

소규모 사용종료매립지의 환경특성분석

장성호 · 조한진^{*} · 이춘식¹⁾

부산대학교 지역환경시스템공학과, ¹⁾국립 진주산업대학교 환경공학과
(2010년 4월 27일 접수; 2010년 5월 19일 수정; 2010년 6월 8일 채택)

A Study on the Environmental Characteristic Analysis at Closed Small Sale Landfill Site

Seong-Ho Jang, Han-Jin Cho^{*}, Chun-Sik Lee¹⁾

Department of Regional Environmental System Engineering, Pusan National University, Busan 627-706, Korea

¹⁾Department of Environmental Engineering, Jinju National University, Kyungnam 660-758, Korea

(Manuscript received 27 April, 2010; revised 19 May, 2010; accepted 8 June, 2010)

Abstract

Emissions of leachate, odor, and landfill gas(LFG) from an open-dumping landfill site do harm to public health by contaminating neighboring soil, underground water, and rivers. Particularly, methane(CH_4) and carbon dioxide(CO_2), the main components of LFG, are especially noted as the causing material of the global warming that become seriously recognized worldwide issue.

As one of alternatives in managing LFG, incineration of inflammable wastes that are generated during excavation process at an open-dumping landfill has been evaluated.

Standard on stabilization for evaluation, neither CH_4 density nor CO_2 density could not Because meet 'less than 5%' criterion and so it is right to install a gas collection system during landfill renewal to prevent diffusion of odor and collect it.

Because it shows considerable heating value, incineration of inflammable wastes might be the reasonable solution from the result of our study.

Key Words : LFG, Stabilization, Landfill, Reasonable, CH_4

1. 서 론

생활폐기물 매립지는 매립후 일정기간이 경과하면 매립지를 재굴착하여 재활용 가능한 물질을 회수하고 부지를 재이용 할 수 있다. 그러나 매립이 종료된 국내 대부분의 매립지는 위생매립에 의한 안정된 처분이기 보다는 투기에 의한 처리라고 볼 수 있으며, 위생적 설

비를 갖추었지만 시간이 경과 할수록 각종 매립폐기 물의 분해과정에서 발생된 오염물질이 주변 토양, 지하수, 하천 및 대기로 유입되어 수질오염, 토양오염, 악취발생 등의 2차 환경오염을 유발시키고 있다(한국건설기술연구원, 1999).

매립지에서는 폐기물중에 함유되어 있는 각종 유기물질이 물리·화학적 및 생물학적 과정에 의해 분해됨에 따라 이산화탄소, 메탄 그리고 미량의 비메탄 유기화합물을 함유한 매립가스가 발생되며 매립지의 안정화를 진단할 수 있는 지표로서 이용 가능하다(손, 2002).

이러한 매립가스들은 대기중에 휘산되는 과정에서

*Corresponding author : Han-Jin Cho, Department of Regional Environmental System Engineering, Pusan National University, Busan 627-706, Korea
Phone: +82-51-200-8615
E-mail: hanjin1011@yahoo.co.kr

폭발이나 화재, 대기오염, 토양내의 산소고갈로 인한 식물의 고사, 악취 등 주변환경에 2차적인 피해를 유발한다. 또한 일반적으로 매립장내 가스의 발생이 매립완료 후 10년이상 계속된다고 할 때 택지나 그 외 건물의 부지로 활용하기 부적합하기 때문에 매립지의 안전하고 위생적인 복구가 필요하다(이, 2007).

비위생 사용종료 매립지의 오염물 확산방지 및 생활부지로서의 재이용 및 복원을 위해서는 매립지내의 안정화평가 인자 중 하나인 매립가스의 특성분석 및 매립된 폐기물의 특성을 분석하는 것이 필요하다(장, 2009).

본 연구에서는 현재 M시 비위생 매립장 중 1996년에 매립이 종료된 과거 군지역 매립장과 기존 시지역 매립지를(K-1 과거 시지역 매립장, K-2 과거 군지역 매립장) 대상으로 매립가스 조성 및 매립된 폐기물 중 가연분의 원소분석 및 발열량 등의 특성을 분석함으로써 매립 폐기물의 폐기물고형연료 및 소각가능성을 평가하고, 사용종료 된 비위생 매립장에 대한 사후관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

조사대상매립지 중 기존 시지역 매립장인 K-1의 매립기간은 1994. 12 ~ 1996. 04이며, 과거 군지역 매립장인 K-2의 매립기간은 1992. 05 ~ 1996. 06로써 매립기간은 K-2가 다소 길었으나 매립완료기간은 비슷한 것으로 조사되었다.

Table 1. Profile of landfill on K-1, K-2

Location	Landfill Term	Note
K-1	1994. 12 ~ 1996. 04	From the first M city
K-2	1992. 05 ~ 1996. 06	Absorbed by M city at 1995. 01

매립가스의 채취는 조사대상매립장(K-1, K-2)에 각 3공의 수직가스 관측공을 통해 발생하는 매립가스 (CH_4 , CO_2 , O_2 , H_2S , NH_3)의 과거 측정결과(2000년~2002년, 6회)와 최근 측정결과(2009년, 2회)를 비교 분석하였다. 수직가스 관측공은 유공 PVC관을 사용하였으며, 유공부위는 가스와 침출수의 채취를 고려해 매립 폐기물 바닥층의 10~50 cm정도 상부 심도까

지 매설 하였다. 가스측정은 GA-94 detector(Landfill Gas Analyser, Infra-red method)와 AP-400가스검지기를 이용하여 측정하였다.

또한 매립된 폐기물 중 가연분의 화학적특성 및 발열량 등의 특성을 조사하기 위하여 폐기물을 굴착/선별하여 가연분을 분류하고 원추4분법으로 분석시료 각 100 kg을 채취하였다. 원소분석을 위한 시료는 건조기를 이용하여 $100 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 시료의 중량 일정하게 될 까지 4시간 이상 건조시킨 다음 파쇄기로 파쇄하여 균일한 크기로 분말화한 후 사용하였다. 분말화된 시료는 자동원소분석기를 이용하여 C, H, O, N, S의 조성을 분석하였다. 선별 가연물의 발열량은 원소 분석 시험 결과를 바탕으로 Dulong식에 의하여 산출하였다.

$$\text{Dulong 고위발열량} (H_h) = 8,100C + 34,250(H - \frac{O}{8}) + 2,250S$$

$$\text{Dulong 저위발열량} (H_n) = H_h - 600(9H + W)$$

Table 2. Analysis item and method of reclamation gas

Analysis item	Analysis equipment	Measurement
CH_4	GA-94 detector	Spot analysis
CO_2	GA-94 detector	Spot analysis
O_2	GA-94 detector	Spot analysis
H_2S	GA-94 detector	Spot analysis
NH_3	AP-400	Spot analysis

3. 결과 및 고찰

3.1. 매립가스분석결과

3.1.1. K-1(시 지역)

2000년 3월~ 2002년 01월까지 K-1 지역의 매립가스(3개공 평균농도)의 모니터링 분석결과 2000년~2002년까지의 CO_2 , NH_3 , H_2S 의 농도변화는 특별한 변화를 나타내지 않았으나, 2009년 조사에서는 NH_3 , H_2S 농도가 큰 폭으로 감소하여 악취에 대한 안정화가 다소 이루어진 것을 판단할 수 있다. CH_4 의 농도 역시 2000년~2002년까지 25.1~31.5%의 농도를 유지하였으나, 2009년 조사에서는 6.8, 7.8%로 대체로 안정화 단계에 접근하고 있는 것으로 판단되나, 매립지 안정화 평가항목 중 매립가스기준은 매립가스 발생량이 2

년 연속 증가하지 않을 것과 매립가스 중 CH₄농도가 5%이하일 것인데 기준보다 다소 높게 조사되었다.

Table 3. Analysis of reclamation gas(K-1)

Analysis Item	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	H ₂ S(ppm)	NH ₃ (ppm)
1(2000. 03)	29.0	20.2	7.6	1.2	3.4
2(2000. 07)	28.1	21.3	6.2	1.8	6.5
3(2000. 10)	31.5	25.3	5.5	1.8	7.1
4(2001. 01)	26.2	29.1	7.4	1.0	2.8
5(2001. 07)	29.6	23.6	6.2	1.2	6.6
6(2002. 01)	25.1	21.0	7.9	1.0	3.0
7(2009. 03)	6.8	12.3	9.6	0.4	0.8
8(2009. 06)	7.8	11.8	9.9	0.4	0.6

3.1.2. K-2(군 지역)

2000년 3월~ 2002년 01월까지 K-2 지역의 매립가스(3개공 평균농도)의 모니터링 분석결과 K-1지역과 마찬가지로 조사기간 동안 CO₂, NH₃, H₂S의 농도변화는 특별한 변화를 나타내지 않았으나, 2009년 조사에서는 NH₃의 경우 2000년 7.1 ppm에서 2009년 0.6 ppm으로 감소하였으며, H₂S농도 역시 2000년 1.9 ppm에서 2009년 0.4 ppm으로 큰 폭으로 감소한 것으로 나타났다. CH₄의 농도 역시 2000년~ 2002년까지 28.5~38.4%로 폭발허용농도범위를 초과하였으나, 2009년 조사에서는 9.3, 9.8%로 감소되었으나 매립지 안정화 기준은 충족시키지 못한 것으로 나타났다.

Table 4. Analysis of reclamation gas(K-2)

Analysis Item	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	H ₂ S(%)	NH ₃ (%)
1(2000. 03)	31.8	19.3	6.8	1.4	4.6
2(2000. 07)	34.0	20.0	5.5	1.9	6.9
3(2000. 10)	38.4	22.7	5.0	2.1	7.5
4(2001. 01)	34.7	17.8	5.2	1.2	3.8
5(2001. 07)	32.5	21.7	5.9	1.8	5.5
6(2002. 01)	31.3	18.8	6.4	1.1	3.6
7(2009. 03)	9.3	6.2	10.2	0.2	0.3
8(2009. 06)	9.8	5.9	10.8	0.1	0.4

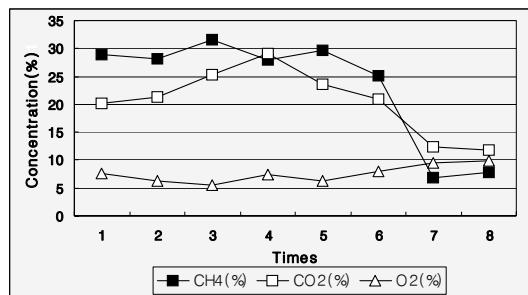


Fig. 1. Variation of CH₄, CO₂, O₂ concentration by times (K-1).

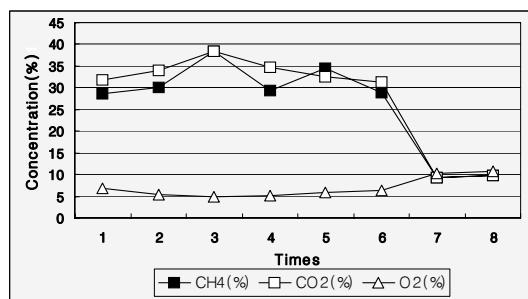


Fig. 2. Variation of CH₄, CO₂, O₂ concentration by times (K-2).

3.1.3. K-1(시 지역)과 K-2(군지역)의 매립가스 중 CH₄ 분석 결과

K-1과 K-2의 매립가스 중 CH₄의 농도를 비교해본 바 전체적으로 K-2지역의 CH₄ 농도가 K-1지역의 농도보다 다소 높게 나타났으며, 이러한 결과는 매립 당시의 수거대상 지역의 특징(군지역, 도시지역)의 영향인 것으로 사료되며, 군지역의 폐기물 매립장이 안정화가 다소 늦게 진행된 것으로 판단된다.

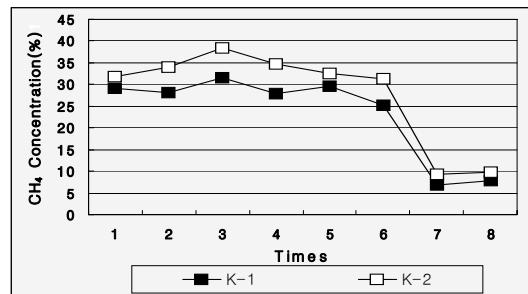


Fig. 3. Comparison K-1, K-2 for CH₄ concentration by times.

3.2. 매립폐기물 중 가연분의 화학적특성 분석

3.2.1. 원소 분석

매립폐기물 중 가연분의 선별 결과 음식물류와 종이류는 극소량 검출되었고, 목재류, 섬유류, 고무/가죽류, 비닐/플라스틱류의 4가지 성상으로 분류 되었다. 원소 분석 결과를 살펴보면 성상에 관계없이 C의 함량이 43.57~76.63%로 가장 높은 편으로 나타났고 H의 함량은 5.39~13.11%로 나타났다. O의 함량은 1.98~46.22%로 성상별로 큰 차이를 보였으면 N과 S의 함량은 전체적으로 1% 미만인 것으로 나타났다. K-1과 K-2를 비교하면, C의 함량의 경우 K-1지역에서 대체로 높게 나타났다.

3.2.2. 발열량

선별된 가연물에 대해 원소 분석을 바탕으로 Dulong식을 이용하여 발열량을 계산하였으며, 산출 결과를 살펴보면 고위발열량의 경우 4,398.12, 4,163.11 kcal/kg로 평균 4,280.611 kcal/kg로 나타났으며 저위발열량의 경우 3,740.38, 3,501.56 kcal/kg로 평균 3,620.97 kcal/kg으로 나타났다.

환경부의 ‘2008 대형 생활폐기물 소각시설 설치 운영현황’에 제시된 전국 소각장 43개 반입폐기물 저위발열량 평균은 2,6421 kcal/kg과 비교하였을 때 상당히 높은 발열량을 나타내고 있어 매립지의 복원 및 이용을 위하여 폐기물의 굴착 시 소각처리 및 폐기물고형연료로 이용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 과거 시지역이었던 K-1의 경우가 군지역이었던 K-2지역보다 소각처리에 높게 나타났으며, 이것은 매립대상폐기물의 차이에서 기인한 것으로 사료된다.

Table 6. Heating values of classified combustibles

Item	K-1	K-2	Average
High heating value(kcal/kg)	4,398.1	4,163.1	4,280.6
Low heating value(kcal/kg)	3,740.4	3,501.5	3,621.0

4. 결 론

M시에 위치한 사용종료 비위생 매립장 2개소에 대한 매립가스 분석과 굴착폐기물 중 가연분의 화학적 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 사용종료 후 13년경과한 K-1(시지역 매립장), K-2지역(군지역)의 CH₄의 농도는 시간이 경과됨에 따라 지속적으로 감소하는 것으로 나타났으나 매립지 안정화기준에는 미치지 못하는 것으로 나타났으며, 황화수소(H₂S)의 경우 0.3 ~ 0.8 ppm로 조사되어 매립지 재정비시 약취의 확산방지와 처리가 필요할 것으로 판단된다.
2. 가연분 선별 결과 음식물류와 종이류는 극소량 검출되었으며, 목재류, 섬유류, 고무/가죽류, 비닐/플라스틱류의 4가지 성상으로 분류 되었으며, C의 함량이 43.57~76.63%로 가장 높았으며, H의 함량은 5.39~13.11%로 나타났다. 그리고 N과 S의 함량은 전체적으로 1% 미만인 것으로 나타났다.
3. 선별된 가연분에 대해 원소 분석을 바탕으로 한 발열량 산출 한 결과 고위발열량의 경우 평균 4,280.611 kcal/kg로 나타났으며, 저위발열량의 경우 평균 3,620.97 kcal/kg으로 나타나 전국 소각장 반입폐기물 저위발열량 평균 2,6421 kcal/kg에 비

Table 5. Element analysis of classified combustibles

Item	K-1				K-2				Average			
	wood	Fiber	Rubber	plastic	wood	Fiber	Rubber	plastic	wood	Fiber	Rubber	plastic
C(%)	46.13	66.88	52.44	76.63	43.57	65.43	50.12	73.33	44.85	66.16	51.28	74.98
H(%)	6.10	12.11	9.01	13.11	5.39	10.89	8.01	12.01	5.75	11.50	8.51	12.56
O(%)	42.24	5.23	11.44	2.04	46.22	5.21	10.14	1.98	44.23	5.22	10.79	2.01
N(%)	0.11	0.07	0.66	0.28	0.10	0.10	0.55	0.10	0.11	0.09	0.60	0.19
S(%)	0.18	0.09	0.15	0.36	0.12	0.05	0.12	0.14	0.15	0.07	0.14	0.25

해 높은 발열량을 보이는 것으로 조사되어 굴착 폐기물의 소각시설 반입 및 폐기물고형연료로 성형할 경우 효과적인 폐기물 처리 및 에너지 절감 등의 경제적인 측면에서 높은 가치가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- 장성호, 2009, 폐기물처리공학, 동화기술.
 장성호, 손영일, 2001, 사용종료 매립지의 발생가스 특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 16(2), 17-23.
 한국건설기술연구원, 1999, 위생매립지 건설 및 비위생 매립지 복원기술, 21-28.
 이용수, 2007, 사용종료매립지의 정밀조사 및 평가사례 연구, 한국지반환경공학회 학술발표회 논문집, 158-160.
 손영일, 2002, 사용종료매립지의 환경특성분석에 관한 연구, 밀양대학교 산업대학원, 33-35.
 환경부, 2008, 2008 대형폐기물 소각시설 설치 운영현황.
 홍상표, 2008, LandGEM 모델을 이용한 청주권 생활폐기물 매립장의 매립지가스 발생상수 및 메탄 잠재발생량 산정, 한국환경보건학회, 37(2), 28-30.
 김문현, 양원호, 2007, 농업폐기물 소각에 따른 대기오염 실태 및 위해성 평가, 한국환경보건학회, 33(1), 49-52.

- Lee, S. K., 2006, A Study on Uncertainty of Greenhouse Gas Emissions in Landfill by Monte Carlo Simulation. Ph.D. Thesis in Pukyong National University, 249-251.
- Cho, H. S., Kim, J. Y., 2008, Comparison of Greenhouse Gas Emissions from A Fictional Landfill by Applying Biochemical Methane Potential Method Based on IPCC 2000 Reference Model, 2008 Spring Symposium of Korea Society of Waste Management, 337-338.
- Cheongju City, 2007, Survey on Environmental Impact from Cheongju Megalo Landfill, 48-51.
- Debra, R. R., Ayman, A. F., 2005, First-Order Kinetic Gas Generation Model Parameters for Wet Landfills, U.S. EPA, 68-70.
- Wisconsin Administration Code NR 514.07(9), 2007, Guidance for Landfill Organic Stability Plans, 162-166.
- Reinhart, D., Townsend, T., 1998, Landfill Bioreactor Design and Operation, Lewis Publishing, 134-136.
- Alex Stege, 2006, Modelling Landfill Biogas Generation for Different Countries, Landfill Methane to Markets Workshop, 189-193.
- U.S. EPA, AP 42 Emission Factors, 1998, Municipal Solid Waste Landfills, 155-160.
- Hartz, K. E., Klink, R. E., Ham, R. K., 1982, Temperature effects : Methane generation from landfill samples, Journal of Environmental Engineering, 108, 629-638.
- EMCON Associates, 1980, Methane Generation and Recovery from Landfills, Ann Arbor Science Publishers, 188-190.