

카보닐 계열의 배출 특성과 그에 따른 악취 발생 기여도 비교 연구: 반월공단내 주요 산업시설물들을 중심으로

Emission Characteristics of Carbonyl Compounds from Major Industrial Sectors in the Ban-Wall Industrial Complex, Korea

홍 윤 정 · 전 의 찬 · 김 기 현*

세종대학교 지구환경과학과

(2006년 1월 21일 접수, 2006년 6월 23일 채택)

YJ Hong, E.-C. Jeon and K.-H. Kim*

Department of Earth & Environmental Sciences, Sejong University, Seoul, Korea

(Received 21 January 2006, accepted 23 June 2006)

Abstract

The carbonyl compounds in the atmosphere belong to one of the regulatory pollutants for the malodor control designated by the Korean Ministry of Environment (KMOE). In the present study, the emission concentration levels of carbonyl compounds were measured along with a number of criteria odor pollutants from a total of 47 individual companies (June 2004 to January 2005). The results of our study showed that a number of carbonyl compounds (such as formaldehyde, acetaldehyde, acetone, and butyraldehyde) maintained significantly high mean concentrations of 298 to 372 ppb. In contrast, other carbonyl compounds were low enough with the mean values of 0.54 to 19.1 ppb. It was found that except for such industries as metal production or leather processing, their emissions were generally quite significant. If the measured values were evaluated in terms of malodor intensity, butyraldehyde appeared to be the most significant contributor to the malodor release. According to the measurements made in strong source areas, it can be concluded that several carbonyl compounds (acetaldehyde, propionaldehyde, butyraldehyde, isovaleraldehyde, and valeraldehyde) are useful enough to diagnose malodor release from those source areas. It should also be addressed that a number of carbonyl compounds added newly as the result of malodor control legislation were not sensitive enough to diagnose malodor release from such sources.

Key words : Carbonyl, Acetaldehyde, Butyraldehyde, Malodor, Industrial, Ban-Wall

1. 서 론

대기 중에서 알데하이드와 케톤 등을 포함하는 카보닐계 화합물은 (1) 보건환경학적으로 위해한 성분,

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

(2) 광화학 반응의 주요 부산물, (3) 환경부에서 규정하는 관리대상 악취성분 등과 같이 여러 가지 특징을 동시에 지니고 있다(조석연 등, 2003; 황윤정 등, 1998). 이러한 카보닐계 화합물들은 대부분 광화학 반응에 의하여 대기 중에 생성된다. 그렇지만, 제지, 접착제 등의 제조과정 또는 차량과 같은 배출원으로부터 배출되기도 한다(조양희 등, 2003; Viskari *et al.*, 2000; Grosjean *et al.*, 1993). 특히 근래에는 이들 카보닐계 화합물들이 공단과 주거단지가 인접한 지역들에서 신고되는 악취민원의 핵심인자로 지목되면서, 여러 가지 연구의 주요한 대상으로 다루어지기도 한다(김기현 등, 2005a).

해안가에 인접한 경기도 안산시 반월공단의 경우, 주택 단지의 동쪽편에 인접한 공단이 풍상으로 작용하는 지정학적 특성을 지니고 있다. 이와 같은 요인으로 인해, 이 지역의 경우 악취와 관련한 문제들이 심각한 사회문제로 나타나고 있다. 특히 편서풍이 강하게 발현하는 우리나라의 일반적인 기상특성과 해풍의 발생이 빈번한 지역적 기상조건이 더해짐으로서, 풍하측에 위치한 주택단지는 빈번하게 악취민원을 겪고 있는 실정이다(김기현 등, 2005a; 양성봉 등, 2003). 따라서, 산업시설이 많은 안산 반월공단과 같은 지역의 대기 중 카보닐계열 성분들의 농도는 기존에 연구한 타 도시들과 비교할 때 현저하게 고농도를 보이고 있다(김기현 등, 2005b; Feng *et al.*, 2004; Grosjean *et al.*, 2002; Grosjean *et al.*, 1996). 따라서 이와 같은 문제의 해결에 일조할 수 있는 관리대책의 도출이 시급한 실정이다. 이러한 정보의 부족 문제를 해소하기 위해, 여러 유형의 연구사업들이 지금까지 진행되어왔다. 그러나 아직까지 사업시설의 형태나 배출방지시설의 유형 등을 평가할 수 있을 정도로 구체적인 분석을 시도한 사례는 극히 드문 편이다. 특히 카보닐계열의 악취성분들에 대한 측정 결과는 대단히 부족한 실정이다(양성봉 등, 2003).

본 연구진은 주요 배출원을 중심으로 악취성분들에 대한 배출특성을 규명하기 위한 연구 사업에 참가하였다. 이를 위해, 반월공단지역을 주 연구 대상으로 설정하고, 현장 중심의 분석연구를 다양한 관점에서 수행하였다. 본 연구진은 안산시 반월공단 내에 소재한 총 47개의 주요 대기배출사업장들을 중심으로 주요 악취성분들의 현장관측 조사를 2004년 6월부터 2005년 1월까지 실시하였다. 본 연구에서는 알

Table 1. A list of industry types investigated for odor emission study. Classification is made based on a standard industrial classification code of Korea. A total of 47 companies investigated in this study are classified.

Major code (first 2 digits)	Type of industry	Number of company
15	Food and beverage	2
17	Textile	5
19	Leather, bag and shoes production	6
21	Pulp, paper, etc.	4
24	Compound and chemical product	13
28	Metal assembly and production	5
90	Sewage, waste treatment, and cleaning	5
18	Fur and dressmaking	1
20	Wood and its product	1
29	Miscellaneous machine and instrument	1
31	Electronic machine and converter	1
34	Automobile and trailer	1
36	Furniture	1
40	Electronics, gas, and vapor	1
		47

테하이드 성분들에 대한 분석 결과를 중심으로, 산업업종별 그리고 대기 배출시설별로 구분한 후, 악취발생과 관련한 배출 특성 및 분포특성을 비교 분석하였다.

2. 연구 및 방법

2.1 연구 대상 업체의 선정 및 조사방법

악취물질의 발생 여부를 판단(또는 평가)하기 위해, 직접관능법, 공기희석관능법, 기기관측법 등을 주로 사용하고 있다(김기현 등, 2005a). 본 연구진은 2004년 6월부터 2005년 1월 기간까지, 총 11차례에 걸쳐 반월 산업단지 내에 위치한 총 47개의 업체에 대한 현장 조사를 실시하였다. 이들 조사 대상 업체는 반월공단 내에 소재한 총 13개 업종(식품포 제조업, 가죽공장 등)을 대표할 수 있다(표준 산업 분류 코드 적용 기준: 표 1). 이들 중 일부는 경기도와 안산시의 악취배출 저감을 유도하기 위한 행정협조를 받는 업체들을 다수 포함한다. 이들은 어느 정도 일부 업종에 편중되어 있지만, (아직까지 이러한 분석 결과가 희소하다는 측면에서) 본 조사결과는 주요 악취 성분들의 배출 특성을 파악하는데 유용한 정보를

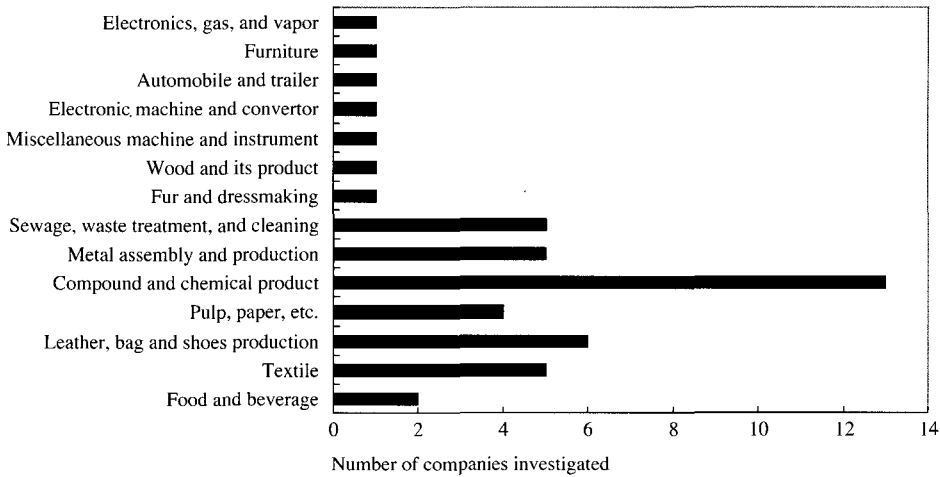


Fig. 1. Type of industrial classification for the analysis of carbonyl compounds as malodor components in this study.

제공할 것으로 사료된다(그림 1). 본 연구에서는 알데하이드를 위시한 악취성분들의 배출이 이루어지는 배출시설물(또는 방지시설들의) 배출 후단들을 중심으로 시료채취 및 기기분석을 실시하였다. 이를 토대로 주요 업종 및 배출시설별 악취성분의 분포특성에 대한 조사를 시도하였다.

업체별 악취성분들의 배출특징에 대한 비교를 단순화 하기 위해, 조사가 이루어진 업체를 다시 8개의 업종으로 중분류하였다. 그리고 보다 여러 유형의 비교를 도출하기 위해, 업종과 관계없이 각 업체별로 활용중인 포기조, 스크러버 등등의 배출시설들을 최대 8개 유형으로 구분하였다. 그리고 이들 배출시설물의 유형을 기준으로도 배출 경향을 비교하였다.

2.2 측정방법

본 연구에서는 주요 악취성분에 해당하는 카보닐 성분의 배출특성을 분석하기 위하여, DNPH 카트리지 채취 및 HPLC분석방식을 이용하였다(홍윤정과 김기현, 2005). 2005년 2월 이전 시점에는 환경부에서 규정한 관리대상 성분은 총 8가지로 국한되었다. 이 때는 카보닐 계열의 성분 중에서 아세트알데하이드만이 유일하게 포함된 상태였다. 그렇지만, 2005년 2월을 기점으로 새로이 관리대상이 확대되면서, 4가지 알데하이드 성분(프로피온알데하이드, 뷰티르알데하이드, 아이소발레르알데하이드, 발레르알데하이드)들이 추가적으로 포함되었다(2005년 2월 기점 최

종 12개 기준 항목). 본 연구에는 신, 구 기준을 포괄하는 5가지 알데하이드 성분들을 위시한 총 13가지 카보닐 계열 물질과 기타 기준성 악취물질들(총 18종)을 각각의 측정지점에서 채취하고 분석하였다.

알데하이드류에 대한 분석은 아세트알데하이드 등을 포함한 공기와 카트리지 안에 충전한 2,4-DNPH와의 반응을 통해 안정한 유도체를 형성하는 것을 기본으로 한다. 그 다음 단계로 채취한 알데하이드 성분들을 아세트니트릴 용액으로 추출하여, 용액상 형태로 시료를 전환시켜 주었다. 이들 시료의 일정량을 고성능 액체크로마토그래피(HPLC)에 도입, 정량하는 방법이다. 채취 분석에 사용하는 DNPH 카트리지(Supelco, U.S.A)는 4cm의 폴리프로필렌(PP) 재질의 Tube 형식으로 양끝에 폴리에틸렌(PE) filter를 장착하고 있다(중간부분은 고순도로 정제된 DNPH가 충전 되어 있다). 시료의 채취 시 DNPH 유도체의 감소 또는 인위적인 불순물의 형성에 기여하는 오존과 같은 간섭물질의 간섭을 최소화하기 위해, KI 오존스크러버를 DNPH 카트리지의 전단부에 연결하여 사용하였다. 채취 시료들에 대한 화학분석은 시료채취 종료 후, 24시간 이내에 신속하게 진행하였다. 이번 연구는 산업현장의 다양한 부분에서 시료를 채취한 것이 특징이다. 따라서 측정 위치에 따라 카트리지의 유입부분에 변화를 주었다. 제품의 제조공정이나, 저장소 같은 일반적인 곳에서는 삼각대를 이용하여 지상 1.5m 높이에서 측정하였다. 또한 집수조, 포

기조, 침전조와 같이 대표적인 악취발생 시설들에서는 악취가 가장 높게 발생하는 발생원의 중앙에 가능한 근접한 상태로 채취하였다. 또한, 발생원을 파악하기 위하여 추가적으로 Stack의 시료도 일부 채취하였다. Stack의 고온 다습한 조건을 고려하여, 테플론 재질의 1.5 m 유입라인과 오존스크러버를 통과한 시료가 DNPH 카트리지에 바로 채집되도록 하였다. 그리고, 현장에서 흔히 사용되는 습식 스크러버에서 시료를 채취하는 경우, 후단의 측정구에서 시료를 채취하였다. 이러한 모든 측정은 시설물들이 정상가동하는 조건에서 시행하였다. 또한 과도한 습도로 카트리지가 충전물이 젖는 현상과 파과점을 초과하는 것을 동시에 고려하여, 예상농도에 따라 최소 1분~최대 15분 이내에 시료를 채집하도록 조절하였다(이때의 유속은 카트리지 사용시 권장유량인 1 L/min를 유지하였다). Stack의 경우 채취조건이 불안정으로 오차요인이 타 채취점에 비해 크다고 할 수 있다. 현재로서는 이런 부분의 기술적인 한계를 정확하게 제시하기가 곤란하다. 이 부분은 추후에 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 시료 채취시에는 온도 변화에 따른 농도보정을 고려하여 각 측정지점마다 온도와 습도를 측정하였다. 따라서 카보닐 계열의 공정별 악취 경향성을 분석하기 위한 측정 결과는 각 지점의 온도로 보정하여, 농도를 산출한 후 사용하였다.

카트리지에 채취한 성분들은 5 mL의 아세트니트

릴 용액으로 용출한 후, 20 μ L를 HPLC로 분석하고 그 농도를 환산하였다. 이들을 효과적으로 분리검출하기 위해, 25 cm \times 4.6 mm ID 비극성 (reversed phase) 컬럼인 Hichrom 5 C18를 사용하였다. 또한 이동상 용액은 분석한 13가지 모든 물질에서 가장 효과적인 분리율을 보이는 65% acetonitrile 용액 (acetonitrile : water=6.5 : 3.5)을 사용하였다. 이동상 유량은 2 mL/min으로 고정하였으며, 시료의 검출은 2,4-DNPH에 대한 UV의 감도가 가장 뛰어난 360 nm 파장대에서 검출하였다.

이 분석방식에 대한 분석화학적 정도관리(QC)는 본 연구진의 선행연구를 통해 이미 제시한 바 있다(홍윤정과 김기현, 2005). 검출한계(DL)는 긴 시간동안 축적한 측정 자료로부터 최소 검출 수준의 질량을 정한 후, 이들의 표준편차에 3배 곱하는 방식으로 산출하였다. 이 때의 DL값은, 대개 6.5 (Formaldehyde)~21.8 ng (O-Tolualdehyde) 범위로 나타났다. 이 질량을 연구 기간 중에 관측한 온도를 고려하여, 모든 측정 장소의 일반적인 누적유량(평균 9.2 L)으로 나누어, 공기 중 농도(ppb)로 환산하였다. 이러한 조건을 반영할 경우, 0.48 (Benzaldehyde)~0.58 ppb (Formaldehyde)의 검출한계를 유지하는 것으로 나타났다. 정밀도는 분석이 이루어진 결과로부터 각각의 성분에 대한 상대 표준오차(RSE)를 구하여 제시하였다. 그 결과 반복 재현 정밀도는 0.61 (formaldehyde)

Table 2. Basic analytical parameter (DL and precision) for carbonyl compounds investigated in this study.

Order	Pollutants		Structural formula (or chemical form)	Regulation criteria type*	DL ⁽¹⁾ ng	μ L	ppb	RSE (%)
	Full name	Short name						
A. Carbonyl compounds	Formaldehyde	Form-A	HCHO	I	6.46	5.34	0.58	0.61
	Acetaldehyde	Acet-A	CH ₃ CHO		8.53	4.81	0.52	1.04
	Acrolein	Acrolein	CH ₂ =CHCHO	10.1	4.46	0.48	1.58	
	Acetone	Acetone	CH ₃ COCH ₃	10.5	4.49	0.49	1.18	
	Propionaldehyde	Propion-A	CH ₃ CH ₂ CHO	II	11.0	4.72	0.51	1.03
	crotonaldehyde	Croton-A	CH ₃ CH=CHCHO		12.4	4.39	0.48	1.06
	Butyraldehyde	Butyr-A	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CHO	II	13.8	4.77	0.52	0.97
	Benzaldehyde	Benz-A	C ₆ H ₅ CHO		18.8	4.40	0.48	1.29
	Isovaleraldehyde	Isovaler-A	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CHO	II	17.1	4.92	0.53	0.94
	Valeraldehyde	Valer-A	CH ₃ (CH ₂) ₃ CHO		16.4	4.73	0.51	1.16
	o-Tolualdehyde	o-Tolu-A	CH ₃ C ₆ H ₄ CHO	22.9	4.73	0.51	1.36	
	m-Tolualdehyde	m-Tolu-A	CH ₃ C ₆ H ₄ CHO	21.4	4.43	0.48	1.68	
	p-Tolualdehyde	p-Tolu-A	CH ₃ C ₆ H ₄ CHO	21.8	4.50	0.49	1.90	

⁽¹⁾DL (ng) is three times SD of data to determine mass of minimum detectable quantity (Feb. 12, 2004 ~ Mar. 17, 2004). To convert the concentration terms, the total sampling volume of 9.2 L was assumed.

*Roman letters of I and II denote criteria odors regulated as prior to and after the new regulation introduced in Feb. 2005

hydres)~1.90% (p-Tolualdehyde) 수준으로 나타났다 (표 2).

3. 결과 및 토론

안산 지역의 배출원으로부터 관측한 알데하이드 성분들의 일반적인 배출특성을 나타내기 위하여, 모든 지점에서의 측정결과를 통계적으로 요약하였다 (표 3). 그 결과, 폼알데하이드, 아세트알데하이드, 아세톤, 뷰티르알데하이드가 평균 298~372 ppb로서 비교적 고농도를 유지하였다. 반면, 다른 알데하이드 계열 물질들은 평균 0.54~19.1 ppb 수준의 농도로서, 전자에 비해 수 백배 이하의 차이를 보이는 특징을 확인할 수 있다. 따라서 농도의 크기만을 놓고 볼 때, 알데하이드 계열의 악취 또는 공해발생은 대부분 위의 네 물질에 의한 양적 기여도가 중요할 것으로 나타났다. 따라서 이들 성분의 저감을 통해, 알데하이드 물질들에 대한 제어를 유도하여야 할 것이다. 그러나 고농도를 나타낸 성분들은 대체로 변이가 크다는 점 (표준편차 값이 큼)을 감안하면, 각 제조업종

및 공정마다 악취배출의 특성이 크게 변화할 가능성을 예측할 수 있다.

앞에서 언급한 산업분류표를 이용하여 업종별 분류 및 통계처리를 하여, 반월공단의 제조업종 및 공정별로 알데하이드 계열의 분포특성을 비교하였다 (표 4). 그 결과 앞서 높은 평균값을 보였던 폼알데하이드의 경우, 대부분 화합물 제조업의 스크러버에서 발생하였다 (이곳의 평균농도는 2,626 ppb). 섬유 제조업의 스크러버와 제조공정에서도 각각 473, 197 ppb로 높게 나타났다. 또한 가죽 생산공정의 침전조에서도 534 ppb로 높게 나타났다. 그러나, 그 이외의 업종에서는 평균 수십 ppb의 저농도를 보였다.

폼알데하이드와 마찬가지로 아세트알데하이드의 경우에도 업종별로 편중된 결과를 보였다. 예를 들어, 식품 제조업과 펄프 제조업의 스크러버에서 각각 7,123와 1,602 ppb의 높은 농도를 보였다. 그렇지만, 다른 업종에서는 수십 ppb수준으로 낮게 나타났다. 그러나, 아세톤의 경우 고농도를 보였던 4가지 물질 중 가장 작은 편차를 보였다. 특히 화합물 제조업의 모든 공정과 가죽 제조업의 제조공정을 제외한 모든 공정에서 208~1,294 ppb 농도로 다른 업종에 비해

Table 3. An overall summary of emission concentrations of 13 carbonyl compounds measured from a total of 47 companies.

a. A statistical summary for all data sets (ppb)

Parameter	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
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
Mean	372	298	1.20	304	29.1	14.1	303	22.4	1.85	4.88	0.82	0.73	0.54
SD	3026	1483	3.00	766	61.2	36.1	1467	36.5	7.01	14.2	2.41	1.95	0.92
Med	28.0	28.6	0.32	61.1	12.4	1.19	13.1	10.0	0.37	0.99	0.34	0.33	0.33
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	7.09
N	112	112	112	111	112	109	112	110	107	107	107	107	107

b. Same as above but after eliminating the data below DL valves (ppb)

Parameter	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
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
Mean	376	298	5.65	318	31.0	23.4	311.6	24.1	4.91	8.53	3.18	2.50	1.37
SD	3039	1483	5.82	782	62.7	44.5	1486	37.4	11.8	18.8	5.59	4.29	1.88
Med	28.0	28.6	3.73	64.7	14.6	10.5	14.1	11.7	0.58	2.68	0.97	0.74	0.52
Min	5.66	3.85	0.56	0.59	0.33	0.27	0.66	0.56	0.29	0.63	0.51	0.49	0.52
Max	32057	11255	18.7	4782	532	311	12427	246	60.4	104	22.1	17.3	7.09
N	111	112	18	106	105	65	109	102	35	55	17	19	21

*Refer to Table 2 for the full information of chemical identification

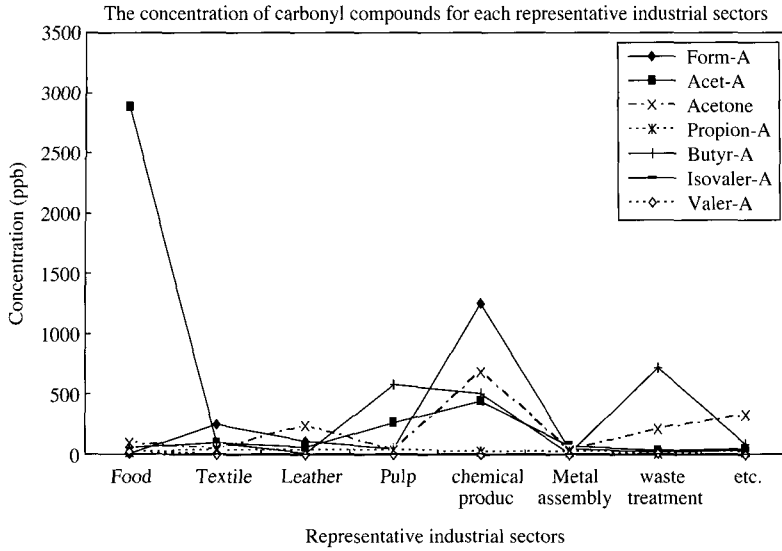


Fig. 2. The concentrations of carbonyl compounds for each representative industrial sector.

Table 4. The concentration of carbonyl compounds measured from each representative industrial sector (All concentrations in ppb unit).

Type of industry	Parameter	Form-A	Acet-A	Acetone	Propion-A	Butyr-A	Isovaler-A	Valer-A
Food and beverage	Mean	16.1	2882	106	27.0	62.6	8.84	23.0
	SD	8.10	4539	101	23.8	36.9	14.9	40.7
	N	5	5	5	5	5	5	5
Textile	Mean	249	99.8	51	38.2	103.3	0.54	4.36
	SD	182	88.8	45.8	17.2	107.6	0.24	5.07
	N	10	10	10	10	10	10	10
Leather, bag and shoes production	Mean	113	66.8	246	41.6	13.5	0.82	1.64
	SD	258	91.5	288	116	17.9	1.22	3.05
	N	20	20	20	20	20	20	20
Pulp, paper, etc	Mean	46.0	270	42.4	44.0	577	0.51	0.94
	SD	39.6	589	60.4	36.6	1358	0.24	0.74
	N	7	7	7	7	7	7	7
Compound and chemical product	Mean	1249	447	681	28.2	500	3.40	4.60
	SD	6042	2120	1279	57.2	1650	11.9	8.00
	N	28	28	28	28	28	28	28
Metal assembly and production	Mean	54.3	79.2	39.2	27.4	12.5	0.50	2.70
	SD	38.9	107	37.0	64.5	15.3	0.10	3.10
	N	11	11	11	11	11	11	11
Sewage, waste treatment, and cleaning	Mean	23.3	33	210	14.1	721	0.83	7.33
	SD	16.4	44.7	445	13.6	2922	1.89	24.4
	N	18	18	18	18	18	18	18
Etc	Mean	42.1	55.9	325	19.4	93.4	1.05	2.82
	SD	30.3	54.3	876	18.0	153	1.53	6.22
	N	13	13	13	13	13	13	13
Coefficient of variance (CV)		813	498	253	210	484	386	299

Table 5. The concentrations of carbonyl compounds derived for each process unit (All concentrations in ppb unit).

Type of process	Parameter	Form-A	Acet-A	Acetone	Propion-A	Butyr-A	Isovaler-A	Valer-A
Junction box	Mean	77.5	25.1	268	10.1	26.4	1.88	0.59
	SD	122	17.2	457	9.68	32.0	2.65	0.38
	N	3	3	3	3	3	3	3
Aeration tank	Mean	57.2	33.1	249	19.0	19.2	0.78	2.17
	SD	129	49.8	529	15.4	25.7	1.75	3.39
	N	21	21	21	21	21	21	21
Settling tank	Mean	279	99.4	427	154	18.8	0.36	1.56
	SD	514	154	427	252	20.7	0.04	1.90
	N	4	4	4	4	4	4	4
Scrubber	Mean	935	773	423	33.9	373	3.69	5.35
	SD	5119	2463	1094	57.6	1406	11.3	15.6
	N	39	39	39	39	39	39	39
Manufacturing process	Mean	73.0	42.9	66.3	16.0	232	1.01	4.22
	SD	87.2	48.0	75.8	16.0	771	1.57	6.20
	N	22	22	22	22	22	22	22
Storing place	Mean	45.3	47.7	437	17.0	794	0.41	9.35
	SD	63.6	67.9	789	14.6	3000	0.14	25.7
	N	17	17	17	17	17	17	17
Stack	Mean	55.3	53.4	53.0	47.9	55.0	0.51	1.60
	SD	48.1	60	50.4	47.7	105	0.34	2.78
	N	5	5	5	5	5	5	5
Etc	Mean	32.1	20.5	373	6.82	8.92	0.11	1.26
	SD	-	-	-	-	-	-	-
	N	1	1	1	1	1	1	1
Coefficient of variance (CV)		813	498	253	210	484	386	299

높지만 균질한 양상을 보였다. 또한 뷰티르알데하이드의 경우, 특이하게 업종별 분류보다 공정별 분류시 그 특성이 상대적으로 뚜렷하게 나타났다. 이 경우, 대체적으로 제조공정과 스크러버, 저장소에서 높은 농도를 기록하는 특징을 보였다. 특히 펄프 제조업의 제조공정과 하수처리장의 저장소에서 각각 1,971과 1,619 ppb로 높은 평균농도를 보였다.

앞의 결과에서 같은 업종에서도 공정에 따라 많은 편차가 발생하는 것을 확인할 수 있다(표 5). 그림 3에 제시한 결과를 보면, 알데하이드 계열 중에서 주 발생성분(폼알데하이드, 아세트알데하이드, 아세톤, 뷰티르알데하이드)은 업종별 분류와 비슷하게 수백 ppb로 나타났다. 특히 폼알데하이드의 경우, 스크러버에서 935 ppb로 가장 높은 값을 보였다. 그 뒤를 이어 침전조에서 279 ppb로 높은 수치를 보였다. 그러나 다른 공정에서는 100 ppb 수준으로 나타나기 때문에, 스크러버와 침전조가 상대적으로 기여도가

크다는 것을 추정할 수 있다. 아세트알데하이드의 경우, 스크러버에서만 773 ppb로 높은 값을 보였다. 따라서 폼알데하이드와는 달리, 스크러버의 상대적인 제거 효율이 높지 않다는 것을 확인할 수 있었다. 아세톤의 경우, 좀더 다양한 공정에서 발생하는 것으로 나타났다. 저장소에서 437 ppb로 가장 높은 값을 보였다. 제조공정 및 stack를 제외하고는 249~437 ppb로 비교적 고르게 고농도로 분포하였다. 뷰티르알데하이드는 제조공정, 스크러버, 저장소에서 각각 232, 373, 794 ppb로 높게 나타났다. 다른 공정에서는 상대적으로 적게 나타나, 이들 세가지 공정이 주 발생 공정으로 작용한다는 것을 알 수 있었다. 이들 결과를 볼 때, 스크러버에서 주요 성분들이 많이 발생하므로, 이들에 제어에 가장 우선적인 관리가 필요한 것으로 볼 수 있다.

알데하이드 계열은 악취의 주요 원인물질로 작용하기 때문에, 농도보다 악취발생 기여도를 평가하는

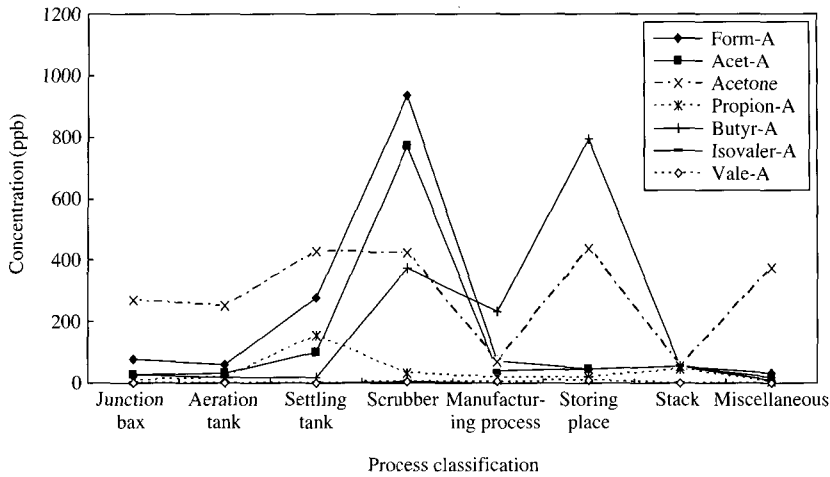


Fig. 3. The concentrations of carbonyl compounds for each process classification.

Table 6. The relationship between malodor concentration and malodor degree for carbonyl compounds¹⁾.

Carbonyl compounds ²⁾	Degree of malodor	Degree of malodor							Permissible discharge standards by KMOE		Austerity permissible discharge standards
		1	2	2.5	3	3.5	4	5	Industrial complex	The other area	Industrial complex
Form-A	The corresponding concentration values (in ppb)	410	1900	3900	8300	18000	38000	170000			
Acet-A		1.5	15	47	140	450	1400	14000	under 100	under 100	50~100
Acrolein		30	140	290	630	1400	2900	13000			
Acetone		30000	110000	210000	390000	740000	1400000	5100000			
Propion-A		1.5	15	46	140	440	1400	13000	under 100	under 50	50~100
Butyr-A		0.32	2.9	8.9	27	84	260	2300	under 100	under 29	29~100
Isovaler-A		0.19	1.1	2.5	5.9	14	32	180	under 6	under 3	3~6
Valer-A		0.71	3.8	9	21	49	110	620	under 20	under 9	9~20

¹⁾ Modified from Nagata and Takeuchi (1980), ²⁾ Refer to Table 2 for the full name information.

부분도 상당히 의미가 있을 것으로 보인다. 악취의 경우 감각공해로서 절대적인 농도보다, 각각의 물질이 갖는 악취도로 환산하여 비교하는 것도 중요하다. Nagata and Takeuchi (1980) 또는 Nagata (2003) 등이 제시한 악취도 환산식(표 6)을 이용하여, 업종 및 공정별 분석결과를 악취도로 환산하였다. 그리고 이렇게 구한 악취강도를 윗 첨자로 나타내고, 각 업종별 악취 특성을 비교하여 보았다(표 7).

3.1 식품 제조업

식품제조업의 경우, 대부분의 알데하이드가 고농도

를 유지하였다. 알데하이드 계열의 악취지정물질 5개 중 아이소발레르알데하이드를 제외한 모든 물질이 악취도 2도 이상의 비교적 높은 농도를 보였다. 식품제조업의 스크러버 후단에서 아세트알데하이드의 평균 값은 7,123 ppb로서 4도의 악취도를 보였다. 따라서 이러한 성분들은 식품 제조업분야의 악취도 평가에 적절한 식별인자로 사용가능한 것으로 나타났다.

3.2 섬유 제조업

섬유 제조업 역시 대부분의 악취지정물질들이 악취도 2도 이상으로 확인되었다. 섬유 제조업에서는

Table 7. A statistical summary of carbonyl compounds between different industrial types (in ppb).

Pollutants		Form-A	Acet-A	Acetone	Propion-A	Butyr-A	Isovaler-A	Valer-A
Food and beverage	Aeration tank	15.3	26.6 ²	118	14.5 ¹	68.4 ³	0.33 ¹	5.64 ²
	Scrubber	16.8	7123 ⁴	135	48.4 ^{2.5}	50.8 ³	21.6 ^{3.5}	51.6 ^{3.5}
	Manufacturing process	16.4	109 ^{2.5}	23.2	9.40 ¹	74.7 ³	0.33 ¹	0.34
Textile	Aeration tank	106	26.8 ²	12.2	30.9 ²	4.13 ²	0.55 ¹	0.50
	Scrubber	473 ¹	219 ³	68.0	44.3 ²	74.3 ³	0.42 ¹	4.84 ²
	Manufacturing process	197	58.4 ^{2.5}	51.7	29.2 ²	140 ^{3.5}	0.50 ¹	5.37 ²
	Stack	79.0	53.0 ^{2.5}	75.1	70.6 ^{2.5}	241 ^{3.5}	1.08 ¹	6.56 ²
Leather, bag and shoes production	Junction Box	116	23.9 ²	400	13.7 ¹	31.1 ³	0.35 ¹	0.71 ¹
	Aeration tank	133	69.6 ^{2.5}	242	10.4 ¹	6.30	0.43 ¹	1.98 ¹
	Settling tank	534 ¹	171 ³	471	279 ³	27.0 ^{2.5}	0.35 ¹	0.77 ¹
	Scrubber	24.9	49.6 ^{2.5}	313	22.1 ²	8.27 ²	0.49 ¹	0.46
	Manufacturing process	26.5	38.6 ²	48.9	20.0 ²	2.98 ²	2.43 ²	4.00 ²
	Storing place	30.2	73.6 ^{2.5}	208	12.1 ¹	21.4 ^{2.5}	0.39 ¹	0.67
Pulp, paper, etc	Aeration tank	29.9	36.5 ²	9.58	32.3 ²	9.12 ^{2.5}	0.48 ¹	1.47 ¹
	Scrubber	63.4	1602 ⁴	174	55.7 ^{2.5}	70.4 ³	1.01 ¹	0.99 ¹
	Manufacturing process	15.3	12.1 ¹	20.6	10.4 ¹	1971 ⁴	0.32 ¹	0.81 ¹
	Storing place	41.7	39.9 ²	37.2	51.0 ^{2.5}	7.23 ²	0.41 ¹	0.50
	Stack	127	151 ³	45.4	116 ^{2.5}	0.49 ¹	0.55 ¹	0.50
Compound and chemical product	Aeration tank	17.0	8.80 ¹	682	16.8 ²	22.9 ^{2.5}	0.32 ¹	1.15 ¹
	Scrubber	2626 ²	156 ³	896	97.1 ^{2.5}	650 ⁴	83.3 ⁴	81.9 ^{3.5}
	Manufacturing process	30.1	15.3 ²	194	11.4 ¹	77.4 ³	0.29 ¹	2.61 ¹
	Storing place	120	34.5 ²	1294	28.0 ²	181 ^{3.5}	0.50 ¹	13.9 ^{2.5}
	Stack	8.15	3.85 ¹	127	7.33 ¹	33.0 ³	0.33 ¹	0.32
	Etc	230	12.1 ¹	17.7	0.33	20.3 ^{2.5}	5.67 ^{2.5}	0.33
Metal assembly	Scrubber	52.7	108 ^{2.5}	34.8	46.6 ^{2.5}	16.4 ^{2.5}	0.49 ¹	1.90 ¹
	Manufacturing process	56.1	44.5 ²	44.5	4.46 ¹	7.89 ²	0.43 ¹	3.64 ¹
Sewage, waste treatment, and cleaning	Aeration tank	27.8	21.7 ²	76.1	18.9 ²	21.1 ^{2.5}	3.02 ^{2.5}	4.08 ²
	Settling tank	24.3	27.9 ²	383	29.0 ²	10.5 ^{2.5}	0.37 ¹	2.34 ¹
	Scrubber	14.5	17.5 ²	11.8	8.61 ¹	3.10 ²	0.49 ¹	0.41
	Storing place	24.4	43.2 ²	333	11.9 ¹	1619 ⁴	0.41 ¹	18.7 ^{2.5}
	Stack	21.6	54.1 ^{2.5}	16.7	0.33	0.15	0.32 ¹	0.29
Etc	Junction Box	0.27	27.4 ²	5.14	2.84 ¹	17.0 ^{2.5}	4.94 ^{2.5}	0.37
	Aeration tank	38.6	35.6 ²	18.7	32.4 ²	9.36 ^{2.5}	0.41 ¹	2.89 ¹
	Scrubber	47.2	62.5 ^{2.5}	501	13.7 ¹	139 ^{3.5}	0.90 ¹	1.10 ¹
	Manufacturing process	37.0	132 ^{2.5}	175	52.4 ^{2.5}	67.5 ³	0.34 ¹	23.1 ³
	Storing place	52.8	27.9 ²	20.5	10.2 ¹	5.44 ²	0.41 ¹	1.08 ¹
	Stack	41.0	4.65 ¹	0.36	45.0 ²	0.66 ¹	0.29 ¹	0.28

*The superscripted number is the malodor degree computed from the mean concentration.

뷰티르알데하이드가 평균 103 ppb로 악취도 3.5에 해당하는 농도를 보였다. 특히 제조공정에서는 악취도 3.5로 높게 나타났다. 이는 아세트알데하이드가 가장 강한 악취도를 보이는 식품 제조업과 분명한 차이로 볼 수 있다. 따라서 섬유 제조업에서는 뷰티르알데하이드를 악취 식별인자로 사용 가능하다는 점이 확인되었다.

3.3 가죽 제조업

가죽 제조업의 경우, 측정 당시 심한 악취가 발생하는 조건이 유지되었다. 그러나, 분석결과 아세트알데하이드 계열의 성분들은 식품, 섬유 계열보다 낮은 0에서 2도사이의 악취도로 나타났다. 또한 이 경우, 특별히 높은 악취도를 보인 물질이 없었으며, 모든 공정에서 비슷하게 낮은 악취도를 보였다. 따라서 가죽 제조업의 경우, 알데하이드 계열은 악취도의 평가

에 민감하지 않은 인자로 나타났다. 참고로 본 연구진의 선행연구에서 피혁계열의 경우, 황계열 화합물이 가장 민감한 식별인자로서 중요한 의미를 지닌다는 것을 보고한 바 있다(김기현 등, 2005a).

3.4 펄프 및 종이 제조업

펄프 및 종이 제조업의 경우, 전체적으로 볼 때 섬유 제조업과 유사하게 뷰티르 알데하이드가 평균 농도 577 ppb로 악취도 4에 해당하는 가장 높은 값을 보였다. 그러나 다른 제조업종들과는 달리 모든 공정에서 뷰티르알데하이드가 가장 높은 값을 보인 것은 아니다. 스크러버에서는 오히려 아세트알데하이드가 악취도 4도에 해당하는 값으로서 가장 높게 나타났다. 이는 펄프 제조업의 특징으로 사료된다. 따라서 펄프 제조업에서 악취도 식별인자를 결정하기 위해서는 다른 공정들과 달리, 아세트알데하이드와 뷰티르알데하이드를 동시에 고려할 필요가 있을 것으로 사료된다.

3.5 화합물 제조업

전체적으로 볼 때 화합물 제조업에서도 뷰티르알데하이드가 악취도 4도에 해당하는 500 ppb로서 가장 높은 값을 기록하였다. 화합물 제조업의 경우, 모든 알데하이드 계열의 지정 악취물질 모두가 스크러버에서 악취도 2~4도로 높게 나타났다. 다른 공정에서는 뷰티르 알데하이드만 높은 악취도를 보였다. 따라서 화합물 제조업의 경우, 뷰티르알데하이드를 악취의 식별인자로 사용하는 것이 가능할 것으로 생각된다.

3.6 금속업

금속업의 경우, 알데하이드 계열이 악취도에 미치는 영향이 미미한 것으로 생각된다. 12.5 ppb로 2.5도의 악취도를 보인 뷰티르알데하이드가 가장 높게 나타났다. 그러나 이는 가죽제조공정을 제외한 다른 공정들에 비교할 때, 매우 낮은 수준이다. 따라서 악취 식별인자로는 사용하기에는 부적합한 것으로 보인다. 다른 알데하이드 계열의 물질들도 현저히 낮은 값을 보이기 때문에, 금속업의 경우 알데하이드 계열의 중요도는 떨어지는 것으로 사료된다.

3.7 하수 처리업

하수 처리업의 경우, 뷰티르알데하이드가 평균 726

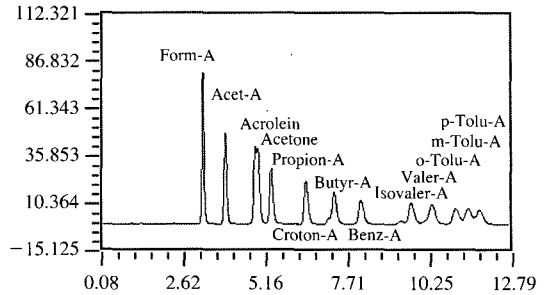
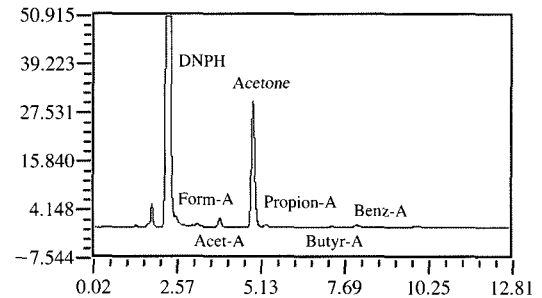


Fig. 4. A chromatograph of carbonyl standard analysis obtained in 5 Jan. 2005 (20 ng each).



	Formaldehyde	Acetaldehyde	Acetone	Propionaldehyde	Butyraldehyde	Benzaldehyde
MW	30	44	58	58	72	106
ng (in 20 μL)	0.72	1.82	3.52	0.85	0.41	0.68
ppb	25.6	44.0	64.8	15.6	6.06	6.81

20 μL of sample solution injected into the HPLC system is first converted into absolute mass (ng) and then to ppb concentration scale for air samples.

Fig. 5. A chromatograph of carbonyl field sample obtained in 5 Jan. 2005. Field sample was obtained from an aeration tank.

ppb, 즉 악취도 4도로 가장 높은 기여도를 보였다. 그러나 이것은 대부분 저장소에서 발생한 것으로 다른 공정에서는 악취도 2.5도 이하를 보였다. 또한 그 외 물질들은 0~2도로 낮은 악취도를 보여, 하수 처리업에서 뷰티르 알데하이드가 중요한 것으로 나타났다. 따라서 하수처리업의 경우, 저장소의 뷰티르 알데하이드 농도만으로도, 알데하이드류에 대한 평가가 가능한 수준으로 판단된다.

Table 8. Results of correlation analysis obtained using the carbonyl data sets collected during the entire study period.

a. Between 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
Form-A	r	1	0.01	0.02	0.03	0.15	0.05	-0.01	0.04	0.264 ^{II*}	-0.03	0.03	0.03	0.09
	p		0.89	0.86	0.75	0.12	0.63	0.91	0.69	0.01	0.80	0.77	0.77	0.34
	n		112	112	111	112	109	112	110	107	107	107	107	107
Acet-A	r		1	-0.03	-0.05	0.335 ^{II}	-0.04	0.232 ^I	-0.03	0.17	0.15	-0.02	-0.02	-0.01
	p			0.78	0.59	0.00	0.67	0.01	0.77	0.08	0.13	0.84	0.83	0.93
	n			112	111	112	109	112	110	107	107	107	107	107
Acrolein	r			1	-0.08	0.04	0.334 ^{II}	-0.04	0.12	0.01	0.04	0.10	0.12	0.345 ^{II}
	p				0.42	0.67	0.00	0.66	0.20	0.95	0.65	0.29	0.21	0.00
	n				111	112	109	112	110	107	107	107	107	107
Acetone	r				1	0.03	0.04	0.14	0.16	0.01	0.17	-0.05	-0.05	-0.04
	p					0.72	0.65	0.15	0.11	0.93	0.09	0.59	0.64	0.66
	n					111	108	111	109	106	106	106	106	106
Propion-A	r					1	0.628 ^{II}	0.10	0.396 ^{II}	0.08	0.00	-0.04	0.01	0.00
	p						0.00	0.28	0.00	0.38	0.99	0.68	0.93	0.99
	n						109	112	110	107	107	107	107	107
Croton-A	r						1	-0.04	0.507 ^{II}	-0.04	-0.02	0.01	0.01	0.08
	p							0.66	0.00	0.71	0.84	0.92	0.93	0.40
	n							109	107	107	107	107	107	107
Butyr-A	r							1	0.08	-0.04	0.540 ^{II}	-0.04	-0.04	-0.04
	p								0.41	0.71	0.00	0.71	0.69	0.69
	n								110	107	107	107	107	107
Benz-A	r								1	-0.01	0.14	0.02	0.14	0.16
	p									0.89	0.16	0.82	0.15	0.11
	n									107	107	107	107	107
Isovaler-A	r									1	0.363 ^{II}	0.06	0.09	0.08
	p										0.00	0.51	0.36	0.41
	n										107	107	107	107
Valer-A	r										1	-0.03	0.05	0.01
	p											0.77	0.61	0.93
	n											107	107	107
o-Tolu-A	r											1	0.08	0.503 ^{II}
	p												0.39	0.00
	n												107	107
m-Tolu-A	r												1	0.253 ^{II}
	p													8.5E-03
	n													107
p-Tolu-A	r													1
	p													
	n													

*The superscripted Roman letters of I and II denote P values less than 0.05 and 0.01, respectively.

3. 8 기타

식품제조업부터 하수처리업까지의 앞서 여러가지 유형으로 구분한 종목들에 속하지 못한 업종들을 합한 것을 기타로 분류하였다. 이들의 경우, 농도가 가

지는 절대적인 의미를 평가하기는 곤란하다. 그렇지만, 기타 업종에서도 뷰티르알데하이드가 가장 높은 값을 보이므로서, 전체적 경향과 비슷한 양상이 확인되었다. 따라서 만약 분류가 복잡한 경우, 뷰티르알데

Table 8. Continued.
b. Between carbonyl compounds and other major malodor compounds

	H ₂ S	CH ₃ SH	DMS	CS ₂	DMDS	SO ₂	NH ₃	TMA	TVOC	B*	T	E	MPX	STY	OX	1,3,5-TMB	1,2,4-TMB	p-IPT
Form-A	r	-0.02	0.07	0.00	-0.04	-0.01	-0.02	-0.04	-0.01	-0.01	0.00	0.02	0.08	0.08	0.01	0.16	-0.01	0.00
	p	0.87	0.80	0.48	0.99	0.67	0.99	0.73	0.96	0.90	0.97	0.82	0.42	0.42	0.92	0.10	0.89	0.96
	n	112	112	112	112	112	4	112	88	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Acet-A	r	-0.03	-0.06	-0.05	-0.02	-0.07	-0.79	0.05	0.09	0.04	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.04	-0.03
	p	0.76	0.56	0.58	0.82	0.43	0.21	0.44	0.65	0.67	0.65	0.73	0.65	0.70	0.68	0.61	0.71	0.78
	n	112	112	112	112	112	4	112	88	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Acrolein	r	-0.04	-0.06	-0.05	-0.01	-0.06	-0.56	-0.04	-0.06	0.01	-0.02	-0.05	-0.05	-0.04	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03
	p	0.66	0.51	0.57	0.89	0.54	0.44	0.86	0.72	0.94	0.82	0.59	0.61	0.65	0.73	0.78	0.68	0.73
	n	112	112	112	112	112	4	112	88	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Acetone	r	0.03	-0.01	0.256 ^l **	0.08	0.09	-0.63	-0.08	0.01	0.264 ^{ll}	0.04	0.00	0.03	0.04	0.16	0.02	-0.04	-0.02
	p	0.76	0.93	0.01	0.43	0.34	0.37	0.84	0.89	0.01	0.69	0.97	0.76	0.69	0.10	0.81	0.70	0.88
	n	111	111	111	111	111	4	111	87	109	109	109	109	109	109	109	109	109
Propion-A	r	-0.03	-0.06	0.00	0.229 ^l	-0.03	0.45	0.03	0.01	0.04	0.00	-0.05	-0.07	-0.06	-0.02	-0.06	-0.04	-0.03
	p	0.75	0.50	0.99	0.01	0.77	0.55	0.93	0.69	0.98	0.64	0.58	0.45	0.55	0.84	0.52	0.66	0.79
	n	112	112	112	112	112	4	112	88	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Croton-A	r	-0.05	-0.06	-0.04	0.250 ^{ll}	-0.05	-0.55	-0.13	-0.10	-0.04	-0.06	-0.02	-0.03	-0.01	-0.04	0.01	0.01	-0.06
	p	0.61	0.51	0.68	0.01	0.63	0.45	0.68	0.22	0.66	0.55	0.83	0.78	0.91	0.69	0.94	0.91	0.51
	n	109	109	109	109	109	4	109	85	107	107	107	107	107	107	107	107	107
Butyr-A	r	-0.03	-0.06	-0.05	-0.03	-0.05	-0.40	-0.03	0.300 ^{ll}	0.595 ^{ll}	0.279 ^{ll}	0.06	0.12	0.10	0.05	0.05	-0.02	0.00
	p	0.74	0.52	0.59	0.76	0.61	0.60	0.79	0.77	0.00	0.00	0.55	0.23	0.29	0.58	0.64	0.81	0.97
	n	112	112	112	112	112	4	112	88	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Benz-A	r	0.207 ^l	0.03	0.02	0.711 ^{ll}	0.06	-0.48	0.11	0.07	0.14	0.02	-0.02	0.02	0.01	0.05	0.04	-0.04	0.04
	p	0.03	0.79	0.86	0.00	0.56	0.52	0.26	0.51	0.84	0.15	0.87	0.80	0.81	0.89	0.64	0.72	0.65
	n	110	110	110	110	110	4	110	86	108	108	108	108	108	108	108	108	108
Isovaler-A	r	-0.03	0.05	-0.01	-0.04	0.08	-0.34	0.00	-0.10	-0.04	-0.05	-0.03	-0.02	-0.01	-0.03	0.00	-0.04	-0.05
	p	0.73	0.59	0.89	0.71	0.40	0.66	0.85	0.97	0.32	0.66	0.79	0.87	0.90	0.72	0.98	0.67	0.60
	n	107	107	107	107	107	4	107	83	105	105	105	105	105	105	105	105	105
Valer-A	r	0.00	-0.04	0.01	-0.05	0.07	-0.41	-0.03	0.16	0.555 ^{ll}	0.15	0.06	0.11	0.10	0.17	0.13	0.01	0.10
	p	0.97	0.65	0.91	0.59	0.45	0.59	0.68	0.79	0.11	0.00	0.13	0.57	0.25	0.32	0.08	0.17	0.92
	n	107	107	107	107	107	4	107	83	105	105	105	105	105	105	105	105	105

*Acronyms used for 9 VOC of 'B' through 'p-IPT' denote benzene, toluene, ethylbenzene, m, p-xylene, styrene, o-xylene, trimethyl benzene (2), and isopropyl toluene, respectively
 **The superscripted Roman letters of I and II denote P values less than 0.05 and 0.01, respectively.

하이드가 하나의 기준으로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

악취는 단일물질로 작용하기 보다, 여러 악취 성분들이 복합적으로 작용하면서 상호 상승작용을 함으로서 더욱 강력한 악취를 유발한다. 그러나 아직까지 모든 악취성분들을 개별적으로 파악할 수 있는 여건이 갖추어져 있지 않다. 또한 그들 모두 파악되어도 전체를 모두 분석하기에는 현실적인 어려움이 따른다. 따라서 본 연구에서는 여러 악취 물질들의 배출 농도로부터 이용한 악취 분포의 연계성을 확인하기 위하여, 이들 물질들간의 상관성을 분석하고자 하였다. 먼저 알데하이드 계열이 다른 계열의 악취성분들에 대해 얼마나 강한 상관성을 유지하는가를 판단하기 위하여, 암모니아, 트리메틸아민, 황계열(황화수소, 황화메틸, 이황화메틸, 트리메틸아민), VOC(스티렌) 등을 대상으로 상관분석을 실시하였다(표 8). 그 결과, 알데하이드 계열의 성분들간에는 (1) 폼알데하이드와 아이소발레르알데하이드의 짝($r=0.264$, $P<0.01$), (2) 아세트알데하이드와 프로피온알데하이드의 짝($r=0.335$, $P<0.01$) 뷰티르알데하이드($r=0.232$, $P<0.05$), (3) 프로피온알데하이드는 크라톤알데하이드($r=0.628$, $P<0.01$) 또는 벤즈알데하이드의 짝($r=0.396$, $P<0.01$), (4) 크라톤알데하이드와 벤즈알데하이드의 짝($r=0.507$, $P<0.01$), (5) 뷰티르알데하이드와 발레르알데하이드의 짝($r=0.540$, $P<0.01$), (6) 아이소발레르알데하이드는 발레르알데하이드의 짝($r=0.363$, $P<0.001$) 등에서 유의수준 0.01 이하로 높은 상관성이 나타났다. 또한 다른 계열의 주요 악취성분들(알데하이드 계열 이외의 9가지 성분)과의 관계를 보면, 벤즈알데하이드와 황화수소가 $r=0.207$ ($P<0.05$) 등으로 비교적 높은 상관성을 유지하였다. 이는 13가지 알데하이드 계열의 성분들이 암모니아 및 기타 성분들과는 별다른 상관성을 보이지 않는 것과 대조적이다(표 8b).

4. 결 론

안산 반월공단에는 다양한 업종의 산업체가 산재되어 있어, 다양한 악취물질들이 업종별로 배출되고 있다. 본 연구에서는 2005년 2월에 발효된 악취공정시험법에서 추가된, 프로피온 알데하이드, 뷰티르알

데하이드, 발레르알데하이드, 아이소발레르알데하이드가 포함된 알데하이드 계열에 대한 현장 중심의 분석을 시도하였다. 이와 동시에 개략적인 악취도 평가를 위한 지표물질을 제시하고자 하였다.

알데하이드 계열에서 높은 농도를 보인 성분들은 폼알데하이드, 아세트알데하이드, 아세톤, 뷰티르알데하이드로 평균 298~372 ppb를 기록하였다. 따라서 다른 알데하이드 계열의 평균농도인 0.54~19.1 ppb와 대조적인 차이를 보였다. 특히 이들은 업종 및 공정별로 편중된 것으로 나타났다. 폼알데하이드의 경우, 화합물의 스크러버에서 2,626 ppb의 높은 농도를, 아세트알데하이드의 경우는 식품 제조업과 펄프 제조업의 스크러버에서 각각 7,123, 1,602 ppb의 높은 농도를 보였다. 그러나, 다른 업종에서는 이들의 농도가 수십 ppb 수준으로 낮게 나타났다. 뷰티르알데하이드의 경우, 특이하게 공정에 따라 그 편차가 크게 발생하였다. 대체적으로 제조공정과 스크러버, 저장소에서 높은 농도를 나타내는 특징을 보였다. 특히 펄프 제조업의 제조공정과 하수처리장의 저장소에서 각각 1,971과 1,619 ppb로 높은 농도를 보였다. 그러나, 아세톤의 경우 화합물 제조업의 모든 공정과 가죽 제조업의 제조공정을 제외한 모든 공정에서 208~1,294 ppb 농도를 보여, 업종에 따른 편차가 크게 나타났다.

악취성분의 기여도를 평가하기 위한 방법으로, 일본의 악취방지법에 기초하여 각 물질을 악취도로 환산하여 비교해 보았다. 전체적인 통계량을 기준으로 볼 때, 뷰티르알데하이드가 303 ppb(악취도 3.5)로 가장 큰 기여도를 보였다. 이번 측정결과, 가죽 제조업과 금속제조업을 제외한 모든 업종에서 알데하이드 계열 지정 악취물질이 상당수준 배출되고 있었다. 식품의 경우, 대부분의 악취물질이 스크러버에서 발생하였다. 특히 아세트알데하이드의 악취도가 4도로 가장 높게 나타났다. 그리고 섬유제조업의 경우, 뷰티르알데하이드가 가장 높은 농도와 악취도를 보였다. 펄프 제조업의 경우, 스크러버에서는 아세트알데하이드가, 제조공정에서는 뷰티르알데하이드가 각각 악취도 4도로 높은 기여도를 보이는 특징이 확인되었다. 화합물 제조업의 경우, 식품제조업과 마찬가지로 스크러버에서 높은 악취도를 보였다. 그리고, 다른 업종과는 달리 아이소발레르알데하이드가 악취도 4도의 높은 값을 보였고, 뷰티르알데하이드는 모든 공정에

서 전반적으로 2도에서 4도 사이의 높은 악취도를 보였다. 하수처리장의 경우, 전반적으로 약하지만 저장소에서 뷰티르알데하이드의 악취도만 4도로 높게 나타나, 지표물질로서의 가능성을 확인하였다.

결론적으로 알데하이드 계열의 악취물질은 가죽 제조업과 금속업을 제외한 모든 업종에서 발생하며, 가장 민감하게 반응하는 물질은 아세트알데하이드인 것으로 확인되었다. 또한 이번에 새로이 포함된 악취물질 중, 아이소발레르알데하이드와, 발레르알데하이드는 음식료 품 제조업을 제외하고 거의 검출한계수 준으로 발견되었다 따라서 이들은 변별력 있는 지표물질로 사용하기는 쉽지 않은 것으로 나타났다. 그러나 뷰티르알데하이드는 거의 대부분에서 고농도로 나타나(악취도로 환산시 2도 이상), 악취도에 기여도가 큰 것으로 나타났다. 일반적으로 뷰티르알데하이드를 지표물질로 사용시, 활용도가 높을 것으로 보인다. 식품제조업과 같은 특정 업종에서는 기타 물질들(아세트알데하이드)도 악취 기여도 평가시 활용가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 안산시가 지원한 악취조사사업의 일환으로 진행되었습니다. 본 연구사업의 진행과 관련하여, 모든 부분에서 도움을 주신 교수님들께 감사드립니다. 또한 같이 고생한 본 실험실원들에게도 깊은 감사의 말을 전합니다.

참고 문헌

김기현, 최여진, 홍윤정, 사재환, 박중호, 전의찬, 최청렬, 구윤서(2005a) 반월공단내 주요 산업시설물들의 대기 배출시설을 중심으로 한 주요 악취성분의 배출특성 및 배출원별 악취인자 선별 방식에 대한 예비 연구, 한국대기환경학회지, 21(2), 215-226.
 김기현, 주도원, 최여진, 홍윤정, 사재환, 박중호, 전의찬, 최청렬, 구윤서(2005b) 안산시 주거지역을 중심으로 한 환경대기 중 휘발성 유기 화합물과 황계열 성분의 온라인 연속 측정 연구, 한국대기환경학회

지, 21(2), 215-226.
 양성봉, 박상진, 김만구, 김덕현(2003) 안산 반월지역 악취배출원 조사 및 저감 방안 연구(보고서). 국립환경연구원.
 조양희, 박선오, 우수민, 함태식(2003) 식품의 종이 포장재 및 포장재로부터 이행되는 잔류 포름 알데하이드의 분석. 한국환경분석학회지, 6(3), 213-217.
 조선연, 황용우, 황상순(2003) 인천 서구지역 악취배출원조사 및 저감방안 연구(보고서). 인천지역 환경기술개발 센터.
 홍윤정, 김기현(2005) 대기 중 카보닐 계열 성분의 분석기법의 연구: 포름알데하이드와 DNP의 반응 특성을 중심으로 한국분석과학회지, 18(1), 42-49.
 황윤정, 박상근, 백성욱(1998) 공기 중 포름알데하이드 측정을 위한 크로모트로핀산법과 DNP/HPLC방법의 비교 평가, 한국대기보전학회지, 14(5), 519-524.
 Feng, Y., S. Wen, Y. Chen, X. Eang, H. Lu, X. Bi, G. Sheng, and J. Fu(2004) Ambient levels of carbonyl compounds and their sources in Guangzhou, China, Atmospheric Environment, 39, 1789-1800.
 Grosjean, D., E. Grosjean, and L.F.R. Moreira(2002) Speciated ambient carbonyls in Rio de Janeiro, Brazil., Environmental Science and Technology, 36, 1389-1395.
 Grosjean, E., E.L. Williams II, and D. Grosjean(1993) Ambient levels of formaldehyde and acetaldehyde in Atlanta, Georgia, J. Air Waste Manage. Assoc, 43, 469-474.
 Grosjean, E., D. Grosjean, M.P. Fraser, and G.R. Cass(1996) Air quality model evaluation data for organics. 2. C₁-C₁₄ carbonyls in Los Angeles air, Environmental Science and Technology, 30, 2687-2703.
 Nagata, Y.(2003) Odor intensity and odor threshold value. Journal of Japan Air Cleaning Association, 41(2), 17-25.
 Nagata, Y. and N. Takeuchi(1980) Relationship between concentration of odorants and odor intensity, Bulletin of Japan Environmental Sanitation Center, 7, 75-86.
 Viskari, E.L., M. Vartiainen, and P. Pasanen(2000) Seasonal and diurnal variation in formaldehyde and acetaldehyde concentrations along a highway in Eastern Finland, Atmospheric Environment, 34, 917-923.