VOCs

관리정책 발굴을 위한 기술 세미나

| **일시** | 2025. 4. 22.(화) 14:00~17:00
| **장소** | 천안아산 KTX 회의실 201호

충남연구원
ChungNam Institute

VOCs 관리정책 발굴을 위한 기술 세미나

Ⅰ 추진배경

○ ‘20년 수립된 대기관리권역법에 따라 “충청남도 대기환경관리 시행계획(‘20~‘24)를 수립·추진 중에 있으며, 매년 계획 추진결과를 부문별·오염물질별로 이행평가를 진행하고 있음

○ 이행평가 결과 VOCs에 대해 매년 목표 달성을 못하고 있어 이에 대한 대책 마련이 요구됨

○ CAPSS 기준 충남지역 중 서산이 VOCs 배출 1위 지역으로 지역 내 위치하고 있는 대산석유화학단지에서 대부분의 배출량이 산정되고 있음

○ 시행계획에 대한 목표달성 및 지역 대기질 개선을 위해 VOCs 관리를 위한 신규정책 발굴이 요구됨

Ⅱ 추진목적

○ 환경부를 중심으로 수행되고 있는 첨단관측 장비를 활용한 산업단지 모니터링 현황 파악

○ 모니터링 결과를 기반으로 정책사업 발굴

○ 도에서 구비하고 있는 첨단측정 장비에 대한 활용방안 모색

Ⅲ 기대효과

○ 타 지역 사례를 기반으로 도 내 첨단장비의 활용계획 수립

○ 산업단지 내 VOCs 고농도지역에 대한 개선방안 수립

○ VOCs 감축을 통한 지역 내 시행계획 목표 달성

Ⅳ 행사개요

- (CNI세미나 2025-14) VOCs 관리정책 발굴을 위한 기술 세미나
- 일 시 : 2025년 4월 22(화), 14:00~17:00
- 주 관 : 충남연구원
- 장 소 : 천안아산 KTX 회의실 201호
- 참석자 : 김종범 책임연구원 외 29명

Ⅴ 세부일정

소 요 시 간		내 용	비고
14:00~14:05	5분	개회 및 참석자 소개	김종범 책임연구원 (충남연구원)
14:05~14:10	5분	개회 환영사	이상신 센터장 (충남연구원 기후변화대응연구센터) 도중원 과장 (충청남도 대기환경과)
14:10~14:30	20분	첨단측정기법을 이용한 VOCS 측정 연구	김정훈 연구사 (국립환경과학원)
14:30~14:50	20분	이동식 태양추적분광복사계(SOF) 차량을 이용한 울산 석유화학단지의 BTEX 배출특성 조사	정준식 연구사 (낙동강유역환경청)
14:50~15:10	20분	항공관측 기반 충남 대형배출시설 상공의 VOCs 분포 특성	김정호 소장 (열린공간)
15:10~15:30	20분	충청남도의 VOCs 배출현황 및 첨단장비를 활용한 VOCs 배출관리 방안	김종범 책임연구원 (충남연구원)
15:30~15:50	20분	휴식	
15:50~16:50	60분	종합토론	좌장 : 이상신 센터장 이상덕 교수 (강원대) 송민영 연구위원 (서울연구원) 김주애 연구교수 (고려대) 신인철 팀장 (충남보건환경연구원)
16:50~17:00	10분	마무리 및 폐회	이상신 센터장 (충남연구원 기후변화대응연구센터)

목 차

1.

첨단측정기법을 이용한 VOCS 측정 연구

김정훈 연구사(국립환경과학원)

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

목 차

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

01 배경 및 목적

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

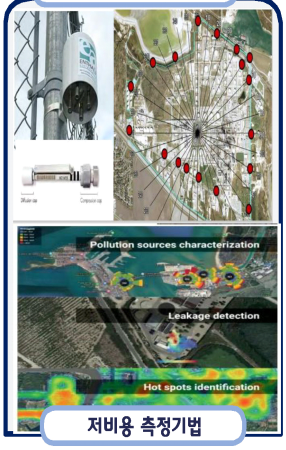
○ 기존의 배출원 모니터링 방법은 점오염원 중심의 관리로 비산누출, 비정기적인 배출 등을 파악하기 어려움

광학원격측정(Optical Remote Sensing)기법을 통해 효과적인 사업장 배출관리 방안 마련

- (미션1)광학원격측정 기법을 통해 미세먼지 원인물질의 개별 화학종 특성과 배출량 산정 기법 정확도 제고

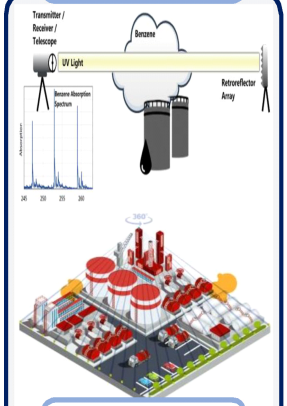
- (미션2)고농도 오염발생 지역의 Emission source를 신속하게 파악하고 오염지역의 개선 효과 확인

점(Point) 측정 기법



저비용 측정기법

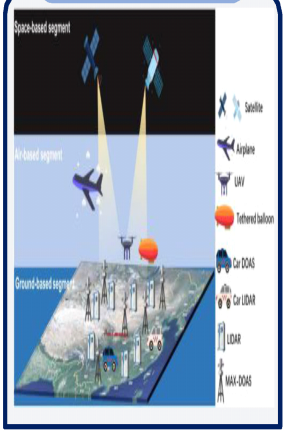
선(line)측정 기법



Optical Tent

Flux측정 기법

입체적 측정 기법



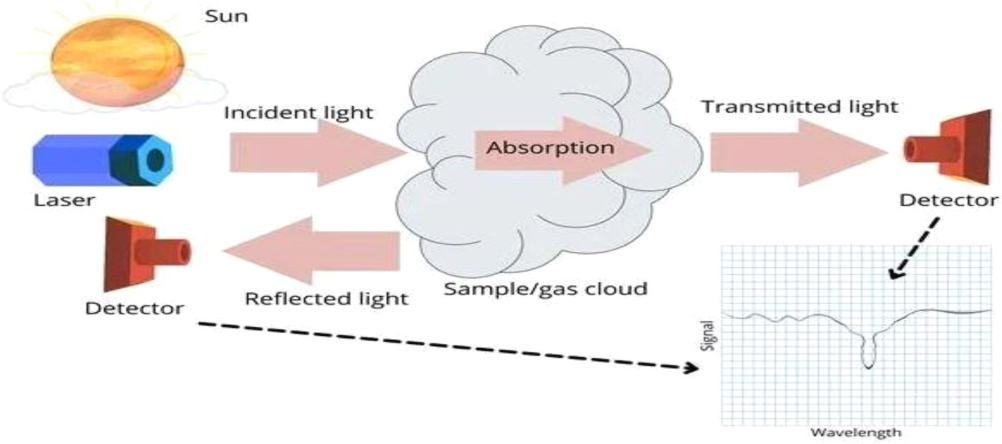
3

01 What is ORS?

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

기본 개념

- Optical remote sensing의 기본 개념은 분자의 빛(IR, UV) 흡수를 기반으로 사용
- 레이저와 같은 인공 광원 또는 태양의 자연광을 광원으로 사용
- 샘플에서 소량의 빛은 반사되거나 산란 될 수 있으며, 반사된 빛에서 감지 가능
- 입사 된 빛 중 많은 양이 측정 물질을 통과하며, 빛이 물질을 지나가는 동안 분자들이 빛의 일부 에너지를 흡수



4

01 Observing the dragon

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

Classical analytical techniques

vs

Optical remote sensing (ORS)

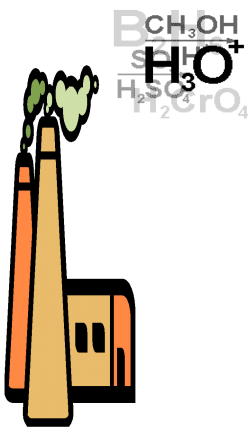
ORS will be a Game Changer...

출처 : Scientific Computing World, July/August 2001

5

02 ORS monitoring system

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research



Point Line 3

Better! Best!!

6

02 ORS monitoring system - ① SOF

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

Key word

1. Solar tracking, 2. Both of UV-IR-, 3. Emission flux, 4. Fenceline monitoring

SOF (Solar Occultation Flux)

특징

원리

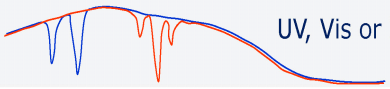
모든 측정방법은 흡수 분광법과 Lambert-Beer법칙에 기반

SOF (Solar Occultation Flux)

- 측정 방법 : Passive, Remote Sensing
- 분광 영역 : 태양 직달광 (IR)
- 측정 화합물 : Total Alkanes, Alkenes, Ammonia

SkyDOAS (Sky Differential Optical Absorption Spectroscopy)

- 측정방법: Passive, Remote Sensing
- 분광 영역: 태양 산란광 (UV)
- 측정 화합물 : SO_2, NO_2, HCHO



02 ORS monitoring system - ① SOF

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

배출량이 산정되기 까지는.....

분석을 위한 Total Time
2 ~ 3 month

장비 QA/QC

1. SOF
2. SkyDOAS
3. MeDOAS
4. MeFTIR

측정전략 (5 day ~)

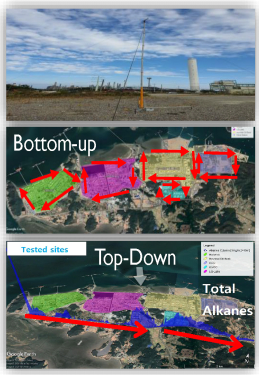
1. 지점 선정 및 기간계획
2. 면적대비 측정 횟수 확인
3. 배출원 위치 확인
4. 배출량 및 농도 확인
   (SEMS, PRTR, CPASS)

측정 횟수 확인

그룹	에이커(ac)	샘플링 횟수
1그룹	1~750 ac	27
2그룹	750~1500 ac	18
3그룹	1500 ac 이상	18

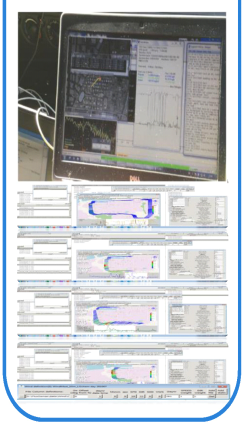
지점 측정 실시 (30 day~)

1. 측정 지점 업체와 측정계획 논의
2. 기상장비 설치 (지역상 대표 지점)
3. 측정 (하루에 9시간 이상 측정)
4. 바람 데이터 확보 및 정리



Data 정리 및 프로세싱 (30 day~)

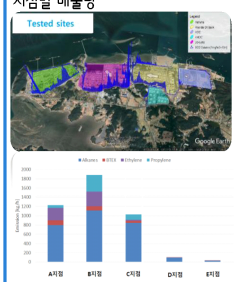
1. FluxMeasure 입력
2. 바람데이터 입력
3. 성분별 데이터 확인
4. 지도와 연동



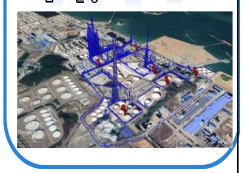
배출량 도출 (5 day~)

1. 배출량 합산
2. 지도에 배출량 표시

지점별 배출량



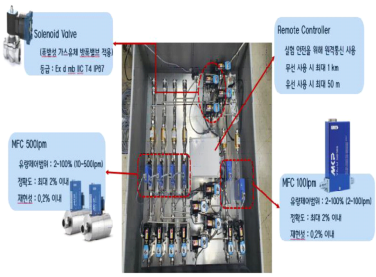
C지점 배출량



02 ORS 정밀도 향상을 위한 노력 - ① SOF

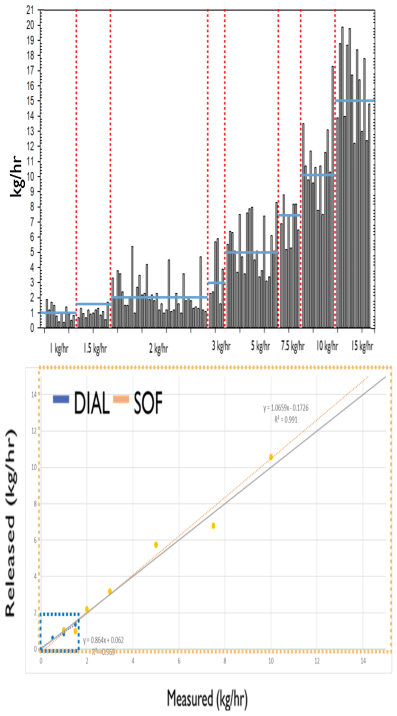
국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

측정 계획 및 장비



MFC와 tracer 설계 및 제작

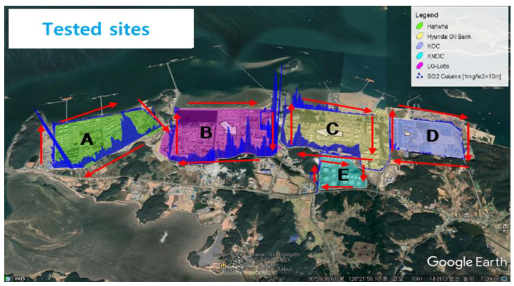
테스트 결과

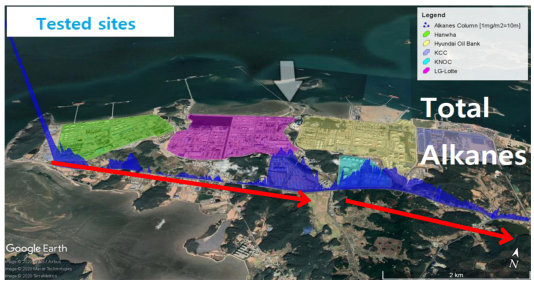


- ○ 측정방법 : SOF (주변을 돌면서 측정), DIAL (150 m 떨어진 장소에서 측정)
- ○ 배출조건 : 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 5, 7.5, 10, 15 kg/hr
- ○ 측정결과 : 1) (1 ~ 1.5 kg/hr 구간) 평균 오차 SOF 18.5%, DIAL 12.5%
  - 2) (SOF)전체 구간 (1 ~ 15 kg/hr) 12%, 배출량이 증가할수록 오차율 감소
    - * 사업장의 배출량은 수백~수천 kg/hr이므로 SOF의 정확도가 높아질 것으로 예상
  - 3) 기상장비별 비교결과 오차율 : LIDAR(0~38 m) 평균 12 %, Mast(2~12 m) 평균 13%
    - * LIDAR 장비는 시설의 높이가 높고 배출지점의 높이를 모를 때 적합

02 배출량 산정 방법 연구 - ① SOF

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research





물질	Plant A	Plant B	Plant C	A + B + C 합산 (SOF)		문헌자료* (실측값/보고값)
	배출량 (ton/yr) (ratio : 실측값 / CAPSS)					
VOCs	8,856	13,889	12,595	35,340 (2.0)	17,995	2~12
NO_X	666	558	2,829	4,053 (1.3)	3,088	1~1.5
SO_X	215	277	8,684	9,176 (0.7)	13,022	1~1.5

※참고문헌: Emission Measurements of VOCs, NO2 and SO2 from the Refineries in the South Coast Air Basin Using Solar Occultation Flux and Other Optical Remote Sensing Methods, 2015, Fluxsense

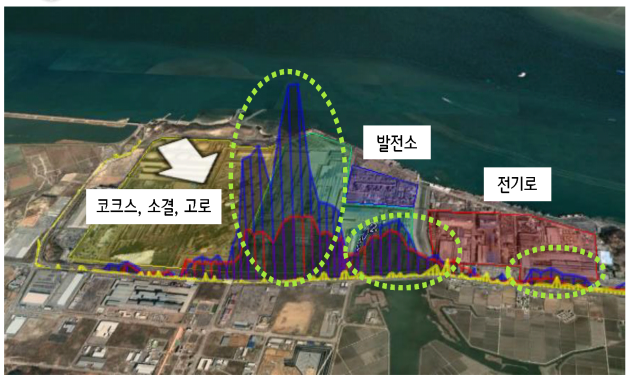
※ E, D 지점의 배출량은 매우 소량으로 측정되어 값에서 제외

- Bottom-Up (A + B + C + D + E 지점 배출량 측정값) -> 산단 총 배출량 (35,340 ton/yr)
- 산단전체 측정 (산단 풍하지역 배출량 측정값) -> 산단 총 배출량 (34,592 ton/yr)

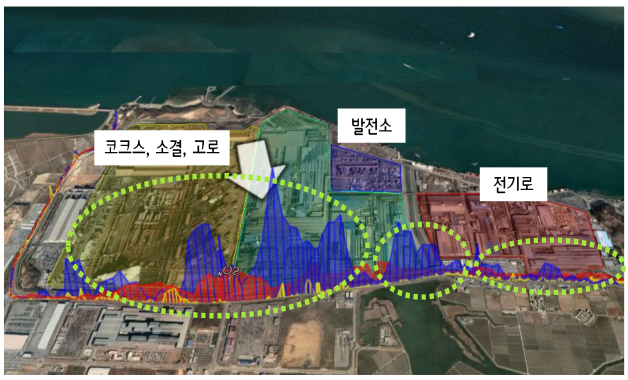
☞ 두 측정법 결과 유사한 배출량이 측정되었으며, 산단전체 측정 시 Bottom-Up 대비 측정 소요시간을 1/5로 단축 가능

02 철강제조업 Fenceline 모니터링 - ① SOF

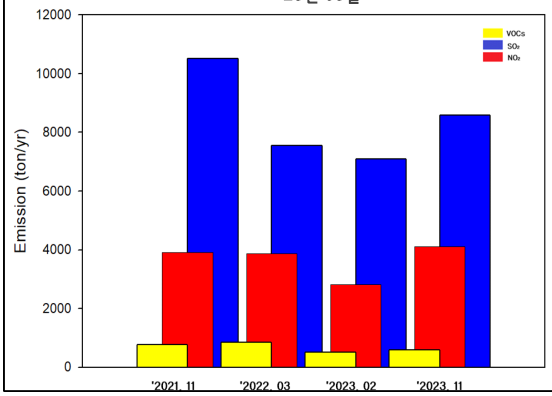
국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research



'23년 03월



'23년 11월

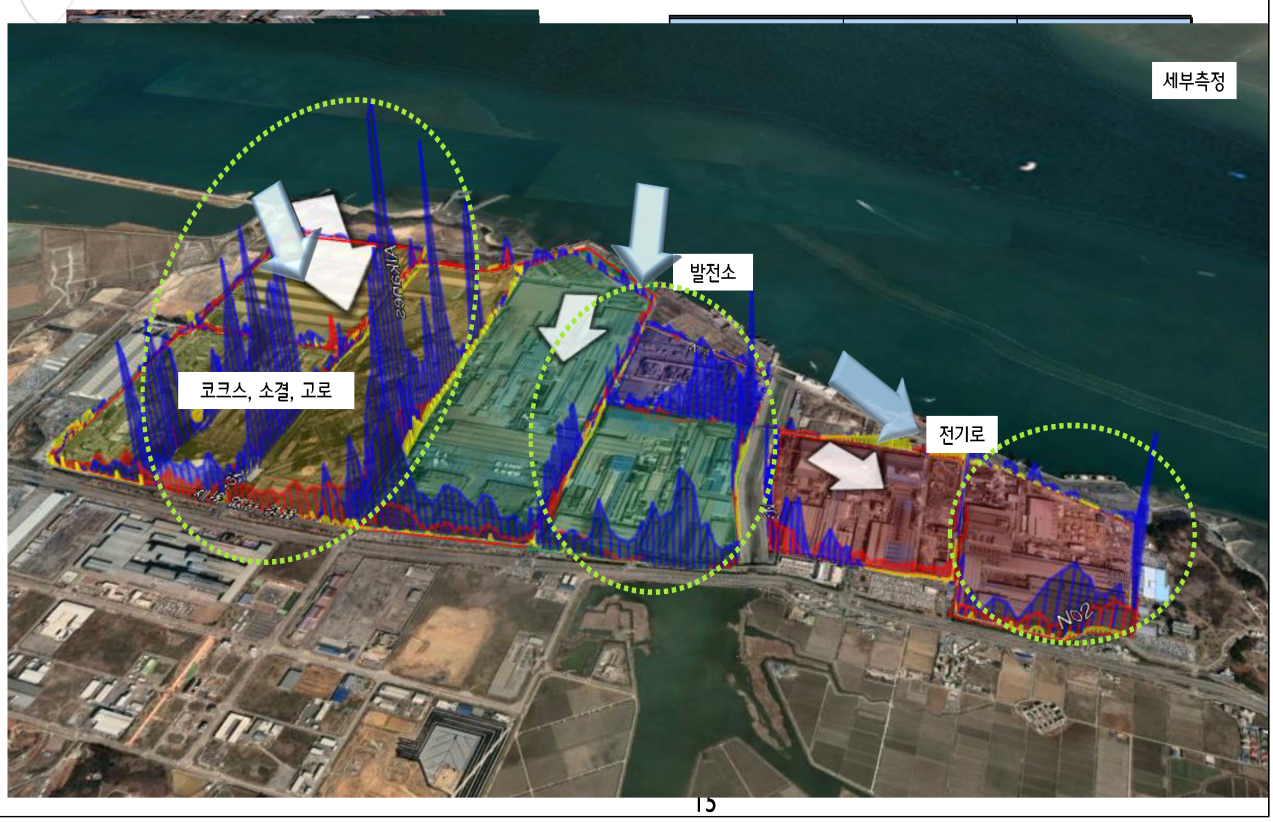


- '23.11 SO_2의 배출량은 8,582 ton/yr이었으며, '23년 02월에 비해 20% 증가
- '23.11 NO_2의 배출량은 4,100 ton/yr이었으며, '23년 02월 대비 약 45% 증가
  - '22년 대보수, 파업 등 피해로 인한 생산량 저하
  - '23년 조업 정상화, 자동차용 판재수요 증가 등
- VOCs는 코크스 화성, 발전소, 전기로 근처에서 피크 확인

11

02 철강제조업 Fenceline 모니터링 - ① SOF

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

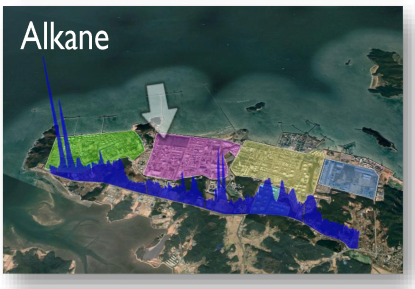


15

02 ORS monitoring system - ① SOF

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

석유정제 및 석유화학산단, 제철소 배출량 산정



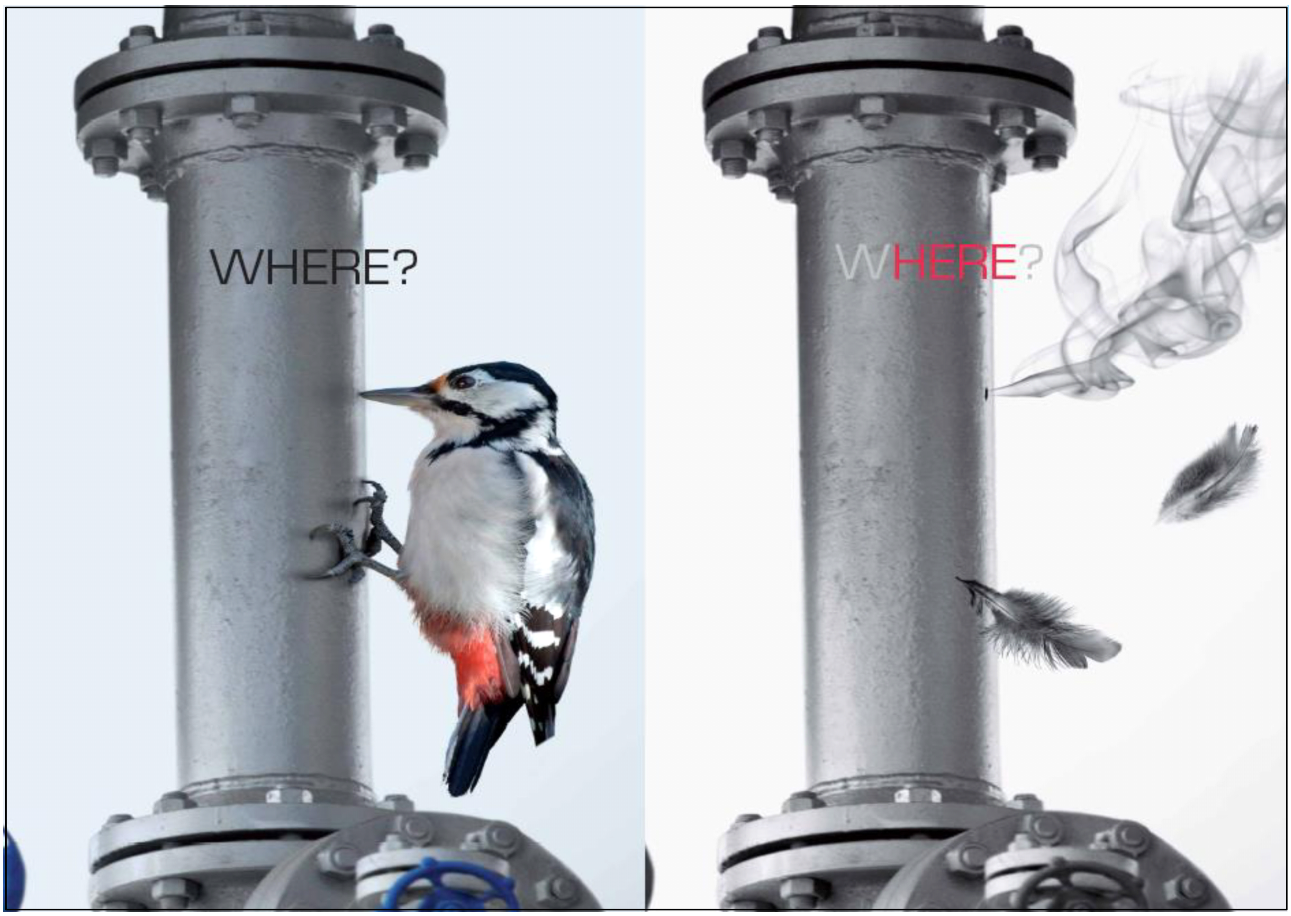
<Oil and petrochemical industry complex>

<Oil refining industry>

<Steel mill>

- 석유화학산단 및 사업장의 VOCs 배출량이 인벤토리 자료보다 높게 나타남
  - ☞ VOCs : 비산 및 비정기적인 배출
  - ☞ NO_2 : 일부 시설(ex:부생가스 사용시설)의 배출량 누락
  - ☞ SO_2 : 황 회수 시설에서의 SOx 배출량 과대 산정(BAI)
- 제철소 : SOx가 인벤토리 배출량보다 2배 이상 높게 측정

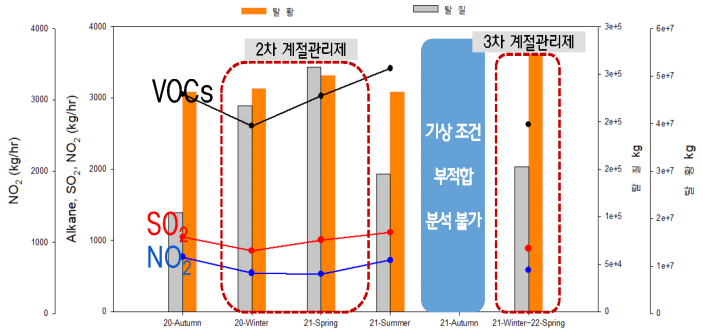
13

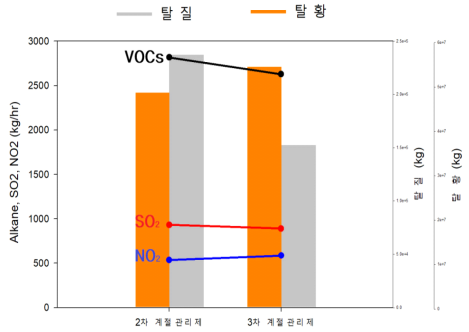


02 계절별 미세먼지 원인 물질 배출 특성 - ① SOF

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

D 석유화학산단





- 3차 계절관리제 기간 동안 계절관리제 시행 전('21년 여름) 비교 결과 VOCs, SOx는 약 15% 감소, NOx 약 25% 감소
  - ☞ 계절관리제 준수를 위한 환경설비 증대 및 효율 상향 운전(약품 투입 증가) 등에 기인
- 2차 계절관리제와('20.12~'21.03) 비교 결과 VOCs와 SOx 소폭 감소, NOx 소폭 증가
  - ☞ (NOx)2차 계절관리제 기간 동안 많은 양의 약품 투입으로 인한 방지시설의 부식 등으로 약품 투입량 조절
  - (보일러 탈질에 사용하는 Ammonia 등 사용량이 월별 10~70% 감소한 것과 다르게 NOx 배출량 변화 없음)

15

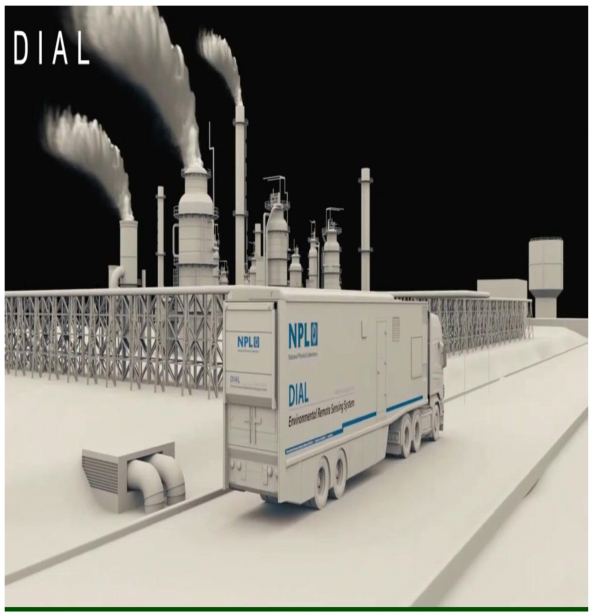
02 ORS monitoring system - ② DIAL

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

Key word

1. Lidar , 2. Both of UV-IR, 3. Emission flux, 4. Monitoring fugitive

DIAL (Differential Absorption Lidar)



특징

원리

DIAL (Differential Absorption Lidar)

- 누출 및 확산 배출 모니터링
- 두 개의 파장 간 차등 흡수를 분석하여 가스 농도를 측정
- (측정 거리) UV 500~1,000m 측정 물질 : NO_2, SO_2, NH_3
  IR 300~800m 측정물질 : VOCs, CH_4, C_2H_6
- DIAL 측정 결과와 풍향 정보를 결합하여 배출량 계산

적용

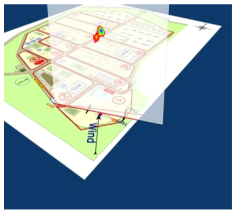
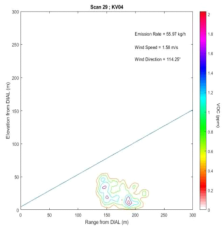
- 매립지에서 메탄(CH_4) 배출량 측정
- 미국 석유 협회(U.S. Petroleum Association)에서는 저장탱크에서 누출되는 VOCs 배출량을 산정

02 ORS monitoring system - ② DIAL

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

원유 저장시설 주요 배출원 VOCs 배출량 결과



시설	VOCs emission		Notes
	시간당 [kg/hr]	연간 [ton/year]	
휘발유생산공정	134.4 ± 16	968	제품 생산 공정에서 높은 배출량 확인
저장시설	110 ± 15.4	797	7개 저장시설 (35%)에서 VOCs 누출
플레어스택	14.8 ± 2.1	106.6	문헌에 따른 VOCs 배출량은 약 100 ton/year
폐수처리시스템	5.5 ± 0.6	40	폐수처리시스템에서 누출확인

Reference : Differential Absorption Lidar Measurements of VOC Emissions from Wytch Farm Crude Oil Gathering Station, NPL Report COEM 13

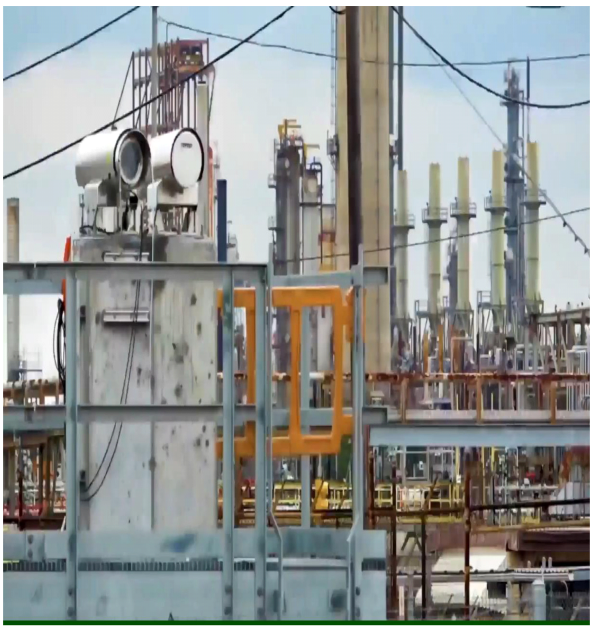
02 ORS monitoring system - ③ UV-DOAS

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

Key word

1. Fenceline 모니터링, 2. 장기간 모니터링, 3. Fenceline

UV-DOAS



특징

◐ 원 리

UV-DOAS (UV-Differential Optical Absorption Spectroscopy)

- UV 스팩트럼(VOCs, NO_2, SO_2, BTEX)을 이용한 측정
- UV 광학 램프를 이용 측정물질에 의해 감쇄 측정
- 사업장 환경에서의 Fenceline 모니터링

◐ 활 용

- 대기오염 매개변수 측정 (배출원 분석) 이 가능
- 산업 또는 도시의 fenceline 모니터링 적용에 최적
- 실시간 측정을 통해 측정 시간의 한계를 극복

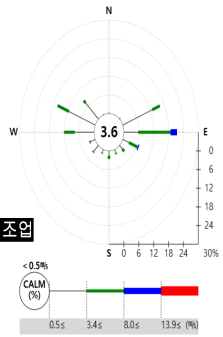
02 ORS monitoring system - ③ UV-DOAS

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

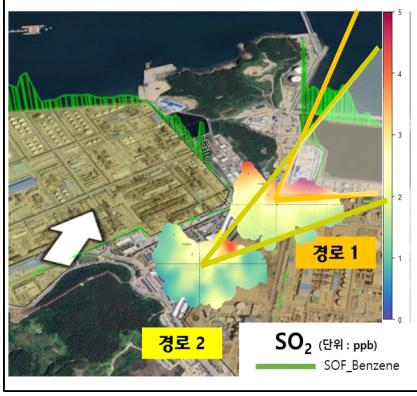
석유화학산단 UV-DOAS 측정 개요

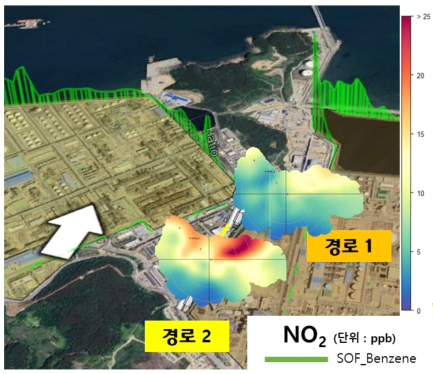
- ㅇ 측정지역: 석유화학산단 화학제품제조 밀집 지역 (전체 약 700 m)
- ㅇ 측정기간: ‘24. 8. 6 ~ ’24. 11. 14
- ㅇ 측정 결과:
- ㅇ 대기환경기준 대비: SO_2 : 12%, NO_2 : 60%, Benzene 223%
- ㅇ (SO_2) 북동쪽 사업장의 폐수처리장치 영향
- ㅇ (NO_2) 복합화력 발전소 및 발전소 공사장의 중장비 영향
- ㅇ (벤젠) 사업장의 NCC 및 석유정제물 재처리 사업장의 영향

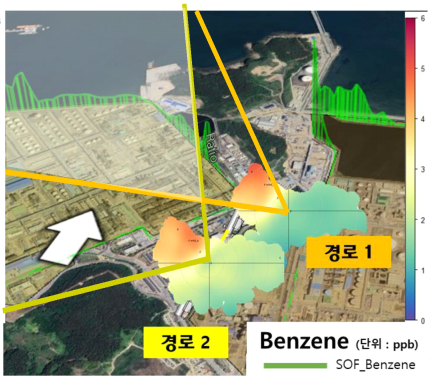
〈석유화학산단 측정 위치〉



〈AWS 기상자료〉







02 ORS monitoring system - ④ Flare Guardian

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

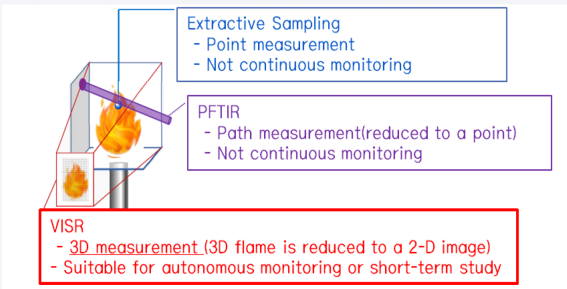
Flare Gas Monitoring System

특징

◐ 원 리 : 적외선 다중 스펙트럼을 활용하여 CO_2, CO, HC 등의 연소 생성물을 측정

$$\text{Combustion Efficiency(\%)} = \frac{[C]CO_2}{\sum_i ni[C]HCi+[C]CO+[C]CO_2} \times 100$$

◐ 활 용 :

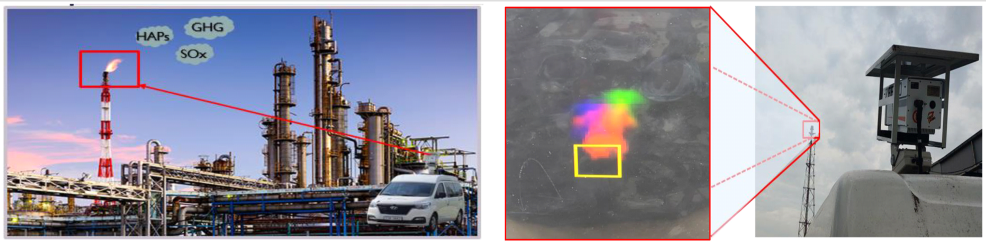


◐ 응 용 :

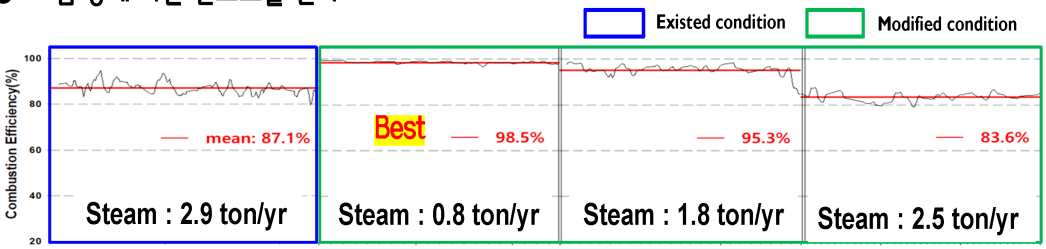
- 플레어스택 조사 : 플레어스택 상태 및 배출 조건 분석
- 적절한 연소효율 분석: 스팀 및 공기비 조정

02 ORS monitoring system - ⑤ Flare Guardian

국립환경과학원 +Pride National Institute of Environmental Research



◉ 스팀 양에 따른 연소효율 변화



◉ 연소효율에 따른 온실가스(CO_2) 변화

연소 효율(%)에 따른 GHG(CO_2) 감소량 추산					
#	연료소비량(m^3/hr)	연소 효율 87%		연소 효율 98%	CO_2 감소
Flare stack	194.1	0.0592 tCO_2	→	0.0085 tCO_2	444 tCO_2 eq/yr

21

03 Future works

국립환경과학원 +Pride National Institute of Environmental Research

K-펜스라인 모니터링 시스템

1. 배출량산정 및 Hot-spot 파악
   : SOF(넓은), DIAL(정밀)
- 분광 원격탐사 기술 활용 오염물질의 배출량(Flux)을 정확히 산정
- 인벤토리 배출량과 비교

2. 배출원 식별
   : DIAL, FT-IR, OGI, flare guardian
- 원격으로 점 및 비산 배출원을 정밀 분석하여 오염원 식별

3. 고정적 장기모니터링
   : UV-DOAS, (저비용 센서)
4. 개선 효과 분석
   : SOF
- 장기모니터링을 통해 지속적인 오염원 관리 및 개선 효과 분석

22

03 Future works

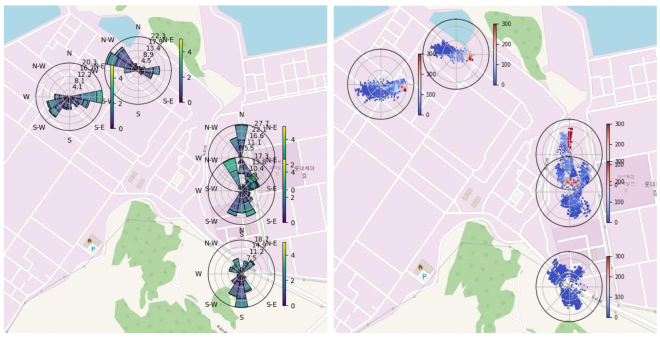
국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

저비용 연속 휘발성유기화합물(VOCs) 모니터링

- 목 적: 각 사업장 부지경계에 설치하여 실시간 배출원 분석을 위한 장비
  작은 크기, 낮은 가격, 쉬운 설치 등 활용도 높음
- 장비구성: VOCs 측정기, 풍향풍속센서, 태양열전지, GPS, 통신모듈
- 측정방법: 광이온화 검출방식(PID)센서는 물질 이온화에 의한 전류변화를
  감지하여 농도 산출
- 관측재원: 범위(10ppb – 3ppm이내), 정확도(±20ppb), 배터리(3일), LTE(4G)
  크기(250W x 150D x 350H, mm)
- 모니터링 환경: 인터넷으로 실시간 측정자료 확인(시계열, 바람장비, 오염원 방향)

〈저비용 연속 휘발성유기화합물 모니터링 장비 및 설치 사진〉

〈실시간 시계열 관측 결과〉



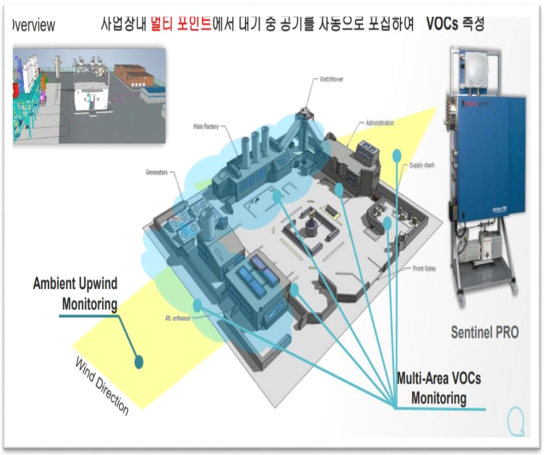
〈모니터링을 통한 실시간 배출원 분석〉

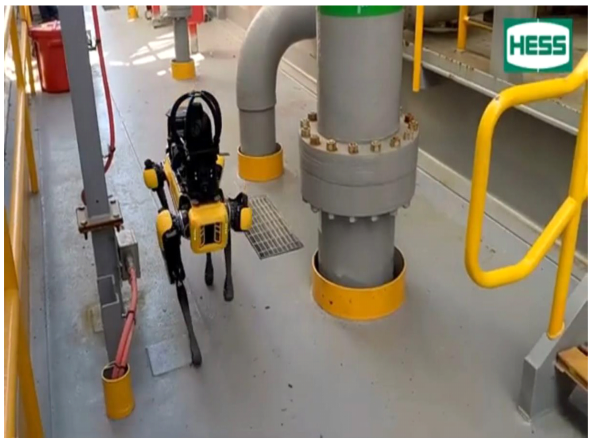
23

03 Future works

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

K-펜스라인 모니터링 시스템





◉ 추후 연구개발 기술

- Multi-Area VOCs Monitoring System : 사업장 내 한 포인트에서 다량의 라인을 통해 수집된 VOCs를 분석
- 스팟(spot) : 4족 보행 로봇으로 해당 로봇에 측정 장비를 부착하여 사업장을 돌아다니며 데이터를 수집

24

03 Future works

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

첨단감시센터

◉ (위치) NIER(인천, 대한민국)

◉ (주요 연구)

- ► Mobile/ORS(optical remote sensing) 데이터 분석
- ► 대기질 모니터링 및 예측
- ► 대기오염물질 및 악취 물질 분석
- ► ORS 장비 검•교정 시스템 개발

◉ (시설 및 장비)

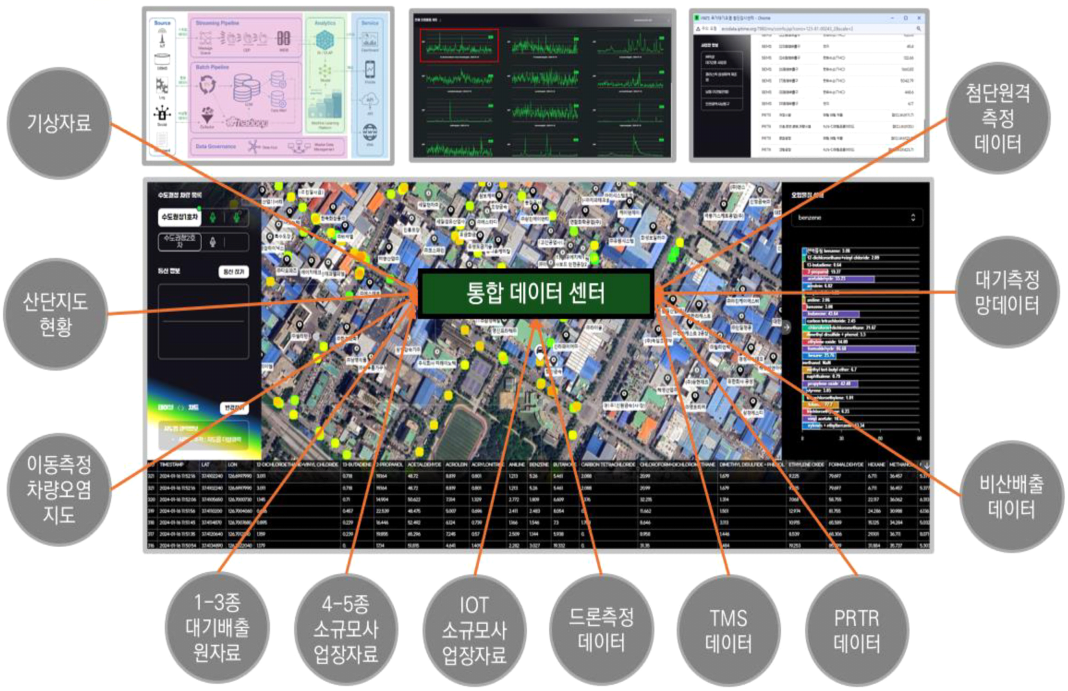
- ► 장비 보관실 및 ORS 검교정 시스템
- ► 샘플링, 전처리, 분석 장비
- ► 대기질 예보 센터
- ► 온라인 회의실 및 데이터 서버실
- ► 대기오염물질 모니터링 시스템

25

03 Future works

국립환경과학원 +Pride
National Institute of Environmental Research

[빅데이터·AI 기반 지역 맞춤형 미세먼지 원인 및 저감 대책 마련]



26


Thank You !
+Pride
국립환경과학원
National Institute of Environmental Research
27

2.

이동식 태양추적분광복사계(SOF) 차량을 이용한 울산 석유화학단지의 BTEX 배출특성 조사

정준식 연구사(낙동강유역환경청)

<VOCs 관리정책 발굴을 위한 기술 세미나(2025년 4월 22일)>

이동식 태양추적분광복사계(SOF) 차량을 이용한 울산 석유화학단지 BTEX 배출특성 조사

- 수행부서 : 낙동강청 측정분석과 · 대기환경관리단
- 수행기간 : 2024.1 ~2024.12
- 과제책임자: 정준식(환경연구사, Ph.D.)

목 차

추진배경 및 목적

(배경)
사업장 밀집지역, 난해 현장시설 등에 첨단장비를 활용한 그물망식 측정으로 고농도 대기오염물질 배출원 추적 및 단속 감시의 체계적 운영 필요

(목적)
대규모 국가산업단지 내 화학물질 배출 저감을 위한 첨단장비를 활용하여 배출특성 파악 · 의심사업장 선별 등 시계열 모니터링

- 태양추적분광차량과 대기단 이동차량 동시 운영하여 지도 · 점검 관리 사각지대 해소

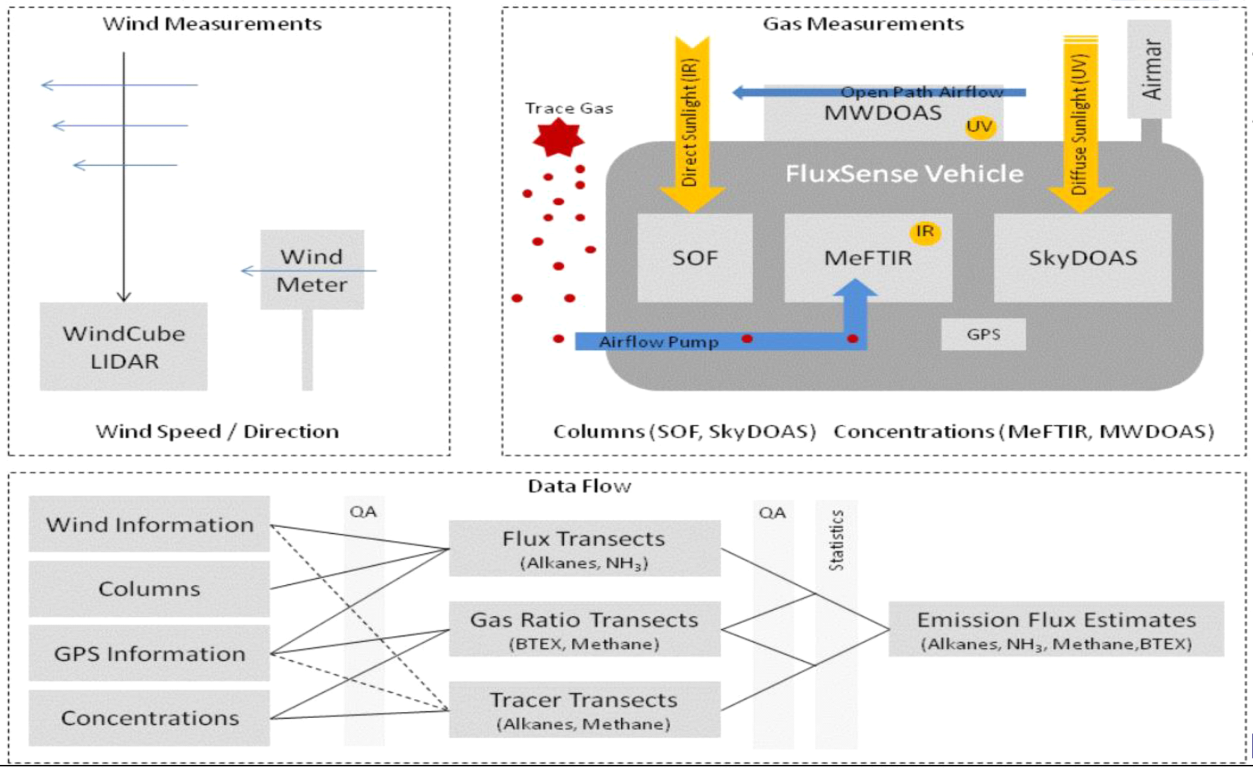
추진계획

분기별 세부내용		분기별 계획 대 진도 (계획: 노랑) (진도: 주황)											
		1/4			2/4			3/4			4/4		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
○ 대상지역 선정													
○ 측정	SOF												
	SIFT-MS												
○ 자료 분석 및 결과보고													

연구방법


울산석유화학공업단지협...
SK화학
롯데케미컬
㈜카프로
SK화학
울산석유화학공업단지협의회
한화이펙트
한화케미컬
카프로
동서석유
울산석유화학단지
대한유화
애경케미컬
한국알콜
코오롱인더
이수화학
롯데이네오스화학
금호석유화학(고무)
용산화학
HDC현대
금호석유화학(수지)
한국넥슬랙
HDC현대
WindS.

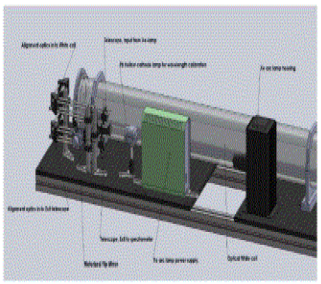
연구방법

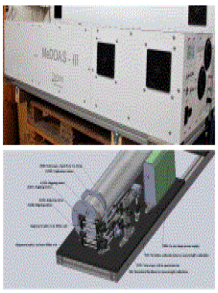

Wind Measurements
Wind Meter
WindCube LIDAR
Wind Speed / Direction
Gas Measurements
Trace Gas
Direct Sunlight (IR)
Open Path Airflow
MWDOAS
UV
Diffuse Sunlight (UV)
Airmar
FluxSense Vehicle
SOF
MeFTIR
IR
SkyDOAS
Airflow Pump
GPS
Columns (SOF, SkyDOAS)
Concentrations (MeFTIR, MWDOAS)
Data Flow
Wind Information
Columns
GPS Information
Concentrations
QA
Flux Transects (Alkanes, NH3)
Gas Ratio Transects (BTEX, Methane)
Tracer Transects (Alkanes, Methane)
QA
Statistics
Emission Flux Estimates (Alkanes, NH3, Methane,BTEX)

연구방법

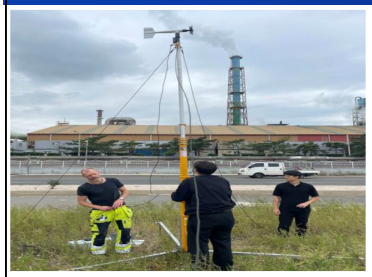
(MeDOAS: Mobile extractive Differential Optical Absorption Spectroscopy)

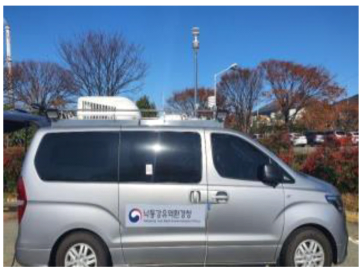
- 관측지점에서 농도를 산출하는 지점관측(In-situ) 방식을 이용
- 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌(BTEX)의 지료 질량 농도 측정
- 내부 램프의 빛은 화이트 셀을 통해 전달되고 UV 파장 영역인 255~285nm을 사용하고 DOAS 분광기를 이용하여 분석





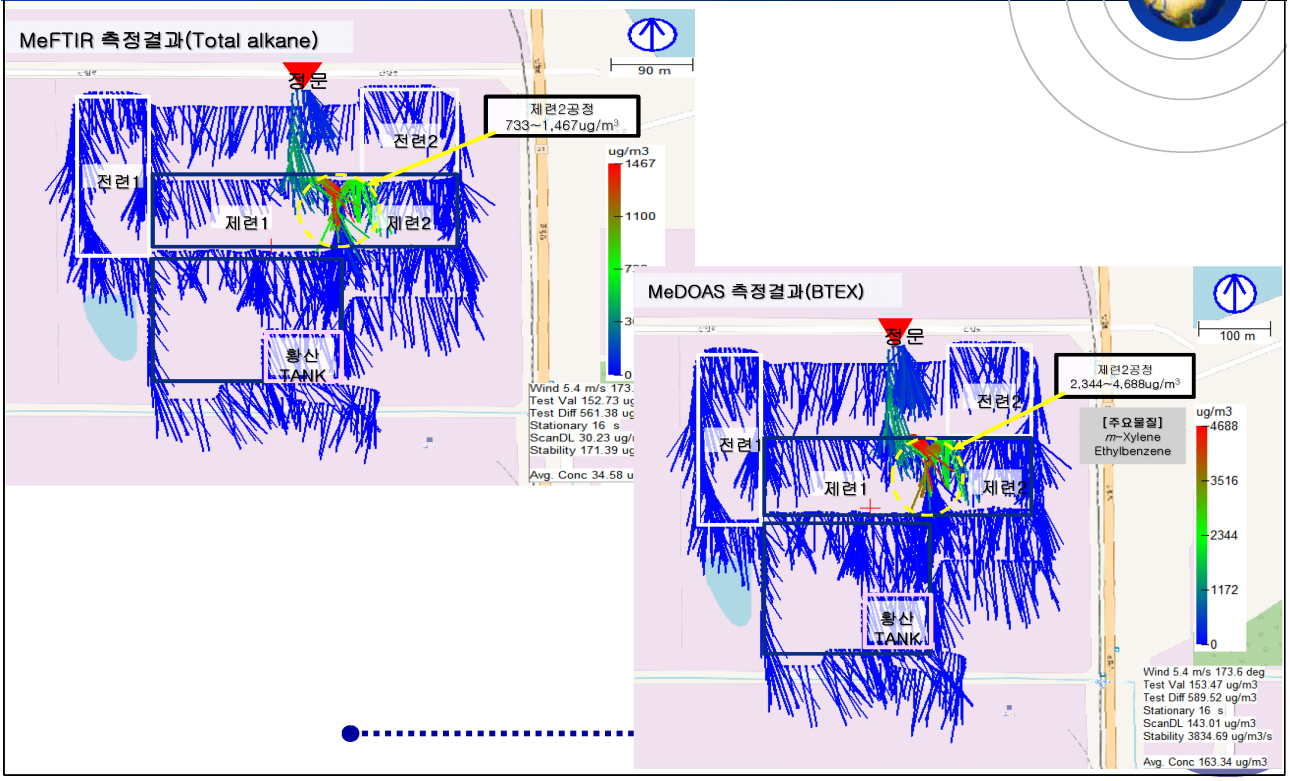
연구방법



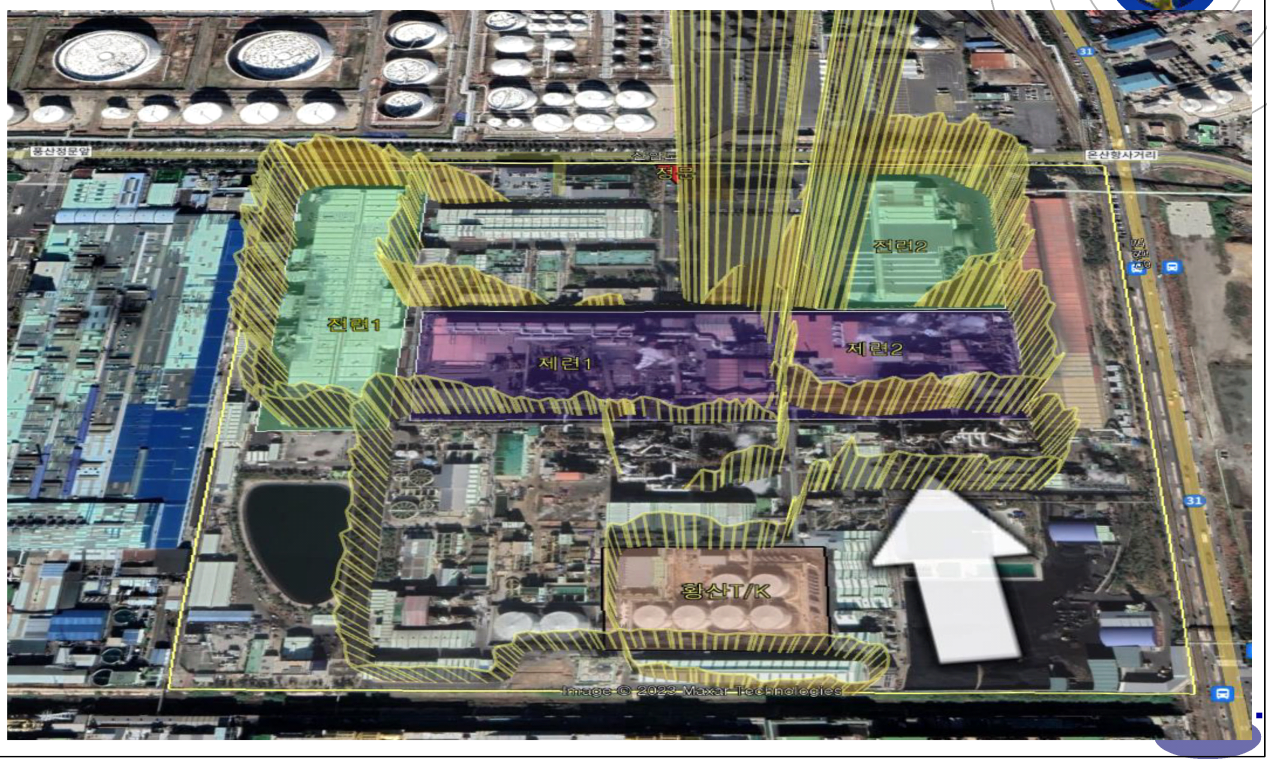


- (일정/대상) '24년 1 ~12월(월 1회 이상)/ 울산 미포국가산업단지
- (측정시기/항목) 시간대별 스크리닝 및 정밀측정(오전/오후/야간/심야)
- (방법) Hot Spot 스크리닝 → 지점 선정 → 지점 정밀측정

분석결과(기존 연구방법)



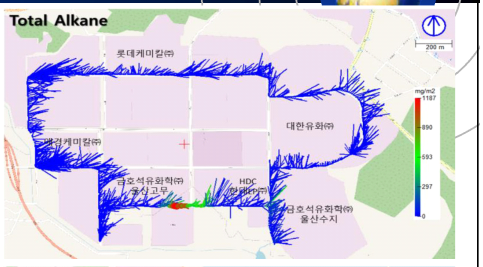
분석결과(기존 연구방법)



분석결과(기존 연구방법)

('23년 원격감시 측정)
- 석유화학 산단 총 27회 이상
: 울산미포산단 10회, 온산산단 17회, 창원 산단 등

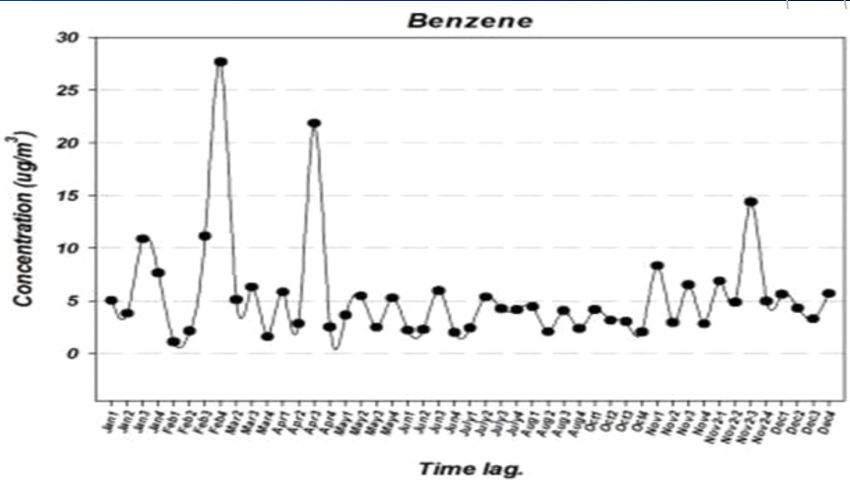
- 사업장 3개소, 6회 정밀 측정
: 미포산단 내 2개소 3회, 온산산단 내 1개소 3회



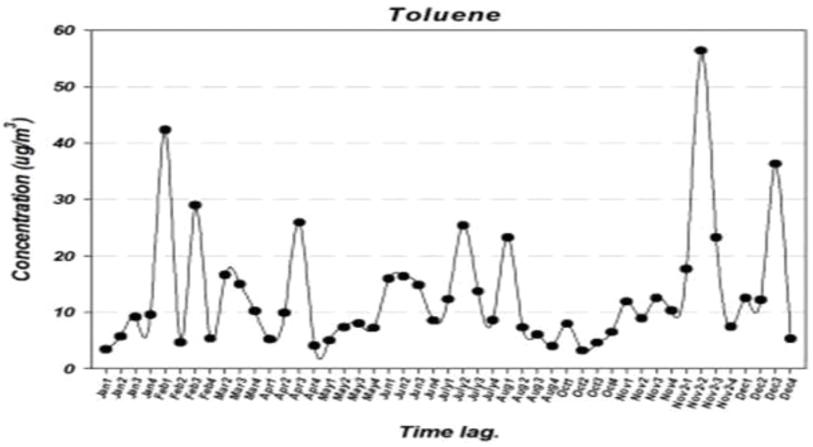
Lay-out

내부누출 가능성
높은 공정

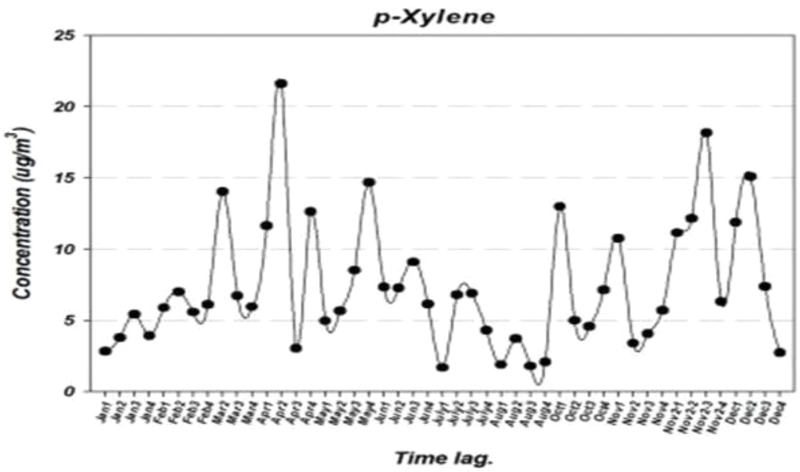
분석결과



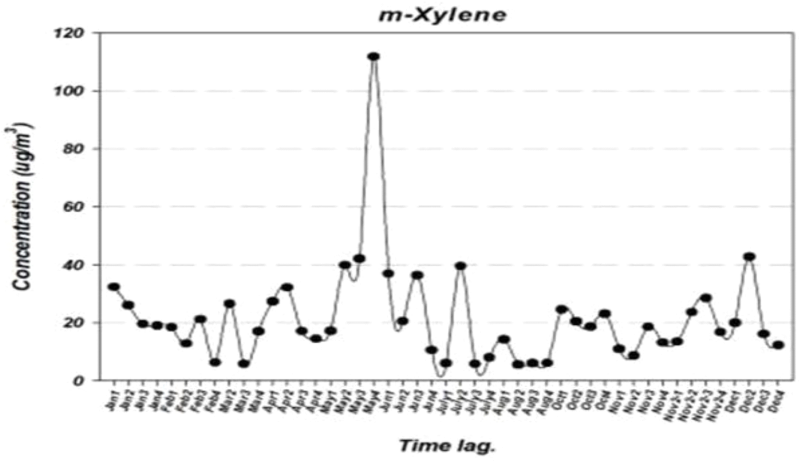
분석결과


Toluene
Concentration (ug/m3)
0
10
20
30
40
50
60
Time lag.

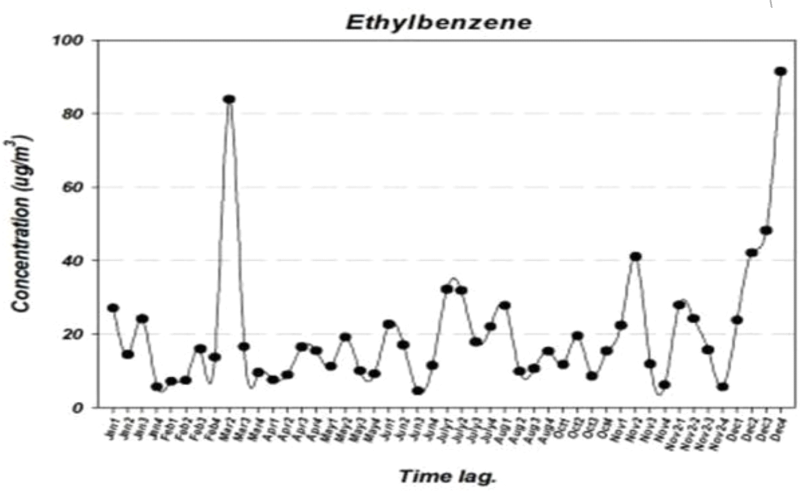
분석결과


p-Xylene
Concentration (ug/m3)
0
5
10
15
20
25
Time lag.

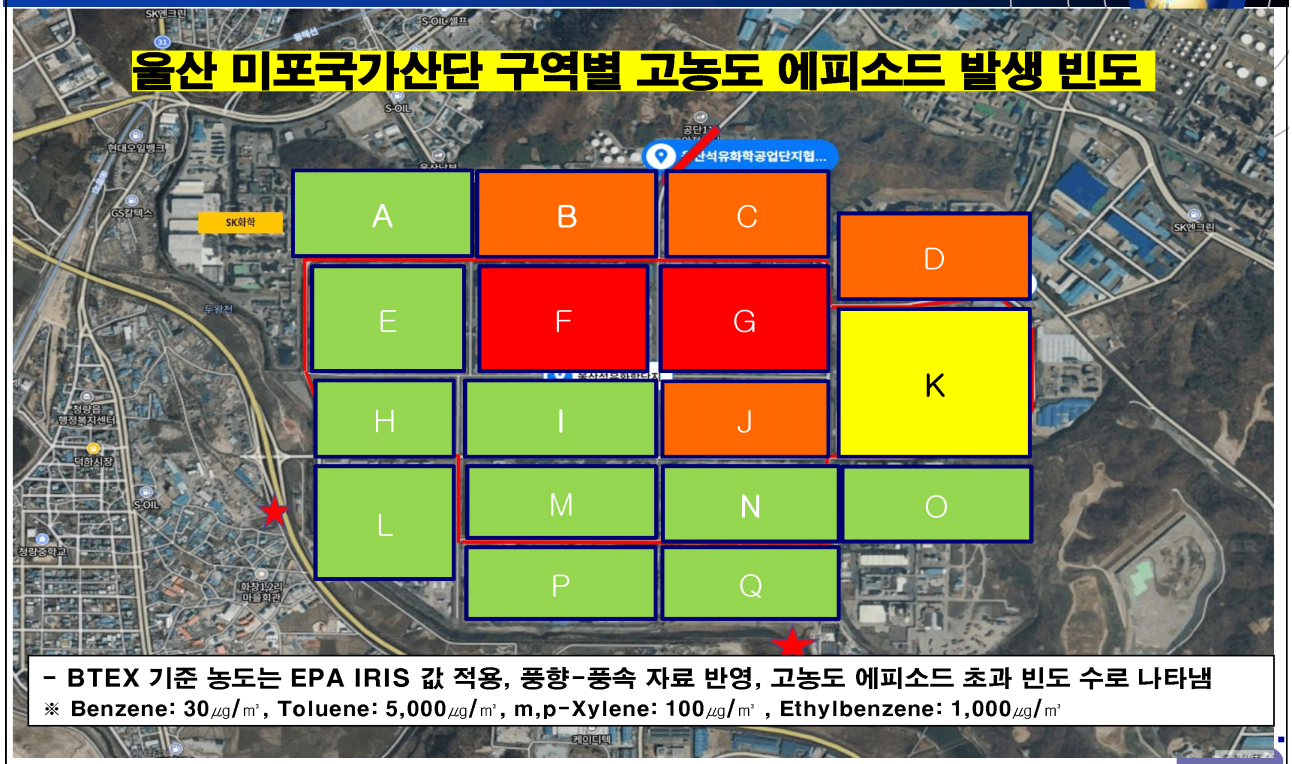
분석결과


m-Xylene
Concentration (ug/m3)
120
100
80
60
40
20
0
Time lag.

분석결과


Ethylbenzene
Concentration (ug/m3)
100
80
60
40
20
0
Time lag.

분석결과



- BTEX 기준 농도는 EPA IRIS 값 적용, 풍향-풍속 자료 반영, 고농도 에피소드 초과 빈도 수로 나타냄

※ Benzene: 30㎍/㎥, Toluene: 5,000㎍/㎥, m,p-Xylene: 100㎍/㎥ , Ethylbenzene: 1,000㎍/㎥

분석결과

○ (Benzene) 측정 시기는 **1~2월, 11~12월 평균 농도가 높았으며**, 시간은 **야간 및 심야 시간대인 3~4(22~24시, 1~3시)차** 측정이 통계적으로 유의하게 높았음

○ (Toluene) 측정 시기는 **온도가 낮은 2월, 11~12월 평균 농도가 높았으며**, 시간은 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았음

○ (*p*-Xylene) 측정 시기는 **11~12월, 4월 평균 농도가 높았으며**, 시간은 **야간 및 오후인 3~4(22~24시, 13~15시)차** 측정이 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타남

○ (*m*-Xylene) 측정 시기와 시간은 여타 비교군과 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나, **고농도 발생시간은 7~8월**로 나타남

○ (Ethylbenzene) 측정시기는 **11~12월, 3월 평균 농도가 높았으며**, 시간은 **오전 및 오후인 1~2(10~12시, 13~15시)차** 측정이 통계적으로 유의하게 높았음

○ **고농도 에피소드를 보인 블록은 F, G, B**로 나타났으며, **11(2)월이 66건**으로 가장 높은 것으로 나타남

○ Benzene이 20건 이상 초과한 블록은 **G > F > B > C > J > D** 순으로 나타남

향후계획

metro

낙동강유역환경청, 울산 미포 국가산단 대기 오염 집중 감시

메트로신문 이도식 기자 | 2024-12-31 14:37:47

사진/낙동강유역환경청

낙동강유역환경청은 올해 1~12월 태양광 추적 분광 차량(SOF), 드론 등 첨단 감시 장비를 활용해 울산 미포 국가산업단지 내 사업장을 대상으로 시간대별 대기오염물질 모니터링을 진행했다고 31일 밝혔다.

울산 미포 국가산업단지는 ▲석유 화학 ▲자동차 등 약 700개 업체가 위치하고 있어 악취에 따른 민원 발생과 휘발성 유기 화합물(VOCs) 등이 다량 배출되고 있고, 대기질 만족도가 낮은 수준이다.

모니터링을 진행한 결과, 휘발성 유기 화합물은 미세 먼지 계절 관리제 기간인 1~2월, 11~12월이 여타 기간보다 높게 나왔으며 야간 및 심야 시간대가 오전, 오후와 비교해 높은 것으로 나타났다.

겨울철, 야간 및 심야 시간대 대기오염물질이 높은 사유는 ▲환경적 요인 ▲설비 운영 등의 요인으로 추론돼, 앞으로 정밀 분석을 진행할 계획이다.

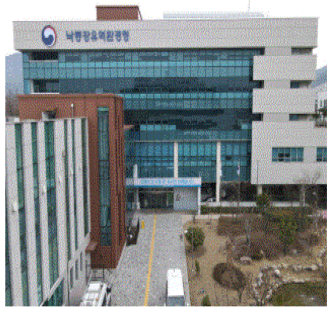
또 일부 사업장 부지경계에서는 휘발성 유기 화합물의 발생 및 배출이 의심돼, 관련 부서 및 사업장 관계자와 정밀 점검 등의 관리를 진행했다.

최종원 낙동강유역환경청장은 "울산 미포 국가 산단의 모니터링 결과를 활용해, 과학적이고 효율적인 관리 방안을 수립할 계획"이라며 "야간 및 심야 측정을 강화할 것이며 결과를 지자체나 관련 기업체에 공유해 자발적인 관리를 할 수 있도록 점검·지도하겠다"고 밝혔다.

뉴시스 지방 > 경남

울산미포산단 VOCs 배출 '야간에 집중'...환경당국 정밀분석 착수

등록 2024.12.31 13:03:49



(창원=뉴시스) 김기진 기자 = 낙동강유역환경청은 올해 1~12월까지 실시간 이동측정차량(SIFT-MS)등 첨단감시장비를 활용해 울산미포국가산업단지 내 사업장을 대상으로 시간대별 대기오염물질 모니터링을 실시했다고 31일 밝혔다.

울산미포국가산업단지는 석유화학, 자동차 등 약 700여개 업체가 위치하고 있어, 악취로 인한 민원 발생과 휘발성유기화합물(VOCs) 등이 다량 배출되고 있고, 대기질 만족도가 낮은 수준이다.

울산 VOCs 배출량은 2020년 전국에서 네번째로 높았다.

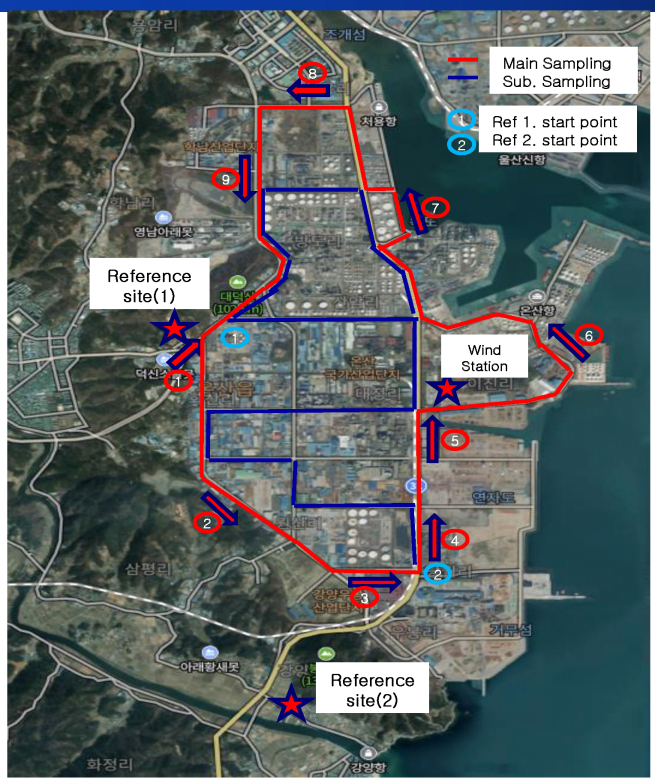
모니터링을 실시한 결과, 휘발성유기화합물은 미세먼지 계절관리제 기간인 1~2월, 11~12월이 여타 기간보다 높게 나왔으며, 야간 및 심야 시간대(22~24시, 오전1~3시)가 오전, 오후와 비교해 높은 것으로 나타났다.

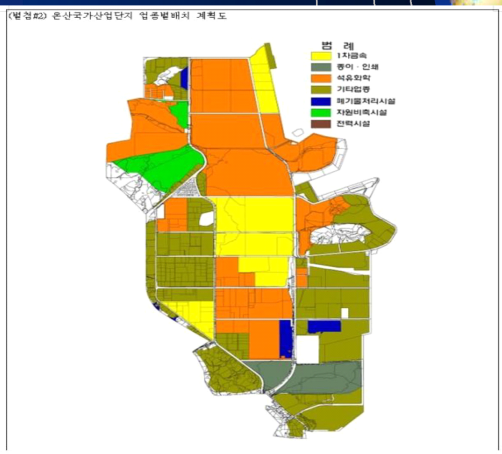
겨울철, 야간 및 심야 시간대 대기오염물질이 높은 사유는 환경적 요인(풍속, 풍향, 기온 등)과 설비 운영 등의 요인으로 추론되어 향후 정밀 분석을 실시 할 계획이다.

또한, 일부 사업장 부지경계에서는 휘발성유기화합물의 발생 및 배출이 의심되며, 관련 부서 및 사업장 관계자와 정밀점검 등의 관리를 실시했다.

최종원 낙동강유역환경청장은 "울산미포국가산단의 모니터링 결과를 활용해 과학적이고 효율적인 관리방안을 수립할 계획이다"며 "야간 및 심야 측정을 강화할 것이며, 결과를 지자체나 관련 기업체에 공유하여 자발적인 관리를 할 수 있도록 점검지도하겠다"고 밝혔다.

향후계획





- 산단 특성을 반영한 매뉴얼 작성(~ '25. 7)
- 시계열 2차년도 연구 시작(울산 온산산단)

Q & A

3.

항공관측 기반 충남 대형배출시설 상공의 VOCs 분포 특성

김정호 소장(열린공간)

(항공관측기반) 충남대형배출시설 상공의 VOCs 분포 특성

2025.4. 22

김 정 호
OPEN SPACE

과 제 명 : 입체관측을 통한 유기미세입자 및 주요 2차 입자상물질의 국가간 이동파악을 위한 항공관측

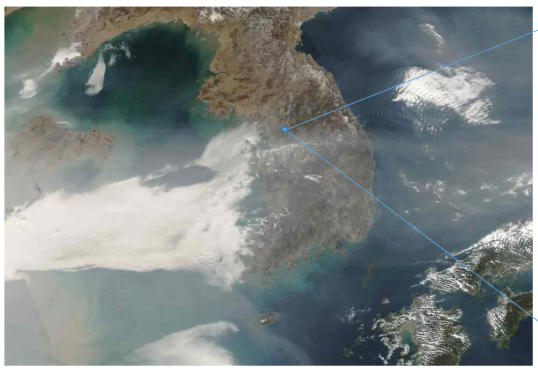
연구비지원 기관
환경부 국립환경과학원
기후대기연구부

참여연구기관
한서대학교
한국외국어대학교
UC IRVINE
ART+
OPEN SPACE

이 발표자료는 국가 연구과제를 통해 수행한 결과의 일부입니다.

들어가며 - 빈번하게 발생하는 광역대기오염현상

중국-한국-일본에 걸친 광역대기오염



https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/korusaq_photo_1.jpg

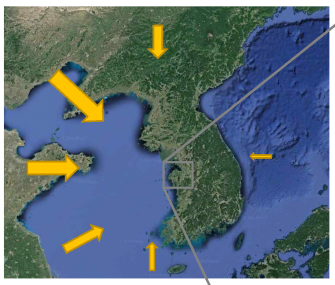
광역대기오염현상 발생시
여의도 63빌딩 부근의 전경

https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-b00035aa78d1f40d77a1a96b70636c4f

우리나라의 대기오염은 중국 동부에서 발생한 오염물질의 장거리 이동에 의해 영향을 받으며, 국내의 도시, 공업지역, 발전소 등에서 발생한 오염물질에도 영향을 받음

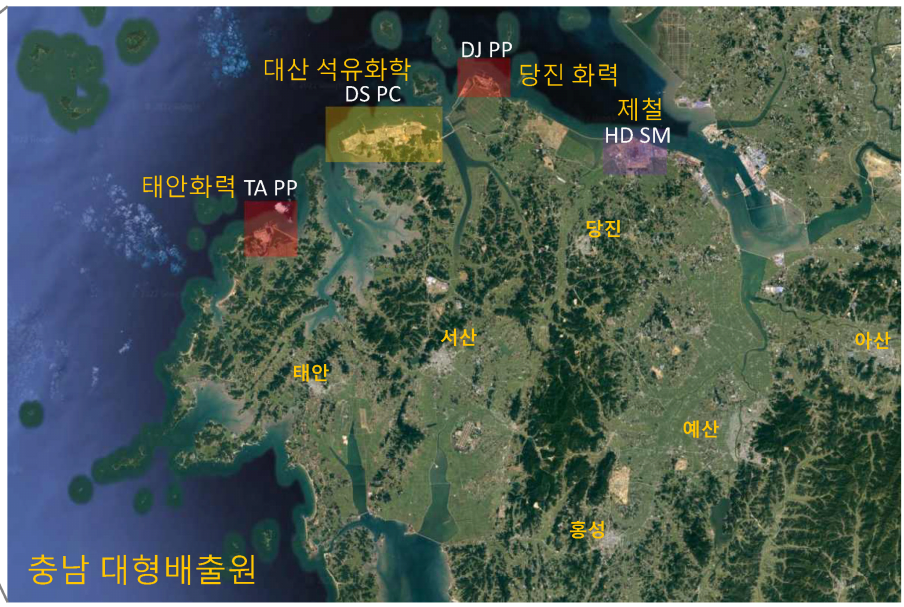
대기오염물질의 장거리 이동 영향이 주로 나타나는 기간 & 대형 배출원 지역 상공에 대한 항공관측. 초미세먼지($PM_{1.0}$)와 VOCs 등 고농도 사례 조사 및 발생원인 파악과 공간분포 분석 중요

항공관측 시기 : 겨울~봄철 / 서~북풍이 가장 빈도가 높음



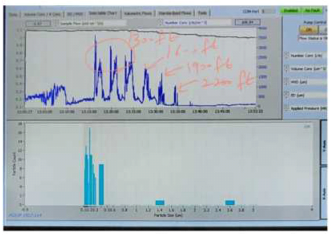
*. 미세먼지 계절관리제기간
11월~4월

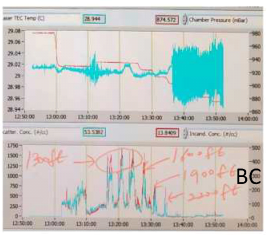
*. 고농도 오존관측
8-9월



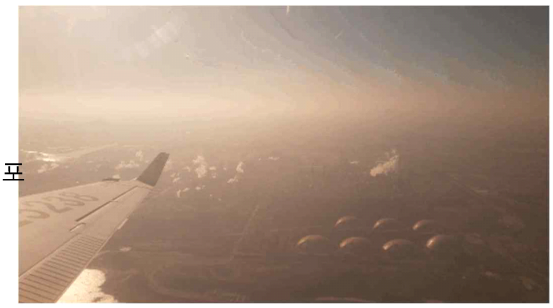
충남대형배출원 항공관측 – 현대제철 상공 관측장면

13:15 현대제철 도착





BC 농도분포



1300ft ~ 2200ft까지 배출원 소스에서 이산면적 측정됨

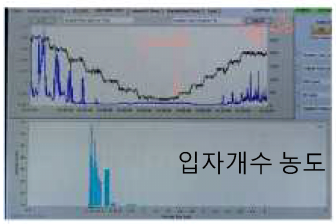
13:52 현대제철 측정 종료

연소 등 공정 배출
BC(black carbon) – soot 성분 고농도 배출 특성

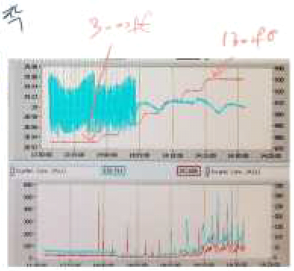
(Source : NIER, 입체관측~(V), 2022)

충남대형배출원 항공관측 – 당진화력 상공 관측장면

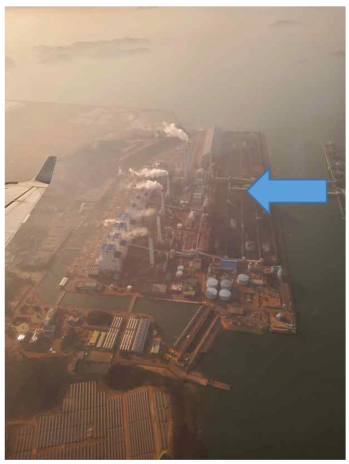
13:56 당진화력 측정 시작



입자개수 농도



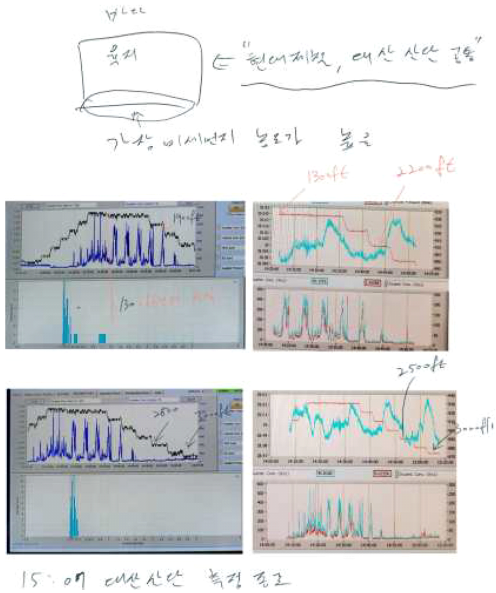
BC 농도분포

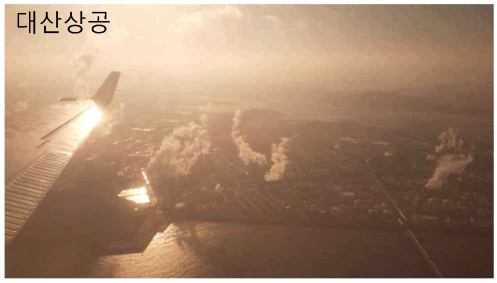


연소 등 공정 배출
BC(black carbon) – soot 성분 고농도 배출 특성

(Source : NIER, 입체관측~(V), 2022)

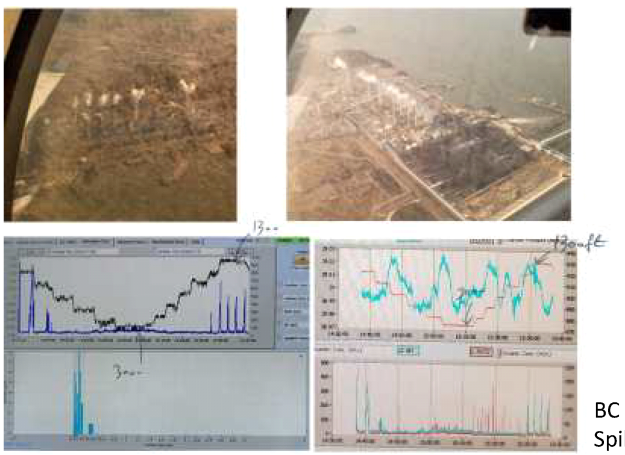
충남대형배출원 항공관측 – 대산석유화학단지 관측장면





(Source : NIER, 입체관측~(V), 2022)

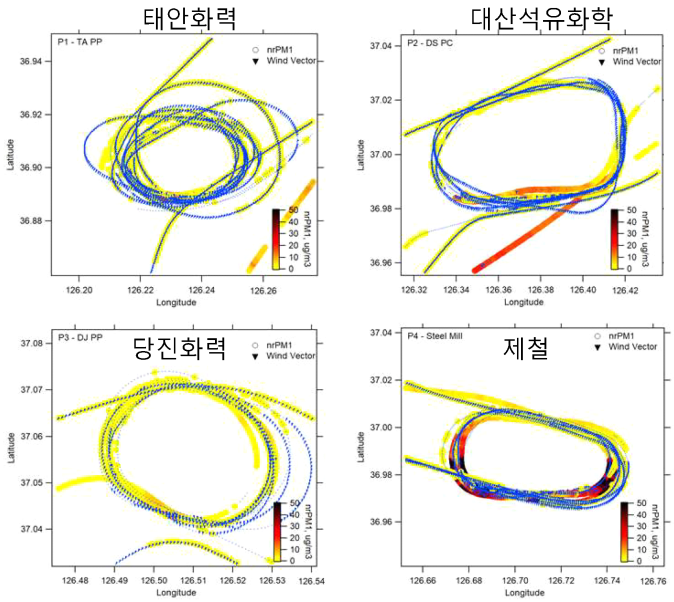
충남대형배출원 항공관측 – 태안화력 상공

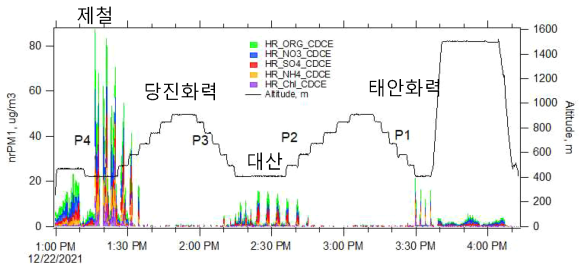


BC 농도분포
Spike 형태로 검출(확산 plume)

(Source : NIER, 입체관측~(V), 2022)

충남 대형 배출원 – 미세먼지 PM1.0(화학성분) 배출 특성

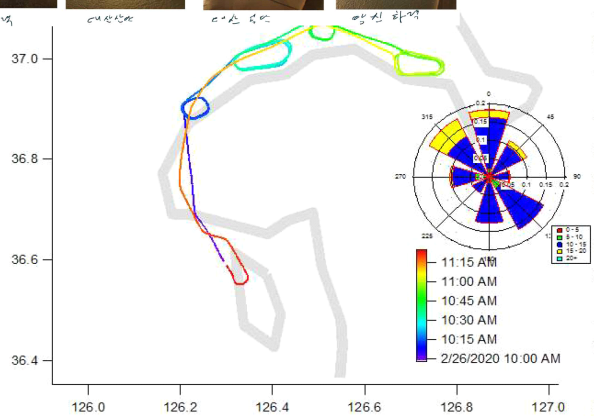




지점(상공)	nrPM1	ORG	NO3	SO4	NH4	Chl
P1, 태안화력	1.02	0.39	0.19	0.25	0.08	0.11
P2, 대산석유화학	2.88	1.02	0.58	0.92	0.21	0.14
P3, 당진화력	1.37	0.54	0.37	0.37	0.05	0.04
P4, 제철	**13.55**	**4.17**	**3.32**	**2.57**	**2.10**	**1.39**

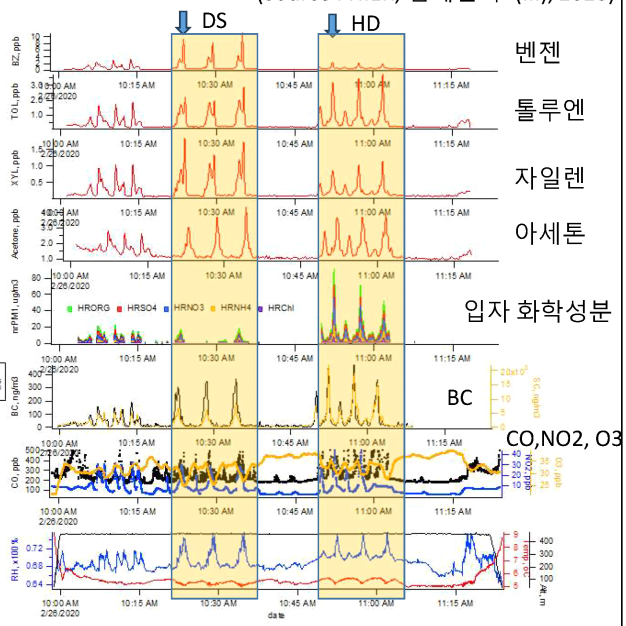
*. P4>>P2>P3~P1
*. 북풍조건에서 내륙으로 강한 확산
*. 특히 P4 풍하측 고농도

항공관측결과, 충남대형배출원 사례 – VOCs 및 오염물질 분포 특성

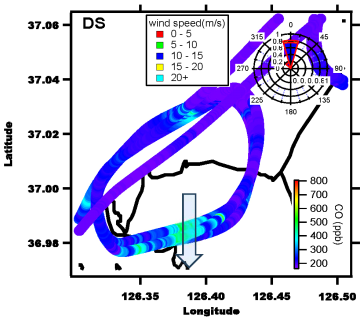


맑은 날, (주풍) 북풍 조건에서 배출오염물질 내륙 유입

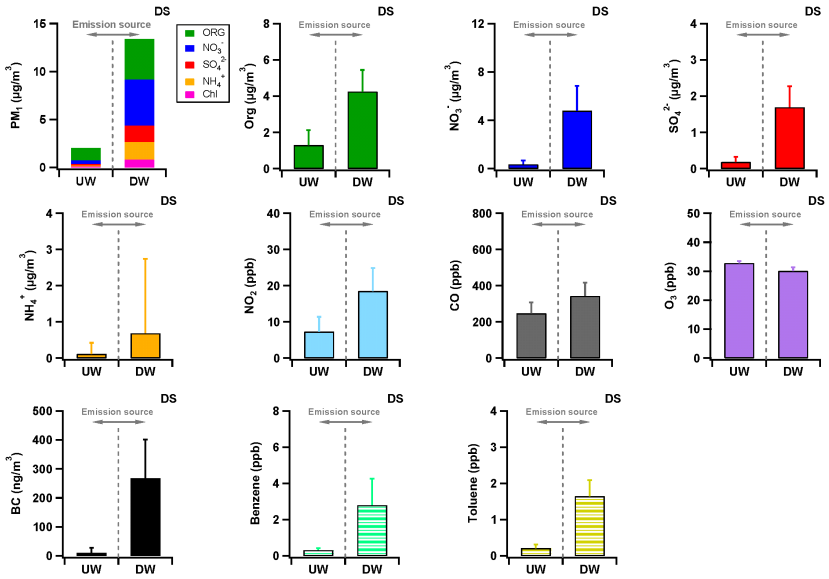
(Source : NIER, 입체관측~(III), 2020)



항공관측결과, 충남대형배출원 사례 – 대산석유화학단지 상공(풍상/풍하)

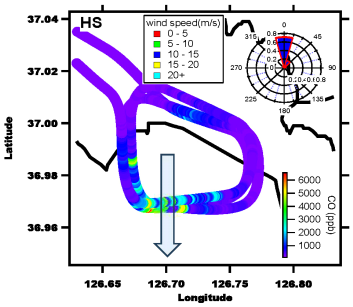


CO profile

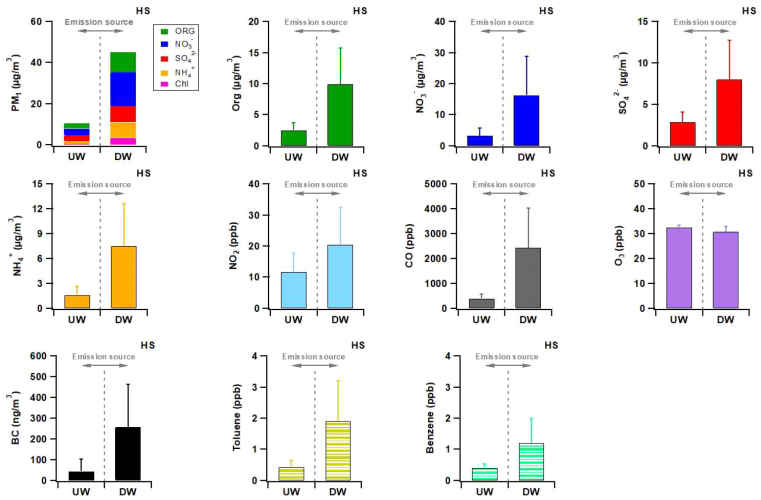


오염물질은 풍하 방향으로 강하게 확산(풍상 기준 2~10배)

항공관측결과, 충남대형배출원 사례 – 제철단지 상공(풍상/풍하)



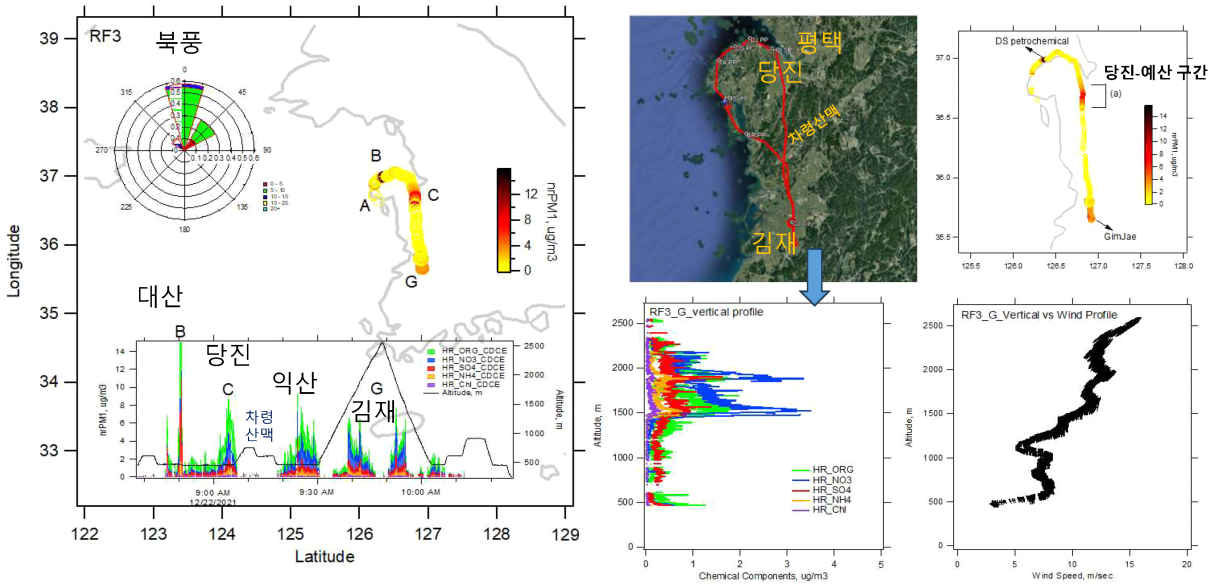
CO profile



오염물질은 풍하 방향으로 강하게 확산(풍상 기준 2~10배)

충남 내륙 상공 미세먼지(PM1.0) 분포 특성

- 충남대형배출원 고농도 PM배출, 당진-예산구간 차령산맥 차단 효과로 농도 증가, 차령산맥이남과 구분되는 특성



주요 결과 요약 및 제언

1. 항공관측 결과 충남 대형 배출원 상공에서 미세먼지(PM1.0) 및 VOCs 고농도 배출 특성 확인
2. 북풍(서풍) 조건에서 배출 오염물질의 내륙 확산 현상 파악
3. 지형적 조건(차령산맥 등)으로 내륙 확산 오염물질의 정체 및 증가 지역 확인(당진-예산 구간)

→ VOCs(휘발성유기화합물)는 (1차)직접적인 건강영향 (벤젠은 WHO 1급 발암물질에 해당함)
VOCs 배출 및 확산과정에서 미세먼지 2차 생성 및 오존생성 전구물질로 작용(영향권 오염도 증가)
1차 확산에 따른 피해 감소와 2차 영향에 대한 관리 대책 수립 필요(배출원 관리, 오존 저감연계)

과 제 명 : 입체관측을 통한 유기미세입자 및 주요 2차 입자상물질의 국가간 이동파악을 위한 항공관측

이 발표자료는 국가 연구과제를 통해 수행한 사항의 일부이며, 감사합니다.

4.

충청남도의 VOCs 배출현황 및 첨단장비를 활용한 VOCs 배출관리 방안

김종범 책임연구원(충남연구원)

VOCs 관리정책 발굴을 위한 기술 세미나

(CNI세미나 2025-14)

충청남도의 VOCs 배출현황 및 첨단장비를 활용한 VOCs 배출관리 방안

2025. 4. 22.

충남연구원 서해안기후환경연구소

김종범, 황규철

충남연구원
ChungNam Institute

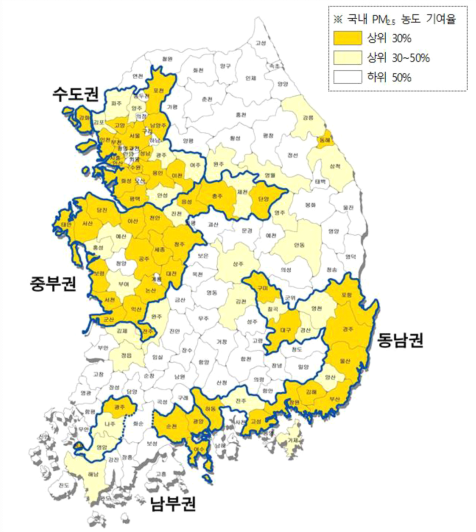
CONTENTS

01 VOCs 관리 필요성

대기관련 특별법 신설

□ 미세먼지 특별법 + 대기관리 권역법 → 미세먼지와 대기환경관리를 위한 계획 수립
□ 대기관리 권역법 : 전국을 4개 권역으로 구분 → 권역별 맞춤형 정책 수립 제안 → 중부권 (충남, 대전, 세종, 충북, 전북)

〈 대기관리권역법 설정 지역〉



□ 대기관리권역 설정
- 2005년부터 지정된 수도권 외에 중부권, 동부권, 남부권을 권역으로 추가 총 77개 특광역시 및 시군을 권으로 관리

□ 권역별 맞춤형 대기환경관리 추진
- 지역 특성을 고려한 광역적이고 체계적 관리 실시
- 환경부, 관계 중앙행정기관의 장 및 권역에 포함된 시도지사와 협의를 거쳐 권역별 대기환경개선 목표, 시도별 배출허용총량, 배출원별 저감계획 등이 포함된 권역별 〈대기환경관리 기본계획〉을 5년 마다 수립

□ 사업장 대기오염물질 총량관리제 확대 시행
- 권역 내 위치한 오염물질 다량 배출사업장에 대한 총량규제 실시

□ 자동차 및 건설기계의 친환경전환 및 배출가스 억제(조기폐차 등)

□ 생활주변 소규모 배출원(도장시설, 세탁소, 음식점 등) 관리

□ 비산먼지, 생물성연소(노천소각 등)에 대한 관리감독 강화

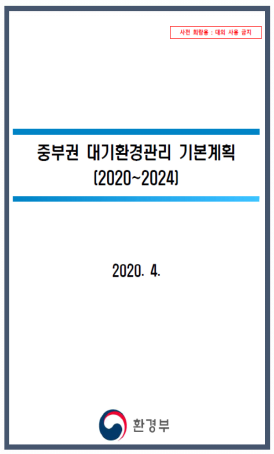
충청남도의 VOCs 배출 현황 및 첨단장비를 활용한 VOCs 배출관리 방안

01 VOCs 관리 필요성

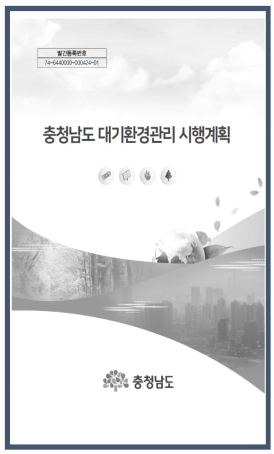
지역별 맞춤형 대기환경관리 계획 수립 및 추진

□ 대기관리 권역법에 따라 중부권의 대기질 관리 위임 : 금강유역환경청 → 중부권 대기환경관리 기본계획 수립
□ 중부권 대기환경관리 기본계획에 따라 충청남도의 "충청남도 대기환경관리 시행계획" 수립 및 추진
□ 제1차 계획의 목표연도 종료에 따라 제2차 중부권 기본계획 수립('24년 12월) → "제2차 충청남도 시행계획" 수립 필요

중부권 대기환경관리 기본계획



제 1차 충청남도 대기환경관리 시행계획



"제 2차 충청남도 대기환경관리 시행계획 수립 중"

(CNI 세미나 2025-14) VOCs 관리정책 발굴을 위한 기술 세미나

01 VOCs 관리 필요성

제1차 충청남도 대기환경관리 이행평가

- □ 중부권 내 5개 시도에 대한 연단위 시행계획 추진 경과 분석 → 주최 : 금강유역환경청
- □ 4개 부문별(발전, 도로, 비도로, 생활), 5개 오염물질별(PM_{10}, $PM_{2.5}$, NOx, SOx, VOCs)
- □ 정량사업 : 목표달성여부 판별 / 정성사업 : 추진 여부 및 우수사업 발굴

의안번호	제 2024 - 3호	보고사항
보 고 연 월 일	2024. 12. 31. (제 6 회)	

2023년도 중부권 대기환경관리 시행계획 추진실적 평가결과

중부권 대기환경관리실무위원회 안건

제출년월일	2024. 12.

4) 충청남도

◇ 달성률 : 미세먼지(PM-10) 113%, 초미세먼지(PM-2.5) 121%, 질소산화물(NOx) 119%, 황산화물(SOx) 105%, 휘발성유기화합물(VOCs) 98%

□ 오염물질별 삭감실적

○ (미세먼지) 총 6,254톤을 삭감, 계획(5,539톤) 대비 113% 달성
- 배출시설(4,990톤), 생활오염원(956톤)이 주된 추진 분야
  · (배출시설) 사업장 배출허용기준 강화 및 NOx 배출관리 강화(3,961톤)에서 주로 삭감
  · (생활오염원) 건설현장 비산먼지 배출 저감(787톤)에서 주로 삭감

○ (초미세먼지) 총 3,485톤을 삭감, 계획(2,877톤) 대비 121% 달성
- 배출시설(3,089톤), 도로이동오염원(256톤)이 주된 추진 분야
  · (배출시설) 사업장 배출허용기준 강화 및 NOx 배출관리 강화(2,272톤)에서 주로 삭감
  · (도로이동오염원) 중대형 화물차 조기폐차 확대(114톤)에서 주로 삭감

○ (질소산화물) 총 93,318톤을 삭감, 계획(78,554톤) 대비 119% 달성
- 배출시설(87,079톤), 도로이동오염원(5,408톤)이 주된 추진 분야
  · (배출시설) 사업장 총량관리제 강화(80,426톤)에서 주로 삭감
  · (도로이동오염원) 중대형 화물차 조기폐차 확대(2,434톤)에서 주로 삭감

○ (황산화물) 총 43,653톤을 삭감, 계획(41,500톤) 대비 105% 달성
- 배출시설(41,696톤), 비도로이동오염원(1,951톤)이 주된 추진 분야
  · (배출시설) 사업장 총량관리제 강화(34,451톤)에서 주로 삭감
  · (비도로이동오염원) 선박 연료유 황함유량 기준 강화(1,762톤)에서 주로 삭감

- (생활오염원관리) 미세먼지 101%, 초미세먼지 102%, 질소산화물 70%, 휘발성유기화합물 85% 달성
  ※ 일부 오염물질 달성률 저조 원인: 가정용 지NOx 보일러 보급 대책 등 실적 저조

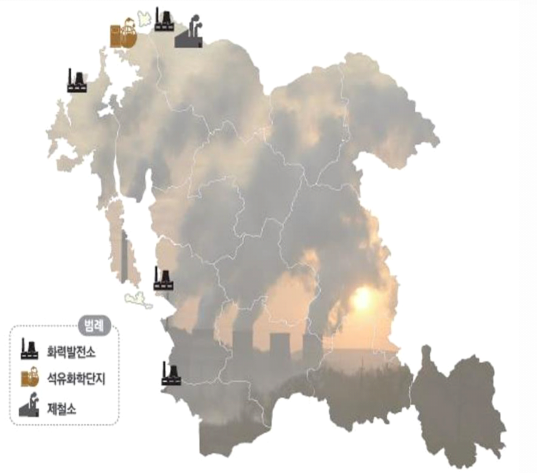
< 분야별 추진실적(충남) >

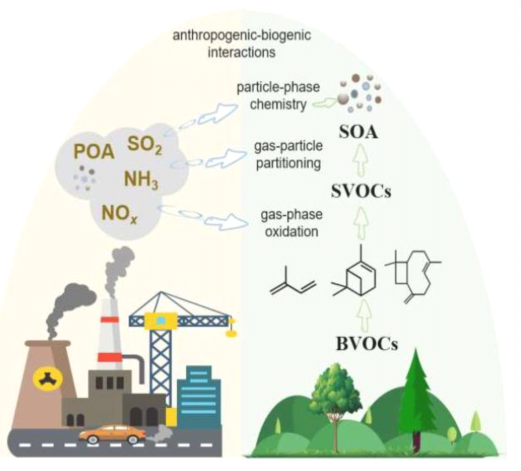
(단위 : 톤)

구 분		PM-10	PM-2.5	NOx	SOx	VOCs
총 괄	계 획	5,539	2,877	78,554	41,500	10,433
	실 적	6,254	3,485	93,318	43,653	10,198
	달성률(%)	113	121	119	105	98
배출시설 관리	계 획	4,513	2,693	68,487	39,566	6,332
	실 적	4,990	3,089	87,079	41,696	6,314
	달성률(%)	111	115	127	105	99
도 로 이동오염원 관리	계 획	35	32	9,171	1	136
	실 적	278	256	5,408	6	502
	달성률(%)	794	800	59	600	369
비도로 이동오염원 관리	계 획	44	41	579	1,933	121
	실 적	30	27	609	1,951	100
	달성률(%)	68	66	105	101	83
생활오염원 관리	계 획	947	111	317	-	3,844
	실 적	956	113	222	-	3,282
	달성률(%)	101	102	70	-	85

02 충남의 현황

- ✔ 대형배출 시설 다수 입지 → 배출량 기준 온실가스 1위, 화학물질 2위, 대기오염물질 4위
- ✔ 전국 최대 축산산업단지 → 대기 중 화학반응을 통한 2차생성입자(SOx, NOx + NH_3) 기여도 높을 것으로 예측
- ✔ 권역별 대기환경관리 시행계획(2020~2024) 추진 → 권역별 VOCs에 대한 삭감목표 미달, 관리정책 마련 필요



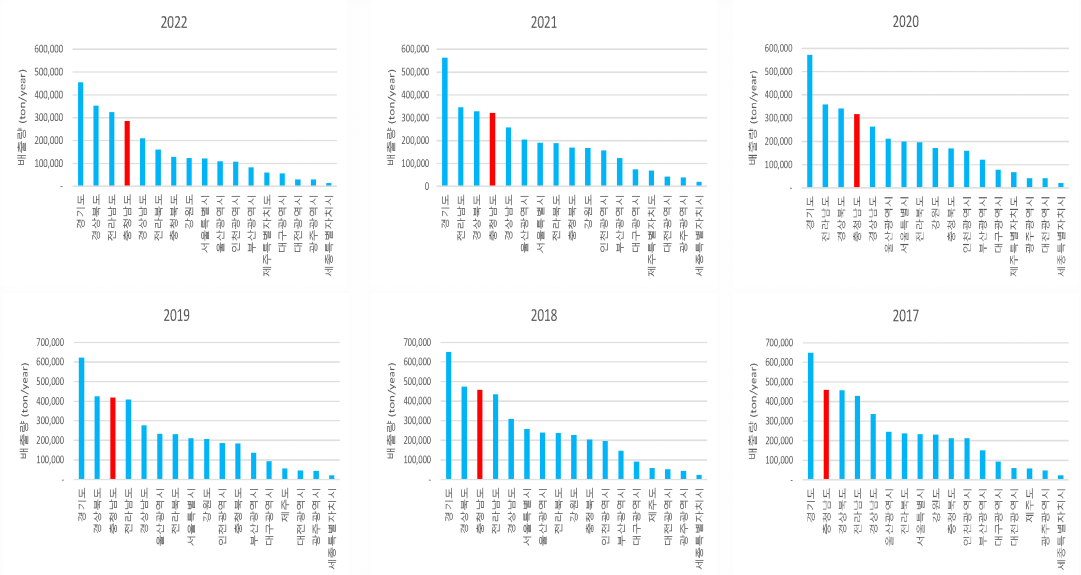


VOCs 배출원 파악 → 배출원에 대한 맞춤형 관리 정책 수립 필요

02 충남의 현황

자료 : 국가미세먼지정보센터 (CAPSS, 2022)

- 2017년 전국 2위 → 2018년 전국 3위 → 2020년 전국 4위, 2022년까지 전국 4위 유지 중
- 충청남도 총 배출량 : 490,389톤(2016년) → 284,903톤(2022년) /최근 7년간 42% 배출량 감축
- 2016년 대비 2022년 감소율 : 울산 57.5%로 1위, 충남은 41.9% 감축 → 전국 평균 37.8% 감축



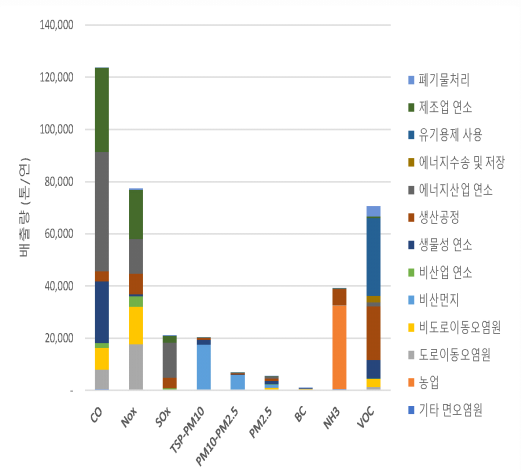
충청남도의 VOCs 배출 현황 및 첨단장비를 활용한 VOCs 배출관리 방안

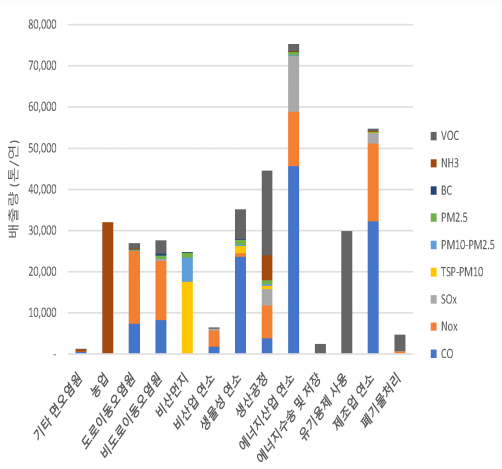
02 충남의 현황

자료 : 국가미세먼지정보센터 (CAPSS, 2022)

- 오염물질별 배출 기여도 : CO 33.9% 〉 NOx 21.2% 〉 VOCs 19.3% 〉 NH_3 10.7% 〉 SOx 5.8%
- 부문별 배출 기여도 : 에너지산업연소 20.6% > 제조업연소 15.0% > 생산공정 12.2% > 생물성연소 9.6%
- 비산누출 공정의 CO 누락부분 추가로 CO 기여도 증가, VOCs, NH_3 등 2차 생성물질에 대한 전구물질 비율 높음

자료 : 국가미세먼지정보센터 (CAPSS, 2022)



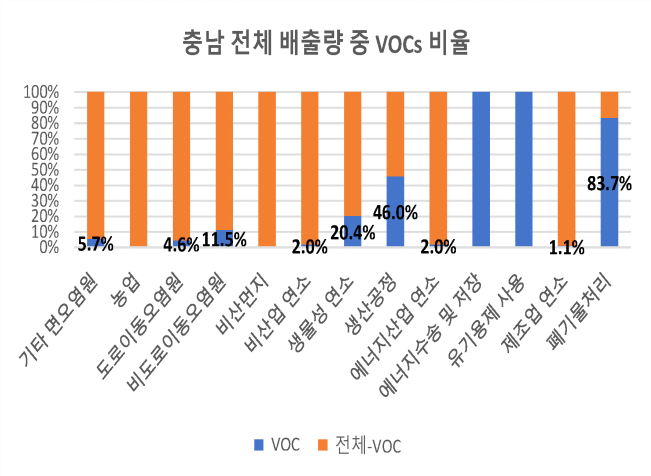


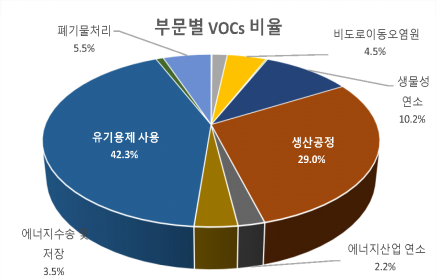
(CNI 세미나 2025-14) VOCs 관리정책 발굴을 위한 기술 세미나

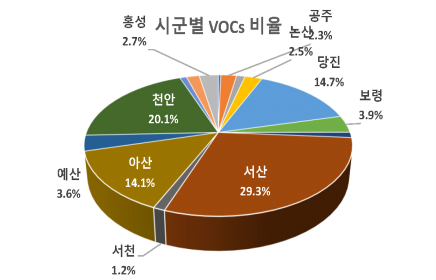
02 충남의 현황

자료 : 국가미세먼지정보센터 (CAPSS, 2022)

- VOCs에 대한 기여도 : 에너지수송 및 저장, 유기용제사용 100%, 폐기물처리 83.7%, 생산공정 46.0%
- 부문별 기여도 : 유기용제 사용 42.3%, 생산공정 29.0% → 2개 부문에서 전체 71.3% 차지
- 시군 기여도 : 서산 29.3%, 천안 20.1%, 당진 14.7%, 아산 14.1% → 4개 시에서 전체 78.2%, 서산 압도적 1위







충청남도의 VOCs 배출 현황 및 첨단장비를 활용한 VOCs 배출관리 방안

02 충남의 현황

유기용제 사용 및 생산공정에 대한 배출 기여도 분석

자료 : 국가미세먼지정보센터 (CAPSS, 2022)

- □ 유기용제 사용 : 도장시설(65.3%)과 기타 유기용제사용(22.5%)에서 87.8% 배출
- □ 생산공정 : 유기화학제품 제조업(59.7%), 제철제강업(27.7%), 석유제품산업(11.4%)에서 98.8% 배출

유기용제 사용	소분류	배출량	비율
도장시설	자동차 수리	405	65.3%
	건축 및 건물	9,261	
	코일 코팅	4,982	
	나무, 가구 제조	449	
	기타 산업용 도장공정	1,235	
	기타 비산업용 도장공정	2,040	
	자동차 제조	1,112	
세정시설	금속 세정공정	185	9.5%
	전자부품 제조	829	
	기타 산업용 세정공정	1,824	
세탁시설	세탁(드라이크리닝)	812	2.7%
기타 유기용제 사용	가정 및 상업용 유기용제 사용	5,605	22.5%
	아스팔트 도로 포장	101	
	인쇄업	1,019	

생산공정	소분류	배출량	비율
기타 제조업	석화		0.3%
	유리	63	
목제, 펄트제조업	합판생산		
무기화학제품 제조	carbon black 생산	144	0.7%
	황산 생산		
	인산비료 생산		
석유제품생산	석유제품 가공		11.4%
	석유재품 가공-유황회수시설	2	
	석유제품 저장 및 취급	2,339	
식음료 가공	마가린과 요리용 지방	36	0.2%
	유류, 생성가공	1	
암모니아 소비	SCR		
유기화학제품 제조업	에틸렌 등	12,233	59.7%
제철제강업	고로 등	5,683	27.7%

(CNI 세미나 2025-14) VOCs 관리정책 발굴을 위한 기술 세미나

02 충남의 현황

VOCs 주요 배출원에 대한 관리 방안 제시

유기용제 사용	소분류	사업명	구분	비용	비고
도장시설	건축 및 건물	수성도료 사용 권고 및 홍보 (환경부 제안사항)	홍보, 정보전달	저비용	팜플렛 제작, 배포 비용 발생
	코일 코팅	수성도료 사용 권고 및 홍보 (환경부 제안사항)	홍보, 정보전달	저비용	팜플렛 제작, 배포 비용 발생
	기타 산업용 도장공정	방지시설 점검 및 노후설비 지원사업, 사후관리 및 소모품 지원사업	지원사업 추진	추경 필요	녹색센터 연계
	기타 비산업용 도장공정	방지시설 점검 및 노후설비 지원사업, 사후관리 및 소모품 지원사업	지원사업 추진	추경 필요	녹색센터 연계
기타유기용제 사용	가정 및 상업용 유기용제 사용	충남지역 생활소비재 VOCs 배출의 친환경 맞춤 관리방안 사업 제안	연구사업 필요	추경 필요	

생산공정	소분류	사업명	구분	비용	비고
석유제품생산	석유제품 가공	공정 밀폐를 통한 비산누출 방지사업	대산4사 등	대산4사 자체비용	서산
	석유제품 저장 및 취급	비산누출을 고려한 충남지역 VOCs 배출량 인벤토리 구축 사업	연구사업 필요	추경 필요	대산석유화학단지 +당진제철
암모니아 소비	SCR	SCR 운영 사업장에 대한 전문가 진단 및 개선 컨설팅	지원사업 추진	추경 필요	녹색센터 연계
유기화학제품 제조업	에틸렌 등	공정 진단을 통한 VOCs 배출사업장 비산누출 방지 및 기술지원을 통한 최적방지시설(BAT) 적용	지원사업 추진	추경 필요	서산 (녹색센터 연계)
제철제강업	고로 등	공정 진단을 통한 VOCs 배출사업장 비산누출 방지 및 기술지원을 통한 최적방지시설(BAT) 적용	지원사업 추진	추경 필요	당진 (녹색센터 연계)
		서산 및 당진시 VOCs 배출사업장에 대한 공정진단 보고서 제출 및 향후 개선계획서 제출 요청	대산4사 및 당진제철	각 사 자체비용	

충청남도의 VOCs 배출 현황 및 첨단장비를 활용한 VOCs 배출관리 방안

03 첨단장비를 활용한 VOCs 연구 사례

실시간장비와 이동측정차량을 활용한 도심지역 대기질 모니터링

출처 : 김종범 등(2019), KOSAE 35(2), 184-194

- 출퇴근시간대 고속화도로와 인접한 한강공원의 대기질 측정 → 출퇴근시간대 고속화도로와 유사한 농도 관측
- 건강을 위해 자전거 등을 이용한 출퇴근 → 오히려 건강에 악영향, 관련 정보 KBS를 통해 제공


Journal of Korean Society for Atmospheric Environment
Vol. 35, No. 2, April 2019, pp. 184-194
https://doi.org/10.5572/KOSAE.2019.35.2.184
p-ISSN 1598-7132, e-ISSN 2383-5346

논 문

서울 한강변 자전거 도로의 시공간적 대기오염 특징

Characteristics of Spatial and Temporal Air Pollution on Bicycle Way along the Han River in Seoul, Korea

김종범, 김장혁[1], 이승복[1], 김경환[2], 유재우[3], 배귀남[1,4]*
숭남연구원 서해안기후환경연구소, [1]한국과학기술연구원 환경복지연구센터
[2]한국과학기술연구원 미세먼지 범부처 프로젝트 사업단, [3]한국방송공사

Jong Bum Kim[1], Chang Hyeok Kim[1], Seung-Bok Lee[1], Kyung Hwan Kim[2], Jae-Woo Yoo[3], Gwi-Nam Bae[1,4]*
Seohaeum Research Institute, ChungNam Institute
[1]Environment, Health and Welfare Research Center, Korea Institute of Science and Technology (KIST)
[2]Center for Particulate Air Pollution and Health, Korea Institute of Science and Technology (KIST)
[3]Korean Broadcasting System (KBS)

접수일 2018년 10월 22일
수정일 2018년 1월 29일
채택일 2019년 3월 19일
Received 22 October 2018
Revised 29 January 2019
Accepted 19 March 2019
*Corresponding author
Tel : +82-032-958-5676
E-mail : gnbae@kist.kr

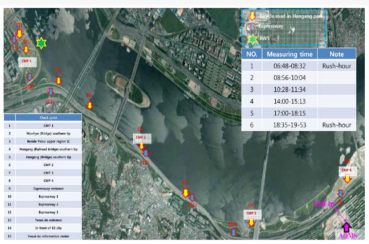
Abstract Bicycle way is generally located near the motor road due to the limitation of available space and convenient use. People who use bicycle may inhale highly polluted air during the travelling over the bicycle way. In this study, spatial and temporal variation of air quality over bicycle way was investigated using a mobile laboratory equipped with real-time monitoring instruments. Size distribution of particles ranging from 5.6~560 nm, black carbon, and particle-bound PAHs (polycyclic aromatic hydrocarbons) were monitored. In addition, NO, NO_2 and NO_x were measured. They are indicators of vehicle exhaust. Air pollution level over bicycle way was compared with those of expressway and city road, and the nearest ambient air quality monitoring station. As expected, the air pollution level over bicycle road was high during the commuting time due to the heavy traffic volume. The air pollution level at the location close to the expressway was almost the same as that of the expressway. It is suggested that cyclists need to be cautious about highly polluted air over bicycle way.

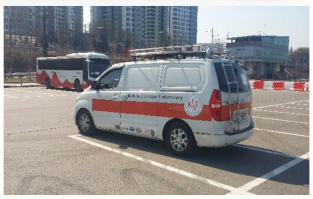
Key words: Air pollution, Bicycle way, Expressway, Han River, Vehicle exhaust

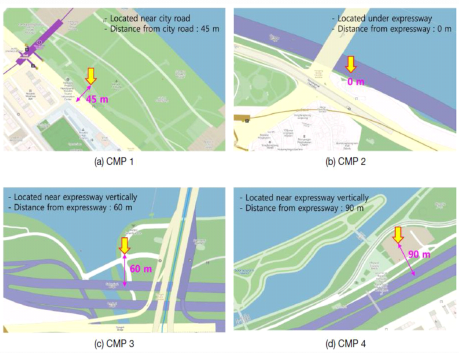
I. 서 론

세계적으로 산업화, 정보화가 가속화됨에 따라 경제와 생활의 거점인 대도시들이 생겨나고 있으며, 2014년 세계 도시화율은 54%로 인구가 천만명이 넘는 거대도시가 증가하고 있다 (UN, 2014). 거대도시에는 주거공간 부족, 교통혼잡, 환경오염 등 다양한 문제가 발생하고 있다. 서울의 면적은 605.20 km^2으로 우리나라 전체 면적의 0.6%이지만 977만명이 거주하고 있다 (SK, 2018). 경제협력개발기구 (Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) 가입 국가 중 자율차 인천을 포함한 수도권의 인구밀도는 16,700명/km^2으로 2등인 런던에 비해 3.27배 높다 (KRIHS, 2018). 전국 자동차 등록대수 중 14.1%가 서울에 등록되어 있어 (MOLIT, 2017), 교통혼잡도가 높고 도로이동오염원의 대기오염 기여도도 매우 높은 것으로 알려져 있다. 자동차 배기가스에는 미세먼지 (particulate matter less than 10 μm, PM_{10})를 포함한 이산화질소 (nitrogen dioxide, NO_2), 검댕 (black carbon, BC), 일산화탄소 (carbon monoxide,

한국대기환경학회지 제 35 권 제 2 호







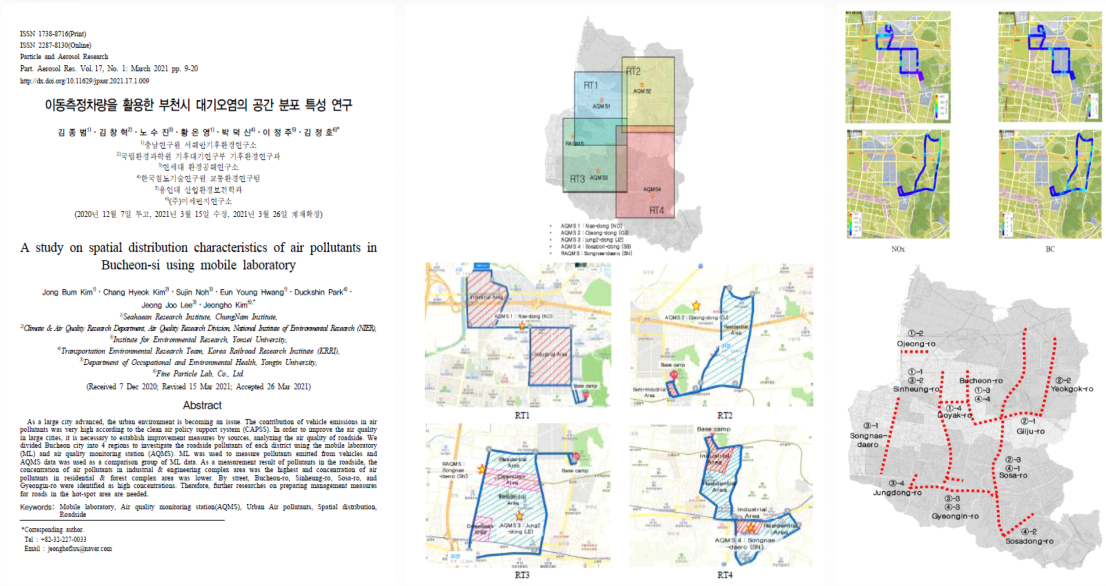
(CNI 세미나 2025-14) VOCs 관리정책 발굴을 위한 기술 세미나

03 첨단장비를 활용한 VOCs 연구 사례

이동측정차량과 실시간 측정장비를 활용한 도심지역 도로변 오염도 분석

출처 : 김종범 등(2021) KAPAR 17(1), 9-20

- 도시지역 대기질 현황 분석을 위해 4개 구역(Route)로 구분한 뒤 이동측정차량을 활용하여 도로변 오염도 조사
- 구역별 고농도 지역을 선정 후 지역에 대한 개선정책(교통량 분산, LEZ 운영, 친환경 대중교통 우선 교체) 추진


ISSN 1738-8716(Print)
ISSN 2287-8130(Online)
Particle and Aerosol Research
Part. Aerosol Res. Vol. 17, No. 1: March 2021 pp. 9-20
http://dx.doi.org/10.11629/jpaar.2021.17.1.009

이동측정차량을 활용한 부천시 대기오염의 공간 분포 특성 연구

A study on spatial distribution characteristics of air pollutants in Bucheon-si using mobile laboratory

Jong Bum Kim[1] · Chang Hyeok Kim[2] · Sujin Noh[3] · Eun Young Hwang[3] · Duckshin Park[4] · Jeong Joo Lee[5] · Jeongho Kim[6,7]
[1]Seohaeun Research Institute, ChungNam Institute,
[2]Climate & Air Quality Research Department, Air Quality Research Division, National Institute of Environmental Research (NIER),
[3]Institute for Environmental Research, Yonsei University,
[4]Transportation Environmental Research Team, Korea Railroad Research Institute (KRRI),
[5]Department of Occupational and Environmental Health, Yongin University,
[6]Fine Particle Lab. Co., Ltd.
(Received 7 Dec 2020; Revised 15 Mar 2021; Accepted 26 Mar 2021)

Abstract

As a large city advanced, the urban environment is becoming an issue. The contribution of vehicle emissions in air pollutants was very high according to the clean air policy support system (CAPSS). In order to improve the air quality in large cities, it is necessary to establish improvement measures by sources, analyzing the air quality of roadside. We divided Bucheon city into 4 regions to investigate the roadside pollutants of each district using the mobile laboratory (ML) and air quality monitoring station (AQMS). ML was used to measure pollutants emitted from vehicles and AQMS data was used as a comparison group of ML data. As a measurement result of pollutants in the roadside, the concentration of air pollutants in industrial & engineering complex area was the highest and concentration of air pollutants in residential & forest complex area was lower. By street, Bucheon-ro, Sinheung-ro, Sosa-ro, and Gyeongin-ro were identified as high concentrations. Therefore, further researches on preparing management measures for roads in the hot-spot area are needed.

Keywords: Mobile laboratory, Air quality monitoring station(AQMS), Urban Air pollutants, Spatial distribution, Roadside

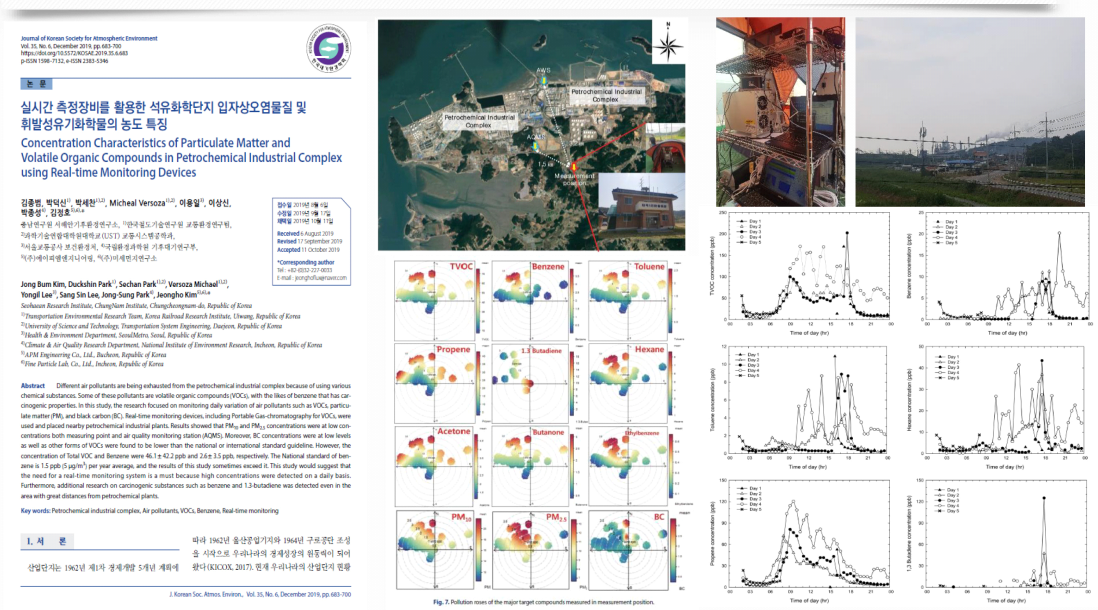
*Corresponding author
Tel : +82-32-227-0033
Email : jeonghedfun@naver.com

03 첨단장비를 활용한 VOCs 연구 사례

준실시간 GC를 활용한 석유화학단지 개별 VOC 농도변화 특성 조사

출처 : 김종범 등(2019) KOSAE 35(6), 683-700

- 대산석유화학단지 인근(대죽1리 마을회관)에서 실시간 장비를 활용한 개별 VOC 농도변화 관측
- 유해성이 높은 벤젠, 1,3부타디엔 고농도 관측, 시간대별 개별 VOC 농도변화 심함 → 공정별 관측, 원인규명 필요


Journal of Korean Society for Atmospheric Environment
Vol. 35, No. 6, December 2019, pp. 683-700
https://doi.org/10.5572/KOSAE.2019.35.6.683
p-ISSN 1598-7132, e-ISSN 2383-5346

논 문

실시간 측정장비를 활용한 석유화학단지 입자상오염물질 및 휘발성유기화학물의 농도 특징

Concentration Characteristics of Particulate Matter and Volatile Organic Compounds in Petrochemical Industrial Complex using Real-time Monitoring Devices

접수일 2019년 9월 4일
수정일 2019년 9월 17일
게재일 2019년 10월 11일
Received 4 August 2019
Revised 17 September 2019
Accepted 11 October 2019

김종범, 박덕신[1], 박세희[1,2], Micheal Versoza[1,2], 이용일[1], 이상신, 박종성[3], 김정호[4,5,6]
충남연구원 서해안기후환경연구소, [1]한국철도기술연구원 교통환경연구팀,
[2]과학기술연합대학원대학교(UST) 교통시스템공학과,
[3]서울교통공사 코건환경처, [4]국립환경과학원 기후대기연구부,
[5]주)에이피엠엔지니어링, [6]주)미세먼진연구소

*Corresponding author
Tel : +82-032-227-0033
E-mail : jeongho@naver.com

Jong Bum Kim, Duckshin Park[1], Sechan Park[1,2], Versoza Michael[1,2], Yongil Lee[1], Sang Sin Lee, Jong-Sung Park[3], Jeongho Kim[4,5,6]
Seohaeun Research Institute, ChungNam Institute, Changcheongnam-do, Republic of Korea
[1]Transportation Environmental Research Team, Korea Railroad Research Institute, Uiwang, Republic of Korea
[2]University of Science and Technology, Transportation System Engineering, Daejeon, Republic of Korea
[3]Health & Environment Department, SeoulMetro, Seoul, Republic of Korea
[4]Climate & Air Quality Research Department, National Institute of Environment Research, Incheon, Republic of Korea
[5]APM Engineering Co., Ltd., Bucheon, Republic of Korea
[6]Fine Particle Lab. Co., Ltd., Incheon, Republic of Korea

Abstract Different air pollutants are being exhausted from the petrochemical industrial complex because of using various chemical substances. Some of these pollutants are volatile organic compounds (VOCs), with the likes of benzene that has carcinogenic properties. In this study, the research focused on monitoring daily variation of air pollutants such as VOCs, particulate matter (PM_2) and black carbon (BC). Real-time monitoring devices, including Portable Gas-chromatography for VOCs, were used and placed nearby petrochemical industrial plants. Results showed that PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations were at low concentrations both measuring point and air quality monitoring station (AQMS). Moreover, BC concentrations were at low levels as well as other forms of VOCs were found to be lower than the national or international standard guideline. However, the concentration of Total VOC and Benzene were 46.1 ± 42.2 ppb and 2.6 ± 3.5 ppb, respectively. The National standard of benzene is 1.5 ppb (5 μg/m³) per year average, and the results of this study sometimes exceed it. This study would suggest that the need for a real-time monitoring system is a must because high concentrations were detected on a daily basis. Furthermore, additional research on carcinogenic substances such as benzene and 1,3-butadiene was detected even in the area with great distances from petrochemical plants.

Key words: Petrochemical industrial complex, Air pollutants, VOCs, Benzene, Real-time monitoring

I. 서 론

산업단지는 1962년 제1차 경제개발 5개년 계획에 따라 1962년 울산공업기지와 1964년 구로공단 조성을 시작으로 우리나라의 경제성장의 원동력이 되어 왔다(KICOX, 2017). 현재 우리나라의 산업단지 현황

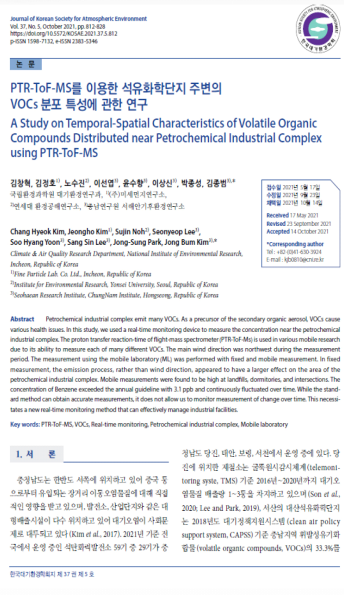
Fig. 7. Pollution roses of the major target compounds measured in measurement position.

03 첨단장비를 활용한 VOCs 연구 사례

실시간 VOCs 분석장비를 활용한 석유화학단지 농도분포 특성 조사

출처 : 김종범 등(2021) KOSAE 37(5),812-828

- PTR-ToF-MS를 이동측정차량에 장착 후 석유화학단지 외부 도로변 시공간분포 조사
- 현대오일뱅크 사옥, 독곶리 교차로, 쓰레기 매립장 지역에서 고농도 발생, 시간대별 상이한 VOCs 배출특성 확인



Journal of Korean Society for Atmospheric Environment
Vol. 37, No. 5, October 2021, pp. 812-828
https://doi.org/10.5572/KOSAE.2021.37.5.812
p-ISSN 1598-7132, e-ISSN 2383-5346

논 문

PTR-ToF-MS를 이용한 석유화학단지 주변의 VOCs 분포 특성에 관한 연구

A Study on Temporal-Spatial Characteristics of Volatile Organic Compounds Distributed near Petrochemical Industrial Complex using PTR-ToF-MS

김장혁, 김정호[1], 노수진[2], 이선엽[3], 윤수향[3], 이상신[3], 박종성, 김종범[3,*]
국립환경과학원 대기환경연구과, [1](주)미세먼지연구소,
[2]한세대학 환경공학연구소, [3]동남권구분 시계반기후환경연구소

Chang Hyuck Kim, Jeongho Kim[1], Sujin Noh[2], Seonyeop Lee[3], Soo Hyang Yoon[3], Sang Sin Lee[3], Jong-Sung Park, Jong Bum Kim[3,*]
Climate & Air Quality Research Department, National Institute of Environmental Research, Incheon, Republic of Korea
[1]Fine Particle Lab. Co. Ltd., Incheon, Republic of Korea
[2]Institute for Environmental Research, Yonsei University, Seoul, Republic of Korea
[3]Seohaean Research Institute, ChungNam Institute, Hongseong, Republic of Korea

접수일 2021년 3월 17일
수정일 2021년 3월 23일
게재일 2021년 10월 14일

Received 17 May 2021
Revised 23 September 2021
Accepted 14 October 2021

*Corresponding author
Tel : +82-0041-630-3924
E-mail : kjb0810@ecrtc.kr

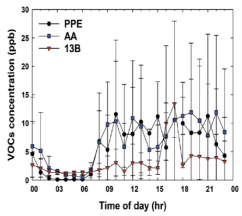
Abstract Petrochemical industrial complex emit many VOCs. As a precursor of the secondary organic aerosol, VOCs cause various health issues. In this study, we used a real-time monitoring device to measure the concentration near the petrochemical industrial complex. The proton transfer reaction-time of flight-mass spectrometer (PTR-ToF-Ms) is used in various mobile research due to its ability to measure each of many different VOCs. The main wind direction was northwest during the measurement period. The measurement using the mobile laboratory (ML) was performed with fixed and mobile measurement. In fixed measurement, the emission process, rather than wind direction, appeared to have a larger effect on the area of the petrochemical industrial complex. Mobile measurements were found to be high at landfills, dormitories, and intersections. The concentration of Benzene exceeded the annual guideline with 3.1 ppb and continuously fluctuated over time. While the standard method can obtain accurate measurements, it does not allow us to monitor measurement of change over time. This necessitates a new real-time monitoring method that can effectively manage industrial facilities.

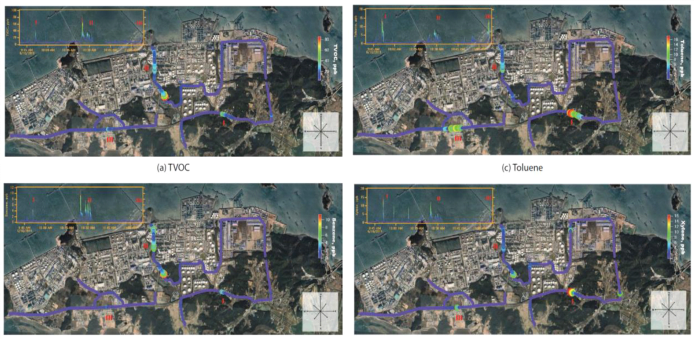
Key words: PTR-ToF-MS, VOCs, Real-time monitoring, Petrochemical industrial complex, Mobile laboratory

1. 서 론

충청남도는 한반도 서쪽에 위치하고 있어 중국 동으로부터 유입되는 장거리 이동오염물질에 대해 직접적인 영향을 받고 있으며, 발전소, 산업단지와 같은 대형배출시설이 다수 위치하고 있어 대기오염이 사회문제로 대두되고 있다 (Kim et al., 2017). 2021년 기준 전국에서 운영 중인 석탄화력발전소 59기 중 28기가 충청남도 당진, 태안, 보령, 서천에서 운영 중에 있다. 당진에 위치한 제철소는 굴뚝원시감시체계(telemonitoring syste, TMS) 기준 2016년~2020년까지 대기오염물질 배출량 1~3톤을 차지하고 있으며 (Son et al., 2020; Lee and Park, 2019), 서산의 대산석유화학단지는 2018년도 대기정책지원시스템(clean air policy support system, CAPSS) 기준 충남지역 휘발성유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)의 33.3%를

한국대기환경학회지 제 37 권 제 5 호

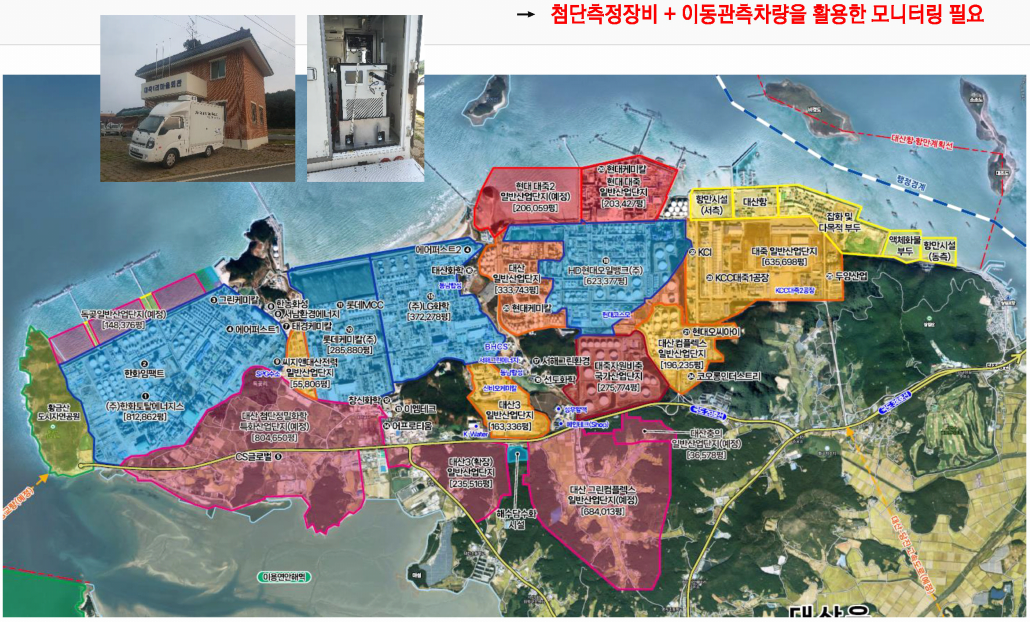




04 첨단장비를 활용한 VOCs 관리 방안

첨단관측장비와 이동측정차량을 활용한 산업단지 배출원 관리 방안

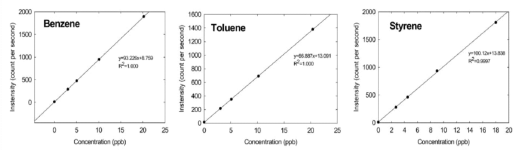
□ 배출원 관리 어려움 : 다양한 원료사용, 배출원의 혼재, 분산, 정량적으로 산정되지 않은 비산누출공정 다수 존재
□ VOCs 모니터링 부재 : 시시각각 변화하는 개별 VOCs에 대한 모니터링 정보 확보 어려움
→ 첨단측정장비 + 이동관측차량을 활용한 모니터링 필요



04 첨단장비를 활용한 VOCs 관리 방안

첨단관측장비와 이동측정차량을 활용한 산업단지 배출원 관리 방안

□ 1단계 : 첨단장비(PTR-ToF-MS, ACSM, AMS 등)와 AWS를 탑재한 이동차량 확보
□ 2단계 : 선행조사를 통한 모니터링 타겟 물질 선정, 장비에 대한 검교정

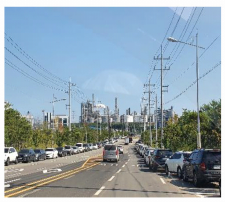


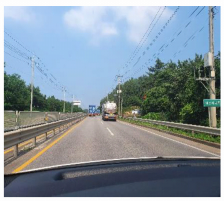
충청남도의 VOCs 배출 현황 및 첨단장비를 활용한 VOCs 배출관리 방안

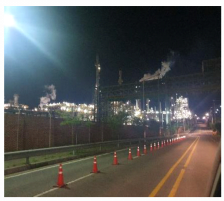
04 첨단장비를 활용한 VOCs 관리 방안

첨단관측장비와 이동측정차량을 활용한 산업단지 배출원 관리 방안

□ 3단계 : 이동측정경로 설정, 현장 측정
□ 4단계 : 데이터 분석, 시공간분포 검토 → 고농도 구간 선정 (현대오일뱅크 사옥 입구, 독곶 삼거리, 쓰레기 매립장)







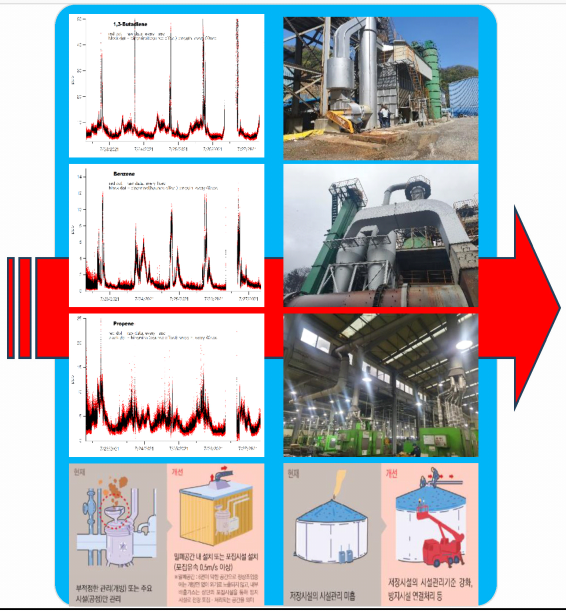
(CNI 세미나 2025-14) VOCs 관리정책 발굴을 위한 기술 세미나

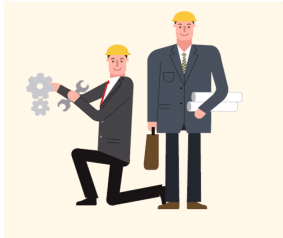
04 첨단장비를 활용한 VOCs 관리 방안

첨단관측장비와 이동측정차량을 활용한 산업단지 배출원 관리 방안

출처 : 환경부, HAPs 비산배출시설 관리제도

- □ 5단계 : 고농도 구간에 대한 정밀 고정측정 → 주요 배출물질 선정, 시간별 농도변화 패턴 분석
- □ 6단계 : 주변 지역 주요배출물질에 대한 공정 조사 → 현장방문, 전문가 공정 진단, 업무협의를 통한 개선 요청
- □ 7단계 :, 공정개선 → 정밀 고정측정 → 개선효과 분석 → 개선





05 정책제언

현황파악과 개선을 위한 정책, 지원방안 마련 필요

- 맞춤형 측정망 설치/운영
  → 관측 할 수 없으면 관리할 수 없다(중장기적인, 실시간 시공간분포 자료 필요)

- VOCs에 대한 관리 기준 마련 : 환경부 건의
  → 사업장 시설개선 및 보완은 총량관리대상 물질(Sox, Nox, TSP) 위주
  → 총량관리제도에서 제외된 VOCs(THC)에 대한 관리 기준 마련 필요

- 첨단장비를 활용한 공정진단 & 개선사업 추진
  → 충남보건연(모니터링)-충남연(공정진단)-사업체(공정개선) 연계 개선사업 추진

- 산재된 정보에 대한 취합·통합관리·분석
  → 국가(NIER), 충남연, 충남보건연, 중부권 미세먼지센터 등 지역 정보 공유
  → 권역 내 유관기관간 MOU 및 연구교류 추진

- 도장시설에 대한 집중관리 및 관리감독 강화
  → 도내 도장시설의 배출현황 조사 및 전문가 컨설팅을 통한 공정 개선 유도

<충청남도의 VOCs 배출현황 및
첨단장비를 활용한 VOCs 배출관리 방안>

감사합니다

충남연구원
ChungNam Institute

memo

memo