

휘발성유기화합물(VOCs) 자동측정망 운영

○ 사상과 신평·장림공단의 대기 중 벤젠, 톨루엔 등 휘발성 유기화합물 (VOCs)의 측정으로 지역 오염도 평가 자료로 활용

1. 조사개요

- 조사기간 : 2015년 1월 1일 ~ 12월 31일 (매시간 자료)
- 조사대상 : 측정소 2개 지점 (학장동, 장림동)
 - 학장동측정소(학장동 학장초등학교 옥상)
 - 장림동측정소(장림1동 주민자치센터 옥상)

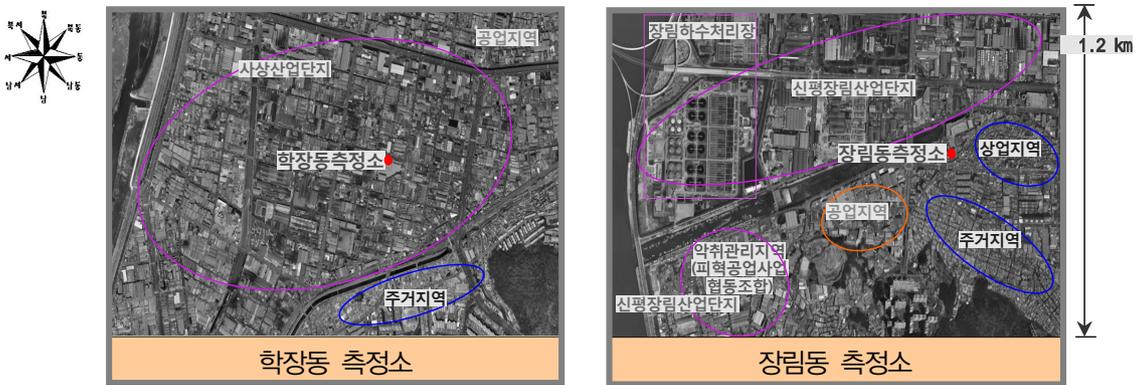


그림 1. 조사지점

- 조사항목 : 총33개 항목(악취물질 4종, C6류 3종 등)

표 1. VOCs 조사항목

계열	악취물질	C2~C3류	C4류	C5류	C6류	C7류	C8류	C9류	C10~C12류
악취 부 품	Toluene	Ethane	isobutane	Cyclopentane	2,2-Dimethylbutane	2,4-Dimethylpentane	2,2,4-Trimethylpentane	n-Nonane	n-Decane
	m/p-Xylene	Ethylene	n-Butane	Isopentane	2,3-Dimethylbutane	2-Methylhexane	2,3,4-Trimethylpentane	Isopropylbenzene	m-Diethylbenzene
	Styrene	Propane	trans-2-Butene	n-Pentane	2-Methylpentane	2,3-Dimethylpentane	2-Methylheptane	n-Propylbenzene	p-Diethylbenzene
	o-Xylene	Propylene	1-Butene	trans-2-Pentene	3-Methylpentane	3-Methylhexane	3-Methylheptane	m-Ethyltoluene	n-Undecane
		Acetylene	cis-2-Butene	1-Pentene	n-Hexane	n-Heptane	n-Octane	p-Ethyltoluene	n-Dodecane
				cis-2-Pentene	1-Hexene	Methylcyclohexane	Ethylbenzene	1,3,5-Trimethylbenzene	
				Isoprene	Methylcyclopentane			o-Ethyltoluene	
					Benzene			1,2,4-Trimethylbenzene	
					Cyclohexane			1,2,3-Trimethylbenzene	

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

2. 측정소 개요

- 학장동 측정소
 - 위치 : 사상구 학장동 학장초등학교(옥상)
 - 지리적 특징
 - 사상공업단지 가운데에 위치하여 산업단지내의 악취오염물질의 영향을 직접적으로 받고 있다고 할 수 있음
 - 현재 우리원에서 수행하고 있는 공단지역 악취현황조사 지점으로 선정되어 있는 3개 지점이 측정소 남쪽으로 위치해 있음
- 장림동 측정소
 - 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 악취관리지역인 피혁 공업폐수처리장이 위치해 있음
 - “신평·장림일반산업단지” 특징
 - 위치 : 사하구 신평동, 장림동, 다대동
 - 주요업종 : 조립금속, 섬유·의복, 기계, 염색, 피혁, 도금, 석유화학 등
 - 주요악취배출시설 : 피혁 공동 폐수처리장, 사료제조

3. 기상자료

- 학장동 측정소
 - 2015년 주풍향은 남풍으로 나타났음
 - 학장동 측정소의 지리적 위치로 인해 사상공업단지에서 배출되는 악취오염물질의 영향을 적게 받았으나, 공단지역 악취현황조사의 조사 지점이 남쪽에 위치해 있으며 이주변의 공장시설의 영향을 많이 받았을 것으로 사료됨
- 장림동 측정소
 - 2015년 주풍향은 남동풍으로 나타나, 서쪽에 위치해 있는 공업단지 및 악취관리지역의 영향을 비교적 적게 받았을 것으로 판단됨
 - 바람방향은 2015년 1 ~ 3월 북서풍이 주풍이었으며, 4, 6, 7월 동풍, 8월이후 남동풍이 주풍으로 나타났음

표 2. 월별 주풍향 및 평균 풍속

구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
학장	주 풍향	서남서	서남서	남	북동	남	남	북동	동	서북서	남남동	서북서	남동	남
	평균풍속(m/s)	2.2	2.5	2.7	3.2	2.9	2.9	2.8	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	2.2
장림	주 풍향	북서	북서	북서	동	서남서	동	동	동남동	남남동	남동	남동	남동	남동
	평균풍속(m/s)	2.5	2.4	2.3	2.1	2	1.8	1.8	1	1.1	1.2	1.1	1.3	1.7

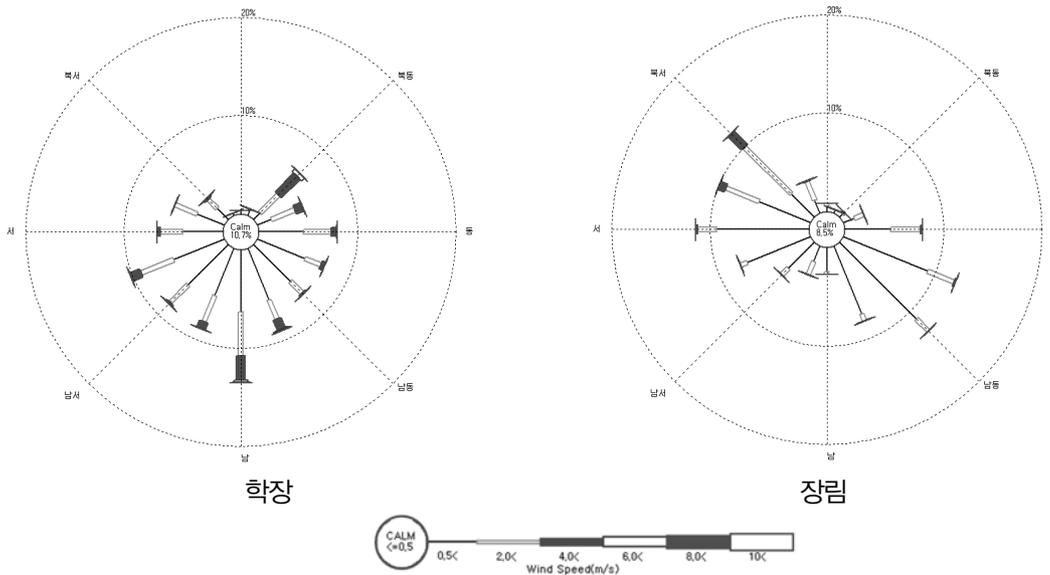


그림 2. 2015년 풍배도

4. 조사결과

○ 운영결과

2015년 시내 2개 지점(학장동, 장림동)에 대해 휘발성유기화합물질(VOCs) 자동측정망 상시 가동 결과,

- 약취 배출허용기준이 설정되어 있는 톨루엔 등 3개 항목들은 모두 배출허용기준(기타지역) 이하로 검출되었음
- 환경기준이 설정되어 있는 벤젠의 경우, 학장동 및 장림동 지점에서 각각 약 0.524 및 0.047 ppb로 환경기준 이내로 검출되었음
 - ※ 대기환경기준(연평균 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 1기압 20 °C일때 1.5 ppb)
- 최소감지농도를 초과하여 검출된 항목은 i-P벤젠, n-p벤젠, m-E톨루엔, p-E톨루엔, p-DE벤젠 총 5개 항목이었으며, 초과빈도 및 항목별 평균 등은 표 3과 같음

○ VOCs 시계열 특성

- VOC의 계절별, 시간별 변화추이를 알아보기 위하여 VOC 총 33개 항목의 농도 합을 구한 뒤 최근 3년간 월별 중간값(median)을 그림 3에 나타내 본 결과,
- 학장동은 매년 10월경, 1월경 순으로 동절기에 높은 농도를 보였는데 업소별 배출량이 증가하는 요인도 있을 수 있으나, 만일 배출량의 변화가 크게 없을 경우 대기혼합이 활발한 여름철이 농도가 낮고 대기가 안정한 겨울철에 농도가 높게 검출되므로 상대적으로 동절기에 높은 결과를 보인 것으로 사료됨
- 장림동은 학장동에 비해 검출농도 및 농도 변화폭이 낮아 상대적으로 주변 오염원의 영향을 덜 받는 것을 알 수 있었으며, 2013년 상반기부터 다소 높은 검출되다가 2015년으로 낮을 농도로 안정화되는 추세를 보임

표 3. VOCs 물질 항목별 결과

(단위:ppb)

구분	배출허용기준 (가타지역)	최소 감지농도 ¹⁾	최소감지농도 초과비율(%)		측정지점						
			학장	장림	2013	학장동 2014	2015	2013	장림동 2014	2015	
기상자료	온도	-	-	-	-	15.8	16.0	15.2	16.1	16.1	15.3
	풍향	-	-	-	-	167	180	172.7	231	315	200.3
	풍속	-	-	-	-	2.7	2.7	2.0	2.2	2.1	1.6
	습도	-	-	-	-	54.0	56.1	59.3	78.0	58.4	60.4
VOCs (악취물질)	톨루엔	10,000	330	0.00	0.00	2.478	0.859	4,240	2,207	0.888	0.411
	m,p-자일렌	1,000	41	0.00	0.00	0.604	0.124	0.156	0.424	0.165	0.061
	스타이렌	400	35	0.00	0.00	0.768	0.419	0.194	0.252	0.033	0.102
	o-자일렌	-	380	0.00	0.00	0.615	0.297	0.185	0.412	0.078	0.037
VOCs (C6류)	MC펜탄	-	1,700	0.00	0.00	1.233	0.044	0.047	0.152	0.006	0.015
	벤젠	-	2,700	0.00	0.00	0.578	0.145	0.524	0.268	0.082	0.047
	시클로hex산	-	-	-	-	0.633	0.067	0.088	0.220	0.003	0.039
VOCs (C7류)	24DM펜탄	-	940	0.00	0.00	0.581	0.049	0.046	0.163	0.001	0.042
	2메틸hex산	-	-	-	-	0.485	0.025	0.130	0.175	0.001	0.035
	23DM펜탄	-	4,500	0.00	0.00	0.262	0.036	0.015	0.182	0.001	0.032
	3메틸hex산	-	840	0.00	0.00	0.522	0.053	0.087	0.232	0.004	0.030
	n-헵탄	-	670	0.00	0.00	0.649	0.093	0.036	0.227	0.008	0.026
	MChex산	-	150	0.00	0.00	0.491	0.201	0.071	0.177	0.015	0.030
VOCs (C8류)	224TM펜탄	-	670	0.00	0.00	0.684	0.137	0.106	0.181	0.001	0.020
	234TM펜탄	-	-	-	-	0.862	0.080	0.062	0.154	0.006	0.008
	2메틸헵탄	-	-	-	-	0.518	0.318	0.125	0.115	0.007	0.012
	3메틸헵탄	-	-	-	-	0.461	0.335	0.172	0.153	0.005	0.014
	n-옥탄	-	1,700	0.00	0.00	0.713	0.394	0.343	0.354	0.031	0.046
	에틸벤젠	-	170	0.00	0.00	1.021	0.491	1.032	1.233	0.228	0.090
VOCs (C9류)	n-노난	-	2200	0.00	0.00	0.504	0.211	0.123	0.275	0.033	0.053
	i-P벤젠	-	8.4	0.17	0.00	0.602	0.286	0.158	0.158	0.013	0.032
	n-p벤젠	-	3.8	0.60	0.01	0.578	0.160	0.108	0.343	0.068	0.043
	m-D톨루엔	-	18	0.01	0.00	0.444	0.090	0.034	0.084	0.007	0.017
VOCs (C9류)	p-D톨루엔	-	8.3	0.01	0.00	0.201	0.033	0.021	0.070	0.007	0.029
	135TM벤젠	-	170	0.00	0.00	0.441	0.063	0.043	0.144	0.010	0.018
	o-D톨루엔	-	74	0.00	0.00	0.403	0.097	0.073	0.221	0.023	0.029
	124TM벤젠	-	120	0.00	0.00	0.841	0.260	0.150	0.322	0.031	0.029
	123TM벤젠	-	-	-	-	0.917	0.133	0.081	0.247	0.004	0.041
VOCs (C10~ C12류)	n-데칸	-	620	0.00	0.00	0.530	0.096	0.049	0.297	0.077	0.023
	m-DE벤젠	-	70	0.00	0.00	0.816	0.160	0.053	0.150	0.009	0.032
	p-DE벤젠	-	0.39	3.22	4.96	0.542	0.108	0.079	0.471	0.088	0.092
	n-운데칸	-	870	0.00	0.00	0.772	0.340	0.125	0.399	0.035	0.081
	n-도데칸	-	110	0.00	0.00	0.830	0.128	0.145	0.484	2.812	0.201

1) 최소감지농도 : 후각으로 감지할 수 있는 가장 낮은 농도, 출처 : 2012 악취관리편람(환경부)

2) m,p-자일렌과 o-자일렌을 합친 농도이며, m,p-자일렌 및 o-자일렌의 최소감지농도가 각각 41과 380 ppb

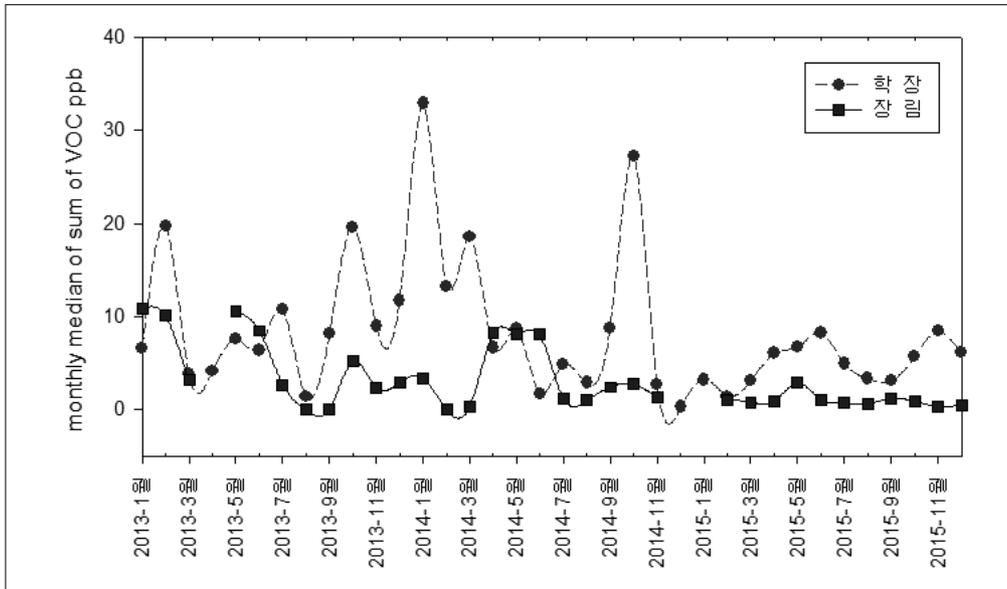
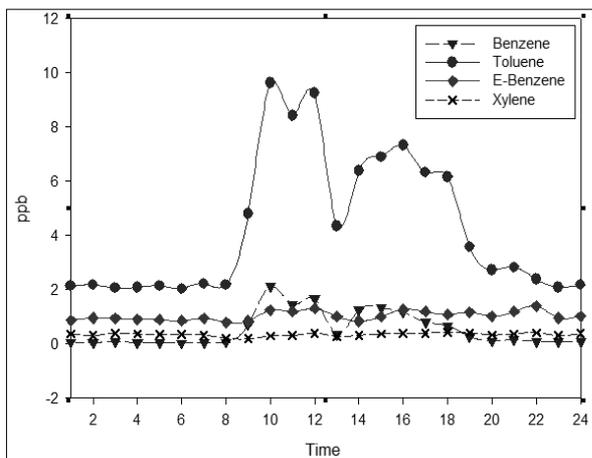


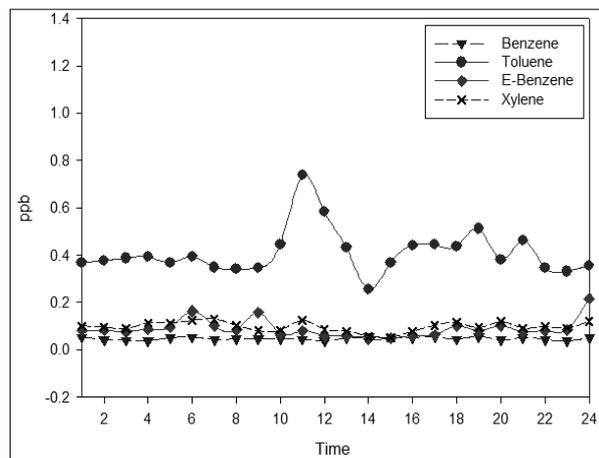
그림 3. VOC 농도합의 월별 중간값

○ 주야간 변화추이

- 상온에서 액체로 존재하는 방향족 탄화수소류(C≥4)는 대부분 증발 배출로 인한 오염을 유발하므로 온도의 영향이 크다. 다시 말해 온도가 높은 낮에는 높고, 밤에는 낮은 주고 하저(晝高夜低)형의 일변화를 보임
- 대표적 방향족 탄화수소인 BTEX항목의 시간별 분포를 그림 4에 나타내 본 결과 학장동, 장림동 모두 낮시간대에 높은 농도를 보임을 알 수 있음
- 특히, 학장동은 벤젠, 톨루엔 항목이 주간(10 ~ 14시경)에 농도가 높게 조사되었으며, 이는 주변 산업단지 등의 조업시간내 오염물 배출에 영향을 받은 것으로 사료됨



학장



장림

그림 4. 주요항목 시간별 결과

○ 환경기준항목(벤젠)

- 벤젠농도는 두 지점 모두 대기환경기준 이내로 검출되었고, 대기환경기준 대비 학장동 지점은 약 34.9 %, 장림동 지점은 약 3.1 % 수준으로 조사되었음

※대기환경기준(연평균 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 1기압 20 $^{\circ}\text{C}$ 일때 약 1.5 ppb)

- 2015년 월별 벤젠 분포를 그림 5에 나타내었으며, 학장동의 경우, 높게 검출된 달은 5, 6, 10, 11, 12월이었으며, 특히, 11월이 가장 높은 값을 보임. 장림동은 1, 2, 3, 5월이 상대적으로 높게 검출되었으며, 5월이 가장 높았음. 두 지점 모두 대기혼합이 활발한 하절기에는 농도가 높지 않았음

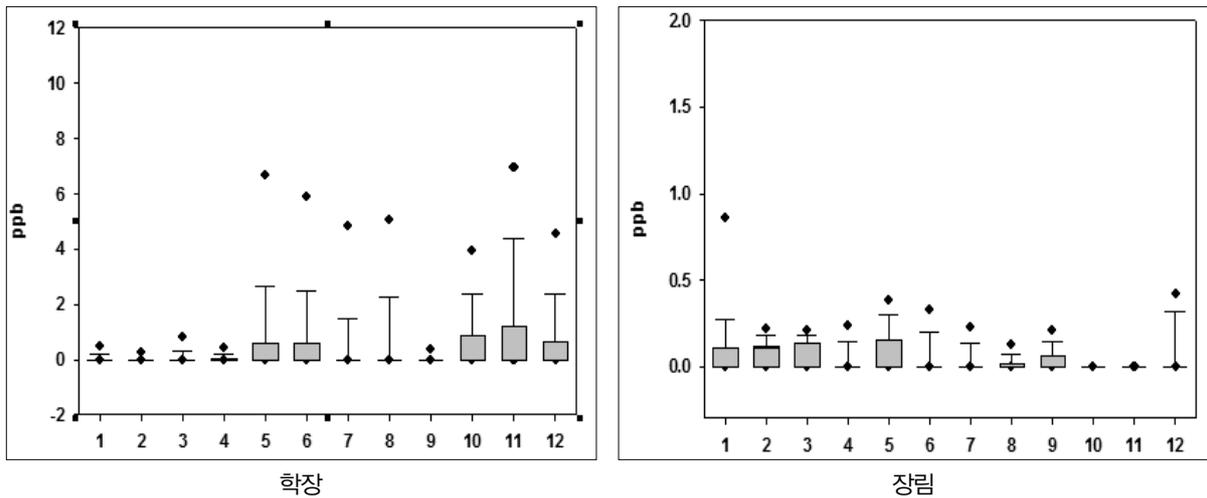


그림 5. 벤젠 월별 분포

○ 타지역간의 VOCs 농도 비교

- 학장동 및 장림동 측정소의 주요 VOCs물질을 타 지역과 비교한 결과를 표 4에 나타내 보았으며, 검토결과 두 지점 모두 화학공단지역내 위치한 울산 여천동 지점이 보다 훨씬 낮게 검출되었으며, 학장동 지점은 충북 봉명동(상업지역), 광주 하남동(주거지역, 인근 공장지역 위치), 대구 만촌동(주거지역) 지역과 비슷한 농도를 보였으며, 장림동 지점은 이 보다 훨씬 낮은 농도를 보임

표 4. 주요 지역의 VOCs 농도¹⁾

(단위:ppb)

구분	대구 만촌동	울산 여천동	광주 하남동	충북 봉명동	학장동		장림동	
					2014년	2015년	2014년	2015년
Toluene	5.51	7.05	2.48	2.73	0.859	4.240	0.888	0.411
Xylene ²⁾	0.95	15.62	0.74	0.45	0.411	0.341	0.243	0.108
Styrene	0.07	0.70	0.13	0.01	0.419	0.194	0.033	0.102
Benzene	0.90	2.74	0.23	0.51	0.145	0.524	0.082	0.047

1) 자료출처 : 대기환경연보(2014, 국립환경과학원)

2) m,p-Xylene과 o-Xylene을 합한 농도임

○ 오염장미로 본 주요물질 배출특성

- 오염장미는 풍속에 따른 오염물질의 농도별 분포를 풍배도 위에 나타낸 그림으로 톨루엔 및 벤젠의 오염장미 검토 결과, 오염물질의 농도 및 검출 빈도는 풍향과 발생 횟수의 영향을 주로 받은 것을 알 수 있음
- 학장동 지점의 경우, 전 방위의 배출원의 영향을 많이 받고 있는 것으로 조사되었으며, 장림동 지점은 북동쪽을 제외한 측정소 주위의 산업단지 및 악취관리지역 배출원의 영향을 받고 있는 것으로 조사됨

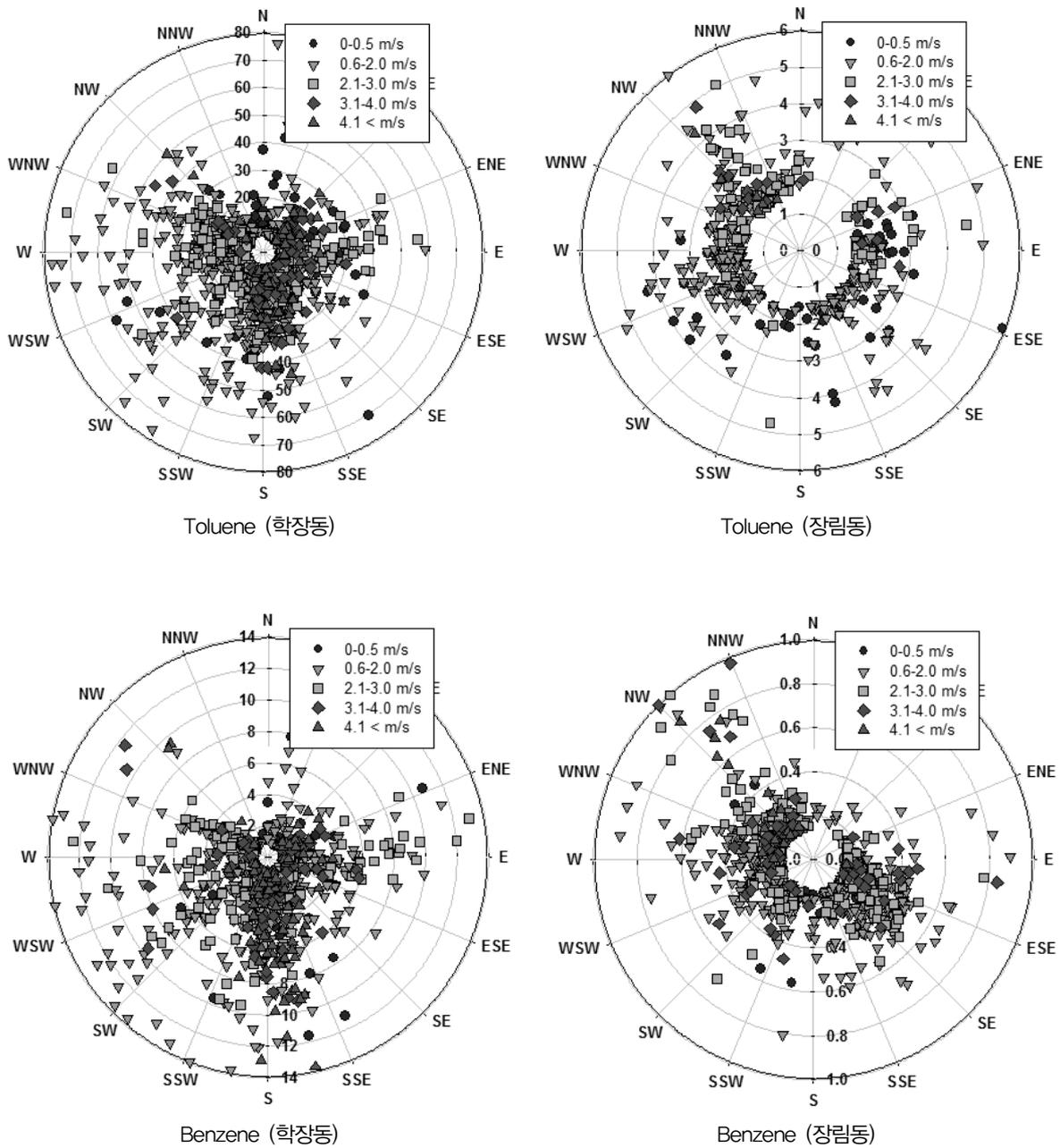


그림 6. 톨루엔, 벤젠 오염장미

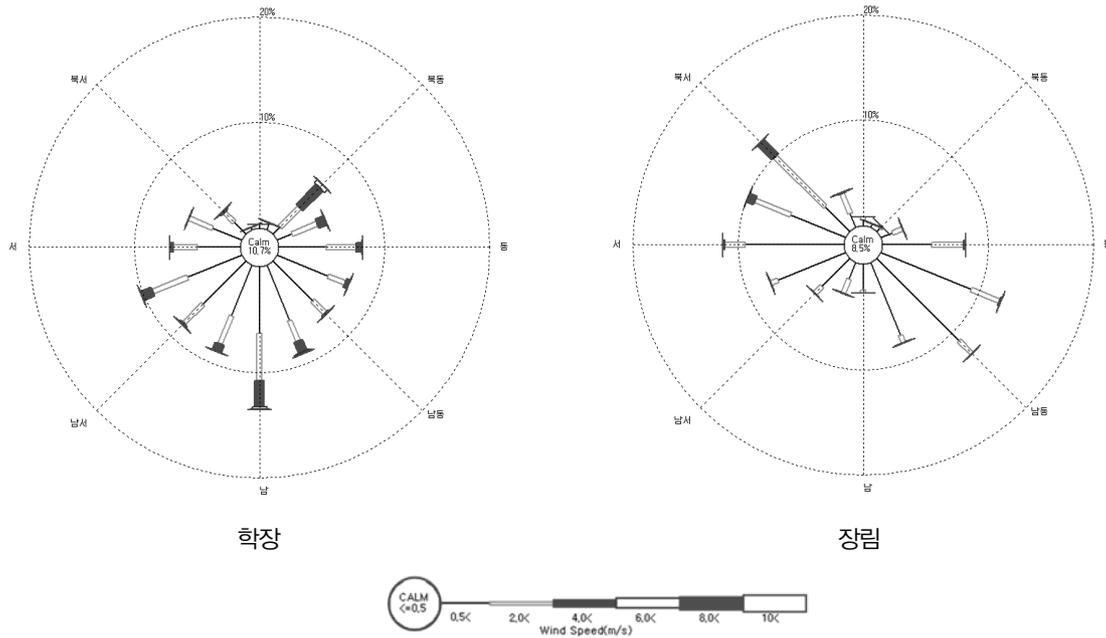


그림 7. 지점별 풍배도

4. 결 론

- 2015년 시내 2개 지점(학장동, 장림동)에 대해 휘발성유기물질(VOCs)자동측정망 상시 가동 결과,
- 약취 배출허용기준이 설정되어 있는 톨루엔 등 3개 항목들은 모두 배출허용기준(기타지역) 이하로 검출되었음
 - 환경기준이 설정되어 있는 벤젠의 경우, 학장동 및 장림동 지점에서 각각 약 0.524 및 0.047 ppb로 환경기준 이내로 검출되었음
 - ※ 대기환경기준(연평균 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 1기압 20 $^{\circ}\text{C}$ 일때 약 1.5 ppb)
 - 최소감지농도를 초과하여 검출된 항목은 i-P벤젠, n-p벤젠, m-E톨루엔, p-E톨루엔, p-DE벤젠 총 5개 항목이었음
 - 학장동 측정소의 2015년 주풍향은 남풍으로 사상공업단지에서 배출되는 약취오염물질의 영향을 적게 받았으나, 공단지역 약취현황조사의 조사 지점이 남쪽에 위치해 있으며 이 주변의 공장시설의 영향을 많이 받았을 것으로 사료됨
 - 장림동 측정소의 2015년 주풍향은 남동풍으로 서쪽에 위치해 있는 공업단지 및 약취관리지역의 영향을 비교적 적게 받았을 것으로 판단됨
 - 오염장미 검토 결과, 오염물질의 농도 및 검출 빈도는 풍향과 발생 횟수의 영향을 주로 받은 것을 알 수 있었음

5. 활용방안

- 사상과 신평·장림공단의 대기 중 벤젠, 톨루엔 등 휘발성 유기화합물 (VOCs)의 측정으로 지역 오염도 평가 자료로 활용

6. 기대효과

- VOCs 및 대기오염물질의 과학적 관리를 위한 자료 제공으로 쾌적한 대기 환경 조성