대한위생학회지. 제16권 제2호(2001)
Korean J. Sanitation. Vol. 16, No. 2, pp17~23(2001)

사용종료 매립지의 발생가스 특성분석에 관한 연구(Ⅰ)

장성호 · 손영일
밀양대학교 환경공학과

A study on the Properties of Gas Generated at Closed Landfill Site

Seong Ho Jang · Young Il Son
Dept. of Environmental Engineering, Miryang National university

Abstract

The objective of this study was to investigate the component ratio of gas generated at closed GD landfill site in MY city and the decomposition status of landfill gas, and was to examine and analyze the properties of the landfill gas. In addition, to provide basic data required to stabilize landfill earlier in the future, the study was to measure gas by landfill gas gauge and to analyze the properties of landfill gas based on documents. As a result of analyzing the properties, acquired follow results.

1. The main elements of landfill gas, CH_4 and CO_2 were respectively 25.02% and 22.32% on the average.
2. NH_3 and H_2S were respectively 1.07 4.97 and 0.75 1.15 on the average.
3. Generated gas was different depending on water, pH, properties of MSW(Municipal Solid Wastes) and their decomposition rate. Furthermore, when measured the temperature of room to inspect landfill gas, the temperature was 22 - 30℃ on the average.

Ⅰ. 서 론

인간활동에 사용되는 자원과 물자는 생산과 유통, 소비과정을 거치는 동안 그 부산물로 폐기물은 필연적으로 발생되고 있다. 1960년대 경제개발 5개년 이후 급속한 경제성장에 의한 국민생활수준의 향상으로 생활폐기물 발생량이 해마다 증가하고 있으며, 그 성상 또한 다양화하고 있다.

1999년 현재 우리나라의 생활폐기물 발생량은 45,614톤/일로써 1인 1일 0.97kg의 쓰레기가 발생되고 있으며, 소각 10.2%, 재활용 38.1%, 매립 51.7%에 의해 처분되고 있다.

생활폐기물의 질적 변화와 다양성에 맞추어서, 그리고 최근의 지역이기주의(NIMBY)현상으로 인해 매립지 확보가 어렵게 됨으로써 소각(incineration), 퇴비화(composting) 등 여러 처리방안이 강구되고 있으나, 폐기물 처리를 위한 최종처분으로서의 위생매립(sanitary landfill)방법의 채택은 불가피한 실정이다. 생활폐기물매립지(MSWLS)는 매립후 일정기간이 경과하면 매립지를 재굴착하여 재활용 가능한 물질을 회수하고 부지를 재이용 할 수 있다. 1999년말 현재 사용이 종료된 매립지는

모두 1,072개소로 이중 72.6%에 달하는 778개소가 폐기물관리법에 의한 설치 승인을 받지 않은 채 설치 운영된 것으로 나타났다. 이들 미승인 매립지의 대부분은 10,000㎡이하의 소규모매립지로 조사되었으며 사용이 종료된 매립지중 41.4%(444개소)가 농경지로 사용되고 있으며, 나대지 37.0%(396개소), 공장 12.3%(132개소), 택지 5.0%(54개소) 등의 용도로 이용됐다고 조사되었다. 그러나 매립이 종료된 국내 대부분의 매립지는 위생매립에 의한 안정된 처분이기 보다는 투기(dumping)에 의한 처리라고 볼 수 있으며, 위생적 설비를 갖추지 못함으로 인해 각종 오염물이 주변 토양, 지하수, 하천 및 대기로 유입되어 수질오염, 토양오염, 악취발생 등의 환경오염을 유발시키고 있다. 특히, 우리나라는 인구밀도가 높고 산악지형이 많아 평지와 같은 유효면적이 좁아 매립지가 주거지역에 근접해 있으며, 이로 인해 매립지 주변지역의 환경오염은 중요한 문제로 대두되고 있다. 지속적인 환경오염원이 되고 있는 이들 매립지의 오염물 확산방지 및 오염원 제거와 생활부지로서의 재이용 및 복원을 위해서는 선행조건으로 매립지의 안정도를 평가해야 할 필요성이 대두되고 있다. 따라서, 본 연구는 M시의 GD매립장 (1994년부터 1996년 4월까지 8,070㎡의 면적에 평균매립고 약 3.6m로 약 29,440㎥의 생활폐기물을 매립)을 조사대상지역으로 하여 매립장의 발생가스 특성을 조사, 분석하여 향후 매립지 조기안정화에 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

Ⅱ. 조사 및 분석방법

1. 문헌고찰

1.1 매립가스 발생 단계

매립된 폐기물은 물리적 · 화학적 · 생물학적 반응에 의해 분해되고 정화하는 과정에서 각종 가스상 물질이 방출된다. 이때 발생하는 가스는 대부분 메탄(CH_4)과 이산화탄소(CO_2)이며, 그 외에 황화수소와 수소가스 등이 미량 방출된다. 주요 매립가스의 발생은 Fig. 1에 나타낸 것처럼 연속적으로 대략 5단계로 발생된다.

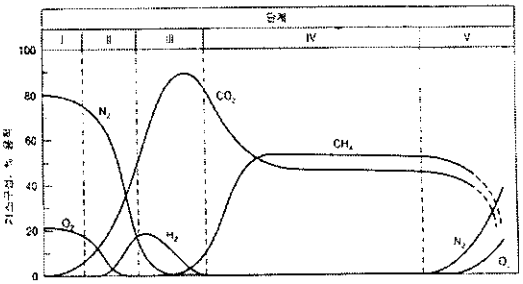

Fig. 1. Generalized phases in the generation of landfill gases (Ⅰ: initial adjustment, Ⅱ: transition phase, Ⅲ: acid phase, Ⅳ: methane fermentation, Ⅴ: maturation phase).

1.2 매립가스의 성분 및 영향인자

1.2.1 매립가스의 성분

매립지에서 발생되는 가스로는 암모니아(NH_3), 이산화탄소(CO_2), 일산화탄소(CO), 수소(H_2), 황화수소(H_2S), 메탄(CH_4), 질소(N_2)와 산소(O_2) 등이 있다. 도시폐기물 매립지에서 발견되는 가스의 구성 비율을 Table. 1에 나타내었다. 또한 분자량과 밀도에 대한 자료를 Table. 2에 나타내었다. 메탄과 이산화탄소는 도시폐기물의 생분해성 유기물질의 혐기성 분해에서 발생되는 주요 가스이다. 메탄은 공기중에 5~15% 농도로 존재할 때 폭발하나, 메탄의 농도가 이 위험 수준까지 도달할 때 매립지에는 산소의 양이 부족하여, 매립지가 폭발할 위험은 거의 없다. 그러나, 메탄 혼합물은 매립가스가 부지밖으로 이동하면서 폭발 범위에 있는 상태에서 공기와 혼합된다면 폭발조건이 형성된다. 침출수 내의 이러한 가스의 농도는, 헨리 법칙을 사용하여 추정할 수 있고, 침출수와 접하고 있는 가스상의 농도에 따라 다르다.

1.2.2 매립가스의 영향인자

(1) 쓰레기의 조성성분과 분해속도

쓰레기가 매립층내에서 Methanogenic Decomposition에 의하여 혼합가스를 발생하고 이에 의하여 매립지가 안정화되는데 그 기간은 매립지의 환경조건과 매립된 쓰레기의 특성에 따라 수년에서부터 수세기가 걸린다. 따라서 쓰레기의 분해혼합가스의 발생속도를 정확히 알 수는 없으나 쓰레기를 3분류로 구분하여 이론적으로 고찰할 수 있다.

Table. 1. Typical constituents found in MSW landfill gas

Component	Percent (dry volume basis)
Methane	45~60
Carbon dioxide	40~60
Nitrogen	2~5
Oxygen	0.1~1.0
Sulfides, disulfides, mer--captans, etc.	0~1.0
Ammonia	0.1~1.0
Hydrogen	0~0.2
Carbon monoxide	0~0.2
Trace constituents	0.01~0.6
Characteristic	Value
Temperature, ℃	37.4~48.4
Specific gravity	1.02~1.06
Moisture content	Saturated
High heating value	15,000~20,000

Table. 2. Molecular weight, density, and specific weight of gases found in sanitary landfill at standard conditions(0℃, 1atm)

Gas	Formula	Molecular weight	Density, g/ℓ
Air		28.97	1.2928
Ammonia	NH_3	17.03	0.7708
Carbon dioxide	CO_2	44.00	1.9768
Carbon monoxide	CO	28.00	1.2501
Hydrogen	H_2	2.016	0.0898
Hydrogen sulfide	H_2S	34.08	1.5392
Methane	CH_4	16.03	0.7167
Nitrogen	N_2	28.02	1.2507
Oxygen	O_2	32.00	1.4289

Note : For ideal gas behavior, the density is equal to mp/RT where m is the molecular weight of the gas, p is the pressure, R is the universal gas constant, and T is the temperature using a consistent set of units.

즉 쓰레기의 구성성분은 분해성물질, 중분해성물질, 난분해성물질로 구분할 수가 있으며, 분해성물질에는 주개류, 잡초류를 들 수 있고, 중분해성물질에는 종이, 목재, 섬유류 등이며, 플라스틱, 고무 및 가죽류 등은 난분해성 물질이다. 특히 쓰레기중에 지방이나 단백질 또는 탄수화물을 함유하고 있는 주개류가 많이 함유하게되면 매립초기(매립후 2년내)에 분해가스의 발생은 많아지는데 이러한 쓰레기의 반감기는 대략 1년정도이며, 지방의 분해에 의하여 가스가 발생할 경우 CH_4가 71%, CO_2가 29%정도의 비율로 발생된다. 중분해성물질의 분해 반감기는 2년 정도이며, 난분해성물질의 분해 반감기는 20년 정도이다. 그리고 종이 직조류 등 중분해성물질을 많이 함유하고 있는 쓰레기의 경우에는 실제에 있어서 분해 반감기가 연장되어 매립후 3~4년의 반감기를 갖게 되는 것이 보통이며 CH_4가 51% CO_2가 49%의 비율로 발생된다. 총 가스 발생 추계량의 99%를 분해 발생시키는데 소요되는 기간은 분해성 물질의 경우에 3 1/2년, 중분해성물질은 최고 6년, 난분해성물질의 경우에는 이론적으로 60년이 소요된다고 보고되고 있다.

(2) pH에 의한 영향

쓰레기의 혐기성 분해는 일반적으로 pH가 6.6~7.2의 범위에서 이루어지는데, 보다 효과적인 pH는 7~7.2라고 보고되고 있다. pH가 6.2이하일때에는 산형성균의 활동범위가 되면서 생성된 CO_2의 용해로 메탄형성균에 대하여 독성을 띄게 되어 메탄형성균 생성이 급격히 감소한다.

(3) 수분에 의한 영향

지중에서의 수분은 쓰레기의 혐기성 분해로 인한 메탄가스 생성에 영향을 미치는 주요인자중의 하나이다. 일반적으로 메탄형성균의 기능은 지중수에 완전히 침적되는 경우 쓰레기 성분은 균일하여지고 영양제의 농도변화를 감소시키며 혐기성 분해로 생성된 NH_3의 pH가 상승된다. 또 지중산소와의 접촉을 막게되므로서 CH_4가스 발생량이 가장 많아지게 된다. 특히 강우의 경우 우수에 의하여 지층의 함수율은 급증하게 되고 수분은 표토층으로부터의 침투에 의해서 매립층 심부의 수분을 증가시키고 토양의 현장 보수량 이상이 되면 과량의 수분은 침출수로서 배수된다. 이때 침출수의 지중이동은 넓은 의미에서 Darcy의 법칙에 의하여 일어난다.

(4) 지중온도에 의한 영향

쓰레기 매립초기에 지중심부에 있어서는 무산소

상태에 가까우므로 혐기성분해가 일어나면서 악취를 발하고 온도가 상승하지 않으며 불안정한 분해가 진행된다. 지표하 1~2m에서는 공기의 투과 및 확산과 아울러 외기온도의 영향을 받아 온도가 강하하게 된다. 대개 지표와의 온도구배는 일반 토양의 경우 4.5℃/m보다 적은 2~3℃/m를 가지며 심조가 깊어질수록 혐기성 분해의 정도에 따라 온도가 상승하게 된다. Merz와 Stone의 보고나 화산도의 연구결과에 의하면 지중 1~2m의 심도에서의 온도는 외기온도에 따라 광범위하게 변하게 되나 지중 3m부터 심도가 깊어짐에 따라 30~40℃의 Mesophilic Temperature Range에 있게 되는 것이 일반적이라고 하였다. 또 Merz는 쓰레기의 온도가 35℃이하로 내려가면 그 상태에 따라 CH_4의 발생이 제어되면서 통성미생물의 영향을 받는 경우가 있다고 발표한 바 있다.

2. 조사 및 분석방법

본 조사연구에는 매립지에서 측정 가능한 가스배제시설에 대하여 매립가스의 주요 성분조사를 실시하였다. 본 매립지에서 매립가스의 성분을 분석하기 위한 조사지점은 기존에 설치되어 있는 가스배제관(250m/m) 6개 지점에서 조사하였으며 본 매립지에서 대기로 방출되는 매립가스의 성분을 파악하고 주변지역에 미치는 영향예측 및 저감대책을 수립하기 위하여 자연 방출되는 매립가스의 주요 성분을 조사하였다.

2.1 측정방법

가스성분 분석기는 매립장 발생가스 측정기(Landfill Gas Analyser, Infra-red method))를 사용하였다.

2.2 조사기간

○ 1차 : 2000년 3월 30일
○ 2차 : 2000년 7월 11일
○ 3차 : 2000년 10월 12일
○ 4차 : 2001년 1월 16일

2.3 측정지점

M시 GD매립지 가스검사공 6개소

2.4 측정항목

외기온도(℃), 가스온도(℃), CH_4(%), CO_2(%), O_2(%), N_2, NH_3, H_2S, NO_X 등 9개 항목.

Ⅳ. 결과 및 고찰

1. 측정지점별 발생가스 농도

매립가스 분석결과를 Table. 3에 나타내었고 이들 결과를 도시하여 Fig. 3-9에 나타내었다.

A지점은 CH_4 16.2 - 26.4%, CO_2 20.2 - 25.3%, O_2 9.2 - 13.5%, N_2 1.8 - 12.3, NO_X 0.5 - 1.5이며, B지점은 CH_4 15.2 - 20.4%, CO_2 18.8 - 21.8%, O_2 10.4 - 13.5%, N_2 1.8 - 14.5, NO_X 0.4 - 2.1이며, C지점은 CH_4 19.1 - 37.5%, CO_2 19.8 - 25.4%, O_2 8.5 - 10.6%, N_2 1.6 - 15.5, NO_X 0.4 - 0.9이며, D지점은 CH_4 35.5 - 48.4%, CO_2 26.2 - 37.1%, O_2 4.5 - 5.8%, N_2 0.3 - 7.3, NO_X 0.3 - 2.5이며, E지점은 CH_4 11.1 - 33.5%, CO_2 12.2 - 25.4%, O_2 7.5 - 13.5%, N_2 1.4 - 3.5, NO_X 0.2 - 1.4이며, F지점은 CH_4 13.0 - 32.1%, CO_2 11.6 - 23.6%, O_2 4.5 - 12.9%, N_2 1.6 - 2.1, NO_X 0.3 - 0.9를 나타내었다. 또한, 측정시마다 분석 결과가 상당한 차이를 나타내고 있는데 이러한 결과는 수분이나, pH, 그리고 폐기물성상이나 분해정도에 따라 발생가스가 차이가 나는 것을 알 수 있었고, 매립장의 가스 검사공내 온도 측정시 온도분포가 평균 22 -30℃인 것으로 보아 온도도 매립지 발생가스의 중요한 영향인자임을 알 수 있었다.

2. 취기성분 분석

측정결과 취기 성분인 NH_3는 평균 1.07 -4.97, H_2S는 평균 0.75-1.15를 나타내어 Table 5의 악취강도표와 비교하여 보면 2~4 해당되는 것으로 냄새를 느낄 수 있을 정도의 악취 및 가끔 강한 취기를 나타내고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 이들 취기감지 물질은 가스 포집관내의 농도이므로 이들 가스가 대기로 배출된 후에는 빠르게 대기로 자연 확산되므로 매립지 주변에서 이들 취기가스의 영향은 미미할 것으로 판단된다.

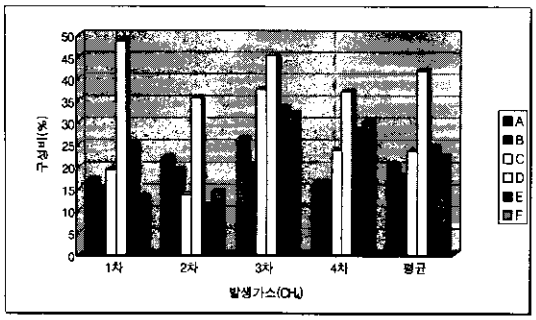

Fig. 3. The component ratio of gas in accordance with each area to measure gas (CH_4)

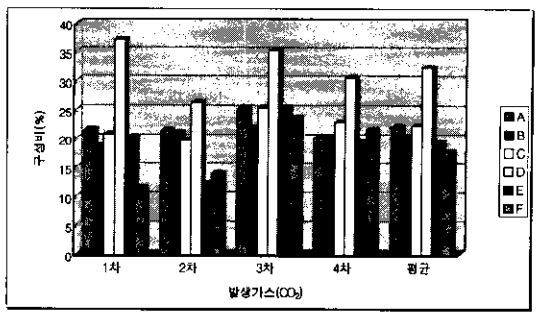

Fig. 4. The component ratio of gas in accordance with each area to measure gas (CO_2)

Table. 3. The result of analyzing landfill gas

No	Item	외기온도 (℃)	가스온도 (℃)	CH_4 (%)	CO_2 (%)	O_2 (%)	N_2	NH_3	H_2S	NO_X
A	1차	15	18	16.9	21.5	10.3	1.8	1.4	1.2	0.6
	2차	29	35	22.1	21.4	9.2	2.3	6.1	0.8	1.5
	3차	16.5	19	26.4	25.3	12.3	12.3	0.9	0.7	0.5
	4차	-7.1	15	16.2	20.2	13.5	7.5	0.4	0.3	0.7
	Avg	13.35	21.75	20.40	22.10	11.32	5.97	2.20	0.75	0.82
B	1차	15	19	15.2	18.8	11.3	2.0	1.8	0.8	1.5
	2차	29	34	19.2	21.1	10.4	1.8	4.2	1.2	2.1
	3차	16.5	18	20.4	21.8	13.5	14.5	0.8	0.6	0.4
	4차	-7.1	16	16.5	20.1	13.5	10.3	0.9	0.7	0.8
	Avg	13.35	21.75	17.82	20.45	12.18	7.15	1.93	0.82	1.20
C	1차	15	23	19.1	20.8	9.2	1.7	2.1	1.0	0.9
	2차	29	31	13.6	19.8	10.1	1.6	3.5	1.3	0.7
	3차	16.5	24	37.5	25.4	8.5	15.5	1.7	0.9	0.5
	4차	-7.1	19	23.5	22.7	10.6	13.4	1.4	0.5	0.4
	Avg	13.35	24.25	23.43	22.18	9.60	8.05	2.17	0.93	0.63
D	1차	15	28	48.4	37.1	4.5	0.3	9.2	2.4	1.8
	2차	29	36	35.5	26.2	5.3	2.4	7.2	0.6	2.5
	3차	16.5	30	45.3	35.2	5.8	4.3	1.5	0.7	0.3
	4차	-7.1	27	37.1	30.5	4.5	7.3	2.0	0.9	1.0
	Avg	13.35	30.25	41.58	32.25	5.03	3.58	4.97	1.15	1.40
E	1차	15	26	25.0	20.1	11.5	1.4	3.4	1.7	1.4
	2차	29	33	11.1	12.2	13.5	1.6	5.3	0.8	1.3
	3차	16.5	27	33.5	25.4	7.5	3.5	0.9	0.5	0.2
	4차	-7.1	23	28.4	19.5	7.6	2.5	2.6	0.8	0.5
	Avg	13.35	27.25	24.50	19.30	10.03	2.25	3.05	0.95	0.85
F	1차	15	18	13.0	11.6	12.9	2.0	0.8	0.6	0.5
	2차	29	32	14.4	14.0	10.7	2.1	1.8	1.5	0.9
	3차	16.5	20	32.1	23.6	5.4	1.8	0.7	0.5	0.3
	4차	-7.1	18	30.1	21.5	4.5	1.6	1.0	0.7	0.4
	Avg	13.35	22.00	22.40	17.68	8.38	1.88	1.08	0.82	0.53

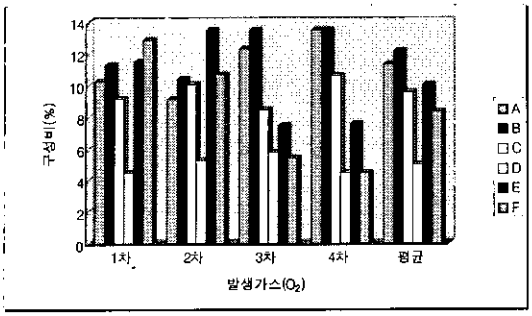

Fig. 5. The component ratio of gas in accordance with each area to measure gas(O_2)

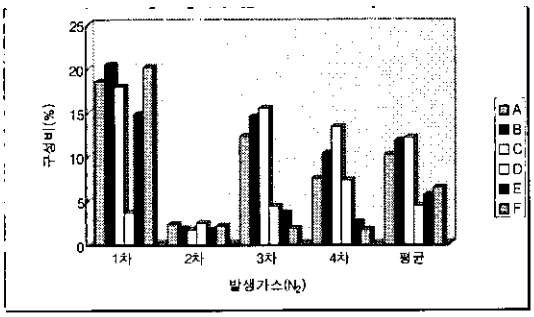

Fig. 6. The component ratio of gas in accordance with each area to measure gas(N_2)

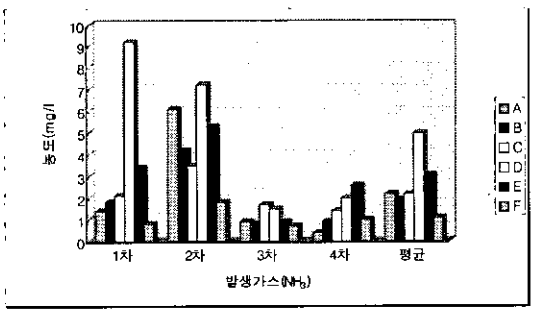

Fig. 7. The component ratio of gas in accordance with each area to measure gas(NH_3)

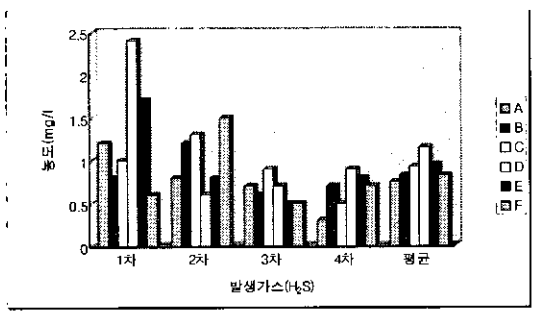

Fig. 8. The component ratio of gas in accordance with each area to measure gas (H_2S)

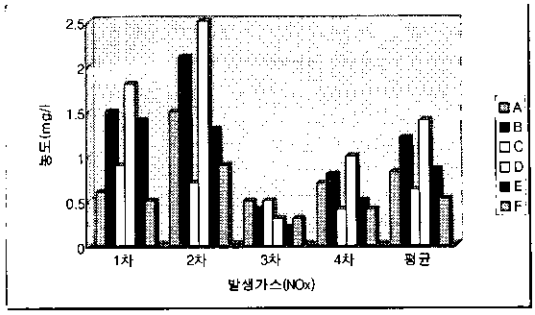

Fig. 9. The component ratio of gas in accordance with each area to measure gas(NOx)

V. 결 론

본 조사연구에서는 M시의 사용종료된 GD매립지의 발생가스 구성비와 분해상태를 규명하기 위하여 매립장발생가스 측정기로 가스를 측정하고 문헌을 토대로 발생가스 특성을 분석한 결과,

1. 혐기성반응에 의해 생성되는 CH_4 과 CO_2 의 비는 1.1-1.2정도라 할 때 GD 매립지의 매립가스 주성분인 CH_4는 평균 25.02%, CO_2는 평균 22.32%를 나타내어 4단계의 분해상태라고 판단된다.
2. 취기 성분인 NH_3는 평균 1.07-4.97, H_2S는 평균 0.75-1.15를 나타내어 냄새를 느낄 수 있을 정도의 악취 및 가끔 강한 취기를 나타내고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 이들 취기감지 물질은 가스 포집관내의 농도이므로 이들 가스가 대기로 배출된 후에는 빠르게 대기로 자연 확산되므로 매립지 주변에서 이들 취기가스의 영향은 미미할 것으로 판단된다.
3. 수분, pH, 그리고 폐기물성상이나 분해정도에 따라 발생가스가 차이가 나는 것을 알 수 있었고, 매립지의 가스 검사공내 온도 측정시 온도분포가 평균 22-30℃인 것으로 보아 온도도 매립지 발생가스의 중요한 영향인자임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 장성호 : 조기안정화를 위한 사용종료매립지의

환경특성분석에 관한 연구, 밀양대학교 산업과학기술연구소보, 8, 77-83, 1999.
2. 김수생 : Waste Reuse in Korea, IDRC Report, 1982.
3. 장성호 외 : 폐기물처리공학, 동화기술, 396-401, 1997.
4. Christensen, T.H. and P.Kjuldsen : "2.1. Basic Biochemical Processes in Landfills," in T.H. Christensen, R. Cossu, and P.Stegmann (eds.), Sanitary Landfilling : Process, Technology and Environmental Ompact, Academic Press, Harcourt Brace, Jovanavich, London, 1989.
5. Emcon associates : Methane Generation and Recovery from Landfills, Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI, 1980.
6. Farquhar, G.J. and F.A. Rovers : "Gas Production During Refuse Decomposition," Water, Air and Soil Pollution, Vol 2, 1973.
7. Ham, R.K., et al. : Recovery, Processing and Utilization of Gas from Sanitary Landfills, EPA-600/2-79-001, 1979.
8. Lang, R.J., T.a. Herrera, D.P.Y. chang, G. Tchobanoglous. and R.G. spicher : Trace Organic Constituents in Landfill Gas, Prepared for the California Waste Management Board, Department of Civil Engineering, University of California-Davis, Davis, CA, November 1987.
9. Parker, A. : "Chapter 7. Behaviour of Wastes in Landfill-Leachate. Chapter 8. Behaviour of Wastes in Landfill-methane Generation," in J.R. Holmes(ed.) : Practical Waste Management, John Wiley & Sons, Chichester, Emgland, 1983.
10. Perry, R.H., D.W. Green, and J.O. Maloney : Perry's(eds.) : Chemical Engineers' Handbook, 6th ed., McGraw-Hill, New York, 1984.
11. Pholand, F.G : Critical Review and Summary of Leachate and Gas Production from Landfills, EPA/600/S2-86/073, U.S. EPA Hazardous Waste Engineering Research Laboratory, Cincinnati, OH, 1987.
12. Pohland, F.G. : "Fundamental Principles and Management Stragegies for Landfill Codisposal Practices." Proceedings Sardinia 91 Third International Landfill Symposium Vol, II. pp. 1445-1460, Grafiche Galeati, Imola, Itlay, 1991.