한국대기환경학회지 제 23 권 제 4 호
J. KOSAE Vol. 23, No. 4 (2007) pp. 420~429
Journal of Korean Society for Atmospheric Environment

공기희석관능법과 기기분석법에 기초한 악취감지기술의 연계성 비교: 산단지역 및 음식물 부패시료를 중심으로

A Comparative Study of Odors between Air Dilution Sensory Test and Instrumental Detection Method Using Industrial and Food Waste Samples

박 신 영 · 김 기 현*
세종대학교 지구환경과학과
(2007년 2월 9일 접수, 2007년 6월 20일 채택)

SY Park and KH Kim*
Department of Earth and Environmental Sciences, Sejong University
(Received 9 February 2007, accepted 20 June 2007)

Abstract

In this study, we attempted to evaluate the relationship between air dilution sensory test and instrumental detection method for individual odorous compound. For the purpose of our comparative study, we conducted the analysis of malodor on total of 46 samples collected from both industrial and food waste sectors using the two independent approaches.

The results of instrumental analyses were explained after modification to several parameters such as: the sum of odor concentration (SOC), sum of odor quotient (SOQ) and sum of odor intensity (SOI). When we compared dilution ratio values (DRV) of threshold limit (TL) with the modified instrumental data sets, pearson coefficient of SOC, SOQ, and SOI were 0.556 (p=5.83E-05), 0.911 (p=9.64E-19) and 0.847 (p=8.93E-14), respectively. The results of this study thus suggest that the DRV of TL sensitively reflects odor strength measured intuitive.

Key words : Odor, Threshold, Pearson coefficient, Dilution

1. 서 론

악취는 코내부의 후각세포를 자극함으로써 불쾌감과 혐오감을 주는 자극성이 강한 기체상물질(환원황계열, VOC계열, 카보닐계열, 질소화합물)들을 포괄적으로 의미한다(Dincer and Muezzinoglu, 2006). 이러한 악취물질들 중 일부 또는 다수의 성분들은 잠재적으로 사람의 건강에 위해성을 지닌 것으로 나타나기도 한다(Rafson, 1998). 그러나, 극미량의 농도대에서도 악취의 존재유무를 감지할 수 있는 악취유발성분들의 보편적인 특성으로 인해, 인체의 위해성 보다는 정신적, 심리적 피해의 여부가 보다 더 중요하다고 할 수 있다. 따라서 악취는 감각공해의 주요 대상

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

으로, 관리의 중요성이 더욱 강조되고 있다(부산광역시청 환경정책과, 2005). 악취는 발생물질의 종류와 배출원이 다양하고 여러물질이 복합적으로 작용하는 특성을 지닌다. 특히, 생활환경과 사람의 심리상태에 따라서 오염도에 대한 인식이 달라지는 특성을 보이는 경향이 있다. 이로 인해, 다른 대기오염물질과는 달리 발생원을 효과적으로 관리하고 저감대책을 적절하게 수립하는데 여러가지 어려움이 따른다(정구회 등, 2004).

현재 악취문제에 대한 관리의 기준은 체감한계(threshold limit)에 기초한 희석배수를 산출하는 공기희석관능법과 개별 악취물질들의 함량을 농도단위로 제시하는 기기분석법으로 설정하고 있다(김선태, 2004). 후자의 경우, 2005년 2월부터 12개 악취물질을 선정하여 관리기준을 제시하고 있다. 이들 물질별 악취규제는 악취방지법에 따라 향후 2008년에 17개 항목으로, 2010년에 22개 항목으로 추가 확장할 예정이다. 기기분석법의 발전에도 불구하고 악취물질들이 혼합기체 내에 동시에 존재할 경우, 악취물질들 간의 간섭, 중화, 상승효과 등에 의해 단일물질상태로 채감하는 것과는 다른 감지상황을 보일 수도 있다. 따라서, 기기분석법 만으로 악취물질들의 존재나 특성을 체계적으로 파악하고 규제하는 데는 기술적인 제한이 따른다(김학민과 김선태, 2002). 현재 국내에서는 이러한 기기분석법의 한계를 보완하고 악취관리의 객관성을 높이기 위해, 공기희석관능법에 기초하여 희석배수자료를 기기분석법과 동시에 상호보완적으로 사용하고 있다(부산광역시청 환경정책과, 2005).

본 연구에서는 악취측정의 골간을 이루고 있는 공기희석관능법과 기기분석법이 갖는 연관성을 평가하고자 하였다. 이를 위하여, 반월 시화공단에 위치한 일부 산업시설과 음식물 쓰레기와 관련한 배출원들로부터 다양한 유형의 악취 시료들을 확보하였다. 그리고 이들 시료들에 대하여 두 가지 방식으로 분석을 시도하였다. 그리고 이러한 분석결과를 이용하여 다각도로 그 결과에 대한 비교검정을 실시하였다.

2. 연구 방법

2.1 기기 분석을 위한 시료의 채취방법

본 연구에서 악취분석을 위한 조사대상은 음식물 쓰레기 처리장 및 기타업체를 중심으로 설정하였다. 2005년 12월 14일부터 2006년 11월 22일의 1년여 기간에 걸쳐 이들 2가지 유형의 8개 업체를 대상으로 총 46개 지점에서 시료를 채취하였다. 시료채취지점과 유형을 표 1에 간략히 정리하였다. 기기분석에 활용한 대상 성분들의 명칭과 약어 등은 표 2에 정리하였다. 실제 본 연구에서는 규제기준 대상성분 외에 20여 가지 성분들을 추가로 더 관측하였다. 그리고 이들 추가성분들의 결과는 여러가지 참조용도로 활용하였다. 시료의 채취와 기기분석에 대한 연구방법은 이미 본 연구진이 선행연구를 통해, 다수의 연구논문으로 발간한 바 있다(김기현 등, 2006). 분석결과의 기본적인 정도관리에 해당하는 검출한계 및 정밀도에 대한 정보는 각 성분별로 다시 표 2에 정리하였다.

시료채취는 우선, [1] 환원황 계열, VOC 계열, TMA 성분들의 경우, 간접시료 채취방식에 기초한 진공형 렁샘플러(lung sampler) 방식을 이용하여 채취하였다. 테들러백을 장착한 샘플러에 펌프를 사용하여 진공상태를 형성한 후, 외기를 백으로 흡입시키는 방식을 적용하였다. [2] 아세트알데하이드를 위시한 카보닐 성분들은 DNPH 카트리지(Supelco, USA)를 이용하여 채취하였다. 이때, 간섭을 일으킬 수 있는 오존의 유입을 최소화하기 위해 DNPH 카트리지의 전단에 오존스크러버를 연결하여 사용하였다. [3] 암모니아는 공정시험법에 기초한 임핀저법을 사용하였다. 이를 위해, 적정량의 붕산을 임핀저에 채운 후, 대기시료를 붕산용액에 통과시켜주는 방식으로 시료를 채취하였다. 시료채취를 완료한 붕산용액은 테플론재질의 마개가 달린 유리병에 담아 실험실로 운반한 후, 곧바로 분석하였다.

2.2 성분별 기기분석 방법

2.2.1 환원황 성분의 분석

환원황성분은 펠티어 쿨러방식을 사용하는 열탈착 시스템(Air server (AS)/Thermal desosopber (TD): Markes, Ltd., UK)과 Pulsed Flame Phometric Detecor (PFPD) 검출기를 장착한 GC (Donam instrument, model 6200, Korea)를 조합하여 분석하였다. 이러한 분석방식은 기존의 FPD를 이용한 방식에 비해 안정성, 선택성, 재현성, 검출한계 등을 크게 개선시킨 시

Table 1. A list of target facilities investigated and a summary of analytical results.

A. Type of company and samples

Oder	Type of company	Site	Samples No.
1	Waste treatment, and cleaning (W)	Food waste	20
2		Preprocessing	2
3		Removing impurities	2
4		Garbage car	2
5		Fermentation process	2
6		Foul water treatment	2
7	Miscellaneous	A pen of cow	2
8		A pen of pig	3
9		Inlet	1
10		Ductline	1
11		Ground boundary	1
12		Manufaturing process	3
13		Stack	3
14		Indoor working place	1
15		Hood	1
		Total	46

B. A statistical summary of odor measurements between different source types

Oder	Odorous compounds	Waste treatment and cleaning (W)					Miscellaneous				
		Mean	SD	Min	Max	N	Mean	SD	Min	Max	N
1	Acet-A	195	574	0.26	2503	35	148	332	0.03	1056	11
2	Propion-A	7.93	16.7	0.28	78.9	35	15.6	36.0	0.32	121	11
3	Butyr-A	105	310	0.26	1299	35	12.1	27.1	0.32	90.5	11
4	Isovaler-A	2.21	3.21	0.25	15.8	35	1.80	1.62	0.34	4.30	11
5	Valer-A	1.54	2.20	0.26	13.8	35	15.4	34.0	0.35	111	11
6	H_2S	1280	6664	0.01	39509	35	1.61	3.21	0.03	11.0	11
7	CH_3SH	216	454	0.04	2305	35	18.4	59.5	0.01	198	11
8	DMS	4.29	20.1	0.01	119	35	3.34	7.86	0.01	25.9	11
9	DMDS	17.0	45.2	0.00	247	35	87.1	287	0.01	953	11
10	STY	0.63	1.29	0.08	6.99	35	487	1590	0.08	5293	11
11	NH_3	503	796	14.9	3630	35	13428	32700	23.0	109073	11
12	TMA	3.81	7.87	0.00	46.4	35	1.17	0.84	0.52	2.47	11

스템에 해당한다. 본 시스템은 수십 pg대 수준의 절대 검출한계로 환원황 성분을 분석할 수 있는 것으로 알려져 있다(최여진 등, 2005). 시료 유입구에 나피온 드라이어(Nafion dryer)를 설치하여, 시료가 함유한 수분을 GC로 바로 유입시킬 가능성을 최소화하였다. 그리고 저온농축을 위한 콜드트랩(Cold trap)의 흡착소재로 카보팩 B (Carbopak B)와 실리카겔(silica Gel)을 이용하였다. 분석칼럼으로는 BP-1 (Length: 60 m, ID: 0.32 mm, Film Thickness: 5.0 μm, SGE)을 사용하였다.

2.2.2 휘발성 유기화합물질의 분석

휘발성 유기화합물질(VOC)은 환원황 계열의 성분들에 대한 분석에 사용한 동일모델의 AS/TD 시스템에 Flame Ionization Detector (FID) 방식의 GC (Donam instrument, Model: DS 6200, Korea)와 연동하여 분석하였다. VOC 분석에서도 샘플 유입구에 Nafion Dryer를 장착하여 AS/TD로 유입할 수분의 영향을 최소화하였다. VOC의 분석을 위한 cold trap은 carbopack B와 carbopack C를 1 : 1의 비율로 충진하여 사용하였다. 분석칼럼으로는 DB-VRX (Length: 60 m, ID: 0.32 mm, Film Thickness: 1.8 μm, J & W)를 사용

Table 2. Comparison of the basic analytical parameters for the analysis of all odorous compounds in this study.

	Pollutants		Structural formula	Regulation compounds*[1]	Threshold conc. ppm	MDL[2] ng	Precision (RSE in %)
	Full name	Name (modified)					
A. Carbonyl compounds	Formaldehyde	Form-A	HCHO			6.46	0.61
	Acetaldehyde	Acet-A	CH_3CHO	*	0.002	8.53	1.04
	Acrolein	Acrolein	CH_3=CHCHO			10.1	1.58
	Acetone	Acetone	CH_3COCH_3			10.5	1.18
	Propionaldehyde	Propion-A	CH_3CH_2CHO	*	0.002	11.0	1.03
	crotonaldehyde	Croton-A	CH_3CH=CHCHO			12.4	1.06
	Butyraldehyde	Butyr-A	$CH_3CH_2CH_2CHO$	*	0.0003	13.8	0.97
	Benzaldehyde	Benz-A	C_6H_5CHO			18.8	1.29
	Isovalerldehyde	Isovaler-A	$(CH_3)_2CHCH_2CHO$	*	0.0002	17.1	0.94
	valealdehyde	Valer-A	$CH_3(CH_2)_3CHO$	*	0.0007	16.4	1.16
	o-Tolualdehyde	o-Tolu-A	$CH_3C_6H_4CHO$			22.9	1.36
	m-Tolualdehyde	m-Tolu-A	$CH_3C_6H_4CHO$			21.4	1.68
	p-Tolualdehyde	p-Tolu-A	$CH_3C_6H_4CHO$			21.8	1.9
B. Reduced S compounds	Hydrogen sulfide	H_2S	H_2S	*	0.0005	1.9E-02	1.95
	Methyl mercaptan	CH_3SH	CH_3SH	*	0.0001	1.5E-02	1.69
	Dimethyl sulfide	DMS	$(CH_3)_2S$	*	0.0001	1.1E-02	1.38
	Carbon disulfide	CS_2	CS_2			5.0E-03	0.54
	Dimethyl disulfide	DMDS	$(CH_3)_2S_2$	*	0.0003	1.0E-02	3.83
C. Total and individual VOC	Total VOC	TVOC					
	Benzene	B	C_6H_6			0.18	1.55
	Toluene	T	$C_6H_5CH_3$			0.17	5.54
	Ethylbenzene	E	$C_6H_5C_2H_5$			0.19	3.82
	m, p-Xylene	MPX	$(CH_3)_2C_6H_4$			0.07	2.83
	Styrene	STY	C_6H_5CH=CH_2	*	0.03	0.21	3.78
	o-Xylene	OX	$(CH_3)_2C_6H_4$			0.14	3.25
	Bromobenzene	BB	C_6H_5Br			0.63	2.95
	1, 3, 5-Trimethylbenzene	1, 3, 5-TMB	$(CH_3)_3C_6H_6$			0.31	0.5
	1, 2, 4-Trimethylbenzene	1, 2, 4-TMB	$(CH_3)_3C_6H_7$			0.43	1.06
	p-Isopropyltoluene	p-IPT	$C_{10}H_{14}$			0.36	1.75
	n-Bultylbenzene	n-BB	$C_{10}H_{14}$			0.51	1.56
D. N compounds	Ammonia	NH_3	NH_3	*	0.1		10
	Trimethyl amine	TMA	$(CH_3)_3N$	*	0.0001		

[1]*A list of chemicals designated as offensive odorous compounds by Korean Ministry of Environment since Feb. 2005.
[2]MDL: Method Detection limit.

하였다. 연구에 사용한 시스템은 분석시료의 부피(400 mL)를 기준으로 benzene 0.14 ppb, Toluene 0.11 ppb, m, p-xylene 0.04 ppb, styrene 0.12 ppb의 검출한계를 나타내었다. 또한 상대표준오차(RSE)를 이용하여 이들 성분에 대한 분석재현성을 평가하면, 5% 내외 수준인 것으로 나타났다.

2. 2. 3 트리메틸아민(TMA) 분석방법

트리메틸아민(TMA)의 경우, 테들러 백에 채취한 시료를 SPME (polydimethylsiloxane/dicinylbenzene, 65 μm film)를 이용한 추출-선농축 방식을 적용하여 분석하였다(임문순 등, 2007). 이를 통해, 백 내부의 TMA 성분들을 SPME를 직접적으로 이용하여 농축시켰다. 그리고 이를 GC (Donam instrument, Model DS 6200, Kor)의 injector에서 210°C로 3분간 탈착하였다. TMA 성분을 GC 내부에서 분리하기 위한 분석칼럼으로는 CP-Wax52CB (Length: 50 m, ID: 0.32 mm, Film thickness: 1.2 μm, Crompack)을 사용하였다. TMA 성분의 분석은 VOC의 분석에 활용한 GC/FID와 동일한 사양의 검출시스템을 독립적으로 사용하였다(이러한 분석방법은 현 공정시험법에서 제시한 방법과는 다소 차이가 있다). 그러나 시료채취

의 간편함과, 분석방법의 정도관리 등에 대해서는 본 연구진의 선행연구를 통해서 제시한 바 있다(김기현 등, 2006). 따라서 이런 방법의 여러 가지 이점 등을 감안하여, TMA 시료의 분석을 시도하였다.

2.2.4 카르보닐계 성분 분석방법

아세트 알데하이드를 위시한 카르보닐계열의 성분들을 분석하기 위해, HPLC 분석방식을 이용하였다(홍윤정과 김기현, 2005). DNPH 카트리지에 5 mL의 acetonitrile용액으로 용출한 후, 20 μL 만큼 HPLC로 주입하여 카르보닐계 성분을 분석하였다. 칼럼은 Hichrom 5 C18 (Length: 25 cm, ID: 4.6 mm, 비극성: reversed phase)를 사용하였다. 이동상 용액은 카르보닐계 분석대상 성분 13가지 모든 물질에서 가장 효과적인 분리율을 보이는, 65% acetonitrile 용액(acetonitile : water=6.5 : 3.5)을 사용하였다. 시료에 함유된 알데하이드 성분들은 2,4-DNPH에 대한 감도가 가장 뛰어난 360 nm 파장대(UV 영역)에서 각각 분리하여 검출하였다. 연구기간을 통해 분석화학적 정도관리를 확인한 결과, 각 성분별로 조금씩 차이는 있지만, 연구기간 내 관측한 온도와, 측정장소의 누적유량(9.2 L)을 적용함으로써 0.48~0.58 ppb의 검출한계를 유지하는 것으로 나타났다. 또한, 개별 성분들에 대한 정밀도는 0.61~1.90%의 수준인 것으로 나타났다(홍윤정 등, 2006).

2.2.5 암모니아 분석방법

암모니아의 분석은 UV/VIS 분광계측기(Model Genesys™ 10 series, Thermo electron Corp. US)를 사용하였다. 시료의 분석은 시료를 통과흡수 시켜준 붕산용액(10 mL)과 페놀니트로푸르시드용액(5 mL)을 먼저 반응시켜주는 방식을 사용하였다(김기현 등, 2005). 그리고 그 다음, 차아염소산나트륨용액(5 mL)을 주입하여 반응시켜 주었다(총 20 mL). 이러한 과정을 거치면, 시료는 인도페놀법에 의해 발색이 이루어진다. 혼합시킨 시료는 상온에서 약 1시간 정도의 발색시간을 거친 후, 분광계로 분석하였다. 암모니아의 분석에 이용한 분석기기의 검출한계는 절대질량을 기준으로 150 ng 수준으로 나타났다.

2.3 공기희석관능법

공기희석관능법의 적용은 실제 국내외에서 다양한 방식으로 이루어지고 있다(Yoshiharu, 2003). 미국에서는 scentometer법과 주사기법을 사용하고 있다. 유럽에서는 olfactometer법을 주로 사용하고 있고, 반면 일본에서는 3점 비교식 냄새봉지법을 악취방지법으로 채택하여 사용하고 있다(정구회 등, 2004). 국내의 공기희석관능법은 이들 다양한 취기분석방법 중에서 일본의 3점 비교식 냄새봉지법을 기초로 조금 더 발전한 형태를 취하고 있다(양성봉과 전준민, 2006; 양성봉 등, 2003).

본 연구에서 공기희석관능법을 적용하기 위한 시료의 채취는(간접시료채취 방식에 기초하여) Tedlar bag을 장착한 진공형 lung sampler 방식을 사용하였다. 이때, 시료의 채취는 악취발생을 감지할 수 있도록 최대한 빠른 시간 내(3분 이내)에 진행하였다. 이렇게 채취한 시료는 실험실로 운반하여 희석배율을 측정하였다.

희석배율의 측정을 위해 우선 정상후각능력을 가진 5명의 판정단을 선정하였다. 정상후각인을 선정하기 위해, acetic acid 1.0 (wt%), trimethylamine 0.1 (wt%), methylcyclopentenolone 3.2 (wt%), β-penylethylalcohol 1.0 (wt%)의 4가지 시약용액과 무취측정을 위한 증류수를 사용하였다. 구체적으로 무취용액을 묻힌 2개의 거름종이와 유취용액을 묻힌 4개의 거름종이를 각 판정원 후보들에게 냄새를 맡도록 한 후, 유취시료와 무취시료를 정확히 구분하는 사람을 판정원으로 선정하였다.

희석에 사용하기 위한 무취공기는 일반공기를 활성탄과 흡수제를 통과시키는 방식으로 조제하였다. 이렇게 준비한 무취공기를 3 L 용량의 냄새봉지(Polyethylene telephtalate film)에 담은 후, 현장에서 채취한 시료를 적정량 주입시켜주는 방식으로 희석하였다. 시료를 주입하지 않은 무취공기를 담은 2개의 냄새봉지와 함께 이를 비교해 줌으로써, 냄새를 감지할 수 없는 한계수준을 파악하는 방식으로 진행하였다. 이러한 실험은 두 개 조로 나누어 진행하였다. 판정원이 냄새봉지를 맞추는 경우, 해당시료를 다음단계로 희석하여 냄새를 감지하지 못할 때까지 반복적으로 실험하였다. 최종적으로 희석배수의 설정은 악취방지법에서 제시한 방식을 따랐다. 본 연구의 조사대상이 대부분 배출원이기 때문에, 주로 300, 1,000, 3,000배로(3~10배수 방식으로) 희석하여 희석배수를 산정하였다.

Table 3. A statistical summary of all measurement data used for comparative analysis (all in ppb unit).

Order	Type	Compounds	Average	SD	Min	Max	N
	Dilution factor		2190	6742	44810	45.0	46
1		Form-A	259	818	0.63	4444	46
2		**Acet-A**	**184**	**523**	**0.03**	**2503**	**46**
3		Acrolein	1.34	3.10	0.25	20.3	40
4		Acetone	19.0	42.0	0.03	218	40
5		**Propion-A**	**9.77**	**22.6**	**0.28**	**121**	**46**
6	A.	Croton-A	1.08	1.05	0.06	5.86	46
7	Carbonyl	**Butyr-A**	**82.4**	**273**	**0.26**	**1299**	**46**
8	compounds	Benz-A	1.71	2.13	0.24	12.5	46
9		**Isovaler-A**	**2.12**	**2.9**	**0.25**	**16**	**46**
10		**Valer-A**	**4.86**	**17.2**	**0.26**	**111**	**46**
11		o-Tolu-A	1.32	0.99	0.26	4.09	41
12		m-Tolu-A	1.43	0.99	0.25	3.91	41
13		p-Tolu-A	2.41	4.91	0.25	24.0	41
14		**H_2S**	**974**	**5818**	**7.18E-03**	**39510**	**46**
15	B.	**CH_3SH**	**169**	**404**	**6.08E-03**	**2305**	**46**
16	Reduced	**DMS**	**4.07**	**17.9**	**5.29E-03**	**119**	**46**
17	S compounds	CS_2	12.9	64.3	4.53E-02	437	46
18		**DMDS**	**33.8**	**144**	**3.32E-03**	**953**	**46**
19		B	510	3218	0.09	21807	46
20		T	71.2	230	0.17	1422	46
21		E	7.82	18.9	0.06	112	46
22		MPX	5.50	12.0	0.09	58.3	46
23	C.	OX	3.00	7.27	0.05	38.6	46
24	Total and	**STY**	**117**	**780**	**0.08**	**5293**	**46**
25	individual VOC	BB	1.78	8.00	2.12E-03	52.0	46
26		1, 3, 5-TMB	3.06	11.3	0.10	74.2	46
27		1, 2, 4-TMB	1.40	2.56	0.05	12.4	46
28		p-IPT	5.37	11.7	0.05	48.0	46
29		n-BB	0.24	0.29	2.00E-03	1.69	44
30	D.	**NH_3**	**3594**	**16420**	**14.9**	**109070**	**46**
31	N compounds	**TMA**	**3.18**	**6.95**	**1.72E-03**	**46.4**	**46**

*Regulation compounds with thick word indication.

3. 연구 결과

본 연구에서는 기기분석법으로 산출한 개별성분물질의 농도와 공기희석관능법에 의한 희석배수 간의 상호적인 관계를 파악하고자 하였다. 이를 위해, 기기분석으로 관측한 농도결과를 이용하여 악취농도의 합(Sum of Odor Concentration: SOC), 악취 지수의 합(Sum of Odor Quotient: SOQ), 악취강도의 합(Sum of Odor Intensity: SOI)의 세가지 방식으로 자료를 처리하였다. 그리고 그 각각의 결과를 희석배수와 비교하여 상관성을 평가하였다.

본 연구 결과의 기본적인 정보로 악취규제 물질 12가지 성분을 포함하여 기기분석법으로 산출한 총 31개 성분의 분석요약통계량을 표 3에 제시하였다. 또한, ppb 단위를 기준으로 하여 나타낸 12가지 악취 규제물질의 빈도분포를 그림 1에 제시해 보았다. 악취성분들의 빈도 분포를 확인해 본 결과, 암모니아와 알데하이드류를 제외한 대부분의 성분들이 주로 상대적으로 낮은 농도 영역(4 ppb 수준 이하)에서 가장 높은 빈도수를 나타내는 것으로 나타났다.

3.1 악취 농도(Sum of Odor Concentration: SOC)와 희석배수의 관계

악취성분의 농도와 희석배수간의 직접적인 상관성 유무를 평가하기 위해, 가장 먼저 12가지 개별 악취

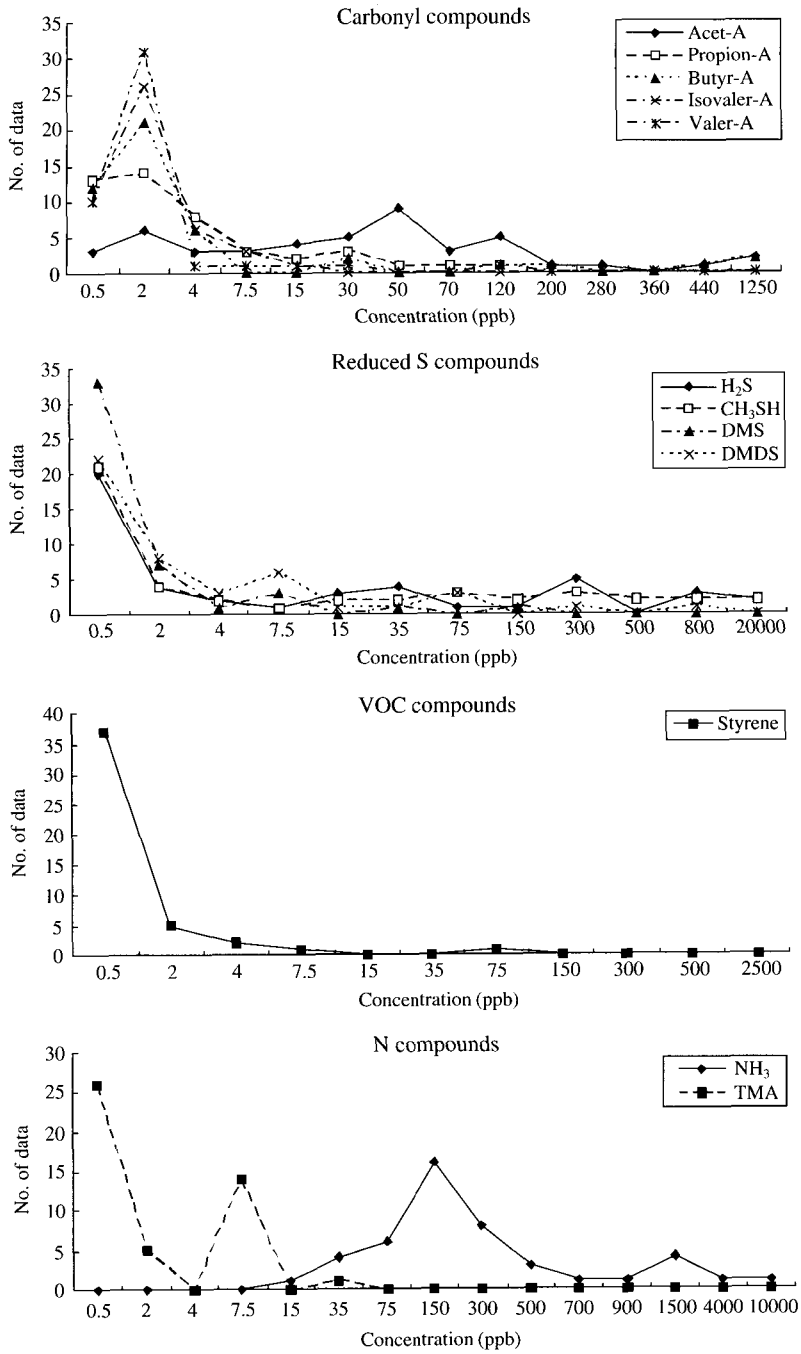

Fig. 1. Plots of frequency distribution patterns of different odorous compound groups.

성분의 농도 합(SOC)과 희석배수의 상관성을 평가하였다. 악취의 농도를 나타내기 위해서, 매우 다양한 접근방식을 사용하고 있다(Yuwono and Lammers, 2004). SOC 값은 12가지 악취성분들의 농도(ppb 단

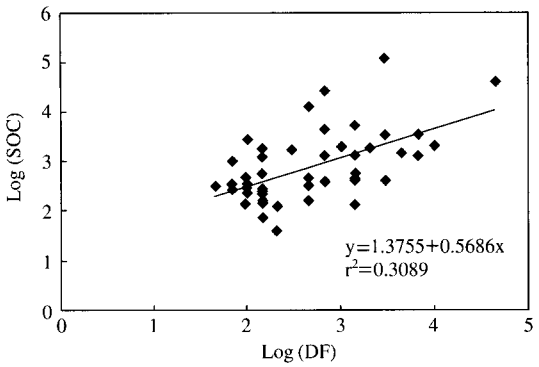

Fig. 2. Results of linear regression analysis between dilution factor and SOC.

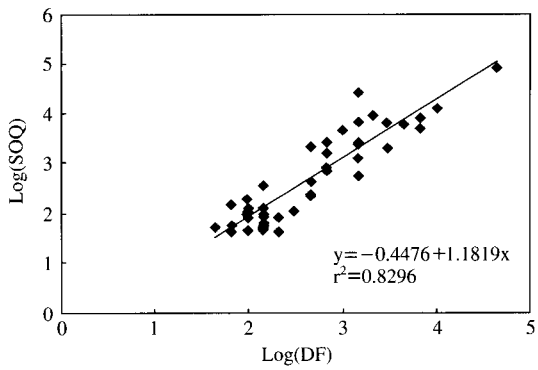

Fig. 3. Results of linear regression analysis between dilution factor and SOQ.

위)를 모두 합한 값으로 12가지 악취성분별 농도를 이론적인 악취강도로 나타내기 위한, 가장 기초적인 경험식에 해당한다. 기기분석에 의해 산출한 농도로 SOC 값을 계산하는 식은 아래와 같다.

$$SOC\,(\text{sample X}) = \sum \text{Odor concentration (ppb unit)} \quad (1)$$

SOC 값은 단순히 12개 악취 성분들의 농도를 합한 값이다. 이러한 SOC 값과 희석배수의 유의성 평가를 통해, 성분별로 기기분석을 통해 확보한 ppb 단위의 농도합과 혼합가스에서 판정원들이 감지한 냄새 세기의 관계에 어느정도 상관성이 있는 지를 평가하는 것은 가능하다.

본 연구에서 분석한 총 시료들의 수는 46개에 해당한다. 시료별로 계산한 SOC 값과 희석배수들의 연계성을 파악하기 위해, SOC 값과 희석배수를 비교하였다. 그림 2에는 양자의 분석결과를 각각 Log 값을 취하여 상관관계를 그래프로 제시하였다. 그림 2를 통해, 로그함수로 나타낸 희석배수와 SOC 값의 직선성이 강하게 나타나는 경향을 확인할 수 있다. 또한, 이들의 Pearson 상관계수를 구한 결과, 로그함수로 나타낸 SOC 값과 희석배수의 Pearson 상관계수는 0.556 (p=5.83E-05)로 상관성이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

3. 2 악취 지수(Sum Odor Quotient: SOQ)와 희석배수의 관계

앞에서 제시한 기기분석법과 공기희석관능법의 상관성을 평가하기 위한 또 다른 접근 방식으로 기기분석으로 확보한 농도를 최소감지농도에 대비한 악취 지수의 합(SOQ) 형태로 계산하였다. 기기분석으로부터 구한 농도를 이용하여 SOQ 값을 구하는 식을 아래에 나타내었다(오길영 등, 2005; Nagata, 2003).

$$\text{Odor Quotient (OQ)} = \text{Odor concentration (ppb)} / \text{Threshold limit (ppb)} \quad (2)$$

$$SOQ\,(\text{sample X}) = \sum \text{Odor Quotient} \quad (3)$$

이때, 식(2)의 최소감지농도는 환경부에서 제시한 값을 사용하였다. 그리고, 이들 악취성분들의 최소감지농도 정보는 앞서 표 2에 제시하였다. 위에 제시한 식으로 구한 SOQ 값을 사용하면 12개 악취성분들 사이의 개별적 감지농도의 차이를 감안해 줄 수 있다. SOQ 값과 희석배수의 상관성을 평가하기 위해서는 선형으로 제시하는 것이 더 의미가 있다. SOQ 값을 선형으로 나타내기 위해서, SOC 값과 마찬가지로 SOQ와 희석배수 값에 각각 log 값을 적용하였다. 이렇게 log 값을 적용한 희석배수와 SOQ 값의 상관성을 평가한 결과를 그림 3에 그래프로 나타내었다. 그림 3을 보면, SOQ 값과 희석배수 그래프의 직선성이 전반적으로 잘 유지되는 것을 확인할 수 있다. 또한, Pearson 상관계수를 구한 결과, SOQ와 희석배수의 상관계수 값이 0.911 (p=9.64E-19)로 두 값의 상관성이 매우 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

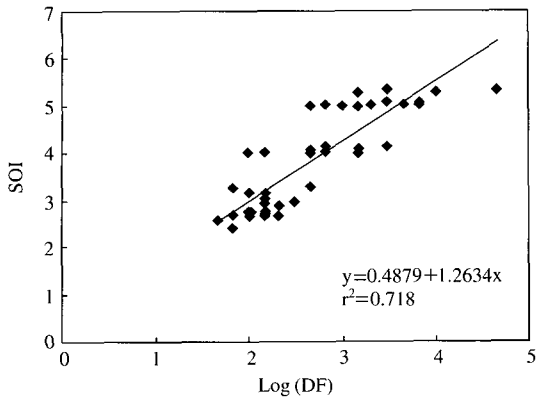

Fig. 4. Results of linear regression analysis between Log (dilution factor) and SOI.

3. 3 악취강도(Sum Odor Intensity: SOI)와 희석배수의 관계

SOC 또는 SOQ 값과는 다른 각도에서 악취성분의 농도와 희석배수간의 상관성을 비교하기 위해, 기기분석에 의해 얻은 12가지 개별 악취성분들의 농도를 1차적으로 공식에 적용하여 악취강도(OI) 값으로 환산하였다(Nagata, 2003). 이렇게 환산한 12가지 악취성분들에 대한 악취강도 값의 합에 log를 취하여 SOI 값을 구하였다. 그리고 이를 공기희석관능법에 의해 구한 희석배수 값과 어떠한 상관성을 갖는지 평가해 보았다. 성분별로 공식에 적용하여 환산한 OI 값은 아래의 식(4)를 이용하여 SOI 값으로 전환할 수 있다.

$$SOI=LOG\{10^{OI(i)1}+10^{OI(i)2}+10^{OI(i)3}+10^{OI(i)4}+\cdots+10^{OI(i)12}\} \quad (4)$$

(i=12가지 개별악취물질)

SOI 값은 이미 로그함수의 형태를 띠기 때문에 선형을 유지하기 위해, 희석배수의 값에만 Log함수를 취하여 양자의 상관성을 평가하였다(그림 4). 이들 인자들간의 상관성을 평가한 결과를 보면, 희석배수와 SOI 값의 직선성이 잘 나타난다는 것을 확인할 수 있다. 이 결과를 통해, 이들 인자간의 상관성이 높다는 것을 확인할 수 있다. SOI 값과 희석배수의 Pearson 상관계수는 0.847 (p=8.93E-14)로 유의성이 매우 높게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 악취측정에 가장 핵심적인 기준으로 활용하고 있는 공기희석관능법과 기기분석법이 갖는 연관성을 평가하고자 하였다. 이를 위해, 산단지역의 시료와 부패음식물을 중심으로 시료를 다수 채취하고, 기기분석법으로 산출하였다. 자료를 희석배수와 연결하여 해석하기 위한 방편으로 농도(SOC), 악취강도(SOI), 악취지수(SOQ)를 포함하는 3가지 방식으로 각각 계산하였다. 이들 3가지 자료처리방법은 모두 국내에서 악취물질로 지정한 12가지 성분들의 분석농도를 일반적인 악취의 강도와 연결하는 산술적인 경험식에 해당한다. 이러한 기기분석자료를 가공처리한 자료와 공기희석관능법으로 측정한 희석배수의 결과를 이용하여 양자간의 상관성을 평가해 보았다. 그 결과, SOC 방식으로 처리한 기기분석자료의 결과와 희석배수의 상관성 평가에서는 Pearson 상관계수가 0.556 (p=5.83E-05)로 좋은 유의성이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한 SOI와 SOQ 방식으로 계산한 기기분석결과를 희석배수와 비교해 보았을 때는 두 가지 방법모두 Pearson 상관계수 값이 각각 0.847 (p=8.93E-14)에서 0.911 (p=9.64E-19) 수준으로 유의성이 강한 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 감안할 때, 배출원과 같이 악취오염이 심한 시료들의 경우, 현재 우리나라에서 지정 및 관리하고 있는 12가지 악취 성분들에 대해 기기분석법의 결과가 악취강도 차이를 잘 반영 한다고 할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

이들 배출원 시료들 간의 높은 상관관계를 확인한 결과만으로는 아직 더 낮은 수준의 농도로도 실제 악취의 존재유무를 감지할 수 있는 환경대기에 대한 연계성을 논하기는 쉽지 않다. 앞으로도 이러한 연구의 연장선상에서 환경대기 중 악취의 강도를 진단 또는 평가하는 작업도 기기분석법과 공기희석관능법에의 관계를 보다 합리적으로 설명하기 위하여 노력해야할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단의 지원을 받아 수행한 연

구임 (KRF-2006-341-C00026).

참 고 문 헌

김기현, 박신영, 김선태 (2005) 대기 중 암모니아 성분의 분석법 연구: UV/VIS 분광계를 이용한 간이비색계의 상대 성능평가, 한국분석과학회지, 18(5), 425-430.

김기현, 김용휘, 임문순, 박신영, 홍윤정, 최병선 (2006) 음식물의 부패에 의한 악취발생 특성 및 미생물을 이용한 부패악취저감 연구, 한국환경분석학회지, 9(2), 74-83.

김기현, 현성혁, 임문순 (2006) 환경 대기중 trimethylamine (TMA)의 측정: Tedlar bag 방식의 채취와 SPME 분석법의 특성 연구, 한국분석과학회지, 19(1), 96-102.

김선태 (2004) 악취 후각측정의 기술적 과제 및 국내성과, 첨단환경기술, 12(7), 134, 5-14.

김학민, 김선태 (2002) 악취평가용 공기희석관능법 이용시의 무취공기 제조방법에 관한 연구, 대한환경공학회지, 24(5), 765-773.

부산광역시청 환경정책과 (2005) 환경백서, 91-93.

양성봉 (2003) 시화반월지역 악취 배출원 조사 및 저감방안 연구 최종보고서, 국립환경과학원, 35-41.

양성봉, 전준민 (2006) 악취저감 로드맵 구축을 위한 워크샵, 국내 악취측정 기술 및 악취 발생 현황, 지역환경기술개발센터 연합회, 9-26.

오길영, 이지헌, 박귀한, 임태곤, 허남칠 (2005) 환경기초시설의 악취 특성, 전라남도 보건환경연구원 연구간행물.

임문순, 송희남, 김기현, 사재환 (2007) SPME에 기초한 VOC 및 주요 악취물질들의 상대적 검량특성에 대한 연구, 한국대기환경학회지, 23(1), 39-49.

정구회, 김선태, 손찬웅, 홍지형 (2004) 악취평가용 Olfactometer의 제작과 성능평가를 위한 기초실험, 대한환경공학회지, 26(9), 987-993.

최여진, 전의찬, 김기현 (2005) 반월공단의 대기배출시설을 대상으로 한 악취성 황화합물의 측정과 배출특성에 대한 연구, 한국분석과학회지, 18(1), 42-49

홍윤정, 김기현 (2005) 대기중 카보닐 계열 성분의 분석기법의 연구: 포름알데하이드와 DNPH의 반응 특성을 중심으로, 한국분석과학회지, 18(1), 43-50.

홍윤정, 전의찬, 김기현 (2006) 카보닐 계열의 배출특성과 그에 따른 악취 발생 기여도 비교연구, 한국대기환경학회지, 22(5), 679-692.

Dincer, F. and A. Muezzinoglu (2006) Chemical characterization of odor due to some industrial and urban facilities in Izmir, Turkey, Atmospheric Environment, 40, 4210-4219.

Nagata, Y. (2003) Odor intensity and odor threshold value, Bulletion of Japan, Environmental sanitation Center, 17-25.

Nagata, Y. (2003) Measurement of odor threshold by triangular odor bag method, odor measurement review booklet, Japan Environmental station center, ministry of the Environment, Government of Japan.

Rafson, H. (1998) Odor and VOC control hand book, McCraw-Hill professional, 4.16-4.31.

Yoshiharu, I. (2003) The history of odor measurement in Japan and Triangle odor bag method, odor measurement review booklet, ministry of the Environment, Government of Japan.

Yuwono, A.S. and P.S. Lammers (2004) odor pollution in the environment and detection instrumentation, Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development, invited overview paper, 6, 1-33.