

# 시화산업단지의 블록 별 악취유발물질 특성

## Patterns of Offensive Odor Compounds According to Blocks in Shihwa Industrial Complex

변상훈<sup>†</sup> · 이정근 · 김정근\*  
 Sang-Hoon Byeon<sup>†</sup> · Jung-Geun, Lee · Jung-Keun Kim\*

고려대학교 환경보건학과 · \*한국산업기술대학교 생명화학공학과  
 Dept. of Environmental Health, Korea University,

\* Department of Chemical Engineering & Biotechnology, Korea Polytechnic University

(2009년 8월 21일 접수, 2009년 12월 2일 채택)

**ABSTRACT** : This research was conducted on characteristic of offensive odors in Shihwa industrial complex. Result of blocks distribution of TVOC indicates that mechanic block, site D, was the highest concentration (74 ppb). Chemistry block, site A, was the second highest concentration (50 ppb). Also, mixed blocks, metal blocks and park etc. were measured almost similar concentration about 30 ppb, but mixed block, site F, was the place where concentrations were the smallest. Average of TVOC was shown about 35 ppb concentration. Aldehydes including acetaldehyde, butyraldehyde and hydrogen sulfide concentrations were prevalent among offensive odors in Shihwa industrial complex. Comparing the offensive odor intensity mostly about acetaldehyde, butyraldehyde and hydrogen sulfide which contain high offensive odor intensity showed results that sites A, B (chemistry block) and site D, I (mechanic block) site H (metal block) have showed the intensity over 1. In the case of acetaldehyde, relatively the high odor intensities over '2' were able to obtain in many cases. The correlation coefficient (r) for hydrogen sulfide was 0.91, so that high positive correlation exists between offensive odor intensity and the hydrogen sulfide element. Butyraldehyde also showed high positive correlation coefficient, as 0.82. Correlation coefficient of acetaldehyde that had the highest value as offensive odor substance was 0.62, had somewhat correlation with offensive odor intensity.

**Key words** : Offensive Odor Compounds, VOCs, Passive sampler, Block, Shihwa Industrial Complex

**요약** : 본 연구는 시화공단 단지에서 발생하는 주요 악취물질의 특성을 조사하였다. TVOC의 블록 별 분포를 보면 기계블록인 장소 D의 농도가 74 ppb로 가장 높았다. 화학블록인 장소 A가 그 다음으로 높은 50 ppb의 농도를 보였으며, 복합블록과 금속블록, 공원 등은 30 ppb 내외의 유사한 농도 수준을 보였고, 복합블록인 장소 F에서 평균 TVOC가 18 ppb로 가장 낮게 측정되었다. 평균 TVOC 농도는 35 ppb로 나타났다. 아세트알데히드, 부티르알데히드 등을 비롯한 알데히드류와 황화수소의 농도가 시화공단 지역의 악취물질 중에서 높게 나타났다. 대표적으로 악취 강도가 높은 물질인 아세트알데히드, 부티르알데히드, 황화수소를 중심으로 블록 별 악취강도를 비교해 본 결과 장소 A, B(화학블록)와 장소 D, I(기계블록), 장소 H(금속블록)에서 세 물질의 악취강도가 모두 1을 넘었다. 아세트알데히드의 경우 악취강도가 2 내외로 비교적 높게 나타나는 경우가 많았다. 황화수소의 경우 상관계수의 값이(r) 0.91로 악취강도와 황화수소 성분 사이에 매우 높은 양의 상관성이 있는 것으로 확인되었다. 부티르알데히드도 상관계수가 0.82로 역시 높은 양의 상관성을 보였다. 악취물질 농도로는 가장 큰 값을 보였던 아세트알데히드는 상관계수가 0.62로 악취강도와 어느 정도의 상관성이 있는 것으로 나타났다.

**주제어** : 악취, 시화산업단지, 휘발성 유기화합물, 블록, 패시브샘플러

### 1. 서론

휘발성 유기화합물 (Volatile Organic Compounds, VOCs)은 주로 대기환경, 작업장 그리고 생활용품들에서 발견된다.<sup>1~3)</sup> 그러므로, 인간은 휘발성유기화합물을 쉽게 접할 수 있으며, 피부, 호흡기, 그리고 소화를 통해서 쉽게 흡수되

고, 낮은 농도에서의 장기간 노출 시 건강 피해를 줄 수 있다.<sup>4~5)</sup> 자동차의 급증과 각종 유기용매의 사용 증가 등과 같은 요인으로 인해, VOCs는 대기질의 변화를 초래하는 주요 요인의 하나로 알려져 있으며 지구 온난화와 성층권 오존층 파괴의 원인이고 악취를 발생시키는 유해물질이다.<sup>6~7)</sup> 또한 방향족 탄화수소나 할로젠화 탄화수소 류와 같이 그 자체로서

<sup>†</sup> Corresponding author : E-mail : shbyeon@korea.ac.kr Tel : 02-940-2866 Fax : 02-940-2866

직접적으로 인체에 유해한 발암성이나 유전독성을 내포하고 있다.<sup>8)</sup> 특히 벤젠은 미국 EPA에 의해서 인간 발암성 성분 그룹 A(EPA 2005)로 분류되어 관리되고 있다.<sup>9~11)</sup>

이러한 물질 중 상당수가 대기오염물질 중 악취성분으로, 일반적으로 여러 화합물들의 혼합물로 구성되며, 인간에게 정신적인 스트레스를 유발시켜 메스꺼움, 두통, 식욕감퇴, 호흡곤란 및 알레르기 현상 등으로 인체의 자각증상을 나타낸다. 국내에서는 2005년 2월부터 총 12개 화학 성분을 악취물질로 지정하고 있으며, 2008년에는 톨루엔을 비롯한 5개 물질, 2010년에는 프로피온산을 비롯한 5개 물질을 추가하여 총 22개 악취물질들에 대해서 규제를 하고 있다.<sup>12~13)</sup>

시화산업단지 내에는 2006년 12월 현재 5345개의 중소기업이 입주하여 조업 중에 있으며 특히 화학, 피혁, 염색 단지, 폐기물처리, 금속산업 등 악취 및 휘발성유기용제(VOCs) 유발업체가 다수 밀집되어 있다. 시화산업단지의 배후 주거지역은 쾌적한 삶의 공간을 제공하기 위하여 공업단지 조성은 시가지구역에서 격리시키고 공해물질의 배출과 풍향을 고려하여 공업단지와 시가지의 위치를 배열한다는 처음 취지와는 달리 공단에서 불과 175 m 떨어진 지역에 대단위 주거지역이(244만평) 조성됨에 따라 거주하는 주민들은 대기오염과 악취에 따른 민원이 빈발하여 사회적 문제가 되고 있다.

현재 시흥환경기술개발센터는 경기도와 시흥시의 지원으로 주민들에 의한 실시간 악취 모니터링을 위한 유비쿼터 시스템 구축을 하여 운영 중에 있다. 그러나 악취 모니터링은 단지 후각에 의존하고 있어 이의 과학적인 접근이 매우 필요하다. 또한 기존 복합악취로는 정확한 악취의 종류를 구분하기가 모호하여 해당 배출업소 추적이 어려운 상태이다. 따라서 본 연구에서는 공단 내 블록 별 주요 악취유발물질을 규명하여, 효과적인 악취물질 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 실험방법

시화공단 단지는 여러 업종이 섞여서 공장이 가동되고 있는 복합블록과 기계금속을 주로 다루는 블록, 화학제품을 생산하는 블록, 하수종말처리장, 공원 등으로 나눌 수 있었다. 시화공단 블록 별로, 블록을 대표할 수 있는 위치를 선정하여, 총 9개의 시료채취장소(1 km × 1 km 격자망)를 구성하여 시료를 채취하였다(Fig. 1).

### 2.1. 휘발성 유기화합물 분석

현장조사는 2008년 9월부터 2008년 11월까지 총 2차 조사



Fig. 1. Sampling points selected in Shihwa Industrial Complex.

기간에 걸쳐 매회 9개의 채취 점으로부터 환경대기 시료를 채취하였다(Table 1). 3M 3500 passive sampler (3M Model: 3500, USA)를 사용하여 1개월간 샘플링하여 GC/MSD (HP6890, USA)로 분석하였다. passive sampler의 설치시 자동차의 배기가스로부터의 실험오차를 줄이기 위하여 자동차도로로부터 15 m 이상 떨어진 장소에 설치하였다.

### 2.2. 황 및 알데히드 화합물 분석

위에서 선정된 9개의 대상지점들에 분포하는 악취성분들에 대한 조사는 다음과 같이 진행하였다. 현장조사는 2008년 9월부터 2008년 11월까지 총 3차 조사기간에 걸쳐 매회 9개의 채취 점으로부터 환경대기 시료를 채취하였다. 그리고 이들 현장시료를 실험실로 가져와서 정밀분석을 수행하였다. 시료의 화학적인 분석은 시료의 채취가 이루어진 시점으로부터 24시간 이내 신속하게 진행하였다. 시료채취시의 기상조건은 Table 2와 같았다. 황 화합물들의 경우 GC/FPD (Shimadzu, Model GC-2010)에 열탈착기법(Thermal desorption unit (TDU), Top Trading)을 적용하였다. GC 분석에서 시료 분리를 위한 컬럼으로는 HaySep-QJ (30 m × 0.53 mm, 20 μm)를 사용하였다.

알데히드 성분의 분석은 DNPH 카트리지를 이용하여 샘플링하였고 HPLC (Shimadzu, Model LC-10AD)로 분석하였다. 알데히드 계열의 성분을 효과적으로 분리검출하기 위해, 30 cm × 3.9 mm ID 비극성(reversed phase) 컬럼인 Phenonene C<sub>18</sub>를 사용하였다.

Table 1. Sampling points in Shihwa Industrial Complex

Sampling point		Sampling point	
A	1Na 202 (Chemical Blocks)	F	2Ba 201 (Mixed Blocks)
B	1Ra 102 (Chemical Blocks)	G	3Na 211 (Mixed Blocks)
C	1Ba Sewage Treatment Plant	H	3Ra 201 (Machinery Blocks)
D	2Na 212 (Machinery Blocks)	I	3Ba 201 (Metal Blocks)
E	2Na (Hee Mang Park)		

**Table 2.** The climate conditions of 9 sampling points

Site	Octobe			September			November		
	Temp.(°C)	WD	WV(m/s)	Temp.(°C)	WD	WV(m/s)	Temp.(°C)	WD	WV(m/s)
A	26	N	2.2	13	NW	2.2	8	EW	0.5
B	26	WS	2.0	14	EW	1.6	7.7	EEW	0.8
C	25	WS	2.1	14	EW	2.0	7.5	N	1.2
D	26	WS	2.0	13	E	1.8	7.8	W	1.2
E	26	NW	2.2	14	W	2.6	7.8	EW	1.4
F	27	SE	1.8	14	EW	2.0	7.7	W	1.0
G	25	SE	1.8	12	WS	1.2	6.6	SW	1.8
H	25	SE	2.4	12	W	1.4	6.8	SSW	0.8
I	27	W	1.3	13	SE	1.2	7.3	E	1.2

WD: direction of wind, WV: velocity of wind

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. VOCs 오염 현황

Table 3은 9월과 10월에 걸쳐 시화공단의 블록 별 지점에 대한 VOCs 성분 분석에 대한 결과이다. 전체 시료채취 기간에 대하여 모든 블록에서 톨루엔이 가장 고농도로 측정되었다. 9월의 톨루엔의 농도 범위는 0~43 ppb이고 평균은 17 ppb로 나타났으며 10월에는 13~53 ppb의 범위와 21 ppb의 평균 농도를 보였다. 총 휘발성 유기화합물(Total Volatile Organic Compound, TVOC)의 9월 농도범위는 5~68 ppb 이고 평균은 30 ppb, 10월에는 22~81 ppb의 범위와 35 ppb의 평균을 보였다. 톨루엔과 TVOC 농도는 9월보다 10월

에 더 높았지만 SPSS 분산분석(ANOVA)을 수행했을 때 블록간 농도의 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다.

VOCs 성분을 전체 평균값으로 표기하여 농도 순으로 정리해보면 toluene (20.79 ppb), xylene (4.69 ppb), ethyl benzene (3.45 ppb), 1,3-dichloropropene (2.30 ppb), tricholoro ethylene (2.15 ppb), 3-chloro 1-propene (0.89 ppb), dichloromethane (0.85 ppb), 1,2,3-trimethylbenzene (0.70 ppb), 1,3,5-trimethyl benzene (0.05 ppb) 이었으며, 시화공단 VOCs의 평균농도는 0~20 ppb 범위에 있음을 확인하였다. 전체 블록의 대기 중 농도가 가장 높은 물질인 톨루엔은 특히 기계블록인 D블록과 화학블록인 A블록에서 높은 농도를 보였다. 1,3,5-트리메틸벤젠은 D와 H 지역에서만 검출되었는데 이 두 블록이 공통적으로 기

**Table 3.** VOCs concentrations in 9 blocks of Shihwa Industrial Complex

(Unit: ppb)

Compounds	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Avg.
September										
Trichloroethylene	0.54	1.61	1.21	1.86	3.37	0.00	1.66	1.83	2.25	1.59
Toluene	27.71	16.15	21.68	42.88	10.86	0.00	9.46	15.04	11.57	17.26
Etylbenzene	1.90	1.93	1.88	12.12	1.90	0.00	1.96	2.36	1.90	2.88
Xylene	4.73	4.76	4.76	5.95	4.75	0.00	4.75	5.25	4.75	4.41
Dichloromethane	0.39	0.46	2.98	0.78	0.67	0.97	0.65	1.21	0.79	0.99
1,3-dichloropropene	0.07	2.61	2.67	2.57	2.60	2.70	2.54	2.66	2.60	2.33
3-chloro 1-propene	1.00	0.89	0.91	0.87	0.88	0.92	0.87	0.91	0.88	0.90
1,2,3-trimethyl-benzene	0.70	0.69	0.70	0.68	0.74	0.70	0.69	0.68	0.71	0.70
1,3,5-trimethyl-benzene	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
Total VOC	37.04	29.07	36.78	67.98	25.78	5.28	22.57	29.95	25.45	31.10
October										
Trichloroethylene	1.67	2.45	0.97	1.72	2.87	4.61	1.90	3.36	3.95	2.61
Toluene	52.78	18.70	10.50	51.58	13.85	14.78	13.31	21.13	23.13	24.42
Etylbenzene	2.62	2.07	1.89	16.67	1.99	1.90	2.01	2.67	2.78	3.84
Xylene	4.81	4.74	4.77	5.71	4.74	4.77	4.89	5.45	4.89	4.97
Dichloromethane	0.60	0.58	0.59	1.51	0.87	1.12	0.67	1.29	1.25	0.94
1,3-dichloropropene	0.12	2.68	2.54	2.55	2.64	2.55	2.62	2.54	2.58	2.31
3-chloro 1-propene	0.90	0.91	0.86	0.87	0.90	0.87	0.89	0.87	0.88	0.88
1,2,3-trimethyl-benzene	0.69	0.70	0.69	0.71	0.70	0.70	0.68	0.68	0.70	0.69
1,3,5-trimethyl-benzene	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.06
Total VOC	64.18	21.83	22.81	81.59	28.55	31.31	26.98	38.27	40.16	39.52

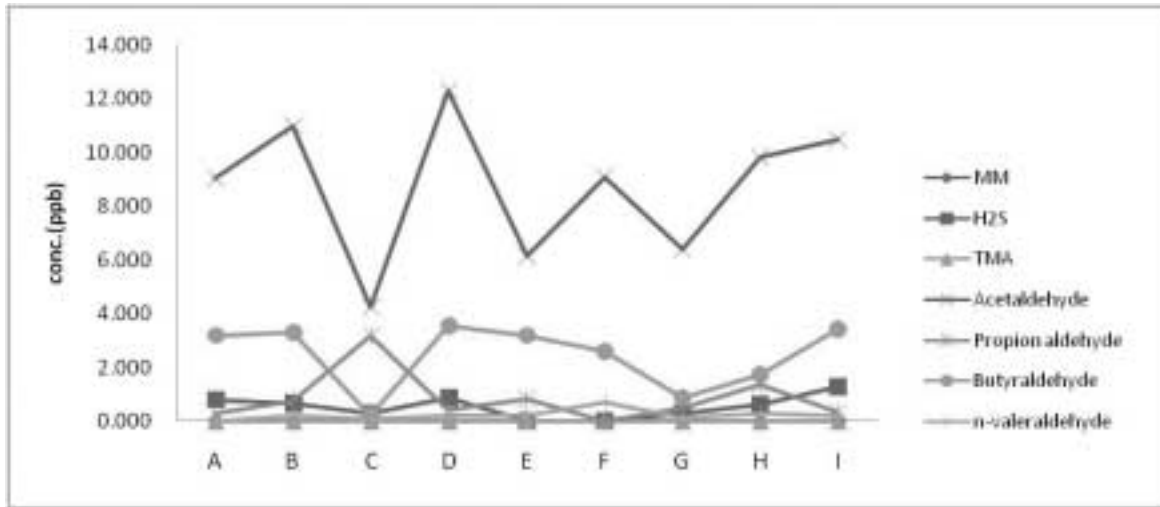


Fig. 2. Concentrations for sulfur and aldehyde compounds in Shihwa Industrial Complex.

계블록에 해당하는 것으로 미루어 보아 이 물질의 배출은 미량 성분이지만 업종과 관계가 있음을 유추할 수 있다.

평균 TVOC 농도는 35 ppb이고, 블록 별 분포를 보면 기계블록인 장소 D의 농도가 74 ppb로 가장 높게 나타났다. 화학블록인 장소 A가 그 다음으로 높은 50 ppb의 TVOC 농도를 보였으며, 복합블록과 금속블록, 공원 등은 30 ppb 내외의 유사한 농도 수준을 보이는 가운데 복합블록인 장소 F에서 평균 TVOC가 18 ppb로 가장 낮게 측정되었다.

전반적으로 시화 공단의 VOCs 오염 현황은 블록 별로 약간의 차이를 보이기는 하지만 TVOC와 톨루엔을 비롯하여 통계적으로 유의한 수준은 아닌 것으로 나타났다. 장소 D(기계블록)에서 톨루엔과 에틸벤젠 농도가 다른 지역보다 높고 장소 A(화학블록)도 톨루엔의 농도가 높게 나타난 것 외에 나머지 블록에서는 VOCs 성분이 대체로 유사한 농도 수준을 보였다.

한편, 희망공원에 해당하는 장소 E와 하수종말처리장 장소 C는 다른 블록과 유사하거나 다소 낮은 수준의 VOCs 농도 수준을 유지하는 것으로 보인다. 이는 직접적인 VOCs 오염물질을 배출하는 공단의 여타 시설들과는 그 성격을 달리하지만, 공단지역의 중심에 위치해 있기 때문에 D블록 등을 비롯한 각종 배출 업소로부터의 오염물질이 확산된 결과인 것으로 보인다.

### 3.2. 악취 오염 현황

#### 3.2.1. 블록 별 악취물질 대기 중 농도 분석

Table 4는 시화공단의 블록 별 대기 중 악취물질 측정 결과를 나타내고 있다. 총 3차의 시료 채취 후 분석을 수행한 결과 아세트알데히드, 부티르알데히드 등을 비롯한 알데히드류와 황화수소의 농도가 시화공단 지역의 악취물질 중에서 높게 나타났다. 1차 측정에서 황화수소가 0.00~1.17 ppb, 아세트알데히드는 장

소 C(하수종말처리장)을 제외하고는 11.24~20.66 ppb, 부티르알데히드는 0.07~4.65 ppb 등으로 나타났다. 2차 측정에서는 황화수소가 0.00~2.63 ppb, 아세트알데히드가 3.51~8.32 ppb, 부티르알데히드가 0.01~4.36 ppb로 분석되었다. 3차 시료채취에서는 아세트알데히드가 2.65~10.74 ppb, 부티르알데히드가 0.00~3.01 ppb로 나타났으며 황화수소는 하수종말처리장을 제외한 산업단지 블록에서는 감지되지 않았다.

블록별 악취물질의 대기 중 평균 농도는 Table 4, Fig. 2와 같다. 악취 물질의 평균을 정리하면 아세트알데히드(8.72 ppb), 부티르알데히드(2.44 ppb), 프로피온알데히드(0.85 ppb), 황화수소(0.54 ppb), 발레르알데히드(0.23 ppb)의 순서가 된다. 트리메틸아민은 모든 블록에서 검출되지 않았고 메틸메르캅탄도 장소 A(화학블록)를 제외하고는 검출되지 않았다. 아세트알데히드는 블록 평균 농도가 8.72 ppb로 시화공단 대기 중 악취 물질의 주요한 성분인 것이 확인되었다. 장소 D(기계블록)에서 12.30 ppb로 가장 높게 검출되었고 장소 C(하수종말처리장)에서 4.24 ppb로 최저 농도로 나타났으며 공업지역의 규제치인 0.1 ppm보다는 낮았다. 부티르알데히드 역시 규제치 0.1 ppm에 미치지 못하는 가운데 장소 D에서 가장 높게 측정되었고 장소 C에서 가장 낮았다. 황화수소는 규제치 0.06 ppm에 비해 평균 0.54 ppb의 미량으로 검출되는 가운데 장소 D에서 최고농도로 분석되었다. 프로피온알데히드의 경우는 다른 악취 물질과는 다르게 전체 시료채취기간에 걸쳐 장소 C(하수종말처리장)에서 가장 높은 농도를 보였다.

이러한 악취 물질 오염 현황을 종합해 볼 때, 시화공단 지역 내 주요 악취 성분은 황화수소와 아세트알데히드, 부티르알데히드 등의 알데히드류 물질인 것으로 판단된다. 주요 악취 물질들은 모두 규제치를 넘지 않는 가운데 장소 D(기계블록)의

대기 중에서 고농도로 검출되었고 장소 B(화학블록), 장소 I(복합블록) 높은 농도로 분석되었다. 전반적인 악취 물질이 가장 낮은 농도 수준으로 측정된 지점은 장소 C(하수종말처리장)이며 장소 E(희망공원)의 경우에는 황화수소는 검출되지 않았으나 알데히드류는 성분 물질의 평균과 유사한 수준을 보였다.

Table 5는 본 연구에서의 시화공단의 악취물질 평균 측정 농도를 기존에 행해진 다른 연구 결과와 비교한 것이다. 김성천<sup>14)</sup>의 군산산단의 평가 결과를 보면 시화공단에 비해 알데히드류의 공기 중 농도가 매우 낮은 것을 알 수 있다. 김용문 외<sup>15)</sup>, 최재성 외<sup>16)</sup>의 연구결과 또한 각 지역에서의 알데히드류의 농도는 본 연구에 비교하여 낮게 측정되었음을 보여준다. 이 지역들은 오히려 황화수소의 농도가 1.15~25.85 ppb로 높게 측정되어 악취물질의 주요 성분이 황화수소임을 보이고

있다. 시화공단과 인접한 지역인 반월공단은 알데히드류 중심의 악취물질 경향성을 갖는 것은 본 연구 결과와 유사하나, 아세트알데히드의 농도가 4.3배나 높은 것을 비롯하여 성분 농도가 대체로 높게 측정되었다.

### 3.2.2 악취물질 농도와 악취강도의 관계

악취현상은 감각적 공해이므로 단순히 성분 물질의 농도만으로 사람이 느끼는 정도를 표현하기에는 한계가 있다. 악취의 강도는 악취물질들의 농도 크기에 대하여 지수함수적으로 변화한다는 Weber-Fechner 법칙( $I = k \log C + b$ )으로 악취의 와 대기 중 악취물질의 농도 사이의 관계를 연계할 수 있다.<sup>19)</sup> 본 연구에서 관측한 악취성분들의 농도분포를 해석하는 한 방법으로, 일본 후생성에서 제시한 악취강도 환산식을 적

Table 4. Concentrations for sulfur and aldehyde compounds

(Unit: ppb)

Compounds	Site A	Site B	Site C	Site D	Site E	Site F	Site G	Site H	Site I	Mean
First										
MM	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> S	1.17	1.02	0.00	0.98	0.00	0.00	0.00	0.88	1.24	0.59
MS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DMS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acetaldehyde	12.09	18.23	0.00	19.41	11.24	16.31	12.00	17.26	20.66	14.13
Propion aldehyde	0.29	0.95	4.84	0.91	2.49	0.00	1.47	3.01	1.00	1.66
Butyraldehyde	3.89	2.99	0.07	3.05	3.62	1.62	0.99	1.60	4.56	2.49
n-valeraldehyde	0.00	0.31	0.29	0.63	0.65	1.74	0.38	0.11	0.64	0.53
iso-valeraldehyde	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Second										
MM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> S	1.25	0.99	0.00	1.66	0.00	0.00	0.90	1.03	2.63	0.94
TMA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acetaldehyde	8.32	8.32	3.51	6.74	4.58	5.09	4.16	6.58	6.28	5.95
Propion aldehyde	0.31	0.31	2.92	0.39	0.00	0.00	0.00	1.07	0.00	0.56
Butyraldehyde	3.99	3.99	0.01	4.57	4.36	3.43	1.58	1.34	2.90	2.91
n-valeraldehyde	0.01	0.27	0.01	0.02	0.00	0.16	0.00	0.43	0.00	0.10
Third										
MM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> S	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
TMA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acetaldehyde	6.70	6.36	9.21	10.74	2.65	5.78	3.02	5.62	4.48	6.06
Propion aldehyde	0.22	0.98	1.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
Butyraldehyde	1.65	2.85	0.57	3.01	1.55	2.70	0.00	2.22	2.75	1.92
n-valeraldehyde	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.31	0.00	0.07

Table 5. Comparison of other studies for sulfur and aldehyde compounds in industrial complex

(Unit: ppb)

Compounds	Gun San <sup>14,17)</sup>	Jun Ju <sup>14,17)</sup>	Chung Ju <sup>16)</sup>	Yeo Su <sup>16)</sup>	Ban Wall <sup>18)</sup>	This study
MM	0.000	0.191	0.000	0.000	-	0.001
H <sub>2</sub> S	0.388	1.146	15.533	25.850	0.990	0.542
TMA	0.367	-	-	-	1.020	0.000
Acetaldehyde	0.054	0.130	0.185	0.350	19.100	4.453
Propion aldehyde	0.001	0.000	0.000	0.000	16.800	4.570
Butyraldehyde	0.000	0.000	0.389	0.000	14.900	2.297
n-valeraldehyde	0.000	0.000	0.000	0.000	0.380	0.741

용하여 악취강도를 환산하였다. Table 6은 물질 별 악취강도를 환산식으로 나타낸 것이다.<sup>20)</sup> 악취강도는 다음과 같이 6단계로 구분할 수 있다: 악취강도 0은 '무취', 1은 '감지할 수 있는 냄새', 2는 '무슨 냄새인지 식별이 가능한 냄새', 3은 '쉽게 느낄 수 있는 냄새', 4는 '강한 냄새', 5는 '강렬한 냄새'.

Table 7은 시화 공단의 블록 별 대기 중 악취 성분의 농도 값을 악취강도로 환산한 것이다. 메틸머캅탄과 트리메틸아민에 의한 악취 강도는 거의 느껴지지 않았다. 아세트알데히드와 부티르알데히드 등의 알데히드류 물질은 블록 별로 차이는 있었지만 대체로 악취강도가 1과 2사이에 해당하는 것으로 나타났다. 황화수소는 악취 농도 값에서는 아세트알데히드의 1/16에 해당하는 비교적 미량 성분으로 검출되었음에도 불구하고 악취

강도로 환산했을 때는 장소 A, D 등에서 악취강도 1을 넘었다.

대표적으로 악취 강도가 높은 물질인 아세트알데히드, 부티르알데히드, 황화수소를 중심으로 블록 별 악취강도를 비교해 보았다 (Fig. 3). 1차 측정에서는 장소 A, B(화학블록)와 장소 D, I(기계블록), 장소 H(금속블록)에서 세 물질의 악취강도가 모두 1을 넘었다. 아세트알데히드의 경우 악취강도가 2 내외로 비교적 높게 나타나는 경우가 많았다. 2차 측정에서는 부티르알데히드의 악취강도가 아세트알데히드보다 더 높게 나타나는 특징을 보였다. 세 물질의 악취 강도가 모두 1을 넘는 블록에 1차와 동일한 가운데 장소 G(복합블록)가 추가되었다. 3차 측정에서는 장소 C(하수종말처리장), G(복합블록)를 제외하고는 아세트알데히드와 부티르알데히드의 악취강도는 모든 블록에서

Table 6. Correlations of offensive odor intensity and concentrations, <sup>20)</sup>

(Unit: ppb)

Compounds	Functions	Offensive order intensity						
		1	2	2.5	3	3.5	4	5
MM	$Y^*=1.25\log X^{**}+5.99$	$1.2 \times 10^{-4}$	$6.5 \times 10^{-4}$	$1.6 \times 10^{-3}$	$4.1 \times 10^{-2}$	$1.0 \times 10^{-2}$	$2.6 \times 10^{-2}$	$1.6 \times 10^{-1}$
H <sub>2</sub> S	$Y=0.950\log X+4.14$	$5.0 \times 10^{-4}$	$5.6 \times 10^{-3}$	$1.9 \times 10^{-2}$	$6.3 \times 10^{-2}$	$2.1 \times 10^{-1}$	$7.2 \times 10^{-1}$	8.1
TMA	$0.9011\log X+4.56$	$1.1 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-3}$	$5.2 \times 10^{-3}$	$1.9 \times 10^{-2}$	$6.7 \times 10^{-2}$	$2.4 \times 10^{-1}$	3.0
Acetaldehyde	$Y=1.01\log X+3.85$	$1.5 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-2}$	$4.7 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-1}$	$4.6 \times 10^{-1}$	1.4	14
Propion aldehyde	$Y=1.01\log X+3.86$	$1.5 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-2}$	$4.6 \times 10^{-2}$	$1.4 \times 10^{-1}$	$4.5 \times 10^{-1}$	1.4	13
Butylaldehyde	$Y=0.900\log X+4.18$	$2.9 \times 10^{-4}$	$3.8 \times 10^{-3}$	$1.4 \times 10^{-2}$	$4.9 \times 10^{-2}$	$1.8 \times 10^{-1}$	$6.3 \times 10^{-1}$	8.1
n-valeraldehyde	$Y=1.36\log X+5.28$	$7.1 \times 10^{-4}$	$3.8 \times 10^{-3}$	$9.0 \times 10^{-3}$	$2.1 \times 10^{-2}$	$4.9 \times 10^{-2}$	$1.1 \times 10^{-1}$	$6.2 \times 10^{-1}$

\*Y : offensive odor intensity    \*\*X: concentration(ppm)

Table 7. Offensive odor intensity for sulfur and aldehyde compounds

Compounds	Site A	Site B	Site C	Site D	Site E	Site F	Site G	Site H	Site I
First									
MM	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H <sub>2</sub> S	1.4	1.3	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	1.2	1.4
MS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DMS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Acetaldehyde	1.9	2.1	0.0	2.1	1.9	2.0	1.9	2.1	2.1
Propion aldehyde	0.3	0.8	1.5	1.8	0.2	0.0	1.0	1.3	1.0
Butylaldehyde	2.0	1.9	0.4	1.9	2.0	1.7	1.5	1.7	2.1
n-valeraldehyde	0.0	0.5	0.5	0.9	0.9	1.5	0.6	0.0	1.9
iso-valeraldehyde	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Second									
MM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H <sub>2</sub> S	1.4	1.3	0.0	1.5	0.0	0.0	1.2	1.3	1.7
TMA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Acetaldehyde	1.7	1.7	0.0	1.7	1.5	1.5	1.4	1.6	1.6
Propion aldehyde	0.3	0.3	1.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0
Butylaldehyde	2.0	2.0	0.0	2.1	2.1	2.0	1.7	1.6	1.9
n-valeraldehyde	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
Third									
MM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H <sub>2</sub> S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TMA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Acetaldehyde	1.7	1.6	0.0	1.9	1.2	1.6	1.3	1.6	1.5
Propion aldehyde	0.2	0.8	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Butylaldehyde	1.7	1.9	0.0	1.9	1.7	1.9	0.0	1.8	1.9
n-valeraldehyde	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0

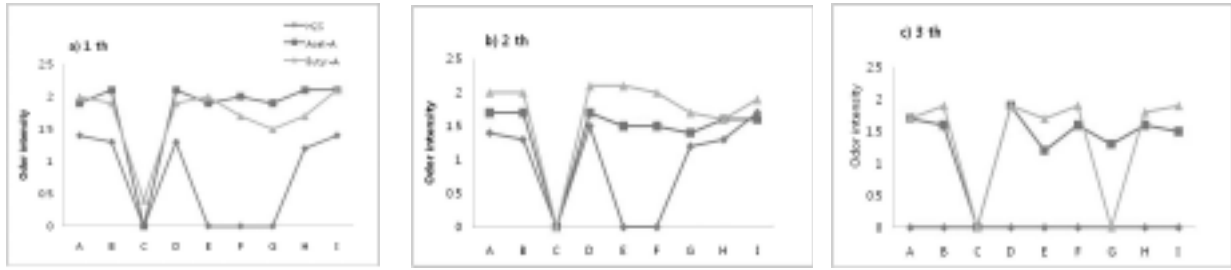


Fig. 3. Offensive odor intensity for sulfur and aldehyde compounds.

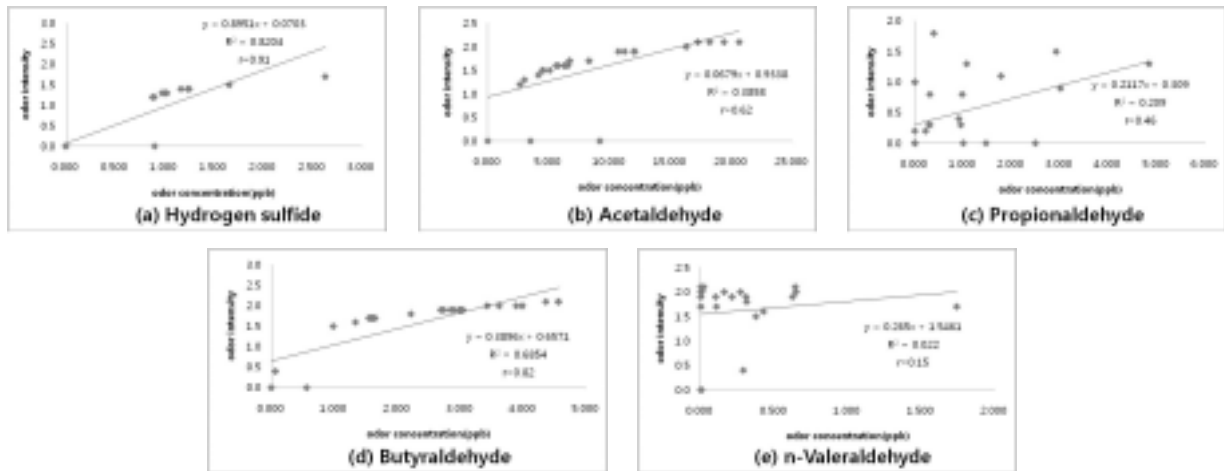


Fig. 4. Correlation with odor intensity and compounds.

1을 넘었다. 모든 블록에서 황화수소의 악취강도는 모두 0으로 나타났다. 즉, 장소 C(하수종말처리장)을 제외하고는 전반적인 지역에서 알데히드류의 악취강도가 1~2사이의 값을 나타냈다.

악취물질 농도와 악취강도와의 상관계수를 구하여 상관성을 조사하였다(Fig. 4). 황화수소의 경우 상관계수의 값이(r) 0.91로 악취강도와 황화수소 성분 사이에 매우 높은 양의 상관성이 있는 것으로 확인됐다. 뷰티르알데히드도 상관계수가 0.82로 역시 높은 양의 상관성을 보였다. 악취물질 농도로는 가장 큰 값을 보였던 아세트알데히드는 상관계수가 0.62로 악취강도와 어느정도의 상관성이 있는 것으로 나타났다. 프로피온알데히드와 발레르알데히드 등은 상관계수가 0.46과 0.15로 악취강도와 물질간의 별다른 관계가 없는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구는 2008년 9월에서 11월까지 시화공단 단지에서 발생하는 주요 악취물질의 특성을 조사한 것으로 결과는 다음과 같았다.

1. 블록 별 분포를 보면 기계블록인 장소 D의 TVOC농도가 74 ppb로 가장 높았다. 화학블록인 장소 A가 그 다음으로

높은 50 ppb의 TVOC 농도를 보였으며, 복합블록과 금속블록, 공원 등은 30 ppb 내외의 유사한 농도 수준을 보이는 가운데 복합블록인 장소 F에서 평균 TVOC가 18 ppb로 가장 낮게 측정되었다 평균 TVOC 농도는 35 ppb로 나타났다.

2. 아세트알데히드, 뷰티르알데히드 등을 비롯한 알데히드류와 황화수소의 농도가 시화공단 지역의 악취물질 중에서 높게 나타났다. 3회 측정의 평균치로 아세트알데히드는 8.72 ppb로 시화 공단 대기 중 악취 물질의 주요한 성분인 것이 확인되었다. 그 다음 뷰티르알데히드는 2.44 ppb, 프로피온알데히드는 0.85 ppb, 황화수소는 0.54 ppb, 발레르알데히드는 0.23 ppb의 순서로 나타났다. 트리메틸아민은 모든 블록에서 검출되지 않았고 메틸메르캅탄도 장소 A(화학블록)를 제외하고는 검출되지 않았다.
3. 대표적으로 악취 강도가 높은 물질인 아세트알데히드, 뷰티르알데히드, 황화수소를 중심으로 블록 별 악취강도를 비교해 본 결과 장소 A, B(화학블록)와 장소 D, I(기계블록), 장소 H(금속블록)에서 세 물질의 악취강도가 모두 1을 넘었다. 아세트알데히드의 경우 악취강도가 2 내외로 비교적 높게 나타나는 경우가 많았다.
4. 황화수소의 경우 상관계수의 값이(r) 0.91로 악취강도와

황화수소 성분 사이에 매우 높은 양의 상관성이 있는 것으로 확인됐다. 뷰티르알데히드도 상관계수가 0.82로 역시 높은 양의 상관성을 보였다. 악취물질 농도로는 가장 큰 값을 보였던 아세트알데히드는 상관계수가 0.62로 악취강도와 어느 정도의 상관성이 있는 것으로 나타났다.

따라서 황화수소와 뷰티르알데히드 그리고 아세트알데히드 등은 농도가 낮아도 악취에는 상당한 영향을 미치므로 관리에 힘을 써야 할 것으로 나타났다.

#### KSEE

## 사 사

본 연구는 시흥 환경기술개발센터에서 시행한 환경기술 연구개발 사업(2008)의 연구비 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Begerow, J., Jermann, E., Keles, T., Koch, T., and Dunemann, L., "Screening method for the determination of 28 volatile organic compounds in indoor and outdoor air at environmental concentrations using dual-column capillary gas chromatography with tandem electron-capture-flame ionization detection," *Journal of Chromatography A*, **749**(1-2), 181-191(1996).
2. Schneider, P., Gebefügi, I., Richter, K., Wölke, G., Schnelle, J., Wichmann, H. -, and Heinrich, J., "Indoor and outdoor BTX levels in German cities," *Sci. Total Environ.*, **267**(1-3), 41-51(2001).
3. Zabiegala, B., Górecki, T., Przyk, E., and Namiesnik, J., "Permeation passive sampling as a tool for the evaluation of indoor air quality," *Atmos. Environ.*, **36**(17), 2907-2916(2002).
4. Shojania, S., Oleschuk, R. D., McComb, M. E., Gesser, H. D., and Chow, A., "The active and passive sampling of benzene, toluene, ethyl benzene and xylenes compounds using the inside needle capillary adsorption trap device," *Talanta*, **50**(1), 193-205(1999).
5. Thammakhet, C., Muneesawang, V., Thavarungkul, P., and Kanatharana, P., "Cost effective passive sampling device for volatile organic compounds monitoring," *Atmos. Environ.*, **40**(24), 4589-4596(2006).
6. 김조천, 김기현, "대기 중 휘발성 유기화합물질," 한국대기환경학회지, **15**(4), 407-417(2003).
7. 백성욱, 김영민, "도시지역에서의 실내외 주변공기 중 휘발성 유기화합물의 농도측정에 관한 연구," 대기환경공학회지, **18**(2), 181-197(1996).
8. International Agency for Research on Cancer, "Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans," *Supplement*, **7**, 11-12(1987).
9. Mahmoud, F., Hang, D., and Aneja, V. P., "Volatile organic compounds in some urban locations in United States," *Chemosphere*, **47**, 863-882(2002).
10. Birnur, B. and Fraser, M. P., "Source identification and apportionment of volatile organic compounds in Houston," *Atmos. Environ.*, **40**, 2385-2400(2006).
11. Anjali, S., Sengupta, B., and Dutta, S. A., "Source apportionment of ambient VOC in Delhi City," *Sci. Total Environ.*, **343**, 207-220(2005).
12. 박현미, "대기중 휘발성 유기화합물 측정을 통한 군포시 대기 오염 특성 규명," *Anal. Sci. Technol.*, **15**(6), 556-566(2002).
13. KMOE, "Annual Environmental Report. Malodor regulation," (2005).
14. 김성천, "군산 산단의 금속 및 이온 성분의 크기 분포," 한국환경위생학회지, **29**(5), 34-41(2003).
15. 김용문, 박비오, 고영삼, 심재정, 송병식, 양고수, "전주산업단지 및 주변지역 VOCs 및 악취물질 모니터링," 공학연구, **33**, 159-170(2002).
16. 최재성, 김재우, "계절별 악취물질의 배출량 분석 및 평가에 관한 연구," 한국환경과학회지, **16**(1), 27-32(2007).
17. 김종국, 송병주, 고장석, 김재식, "도심 및 공단 지역 대기중 휘발성 유기화합물 분포 특성," 한국환경분석학회지, **5**(4), 217-224(2002).
18. 최여진, 김기현, 전의찬, "산업단지 및 주거지역에 대한 환경 대기중 주요 악취물질의 농도특성에 관한 연구," *J. Korean Earth Science Society*, **27**(2), 209-220(2006).
19. 송정한, 백성욱, "악취분석의 이론과 실무," (2007).
20. 환경성(일본), "악취방지법 핸드북," (1993).