

# 난지도매립장 배출공으로부터 관측한 메탄 및 이산화탄소의 농도분포

김민영<sup>1</sup> · 김기현<sup>2,\*</sup> · 조석주<sup>1</sup> · 이민환<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울시 보건환경연구원, 137-730 서울특별시 서초구 양재동 202-3

<sup>2</sup>세종대학교 지구정보과학과 대기환경연구실, 143-747 서울특별시 광진구 군자동 98

## The Distribution Characteristics of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> from the Infiltrated Ventpipes of the Nan-Ji-Do Landfill Site

Min-Young Kim<sup>1</sup> · Ki-Hyun Kim<sup>2,\*</sup> · Suk-Joo Cho<sup>1</sup> · Min-Hwan Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Seoul Metropolitan Institute of Public Health and Environment, Seoul 137-730, Korea

<sup>2</sup>Atmospheric Environment Laboratory, Department of Earth Sciences, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

**Abstract :** The concentrations of major greenhouse pollutants which include CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> were determined from the outlet of 42 ventpipes in Nan-Ji-Do area of Seoul during September/October of 2000. Using these data, the concentration distribution of major greenhouse gases was checked and compared. The mean concentrations of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>, computed using the data sets collected from 42 ventpipes, were 27.8 and 50.9%, respectively. Because the concentration levels were different not only between plain and slope areas of each sector but also between chemicals, evaluation of the data sets was made after dividing them separately into four data groups. The results of our analysis clearly indicate that their distribution is rather homogeneous than those of minor constituents of landfill ventilated gases (e.g., Hg).

**Keywords :** Greenhouse gases, Nan-Ji-Do, ventpipes, emission, methane

**요약 :** 주요 온실기체인 이산화탄소와 메탄의 농도를 난지도 매립장에 위치한 42개의 배출공으로부터 측정하였다. 그 결과에 의하면, 배출공의 출구에서 관측된 메탄은 부피기준으로 절반 그리고 이산화탄소는 28%에 가까운 수준으로 높은 농도를 유지하였다. 그러나 이들의 환경거동은 배출공의 위치 등과 같은 차이 외에도 가스성분에 따라 여러 가지 차이를 보여 주었다. 본 연구의 결과는 이들 성분의 분포가 수온과 같은 미량성분의 분포특성과는 달리 대체로 균질한 편이라는 것을 확인해 주었다.

**요약어 :** 온실가스, 난지도, 배출공, 배출, 메탄

## 서 론

온실가스의 배출 및 그로 인한 지구온난화는 환경 오염으로 인한 지구환경의 변화를 설명하는 가장 적절한 사례로 지목되고 있다. 따라서 대기환경분야를 연구하는 많은 과학자들은 온실가스의 배출규모에 대한 추정 또는 환경거동에 대한 분석을 일상적으로 수행하고 있다. 여러 가지 온실기체 중에서, 양적으로 가장 중요한 이산화탄소 그리고 그 뒤를 잇는 메탄과 같은 화합물이 여러 각도에서 많은 주목을 받

고 있다. 이산화탄소의 경우, 온실효과의 기여도가 여타 성분보다 절대적으로 우월하다는 점에서 (약 55%) 가장 핵심적인 관리대상으로 지목받을 정도로 중요한 성분으로 볼 수 있다. 그렇지만, 동일한 농도 조건의 가정하에서 개별성분에 대한 온실효과의 절대적인 강도를 비교하면, 메탄이 이산화탄소보다 30여 배 강한 것으로 평가받기도 한다(IPCC, 1995). 따라서 이산화탄소나 메탄과 같은 성분들에 대한 양적, 질적 규모의 객관적인 평가는 온실효과에 대처하기 위한 가장 기본적인 접근 방법이라고 할 수 있다(장영기와 서영배, 1998; 이승무 등, 1994; 국제환경노동 문화원, 1995).

\*Corresponding author: khkim@sejong.ac.kr

## 연구방법

이산화탄소나 메탄의 배출은 여타 대부분의 주요 오염물질들과 마찬가지로 인위적 및 자연적 배출원에 의해 이루어진다. 이들을 배출하는 여러 가지 배출원 중에서도 단위면적을 기준으로 배출효율이나 배출규모 등을 비교할 경우, 매립장 또는 매립시설물의 역할은 단연 두드러지게 돋보인다. 폐기물의 매립처리 후, 매립층 내부에서 진행되는 여러 가지 생지화학적 작용들은 이들의 생성에 최적의 조건을 제공한다. 따라서 이러한 시설물에서는 초고순도의 이산화탄소나 메탄이 배출될 수 있다. 이런 관점에서 볼 때, 세계 최대 규모의 비위생식 매립시설물로 알려진 난지도 지역은 매립시설을 중심으로 진행되는 오염물질의 환경거동을 연구하는데 있어 대단히 중요한 기회를 제공한다. 이러한 연구대상에 대한 주요 오염물질의 환경거동에 대한 연구는 면오염원으로서 매립시설물에 대한 이해를 촉진하게 한다.

이미 본 연구진은 면오염원을 대표할 수 있는 주요 시설물, 매립장의 특성을 규명하기 위한 노력의 일환으로 난지도를 중심으로 여러 가지 연구사업을 지속적으로 추진해 왔다. 특히 대기 중 극미량성분으로 존재하는 수은 또는 주요 휘발성 유기화합물로 간주되는 benzene, toluene, xylene 등이 난지도의 토양과 상층 대기간에서 어떠한 방식으로 배출 또는 침적되는 가를 세밀하게 분석하기 위해서 미기상학적 기법의 측정을 수차례에 걸쳐 시도하였다(Kim *et al.*, 2001; 김민영 외, 2001a). 본 연구는 선행연구의 연장선상에서, 난지도에서 발생하는 오염물질의 환경거동을 보다 심층적으로 연구하기 위해 다음과 같이 접근하였다. 우선적으로 매립장내에서 산재해 있으면서, 극단적 수준의 고농도로 오염물질을 배출하는 것으로 알려진 배출공을 집중적인 연구대상으로 설정하였다. 이를 위해, 2000년 9/10월 기간동안 난지도의 상층도양에 산재한 다수의 배출공을 대상으로 설정하고, 이들을 통해 배출되는 메탄, 이산화탄소를 위시한 주요 성분, 여타 기본적인 환경변수를 관측하였다. 본 연구기간동안 동시에 관측이 이루어진 극미량성분, 수은에 대한 배출공의 배출규모나 배출특성에 대한 연구결과는 이미 학계에 앞서 발표된 바 있다(김민영 외, 2001b). 현재 난지도 시설을 전환하기 위해, 배출공을 폐쇄하는 작업이 진행되고 있다는 점을 감안하면, 이러한 연구결과는 매립장시설물에 설치되는 배출공의 배출특성을 규명하는 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

서울시의 한강변을 따라 중서부지역에 위치한, 난지도는 세계 최대 규모의 비위생식 매립시설물로 간주된다. 1979년 3월부터 1993년 12월까지 가동이 이루어진, 난지도의 순매립면적은 1.9km<sup>2</sup> 그리고 총면적은 2.72km<sup>2</sup>에 해당한다. 매립에 따른 난지도의 고도는 95m(실매립고는 85m)를 형성하고, 총매립량은 부피기준으로 약 0.92km<sup>3</sup>에 달한다. 전체 매립지는 1, 2 공구로 분리되는데, 각각 1.62, 1.09km<sup>2</sup>의 면적을 유지한다. 매립성상을 기준으로 보면, 제 1, 2 매립지는 다음과 같이 구분할 수 있다. 전자의 경우, 도시일반쓰레기, 산업폐기물, 하수슬러지 등이 위주인 반면, 후자는 도시일반쓰레기와 산업폐기물이 주를 이룬다. 양 매립지에 대한 매립이 완료된 후, 매립층 내부에 유독성 가스들의 누출에 따른 문제방지 또는 배출가스의 회수 등을 목적으로 양대 매립공구에 총 106개의 배출공이 설치되었다. 이를 자세히 분류하면, 1, 2 공구에 설치된 배출공의 수는 각각 58, 48개에 달한다. 1 매립지의 경우, 평지면에 총 32개, 사면에 26개의 배출공이 배치되었다. 반면 2 매립지의 경우, 각각 23, 25개의 배출공이 배치되어 있다. 개별 배출공의 규모는 내경 15cm와 40~60m의 깊이로 매립층을 관통하고 있다. 현재 진행되는 난지도 지역의 개발계획에 따라, 이들 배출공은 2001년 추계기간동안 2 공구지역을 기점으로 폐쇄작업이 진행 중이다. 이들은 향후 자원회수의 관점에서, 독자적인 회수시스템에 연계되어 활용될 예정이다.

본 연구에서는 2000년 9월 20일에서 10월 4일까지 약 2주간의 기간동안 양공구 지역에 존재하는 총 106개의 배출공 중 42개(전체의 약 40%)를 대상으로 택하여, 배출공의 입구로부터 배출되는 가스상 메탄, 이산화탄소, 수증기의 농도를 실측하였다. 실제 배출공의 선택은 1공구에서 29개(경사면의 4개공과 평지면의 25개공) 그리고 2공구에서 13개(경사면의 5개공과 평지면의 8개공)를 택하여 분석에 임하였다. 1공구의 경우 개별 공구에 대해 2시간 간격으로 5회 이상씩 수 차례의 연속분석을 실시하였다. 농도변화의 시간적 경향을 파악하기 위한 1공구의 연속분석은 최소 5회에서 최대 23회까지 수행하였다(따라서 아래에 제시될 본 연구자료의 세부적인 해석은 경우에 따라 1공구, 특히 이중에서도 가장 많은 자료가 확보된 평지면을 중심으로 다루어진 경우가 많다.). 이에

반해 2공구의 경우, 개별 배출공에 대해 복수 분석하는 것을 원칙으로 하였다.

배출공에서 관측되는 주요 오염성분의 농도를 조절하는 요인을 파악하기 위하여, 각각의 배출공에 대한 실험관측시에 CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, 수분함량 외에도 배출공 내부의 온도 및 배출구의 배출속도(유속) 등의 일반적인 환경인자도 동시에 관측하였다. 그리고 배출공 중심의 실험분석에 덧붙여 배출공으로부터 상당한 수준으로 이동차량의 거리를 유지하며, 외기에 함유된 주요 성분 및 기상인자를 위시한 기본적인 환경변수의 변화를 동시에 실측하였다. 주요 대기오염물질로 간주할 수 있는 SO<sub>2</sub> 및 기타 오염인자의 관측은 일

반적으로 서울시 보건환경연구원에 의해 관리되는 서울시내의 대기오염 측정망에 배치된 일반적인 측정기와 동일 또는 유사한 사양의 기기로 사용하였다.

각 배출공 내부의 이산화탄소와 메탄 농도의 측정에는 Geotechnical Instruments사의 GA94 model, IR gas analyzer를 이용하였다. NDIR 방식의 원리를 이용한 것으로, 메탄 및 이산화탄소에 대한 선택성 검출기(이중파장의 NDIR 센서)를 이용하여, 이들 성분에 의한 적외선의 흡수량변화를 측정하여 농도를 구하는 방식이다. 메탄의 경우 0~100%의 농도범위대를 검출하며, 5% 이상의 농도에서 ±3.0%의 오차를 보인다. 반면 이산화탄소의 경우 0~50%대의 농도를 검

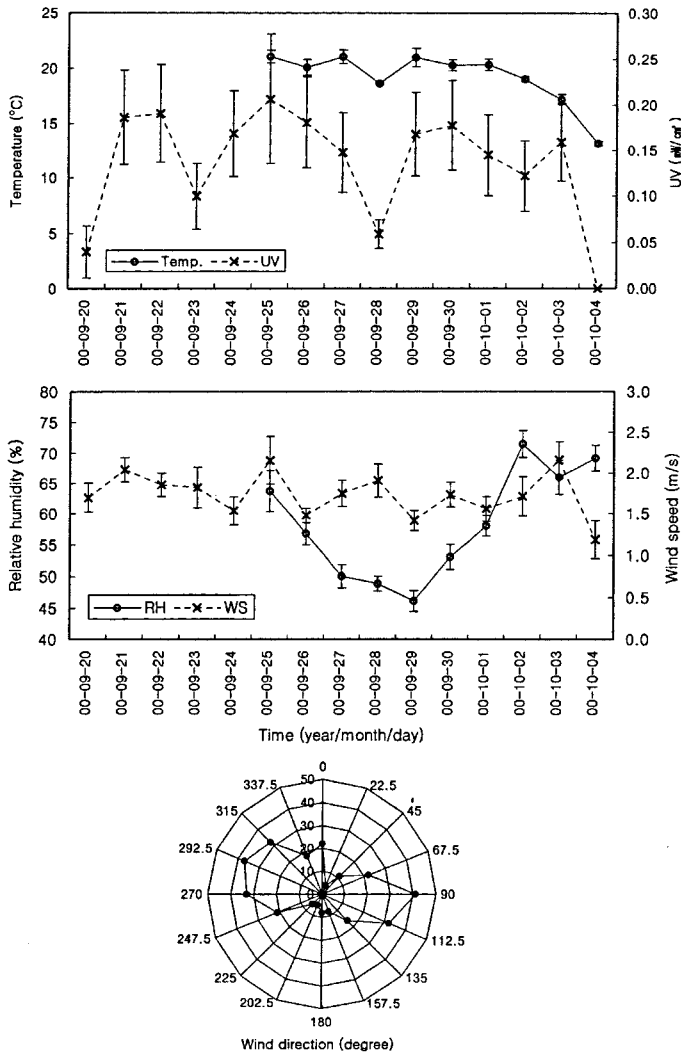


Fig. 1. The temporal variabilities of meteorological parameters determined during the whole study period of Sept. 20 through Oct. 4, 2001.

Table 1. A statistical summary of the relevant environmental parameters determined concurrently from ambient air during the measurements of ventilated species at ventpipes.

Ambient	Tamb °C	UV mW/cm <sup>2</sup>	RH %	WS m/s	SO <sub>2</sub> ppb	NO ppb	NO <sub>2</sub> ppb	NOX ppb
All data	19.5±2.59	0.20±0.20	62.0±16.3	2.13±0.98	4.22±2.33	24.1±25.5	32.1±14.3	56.2±36.5
Sector 1-Plain	13.3-26.1 (31)	0.00-0.58 (40)	32.0-88.0 (31)	0.80-4.40 (41)	1.00-10.0 (40)	3.00-11.5 (40)	9.00-61.0 (40)	14.3-176 (40)
Sector 1-Slope	16.0-26.1 (14)	0.00-0.58 (24)	37.3-73.8 (14)	0.85-2.63 (24)	1.25-8.00 (24)	4.50-11.5 (24)	20.5-61.0 (24)	25.2-176 (24)
Sector 2-Plain	13.3-18.1 (4)	0.00±0.00	70.7±5.92	1.59±0.44	4.98±2.57	6.62±3.09	23.6±10.4	30.2±13.4
Sector 2-Slope	20.4±0.81	0.32±0.21	82.8±4.89	3.00±1.02	4.86±3.93	18.6±18.6	29.7±11.5	48.1±30.0
All data	19.2-21.7 (8)	0.00-0.57 (7)	72.0-88.0 (8)	0.80-4.20 (8)	1.00-10.0 (7)	3.00-51.0 (7)	20.0-48.0 (7)	25.0-98.0 (7)
Sector 1-Plain	20.5±0.76	0.38±0.13	49.2±12.6	3.66±0.72	4.80±1.64	7.80±1.10	11.0±1.87	18.8±2.59
Sector 1-Slope	19.5-21.3 (5)	0.18-0.53 (5)	32.0-63.0 (5)	2.70-4.40 (5)	3.00-7.00 (5)	6.00-9.00 (5)	9.00-14.0 (5)	15.0-22.0 (5)

Ambient	CH <sub>4</sub> ppm	NHMC ppm	THC ppm	O <sub>3</sub> ppb	CO ppm	PM10 µg/m <sup>3</sup>	Hg <sub>amb</sub> ng/m <sup>3</sup>
All data	7.31±2.75	1.55±0.92	8.86±3.44	22.6±12.9	1.40±1.21	55.8±27.4	4.11±1.03
Sector 1-Plain	1.75-13.4 (33)	0.20-3.02 (33)	1.95-16.4 (33)	0.90-42.0 (40)	0.10-4.42 (40)	28.6-157 (23)	2.56-6.54 (41)
Sector 1-Slope	8.00±2.82	1.87±0.92	9.87±3.51	18.6±11.6	1.63±1.18	55.8±27.4	4.22±1.00
Sector 2-Plain	1.75-13.4 (23)	0.20-3.02 (23)	1.95-16.4 (23)	0.86-38.7 (24)	0.50-4.42 (24)	28.6-157 (23)	2.56-6.54 (25)
Sector 2-Slope	8.25±1.31	0.75±0.37	9.00±0.94	14.7±4.82	2.88±0.90	55.8±27.4	3.68±0.97
All data	7.32-9.18 (2)	0.49-1.02 (2)	8.34-9.67 (2)	11.2-21.5 (4)	1.68-3.58 (4)	55.8±27.4	2.90-5.09 (4)
Sector 1-Plain	5.19±1.58	0.78±0.23	5.97±1.67	29.0±13.3	0.56±0.44	55.8±27.4	4.19±1.46
Sector 1-Slope	4.05-7.69 (5)	0.46-1.02 (5)	4.54-8.50 (5)	6.00-41.0 (7)	0.10-1.40 (7)	55.8±27.4	2.60-6.32 (7)
Sector 2-Plain	4.91±1.14	0.90±0.53	5.81±0.92	39.0±2.55	0.28±0.13	55.8±27.4	3.76±0.52
Sector 2-Slope	3.82-6.09 (3)	0.44-1.48 (3)	5.27-6.87 (3)	36.0-42.0 (5)	0.10-0.40 (5)	55.8±27.4	3.16-4.49 (5)

출할 수 있으며, 15% 이상의 농도에서  $\pm 3\%$ 의 오차를 기록한다. 그의 배출공에서 배출되는 기류의 유속, 온도, 습도와 같은 주 환경변수는 Kanomax Japan Inc.의 Model 6511을 사용하였다. 배출공의 가스 유속은 heated thermocouple 방식을 응용하였다. 가열된 소자에 기류의 흐름이 감지되면, 소자의 온도 저하가 일어난다. 이와 같은 온도변화는 저항치의 변화를 유도한다. 이러한 저항치의 변화는 유속이 빠를수록, 큰 변화폭을 띠게 된다. 따라서 저항치의 측정을 통해, 유속의 측정이 이루어진다. 참고로 본 측정 방식을 적용할 경우, 5m/s 이내의 유속에서  $\pm 0.1\text{m/s}$ 의 오차를 띠는 것으로 알려져 있다. 배출공의 온도 측정도 유속과 유사하게, 기류의 온도변화를 저항치의 변화로 유도한다. 이러한 용도로 사용하기 위해, 백금전선으로 만든 온도소자를 브릿지 회로의 한변에 조합시킨 방식이 사용되었다. 온도측정은  $-10\sim 60^\circ\text{C}$  범위에서  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 의 오차를 보이는 것으로 알려져 있다. 따라서 저항치의 변화를 측정하면, 곧바로 기류의 온도를 측정할 수 있다. 상대습도는 고분자박막소자를 센서로 사용한 것으로, 수분의 흡탈착에 의한 정전용량변화를 검출하여 상대습도를 측정하였다.

## 결 과

연구 기간 중 이동차량에 탑재된 계측장비를 이용하여 현장실측한 주요 기상변수들의 변화 양상에 대한 정보를 Fig. 1에 제시하였다. 이들 전체 성분에 대한 관측결과는 Table 1에 제시하였다. Fig. 1에는

전체 연구기간동안 난지도의 일반 대기 중에서 관측된 주요 기상인자(기온, 상대습도, 풍속 등)의 일간 변화경향과 함께 풍향의 발생경향을 제시하였다. 그리고 Table 1에는 외기에서 관측된 기상자료 및 기타 오염물질의 농도자료에 대한 상세한 통계분석결과를 제시하였다. 전체 실험기간은 초가을 기간대의 특성에 맞게  $20^\circ\text{C}$  내외의 적당히 높은 온도가 나타났고, 풍속은 1.5~2m/sec 수준으로 유지되었다. 반면 일평균 일사량이나 상대습도의 경우, 그 변화의 폭이 비교적 크게 나타났다. 시간대별 풍향자료를 이용하여, 16 방위로 구분된 sector당 바람의 절대 발생 개수를 비교하면, 연구기간동안 바람의 발생은 동풍과 서풍이 주를 이루는 것으로 나타났다.

전체 연구기간동안 42개의 배출공으로부터 농도관측이 이루어졌다. 제 1공구 내 6개의 배출공에서는 24시간 이상 연속관측이 이루어졌다. 따라서 이들 배출공에 대한 대표값은 평균값을 취하였다. 반면 기타 배출공의 경우, 단순히 복수측정을 실시한 후, 평균값을 취하였다. 이들 결과를 정리 해보면,  $\text{CO}_2$ 와  $\text{CH}_4$ 의 평균농도는 각각  $27.8\pm 6.88$ 과  $50.9\pm 14.2\%$ 를 기록하였다. 이에 덧붙여 수증기의 함량도  $17.4\pm 5.46\%$ 를 보여 주었다. 이들 결과를 개략적으로 요약해 보면 다음과 같다. 우선 배출가스 중에서 메탄의 함량이 가장 높은 절반 수준을 차지한다. 여기에 덧붙여, 이산화탄소와 수증기를 감안할 경우, 이들 3개 성분만으로도 대략 배출가스 조성의 90% 가까운 부분을 설명할 수 있는 것으로 나타났다.

**Table 2.** A statistical summary of major gaseous compounds measured at the outlet of ventilated pipes at NJD landfill site. This study was conducted during Sept./Oct. 2000 period.

	Concentration (in %)			EV*	Temp.
	$\text{CH}_4$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{O}$	m/s	$^\circ\text{C}$
All data	$50.9\pm 14.2$	$27.8\pm 6.88$	$17.4\pm 5.46$	$1.00\pm 0.98$	$32.7\pm 9.27$
	7.20~72.4 (42)	14.3~61.0 (42)	9.62~38.1 (42)	0.12~5.10 (42)	18.8~64.5 (42)
Sector 1-Plain	$52.3\pm 15.4$	$25.7\pm 4.40$	$17.1\pm 6.37$	$1.01\pm 0.77$	$32.5\pm 9.59$
	7.2~72.4 (25)	14.3~33.4 (25)	9.62~38.1 (25)	0.21~3.44 (25)	18.8~64.5 (25)
Sector 1-Slope	$45.4\pm 15.6$	$35.9\pm 17.0$	$13.9\pm 2.04$	$0.25\pm 0.09$	$24.9\pm 1.75$
	25.2~57.8 (4)	23.7~61.0 (4)	11.2~15.6 (4)	0.17~0.38 (4)	22.6~26.4 (4)
Sector 2-Plain	$49.9\pm 7.13$	$30.3\pm 3.18$	$17.8\pm 2.66$	$1.71\pm 1.51$	$37.0\pm 8.49$
	37.6~58.4 (8)	27.8~37.2 (8)	15.8~23.8 (8)	0.42~5.10 (8)	27.8~53.8 (8)
Sector 2-Slope	$50.2\pm 17.7$	$27.4\pm 5.46$	$20.8\pm 4.38$	$0.57\pm 0.72$	$32.9\pm 10.1$
	19.8~63.6 (5)	18.3~32.7 (5)	15.1~25.6 (5)	0.12~1.85 (5)	24.8~49.5 (5)

\*denotes exit velocity.

## 토 론

### 난지도 배출공의 분포와 그에 따른 주요 가스성분의 농도

총 42개의 배출공으로부터 관측된 이산화탄소와 메탄의 농도분포는 어느 정도 차이를 발견할 수 있다. 전체 자료의 분포가 균질하다고 볼 수 없기 때문에, 전체 자료를 다음과 같이 두 가지 기준 - (1) 공구별(1, 2 공구간) 또는 (2) 측정위치별(평지면, 사면간) - 을 적용하여 4개군으로 구분하였다. 이러한 기준을 적용하였을 때, Table 2에 나타난 바와 같이 4개 자료군의 결과는 성분별로 어느 정도 차이를 보였다. 예를 들어, 메탄의 경우 분류기준에 상관없이 농도분포가 대체로 균질하게 나타났다. 반면 이산화탄소(또는 수증기)의 경우, 위 기준으로 분류한 4가지 자료군 간에는 어느 정도 차별이 나타났다. 그러나 CO<sub>2</sub>는 1공구의 사면에서 농도가 높게 나타나고, 2공구에서는 평면에서 더 높게 나타났다. 따라서 뚜렷한 경향성의 도출이 곤란하다. 이러한 농도분포의 경향성은 과거 수은에 대한 선행연구에서, 수은의 농도분포가 특별한 방향성이나 경향성을 찾기 어렵게 고농도와 저농도가 산만한 분포를 보였던 결과에 비교해 볼 때 어느 정도 차이가 있다(김민영 외, 2001b).

실제로 이와 같이 4개 자료군으로 분류한 자료군에서 가장 뚜렷한 경향성을 보인 것은 배출 유속 또는 온도 등에서 확인되었다. 예를 들어, 평지에 위치한 배출공의 배출 유속은 1, 2 공구에서 각각 1과 1.7m/s의 평균을 기록하였지만, 사면의 경우 그 절반 또는 이하인 0.25와 0.57m/s의 수준을 기록하였다(기온의 경우에도 이와 같은 차이를 어느 정도 발견할 수 있다.). 이와 같이 물리적 인자들이 자료군에 따라 큰 차이를 보이는 것은 배출공의 배치위치 등에 따라 배출공의 매설깊이 등에 차이가 나고, 이러한 요인의 영향이 반영된데 따른 결과로 보인다. 반면 주요 배출물질인 CO<sub>2</sub>와 같은 화학성분류가 상대적으로 균질한 것 처럼 나타나는 이유는 이들의 생성이 비교적 균질하게 이뤄진다는 가능성을 반영하는 것으로 보인다.

### 난지도 배출공으로부터 관측된 주요 오염물질의 빈도분포특성과 시간적 분포경향성

배출공을 중심으로 관측된 자료의 특성을 파악하기

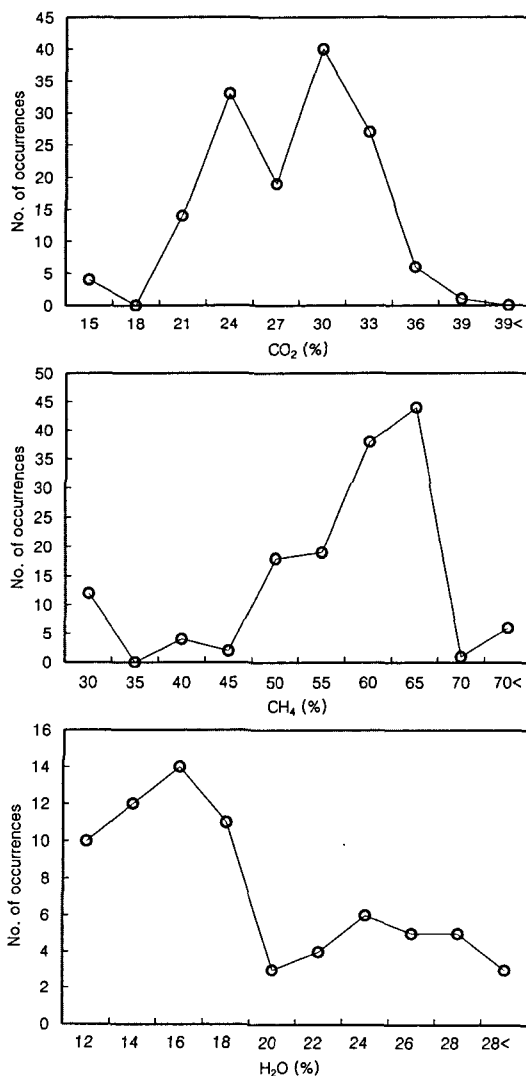


Fig. 2. Frequency distribution patterns of major pollutants determined at the outlet of vent pipes.

위한 한 가지 방편으로, 가장 집중적으로 측정이 이루어진 제 1공구 평지면의 관측 결과들을 이용하여, 주요 변수들에 대한 빈도분포를 조사하였다(Fig. 2). 과거 수은의 경우에서 본 불규칙한 빈도분포 양상 대신, 메탄이나 이산화탄소와 같은 성분들은 대체로 정규분포에 어느 정도 근접하는 듯한 곡선의 형태를 보여 주었다. 이산화탄소의 경우 27~30%의 농도범위에서 그리고 메탄의 경우 60~65%의 범위대에서 최고빈도를 기록하였다. 이처럼 최빈값을 중심으로 농도의 감소가 비교적 규칙적인 형태로 이루어지기 때문에, 양자는 모두 평균값의 30% 정도에 해당하는

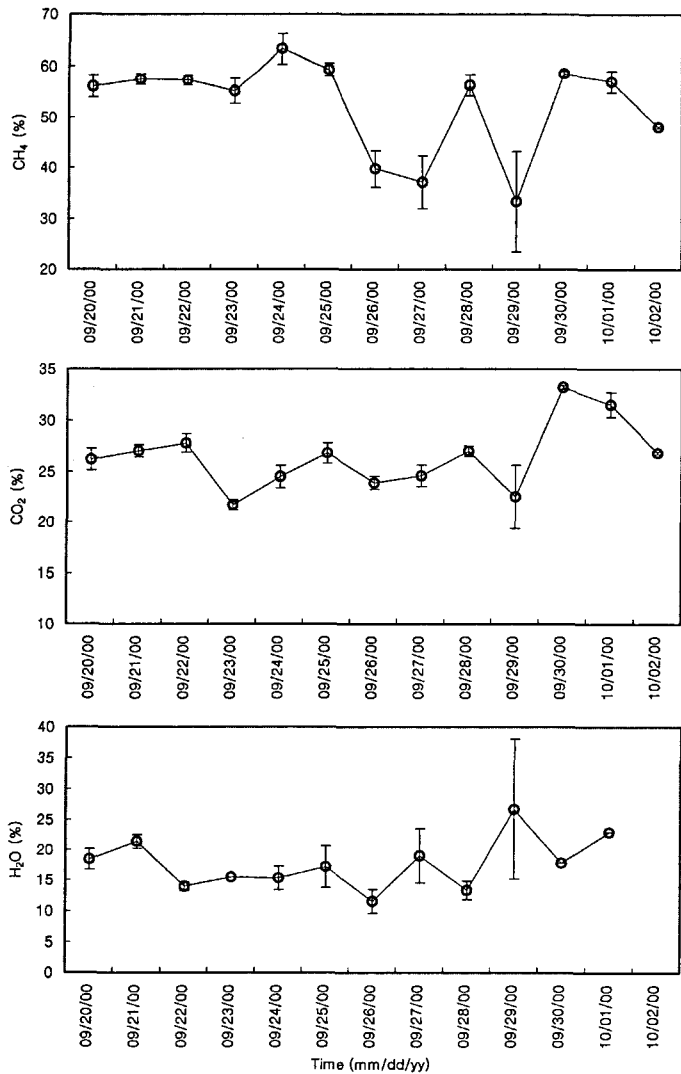


Fig. 3. Temporal variabilities of major compounds are plotted using the daily mean concentration data determined from a number of vent pipes as a function of time.

표준편차값을 띠는 것으로 나타났다.

본 연구는 양대 매립공구내 배출공의 상당 부분을 순차적으로 분석하였기 때문에, 시간적인 기준으로 자료의 경향성을 분석하는 것이 가능하다. 일단 동일한 배출공을 연속분석한 경우보다는 개별 배출공을 일자별로 분석하였기 때문에 그리고 배출공별 배출농도의 차이가 존재하기 때문에 이들 자료를 균일한 기준으로 비교하기는 곤란하다. 그러나 전체적으로 성분별 농도가 어떤 규모에서 변화하였는가를 비교하기 위한 한 가지 방편으로 배출공별로 관측된 농도를 날자의 함수로 배열해 보았다(Fig. 3). 이산화탄

소의 경우, 9/30일에 35%에 근접하는 수준의 농도가 발견되기 전까지 대체로 25%를 상회하는 수준을 유지한 것으로 나타났다. 반면 메탄의 경우, 9/26, 9/27, 9/29일 등에서 농도가 40% 또는 그 이하로 떨어지기 전까지, 대체로 대부분의 배출공이 50%를 초과하는 수준을 유지한 것으로 나타났다.

이러한 일별 나열방식의 비교에 덧붙여서, 본 연구의 주 대상성분인 이산화탄소나 메탄 모두 배출공에서 연속적으로 시간대별 관측이 이루어졌다는 점을 감안할 필요가 있다. 따라서 이들 자료에 대한 24시간 규모의 단주기적 경향성의 존재유무를 확인하는

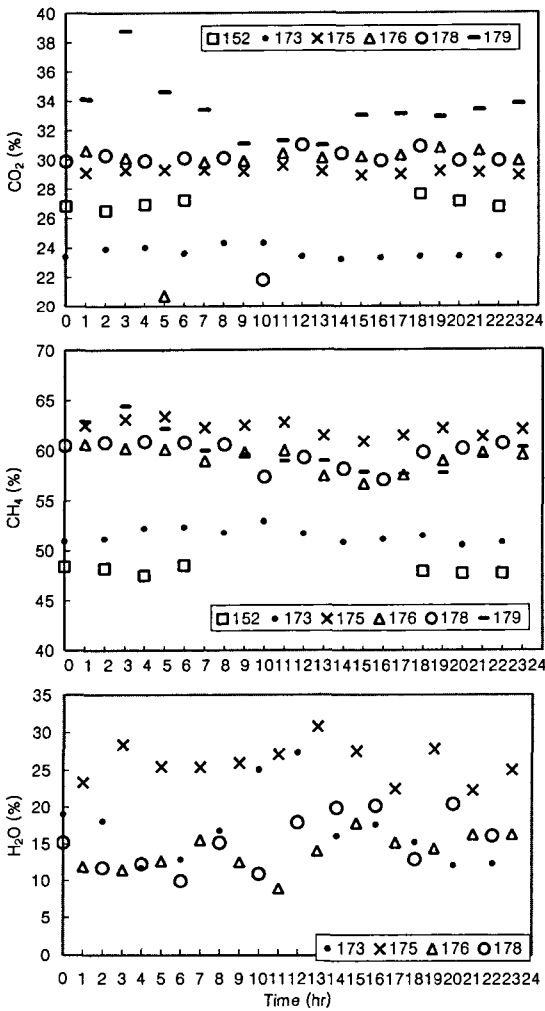


Fig. 4. Diurnal variabilities of major species determined at the outlet of ventpipes.

것도 중요한 의미를 지닐 것으로 보인다. Fig. 4에 제시된 결과를 보면, 일부 성분이 어느 정도 주야간의 차이를 보이는 경우도 있지만, 이러한 부분을 경향성으로 정의하기에는 보다 더 많은 자료의 확보가 필요할 것으로 보인다. 대체로 메탄이나 이산화탄소와 같은 성분들의 농도변화는 시간적인 경향성이 뚜렷하지 않은 것으로 보인다. 그렇지만, 배출공들간에 존재하는 농도의 차이는 성분에 상관없이 어느 정도 고정된 양상을 보이고 있다. 예를 들어, Fig. 4에 나온 바와 같이 173번 배출공의 경우, 성분의 종류에 상관없이 거의 일관성있게 낮은 농도를 유지하는 것으로 확인된다. 반면 175, 179번 배출공의 경우, 거의 규칙적으로 높은 농도가 나타나는 것을 알 수 있다.

### 배출공을 통한 주요 성분의 거동을 조절하는 인자들

난지도 내에 위치한 배출공에서 진행되는 주요 오염성분의 배출을 보다 체계적으로 설명하기 위해, 이산화탄소나 메탄의 농도와 동시에 관측된 환경인자들 간의 상관성을 통계적인 방식을 이용하여 비교분석하였다. 상관성의 강도를 비교하기 위해, 분석대상간의 상관성이 존재하지 않을 확률, P값이  $10^{-2}$  또는  $10^{-3}$  을 기준으로 개별 변수들의 짝을 비교해 보았다. 우선 Table 3에 제시된 상관분석의 결과를 보면, 배출공의 출구에서 관측된 양 성분의 농도는 상당히 밀접한 관계를 유지한다는 것을 알 수 있다. 특히 배출공에서 관측된  $CO_2$ 와  $CH_4$  등의 높은 상관관계는 0.66의 상관계수에서 확인할 수 있다( $P=2 \times 10^{-19}$ ). 이런 결과는 이들 양 성분의 생성이 상당히 밀접하게 이루어지리라는 점을 시사한다. 그리고 배출공의 기온과 배출속도간에도 어느 정도 높은 상관성을 동시에 보여 주었다.

주로 배출공의 출구로부터 관측된 변수들 간에는 강한 상관성의 존재가 빈번하게 발견되는데 반해, 이들 자료에 대비한 외기의 분석자료들에 대한 상관성 분석결과는 상당히 큰 차이를 보인다. 당연히 예측이 가능한 결과일 수도 있지만, 이들의 경우에도 상관성의 고저에 따라 그 의미를 자세히 분석해 볼 필요도 있을 것이다. 특히 외기에서 관측한 변수들의 측정은 주로 한 지점을 중심으로 이루어졌기 때문에, 비교적 일관성이 확보될 수 있을 것이다. 반면, 배출공에 대한 측정치는 이질적인 배출특성을 지닌 여러 배출공을 개별적으로 측정된 결과이기 때문에 특별히 큰 상관성을 찾을 수 없는 것이 합리적일 수도 있을 것이다. 따라서 보다 공간적인 대표성이 큰 외기 온도의 경우, 배출공에서 발견되는 주 성분 농도와 어느 정도 연계성을 형성하는 것을 발견할 수도 있다. 이러한 현상은 배출단계에서 외기의 일사량 등이 어느 정도 이들 성분의 배출에 영향을 미칠 가능성을 시사하는 것으로도 보인다.

### 결론

본 연구진은 난지도의 배출공에 대한 실측을 중심으로 주요 성분의 환경거동을 연구하였다. 그리고 이러한 연구자료를 토대로 대규모 배출원에서 진행되는 주요 온실가스 성분의 농도분포 특성 등에 대한 정



Table 3. Results of correlation analysis between the dominating, ventilated species and those determined concurrently from ambient air during this study period.

Sector	1	plain	CH <sub>4,v</sub>	CO <sub>2,v</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>v</sub>	EV	T <sub>vent</sub>	T <sub>air</sub>	UV	RH	WS	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NOX	CH <sub>4</sub>	NHMC	THC	O <sub>3</sub>	CO	PM10	
CH <sub>4,v</sub>	r		1																			
P				0.66	-0.15	0.11	-0.67	0.22	0.02	0.09	0.05	0.00	-0.09	0.12	-0.03	-0.01	0.07	0.01	0.03	-0.05	0.10	
CO <sub>2,v</sub>	r			1																		
P					2.0E-19	2.2E-01	2.0E-19	8.4E-02	8.5E-01	4.7E-01	5.7E-01	9.9E-01	3.0E-01	1.8E-01	7.3E-01	9.1E-01	5.0E-01	9.4E-01	7.1E-01	5.9E-01	2.6E-01	
H <sub>2</sub> O <sub>v</sub>	r				1																	
P						9.6E-01	2.9E-02	1.6E-03	4.7E-02	4.1E-01	7.4E-01	7.1E-01	8.0E-01	1.0E-01	7.3E-01	4.1E-01	2.8E-02	2.2E-01	2.7E-01	3.1E-01	2.1E-01	
EV	r				1																	
P						7.5E-01	1.1E-02	4.2E-01	3.0E-01	5.0E-01	5.0E-01	7.5E-02	3.7E-01	8.9E-02	2.2E-01	5.2E-01	2.2E-01	3.9E-01	7.6E-01	2.0E-01	8.9E-01	
T <sub>vent</sub>	r				1																	
P						5.3E-04	4.7E-01	7.9E-01	7.9E-01	2.5E-01	7.9E-01	1.4E-01	6.7E-01	3.8E-01	9.7E-01	4.2E-02	9.4E-01	9.7E-02	9.3E-01	8.2E-01	5.1E-03	
T <sub>air</sub>	r					1																
P							2.9E-02	5.9E-01	1.2E-01	6.3E-01	1.1E-01	9.2E-01	2.1E-02	4.9E-01	3.3E-01	2.5E-02	1.8E-01	1.8E-01	4.1E-01	6.4E-01	1.0E-04	
UV	r					1																
P							7.6E-19	1.1E-07	9.0E-01	9.5E-01	1.1E-05	1.1E-04	3.1E-06	4.0E-04	7.6E-01	2.3E-03	1.1E-14	2.8E-05	4.8E-01			
RH	r						1															
P								1.8E-11	6.8E-01	7.6E-01	1.6E-01	1.6E-05	1.3E-02	9.2E-05	5.8E-02	1.7E-04	2.4E-09	7.4E-05	3.6E-04			
WS	r						1															
P									2.7E-01	3.5E-01	1.1E-01	8.4E-01	2.0E-01	1.2E-02	4.4E-01	2.1E-02	1.2E-01	1.6E-03	1.9E-01			
SO <sub>2</sub>	r								1													
P										1.7E-01	9.2E-01	6.0E-01	9.3E-01	6.8E-01	4.0E-01	5.8E-01	4.1E-01	1.6E-02	3.8E-02			
NO	r									1												
P											3.1E-02	3.3E-02	2.1E-02	7.4E-01	6.1E-01	8.8E-01	8.2E-01	4.5E-01	5.7E-07			
NO <sub>2</sub>	r										1											
P												5.4E-20	5.4E-20	6.0E-03	9.9E-02	6.6E-03	4.9E-19	1.2E-01	2.7E-01			
NOX	r											1										
P													0.79	0.21	0.07	0.19	-0.50	0.13	0.41			
CH <sub>4</sub>	r																					
P																						
NHMC	r																					
P																						
THC	r																					
P																						
O <sub>3</sub>	r																					
P																						
CO	r																					
P																						
PM10	r																					
P																						

Subscript v used denote data obtained from the vent system.

량적인 평가를 제시할 수 있는 기초연구를 수행하였다. 본 연구를 통해 관측된 배출공을 통한 이들 성분의 분포특성에 대한 비교결과는 부피기준으로 메탄이 배출가스의 절반을 차지할 정도로 주구성인자라는 점이 확인되었다. 이에 덧붙여 이산화탄소와 수증기를 감안할 경우, 3대 주성분은 배출가스 전체의 90% 가 가까운 수준임을 알 수 있었다. 이들 성분의 농도분포는 대체로 배출공의 공구별 위치 또는 공구내 사면과 경사면간의 차이 등과 같은 요인에 따라 어느 정도 성분에 따른 차이를 보였다. 반면 동시에 관측된 배출속도 또는 기온과 같은 환경변수는 위와 같은 물리적 요인의 차이에 따라 상당한 차이를 보였다. 일주기와 같이 짧은 시간적인 관점에서 농도분포의 특성을 비교해 보면, 뚜렷하고 일관된 주야간의 차이를 도출하기는 어렵지만, 배출농도의 변화는 대체로 배출공간의 차이에 따른 일관성을 어느 정도 유지한다는 점을 확인할 수 있었다. 이러한 연구결과는 추후 이들 성분이 주요 면 오염원인 매립장에서 얼마만큼 배출하는가의 여부를 추정하는데 유용한 기준을 제공할 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구자료의 통계적 처리와 분석을 도와 준 김

나영양에게 감사드린다. 본 연구과제는 2001년 한국 과학재단의 선도과학자 지원과제에 의하여 연구되었습니다(R03-2001-00044).

## 참고문헌

- 국제환경노동문화원, 1995, 쓰레기 매립지 개발에 따른 환경대책. 환경정책토론회.
- 김민영 · 이강용 · 김기현, 2001a, 미기상학적 기법을 이용한 난지도 매립지에서 방향족 화합물의 Air/Soil 교환량 산정 (계제예정). 한국대기환경학회지.
- 김민영 · 김기현 · 조석주, 2001b, 난지도 지역의 수은배출특성 연구: 배출공 내부의 농도와 배출공을 통한 수은플럭스의 관측. 한국대기환경학회지, 17(4), 299-312.
- 이승무 · 박진원 · 박상봉, 1996, 난지도 매립지 가스추출 특성에 관한 연구. 한국폐기물학회지 11(4), 602-608.
- 장영기 · 서영배, 1998, LAFEM에 의한 전국 매립가스 발생량 추정에 대한 연구. (A study on the estimation of landfill gas emission by LAFEM in Korea.) 14(5), 499-505.
- IPCC, 1995, Climate change 1995-The science of climate change (Including summary for policymakers). Report of IPCC working group I.
- Kim, K.-H., Kim, M.Y., and Lee, G., 2001, The soil-air exchange characteristics of total gaseous mercury from a large scale municipal landfill area. Atmospheric Environment. 35(20), 3475-3493.

2001년 11월 17일 원고 접수  
2002년 1월 24일 수정원고 접수  
2002년 1월 25일 원고 채택