

## 연구노트

### 천안백석매립장을 중심으로 한 메탄가스 발생량에 관한 연구

정진도·김장우·정인권·배찬열\*  
호서대학교 환경공학과, \*호서대학교 대학원 환경공학과,  
\*\*호서대학교 벤처전문대학원 첨단산업학과  
(2003년 12월 24일 접수; 2004년 7월 14일 채택)

### The Study on Methane Gas Generation Rate from Chon-An Beck-Suk Landfill Site

Jin-Do Chung, Jang-Woo Kim, In-Kwon Jung\* and Chan-Yul Bae\*\*

Dept. of Environmental Eng., Hoseo University, Asan 336-795, Korea

\*Dept. of Environmental Eng., Graduate School, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

\*\*Dept. of Innovative Industrial Tech., Graduate School of Venture, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

(Manuscript received 24 December, 2003; accepted 14 July, 2004)

Most of methane gas result from waste matter in landfill, therefore the persons concerned take an increasing interest in management of gases in landfill. Infrared Gas Analyzer was used to measure components of gases, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, through gas exhausted pipe. To measure amount of the gas flow meter (Portable Hot-Line Current Meter) was used and it was set at right angles with direction of the flow. In this research the total amount of methane gas produced in Beck-Suk Landfill was calculated through FOD method suggested by IPCC. This research found that in Chon-An Beck-Suk Landfill anaerobic resolution was made actively and the amount of methane gas produced there was 54.14%, which is higher than common figure, 50%, in other researches. The components of reclaimed waste matter, especially, organic waste matter can have a great effect of the amount of the greenhouse gases produced in landfill. We can expect that the amount of greenhouse gas will decrease from 2005, when it will be prohibited from carrying kitchen refuse and sludge into landfill.

Key Words : Methan, Landfill, G.H.G, FOD, IPCC

#### 1. 서론

온실효과기체 성분으로는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CFCs, N<sub>2</sub>O 등을 들 수 있으며, 각 성분의 대기 중 농도는 산업화의 진행에 따라 지속적이고 현저한 증가 추세를 보이고 있다. 이에 따라 지구 온난화 현상은 점차 가속화 되는 경향을 보이고 있으며, 온실효과기체가 현재와 같은 증가율로 증가하게 되면 2030년대에는

지구 전체의 평균기온이 현재에 비해 약 1.5~3.5℃ 상승하게 되고, 기후변동, 생태계의 교란, 해수면 상승, 토양침식 증가 등의 결과가 예측된다. 특히, 메탄은 이산화탄소에 비해 분자 당 온실효과가 약 21 배에 달하는 것으로 파악되고 있고 전체 지구 온난화에 대한 기여도가 이산화탄소 다음으로 높은 약 18%에 이르는 것으로 보고되고 있으며, 그 발생량의 상당부분이 폐기물 매립지에서 기인하므로 매립지의 매립가스 관리에 대하여 많은 관심이 모아지고 있다<sup>1)</sup>.

메탄과 이산화탄소는 온실기체를 대변하는 핵심

Corresponding Author : Jin-Do Chung, Dept. of Environmental Eng., Hoseo University, Asan 336-795, Korea  
Phone : +82-41-540-5743  
E-mail : jdchung@office.hoseo.ac.kr

성분으로서 또한 주요 대기오염물질로서 지구환경 시스템에 여러 가지 영향을 미친다는 점에서 대단히 중요한 의미를 지닌다. 이미 1997년에 세계 39개 공업국에 대해(90년 배출량 기준으로) 2012년까지 온실가스 배출량을 5% 이상 감축토록 요구하는 교토의정서가 마련된 바 있다<sup>2)</sup>. 매립지에서는 폐기물이 혐기성 조건하에서 미생물에 의해 분해되면서 최종산물인 메탄과 이산화탄소가 발생하여 가스상태로 배출된다. 이중 메탄은 온실가스효과가스로 규정되어 있을 뿐만 아니라 그 지구온난화 기여도가 이산화탄소 다음으로 높은 18%에 이르는 것으로 파악되고 있어 지구환경차원의 관심과 대책이 필요한 것으로 알려져 있다<sup>3-5)</sup>. 매립지의 메탄은 에너지로서 이용이 가능하여 대체에너지로 평가되고 있으며 이를 자원화하기 위한 기술의 개발 및 연구가 진행되고 있고, 환경적 이익과 경제적 이익을 동시에 추구하고 있는 추세이다. 최근 국내에서도 수도권매립지를 비롯한 대규모 매립지에서 매립가스 자원화를 위한 타당성 검토 및 세부조사가 수행되고 있음을 알 수 있다<sup>6)</sup>. 매립지의 메탄가스 발생량의 추정을 위해서는 다양한 방법이 사용되고 있으며 개별 매립지의 메탄가스 발생량을 추정하기 위해서 IPCC의 "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(1997)" Reference Method<sup>4)</sup>, 및 미국 EPA의 LAEEM(Landfill Air Emissions Estimation Model)<sup>7)</sup> 등이 사용되고 있다.

이에 본 연구는 IPCC의 Reference Method를 이용한 이론적 계산값과 실측을 통한 천안 백석 매립지의 메탄가스 발생량에 대한 연구를 실시하여, 매립지 온실가스 발생량의 추이를 살펴보고자 한다. 또한 전국 매립장에서 발생되어지는 온실가스 발생량의 Data 구축 및 온실가스 저감을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. FOD 방법

FOD 방법은 IPCC Guideline에서는 Reference Method로 소개하고 있으며, 물질수지에 기초하여 매립가스의 일시적인 배출을 가정한 Default Method에 비해 실제 상황을 보다 잘 반영하기 때문에 IPCC Guideline에서도 사용을 추천하고 있다. 이에 본 연구에서는 IPCC Reference Method를 이용하여 메탄가스 발생량을 계산하였다.

IPCC의 Reference Method에서 제시한 식은 아래와 같다.

$$Q_{CH_4} = L_0 \cdot M_t \cdot \{ \exp(-kc) - \exp(-kt) \} \quad (1)$$

여기서,

$Q_{CH_4}$  = 어느특정년도에서의 메탄 발생량( $m^3$ )

$L_0$  = 메탄배출계수( $m^3/ton$ -폐기물)

$M_t$  = 매립기간 동안의 평균 연간 매립량( $ton/yr$ )

$k_{CH_4}$  = 메탄발생속도상수( $yr^{-1}$ )

$t$  = 최초 매립된 시점으로부터의 경과시간( $yr$ )

$c$  = 매립 종료후의 경과시간( $yr$ ),

(매립중인 경우는  $c=0$ )

## 3. 연구방법

### 3.1. 대상 매립지

본 연구의 대상은 충남 천안시에 위치한 백석 매립지를 대상으로 하였다. 연구대상인 매립지의 개략적인 현황은 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 □는 매립지 표면 메탄 발생량의 측정 지점이며, ○는 배제공의 위치이다.

### 3.2. 추정인자의 산정

#### 3.2.1. 폐기물의 평균연간 매립량( $M_t$ )

폐기물의 평균 연간 매립량은 매립기간 동안에 총 매립된 폐기물의 양을 매립기간으로 나누어 결정한다.

#### 3.2.2. 메탄 배출계수( $L_0$ )

메탄 배출계수를 산정하는 방법은 크게 두 가지를 고려할 수 있다. 첫 번째는 폐기물의 실험식(Empirical Formula)을 완성하고, 이 폐기물이 혐기성 분해에 의해 생성 가능한 메탄의 최대 발생량을 양론적으로 결정하는 것이고, 두 번째는 유기성 폐기물의 탄소함량으로부터 직접 구하는 방법이다. 본 연구에서는 유기성 폐기물의 탄소함량을 이용한 방법을 이용하여  $L_0$ 값을 구하였으며 다음식에 의해 산정할 수 있다.

$$L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F \cdot 16/12 \quad (2)$$

여기서,

MCF = 메탄보정계수(Methane Correction Fractor)

DOC = 분해가 가능한 유기탄소 비율

Table 1. Description of landfill sites to predict LFG generation rate

Landfill	Total area	Total landfill capacity	Opening year	Closing year
Chon-An Beck-Suk	66,691m <sup>2</sup>	599,000m <sup>3</sup>	1996	2002

천안백석매립장을 중심으로 한 메탄가스 발생량에 관한 연구

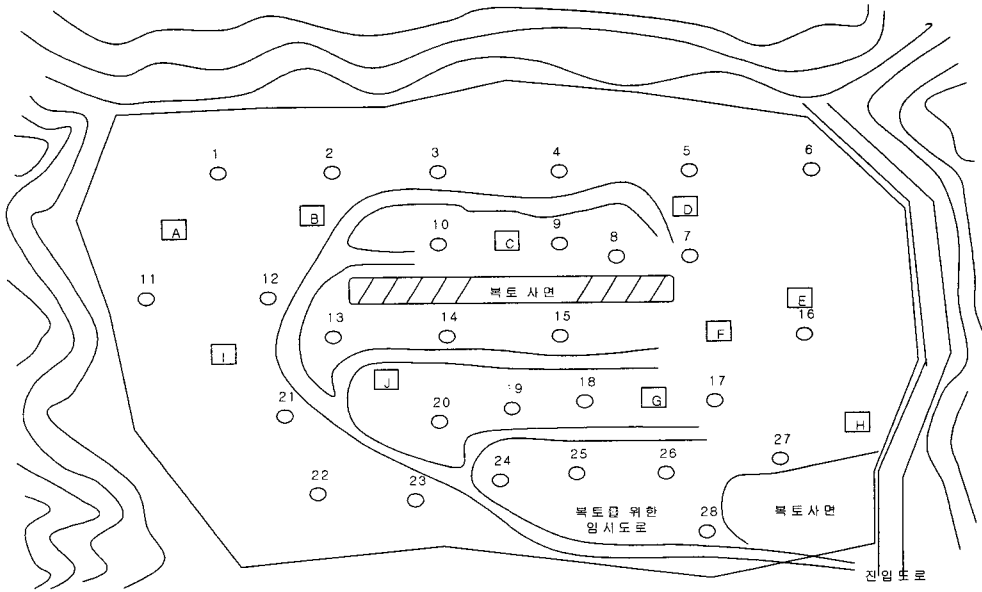


Fig. 1. Measurement Site of Chon-An Beck-Suk Landfill.

$DOC_F$ =DOC중에서 미생물에 의해 동화될 수 있는 비율  
 $F$ =매립가스 중에서 메탄이 차지하는 부피 비율  
 $16/12$ =탄소(C)에서 메탄( $CH_4$ )으로 전환하기 위한 계수

위에서 제시된 MCF는 매립폐기물이 모두 혐기적으로 분해되지 않고, 호기적으로 분해될 수 있기 때문에 매립지의 관리 상태를 반영하기 위해 메탄보정계수를 도입해야 한다. MCF가 0인 경우는 호기성 분해 조건이고, 1인 경우는 혐기성 분해 조건을 의미한다. 본 연구대상인 천안 백석 매립지의 경우 복토재를 사용하고 매립지 표면을 압축 다짐을 하였기에 공기의 투입 가능성이 거의 없다고 판단하여 MCF의 값을 1로 취하였다. 또한 분해 가능한 폐기물 중에서도 일부 성분은 생분해가 되지 않거나 분해속도가 상당히 느린 것이 있다. 이러한 대표적인 성분이 리그닌이며, 나무, 종이 등에서 이러한 성분이 많이 발견된다. 따라서 메탄가스 발생량에서 이러한 특성을 반영하기 위해  $DOC_F$ 를 도입하였다.  $DOC_F$ 는 매립지의 DOC 중에서 생분해가 가능한 비율을 의미한다. IPCC 지침서에서는  $DOC_F$ 의 기본값으로 0.77을 제시하고 있다. 최근의 문헌 조사에 의하면 이 값이 다소 과대 평가된 것으로 알려지고 있다. 최근의 IPCC(2000)의 Good Practice Guidance에서는  $DOC_F$ 의 기본값으로 0.5~0.6을 사용하는 것을 권장하고 있다. 따라서 본 연구에서는 중간값인 0.55를 취하였으며, DOC값을 취하기 위해 IPCC

(2000)의 Good Practice Guidance에서 제시한 아래의 식을 활용하였다.

$$DOC = 0.114 \times FW_f + 0.32 \times PA_f + 0.366 \times WO_f + 0.571 \times RU_f + 0.285 \times OT_f \quad (3)$$

여기서,

- $FW_f$ =음식물, 채소류의 전체 폐기물 중 중량 비율(습량기준)
- $PA_f$ =종이류의 전체 폐기물 중 중량 비율(습량기준)
- $WO_f$ =나무류의 전체 폐기물 중 중량 비율(습량기준)
- $RU_f$ =고무, 피혁류의 전체 폐기물 중 중량 비율(습량기준)
- $OT_f$ =기타유기물류의 전체 폐기물 중 중량 비율(습량기준)

위 식의 각 인자는 실제 매립장을 굴착하여 측정할 수도 있으나 현실적으로 각 년도별 폐기물을 대표하는 값을 취할 수가 없으므로, 환경부에서 발행하는 “전국 폐기물 발생 및 처리현황<sup>9)</sup>”을 참고하여 값을 취하였다.

3.2.3. k값의 산출

연도별로 매립량을 결정하고 메탄배출계수를 결정하면 식(1)을 이용하여 메탄 발생속도상수를 결정할 수 있게 된다. 식(1)에서 메탄 배출량은 측정에 의해 결정하였으며, 이 값에 가장 접근하는 k값을 시행착오 방식(Trial-and Error Method)으로 결정하였다.

Table 2. Amount of disposed waste in the Chon-An Beck-Suk Landfill

Year	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Disposed Waste	37,947ton	53,413ton	48,911ton	62,163ton	79,986ton	53,984ton	60,284ton

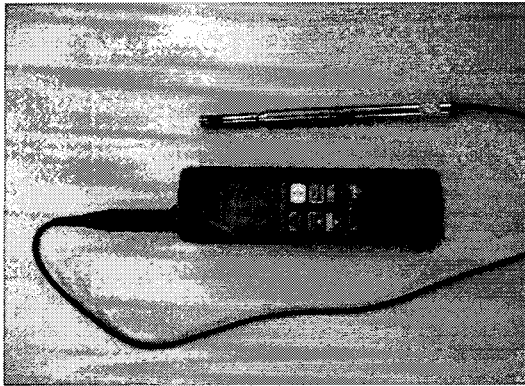


Fig. 2. Hot-Wire Flow Meter.



Fig. 3. Infrared Gas Analyzer.

Table 3. Methane gas measurement by season

	Fall	Winter	Spring	Summer	Average
Amount of methane gas	1,011.93ton/yr	933.78ton/yr	2,272.19ton/yr	1,723.31ton/yr	ton/yr
Flow rate	155.45 l/min	175.60 l/min	435.68 l/min	333.68 l/min	l/min
Concentration of methane gas	63.52%	52.46%	51.45%	49.13%	%

Table 2는 천안백석매립지의 평균연간매립량( $M_t$ )를 구하기 위한 연도별 매립량을 나타내었다.

### 3.2.4. 매립지 가스의 측정

대상 매립지의 메탄가스 측정을 위하여 매립지에 시설되어 있는 배제공에 Fig. 2에 나타낸 열선유속계(Germany, TESTO 450)를 설치하여 유속을 측정하였으며, 배제공의 가스측정은 Fig. 3에 나타낸 휴대용 매립가스 측정기(Infrared Gas Analyzer, GA-94A)를 사용하여 가스를 분석하였다. Table 3은 매립지에서 발생되어지고 있는 메탄가스 발생량을 계절별로 24시간씩 연속 측정한 측정치를 나타내었다.

## 4. 결 과

가을, 겨울, 봄, 여름에 결정된 메탄 발생속도( $Q_{CH_4}$ )는 각각 1,011.9, 933.8, 2,272.2, 1,723.3 ton/yr으로 평균치는  $1,485.3 \pm 633.5$  ton/yr이다. 메탄 발생속도와  $L_0$ 값으로부터 결정한  $k$ 값은 그 측정치로부

터 결정한  $k$ 값은 가을, 겨울에 각각 0.0649, 0.0750이었고, 봄, 여름철 결과는 비정상적으로 높은  $k$ 값을 나타내어 메탄 발생속도가 과다하게 측정되었다고 사료된다.

FOD 방법에 의한 메탄 발생량을 결정하기 위해 메탄발생속도가 과다하게 측정된 것으로 추정되는 봄, 여름철의  $k$ 값을 제외하고, 가을, 겨울철의  $k$  평균치인 0.070을 이용하였다. Fig. 4는 FOD 방법을 이용하여 메탄가스 배출량을 산정한 결과로서 매립시기가 증가할수록 메탄가스 배출량이 점차 증가하는 양상을 보이고 있다.

Table 4는 FOD 방법을 통해 메탄가스 배출량을 산정하기 위한  $L_0$ 값과  $k$ 값을 나타내었다.

## 5. 결 론

본 연구는 IPCC에서 제안하는 방법을 이용, 천안백석매립지에서 발생되어진 총 메탄 가스 발생량을 산출하였으며, 매립장의 배제공과 표면을 통하여 받

Table 4.  $L_0$  and  $k$  by IPCC reference method

$L_0$ (ton-TCE/ton-Waste)					$k$ (yr <sup>-1</sup> )				
Fall	Winter	Spring	Summer	Avg.	Fall	Winter	Spring	Summer	Avg.
0.3045	0.2514	0.2466	0.2355	0.2595	0.0649	0.0750	-	-	0.0700

생되어지는 량을 측정 장비를 이용하여 직접 측정을 실시하였다. 이 자료를 이용하여 매립지에서 발생되어지는 온실가스 발생량 추이에 대한 연구이다.

- 1) 천안 백석 매립지의 경우 학계에 발표되고 있는 매립지 메탄가스 발생량의 평균치인 50%보다 높은 54.14%를 보이고 있다. 이는 백석매립지의 매립된 폐기물이 혐기성 분해가 타 매립지에 비하여 활발히 이루어지고 있다고 판단되어진다.
- 2) IPCC에서 제안하고 있는 FOD 방법에 의해 계산되어진 메탄의 발생량은 실제 본 연구에서 실측되어진 값에는 차이를 보이고 있다. 이는 매립지에서 발생하는 가스량 측정에 있어 배제공과 표면을 통해 발생하는 가스 이외의 가스 배출 경로에 의한 영향이 있을것이라 판단되어진다.
- 3) 매립지에서 발생되어지는 온실가스는 매립된 폐기물의 구성에 따라 큰 영향을 받는다. 특히 유기성 폐기물에 의해 큰 영향을 받고 있다. 이는 2005년부터 시행이 예정되어 있는오니류 및 음식물 쓰레기 매립지 반입 규제를 통하여 여타 매립지에서는 온실가스의 발생량이 감소하리라 예상되어진다.

### 감사의 글

본 연구는 2003년도 호서대학교 벤처산학컨소시엄연구 지원과제의 일환으로 수행된 과제입니다. 관계자에게 감사를 표합니다.

### 참고 문헌

- 1) 吉野正敏, 1994, 地球環境への提言/問題の解決に向けて, 山海堂, 1-48pp.
- 2) 김기현, 김민영, 어수미, 2001, 난지도 매립장을 중심으로 한 메탄과 이산화탄소의 배출규모 및 배출 특성에 대한 연구 : 실측자료와 모델링 자료의 비교연구, 한국환경분석학회지, 4(3), 141-144.
- 3) 서동천, 이동훈, 이정준, 한현수, 권정안, 김승도, 이남훈, 김낙주, 유만식, 서창일, 정용환, 2001, 폐기물의 유기탄소 함량을 이용한 매립가스 발생량 예측, 한국폐기물학회지, 18(8), 702-714
- 4) IPCC, 1997, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- 5) Thorneloe, S. A., 1996, Influence of Land fill Gas on Global Climate - Landfilling of waste : Biogas, E&FN SPON, 187-197pp.
- 6) 환경부, 2001, 매립가스 자원화 사업의 CDM 사업으로서 활용방안 연구.
- 7) 장영기, 서영배, 1998, LAEEM에 의한 전국 매립가스 발생량 추정에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 14(5), 499-505.
- 8) Stegmann, R. and H. Ehrig, 2000, Landfill Gas Formation, Quality and Prediction, 2000 Solid Waste Landfill Symposium in Korea, 11-40pp.
- 9) 환경부, 1997-2002, 전국폐기물 발생 및 처리현황.