

GE4) Static Chamber를 이용한 도시쓰레기 매립지로부터의 온실기체 배출량 측정

Static Chamber for Measurements Greenhouse Gas Emissions from Landfill Surface

김득수¹⁾, 장영기²⁾, 전의찬³⁾

¹⁾군산대학교 환경공학과, ²⁾수원대학교 환경공학과, ³⁾동신대학교 환경공학과

1. 서 론

대기 중으로 배출되는 CO₂, CH₄, N₂O, O₃, CFC 등은 지구온난화에 기여하고, 이러한 온실기체들은 여러 경로를 통해서 대기로 배출되고 있다. 배출원별 온실기체의 기여도를 보면(Green peace, 1997) 화석연료 연소의 경우가 58%로 가장 높고, 농업과 토지이용의 변화에 의해 18%, 17%, 그리고 도시쓰레기의 매립에 의해서도 약 3%정도 기여하는 것으로 보고되었다. 주요 온실기체에 대한 대기 중 농도가 과거보다 현저하게 증가되었음이 확인되고 있고, CO₂의 경우 연간 증가율이 0.5%, CH₄의 경우는 1%, 그리고 N₂O의 경우는 약 0.2% 정도로 보고되고 있다(Bouwman, 1990). CH₄와 N₂O는 CO₂에 비해 대기중의 농도는 적으나 상대적으로 지구온난화에 기여하는 정도가 높으며, 또한 생체적 발생량(Biotic source emission)이 크기 때문에 지구규모수지(global balance)에 있어서 신중하게 고려되어야 할 것이다. CH₄의 경우 전지구 배출규모인 400 ~ 640 Tg CH₄/yr의 약 8~11%(30~70 Tg CH₄/yr)를 차지하는 것으로 추정되고 있는 도시쓰레기 매립으로 인한 국내 배출량 조사를 위해서 현재 사용중인 쓰레기 매립장을 대상으로 매립표면으로부터 기체배출이 조사되었다. 이번 조사는 환경기초시설에서 배출되는 국내 온실기체의 발생량을 조사하여 국가의 기본지표로써 활용하기 위한 사업의 일환으로 진행 중에 있으며, CH₄의 지표배출량 측정에 사용된 방법과 현재까지 수행된 결과를 증점적으로 논의하게 될 것이다. 매립장에서 배출되는 기체는 주로 CO₂와 CH₄으로 구성되어 있으며 이들 중 CO₂는 대기 중으로 자연 배출되며, CH₄의 경우는 GWP(global warming potential)를 낮추기 위해서 배출 즉시 배제공으로부터 소각시키거나, 가스관으로 분리채취하여 연료로 사용되고 있다. 그러나 이러한 회수과정을 거치는 동안에도 매립표면과 일부 배제공을 통해 대기 중으로 배출되고 있는 양을 무시할 수 없으며, 이번 조사에서는 국내에서 사용중인 매립장을 대상으로 매립표면과 가스공으로부터 발산되는 CH₄의 배출량을 flux chamber를 이용하여 직접 측정하였다.

2. 연구방법

토양은 대기중의 기체들의 source 또는 sink로 작용한다. 지표면으로부터의 기체배출량 측정에는 일반적으로 flux 챔버와 미기상학적 방법이 사용된다. 미기상학적 방법은 미기상인자를 직접 측정하여 배출량을 계산하는 방법으로 비교적 넓은 지역을 대상으로 하며 매우 짧은 주기(10Hz 이상)로 측정이 이루어져야 하고 장비구성과 운영에 많은 비용이 든다. 반면에 flux chamber를 사용하는 경우는 ① 아주 적은 양의 배출량 분석도 가능하고, ② chamber 장치가 매우 간단하고 경제적이며, ③ 장치의 설치와 이동이 용이하여 여러 장소에서 같은 장치로 측정이 가능하다. 이번 조사에서는 자체 제작된 flux chamber를 사용하여 매립지 표면으로부터의 CH₄ 배출량을 측정하였다. flux 챔버를 사용하여 지표배출을 측정하는 경우 외부와의 공기흐름이 차단된 닫힌 챔버(closed static chamber)와 외부공기를 일정하게 흐르게 하는 유동 챔버(flow-through chamber)를 사용할 수 있으며, NO_x와 같이 반응이 빠른 기체의 경우는 유동 챔버(Kim, 1997 ; Kim et al, 1995, 1994)를, CH₄와 N₂O와 같이 화학반응이 비교적 느린 기체의 경우는 닫힌 챔버를 주로 사용한다(Tsuruta et. al., 1997 ; Watanabe et. al., 1997). 측정방법은 기체를 측정하려는 지점(대략 0.1m² 미만)에 밀폐된 챔버를 설치하고 시간에 따라 변화하는 챔버 내부의 기체농도 변화를 측정하여 기체의 지표배출량을 질량평형형식에 의해서 산출한다. 챔버 내의 기체시료를 챔버가 측정지점에 놓여진 시점과 30분 후, 챔버에 부착된 테프론관에 polypropylen 주사기를 연결하여 50ml씩 채취하고, 실험실에 준비된 GC-FID에 의하여 농도를 분석하였다. CH₄ 분석을 위해 사용된 GC 컬럼은

Porapak N(80/100mesh ; 1/8"×2m)이고 컬럼온도는 45℃, 검출기온도는 120℃로 유지되었으며, 이때 CH₄는 0.45분 정도에서 검출되었다. 시간에 따른 농도변화에 의한 CH₄ 배출량은 다음과 같이 계산되었다.

$$F_{CH_4} = \rho_{CH_4} V/A \cdot \Delta C/\Delta t \cdot 272/(T+273)$$

여기서 F_{CH₄}는 CH₄의 배출량, ρ_{CH₄}는 CH₄의 밀도, V는 챔버의 내부 용적, A는 챔버의 밀면적, ΔC/Δt는 시간에 따른 CH₄ 농도변화율, 그리고 T는 챔버 내의 평균기온이다. 측정매립지로는 매립정보가 비교적 상세하고 관리가 양호한 수도권매립장, 광주운정동의 광역매립장과 동산동의 비위생매립장, 전주광역매립장, 그리고 군산광역매립장의 5곳을 선정하였다. 1차 측정기간 중에는 각 매립장 별로 4지점의 측정점에서 flux chamber로부터 모두 40개의 가스시료들이 gas-tight syringe 또는 tedlar

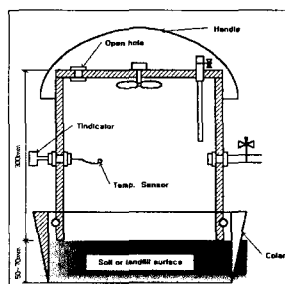


Figure 1. Schematic of flux chamber.

air bag에 의해 채취되었고, 각 매립장의 배제공으로부터도 10개의 시료(수도권 4개, 광주 4개, 전주 1개, 군산 1개)가 채취되었다. 각 측정구역으로부터 채취된 가스시료는 분석을 위해 냉장통에 넣어 실험실로 옮겨졌으며, 가능한 채취 후 1일 이내에 분석을 행하였다.

3. 결과 및 논의

측정지점의 가스배출특성을 상세히 이해하기 위해서는 매립장의 기본적인 물리, 화학, 생물학적 특성이 세밀하게 병행 조사되어야 하지만, 이번 조사는 단기간의 여건에 따라 전국 폐기물조사 자료에 근거하였다. 매립지면으로부터 배출되는 메탄농도의 크기는 측정대상 매립장에 따라 많은 차이가 있었다. flux chamber이용 시 측정된 메탄농도의 크기는 측정초기인 T₀시점에서 낮았으며, 이 때의 농도범위는 비위생매립장인 동산동매립장에서 가장 낮은 1.5 ppm에서부터 수도권매립장에서 463 ppm까지 나타났다. 또한 T₀에서 30분 후인 T₁시점에서의 측정치는 T₀에 비해 상대적으로 높게 나타났으며, 이는 매립지면으로부터의 가스배출이 있음을 나타내는 것이며, 그 범위는 가장 낮은 비위생매립장의 2.6 ppm으로부터 수도권매립장의 경우 610 ppm으로 나타났다. 따라서, 30분간의 시차 동안 매립지 표면으로부터의 가스배출이 감지되었고, 이들 지면배출의 결과를 이용하여 매립지면으로부터의 메탄의 배출량을 주어진 식에 의하여 산출하였다. 한편, 매립장의 가스관으로부터의 배출량은 측정대상 배제공의 출구 단면적과 배출시의 메탄농도, 그리고 배출유속을 측정하여 산출하였다. 가스관으로부터의 가스배출 유속은 열선풍속계로 직접측정 하였으며, 수도권매립장 가스공의 경우 평균 유속이 0.25 m/sec이었다. 이상과 같은 측정실험으로부터 계산된 각 단위면적 단위시간 당 또는 가스공 1기 당의 CH₄배출량을 표1에 제시하였다. 수도권매립장의 단위배출량은 동일 매립구역을 대상으로 측정지점을 정했음에도 불구하고 지점에 따라 많은 차이가 있었다. 이러한 차이는 측정 매립장에서 모두 유사하게 나타났으며, 가스의 표면배출량은 복토층의 생·지화학 특성과 매립된 쓰레기의 종류 및 성상 등 매립과 환경인자들에 의해서 주로 결정되기 때문에 이웃한 측정지역의 매립·환경인자들 일치라도 서로 차이가 있었기 때문으로 생각된다.

표1에 제시된 매립장별 메탄의 단위배출량과 대상매립장 측정구역의 복토면적과 매립된 쓰레기의 총량을 이용하여 연간배출량과 매립쓰레기 당 메탄배출량을 표2에 제시하였다. 수도권매립장의 경우, 측정이 수행된 J블럭에서의 연간 총배출량은 최고 90톤CH₄/년(246 kgCH₄/일) 수준이었으며, 운정동의 경우 최고 289톤CH₄/년(792 kgCH₄/일), 전주는 160톤CH₄/년(438 kgCH₄/일), 군산은 56톤CH₄/년(153 kgCH₄/일)이었고, 이미 매립이 완료된 비위생매립장의 경우 그 양이 매우 적었다. 수도권을 포함한 대상 매립장의 경우 발생하는 가스의 상당부분은 가스채취관을 통하여 모아지고 있었으며, 이중 일부는 연료 등으로 사용되고 나머지는 대기 중에서 연소되고 있었다. 표2의 결과에서처럼 매립장의 표면으로부터 배출되는 메탄의 양은 동일매립장에서 측정된 가스공에서 배출된 양에 비해 상당히 낮음을 알 수 있었다. 수도권매립장의 경우 측정된 1개 가스공으로 배출되는 메탄의 양은 1776.5 kgCH₄/일로 J블럭 전체의 매립표면으로부터 배출되는 양의 약 8배에 해당하였으며, 광주매립장의 경우도 391.4 kgCH₄/일로 전체 매립지표면으로 배출되는 양의 약 절반에 해당하는 양으로서, 매립지표면에서의 메탄배출량이 매립장의 가스공으로 인한 자연배출량에 비해 현저히 적었음을 보여주었다. 한편, 수도권과 광주를 제외한 가스공

에서 채취된 가스의 메탄 농도가 극히 낮게 나타났으며, 이는 가스채취시의 주위공기 유입에 따른 것으로 사료되어 비교치 않았다. 이상의 분석결과들은 우선 짧은 기간 내에 한정된 매립장을 대상으로 수행된 일부결과이며, 각 매립장의 불과 4지점에서 1회 측정된 자료이다. 따라서, 그 결과를 당장 실질적 배출량산정에 적용함에는 무리가 따를 수 있을 것이다. 그러나, 이번 연구를 통하여 매립지표면에서 일정 규모의 배출이 있음이 확인되었고, 지속적인 측정과 분석을 통한 배출자료확보와 측정기술축적은 매립지면으로부터의 가스배출특성을 연구하고, 그에 따른 매립과 환경인자 사이의 관계와 역할 등을 규명하고 이해하는데 있어서 매우 큰 기여를 할 것이다. 또한, 계속되는 연구에서 국내의 매립장에 적용한 결과를 IPCC방법과 함께 비교함으로써 국가특성이 고려된 보다 신뢰성 있는 국가배출량산정기법의 개발과 정확한 배출량 산출을 위한 장래의 국가계획에 기여할 수 있을 것으로 생각된다. 따라서, 장래의 국가단위 온실가스배출량 산출에 있어서 선진외국의 기술에 의존치 않고, 독자적이며 선진외국에도 기술력으로 인정받을 수 있는 국가환경기술수준을 향상시키기 위해서는 이와 같은 연구가 예비적인 단계에 그치지 않고, 국가기관의 주도로 장기적인 계획 하에 지속적으로 이루어지고 그 결과들에 대한 자료화가 체계적으로 이루어져야 할 것이다.

Table 1. CH₄ emission flux from landfill sites using static chamber method (unit: mgCH₄/m²/hr)

Plot					Gas Pipe
	1	2	3	4	
Site					
Kim Po	61.1	76.3	9.9	5.8	2.6e8
Dong San	0.45	0.49	0.09	0.49	3.3e5
Wun Jeng	0.49	2.19	154.9	86.5	2.5e8
Chon Ju	127.9	0.9	4.52	4.07	607e5
Kun San	94.9	-	-	102.1	2.9e5

Table 2. Total CH₄ emission from selected landfill sites.

매립지	매탄 단위 배출량 (mgCH ₄ /m ² /hr)	년간 배출량 (tonCH ₄ /yr)	매립쓰레기당 배출량 (kgCH ₄ /ton/yr)	비고	
수도권	지점 1	61.1463	71.557	163.9*10 ⁻⁴	매립기간: 5.5년 매립량: 4,366,327톤 매립면적: 133,392m ² (J블록)
	지점 2	76.2505	89.233	204.4*10 ⁻⁴	
	지점 3	9.8825	11.565	26.5*10 ⁻⁴	
	지점 4	5.8095	6.798	15.6*10 ⁻⁴	
운정동	지점 1	0.4891	0.9138	4.0*10 ⁻⁴	매립기간: 4년 매립량: 2,311,577톤 매립면적: 213,275m ²
	지점 2	2.1816	4.0758	17.6*10 ⁻⁴	
	지점 3	154.90	289.40	1252.4*10 ⁻⁴	
	지점 4	86.493	161.60	699.1*10 ⁻⁴	
동신동	지점 1	0.4511	0.2157	-	매립기간: 7년 매립량: ? 매립면적: 54,589m ²
	지점 2	0.4902	0.2344	-	
	지점 3	0.0894	0.0427	-	
	지점 4	0.4915	0.2350	-	
전주	지점 1	127.8749	160.186	4277.3*10 ⁻⁴	매립기간: 2년 매립량: 374,500톤 매립면적: 143,000m ²
	지점 2	0.9037	1.132	30.2*10 ⁻⁴	
	지점 3	4.5185	5.660	151.1*10 ⁻⁴	
	지점 4	4.0667	5.094	136.0*10 ⁻⁴	
군산	지점 1	94.8895	51.785	2566.0*10 ⁻⁴	매립년: 3년 매립량: 20,808톤 매립면적: 62,300m ²
	지점 2	-	-	-	
	지점 3	-	-	-	
	지점 4	102.1192	55.731	2761.2*10 ⁻⁴	

참고문헌

- Bouwman, A. F. (1990), *Soils and the greenhouse effects*, John Wiley and Sons, Chichester.
- Greenpeace, "Fossil fuels and climate protection :Carbon logic " (1997)
- Kim D.-S. and Aneja V.P. and Robarge W.P., 1994. "Characterization of Nitrogen Oxide Fluxes from Soil of a Fallow Field in the Central Piedmont of North Carolina." *Atmospheric Environment*, 28, NO.6, 1129-1137.
- Kim D.-S., 1997. Characterization of NO_x emissions from soils in southwest Korea and their atmospheric chemistry, *J. of Korea Air Pollution Res. Assoc.* Vol. 13-6, 451-461.
- Kim D.-S., P.Roelle and V.P.Aneja 1995, "Natural Emission of Nitric Oxide from Agricultural Soil of Corn-field in eastern North Carolina, *J. of Korea Air Pollution Res. Assoc.*, 11-E 영자학회지, 31-43.
- Tsuruta, H. et al., 1997. Nitrous oxide emission from a rice paddy field in Japan, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 49, 51-58.
- Watanabe, T. et al., 1997. N₂O and NO emissions from grassland soils after the application of cattle and swine excreta, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 49, 35-39.