한국대기환경학회지 제 21 권 제 2 호
J. KOSAE Vol. 21, No. 2 (2005) pp. 215~226
Journal of Korean Society for Atmospheric Environment

반월공단내 주요 산업시설물들의 대기배출시설을 중심으로 한 주요 악취성분의 배출특성 및 배출원별 악취인자 선별 방식에 대한 예비연구

Source Characteristics of Odorous Compounds in the Ban Wal Industrial Complex and a Preliminary Study of Industry-specific Odor Indices

김기현* · 최여진 · 홍윤정 · 사재환[1)]
박종호 · 전의찬 · 최청렬[2)] · 구윤서[2)]
세종대학교 지구환경과학과, [1)]동신대학교 환경공학과,
[2)]안양대학교 환경공학과

(2005년 1월 12일 접수, 2005년 3월 15일 채택)

K.-H. Kim*, YJ Choi, YJ Hong, JH Sa[1)], JH Park,
EC Jeon, CR Choi[2)] and YS Koo[2)]
Department of Earth & Environmental Sciences, Sejong University;
[1)]*Department of Environmental Engineering, Dongshin University;*
[2)]*Department of Environmental Engineering, Anyang University*

(Received 12 January 2005, accepted 15 March 2005)

Abstract

In this study, we investigated the emission concentrations of 31 odorous compounds from various emission sources of 37 individual companies located within the Ban Wal industrial complex of Ansan city, Korea. In the course of our study, we attempted to evaluate emission characteristics of different industrial activities and relative significance of different odorous components. Based on our measurements of odorous compounds, we were able to find a line of evidence to draw a conclusion that a number of odorous compounds can be used as indices to specifically point out the influence of certain industrial activities. It was found that hydrogen sulfide and trimethyl amine record the highest contribution from leather industry. Likewise, acetaldehyde showed its maximum contribution from food-beverage sector, while ammonia for paper-mill, pulp production sector. On the other hand, the results of styrene and most VOC including BTEX were not useful, as their concentrations were not significantly high enough to judge from such respect.

Key words : Industrial, Odor, Sulfir, VOC, BTEX

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)2-3408-3233, E-mail : khkim@sejong.ac.kr

1. 서 론

경기도 안산시의 반월공단 지역은 대규모 주택 단지와 인접한 위치에 존재한다. 특히 양자가 각각 서쪽과 동쪽에 위치하는 지정학적 특성으로 인해 오염물질의 이동경로적인 측면에서 공단지역은 주로 풍상의 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 그림 1은 공단의 중심부에 속하는 고층전망대에서 동쪽에 위치한 아파트 단지를 향하여 촬영한 사진으로서, 공단의 각종 배출시설들에서 발원한 배출가스가 주택가를 향하는 전경을 캡쳐한 것이다. 이러한 사진에서 확인할 수 있듯이, 편서풍이 강하게 발현하는 우리 나라의 일반적인 기상요인 등에 의해서, 주택단지는 풍하지역의 특성을 보인다고 할 수 있다. 이러한 이유로 인해, 공단지역은 여러 가지 유형의 악취민원을 야기하는 원인으로 지목되고 있다(조석연 등, 2003). 특히 대규모 주택단지에 입주가 시작된 2000년대 초반부터 이러한 악취민원이 빈발하면서, 악취관리를 위해 여러 가지 유형의 대책개발을 위한 연구들을 촉진하는 계기를 제공하였다. 이러한 노력의 가장 기본적인 출발점은 악취성분들의 발생 및 분포특성 등을 정확하게 규명하고 이해하는데 있다(Kim *et al.*, 2005; Emerson and Rajogopal, 2004). 지금까지 이런 문제들을 이해하는데 필수적이고 긴요한 방안을 강구하기 위해, 여러 가지 관리대책의 도입이나 학제적인 연구과제의 수행과 같은 유형의 연구 노력들이 집중되었다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고, 현재까지 공개적으로 제시된 다수의 연구결과들 조차 대표적인 악취성분들의 발생이나 분포특성을 포괄적으로 설명하는데 곤란한 실정이다(Na and Kim, 2001).

본 연구진은 반월공단과 연계된 여러 가지 악취문제를 근원적으로 해소하기 위한 관리대책의 도출을 위해 안산시 반월공단 내에 소재한 주요 대기배출사업장 등에 대해 배출원에서 직접 채취하는 방식으로 주요 악취성분들의 현장관측 조사를 수행하였다. 본 연구진은 2004년 6월부터 우선 연구대상으로 설정한 37개의 배출관련 사업장들을 대상으로 각 업종별 악취성분들의 배출특성을 규명하기 위한 연구사업을 수행하였다. 본 연구에서는 알데하이드, 황, VOC, 질소 계열을 포괄하는 31개 종류의 주요 악취성분들에 대한 배출원 지점의 농도분포를 조사하였다. 본문에서는 조사 대상 업체들을 표준산업 분류코드 등을 이용해서 분류하고, 이들 업종의 배출시설별 악취분포 특성을 구분하고 설명하고자 하였다. 본문에서는 전체 조사결과를 주요 업종별 및 주요 악취성분별로 구분하여, 연구결과를 요약하고 설명하였다. 본 연구에서 제시된 악취성분들의 계측결과는 본 연구진들이 추가적으로 시도한 악취성분들의 배출규모 추정 등에도 활용될 계획이다. 참고로 이와 같은 악취 연구조사사업의 일환으로, 본 연구진은 본문에서 소개하는 배출원 중심의 악취조사와는 별도로 별개의 연구사업을 동시에 선행조사하였다. 가장 우선적으로 주택 및 공단지역의 환경대기 중 악취성분들을 측정하고, 이들의 시공간적 분포특성을 설명하기 위한 연구 결과를 발표한 바 있다(김기현 등, 2005a). 또한 이에 덧붙여 안산시 고잔동 지역의 주택단지를 중심으로 악취관리의 측면에서 주요 관리대상인 황계열 및 VOC 성분들에 대한 온라인식 연속계측을 수행하고, 그 결과에 대해서도 보고한 바 있다(김기현 등, 2005b).

2. 연구 및 방법

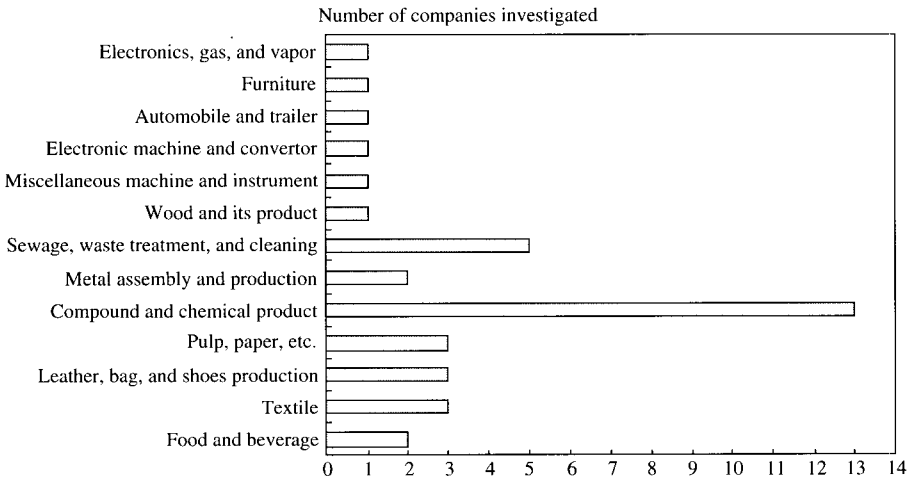
2.1 연구 대상 업체의 선정 및 조사방법

본 연구는 반월공단 내에 입주한 총 37개의 연구대상업체를 중심으로 2004년 6월부터 10월 기간까지 총 9차례에 걸쳐 현장조사를 수행하는 방식으로 진행하였다. 이러한 현장조사는 개별업체들에 설치된 주요 배출시설물들로부터 배출되는 악취성분들의 농도 및 환경변수를 동시에 조사하는 방식으로 진행되었다. 조사 대상으로 선정된 37개의 업체는 경기도 안산시의 반월공단 내부에 비교적 고르게 배치되었다. 이들 조사대상업체들은 표 1에 제시한 바와 같이, 총 13개 업종을 대표한다. 그렇지만, 보다 세부적으로 분류하면, 화합물 및 화학제조 분야가 12개로서 가장 큰 비중을 차지한다. 그외에 섬유, 피혁, 펄프/제지, 하수/폐기물 처리 등의 업종 등이 3개 이상씩 선정되었다. 그리고 나머지 나무목재, 가구업 등을 위시한 6개 업종의 경우, 각 업종을 대표하는 1개의 업체들에 대해서만 조사가 이루어졌다. 전체적으로 선정이 이루어진 조사대상 업체들은 주로 안산시 또는 경기도의 차원에서 집중적인 조사관리를 받는 업체들을 중심으로 이루어졌다. 따라서 주요 업종을 고르

Fig. 1. A picture shot taken from a high-elevation park area in the center of Ban Wal industrial area (11 Jan. 2005). The picture shows that emissions from industrial area heads toward a large residential complex located in the eastern part of the Ansan city.

Table1. A classification list of companies investigated for odor emission study. Classification is made based on a standard industrial classification code. A total of 37 companies are classified.

Major code (First 2 digits)	Type of industry	No.	Major code (First 2 digits)	Type of industry	No.
15	Food and beverage	2	20	Wood and its product	1
17	Textile	3	29	Miscellaneous machine and instrument	1
19	Leather, bag, and shoes production	3	31	Electronic machine and convertor	1
21	Pulp, paper, etc.	3	34	Automobile and trailer	1
24	Compound and chemical product	13	36	Furniture	1
28	Metal assembly and production	2	40	Electronics, gas, and vapor	1
90	Sewage, waste treatment, and cleaning	5			



게 대표하지 않고, 일부 업종에 지나치게 편중된 경향을 보이고 있다. 이와 같은 편중성에 대한 문제는 향후 장기적인 DB 확보의 차원에서 추가적으로 계획된 연구(2005년으로 계획된) 2차년도 조사 사업 등을 통해, 지속적으로 확장 개선되어 나갈 계획이다. 본 연구에서는 현재 확보된 37개 업체의 배출시설물들에 대한 악취성분의 기기 계측자료를 토대로 주요 업종 및 배출시설별 악취성분의 분포 특성을 진단하고자 하였다. 이를 위해 표 2에는 조사가 이루어진 37개 업체를 다시 8개의 업종으로 중분류하고, 각 업체별 배치된 배출 시설물들을 8개의 유형으로 구분지어 주었다. 표 2에는 조사가 이루어진 37개 개별 업체들에 대한 정보는 조사시간대별 순서로 임의의 번호를 부여한 후, 분류표 내부에 번호를 나열하는 방식으로 익명성을 유지하였다.

2. 2 측정방법

악취의 발생 여부를 판단 또는 평가하기 위해 직접관능법, 공기희석관능법, 기기관측법 등의 여러 가지 방법이 동원되고 있다. 본 연구에서는 현재 환경부에서 악취성분으로 규정한 12가지 악취성분 및 기타 이들과 연계된 악취성분들을 주 분석 대상으로 설정하였다(표 1 참조). 이들을 화학종별로 비교하면, 아세트 알데하이드를 위시한 13가지의 알데하이드 계열, 황화수소를 위시한 5가지 악취황 계열, 암모니아와 트리메틸 아민을 위시한 질소계열, 톨루엔을 위시한 총 11개의 VOC를 포괄하는 31개의 개별 성분 그리고 개별 VOC의 농도를 총괄하는 TVOC (여기서 TVOC는 GC분석을 통해 C6~C16에 해당하는 성분들) 개념까지 총 32개 항의 악취항목들을 포함한다. 간헐적으로 소각시설과 같이 고농도의 SO_2를 배출하는 시설물에서는 SO_2의 농도까지 정량하였다.

Table 2. Types of odorous pollutant emission systems for 37 companies investigated in this study and their brief statistics.

	Major code	Sector	C-NO*	WC[1)]	AE	WD	SC	MF	SR	ST	Etc
A	15	Food and beverage	9		9A		9B, 9D	9C			
			19		19A						
B	17	Textile	28				28B	28A			
			29					29A		29B	
			30				30B	30A			
C	19	Leather, bag, and shoes production	5					5A, 5B			
			11	11A	11B	11C					11D
			31	31A	31C	31B					31D
D	21	Pulp, paper, etc	8					8A, 8B			
			33								33A
			35								35A, 35B
E	24	Compound and chemical product	2		2A						
			6								
			7		7A		7D	7C	7B		
			12				12C, 12D	12A, 12B			
			13		13A		13B				
			14		14A		14B				
			16		16A		16B				
			17				17A				
			20				20B	20A			
			23				23A				
			24						24A, 24B		
			25				25B	25A			
			27				27B				
F	28	Metal assembly andproduction	10				10B, 10D	10A, 10C			
			15				15B	15A			
G	90	Sewage, waste treatment, and cleaning	1		1A				1C,1D	1B	
			3		3A, 3B	3C	3D				
			4						4A, 4B		
			18						18A, 18C	18B	
			34		34A	34B					
H	20	Wood and its product	32								32A
	29	Miscellaneous machine and instrument	36								36A, 36B
	31	Electronic machine and convertor	26				26B				26A
	34	Automobile and trailer	22				22A, 22B				
	36	Furniture	21				21A, 21B				
	40	Electronics, gas, and vapor	37	37A, 37B							37C

* implies the arbitrary number for 37 companies investigated.

[1)] Abbrebiations: WC (waste collection), AE (aeration), WD (waste deposition), SC (scrubber), MF (manufacturing), SR (storage), ST (stack), etc.

그러나 이는 악취관리 대상으로서가 아니라, GC 분석시 황화수소와 인접하게 검출되는 성분이라 고농도로 존재할 경우 참고자료로 분석하였다. 따라서 이산화황은 공식적으로 배출농도를 조사하는 대상으로 간주하지 않았다.

위에서 선정한 37개의 대상업체들에서 8개 유형의 배출시설물들을 중심으로 다음과 같이 악취성분들의 분석에 필요한 시료를 채취하고 분석하였다. 8개의 유형에는 악취의 배출이 최종적으로 이루어지는 지점들, 예를 들어 폐쇄되지 않은 형태의 생산현장, 저

장시설, 폭기조와 같은 시설들을 중심으로 실시하였다. 그러나 이 외에도 스커러버, 스택 등의 배출시설에 대해서도 일부 조사가 이루어졌다. 그런데 이들 배출시설의 경우, 시료채취와 관련된 기술적인 어려움으로 인해 상당 부분 제한적으로 채취가 시도되었다. 이들의 경우, 배출후단을 중심으로 시료채취가 이루어졌으며, 온도나 수분 조건이 문제가 될 경우 시료의 양을 최소화하는 방식으로 접근하였다. 그러나 소각시설과 같이 수 백도의 고온상태를 유지하는 조건에서는 단순히 악취조사를 위한 백이나 카트리지 채취가 불가하기 때문에 시료채취를 제한하였다.

시료의 채취 및 분석은 다음과 같이 이루어졌다. 황, VOC, 아민 계열의 성분들은 테들러 백을 이용한 용기채취방식을 이용하였다. 반면 알데하이드 시료는 DNPH 카트리지 방식, 암모니아는 공정시험법에 제시된 임핀저 방식을 활용하였다. 이들 채취시료들에 대한 화학적 분석은 시료 채취가 종료된 후, 신속하게 실험실로 이동하여, 시료채취 시점으로부터 24시간 이내에 신속하게 진행하였다.

본 연구에서는 다양한 악취성분들을 관측하기 위해, 표 3에 제시된 오염물질들 중 분석대상 성분들을 기준으로 총 5가지의 독립적인 분석기법을 적용하였

Table 3. Target odorous compounds investigated in this study.

Order	Pollutatnts		Structural formula	Regulation criteria type*
	Full name	Short name (or chemical form)		
A. Carbonyl compounds	Formaldehyde	Form-A	HCHO	
	Acetaldehyde	Acet-A	CH_3CHO	I
	Acrolein	Acrolein	$CH_3=CHCHO$	
	Acetone	Acetone	CH_3COCH_3	
	Propionaldehyde	Propion-A	CH_3CH_2CHO	II
	crotonaldehyde	Croton-A	$CH_3CH=CHCHO$	
	Butyraldehyde	Butyr-A	$CH_3CH_2CH_2CHO$	II
	Benzaldehyde	Benz-A	C_6H_5CHO	
	Isovalerldehyde	Isovaler-A	$(CH_3)_2CHCH_2CHO$	II
	valeraldehyde	Vale-A	$CH_3(CH_2)_3CHO$	II
	o-Tolualdehyde	o-Tolu-A	$CH_3C_6H_4CHO$	
	m-Tolualdehyde	m-Tolu-A	$CH_3C_6H_4CHO$	
	p-Tolualdehyde	p-Tolu-A	$CH_3C_6H_4CHO$	
B. Reduced S compounds	Hydrogen sulfide	H_2S	H_2S	I
	Methyl mercaptan	CH_3SH	CH_3SH	I
	Dimethyl sulfide	DMS	$(CH_3)_2S$	I
	Carbon disulfide	CS_2	CS_2	
	Dimethyl disulfide	DMDS	$(CH_3)_2S_2$	I
C. Total and individual VOC	Total VOC	TVOC		
	Benzene	B	C_6H_6	
	Toluene	T	$C_6H_5CH_3$	
	Ethylbenzene	E	C_8H_{10}	
	m,p-Xylene	MPX	$(CH_3)_2C_6H_4$	
	Styrene	STY	$C_6H_5CH=CH_2$	I
	o-Xylene	OX	$(CH_3)_2C_6H_4$	
	Bromobenzene	BB	C_6H_5Br	
	1,3,5-Trimethylbenzene	1,3,5-TMB	$(CH_3)_3C_6H_6$	
	1,2,4-Trimethylbenzene	1,2,4-TMB	$(CH_3)_3C_6H_7$	
	p-Isopropyltoluene	p-IPT	$C_{10}H_{14}$	
	n-Bultylbenzene	n-BB	$C_{10}H_{14}$	
D.	Ammonia	NH_3	NH_3	I
E.	Trimethyl amine	TMA	$(CH_3)_3N$	I

*Type I includes those subject to the current regulation, while type II to be added after Feb. 2005 by the Korean Ministry of Environment (KMOE).

다(홍윤정과 김기현, 2005; 김기현 등, 2004, 2003; 최여진 등 2004, 2003). 이들 성분에 대한 분석기법들은 대략 다음과 같이 요약할 수 있다. 참고로 그림 2에는 이들 분석결과 중에서 VOC, S, aldehyde 성분들에 대한 크로마토그램을 제시하였다.

1) 가장 우선적으로 황화합물들의 경우, 최첨단 검출기법으로 알려진 GC/PFPD (Donam Instruments, Model DS 6200, PFPD: O.I. Co., Model 5380)에 열탈착기법 (thermal desorption unit (TDU)-UNITY, Markes, Ltd.)을 적용하였다(최여진 등, 2004; 김기현 등, 2004, 2003). 이를 통해, 환경대기 중에서(이들이 실제로 존재하는) ppt 수준의 농도에 해당하는 초정밀 분석을 실시하였다. GC 분석에서 시료 분리를 위한 컬럼으로는 DB-VRX (60 m × 0.32 mm, 1.8 μm, SGE사 제작)를 사용하였다.

2) 스티렌과 같은 VOC군의 악취성분은 GC-FID (Donam Instruments, Model DS 6200) 방식과 앞서 언급한 UNITY열탈착기법 (thermal desorption unit: TDU-UNITY, Markes, Inc.)을 조합한 방식으로 측정하였다(최여진 등, 2003). 스티렌의 분석은 BP1 column (Length: 60 m, ID: 0.32 mm, Film thickness: 5.0 μm, SGE사 제작)을 이용하였다.

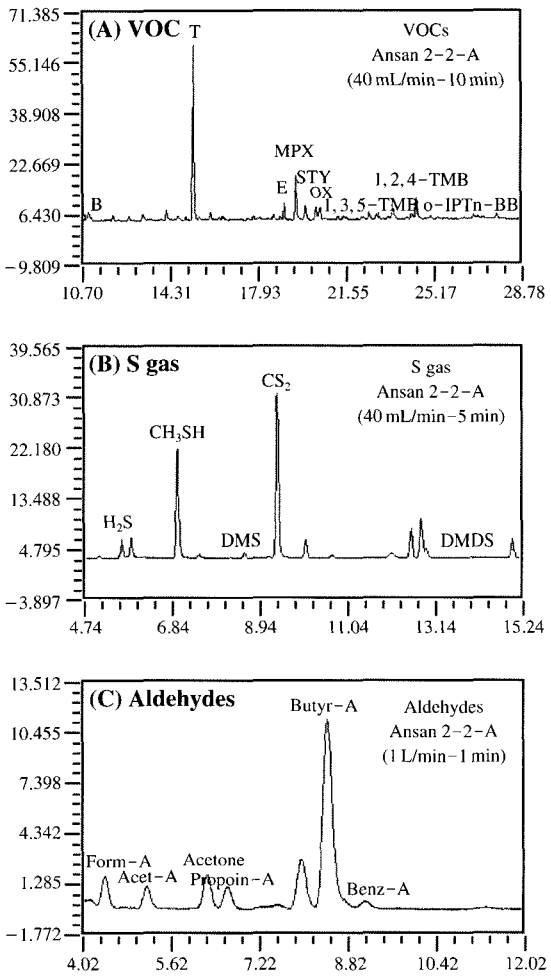


Fig. 2. Chromatograms of VOC, S, and aldehyde analysis from samples collected in a sweage treatment plant.

Table 4. Basic QA/QC parameters for odorous pollutants investigated in this study.

	Odorous compounds	DL (ppb)	Precision (RSE in %)
1. Carbonyls	Form-A	0.37	1.54
	Acet-A*	0.33	1.79
	Acrolein	0.30	2.37
	Acetone	0.31	1.91
	Propion-A	0.32	1.67
	Croton-A	0.30	1.55
	Butyr-A	0.33	1.99
	Benz-A	0.29	1.52
	Isvaler-A	0.35	2.26
	Valer-A	0.34	2.36
	o-Tolu-A	0.24	2.67
	m-Tolu-A	0.32	1.22
	p-Tolu-A	0.31	2.30
2. Reduced S	H_2S*[a]	16.6	1.95
	CH_3SH*[a]	7.65	1.69
	DMS*[a]	5.68	1.38
	CS_2*[a]	2.04	0.54
	DMDS*[a]	4.24	3.83
3. VOC	B	0.14	1.55
	T	0.11	5.54
	E	0.11	3.82
	MPX	0.04	2.83
	STY*	0.12	3.78
	OX	0.08	3.25
	BB	0.24	2.95
	1,3,5-TMB	0.15	0.50
	1,2,4-TMB	0.21	1.06
	p-IPT	0.16	1.75
	n-BB	0.23	1.56
4. N-compounds	Ammonia*	80	10
	TMA*	0.1	

*8대 악취 기준물질

[a]:윗첨자 5가지 황성분의 농도는 ppt 단위임.

3) 알데하이드 성분의 분석은 DNPH 카트리지를 이용한 샘플링과 HPLC (Lab alliance, Model 500)를 조합하는 방식으로 채취 및 분석을 수행하였다(홍윤정과 김기현, 2005). 알데하이드 계열의 성분들을 효과적으로 분리검출하기 위해, 25 cm × 4.6 mm ID 비극성(reversed phase) 컬럼인 Hichrom 5 C18를 사용하였다.

4) 트리메틸아민(TMA)의 경우, 선행연구에 제시된 분석방식을 준용하였다(전의찬 등, 2003). 테들러 백에 채취한 시료를 고체 흡착제를 이용한 추출방식(SPME: polydimethylsiloxane/dicinylbenzene, 65 μm film) 방식을 적용하여, 대기 중의 TMA 성분들을 1차적으로 농축시켰다. 그리고 이들을 다시 *GC/NPD* (Shimadzu 17A)를 이용하여 분석하였다.

5) 암모니아 성분의 경우, 공정시험방법 등에서 기초한 가장 보편적인 흡광도/비색 측정 방식인 인도페놀법에 기초하여 분석을 실시하였다. 각 분석방식에 대한 분석화학적 품질관리(QC)의 기초적인 결과는 앞서 언급한 본 연구진의 선행연구를 통해 다각도로 제시한 바 있다. 가장 기본적인 품질관리 항목이라고 할 수 있는 검출한계 및 정밀도에 대한 정보는 표 4에 요약 제시한 바와 같다.

3. 결과 및 토론

3.1 전체 분석결과에 대한 평가

전체 연구기간 동안 37개 업체의 배출시설물로부터 관측한 악취성분의 농도분포 분석결과에 대한 요약결과를 표 5에 제시하였다. 이러한 결과는 각 업종마다 또는 동일한 업종 내부에서도 대기오염물질이나 악취를 배출하는 기술방식 등에서 크고 작은 차이를 보이고, 조업하는 방식 등에서도 현저한 차이를 보인다는 점들을 감안할 때, 절대적인 의미를 부여하는 것은 불가능하다. 그러나 큰 틀에서 최대한 동질성을 확보하기 위한 기준을 설정하고, 이러한 기준하에서 비교를 시도하였다는 점에서 여러 가지 상대적인 의미를 도출하는 것 자체만으로 충분히 의미있는 시도라고 볼 수 있을 것이다. 특히 표 5에 제시된 결과는 동일한 악취계열군으로 선정된 다수의 화학종 중에서 상대적으로 어떤 성분들이 가장 큰 기여도를 보이는가 등에 대해 의미있는 해석결과를 도출하는 것이 가능할 것이다.

이러한 비교관점을 배경으로 두고, 알데하이드 계열의 성분들에 대한 조사결과를 개략적으로 비교해 보았다. 알데하이드 계열에서는 포름알데하이드가 전체 조사 대상에서 가장 높은 평균치인 474 ppb를 기록하였고, 아세트알데하이드, 부티르알데하이드, 아세톤, 프로피온알데하이드 등이 순서대로 그 뒤를 따랐다. 이와 같은 방식으로 황계열 화합물들에 대한 비교를 시도한 결과, 황화수소가 141 ppb로서 가장 높은 농도를 기록하였다. 그리고 그 뒤를 CS_2, CH_3SH, DMS, DMDS의 순서로 농도가 감소하는 경향을 보였다. VOC 계열에서는 일반적인 대기환경에서 톨루엔 성분이 가장 고농도를 기록하는 경향과 유사하게 톨루엔이 526 ppb의 평균치로 최대를 기록하였다. 그 뒤를 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌 등이 따랐다. VOC 계열의 성분들이 대개 유사한 범위대에서 농도가 관측된 반면, 질소를 함유한 질소계열의 성분들에서는 현저한 차이가 나타났다. 먼저 암모니아의 경우 3278 ppb의 평균농도를 기록한 반면, 트리메틸아민과 같은 성분은 그 보다 수 천 배 낮은 1.38 ppb의 평균농도를 기록하였다.

표 5에 제시한 주요 악취성분들의 농도별 악취세기에 대한 기여도의 차이가 상당히 크게 벌어진다는 점을 감안하면, 공단지역에서 발생 및 배출되는 악취성분들이 실질적으로 주변 지역에 초래하는 악취문제의 강도는 단순히 농도크기 만에 의존한 비교로부터 확인하기가 어렵다. 따라서 이들 성분의 농도를 악취도의 기준으로 전환하여 비교하는 것이 실질적으로는 보다 더 중요한 의미를 지닐 수 있다. 각 성분의 평균농도를 이용하여, 악취도로 환산한 후 비교한 결과 다음과 같은 경향이 파악되었다. 우선 알데하이드 계열은 아세트알데하이드의 평균농도가 악취도 3을 기록하며, 가장 강한 강도를 보였다. 포름알데하이드는 악취도 기준에서는 1도를 간신히 넘는 수준으로 상대적인 기여도가 떨어진다는 것을 알 수 있다. 황계열의 경우, 가장 높은 농도를 보인 황화수소가 악취도의 측면에서도 3도를 기록하여 가장 기여도가 큰 것으로 파악되었다. 그외 다른 황계열의 성분들도 대부분이 1도를 넘는 것으로 나타났다. 따라서 모든 조사 대상으로 설정된 황성분들은 비교적 고르게 기여도가 높은 것으로 나타났다. 질소성 성분들의 경우, 암모니아가 3도, TMA가 2도에 근접하는

Table 5. An overall summary of emission concentration measurements of odorous pollutants from 37 companies investigated in this study.

(1) Carbonyl compounds

	Form -A	Acet -A	Acrolein	Acetone	Propion -A	Croton -A	Butyr -A	Benz -A	Isovaler -A	Vale -A	o-Tolu -A	m-Tolu -A	p-Tolu -A
Unit	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
Mean	474	371	1.44	368	29.0	17.2	397	27.7	2.29	6.10	0.93	0.83	0.57
SD	3472	1698	3.42	867	65.8	40.6	1675	40.5	8.07	16.3	2.78	2.25	1.06
Med	34.2	22.2	0.32	70.5	12.1	3.40	19.5	13.4	0.33	1.37	0.34	0.33	0.32
Min	0.27	3.85	0.21	0.31	0.33	0.27	0.14	0.19	0.11	0.28	0.14	0.18	0.17
Max	32057	11255	18.7	4782	532	311	12427	246	60.4	104	22.1	17.3	7
N	85	85	85	84	85	82	85	83	80	80	80	80	80

(2) Reduced S compounds

	H_2S	CH_3SH	DMS	CS_2	DMDS	SO_2*
Unit	ppt	ppt	ppt	ppt	ppt	ppt
Mean	141086	2362	1038	31276	576	35288
SD	1117143	8441	3198	157983	1198	77329
Med	796	59	171	1068	41.6	957
Min	0.08	0.04	0.08	0.51	0.01	50.0
Max	10468617	59412	26215	1276586	5409	173612
N	88	88	88	88	88	5

(3) N-compounds

	NH_3	TMA
Unit	ppb	ppb
Mean	3278	1.38
SD	22659	4.80
Med	423	0.10
Min	0.00	0.09
Max	210619	31.7
N	86	62

(4) VOC

	TVOC	B	T	E	MPX	STY	OX	BB	1,3,5-TMB	1,2,4-TMB	p-IPT	n-BB
Unit	ppbC	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
Mean	8859	21.2	526	86.5	54.7	29.7	35.1	3.57	4.58	7.85	5.12	5.75
SD	16348	75.4	1700	375	157	102	125	12.2	11.4	30.8	14.6	19.3
Med	2338	1.53	47.9	9.89	8.77	4.84	3.64	0.37	0.97	1.56	0.97	0.45
Min	417	0.27	4.55	0.76	0.86	0.27	0.19	0.09	0.12	0.21	0.10	0.06
Max	83704	515	11659	3341	1074	855	751	81.8	82.9	277	116	112
N	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85

수준으로 이들의 기여도도 중요한 위치에 있다는 것을 알 수 있다. 반면 VOC 성분들은 전반적으로 고농도를 유지함에도 불구하고, 상대적으로 기여감도가 둔하게 나타나는 특성으로 인해, 대부분의 성분들이 1도 또는 그 이하의 기여도를 보이는 것으로 나타났다. 이와 같은 비교결과들을 종합적으로 비교해 보면, 최소한 배출원에서 발산되는 시점을 기준으로 악취성분들의 상대적인 기여도에는 상당한 차별화가 이루어질 수 있다는 가능성을 시사한다고 볼 수 있다.

3. 2 업종별 악취성분의 배출특성 비교

그림 3에는 전체 조사 대상업체 37개를 세부적으로 8개 주업종으로 분류한 후, 12가지 주요 악취성분의 결과를 도식하였다. 가장 먼저 알데하이드 계열은 비교대상 성분들 중에서 가장 악취기여도가 강한 아세트 알데하이드를 중심으로 업종별 농도분포를 비교하였다. 이러한 비교에 의하면, 비교대상이 된 업종 중에서 음식료 제조업계에서 악취강도 4도에 해당하는 2882 ppb로 최고의 평균농도를 기록하였다. 반면 하수 및 폐기물처리 업종에서는 35.7 ppb (악취도 2도)로 가장 낮은 평균농도를 기록하였다. 이와 같이 음식료 분야에서 아세트알데하이드 성분의 악취기여도가 가장 높다는 사실은 이들 성분이 발효공정 등을 위시하여, 여러 가지 음식물의 생산 및 가공에서 배출되기 쉽다는 점과 일치한다. 이러한 점을 감안할 때, 음식료의 제조와 연계된 주요한 지표성 악취인자로 이러한 성분을 활용하는 것이 가능하다는 점을 뚜렷하게 확인할 수 있다.

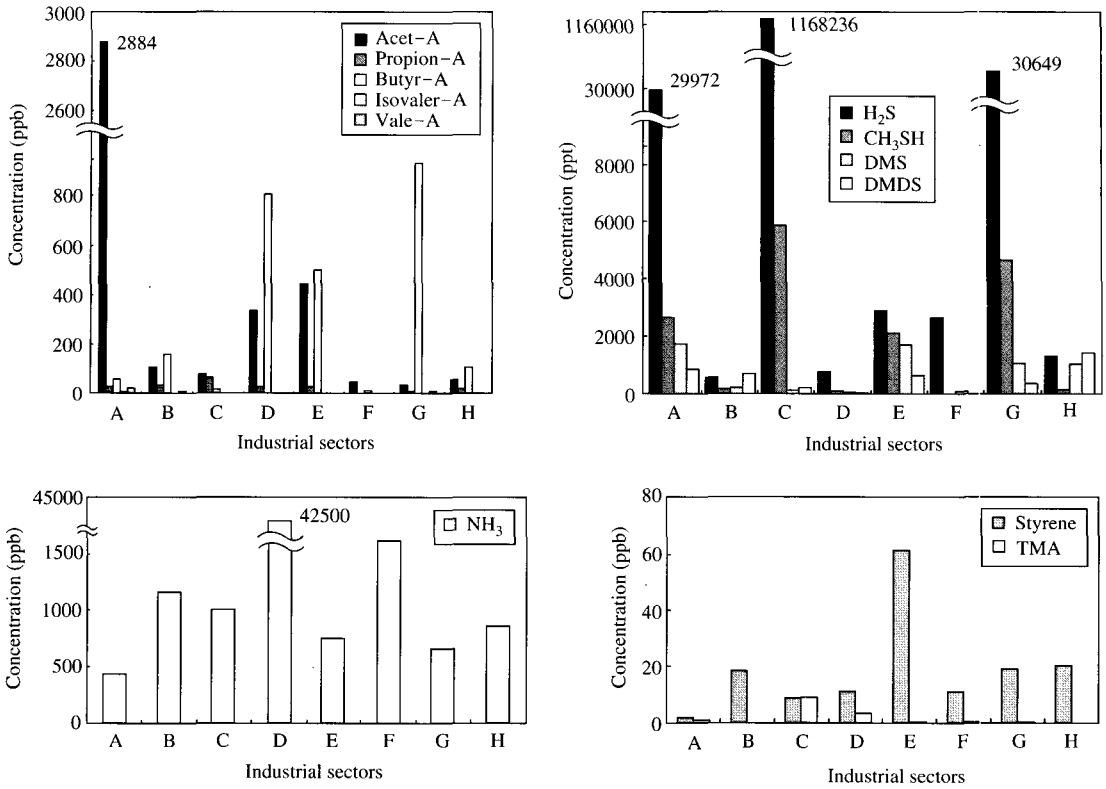


Fig. 3. Comparison of the mean concentration levels of 12 malodor compounds for major industrial sectors investigated in this study. *A (Food and beverage), B (Textile), C (Leather, bag, and shoes production), D (Pulp, paper, etc.) E (Compound and chemical product), F (Metal assembly and production), G (Sewage, waste treatment, and cleaning), and H (Minor ones classified as H group in Table 1)

황계열 성분들의 결과에 대한 비교도 유사 성분들 중에서 가장 민감도가 뛰어난 황화수소를 중심으로 비교하면, 여러 가지 의미있는 결과의 해석을 도출하는 것이 가능하다. 그 결과, 전체 비교대상인 8개의 업종 중에서 가죽, 피혁계통이 1.17 ppm의 평균농도로서 악취강도 4도를 기록하며 가장 높은 기여도를 보인다는 것 확인할 수 있다. 또한 가죽, 피혁계통의 최대 농도치인 10.5 ppm 수준의 분석결과는 악취도 5도에 해당한다는 점도 참조할 필요가 있다. 전반적으로 가죽제품의 처리와 관련하여, 여러 가지 황성분이 함유된 산처리 과정이 불가피하다는 점을 감안하면, 이와 같은 비교결과는 충분히 의미가 있는 분석결과라고 할 수 있다. 선행연구들에 의하면 크래프트 펄프공장의 배출시설에서는 ppm 수준으로 황화수소 등이 배출될 정도로 중요한 배출원으로 작용한다고 보고된 바 있다(Young, 2001). 이에 반해 본연구의 결과에 의하면, 펄프, 제지업종은 황화수소가 717 ppt (또는 0.7 ppb)의 가장 낮은 평균농도를 기록함으로써, 악취도 1도 수준을 보였다. 본 연구에서는 주로 야적장 등의 결과가 많이 반영된 결과 등이 어느 정도 영향을 미쳤을 것으로 보인다. 그러나 향후 추가적인 연구에서는 여러 가지 생산공정 등과 연계된 자료를 보다 체계적으로 확보하여 이런 부분에 대하여 추가적인 검정이 필요할 것으로 사료된다.

암모니아 성분들에 대해서도 유사한 비교를 시도한 결과, 펄프 및 제지업종에서 최고농도인 42.5 ppm을 기록하여 악취도 5도를 초과하는 것으로 나타났다. 반면 음식료 계통에서는 441 ppb로 가장 낮은 농도 및 악취도 1을 기록하여, 업종별 암모니아의 배출특성에서도 현저한 차이가 존재하는 것으로 나타

났다. 그리고 TMA의 성분은 검출한계가 제한될 정도로 가장 검출이 쉽지 않게 이루어진 성분 임에도 불구하고, 업종별 비교에서는 상당히 유의미한 차별화가 이루어지는 것으로 나타났다. 비록 섬유계통의 경우, 분석시료의 보관과 관련된 문제 등으로 자료비교가 이루어지지 않았지만, 여타 비교 대상구에 대한 비교결과에서는 가죽, 피혁 분야가 10 ppb 수준으로 2.5도의 최대 악취강도를 기록함으로써, 타업종과 현저한 차이를 보였다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 악취민원이 빈발한 반월의 대규모 산업단지의 배출시설물들을 중심으로 주요 법정관리 기준에 해당하는 악취성분들의 배출농도분포를 37개의 사업체로부터 조사하였다. 그리고 이러한 분석결과를 기준으로 악취성분별 또는 배출업종별 악취성분의 발생특성 및 악취성분간 상대적인 기여도에 대한 직간접적인 비교평가를 실시하였다. 전반적으로 배출시설물에서 관측되는 악취성분들은 거의 대부분이 일반 대기환경에서 발견되는 농도보다 대개 수백배 정도 고농도를 유지하는 수준으로 확인되었다. 그러나 이러한 연구결과에 의하면, 유사한 악취성분 계열간에도 농도의 고저차를 감안할 때, 현저한 차이가 존재하는 것이 확인되었다. 특히 동일 계열 내부에서도 일반적으로 관리대상으로 설정된 항목들(아세트알데하이드, 황화수소, 스티렌 등)이 동일 계열군 내의 타항목들에 비해 상대적으로 높은 기여도를 유지한다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 이들 악취성분들에 대한 분석결과를 업종별로 구분한 후, 최고농도와 최저 농도를 기록하는 경향을 비교한 결과, 개별 악취성분들 간에 특정업종을 대표할 수 있을 정도로 식별인자로 활용할 수 있는 가능성이 확인되었다. 가장 먼저 아세트 알데하이드는 식음료계열, 황화수소와 TMA는 가죽, 피혁계열, 암모니아는 재지, 펄프계열 등에서 타업종과 현저하게 구분이 이루어질 정도로 가장 높은 악취도를 기록함으로써, 민감한 식별인자로 활용할 가능성이 충분히 확인되었다. 그러나 대부분의 업종에서 고르게 고농도로 나타나는 스티렌을 위시한 VOC 성분들은 악취도의 관점에서는 현저하게 낮은 농도와 그에 상응하는 악취도로 인해, 악취성분의 식별에는 여러 가지 어려움이 따를 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 안산시가 지원한 악취조사사업의 일환으로 진행되었습니다. 본 연구사업의 진행과 관련하여, 같이 반월공단에서 시료를 채취하느라 구석구석 헤집으며 고생하고, 실험실에서 시료를 분석하느라 날밤을 새며 고생한 본 실험실의 예비 대학원 학생들 모두(현성혁, 임문순, 이기한 군, 안지원, 정수연, 박신영 양)에게 깊은 감사의 말을 전하고자 합니다. 본 조사연구에 자료가 축적될 수 있게 협조해 주신 반월공단 산업체의 관계자 분들에게도 심심한 사의를 표하는 바 입니다.

참 고 문 헌

김기현, 오상인, 최여진, 최규훈, 주도원 (2003) 환경 대기 중 ppt 수준의 황화수소분석을 위한 GC 방식의 검량기법에 대한 연구, 한국대기환경학회지 19(6), 679-687.

김기현, 오상인, 최여진 (2004) 대기 중 악취황 성분들에 대한 GC 분석의 특성. 한국분석과학회지 17(2), 145-152.

김기현, 최여진, 홍윤정, 전의찬, 최청렬, 구윤서 (2005a) 공단 및 주거지역을 중심으로 한 환경대기 중 주요 악취성분의 농도분포 특성에 대한 예비연구, DICER, in press.

김기현, 주도원, 최여진, 홍윤정, 사재환, 박종호, 전의찬, 최청렬, 구윤서 (2005) 안산시 주거지역을 중심으로 한 환경대기 중 휘발성 유기화합물과 황계열 성분의 온라인 연속측정 연구, 한국대기환경학회지 21(1), 107-118.

전의찬, 이성호, 사재환, 박종호 (2003) 생활폐기물 매립장에서 발생되는 트리메틸아민의 분석 및 배출 특성. 2003년 추계학술대회논문집, 2003년, 10월.

조석연, 황용우, 황상순 (2003) 인천 서구지역 악취배출원 조사 및 저감방안 연구 (보고서). 인천지역 환경기술개발 센터. 296p.

최여진, 김기현, 오상인, 손장호 (2004) 연속측정방법을 이용한 도심권 대기질 내 저농도 황화합물의 관측에 대한 연구. 한국대기환경학회지, 20(2), 195-204.

최여진, 오상인, 김기현 (2003) 방향족 휘발성 유기화합물의 겨울철 연속 관측 연구. 한국대기환경학회지 19(5), 491-502.

홍윤정, 김기현 (2005) 대기 중 카보닐 계열 성분의 분석기법의 연구: 포름알데하이드와 DNPH의 반응 특성을 중심으로. 한국분석과학회지 게재예정.

Emerson, C.W. and R. Rajagopal (2004) Measuring toxic emissions from landfills using sequential screening. Computers, Environment and Urban Systems 28, 265-284.

Kim, K.-H., Y.J. Choi, E.C. Jeon, and Y. Sunwoo (2005) Characterization of malodorous sulfur compounds in landfill gas. Atmos. Environ. In Press.

Na, K. and Y.P. Kim (2001) Seasonal characteristics of ambient VOC in Seoul, Korea. Atmos. Environ. 35, 2603-2614.

Young, S.R. (2001) Questions and answers about KRAFT pulp mill odor. Manual 75, Georgia-Pacific Corp., Camas, Washington, USA.