

휘발성유기화합물 자동측정망 운영

- 대기 중 벤젠, 톨루엔 등 인체 유해물질 농도를 연속 측정하여 지역오염도 평가 자료로 이용
- 오존생성 전구물질 파악과 발생빈도, 오존생성 기여도 평가 등 VOC 오염저감을 위한 기초 자료 확보

1. 조사개요

- 운영기간 : 2009. 1. ~ 2009. 12.(1년)
- 측정소위치
 - ▷ 감전동측정소 : 부산광역시 사상구 감전동 주민자치센터(옥상)
 - 주변특징 : 측정소는 중·소규모 공장과 주거지역이 혼재한 감전동 주민자치센터 옥상에 설치되어 있으며, 추정오염원으로는 산업도로와 서북서 방향 남해고속도로 서부 톨게이트를 지나온 자동차로부터 발생하는 배기가스 영향이 예상되고, 지역 대기배출업소('09.1.1현재) 819개소도 VOCs 배출원으로 추정된다.
 - ▷ 장림동측정소 : 부산광역시 사하구 장림1동 주민자치센터(옥상)
 - 주변특징 : 북서방향에 장림공단, 서쪽방향으로 피혁단지가 위치해 있고, 동쪽과 남동방향에는 아파트 등 대규모 주거지역이 있으며, VOCs 배출 추정오염원은 공단내 섬유, 제강, 제철, 기계금속 등 488개의 대기배출업소와 공단지역으로 왕래하는 원·부자재 및 생산제품 운송용 대형 화물차량에서 발생하는 배기가스 등으로 예상된다.



그림 1. 측정소 위치도

2. 조사방법

○ 운영방법

- ▷ 자료점검 : 측정소에 연결된 인터넷으로 실시간 운영상태 점검
- ▷ 자료운영 : 매시간 자료생성, 매일자료 분석 및 보고서 작성
- ▷ 자료분석 : 매월 1회 취합 및 보고서 작성

○ 측정항목

- ▷ VOCs(Volatile Organic Compounds) 56개 항목

Benzene류	톨루엔, m/p-자일렌, 스타이렌, o-자일렌
VOC(C2~C3류)	에탄, 에틸렌, 프로판, 프로필렌, 아세틸렌
VOC(C4류)	i-부탄, n-부탄, trans부텐,1-부텐, cis2부텐
VOC(C5류)	시클로펜탄, i-펜탄, n-펜탄, trans2펜텐, 1-펜텐, cis2펜텐, i-프렌
VOC(C6류)	22DM부탄, 23DM부탄, 2메틸펜탄, 3메틸펜탄, n-헥산, 1-헥센, MC펜탄, 벤젠, 시클로헥산
VOC(C7류)	24DM펜탄, 2메틸헥산, 23DM펜탄, 3메틸헥산, n-헵탄, MC헥산
VOC(C8류)	224TM펜탄, 234TM펜탄, 2메틸헵탄, 3메틸헵탄, n-옥탄, 에틸벤젠
VOC(C9류)	n-노난, i-P벤젠, n-p벤젠, m-E톨루엔, p-E톨루엔, 135TM벤젠, o-E톨루엔, 124TM벤젠, 123TM벤젠
VOC(C10~C12류)	n-데칸, m-DE벤젠, p-DE벤젠, n-운데칸, n-도데칸

- 분석기기 : Gas Chromatography(GC)

3. 조사결과

○ 기상자료조사

- ▷ 감전동측정소 주풍향 및 풍속
 - 전반기 : 서북서풍(빈도 21.0%), 풍속 2.4 m/s
 - 후반기 : 서북서풍(빈도 20.3%), 풍속 2.2 m/s
- ▷ 장림동측정소 주풍향 및 풍속
 - 전반기 : 서풍(빈도 22.8%), 풍속 2.1 m/s
 - 후반기 : 서풍(빈도 21.2%), 풍속 2.0 m/s

○ 측정결과 및 POCP 기여율 평가

휘발성유기화합물(VOCs)이 오존의 생성에 기여하는 정도는 VOCs의 농도와 VOCs 자체가 가지고 있는 광화학오존생성잠재력(POCP : Photochemical Ozone Creation Potential)의 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 POCP 평가방법에는 Ethylene을 기준물질(POCP=100)로 하여 대기 중 OH-와의 반응성 정도에 의한 평가방법이 일반적이다. VOCs의 경우 다양한 배출원에서의 서로 다른 배출강도 및 대기 중에서의 광화학 반응성, 국지적 기상요인 등 매우 복합적인 요인에 따라 농도가 결정되어 다른 오염물질에 비해 거동양상 파악이 매우 어렵다. 그림 1.은 2009년도 측정소별 POCP가 높은 10개 물질을 나타내었다.

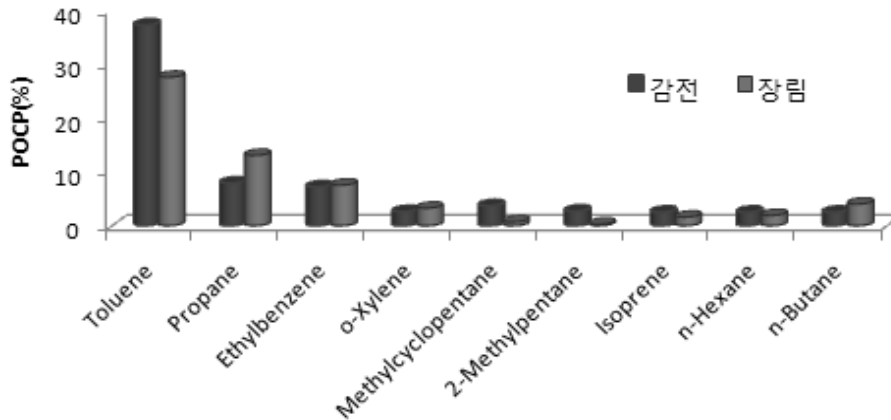


그림 2. 측정소별 POCP 기여율

○ 감전동측정소

- ▷ 감전동의 VOCs 주요검출물질은 표 1.과 같다. POCP 기여율이 가장 높았던 Toluene의 연평균 농도는 9.7 ppb(전년 11.2 ppb), 기여율은 37.2%(전년 35.2%)로 나타났다. 다음으로 m/p-Xylene 1.1 ppb(전년 1.3 ppb), 기여율 8.1%(전년 8.4%), 이어서 파라핀계열 화합물인 Propane이 5.9 ppb(전년 8.9 ppb)로 검출되었으며, 대체로 방향족화합물(Toluene, m/p-Xylene, Ethylbenzene)이 높은 것으로 평가되었다.
- ▷ VOCs 주요 10개 검출물질의 POCP 기여율은 76.9%(전년 78.1%), 기여율이 높은 상위 4개 물질의 합산 값이 60.4%(전년 60.2%)로 전년도와 비슷하였으며, 오존생성 기여율에 절대적인 영향을 주는 것으로 나타났다.
- ▷ 기여율이 높은 상위 10개 물질을 전년도와 비교시 POCP 기여율은 1.2% 감소하였으며, 2008년에 주요 10개 물질에 포함되지 않은 2-Methylpentane, Isoprene, n-Hexane의 농도가 높았다.

표 1. 감전동측정소 연평균 VOCs류 주요 검출물질

(농도 : ppb)

2009년				2008년			
항 목	평균 농도	POCP	오존생성 기여율(%)	항 목	평균 농도	POCP	오존생성 기여율(%)
Toluene	9.7	55	37.2	Toluene	11.2	55	35.2
m/p-Xylene	1.1	95	8.1	Propane	8.9	40	9.7
Propane	5.9	40	7.9	m/p-Xylene	1.3	95	8.4
Ethylbenzene	1.5	60	7.2	Ethylbenzene	1.8	60	6.9
Methylcyclopentane	1.2	50	3.7	1,2,4-Trimethylbenzene	0.5	120	4.6
2-Methylpentane	0.9	45	2.7	n-Butane	2.6	40	3.8
o-Xylene	0.5	65	2.6	o-Xylene	0.7	65	3.0
Isoprene	0.5	100	2.5	Ethylene	1.4	100	2.4
n-Hexane	0.9	40	2.5	n-Decane	0.5	45	2.1
n-Butane	1.4	40	2.5	Methylcyclopentane	0.8	50	2.0
주요물질의 오존생성 기여율			76.9	주요물질의 오존생성 기여율			78.1

- ※ 1) POCP(Photochemical Ozone Creation Potential) : 광화학 오존생성 잠재력
- 2) 오염물질의 기여도 = ppb × (분자량/22.4 m³) × 오염물질별 POCP
- 2) 오존생성기여율(%) = (오염물질별 기여도/ 기여도합계) × 100

○ 장림동측정소

- ▷ 장림동의 VOCs 주요검출물질은 표 2.와 같으며 감전동측정소와 같이 Toluene의 농도 6.9 ppb(전년 11.5 ppb)로서 가장 높았으며, POCP 기여율은 27.5%(전년 33.5%)으로 전년도 보다는 낮았다. POCP 기여율이 높은 물질은 전년도와 비슷한 Toluene, Ethylbenzene, m/p-Xylene, o-Xylene 등의 방향족화합물과 파라핀계열의 Propane이 높게 측정되었다.
- ▷ VOCs 주요 10개 검출물질의 오존생성 기여율은 73.0%(전년 77.8%)이며, 기여율이 높은 상위 4개 물질이 56.3%(전년 62.3%)를 차지하고 있는 것으로 나타났다.
- ▷ 전년도와 비교시 상위 10개 물질이 차지하는 오존생성 기여율은 4.8%가 감소하였으며, 2008년에 상위권에 포함되지 않은 isobutane, Ethane이 검출되었다.

표 2. 장림동측정소 연평균 VOCs류 주요 검출물질

(농도 : ppb)

2009년				2008년			
항 목	평균 농도	POCP	오존생성 기여율(%)	항 목	평균 농도	POCP	오존생성 기여율(%)
Toluene	6.9	55	27.5	Toluene	11.5	55.0	33.5
Propane	9.4	40	13.1	Ethylbenzene	2.9	60.0	10.5
m/p-Xylene	1.0	95	8.1	m/p-Xylene	1.6	40.0	9.5
Ethylbenzene	1.5	60	7.6	Propane	8.7	95.0	8.8
n-Butane	2.2	40	4.1	o-Xylene	0.9	30.0	3.6
o-Xylene	0.6	65	3.1	n-Butane	2.5	40.0	3.3
1,2,4-Trimethylbenzene	0.3	120	2.9	1,2,4-Trimethylbenzene	0.4	65.0	3.3
Ethane	10.2	10	2.4	Ethylene	1.3	100.0	2.1
isobutane	1.6	30	2.3	n-Pentane	1.0	50.0	1.6
n-Hexane	0.7	40	1.9	n-Hexane	0.7	40.0	1.5
주요물질의 오존생성 기여율			73.0	주요물질의 오존생성 기여율			77.8

○ 월별 변화추이

- ▷ VOCs 등의 1차 대기오염물질의 월별 변화는 배출량 및 대기 혼합고, 풍속, 풍향 등의 변화에 의해 좌우된다. POCP 평가에서 기여도가 가장 높은 Toluene을 포함한 5개 물질에 대한 월 변화를 측정소별로 살펴보았다.

▷ 감전동측정소

- 감전동은 월별 변화추이에서 기온이 떨어지는 겨울철이 여름철 보다 Toluene, Propane의

배출농도가 높았다. 이는 차량연료의 불완전 연소로 인한 오염물질배출과 난방용 연료 사용증가에 원인이 있을 것으로 추정되며, 그 외 대부분의 VOCs는 불검출 내지 미량검출로 계절유형에 따른 평가는 뚜렷하게 나오지 않았다. 그림 2.은 감전동측정소의 톨루엔, m/p-자일렌 등 방향족화합물을 나타내었으며, 평균농도는 톨루엔 9.7 ppb, 프로판 5.9 ppb로 월별 검출농도 변동 폭이 컸다.

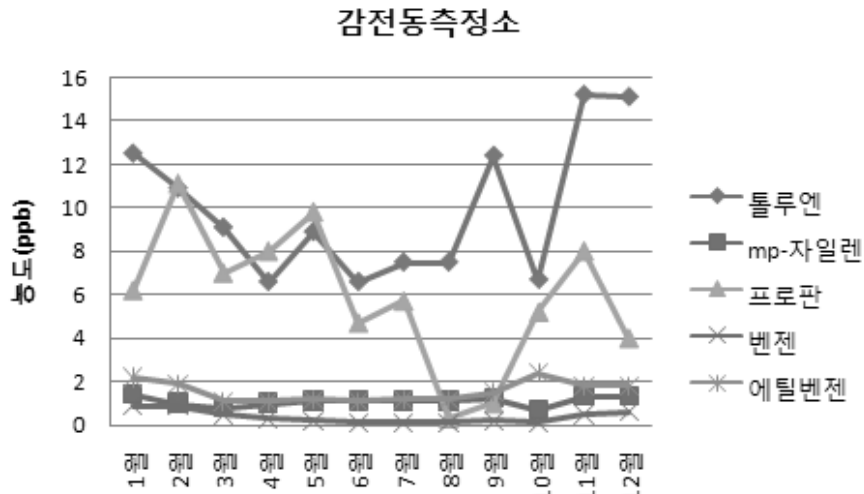


그림 3. 주요 VOCs 물질의 월별농도변화(감전동측정소)

▷ 장림동측정소

- Propane은 월별 변화가 많았으며, POCP 기여율이 높은 Toluene은 12월을 제외하고 감전동측정소 보다 낮았다. Propane은 하절기보다 동절기에 높았으며, 최고는 4월로 나타났고 Ethylbenzene, Xylene은 월별 변동 폭이 낮았다. 그 외 VOCs는 미량검출로 계절유형에 따른 평가는 뚜렷하게 나오지 않았다. 그림 3.은 장림동측정소에서 농도가 높은 물질을 월별로 나타내었다.

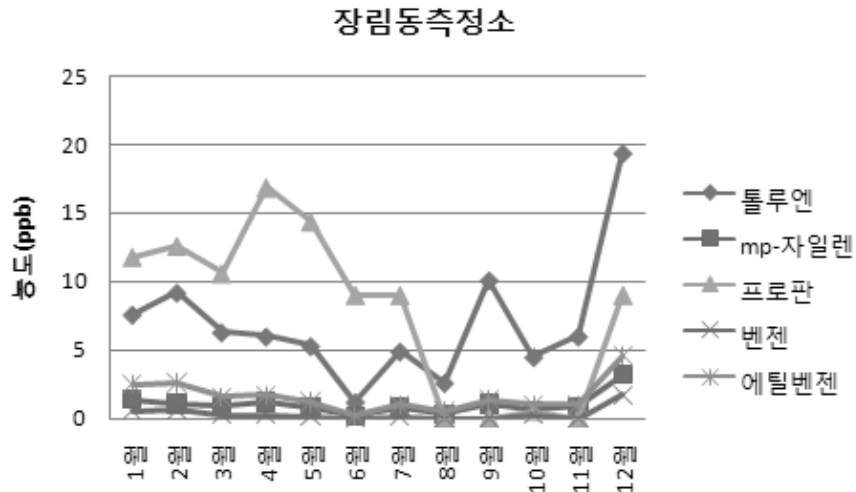


그림 4. 주요 VOCs 물질의 월별농도변화(장림동측정소)

○ POCP 높은 물질의 측정시간대별 농도 변화

▷ POCP 기여율이 높은 Toluene, Ethylbenzene, m/p-Xylene, Propane의 측정시간대별 농도특징은 공장가동이 시작하는 시간대에 증가하고 일반적으로 퇴근시간인 18시~20시까지 완만하게 높은 농도를 유지하는 것으로 나타났다.

- Toluene : 감전동측정소의 일 변동은 07시경에 증가하여 최고농도는 09:00시에 나타났으며, 12:00시 최소에서 다시 증가하고 17:00시 이후 감소하는 경향을 보였다. 장림동측정소도 감전동과 변동 추이는 비슷한 경향을 띄었고, 주변 공장들의 업무시간과 Toluene 농도 증가와 연관됨을 알 수 있었다.
- Ethylbenzene : 소규모 공장이 많은 감전동측정소의 Ethylbenzene 농도는 시간대별 변화가 미미하였으나, 장림동측정소는 기업체 생산 활동이 많은 시간대에 증가하는 경향을 보였다.
- m/p-Xylene, Propane : 시간대별 변화가 거의 없었으며, 감전동측정소는 14:00시 이후 증가하여 17:00시에 최고 농도를 보였고, 장림동측정소는 오전 07:00시에 증가하고 10:00시에 최고 농도를 나타냈다. 환경부 자료에 따르면 대기 중 배출량이 가장 많은 물질 중 하나인 Xylene은 1,091만 Kg/년이 배출되는 것으로 나타났다. 그림 4.는 감전동과 장림동측정소의 측정 시간대별 농도변화를 나타냈다.

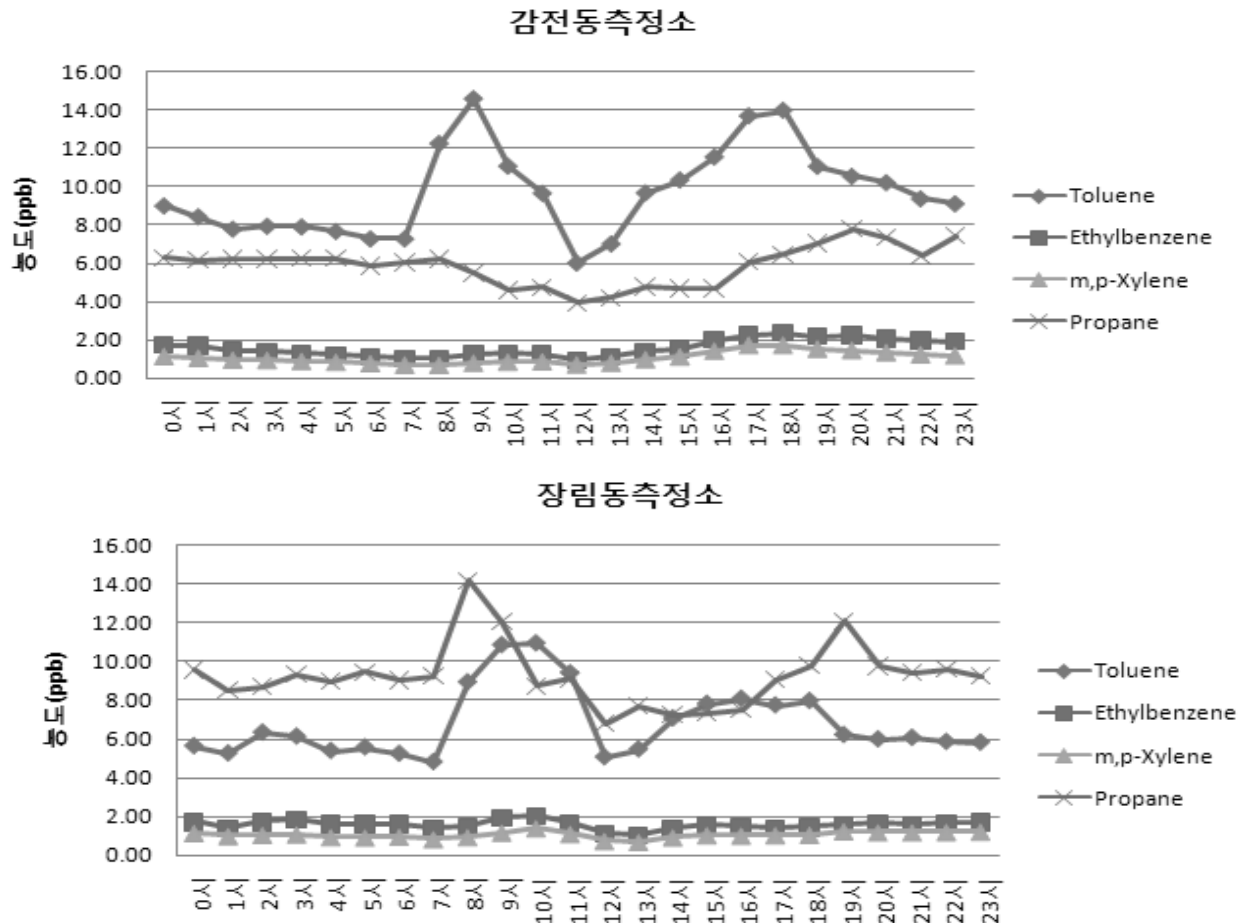


그림 5. POCP 높은 물질의 측정시간대별 농도 변화

○ Benzene

- ▷ 2010년부터 대기환경기준(1.5 ppb이하) 적용을 받는 벤젠(C6H6)은 가연성, 자극성이 강한 맹독성의 방향족 유기화합물로 WHO에서 발암성물질로 규정하는 물질이다.
- ▷ 국립환경과학원 자료에 따르면 벤젠 배출원은 생산공정(석유제품, 제철, 유·무기화학 등) 56.5%, 도로(차량) 17%, 비도로(선박, 비행기 등) 14%, 폐기물처리(소각) 6.5%, 연료연소시설(발전, 난방, 제조업 등) 1.9%, 기타 4.1% 로 조사되었다.
- ▷ 사상구와 사하구의 '09년 벤젠의 시간평균농도는 감전동측정소 0.336 ppb, 장림동측정소 0.342 ppb로 대기환경기준(1.5 ppb)의 22.4%, 22.8% 수준으로 나타났다. 우리시와 비슷한 타 지역의 공단 중 경기도 안산시 반월공단, 대구공업지역, 울산공단, 여수공업지역 등의 대기 중 벤젠농도와 비교에서 감전동측정소는 9.3% ~ 73.9%, 장림동측정소는 5.7% ~ 45.7% 수준이었다. 표 3은 '09년도 벤젠 평균 및 최대농도, 그림 4.는 국내 주요공단 및 공업지역의 Benzene 농도를 나타냈다.

표 3. '09. 우리원측정소 Benzene 평균, 최대농도

(농도 : ppb)

측정소	환경기준	검출농도		비고
		평균	최대	
감전동	1.5	0.336	5.270	지방공단
장림동	1.5	0.342	9.452	지방공단

- 대기 중 벤젠허용 기준 : 영국, 유럽 1.5 ppb이하, 일본 0.9 ppb이하

표 4. 국내 주요공단 및 공업지역의 Benzene 농도

(농도 : ppb)

지역명	측정시기	농도	비고
반월공단	2007	0.75	기계, 장비, 화학업종 등
대구공업	2008	0.46	기계, 장비, 조립금속, 섬유 등
여수공업	2008	3.65	석유화학 등
온산공단	2009	1.24	석유화학, 비철, 펄프, 금속제련
울산공단	2009	1.06	석유화학, 금속 등

(자료출처 : 영남대학교 환경공학과 백성욱교수 “산업단지에서 벤젠 등 VOCs 측정결과”)

○ 환경부(부산지역)와 우리원 측정망 자료비교

- ▷ 오존생성 원인물질이면서 인체에도 유해한 VOCs(Volatile Organic Compounds)에 대한 감시 및 효과적인 대응방안 도출에 필요한 필수자료를 확보하기 위해 환경부에서 운영중인 부산

지역 5개 광화학 오염물질측정망의 주요 검출물질 10종(2009. 1. ~ 6.)의 POCP와 우리원 측정소 자료를 표 5와 같다.

- ▷ 본 자료에서 Toluene, Propane, Ethylbenzene, m/p-Xylene 등의 기여율이 다른 물질 보다 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 환경부자료에서 각 물질별 POCP가 높은 물질은 m/p-Xylene 15.4%(태종대), Toluene 18.1%(대연동), 26.5%(당감동), 17.0%(장전동), 23.1%(정관면)으로 각각 나타났다. 반면 우리원 자료에서는 Toluene 37.8%(감전동), 25.6%(장림동)으로 측정되었다.
- ▷ 주요 10개 물질의 POCP 순서는 태종대 79.4%(전년 81.6%) > 대연동 79.0%(전년 81.2%) > 장전동 74.3%(전년 73.3%) > 당감동 73.8%(전년 69.9%) > 정관면 73.2%(전년 77.1%)이었다. 장림동, 감전동의 기여율이 비교적 낮은 것은 이 지역에서 다양한 물질이 배출되는 특성을 나타냄을 의미한다. 환경부 지정 주요검출물질 10종에 대하여 오존생성 기여율에 미치는 물질별 분포비교를 그림 5에 나타내었다.

표 5. 주요 검출물질(10종)의 환경부 부산지역 측정망과 비교

(농도 : ppb)

주요 VOCs	환경부 운영지점('09.1.~6.)※					연구원 운영지점('09.)	
	태종대	대연동	당감동	장전동	정관면	감전동	장림동
Toluene	14.2	18.1	26.5	17.0	23.1	37.2	27.5
Propane	17.0	16.8	11.4	12.4	11.4	7.90	13.1
Ethylene	7.7	5.2	6.9	8.8	4.0	1.14	1.94
n-Butane	6.6	8.6	5.6	6.6	5.0	2.50	4.10
m/p-Xylene	15.4	12.5	10.4	12.2	14.4	8.10	8.10
iso-Butane	3.0	4.1	2.6	3.1	2.2	0.74	2.3
Propylene	4.4	3.4	2.4	3.7	2.7	0.39	1.23
n-Hexane	1.9	3.2	2.0	3.2	1.7	2.50	1.90
Ethane	3.5	2.3	1.6	2.5	2.6	1.36	1.64
Ethylbenzene	5.7	4.8	4.4	4.8	6.1	7.20	7.60
기여율 합계	79.4	79.0	73.8	74.3	73.2	69.03	69.41

※ 환경부 운영지점 자료는 2010. 1. 현재까지 공개된 자료를 참고 함

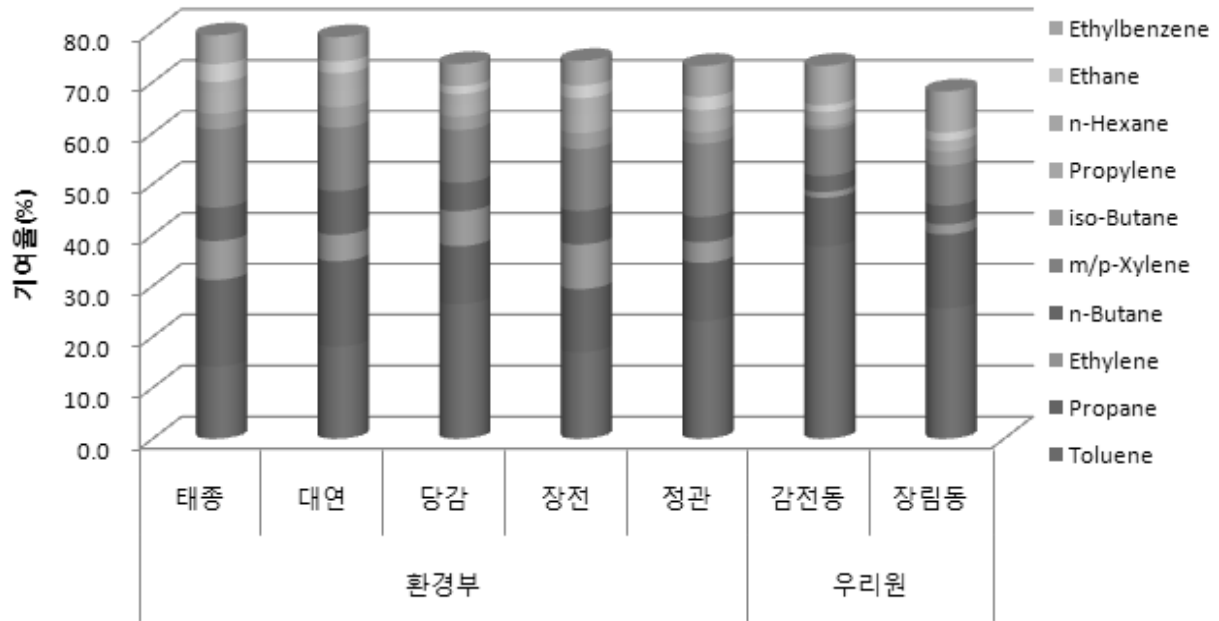


그림 6. 주요물질 10종의 POCP 기여율과 물질별 분포비교

4. 결 론

- POCP 기여율이 가장 높았던 Toluene 농도는 감전동측정소 9.7ppb(전년 11.2ppb), 기여율은 37.2%(전년 35.2%), 장림동측정소 6.9ppb(전년 11.5ppb), 기여율 27.5%(전년 33.5%)였으며, 기타 방향족화합물(Toluene, m/p-Xylene, Ethylbenzene)이 높은 기여도를 보임
- POCP 기여율 순위는 감전동측정소 Toluene > m/p-Xylene > Propane > Ethylbenzene, 장림동측정소는 Toluene > Propane > m/p-Xylene > Ethylbenzene 순으로 나타남
- 측정시간대별로 Toluene, Ethylbenzene, m/p-Xylene, Propane은 07:00시에 증가하여 20:00시 까지 완만하게 높은 농도를 유지
- 월별 변화추이에서 기온이 떨어지는 겨울철이 여름 보다 Toluene, Propane의 배출 농도가 높았으며, Propane은 동절기와 4월, Ethylbenzene, Xylene은 월별 변동 폭이 낮았다. 그 외 VOCs는 벤젠의 시간평균농도는 감전동측정소 0.336ppb, 장림동측정소 0.342ppb로 대기환경기준(1.5ppb)의 22.4%, 22.8% 수준으로 나타남