

휘발성유기화합물(VOCs) 자동측정망 운영결과

- 우리 시 대기 중 벤젠, 톨루엔 등 휘발성유기화합물(VOCs)의 측정으로 지역 오염도 평가자료로 활용
- 오존생성 전구물질파악과 발생빈도, 오존생성기여도 평가 등 휘발성유기화합물(VOCs) 오염저감을 위한 기초자료 확보

1. 조사개요

- 조사기간 : 2013. 1. ~ 2013. 12.(매시간 자료)
- 조사지점 : 도시대기측정소 2개 지점(학장동, 장림동)
 - 학장동측정소(학장동 학장초등학교 옥상)
 - 장림동측정소(장림1동 주민자치센터 옥상)



- 분석기기
 - 가스크로마토그래피(GC-FID)
 - C2 ~ C6 : PLOT column
 - 악취물질 C6 ~ C12 : BP1 column

○ 분석항목

구분	측정항목	구분	측정항목	구분	측정항목	구분	측정항목	구분	측정항목
약취 물질	Toluene	C2 ~ C3 류	Ethane	C4류	isobutane	C5류	Cyclopentane	C6류	2,2-Dimethylbutane
	m/p-Xylene		Ethylene		n-Butane		Isopentane		2,3-Dimethylbutane
	Styrene		Propane		trans-2-Butene		n-Pentane	2-Methylpentane	
	o-Xylene		Propylene		1-Butene		trans-2-Pentene	3-Methylpentane	
			Acetylene		cis-2-Butene		1-Pentene	n-Hexane	
							cis-2-Pentene	1-Hexene	
							Isoprene	Methylcyclopentane	
								Benzene	
								Cyclohexane	
구분	측정항목	구분	측정항목	구분	측정항목	구분	측정항목		
C7류	2,4-Dimethylpentane	C8류	2,2,4-Trimethylpentane	C9류	n-Nonane	C10 ~ C12 류	n-Decane		
	2-Methylhexane		2,3,4-Trimethylpentane		Isopropylbenzene		m-Diethylbenzene		
	2,3-Dimethylpentane		2-Methylheptane		n-Propylbenzene		p-Diethylbenzene		
	3-Methylhexane		3-Methylheptane		m-Ethyltoluene		n-Undecane		
	n-Heptane		n-Octane		p-Ethyltoluene		n-Dodecane		
	Methylcyclohexane		Ethylbenzene		1,3,5-Trimethylbenzene				
					o-Ethyltoluene				
					1,2,4-Trimethylbenzene				
					1,2,3-Trimethylbenzene				

※ 위의 표시부분(23개 항목)은 부품공급 중단에 따라 2013년 8월부터 측정불가

2. 측정소 현황

○ 학장동 측정소

- 운영기간 : 2013. 1. 1. ~ 2013. 12. 31.
- 위치 : 사상구 학장동 학장초등학교(옥상)
- 지리적 특징
 - 사상공업단지 가운데에 위치하여 산업단지내의 약취오염물질의 영향을 직접적으로 받고 있다고 할 수 있음.
 - 현재 우리원에서 수행하고 있는 공단지역 약취현황조사 지점으로 선정되어 있는 3개 지점이 측정소 남쪽으로 위치해 있음.

○ 장림동 측정소

- 운영기간 : 2013. 1. 1. ~ 2013. 12. 31.
- 위치 : 사하구 장림1동 주민자치센터(옥상)
- 지리적 특징
 - 북쪽 인근과 서쪽방향으로 약 730 m에 신평·장림산업단지가 위치해 있음.
 - 측정소를 중심으로 남쪽으로 주거지역과 상업지역이 위치해 있으며, 서쪽으로 공업지역과 함께 약 730 m에는 약취관리지역인 피혁공업폐수처리장이 위치해 있음.
- “신평·장림일반산업단지” 특징
 - 위치 : 사하구 신평동, 장림동, 다대동
 - 주요업종 : 조립금속, 섬유·의복, 기계, 염색, 피혁, 도금, 석유화학 등
 - 주요약취배출시설 : 피혁공동폐수처리장, 사료제조

3. 조사결과

□ 기상자료 조사결과

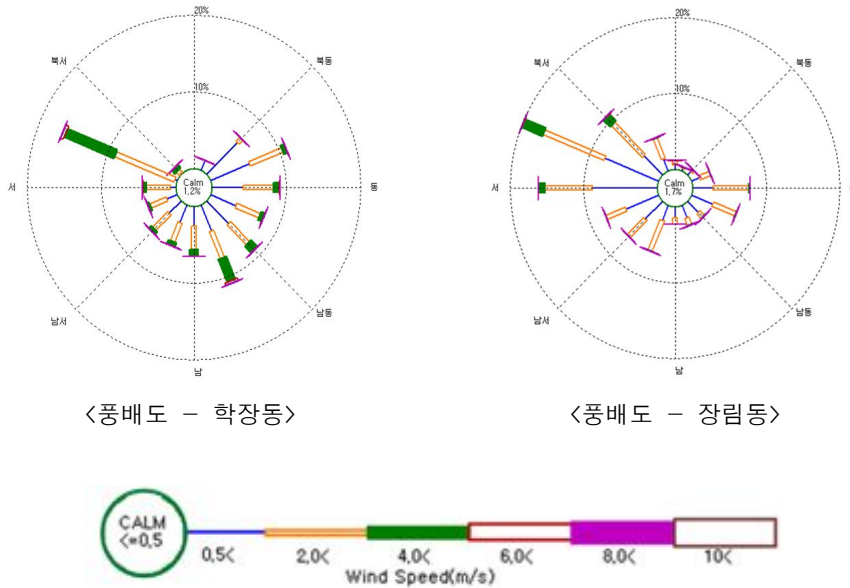
○ 측정소별 기상자료

- 학장동 : 서북서풍이 주풍이며, 평균 풍속은 2.7 m/s 였음.
 - 풍향빈도 : WNW > ENE > E(전년도 WNW > SSE > E)
 - 풍속 : 0.3 ~ 8.7 m/s(전년도 0.3 ~ 10.1 m/s)
 - 기온 : -10.1 ~ 37.0 °C(전년도 -9.3 ~ 35.4 °C)
 - 습도 : 3.2 ~ 84.4 %(전년도 2.2 ~ 86.7 %)
 - ※ 학장동 지점은 지리적 위치로 인해 사상공업단지에서 배출되는 악취오염물질의 영향을 많이 받고 있으며, 특히 바람의 영향으로 측정소 북쪽과 서쪽에 위치한 배출업소들의 영향을 많이 받고 있음.
- 장림동 : 서북서풍이 주풍이며, 평균 풍속은 2.2 m/s 였음.
 - 풍향빈도 : WNW > W > NW(전년도 WNW > W > WSW)
 - 풍속 : 0.3 ~ 8.3 m/s(전년도 0.2 ~ 8.9 m/s)
 - 기온 : -10.0 ~ 37.5 °C(전년도 -9.3 ~ 35.8 °C)
 - 습도 : 24.5 ~ 100 %(전년도 20.5 ~ 100 %)
 - ※ 장림동 지점은 지리적 위치 및 바람의 영향으로 측정소 북쪽과 서쪽에 위치해있는 신평장림산업단지, 장림하수처리장 및 피혁공업사업협동조합(악취관리지역)들의 영향을 많이 받고 있음.

○ 월별 주풍향 및 평균풍속

	학장동		장림동	
	풍향	풍속(m/s)	풍향	풍속(m/s)
1월	동북동	2.1	서북서	2.8
2월	동북동	2.1	서	2.8
3월	서북서	2.7	서	2.2
4월	서북서	3.2	서북서	2.6
5월	서북서	3.0	서	2.0
6월	남남동	2.9	동	1.9
7월	서북서	3.6	남서(남남서)	2.0
8월	서북서	2.9	서북서	1.8
9월	동북동	2.5	북북서	2.0
10월	동북동	2.6	북서	2.2
11월	동북동	2.4	서북서	2.6
12월	남동	2.4	북서	2.7
평균	서북서	2.7	서북서	2.2

○ 지점별 풍배도



□ VOCs 물질 조사결과

○ 사업장 배출허용기준이 설정되어 있는 톨루엔 등 3개 항목들은 모두 배출허용기준 (공업지역) 이하로 검출되었음.

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

○ 환경기준이 설정되어 있는 벤젠의 경우 학장동 및 장림동 지점에서 각각 약 0.578 및 0.268 ppb로 환경기준인 1.5 ppb 이내로 검출되었음.

○ VOCs 물질 2013년 평균농도 (단위 : ppb)

		배출허용기준		엄격한 배출허용기준 (공업지역)	최소 감지농도 ¹⁾	측정지점			
		공업지역	기타지역			학장동		장림동	
						당해년도	전년도	당해년도	전년도
기상자료	온도	-	-	-	-	15.8	14.8	16.1	15.3
	풍향	-	-	-	-	167	182	231	217
	풍속	-	-	-	-	2.7	2.7	2.2	2.4
	습도	-	-	-	-	54.0	54.3	78.0	77.5
	변형풍향	-	-	-	-	283	268	219	233
VOCs (악취물질)	톨루엔	30,000	10,000	10,000 ~ 30,000	330	2.478	13.463	2.207	6.312
	mp-자일렌	2,000	1,000	1,000~2,000	41	0.604	1.302	0.424	1.202
	스타이렌	800	400	400 ~ 800	35	0.768	3.240	0.252	0.265
	o-자일렌	-	-	-	380	0.615	0.966	0.412	0.912
VOCs (C2~C3류)	에탄				-	0.134	0.139	0.383	0.959
	에틸렌				-	0.152	1.880	0.112	1.001
	프로판				1,500,000	0.576	10.578	0.252	0.103
	프로필렌				13,000	4.267	4.829	1.957	0.075
	아세틸렌				-	0.034	0.014	0.177	0.008

표. 계속 (단위 : ppb)

	배출허용기준		엄격한 배출허용기준 (공업지역)	최소 감지농도 ¹⁾	측정지점			
	공업지역	기타지역			학장동		장림동	
					당해년도	전년도	당해년도	전년도
VOCs (C4류)	i-부탄			-	0.041	0.004	0.148	0.003
	n-부탄			1,200,000	0.013	0.009	0.286	0.001
	trans부텐			-	0.011	0.008	0.264	0.010
	1-부텐			360	0.593	0.159	1.918	0.069
	cis2부텐			-	0.636	4.375	2.715	0.130
VOCs (C5류)	시클로펜탄			2,500	0.908	0.862	1.428	0.005
	i-펜탄	-	-	1,300	0.118	0.064	0.797	0.049
	n-펜탄	-	-	1,400	0.010	0.002	0.435	1.058
	trans2펜텐	-	-	-	0.012	0.058	2.744	1.618
	1-펜텐	-	-	100	0.032	0.001	1.154	0.750
	cis2펜텐	-	-	-	0.010	0.002	0.557	1.893
	i-프렌			48	0.715	3.576	0.581	1.318
VOCs (C6류)	22DM부탄			20,000	0.109	0.136	0.276	0.642
	23DM부탄			420	0.188	0.225	0.147	0.035
	2메틸펜탄			-	0.255	0.502	0.214	0.452
	3메틸펜탄			8,900	0.318	0.990	0.105	1.711
	n-헥산			1,500	0.620	0.403	0.385	0.772
	1-헥센			140	0.407	0.751	0.481	1.318
	MC펜탄			1,700	1.233	1.125	0.152	0.144
	벤젠			2,700	0.578	0.882	0.268	0.359
	시클로헥산			-	0.633	0.947	0.220	0.162
VOCs (C7류)	24DM펜탄			940	0.581	0.628	0.163	0.099
	2메틸헥산			-	0.485	0.724	0.175	0.144
	23DM펜탄			4,500	0.262	0.166	0.182	0.065
	3메틸헥산			840	0.522	0.408	0.232	0.196
	n-헵탄			670	0.649	0.767	0.227	0.325
	MC헥산			150	0.491	0.592	0.177	0.327
VOCs (C8류)	224TM펜탄			670	0.684	0.524	0.181	0.350
	234TM펜탄			-	0.862	0.234	0.154	1.669
	2메틸헵탄			-	0.518	1.181	0.115	0.196
	3메틸헵탄			-	0.461	0.490	0.153	0.174
	n-옥탄			1,700	0.713	0.997	0.354	0.709
	에틸벤젠			170	1.021	1.974	1.233	2.073
VOCs (C9류)	n-노난			2,200	0.504	0.521	0.275	0.362
	i-P벤젠			8.4	0.602	0.261	0.158	0.145
	n-p벤젠			3.8	0.578	0.623	0.343	0.931
	m-E톨루엔			18	0.444	0.347	0.084	0.093
	p-E톨루엔			8.3	0.201	0.199	0.070	0.246
	135TM벤젠			170	0.441	0.338	0.144	0.218
	o-E톨루엔			74	0.403	0.285	0.221	0.282
	124TM벤젠			120	0.841	1.242	0.322	0.777
	123TM벤젠			-	0.917	1.043	0.247	0.317
VOCs (C10~C12류)	n-데칸			620	0.530	2.714	0.297	0.515
	m-DE벤젠			70	0.816	0.339	0.150	0.330
	p-DE벤젠			0.39	0.542	0.459	0.471	0.724
	n-운데칸			870	0.772	0.496	0.399	0.468
	n-도데칸			110	0.830	1.957	0.484	0.411

¹⁾최소감지농도 : 일반인이 후각으로 느낄 수 있는 최소농도(일본기준치 적용)

□ 주요물질 조사결과

○ VOCs 중 악취물질 농도

- 톨루엔 등 3개 악취물질들은 모두 최소감지농도 이하로 검출되었으며, 3 항목 모두 학장동 지점이 장림동 지점에 비하여 높게 검출되었음.
- 학장동 지점의 경우 전년대비 모두 감소하였으며, 장림동 지점의 경우 톨루엔은 전년대비 증가하였음.
- 학장동 지점에서는 최소감지농도의 0.75 ~ 2.97 %였으며, 장림동 지점에서는 0.67 ~ 2.05 % 수준으로 비교적 낮은 수준이었음.
- 타 공업지역과 비교시 대체로 비슷하거나 약간 낮은 수준이었음.
- VOCs 중 악취물질 농도(2013년) (단위 : ppb)

항 목	배출허용 기준 ¹⁾	최소감지 농도 ²⁾	학장동		장림동	
			당해년도	전년도	당해년도	전년도
Toluene	30,000	330	2.48	13.46	2.21	0.31
Xylene ³⁾	2,000	41	1.22	2.27	0.84	2.11
Styrene	800	35	0.77	3.24	0.25	0.27

¹⁾배출허용기준 : 공업지역 기준

²⁾최소감지농도 : 일반인이 후각으로 느낄 수 있는 최소농도(일본기준치 적용)

³⁾Xylene 농도는 m,p-Xylene o-Xylene을 합한 농도임

※ 주요지역의 VOCs 농도 (단위 : ppb)

구 분	국가 광화학 측정망(2012년) ¹⁾				부산	
	광주 하남동	울산 여천동	충남 독곡리	시흥 정왕동	학장동	장림동
Toluene	8.14	13.67	1.94	4.34	2.48	2.21
Xylene ²⁾	1.75	11.25	1.64	0.64	1.22	0.84
Styrene	0.31	0.75	0.19	0.05	0.77	0.25
Benzene	0.27	2.56	0.64	0.41	0.58	0.27

¹⁾자료출처 : 대기환경연보(2011, 국립환경과학원)

²⁾m,p-Xylene과 o-Xylene을 합한 농도임

○ 환경기준항목 : 벤젠(환경기준 : 5 ug/m³ 또는 1.5 ppb이하)

- 벤젠농도는 학장동 지점이 장림동 지점보다 높게 검출되었으며,
- 대기환경기준 대비 학장동 지점은 약 38.7 %, 장림동 지점은 약 18.0 % 수준으로 조사되었으며, 두 지점 모두 전년대비 감소하였음.
- 벤젠 농도(2013년) (단위 : ppb)

항 목	환경기준	학장동		장림동	
		당해년도	전년도	당해년도	전년도
벤젠 (C ₆ H ₆)	1.5	0.58	0.88	0.27	0.36

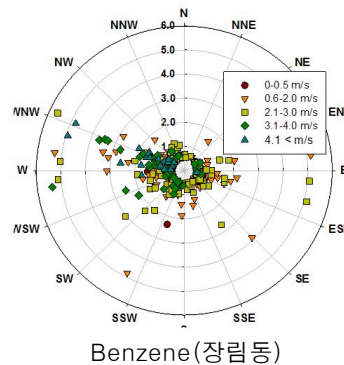
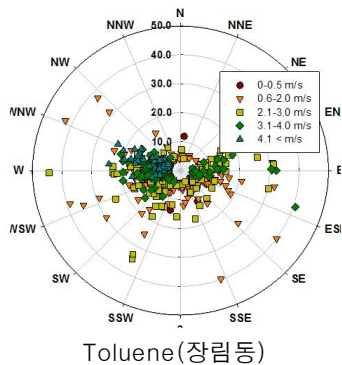
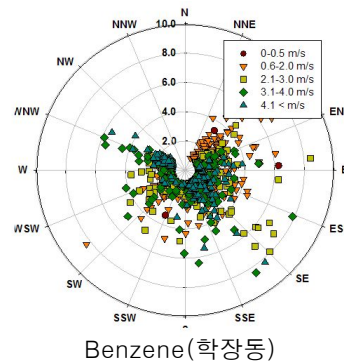
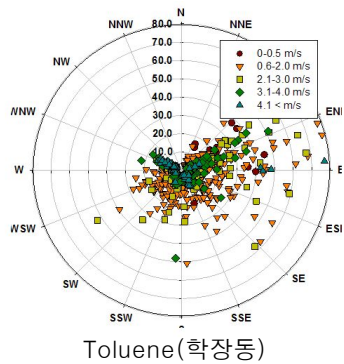
※ 벤젠의 주요 배출원

- 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 %

□ 주요물질 배출특성

○ 오염장미

- 톨루엔 및 벤젠의 오염장미 작성결과 학장동 지점의 경우 학장동 측정소 북쪽을 제외한 배출원의 영향을 많이 받고 있는 것으로 조사되었으며,
- 장림동 지점은 주로 장림동 측정소 서쪽에 위치한 산업단지 및 악취관리지역 배출원의 영향을 많이 받고 있는 것으로 조사되었음.



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

○ 오존생성 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 있음.

※ POCP 평가방법 : Ethylene을 기준물질(POCP=100)로 하여 대기 중 OH와의 반응성 정도에 의한 평가

- 학장동 지점의 경우 propylene의 오존생성기여율이 13.37 %로 가장 높았으며, 1,2,3-Trimethylbenzene, 1,2,4-Trimethylbenzene, Toluene 순으로 높았음.
- 환경기준이 있는 벤젠의 경우 0.29 %로 오존생성기여율은 미미한 것으로 나타났음.
- 장림동 지점의 경우 trans-2-Pentene의 오존생성기여율이 14.49 %로 가장 높았으며, cis-2-Butene, 1-Butene, Propylene 순으로 높았음.
- 환경기준이 있는 벤젠의 경우 0.14 %로 오존생성기여율은 미미한 것으로 나타났음.

- 학장동 지점의 오존생성기여율(2013년)

순위	구분	분자식	분자량	평균농도 (ppb)	POCP ¹⁾	기여도	오존생성 기여율 (%)
1	Propylene	C ₃ H ₆	42	4.267	117.0	936.0	13.37
2	1,2,3-Trimethylbenzene	C ₉ H ₁₂	120	0.917	105.0	515.7	7.37
3	1,2,4-Trimethylbenzene	C ₉ H ₁₂	120	0.841	110.0	495.3	7.07
4	Toluene	C ₇ H ₈	92	2.478	44.0	447.8	6.40
5	1,3,5-Trimethylbenzene	C ₉ H ₁₂	120	0.441	107.0	253.0	3.61
6	Isoprene	C ₅ H ₈	68	0.715	114.0	247.3	3.53
7	o-Xylene	C ₈ H ₁₀	106	0.615	78.0	226.9	3.24
8	Methylcyclopentane	C ₆ H ₁₂	84	1.233	49.0	226.5	3.23
9	m/p-Xylene	C ₈ H ₁₀	106	0.604	79.0	225.9	3.23
10	Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	106	1.021	46.0	222.2	3.17
38	Benzene	C ₆ H ₆	78	0.578	10.0	20.1	0.29
주요물질의 오존생성 기여율(%)							54.51

- 장림동 지점의 오존생성기여율(2013년)

순위	구분	분자식	분자량	평균농도 (ppb)	POCP ¹⁾	기여도	오존생성 기여율 (%)
1	trans-2-Pentene	C ₅ H ₁₀	70	2.744	111.0	951.7	14.49
2	cis-2-Butene	C ₄ H ₈	56	2.715	113.0	767.1	11.68
3	1-Butene	C ₄ H ₈	56	1.918	104.0	498.8	7.59
4	Propylene	C ₃ H ₆	42	1.957	117.0	429.4	6.54
5	Toluene	C ₇ H ₈	92	2.207	44.0	398.8	6.07
6	1-Pentene	C ₅ H ₁₀	70	1.154	95.0	342.7	5.22
7	Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	106	1.233	46.0	268.4	4.09
8	Cyclopentane	C ₅ H ₁₀	70	1.428	50.0	223.1	3.40
9	Isoprene	C ₅ H ₈	68	0.581	114.0	201.0	3.06
10	1,2,4-Trimethylbenzene	C ₉ H ₁₂	120	0.322	110.0	190.0	2.89
48	Benzene	C ₆ H ₆	78	0.268	10.0	9.3	0.14
주요물질의 오존생성 기여율(%)							65.17

¹⁾R. G. Derwent, et al., Environmental Science & Policy, 2007, 10, 445 ~ 453(Reactivity-based strategies for photochemical ozone control in Europe)

4. 결론

- 학장동 지점 및 장림동 지점 등 2개지점 모두 서북서풍이 주풍으로, Toluene, Xylene 및 Styrene 등 총 56개 VOCs 항목 모두 악취배출허용기준 이내로 검출되었으며(2013년 8월부터는 33개 항목),
- VOCs 물질 중 악취물질인 Toluene, Xylene 및 Styrene 농도는 학장동 지점의 경우 최소감지농도의 0.75 ~ 2.97 %, 장림동 지점에서는 0.67 ~ 2.05 % 수준으로 비교적 낮은 수준이었고, 타 공업지역과 비교시에도 대체로 비슷하거나 약간 낮은 수준이었음.
- 대기환경기준이 설정되어 있는 벤젠의 경우 대기환경기준(1.5 ppb) 대비 학장동 지점은 약 38.7 %, 장림동 지점은 약 18.0 % 수준으로 조사되었음.
- 주요물질의 분포특성을 조사한 결과 학장동 지점의 경우 학장동 측정소 북쪽을 제외한 전 배출원의 영향을, 그리고 장림동 지점의 경우 장림동 측정소 서쪽에 위치한 배출원의 영향을 주로 많이 받고 있는 것으로 조사되었음.
- 오존생성기여율을 평가한 결과 학장동 지점에서는 propylene이, 그리고 장림동 지점에서는 transe-2-pentene이 가장 높았으며, 벤젠의 경우 각각 0.29 및 0.14 %로 오존생성기여율은 미미한 것으로 조사되었음.