

## 매립폐기물 성상에 따른 매립가스 배출량 산출모형 개발

장영기 · 서정배 · 김호정

수원대학교 환경공학과

### I. 서론

폐기물 매립지에서 발생하는 매립가스 배출량을 산출 할 때 사용되는 방법으로는 크게 1차 반응식을 기초로 한 미국 EPA의 LANGEM(Landfill Gas Emission Model) 모델과 질량수지식을 토대로 한 IPCC 산출 방법이 있다. 하지만 이러한 방법론은 국내 폐기물 특성에 적합하지 않은 변수들을 내재하고 있거나 고정변수를 적용하여 매립지 특성에 따른 매립가스 발생량을 예측하는데 한계가 있다.

본 연구에서는 매립가스 발생의 가장 중요한 변수인 메탄발생 잠재량( $L_0$ ), 메탄발생 속도상수( $k$ ), 성상별 분해율을 매립지별 성상자료에 따라 고려함으로써 우리 나라 폐기물 특성을 반영한 매립가스 배출 모형을 개발하고자 하였다.

### II. 본론

우리 나라 폐기물의 성상 구분은 가연성과 불연성으로 구분되어 있으나 매립폐기물의 경우에는 이를 분해성과 비분해성으로 구분하는 것이 합리적이라고 판단된다. 폐기물의 원소성분별 현황을 파악하기 위하여 기존자료(환경부)의 폐기물 성분별 원소분석 결과와 Tchobanoglous 자료를 이용하였다. 매립폐기물 중 11.4%를 차지하는 오니의 원소성분은 배재근(1998)의 연구자료를 이용하였다.

<Table 1.> 우리 나라 폐기물의 성상별 원소성분

Type of waste	Percent by weight (dry basis)						자료출처
	Carbon	Hydrogen	Oxygen	Nitrogen	Sulfur	Ash	
음식물	40.6	5.5	28.1	3.6	0.8	21.0	1
종이	41.6	5.2	35.8	0.8	0.5	16.1	1
나무	46.3	5.8	32.7	1.1	0.5	13.2	1
고무피혁류	64.9	8.4	11.6	10.0	1.0	15.0	2
폐합성수지	74.4	11.1	5.7	0.9	0.7	5.0	1
폐합성섬유	48.0	6.4	40.0	2.2	0.2	3.2	2
폐합성고무	69.7	8.7	-	-	1.6	20.0	2
폐합성피혁	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0	2
기타폐합성물	74.4	11.1	5.7	0.9	0.7	5.0	1
오니	23.5	2.9	15.0	3.2	2.5	45.0	3
동·식물성잔재물	40.6	5.5	28.1	3.6	0.8	21.0	음식물
동·식물성폐식용유	66.9	9.6	5.2	2.0	-	16.3	2
기타유기물	45.9	6.4	27.3	2.9	0.6	15.9	1

1. 환경부, 96전국폐기물 통계조사, 1997.  
 2. Tchobanoglous, Integrated Solid Waste Management, 1993.  
 3. 배재근, 생활하수 슬러지의 리사이클링 기술현황 및 전망, 슬러지 리사이클링 기술현황 및 전망 특별심포지움, 한국자원리사이클링학회, 1998.

[연락처] (우)445-743 경기도 화성시 봉담읍 와우리 산 2-2 수원대학교 환경공학과

장영기, Tel : 031-220-2147, Fax : 031-220-2147, E-mail : musim@mail.suwon.ac.kr

## 2. 온실가스 배출량 산출방법

### 1) Mass Balance method

IPCC에서 제안하는 질량보전식에 의한 방법으로 Bingemer 와 Crutzen(Bingemer and Crutzen, 1987)이 제안한 방법이다. 이들은 각 지역 내에서 생긴 폐기물에 서로 다른 DOC(Degradable Organic Compounds) 값을 적용하였다. 이들은 평가를 통해 각 지역에서의 도시고형폐기물의 발생량과 이중에 포함된 분해성 유기탄소의 비율 결정하였다. 다음 식은 고형폐기물에서 분해성 유기탄소의 비율 (fraction of DOC in MSW)을 고려한 것으로서 생화학적으로 분해 가능한 유기탄소와 고형폐기물로부터 메탄배출량을 계산한다. 분해성 유기탄소의 비율은 폐기물의 조성에 기본을 둔다.

$$\begin{aligned} \text{Methane emission(Gg/yr)} = & \{ \text{Total MSW generated (Gg/yr)} \\ & \times \text{Fraction of MSW landfilled} \\ & \times \text{methane correction factor(fraction)} \\ & \times \text{Fraction of DOC in MSW(fraction)} \\ & \times \text{Fraction of Dissimilated DOC} \\ & \times 0.5 \text{ C as CH}_4\text{/g C as biogas} \\ & \times \text{Conversion factor (16/12) - Recovered CH}_4 \text{ (Gg/yr)} \\ & \times (1-\text{OX}) - \text{oxidation factor} \end{aligned}$$

### 2) Landfill Gas Emission Model

'94년도에 정부간 기후변화협정(IPCC : Intergovernmental Pannel on Climate Change)에서 제안된 model로서 메탄가스가 매립하자마자 발생하는 것이 아니고 장기간에 걸쳐 발생한다는 사실에 중점을 둔 model이다. 또한 이 모델은 각각의 매립지에서의 메탄가스 산정에 일반적으로 사용되고 있다.

$$QCH_4 = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt})$$

$QCH_4$  = Methane generation rate at time t (m<sup>3</sup>/yr)

$L_0$  = Methane generation potential, m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/Mg refuse

R = Average annual refuse acceptance rate during active life (Mg/yr)

e = Base log

k = Methane generation rate constant (yr<sup>-1</sup>)

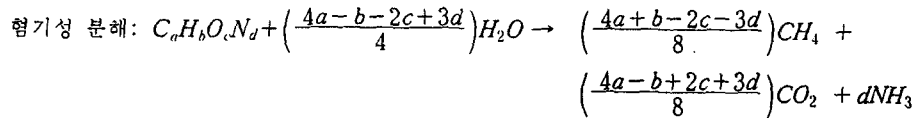
c = Time since landfill closure, yrs (c = 0 for active landfill)

t = Time since the initial refuse placement (yrs)

매립지 정보인 변수 R, c 및 t는 대상 매립지의 현황자료에서 구할 수 있다. 쓰레기 매립 정보가 부족하거나 모를 때 연간 쓰레기 매립율, R은 총 매립된 쓰레기의 양을 매립시작 연도부터 매립종료 연도까지로 나눔으로서 결정될 수 있다. 변수 k는 쓰레기의 수분함량, pH, 온도, 기질영양 등의 함수이며 변수  $L_0$ 는 쓰레기의 수분과 유기물 함량의 함수이므로 변수  $L_0$ 는 쓰레기의 성상 중 Cellulose의 양에 의해 값이 좌우된다. 여기서 중요시되는 변수로는 중량톤 전환시의 환산계수, 유기성분의 비율, 매립비율 및 재활용계획과 폐기물 단위무게 당 메탄발생 잠재량( $L_0$ ), 메탄발생속도상수(k)가 있다.

### 3) Korea Landfill Gas Emission Model

LANGEM의 1차 분해식의 단점을 보완하고 우리 나라 폐기물 특성을 고려한 매립가스 배출량을 산출하기 위하여 메탄발생 잠재량(L<sub>0</sub>)과 메탄발생속도상수(k)값은 해당 연도별 폐기물의 원소성분 매립현황을 구하여 매립폐기물의 실험식 C<sub>a</sub>H<sub>b</sub>O<sub>c</sub>N<sub>d</sub>과 매립가스 발생량을 산출하고, 매립 폐기물 성상별 분해율(표 2)을 기존 자료의 BMP 실험 결과를 활용하여 이를 고려하도록 작성하였다.



<Table 2.> 매립 폐기물의 성상별 분해율

폐기물 종류	메탄발생잠재량(m <sup>3</sup> /ton)	분해상수(/day)	분해도(%)
음식물·채소류	315	0.100	70.9
종이류	234	0.117	67.4
나무류	127	0.026	35.3
고무·피혁류	245	0.126	72.1
오니	219	0.072	55.2
동식물잔재류	219	0.072	55.2
기타	269	0.081	59.6

기존 연구 보고서(통상산업부)에서는 메탄발생속도상수를 0.031/yr, 동아건설 보고서에서 0.35/yr를 적용하고 있다. 본 연구에서는 최근 우리 폐기물 특성을 고려한 메탄 발생속도 상수를 구하기 위하여 <표 3>과 같은 기존 연구의 분해 정도에 따른 폐기물 3종류의 분해상수를 이용하였으며 해당 연도의 폐기물 3종류에 대한 구성비를 프로그램에 포함시킴으로써 성상에 따른 메탄발생속도상수의 변화를 고려하도록 하였다.

<Table 3.> Scholl Canyon 모델을 이용한 메탄가스 발생량 예측에 사용된 t1/2와 k값

구분	쓰레기 종류	t1/2 (yr)		k (1/yr)	
		범위	대표값	범위	대표값
쉽게 분해가 가능한 물질	음식물	0.5~1.5	1	1.386 ~0.462	0.693
분해 가능한 물질	종이, 목재, 섬유	3~10	5	0.231 ~0.0693	0.139
분해가 어려운 물질	가죽, 고무, 플라스틱	15~30	20	0.0462 ~0.023	0.035

<Table 4.> 분해정도에 따른 폐기물 구성비

구분	종류	구성비 (%) - 1997년 예
쉽게 분해가 가능한 물질	음식, 채소, 동식물성 잔재물	15.1
분해 가능한 물질	종이, 나무, 오니, 기타 유기물	27.3
분해가 어려운 물질	고무, 피혁	1.3
비분해성 물질	폐합성수지, 불연성	56.3

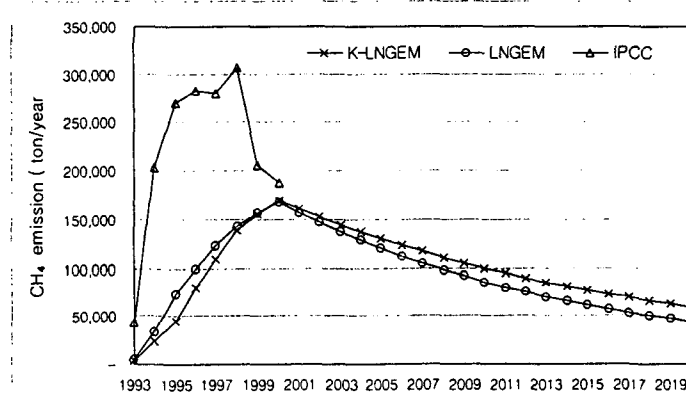
### III. 결론

본 연구에서는 매립가스 배출의 가장 중요한 변수인 메탄발생잠재량( $L_0$ )과 메탄발생속도상수( $k$ )값을 성상별 원소분석을 통해 매립지별 폐기물 특성을 반영할 수 있도록 K-LANGEM을 개발하고 이를 수도권 매립지를 대상으로 하여 적용하여 보았다. K-LANGEM에서는 연도별 성상별 매립 처리량을 입력하면 당해 연도의 폐기물 성상에 적합한  $L_0$ ,  $k$ 값 및 매립가스 배출량이 산출되며 IPCC 산출방식에 의한 배출량도 산출되어진다. K-LANGEM의 결과를 기존 매립가스 배출량 산출방법에 따른 메탄발생량과 비교하면 표5와 같다. 기존 LANGEM에서의  $L_0$ , 및  $K$  변수는 국내자료(환경부, 수도권 매립지 매립가스 자원화사업 타당성조사 및 기본계획보고서, 2000)를 참조, 적용하였다.

<Table 5. > 각각의 산정방식에 따른 수도권 매립지에서의  $CH_4$  배출량

연도	K-LANGEM			EPA-LANGEM			배출량
	$L_0$	$k$	$CH_4$ emission(ton/yr)	$L_0$	$k$	$CH_4$ emission(ton/yr)	
1992	73.6	0.039	-	78.9	0.067	-	-
1993	77.7	0.046	3,502	78.9	0.067	5,157	43,591
1994	60.7	0.037	23,330	78.9	0.067	33,350	203,565
1995	88.6	0.062	44,120	78.9	0.067	72,330	270,070
1996	91.3	0.055	80,345	78.9	0.067	100,000	283,054
1997	113.7	0.054	109,162	78.9	0.067	123,900	279,468
1998	89.7	0.053	139,004	78.9	0.067	143,000	305,917
1999	89.7	0.053	155,465	78.9	0.067	157,100	206,112
2000	-	-	169,028	-	-	168,100	188,140
2010	-	-	99,972	-	-	86,040	
2020	-	-	59,441	-	-	44,030	

\* 자료: 동아건설, "매립가스 처리기술, 설치효율, 분석조사 연구용역 보고서", 수도권매립지 운영관리조합, 1997



<Fig. 1.> 수도권 매립지에서의  $CH_4$  배출량

참고문헌 :

- 환경부, 환경관리공단, 수도권매립지 매립가스 자원화사업 타당성조사 및 기본계획보고서, 1997.
- 환경부, 환경부문의 온실가스 저감잠재력 평가, 2000.
- 환경부, 환경기초시설에서 발생하는 온실가스 배출량 조사, 2000.