

## 휘발성유기화합물질(VOCs) 자동측정망 운영

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

### 1. 조사개요

- 조사지점 및 운영기간
  - ▷ 장림동측정소 : 2012년 1월 ~ 12월
  - ▷ 학장동측정소 : 2012년 1월 ~ 12월
- 운영방법
  - ▷ 자료점검 : 측정소에 연결된 인터넷으로 실시간 운영상태 점검
  - ▷ 자료운영 : 매시간 자료생성, 매일자료 분석 및 보고서 작성
  - ▷ 자료분석 : 매월 1회 취합 및 보고서 작성
- 분석기기 : GC-FID
- 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

## 2. 조사방법

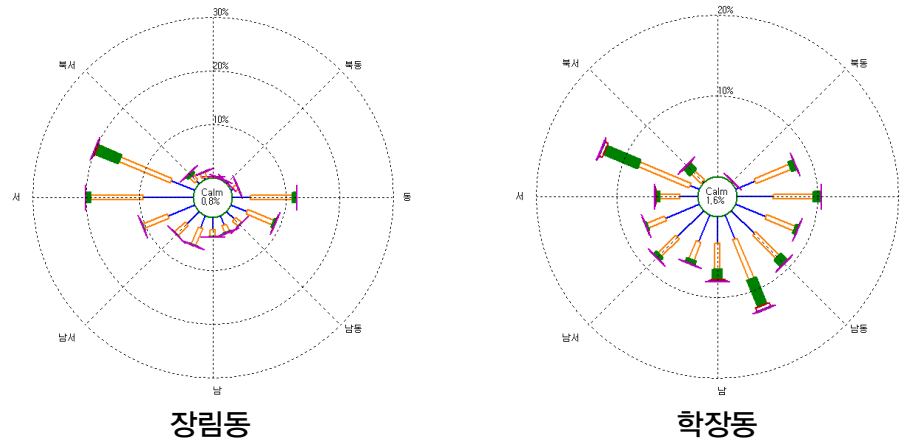
- 측정소위치
  - ▷ 장림동측정소
    - 위치 : 사하구 장림1동 주민자치센터(옥상)
    - 지리적 특징 : 북쪽과 서쪽에 장림공단, 남쪽 공업지역 위치  
동쪽과 남동방향 아파트 등 대규모 주거지역 위치
  - ▷ VOCs 추정오염원
    - 북쪽, 서쪽에 위치한 신평·장림산업단지와 남쪽에 위치한 공업지역의 섬유, 제강, 제철, 기계금속등 대기배출업소
    - 운송용 대형 화물차량에서 발생하는 배기가스
- ▷ 학장동측정소
  - ▷ 위치 : 사상구 학장동 학장초등학교(옥상)
  - ▷ 지리적 특징 : 사상공업단지안에 위치
  - ▷ VOCs 추정오염원
    - 사상공업단지에 위치해 있는 주물, 기계가공, 사료제조, 고무 등의 대기오염 배출업소

## 3. 조사결과



- 장림동측정소
  - ▷ 장림동 측정소의 2012년 주 풍향은 서북서풍과 서풍으로 나타나, 서쪽에 위치해 있는 악취 관리지역의 영향을 비교적 많이 받았을 것으로 판단.
  - ▷ 또한, 2분기에는 주풍향이 동풍계열로 나타나 다른 분기와 비교 시 악취관리지역의 영향을 비교적 적게 받은 것으로 조사.
- 학장동측정소
  - ▷ 학장동 측정소의 2012년 주 풍향은 서북서풍과 남남동풍으로 조사.

▷ 따라서, 학장동 측정소의 지리적 위치로 인해 사상공업단지에서 배출되는 악취오염물질의 영향을 주로 받았으며 특히 측정소 남쪽에 위치한 업체들의 영향을 많이 받았을 것으로 예상.



▷ 악취 측정망 월별 주 풍향 및 평균 풍속(m/s)

		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	2012년
장림동	풍향	서북서	서북서	북서	서북서	동	남남동	남남서	동	서	서	서북서	서북서	서북서
	풍속	2.7	2.6	2.5	2.5	2.1	3.0	2.1	2.4	2.2	2.3	3.0	3.0	2.5
학장동	풍향	동북동	동북동	동	서북서	남남동	동	서북서	남남동	동	서남서	남서	동북동	서북서
	풍속	2.2	2.2	2.9	3.3	2.8	2.2	3.3	3.4	2.6	2.1	2.4	2.2	2.7

#### 4. 운영결과

○ 측정 VOCs 중 악취물질

▷ 모두 악취배출허용기준 이내

- 측정 VOCs 56개 중 3개 항목(Toluene, m,p-Xylene, Styrene)

▷ 사업장배출허용기준은 있으나, 환경기준은 없음

- 측정농도

항 목	최소감지 농도*	장림동측정소(ppb)		학장동측정소(ppb)	
		2012	2011	2012	2011
Toluene	330	6,326	8,242	10,256	22,480
m,p-Xylene	41	1,288	1,296	1,020	1,921
Styrene	35	0,267	0,201	0,518	1,986

※1. 최소감지농도 : 무엇인지는 모르지만 냄새의 존재를 느끼는 농도

2. 배출허용기준(공업지역) : 톨루엔 30,000 ppb, 자일렌 2,000 ppb, 스타이렌 800 ppb

- 2012년 장림동과 학장동측정소의 톨루엔, m/p-자일렌, 스타이렌 3개 약취물질은 울산 및 온산공단, 여수공업 지역과 비슷하거나 약간 높은 것으로 나타났다. 그러나 3개 물질 모두 약취최소감지농도의 0.8 ~ 3.1% 수준의 낮은 농도로 감지되어 코로 감지되지 않는 수준인 것으로 조사 되었다.
- ▷ 장림동과 학장동 측정소 모두 톨루엔과 m/p-자일렌이 전년 대비 감소한 것으로 조사되었으며 스타이렌은 장림동 측정소에서 소폭 증가한 것으로 조사되었다.

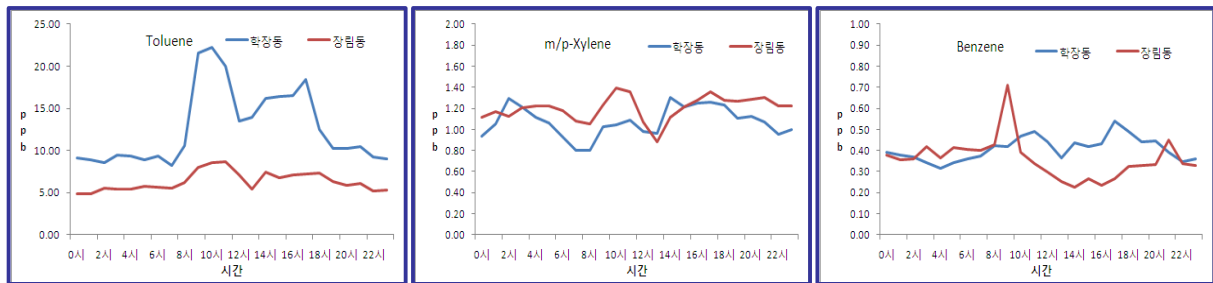
※ 주요공업지역의 VOCs 농도

구분	울산공단	온산공단	대구공업지역	여수공업지역	광양주거,공업	장림동	학장동
Toluene	2.01	6.43	15.83	3.25	0.94	6.33	10.26
m,p-Xylene	1.91	2.98	1.21	2.50	0.75	1.29	1.02
Styrene	23.61	0.06	0.09	0.25	0.01	0.27	0.52
Benzene	1.59	1.41	0.97	1.09	0.40	0.37	0.41

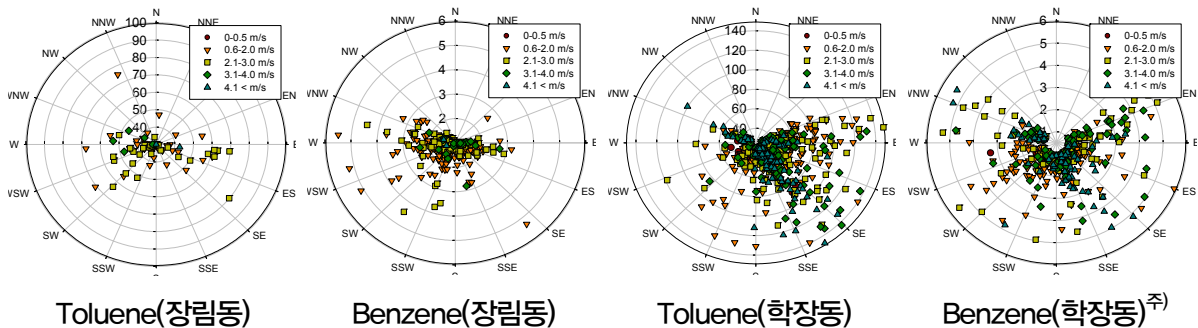
(자료출처 : 산업단지에서 벤젠 등 VOCs 측정결과, 영남대학교 백성욱)

○ 주요검출물질 발생현황

- ▷ 시간대별 농도 변화를 살펴보면, 학장동은 톨루엔이 출퇴근 시간과 조업시간에 높은 농도를 나타내었다.



- ▷ 자일렌과 벤젠은 장림동과 학장동에서 시간당 평균농도가 비슷한 것으로 조사 되었으며 조업 시간, 출퇴근시간과 어느 정도 관계 있는 발생 패턴을 보이는 것으로 조사 되었다.



- ▷ 오염장미에서 장림동은 남, 서계열의 바람, 학장동은 동풍계열의 바람의 영향을 많이 받고 있는 것으로 조사되었다. 학장동은 특히 3.1 m/s 이상의 빠른 풍속일 때 높은 농도의 오염물질이 감지되고 있는 것으로 조사 되었다. 따라서 학장동 측정소 주변에 어느 정도 거리를 두고 산재해 있는 공업지역의 영향을 직접적으로 받고 있는 것으로 예측 되어진다.

주) 오염장미: 풍속에 따른 오염물질의 농도별 분포를 풍배도 위에 나타낸 그림

○ 환경기준항목

- ▷ 2012년 벤젠농도는 장림동측정소 0.365 ppb, 학장동측정소 0.409 ppb로 타 공업지역(온산공단 1.41 ppb, 대구공업지역 0.97 ppb 광양주거 및 공업지역 0.40 ppb) 등과 비교 시 낮았으며, 측정된 농도는 대기환경기준(1.5 ppb이하)의 24 ~ 27% 수준으로 조사되었다.
- ▷ 환경기준항목 : 벤젠(1.5 ppb이하)

항 목	환경기준	장림동측정소(ppb)		학장동측정소(ppb)	
		2012	2011	2012	2011
벤젠 (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	1.5 ppb	0.365	0.347	0.409	1.488

※ 벤젠의 배출원 : 생산공정(석유제품, 제철, 유기무기화학 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%(국립환경과학원 자료)

○ 오존생성기여율 평가

▷ 장림동측정소

- 장림동의 오존생성기여율은 toluene이 16.3%, cis-2-Pentene이 8.0%, ethylbenzene 이 7.0%로 조사 되었다.
- 전년도와 비교 시 toluene(전년 28.0%)을 비롯한 BTEX물질은 낮은 농도로 조사되어, 상위 10개 물질이 차지하는 오존 생성기여율이 낮게 측정되었다. 이는 주요 검출물질 외의 다른 물질의 농도가 높은 것을 간접적으로 나타내고 있다.
- VOCs 주요 10개 검출물질의 오존생성기여율은 64.4%(전년 74.5%)로 전년과 비교 시 낮게 측정 되었다.
- 전년도 주요 10개 검출물질에 포함되지 않았던 cis-2-Pentene과 3-Methylpentane이 오존생성기여율에서 높은 비중을 나타내었으며, 전년도에 포함되었던 1,2,3-Trimethylbenzene, n-Dodecane, m-Ethyltoluene은 포함되지 않았다.
- 장림동측정소 주요검출물질(2012년)

2012년				2011년			
항 목	평균 농도	POCP	오존생성 기여율(%)	항 목	평균 농도	POCP	오존생성 기여율(%)
Toluene	6.3	55	16.3	Toluene	8.2	55	28.0
cis-2-Pentene	2.4	95	8.0	1,2,4-Trimethylbenzene	1.0	120	10.0
Ethylbenzene	2.2	60	7.0	m/p-Xylene	1.3	95	8.8
m/p-Xylene	1.3	95	6.6	Ethylbenzene	1.8	60	7.8
1,2,4-Trimethylbenzene	0.8	120	6.1	o-Xylene	0.9	65	4.3
Isoprene	1.7	100	6.0	1,2,3-Trimethylbenzene	0.4	115	4.0
3-Methylpentane	2.2	40	3.9	p-Diethylbenzene	0.7	65	3.9
p-Diethylbenzene	0.8	65	3.6	n-Dodecane	0.6	45	3.0
1-Hexene	1.6	50	3.5	n-Decane	0.6	45	2.6
o-Xylene	1.0	65	3.4	m-Ethyltoluene	0.3	80	2.1
주요물질의 오존생성 기여율(%)			64.4	주요물질의 오존생성 기여율(%)			74.5

▷ 학장동측정소

- 학장동의 오존생성기여율을 살펴보면 toluene이 29.5%, m/p-Xylene이 5.8% cis-2-Butene이 5.6 %로 조사 되었다. 특히 학장동측정소 toluene의 오존생성기여율은 장림동(28.0%) 보다 다소 높은 수준을 나타내고 있었다.
- 학장동에서는 장림동의 주요 10개 검출물질에 포함되지 않았던 2-Methylheptane이 비교적 높은 비율로 포함되고 있었다.
- 학장동측정소 주요검출 물질(2012년)

2012년				2011년			
항 목	평균 농도	POCP	오존생성 기여율(%)	항 목	평균 농도	POCP	오존생성 기여율(%)
Toluene	10.3	55.0	29.5	Toluene	22.5	55.0	40.9
m/p-Xylene	1.0	95.0	5.8	m/p-Xylene	1.9	95.0	7.0
cis-2-Butene	1.8	100.0	5.6	Ethylbenzene	3.0	60.0	6.9
Isoprene	1.4	100.0	5.3	Isoprene	2.1	100.0	5.0
1,2,4-Trimethylbenzene	0.6	120.0	5.1	Propane	7.7	40.0	4.8
Ethylbenzene	1.4	60.0	4.9	1,2,4-Trimethylbenzene	0.8	120.0	4.3
Propylene	1.8	105.0	4.6	o-Xylene	1.3	65.0	3.3
2-Methylheptane	1.4	50.0	4.5	n-Dodecane	1.2	45.0	3.2
1,2,3-Trimethylbenzene	0.4	115.0	3.1	n-Octane	1.0	50.0	2.1
o-Xylene	0.7	65.0	2.9	Methylcyclopentane	1.4	50.0	2.1
주요물질의 오존생성 기여율(%)			71.3	주요물질의 오존생성 기여율(%)			79.6

※ 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. POCP 평가방법은 Ethylene을 기준물질(POCP=100)로 하여 대기 중 OH-와의 반응성 정도에 의한 평가방법이 일반화되어 있다.

### 5. 결 론

- VOCs 56종은 최소 감지농도(악취) 이하로 검출되었다.
- VOCs중 악취물질인 톨루엔, m/p-자일렌, 스타이렌이 최소 감지농도(악취)의 0.8 ~ 3.1%로 낮은 농도로 조사되었다.
- 2012년 벤젠 농도는 장림동 측정소 0.37 ppb, 학장동 측정소 0.41 ppb로 대기 환경기준( $5 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 1.50 \text{ ppb}$ ) 이하로 조사되었다.
- 시간대별 농도 변화는 학장동은 톨루엔이 출퇴근 시간과 조업간에 높은 농도를 나타내었다.
- 자일렌과 벤젠은 장림동과 학장동에서 시간당 평균농도가 비슷한 것으로 조사 되었으며 조업시간, 출퇴근시간과 어느 정도 관계있는 발생 패턴을 보이는 것으로 조사 되었다.
- 장림동측정소 주요 검출물질(10종)의 오존생성 기여율은 64.4%이며 학장동은 71.3%로 조사되었다.
- 장림동은 측정소 서쪽에 위치한 악취관리지역의 영향을 주로 받고 있는 것으로 조사되었으며 학장동은 주변에 산재해 있는 공업지역의 영향과 특히 측정소 남쪽에 위치한 업체의 영향을 집중 받고 있는 것으로 조사되었다.
- VOCs의 최소감지농도(Threshold Limit Value, TLV)
  - ▷ 2012년 학장동 및 장림동측정소의 시간평균 농도(ppb)

연번	구 분	최소감지 농도 (ppbv)	측정농도		연번	구 분	최소감지 농도 (ppbv)	측정농도	
			장림동	학장동				장림동	학장동
1	Toluene	330	6.326	10.256	29	Benzene	2700	0.365	0.409
2	m/p-Xylene	41	1.288	1.020	30	Cyclohexane	-	0.173	0.475
3	Styrene	35	0.267	0.518	31	2,4-Dimethylpentane	940	0.109	0.125
4	o-Xylene	380	0.957	0.741	32	2-Methylhexane	-	0.156	0.323
5	Ethane	-	0.935	0.069	33	2,3-Dimethylpentane	4500	0.068	0.071
6	Ethylene	-	0.638	0.261	34	3-Methylhexane	840	0.202	0.288
7	Propane	1500000	0.092	1.383	35	n-Heptane	670	0.304	0.511
8	Propylene	13000	0.039	1.830	36	Methylcyclohexane	150	0.311	0.222
9	Acetylene	-	0.01	0.002	37	2,2,4-Trimethylpentane	670	0.353	0.201
10	isobutane	-	0.004	0.005	38	2,3,4-Trimethylpentane	-	0.488	0.076
11	n-Butane	1200000	0.001	0.001	39	2-Methylheptane	-	0.194	1.396
12	trans-2-Butene	-	0.001	0.004	40	3-Methylheptane	-	0.183	0.217
13	1-Butene	360	0.018	0.072	41	n-Octane	1700	0.668	0.588
14	cis-2-Butene	-	0.038	1.755	42	Ethylbenzene	170	2.161	1.354
15	Cyclopentane	2500	0.003	0.074	43	n-Nonane	2200	0.387	0.399
16	Isopentane	1300	0.048	0.004	44	Isopropylbenzene	8.4	0.168	0.192
17	n-Pentane	1400	1.122	0.002	45	n-Propylbenzene	3.8	1.051	0.208
18	trans-2-Pentene	-	0.28	0.001	46	m-Ethyltoluene	18	0.099	0.370
19	1-Pentene	100	0.969	0.000	47	p-Ethyltoluene	8.3	0.282	0.051
20	cis-2-Pentene	-	2.364	0.001	48	1,3,5-Trimethylbenzene	170	0.247	0.185
21	Isoprene	48	1.73	1.373	49	o-Ethyltoluene	74	0.303	0.185
22	2,2-Dimethylbutane	20000	0.781	0.007	50	1,2,4-Trimethylbenzene	120	0.836	0.624
23	2,3-Dimethylbutane	420	0.028	0.010	51	1,2,3-Trimethylbenzene	-	0.346	0.397
24	2-Methylpentane	-	0.475	0.315	52	n-Decane	620	0.556	0.593
25	3-Methylpentane	8900	2.215	0.523	53	m-Diethylbenzene	70	0.396	0.175
26	n-Hexane	1500	0.883	0.152	54	p-Diethylbenzene	0.39	0.819	0.224
27	1-Hexene	140	1.622	0.255	55	n-Undecane	870	0.514	0.366
28	Methylcyclopentane	1700	0.171	0.695	56	n-Dodecane	110	0.446	0.347