

## 부산 사상지역 산업단지내 악취배출업소 지정악취물질 배출특성 조사연구

임용승<sup>†</sup> · 유숙진  
산업환경과

### Study on the Emission Characteristics of Odor Compounds from Industrial Complex in the Sa-Sang District of Busan

Im Yong-seung<sup>†</sup> and You Sook-jin  
Industrial Environment Division

#### Abstracts

The results of this study are as follows: Industrial Complex in Sa-sang District of Busan, through the investigation of the emission characteristics for odor reduction projects in the specified offensive odor substances and DRVTL (Dilution Ratio Values of the Threshold Limit). Odor reduction projects performed to facilitate doing business for the local residents in Hak-Jang Dong.

The amount of specified offensive odor substances was detected by each workplace, the amount of the items at F-5 (paint) and F-6 (plating) were each 12 items, 10 items at F-4 (chemistry), 11 items at F-1 (rubber), 7 items at F-3 (casting) and F-2 (metal) was in the order of 7 items, Therefore paint and plating industries were the most, but handling metal industry was the smallest. From 22 Specific odor compounds, butylacetate, iso-butylalcohol, methylethylketone, toluene, styrene, xylene, n-valeric acid was detected in 7 items but the rest hardly detected did not of the values below the detection limit of analysis equipment.

In residential area, companies in the surrounding area that is causing major odor compounds, except ammonia, butylacetate, iso-butylalcohol, methylethylketone, toluene, styrene, xylene, n-valeric acid 7 items were detected. Therefore, concentration was detected only trace quantities, but the concentration of the trace converted into odor intensity seen at high odor intensity levels, Iso-butylalcohol, styrene, n-valeric acid for 3 items to facilitate the removal of more careful research is needed.

**Key words** : DRVTL(Dilution Ratio Values of the Threshold Limit), specified offensive odor substances

#### 서 론

사상구는 1995년 3월 부산 북구 관할에 있던 삼락동, 모라동, 패법동, 감전동, 주례동, 학장동, 업궁동 지역을 분할하여 발족되었고 사상구내에 있는 사상공단은 1975년 부산 최초의 지방공업단지로 철강금속(주물, 금속열처리, 도금), 석유화학(도료), 신발고무 등의 다양한 업종이 상주하여 부산경제의 중추적 역할을 하고 있다.<sup>1,2)</sup>

사상구내의 총 업체수는 2,503개소이고 그 중에서 학장동이 24.45%를 차지하고 있고 인구수도 학장동이 사상구 인구수의 약 14%를 차지하고 있을 만큼 사상구에서 중요한 위치를 점하고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 도시가 발전됨에 따라 사상공단 일부분을 차지하고 있는 학장동 인근으로 주거지역인 아파트가 대단위로 조성되어져 공단과 주거지역의 경계가 모호한 상태가 되었고 공단지역에서 주거지역으로 악취유발물질들이 바람을 타고 확산이 되어 불쾌한

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail : im3632528@korea.kr  
Tel : +82-51-309-2954, Fax : +82-51-309-2939

냄새에 지역주민들이 많은 고통을 호소하고 있다.

악취는 인간의 감각을 자극하여 불쾌감과 함께 혐오감을 유발하는 물질이라 할 수 있으며, 현재까지 알려진 물질도 수십만 가지가 넘는 냄새를 발생할 수 있는데 이들 중 악취물질은 인체에 직접적인 피해보다는 심리적 또는 정신적인 피해를 끼치기 때문에 감각공해 물질이라고 할 수 있고,<sup>3)</sup> 또한 악취영향권에 있는 거주지역 주민의 관점에서 보면 악취유발 물질종류와 유해성이 검증되지 않은 상황에서 불안감이 높을 수 밖에 없는 실정이다.

이러한 악취 고통 문제는 해당지자체의 민원으로 이어져 특히 악취 단속 요구 민원이 해마다 꾸준히 증가하는 추세이고 이에 따라 해당 지자체에서도 악취저감을 위해 유관기관과 합동으로 악취배출사업장에 대한 지도점검 강화, 주요 악취배출사업장에 대한 지속적인 기술지원 홍보 및 시설개선, 악취민원 유발지역에 악취모니터링시스템을 구축하여 악취현황을 상시 모니터링 하는 등 악취민원의 사전예방 및 신속대응으로 악취로 인한 지역주민 생활 불편사항을 해소하기 위해 적극적으로 노력하고 있다.

해당 지자체에 의하면 학장동의 악취 민원 발생 건수는 2007년 16건에서 2009년 29건, 2011년 11월 까지 29건으로, 대부분이 날씨가 더운 여름(7~9월)에 집중되어 발생됨에 따라 이에 대한 더욱더 체계적이고 종합적인 조사연구를 필요로 하고 있다.

그러나 현재까지 악취배출사업장 부지경계선을 중심으로 발생되고 있는 악취물질 파악 등 다양한 분석 및 연구(지정악취 12~17종, 2005~2009년)가 수행되었음에도 불구하고, 여전히 악취배출사업장의 악취물질의 정량분

석 및 주변지역으로의 영향 평가에 대한 심도 있는 연구(지정악취 22종, 2010년)는 많지 않은 편이다.<sup>3~8)</sup>

따라서 본 연구는 해당 지자체에서 학장동 지역주민을 위한 악취저감 사업을 수행하는데 있어 주요 분야별 중점관리 악취배출사업장별 복합악취와 지정악취물질의 배출원 및 공정별 악취물질 발생량 파악, 민원 발생지역에서 감지되는 악취물질과 사업장 배출원의 악취물질별 악취강도 비교를 통한 악취발생 원인 물질을 제시함으로써 해당 지역을 대상으로 악취방지 사업 수행 시 악취 민원 해소에 도움이 되고자함에 있다.

## 재료 및 방법

### 시료채취

사상공단과 인접해 있는 학장동의 대단위 아파트를 중심으로 반경 0.5km 범위 안에 산재해 있으면서 악취물질을 배출시켜 민원을 야기 시키고 있는 주요 악취배출사업장을 업종별로 해당 지자체로부터 자료를 받아 사업장과 주거지역을 조사 대상으로 하였으며, 사업장은 F-1 ~ F-6 지점으로 총 6개소를 그리고 주거지역(대단위 아파트) H-1 ~ H-5지점으로 총 5개소로 Fig. 1과 Table 1, 2에 사업장과 주거지역의 위치, 업종, 세대수, 채수시간, 온도, 풍속 등을 나타내었다.

사업장의 F-1(고무)과 F-4(화학)지점은 배출구를 포함하여 악취발생이 높고 시료 채취가 용이한 공정(고무제품 압출공정, 염산 반응조 등)내의 3개소, F-2(금속),



Fig. 1. Sites of sampling in Hak-Jang Dong.

Table 1. Climate conditions of the workplace sampling site

Site	Types	Sampling point(ea)	1st				2nd			
			ST (hr:min)	Temp. (°C)	WV (m/s)	WD	ST (hr:min)	Temp. (°C)	WV (m/s)	WD
F-1	Rubber	3	13:20	14.8	1.2	SSE	14:16	23.1	1.0	SE
F-2	Metal	2	14:30	14.2	1.0	SE	-	-	-	-
F-3	Casting	2	11:10	11.3	0.8	S	11:43	20.1	0.7	N
F-4	Chemistry	3	15:40	11.7	0.9	SSE	15:20	22.1	0.6	SW
F-5	Paint	2	10:05	19.2	0.9	SE	10:46	18.7	0.7	S
F-6	Plating	2	16:20	16.0	1.1	SSE	16:11	21.6	1.2	NE

ST : Sampling time, WV : Velocity of wind, WD : Direction of wind

Table 2. Climate conditions of the residential sampling site

Site	Number of household	1st				2nd			
		ST	Temp.(°C)	WV(m/s)	WD	ST(hr:min)	Temp.(°C)	WV(m/s)	WD
H-1	763	16:28	22.8	0.8	NE	14:09	18.6	1.0	NE
H-2	549	11:12	25.8	1.5	SE	14:32	18.1	2.0	NE
H-3	999	11:36	24.2	1.0	SE	14:53	18.4	1.0	N
H-4	998	11:59	25.0	1.2	ES	15:12	18.0	1.3	NW
H-5	893	12:19	24.9	1.4	SE	15:29	18.7	0.9	W

ST : Sampling time, WV : Velocity of wind, WD : Direction of wind

F-3(주물), F-5(페인트)와 F-6 (도금) 4개지점은 배출구 및 공정(페인트 혼합장치 등)내의 2개소를, 주거지역 지점(H-1~H-6)은 약 500세대 이상인 곳을 대상으로 했다.

사업장과 주거지역 부지경계선에서의 시료채취는 2012년 4월부터 10월까지 총 2회에 걸쳐 복합악취 및 지정악취(22개 항목)에 대해 사업장의 입지여건과 배치상태 및 조업상태, 현장전체의 악취분포 상태, 시료채취 대상지역의 기상상태를 고려하여 시료에 영향을 주지 않고 악취도가 가장 높을 것으로 판단되는 장소를 선택하였다. F-2 지점은 2차 시료채취 시 정상 운영(일감이 없어 일시적 휴지 상태)이 되지 않아 시료를 채취하지 못했다. 악취공정시험방법<sup>9)</sup>에 따라 에이스 앤(ACEN : Always Clean Environment) 제품의 진공 흡입상자를 이용하여 진공상

태에서 시료를 햇빛 차단이 되는 테드라 백 10L에 5min 이내에 순간 포집하여 복합악취 및 황화합물 분석용으로 사용했고, 지정악취물질인 암모니아, 트리메틸아민(TMA)과 유기산은 미리 시료채취 전날 실험실에서 제조한 흡수액을 임핀저(경질유리 흡수병)에 담아 흡입펌프를 이용하여 실험에 필요한 적당량의 시료(10~50L)를 채취하였다.

알데하이드 및 휘발성유기화합물은 완성품으로 시판되고 있는 포집 카트리지[알데하이드 : DNPH(2,4-Dinitrophenylhydrazine), 휘발성유기화합물 : 탄소계 흡착관(Carbosieve SⅢ)]를 이용하였다.

시료전처리 및 분석방법

악취공정시험방법<sup>9)</sup>에 따라 채취된 시료는 아이스박스

보관 및 검은 비닐봉지(100L)에 담아 신속하게 실험실로 이송 후 약취물질[복합약취(1), 지정약취(22)] 23항목에 대해 공기희석관능법 과 전처리를 포함한 기기분석을 실시하였다. 시험데이터의 정확성을 기하기 위하여 약취공정시험방법에서 요구하고 있는 내부정도관리[최소검출한계(7회 표준편차  $\times$  3.14)측정 값 0.2 ppb이하 등]로 분석기기가 최상의 안정된 상태가 되도록 하여, 적어도 48시간 이내에 모든 분석을 완료하였다. 이 때 사용된 분석조건은 다음과 같다.

#### 공기희석관능법(복합약취)

환기장치가 설치되어 있고 통풍이 원활한 방에서 주사기로 시료가 담긴 시료주머니에서 적당량의 시료를 빼낸 다음 3배수의 희석배수(부지경계선 : 10배부터 시작, 배출구 등 : 300배부터 시작)가 되도록 한 시료 희석주머니(3L)를 5명의 판정요원이 관능시험으로 판정한다.

#### 암모니아

흡입펌프(SIBATA LV-40BR)를 이용하여 10L/min로 5min간 임핀저내의 봉산용액(0.5W/V %)에 약취시료 50L을 흡수시킨 용액 10mL를 채취하여 인도페놀법으로 분석하였다. 이 때 사용된 분석기기는 자외선/가시선 분광광도기(CARY 100 Conc, VARIAN)이며, 640nm파장에서 흡광도를 측정하였다.

#### 트리메틸아민(TMA)

봉산용액(1+359)에 약취시료 50L를 흡수시켜 4mL를 채취하고 전처리한 시료를 헤드스페이스 기체크로마토그래피로 분석했고, 이때 분석기기(GERSTEL MPS2-GC/NPD, Agilent GC 7890)의 분석조건은 칼럼은 HP-5(60m  $\times$  0.35mm  $\times$  1.05 $\mu$ m), 칼럼이동상 유속 1mL/min, 시료주입부 온도 250 $^{\circ}$ C(Splitless), 오븐온도는 40 $^{\circ}$ C에 13분간 유지, 검출기 온도는 260 $^{\circ}$ C로 하여 분석하였다.

#### 알데하이드 화합물

DNPH(2,4-Dinitrophenylhydrazine) 카트리지에 오존 스크러버를 연결하고 펌프(SIBATA MP-210)를 사용하여 2L/min로 5분 동안 10L의 시료를 채취하여 알루미늄 호일로 포장한 후 아이스박스에 담아 신속하게 실험실로 이송 후 바로 HPLC용 아세토니트릴(Acetonitrile) 3~5mL를 주입하여 추출 후 고성능 액체크로마토그래피

법(HPLC)로 분석하였다. 분석조건은 칼럼은 ODS (C18) 4.6mm  $\times$  250mm, 검출기 360nm, 시료주입은 20 $\mu$ L, 이동상(용리액)은 아세토니트릴과 물(60:40) 혼합용매를 사용하였으며 이동상의 용리속도는 1mL/min로 하여 분석하였다.

#### 황 화합물

열탈착기(ENTECH 7100 Preconcentrator)에 테트라백 10L을 부착시켜 액체질소를 이용하여 전처리를 거친 후 기체크로마토그래피/질량분석기(GC Agilent 6890/MSD Agilent 5973i)로 분석하였다. 이 때 사용된 열탈착기 분석조건은 시료 주입량 200mL, 유속 60mL/min, 냉각온도 -180 $^{\circ}$ C, 탈착온도 150 $^{\circ}$ C 등이며, GC/MSD 분석조건은 칼럼은 Agilent VOC (60m  $\times$  0.32mm  $\times$  1.8 $\mu$ m), 검출기 MSD, 오븐온도는 40 $^{\circ}$ C로 5min간 유지 후 165 $^{\circ}$ C까지 10 $^{\circ}$ C/min 승온시켰고 최종적으로 260 $^{\circ}$ C에서 1min간 유지시켜 분석하였다.

#### 휘발성유기화합물(VOCs)

탄소계 흡착관(Carbosieve S III)을 흡입펌프(SIBATA MP-210)에 부착시켜 0.1L/min로 5분 동안 0.5L의 시료를 흡착시킨 후 흡착관을 알루미늄 호일로 빛이 통과하지 않도록 제작된 스크루 덮개가 있는 밀봉 케이스에 넣고 아이스박스에 담아 실험실로 이송 후 바로 분석을 하였다. 전처리에 사용된 열탈착기(GERSTEL Online-Thermo Desorption System)는 프로그램으로 최적화된 조건(CIS 및 TDS2)에서 사용하였고, 시료분석은 GC/MSD를 이용하였다. 분석조건은 칼럼은 HP-1MS(30m  $\times$  0.2mm  $\times$  1.0 $\mu$ m), 검출기 MSD, 오븐온도는 10 $^{\circ}$ C/min 조건에서 40 $^{\circ}$ C에서 100 $^{\circ}$ C까지 승온시킨 후 100 $^{\circ}$ C에서 17min간 유지하였으며, 120 $^{\circ}$ C까지 승온하였다. 스피리트 비는 20:1로 하여 SIM 모드로 분석하였다.

#### 유기산 화합물

0.1N 수산화칼슘이 담겨있는 임핀저에 흡입펌프(VP-18DT Versatile pump)를 이용하여 시료를 2L/min로 5min간 흡수시킨 후 실험실로 이송하여 15mL 바이알에 시료 5mL를 취해서 무수염화나트륨 1.75g을 넣고 진탕시킨 후 염산(HCl 35%)으로 pH 1로 춘 후 헤드스페이스(SPME) 추출장치와 GC로 분석하였다. SPME Fiber는 85 $\mu$ m Carboxen/PDMS로 15min간 흡착시켰으며, 주사기와 오븐온도는 각각 100 $^{\circ}$ C와 9

0℃였다. 그리고 GC(Agilent GC 7890)에 사용된 칼럼은 UA-FFAP(30m×0.25mm×0.25μm), 검출기는 FID, 검출기 온도 250℃, 오븐온도는 50℃에서 2min간 유지시킨 후 200℃까지 10℃/min간 승온시켜 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 악취배출사업장별 배출된 악취물질의 특성

분야(F-1~F-6)가 다른 악취배출사업장에서 배출된 악취물질을 공기희석 관능법으로 복합악취를, 여러 가지 전처리를 거친 후 악취 시료를 각 종 정밀 분석기기로 지정악취물질 22종을 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다. 검출된 농도 범위는 한 분야의 사업장에서 공정별(배

출구, 각 공정)로 발생된 악취물질을 따로 분류하지 않고 전체 범위를 나타낸 결과 값이다.

### 복합악취와 지정악취물질의 분포

복합악취는 최대농도를 기준으로 해서 공업지역에 위치한 사업장의 배출허용기준 1000배를 초과한 사업장이 6곳 중에서 고무를 취급하는 F-1, 주물 취급업종인 F-3, 페인트 취급업체인 F-5인 3개 사업장으로 전체 사업장의 50%를 보였다. 지정악취물질도 최대농도를 기준으로 해서 배출허용기준을 초과한 사업장은 F-5(페인트)로 다이메틸다이설파이드(dimethyl disulfide)가 기준보다 약 8배가 초과되었고 또한 자일렌(m.o,p-xylene)과 프로피온산(propionic acid)은 공정별에서 최대 농도로 각각 2.585 mg/L, 3.60 mg/L로 배출구에서는 배출

Table 3. The odor concentration of the substance detected several areas in the workplace (Unit : mg/L)

Components	Emission standard	Odor Threshold	Sampling sites					
			F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6
DRVTL(Unit : DT)	1000	-	173~2080	144~208	208~6694	100~173	448~4481	144~1000
Hydrogen Sulfide	0.06	0.00041	ND~0.01	ND~0.02	-	-	-	-
Methyl Mercaptan	0.004	0.000070	ND~0.004	-	-	-	-	-
Dimethyl Sulfide	0.05	0.0030	-	-	ND~0.01	-	ND~0.06	ND~0.03
Dimethyl Disulfide	0.03	0.0022	-	-	-	-	ND~0.248	ND~0.001
Ammonia	2	1.5	0.1~0.3	ND~0.2	ND~0.2	ND~0.2	ND~0.8	-
Trimethylamine	0.02	0.000032	-	-	-	ND~0.001	-	-
Acetaldehyde	0.1	0.0015	-	-	-	-	-	-
Propionaldehyde	0.1	0.0010	-	-	-	-	-	-
Butyraldehyde	0.1	0.00067	ND~0.001	-	-	-	-	-
Butylacetate	4	0.016	-	-	-	ND~0.006	0.154~1,694	ND~0.005
n-Valeraldehyde	0.02	0.00041	-	-	-	-	-	ND~0.004
iso-Valeraldehyde	0.006	0.00010	-	-	-	-	-	-
iso-Butylalcohol	4.0	0.011	ND~0.003	-	ND~0.011	0.001~0.019	ND~3.602	ND~0.008
Methylethylketone	35	0.44	ND~4.579	-	ND~0.001	ND~0.048	0.048~1,151	-
Methylisobutylketone	3	0.017	ND~0.010	-	-	-	0.071~1,861	ND~0.001
Toluene	30	0.33	ND~4.24	-	ND~0.04	0.01~0.03	0.46~1.50	0.01~0.03
Styrene	0.8	0.035	ND~0.517	-	-	ND~0.367	ND~0.037	ND~0.001
m,o,p-Xylene	2	0.041	ND~0.642	ND~0.021	0.011~0.158	0.002~0.011	ND~2.585	ND~0.022
Propionic acid	0.07	0.0057	-	-	-	-	ND~3.60	ND~0.01
n-Butyric acid	0.002	0.00019	-	-	-	ND~0.061	-	-
iso-Valeric acid	0.004	0.000078	-	-	-	-	-	ND~0.018
n-Valeric acid	0.002	0.000037	ND~0.003	-	ND~0.003	ND~0.010	ND~0.003	ND~0.001

DRVTL : Dilution Ratio Values of the Threshold Limit(복합악취), ND : Not Detected, DT : Dilution Threshhold(희석배수)

허용기준치 이하 농도(자일렌 0.642 mg/L, 프로피온산 0.01 mg/L)를 보였다. 기타 다른 분야의 사업장에서는 지정악취물질이 거의 배출허용기준 이하로 검출되었다.

사업장별 지정악취 검출 항목량은 F-5(페인트)와 F-6(도금)이 각각 12항목, F-1(고무)이 11항목, F-4(화학)이 10항목, F-3(주물)이 7항목, F-2(금속) 3항목 순으로 페인트와 도금업종이 최고로 많았고 금속을 취급하는 업종은 가장 적음을 알 수 있었다. 또한 F-1(고무)에서 검출된 11항목 중에서 검출농도가 10ppb를 초과하는 항목은 암모니아(ammonia), 메틸에틸케톤(methylethylketone), 톨루엔(toluene), 스타이렌(styrene), 자일렌(xylene) 5항목으로 고무를 취급하는 업종에서 발생시킬 수 있는 주요 악취물질로 평가된다. F-2(금속)의 10ppb 초과하는 항목은 암모니아, 황화수소(hydrogen sulfide), 자일렌 3항목, F-3(주물)은 암모니아, iso-부틸알코올(iso-butylalcohol), 톨루엔, 자일렌 4항목, F-4(화학)은 암모니아, iso-부틸알코올, 메틸에틸케톤, 톨루엔, 자일렌, n-부틸산(n-butyric acid) 6항목, F-5(페인트)는 다이메틸설파이드, 암모니아, 부틸아세테이트(butylacetate), iso-부틸알코올, 메틸에틸케톤, 메틸아이소부틸케톤(methyliso-butylketon) 톨루엔, 스타이렌, 자일렌, 프로피온산 9항목, F-6(도금)은 다이메틸설파이드, 자일렌, 톨루엔, iso-발레르산(iso-valeric acid) 4항목이었다. 국립환경과학원에서 발간된 업종, 시설별 악취관리<sup>10)</sup>에 의하면 도료 제조시설에서 검출된 11개 악취 항목 중 7항목(암모니아, 부틸아세

테이트, 톨루엔, 스타이렌, 자일렌, 메틸아이소부틸케톤, 프로피온산)이 본 연구에서 보인 실험 결과와 유사하게 검출되었다. 이러한 결과에서 알 수 있듯이 페인트를 취급하는 도료 취급 업종이 실험에서 보인 다른 여타 사업장보다는 악취물질 발생량이 높고 주변지역에 악영향을 줄 수 있는 업종으로 생각되어진다.

#### 공정별 악취물질의 변화 비교

사업장의 배출구 및 공정별에서 발생시키는 악취물질 중에서 복합악취를, 지정악취물질은 6개 사업장에서 3개 사업장 이상에서 공통으로 배출되는 8개 항목을 포함해서 총 9개 항목을 선별했다. 이들 복합악취, 암모니아, 스타이렌, 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤, 부틸아세테이트, n-발레르산, iso-부틸알코올의 9개 항목 평균농도 값을 이용하여 6개 사업장의 악취물질 농도변화를 Fig. 2에 나타내었다.

각 사업장 배출구(A-1, B-1, C-1, D-1, E-1, G-1)의 복합악취 희석배수는 144~945배로 전 사업장이 배출허용기준치 1000배 이하였으나 공정별(A-2, A-3, B-2, C-2, D-2, D-3, E-2, G-2)에서는 배출허용기준을 초과하는 사업장이 3개소(평균 희석배수 1,190~3,451 배)가 되었으나, 몇 단계의 공정을 거치면서 악취물질이 61.7~74.8%까지 저감됨을 보였다. 특히 F-5(페인트)의 저감율은 F-1(고무)와 F-3(주물) 비해 낮았다. 반면 F-2(금속)와 F-4(화학)의 공정별과 배출구에서 발생하는 악취물질 희석배수가 120~208배로 다른

Table 4. The odor concentration of the substance detected in the residential sampling site (Unit : mg/L)

Components	Sampling Sites									
	H-1		H-2		H-3		H-4		H-5	
	Ave.	Max.	Ave.	Max.	Ave.	Max.	Ave.	Max.	Ave.	Max.
DRVTL(Unit : DT)	5	5	4	5	5	5	6	6	4	5
Butylacetate	-	-	0.002	0.004	-	-	0.003	0.006	0.001	0.002
iso-Butylalcohol	0.005	0.006	-	-	-	-	0.008	0.016	0.010	0.014
Methylethylketone	0.003	0.006	-	-	-	-	0.006	0.012	0.013	0.018
Toluene	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04
Styrene	0.030	0.060	-	-	0.011	0.022	0.070	0.140	0.048	0.087
m, o, p-Xylene	-	-	-	-	-	-	0.004	0.008	0.002	0.003
n-Valeric acid	0.001	0.001	-	-	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

DRVTL : Dilution Ratio Values of the Threshold Limit(복합악취)<sup>13)</sup>, DT : Dilution Threshhold(희석배수)<sup>13)</sup>

업종에 비해 낮았고 공정별로는 저감 효과가 크지 않음을 보였다.

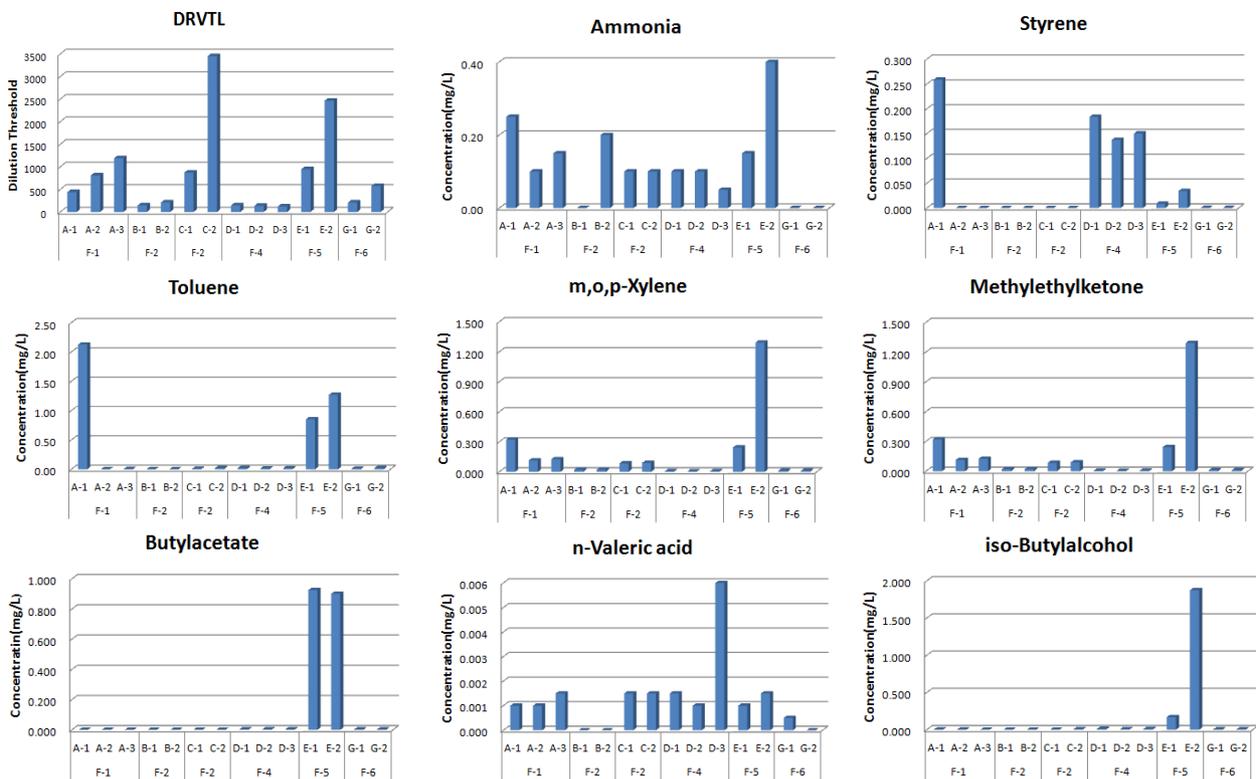
지정악취물질 8항목의 공정별 악취물질농도 변화는 복합악취 형태와 다르게 변화를 예측하기가 복잡하였다. 8항목 중 6항목이 휘발성유기화합물로 가장 많았고 다음으로 암모니아, 유기산화합물의 n-발레르산 각 1항목 순이었으며, 공정별에서 검출 빈도는 자일렌, 암모니아, 톨루엔, iso-부틸알코올, n-발레르산, 메틸에틸케톤, 스타이렌, 부틸아세테이트 순으로 나타났다. 특히 자일렌, 암모니아, 톨루엔, iso-부틸알코올, n-발레르산은 F-2(금속)을 제외하고는 모든 사업장에서 검출되었다. F-5(페인트)는 7개 항목이 배출구보다는 공정별에서 악취물질 농도가 높은 반면에 다른 사업장에서는 배출구가 공정별보다 다소 높거나 비슷한 농도를 보였다. 따라서 F-5(페인트)의 사업장은 공정별에서 다소 높게 발생하는 악취물질을 최대한 저감 시킬 수 있는 방지시설을 설치하여 각 공정에서 발생한 악취물질이 외부 대기권으로 확산되지 않도록 하여야 할 것으로 판단되어진다.

### 민원발생 주거지역의 악취물질 특성

주요 악취물질 발생 사업장에서 반경 약 0.5km 범위 내에 인접하고 악취문제로 민원이 자주 발생되고 있는 학장동에 소재하는 아파트 5개소(H-1, H-2, H-3, H-4, H-5)에 대한 복합악취와 지정악취물질 중 검출된 항목에 대한 평균과 최대 값은 Table 4와 같다. 또한 이러한 지정악취물질 항목이 주거지역에서 악취 민원을 야기 시킬 수 있음을 알 수 있었다.

복합악취는 최대 희석배수가 5~6배로 공업지역의 부지경계선 배출허용기준 20배보다 약 3배 정도 낮게 검출되었다. 지정악취물질도 22개 항목 중 부틸아세테이트, iso-부틸알코올, 메틸에틸케톤, 톨루엔, 스타이렌, 자일렌, n-발레르산 7항목 검출되었고 나머지는 분석기기의 검출한계 값 이하로 거의 검출되지 않았다. 검출된 지정악취물질도 최대 농도 값으로 0.001~0.140 mg/L 범위였고 스타이렌을 제외하고는 최대 40 ppb이하의 낮은 농도 값을 보였다.

지정악취물질의 검출 항목 개수는 H-1에서는 5개,



- (A-1, B-1, C-1, D-1, E-1, G-1) : Workplace emission point, (A-2, A-3, B-2, C-2, D-2, D-3, E-2, G-2) : Pprocess points

Fig. 2. The odor concentration according to the process.

Table 5. Relationship between odor intensity & concentration

Compounds	Formula	Odor intensity and concentration(mg/L)				
		1	2	3	4	5
		Threshold	Moderate	Strong	Very strong	Over strong
Methylethylketone	$Y=1.85\log X+0.149$	2.9	10	35	120	410
iso-Buthylalcohol	$Y=0.79\log X+2.53$	0.012	0.22	4	74	1400
Buthylacetate	$Y=1.14\log X+2.34$	0.066	0.50	3.8	29	220
Toluene	$Y=1.40\log X+1.05$	0.92	4.8	25	130	660
Stylene	$Y=1.42\log X+3.10$	0.033	0.17	0.84	4.3	22
Xylene(o:m:p=1:2:1)	$Y=1.53\log X+2.44$	0.011	0.52	2.3	10	47
Ammonia	$Y=1.67\log X+2.38$	0.15	0.59	2.3	9.2	37
n-Valeric acid	$Y=1.58\log X+7.29$	0.0001	0.00045	0.0019	0.0082	0.035

Y: Odor intensity, X: Concentration

H-2는 2개, H-3는 3개, H-4는 7개, H-5도 7개였고 농도 범위도 최대 값으로 H-1은 0.001~0.060 mg/L, H-2는 0.004~0.010 mg/L, H-3은 0.001~0.010 mg/L, H-4는 0.001~0.140 mg/L, H-5는 0.001~0.087 mg/L로 F-3(주물), F-4(화학), F-5(페인트)와 F-6(도금)의 사업장이 모여 있는 지역에 인접한 주거지역이 다른 지역보다 악취물질에 대한 영향을 다소 많이 받는다는 것을 알 수 있다.

최대 악취물질을 이용한 검출 주거지역수와 농도 범위는 톨루엔이 5개 지역 모두에서 0.010~0.040 mg/L 검출되었고 스타이렌은 4개 지역에서 0.022~0.140 mg/L, n-발레르산은 4개 지역에서 0.001 mg/L, 뷰틸

아세테이트는 3개 지역에서 0.002~0.006 mg/L, iso-뷰틸알코올은 3개 지역에서 0.006~0.016 mg/L, 메틸 에틸케톤은 3개 지역에서 0.006~0.018 mg/L, 자일렌은 2개 지역에서 0.003~0.008 mg/L 였으며, 이러한 항목 중에서 주거지역에 공통적으로 악취 영향을 주는 물질들은 톨루엔, 스타이렌과 n-발레르산, 뷰틸아세테이트, iso-뷰틸알코올, 메틸에틸케톤, 자일렌 순임을 알 수 있다. 따라서 향후 해당 지자체에서 주거지역의 악취 제거 대책을 세울 때에는 이러한 물질들에 대해 좀 더 심도 있는 조사와 관심을 가져야 할 것으로 판단된다.

Fig. 3은 시료 채취일의 바람의 방향과 평균속도를 부산시 보건환경연구원 대기관측 시스템의 자료를 이용하여

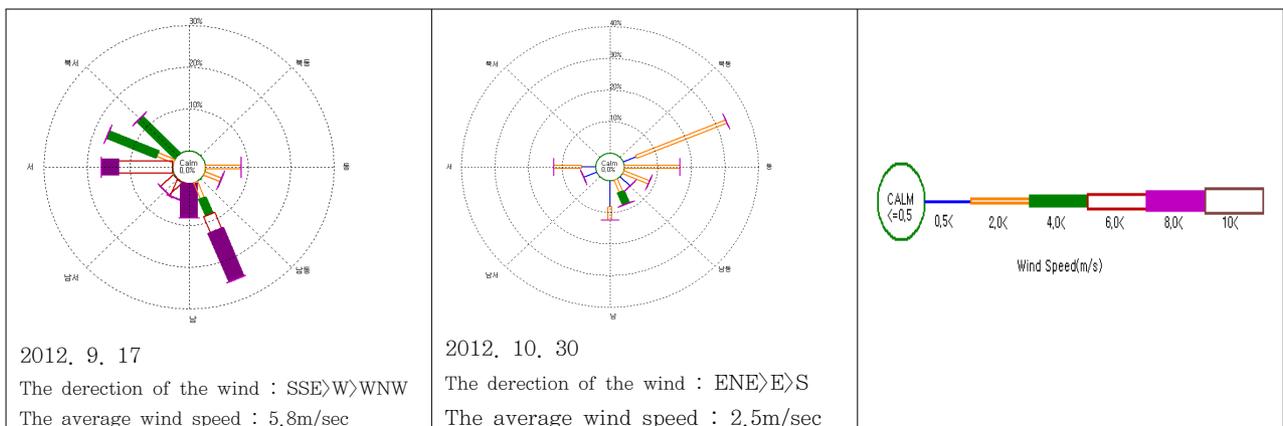


Fig. 3. The wind direction and average wind speed.

조사한 것으로 풍향과 풍속이 뚜렷하게 일정하지 못하고 다양하게 변화됨을 보였고 또한 무엇보다도 주변지역의 업체에서 발생시키고 있는 주요 악취원인물질 중 암모니아를 제외하고는 7개 항목 전부가 주거지역에서도 농도의 차이는 있지만 검출되어 진다는 것이다. 이것은 오<sup>2)</sup> 등의 사상공업지역 악취발생현황 조사연구에 의하면 해당 지역인 학장동은 주변 산에 의해 둘러싸인 분지형태로 발생한 악취가 정체되기 쉬우며, 또한 비열차이로 인해 주변 대기오염물질이 주거지역으로 이동할 수 있는 지리적 특성을 가지는 지역으로 정의하고 있는 것과 유사한 형태를 보였다.

**지정악취물질과 악취강도의 상관성 비교**

악취는 후각에 의한 감각적 공해이므로 단순히 개개의 지정악취물질 농도의 높고 낮음만으로 주거지역에 거주하는 주민들에게 악취를 느끼는 정도를 표현하기에는 무리

가 있다. 따라서 악취의 자극량과 후각적 감각 세기와의 관계는 종종 Weber-Fechner 법칙에 따라 악취강도를 지정악취물질들 농도를 지수 함수적으로 변환시키는 다음의 식이 사용되고 있다.

$$Y = a \log X + b, \text{ 여기서 (Y: 악취강도, X: 자극량, a, b: 고유상수)}^{4,11,12}$$

이는 악취물질의 농도가 감소하여도 악취강도는 농도의 대수에 비례하기 때문에 농도감소에 상응하는 양만큼의 강도로 감소하지 않음을 뜻하며, a값은 물질에 따라 다르기 때문에 동일한 농도감소에서도 물질별로 체감되는 악취강도는 다를 수 있음을 의미한다.

Table 5는 일본 후생성에서 발표한 악취강도와 물질농도와의 관계 식<sup>11)</sup>을 적용한 것으로 각 사업장 및 주거지역에서 검출된 지정악취물질들에 대해서만 나타낸 것이다. 악취 강도는 6단계로 구분되어지는데 본 연구에서는 5단계만 표시했다. 악취강도 1은 “감지취기”, 악취강

**Table 6. Intensity of the odor in the workplace and residential area**

Compounds	Formula	Odor intensity and concentration(mg/L)					
		F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6
Methylethylketone	Y=1.85logX+0.149	0,815(1)	-	-	-	-	-
iso-Buthylalcohol	Y=0.79logX+2.53	0,299(3)	-	0.745(3)	0.802~0.950(3)	1.916~2.745(3)	0.636(3)
Buthylacetate	Y=1.14logX+2.34	-	-	-	-	2.288~2.301(3)	-
Toluene	Y=1.40logX+1.05	1,509(2)	-	-	-	0.954~1.196(2)	-
Stylene	Y=1.42logX+3.10	2,266(4)	-	-	1.875~2.055(4)	0.170(2)~1.017(4)	-
Xylene(o:m:p=1:2:1)	Y=1.53logX+2.44	0.998~1.685(3)	-	0.798~0.836(3)	-	1.500(3)~2.610(4)	-
n-Valeric acid	Y=1.58logX+7.29	2,550~2,828(5)	-	2,828(5)	2,550~3,779(5)	2,550~2,828(5)	2,074(5)

Compounds	Formula	Odor intensity and concentration(mg/L)				
		H-1	H-2	H-3	H-4	H-5
Methylethylketone	Y=1.85logX+0.149	-	-	-	-	-
iso-Buthylalcohol	Y=0.79logX+2.53	0.775(3)	-	-	1.111(3)	1.065(3)
n-Buthylacetate	Y=1.14logX+2.34	-	-	-	-	-
Toluene	Y=1.40logX+1.05	-	-	-	-	-
Stylene	Y=1.42logX+3.10	1,365(4)	-	0.746(3)	1.888(4)	1.595(4)
Xylene(o:m:p=1:2:1)	Y=1.53logX+2.44	-	-	-	-	-
n-Valeric acid	Y=1.58logX+7.29	2,550(5)	-	2,550(5)	2,550(5)	2,550(5)

Y: Odor intensity, X: Concentration, ( ): concentration converted into odor intensity

도 2는 “보통취기”, 악취강도 3은 “강한취기”, 악취강도 4는 “극심한 취기”, 악취강도 5는 “참기 어려운 취기”이다.<sup>11)</sup>

Table 6은 주거지역에서 검출된 지정악취물질들을 대상으로 해서 사업장과 주거지역의 지정악취물질 7항목에 대한 악취강도 농도를 Table 5를 근거로 하여 산출했으며, 그 때의 악취강도는 괄호로 표시하였다. F-1(고무)에서는 뷰틸아세테이트를 제외한 6항목(메틸에틸케톤, iso-뷰틸알코올, 톨루엔, 스타이렌, 자일렌, n-발레르산)이 악취강도 1~5단계까지 보였다. 메틸에틸케톤과 톨루엔을 제외하고 4항목 모두 3단계 이상, F-2(금속)은 불검출, F-3(주물)은 3항목으로 iso-뷰틸알코올, 자일렌, n-발레르산으로 3~5단계, F-4(페인트)는 iso-뷰틸알코올, 스타이렌, n-발레르산 3항목으로 3~5단계, F-5(페인트)는 6항목으로 톨루엔을 제외하고는 5항목 모두 3단계 이상, F-6(도금)은 3단계 이상이 2항목으로 악취강도는 F-5>F-1>F-4>F-3>F-6>F-2순으로 나타났다.

주거지역에서는 H-2를 제외하고 4곳에서 7항목 중 3항목이 악취강도가 3~5단계였고, 악취강도를 좌우하는 물질은 iso-뷰틸알코올, 스타이렌, n-발레르산로 나타났다. H-1에서는 iso-뷰틸알코올, 스타이렌, n-발레르산 3항목이 악취강도는 3~5단계, H-2에는 불검출, H-3에서는 자일렌, n-발레르산 2항목이 3~5단계, H-4에서는 iso-뷰틸알코올, 스타이렌, n-발레르산 3항목이 3~5단계, H-5에서는 iso-뷰틸알코올, 스타이렌, n-발레르산으로 양쪽 가장자리이면서 사업장이 밀접한 H-1, H-4와 H-5 주거지역의 악취강도가 중간지역(H-2, H-3) 보다 높았다. 또한 메틸에틸케톤, n-뷰틸아세테이트, 톨루엔과 자일렌은 주거지역에서 검출되었지만 악취강도로 환산했을 때 주변지역 주민들에게는 크게 악취 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

사업장과 주거지역에서 공통으로 검출되는 3항목(iso-뷰틸알코올, 스타이렌, n-발레르산)의 악취강도율(%)을 Fig. 4에 나타내었다.

사업장에서의 악취강도율(%)은 n-발레르산>iso-뷰틸알코올>스타이렌 순이었지만 주거지역에서는 n-발레르산>스타이렌>iso-뷰틸알코올 순으로 나타났다. 향후 이러한 지정악취물질들 중에서 유기산 화합물에 대해 더욱 저농도까지 쉽게 분석이 가능하도록 분석방법의 개발이 이루어져야하고 또한 검출농도는 미량으로 검출되었지만 악취강도로 환산 시 높은 악취강도 수치를 보이는 지정악취물질들에 대한 제거에 더 많은 초점과 관심을 가지고 조사 및 연구가 이루어져야 할 것으로 생각되어진다.

### 결론

부산 사상지역 산업단지내 악취배출업소의 복합악취와 지정악취물질 배출특성 조사를 통하여 주요 중점관리 악취배출사업장별 배출 악취물질의 특성 파악, 민원 발생지역에서 감지되는 악취물질과 사업장 배출원의 악취물질 상관성 비교 및 평가에서 얻은 기초 자료를 토대로 해당 지자체에서 학장동 지역주민을 위한 악취저감 사업 수행에 도움이 되고자 본 연구를 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 각 사업장 배출구의 복합악취 희석배수는 144~945배로 전 사업장이 배출허용기준치 1000배 이하였으나 공정별에서는 사업장이 3개소(평균 희석배수 1,190~3,451 배)였으나, 몇 단계의 공정을 거치면서 악취물질이 61.7~74.8%까지 저감됨을 보였다.
2. 지정악취물질은 F-5(페인트)에서 다이메틸다이실라이드가 배출구에서 0.248mg/L 검출되어 배출구허용

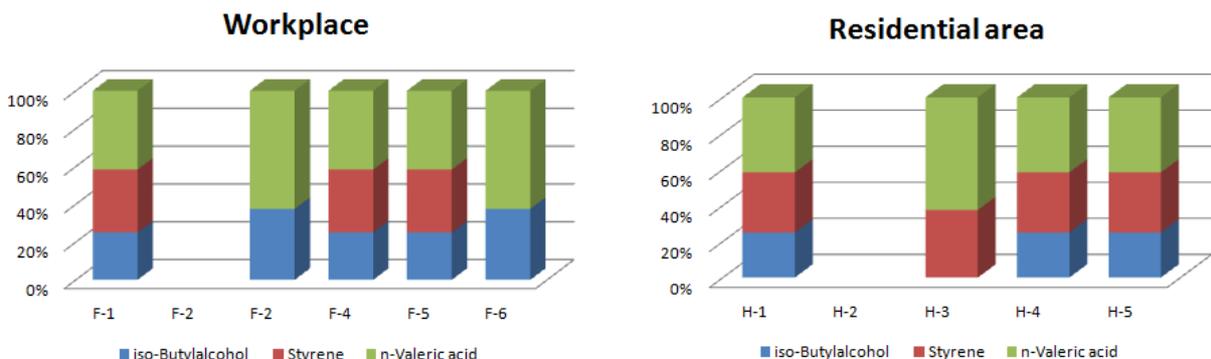


Fig. 4. Comparison of odor intensity of workplace and residential area.

기준(0.03mg/L)을 약 8배 초과한 것으로 나타났다. 자일렌과 프로피온산은 공정별에서 각각 2.585 mg/L, 3.60mg/L로, 배출구에서는 0.642 mg/L, 0.01 mg/L로 기준농도 이하였다. 기타 다른 분야의 사업장은 배출허용기준 농도 이하거나 검출되지 않았다.

3. 사업장별 지정악취 검출 항목량은 F-5(페인트)와 F-6(도금)이 각각 12항목, F-4(화학)이 10항목, F-1(고무)은 11항목, F-3(주물)은 7항목, F-2(금속)이 3항목 순으로 페인트와 도금업종이 최고로 많았고 금속을 취급하는 업종은 가장 적음을 알 수 있었다.
4. 사업장 공정별 지정악취물질 8항목 중 6항목이 휘발성 유기화합물로 가장 많았고 다음으로 암모니아, 유기산 화합물의 n-발레르산 각 1항목 순이었으며, 검출 빈도는 자일렌, 암모니아, 톨루엔, iso-부틸알코올, n-발레르산, 메틸에틸케톤, 스타이렌, 부틸아세테이트 순으로 나타났다. 특히 자일렌, 암모니아, 톨루엔, iso-부틸알코올, n-발레르산은 F-2(금속)을 제외하고는 모든 사업장에서 검출되었다.
5. 주거지역 복합악취는 최대 희석배수가 5~6배로 배출허용기준 20배보다 약 3배 정도 낮았다. 지정악취물질도 22개 항목 중 부틸아세테이트, iso-부틸알코올, 메틸에틸케톤, 톨루엔, 스타이렌, 자일렌, n-발레르산 7항목 검출되었고 나머지는 분석기기의 검출한계 값 이하로 거의 검출되지 않았다.
6. 사업장의 악취강도는 F-5>F-1>F-4>F-3>F-6>F-2 순이었고 주거지역에서는 H-2를 제외하고 4곳에서 7항목 중 3항목이 악취강도가 3~5단계였고, 악취강도를 좌우하는 물질은 iso-부틸알코올, 스타이렌, n-발레르산로 나타났다. 그러나 메틸에틸케톤, n-부틸아세테이트, 톨루엔과 자일렌은 주거지역에서 검출되었지만 악취강도로 환산했을 때 주변지역 주민들에게는 크게 악취 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

## References

1. 사상구청, 부산 사상구 구정백서(통계연감)(2012).
2. 오광중, 사상공업지역 악취발생현황 조사연구(2012).
3. 충주시 악취발생원으로부터 배출되는 악취원인물질 특성 분석, 대한환경공학회지 30권 4호 pp.415~422(2008)
4. 변상훈 등, 시화산업단지의 블록 별 악취유발물질 특성, 대한환경공학회지 Vol. 31, NO. 12, pp.1161~1168 (2009).
5. 최여진 등, 산업단지 및 주거지역에 대한 환경대기 중 주요 악취물질의 농도특성에 관한 연구-안산시 반월공단을 중심으로-, Korean Earth Science Society, Vol. 27, NO. 2, pp.209~220(2006).
6. 최재성 등, 화학공장에서 배출되는 악취규제물질의 분석 및 평가, 한국환경과학회지 제16권(제1호), pp.33~38 (2007).
7. 김용문 등, 전주산업단지 및 주변지역 VOCs 및 악취물질 모니터링, 전북대학교 부설 공학연구원 제33선, pp.159~170(2002).
8. 박성순 등, 전주산업단지 및 주변지역 VOCs 및 악취물질 모니터링(II), 전북대학교 부설 공학연구원 제34선, pp.81~92(2003).
9. 국립환경과학원, 악취공정시험방법(2007).
10. 국립환경과학원, 업종·시설별 악취관리(2003).
11. 환경부, 악취관리편람(2007).
12. 서용수, 미량 다성분 복합 악취물질 정량분석을 통한 악취특성 평가, 부경대학교대학원 공학박사 학위논문 (2007).
13. 조덕희 등, 반월·시화공단 화학업종의 악취물질 배출 특성에 관한 연구, 경기도보건환경연구원보, pp.135~146 (2006).