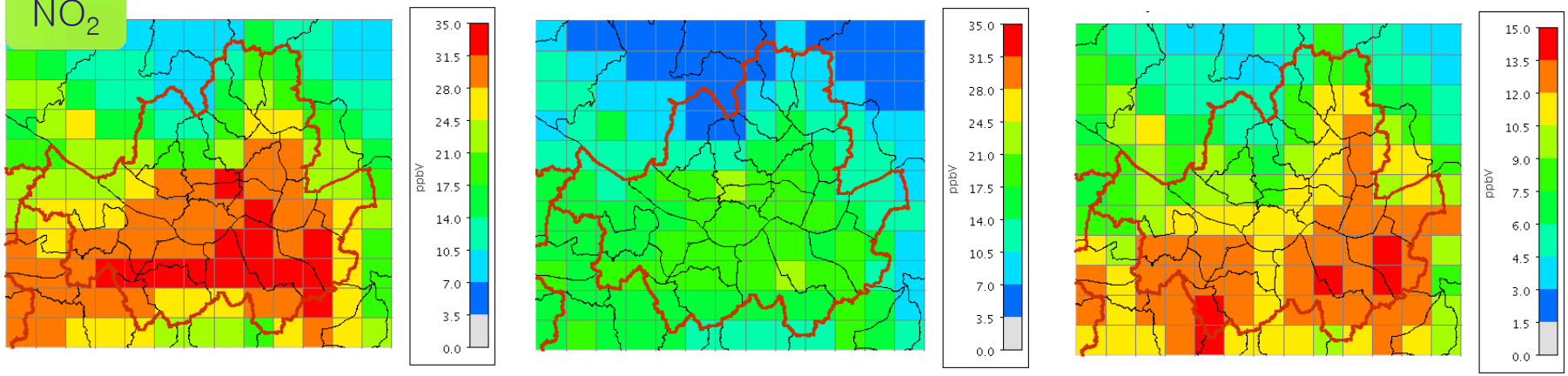
수정 기본계획 저감대책 적용 여부에 따른 PM_{10}, NO_2 12월 월평균 농도

저감대책 미적용 | 저감대책 적용 | 대기질 개선효과

PM_{10}



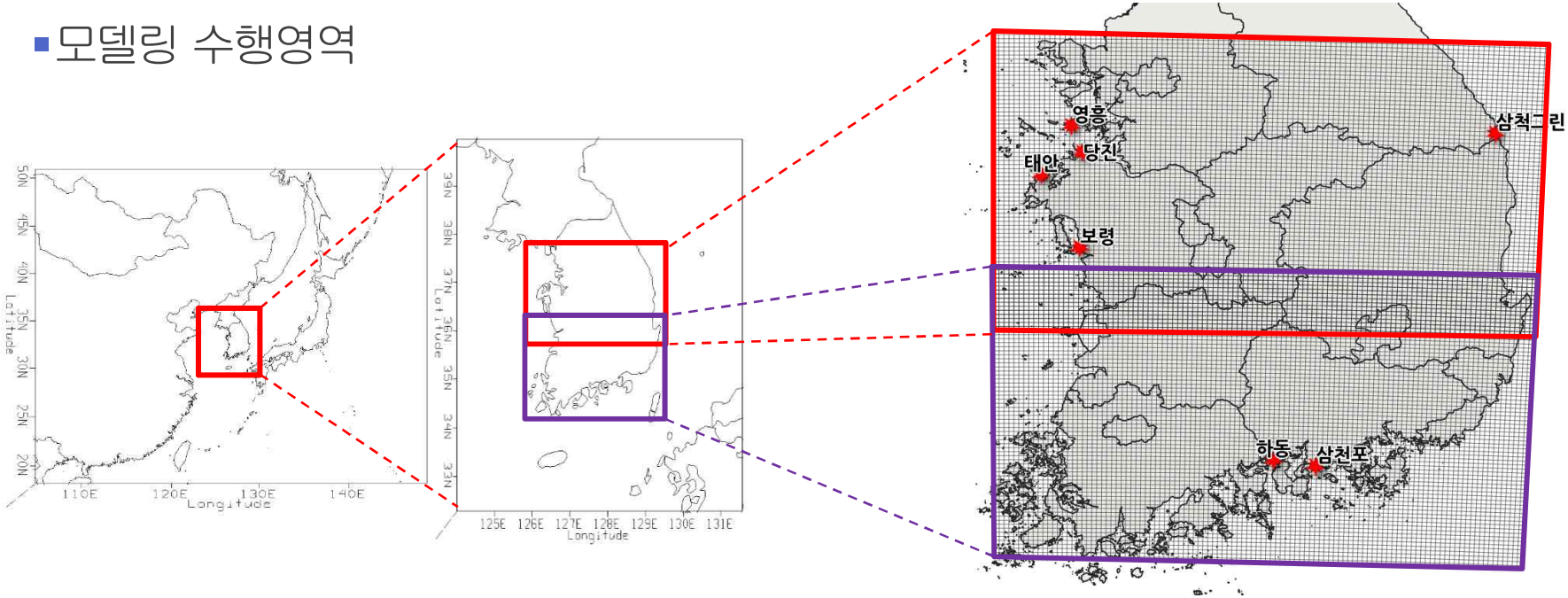
NO_2



대기질 모델링 입력자료

- 대기질 분석 모델링
  - CMAQ v.4.7.1 활용
  - 수행옵션 : EBI chemistry solver with SAPRC99, ACM2 vertical diffusion, YAMO advection scheme, AERO5 aerosol module

- 모델링 수행영역



D1(27km) D2(9km) D3(3km)

대기질 모델링 입력자료

- 대기오염물질 배출량
  - 국외 인위적 배출량 : 동아시아 배출목록(INTEX-B)
  - 국내 인위적 배출량 : **CAPSS 2016년. 단, 해당 발전소 배출량 제외 후 실제 배출량 사용**
  - 자연배출량 : BEIS을 활용한 식생 배출량 추정

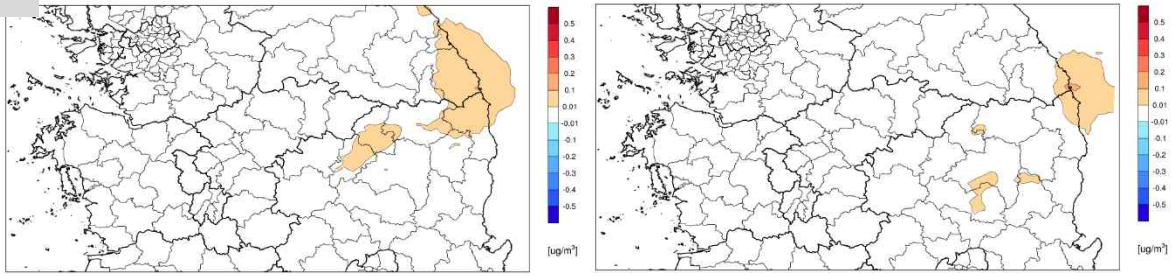
- 기상입력자료
  - 기상모델 : WRF v3.9.1
  - 기상 초기 입력장 : NECP FNL 0.25×0.25° 자료
  - 수직층 : 35개층
  - 수행 옵션 : WSM3(9km 격자해상도)/WSM6(3km 격자해상도) Micro physics, RRTMG Short wave radiation, ACM2 PBL scheme, Real-Time Global Sea Surface Temperature(RTG SST) 적용
  - 수평해상도 : 동아시아 27km, 국내 9km, 중부권 및 남부권 3km

발전소별 $PM_{2.5}$ 지역 평균 기여농도 (중부권)

<연간> <계절관리제>

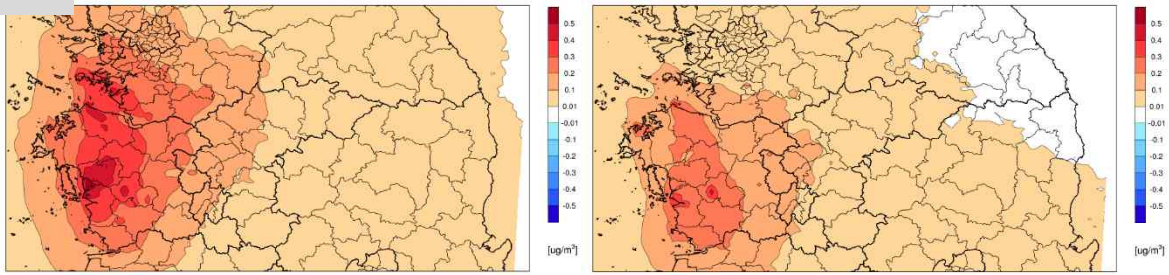
단위 : ug/m³

삼척



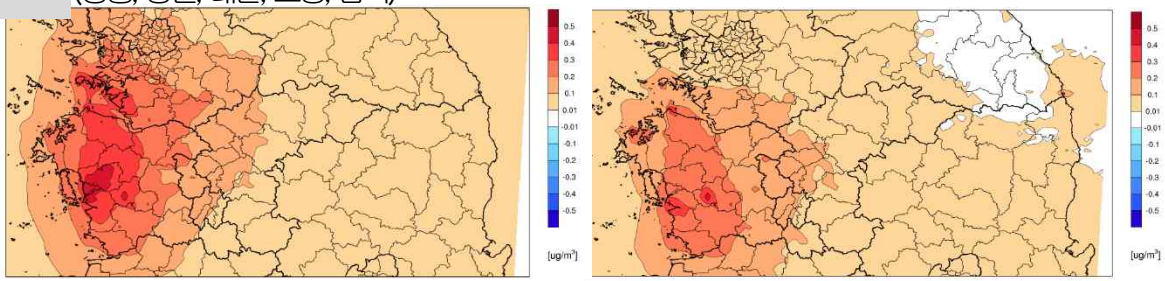
구분	지역	평균농도
연간	경북	0.007
계절관리제	경북	0.004

서해안 (영흥, 당진, 태안, 보령)



구분	지역	평균농도
연간	충남	0.269
계절관리제	충남	0.187

중부권 (영흥, 당진, 태안, 보령, 삼척)



구분	지역	평균농도
연간	충남	0.257
계절관리제	충남	0.201

대기환경 측정분석 기기의 현황 및 최첨단 기기활용사례

2022.3.15

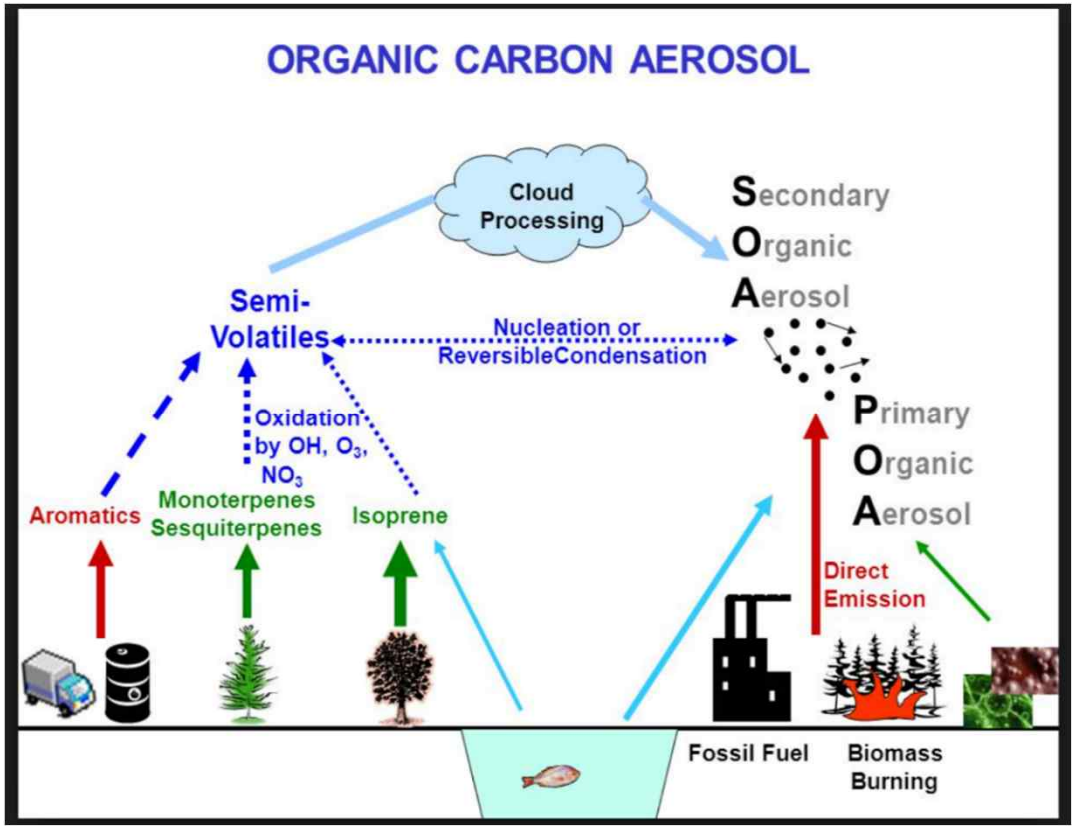
미세먼지연구소

김 정 호

발표순서

1. 일반적 현황
2. 국내 미세먼지 현황 및 대응
3. 대기환경 측정분석 기기의 현황과 활용

미세 먼지 발생원

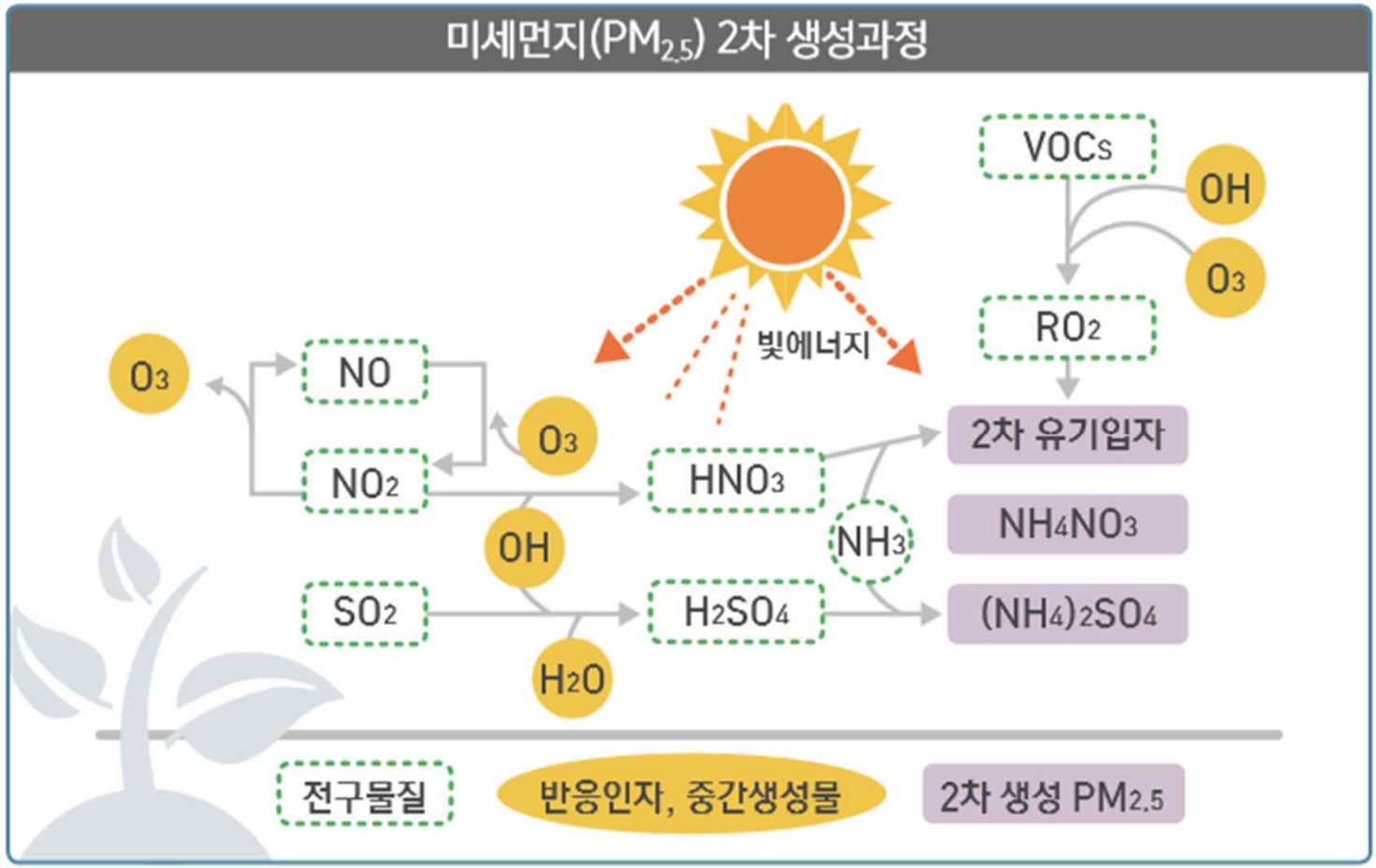


✓ 1차 생성(직접배출) 에어로졸
: 다양한 발생원에서 직접적으로 입자상 배출

✓ 2차 생성 에어로졸
: 화학반응을 통해 대기 중에서 기체가 입자로 변환
Nox, SO2, VOCs 와 반응하여 질산염 미세먼지, 황산염 미세먼지, 2차 생성 유기 미세먼지 생성

✓ 초미세먼지를 구성하는 대표적 화학적 성분
1. Sulfate (이온)
2. Nitrate (이온)
3. Ammonium (이온)
4. Organic Carbon (OC) (유기탄소)
5. Elemental Carbon (EC) (원소탄소)
6. Minerals (지각/미량금속)

2차 미세먼지 생성 과정


미세먼지($PM_{2.5}$) 2차 생성과정
VOCs
OH
O_3
RO_2
빛에너지
O_3
NO
NO_2
O_3
HNO_3
2차 유기입자
NH_4NO_3
OH
NH_3
SO_2
H_2SO_4
$(NH_4)_2SO_4$
H_2O
전구물질
반응인자, 중간생성물
2차 생성 $PM_{2.5}$

대기오염물질 측정방법의 변화

Changes in environmental standards and development of measurement equipment

수동

TSP – Hi-Vol

1 day sampling

수동&반자동

PM10 & PM2.5

1 day sampling

자동화/무인화

PM2.5 Chemical Composition

On-line measurement(Ion, Carbon, Metal)

Manual analysis
Sampler
Laboratory manual analysis base on Filter
(Ion Chro., OCEC, XRF analysis)

Automatic equipment analysis
Monitor
Analyze mass and components at the field site

2. 국내 미세먼지 현황 및 대응

국내 초미세먼지 현황(2015 ~ 2018년)

* 출처 : 서울시 대기환경정보, 국립환경과학원, 연합뉴스

미세먼지 특별대책(환경부)

비전 미세먼지 걱정없는 건강한 푸른하늘 만들기

목표 미세먼지 농도를 '21년 20㎍/㎥, '26년 18㎍/㎥로 단계적 개선

01 국내배출원의 과학적 저감

02 미세먼지,CO2 저감 신사업 육성

03 주변국 환경협력 강화

04 예/경보제체계 강화

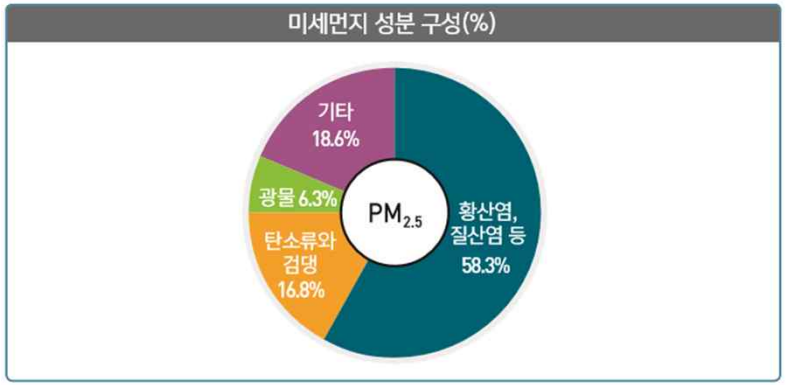
05 전국민참여, 서민부담 최소화

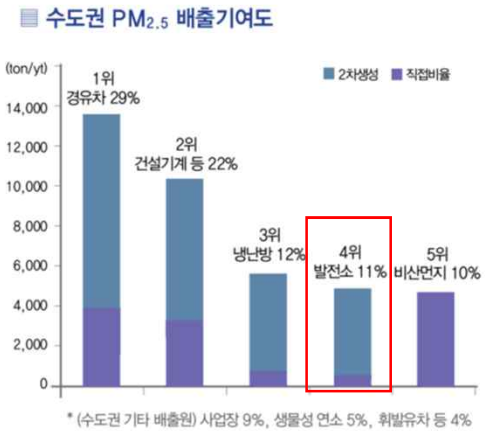
1.경유차 미세먼지 감축
2. 친환경차 보급확대
:
:
5. 발전소의 미세먼지 대폭 저감

1. 저에너지 도시 구축산업 육성
2. 환경과 상생하는 에너지 신사업 육성
- CO2 포집/저장(CCS), CCU 핵심기술 개발과 ESS 산업 육성

* 출처 : 2016년 환경부

초미세먼지 구성 성분 및 배출기여도

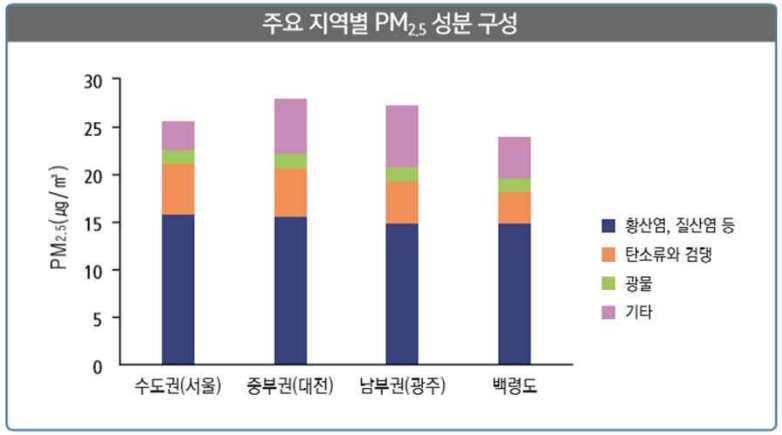


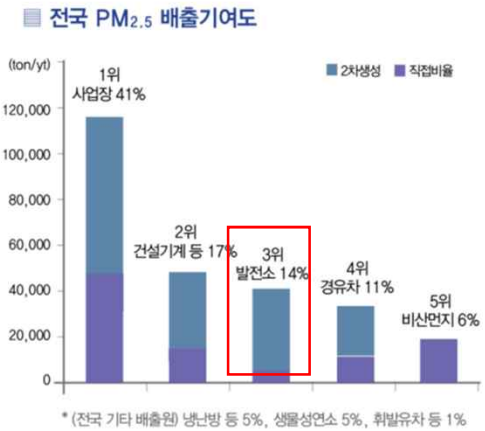


수도권 배출량

(unit : ton/yr)

배출원		대기오염물질		
		$PM_{2.5}$	SOx	NOx
에너지산업연소	발전소	697(4%)	11,088(29%)	24,406(7%)
사업장	제조업연소	300(2%)	3,941(10%)	11,507(4%)
	생산공정	206(1%)	4,657(12%)	4,056(1%)
	폐기물처리	63(0.4%)	689(2%)	2,945(1%)
냉난방 등	비산업연소	383(2%)	8,653(23%)	42,724(13%)
	기타면오염원	90(1%)		57(0.02%)
도로이동오염원	경유차	3,769(24%)	46(0.1%)	143,474(44%)
	휘발유차 등		30(0.1%)	25,027(8%)
비도로이동오염원	건설기계 등	3,328(21%)	8,837(23%)	68,355(21%)
생활주변오염원	비산먼지	4,775(30%)		
	생물성연소	2,122(13%)	24(0.1%)	1,072(0.3%)
합 계		15,733(100%)	37,965(100%)	323,623(100%)





전국 배출량

(unit : ton/yr)

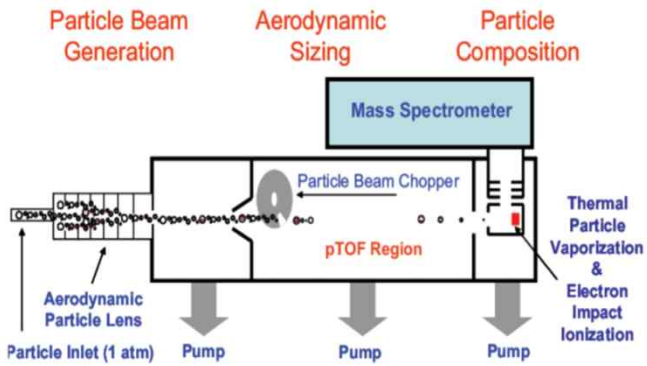
배출원		대기오염물질		
		$PM_{2.5}$	SOx	NOx
에너지산업연소	발전소	3,573(3%)	97,565(23%)	177,219(16%)
사업장	제조업연소	41,606(39%)	95,836(24%)	178,034(16%)
	생산공정	4,829(5%)	108,333(27%)	55,151(5%)
	폐기물처리	202(0.2%)	6,517(2%)	9,529(1%)
냉난방 등	비산업연소	1,226(1%)	31,101(8%)	88,769(8%)
	기타면오염원	279(0.3%)		165(0.02%)
도로이동오염원	경유차	11,134(10%)	117(0.03%)	284,700(26%)
	휘발유차 등		72(0.02%)	51,021(5%)
비도로이동오염원	건설기계 등	13,953(13%)	65,119(16%)	246,027(23%)
생활주변오염원	비산먼지	17,127(16%)		
	생물성연소	12,681(12%)	148(0.04%)	9,110(1%)
합 계		106,610(100%)	404,808(100%)	1,099,724(100%)

3. 대기환경 측정 및 분석기기 현황 및 사례

고분해능 비행시간차 에어로졸 질량분석기

입경에 따른 실시간 화학적 성분 측정 분석, 1초 미만

HToF AMS
(High resolution ToF Aerosol Mass Spectrometer)



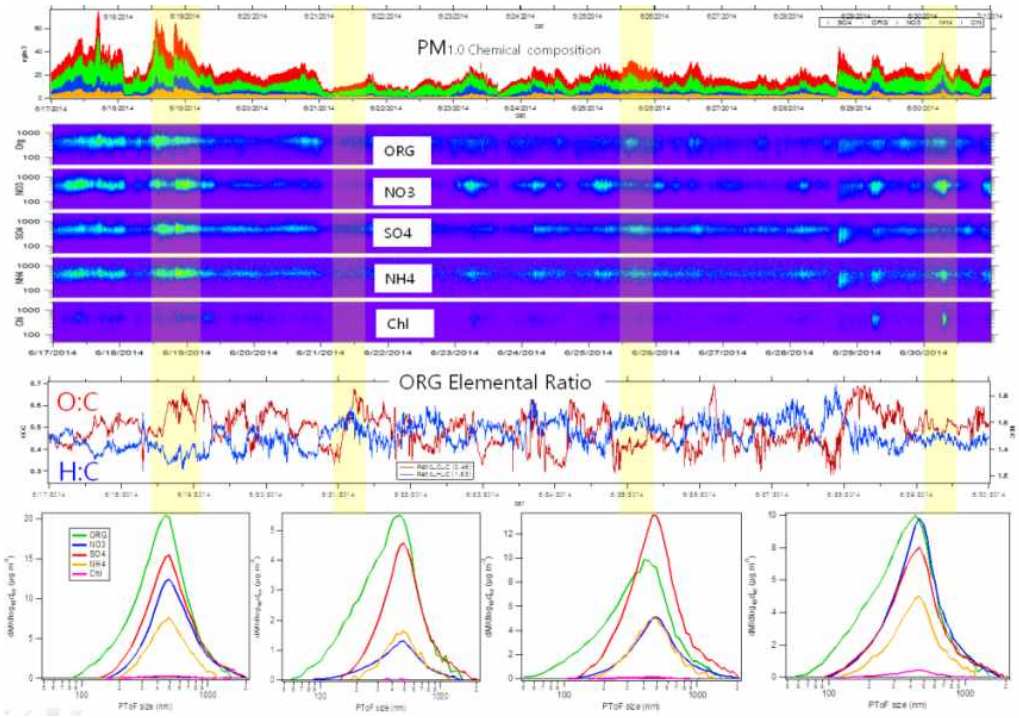
특 징(Features)

- 유기 에어로졸의 실시간 크기분석과 화학성분 분석
- sub-micron 에어로졸 입자의 성분분석과 크기에 따른 성분분석이 가능
- 액상 및 고체상의 미세입자상 물질의 입경별 분포 분석 가능
- 유기 및 무기물질의 실시간 분석
- 0.002ug/m^{3}의 고감도 실현
- 빠른 반응속도(최대 100Hz)

고분해능 비행시간차 에어로졸 질량분석기

○ 용　　도 : 미세먼지의 **실시간 화학적 성분(유기성분, 황산염, 질산염, 암모늄, 염소성분 등) 특성 파악**

○ 역　　할 : 최소 1초 간격으로 미세먼지에 대한 화학적 성분을 측정할 수 있으며, 또한 입경에 따른 (20㎚~1㎛) 화학적 성분에 대한 정보를 파악할 수 있음.



미세먼지에 대한 빠른 시간분해능을 가진 원소 분석결과(C,H,O,N,S)를 제공함으로써 미세먼지의 산화와 노화 특성을 파악할 수 있기 때문에(H:O 비율 C:O비율 등) 측정된 미세먼지가 **배출원의 영향**을 받았는지의 유무도 정확히 파악

초미세먼지 배출원별 주요 저감 사업

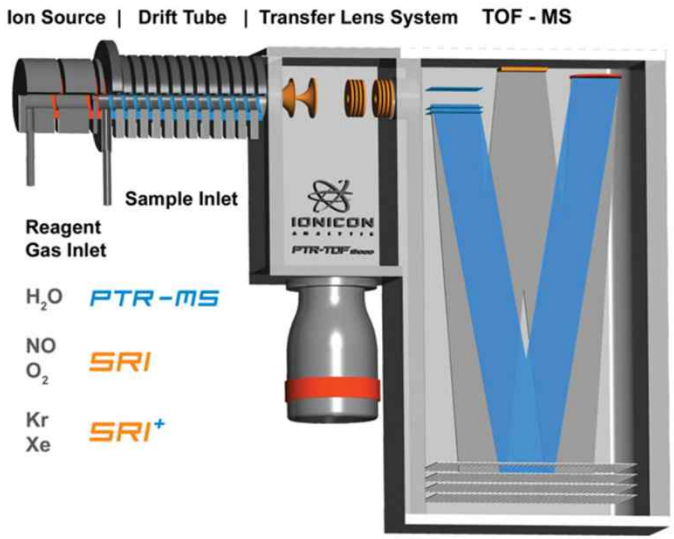
자동차	운행경유차 저공해화, CNG버스 전환 등
산업·비산업	친환경보일러 및 저녹스버너 보급 등
건설기계 등	건설기계 엔진교체, 공사장 진입 제한 등
비산먼지	비산먼지 발생사업장 관리, 도로 물청소 등
생물성연소	직화구이 음식점 관리, 찜질방 관리 등

지역별 영향에 따른 주요 대응 사업

국외	중국 등 동북아 주요도시간 협력체계 확대
국내 타지역	수도권 대기환경관리위원회 공조·협력 강화 등
서울시 자체	저감사업 추진 및 초미세먼지 건강피해 최소화

휘발성 유기화합물 농도 분석기

휘발성 유기화합물 농도 분석기 (Real Time)
(PTR-TOF 1000)



특 징(Features)
▪ PTR-MS(Proton Transfer Reaction MS)는 실시간 질량 분석기로서 시료의 어떤 전처리 없이 대기 중의 VOCs를 pptv까지 실시간 정량 및 정성 분석 가능 ▪ 실시간 공기 중 가스상 유기화합물질 검출 및 분석 ▪ 양성자 친화도(Proton Affinity)와 반응속도론을 도입하여 표준가스 없이 정량 가능. 표준가스 사용한 상대 정량도 가능(정확도 향상)

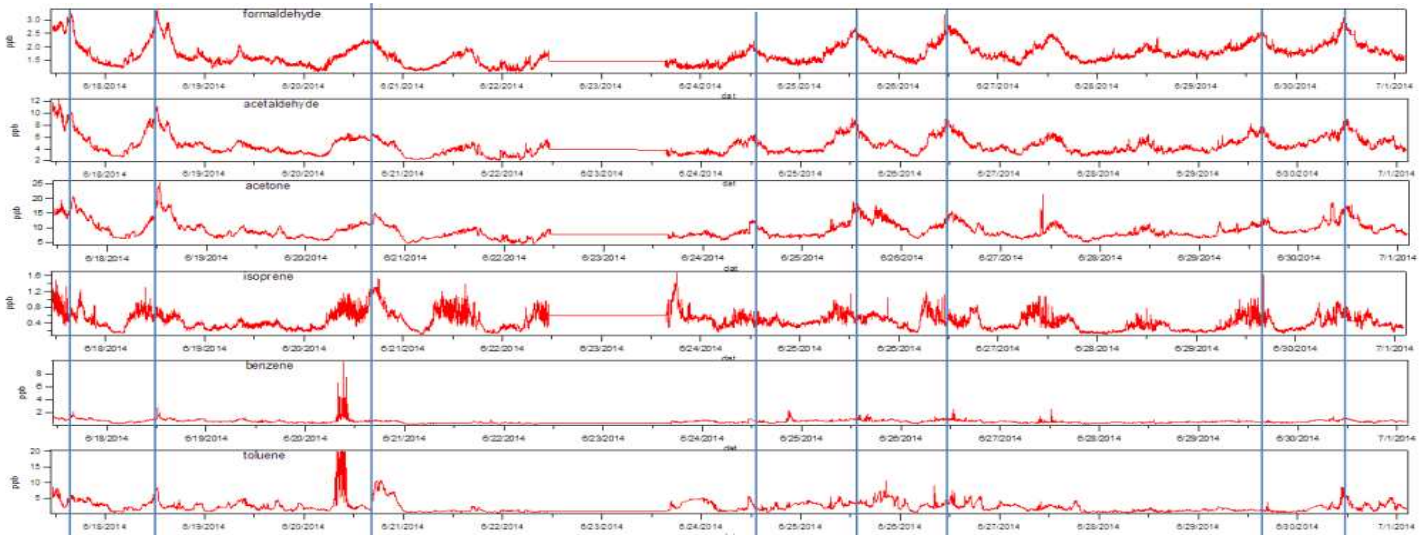
휘발성 유기화합물 농도 분석기

○ 용 도 : **가스상 VOCs의 실시간 분석** 및 자료 제공, 1초~ 수분

○ 역 할 : VOCs 는 산화된 VOCs(aldehyde, acetone, O-VOCs류), 인위적 VOCs(BTEX등), 자연적 VOCs(isoprene, terpen류)로 크게 3부분으로 나눔

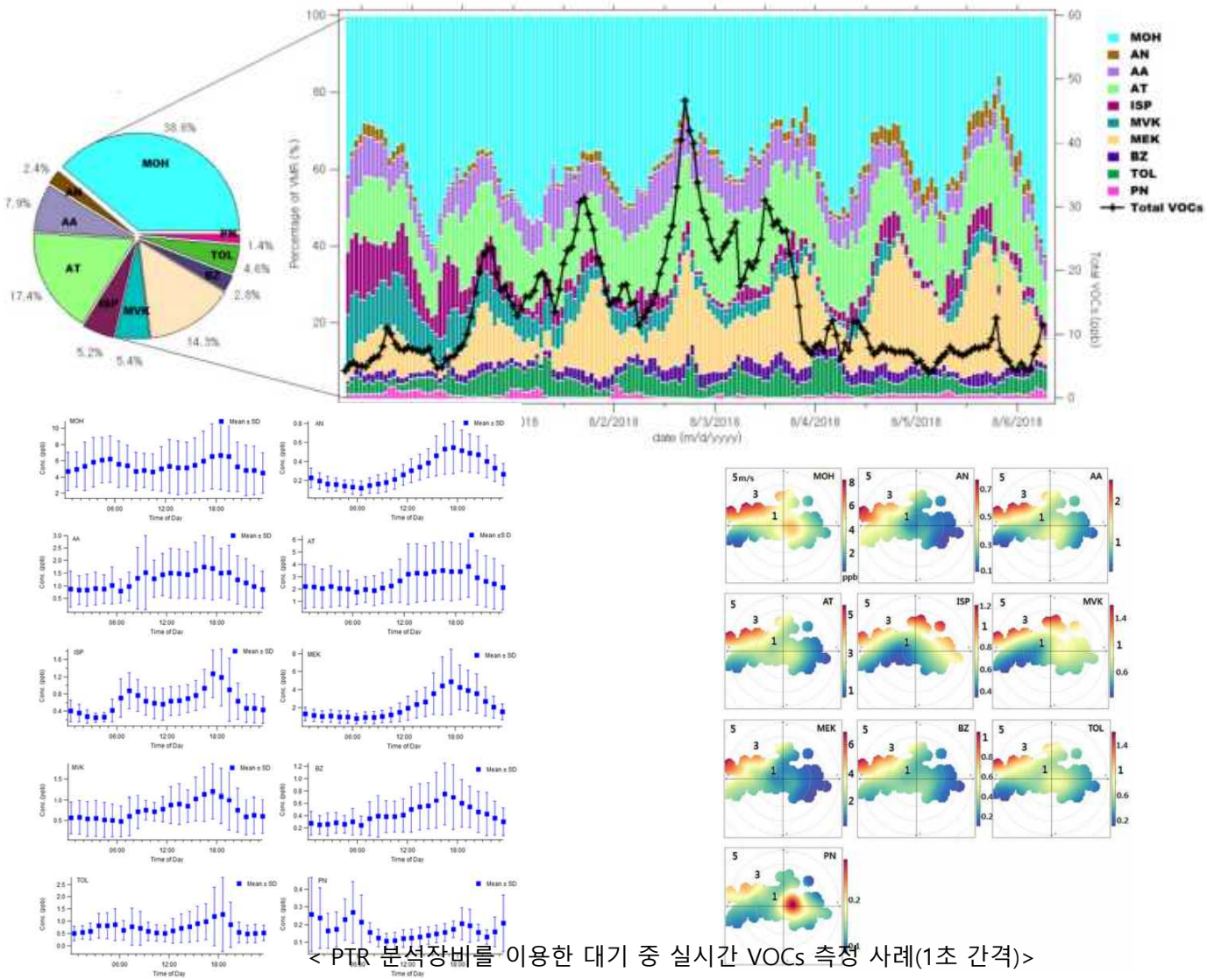
미세먼지는 이러한 VOCs를 기원으로 하여 대기 중에서 생성 및 성장하는 특성이 있음.

VOCs 분석 정보를 최소 1초 간격으로 제시할 수 있어, 서울시 주요 **배출원의 VOCs 물질에 대한 미세먼지 생성기여를 파악**하는데 효과적인 자료로 활용



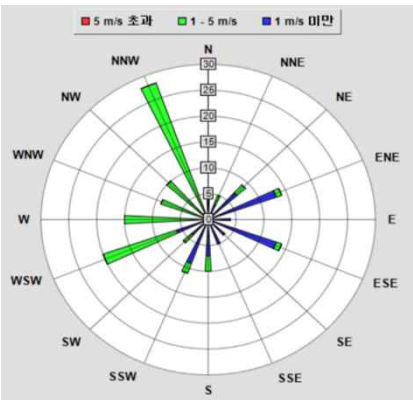
< PTR 분석장비를 이용한 대기 중 실시간 VOCs 측정 사례(1초 간격)>

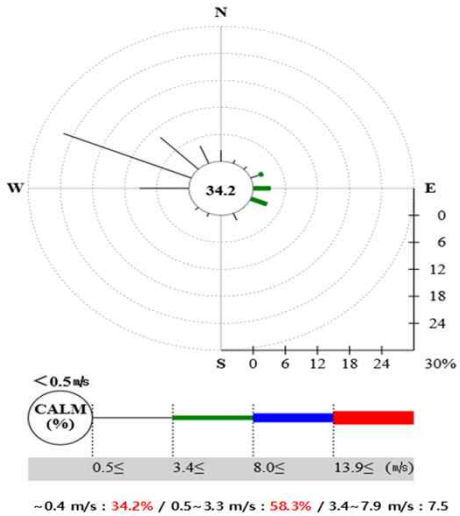
서울도심 VOCs 일변동 및 유입특성 평가



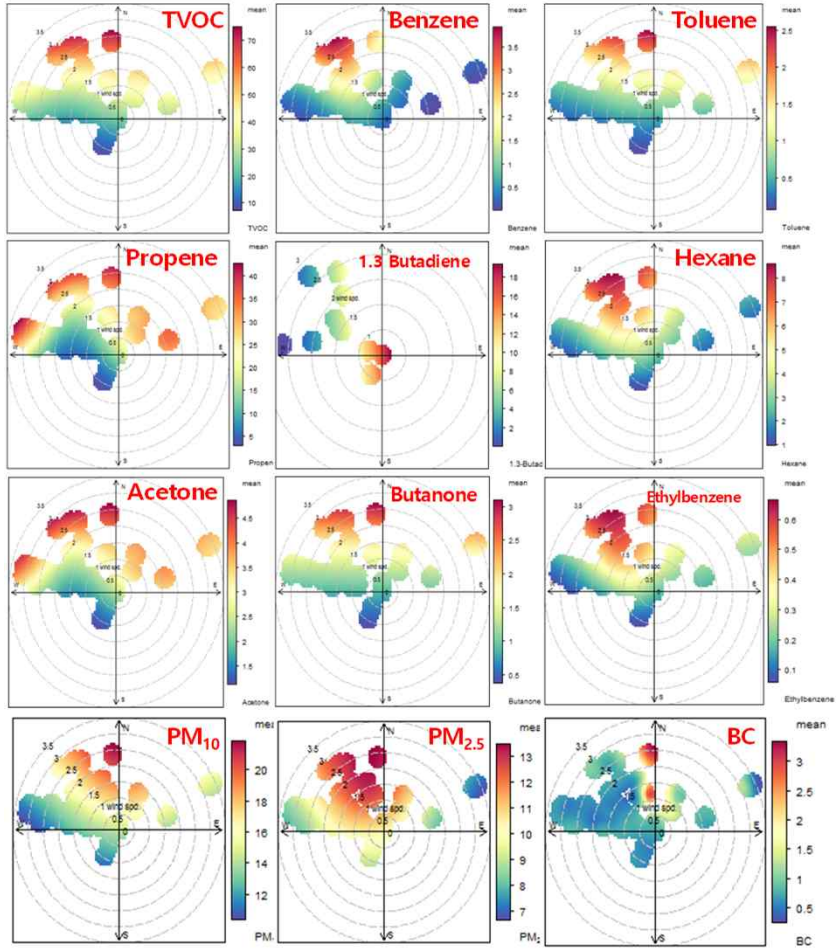
< PTR 분석장비를 이용한 대기 중 실시간 VOCs 측정 사례(1초 간격)>

대산 석유화학단지 VOCs 특성 평가





Location of measurement position, AQMS, and AWS



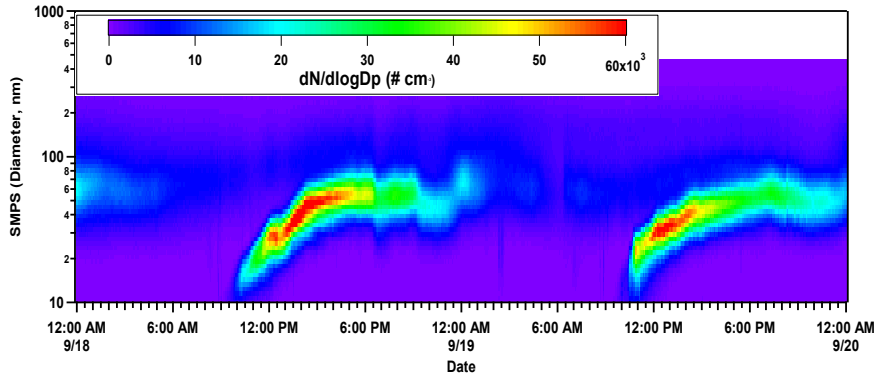
Pollution roses of the major target compounds measured in

measurement position
(Ref. : Kim et al., 2019 Dec., KOSAE)

에어로졸 크기 및 수농도 분석기

입경에 따른 실시간 에어로졸 개수 측정

SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer)



< **SMPS**를 이용하여 새로운 입자가 생성되는 것을 파악>

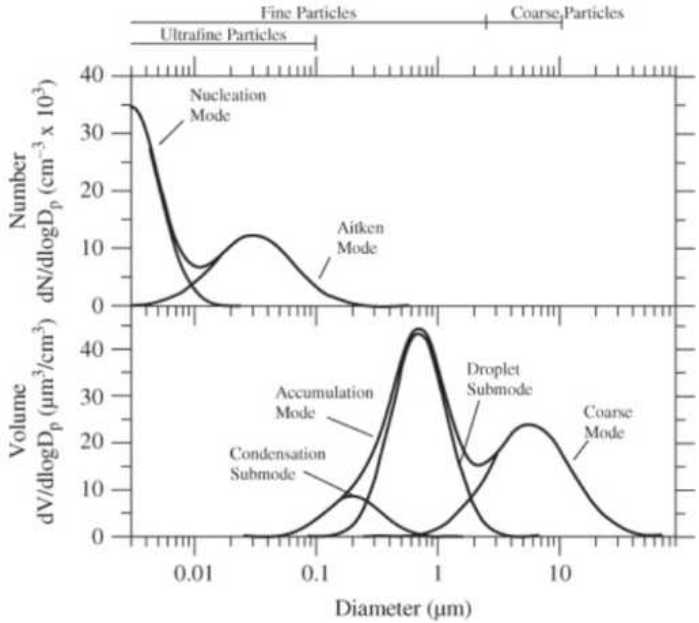
용 도(Applications)
▪ 대기 및 기후연구 ▪ 2차 에어로졸 생성 및 성장에 관한 연구 ▪ 에어로졸 배출원 파악 및 에어로졸 특성 연구

특 징(Features)
▪ 10 ~ 1,000nm 측정 ▪ 64채널의 고해상도 입경분포 분석 가능 ▪ 사용자 설정에 따른 입경분포와 측정시간 조정가능(>10 sec) ▪ 중화장치는 Soft X-ray를 이용하여 Bipolar 방식으로 에어로졸 중화

에어로졸 크기 및 수농도 분석기

○ 용　도 : **대기 중 10 ㎚ ~ 1 ㎛ 범위의 에어로졸에 대한 입경에 따른 개수농도** 측정

○ 역　할 : 대기 중 입자상 물질은 입자의 기원과 직경에 따라 nucleation mode, aitken mode, accumulation mode, coarse mode로 구분할 수 있음.이러한 입경범위를 포함하는 넓은 입경범위에 대한 입경별 개수농도 및 분포 특성을 실시간으로 측정하고 파악할 수 있음.



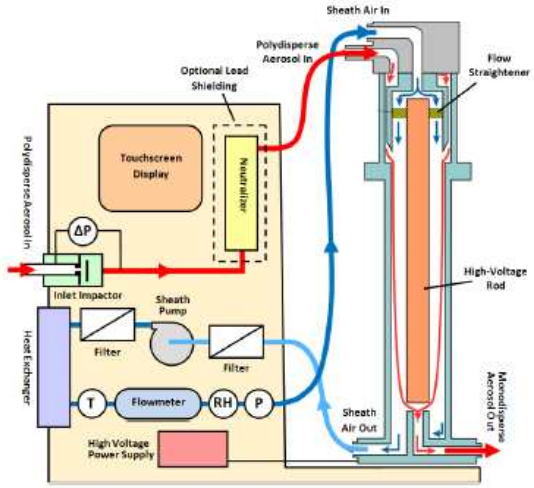
<대기에어로졸의 입경분포 특성 및 SMPS-APS 측정범위>

Mode	특징
Nucleation mode	0.01㎛ 이하의 입경을 가진 입자들로 응축된 OC(유기탄소)와 황산(Sulfuric acid; H2SO4) 증기 등이 깨끗한 환경에서 핵을 형성하여 생성
aitken mode	0.01~0.1 ㎛로 고온 연소과정에서 발생된 OC, 황산, 중금속 등의 증기가 응축되어 생성
Accumulation mode	0.1~2.5㎛로 황산염, 질산염, 암모늄, OC, EC, 중금속, 미세지각 성분들로 구성
Coarse mode	2.5~100㎛의 입자들로 지각성분, 해염성분, 꽃가루 등을 포함

1nm 입경별 농도 분석기

1 ~ 50nm 입자 입경분포 실시간 측정 분석

1nm SMPS
(1nm Scanning Mobility Particle Sizer)



특 징(Features)
▪ 1 ~ 50nm 측정 가능 ▪ 64채널의 고해상도 ▪ 3081A Long DMA를 추가하여 1nm ~1㎛ 측정 가능 ▪ AIM(Aerosol Instrument Manager) 소프트웨어를 통한 시스템 작동

1nm 입경별 농도 분석기

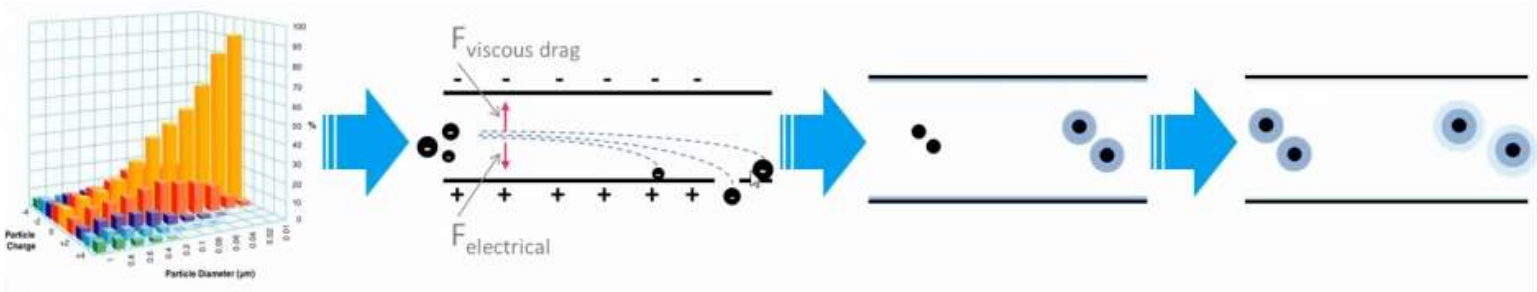
○ 용　도 : **대기 중 1 ~ 50nm 범위의 입자에 대한 입경에 따른 개수농도** 측정

○ 역　할 : 1nm 까지의 입자를 측정하여 가스상 물질이 입자상 물질로 변환되는 과정에 대하여 연구 분석이 가능한 장비.

1) Neutralizer

2) Differential Mobility Analyzer

3) Condensation Particle Counter



Boltzmann particle
Charge distribution

Size-separation
Of particles

Growth with butanol
& particle counting

Electrostatic Classifier안에 내장되어 있는 Neutralizer(중화장치)에서 외부요인으로 인해 변화 된 전하량을 볼츠만 평형 분포상태로 바꾸어 준다.

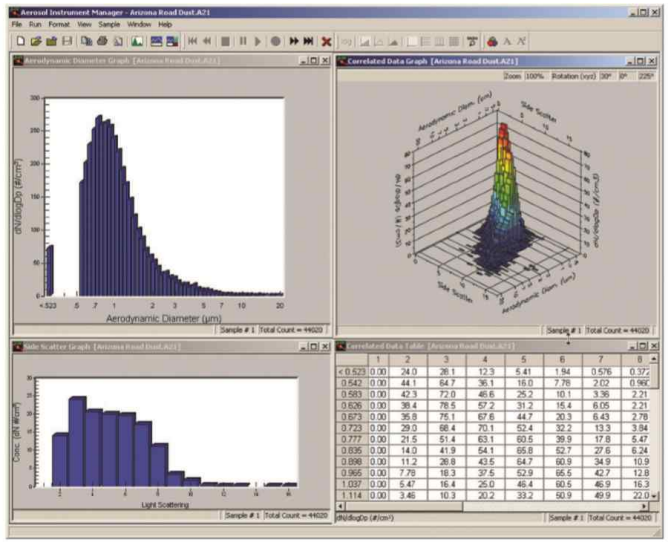
DMA의 내부 원통과 외부 원통 사이의 전기장 세기의 따른 입자의 전기적 이동도 크기에 의해 입자가 분류시킨다.

입자를 부탄올을 이용하여 성장시킨 뒤 측정한다

공기역학적 입경분포 분석장비

0.37 ~ 20 ㎛ 입자 입경분포 실시간 측정 분석

APS
(Aerodynamic Particle Sizer)



Aerodynamic diameter and events displayed simultaneously

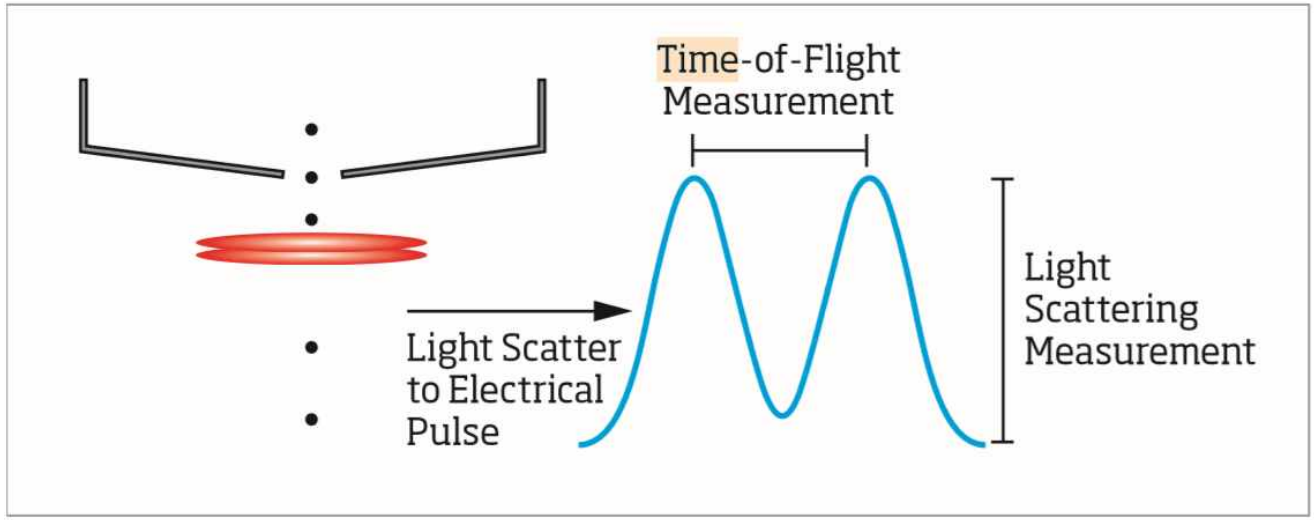
용 도(Applications)
▪ 대기 및 기후연구 ▪ 2차 에어로졸 생성 및 성장에 관한 연구 ▪ 에어로졸 배출원 파악 및 에어로졸 특성 연구

특 징(Features)
▪ Time of Flight (ToF)방식의 공기역학적(Aerodynamic Size) 직경 분석 ▪ 52채널 입경분포 측정가능 ▪ 0.37 ~ 20㎛의 측정 범위 : 0.37 ~ 0.5 ㎛ – Optical Sizing : 0.5 ~ 20 ㎛ – Aerodynamic Sizing ▪ 광산란측정기 및 Impactor 성능평가 기준장비

공기역학적 입경분포 분석장비

○ 용　도 : **대기 중 0.37 ~ 20 ㎛ 범위의 입자에 대한 입경에 따른 개수농도** 측정

○ 역　할 : 광산란 장비 중 유일하게 Time-of-Flight(ToF)으로 공기역학적 직경(Aerodynamic Size)이 측정 가능한 장비로 실시간으로 52채널로 입경분포에 대한 분석이 가능하여 실제 환경에서의 에어로졸 배출원 및 특성에 대해 연구 가능



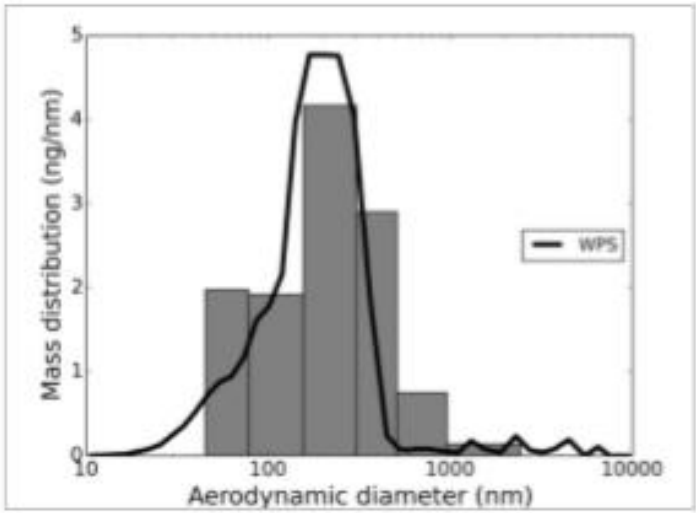
2개의 Laser 파장을 이용하여, 시료가 들어올 때와 Detector의 감지 될 때의 속도에 따른 시간차를 계산하여,
에어로졸의 공기역학적 직경 및 입경분포를 분석한다.

실시간 입경별 질량농도 측정기(QCM)

→ PM2.5 이하 입경 별 농도(mass) 6 Stage 직접 측정 가능

→ QCM(Quartz Crystal Microbalance 원리로 입경 별 질량 농도 측정가능

→ 입자계수기와 비교하여 배출 입자 밀도 산출 가능



QCM(Quartz Crystal Microbalance QCM MOUDI Impactor)

미세먼지 측정기 (PM1, PM2.5 Monitor)

Spirant BAM
(PM10, PM2.5 Monitor)

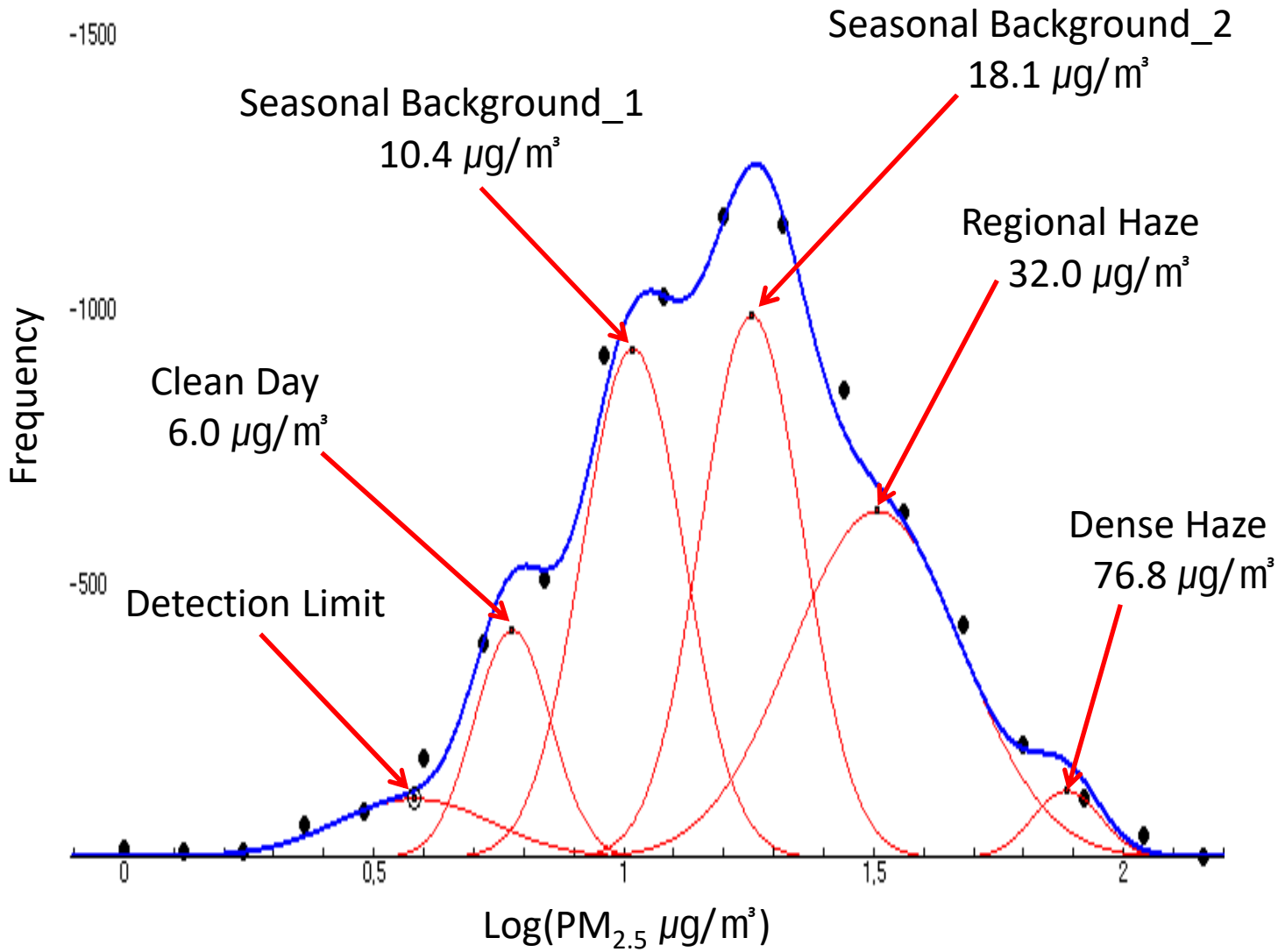
용 도(Applications)

- 대기 공기 중의 TSP, PM10 및 PM2.5의 자동 연속 측정
- 대기 오염 측정망 (AQMS) 구성에 사용.

특 징(Features)

- USEPA Method
- 측정 범위 : 0 - 1.000 mg/m3 (0 – 1000ug/m3)
- 유량 : 16.7 liters/minute
- 자동 스판 교정
- Beta Source : C-14 (carbon-14), 60 µCi ±15 µCi
- Bench Top 또는 Rack Mounting 가능

미세먼지(PM2.5) 측정자료의 빈도 분포 곡선



초미세먼지 연속채취기

PMS-104
(PM2.5/PM10 Sequential Sampler)

용도

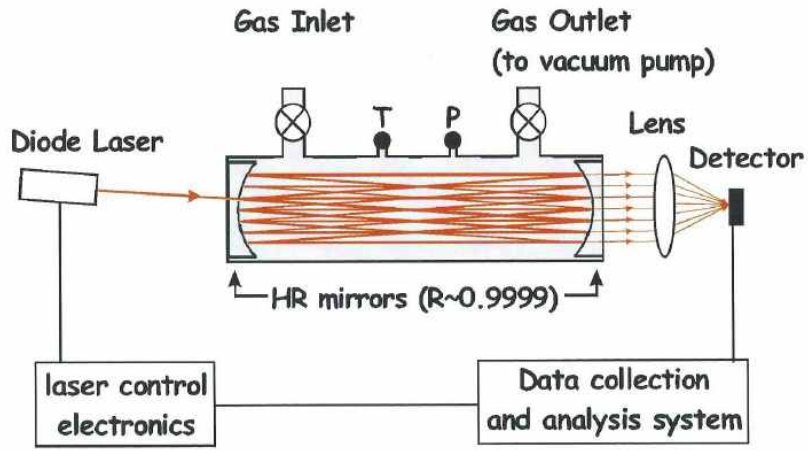
- 대기 및 실내공기중의 TSP, PM10 및 PM2.5 연속 채취
- 대기 오염 측정망 PM2.5 모니터링 적용가능
- 도시 대기 및 배경 대기지역의 PM10/PM2.5연구
- 환경영향평가에 따른 평가지역의 PM모니터링
- 미세먼지 발생 작업환경/현장의 PM모니터링
- 실험실에서 유기 및 무기물질이 함유된 먼지 성분분석

특징

- PM2.5 시료채취기 환경부 형식승인 1호 획득 제(APSC1-2014-02호)
- 국내특허(제10-0825933호)및 신기술인증(제279호)획득
- 미국특허(US8,192,516 B2) 및 중국 특허(CN 101884864 B)획득
- 미국EPA PM2.5기준 측정 방법에 적합하게 설계
- 동시에 최대 24개의 Φ47mm필터 탑재 가능
- 운영프로그램 언어 선택가능(한글/영어)

NH3 분석기(Ammonia analyzer)

실시간 NH3 분석기
(Ammonia Analyzer)



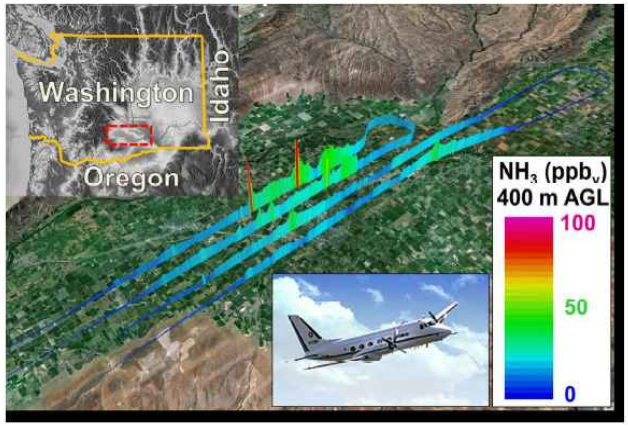
특 징(Features)

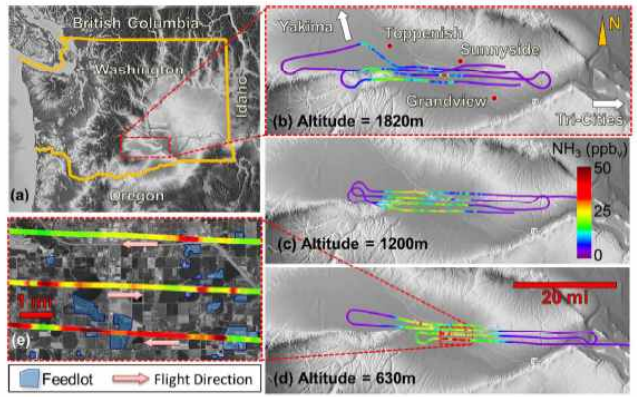
- 대기 중 암모니아 농도 실시간 분석
- 이차에어로졸과 암모니아의 생성기구 규명 연구 가능
- Drift가 매우 적어 안정적인 측정 가능
- 사용자가 사용하기 쉽고, 유지보수 가능 (Mirror 정렬)

NH3 분석기(Ammonia analyzer)

○ 용 도 : 대기 중 암모니아 농도를 실시간으로 분석 (고감도, 설치형)

○ 역 할 : 가스 상태의 암모니아 배출로 인해 수도권 초미세먼지의 연평균 농도가 ㎥당 4~5㎍ 정도 높아지며, 다른 오염물질보다 초미세먼지 생성에 대한 영향이 큰 것으로 알려져 있어, **암모니아의 농도를 파악**하고 정보를 초미세먼지 생성에 대한 기여도를 평가 및 제시하는 데 효과적으로 사용될 수 있음.





(a) A shaded relief map of the state of Washington highlighting the Yakima Valley where flight measurements were taken. (b-d) Color coded flight paths showing the NH_3 mixing ratio at three altitudes on May 24, 2012. The strong and isolated NH_3 plume is distributed broadly over the feedlots because of the calm conditions in the shallow boundary layer. (e) A satellite photo of an area with a high feedlot density. Feedlots are highlighted in blue and correlate with high NH_3 concentrations along the flight path.

<암모니아 해외 측정 사례 >

가스상 물질 측정기 및 교정장치

NOx 측정기/Chemiluminescence

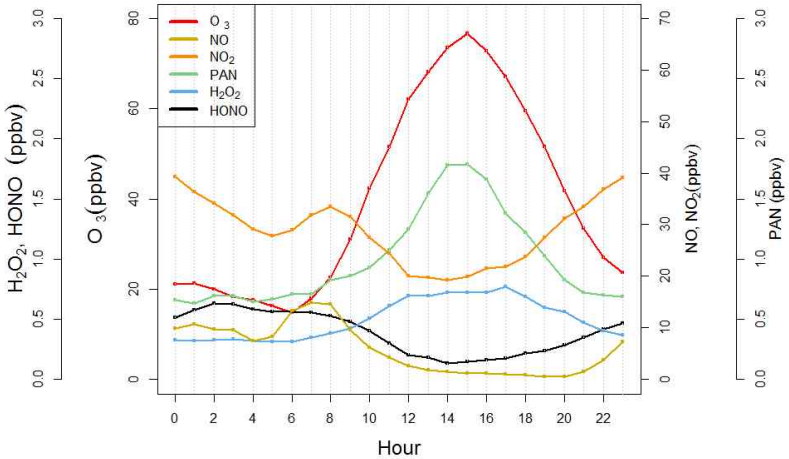
SO_2 측정기/UV Fluorescense

CO 측정기/NDIR

O3 측정기/UV Absorption

희석가스 교정기

제로에어 발생기

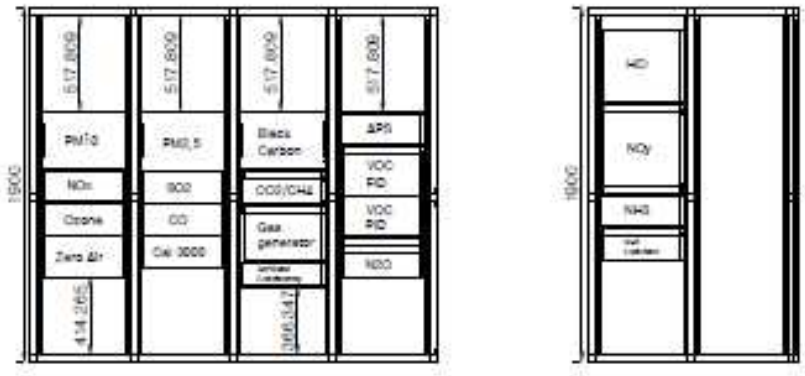


<NOx, O3 물질은 대기 중 산화 및 광화학반응과 관련된 주요한 인자로서 2차 유기에어로졸의 생성에 영향을 미침>

일반 기체성분 측정기 및 보정장치

○ 용 도 : SO_2, NOx, CO, O_3 측정 및 교정장치

○ 역 할 : **대기오염물질의 측정 및 교정**



<Rack 구성 예시>

대기오염도를 파악할 수 있는 가장 기본적인 항목.

SO_2 : 화석 연료가 연소될 때 배출되는 주요한 인자.

NOx : 연소시 온도와 밀접한 관련.

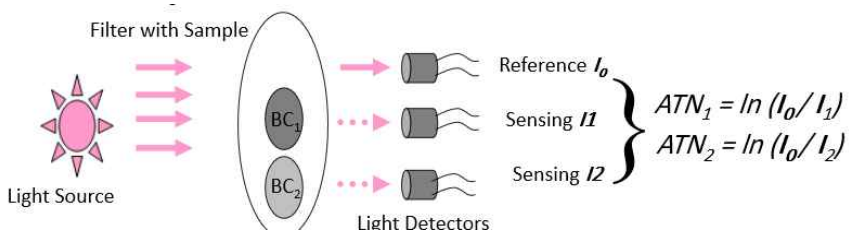
CO : 연소조건을 파악하고 직접적인 1차 배출원의 주요인자로 고려 .

O_3 : 기상인자와 함께 대기 중에서 NOx와 VOCs와 반응하여 배출된 1차 오염물질의 2차 생성을 견인하는데 주요한 인자로 작용 .

블랙카본 분석기(AE33)

AE33
(Aethalometer)

Dual Spot

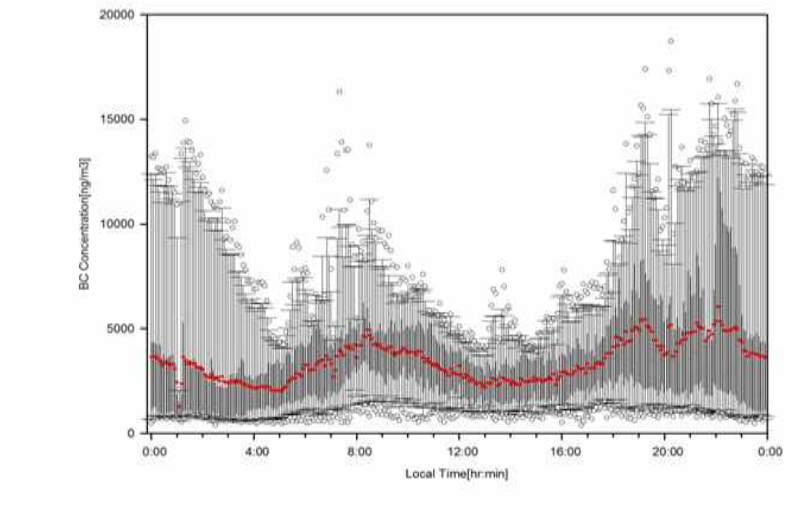


특 징(Features)
▪ 0.005μg/㎥/hr의 고감도 검출한계 ▪ 370, 470, 520, 590, 660, 880 및 950nm의 7개 파장으로 정밀 측정 ▪ Dual Spot 기능으로 시료채취에 의한 오차 최소화 ▪ 유량 및 자동 영점교정기능 탑재

블랙카본 분석기(AE33)

○ 용 도 : 미세먼지의 **블랙카본(탄소) 성분을 측정 및 분석**하여 2분~1시간 간격으로 제공함.

○ 역 할 : BC는 대부분 불완전연소 또는 생체소각으로 인한 오염원의 영향을 크게 받기 때문에 **서울시의 BC의 농도를 파악**하고 정보를 제시하는데 효과적으로 사용될 수 있음.



<도로변 중 BC 측정결과: 위의 그림은 도로변에서 5분 간격으로 측정한 BC 농도를 나타낸 그림, 그림을 통해 도로변에서의 명확한 일 변동 특성을 효과적으로 파악>
*출처 : 대기환경학회

BC는 매우 작은 입경을 가지고 있으며, 대기 중으로 배출되면 가시도 저하, 지구복사에너지 교란 및 구름생성 영향 등 기후 변화물질로도 매우 중요하게 고려됨.인체에도 유해한 물질로 알려져 있음. **BC 측정결과는 서울시 주변의 (차량 등) 직접적인영향**(불완전연소 및 휘발을 통한 블랙카본 배출)**을 파악**하는데 1차적으로 평가할 수 있는 지표를 제공할 수 있음.

3D풍향 풍속 및 기상 측정 장비

일체형 기상 측정 장비

UV-A 측정 장치

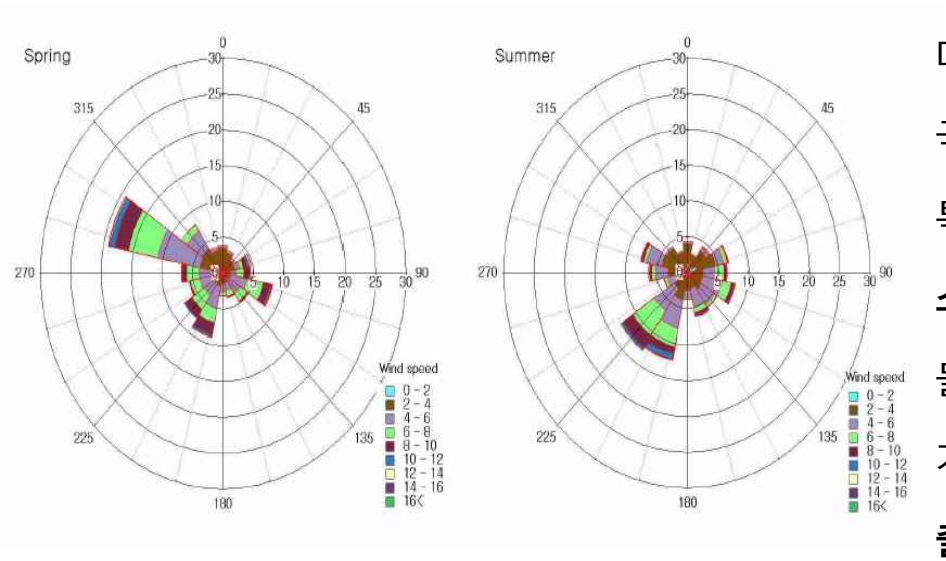
온/습도 측정 장치

특 징(Features)
▪ 다양한 종류의 기상 Sensor를 연결 사용 가능 ▪ 설치 장소에서 모든 데이터를 화면으로 확인 가능 ▪ 모든 운전 조건은 현장이나 또는 PC에서 입력 및 변경 가능 ▪ 평균값, 최대·최소값, 표준편차, 풍향 분포도 등 거의 모든 데이터의 자동 저장 및 출력

3D풍향 풍속 및 기상 측정 장비

○ 용 도 : 일조량, UV radiation, 풍향/풍속, 온도/습도, 기압 측정기

○ 역 할 : 측정 장소의 대기 기상인자에 대한 자료 제공(1분 ~)



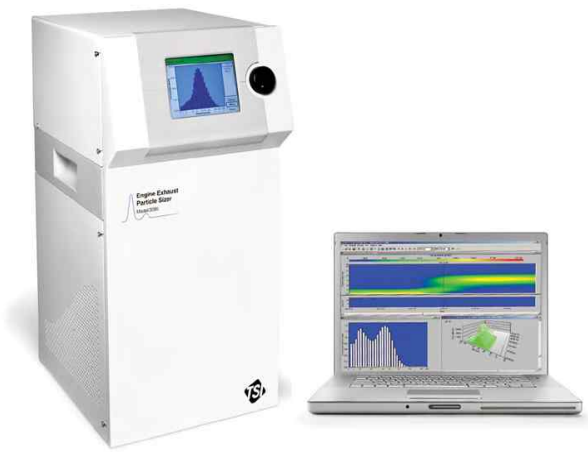
<기상 파라미터 측정장비를 이용한 풍배도(wind rose) 작성)>

대기오염물질은 기상과 밀접한 관련.

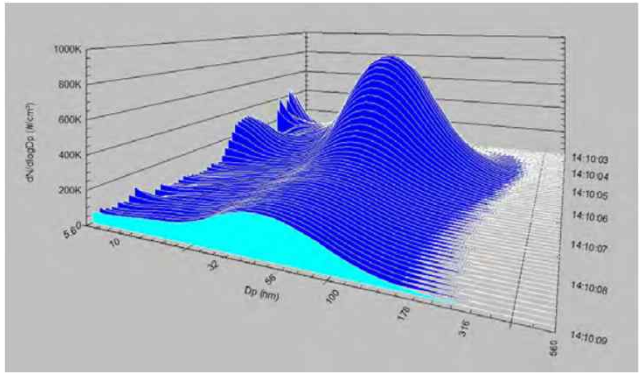
국지적 및 광역적인 기상조건에 영향을 받음

특히 2**차 생성 미세먼지의 경우 일조량 및 온습도-가스상물질-VOCs-과 밀접한 관련**이 있음, 장거리 이동물질의 경우에는 풍향과 풍속인자가 고려되기 때문에, 기상 파라미터 측정 장비는 측정된 **대기오염물질의 배출원 파악, 2차 생성 그리고 이동 및 영향 평가**를 하기 위해서 반드시 구축되어야 할 필요성이 있음.

배출입자 입경별 수농도 분석기



EEPS
Exhaust Particle Sizer Spectrometer



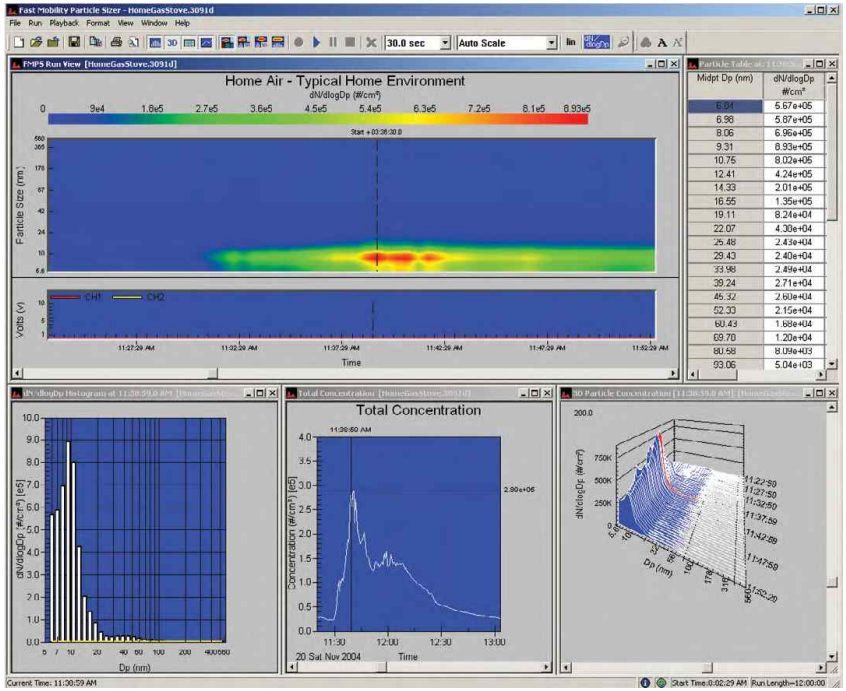
특 징(Features)

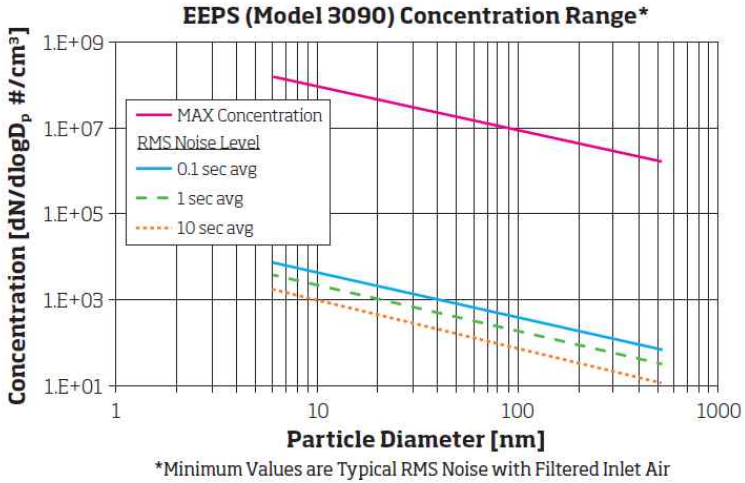
- 넓은 범위의 입경 및 농도 측정 가능
- 실시간 측정 가능
- 편리한 데이터 처리
- 다양한 응용 분야에 사용 가능
- 측정 범위 : 5.6 to 560 nm

배출입자 입경별 수농도 분석기

○ 용 도 : 5.6 to 560 nm의 대기 중 나노입자 입경분포 측정

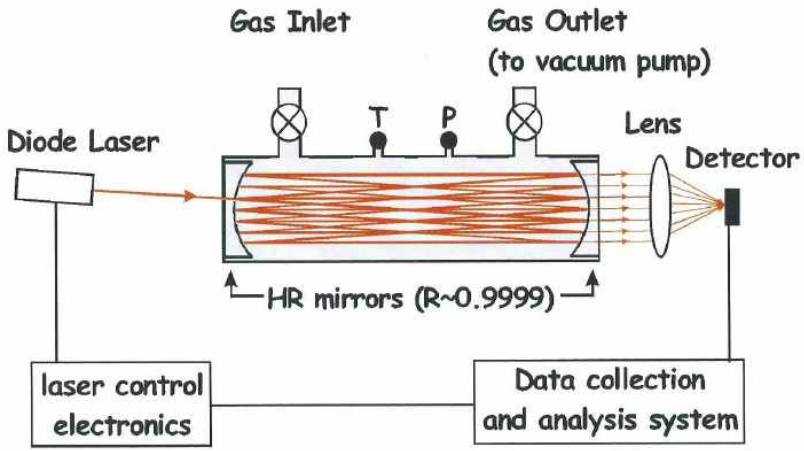
○ 역 할 : 미세먼지 배출원에서 나오는 입자상 물질 중 5.6 to 560 nm 범위의 입자에 대한 개수 농도 측정





휴대용 H2S/NH3 측정기

휴대용 H2S/NH3 분석기
(H2S/NH3 Analyzer)



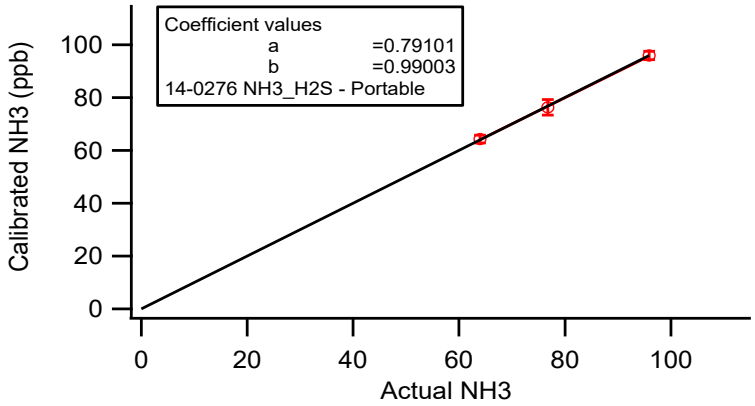
특 징(Features)

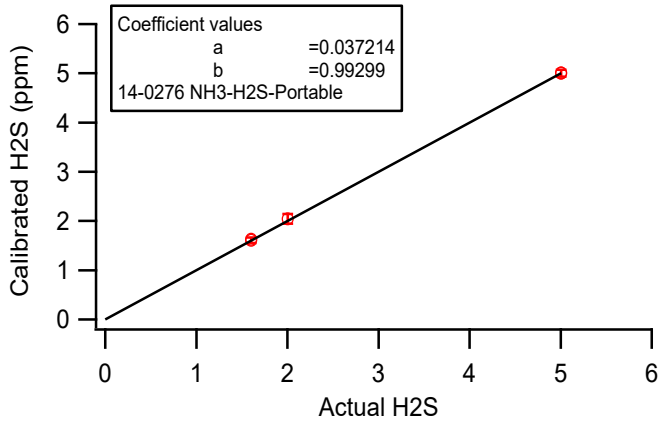
- 대기 중 황화수소/암모니아 농도를 동시에 실시간 분석 가능
- 이차에어로졸과 생성기구 규명 연구 가능
- 이동성이 편리하여 고정 설치 뿐 아니라 이동하며 측정 가능 (백팩 형태+프로브 연결+외장 배터리)
- 사용자가 사용하기 쉽고, 유지보수 가능 (Mirror 정렬)

휴대용 H2S/NH3 측정기

○ 용 도 : 대기 중 황화수소/암모니아 농도를 동시에 실시간으로 분석 (이동 측정형)

○ 역 할 : 가스 상태의 암모니아 배출로 인해 수도권 초미세먼지의 연평균 농도가 ㎥당 4~5㎍ 정도 높아지며, 황화수소도 연소되게 되면 황산화물로이 생성되어 다른 오염물질보다 초미세먼지 생성에 대한 영향이 큰 것으로 알려져 있어, **서울시의 황화수소/암모니아의 농도를 파악**하고 초미세먼지 생성에 대한 기여도를 평가 및 제시하는 데 효과적으로 사용될 수 있음.

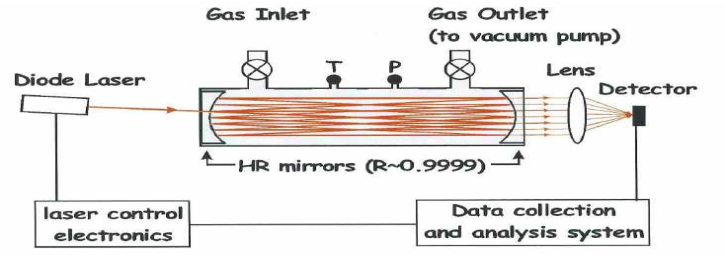


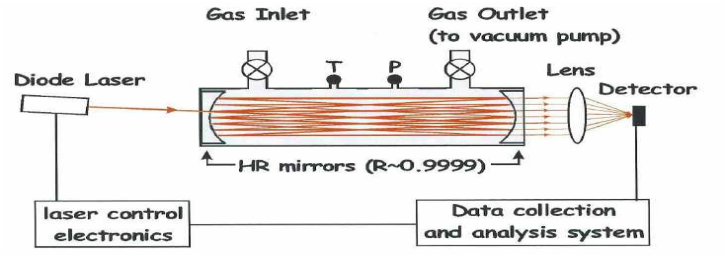


<휴대용 암모니아/황화수소 분석기 교정 사례>

<Ref : ABB-LGR_2014>

Green House Gas 측정기





휴대용 CO_2, CH_4 측정기

특 징(Features)

- 도시 대기 중 온실가스 실시간 분석 가능
- 5.4kg의 이동성이 편리한 장비 무게
- 내장 배터리를 이용한 측정 가능
- 휴대용 (이동 및 고정) 및 Rack (고정, 고성능) Type 선택 가능

휴대용 N_2O, CO 측정기

특 징(Features)

- 도시 대기 중 온실가스 N20/CO 실시간 분석 가능
- 휴대용 (이동 및 고정) 및 Rack (고정, 고성능) Type 선택 가능
- 이동성이 편리하여 고정 설치 뿐 아니라 이동하며 측정 가능 (백팩 형태+프로브 연결+외장 배터리)

Green House Gas 측정기

○ 용 도 : **CO_2 & CH_4, N_2O 측정기**

○ 역 할 : 대기 중 CO2, CH4, N2O를 실시간으로 측정하여 제공

세 가지 물질은 모두 WHO에서 규정한 기후변화물질로서 대기 중 **CO_2 농도는 350 ~ 450 ppm** 수준이며**, CH_4는 약 1~2 ppm**, **N_2O는 270 ~ 320 ppb** 수준

오염된 지역의 경우-발생원이 많은 경우- 그 농도는 증가하는 경향

물질들은 일 변동, 주간 변동 및 계절에 따라 주기를 가지며 변화하는 특성이 보고된 물질임.

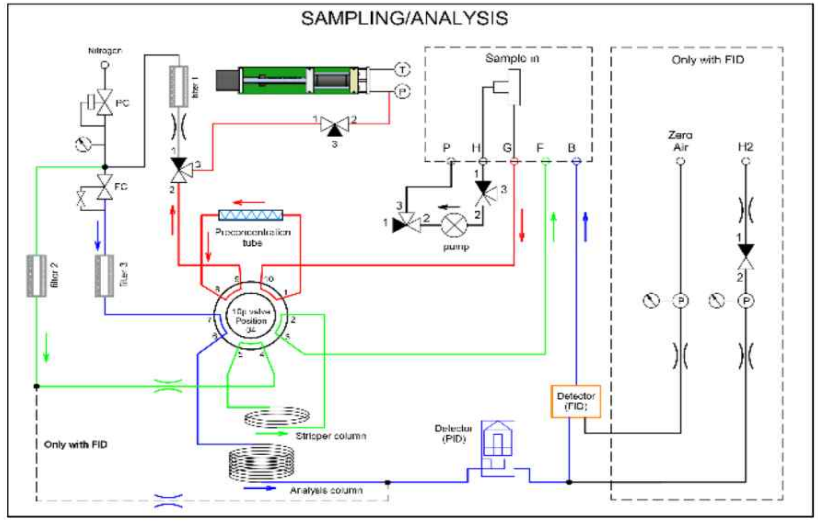
서울 및 국내 타 지역에 따른 CO_2, CH_4, N_2O 물질의 농도차이를 확인, 향후 미세먼지 저감 대응방안을 마련하기 위해 장기적인 측정과 운영이 필요할 것으로 판단됨.

BTEX 분석기(On-line GC)

GC 955-615/FID 방식

GC 955-601/PID 방식

On-line GC
(GC 955-601)



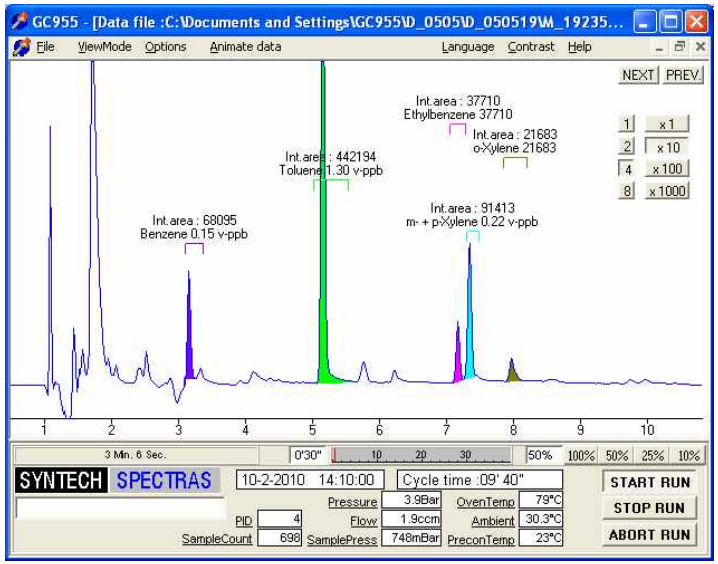
특 징(Features)

- GC원리와 PID검출기를 이용한 BTEX 준 실시간 분석 가능
- Ten port valve 채용을 통해 30분 간격으로 자동 Sampling 및 분석 가능
- User가 측정 물질 변경 가능 (컬럼 및 검출기 변경을 통한)
- 대기오염측정망 및 유해 대기 오염 물질 측정망에 적용 가능

BTEX 분석기(On-line GC)

○ 용 도 : 대기 중 **휘발성 유기화합물의 농도를 측정**하여 분석(30분 ~ 1시간 간격)

○ 역 할 : PTR장비는 실시간으로 VOCs에 대한 정보를 제공하며, On-line GC PID 장비는 30분 간격으로 BTEX 농도를 제공함.

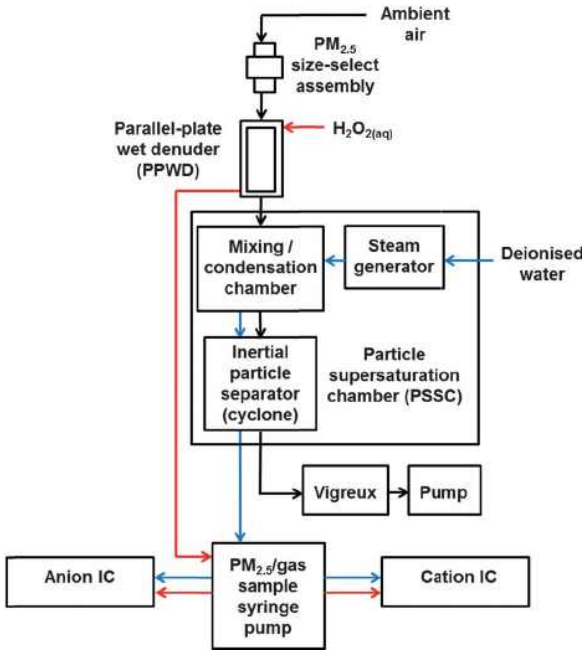


<BTEX 측정 화면>

측정지역의 농도수준을 전국의 다른 지역(환경부에서 운영하는 측정소)과 비교하여 현재 수준을 파악하는데 유용하게 활용할 수 있음. 또한 PTR 장비의 측정결과와 동시에 비교하여 측정 자료의 정확도와 신뢰도를 평가 및 제공할 수 있음.

대기 이온 분석기
(Ambient Ion Monitoring System)

AIM
(Ambient Ion Monitoring System)



특 징(Features)

- 이온 각각을 정량 분석하는 이온크로마토그래피 방법 채용
- 중량법 대비 포집 효율 99%의 정확도
- 최대 10일간 무인 자동 운전 가능
- 매시간 음이온과 양이온 자동 분석 가능 (선택사양 매 15분)
- 분석 후 자료를 Windows에 저장 가능
- 원격으로 제어 및 데이터수집 가능

대기 이온 분석기
(Ambient Ion Monitoring System)

○ 용 도 : 미세먼지의 **이온성분(양이온, 음이온)을 측정 및 분석**하여 1시간 간격으로 결과값을 제공함.

○ 역 할 : 배출원에서 배출된 가스상 물질은 다양한 반응경로를 통해 입자상 물질로 전환됨.

특히 SO_2와 NOx는 발전소 뿐만 아니라 대기오염물질의 주요 인자로 작용하며, 미세먼지에 포함된 황산염(SO_4^{2-})과 질산염(NO_3^-) 성분의 형성에 매우 큰 역할을 하고 있음.

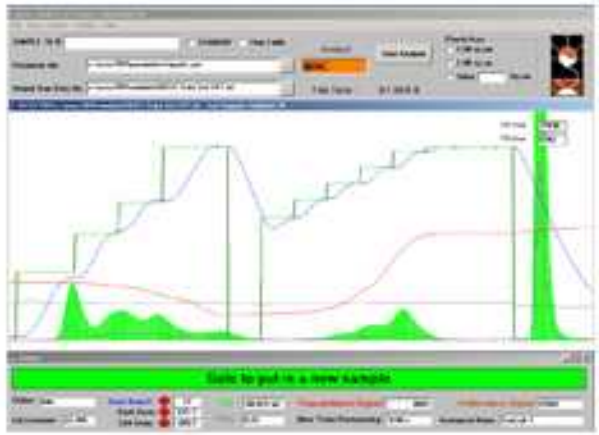
미세먼지를 연속적으로 채취하여 음이온**(SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-등)**과 양이온**(Na^+, NH_4^+, Ca^{2+}, K^+, Mg^{2+})** 을 실시간으로 분석하여 1시간 간격으로 자료를 제공.

○ 중 요 성 : **미세먼지중의 이온성분에 대한 정보는 직접적으로 배출된 먼지중의 화학적 성분 뿐만 아니라 2차 생성에 기여한 정도를 파악**하는데 매우 중요한 역할.

특히 해염성분(Na^+, Cl^-)의 비율과 지각성분(Ca^{2+}, Mg^{2+}) 그리고 생체소각(K+)인자들도 함께 분류할 수 있어 발전소에서 배출된 미세먼지의 영향을 파악할 때에 이러한 인자를 고려하여 분석할 수 있음.

탄소성분 자동분석기(SOCEC)

SOCEC
(Semi-Continuous Organic Carbon/Elemental Carbon)



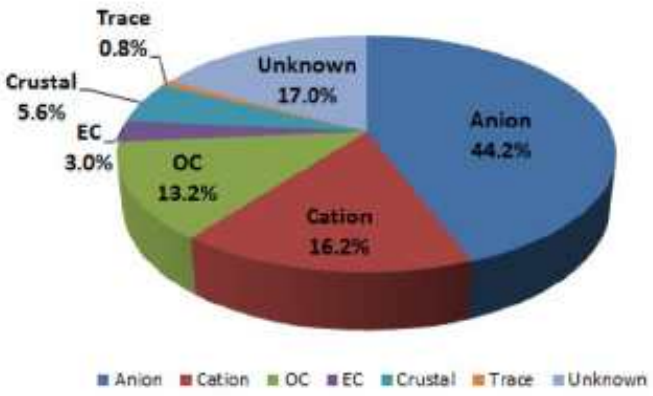
특 징(Features)

- PM2.5의 OC, EC 및 CC를 연속자동 측정
- NDIR 및 Laser transmission(TOT) 측정 방법으로 정확한 측정
- NIOSH 및 EPA STD Method에 부합
- 0.01μg의 고정밀도 실현

탄소성분 자동분석기(SOCEC)

○ 용 도 : 미세먼지의 **유기탄소와 원소탄소 성분을 측정 및 분석**하여 1시간 간격으로 제공함.

○ 역 할 : 탄소성분은 미세먼지를 구성하는 한 축으로 CxHyOz 구조인 유기탄소성분과 Cx구조인 원소탄소 성분으로 구분되며, SOCEC는 이에 대한 정보를 각각 제공함.



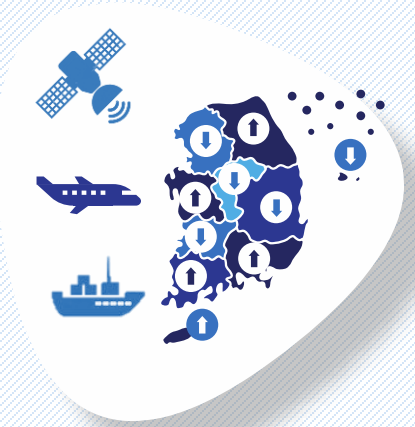
<**AIM과 SOCEC**를 이용하여 측정한 미세먼지의 이온 및 유기성분 구성비율>
*출처 : 도시환경학회

측정된 미세먼지중의 유기탄소와 원소탄소의 비율은 배출원에 대한 영향을 직접적으로 평가할 수 있는데, **유기탄소의 비율이 증가할수록 2차 기원의 영향**을 판단할 수 있으며**, 원소탄소의 비율이 증가할수록 배출원의 영향**을 받은 것으로 평가할 수 있는 지표로 활용할 수 있음.

대기환경 정책연구를 위한 데이터 활용사례

대기환경연구소 운영 및 데이터 확정 (정도관리 및 등가성 평가 중심으로)

(2022.03.15, 충남연구원 서해안기후환경연구소)



국립환경과학원 대기환경연구과

이 광 열

목 차

01 미세먼지 측정장비 정도관리 제도

02 등가성평가 제도

03 대기오염측정망 설치 · 운영지침 개정사항

04 측정망 운영지침 세부 변경 사항

05 대기환경연구소 운영 및 데이터 확정

01 미세먼지 측정장비 정도관리 제도

01 미세먼지 측정장비 단계별 정도관리

측정기기 수입, 제작, 판매 단계 - 형식승인(환경분야 시험검사에 관한 법률 제9조)

형식승인 정의

환경측정기기의 정확성과 통일성을 유지하기 위하여 국가에서 기기의 성능기준을 정하여 형식을 승인하는 행위

운영 단계 - 정도검사(환경분야 시험검사에 관한 법률 제11조)

정도검사 정의

환경 오염도를 측정하여 그 결과를 행정목적에 사용하는 환경측정기기를 대상으로 형식승인한 내용대로 구조와 성능이 유지되는지 여부에 대해 주기적으로 검사

01 측정기기 형식승인, 정도검사 고시 연혁

	고시 2017-6호, 2017.4.5	고시 2017-62호, 2017.12.28	대기오염공정시험기준 개정 (고시 제 2020-30호, 2020.9.7)
PM_{10} 연속자동	등가성 평가 시험은 측정망 운영지침의 등가성 평가 시험에 따라 시험을 하고 이를 정도검사 신청시 제출하며 검사자는 정해진 절차에 따라 **등가성 평가 시험을 시행하였는지 확인한다.** 최초 정도검사의 경우 형식승인에 제출된 등가성 평가 시험을 인정한다. (단, 연속적으로 사용하지 않는 측정기의 경우 **년 14일** 연속으로 평가한 자료를 제출하여도 동일한 자료로 평가한다.)	대기오염공정시험기준(ES 01605.1)에 따라 등가성평가시험을 하고 이를 정도검사 신청 시 제출하며 검사자는 대기오염공정시험기준에 따라 **등가성평가시험을 시행하였는지 확인한다.** 최초 정도검사의 경우 형식승인 시 제출된 등가성평가시험을 인정한다. 10일/년 이상	**측정기 운영 형태에 따른 등가성 평가 방식 달리 적용** **- 현장 등가성 평가 여부**
$PM_{2.5}$ 연속자동	등가성 평가 시험은 측정망 운영지침의 등가성 평가 시험에 따라 시험을 하고 이를 정도검사 신청시 제출하며 검사자는 정해진 절차에 따라 **등가성 평가 시험을 시행하였는지 확인한다.** 최초 정도검사의 경우 형식승인에 제출된 등가성 평가 시험을 인정한다. (단, 연속적으로 사용하지 않는 측정기의 경우 년 14일 연속으로 평가한 자료를 제출하여도 동일한 자료로 평가한다.)	대기오염공정시험기준(ES 01706.2)에 따라 등가성평가시험을 하고 이를 정도검사 신청 시 제출하며 검사자는 대기오염공정시험기준에 따라 **등가성평가시험을 시행하였는지 확인한다.** 최초 정도검사의 경우 형식승인 시 제출된 등가성평가시험을 인정한다(단, 연속적으로 사용하지 않는 측정기의 경우 년 14일 연속으로 평가한 자료를 제출하여도 동일한 자료로 평가한다.). 7일/반기 이상	대기오염공정시험기준 개정 (고시 제 2021-61, 2021.09.10) PM10 연속자동측정기: 격년 23일 PM2.5 연속자동측정기: 격년 14일

01 환경측정기기 정도검사 세부기준 주요 개정 내용

PM_{10} & $PM_{2.5}$ 시료 채취 장치

고시 2017-6호, 2017.4.5

1. 여과지 홀더의 기밀성
2. 유량 허용 정밀오차
3. 온도시험 및 유량 변동률
   (35±2 ℃ 및 -5±2 ℃ 에서 4시간 방치 후 유량변동률 측정)

고시 2017-62호, 2017.12.28

1. 여과지 홀더의 기밀성
2. 시료채취 유량의 안정성
3. 시료채취 유량의 정확성
4. 온도센서의 정확성(30분 간격 5회)
5. 압력센서의 정확성(30분 간격 5회)

검사기관에서 정도검사 → 현장에서 정도검사

02 등가성 평가 제도

1) 등가성 평가 (Equivalent Test)

실험실 검량이 어려운 미세먼지($PM_{2.5}$, PM_{10}) 연속자동측정기를 **국가기준측정시스템과 소급성이 확보된 시료채취장비(Class I)**를 이용하여 등가측정방법으로 인증하기 위한 현장실험절차

2) 형식승인(환경분야 시험검사에 관한 법률 제 9조)

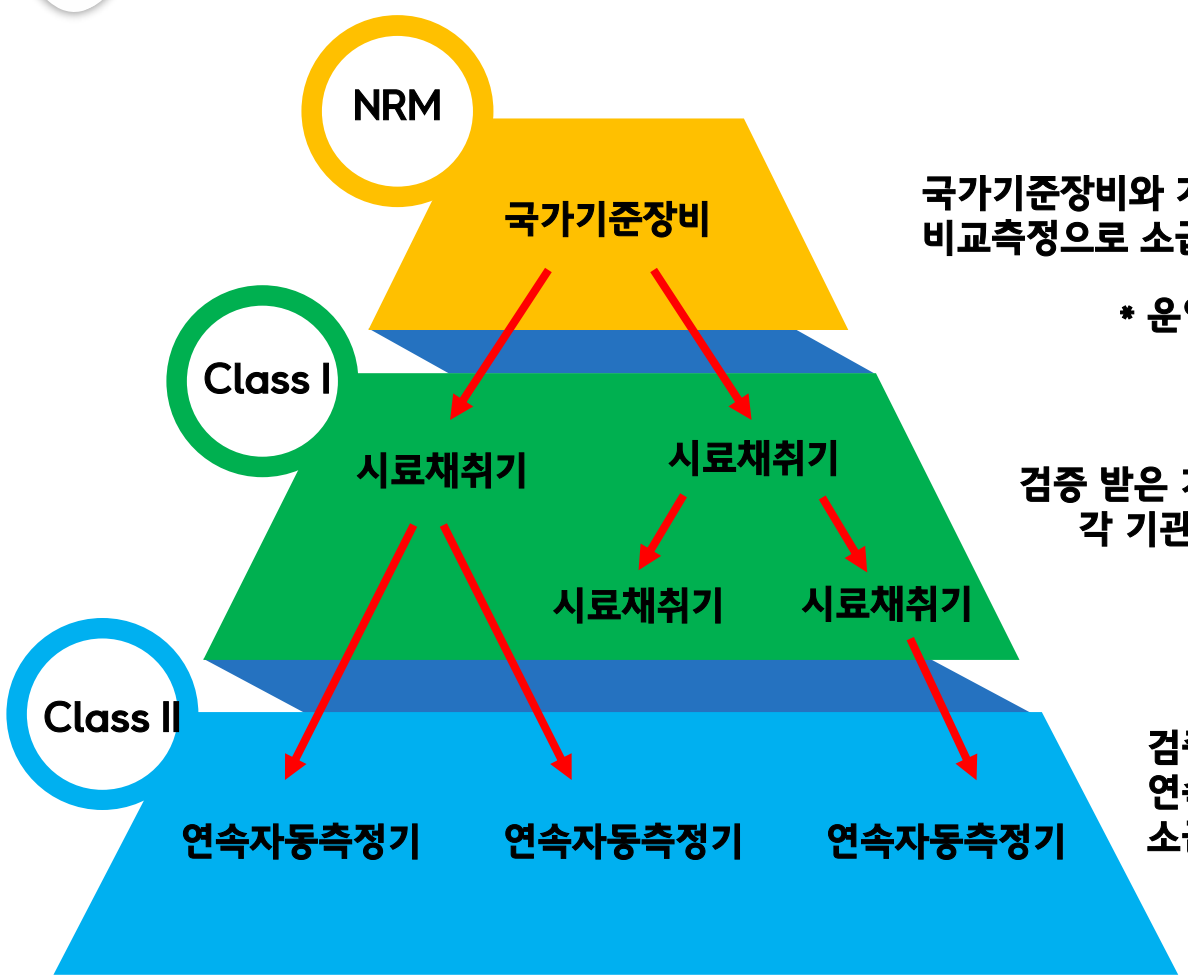
환경측정기기의 정확성과 통일성을 유지하기 위하여 **국가에서 측정기기의 성능기준을 정하여 형식을 승인**하는 행위

***환경측정기기의 형식승인·정도검사 등에 관한 고시**

3) 정도검사(환경분야 시험검사에 관한 법률 제 11조)

환경 오염도를 측정하여 그 결과를 **행정목적에 사용하는 환경측정기기를 대상**으로 형식승인한 내용대로 구조와 성능이 유지되는지 여부에 대해 **주기적으로 검사**

02 등가성평가 운영절차



국가기준장비와 기준 시료채취기(Class I) 비교측정으로 소급성 유지

* 운영기관별 2대

1회 1년

검증 받은 기준 시료채취기(Class I)와 각 기관의 다른 시료채취기 (Class I)

10일/년

검증 받은 시료채취기(Class I)와 연속자동측정기(Class II) 비교측정으로 소급성 유지

기존
- $PM_{2.5}$: 연속 7일/반기 이상
- PM_{10}: 연속 10일/년 이상

개정
- $PM_{2.5}$: 23일 이상/격년
- PM_{10}: 14일 이상/격년

- 국가기준측정시스템(NRMs): 수도권&호남권 대기환경연구소 미세먼지 정도관리센터에서 운영
  (조건) 측정정밀도, 검출한계 등 17개 항목에 대한 체계적 평가 수행
  측정환경(온·습도, 정전기 제어 등)이 제어된 자동로봇칭량시스템 운영

국가기준측정시스템 상시 운영

< 미세먼지 등가성 평가 기준 >

항목	기준	시료채취장치
PM2.5	기울기	0.9~1.1
	절편	-2.25~2.25
PM10	기울기	0.9~1.1
	절편	-5.00~5.00

02 $PM_{2.5}$ 등가성평가 운영제도 비교

2021년부터

	한국(기존)	한국(변경)	미국	캐나다	일본	중국
기울기	1 ± 0.1	1 ± 0.1	1 ± 0.1	1 ± 0.1	1±0.1	1 ± 0.15
절편	-2.25~ 2.25	-2.25~ 2.25	-2.0~ 2.0	-2.0~2.0		-10.0~10.0
상관계수	-	-	0.93~0.95	0.93	-	≥0.93
검출한계	3 ㎍/m³	3 ㎍/m³	3 ㎍/m³	2 ㎍/m³	-	0.1㎍/m³
정밀도	-	-	<15 %	<15 %	-	<15 %
평가횟수	7개/반기 14개이상/연간	23개이상/격년	30개/년 (전체사이트의 15%)	-	31개/년	23개 이상/년
측정범위	3~200 ㎍/m³	3~200 ㎍/m³	3~200 ㎍/m³	3~200 ㎍/m³	3~200 ㎍/m³	3~1000 ㎍/m³

- ✓ 미국,캐나다: 40 CFR Part 58
- ✓ 일본: 環境大気常時監視マニュアル 第 6 版(平成 22 年 3 月) 環境省 水・大気環境局
- ✓ 중국: 环 气颗 (PM10 PM2.5)连续 动监测 统 术 检测 (HJ 653-2013)

03 대기오염측정망 설치 · 운영지침 개정사항

03 등가성평가 기준 개선 사항

PM2.5

형식승인
46일 측정자료 확보
(기울기 0.9~1.1, 절편 -2.25~2.25)
(23일/회, 2회)

신규/교체
23일/회

상시운영
상시운영 장비:
23일/격년

총 측정일수 감소
: 28일/2년 => 23일/2년

PM10

형식승인
28일 측정자료 확보
(기울기 0.9~1.1, 절편 -5.00~5.00)
(14일/회, 2회)

신규/교체
14일/회

상시운영
상시운영 장비:
14일/격년

총 측정일수 감소
: 20일/2년 => 14일/2년

03 등가성 평가 개정 사유

1) 대기오염측정망의 지속적인 확충으로 인한 등가성 평가 제도 운영 효율화 필요

2) 형식승인, 신규/교체에 따른 최초등가성평가, 행정목적으로 사용하는 측정장비의 소급성 확보를 위한 등가성 평가 측정기간이 상이하여 통일 추진

3) 등가성 평가 연속측정기간 증가에 따른 적합성 향상 확인으로 보다 안정적인 운영을 위한 기간 연장 및 운영효율화를 위한 격년제 운영

04 측정망 운영지침 세부 변경 사항

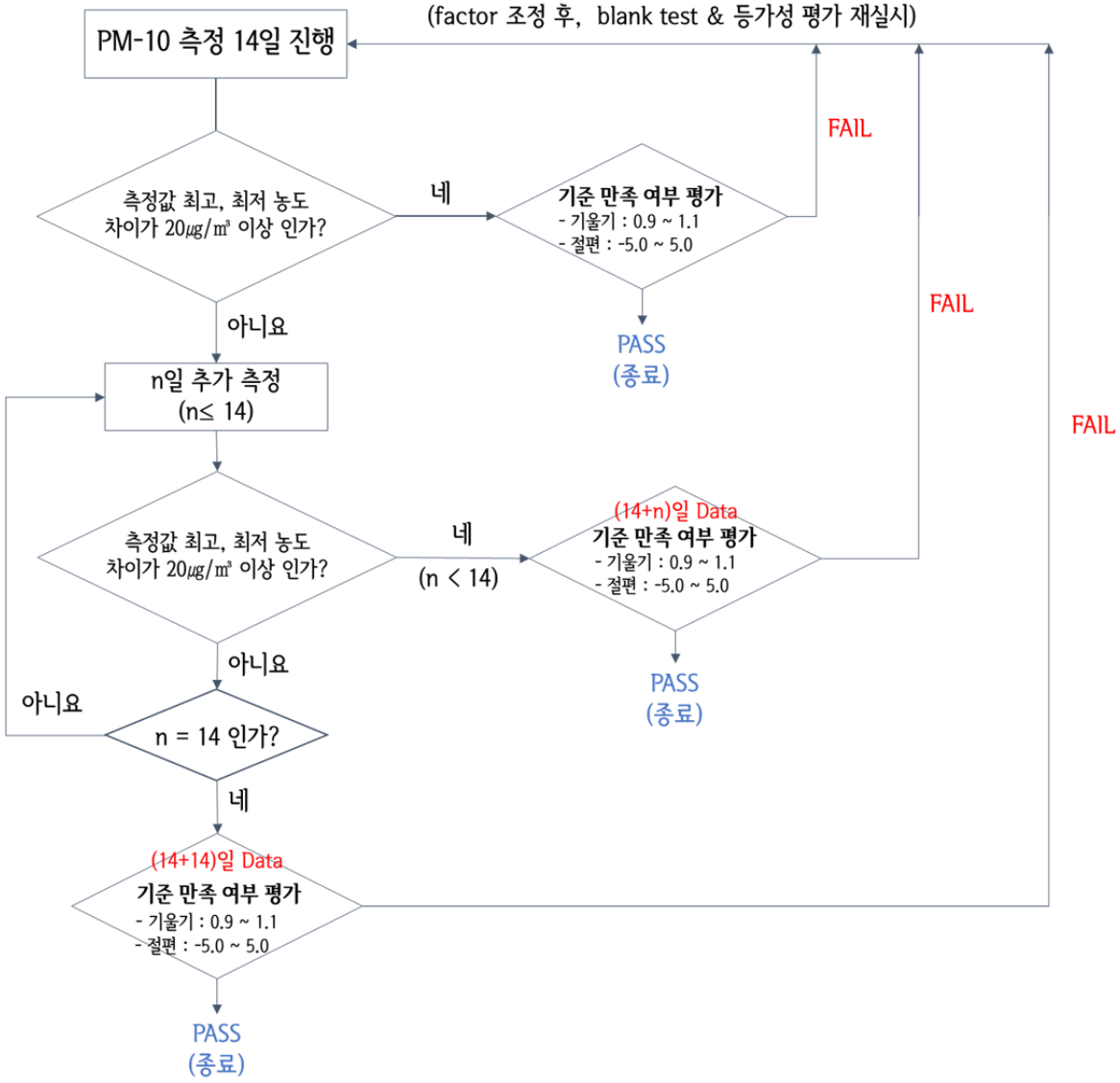
미세먼지(PM－10) 측정기

	개정 전		개정 후
평가주기	10일/년	→	14일/년(격년)
최저, 최고값 기준 측정기	시료채취장치의 측정값이 최저, 최고 농도의 차이가 20 ㎍/㎥ 이상		연속자동측정기의 측정값이 최저, 최고 농도의 차이가 20 ㎍/㎥ 이상
결과보고	[별지 제 19호] 서식에 작성하여 국립환경과학원장에게 제출		[별지 제 19호] 서식에 작성하여 국립환경과학원장에게 제출 및 NAMIS에 등록
불합격	등가성평가 불합격시, 그 시점부터 플래그를 부여하고 등가성평가 재실시		등가성평가 불합격시, 불합격 결과를 국립환경과학원에 통보하고 평가 결과를 확인한 시점부터 플래그를 부여하고 등가성평가 재실시

초미세먼지(PM－2.5) 측정기

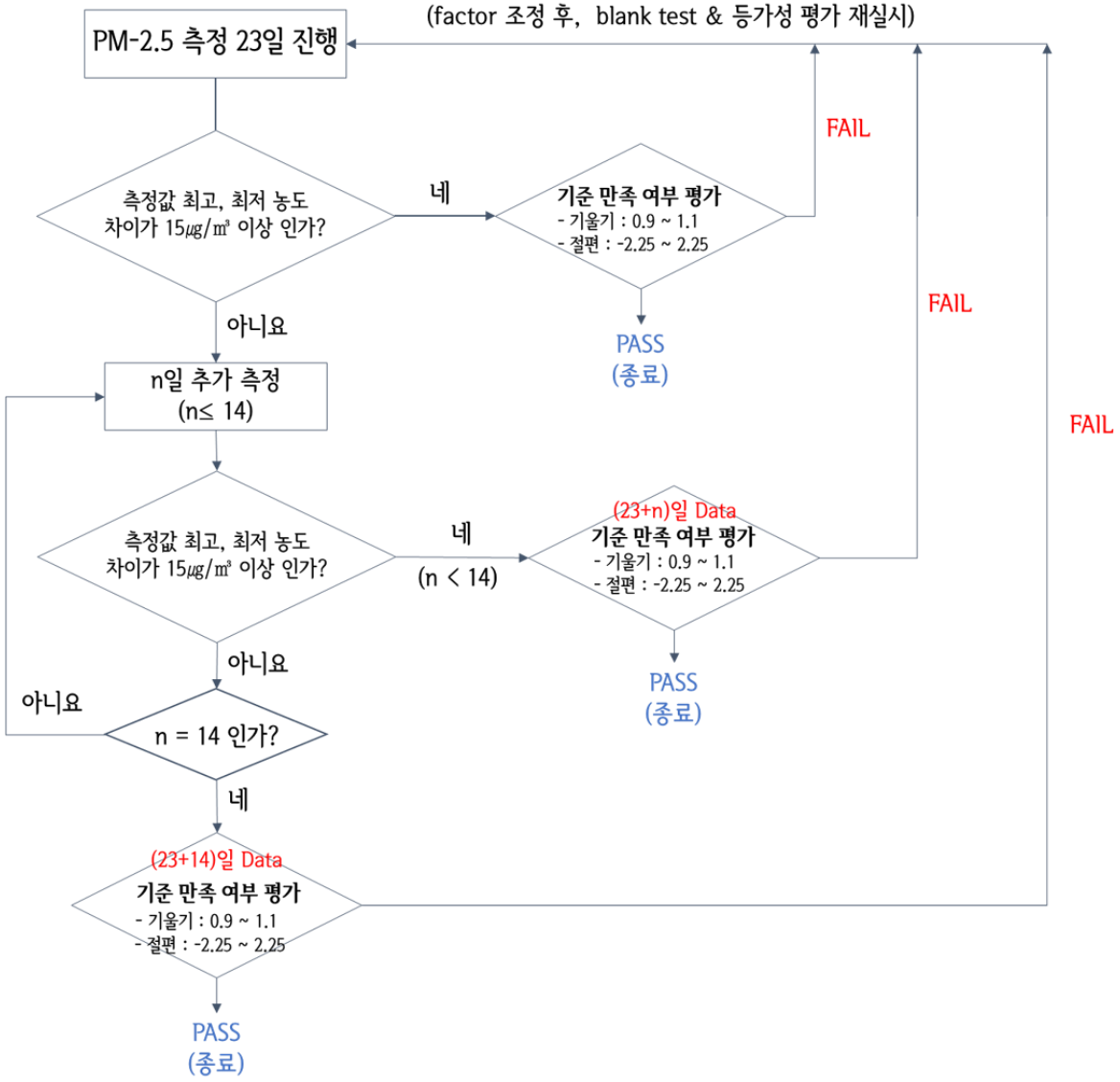
	개정 전		개정 후
평가주기	7일/반기	→	23일/년(격년)
최저, 최고값 기준 측정기	시료채취장치의 측정값이 최저, 최고 농도의 차이가 15 (㎍/㎥) 이상		연속자동측정기의 측정값이 최저, 최고 농도의 차이가 15 (㎍/㎥) 이상
결과보고	[별지 제 17호] 서식에 작성하여 국립환경과학원장에게 제출		[별지 제 17호] 서식에 작성하여 국립환경과학원장에게 제출 및 NAMIS에 등록
불합격	등가성평가 불합격시, 그 시점부터 플래그를 부여하고 등가성평가 재실시		등가성평가 불합격시, 불합격 결과를 국립환경과학원에 통보하고 평가 결과를 확인한 시점부터 플래그를 부여하고 등가성평가 재실시
선박측정망의 등가성평가	내용 없음		(환경공단) 선박측정망에서 운영하는 연속측정기의 경우, 시료채취장치와 비교 측정 자료를 모두 합하여 최소 23일의 자료로 등가성평가를 수행한다.

미세먼지(PM-10) 등가성평가 수행 흐름도 추가



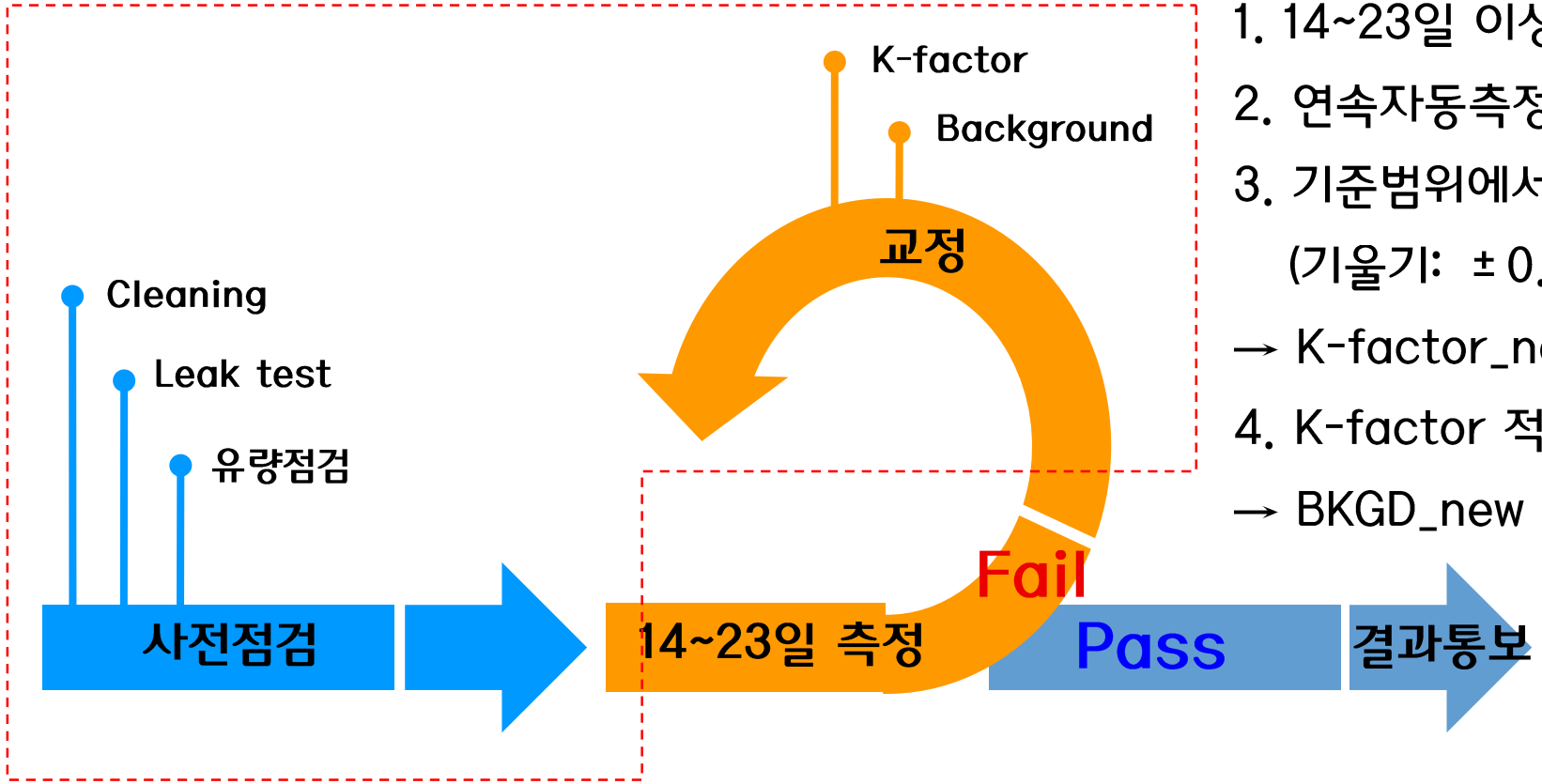
- ❖ 기본 수행 기간 : 14일
- ❖ 등가성평가 수행 조건
  - ① 측정값의 최고, 최저 농도 차이 20 (㎍/㎥)
  - ② 기울기 : 0.9 ~ 1.1
  - ③ 절편 : -5.0 ~ 5.0
- ❖ ① 조건 불만족 시, 추가 시료샘플링 진행
- ❖ 단, 추가 샘플링은 최대 14일까지(최대 14+14일)
- ❖ 추가측정 중 농도 범위 만족 시, 농도 범위 만족한 날까지의 결과로 수행

초미세먼지(PM-2.5) 등가성평가 수행 흐름도 추가



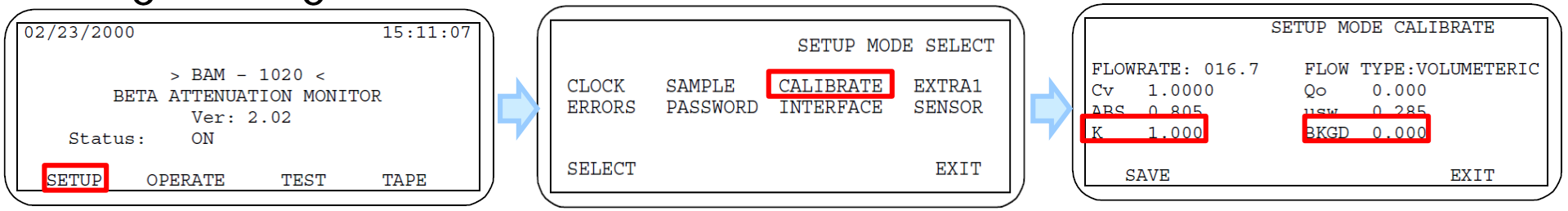
- ❖ 기본 수행 기간 : 23일
- ❖ 등가성평가 수행 조건
  - ① 측정값의 최고, 최저 농도 차이 15 (㎍/㎥)
  - ② 기울기 : 0.9 ~ 1.1
  - ③ 절편 : -2.25 ~ 2.25
- ❖ ① 조건 불만족 시, 추가 시료샘플링 진행
- ❖ 단, 추가 샘플링은 최대 14일까지(최대 23+14일)
- ❖ 추가측정 중 농도 범위 만족 시, 농도 범위 만족한 날까지의 결과로 수행

04 운영지침 변경사항에 대한 세부설명



1. 14~23일 이상 운영하여 자료 확보
2. 연속자동측정기와 기준 시료채취장비 상관관계 분석
3. 기준범위에서 벗어나면 K-factor 보정
   (기울기: ±0.1, 절편: ±2.25($PM_{2.5}$), ±5.0(PM_{10}))
→ K-factor_new = 기존 K-factor/기울기
4. K-factor 적용 후 Blank 시험(24시간 이상)
→ BKGD_new = BKGD - Blank 평균/1000

장비내 보정위치



05 대기환경연구소 운영 및 데이터 확정

05 대기환경연구소 운영 및 데이터 확정

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

정상 운영 중(10개소)
건립 중(1개소)
구축 예정(2개소)

22년 전국 권역별 대기환경연구소 현황

05 대기환경연구소 운영 및 데이터 확정

('22년 3월 기준)

구 분		충청권 대기환경연구소 (2019년 11월 개소)
위 치		충남 서산시 수석1길 124-1
규모(연면적 m^2)		598.38(3층, 총면적)
토지매입비		14.3억원
건축예산		19.7억원
장비예산		18억원
운영 인력 (현원)	연구사	1
	전문연구원	1(3)
	조사연구원	1
	유지보수 지원	1
	총원	4

충청권 대기환경연구소 측정장비 구축현황(17종, 22대)

PM_{10}	Mass : (MetOne, BAM1020) (KENTEK, MEZUS 610)	광학특성	산란계수 : (Ecotech, Aurora 4000) 흡수계수 : (Magee, Aethalometer)
$PM_{2.5}$	Mass : (MetOne, BAM1020) Ion : (URG, AIM9000D) OC/EC : (Sunset, OCEC analyzer) BC : (Magee, Aethalometer) Element : (Cooper, Xact625i)	수동 시료채취	PM_{10}, $PM_{2.5}$ (MetOne, E-FRM/E-seq-FRM)
입경분포	0.01~0.5 ㎛ (TSI, SMPS 3936) 0.5~20 ㎛ (TSI, APS 3321)	가스상 측정기	NO, NOy, SO_2, CO, O_3 (Thermo Scientific) NH_3 (PICARRO)

05 대기환경연구소 운영 및 데이터 확정

('22년 3월 기준)

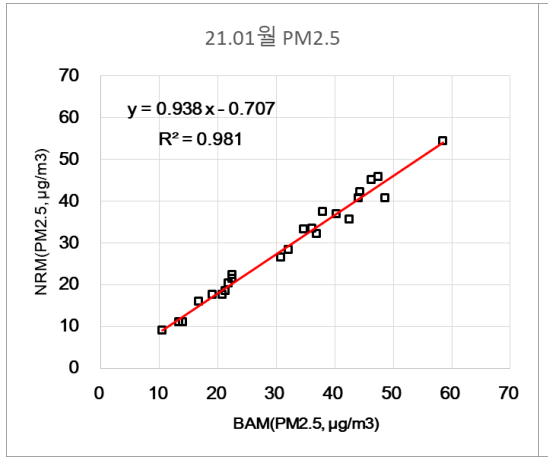
구 분		미세먼지 정도관리센터
위 치		충남 서산시 수석1길 124-1
규모(연면적 m^2)		688.5(3층, 총면적)
건축예산		19.7억원
운영 인력 (현원)	연구사	1
	조사연구원	1(2)
	총원	2

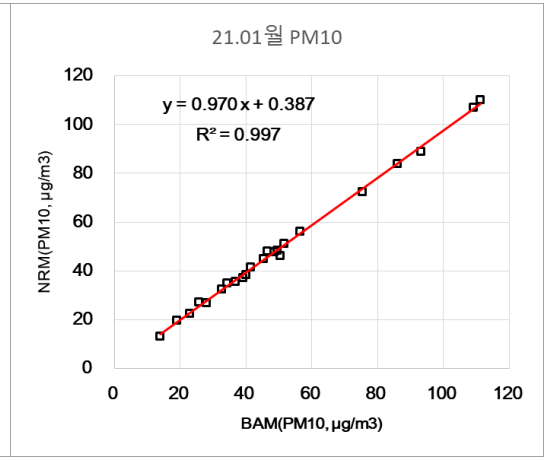
대기환경연구소 운영 장비(충청권)

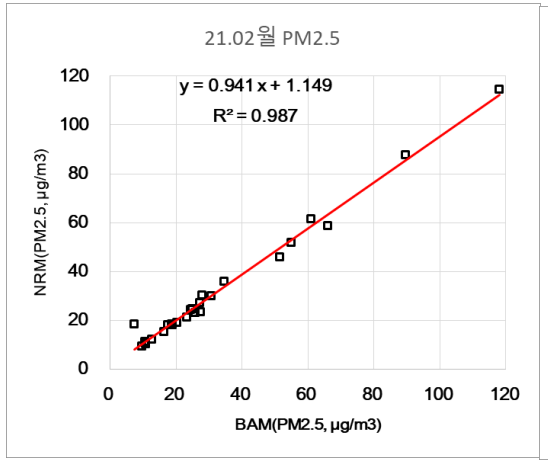
PM_{10}	Mass : (MetOne, BAM1020) (KENTEK, MEZUS 610)	광학특성	산란계수 : (Ecotech, Aurora 4000) 흡수계수 : (Magee, Aethalometer)
$PM_{2.5}$	Mass : (MetOne, BAM1020) Ion : (URG, AIM9000D) OC/EC : (Sunset, OCEC analyzer) BC : (Magee, Aethalometer) Element : (Cooper, Xact625i)	수동 시료채취	PM_{10}, $PM_{2.5}$ (MetOne, E-FRM/E-seq-FRM)
입경분포	0.01~0.5 μm (TSI, SMPS 3936) 0.5~20 μm (TSI, APS 3321)	가스상 측정기	NOx, NOy, SO_2, CO, O_3 (Thermo Scientific) NH_3 (PICARRO)

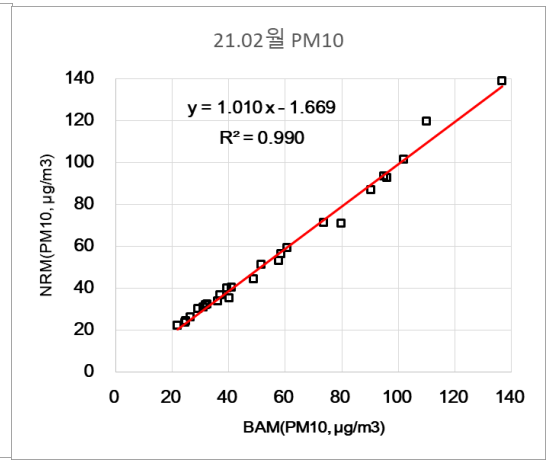
PM10, PM2.5 질량농도(BAM 1020)

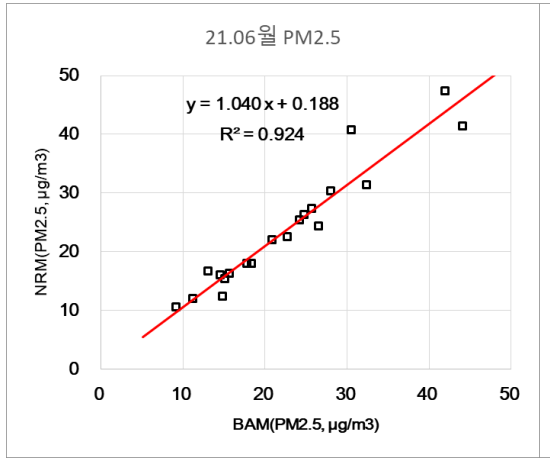
- 유량 확인(monthly) : 15.0, 16.7, 18.4 LPM, Leak test(monthly)
- Blank test (> 72 hours, every 3-6 months)
- 필터샘플링 v.s. BAM 1020 (monthly)

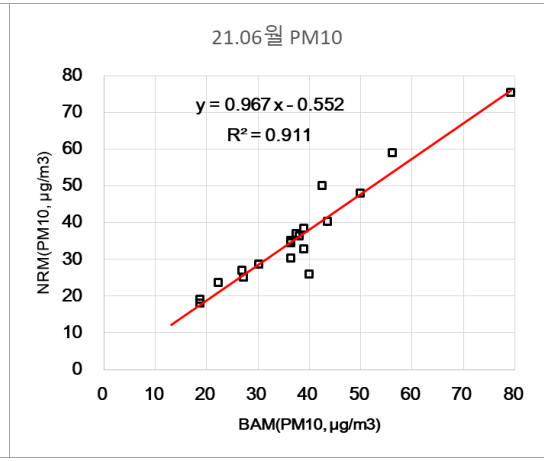


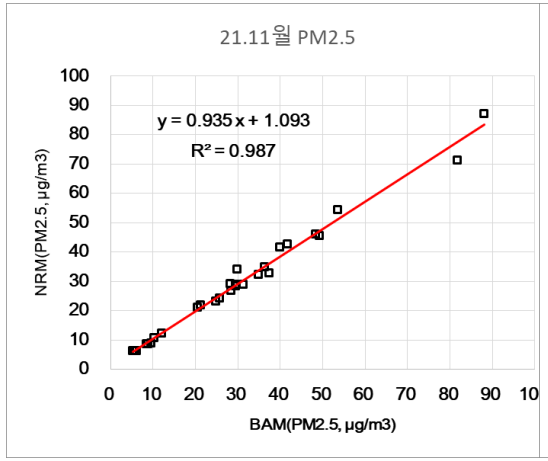


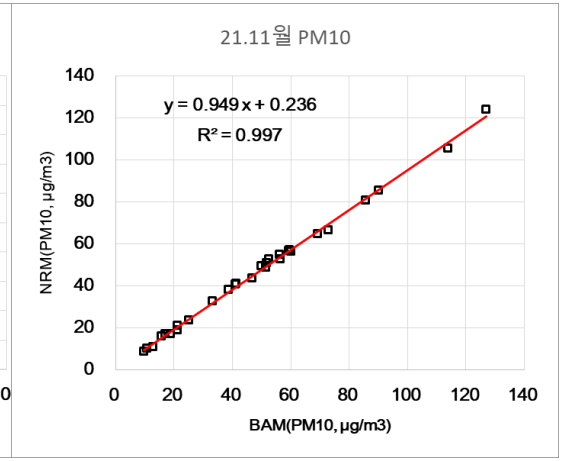






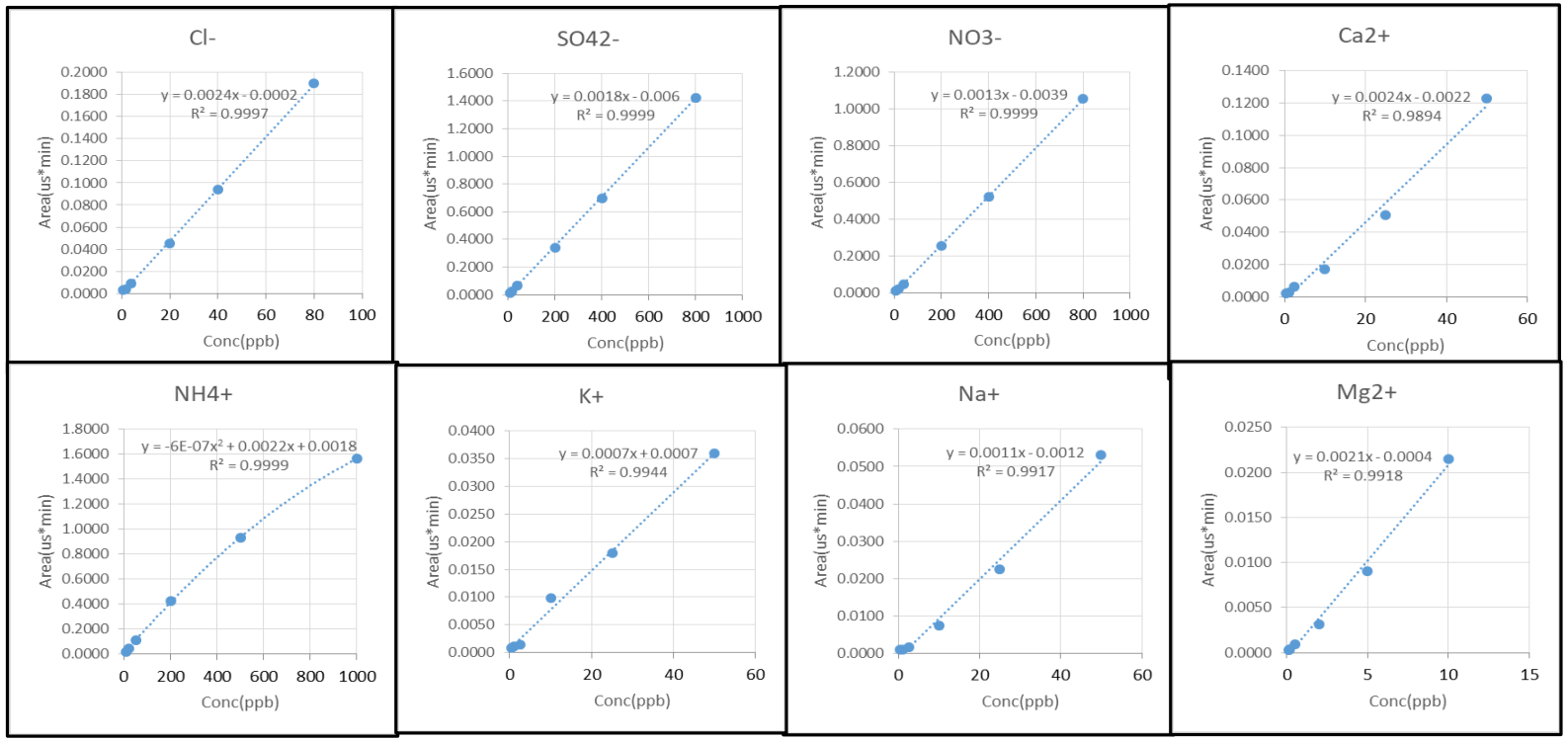






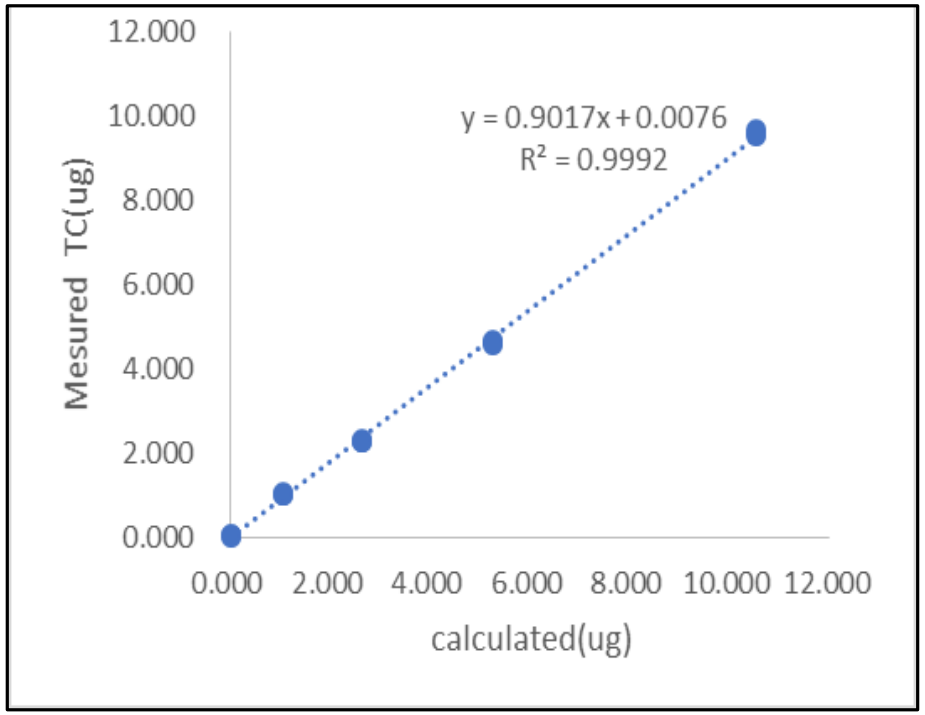
AIM(수용성 이온성분(sulfate, nitrate, ammonium and others) in PM2.5)

- 샘플러 부분 세척(monthly)
- 가스상 디누더 교체(bi-monthly)
- 장비 교정(6 points, monthly)
- Blank test(monthly, > 24hrs)
- Syringe filter 교체(3~4 days), Column, EGC(MSA, KOH) 필요시 교체



SOCEC(Organic and elemental carbon in PM2.5)

- Carbon denuder 교체(monthly)
- Calibration(5 points, monthly)
- Blank test(monthly, > 24hrs)
- 샘플링 필터 교체(3~4 days, depend on laser correction)
- 비례제어밸브 확인(각 가스별, 유량 조정)



XRF(elemental composition in PM2.5)

- Clean all parts of sampling line(3-6 months)
- Calibration check(weekly and monthly)
  : K, Ca, Ni, Ti, Pb, Cd
- Calibration check(half year)
  : all elements
- X-ray tube check
- Flow and leak test(2-3 months)
- Check QA upscale and Nb drift(weekly)

- Flow Calibration
- QA Upscale
- 6 component QA Report

※ Flow Calibration

- Sample inlet port

1차	Target	Xact	Std
Flow 1	14.25	15.21	15.05
Flow 2	16.36	16.80	16.71
Flow 3	18.05	18.43	18.36

2차	Target	Xact	Std
Flow 1	14.89	15.15	15.03
Flow 2	16.57	16.81	16.71
Flow 3	18.19	18.51	18.42

3차	Target	Xact	Std
Flow 1			
Flow 2			
Flow 3			

4차	Target	Xact	Std
Flow 1			
Flow 2			
Flow 3			

※ QA Upscale

	Cr	Pb	Nb
최대값	2358	103232	8263
최소값	2060	96640	7399
평균값	2193	99526	7788
표준편차	125	2838	372

※ 6 component calibration check Report

Element	1주	2주	3주
Ti	51512	51205	51418
Se	54693	54525	54863
Cd	35311	35106	35278
Pb	57179	56702	57000
Ca	36635	36340	36307
Ni	50885	51165	51034

cf. 측정 오차 범위 : ± 5% (=100-(MASS/Conc)*100)

- Energy Calibration (Al, Cu, Cd) Value
- QA Blank Report

※ Energy calibration

Al		Cu		Cd	
최대값	52831.37	최대값	100615	최대값	199961
최소값	49590.27	최소값	100031	최소값	198237
평균값	50883	평균값	100372	평균값	199162
표준편차	1214	표준편차	184	표준편차	609

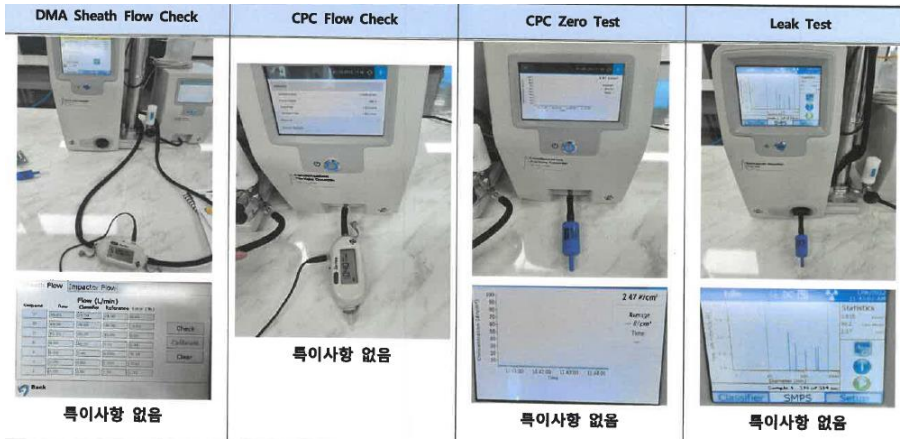
※ QA Blank report

- 1800[s] Acqusition

Elements (25)		Concentration
Si	1	0
S	1	2.0062
K	1	0.3555
Ca	1	0
Ti	1	0.0336
V	1	0
Cr	1	0
Mn	1	0
Fe	2	0
Co	2	0
Ni	2	0
Cu	2	0.0549
Zn	2	0
Ga	2	0
As	2	0
Se	2	0
Br	2	0
Mo	2	0
Pd	3	1.2557
Cd	3	0
Sb	3	0
Ba	1	0
Hg	2	0
Tl	2	0
Pb	2	0

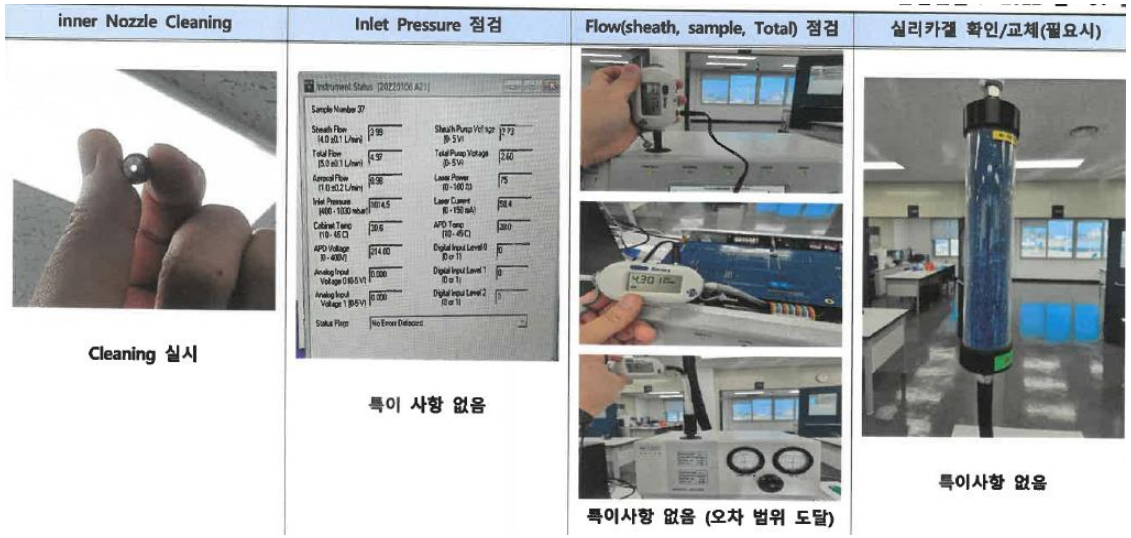
SMPS(number size distribution, 10 – 460 nm)

- DMA sheath flow check(monthly)
- CPC flow check(weekly)
- DMA impactor cleaning(weekly)
- CPC zero test and leak test(mothly)
- Change silica



APS(number size distribution, 0.5 – 20 μm)

- Inner nozzle cleaning(monthly)
- Inlet pressure check(monthly)
- Flow check(sheath, sample, total)



Aethalometer(BC concentration and Abs. coefficient in PM2.5)

- Flow check(monthly)
- Cyclone cleaning(monthly)
- Water trap cleaning(monthly)
- DFU filter check(2-3 months)
- Tape filter check(monthly)

Nephelometer(Scat. coefficient in PM2.5)

- Span and zero check(monthly)
- Wall signal check(monthly)
- 유량확인, 희석기 압력확인

AQMS(SO_2, NO, NO_2, NOx, NOy, O_3, CO) and NH_3

- Span and zero check(monthly)
- Flow check(Orifice cleaning, monthly)
- PMT voltage check(SO_2), IR check(CO), chamber cleaning(NOx, NOy), UV cell cleaning(O_3)

NH_3(CRDS)

- Filter check, temp and pressure check(monthly)
- Validation test(CO_2) and zero check(Zero air gas, 20분 이상)(monthly)
- Calibration(half year)

감사합니다.

디아이랩㈜
DI Lab Inc.

지능형 플랫폼 기반 미세먼지 데이터 서비스

Myung Kwang Min
DI Lab

© Copyright DI Lab 2022

발표자 소개

IoT 데이터 분석 및 기상환경플랫폼 개발

명광민 대표이사

주요 이력

- 현 디아이랩㈜ 대표이사
- 대한민국 기상예보사 1호
- 현 기상학회 기상산업분과위원
- 전 KT 환경플랫폼 사업팀 차장
- 전 SK플래닛 웨더플랫폼 사업팀 매니저
- 전 한국형수치예보모델개발사업단(KIAPS) 기술자문위원(TAC)
- 공군 기상장교 중위 전역
- 연세대학교 대기과학 학사, 대기과학 석사 수료
- 인공지능 모델 및 플랫폼 기술 관련 특허 5건 등록

SK 플래닛 의 고해상도 기상정보 사업 담당

- 수도권에 1000개의 IoT 기반 기상 관측망 및 기상정보 플랫폼 구축
- 딥러닝 기반 데이터 이상감지 및 예보시스템 개발
- 기상과 산업 데이터 분석/모델 개발 및 서비스 제공

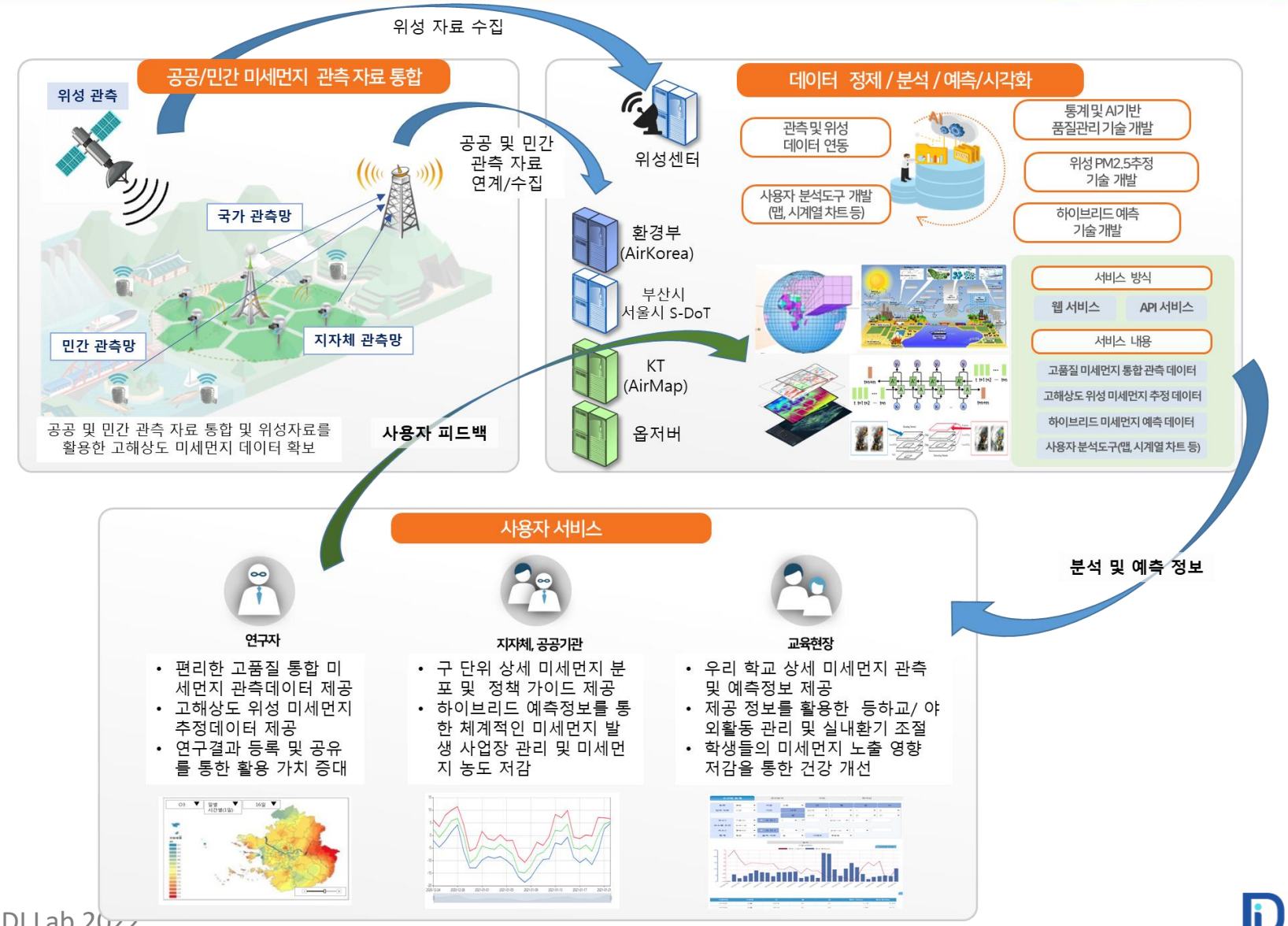
KT AirMap 프로젝트 담당

- 서울 및 6대광역시에 2000여개 환경관측망 및 환경플랫폼 구축
- 지자체 미세먼지 데이터와 유동인구 상관분석 및 저감 방안 도출
- 실내공기질 플랫폼 구축 및 최적 환기 알고리즘 개발

© Copyright DI Lab 2022

디아이랩(주)

데이터 서비스 개요



© Copyright DI Lab 2022

디아이랩(주)

최종 목표

미세먼지 통합 플랫폼 서비스

- **산재되어 있는 미세먼지 데이터 수집/정제/분석/적재**
- **다양한 사용자에게 공유하기 위한 미세먼지 서비스 통합 플랫폼 구축**
- **리빙랩 운영을 통한 다양한 사용자 의견 수집 및 반영**

- **산재되어 있는 미세먼지 데이터 수집/정제/분석/적재**
  - 공공과 민간에 산재된 미세먼지 관측 데이터를 수집하고 품질관리를 통해 고해상도.고품질의 미세먼지 관측자료 생산
  - 미세먼지 관측 공백 해결을 위한 위성 기반 미세먼지 추정 알고리즘 개발 및 생산
  - 미래의 대기질 예측을 위한 하이브리드 예측 시스템 구축
  - 수집/분석된 미세먼지 관측/위성/수치모델 데이터의 분석 및 DB 적재

- **다양한 사용자에게 공유하기 위한 미세먼지 서비스 통합 플랫폼 구축**
  - 연구자, 교육현장, 산업군 등 다양한 사용자에게 데이터 제공하기 위한 API 및 사용자 분석도구 개발
  - 미세먼지 관측/위성/수치모델 데이터의 다양한 분야 연구자 공유를 통한 미세먼지 예보 정확도 향상
  - 지자체, 보건 및 다양한 산업군에 사용자 분석도구 제공을 통한 서비스 활용도 제고

- **리빙랩 운영을 통한 다양한 사용자 의견 수집 및 반영**
  - 정부와 민간의 공기질 정보 수집체계 연동을 통한 리빙랩 구성
  - 사용자 의견 수집/분석/피드백을 통한 서비스 플랫폼 실증환경 구축 및 운영
  - 리빙랩을 통해 조사된 다양한 사용자 피드백을 반영한 플랫폼 보완

© Copyright DI Lab 2022

주요 개발 내용

통합 서비스 플랫폼 개발

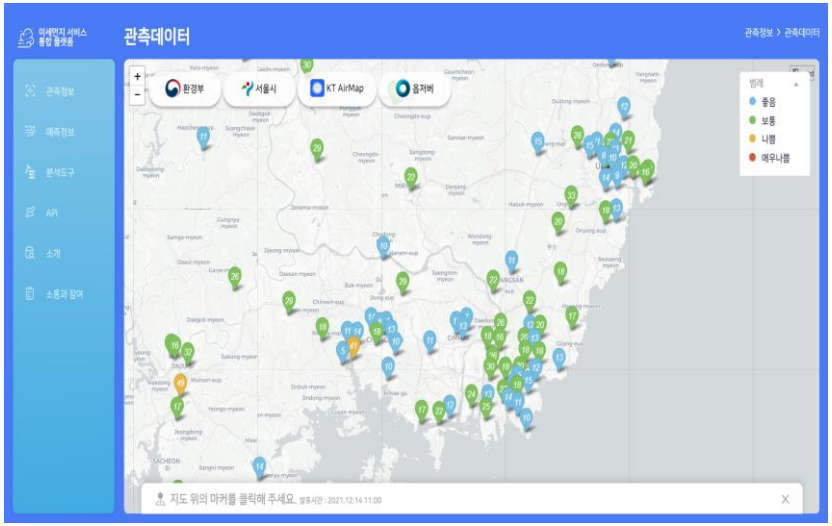
- 공공 및 민간의 수집된 미세먼지 데이터 및 위성자료를 DB 적재, 관리, 운영
- 각 연구기관에서 개발된 분석/예측 시스템 및 사용자분석도구를 통합하여 사용자에게 웹/API 제공

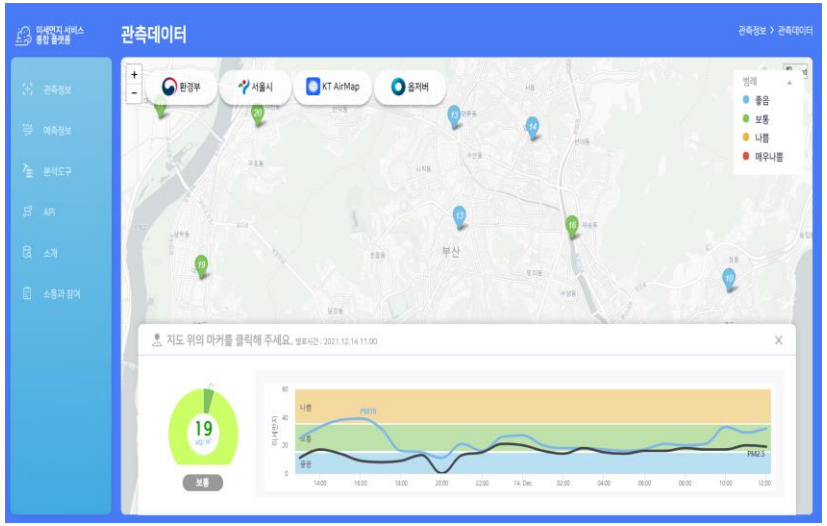
© Copyright DI Lab 2022

주요 개발 내용

미세먼지 통합 서비스 웹 개발

- **공공 및 민간에서 수집된 관측데이터 및 플랫폼에서 생산된 분석/예측데이터를 사용자가 쉽게 사용할 수 있는 서비스 웹 개발**





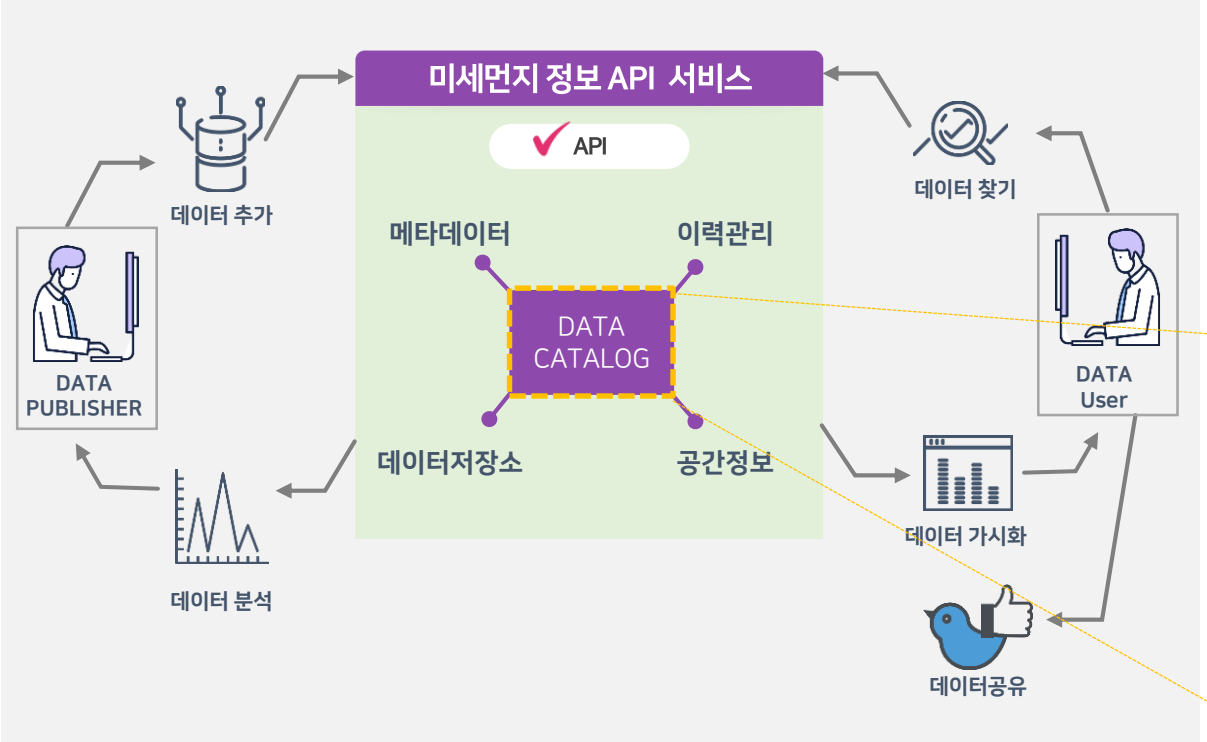
- ❖ 모니터링, 정보조회・분석・제공・관리 등 주요기능으로 **미세먼지 통합 서비스 웹 구현**
- ❖ (종합 상황판) GIS기반 **관측정보 및 수집데이터 모니터링**
- ❖ (사용자 분석도구) 지점별, 기간별 정보, 통계정보 조회 및 **사용자 분석 정보 제공**
- ❖ (정보 제공) 수집 데이터 및 가공/분석 데이터 등 각종 생산 정보 제공
- ❖ (정보 관리) 서비스 관리자의 다양한 정보관리를 위한 주요 기능 제공

© Copyright DI Lab 2022

주요 개발 내용

미세먼지 정보 API 서비스 개발

- **일반 연구자, 교육현장, 산업 현장 등 다양한 사용자에게 미세먼지 정보 제공을 위한 OpenAPI 서비스 구현**



미세먼지 정보 API 서비스

- 미세먼지 정보 API 제공
- OpenAPI 이용가이드, 샘플 코드 등 제공
- 연구자를 위한 대용량 데이터 제공 방안 검토

[OpenAPI 서비스 제공 화면]

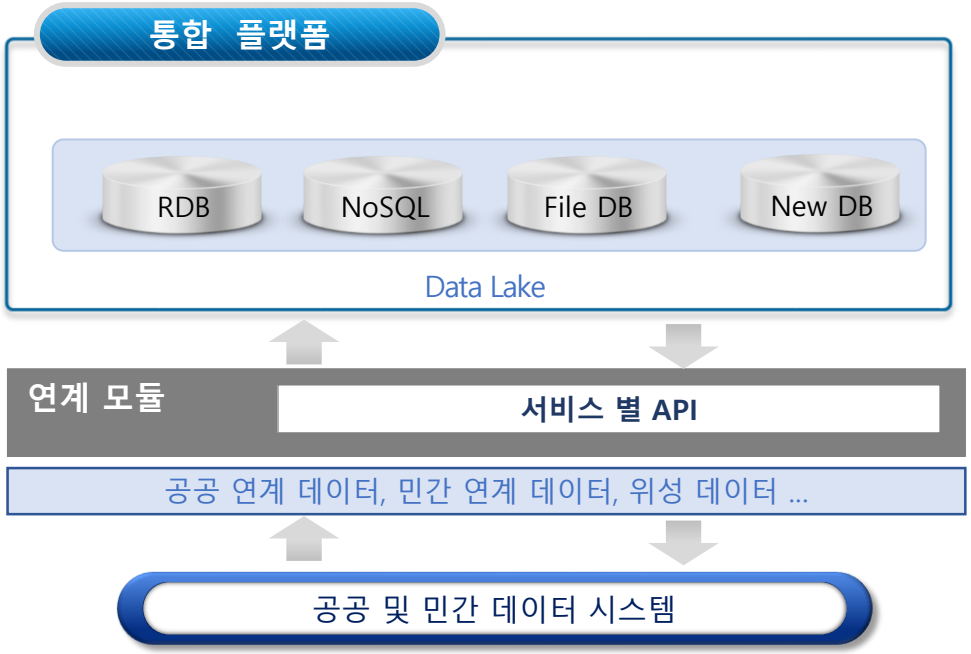
미세먼지 정보의 API 서비스 제공으로 연구자・교육현장・유관기관 등 다양한 형태로 활용 개발 가능

© Copyright DI Lab 2022

주요 개발 내용

공공/ 민간 데이터 시스템 연계

- 통합 플랫폼에서 제공하는 RDB, NoSQL, file DB 등을 고려하여 API 기반 연계
- 연계대상 데이터의 구조 분석 및 메타데이터, 테이블정의서 비교 분석 및 표준화
- 연계대상 정보별 연계 주기 및 연계 방식 정의
- 데이터 연계를 위한 RESTful 방식의 Open API 개발



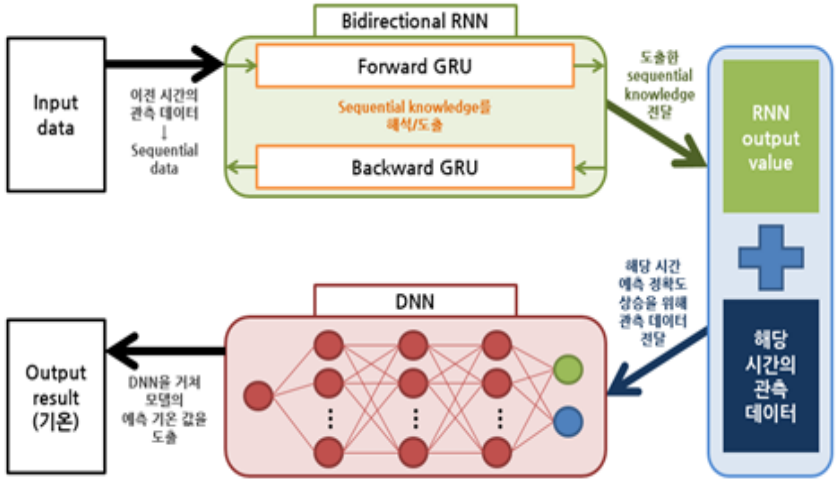
© Copyright DI Lab 2022

주요 개발 내용

통계 및 AI 기반 품질관리 시스템 개발

- 환경데이터의 특성상 관측데이터에 포함된 다수의 오류데이터를 탐지/제거하여 고품질 데이터를 제공하기 위한 인공지능 기반 품질관리 시스템 개발
- 공공 및 민간에서 수집된 미세먼지 관측자료 전처리와 딥러닝 모델 설계 및 학습을 통해서 딥러닝 기반 품질관리 모델 개발
- 모델의 현업 적용 및 검증 결과에 따라 오류 탐지 성능이 낮거나 오보율이 높은 모델은 최적의 성능을 낼 수 있도록 학습 데이터 추가 확보 및 피처엔지니어링, 모델 구조 변경 등 추가적인 고도화 수행

< 인공지능 기반 관측 자료 품질관리 체계 >



< 순환 신경망(RNN)기반 이상감지 모델 예 >

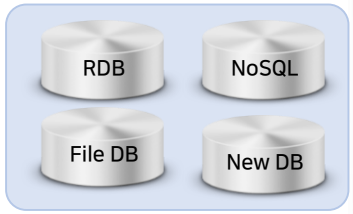
© Copyright DI Lab 2022

주요 개발 내용

사용자 분석도구 개발

- 기업, 학교, 연구자 등 다양한 분야의 사용자가 다양한 사회문제 해결을 위한 Insight를 도출할 수 있도록 지원하는 분석 도구 개발
- 서비스 플랫폼에서 제공하는 미세먼지, 기온, 습도 등의 데이터를 활용해 통계, 차트, 지도기반 데이터 가시화 및 분석 결과 제공
    - 도시/동네별 미세먼지 정보, 지역별/관측 데이터 유형별 시각화 기능 구현
    - 관측, 통계, 차트, 지도 등을 활용한 분석 정보 제공 기능 구현

Input

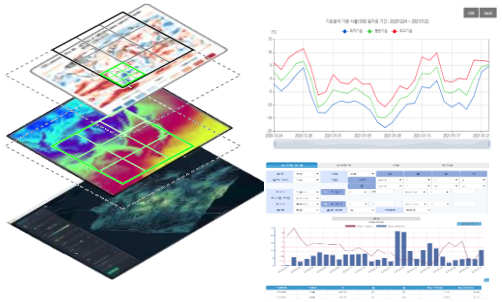


공공 및 민간에서 수집한 관측데이터 및 플랫폼에서 생산한 분석, 예측 데이터

Data Analytics

사용자 분석 도구를 활용한 사용자 분석 수행

Output



사회문제 해결을 위한 다양한 Insight 도출

© Copyright DI Lab 2022

주요 개발 내용

리빙랩의 구조

큰 리빙랩

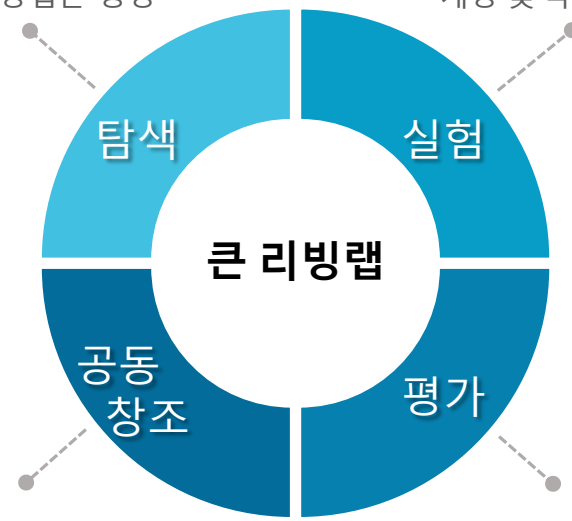
- 미세먼지 자료 실 사용자 대상 (대학원생 이상, 산업체)
- 현재 미세먼지 자료 만족도 조사
- 통합 미세먼지 플랫폼 요구사항 조사 및 반영
- 개발될 미세먼지 플랫폼 사용 후 피드백 반영

작은 리빙랩

- 부산대 대기환경과학과 & 환경공학과 학부생 대상
- 미세먼지 자료에 대한 인식 조사
- 미세먼지 측정에 참여하여 교내 미세먼지 맵 제작
- 미세먼지 측정 참여 이후 인식 재조사

- 플랫폼 관련 현황조사, 사용자의 요구사항 조사
- 구현을 위한 방법론 형성

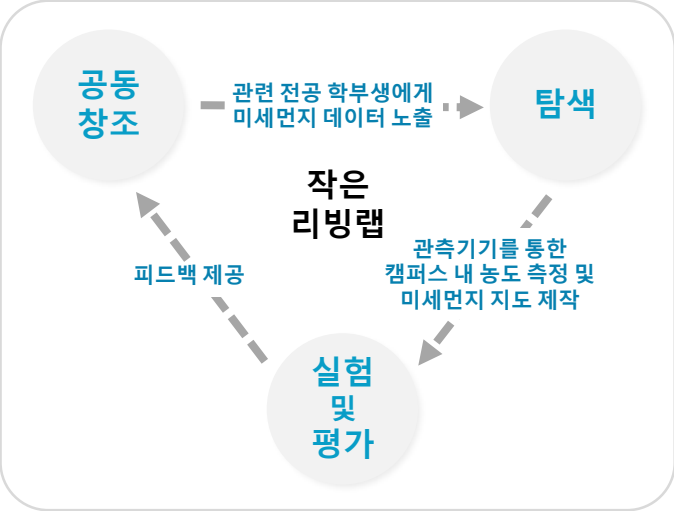
- 사용자 대상 플랫폼 개방 및 적용



- 설계·개발 과정에서 생산자와 사용자가 함께 참여
- 피드백을 통한 개선 및 혁신

- 세미나 개최를 통한 사용자 의견 수렴

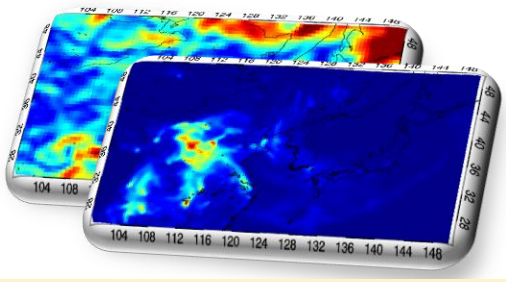
잠재적 사용자(학부생)의 육성 및 수요 창출을 위한 **작은(PNU) 리빙랩** 활성화



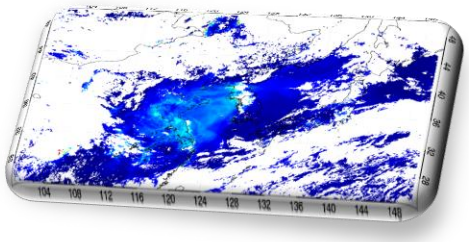
© Copyright Dr Lab 2022

주요 개발 내용

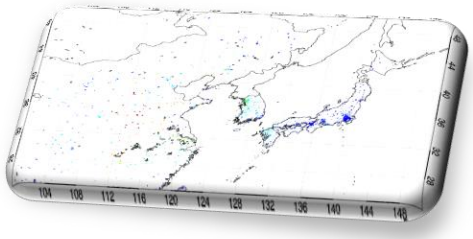
위성자료를 활용한 AI 기반 미세먼지 농도 추정



모델자료
GRIMs: 풍속, 지표기압, 온도, 강수량
GEOS-Chem: CO, HCHO, NO_2, SO_2, $PM_{2.5}$

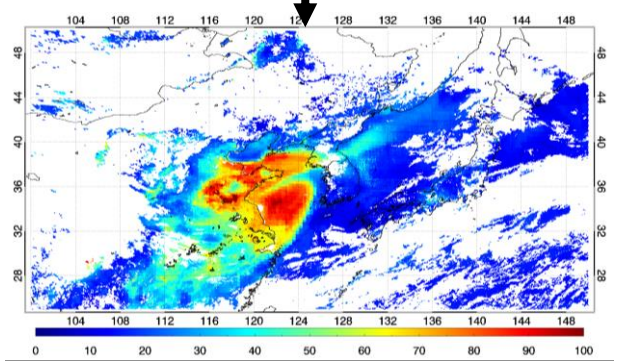


위성자료
AHI AOD, FMF, $NDVI_{SWIR}$



지상관측자료
$PM_{2.5}$

머신러닝 (Random Forest) 모델 생성



$PM_{2.5}$ 산출

© Copyright DI Lab 2022

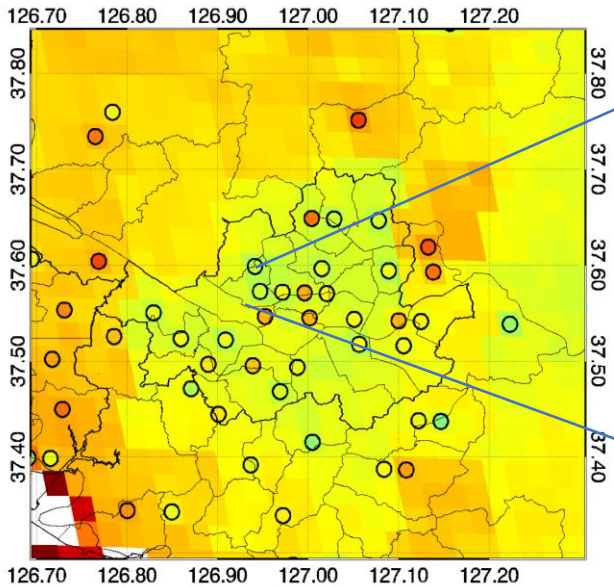
주요 개발 내용

위성자료를 활용한 AI 기반 미세먼지 농도 추정

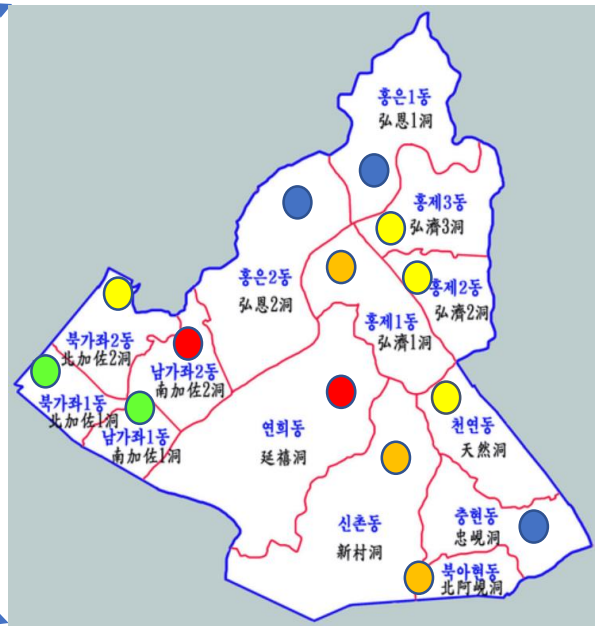
- **고해상도 $PM_{2.5}$ 추정 자료를 활용한 구(borough)별 미세먼지 특징 파악**

  - 현재 에어코리아 관측망은 구별 최대 1-2개에 불과
  - 본 연구 결과 머신러닝 기반 $PM_{2.5}$ 추정 플랫폼이 마련될 경우, 위성 관측만 이루어지면 구내 동별로 미세먼지의 특징을 추정해낼 수 있음
  - 본 정보를 활용하여 구(borough)별 미세먼지의 시공간 분포 특성을 파악
  - 이 결과는 간단한 가이드 자료로 정리되어 구청의 대기환경 담당 부서가 참고할 수 있게끔 준비될 예정. 자료 누적에 따라 지속적인 업데이트가 된다면 자치단체가 미세먼지 문제를 대응하는 과정에서 중요하게 참고할 정보가 될 수 있을 것으로 기대.

예)



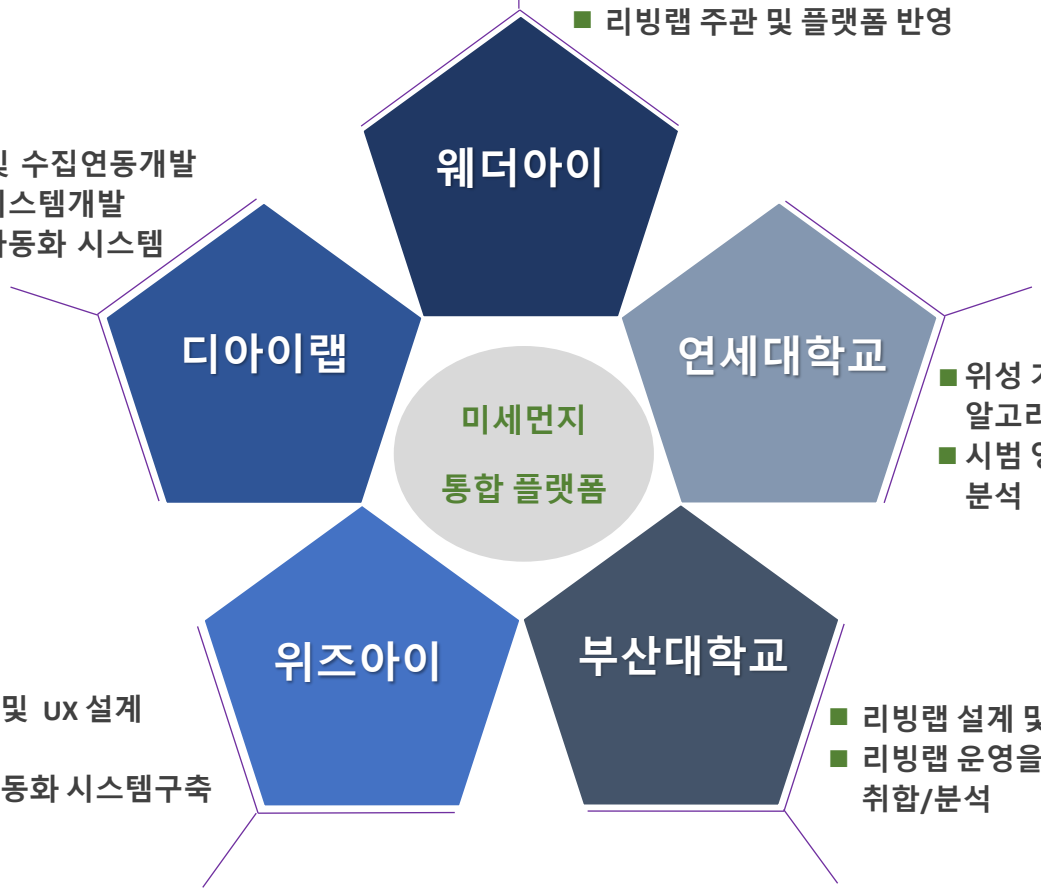
현재수준: 구별 1-2개 지점의 미세먼지 정보



향후: 동 단위 미세먼지 정보 생성 가능

© Copyright DI Lab 2022

참여 기관별 역할



- 사업 총괄
- 통합 플랫폼 기획/설계 및 개발/운영
- 미세먼지 자료 수집/분석
- 리빙랩 주관 및 플랫폼 반영

- 민간/공공 관측자료 확보 및 수집연동개발
- 통계 및 AI기반 품질관리 시스템개발
- 위성 기반 미세먼지 생산 자동화 시스템

- 위성 기반 미세먼지 추정 알고리즘 개발
- 시범 영역 위성 $PM_{2.5}$ 생산 및 분석

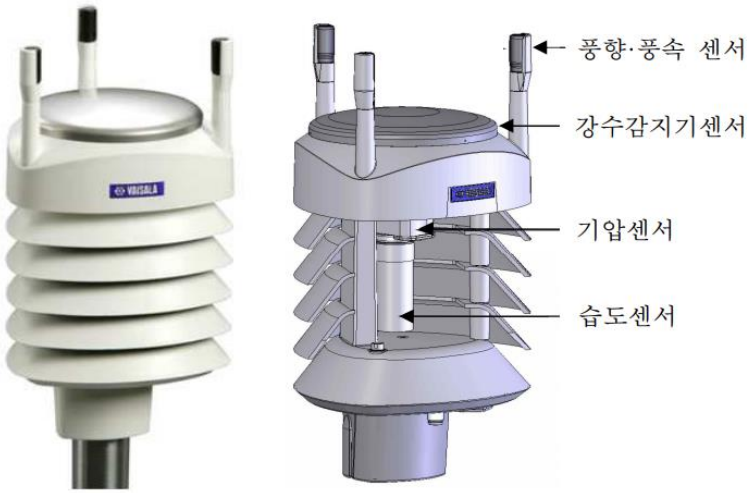
- 분석도구 사용자 조사 및 UX 설계
- 사용자 분석도구 개발
- 대기질 수치예측 및 자동화 시스템구축

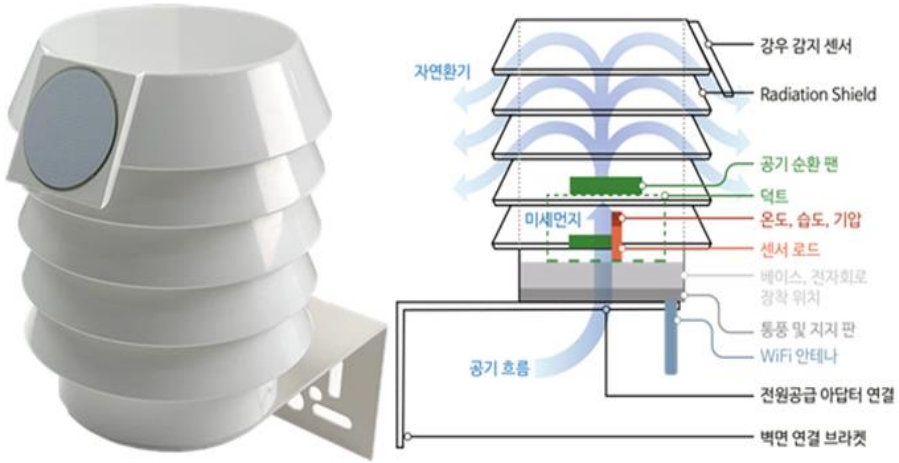
- 리빙랩 설계 및 계획 수립
- 리빙랩 운영을 통한 사용자 의견 취합/분석

© Copyright DI Lab 2022

IoT 기반 기상·환경 관측

- IoT 기반 복합센서(스마트시티, 스마트팜, 스마트항만 등에서 사용)





© Copyright DI Lab 2022

IoT 기반 기상·환경 관측

스마트시티 등에서 활용되는 IoT 기반 복합기상/환경센서는 설치 목적 상 도심의 유동인구가 많은 곳에 설치하는 경우가 많아 기상관측표준화법을 준수하기 어려운 환경이 더 많음

따라서, 유의미한 데이터 분석 결과를 얻기 위해서는 관측소 운영과 데이터 품질관리 및 전처리 과정에 많은 노력이 필요함

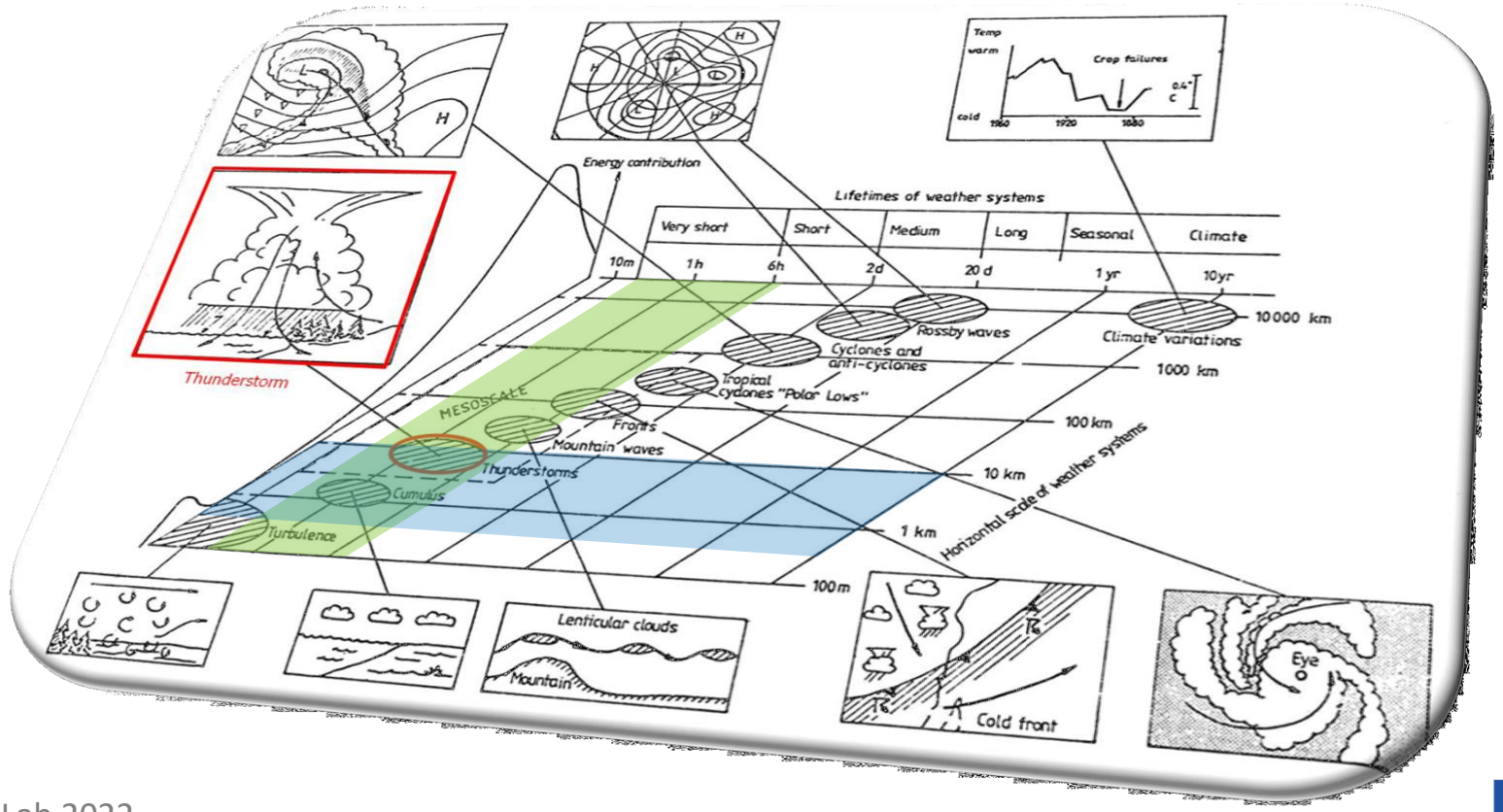
© Copyright DI Lab 2022

왜? 고해상도 관측이 필요한가?

© Copyright DI Lab 2022

기상현상의 시공간 규모

기상현상	시공간 규모	기상현상	시공간 규모
난류	1m, 수초~수분	해륙풍, 전선	100km, 수시간~1일
토네이도	1km, 수분~1시간	태풍, 저기압	수백~1000km, 수일
뇌우	5~10km, 수시간		



© Copyright DI Lab 2022

디아이랩(주)

기상현상의 시공간 규모

- **관측의 목표가 되는 기상현상의 최소 공간규모 ½ 해상도로 관측 필요**

- Nyquist-Shannon sampling theorem

$$f_s \geq 2f_c$$

f_s : $sampling\ frequency$

f_c: $highest\ frequency\ contained\ in\ the\ signal$

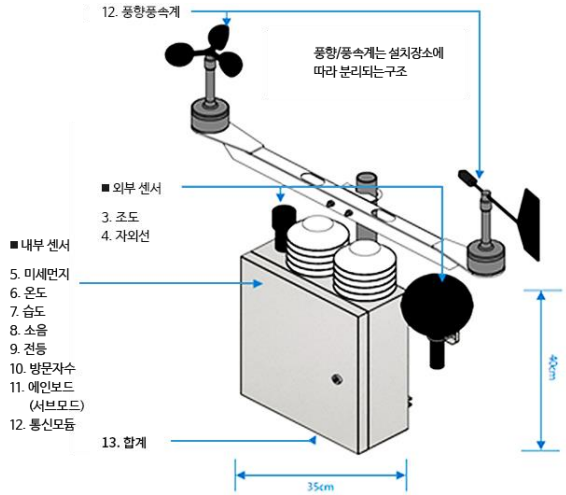
목적	관측목표현상	공간규모	시간규모	관측망 해상도
기상감시	뇌운 클러스터	20 ~ 200km	3 ~ 18시간	10km
재해감시 수문감시 에너지관리	강한 대류 (국지성 소나기)	5 ~ 20km	30분 ~ 3시간	2.5km
농업관리 **대기오염감시** 산림감시 수송안전	보통 대류 (국지성 바람, 안개)	0.5 ~ 5km	20분 ~ 1시간	250m

- **출처 : 기상관측시설 및 자료등급 평가기준 설정에 관한 연구 완료보고서(기상청, 2006)**

© Copyright DI Lab 2022

공공 데이터 연계 현황

- **환경부 AirKorea 데이터**
  - 지점 : 전국 600여개 지점
  - 기간 : 2018년 1월 ~ 현재
  - 요소 : 초미세먼지(PM2.5), 미세먼지(PM10), NO2, SO2, O3, CO
- **서울시 S-Dot**
  - 지점 : 서울지역 1100여개 지점
  - 기간 : 2020년 4월 ~ 현재
  - 요소 : 초미세먼지(PM2.5), 미세먼지(PM10), 기온, 상대습도, 소음, 진동, 풍향/풍속(일부지점)



© Copyright DI Lab 2022

민간 데이터 연계 현황

- **KT AirMap 데이터**
  - 지점 : 서울 및 6대 광역시 2천여개 지점
  - 기간 : 2018년 6월 ~ 2020년 2월(초기장비), 2021년 2월 ~ 5월 (환경부1~2등급 대개체 장비)
  - 요소 : 초미세먼지(PM2.5), 미세먼지(PM10), 기온, 상대습도
- **옵저버**
  - 지점 : 서울,경기,충남, 경남 130여개 지점
  - 기간 : 2020년 11월 ~ 2021년 6월
  - 요소 : 초미세먼지(PM2.5), 기온, 상대습도, 기압, 강수유무

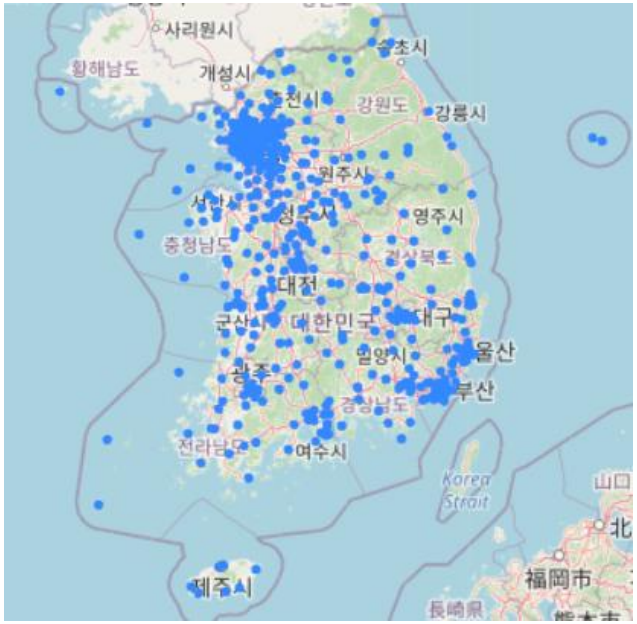
< KT AirMap 관측소 >

< 옵저버 관측소 >

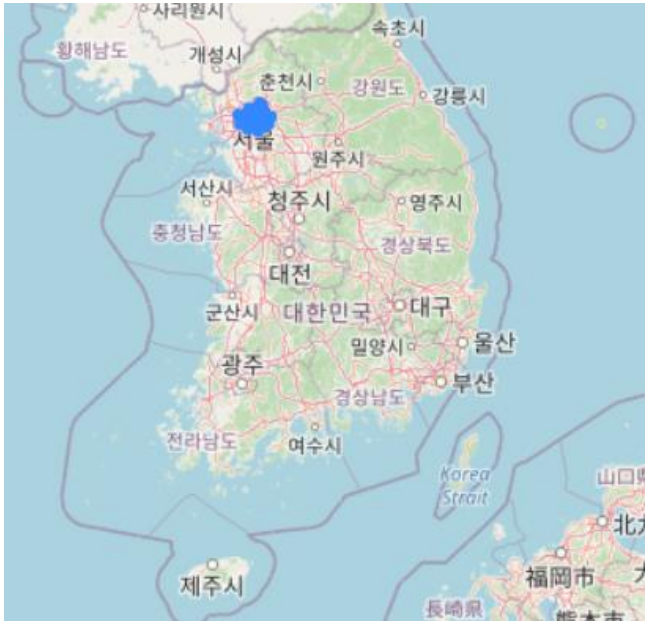
© Copyright DI Lab 2022

기관별 측정소 분포

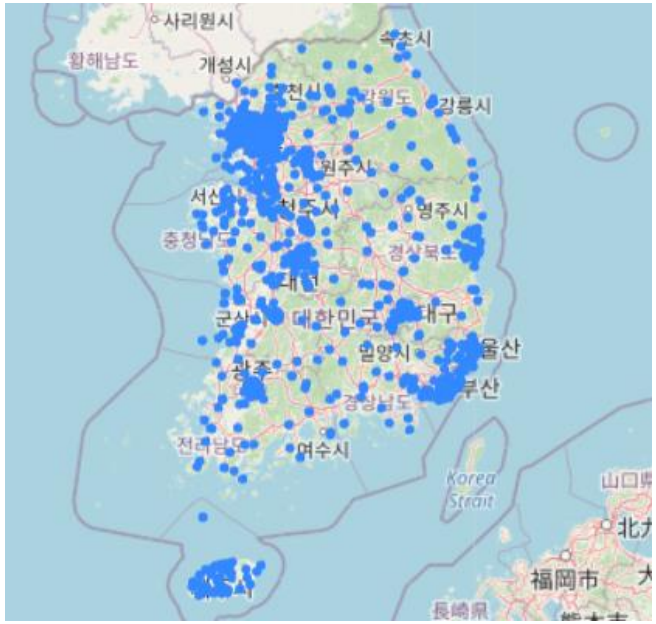
- 환경부 AirKorea
  (전국 600여개)



- 서울시 S-Dot
  (서울시 1100여개)



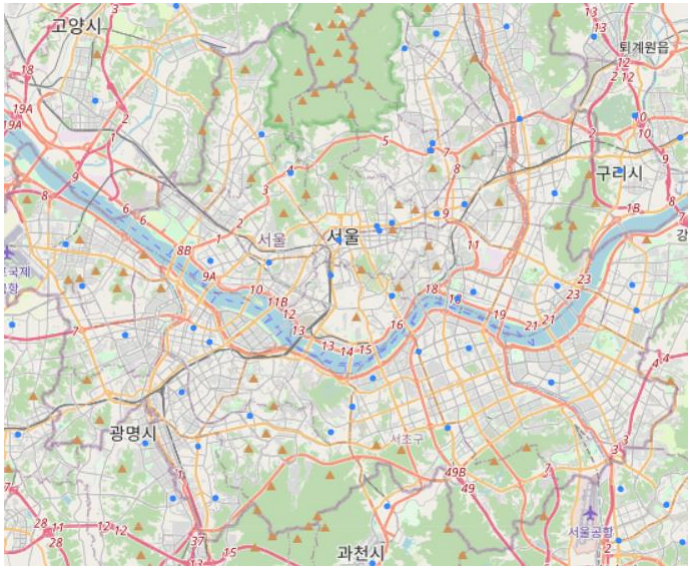
- KT AirMap
  (전국 2000여개)



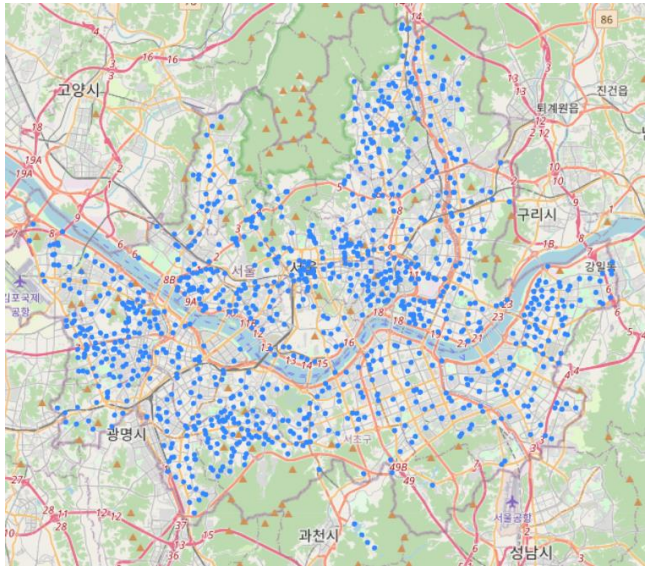
© Copyright DI Lab 2022

기관별 측정소 분포

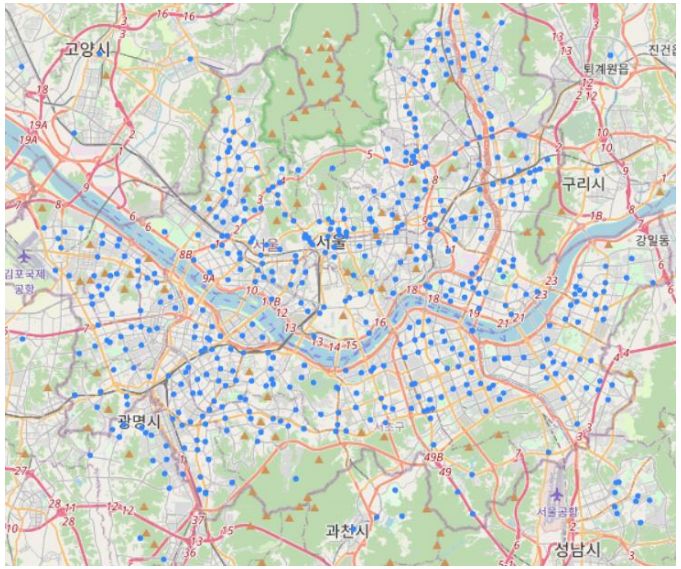
- 환경부 AirKorea
  (전국 600여개)



- 서울시 S-Dot
  (서울시 1100여개)



- KT AirMap
  (전국 2000여개)



© Copyright DI Lab 2022

디아이랩(주)

실시간 데이터 연동

한국환경공단
에어코리아
대기오염정보

- 수집항목 : PM10, PM2.5
- 측정소 : 600여개
- 데이터 발생 주기 : 1시간
- 데이터 수집 주기 : 1시간

한국환경공단
에어코리아
측정소정보

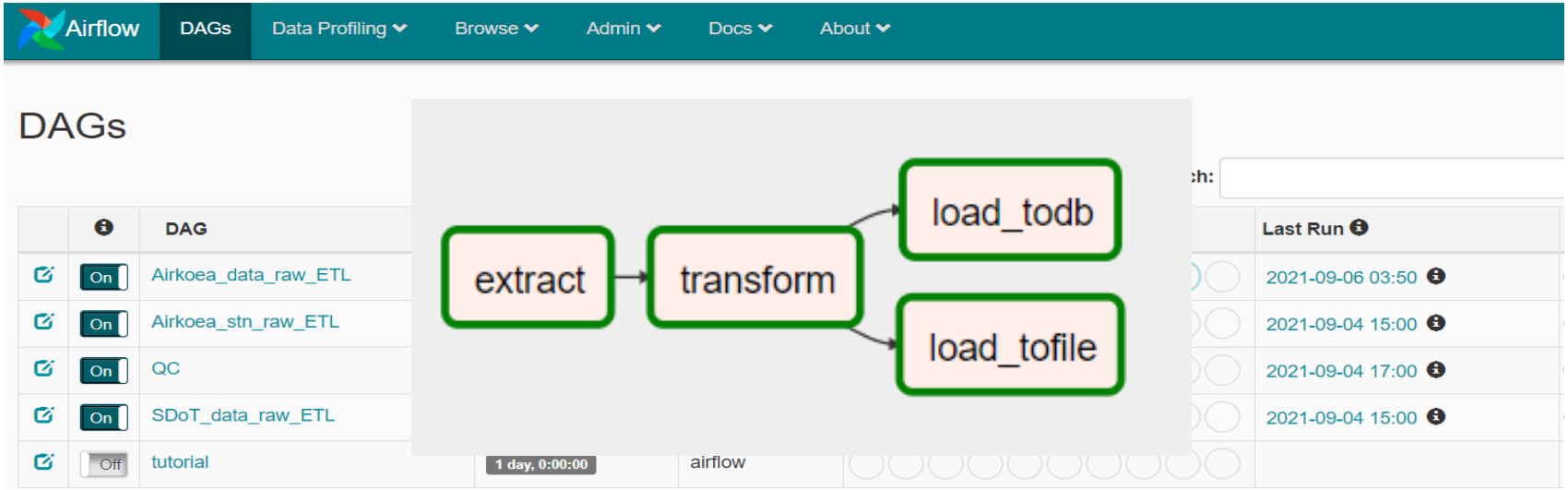
- 수집항목 : 측정소정보
- 측정소 : 600여개
- 데이터 발생 주기 : 1시간
- 데이터 수집 주기 : 24시간

스마트서울
도시데이터
센서(S-DoT)
환경정보

- 수집항목 : PM10, PM2.5, 온도, 습도
- 측정소 : 1100여개
- 데이터 발생 주기 : 1시간
- 데이터 수집 주기 : 24시간

© Copyright DI Lab 2022

아파치 Airflow를 이용한 실시간 데이터 API 연동



extract

- API 호출
- Parsing

transform

- DataFrame생성
- 오류처리(결측, 데이터타입오류)

load

- 파일저장
- DB저장
- 중복데이터 관리

© Copyright DI Lab 2022

IoT 기반 기상·환경 관측 자료 이상감지 및 품질관리

- 정확한 기상관측을 위해 기상청에서는 기상관측표준화법에 관련 기준을 제공
- 미세먼지 등 환경관측 기준은 환경부의 대기오염측정망 설치운영지침을 통해 제공

✓ 관측 장비
- 제조사 Calibration
- 기상청 측기검정, 환경부 형식승인

✓ 관측 환경
- 주변 장애물 이격거리 유지
- 실외기 등 주변 열원과의 거리 등
- 환기구, 굴뚝 등 주변 오염원의 영향 최소화

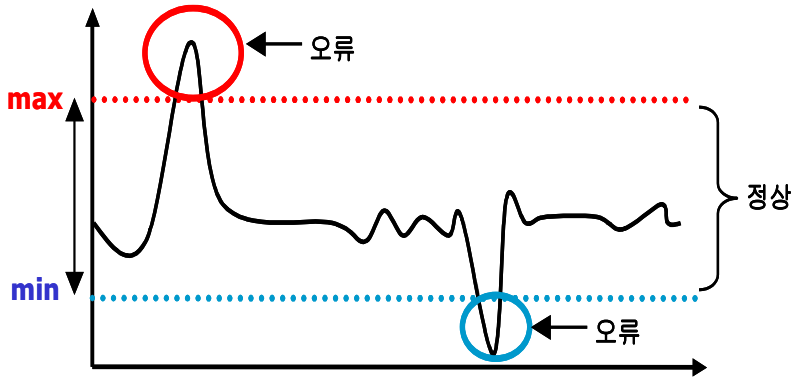
✓ 관측자료 처리
- 관측 요소별 샘플링 시간 및 자료처리 방법 규격준수

✓ 관측자료 품질관리
- 데이터 로거 QC
- 실시간 QC
- 수동 QC (전문가)

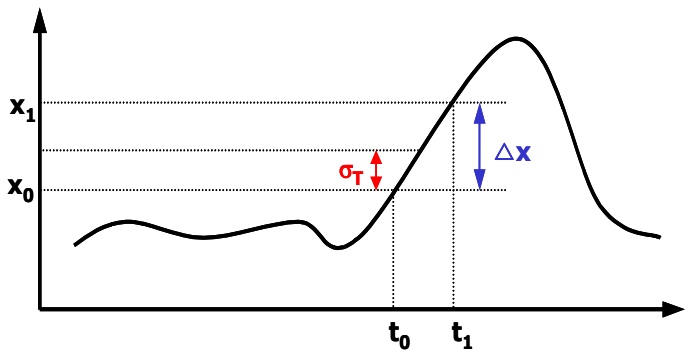
© Copyright DI Lab 2022

IoT 기반 기상·환경 관측 자료 이상감지 및 품질관리

통계 기반 품질관리

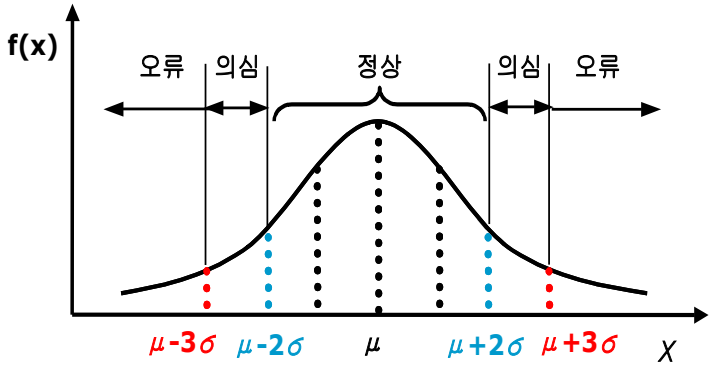


물리한계검사



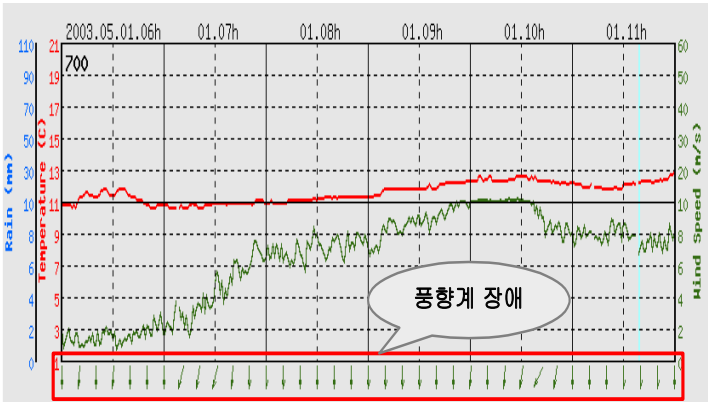
Δx : 시간변동량 , σ_T : 최대변동량

단계검사



μ : 평균 , σ : 표준편차

기후범위검사



지속성검사

© Copyright DI Lab 2022

디아이랩(주)

IoT 기반 기상·환경 관측 자료 이상감지 및 품질관리

인공지능 기반 품질관리

- 기존 룰 기반의 품질관리 방법에서 탐지 못하던 오류패턴을 인공지능 기반의 이상 감지 모델로 탐지
- 이상 감지 모델은 특정 시간의 관측 자료가 이상 수치인지 판단하기 위해 이전 관측 자료의 트렌드를 파악
- 학습된 트렌드와 비교하여 특정 시간의 값이 정해진 범위 안에서 벗어나면 이상으로 판단

인공지능기반 이상감지 방법의 장점

1 기존방법 대비 개선된 결과

: 인공지능 모델이 정해진 분포의 크기, 형태 등을 결정하는 파라메터들을 예측하여 특정 시간에 대한 이상 감지를 수행하기 때문에 기존에 사람의 직접 기준치를 정했던 이상 감지보다 개선된 결과를 얻을 수 있음

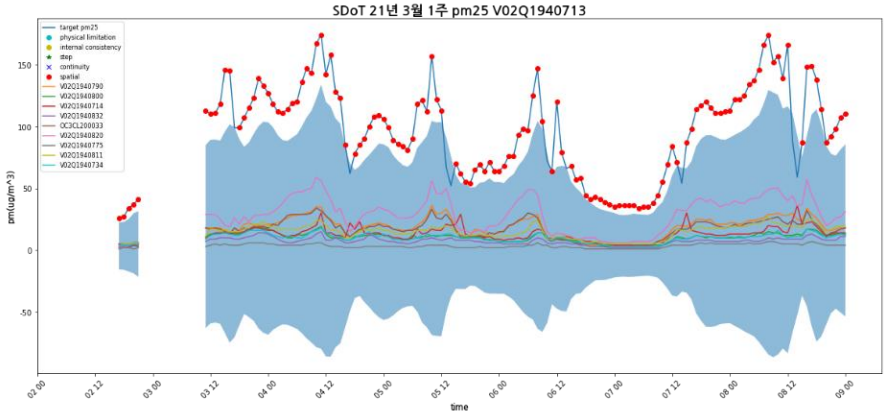
2 세밀하고 정확한 이상감지 가능

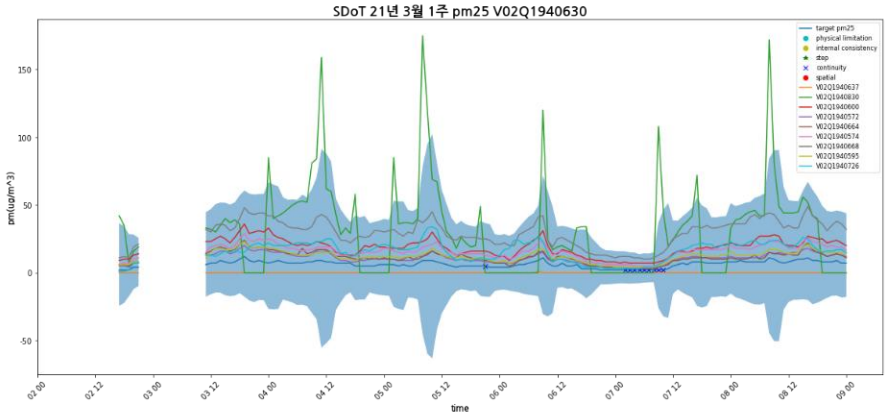
: 이상 감지 범위(ex. 85%, 90% 등)를 사전에 정의하면 해당하는 값에 따라 특정 시간의 이상 수치가 정해지므로 세밀하고 정확한 이상 감지가 가능

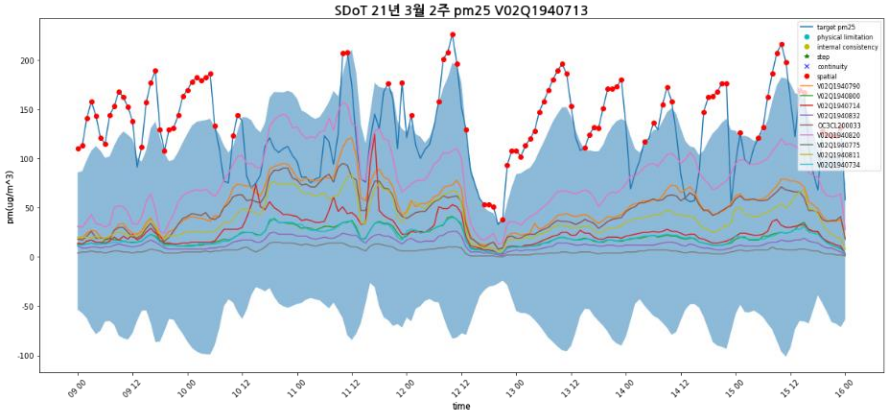
© Copyright DI Lab 2022

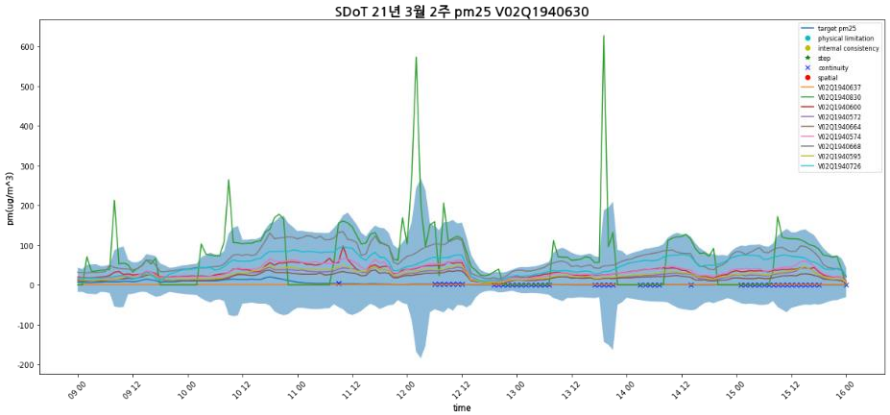
IoT 기반 기상·환경 관측 자료 이상감지 및 품질관리

오류 데이터 탐지사례









© Copyright DI Lab 2022

디아이랩(주)

IoT 기반 기상·환경 관측 자료 이상감지 및 품질관리

오류 데이터 탐지사례

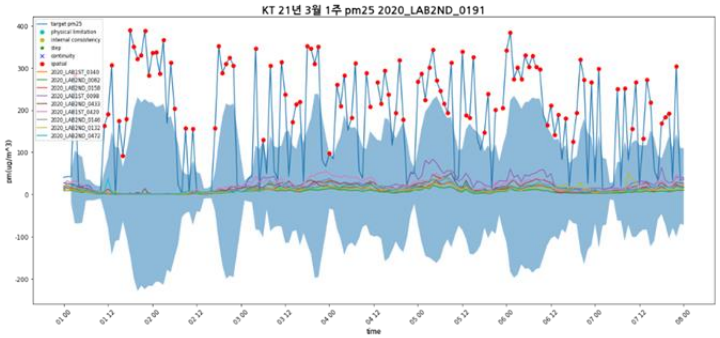
KT 21년 3월 pm10 QC 결과(반경 내의 환경부 데이터와의 비교)

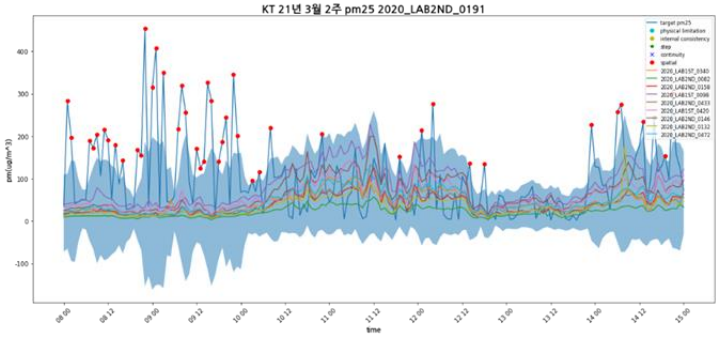
측정소코드 : 2020_LAB2ND_0191

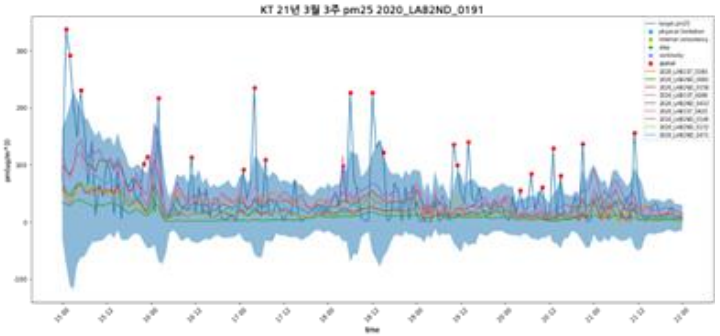
측정소명 : 석남동 빌딩

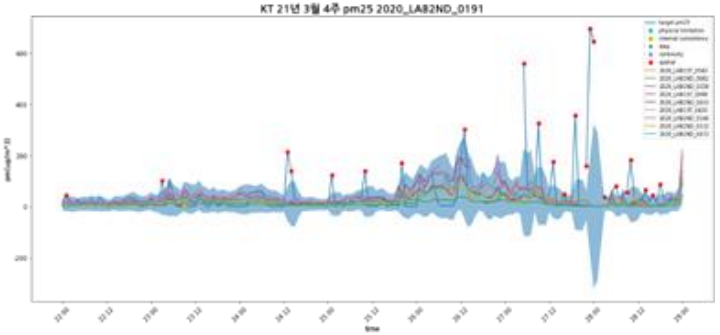
주소 : 인천 서구 석남동 650-131

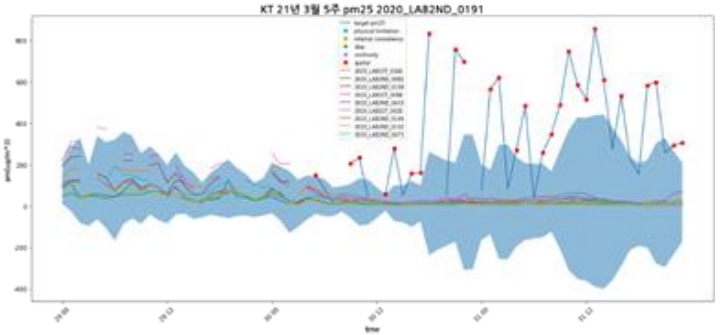
number of near stations : 2

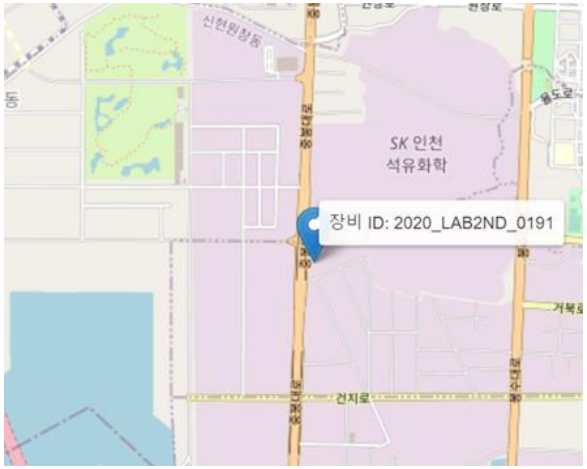












석유화학단지 내 위치

© Copyright DI Lab 2022

디아이랩(주)

IoT 기반 기상·환경 관측 자료 이상감지 및 품질관리

오류 데이터 탐지사례

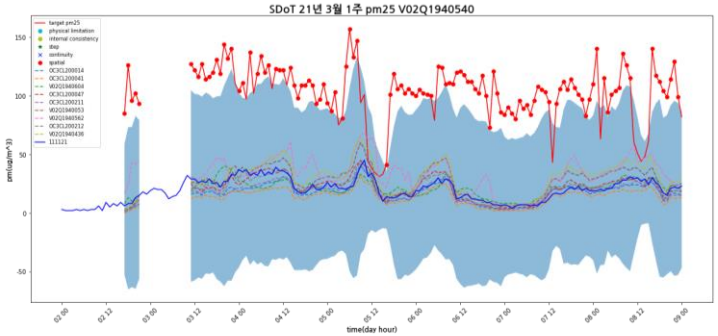
SDoT 21년 3월 pm25 QC 결과(반경 내의 환경부 데이터와의 비교)

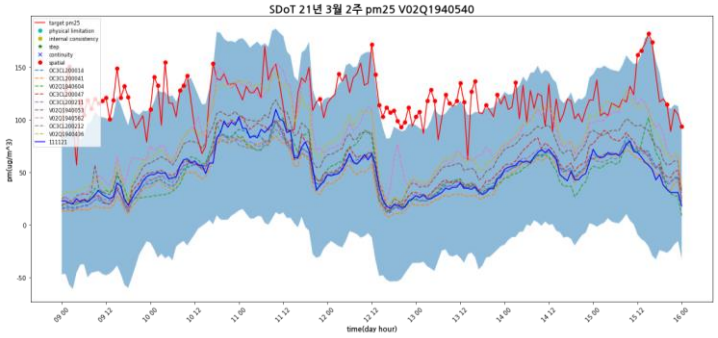
측정소코드 : V02Q1940540

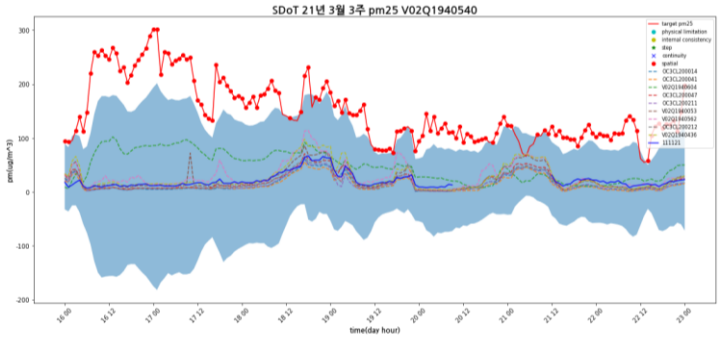
측정소명 : 중구

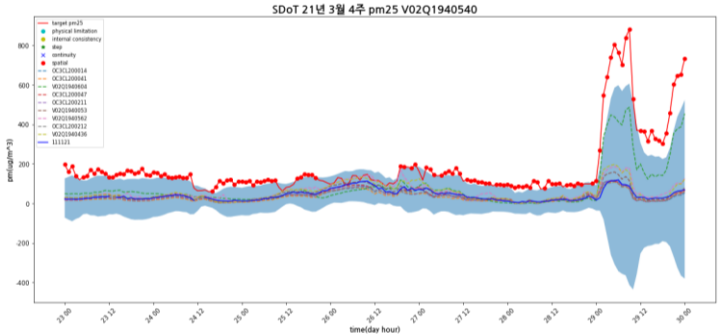
주소 : 서울특별시 중구 을지로2가 181

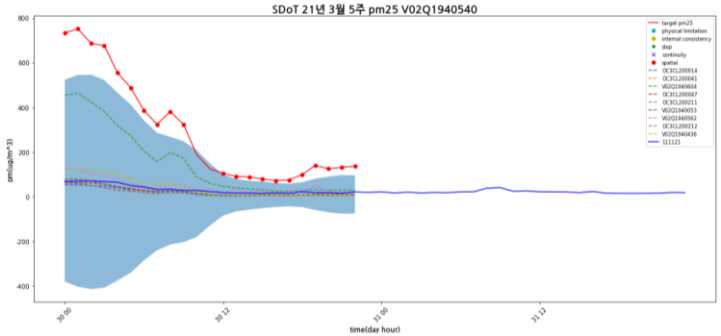
number of near stations : 44

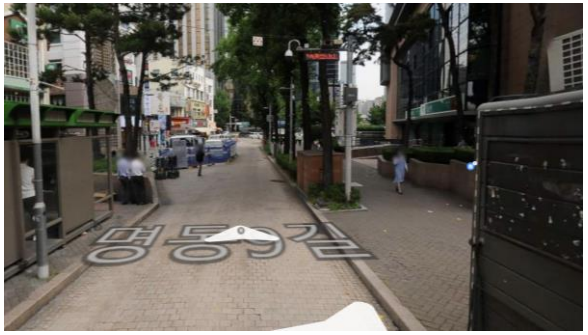












측정소 근처
흡연부스와 실외기

© Copyright DI Lab 2022

디아이랩(주)

IoT 기반 기상·환경 관측 자료 이상감지 및 품질관리

오류 데이터 탐지사례

SDoT 21년 3월 pm25 QC 결과(반경 내의 환경부 데이터와의 비교)

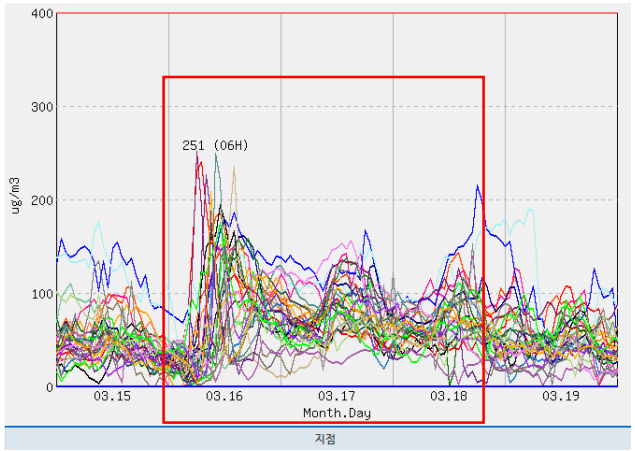
측정소코드 : OC3CL200079

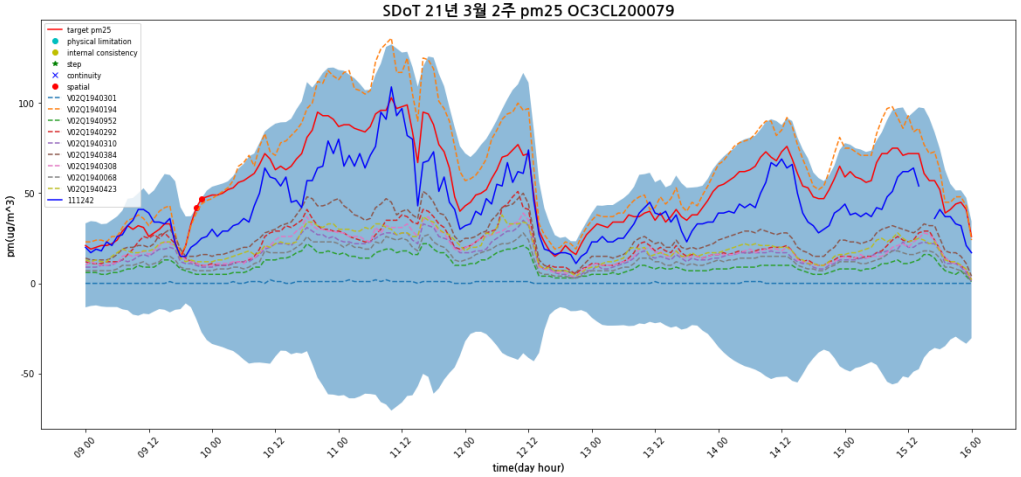
측정소명 : 서초구

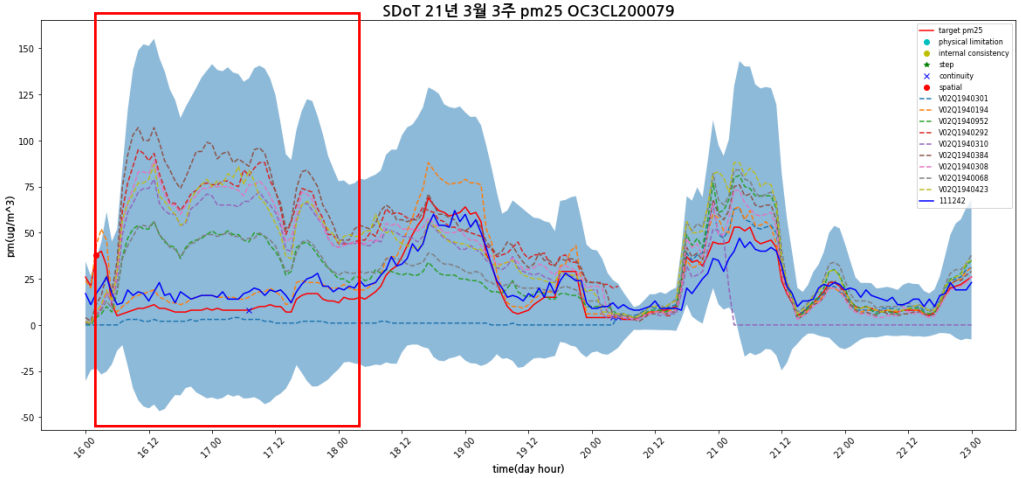
주소 : 서울특별시 서초구 방배4동 3001-2

number of near stations : 24

Airkorea 측정소와의 거리 : 0.71km







© Copyright DI Lab 2022

디아이랩(주)

IoT 기반 기상·환경 관측 자료 이상감지 및 품질관리

오류 데이터 탐지사례

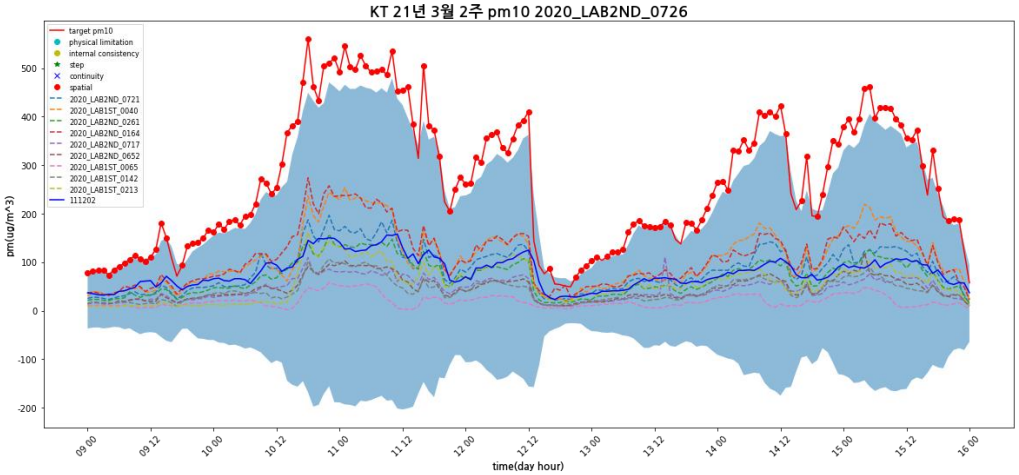
KT 21년 3월 pm10 QC 결과(반경 내의 환경부 데이터와의 비교)

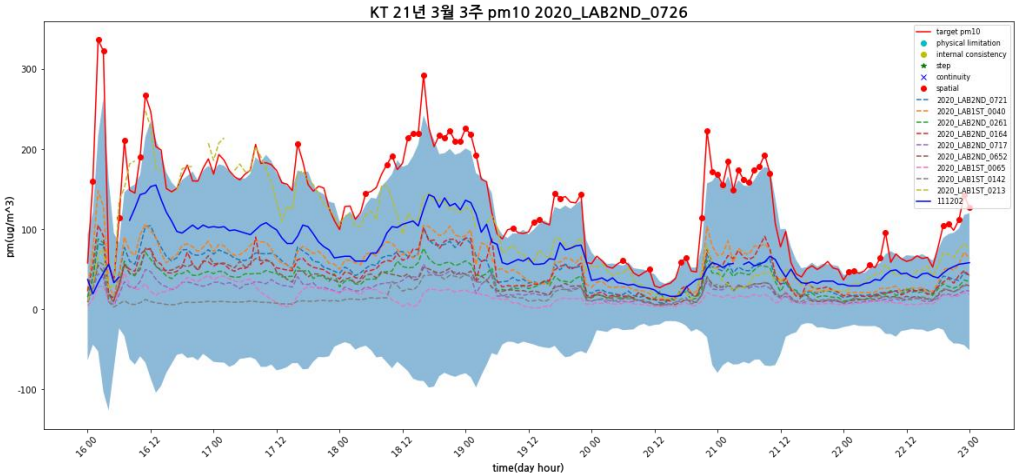
측정소코드 : 2020_LAB2ND_0726

측정소명 : 창천동 창작놀이센터 입구앞

주소 : 서울 서대문구 창천동 83-55

number of near stations : 17





© Copyright DI Lab 2022

디아이랩(주)

IoT 기반 기상·환경 관측 자료 이상감지 및 품질관리

오류 데이터 탐지사례

SDoT 21년 3월 pm25 QC 결과(반경 내의 환경부 데이터와의 비교)

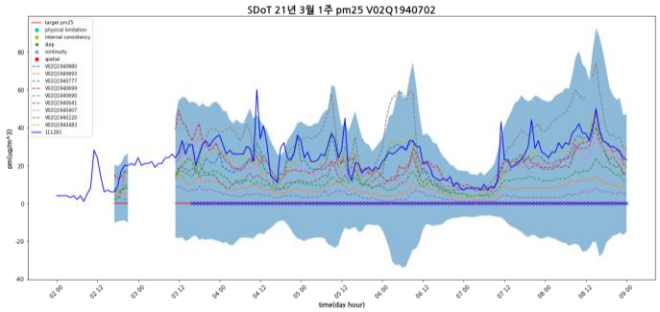
측정소코드 : V02Q1940702

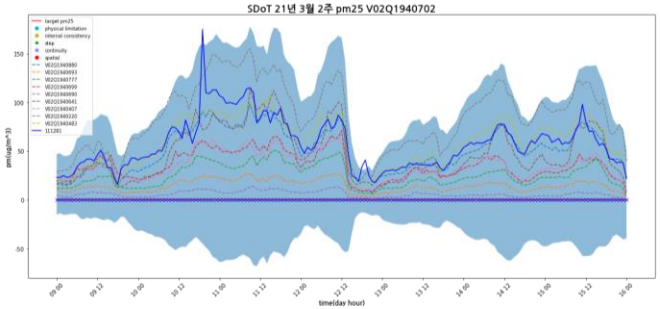
측정소명 : 금천구

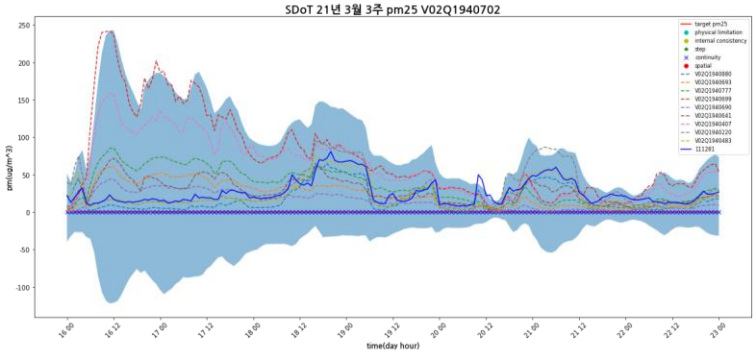
주소 : 서울특별시 금천구 시흥동 1000-82

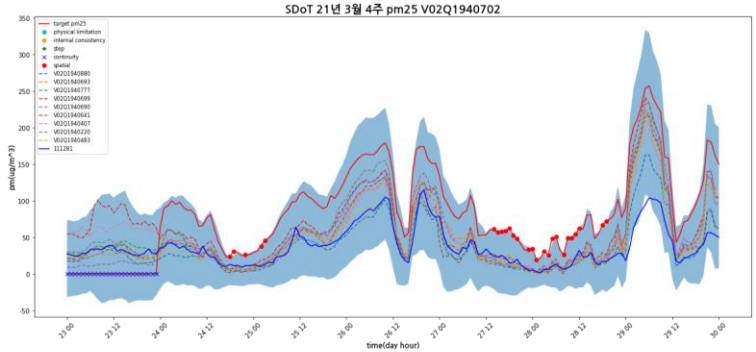
number of near stations : 22

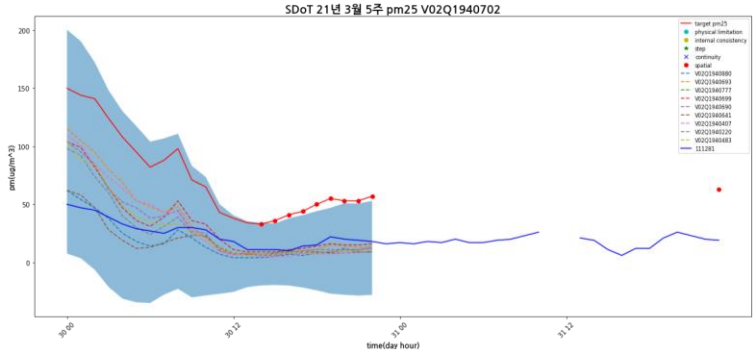
Airkorea 측정소와의 거리 : 0.39km











© Copyright DI Lab 2022

기대효과

- 산재된 공공/민간의 미세먼지 데이터 통합 및 품질관리를 통한 고품질 미세먼지 통합 데이터 제공으로 연구자 및 지자체, 교육현장, 산업현장에서 **편리하게 고품질의 미세먼지 데이터 활용 가능**

- 지자체 및 다양한 산업군의 사용자들이 플랫폼을 통해 미세먼지나 온습도, 대기안정도 등의 시공간적 농도 분포 및 예측정보를 쉽게 확인 가능하도록 함으로써 미세먼지나 악취 등 대기오염 유발물질을 배출하는 사업장에서는 조업시간을 조절하는 등 **대기 오염 저감에 활용**

- 공공 및 민간의 수집/분석된 미세먼지, 온습도 등 환경기상 데이터를 서비스 플랫폼을 통해 지자체 및 교육현장 등에 제공함으로써 유치원/초등학생 및 노약자 등 **취약계층의 미세먼지 노출저감**

- 단기 및 중장기 기상환경 예측과 산업 예측을 통한 미세먼지/폭염/집중호우 등 **기후변화 리스크 저감** 및 에너지 효율 개선과 탄소배출 저감을 통한 **ESG 경영지표** 개선

© Copyright DI Lab 2022

감사합니다