

반월공단의 대기배출시설을 대상으로 한 악취성 황화합물의 측정과 배출특성에 대한 연구

The Emission Characteristics of Reduced Sulfur Compounds in the Ban Wall Industrial Complex

최 여 진 · 전 의 찬 · 김 기 현*

세종대학교 지구환경과학과

(2005년 6월 14일 접수, 2005년 10월 6일 채택)

Y.J. Choi, E.C. Jeon and K.H. Kim*

Department of Earth & Environmental Sciences, Sejong University

(Received 14 June 2005, accepted 6 October 2005)

Abstract

In this study, the concentrations of major reduced sulfur compounds (RSC: H₂S, CH₃SH, DMS, CS₂ and DMDS) were determined from various emission sources of individual companies located within the Ban Wal industrial complex of Ansan city, Korea. We investigated the emission concentration levels of RSC from a total of 47 individual companies during June 2004 to January 2005. The results of our study indicate that the emission concentration levels of RSC vary in a highly complicated manner in relation with industrial sectors and emission source types. It was found that both H₂S and CH₃SH make the highest contribution to nuisance in the leather industry. Likewise, DMS showed its maximum contribution from food production sector, while DMDS for chemical production sector. When the emission data sets were compared between different emission sources, regardless of industrial types or activities, H₂S and CH₃SH concentrations were seen most significant at waste treatment process. The overall results of our study suggest that the emission concentrations of sulfur compounds can be used to distinguish different sources of malodor released by different industrial activities.

Key word : Reduced sulfur compounds (RSC), H₂S, Malodor, Industrial, Ban wall

1. 서 론

경제수준의 향상에 따라 악취와 연계된 문제가 중요한 사회적 이슈로 대두되는 양상을 빈번하게 목격

할 수 있다(Emerson and Rajagopal, 2004; Davoli *et al.*, 2003). 악취는 황화수소, 메르캅탄류, 아민류 등 기타 자극성 있는 기체상 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로 정의된다. 또한 주로 인체에 대한 위해성보다는 정신적, 심리적 피해를 끼치는 감각공해로 분류되기도 한다. 악취의 주요 발생원으로는 정유공장, 화학공장, 하수처리장,

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-499-9151, E-mail : khkim@sejong.ac.kr

분뇨 및 축산폐수처리장, 쓰레기 매립지 등으로 발생원이 매우 다양하다. 이러한 시설물들로부터 발생하는 여러 가지 복합적인 화합물질들이 원인이 되어 악취를 유발시킨다는 특징을 지닌다. 그런데 악취는 발생원과 유발물질의 종류가 광범위한데다가, 그로 인한 영향을 판단하는 것도 주관적이며 관능적이란 특징을 지닌다. 따라서 이에 대한 근본적인 평가기준을 제시할 수 있는 기반 또는 근거가 취약한 실정이다. 이러한 여건으로 인해, 사업장에 대한 악취관리는 여러 가지 한계점을 드러내고 있다. 특히 악취물질의 배출현황에 대한 분석 및 처리에 관한 연구가 다수 발표되었지만, 종합적이고 체계적인 DB를 발견하기는 쉽지 않다(윤병석 등, 2003). 이러한 여건으로 인해, 실질적으로 피해를 경험하는 대상지역 공단 주변 지역과 같은 곳의 체감오염도 개선을 위한 효율적인 대기질 관리방안도 부재한 실정이다(김성천 등, 2003)

많은 중소기업들로 구성된 반월공업단지는 염색, 기계, 전자, 도금 산업 등 국가경제의 기반이 되고 있는 공산품을 생산하고 있다. 그러나, 각종 환경오염을 유발할 수 있는 시설물들이 난립한 관계로 인해, 오염물 생산단지라는 문제점도 동시에 지적 받고 있다. 공장과 주거지역이 인접하기 때문에 공단에서 발생하는 악취 및 부유물질들로 인한 인근 주민들의 여러 가지 환경민원이 끊이지 않고 있다. 특히 안산시 고잔지구의 아파트 단지가 건설되면서 반월공단에서 발생하는 대기오염 현상은 시민의 건강과 생활에 여러 가지 지장을 초래한 것으로 예상된다. 이러한 문제점들이 대두되면서 최근 5년간 반월, 시화지역을 중심으로 다수의 연구사업이 진행되었다. 하지만 대부분의 연구에서는 공단주변의 부지경계선상의 악취 문제에 초점을 두었으며, 배출원에서 직접 배출되는 악취특성에 대한 연구는 매우 드물다. 특히 채취와 분석이 쉽지 않은 황화합물의 배출특성에 대한 연구는 매우 부족한 상황이다. 따라서 이러한 악취 및 오염물질의 배출특성에 대한 연구가 시급한 실정이다(송동웅 등, 2003).

본 연구에서는 반월공업단지에서 배출되는 악취물질 중 황화합물의 배출규모를 정밀조사하여, 주요 배출원에서 발생하는 황계열 물질들의 배출특성을 규명하고자 하였다. 이를 통해 향후 악취문제에 대처하기 위한 기초자료를 확장하기 위한 기반을 제공하고자 하였다.

자 하였다.

2. 연구 및 방법

2.1 연구지점의 특성

경기도 안산시의 반월공단 지역은 대규모 주택 단지에 대한 풍상으로 기능한다. 특히 해안가에 인접하여 편서풍의 영향과 해풍의 발생이 빈번한 기상학적인 요인까지 더해져 악취와 관련된 문제들이 더 심각하게 부각되고 있다. 본 연구에서는 반월공단과 연계된 여러 가지 악취문제를 근본적으로 해소하는데 필요한 관리대책을 도출하기 위해, 안산시 반월공단 내에 소재한 주요 대기배출사업장들을 대상으로 주요 악취성분들에 대한 현장관측 조사를 수행하였다. 2004년 6월부터 2005년 1월까지 우선 연구대상으로 설정한 47개의 배출관련 사업장들을 대상으로 현장 조사를 실시하였다. 악취의 주요 원인을 규명하기 위하여, 알데하이드, 황, VOC, 질소 계열을 포괄하는 31개 종류를 포괄하는 악취성분들에 대한 농도분포를 조사하였다. 그리고 이러한 연구의 총괄적인 결과 및 알데하이드 성분에 대한 분석결과를 각각 보고하였다(김기현 등, 2005; 홍윤정 등, 투고 중). 본문에서는 주요 악취성분들 중에서 가장 대표적 악취성분인 황화합물을 중심으로 이들의 배출특성에 대해 집중적인 분석을 실시하고자 하였다. 이를 위하여 본문에서는 조사 대상 업체들을 표준산업 분류코드 등을 이용해서 분류하고, 이들 업종의 배출 시설별 황화합물의 분포특성을 구분하고 설명하였다.

2.2 시료채취 및 분석방법

본 연구에서는 간접채취법을 이용하여 테들라 백에 시료를 채취한 후, 황계열 화합물들에 대한 최첨단 검출기법으로 알려진 GC/PFPD (Donam Instruments, Model DS 6200, PFPD: O.I. Co., Model 5380)에 저온농축(Cryo-focusing (CF) 또는 Peltier cooling (PC))과 열탈착 (thermal desorption (TD): UNITY, Markes, Ltd., UK)을 결합한 PC/TD분석기법을 적용하였다(최여진 등, 2004; 김기현 등, 2004, 2003). PFPD는 기존 황화합물의 분석에 주로 사용되던 FPD (Flame Photometric Detector) 방식의 여러 가지 제한점들(특히, 검출능)을 개선 보완한(비교적 최근

Table 1. The basic analytical parameters for odorous pollutants investigated in this study.

Order	Pollutants			DL		Precision (RSE in %)
	Full name	Short name	Structural formula	(pg)	(ppt)*	
Reduced S compounds (RSC)	Hydrogen sulfide	H ₂ S	H ₂ S	19.3	16.6	1.95
	Methyl mercaptan	CH ₃ SH	CH ₃ SH	14.7	7.65	1.69
	Dimethyl sulfide	DMS	(CH ₃) ₂ S	11.3	5.68	1.38
	Carbon disulfide	CS ₂	CS ₂	5.0	2.04	0.54
	Dimethyl disulfide	DMDS	(CH ₃) ₂ S ₂	10.1	4.24	3.83

*Assuming the sampling volume of 800 mL using preconcentration with an aid of thermal desorption technique.

에 소개된 검출방식이다. FPD와 달리 PFPD는 시료의 연소가스와 불꽃의 점화가스를 개별적으로 공급해 주므로써, 불꽃의 온도 구배를 최소화시켜 주는 연소방식을 기반으로 한다. 이러한 방식에 있어서 기존의 일반 FPD는 수 ng의 검출한계를 보이는데 반해 PFPD는 이보다 100배 이상 좋은 수십 pg대의 감도를 보이는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서 사용한 PFPD는 안정성, 선택성, 재현성, 검출한계 등을 크게 개선시킨 시스템에 해당한다(Kim, 2005).

이에 덧붙여 대기 중에 낮은 농도로 존재하는 황화합물의 검출과 관련된 여러가지 제한성을 극복하기 위하여, TD기법을 적용하였다. 이러한 방식의 경우, 흡착물질이 충전된 유리재질의 흡착트랩을 저온으로 유지하며, 황화합물의 저온농축을 유도할 수 있다. 황화합물에 대한 저온농축이 이루어지면, 흡착트랩을 순간적으로 고온 상승시켜 주므로써 분석대상 성분들의 열탈착을 유도한다. 이들을 GC의 분리관으로 주입해 주므로써, pg 영역에서 분석하는 것이 가능하다. 저온냉각 농축을 위한 화학적 매개체를 담은 cold-trap에는 Carboxpack B와 Silicagel를 흡착 충전물로 충전하여 사용하였다. GC 분석에서 시료 분리를 위한 컬럼으로는 BP-1 (60 m×0.32 mm, 5 μm, SGE사 제작)를 사용하였다. Column 내에 주입된 혼합성분을 각각의 단일성분으로 분리하기 위한 temperature programming은 다음과 같이 시행하였다. 최초 100°C에서 5분간 holding time을 거친 후, 온도상승률(ramp time)은 6°C/min으로 설정하여, 200°C까지 상승시켰다. 이를 다시 5분간 유지시켜 주므로써, 순수하게 column을 통한 황 성분이 분석되기까지는 1회 약 20분이 소요되게 설정하였다. 또한 고농도 시료를 분석하기 위하여 6구 로터리밸브를 조합시킨 루프 주입시스템을 활용하였다. 이 방법은 GC의 주

사구(injection port)에 직접 시료를 주사하는 방식 대신 일정 용량의 루프를(본 연구의 경우, 10, 100, 250 μL) 이용하여 GC의 컬럼에 시료가 바로 주입될 수 있도록 고안된 방법이다. 고농도 시료의 분석을 위한 루프분석방식의 활용방법 등과 관련된 상세한 분석기법도 이미 보고한 바 있다(Kim, 2005; 김기현 등, 2004).

본 검출방식의 성능을 평가하기 위한 가장 기본적인 척도로 검출한계를 우선적으로 추정하였다. 시료 분석시 noise로부터 구분이 가능한 최소의 signal을 확보한 후, 이 수치를 검량선에 대입하여 산출된 농도로부터 계산하였다. 연구기간 동안 발견된 기기의 검출한계는 절대 질량단위로 5가지 성분의 검출한계를 비교해 보면, H₂S 19 pg, CH₃SH 14 pg, DMS 11 pg, CS₂ 5 pg, DMDS 10 pg대의 검출한계를 보이는 것으로 나타났다. 이것을 800 mL 시료량의 기준으로 삼을 경우, H₂S 17 ppt, CH₃SH 8 ppt, DMS 5 ppt, CS₂ 2 ppt, DMDS 4 ppt로 계산되었다. 또한 STD 시료를 최소량으로 주입하여 7회 반복 분석하여, RSE 값을 이용하여 정밀도를 산출한 결과, 5가지 성분들은 각각 1.95, 1.7, 1.4, 0.6, 3.8% 내외의 정밀도를 취하는 것으로 나타났다(표 1).

3. 결과 및 토론

3.1 전체 사업장에 따른 배출농도

표 2에는 본 연구대상 사업장으로 선정된 사업체를 업종별로 구분하고, 악취가 발생될 것으로 예상되는 대표지점에서의 측정횟수를 제시하였다. 먼저 전체 조사 대상업체 47개를 통계청에서 제시한 표준산업분류표에 따라 세부적으로 8개 주업종으로 분류하

Table 2. Types of odorous pollutant emission sources of 47 companies investigated in this study along with a brief statistics.

Type of industry	Junction box	Aeration tank	Settling tank	Scrubber	Manufacturing process	Storing place	Stack	Etc.
Food and beverage		2		2	1			
Textile		2		3	4		1	
Leather, bag, and shoes production	2	5	2	3	4	4		
Pulp, paper, etc.		2		1	2	1	1	
Compound and chemical product		5		13	5	3	1	2
Metal assembly and production			6	5				
Sewage, waste treatment, and cleaning		4	2	3		8	2	
Miscellaneous*	2	1		8	1	1	1	
Total	4	21	4	39	22	17	6	2

*A category of miscellaneous companies include the followings: Sewing and fur product, Wood and its product, Miscellaneous machine and instrument, Electronic machine and convertor, Automobile and trailer, Furniture, and Electronics gas and vapor.

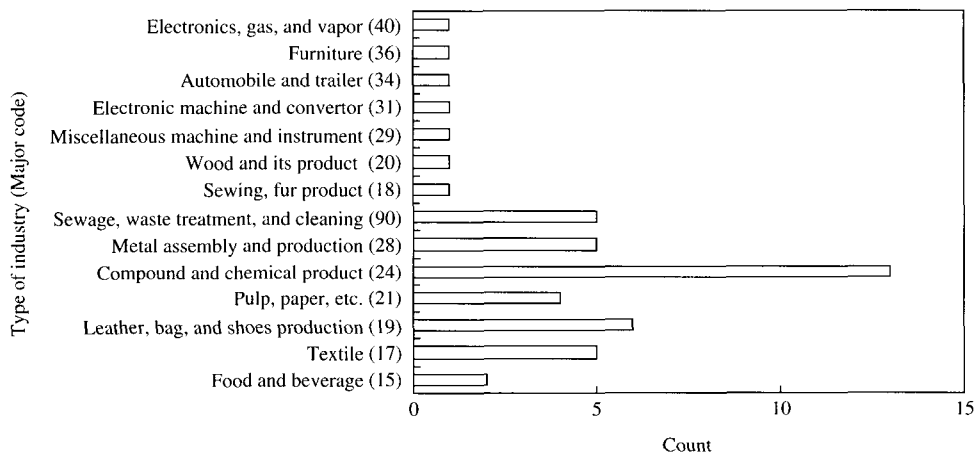


Fig. 1. A classification of industrial activities investigated for the characterization of odor emission patterns. Classification is made based on a standard industrial classification code. A total of 47 companies investigated in this study are classified.

였다. (1) 음식료품 제조업, (2) 섬유제품 제조업, (3) 가죽, 가방 및 신발 제조업, (4) 펄프, 종이 및 종이제품 제조업, (5) 화학물질 및 화학제품 제조업, (6) 조립금속 제품 제조업, (7) 하수처리, 폐기물처리 서비스업에 해당한다. 이상의 7개 업종은 해당 사업장이 3곳 이상인 업종에 해당한다. 따라서 그림 1의 상단부에 제시된 것과 같이 편의상 2곳 미만의 사업장이 포함된 업종들은 (8) 모두 합하여 일괄적으로 그 밖의 업종으로 분류하였다. 측정은 8개 업종에 포함되는 47개 사업장에서 총 115회 측정이 이루어졌다. 이 중 화학

물질 및 화학제품 제조업에서 29회로 가장 많은 측정을 하였다. 그 다음으로 가죽, 가방 및 신발 제조업과 하수처리 서비스업에서 약 20회로 많은 측정이 이루어졌다. 측정 지점으로는 가장 대표적인 대기오염물질 배출원인 스크러버의 후단에서 39회 측정이 이루어졌다. 또한, 악취가 많이 배출될 것이라 예상되는 하수처리시설의 포기조와 제조공정에서 20회 이상의 측정을 실시하였다.

이렇게 관측한 황화합물의 분석결과에 대한 요약 결과를 표 3에 제시하였다. 이 결과는 일단 업종, 업

체, 지점 등과 같은 분류기준에 상관없이 모든 분석 자료를 총 이용하여 통계처리를 한 것이다. 각 업종마다 또는 동일한 업종 내부에서도 악취를 배출하는 기술방식, 조업방식에 따라 배출특성이 현저하게 차이가 난다. 따라서 절대적인 농도만으로 배출특성을 설명하는 것은 쉽지 않다. 그러나 제한적인 범위 내에서 황화합물의 배출특성을 유추할 수 있는 의미

있는 근거로 제시할 수 있을 것으로 사료된다. 전체 통계 처리한 결과, H₂S가 392 ppb로서 가장 높은 농도를 기록하였다. 그리고 다음으로 CS₂ (24.5 ppb), CH₃SH (3.2 ppb), DMS (0.9 ppb), DMDS (0.5 ppb)의 순서로 농도가 감소하는 경향을 보였다. 이와 같이 H₂S가 다른 성분들에 비해, 최고 800배 이상 고농도를 보이는 현상을 감안하면, 배출시설에서의 황화합물의 배출량에 대한 H₂S의 양적기여도가 매우 큰 것을 확인할 수 있다. 특히 대기 중 H₂S의 농도가 수십 ppt수준인 것을 감안할 때, 배출시설에서 배출되는 H₂S의 양은 엄청나게 큰 것이라 할 수 있다. 이러한 결과를 좀 더 세부적으로 확인하여 성분간의 배출특성을 파악하고자, 각 성분별로 농도가 가장 많이 배출되고 있는 지점을 확인해보았다. 그 결과, H₂S와 CS₂는 원피가공업체의 포기조에서 가장 높은 농도로 배출되고 있었다. CH₃SH 은 하수처리업체의 포기조, DMS는 의약품제조업체의 포기조, DMDS는 화학제품제조업의 저장소에서 가장 많은 농도를 보이는

Table 3. An overall summary of emission concentrations of RSC from 47 companies investigated in this study.

Unit	H ₂ S ppt	CH ₃ SH ppt	DMS ppt	CS ₂ ppt	DMDS ppt
Mean	392,512	3,254	966	24,492	471
SD	2,432,454	10,313	3,013	138,592	1,072
Med	973	86.8	111	1064	37.8
Min	0.08	0.04	0.08	0.51	0.01
Max	23,310,556	59,412	26,215	1,276,586	5,409
N	115	115	115	115	115

Table 4. A comparison of basic statistical terms for RSC investigated in this study. Comparison is made among eight different categories of industrial sectors.

	H ₂ S	CH ₃ SH	DMS	CS ₂	DMDS
Food and beverage	29,971±67,008 (6.97)	2,636±5,872 (9.50)	1,712±3,646 (158)	677±1,513 (0.97)	799±1,783 (1.04)
	2.58~149,839 (5)	0.18~13,141 (5)	0.37~8,232 (5)	0.51~3,384 (5)	0.04~3,989 (5)
Textile	4,473±11,692 (602)	121±92.5 (101)	137±141 (109)	1,533±1,204 (1564)	384±770 (47.1)
	54.4~37,622 (10)	3.58~295 (10)	2.95~447 (10)	75.3~4,058 (10)	1.67~2,252 (10)
Leather, bag, and shoes production	2,215,202±5,590,718 (1091)	8,137±14,828 (1163)	168±299 (58.6)	132643±316691 (2326)	151±262 (68.1)
	1091~23310556 (20)	4.77~53,727 (20)	0.54~1,265 (20)	2.81~1,276,586 (20)	0.02~1,188 (20)
Pulp, paper, etc.	1,173±1,206 (1283)	368±696 (22.8)	33.7±45.6 (2.95)	438±602 (43.2)	72.3±125 (25.9)
	11.5~3,343 (7)	2.72~1,902 (7)	0.08~112 (7)	1.32~1,485 (7)	0.03~346 (7)
Compound and chemical product	2,933±6,826 (775)	2,132±7,840 (62.9)	1,734±4,919 (248)	1,179±946 (1015)	642±1,452 (23.3)
	0.08~30,646 (29)	0.04~40,391 (29)	0.11~26,215 (29)	0.52~3,364 (29)	0.02~5,409 (29)
Metal assembly and production	1,672±3,701 (65.6)	16.2±18.1 (11.6)	64.9±142 (14.2)	211±376 (39.2)	29.6±47.5 (6.52)
	0.21~12,251 (11)	0.05~50.9 (11)	0.19~482 (11)	1.74~1,156 (11)	0.05~135 (11)
Sewage, waste treatment, and cleaning	26,987±102,167 (975)	6,843±16,533 (146)	1,779±3,028 (269)	1,788±1,758 (1287)	381±517 (202)
	0.60~448,066 (19)	0.04~59,412 (19)	4.49~10,568 (19)	1.52~6,602 (19)	0.01~1,679 (19)
Miscellaneous	1,132±1,796 (263)	173±232 (85.3)	912±2,323 (140)	5,107±6,911 (2419)	1,188±1,606 (306)
	0.30~6,750 (14)	0.24~721 (14)	0.26~8,730 (14)	1.20~20,626 (14)	0.03~4,706 (14)

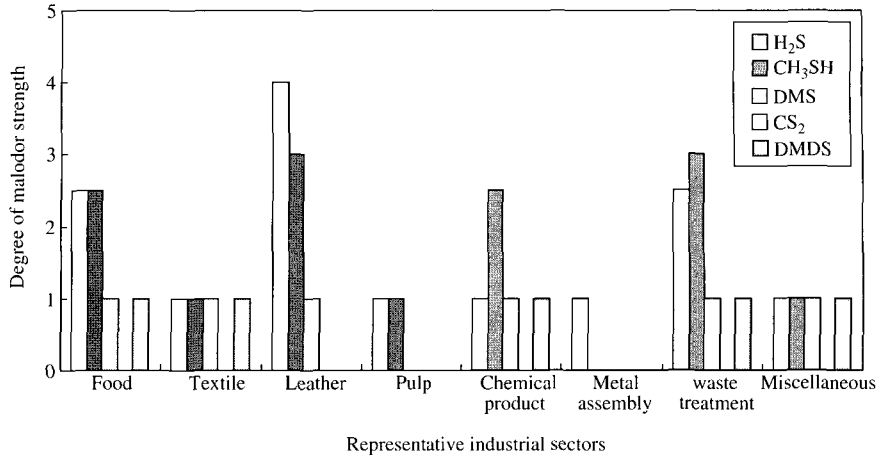


Fig. 2. The degree of malodor strength for RSC between different industrial sectors.

것을 확인할 수 있었다. 대부분의 성분들이 포기조에서 많은 농도를 보이고 있지만, 배출업종은 모두 다른 것을 알 수 있다. 이처럼 같은 황화합물의 동일 계열 내부에서도 업종과 지점에 따라 그 배출특성이 다르며, 상대적인 배출기여도도 다르다는 것을 판단할 수 있다.

3.2 업종 분류별의 배출농도 및 배출특성

업종별로 생산과 저장과정이 모두 다르므로 그에 따른 배출농도를 확인하는 것은 황화합물들의 배출 특성을 파악하는데 매우 중요한 요소일 것이다(표 4, 그림 2). 또한, 황화합물은 악취를 발생하는 주요한 원인물질로 작용하기 때문에, 농도보다 악취 발생 기여도를 평가하는 부분도 상당히 중요할 것이다. 따라서 황화합물의 농도를 악취도의 기준으로 전환하여 비교하는 것이 실질적으로는 더 중요한 의미를 지닐 수도 있다. 이를 위하여 일본의 악취방지법에서 제시한 악취환산방식을 적용하여(표 5), 각 성분의 농도를 악취도로 환산한 후 절대 농도값과 같이 제시하였다(CS₂의 경우는 악취규제물질로 선정되지 않은 성분으로 악취환산함수식이 제시되지 않아 악취도를 환산하지 않았다).

먼저, H₂S를 중심으로 비교하면, 전체 비교대상인 8개의 업종 중에서 가죽, 가방 및 신발제조업에서 2.21 ppm의 평균농도로서 악취강도 4도를 기록하며 가장 높은 농도를 보였다. CH₃SH 성분 역시 악취도

Table 5. The relationship between degree of malodor strength and the matching RSC concentrations.

Pollutants	H ₂ S	CH ₃ SH	DMS	CS ₂	DMDS
Odor degree	ppt	ppt	ppt	ppt	ppt
1	500	120	120	-	280
2	5600	650	2300	-	2900
2.5	19000	1600	10000	-	9200
3	63000	4100	44500	-	30000
3.5	210000	10000	190000	-	94000
4	710000	26000	840000	-	300000
5	800000	160000	1600000	-	3100000

3을 나타내는 8.1 ppb의 농도를 보인다. H₂S의 최대 값 역시 23 ppm으로 가죽, 가방 및 신발제조업에서 검출되었다. 이것은 악취도 5도에 해당하는 매우 심한 농도라는 점도 참조할 필요가 있다. 이처럼 가죽 제조업에서는 H₂S의 농도가 다른 업종에 비해 80배에서 2,000배까지 많이 나오는 것을 봤을 때, 이 업종에 대한 좀 더 상세한 분석이 필요할 것이다.

그림 3에는 가죽, 가방 및 신발제조업에 대한 세부 결과를 비교 제시하였다. 특히 집수조와 포기조에서 H₂S가 매우 높은 농도로 배출되고 있는 것을 확인할 수 있었다. CH₃SH의 경우, 저장소에서 배출농도가 가장 컸으며, H₂S와 마찬가지로 집수조와 포기조에서도 높은 농도를 보인다. 반면, 모든 배출원에서 DMS와 DMDS는 냄새를 감지할 수 없을 정도의 낮은 농도로 배출되는 것을 확인할 수 있었다. 가죽,

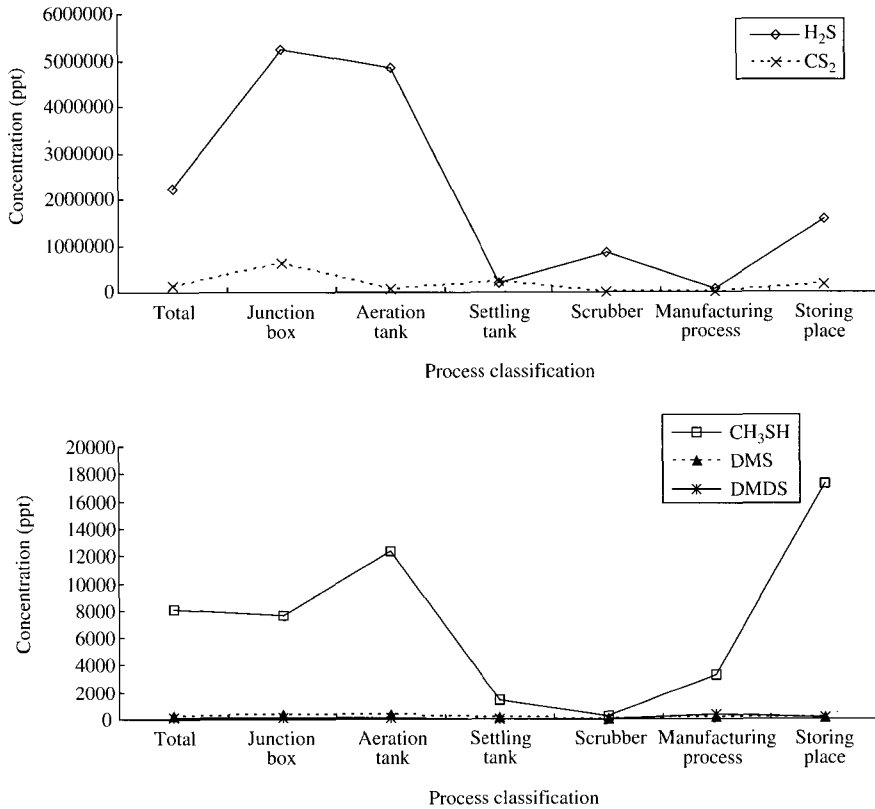


Fig. 3. The concentration of sulfur compounds observed from a production unit of leather, bag, and shoes manufacturer.

피혁제통을 처리하는 사업장의 시료 측정시 우피원료에서 발생하는 취기와 도장과정에서 발생하는 도료의 냄새가 매우 강한 것으로 나타났다. 특히 젖은 우피원료들이 작업장 실내와 저장소에 적재해둔 상태로 작업이 진행된다. 따라서 이러한 악취는 작업과정 특성상에서 발생하는 다량의 증기에 포함되어 작업장 천장의 자연환기구를 통해 대기로 그대로 방출되는 것을 알 수 있었다. 전반적으로 가죽제품의 처리와 관련하여, 여러 가지 황성분이 함유된 산처리 과정이 불가피한 부분이므로 이와 같이 황화합물의 농도가 높게 발생되고 있는 원인으로 볼 수 있다.

음식료업과 하수처리업체에서도 H₂S와 CH₃SH 성분이 악취도 2.5 이상의 높은 악취수준을 보인다. 이에 반해 펄프, 제지업종은 H₂S가 1173 ppt (또는 1.1 ppb)의 가장 낮은 평균농도 및 악취도 1도의 수준을 보였다. DMS와 DMDS 성분은 음식료품 제조업과

화학제품 제조업에서 가장 높은 평균농도를 보이지만, 악취도 1에 근접하는 낮은 수준이다. 이와 같이 업종별로 분류한 후 황계열 성분의 배출특성을 비교한 결과에 의하면, 업종별 또는 성분별로 현격한 차이가 존재하는 것을 직접적으로 확인할 수 있다.

3.3 발생원 분류별 배출농도 및 배출특성

악취의 발생은 제품의 생산과정, 처리과정, 보관과정 중에 다양한 형태로 발생할 수 있다. 그러므로 배출형태가 미치는 영향을 파악하는 것도 중요한 의미를 지닌다. 표 6과 그림 4에서는 전체 조사 대상업체 47개를 배출원의 형태에 따라 세부적으로 8개 유형으로 분류하였다. 그리고 이들의 농도와 악취도의 결과를 요약하고 제시하였다. (1) 집수조, (2) 포기조, (3) 침전조, (4) 스크러머, (5) 제조공정, (6) 저장소, (7) 굴뚝의 7개 배출원으로 1차 구분하였다. 적절하게 분류하

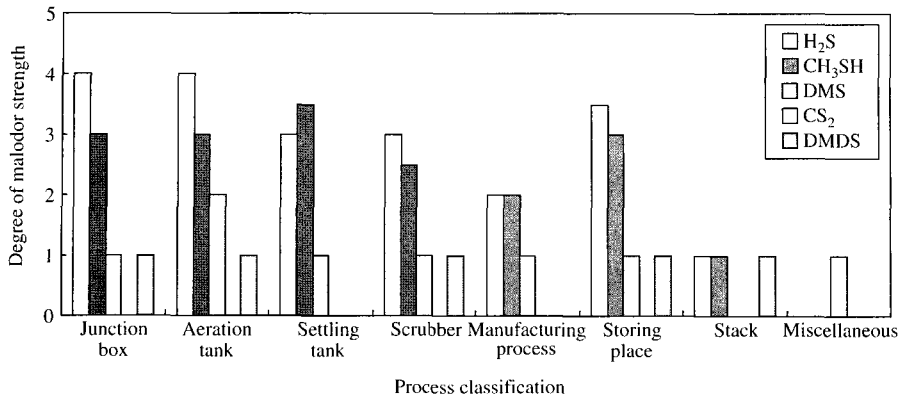


Fig. 4. The degree of RSC malodor between different manufacturing processes.

Table 6. The concentration of reduced sulfur compounds for different source process types.

	H ₂ S	CH ₃ SH	DMS	CS ₂	DMDS
Junction box	2,620,703 ± 5,231,943 (6309)	3,872 ± 7,546 (141)	758 ± 1,016 (395)	320,203 ± 637,589 (2113)	1,055 ± 1,606 (388)
	1,578 ~ 10,468,617 (4)	16.7 ~ 15,190 (4)	0.82 ~ 2,243 (4)	3.40 ~ 1,276,586 (4)	2.44 ~ 3,443 (4)
Aeration tank	1,165,782 ± 5,076,505 (975)	5,576 ± 14,271 (99.4)	2,318 ± 5,907 (181)	13,933 ± 59,755 (409)	438 ± 1,166 (27.1)
	0.60 ~ 23,310,556 (21)	0.04 ~ 53,727 (21)	0.37 ~ 26,215 (21)	0.97 ~ 274,682 (21)	0.01 ~ 3,989 (21)
Settling tank	203,595 ± 235,774 (183149)	15,588 ± 29,248 (1471)	1,146 ± 2,154 (104)	122,985 ± 243,361 (1962)	75.2 ± 96.5 (49.4)
	17.7 ~ 448,066 (4)	0.19 ~ 59,412 (4)	0.54 ~ 4,375 (4)	2.18 ~ 488,017 (4)	0.03 ~ 202 (4)
Scrubber	67,642 ± 377,979 (860)	2,010 ± 7,787 (36.2)	824 ± 2,035 (94.7)	1821 ± 2,696 (1073)	426 ± 979 (19.4)
	0.08 ~ 2,360,092 (39)	0.04 ~ 45,906 (39)	0.08 ~ 10,568 (39)	0.52 ~ 16,203 (39)	0.03 ~ 4,334 (39)
Manufacturing process	15,042 ± 36,077 (599)	680 ± 1,807 (80.2)	491 ± 1,845 (35.5)	1,864 ± 4,303 (826)	197 ± 522 (34.1)
	0.12 ~ 133,804 (22)	0.05 ~ 8,213 (22)	0.11 ~ 8,730 (22)	0.51 ~ 20,626 (22)	0.02 ~ 2,252 (22)
Storing place	375,594 ± 1,376,488 (1452)	4,890 ± 10,885 (247)	652 ± 1,562 (200)	36,198 ± 135,074 (1118)	745 ± 1,355 (245)
	0.30 ~ 5,690,854 (17)	0.24 ~ 38,329 (17)	0.26 ~ 6,521 (17)	1.20 ~ 559,461 (17)	0.02 ~ 5,409 (17)
Stack	970 ± 1,197 (549)	431 ± 728 (132)	71.2 ± 91.9 (26.6)	3,843 ± 5,895 (1668)	1,121 ± 1,819 (324)
	263 ~ 3,343 (6)	36.7 ~ 1,902 (6)	2.95 ~ 243 (6)	552 ~ 15,790 (6)	21.8 ~ 4,706 (6)
Miscellaneous	160 ± 145 (160)	42.4 ± 39.2 (42.4)	167 ± 46.3 (167)	400 ± 89.2 (401)	33.4 ± 39.3 (33.4)
	57.8 ~ 262 (2)	14.7 ~ 70.1 (2)	134 ~ 200 (2)	338 ~ 464 (2)	5.60 ~ 61.1 (2)

기가 어려운 배출원은 모두 기타 배출원 (8)으로 구분하였다.

먼저 그림 4에서 배출원별 악취도를 확인해 보면, 집수조의 경우, H₂S가 악취도 4로써 가장 높은 악취

강도를 보이고 다음으로 CH₃SH가 악취도 3을 보인다. 반면 DMS와 DMDS는 악취도 1 이하의 낮은 강도를 보였다. 포기조에서도 집수조와 비슷한 악취발생 특성을 보이지만, 다른 발생원들에 비해 DMS의

악취도가 더 큰 것으로 확인 되었다. 침전조에서는 H_2S 보다 CH_3SH 의 악취강도가 더 큰 것이 특이한 점이다. 집수조, 포기조, 침전조는 모두 하수처리시설에 속한 배출원이지만, 악취로 배출되는 성분은 하수처리공정마다 차이가 있다는 것으로 해석할 수 있을 것이다. 집수조, 포기조, 침전조가 속한 하수처리시설은 배출원으로써 강한 악취를 방출할 수 있는 대표적인 시설물이다. 특히 대부분 사업장의 외부에 설치되어 사용되고 있다. 따라서, 심한 악취가 발생될 경우, 이것이 곧바로 대기로 방출될 가능성이 큰 악취 배출원에 해당되므로 적절한 제어가 필요한 실정이다. 스크러버의 경우, 하수처리시설보다는 낮은 강도의 악취를 발생하지만, 방지시설을 거친 후에도 H_2S 와 CH_3SH 의 악취강도가 비교적 높게 나타난다. 이는 방지시설에서의 황제거 효율이 매우 낮다는 점을 추정하게 한다. 저장소 역시 H_2S 와 CH_3SH 의 경우, 악취도 3 이상의 높은 악취도를 보였다.

이처럼 H_2S 와 CH_3SH 는 대부분의 배출원에서 고농도로 특히, 악취를 많이 발생할 수 있는 농도로 배출되는 것을 확인 할 수 있었다. 상대적으로 DMS, DMDS는 낮은 강도의 악취도로 발생되고 있다. 이러한 결과로 볼 때, H_2S 와 CH_3SH 성분이 악취를 유발하는 악취기여도가 상당히 높다는 점을 확인 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 반월공단과 연계된 여러 가지 악취 문제를 근본적으로 해소하는데 필요한 관리대책을 도출하기 위해, 안산시 반월공단 내에 소재한 주요 대기배출사업장들을 대상으로 주요 악취성분들에 대한 현장관측 조사를 수행하였다. 2004년 6월부터 2005년 1월까지 우선 연구대상으로 설정한 47개의 배출관련 사업장들을 대상으로 현장조사를 실시하였다. 본 연구에서는 주요 악취성분들 중에서 가장 대표적 악취성분인 황화합물을 중심으로 이들의 배출 특성에 대해 집중적인 분석을 실시하였다.

전체 측정자료를 취합하여 통계 처리한 결과, H_2S 가 392 ppb로서 가장 높은 농도를 기록하였다. 그리고 다음으로 CS_2 , CH_3SH , DMS, DMDS의 순서로 농도가 감소하는 경향을 보였다. 이와 같이 H_2S 가 다

른 성분들에 비해, 최고 800배 이상 고농도를 보이는 현상을 감안하면, 배출시설에서의 황화합물의 배출량에 대한 H_2S 의 양적기여도가 매우 큰 것을 확인 할 수 있다.

악취는 각 업종마다 또는 동일한 업종 내부에서도 악취를 배출하는 기술방식, 조업방식에 따라 배출특성이 현저하게 차이가 난다. 이러한 특성을 설명하고자 본 연구에서는 표준산업분류에 따라 업종을 분류하고, 배출원별로 다시 분류하여 설명하고자 하였다. 먼저, 업종별 비교에서 악취기여도가 가장 클 것으로 기대되는 H_2S 을 중심으로 비교하였다. 그 결과에 의하면, 전체 비교대상인 8개의 업종 중에서 가죽, 가방 및 신발제조업에서 악취강도 4도를 기록하며 가장 높은 악취도를 보였다. CH_3SH 성분 역시 높은 강도의 악취도 3을 보였다. 이에 반해 펄프, 제지업종은 H_2S 가 1173 ppt(또는 1.1 ppb)의 가장 낮은 평균농도 및 악취도 1도의 수준을 보였다. DMS와 DMDS 성분은 음식료품 제조업과 화학제품 제조업에서 높은 평균농도를 보이지만, 악취도 1을 나타내는 수준에 그쳤다. 이와 같이 업종별로 황계열 성분의 배출특성에는 현격한 차이가 존재하는 것을 직접적으로 확인할 수 있다.

배출원별 비교를 보면, H_2S 가 집수조와 포기조에서 악취도 4로써 가장 높은 악취를 발생시키는 것을 알 수 있다. CH_3SH 의 경우, 집수조, 포기조, 침전조, 스크러버, 저장소에서 모두 악취도 3 이상의 높은 농도를 보이고 있다. DMS와 DMDS 성분은 상대적으로 낮은 악취도 1을 보인다. 이와 같은 결과를 볼 때, 배출원 중에서 집수조, 포기조, 침전조가 포함된 하수처리시설에서 발생하는 악취가 매우 심하다는 것을 알 수 있다. 특히 대부분의 하수처리시설이 외부로 노출되어 있는 것을 감안할 때, 이에 대한 대책이 매우 시급한 실정이다. 본 연구 결과에 따라, 공단지역의 하수처리시설에서 많이 배출되고, 심한 악취를 유발하는 물질로 확인된 H_2S 와 CH_3SH 성분을 효과적으로 제거한다면, 공단지역의 악취제어에 큰 발전이 따를 것이라 사료된다. 공단지역의 사업장에서 황화합물을 제거하기 위해서는 방지시설을 이용한 제거 방법과 악취발생원을 개선하는 방법이 있을 수 있다. 하지만 방지시설에만 의존하여 처리한다는 것은 악취발생량만큼 방지시설에 대한 투자비가 과다해질 것이다. 따라서 악취발생단계부터 대책을 수립하는

것이 중요하다. 이를 위하여 (1) 대기확산 억제를 목표로 개방된 시설은 밀폐식으로 설치하고, 실내나 지하로 최대한 밀폐시켜 준다. (2) 또한 국소배기장치를 이용하여 악취의 발산을 억제하는 방식으로 바람에 의해 주변으로 확산되는 것을 최대한 줄여 준다. (3) 그리고 밀폐가 어려운 시설은 탈취제 자동분무장치를 설치하여, 악취의 확산을 억제할 수 있다. (4) 또한 부분 밀폐시설의 경우, 슬라이드 커튼이나 에어커튼을 설치하여, 악취의 확산을 줄일 수 있다. 이러한 다양한 방법들을 적절히 이용한다면, 공업단지에서의 악취관리에 많은 효과를 가져올 수 있을 것이라 기대된다.

참 고 문 헌

- 김기현, 오상인, 최여진 (2004) 환경대기 중 악취성분 황화합물 (메틸메르캅탄, 황화수소, 황화메틸, 이황화메틸)에 대한 표준작업지침서 1-고농도 모드를 중심으로 첨단환경기술. 1월.
- 김기현, 최여진, 홍윤정, 사재환, 박종호, 전의찬, 최청렬, 구윤서 (2005) 반월공단내 주요 산업시설물들의 대기 배출시설을 중심으로 한 주요 악취성분의 배출 특성 및 배출원별 악취인자 선별 방식에 대한 예비연구, 한국대기환경학회, 21(2), 215-226.
- 김성천, 박성순, 박태선, 양고수 (2003) 군산산단 주변의 주요 악취물질 규명 및 저감을 위한 기초조사, 전북대학교 공학연구, 34, 35-44.
- 송동용, 송찬근, 김철희 (2003) 반월, 시화공단 악취물질의 안산지역 확산 연구, 환경영향평가, 12(5), 323-340
- 윤병석, 임익현, 정태섭 (2003) 제지공장의 악취 및 VOCs의 발생 특성에 관한 연구, 전북대학교 공학연구, 34, 93-97.
- 홍윤정, 전의찬, 김기현 (2005) 카보닐 계열의 배출 특성과 그에 따른 악취 발생 기여도 비교 연구: 반월공단내 주요 산업시설물들을 중심으로, 한국정책연구, 투고중
- Davoli, E., M.L. Gangai, L. Morselli, and D. Tonelli (2003) Characterisation of odorants emissions from landfills by SPME and GC/MS. Chemosphere 51, 357-368.
- 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. (2005) Performance characterization of the GC/PFPD for H₂S, CH₃SH, DMS, and DMDS in air. Atmospheric Environment 39(12), 2235-2242.