

도시 생활폐기물 매립지에서 발생하는 악취물질의 조성에 대한 연구

The Composition of Odor Compounds Emitted from Municipal Solid Waste Landfill

손윤석 · 김조천* · 김기형 · 임보아 · 박강남 · 이우근¹⁾
건국대학교 환경공학과, ¹⁾강원대학교 환경공학부
(2007년 6월 18일 접수, 2007년 10월 31일 채택)

Youn-Suk Son, Jo-Chun Kim*, Ki-Hyung Kim, Bo-A Lim,
Kang-Nam Park and Woo-Keun Lee¹⁾
Department of Environmental Engineering, Konkuk University
¹⁾*Environmental Engineering, Kangwon National University*
(Received 18 June 2007, accepted 31 October 2007)

Abstract

In this study, sampling and analysis was carried out for 13 compounds, in order to investigate the odorous compound emissions from landfill stacks and surrounding ambient air. These results revealed that concentration of hydrogen sulfide was 0.13~0.66 ppb in the ambient air. Also, concentrations of hydrogen sulfide (151~358 ppm) were the highest value in odorous sulfur compounds from landfill stacks. In case of VOC, toluene was obtained the highest out of volatile organic compounds. It was found that the concentrations of hydrogen sulfide near the landfill was higher than that inside city such as Seoul although it was located in a rural area. The result was due to the effect of hydrogen sulfide emitted from landfill stacks.

Key words : Hydrogen sulfide, Sulfur compounds, VOC, Ambient air, Landfill

1. 서 론

인구의 증가 및 문명화에 따른 소비욕구의 증대 및 도시의 인구집중으로 도시폐기물의 발생량이 급증하고 있다. 이에 따라 도시 고형폐기물 처리에 대한 관심이 점점 고조되고 있다. 한편, 매립지에서 발생하는 악취물질에 따른 사회적 문제와 온실가스에

대한 지구환경적 문제가 첨예하게 대두되고 있다. 매립지 내부에서 이루어지는 혐기성소화로부터 발생하는 가스의 생성과 배출은 일반적으로 악취 문제로부터 잠재적인 기후환경변화 문제에 이르기까지 다양한 환경문제로 연결된다(김기현 등, 2005; Ito *et al.*, 2001). 특히 매립지 상부에 설치되어 있는 배출공에서는 다양한 종류의 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOC)들이 존재한다고 알려져 있다(Schweigkofier and Niessner, 1999). 또한, 매립지가

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)2-450-4009, E-mail : jckim@konkuk.ac.kr

스는 심한 악취와 대기오염을 발생시키고 인근 지역 주민들의 민원을 자주 유발시키게 되는데 이는 외국에 비해 쓰레기의 매립처리 의존도가 높은 우리나라의 경우에 심각한 사회문제를 야기시키고 있다(김만구 등, 2001). 매립지에서 발생하는 악취물질의 주요 구성 성분으로는 BTEX와 같은 휘발성 유기화합물질(VOC), 황화수소로 대표되는 황계열악취물질, 암모니아 등이 대표적이다. 휘발성 유기화합물질들에는 발암성을 띤 강한 독성물질들은 물론, 대기 중 오존을 형성하는 오존전구물질로서의 역할을 수행하여 지구 대기질에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에 특별한 관리대상 물질로 분류되어 진다(김기현 등, 2005; 백성욱과 김영민, 1996). 또한, 황계열 악취물질의 경우, 매립지에서 발생하는 핵심 악취성분으로서 뿐만 아니라, 인체에 높은 유해성을 가졌다는 점에서 환경보건학적으로 중요한 관리대상에 속한다(NDEQ, 1997). 이러한 문제를 야기시키는 악취물질들은 매립장에서 발생하는 오염물질 중 매우 큰 비중을 차지하고 있으나 다른 환경오염 문제에 비하여 초보적인 연구단계에 머물고 있는데, 이것은 악취물질이 다른 대기오염물질과 달리 극히 미량으로도 후각을 자극시키는 불쾌감을 줄 뿐만 아니라 그 종류가 다양하고 반응성이 강하여 분석에 있어 정확한 정량을 구하기가 매우 어렵기 때문이다(Wardencki, 1998).

선행되어진 연구에 따르면 악취물질들은 배출공에서 수십 ppb~수백 ppm에 이르기까지 다양한 농도 범위로 발생되어진다(Song *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2005; 김기현 등, 2005, 2004). 악취물질은 순간적으로 나오는 농도의 변화폭이 매우 넓어 발생하는 농도의 대표성을 찾기가 매우 어려우며 인근 주변지역에서의 민원을 야기시킬 수 있는 농도 역시 순간적으로 발생되기 때문에, 매립지 배출공에서 발생하는 가스에 관한 연구와 함께 매립지 주변 대기질 및 인근 민가에서도 악취물질에 대한 측정과 분석이 동시에 이루어져야 할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 9종의 지정악취물질과 인체에 유해한 영향을 미치는 3종의 VOC물질 등을 대상으로 매립지 부지 위에 존재하는 배출공, 매립지 주변지역, 민가 지점에서 시료채취를 수행하여 배출공과 매립지 주변대기질의 악취물질의 농도와 구성비를 비교하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 시료채취 장소

본 연구 대상인 H 생활폐기물 매립지는 춘천도심에서 약 15 km 외곽으로 떨어진 춘천시 H동에 위치

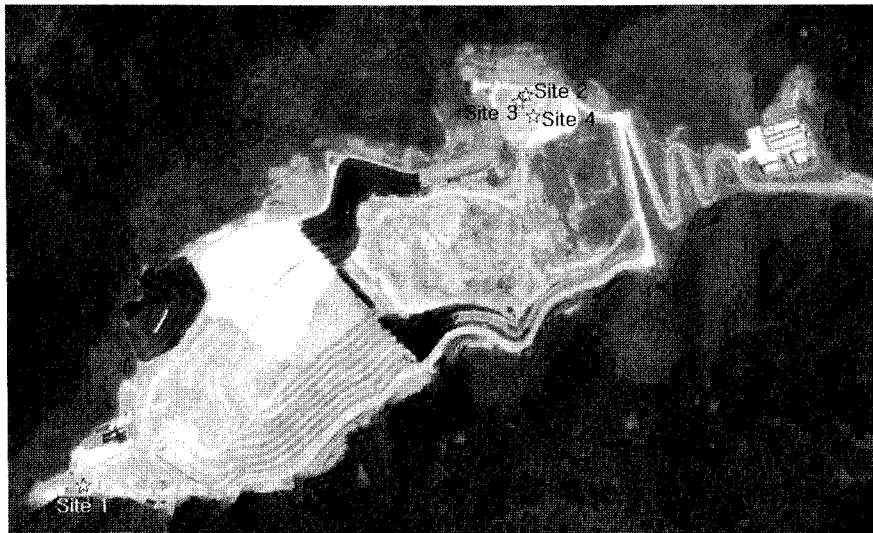


Fig. 1. A geographical location of five sampling sites investigated in this study.

해 있고 총 면적은 약 122,000 m²이다. 본 매립지는 1997년 6월에 공사를 시작하여 1999년 12월에 완공된 대규모 생활폐기물 처리장으로, 매립지 바닥에 침출수가 스며들지 않도록 차수막층, HDPE sheet, 모래층이 차례로 설치되어 1998년 이후 매립을 시작하여 현재 운영 중인 위생매립지이다.

H매립지에 발생하는 악취물질의 채취는 매립지 주변 중 상부에 위치한 1지점(site 1, 고도 319 m), 1지점으로부터 약 670 m 떨어진 매립지 부지 위에 설치된 배출공 2지점(site 3, 고도 210 m, site 4, 고도 204 m), 매립지 부지위의 공기질을 측정하기 위하여 설정된 것으로서 site 3에서 약 10 m 정도 떨어진 지점(site 2, 고도 210 m), 매립지에서 외부에 위치한 주변 민가 지점(site 5)에서 이루어졌다.

2. 2 시료채취 방법

시료채취는 2006년 12월 12일과 2007년 2월 7일 이틀에 걸쳐서 이루어졌다. 배출공에서 배출되는 성분들은 고농도로 존재한다는 점을 감안하여, 테들러백(Tedlar Bag; SKC, USA)을 이용하여 시료를 채취하였다. 그러나 주변 대기와 같은 저농도의 시료채취는 분석물질의 종류에 따라 다양한 방법으로 수행되었다. 황계열 악취물질의 경우에는 내부에 자체 펌프가 장착되어진 링샘플러(lung sampler, ACEN, KO-

REA)를 이용하여 10 L 용량의 테들러백 안으로 직접 채취하는 방법을 이용하였다. 매립지 주변 환경대기 중의 저농도의 VOC 시료는 흡착관을 사용하여 150 mL/min, 20 min으로, 총 3 L의 시료를 채취하였다. 이 때, 시료채취용 흡착관은 Pyrex Tube에 Tenax TA와 CarbotrapTM을 채워 사용하였다. 저농도의 암모니아 시료의 흡수액으로는 붕산과 증류수의 희석 용액을 사용하였으며 흡수 시 포집 효율을 높이기 위하여 100 mL의 용액을 2개의 임핀저에 나누어 시료채취를 수행하였다. 시료의 포집 시 유량의 조절은 실험실에서 미리 검량된 MFC를 사용하였으며 비교적 저농도인 site 1, 2, 5의 경우 현장에서 약 2~3 L/min의 유량으로 흡입하였다. 채취된 시료는 얼음상자(ice box)에 4°C 이하의 저온으로 보관 후 실험실에서 분석되었다. 모든 시료채취 과정에서 현장 대기 중에 포함되어 있는 입자상 물질을 제거하기 위하여 시료채취 장치의 유입구의 전면에 유리필터(glass wool filter)를 장착하였다.

2. 3 분석 방법

2.3.1 분석 대상 물질

본 연구에서 매립지 및 그 주변 대기에 대한 악취물질의 농도와 구성비를 평가하기 위하여 조사되어

Table 1. A list of odorous compounds investigated in this study.

Type	Chemical name	Short name	Chemical form	Regulation criteria type ^a	Analytical method ^b
Reduced sulfur compounds	Hydrogen sulfide	H ₂ S	H ₂ S	I	
	Methyl mercaptan	MM	CH ₃ SH	I	
	Dimethyl sulfide	DMS	(CH ₃) ₂ S	I	TD+GC/PFPD
	Carbon disulfide	CS ₂	CS ₂		LO+GC/PFPD
	Dimethyl disulfide	DMDS	(CH ₃) ₂ S ₂	I	
Volatile organic	Hexane	H	C ₆ H ₁₄		TD+GC/FID
	Benzene	B	C ₆ H ₆		TD+GC/MSD
Compounds	Toluene	T	C ₇ H ₈	II	
	Ethylbenzene	EB	C ₈ H ₁₀		
	m, p-Xylene	MPX	C ₈ H ₁₀	II	
	Styrene	S	C ₈ H ₈	I	
	o-Xylene	OX	C ₈ H ₁₀	II	
Ammonia	Ammonia	NH ₃	NH ₃	I	IM+UVS

Note : ^aCompounds type: Type I and II were designated as regulation criteria odorous compounds before and after the new regulations started in January 2008 by the Korean Ministry of Environment (KMOE), respectively.

^bAnalytical method: TD-thermal desorber, LO-loop system, IM-impinger, PFPD-pulsed flame photometric detector, GC-gas chromatography, FID-flame ionization detector, MSD-mass selective detector, UVS-UV spectrometer.

진 대상물질은 표 1과 같다. 황계열 악취물질은 황화수소, 메틸머캅탄, 다이메틸설파이드, 카본디설파이드, 다이메틸다이설파이드에 대하여 분석을 수행하였고, 톨루엔을 포함한 7가지의 VOC물질과 암모니아에 대하여 각각 분석을 수행하였다. 시료채취는 각각의 사이트에서 물질의 종류별로 3회 이상 수행되었다.

2.3.2 황계열 악취물질

매립지에서 발생하는 악취물질 중에서 황계열 악취물질은 매립지와 매립지 주변에서 측정되어진 농도의 값이 매우 상이할 것으로 판단되어 동일한 분석기 안에서 모든 농도를 측정하기 위하여 저농도와 고농도로 시스템을 분리하여 분석을 수행하였다.

대기 중의 저농도 황계열 악취물질의 분석을 수행하기 위하여, Pulsed flame photometric detector (PFPD; O. I analytical, USA) 검출기를 장착한 GC (Donam instrument, model: 6200, Korea)와 펠티어 트랩을 사용한 전자식 저온농축장치 (Thermal desorber (TD); Donam instrument, model: SPIS-TD, 3000 Korea)를 조합하여 사용하였다. 이와 같은 시스템은 기존의 일반적인 Flame photometric detector (FPD)에 비해 100배 이상 좋은 수십 pg 대의 감도를 보이는 것으로 알려져 있고 안정성, 선택성, 재현성, 검출한계 등에 있어서도 매우 유리하다고 알려져 있다 (최여진 등, 2005). 저온 농축에 있어서 채취 시료 내에 수분이 포함되어져 있으면 트랩 안에서 시료의 흐름을 방해

하고, 반응성이 강한 가스를 손실시키고 컬럼 (column) 안으로 주입되어 분석 상의 문제를 야기시킨다 (Haberhauer-Troyer *et al.*, 1999). 이러한 문제를 해결하기 위하여, 시료의 유입구에 전자식 수분제어장치 (Moisture dryer; Donam instrument, model: 1000, Korea)를 설치하여 수분을 약 95% 이상 제거한 후 TD 내부로 시료를 유입시켰다. 분석컬럼으로는 GS-Gaspro (Length: 30 m, ID: 0.32 mm)을 사용하였다. 고농도의 모드에 있어서는 GC 상부에 장착되어져 있는 100 μ L 용량의 루프시스템 (loop system)을 이용하여 GC 내부로 직접 시료를 주입시키는 방법을 사용하였다. 모든 시료에 대한 결정계수 (r^2)는 0.998 이상을 얻을 수 있었고, 또한, 상대표준편차를 이용하여 이들 성분에 대한 분석재현성을 평가한 결과, 10% 내외의 수준인 것으로 나타났다.

2.3.3 VOC의 분석

VOC 분석은 Cryogenic System인 자동열탈착장치 (Tekmar 6000, Tekmar-Dohrmann, USA)에서 -150 $^{\circ}$ C 농축시킨 후 280 $^{\circ}$ C에서 5분간 탈착하여 GC/MSD (Agilent Technology 5975, USA)를 사용하여 정성분석을 수행하였고, 또 다른 동일한 자동열탈착장치와 GC/ FID (HP5890 Hewlett Packard, USA) 시스템을 사용하여 정량분석을 수행하였다. GC/FID을 위한 분석컬럼은 Rtx-1 (L: 60.0 m \times 530 μ m \times 3.0 μ m, SGE)을 사용하였고 GC/MSD는 DB-1 (L: 60.0m \times 320 μ m

Table 2. A summary of odor concentrations among different sites (in ppb).

Compounds	12/12/2006					02/07/2007				
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5
Hydrogen sulfide	BDL ^a	52	357879	53167	BDL	0.22	0.59	150623	54005	0.24
Methyl mercaptan	BDL	BDL	98	182	BDL	BDL	BDL	185	73	BDL
Dimethyl sulfide	N.A ^b	N.A	N.A	N.A	N.A	BDL	BDL	87	35	BDL
Carbon disulfide	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Dimethyl disulfide	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Hexane (H)	2.23	2.58	2557	808	1.11	2.62	1.43	1588	446	1.41
Benzene (B)	1.50	3.89	686	471	1.86	1.57	1.86	127	100	2.23
Toluene (T)	2.71	4.48	11464	5228	1.79	3.01	3.70	5457	4314	3.15
Ethylbenzene (EB)	0.58	1.21	1972	1164	0.38	0.45	0.62	1102	933	1.02
m,p-xylene (MPX)	1.02	2.21	3132	1508	0.73	0.52	0.61	841	581	0.87
Styrene (S)	0.42	0.81	428	293	0.30	0.29	0.33	176	131	0.71
o-xylene (OX)	0.42	0.85	986	442	0.39	N.A	1.70	592	337	0.75
Ammonia	310	395	2991	7169	543	227	159	2547	1904	63

Note : ^aBDL: below detection limit, ^bN.A: not available
 CS₂ values at all site are not available due to the memory effect of GC system.
 DMS values at the stack sites 3 and 4 are not available due to GC system error during sample runs on 12/12/2006

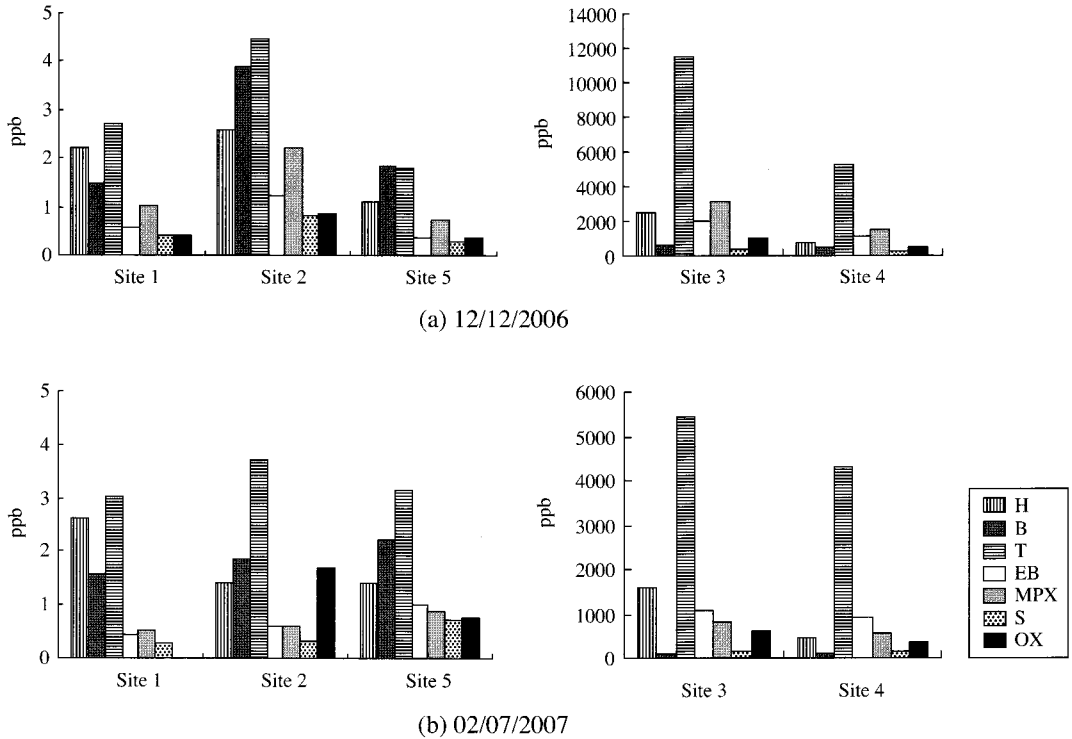


Fig. 2. Concentrations of VOCs in landfill stacks and ambient air during sampling period.

×3.0 μm, J & W)을 사용하였다. 모든 물질에 대한 결정계수(r^2)는 0.997 이상으로 나타났다.

2.3.4 암모니아의 분석

저온 보관하여 실험실로 옮겨진 시료는 인도페놀법에 의하여 상온에서 약 1시간 정도 발색하였으며 흡수된 시료 당 3개의 분석시료로 발색하여 재현성을 파악하였다. 발색된 시료는 UV/VIS 분광광도계(UV mini1240, Shimadzu)를 이용하였으며 640 nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다.

3. 연구 결과

본 연구에서는 악취물질이 순간적으로 발생하는 농도의 변화폭이 매우 넓어서 발생하는 농도의 대표성을 찾기가 매우 어려울 뿐만 아니라, 주변 지역에 민원을 야기시킬 수 있는 농도 또한 순간적으로 발생하기 때문에 매립지와 그 주변 대기에서 시료 채

취된 악취물질의 농도를 파악하는 한편, 악취물질의 상대적인 구성비를 판단하고 각각의 시료채취 지점에서 악취물질의 구성형태를 파악하고자 노력하였다. 표 2는 시료채취 지점에서 채취된 시료의 농도를 제시하고 있다. 황계열 악취물질의 검출한계(Below Detection Limit, 3 standard deviation)는 1,000 mL의 샘플링 부피를 기준으로 황화수소 244 ppt, 메틸머캅탄 141 ppt, 디메틸설파이드 133 ppt, 디메틸디설파이드 75 ppt 이하로 나타났다. 표 2에서 알 수 있듯이 배출공에서 발생하는 황계열 악취물질 중에서는 황화수소가 151~358 ppm로 가장 높은 농도를 나타내는 것을 확인할 수 있었고 VOC의 경우에는 톨루엔이 가장 높은 것을 확인할 수 있었다. 또한, 이러한 경향성은 주변 대기 중의 농도측정에서 비슷하게 나타났다. 한편, 매립지 주변의 환경대기 중 악취농도를 살펴 본 결과, 황화수소의 경우 매립지 주변(site 2)에서의 1차 측정 결과값이 2차 측정값보다 높은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는

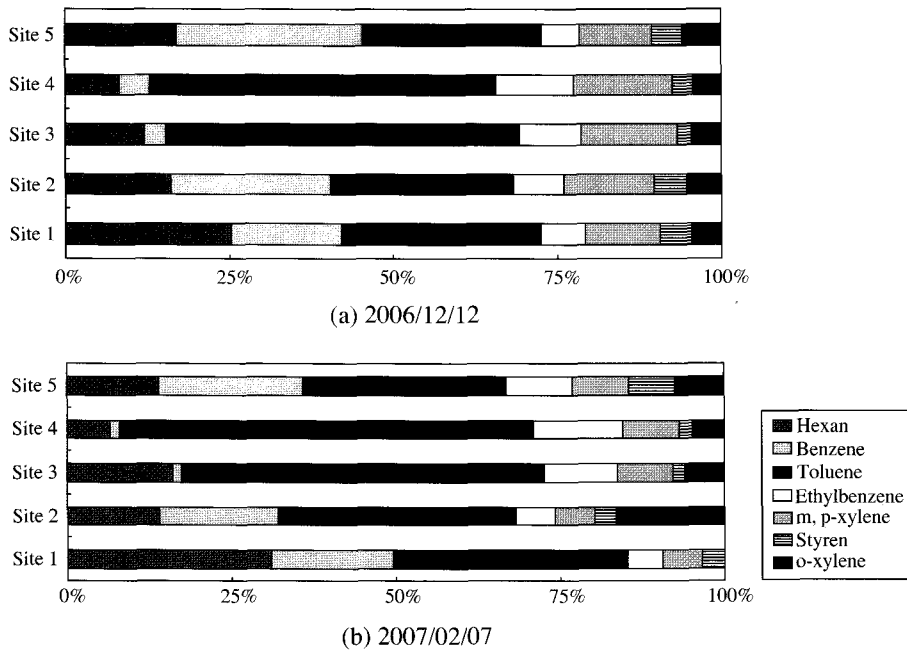


Fig. 3. Composition ratio of VOCs in landfill stacks and ambient air during sampling period.

배출공 자체에서 발생된 황화수소의 농도가 1차 측정시기가 2차 때보다 상대적으로 높아서 주변 지역에 직접적인 영향을 미친 것으로 사료된다. 또한, 배출공에서 발생되는 황계열 악취물질과 VOC성분의 시료채취 시기에 따른 증감의 경향을 확인해 본 결과 어느 특정한 단일 물질의 증감이 아닌 악취물질의 전반적인 증감에는 상관성이 있는 것으로 확인되었다. 이러한 상관성은 황계열 악취물질이나 미량으로 존재하는 VOC 성분들의 생성이나 배출이 비교적 유사한 작용에 의해 생성되어진다고 보고한 일부 연구를 뒷받침해주고 있다(김기현 등, 2004). 암모니아의 농도는 배출공 1,904~7,169 ppb, 주변 대기 63~543 ppb 범위로 나타나 배출공의 농도가 주변 대기에 비하여 약 4배에서 110배 정도 높은 것을 확인할 수 있었다.

3.1 VOC

본 연구에서는 매립지와 그 주변 대기에서 7종류의 VOC에 대하여 분석을 수행하였다. 분석에 대한 결과를 그림 2에 제시하였다. 그림 2를 보면 매립지 주변 대기에서 측정되어진 농도는 헥산(1.11~2.62

ppb), 벤젠(1.50~3.89 ppb), 톨루엔(1.79~4.48), 에틸벤젠(0.38~1.21), m, p-자일렌(0.52~2.21 ppb), 스타이렌(0.29~0.81ppb), o-자일렌(0.39~1.70 ppb) 정도로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 매립지 주변 환경대기 중 VOC의 농도는 물질과 시료채취 기간에 따라 약간의 차이가 있기는 하지만 site 1과 site 5에서 거의 비슷하게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 상대적으로 매립지의 배출공과 가까운 거리인 site 2는 site 1과 site 5에 비해서는 1.5배에서 2배 정도 높은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 한편, 매립지의 배출공보다 더 높은 고도에 위치해 있는 site 1은 12월 달과 2월 달에 얻는 농도의 값이 모든 악취물질에 대하여 상당히 비슷한 농도추이를 나타내는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 측정된 농도를 다른 문헌과 비교해보면 시료채취 장소가 시골지역임에도 불구하고 대도시나 공업지역의 대기 중에서 측정되어진 농도와 비슷하거나 조금 더 높은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었고, 이것은 매립지에서 배출되는 매립가스가 주변 대기에 적지 않은 영향을 미칠 수 있다는 것을 암시해 주고 있다(김초천, 2006).

그림 2에 나타난 배출공에서의 VOC 배출농도를

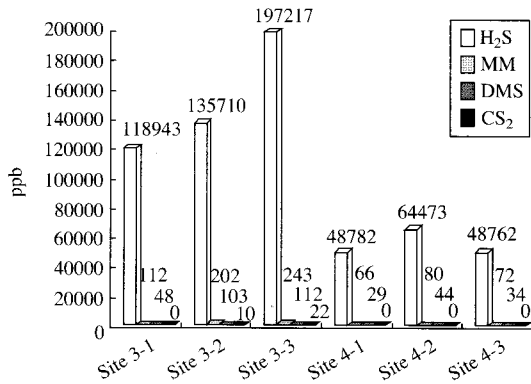


Fig. 4. The concentration of sulfur compounds from landfill stacks.

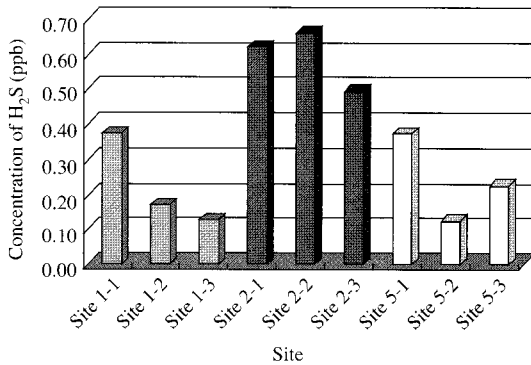


Fig. 5. Concentrations of H₂S in the surrounding ambient air.

보면, 헥산(446~2,557 ppb), 벤젠(100~686 ppb), 톨루엔(4,314~11,464 ppb), 에틸벤젠(933~1,972 ppb), m, p-자일렌(581~3,132 ppb), 스타이렌(131~428 ppb), o-자일렌(337~986 ppb) 정도로써 총 VOC의 양을 보면 배출공과 주변 환경대기 중에서의 농도의 차이가 수백 배에서 수천 배에 이르는 것을 확인할 수 있었다. 그림 2의 (a)와 (b)를 비교해보면 상대적으로 저농도인 site 1, 2, 5의 VOC의 농도는 12월과 2월의 차이가 거의 없지만 고농도인 배출공에서의 농도는 12월에 측정된 농도가 2월에 비해 약 2배 정도 높은 것을 파악할 수 있었다. 또한, 동일한 날에 각각의 배출공에서 채취된 시료는 농도의 차이가 있지만 각 물질들의 농도분포가 경향성을 가지고 있는 것으로 판단된다. 이러한 농도분포의 경향성을 보다

명확히 파악하기 위해 배출공과 그 주변대기에서의 VOC의 구성비를 확인하여 보았다.

그림 3은 매립지 배출공과 그 주변대기에서 측정된 VOC의 구성비를 나타내고 있다. 그림 3에서 보면 배출공과 그 주변대기 중의 VOC는 구성비가 상당히 상이한 것을 알 수 있었다. 배출공인 site 3과 4에서는 톨루엔이 차지하는 비율이 약 54~63% 정도로 절반 이상을 차지하는 것을 확인할 수 있었고, 선행연구에서도 전체 VOC 중에서 톨루엔이 대부분을 차지하는 것으로 보고하고 있다(Kim et al., 2005). 반면, 주변 환경대기에서는 톨루엔이 27~36% 정도로 차지하는 비중이 적은 것을 확인할 수 있었고, 벤젠이 차지하는 비율이 배출공에 비하여 상대적으로 매우 큰 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 수행되어진 결과에 따르면 배출공에서 발생하는 VOC는 톨루엔, m, p-자일렌, 에틸벤젠이 대부분을 차지하는 것을 알 수 있었고, 주변대기에서는 톨루엔, 벤젠, 헥산이 구성비에서 큰 비중을 차지하는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 배출공과 주변대기에서의 구성비가 다른 원인은 대기 중에 존재하는 수분에 의한 흡수, OH 라디칼과 같은 산화물과의 반응 등과 같은 환경적인 영향을 들 수 있다. OH 라디칼과의 반응속도상수의 관점에서 보면 m, p-자일렌과 에틸벤젠의 반응속도상수는 벤젠에 비하여 약 10~20배 정도 커서 m, p-자일렌과 에틸벤젠이 다른 물질에 비해 더 빨리 대기 중에서 다른 물질로 전환되기 때문에, 주변대기에서의 농도는 배출공에서의 농도에 비해 상대적으로 적은 구성비를 차지하는 것으로 사료된다(김조천, 2006).

3.2 황계열 악취물질

본 연구에서는 5가지 황계열 악취물질에 대하여 분석을 수행하였다. 그림 4는 2007년 2월 7일에 배출공에서 측정된 황계열 악취물질의 평균농도를 나타내고 있다. 배출공에서 황계열 악취물질을 보면 메틸머캅탄(66.3~243.1 ppb), 다이메틸설파이드(29.1~111.7 ppb)에 비해 황화수소(48.76~197.22 ppm)의 농도가 수백 배에서 수천 배 이상 높은 것을 확인할 수 있었고, 구성비에 있어서도 99% 이상임을 확인할 수 있었다. 이러한 경향은 다른 매립지에서 선행되어진 연구에서도 이와 유사하게 나타남을 확인할 수 있었다(Kim et al., 2005). 또한, 동일한 시료

채취 지점에서 연속적으로 측정된 시료도 시료 간의 악취물질의 농도의 차이가 2배 이상인 것을 확인할 수 있었고, 이 점은 악취물질의 특성상 농도의 순간적 변화가 매우 특이하게 나타나는 것임을 보여 주고 있다. 이러한 동일 지점에서의 큰 폭의 악취농도의 차이는 선행된 다른 연구에서도 확인할 수 있었다(Kim *et al.*, 2005). 본 연구에서는 배출공에서 다이메틸다이설파이드가 검출되지 않았는데 이는 동일한 매립지를 대상으로 한 선행연구의 결과(DMDS: 0.3~21.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)와 상이하다(김만구 등, 2001).

그림 5는 동일한 날에 주변 환경대기에서 측정되어진 황화수소의 농도이다. H_2S 의 농도는 site 2에서 약 600 ppt로 가장 높은 것을 알 수 있었고 이는 site 2가 다른 site보다 매립지의 배출공에 상대적으로 매우 가까운 거리에 위치하기 때문인 것으로 판단된다. 이에 반해, site 1, 5에서는 황화수소가 약 100~300 ppt 정도의 비슷한 수준으로 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 반면, 주변대기에서는 황화수소를 제외하 나머지 황계열 악취물질이 검출한계 이하로 존재하는 것을 알 수 있었다. 또한, 배출공의 경우와 마찬가지로 동일한 장소에서 연속적으로 시료를 채취한다고 하더라도 악취의 특성상 순간적으로 농도가 변하는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구의 매립지 주변대기에서의 황화수소의 농도를 서울의 대기질에서 측정되어진 연구 결과(100 ± 60 ppt)와 비교해 본 결과 매립지 주변이 시골의 산림지역임에도 불구하고 서울지역보다 조금 높거나 비슷한 수준의 황화수소 농도를 나타내는 것을 확인할 수 있었다(손장호와 김기현, 2004). 이러한 결과는 주변 매립지 배출공에서 발생하는 황화수소의 영향인 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 13종의 악취물질을 대상으로 매립지 부지 위에 존재하는 배출공, 매립지 주변지역, 민가 지점에서 시료채취를 수행하여 배출공과 매립지 주변대기질의 악취물질 농도와 구성비를 비교하고자 하였다. 그 결과, 배출공에서 발생하는 황계열 악취물질 중에서는 황화수소가 151~358 ppm로 가장 높은 농도를 나타내는 것을 확인할 수 있었고 VOC의 경우에는 톨루엔이 가장 높은 물질임을 확인할 수 있

었다. 또한, 이러한 경향성은 주변 대기 중의 농도측정에서 비슷하게 나타났다. 또한, 배출공에서 발생하는 황계열 악취물질과 VOC성분의 시료채취 시기에 따른 농도의 증감 경향을 확인해 본 결과, 전체적인 물질의 증감에 있어서는 상관성이 있는 것으로 확인되었다. 그러나 배출공과 그 주변대기 중의 VOC는 구성비가 상당히 상이한 것을 알 수 있었다. 배출공인 site 3과 4에서는 톨루엔이 차지하는 비율이 약 54~63% 정도로 절반 이상을 차지하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 주변 환경대기에서는 톨루엔이 27~36% 정도로 차지하는 비중이 적은 것을 확인할 수 있었고, 상대적으로 벤젠이 주변 환경대기에서 차지하는 비율이 배출공에 비하여 상당히 크다는 것을 알 수 있었다. 매립지 주변대기에서의 황화수소의 농도는 시골의 산림지역임에도 불구하고 일부 서울지역보다 높은 농도를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 주변 매립지 배출공에서 발생하는 황화수소의 영향인 것으로 판단된다. 이 연구를 바탕으로 보다 정확한 매립지에서의 주변지역에 대한 악취 기여도를 평가하기 위하여 보다 많은 시료채취지점 및 환경조건에서 광범위한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 김기현, 오상인, 선우영, 최여진, 전의찬, 사재환, 임지영 (2005) 매립지 배출가스 중 휘발성유기화합물의 계절간 조성차에 대한 연구, 한국대기환경학회지, 21(2), 259-268.
- 김기현, 오상인, 최여진, 전의찬, 사재환, 선우영 (2004) 환원 황 화합물을 중심으로 한 매립가스의 조성에 대한 연구, 한국대기환경학회지, 20(1), 77-85.
- 김만구, 정영림, 서영민, 남성현, 권영진 (2001) 열탈착-저온농축-GC/FID/FPD에 의한 도시 생활폐기물 매립장에서 방출되는 휘발성 유기화합물의 측정에 관한 연구, Analytical Science & Technology, 14(3), 274-285.
- 김조천 (2006) 국내의 휘발성유기화합물(VOC) 현황 및 관리기술, 한국대기환경학회지, 22(6), 743-757.
- 백성욱, 김영민 (1996) 도시지역에서의 실내외 주변공기 중 휘발성 유기화합물의 농도측정에 관한 연구, 대한환경공학회지, 18(2), 181-197.
- 손장호, 김기현 (2004) 도시의 환원 황 화합물의 이산화황으로의 광화학적 변환, 한국대기환경학회지, 20(5),

- 647-654.
- 최여진, 전의찬, 김기현 (2005) 반월공단의 대기배출시설을 대상으로 한 악취성 황화합물의 측정과 배출특성에 대한 연구, 한국대기환경학회지, 21(5), 515-524.
- Haberhauer-Troyer C., E. Rosenberg, and M. Grasserbauer (1999) Investigation of membrane dryers and evaluation of a new ozone scrubbing material for the sampling of organosulphur compounds in air, *Journal of Chromatography A*, 852, 589-595.
- Ito A., I. Takahashi, Y. Nagata, K. Chiba, and H. Haraguchi (2001) Spatial and temporal characteristics of urban atmospheric methane in Nagoya City, Japan: an assessment of the contribution from regional landfill., *Atmospheric Environment*, 35, 3137-3144.
- Kim, K.H., Y.J. Choi, E.C. Jeon, and Y. Sunwoo (2005) Characterization of malodorous sulfur compounds in landfill gas, *Atmospheric Environment*, 39, 1103-1112.
- Nebraska Department of Environmental Quality (NDEQ) (1997) Technical basis for a total reduced sulfur ambient air quality standard, May 1997.
- Schweigkofier, M. and R. Niessner (1999) Determination of siloxanes and VOC in landfill gas and sewage gas by canister sampling and GC-MS/AES analysis. *Environ. Sci. Tech.*, 33, 3680-3685.
- Song, S.K., Z.H. Shon, K.H. Kim, S.C. Kim, Y.K. Kim, and J.K. Kim (2007) Monitoring of atmospheric reduced sulfur compounds and their oxidation in two coastal landfill area, *Atmospheric Environment*, 41, 974-988.
- Wardencki, W. (1998) Problems with the determination of environmental sulphur compounds by gas chromatography, *Journal of Chromatography A*, 793(1), 1-19.