

2021년도  
최종보고서  
21-02-40-42-17

## 대산공단 인근 지역 악취모델링 연구

2021. 10

김 종 범



환경부지정

**충남녹색환경지원센터**

ChungNam Green Environment Center



# 연구결과보고서

2021년도 연구개발사업에 따라 완료한 '대산공단 인근 지역 악취모델링 연구'에 관한 연구의 최종 보고서를 붙임과 같이 제출 합니다.

- 붙임 1. 최종 보고서 20부.
- 2. 전자공문 1부. 끝.

연구기관 : 충남연구원

연구책임자 : 김종범



연구기관장 : 유동훈



충남녹색환경지원센터장 귀하



## 제 출 문

충남녹색환경지원센터장 귀하

본 보고서를 “대산공단 인근 지역 악취모델링 연구”에 관한 최종보고서로 제출합니다.

연구기관명 : 충남연구원

연구책임자 : 김종범 책임연구원

연구원 : 윤종주, 이선엽, 윤수향, 조민철



# 요 약 문

## I. 연구개요

- 연구 최종 목표
  - 전국을 포함한 산업단지 및 대산석유화학단지에 대한 현황 자료 제공
  - 선행연구결과 분석을 통한 문제점 분석
  - 이동관측을 통한 대산석유화학단지 인근 지역의 VOCs 시공간분포 자료 생성
  - 악취모델링을 통한 주변지역 영향 분석
  - 연구결과를 기반으로한 정책 제언

## II. 연구의 필요성 및 목적

- 지리적 영향
  - 편서풍 지대에 위치하고 있어 북부지역(중국, 몽골 등)에서 유입되는 유해 대기오염물질 영향권 위치
- 환경적 영향
  - 발전소, 석유화학단지, 제철소 등 다수의 대형배출시설이 위치해 있고, 최근 몇 년간 대기오염물질 배출량 전국 2위(서산시의 VOCs 배출량 기여도 충남 내 1위)
- 지속적인 환경사고 발생 및 주민 우려 증대
  - 한화토탈 유증기 누출사고, 롯데케미칼 나프타 폭발, 원료운반차량 전복, 등 2017년부터 2020년까지 화학사고를 포함하여 149건의 민원 발생
  - 대기환경영향조사(2017~2019)나 악취 모델링 연구(2019)에서 대산석유화학단지에서 배출된 오염물질이 주변 마을에 영향을 미치는 것으로 보고됨

### Ⅲ. 연구의 내용 및 범위

- 산업단지 현황 조사
  - 전국 및 서산시(대산)의 산업단지 구조 및 현황 조사
  - 대산 내 입주 산업체 분포 및 오염물질 배출특성 조사
- 대산석유화학단지를 대상으로 한 선행연구사례 조사
  - KORUS-AQ를 포함한 항공관측자료 분석
  - 이동관측차량을 활용한 모니터링 자료 분석
  - 악취실태조사 자료 분석
  - 대산공단지역 대기 영향조사 자료 분석
- 대산지역 악취 배출특성 조사
  - 무인악취포집 데이터 해석을 통한 산업단지 주변 악취유발 물질 특성 분석
  - 기상조건 분석
  - 대상 지점별 오염특성 해석
- 이동관측차량을 이용한 대산석유화학단지 내 VOCs 시공간분포 조사
  - PTR-ToF-MS를 이용한 실시간 이동관측
  - 고정측정 : 대죽1리 마을회관
  - 이동관측 : 대산석유화학단지 인근 지역(24시간 연속측정)
- 대산지역 대기오염(악취)물질 모델링 분석
  - 배출량 자료 확보 및 가공
  - 주변 영향권 규명
  - 영향권 내 지역에 대한 오염물질 분포특성 분석
- 정책제언
  - 선행연구결과 분석을 통한 시사점 제시
  - 영향권 내 지역에 대한 개선대책 제안
  - 선박 등 신규배출원에 대한 관리방안 제시

## IV. 연구결과

- 선행연구조사 결과 대산지역 내 VOCs 고농도 사례 발생(벤젠, 톨루엔, 1,3 부타디엔 등)
- 약취조사연구(서산시)에서 대죽일반산업단지에 의한 주변 영향이 크게 나타났으며, 그 외 지역에 대한 추가 관리지역 지정 제안
- 무인약취포집기 데이터 분석결과 현대오일뱅크 사택에서 높은 농도를 보였고, 그 외 한농화성과 LG 케미칼 입구, 현대오일뱅크 정문에서도 높은 농도를 나타냄
- 이동관측 결과 현대오일뱅크 사택과 KCC 및 롯데케미칼 인근, 독곶 사거리쪽에 높은 농도를 보였고, 특히 오전이나 새벽시간대보다 오후시간대 높은 농도를 보임
- 사업장 배출구 12개에 대해 모델링을 통해 약취 영향권을 설정하였고, 그 결과 배출허용기준 이하로 배출량을 규제하였을 경우 주변지역에 대한 약취수준은 기준 이하로 유지되는 것을 확인하였음
- 다만 배출허용 기준 이상의 고농도 배출사례가 주기적으로 발생하고 있어, 이에 대한 관리방안 마련이 필요할 것으로 판단됨

## V. 연구결과의 활용계획

- 대산석유화학단지 주변의 고농도 오염지역(VOCs) 선정
- VOCs에 대한 시간대별 농도변화 특성자료 제공
- 지역주민 피해비용 산정 및 산업단지와의 분쟁의 근거자료 활용
- 지역 맞춤형 개선대책 수립의 근거자료로 활용 가능
- 연구 성과
  - 게재논문 1건 : 한국대기환경학회지 37권 5호, pp 812-828
  - 학술대회 발표 1건 : 한국대기환경학회 2021년도 정기학술대회 논문집 p 304



# 목 차

<b>제1장. 연구배경 및 목적</b>	1
제 1절 연구배경	1
제 2절 연구목적	5
<b>제2장. 대산 석유화학단지 현황</b>	8
제 1절 산업단지 현황	8
제 2절 서산시 산업단지 현황	10
제 3절 대기오염배출시설 현황	12
제 4절 선행연구사례 조사	13
제 5절 서산시 대산석유화학단지 악취실태 조사	33
<b>제3장. 이동관측차량을 활용한 오염물질 공간분포</b>	52
제 1절 측정개요	52
제 2절 측정결과	57
제 3절 이동측정결과 요약	62
<b>제4장. 악취모델링</b>	66
제 1절 과업의 배경 및 목표	66
제 2절 악취의 개요	69
제 3절 악취가 인체에 미치는 영향	75
제 4절 악취물질의 특성 및 유해성	77
제 5절 국내 악취관리 현황	80
제 6절 악취확산모델링 개요	87
제 7절 악취확산 모델링 결과	95
<b>제5장. 정책제언</b>	112
참고문헌	113
부록	115

# 표 목 차

<표 차례>

[표 1-1] 대기보전 특별대책 지역 지정 현황 .....	2
[표 1-2] 대산석유화학단지에서 발생한 누출 및 폭발사고 현황 .....	4
[표 2-1] 전국 산업단지 현황(2021년도 3월 기준) .....	8
[표 2-2] 서산의 산업단지 현황(2021년 3월 기준) .....	10
[표 2-3] 서산에 위치해 있는 산업단지의 지역적 분포 현황 .....	12
[표 2-4] 대산석유화학단지 인근에서 수행된 이동관측 결과 .....	21
[표 2-5] 대산석유화학단지 대기·악취 배출업체 전수조사 수행절차 .....	28
[표 2-6] 행정구역별, 산업단지별 조사대상 사업장 현황 .....	28
[표 2-7] 대산 석유화학단지 악취 측정시스템 지점명 및 지점코드 .....	33
[표 2-8] 한농화성 1공장의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도 .....	34
[표 2-9] 한농화성 1공장의 악취물질 월평균 농도 .....	35
[표 2-10] 한화토탈 정문 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도 .....	35
[표 2-11] 한화토탈 정문 악취물질 월평균 농도 .....	36
[표 2-12] LG화학 입구의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도 .....	37
[표 2-13] LG화학 입구의 악취물질 월평균 농도 .....	37
[표 2-14] 석유공사 부두초소의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도 .....	38
[표 2-15] 석유공사 부두초소의 악취물질 월평균 농도 .....	39
[표 2-16] 한농화성 2공장의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도 .....	39
[표 2-17] 한농화성 2공장의 악취물질 월평균 농도 .....	40
[표 2-18] 현대오일뱅크 정문의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도 .....	41
[표 2-19] 현대오일뱅크 정문의 악취물질 월평균 농도 .....	41
[표 2-20] 현대오일뱅크 후문의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도 .....	42
[표 2-21] 현대오일뱅크 후문의 악취물질 월평균 농도 .....	42
[표 2-22] KCC 대죽공장 부지경계의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도 .....	43
[표 2-23] KCC 대죽공장 부지경계의 악취물질 월평균 농도 .....	44
[표 2-24] 현대오일뱅크 사택의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도 .....	44
[표 2-25] 현대오일뱅크 사택의 악취물질 월평균 농도 .....	45
[표 2-26] KCC 대죽공장 입구의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도 .....	46
[표 2-27] KCC 대죽공장 입구의 악취물질 월평균 농도 .....	46

[표 2-28] 화곡마을회관 옥상의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도 ...	47
[표 2-29] 화곡마을회관 옥상의 악취물질 월평균 농도 .....	47
[표 3-1] PTR-ToF-MS의 측정항목 선정 .....	56
[표 3-2] 지역별 VOCs 측정결과 비교 .....	59
[표 4-1] 전국 연도별 악취관련 민원발생 현황 .....	67
[표 4-2] 악취방지종합시책 상의 국내 악취정책 변화상 .....	68
[표 4-3] 주요 물질별 냄새의 특성 .....	71
[표 4-4] 주요 화학물질의 최소감지농도 .....	73
[표 4-5] 직접관능법 냄새표시법 .....	74
[표 4-6] 지정악취물질 22종 지정 현황 .....	77
[표 4-7] 지정악취물질 특성 및 유해성 .....	78
[표 4-8] 복합악취 배출허용기준 .....	85
[표 4-9] 지정악취물질 배출허용기준 .....	86
[표 4-10] CALPUFF 모델의 개요 .....	94
[표 4-11] 악취확산모델링 조건 및 개요 .....	95
[표 4-12] 서산시 주요 사업장 현황 .....	97
[표 4-13] 대산석유화학단지 내 주요 사업장 배출구 복합악취 측정결과 ('19~'21년) ...	98
[표 4-14] 대산석유화학단지 주변 악취민원 및 피해지역 .....	99
[표 4-15] 대산석유화학단지 내 사업장 복합악취 배출량 .....	100
[표 4-16] 관심좌표 악취확산 모델링 최대 농도 (전체 배출원-최근값 기준) .....	102
[표 4-17] 관심좌표 악취확산 모델링 최대 농도 (일부 배출원-최근값 기준) .....	105
[표 4-18] 관심좌표 악취확산 모델링 최대 농도 (일부 배출원-최대값 기준) .....	107

# 그림 목 차

<그림 차례>

[그림 1-1] 대산석유화학단지 모습 .....	1
[그림 1-2] 충남보건연에서 이동관측차량을 이용한 모니터링 모습 .....	3
[그림 2-1] 전국 산업단지 분포(2020년 12월 기준) .....	9
[그림 2-2] 서산 내부 산업단지 분포현황 .....	11
[그림 2-3] 대산석유화학단지의 전경 .....	11
[그림 2-4] 연구범위 및 과업수행 내용(대산공단협의회, 2019) .....	13
[그림 2-5] 대산지역 집중측정소 위치 .....	14
[그림 2-6] 집중측정지역의 계절별 벤젠 농도 수준 .....	15
[그림 2-7] 계절별 주요 측정지점의 벤젠 농도 수준 .....	15
[그림 2-8] VOCs 분포특성 조사 위치 .....	16
[그림 2-9] 31개 지역에서 측정된 VOCs 농도분포 .....	16
[그림 2-10] 측정위치 및 경로 .....	17
[그림 2-11] VOCs의 시간대별 농도 수준 .....	18
[그림 2-12] 대산석유화학단지의 VOCs의 공간분포 .....	19
[그림 2-13] 충남보건환경연구원의 이동관측 결과 보고서 .....	20
[그림 2-14] 산업단지와 주변 대조군의 위치 .....	23
[그림 2-15] 대산석유화학단지와 인근에서 측정된 VOCs의 농도 .....	24
[그림 2-16] 3개 지점에서 측정된 VOCs와 카르보닐화합물의 농도 수준 .....	24
[그림 2-17] 항공관측을 통해 측정된 충청남도의 주요 사업장 위치 .....	25
[그림 2-18] 항공관측을 통해 측정된 충남 주요 배출원의 농도 수준 .....	26
[그림 2-19] 각 지역별 톨루엔/벤젠 비율 .....	27
[그림 2-20] 대기·악취 배출업체 분포현황 .....	29
[그림 2-21] 서산시에 위치한 사업장 분류 .....	29
[그림 2-22] 대산일반산업단지 전체 복합악취 확산 모델링 결과 .....	30
[그림 2-23] 대죽일반산업단지 전체 복합악취 확산 모델링 결과 .....	31
[그림 2-24] 오토밸리 일반산업단지 전체 복합악취 확산 모델링 결과 .....	32
[그림 2-25] 대산석유화학단지 악취 측정시스템 설치 위치 .....	33
[그림 2-26] H <sub>2</sub> S 지역별 비교 .....	48
[그림 2-27] NH <sub>3</sub> 지역별 비교 .....	49
[그림 2-28] TVOC 지역별 비교 .....	50
[그림 3-1] 실시간 이동측정 경로 .....	53
[그림 3-2] 이동측정 차량 외관 및 데이터 획득 모습 .....	54
[그림 3-3] 이동측정시 작성된 측정기록지 .....	55

[그림 3-4] 측정기간동안의 기상 현황(바람장미) .....	58
[그림 3-5] 개별 VOC의 고정측정 결과 .....	61
[그림 3-6] 이동관측(오전)시 TVOC 분포 특성 .....	62
[그림 3-7] 이동관측(오후)시 TVOC 분포 특성 .....	63
[그림 3-8] 이동관측(새벽)시 TVOC 분포 특성 .....	64
[그림 4-1] 전국 악취민원 발생현황(자료:환경부, 2020) .....	66
[그림 4-2] 악취배출시설 악취민원 현황(자료:환경부, 2020) .....	67
[그림 4-3] 제1차 악취방지 종합시책의 비전 및 목표(제1차 악취방지 종합시책) .....	80
[그림 4-4] 제2차 악취방지 종합시책의 비전 및 목표(제2차 악취방지 종합시책) .....	81
[그림 4-5] 제2차 악취방지 종합시책의 개념도(제2차 악취방지 종합시책) .....	82
[그림 4-6] 환경영향평가 절차(악취관리체계 중장기 정책방향 설정 연구) .....	84
[그림 4-7] 대기 중에 배출된 오염물질의 분산과정 .....	87
[그림 4-8] AERMOD의 모형의 구조 .....	89
[그림 4-9] Puff Model의 개념도 .....	89
[그림 4-10] CALMET/CALPUFF 모델링 시스템 .....	92
[그림 4-11] AERMOD 수행을 위한 기상자료 적용방법 .....	93
[그림 4-12] CALPUFF 수행을 위한 기상자료 적용방법 .....	93
[그림 4-13] 대산석유화학단지 주요 사업장 및 각 산업단지 위치 .....	95
[그림 4-14] 대산 AWS 바람장미 .....	96
[그림 4-15] 서산시 내 주요 악취배출사업장 위치 .....	99
[그림 4-16] 대산석유화학단지 악취배출원 및 민원지역 .....	101
[그림 4-17] 대산석유화학단지 악취확산모델링 결과 .....	103
[그림 4-18] 대산석유화학단지 악취확산모델링 결과 .....	104
[그림 4-19] 대산석유화학단지 악취확산모델링 결과 .....	106
[그림 4-20] 대산석유화학단지 악취확산모델링 결과 .....	108
[그림 4-21] 현대오일뱅크 최대배출량 적용 악취확산모델링 결과 .....	109
[그림 4-22] 동남합성 2공장 배출허용기준 이하 적용 악취확산모델링 결과 .....	110





## 2. 관리대책의 한계성

- 선행적으로 설치·운영 중인 여수, 울산 산업단지가 국가산업단지로 대기보전특별대책지역으로 지정되어 관리되고 있는 반면, 대산석유화학단지는 일반산업단지로 분류, 적절한 관리를 받지 못하고 있음
- 서산시에서는 대산석유화학단지 인근을 울산·여수와 동일 수준의 관리를 위해 대기보전특별대책지역 지정을 위한 건의와 근거자료 마련 연구를 추진하였으나 아직까지 대책지역으로 지정받지 못하고 있음

[표 1-1] 대기보전 특별대책 지역 지정 현황

구분	지역	지정일자
울산·미포 및 온산 국가산업단지	대기보전특별대책지역	'86. 03. 18
여천시 여천국가산업단지 및 확장단지		'96. 09. 20
대산석유화학단지	'16년도부터 꾸준히 지정 건의 중	미지정

- 2020년 4월 신설된 대기관리권역법에 따라 총량관리지역으로 설정됨
  - 기존 : 수도권 등 대기관리권역에 따른 총량관리제 추진('03~'20)
  - 변경 : 대기관리권역법에 따른 권역별 총량관리제 추진('21~)
  - 총량관리 대상항목 : NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, TSP
  - 대상 : 연간 배출 NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> 기준 4톤, TSP 0.2톤 이상 배출사업장
- 대상지역 : 충남 15개 시군 중 금산군을 제외한 14개 시군(서산 포함)
  - 심각지역 : 국내 초미세먼지 기여율 상위 30% 특광역시 및 시·군
  - 우려지역 : 심각지역간 연결선상에 위치한 상위 30~50% 시·군
  - 관리지역 : 심각/우려지역에 둘러싸인 기여도 하위 50% 시·군
- 심각지역(9) : 서산, 태안, 당진, 아산, 천안, 공주, 논산, 서천, 보령
- 우려지역(3) : 예산, 홍성, 부여
- 관리지역(2) : 청양, 계룡
- 한계점
  - 석유화학단지의 주요 배출물질인 VOCs에 대한 관리정책 부재

### 3. 석유화학단지 인근 지역 유해물질 고농도 사례 발생

- 2016년 미국 NASA와 공동으로 진행된 한국의 대기질 공동조사 연구(KORUS-AQ)에서 대산석유화학단지 상공에서 다량의 벤젠과 1,3 부타디엔 농도가 관측되었으며, 본 보고서에서 항공관측자료보다 지상관측소에서의 농도가 더 높을 것으로 예측함
- 충남보건연에서 이동측정차량을 활용하여 주기적으로 대산석유화학단지의 대기질 모니터링을 수행 중에 있으며, 2017년부터 2019년까지 3년간 수행된 연구결과에서 쓰레기매립장의 벤젠농도가 3.09 ppb에서 26.4 ppb로 지속적으로 증가하는 것으로 나타남(연평균 기준농도 1.5 ppb)



<충남보건연의 이동측정차량 모습>

<대기환경모니터링 결과 보고서>

[그림 1-2] 충남보건연에서 이동관측차량을 이용한 모니터링 모습

- 충남연구원 서해안기후환경연구소에서 수행한 “대산공단지역 대기환경영향 조사”에서 실시간 측정장비를 이용하여 대산공단 지역과 대죽1리 마을회관에서 VOCs를 측정된 결과 시간대별로 상이하지만 고농도 사례를 보였고, 특히 1,3 부타디엔은 순간 최대 125.1 ppb까지 나타남
- 2019년 서산시에서 발주한 “서산시 대산석유화학단지 악취실태조사”에 따르면 독곶사거리와 현대오일뱅크 사원아파트 부근에서는 대산석유화학단지에서 기인한 (복합)악취의 영향권에 들어가는 것으로 조사됨

#### 4. 대산석유화학단지에서 의한 지속적인 주민 피해 발생

- 대산석유화학단지는 가동된지 30년이 지나면서 시설 노후화에 따른 안전누출사고가 빈번히 발생하고 있으며, 2017년부터 2020년까지 4년간 화학사고를 포함하여 149건의 민원이 제기되었음

[표 1-2] 대산석유화학단지에서 발생한 누출 및 폭발사고 현황

순번	사고일자	기업명	사고원인	사고유형
1	14.07.25	LG화학(주)	시설관리미흡	화재
2	15.03.16	롯데케미칼	시설관리미흡	에틸렌관련 화재
3	15.06.23	서부물류	운반차량사고	아스팔트유 누출
4	16.01.04	한국화공	운반차량사고	부타디엔 누출
5	18.01.15	롯데케미칼	시설관리미흡	벤젠 누출
6	19.03.20	(주)한국특수가스	운반차량사고	페놀수지 누출
7	19.04.18	(주)로비스	운반차량사고	페놀 누출
8	19.04.18	현대오일뱅크	작업자부주의	황화수소 누출
9	19.05.17	한화토탈(주)	시설관리미흡	페 스틸렌 누출
10	19.05.22	그린케미칼(주)	시설관리미흡	암모니아 누출
11	20.02.21	한화토탈(주)	운전자부주의	용제 누출
12	20.03.04	롯데케미칼	시설관리미흡	나프타 폭발
13	20.04.07	현대오일뱅크	시설관리미흡	플레이스택 약취
14	20.05.19	LG화학	시설관리미흡	폭발

- 대기영향조사 결과 대산석유화학단지에서 배출된 유해물질이 주변 마을(기온리, 대로리, 대죽리, 독곶리, 오지리, 화곶리)에 주로 영향을 미치는 것으로 나타남
- 위해성평가 결과 마을별 편차가 있지만 발암물질 중 포름알데하이드, 1,2-디클로에탄, 벤젠, 아세트알데히드의 관리가 필요한 것으로 조사됨

## 2절. 연구목적

### 1. 연구개발의 최종 목표

#### 목표 I. 대산석유화학단지를 대상으로 한 선행연구사례 조사

- ◆ KORUS-AQ를 포함한 항공관측 자료 분석
- ◆ 이동관측차량을 활용한 모니터링 자료 분석
- ◆ 서산시에서 수행한 악취실태조사 자료 분석
- ◆ 대산공단지역 대기영향 조사 자료 분석

#### 목표 II. 대기측정망 등 국가정보를 활용한 오염도 특성 분석

- ◆ 무인악취시스템 자료를 활용한 지역별 농도변화 분석
- ◆ 실시간 측정장비와 이동차량을 활용한 대산석유화학단지 주변 모니터링
- ◆ 대산석유화학단지 내 유해화학물질 사용현황 분석

#### 목표 III. 대산지역 대기오염(악취)물질 모델링 분석

- ◆ 배출량 입력자료 확보 및 가공
- ◆ 주변 영향권 규명
- ◆ 영향권 내 지역에 대한 오염물질 분포특성 분석

#### 목표 IV. 정책제언

- ◆ 선행연구결과 분석을 통한 시사점 제시
- ◆ 영향권 내 지역에 대한 개선대책 제안

#### ○ 정량적 평가지표

- 국내 학술대회 발표 1건
- 국내 학술등재지 논문게재 1건

## 2. 연구개발 목표의 성격

### 1) 과제분류

- 환경정책연구  
 환경현안조사연구  
 환경현안기술개발  
 산학연협력기술개발

### 2) 연구분야

- 하폐수처리      상수도 및 정수  
 수질관리         대기관리  
 폐기물관리      토양지하수 오염관리 및 처리  
 자연환경분야    기후변화 대응 분야    기타환경분야

## 3. 연차별 연구개발목표 및 내용

(단위 : 천원)

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용	추정 연구비
1차연도 (2021)	대산석유화학단지 대상으로 한 선행연구사례 조사	1) KORUS-AQ를 포함한 항공관측 자료 분석 2) 이동측정차량을 활용한 모니터링 자료 분석 3) 약취실태조사 자료 분석 4) 대산공단지역 대기영향 조사 자료 분석	36,000
	대산지역 약취유발물질 모델입력자료 선정	1) 무인약취시스템 자료를 활용한 농도변화 분석 2) 실시간 측정장비와 이동차량을 활용한 대산석유화학단지 주변 모니터링 3) 대산석유화학단지 내 유해화학물질 사용현황 분석	
	대산지역 대기오염(약취) 물질 모델링 분석	1) 배출량 입력자료 확보 및 가공 2) 주변 영향권 규명 3) 영향권 내 지역에 대한 오염물질 분포특성 분석	
	정책제언	1) 선행연구결과 분석을 통한 시사점 제시 2) 영향권 내 지역에 대한 개선대책 제안	

#### 4. 연구추진계획

연구 내용	연구 담당	추진일정(개월)							
		4	5	6	7	8	9	10	
선행연구사례 조사	조민철	■	■						
모델링 입력자료 수집 및 확보	김종범	■	■						
대기측정소 자료 수집 및 분석	윤수향		■	■	■				
산업단지 현황 조사/측정	김종범		■	■	■	■			
이동측정결과 분석	이선엽				■	■			
모델링 수행 및 분석	위탁			■	■	■			
영향권 설정 및 농도수준 분석	위탁				■	■			
기존 연구결과의 해석결과 분석	윤종주				■	■	■		
개선대책 제언	김종범						■	■	
		착수			중간				최종

## 제2장. 대산 석유화학단지 현황

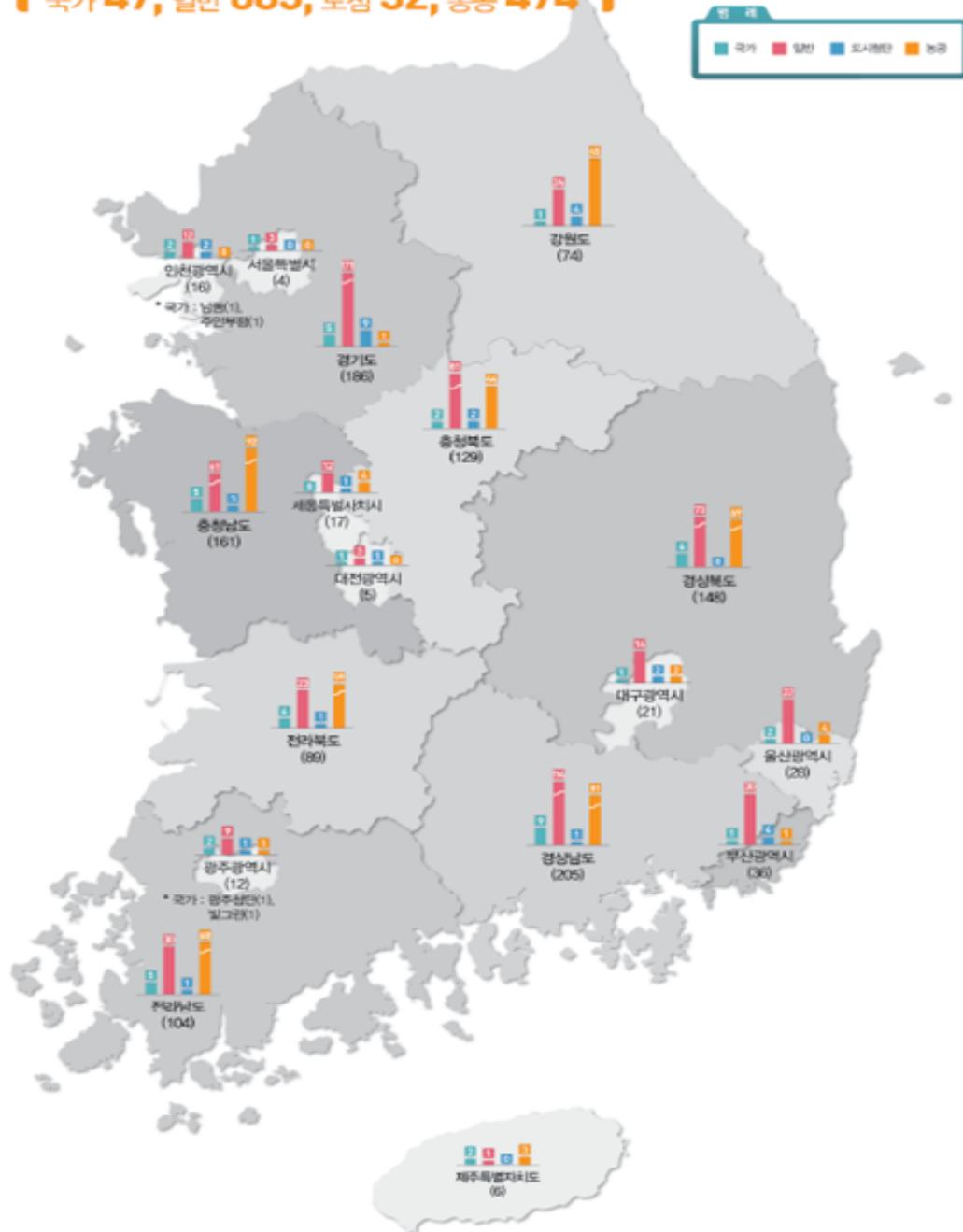
### 1절. 산업단지 현황

- 산업단지는 경제환경변화에 탄력적으로 대처하고 국가 차원의 첨단산업 육성을 위해 1970년대부터 조성하기 시작하였고, 지정 목적에 따라 국가산업단지, 일반산업단지, 도시첨단산업단지, 농공단지로 구분됨
- 2021년 3월 기준 전국에는 1,245개 산업단지가 운영되고 있음
  - 분류별로는 일반산업단지가 683개소로 가장 많은 비율(55.1%)을 차지하고 있고, 농공산업단지(38.2%), 국가산업단지(4.1%), 도시첨단산업단지(2.6%)순임
  - 지역별로는 경상남도가 207개(16.6%)로 가장 높고, 경기도 15.0%에 이어 충청남도가 161개(12.9%)로 3위로 나타남
- 충남의 경우 총 161개 중 92개가 농공산업단지로 가장 많고, 일반산업단지 61개, 국가산업단지 5개, 도시첨단산업단지 3개로 확인됨

[표 2-1] 전국 산업단지 현황(2021년도 3월 기준)

	국가	일반	도시첨단	농공	합계	비율
서울	1	3	-	-	4	0.3%
부산	1	30	4	1	36	2.9%
대구	1	16	2	2	21	1.7%
인천	2	12	2	-	16	1.3%
광주	2	9	1	1	13	1.0%
대전	1	3	1	-	5	0.4%
울산	2	22	-	4	28	2.2%
세종	-	12	1	4	17	1.4%
경기	5	172	9	1	187	15.0%
강원	1	24	5	45	75	6.0%
충북	2	80	2	44	128	10.3%
충남	5	61	3	92	161	12.9%
전북	6	23	1	59	89	7.1%
전남	5	30	1	69	105	8.4%
경북	6	72	-	69	147	11.8%
경남	9	116	1	81	207	16.6%
제주	2	1	-	3	6	0.5%
합계	61	686	33	475	1,245	100.0%

전국 1,238  
국가 47, 일반 685, 도청 32, 농공 474



• 괄호안의 숫자는 단지 수입니다.

※ 2개 지역에 걸친 산업단지 : 한국수출(서울, 인천), 빛그리(광주, 전남), 아산(경기, 충남), 명지녹산(부산, 경남)

[그림 2-1] 전국 산업단지 분포(2020년 12월 기준)

## 2절. 서산시 산업단지 현황

- 서산에는 국가산업단지 1개와 일반산업단지 8개, 농공단지 4개가 있으며, 2021년도 기준 2개의 일반산업단지가 신규 조성 중에 있음
- 2021년도 1월을 기준으로 14,248 m<sup>2</sup>에 206개 업체가 입주해 있으며, 씨지엔대산전력과 현대대죽 일반산업단지가 839 m<sup>2</sup>에 입주를 목적으로 조성 중에 있음
- 면적별로는 대죽 일반산업단지와 서산테크노밸리 일반산업단지가 전체 면적의 25.1%를 차지할 만큼 가장 넓은 지역을 활용하고 있으며, 가동율은 79.1% 수준으로 확인되었음

[표 2-2] 서산의 산업단지 현황(2021년 3월 기준)

유형	단지명	조성상태	지정면적	관리면적	입주업체	가동업체
국가	대죽자원비축	완료	912	912	1	1
일반	대산	완료	1,103	1,103	4	4
일반	대죽	완료	2,101	2,101	11	11
일반	대산컴플렉스	완료	648	648	3	3
일반	대산3	완료	542	539	2	1
일반	서산오토밸리(구 서산)	완료	3,990	3,989	49	41
일반	현대대죽	조성중	673	672	2	-
일반	씨지엔대산전력 (구 엠피씨)	조성중	166	166	1	-
일반	서산인더스밸리 (구 서산2)	완료	812	812	12	9
농공	고북	완료	125	124	13	10
농공	명천자동차전문	완료	143	143	6	6
농공	성연	완료	777	775	3	3
농공	수석	완료	231	223	22	22
일반	서산테크노밸리	완료	1,986	1,987	80	52
일반	서산남부 (구 서산도시형)	미개발	878	878	-	-



[그림 2-2] 서산 내부 산업단지 분포현황

- 대산석유화학단지는 1개의 국가산업단지와 일반산업단지 5개로 구성되어 있으며, 2개의 일반산업단지가 조성 중에 있음
  - 국가산업단지 : 대죽자원비축 (1개)
  - 일반산업단지(운영 중) : 대산, 대죽, 대산컴플렉스, 대산3, 서산오토밸리 (5개)
  - 일반산업단지(조성 중) : 현대대죽, 씨지엔대산전력 (2개)
- 대산석유화학단지는 서산에 위치한 산업단지 14,248 m<sup>2</sup> 중 65.2%에 차지하는 9,296 m<sup>2</sup>의 면적을 사용하고 있으며, 입주업체 206개 중 34.0%인 70개소가 포함되어 있음
- 대산항에 위치한 AWS의 자료분석 결과 연중 주풍이 북풍이나 북서풍인 것을 감안하면 산업단지에서 배출된 오염물질이 산업단지 우측과 풍하 방향에 위치한 마을에 영향을 미칠 것으로 판단되며, 다수 연구 결과에서 유사한 결과를 제시하였음



[그림 2-3] 대산석유화학단지의 전경

### 3절. 대기오염배출시설 현황

- 충청남도에는 총 3,711개소의 사업장이 위치하고 있으며, 연간 20톤 이상의 대기오염물질을 배출하는 1~2종 사업장이 전체 사업장 중 6.5%를 차지하며, 4, 5종 소규모 사업장들이 89.3%를 차지하고 있음
- 서산에는 총 476개의 사업장이 위치해 있으며 그 중 1, 2종 사업장이 37개 7.8%로 충청남도의 대형사업장 비율보다 높은 수준으로 확인되었음
- 지역별로는 대산읍에 압도적으로 많은 93개소가 위치해 있고, 성연면에 68개소, 음암면 46개소, 수석동 40개소 등으로 확인됨

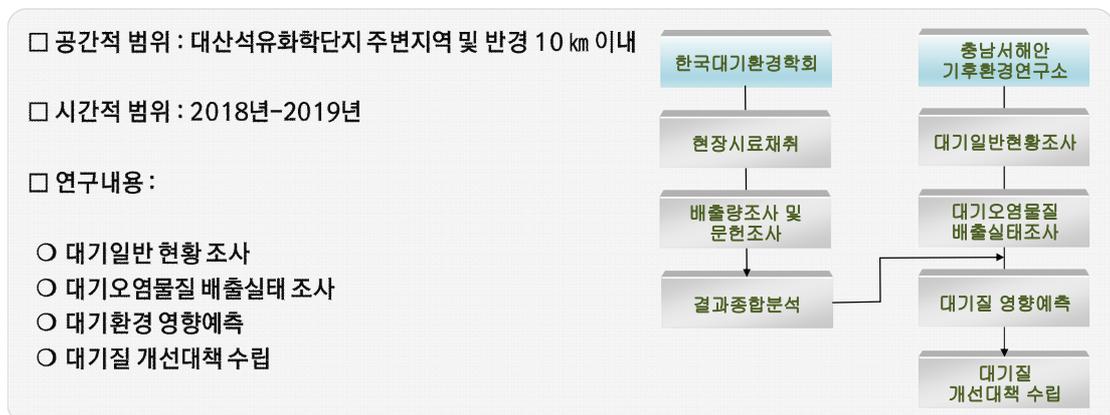
[표 2-3] 서산에 위치해 있는 산업단지의 지역적 분포 현황

	1종	2종	3종	4종	5종	전체
대산읍	22	5	11	14	41	93
인지면	-	-	-	1	9	10
부석면	-	-	-	3	5	8
팔봉면	-	1	1	2	6	10
지곡면	3	-	1	7	19	30
성연면	3	1	4	10	50	68
음암면	-	-	2	5	39	46
운산면	-	-	1	9	19	29
해미면	-	-	2	7	28	37
고북면	1	1	1	6	21	30
부춘동	-	-	-	3	14	17
동문1동	-	-	-	-	18	18
동문2동	-	-	-	-	8	8
수석동	-	-	1	9	30	40
석남동	-	-	-	8	24	32
서산시	29	8	24	84	331	476
충청남도	133	107	158	1,278	2,035	3,711
충남대비 서산시비율	21.8%	7.5%	15.2%	6.6%	16.3%	12.8%

## 4절. 선행연구사례 조사

### 1. 대산석유화학단지에 대한 대기환경 영향조사

- Duncan 등이 연구보고서를 통해 서산지역을 최근 10년간 NO<sub>2</sub> 농도가 가장 급격하게 증가한 지역이라고 보고하였고, 2016년 환경부와 미국 NASA가 공동 수행한 KORUS-AQ에서 대산지역 상공에서 매우 높은 벤젠과 1,3부타디엔의 농도가 관측되면서 지역주민의 건강염려가 대두되고 시작함
- 주민들의 의견과 시 차원의 현황과약을 위해 신규사업을 추진하게 됨
- 개발 목표 : 유해화학물질의 모니터링과 모델링, 위해성 평가를 통한 정책개발
- 수행기관 : 2017년 11월 ~ 2019년 10월 (2년간)
- 수행기간 : 한국대기환경학회, 충남연구원
- 연구내용
  - 대기 일반현황 조사
  - 대기오염물질 배출실태 조사
  - 대기환경 영향 예측
  - 유해대기오염물질에 대한 노출평가
  - 대기질 개선대책 수립(정책 제언)
- 조사지점 : 대산석유화학단지 주변 5개 지점
  - 대죽1리, 화곡1리, 대로3리, 오지리, 대산리
  - 계절별 7일씩 집중 측정 수행



[그림 2-4] 연구범위 및 과업수행 내용(대산공단협의회, 2019)

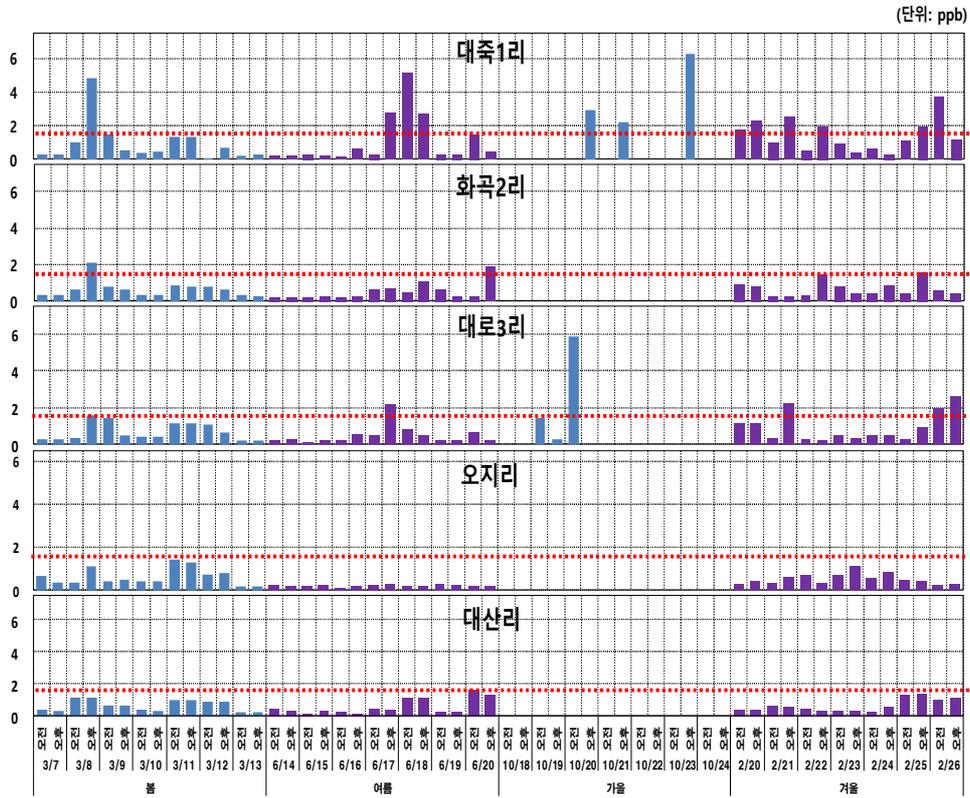
○ 측정항목

- 휘발성유기화합물 (16종)
- 다이옥신 / 다환방향족탄화수소
- 카르보닐화합물

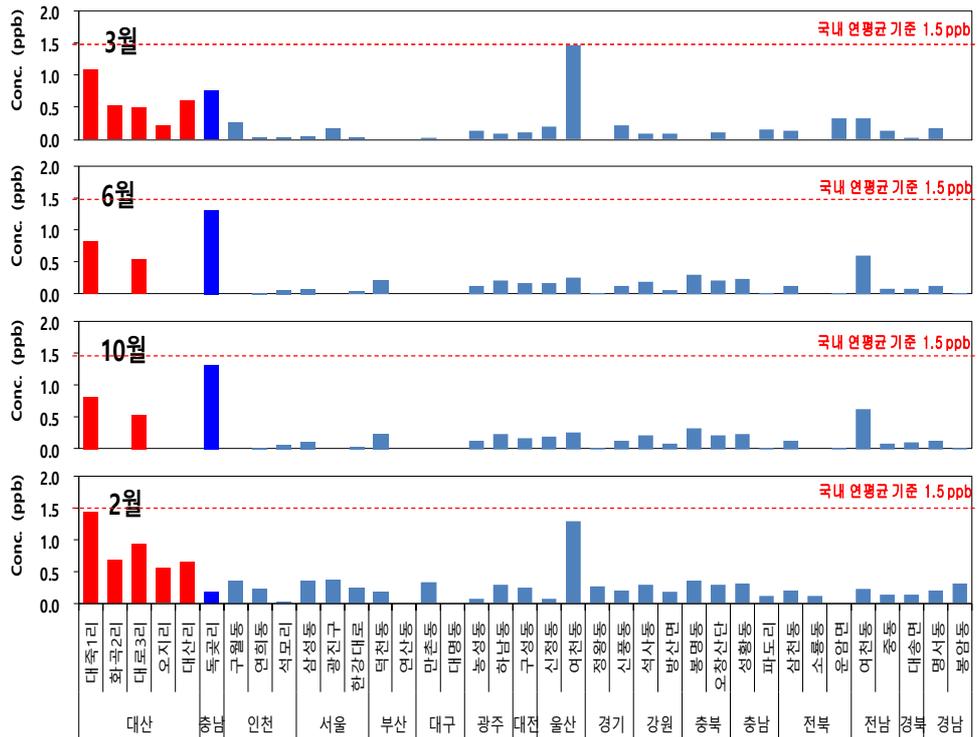


[그림 2-5] 대산지역 집중측정소 위치

- VOCs 16종을 대상으로 5개 지점에서 측정한 결과 대산리가 TVOC 기준 37.0 ppb로 가장 높은 농도를 보였고, 대죽1리 31.6 ppb, 오지리 31.1 ppb, 화곡2리 26.0 ppb, 대로3리 13.8 ppb로 확인됨
- 국가 기준물질은 벤젠만을 대상으로는 대죽1리가 1.08 ppb로 가장 높았고, 그 뒤로 화곡2리 0.47 ppb, 대로3리 0.67 ppb, 오지리 0.35 ppb, 대산리 0.48 ppb로 확인되어 전반적으로 국가 연평균 기준치보다는 낮은 수치를 보였음
- 하지만 순간적인 최대농도가 1.42~6.24 ppb까지 확인되어 지역별 혹은 시간대별 농도 차이가 큰 것을 확인할 수 있었음
- 특히 계절별로는 봄철과 겨울철의 농도가 높게 나타났고, 여름과 가을철의 경우 농도가 낮을뿐더러 검출 횟수가 불규칙하게 나타났음
- 수동 시료채취장치의 경우 측정장비로서의 정확도는 떨어지나 낮은 가격으로 많은 지역에 대한 공간 분포를 확인할 수 있다는 장점을 가지고 있음
- 본 연구에서도 대산지역 31개소를 대상으로 수동 시료채취장치를 계절별로 부착하여 공간분포를 검토한 결과 대죽 1리가 가장 높게 나타났고, 그 뒤를 이어 독곶 2리, 독곶 1리가 높은 것으로 나타났음



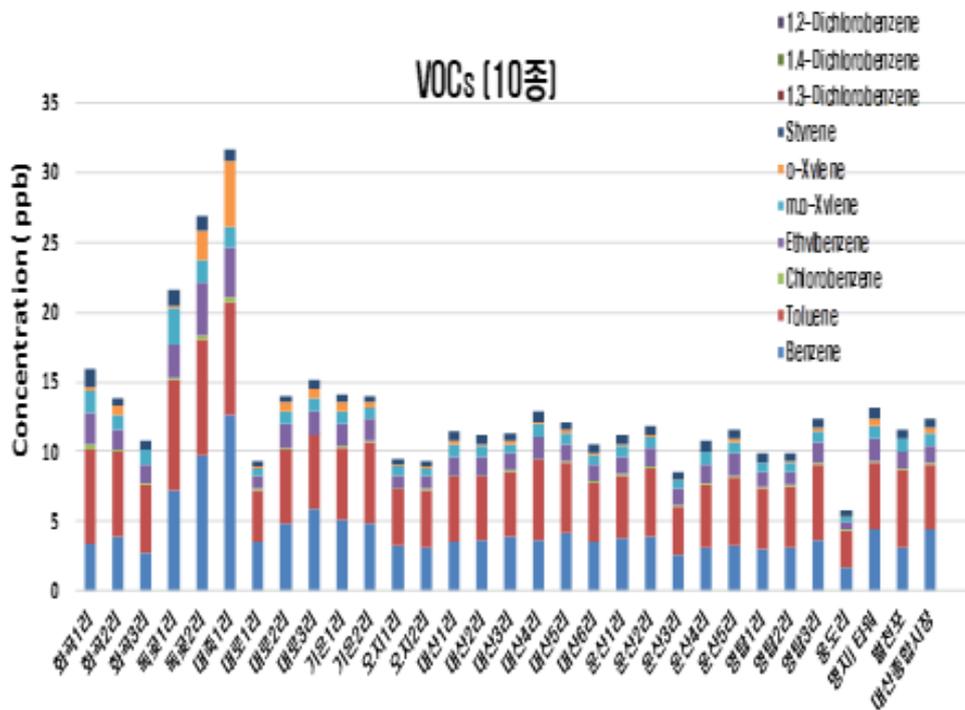
[그림 2-6] 집중측정지역의 계절별 벤젠 농도 수준



[그림 2-7] 계절별 주요 측정지점의 벤젠 농도 수준



[그림 2-8] VOCs 분포특성 조사 위치



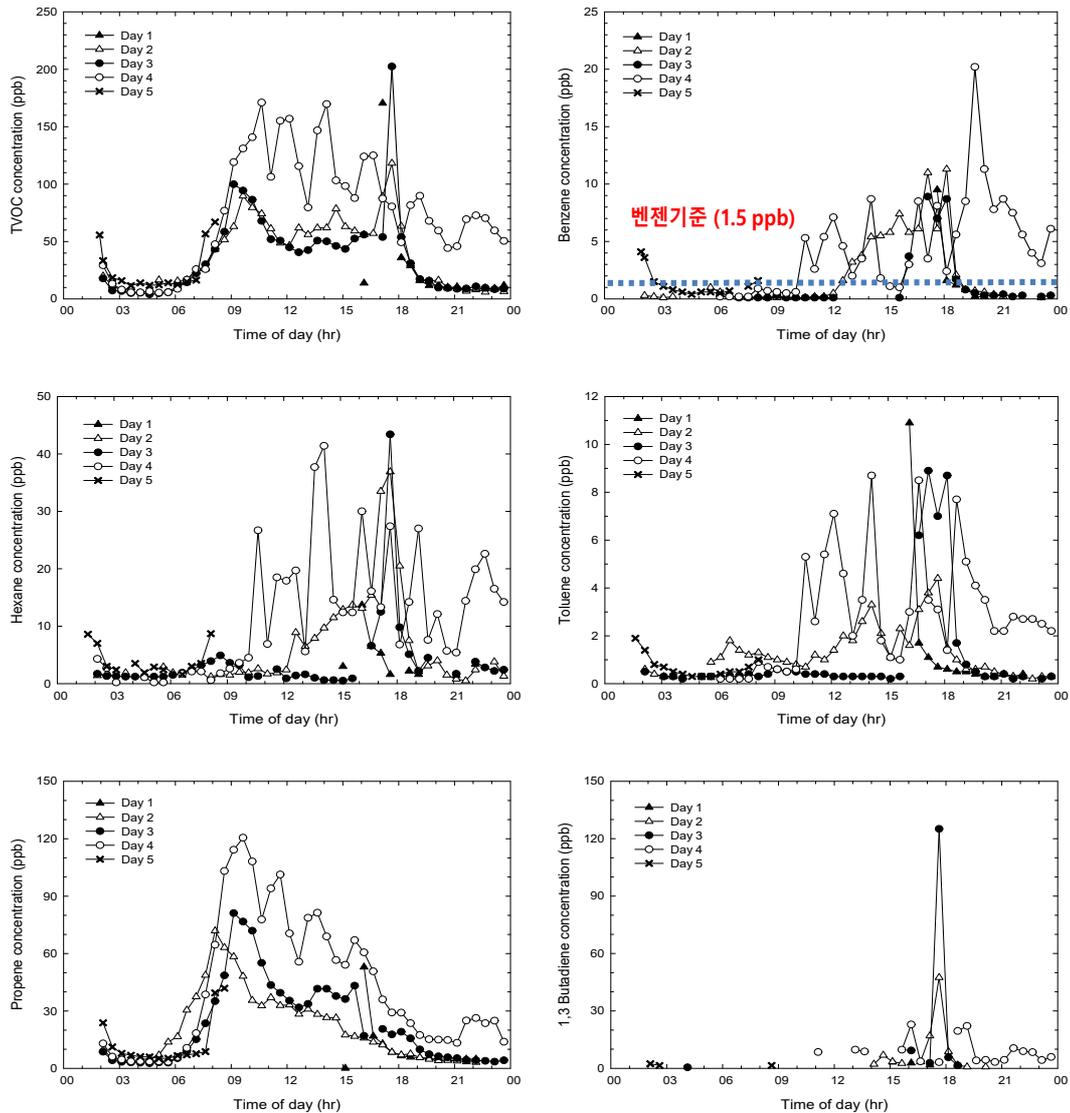
[그림 2-9] 31개 지역에서 측정된 VOCs 농도분포

- 공정시험방법을 기준으로 대산지역 5개소에서 농도값을 측정 한 결과값이 기준치(벤젠 기준)를 만족하지만 시간대별 편차가 큰 것을 확인할 수 있었음
- 이에 실시간으로 VOCs를 측정할 수 있는 장비들을 활용하여 대죽1리와 대산석유화학단지 인근에서 모니터링 연구를 수행함
- 측정기간 : 2019년 6월 10일 ~ 14일 (5일간) / 24시간 연속측정
- 측정항목
  - 입자상 오염물질 : PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, BC
  - 가스상 오염물질 : VOCs
  - 기타 : 풍향, 풍속



[그림 2-10] 측정위치 및 경로

- TVOC와 개별 VOC를 시간대별 농도변화를 분석한 결과 대부분의 물질에서 심한 일변화를 확인할 수 있었음
- 벤젠의 경우 9시~12시경 크게 상승하였고, 감소 후 15~18시경 다시 상승
- 톨루엔과 헥산은 측정기간 동안 9시~21시까지 일정한 패턴없이 농도변화 보였음
- 1,3 부타디엔은 하루 중 15~18시경에만 급격히 증가하였다가 감소



[그림 2-11] VOCs의 시간대별 농도 수준

- 이동관측차량을 활용하여 공간 분포를 확인한 결과 벤젠, 톨루엔, 자일렌 모두 3곳에서 높은 농도를 보임 : **대산쓰레기매립장**, 현대오일뱅크 사택 입구, 독곶1리 진입로
- 가장 높은 곳은 대산 일반산업단지 인근지역으로 **대산쓰레기매립장**이 위치하고 있음
- 기존 충남보건환경연구원 이동측정에서도 동일 지점(대산쓰레기매립장)에서 고농도 사례가 확인되었으며, 2017년부터 지속적인 농도증가 추세를 보임
- 위 연구결과를 기반으로 충남도청 및 충남보건환경연구원과 협의하였고, 지속적이고 연속적인 모니터링의 필요성에 대해 협의를 통해 2019년부터 실시간 VOCs 측정장비인 SIFT-MS를 구매하여 이동관측을 지속적으로 수행하고 있음



[그림 2-12] 대산석유화학단지의 VOCs의 공간분포

## 2. 이동관측차량을 활용한 모니터링 연구

- 정부는 국가 대기오염 현황과악 및 정책추진 결과분석을 위해 대기오염측정망을 설치·운영 중에 있으며, 충청남도 수준의 지자체 단위에서는 도시대기측정망과 도로변 측정망, 중금속 측정망 등 3개의 측정망을 운영하고 있음
- 충청남도의 대기오염측정망은 환경부(국립환경과학원)에서 위임받은 충청남도 보건 환경연구원에서 운영 중에 있음
- 2016년까지 단 6개소에 불과했던 도시대기측정망을 가지고 충청남도 전역의 대기질을 모니터링 하기에는 역부족 하였고, 2021년 기준 36개소로 증가한 지금도 전 지역을 고르게 관찰하고 관리하는데는 한계가 있음
- 이러한 관리 사각지대를 관리하고, 기존 대기오염물질 외 물질에 대한 모니터링을 위해 이동관측차량이 활용되기 시작함
- 충청남도 보건환경연구원은 실시간 VOCs의 농도를 측정할 수 있는 SIFT-MS를 탑재한 차량 등 이동관측 차량 2대를 보유하고 있으며, 2017년부터 대기측정망의 관리 사각지대와 민원지역을 대상으로 이동 관측하여 자료를 제공하고 있음

### 대기환경 모니터링 결과

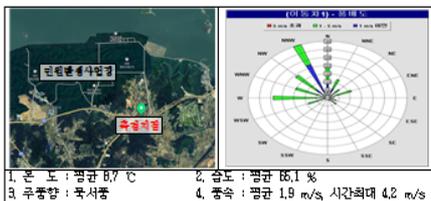
#### 1 조사개요

- 측정지점 : 서산시 대산읍 개화1길 3(화곡2리 마을회관)
- 측정기간 : 2020. 4. 9. ~ 4. 16. (8일간)
- 측정구분 : 현대오일뱅크 약취발생 피해민원
- 측정방법 : 이동측정차량 이용 24시간 연속측정(PM<sub>10</sub> 등 18종)

#### 2 조사결과 요약

- PM<sub>10</sub> : 일평균 농도는 23~46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 24시간 도 환경기준(80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 만족함
- PM<sub>2.5</sub> : 일평균 농도는 14~29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 24시간 도 환경기준 (40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 만족함
- SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO 등 일반 가스상 오염물질은 도 환경기준을 만족함
- 벤젠은 일평균농도 0.7~2.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 측정기간 평균 1.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 충청남도 환경기준(3.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )을 만족하고, 휘발성 유기화합물질은 민원발생 사업장의 풍하방향인 북서풍에서 나타남

#### 3 측정지점 및 기상현황



### 4 세부 측정결과

#### 1 미세먼지 등 일반영역

표 1. PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> 등 대기오염물질 측정결과

항목 일자	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	CO (ppm)	비고
4.9	37	19	0.007	0.011	0.046	0.3	
4.10	39	22	0.004	0.010	0.036	0.3	
4.11	23	14	0.002	0.014	0.031	0.3	
4.12	30	20	0.002	0.010	0.038	0.3	
4.13	24	14	0.005	0.013	0.045	0.2	
4.14	46	29	0.003	0.023	0.046	0.3	
4.15	39	25	0.005	0.020	0.045	0.3	
4.16	28	19	0.002	0.021	0.021	0.3	
평균농도	33	25	0.004	0.016	0.039	0.3	
한일 기준	국가	100 일	35 일	0.05 일 0.15/시간	0.06 일 0.1/시간	0.06 시간 0.1/시간	9.0 시간 25/시간
	충청 남도	80 일	40 일	0.03 일 0.10/시간	0.04 일 0.08/시간	0.06 시간 0.1/시간	5.0 시간 10/시간

- PM<sub>10</sub> : 일평균 농도는 23~46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 24시간 도 환경기준(80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 만족함
- PM<sub>2.5</sub> : 일평균 농도는 14~29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 24시간 도 환경기준 (40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 만족함
- SO<sub>2</sub> : 일평균측정치는 0.002~0.007ppm으로 1시간 도 환경기준(0.10ppm) 및 24시간 도 환경기준(0.03ppm) 모두 만족함
- NO<sub>2</sub> : 일평균 농도 범위는 0.010~0.023ppm으로 1시간 도 환경기준(0.08ppm) 및 24시간 도 환경기준(0.04ppm) 모두 만족함
- O<sub>3</sub>, CO : 오존 평균농도 0.033ppm, CO 0.3ppm 으로, 도 환경기준 아래임

[그림 2-13] 충남보건환경연구원의 이동관측 결과 보고서

- 서산의 경우 충남 최대의 VOCs 배출지역으로 산업단지 주변 지역에 대한 VOCs 상시관측이 요구되나 산업단지 앞에 위치한 도시대기측정망(독곶리 측정소)에서는 이에 대한 모니터링 설비가 전무한 상태임
- 이에 데이터 확보 및 농도수준 조사를 위해 2017년부터 이동관측차량을 활용한 모니터링이 지속적으로 이루어지고 있음
- 현재 VOCs 물질 중 벤젠만이 연평균 기준 1.5 ppb로 기준치가 마련되어 있으며, 그 외 물질은 아직까지 관리가 이루어지고 있지 않음
- 2017년부터 최근까지 지속적으로 모니터링을 수행한 결과 벤젠을 기준 대산매립장의 경우 2017년 3.09 ppb에서 2018년 7.2와 12.6 ppb, 2019년 5.9~31.2 ppb, 2020년 15.5 ppb 등 지속적으로 고농도를 보이고 있으며, 측정기간 평균 기준, 충남지역 기준치의 10.4배까지 높은 수치를 보였음
- 이 외에도 독곶사거리나 대죽1리 마을회관, 서산합동방재센터, 한익스프레스 등에서도 지속적으로 기준치 이상의 고농도가 관측되고 있음

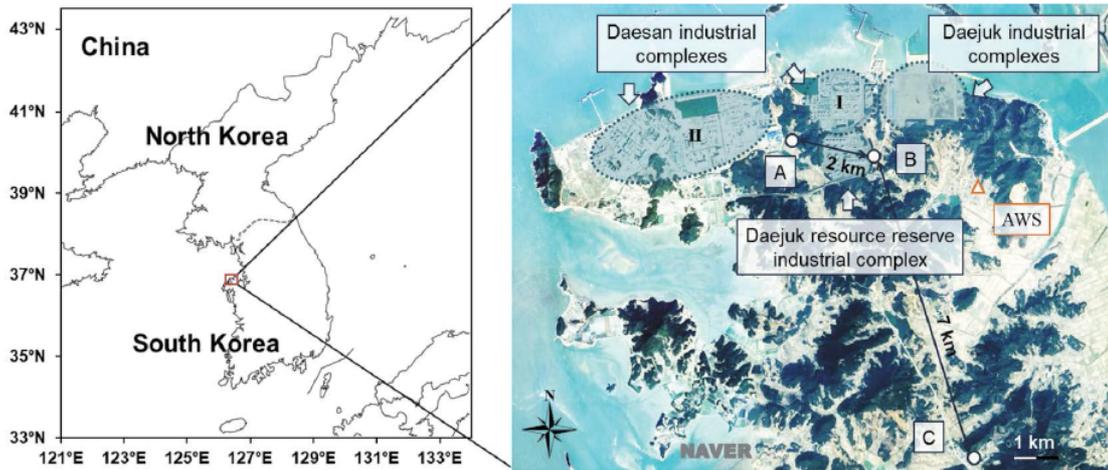
[표 2-4] 대산석유화학단지 인근에서 수행된 이동관측 결과

연도	측정지점		벤젠	톨루엔	에틸벤젠	m,p-자일렌	o-자일렌	스틸렌
	환경기준	충남	3	기준치 없음				
		국가	5	기준치 없음				
2017	대산 매립장	상반기	1.19	1.66	0.97	1.97	-	-
		하반기	<b>3.09</b>	2.72	1.24	2.33	-	-
	대죽1리 마을회관	상반기	1.98	1.26	0.68	1.1	-	-
		하반기	0.91	1.91	0.4	0.7	-	-
	독곶사거리		1.73	1.7	0.6	1.18	-	-
	한국건설생활시험연구원		0.74	1.85	0.7	0.7	-	-
2018	대산매립장	상반기	<b>7.2</b>	4.5	1.6	8.4	1	7.4
		하반기	<b>12.6</b>	7.5	2.3	5.7	0.3	34
	대죽1리 마을회관	상반기	0.9	1.4	0.6	0.4	0.2	0
		하반기	2.5	4.8	0.9	1.1	0.2	1.5
	독곶사거리	상반기	<b>3.9</b>	2.4	0.6	1.2	0.3	0.9
		하반기	<b>3.7</b>	6.6	1.1	1.6	0.3	1.3
	한익스프레스		<b>5.5</b>	1.66	0.44	미측정	미측정	0.9
	한익스프레스		1.1	0.4	0.1	미측정	미측정	0.1

2019	한익스프레스	2월	2.8	5.5	1.2	1.3	0.3	0.8
		3월	14.3	8.6	10.4	11.8	5.7	-
	서산합동방재센터		2.4	3.3	0.9	1.2	0.5	1.4
	대죽1리 마을회관	3월	1.3	1.3	1.4	0.5	0.2	0.5
		6월	8.6	6.5	2.5	2.2	0.6	4.5
		8월	3.9	11.5	1.4	1.8	0.8	5.3
		11월	2.8	17.3	1.8	2.7	0.9	1.2
	대산매립장	3월	26.4	13.8	8.2	25.6	1.5	-
		6월	31.2	21.2	6.7	17.6	2.1	17.6
		8월	5.9	15.3	6.4	23.4	5.5	35.6
		11월	9.4	17.5	0.7	7.2	10.6	24.3
	오토밸리 어린이집	3월	0.7	1.5	0.3	0.5	0.2	0.4
		8월	0.7	8.5	0.9	1.5	0.7	2.9
	서산합동 방재센터	2월	2.4	3.3	0.9	1.2	0.5	1.4
		6월	4.4	3.6	1.5	0.5	6.9	1.6
		8월	1.8	13.5	1.5	2.1	0.9	3.7
11월		3.8	3.8	0.9	1.4	0.6	0.6	
성연 면사무소	7월	0.7	7.4	1.2	2.4	0.5	2.2	
	9월	0.6	7.3	1.1	2.4	1.4	0.8	
한국건설생활시험연구원		2.2	3.5	2.1	3.0	2.3	0.9	
한국건설생활시험연구원		2.9	5.2	1.0	2.7	2.9	2.1	
2020	한국건설생활 시험연구원	2월	3.9	5.6	0.5	1.1	0.3	2.2
		10월	3.7	10.6	3.2	4.5	3.3	-
	대산매립장	2월	15.5	15.0	0.8	0.5	0.3	11.3
		9월	3.8	7.5	3.2	18.6	10.9	
	대죽1리 마을회관	2월	1.5	9.8	1.0	1.2	0.4	0.3
		10월	2.0	4.5	2.1	3.3	4.2	-
	오토밸리 어린이집		0.9	1.6	0.4	0.8	0.3	0.4
서산합동방재센터		2.5	1.0	0.4	0.2	0.2	0.3	
화곡2리 마을회관		1.6	1.4	0.4	0.8	0.2	0.6	
2021	한국건설생활시험연구원		2.4	2.9	2.0	1.0	1.0	
	대죽1리 마을회관		3.0	2.6	1.0	0.8	1.6	
	오토밸리 어린이집	2월	1.4	10.7	0.8	1.3	0.3	1.8
		6월	1.5	16.9	3.6	3.4	0.7	10.0
	해미면 응소성		1.2	2.2	0.8	0.1	0.2	0.9
	인더스밸리 산단 내		0.3	0.7	1.1	0.2	0.1	0.1

### 3. 대산지역 대기질 조사 연구 : 백성옥 등 (2020)

- 석유정제 및 석유화학관련 산업에 둘러 쌓여있는 공업지대 2개 지점과 대조군 1개 지점을 대상으로 VOCs에 대한 비교분석 실험 수행



[그림 2-14] 산업단지와 주변 대조군의 위치

- 기상자료는 대산읍 화곡리의 AWS를 활용하였으며, 봄(5월)과 가을(10월), 겨울(12월)에는 주로 북풍 또는 북서풍이 높은 빈도를 보였고, 여름(8월)에는 남풍이 주풍으로 확인됨
  - 상대적으로 북서풍이 주풍인 봄, 가을, 겨울철 산업단지에 배출된 오염물질에 의한 주변 마을에 대한 영향이 크게 나타날 것으로 판단됨
- 주변 지역에서 측정은 공정시험법인 고체흡착방식과 GC/MS 분석법을 활용함
- 3개 측정지점 전체자료에 대한 연평균농도는 hexan이 1.83 ppb로 가장 높게 나타났고, toluen 1.5 ppb, ethylacetate 1.11 ppb, benzene 0.77 ppb, stalen 0.66 ppbt 순으로 나타남
- 대산에서 측정한 전체 72종의 VOCs 중 25종의 물질이 50% 이상의 검출빈도를 보였고, 24종의 물질은 50% 이상의 검출빈도를 보였음
- VOCs 배출량 자료와 비교분석결과 지역적 배출량이 높은 hexan, toluen, 자일렌, 벤젠, 스탈렌, 에틸벤젠의 농도가 높게 나타나, 결국 대산지역은 배출량이 많은 물질이 주변지역 농도를 높이는데 주도적으로 기여하고 있는 것으로 확인되었음

Compounds	Annual data including four seasons						Three seasons data excluding summer					
	Industrial site #A (n=48)		Industrial site #B (n=48)		Control site #C (n=48)		Industrial site #A (n=39)		Industrial site #B (n=39)		Control site #C (n=39)	
	Mean	Max	Mean	Max	Mean	Max	Mean	Max	Mean	Max	Mean	Max
Formaldehyde	5.84	15.32	3.52	12.68	2.90	12.96	7.30	15.32	4.04	12.68	3.41	12.96
Acetaldehyde	2.84	9.55	2.32	7.19	2.21	6.93	3.38	9.55	2.72	7.19	2.66	6.93
Acetone	3.70	14.55	3.07	12.41	2.77	11.49	4.50	14.55	3.71	12.41	3.41	11.49
Acrolein	0.01	0.22	<0.01	0.04	<0.01	0.08	0.01	0.22	<0.01	0.04	<0.01	0.08
Propionaldehyde	0.32	1.18	0.30	1.14	0.29	1.02	0.37	1.18	0.32	1.14	0.31	1.02
Crotonaldehyde	0.03	0.35	0.03	0.44	0.01	0.17	0.03	0.35	0.04	0.44	0.01	0.17
MEK <sup>a)</sup>	1.21	7.76	1.07	8.25	0.97	6.96	1.48	7.76	1.31	8.25	1.21	6.96
Butyraldehyde	0.11	0.59	0.09	0.56	0.11	0.68	0.13	0.59	0.11	0.56	0.13	0.68
Benzaldehyde	0.52	2.93	0.31	1.34	0.28	1.29	0.56	2.93	0.31	1.34	0.31	1.29
Valeraldehyde	0.08	0.33	0.06	0.17	0.07	0.42	0.10	0.33	0.08	0.17	0.09	0.42
m-Tolualdehyde	0.13	0.42	0.09	0.43	0.23	2.10	0.17	0.42	0.11	0.43	0.29	2.10

[그림 2-15] 대산석유화학단지과 인근에서 측정된 VOCs의 농도

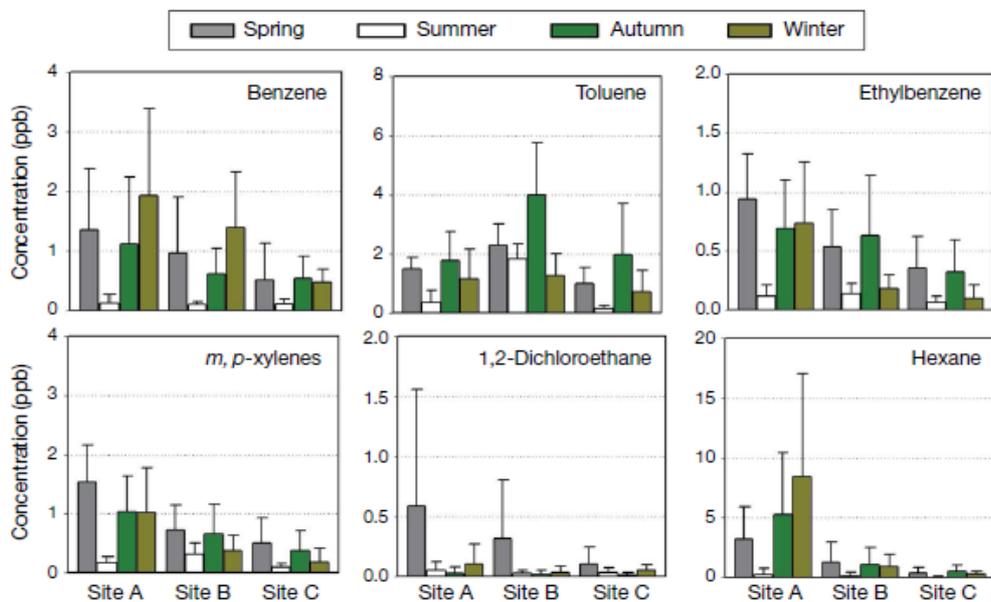
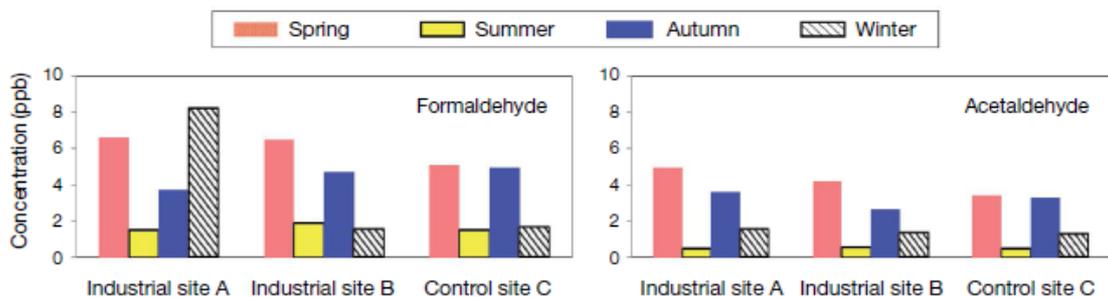


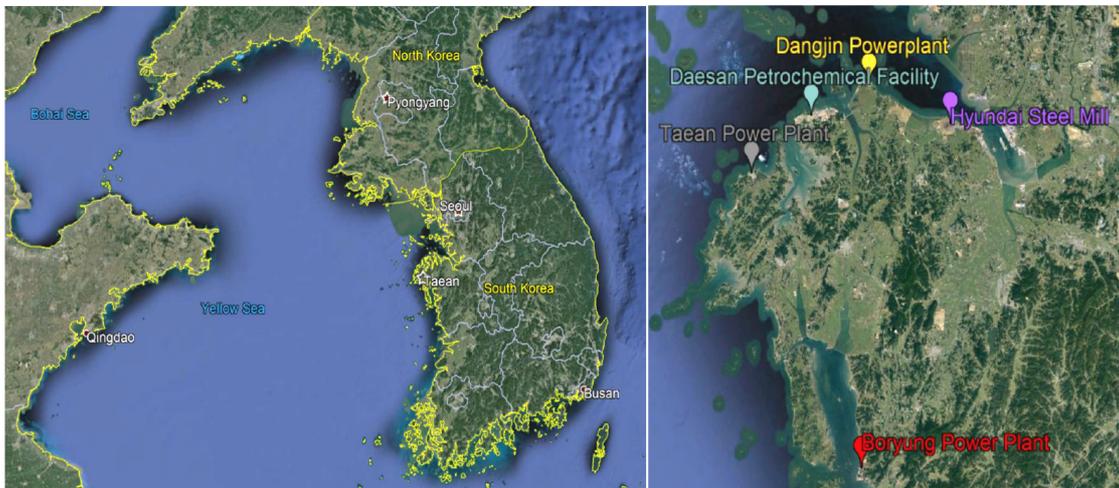
Fig. 4. Comparison of the seasonal average concentrations of selected VOC in the monitoring sites.



[그림 2-16] 3개 지점에서 측정된 VOCs와 카르보닐화합물의 농도 수준

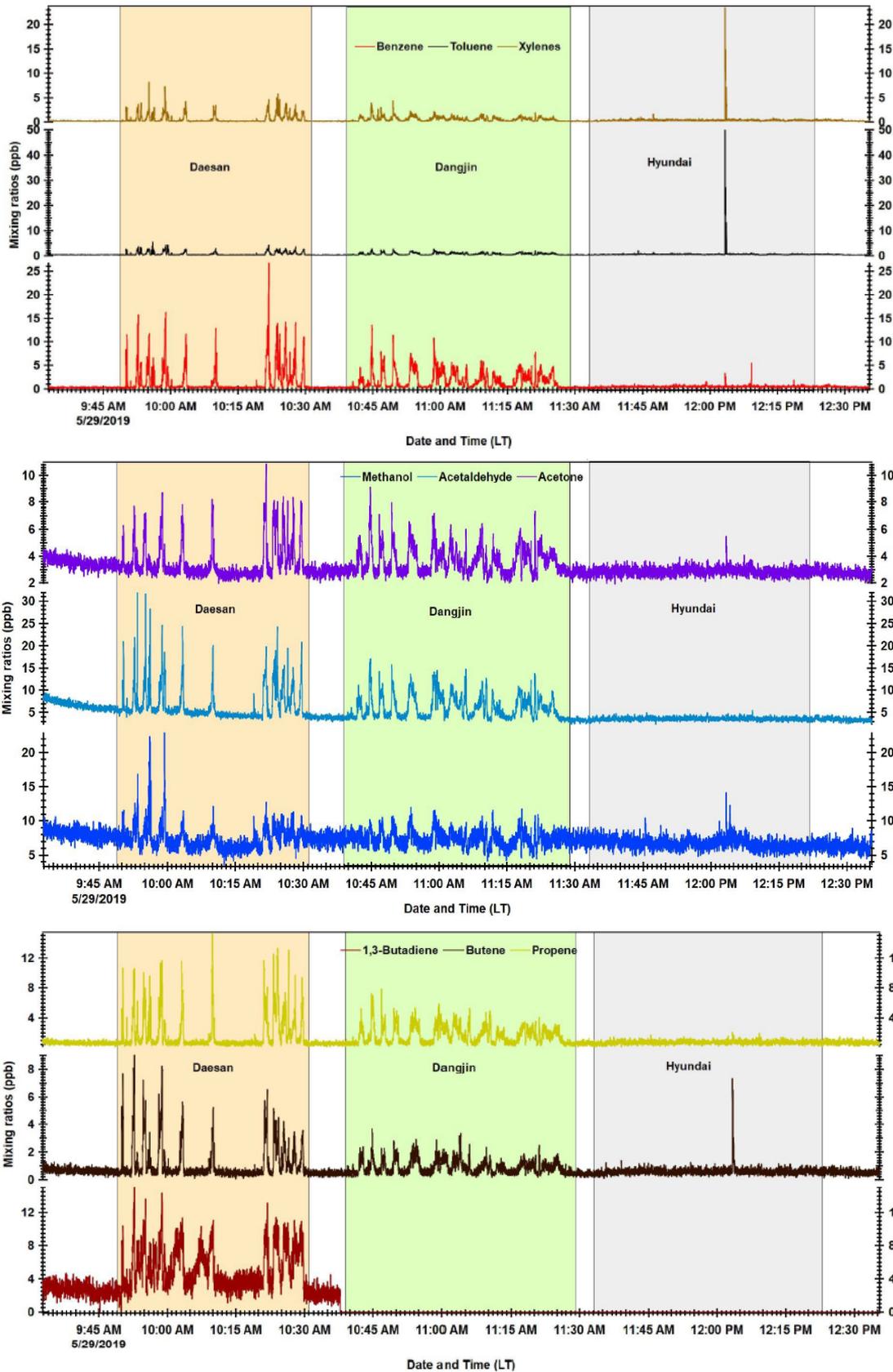
4. 실시간 측정장비를 활용한 충청남도의 대형배출시설 인근 상공의 항공 관측 : Sarkar 등 (2019)

- 2019년 5월~6월까지 충청남도의 대형사업장(당진 현대제철, 대산 석유화학단지, 당진 화력발전소, 태안 화력발전소)를 대상으로 고도 300~1,000 m 상공에서 항공관측을 수행하였음
- 실시간 측정장비인 PTR-ToF-MS를 사용하여 VOCs를 측정하였고, AIMMS-30을 사용하여 기상데이터를 수집하였음

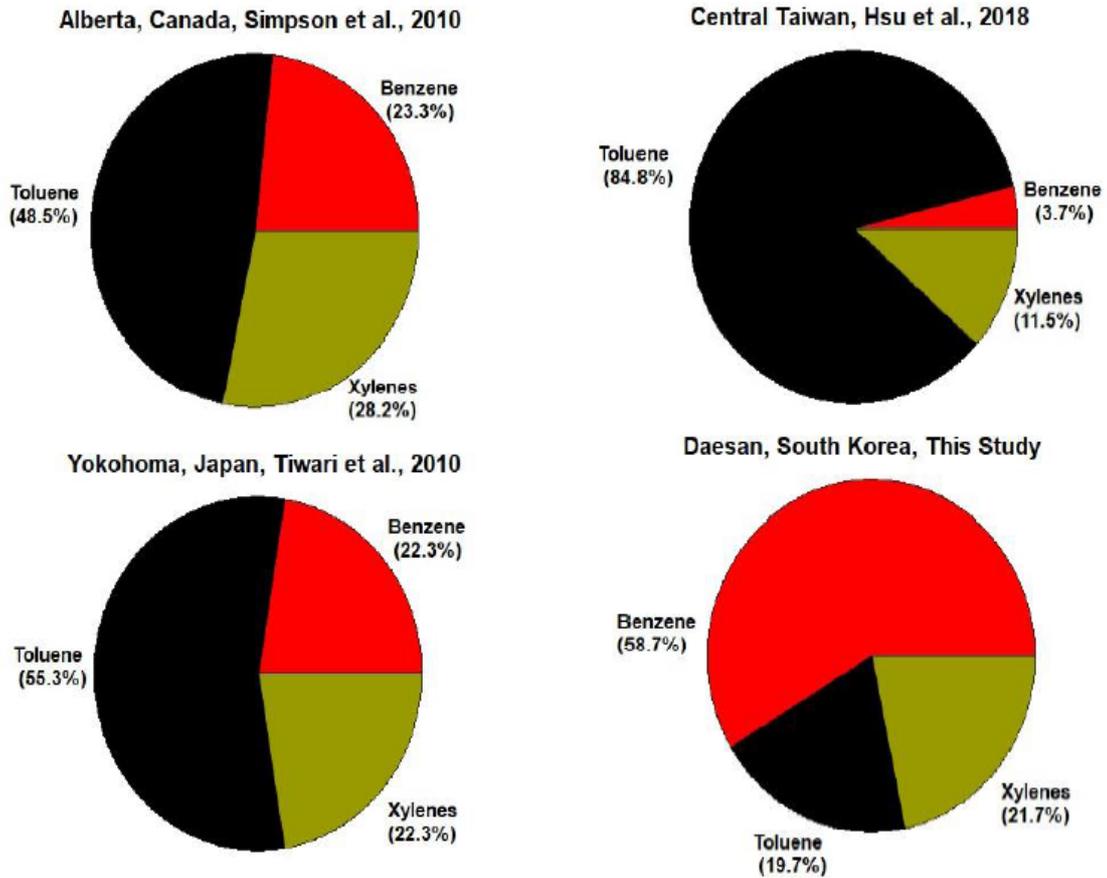


[그림 2-17] 항공관측을 통해 측정된 충청남도의 주요 사업장 위치

- 대산과 당진에서 메탄올(~23 ppb)과 아세탈하이드(~32 ppb), 아세톤(~11 ppb)의 고농도 피크가 관측되었고, 국가 기준농도( 1.5 ppb)가 존재하는 벤젠의 경우 순간 최대 27 ppb까지 검출됨
- 당진 현대제철, 당진 화력발전소, 대산석유화학단지 중 대산석유화학단지에서 VOCs의 고농도 피크가 가장 많이 관찰되었으며, 시간대별 농도변화가 매우 큰 것으로 확인됨
- 과거 KORUS-AQ에서 대산지역 상공에서 고농도의 1,3 부타디엔이 관측되어 이슈가 된 적이 있었는데 이번 측정에서도 역시 1,3 부타디엔의 순간적인 고농도 피크를 자주 확인할 수 있었음



[그림 2-18] 항공관측을 통해 측정된 충남 주요 배출원의 농도 수준



[그림 2-19] 각 지역별 톨루엔/벤젠 비율

- 각 지역의 오염물질들은 주변 지역의 영향으로 각기 다른 구성비를 가지게 됨
- 캐나다 알바타의 경우 톨루엔/벤젠 비율이 2.1 수준인 것에 반해 타이완은 23.0으로 약 10.9배 차이를 보였음
- 일본의 요코하마는 2.5로 확인되었으나 대한민국의 대산의 경우 0.3으로 톨루엔보다 오히려 벤젠의 농도가 더 높은 것으로 확인되었음
- 앞선 선행연구에서도 대산석유화학단지(여수, 울산과 같은 석유화학단지임)에도 불구하고 상이한 톨루엔/벤젠 비율을 보이는 것으로 확인되었음
- 대산석유화학단지가 타 지역 석유화학단지와는 다른 특이한 구조를 가진다는 것을 의미하며, 이는 타 지역의 연구결과를 토대로 하는 연구추진보다는 이 지역에 대한 전반적인 배출원 검토와 체계적인 구조분석이 이루어져야 함을 의미함

5. 서산시 대산석유화학단지 악취실태 조사 : 서산시 (2019)

- 지자체, 지역주민, 전문가 등이 함께 참여하여 대기·악취 배출업체의 일반현황과 악취 등 오염물질의 배출특성을 조사함
- 조사기간 : 2019년 4월 ~ 2019년 11월(8개월)
- 조사에 앞서 각 업체별 설문조사 및 현장조사를 통해 발생악취에 대한 냄새 종류, 냄새 새 세기, 용인성 등 발생원별 악취 현황을 파악

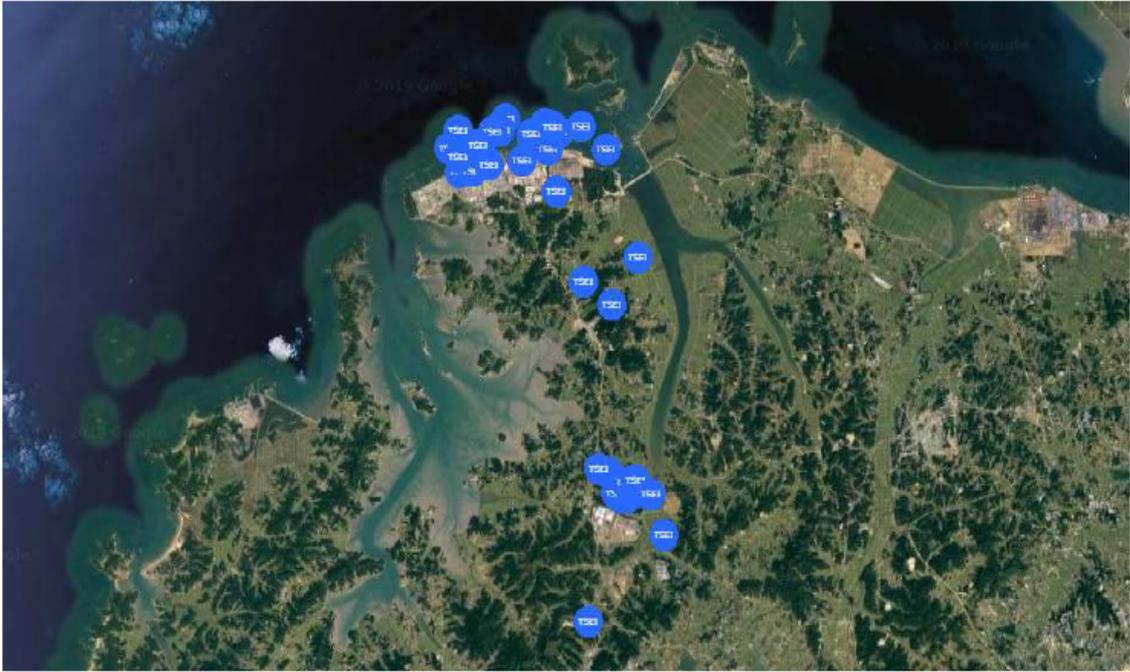
[표 2-5] 대산석유화학단지 대기·악취 배출업체 전수조사 수행절차

기초 조사	• 대기, 악취 배출업체(125 개소)
실태 조사	• 대기, 악취 배출업체(125 개소)
민원지 조사	• 악취 민원지 악취특성 조사
악취모델링	• 악취 확산 모델링을 통한 영향도 확인
DB구축 프로그래밍	• 전수조사 결과 검색시스템 구축
중간보고	• 전반기 결과 정리 및 보고
표준 KIT 제작	• 악취배출 사업장별 관능용 표준 KIT 제작
드론센서 측정	• 드론을 이용한 대기 중 악취 측정
최종보고회	• 최종 과업결과 보고

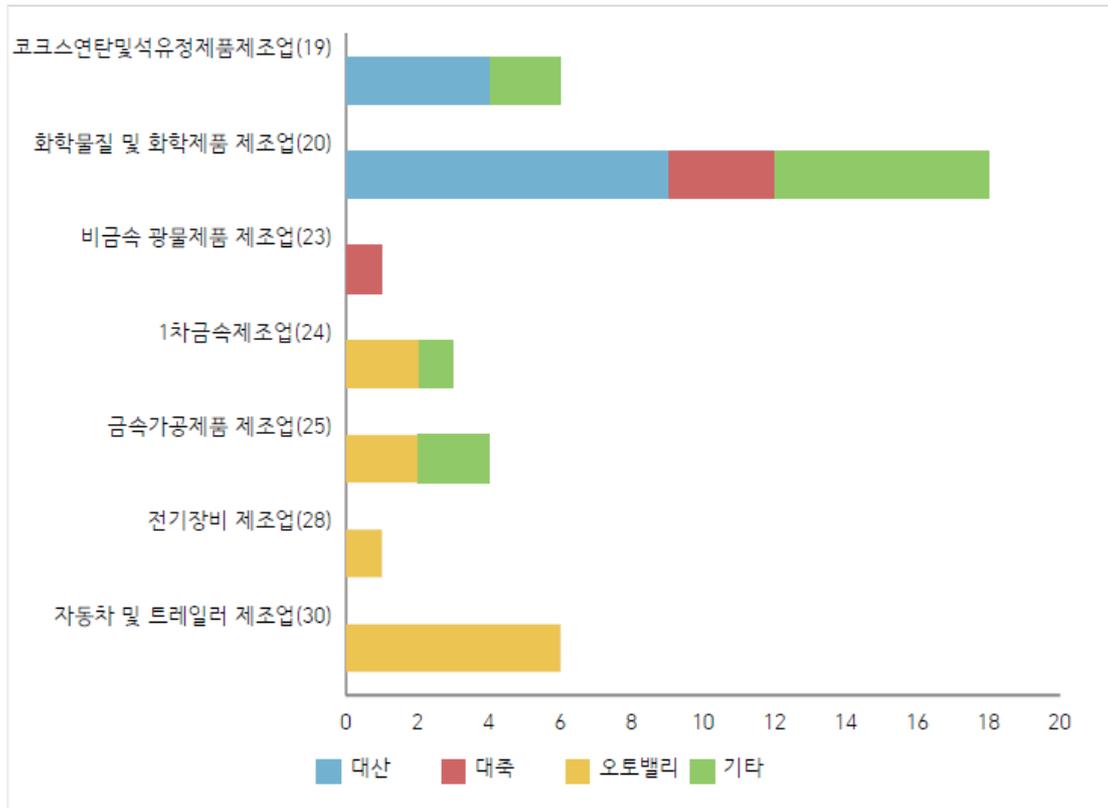
- 대상업체 선정
  - 서산지역의 산업단지는 자동차 부품 제조 중심의 오토밸리산업단지, 기초 유기 화학물질 제조 업종 중심의 대죽일반산업단지, 원유 정제처리, 석유화학계 기초 화학물질 제조업 중심의 대산일반산업단지 등 3개 단지로 형성되어 있음
- 서산은 원유 정제처리, 석유화학, 기초 화학물질 제조 등을 중심으로 집중적인 산업화가 전개되어 왔으며, 특히 서산지역 주력산업인 석유화학은 지역에서 가장 큰 주요 배출원으로 분류됨

[표 2-6] 행정구역별, 산업단지별 조사대상 사업장 현황

행정구역	산업단지	사업장수
대산읍	대산일반산업단지	20
	대죽일반산업단지	11
지곡면	오토밸리 일반산업단지	45
그 외 지역	기타 지역	42
계		118



[그림 2-20] 대기·악취 배출업체 분포현황



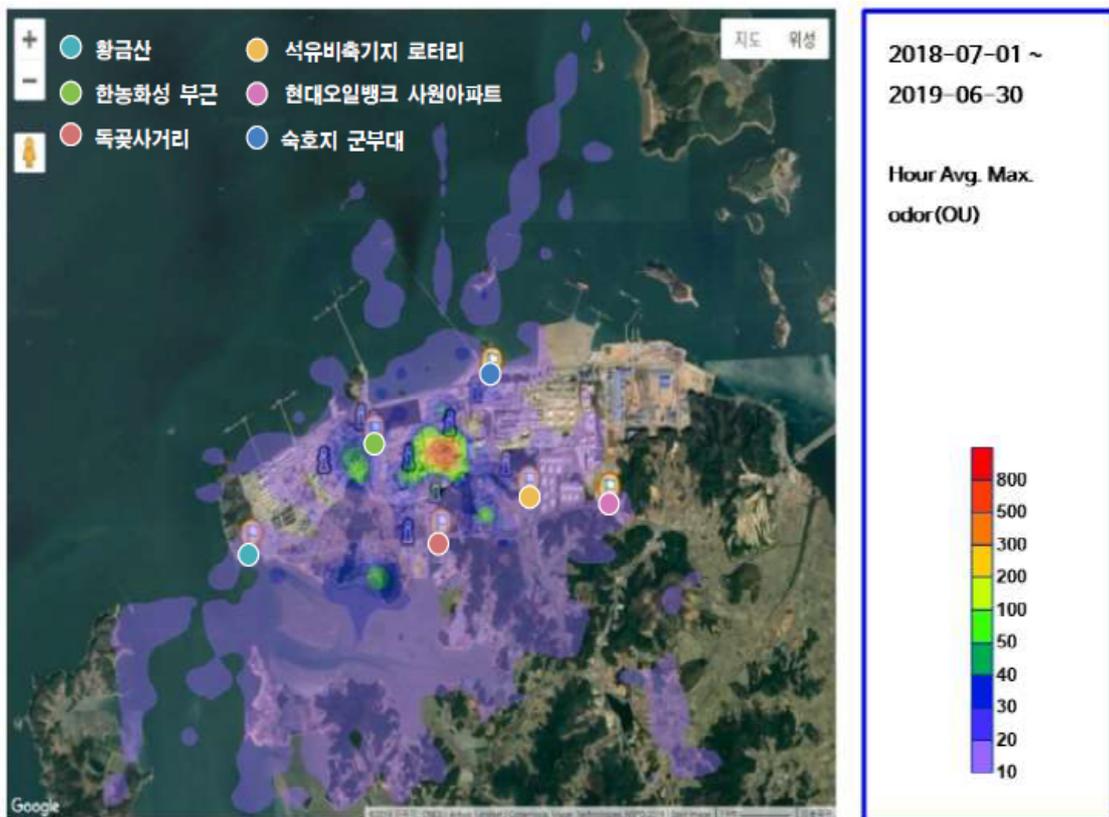
[그림 2-21] 서산시에 위치한 사업장 분류

○ 악취모델링

- 악취 모델링을 위해 Puff모델을 활용
- 기상자료는 서산시(대산항)의 AWS 자료를 사용하였고, 2018년 7월 1일부터 2019년 6월 30일까지의 1년 자료를 활용
- 개별 사업장 및 산업단지를 대상으로 모델링을 수행했으며, 배출원 주변 지역을 주요 영향 지역으로 설정하여 농도분포를 검토하였음

○ 대산일반산업단지 모델링 결과

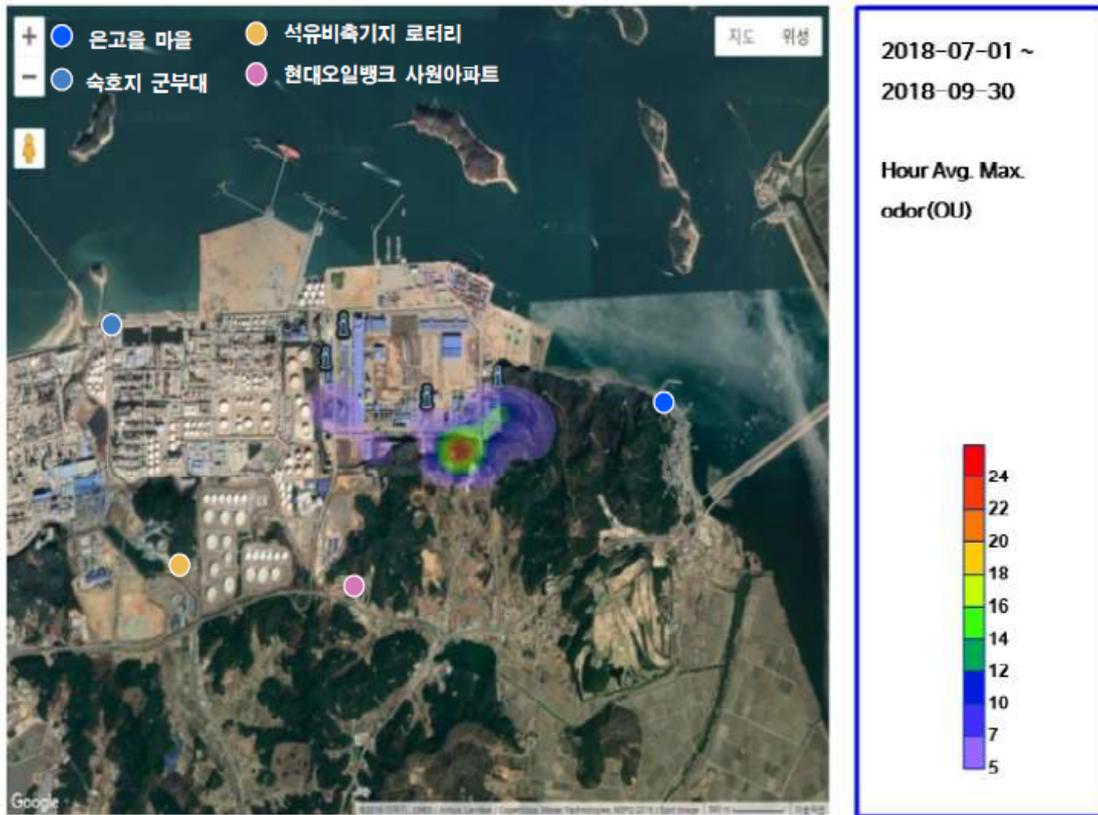
- 모델링 범위 내 가장 높은 복합악취 배수는 1,055배로 나타났고, 황금산 부근, 한농화성 부근, 숙호지 군부대, 독곶사거리, 현대오일뱅크 사원아파트에서 복합악취가 10배 이상 발생



[그림 2-22] 대산일반산업단지 전체 복합악취 확산 모델링 결과

○ 대죽일반산업단지 모델링 결과

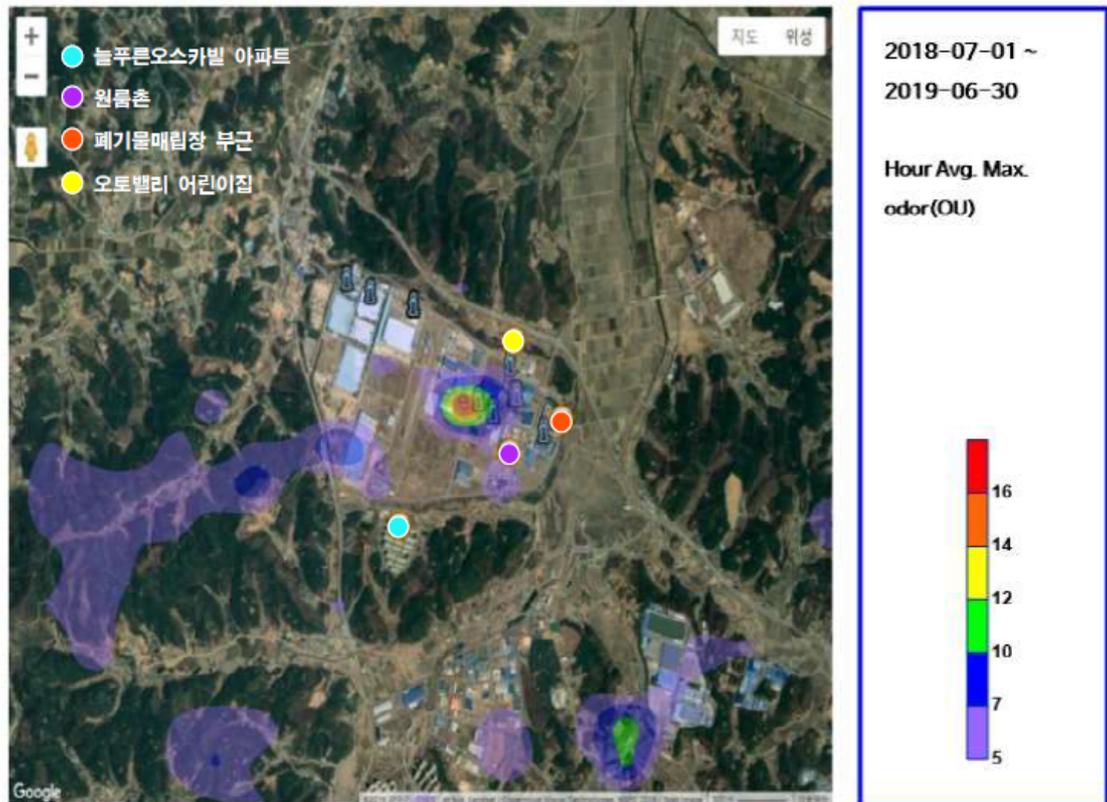
- 모델링 범위 내 가장 높은 복합악취 배수는 26.5배로 나타났고, 인근 관심지역에 대한 영향은 미미한 것으로 나타남



[그림 2-23] 대죽일반산업단지 전체 복합악취 확산 모델링 결과

○ 오토밸리 일반산업단지 모델링 결과

- 오토밸리 내 가장 높은 복합악취 배수는 18.5배로 3개 산업단지 중 가장 낮은 악취농도 수준을 보였으며, 인근 관심지역에 대한 영향은 미미한 것으로 확인됨



[그림 2-24] 오토밸리 일반산업단지 전체 복합악취 확산 모델링 결과

○ 모델링 결과에 따른 악취관리지역 확대 요청

- 해당 구역 내에 위치하는 사업장 중 코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업(19) 3개, 화학물질 및 화학제품 제조업(20) 10개, 금속가공제품 제조업 (25) 1개로, 악취 배출허용 기준을 초과한 업체를 포함한, 코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업(19)과 화학물질 및 화학제품 제조업(20)에 해당하는 사업장을 중점으로 악취관리지역을 추가 지정할 것을 제안함

## 5절. 서산시 대산석유화학단지 악취실태 조사

### 1. 측정 위치

[표 2-7] 대산 석유화학단지 악취 측정시스템 지점명 및 지점코드

연번	지점명	주소	지점코드
1	한농화성 1공장	대산읍 독곶리 404-1	HH1
2	한화토탈 정문	대산읍 독곶2로 103	HT
3	LG화학 입구	대산읍 독곶리 72-4	LC
4	석유공사 부두초소	대산읍 대죽리 664-1	PC
5	한농화성 2공장	대산읍 대죽리 753-13	HH2
6	현대오일뱅크 정문	대산읍 대죽리 1179	HOM
7	현대오일뱅크 후문	대산읍 대죽리 13-14	HOB
8	KCC대죽공장 부지경계	대산읍 대죽2로 15	KDB
9	현대오일뱅크 사택	대산읍 화곡리 987-9	HOH
10	KCC 대죽공장 입구	대산읍 대죽리 11-2	KDE
11	화곡마을회관 옥상	대산읍 반곡길 35	HV
12	충남알루미늄 주차장	대산읍 대죽리 833-69	CAP



[그림 2-25] 대산석유화학단지 악취 측정시스템 설치 위치

## 2. 데이터 수집

- 본 연구에서는 서산시 무인악취관리 사이트(<http://odor.seosan.go.kr>)에서 제공하는 정보를 활용하여 21년 4월 21일부터 21년 8월 31일까지 133일간의 악취관련 물질 정보와(H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, TVOC) 기상정보(풍향, 온도, 습도)를 수집하였으며, R version 4.0.4 및 EXCEL 활용하여 수집된 데이터를 분석하였음
- 충남알루미늄 주차장의 경우 데이터 부족으로 본 연구에서 제외하였음

## 3. 지역별 기술통계

- 한농화성 1공장
  - 표 2-8은 한농화성 1공장의 악취물질에 대한 기술통계정보를 나타낸 표임
  - ‘한농화성 1공장의 NH<sub>3</sub>, TVOC의 전체 평균농도는 각각 54.9 ppb, 850.9 ppb로 나타났으며, 중간값은 NH<sub>3</sub>, TVOC 각각 53.8(39.4~69.7) ppb, 702.4(464.2~1030.0) ppb로 나타났음
  - NH<sub>3</sub>의 경우 봄 43.5 ppb, 여름 60.1 ppb로 여름이 봄보다 약1.4배 높게 나타났으며, TVOC의 경우 봄 490.2 ppb, 여름 1017.1 ppb로 여름이 봄보다 약 2.1배 높게 나타났음
  - 또한, NH<sub>3</sub>의 경우 주중과, 주말의 농도가 각각 55 ppb, 54.6 ppb로 나타났으며, TVOC의 경우 주중, 주말농도가 각각 842.9 ppb, 871.1 ppb로 나타났음

[표 2-8] 한농화성 1공장의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도

	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(%)	온도(°C)	습도(%)
전체 평균	-	54.9±25.1	850.9±545.9	1.5±1.1	23.6±5.4	66.9±13.5
중간값	-	53.8 (39.4~69.7)	702.4 (464.2~1030.0)	1.4 (0.5~2.4)	23.3 (19.6~27.3)	69.5 (58.3~77.6)
봄(4,5)	-	43.5±23.3	490.2±246.3	1.7±1.2	19.5±4.3	59.5±15.8
여름(6,7,8)	-	60.1±24.3	1017.1±565.6	1.4±0.9	25.5±4.8	70.3±10.7
주중	-	55±25.5	842.9±518.1	1.5±1.1	23.7±5.5	66.9±13.7
주말	-	54.6±24.7	871.1±610.9	1.6±1.1	23.4±5.3	66.9±13

\*H<sub>2</sub>S는 데이터 수가 30% 미만으로 제외함.

- 표 2-9는 한농화성 1공장의 악취물질 농도값을 월별 평균값으로 나타내었음
- NH<sub>3</sub>의 경우 4월부터 8월까지의 농도는 각각 36.2 ppb, 46.3 ppb, 47.3 ppb, 56.0 ppb, 70.5 ppb로 나타났으며, NH<sub>3</sub>의 농도가 가장 낮은 4월에 비해 8월에서 약1.5배 높은 농도를 보이며 8월이 가장 높은 농도를 보이는 것으로 나타났음
- 또한, TVOC의 경우 4월부터 8월까지의 농도는 397.4 ppb, 526.5 ppb, 531.6 ppb, 914.6 ppb, 1358.9 ppb로 나타났으며, NH<sub>3</sub>와 마찬가지로 8월에 가장 높은 농도를 보였음

[표 2-9] 한농화성 1공장의 악취물질 월평균 농도

월평균	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(㎞/s)	온도(°C)	습도(%)
4	-	36.2±21.1	397.4±59.2	1.4±1.1	19.1±4.3	52.8±14.9
5	-	46.3±23.4	526.5±279.4	1.8±1.2	19.7±4.3	62.2±15.3
6	-	47.3±21.4	531.6±133.3	1.6±1.2	21.7±4.0	64.0±11.9
7	-	56.0±18.0	914.6±323.4	1.3±0.9	23.9±3.5	72.3±9.4
8	-	70.5±25.1	1358.9±545.9	0.9±0.3	28.9±4.0	71.3±10.3

\*H<sub>2</sub>S는 데이터 수가 30%미만으로 제외함.

○ 한화토탈 정문

- 표 2-10은 한화토탈 정문의 악취 물질에 대한 기술통계정보를 나타낸 표임
- 한화토탈 정문의 TVOC의 전체 평균농도는 339.2 ppb로 나타났으며, 중간값은 346.0(315.6~378.0) ppb로 나타남
- TVOC의 계절별 농도는 봄 241 ppb, 여름 368.1 ppb로 여름이 봄보다 약 1.5배 높게 나타났음
- 또한, TVOC의 주중, 주말농도가 각각 340.3 ppb, 336.5 ppb로 나타남

[표 2-10] 한화토탈 정문 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도

	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(m/s)	온도(°C)	습도(%)
전체 평균	-	-	339.2±74.8	1.0±0.7	24.4±6.3	69.8±16.8
중간값	-	-	346.0 (315.6~378.0)	0.9 (0.4~1.5)	25.2 (20.8~28.0)	72.7 (58.3~83.5)
봄(4,5)	-	-	241.0±57.0	1.3±0.8	16.3±4.6	59.7±20.1
여름(6,7,8)	-	-	368.7±50.4	1.0±0.7	26.8±4.5	72.8±14.4
주중	-	-	340.3±79.9	1.0±0.7	24.5±6.3	69.4±16.9
주말	-	-	336.5±60.0	1.1±0.8	24.0±6.3	70.9±16.5

\*H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>는 데이터 수가 30%미만으로 제외함.

- 표 2-11은 한화토탈 정문의 악취물질 농도를 월별로 구분하여 평균값으로 나타낸 것임
- TVOC의 4월부터 8월까지의 월별 평균값은 각각 397.4 ppb, 526.5 ppb, 531.6 ppb, 914.6 ppb, 1358.9 ppb로 나타났으며, 7월에 가장 높은 농도값을 보였고, 5월에 가장 낮은 농도를 보였음

[표 2-11] 한화토탈 정문 악취물질 월평균 농도

월평균	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(m/s)	온도(°C)	습도(%)
4	-	-	257.1±56.7	1.1±0.6	16.6±4.4	57.8±20.8
5	-	-	228.4±54.2	1.4±0.9	16.0±4.6	61.3±19.4
6	-	-	350.8±48.2	0.9±0.7	23.2±4.1	74.7±13.8
7	-	-	374.1±46.1	1.0±0.7	28.4±4.5	70.9±15.2
8	-	-	371.5±74.8	1.0±0.7	27.0±3.6	73.9±13.6

\*H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>는 데이터 수가 30%미만으로 제외함.

### ○ LG화학 입구

- 표 2-12는 LG화학 입구의 악취물질에 대한 기술통계정보를 나타낸 표임
- LG화학 입구의 H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, TVOC의 전체 평균농도는 각각 4.8 ppb, 31.8 ppb, 716.9 ppb로 나타났으며, 중간값은 H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, TVOC 각각 3.7(1.1~7.6) ppb, 26.5(14.1~46.4) ppb, 463.8(352.0~731.8) ppb로 나타났음
- H<sub>2</sub>S의 경우 봄 2.4 ppb, 여름 5.7 ppb로 여름이 봄보다 약 2.4배 높게 나타났으며, NH<sub>3</sub>의 경우 봄 15.9 ppb, 여름 37.4 ppb로 여름이 봄보다 약 2.4배 높게 나타났고, TVOC의 경우 봄 331.7 ppb, 여름 869.1 ppb로 여름이 봄보다 약 2.6배 높게 나타났음

- 또한, H<sub>2</sub>S의 경우 주중, 주말 농도가 각각 4.9 ppb, 4.6 ppb로 나타났으며, NH<sub>3</sub>의 경우 주중, 주말 농도각 각각 31.9 ppb, 31.6 ppb로 나타났고, TVOC의 경우 주중, 주말농도가 각각 727.4 ppb, 689.3 ppb로 나타났음

[표 2-12] LG화학 입구의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도

	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(m/s)	온도(°C)	습도(%)
전체 평균	4.8±4.4	31.8±22.9	716.9±687.7	2.0±1.1	23.0±7.2	67.6±16.5
중간값	3.7 (1.1~7.6)	26.5 (14.1~46.4)	463.8 (352.0~731.8)	1.7 (1.1~2.5)	23.3 (16.6~28.4)	71.1 (54.7~81.5)
봄(4,5)	2.4±2.2	15.9±11.4	331.7±78.3	2.5±1.3	16.2±3.9	60.9±17.9
여름(6,7,8)	5.7±4.7	37.4±24.4	869.1±758.8	1.7±1.0	25.7±6.4	70.3±15.1
주중	4.9±4.5	31.9±23.7	727.4±689.5	2.0±1.1	22.9±7.3	68.4±16.4
주말	4.6±4.3	31.6±23.6	689.3±683.0	2.0±1.1	23.3±7.2	65.6±16.7

- 표 2-13은 LG화학 입구의 악취물질 농도값을 월별로 구분하여 나타낸 평균값임
- H<sub>2</sub>S의 경우 4월부터 8월까지의 농도는(6월 제외) 각각 2.8 ppb, 2.1 ppb, 4.2 ppb, 6.8 ppb로 나타났으며, NH<sub>3</sub>의 경우 4월부터 8월까지의 농도는(6월 제외) 각각 18.6 ppb, 13.8 ppb, 23.6 ppb, 48 ppb로 나타났고, TVOC의 경우 4월부터 8월까지의 농도값은(6월 제외) 각각 333.6 ppb, 330.2 ppb, 788.5 ppb, 936.2 ppb로 나타났음
- H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, TVOC 모두 8월에 가장 높은 농도를 보였으며, 5월에 가장 낮은 농도를 나타냈음
- 또한, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, TVOC 가장 농도가 높은 8월과 농도가 가장 낮은 5월의 차이는 각각 약 2.4배, 3.5배, 2.8배의 차이를 보였음

[표 2-13] LG화학 입구의 악취물질 월평균 농도

월평균	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(m/s)	온도(°C)	습도(%)
4	2.8±2.4	18.6±13.0	333.6±54.5	1.9±1.0	17.8±4.2	54.7±18.8
5	2.1±2.0	13.8±9.6	330.2±93.2	3.0±1.4	15.0±3.2	65.9±15.4
6	-	-	-	-	-	-
7	4.2±3.4	23.6±14.9	788.5±732.1	1.8±1.0	20.2±4.6	72.4±16.8
8	6.8±4.4	48.0±22.9	936.2±687.7	1.7±0.9	30.3±3.5	68.5±13.3

\*6월은 데이터 수가 30%미만으로 제외함.

○ 석유공사 부두초소

- 표 2-14는 석유공사 부두초소의 악취 물질에 대한 기술통계정보를 나타낸 표임
- 석유공사 부두초소의 H<sub>2</sub>S, TVOC의 전체 평균농도는 각각 2.5 ppb, 179.8 ppb로 나타났으며, 중간값은 H<sub>2</sub>S, TVOC 각각 1.3(0.3~3.3) ppb, 118.2(70.5~210.1) ppb로 나타났음
- H<sub>2</sub>S의 경우 봄 1.1 ppb, 여름 2.9 ppb로 여름이 봄보다 약 2.6배 높게 나타났으며, TVOC의 경우 봄 108.0 ppb, 여름 206.1 ppb로 여름이 봄보다 약 1.9배 높게 나타났음
- 또한, H<sub>2</sub>S의 경우 주중, 주말 농도가 각각 2.3 ppb, 3.0 ppb로 나타났으며, TVOC의 경우 주중, 주말농도가 각각 192.5 ppb, 149.0 ppb로 나타났음

[표 2-14] 석유공사 부두초소의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도

	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(㎞/h)	온도(°C)	습도(%)
전체 평균	2.5±3.3	-	179.8±213.8	2±1.2	22.8±4.9	65.7±13.7
중간값	1.3 (0.3~3.3)	-	118.2 (70.5~210.1)	1.9 (1.1~2.8)	23.0 (19.2~26.2)	67.6 (55.8~76.9)
봄(4,5)	1.1±1.1	-	108.0±200.3	2.3±1.3	18.7±4.0	58.4±15.7
여름(6,7,8)	2.9±3.2	-	206.1±212.6	1.9±1.1	24.3±4.2	68.3±11.9
주중	2.3±2.5	-	192.5±240.2	2.0±1.2	22.7±4.7	66.3±14.2
주말	3.0±3.7	-	149.0±122.5	2.1±1.2	23.1±5.3	64.2±12.3

\*NH<sub>3</sub>는 데이터 수가 30%미만으로 제외함.

- 표 2-15는 석유공사 부두초소의 악취물질 농도값을 월별로 구분하여 평균값으로 나타낸 것임
- H<sub>2</sub>S의 경우 4월부터 8월까지의 농도는 각각 1.0 ppb, 1.1 ppb, 1.1 ppb, 2.1 ppb, 4.0 ppb로 나타났으며, TVOC의 경우 4월부터 8월까지의 농도값은 각각 102.0 ppb, 111.3 ppb, 96.5 ppb, 143.4 ppb, 315.5 ppb로 나타났음
- H<sub>2</sub>S, TVOC 모두 8월에 가장 높은 농도를 보인 것으로 나타났으며, H<sub>2</sub>S는 4월에 가장 낮은 농도를 보였고, TVOC는 6월에 가장 낮은 농도를 나타냈음
- H<sub>2</sub>S의 경우 가장 농도가 높은 8월과 가장 농도가 낮은 4월은 약 4배의 차이를 보였으며, TVOC의 경우 가장 농도가 높은 8월과 가장 농도값이 낮은 6월간 약 1.48배의 차이를 보였음

[표 2-15] 석유공사 부두초소의 악취물질 월평균 농도

월평균	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(m/s)	온도(°C)	습도(%)
4	1.0±1.1	-	102.0±216.6	1.9±1.0	18.2±3.7	55.8±15.1
5	1.1±1.2	-	111.3±190.6	2.6±1.4	18.9±4.2	59.9±15.8
6	1.1±1.1	-	96.5±121.9	2.0±1.3	20.0±3.2	67.5±13.5
7	2.1±2.4	-	143.4±89.0	2.0±1.1	23.6±3.7	66.6±12.2
8	4.0±3.3	-	315.5±213.8	1.8±1.1	27.0±3.1	70.4±10.4

\*NH<sub>3</sub>는 데이터 수가 30%미만으로 제외함

○ 한농화성 2공장

- 표 2-16은 한농화성 2공장의 악취물질에 대한 기술통계정보를 나타낸 표임
- 한농화성 2공장의 NH<sub>3</sub>, TVOC의 전체 평균농도는 각각 24.5 ppb, 663.6 ppb로 나타났으며, 중간값은 NH<sub>3</sub>, TVOC 각각 24.6(15.0~32.5) ppb, 506.9(413.2~712.1) ppb로 나타났음
- NH<sub>3</sub>의 경우 봄 21.7 ppb, 여름 25.7 ppb로 여름이 봄보다 약 1.2배 높게 나타났고, TVOC의 경우 봄 417.4 ppb, 여름 782.7 ppb로 여름이 봄보다 약 1.9배 높게 나타났음
- H<sub>2</sub>S의 경우 주중, 주말 농도가 각각 25.1 ppb, 23.1 ppb로 나타났으며, TVOC의 경우 주중, 주말농도가 각각 662.5 ppb, 666.3 ppb로 나타났음

[표 2-16] 한농화성 2공장의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도

	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(m/s)	온도(°C)	습도(%)
전체 평균	-	24.5±13.8	663.6±419.6	1.5±0.9	25.1±5.6	59.5±13.4
중간값	-	24.6 (15.0~32.5)	506.9 (413.2~712.1)	1.5 (0.8~2.1)	24.9 (21.4~29)	61.1 (50.0~70.6)
봄(4,5)	-	21.7±13.3	417.4±53.6	1.8±1.0	20.9±4.9	52.7±14.6
여름(6,7,8)	-	25.7±14.8	782.7±465.2	1.4±0.8	27.1±4.7	62.9±11.4
주중	-	25.1±14.9	662.5±423.0	1.5±0.9	25.1±5.6	59.5±13.7
주말	-	23.1±13.7	666.3±411.3	1.6±1.0	24.9±5.5	59.7±12.8

\*H<sub>2</sub>S는 데이터 수가 30%미만으로 제외함

- 표 2-17은 한농화성 2공장의 악취물질에 대한 농도값을 월별로 구분하여 평균값으로 나타낸 것임
- NH<sub>3</sub>의 경우 4월부터 8월까지의 농도는 각각 19.9 ppb, 22.3 ppb, 21.3 ppb, 22.0 ppb, 31.1 ppb로 나타났고, TVOC의 경우 4월부터 8월까지의 농도가 각각 404.3 ppb, 422.3 ppb, 425.7 ppb, 576.7 ppb, 1145.6 ppb로 나타남
- NH<sub>3</sub>, TVOC 모두 8월에 가장 높은 농도를 보였으며, 4월에 가장 낮은 농도를 나타냈음
- NH<sub>3</sub>, TVOC의 농도가 가장 높은 8월과 가장 낮은 4월의 농도간에는 각각 1.6배와 2.8배의 차이를 보였음

[표 2-17] 한농화성 2공장의 악취물질 월평균 농도

월평균	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(m/s)	온도(°C)	습도(%)
4	-	19.9±11.6	404.3±28.8	1.6±0.9	20.5±4.8	46.0±13.5
5	-	22.3±13.8	422.3±59.6	1.8±1.0	21.0±4.9	55.2±14.3
6	-	21.3±12.9	425.7±40.1	1.6±0.8	22.9±4.6	57.1±12.3
7	-	22.0±12.0	576.7±129.3	1.4±0.9	26.3±3.6	61.6±9.7
8	-	31.1±13.8	1145.6±419.6	1.4±0.8	29.7±4.0	66.7±11.2

\*H<sub>2</sub>S는 데이터 수가 30%미만으로 제외함

○ 현대오일뱅크 정문

- 표 2-18은 현대오일뱅크 정문의 악취물질에 대한 기술통계정보를 나타낸 표임
- 현대오일뱅크 정문의 TVOC의 전체 평균농도는 551.8 ppb로 나타났으며, 중간값은 568.8(509.9~621.5) ppb로 나타났음
- TVOC의 경우 봄 415.8 ppb, 여름 592.6 ppb로 여름이 봄보다 약 1.4배 높게 나타났음. 또한, 주중, 주말 농도가 각각 549.6 ppb, 557.3 ppb로 나타났음

[표 2-18] 현대오일뱅크 정문의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도

	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(m/s)	온도(°C)	습도(%)
전체 평균	-	-	551.8±111.4	0.9±0.7	24±6.2	72.3±16.3
중간값	-	-	568.8 (509.9~621.5)	0.8 (0.3~1.4)	24.9 (20.7~27.8)	75.3 (61.8~85.8)
봄(4,5)	-	-	415.8±119.6	1.3±1.0	15.5±4.3	60.8±19.7
여름(6,7,8)	-	-	592.6±68.1	0.8±0.6	26.5±4.1	75.7±13.3
주중	-	-	549.6±113.4	0.9±0.7	24.1±6.2	71.8±16.5
주말	-	-	557.3±106.3	1.1±0.9	23.5±6.2	73.5±15.8

\*H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>는 데이터 수가 30%미만으로 제외함.

- 표 2-19는 현대오일뱅크 정문의 악취물질 농도값을 월별로 구분하여 평균값으로 나타낸 것임
- TVOC의 경우 4월부터 8월까지의 농도는 각각 415.2 ppb, 416.2 ppb, 569.2 ppb, 570.2 ppb, 624.9ppb로 나타났음
- 8월에 가장 높은 농도를 보였으며, 4월에 가장 낮은 농도를 보였고, 4월 농도에 비해 8월의 농도가 약 1.5배 높은 것으로 나타났음

[표 2-19] 현대오일뱅크 정문의 악취물질 월평균 농도

월평균	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(m/s)	온도(°C)	습도(%)
4	-	-	415.2±119.0	1.0±0.7	16.0±4.2	58.2±20.5
5	-	-	416.2±120.3	1.5±1.1	15.1±4.3	62.9±18.8
6	-	-	569.2±50.1	0.8±0.6	23.1±3.9	77.0±13.6
7	-	-	570.2±58.8	0.8±0.6	27.9±4.1	74.4±14.0
8	-	-	624.9±111.4	0.9±0.7	26.6±3.3	76.6±12.4

\*H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>는 데이터 수가 30%미만으로 제외함.

○ 현대오일뱅크 후문

- 표 2-20은 현대오일뱅크 후문의 악취물질에 대한 기술통계정보를 나타낸 표임
- 현대오일뱅크 후문의 TVOC의 전체 평균농도는 425.3 ppb로 나타났으며, 중간값은 425.2(390.8~458.8) ppb로 나타났음
- TVOC의 경우 봄 380.8 ppb, 여름 440.7 ppb로 여름이 봄보다 약 1.2배 높게 나타났음. 또한, 주중, 주말 농도가 각각 425.6 ppb, 424.8 ppb로 나타났음

[표 2-20] 현대오일뱅크 후문의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도

	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(㎞/s)	온도(°C)	습도(%)
전체 평균	-	-	425.3±99.8	0.8±0.6	23.2±5.6	75.9±15.4
중간값	-	-	425.2 (390.8~458.8)	0.7 (0.4~1.2)	24.0 (19.7~26.8)	78.8 (66.6~88.2)
봄(4,5)	-	-	380.8±144.9	1.0±0.7	16.1±3.7	66.6±19.4
여름(6,7,8)	-	-	440.7±72.3	0.8±0.6	25.6±3.8	79.1±12.2
주중	-	-	425.6±105.0	0.8±0.6	23.2±5.6	75.2±15.4
주말	-	-	424.8±85.2	0.9±0.7	22.9±5.5	77.6±15.1

\*H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>는 데이터 수가 30%미만으로 제외함.

- 표 2-21에 현대오일뱅크 후문의 악취물질 농도값을 월별로 구분하여 평균값으로 나타낸 것임
- TVOC의 경우 4월부터 8월까지의 농도는 각각 400.9 ppb, 370.4 ppb, 412.9 ppb, 438.5 ppb, 463.3 ppb로 나타났음
- 8월에 가장 높은 농도를 보였으며, 5월에 가장 낮은 농도를 보였고, 5월 농도 대비 8월의 농도가 약 1.3배 높은 것으로 나타남

[표 2-21] 현대오일뱅크 후문의 악취물질 월평균 농도

월평균	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(㎞/s)	온도(°C)	습도(%)
4	-	-	400.9±215.5	0.9±0.6	15.8±3.5	60.9±18.5
5	-	-	370.4±86.9	1.1±0.8	16.3±3.8	69.6±19.2
6	-	-	412.9±71.3	0.8±0.6	22.3±3.3	79.5±12.6
7	-	-	438.5±80.6	0.7±0.5	27.3±3.6	77.6±12.8
8	-	-	463.3±99.8	0.8±0.6	26.3±2.8	80.3±11.1

\*H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>는 데이터 수가 30%미만으로 제외함.

○ KCC대죽공장 부지경계

- 표 2-22는 KCC 대죽공장 부지경계의 악취물질에 대한 기술통계정보를 나타낸 표임
- KCC 대죽공장 부지경계의 H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, TVOC의 전체 평균농도는 각각 8.6 ppb, 24.4 ppb, 128.7 ppb로 나타났으며, 중간값은 H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, TVOC 각각 8.9(14.8~34.0) ppb, 24.9(14.8~34.0) ppb, 92.2(63.9~123.3) ppb로 나타남
- H<sub>2</sub>S의 경우 봄 9.1 ppb, 여름 8.4 ppb로 봄철이 여름철보다 약 1.1배 높게 나타났으며, NH<sub>3</sub>의 경우 봄 18.3 ppb, 여름 26.0 ppb로 여름철이 봄철보다 약 1.4배 높게 나타났고, TVOC의 경우 봄 53.7 ppb, 여름 150.8 ppb로 여름이 봄보다 약 2.8배 높게 나타났음
- 또한, H<sub>2</sub>S의 경우 주중, 주말 농도가 각각 8.8 ppb, 8.1 ppb로 나타났으며, NH<sub>3</sub>의 경우 주중과 주말의 농도가 각각 24.3 ppb, 24.6 ppb로 나타났고, TVOC의 경우 주중, 주말농도가 각각 132.3 ppb, 119.6 ppb로 나타남

[표 2-22] KCC 대죽공장 부지경계의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도

	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(㎍)	온도(°C)	습도(%)
전체 평균	8.6±5.6	24.4±12.9	128.7±158.1	0.9±0.7	23.5±5.0	60.2±13.2
중간값	8.9 (14.8~34.0)	24.9 (14.8~34.0)	92.2 (63.9~123.3)	0.8 (0.4~1.4)	23.7 (20~26.8)	62.6 (50.8~71.1)
봄(4,5)	9.1±6.0	18.3±11.4	53.7±50.0	1.3±0.9	19.1±4.4	51.7±14.2
여름(6,7,8)	8.4±5.6	26.0±13.8	150.8±171.7	0.8±0.6	24.7±4.3	62.7±11.8
주중	8.8±5.8	24.3±13.4	132.3±166.9	0.9±0.7	23.3±4.8	60.8±13.2
주말	8.1±5.6	24.6±14.9	119.6±133.0	1.0±0.7	23.8±5.2	58.6±13.2

- 표 2-23은 KCC 대죽공장 부지경계의 악취물질 농도값을 월별로 구분하여 나타낸 것임
- H<sub>2</sub>S의 경우 4월부터 8월까지의 농도가 각각 7.5 ppb, 10.2 ppb, 7.7 ppb, 7.5 ppb, 9.6 ppb로 나타났으며, NH<sub>3</sub>의 경우 4월부터 8월까지의 농도가 각각 20.0 ppb, 16.9 ppb, 23.9 ppb, 22.8 ppb, 29.8 ppb로 나타났고, TVOC의 경우 각각 67.6 ppb, 42.5 ppb, 84.5 ppb, 99.2 ppb, 233.9 ppb로 나타남
- H<sub>2</sub>S는 5월에 가장 높은 농도를 보였으며, NH<sub>3</sub>, TVOC는 8월에 가장 높은 농도를 나타냄

[표 2-23] KCC 대죽공장 부지경계의 악취물질 월평균 농도

월평균	대기환경				기상정보	
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(㎞/시)	온도(°C)	습도(%)
4	7.5±6.0	20.0±12.3	67.6±70.8	1.0±0.6	20.4±4.3	48.4±13.8
5	10.2±5.6	16.9±10.5	42.5±15.6	1.5±0.9	18.0±4.2	54.3±13.9
6	7.7±5.2	23.9±14.0	84.5±50.4	0.8±0.6	21.7±4.2	60.1±14.4
7	7.5±5.4	22.8±13.0	99.2±44.7	0.9±0.7	23.8±4.1	61.0±11.7
8	9.6±5.6	29.8±12.9	233.9±158.1	0.8±0.6	27.1±3.2	65.5±9.8

○ 현대오일뱅크 사택

- 표 2-24는 현대오일뱅크 사택의 악취물질에 대한 기술통계정보를 나타낸 표임
- 현대오일뱅크 사택의 H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, TVOC의 전체 평균 농도는 각각 2.2 ppb, 36.4 ppb, 5928.0 ppb로 나타났으며, 중간값은 H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, TVOC 각각 1.1(0.3~3.1) ppb, 34.3(21.4~49.1) ppb, 4818.9(843.6~11810.7) ppb로 나타났음
- H<sub>2</sub>S의 경우 봄 0.9 ppb, 여름 2.6 ppb로 여름철이 봄철보다 약 2.9배 높게 나타났으며, NH<sub>3</sub>의 경우 봄 22.7 ppb, 여름 42.3 ppb로 여름철이 봄철보다 약 1.9배 높게 나타났고, TVOC의 경우 봄 4753.0 ppb, 여름 6250.7 ppb로 여름이 봄보다 약 1.3배 높게 나타났음
- H<sub>2</sub>S의 경우 주중과, 주말의 농도가 각각 2.3 ppb, 2.2 ppb로 나타났으며, NH<sub>3</sub>의 경우 주중, 주말의 농도가 각각 36.8 ppb, 35.5 ppb, TVOC는 6238.6 ppb, 4976.8 ppb로 나타났음

[표 2-24] 현대오일뱅크 사택의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도

	대기환경				기상정보	
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(㎞/시)	온도(°C)	습도(%)
전체 평균	2.2±2.9	36.4±21.6	5928.0±4895.6	1.7±1.1	23.8±5.4	62.6±14.9
중간값	1.1 (0.3~3.1)	34.3 (21.4~49.1)	4818.9 (843.6~11810.7)	1.5 (0.8~2.3)	23.8 (20.4~27.2)	65.0 (52.2~75.1)
봄(4,5)	0.9±0.9	22.7±15.0	4753.0±3834.7	1.9±1.2	19.5±4.6	55.3±16.8
여름(6,7,8)	2.6±2.7	42.3±22.5	6250.7±5024.4	1.6±1.1	25.8±4.5	66.1±12.5
주중	2.3±2.4	36.8±22.1	6238.6±4932.2	1.6±1.0	23.6±5.3	63.8±14.6
주말	2.2±2.2	35.5±24.2	4976.8±4386.5	2.0±1.3	24.1±5.6	59.6±15.3

- 표 2-25는 현대오일뱅크 사택의 악취물질 농도값을 월별로 구분하여 나타낸 것임
- H<sub>2</sub>S의 경우 4월부터 8월까지의 농도가 각각 1.3 ppb, 0.8 ppb, 1.0 ppb, 1.9 ppb, 3.4 ppb로 나타났으며, NH<sub>3</sub>의 경우 22.4 ppb, 22.8 ppb, 21.6 ppb, 35.2 ppb, 57.1 ppb로 나타났고, TVOC의 경우 1169.3 ppb, 5375.3 ppb, 4118.5 ppb, 5174.4 ppb, 7714.0 ppb로 나타났음. H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, TVOC모두 8월에 가장 높은 농도값을 보였음

[표 2-25] 현대오일뱅크 사택의 악취물질 월평균 농도

월평균	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(%)	온도(°C)	습도(%)
4	1.3±1.4	22.4±14.5	1169.3±820.2	1.7±1.1	19.7±4.4	47.8±15.9
5	0.8±0.7	22.8±15.1	5375.3±4294.2	2.0±1.2	19.5±4.6	58.1±16.3
6	1.0±1.0	21.6±13.2	4118.5±3680.6	1.9±1.1	21.4±4.1	59.5±13.7
7	1.9±1.9	35.2±15.4	5174.4±4594.7	1.5±1.0	24.9±3.3	65.5±10.6
8	3.4±2.9	57.1±21.6	7714.0±4895.6	1.5±1.0	28.6±3.8	69.5±12.5

○ KCC대죽공장 입구

- 표 2-26은 KCC 대죽공장 입구의 악취물질에 대한 기술통계정보를 나타낸 표임
- KCC 대죽공장 입구의 H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, TVOC의 전체 평균농도는 각각 6.8 ppb, 30.5 ppb, 409.1 ppb로 나타났으며, 중간값은 H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, TVOC 각각 6.4(3.0~10.0) ppb, 29.4(18.7~40.6) ppb, 284.0(103.9~593.3) ppb로 나타났음
- H<sub>2</sub>S의 경우 봄 4.6 ppb, 여름 7.8 ppb로 여름철이 봄철보다 약 1.7배 높게 나타났으며, NH<sub>3</sub>의 경우 봄 21.4 ppb, 여름 34.2 ppb로 여름철이 봄철보다 약 1.6배 높게 나타났고, TVOC의 경우 봄 104.5 ppb, 여름 480.2 ppb로 여름이 봄보다 약 4.6배 높게 나타났음
- H<sub>2</sub>S의 경우 주중과 주말의 농도가 각각 6.9 ppb, 6.6 ppb로 나타났으며, NH<sub>3</sub> 30.3 ppb, 31.1 ppb, TVOC 411.1 ppb, 403.8 ppb로 나타났음

[표 2-26] KCC 대죽공장 입구의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도

	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(m/s)	온도(°C)	습도(%)
전체 평균	6.8±4.6	30.5±17.6	409.1±394.2	0.8±0.5	23.8±5.3	63.2±15.3
중간값	6.4 (3.0~10.0)	29.4 (18.7~40.6)	284.0 (103.9~593.3)	0.7 (0.4~1.0)	23.7 (20.6~27.2)	65.7 (53.3~75.3)
봄(4,5)	4.6±3.5	21.4±13.8	104.5±96.2	0.9±0.6	19.9±4.7	54.5±16.7
여름(6,7,8)	7.8±4.8	34.2±19.0	480.2±405.4	0.7±0.4	25.6±4.6	67.4±12.6
주중	6.9±4.7	30.3±18.3	411.1±380.6	0.7±0.5	23.6±5.3	63.9±14.6
주말	6.6±4.6	31.1±20.2	403.8±407.6	0.9±0.6	24.2±5.4	61.5±16.7

- 표 2-27에 KCC 대죽공장 입구의 악취물질 농도값을 월별로 구분하여 평균값으로 나타낸 것임
- H<sub>2</sub>S의 경우 4월부터 8월까지의 농도가 각각 4.2 ppb, 4.7 ppb, 4.7 ppb, 6.3 ppb, 10.8 ppb로 나타났으며, NH<sub>3</sub>의 경우 22.2 ppb, 21.2 ppb, 20.6 ppb, 28.4 ppb, 45.4 ppb, TVOC는 19.2 ppb, 120.0 ppb, 91.2 ppb, 316.4 ppb, 793.8 ppb로 나타났음.
- H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, TVOC 모두 8월에 가장 높은 농도를 보임

[표 2-27] KCC 대죽공장 입구의 악취물질 월평균 농도

월평균	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(m/s)	온도(°C)	습도(%)
4	4.2±3.6	22.2±15.1	19.2±12.4	0.9±0.5	20.4±4.8	46.4±16.3
5	4.7±3.4	21.2±13.3	120.0±108.1	0.9±0.6	19.8±4.6	57.5±15.8
6	4.7±3.5	20.6±12.3	91.2±68.2	0.8±0.5	21.5±4.0	60.4±12.9
7	6.3±3.9	28.4±14.1	316.4±184.1	0.7±0.4	24.8±3.4	66.5±10.7
8	10.8±4.6	45.4±17.6	793.8±394.2	0.7±0.5	28.4±4.0	71.6±12.7

○ 화곡마을회관 옥상

- 표 2-28은 화곡마을회관 옥상의 악취물질에 대한 기술통계정보를 나타낸 표임
- 화곡마을회관 옥상의 TVOC의 전체 평균 농도는 421.9 ppb로 나타났으며, 중간값은 546.5(318.7~572.7) ppb로 나타남
- TVOC의 경우 봄 293.7 ppb, 여름 461.1 ppb로 여름이 봄보다 약 1.6배 높게 나타났으며, 주중과 주말 농도가 각각 419.1 ppb, 429.4 ppb로 나타났음

[표 2-28] 화곡마을회관 옥상의 악취물질 전체 평균 및 계절별, 주중, 주말 평균농도

	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(m/s)	온도(°C)	습도(%)
전체 평균	-	-	421.9±202.4	1.7±1.4	22.6±8.5	63.1±25.1
중간값	-	-	546.5 (318.7~572.7)	1.5 (0.6~2.4)	24.4 (18.8~27.5)	69.6 (49.7~83.1)
봄(4,5)	-	-	293.7±121.7	2.3±1.7	14.7±6.5	53.3±24.9
여름(6,7,8)	-	-	461.1±206.0	1.5±1.2	25.0±7.5	66.2±24.4
주중	-	-	419.1±204.0	1.6±1.3	22.6±8.6	62.3±25.4
주말	-	-	429.4±198.0	1.9±1.5	22.5±8.2	65.4±24.3

\*H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>는 데이터 수가 30%미만으로 제외함.

- 표 2-29는 화곡마을회관 옥상의 악취물질 농도값을 월별로 구분하여 평균값으로 나타낸 것임
- TVOC의 경우 4월부터 8월까지의 농도가 각각 310.1 ppb, 282.0 ppb, 404.8 ppb, 494.4 ppb, 457.9 ppb로 나타남
- 7월에 가장 높은 농도를 보였으며, 5월에 가장 낮은 농도를 보였고, 5월 대비 7월의 농도가 약 1.8배 높은 것으로 나타났음.

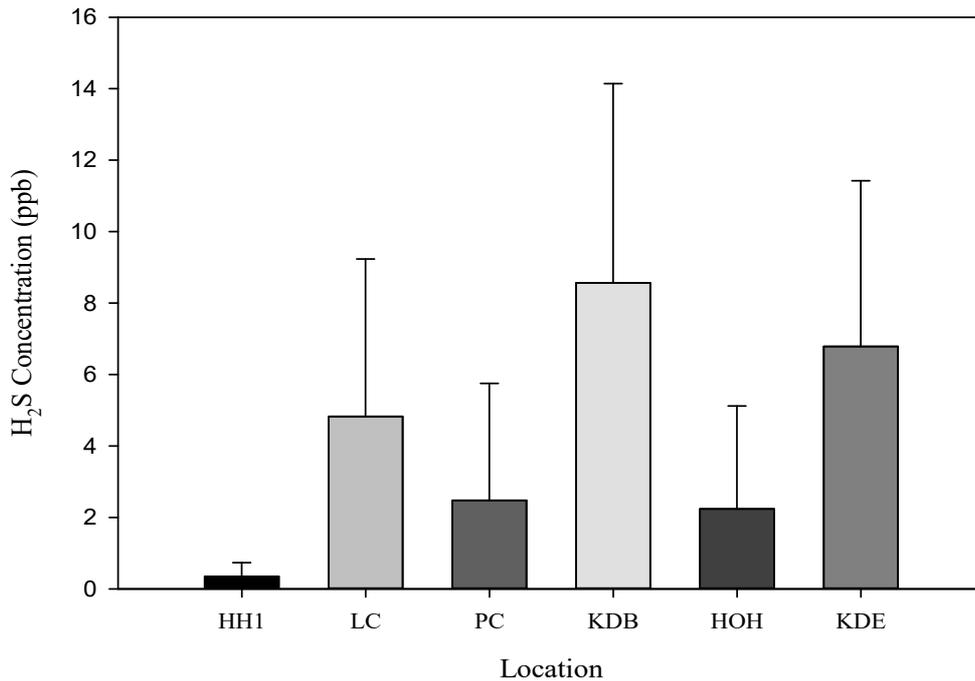
[표 2-29] 화곡마을회관 옥상의 악취물질 월평균 농도

월평균	대기환경			기상정보		
	H <sub>2</sub> S(ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb)	TVOC(ppb)	풍속(m/s)	온도(°C)	습도(%)
4	-	-	310.1±110.0	1.8±1.2	14.5±6.5	50.4±24.1
5	-	-	282.0±128.2	2.7±1.9	14.9±6.5	55.3±25.2
6	-	-	404.8±213.4	1.5±1.1	21.2±8.1	65.8±24.0
7	-	-	494.4±183.7	1.6±1.2	27.1±7.2	65.1±23.5
8	-	-	457.9±202.4	1.5±1.2	25.0±6.7	67.4±25.5

\*H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>는 데이터 수가 30%미만으로 제외함.

#### 4. 지역별 비교분석

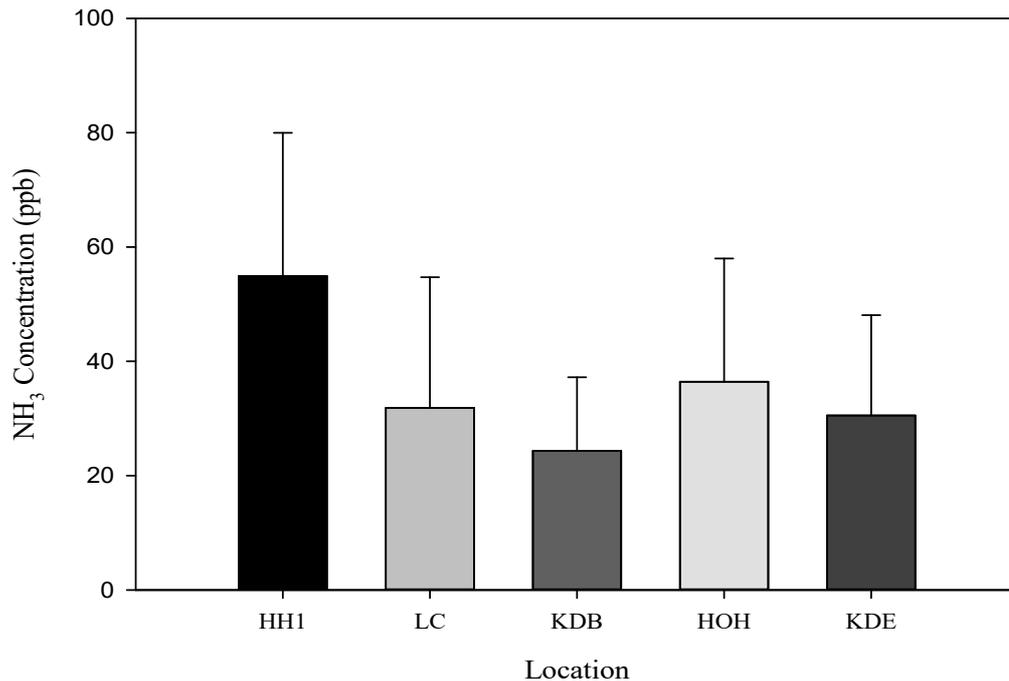
##### ○ 황화수소 (H<sub>2</sub>S)



[그림 2-26] H<sub>2</sub>S 지역별 비교

- H<sub>2</sub>S 물질에 대하여 대산석유화학단지 약취물질 측정지점 11개 중 한농화성 1공장 (HH1), LG화학입구(LC), 석유공사 부두초소(PC), KCC대죽공장 부지경계(KDB), 현대오일뱅크 사택(HOH), KCC대죽공장 입구(KDE) 등 6개 지점을 그림과 같이 나타내었음
- 데이터 수 및 신뢰도가 적다고 판단되는 나머지 5개 지점은 분석에서 제외하였음
- 분석결과 6개의 지점 중 H<sub>2</sub>S의 농도는 KDB, KDE, LC, PC, HOH, HH1 순으로 높게 나타났으며, 각각의 평균은 8.6 ppb, 6.8 ppb, 4.8 ppb, 2.5 ppb, 2.2 ppb, 0.4 ppb로 나타났음
- 가장 낮은 HH1의 농도(0.4 ppb) 대비 가장 높은 KDB의 농도값(8.6 ppb)가 약 22배 높게 나타났음

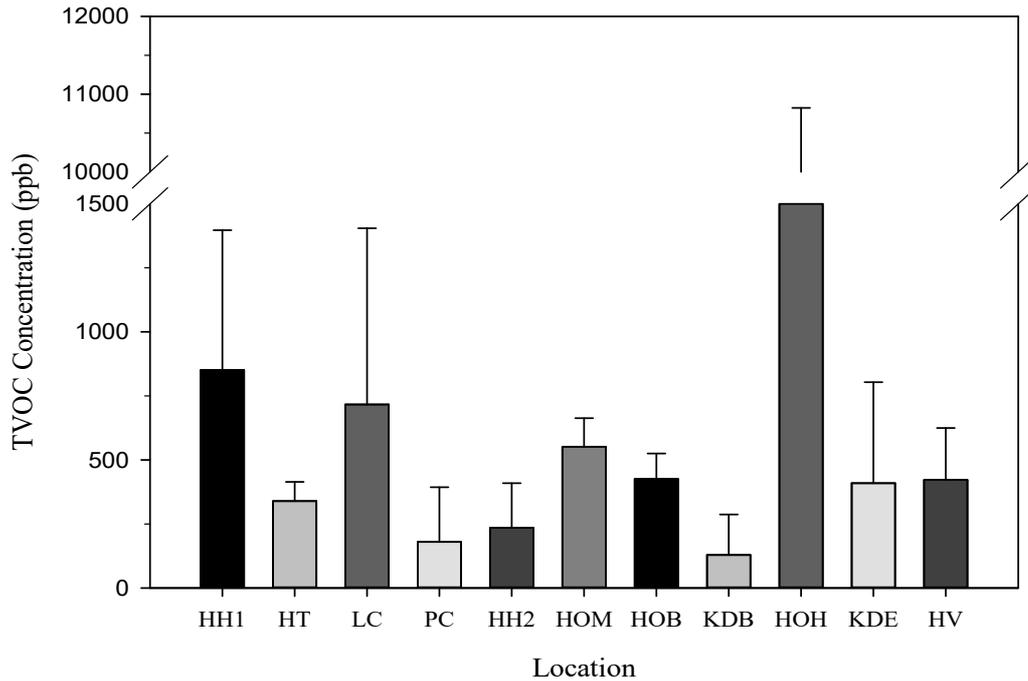
○ 암모니아 (NH<sub>3</sub>)



[그림 2-27] NH<sub>3</sub> 지역별 비교

- NH<sub>3</sub> 물질에 대하여 대산석유화학단지 악취물질 측정지점 11개 중 한농화성 1공장(HH1), LG화학입구(LC), KCC대죽공장 부지경계(KDB), 현대오일뱅크 사택(HOH), KCC대죽공장 입구(KDE) 등 5개 지점을 그림과 같이 나타내었음
- 데이터 수 및 신뢰도가 적다고 판단되는 나머지 6개 지점은 분석에서 제외하였음
- 분석결과 5개의 지점 중 NH<sub>3</sub>의 농도는 HH1, HOH, LC, KDE, KDB 순으로 높게 나타났으며, 각각의 평균은 54.9 ppb, 36.4 ppb, 31.8 ppb, 30.5 ppb, 24.4 ppb로 나타났음
- 가장 낮은 지역인 KDB의 농도(24.4 ppb) 대비 가장 높은 HH1의 농도가(54.9 ppb) 약 2.3배 높게 나타났음

○ 총휘발성유기화합물 (TVOC)



[그림 2-28] TVOC 지역별 비교

- TVOC 물질에 대하여 대산석유화학단지 악취물질 측정지점 11개 지점을 그림과 같이 나타내었으며, 11개 지점은 다음과 같음. 한농화성 1공장(HH1), 한화토탈정문(HT), LG화학입구(LC), 석유공사 부두초소(PC), 한농화성 2공장(HH2), 현대오일뱅크 정문(HOM), 현대오일뱅크 후문(HOB), KCC대죽공장 부지경계(KDB), 현대오일뱅크 사택(HOH), KCC대죽공장 입구(KDE)입
- 분석결과 11개의 지점 중 NH<sub>3</sub>의 농도는 HOH, HH1, LC, HOM, HOB, HV, KDE, HT, HH2, PC, KDB순으로 높게 나타났으며, 각각의 평균은 각각의 평균은 5928.0 ppb, 850.9 ppb, 716.9 ppb, 551.8 ppb, 425.3 ppb, 421.9ppb, 409.1 ppb, 339.2ppb, 234.8ppb, 179.8ppb, 128.7 ppb로 나타났음
- 가장 낮은 지역인 KDB의 농도(128.7 ppb) 대비 가장 높은 지역인 HOH의 농도(5928.0 ppb)가 약 46배 높게 나타났음
- 종합적으로 보았을 때, NH<sub>3</sub>와 TVOC는 다른 지역에 비하여 KDB 지역에서 가장 낮은 농도를 보였으나, H<sub>2</sub>S는 KDB 지역에서 가장 높은 농도를 보였음
- H<sub>2</sub>S는 HH1에서 가장 낮은 농도를 보였으나 NH<sub>3</sub>물질은 HH1에서 가장 높은

농도를 보이는 특징을 보였음

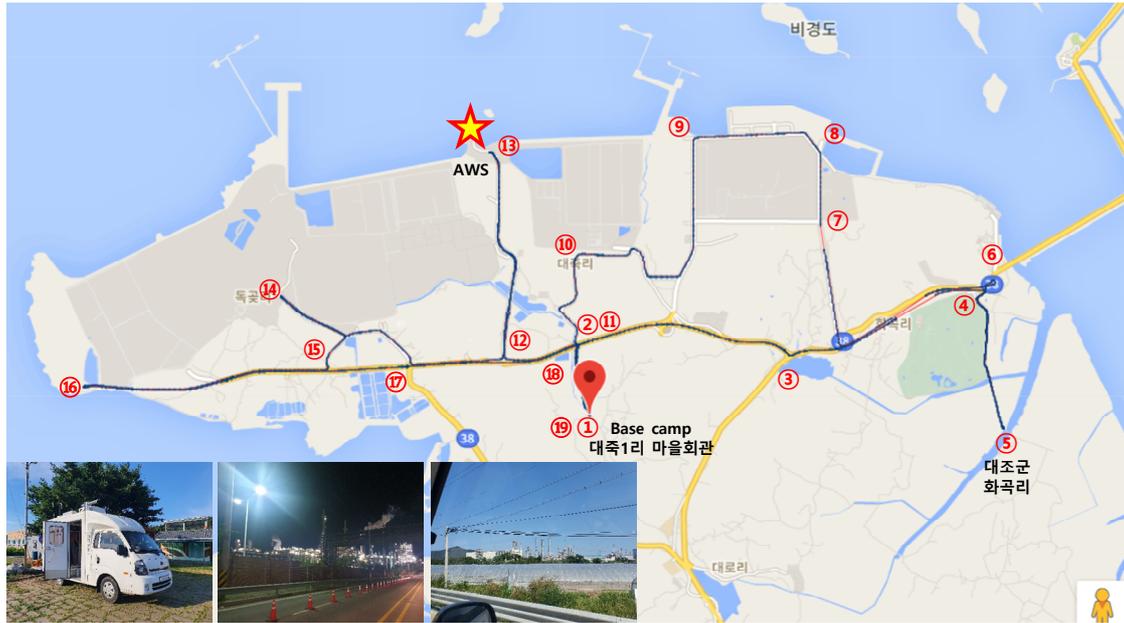
- 또한, TVOC의 경우 다른 지역과 대비하여 HOH 지역에서 매우 높게 나타나 지역별간 물질에 따른 농도 차이가 확연하게 나타났음.
- HOH의 농도값의 표준편차가 4895.6 ppb로 평균값이 대표성이 다소 낮을 수 있지만, 중간값[IQR: 4818.9(843.6~11810.7) ppb]과 비교하여 봤을 때에도 TVOC 농도가 가장 낮은 지역(KDB)과의 농도 차이가 약 37.4배로 나타났음

## 제3장. 이동관측차량을 활용한 오염물질 공간분포

### 1절. 측정개요

- 대산석유화학단지(여수, 울산과 함께 국내 3대 석유화학단지 중 1개로 충청남도에서 배출되는 VOCs에 대한 배출 기여도 1위 지역임)
- VOCs는 휘발성이 강해 공정이나 원료로부터 유출되면 순간적으로 희석·확산되는 특징을 가지고 있으나, 반대로 벤젠, 1,3부타디엔 등은 강한 독성으로 건강 장애를 야기할 수 있음
- 강한 독성을 가진 유해대기화학물질(HAPs)은 관리가 중요하나 VOCs 배출 특성상 순식간에 주변에 영향을 미치고 사라져 역학조사 등에 많은 어려움을 주고 있음
- 현재 환경부(국립환경과학원)에서 고시하고 있는 공정시험법상 VOCs는 고체흡착관을 활용하여 현장 포집 후 분석실에 가져와 GC/MS 등을 활용하여 정량/정성 분석하도록 권고하고 있음
- 이러한 공정시험방법은 제시된 시간대에 대한 정확한 농도값을 제시해 줄 수 있으나 시시각각으로 변화하는 산업단지의 VOCs 배출특성을 반영하기에 어려움이 있음
- 이에 최근 항공관측이나 이동관측 등에서 활용되고 있는 실시간 분석장비(PTR-ToF-MS)를 활용한 모니터링 방법이 제시되고 있음
- 이에 본 연구에서도 이동관측차량에 실시간 측정/분석이 가능한 장비를 부착하여 산업단지 주변을 이동해가면 시공간적인 농도분포를 검토해 보고자 함
- 측정장비 선정 : 2018년 동일 지점에서 이동 및 고정측정을 수행한 결과 입자상 오염물질 ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ )과 검댕(BC)의 농도는 변화를 거의 관찰하지 못하였고, 농도 수준 또한 인근 지역과 유사하게 나타나 이번에는 제외하였음
- 풍향풍속 또한 대산항과 대죽1리의 측정결과 값이 유사한 것을 확인하였고, 이번에는 현장 직접측정 없이 관련 자료를 활용하는 것으로 하였음

○ 측정경로



[그림 3-1] 실시간 이동측정 경로

- 1) 대죽1리 마을회관 : 베이스 캠프
- 2) 대죽1리 진입교차로
- 3) 화곡교차로
- 4) 삼길포 교차로 진입
- 5) 화곡리 : 대조군
- 6) 삼길포 교차로 진출
- 7) 대산항 교차로
- 8) 대산항 진입
- 9) 코오롱 인터스트리
- 10) 대죽산업로 진입
- 11) 대죽산업로 유턴
- 12) 29번국(대로) 진입
- 13) 독곶1리 교차로
- 14) 현대스틸 유턴
- 15) 독곶2리 교차로

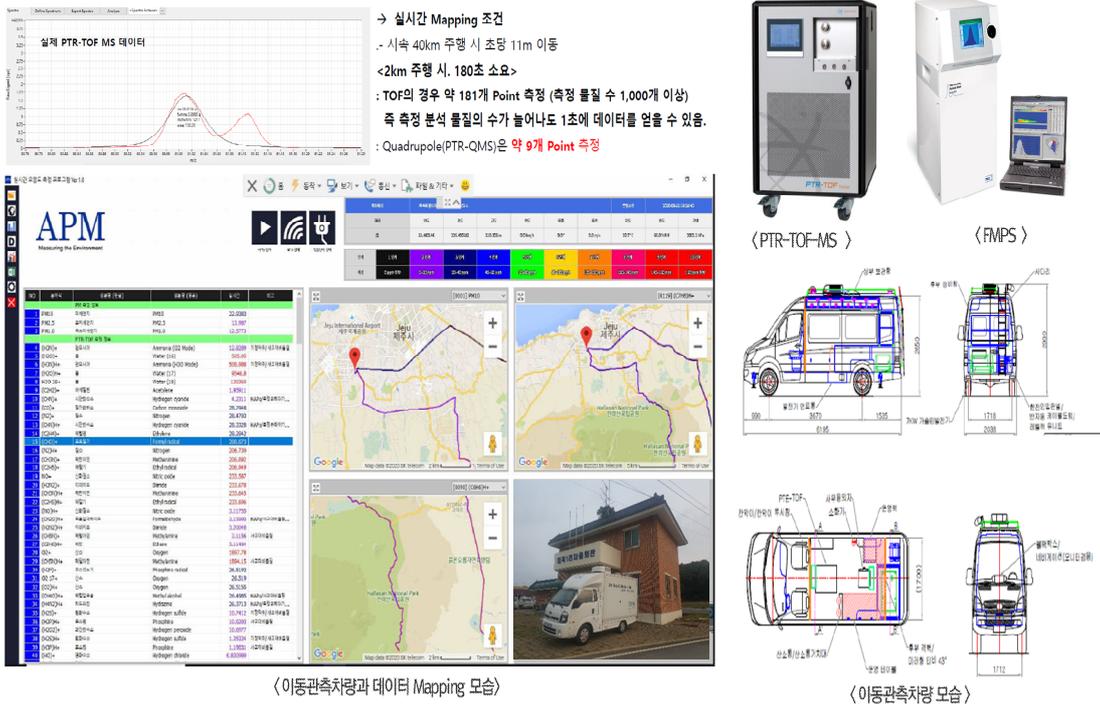
- 16) 향금산 교차로
- 17) 독곶1리 교차로
- 18) 대죽리 진입교차로
- 19) 대죽1리 마을회관

○ 측정일시 : 2021년 7월 19일 9시 ~ 28일 18시

○ 세부일정

- 2021년 7월 19일 (월) 9시 ~ 7월 22일 (목) : 이동측정
- 8시간씩 3개 조 연속측정
- 이동측정경로 1회 운영시 1시 20분 소요, 40분 휴식 → 2시간/1회
- 1개 조당 4회 운영 후 교대
- 22일까지 9회 이동관측 후 고농도 지역 3개 지점을 선정, 24시간 연속측정 수행 (3일)
- 이동관측 동안 고농도 예상지점을 선정하여, 사전 협조 필요(서산시나 각 지역 이장님께 협조 부탁)

○ 측정기간 동안 측정장비 점검정 실시(오전 측정 중)



[그림 3-2] 이동관측 차량 외관 및 데이터 획득 모습

대산석유화학단지 주변지역 VOCs 모니터링

일시	2021년 7월 19일	운전자/동승자	이인혁 / 조한준
회차	새벽 / 오전 / 오후	날씨	

	지점명	1회차	비고	2회차	비고
1	대곡1리마을회관(출발)	19:06:45		19:07:24	
2	대곡리진입교차로	19:08:44		19:09:33	
3	화곡교차로	19:13:40		19:13:45	
4	반곡교차로	19:15:44		19:20:00	
5	화곡1리마을회관(도착)	19:18:26		19:23:45	
6	대산항교차로	19:35:02		19:35:42	
7	대산항 입구	19:36:30		19:35:10	
8	대산항 출구	19:36:48		19:37:49	
9	코오롱인디스트리	19:39:47		19:40:50	
10	대곡산업로 진입	19:49:46		19:50:58	
11	대곡산업로 유턴	19:52:35		19:53:53	
12	29번국도(대로) 진입	19:59:25		19:59:31	
13	독꽃1리 교차로	19:58:37		20:01:25	
14	현대스틸 유턴	18:01:45		20:04:13	
15	독꽃2리 교차로	18:04:27		20:06:53	
16	황금산 교차로	18:09:13		20:11:28	
17	독꽃1리 교차로	18:15:21		20:19:25	
18	대곡리진입교차로	18:18:58		20:21:35	
19	대곡1리마을회관(도착)	18:20:51		20:23:40	

대산석유화학단지 주변지역 VOCs 모니터링

일시	2021년 7월 20일	운전자/동승자	이인혁 / 조한준
회차	새벽 / 오전 / 오후	날씨	구름

	지점명	3회차	비고	4회차	비고
1	대곡1리마을회관(출발)	20:00:09			
2	대곡리진입교차로	20:03:25			
3	화곡교차로	20:04:44			
4	반곡교차로	20:07:27	교차로 진입		
5	화곡1리마을회관(도착)	20:08:30	교차로 진입		
6	대산항교차로	20:10:10			
7	대산항 입구	20:10:37			
8	대산항 출구	20:14:14			
9	코오롱인디스트리	20:18:11			
10	대곡산업로 진입	20:19:13			
11	대곡산업로 유턴	20:20:30	비행기 상공		
12	29번국도(대로) 진입	20:04:14			
13	독꽃1리 교차로	20:05:27			
14	현대스틸 유턴	20:20:26			
15	독꽃2리 교차로	20:24:46			
16	황금산 교차로	20:29:15			
17	독꽃1리 교차로	20:34:17			
18	대곡리진입교차로	20:38:35			
19	대곡1리마을회관(도착)	20:40:40			

대산석유화학단지 주변지역 VOCs 모니터링

일시	2021년 7월 21일	운전자/동승자	김준범 / 코민석
회차	새벽 / 오전 / 오후	날씨	대체로 흐림

	지점명	1회차	비고	2회차	비고
1	대곡1리마을회관(출발)	00:38:20	차량 내부 기압 측정	02:06:17	APM 500000 기록 시작
2	대곡리진입교차로	00:40:45		02:08:24	
3	화곡교차로	00:45:10		02:14:37	
4	반곡교차로	00:49:25	도널드 센터	02:19:13	
5	화곡1리마을회관(도착)	00:54:49	리모도 유턴	02:22:05	
6	대산항교차로	01:09:08	도널드 센터	02:29:39	
7	대산항 입구	01:06:10		02:36:47	
8	대산항 출구	01:09:58		02:38:42	
9	코오롱인디스트리	01:15:47		02:46:20	
10	대곡산업로 진입	01:16:06		02:53:26	02:53:26
11	대곡산업로 유턴	01:20:13		02:56:22	
12	29번국도(대로) 진입	01:35:50		03:01:46	
13	독꽃1리 교차로	01:35:40		03:09:22	
14	현대스틸 유턴	01:36:10		03:19:27	
15	독꽃2리 교차로	01:40:14		03:29:36	
16	황금산 교차로	01:49:12		03:38:33	
17	독꽃1리 교차로	01:53:35		03:49:35	
18	대곡리진입교차로	01:57:34		03:56:05	
19	대곡1리마을회관(도착)	01:57:46		03:56:11	

[그림 3-3] 이동측정시 작성된 측정기록지

○ PTR-ToF-MS의 측정대상 VOCs는 톨루엔, 스티렌 등 지정악취 물질 6가지를 포함하여 대산석유화학단지를 대상으로 기존에 수행되어 보고된 논문과 보고서를 참조하여 총 21개 항목을 선정하였음

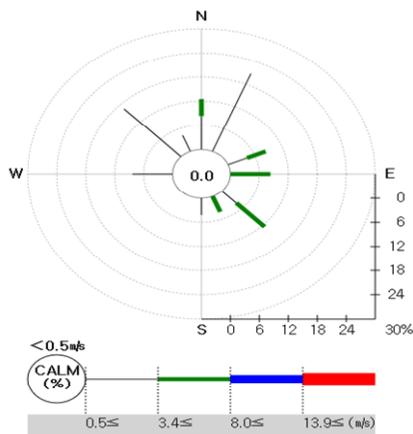
[표 3-1] PTR-ToF-MS의 측정항목 선정

	약어	오염물질	구조식	분자량	증기압(kPa)	끓는점(°C)	열량(kcal/mol)
1	HCHO	Form aldehyde	CH <sub>2</sub> O	31.01471	> 101.325	-19	170.4
2	MOH	Methanol	CH <sub>4</sub> O	33.0314	13.02	64.7	180.3
3	PPY	Propyne	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	41.0386	526.89	-23.2	178.8
4	AN	Acetonitrile	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N	42.0344	9.71	81.3 ~ 82.1	186.2
5	KT	Ketene	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O	43.0184	1675.73	-56.1	197.3
6	PP	Propene	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	43.054	1130.15	-47.6	179.6
7	AA	Acetaldehyde	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	45.0341	98.65	20.2	183.8
8	B13	1,3-Butadiene	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	55.0542	243.18	-4.4	187.1
9	B2	2-Butene	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	57.06965	212.77	0.8 ~ 3.7	178.5
10	ACT	Acetone	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	59.0497	30.6	56.05	194.1
11	AAC	Acetic Acid	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	61.0284	1.5	118 ~ 119	186.9
12	DMS	Dimethyl Sulfide	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S	63.0266	53.7	35 ~ 41	198.6
13	ISP	Isoprene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	69.0725	73.33	34.067	198.9
14	MVK	Methyl Vinyl Ketone	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O	71.0479	41	81.4	199.5
15	MEK	Methyl Ethyl Ketone	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	73.0633	10.39	79.64	197.8
16	BZ	Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	79.0548	12.7	80.1	179.3
17	TOL	Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	93.0704	2.8	111	187.4
18	STR	Styrene	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	105.0699	0.66	145	200.3
19	XYL	Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	107.0861	0.82	138.5	190.0
20	TMB	Trimethylbenzene	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	121.1012	0.27	169 ~ 171	199.9
21	PN	Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	137.1325	0.63	155 ~ 156	215.0

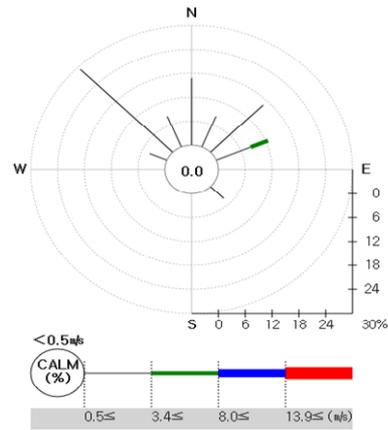
## 2절. 측정결과

### 1. 기상자료 분석결과

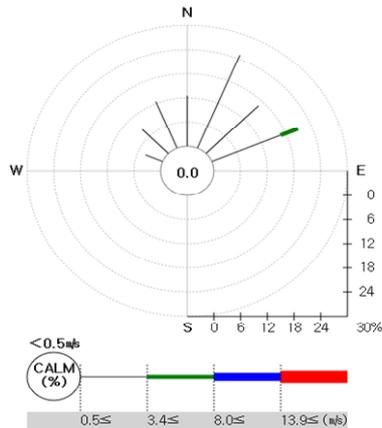
- 측정기간 동안 주풍향은 북동풍 또는 북서풍으로 평균풍속은 2.5 m/s였음
- 7월 27일(화)을 제외하고는 정온(Calm) 상태가 거의 나타나지 않았고, 풍속이 3.4 m/s 이상인 날도 자주 관찰되는 등 기류에 의한 희석확산 효과가 크게 나타났을 것으로 판단됨
- 강우는 측정 첫날인 7월 10일 오전~오후 시간대(9시~14시)에 47.5 mm가 집중적으로 내렸고, 이후에는 대체로 맑은 날씨가 지속되었음
- 측정기간에 대해 평균기온은 27.1°C로 초여름 온도를 보였고, 습도 73.7%, 기압 1006.5 hPa로 확인됨



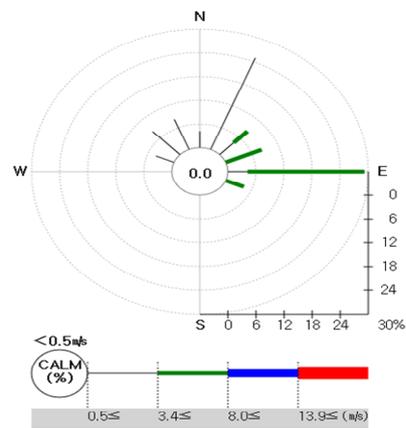
7월 19일 (월)



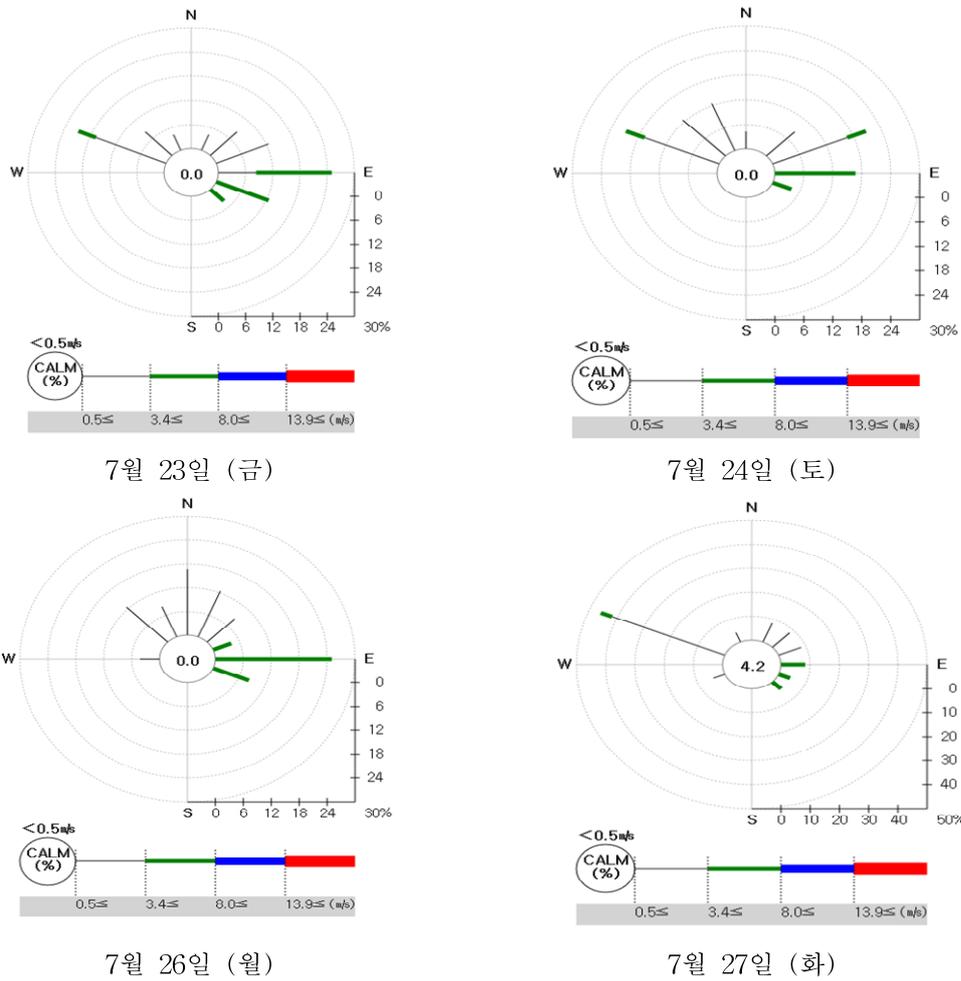
7월 20일 (화)



7월 21일 (수)



7월 22일 (목)



[그림 3-4] 측정기간동안의 기상 현황(바람장미)

## 2. 고정측정 결과

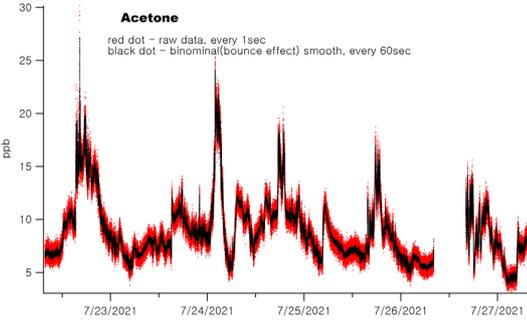
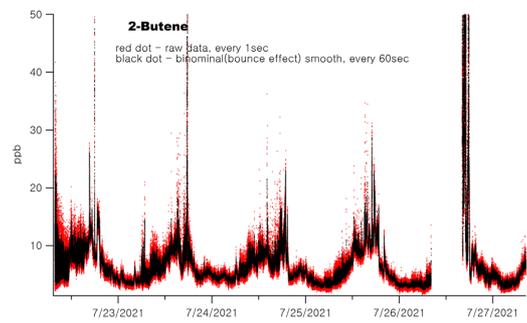
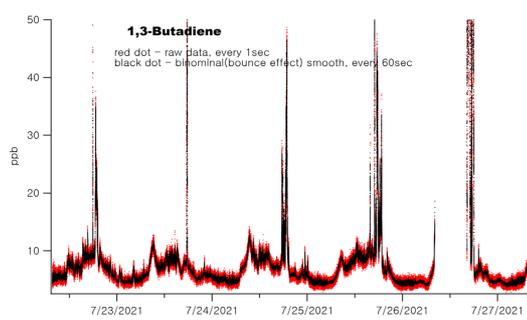
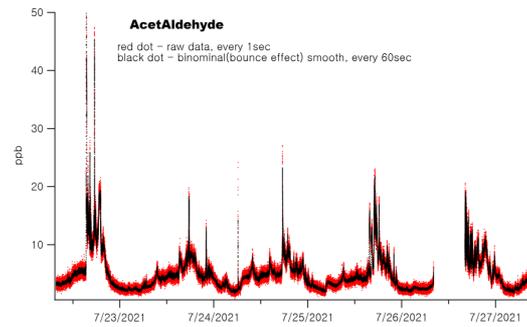
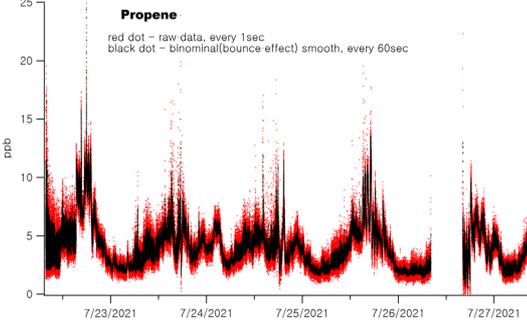
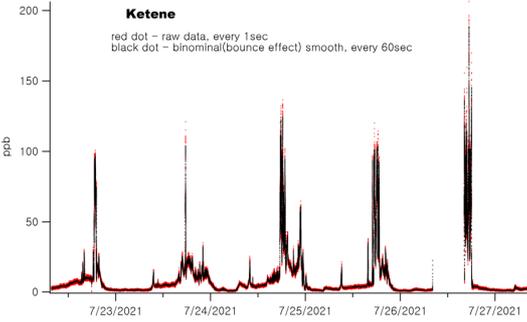
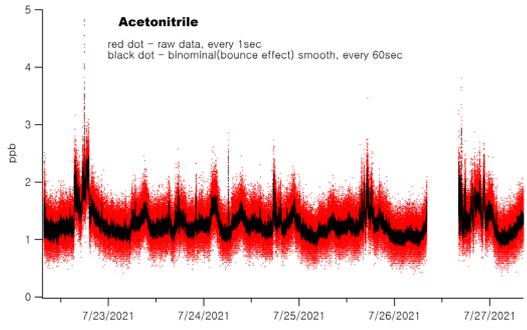
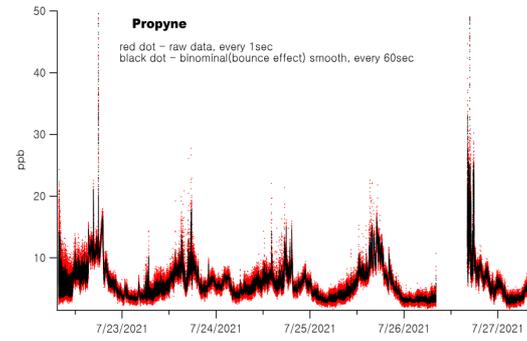
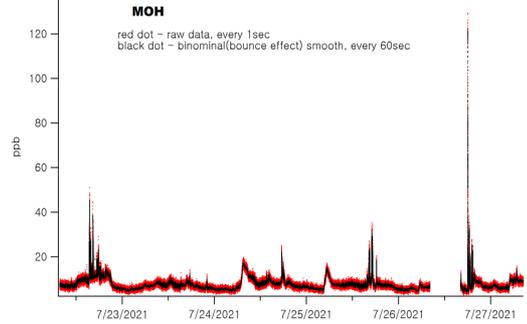
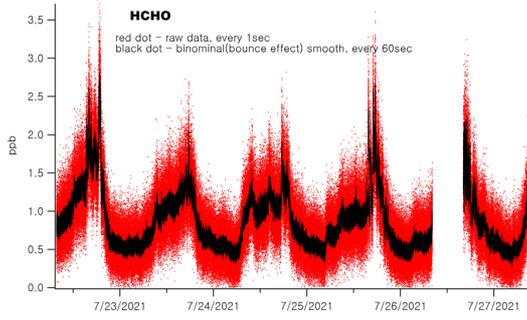
- 국내 TVOC에 대한 기준은 전무한 상태로 다중이용시설과 신축공동주택에 대해서만 벤젠을 포함한 일부 물질을 대상으로 환경기준이 존재함
- 일반 대기는 벤젠만이 연평균 기준  $1.5\text{ ppb}$  ( $5\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이 존재함
- 본 측정(고정측정) 결과 벤젠은  $3.1\text{ ppb}$ 로 기준치를 초과한 것으로 나타났으며, 톨루엔  $1.5\text{ ppb}$ , 자일렌  $1.9\text{ ppb}$ 로 나타났음
- 김종범 등(2019)이 동일한 방법으로 측정하여 보고한  $8.3\text{ ppb}$ 보다는 낮은 수치였고, 백성욱 등(2020)의  $1.1\text{ ppb}$  보다는 높게 나타났음
- 금산의 산업단지( $3.0\text{ ppb}$ )이나 전주의 도로변( $3.1\text{ ppb}$ ), 경산의 매립지( $2.5\text{ ppb}$ )도 이와 유사한 수준의 농도가 관측되었고, 일부 안산의 산업단지( $16.4\text{ ppb}$ )나 난지도 매립지( $31.8\text{ ppb}$ )의 경우 더 높은 경우도 확인되었음

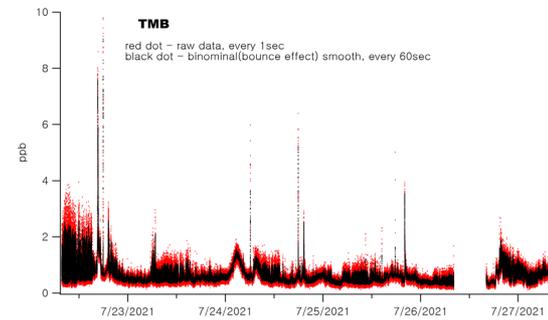
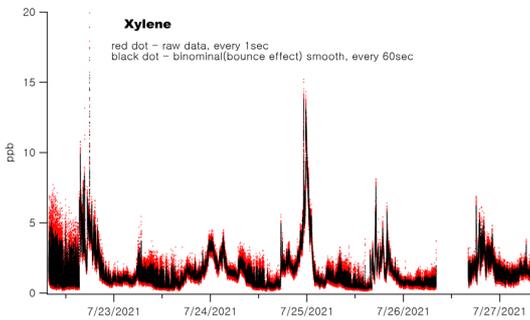
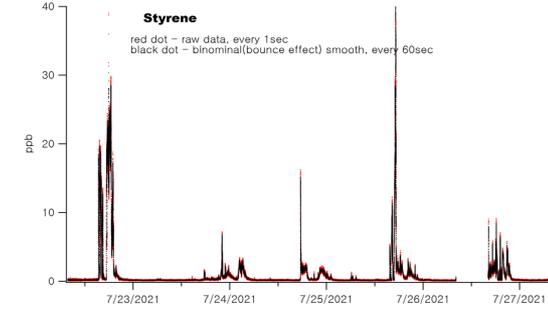
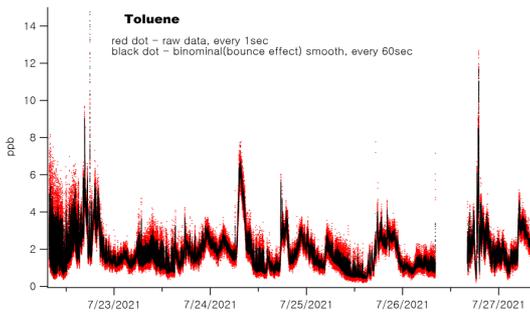
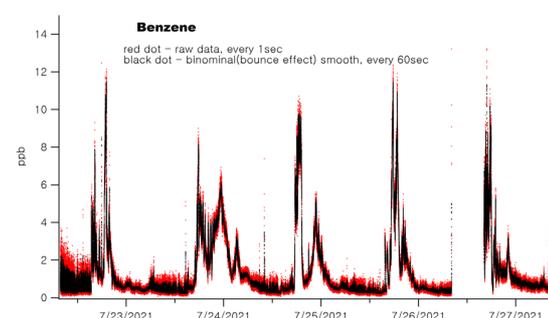
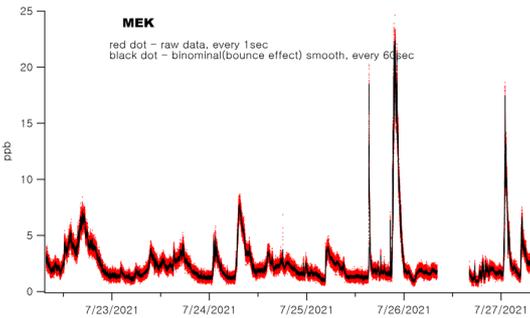
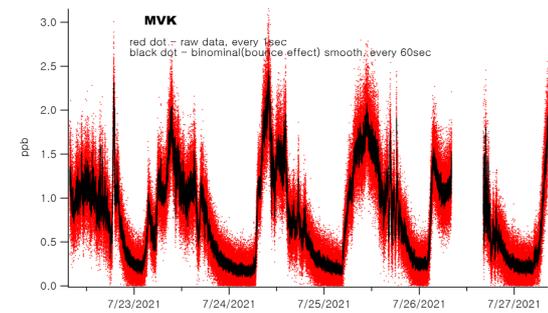
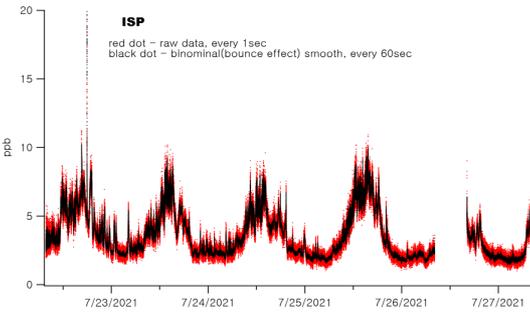
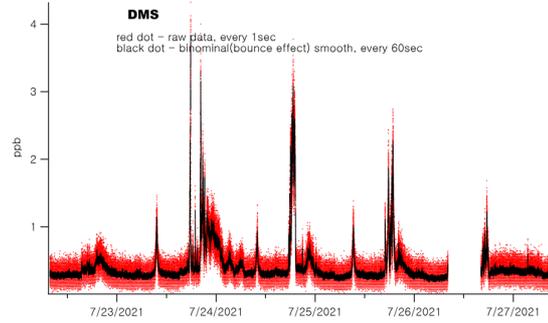
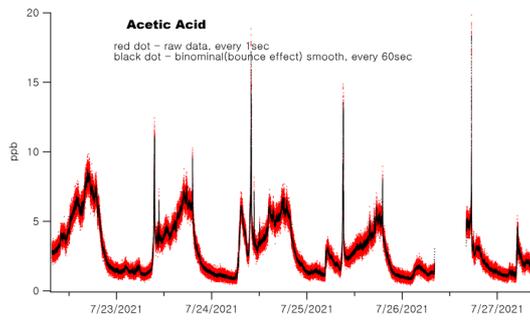
- 2019년 김종범 등의 연구결과와 본 연구결과는 실시간 측정장비를 대상으로 24시간 연속 측정된 값을 대상으로 나타난 수치이고, 그 외 연구들은 대부분 공정시험방법을 활용한 자료라 단순 비교는 어려움

[표 3-2] 지역별 VOCs 측정결과 비교

저자	도시	지역	오염물질 (단위 : ppb)			
			벤젠	톨루엔	자일렌	합계
Jeon et al	여수	산업단지	1.16	1.85	0.33	3.34
Jeon et al	여수	산업단지	1.32	4.55	0.27	5.87
Baeket al	포항	산업단지	0.83	3.50	4.5	8.83
	구미	산업단지	0.62	7.81	1.29	9.72
Jung et al	난지도	매립지	31.8	259	10.4	290.8
	경산	매립지	2.5	34.4	10.2	47.1
Imet al	안산	산업단지	16.4	423	43.6	439.4
Park et al	대구	도로변	1.18	20.4	1.87	21.6
	경산	도시지역	0.89	4.31	0.87	5.2
Ryooet al	진주	도로변	3.1	6.3	3.1	9.4
	금산	산업단지	3.0	11.8	3.8	14.8
Baeket al	대산	산업단지	1.13	1.2	0.94	2.3
Kim et al	대산	산업단지	8.3	4.5	1.8	14.6
Kim et al	평동	산업단지	1.67	15.5	4.2	17.2
Kim et al	대산	산업단지	3.10	1.5	1.88	6.48

- 그림 3-5는 본 측정에서 얻어진 개별 VOC에 대한 공정측정결과를 시계열로 나타낸 것임
- 포름알데하이드나 프로판, 아세트니트릴 등 지속적으로 연속 배출되는 오염물질이 있는 반면, 케톤이나 1,3 부타디엔, 스틸렌과 같이 일정 시간대에만 고농도로 확인되는 물질이 있음
- 앞서 언급한것처럼 공정시험법을 통한 모니터링 방법은 대상 구간에 대한 정확한 농도값을 제공할 수 있지만 순간적으로 고농도로 배출되는 오염물질에 대해서는 선택적으로 농도를 반영할 수 밖에 없어 분석된 데이터에 대한 잘못된 정보를 제공할 수 있음
- 특히 대산과 같은 여수, 울산 등의 석유화학단지는 다량의 원료를 다양한 공정에서 사용하고 있어 배출특성이 다양할 수 밖에 없는데 이러한 곳들은 기존 공정시험법과 더불어 실시간 측정이 동시에 수행되어야 그 지역에 대한 정확한 배출특성을 분석할 수 있을 것으로 판단됨





[그림 3-5] 개별 VOC의 고정측정 결과

### 3절. 이동측정결과 요약

#### 1. 이동관측 결과 : 오전

##### ○ 고농도 지역(M8) : 8:00~9:30

- 엘지화학 및 롯데케미칼 인근
- 화곡리 마을회관 인근
- 특정배출원의 지속적인 영향이라기 보다는 순간 배출된 고농도 오염물질에 의한 영향으로 판단됨

##### ○ 고농도 지역 (M10) : 12:00~13:30

- 엘지화학 및 롯데케미칼 진입로
- 엘지화학 및 롯데케미칼 인근
- 고농도 배출공정에 의한 국지적인 영향으로 판단됨



[그림 3-6] 이동관측(오전)시 TVOC 분포 특성

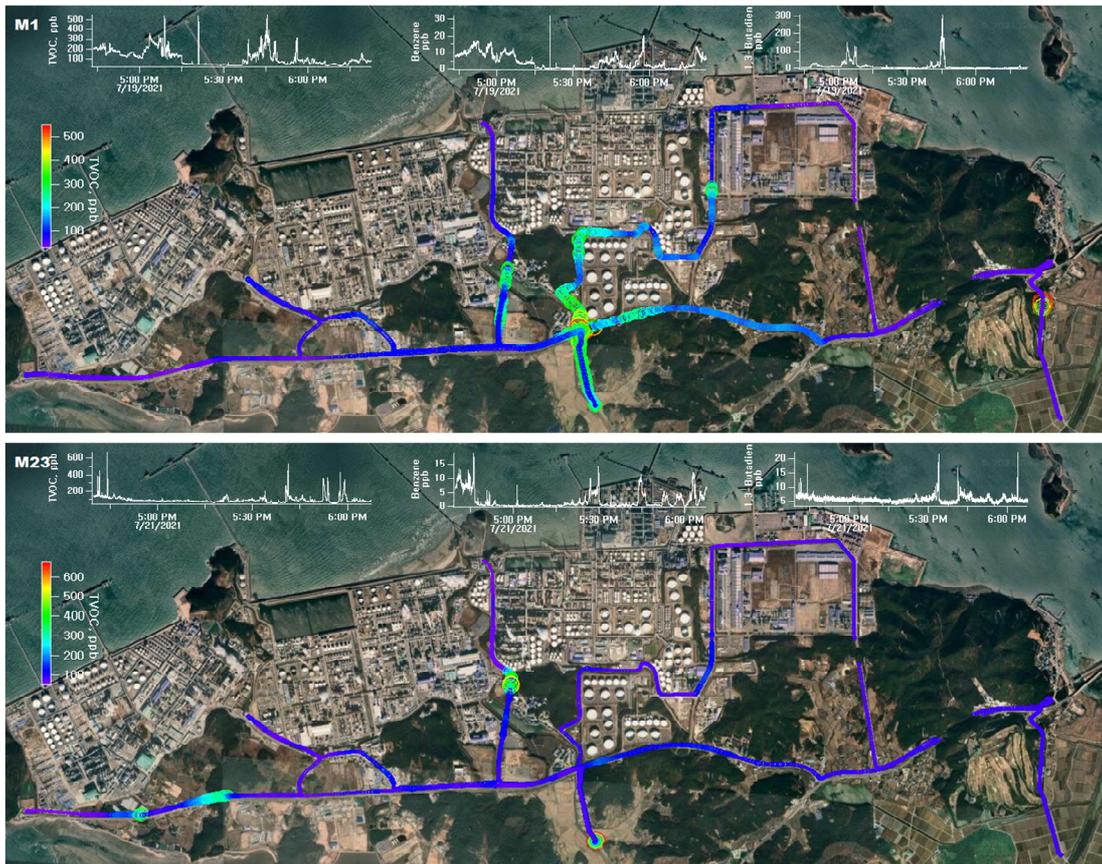
## 2. 이동관측 결과 : 오후

### ○ 고농도 지역(M1) : 17:00~18:30

- KCC부터 대죽1리 마을회관까지 넓은 범위로 고농도 사례 발생
- 전반적으로 모든 오염물질의 배출량이 높게 관측됨
- 대산 제1산업단지 및 현대오일뱅크 등 산업단지 내 배출물질이 북서풍을 타고 산업단지 전 지역에 걸쳐 영향을 미치고 있는 것으로 판단됨

### ○ 고농도 지역 (M23) : 17:00~18:30

- 엘지화학 및 롯데케미칼 진입로
- 독곶2리 교차로부터 황금산 진입로까지 특별한 차량통행이 없음에도 높게 나타남
- 북서쪽 대산 제2산업단지에서 배출된 오염물질이 풍하 방향으로 영향을 미침



[그림 3-7] 이동관측(오후)시 TVOC 분포 특성

### 3. 이동관측 결과 : 야간

- 고농도 지역(M5) : 2:00~3:30
  - 엘지화학 및 롯데케미칼 인근
  - 쓰레기매립장 인근
  - 고농도 오염물질 배출원 주위의 고농도 사례로 판단됨
- 고농도 지역 (M17) : 2:00~3:30
  - 엘지화학 및 롯데케미칼 진입로
  - KCC와 현대오일뱅크 사이
  - 고농도 오염물질 배출원 주위의 고농도 사례로 판단됨



[그림 3-8] 이동관측(새벽)시 TVOC 분포 특성

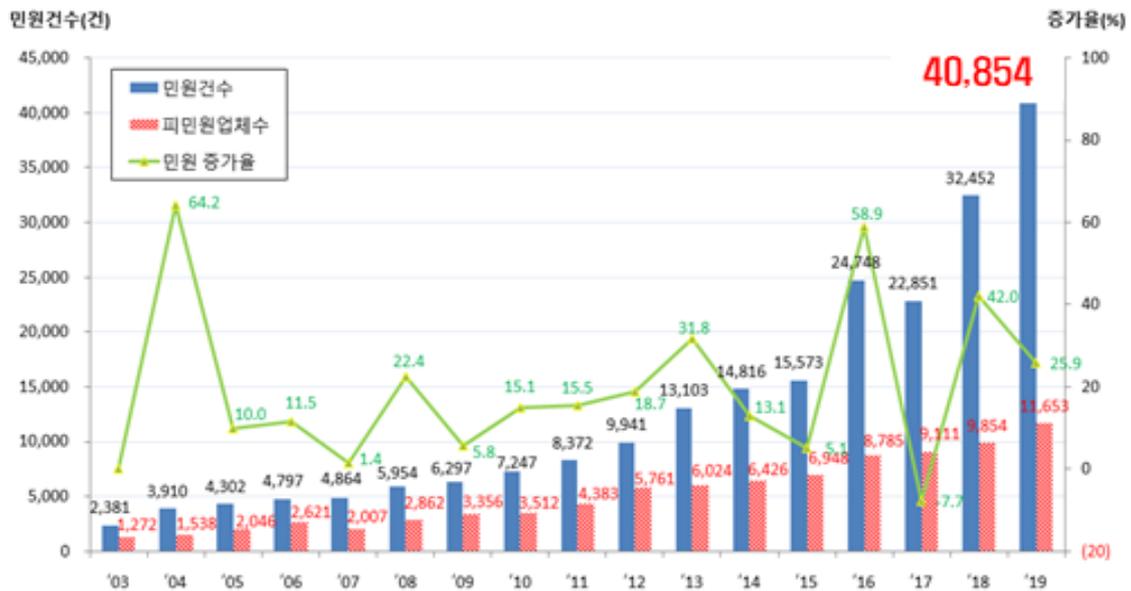
#### 4. 이동관측 결과 요약

- 전반적인 오염도 수준은 타 지역과 유사하거나 낮은 수준, 단 시간대별 농도 편차가 큼
  - 벤젠은 연평균 기준(1.5 ppb) 이하, 이 외 BTEX 역시 낮은 농도 수준임. 단, 각 오염물질의 시간대별 농도 편차가 큼
  - 현재 벤젠 외 다른 VOCs에 대해서는 기준치가 없음
  - 1,3 부타디엔과 같이 유해성이 큰 물질은 순간적으로 평균 대비 수십배 높은 농도값 검출(KORUS-AQ 등 다수 보고)
  
- 반복적으로 높은 농도 발생 구간 확인
  - 현대오일뱅크 사택, 롯데케미칼, LG화학, 독곶사거리 등에서 지속적인 고농도 사례 확인
  - 위 구간에 대해서는 새벽 시간대에도 순간적인 고농도 피크 발생
  - 2019년 자체 측정, 충남보건연 측정에서도 지속적인 농도 증가 보고 (정책적 개선방안 없음)
  
- 북풍계열(북서풍, 북동풍) 발생시 풍하 지역에 면(area) 단위의 오염구간 확인
  - M1, M23과 같이 일정 구간에 대해 지속적인 고농도 구간 발생
  - 일부 간헐적으로 발생하는 오염물질을 제외하고, 시간대별 발생특성 유사

## 제4장. 악취모델링

### 1절. 과업의 배경 및 목표

- 국민의 생활 수준 향상과 참살이(Well-being)에 대한 요구가 확대되면서 악취 노출에 의한 불쾌감 및 혐오감 개선에 대한 요구는 지속되고 있으며, 국민 행복권 추구를 위한 환경복지를 실현하기 위해서는 악취문제 해결이 필수적임
- 악취 민원은 생활 수준, 소득, 환경에 대한 관심도 등과 밀접한 관계가 있으며 우리나라뿐만 아니라 인구밀도가 높고 경제성장이 빠른 국가에서도 문제가 되고 있으며 이를 해결하기 위한 제도 및 기술도 함께 그 필요성이 부각 되고 있음
- 전국 악취 민원은 2013년에 최초 1만 건 돌파 이후 급격히 증가하여, 2019년 기준 40,854건으로 조사되었으며, 이중 축산시설에서의 악취 민원이 약 52.3%로 가장 많은 비중을 차지하고 있음
- 충청남도에서 발생한 악취 민원 중 축산시설의 비중은 약 81.0%로 전국 평균을 상회하고 있음



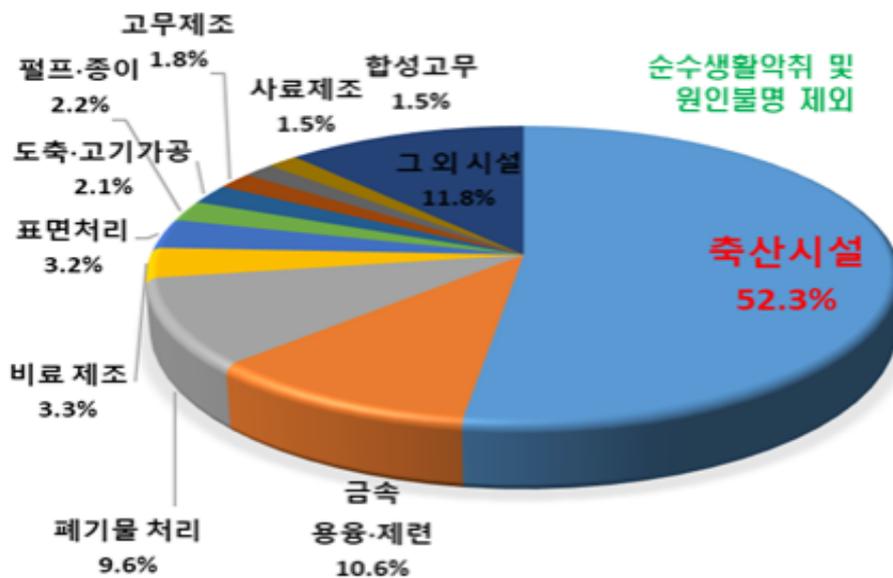
[그림 4-1] 전국 악취민원 발생현황(자료:환경부, 2020)

[표 4-1] 전국 연도별 악취관련 민원발생 현황

구 분	총 판		악취배출시설 설치 사업장						생활악취 <sup>1)</sup>				원인 불명
			신고대상시설		신고대상 시설 외		악취관리 지역		악취관리 지역 외				
	민원 건수	피민원 업체수	민원 건수	피민 원업 체수	민원 건수	피민 원업 체수	민원 건수	피민 원업 체수	민원 건수	피민 원업 체수	민원 건수	피민 원업 체수	민원 건수
'19	40,854	11,653	4,653	381	1,834	174	18,551	4,930	56	36	9,924	6,132	5,836
'18	32,452	9,854	2,616	420	2,767	317	14,238	4,487	35	22	7,861	4,608	4,935
'17	22,851	9,111	1,849	374	636	84	11,113	4,605	93	54	6,571	3,994	2,589
'16	24,748	8,785	1,841	284	1,366	168	12,694	4,342	28	24	6,013	3,967	2,806
'15	15,573	6,948	1,354	254	194	14	7,614	3,795	37	23	4,417	2,862	1,957
'14	14,816	6,426	2,454	420	169	12	6,933	3,408	1	1	3,514	2,585	1,745
'13	13,103	6,024	1,821	290	82	18	5,866	3,101	5	5	3,478	2,610	1,851
'12	9,941	5,761	692	447	135	91	4,502	2,718	5	5	3,732	2,500	875
'11	8,372	4,383	1,376	208	-	-	3,273	2,012	28	23	2,735	2,140	960
'10	7,247	3,512	459	192	-	-	2,706	1,363	116	113	2,977	1,844	989
'09	6,297	3,356	433	192	-	-	2,391	1,180	4	4	2,687	1,980	782
'08	5,954	2,862	393	128	-	-	2,278	1,219	19	14	2,241	1,501	1,023

<sup>1)</sup> 생활악취 민원은 순수생활악취 민원과 악취배출시설 규모미만 사업장 민원을 총칭함.

\* 자료 : 환경부, 2020



[그림 4-2] 악취배출시설 악취민원 현황(자료:환경부, 2020)

- 환경부에서는 국가적으로 악취를 방지하고 쾌적한 생활환경 조성을 위한 제2차 악취방지 종합시책을 발표
- 제2차 악취방지 종합시책은 2019년부터 2028년까지 10년간 적용되며 악취배출 환경 및 관리를 기반으로 사업장 및 생활상에서 발생하는 악취를 관리하고 악취관리의 체계 및 수단을 강화하였음
- 악취 없는 쾌적한 생활환경 조성을 비전으로 악취배출원의 선제적·과학적 관리기반을 확립하여 악취민원을 57% 가량 감소시키는 것을 목표로 설정함

[표 4-2] 악취방지종합시책 상의 국내 악취정책 변화상

분야	As Is		To Be
사전예방적 악취관리	先 피해 後 조치 중심의 사업장 관리	⇒	사전예방적 사업장 관리
	민원 다량 발생 사업장 지도점검 강화		객관적·과학적 조사에 따른 사업장 감시·개선방안 마련
맞춤형 악취배출원 관리	부지경계 악취측정에 따른 측사 관리	⇒	시설 현대화, 분뇨관리 고도화에 따른 친환경 측사 확대
	빗물받이 악취차단 중심의 하수도 악취관리		지역별 하수도 악취실태에 따른 종합적 악취저감
	음식점 악취방지시설 보급 미흡 및 음식물쓰레기 노출 과다		음식점 악취방지시설 확충 및 음식물쓰레기 RFID 본격시행을 통한 악취노출 최소화
과학적 악취관리기반 강화	확실적 배출허용기준에 의한 악취배출원 관리	⇒	수용체 악취 피해 수준을 고려한 악취배출원 관리
	실험실·관능법에 의한 악취 측정		ICT 기술, 드론 등 최신 기술을 활용한 악취 측정·관리
적극적 소통을 위한 거버넌스 활성화	非전문적 갈등관리, 협의체 관리기반 부실	⇒	전문적이고, 법적 이행력을 가진 협의체 활성화
	민원, 협의체 구성 등에 관한 서류적 관리		전자시스템을 통한 투명하고, 체계적인 협의체 관리

\* 자료: 제2차 악취방지종합시책, 환경부(2019)

- 서산시는 대규모의 석유화학, 정유, 자동차, 고무, 제강, 제련 등 다양한 악취물질 배출사업장이 밀집되어 있어 각 사업장에서 배출허용기준 이하로 악취오염물질을 배출하여도 사람이 코로 냄새를 맡을 수 있는 최소감지농도와 법적 배출허용기준과의 간격 차가 크고 특히, 악취물질이 대기 중에서 다른 악취물질과 반응하여 또 다른 복합악취가 발생하는 등 악취물질의 근원적인 관리에는 많은 어려움이 있음
- 악취 민원은 지역적·계절적으로 편중하여 발생하고 있는데 특히, 근 몇 년간 악취

민원의 폭주로 주민불편이 가중되고 있으며, 산업단지 내 화재, 유해물질 누출 등 특정 업체에 대한 불신감이 고조되고 있는 실정임

- 이와 같이 서산시는 악취, 사고로 인한 불쾌감, 혐오감 증가로 주거지 쾌적성이 저하되고 있으므로, 생활환경 개선을 위해 사업장 관리 및 악취 배출원 관리 요구가 지속적으로 증대되고 있음
- 이에, 본 과업의 목적은 대산석유화학단지에 위치한 주요 악취배출사업장의 악취 배출원을 자료를 활용하여 악취확산모델링을 수행하였으며, 악취확산 범위 및 수준을 분석하고, 주요 악취관심지점에 대한 악취의 영향분석에 그 목적으로 연구를 수행함

## 2절. 악취의 개요

### 1. 악취의 정의

- 악취란 황화수소, 메르캅탄류, 아민류 그 밖에 자극성 있는 기체 상태의 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로, 여러 가지 성분이 혼합된 상태로 존재하면서 사람의 후각을 자극하여 사람의 쾌적한 정서 생활과 나아가 건강에 피해를 주는 나쁜 냄새로 정의됨
- 즉, 악취는 사람에게 특정 냄새 자체로 심리적·정신적 피해와 건강상의 피해를 주는 감각 오염의 한 형태임
- 악취는 발생물질의 종류와 배출원이 다양하고, 여러 물질이 복합적으로 작용하며, 생활환경과 사람의 심리상태에 따라서 오염도에 대한 인식이 달라지는 특성이 있어 다른 대기오염물질과는 달리 발생원을 효과적으로 관리하고 저감 대책을 수립하는 데에 어려움이 있음
- 악취를 관리하는 데 있어 무엇보다 중요한 것은 이러한 악취의 특성을 고려하여, 이에 맞게 오염원을 관리해 나가는 것이라 할 수 있음

### 2. 악취의 특성

- 일정한 냄새를 악취로 인식하는 데에는 지역 특성, 생활 수준 등 사회문화적인 특성과 성별, 연령, 건강 상태, 흡연 습관, 음식물에 대한 기호 등 개인적인 특성이 중요하게 작용함

- 예민한 사람과 둔감한 사람이 악취를 느끼는 정도를 구별하는 한 예로서 최소감지농도(Threshold)의 경우 냄새 물질에 따라 10배 이상의 차이가 날 수도 있음
- 또한, 동일물질에 대한 후각반응에 있어서도 개인별로 불쾌감을 느끼는 정도에 차이가 있으며, 동일인의 경우에도 냄새를 맡는 빈도에 따라 차이가 있어 단기적으로는 좋은 냄새로 인식되더라도 장기적으로 노출되는 경우에는 악취로 여길 수도 있음
- 이와 같이 냄새를 감지하고, 이에 대한 불쾌도를 인식하는 데 있어 사람마다 느끼는 정도가 다르므로, 대기 중의 악취오염도를 단순히 농도만으로 표시하기에는 어려움
- 냄새를 유발하는 물질의 종류는 매우 다양하여 유기산류, 알코올류, 아민류, 방향족화합물류, 알데하이드류, 에스테르류, 황화수소류 등이 있음
- 냄새는 물질의 종류에 따라 차이가 있으며, 이러한 물질 일부가 악취로 인식되게 됨
- 악취종류를 모두 나타낼 수는 없으나, 주요 형태로는 계란·생선 등이 썩는 것과 같은 부패성 냄새, 암모니아성 냄새, 땀 냄새, 강한 자극을 주는 냄새 등으로 구분됨
- 일반적으로 냄새를 유발하는 물질은 쉽게 휘발될 수 있는 분자량이 300보다 작고, 비이온성인 화합 물질로 분자구조 및 작용기에 따라 냄새 특성이 각기 다름
- 메르캅탄류는 썩은 배추 냄새, 알릴기를 포함하는 화합물은 마늘 냄새, 아민류화합물은 생선비린내와 암모니아 냄새, 알데하이드류는 낮은 농도에서 과일 향기가 나지만, 높은 농도에서 불쾌한 냄새를 유발
- 악취물질은 매우 낮은 농도에서 냄새가 감지되기 시작하며, 이러한 농도를 최소감지농도(Odor threshold)라 함
- 하수처리장에서 발생하는 메틸아민, 에틸아민, 트리메틸아민은 매우 낮은 최소감지농도(각 0.02, 0.039, 0.0002 ppmv)에서 냄새가 감지됨
- 하지만 이런 최소감지농도는 냄새를 처음 감지하였으나 어떠한 종류의 냄새인지 모르는 상태로 최소감지농도에서 악취를 유발한다고 볼 수 없음. 주요 물질별 냄새의 형태는 아래의 표와 같음

[표 4-3] 주요 물질별 냄새의 특성

화합물	냄새의 특성	원인 물질명
황화합물	양파, 양배추, 썩는냄새	메틸메르캅탄, 황화메틸, 이황화메틸 등
	계란 썩는 냄새	황화수소 등
질소화합물	분뇨냄새	암모니아, 에틸아민
	생선 썩는 냄새	메틸아민, 트리메틸아민 등
알데하이드류	자극적이며, 새콤하고 타는 듯한 냄새	아세트알데하이드 프로피온알데하이드 n-뷰틸알데하이드 iso-뷰틸알데하이드 n-발레르알데하이드 iso-발레르알데하이드 등
탄화수소류	자극적인 신나 냄새	아세트산에틸 메틸아이소뷰틸케톤 등
	가솔린 냄새	톨루엔, 스티렌, 자일렌 등
지방산 류	자극적인 신 냄새	프로피온산 등
	땀 냄새	n-뷰틸산 등
	젖은 구두에서 나는 냄새	n-발레르산 iso-발레르산 등
할로젠 원소	자극적인 냄새 자극성 냄새	염소, 불소 등

### 3. 악취의 단위

- 악취를 나타내는 단위에는 최소감지농도(Threshold), 농도(Concentration), 악취세기(Odor Intensity Index), 희석배수(Dilution Threshold, 배율) 등이 있음
- 악취는 개별물질마다 사람이 느낄 수 있는 최소농도나 냄새의 질이 다름
- 어떤 물질이 사람에게 냄새로 느껴지기 시작되는 최소의 농도를 최소감지농도(최소감지값, 역치 또는 Threshold)이라 함
- 최소감지농도는 사람마다 조금씩 차이를 나타내고 민족이나 연령에 따라서도 차이가 있음
- 최소감지농도는 탄소와 수소만으로 된 화합물보다 산소, 황, 질소 등의 물질이 포함되어 있는 화합물이 대체로 작은 값 즉, 낮은 농도에서도 냄새가 발생됨

- 최소감지농도가 작을수록 낮은 농도에서 냄새를 유발하므로, 강한 냄새를 냄
- 단일 성분의 냄새물질은 일정한 최소감지농도를 갖지만, 두 가지 이상의 물질이 혼합되어 있을 때에는 상승 또는 상쇄작용에 의해 각 성분의 최소감지농도보다 더 높아지거나 혹은 낮아지는 경우도 있음
- 최소감지농도는 과거 대기오염공정시험방법에 의한 직접관능법의 약취도 1도 (감지취기)에 해당하는 물질의 농도 임
- 최소감지농도와 관련하여 자극의 질을 느낄 수 있는 최소량(약 약취도 2도에 해당)을 인지역치(Perception threshold), 인식역치(Identification threshold) 또는 최소인식역치(Minimum Identification Odor, MIO)이라 함. 주요 약취물질의 최소감지 농도는 아래의 표에 나열하였음

[표 4-4] 주요 화학물질의 최소감지농도

화합물	ppm	화합물	ppm
암모니아	0.1	포름알데하이드	0.50
메틸메르캅탄	0.0001	아크로레인	0.0085
황화수소	0.0005	아크릴로나이트릴	8.8
다이메틸설파이드	0.0001	메탄올	0.52
다이메틸다이설파이드	0.0003	다이메틸아민	0.033
트리메틸아민	0.0001	메틸아민	0.035
아세트알데하이드	0.002	아세트산	0.0057
프로피온알데하이드	0.002	벤젠	2.7
n-뷰틸알데하이드	0.0003	페놀	0.00028
i-뷰틸알데하이드	0.0009	카본다이설파이드	0.21
n-발레르알데하이드	0.0007	피리딘	0.063
i-발레르알데하이드	0.0002	메틸알킬설파이드	0.00014
i-부틸알코올	0.01	카본테트라클로라이드	4.6
에틸아세테이트	0.3	클로로폼	3.8
메틸아이스뷰틸케톤	0.2	인돌	0.00030
톨루엔	0.9	스카톨	0.0000056
스티렌	0.03	에틸벤젠	0.17
o-자일렌	0.38	1,3-부타디엔	0.23
m-자일렌	0.041	디에틸설파이드	0.000033
p-자일렌	0.058	에탄올	0.094
프로피온산	0.002	에틸아크릴레이트	0.00026
n-뷰틸산	0.00007	에틸메르캅탄	0.0000087
n-발레르산	0.0001	메틸에틸케톤	0.44
i-발레르산	0.00005	설퍼다이옥사이드	0.055
1,2,4-트리메틸벤젠	0.12	니트로다이옥사이드	0.12
1,3,5-트리메틸벤젠	0.17	메틸아세테이트	1.7
아세톤	42	에틸아세테이트	0.87
디클로로메탄	60	i-부틸아세테이트	0.0080
트리클로로에틸렌	3.9	o-크레졸	0.00010
테트라클로로에틸렌	0.77	m-크레졸	0.000054

#### 4. 농도

- 농도는 일정량의 부피 중에 존재하는 성분의 비율 즉, 조성을 표시하는 양으로서 여러 가지 단위가 사용될 수 있으며, 주요 단위로는 질량백분율(Wt%), 체적백분율(V%), 몰수의 비(몰분율) 등이 이용 됨
- 기체상태 악취물질의 화학적 분석에 의해 측정된 농도단위로는 단위부피당 부피(V/V)를 사용하는 경우가 많아 악취성분의 농도를 ppm, ppb, ppt로 표현하는 것이 일반적임
- 이를 단위부피당 질량으로 표시하는  $mg/m^3$ ,  $\mu g/m^3$  등의 단위로 다음의 관계식으로 서로 비교가 가능하다.

$$ppm = \frac{22.4}{\text{분자량}} X (mg/m^3)$$

#### 5. 냄새의 세기(Odor Intensity Index)

- 대기 중의 냄새의 정도를 수치화하여 표현하는 방법으로 악취공정시험기준의 공기희석관능법에 의한 희석배수, 일본의 6단계 냄새표시법, 미국의 TIA(Total Intensity of Aroma) 등의 방법이 있음
- 직접관능법에 의한 악취세기는 최소감지값 수준의 냄새를 1도, 악취로 인식되지 않을 보통의 수준을 2도(규제기준)로 하며, 기타 악취로 느낄 수 있는 세기를 3 ~ 5도로 규정하고 있음
- 일본의 6단계 냄새표시법은 우리나라의 악취세기와 유사하며, 미국의 TIA는 무취, 약간 냄새, 확실한 냄새, 강한 냄새의 4단계 척도를 이용하고 있음

[표 4-5] 직접관능법 냄새표시법

악취도	0	1	2	3	4	5
악취 세기 구분	무취	감지취기	보통취기	강한취기	극심한취기	참기 어려운 취기

## 6. 회석배수

- 회석배수는 당초 미국에서 시료수의 악취세기를 나타내기 위해 정의하였던 것으로, 시료수에 무취의 물을 가하여 회석시료에서 최저한도의 냄새를 명확하게 알 수 있을 때의 최대회석배수를 말하며, 후각한계회석배수라고도 불림
- 회석배수는 공기시료에 대해서도 동일하게 다루어 질 수 있는데, 사업장 등에서 채취한 시료공기를 무취공기로 회석하면서 최소감지농도 수준(냄새가 인지되지 않는 순간의 회석치)으로 회석했을 때의 배율로 구할 수 있음
- 현행 악취공정시험기준에서는 5인 이상의 판정인들이 악취를 감지한 회석배수 중 최대, 최소 회석배율을 제외한 회석배수의 기하평균값을 회석배수로 하고 있음

## 3절. 악취가 인체에 미치는 영향

- 악취가 인체에 미치는 영향으로는 호흡기, 순환기, 소화기, 후각기 계통 등으로 구분할 수 있으며, 알러지 반응을 촉진하거나 정신적인 불안감으로 인한 증상의 악화 또는 회복에 저해를 일으킬 수 있음
- 악취는 주로 사람들의 감각기관에 영향을 주기 때문에 피해를 구체적으로 입증하기에는 곤란한 것으로 보고되고 있음
- 황화수소나 유기황화합물 등의 악취물질이 고농도로 대기 중에 존재하는 경우에는 여러 가지 사고가 발생되며, 저농도로 장기간에 걸쳐 환경에 존재하는 경우에는 동물과 식물에 여러 가지 생리적인 장애를 일으킬 수 있음
- 또한, 악취물질에 의해 금속의 부식, 고무의 열화, 구조물의 손상 등 광범위한 영향도 일어날 수 있으며, 이는 악취에 의한 영향보다는 개별물질들의 물리·화학적 성격에 따른 영향으로 볼 수 있음

### 1. 호흡기 계통

- 사람들은 좋은 냄새를 맡으면 호흡이 깊어지고 불쾌한 냄새를 맡으면 반사적으로 호흡이 멈춰지며, 호흡리듬의 변화가 일어나 호흡수 및 호흡의 깊이가 감소됨
- 악취로 인한 호흡변화는 악취가 호흡중추에 작용하기 때문으로서 개를 이용한 실험결과에 따르면 악취물질이 후신경을 자극하거나 3차신경과 후신경의 양쪽을 자극시켜 호흡변화를 일으킨다고 알려져 있음

## 2. 순환기 계통

- 좋은 냄새를 맡으면 깊은 호흡과 동시에 혈압이 하강하고 과도한 긴장을 풀어 주는 등 진정효과가 있으나, 자극적인 냄새인 악취는 혈압의 상승 등에 의한 정신적 불안을 가져오기도 함

## 3. 소화기 계통

- 후각은 미각과 밀접한 관련이 있어 좋은 냄새는 식욕증가를 유발하는 반면, 악취는 일반적으로 위장활동을 억제하고 소화액의 분비를 저해하여 식욕감퇴, 수분섭취의 저하를 일으키고 심한 경우 구토를 일으킴

## 4. 수면 장애

- 악취는 불면증과 정신불안을 일으키며, 장기적으로 계속해서 불쾌한 냄새에 노출되면 사람은 안정감을 잃게 되고 마음이 조급해 짐
- 심한경우 히스테리 상태가 되어 이상한 행동을 하는 등 정신적 작용으로 인한 영향이 크게 나타남
- 또한, 불쾌한 냄새로 인하여 깊은 잠에서 깨어나면 다시 잠들기 어렵게 되며, 약한 악취에도 수면방해가 있을 수 있게 되지만 어느 정도의 냄새에서 수면이 방해되는가에 대해서는 상황에 따라 일정하지가 않음

## 5. 두통 및 구토감

- 불쾌한 냄새에 의해 두통이나 구토를 호소하는 예는 대단히 많으며, 방향성 물질에 있어도 장기간 또는 고농도로 노출되면 대단히 강한 불쾌감과 혐오감을 일으킴
- 그러나 이러한 심리적 영향을 대단히 주관적이며, 불쾌한 정도나 대상물질은 사람의 태도, 성질, 시간 등에 좌우되는 경우가 많음

#### 4절. 악취물질의 특성 및 유해성

- 악취방지법상에 지정되어 있는 22가지 물질은 크게 암모니아(1종), 황화합물(4종), 휘발성유기화합물(7종), 알데하이드류(5종), 아민계열(1종), 유기산류(4종)로 아래의 표에 나타내었음

[표 4-6] 지정악취물질 22종 지정 현황

종류	적용시기
암모니아 메틸메르캅탄 황화수소 다이메틸설파이드 다이메틸다이설파이드 트라이메틸아민 아세트알데하이드 스타이렌 프로피온알데하이드 뷰틸알데하이드 n-발레르알데하이드 i-발레르알데하이드	2005년 2월 10일부터
톨루엔 자일렌 메틸에틸케톤 메틸아이소뷰틸케톤 뷰틸아세테이트	2008년 1월 1일부터
프로피온산 n-뷰틸산 n-발레르산 i-발레르산 i-뷰틸알코올	2010년 1월 1일부터

[표 4-7] 지정악취물질 특성 및 유해성

화합물	분자식	분자량	최소감지농도 (ppm)		냄새특성	최소자극농도 (ppm)	작업장 노출 한계 농도 (ppm)	LC <sub>50</sub> (ppm)	
			일본	문헌					
Ammonia	NH <sub>3</sub>	17.03	1.5	5.75	코를 찌름, 썩는 냄새	95	25	2,000/4hr	
Methyl mercaptan	CH <sub>4</sub> S	48.11	0.000070	0.00105	썩은 배추	-	0.5	675	
Hydrogen sulfide	H <sub>2</sub> S	34.08	0.00041	0.0178	썩은 달걀	9	10	444	
Dimethyl sulfide	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S	62.0	0.0030	0.00224	불쾌함, 썩는 냄새	-	10	40,250	
Dimethyl disulfide	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>2</sub>	99.5	0.0022	0.0123	썩는 냄새, 마늘냄새	-		805/4hr	
Trimethylamine	C <sub>3</sub> H <sub>9</sub> N	59.11	0.000032	0.00240	자극성, 암모니아, 생선비린내	76	5	-	
Acetaldehyde	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	44.05	0.0015	0.186	코를 찌름	46	200 by OSHA	25,000(mg/m <sup>3</sup> )	
Styrene	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	104.14	0.035	0.099	썩는 냄새, 향긋한 냄새	-	20	11.800/4hr(mg/m <sup>3</sup> )	
Propionaldehyde	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58.05	0.0010	0.0086	자극성 냄새	-	20	21,800(mg/m <sup>3</sup> ) for mammal	
n-Butyraldehyde	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72.12	0.00067	0.00891	자극성 냄새	-	25	6,400/4hr	
n-Valeraldehyde	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	86.13	0.00041	0.0023	자극성 냄새, 불쾌한 냄새	-	50	4,000/hr	
i-Valeraldehyde	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	86.13	0.00010	0.00224	불쾌한 냄새, 썩는 냄새, 사과 냄새	-	-	30,860(mg/m <sup>3</sup> )	
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92.14	0.33	1.55	벤젠과 유사한 냄새	182	50	40,000(mg/m <sup>3</sup> )/hr	
Xylene	p-Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.17	0.058	0.490	벤젠과 유사한 냄새	-	100	4,550/hr
	m-Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.17	0.041	-	벤젠과 유사한 냄새	-	100	5,267/6hr
	o-Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.17	0.38	0.851	벤젠과 유사한 냄새	-	100	4,595/6hr for mouse

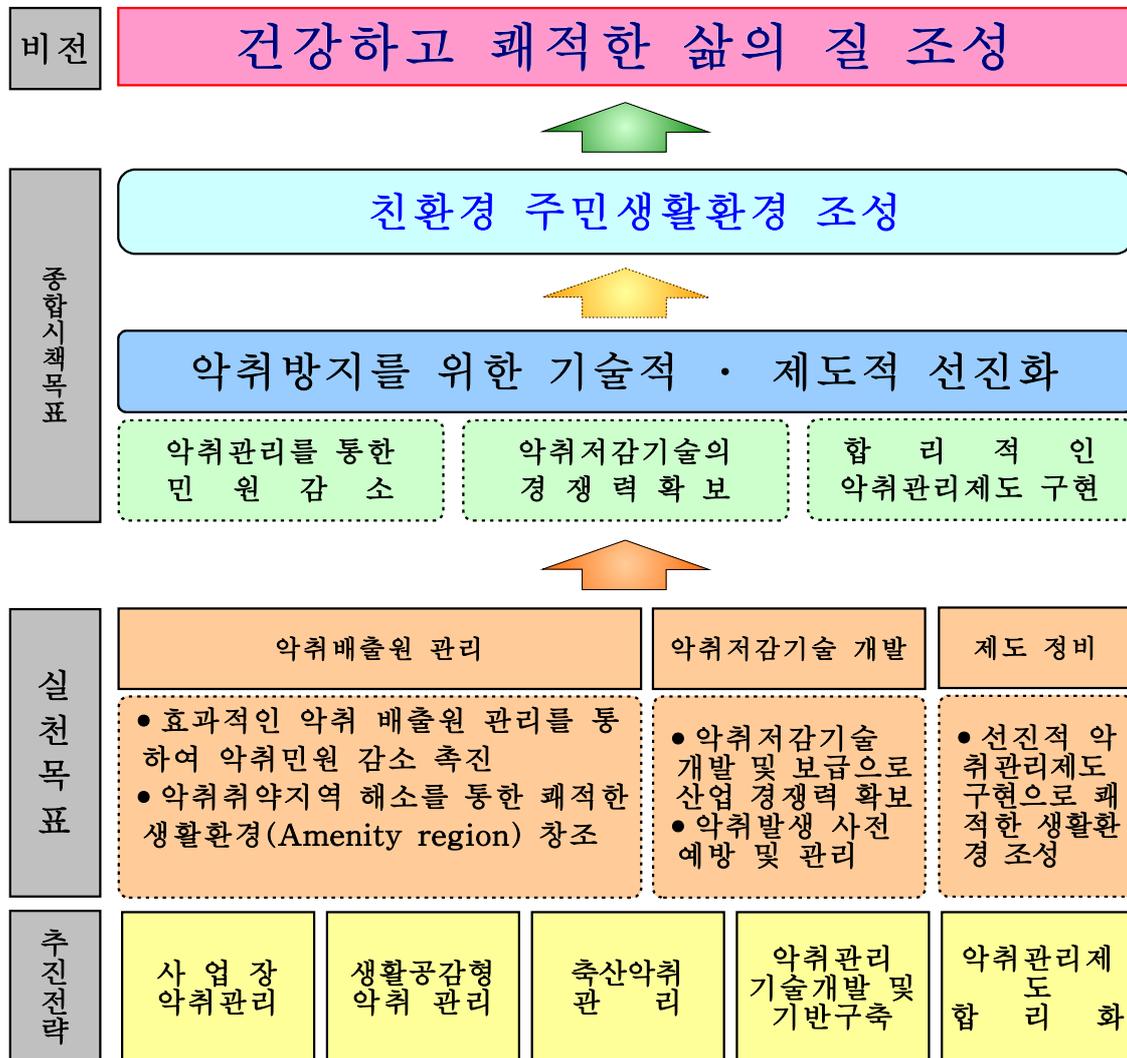
[표 4-7] 지정악취물질 특성 및 유해성 (계속)

화합물	분자식	분자량	최소감지농도 (ppm)		냄새특성	최소자극농도 (ppm)	작업장 노출 한계 농도 (ppm)	LC <sub>50</sub> (ppm)
			일본	문헌				
Methyl ethyl ketone	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> O	72.12	0.44	7.76	자극성 냄새, 아세톤 냄새	183	200	23,500(mg/m <sup>3</sup> )/8hr
Methyl isobutyl ketone	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100.18	0.017	0.537	자극성 냄새	92	50	100,000(mg/m <sup>3</sup> )
Butyl acetate	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	166.16	0.016	0.195	자극성 냄새	64	150	160
Propionic acid	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	74.08	0.0057	0.0355	자극성 냄새, 불쾌한 냄새	-	10	-
n-Butyric acid	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	88.11	0.00019	0.00389	자극성 냄새, 불쾌한 냄새, 땀 냄새	-	NL	-
n-Valeric acid	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	102.13	0.000037	0.00479	자극성 냄새, 불쾌한 냄새	-	NL	-
Isovaleric acid	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	102.13	0.000078	0.00246	치즈 냄새, 코를 찌름	-	NL	-
Isobutyl acid	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	74.12	0.011	0.832	자극성 냄새	91	50	19,200(mg/m <sup>3</sup> )/4hr

## 5절. 국내 악취관리 현황

### 1. 국가 악취방지 종합시책

- 국내에서는 2008년 12월에 제1차 국가악취방지종합시책을 수립하였으며 악취민원의 지속적인 증가, 악취방지법 개정 등 여건의 변화로 2012년 1월에 1차 시책의 개선 계획을 수립함
- 시책은 악취배출 환경 및 관리를 기반으로 악취 배출 환경의 사업장 악취, 생활 공감형 악취, 축산악취를 대상으로 하고 있음



[그림 4-3] 제1차 악취방지 종합시책의 비전 및 목표(제1차 악취방지 종합시책)

- 제1차 국가악취방지종합시책의 내용을 보완하고, 2019년부터 제2차 국가악취방지종합시책을 수립하였음

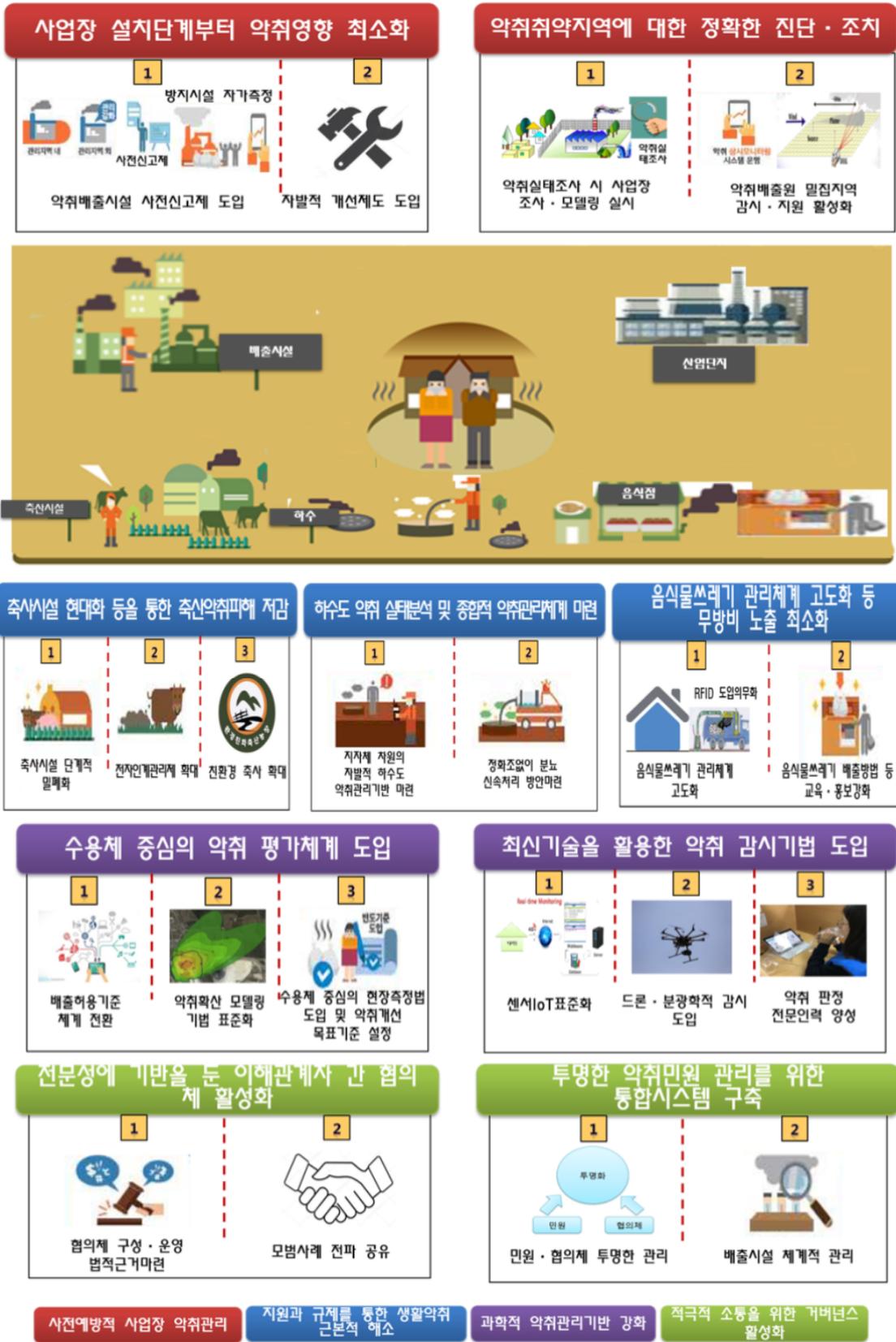
**비전**      **악취 없는 쾌적한 생활환경 조성**

**목표**      **악취배출원의 선제적·과학적 관리기반 확립**  
 ◇ 악취민원 : '17, 23천건 → '28, 10천건(▽57%)



분야	주요 추진과제
I. 사전 예방적 악취관리	1. 사업장 설치단계부터 악취영향 최소화 2. 악취 취약지역에 대한 정확한 진단·조치
II. 맞춤형 악취배출원 관리	1. 측사시설 현대화 등을 통한 축산 악취피해 저감 2. 하수도 악취 실태분석 및 종합적 악취관리체계 마련 3. 음식물 제조부터 처리까지 악취노출 최소화
III. 과학적 악취관리기반 강화	1. 수용체 중심의 악취 평가체계 도입 2. 최신기술을 활용한 악취 감시기법 도입
IV. 적극적 소통을 위한 거버넌스 활성화	1. 전문성에 기반을 둔 이해관계자 간 협의체 활성화 2. 투명한 악취민원 관리를 위한 통합시스템 구축

[그림 4-4] 제2차 악취방지 종합시책의 비전 및 목표(제2차 악취방지 종합시책)

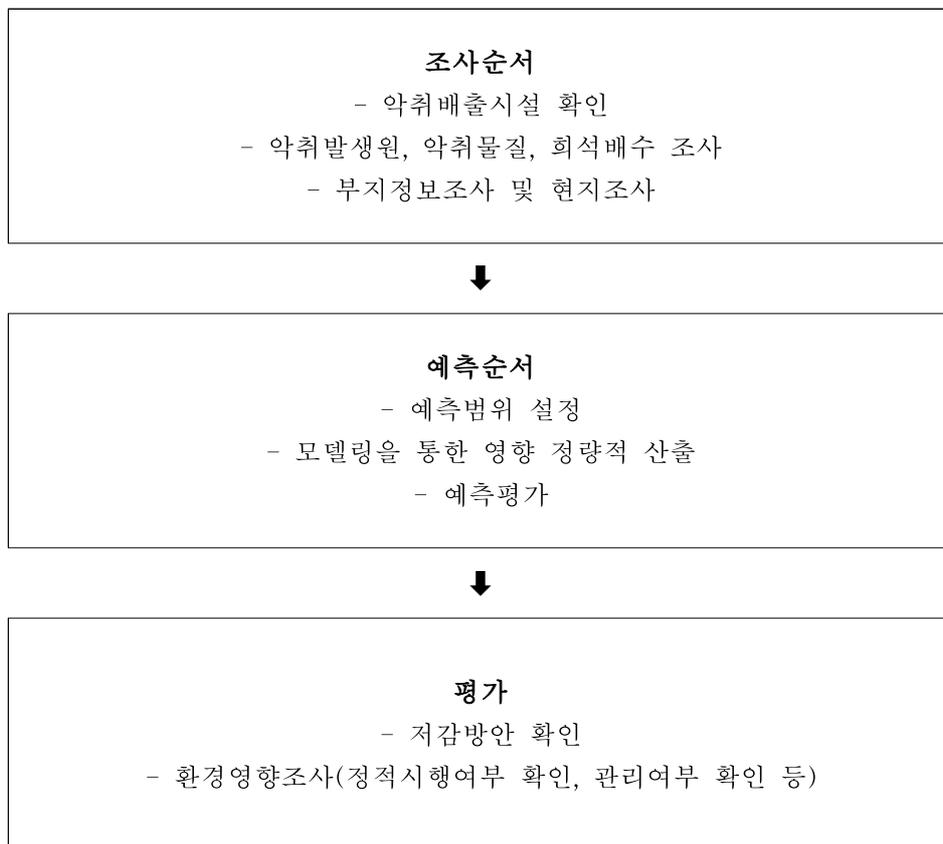
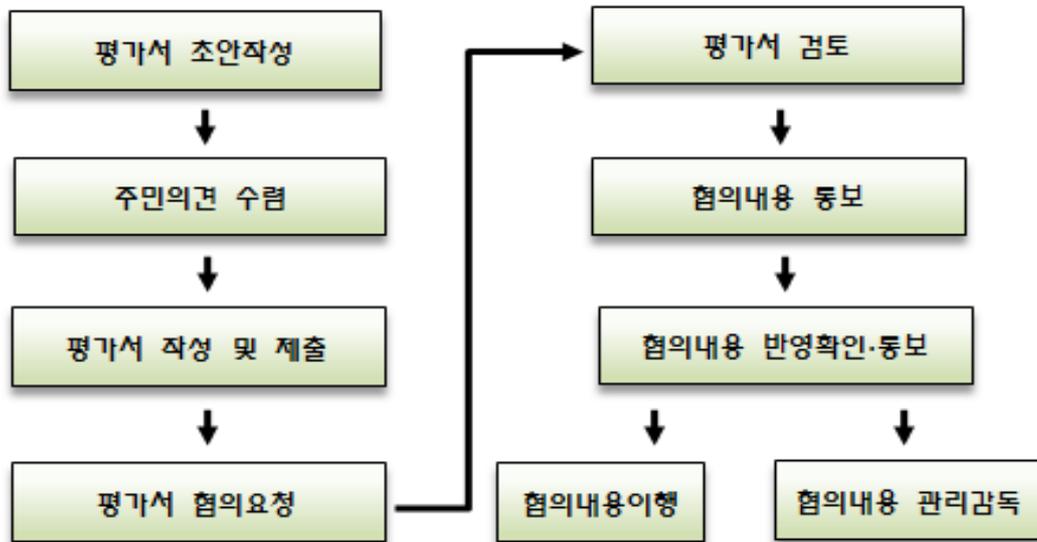


[그림 4-5] 제2차 악취방지 종합시책의 개념도(제2차 악취방지 종합시책)

## 2. 국내 악취관리 규제

### 가. 환경영향평가

- 환경영향평가는 일정규모 이상의 사업이 시행될 시 주변에 미치는 환경영향을 조사하여 사업으로부터 유발될 수 있는 모든 환경영향에 대하여 사전에 조사·예측·평가하여 자연훼손과 환경오염을 최소화하기 위한 방안을 마련하기 위해 운영되고 있음
- 환경영향평가법에서는 환경영향평가를 실시해야 하는 사업과 그 규모를 설정하고 그 사업에 대한 세부항목을 정하고 조사할 것을 구체적으로 명시함
- 환경영향평가는 자연생태환경 분야, 대기환경 분야, 수환경 분야, 토지환경 분야, 생활환경 분야, 사회환경·경제환경 분야 등 총 6개의 분야를 평가하고 있으며, 환경영향평가 정보지원시스템(EIASS)은 환경영향평가서 작성 가이드라인을 제시하고 각 항목별, 사업별 작성방법 및 평가방법에 대해 자세히 설명하고 있음
- 악취부분의 환경영향평가는 6개 분야 중 대기환경 분야에서 평가하고 있으며, 악취 영향을 야기할 수 있는 사업으로부터 발생하는 악취 영향정도를 예측하고 이를 최소화하기 위한 대책을 수립하는데 필요한 항목을 명시하였음
- 악취측정을 위한 조사기준은 당해 사업 자체가 악취를 유발하는 경우와 당해 사업 자체는 악취발생이 없어도 기존 주변 시설물에서 배출되는 악취로 인해 영향을 받을 수 있는 경우 악취에 대한 조사를 실시하도록 권고하고 있음
- 악취 조사의 경우 현지조사를 실시해야 하며, 취기 발생원의 종류 및 위치, 규모, 수, 취기강도를 측정하고 이를 통해 영향예측을 실시함
- 영향예측은 확산모델링을 통한 사업지구 내·외 주거지역, 학교, 어린이집 등에 미치는 영향을 정량적으로 산출하며, 산출결과를 활용하여 악취저감 방안 수립 및 환경영향조사를 실시하고 지속적인 관리여부를 확인함



[그림 4-6] 환경영향평가 절차(악취관리체계 중장기 정책방향 설정 연구)

나. 악취배출허용기준 (엄격한 배출허용기준 설정)

- 현재 국내에서는 악취방지법에서 배출허용기준을 규정하고 있음
- 악취방지법에서는 신고대상시설에서 배출되는 악취의 배출허용기준을 제시하고 있으며 50만 이상의 시(이하 대도시) 또는 특별시·광역시·특별자치시·도는 법에서 제시한 배출허용기준으로는 주민생활환경을 보전하기 어렵다고 인정하는 경우에는 조례를 통해 엄격한 배출기준을 정할 수 있음
- 또한, 악취방지법에서는 공기희석배수와 지정악취물질 22종의 배출허용기준이 마련되어 있으며 크게 일반지역과 악취관리지역으로 구분하여 관리하고 있음
- 악취관리지역으로 지정된 산업단지에서는 엄격한 배출허용기준을 따르게 되어 있고, 그 이외의 지역은 일반 배출허용기준을 따라야 함

[표 4-8] 복합악취 배출허용기준

구분	배출허용기준 (희석배수)		엄격한 배출허용기준의 범위 (희석배수)	
	공업지역	기타지역	공업지역	기타지역
배출구	1,000 이하	500 이하	500 ~ 1,000	300 ~ 500
부지경계선	20이하	15 이하	15 ~ 20	10 ~ 15
<p>엄격한 배출허용기준은 시·도지사가 효율적인 악취관리를 위하여 지역여건을 감안하여 환경부령이 정하는 범위 내에서 지자체 조례로 정함</p> <p>“공업지역”이라 함은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 지역을 말한다.</p> <p>가. 「산업입지 및 개발에 관한 법률」 제6조·제7조·제7조의2 및 제8조의 규정에 의하여 지정된 국가산업단지·일반지방산업단지·도시첨단산업단지 및 농공단지</p> <p>나. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령」 제30조 제3호 가목의 규정에 의한 전용 공업지역</p> <p>다. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령」 제30조제3조 나목의 규정에 의한 일반공업지역(「자유무역지역의 지정 및 운영에 관한 법률」 제4조의 규정에 의한 자유무역 지역에 한한다.)</p>				

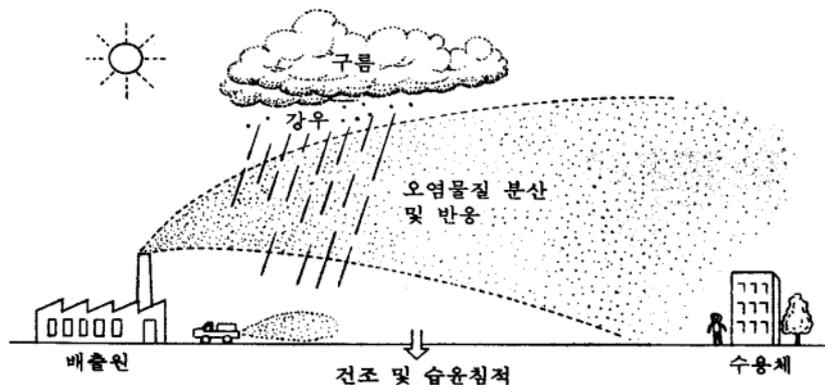
[표 4-9] 지정악취물질 배출허용기준

구분	배출허용기준		엄격한 배출허용기준의 범위
	공업지역	기타지역	공업지역
암모니아	2 이하	1 이하	1 ~ 2
메틸메르캅탄	0.004 이하	0.002 이하	0.002 ~ 0.004
황화수소	0.06 이하	0.02 이하	0.02 ~ 0.06
다이메틸설파이드	0.05 이하	0.01 이하	0.01 ~ 0.05
다이메틸다이설파이드	0.03 이하	0.009 이하	0.009 ~ 0.03
트라이메틸아민	0.02 이하	0.005 이하	0.005 ~ 0.02
아세트알데하이드	0.1 이하	0.05 이하	0.05 ~ 0.1
스타이렌	0.8 이하	0.4 이하	0.4 ~ 0.8
프로피온알데하이드	0.1 이하	0.05 이하	0.05 ~ 0.1
뷰틸알데하이드	0.1 이하	0.29 이하	0.029 ~ 0.1
n-발레르알데하이드	0.02 이하	0.009 이하	0.009 ~ 0.02
i-발레르알데하이드	0.006 이하	0.003 이하	0.003 ~ 0.006
톨루엔	30 이하	10 이하	10 ~ 30
자일렌	2 이하	1 이하	1 ~ 2
메틸에틸케톤	35 이하	13 이하	13 ~ 35
메틸아이소뷰틸케톤	3 이하	1 이하	1 ~ 3
뷰틸아세테이트	4 이하	1 이하	1 ~ 4
프로피온산	0.07 이하	0.03 이하	0.03 ~ 0.7
n-뷰틸산	0.002 이하	0.001 이하	0.001 ~ 0.002
n-발레르산	0.002 이하	0.0009 이하	0.0009 ~ 0.002
i-발레르산	0.004 이하	0.001 이하	0.001 ~ 0.004
i-뷰틸알코올	4.0 이하	0.9 이하	0.9 ~ 4.0

## 6절. 악취확산모델링 개요

### 1. 악취확산모델링 기법

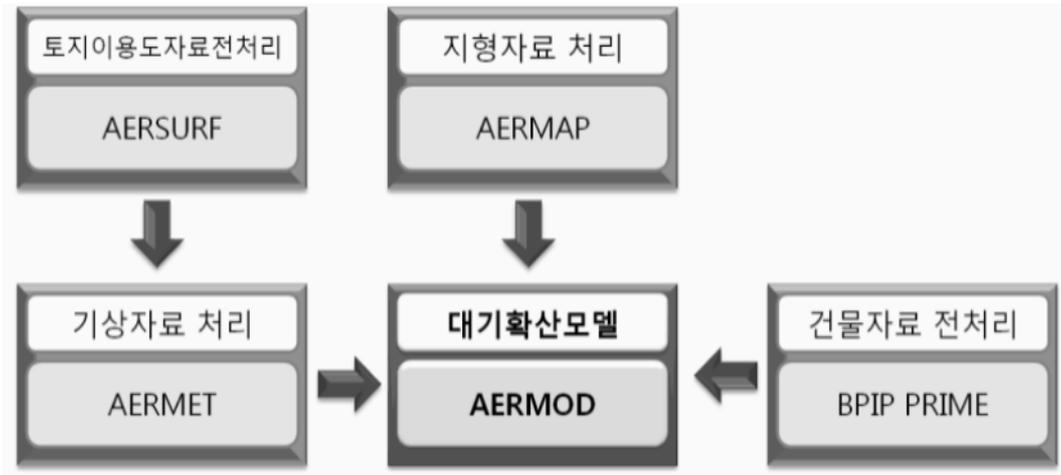
- 공장 굴뚝이나 차량과 같은 오염원에서 배출된 오염물질은 대기중에 분산과정을 거친 후, 수용체(receptor)에 도달함
- 아래 그림은 오염원에서 배출된 1차 오염물질이 대기 중에서 분산과정을 거치면서, 반응에 의해서 형태가 다른 2차 오염물질로 변형되거나, 또는 건성침적(dry deposition) 및 습윤침적(wet deposition)에 의한 제거 과정을 거치면서 수용체에 도달하는 것을 보여 주고 있음
- 배출된 오염물질은 광화학반응 등 여러 형태의 대기반응을 통해서 변형되거나, 또는 강우에 용해되어 제거되는 습윤침적이 일어남
- 지표부근에서는 오염물질이 분산운동에 의해 지표면에서 포착되어 제거되는 건성 침적이 일어남
- 따라서 같은 양의 오염물질이 배출되더라도 수용체에 도달하는 오염물질농도는 오염물질의 분산을 결정하는 대기 기상조건, 주변 지형조건, 오염물질의 반응성 및 침착성에 따라서 매우 상이하게 나타남



[그림 4-7] 대기 중에 배출된 오염물질의 분산과정

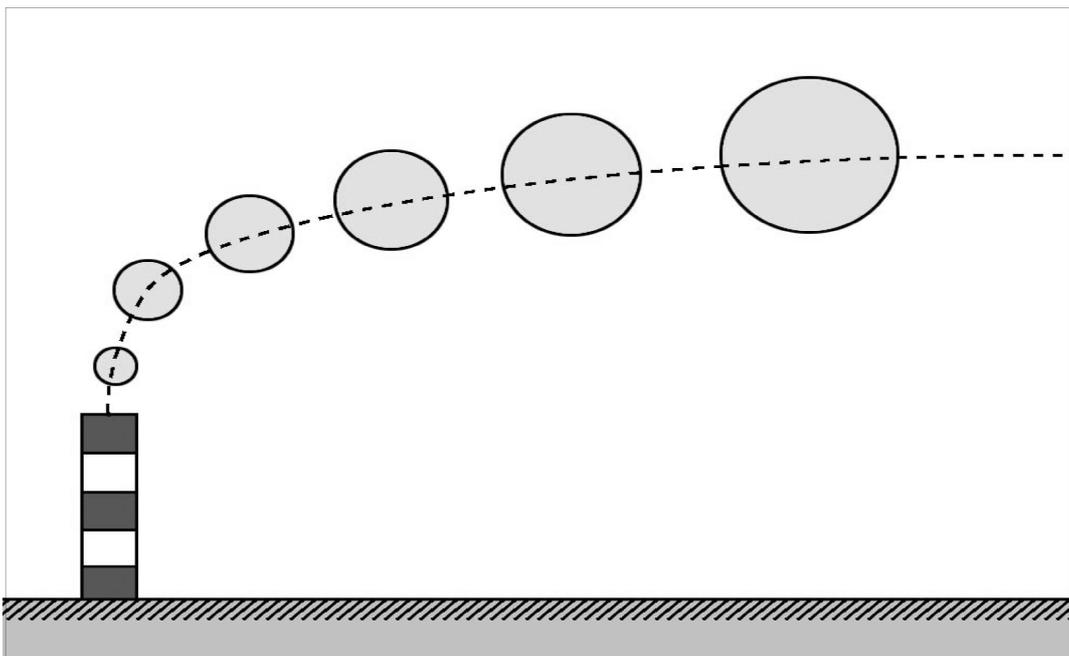
- 이와같이 복잡한 대기분산 과정을 거쳐서 수용체에 도달하는 오염물질의 농도를 대기 환경 영향평가 및 대기 정책수립 등을 위해서 정량적으로 해석해야 함
- 배출된 오염물질이 수용체에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 실측이 가장 확실하고 정확한 방법임

- 그러나 실측은 많은 비용과 시간을 요구할 뿐만 아니라, 현재 존재하는 배출원에 대해서만 그 영향을 파악할 수 있는 단점이 있음
- 또한 광범위한 공간을 대상으로 할 경우, 몇 지점의 농도를 측정하여 전체적인 대기분산 형태를 파악하는데도 어려움이 있음
- 따라서 배출원이 주변지역에 미치는 대기 환경영향평가나, 대기질 관리대책 수립에는 대기분산 모델링을 주로 이용되고 있음
- 대기분산 모델링은 복잡한 대기 분산현상을 단순화하거나, 또는 가상의 조건하에서 배출원과 수용체사이의 인과관계를 규명하는 것임
- 가우시안 연기모델은 대기오염물질의 분산을 계산하는데 가장 많이 사용하는 모델임
- 가우시안 연기모델은 모델식이 간단하면서도 대기분산현상을 비교적 정확히 계산할 수 있음. 따라서 현재 대기 환경 영향평가 및 대기질 대책수립에 가장 널리 이용되는 모델이라고 할 수 있음
- 굴뚝과 같은 점오염원에서 배출된 물질이 대기안정도에 따라서 가우스 분포를 갖고 풍하지역으로 이동하면서 풍횡 및 수직 방향으로 확산이 이루어진다는 가정하에서 확산을 계산하는 방법으로 시간 및 공간적으로 바람장(wind field, 바람의 분포 상태) 변화를 고려할 수 없는 정상상태 모델이지만 간단하여 환경영향평가에 많이 적용되고 있음
- 대표적인 가우시안 연기모델은 AERMOD로 U.S. EPA(Environmental Protection Agency)의 권고모델 임
- AERMOD(AMS/EPA Regulatory Model Improvement Committee Model)는 미국 기상학회와 미국 환경보호청이 공동으로 ISC3의 가장 큰 단점이었던 대기상태가 공간적으로 균일하다는 가정을 보완하기 위해 개발한 확산모델임
- ISC3 모델에서는 공간적으로 수평연기확산계수( $\sigma_y$ ) 및 연직확산계수( $\sigma_z$ )가 일정하다는 가정을 사용하였으나, 실제대기에서는 고도에 따라 그 값들이 크게 변하는 특성이 있으므로 AERMOD에서는 고도에 따른 연기확산계수 및 풍속의 변화를 대기경계층 상사이론(Similarity theory)을 이용하여 계산해 확산모델에 반영하도록 개정된 모델임
- AERMOD의 구조는 대기확산을 계산에 필요한 자료인 토지이용도자료, 지형자료, 기상자료, 건물자료를 입력형태에 맞게 지도를 작성하기 위해서는 각각의 전처리 프로그램(AERSURF, AERMAP, AERMET, BPIP PRIME)을 거쳐서 AERMOD에 자료를 입력하고, AERMOD를 통해 대기확산농도를 계산함



[그림 4-8] AERMOD의 모형의 구조

- 퍼프모델(Puff model)이란 굴뚝에서 연속적으로 배출되는 연기를 잘게 나누어진 연기덩어리(Puff)의 형태로 배출된다는 가정 함
- 이렇게 배출된 Puff들이 3차원 공간 해상도를 갖는 바람장을 따라 이동·확산하면서 수용지점에 미치는 영향을 농도 형태로서 나타내는 모델이다. 배출된 Puff는 바람장을 따라서 이동하면서, Puff의 크기는 점진적으로 성장



[그림 4-9] Puff Model의 개념도

- 배출된 Puff가 3차원 바람장을 따라서 이동할 때, 배출 경과시간에 따른 Puff의 중심위치는 다음의 식으로 계산 됨(Joseph 등, 2000)

$$\begin{aligned}
 x(t + \delta t) &= x(t) + \delta t U(t) \\
 y(t + \delta t) &= y(t) + \delta t V(t) \\
 z(t + \delta t) &= z(t) + \delta t W(t)
 \end{aligned}$$

- 여기서  $x$ 와  $y$ 는 서로 직각의 관계를 갖는 수평방향의 좌표를 나타내고,  $z$ 는 연직방향의 좌표를 의미한다.  $U$ ,  $V$ 는  $x$ ,  $y$  방향의 평균바람 속도를 나타내고,  $W$ 는 연직방향의 속도에 해당한다.  $\delta t$ 는 입자의 이동에 대한 시간구간임
- 배출된 Puff는 바람장을 따라 이동하면서, 아래의 확산식에 의하여 Puff의 크기가 성장함

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} g \exp\left[-\frac{d_a^2}{2\sigma_x^2}\right] \exp\left[-\frac{d_c^2}{2\sigma_y^2}\right]$$

- 여기서,  $g$ 는 Puff가 지표면 및 혼합층에서 반사되는 항을 의미함

$$g = \frac{2}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{(H_e + 2nh)^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

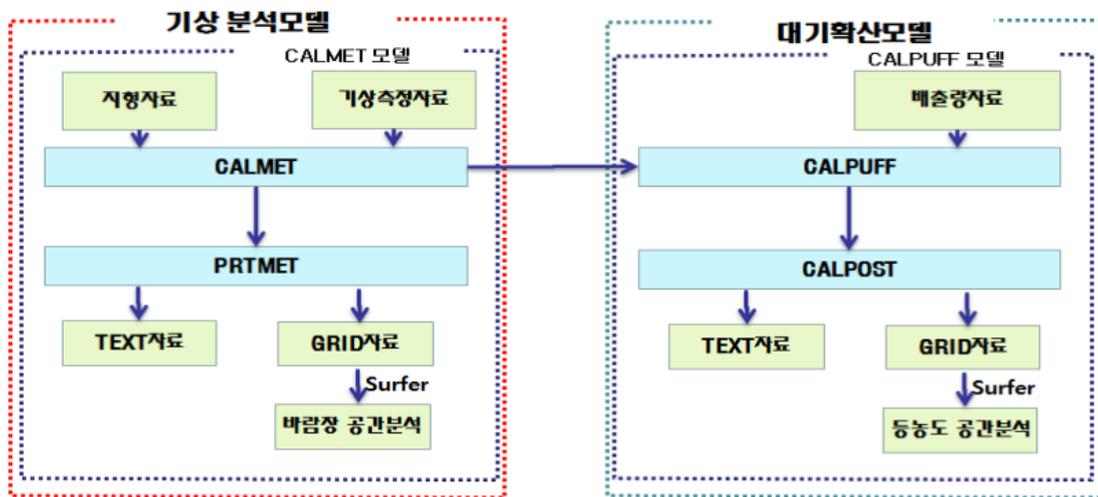
- 여기서
- $C$  : 지표 농도( $g/m^3$ )
  - $Q$  : Puff에서의 오염물질 질량( $g/m^3$ )
  - $\sigma_x$  : 풍향에 따른 가우시안확산의 표준편차(m)
  - $\sigma_y$  : 풍횡방향에 따른 가우시안확산의 표준편차(m)
  - $\sigma_z$  : 연직방향의 가우시안확산의 표준편차(m)
  - $d_a$  : 풍향에 따른 수용점에서 Puff중양으로부터의 거리(m)
  - $d_c$  : 풍횡방향에 따른 수용점에서 Puff중양으로부터의 거리(m)
  - $g$  : 가우시안 방정식의 연직항(m)
  - $H$  : Puff중양의 지표위에서의 유효높이(m)
  - $h$  : 혼합고(m)

- Puff 모델은 시·공간에 따른 바람장의 변화를 Puff의 이동으로 나타낼 수 있기 때문에, 비정상상태(Unsteady state)를 구현할 수 있는 모델이다. 따라서 유체의

흐름을 정상상태로 가정하여 수행하는 Gaussian모델보다 시간에 따른 풍향 및 풍속의 변화를 보다 정확히 확산에 반영할 수 있는 장점임

- 따라서 복잡지형에서의 산곡풍이나, 해안가에서의 해륙풍 순환과 같은 급격한 바람장 변화를 나타내는 지역에도 유용하게 적용될 수 있는 모델임
- Puff는 기존의 Gaussian모델에서 고려하지 못했던 해안가에서의 Fumigation현상 등을 고려할 수 있는 장점을 가지고 있어, 우리나라와 같이 삼면이 바다이고 도시나 공단 등이 해안지역에 위치한 경우, 해륙풍 순환에 영향을 받는 풍하 측 농도의 예측에 적합한 모델로 알려져 있음
- 대표적인 퍼프모델은 CALPUFF(California Puff model)로 현재 미국 환경보호청에서 대기오염물질의 대형 배출원이나, 장거리 오염물질 이동을 계산하는데 사용을 추천하고 있음
- CALPUFF은 일반화된 비정상상태 대기질 모델링 시스템을 개발하기 위한 연구의 일환으로 Sigma Research Corporation(현재는 Earth Tech, Inc.)에서는 CALMET 기상모델을 포함하는 CALPUFF 확산 모델과 이와 연관된 여러 프로그램들을 개발하였음
- CALPUFF와 CALMET 모델을 개발하는데 있어 California Air Resources Board(CARB)가 후원하였고 Systems Application, Inc.(SAI)가 CALMET 모델의 기상장 모델링 분야의 개발에 책임을 맡음
- CALPUFF은 시간 및 공간에 따른 바람장의 변화를 퍼프의 이동에 고려할 수 있기 때문에 비정상상태(Unsteady state) 모델로 알려져 있음
- 따라서 정상상태 모델인 AERMOD보다 정확히 시간에 따른 풍향 및 풍속의 변화를 확산에 반영할 수 있고 Puff 모델의 대상영역은 수십 m의 상세영역부터 수백 km의 광범위한 영역까지 계산이 가능하다는 장점이 있음
- CALPUFF 모델의 기본적 특징은 다음과 같음
- 첫째, 점·선·면오염원에 대한 시간적인 농도변화 계산 능력이 있고, 둘째, 오염원으로부터 수십 미터에서 수백 킬로미터까지 모델링이 가능하며, 셋째, 수초에서 일 년까지의 평균화시간에 대한 농도 예측이 가능하고, 넷째, 비활성 오염물질은 물론 화학변화를 일으키는 오염물질에 대해서도 예측 가능하며, 복잡한 지형상황에 대해 서도 모델링이 가능함
- 아래 그림에서 보는 바와 같이 CALPUFF 모델링 시스템은 세 가지 주요한 요소인 CALMET, CALPUFF, CALPOST 및 기상과 지형 처리 프로그램으로 구성되어 있음

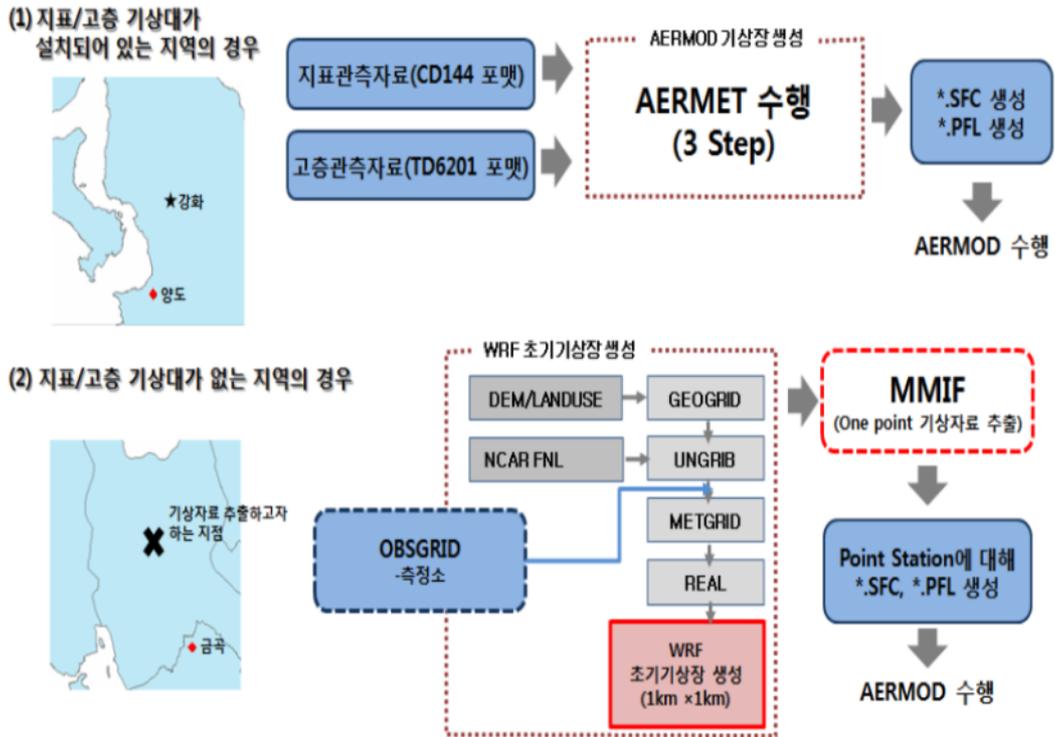
- CALMET은 3차원 격자 모델링 영역에서 시간별 바람장 및 온도장을 생성해 내는 기상모델임
- 혼합고도, 지표 특성, 확산 특성과 같은 2차원 자료 또한 CALMET을 통해 생성됨
- CALPUFF은 오염원으로부터 배출된 퍼프를 확산 및 수송 프로세스를 통해 모사하는 확산·수송 모델로 확산결과는 binary 자료 형태로 출력되며, CALPOST는 binary 자료 형태의 결과 파일을 후 처리하기 위해 사용됨



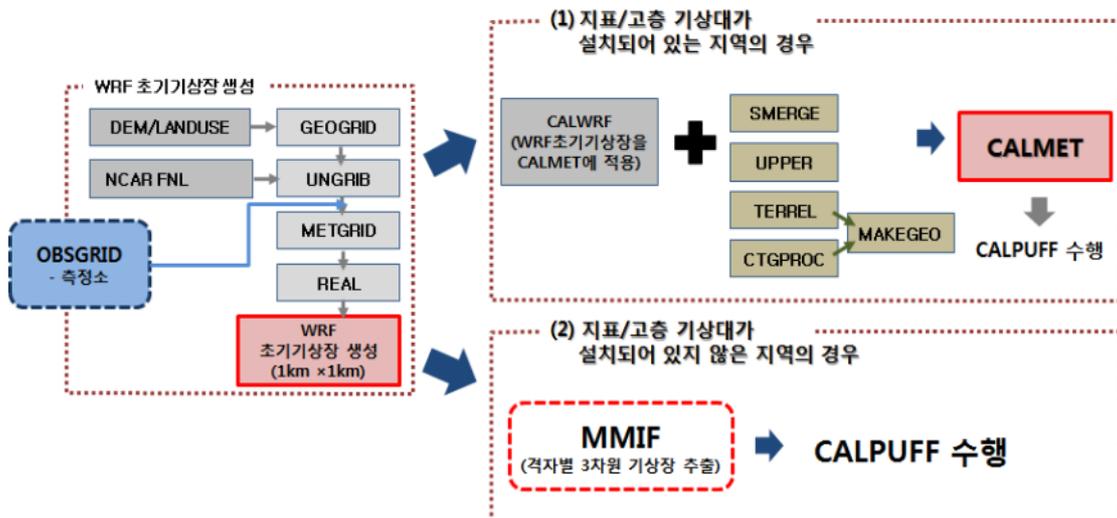
[그림 4-10] CALMET/CALPUFF 모델링 시스템

- 한편, 악취는 대기의 난류 운동에 의해서 변동하는 순간적인 감응 특성을 반영하는 것이 중요함. 이는 인간이 악취를 감응하는 것이 1시간 평균 악취농도가 아니라 순간적으로 수초간 지속되는 최고(피크)농도에 따라서 결정되기 때문에 대기오염물질 모델링과는 다른 첨두농도와 초과빈도 확인이 필요함
- CALPUFF에서 사용하는 기상자료를 생성하는 방법을 아래 그림에 나타내었음
- 지표기상대가 모델링 영역내에 위치하여 측정자료가 있는 경우에는 지표관측자료와 고층관측자료를 이용하고, WRF자료는 초기 기상장으로 입력하여 CALMET을 수행함
- 모델링 영역내에 지표관측자료가 없는 경우에는 WRF자료로 모델링 영역의 기상자료를 MMIF를 이용하여 추출하여 CALPUFF 입력기상자료를 생성하여 활용함

- 지표기상 관측자료와 고층기상 관측자료는 기상청에서 관측한 자료를 사용하는 것이 일반적이며, 모델결과의 정확도를 높이기 위해 모델링 영역 내에서 상세한 기상자료를 측정자료를 사용할 수 있음



[그림 4-11] AERMOD 수행을 위한 기상자료 적용방법



[그림 4-12] CALPUFF 수행을 위한 기상자료 적용방법

[표 4-10] CALPUFF 모델의 개요

구분	내용
모델개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ non-steady-state Gaussian Puff Model</li> </ul>
사용범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 도시 및 농촌지역의 공단 등과 같은 복잡한 오염원</li> <li>◦ 평탄하거나 기복이 있는 지형</li> <li>◦ 해안가 지형</li> <li>◦ 평균 예측시간은 1시간부터 1년</li> </ul>
입력자료	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 오염원 : 위치, 배출강도, 굴뚝고, 가스배출속도, 굴뚝내경, 배출가스, 온도, 오염원 표고, 건물직경, 입경분포, 지표면 거칠기</li> <li>◦ 기상 : 바람장 (CALMET 결과자료)</li> <li>◦ 예측점 : 평형, 극좌표계, 특정지점예측좌표, 지표고</li> </ul>
출력형태	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 입력 변수                             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 시간당 기상자료</li> </ul> </li> <li>◦ 상위 50개 최대농도 및 10개 최대농도</li> <li>◦ 예측점에서의 일별·계절별·연간 평균농도 텍스트 파일</li> <li>◦ 예측점에서의 일별·계절별·연간 평균농도 그리드 파일</li> </ul>
오염물질 종류	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 1차 오염물질 및 비반응성물질</li> </ul>
연기해석	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Briggs의 연기상승식 및 stack tip downwash식 사용</li> <li>◦ Huber &amp; shulman의 building wake algorithm 사용</li> <li>◦ CALMET 바람장에 의한 해안 fumigation 적용</li> </ul>
수평풍	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ non-steady-state</li> <li>◦ 도시·농촌에 따른 풍속 저감을 적용</li> <li>◦ 단기 예측시 무풍 적용 가능</li> </ul>
수직풍속	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 바람장의 구성을 통한 수직풍속 적용</li> </ul>
수평확산	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Turner의 농촌지역 확산계수를 적용</li> <li>◦ McElroy의 도시지역 확산계수를 적용</li> </ul>
수직확산	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Turner의 농촌지역 확산계수를 적용</li> <li>◦ McElroy의 도시지역 확산계수를 적용</li> </ul>

## 7절. 악취확산 모델링 결과

### 1. 대산석유화학단지 악취 확산 모델링 조건

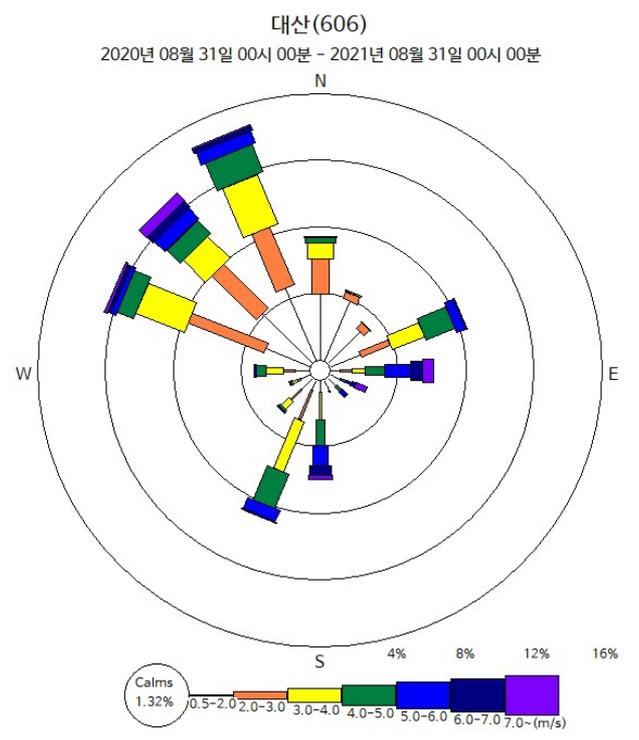
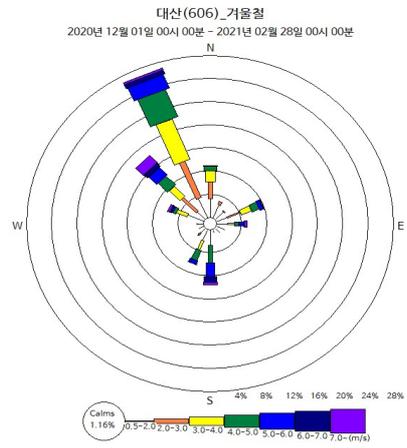
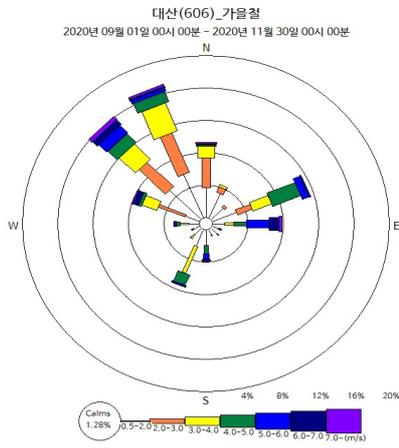
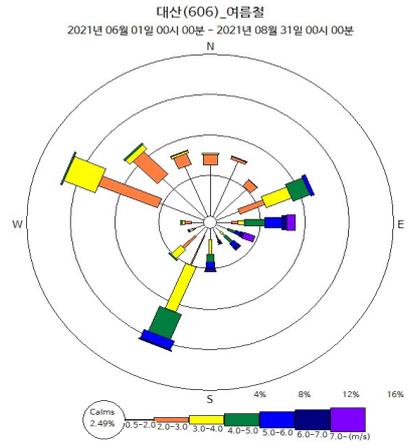
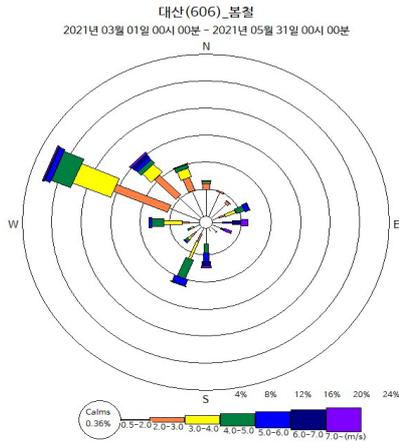
- 본 용역에서는 서산시 내 대산석유화학단지의 주요 사업장 배출구 자료(서산시청 제공)를 바탕으로 악취확산모델링을 수행하였으며, 모델링 기간은 최근 1년 (2020년 9월 1일 ~ 2021년 8월 31일)으로, 모델링 영역을 14×14 km로 설정함
- 모델링의 정밀도를 결정하는 격자간격은 200m로 수행하였으며, 점오염원 배출구는 제공받은 사업장 조사 결과 중 배출원의 위치 및 세부정보(배출구 높이, 배출구 직경, 배가스 온도 및 유속 등)가 있는 12개 사업장의 각 1개 배출구씩 선정함
- 기상자료는 근접한 대산AWS 기상대의 자료를 활용하였으며, 주요 악취 민원 및 피해지역 5곳을 관심좌표로 설정하여 확산모델링을 수행하였음

[표 4-11] 악취확산모델링 조건 및 개요

대상 지역	대산석유화학단지 및 주변 영향지역
모델링 기간	2020.09.01. ~ 2021.08.31. (최근 1년)
모델링 영역 (km)	14 × 14
격자간격 (m)	200
배출원 (개)	단지 내 사업장 12개 배출구
악취물질	복합악취
관심좌표	주요 악취 피해지역 5곳
기상자료	대산AWS (606)



[그림 4-13] 대산석유화학단지 주요 사업장 및 각 산업단지 위치



[그림 4-14] 대산 AWS 바람장미

## 2. 주요 악취배출원 현황

○ 아래 표는 서산시 내 주요 악취배출사업장으로 약 27개소를 나타낸 것으로, 그 중 대산석유화학단지 내 사업장은 18개소로 대산읍에 주로 밀집되어 있음

[표 4-12] 서산시 주요 사업장 현황

구분	사업장명	소재지	비고
1	(주)KCC대죽2공장	충청남도 서산시 대산읍 대죽2로 35	대산석유화학단지
2	(주)LG화학대산공장	충청남도 서산시 대산읍 독곶1로 54	대산석유화학단지
3	(주)동남서산공장	충청남도 서산시 지곡면 무장산업로 263-33	
4	(주)동남합성 대산2공장	충청남도 서산시 대산읍 죽엽로 373	대산석유화학단지
5	(주)위스코	충청남도 서산시 성연면 성연3로 133-14	
6	(주)케이씨대죽1공장	충청남도 서산시 대산읍 대죽2로 15	대산석유화학단지
7	(주)케이씨아이	충청남도 서산시 대산읍 대죽1로 221	대산석유화학단지
8	(주)코텍	충청남도 서산시 고북면 고수관로 62	
9	(주)티에스씨	충청남도 서산시 지곡면 화천1로 216-20	
10	KPX그린케미칼(주)	충청남도 서산시 대산읍 독곶2로 103	대산석유화학단지
11	SK이노베이션(주)서산공장	충청남도 서산시 지곡면 무장산업로 59-122	
12	광성관광공업(주)	충청남도 서산시 성연면 해성산업로 148-36	
13	동희오토주식회사	충청남도 서산시 성연면 신당1로 105-1	
14	롯데엘미시	충청남도 서산시 대산읍 독곶1로 82	대산석유화학단지
15	롯데케미칼(주)대산공장	충청남도 서산시 대산읍 독곶1로 82	대산석유화학단지
16	미원이오디주식회사	충청남도 서산시 대산읍 죽엽로 373	대산석유화학단지
17	베올리아워터코리아대산(주)	충청남도 서산시 대산읍 독곶1로 82	대산석유화학단지
18	우창실업(주)	충청남도 서산시 지곡면 빗돌머리길 2-24	
19	주식회사동남합성	충청남도 서산시 대산읍 죽엽로 413-97	대산석유화학단지
20	코오롱인더스트리(주)대산공장	충청남도 서산시 대산읍 대죽1로 100	대산석유화학단지
21	한국내화서산공장(주)	충청남도 서산시 대산읍 죽엽로 285-15	대산석유화학단지
22	한농화성대산공장	충청남도 서산시 대산읍 독곶2로 96-75	대산석유화학단지
23	한화종합화학(주)대산사업장	충청남도 서산시 대산읍 독곶2로 103	대산석유화학단지
24	한화토탈(주)	충청남도 서산시 대산읍 독곶2로 103	대산석유화학단지
25	현대오일뱅크	충청남도 서산시 대산읍 평신2로 182	대산석유화학단지
26	현대케미칼(주)	충청남도 서산시 대산읍 평신2로 181	대산석유화학단지
27	현대과워텍	충청남도 서산시 지곡면 충의로 958	

- 아래 표는 서산시에서 제공한 사업장 배출구 복합악취 측정자료임
- 최근 측정자료 기준 6개 사업소에서 엄격한 배출허용기준 500배를 초과한 것으로 조사되었으며, 6개 사업소는 배출구 측정자료가 없는 것으로 확인되었음

[표 4-13] 대산석유화학단지 내 주요 사업장 배출구 복합악취 측정결과 ('19~'21년)

구분	사업장명	최근농도(배)	최대농도(배)	비고
1	(주)KCC대죽2공장	100 (21.03.12.)	100 (21.03.12.)	
2	(주)LG화학대산공장	208 (21.05.14.)	3,107 (19.09.17.)	
3	(주)동남합성 대산2공장	100,000 (20.05.22)	100,000 (20.05.22)	배출허용기준 초과
4	(주)케이씨대죽1공장	100 (20.02.11)	208 (19.11.19)	
5	(주)케이씨아이	100 (19.06.21)	100 (19.06.21)	
6	KPX그린케미칼(주)	-	-	
7	롯데엠알시	-	-	
8	롯데케미칼(주)대산공장	300 (21.05.14)	300 (21.05.14)	
9	미원이오디주식회사	-	-	
10	베올리아워터코리아대산(주)	-	-	
11	주식회사동남합성	300 (20.05.22)	300 (20.05.22)	
12	코오롱인더스트리(주)대산공장	100 (20.10.12)	100 (20.10.12)	
13	한국내화서산공장(주)	-	-	
14	한농화성대산공장	-	-	
15	한화중합화학(주)대산사업장	144 (21.02.19)	144 (21.02.19)	
16	한화토탈(주)	669 (21.05.14)	669 (21.05.14)	배출허용기준 초과
17	현대오일뱅크	300 (21.06.01)	3,000 (21.05.14)	
18	현대케미칼(주)	100 (21.02.19)	100 (21.02.19)	
19	현대코스모(주)	1,000 (21.03.12)	1,000 (21.03.12)	배출허용기준 초과
20	현대오씨아이(주)	448 (21.01.28)	448 (21.01.28)	
21	(주)이엠테크	14,422 (21.04.01)	100,000 (20.05.22)	배출허용기준 초과
22	(주)서광하이테크	100 (21.02.19)	100 (21.02.19)	
23	서남환경에너지	669 (21.02.19)	6,694 (19.06.21)	배출허용기준 초과
24	두양산업	4,481 (20.08.20)	4,481 (20.08.20)	배출허용기준 초과



[그림 4-15] 서산시 내 주요 악취배출사업장 위치

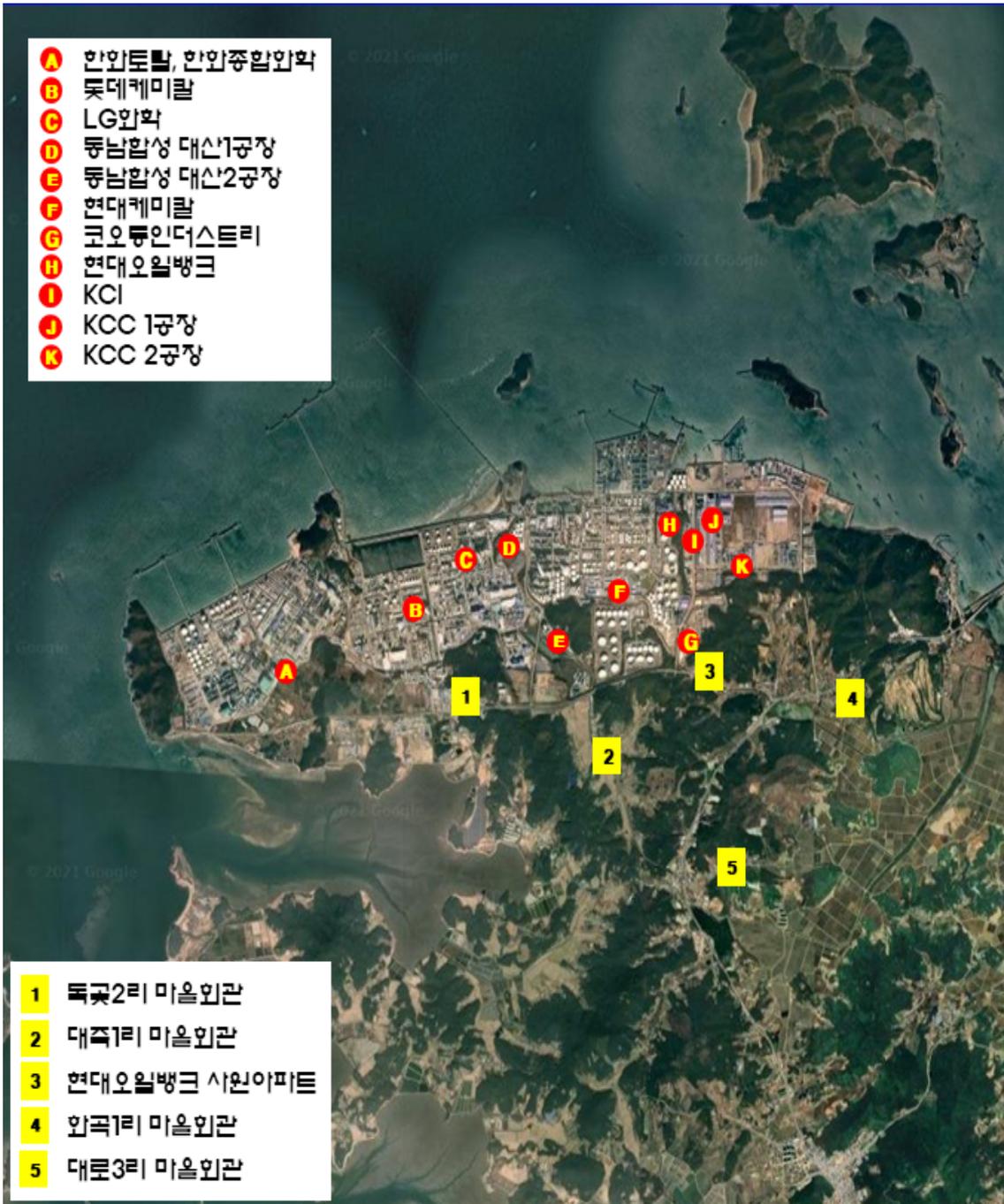
- 배출구 복합악취 측정자료가 존재하는 18개 사업장 중 배출구 세부정보가 존재하는 최종 12개 사업장에 대하여 악취배출량을 산정하였으며, 확산모델링의 배출원 자료로 사용하였음
- 관심좌표는 주변 악취민원 및 피해지역 5곳을 선정하였으며, 악취배출원 및 관심좌표의 위치는 아래와 같음

[표 4-14] 대산석유화학단지 주변 악취민원 및 피해지역

구분	구분	주소	UTM 좌표(X)	UTM 좌표(Y)	고도 (m)	비고
1	독곶2리 마을회관	서산시 대산읍 평신1로 438	266663	4096832	17	
2	대죽1리 마을회관	서산시 대산읍 죽엽로 195	268557	4096149	6	
3	현대오일뱅크 사원아파트	서산시 대산읍 평신2로 26	269944	4097159	36	
4	화곡1리 마을회관	서산시 대산읍 반곡길 35	271778	4096740	8	
5	대로3리 마을회관	서산시 대산읍 영좌동길 120	270051	4094768	34	

[표 4-15] 대산석유화학단지 내 사업장 복합악취 배출량

사업장명	UTM 좌표(X)	UTM 좌표(Y)	고도 (m)	높이 (m)	온도 (℃)	직경 (m)	유속 (m/s)	배출량_ 최근 (OU/s)	배출량_ 최대 (OU/s)
한화토탈(주)	264274	4097231	7	14.8	38.9	0.68	7.0	1,493	1,493
한화종합화학(주)	264274	4097231	7	24.0	63.5	1.25	11.2	1,606	1,606
(주)롯데케미칼	266069	4097900	11	13.2	27.8	0.44	11.9	492	492
엘지화학(주)	266821	4098556	10	15.0	104.2	0.55	4.1	147	2,191
(주)동남합성 대산공장	267210	4098615	20	4.0	24.5	0.50	2.0	109	109
(주)동남합성 대산2공장	267830	4097594	6	4.0	24.5	0.50	2.0	36,393	36,393
현대케미칼(주)	268819	4098119	8	60.7	193.0	3.05	5.8	2,483	2,483
코오롱인더스트리	269747	4097473	24	4.7	26.2	0.54	6.4	134	134
현대오일뱅크(주)	269516	4098889	8	56.2	139.6	2.79	16.4	19,847	198,474
케이씨아이	269754	4098805	10	24.0	63.5	1.25	11.2	1,115	1,115
(주)KCC 대죽1공장	270001	4098826	10	22.5	88.9	1.21	8.0	694	1,444
(주)케이씨씨 대죽2공장	270248	4098398	10	25.3	11.1	0.30	16.5	112	112



[그림 4-16] 대산석유화학단지 약취배출원 및 민원지역

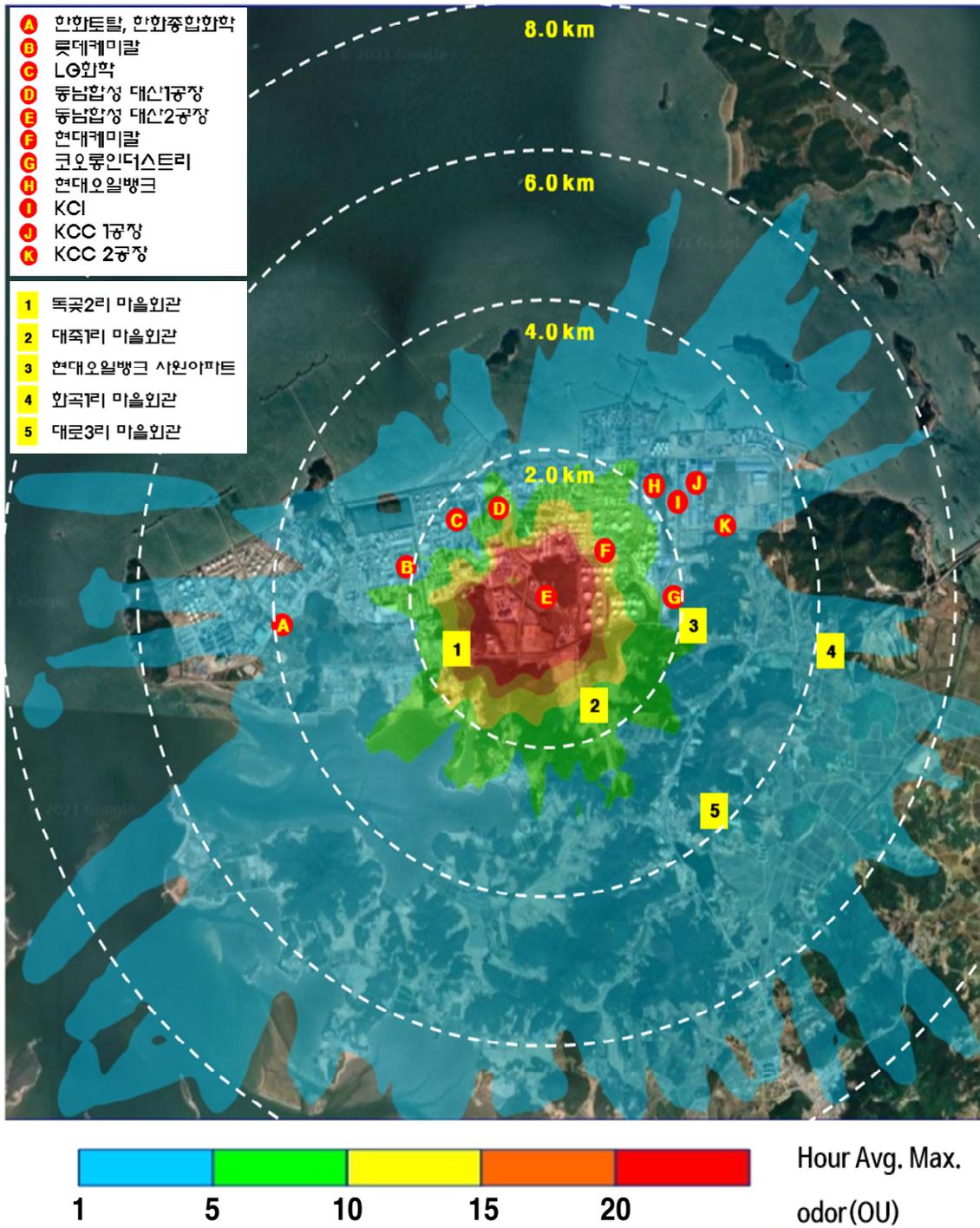
### 3. 악취확산모델링 결과

#### 가. 전체 악취배출원 최근 악취배출량 적용 모델링 결과

- 아래 그림은 대산석유화학단지 12개 배출원의 최근 측정값을 적용한 확산모델링 결과임
- 보통의 후각을 보유하고 있는 사람의 50%가 감지할 수 있는 악취농도인 1 OU의 영역(하늘색)과 대부분의 사람이 감지하는 농도이며, 불쾌감을 느끼는 5 OU (녹색), 기타지역 부지경계의 엄격한 배출허용기준 10 OU (노란색), 공업지역 부지경계 엄격한 배출허용기준 15 OU (주황색), 공업지역 부지경계 배출허용기준 20 OU (붉은색)으로 범례를 설정함
- 악취배출량이 가장 많은 동남합성 대산2공장(E지점)을 중심으로 최대 8km(남쪽) 까지 확산되는 것으로 나타났음
- 모델링에 의한 1시간 평균 최대 농도는 약 172.03 OU이며, 악취배출량이 가장 많은 동남합성 대산2공장의 영향으로 판단됨
- 반경 2km 영역은 대부분 5 OU 이상으로 나타나 악취민원의 우려가 상당하며, 사업장과 이격거리가 적은 지역은 20 OU 이상으로 매우 높은 농도로 누구나 악취를 감지하고 불쾌감을 느낄정도의 농도로 나타났음
- 관심지역은 독곶2리 마을회관에서 1시간 평균 최대농도가 10.6 OU로 가장 높게 나타났으며, 2020년 9월 2일에 발현한 것으로 확인됨
- 그 외 관심지역도 아래 표와 같으며 최대 농도가 발현이 6월 ~ 9월로 악취민원이 가장 높은 온도상승기(4월~10월)에 포함된 것으로 조사되었음

[표 4-16] 관심좌표 악취확산 모델링 최대 농도 (전체 배출원-최근값 기준)

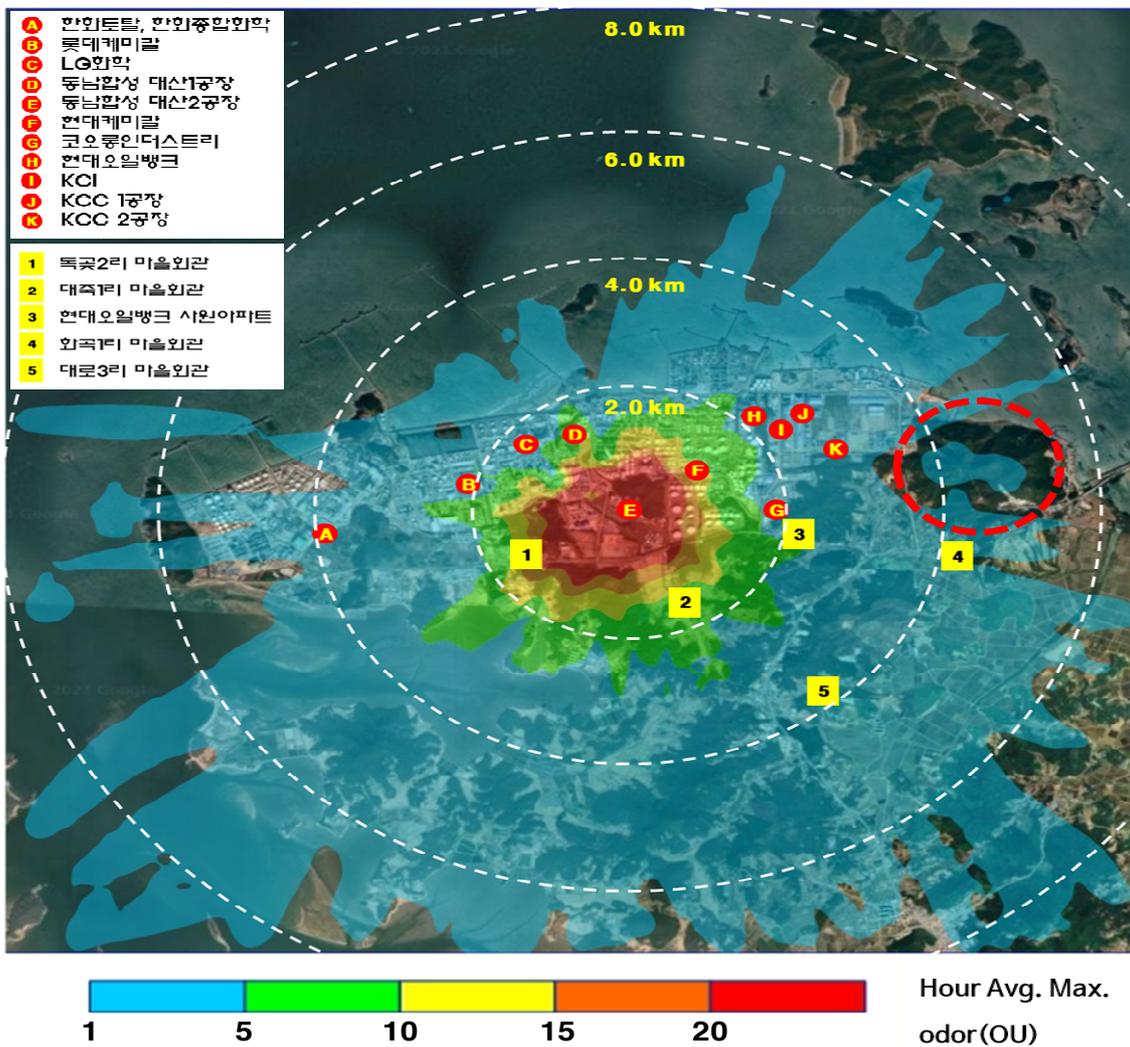
순위	관심좌표명	1시간 평균 최대 농도(OU)	1시간 평균 최대 농도 날짜
1	독곶2리 마을회관	10.6	2020-09-02 2:00
2	대죽1리 마을회관	8.5	2021-08-27 22:00
3	현대오일뱅크 사원아파트	3.7	2021-06-02 21:00
4	대로3리 마을회관	2.6	2020-09-14 22:00
5	화곡1리 마을회관	1.8	2020-09-17 0:00



[그림 4-17] 대산석유화학단지 악취확산모델링 결과  
(전체 배출원\_최근 배출량 적용)

나. 전체 악취배출원 최대 악취배출량 적용 모델링 결과

- 아래 그림은 대산석유화학단지 12개 배출원에서 측정된 최대 복합악취 농도를 적용한 확산모델링 결과임
- 동남합성 2공장의 배출량이 동일하여, 앞 절의 결과와 거의 유사한 결과가 도출됨
- 동쪽 부근(붉은색 원)에서 1 OU이상의 결과가 추가로 발견되었으며, 이는 현대오일뱅크의 영향으로 판단되며, 5 OU 이상이 감지되는 영역은 변동이 없으며, 관심지역에서의 결과도 동일하게 나타났음



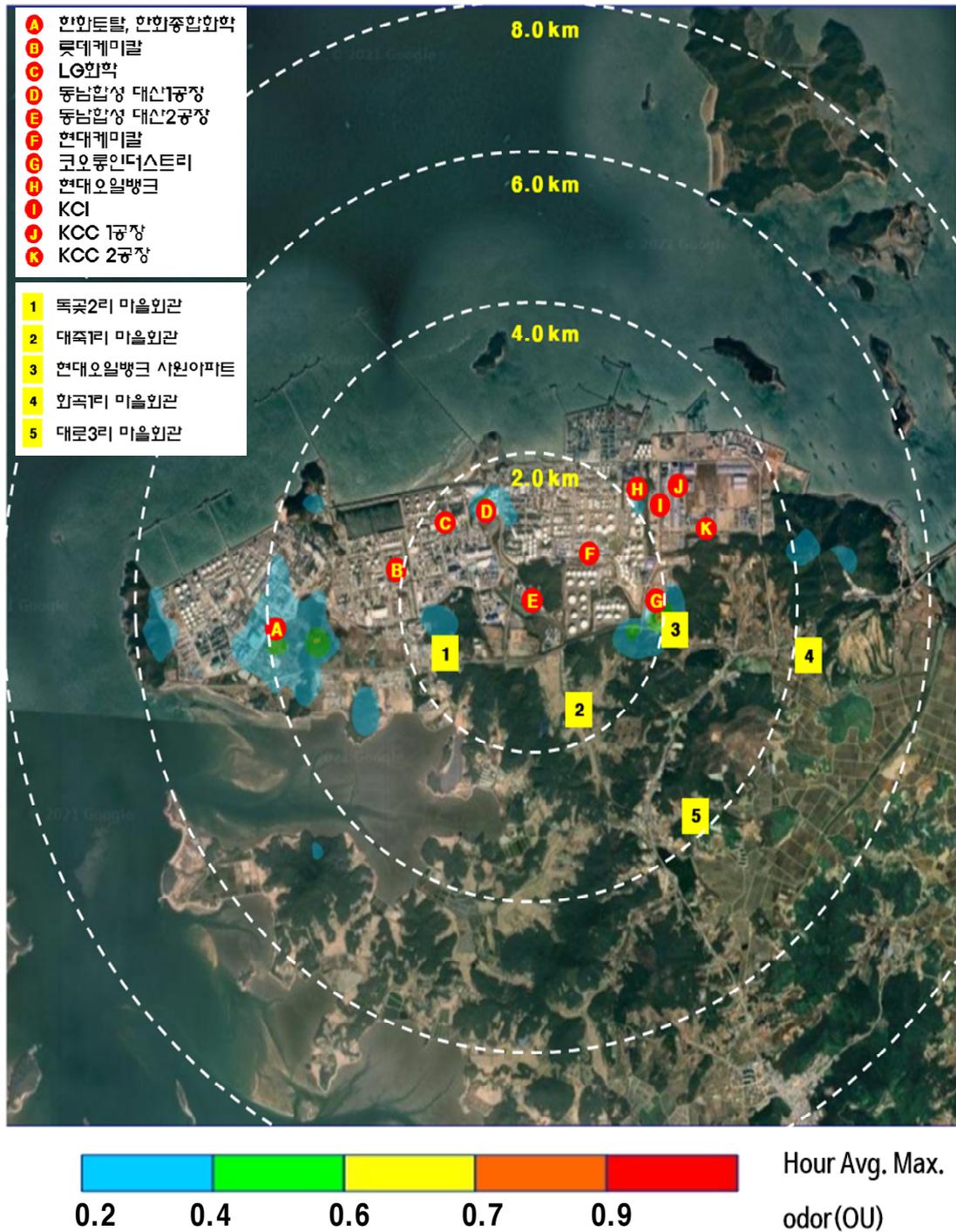
[그림 4-18] 대산석유화학단지 악취확산모델링 결과  
(전체 배출원\_최대 배출량 적용)

다. 일부 배출원 최근 악취배출량 적용 모델링 결과

- 전체 악취배출원 12개를 적용한 악취확산모델링 결과, 동남합성 2공장의 영향이 큰 것으로 판단되어 제외한 11개 배출원의 배출량만 적용하여 재수행하였음
- 1시간 평균 최대 농도는 0.94 OU로 172.03 OU가 나타난 기존 결과와 비교하여 매우 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타남. 보통의 후각을 보유한 사람의 50%가 감지하는 1 OU를 넘지 않는 것으로 조사되었음
- 기존의 범례(1, 5, 10, 15, 20)로는 표현이 어려워 0.2, 0.4, 0.6, 0.7, 0.9의 영역으로 구분하였으며, 대부분 0.2~0.4 OU 영역으로 조사됨. 각 배출원을 중심으로 약 1 km 내외로 악취 확산이 일어나는 것으로 나타났음
- 관심지역은 현대오일뱅크 사원아파트에서 1시간 평균 최대농도가 0.34 OU로 가장 높게 나타났으며, 2020년 9월 14일에 발현한 것으로 나타남. 그 외 민원지역은 아래 표와 같으며 0.1 OU 이하로 조사되어 악취민원의 우려가 크지 않을 것으로 예상됨

[표 4-17] 관심좌표 악취확산 모델링 최대 농도 (일부 배출원-최근값 기준)

순위	관심좌표명	1시간 평균 최대 농도(OU)	1시간 평균 최대 농도 날짜
1	현대오일뱅크 사원아파트	0.34	2020-09-14 22:00
2	독곶2리 마을회관	0.08	2021-06-27 23:00
3	대죽1리 마을회관	0.05	2020-09-16 23:00
4	화곡1리 마을회관	0.04	2020-09-14 7:00
5	대로3리 마을회관	0.04	2021-04-09 0:00



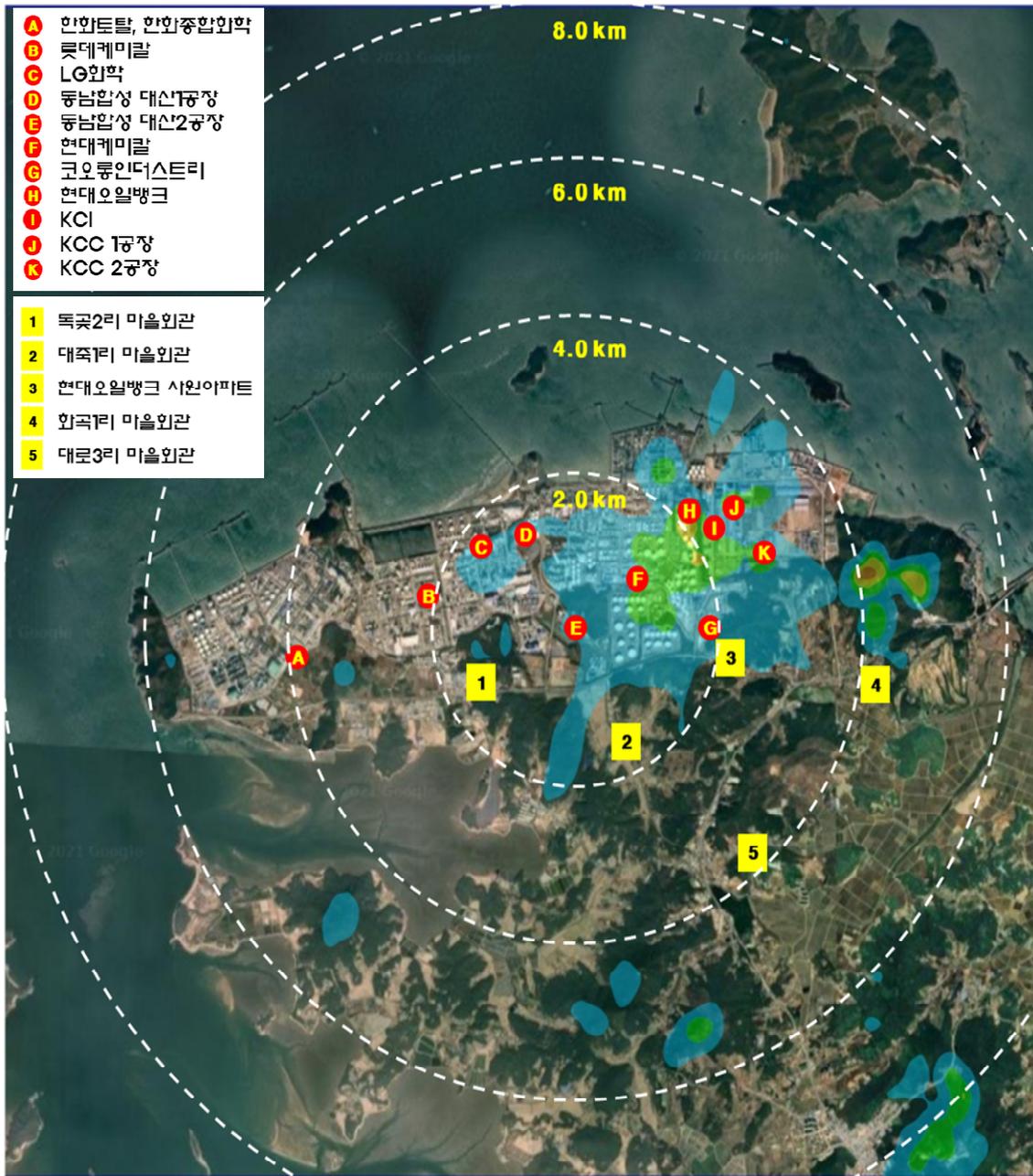
[그림 4-19] 대산석유화학단지 악취확산모델링 결과  
(일부 배출원\_최근 배출량 적용)

라. 일부 배출원 최대 악취배출량 적용 모델링 결과

- 앞절의 11개 배출원에서 발생된 최근 악취배출량을 최대 수준의 악취 농도가 발현될 경우를 가정하여 악취확산모델링을 수행함
- 앞절의 배출량과 비교하여 LG화학(C지점), 현대오일뱅크(H지점), KCC 1공장(J지점)의 배출량이 증가하였으며, 현대오일뱅크 복합악취 농도는 300배에서 3,000배로 큰 폭으로 증가하였음
- 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 영역으로 구분하였으며, 1 OU 이상 악취확산거리는 약 2 km 이내인 것으로 확인됨
- 1시간 평균 최대 농도는 기존의 0.94 OU에서 2.51 OU로 증가하였으며, 악취확산 거리도 크게 증가한 것으로 나타났음. 5시 방향 약 8 km 부근 일부지역에서도 1 OU 이상의 악취농도도 발현하는 것으로 나타남.
- 대부분의 사람들이 불쾌감을 느끼고 악취를 감지하는 5 OU 이상 수준으로 나타난 지역은 없으나, 순간적(5분 이내)으로 강하게 취기가 나타나는 악취의 특성상 악취가 전혀 감지되지 않는 수준은 아니라고 판단됨
- 관심지역에서는 현대오일뱅크 사원아파트에서 0.42 OU로 가장 높게 나타났으며, 다른 민원지역도 0.20 ~ 0.38 OU 수준으로 조사되었음

[표 4-18] 관심좌표 악취확산 모델링 최대 농도 (일부 배출원-최대값 기준)

순위	관심좌표명	1시간 평균 최대 농도(OU)	1시간 평균 최대 농도 날짜
1	현대오일뱅크 사원아파트	0.42	2021-03-03 7:00
2	화곡1리 마을회관	0.38	2020-09-14 7:00
3	대죽1리 마을회관	0.36	2021-08-09 6:00
4	독곶2리 마을회관	0.28	2021-03-10 7:00
5	대로3리 마을회관	0.20	2020-12-08 9:00



- A** 한화토탈, 한화중합화학
- B** 롯데케미칼
- C** LG화학
- D** 동남합성 대산1공장
- E** 동남합성 대산2공장
- F** 현대케미칼
- G** 코오롱인더스트리
- H** 현대오일뱅크
- I** KCI
- J** KCC 1공장
- K** KCC 2공장

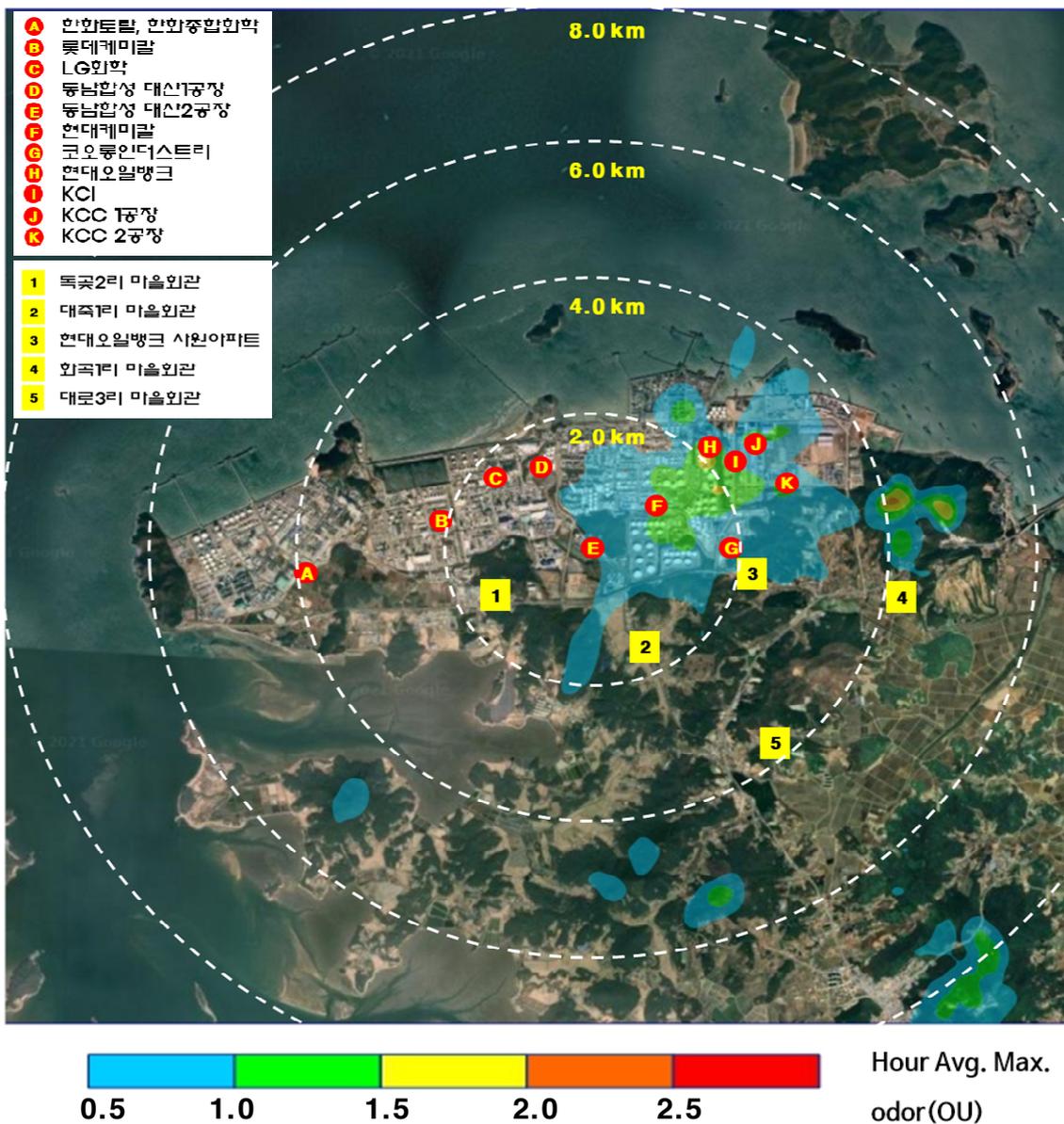
- 1** 독곶2리 마을회관
- 2** 대쪽7리 마을회관
- 3** 현대오일뱅크 사원아파트
- 4** 함곡7리 마을회관
- 5** 대로3리 마을회관



[그림 4-20] 대산석유화학단지 악취확산모델링 결과  
(일부 배출원\_최대 배출량 적용)

마. 현대오일뱅크 최대 악취배출량 적용 모델링 결과

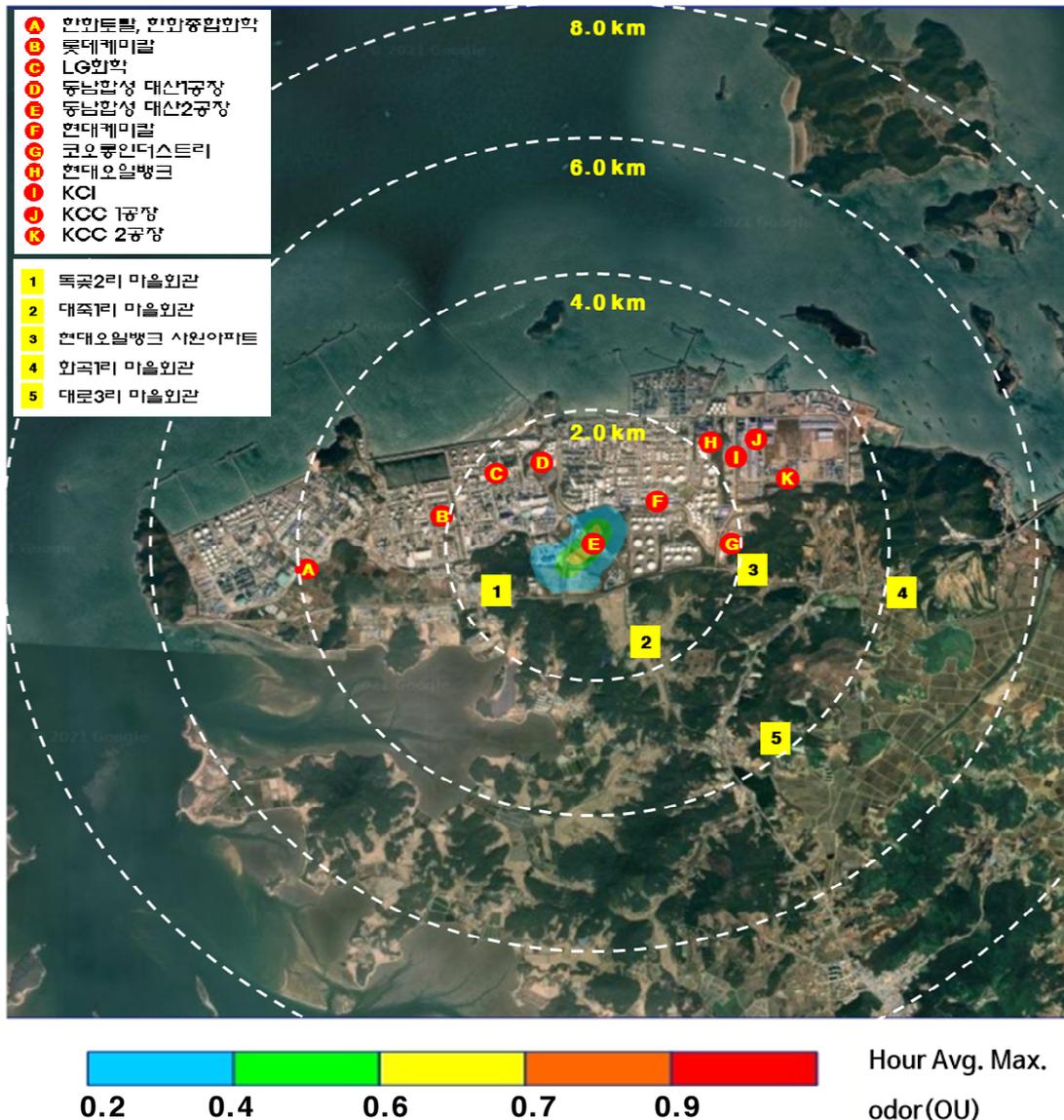
- 아래 그림은 현대오일뱅크 1개의 배출원에서 최대 악취농도 3,000배를 적용하여 확산모델링을 수행한 결과임
- 앞절과 동일한 범례(0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5)를 적용하였으며, 일부 영역(A지점 부근)을 제외하고는 거의 유사하게 나타나, 동남합성을 제외한 11개 배출원 중 현대오일뱅크에 의한 악취영향이 가장 클 것으로 추측됨



[그림 4-21] 현대오일뱅크 최대배출량 적용 악취확산모델링 결과

바. 동남합성 2공장 배출허용기준 만족 적용 모델링 결과

- 아래 그림은 이번 악취확산모델링에서 가장 큰 영향을 끼친 동남합성 대산2공장 배출구에서의 복합악취 농도를 엄격한 배출허용기준인 500배 이하 값인 448배 (기준 100,000배)로 가정하여 적용한 모델링 결과임
- 1시간 평균 최대 농도는 0.77 OU (기준 172.03 OU)로 나타나 감지농도 1 OU 이하로 나타남. 관심지역에서의 농도도 모든 지점에서 0.1 OU 이하 수준으로 조사되어 악취민원의 우려가 상당히 감소할 것으로 판단됨



[그림 4-22] 동남합성 2공장 배출허용기준 이하 적용 악취확산모델링 결과

#### 4. 악취확산모델링 수행 결론

- 대산석유화학단지 내 주요 악취배출원 12곳의 측정결과(서산시 제공값)를 적용한 악취확산 모델링 수행함
- 최근 1년(20.09~21.08) 기상자료(대산AWS)를 활용하였으며, 다양한 조건을 적용하여 모델링 수행함
- 복합악취 농도 측정 최근값 기준 배출허용기준 초과 사업장 : 한화토탈(주), (주)동남합성 대산2공장.
- (주)동남합성 대산2공장의 영향이 매우 큰 것으로 나타났으며, 독곶2리 마을회관의 경우 10 OU 초과 하는 경우도 나타나 악취민원이 우려됨
- 주요 악취 확산거리는 반경 2~3 km 이며, 1 OU 기준 6 km 이상 확산되기도 함
- 악취배출량 최대값 적용시, 현대오일뱅크(주)가 주요한 악취배출원으로 판단됨 (주)동남합성 대산2공장 제외)
- 배출허용기준(500배) 이하 적용시, 악취확산 농도 및 거리가 크게 감소하는 것으로 나타나, 배출허용기준 준수가 매우 중요한 것으로 판단됨
- 대산석유화학단지 내 모든 배출구가 적용되지 않은 것이 한계이나, 배출구의 관리로 충분한 악취 관리가 가능할 것으로 판단됨
- 배출구 정보 누락 사업장 중 배출허용기준 초과 사업장 관리도 중요함 (주)이엠테크 100,000배, 서남환경에너지 6,694배, 두양산업 4,481배, 현대코스모(주) 1,000배)
- 다만 본 연구는 장기적이고 체계적인 연구 수행이 아닌 대산석유화학단지 내 악취유발물질을 대상으로 현상파악을 목적으로 한 단편적인 연구로 지역에 대한 신뢰도 높은 결과를 제시하진 못함
- 비용 및 연구기간의 한계로 단편적인 데이터를 활용하여 모델링을 수행하였기 때문에 본 지역에 대한 신뢰도 높은 결과값 도출을 위해서는 중장기적이고 지속적인 정책 지원이 필요하며, 이후 개선 효과 분석을 위한 정밀한 모델링 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 판단됨

## 제5장. 정책제언

- 비산누출공정에 대한 배출량 조사 및 현실화
  - 비산누출되는공정에 대한 배출량을 산정
  - 공정개선통한 개선 전후의 배출량 삭감효과 분석
  - 산정된 배출량에 대한 검증과 현실화 → CAPSS에 반영
  
- 주요 고농도지역에 대한 원인규명 및 개선대책 추진
  - 쓰레기 매립장, 현대오일뱅크 사택 등 지속적으로 고농도로 나타나는 지역에 대한 정밀조사 필요
  - 현행 법규상 관리 사각지대(플레이스택, 비산누출공정등)에 대한 조사 필요
  - 대상 지역에 대한 공정조사 및 배출량 검토, 공정개선 사업 추진
  
- 맞춤형 측정소 설립및 운영(조례지정)
  - ML을 이용한 2017년과 2021년도측정, 충남보건연 이동관측결과 지속적인 농도 증가 확인
  - 원인 규명 및 개선대책이 수립되지 못한 채 2개 산업단지 추가 설치 예정
  - 지역 현실에 맞는 오염물질 선별 및 실시간으로 모니터링 할 수 있는 측정소 구축 필요
  - 조례지정 등 정책적 지원도 추가되어야 함(충남도, 서산시, 지역 전문가, 주민 등 공동 대응 필요)
  
- 신규배출원(선박) 등에 대한 관심과 관리체계 마련
  - 물류화물에 사용되고 있는 선박 등에 의한 배출량 산정 및 지역 기여도 추정연구 추진

## 참고문헌

- 기상청 (2021) 기상자료개발 포털
- 국가미세먼지정보센터 (2020) 2017 국가 대기오염물질 배출량
- 국립환경과학원 (2012) 대산지역 유해대기오염물질(HAPs) 조사 연구
- 국립환경과학원 (2017) KORUS-AQ 예비종합보고서
- 국립환경과학원 (2021) 대기오염측정망 설치·운영 지침
- 김종범, 박덕신, 박세찬, Micheal Versoza, 이용일, 이상신, 박종성, 김정호 (2019) 실시간 측정장비를 활용한 석유화학단지 입자상오염물질 및 휘발성유기화합물의 농도 특징, 한국대기환경학회지 35(6), 683-700
- 대산공단협의회 (2019) 대산공단지역 대기환경영향 조사
- 박지혜 등 (2006) 대도시 및 주변 교외지역의 대기 중 휘발성 유기화합물 농도 비교에 관한 연구, 한국대기환경학회지 22(6), 767~778
- 백성욱 외 (2005) 포항과 구미의 대규모 산업단지 대기 중 휘발성 유기화합물 농도 분포 특성에 관한 연구, 한국독성보건학회지 20(2), 167~178
- 백성욱 외 (2020) 대규모 석유화학단지 대기 중 휘발성유기화합물의 농도분포특성 : 대산지역을 중심으로, 한국대기환경학회지 36(1), 32-47
- 서산시 (2019) 서산시 대산석유화학단지 악취실태조사 용역 보고서
- 서산시 (2020) 2020년 제26회 서산 통계연보
- 유재연 외 (2010) 서해연안 도시지역의 대기질 특성 연구: 군산시 산업단지와 전주시 도로변에서 VOCs 농도분포 특성 연구, 한국대기환경학회지 2(6), 633~648
- 임문순 외 (2006) 안산시 반월공단을 중심으로 한 주요 배출시설의 업종 및 배출시설별 VOC의 배출특성, 한국대기환경학회지 22(3), 325~336
- 전주민 외 (2005) 여수석유화학단지 내 VOCs에 대한 오염원 분류표의 개발 및 CMB 모델에 의한 기여도 산정, 한국대기환경학회지 21(1), 83~96
- 정성훈 외 (2006) 국내 매립지에서의 BTEX 성분을 중심으로 한 VOCs 배출량 산정 연구, 한국대기환경학회지 22(2), 209~222
- 충청남도 (2020) 2020년 제60회 충남 통계연보
- 충청남도 보건환경연구원 (2017~2021) 대기환경모니터링 결과
- 한국산업단지공단 (2016) 한국산업단지 총람

- 한국산업단지공단 (2021) 전국산업단지 현황지도
- 한국환경정책평가연구원 (2017) 2차 생성 미세먼지 저감을 위한 암모니아 관리정책 마련 기초연구
- APM엔지니어링 (2021) 이동형 측정/분석 시스템 구축 제안
- Duncan et al (2016) A space-based, high-resolution view of notable changes in urban NO<sub>x</sub> Pollution around the world (2005~2014), Journal of Geophysical Research : Atmospheres, 121, 976-996
- Fried et al (2020) Airborne formaldehyde and volatile organic compound measurements over the Daesan petrochemical complex on Korea's northwest coast during the Korea-United states Air Quality study : Estimation of emission fluxes and effects in air quality, Elementa Science of the Anthropocene, 8(1), 1-28
- Sarkar et al (2019) Point source characterization of VOC emissions using aircraft measurements in the vicinity of Seoul metropolitan area, American Geophysical Union, Fall Meeting abstract

# 부록

부록 1 이동관측관련 자료

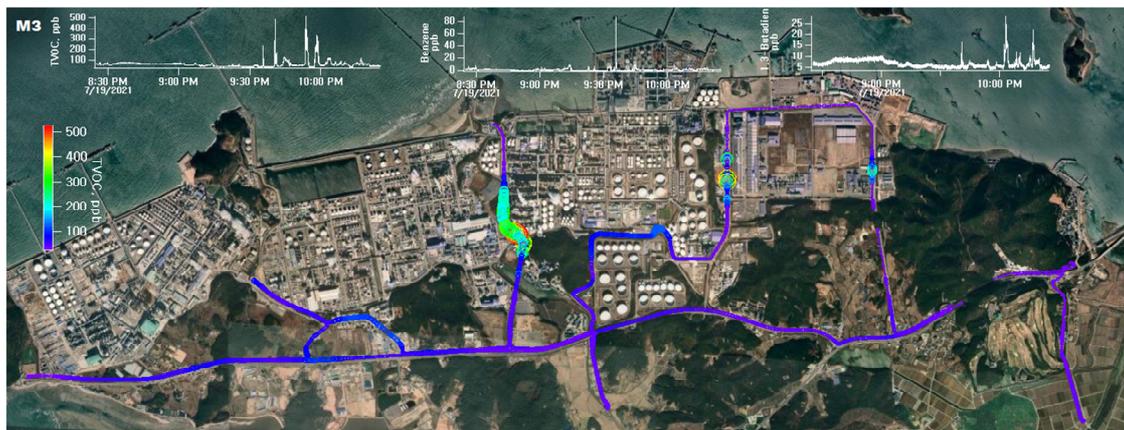
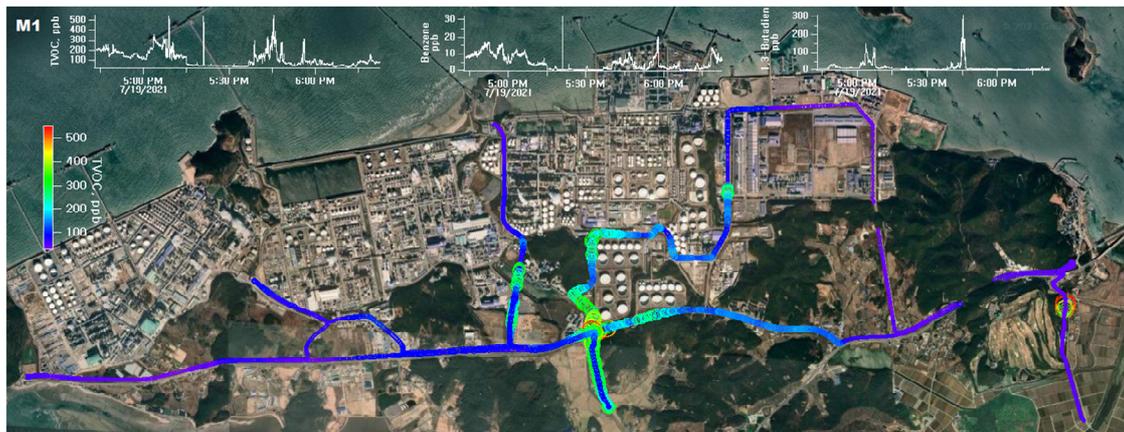
부록 2 게재논문 (1건)

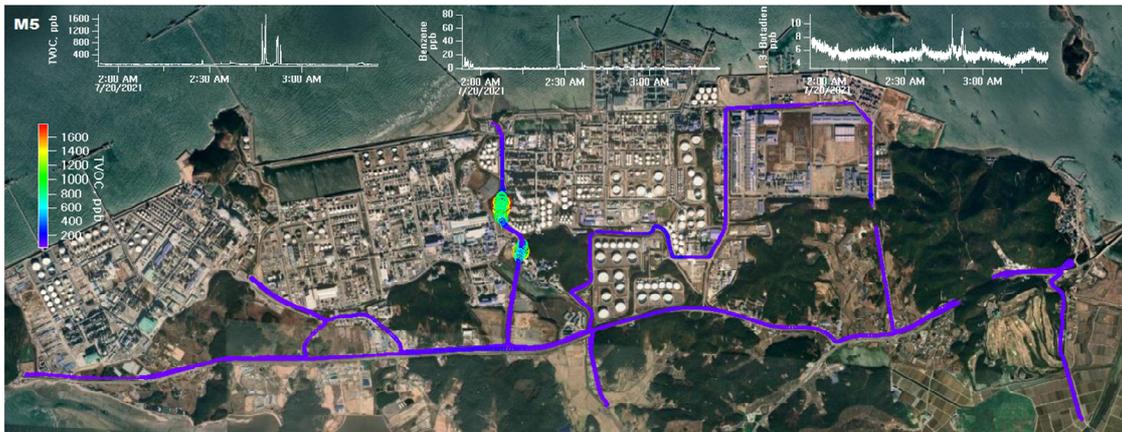
부록 3 학술대회 발표초록 (1건)



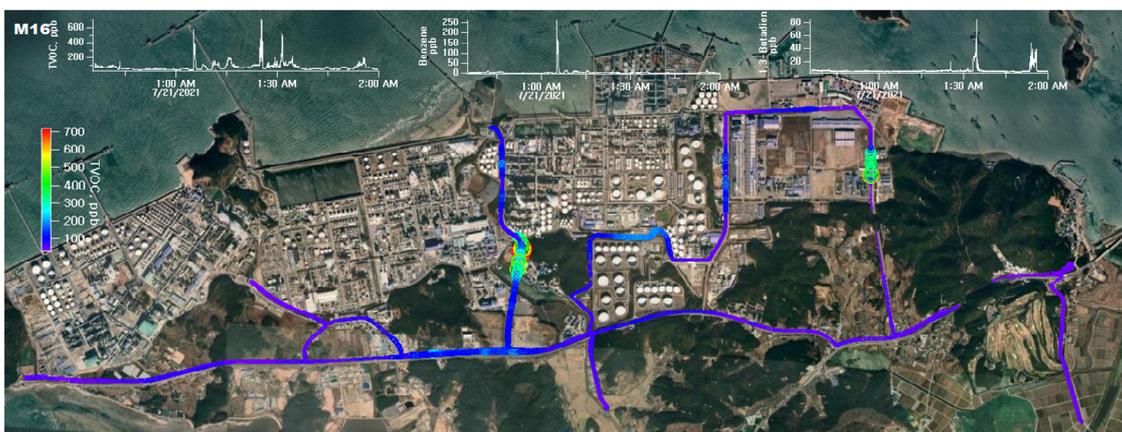
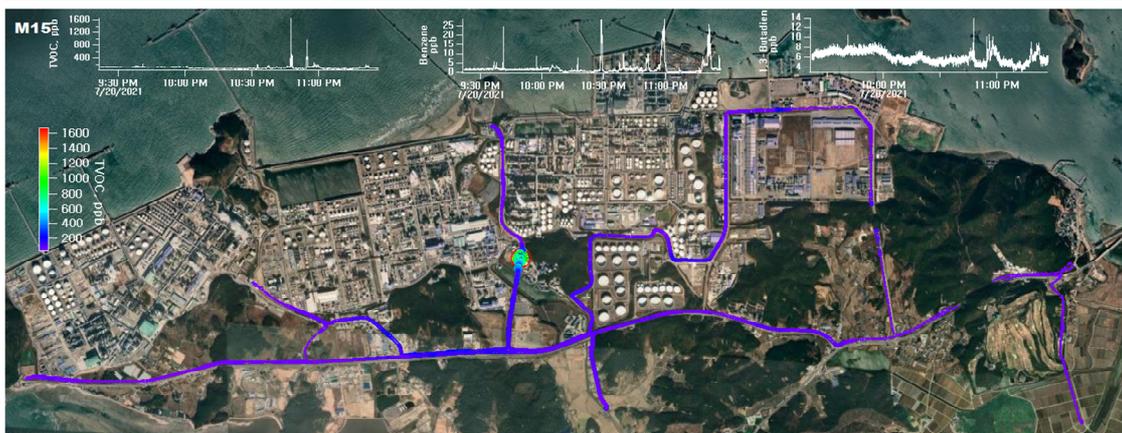
부록 1. 이동관측관련 자료 : 측정일정 및 관련 정보

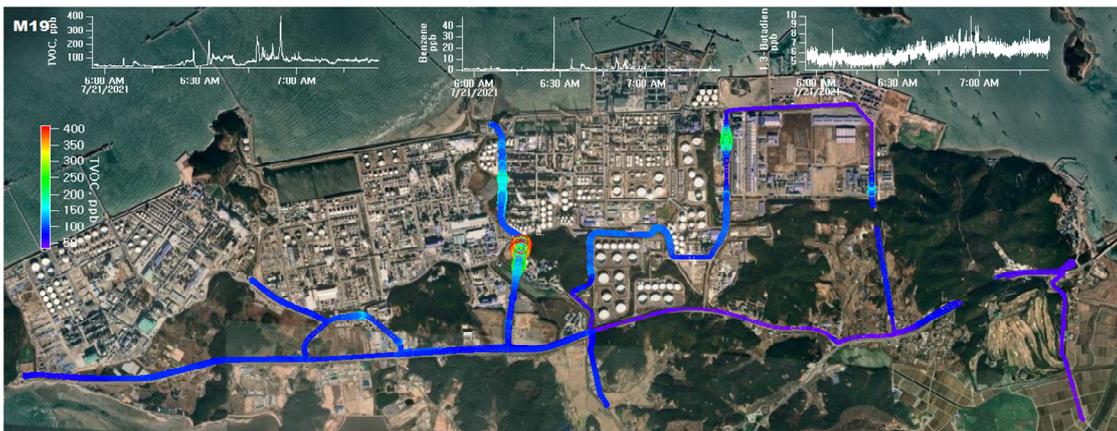
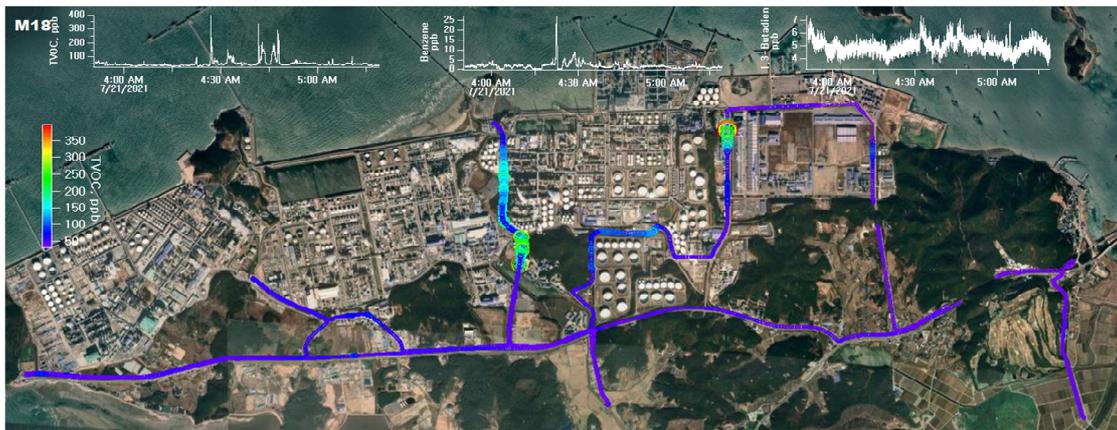
Label	일시	시간	회차	날씨
M1	7월 19일	17:06 ~ 18:20	오후	-
M2		19:07 ~ 20:23	오후	-
M3		21:05 ~ 22:24	오후	-
M4	7월 19일 ~ 20일	23:05 ~ 23:59	오후	-
M5	7월 20일	01:59 ~ 03:23	새벽	흐림
M6		04:00 ~ 05:26	새벽	흐림
M7		06:00 ~ 07:30	새벽	흐림
M8		08:00 ~ 09:41	오전	맑음
M9		09:59 ~ 11:15	오전	맑음
M10		12:00 ~ 13:21	오전	맑음
M11		13:59 ~ 15:20	오전	맑음
M12		15:54 ~ 17:18	오후	맑음
M13		18:03 ~ 19:24	오후	맑음
M14		19:59 ~ 21:20	오후	맑음
M15		21:59 ~ 23:25	오후	맑음
M16	7월 21일	00:38 ~ 01:59	새벽	대체로 흐림
M17		02:06 ~ 03:30	새벽	대체로 흐림
M18		03:52 ~ 05:18	새벽	청명함
M19		06:00 ~ 07:24	새벽	청명함
M20		08:02 ~ 09:20	오전	청명함
M21				
M22		12:24 ~ 13:40	오전	청명함
M23		14:01 ~ 15:20	오전	청명함
M24		16:44 ~ 18:07	오후	맑음
M25		18:11 ~ 19:29	오후	맑음
M26	7월 21일 ~ 22일	21:01 ~ 22:32	오후	맑음
M27	7월 22일	22:39 ~ 00:02	오후	맑음
M28		00:14 ~ 01:41	새벽	맑음
M29		01:47 ~ 03:12	새벽	맑음
M30		03:21 ~ 04:43	새벽	-
	7월 22일	07:44 ~	고정측정	
	7월 26일	~ 08:11		
M31	7월 26일	08:24 ~ 09:51	오전	
M32		10:14 ~ 11:42	오전	
M33		12:00 ~ 13:27	오전	맑음
M34		14:21 ~ 15:51	오전	맑음
	7월 26일	16:10 ~	고정측정	
	7월 27일	~ 08:31		
M35	7월 27일	09:04 ~ 10:30	오전	맑음
M36		10:34 ~ 11:58	오전	맑음
M37		12:03 ~ 13:27	오전	맑음
M38		13:32 ~ 14:54	오전	맑음

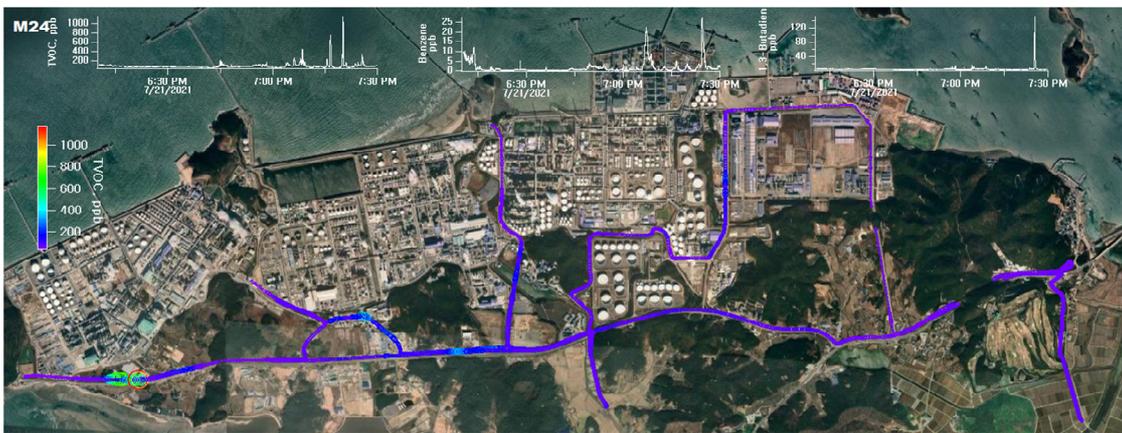


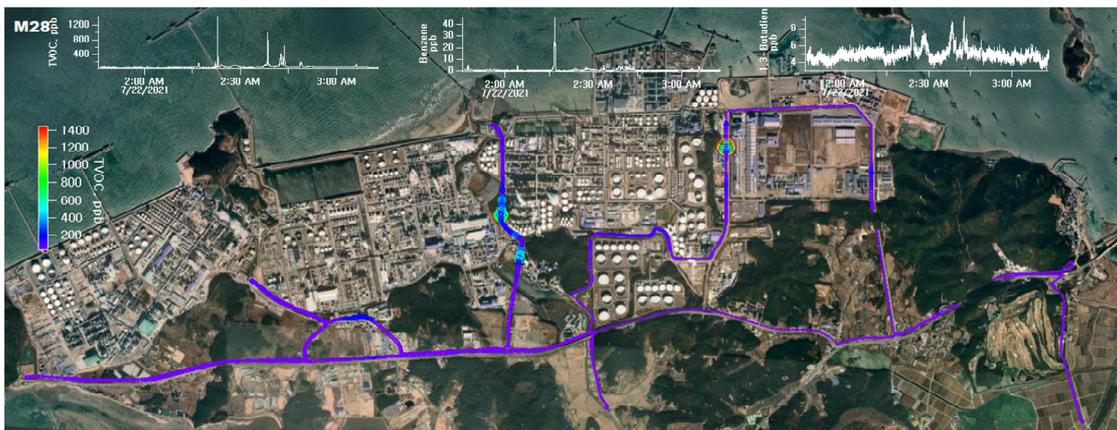
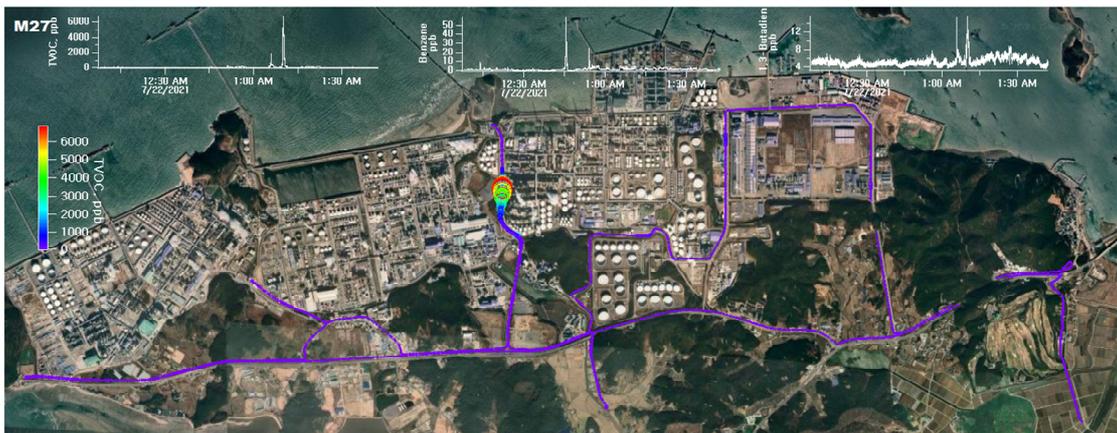
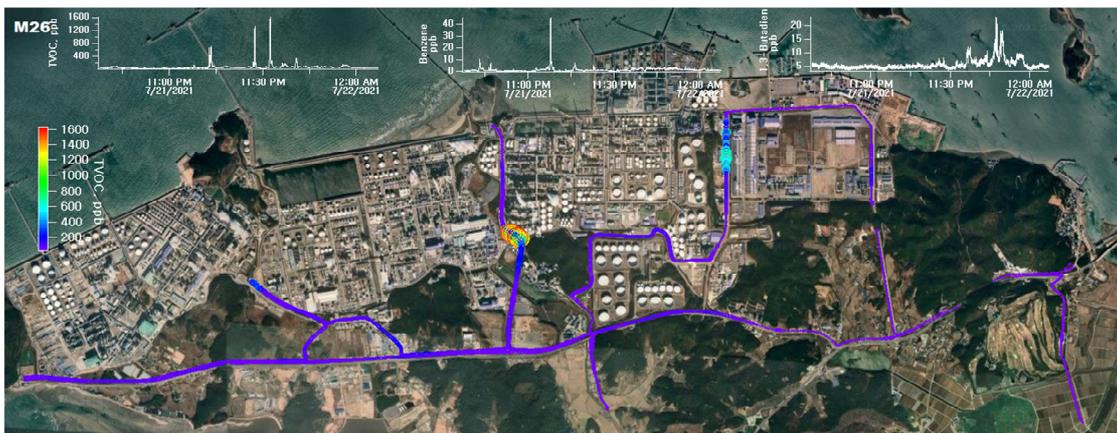
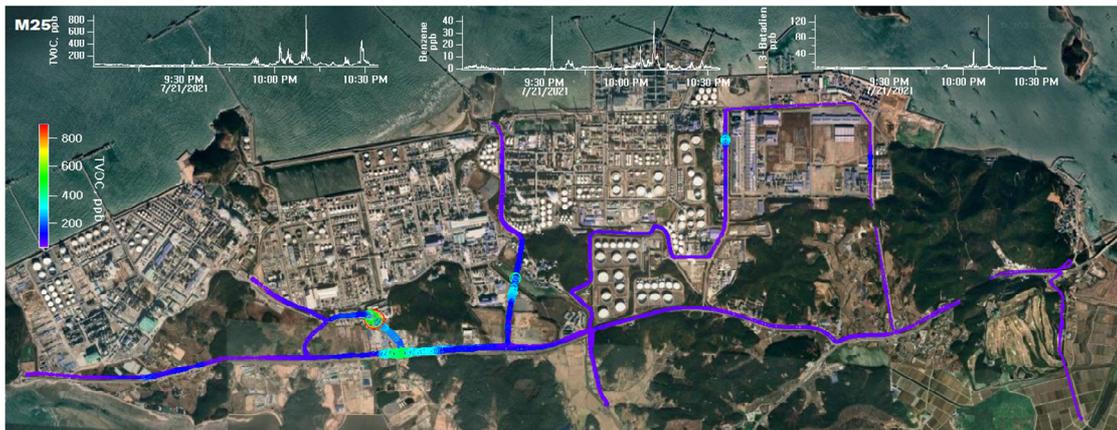


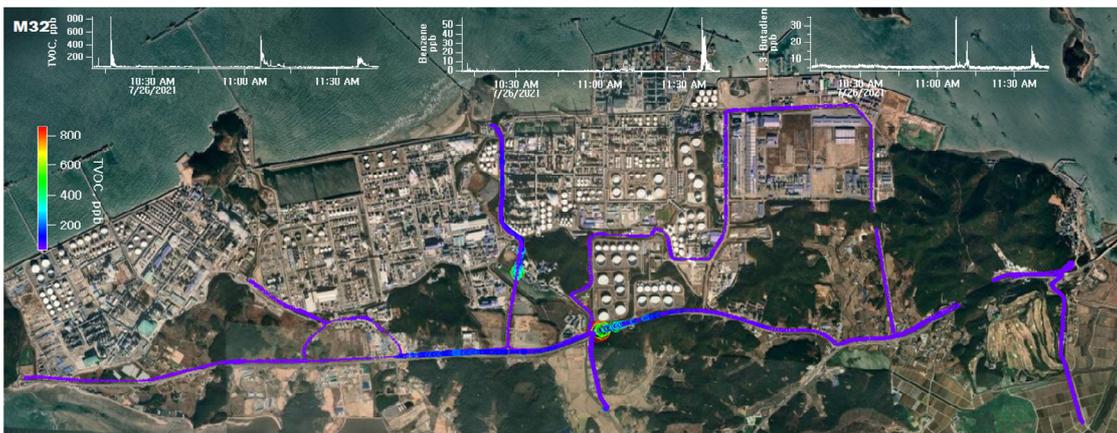


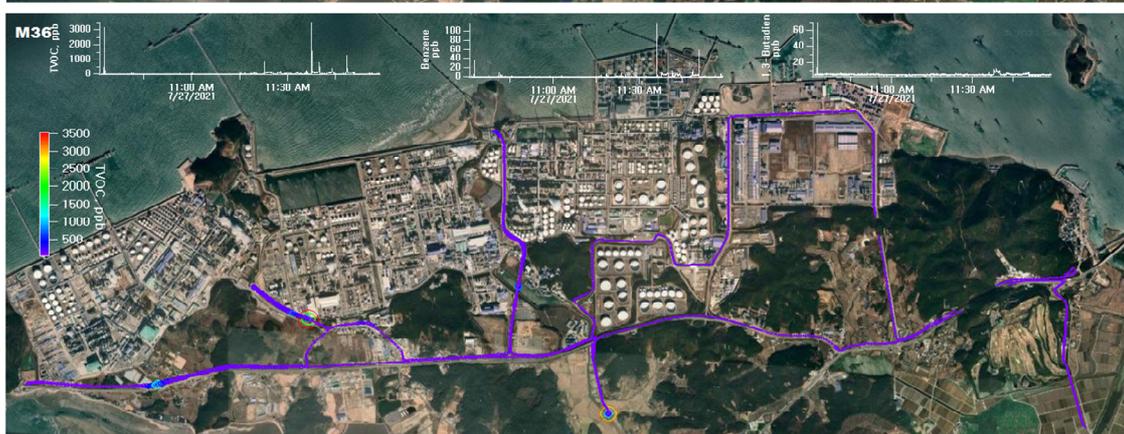
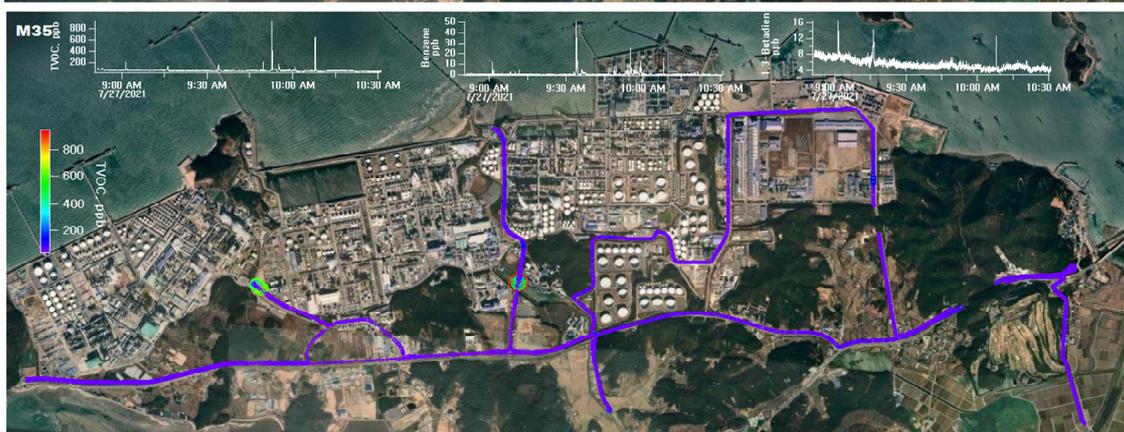
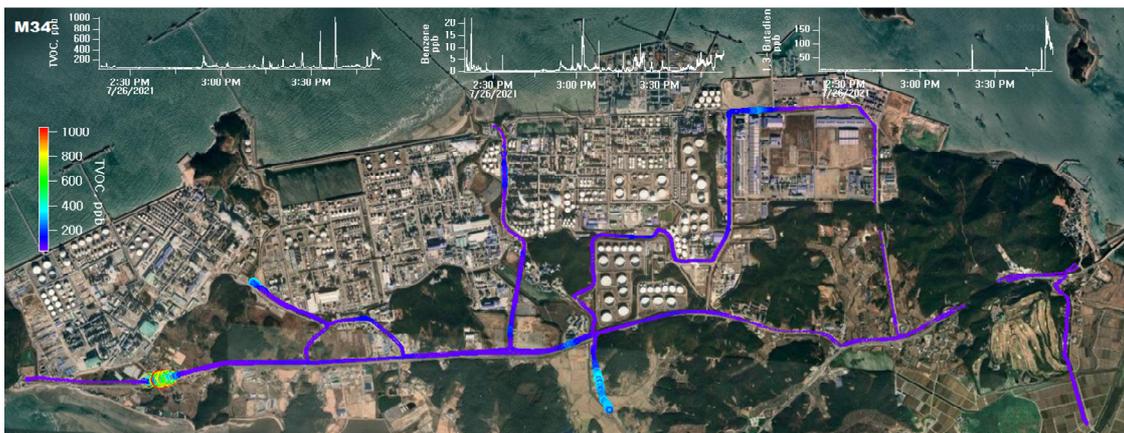


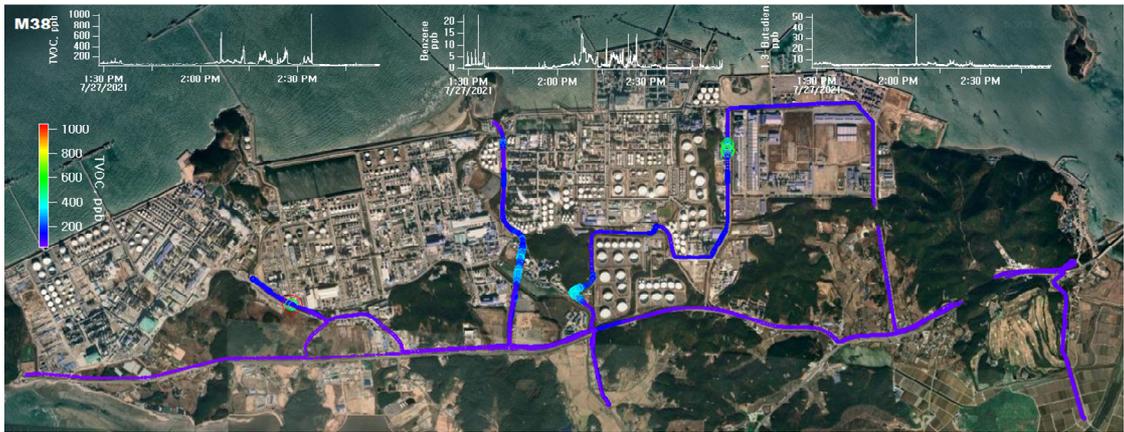
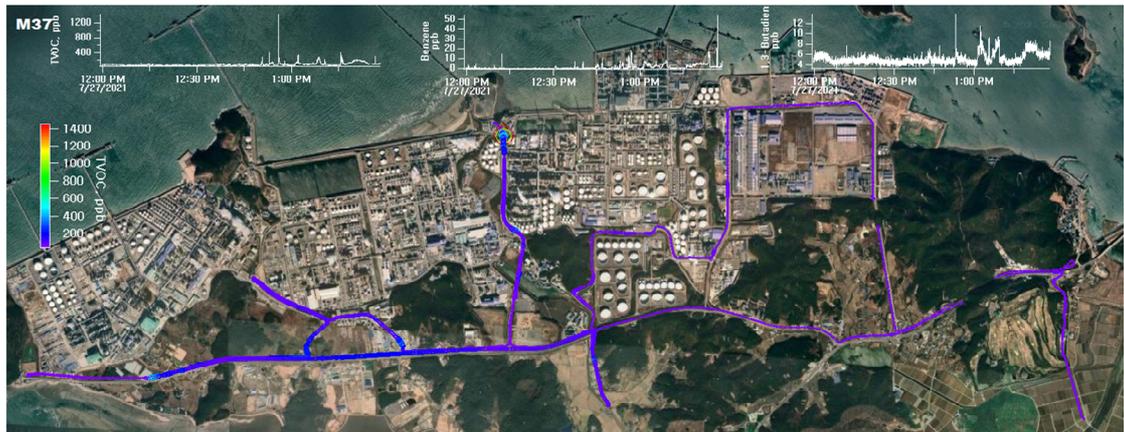














논문

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

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

김창혁, 김정호<sup>1)</sup>, 노수진<sup>2)</sup>, 이선엽<sup>3)</sup>, 윤수향<sup>3)</sup>, 이상신<sup>3)</sup>, 박종성, 김종범<sup>3),\*</sup>

국립환경과학원 대기환경연구과, <sup>1)</sup>(주)미세먼지연구소,

<sup>2)</sup>연세대 환경공해연구소, <sup>3)</sup>충남연구원 서해안기후환경연구소

Chang Hyeok Kim, Jeongho Kim<sup>1)</sup>, Sujin Noh<sup>2)</sup>, Seonyeop Lee<sup>3)</sup>,  
Soo Hyang Yoon<sup>3)</sup>, Sang Sin Lee<sup>3)</sup>, Jong-Sung Park, Jong Bum Kim<sup>3),\*</sup>

Climate & Air Quality Research Department, National Institute of Environmental Research,  
Incheon, Republic of Korea

<sup>1)</sup>Fine Particle Lab. Co. Ltd., Incheon, Republic of Korea

<sup>2)</sup>Institute for Environmental Research, Yonsei University, Seoul, Republic of Korea

<sup>3)</sup>Seohaean Research Institute, ChungNam Institute, Hongseong, Republic of Korea

접수일 2021년 5월 17일  
수정일 2021년 9월 23일  
채택일 2021년 10월 14일

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

\*Corresponding author  
Tel : +82-(0)41-630-3924  
E-mail : kjb0810@cnire.kr

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

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

## 1. 서론

충청남도는 한반도 서쪽에 위치하고 있어 중국 동으로부터 유입되는 장거리 이동오염물질에 대해 직접적인 영향을 받고 있으며, 발전소, 산업단지와의 대형배출시설이 다수 위치하고 있어 대기오염이 사회문제로 대두되고 있다 (Kim *et al.*, 2017). 2021년 기준 전국에서 운영 중인 석탄화력발전소 59기 중 29기가 충

청남도 당진, 태안, 보령, 서천에서 운영 중에 있다. 당진에 위치한 제철소는 굴뚝원시감시체계 (telemontoring syste, TMS) 기준 2016년~2020년까지 대기오염물질 배출량 1~3등을 차지하고 있으며 (Son *et al.*, 2020; Lee and Park, 2019), 서산의 대산석유화학단지는 2018년도 대기정책지원시스템 (clean air policy support system, CAPSS) 기준 충남지역 휘발성유기화합물 (volatile organic compounds, VOCs)의 33.3%를

### 부록 3. 한국대기환경학회 2021년도 정기학술대회 초록집

#### 충청남도 석유화학단지 주변지역 악취영향 조사

#### Investigation of the effect of odor in the vicinity of the petrochemical complex in Chungcheongnam-do

이선열 · 김종범 · 윤수향 · 최영남 · 송혜영 · 조민  
철 · 김아람 · 이상신

충남연구원 서해안기후환경연구소

충청남도에는 전국에 있는 석탄화력 발전소 58기 중 28기가 위치하고 있으며, 대산 석유화학단지, 태안화력발전소 및 당진화력 발전소가 위치하고 있다. 특히, 대산화학단지의 경우 울산, 여수 지역과 더불어 대표적인 석유화학단지로 알려져 있으며, 2021년도를 기준으로 총 6개의 산업단지(국가 1개, 일반 5개)가 위치해 있다. 대산 석유화학단지 인근에 설치되어 있는 자동기상측정장비(AWS)의 데이터가 연간 추풍이 북서풍으로 확인되었고, 이에 따라 산업단지에서 배출된 대기오염물질이 남동쪽에 위치한 주변 마을에 영향을 미칠 것으로 예측된다. 충남연구원 서해안기후환경연구소에서 “대산공단지역 대기환경영향 조사” 과제를 수행하면서 대산석유화학단지 부근에서 이동측정차량을 활용하여 실시간 VOCs를 측정할 결과, 시간대별로 차이가 있지만 고농도 사례를 보였고, 특히 1,3 부타디엔은 최대 125.1 ppb까지 나타났다. 또한, 대산 석유화학단지의 경우 일반 산업단지로 분류되어 있으며, 국가산업단지로서 대기보전특별대책지역으로 지정되어 관리되고 있는 여수, 울산 산업단지와 대비된다. 이에 본 연구에서는 대산석유화학단지를 대상으로 선행연구 사례 조사를 통하여, 실태조사 및 자료분석을 실시하고, 대산지역 대기오염(악취물질 모델링) 분석을 통하여, 주변 영향권을 규명하고자 한다. 더 나아가 영향권 내 지역에 대한 오염물질 분포특성을 파악하고 이를 활용하여 사업장별 우선 관리지역 설정 및 영향권 지역 개선대책 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

#### 사 사

본 연구는 충남녹색환경지원센터의 지원을 받아 “대산공단 인근 지역 악취모델링 연구”의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

# 주 의

1. 이 보고서는 충남녹색환경지원센터에서 시행한 연구개발 사업의 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 충남녹색환경지원 센터에서 시행한 연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.