

## 공단지역의 대기배출시설을 대상으로 한 악취성분의 처리효율에 관한 연구 - 반월공단 지역을 중심으로

### A Study of Control Efficiency for Odorous Pollutants in Various Emission Control Units in the Ban-Wall Industrial Complex

최 여 진<sup>a</sup> · 전 의 찬<sup>1)</sup> · 김 기 현<sup>1),\*</sup>  
시흥환경기술개발센터, <sup>1)</sup>세종대학교 지구환경과학과  
(2006년 6월 4일 접수, 2007년 2월 21일 채택)

Y.-J. Choi, E.-C. Jeon<sup>1)</sup> and K.-H. Kim<sup>1),\*</sup>  
*Siheung Environmental Technology Development Center,*  
<sup>1)</sup>*Department of Earth & Environmental Sciences, Sejong University*  
(Received 4 June 2006, accepted 21 February 2007)

#### Abstract

In this study, the control efficiency of odorous compounds was measured from diverse control process units of 14 individual companies located within the Ban-Wall industrial complex of Ansan city, Korea (January to July 2005). To quantify the control efficiency levels of major odorous compounds, we collected odor samples from both the front and rear side of 17 control process units ( $N=17 \times 2=34$ ). If the control efficiency is compared for each of 32 compounds between different process units, wet scrubber (WS) was found to be the most effective unit in terms of the sum of pollutants showing the positive control signals. Although the WS system shows generally a good control pattern for VOC, it is not the case for most index odorous pollutants; only 3 out of 12 index compounds were found to show positive control efficiencies. The results of the study also indicated that the control efficiency differ greatly between different industrial sectors and/or control process types. In the case of leather industry, carbonyl compounds were found to exhibit the highest control efficiency with its values varying from 19 to 90%. On the other hand, in the case of metal production sector, VOC recorded the maximum control efficiency with values varying from 18 to 79%. According to this study, most air pollution control facilities operated in most companies show fairly poor control efficiencies for most malodor compounds. Hence, to obtain best control efficiency of odorous pollutant emission, acquisition of better information on source characteristics and establishment of effective control technologies are highly demanding.

**Key words :** Control efficiency, Malodor, Reduced sulfur compounds, VOC, Industrial complex

<sup>a</sup>전 소속: 세종대학교 지구환경과학과 대기환경연구실

\*Corresponding author.

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

## 1. 서 론

국토면적이 좁고 인구밀도가 높은 우리나라는 여러 유형의 배출원들이 인접한 지역에서 생활환경형 민원의 발생소지가 크다는 것을 쉽게 예측할 수 있다. 특히 생활수준의 향상으로 인해 삶의 질에 대한 욕구가 높아지면서, 악취와 관련된 민원들을 행정기관 등에 접수하는 사례가 급증하는 양상에 있다. 악취는 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로써, 정유공장, 화학공장, 하수처리장 등에서 복합적인 화합물들이 원인이 되어 발생된다(Willig *et al.*, 2004). 실제로 악취 민원들이 대도시 인근에 위치한 대규모 산업단지의 인근지역에서 발생하는 경향이 뚜렷하다는 점에 주목할 필요가 있다(안상영과 최성우, 2005). 공업단지와 같은 거대배출원으로부터 발생하는 악취문제가 심각하게 부각함에 따라, 산업 배기가스내에 포함된 여러유형의 대기오염물질들을 집진 또는 제어하기 위한 연구의 필요성이 강조되고 있다(하병길과 여석준, 1995). 많은 중소기업들로 구성된 반월공업단지는 염색, 기계, 전자, 도금 산업 등 국가경제의 기반이 되는 다양한 공산품을 생산하고 있다. 그러나, 각종 환경오염을 유발할 수 있는 시설물들이 난립한 관계로 인해, 오염물 생산단지라는 문제점을 동시에 지적 받고 있다. 이러한 문제점들이 대두되면서, 최근 수 년간 반월, 시화지역을 중심으로 다수의 현장조사 중심의 연구결과들이 시도되었다. 그러나 대부분의 연구에서는 공단주변의 부지경계선상의 악취문제에 초점을 두었으며, 배출원으로부터 직접 배출되는 악취특성을 정의할 수 있는 연구자료는 아직도 매우 드문 실정에 있다(송동웅 등, 2003).

최근 악취방지법의 시행에 따라, 그동안 SOx, NOx, VOC 등과 같은 대기오염물질들의 제어에 집중되어 있던 관심들이 악취성 가스성분들을 관리할 수 있는 기법의 개발쪽으로 이동하고 있는 실정이다. 이러한 관점에서 볼 때, 악취제거를 위한 새로운 제어시설의 개발 또는 이미 설치되어 있는 대기배출시설들에 대한 적절한 보완 및 교체와 같은 후속조치가 필요한 실정이다. 이러한 문제해결을 위하여 여러 나라에서 악취를 효율적으로 제거하거나 법적인 기준설정과 같이 규제를 위한 노력을 하고 있다(Emerson and

Rajagopal, 2004; Mahin, 2001). 사업장에서 배출하는 악취들을 제거하기 위해서는 먼저, 각 배출원에서의 어떤 성분들이 주로 배출되는지 확인하는 것이 중요하다. 그리고 이들 각 성분들에 대한 배출량을 산정하여, 적절한 관리기술 및 운전조건 등을 결정하고 제시하는 과정이 필요하다(Ramel and Normine, 2000). 그렇지만, 악취물질을 제거할 수 있는 기술의 개발이나 검정은 아직까지 상당히 미약한 수준에 있는 실정이다(Easter *et al.*, 2005). 본 연구에서는 대규모 공업시설이 위치한 안산지역의 사업장들 중에서 대기배출시설이 가동 중인 일부 업체들을 대상으로 설정하여, 배출시설로부터 배출되는 악취물질들의 제어특성을 여러 가지 기준으로 조사하고자 하였다. 그리고 이들 대기배출시설들을 대상으로 조사한 결과를 토대로 주요 배출원에서 발생하는 악취물질들의 처리효율에 대한 일반적인 상황을 진단하고자 하였다.

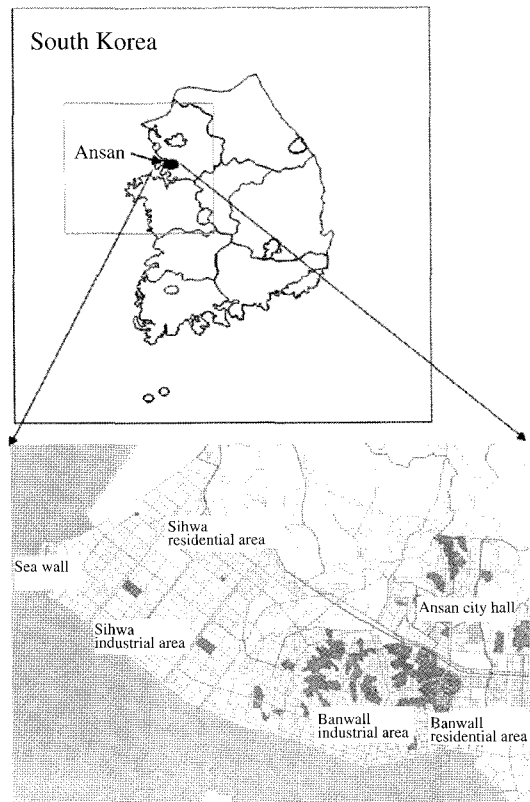


Fig. 1. A geographical map of the study site in Ansan city, Korea.

## 2. 연구 내용 및 방법

### 2.1 연구지점의 특성

본 연구진은 안산시 반월공단 내에 소재한 주요 대기배출사업장들을 대상으로 주요 악취성분들에 대한 현장관측 조사를 수행하였다(그림 1). 2005년 1월부터 2005년 7월까지 14개 사업장들에 소재한 17개의 대기배출시설에서 악취성분들의 처리효율을 조사하고자 하였다. 이를 위해, 각각의 배출시설의 전, 후단부에서 악취 시료를 채취하고, 분석하였다. 이들

사업장은 표준산업분류코드에 따라 표 1에 제시한 것과 같이 5개의 업종으로 분류할 수 있다: [1] 가죽 및 피혁제품 제조업 (4개 사업장, 5개 지점), [2] 조립 금속제품제조업 (3개 사업장, 4개 지점) [3] 펄프 및 종이제품 제조업 (2개 사업장, 2개 지점), [4] 섬유 제조업 (2개 사업장, 2개 지점), [5] 기타 제조업 (3개 사업장, 4개 지점)으로 구분할 수 있다. 각각의 업체는 생산하는 제품과 사업장의 여건에 따라 여러 종류의 대기배출시설물을 설치 및 가동하고 있다. 본 연구에 조사한 배출제어설치의 종류는 [1] 활성탄을 사용하는 흡착시설 (activated carbon: AC), [2] 원심력집진시

**Table 1. A list of companies investigated for the measurements of the emission concentration of odorous compounds in control process units. Classification is made based on a standard industrial classification code of Korea.**

#### A. Classification information

Order	Industry classification (Modified)	Major code (First 2 digits)	Type of industry (Full name)	Number of company	Number of units investigated (No. of control process)
1	L	19	Leather, bag, and shoes production	4	5
2	M	28	Metal assembly and production	3	4
3	P	21	Pulp, paper, etc.	2	2
4	T	17	Textile	2	2
5	X	31	Automobile and trailer	1	1
6		34	Electronic machine	1	2
7		22	Print	1	1
<b>Sum</b>				<b>14</b>	<b>17</b>

#### B. Details of facilities investigated

Order	Industry classification (Modified)	Company code	Control unit
			Acronym (Number)**
1	L	L1	WS/AC (1)
2		L2	WS/AC (2)
3		L2	WS/AC (3)
4		L3	AC (1)
5		L4	WS (1)
6	M	M1	WS (2)
7		M1	WS (3)
8		M2	WS (4)
9		M3	FF (1)
10	P	P1	CY (1)
11		P2	FF (2)
12	T	T1	CY (2)
13		T2	WS (5)
14	X	X1	AC (2)
15		X2	AC (3)
16		X2	AC (4)
17		X3	AC (5)

\*\*AC=activated carbon, CY=cyclone, FF=fabric filter, WS=wet scrubber, WS/AC=wet scrubber+activated

**Table 2. A full list of odorous pollutants investigated in this study.**

Odor type	Pollutants			Regulation criteria type <sup>1)</sup>	Analytical method <sup>2)</sup>
	Full name	Short name	Structural formula		
A. Carbonyl compounds	Formaldehyde	Form-A	HCHO	I	DNPH/HPLC
	Acetaldehyde	Acet-A	CH <sub>3</sub> CHO		
	Acrolein	Acrolein	CH <sub>3</sub> =CHCHO		
	Acetone	Acetone	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>		
	Propionaldehyde	Propion-A	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO	II	
	crotonaldehyde	Croton-A	CH <sub>3</sub> CH=CHCHO	II	
	Butyraldehyde	Butyr-A	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO		
	Benzaldehyde	Benz-A	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CHO	II	
	Isovaleraldehyde	Isovaler-A	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> CHO		
	valealdehyde	Valer-A	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CHO		
	o-Tolualdehyde	o-Tolu-A	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> CHO		
	m-Tolualdehyde	m-Tolu-A	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> CHO		
p-Tolualdehyde	p-Tolu-A	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> CHO			
B. Reduced S compounds	Hydrogen sulfide	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	I	GC/PFPD
	Methyl mercaptan	CH <sub>3</sub> SH	CH <sub>3</sub> SH	I	
	Dimethyl sulfide	DMS	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	I	
	Carbon disulfide	CS <sub>2</sub>	CS <sub>2</sub>		
	Dimethyl disulfide	DMDS	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	I	
C. Total and individual VOC	Total VOC	TVOC			GC/FID
	Benzene	B	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	I	
	Toluene	T	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>		
	Ethylbenzene	E	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>		
	m,p-Xylene	MPX	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>		
	Styrene	STY	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH=CH <sub>2</sub>		
	o-Xylene	OX	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>		
	Bromobenzene	BB	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Br		
	1,3,5-Trimethylbenzene	1,3,5-TMB	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>		
	1,2,4-Trimethylbenzene	1,2,4-TMB	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>7</sub>		
p-Isopropyltoluene	p-IPT	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>			
n-Bulylbenzene	n-BB	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>			
D.	Ammonia	NH <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	I	UVS
E.	Trimethyl amine	TMA	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	I	GC/FID

<sup>1)</sup> Pollutant type: Chemicals of type I and II were designated as 12 criteria odorous pollutants before (N=8) and after the new regulation (N=4) started in Feb. 2005 by the Korean Ministry of Environment (KMOE), respectively.

<sup>2)</sup> Sampling and analytical method: DNPH=sampling by a DNPH-cartridge, HPLC=analysis by HPLC method, GC=gas chromatography, PFPD=pulsed flame photometric detector, FID=flame ionization detector, and UVS=UV spectrometer.

설 (cyclone: CY), [3] 여과집진시설 (fabric filter: FF), [4] 세정식 집진시설 (wet scrubber: WS), [5] 흡수 및 흡착을 동시에 사용하는 집진시설 (wet scrubber+ activated carbon: WS/AC)을 위시한 총 5가지의 시설 들을 포함한다(표 1).

표 2에 제시한 것과 같이 본 연구의 주 분석대상 악취성분들은 아세트 알데하이드를 위시한 카르보닐 계열의 13가지 성분, 황화수소를 위시한 환원 황계열 5가지 성분, TVOC 및 개별 VOC를 포함한 12가지

성분, 질소계열 성분인 암모니아와 트리메틸아민 (이하 TMA)를 위시한 총 32개 성분들을 포함한다. 본 연구의 분석대상 성분들은 2005년 2월 개정된 악취 방지법에 따라 지정된 12가지 악취성분들에 덧붙여 주요 방향족 VOC 계열들을 포함하는 방식으로 구성 하였다(표 2).

## 2.2 시료채취 및 분석방법

모든 조사 대상 악취성분들을 분석하기 위한 악취

시료의 채취는 각 사업장의 생산라인이 정상적으로 가동하는 조건에서 동시에 진행하였다. 본 연구는 단순히 예비적인 성격을 띤 조사로서 배출제어시설의 사용기간, 운전특성 등과 같은 변수와 온도, 습도 등 주변환경에 대한 부분을 고려하지 않았다. 다양한 악취성분들을 관측하기 위해, 표 2에 제시한 분석대상 성분들을 기준으로 악취공정시험방법에 따라 각 성분별로 총 3가지의 채취기법을 적용하였다. 모든 시료채취시에는 시료에 간접적인 영향을 주는 것을 우려하여 여과재는 사용하지 않았다. 이들 성분들에 대한 분석을 위해 총 5가지의 독립적인 분석기법을 적용하였다(김기현 등, 2005). 먼저, 황계열, VOC계열, TMA 성분들을 채취하기 위하여, 간접시료채취 방식에 기초한 진공형 링샘플러 방식을 이용하였다. 시료의 채취 및 보관을 위해 10 L의 테들라백을 이용하였다. 특히 시료채취 단계에서 시료의 손실을 최소화하기 위하여 실험에 사용할 채취시스템의 밸브와 라인은 모두 테플론재질을 이용하였다. 카르보닐계열의 성분들에 대한 채취는 DNPH-카트리지를 이용하였다. 이때 오존에 의한 간섭을 배제하기 위해, KI 오존스크러버를 카트리지 전단에 연결하여 사용하였다. 암모니아는 공정시험법에 따라 봉산용액을 담은 임핀저를 직렬로 연결하여 시료를 채취하는 방식으로 진행하였다. 암모니아를 흡수한 봉산용액은 테플론 마개로 유리병을 봉한 후, 저온으로 유지시킨 상태에서 실험실로 운반하였다. 이들 성분에 대한 자세한 분석기법들은 대략 다음과 같이 요약할 수 있다. 또한 각 분석방식에 대한 분석화학적 품질관리(QC)의 기초적인 결과는 표 3에 제시한 바와 같다.

1) 카르보닐 계열 성분들은 DNPH 카트리지를 이용한 샘플링과 HPLC(Lab alliance, Model 500)를 조합하는 방식으로 분석을 수행하였다. 카르보닐 계열의 성분들을 효과적으로 분리검출하기 위해, 25 cm × 4.6 mm ID의 비극성(reversed phase) 컬럼인 Hi-chrom 5 C18를 사용하였다(홍윤정과 김기현, 2005).

2) 황계열 성분들의 경우, 최첨단 검출기법으로 알려진 PFPD(O.I. Co., Model 5380)에 GC(Donam Instruments, Model DS 6200)를 조합한 시스템에 열탈착기법(thermal desorption unit(TDU)-UNITY, Markes, Ltd.)을 적용하여 분석하였다(최여진 등, 2005). 황성분들의 분석을 유도하기 위해, BP-1(Length: 60 m, ID: 0.32 mm, Film thickness: 5.0 μm,

**Table 3. Results of basic analytical parameters for the determination of odorous compounds in this study (DL and precision).**

	Odorous compounds	DL <sup>a</sup> (ppb)	Precision <sup>b</sup> (RSE in %)
1. Carbonyls (ppb)	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 (ppt)	H <sub>2</sub> S*	16.6	1.95
	CH <sub>3</sub> SH*	7.65	1.69
	DMS*	5.68	1.38
	CS <sub>2</sub>	2.04	0.54
	DMDS*	4.24	3.83
3. VOC (ppb)	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*	80.0	10.0
	TMA*	0.10	

\* The malodor compounds is regulated by the Ministry of environment in Korea.

a: BDL=below detection limit.

b: RSE=relative standard error.

SGE) 컬럼을 사용하였다.

3) 스티렌과 같은 VOC군의 악취성분들은 테들라백으로 시료를 채취한 후, GC-FID(Donam Instruments, Model DS 6200)와 UNITY열탈착기법(thermal desorption unit: TDU-UNITY, Markes, Inc.)을 조합한 방식으로 측정하였다. 이때 분석컬럼으로는 DB-VRX(Length: 60 m, ID: 0.32 mm, Film thickness: 1.8 μm, J & W)를 사용하였다.

4) 암모니아 성분의 경우, 공정시험방법에 기초한 인도페놀법을 가장 보편적인 분석기법인 흡광도/비

색 측정방식을 적용하여 분석하였다. 실험실에서 암모니아 성분의 검량 및 분석은 UV/VIS Spectrophotometer (Thermo electron Corp. Model: Genesys TM 10 series)을 이용하여, 640 nm의 파장대에서 검량 및 분석을 실시하였다.

5) 트리메틸아민(TMA)의 경우, 백으로 채취한 시료에 고체흡착제를 이용한 추출방식(SPME: polydimethylsiloxane/ dicinylbenzene, 65 µm film)을 적용하였다. 대기 중의 TMA 성분들을 1차적으로 농축시킨 후, 이들을 다시 GC-FID (Donam Instruments, Model DS 6200)의 인젝터에 주사하여, 열탈착하는 방식으로 분석하였다. 분석칼럼은 CP-Wax52CB (Length: 50 m, ID: 0.32 mm, Film thickness: 1.2 µm, Crompack)을 사용하였다.

### 3. 결과 및 토론

#### 3.1 전체 대기배출시설에서의 배출성분 및 발생량

표 4에는 본 연구의 대상인 14개 사업장에 소재한 17개의 대기배출시설의 처리시설 전, 후단으로부터 직접 채취한 모든 악취성분들의 농도를 통계처리하여 요약한 것이다. 사업장에서 생산하는 제품과 사업장에 설치한 배출제어시설의 종류에 따라, 각 성분들의 배출특성 및 제어효율은 다르게 나타날 수 있다. 따라서 이들을 다양한 분류기준을 적용하여 평가하므로써 각 성분들의 배출특성을 체계적으로 평가할 수 있는 근거로 활용할 수 있을 것이다. 먼저 악취성분들의 배출특성을 판단하기 위해, 처리시설의 후단에서 측정된 악취성분들의 농도분포를 비교해보았다. 카르보닐 계열의 성분들 중에서는 아세톤(230 ppb)이 가장 높은 평균농도를 기록하였다. 그 다음으로 아세트알데하이드(134 ppb), 포름알데하이드(106 ppb) 순으로 감소되는 것을 확인 할 수 있었다. 황화합물의 경우, 황화수소의 배출농도가 149 ppb로써 가장 높은 평균농도를 기록하였다. 그리고 그 다음으로 메틸머캅탄이 3.79 ppb의 농도로 나타났다. VOC 성분들 중에서는 톨루엔(70.3 ppm)이 가장 높은 농도로 배출되고, 그 다음으로 스타이렌(11.8 ppm)이 높은 비중을 차지하였다. 일반적으로 대기환경 중에서 VOC를 관측할 경우, 톨루엔이 가장 높게 나타나는

양상과 비슷한 경향성을 보인다(최여진 등, 2003). 이러한 성분들의 분포특성은 처리시설의 전단에서도 거의 유사하게 나타났다. 특히 아세톤, 황화수소, 스타이렌, 톨루엔 등이 가장 고농도를 띄는 양상을 쉽게 발견할 수 있다. 이와 같은 결과를 보면, 제품을 생산 및 저장하는 과정 등에서 발생한 악취성분들이 대기배출시설의 후단에서도 그대로 배출되는 것을 예측할 수 있다.

이러한 배출농도자료들을 악취처리의 관점에서 연결하여 해석하기 위해, 대기배출시설의 후단에서 관측한 농도를 악취발생의 상대적 기여도와 연계하는 것도 중요한 의미를 지닌다. 이를 위해 단순농도를 악취도의 기준으로 전환하여 제시하였다. 가장 높은 악취도를 보이는 성분은 스타이렌으로써 악취도 4를 기록하였다. 그 다음으로 황계열 성분중 황화수소와 질소계열 성분인 암모니아가 악취도 3을 기록하였다. 아세트알데하이드, 프로피온알데하이드, 부티르알데하이드와 메틸머캅탄과 같은 성분들도 악취도 2.5로 배출되고 있는 것을 알 수 있었다. 이처럼 대기배출시설의 후단부에서 대부분의 악취규제물질들이 비교적 높은 악취강도로 배출되는 것을 확인할 수 있다.

전체 분석성분 중 처리시설의 전단에서 보다 후단에서 관측한 농도가 더 높게 나타나는 성분은 분석대상물질 32가지 성분 중 약 50%에 해당하는 16가지 성분에 달하는 것을 확인 할 수 있다(표 4). 악취기준물질에 해당하는 12가지 성분들에 국한해서 비교하면, 그 절반 이상인 7가지 성분들에서 대기배출시설의 후단 측정농도가 전단보다 더 높은 것을 알 수 있다. 특히 황화수소, 아세트알데하이드, 암모니아와 같이 악취기여도가 상대적으로 높은 성분들은 처리시설의 후단에서의 농도가 전단보다 약 2배 가까이 높다는 것을 알 수 있다. 이처럼 후단의 농도가 전단의 농도보다 높은 원인은 대부분의 처리시설이 많이 노후화되어 있다는 점, 흡착제 및 흡수액 등을 적절한 주기로 교체해 주지 않는 점 등과 같이 관리상의 문제를 경험한다는 점을 들 수 있다. 결과적으로 처리시설은 특정 오염물질에 대해 제거기능 보다 배출기능을 보일 수 있다는 점을 유추할 수 있다.

이와 같이 처리시설의 전, 후단 농도특성을 비교해 본 결과, 제조공정에서 발생하는 오염성분들이 처리시설을 거친 후에도 비교적 높은 농도로 대기 중으로 배출되는 것을 확인할 수 있다. 또한 그 악취강도

**Table 4. An overall summary of emission concentration measurements of odorous pollutants from 14 companies investigated in this study (For all cases, N=17: all concentrations in ppb).**

[1] Carbonyl compounds													
	Form-A	Acet-A*	Acrolein	Acetone	Propion-A*	Croton-A	Butyr-A*	Benz-A	Isovaler-A*	Valer-A*	o-Tolu-A	m-Tolu-A	p-Tolu-A
Front side	744 ± 2490 <sup>a</sup>	96.6 ± 233 <sup>(2,5)</sup>	5.73 ± 16.5	168 ± 389	35.6 ± 59.4 <sup>(2)</sup>	1.80 ± 1.97	14.6 ± 21.2 <sup>(2,5)</sup>	59.0 ± 227	0.48 ± 0.96 <sup>(1)</sup>	1.39 ± 3.42 <sup>(1)</sup>	0.30 ± 0.46	0.40 ± 0.88	7.56 ± 25.2
Rear side	11.2 ~ 10400 <sup>b</sup>	0.61 ~ 988	0.17 ~ 66.8	0.15 ~ 1570	4.05 ~ 250	0.15 ~ 5.77	0.16 ~ 78.0	0.10 ~ 939	0.17 ~ 4.17	0.14 ~ 14.1	0.10 ~ 2.02	0.09 ~ 3.80	0.09 ~ 104
Front side	106 ± 161	134 ± 223 <sup>(2,5)</sup>	0.60 ± 1.44	230 ± 416	50.4 ± 84.2 <sup>(2,5)</sup>	2.67 ± 4.02	23.5 ± 33.1 <sup>(2,5)</sup>	51.5 ± 198	0.26 ± 0.15 <sup>(1)</sup>	2.19 ± 4.95 <sup>(1)</sup>	0.21 ± 0.15	0.20 ± 0.13	7.52 ± 24.7
Rear side	2.49 ~ 515	11.6 ~ 825	0.16 ~ 6.19	1.09 ~ 1630	1.89 ~ 303	0.15 ~ 15.2	0.12 ~ 113	0.10 ~ 818	0.17 ~ 0.58	0.14 ~ 18.3	0.10 ~ 0.54	0.09 ~ 0.45	0.09 ~ 103

[2] Reduced S compounds				[3] N-compounds			
	H <sub>2</sub> S*	CH <sub>3</sub> SH*	DMS*	CS <sub>2</sub>	DMSD*	NH <sub>3</sub> *	TMA*
Front side	94.8 ± 190 <sup>(3)</sup>	8.10 ± 29.2 <sup>(3)</sup>	0.34 ± 0.80 <sup>(1)</sup>	2.59 ± 3.90	0.37 ± 1.32 <sup>(1)</sup>	2740 ± 4300 <sup>(3)</sup>	13.9 ± 39.3 <sup>(2,5)</sup>
Rear side	0.01 ~ 635	0.01 ~ 121	0.01 ~ 3.19	0.31 ~ 13.8	0.01 ~ 5.47	155 ~ 14600	0.08 ~ 159
Front side	149 ± 571 <sup>(3)</sup>	3.79 ± 11.3 <sup>(2,5)</sup>	1.59 ± 3.08 <sup>(1)</sup>	1.52 ± 1.18	0.17 ± 0.39	4390 ± 6470 <sup>(3)</sup>	3.74 ± 8.90 <sup>(2)</sup>
Rear side	0.01 ~ 2360	0.01 ~ 45.9	0.01 ~ 10.6	0.11 ~ 3.24	0.01 ~ 1.43	155 ~ 24800	0.10 ~ 36.7

[4] TVOC and individual VOC												
	TVOC	B	T	E	MPX	STY*	OX	BB	1,3,5-TMB	1,2,4-TMB	p-IPT	n-BB
Front side	205000 ± 647000	8.20 ± 20.4	6760 ± 21800	2870 ± 11100	432 ± 1650	15400 ± 49700 <sup>(4)</sup>	18.7 ± 38.5	1.98 ± 4.56	6.91 ± 15.5	16.3 ± 45.0	6.43 ± 19.2	1.30 ± 2.34
Rear side	454 ~ 2680000	0.14 ~ 73.6	5.54 ~ 89500	0.49 ~ 46100	0.53 ~ 6850	0.12 ~ 203000	0.08 ~ 126	0.24 ~ 17.8	0.15 ~ 56.2	0.21 ~ 187	0.16 ~ 78.5	0.05 ~ 7.23
Front side	598000 ± 1910000	20.5 ± 75.4	70300 ± 264000	434 ± 1380	117 ± 288	11800 ± 48200 <sup>(4)</sup>	86.3 ± 310	2.99 ± 7.62	23.4 ± 91.2	126 ± 503	1.90 ± 5.60	0.84 ± 2.02
Rear side	540 ~ 7710000	0.14 ~ 313	6.02 ~ 1090000	0.57 ~ 5580	0.86 ~ 1010	0.12 ~ 199000	0.08 ~ 1290	0.24 ~ 26.7	0.15 ~ 377	0.21 ~ 2080	0.16 ~ 23.5	0.23 ~ 8.45

\*Index odorous pollutants (N=12) regulated by the Korean government.

\*\*The number in the parenthesis denotes the degree of malodor intensity.

In superscript a, two different numbers denote mean and SD. In superscript b, two different numbers denote two range (minimum and maximum).

**Table 5. A comparison of the basic statistical values of removal efficiency of different treatment units investigated in this study. Comparison is made among five individual different categories of control process sectors investigated in this study (Unit in %).**

A. Basic statistics of control efficiency

	All	AC	CY	FF	WS	WS/AC		
A. Carbonyl compounds	Form-A	28.0±60.9 -141~95.0 (17)	20.9±91.7 -141~85.3 (5)	86.4±12.3 77.7~95.0 (2)	-5.69±37.9 -32.5~21.1 (2)	22.0±55.5 -69.7~68.9 (5)	33.2±33.8 -2.79~64.2 (3)	
	Acet-A	-1000±2730 -10200~66.3 (17)	-3180±4620 -10200~22.0 (5)	-301±483 -643~40.4 (2)	-55.8±63.9 -101~-10.6 (2)	-29.2±107 -172~66.3 (5)	-85.8±120 -186~47.2 (3)	
	Acrolein	73.3±45.2 21.1~99.7 (3)	60.1±55.2 21.1~99.1 (2)	99.7 99.7 (1)	- -	- -	- -	
	Acetone	-5880±22100 -91300~87.7 (17)	-18400±40800 -91300~21.1 (5)	-306±196 -444~-168 (2)	-2710±3720 -5340~-80.6 (2)	-146±318 -616~87.7 (5)	-391±537 -987~54.5 (3)	
	Propion-A	-86.1±180 -549~82.0 (17)	-15.1±39.9 -74.2~35.0 (5)	-115±132 -208~-21.4 (2)	-68.2±123 -155~18.7 (2)	-98.3±228 -476~82.0 (5)	-177±329 -549~76.9 (3)	
	Croton-A	-82.7±143 -311~93.6 (9)	-311 -311 (1)	-171 -171 (1)	- -	-80.1±133 -238~73.3 (4)	19.3±102 -96.4~93.6 (3)	
	Butyr-A	-87.3±137 -437~88.0 (14)	-35.3±31.6 -66.7~-3.48 (3)	-133±126 -222~-44.3 (2)	88.0 88.0 (1)	-142±194 -437~70.0 (5)	-76.2±93.7 -164~22.5 (3)	
	Benz-A	-82.7±383 -1220~97.4 (11)	-50.3±89.3 -113~12.9 (2)	-650±803 -1220~-81.7 (2)	- -	77.6±23.1 53.6~97.4 (4)	59.8±20.4 37.7~77.8 (3)	
	Isovaler-A	89.5 89.5 (1)	- -	- -	- -	- -	89.5 89.5 (1)	
	Vale-A	-1800±2870 -6490~94.3 (5)	-6490 -6490 (1)	-1350±1860 -2670~-29.9 (2)	- -	94.3 94.3 (1)	87.4 87.4 (1)	
	o-Tolu-A	82.1 82.1 (1)	- -	- -	- -	- -	82.1 82.1 (1)	
	m-Tolu-A	90.5 90.5 (1)	- -	- -	- -	- -	90.5 90.5 (1)	
	p-Tolu-A	-1860±3120 -7510~97.6 (7)	-7510 -7510 (1)	-184 -184 (1)	-5090 -5090 (1)	- -	-107±328 -485~97.6 (3)	
	B. Reduced S compounds	H <sub>2</sub> S	-319±969 -3830~98.6 (17)	27.7±143 -229~96.5 (5)	92.2±4.68 88.8~95.5 (2)	-585±797 -1150~-21.4 (2)	53.5±69.6 -67.9~98.6 (5)	-1620±1930 -3830~-272 (3)
		CH <sub>3</sub> SH	-7650±27100 -102000~95.8 (14)	-526±736 -1050~-5.61 (2)	-266±432 -572~39.2 (2)	-65.3 -	-20500±45400 -102000~75.7 (5)	-905±422 -2530~95.8 (3)
		DMS	-622±1110 -3820~48.6 (16)	-898±1660 -3820~48.6 (5)	-303±296 -513~-94.4 (2)	-59.2±28.3 -79.2~-39.2 (2)	-152±204 -402~45.6 (4)	-1380±1290 -2660~-72.4 (3)
		CS <sub>2</sub>	-17.9±140 -517~88.7 (17)	34.6±42.5 -33.1~70.9 (5)	-268±352 -517~-19.7 (2)	-4.21±4.88 -7.66~-0.76 (2)	55.5±36.8 6.69~88.7 (5)	-69.6±21.2 -88.3~-46.6 (3)
		DMDS	-535±1070 -3900~99.9 (14)	-62.2±253 -439~94.8 (4)	-879±929 -1540~-222 (2)	-156±213 -306~-5.51 (2)	-260±519 -855~99.9 (3)	-1460±2110 -3900~-209 (3)
	C. Total and individual VOC	TVOC	-295±1270 -5200~91.0 (17)	-26.5±114 -228~56.2 (5)	-2560±3730 -5200~76.4 (2)	-8.26±14.8 -18.7~2.22 (2)	15.8±55.5 -44.8~86.5 (5)	61.0±28.4 34.6~91.0 (3)
B		-460±1390 -5240~95.7 (14)	2.91±73.3 -83.8~95.7 (4)	-274±73.0 -325~-222 (2)	-60.3±132 -154~33.4 (2)	9.55±56.3 -53.6~54.3 (3)	-2900±3300 -5240~-570 (2)	
T		-317±1330 -5470~92.7 (17)	6.52±49.2 -66.7~69.0 (5)	-2690±3930 -5470~92.7 (2)	33.1±59.0 -8.63~74.9 (2)	15.4±43.0 -32.8~60.8 (5)	-64.1±222 -320~71.4 (3)	
E		-156±526 -1820~99.3 (17)	-345±826 -1820~87.9 (5)	-570±887 -1200~57.9 (2)	-97.1±122 -183~-11.0 (2)	29.6±55.5 -25.0~95.5 (5)	84.8±13.3 73.3~99.3 (3)	



Table 5. Continued.

	All	AC	CY	FF	WS	WS/AC		
C. Total and individual VOC	MPX	-117 ± 397 -1490 ~ 89.5 (17)	-288 ± 673 -1490 ~ 89.5 (5)	-322 ± 541 -705 ~ 60.7 (2)	-9.87 ± 30.8 -31.6 ~ 11.9 (2)	30.2 ± 49.5 -11.6 ~ 85.7 (5)	-13.2 ± 71.6 -93.4 ~ 44.2 (3)	
	STY	-8.66 ± 98.9 -238 ~ 99.9 (16)	28.5 ± 23.3 1.92 ~ 58.7 (4)	-187 ± 72.6 -238 ~ -135 (2)	-45.2 ± 131 -138 ~ 47.6 (2)	20.4 ± 64.5 -42.6 ~ 93.8 (5)	36.3 ± 110 -90.7 ~ 99.9 (3)	
	OX	-2220 ± 5800 -21000 ~ 95.7 (15)	-353 ± 679 -1370 ~ 18.2 (4)	-436 ± 679 -917 ~ 44.0 (2)	41.9 41.9 (1)	-6.84 ± 117 -201 ~ 95.8 (5)	-10400 ± 10500 -21000 ~ 69.2 (3)	
	BB	-29.3 ± 107 -124 ~ 86.2 (3)	-	-	-	18.0 ± 96.5 -50.3 ~ 86.2 (2)	-124 -124 (1)	
	1,3,5-TMB	-345 ± 845 -2430 ~ 98.3 (9)	-1200 ± 1730 -2430 ~ 21.6 (2)	-915 -915 (1)	-	31.3 ± 91.3 -123 ~ 98.3 (5)	60.8 60.8 (1)	
	1,2,4-TMB	-695 ± 1380 -3770 ~ 96.4 (13)	-18.3 ± 64.8 -64.1 ~ 27.5 (2)	-2390 ± 1950 -3770 ~ -1010 (2)	39.4 39.4 (1)	31.5 ± 59.1 -46.5 ~ 96.4 (5)	-1470 ± 1910 -3610 ~ 39.2 (3)	
	p-IPT	-2250 ± 5430 -14500 ~ 98.9 (7)	-	-1610 -1610 (1)	-	79.1 ± 32.7 41.3 ~ 98.9 (3)	-4790 ± 8400 -14500 ~ 96.2 (3)	
	n-BB	-95.3 ± 309 -552 ~ 96.8 (4)	-	-	-	56.9 ± 64.1 -17.1 ~ 96.8 (3)	-552 -552 (1)	
	D. N compounds	NH <sub>3</sub>	-370 ± 869 -3050 ~ 68.1 (13)	18.2 ± 33.3 -5.35 ~ 41.8 (2)	-2010 ± 1480 -3050 ~ -969 (2)	-341 -341 (1)	-117 ± 306 -658 ~ 68.1 (5)	32.5 ± 35.3 -7.27 ~ 60.3 (3)
		TMA	-35.5 ± 143 -255 ~ 97.0 (7)	-22.1 ± 202 -255 ~ 97.0 (3)	-	-	-60.7 -60.7 (1)	-198 -198 (1)

B. A simple comparison of absolute frequency between positive and negative control efficiency values

	All	AC	CY	FF	WS	WS/AC
Reduction	5	8	3	4	16	12
Increase	27	18	23	15	11	19
No change	-	6	6	13	5	1
Total	32	32	32	32	32	32

도 상당히 높다는 것을 알 수 있다.

### 3.2 스크러버 특성별 배출효율 특성

각 사업장들은 생산제품의 특성이나 공장가동의 여건에 따라 여러 가지 종류의 처리시설을 설치하여 가동하고 있다. 본 연구의 기본자료로 사용한 사업장의 배출시설의 제어설비는 모두 5가지로 구분 할 수 있다: [1] 활성탄을 사용하는 흡착시설, [2] 원심력집진시설, [3] 여과집진시설, [4] 세정식제어시설, [5] 흡수 및 흡착을 모두 사용하는 제어시설. 먼저, 표 5에서 처리시설별로 32가지 분석성분에 대한 처리유무 정도를 비교해보면, 세정식 제어시설이 32가지 성분 중 약 절반 가량인 16가지 성분을 처리할 수 있는 것으로 나타난다. 특히, 세정식 집진시설은 VOC성분을 처리하는데 있어서, 비교적 효과적인 것을 확인

할 수 있었다. VOC성분 12가지 성분 중 o-자일렌을 제외한 모든 성분에서 양의 처리효율을 보여 주었다. 다음으로 흡수와 흡착을 동시에 가동하는 제어시설에서는 32가지 분석물질 중 12가지 성분에서 처리효과가 있는 것으로 나타났다. 처리물질은 대부분 카르보닐 화합물들로서, 이소발레르알데하이드, 발레르알데하이드, 톨루엔알데하이드에서 80% 이상의 처리효율을 보인다. 흡수와 흡착을 동시에 가동하는 제어시설을 사용하는 사업장은 가죽 및 피혁제품을 생산하는 사업장에 국한되어 있다. 이들 시설들의 경우, 활성탄을 충전한 흡착탑을 거친 이후에, 세정식 제어시설을 거치는 과정으로 설비되어 있었다.

이러한 처리시설별 처리특성을 악취의 관점에서 확인해 보면, 악취규제물질 12가지 성분중 가장 많은 성분을 처리하는 처리시설은 흡수와 흡착을 겸한 처

**Table 6. comparison of the basic statistical values of removal efficiency of different treatment units investigated in this study. Comparison is made among five individual different categories of industrial sectors investigated in this study (unit in %).**

A. Basic statistics of control efficiency

	All	L	M	P	T	X		
A. Carbonyl compounds	Form-A	28.0±60.9 -141~95.0(17)	43.2±28.5 -2.79~68.9(5)	-2.26±59.7 -69.7~61.9(4)	49.4±40.0 21.1~77.7(2)	56.4±54.6 17.8~95.0(2)	14.3±105 -141~85.3(4)	
	Acet-A	-1000±2730 -10200~66.3(17)	-33.8±112 -186~66.3(5)	-12.9±71.5 -110~61.4(4)	-372±383 -643~-101(2)	-65.6±150 -172~40.4(2)	-3980±4920 -10200~5.35(4)	
	Acrolein	73.3±45.2 21.1~99.7(3)	- -	- -	- -	99.7 99.7(1)	60.1±55.2 21.1~99.1(2)	
	Acetone	-5880±22100 -91300~87.7(17)	-224±444 -987~64.9(5)	-64.5±197 -337~87.7(4)	-2760±3660 -5340~-168(2)	-530±121 -616~-444(2)	-23000±45600 -91300~21.1(4)	
	Propion-A	-86.1±180 -549~82.0(17)	-97.8±257 -549~76.9(5)	-10.4±95.2 -143~82.0(4)	-182±37.5 -208~-155(2)	-249±322 -476~-21.4(2)	-18.2±45.3 -74.2~35.0(4)	
	Croton-A	-82.7±143 -311~93.6(9)	19.3±102 -96.4~93.6(3)	-27.5±99.0 -124~73.3(3)	- -	-204±47.4 -238~-171(2)	-311 -311(1)	
	Butyr-A	-87.3±137 -437~88.0(14)	-55.1±72.8 -164~22.5(5)	-43.3±142 -182~88.0(4)	-222 -222(1)	-241±278 -437~-44.3(2)	-35.1±44.7 -66.7~-3.48(2)	
	Benz-A	-82.7±383 -1220~97.4(11)	69.2±25.1 37.7~97.4(4)	57.9±5.98 53.6~62.1(2)	-1220 -1220(1)	7.80±127 -81.7~97.3(2)	-50.3±89.3 -113~12.9(2)	
	Isovaler-A	89.5 89.5(1)	89.5 89.5(1)	- -	- -	- -	- -	
	Vale-A	-1800±2870 -6490~94.3(5)	87.4 87.4(1)	- -	-2670 -2670(1)	32.2±87.8 -29.9~94.3(2)	-6490 -6490(1)	
	o-Tolu-A	82.1 82.1(1)	82.1 82.1(1)	- -	- -	- -	- -	
	m-Tolu-A	90.5 90.5(1)	90.5 90.5(1)	- -	- -	- -	- -	
	p-Tolu-A	-1860±3120 -7510~97.6(7)	-56.1±286 -485~97.6(4)	-5090 -5090(1)	-184 -184(1)	- -	-7510 -7510(1)	
	B. Reduced S compounds	H <sub>2</sub> S	-319±969 -3830~98.6(17)	-1000±1610 -3830~59.8(5)	-218±620 -1150~98.6(4)	37.1±82.6 -21.4~95.5(2)	10.5±111 -67.9~88.8(2)	91.8±5.09 84.6~96.5(4)
		CH <sub>3</sub> SH	-7650±27100 -102000~95.8(14)	-743±1100 -2530~95.8(5)	-25400±50900 -102000~75.7(4)	- -	-812±339 -1050~-572(2)	-5.61 -5.61(1)
		DMS	-622±1110 -3820~48.6(16)	-1210±1110 -2660~-72.4(4)	-167±194 -402~45.6(4)	-276±335 -513~-39.2(2)	-57.9±51.6 -94.4~-21.4(2)	-947±1920 -3820~48.6(4)
		CS <sub>2</sub>	-17.9±140 -517~88.7(17)	-22.5±68.2 -88.3~70.9(5)	61.1±41.6 -0.76~88.7(4)	-263±360 -517~-7.66(2)	-6.49±18.6 -19.7~6.69(2)	25.5±43.1 -33.1~67.9(4)
		DMDS	-535±1070 -3900~99.9(14)	-1080±1890 -3900~76.8(4)	-272±424 -855~99.9(4)	-771±1080 -1540~-5.51(2)	-222 -222(1)	-109±289 -439~94.8(3)
		C. Total and individual VOC	TVOC	-295±1270 -5200~91.0(17)	37.0±38.8 -6.16~91.0(5)	26.2±59.1 -44.8~86.5(4)	28.8±67.3 -18.7~76.4(2)	-2610±3670 -5200~-17.8(2)
B	-460±1390 -5240~95.7(14)		-1470±2520 -5240~-1.59(4)	-31.3±93.8 -154~54.3(4)	-94.1±181 -222~33.4(2)	-325 -325(1)	31.8±55.3 -0.45~95.7(3)	
T	-317±1330 -5470~92.7(17)		-35.4±162 -320~71.4(5)	20.0±48.0 -32.8~60.8(4)	83.8±12.6 74.9~92.7(2)	-2740±3860 -5470~-11.1(2)	4.25±56.5 -66.7~69.0(4)	
E	-156±526 -1820~99.3(17)		39.9±65.7 -57.3~99.3(5)	35.6±62.4 -25.0~95.5(4)	-62.6±170 -183~57.9(2)	-602±841 -1200~-8.00(2)	-417±936 -1820~87.9(4)	

Table 6. Continued.

	All	L	M	P	T	X		
C. Total and individual VOC	MPX	-117 ± 397 -1490 ~ 89.5 (17)	-22.3 ± 58.7 -93.4 ~ 44.2 (5)	42.2 ± 49.5 -11.6 ~ 85.7 (4)	14.5 ± 65.3 -31.6 ~ 60.7 (2)	-356 ± 493 -705 ~ -7.81 (2)	-342 ± 764 -1490 ~ 89.5 (4)	
	STY	-8.66 ± 98.9 -238 ~ 99.9 (16)	28.4 ± 79.0 -90.7 ~ 99.9 (5)	46.7 ± 58.9 -36.7 ~ 93.8 (4)	-137 ± 1.85 -138 ~ -135 (2)	-140 ± 138 -238 ~ -42.6 (2)	28.8 ± 28.5 1.92 ~ 58.7 (3)	
	OX	-2220 ± 5800 -21000 ~ 95.7 (15)	-6230 ± 9340 -21000 ~ 69.2 (5)	-9.00 ± 166 -201 ~ 95.8 (3)	42.9 ± 1.46 41.9 ~ 44.0 (2)	-462 ± 643 -917 ~ -7.80 (2)	-446 ± 800 -1370 ~ 18.2 (3)	
	BB	-29.3 ± 107 -124 ~ 86.2 (3)	-124 -124 (1)	18.0 ± 96.5 -50.3 ~ 86.2 (2)	- -	- -	- -	
	1,3,5-TMB	-345 ± 845 -2430 ~ 98.3 (9)	39.4 ± 30.3 17.9 ~ 60.8 (2)	87.0 ± 9.89 80.1 ~ 98.3 (3)	- -	-519 ± 561 -915 ~ -123 (2)	-1200 ± 1730 -2430 ~ 21.6 (2)	
	1,2,4-TMB	-695 ± 1380 -3770 ~ 96.4 (13)	-890 ± 1570 -3610 ~ 39.2 (5)	42.7 ± 64.2 -46.5 ~ 96.4 (4)	-3770 -3770 (1)	-508 ± 715 -1010 ~ -2.83 (2)	27.5 27.5 (1)	
	p-IPT	-2250 ± 5430 -14500 ~ 98.9 (7)	-4790 ± 8400 -14500 ~ 96.2 (3)	79.1 ± 32.7 41.3 ~ 98.9 (3)	-1610 -1610 (1)	- -	- -	
	n-BB	-95.3 ± 309 -552 ~ 96.8 (4)	-552 -552 (1)	56.9 ± 64.1 -17.1 ~ 96.8 (3)	- -	- -	- -	
	D. N compounds	NH <sub>3</sub>	-370 ± 869 -3050 ~ 68.1 (13)	41.5 ± 29.4 -7.27 ~ 68.1 (5)	-245 ± 324 -658 ~ 62.6 (4)	-969 -969 (1)	-1530 ± 2150 -3050 ~ -12.2 (2)	-5.35 -5.35 (1)
		TMA	-35.5 ± 143 -255 ~ 97.0 (7)	-126 ± 178 -255 ~ 76.9 (3)	-60.7 -60.7 (1)	- -	- -	94.6 ± 3.45 92.1 ~ 97.0 (2)

B. A simple comparison of absolute frequency between positive and negative control efficiency values

	All	L	M	P	T	X
Reduction	5	12	12	6	5	9
Increase	27	19	15	16	19	17
No change	-	1	5	10	8	6
Total	32	32	32	32	32	32

리시설로 나타났다(표 5, 6). 이들 시설물은 이소발레르알데하이드(89%), 발레르알데하이드(87%), 스타이렌(36%), 암모니아(33%)를 처리하는 것으로 나타났다. 그 다음으로 세정식 제어시설이 발레르알데하이드(94%), 황화수소(53%), 스타이렌(20%)을 처리하는 것으로 나타났다. 상대적으로 가장 낮은 처리효율을 보이는 집진시설은 원심력 집진시설과 여과식 집진시설로써, 각각 황화수소(92%)와 부티르알데하이드(88%) 한가지 성분만을 처리하는 것으로 나타났다. 특히 원심력 집진시설의 경우, 그림 2에 제시한 것과 같이 악취도의 관점에서 보면, 집진시설 후단에서의 강한 악취도를 보이는 성분들이 많은 것을 확인할 수 있었다. 아세트알데하이드, 프로피온알데하이드, 부티르알데하이드, 암모니아 성분이 악취도 3도 이상으로 배출되고 있었다. 이와 같은 결과를 볼

때, 대부분의 처리시설에서 악취처리효율은 매우 낮은 것을 확인할 수 있다. EPA에서 조사한 결과를 감안하면, 활성탄을 이용한 제어와 세정식 제어시설에서 황화수소, 암모니아, 악취도 등 95% 이상 처리가 되는 것으로 제시하였다(US EPA, 2000). 따라서 본 연구결과에서 나타난 것과 같이 처리시설의 악취처리효율이 상당히 낮은 수준을 기록한 것은 처리용량의 문제 또는 과과점을 지난 활성탄등을 적절하게 교체하지 않은데 따른 관리상의 문제 등으로 볼 수 있을 듯 하다.

### 3.3 업종 분류별 악취성분들의 처리효율 특성 비교

사업장에서 생산하는 제품의 종류에 따라 그 처리와 저장과정 등이 모두 다를 수 밖에 없다. 따라서

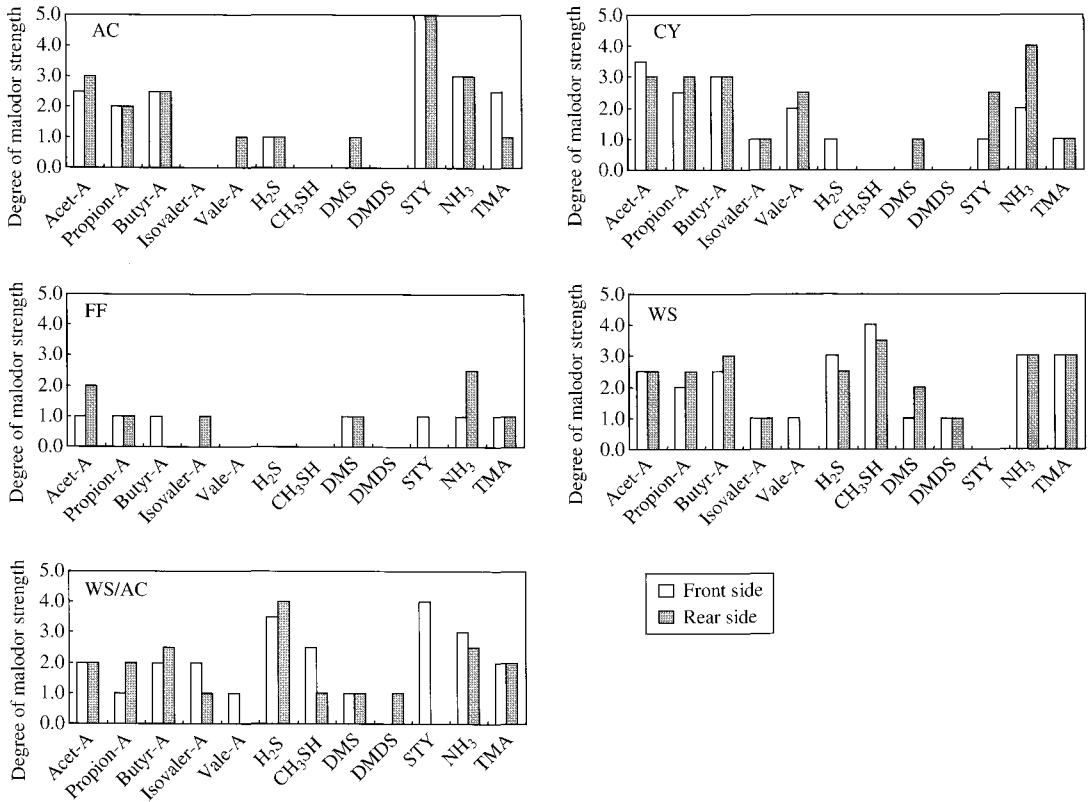


Fig. 2. Evaluation of malodor intensity of major odorous compounds between the front and rear side of control process units. Comparison is made among 5 different categories of control process sectors investigated in this study.

이들과 연계된 악취성분들의 배출특성도 어느 정도 차별화될 것이란 점을 예측할 수 있다. 표 6에는 개별 업종을 기준으로 모든 분석대상성분들에 대하여 처리시설의 전, 후단을 기준으로 처리효율을 퍼센트 단위로 제시하였다. 대체로 처리시설의 후단 농도가 전단보다 높게 나타난 경우가 많다. 따라서 음의 처리효율을 보이는 경우가 많이 발생하는 것을 알 수 있다.

각 업종별로 분석대상 물질인 32가지 성분들에 대하여 후단에서의 실질적인 감소유무를 확인해 보았다. 먼저, 가죽 및 피혁제품 제조업과 금속제품 제조업의 경우, 32가지 성분들 중 약 37%인 12가지 성분들이 감소된 것을 알 수 있다(표 6). 반면, 종이제품 제조업은 6가지(19%), 섬유 제조업에서는 5가지(16%) 성분들이 저감된 것으로 나타났다. 이러한 결

과를 성분별로 비교해보면, 가죽 및 피혁제품 제조업에서는 알데하이드 성분들의 처리효율이 비교적 좋은 것을 알 수 있다. 알데하이드 13가지 성분들 중에서 7가지(54%) 성분에서 비교적 큰 양의 처리효율을 보이고 있다. 특히, 악취기준물질인 이소발레르알데하이드와 발레르알데하이드의 경우 85% 이상이 양호한 처리효율을 보였다. 반면, 황화합물의 경우는 5가지 모든 성분에서 전혀 감감이 없는 것을 알 수 있다. 악취도로 비교한 그림 3에서 보는 것과 같이, 본 업종에서 황화수소가 처리시설 전단에서는 악취도 3, 후단에서는 3.5도로 매우 높게 검출되는 점에 유의할 필요가 있다. 가죽 및 피혁제품업의 제조특성상 황화합물의 발생량이 상당히 많기 때문에, 이들 업종에 대한 황화합물의 처리효율을 높이는 것이 중요한 문제로 사료된다(최여진 등, 2005). 조립금속제

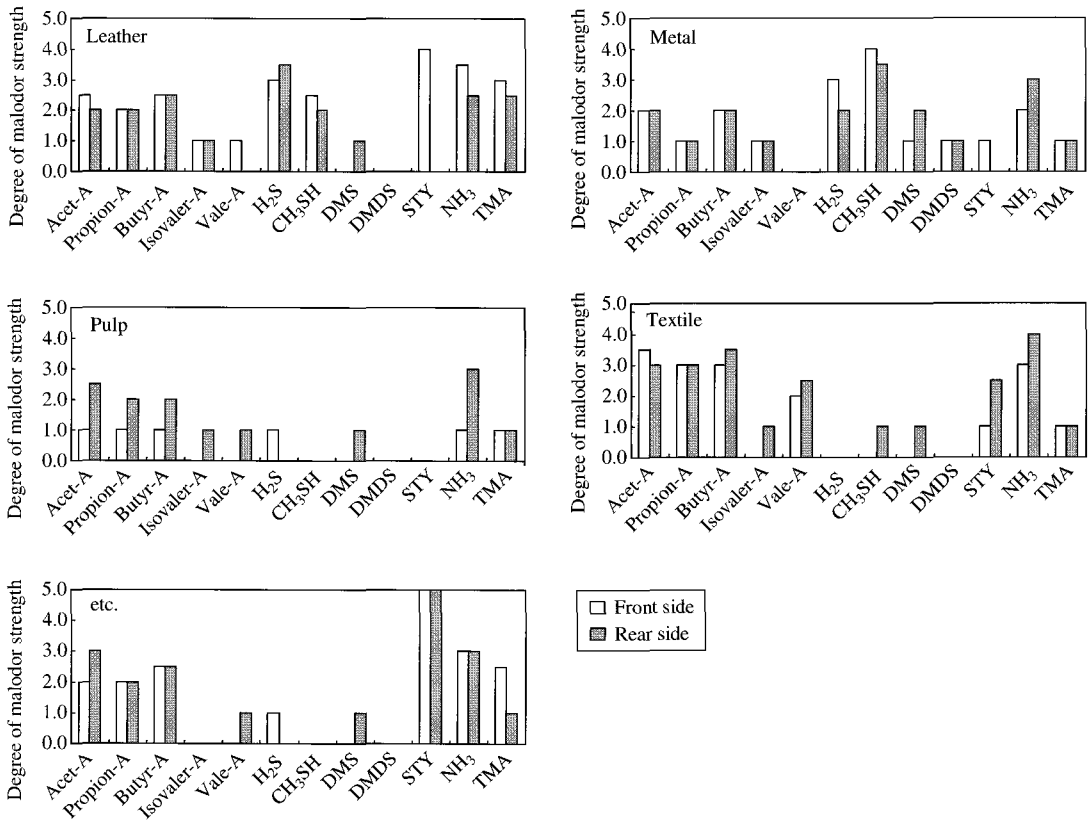


Fig. 3. Evaluation of malodor intensity of major odorous compounds between the front and rear side of control process units. Comparison is made among 5 different categories of industrial sectors investigated in this study.

조업의 경우, VOC 성분들에 대해 상대적으로 좋은 처리효율을 확인할 수 있다. 특히 악취규제물질 12가지 중 스타이렌 한 성분만 유일하게 약 47%로 양의 처리효율을 기록하였다(표 6). 반면 카르보닐계열과 황계열 성분들의 처리효율은 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다. 종이제품 제조업의 경우, 처리시설의 후단에서 카르보닐 계열의 성분들이 많이 검출되는 것을 알 수 있다.(이들 성분에 대한 처리효율은 거의 미미하다는 것을 알 수 있다.) 이 업종에서는 톨루엔의 처리효율이 85%로 가장 높게 나타났으며, 악취규제물질 중에서는 황화수소의 처리효율이 약 37%에 이르고 있다. 섬유제품 제조업의 경우, 카르보닐계열 12가지 성분 중 4가지 성분에서 양의 처리효율을 보였다. 그밖에 다른 계열의 성분들에 대한 처리효율은

약한것으로 나타났다. 이와 같은 결과들을 취합해보면, 각 업종에서 배출되는 악취물질들이 제대로 처리되지 못한 상태에서 환경 대기중으로 배출되고 있다는 것을 알 수 있다(표 6).

이처럼 처리시설의 후단에서 악취성분들의 농도가 전반적으로 높게 나타나는 것은 처리시설의 선택단계에서 문제점, 시설의 노후화, 시설의 관리 및 처리를 위해 사용하는 용제 등에 대한 취급문제 등과 같이 여러 가지 요인들이 일부 또는 복합적으로 작용한 결과로 볼 수 있을 것이다. 비록 본 연구에서 조사한 측정결과가 최적의 처리조건에서 처리한 결과와 무관할 수도 있지만, 기존의 대기오염물질 처리시설의 악취물질 처리여부 등의 현황자료를 제공하는 것으로 기대된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 반월공업단지를 대상으로 공단지역 내에 소재한 사업장들에 소재한 배출시설에서 배출되는 악취물질들의 제어특성을 처리시설별 또는 악취성분별로 정밀하게 조사하고자 하였다. 이를 위해, 2005년 1월부터 2005년 7월까지 14개 사업장들을 연구대상으로 선정하고, 이들 업체에 설치된 17개의 처리시설들을 조사하였다. 이러한 조사사업의 일환으로 전, 후단부의 악취성분을 총 34개의 시료로부터 분석하였다.

대기처리시설의 후단에서 측정된 악취성분들의 전체농도분포를 비교해 보면, 카르보닐 계열 중에서는 아세톤이 가장 높은 평균농도를 기록하였다. 황화합물의 경우, 황화수소의 농도가 149 ppb로써 가장 높은 평균농도를 보였다. VOC 성분들 중에서는 톨루엔이 가장 높은 농도로 배출되고, 다음으로 스타이렌이 높은 수준에서 관측되었다. 이러한 성분들의 분포특성은 처리시설의 전단에서도 거의 유사하게 나타났다. 이러한 결과를 보면, 제품을 생산 및 저장하는 과정에서 발생하는 오염물질들이 대기처리시설을 통해 그대로 배출되는 것을 예측할 수 있다.

처리시설별로 악취성분들의 제거효과를 비교해 보면, 흡수와 흡착을 겸한 대기처리시설이 악취규제물질 12가지 중 가장 많은 성분들을 처리하는 것으로 나타났다. 주로 이러한 방식으로 제거되는 성분들은 이소발레르알데하이드, 발레르알데하이드, 스타이렌, 암모니아 등이 포함되는 것을 확인할 수 있다. 다음으로 세정식 집진시설은 발레르알데하이드, 황화수소, 스타이렌을 어느 정도 처리하는 것으로 나타났다. 상대적으로 가장 낮은 처리효율을 보이는 집진시설은 원심력 집진시설과 여과식 집진시설로써 각각 황화수소와 부티르알데하이드 한가지 성분에서만 처리가 이루어지는 것으로 나타났다.

사업장에서 생산하는 제품의 종류에 따라 그 처리와 저장과정 등이 모두 다르므로, 그에 따른 제어효율이나 특성도 어느 정도 차별화가 이루어질 것이란 점을 예측할 수 있다. 실제 본 연구의 조사결과에 의하면, 가죽 및 피혁제품 제조업에서는 9카르보닐 계열 성분들의 처리효율이 양호한 것으로 나타났다. 조

립금속제조업의 경우, VOC 성분들에 대해 상대적으로 좋은 처리효율을 확인할 수 있다. 섬유제품 제조업의 경우, 카르보닐 계열 4가지 성분에서만 양의 처리효율을 확인할 수 있었다. 이처럼 사업장에 따라 양호한 처리효율을 보이는 성분들의 구성에서도 상당한 차별이 이루어지는 것을 알 수 있었다.

본 연구 결과를 보면, 대부분의 사업장에서 운영하고 있는 기존의 대기오염물질 처리시설의 악취처리효율은 상당히 낮다는 사실을 쉽게 식별 할 수 있다. 처리시설의 후단부에서 관측한 농도가 전단부보다 높게 나타난 경우가 많기 때문에, 결과적으로 음의 처리효율을 보이는 경우가 많이 발생하였다. 이처럼 처리시설의 후단에서 악취성분들의 농도가 더 높게 나타나는 현상을 감안할 때, 향후 악취배출의 저감을 유도하기 위한 노력이 다각도로 현실화되어야 한다는 점을 강조하지 않을 수 없다. 이를 위해, 각 사업장별로 상세하게 악취발생특성을 파악하고, 악취기여도가 높은 성분들에 대해 각 성분들에 적합한 방지 대책을 수립하는 것이 중요하다.

#### 감사의 글

본 연구의 일부는 학술진흥재단의 지원(KRF-2005-201-C00045)으로 이루어졌습니다.

#### 참 고 문 헌

- 김기현, 최여진, 홍운정, 사재환, 박종호, 전의찬, 최청렬, 구운서 (2005) 반월공단내 주요 산업시설물들의 대기배출시설을 중심으로 한 주요 악취성분의 배출원 농도 및 분포 특성, 한국대기환경학회지, 21(2), 215-226.
- 안상영, 최성우 (2005) 산업단지에서 배출되는 악취원인물질의 규명, 한국환경과학회지, 14(1), 81-89.
- 송동웅, 송찬근, 김철희 (2003) 반월, 시화공단 악취물질의 안산지역 확산 연구, 환경영향평가학회지, 12(5), 323-340.
- 최여진, 오상인, 김기현 (2003) 방향족 휘발성 유기화합물의 겨울철 연속 관측 연구, 한국대기환경학회지, 19(5), 491-502.
- 최여진, 전의찬, 김기현 (2005) 반월공단의 대기배출시설을

- 대상으로 한 악취성 황화합물의 측정과 배출특성에 대한 연구, 한국대기환경학회지, 21(5), 515-524.
- 하병길, 여석준 (1995) B/C 분진제거를 위한 전기 싸이클론의 집진효율특성, 대한환경공학회지, 17(11), 1161-1169.
- 홍윤정, 김기현 (2005) 대기 중 카보닐 계열 성분의 분석기법의 연구: 포름알데하이드와 DNPH의 반응 특성을 중심으로, 한국분석과학회지, 18(1), 43-50.
- Easter, C., C. Quigley, P. Burrowes, J. Witherspoon, and D. Apgar (2005) Odor and air emissions control using biotechnology for both collection and wastewater treatment systems, Chemical Engineering Journal, 113, 93-104.
- Emerson, C.W. and R. Rajagopal (2004) Measuring toxic emissions from landfills using sequential screening. Computers, Environment and Urban System 28, 265-284.
- Mahin, T.D. (2001) Comparison of different approaches used to regulate odours around the world, Water science technology, 44(9), 87-102.
- Ramel, M. and M. Normine (2000) Physicochemical characterization of odours, Analysis, 28(3), 171-179.
- U.S. EPA (2000) Biosolids and residuals management fact sheet; odor control in biosolids management.
- Willig, S., M. Lacorn, and R. Claus (2004) Development of a rapid and accurate method for determination of key compounds of pig odor, Journal of Chromatography, 1038, 11-18.