

쓰레기매립장에서의 유해대기오염물질 배출특성에 관한 연구 - 황화합물을 대상으로 -

노기환 · 전의찬*

광주보건대학 환경행정과, 동신대학교 환경공학과*

The Estimation of Harmful Air Pollutant Emission from Landfill Site - A Subject of Sulfide Compounds -

Gi Hwan Roh · Eui Chan Jeon*

Department of Environmental Administration, KwangJu Health College
*Department of Environmental Engineering, Dongshin University**

Abstract

In this study, we focused on typically problematic sulfide compounds Gas samples were captured at Unjung-dong landfill site in Metropolitan Kwangju with flux chamber and floating chamber, and analyzed for the amount of hydrogen sulfide(H_2S), dimethyl sulfide($(CH_3)_2S$) and dimethyl disulfide($(CH_3)_2S_2$).

From the gas pipe, landfill surface and leachate treatment plant, estimated total amount of H_2S emission are 12.6ton/yr, 0.01ton/yr and 1.04ton/yr; estimated total amount of $(CH_3)_2S$ 30.7ton/yr, 0.08ton/yr and 1.72ton/yr; and estimated total amount of $(CH_3)_2S_2$ 2.2ton/yr, 0.02ton/yr and 1.03ton/yr, respectively.

Further in-depth study on co-relation between age, packing characteristics, temperature and humidity of a landfill site and gas emission characteristics is needed.

I. 서론

우리나라는 1960년대부터 경제성장에 주력한 결과, 국민들의 생활 수준은 크게 향상되었으나, 대량 생산과 대량 소비 생활이 보편화되어, 부수적으로 발생하는 도시 쓰레기의 양이 증가하여, 1997년 말 현재 쓰레기 매립량은 116,028천 m^3 이며, 매립장은 전국적으로 537개소, 총 면적은 36,030천 m^2 에 이르고 있으며¹⁾, 2001년에는 1997년 말의 약 3배가 될 것으로 예측되고 있다²⁾. 쓰레기 매립시 발생하는 매

립가스는 심한 악취와 대기오염을 발생시키고, 인근 지역 주민들의 민원을 자주 유발하게 되는데³⁾ 외국보다도 쓰레기의 매립처리 의존율이 높은 우리나라의 경우는 심각한 사회문제로 대두되고 있다⁴⁾.

매립장 인근 지역에 거주하는 주민들에 대한 설문조사 결과를 살펴보면, 환경오염 피해 중 악취에 의한 피해와 침출수로 인한 지하수 오염문제를 가장 심각한 문제로 인식하고 있는 것으로 나타나⁵⁾, 이러한 문제에 대한 뚜렷한 해결 방법이 제시되지 않는 한 혐오시설로 인식되어진 매립장에 대한 인

근주민의 거부감은 줄어들지 않을 것이다.

매립장에서 발생하는 환경 오염 문제 중 악취 오염 문제가 가장 큰 비중을 차지하고 있으나, 다른 환경 오염 문제에 비하여 다소 초보적인 연구 단계에 머물고 있는데⁶⁾, 이것은 악취 유발 물질이 대기 오염 물질과는 달리 극히 미량에서도 후각을 자극시키는 불쾌감을 줄 뿐 아니라, 악취 유발 물질의 종류도 다양하고, 그 발생량을 정량하기가 어렵기 때문이다.

본 연구에서는 쓰레기 매립장에 매립된 유기성 폐기물의 혐기성 반응으로 발생하는 대기 오염 물질 중 황화합물의 발생원 단위를 현장 조사에 의하여 분석하고, 표면적, 가스배제공 등 발생원의 특성을 고려하여 배출량을 산정함으로써 쓰레기매립장에서의 배출특성을 밝히고자 한다.

II. 연구방법

1. 조사지점 및 채취

본 연구 대상인 광주운정동위생매립장은 광주광역시 북구에 위치하고 있으며, '93년부터 매립을 개시하여 현재 운영중에 있으며, 매립장 전체 면적이 279,208m², 매립가능량은 280만 4천톤이며, 매립공법은 개량형 위생매립공법이다⁷⁾.

운정동 매립장에서 발산되는 황화합물 채취는 Fig. 1에서 보는 바와 같이, 현재 매립중인 구간에서 2지점(site 1, site 2), 매립이 완료된 구간에서 2지점(site 3, site 4)을 선정하였으며, 침출수 처리장에서 1지점, 가스 배제공에서 1개공을 선정하였다.

매립장 표면으로부터 발산되는 매립가스를 채취하기 위하여 사용한 chamber은 flux chamber로서 Fig. 2에 나타내었다.

매립장표면으로부터 발산되는 매립가스는 flux chamber의 collar를 10cm의 깊이로 시료 채취지점에 설치한 후, chamber 측면의 가스 채취구를 통해서 가스 포집용 주사기를 이용하여, 설치 직후(t_0)와 30분이 경과한 후(t_{30}) 채취하였다.

침출수 처리장의 표면으로부터 발산되는 매립가스를 채취하기 위해서 Fig. 3에서 보는 바와 같은 floating chamber를 사용하였다. 침출수 처리장으로

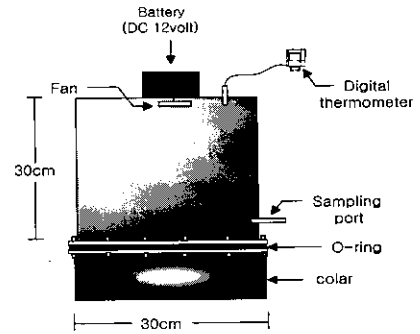


Fig. 1. Schematic diagram of a flux chamber

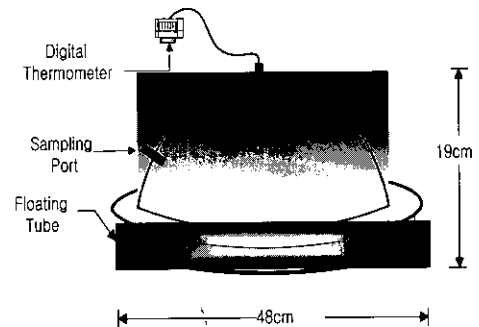


Fig. 2. Schematic diagram of a floating chamber

부터 발산되는 매립가스는 floating chamber를 수면 위에 띄운 후, chamber 측면의 가스 채취구를 통해서 가스 포집용 주사기를 이용하여, 설치 직후(t_0)와 30분이 경과한 후(t_{30}) 가스를 채취하였다.

가스배제공에서 배출되는 매립가스는 시료 채취용 주사기를 사용하여 air bag에 시료를 채취하였다. 가스 배제공에서 발산되는 가스의 양을 산정하기 위하여, 미량유속기(L. denshi Co., Ltd, japan)를 이용하여 가스배제공에서 발산되는 가스의 유속을 함께 측정하였다.

2. 황화합물 분석

2.1 가스크로마토그래프의 분석 조건

쓰레기 매립장에서 채취한 황화합물을 정량 분석 하기 위해 GC(Hewlett Packard 5890, U.S.A)를 이용하였으며, 실험용 syringe로 시료 1ml를 분취한 후 직접 주입하였다. 황화수소 분석에 사용된 GC의 분석 조건은 Table 1에서 보는 바와 같다.

Table 1. Conditions of gas chromatography for Hydrogen sulfide analysis

Classification		Condition
Detector		FPD
Column		HP-5(50m×0.2mm×0.33μm)
Carrier gas		He(99.999%)
Flow	Column	1.75ml/min
	H ₂	89.6ml/min
	Air	100ml/min
Temp.	Oven	35°C(5min)→5°C/min→100°C 100°C(1min)→15°C/min→200°C Continue for 200°C(1min)
	Injector	200°C
	Detector	220°C

2.2 Flux chamber의 채취시간 신뢰성 검증

Flux chamber를 사용하여 토양 표면으로부터 발산되는 배출량을 측정할 경우 chamber내에 증가된 가스의 농도와 온도에 의해 압력이 증가하면 지표면에 미치는 압력에 변화를 가져와 정상적인 배출률을 제한할 가능성이 있어, chamber내의 가스 농도 변화가 선형적인 증가를 보이는 시간에 시료를 채취해야 한다.

Fig. 3은 시간대별로 매립가스를 채취하여 분석한 결과로서, 30분 이상이 경과하면, 매립가스의 발생률에 변화가 일어남을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 설치 직후와 30분 경과 후에 시료를 채취하였다.

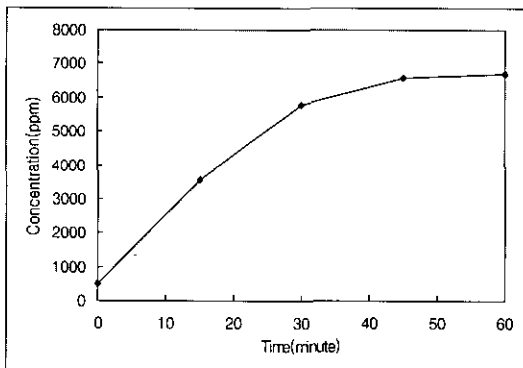


Fig 3. Variation of landfill gas concentration in flux chamber

2.3 Flux chamber의 발생량 계산식

Flux chamber를 이용하여 매립장표면이나 침출수표면으로 발산되는 매립가스의 단위시간당 단위면적당 발생량은 식 <1>을 이용하여 계산된다⁸⁾.

$$F = \rho \cdot V/A \cdot \Delta C/\Delta t \cdot 273/(T+273) \dots\dots\dots <1>$$

- F : flux(mg/m³ · hr)
- ρ : density of gas (mg/m³)
- V : volume of the chamber (m³)
- A : the bottom area of the chamber (m²)
- ΔC/Δt: the average changing rate of concentration with time (ppmV/hr)
- T : average temperature in the chamber (°C)

III. 결과 및 고찰

3.1 매립장의 황화합물 발생량

쓰레기매립장에서 발생하는 황화합물의 농도는 채취장소에 따라 다소 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 1지점과 2지점에서는 1차 측정, 2차 측정 모두 황화합물이 검출되지 않았는데, 이것은 1지점과 2지점은 매립 완료된 시기가 1년이 경과하지 않은 지점으로, 매립기간이 짧아 아직 황화합물이 생성되지 않은 것으로 판단된다.

3지점, 4지점 모두 flux chamber 설치 후 30분 경과 시 농도(t₃₀)농도는 검출되었으나, flux chamber 설치 직후(t₀)에서는 검출이 되지 않았는데, 이는 대기중의 농도가 0.5ppm 이하로 낮은 농도이므로 검출이 되지 않는 것으로 판단된다. Flux chamber 설치 후 30분 경과 시 황화합물 농도(t₃₀)는 Table 2 에서 보는 바와 같이, 매립장 표면에서 발산되는 황화합물의 농도는 황화메틸, 황화수소, 이황화메틸 순으로 높게 나타났는데, 각각의 농도는 11.3, 7.9, 3.1ppm이었다. 침출수처리장에서는 황화합물 농도가 황화수소, 황화메틸, 이황화메틸 순으로 높게 나타났는데, 각각의 농도는 11.0, 6.8, 5.2ppm이었다.

그리고 가스배제공에서는 Table 3에서 보는 바와 같이, 황화수소, 황화메틸, 이황화메틸 순으로 높은 농도를 나타내었는데, 각각의 농도는 12.2, 11.0, 4.4ppm이었다.

Table 2. Estimation of hydrogen sulfide emission from the landfill surface and leachate treatment plant

Classification		H ₂ S	(CH ₃) ₂ S	(CH ₃) ₂ S ₂
Site 3	1st	8.5	10.2	3.2
	2st	7.2	12.4	3.0
	ave.	7.9	11.3	3.1
Site 4	1st	7.8	9.8	2.4
	2st	7.1	8.5	2.1
	Ave.	7.5	9.2	2.3
Leachate	1st	11.1	7.7	5.3
	2st	10.8	5.8	5.1
	Ave.	11.0	6.8	5.2

Table 3. Estimation of hydrogen sulfide emission from the gas pipe

Classification		H ₂ S	(CH ₃) ₂ S	(CH ₃) ₂ S ₂
Gas pipe	1st	13.4	11.9	4.2
	2st	11.8	10.1	4.5
	Ave.	12.2	11.0	4.4

3.2 황화합물 발생량 산정 결과

매립장 표면으로 발산되는 황화합물의 발생량은 단위 면적, 단위 시간당 발생량(flux)을 나타내었으며, 여기서 적용된 가스 발생 면적은 222,150m²이나 산정 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다. 황화수소는 연간 12.6ton, 황화메틸은 30.7ton, 이황화메틸은 12.2ton으로 배출되는 것으로 나타났다. 침출수 처리장에서 발산되는 황화합물의 발생량은 황화합물의 단위 면적 단위 시간당 flux 발생량을 침출수 처리장의 면적(913m²)에 적용하여 산정하였는데, 산정 결과는 Table 5에서 보는 바와 같이 황화수소는 연간 0.01ton, 황화메틸은 0.08ton, 이황화메틸은 0.2ton으로 발산되는 것으로 나타났다.

가스 배제공에서 발생하는 황화합물의 단위 부피당 농도를 가스 배제공의 유량에 적용하여 산정하였다. 운전동 매립장의 경우 가스 배제공은 갯수는 40개가 설치되었으며, 가스배제공의 직경과 가스 발산속도는 각각 0.3m, 0.18m/sec로 측정되었으며,

Table 4. Estimation of sulfide compound emission from landfill surface

Sulfide compound	Flux (mg/m ² · hr)	Emission (ton/yr)
H ₂ S	6.49	12.6
(CH ₃) ₂ S	15.8	30.7
(CH ₃) ₂ S ₂	6.28	12.2

Table 5. Estimation of sulfide compound emission from waste leachate treatment plant

Sulfide compound	Flux (mg/m ² · hr)	Emission (ton/yr)
H ₂ S	1.55	0.01
(CH ₃) ₂ S	9.72	0.08
(CH ₃) ₂ S ₂	2.04	0.02

Table 6. Estimation of sulfide compound emission from gas pipe

Sulfide compound	Flux (mg/m ²)	Emission (ton/yr)
H ₂ S	16.3	2.90
(CH ₃) ₂ S	26.8	4.78
(CH ₃) ₂ S ₂	16.1	2.88

이것을 연간 배출량으로 산정하면, 1.8×10⁸m³가스 배제공을 통한 황화합물의 발생량은 Table 6에서 보는 바와 같다. 황화수소는 연간 2.90ton, 황화메틸은 4.78ton, 이황화메틸은 2.88ton 발생하는 것으로 나타났다.

3.3 황화합물 flux 발생량 고찰

본 연구에서 매립장의 발생량을 산정하기 위해, 매립장 표면과 침출수 처리장에서는 단위면적 단위 시간당 발생량(flux)을 측정하였으며, 가스 배제공에서는 단위 부피당 농도를 측정하였다.

운정동 매립장의 표면과 침출수 처리장에서 황화합물의 단위 면적 단위 시간당 발생량은, 황화수소는 1.55~6.49mg/m² · hr, 황화메틸은 9.72~15.8mg/m² · hr, 이황화메틸은 2.04~6.28mg/m² · hr이며, 가스 배제공에서 황화수소는 16.8mg/m³, 황화

IV. 결 론

메틸은 26.8mg/m³, 이황화메틸은 16.1mg/m³으로 측정되었다. 가스배제공에서 다소 높은 농도로 배출되었는데 이는 매립장내부에서 발생하는 메립가스가 그대로 방출되기 때문으로 판단된다.

본 연구와 유사한 방법으로 flux 발생량을 측정 한 김포매립장과 비교하여 보면, 황화수소는 매립장 표면과 침출수처리장에서 0.6~3.8mg/m²·hr로 산정되어, 운정동매립장의 측정결과가 약 2배정도 높게 나타났으며, 가스배제공의 경우 11.5mg/m³로 측정되어 운정동매립장과 비슷하게 나타났다.

U.S EPA의 경우, 미국의 46개 매립장을 대상으로 단위 부피당 농도로 산정하였기 때문에 단위 면적 단위 시간당 발생량을 측정한 운정동 매립장 매립장 표면과 침출수 처리장에서 산정한 자료와는 직접 비교하기에 어려움이 있다. U.S EPA와 같은 단위로 측정한 가스배제공에서의 측정결과를 비교하여 보면, U.S EPA의 황화수소 농도는 53.9mg/m³로, 운정동매립장의 16.3mg/m³에 비해 약 4배정도 높게 나타났으며, 황화메틸 농도는 11.9mg/m³로, 운정동매립장의 26.3mg/m³의 약 1/2 정도 낮게 나타났다. 이런 결과들은 매립장이 가지는 불균일성, 측정 시간 및 기후 조건의 변화, 매립 쓰레기의 조성, 매립공법, 매립장의 깊이 등 매립 가스 배출량에 미칠 수 있는 여러 조건이 서로 다르기 때문이라고 판단된다.

Flux chamber를 이용한 시료채취에 있어서, 채취 시간은 설치 후 30분에 실시하는 것이 가장 적절한 것으로 조사되었다.

매립장에서 배출되는 황화합물은 발생원에 따라, 매립장 표면에서는 황화메틸, 가스배제공과 침출수 처리장에서는 황화수소가 가장 높은 농도로 배출되고 있었다.

운정동매립장에서 발생하는 황화수소 발생량은 매립장 표면, 침출수처리장, 가스배제공에서 각각 12.6ton/yr, 0.01ton/yr, 2.90ton/yr이었으며, 황화메틸은 각각 30.7ton/yr, 0.8ton/yr, 4.78ton/yr, 이황화메틸은 각각 12.2ton/yr, 16.3ton/yr, 2.88ton/yr로 산정 되었다.

쓰레기매립장에서 발생되는 황화합물의 배출량을 산정하기 위해 기초 연구로서, 쓰레기매립장 전체의 발생량을 보다 정확하게 산정하기 위해서는 매립 완료 경과 시간, 매립 공법, 다짐 정도, 온도, 토양의 습도 등과 배출량특성을 파악하고, 상관관계를 찾는 연구의 수행이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2000학년도 광주 보건대학 학술연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 환경부 : 전국 폐기물 발생 및 처리현황(1997)
2. 환경백서 : 환경부, pp.477~478 (1998)
3. Christensen T. H., Cossu R., Stegmann R., Landfilling of waste : Biogas, E&FN spon, pp.143~154 (1996)
4. 이승무, 손성섭, 김성규, 이용현, 홍성구 : 추출실험에 의한 매립지가스의 발생속도 및 이동특성에 관한 연구, 한국폐기물학회지, 9(1), pp.113~114 (1992).
5. 김선태 : 수도권매립지1공구 기반시설보완 학술용역(대기(악취)오염 분야), 대전대학교 환경문제연구소, pp.161~176 (1995)

Table 7. Comparison with Sulfide compound concentration from literature

Classification	Unjung-dong		*Kimpo ⁹⁾		**U.S EPA ¹⁰⁾ (mg/m ³)
	surface and leachate (mg/m ² ·hr)	gas pipe (mg/m ³)	surface and leachate (mg/m ² ·hr)	gas pipe (mg/m ³)	
H ₂ S	1.55~6.49	16.3	0.6~3.8	11.5	35.5
(CH ₃) ₂ S	9.72~15.8	26.8			7.82
(CH ₃) ₂ S ₂	2.04~6.28	16.1			

* Average concentration of kimpo landfill.
 ** Compilation of air pollutant emission factors blank : No data

6. 김학민 : 매립지 악취발생량 산정 및 탈취제 성능 평가에 관한 연구, 대전대학교 환경공학과 석사 학위논문, pp.2~4 (1996)
7. 광주직할시 : 광주직할시쓰레기매립장조성사업 실시설계변경보고서, (1992)
8. 매립가스 처리시설 설치효율 분석조사, 수도권 매립지 운영관리조합, 1997.
9. U.S.EPA : AP-42, Volume1, (1997)