

고농도 미세먼지 대응을 위한 지역간 공동연구

송민영 김중범 김관철 신성균 한지현 윤성진
이기용 이주형 전해준 최우석 이선엽 황은영



충남연구원
ChungNam Institute



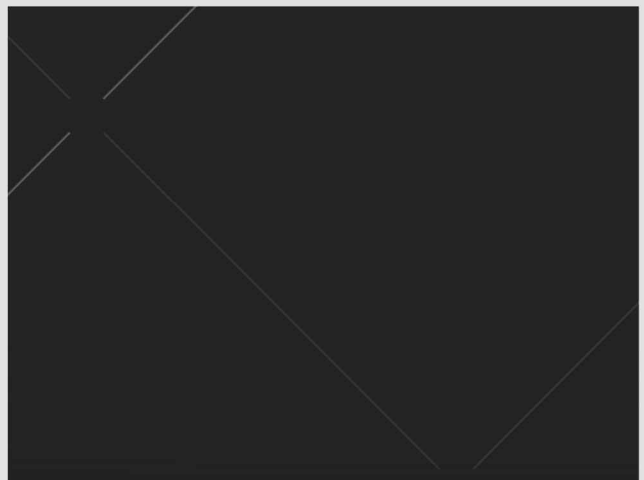
차세대융합기술연구원
ADVANCED INSTITUTE OF CONVERGENCE TECHNOLOGY



서울과학기술연구원



고농도 미세먼지 대응을 위한 지역간 공동연구



연구책임

송민영 기후환경연구실 수석연구원

김종범 충남연구원 책임연구원

김관철 차세대융합기술연구원 선임연구원

연구진

신성균 기후환경연구실 연구위원

한지현 기후환경연구실 연구위원

윤성진 기후환경연구실 수석연구원

이기용 기후환경연구실 전임연구원

이주형 기후환경연구실 전임연구원

전혜준 기후환경연구실 전임연구원

최우석 세종대학교 교수

이선엽 충남연구원 연구원

황은영 충남연구원 연구원

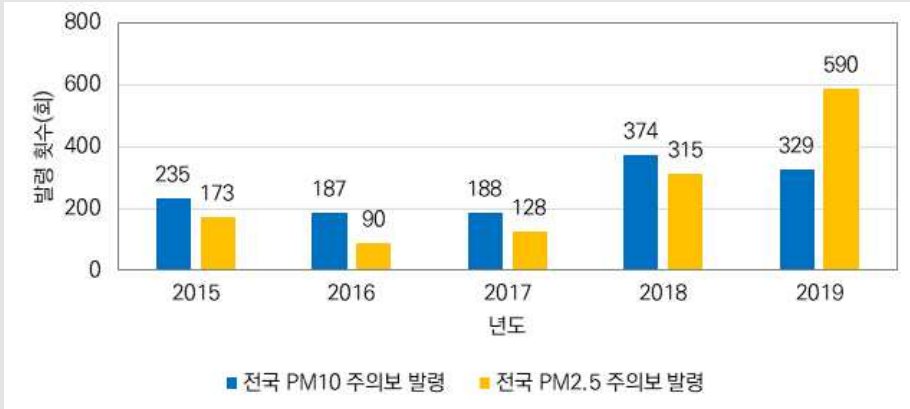
이 보고서의 내용은

서울특별시의 정책과 다를 수 있습니다.

고농도 미세먼지 빈번 발생으로 국민적 관심과 우려 증가.
 시도별 미세먼지 및 전구물질 서로 다른 특성이 보이며,
 배출 특성에 기반한 ‘지역별 맞춤형 대응’ 마련 필요.
 특히 도심 내 소규모 대기배출 사업장 주변에 일부
 휘발성유기화합물 관측됨에 따라 배출원 관점의 집중관리
 및 체계적 전략이 마련 되어야...

미세먼지는 대기 중 다양한 전구물질 영향으로 형성되는 입자상 물질이며, 전국적 고농도 미세먼지 현상의 빈번한 발생으로 시민건강 위협 우려

미세먼지(PM10), 초미세먼지(PM2.5)는 대기 중 존재하는 입자상 물질로, 발생원으로부터 직접 배출되는 1차 미세먼지와 질소산화물(NOx), 휘발성유기화합물(VOCs), 블랙카본(BC) 등을 전구물질로 하여 대기 중 화학반응 거치며 형성되는 2차 미세먼지로 구분된다. (초)미세먼지는 그 크기가 매우 작기 때문에 대기 중에 머물러 있다 호흡기를 거쳐 폐 등에 침투하거나 혈관을 따라 체내로 이동하여 들어감으로써 인체 유해성에 미치는 영향이 크고, 2013년에는 세계보건기구(WHO) 산하의 국제암연구소(IARC)에서 미세먼지를 사람에게 발암이 확인된 1군 발암물질(Group 1)로 지정하였다. 이처럼 미세먼지 이슈는 환경문제를 넘어 사회적 문제로 인식되고 있으며, 미세먼지에 대한 국민들의 관심과 불안이 증대됨에 따라 우리나라도 2015년 PM2.5를 대기환경 물질로 지정 및 기준을 설정하였고, 미세먼지로 인한 국민건강 피해를 최소화 하기 위해 미세먼지 예보제를 실시, 주의보·경보를 발령하고 있다. 2015년부터 2019년까지 전국 (초)미세먼지 주의보 발령현황을 살펴보면 2016년, 2017년에 발령횟수가 약간 감소하는 추세를 보였으나 2018년, 2019년에는 큰 폭으로 증가한 것을 확인할 수 있다. 2015년에 비해 2019년에 미세먼지 주의보 발령횟수는 약 1.4배, 초미세먼지 주의보 발령횟수는 약 3.4배 증가하였다.



[그림 1] 전국 연도별 (초)미세먼지 주의보 발령횟수

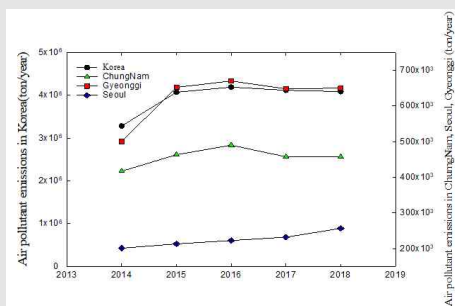
미세먼지 특성을 고려하여 국내외 고농도 미세먼지 발생 원인의 종합적 파악이 필요하며, 국내 배출 저감을 위한 지역간 공동 연구체제 마련 필요

고농도 미세먼지의 발생은 국외에서 유입되는 미세먼지와 국내에서 자체 배출되는 미세먼지의 영향이 복합적으로 작용한다. 국외 유입의 경우 특히 주변국 미세먼지가 국내 대기질 및 미세먼지 농도 증가에 미치는 영향분석과 관련된 연구가 수행된 바 있으며, 전 지구적 차원에서의 고농도 미세먼지 문제 해결을 위해서는 주변국과의 대기질 정보 공유, 미세먼지 관련 기술 교류, 대기 분야 연구 협력 등의 공동 대응 노력이 필요하다.

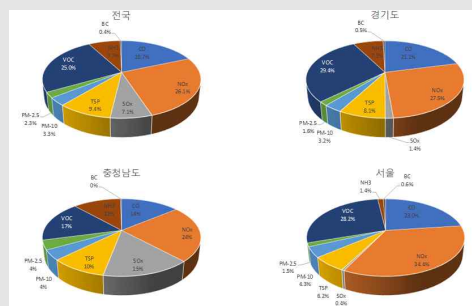
현재 국내 차원에서는 미세먼지 고농도 현상을 이해하고 원인을 파악하여 문제를 해결하기 위한 연구가 일부 존재하지만, 단기적인 고농도 사례 발생에 대한 유형분석 및 발생기작 규명 관련 연구가 주를 이루고 있다. 미세먼지 문제 해결을 위해 국내 각 지자체 및 연구 기관에서 미세먼지 발생 주요 원인과 관련된 다양한 저감 사업 시행, 저감 기술 개발, 미세먼지 개선을 위한 연구가 다양하게 수행되고 있으나, 국가 단위 및 국가 차원에서 고농도 미세먼지 해결 방향을 설정하기 위해서는 각 지자체·지역 특성을 고려한 기술개발 및 정책지원을 포괄하고 지역 현실을 적극 반영한 전국 단위의 종합적인 대응 노력이 필요하다.

서울-경기-충남 협력 연구 진행 결과, 지역별 고유 특성에 따라 전체 대기오염물질 성분의 구성 비율이 다르며, 미세먼지 고농도 발생 시 PM2.5 성분 조성에도 차이가 존재

본 연구를 추진하기 위해 국내 지역 간 대기환경 관련 구축 정보 및 연구 교류, 지역별 대기질 현황을 종합적으로 고려한 고농도 미세먼지 대응 방향 설정을 목표로 서울-경기-충남 3개 지역으로 이루어진 연구 협의체를 구성하였으며, 지역별 주요 대기오염물질 배출량 특성을 고려한 대기환경 대응 기술 및 저감 사업을 확인하고, 지역별 대기오염 배출 특성을 비교하였다. 2018년 CAPSS 자료 기준 대기오염물질 배출량 확인 결과, 전국 배출량 1위의 경기도는 6.5×10^5 ton/년, 전국 배출량 2위인 충청남도도 2018년 4.6×10^5 ton/년, 서울은 2.6×10^5 ton/년을 기록했다. 총 대기오염물질 배출량 중 각 개별물질 구성 비율에는 지역별 특성에 따른 차이가 나타났다. 소형 사업자들과 다수 중소형 산업단지를 많이 보유하고 있는 경기도의 경우 VOC(29.4%) > NO_x (27.5%) > CO(21.1%) > TSP(8.1%)로 나타났으며, 충청도의 경우 NO_x(23.5%) > VOC(17.1%) > SO_x(15.3%) > CO(14.3%)로 높은 비율을 나타냈는데, 이는 국내 3대 석유화학단지의 한 곳과 전국 석탄화력발전소의 약 50%가 충청도에 위치하고 있기 때문에 이의 영향인 것으로 간주된다. 서울의 경우에는 NO_x(34.4%) > VOC(28.2%) > CO(23.0%) > TSP(6.2%)를 나타냈는데, 이는 서울시의 주요 배출원인 이동오염원(자동차)과 도심 곳곳에 분포되어있는 소형사업장의 영향으로 판단된다.

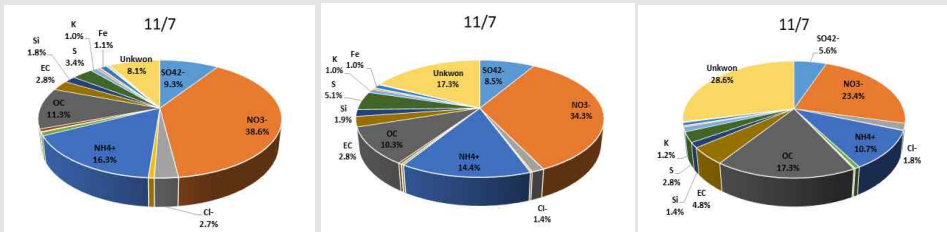


[그림 2] 전국 및 각 시도 대기오염물질 배출량 변화



[그림 3] 전국 및 각 시도 대기오염물질 배출비율

서울-경기-충남 3개 지역에서 미세먼지 고농도 현상이 동시에 나타난 일자를 중심으로, 고농도 발생 시 PM_{2.5}의 개별 성분 구성을 분석하였다. 미세먼지의 조성은 탄소성분(유기탄소, 원소탄소), 이온성분(황산염, 질산염, 암모늄), 광물성분 등으로 매우 다양한데, 조성 비율을 분석해보면 미세먼지 조성 과정에 어떤 영향이 크게 기인했는지 판단할 수 있다. 3개 지역 모두 고농도 미세먼지 발생시 PM_{2.5} 내 화학적 구성은 이온 성분이 22.3~69.7%를 차지하며, OC 6.7~33.6%, EC 0.9~8.5%, 금속성분 4.6~16.7%로 나타났다. 경기도의 경우 산업단지에서 배출된 오염물질의 영향으로 중금속 비중이 다른 지자체보다 높게 나타나는 특성을 보였으며, 충청도의 경우에는 농촌지역의 노천소각 등으로 인해 발생하는 유기탄소(OC)의 비중이 높게 나타나는 특성을 보였다. 이처럼 지역별 특성에 따라 PM_{2.5}의 조성성분이 달라질 수 있고, 이에 따른 개별적 개선대책이 마련되어야 한다.



[그림 4] 고농도 미세먼지 발생시 PM_{2.5} 조성(경기) [그림 5] 고농도 미세먼지 발생시 PM_{2.5} 조성(서울) [그림 6] 고농도 미세먼지 발생시 PM_{2.5} 조성(충남)

지역별 미세먼지 발생에 기여하는 주요 산업 및 원인이 다를 수 있으며, 발생원 종류에 따라 생성된 오염물질의 특성이 달라 관리도 차별적으로 이루어져야 함

3개 지역별 대기질에 영향을 미치는 대표 소형사업장을 선정하여 이동식 대기오염물질 관측 차량을 이용한 이동·고정 측정을 진행하고, 소형사업장 배출시설의 대기오염물질 배출 특성과 미세먼지 전구물질이 되는 주요 VOCs를 집중 분석하였다. 서울시의 경우 도심 내 소형사업장 밀집지역의 대표로 중구 인쇄소 밀집 거리를 선정하였고, 경기도의 경우에도 산업단지 중 인쇄 관련 서비스업, 출판 유통 관련 업체가 밀집 되어있는 파주 출판도시를 연구대상으로 선정하였다. 서울시 중구 인쇄거리 이동측정 결과 톨루엔, 메탄올, 아세톤, 자일렌이 인쇄업 배출 주요 VOCs 물질로 확인되었으며, 경기도 파주출판도시의 경우에는 톨루엔, 메틸 알코올, 아세톤, 메틸 에틸 케톤, 이소프로필 알코올 순으

로 농도가 높게 검출되었다. 두 지역의 인쇄소 주변 이동관측 결과 톨루엔, 아세톤 등이 공통적으로 검출되었으며, 인쇄 공정에서 발생하는 톨루엔의 경우 WHO에서 발암물질로 지정한 물질에도 해당되어 저감 혹은 제거를 위한 각별한 관리가 필요할 것으로 보인다. 충청도의 경우 소형사업장 중 기타 제조시설을 제외하고 도장시설이 가장 높은 비중을 차지하여 도장시설을 대상으로 주요 배출물질을 조사하였다. 도장시설 주변 이동관측을 통해 측정된 물질을 살펴본 결과 아세톤, 메탄올, 케텐, 아세트산이 주요 VOCs 물질로 검출되었다. 이처럼 지역별 특성에 따라 소형 사업장이 밀집되어 있는 경우가 존재하며, 소형사업장 종류에 따라 배출되는 주요 개별 VOCs 화학종도 달라진다. 이러한 지역별 특성을 기반으로 배출원의 자세한 현황 파악이 이루어져야 하며 특성에 맞는 관리대책 마련도 함께 이루어져야 한다.

지역간 고농도 미세먼지 공동 대응을 위하여 서울시는 도심내 미세먼지 및 전구물질의 원인이 되는 이동오염원, 소형사업장 등의 관리 노력 필요, 기타 지역도 현실을 적극 반영한 미세먼지 대응 방향 설정 필요

서울시 발생 미세먼지의 경우 이동오염원(자동차), 도로재비산먼지, 소형 사업장에서 비산·배출되는 미세먼지가 전체 배출량에서 높은 비중을 차지하고 있기 때문에 이와 같은 주요 발생원에 대한 집중 관리가 필요하며, 서울시 수송·산업·생활 부문 발생원의 특성을 고려한 맞춤형 대책이 필요하다. 2018년 CAPSS 자료를 확인해보면, 서울시 대기오염물질 배출량 중 2차 생성 미세먼지의 전구물질에 해당하는 NO_x, VOC, SO_x의 간접배출이 전체 대기오염물질 배출량의 약 60% 이상을 차지하였다. 특히 NO_x와 VOCs의 경우에는 미세먼지 전구물질 뿐만 아니라 오존 생성 기여물질에도 해당되어 관리의 필요성이 높다. 각 오염물질 별 서울시 주요 배출원에 대한 관리방안 마련과 함께 1차, 2차 생성 미세먼지를 고려한 대기오염물질(NO_x, VOCs, SO_x 등)의 통합적 관리가 필요하다. 국내 미세먼지 농도 증가 및 고농도 미세먼지 현상 등은 국외로부터의 지속적인 미세먼지 유입, 기상·기후영향 이외에도 국내 미세먼지 발생에 기여하는 복합요인에 영향을 받는다. 국내 미세먼지 관련 현안 해결 및 대응책을 마련하기 위해서는 지자체간 미세먼지 발생원인 및 특성 분석, 문제점 및 해결책 도출, 공동 대응 방안 마련 및 공유를 포함한 포괄적 관점에서의 대책 마련이 중요하다. 또한 지역별 미세먼지와 미세먼지 전구물질의 발생 특성 분석, 고농도 미세먼지 대응을 위한 공동 연구과제 수행과 협력체계를 갖추는 것이 필요하며, 지속적인 교류를 위하여 미세먼지 저감 방향을 설정하고 수행하는 것이 중요하다.



| 목차

목차

01 연구 개요

- | | |
|---------------|----|
| 1. 연구 배경 및 목표 | 16 |
| 2. 연구 내용 및 절차 | 20 |

02 지역(서울, 경기, 충남)별 대기환경 관련 추진 연구 현황

- | | |
|---------------------------------------|----|
| 1. 각 지역별 기술·정책 학술용역 연구 현황(서울, 경기, 충남) | 24 |
| 2. 대기환경(미세먼지) 대응 기술·저감 사업(서울, 경기, 충남) | 33 |

03 고농도 미세먼지 발생시 지역별 대기오염 농도변화 특성

- | | |
|---|----|
| 1. 대기오염물질 배출량 및 농도 변화 추이 분석(서울, 경기, 충남) | 52 |
| 2. 고농도 미세먼지 발생 특성(서울, 경기, 충남) | 58 |

04 소형사업장 대기오염물질 배출 특성 조사

- | | |
|--|----|
| 1. 지역별 소형배출시설의 분포 및 특성(서울, 경기, 충남) | 68 |
| 2. 소형사업장 주변지역 VOCs 시공간 분포 조사(서울, 경기, 충남) | 80 |

05 공동연구 추진 결과

- | | |
|-------------|-----|
| 1. 정기회의 개최 | 140 |
| 2. 공동학술대회 | 144 |
| 3. 연구교류 세미나 | 146 |

06 종합해석 및 제언

참고문헌	154
------	-----

부록	156
----	-----

Abstract	161
----------	-----

표 목차

[표 1-1] 국립환경과학원 기후대기연구부 주요업무	17
[표 1-2] 세부 연구내용	20
[표 2-1] 서울시에서 최근 10년간(2012-2021) 수행한 대기환경 관련 정책 연구	24
[표 2-2] 서울연구원에서 최근 10년간(2012-2021) 자체적으로 수행한 대기환경 관련 정책 연구	25
[표 2-3] 경기도에서 최근 10년간(2012-2021) 수행한 대기환경 관련 정책 연구	27
[표 2-4] 경기연구원에서 최근 10년간(2012-2021) 자체적으로 수행한 대기환경 관련 정책 연구	28
[표 2-5] 충청남도에서 최근 10년간(2012-2021) 수행한 대기환경 관련 정책 연구	29
[표 2-6] 국내 석탄화력발전소 사업수행 현황	30
[표 2-7] 충남연구원에서 최근 10년간(2012-2021) 자체적으로 수행한 대기환경 관련 정책 연구	31
[표 2-8] 국가 대기환경 기준	34
[표 2-9] 서울시 대기환경관리 시행계획 추진 내용	35
[표 2-10] 민간 보급 전기승용·화물차 구매 보조금	38
[표 2-11] 경기도 대기환경관리 시행계획 중점관리과제 및 추진 내용	41
[표 2-12] 충청남도 시행계획 중 미세먼지 저감대책 목표	45
[표 3-1] 미세먼지 경보기준 및 행동요령	58
[표 3-2] 서울-경기-충남의 미세먼지 주의보/경보 발령 횟수	59
[표 3-3] 고농도 미세먼지 발생시 3개 지역의 PM2.5 농도	61
[표 4-1] 서울시 출판, 인쇄 및 기록매체 복제업 관련 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)	68
[표 4-2] 서울시 서적출판업 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)	69
[표 4-3] 서울시 신문잡지 및 정기간행물 출판업 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)	69
[표 4-4] 서울시 오디오물 출판 및 원판녹음업 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)	69
[표 4-5] 서울시 기타 인쇄물 출판업 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)	69

[표 4-6] 서울시 인쇄업 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)	69
[표 4-7] 서울시 인쇄관련산업 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)	70
[표 4-8] 서울시 기록매체복제업 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)	70
[표 4-9] 서울시 출판, 인쇄 및 기록매체 복제업 관련 자치구별 분포 현황 (2019년 기준)	71
[표 4-10] 경기도에 위치한 사업장의 분포 현황	76
[표 4-11] 충청남도에 위치한 사업장의 분포 현황	78
[표 4-12] 서울시 이동측정 일정	83
[표 4-13] 서울시 이동관측 결과 요약	84
[표 4-14] 이동측정일정 및 데이터 획득 결과	107
[표 4-15] 경기도 파주시 이동관측에 사용된 PTR-ToF-MS의 주요 정성물질 분류 및 특징	108
[표 4-16] 경기도 파주시 이동관측 결과 요약 (ppb)	112
[표 4-17] 이동측정일정 및 데이터 획득 결과	126
[표 4-18] 천안시 이동관측에 사용된 PTR-ToF-MS의 주요 정성물질 분류 및 특징	127
[표 4-19] 천안시 이동관측 결과 요약	132
[표 5-1] 공동 학술대회 발표논문 리스트	146
[표 5-2] 미세먼지 공동연구 협의체 연구교류 세미나 1일차 프로그램	147
[표 6-1] 국내 미세먼지 관련 및 대책	150
[표 6-2] 서울시 미세먼지 집중관리구역	152

그림 목차

[그림 1-1] 서울 연평균 (초)미세먼지 농도 시계열	16
[그림 1-2] 초미세먼지 기여도 분석 및 대기질 농도 예측	19
[그림 2-1] 서울시 미세먼지, 초미세먼지 배출원별 비중	35
[그림 2-2] 물청소, 분진청소, 노면청소 차의 체계적 작업 위치	36
[그림 2-3] 잎 단위면적에 따른 미세먼지 흡착량	37
[그림 2-4] 서울시 전기차 홍보와 구매보조금 지원 웹페이지	38
[그림 2-5] 친환경 보일러 교체 보조금 지원 포스터	39
[그림 2-6] 미세먼지 계절관리제 환경부 카드뉴스	40
[그림 2-7] 경기도 도로이동오염원 관리 정책	42
[그림 2-8] 경기도 비도로이동오염원 관리 정책	42
[그림 2-9] 경기도 배출시설 관리 정책	43
[그림 2-10] 경기도 생활오염원 관리 정책	44
[그림 2-11] 경기도 도민 소통·참여 확대 정책	44
[그림 2-12] 충청남도 배출시설 관리 정책	46
[그림 2-13] 충청남도 도로이동오염원 관리 정책	47
[그림 2-14] 충청남도 비도로이동오염원 관리 정책	48
[그림 2-15] 충청남도 생활오염원 관리 정책	49
[그림 2-16] 충청남도 도민 소통·참여 확대 정책	49
[그림 3-1] 전국 및 각 시도 배출량 추이	53
[그림 3-2] 전국 및 각 시도 오염물질 배출 비율 (2018년도)	53
[그림 3-3] 전국 및 각 시도 오염물질 배출량 증가 추이 및 비율	55
[그림 3-4] 3개 시도의 대기오염물질 변화 추이	56
[그림 3-5] 대기오염측정망 설차운영 현황	60
[그림 3-6] 고농도 미세먼지 발생사례시 3개 지역의 농도 PM2.5 농도 추이	61
[그림 3-7] 고농도 미세먼지 발생시 3개 지역의 PM2.5 구성	62
[그림 3-8] 고농도 발생 전후의 PM2.5의 구성성분 비교(경기권)	63

[그림 3-9] 고농도 발생 전후의 PM2.5의 구성성분 비교(수도권)	65
[그림 3-10] 고농도 발생 전후의 PM2.5의 구성성분 비교(충청권)	66
[그림 4-1] 서울시 출판, 인쇄 및 기록매체 복제업 관련 자치구별 분포 현황 (2019년 기준)	72
[그림 4-2] 서울시 출판, 인쇄 및 기록매체 복제업 관련 자치구별 분포 현황 (2019년 기준)	73
[그림 4-3] 서울시 중구 인쇄소 밀집지역 주변 현황	74
[그림 4-4] 서울시 중구 인쇄소 분포	74
[그림 4-5] 서울시 중구 인쇄소 인근 주거지역	75
[그림 4-6] 충청남도 내 위치한 대기오염물질 배출사업장 현황	79
[그림 4-7] 서울시 중구 지점에서의 TVOC (ppb) 농도 변화	80
[그림 4-8] 서울시 중구 지점에서의 VOCs (ppb) 농도	81
[그림 4-9] 서울시 중구 지점에서의 VOCs (ppb) 농도 평균과 표준편차	82
[그림 4-10] 서울시 이동측정경로	83
[그림 4-11] 서울시 이동측정에서 측정된 VOCs 물질별 농도	84
[그림 4-12] 서울시 VOCs의 구성비 특성	88
[그림 4-13] 9월 12일(일) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포	91
[그림 4-14] 9월 13일(월) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포	92
[그림 4-15] 9월 14일(화) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포	96
[그림 4-16] 9월 15일(수) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포	100
[그림 4-17] 9월 16일(목) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포	102
[그림 4-18] VOCs 연간 배출량 변화	104
[그림 4-19] 파주출판도시 토지이용 계획도	105
[그림 4-20] 파주출판도시 인쇄시설 위치	106
[그림 4-21] 파주출판도시 이동관측 경로	107
[그림 4-22] 파주근린공원 앞 이동측정 차량 및 내부 모습	110
[그림 4-23] 고정측정(천안운동장)에서 측정된 VOCs의 평균농도	111
[그림 4-24] 관측별 VOCs의 구성비 특성	114
[그림 4-25] 9월 5일(휴일) 도로변 VOCs 공간분포 : M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15	116
[그림 4-26] 9월 10일 VOCs 히트맵 : M13, 9월 11일 VOCs 히트맵 : M15	121
[그림 4-27] 천안시의 도장시설 밀집지역 모습	123
[그림 4-28] 천안시의 도장시설 밀집지역과 그 주변 모습	124
[그림 4-29] 부천시 이동측정경로	125

[그림 4-30] 천안시 이동측정경로	126
[그림 4-31] 천안운동장 고정측정 지점과 측정 모습	128
[그림 4-32] 고정측정(천안운동장)에서 측정된 VOCs의 평균농도	129
[그림 4-33] 날짜별 VOCs의 구성비 특성	130
[그림 4-34] 이동측정 경로 분류	133
[그림 4-35] 9월 5일(휴일) 도로변 VOCs 공간분포 : M1, M2	134
[그림 4-36] 9월 6일(월) 도로변 VOCs 공간분포 : M3~M5	135
[그림 4-37] 9월 6일(월) 도로변 VOCs 공간분포 : M6~M8	136
[그림 4-38] 9월 7일(월) 도로변 VOCs 공간분포 : M9~M11	137
[그림 4-39] 9월 6일(월) 도로변 VOCs 공간분포 : M12~M14	138
[그림 5-1] 3개기관 업무협약서	140
[그림 5-2] 2021년도 공동연구를 위한 연구계획서 초안	141
[그림 5-3] 제2차 정기회의 모습	142
[그림 5-4] 제3차 정기회의 모습	142
[그림 5-5] 제4차 정기회의 모습	143
[그림 5-6] 제5차 정기회의 모습	144
[그림 5-7] 국립기상과학원 현장견학 모습	145
[그림 5-8] 공동 학술대회 진행 모습	146
[그림 5-9] 연구교류 세미나 모습	148
[그림 6-1] 서울시 오염물질별 배출량(톤) (2017년도)	151



| 01 연구 개요

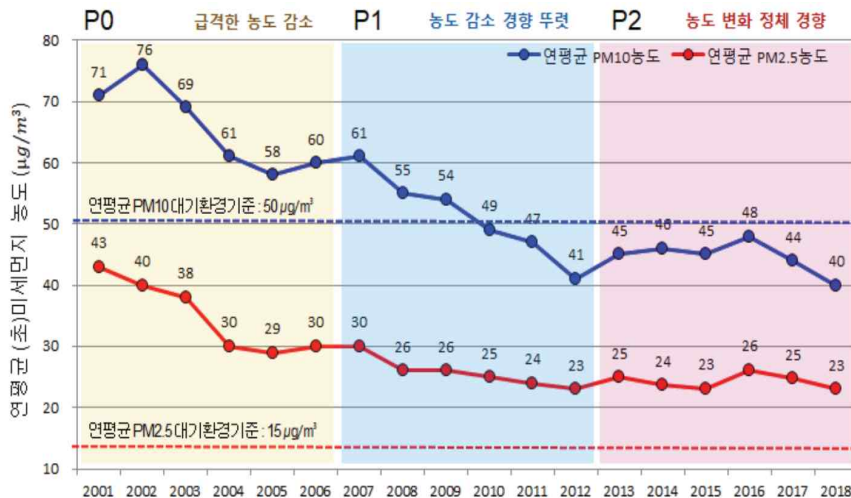
1. 목표
2. 절차

01. 개요

1. 연구 배경 및 목표

1-1. 연구 배경 및 필요성

2013년 이후 지속되는 미세먼지 발생과 개선되지 않는 대기질로 인해 국민적 관심과 우려가 증가하고 있다. 특히 고농도 미세먼지가 장기간 또는 집중 발생 되면서 국내에서는 다양한 대응 대책을 마련하고 있다.



[그림 1-1] 서울 연평균 (초)미세먼지 농도 시계열(출처: 한국환경연구원)

고농도 미세먼지의 발생은 국외 유입과 국내 배출의 복합요인, 그리고 계절적 요인으로 분석된다. 고농도 미세먼지 발생의 연평균 농도를 비교해 보면, 겨울철과 봄철 농도가 높으며, 4월에 주로 발생하는 황사 사례를 제외하면 12월~3월 중 월 평균 농도가 특히 높은 것으로 나타났다.

고농도 미세먼지 발생 초기에는 국외 미세먼지 유입에 의해 농도가 높지만, 국내 배출 농도가 가중되어 고농도 미세먼지의 상황이 악화되는 경향이 발생한다.¹⁾

이에 국가 차원의 미세먼지 대응 방안 마련을 위한 연구가 지속되고 있으나, 대부분 지역 현실을 고려하지는 못하고 국가 전체적 차원에서 고농도 현상 발생기작 규명과 예보, 관측기술 고도화 등 거시적인 관점에 초점이 맞춰져 있다(표 1-1).

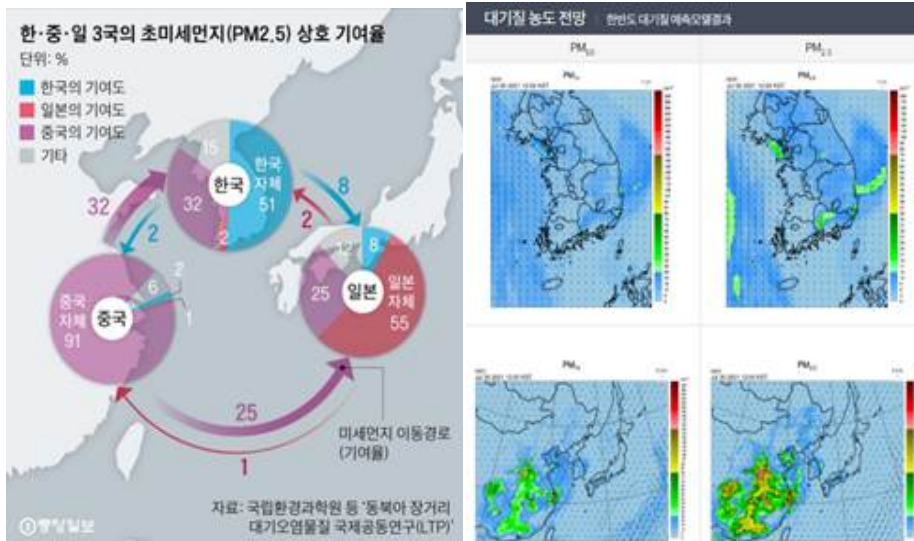
【표 1-1】 국립환경과학원 기후대기연구부 주요업무(출처: 국립환경과학원 홈페이지)

구분	부서	세부 업무 내용
1	대기환경연구과	대기환경기준에 관한 조사연구
		대기오염물질의 화학변화 및 스모그, 대기갈색연무 등 대기오염현상에 관한 조사·연구
		대기오염물질 분포상태 및 대기관리에 관한 조사·연구
		대기환경 분석을 위한 상층기상의 관측 및 조사·연구
		고도별 대기오염물질의 특성에 관한 조사·연구
		장거리이동대기오염물질이 인체 및 생태계에 미치는 영향 등에 관한 연구
		전국 권역별 대기오염물질 감시를 위한 대기환경연구소 운영·관리
		대기 분야 환경오염공정시험방법 제·개정에 관한 조사·연구
		습성 대기오염물질의 측정 및 성분 분석에 관한 조사·연구
		대기중 입자상 오염물질 및 가스상 오염물질의 측정·분석에 관한 조사·연구
		대기오염 측정망의 설치·운영과 관련된 지침 마련 및 자료의 분석·관리
		장거리이동 대기오염물질의 측정 및 조사·연구
		장거리이동대기오염물질의 성분 및 발원지 특성 등에 관한 조사·연구
		장거리이동대기오염물질피해 방지대책에 관한 국제 공동 조사·연구
2	지구환경연구과	지구온난화 관련 물질의 측정 및 조사 연구
		기후변화유발물질(온실가스) 공정시험기준 개발
		온실가스 및 대기오염물질 통합시스템의 운영
		기후변화 영향평가 및 적응대책 관련 연구
		오존층 파괴 관련 환경변화 및 대응방안의 연구
		기후변화협약 등 국제협력관련 연구·지원
		동북아청정대기파트너십(NEACAP) 기술센터(TC) 운영, 국제 기술 및 훈련 프로그램(TNT Program) 운영
		지구 전체 또는 일부 지역의 기후변화물질 및 대기오염물질의 배출·이동·확산에 관한 조사·연구
		기후·대기 통합모델의 개발 및 운영에 관한 연구

1) 관계부처 합동, 제3차 미세먼지 특별대책위원회, 2019, 미세먼지 고농도 시기 대응 특별대책(16.02~20.3)

		탄소제로건물 탄소중립 기술 실증화 효과 분석 연구
		저탄소사회 달성을 위한 온실가스 저감방안 마련 등 관련 대책의 수립에 관한 연구
		온실가스 국제상호인정협정 및 배출권거래제 검증기관 지정·등록·관리에 관한 사항
		한중 대기질 공동연구, 한중일 대기 및 기후변화 국제공동연구
3	대기공학연구과	대기오염 관리에 관한 연구
		대기오염물질 배출허용기준에 관한 연구
		대기배출원·악취 분야의 국가표준 및 환경오염공정시험기준 제·개정을 위한 조사·연구
		미세먼지 저감을 위한 방지기술 연구
		DIAL, DOAS 등 분광학 측정기법에 관한 연구
		수도권대기환경연구지원단의 구성 및 운영에 관한 사항
		대기오염물질 발생원 및 오염물질 배출특성에 관한 조사 연구
		악취의 측정 및 평가방법에 관한 조사·연구
		대기오염물질 심사·평가를 위한 관련 조사·연구 및 위원회 운영
4	대기질통합 예보센터	비산배출 저감제도 운영 관리에 관한 연구
		국가대기질 예보제의 운영·관리
		대기질 예보의 선진기술도입을 위한 국제협력
		대기질 예보등급별 국민행동요령 작성 등 대국민 홍보에 관한 사항
		대기오염 및 기상 측정자료의 수집·분석
		국가대기질 예보·정보·속보 등의 생산
		대기질 예보기술의 개선 및 예보 모델의 개발·개선
		대기질 통합 분석 및 예보 지원시스템의 개발·운영
		대기오염 피해저감을 위한 대국민 전달체계 마련 등 대내외 관계기관 협력에 관한 사항
5	환경위성센터	환경위성 운영 및 관측자료의 수산처리보존 및 배포
		환경위성센터 장비의 운영 및 관리에 관한 사항
		환경위성자료 처리분석 기술 개발 및 개선
		환경위성 자료 분석 및 예보 지원에 관한 사항
		환경위성 자료 검증 및 개선에 관한 사항
		국가 환경정책 수립 및 평가를 위한 위성자료 지원에 관한 사항
		환경위성 관측자료 활용 기술 발굴 및 보급에 관한 사항
		국내외 위성 관측자료의 수집분석·활용
		환경위성 선진기술 도입 및 자료 공유를 위한 국내외 협력
		차세대위성 등 후속 위성 개발에 관한 사항

학계에서도 지역 대기환경 변동보다는 동아시아나 한반도 등 거시적 관점에서 (초)미세먼지의 외부 기여도를 산정하거나 최근 다양한 연구에 활용되는 인공지능 기법을 활용한 예측기술 개발 등의 연구가 진행되고 있다.



[그림 1-2] 초미세먼지 기여도 분석 및 대기질 농도 예측(출처: 중앙일보, 에어코리아)

대기환경(미세먼지) 관련 시급 현안 해결을 위해 국내 각 지자체 전문연구기관은 지역 맞춤형 미세먼지 대응 및 개선(안) 도출 연구를 개별적으로 다양하게 수행하고 있으나, 경계가 없는 대기환경의 특성상 특정 지역만의 특징을 조사하여 개선방안을 도출하는 것은 어려움과 한계가 있다. 따라서 지역 맞춤형 기술개발과 정책지원을 위한 포괄적 관점에서 지역별 특성분석 및 공동연구가 요구되고 있다.

1-2. 연구 목표

환경부의 이러한 연구사업은 국가적 차원에서 미세먼지를 관리하는 기술개발과 법령 제정이 유기적으로 추진된다는 측면에서 장점이 있으나, 국가의 세부 지역별 산업이나 대기오염물질 배출, 지형, 사회경제적 특성을 고려하지 못하고 있다. 본 연구를 통해 인구나 산업이 밀집하여 대기오염물질의 배출량이 많고 이에 노출되는 인구가 많은 3개 광역 지자체에서 독자적으로 추진해왔던 연구사업들을 검토하고 의미를 고찰하고자 한다.

본 연구는 지역간 대기환경 관련 구축 정보 및 인적 교류, 지역 연구원 간 연구 교류 활성화를 통한 연구 역량 강화, 지역 대기 관련 자료의 고도화를 목적으로 지역별 대기 질 현황을 종합적으로 고려한 고농도 미세먼지 대응 방향 연구 설정을 최종목표로 한다.

지난 2020년 8월 서울-경기-충남 3개 연구원이 업무협약(MOU)을 추진하였으며, 참여기관은 아래와 같다.

(서울) 서울기술연구원 기후환경연구실

(경기) 차세대융합기술연구원 미세먼지신기술연구실

(충남) 충남연구원 서해안기후환경연구소

2. 연구 내용 및 절차

2-1. 연구 내용

연구 내용은 지역(서울, 경기, 충남)별 대기환경 관련 추진 연구 현황, 고농도 미세먼지 발생시 지역별 대기오염 농도변화 특성 분석, 소형시설의 대기오염물질 배출특성 조사, 지자체 간 후속 공동연구 과제 제언으로 세부 연구 내용은 표 1-2와 같다.

[표 1-2] 세부 연구내용

구분	연구 내용	세부 연구 내용
1	지역(서울, 경기, 충남)별 대기환경 관련 추진 연구 현황	각 지역별 기술·정책 학술응역 연구 현황
		대기환경(미세먼지) 대응 기술·저감 사업
2	고농도 미세먼지 발생시 지역별 대기오염 농도변화 특성	대기오염물질 배출량 및 농도 변화 추이 분석
		고농도 미세먼지 발생 전, 발생기간, 후 미세먼지 특성 분석
		금속, 이온, 탄소, 입경분포 등 다각적 특성 분석
3	소형시설의 대기오염물질 배출 특성 조사	지역별 소형배출시설의 분포 및 특성
		실측 기반 소형 배출시설 배출량 상세 조사
4	지자체 간 후속 공동연구 과제 제언	지자체 간 후속 공동연구 과제 제언

2-2. 연구 추진 방법

본 연구를 수행하기 위하여 서울, 경기, 충남 지자체 연구원 미세먼지 전문가 연구협의체를 구성하고 3개 시도에서 과거 및 현재 미세먼지를 비롯한 대기오염 대응 전략을 취합 및 분석한다. 이를 바탕으로 전문가 토론회 및 공동세미나 개최를 통해 실효성있는 미세먼지 대응 방안을 마련한다.

[유관기관]

- 한국과학기술연구원(동북아 미세먼지사업단), 한국연구재단, 한국환경산업기술원 등 유관기관의 자료 협조를 통한 최신 기술 및 연구 동향 파악
- 국립환경과학원, 서울시보건환경연구원 등 유관기관 자료 협조를 통한 미세먼지 특성 분석 활용

[서울시]

서울시 대기정책과와 자료 협조 및 정보 공유를 통한 지역별 기술·정책 관련 연구 및 사업 현황 조사 활용



02 지역별 대기환경 관련 추진 연구 현황

- | | | |
|---------------|-----|----|
| 1. 각 | 기술· | 현황 |
| 2. 대기환경(미세먼지) | 기술· | 사업 |

02.

1. 각 지역별 기술·정책 학술용역 연구 현황

1-1. 서울시

서울시에서는 중앙정부에서 수립한 「대기환경관리 기본계획」과 「미세먼지 관리 종합 계획」 시행을 위해 세부계획 수립의 필요성이 대두되었다. 이를 위해 현재까지는 주로 서울시청에서 추진하는 학술연구용역과 서울연구원의 자체과제를 중심으로 지자체 단위에서의 연구가 수행된 바 있다.

최근 10년간(2012-2021) 서울시에서 수행한 기후, 대기, 미세먼지, 대기오염 관련 용역사업 중 대기측정망 유지관리, 대기환경 관련 포럼 및 행사 운영 등 장비 구축과 사업 부분을 제외한 대기환경 학술정책 연구 현황은 표 2-1과 같다.

【표 2-1】 서울시에서 최근 10년간(2012-2021) 수행한 대기환경 관련 정책 연구(출처: 서울계약마당, 정책연구관리시스템)

구분	추진연도	추진부서	연구과제명
1	2021	기후환경본부 환경정책과	기후변화대응 종합계획(2022-2026) 수립 연구 용역
2	2020	기후환경본부 대기정책과	미세먼지 미산정 배출원 배출특성조사 및 관리방안 수립연구
3	2019	기후환경본부 기후변화대응과	온실가스 감축정책 효과측정 방안 수립
4	2019	기후환경본부 에너지시민협력과	10년간의 에코마일리지 성과분석 및 향후 제도 발전방안 연구
5	2018	기후환경본부 대기정책과	서울시 오존 생성 메카니즘 정밀분석 및 효율적 저감방안 연구
6	2017	기후환경본부 대기정책과	서울시 초미세먼지 상세모니터링 해석과 2030 대기환경관리 로드맵 수립 연구
7	2017	기후환경본부 대기정책과	2차 수도권 대기환경관리 기본계획 변경에 따른 서울특별시 시행계획 변경수립

8	2016	기후환경본부 기후대기과	서울시 기후변화대응 종합계획(2017~2021) 수립 연구
9	2015	기후환경본부 환경정책과	서울특별시 환경보전계획(2016~2025)수립
10	2014	기후환경본부 대기관리과	2단계 수도권 대기환경관리 서울특별시 시행계획 수립연구
11	2013	기후환경본부 생활환경과	서울지역 사업장 및 생활악취 배출원 관리방안 마련을 위한 연구
12	2013	복지건강실 생활보건과	서울시 환경보건정책 로드맵 수립 연구
13	2012	기후환경본부 기후대기과	서울시 온실가스 에너지 감축사업 평가지표 개발 및 이행성과 평가방안
14	2012	기후환경본부 기후대기과	에코마일리지제 시행성과 평가 및 발전방안 연구

서울시에서 추진해왔던 대기환경 관련 기술·정책 학술용역은 주로 온실가스와 에너지 감축, 에코마일리지와 같은 간접적인 대기환경 관리부터 최근에는 미세먼지 배출원 특성 조사나 오존 생성 메커니즘 정밀 분석과 같이 미세먼지와 대기오염을 과학적으로 이해하고 대응하기 위한 연구들로 발전해 왔다. 또한 중앙정부 정책에 맞춰 기후변화 대응 종합계획 수립이나 대기환경관리 기본계획 수행을 위한 서울시 시행계획 마련과 같은 정책적 요소도 포함되어 있다.

서울시청에서 직접적으로 수행한 대기환경 및 미세먼지 관련 기술·학술정책 연구 이외에도 최근 10년간 서울연구원에서 자체적으로 27건의 연구를 수행한 것으로 나타났다(표 2-2). 서울연구원에서는 안전환경연구실을 중심으로 대기환경 관련 연구를 추진해 왔으며, 차량과 같은 도로이동오염원과 관련하여 교통시스템연구실에서도 대기환경과 관련된 연구를 일부 수행하는 것으로 나타났다.

【표 2-2】 서울연구원에서 최근 10년간(2012~2021) 자체적으로 수행한 대기환경 관련 정책 연구(출처: 서울연구원)

구분	추진연도	추진부서	연구과제명
1	2020	안전환경연구실	대기오염물질 감축수단 비용효과성 분석
2	2020	안전환경연구실	온실가스와 미세먼지 저감 위한 경제적 수단 도입 방안
3	2019	안전환경연구실	주민참여 생활권 대기오염관리 정책실험
4	2019	안전환경연구실	서울형 미세먼지 정책효과 평가모델 개발과 적용
5	2019	안전환경연구실	파리협정 이행 위한 서울시 '2050 탄소중립' 전략
6	2019	안전환경연구실	2050 서울시 탄소배출 중립 위한 정책과제
7	2019	안전환경연구실	미세먼지 시존제 도입 방안

8	2019	안전환경연구실	서울시 미세먼지 국제협력 실효성 강화 방안
9	2018	안전환경연구실	미세먼지특별법에 대응한 맞춤형 전략 세워 서울시, 미세먼지 관리에 선도적 역할 강화
10	2018	안전환경연구실	서울시 미세먼지 관리정책의 사회경제적 편익
11	2018	안전환경연구실	그린인프라의 미세먼지 저감효과 분석과 확대 방안
12	2018	안전환경연구실	서울시 미세먼지·오존 통합관리 전략
13	2018	안전환경연구실	미세먼지 저감 위한 도로청소 개선방안
14	2018	안전환경연구실	지자체 교통부문 미세먼지 관리방안 -서울시 자동차 친환경등급제를 중심으로-
15	2018	안전환경연구실	서울시 환경행정, 현장밀착형 분권화 필요, 대기·에너지 등 분야별로 차별화전략 수립
16	2017	교통시스템연구실	교통부문 탄소배출 감소추세 '뚜렷' 교통수요관리 정책 지속 추진 필요
17	2017	교통시스템연구실	친환경차 보급 동향과 서울시 정책 방향
18	2016	안전환경연구실	서울시 공공환경시설 악취관리 강화 방안
19	2015	안전환경연구실	서울시 기후에너지정책 성과 분석을 위한 기초정보 조사
20	2014	안전환경연구실	서울시 건설공사장소음·대기오염 개선
21	2014	안전환경연구실	서울시 초미세먼지(PM _{2.5}) 예·경보 적정기준 설정 및 배출원 관리정보 구축
22	2013	안전환경연구실	서울시 기후·환경 변화의 건강영향 분석연구
23	2013	안전환경연구실	서울시 고농도 오존(O ₃) 대응 매뉴얼 연구
24	2013	안전환경연구실	건물 난방용 연소기기의 대기오염물질 관리 방안 연구
25	2012	안전환경연구실	세계 기후환경수도 서울의 비전 수립 및 특화전략 제안 연구
26	2012	안전환경연구실	서울시 경유자동차 배출특성(PM·NOx)을 고려한 단계별 관리방안
27	2012	안전환경연구실	서울시 주택의 실내공기질 개선 방안

초기에는 실내오염원이나 대기오염물질 배출원별 특성을 조사하고 관리방안을 수립하는 기초적 연구가 수행되었으나, 최근에는 도로청소 방안, 미세먼지·오존 통합관리, 그린인프라 효과 분석, 미세먼지 시준제, 대기오염물질 감축수단 비용효과성 분석까지 메가시티와 관련하여 도시 관리적 측면에서 다방면의 연구가 진행되어 왔다. 특히 과학기술적인 연구 뿐만 아니라 시민들의 인식과 참여를 고취시키기 위한 주민참여형 연구나 중국을 비롯해 대기오염물질의 외부유입 영향을 고려한 국제협력 실효성 강화 방안에 대한 연구까지 수행되고 있다. 연별로 수행된 연구의 숫자를 살펴보면 2012~2013년에는 연평균 3개의 연구과제가 수행되었으나 2018~2019년에는 총 13건의 연구가 수행되어 대기환경과 미세먼지에 대한 관심과 투자가 최근에 급격히 증가한 것을 살펴볼 수 있다.

1-2. 경기도

최근 10년간 경기도에서 수행한 대기환경과 미세먼지 관련 학술용역은 표 2-3와 같이 11건으로 조사되었다. 주로 환경국에서 추진하였으며 수도권 대기환경관리 기본계획 추진을 위한 시행계획 수립 및 기후변화 적응대책 세부 시행계획과 같은 중앙정부 공조를 위한 연구에서부터 반월·시화산업단지 환경질 개선방안, 적정기술을 이용한 미세먼지 저감방안, 도시숲 조성 및 관리 연구와 같이 지역 특성을 고려한 연구도 수행해 왔다.

【표 2-3】 경기도에서 최근 10년간(2012~2021) 수행한 대기환경 관련 정책 연구(출처: 정책연구관리시스템)

구분	추진연도	추진부서	연구과제명
1	2020	환경국 미세먼지대책과	경기도 대기환경관리 시행계획(2020~2024)
2	2018	광역환경관리사업 소	반월·시화산업단지 유해대기 오염물질 관리방안
3	2018	환경국 미세먼지대책과	경기도 미세먼지 인벤토리 및 관리체계 구축
4	2018	자치행정국 회계과	2030 경기도 온실가스 감축 로드맵
5	2017	환경국 환경정책과	경기도 환경보전계획 수립
6	2017	환경국 미세먼지대책과	경기도 대기환경관리 시행계획(변경)
7	2016	환경국 환경정책과	제2차 경기도 기후변화 적응대책 세부 시행계획
8	2016	축산산림국 공원녹지과	경기도 도시숲 조성 및 관리를 위한 기본계획 수립 연구용역
9	2016	환경국 환경정책과	적정기술을 이용한 미세먼지 저감방안 연구
10	2015	경기도공단 환경관리사업소	반월·시화산업단지 환경질 개선방안 연구
11	2014	환경국 기후대기과	2차 수도권 대기환경관리 기본계획 추진을 위한 경기도 시행계획 수립 용역

경기도 이외에도 산하기관인 경기연구원에서 대기환경 및 미세먼지 관련 연구를 추진해 왔다. 최근 10년간 총 37건이 추진되었으며, 주로 생태환경연구실을 중심으로 수행되었다(표 2-4). 초기에는 유해화학물질 관리와 건강위해 취약평가, 대기배출 허용기준 등 상대적으로 기초연구가 수행되었으나, 최근에는 5등급 경유자동차 저공해화, 미

세먼지 집중관리구역 운영 방안, 미세먼지 노출인구 및 취약지도 작성, 계절관리제 등 대기환경과 미세먼지에 대한 연구와 대응이 고도화 되었다. 특히 4차 산업혁명과 미세먼지 관리, 인공증우를 활용한 미세먼지 저감효과 분석 등 현재 과학수준에서 도전적인 부분까지 검토함으로써 미래 경기도 대기환경을 능동적으로 관리하고자 사전 연구를 수행하고 있다.

【표 2-4】 경기연구원에서 최근 10년간(2012~2021) 자체적으로 수행한 대기환경 관련 정책 연구(출처: 경기연구원)

구분	발행연도	추진부서	연구과제명
1	2021	생태환경연구실	사업장 대기오염 방지시설 지원사업의 성과분석 및 개선방안
2	2021	생태환경연구실	경기도 사업장 미세먼지 배출시설 인허가 제도 개선방안 연구
3	2020	생태환경연구실	녹색전환을 위한 10대 환경 전략
4	2020	생태환경연구실	기후변화 적응을 위한 시민과학 활용 방안 연구
5	2020	생태환경연구실	제3차 경기도 녹색성장 추진계획 수립 연구
6	2020	북부연구센터	경기도 5등급 경유자동차 저공해화 방안 연구
7	2020	생태환경연구실	경기도 미세먼지 집중관리구역 운영 방안
8	2019	생태환경연구실	수도권 지역의 미세먼지 노출인구 평가 및 취약지도 작성 연구
9	2019	자치분권연구실	미세먼지 개선을 위한 중앙 지방간 사업장 관리체계 개편방안
10	2019	생태환경연구실	경기도 미세먼지 계절관리제 도입 방안
11	2019	생태환경연구실	미세먼지 집중관리구역 지정제도 세부 시행방안 마련 연구
12	2019	생태환경연구실	경기도 실내공기질 관리기준 설정 연구
14	2018	생태환경연구실	4차 산업혁명과 경기도 미세먼지 관리
15	2018	생태환경연구실	수도권 미세먼지 집중배출지역 분석
16	2018	생태환경연구실	인공증우를 통한 미세먼지 저감효과 분석
19	2017	생태환경연구실	공공부문 온실가스·에너지 목표관리제의 효율적 운영방안
20	2017	생태환경연구실	경기도 대기배출시설 조사 및 DB 구축 방안
21	2017	생태환경연구실	'경기도 대기환경관리 기본 조례' 제정 방안
22	2016	생태환경연구실	대기질개선 정책과 기후변화대응 정책 간의 공편의 상관성 연구
23	2016	생태환경연구실	경기도 환경분야 빅데이터의 구축과 활용
24	2016	생태환경연구실	경기도 산업단지 온실가스 감축 종합계획(2016~2020)
25	2015	생태환경연구실	경기도 환경안전관리 정책방향 연구

26	2015	생태환경연구실	화장시설의 환경영향 분석 및 관리방안 연구
27	2014	생태환경연구실	경기도 유해화학물질 관리계획 2015~2019
29	2014	생태환경연구실	경기도 환경산업 실태 조사
30	2014	경제사회연구실	온실가스 배출권거래제 도입에 따른 경기도 대응방안
31	2014	생태환경연구실	통합환경관리제도 도입과 경기도의 대응
32	2013	생태환경연구실	수도권 대기오염에 의한 건강위해 취약지역의 평가
33	2013	자치분권연구실	환경유해물질 안전관리를 위한 조직운영 개선방안
34	2013	생태환경연구실	경기도 유해화학물질 관리체계 개선방안
35	2012	생태환경연구실	경기도 대기배출허용기준 개선 방안
36	2012	생태환경연구실	(2012-2016)경기도 기후변화 적응대책 세부시행계획
37	2012	생태환경연구실	경기도 교외지역의 미세먼지 특성 분석 및 관리 방안

직접적인 대기환경 관련 연구 외에도, 녹색전환을 위한 10대 환경 전략이나 기후변화 적응을 위한 시민과학 활용 방안 연구와 같이 대기환경과 관련있는 사회경제적 분야를 다루면서 대기환경을 근본적으로 개선하기 위해 필요한 시민 인식 개선이나 사회적 필요 요소에 대해 평가하는 연구를 경기연구원에서 함께 진행하고 있다.

1-3. 충청남도

충청남도에서도 대기환경개선 종합계획 수립과 기후변화 적응계획 등 중앙정부 정책을 시행하기 위한 연구를 수행해 오면서, 지역 산업 특성을 고려하여 석탄화력발전소 주변지역 주민건강영향조사와 기후환경 영향 연구를 다년과제로 수행하며 대기오염에 각별한 관심과 투자를 추진하고 있다(표 2-5).

【표 2-5】 충청남도에서 최근 10년간(2012-2021) 수행한 대기환경 관련 정책 연구(출처: 정책연구관리시스템)

구분	추진연도	추진부서	연구과제명
1	2019	기후환경국 미세먼지대책과	환경오염 취약지역 주민건강영향조사(2차년도)
2	2019	기후환경국 미세먼지대책과	석탄화력발전소 주변지역 주민건강영향조사(3차년도)
3	2018	기후환경국 기후환경정책과	충청남도 기후변화 적응대책 이행평가 연구(2018년·2차년)

4	2018	기후환경국 기후환경정책과	화력발전소 주변지역 기후환경영향 연구(2차년도)
5	2018	기후환경국 기후환경정책과	제2차 충청남도 기후변화대응 종합계획
6	2018	기후환경국 환경보전과	석탄화력발전소 주변지역 주민건강영향조사(2차년도)
7	2017	기후환경국 기후환경정책과	2017년 충청남도 기후변화적응대책 세부시행계획 이행평가 연구용역
8	2017	기후환경국 환경보전과	충청남도 대기환경개선 5개년 종합계획 수립 연구용역
9	2016	기후환경국 환경보전과	석탄화력발전소 주변지역 주민건강영향조사(1차년도)
10	2016	기후환경국 물관리정책과	제2차 충청남도 기후변화 적응계획 수립용역
11	2016	기후환경국 환경보전과	충청남도 환경보건종합계획(2017~2020) 수립 용역
12	2016	환경국 환경정책과	화력발전소 기후환경 영향에 따른 중장기 대응전략 수립연구
13	2014	경제산업실 에너지산업과	충청남도 제2차 녹색성장 5개년계획 연구용역
14	2013	환경국 환경정책과	배출권거래제 대응전략 수립 연구용역

충청남도에는 태안화력발전소, 보령화력발전소, 당진화력발전소, 그리고 최근 상업운전을 시작한 신서천화력발전소가 위치하며(표 2-6) 원자력을 제외한 국가 전력생산의 상당부분을 차지하고 있다. 화력발전소에서는 다량의 대기오염물질이 배출되기 때문에 주변지역 주민들의 건강영향에 대한 각별한 관리를 위해 요구되는 관련 연구가 장기간 수행되고 있다.

【표 2-6】 국내 석탄화력발전소 사업수행 현황(출처: 한국전력기술)

구분	발전소	위치	용량	비고
1	보령 3~6호기	충남 보령시	500×4	운전중(SC)
2	태안 1~6호기	충남 태안군	500×6	운전중(SC)
3	삼천포 3,4호기	경남 고성군	560×2	운전중(Sub, Critical)
4	당진 1~4호기	충남 당진군	500×4	운전중(SC)
5	하동 1~6호기	경남 하동군	500×6	운전중(SC)
6	삼천포 5,6호기	경남 고성군	500×2	운전중(SC)
7	당진 5,6호기	충남 당진군	500×2	운전중(USC)

8	당진 7,8호기	충남 당진군	500×2	운전중(USC)
9	태안 7,8호기	충남 태안군	500×2	운전중(USC)
10	보령 7,8호기	충남 보령시	500×2	운전중(USC)
11	하동 7,8호기	경남 하동군	500×2	운전중(USC)
12	북평화력 1,2호기	강원 동해시	595×2	운전중(USC)
13	영흥 1,2호기	인천 옹진군	800×2	운전중(SC)
14	영흥 3,4호기	인천 옹진군	870×2	운전중(USC)
15	당진 9,10호기	인천 옹진군	1,000×2	운전중(USC)
16	신보령 1,2호기	충남 보령시	1,000×2	운전중(USC)
17	태안 9,10호기	충남 태안군	1,000×2	운전중(USC)
18	신서천화력	충남 서천군	1,000×1	건설중(USC)
19	강릉안인화력	강원 강릉시	1,000×2	운전중(USC)
20	고성하이화력	경남 고성군	1,000×2	운전중(USC)
21	삼척그린파워 1,2호기	강원 삼척시	1,000×2	운전중(USC)
22	동해 1,2호기	강원 동해시	200×2	운전중
23	여수 2호기	전남 여주시	340×1	운전중

충청남도에서는 도청 이외에도 산하연구기관인 충남연구원에서 대기환경과 관련된 지자체 단위의 많은 연구가 수행되었다. 최근 10년간 39개의 관련 연구가 수행된 것으로 조사되어 타 광역지자체에 비해 많은 수의 연구가 진행된 것으로 나타났다(표 2-7).

【표 2-7】 충남연구원서 최근 10년간(2012~2021) 자체적으로 수행한 대기환경 관련 정책 연구(출처: 충남연구원)

구분	추진연도	추진부서	연구과제명
1	2021	기후변화대응 연구센터	서해안권 초광역 대기질 개선 프로젝트 기획연구
2	2021	공간·환경연구실	수소버스 운영에 따른 도로부문 대기오염물질 배출량 감소 효과와 사회적 환경편익 검토
3	2020	기후변화대응 연구센터	화력발전소 영향관리지역 선정을 위한 대기기초자료 수집
4	2020	기후변화대응 연구센터	충청남도 미세먼지관리 시행계획(대기환경관리 시행계획) 수립
5	2020	기후변화대응	폐기물처리시설 신규운영에 따른 대기영향 분석

		연구센터	
6	2020	기후변화대응 연구센터	소형 어선에 의한 충남지역 대기오염물질 배출 및 영향분석 기초 연구
7	2020	기후변화대응 연구센터	충남 서북부 기초지자체의 미세먼지대응 행정협의체 운영 방안 연구
8	2019	공간·환경연구실	충청남도 도시-환경계획 통합관리방안
9	2019	기후변화대응 연구센터	대기보전특별대책지역지정을 위한 석유화학단지 영향 분석 용역
10	2019	기후변화대응 연구센터	태안군 대기오염물질 및 비산먼지 배출사업장 미세먼지 교육을 위한 기초정보
11	2019	공간·환경연구실	노후 화력발전소 가동중단과 대기질 개선효과 분석
12	2019	기후변화대응 연구센터	충청남도 민간대기측정망 통합운영시스템 구축
13	2019	기후변화대응 연구센터	충청남도 미세먼지 저감 시책발굴
14	2019	기후변화대응 연구센터	오염물질 배출시설 주변지역 과거 환경영향 기록복원 기초연구
15	2019	공간·환경연구실	홍성군 미세먼지 발생현황 조사
16	2019	공간·환경연구실	노후석탄화력발전소의 단계적 폐쇄와 친환경에너지(발전소) 전환 타당성 연구
17	2018	기후변화대응 연구센터	충청남도 대기오염 중점관리지역 정보관리 로드맵 수립
18	2018	공간·환경연구실	화력발전소 주변 어린이 건강영향조사
19	2018	공간·환경연구실	예산군 미세먼지 기본계획 수립을 위한 기초자료 분석
20	2018	기후변화대응 연구센터	미세먼지 중심 충청남도 대기환경개선 계획 대기오염물질 감축 목표량 설정
21	2018	공간·환경연구실	충남 친환경버스 도입 방안 검토
22	2017	기후변화대응 연구센터	대기환경규제지역 및 특별대책지역지정 시민인식도 조사
23	2017	기후변화대응 연구센터	대산공단지역 대기환경영향조사 용역
24	2017	공간·환경연구실	석탄화력발전소 가동중단에 따른 충남 대기질과 주민건강실태·정책인식조사 연구
25	2016	공간·환경연구실	환경 관련 부담금의 자치재원화 방안
26	2016	기후변화대응 연구센터	충청남도 대기오염물질 배출허용기준(안) 설정 연구
27	2016	기후변화대응 연구센터	충남, 행복한 1.5℃(대기환경분야)
28	2016	기후변화대응	충청남도 지역 대기환경기준 설정 기초 연구

		연구센터	
29	2016	공간·환경연구실	충남의 환경성질환자 실태조사 및 예방·관리방안 연구
30	2016	공간·환경연구실	충남 도로부문 대기오염물질 배출량 저감을 위한 교통정책 방안
31	2016	공간·환경연구실	레이콘 공장 입지에 따른 주변환경 및 인근 주민 건강에 미치는 영향 등 연구
32	2016	공간·환경연구실	대산석유화학단지 주변지역 환경영향조사 실시설계용역 방안 연구
33	2015	공간·환경연구실	연탄공장 신설에 따른 주변환경 영향 검토
34	2015	외부	지역환경과 지역경제의 상생을 위한 충남도 대기환경재원 개선 연구
35	2013	지역도시·문화 연구실	화력발전소 건설에 따른 환경 및 경제적 피해실태와 전망
36	2013	공간·환경연구실	환경분야 대형사업장 사업자의 책무 부여 방안
37	2013	지역도시·문화 연구실	충남의 발전관련 시설에 의한 환경 및 경제적 피해 분석 - 화력발전소를 중심으로
38	2012	지역도시·문화 연구실	태안군과 한국서부발전(주)의 환경협정 기준 마련
39	2012	환경생태연구실	충남형 대기환경개선 종합계획 수립 및 연도별 시행계획 연구

충남연구원에서 초기에는 화력발전소의 환경과 경제적 피해 부분과 관련된 연구가 주로 수행되었으나, 주민 건강과 환경영향 조사, 대기오염물질 배출 감축, 대기환경기준 등에 대한 연구가 수행되기 시작했고, 최근에는 노후석탄화력발전소의 가동중단이나 단계적 폐쇄와 관련된 대기질 개선효과 분석이나 어선에 의한 대기오염물질 배출 영향 까지 연구 영역이 확장된 모습을 보였다. 특히 대산석유화학단지나 레이콘 공장 주변, 태안군 사업장 등 지역 맞춤형 환경영향평가 연구가 다수 수행되어 해당지역의 대기오염 특징을 분석하고 주민들의 건강보호를 위해 노력하고 있다.

2. 대기환경(미세먼지) 대응 기술·저감 사업

환경부에서 설정한 대기오염물질 항목과 국가 대기환경 기준은 표 2-8과 같으며, 해당 기준을 달성하기 위해 각 지자체들은 기술·정책 학술연구를 추진하면서 연구결과를 반영한 대기오염 개선사업을 병행해 왔다. 일반적으로 상시 관측하는 6개 요소들(미세먼지, 초미세먼지, 오존, 이산화질소, 아황산가스, 일산화탄소)은 연간평균치와 함께 단기간의 고농도 노출 관점에서의 24시간평균치, 1시간평균치 기준이 함께 설정되어 있다. 이외에도 중금속인 납과 벤젠이 대기환경관리 기준으로 설정되어 있다.

[표 2-8] 국가 대기환경 기준(출처: 환경부 수도권대기환경청)

구분	항목	기준	측정방법
1	미세먼지(PM ₁₀)	연간평균치 50 μ g/m ³ 이하 24시간평균치 100 μ g/m ³ 이하	베타선흡수법 (β - Ray Absorption Method)
2	초미세먼지(PM _{2.5})	연간평균치 15 μ g/m ³ 이하 24시간평균치 35 μ g/m ³ 이하	중량농도법 또는 이에 준하는 자동측정법
3	오존(O ₃)	8시간평균치 0.06ppm 이하 1시간평균치 0.1ppm 이하	자외선광도법 (U.V Photometric Method)
4	이산화질소(NO ₂)	연간평균치 0.03ppm 이하 24시간평균치 0.06ppm 이하 1시간평균치 0.10ppm 이하	화학발광법 (Chemiluminescent Method)
5	이황산가스(SO ₂)	연간평균치 0.02ppm 이하 24시간평균치 0.05ppm 이하 1시간평균치 0.15ppm 이하	자외선형광법 (Pulse U.V. Fluorescence Method)
6	일산화탄소(CO)	8시간평균치 9ppm 이하 1시간평균치 25ppm 이하	비분산적외선분석법 (Non - Dispersive Infrared Method)
7	납(Pb)	연간평균치 0.5 μ g/m ³ 이하	원자흡광광도법 (Atomic Absorption Spectrophotometry)
8	벤젠	연간평균치 5 μ g/m ³ 이하	가스크로마토그래프법 (Gas Chromatography)

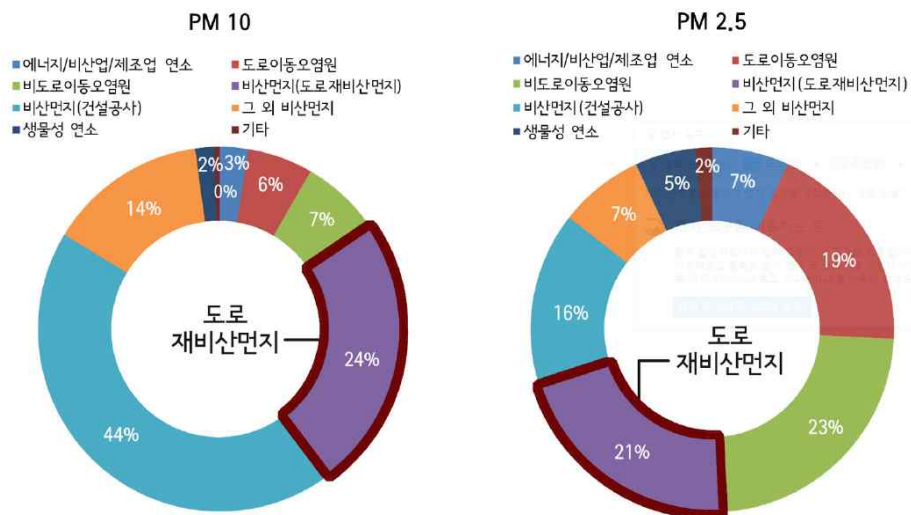
2-1. 서울시

서울시에서는 학술연구를 통해 도출된 방안들을 시정 관리에 적용해 대기환경 개선사업을 추진하고 있다. 서울시는 인구나 산업이 밀집한 메가시티로써 교통과 관련된 자동차 운행, 소규모 사업장 중심의 배출시설, 주거 및 에너지와 관련된 생활오염원들의 지속적인 모니터링과 과학적 관리기반을 구축하고 궁극적으로는 대기오염물질 감축을 위한 시민들의 자발적 참여를 독려하는 홍보를 강화해 왔다(표 2-9).

[표 2-9] 서울시 대기환경관리 시행계획 추진 내용(출처: 서울연구원 2018)

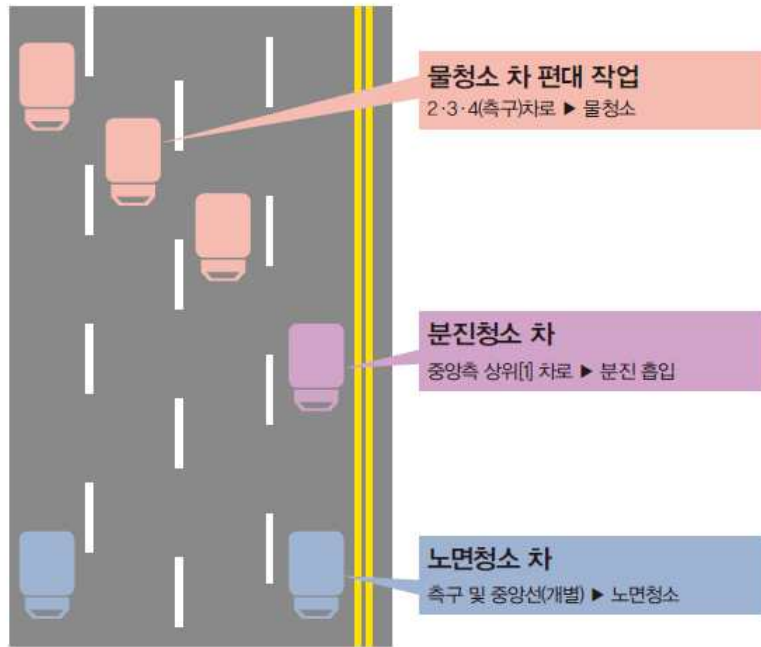
저감대책 구분	추진 내용
자동차 관리	<ul style="list-style-type: none"> 친환경자동차 보급 확대 제작차 배출허용기준 및 사후관리 강화 운행자동차 배출가스 관리 비도로 이동오염원 관리 교통수요 관리
배출시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> 대기오염물질 배출총량제 강화 총량 사업장 외 배출시설 관리
생활오염원 관리	<ul style="list-style-type: none"> VOCs, NOx 배출원 관리 PM10, PM2.5 배출원 관리 친환경 도시 관리 및 에너지 체계 구축
과학적 관리기반 구축 및 홍보 강화	<ul style="list-style-type: none"> 과학적 관리기반 구축 국내외 협력 강화 시민 홍보 및 친환경 생활 실천 민감계층 중점 보호

2015년 서울시에서 국가대기오염물질 배출량의 미세먼지와 초미세먼지 배출원별 비중을 살펴보면, PM₁₀ 은 도로재비산먼지가 배출량의 24% 로 나타났고, PM_{2.5} 에서도 21% 로 무시할 수 없는 수준이라는 점이 드러났다(그림 2-1). 서울시에서는 도로 주변 보행자가 타 도시에 비해 많기 때문에 도로재비산먼지로 인한 배출량을 저감하는 것이 미세먼지 노출을 줄이고 시민 건강을 지키는 가장 효율적인 방법 중 하나로 평가된다. 따라서 도로 주변의 대기 난류나 미세먼지 거동의 일반적 특성을 파악하고, 기상조건이나 보행자 활동까지 고려한 도로청소를 추진한다면 그 효과가 극대화 될 수 있다.



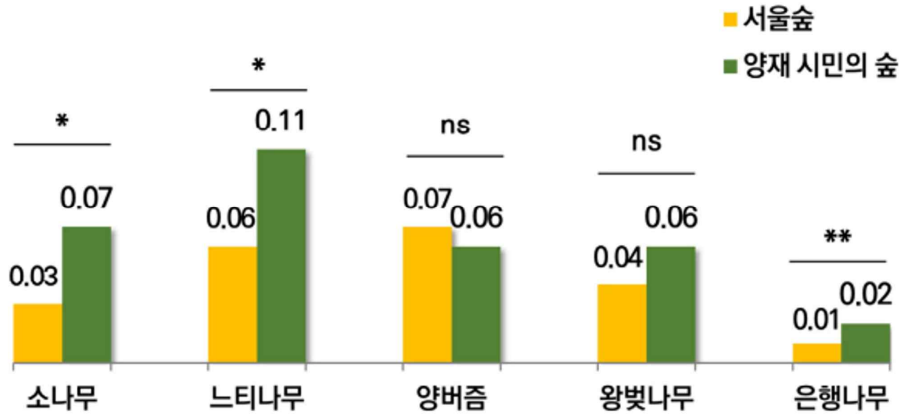
[그림 2-1] 서울시 미세먼지, 초미세먼지 배출원별 비중(출처: 서울연구원, 2018)

겨울철에는 물청소를 실시할 경우 노면이 빙결되어 2차 사고가 발생할 수 있기 때문에 도로 분진청소차량을 적극 활용하며, 일반적인 경우에는 그림 2-2와 같이 물청소, 분진청소, 노면청소 차가 편대 운행하여 도로재비산먼지 배출량을 삭감한다.



【그림 2-2】 물청소, 분진청소, 노면청소 차의 체계적 작업 위치(출처: 서울정책아카이브)

또한 서울시에서는 미세먼지 흡착효과를 고려한 입체적 그린인프라를 조성하여 대기환경 개선을 위해 노력하고 있다. 잎 단위면적에 따른 미세먼지 흡착량을 도시 가로수 종별로 분석한 결과, 느티나무가 가장 효율적으로 미세먼지를 흡착하는 것으로 나타났다(그림 2-3). 이러한 결과는 엽면적지수를 적용하여 실제 효율로 살펴봐도, 느티나무의 흡착 효율이 가장 높은 것으로 나타났다. 그러나 고농도 미세먼지가 발생하는 겨울과 봄철에는 낙엽활엽수종의 흡착 효과가 상대적으로 낮아질 수 있기 때문에, 추운 계절에도 흡착 효과가 나타날 수 있는 소나무, 스트로브 잣나무 등 상록교목도 생육환경에 따라 적절하게 활용해야 하며, 서울시에서는 공원이나 가로수 배치 등 연결성까지 고려하여 그린인프라를 확충하고 있다.



[그림 2-3] 잎 단위면적에 따른 미세먼지 흡착량(mg/cm², 출처: 서울연구원, 2018)

이외에도 탄소배출을 저감하여 기후변화에 대응하고 미세먼지 및 전구체 배출을 관리하기 위해 서울시에서는 전기차 보급을 꾸준히 추진해 왔다. 2021년 하반기에도 전기차 보급 예산 1,219억 원을 추가로 확보하여 11,201대 추가 보급을 추진한다. 이를 통해 2021년에만 22,980대의 전기차를 보급할 예정이다. 현재 출시된 전기차 중 승용차 57종, 화물차 16종, 이륜차 77종에 대해 국고와 시비로 구매보조금을 지원하고 있다(그림 2-4). 차량 가격에 따라 보조금을 차등 지원하며, 전기화물차의 경우 일부 법인의 독점을 막고 개인의 구매 기회를 확대하기 위해 법인 구매 대수를 10회로 제한했다. 전기이륜차와 대형 전기승합차의 경우, 보조금 부정수급 사례 방지를 위해 구매자의 자부담률을 높였고, 서울시 산하기관에서 업무용 차량을 구매하거나 임차할 때 전기·수소차를 의무 도입했다. 이외에도 배출가스 5등급 차량을 폐차한 후 전기차를 구매할 경우, 별도로 70만원을 지원하여 도로이동오염원에서의 배출을 줄이기 위해 노력하고 있다.



[그림 2-4] 서울시 전기차 홍보와 구매보조금 지원 웹페이지(출처: 서울시)

아래 표 2-10 과 같이 차종과 가격 구간별로 보조금이 상이하기 때문에 환경부 저공해차 통합누리집(www.ev.or.kr)에서 확인하여 구매보조금 지급 대상과 금액을 확인할 필요가 있다.

[표 2-10] 민간 보급 전기승용·화물차 구매 보조금(단위: 만원/대, 출처: 서울시)

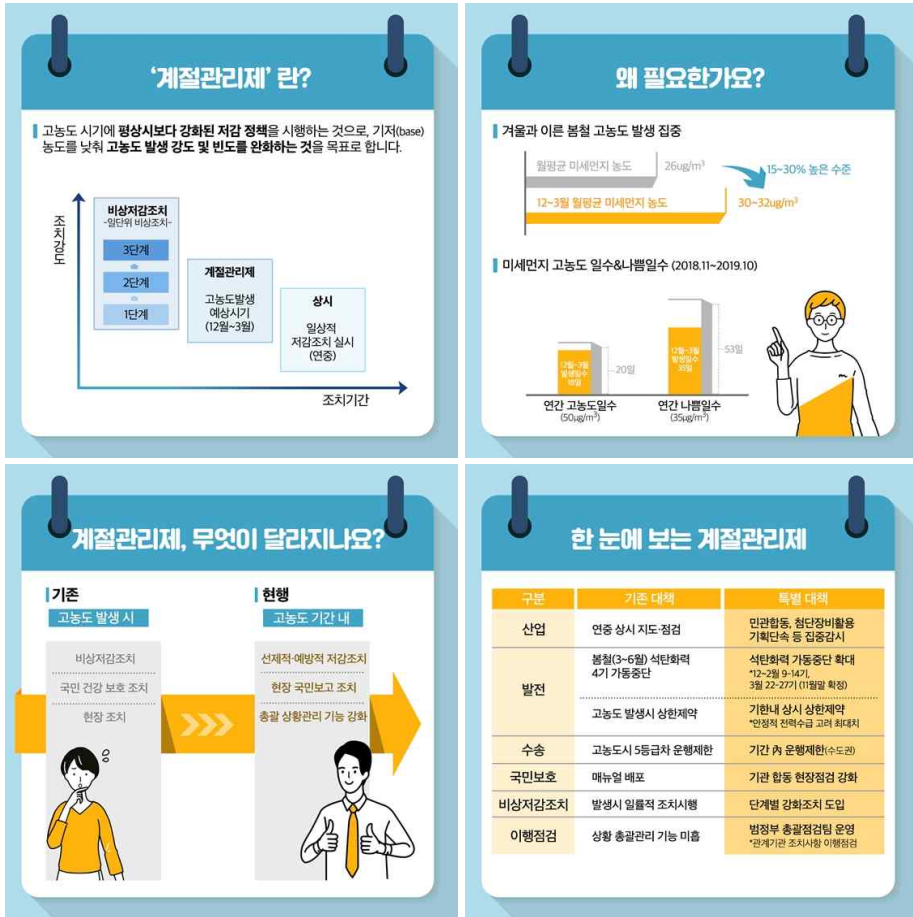
대상차종	계	국비보조금	시비보조금
전기승용차(일반)	493.5~1,200	329~800	164.5~400
전기승용차(초소형)	680	400	280
전기화물차(소형)	2,400	1,600	800
전기화물차(소형특수)	3,150	2,100	1,050
전기화물차(경형)	1,650	1,100	550
전기화물차(초소형)	900	600	300

생활오염원 관리를 위해 10년 이상 노후 가정용 보일러 37,000대 교체에 보조금을 지원한다(그림 2-5). 노후 보일러를 교체하고자 하는 주택의 소유주에는 20만원, 저소득층일 경우에는 60만원을 지원한다. 서울시는 지난 2015년부터 2020년 12월까지 친환경 보일러 약 23만대를 지원하여 질소산화물 460톤, 이산화탄소 44,000톤을 저감하였고 도시가스도 29,360가구가 1년간 사용하는 수준을 절감하여 미세먼지 및 열효율의 개선을 달성하였다.



【그림 2-5】친환경 보일러 교체 보조금 지원 포스터(출처: 서울시)

최근에는 미세먼지 고농도가 자주 발생하는 12월~3월(4개월)에 기저 농도를 낮추고자 강력한 대기오염물질 감축정책을 추진하는 미세먼지 계절관리제가 시행되고 있다. 이를 통해 미세먼지 고농도 발생 빈도와 강도를 낮추고 시민들의 노출을 줄이고자 노력하고 있다. 구체적으로는 서울시 전 지역에 배출가스 5등급 차량(전국 약 146만대)의 평일 06~21시 운행 제한, 공공기관 차량 2부제 실시, 시영주차장 주차요금 할증 및 인상, 난방에서 에코마일리지 특별포인트 도입, 대형건물 적정 난방 온도 집중관리, 대기오염물질 배출사업장 관리 강화, 노후 건설기계 사용 제한, 도로청소 강화, 다중이용시설 실내 공기질 점검 등이 추진된다.



[그림 2-6] 미세먼지 계절관리제 환경부 카드뉴스(출처: 환경부)

환경부에서 발표한 '제2차 미세먼지 계절관리제' 시행 결과에 따르면, 2020년 12월~2021년 3월 기간 동안 전년도에 비해 초미세먼지 평균농도는 16% 개선되었고 '나쁨' 일수도 33일에서 20일로 감소했다고 알려졌다. 이는 주로 발전과 산업부문의 미세먼지 배출량 감축으로 인해 나타난 결과로 해석되고, 수송과 생활부문에서 더 노력해야 한다는 점이 과제로 남았다. 따라서 여전히 차량과 생활배출원이 서울시가 해결해야 할 문제로 인식되고 있으며, 다양한 연구와 정책들이 꾸준히 실행되고 있다.

2-2. 경기도

국내 가장많은 인구가 거주하고, 도내 다양한 종류의 발전과 산업 시설이 위치한 경기도에서도 미세먼지 저감과 대기환경 개선을 위해 다양한 사업들이 추진되어 왔다

(표 2-11). 분야별 5대 중점관리과제를 비롯하여 총 71개 세부사업계획을 수립하여 추진하고 있다.

[표 2-11] 경기도 대기환경관리 시행계획 중점관리과제 및 추진 내용(출처: 경기도 2020)

중점관리과제	추진 내용
도로이동오염원 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 저공해차 보급확대 • 노후경유차 퇴출 가속화 • 교통수요관리
비도로이동오염원 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 건설·농업기계 관리 강화 • 선박·항만 배출원 집중 관리
배출시설 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 사업장 총량관리제 강화 • 사업장 배출기준 및 감시 강화
생활오염원 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 생활 주변 배출권 관리 강화 • 생활 주변 미세먼지 관리 강화 • 도시내 ECO-인프라 확충 • 도민건강 보호 • 민감·취약계층 건강보호 기반 강화 • 실내공기질 관리 강화
정책기반 강화 및 도민소통·참여 확대	<ul style="list-style-type: none"> • 정책기반 강화 • 국내·외 협력 • 소통·홍보

경기도에서는 도로이동오염원 관리 부문에서 저공해차 보급 확대를 위해 전기차 및 수소연료전지차와 같은 친환경자동차 보급 확대 뿐만 아니라 충전소 인프라를 확충하고 배출가스 등급제를 실시하여 산업 체질을 바꾸는 노력을 지속적으로 추진하고 있다(그림 2-7). 또한 제작차 배출허용기준을 강화하고, 노후 경유차의 저공해 조치 확대 또는 운행제한 확대 및 퇴출을 적극적으로 추진하고 있다. 어린이 통학 및 택배용 신규 경유차 사용을 제한하고 운행차 검사 관리도 강화하고 있다. 여기에 광역급행철도를 확충하고 공공버스 확대, 광역환승센터 설치 등 교통수요관리를 통해 도로이동오염원에 의한 배출량 저감을 다각도로 진행하고 있다.



전기자동차 충전인프라 확충



노후경유차 단속

【그림 2-7】 경기도 도로이동오염원 관리 정책(출처: 아시아경제, 경인일보)

비도로이동오염원을 관리하기 위해 경기도에서는 노후된 건설·농업기계에서 배출되는 대기오염물질을 저감하기 위해 저공해 조치를 추진하고 정밀검사를 확대하고 있다(그림 2-8). 또한 서해와 맞닿아 있는 항만에서 선박 등에 의한 배출을 저감하기 위해 미세먼지 저감장치를 설치하거나 선박 연료유 황 함유량의 기준을 강화하고, 대형항만 배출규제해역 지정을 추진하는 등 다양한 조치를 취하고 있다. 항만과 관련된 부분은 환경부 뿐만아니라 해양수산부와 긴밀히 공조하여 친환경 항만 인프라 구축을 진행하고 있다.



노후 건설기계 저공해화 사업



저유황 연료유 사용 의무화

【그림 2-8】 경기도 비도로이동오염원 관리 정책(출처: 경기도, 연합뉴스)

배출시설 관리와 관련하여, 배출총량을 기준으로 사전 예방적으로 오염물질별 배출허용총량을 설정하고 배출량을 사업장별로 할당하는 사업장 총량관리제를 강화하였다(그림 2-9). 총량관리제는 질소산화물과 황산화물, 미세먼지를 대상으로하며 질소산화물과 황산화물을 최근 2년 동안 4톤 이상 배출하였거나, 미세먼지 연간 배출량이 0.2톤 이상인 사업장을 대상으로 실시하고 있다. 또한 사업장 배출기준 및 감시를 강화하

고 있으며, 소규모 사업장 방지시설 설치를 지원하고 굴뚝감시체계를 구축하며, 오염 물질 배출 측정값 조작 방지 및 데이터 공개를 통해 도민들에게 투명하고 신뢰도 있는 결과값을 제공하고자 노력하고 있다.



사업장 총량관리제 대상 지역



굴뚝감시체계 구축

[그림 2-9] 경기도 배출시설 관리 정책(출처: 환경부)

생활오염원 관리와 관련하여 주유소 유증기 회수설비 설치를 지원하고, 도료 VOCs 함유기준 강화, 수성도료 확대, 사업장 저NO_x 버너 설치 지원, 도심 난방시설 관리 및 지원 강화, 소규모 배출원 관리 강화, 축산·경종 분야 암모니아 관리 강화 등이 추진되고 있다(그림 2-10). 또한 소규모 배출원 관리 강화로 인해 유기용제나 연소 오염 물질의 직접 배출 사업장 관리 강화를 시행하고 있다. 이외에도 생활 주변 미세먼지 관리 강화를 위해 건설현장 비산먼지 배출 저감, 영농폐기물·부산물 불법소각 방지, 도로 먼지 제거장비 보급 확대 등 다양한 정책들이 추진되고 있다. 도시 내 ECO-인프라 확충을 위해서는 미기후 개선을 위한 도시숲 조성과 건축물 내·외부 녹화사업 추진, 집단 에너지 보급, 에너지 자립마을 조성 사업들을 추진하고 있다. 민감·취약계층 보호를 통한 도민건강 보호를 위해 계절관리제를 시행하고 미세먼지 집중관리구역, 맑은 숨터 조성사업을 수행하고 있다.



저NO_x 버너 설치

마지막으로 도민 소통과 참여 확대를 통해 앞서 기술한 정책들이 자발적으로 수행될 수 있도록 홍보와 협력을 강화하고 있다(그림 2-11). 경기도 대기측정망을 확충하고 정보시스템을 고도화하며, 대기오염 종합정보를 실시간으로 공개하고 있다. 또한 중국과의 공동협력과 공동대응을 위해 국제행사 등을 개최하고 민간 홍보와 체험교육센터 등을 운영하고 있다.



경기도-중국 국제협력

2-3. 충청남도

44

[표 2-12] 충청남도 시행계획 중 미세먼지 저감대책 목표(출처: 충청남도 2020)

부문	전략
배출시설	<ul style="list-style-type: none"> 발전소·사업장 대기오염물질 총량 관리 시행 석탄화력발전소 배출 저감 사업장 관리체계 개선
도로이동오염원	<ul style="list-style-type: none"> 저공해차 전환 및 보급 확대 중대형 승합·화물차 배출 저감 교통 수요 관리 강화
비도로이동오염원	<ul style="list-style-type: none"> 건설·농업기계 관리 강화 항만·선박 및 공항 관리 강화
생활오염원	<ul style="list-style-type: none"> 도심 미세먼지 발생원 저감
농업·농촌 미세먼지 관리 강화	<ul style="list-style-type: none"> 정책기반 강화 및 국민소통·참여 확대

중부권 대기환경 개선 목표와 충청남도에서 자체적으로 설정한 기준을 합쳐 최종적으로 2024년 목표를 PM_{10} $34 \mu g/m^3$, $PM_{2.5}$ $16 \mu g/m^3$, NO_2 0.014 ppm, O_3 0.06 ppm로 설정하였고 이를 달성하기 위해 다양한 기술개발과 사업을 통해 노력하고 있다.

배출시설에 대한 대기환경 개선사업은 주로 발전소, 제철소를 포함한 대형배출시설에 대한 관리 강화 및 조기폐쇄, 가동 상한 제약 및 중지, 또는 총량관리제 수행 등으로 구성되어 있다(그림 2-12). 또한 사업장 배출허용기준 강화 및 TMS 대상시설 증대와 부착 의무화 등 배출량 저감을 위해 다양한 사업들이 진행되고 있다. 특히 노후 석탄화력발전소의 폐쇄 여부는 국가적 관심사로써 대기오염 뿐 만 아니라 에너지 및 전력 수급, 일자리 및 지역 경제와 맞물려 있는 복합적인 문제로 대두되고 있다. 충청남도에서는 노후 발전소 폐쇄에서 그치지 않고 폐쇄로 인해 발생하는 다양한 사회경제적 문제까지 해결해야 할 필요성이 존재한다.



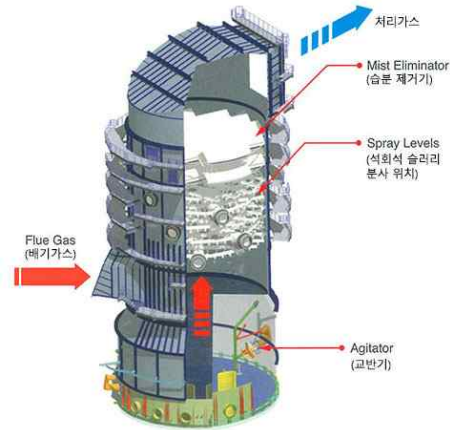
신보령화력발전소



보령 화력발전소 폐쇄 기사



화력발전소 가동중단



<탈황설비 설비구성도>

방지사설(탈황설비) 설치

[그림 2-12] 충청남도 배출시설 관리 정책(출처: 이론경제, SBS)

도로이동오염원의 배출량 저감과 관련하여, 전기차와 수소차 등 저공해차량으로의 전환을 유도하고 기존 노후 경유차의 조기 폐차 및 DPF 부착 사업을 추진하고 있다(그림 2-13). 구체적으로는 운송 및 물류를 위한 중대형 화물차량의 도내 활동이 많기 때문에 친환경 모빌리티로의 전환을 위해서 충전소를 확보하고 친환경 자동차의 보급을 확대하며, 차량운행 제한구역(LEZ) 등을 시행하고 있다. 또한 대도시권 노선버스 CNG 버스로의 교체, 도로 살수 시스템 구축, 타이어 마모등급제 시행 등 다양한 방안들을 실행하고 있다.

노후경유차 조기폐차 지원사업



지원대상 배출가스 5등급 경유 자동차 및 2005년 이전 배출허용 기준을 적용하여 제작된 도로용 3종 건설기계

신청기간 2021. 3. 8.(월) ~ 3. 12.(금)

3. 8.(월)	3. 9.(화)	3. 10.(수)	3. 11.(목)	3. 12.(금)
대산,상안,지곡	안지,부석,부춘	월명,정안1,정안2	석남,수석,음암	해미,고백,운산


신청방법 자동차등록증, 정기검사 결과표, 신분증, 소유주 명의 통장 사본

신청방법 현지 방문접수(서산종합운동장) 및 우편접수

문의처 서산시 환경생태과 (☎ 660-3370) 

노후경유차 조기폐차 지원사업

어린이 통학차량 LPG차 전환지원 사업




어린이 통학차량 LPG차 전환지원 사업이란?
미세먼지를 줄이고 어린이 건강을 보호하기 위해 LPG 통학차를 신차로 구입 시 보조금 700만원을 지원하는 사업입니다.

사업대상 어린이 통학용 소형 승합차(9~15인승) LPG 차량을 신규 구입하고 어린이통학차량 신고필증 주소지를 서산시로 등록하려는 자
※ LPG 외 연료 어린이 통학차량을 구입 후 2개월 내 LPG 전환 차량

신청기간 2021. 01. 25. ~ 2021. 10. 29. ※ 예산 소진 시 조기 마감

지원대수 39대

지원문의 서산시 환경생태과(041-660-3060)

환경부  어린이 LPG 차량

어린이 통학차량 LPG차 전환지원 사업

[그림 2-13] 충청남도 도로이동오염원 관리 정책(출처: 뉴스1, 굿뉴스)

충청남도에서는 건설현장과 농업활동에서 노후된 기계의 대기오염물질 배출과 대규모 항만 주변에서의 선박 배출이 비도로이동오염원 배출 중 큰 비중을 차지하기 때문에, 이에 대한 각별한 관리를 추진하고 있다(그림 2-14). 노후 건설기계에는 DPf를 부착하거나 엔진을 교체하여 에너지 효율 증가와 대기오염물질 배출 감소를 추진하고 있으며, 노후 농기계는 조기 폐차 사업을 시행하고 있다. 또한 항만에서도 선박 육상전원 공급시설(AMP)을 확충하여 선박의 엔진가동률을 줄이고, 선박별 배출허용기준을 신설하여 관리감독이 가능한 체계를 구축하고 있다. 특히 AMP는 발전소에서 생산한 전력을 항만에서 수송선에 직접 공급하여 하역 작업에 필요한 동력을 안정적으로 확보할 수 있도록 하는 시스템으로써, AMP를 활용하면 벙커C유를 사용하여 선박 엔진의 가동을 유지할 때보다 대기오염물질 배출량을 약 96%까지 줄일 수 있다고 알려져 있다.



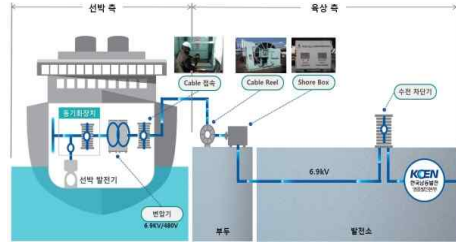
노후 지게차 저공해 엔진교체



선박 대기오염물질 배출 관리



충청남도 육상전력공급설비 설치공사 준공



육상전력공급설비

[그림 2-14] 충청남도 비도로이동오염원 관리 정책(출처: 충청뉴스, 현대해양, 엠뉴스, 에너지 신문)

충청남도에서의 생활오염원 관리는 농어촌 미세먼지 관리 강화, 도심지역 미세먼지 발생 저감으로 나누어 추진하고 있다(그림 2-15). 특히 농어촌 지역에서는 나대지 정비사업이나 노천소각 방지 및 지도점검, 축산시설의 악취저감시설 지원이 대표적이다. 도심지에서는 청소차량 보급 확대, 비산먼지 발생사업장 관리 대상 확대, 도심 악취시설에 대한 방지시설 설치 의무화, 4-5종 사업장 배출저감시설 설치 지원등이 추진되고 있다.



노천소각 실태



소규모 사업장 방지시설 설치

[그림 2-15] 충청남도 생활오염원 관리 정책(출처: 환경일보, 충청뉴스)

마지막으로, 정책기반 강화 및 국민소통·참여 확대 부문으로써, 환경교육 활성화, 국가주도 R&D 사업 유치 및 활용, 대기환경 전문학술대회 유치, 미세먼지 연구추진단 운영, 지역 민간감시단 역량강화등을 추진하고 있다(그림 2-16). 도내 실행 주체들의 적극적인 참여를 유도하여 앞서 언급한 정책들의 효율성을 극대화 하기 위해 노력하고 있다.



찾아가는 환경교육 서비스



환경지킴이 출범

[그림 2-16] 충청남도 도민 소통·참여 확대 정책(출처: 금강일보, 당진신문)



03 고농도 미세먼지 발생시 지역별 대기오염 농도변화 특성

1. 분석 전,
2. 분석 전,

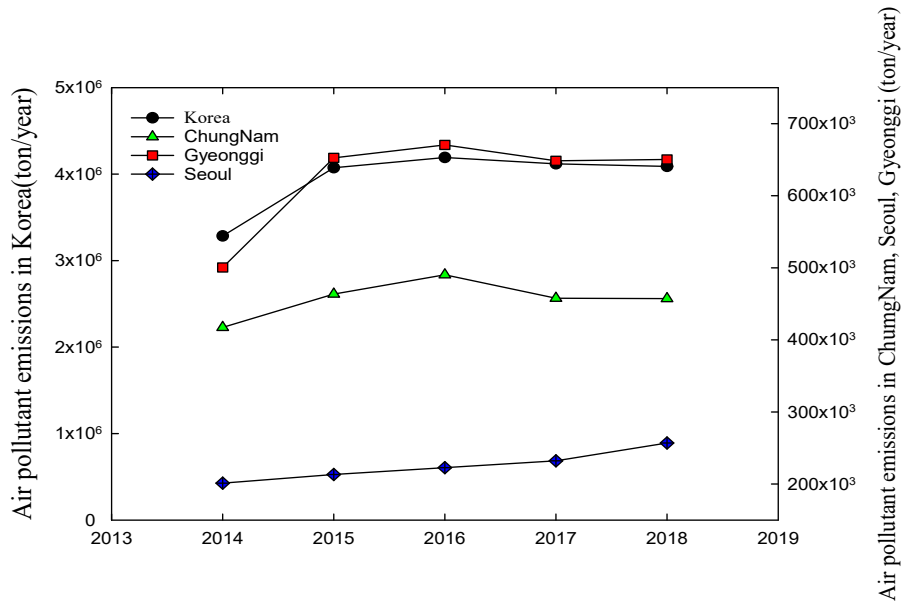
03.

특성

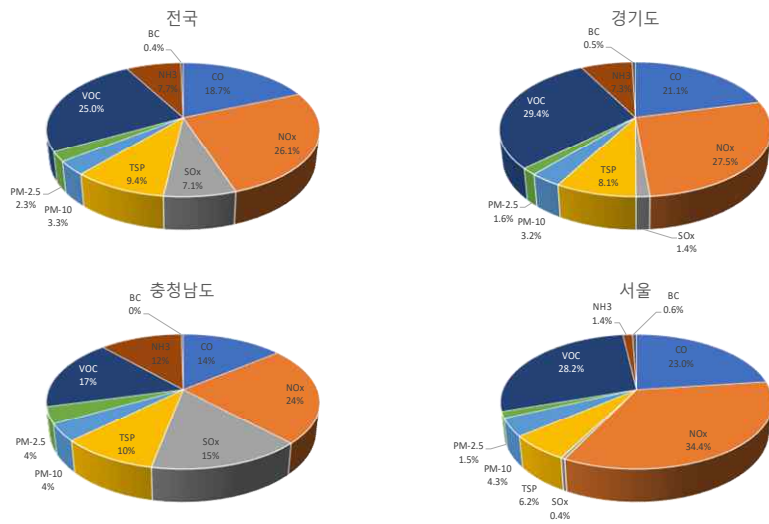
1. 대기오염물질 배출량 및 농도 변화 추이

1-1. 전국, 서울시, 경기권, 및 충청남도의 대기오염물질 배출량 추이

각 도의 대기오염물질 배출량은 환경부의 국가미세먼지정보센터에서 제공하고 있는 대기정책지원시스템(Clean Air Policy System, CAPSS)을 기준으로 작성하였다. 2014년 3.28×10^6 ton/년이었던 대기오염물질 배출량은 2018년 4.01×10^6 ton/년으로 24.5% 증가한 것으로 나타났다. 전국에서 대기오염물질 배출량 1위의 경기도는 2014년 5.0×10^5 ton/년에서 2018년 6.5×10^5 ton/년으로 30.0% 증가하였고, 전국 배출량 2위인 충청남도는 2014년 4.2×10^5 ton/년에서 2018년 4.6×10^5 ton/년으로 9.6% 증가한 것으로 나타났다. 서울은 2014년 2.0×10^5 ton/년에서 2018년 2.6×10^5 ton/년으로 27.6% 증가한 것으로 나타나 절대적인 증가량은 경기도 > 서울시 > 충청남도 순인 것으로 확인되었다. 지역별 오염물질 비율은 전국의 경우 NO_x가 26.1%로 가장 높은 비율을 차지하고 있었고, VOC 25.0%, CO 18.7%, TSP 9.4% 순으로 나타났다. 경기도의 경우 VOC가 29.4%로 가장 높은 비율을 차지하고 있었고, NO_x 27.5%, CO 21.1%, TSP 8.1%로 나타났다. 경기도의 경우 인쇄소, 도장시설, 세탁, 출판 등 소형 사업장들이 많고, 화성, 군포, 안산, 동탄 등 다수의 중소형 산업단지가 위치해 있어 이들 시설에서의 VOC 배출이 큰 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 충청남도 또한 NO_x가 23.5%로 가장 큰 비율을 보이고 있으나 그 뒤를 이어 VOC 17.1%, SO_x 15.3%, CO 14.3%로 전국 및 경기도에 비해 상위권 오염물질간 배출비율이 유사한 수준을 보였다. 특히 경기도나 서울시에 비해 압도적으로 높은 SO_x 배출량을 보이고 있는데 이는 전국의 59기 석탄화력발전소 중 29기가 충청남도에 위치하여 배출하고 있는 것에서 기인한 결과로 판단된다. NH₃ 또한 전국 및 경기도, 서울시에 비해 높은 비율을 차지하는데 이 또한 충남의 주요 산업이 에너지 생산 외 농축산업이기 때문에 여기서 배출된 NH₃의 영향인 것으로 판단된다. 서울시의 경우 선행연구에서 주요 배출원이 이동오염원인 것으로 알려져 있는데 배출원 또한 NO_x와 VOC, CO가 나란히 1~3위를 차지하는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 3-1] 전국 및 각 시도 배출량 추이



[그림 3-2] 전국 및 각 시도 오염물질 배출 비율 (2018년도)

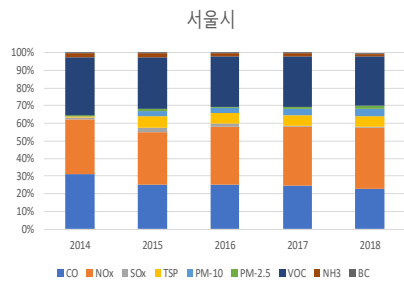
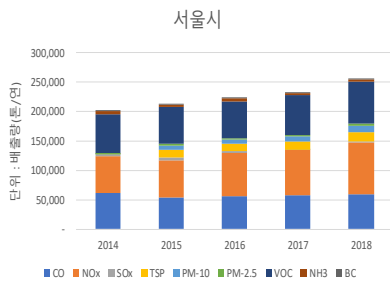
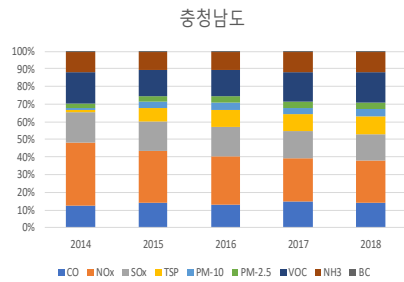
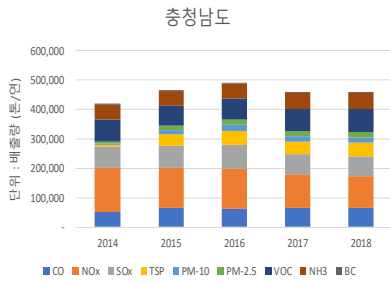
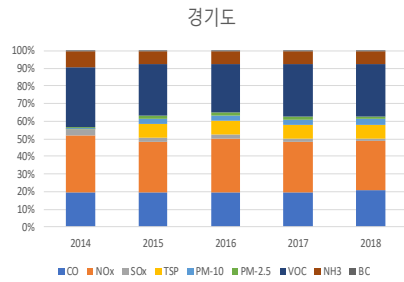
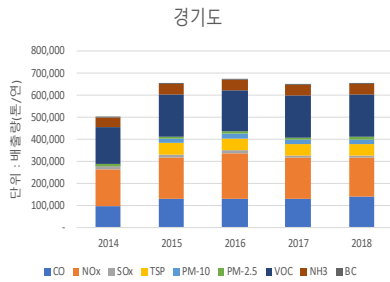
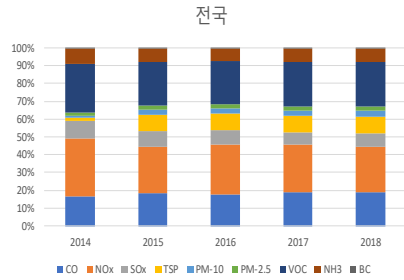
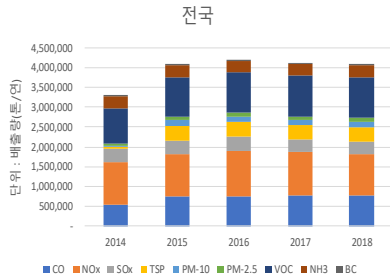
전국의 대기오염물질 총 배출량은 2014년 대비 2018년 단순 비교시 24.5%가 증가한 것으로 보이지만 2016년 최대 배출량을 보인 후 2017년, 2018년 소폭 감소추세에 있는 것으로 보인다. 2014년 32.3%로 가장 높은 비율을 차지하던 NO_x가 2018년 26.1%로 감소하였고, SO_x, VOC 및 NH₃도 소폭 감소하였다. 반면 TSP가 1.5%에서 9.4%로 증가하였는데 이는 2015년부터 추가된 비산먼지의 영향인 것으로 판단된다. 2015년 이후 TSP를 비롯한 PM₁₀과 PM_{2.5} 비율은 유사한 수준으로 확인되었다.

경기도는 2014년 대비 2018년 30.0%가 증가하였는데 그 중 가장 많이 증가한 오염물질은 비산먼지의 영향을 받은 입자상 오염물질(TSP, PM₁₀, PM_{2.5})을 제외하고는 CO로 확인되었다(1.6% 증가). 그 외에는 모든 물질에서 고르게 감소폭을 보였으며, 특히 NO_x와 VOC의 감소폭이 크게 나타났다. 전국이나 서울-충청남도의 경우 NO_x의 배출량이 가장 큰 반면 경기도는 VOCs 배출량이 대기오염물질 배출량 중 가장 큰 비율을 차지하고 있으며, 경기도 또한 전국과 마찬가지로 2016년 최대농도를 찍고 2017년과 2018년도는 감소추세를 보이고 있다.

충청남도 역시 전국 및 경기도와 마찬가지로 2018년 최고 배출량을 보인뒤 감소추세에 있다. 물질별로는 2014년 36.0%까지 차지했던 NO_x의 비율이 23.5%로 12.5%나 감소하였고, SO_x와 VOC가 소폭 감소하였다. 전체적인 배출량 측면에서는 경기도에 이어 2위를 차지하고 있지만 2014년 대비 2018년 증가율은 전국 및 경기, 서울시가 20%대 증가율을 보인 반면 충청남도는 9.6%로 상대적으로 저조한 증가율을 보였다. 충청남도는 서울시나 경기도와 다르게 대형배출사업장에 의한 기여도가 높는데 이에 대한 개선을 위해 도 차원에서 지역 내 주요 배출사업장과의 지속적인 자발적 감축 협약을 추진해오고 있는데 이에 따른 증가 감축 효과가 반영된 결과로 판단된다.

서울시는 전체적인 대기오염물질 배출량면에서는 경기도나 충청남도의 절반에도 미치지 못하는 배출량을 보이고 있다. 하지만 전국과 경기도 및 충청남도가 2016년 이후 감소추세를 보이는 반면 서울시의 경우 지속적인 증가추세를 보이고 있으며, 그 증가 추세 또한 최근에 가까워질수록 더욱 가파른 상승세를 보이고 있다. 2014년 기준 VOC가 32.9%로 가장 높은 비율을 차지하였고, NO_x 31.0%, CO 30.9% 순이었으나 2018년에는 NO_x가 34.4%로 가장 높은 비율을 차지하였고, VOC와 CO는 비율이 감소하여 각각 28.2%와 23.0%로 나타났다.

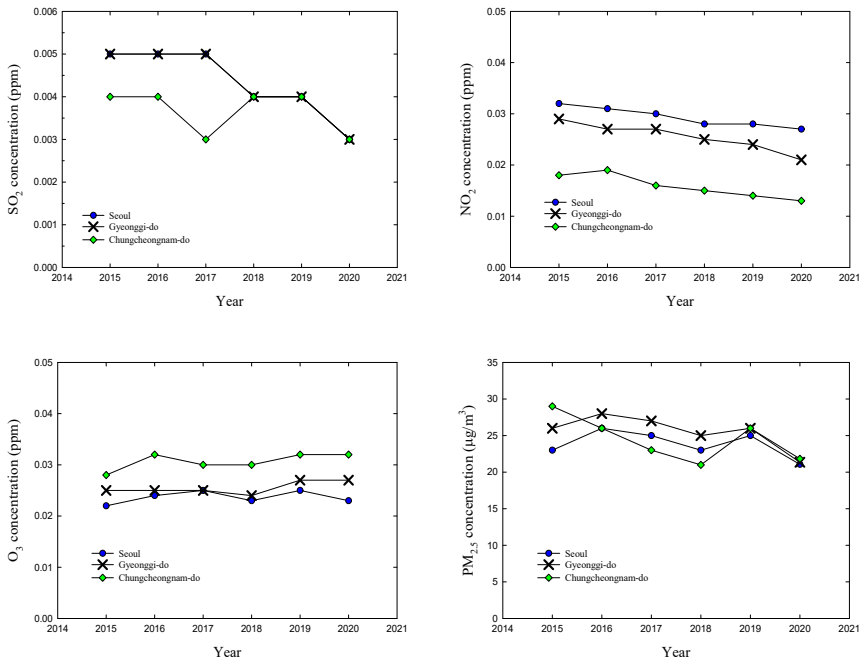
최근 2차 생성 에어로졸의 전구물질로 관심받고 있는 NH₃의 경우 충청남도가 11.4~11.6%로 가장 높은 비율을 보였고, 경기도 9.2~7.2%, 서울시 2.3~1.4%로 나타났다. 이는 NH₃의 배출원이 농축산업이다 보니 농축산업에 대한 기여율이 큰 충청남도나 경기도 서울시 순으로 나타난 것으로 판단된다. 추후에서는 NH₃를 포함한 2차 생성 에어로졸의 전구물질들에 대한 추가 조사가 수행되어야 할 것이다.



[그림 3-3] 전국 및 각 시도 오염물질 배출량 증가 추이 및 비율

1-2. 전국, 서울시, 경기도, 및 충청남도의 대기오염물질 농도변화 추이

서울과 경기도, 충청남도에 위치한 도시대기측정망 자료를 기반으로 최근 6년간 지역별 대기오염수준을 검토하였다. 서울시의 경우 25개 구에 1개소씩 총 25개의 도시대기측정망이 운영 중에 있으며, 경기도의 경우 2015년 72개소에서 2020년 88개소로 6년 사이 16개의 측정소가 증축되었다. 이는 경기도가 31개 시군으로 구성되어 있는 것을 감안했을 때 1개 시군에 2.8개 정도의 측정소가 운영 중인 셈이다. 충청남도는 2015년 7개소에서 2020년 31개소로 4.4배나 증가하였다. 충청남도가 15개 시군으로 구성된 것을 감안하면 1개 시군에 2.1개소 정도가 운영 중인 것으로 나타난다. 환경부(국립환경과학원)에서 발간한 도시대기측정망 설치·운영 지침에 따르면 도시대기측정망의 설치운영지역에 대한 고려시 수혜 인구를 우선적으로 고려하도록 되어 있다. 이 러다보니 좁은 밀집지역에 다수의 인구가 몰려있는 서울시의 경우 구별로 1개소씩 측 정소가 운영되고 있는 반면, 넓은 면적에 인구가 분포되어 살고 있는 경기도나 충청남 도와 같은 경우 상대적으로 1개소당 담당하게 되는 면적이 넓다. 이렇다 보니 충청남 도의 경우 대형배출시설이 밀집되어 있는 당진시, 서산시, 보령시, 태안군 보다는 인구 밀집지역은 천안시나 안산시에 측정소가 몰리게 되는 현상이 발생하게 되었다. 추후에 는 이러한 현장사정을 감안한 측정소 분배와 관리가 필요할 것으로 판단된다.



[그림 3-4] 3개 시도의 대기오염물질 변화 추이

이산화황(SO_2)은 주로 화석연료인 석탄이나 석유의 연소과정에서 배출되며, 과거에는 자동차 배기가스에서 많이 배출되는 것으로 알려져 있었으나 대기오염관리 규정이 강화되면서 탈황기술이 적용되어 자동차 배기가스 중 황성분의 비율은 많이 감소시킨 상태이다. 전국적으로 서울과 경기도, 충청남도 2015년 0.005 ppm 및 0.004 ppm에서 2020년 모두 0.003 ppm으로 지속적으로 감소추세로 확인되었다. 전국과 서울시, 경기도의 경우 SO_2 의 배출량 역시 감소추세에 있으며, 연평균 기준치인 0.02 ppm보다 한참 낮은 수준으로 나타났다. 하지만 충청남도의 경우 석탄화력발전소의 영향으로 SO_2 의 배출량이 정체 상태이거나 소폭 상승하는 것으로 나타나는 것에 반해서는 농도값은 서울 및 경기도와 마찬가지로 감소하고 있는 것으로 확인되었다.

이산화질소(NO_2)는 $\text{PM}_{2.5}$, O_3 과 더불어 선진국형 오염물질로 분류되고 있다. 서울시와 같은 대도시의 경우 자동차 배기가스가 주요 배출원으로 알려져 있으며, 경기도와 충청남도의 경우 사업장 연소 및 발전소, 산업단지가 주요 배출원으로 알려져 있다. NO_2 는 연료 및 대기 중 질소성분이 연소과정에서 반응하여 나타나는 것으로 관리가 쉽지 않다. NO_2 에 대한 국가 대기환경기준은 연평균농도 기준 0.03 ppm이다. 2015년 서울시와 경기도는 각각 0.032 ppm과 0.029 ppm으로 약간 상회하거나 유사한 수준을 보였지만 2020년에는 0.027 ppm과 0.021 ppm으로 많이 감소한 것으로 확인되었다. 충청남도는 2015년 0.018 ppm에서 2020년 0.013 ppm으로 수도권(서울시, 경기도)에 비해서는 상대적으로 낮은 농도 수준을 보였다.

초미세먼지($\text{PM}_{2.5}$)는 연평균 기준이 2018년 3월 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 강화되면서 전국적으로 대부분의 측정소가 연평균 기준을 초과하고 있는 것으로 나타나고 있다. 우리나라 배경지역으로 설정되어 있는 백령도나 제주도조차 현 기준을 만족하지 못하고 있는 가운데 국민적 우려와 정책적 의지를 담은 기준치 강화는 아직까지 현실적인 실효성을 발휘하지 못하고 있는 실정이다. 서울시는 2015년 연평균농도가 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났고, 2020년에는 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 소폭 감소한 것으로 확인되나 그 과정에서 증감을 반복하고 있어 딱히 개선되고 있다고 하기에는 문제가 있어 보인다. 경기도 역시 2015년에는 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 연평균 기준치를 훌쩍 상회하는 것으로 나타났으며, 2020년에는 서울시와 유사한 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 확인되었다. 하지만 서울시와 다르게 지속적으로 감소하고 있는 추세를 보이고 있어 경기도의 개선정책이 어느 정도 효율성을 발휘하고 있다는 것으로 해석할 수 있다. 충청남도는 2015년 조사당시 가장 높은 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 기준치의 거의 2배에 달하는 수준이었으나 2020년에는 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 서울시, 경기도에 비해 높은 수준이지만 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 많은 개선을 이룩한 것으로 확인되었다.

오존(O_3)은 광화학 반응을 대변하는 대표물질로 알려져 있다. 기준치는 연평균은 없고 최대 8시간 기준치가 0.06 ppm으로 지정되어 있는데 전국 모든 곳에서 O_3 의 농도가 증가하고 있는 것으로 나타나고 있어 이에 대한 대책 마련이 시급한 실정이다.

2. 경기-충남-서울지역의 고농도 미세먼지 발생 특성

2-1 경기-충남-서울지역의 고농도 발생 현황

2016년 이후 고농도 미세먼지 발생사례가 증가하면서 대기환경에 대한 국민적 우려와 관심이 증가하기 시작하였다. 이에 정부는 미세먼지를 사회적 재앙으로 분류하면서 다양한 개선대책과 함께 행동요령을 제시하였다. 항목은 인체의 위해성 등을 고려하여 PM₁₀(PM_{2.5})와 O₃을 대상으로 하였고, 관련 기준은 표 3-1과 같다.

[표 3-1] 미세먼지 경보기준 및 행동요령

항목		주의보	경보
PM ₁₀	발령	기상조건 등을 고려하여 해당 지역의 대기자동측정소 PM ₁₀ 시간평균농도가 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 지속	기상조건 등을 고려하여 해당 지역의 대기자동측정소 PM ₁₀ 시간평균농도가 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 지속
	해제	주의보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여 대기자동측정소의 PM ₁₀ 시간평균농도가 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만	경보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여 대기자동측정소의 PM ₁₀ 시간평균농도가 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만인 때는 주의보로 전환
PM _{2.5}	발령	기상조건 등을 고려하여 해당 지역의 대기자동측정소 PM _{2.5} 시간평균농도가 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 지속	기상조건 등을 고려하여 해당 지역의 대기자동측정소 PM _{2.5} 시간평균농도가 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 지속
	해제	주의보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여 대기자동측정소의 PM _{2.5} 시간평균농도가 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만	경보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여 대기자동측정소의 PM _{2.5} 시간평균농도가 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만인 때는 주의보로 전환
행동요령 및 조치사항	시민건강 보호	<ul style="list-style-type: none"> - 교통량이 많은 지역 이동 자제 - 어린이집유치원초등학교 실외수업 금지 - 중고등학교 실외수업 자제 - 어린이노안폐질환 및 심장질환자 등 민감군은 실외활동 제한 - 공공기관 운영 야외 체육시설 운영 제한 	<ul style="list-style-type: none"> - 어린이노안폐질환 및 심장질환자 등 민감군은 실외활동 금지 - 외출시 황사마스크 착용 - 교통량이 많은 지역 가급적 이동 금지 - 중고등학교 실외수업 금지 - 공공기관 운영 야외 체육시설 운영 중단
	대기오염 개선 노력	<ul style="list-style-type: none"> - 행정기관 관용차량은 운행감축 - 자동차 운행자제 및 대중교통 이용 권장 - 공공기관 운영 대형사업장 조업시간 단축 - 주정차시 공회전 금지 - 도로 물청소 또는 진공청소 시행 - 사업장의 연료사용량 감축 권고 	<ul style="list-style-type: none"> - 행정기관용 관용차량 운행제한 - 자동차 운행제한(부제운행 등) - 공공기관 운영 대형 사업장 조업시간 단축 - 주정차시 공회전 금지 - 도로 물청소 또는 분진청소 등 강화 - 사업장의 연료사용량 감축 명령

표3-2는 2015년부터 2019년까지 서울, 경기, 충남에 발령된 주의보와 경보횟수를 나타낸 것으로 주의보와 경보 내 숫자 중 앞에 숫자는 발령일수를 괄호 안의 숫자를 의미한다. 서울시는 조사가 시작된 2015년에는 PM₁₀ 주의보 기준 5회, PM_{2.5} 주의보 8회로 상대적으로 적은 발령횟수를 보였으나 2017년을 거쳐 최근에 다가올수록 주의보와 경보가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 경향은 경기도와 충청남도에서도 유사하게 나타나고 있는데 경기도의 경우 지속적으로 높은 발령횟수를 보이고 있다. 충청남도의 경우 2018년 이후 매우 높은 상승률을 보이고 있는데 특히 2019년에는 기존에 발령되지 않았던 PM_{2.5}에 대한 경보도 10회나 발생되어 상황이 점점 더 악화되고 있다는 것을 가시적으로 확인할 수 있다. 아직까지 2020년과 2021년에 대한 주의보/경보자료가 공식적인 통계로 발표되지 않았지만 지속적으로 증가하고 있는 것으로 나타나고 있어 이에 대한 대책 마련이 필요할 것으로 판단된다.

[표 3-2] 서울-경기-충남의 미세먼지 주의보/경보 발령 횟수

연도	발령횟수		서울시	경기도	충청남도
2015	PM ₁₀	주의보	5(3)	29(48)	5(2)
		경보	-	-	-
	PM _{2.5}	주의보	8(6)	10(12)	1(1)
		경보	-	-	-
2016	PM ₁₀	주의보	7(6)	12(25)	6(4)
		경보	-	2(2)	1(1)
	PM _{2.5}	주의보	-	9(10)	6(6)
		경보	-	-	-
2017	PM ₁₀	주의보	10(6)	22(40)	8(6)
		경보	-	1(4)	1(1)
	PM _{2.5}	주의보	10(5)	23(30)	2(1)
		경보	-	-	-
2018	PM ₁₀	주의보	5(5)	16(26)	11(11)
		경보	1(1)	3(4)	-
	PM _{2.5}	주의보	18(8)	33(43)	22(10)
		경보	-	-	-
2019	PM ₁₀	주의보	14(8)	20(3)	18(18)
		경보	-	-	-
	PM _{2.5}	주의보	25(5)	32(64)	34(32)
		경보	4(2)	6(8)	10(4)

※ 표기법 : 발령일수(발령횟수)

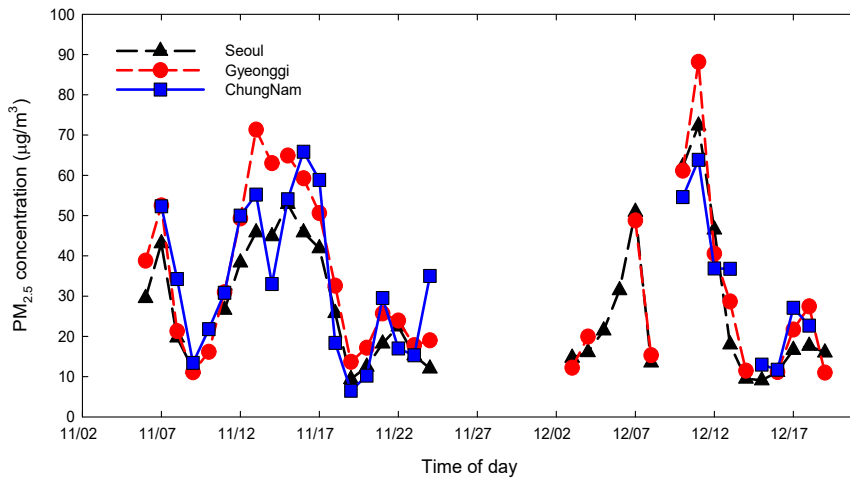
2-2 경기-충남-서울지역의 고농도 발생 사례 분석

서울, 경기, 충남지역의 고농도 사례 시 미세먼지의 특성 비교를 위해 고농도 사례에 대한 조사를 시행하였다. 환경부(국립환경과학원)에서는 중장기적인 지역 대기질 추이 분석과 국가의 정책반영 결과 해석 등을 위해 대기오염측정망을 운영하고 있으며, 그 중 집중측정망은 국가 배경지역과 주요 권역별 대기질 현황 파악, 장거리 이동오염물질에 대한 현상규명 등을 위해 운영되고 있다.



[그림 3-5] 대기오염측정망 설치운영 현황

본 연구의 배경지역인 서울, 경기, 충남에는 수도권, 경기권, 충청권 대기환경연구소가 운영 중에 있다. 수도권의 경우 도심지역에 위치하고 있으며, 경기권은 산업단지 내에 충청권은 교외지역으로 분류되어 서로 다른 배경 특성을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 서로 상이한 특성을 가지는 지역적 특성을 분석하기 위해 3개 지역에서 동시에 고농도가 발생한 구간을 선정하여 농도변화와 이때의 오염도 특성을 분석하였다. 데이터 해석은 다양한 구간을 선정하여 많은 사례를 분석할수록 정확한 현상을 규명할 수 있으나 충청권 대기환경측정소의 경우 2019년 11월에 개소하여 생성된 데이터가 나머지 2개소 대비 부족한 상황이다. 이에 대상연도를 2020년도로 설정하여 검토한 결과 2020년 11월 6일부터 24일과 12월 3일부터 19일의 약 2주씩 4주를 대상으로 선정하였다.



[그림 3-6] 고농도 미세먼지 발생사례시 3개 지역의 농도 PM_{2.5} 농도 추이

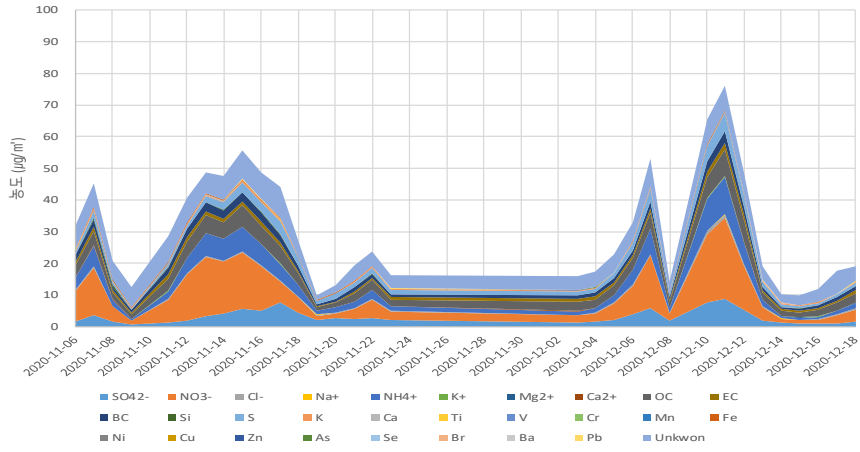
[표 3-3] 고농도 미세먼지 발생시 3개 지역의 PM_{2.5} 농도

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

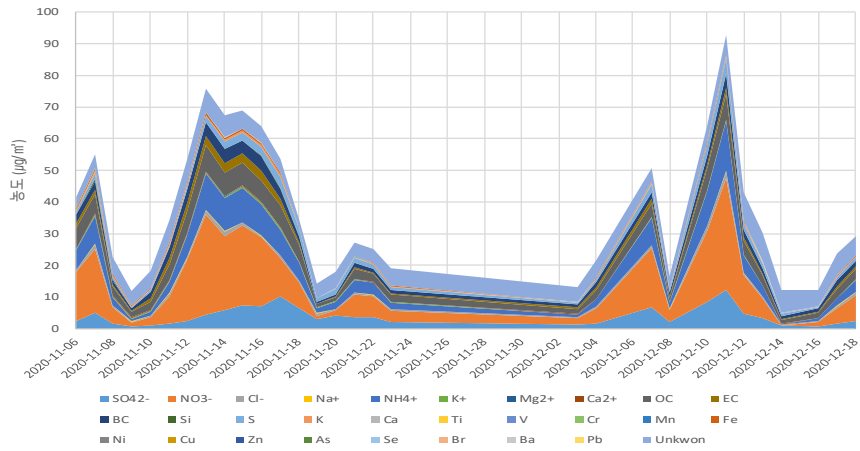
	서울시	경기도	충청남도
Mean	27.7	33.6	33.4
S.D.	17.0	21.1	18.2
Max	72.3	88.2	65.9
Min	9.1	11.0	6.5

고농도 미세먼지 사례는 11월 3차례, 12월 3차례 나타났다. 첫 번째 사례는 11월 3, 4일부터 점차 증가하여 11월 7일 최대농도를 보였는데 이때 3개 측정소의 농도는 서울, 경기, 충남에서 각각 $43.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $52.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $52.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 이후 감소하다가 11월 10일을 기점으로 다시 증가하기 시작하는데 이때부터 15일까지 약 1주일간은 상승과 감소를 반복하다가 16일 이후 다시 감소하여 11월 19일 3개 지점에서 각각 $9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $13.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 최소 농도를 보였다. 12월 또한 3차례의 농도 증감을 보였는데 12월 11일 3개 측정소의 최대농도인 $72.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $88.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $63.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 나타냈다. 표준편차는 경기도가 21.1로 가장 큰 것으로 확인되었고, 서울시와 충청남도는 17.0과 18.2로 유사한 수준을 보였다. 평균농도는 경기도가 $33.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 충청남도가 $33.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 유사한 수준으로 나타났고, 서울시가 $27.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮은 농도를 보였다.

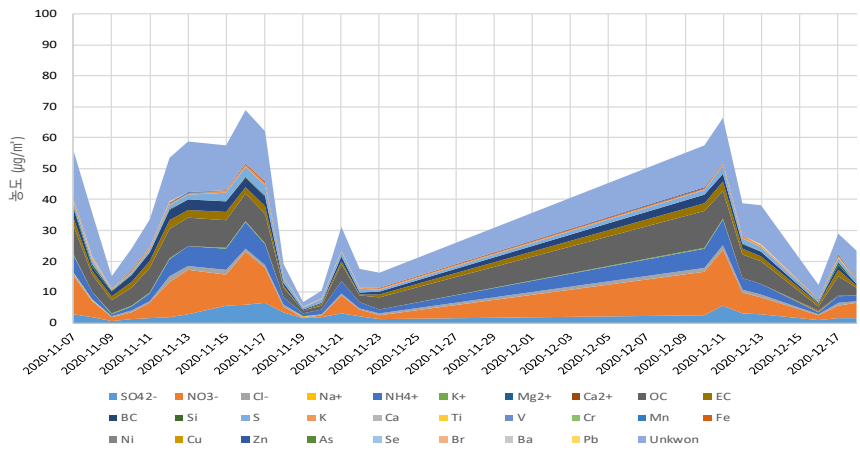
서울



경기도



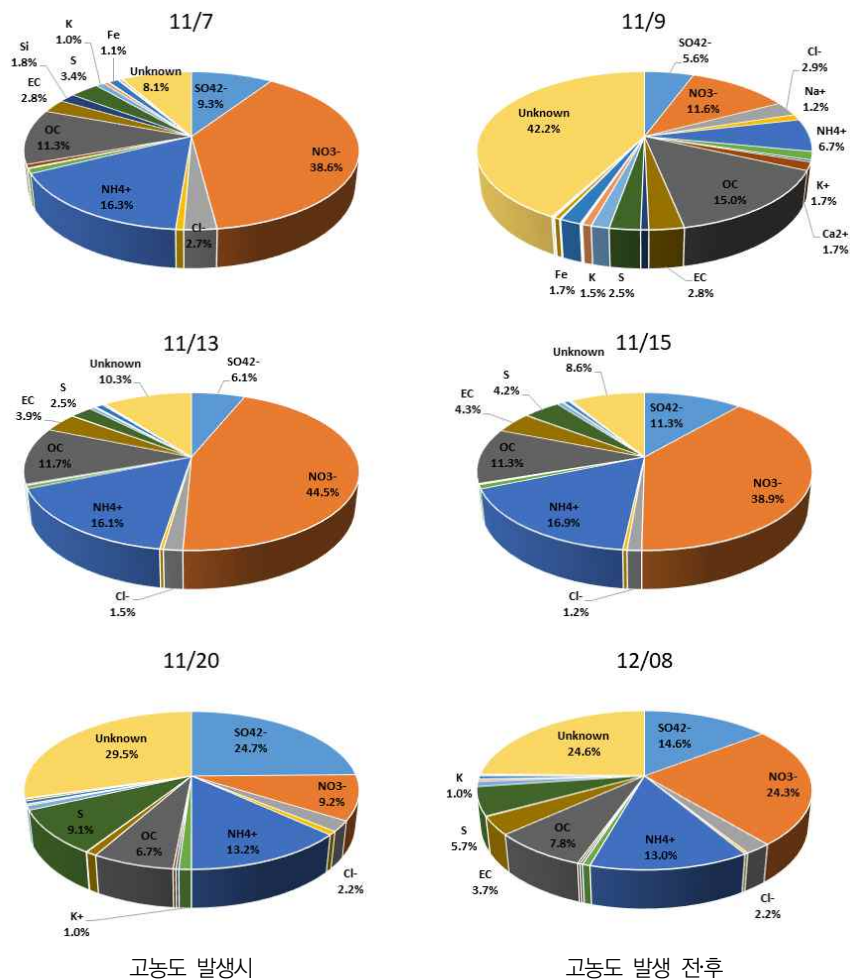
충청남도



[그림 3-7] 고농도 미세먼지 발생시 3개 지역의 PM_{2.5} 구성

2-3 경기도 고농도 발생 사례시 PM_{2.5} 성분변화

그림 3-8은 3개 측정소에서 측정된 고농도 PM_{2.5} 발생 사례 전후의 농도변화를 나타낸 것이다. 입자상 오염물질은 생성원과 대기 중 물리·화학적 반응을 거쳐 다양한 조성을 가지는데 이 화학적 조성비는 원인 분석이나 2차 생성입자의 메카니즘 규명, 보건학적인 독성 분석 등 다양한 분야에 활용된다. 그림 3-9은 경기도에서 발생한 고농도 미세먼지 사례 발생 전후 PM_{2.5}의 화학적 조성을 나타낸 것으로 좌측은 고농도 발생시 조성을, 우측은 고농도 발생 전후의 조성을 나타낸 것이다.



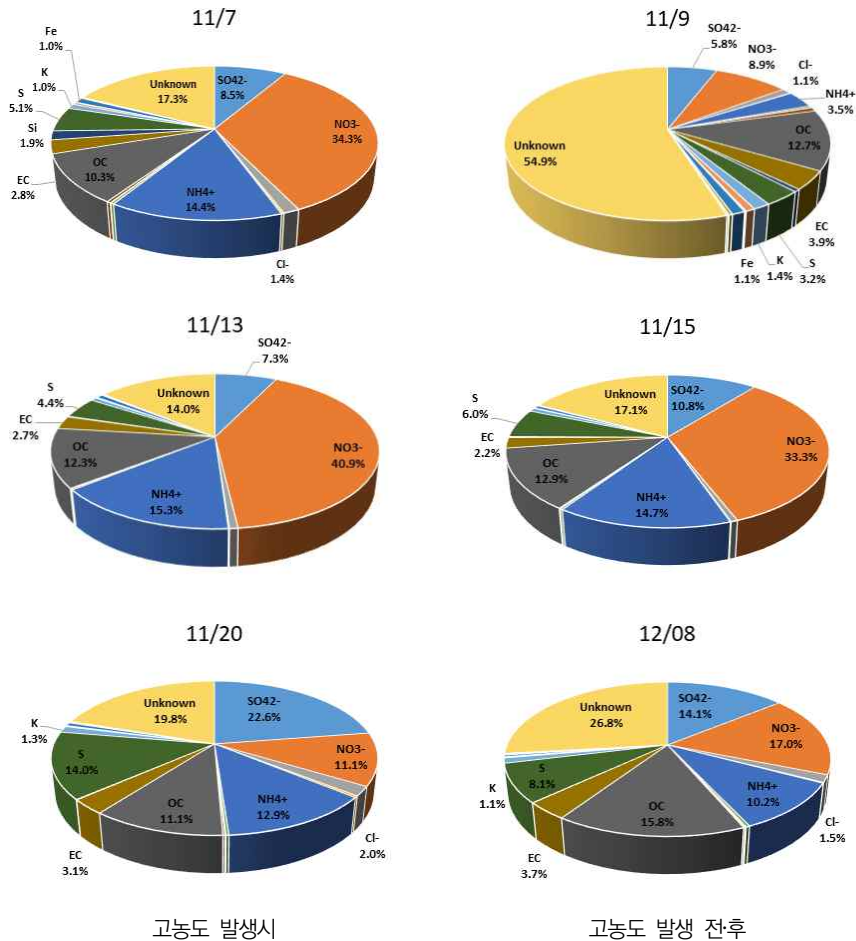
[그림 3-8] 고농도 발생 전후의 PM_{2.5}의 구성성분 비교(경기권)

고농도 사례는 11월 7일, 11월 13일, 11월 15일로 선정하였고, 고농도 발생 전·후로는 11월 9일, 11월 20일, 12월 8일로 설정하였다. 다만 충청권 측정소의 경우 12월 8일의 데이터가 존재하지 않아 12월 15일 데이터로 대체하였다.

경기권 측정소는 산업단지 내 위치하고 있어 산업단지에서 배출된 오염물질의 영향을 직간접적으로 받을 수 있다. 고농도 미세먼지 발생시 $PM_{2.5}$ 내 화학적 구성은 이온 성분이 69.4~69.7%를 차지하며, OC 11.3~11.7%, EC 2.8~4.3%, 금속성분 6.1~8.5%로 나타났다. 하지만 이후 이차생성 입자가 줄어들면서 전반적인 농도가 감소하자 이온 성분의 비율이 31.8~55.4%까지 급격히 감소하고, OC 또한 6.7~15.0% 줄어들면서 Unknow 부분이 24.6~42.2%로 크게 증가하였다. 세부적으로는 고농도 사례 전후로 질산염(NO_3^-)과 암모늄(NH_4^+)의 양이 가장 크게 변화하는데 이는 선행 연구에서 보고된 것처럼 질산염과 암모늄이 이차생성 에어로졸의 전구물질로 작용했기 때문이다. 고농도 미세먼지 발생시 전체 $PM_{2.5}$ 중 질산염과 암모늄이 54.9~60.6%까지 높은 비율을 차지하다가 농도가 감소한 후에는 18.3~37.3%로 거의 1/3 수준으로 감소하였다. 이들 이온 성분은 전구물질로 고농도 미세먼지 발생의 주요 인자로 작용하고 있으며, 경기권 대기환경측정소에서 측정된 고농도 미세먼지 사례 또한 이와 동일한 메커니즘을 통해 발생된 것으로 판단된다.

2-4 서울시 고농도 발생 사례시 $PM_{2.5}$ 성분변화

수도권 측정소는 서울시 불광동의 도로변에 위치해 있어 이동오염원에 의한 영향을 크게 받을 것으로 예상된다. 그림 3-10는 고농도 미세먼지 발생 전후의 $PM_{2.5}$ 성분비를 나타낸 것이다. 고농도 미세먼지 발생시 경기권과 마찬가지로 질산염과 암모늄의 비율이 높게 나타나며, 전체 $PM_{2.5}$ 화학성분의 48.0~56.2%를 차지하였다. OC와 EC의 비율은 경기권 고농도 사례와 유사한 비율을 보였고, 다만 중금속의 비율이 낮고, Unknow의 비율이 높게 나타났다. 경기권의 경우 산업단지 내 위치해 있다보니 산업공정에서 배출되는 중금속이 영향을 미쳐 나타난 결과로 판단된다. 고농도 미세먼지 사례가 감소하면서 암모늄과 질산염의 비율은 12.4~27.2%로 절반 이하 수준으로 감소하였고, 황산염과 중금속(갈륨, 철 등)의 비율이 증가하였다. 수도권과 경기권은 이온과 금속성분의 비율적 차이가 있지만 고농도 발생시와 발생 전후 $PM_{2.5}$ 의 화학적 조성이 유사한 패턴을 보였다. 다만 경기권의 경우 산업단지의 특성인지 고농도 발생 전후 $PM_{2.5}$ 성분에서 중금속 성분의 비율이 일부 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.



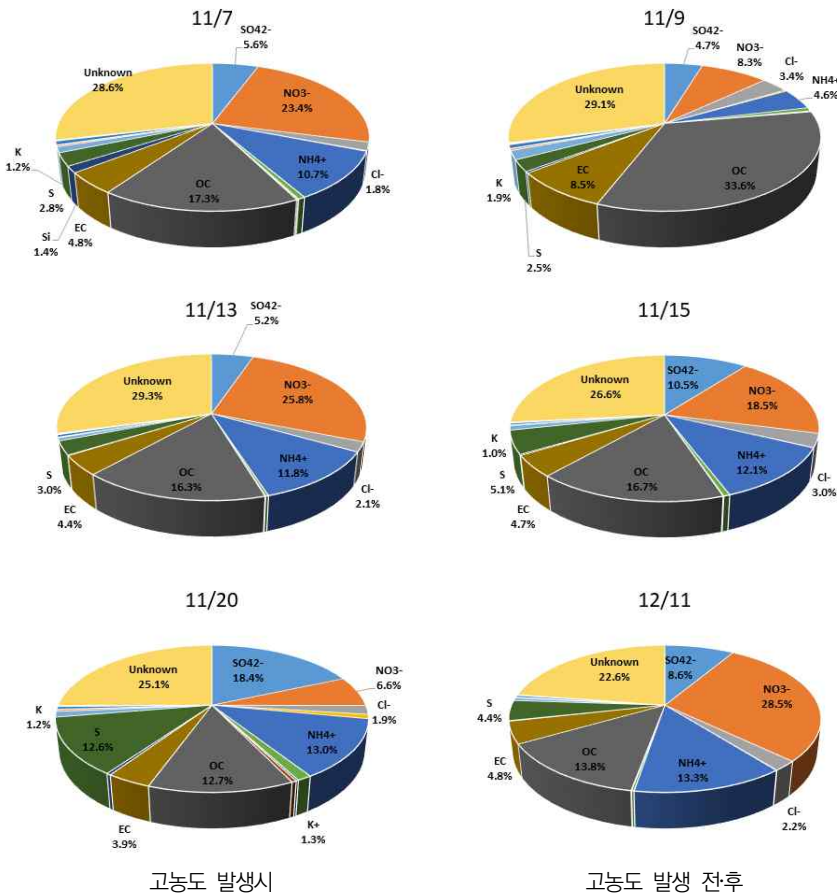
[그림 3-9] 고농도 발생 전후의 PM_{2.5}의 구성성분 비교(수도권)

2-5 충청남도 고농도 발생 사례시 PM_{2.5} 성분변화

수도권과 경기권 대기환경측정소가 각각 도심지역과 산업단지에 위치해 있다면 충청권 측정소는 교외지역으로 분류된다. 측정소 주변이 농촌지역의 노천소각 등으로 기인한 레보글루코산(Levoglugosan) 등이 많은 영향을 주고 있다. 그림 3-11은 고농도 미세먼지 발생시기와 발생 전후의 PM_{2.5} 구성비를 나타낸 것이다. 앞서 경기권과 수도권의 경우 고농도 미세먼지 발생시 질산염과 암모늄의 구성비가 50% 전후로 나타난 반면, 충청권의 경우 고농도 미세먼지 발생시 질산염과 암모늄의 구성비가 34.1~40.6% 수준으로 확인되었다. 또한 경기권과 수도권에선 10.3~12.9%를 차지하던 OC의 구성비가 충청권에서는 16.3~17.3%로 높게 나타났다. 이는 앞

서 언급한 것처럼 주변 지역이 농업지대이다 보니 레보글루코산과 같이 소각으로 발생하는 유기탄소 성분이 다수 포함되어 측정되기 때문으로 판단된다. 고농도 미세먼지 발생 후의 PM_{2.5} 구성비에서도 암모늄과 질산염의 비율은 12.9~19.6%로 절대적인 비율 또한 타 지역보다 낮은 수준으로 나타났다. 이러한 결과는 일부이긴 하지만 충청권과 유사한 환경을 가지는 지역의 경우 경기권이나 수도권과는 상이한 개선대책이 마련되어야 한다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 PM_{2.5}에 대한 단편적인 화학적 조성을 통해 고농도 미세먼지 발생 전후의 특성을 비교·분석하였지만 향후에는 입경분포와 개수농도 등 입자 전반적인 물리·화학적 정보를 통합한 종합적인 데이터 해석 및 원인 규명이 이루어져야 할 것이다.



[그림 3-10] 고농도 발생 전후의 PM_{2.5}의 구성성분 비교(충청권)



04 소형사업장 대기오염 물질 배출 특성 조사

1. 특성
2. VOCs 분포

04.

조사

1. 지역별 소형배출시설의 분포 및 특성

1-1. 서울시

통계청에서 제공하는 「전국사업체조사」²⁾의 서울특별시·산업·사업체구분별 사업체 수, 종사자수를 조사한 결과에 따르면, 서울시의 2019년 기준 출판, 인쇄 및 기록매체 복제업 관련 사업체수는 11,216개 이며, 종사자수는 67,748명으로 확인되었다.

출판, 인쇄 및 기록매체 복제업 관련으로 분류되는 사업체는 총 7개 종류로 나뉘며, ‘서적출판업’, ‘신문잡지 및 정기간행물 출판’, ‘오디오물 출판 및 원판녹음업’, ‘기타 인쇄물 출판업’, ‘인쇄업’, ‘인쇄관련산업’, ‘기록매체 복제업’으로 구분된다. 사업체 7개 분류에 해당하는 세부 업종은 아래 표를 통해 확인할 수 있다. 특히 출판, 인쇄 및 기록매체 복제업에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 사업체는 ‘인쇄업’이며 전체 11,216개소의 사업체 중, 5,452개소를 차지하여 약 49%의 높은 비중을 차지하고 있음을 확인할 수 있다. ‘인쇄업’은 인쇄를 진행하는 방식(인쇄가 이루어지는 방식)에 따라 세부 업종이 구분되며, ‘경 인쇄업’, ‘스크린 인쇄업’, ‘오프셋 인쇄업’, ‘기타 인쇄업’ 총 4가지 종류로 구분할 수 있다. 이중 서울시에서는 오프셋인쇄업(43.5%), 경 인쇄업(27.4%), 기타 인쇄업(15.5%), 스크린 인쇄업(13.6%) 순으로 사업체 수의 비중이 크다.

【표 4-1】 서울시 출판, 인쇄 및 기록매체 복제업 관련 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)

	서적출판업	신문잡지 및 정기간행물 출판업	오디오물 출판 및 원판녹음업	기타 인쇄물 출판업	인쇄업	인쇄관련 산업	기록매체 복제업	합계
사업체수	2,278	1,109	766	160	5,452	1,399	52	11,216
종사자수	19,372	17,771	2,974	517	21,586	5,365	163	67,748

2) 통계청, 「전국사업체조사」, 2019

[표 4-2] 서울시 서적출판업 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)

산업별	사업체수(개)	종사자수(명)
서적 출판업	2,278	19,372
교과서 및 학습서적 출판업	548	10,516
만화 출판업	65	803
일반 서적 출판업	1,665	8,053

[표 4-3] 서울시 신문잡지 및 정기간행물 출판업 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)

산업별	사업체수(개)	종사자수(명)
신문, 잡지 및 정기간행물 출판업	1,109	17,771
신문 발행업	271	10,347
잡지 및 정기간행물 발행업	757	6,524
정기 광고간행물 발행업	81	900

[표 4-4] 서울시 오디오물 출판 및 원판녹음업 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)

산업별	사업체수(개)	종사자수(명)
오디오물 출판 및 원판녹음업	766	2,974

[표 4-5] 서울시 기타 인쇄물 출판업 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)

산업별	사업체수(개)	종사자수(명)
기타 인쇄물 출판업	160	517

[표 4-6] 서울시 인쇄업 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)

산업별	사업체수(개)	종사자수(명)
인쇄업	5,452	21,586
경 인쇄업	1,494	5,119
스크린 인쇄업	741	2,499
오프셋 인쇄업	2,374	9,954
기타 인쇄업	843	4,014

[표 4-7] 서울시 인쇄관련산업 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)

산업별	사업체수(개)	종사자수(명)
인쇄관련 산업	1,399	5,365
제판 및 조판업	329	1,466
제책업	480	2,136
기타 인쇄관련 산업	590	1,763

[표 4-8] 서울시 기록매체복제업 사업체수, 종사자수 (2019년 기준)

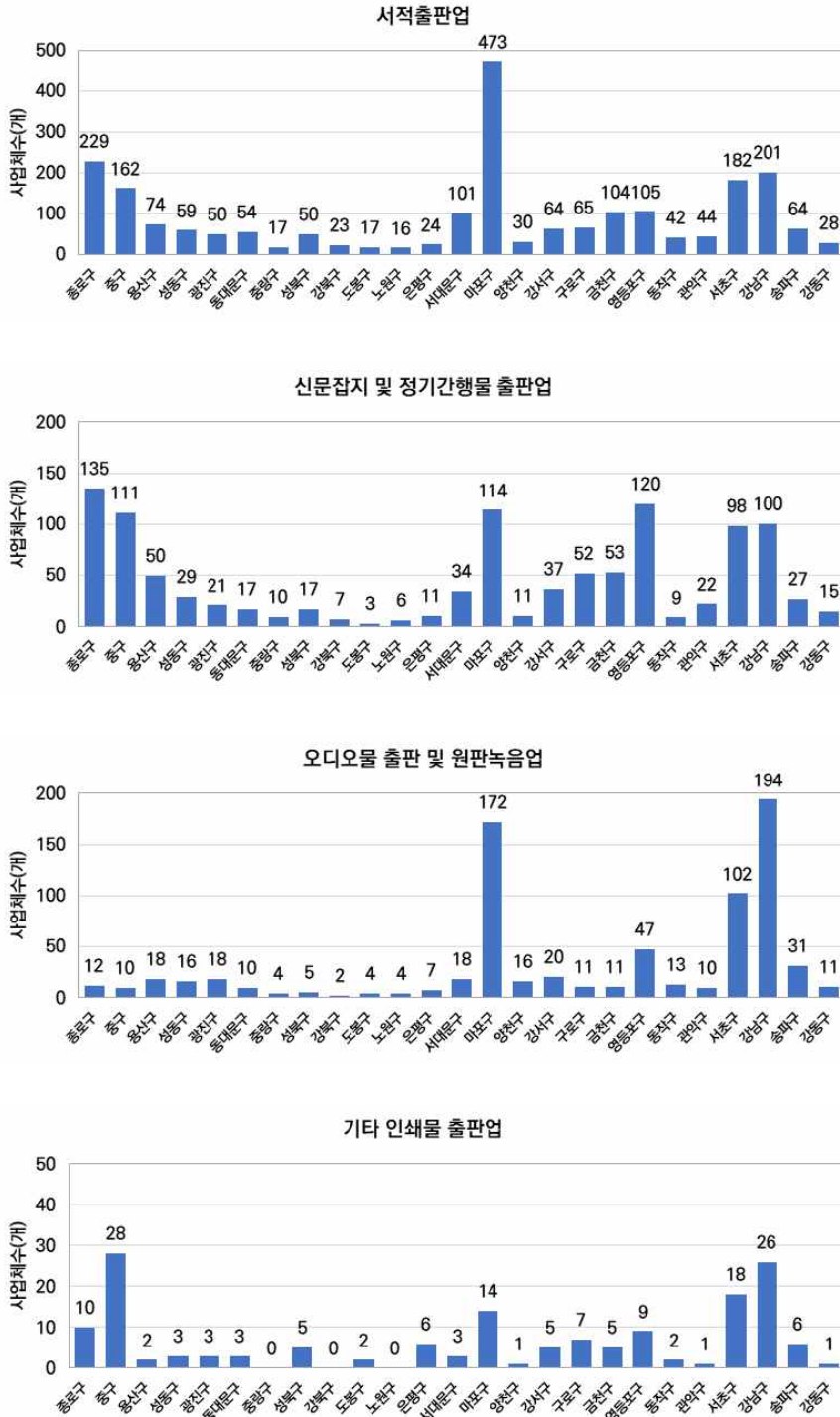
산업별	사업체수(개)	종사자수(명)
기록매체복제업	52	163

2019년 기준 서울시의 출판, 인쇄 및 기록매체 복제업 관련 사업체의 자치구별 분포 현황은 아래 표와 같다. ‘서적출판업’, ‘신문잡지 및 정기간행물 출판’, ‘오디오물 출판 및 원판녹음업’, ‘기타 인쇄물 출판업’, ‘인쇄업’, ‘인쇄관련산업’, ‘기록매체 복제업’ 분류별 자치구별 사업체수의 분포 현황을 확인할 수 있다. 출판, 인쇄 및 기록매체 복제업 관련 전체 11,216개의 사업체 중, 중구에만 전체 4,923개의 사업체가 분포하며, 총 비중의 43.9%를 차지하고 있어 서울시 25개 자치구 중 출판, 인쇄 및 기록매체 복제업 관련 사업체 분포비중이 1위인 자치구로 확인되었다.

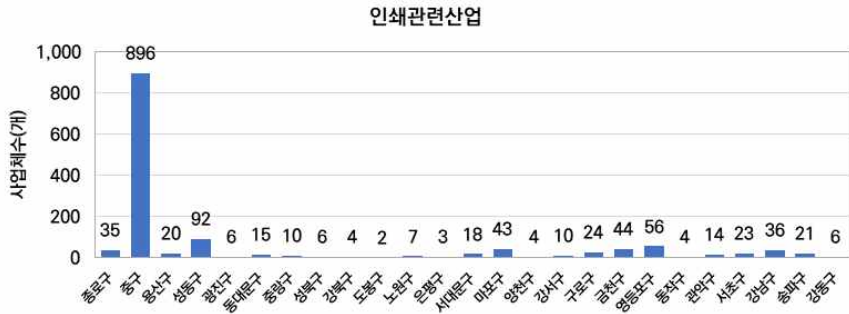
아래 그림을 통해 확인할 수 있듯, 서울시 중구의 경우 특히 ‘기타 인쇄물 출판업’, ‘인쇄업’, ‘인쇄관련산업’, ‘기록매체 복제업’ 총 4개 분류에서 25개 자치구 중 보유 사업체수가 1위로 나타났다. 중구에서 분포 비중 1위를 나타낸 사업체들로 ‘기타 인쇄물 출판업’의 경우 전체 160개 사업체 중, 중구에 28개(17.5%) 분포, ‘인쇄업’은 전체 5,452개 사업체 중 3,707개(68.0%)분포, ‘인쇄관련산업’은 전체 1,399개 사업체 중 896개(64.0%)분포, ‘기록매체복제업’의 경우 전체 52개 중 9개(17.3%) 분포하고 있음을 확인하였다. ‘경 인쇄업’, ‘스크린 인쇄업’, ‘오프셋 인쇄업’, ‘기타 인쇄업’을 모두 포함하는 ‘인쇄업’의 경우 중구가 서울시 25개 자치구 사업체의 약 70% 정도를 보유하고 있어, 중구의 ‘인쇄업’을 대상으로 현장측정을 통한 오염물질 배출 특성 및 배출물질의 정밀조사가 이루어져야 함을 알 수 있다.

[표 4-9] 서울시 출판, 인쇄 및 기록매체 복제업 관련 자치구별 분포 현황 (2019년 기준)

자치구	서적 출판업	신문잡지 및 정기 간행물 출판업	오디오물 출판 및 원판녹음 업	기타 인쇄물 출판업	인쇄업	인쇄 관련 산업	기록 매체 복제업	합계 (개)	비율 (%)
	사업체 수(개)	사업체 수(개)	사업체 수(개)	사업체 수(개)	사업체 수(개)	사업체 수(개)	사업체 수(개)		
종로구	229	135	12	10	141	35	4	566	5.0
중구	162	111	10	28	3,707	896	9	4,923	43.9
용산구	74	50	18	2	48	20	1	213	1.9
성동구	59	29	16	3	345	92	2	546	4.9
광진구	50	21	18	3	41	6	1	140	1.2
동대문구	54	17	10	3	42	15	1	142	1.3
종량구	17	10	4	-	60	10	1	102	0.9
성북구	50	17	5	5	26	6	-	109	1.0
강북구	23	7	2	-	20	4	-	56	0.5
도봉구	17	3	4	2	10	2	-	38	0.3
노원구	16	6	4	-	21	7	1	55	0.5
은평구	24	11	7	6	22	3	-	73	0.7
서대문구	101	34	18	3	30	18	-	204	1.8
마포구	473	114	172	14	80	43	7	903	8.1
양천구	30	11	16	1	29	4	-	91	0.8
강서구	64	37	20	5	54	10	1	191	1.7
구로구	65	52	11	7	61	24	1	221	2.0
금천구	104	53	11	5	154	44	-	371	3.3
영등포구	105	120	47	9	313	56	5	655	5.8
동작구	42	9	13	2	16	4	1	87	0.8
관악구	44	22	10	1	20	14	-	111	1.0
서초구	182	98	102	18	52	23	7	482	4.3
강남구	201	100	194	26	81	36	9	647	5.8
송파구	64	27	31	6	46	21	-	195	1.7
강동구	28	15	11	1	33	6	1	95	0.8
합계	2,278	1,109	766	160	5,452	1,399	52	11,216	100.0

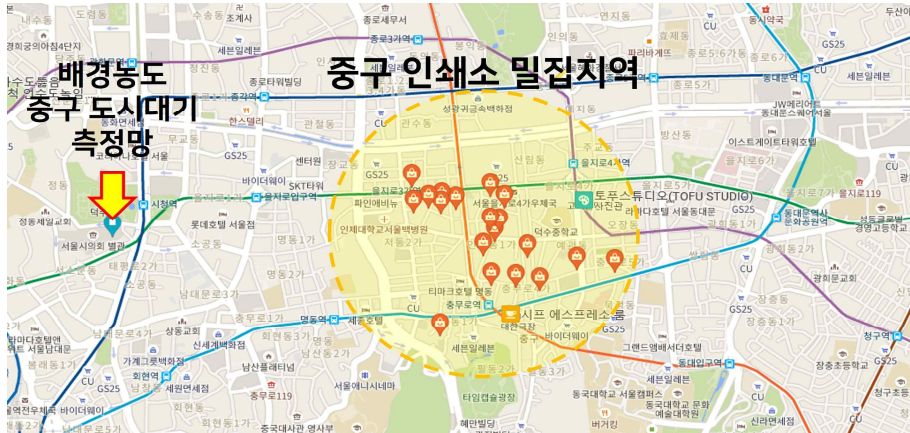


[그림 4-1] 서울시 출판, 인쇄 및 기록매체 복제업 관련 자치구별 분포 현황 (2019년 기준)



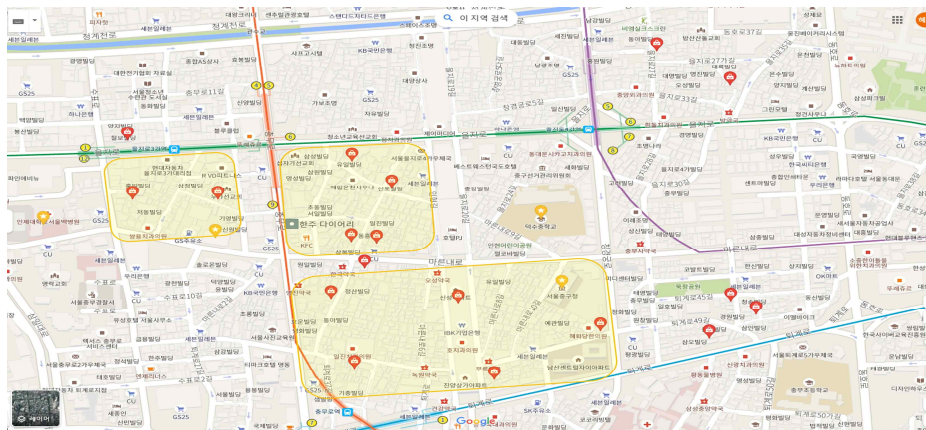
[그림 4-2] 서울시 출판, 인쇄 및 기록매체 복제업 관련 자치구별 분포 현황 (2019년 기준)

서울에서는 소형사업장 이슈분석을 위해 중구에 위치한 을지로와 충무로 일대 인쇄소가 밀집한 구역을 연구 대상으로 선정하였다. 중구의 경우 서울시에 존재하는 출판, 인쇄 및 기록매체 복제업 관련 전체 사업체 중 약 43.9%에 해당하는 사업체를 보유하고 25개 자치구 중 분포비중 1위를 기록하였으며, 인쇄업과 가장 밀접한 관련이 있는 자치구로 나타나 연구 대상으로 선정되었다.



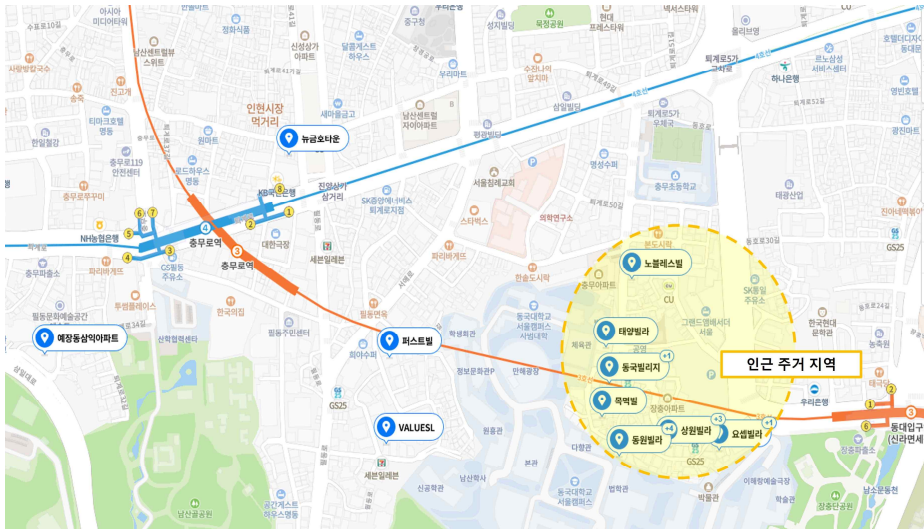
[그림 4-3] 서울시 중구 인쇄소 밀집지역 주변 현황

을지로와 충무로 일대에는 서울시에 존재하는 대표적 소형배출시설인 인쇄소가 약 20여개 이상이 활발하게 성업중이며, 인쇄로 인한 특정 VOCs의 많은 배출로 인한 고농도가 예상된다. 인쇄소가 밀집되어 있는 지역을 조사하여 인접 구역끼리 묶어 분류하고, 현장 조사에 투입되는 이동관측 차량이 이동 가능한 방향과 루트를 고려하여 이동 순서를 설정하였다.



[그림 4-4] 서울시 중구 인쇄소 분포

인쇄소 밀집 지역에서의 배출이 주변에 위치한 주거지역의 대기오염 악화에 기여했을 가능성이 존재한다. 인쇄소 밀집 지역과 인근 주거지역의 오염물질의 시공간 분포를 함께 확인하고, 비교하기 위하여 주거지역도 연구 범위에 포함되도록 하였다. 연구 대상이자 주요 관심대상은 을지로와 충무로 일대 인쇄소가 밀집한 지역으로 설정하였고, 관련 관심지역으로는 인근지역인 동국대학교 서울캠퍼스, 동대입구역 근처 주거지역으로 선정하였다. 인쇄소 밀집 지역과 주거지역은 약 2km 정도 떨어져 위치해있었으며, 주거지역은 빌라가 밀집되어있는 형태를 나타냈다.



[그림 4-5] 서울시 중구 인쇄소 인근 주거지역

본 연구에서는 이동측정을 통해 인쇄소 밀집 주변지역의 VOCs 물질 농도분포의 시공간적 특성을 조사하여 서울에서의 소형사업장 관리에 대한 시사점을 얻고자 한다.

1-2. 경기도

경기도 산업활동은 2018년 기준 4개의 국가산업단지, 158개의 일반산업단지 등에 약 90만여 개의 사업장이 조업하고 있으며, 특히 제조업의 비중이 큰 특징을 보이고 있다. 이중 대기오염물질을 배출하는 사업장은 19,071개로 전국 배출시설의 32%를 넘는다. 경기도에 위치한 대기오염물질 배출 사업장을 좀 더 자세히 살펴보면, 2019년 기준 총 19,210개소가 있고, 사업장 규모별로는 1종 230개소, 2종 219개소, 3종 392개소, 4종 5,868개소, 5종 12,501개소로 4-5종 사업장이 95.6%를 차지한다. 지난 10년 동안 25.9%가 증가한 것으로 나타났다. 지역별로는 화성시가 14.2%로 가장 많은 대기오염물질 배출사업장이 위치해 있는 것으로 나타났다. 김포시 10.3%, 포천시 7.0% 순이었다. 여주군, 양주군, 포천군의 경우는 대기오염 물질 배출사업장이 없었다. 전체적으로 1-3종 대형 사업장은 감소하는 추세이나, 4-5종 사업장은 증가하는 추세이다. 경기도의 경우 가장 많은 사업장이 있으며 전국에서 가장 많은 대기오염물질을 배출하고 있다. 경기도는 행정구역이 넓고 시군별 환경여건과 오염 배출원 특성이 달라서 경기도 내에서 미세먼지 오염 수준의 차이가 있다.

[표 4-10] 경기도에 위치한 사업장의 분포 현황

(2019년 기준)

지역	1종	2종	3종	4종	5종	합계	비율
본청	101	63	13	10	7	194	1.0%
광역환경관리사업소	56	108	206	931	1592	2893	15.1%
수원시	-	-	-	78	146	224	1.2%
성남시	-	-	2	26	79	107	0.6%
안양시	-	-	1	27	87	115	0.6%
부천시	-	-	2	200	560	762	4.0%
광명시	-	-	-	13	21	34	0.2%
평택시	-	-	8	188	591	787	4.1%
안산시	-	-	1	404	548	953	5.0%
과천시	-	-	-	7	15	22	0.1%
오산시	-	-	2	17	64	83	0.4%
시흥시	-	-	-	20	53	73	0.4%
군포시	-	-	2	44	140	186	1.0%
의왕시	-	-	2	25	46	73	0.4%
하남시	-	-	-	15	25	40	0.2%

용인시	-	-	4	160	499	663	3.5%
이천시	-	-	1	141	270	412	2.1%
안성시	-	-	12	190	590	792	4.1%
김포시	-	-	3	726	1243	1972	10.3%
화성시	-	-	18	871	1840	2729	14.2%
광주시	-	-	1	303	706	1010	5.3%
여주군	-	-	-	-	-	-	0.0%
여주시	-	-	15	74	169	258	1.3%
양평군	-	-	-	21	30	51	0.3%
북부청	73	48	38	161	175	495	2.6%
의정부시	-	-	-	20	33	53	0.3%
동두천시	-	-	4	27	33	64	0.3%
고양시	-	-	4	85	261	350	1.8%
구리시	-	-	-	11	11	22	0.1%
남양주시	-	-	1	153	326	480	2.5%
파주시	-	-	10	272	860	1142	5.9%
양주군	-	-	-	-	-	-	0.0%
양주시	-	-	31	275	384	690	3.6%
포천군	-	-	-	-	-	-	0.0%
포천시	-	-	8	319	1017	1344	7.0%
연천군	-	-	3	34	44	81	0.4%
가평군	-	-	-	20	36	56	0.3%
합계	230	219	392	5868	12501	19210	100.0%

1-3. 충청남도

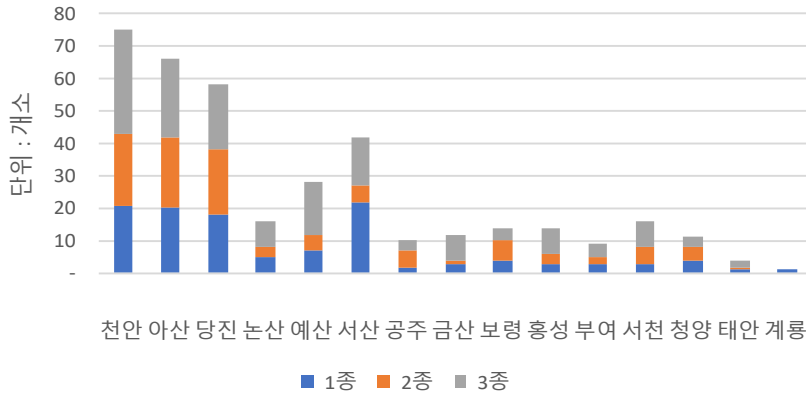
충청남도는 2019년 기준 대기오염물질 배출사업장이 총 3,694개소가 운영 중에 있다. 그 1종 사업장이 3.2%(117개소)를 차지하고 있으며, 2종 사업장 2.8%(104개소), 3종 사업장 4.3%(158개소), 4종 사업장 34.7%(1,281개소), 5종 사업장 55.1%(2,034개소)으로 나타났고, 소형사업장으로 분류되는 4, 5종 사업장이 전체 사업장 개수 중 89.8%로 대부분을 차지하는 것으로 확인되었다. 지역별로는 천안시가 29.1%로 가장 많은 대기오염물질 배출사업장이 위치해 있는 것으로 나타났고, 아산시 18.7%, 당진시 10.3%, 논산시 6.9%, 예산군 6.3% 순이었다. 지역별로 1~3종 사업장과 4~5종 사업장으로 분류하여 비교시 서천군과 청양군, 서산시의 경우 1~3종 사업장의 비율이 각각 24.6%, 20.8%, 20.1%로 매우 높게 나타났으며, 상대적으로 높은 사업장 위치를 보인 천안시와 아산시는 대형사업장의 비율이 각각 7.0%와 9.6%로 낮게 나타났다.

[표 4-11] 충청남도에 위치한 사업장의 분포 현황

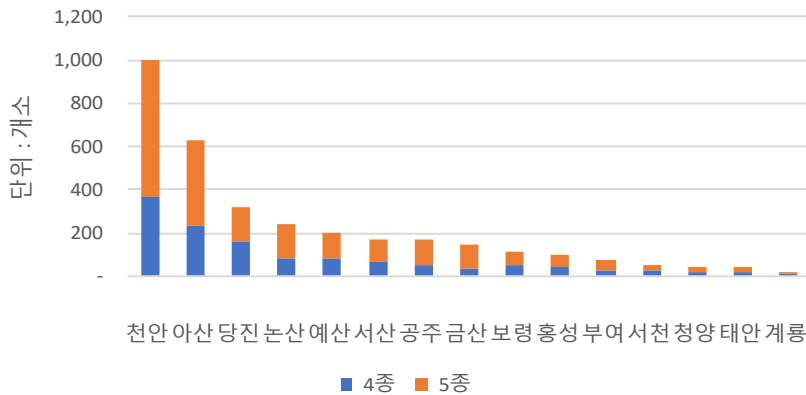
(2019년 기준)

지역	1종	2종	3종	4종	5종	합계	비율
천안	21	22	32	365	635	1,075	29.1%
아산	20	22	24	231	394	691	18.7%
당진	18	20	20	160	161	379	10.3%
논산	5	3	8	85	155	256	6.9%
예산	7	5	16	81	122	231	6.3%
서산	22	5	15	69	98	209	5.7%
공주	2	5	3	49	118	177	4.8%
금산	3	1	8	37	107	156	4.2%
보령	4	6	4	52	63	129	3.5%
홍성	3	3	8	46	48	108	2.9%
부여	3	2	4	28	46	83	2.2%
서천	3	5	8	27	22	65	1.8%
청양	4	4	3	17	25	53	1.4%
태안	1	1	2	16	25	45	1.2%
계룡	1	-	-	8	13	22	0.6%
도			3	10	2	15	0.4%
합계	117	104	158	1,281	2,034	3,694	100.0%

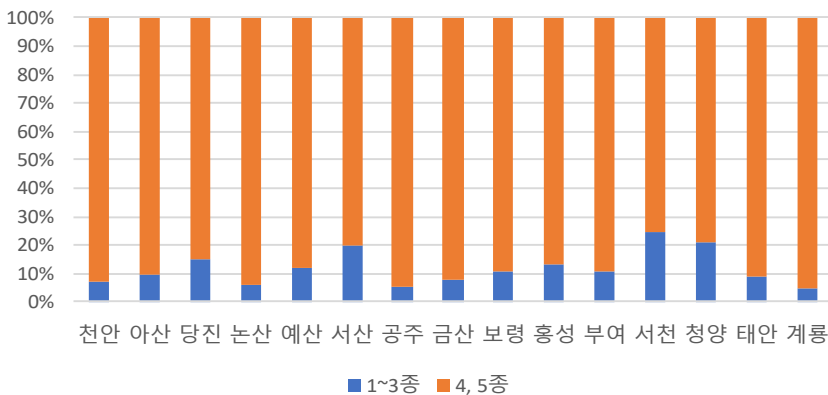
대형사업장(1~3종) 분포



소형사업장(4, 5종) 분포



충청남도의 사업장 분포 비율

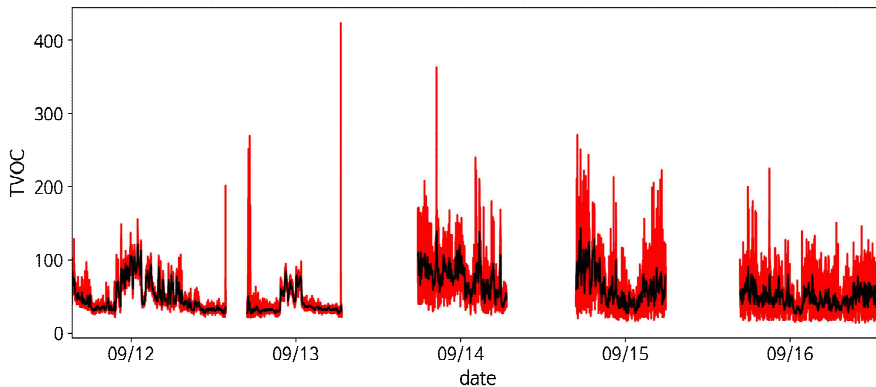


[그림 4-6] 충청남도 내 위치한 대기오염물질 배출사업장 현황

2. 소형사업장 주변지역 VOCs 시공간 분포 조사

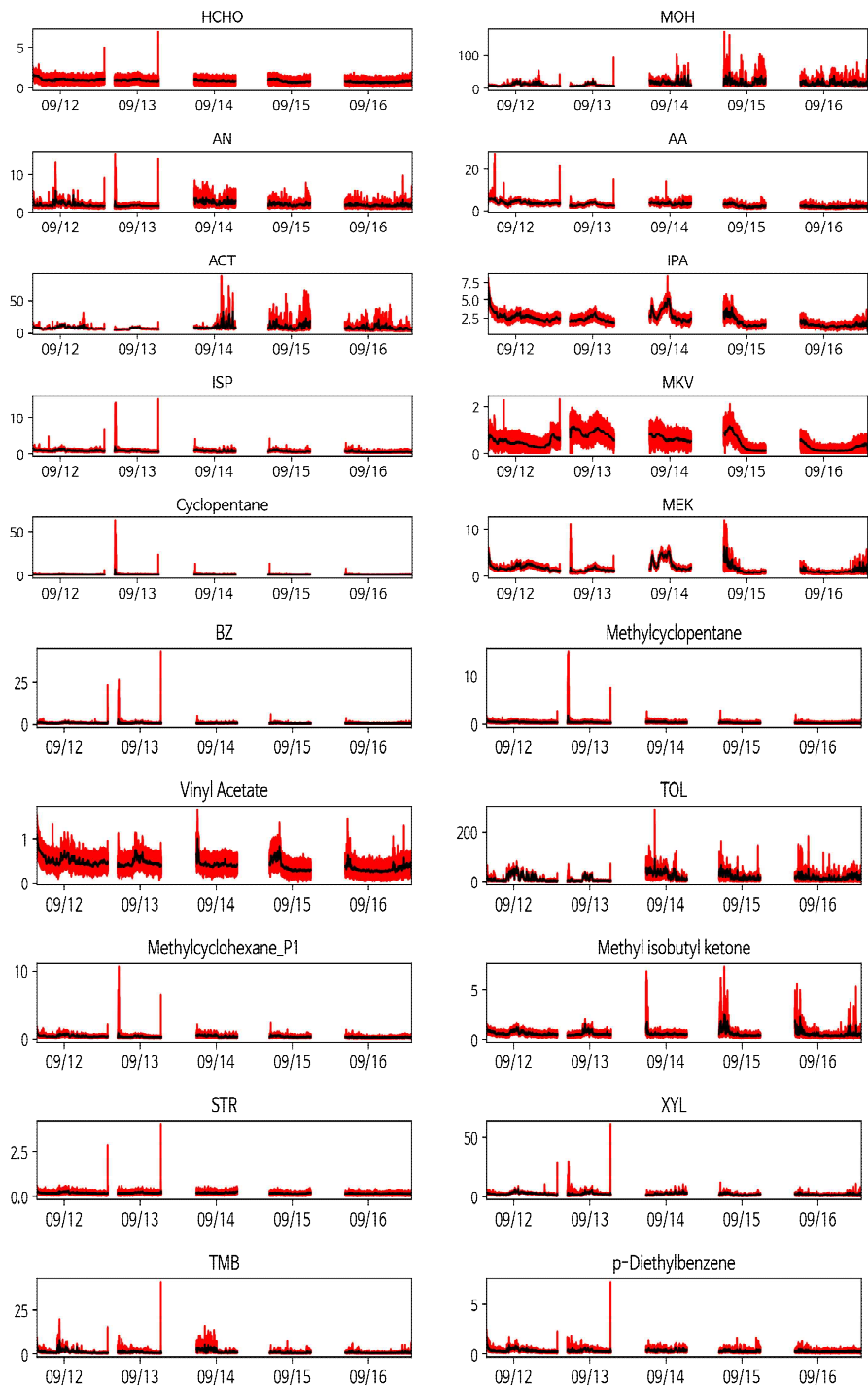
2-1. 서울

서울시 중구 인쇄소 밀집지역의 VOCs 변화를 살펴보기 이전에 중구 도시대기 측정망에서 측정한 배경농도의 특성을 살펴보았다. 9월 12일(일) 부터 9월 16일(목) 까지 측정 기기가 작동하지 않았던 시간들을 제외하고 대체로 50~100 ppb 수준의 TVOC가 관측되었다. 전반적으로 9월 14일(화)과 15일(수)에 농도가 상대적으로 높았으며, 9월 12일(일) 오후부터 9월 13일(월)까지는 상당히 낮았다. 9월 12일(일) 오전시간에도 농도의 상승이 나타났다.



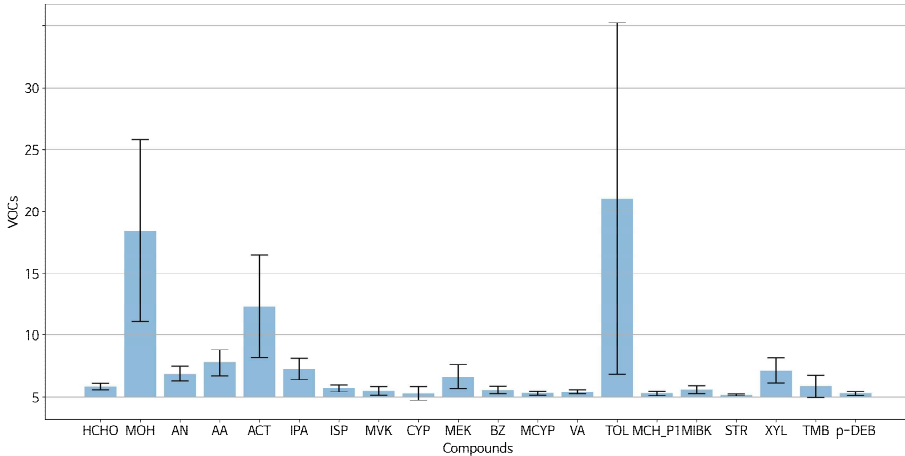
[그림 4-7] 서울시 중구 지점에서의 TVOC (ppb) 농도 변화(검은선: 5분 평균)

이러한 TVOC 농도 변화를 VOCs 물질별로 정밀하게 살펴보기 위해 각 물질별 농도 시계열을 분석하였다. 그 결과 TVOC의 변동성에서 상당히 많은 부분이 메탄올(MOH), 아세톤(ACT), 톨루엔(TOL), 자일렌(XYL)에 의한 기여로 나타났다. 따라서 인쇄소 밀집 지역에서는 이러한 VOCs 물질들의 배출관리가 필요한 것으로 나타났다.



[그림 4-8] 서울시 중구 지점에서의 VOCs (ppb) 농도

특히 메탄올(MOH), 아세톤(ACT), 톨루엔(TOL)의 경우, 9월 13일(월) 이전까지는 저농도로 나타났으나, 9월 14일(화) 오전 시간부터 다소 증가하는 것으로 나타났다. 이 농도변화가 인쇄소의 작업 활동과 어떠한 관련이 있는지 조금 더 면밀하게 살펴볼 필요가 있다.



[그림 4-9] 서울시 중구 지점에서의 VOCs (ppb) 농도 평균과 표준편차

지점관측지점에서 측정된 각 물질별 평균 배경농도들을 살펴보면, 톨루엔(TOL), 메탄올(MOH), 아세톤(ACT), 자일렌(XYL) 순으로 농도가 높게 나타났다. 이외에도 아세트알데하이드(AA)와 아이소프로필 알코올(IPA), 메틸에틸케톤(MEK) 등도 상대적으로 농도가 높게 나타났다. 포름알데하이드(HCHO)나 메틸비닐케톤(MVK), 벤젠(BZ), 스티렌(STR)등의 물질들은 타 VOCs 물질들에 비해 농도가 매우 낮게 나타났다.

서울에서 중구 을지로와 충무로 인근에 위치한 인쇄소 밀집지역을 연구대상으로 선정하여 측정 및 분석을 진행하였다. 9월 12일(일)부터 16일(목)까지 5일간 총 32번의 이동측정이 시행되었으며, 한 번의 측정 당 약 1시간 내외의 측정시간이 소요되었다. 일요일부터 목요일까지, 오전 7시부터 오후 5시까지 다양한 요일과 시간대에 걸쳐 측정이 수행되었기 때문에 주말효과나 인쇄활동에 의한 집중 배출이 나타났다.



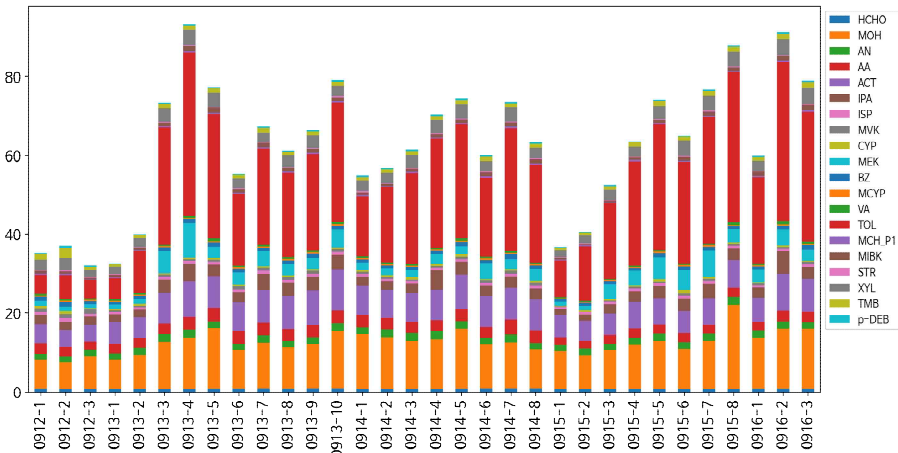
[그림 4-10] 서울시 이동축정경로

9월 12일(일) 14시부터 시작하여 일요일에 3회 측정, 9월 13일(월)에는 10회, 화요일과 수요일에는 각각 8회 측정을 시행하였으며, 마지막날인 9월 16일(목)에는 오후 시간에 3회 측정을 진행하였다.

[표 4-12] 서울시 이동축정 일정

시간대	9월 12일(일)	9월 13일(월)	9월 14일(화)	9월 15일(수)	9월 16일(목)
7:00		0913-1	0914-1	0915-1	
8:00		0913-2	0914-2	0915-2	
9:00		0913-3	0914-3	0915-3	
10:00		0913-4	0914-4	0915-4	
11:00		0913-5	0914-5	0915-5	
12:00		0913-6			
13:00					
14:00	0912-1	0913-7	0914-6	0915-6	0916-1
15:00	0912-2	0913-8	0914-7	0915-7	0916-2
16:00	0912-3	0913-9	0914-8	0915-8	0916-3
17:00		0913-10			

각 이동측정에 따른 VOCs 농도들은 아래 그림과 같다. 주로 붉은색으로 표현된 톨루엔(TOL), 주황색으로 표현된 메탄올(MOH), 보라색의 아세톤(ACT), 짙은 회색의 자일렌(XYL)에 의해 총 VOCs 농도가 변화하는 것으로 나타났다. 9월 12일(일)의 농도가 대체로 낮고, 9월 13일(월)부터 9월 14일(화)까지 대체로 높다가, 9월 15일(수) 오전시간에 낮고, 그 이후 시간에 다시 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이 변동은 주로 톨루엔에 의해 조절되는 것으로 나타났으며, 오히려 메탄올(MOH)이나 아세톤(ACT) 등은 주말효과나 요일별 변동폭이 톨루엔에 비해서는 상대적으로 작았다.



[그림 4-11] 서울시 이동측정에서 측정된 VOCs 물질별 농도

[표 4-13] 서울시 이동관측 결과 요약

약어	0912-1	0912-2	0912-3	0913-1	0913-2	0913-3	0913-4	0913-5
HCHO	0.882	0.839	0.857	0.762	0.775	0.831	0.851	0.866
MOH	7.351	6.742	8.332	7.475	8.647	11.827	12.982	15.206
AN	1.512	1.538	1.439	1.582	1.670	1.875	1.919	1.873
AA	2.647	2.280	2.094	2.369	2.588	2.911	3.215	3.409
ACT	4.871	4.321	4.372	5.544	5.232	7.742	9.089	8.032
IPA	2.278	2.093	2.026	1.934	1.987	3.378	4.475	2.840
ISP	0.794	0.879	0.681	0.560	0.596	0.744	0.729	0.754
MVK	0.911	1.047	1.154	0.518	0.464	0.462	0.479	0.595
CYP	0.544	0.841	0.358	0.274	0.331	0.401	0.436	0.447
MEK	1.229	1.030	0.916	1.151	1.335	5.509	8.532	2.810

BZ	1.063	1.093	0.753	0.574	0.761	0.996	1.055	1.063
MCYP	0.372	0.433	0.296	0.286	0.300	0.336	0.350	0.363
VA	0.440	0.410	0.385	0.395	0.388	0.422	0.459	0.503
TOL	4.840	6.105	4.663	5.517	10.649	29.624	41.620	31.707
MCH_P1	0.356	0.414	0.240	0.210	0.243	0.291	0.296	0.323
MIBK	0.534	0.453	0.434	0.582	0.538	0.908	1.230	1.239
STR	0.202	0.209	0.176	0.192	0.192	0.218	0.206	0.208
XYL	2.782	3.245	1.577	1.831	2.233	3.367	3.884	3.568
TMB	1.195	2.414	0.918	0.525	0.739	1.060	1.024	1.106
p-DEB	0.357	0.647	0.396	0.245	0.283	0.428	0.345	0.349

[표 4-13] 서울시 이동관측 결과 요약(계속)

약어	0913-6	0913-7	0913-8	0913-9	0913-10	0914-1	0914-2	0914-3
HCHO	0.901	0.961	0.925	0.942	0.977	0.817	0.822	0.808
MOH	9.591	11.515	10.288	11.234	14.484	13.703	13.093	12.160
AN	1.695	1.791	1.703	1.760	2.022	1.950	1.907	1.946
AA	3.184	3.376	2.990	3.048	3.209	2.974	2.906	2.868
ACT	7.174	8.208	8.444	8.771	10.292	7.511	7.242	7.245
IPA	2.850	4.031	3.417	3.510	3.679	2.335	2.095	2.342
ISP	0.675	0.734	0.701	0.709	0.759	0.656	0.688	0.735
MVK	0.684	0.768	0.661	0.683	0.753	0.516	0.495	0.450
CYP	0.356	0.489	0.438	0.441	0.432	0.368	0.405	0.541
MEK	3.214	3.790	2.827	2.905	4.588	1.971	1.608	1.674
BZ	0.832	0.837	1.019	1.025	0.973	0.849	0.795	0.897
MCYP	0.341	0.374	0.353	0.346	0.368	0.317	0.323	0.354
VA	0.481	0.549	0.521	0.519	0.532	0.418	0.400	0.409
TOL	18.216	24.382	21.219	24.440	30.348	15.333	19.016	23.041
MCH_P1	0.284	0.325	0.311	0.303	0.350	0.269	0.302	0.301
MIBK	0.918	0.975	0.968	1.111	1.008	0.570	0.583	0.771
STR	0.187	0.187	0.195	0.199	0.205	0.259	0.215	0.215
XYL	2.560	2.546	2.932	3.205	2.602	2.907	2.591	3.256

TMB	0.812	1.055	0.985	0.966	1.153	0.767	0.948	1.071
p-DEB	0.301	0.298	0.314	0.318	0.340	0.307	0.360	0.352

[표 4-13] 서울시 이동관측 결과 요약(계속)

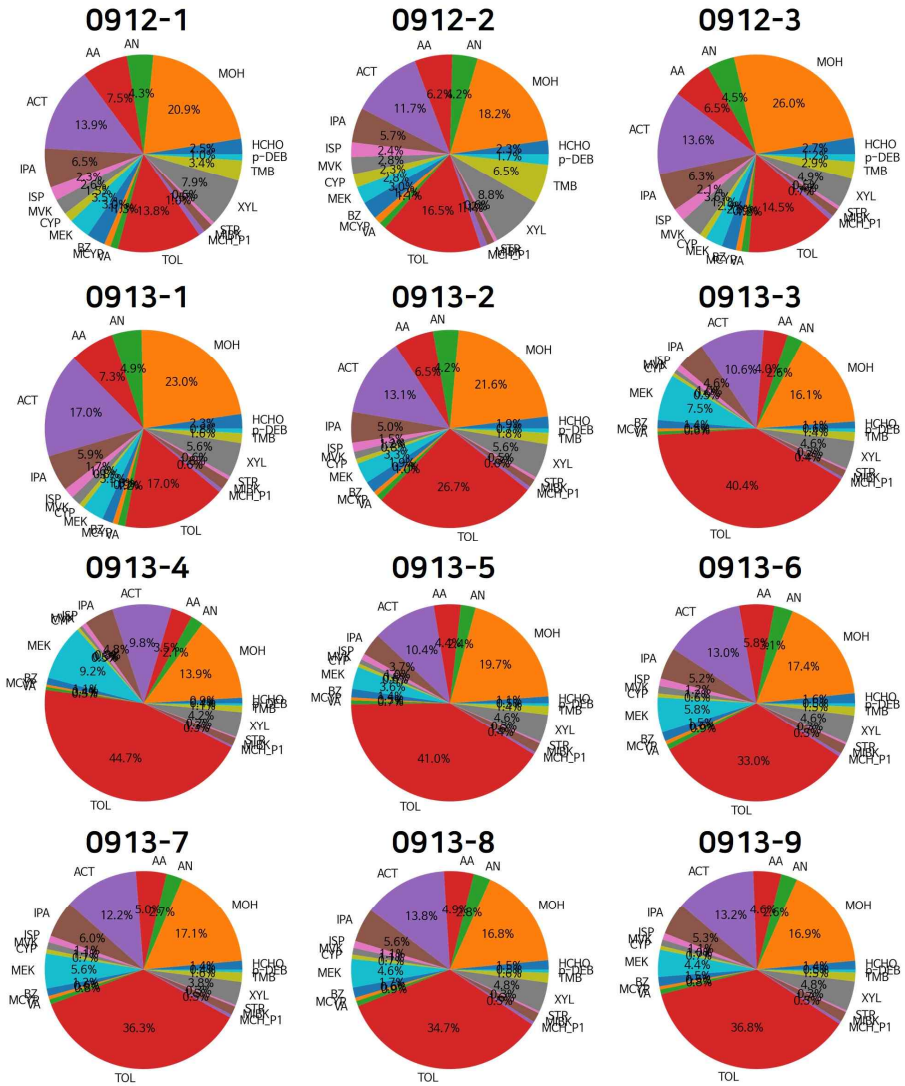
약어	0914-4	0914-5	0914-6	0914-7	0914-8	0915-1	0915-2	0915-3
HCHO	0.843	0.869	0.945	0.958	0.946	0.708	0.680	0.733
MOH	12.590	15.088	11.063	11.582	9.797	9.549	8.640	9.714
AN	1.873	2.013	1.731	1.839	1.689	1.598	1.648	1.713
AA	2.851	2.976	2.754	3.890	3.140	2.070	2.004	2.214
ACT	7.878	8.798	7.698	8.127	7.770	5.466	5.058	5.486
IPA	4.657	3.248	2.726	2.919	2.941	1.589	1.540	2.381
ISP	0.704	0.757	0.704	0.688	0.661	0.560	0.612	0.647
MVK	0.556	0.582	0.587	0.663	0.770	0.126	0.137	0.243
CYP	0.453	0.548	0.468	0.432	0.364	0.266	0.472	0.410
MEK	2.457	2.055	4.011	2.613	3.040	0.912	1.016	3.683
BZ	0.945	1.031	0.863	1.140	0.911	0.591	0.668	0.815
MCYP	0.336	0.372	0.346	0.340	0.308	0.254	0.280	0.287
VA	0.428	0.447	0.421	0.457	0.403	0.301	0.305	0.322
TOL	27.672	29.059	20.074	31.213	24.920	9.407	13.860	19.055
MCH_P1	0.294	0.338	0.307	0.313	0.282	0.248	0.243	0.247
MIBK	0.854	0.952	0.902	1.171	0.992	0.390	0.404	0.523
STR	0.204	0.212	0.189	0.212	0.189	0.178	0.161	0.175
XYL	3.453	3.493	2.825	3.486	2.877	1.744	1.846	2.596
TMB	0.982	1.232	1.027	1.141	0.937	0.572	0.734	0.845
p-DEB	0.322	0.375	0.321	0.319	0.289	0.238	0.250	0.313

[표 4-13] 서울시 이동관측 결과 요약(계속)

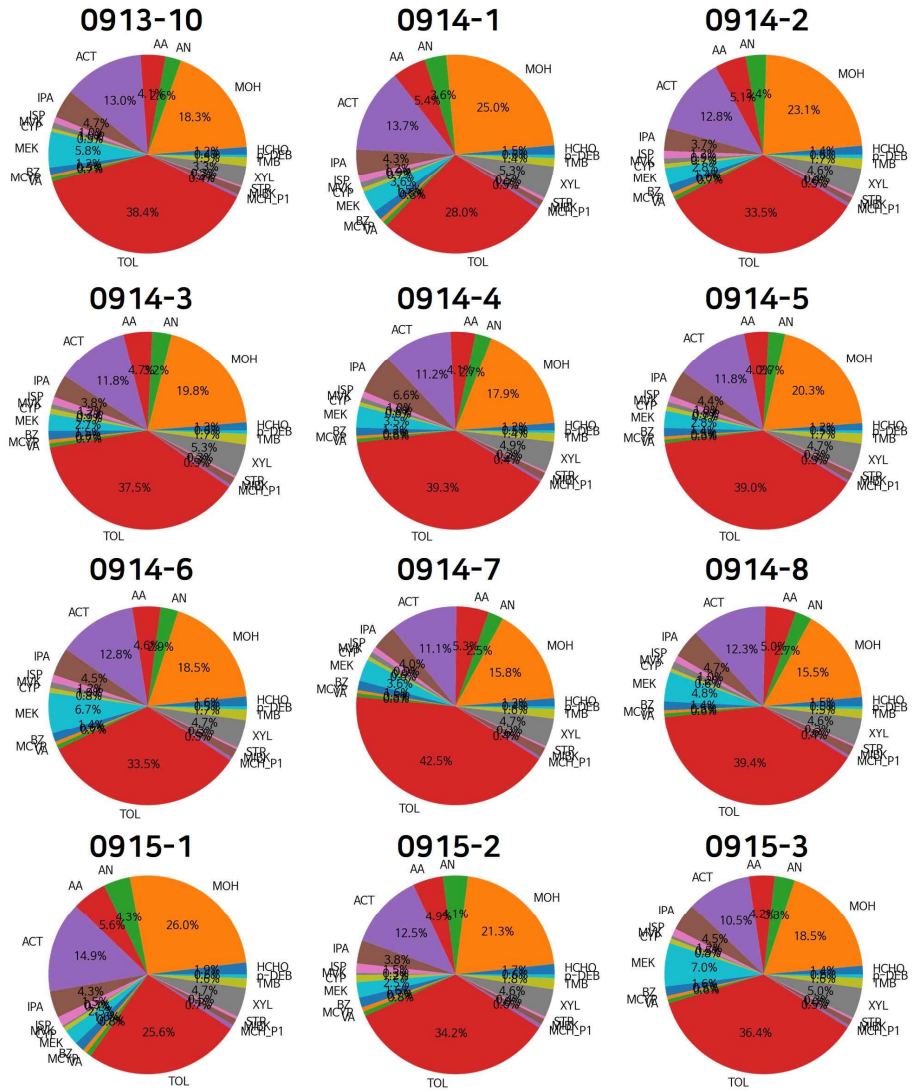
약어	0915-4	0915-5	0915-6	0915-7	0915-8	0916-1	0916-2	0916-3
HCHO	0.771	0.812	0.807	0.815	0.812	0.876	0.886	0.886
MOH	11.150	12.105	10.009	12.219	21.315	13.008	15.069	15.035
AN	1.794	1.836	1.774	1.767	1.923	1.669	1.962	1.787

AA	2.301	2.457	2.313	2.321	2.332	2.280	2.742	2.690
ACT	6.756	6.537	5.682	6.631	7.161	6.021	9.319	8.311
IPA	2.800	3.060	3.100	3.559	2.783	2.558	5.578	2.847
ISP	0.660	0.754	0.798	0.806	0.713	0.609	0.702	0.764
MVK	0.317	0.369	0.497	0.578	0.548	0.432	0.485	0.636
CYP	0.437	0.731	0.889	0.504	0.323	0.318	0.349	0.422
MEK	3.638	5.538	5.006	6.689	3.353	3.246	4.081	2.717
BZ	0.685	0.933	0.915	0.931	0.781	0.793	1.005	1.175
MCYP	0.308	0.351	0.364	0.347	0.301	0.283	0.309	0.329
VA	0.349	0.451	0.418	0.470	0.496	0.441	0.772	0.634
TOL	26.558	31.918	25.739	32.075	38.186	21.995	40.349	32.750
MCH_P1	0.293	0.323	0.332	0.383	0.341	0.257	0.322	0.340
MIBK	0.617	0.837	0.936	0.977	0.977	1.008	1.248	1.439
STR	0.174	0.192	0.183	0.185	0.187	0.174	0.201	0.217
XYL	2.620	3.251	3.891	3.816	3.846	2.662	4.113	4.175
TMB	0.900	1.242	1.066	1.210	1.039	0.892	1.253	1.344
p-DEB	0.286	0.419	0.292	0.401	0.436	0.298	0.477	0.465

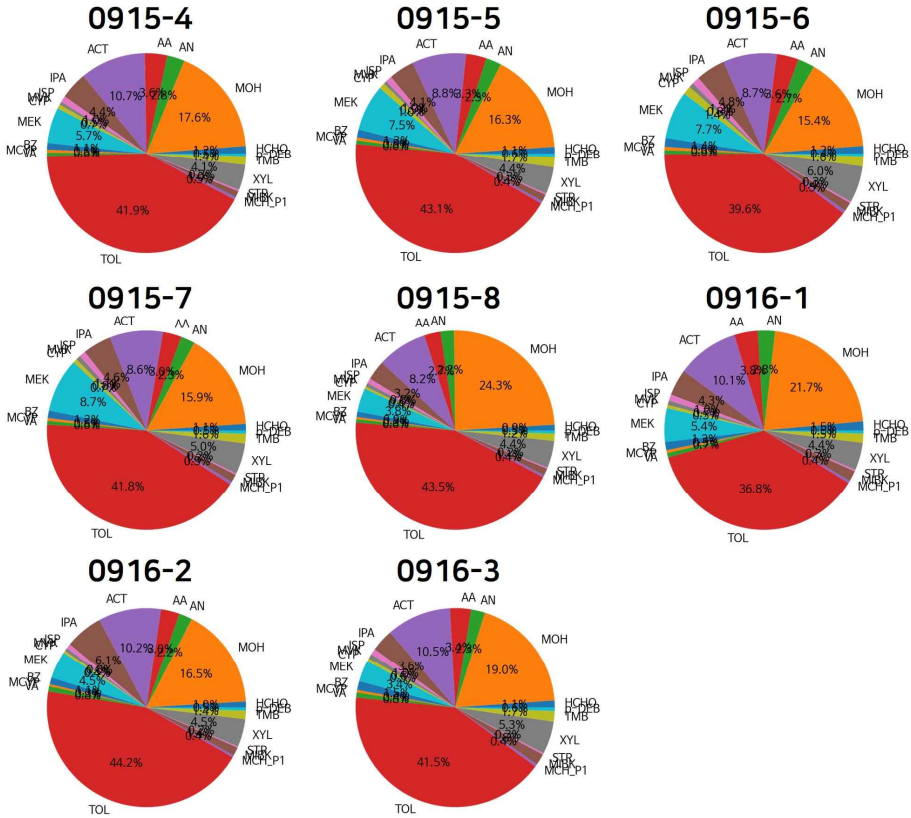
요일별로 측정된 TVOC 농도 뿐만 아니라, VOCs의 구성비율을 살펴보았다. 9월 12일(일)에는 3차례 측정에서 모두 톨루엔(TOL)이 약 15% 내외로 나타났으며, 메탄올(MOH)이 가장 많은 18~26%로 나타났다. 아세톤(ACT)은 11~14% 수준으로 나타났고, 자일렌(XYL)은 5~9%로 나타났다. 이러한 경향이 9월 13일(월)의 첫 번째 측정(0913-1)에서도 유지되었으나, 인쇄시설들이 작업을 시작하면서 점점 톨루엔(TOL)의 비중이 높아져 9시부터는 톨루엔(TOL)이 약 40% 이상으로 나타났다(0913-3부터 0913-5 까지). 점심시간인 12시 측정(0913-6)에서는 톨루엔(TOL)이 33%로 다소 감소하였으나, 14시 이후 측정에서는 다시 증가하여 34~37% 수준으로 나타났다. 월요일 이후 측정에서도 인쇄소 작업시간에 따른 톨루엔(TOL)을 비롯한 다른 VOCs 농도 변동이 월요일과 유사하게 나타났다.



[그림 4-12] 서울시 VOCs의 구성비 특성



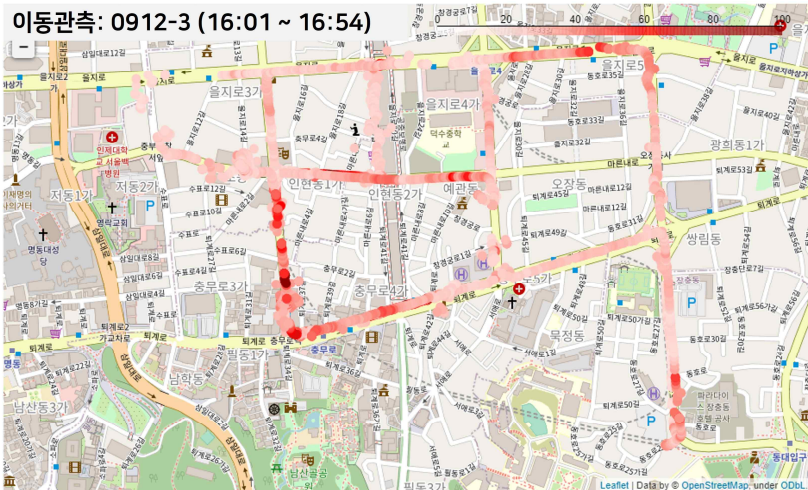
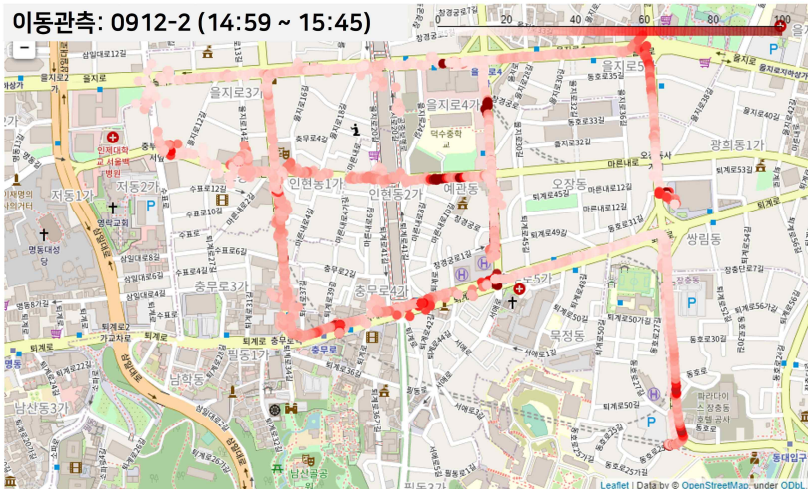
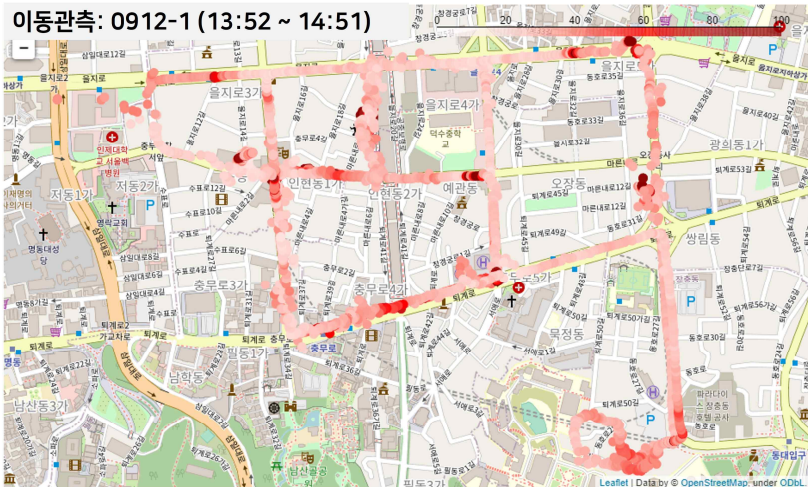
[그림 4-12] 서울시 VOCs의 구성비 특성(계속)



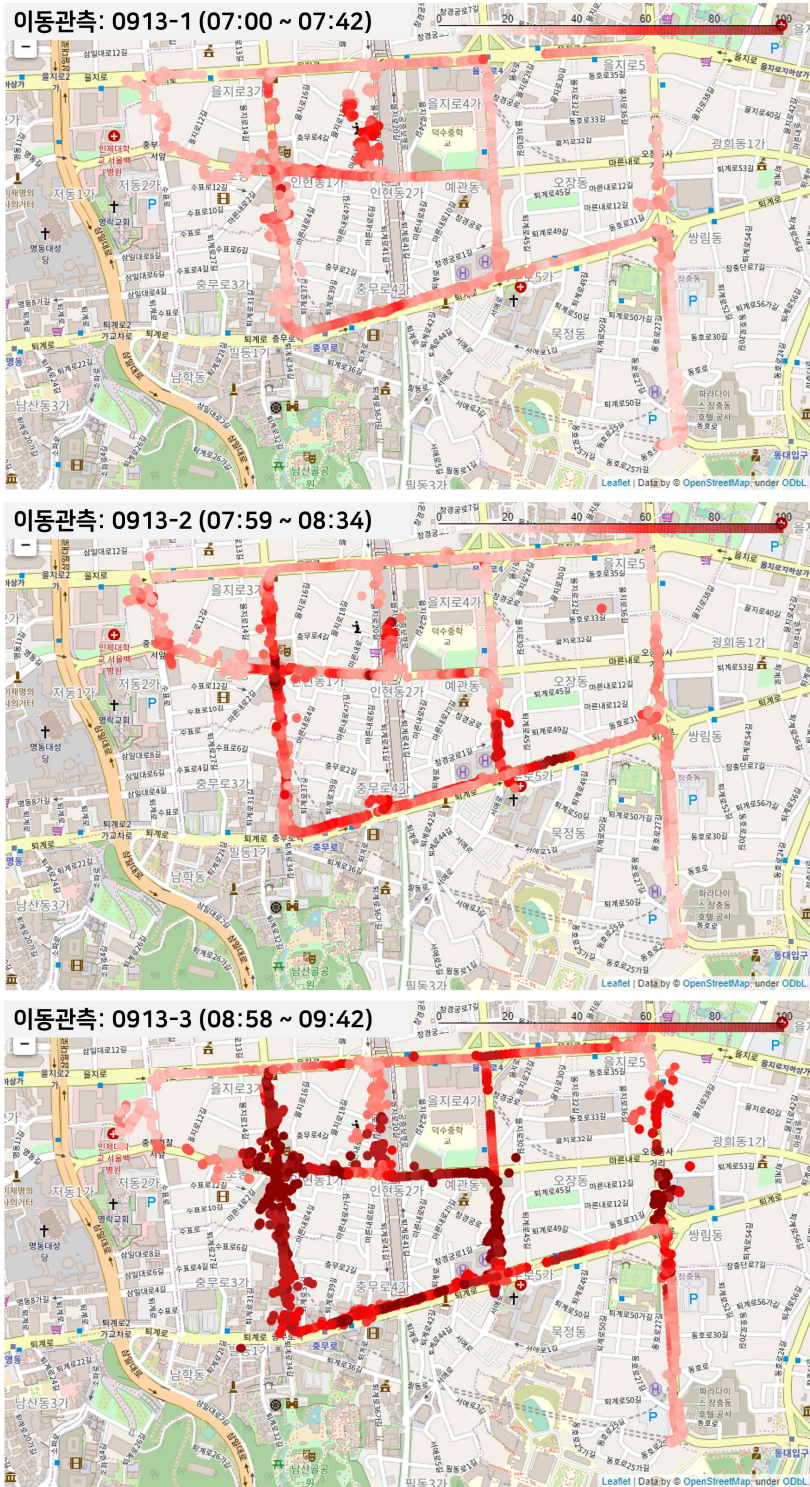
[그림 4-12] 서울시 VOCs의 구성비 특성(계속)

이동측정을 통해 측정 위치별 TVOC 농도를 각 측정별로 아래 그림과 같이 지도에 표현하였다. 9월 12일은 일요일로써 전체적으로 TVOC 농도가 낮았다. 인쇄시설들이 휴업하는 시기였기 때문으로 그 원인이 추정되며, 때때로 고농도인 지점들이 일부 존재하였으나, 유의미하지는 않은 것으로 생각된다. 9월 13일은 월요일로써 하루일과가 시작되는 오전 9시부터 TVOC 농도가 급격하게 증가하기 시작한다. 특히 충무로역에서 을지로3가역으로 이어지는 구간에서 급격하게 증가하는데, 이 지역이 바로 인쇄소들이 밀집한 구역과 일치한다.

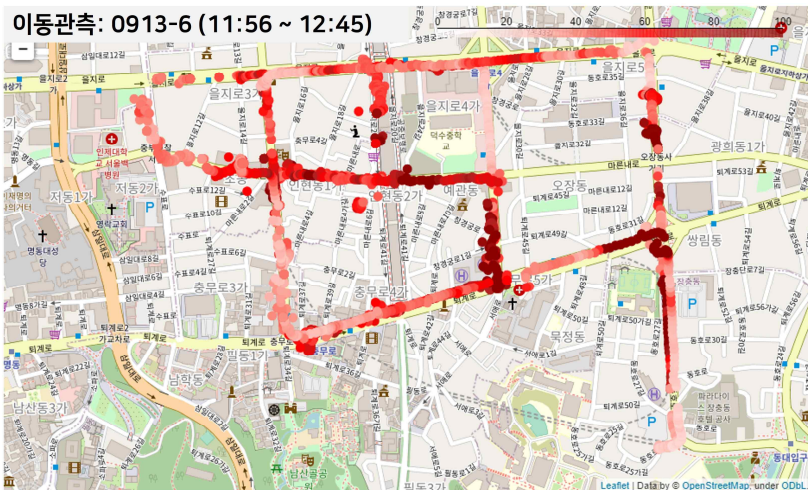
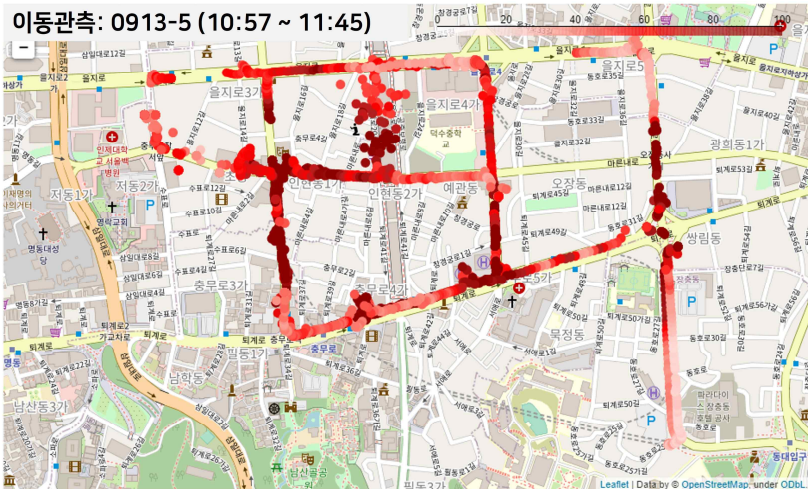
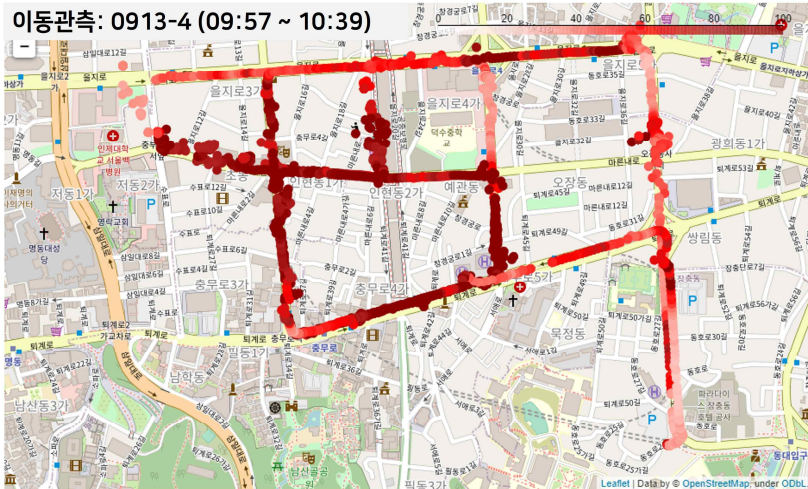
앞서 VOCs의 구성비율에서도 살펴볼 수 있었던 것처럼 톨루엔(TOL)의 비율이 줄어드는 9월 13일(월) 12시 측정(0913-6)에서 상대적으로 인쇄소 밀집 구역에서의 TVOC 농도가 낮아졌다. 점심시간으로, 인쇄소 작업 여부와 배출물질을 고려하여 측정 결과를 해석할 필요가 있다. 휴식시간으로 인한 톨루엔(TOL) 배출량 감소가 이러한 특징을 유발한 것으로 추정된다.



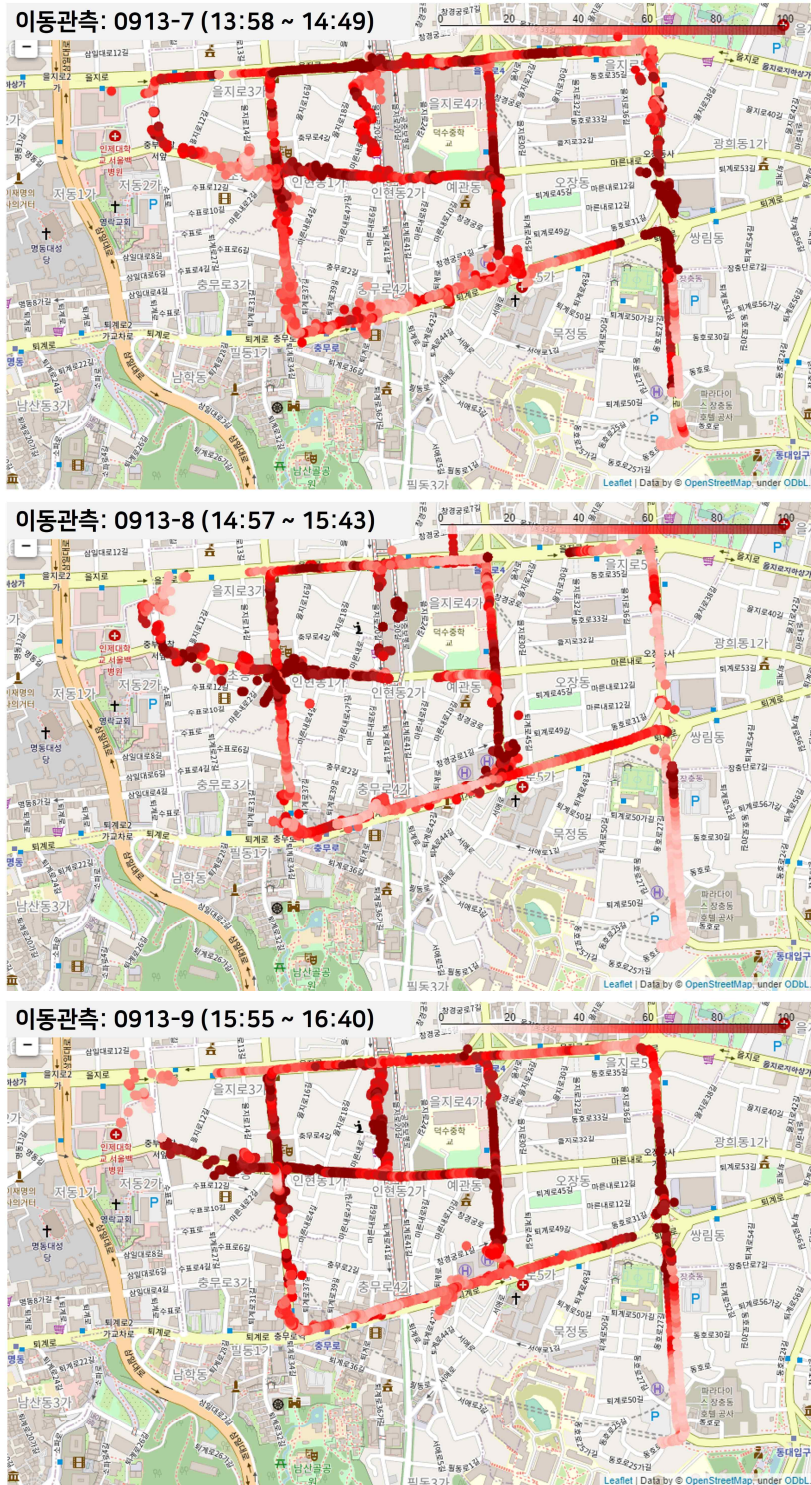
[그림 4-13] 9월 12일(일) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포



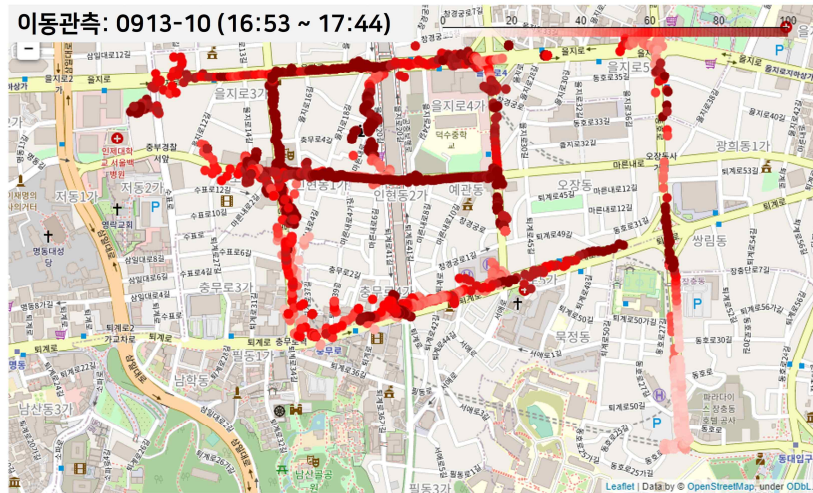
[그림 4-14] 9월 13일(월) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포



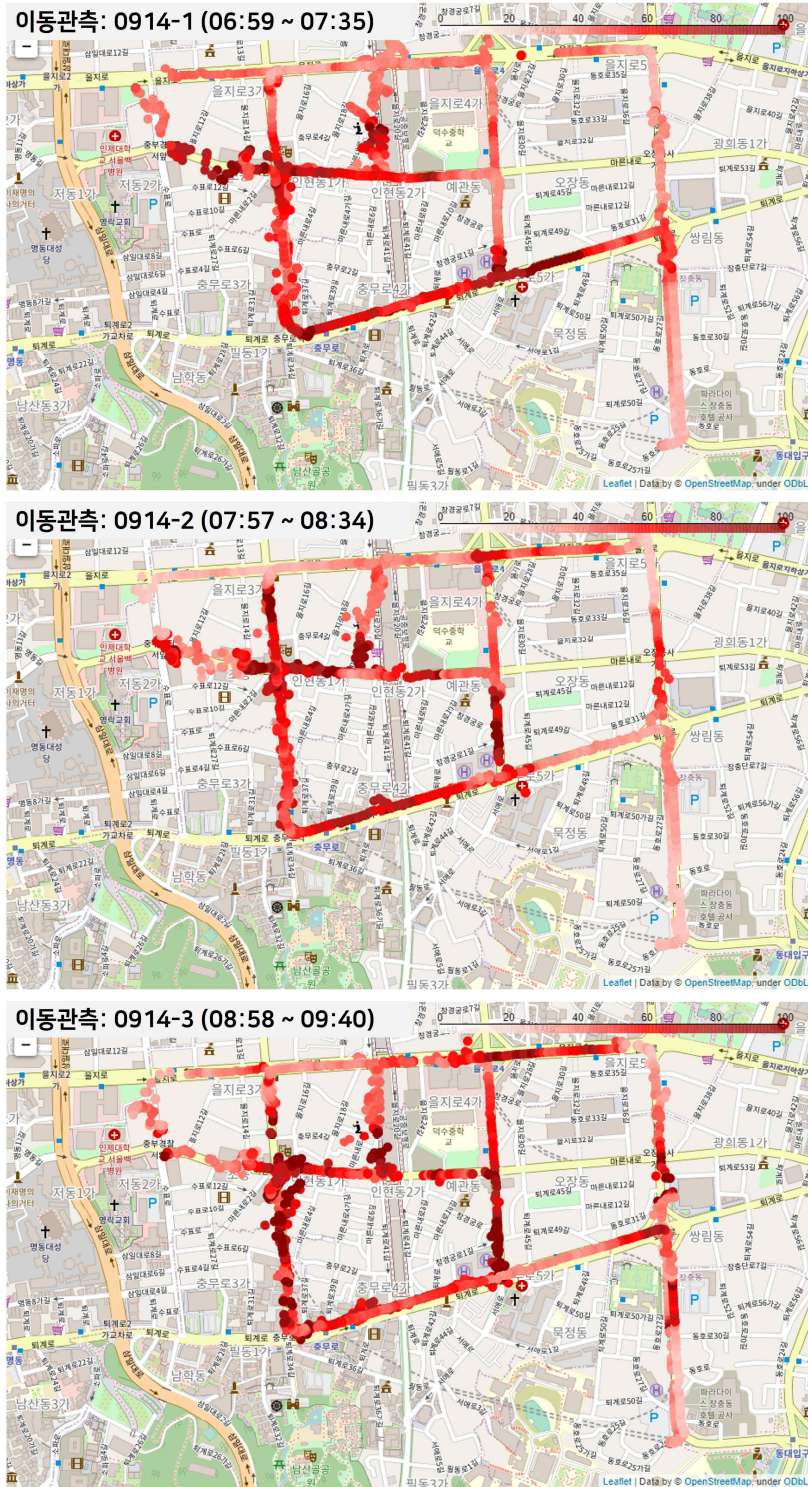
[그림 4-14] 9월 13일(월) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포(계속)



[그림 4-14] 9월 13일(월) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포(계속)

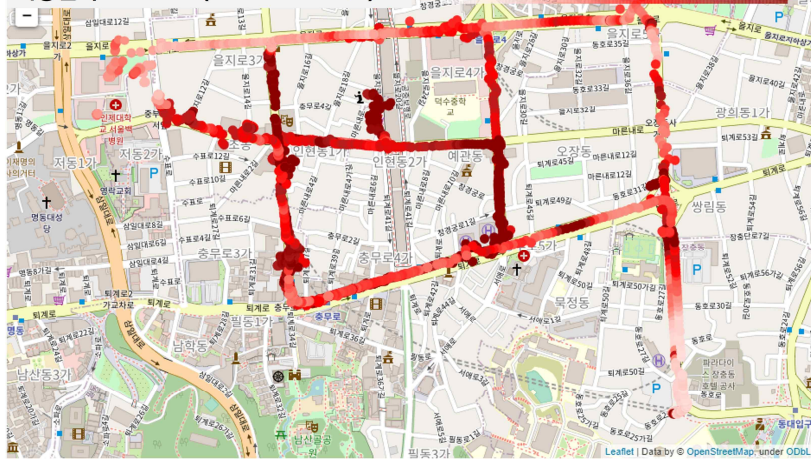


[그림 4-14] 9월 13일(월) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포(계속)

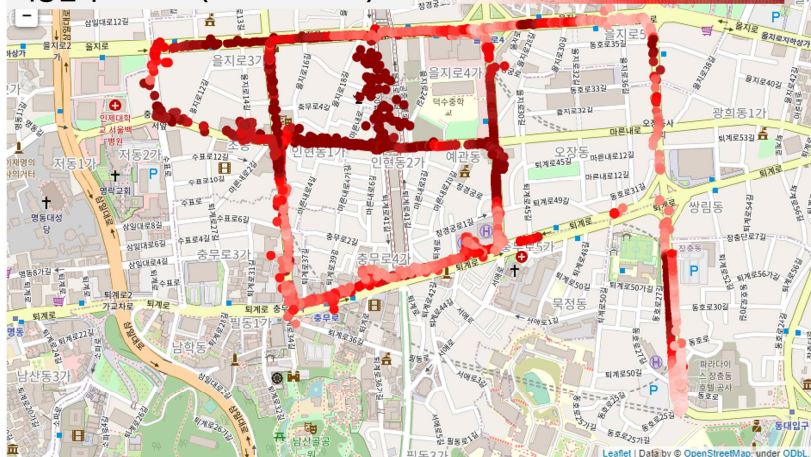


[그림 4-15] 9월 14일(화) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포

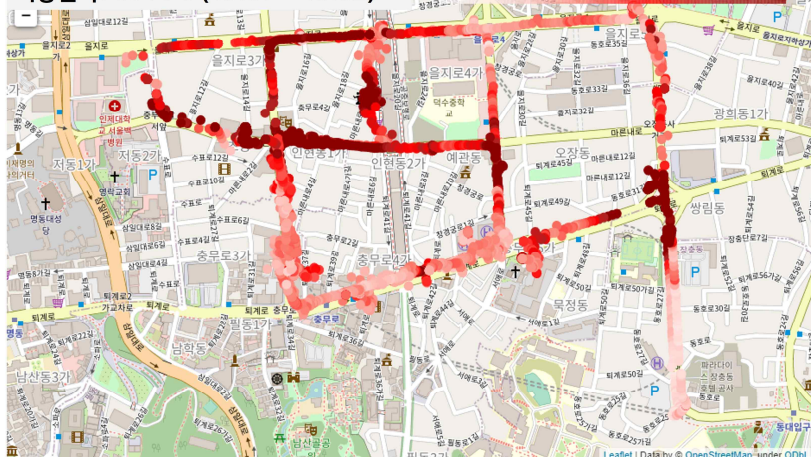
이동관측: 0914-4 (09:59 ~ 10:41)



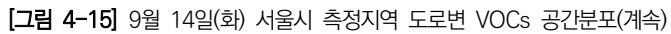
이동관측: 0914-5 (10:56 ~ 11:46)

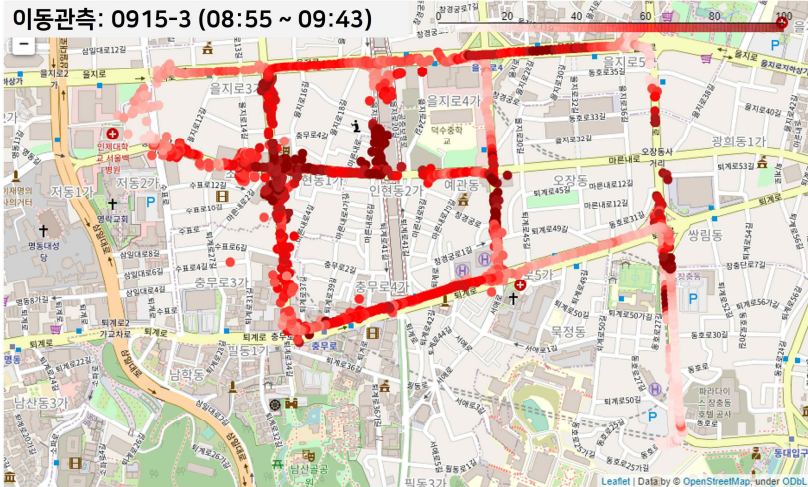
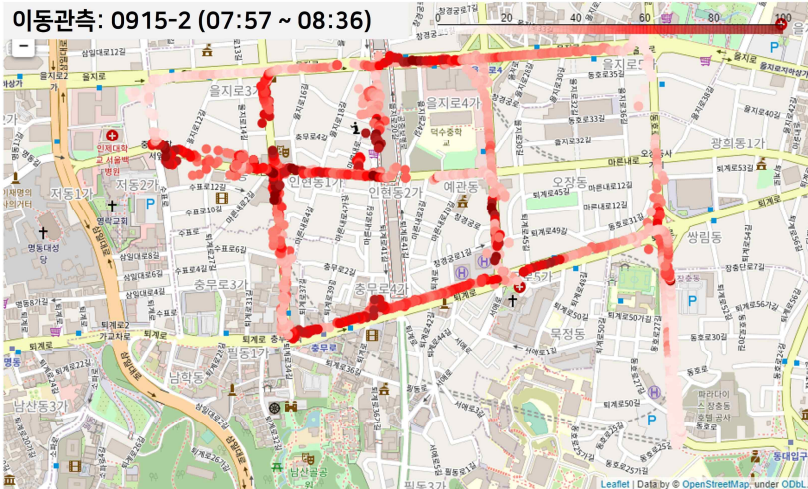
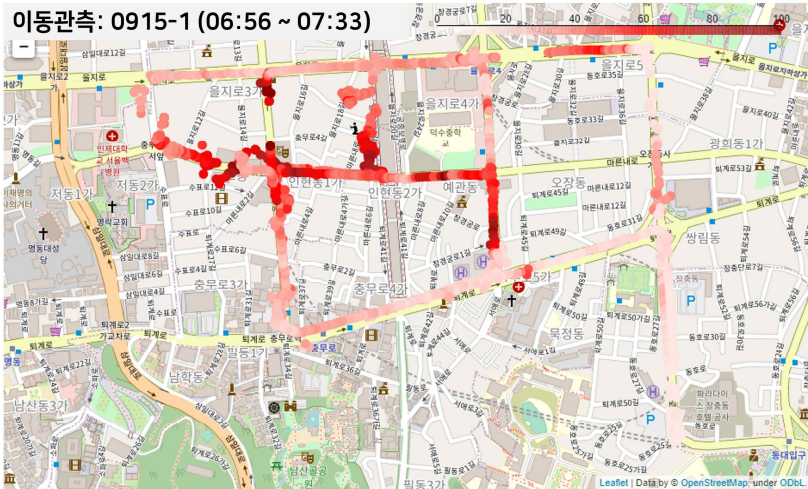


이동관측: 0914-6 (13:57 ~ 15:02)

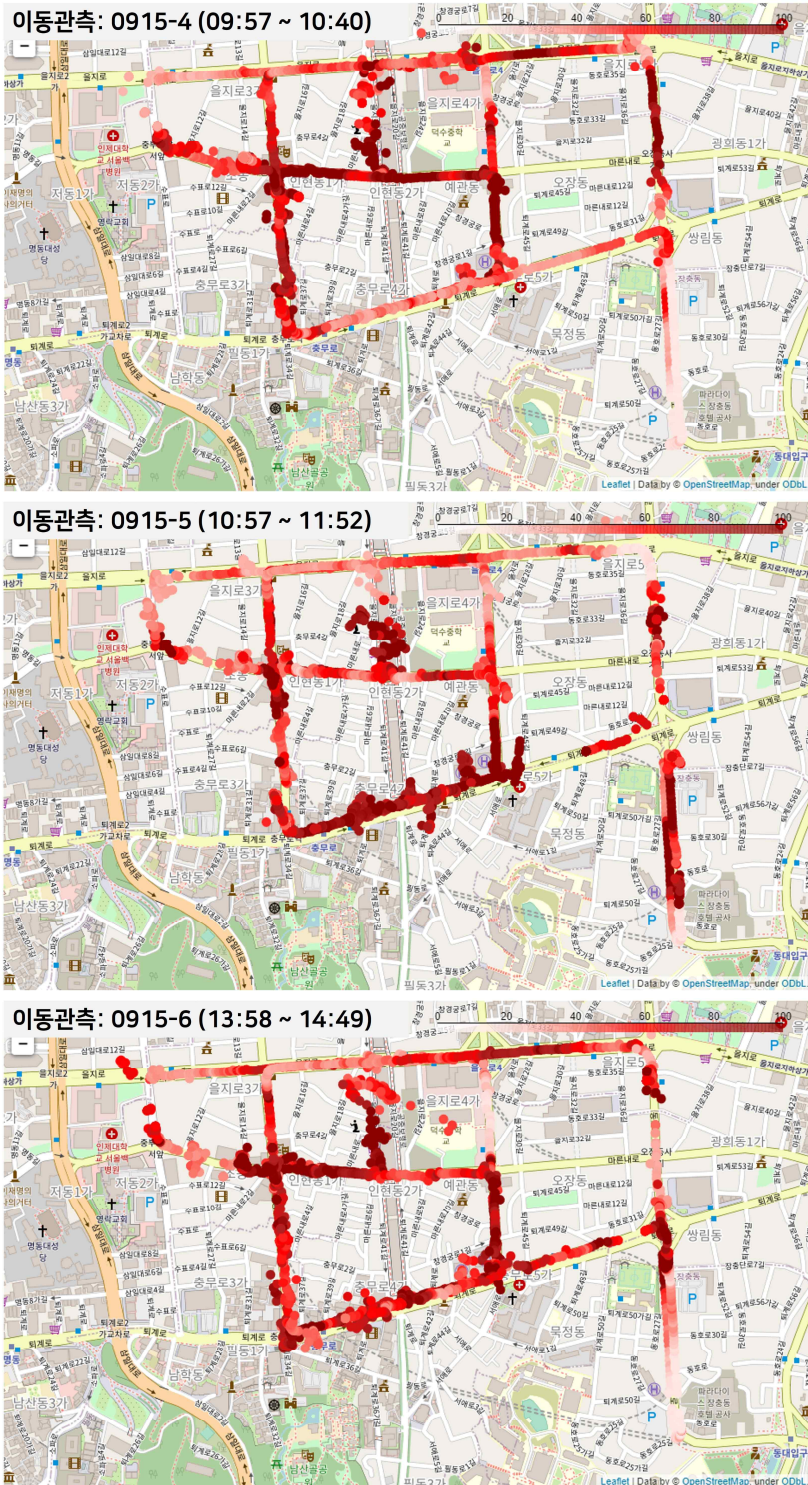


[그림 4-15] 9월 14일(화) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포(계속)

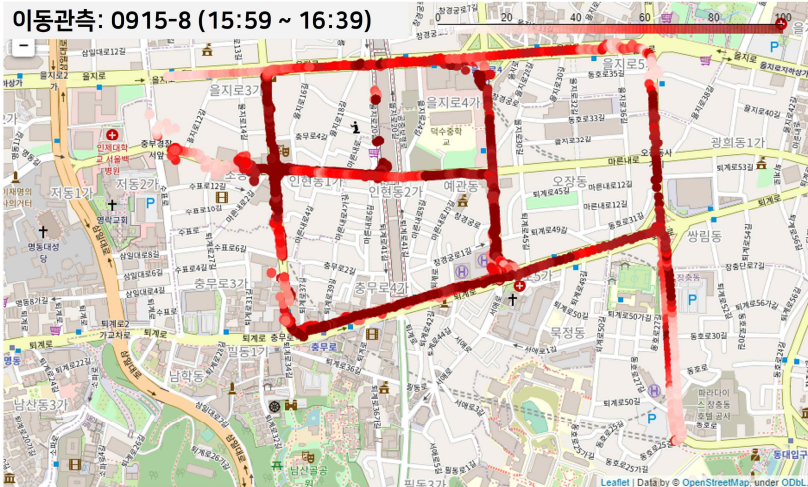
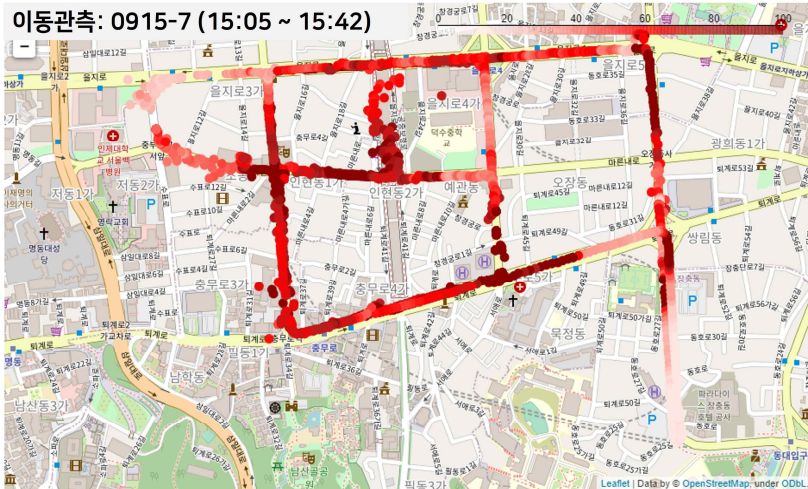




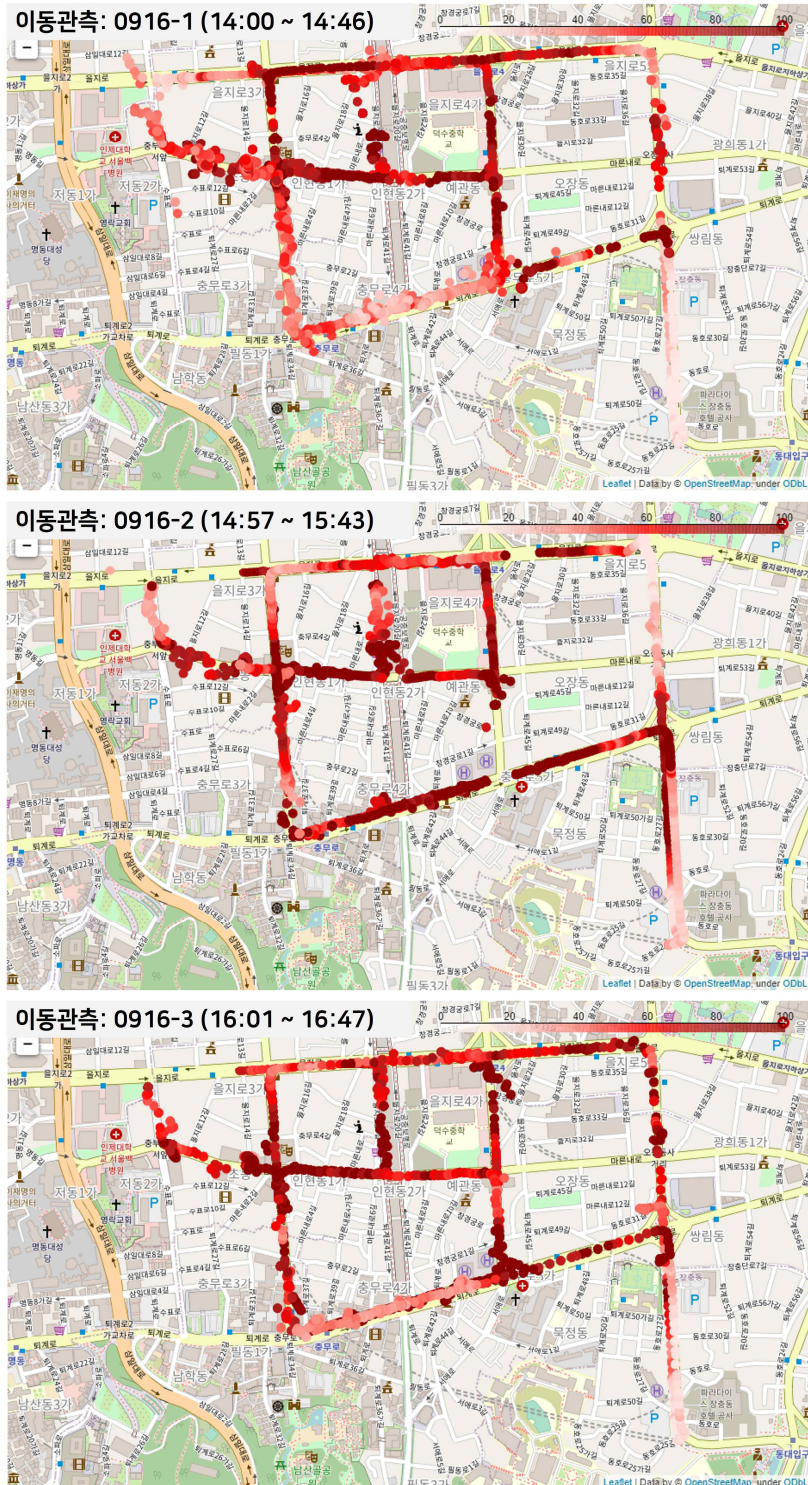
[그림 4-16] 9월 15일(수) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포



[그림 4-16] 9월 15일(수) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포(계속)



[그림 4-16] 9월 15일(수) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포(계속)

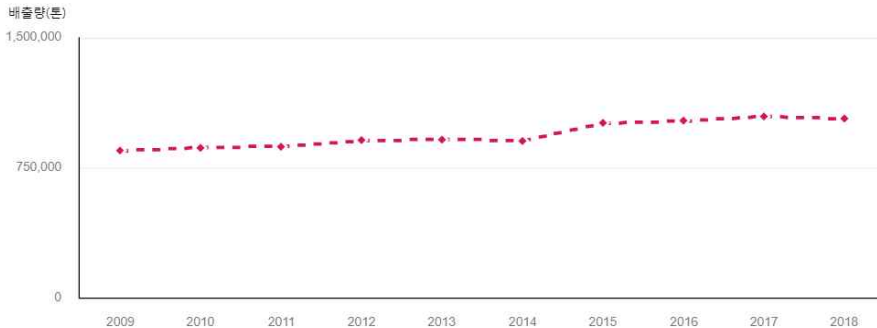


[그림 4-17] 9월 16일(목) 서울시 측정지역 도로변 VOCs 공간분포

서울시 도심의 중심부라 할 수 있는 충무로부터 을지로3가까지 구간에 대해 이동 측정을 수행한 결과, 밀집한 인쇄시설의 작업 활동에 의한 톨루엔(TOL) 등 각종 VOCs 물질들이 배출되고, 이것이 지역적인 대기오염을 크게 유발할 수 있다는 점을 발견할 수 있었다. 이른 아침(7시) 측정시부터 점심시간(12시), 오후시간(14~17시)까지 다양한 시간대 측정을 통해 인쇄시설의 작업 여부에 따라 VOCs들의 구성 비율과 농도가 크게 차이나는 것을 확인할 수 있었다. VOC는 오존생성의 전구물질로도 작용할 수 있기 때문에 특히 도심지에서의 농도 관리가 필수적이다. 서울 도심지에서의 집중관측을 통해 소형배출시설에 의한 VOCs 배출 실태를 파악한 것에 본 연구에 의의가 있다.

2-2. 경기도

휘발성유기화합물은 대기 중으로 쉽게 휘발되는 탄화수소화합물로 태양광선에 의해 질소산화물(NOx)과 광화학 반응을 일으켜 지표면의 오존 농도를 증가시켜 광화학 스모그를 일으키는 물질로 정의된다. 대기환경보전법에서는 대기 중에 존재하는 물질 중에서 대기오염의 원인으로 인정된 가스상 물질로서 환경부령으로 정하는 대표적인 대기오염물질이다. 국립환경과학원에서 발행하는 국가 대기오염배출량 통계 자료 CAPSS에 따르면 우리나라 VOCs 배출량은 최근 10년간 꾸준히 증가하는 추세를 보였으며, 2018년에는 1,035,636톤으로 전년 대비 -1.1%로 감소하였지만 2007년(851,162톤) 대비 184,474톤(21.7%)정도 증가한 것으로 나타났다. 전체 VOCs 배출량 중에서 가장 많은 기여율(52.59%)을 차지하는 유기용제 사용에 따른 배출량은 전년대비 16,071톤(3%) 증가하였다. 경기도의 경우 전체 VOCs 중 유기용제 사용은 배출량은 70.9%로 높은 편이다. 유기용제 사용은 크게 도장시설, 세정시설, 세정시설, 세탁시설, 기타 유기용제 사용으로 분류되며 인쇄시설의 경우 기타 유기용제 사용의 경우로 분류된다. CAPSS에서는 기타 유기용제 사용에 인쇄업을 마스터인쇄, 스크린 인쇄, 오프셋인쇄, 그라비아 인쇄로 분류하고 있다.



[그림 4-18] VOCs 연간 배출량 변화

경기도는 전국 시도 중에 VOCs 배출량이 190,940톤으로 전체 배출량의 18.4%를 차지한다(국가미세먼지 정보센터). (비교: 서울특별시 88,283톤(8.5%), 충청남도 78,132톤(7.5%))

‘수도권 대기환경개선에 관한 특별법’에서는 수도권 지역 중 대기오염이 심한 지역 또는 해당지역에서 배출되는 대기오염물질이 수도권 지역의 대기오염에 크게 영향을 미친다고 인정되는 지역을 ‘대기관리권역’으로 정하고 있으며 경기도의 파주시를 포함하고 있다.

경기도 내 인쇄밀집 지역의 VOCs 분석을 위해 파주시에 위치한 파주출판도시(경기 파주시 문발동 인근지역)를 대상으로 설정하였다. 파주출판도시는 국내 유일의 출판문화산업단지이다. 이곳은 출판업, 상업인쇄 시설 및 인쇄관련 서비스업, 출판유통 관련 업체가 한 곳에 모여 있다. 출판도시가 들어서기 전에는 황량한 습지지역으로 1997년 국가산업단지로 지정받았다. 관측지역은 2007년에 약 874,000㎡(260,000평)에 책의 도시를 모토로 한 1단계 공사가 완성되었다. 파주출판도시 1단계 지역의 산업시설용지 중 출판업과 영상산업 부지가 약 208,263.4㎡(53.9%)로 가장 높고, 상업인쇄 및 인쇄관련 서비스업과 영상산업 약 103,665.8(26.8%), 출판유통업, 일반창고업 74,724.5(19.3%) (국토해양부(2011.8), 고시 제2020-224호).



[그림 4-19] 파주출판도시 토지이용 계획도

파주시는 경기도 전체 출판인쇄업 14,334개소 중 파주시에 1,782개소가 영업 중이며 아래의 그림은 파주출판도시 인쇄시설 위치를 나타낸 것이다 (경기데이터드림).

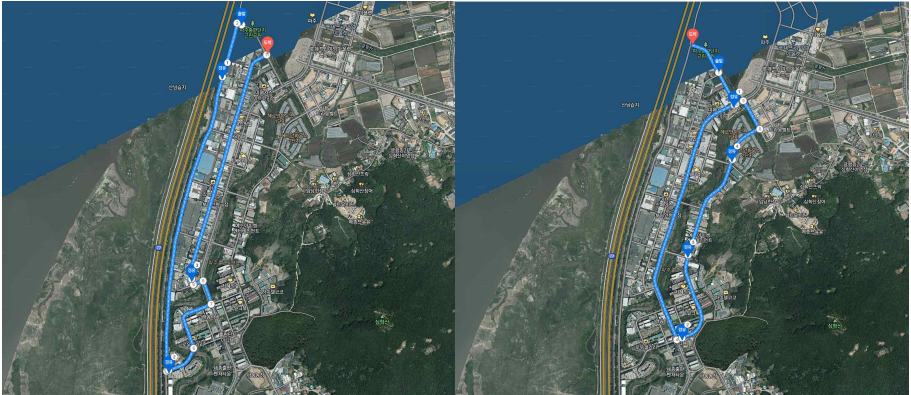


[그림 4-20] 파주출판도시 인쇄시설 위치

인쇄시설에서 나오는 VOCs는 국가 배출량 산정시 인쇄조건(인쇄방법, 잉크 및 사용용제) 등을 고려하지 않아 정확한 현황 파악 및 관리 대책에 마련에 한계가 있다. 벤젠, 톨루엔, 자일렌, 할로젠화 탄화수소 등 일부 VOCs는 발암성 등 유해성을 가지고 있어 작업장에서 근로자의 건강에 영향을 미친다. 또한 질소산화물(NOx)과 광화학반응을 일으키기 때문에 VOCs 배출시설에 대한 관리를 실시하고 있으나 인쇄시설 등과 같은 소규모 배출시설에 대한 관리방안이 미비하고 배출량 산정방법도 보완이 필요한 실정이다. 해당 연구는 인쇄 밀집지역인 파주출판도시를 대상으로 인쇄시설에서 발생하는 VOCs가 주변에 확산 정도를 기초 조사하기 위해 이동식 관측 차량을 활용하여 위치에 따른 VOCs 성분 분석하였다.

파주출판도시의 시공간 VOCs 분포를 파악하기 위해 이동 관측이 가능한 차량에 PTR-ToF-MS 장비를 탑재하여 인쇄시설이 밀집되어 있는 도로를 이동 관측하였다. 주요 관심대상은 문발로 중앙도로와 녹지지역을 중심으로 동쪽과 서쪽으로 양분화 되어 있는 인쇄밀집 지역과 북서방향(경기 파주시 회동길)에 있는 밀집지역이다. 측정은 2021년 9월 9일 08:45~17:46까지 총 7번 관측하였고, 9월 10일 08:07~18:00 6번, 9월 11일 08:19~09:55 2번 관측되었고 3일간 총 15번 수행되었다. 총 관측 거리는 약 7 km, 아래 그림 4-5와 같이 루트 1과 루트 2를 관측한 1회 관측 시간은 평균 28.4분이다. 관측 경로는 아래의 그림과 같고, 루트 1번과 2번에 이동관측 특성상 일부 구간에서 관측이 겹치기 때문에 나눠서 표현하였

을 뿐 실제적으로는 루트 1에서 루트 2로 연속 관측 되었다. 총 관측 개수는 27,524지점에서 관측되었다. 이동 관측 차량은 교통상황을 고려하여 30 km 이하로 이동하였고, 관측기간 동안에는 교통량이 거의 없어 신호대기 교차로를 제외하고는 거의 멈추지 않고 관측되었다.



[그림 4-21] 파주출판도시 이동관측 경로 (루트 1(좌), 루트 2(우))

[표 4-14] 이동측정일정 및 데이터 획득 결과

9월 9일(목)	측정 시간	측정 갯수	9월 10일(금)	측정 시간	측정 갯수	9월 11일(토)	측정 시간	측정 갯수
M1	08:45~09:18	1,952	M8	08:07~08:34	1,668	M14	08:19~08:51	1,910
M2	10:02~10:41	2,340	M9	09:30~10:02	1,905	M15	09:26~09:55	1,734
M3	11:32~12:07	2098	M10	10:54~11:21	1,644			
M4	12:59~13:29	1793	M11	12:24~12:51	1601			
M5	14:28~14:56	1684	M12	14:02~14:30	1718			
M6	15:53~16:22	1786	M13	17:24~18:00	2110			
M7	17:26~17:46	1586						

[표 4-15] 경기도 파주시 이동관측에 사용된 PTR-ToF-MS의 주요 정성물질 분류 및 특징

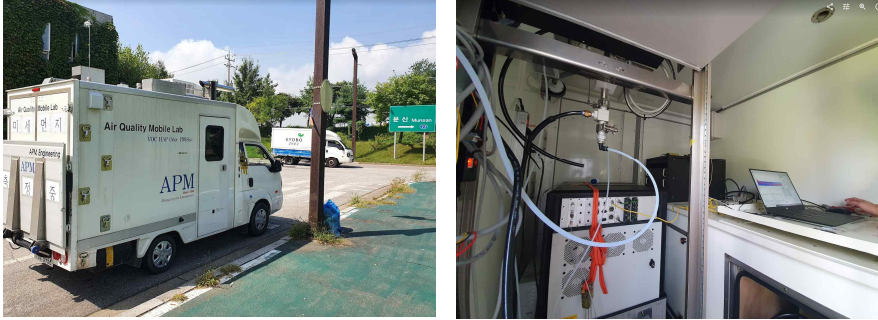
배출원 특징	약어	물질명	구조	분자량	증기압	끓는점
OVOCs, photochemical	HCHO	Formaldehyde	CH ₂ O	31.0236	1.39 kPa	-19
OVOCs	MOH	Methanol	CH ₄ O	33.0314	13.02 kPa	64.7
Automobile	AN	Acetonitrile	C ₂ H ₃ N	42.0344	9.71 kPa	81.3 ~ 82.1
OVOCs, Automobile	AA	Acetaldehyde	C ₂ H ₄ O	45.0341	98.65 kPa	20.2
OVOCs	ACT	Acetone	C ₃ H ₆ O	59.0497	30.6 kPa	56.05
-	IPA	Isopropyl alcohol	C ₃ H ₈ O	61.035	4.1 kPa	81.4
BVOCs	ISP	Isoprene	C ₅ H ₈	69.0725	73.33 kPa	34.067
Petrochemical, OVOCs	MVK	Methyl Vinyl Ketone	C ₄ H ₆ O	71.0479	41 kPa	81.4
Petrochemical, OVOCs	MEK	Methyl Ethyl Ketone	C ₄ H ₈ O	73.0633	10.39 kPa	79.64
ClassI, Carcinogenic	BZ	Benzene	C ₆ H ₆	79.0548	12.7 kPa	80.1
Carcinogenic, Solvents	TOL	Toluene	C ₇ H ₈	93.0704	2.8 kPa	111
Carcinogenic, Plastics	STR	Styrene	C ₈ H ₈	105.0699	0.66 kPa	145
Carcinogenic, Solvents	XYL	Xylene	C ₈ H ₁₀	107.0861	0.82 kPa	138.5
Carcinogenic,,	TMB	Trimethylbenzene	C ₉ H ₁₂	121.1012	0.27 kPa	169 ~ 171

표 4-15은 본 측정에 사용된 PTR-ToF-MS의 개별 VOC 물질을 나타낸 것이다. 개별물질 항목은 기존 연구보고서와 인쇄시설 관련 논문을 검토하여 총 14개 물질을 선별하였다. 대기 중 BTXS (Benzene, Toluene, Xylene, Styrene)의 경우 유기용제에서 발생하는 물질이다. benzene은 호흡을 통해 약 50%가 인체에 흡수되며, 아주 작은 양이지만 피부를 통해 침투되기도 한다. 체내에 흡수된 benzene은 주로 지방조직에 분포하게되며, 급성중독일 경우 마취증상이 강하게 나타나며 호흡곤란, 불규칙한 맥박, 졸림 등을 초래하여 혼수 상태에 빠진다. 만성중독일 경우 혈액장애, 간장장애, 재생 불량성 빈혈, 백혈병을 일으키기도 한다. Toluene 또한 호흡에 의해 주로 흡입되고 피부, 눈, 목 안 등을 자극하며 피부와 접촉하면 탈지작용을 일으키기도 한다. 또한 두통, 현기증, 피로 등을 일으키며 고농도에 노출될 경우 마비 상태에 빠지고 의식을 상실하며 때로는 사망에 이르기도 한다. Xylene에 의해서는 성장장애, 태아독성영향, 임신독성 등의 영향을 받는다 (Wallace, 1987).

인쇄시설에서 발생하는 VOCs는 잉크, 접착제, 세척제, 현상액 등의 사용으로 인한 것이며, 인쇄시설의 VOCs를 제어하는 방법에는 크게 두가지 있다. 사용원료나 공정에 대한 규제하는 방법으로 사용하는 잉크나 접착제 등에 포함된 유기용제의 함량을 낮추거나 생산공정을 개선하여 유기용제를 적게 사용하는 것이다. 다른 하나는 인쇄 공정에서 발생하는 VOCs를 처리가 가능한 방지시설을 설치 운영하는 것이다.

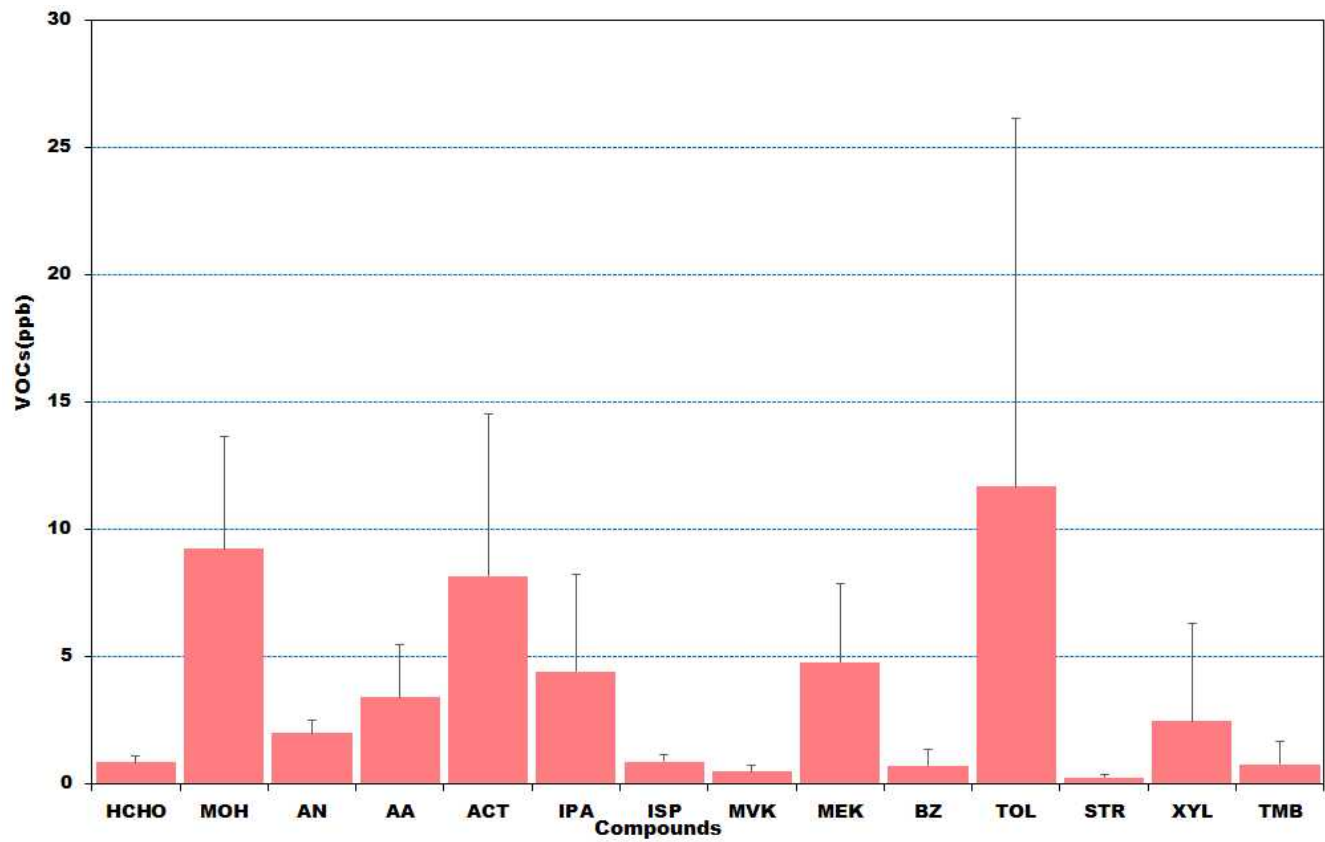
환경부에 2002 따르면 인쇄용 잉크 중에 VOCs 배출감소를 위한 국내의 인쇄용 잉크 함량기준안 및 감소목표를 정한 적이 있으나 대체품 사용으로 인쇄의 품질 감소, 제품생산 라인의 변경 등으로 경제성 감소를 이유로 큰 실효성을 거두지 못하고 있다.

환경부 2009 '휘발성유기화합물질 배출시설의 종류, 시설의 규모, 배출억제방지 시설의설치 등에 관한 규정 일부개정안'를 통해 유기용제 및 페인트 제조 시설에는 국소배기장치 및 휘발성유기화합물 방지시설 설치를 의무화하고 누출시 12일 이내에 수리 의무화, 혼합시설과 이동식 저장시설 상부에는 덮개를 설치하여 외부공기와 접촉을 최소화하여야 한다. 저장시설의 경우 밀폐 구조이어야 하며, 환기구를 통해 배출되는 휘발성유기화합물은 방지시설을 설치·처리하여야 한다. 충전시 배출되는 휘발성유기화합물은 전량 운송차량으로 회수하여야 한다.



[그림 4-22] 파주근린공원 앞 이동측정 차량 및 내부 모습

그림 4-23은 이동관측으로 측정된 파주출판도시의 도로변 오염물질별로 평균값을 나타낸 것이다. 측정결과 톨루엔(11.7 ± 14.5 ppb) > 메틸 알코올(9.2 ± 4.4 ppb) > 아세톤(8.1 ± 6.35 ppb) > 메틸 에틸 케톤(4.8 ± 3.1 ppb) > 이소프로필 알코올(4.4 ± 3.8 ppb) 순으로 나타났다. 특히 유기용제에 들어있는 톨루엔은 세계보건기구에서 지정한 1급 발암물질로 알려져 있고, 아세톤은 페인트의 용매로 널리 쓰이며 이외에도 세척제로 널리 사용되는 유기화합물이다. 아세톤은 주로 호흡기로 흡수되어 눈, 코, 인후의 자극, 구역, 두통, 피로감 등의 경한 증상에서부터 혼수, 감각신경장애와 인지기능 장애 등의 신경학적 증상이 생길 수 있다. 메틸 에틸 케톤은 눈에 자극을 주고 졸음 또는 현기증을 일으킨다. 아이소프로필 알코올은 눈, 코, 인후의 경한 자극, 중추신경계 억제, 호흡마비가 보고되어 있는 신경독성물질이다. 메틸 알코올도 단기적인 영향으로 메스꺼움, 복통, 두통, 시각 장애를 일으킬 수 있고 반복적이고 장기적으로 노출되면 중독, 뇌 장애, 시력저하를 일으킨다. 특히, 가장 높게 나온 톨루엔의 경우 평균 농도 보다 높은 표준편차를 보이는 이유는 측정위치에 따라 발생원에서 배출된 VOCs에 의해 편차가 컸음을 의미하고 이동관측 시 인쇄시설을 지날 때 농도가 급상승한 경우가 많았다. 측정기간동안 최소 0.55 ppb에서 최대 585.08 ppb로 편차가 심했고, 최대치의 경우 실내공기질 관리법 시행규칙에 따른 신축 공동주택의 실내 공기질 권고기준 $1,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (226 ppb) 보다 2.58배 높아 심각했다.



[그림 4-23] 고정측정(천안운동장)에서 측정된 VOCs의 평균농도

[표 4-16] 경기도 파주시 이동관측 결과 요약 (ppb)

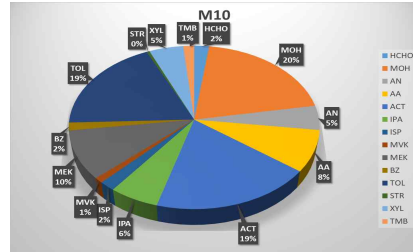
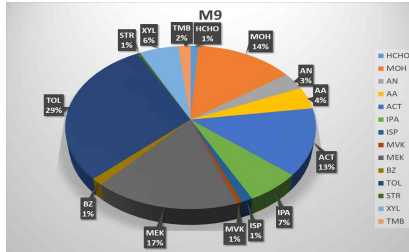
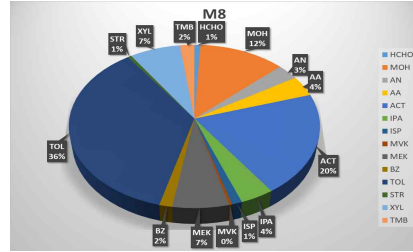
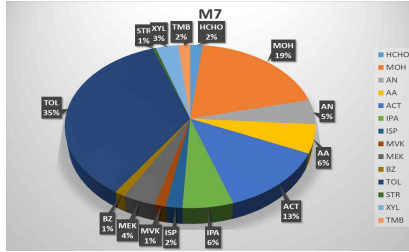
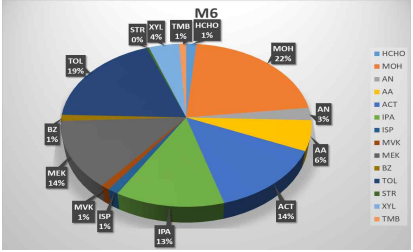
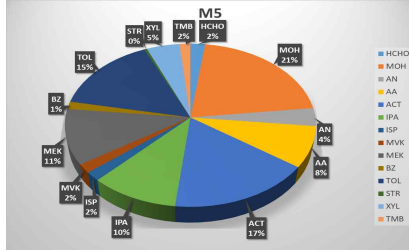
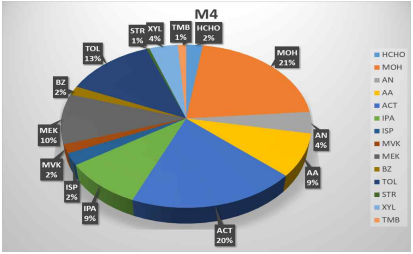
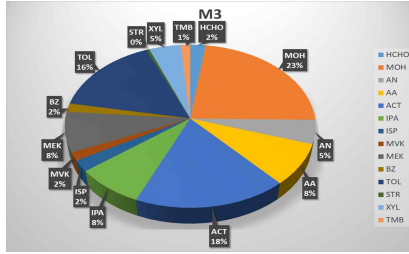
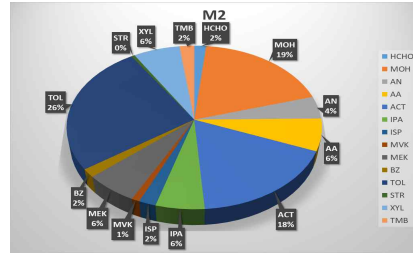
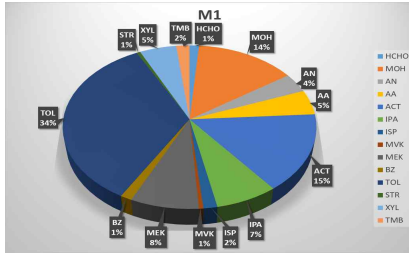
약어	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
HCHO	0.735	0.758	0.852	0.939	1.055	1.196	0.695	0.691	0.678	0.942	0.890	0.775	0.651	0.720	0.825
MOH	7.851	8.627	9.227	8.593	10.753	17.911	7.652	9.946	8.804	9.010	8.660	8.126	7.207	9.404	6.988
AN	2.122	2.051	1.898	1.721	1.827	2.061	1.932	2.524	2.128	2.166	1.747	1.821	1.724	1.923	1.884
AA	2.733	2.944	3.325	3.458	4.171	5.001	2.235	3.289	2.756	3.702	3.692	2.538	1.826	2.496	7.143
ACT	8.682	8.147	7.218	7.991	8.631	11.564	5.168	16.562	8.471	8.553	7.186	5.753	5.369	6.464	7.206
IPA	4.080	2.614	3.195	3.771	5.296	10.685	2.350	3.243	4.059	2.630	5.099	3.279	4.635	2.653	9.127
ISP	0.906	0.916	0.899	0.963	0.920	1.052	0.768	0.987	0.846	0.846	0.833	0.951	0.767	0.654	0.727
MVK	0.293	0.438	0.637	0.711	0.888	0.863	0.507	0.289	0.380	0.455	0.532	0.404	0.289	0.224	0.354
MEK	4.479	2.814	3.192	4.008	5.616	11.245	1.540	5.425	10.818	4.357	4.965	3.143	4.545	3.001	2.464
BZ	0.759	0.764	0.668	0.719	0.767	1.002	0.482	1.241	0.863	0.689	0.470	0.391	0.433	0.746	0.619
TOL	19.155	11.937	6.273	5.090	7.778	15.629	13.930	29.548	18.528	8.420	5.987	7.077	11.848	6.838	7.171
STR	0.286	0.222	0.174	0.174	0.197	0.282	0.177	0.439	0.264	0.183	0.170	0.152	0.220	0.202	0.199
XYL	2.882	2.982	1.784	1.621	2.381	3.541	1.253	5.859	3.520	2.171	1.304	1.024	1.226	2.973	1.937
TMB	1.038	0.943	0.537	0.479	0.782	0.835	0.668	1.655	1.084	0.688	0.385	0.445	0.530	0.680	0.741
TVOCs	56.002	46.157	39.880	40.238	51.063	82.867	39.356	81.697	63.201	44.812	41.921	35.880	41.271	38.977	47.387

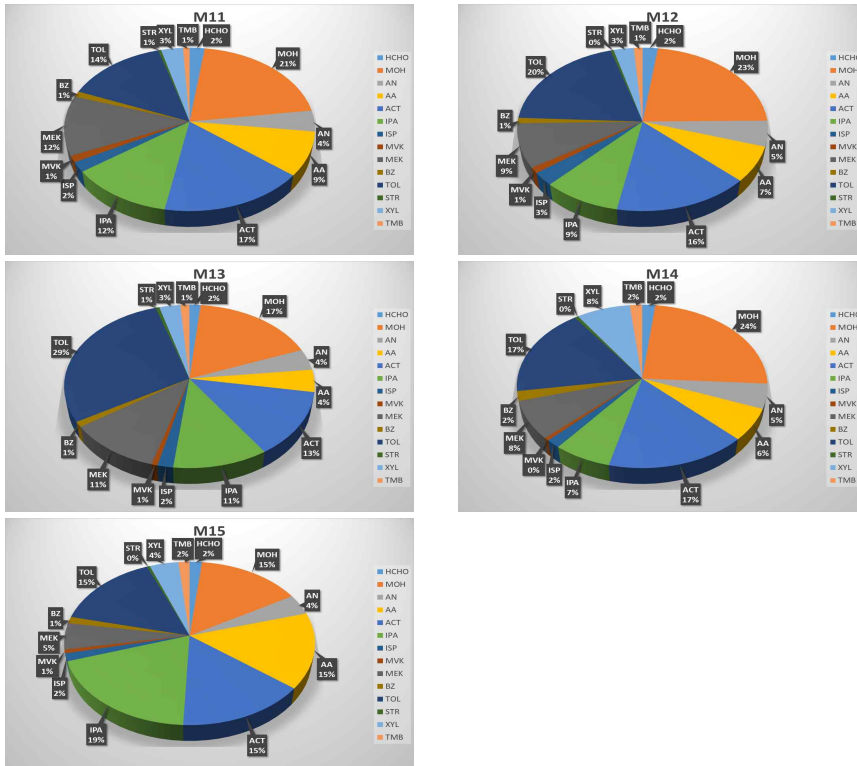
표 4-16은 이동관측결과를 대상으로 각 구간별 농도 값을 나타낸 것이다. 9월 9일의 이동 측정결과 중 M6 오후 시간(15:53~16:22)에 TVOCs 농도는 82.867 ppb로 가장 높았고 9월 10일은 오전 시간(08:07~08:34)에 81.697 ppb로 가장 높았다. 인쇄 조업이 거의 없을 걸로 예상한 9월 11일 토요일 오전 관측의 결과도 TVOCs 농도도 38.977~47.387 ppb로 높게 나와서 VOCs 인쇄 사업장의 작업일이 일정하지 않는 것으로 판단된다. 1일 최대치-최소치의 값이 9월 9일에는 43.511 ppb이고 9월 10일에는 40.426 ppb으로 측정됐고, 파주 출판도시는 주변에서 이동되는 오염물질의 영향을 적게 받는 지역으로 VOCs 최대치가 특정시간에 높아지는 경향을 보였다. 따라서, 파주출판도시의 대기 중 VOCs 오염의 주된 원인은 지역에서 인쇄 및 출판관련 조업이 시작되면 특정 위치에서의 VOCs가 급격히 높아지고 주변에 고농도가 유지 되는 것으로 판단된다. 앞서 평균 농도가 높았던 톨루엔, 메틸 알코올, 아세톤, 이소프로필 알코올의 경우 TVOCs가 높아지면 따라서 같이 높아지는 경우가 보여 유기용제에 의한 사용이 특정 성분을 높여 TVOCs도 같이 높아짐을 알 수 있었다.

그림 4-24는 M1부터 M15까지 측정된 VOCs의 오염물질별 구성비를 나타낸 것이다. 개별 VOC 별로는 톨루엔(12.6~36.2%), 메틸 알코올(12.2~23.1%), 아세톤(13.0~20.3%), 이소프로필 알코올(4.0~19.3%) 순으로 나타났다.

인쇄공정에서 발생하는 VOCs의 농도는 사용되는 인쇄종류와 잉크에 따라 달라지는데, 인쇄용 잉크는 보통 안료, 수지, 유류, 용제와 첨가를 혼합하여 생산하는데 혼합비율은 인쇄 종류마다 차이가 있으며 옅은 잉크나 윤전 잉크보다 그라비아 잉크가 용제혼합비율이 높아 발생하는 VOCs함량도 매우 높다. 인쇄시 사용되는 잉크는 가열과정에서 톨루엔, 아세톤, 메탄올 등의 유기용제가 발생한다.

인쇄 사업장의 용제로 많이 사용되는 톨루엔과 케톤류인 메틸 에틸 케톤은 잉크의 용제 뿐만 아니라 희석제로 사용된다. 사업장에 쓰이는 접착제는 경화제를 메탄올 용제로 희석하여 사용된다. 대기 중의 메틸 에틸 케톤의 증가는 인쇄도 수가 증가함에 따라 잉크의 용제로 사용되는 메틸 에틸 케톤의 사용량이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 파주출판도시의 규모가 영세한 인쇄업체들은 전문인력 부족으로 배출원 관리가 효율적으로 이루어지지 않고 있으며 VOCs는 휘발이 쉽게 되기 때문에 주변 환경의 농도에도 영향을 끼친 것으로 판단된다.

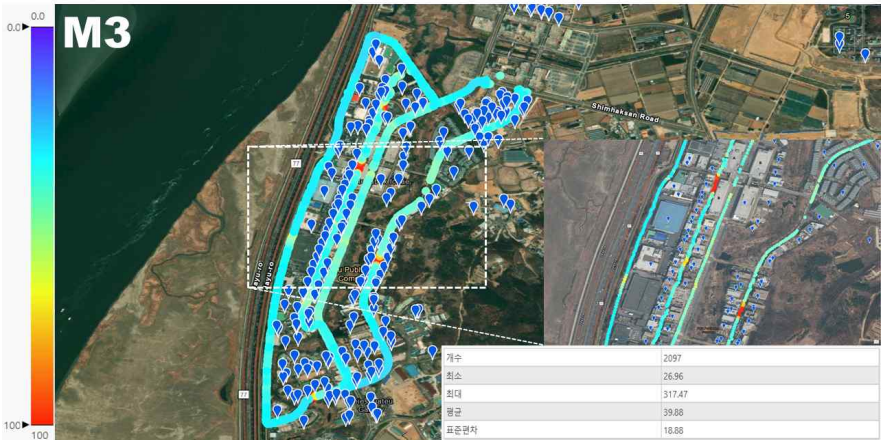
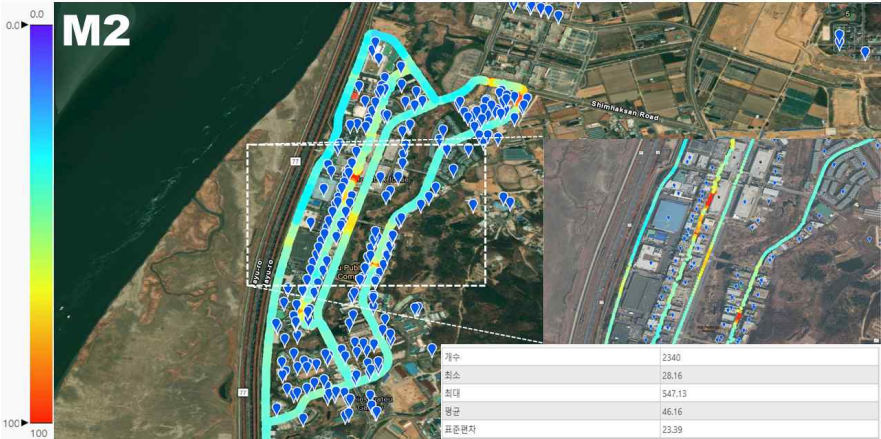


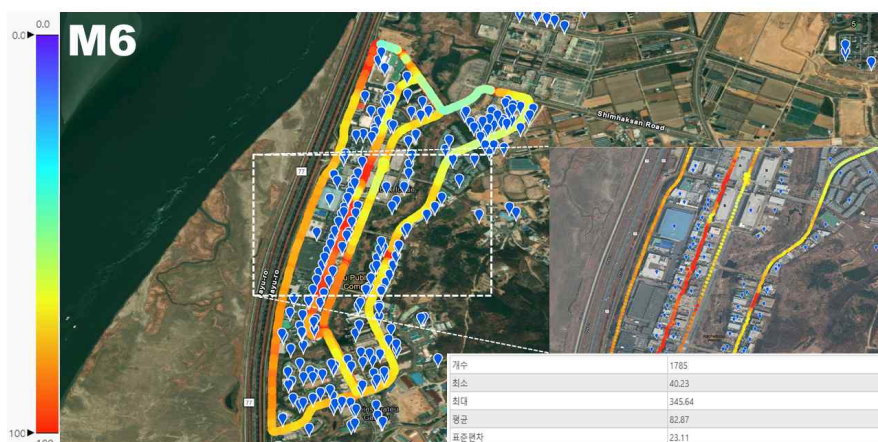
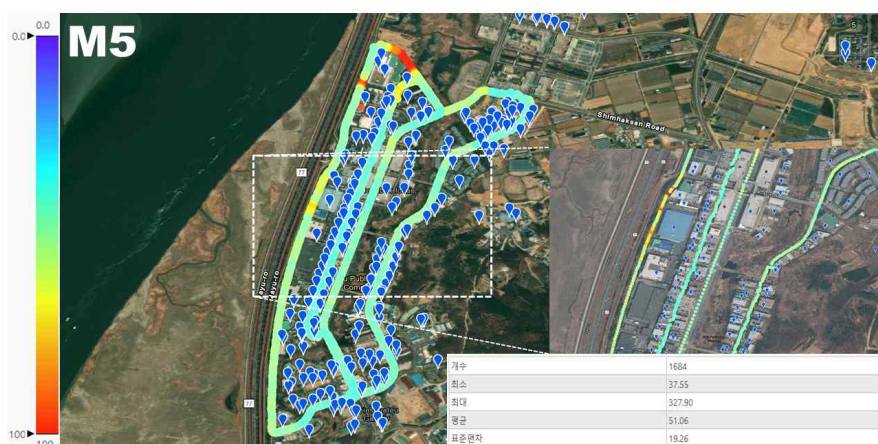
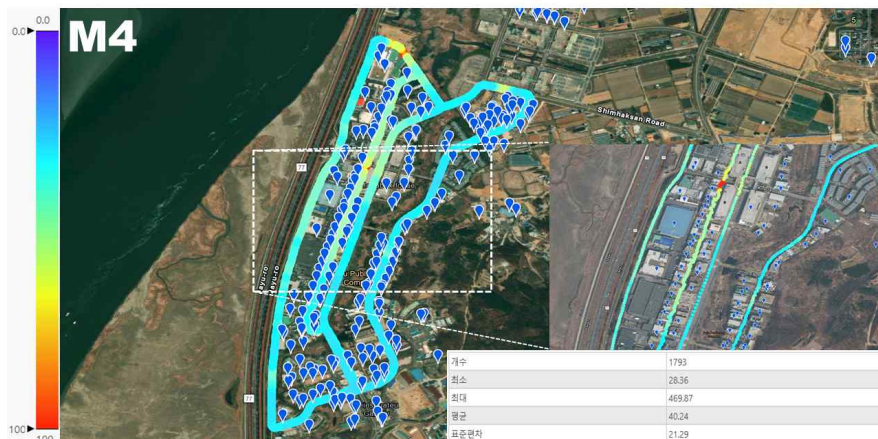


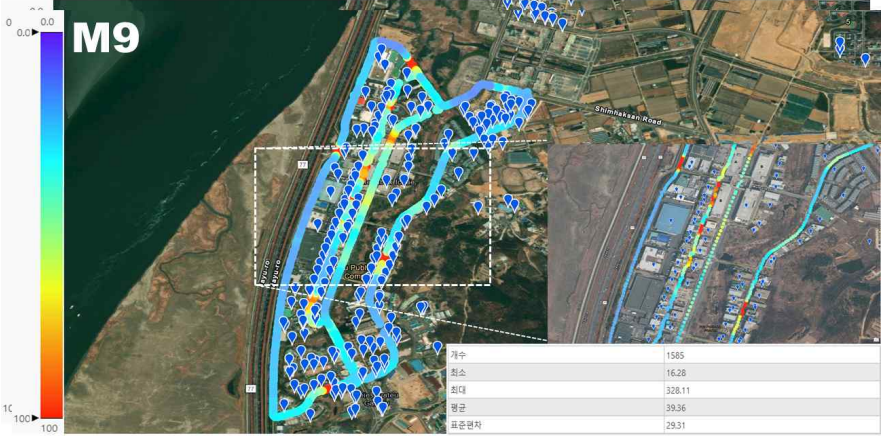
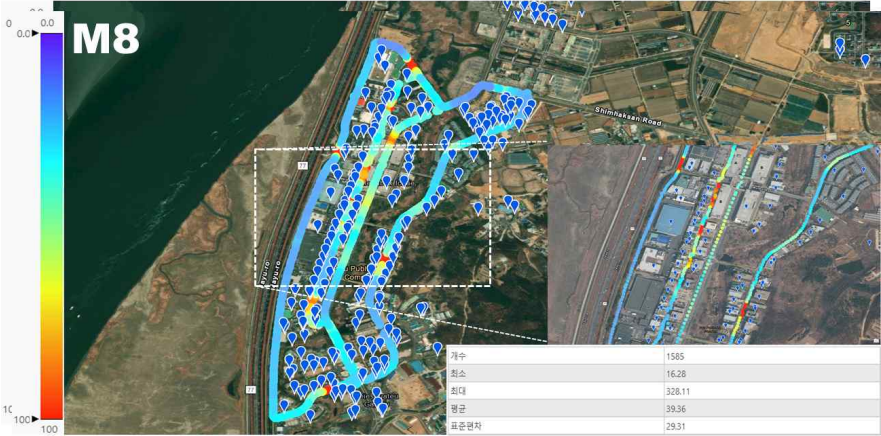
[그림 4-24] 관측별 VOCs의 구성비 특성

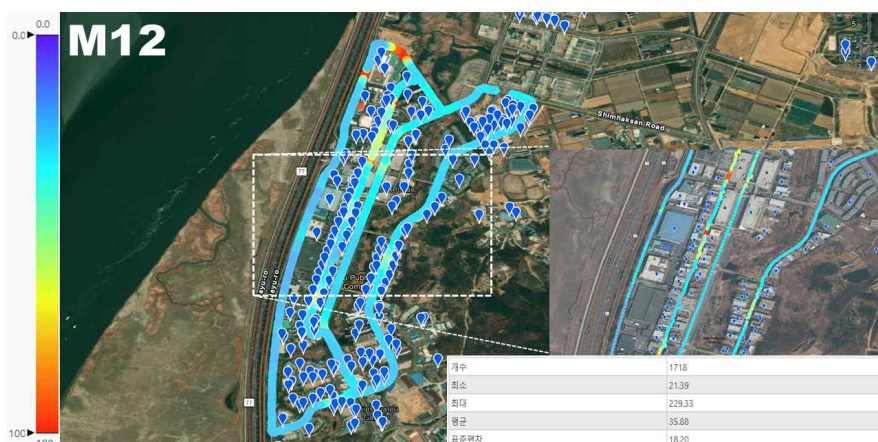
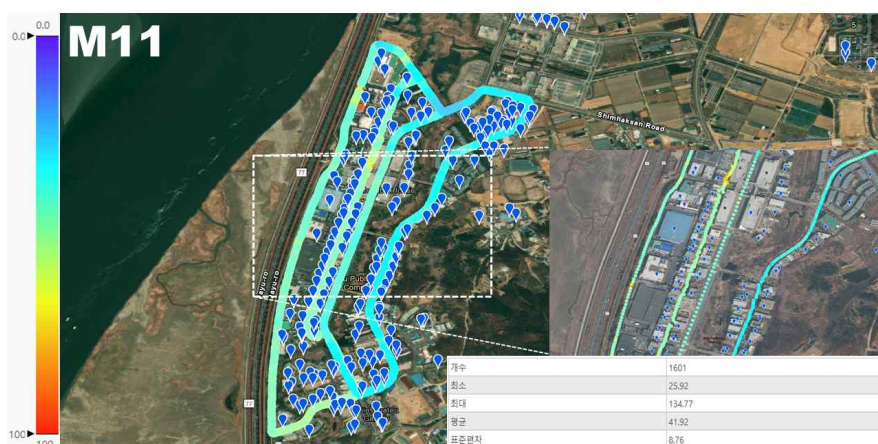
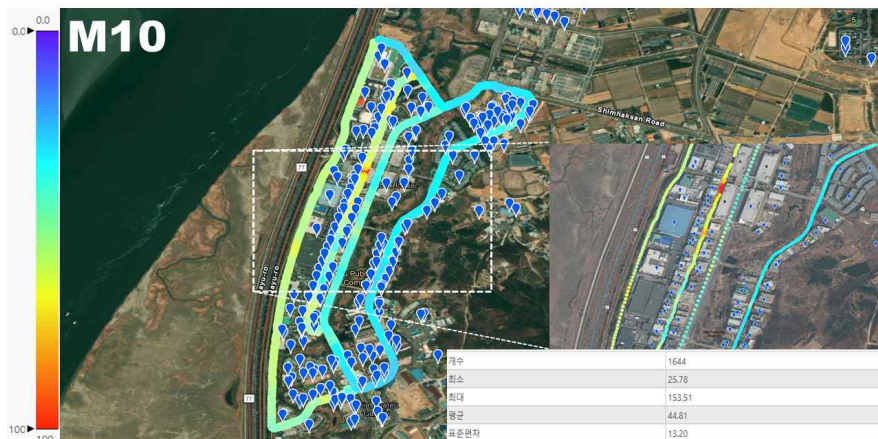
본 연구의 목적은 파주출판도시 내의 이동관측을 통해 인쇄 밀집지역의 VOCs의 농도 분포와 우심지역을 분석하는 것이다. 파주의 출판도시는 서쪽으로 고속도로를 제외하고는 습지, 녹지지역이 있어 외부적으로 VOCs 발생량이 적고 내부에는 인쇄시설이 조밀하게 붙어있고 교통량이 적어 주변 VOCs는 대부분 사업장에 직접 배출되어 확산된 것으로 판단된다.

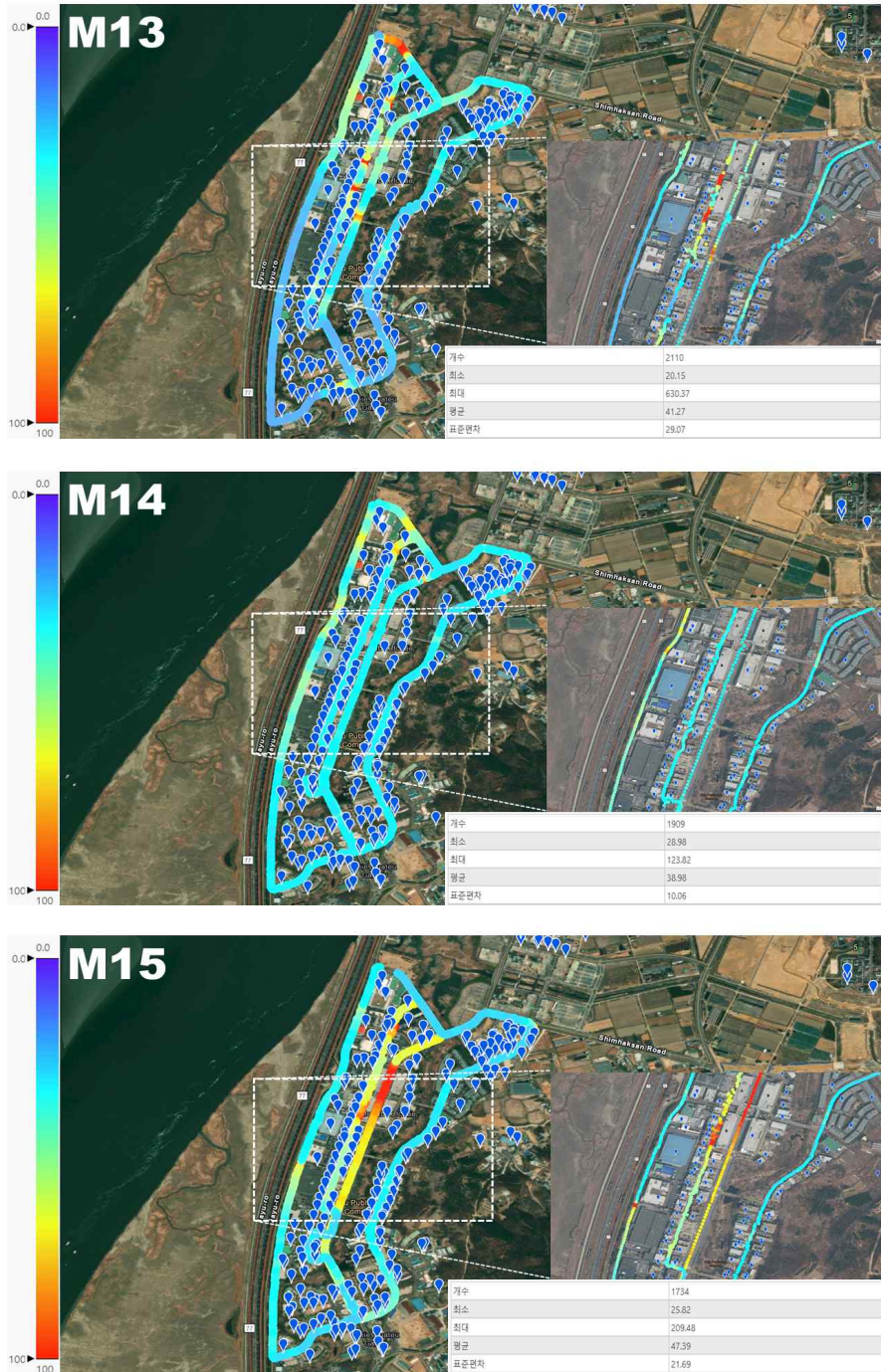
그림 4-25는 파주의 인쇄사업장 중심으로 측정 경로를 따라 TVOCs 농도를 초단위 분석하여 맵핑하였다. 9월 9일 조업이 시작 후 오전에는 TVOCs가 높았지만 급격하게는 증가 하지 않다가 M6(15:53~16:22) 이동관측에서는 TVOCs 농도는 평균 82.86 ppb가 됐으며, M6(17:26~17:46) 이동관측에서 39.36 ppb로 다시 급격히 감소하였다. 특히 인쇄 사업장이 밀집되어 있고 일반도로의 도로 폭이 좁은 지역은 확산이 원활하게 일어나지 않아 사업장 중심에서의 농도는 높으나 인접 주거지역에서의 농도는 상대적으로 낮은 경향을 나타내는 것으로 조사되었다. 이는 그림 4-26과 같이 9월 10일 M13과 9월11일 M15의 히트맵을 통해서도 잘 보여진다. 노란색으로 표현된 밀집지역을 나타내고 있으며 인쇄시설의 위치와 일치하고 좁은 도로를 따라서 우심지역을 형성하고 있다.





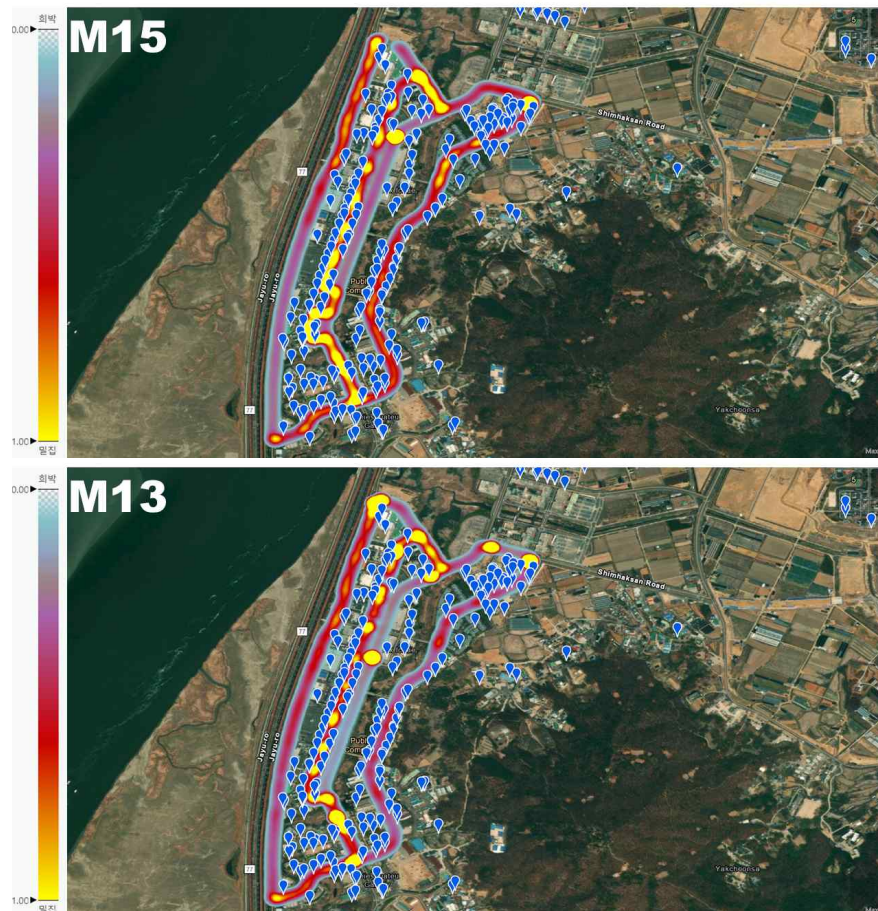






[그림 4-25] 9월 5일(휴일) 도로변 VOCs 공간분포 : M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15

인접주거지는 인쇄 사업장에 동쪽에 위치하여 풍속과 풍향에 따라 확산 정도에 따라 인접주거지역 측정지점의 VOCs 농도에도 영향을 미칠 것으로 예상된다. 본 연구의 연구대상 지역이 인쇄사업장이 밀집되어 있으며, 인접주거지역의 측정위치가 사업장과 인접하여 인쇄공정에서 잉크용제와 희석용 용제로 사용된 휘발성 물질에 의해 영향을 받았을 것으로 판단된다. 대상지역은 인쇄 업체 외에 다른 오염 배출시설이 없으며, 주변이 산과 논으로 둘러 싸여 있고 인쇄시설 내에서는 교통량이 적어 이동배출원의 영향이 적기 때문이다.



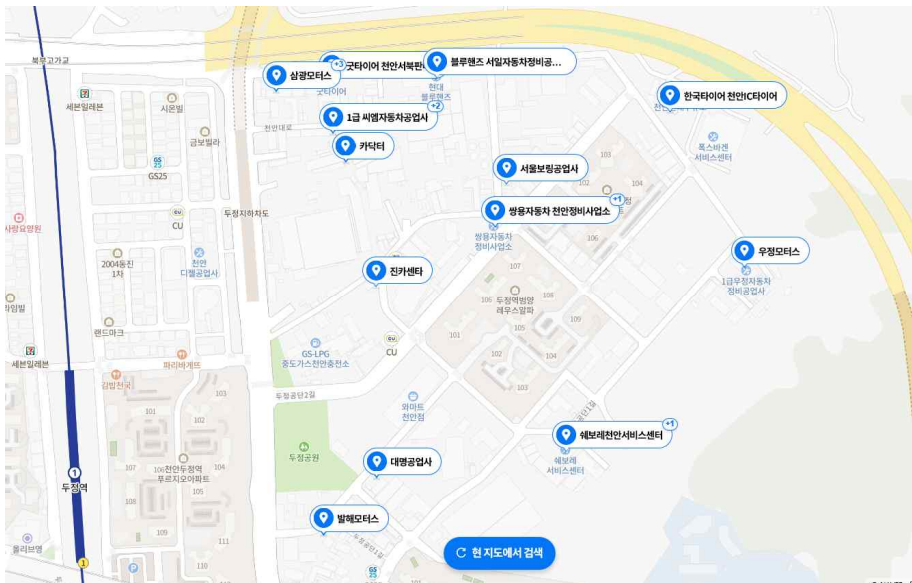
[그림 4-26] 9월 10일 VOCs 히트맵 : M13, 9월 11일 VOCs 히트맵 : M15

국내 인쇄업은 영세한 사업장이 대부분이고 잉크, 유기용제 등을 사용한 작업시 밀폐를 하지 않는 등 유해물질에 관한 관리가 제대로 이뤄지지 않고 있다. 열악한 환경에서 인쇄 작업자들은 유해물질에 장시간 노출될 가능성이 있다. 영세한 사업장의 경우 환기장치가 잘 마련되어있지 않고 방독마스크, 유형별 보호장갑 등 유독

물질을 차단할 수 있는 기본적인 보호장비가 지급되지 않는 곳도 있어 작업자들이 유기용제에 직접 노출될 가능성이 높다. 대규모 사업장의 경우 대기환경보전법 및 시행령 등에 근거하여 대기오염물질은 배출허용기준량 이하로 낮춰서 배출하고 있지만 소규모 사업장의 경우 인쇄에 사용되는 유기용제에서 발생한 VOCs를 환기구나 창문을 통해 주변의 주택가에 그대로 배출돼 피해를 주고 있다. 파주출판단지와 같이 많은 인쇄소가 한 곳에 밀집했을 경우 각각의 공장에서 발생한 유기용제 등 화학물질들이 외부 대기질에 영향을 미쳐 주변 주민들의 건강에 악영향을 미친다. 소규모 인쇄소의 경우 대기환경보전법에서 정하는 특정대기유해물질을 발생하는 배출시설에 해당되지 않아 규제가 어려워 저감 및 제도 마련이 필요하다.

2-3. 충청남도

지역 내 소형사업장에 대한 이슈분석을 위해 충청남도에서는 천안시에 위치한 도장시설을 대상으로 설정하였다. 천안시는 충청남도에 있는 15개 시군 중 가장 많은 4, 5종 사업장이 분포하고 있으며, 그 중 기타 제조시설을 제외하고는 도장시설이 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 도장시설은 대부분 4, 5종 사업장으로 분류되어 있으며, 대기오염물질 중 먼지와 THC를 배출허용기준으로 가지고 있다. 주로 자동차 정비소 등에서 정비가 완료된 후 차량의 도색을 위해 도료를 이용한 도장작업시 많이 배출되는 것으로 알려져 있으며, 방짚시설로는 모듈 형태의 Pre-filter와 흡착탑 시스템이 운영되고 있다. 아래 그림은 천안시 두정역 우측에 위치한 도장시설 밀집지역을 나타낸 것이다. 과거 두정역 인근 지역은 도장시설을 포함한 공업 및 산업시설들이 다수 분포해 있었지만 도시정비 과정에서 기존 시설들이 다수 이주하고 주거 및 교육시설(학교) 등이 다수 입주해 있는 상태이다. 도장시설 밀집지역은 직경 1 km 이내에 17개의 도장시설이 밀집되어 있어 여기서 배출되는 오염물질이 주변 주거 및 교육시설에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 하지만 아직까지 이 지역에 대한 정밀조사가 이루어지지 못 해 본 연구에서 현장측정을 통한 시공간분포를 조사해 보고자 한다.



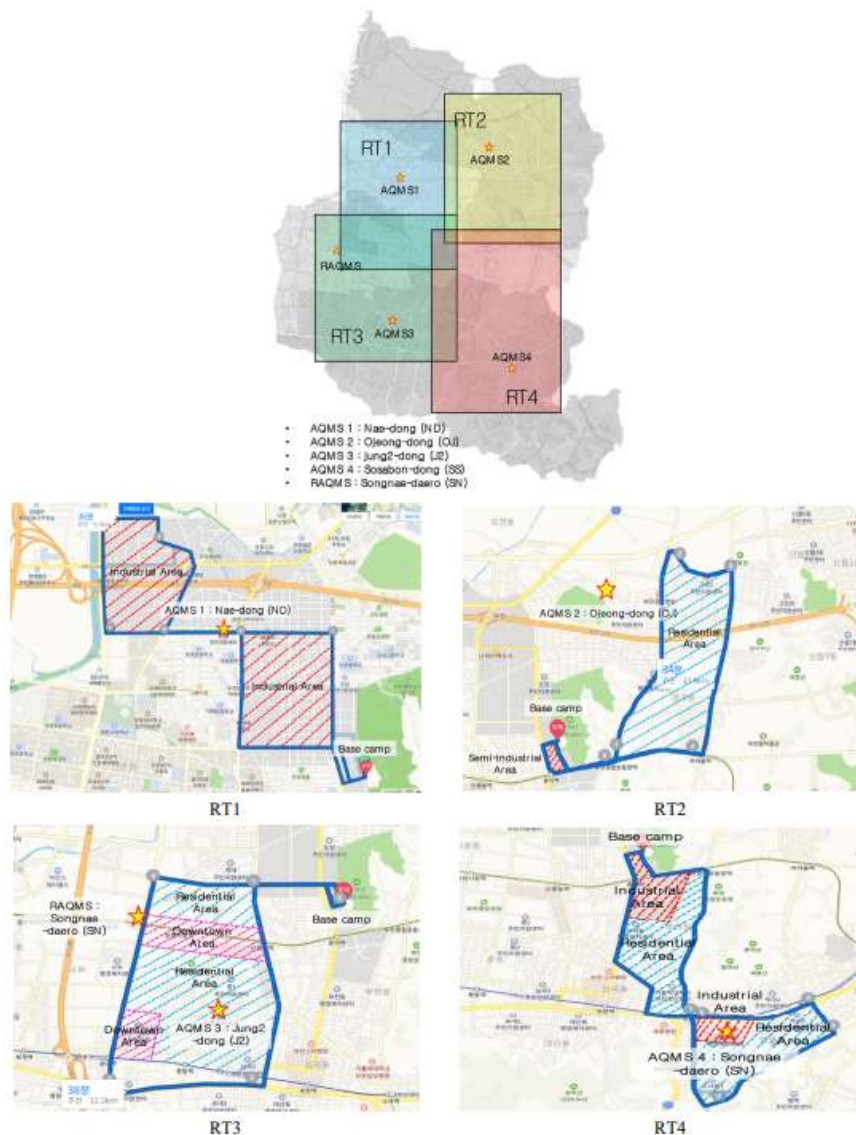
[그림 4-27] 천안시의 도장시설 밀집지역 모습

인근 지역의 시공간 분포를 알아보기 위해 이동관측이 가능한 차량에 실시간 VOCs 분석장비(PTR-ToF-MS)를 장착한 후 도장시설 인접지역을 이동해 가면서 오염도 조사를 수행하였다. 측정은 2021년 9월 3일 (금)부터 9월 9일 (목)까지 1주일간 수행되었으며, 이동관측 및 고정관측을 번갈아가며 진행하였다. 주요 관심 대상은 두정역 우측에 밀집된 도장시설로 선정하였고, 관련 관심지역으로는 주변지역 아파트로 선정하였다. 고정측정 장소는 천안 시내에서 나름 조경지대로 구성된 천안종합운동장으로 하였고, 이동측정 전후와 새벽 시간대 등 고정측정을 통해 장비검점 및 농도변화 패턴 분석에 활용하였다. 그림 4-28은 도장시설과 그 주변의 주거 및 학교시설의 위치를 나타낸 것이다.



[그림 4-28] 천안시의 도장시설 밀집지역과 그 주변 모습

김종범 등은(2021) 부천시에서 이와 유사한 연구를 수행하여 보고한 적이 있다. 부천시는 서울시와 인천을 연결하는 경인고속도 인근에 위치하고 있는 주요 중소도시로 산업단지와 주거 및 상업지역이 혼재되어 있다. 부천시 내 도로변 오염원 파악을 위해 시를 4개 구역으로 구분하였고, 각 구역 내 설치되어 있는 도시 또는 도로변 측정망과 이동측정결과를 비교 분석하면서 구역별로 고농도 지역에 대한 정보를 수집하였다. 측정에는 입자상 오염물질의 입경분포 및 개수농도 파악을 위해 APS를 사용하였고, 도로변 오염원의 지표물질로 주요 사용되고 있는 BC와 NO_x를 포함한 CO, O₃ 등을 측정하였다. 이와 더불어 지역별 오염도 수준을 파악하는데 중요한 인자인 기상인자는 PM500을 사용하였다. 측정데이터는 최소 1초에서 1분 사이로 저장하여 활용하였고, 각 측정장비는 측정기간동안 수시로 시간 동기화를 하여 측정오차가 발생하지 않도록 하였다.



[그림 4-29] 부산시 이동측정경로

이동측정 결과를 기반으로 각 도로의 오염도를 산정하였고, 각 경로별로 2~3개 도로를 주요 관심 도로로 선정하였다. 선정된 도로에 대해서는 해당지역의 교통량 분산과 친환경 교통시스템 구축, LEZ 지정 등의 정책을 제안하였으며, 향후 부산시의 정책 수립의 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 4-30] 천안시 이동측정경로

그림 4-30는 천안시의 이동측정경로를 나타낸 것이다. 부천시의 경우 시 전체를 대상으로 하였기 때문에 구간으로 구분하였으나 본 연구에서는 대상공간이 가로 세로 4.5 km × 2.6 km로 상대적으로 좁은 면적으로 단일 구간으로 선정하였다. 1회 운행 구간은 1시간 10분 ~ 1시간 15분정도 소요되며 총 운행 거리는 21 km였다. 이동측정은 9월 5일(일)부터 7일(화)까지 3일간 수행되었다. 9월 5일은 주말로 도로변 공정이 가동하지 않는 구간에 대한 지역 내 농도수준을 파악하기 위해 운행하였고, 2회 운행하였다. 9월 6일과 7일은 도장시설이 운영하는 조건으로 오전 8시부터 19시까지 하루 6회 운행서 총 12회의 데이터를 획득하였다. 표 4-17는 획득된 자료에 대한 요약이다.

[표 4-17] 이동측정일정 및 데이터 획득 결과

시간대	9월 5일(일)	9월 6일(월)	9월 7일(화)
8:00	M1	M3	M9
10:00	M2	M4	M10
12:00		M5	M11
14:00		M6	M12
16:00		M7	M13
18:00		M8	M14

[표 4-18] 천안시 이동관측에 사용된 PTR-ToF-MS의 주요 정성물질 분류 및 특징

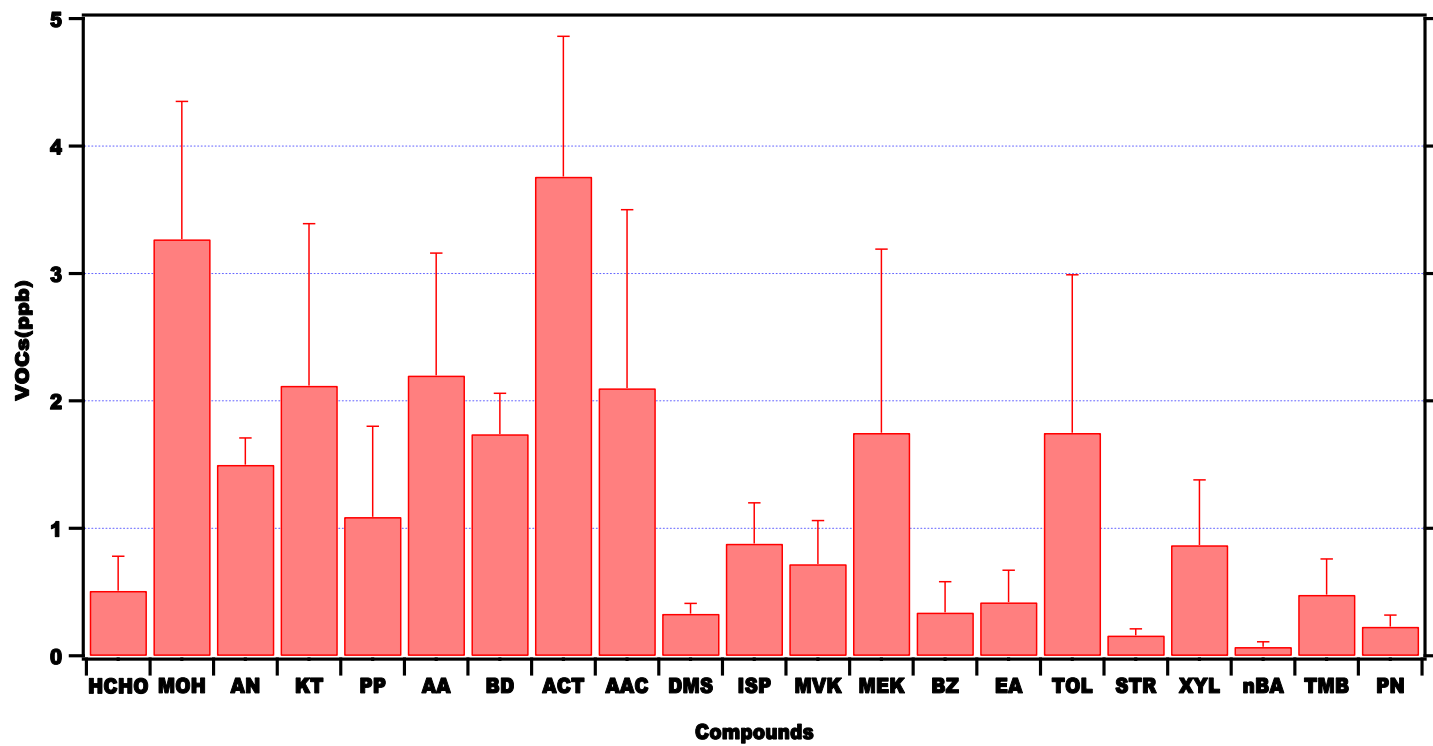
배출원 특징	약어	물질명	구조	분자량	증기압	끓는점
OVOCs, photochemical	HCHO	Formaldehyde	CH ₂ O	31.0236	1.39 kPa	-19
OVOCs	MOH	Methanol	CH ₄ O	33.0314	13.02 kPa	64.7
Automobile	AN	Acetonitrile	C ₂ H ₃ N	42.0344	9.71 kPa	81.3 ~ 82.1
Petrochemical, combustion	KT	Ketene	C ₂ H ₂ O	43.0184	1386.55 kPa	-56.1
Petrochemical, combustion	PP	Propene	C ₃ H ₆	43.054	1560.40 kPa	-47.6
OVOCs, Automobile	AA	Acetaldehyde	C ₂ H ₄ O	45.0341	98.65 kPa	20.2
ClassI, Carcinogenic	BD	1,3 Butadiene	C ₄ H ₆	55.0542	243.18 kPa	-4.4
OVOCs	ACT	Acetone	C ₃ H ₆ O	59.0497	30.6 kPa	56.05
-	AAC	Acetic Acid	C ₂ H ₄ O ₂	61.0284	1.5 kPa	118 ~ 119
Marine	DMS	Dimethyl Sulfide	C ₂ H ₆ S	63.0266	53.7 kPa	35 ~ 41
BVOCs	ISP	Isoprene	C ₅ H ₈	69.0725	73.33 kPa	34.067
Petrochemical, OVOCs	MVK	Methyl Vinyl Ketone	C ₄ H ₆ O	71.0479	41 kPa	81.4
Petrochemical, OVOCs	MEK	Methyl Ethyl Ketone	C ₄ H ₈ O	73.0633	10.39 kPa	79.64
ClassI, Carcinogenic	BZ	Benzene	C ₆ H ₆	79.0548	12.7 kPa	80.1
Coating Indicator	EA	Ethyl acetate	C ₄ H ₈ O ₂	89.0597	9.7 kPa	77.1
-	TMB	Trimethylbenzene	C ₉ H ₁₂	121.1012	0.27 kPa	169 ~ 171
BVOCs	PN	Pinene	C ₁₀ H ₁₆	137.1325	0.63 kPa	155 ~ 156

표 4-18은 본 측정에 사용된 PTR-ToF-MS의 개별 VOC 물질을 나타낸 것이다. 개별물질 항목은 기존 연구보고서와 도장시설관련 논문을 검토하여 총 21개 물질을 선별하였다. 아세트니트릴과 아세탈알데하이드는 자동차 배출원으로 알려져 있고, 포름알데하이드나 메틸비닐케톤, 메틸에틸케톤, 포름알데하이드는 석유화학공정에서 주로 배출된다. 1,3 부타디엔과 벤젠의 경우 1급 발암물질로 유해성이 매우 크며, 2016년 NASA와 국내 연구진이 공동수행한 KORUS-AQ에서 대산지역 상공에서 고농도 사례를 보여 문제시되기도 하였다. 에틸아세테이트는 코팅공정의 지표로서 주로 사용되고 있다.

그림 4-32는 천안종합운동장에서 고정측정한 결과 각 오염물질별로 평균값을 나타낸 것이다. 고정측정은 9월 3일(금) 16시부터 9월 7일(화) 24시까지 진행하였고, 그 가운데 이동관측을 통해 이동한 시간을 제외한 시간평균 농도를 통계처리한 결과이다. 측정결과 아세톤이 3.8 ± 1.1 ppb로 가장 높은 수준을 보였고, 메탄올 3.3 ± 1.1 ppb, 케텐과 아세트산이 각각 2.1 ± 1.3 ppb, 2.1 ± 1.4 ppb로 나타났다. 독성이 강한 벤젠과 1,3 부타디엔은 각각 0.3 ± 0.2 ppb와 1.7 ± 0.3 ppb으로 낮은 농도 수준을 보였다. 측정을 수행한 천안종합운동장의 경우 운동장 가운데 공터에 위치해 있고, 측정 당일 공사 중이라 비산먼지 등의 영향을 미칠 수 있지만 다른 오염원들이 주변에 없어 VOCs에 대한 영향은 매우 적었던 것으로 판단된다.

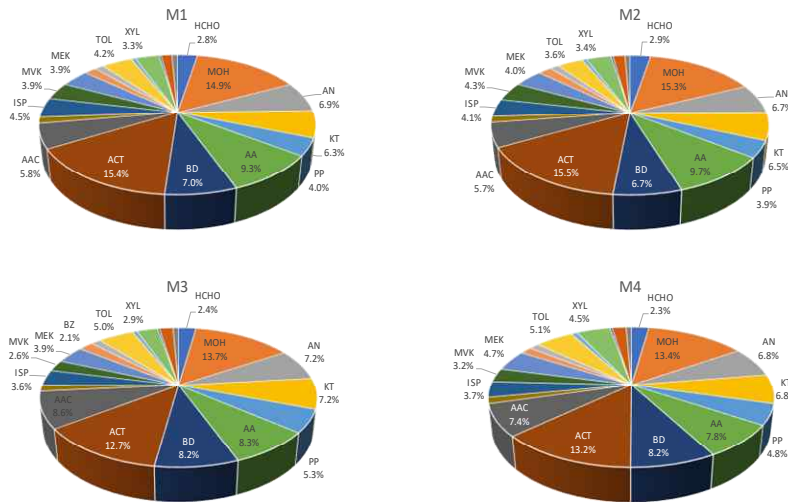


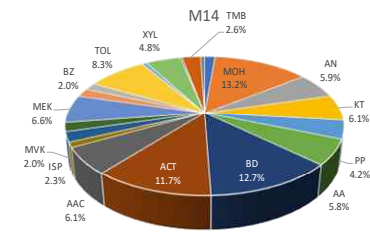
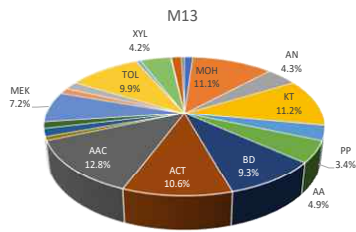
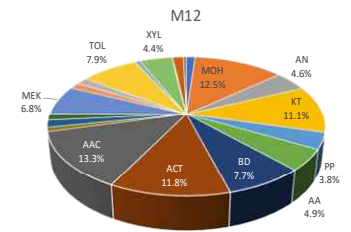
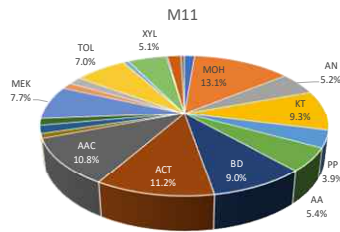
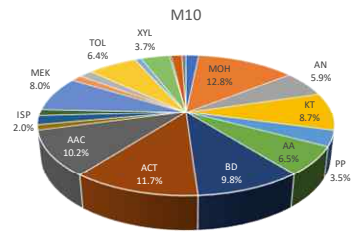
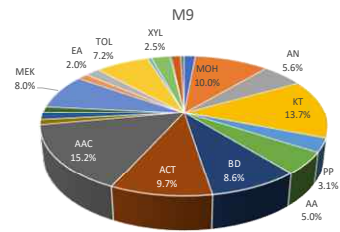
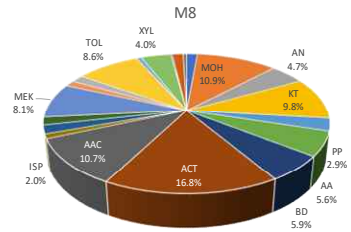
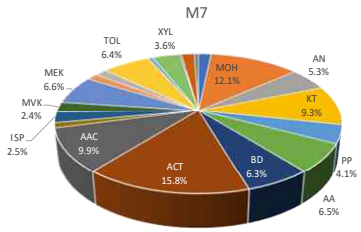
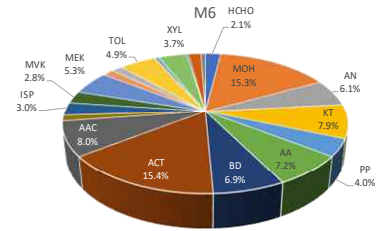
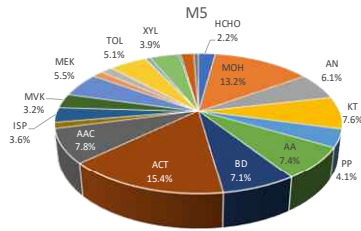
[그림 4-31] 천안운동장 고정측정 지점과 측정 모습



[그림 4-32] 고정측정(천안운동장)에서 측정된 VOCs의 평균농도

표 4-19는 이동관측결과를 대상으로 각 구간별 농도값을 나타낸 것이다. 휴일인 9월 5일의 이동측정 M1과 M2 결과 TVOC 농도가 각각 20.8 ppb와 20.9 ppb로 유사한 수준으로 나왔다. 공정 가동 기간인 9월 6일에는 첫 측정인 M3(8:00~10:00)의 경우 21.1 ppb로 휴일과 유사한 농도수준을 보였고, 그 이후 M4, M5, M6까지 유사한 농도수준을 보였다(21.3~22.8 ppb). 하지만 오후시간대인 M7(16:00~18:00)과 M9(18:00~20:00)에는 각각 27.6 ppb와 32.1 ppb로 소폭 증가하였다. 3일차 인 9월 7일 첫 번째 측정시기(M9)에는 전날 첫 번째 시기보다 약 7 ppb 높은 28.9 ppb로 나타났고, M10(10:00~12:00)에 소폭 감소하였다가 M11~M14까지 모두 2일차보다 높은 농도수준(32.1~30.5 ppb)을 보였다. 그림 4-8은 M1부터 M14까지 측정된 VOCs를 대상으로 오염물질별 구성비를 나타낸 것이다. 개별 VOC 별로는 아세톤과 메탄올, 아세트알데하이드, 1,3 부타디엔의 비율이 높게 나타났다. 그리고 평일 오전 시간대보다퇴근시간에 인접한 16시~20시 사이의 농도가 높게 나타났는데 이때는 다른 시간대보다 케텐, 톨루엔, 아세트산의 비율이 높아지는 것을 확인할 수 있었다.



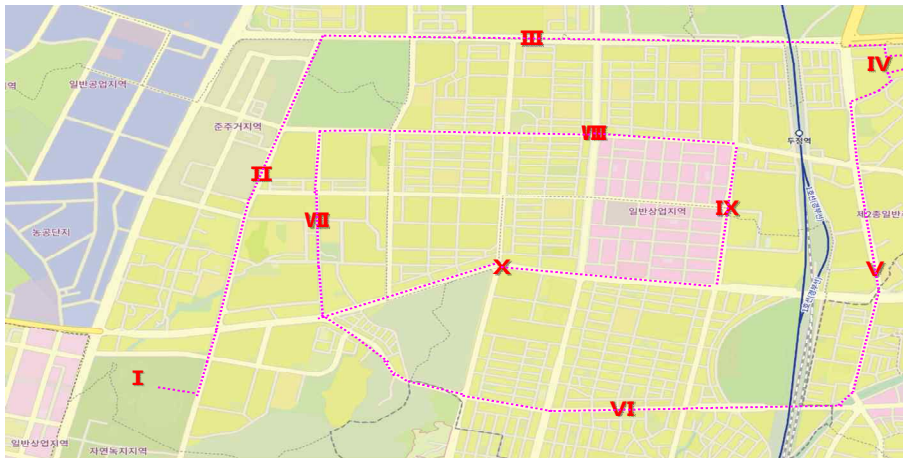


[그림 4-33] 날짜별 VOCs의 구성비 특성

[표 4-19] 천안시 이동관측 결과 요약

약어	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14
HCHO	0.578	0.599	0.510	0.499	0.500	0.471	0.465	0.460	0.431	0.442	0.434	0.457	0.497	0.439
MOH	3.092	3.185	2.895	2.846	2.938	3.479	3.330	3.489	2.880	3.451	4.210	4.748	4.856	4.027
AN	1.432	1.400	1.508	1.450	1.365	1.390	1.462	1.517	1.607	1.601	1.659	1.747	1.881	1.810
KT	1.307	1.358	1.517	1.444	1.695	1.793	2.556	3.138	3.962	2.359	2.972	4.209	4.905	1.861
PP	0.837	0.808	1.123	1.022	0.903	0.907	1.141	0.928	0.897	0.943	1.254	1.433	1.478	1.276
AA	1.927	2.033	1.742	1.649	1.651	1.631	1.796	1.798	1.449	1.750	1.744	1.885	2.159	1.758
BD	1.463	1.390	1.724	1.735	1.578	1.568	1.747	1.889	2.481	2.652	2.891	2.947	4.044	3.869
ACT	3.206	3.225	2.674	2.800	3.432	3.515	4.375	5.395	2.793	3.164	3.601	4.498	4.637	3.577
AAC	1.195	1.186	1.806	1.577	1.749	1.829	2.746	3.450	4.387	2.762	3.479	5.077	5.597	1.858
DMS	0.300	0.300	0.304	0.307	0.308	0.313	0.322	0.333	0.337	0.326	0.335	0.360	0.377	0.355
ISP	0.944	0.849	0.766	0.781	0.799	0.677	0.687	0.628	0.523	0.551	0.595	0.660	0.774	0.696
MVK	0.820	0.894	0.538	0.674	0.723	0.635	0.662	0.581	0.388	0.422	0.505	0.576	0.652	0.620
MEK	0.814	0.836	0.831	0.996	1.219	1.213	1.817	2.597	2.319	2.158	2.486	2.576	3.153	1.998
BZ	0.348	0.394	0.437	0.341	0.327	0.344	0.422	0.435	0.403	0.381	0.463	0.551	0.599	0.596
EA	0.264	0.260	0.282	0.289	0.353	0.342	0.438	0.539	0.565	0.465	0.564	0.591	0.797	0.495
TOL	0.881	0.749	1.043	1.090	1.138	1.116	1.770	2.766	2.079	1.733	2.234	3.017	4.333	2.519
STR	0.129	0.131	0.140	0.182	0.148	0.152	0.193	0.219	0.152	0.230	0.236	0.279	0.262	0.213
XYL	0.694	0.719	0.608	0.965	0.871	0.855	1.004	1.283	0.718	0.999	1.651	1.694	1.817	1.465
nBA	0.058	0.059	0.058	0.060	0.056	0.056	0.062	0.062	0.059	0.059	0.061	0.061	0.068	0.070
TMB	0.313	0.349	0.394	0.401	0.383	0.387	0.477	0.470	0.357	0.375	0.569	0.556	0.593	0.779
PN	0.160	0.144	0.162	0.153	0.147	0.135	0.156	0.156	0.145	0.149	0.159	0.165	0.181	0.171
TVOCs	20.761	20.868	21.061	21.260	22.284	22.807	27.629	32.134	28.933	26.973	32.100	38.088	43.660	30.452

본 연구의 목적은 천안시 두정역 우측 상단에 위치한 도장시설 밀집지역에 대한 주변 영향 검토이다. 하지만 도장시설에서 배출되는 주요 오염물질인 THC(VOCs)는 자동차 배기가스에서도 다량 배출되고 있어 이들을 서로 분류하기에는 어려움이 있다. 하지만 도장시설 밀집지역의 경우 주요 도로가 아닌 이면도로 주변에 위치해 있고, 차량의 운행이 많지 않다는 전제하에 이 부근에서 측정된 VOCs는 대부분 도장시설 배출로 인지하여 분석을 실시하였다. 그림 4-34는 측정경로를 10개 구간으로 분류한 것이고, 4-35부터 4-39까지는 이동측정을 통해 얻어진 14개의 측정 데이터를 가시화하여 나타낸 것이다. I는 시작 지점인 천안종합운동장이고 IV이 도장시설 밀집지역, 이 후 II부터 X까지는 도로 지역이다.

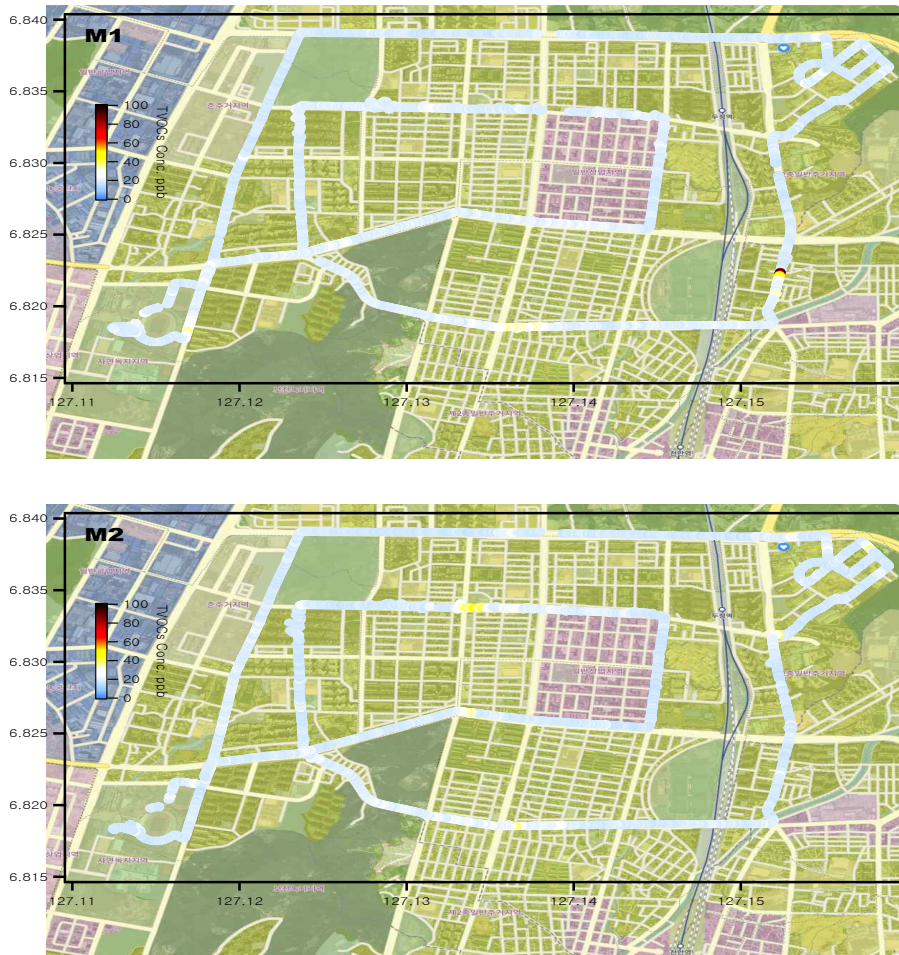


[그림 4-34] 이동측정 경로 분류

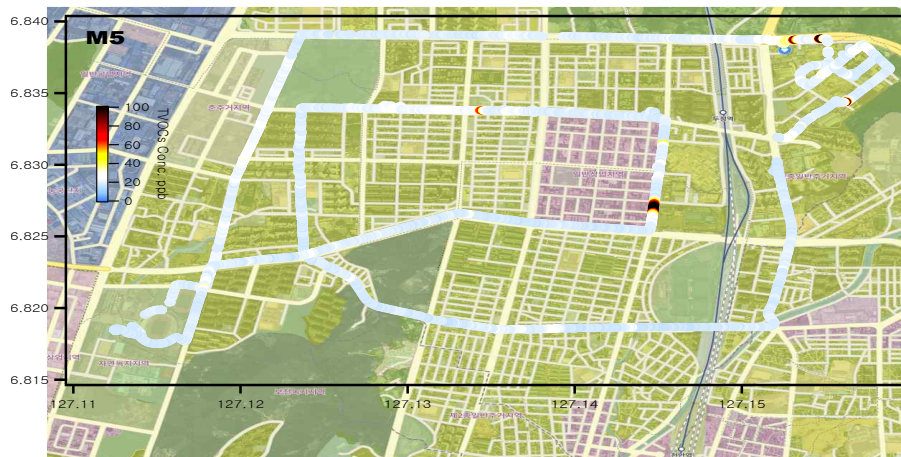
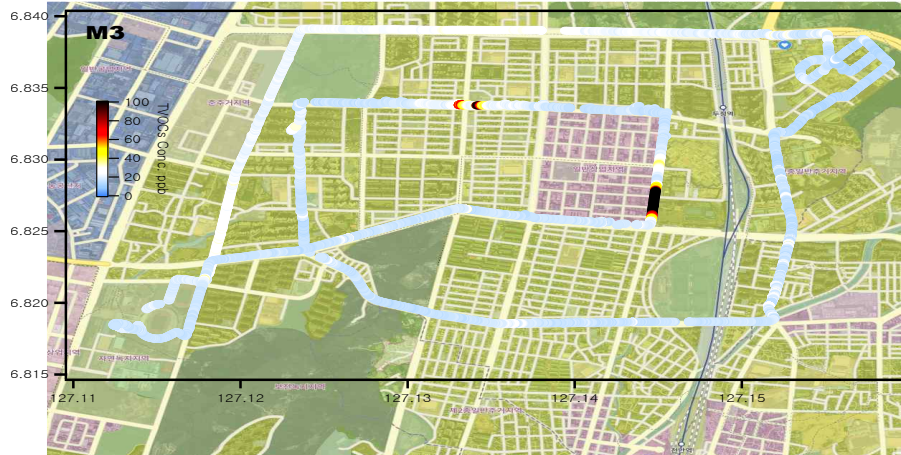
주말에 측정된 M1과 M2의 경우 도장시설 밀집지역인 IV지역의 공정은 정지상태로 특별한 배출은 관찰되지 않았으며, VIII과 IX 지역의 도로에서 높은 농도를 보였다. VIII과 IX는 두정역 인근의 상업 밀집지역으로 좁은 도로에 교통신호 체계로 차량의 이동과 멈춤이 빈번히 이루어지면서 자동차에 배출된 배기가스가 정체되어 농도가 높게 나타나는 것으로 판단된다.

M3은 월요일 8시경으로 도장시설 운영 전 출근시간대로 도장시설 인근에서는 배출원이 확인되지 않는 반면, 앞서 M1 및 M2와 유사하게 VIII과 IX 지역에서 높은 농도수준을 보였고, 특히 IX 지역에서 높은 농도를 보였다. X 지역은 천안시를 가로지르는 왕복 6차선도로로 IX지역은 X지역과 맞붙은 교차로 지역이다. 과거 김경환 등(2020) 이 보고한 논문에 따르면 대로변에 있는 교차로의 경우 이면도로에 비해 PAHs의 농도가 4.2~31배까지 높은 것으로 보고하였다. 이 지역 역시 차량 운행이 빈번한 교차로로 같이 이유로 고농도가 관측되는 것으로 판단된다. M4와

M5는 평일 10시~14시대로 도장시설에서 공정이 가동되기 시작한 후이고, 도장시설 밀집지역인 IV과 IX에서 높은 농도를 보인다. M6부터 M8까지는 도장시설 밀집 지역에서 VOCs 고농도도 일부 발견되지만 이보다는 전반적으로 도로변 오염도가 두드러지게 높게 나타나고 있다. 특히 상업 밀집지역인 VIII과 IX 지역의 농도가 높게 나타나며, 퇴근시간대인 M7, M8, M13, M14에서는 대부분의 도로에서 VOCs 농도가 높게 나타났다. 본 연구결과 도장시설에서 배출되는 VOCs 보다는 이동오염원에서 기인한 VOCs가 주변 지역 대기질에 좀 더 큰 영향을 주고 있는 것으로 판단된다.



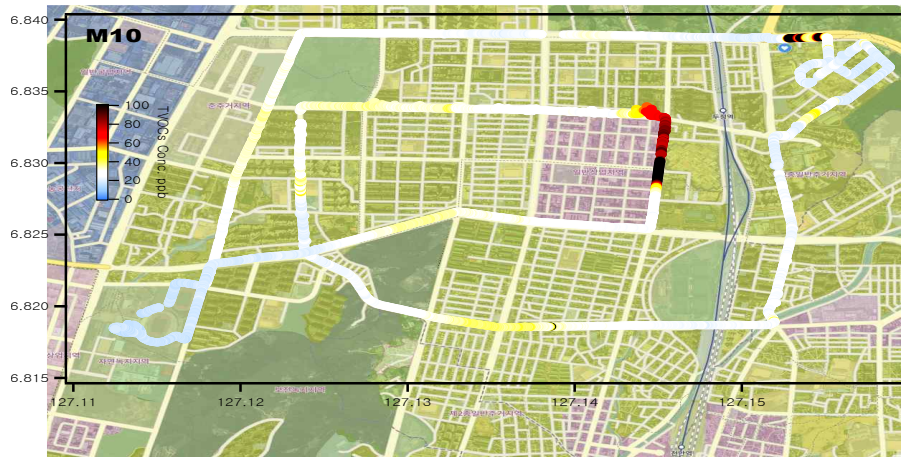
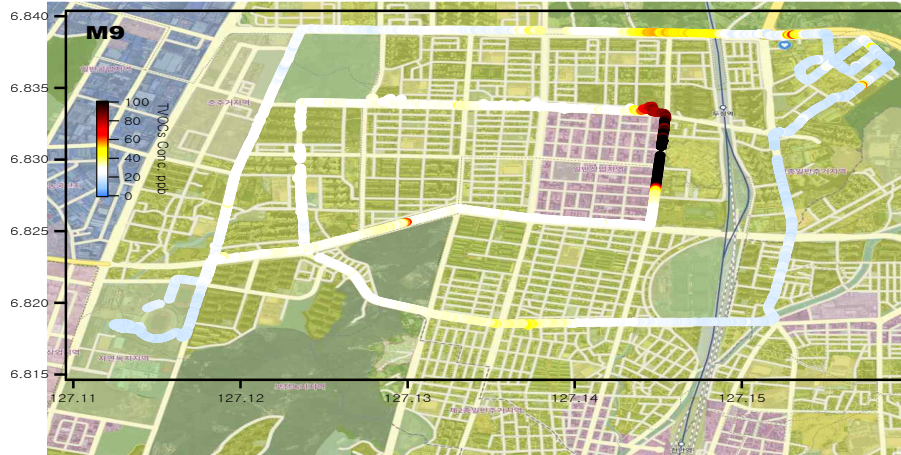
[그림 4-35] 9월 5일(휴일) 도로변 VOCs 공간분포 : M1, M2



[그림 4-36] 9월 6일(월) 도로변 VOCs 공간분포 : M3~M5



[그림 4-37] 9월 6일(월) 도로변 VOCs 공간분포 : M6~M8



[그림 4-38] 9월 7일(월) 도로변 VOCs 공간분포 : M9-M11



[그림 4-39] 9월 6일(월) 도로변 VOCs 공간분포 : M12~M14

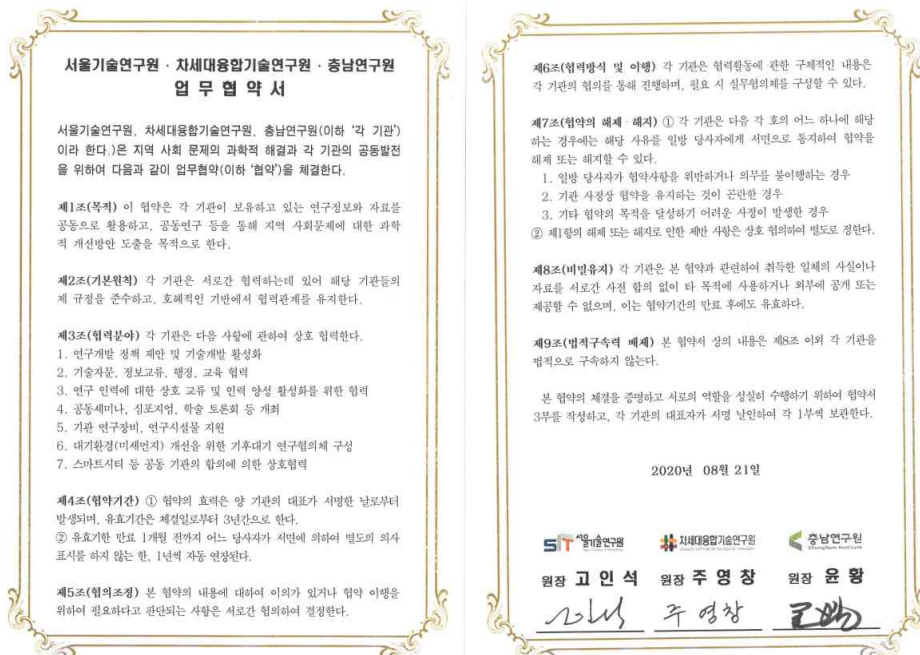


| 05 공동연구 추진 결과

1. 정기회의
2. 공동학술대회
3. 세미나

1. 정기회의 개최

2020년 8월 21일 서울기술연구원과 차세대융합기술연구원, 충남연구원은 서울-경기-충남을 대표하는 지역기반 연구기관으로 지역사회 이슈(미세먼지 및 기후변화 대응)에 대한 공동대응을 위해 업무협약서를 체결하였다. 업무협약서에는 3개 기관이 각 지역의 대기환경(미세먼지) 개선을 위한 기후대기 연구협의체를 구성하고, 이와 관련하여 3년간 공동연구를 수행하는데 합의하였다.



[그림 5-1] 3개기관 업무협약서

이에 따른 후속 조치로 3개 기관을 2021년도 자체과제를 생성, 공동연구를 수행하기로 하였으며, 공동연구를 위해 2020년 12월 차년도 연구계획(안)을 공유하였고, 그 초안은 그림 5-2와 같다.

고농도 미세먼지 대응을 위한 지역간 공동 연구방안 수립을 위한 기초연구

□ 연구 배경

- 2016년 이후 지속되는 고농도 미세먼지 발생과 개선되지 않는 대기 질로 인해 국민적 관심과 우려 증가
- 국가 차원의 대응방안 마련 연구가 지속되고 있으나, 지역 현안을 고려하지 못한채 발생기작 규명과 예보, 관측기술 고도화 등에 초점이 맞춰져 있음
- 각 지역별 정책연구기관들이 지역에 대한 개선안 도출을 위한 연구를 수행하고 있으나 경계가 없는 대기환경의 특성상 한 지역만의 특징을 조사하여 개선방안을 도출하기에는 어려움이 있음
- 지역 맞춤형 기술개발과 정책지원에 위한 지역별 특성분석 및 공동연구가 요구되고 있음

□ 연구목적 및 개요

- 지역 맞춤형 대기질 현황 분석 및 공동연구의 필요성 검토
- 지역간 구축 정보 및 인력교류
- 지역 대기관련 DB구축 및 자료의 고도화
- 지역 연구원간 연구교류 및 활성화를 통한 역량강화와 정부차원의 연구지원 방안 검토
- 참여기관 : 서울·경기·충남
 - 서울기술연구원 기후환경연구소
 - 차세대융합기술연구원 세종스마트시티 실증지원센터
 - 충남연구원 서해안기후환경연구소

□ 연구개요

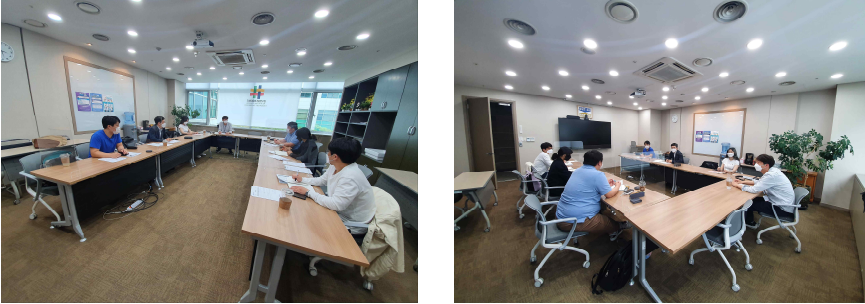
- 연구비 : 3~6천만원(각 기관별 1~2천만원 책정)
- 연구형태 : 각 기관별 기관고유과제 생성
- 연구기간 : 2021년 1월~12월
- 연구 성과(2021년 기준)
 - 공동 연구논문 작성 : 3편 이상(각 기관별 1편 이상)
 - 전문서적 작성 : 1편

[그림 5-2] 2021년도 공동연구를 위한 연구계획서 초안

3개 기관의 협의 끝에 각 지역 이슈를 발굴하고, 발굴된 이슈에 대한 심층분석(측정이나 현장 고증)을 통해 시사점을 도출, 정책적으로 활용 가능해야 하며, 1차년도 시작의 성격이다 보니 공동학술대회나 연구교류 세미나를 추진하는 것으로 하였다. 하지만 각 기관별로 주요 업무가 있고, 상이한 성격의 기관임을 감안하여 서로에게 최대한 보편적인 잣대로 적용할 수 있는 선안에서 진행하고자 하였다. 초기 제안된 계획안을 바탕으로 2021년도 1월 3개 기관에서는 각자 자체과제를 생성하였고, 3월 5일 (금) 1회 정기회의가 서울기술연구원에서 진행되었다.

1회 정기회의에서는 각 기관별로 생성된 과제의 범위와 목적, 기간, 비용 등에 협의하였고, 그 중 최종적으로 제시할 수 있는 대표성과들에 대해 논의하였다. 1차년도의 경우 사업 총괄 및 추진을 서울기술연구원에서 맡기로하였고, 비용 역시 보고서 접수 및 디자인 비용 등을 감안하여 가장 높은 비용을 책정하였다. 1차 회의에서는 참여 연구진간 인사와 전공(관심)분야, 본 과제에서의 역할에 대해 논의하는 가벼운 자리로 마감되었다. 2차 회의는 4월 23일 (금) 차세대융합기술연구원에서 진행되었다. 이 자리에서는 공동연구 추진 일정 검토, 공동학술대회 개최, 소형배출사업장 현장점검 방안에

대해 논의하였다. 특히 7월달에 진행되는 공동학술대회 추진이 주요 핵심사항으로 특별세션 주제선정, 각 기관별 발표논문 분할, 비용부담 등 세부사항에 대해 협의하였다.



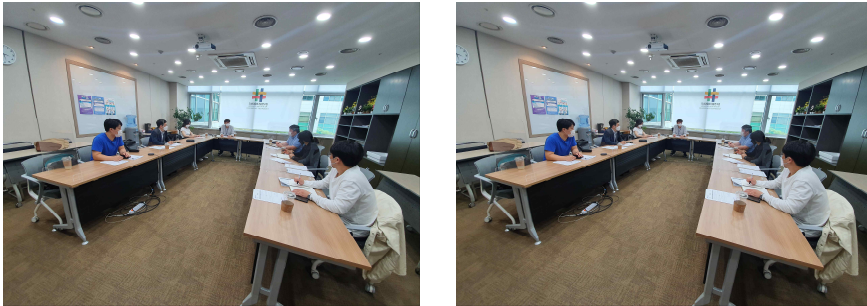
[그림 5-3] 제2차 정기회의 모습

3차 회의는 5월 21일 (금) 서울기술연구원에서 고농도 미세먼지 발생 이슈에 대해 논의하였다. 서울과 경기, 충청도에는 각각 수도권(도심지역), 경기권(산업단지), 충청권(교외지역) 대기환경연구소가 운영되고 있는데 여기서는 매일 입자 및 가스상 대기 오염물질에 대한 세부 성분자료를 생성하고 있다. 최근 미세먼지에 대한 국민적 관심이 증가한 것은 2016년부터 증가하기 시작한 고농도 미세먼지 발생사례 때문인데 아직까지 이에 대한 정확한 원인규명이나 해결책이 제시되지 못하고 있는 실정이다. 이에 3개 연구기관에서는 서울-경기-충남도에서 고농도 미세먼지 사례가 공동으로 발현한 2020년 11월과 12월의 데이터를 확보하여 각 지역별 미세먼지의 성분특성을 분석하기로 하였다. 이에 국립환경과학원에 정보공개를 요청하였고, 분석결과를 올해 공동연구 보고서에 수록할 예정이다.



[그림 5-4] 제3차 정기회의 모습

4차 회의는 6월 21일 (월) 서울기술연구원에서 진행되었는데 여기서는 소형사업장 현장측관련 업무협약이 진행되었다. 과제 계획시 각 시도별로 이슈가 되고 있는 소형사업시설을 대상으로 현장평가를 수행하여 공동 분석과 논문작성을 논의하였는데 이에 대한 세부적인 계획을 검토하였다. 이 자리에서는 기존에 이동 측정차량을 활용하여 실시간 VOCs의 측정분석 경험이 있는 충남연구원의 주도로 소형 VOCs 배출시설 주변지역에 대한 시공단분포를 검토하는 방안을 논의하였다. 논의결과 서울과 경기도는 인쇄소 밀집지역(을지로 지역과 파주출판단지)을, 충청남도는 도장시설 밀집지역(두정역 인근)을 대상으로 선정하였다. 이와 더불어 측정분석 전문기관인 APM엔지니어링의 협조를 얻어 실시간 VOCs 측정장비인 PTR-ToF-MS를 탑재한 이동측정차량을 활용하기로 하였다.



[그림 5-5] 제4차 정기회의 모습

마지막 5차 정기회의는 10월 15일 서울기술연구원에서 진행되었다. 5차 회의에서는 1년동안 공동연구를 수행하면서 진행한 결과들을 검토하여 보고서에 어떻게 수록할지에 대한 논의가 진행되었다. 3개 기관의 양식에 맞춰 보고서 목차를 선정하였고, 각 파트별로 담당자를 선정하여 작성하도록 하였다. 이와 더불어 다음 차년도 연구에 대해 논의하였다. 1차년도 연구결과에 대해 각 기관별 의견을 수렴하여 1차년도와 동일하게 “각 기관의 고유 업무에 방해받지 않는 한도내에서 지역별 미세먼지 특성분석과 개선정책 지원을 위한 연구 수행”으로 설정하였다. 세부 항목으로는 공동연구 보고서 1건, 공동 이슈발굴 및 측정 1건, 공동 학술대회와 세미나 각각 1건씩으로 정했다. 생활 이슈는 요즘 생활공간에서 문제가 되고 있는 소음이나 빛공해, 음식점 악취 등이 제시되었고, 소형사업장들에 대한 현안문제 파악 및 개선을 위한 운영 매뉴얼 개발 등이 신규사업으로 건의되었다.



[그림 5-6] 제5차 정기회의 모습

2. 공동 학술대회 개최

공동연구를 추진하면서 가장 먼저 제시된 것이 공동학술대회와 교류세미나 추진이었다. 서로 다른 지역에 위치한 기관이 공동의 목적으로 과업을 추진하기 위해서는 공동의 관심이 필요하다. 이를 위해 공동학술대회 개최가 요구되었지만 작년부터 전 세계적으로 미치고 있는 코로나19 사태로 학술대회 추진이 쉽진 않았다. 당초 미세먼지에 대한 이슈 부각을 위해 대기환경분야의 전문 학술단체인 (사)한국대기환경학회나 (사)한국입자어로졸학회에 특별세션을 운영할 예정이었으나 (사)한국대기환경학회는 11월로 3개 기관 중 1개 기관의 공동연구 사업이 종료된 이후(10월말)라 추진이 어려웠고, (사)한국입자어로졸학회는 온/오프라인 공동 혹은 온라인 개최를 추진하고 있어 진행에 어려움이 있었다. 이러던 중 (사)한국산학기술학회가 7월 초 오프라인으로 진행한다는 소식을 듣고 (사)한국산학기술학회 정기학술대회에서 특별세션을 진행하는 것으로 확정하였다. (사)한국산학기술학회는 산학협동을 활성화시켜 기술보급 및 과학적 활성화를 목적으로 운영되고 있으며, 연 12회 발간되는 학술지는 KCI 우수등재지로 활용되고 있다.

학술대회는 7월 1일 (목)부터 3일 (토)까지 3일간 제주도 한화콘도에서 진행되었다. 그 중 특별세션은 7월 2일 (금) 9시부터 11시까지 2시간으로 7월 1일 오후엔 제주도에 위치하고 있는 국립기상과학원에 방문하여 현장견학 및 공동연구방안에 대해 논의하는 자리를 마련하였다. 국립기상과학원은 기상청 산하기관으로 과거에는 기상관측이나 기후예측, 일기예보를 주로 다루었으나 최근에는 황사를 포함하여 장거리 이동오염물질과 온실가스 관측 등 다양한 연구를 수행하고 있다. 특히 최근에는 대기환경에 대한 관심과 연구분야를 확장시키고 있는 추세이다. 안면도에는 1996년 기후변화감시센터를 설치하여 기상기후외에 입자 및 가스상 대기오염물질, 온실가스(CO₂, CH₄) 등에 대한 상시관측을 실시하고 있고, 보성에는 307 m에 달하는 표준기상관측소를 설치

하여 국제적인 공동연구와 측정분석기술 표준화에 힘쓰고 있다. 제주도에 위치한 국립 기상과학원은 이 모든 업무를 총괄하는 본원으로 가장 많은 장비와 인적 인프라를 가지고 있다. 본 연구 또한 한반도 중부권역에 위치한 3개 지역이 고농도 미세먼지 발생 시 지역적 특성변화를 분석하고 있는데 추후 여건이 된다면 백령도나 안면도, 제주도 까지 협력한 공동연구가 추진된다면 좀 더 정확하고 세부적인 정보를 획득할 수 있을 것으로 기대된다. 현장방문은 본관에서 국립기상과학원의 소개와 운영 목적, 최근 연구 동향에 대해 소개받은 후 연구동으로 옮겨 현재 측정 중인 장비들에 대한 소개로 진행되었다. 현장에는 서울기술연구원 6명, 차세대융합기술연구원 3명, 충남연구원 4명 등 총 13명이 참석하였다.



[그림 5-7] 국립기상과학원 현장견학 모습

공동 학술대회는 7월 2일 (금) 9시부터 11시까지 2시간동안 총 11명이 “지역 미세먼지 관리 및 기술 현황”이라는 제목으로 발표하였다. 특별세션은 서울기술연구원의 신성균 실장이 좌장으로 각 기관별로 추진 중인 과제의 목적과 추진 경과에 대해 소개하고, 플로어의 질의응답 등으로 진행되었다.

[표 5-1] 공동 학술대회 발표논문 리스트

	발표자	논문제목	소속
1	김관철	스마트시티 환경 데이터를 활용한 미세먼지 연구	차세대융합기술연구원
2	김대환	지역수요기반 산·학·연 협력형 스마트시티 비즈니스 모델 개발 방향 -시흥시를 중심으로-	차세대융합기술연구원
3	김종범	충청남도의 대기환경 개선대책 및 효과 예측	충남연구원
4	송민영	서울시 소규모 대기오염물질 배출시설 특성	서울기술연구원
5	신성균	서울시 도로이동오염원 대기오염물질 현황 및 관리 방안	서울기술연구원
6	윤성진	기술, 정책 분석 등을 통한 서울시 실내공기질 관리방안 제안	서울기술연구원
7	이다숨	서울시 대기질 변화에 따른 관리 방안 제안	서울기술연구원
8	전혜준	서울시 오존 발생 특성 및 오존 전구물질(VOCs) 관리 현황	서울기술연구원
9	조민철	충청남도 마을대기측정망 운영 현황과 향후 과제	충남연구원
10	최우석	서울에서 강수에 의한 미세먼지 제거 효과 평가	수원대학교
11	황은영	충남 대형배출시설 배출량 감소에 따른 지역 오염도 변화분석	충남연구원



[그림 5-8] 공동 학술대회 진행 모습

3. 연구교류 세미나

연구교류 세미나의 가장 큰 목적은 각 기관별로 진행하고 있는 연구에 대한 공유와 인적 네트워크 구축으로 잡았다. 이에 기존에 과제 참여중인 3개 기관외에 국립환경과

학원 소속인 서울과 경기권, 충청권 대기환경측정소 관련 전문가를 초청, 지역별 미세먼지 특성에 대해 같이 논의하는 자리를 마련하였다. 세미나는 2021년 9월 2일 (목)부터 3일 (금)까지 1박 2일로 충남연구원 서해안기후환경연구소와 충청권 대기환경연구소에서 진행하였다. 첫 째날인 9월 2일에는 충남연구원을 포함해 9명의 연사가 각 기관별로 수행하고 있는 주요 연구에 대해 소개하였다. 충남연구원은 화력발전소 주변지역에서 수행하고 있는 기후대기관련 영향 조사에 대해 발표하였고, APM엔지니어링에선 PTR-ToF-MS를 이용하여 대산석유화학단지 주변의 VOCs 시공간분포에 대해 발표하였다. 서울기술연구원은 서울시 인근지역의 소규모 도장시설 현황과 이들에 대한 case study 결과를 발표하였고, 차세대융합기술연구원은 라이다 등 첨단기술을 활용한 지역 대기질 측정분석 기술에 대해 소개하였다. 이후 국립환경과학원 소속의 수도권, 경기권, 충청권 대기환경연구소에 각 측정지역의 운영 목적과 시스템 현황, 일부 연구사례를 소개하였고, 마지막으로 ㈜미세먼지연구소에서 항공관측을 통한 측정분석 연구 동향을 보고하였다. 다음 표 5-2는 연구교류 세미나의 1일차 세부 일정이다.

[표 5-2] 미세먼지 공동연구 협의체 연구교류 세미나 1일차 프로그램

시간	내용	발표자
14:20~14:30(10')	참석자 소개	김종범 (책임연구원)
14:20~14:30(10')	환영사 / 개회사	이상신 (연구소장)
14:40~14:55(15')	이동관측차량을 활용한 대산석유화학단지 오염도 분석 ((주)에이피엠엔지니어링)	오병훈 (대리)
14:55~15:10(15')	충청남도의 석탄화력발전소 관련 연구 및 관리 동향 (충남연구원 서해안기후환경연구소)	김종범 (책임연구원)
15:10~15:25(15')	서울시 소규모 VOCs 배출시설 특성 (서울기술연구원)	송민영 (수석연구원)
15:25~15:40(15')	원격탐사를 이용한 대기질 고해상도 측정 (차세대융합기술연구원)	김관철 (선임연구원)
15:40~16:00(20')	Break time	
16:00~16:15(15')	수도권 대기환경연구소 운영 현황 및 수도권역 대기질 특성 (수도권 대기환경연구소)	박승명 연구위원
16:15~16:30(15')	경기권 대기환경연구소 운영 현황 및 경기권역 대기질 특성 (경기권 대기환경연구소)	박종성 (연구사)
16:30~16:45(15')	충청권 대기환경연구소 운영 현황 및 공동연구 (충청권 대기환경연구소)	이광열 (연구사)
16:45~17:00(15')	대기오염물질 항공관측 측정분석 시스템 ((주)미세먼지연구소)	김정호 (소장)
17:00~17:50(50')	종합토론	김종범 (책임연구원)
17:50~18:00(10')	정리 및 폐회	



[그림 5-9] 연구교류 세미나 모습

2일차는 충청권 대기환경연구소를 방문하였다. 충청권 대기환경연구소는 서산시에 위치하고 있으며, 교외지역 대기질 분석을 목적으로 운영되고 있다. 2019년 11월에 598 m²의 면적에 개소하여 2021년 8월 기준 연구사 1명과 전문위원 4명 등 총 5명이 근무하고 있다. 측정장비는 PM_{2.5}를 기준으로 이온, 금속, OC/EC 및 BC, 유기성분을 측정 및 현장 분석이 가능하고 이 외 가스상 물질은 NO, NO_y, SO₂, CO, O₃, NH₃ 등을 측정하고 있다. 주요 업무로는 미세먼지 상세 DB 구축, 미세먼지 정도관리센터 운영, 대기오염정책 지원자료 개발, 권역별 대기오염물질 거동파악 및 오염원인 규명, 국제적 공동 대기환경연구 참여 등이 있다. 충청권 대기환경연구소 방문을 통해 측정 분석에 대한 기초 정보 수집방법에 대한 이해도 증진과 미세먼지 측정장비 정도관리 방법, 국제적인 미세먼지 연구 동향 등을 파악할 수 있었고 향후 지속적인 교류와 공동 연구를 통해 지역 미세먼지 개선에 도움일 될 수 있도록 진행할 예정이다.



| 06 종합해석 및 제언

각 시도별 맞춤형 미세먼지 대응정책 제언 및 향후 과제

1. 서울시의 미세먼지 대응 정책 제언

[서울시 맞춤형 미세먼지 관련 대책 추진 필요]

중앙정부, 수도권, 서울시에서는 국내 미세먼지 감축 및 관리를 위한 법, 대책, 계획 등이 다양하게 시행되고 있다(표 6-1). 국가 차원에서의 미세먼지 감축을 위한 대책의 경우, 주로 ‘발전’, ‘산업’, ‘수송’, ‘생활’ 총 네 분야로 구분되어 중점 추진과제가 설정되고, 세부 주요 대책이 도출되어 실행된다. 국내 고농도 미세먼지가 빈발하여 미세먼지 문제 해결을 위한 국가적 차원의 대책인 「미세먼지 관리 종합대책」(2017.09)의 경우에도 ‘발전’, ‘산업’, ‘수송’, ‘생활’ 총 네 분야의 세부 전략들을 통해 2022년까지 국내 배출량 30% 감축을 목표로 하였다. 주로 발전부문의 경우 배출감축을 위한 주요 과제로 ‘발전소 미세먼지 저감’, ‘석탄화력 가동 축소’ 등의 내용이 포함되며, 수송부문의 경우에도 ‘자동차 운행제한’, ‘친환경차 보급 확대’ 이외에도 ‘선박유 기준 강화’, ‘선박 미세먼지 관리’와 같은 과제들도 포함되어 있다.

이와 같이 서울시 발생 미세먼지 관리 및 대응을 위한 대책 마련 시 주요 분야 및 세부 과제 도출에 대한 고려가 필요하다. 발전소와 선박 발생 미세먼지의 경우 국가 차원에서의 관리가 이루어져야 하며, 서울시 고농도 미세먼지 발생과의 연관성은 적은 편이다. 서울시 발생 미세먼지의 경우 이동오염원(자동차), 도로재비산먼지, 소형 사업장에서 비산·배출되는 미세먼지가 전체 배출량에서 높은 비중을 차지하고 있기 때문에 이러한 주요 발생원에 대한 집중 관리가 필요하며, 서울시 수송·산업·생활 부문 발생원의 특성을 고려한 맞춤형 대책이 필요하다.

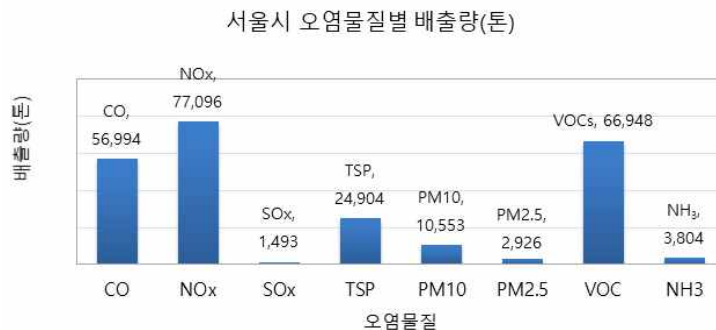
[표 6-1] 국내 미세먼지 관련 및 대책

구분	내용	추진연도
중앙	미세먼지 계절관리제	2020
중앙	미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법	2019
중앙	미세먼지 관리 종합대책	2017
중앙	미세먼지 관리 특별대책	2016
중앙	제2차 대기환경개선 종합계획	2015
수도권	제2차 수도권 대기환경관리 기본계획 수정계획	2020
서울시	미세먼지 시즌제(계절관리제) 추진계획	2021
서울시	서울특별시 미세먼지 저감 및 관리에 관한 조례 시행	2019
서울시	생활권 미세먼지 그물망 대책	2019

서울시	제2차 서울시 대기환경관리 시행계획 변경계획	2018
서울시	서울시 대기질 개선 특별대책	2016

[서울시 2차 생성 미세먼지 전구물질 관리]

미세먼지는 직접배출과 간접배출(2차 생성)을 통한 생성으로 구분되며, 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 휘발성유기화합물(VOCs) 등이 대기 중에서 화학반응을 거치며 미세먼지로 전환된다. 서울시의 경우 2017년 기준으로 NO_x(질소산화물) > VOCs > CO(일산화탄소) > TSP(총먼지) > PM10(미세먼지) > SO_x(황산화물) > NH₃(암모니아) > PM_{2.5} 순으로 대기오염물질 배출량이 높은 비중을 차지하였으며(그림 6-1), 2차 생성 미세먼지의 전구물질에 해당하는 NO_x, VOC, SO_x의 간접배출이 전체 대기오염물질 배출량에 약 60% 이상을 차지하였다. 특히 NO_x와 VOCs의 경우에는 미세먼지 전구물질 뿐 만 아니라 오존생성 기여물질에도 해당되어 관리의 필요성이 높다. 각 오염물질 별 서울시 주요 배출원에 대한 관리방안 마련과 함께 1차, 2차 생성 미세먼지를 고려한 대기오염물질(NO_x, VOCs, SO_x 등)의 통합적 관리가 필요하다.



[그림 6-1] 서울시 오염물질별 배출량(톤) (2017년도)

서울시는 미세먼지 저감을 위해 2019년 「서울특별시 미세먼지 저감 및 관리에 관한 조례」를 제정하였으며, 「생활권 미세먼지 그물망 대책」을 통하여 미세먼지와 2차 생성 전구물질인 NO_x, VOCs 저감을 위한 주요 사업을 시행하고 있다. 진행하는 사업의 일부로, 이동오염원 배출물질인 NO_x 저감을 위하여 기존이륜차를 전기이륜차로 전환하고 배출규제를 강화하는 사업을 진행하며, 소규모 대기배출시설 밀집지역 중 어린이·노인 이용시설 집중구역을 지정하여 대기방지시설, 공기정화시설 등 저감시설 지원 사업을 진행하고 있다. 미세먼지 저감을 위하여, 1차 미세먼지 배출원 자체의 저감 대책 마련도 중요하지만, 이처럼 NO_x, VOCs 등 2차 미세먼지 생성 전구물질까지 고려

하여 미세먼지 생성이 가능한 다양한 배출원에서의 오염물질을 저감하는 중장기적 차원의 통합적 대책 마련이 필요하다.

[미세먼지 배출원 중점 관리]

서울시를 포함한 수도권, 지자체별 실정에 적합한 미세먼지 저감 대응 방안 마련을 위해서는 주요 미세먼지 배출원에 초점을 맞춘 배출원 중점 관리가 필요하다. 서울시 내부의 미세먼지 발생 주요 배출원으로는 교통, 생활, 소형 사업장, 자연, 외부 유입 등을 대표적으로 꼽을 수 있다. 주요 배출원에서 발생한 대기오염물질의 총 배출량, 농도 그리고 대기오염물질의 성분 분석을 포함한 특징 분석이 중요하며, 배출원별 대기오염물질 발생을 체계적으로 파악하고 관리하기 위한 정량적·정성적 데이터베이스(Database, DB) 구축이 함께 이루어져야 한다. 이러한 서울시 주요 미세먼지 배출원의 DB 자료를 통해서 자치구별 주요 배출원 혹은 배출원 밀집지역을 중심으로 대기오염물질의 배출량, 배출성분을 파악할 수 있고 서울시 미세먼지 생성에 기여하는 기여도 및 저감 우선순위 또한 산정할 수 있다. 서울시 주요 미세먼지 배출원의 배출량, 배출성분의 상세 분석을 통한 중점 관리를 통해 각 배출원별 특성에 적합한 미세먼지 저감을 위한 목표설정 및 관리대책도 차별적으로 운영할 수 있다.

[미세먼지 배출원 인근 영향권역 관리]

서울시 미세먼지 주요 배출원에 대한 관리뿐 아니라, 미세먼지 영향권역 관리에도 노력을 기울여야 한다. 현재 서울시에서는 ‘미세먼지 집중관리구역’을 지정하여 관리하고 있지만, 대기오염물질은 배출되면 이동하고 인근 지역, 지자체 그리고 대기질에도 반드시 영향을 준다는 점이 특징이기 때문에 발생원 인근 지역의 관리도 함께 이루어져야 한다. 서울시의 주요 미세먼지 발생원 중 교통밀집지역, 비산먼지 발생 사업장 인근 시설(공사현장, 재건축·재개발 현장), 대기배출시설 밀집지역(도장시설, 인쇄소 등) 등에서 발생하는 대기오염물질(미세먼지 전구물질, 1차·2차 미세먼지 등) 또한 인근 지역에도 영향을 줄 수 있으며 해당 지역에 거주하는 시민들의 건강에도 영향을 미칠 수 있다. 미세먼지는 이미 WHO에서 발암물질로 지정한 바 있으며, 대기배출시설 밀집지역(도장시설, 인쇄소 등)을 대상으로 이루어진 기존 연구를 통해 미세먼지 전구물질(VOCs)을 정성분석한 결과, 장기간 인체에 노출될 경우 인체 위해성이 일정 수준 나타날 것으로 우려되는 몇몇 물질도 검출된 바 있다. 또한 서울시 내에는 소규모 사업장 뿐 아니라, 하수처리장, 하수관거 등에서도 일부 악취물질 또는 유해물질이 발생되어 인근 주민들의 민원이 발생하는 경우도 있기 때문에 이러한 대기오염물질, 미세먼지 전구물질의 과학적 정량적·분석과 함께 인근 영향권역의 관리방안도 고려 할 필요가 있다.

[미세먼지 집중발생 지역 대응 체계 마련]

서울시는 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」 제 22조와 관련하여, 미세먼지(PM10) 또는 초미세먼지(PM_{2.5})의 연간 평균농도가 환경기준(PM10(연평균) 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5}(연평균) 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하고 미세먼지 취약계층 이용시설이 집중된 지역을 ‘미세먼지 집중관리구역’으로 지정하여 관리하고 있으며, 지정 현황은 아래 표와 같다(표 6-2). 기존 지정 6곳(금천, 영등포, 동작, 중구, 은평, 서초) 이외에도 올해 관악, 광진, 성동구를 신규 3곳을 ‘미세먼지 집중관리구역’으로 지정하였으며, 대기오염 배출 사업장 지도·점검, 도로 청소 강화, 미세먼지 저감 장치 등을 설치하여 시민 건강을 보호하기 위해 노력하고 있다. 현재 지원 사업은 대부분 소규모 배출사업장 방지시설 지원, 대기오염 배출원 지도·점검 강화, 자동차 배출가스 및 공회전 단속 강화 등의 배출저감 사업에 집중되어 있다. 서울시의 지역별 미세먼지 발생 저감을 위하여 자치구별 대표 배출시설의 특성을 분석할 필요가 있다. 성동구의 자동차 도장업 밀집시설과 같이, 서울시 주요 미세먼지 전구물질 배출원(인쇄업, 자동차 도장업, 세탁업 등)의 밀집시설 현황 및 대기오염물질 배출 정도 파악이 중요하며, 주요 배출원의 인근 주거공간의 대기오염물질 농도 수준, 건강영향까지 고려하여 대응 체계를 마련하는 노력이 필요하다.

[표 6-2] 서울시 미세먼지 집중관리구역

지역	내용	지역특성	지정
금천구	두산로 및 범안로 일대	공업, 교통 밀집지역 인근 주거지역	1차 지정 (‘20.1.)
영등포구	문래동 1가·4가 일대	공업, 교통 밀집지역 인근 주거지역	
동작구	서달로 및 흑석한강로 일대	비산먼지 발생사업장 인접 분지형 주거지역	
서초구	신반포로 일대	교통밀집지역 인접 주거지역	2차 지정 (‘20.7.)
중구	약수역-청구역 일대	교통밀집지역 인접 주거지역	
은평구	대조동 일대	공사장 인접 주거지역	
광진구	아차산로 58길 일대	교통밀집지역	3차 지정 (‘21.7.)
관악구	남부순환로(신림사거리) 일대	교통밀집지역	
성동구	성수동2가1동 일대	대기배출시설 밀집지역	

[기상현상 예측 및 분석을 통한 대응 방안]

미세먼지, 대기오염물질로부터의 대기질은 기상·기후요건과 연관성이 크다. 서울시를 포함한 지자체의 국소 기상·기후 요소들을 분석하고 향후 고농도 미세먼지 대응 방안

을 검토해야 한다. 미세먼지로 인한 시정 감소에는 습도, 안개 형성, 온도 변화에 따른 대기 경계층 고도 변화 등의 요인이 있을 수 있으며, 지속적인 시정 악화는 지역 주민의 건강에도 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 미세먼지, 기상 변수의 일간, 주간, 월간 및 장기간 경향성을 토대로 시공간적 특성 분석이 이루어져야 한다. 대기질에 영향을 미치는 기상·기후 조건과 이로 인한 대기오염물질의 배출과 이동은 서울시 자체적 노력만으로는 해결할 수 없기 때문에 인접 지자체 및 대기질 개선을 위한 목표 지향점의 성격을 지닌 지자체와의 지속적 교류를 통한 고농도 미세먼지의 대응 방안 검토가 필요하다.

2. 충청남도의 미세먼지 대응 정책 제언

[대형배출시설 주변에 대한 정보DB 구축]

환경문제는 초기에는 배출원에 대한 관심이 증대하지만 최종적으로는 그 지역에 거주하거나 생육하는 주민이나 동식물에 대한 건강영향을 고려해야 한다. 그러다보니 대부분의 환경개선 대책은 배출원보다는 인구수가 밀집되어 있는 수도권이나 대도시를 중심으로 추진되어 왔다. 보령 1,2 호기가 1983년과 1984년 설립된 이후 2022년 현재 충청남도에는 전국의 59기 석탄화력발전소 중 절반에 가까운 29기가 운영 중에 있다(표 2-6). 하지만 미세먼지 개선정책은 2003년부터 서울을 중심으로 “수도권 대기질 개선을 위한 대기환경특별법”을 지정, 운영해 왔으며, 대부분의 미세먼지관련 연구 또한 동일하게 투자되어 왔다. 수십년간 수도권 및 대도시 지역에서 다양한 측정분석을 통한 기여도 산정과 영향분석이 추진되어 왔으나 충청남도에서는 대형배출시설이 밀집되어 있는 당진, 서산, 보령 등에 대한 기초 DB조차 부족한 실정이다. 현재 충남연구원 등에서 대형배출시설에 대한 데이터 수집과 기여도를 평가하는 연구가 일부 수행되고 있지만 아직까지도 많이 부족한 실정이다. 추후 다양한 on-offline 측정장비들을 활용해 미세먼지에 대한 금속, 탄소, 이온 성분들과 같은 화학적 구성성분에 대한 정보와 NH₃, SO_x, NO_x 등에 대한 추적연구를 통한 2차 생성입자 및 O₃에 대한 관리대책 마련을 위한 기초자료가 수집되어야 할 것이다.

[유해대기오염물질 배출시설에 대한 맞춤형 측정소 설립]

충청남도에는 앞서 언급한 것처럼 대형배출시설들이 다수 위치해 있다. 전국의 3대 석유화학단지라고 할 수 있는 여수, 울산과 함께 서산에 대산석유화학단지가 위치해 있으며, 3대 제철소인 광양, 포항과 함께 당진 제철소가 있다. 그리고 전국의 59기의 석탄화력발전소 중 29기가 보령, 당진, 태안, 서천에 위치해 있어 전국에서 대기오염 물질 배출량 2위란 불명예를 안고 있다. 이러한 오염지역의 대기질 관리 및 정책추진

결과 확인을 위해 국가에서는 대기오염측정망을 설치 운영하고 있으나(그림 3-5), 이들 측정소에 의한 이들 대형배출시설의 배출원 관리에는 의문점이 든다. 이들 측정소들은 일반대기오염물질(PM₁₀, PM_{2.5}, CO, SO₂, NO₂, O₃)을 대상으로 데이터를 제공하고 있지만 제철소나 석유화학단지 등에서는 VOCs, POPs, HAPs 등 일반 측정망으로는 관찰할 수 없는 다양한 유해물질들이 배출되고 있다. 한 예로 2018과 2021년 충청연구원에서 대산석유화학단지 주변에서 실시간으로 VOCs의 시공간 분포를 조사하여 발표하였는데, 그 결과 발암물질인 벤젠과 1,3부타디엔의 농도가 순각적이긴 하지만 기준치를 초과하여 일반 도시 대비 수십~수백배의 농도값을 보이는 것을 확인하였다. 하지만 이때 석유화학단지 인근의 일반대기측정소의 농도는 좋음 수준으로 확인되었다. 이처럼 유해대기오염물질을 배출하는 시설에 대해서는 관련 배출물질에 대한 조사를 통해 건강유해성과 주변환경파괴 영향 등을 고려한 맞춤형 모니터링 시스템이 구축되어야 한다. 하지만 아직까지 국가측정망에는 이러한 특수목적의 측정소가 포함되어 있지 않다. 과거 슈퍼사이트라 불리며, 최첨단 장비를 활용하여 입자 및 가스상 장비의 물리화학적 정보를 수집하던 대기환경측정소가 안면도, 불광동, 제주도에 이어 전국에 확대되고는 있지만 이 또한 전국의 전반적인 특성과 경향파악을 위해 설치되었을 뿐 유해물질을 배출하는 특정 산업공정에 대한 모니터링을 위한 목적은 아니다. 국가 지침이나 규격의 경우 어느 한쪽에 치우쳐 설계되거나 변경되기 힘든 만큼 이에 대한 충청남도 차원의 대응이나 조례지정을 통한 시범사업 등이 시급히 추진될 필요성이 있다.

[선박관련 국지적인 영향 파악 및 배출량 고도화]

충청남도는 인천, 경기(평택), 부산 등에 비해 선박에 대한 대기오염물질 배출영향에 소극적이었다. 물동량이 많거나 대규모 인원이 이용하는 대형 항이 없고, 상대적으로 타 지역보다 많이 위치해 있는 대형배출시설들에 대한 관리가 현안 문제였기 때문이다. 하지만 최근 환경 전반에 걸쳐 미세먼지 개선대책이 추진됨에 따라 선박에 대한 관심과 관리가 요구되고 있다. 선박에 대한 대기환경 관리는 크게 항만과 선박관리로 구분된다. 항만의 경우 항만 내 운행 설비들의 친환경화와 연료의 황 함유량 강화, 운행속도 감속 구간 운영 등이 진행되고 있으며, 선박에 대한 관리는 130kW 또는 400톤 이상의 선박에 대해 배출허용기준(NO_x)을 적용하고 있다. 하지만 국내 등록되어 있는 선박들은 대부분 100톤 이하의 소규모 선박이며, 특히 충청남도에 등록되어 있는 선박의 95% 정도가 10톤 이하의 소형선박(어선)이며, 이들에 대한 배출관리는 현재 전무한 상태이다. CAPSS에서 관리하는 배출량 정보 또한 지역별로 소비되는 연료에 배출계수를 반영하여 산정하는 수준으로 연식별, 운행특성별로 달라지는 배출량에 대한 고려가 전혀 반영되지 못하고 있다. 우리나라는 편서풍 지대에 위치해 있어 바람의 주풍이 북서풍임을 감안했을 때 서해안을 경유하여 인천, 경기도를 오가는 선박과 충청남도 주변을 운행하는 선박에서 배출되는 오염물질, 그리고 대형배출시설 인근에 원

료공급 및 수출입을 위해 운영되는 항들(대산항, 보령항을 포함한 발전소 인근 항)에서 배출되는 오염물질들은 주풍인 북서풍을 타고 내륙으로 유입, 직간접적인 영향을 줄 수 있다. 때문에 이제는 충청남도 또한 선박(항만)에 의한 대기오염물질 관리대책이 추진되어야만 한다.

3. 공동연구 결과를 기반으로 한 광역 미세먼지 관리를 위한 정책 제언

[소형사업장 정보DB체계 구축 필요]

전국에서 운영 중인 대기오염물질 배출사업장은 총 57,621개소로 그 중 1~3종을 제외한 소형사업장(4,5종)은 전체 사업장의 92.3%를 차지하고 있다. 하지만 현재 1~3종 사업장은 TMS와 SEMS, 총량관리제를 통해 관리되고 있는 반면, 소형사업장은 4년에 1번씩 수행되는 전수조사가 배출량 관리를 위한 전부이며, 배출원 관리 역시 인력부족 및 전문성 결여로 이뤄지지 않고 있다. 최근 환경부 주도로 수행되고 있는 소형사업장 지원사업 과정 추진과정에서 소형사업장들의 인허가 서류가 현실과 맞지 않는 부분이 문제시 되고 있으며, 지원사업 역시 지역적 필요성과 시급성보다는 설계가 쉽고, 시공에 별 어려움이 없는 시설 등을 위주로 추진되고 있다. 이러한 소형사업장들에 대한 관리감독 강화와 지원사업 효과의 극대화를 위해서는 정보DB 구축이 필요하다. 초기 인허가시 제출된 서류가 전산화되지 못하고, 서류철 형태로 보관됨에 따라 정보확인이 어렵고, 잘못된 기재나 설계로 인해 현실과 상이한 정보가 그대로 유지되는 경우가 많았다. 하지만 소형사업장들에 대한 정보를 DB화하여 관리하게 된다면, 행정적 관리 효율이 증대될 수 있으며, 소형사업장 지원사업 추진시 위해성이 크거나 오래된 사업장을 위주로 관에서 선도적으로 선택하여 추진할 수 있어 대기질 개선에 크게 이바지 할 수 있을 것으로 기대된다.

[지역적 특성을 고려한 비상저감조치 개발 및 운영]

현재 고농도 미세먼지 발생시 운영되고 있는 비상저감조치는 대부분 광역시 등을 중심으로 대도시에 맞춰진 정책들이 많다. 예를들어 충청남도나 경기도의 경우 일부 대형 도시를 제외할 경우 대중교통편이 잘 구축되지 못해 차량 2부제 시행시 출퇴근에 3~4시간씩 소요될 수 있으며, 이러한 지역은 차량 운행 대수 역시 적어 2부에 대한 실효성이 낮을 것으로 예상된다. 또한 정부에서는 동일 기간 운행을 위해 살수차운행이라던가, 분진흡입차, 도로청소차 등을 구입 및 운영하는 것을 권고하고 있지만 이 또한 차량 운행이 적은 지역에서는 들인 비용대비 효과가 저조할 수 있다. 현재 일괄적으로 적용되고 있는 비상저감조치에 대한 효과를 과학적으로 검증하고, 각 지역별 영향원인을 체계적으로 파악할 필요가 있다. 그리고 이 분석결과를 기반으로 실질적인

효과를 기대할 수 있는 방향으로 정책이 제시된다면 지역 주민들의 불편을 최소화하면서 미세먼지 개선 효과는 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다.

[생활권 환경이슈 발굴 및 지원]

과거 환경문제라고 하면 대부분 수권에 대한 오염과 관리가 이슈였으나 2016년 이후 급격하게 증가한 고농도 미세먼지 발생으로 많은 관심이 대기환경분야로 전환되었다. 하지만 생활환경에서 아직까지 관심갖어야 할 부분이 많다. 울산, 여수, 서산과 같이 24시간 돌아가는 산업단지 주변에 거주하는 지역 주민들은 공장에서 나오는 빛 공해에 의한 생활 피해를 호소하고 있으며, 발전소 주변지역에서는 전자파에 의한 인체 건강영향을 우려하고 있다. 또한 도심지역 상권 밀집지역이나 오피스텔의 경우 음식점 등에서 발생하는 음식냄새(악취)를 도시환경 문제로 해결책 마련을 요구하고 있다. 본 연구를 통해 각 시도별로 차이는 있지만 각 지역별로 생활권 환경이슈가 미세먼지라는 그늘에 가려 해소되지 못 한채 방치되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 당해연도 연구에서 발굴하여 확인한 서울과 경기도의 출판단지나 충청남도의 도장시설 인근 지역의 VOCs가 한 예이다. 기여도 환경개선에 대한 기여도 부분에서 크진 않지만 주민들의 삶의 질 개선과 환경복지 향상을 위해서라도 생활권 환경이슈 발굴과 이들에 대한 개선대책 마련을 위한 정책지원이 필요하다.

[지자체 간 협력체계 구축 및 공동연구 진행]

국내 미세먼지 농도 증가 및 고농도 미세먼지 현상 등은 국외로부터의 지속적인 미세먼지 유입, 기상·기후영향 이외에도 국내 미세먼지 발생에 기여하는 복합요인에 영향을 받는다. 국내 미세먼지 관련 현안 해결 및 대응책을 마련하기 위해서는 지자체간 미세먼지 발생원인 및 특성 분석, 문제점 및 해결책 도출, 공동 대응 방안 마련 및 공유를 포함한 포괄적 관점에서의 대책 마련이 중요하다. 지역별 미세먼지와 미세먼지 전구물질의 발생 특성 분석, 고농도 미세먼지 대응을 위한 공동 연구과제 수행과 협력체계를 갖추는 것이 필요하며, 지속적인 교류를 위하여 미세먼지 저감 방향을 설정하고 수행하는 것이 중요하다.

참고문헌

- 제 60회 충청남도 통계연보, 충청남도, 2020
- 환경정책기본법 시행령, 별표 1 환경기준, 환경부, 2021
- 에어코리아(<https://www.airkorea.or.kr>), 한국환경공단, 2021
- 대기환경연보 2019, 국립환경과학원, 2020
- 2018 국가 대기오염물질 배출량, 환경부, 2021
- 대기환경보전법 시행규칙, 별표 7 대기오염경보 단계별 대기오염물질의 농도기준, 환경부, 2021
- 대기오염측정망 설치운영 지침, 환경부-국립환경과학원, 2021
- 이동측정차량을 활용한 부천시 대기오염의 공간 분포 특성 연구, 한국입자 에어로졸학회 17(1), 9-20, 김종범, 김창혁, 노수진, 황은영, 박덕신, 이정주, 김정호, 2021
- 2018 국가 대기오염물질 배출량, 환경부, 2021
- 경기데이터드림(<https://data.gg.go.kr/>), 경기도, 2021
- 국가미세먼지 정보센터(<https://www.air.go.kr/index.do>), 환경부, 2021
- 대기환경연보 2019, 국립환경과학원, 2020
- 대기환경보전법 시행규칙, 별표 7 대기오염경보 단계별 대기오염물질의 농도기준, 환경부, 2021
- 대기오염측정망 설치운영 지침, 환경부-국립환경과학원, 2021
- 에어코리아(<https://www.airkorea.or.kr>), 한국환경공단, 2021
- 이동측정차량을 활용한 부천시 대기오염의 공간 분포 특성 연구, 한국입자 에어로졸학회 17(1), 9-20, 김종범, 김창혁, 노수진, 황은영, 박덕신, 이정주, 김정호, 2021
- 제 60회 충청남도 통계연보, 충청남도, 2020
- 환경정책기본법 시행령, 별표 1 환경기준, 환경부, 2021
- 휘발성유기화합물 관리현황 및 저감계획, 환경부, 2002
- Spatial Mapping of Highly Non-Uniform Distribution of Particle-Bound PAH in a Densely

Populated Urban Arera, Atmosphere 11, 496, 김경환, 곽경환, 이재영, 우성호, 김종범,
이승복, 류성희, 김창혁, 배귀남, 오인보, 2020

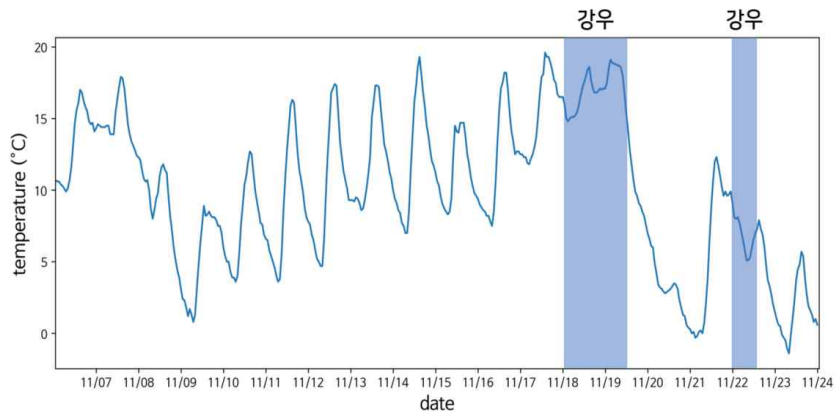
Wallace LA. and Pellizzari ED. Personal air exposures and breath concentrations of benzene
and other volatile hydrocarbons for smokers and nonsmokers, Toxicology Letters:
1987; 35(1); 113-116

부록

[고농도 미세먼지 발생 시 지역 대기오염 농도변화 특성 조사]

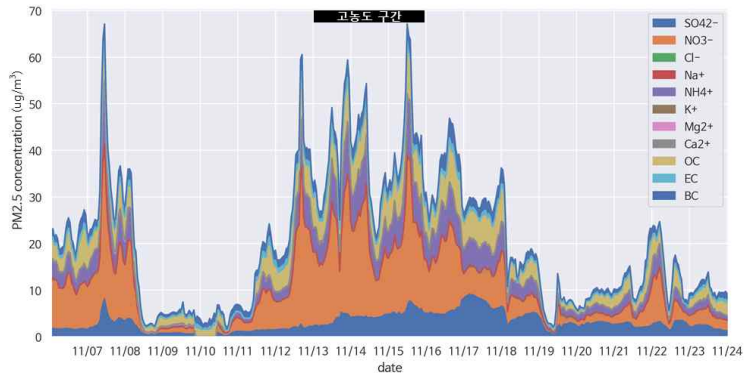
○ 서울시 불광동 대기오염 측정 자료 분석(분석기간: 20.11.06.~11.23, 20.12.03.~12.18.)

- ※ 서울, 경기, 충남 고농도 미세먼지 동시 발생 전, 발생기간, 발생 후
- 서울시 기상 조건과의 연계 해석
- 분석기간: 20.11.06.~11.23.
 - 서울시 기상조건 : 늦가을 청명한 날씨 속에 아침, 저녁으로 10℃ 이상의 큰 일교차를 보이다가, 11/18~19 와 11/22 강우 이후 기온이 큰 폭으로 하강하는 날씨



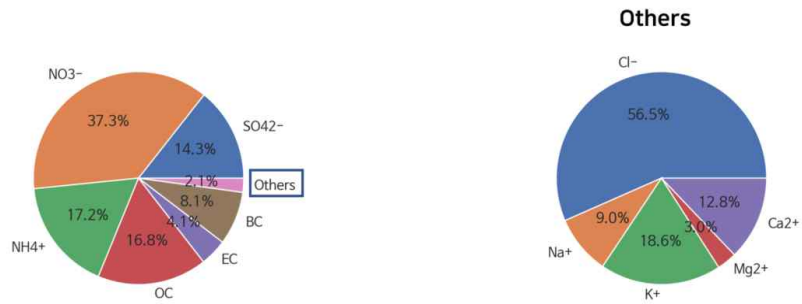
서울시(송월동) 기상조건(11/6 - 11/23)

- 서울시 초미세먼지(PM_{2.5}) 성분 시계열 분석 : 질산염(NO₃⁻)과 황산염(SO₄²⁻)의 변동성이 전체 PM_{2.5}의 변동성을 유발함. 강우가 발생했던 11/18-19, 11/22 이후에는 대기질이 개선됨



서울시(불광동) PM_{2.5} 성분 시계열(11/6 - 11/23)

- 서울시 PM_{2.5} 성분비 : 질소염과 황산염을 합치면 50% 이상을 차지. 암모늄이온(NH₄⁺) 성분도 큰 비율을 차지. Others 중에서는 염소(Cl⁻) 가 상대적으로 많음



서울시(불광동) PM_{2.5} 성분비(11/6 - 11/23)

- 2020-11-07 Seoul

바람 발생 확률

하루 총 24시간 이므로
1시간 평균 풍향이면
 $1/24 = 4.2\%$ 임

 - 서쪽으로부터 불어오는 바람
 - 풍속 4.0 m/s 이상: 8.4% (2시간)
 - 풍속 3.0 - 3.5 m/s: 4.2% (1시간)
 - 풍속 2.5 - 3.0 m/s: 4.2% (1시간)

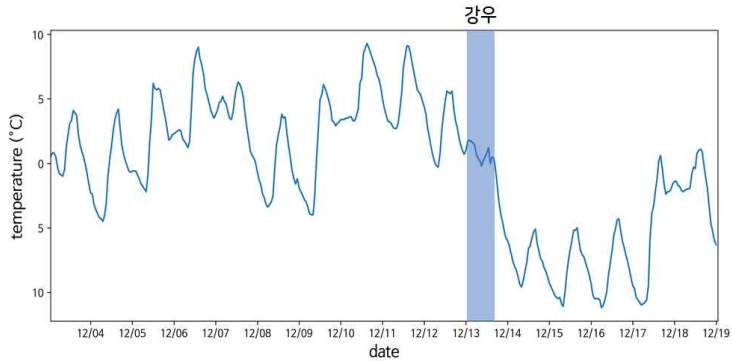
기류 유입 방향

-

고농도 시기 기류 유입 방향(11/7 - 11/23)

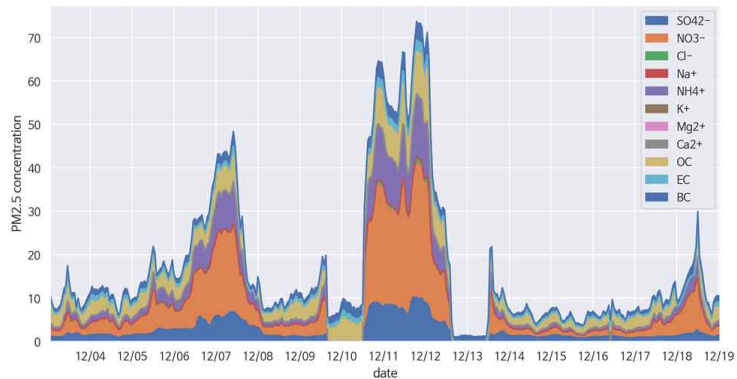
○ 서울시 불광동 대기오염 측정 자료 분석(분석기간: 20.12.03.~12.18.)

- ※ 서울, 경기, 충남 고농도 미세먼지 동시 발생 전, 발생기간, 발생 후
- 서울시 기상 조건과의 연계 해석
- 분석기간: 20.12.03.~12.18.
- ▶ 서울시 기상조건 : 12.13일 강우 이후 급격한 한파 발생



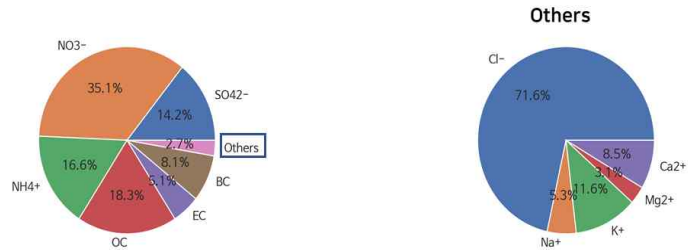
서울시(송월동) 기상조건(12/3 - 12/18)

- ▶ 서울시 초미세먼지(PM_{2.5}) 성분 시계열 분석 : 질산염(NO₃⁻)과 황산염(SO₄²⁻)의 변동성이 전체 PM_{2.5}의 변동성을 유발함. 강우가 발생했던 12/13 이후 한파시기에는 대기질이 개선됨



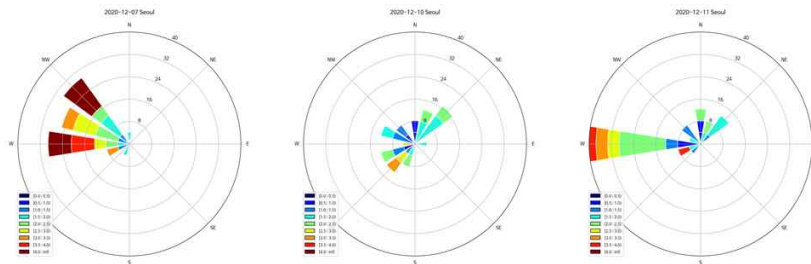
서울시(불광동) PM_{2.5} 성분 시계열(11/6 - 11/23)

- 서울시 PM_{2.5} 성분비 : 질소염과 황산염을 합치면 50% 이상을 차지. 암모늄이온(NH₄⁺) 성분과 OC 성분도 큰 비율을 차지. Others 중에서는 염소(Cl⁻)가 대다수



서울시(불광동) PM_{2.5} 성분비(12/3 - 12/18)

- 고농도 시기 기류 유입 방향 : 12월의 고농도 시기에는 11월과는 다르게 서풍, 북서풍 계열의 바람이 우세
⇒ 12/10의 경우에는 전체적으로 풍속이 약해 대기 흐름 정체로 고농도 발생한 것으로 해석



고농도 시기 기류 유입 방향(12/3 - 12/18)

Abstract

Three-provinces joint research to cope with high particulate matter concentration

Min Young Song · Sung-Kyun Shin · Jihyun Han · Seongjin Yun ·
Kiyong Lee · Joohyung Lee · Haejoon Chun

There are frequent cases of high concentrations of fine dust nationwide. In order to jointly resolve the issue of fine dust, it is necessary to prepare a system for ‘customized action for each region’ based on the characteristics of emission of fine dust and precursors in each region. Seoul is also making continuous efforts to reduce the concentration of small-scale fine dust sources within the city center, and it is necessary to establish a research cooperation system between regions and countries that comprehensively considers the causes of high concentrations of fine dust in each region.

Fine dust is a particulate matter formed by various precursors in the atmosphere, and high concentrations of fine dust across the country is a threat to public health.

Fine dust (PM₁₀) and Ultra-fine dust (PM_{2.5}) are particulate matter present in the atmosphere. It is divided into primary fine dust directly emitted from the source, and secondary fine dust formed through chemical reactions in the atmosphere using Nitrogen Oxides (NO_x), Volatile Organic Compounds (VOCs), and Black Carbon (BC) as precursors.

Since Ultra-fine dust is very small, it stays in the air and has a large impact on the human body by penetrating into the lungs through the respiratory tract or moving into the body along the blood vessels. In 2013, the International Agency for Research on Cancer (IARC) under the World Health Organization (WHO) designated fine dust as a Group 1 carcinogen confirmed to be carcinogenic to humans.

As such, the fine dust issue is recognized not only as an environmental issue but also as a social issue. As the public's interest and anxiety about fine dust increased, Korea also designated PM_{2.5} as a criteria material in 2015 and set standards. In order to minimize the damage to public health caused by fine dust, a fine dust forecasting and alarming system has been implemented and warnings have been issued. Looking at the issuance status of Ultra-fine dust warnings nationwide from 2015 to 2019, it can be seen that the number of issuance cases showed a slight decrease in 2016 and 2017, but increased significantly in 2018 and 2019. Compared to 2015, the number of fine dust warnings issued in 2019 increased by about 1.4 times and the number of Ultra-fine dust warnings increased by about 3.4 times.

Considering the characteristics of fine dust, it is necessary to comprehensively identify the causes of high concentrations of fine dust at home and abroad, and to establish a joint regional research system to reduce domestic emissions.

The occurrence of high concentrations of fine dust is caused by a combination of the effects of fine dust flowing from abroad and fine dust emitted from the country. In the case of foreign inflows, studies have been conducted on the effect of fine dust in neighboring countries on the increase in domestic air quality and fine dust concentration. In order to solve the problem of high concentrations of fine dust at the global level, efforts such as sharing air quality information with neighboring countries, sharing fine dust-related technologies, and research cooperation in the atmospheric field are necessary.

Currently, at the domestic level, there are some studies to understand the high concentration of fine dust and identify the cause to solve the problem. However, studies related to type analysis and identification of the mechanism of occurrence of short-term high concentration cases are mainly conducted. In order to solve the fine dust problem, various local governments and research institutes in Korea are conducting various reduction projects related to the main causes of fine dust, development of reduction technologies, and improvement of fine dust. However, in order to set a direction for solving high concentrations of fine dust at the national level, comprehensive efforts are needed, including technology development and policy support considering local and regional characteristics.

As a result of research cooperation between the three regions, the composition ratio of the total air pollutant components varies depending on the unique characteristics of each region. There is also a difference in the composition of PM_{2.5} components when high concentrations of fine dust occur.

In this study, a research consultative consisting of three regions, Seoul-Gyeonggi-Chungnam, was formed with the aim of comprehensively considering the establishment of information and research exchange related to the air environment and the current air quality by region.

We checked air environment response technologies and reduction projects that took into account the characteristics of major air pollutant emissions by region, and compared the air pollutant emission characteristics of each region. As a result of checking air pollutant emissions based on CAPSS data in 2018, Gyeonggi-do, the nation's No. 1 emission, recorded 6.5×10^5 ton/year, Chungcheongnam-do, the nation's No. 2 emission, recorded 4.6×10^5 ton/year in 2018, and Seoul 2.6×10^5 ton/year. Among the total air pollutant emissions, the composition ratio of each individual substance showed differences according to regional characteristics.

In the case of Gyeonggi-do, which has numerous small businesses and small medium-sized industrial complexes, VOC (29.4%) > NO_x (27.5%) > CO (21.1%) > TSP (8.1%) was found, and in Chungcheong-do, NO_x (23.5%) > SO_x (15.3%) > CO (14.3%). This is considered to be due to the fact that about 50% of the nation's coal-fired power plants are located in Chungcheong-do. In the case of Seoul, NO_x (34.4%) > VOC (28.2%) > CO (23.0%) > TSP (6.2%) were shown. This is believed to be due to the influence of mobile pollutants (automobiles), a major source of emissions in Seoul, and small businesses distributed throughout the city.

The composition of individual components of PM_{2.5} was analyzed when high concentrations occurred, focusing on the days when high concentrations of fine dust were simultaneously observed in three regions of Seoul-Gyeonggi-Chungnam. The composition of fine dust is very diverse, including carbon components (organic carbon, elemental carbon), ionic components (sulfate, nitrate, ammonium), and mineral components. By analyzing the composition ratio, it can be determined what kind of influence was largely attributable to the process of fine dust formation. In all three regions, when high-concentration fine dust is generated, the chemical composition of PM_{2.5} is 22.3~69.7% ion, OC 6.7~33.6%, EC 0.9~8.5%, and metal 4.6~16.7%.

In the case of Gyeonggi-do, the proportion of heavy metals was higher than that of other local governments due to the effects of pollutants emitted from industrial complexes. In the case of Chungcheong-do, the proportion of organic carbon (OC) generated by open-air incineration in rural areas was high. As such, the composition of PM_{2.5} may vary depending on regional characteristics, and individual improvement measures should be prepared accordingly.

Major industries and causes that contribute to the generation of fine dust by region may differ. The characteristics of pollutants vary depending on the type of source, so management should be differentiated.

Representative small business facilities that affect air quality by three regions were selected, and mobile and fixed measurements were conducted using mobile observation vehicles. Air pollutant emission characteristics of small business facilities and major VOCs that serve as precursors for fine dust were analyzed intensively.

In the case of Seoul, Jung-gu printing shops were selected as representatives of small businesses concentrated areas in the city center. In the case of Gyeonggi-do, Paju Publishing City, where printing-related service industries and publishing and distribution-related companies are concentrated among industrial complexes, was selected as the subject of the study. As a result of measuring the movement of printing streets in Jung-gu, Seoul, toluene, methanol, acetone, and xylene were identified as major VOCs substances emitted from the printing industry. In the case of Paju Publishing City, Gyeonggi-do, the concentration was detected high in the order of toluene, methyl alcohol, acetone, methyl ethyl ketone, and isopropyl alcohol. Toluene and acetone were commonly detected as a result of observation of movement around printing shops in the two regions. In the case of toluene generated during the printing process, it is also applicable to substances designated by the WHO as carcinogens, and special management for reduction or removal is expected.

In the case of Chungcheong-do, painting facilities accounted for the highest proportion among small businesses, excluding other manufacturing facilities, and major emission materials were investigated for painting facilities. As a result of examining the materials measured through movement observation around the painting facilities, acetone, methanol, ketene, and acetic acid were detected as the main VOCs substances. As such, small businesses are concentrated depending on the characteristics of each

region, and major VOCs materials emitted vary depending on the type of small business. If the current status of emission facilities is identified based on these regional characteristics, management solutions should be prepared accordingly.

In order to jointly respond to high-concentration fine dust between regions, Seoul needs to manage mobile pollutants and small businesses that cause fine dust and precursors in the city. Other regions also need to set a direction for responding to fine dust that actively reflects reality.

In the case of fine dust generated in Seoul, intensive management of these major sources is necessary because mobile pollutants (automobiles), road rescattering dust, and fine dust scattered and emitted from small businesses account for a high proportion of total emissions. Measures are needed to take into account the characteristics of sources of transportation, industry, and living in Seoul. According to the 2017 CAPSS data, indirect emissions of NO_x, VOC, and SO_x, which correspond to precursors of secondary fine dust, accounted for more than 60% of the total emissions of air pollutants in Seoul. In particular, in the case of NO_x and VOCs, it applies not only to fine dust precursors but also to ozone generation contributing substances, so there is a high need for management. In addition to preparing management measures for major sources of emissions in Seoul for each pollutant, it is necessary to integrate air pollutants (NO_x, VOCs, SO_x, etc.) considering the primary and secondary fine dust.

The increase in the concentration of fine dust in Korea and the phenomenon of high concentrations of fine dust are affected by complex factors contributing to the generation of fine dust in Korea, in addition to the continuous inflow of fine dust from abroad and weather and climate effects. In order to solve and respond to domestic fine dust-related issues, it is important to prepare measures from a comprehensive perspective, including analyzing the causes and characteristics of fine dust, deriving problems and solutions, and preparing and sharing joint countermeasures. It is necessary to analyze the characteristics of the generation of fine dust and precursors by region, perform joint research tasks and establish a cooperative system to respond to high concentrations of fine dust.

고농도 미세먼지 대응을 위한지역간 공동연구

2021-00-00

발행인 고인석

발행일 2022년 03월 31일

발행처 서울기술연구원 / www.sit.re.kr

ISBN 000000000 비매품

03909 서울특별시 마포구 매봉산로 37(상암동)DMC산학협력센터 7층

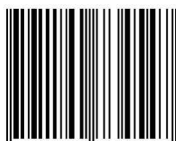
이 출판물의 저작권은 서울기술연구원에 속합니다.

Three-provinces joint research to cope with high particulate matter concentration

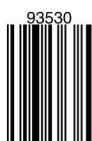
Min Young Song Sung-Kyun Shin Jihyun Han Seongjin Yun Kiyong Lee Joohyung Lee Haejoon Chun

2020-SR-14

비매품



9 791190 734547
ISBN 979-11-90734-54-7



93530