

생활폐기물 매립지 토양의 유해가스 분석 연구

김정훈^{1*}, 윤정현², 이수근²

¹호서대학교 안전소방학부

²호서대학교 대학원 안전공학과

e-mail: kjh0789@hoseo.edu

Research of Harmful Gas Analysis on Daily Waste Landfills Soil

Jeong-Hun Kim^{1*}, Jung-Hyun Yun², Soo-Geun Lee²

¹Division of Safety and Fire Protection Engineering, Hoseo University

²Graduate School of Safety Engineering, Hoseo University

요약

본 연구에서는 폐기물 매립지의 토양에 함유되어 있는 유해가스류 분석에 초점을 맞추었다. 연구를 진행하기 위한 장소의 선정 기준은 접근 허용성을 고려하여 전체 3개 지역으로 선택되었고 목천 폐기물 매립장과 진천 및 병천의 쓰레기산을 대상으로 선정하였다. 목천의 폐기물 매립지는 수직 가스 집수정이 설치되어 있어 측정의 중심지를 매립 경과 기간이 가장 오래된 지점으로 선정하고, 측정 거리는 0~400m(100m 간격)으로 설정하였다. 두 개의 쓰레기 산의 측정 중심지는 적치량이 많은 곳으로 측정 거리는 0~600m(150m 간격)으로 하였다. 실험은 가스택과 복합가스측정기를 이용하여 중심지로부터 설정한 거리별 유해가스의 농도를 측정하는 것으로 진행하였다. 폐기물 매립지의 경우 CO와 HCHO의 농도가 중심지로부터 300m 지점에서 2.2배 증가하였고, 쓰레기 산의 경우 CO와 HCHO의 농도가 폐기물 매립지와 비교하였을 때, 번곡점에서 확연히 증가하는 결과를 도출하였다. 이 연구를 통하여 폐기물 매립지의 주변 환경에 미치는 영향성을 정량적으로 평가하고 폐기물 매립지 토양의 유해가스에 대한 경각심을 가질 필요가 있다.

1. 서론

최근 코로나바이러스감염증-19(COVID-19)로 인한 국민들의 실내 활동량 증가에 따라 생활폐기물의 배출량이 급증하고 있는 추세이다. 정부와 지자체에서는 대책 방안으로 폐기물 소각장 및 환경처리시설을 지역별로 설치하여 대응을 하고 있지만 이 역시 부족한 실정이다[2]. 폐기물을 처리하는 방법 중 하나인 매립 방식은 악취 및 유독가스의 발생, 토양 오염을 야기하고 있다. 전문가들은 생활폐기물의 배출량은 변수가 없는 이상 계속 증가할 것이고 매립을 통한 문제점과 위험성, 그리고 미래에는 폐기물로 인한 세계 각국 간의 전쟁이 발발할 수 있다는 예측도 나오고 있다. 또한 폐기물 매립지에서 토양 오염 문제가 부각되고 있는 반면, 환경 및 토양 오염도에 관한 연구는 기초적인 수준에 머물러 있다. 국외에서 수행된 폐기물 매립지 관련 선행 연구에서 Mutasem, *et al.*(1997)의 가스와 침출수 형성 메커니즘 고찰을 시작[1]으로, Mohammad&Kenneth(2012)의 환경 오염을 최소화하기 위한 단계별 대안 제시, 그리고 Purnima, *et al.*(2020)의 부적절한

리사이클링 활동 등을 통해 메탄과 이산화탄소가 주된 환경오염 인자로 작용한다는 연구가 제한적으로 수행된 바 있다 [3]. 본 연구에서는 폐기물 매립지의 토양오염도의 관련된 선행문헌을 조사하여 환경영향에 파급효과가 크고 연구 사각영역으로 탐색된 폐기물 매립지 토양의 유해가스 분석을 실시하였다. 따라서 본 연구를 통해 폐기물 매립지 중심지로부터 이격거리를 설정하여 토양에 함유되어 있는 유해 화학물질 및 유해가스가 환경에 미치는 영향성을 진단하고자 하는 데 그 목적이 있다.

2. 본론

2.1 폐기물 매립지 및 쓰레기 산

2.1.1 폐기물 매립지의 현황

쓰레기 적재의 형태인 폐기물 매립지의 시초는 선사시대로부터 추정하고 있으며, 현재까지도 폐기물을 처리하기 위해 사용하는 방법 중 하나이다. 하지만 폐기물 매립 후 침출수로 인한 토양 오염, 발생가스로 인한 인근지역 피해 등 많은 문제점이 발생하고 있는 실정이다. 침출수로 인하여 토양과 물이 오염되고 악취

와 유독가스를 발생시켜 주변 강 또는 하천, 바다가 오염될 수 있다. 국외에서도 요르단 내 지방자치시에서 폐기물 매립지로부터 주변 환경에 가스와 침출수 이동으로 인한 지하수 오염 및 대기오염이 심각한 관심사임을 제시한 연구가 수행된 바 있다.

2.1.2 쓰레기 산의 현황

쓰레기 산은 많은 양의 쓰레기가 쌓이면서 산을 이룰 정도의 규모가 된 것으로 사전적인 의미도 내포하고 있다. 특히 인적이 드문 곳이나 산 속에 무단으로 쓰레기를 배출하기 시작하면서 시간이 지날수록 환경오염에도 악영향을 주고 있다. 예를 들어 경북 의성에 형성된 쓰레기 산은 20만 톤 수준으로 1년 8개월 동안 완전 처리비용이 세금으로 약 282억 원에 달한다[4]. [Figure 1]은 본 연구의 현장 대상인 병천의 쓰레기 산을 나타낸 것이다.



Figure 1. Waste mountain at Byeongcheon

2.2 실험

2.2.1 장소 선정 및 구획 설정

실험에 필요한 샘플 채취가 가능한 장소로는 접근성이 용이하고 폐기물 적치량이 상대적으로 많은 충청도 내 폐기물 매립지(목천)와 쓰레기 산(병천, 진천)을 선정하였다. 폐기물 매립지는 초기 매립된 지점에 설치된 수직 가스 포집정을 기점으로 0~400m 까지 100m 간격으로 5개 지점을 설정하였다. 또한 쓰레기 산은 쓰레기 용량을 기준으로 적치량이 많은 지점을 기점하여 0~600m 까지 150m 간격으로 5개 지점을 설정하였다. 다만, 폐기물 매립지와 쓰레기 산의 쓰레기 종류는 통계화되어 있지 않다.

2.2.2 시료 채취 및 실험 장치

폐기물 매립지 현장의 수직 가스 집수정에 배출되는 가스농도는 직독식 가스검지기(GV-100S, Gastec)를

사용하였고, 산성가스(Acid Gases), 질산(Nitric Acid), 이산화탄소(Carbon Dioxide) 3종의 가스 검지관을 준비하였다. 또한 채취한 토양시료는 폴리프로필렌(PP) 용기에 담아 샘플링 하였고 가열에 의한 유해가스 농도 측정을 위해 자체 제작한 Chamber로 밀폐 조건을 형성하였다. 실험 장치로는 흡후드(J-CFHA)내에서 가열교반기(MSH-20D, DAIHAN)를 이용하여 채취된 토양 시료를 가열하여 발생가스를 포집하였다. 그리고 복합가스기(GAS Tiger6000)을 이용하여 일산화탄소(CO), 산소(O₂), 포름알데히드(HCHO), 이산화황(SO₂), 일산화질소(NO), 이산화질소(NO₂), 시안화수소(HCN)의 7종을 측정하였다.



(a) Vertical well



(b) Landfill block



(c) Distance determination from the center of waste mountain

Figure 2. Photographs of the distance determination from a vertical well and a landfill block

2.2.3 실험 방법

폐기물 매립지 및 쓰레기 산의 경우 1) 현장에서 채취한 토양을 20mg 용량으로 나누어 분류한다. 2) 분류한 토양은 가열 중 배출되는 가스가 최대한 확산되지 않도록 직접 제작한 챔버 내에서 가열교반기상 filter paper로 옮겨 담은 후 흡후드 내의 밀폐된 곳에서 5분간 가열한다. 3) 복합가스검지기를 챔버 내로 삽입하여 7종의 가스를 포집한다. 4) 샘플링한 시료는 1분마다 동일한 방법으로 측정하고 3번에 걸쳐 실험하여 평균값을 구한다.

2.3 실험 결과

2.3.1 쓰레기 매립지 토양 분석

목천 쓰레기 매립지의 측정 결과, 일산화탄소의 농도값이 가장 최대치를 나타내었고, 매립지 중심지로부터 거리가 멀어질수록 일산화탄소와 포름알데하이드 농도(ppm)는 200m 지점까지 증가하다가 300m 지점에서 급격히 상승한 이후 감소하는 양상을 확인하였다. 산소 농도(%)는 비교적 일정한 양상을 나타내었고, 기타 HCN, NO, NO₂, SO₂의 농도는 이격거리에 따라 영향이 크지 않음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 기존 선행문헌과 같이 매립지 표면을 따라 매립가스가 바람을 따라 이동하는 것이 변수로 작용한다는 것을 뒷받침하고 있다. 여기에서 <Table 1>, <Table 2>는 유해가스 농도 세부 데이터를 나타낸다.

Table 1. The average concentration of harmful gases at Mokcheon waste landfill soil(0m~200m)

	0m	100m	200m
O ₂ (%)	18.37	18.30	18.23
CO (ppm)	14.67	15.67	38.00
HCHO (ppm)	2.23	2.57	6.30
HCN (ppm)	0	0	0
NO (ppm)	5.87	2.90	4.57
NO ₂ (ppm)	0.17	0.43	0
SO ₂ (ppm)	0	0	0.10

Table 2. The average concentration of harmful gases at Mokcheon waste landfill soil(300m~400m)

	300m	400m
O ₂ (%)	18.13	18.10
CO (ppm)	84.00	14.00
HCHO (ppm)	14.03	2.80
HCN (ppm)	0.23	0
NO (ppm)	2.43	2.67
NO ₂ (ppm)	0	0.30
SO ₂ (ppm)	0.23	0

2.3.2 쓰레기 산 토양 분석

진천 쓰레기 산에서 채취한 토양 샘플을 이용하여 산소 및 유해가스별 농도 측정을 수행하였다. 측정 결과, 시·도에서 관리하는 폐기물 매립지와는 확연히 다르게 HCHO, CO 농도값이 매우 높은 값을 나타내었다. 진천 쓰레기 산과의 상대적인 평가를 위해 선정된 병천 쓰레기 산에서 채취한 토양 샘플을 이용하여 같은 실험을 진행하였다. 측정 결과, 진천 쓰레기 산과는 확연히 다르게 중심지 부근에서 2배 정도의 높은 값을 나타내었고 이것은 병천 쓰레기 산의 쓰레기 용량이 상대적으로 많고 폐기된 기간도 오래되어 나타난 결과로 사료된다. 여기에서 <Table 3>, <Table 4>는 병천 쓰레기 산과 진천 쓰레기 산의 평균 유해가스 농도 세부 데이터를 나타낸다.

Table 3. The average concentration of harmful gases at Jincheon, Byeongcheon waste mountain soil(0m~300m)

Jincheon Byeongcheon	0m	150m	300m
O ₂ (%)	17.97 17.70	17.80 18.13	17.90 18.30
CO (ppm)	104.00 205.00	46.00 37.70	39.33 37.70
HCHO (ppm)	23.77 102.90	8.17 6.57	7.17 6.57
HCN (ppm)	0 0	0 0	0 0
NO (ppm)	1.90 5.93	2.60 2.07	0 2.07
NO ₂ (ppm)	0.53 0	0 0	0.03 0
SO ₂ (ppm)	0.73 1.00	0.17 0.27	0 0.27

Table 4. The average concentration of harmful gases at Jincheon, Byeongcheon waste mountain soil(450m~600m)

Jincheon Byeongcheon	450m	600m
O ₂ (%)	18.00 18.30	17.97 18.27
CO (ppm)	37.33 45.33	32.67 37.70
HCHO (ppm)	6.77 7.70	66.33 12.07
HCN (ppm)	0 0	0.07 0.07
NO (ppm)	0.40 1.80	1.43 5.77
NO ₂ (ppm)	0.03 0	0 0
SO ₂ (ppm)	0 0.23	0 0.60

3. 결론

본 연구에서는 기존 연구에서 다루어지지 못했던 실제 현장의 폐기물 매립지에서 발생하는 유해가스를 평가하기 위해 출입이 허가된 폐기물 매립지 및 쓰레기 산을 대상으로 하였다. 실험은 각 장소에서 거리별로 채취한 시료를 가열 교반기를 이용하여 가스를 발생시켜 성분을 분석하였다. 쓰레기 산은 폐기물 매립지에 비해 쓰레기 적재량에 따라 거리별 유해가스 농도변화가 큰 것을 알 수 있었다. 상기 연구결과를 통해 쓰레기가 방치·적재된 장소의 환경 문제를 정량적으로 평가하는 과정에서 토양오염원의 주요 유해가스 성분과 거리별 농도 감소 효과를 비교할 수 있었다. 기존 메탄가스와 암모니아 가스가 주요 원인으로 인식되고 있는 상황에서 실제로는 이에 상응하는 수준으로 CO와 HCHO 유해가스가 주요 원인으로 작용한다는 것을 알 수 있었다. 따라서 폐기물 적재 장소의 현장 관리자 및 인근 주민들에게 관련 정보제공을 통해 경각심을 유도하고 유해가스로 인한 접촉저감 대책을 마련할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] Mohammad, A. and M.P. Kenneth, "Environmental Impact of Municipal Solid Waste Landfills in Semi-arid Climates-Case Study-Jordan, The Open Waste Management Journal, 2012년
- [2] 연합뉴스, "폐기물 매립지 토양오염 심각... 기준치 최대 643배", 2015년.
- [3] 이민희, 주소영, 박준규, 연익준, 김광렬, "사용종료 매립지의 지반안정화 후 매립가스의 변화", 한국지반환경공학회 논문집, pp.27-34, 2004년.
- [4] 조선일보, "새해 20만t '의성 쓰레기산' 사라진다", 2020년