

LAEEM에 의한 전국 매립가스 발생량 추정에 대한 연구

A Study on the Estimation of Landfill Gas Emission by LAEEM in KOREA

장 영 기 · 서 정 배

수원대학교 환경공학과

(1998년 3월 6일 접수, 1998년 10월 30일 채택)

Young-Kee Jang and Jung-Bae Seo

Department of Environmental Engineering, Suwon University

(Received 6 Marth 1998; accepted 30 October)

Abstract

Recently almost wastes except recycled garbage are dumped into landfill site in Korea. Landfills are significant sources of methane and carbon dioxide. In addition to CH₄ and CO₂, a small mount of nonmethane organic compounds (NMOCs) are produced. NMOCs include reactive volative organic compound (VOC) and hazardous air pollutants.

LAEEM (Landfill Air Emissions Estimation Model) developed by Control Technology Center, U.S. EPA is used to estimate a mount of landfill gas from all landfills. As the result, landfill gas 4,121,000 ton, carbon dioxide 2,951,000 ton, methane 1,1120,000 ton are estimated as emissions from all landfills in Korea.

Key words : LAEEM (Landfill Air Emissions Estimation Model), Landfill Gas Emission, CH₄ emission

1. 서 론

우리나라의 폐기물 발생량은 경제성장과 인구증가, 산업발달, 소비패턴의 변화 등에 의해 크게 증가하여 1996년에는 약 175,334 ton/day (생활폐기물, 사업장폐기물, 건설폐기물포함)가 발생되고 있으나, 대부분 매립 처분되고 있는 실정이다. 또한 매립지의 대부분이 단순 매립방식 (Open Dumping)으로 관리되고 있어 침출수에 의한 수질오염, 악취, 휘발성 유기화합물 배출 등 2차 환경오염 문제가 대두되고 있다. 특히 매립가스에는 환경적으로 위해한 물질이

많고 이산화탄소와 메탄가스 등은 지구온난화의 원인물질로 환경에 많은 영향을 미치고 있다.

국내의 쓰레기매립지에서 발생하는 매립가스 (LFG, Landfill Gas)에 대해서는 이승무 등 (1992, 1994, 1996)을 비롯하여 이덕생 등 (1994), 국제환경노동문화원 (1995), 차명철 등 (1996)의 연구가 수행되어졌다. 이러한 연구는 실험적 방법에 의한 매립가스의 활용방안에 초점이 맞춰졌으며 매립지의 주변환경에 대한 유해성을 평가하고 유해성 저감을 위한 방안이 모색되어졌다.

본 연구에서는 미국 환경청의 매립가스 산출 추천모델인 LAEEM (Landfill Air Emissions Estimation

Model)을 이용하여 서울 난지도 쓰레기매립장과 전국 시도별 쓰레기 매립장에서 발생하는 매립가스와 유해대기오염물질의 발생량을 추정하였다. 미국의 쓰레기 조성에 기초한 중요 변수들을 그대로 적용하는 데는 무리가 있으나 점차 서구화되고 있는 생활패턴에 따라 국내 매립쓰레기의 조성이 미국과 유사해지고 있고, 또한 국내 매립지에서 유해대기오염물질 배출에 대한 조사자료가 부족하므로 이 모델에 의한 매립가스 추정결과를 참조할 의의는 충분하다고 생각된다. 입력자료는 우리나라 전국 쓰레기매립지를 대상으로 1987~1996년 10년 동안 연도별 매립량자료를 입력하여 시도별로 발생하는 CH₄와 CO₂ 및 유해대기오염물질의 발생량을 예측하였다.

2. LAEEM의 원리

매립가스는 쓰레기매립지의 가스발생을 유발시키는 내적·외적인자에 의해서 변한다고 보는데 먼저 내부요인으로 온도, 함수율, pH, 알칼리도, 영양분, 독성물질 등을 들 수 있고, 다음에 외부요인으로 대기 온도, 기압, 강수량, 지형, 수분, 쓰레기 성분 등을 들 수 있다. 또 매립가스는 쓰레기 성분 중 유기물이 분해되어 생성되며 이 유기물의 분해는 크게 두 가지 형태로 진행되는 데 즉, 매립후의 초기에는 호기 성분해가 이루어지고 그 후 어느 정도 시간이 경과하여 토양 속의 산소가 소비되면 혐기성분해가 일어나게 된다. 일반적으로 쓰레기 1톤(유기물의 양 200 kg)이 분해될 경우, 약 200 m³의 가스가 이론적으로 발생하는 것으로 되어 있으나, 실제로 측정결과로는 약 60~180 m³가 발생하고 있다.

쓰레기 매립지 속에 있는 화합물에 대한 미처리 배출물을 계산하기 위하여는 첫째로 전체 매립가스 배출을 계산해야 한다. 일반적으로 매립 후 1~2년 후, 즉 매립지가 평형상태에 이르면 매립가스의 조성은 대략적으로 CH₄ 50%, CO₂ 50%, 그리고 미량의 비메탄 유기화합물로 구성되므로 전체 매립가스 배출량 계산은 CH₄와 CO₂ 배출량의 합산으로 유도된다. 그러므로 전체 매립가스 배출량은 이론적 CH₄ 생성 1차 반응속도 모델에 의하여 각각의 쓰레기 매립장별로 계산이 되어진다. 매립가스 배출량 계산 방정식은 다음과 같다(EIIP Area Sources Committee

(1996)).

$$Q_{CH_4} = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt})$$

- Q_{CH_4} : 시간 t에서 메탄 생성율, m³/년
 L_0 : 메탄생성잠재력, m³ CH₄/Mg 쓰레기
 R : 연간 쓰레기 매립율, Mg/년
 k : 메탄발생속도지수, 년⁻¹
 c : 매립종료 후 경과시간, 년 (c=0은 매립진행 중)
 t : 매립시작 후 경과시간, 년

매립지 정보인 변수 R, c 및 t는 대상 매립지의 매립처리현황자료에서 구할 수 있다. 쓰레기 매립율 정보가 부족하거나 모를 때 연간쓰레기매립율, R은 총 매립된 쓰레기의 양을 매립시작 연도부터 매립종료 연도까지로 나눔으로서 결정될 수 있다. 변수 k는 쓰레기의 수분함량, pH, 온도, 기질영양 등의 함수이며 변수 L₀는 쓰레기의 수분과 유기물 함량의 함수이므로 변수 L₀는 쓰레기의 성상 중 Cellulose의 양에 의해 값이 좌우된다.

미국 환경청 Control Technology Center에서는 쓰레기 매립지에서 발생하는 매립가스량을 예측하기 위하여 1991년 LAEEM (Landfill Air Emissions Estimation Model)을 개발하여 1997년에는 Borland C++4.0에 의한 LAEEM Window (Version 1.1)로 발전되었다. 이 모델은 미 환경청의 대기오염배출계수 AP-42의 계산방식을 적용한 PC용 대기오염배출량 산출모델로서 미국 환경청의 EIIP (Emission Inventory Improvement Program)에서 최근에 보고된 "대기오염 배출량 산정을 위한 선정 및 대안적인 방법 (Preferred and Alternative Methods for Estimating Air Emissions)" 중 쓰레기매립지에 적용할 수 있는 모델로 추천하고 있다. 이 모델은 쓰레기 매립지의 연도별 매립량에 의하여 CH₄, CO₂, NMOC (Nonmethane organic compounds) 및 유해대기오염물질의 연도별 발생량을 매립 시작 연도부터 매립종료 후 지정된 연도까지 산출할 수 있다 (Robert and Ruth (1996)).

이 모델에서 변수 k와 L₀ 등은 2개의 기본값 (default value)을 내장하고 있고 사용자가 직접 측정하여 산출한 값을 적용할 수도 있다. 기본값은 미국 내 46개 매립지에서 조사된 측정치의 대표치이

Table 1. k and L₀ value by CAA and AP-42 defaults in LAEEM.

구 분	k	L ₀
CAA defaults	0.05 l/yr	170 m ³ /Mg of refuse
AP-42 defaults	0.04 l/yr	100 m ³ /Mg of refuse

다. 본 연구에서 모델 수행에 있어 필요한 k와 L₀ 변수들은 모델 내 내장되어 있는 미 대기보전법 규정값(Clean Air Act default values)를 적용하였다. 표 1은 LAEEM에 내장된 L₀와 k값이다.

3. 매립가스 발생량 추정

3.1 서울 난지도 매립지의 매립가스 배출량 추정

서울 난지도 매립지는 1977년 3월부터 마포구 상암동 일대 88만여평에 쓰레기매립이 시작되어 1992년 9월까지 15년 6개월 동안 서울특별시 청소 관할구역을 주로한 수도권에서 발생한 쓰레기를 매립하였다. 난지도 매립지를 대상으로 하여 매립가스 배출량을 추정하여 기존 연구에 의한 매립가스발생량과 비교하였다. 매립지내의 쓰레기는 평균 25년 동안 매립가스를 배출하게 되는데 이를 토대로 1993년 초부터 20년 정도의 주요 매립가스 발생량을 예측하였다. 표 2는 난지도 매립지의 쓰레기 매

립처리자료이다.

표 2의 자료를 기초로 사토 및 건설폐재를 제외한 생활쓰레기, 산업폐기물, 오니의 연도별 쓰레기매립량을 LAEEM에 입력하였다. 난지도 매립지에 LAEEM을 적용하여 산출한 매립가스 발생량과 기존 조사자료인 이승무 등(1994)과 국제환경노동문화원(1995)에서 예측한 매립가스와 CH₄의 총량을 표 3과 같이 비교하여 보았다. 이 결과 LAEEM을 이용한 예측치는 기존 연구결과 예측치의 약 1.1~1.4배 정도의 값을 보여 비교적 유사한 예측을 하고 있다. LAEEM을 이용하여 난지도의 연도별 LFG와 CH₄의 배출량 변화를 분석하면 그림 1과 같다.

그림 1에서 볼 수 있듯이 난지도의 매립가스가 가장 많이 배출되는 시기는 매립이 종료되는 1993년으로 연간 약 9억 m³가 배출되며 이후 14여년이 경과하여도 최대 배출량의 1/2 가량이 계속 배출되어 상당기간 매립가스의 배출이 지속될 것으로 추정된다. 1998년 현재 난지도매립지에서 배출되는 매립가스를 산출하면 총 94.0만톤으로 이 중에서 이산화탄소가 73.8만톤, 메탄이 19.5만톤, 비메탄유기물질이 0.7만톤으로 추정된다.

서울시의 휘발성 유기화합물 배출에 대한 기존의 연구결과(홍대형, 1996)에 의하면 서울시에서는 저유소, 주유소, 세탁소, 교통기관에서 연간 17,958톤의 휘발성 유기화합물이 배출되는 것으로 조사되었다.

Table 2. The Waste Treatment in Nangi Landfills.

(단위: 톤 (w/w))

년 도	계	생활쓰레기	사토 및 건설폐재	산업폐기물	슬러지
'78~90년말	86,022,042	49,109,942	35,155,200	896,700	860,200
1991	13,712,544	4,651,244	8,569,200	114,800	373,300
1992.1~1992.9	11,959,992	4,964,592	6,669,600	65,100	260,700
총 계	111,694,578	58,725,778	50,394,000	1,076,600	1,498,200

*자료: 서울시 청소사업본부

Table 3. Comparison of LFG estimations by LAEEM and other studies.

(단위: 억 m³/yr)

구 분	1992년 기준		1978~2022년의 총 발생량	
	총 LFG 발생량	총 CH ₄ 발생량	총 LFG 발생량	총 CH ₄ 발생량
이승무 등 (1994)	7.8		177	100
국제환경노동문화원 (1995)	8.7	4.9		72
LAEEM	8.3		214	90

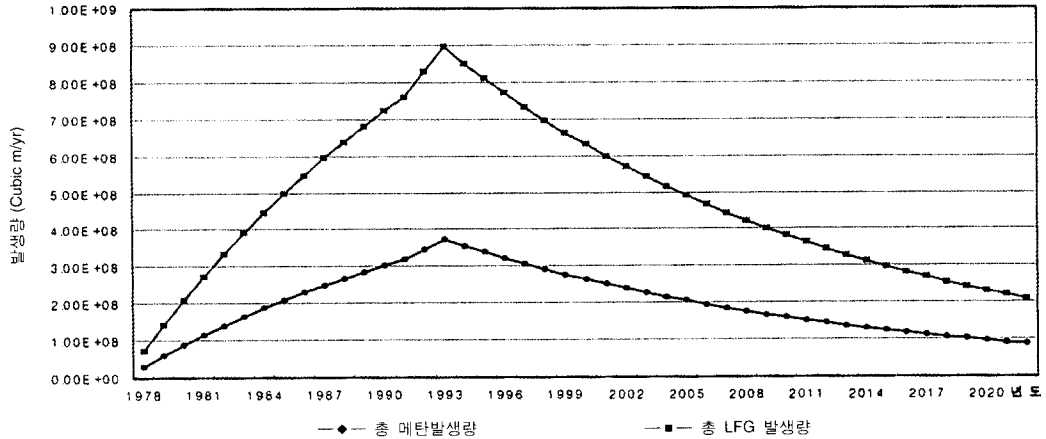


Fig. 1. Temporal variations of LFG from Nangi landfills in Seoul.

Table 4. Estimation of Hazardous Air Pollutant Emissions from Nangi Landfills by LAEEM (1998). (ton/year)

Chemical	Emission (ton/year)	Chemical	Emission (ton/year)
1, 1, 1-Trichloroethane (HAP)	1.34	Dichlorofluoromethane (VOC)	5.65
1, 1, 2, 2-Tetrachloroethane (HAP/VOC)	3.9	Dichloromethane (HAP)	25.44
1, 1, 2-Trichloroethane (HAP/VOC)	0.28	Dimethyl Sulfide (VOC)	10.18
1, 1-Dichloroethane (HAP/VOC)	4.87	Ethane	559.9
1, 1-Dichloroethene (HAP/VOC)	0.41	Ethanol (VOC)	26.25
1, 2-Dichloroethane (HAP/VOC)	0.85	Ethylbenzene (HAP/VOC)	10.25
1, 2-Dichloropropane (HAP/VOC)	0.43	Ethyl Mercaptan (VOC)	1.63
2-Propanol (VOC)	63.07	Ethylene Dibromide (HAP/VOC)	0.004
Acetone	8.53	Fluorotrichloromethane (VOC)	2.19
Acrylonitrile (HAP/VOC)	7.03	Hexane (HAP/VOC)	11.86
Benzene (HAP/VOC)	18.16	Hydrogen sulfide	25.34
Bromodichloromethane (VOC)	10.74	Mercury (HAP)	0.001
Butane (VOC)	6.12	Methyl Ethyl Ketone (HAP/VOC)	10.71
Carbon Disulfide (HAP/VOC)	0.93	Methyl Isobutylketone (HAP/VOC)	3.92
Carbon Monoxide	82.71	Methyl Mercaptan (VOC)	2.51
Carbon Tetrachloride (HAP/VOC)	0.01	Pentane (VOC)	4.97
Carbonyl Sulfide (HAP/VOC)	0.62	Perchloroethylene (HAP/VOC)	12.95
Chlorobenzene (HAP/VOC)	0.59	Propane (VOC)	10.25
Chlorodifluoromethane (VOC)	2.35	Toluene (HAP/VOC)	318.4
Chloroethane (HAP/VOC)	1.69	Trichloroethene (HAP/VOC)	7.76
Chloroform (HAP/VOC)	0.06	t-1, 2-Dichloroethene	5.77
Chloromethane (HAP/VOC)	1.28	Vinyl Chloride (HAP/VOC)	9.61
Dichlorobenzene (HAP/VOC for 1, 4 isomer)	0.65	Xylene (HAP/VOC)	26.91
Dichlorodifluoromethane (VOC)	39.76		

* HAP (Hazardous air pollutant). VOC (Volatile organic compound)

본 연구에서 LAEEM를 이용하여 산출한 난지도매립지에서 배출되는 비메탄 유기화합물량은 9,698톤 (1996년)으로 추정되어 이를 기존 연구결과와 비교

하여 보면 난지도매립지는 무시할 수 없는 휘발성 유기화합물의 주요 배출원임을 알 수 있다.

LAEEM1.1은 비메탄유기물질을 47개의 대기오

염물질별로 구분하여 배출량을 산출할 수 있는데 이를 이용하여 1998년 난지도매립지에서 발생하는 유해대기오염물질별 배출량을 추정하면 표 4와 같다. 난지도매립지는 매립이 종료되었지만 현재 많은 유해대기오염물질과 광화학반응의 선구물질들이 배출되고 있으며 이는 앞으로도 상당기간 지속되어 서울의 대기질에 영향을 줄 것으로 추정된다. 따라서 난지도매립지는 서울시의 주요 대기오염 면오염원으로 취급되어 관리가 필요하다고 판단된다.

3.2 전국 시도별 매립가스 발생량 추정

LAEEM을 이용하여 우리나라 전국 쓰레기 매립지의 매립가스 배출량을 추정하였다. 입력자료는 1987~1996년 10년 동안의 우리나라 전체 매립지를 대상으로 연도별 매립량을 조사하여 입력하였다. 표5는 전국 시도의 연도별 매립처리 현황이다.

1991년까지 서울시의 총발생쓰레기는 서울 난지도 매립지에 매립되었고 1992년부터는 난지도 매립지와 김포 수도권매립지에 매립되었으며, 이후 1994년 부터는 김포 수도권매립지에 매립되고 있다. 이후 1995년 행정구역 개편에 따라 수도권매립지는 인천시에 편입되어 쓰레기매립량이 서울시에서 경기도, 인천시로 이동하며 증가하는 것으로 자료에 정리되었다. 또한 쓰레기 매립량의 산정은 국내 폐기물분류체계의 변화를 고려하여 1995년까지는 일

반폐기물(생활폐기물+사업장 일반폐기물)을 포함하였으며, 1996년부터는 생활계 폐기물과 사업장배출 시설계폐기물을 포함하였고 건설폐기물과 지정폐기물은 총매립량에서 제외하였다.

전국 쓰레기 매립지의 매립자료를 LAEEM에 입력하여 시도별로 배출되는 CH₄, CO₂, 휘발성 유기화합물(VOCs)과 벤젠, 톨루엔 등 유해대기오염물질의 배출량을 추정하면 표 6과 같다. 이에 따르면 1996년 전국 쓰레기 매립지에서 발생하는 매립가스의 총량은 412.1만톤이며 이 중에서 이산화탄소가 295.1만톤, 메탄이 112.0만톤, 비메탄 유기물질이 4.8만톤으로 추정되었다. 매립가스 중 CH₄의 발생량을 시도별로 비교하면 그림 2와 같다.

그림 2에서 볼 수 있듯이 서울과 경기지역에서 메탄 발생량이 현저하게 큰 이유는 전국 쓰레기 총매립량의 40%를 넘게 차지하는 서울의 쓰레기 매립량이 서울 난지도 매립지에 처리되었고, 이후 수도권 일대에서 발생하는 대부분의 쓰레기가 수도권 매립지에 매립되었기 때문이다.

표 6에서 추정한 바와 같이 1996년 전국 쓰레기 매립지에서 배출되는 메탄량은 112만톤으로 추정되는데 최근 농업부와 석탄광업부문이 계속 감소되고 있는 점(통계청, 1996)을 고려하면 우리나라 메탄 발생의 주요 배출원은 현재 쓰레기매립지이며 이러한 추세는 앞으로 더욱 커질 것으로 예상된다.

Table 5. The Status of Landfill Treatment.

(1,000 ton/year)

년 도 구 분	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
서울특별시	9,840	10,420	10,633	10,802	10,921	720	0	0	0	0
부산광역시	2,083	2,493	2,801	2,996	3,117	3,113	1,762	1,641	1,425	1,513
대구광역시	1,173	1,376	1,466	1,539	1,534	1,424	1,300	1,349	1,362	1,259
인천광역시	1,406	1,433	1,607	1,774	1,756	1,182	1,319	1,397	8,416	4,888
광주광역시	686	621	679	695	772	763	595	491	487	408
대전광역시	0	0	548	579	602	696	615	570	526	414
경기도	2,594	2,996	3,317	3,622	3,665	4,619	8,703	11,085	2,318	2,261
강원도	719	749	760	880	930	1,469	1,394	1,273	690	688
충청북도	472	449	544	634	630	725	700	690	479	536
충청남도	869	1,073	497	489	702	1,611	1,797	1,687	1,501	1,805
전라북도	590	649	704	774	921	1,113	1,113	1,067	768	815
전라남도	636	687	596	856	829	2,295	1,876	1,242	2,177	2,958
경상북도	871	942	1,047	1,196	1,357	4,468	2,079	2,223	1,383	1,285
경상남도	1,023	1,192	1,318	1,403	1,990	2,695	2,690	2,941	2,245	2,487
제주도	181	197	234	271	355	328	263	185	220	165

*자료: 1987~1996 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 환경부

Table 6. Estimation of Landfill Gas Emissions by LAEEM from all Landfills (1996). (ton/year)

종류 구분	CH ₄	CO ₂	NMOCS	Benzene	Toluene	Chloro-ethane	Dichloro-methane	Tetrachloro-ethane
서울특별시	225,600	619,100	9,698	24.4	427.7	2.3	34.2	5.2
부산광역시	98,520	270,300	4,234	10.7	186.8	1	14.9	2.3
대구광역시	58,660	160,900	2,521	6.3	111.2	0.6	8.9	1.4
인천광역시	101,600	155,400	4,368	11	192.6	1	15.4	2.4
광주광역시	26,780	73,480	1,151	2.9	50.8	0.3	4.1	0.6
대전광역시	20,260	55,590	870.9	2.2	38.4	0.2	3.1	0.5
경기도	208,900	573,200	8,980	22.6	396	2.1	31.6	4.9
강원도	42,220	115,800	1,815	4.6	80	0.4	6.4	1
충청북도	25,170	69,050	1,082	2.7	47.7	0.3	3.8	0.6
충청남도	49,790	136,600	2,140	5.4	94.4	0.5	7.5	1.2
전라북도	36,740	100,800	1,579	4	69.7	0.4	5.6	0.9
전라남도	55,170	151,400	2,371	6	104.6	0.6	8.4	1.3
경상북도	75,360	206,800	3,239	8.1	142.9	0.8	11.4	1.8
경상남도	85,180	233,700	3,661	9.2	161.5	0.9	12.9	2
제주도	10,500	28,820	451.5	1.1	19.9	0.1	1.6	0.2
총 계	1,120,450	2,950,940	48,161.4	121.2	2124.2	11.3	169.7	26.1

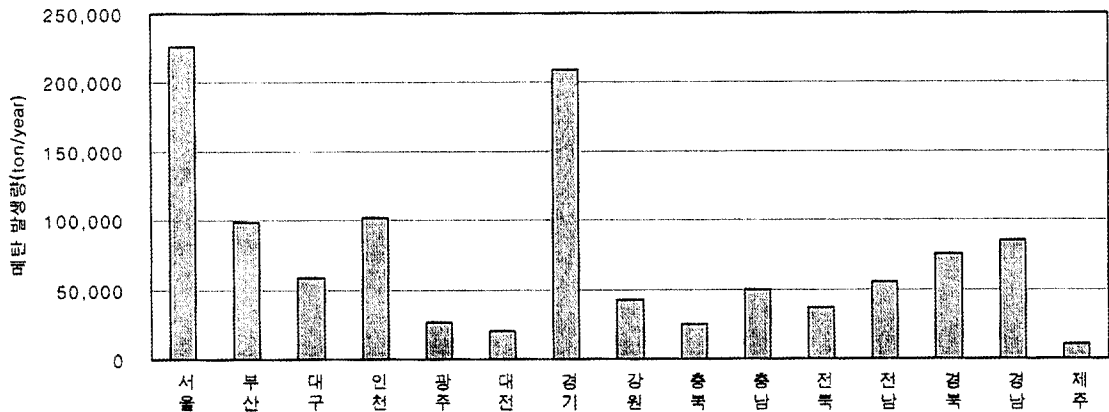


Fig. 2. Comparison of CH₄ Emissions from all Landfills (1996).

앞으로 쓰레기 매립가스의 발생은 유해대기오염물질과 온실가스 저감 측면에서 관리 대책이 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 미국 EPA의 매립가스 산출모델인 LAEEM을 이용하여 서울 난지도매립지와 전국 시도별 쓰레기 매립지에서 발생하는 매립가스 발생량

을 추정하였다.

1. 미국 환경청의 매립가스 산출모델인 LAEEM을 서울 난지도 쓰레기매립지에 적용하여 매립가스의 발생량을 예측하고 이를 기존의 연구결과들과 비교한 결과 LAEEM을 이용한 예측치와 약 1.1~1.4 배 정도의 비교적 유사한 값을 예측하고 있었다.

2. 서울 난지도매립지의 매립은 1993년 종료되었으나 많은 매립가스와 유해대기오염물질의 배출이

계속되고 있으며 매립 종료 후 14여년이 경과하는 2007년까지도 최대 배출량의 1/2 가량이 계속 배출될 것으로 예측되어 주요 대기오염 면오염원으로 관리가 필요하다.

3. 1996년까지 전국의 쓰레기매립지에 처리되는 연도별 매립량을 입력하여 LAEEM으로 추정한 1996년 매립가스의 배출량은 연간 412만톤이며 이 중에서 이산화탄소가 295만톤, 메탄이 112만톤, 비메탄유기물질이 5만톤으로 추정되었다. 앞으로 쓰레기 매립가스의 발생은 유해대기오염물질과 온실가스 저감 측면에서 관리 대책이 필요하다고 판단된다.

미국 환경청에 의하여 추천되고 있는 LAEEM은 쓰레기 매립장에서 발생하는 매립가스와 유해대기오염물질의 발생량을 예측할 수 있는 유용한 모델이나 미국의 쓰레기 조성에 기초하고 있어서 이를 국내에 적용하기 위해서는 앞으로 우리 매립 폐기물의 성상과 매립가스 발생에 대한 분석이 시급히 뒷받침되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 국제환경노동동문화원(1995) 쓰레기 매립지 개발에 따른 환경대책, 환경정책토론회.
- 이승무, 손성섭, 김성규, 이용현, 홍성구(1992) 추출실험에 의한 매립지가스의 발생속도 및 이동특성에 관한 연구, 한국폐기물학회지 제9권 1호, 113-120.
- 이승무, 김윤식, 이용현, 손성섭, 김성규(1994) 매립지가스(LFG) 추출이용의 경제성 검토에 관한 연구, 한국폐기물학회지 제11권 제1호, 109-121.
- 이덕생, 안종수, 김수생(1994) 쓰레기 매립장의 LFG 포집, 정제, 활용에 따른 최적화 개발에 관한 연구, 한국폐기물학회지 제11권 제4호, 602-608.
- 이승무, 박진원, 이상봉(1996) 난지도 매립지 매립가스의 표면발산에 관한 시험적 연구, 한국폐기물학회지 제13권 제3호, 40-406.
- 차명철, 이상봉, 이정전(1996) 난지도 매립지 가스추출 특성에 관한 연구, 한국폐기물학회지 제13권 제1호, 55-63.
- 통계청(1996) 한국의 환경통계 평가보고서, 159-160.
- 한화진(1994) 유해 대기오염물질 규제에 관한 국내 대응 방안 연구.
- 홍대형 등(1996) 2000년대 서울시의 대기오염물질 배출량 예측 및 관리방안 연구, 서울시립대 수도권 개발연구소, 231-237.
- 환경부(1995) 매립가스 처리 및 이용기술개발.
- 환경부(1987) 전국 쓰레기 처리실적('87) 및 계획('88)
- 환경부(1988) 전국 일반폐기물 처리실적('88) 및 계획('89)
- 환경부(1989) 전국 일반쓰레기 처리실적('89) 및 계획('90)
- 환경부(1990) 전국 일반폐기물 처리실적('90) 및 계획('91)
- 환경부(1991) 전국 일반쓰레기 처리실적('91) 및 계획('92)
- 환경부(1992) 전국 일반폐기물 발생 및 처리현황('92)
- 환경부(1993~1996) 전국 폐기물 발생 및 처리현황('93, '94, '95, '96)
- EIIP Area Sources Committee(1996) EIIP Preferred and Alternative Methods for Estimating Air Emissions, Vol 3: Area Sources.
- Robert L. Bass and Ruth E. Heaton(1996) User's Manual Landfill Air Emissions Estimation Model, U.S. EPA.
- U.S. EPA.(1995) Compilation of Air Pollutant Emission Factors 5th ed., Vol. 1.