

비위생 매립지의 물리적 조성 및 가스 분석을 통한 안정화 평가 - 노은 매립지 사례 연구 -

The Assessment for Environmental Stabilization in Open Dumping Landfill Site from Physical Composition and Gas Analysis - A Case Study of Noeun Landfill -

이민희* · 장병인** · 윤철*** · 연익준**** · 김광렬*****

Lee, Min-Hee · Jang, Byoung-In · Yun, Cheol · Yeon, Ik-Jun · Kim, Kwang-Yul

Abstract

A case study of the assessment for environmental stabilization in open dumping landfill site was carried out physical composition, total solid, moisture, and landfill gas(LFG) analysis in landfill site. The result of physical ratio were represented combustibles 23.64% and incombustibles 76.36%, TS 77.69%, VS 74.24%, FS 25.75%.

The biodegradable organic matters were almost degraded and the result of the landfill gas showed that the CH₄ gas were measured as 4.5%.

As the result of the assessment on the open dumping landfill it appears that this landfill is stabled for the maturation phase and formation CO₂ concentration lower than 15%.

Keywords : Landfill, Open dumping, Landfill Gas, Stabilization, Landfill Waste

요 지

본 연구에서는 매립완료후 6년 경과된 매립지 내 물리적 조성, 총고형물, 수분, Gas분석 등을 통하여 비위생 매립지의 안정성을 평가하였다. 폐기물의 물리적 성상을 조사한 결과, 가연성 물질은 23.64%, 불연성 물질 76.36%를 차지하며, TS, VS, FS는 각각 77.69%, 74.24%, 25.75%를 차지하고 있다. CH₄농도는 전체평균 4.5%로 매우 낮은 값을 나타내고 있는데 이는 매립된 쓰레기 중 CH₄ 가스 생성 원인이 되는 생분해성 유기성분들이 모두 분해되어 안정화되었기 때문인 것으로 판단된다. CO₂의 농도 또한 평균 15%로 낮아 이 역시 매립된 쓰레기가 매우 안정화되었음을 의미하며, 매립지에서 환경적인 영향을 미치지 않는 것으로 예상된다.

주요어 : 매립, 단순매립, 매립가스, 안정화, 매립폐기물

* 비회원 · 충북대학교 환경공학과 초빙교수

** 비회원 · 충북대학교 환경공학과 석사과정

*** 비회원 · 충북대학교 환경공학과 박사과정

**** 정회원 · 충주대학교 환경공학과 조교수

***** 정회원 · 충북대학교 환경공학과 교수

1. 서론

쓰레기 매립 시설의 기능중 하나는 매립된 쓰레기의 유해성이 주변환경으로 이동되어 토양과 지하수가 오염되는 것을 막는 것이다. 우리나라의 경우 환경문제가 대두되기 이전에 도시에서 발생하는 일반 도시 쓰레기 대부분이 단순매립되었고 점차 환경에 대한 인식과 우려가 나타나면서부터 단순매립보다는 위생매립형태로의 전환이 일어났다. 2003년 현재 지방자치단체가 설치운영한 후 사용종료 또는 폐쇄한 생활폐기물매립시설은 1,170개소이며, 총 매립량은 17,357만 톤으로 개소당 평균 150,000톤 규모로 보고되고 있다.

2003년 폐기물 처리시설 보유현황을 보면 총 333개로 지방자치단체(269개), 자가처리업체(36개), 최종처리업체(28개)로 총매립용량 44,816(만 m^3), 기매립량 19,834(만 m^3), 잔여매립가능량은 24,982(만 m^3)으로 조사되었다. 외국의 경우 매립지 용량 및 수명증진, 과거의 비위생매립지를 신규 위생매립지로 전환하기 위한 목적으로 매립폐기물을 굴착, 선별, 재매립하는 사례도 보고 되고 있다. 또한 유럽의 경우에는 굴착시 발생하는 악취가스를 사전에 저감시킨 후 매립지를 굴착하는 기술을 적용하는 사례가 보

고 되고 있다. 굴착시 환경문제 이외에도 단순매립은 매립량이 대량인 경우에는 처리비용이 과다하므로 선별 분류하여 일부를 자원화 하거나 감량화하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구는 환경부가 제시한 사용종료 되었거나, 폐쇄된 비위생매립지를 대상으로 비위생 매립지의 사후관리 지침을 수립하기 위한 기초조사로서 매립된 쓰레기로부터 발생하는 매립폐기물의 정상 및 매립가스를 분석하여, 이에 따른 매립지의 안정성을 검토하였다.

2. 매립지내에서의 반응

쓰레기중 유기물질은 생물학적으로 분해되며 그 결과로서 가스가 배출된다. 쓰레기가 매립된 초기에는 쓰레기내 가용 산소가 풍족한 호기성(aerobic)상태이며, 이때 유기물질은 이산화탄소와 물로 분해된다. 호기성 상태에서의 분해는 발열반응이므로 외부에서 에너지를 가해주지 않아도 반응이 진행되며 반응의 결과로서 매립지의 온도가 상승하게 된다. 쓰레기가 계속 매립되어 외부 공기의 유입이 차단되고 당초 있었던 산소가 분해과정에서 소모되어 쓰레기내 산소가 결핍되는 혐기성(anaerobic)상태로 진전된다. 호기성 상태는 상대적으로 짧게 지나가고

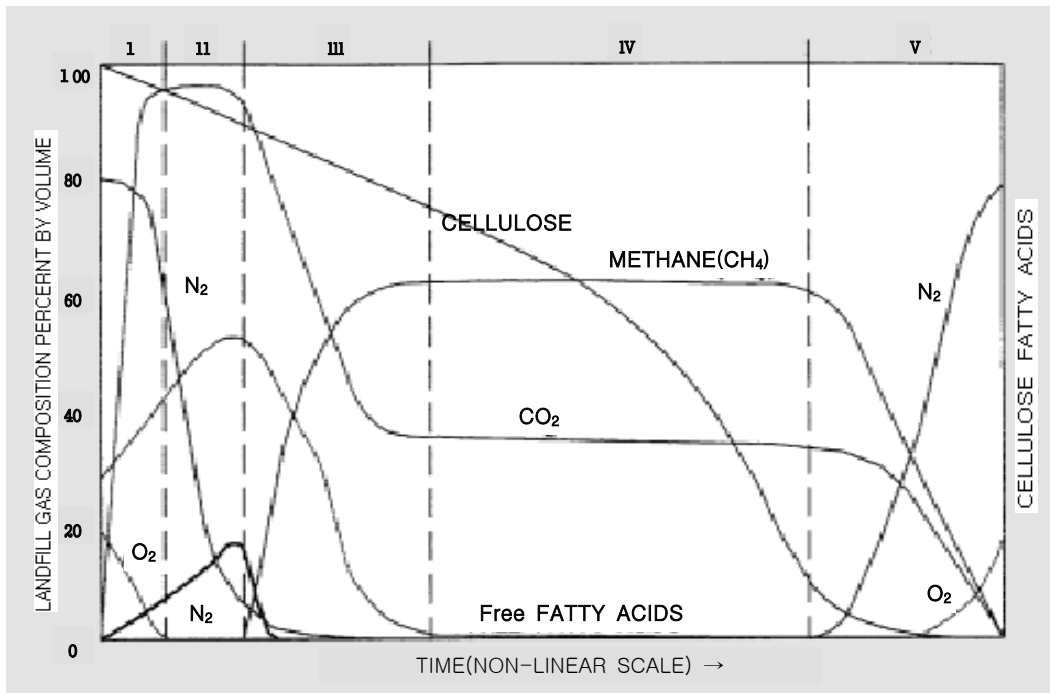


Fig.1. Generalized phases in the generation of landfill gases
 (I. initial adjustment, II. transition phase, III. acid phase, IV. methane fermentation, V. maturation phase)

혐기성 상태가 폐기물 매립시설에서 가스의 발생 거동을 지배한다. 혐기성 상태에서 유기물질은 유기산(organic acids)으로 분해된 후 순차적으로 다시 메탄과 이산화탄소로 분해 된다. Fig. 1에 폐기물 매립지에서 매립시간에 따른 가스 생성의 경향을 나타내었다. 매립이 시작한 시점에서 가스의 분포는 대기 중 가스의 분포와 마찬가지로 질소가 약 80%, 산소가 약 20%를 차지한다(phase I). 산소가 소모되며 이 상태로 전환된다.

혐기성 상태에서 유기물질 분해가 본격적으로 진행되는 단계(phase IV)에 이르면 매립지내 주 가스성분은 메탄가스와 이산화탄소이다. 이산화탄소의 상대적 구성비가 줄어드는 단계에 이르면(phase V), 발생 가스 중 메탄가스가 약 55%, 이산화탄소가 40%, 질소가스가 약 5%의 구성비를 가진다. 매립년한이 계속적으로 증가하여 매립지내 유기물질의 양이 감소하면 발생가스의 양도 감소하게 된다. 유기물질의 분해에 따른 가스발생기간은 대략 50%까지 23년, 90.5%까지 80년, 99.1%까지 160년이 소요된다.

메탄가스는 공기보다 가벼워 상방향으로 이동한다. 공기중 메탄가스의 양이 5-15%일 때, 메탄가스는 연소된다. 공기중 메탄의 양이 15%이상이면 폭발의 위험이 크다. 흔히 5% 메탄가스를 폭발하한한계(LEL, lower explosive limit), 15%를 폭발상한한계(UEL, upper explosive limit)라 한다. 매립시설 시설내 매립가스의 양이 폭발하한한계의 25%가 넘지 않도록 하여야한다.

공기보다 무거운 이산화탄소는 아래 방향으로 이동하며 매립지내에서는 침출수와 함께 배출되며, 부분적으로는 매립지 주변 운영시설로 빠져나갈 수 있다. 이산화탄소는 무색, 무취의 가스로서 폭발의 위험은 없다. 그러나 밀폐된 매립가스 중 상대적으로 소량이나 황화수소도 발생한다. 황화수소는 무색이며 단백질이 썩는 냄새가 난다. 황화수소의 양이 5ppb 이상이 되면 냄새가 나기 시작하며, 300ppb 이상이면 생명에 위협을 준다. 황화수소는 황산으로 변화되며 이 경우 부식성이 매우 강해 매립시설내 여러 금속물질의 시설에 문제를 일으키게 된다. 가스의 발생량은 쓰레기의 성상, 쓰레기내 물의 양, pH, 미생물의 영양소 상태 등에 따라 달라진다. 개개 매립시설과 매립연한에 따라 발생량은 다를 수 밖에 없으나, 발생량의 범위는 이론적으로 건조한 유기물질 1kg당 총 0.20~0.26m³의 가스가 발생하며, 일반적으로 쓰레기 1

kg당 0.031~0.012m³/yr/kg의 가스가 발생한다. 발생한 가스의 압력은 2.5~7.6cmH₂O이며(큰 경우는 15.2cm H₂O), 이를 압력단위로 환산하면 0.0025~0.0076kg/cm²의 범위이다. 발생한 가스는 압력에 의해 쓰레기층에서 저항이 작은 곳으로 이동한다. 우리나라 폐기물의 특성은 매립가스 발생속도가 빠르고 발생량이 많으며, 휘발성 유기물질이 포함되어 상당한 악취 유발원이 되고 있으며 높은 함수비로 형성되는 침출수위에 매립가스 발생압력이 작용하여 침출수 누출 잠재력이 높은 것으로 나타났다.

매립지에서 시간에 따른 가스발생속도의 변화를 알아보면 정상상태 하에서 가스 발생에 의해 측정된 분해속도는 2년내에 최고에 달하고, 25년이나 그 이상까지 계속되면서 천천히 줄어든다. 잘 다져진 매립지에 수분이 유입되지 않으면 폐기물은 매립된 채 분해되지 않을 것이다. 도시폐기물 내 이분해성 및 난분해성 유기물질이 혐기성 분해로 인한 가스 발생속도의 변화모형을 Fig. 2에 나타내었으며, Fig. 2에 나타낸 이·난분해성 물질의 연간 분해율은 가스 발생 시작 이후 각각 1년과 5년에 최대 가스 발생속도를 나타내는 것으로 한 삼각형 가스발생모형(triangular gas production model)이다.

가스 발생은 매립 운전 초기의 만기년도에 시작된다고 가정하면, 가스발생량은 삼각형의 밑변에 높이를 곱한것의 1/2에 해당한다. 즉, 운전 개시년도부터 발생한 가스의 총량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{가스총발생량(m}^3\text{/kg)} \\ & = 1/2(\text{밑변(yr)}) \times (\text{높이, 최대 가스 발생량(m}^3\text{/kg} \cdot \text{yr)}) \end{aligned}$$

삼각형 가스발생모형을 사용하여 5년동안 폐기물이 매립된 매립지로부터 이·난분해성 물질에서 발생한 총 가스 발생량을 그래프상에서 구할 수 있다. 총 가스발생량은 발생량 곡선 아래 면적에 해당한다.

3. 실험방법

3.1 시료 채취

본 연구대상인 노은매립지는 비위생매립지로서 충주시 외곽에 위치하고 있으며 주로 생활쓰레기를 매

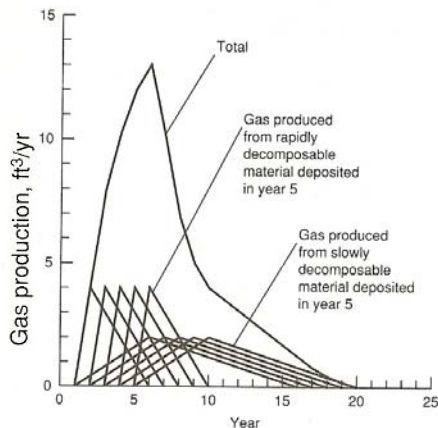


Fig. 2. Graphical representation of gas production over a five-year period from the rapidly and slowly decomposition organic materials placed in a landfill

립하였고, 계곡형 매립지임에 따라 주위는 산으로 둘러싸여 있으며, 인근 주위에는 과수원, 밭, 논 등이 있다. 이 매립지는 1992년 6월부터 1999년 6월에 매립이 완료되었고 완료후 6년이 경과되었으며, 매립고는 3m, 매립면적은 9,034m², 매립용적은 27,102m³로 매립 되었다. 대형 굴삭기를 이용하여 매립되어진 대표지점 3곳을 선정하여 모두 매립지 바닥까지 굴착하였으며 이때 굴착 깊이는 5m이었다. 물리적 성상분석을 위해 굴착된 시료를 원추4분법에 의해 시료를 취하여 밀봉한 후 실험실로 옮겨 물리적 성상 및 삼성분 분석용 시료로 하였다.

매립가스 채취는 2곳의 굴착지점에 PVC관을 매설하여 채취하였으며 이때의 PVC관은 지름 20cm, 길이 5m의 매립가스 포집관으로 제작하여 Fig. 3과 같이 설치한 후 CO₂, CH₄, O₂, H₂S, NH₃를 분석하였다(Fig. 4).

3.2 매립층의 수분, 물리적 성상 분석

매립폐기물의 물리적 성상 분석을 위해 3회에 걸쳐 100kg의 시료를 채취한 후 성분별로 분리하고 각각의 무게를 측정하여 각 성분별 조성을 구하였다. 폐기물의 분류는 가연성물질과 불연성 물질로 나누어 분류하였다.

3.3 고형물 및 유기물 함량

매립 폐기물내의 삼성분을 측정하기 위하여 폐기

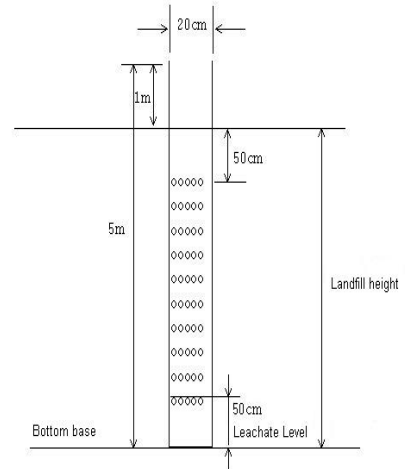


Fig. 3. The detail drawing of landfill gas collection pipe

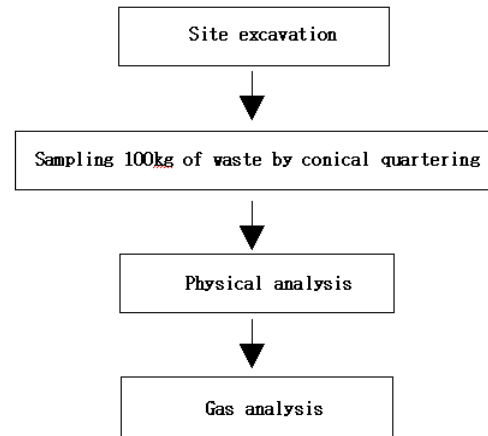


Fig. 4. The flowchart for analysis of landfill waste

물 공정시험법에 따라 시행하였으며, 무게를 측정된 시료를 105±5°C에서 24시간 증발 건조시켰으며, 건조가 완료된 시료는 데시케이터 안에서 방냉하여 항온이 되었을 때 건조 중량을 측정하였다. 건조 중량이 끝난 시료는 다시 전기로에 넣어 400°C에서 16시간 태운후 다시 데시케이터에서 방냉 후 남은 잔류물의 중량을 측정하였다.

측정된 중량으로부터 조성별 수분 및 회분을 구하고, 조성 별 수분 및 회분과 각 조성의 비율로부터 총수분과 총회분으로 하였다.

3.4 매립가스 분석

매립가스 중 CH₄, CO₂, O₂, H₂S는 Gas Data사의 Gas Data LMS xi Model을 사용하였고, NH₃는 air

sampler로 매립가스를 흡수액에 포집하여 분석하였다. 매립가스의 포집은 2곳의 굴착지점에 설치된 길이 5m의 매립가스 포집관을 통하여 포집관 설치후 1일 1회씩 3회에 분기별로 연 4회에 걸쳐 실시하였다. 또한, 매립가스의 발생량을 계산하기 위하여 원소분석기를 이용하여 매립폐기물의 원소분석을 실시하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 물리적 특성

물리적 성상 및 조성은 쓰레기 매립 지역 중 3곳의 굴착지점에서 굴착된 쓰레기로부터 시료를 인력 선별하여 조사하였고, 분기별로 각 위치에 따라 2회에 걸쳐 시료를 채취하여 분석하였으며 그 결과는 Table 1과 같다.

매립된 쓰레기의 물리적 성상은 음식물류, 섬유류, 비닐, 플라스틱, 목재류, 고무, 피혁류 등 7성분으로 분류되었으며 가연성 물질은 19.46~27.12%이고, 그 중 비닐·플라스틱류가 평균 17.42%로 대부분을 차지하고 있으며, 섬유류, 고무·피혁류, 종이류, 목재류 순으로 나타났다.

음식물류는 매립된 쓰레기가 안정화 단계에 있어 모두 분해되었음을 확인할 수 있었다. 불연성 물질은 72.88~80.54%로 평균 76.36%의 성상을 보였으며, 매립되어져 있는 쓰레기의 대부분은 토사류 및 기타가 평균 72.41%로 쓰레기의 대부분을 차지하고 있었다.

따라서 매립지내 쓰레기들은 섬유류, 목재류 등 난분해성 물질들의 장기간에 걸친 느린 분해가 예상되며, 분해가 완료된 생분해성 물질들의 분해 생성물들이 매립층에 잔류하여 지속적으로 소량의 가스 생성이 일어나고 있는 것으로 판단된다. 그러나 비닐·플라스틱류 등의 함량이 상대적으로 높아지고 또한 이들의 분해속도가 매우 느린점을 고려할 때 매립가스의 발생은 소량이라는 하나 문헌 등에 소개된 바와 같이 장기간 지속될 것으로 예측된다. 또한, 표에서와 같이 생분해성 유기물질들의 분해가 완료된 것은 매립 후 많은 시간의 경과로 분해에 필요한 충분한 시간이 지났으며 우수 등의 유입과 매립층 바닥의 지하수 등의 수분에 의해 분해반응이 촉진된 결과로 판단된다.

연익준 등(2002)의 연구에 따르면 물리적성상중 연탄재의 비율이 60.8~77.7%를 차지하고 있으며 이는 당시 연탄보일러의 사용으로 폐기물중 연탄재의 점유 비율이 높았음을 확인 할 수 있었으며, 다음으로 난분해성이거나 비분해성 물질들로 구성되어 있음을 확인할 수 있다. 또 조한상 등(2003)은 생물학적으로 분해가 용이한 음식물류와 종이류는 이미 분해되었거나 분석방법의 한계로 인해 토사류로 분류되었고, 나머지 성분들은 모두 난분해성이거나 비분해성 물질들로 조사되었다. 본 매립지에도 플라스틱류등의 난분해성 물질이 대부분을 차지하는 것을 볼 수 있는데 다른 매립지와 유사한 양상인 것을 확인할 수 있었고, 본 매립지의 폐기물은 안정화 단계에 있음을 확인할 수 있었다.

Table 1. The physical analysis of landfill waste

Sample		Component				
		1point	2point	3point	Average	Range
Combustibles	Food wastes	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	Papers	1.18	1.59	0.98	1.25	0.98~1.59
	Fabrics	2.84	3.24	2.92	3	2.84~3.24
	Vinyl, Plastics	18.59	14.42	19.26	17.42	14.42~19.26
	Woods	0.25	0.12	0.06	0.14	0.06~0.25
	Rubbers, Leathers	4.26	0.09	1.12	1.82	0.09~4.26
	Sub-total	27.12	19.46	24.34	23.64	19.46~27.12
Incombustibles	Glasses, Ceramics	4.22	1.53	2.31	2.69	1.53~4.22
	Metals	3.24	0.42	0.12	1.26	0.12~3.24
	Briquette ashes and others	65.42	78.59	73.23	72.41	65.42~78.59
	Sub-total	72.88	80.54	75.66	76.36	72.88~80.54
total		100	100	100	100	

note) N.D.: Not detected

Table 2. Composition ratio of landfilled waste

Sample Composition	Physical composition(%)	Moisture content(%)	TS(%)	Total(%)	TS(%)	
					VS	FS
Food wastes	-	-	-	-	-	-
Papers	1.25	27.05	72.95	100	78.57	21.43
Textile	3.00	28.19	71.81	100	65.78	34.22
Vinyl & plastics	17.42	14.05	85.95	100	75.08	24.92
Wood	0.14	26.39	73.61	100	66.44	33.56
Rubber & leather	1.82	10.41	89.59	100	73.48	26.52
total	23.64	-	-	-	-	-

Table 3. The hazard assessment of LFGs by ACGIH

Composition	Average concentration in LFG(mg/L)	TLV(Threshold Limit Value)					Result
		TWA (ppm)	TWA (mg/m ³)	STEL (ppm)	STEL (mg/m ³)	Threshold concentration (mg/L)	
H ₂ S	0.725	10	14	15	21	0.025~0.1	under
NH ₃	1.453	25	18	35	27	1~50	under

Table 4. Results of analysis of landfill gas

Composition	Types	Site1			Site2		
		1st	2nd	Average	1st	2nd	Average
Spring (April)	CH ₄ (%)	4.1	4.3	4.2	5.7	5.8	5.75
	CO ₂ (%)	13	14	13.5	16	15	15.5
	O ₂ (%)	5.7	5.6	5.65	4.9	5.3	5.10
	H ₂ S(ppm)	1.6	1.5	1.55	1.7	1.8	1.75
	NH ₃ (ppm)	0.8	0.9	0.85	1.0	0.9	0.95
Summer (July)	CH ₄ (%)	4.0	4.1	4.05	5.6	5.3	5.45
	CO ₂ (%)	15	14	14.5	16	17	16.5
	O ₂ (%)	5.2	5.1	5.15	4.9	4.7	4.80
	H ₂ S(ppm)	1.7	1.7	1.7	1.8	1.9	1.85
	NH ₃ (ppm)	0.9	1.0	0.95	1.2	1.3	1.25
Autumn (October)	CH ₄ (%)	3.9	3.8	3.85	5.1	5.0	5.05
	CO ₂ (%)	16	14	15	15	13	14
	O ₂ (%)	4.8	5.0	4.9	4.9	4.9	4.90
	H ₂ S(ppm)	1.7	1.8	1.75	1.9	2.0	1.95
	NH ₃ (ppm)	1.4	1.3	1.35	1.5	1.5	1.50
Winter (December)	CH ₄ (%)	3.5	3.4	3.45	4.3	4.2	4.25
	CO ₂ (%)	16	15	15.5	17	16	16.5
	O ₂ (%)	5.1	4.8	4.95	4.9	4.6	4.75
	H ₂ S(ppm)	1.6	1.6	1.6	1.9	1.9	1.90
	NH ₃ (ppm)	1.5	1.4	1.45	1.6	1.7	1.65

4.2 매립층의 수분, 고형물 및 유기물 함량

매립쓰레기의 수분, 고형물을 측정하기 위해 3개의 굴착지점에서 시료를 채취하였으며, 그에 따라 수분량을 조사한 결과 전체 지점에서 9.23~35.39%의 범위를 보였으며, 섬유류, 종이류, 목재류가 각각 평균 28.19%, 27.05%, 26.39%의 함유율을 보여 가연성 물질 중 가장 많은 수분을 함유하고 있음을 확인할 수 있었으며 각 지점별로 큰 차이가 없었다. TS는 전체 64.61~90.77%의 범위를 보이며 고무·피혁류가 평균 89.59%로 가장 많이 차지하고 있었다. 또한 생분해성 유기물의 분해로 쓰레기 중에 잔류하는 분해 생성물 및 기타 유기물의 함량을 조사하기 위한 VS를 측정된 결과 전체 59.34~89.15% 범위의 성분비를 가지며 평균 78.57%로 종이류가 가장 높은 비율을 차지하였고, FS는 전체 범위 10.85~40.66%이며 섬유류가 평균 34.22%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 또한 수분량의 결과 총고형물의 양도 큰 차이를 보이지 않았다. 삼성분에 따른 분석 결과는 Table 2와 같다.

4.3 매립 가스 분석

4.3.1 CH₄, CO₂ 분석결과

CH₄는 CO₂와 함께 매립된 쓰레기 중 생분해성 유기성분들이 혐기성 상태에서 미생물에 의해 분해될 때 생성되는 가스로 무색무취이나 공기 중에 5~15% 존재시 폭발 및 인화성이 매우 높은 특성을 가지고 있다. CO₂농도는 4계절 평균 약 15%로 측정되었다. Table 4에서 CH₄의 농도는 4계절 평균 4.5%으로 매우 낮은값을 나타내고 있어 이는 매립된 쓰레기 중 CH₄ 가스 생성 원인이 되는 생분해성 유기성분들이 모두 분해 되어 안정화되었기 때문인 것으로 판단된다. 조한상 등(2003)의 연구 결과 혐기성 분해가 활발히 진행중인 매립지와 혐기성분해가 어느 정도 진행된 시점의 매립지인 경우 CH₄ 60%, CO₂ 40%와 CH₄ 30%, CO₂ 20%의 농도로 나타난다고 한다. 이 결과와 비교했을 때 본 매립지는 안정화 상태에 있는 것을 알 수 있다.

4.3.2 H₂S와 NH₃ 분석결과

H₂S와 NH₃는 폐기물 매립지에서 발생하는 전형적인 악취 성분으로 H₂S는 보통 계란 썩는 냄새로 알려

져 있으며 눈, 호흡기 등의 자극과 매우 심한 악취를 내는 가스이며, NH₃는 무색의 특유의 자극성 냄새를 갖는 기체이다. 후각으로 냄새를 감지할 수 있는 하한 농도를 ACGIH에서 규정한 값을 Table 3에 나타내었고, 본 실험의 분석결과를 Table 4에 나타내었다. 본 매립가스 중 H₂S는 평균 0.725ppm으로 TLV-TWA값에 미달됨을 알 수 있다. 참고로 우리나라 대기 배출기준은 석유정제시 가열, 탈황, 폐가스 소각의 경우 5ppm 이하, 펄프 제조의 경우 6ppm 이하, 기타 15ppm 이하로 되어 있어 이들 기준치에도 미달됨을 확인할 수 있다.

NH₃는 냄새를 감지할 수 있는 하한농도인 TLV는 1~50ppm이며, 400~1000ppm의 농도에서 눈, 인후, 점막, 호흡기 중의 심한 자극과 2000ppm일 경우 경련성 기침, 폐수종, 피부발진, 혈담, 호흡장애 등을 유발하는 것으로 알려져 있다. 본 매립지의 매립가스 경우 NH₃의 농도는 평균 1.453ppm으로 냄새를 맡을 수 있는 TLV 및 TWA 기준치인 25ppm(18mg/m³) 이하로 나타났다. 참고로 우리나라 대기보전법상 NH₃의 배출기준은 화학비료 제조의 경우 50ppm이하, 안료 및 염료 산업의 경우 70ppm 이하, 기타 100ppm 이하로 되어 있으며, 일본산업위생학회에서 정한 실내허용치는 50ppm(35mg/m³) 이다. 매립지에서 발생하는 매립가스 중 H₂S와 NH₃의 배출농도에 대한 환경보전법상의 규정은 마련되어 있지 않으나 분석결과에서 나타났듯이 H₂S와 NH₃ 모두 TWA값에 미달되어 인체에 대한 그 외의 환경적 피해가 없을 것으로 예상된다.

4.3.3 매립가스 발생량

본 연구 대상 매립지의 차후 발생될 수 있는 연간 가스배출량을 산정하였으며, 산정방법으로 삼각형 가스발생모델을 적용하였다. 매립지에서 이·난분해성 물질의 분해 후 발생될 수 있는 총 가스 발생량을 예측하였으며, 폐기물 매립량은 매립당시의 양을 적용하였으나 매립단계에서의 폐기물종류 및 구성성분을 알 수 없어 본 연구를 통하여 조사되어진 폐기물 성분을 기준으로 산출하였다. 폐기물 분해는 이분해성 폐기물과 난분해성 폐기물을 각각 적용하였으며, 이분해성 폐기물은 매립되어진 양의 75%, 난분해성은 매립되어진 양의 50%가 분해가능한 것으로 적용하여 산출하였으며, 이에 따른 폐기물의 원소분석 결과는 Table 5에 나타내었고, 이를 통하여 장래 발생 가능한 가스량 예측은 Table 6에 정리하였다.

이에 따라 예측되어진 결과로서 매립지에서 이분해성 폐기물과 난분해성 폐기물의 분해가 삼각형 가스발생모델의 방법에 따라 현재부터 5년 후 가장 많은 가스방출이 발생될 것으로 산출하였으며 이때의 가스방출량은 총 연간 폐기물 kg당 13.43 l/kg이 방출될 것으로 산정되었다. Carlson에 의하면 9년된 매립장의 경우 단위 심도당(m당) 0.03m³/m²·d가 발생하는 것으로 실측했고, Dair등은 0.077m³/m²·d로 보고하고 있는바에 따라 본 연구 대상 매립지의 인

자를 사용하여 최대 가스발생량일 때를 기준으로 산정해본 결과 0.036m³/m²·d으로 Carlson의 결과와 비슷하거나 Dair의 결과보다 적게 나타났으며, 이의 삼각형 가스발생 모델 방법은 매립 초기 폐기물의 특성에 따라 배출되어지는 가스량을 산정하는 방법으로 적용되어졌으며 또한 최대의 발생량을 기준으로 산정된 결과이므로 실제 매립지에서 방출되어지는 가스의 양은 예측 산정되어진 양보다 훨씬 적을 것으로 기대된다.

Table 5. The physical analysis weight and composition data of landfill waste

component		weight (kg)	Composition, (%)						
			C	H	N	O	S	Cl	Ash
Rapidly decomposable organic constituents	Paper	1.25	48.50	6.40	1.80	40.20	0.22	0.20	2.68
	Textiles	3.00	48.60	6.30	1.80	34.50	1.35	1.40	6.05
Slowly decomposable organic constituents	Vinyl /Plastic	17.42	49.50	6.40	1.50	38.90	0.27	1.85	1.58
	Wood	0.14	51.20	8.40	3.00	35.00	0.25	0.50	1.65
	Rubber /Leather	1.82	44.50	5.80	1.70	38.50	0.35	1.80	7.35

Table 6. The yearly gas production rates from the rapidly and slowly biodegradable organic material per kg of total waste

End of year	Rapidly biodegradable		Slowly biodegradable		Total(rapidly+slow)	
	Rate of gas production (L/yr)	Gas production (L)	Rate of gas production (L/yr)	Gas production(L)	Rate of gas production (L/yr)	Gas production (L)
1	0.00	0.06	0.00	1.41	0.00	1.47
2	0.12	0.10	2.83	4.24	2.94	4.34
3	0.09	0.07	5.65	7.07	5.74	7.14
4	0.06	0.04	8.48	9.89	8.54	9.94
5	0.03	0.01	11.31	12.72	11.34	12.73
6	0.00	0.00	14.13	13.43	14.13	13.43
7	-	-	12.72	12.01	12.72	12.01
8	-	-	11.31	10.60	11.31	10.60
9	-	-	9.89	9.19	9.89	9.19
10	-	-	8.48	7.77	8.48	7.77
11	-	-	7.07	6.36	7.07	6.36
12	-	-	5.65	4.95	5.65	4.95
13	-	-	4.24	3.53	4.24	3.53
14	-	-	2.83	2.12	2.83	2.12
15	-	-	1.41	0.71	1.41	0.71
16	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00

5. 결 론

충청북도 C시 외곽에 위치한 비위생 매립지의 시간 경과 후의 물리적 성상 및 매립가스를 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 물리적 조성분석 결과. 가연성물질은 평균 17.42%, 불연성물질은 평균 76.36%를 차지하고 있으며, 매립된 쓰레기의 음식물류는 거의 분해되어 안정화 단계에 접어든 것을 확인할 수 있다.
2. 삼성분 분석에서 함수율은 27%, 총고형물은 64~90.77%, 휘발성 고형물은 59~89.15%, 강열잔류고형물은 10~40.66%의 범위를 보였다.
3. H₂S와 NH₃의 농도는 각각 평균 0.725 ppm, 1.453 ppm으로 ACGIH에 의한 매립가스유해도 평가표와 비교해 봤을 때 TLV 및 TWA 기준치 이하로 분석되었다. H₂S와 NH₃의 배출농도에 대한 환경보전법상의 규정은 마련되어 있지 않으나 분석결과에

나타나듯이 TWA값에 미달되어 인체에 대한 환경적 피해가 없을 것으로 보인다.

4. 매립가스 중 CH₄와 CO₂는 각각 평균 4.5%, 15%로 매우 낮은 값을 나타내는데 이는 매립된 쓰레기 중 CH₄가스 생성 원인이 되는 생분해성 유기성분이 모두 분해되어 안정화되었기 때문인 것으로 판단된다.

이상의 물리적 조성과 가스 분석을 통한 연구 결과 대상 폐기물 매립지는 안정화 단계에 접어 들고 있는 것으로 평가된다. 그러나 본 연구에서는 매립지의 물리적 조성과 가스분석만을 토대로 안정화를 평가하여 전반적인 안정화에 대한 평가로는 미흡하기 때문에 향후에 침출수, 주변 지하수 등의 환경오염농도와 침출수량에 대한 예측분석 등에 대한 후속 연구를 통하여 심화시킬 필요가 있다.

(접수일자 : 2005년 7월 19일)

참고문헌

1. 고윤화(1997), 매립지의 사후관리정책. 토양환경 관련 정책 세미나 논문집-우리의 토양 어떻게 보전할 것 인가, 한국토양환경학회. pp 92~107.
2. 사단법인 한국유기성폐자원학회 폐기물자원화편집위원편(2001), 폐기물자원화실무. 동화기술, pp. 185~246.
3. 연익준, 주소영, 김광렬(2002), 소규모 비위생매립지의 환경안정성 평가. 한국폐기물학회지, 제19권, 제2호, pp. 234~243.
4. 이준홍, 문동호, 김재원(2000), 수도권 매립지에 반입되는 쓰레기의 성상 및 물리화학적 특성. 한국폐기물학회지, 제 17권, 제 3호, pp. 363~369.
5. 정문경(1998), 폐기물 매립시설의 설계시공기술에 관한 연구. 한국건설기술연구원 연구보고서, pp. 273~279.
6. 정재춘 외 16인(2002), 폐기물처리. 동화기술, pp. 465.
7. 조한상, 임정대, 김재영(2003), 비위생매립지의 안정화 평가를 위한 기초 조사. 한국폐기물학회지, 제20권 제5호, pp. 470~477.
8. 환경부(2002), 사용종료매립지 정비지침.
9. 환경부(2004), 환경백서.
10. Cowland, J. W., and Koor, N. P.(1995), Stability Considerations for Steep Valley Landfills, Proceedings SARDIA 95, Fifth International Landfill Symposium, pp. 789~800.
11. LCSWMA(1994), Assessment of Landfill Reclamation and the Effects of Age on the Combustion of Recovered Municipal Solid waste.
12. NRCS on line (2003), Soil Survey Laboratory Investigations Report No.42. at <http://soils.usda.gov>.
13. Rettenberger. G.(1995), Result from a landfill mining Demonstration Project. Proceedings Sardinia 95, Vol. 3, pp. 827~840.