

사용종료 비위생 매립지의 환경 안정성 평가 - 감곡 매립지 사례 연구 -

Assessment on Environmental Stabilization of Used Open Dumping Landfill - A Case Study of Kamkok Landfill -

박상찬[†] · 조병렬¹⁾ · 정지혜²⁾ · 이민희³⁾ · 김태영⁴⁾ · 박종호⁵⁾

Park, Sangchan · Cho, Byeongreal · Jeong, Jihye · Lee, Minhee · Kim, Taeyoung · Park, Jongho

ABSTRACT : The objectives of this paper are to investigate states of these open dumping landfills for managing, utilizing and stabilization of a municipal solid waste landfill site in environmentally secure conditions. The result of the physical analysis of the landfill showed that it is composed of between 29.72-63.84% organic matter, 32.88% vinyl·plastic. The environmental assessment of the landfill site confirmed that the landfill is at a maturation phase due to 0.18 of BOD₅/COD_{Cr} of leachate. VS and FS of TS Was respectively 30.37%, 32.34% and C/N ratio was 21.8. Surface water around landfill was BOD 10.7 mg/g, SS 37.8 mg/g, E-Coli 31,157(MPN/100 ml) and Ground water was COD_{Mn} 1.13-1.38 mg/g, NO₃-N 1.025-4.075 mg/g. Leachat indicated T-P 0.002-0.028 mg/g, NH₃-N 4.0-21.0 mg/g. The soil contamination of around landfill didn't appear as below of the regulation of Soil Environment Conservation Act. The Landfill Gas was CH₄ 13.25%, CO₂ 6.17%, H₂S and CO was not detected. Also Surface Water was not detected CO₂, CH₄, H₂S, CO.

Keywords : Open dumping landfill, Stabilization, Landfill gas, Leachate, Soil contamination

요지 : 사용 종료된 매립지의 환경적 영향에 따른 매립 후 변화에 대한 안정성 평가를 위하여 매립 폐기물의 성상 및 가스분석을 통한 연구의 결과는 매립폐기물의 물리적 성상분석의 유기성분이 29.72~63.84%이었고, 비닐·플라스틱류는 평균 32.88%로 가연성 물질의 대부분을 차지하고 있었으며, 침출수의 성분 중 BOD₅/COD_{Cr}비가 0.18정도로 나타났다. TS의 62.71%중 VS는 30.37%, FS는 32.34%로 FS의 비중이 약간 높게 나타났으며, 매립폐기물의 C/N비는 21.8로 나타났다. 매립지 주변 지표수는 BOD 10.7mg/g, SS의 경우 37.8mg/g, 대장균 31,157(MPN/100ml)로 나타났고, 지하수는 COD_{Mn}은 1.13-1.38mg/g, NO₃-N은 1.025-4.075mg/g로 나타났다. 침출수는 T-P 0.002-0.028mg/g, NH₃-N 4.0-21.0mg/g로 나타났으며, BOD/COD_{Cr}비가 평균 0.18로 나타났다. 토양은 토양오염우려기준에 하회하는 농도분포를 나타내었으며, 매립가스의 CH₄와 CO₂가스는 각각 13.25%, 6.17%로 나타났고, H₂S나 CO가스는 검출되지 않았다. 지표 가스는 CO₂, CH₄, H₂S, CO가스 농도는 검출되지 않았으며, NH₃가스 농도는 평균 7.56ppm으로 분석되었다.

주요어 : 비위생 매립지, 안정화, 매립가스, 침출수, 토양오염

1. 서론

생활폐기물 최종처분에 따라 비위생 매립방법으로 사용 종료되었거나 사용 중에 있는 매립지의 환경적 안정성에 대한 관심과 우려가 높아지고 있으며, 택지나 기타 용지 개발 시 노출되는 비위생 매립지의 처리가 심각한 문제로 대두되고 있다(환경부, 2007; 김영목 등, 1993; 남궁완 등, 1998). 우리나라 폐기물 총 발생량은 1998년 190,254톤/일에서 2005년 299,023톤/일로 증가하였으며, 2005년도 폐기물 최종처분방법으로써 매립은 34,833톤/일이다. 한편, 생

활폐기물 발생량은 48,398톤/일로 이 중 27.7%인 13,402톤/일을 매립 처분하고 있다(환경부, 2007). 폐기물매립지는 폐기물이 분해되는 과정에서 많은 유해 부산물이 발생하게 되는데, 과거 침출수, 매립가스와 악취 등의 배출에 대한 처리시설을 갖추지 못한 매립지 주변 지역의 경우 대기, 토양 그리고 지하수를 심각하게 오염시켰으며, 오늘날과 같이 넘비(NIMBY)현상이 심화하게 된 결정적인 요인이 되었다고 할 수 있다. 환경부의 사용종료매립지에 대한 실태조사 결과 1997년 2월말 기준으로 지방자치단체가 설치·운영한 사용종료매립지는 898개소로 파악되었다(환경

† 정회원, 충주대학교 공과대학 환경공학부 교수(E-mail : scpark@cju.ac.kr)

1) 비회원, 충주대학교 공과대학 환경공학부 교수

2) 비회원, 지엔지인텍 중앙연구소

3) 비회원, (주) 동림건설기술 환경부

4) 비회원, 충북과학대학 환경생명공학과

5) 비회원, 충청북도 내수면 연구소

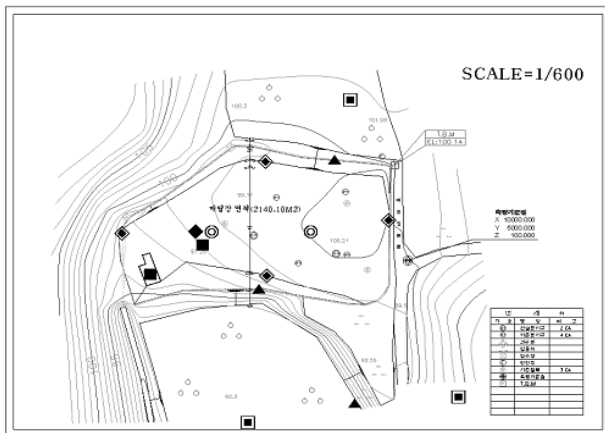
부, 1997). 대부분 「폐기물관리법」 적용(‘86년)이전부터 설치, 운영해왔던 소규모 시설로서 침출수 처리시설을 갖추지 않고 단순투기방식으로 매립한 시설로 636개소(54%)는 이미 농경지, 건축부지 등의 용도로 사용되고 있다. 따라서 사용이 종료된 매립지의 특성 파악과 폐기물의 분해·안정화 상태에 대한 모니터링과 침출수, 매립가스 등의 관리가 지속적으로 수행되어 매립지의 구조적 안정성 확보와 주변 환경에 미치는 영향 등을 고려하여, 매립지의 다른 용도로서 활용 등을 위한 자료의 확보가 필요하다(이민희 등, 2005; 연익준 등, 2002; 홍상표, 2003).

본 연구는 매립지 특성 및 주변 환경오염도 등을 조사하여 폐기물의 안정화 정도와 주변에 미치는 환경영향 정도를 평가한 후 적정 유지관리방안 및 정비방안 등 안정성을 평가하는데 그 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1 시료 채취 및 분석항목

본 연구 매립지는 생활폐기물을 1991년 1월부터 매립하기 시작하여 1993년 11월경 사용 종료되었으며, 매립 종료 후



(■ : Leachate, ▲ : Surface Water, □ : Ground Water, ◎ : Landfill Gas, ◇ : Soil, ◆ : Sediments)

Fig. 1. Location map of sampling site.

14년이 경과된 지역으로 매립면적이 약 6,000m², 총 매립량은 15,000m³이다. 매립폐기물은 2개 지점에서 각각 깊이 4m로 하여 굴착·채취한 후 사분법으로 3회에 걸쳐 분할하여 이중 100kg을 분석용 시료로 하였다. 매립가스 채취는 2곳의 굴착지점에서 강제 배출방식으로 하였으며 매립가스 포집을 위해 지름 20cm, 길이 5m의 매립가스 포집관을 PVC로 제작하여 설치하였다. 수질분석을 위해 침출수 3개소, 지하수 3개소, 지표수 3개소에서 각각 시료를 채취하였으며, 이에 따른 샘플링 지점을 Fig. 1에 표시하였다. 환경부에서 제시한 사용종료매립지 사후관리를 위한 안정화 평가기준 중 중요 평가기준을 Table 1에 나타내었으며(환경부, 2002), 본 연구에서는 매립폐기물의 물리적 성상, 삼성분, C/N비, 침출수, 주변 지역의 지하수 및 지표수 분석, 매립폐기물의 용출실험을 하였으며, 매립지내의 가스와 지표가스를 분석하였다.

2.2 매립폐기물의 물리적 특성분석

매립된 폐기물의 물리적 성상 분석을 위해 폐기물 공정시험법(환경부, 2006)에 의거하여 각 성분별 조성을 구하였다. 대표적 조성은 육안으로 판별하였으며 구분은 음식물쓰레기, 종이, 섬유, 비닐 및 플라스틱, 목재, 고무 및 피혁, 유리 및 도자기, 금속, 토사 및 기타 등 9가지로 나누었다. 분류된 폐기물은 총중량에 대한 백분율로서 조성별 함량을 나타내었다.

2.3 매립폐기물의 수분, TS 및 C/N비 분석

매립지내 폐기물 시료의 수분, TS, VS, FS는 폐기물공정시험법(환경부, 2006)에 따라 분석하였으며, C/N비는 시료 중 가연성 물질을 전처리한 후 원소분석(Thermo Finnigan, Ea1112)하여 산출하였다.

2.4 침출수, 지하수 및 지표수 분석

폐기물매립지로 인한 주변 환경의 오염방지를 위해 폐기물관리법(환경부, 2006)에서 정한 침출수 배출허용기준, 침출수로 인한 지하수와 지표수 오염을 감시하기 위하여

Table 1. The stabilization evaluation standards required to terminate the post-closure monitoring period at solid waste landfills

Item	Critical evaluation of factors
Leachate	Quality of leachate is suitable for the maximum discharge permissible standard during last 2 years. BOD/CODcr is fewer than 0.1
Landfill gas	Landfill gas production has not increased during last 2 years. The concentration of methane gas generated does not exceed 5.0%.
Solid waste	Combustible materials in soil-like materials does not exceed 5.0%. C/N ratio does not exceed 10.
Others	The internal temperature of landfill is similar to the temperature of surrounding underground.

지하수 수질기준, 하천수 수질기준(환경부, 2006)에 대해서 본 매립지의 침출수 및 지하수, 지표수 오염정도를 분석하였다. 본 매립장은 인근에 하천이 없어 매립장 가배수로에서 지표수 상·하부 각 1지점과 매립장 하류 농수로 1지점, 지하수 3지점, 침출수 1지점을 선정하여 4회/년을 채수하여 수질분석을 하였다.

2.5 용출시험

굴착된 매립폐기물 2개 지점과 토양오염이 우려되는 매립장 내부의 1개 지점과 주변의 4지점을 선정하여, Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr⁶⁺, 유기인화합물, PCB, CN, 페놀, 유류 등을 폐기물공정시험법(환경부, 2006)과 토양오염공정시험법(환경부, 2006)에 따라 분석하였다.

2.6 매립가스

매립가스 중 CH₄, CO₂, O₂, H₂S의 분석은 매립가스 포집관 설치 15일 후 Multifunction Gas Analyser(Model LMSxi, UK)를 이용하여 2개 지점에 대하여 각각 1회씩 실시하였으며 분석결과를 CH₄, CO₂, O₂는 %로 H₂S는 ppm단위로 측정하였다. 매립가스 중 NH₃는 air sampler로 매립가스를 포집속도 1L/min, 포집시간 180sec으로 흡인·흡수시킨 후 대기오염공정시험법(환경부, 2006)에 따라 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 물리적 특성

2개 지점에서 채취한 매립폐기물의 물리적 특성 분석

결과 각 지점의 성분량은 매립된 폐기물의 종류에 따라 큰 차이를 보이고 있으며, 유기성분에서 쉽게 분해될 수 있는 음식류와 종이류는 이미 분해되어 나타나지 않았거나, 분석방법상의 한계로 인해 토사류로 분류되었을 것으로 생각된다(박동운, 2002). 또한, 비닐·플라스틱류가 14.52~51.23%로 유기성분 중 가장 많은 부분을 차지하고 있었으며, 잔존해 있는 폐기물들은 차후 분해가 완료된 후 매립 층에 잔류하면서 지속적인 미생물의 대사활동에 의해 매립가스로 전환되거나 우수 및 지하수 등에 의해 외부환경으로의 침출이 예상된다. 무기성분에서는 토사류가 29.90~53.96%로 가장 많은 비중을 차지하고 있었으며, 이는 김낙주 등(1997)의 연구결과에서 폐쇄 후 10년이 경과된 지역의 경우 토사의 양이 전체 평균 50.8%를 차지하였다고 한 바와 비슷한 결과를 나타내고 있음 알 수 있었다. 매립된 폐기물의 물리적 성상 및 조성은 Table 2와 같다.

3.2 매립폐기물의 수분, TS 및 C/N비 분석결과

물리적 특성 분석이 끝난 시료를 수분, TS, VS, FS에 대하여 분석하여 Table 3에 나타냈으며, 분석결과와 평균치를 보면 유기성분 45.76%에 대한 수분은 37.29%, TS 62.71%로 나타났다. 도시폐기물의 경우 매립지내 수분의 함량이 25%정도인 것으로 알려져 있음에 따라(남궁 완, 1999) 본 매립장의 폐기물이 함유하고 있는 수분의 양은 약간 높게 나타났으며, 이의 원인은 강우와 매립 폐기물의 특성 등에 따라 나타난 결과로 판단된다. TS중 VS 30.37%임에 따라 분해 가능한 유기물이 잔존하고 있음을 알 수 있었으며, 매립폐기물의 C/N 비는 21.8로 안정화 평가기준(환경부, 2002)으로 C/N가 10 이하임을 고려할 때 안정화가 더 진행되어야 될 것으로 판단된다.

Table 2. Composition of Landfilled Waste

(Unit : %, wet weight basis)

Component		Sample	SW1	SW2	Ave.	Range
Organic	Food wastes		NG	NG	NG	NG
	Papers		NG	NG	NG	NG
	Fabrics		NG	8.90	8.90	0.00-8.90
	Vinyl·Plastic		51.23	14.52	32.88	14.52-51.23
	Woods		2.39	3.65	3.02	2.39-3.65
	Rubbers and Leathers		8.27	2.65	5.46	2.65-8.27
	Etc.		1.95	NG	1.95	0.00-1.95
	Subtotal		63.84	29.72	52.21	29.72-63.84
Inorganic	Glass and Ceramics		4.68	15.02	9.85	4.68-15.02
	Metals		1.58	1.30	1.44	1.30-1.58
	Soils		29.90	53.96	44.88	29.90-53.96
	Subtotal		36.16	70.28	56.17	36.16-70.28
Total			100.00	100.00	100.00	-

* NG : Not Generated

Table 3. Average Organic Constituent Analysis of Landfill Waste

(Unit : %, dry basis)

Component	Sample	Organic Components	Moisture	TS	Total	TS		C/N Ratio
						VS	FS	
Food wastes		-	-	-	-	-	-	21.8
Papers		-	-	-	-	-	-	
Fabrics		3.00	2.91	5.13	8.04	2.64	2.49	
Vinyl-Plastic		32.85	24.91	40.92	65.83	19.18	21.74	
Woods		5.46	4.20	6.94	11.14	3.28	3.66	
Rubbers and Leathers		4.45	5.27	9.72	14.99	5.27	4.45	
Total		45.76	37.29	62.71	100	30.37	32.34	

3.3 지표수, 지하수 및 침출수 분석

본 항목의 분석치는 계절에 따른 변화가 크지 않게 나타남에 따라 분석 값에 대한 평균으로 나타내었으며, 매립지 주변의 지표수 결과를 Table 4에 나타내었다. 지표수의 경우 하천 수질환경기준(환경부, 2006)과 비교해볼 경우 평균 BOD가 10.7mg/g로 V등급(10mg/g 이하)보다 높으며, SS의 경우 37.8mg/g로 IV(100mg/g 이하)등급, 대장균 31,157(MPN/100ml)로 III등급(5000 이하) 기준치를 초과 하였으

Table 4. Analysis of Surface Water

Items	Surface Water	
	Range	Average
pH	7.6-7.9	7.7
BOD (mg/g)	1.45-21.31	10.7
DO (mg/g)	7.8-8.1	7.9
COD _{Mn} (mg/g)	2.79-23.64	13.0
COD _{Cr} (mg/g)	4.15-38.10	21.3
SS (mg/g)	7.18-58.53	37.8
T-N (mg/g)	6.15-14.47	10.0
T-P (mg/g)	0.065-2.543	0.9
NO ₃ -N (mg/g)	0.165-3.598	1.3
NH ₃ -N (mg/g)	3.3-7.4	6.0
Cl- (mg/g)	6.080-15.326	11.9
E-coli (MPN/100ml)	8889-26865	31157
Organic Phosphorus (mg/g)	N.D	N.D
CN (mg/g)	N.D	N.D
As (mg/g)	N.D	N.D
Pb (mg/g)	0.001-0.005	0.003
Hg (mg/g)	N.D	N.D
Cd (mg/g)	N.D	N.D
TCE (mg/g)	N.D	N.D
PCE (mg/g)	N.D	N.D
Cr ⁶⁺ (mg/g)	N.D	N.D
Chlorophyll-a (mg/g)	N.D	N.D
Phenol (mg/g)	N.D	N.D
TPH (mg/g)	N.D	N.D

* N.D : Not Detected

나, DO의 경우 7.9mg/g I등급(7.5mg/g이상)의 수준을 나타내고 있었다. 그러나, DO의 경우를 제외한 나머지 결과들이 높게 분석됨에 따라 이 매립지 주변의 지표수는 매립지에 대한 영향을 받은 것으로 판단되어지며 이에 따른 대책이 요구되어진다고 사료된다.

매립지 주변에 위치하고 있는 지하수를 분석해 본 결과 COD_{Mn}은 1.13-1.38mg/g, NO₃-N은 1.025-4.075mg/g로 모든 항목의 평균값이 지하수 수질환경기준(환경부, 2006)의 생활용수 기준치 이내로 나타나 매립지에 대한 오염 문제는 나타나지 않았으며, 이에 대한 결과를 Table 5에 나타내었다.

침출수를 분석한 결과는 Table 6에 나타냈으며, T-P는 0.002-0.028mg/g, NH₃-N은 4.0-21.0mg/g로 나타났다. 이들의 결과를 매립시설 침출수 오염물질 배출 허용 기준과 비교해볼 때 NH₃-N과 대장균을 제외한 항목이 청정지역의 기준치 이내로 나타났으며, NH₃-N과 대장균은 가지역 기준 이내인 것으로 나타났다. 매립지의 침출수 분석결과 BOD/COD_{Cr}비가 평균 0.18로 나타났으며, 이는 10년 정도 경과된 매립지 침출수 BOD/COD_{Cr}비가 0.2미만인 것으로 알려져 있음에 따라(남궁 완 등, 1998) 다른 매립지와 비슷한 경향을 나타냄을 알 수 있다. 그러나, 사용종료 매립지의 안정화 평가기준(환경부, 2002)에 의하면 BOD/COD_{Cr}비가 0.1이하일 경우로 정하고 있음에 따라 안정화하는데 시간이 필요한 것으로 판단된다.

3.4 용출시험

3.4.1 매립폐기물

굴착된 매립 폐기물의 유해물질 함유 여부를 분석한 결과는 Table 8과 같다. Cu, Cd, Pb, CN, Cr⁶⁺, As, Hg 및 할로젠족에 해당하는 유기용제 등 폐기물관리법에서 규정하는 지정폐기물에 함유된 유해물질 성분이 전 항목에서 검출되지 않았거나 검출되었다 하더라도 모두 기준이내의 농도 범위를 나타내고 있었다. 김의 연구 대상인 7년 경과

Table 5. Analysis of Ground water

Items	Ground water		Environmental Criteria
	Range	Average	
pH	6.4-6.6	6.5	5.8 ~ 8.5
COD _{Mn} (mg/g)	1.13-1.38	1.3	below 6
NO ₃ -N (mg/g)	1.025-4.075	3.0	below 20
NH ₃ -N (mg/g)	N.D	N.D	-
Cl ⁻ (mg/g)	1.006-3.757	2.4	below 250
E-coli (MPN/100mℓ)	N.D	N.D	below 5,000 (MPN/100mℓ)
Organic Phosphorus (mg/g)	N.D	N.D	N.D
CN (mg/g)	N.D	N.D	N.D
As (mg/g)	0.012-0.014	0.013	below 0.05
Pb (mg/g)	N.D	N.D	below 0.1
Hg (mg/g)	N.D	N.D	N.D
Cd (mg/g)	N.D	N.D	below 0.01
TCE (mg/g)	N.D	N.D	below 0.03
PCE (mg/g)	N.D	N.D	below 0.01
Cr ⁺⁶ (mg/g)	N.D	N.D	below 0.05
Phenol (mg/g)	N.D	N.D	below 0.005
Fe (mg/g)	0.08-0.15	0.10	-
Mn (mg/g)	N.D	N.D	-
PCB (mg/g)	N.D	N.D	-
Zn (mg/g)	0.008-0.024	0.017	-
TPH (mg/g)	N.D	N.D	-

* N.D : Not Detected

Table 6. Analysis of Leachate

Items	Leachate		Environmental Criteria
	Range	Average	
pH	6.5-7.0	6.8	5.8 ~ 8.0
BOD (mg/g)	2.6-5.7	3.73	-
COD _{Mn} (mg/g)	3.46-5.75	4.49	-
COD _{Cr} (mg/g)	16.0-27.0	20.25	-
SS (mg/g)	6.4-61.0	21.03	-
T-N (mg/g)	11.00-21.17	14.89	-
T-P (mg/g)	0.002-0.020	0.014	below 4
NO ₃ -N (mg/g)	0.009-0.139	0.042	-
NH ₃ -N (mg/g)	4.0-21.0	9.0	below 50 (95%)
Cl ⁻ (mg/g)	3.688-11.511	6.190	-
E-coli (MPN/100mℓ)	0-5488	1372	below 100
Organic Phosphorus (mg/g)	N.D	N.D	below 0.2
CN (mg/g)	N.D	N.D	below 0.2
As (mg/g)	0.005-0.009	0.007	below 0.1
Pb (mg/g)	0.072-0.085	0.078	below 0.2
Hg (mg/g)	N.D	N.D	N.D
Cd (mg/g)	N.D	N.D	below 0.02
TCE (mg/g)	N.D	N.D	below 0.06
PCE (mg/g)	N.D	N.D	below 0.02
Cr ⁶⁺ (mg/g)	N.D	N.D	below 0.1
Chlorophyll-a (mg/g)	N.D	N.D	-
Phenol (mg/g)	N.D	N.D	below 1
TPH (mg/g)	N.D	N.D	-

* N.D : Not Detected

Table 7. Analysis of Heavy Metal

(Unit : mg/g)

Site	Item (Criteria)	Cu	Cd	Pb	CN	Cr ⁺⁶	As	Hg
		3.0	0.3	3.0	1.0	1.5	1.5	0.005
SW 1		0.030	N.D	0.097	N.D	N.D	N.D	N.D
SW 2		0.025	0.002	N.D	N.D	N.D	0.007	N.D
Ave.		0.028	0.001	0.049	N.D	N.D	0.004	N.D

* N.D : Not Detected

후 매립지의 결과와 비교하였을 경우 비슷한 경향을 나타내고 있음에 따라(김영목, 1993) 본 연구 대상 매립지가 14년이 경과되었음을 고려할 때 매립폐기물의 유해성분에 대한 시간에 따른 변화는 적은 것으로 판단된다.

3.4.2 주변토양

본 매립장 주변의 토양오염도 분석결과를 토양환경보전법(환경부, 2006)에서 규정한 “가”지역의 토양오염우려기준

과 비교해 본 결과 구리(Cu : 기준 50mg/kg)의 경우 1.875~2.312mg/kg, 납(Pb : 기준 100mg/kg)은 2.611~3.987mg/kg, 수은(Hg : 기준 4mg/kg)은 0.001~0.013mg/kg으로 분석되었으며 이에 대한 결과를 Table 7에 나타내었다. 또한, 기타 항목에 대하여도 검출되지 않았거나 검출되었다 하더라도 모두 기준이내의 농도 범위를 나타내고 있어 매립지에 대한 영향은 미치지 않은 것으로 판단된다.

Table 8. Analysis of Soil

(Unit : mg/kg, dry basis)

Sample		Cu	Cd	Pb	As	CN	Cr ⁶⁺	Hg	PCBs	Phenol
S1	1st	3.099	0.237	2.996	0.173	N.D	N.D	0.011	N.D	N.D
	2st	1.045	0.051	2.225	0.170	N.D	N.D	0.001	N.D	N.D
	Ave.	2.072	0.144	2.611	0.172	N.D	N.D	0.006	N.D	N.D
S2	1st	1.877	0.126	2.102	0.148	N.D	N.D	0.005	N.D	N.D
	2st	2.327	0.103	4.012	0.206	N.D	N.D	0.008	N.D	N.D
	Ave.	2.102	0.115	3.057	0.177	N.D	N.D	0.007	N.D	N.D
S3	1st	2.251	0.336	2.383	0.156	N.D	N.D	0.007	N.D	N.D
	2st	2.372	0.082	5.590	0.185	N.D	N.D	0.002	N.D	N.D
	Ave.	2.312	0.209	3.987	0.171	N.D	N.D	0.005	N.D	N.D
S4	1st	1.585	0.265	1.785	0.181	N.D	N.D	0.013	N.D	N.D
	2st	2.165	0.117	5.070	0.262	N.D	N.D	0.003	N.D	N.D
	Ave.	1.875	0.191	3.428	0.222	N.D	N.D	0.008	N.D	N.D

* N.D : Not Detected

Table 9. Analysis of Landfill Gas(LFG) & Surface Landfill Gas

Month	LFG 1				LFG 2				SLFG
	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	NH ₃ (ppm)	Temp. (°C)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	NH ₃ (ppm)	Temp. (°C)	NH ₃ (ppm)
'05.11	12.0	13.0	10.6	3	10.2	14.0	9.8	3	2.1
12	9.0	12.0	7.2	3	6.7	12.0	7.5	4	1.4
'06.1	7.8	10.0	8.1	8	5.5	10.0	8.9	10	5.3
2	3.2	10.0	6.1	7	2.5	9.7	6.9	7	4.7
3	3.1	13.2	9.7	15	2.8	10.0	12.5	15	6.7
4	2.5	14.0	10.7	25	2.0	8.5	14.0	25	8.9
5	1.5	15.0	12.6	29	1.6	12.0	13.6	29	10.1
6	3.4	14.0	14.1	32	3.0	12.0	13.2	31	10.3
7	4.7	15.5	14.5	33	5.5	13.8	14.7	35	10.6
8	8.7	14.0	15.5	34	9.0	13.9	16.2	37	11.2
9	12.0	15.0	16.1	27	12.5	13.9	16.3	27	11.9
Ave.	6.17	13.25	11.38	-	5.57	11.80	12.15	-	7.56

3.5 매립가스(LFG) 및 지표가스(SLFG)

CH₄와 CO₂ 가스는 매립된 폐기물의 생분해성 유기물질이 혐기성 분해에서 생성되는 주류가스이며, 이들의 발생 정도에 따라 매립지의 안정화 상태를 판단할 수 있는 주요 지표가 됨에 따라 이들 매립가스를 분석한 결과 CH₄와 CO₂가스 각각의 평균적인 농도가 13.25%, 6.17%로 나타났다. 매립 종료 후 14년의 시간이 지났으나 매립지 안정화 평가기준(환경부, 2002)에서 CH₄ 농도가 5%이하일 것으로 규정한 것과 비교 하였을 경우 안정화 까지는 시간이 더 필요할 것으로 판단되며, H₂S나 CO가스는 검출되지 않았다. 매립지의 지표가스를 분석한 결과 CO₂는 불검출로 나타났으나 일반적으로 대기 중 CO₂농도는 0.036%이며, CH₄, H₂S, CO가스 농도도 검출되지 않았다. 또한, NH₃가스 농도는 평균 7.56ppm으로 분석되었다. 본 매립장의 매립가스와 지표가스의 분석 결과를 Table 9에 나타내었다.

4. 결론

사용 종료된 매립지의 환경적 영향에 따른 매립 후 변화에 대한 환경 안전성 평가를 위하여 매립 폐기물의 성상 및 가스성분 분석을 통한 연구의 결과는 다음과 같다.

- (1) 매립폐기물의 물리적 조성 분석 결과 음식물류와 종이류는 검출되지 않았으며, 유기성분이 29.72~63.84%를 차지하고 있었고, 이중 비닐·플라스틱류는 평균 32.88%로 유기성분의 대부분을 차지하고 있었다. TS의 62.71% 중 VS는 30.37%, FS는 32.34%로 FS의 비중이 약간 높게 나타났으며, 매립폐기물의 C/N비는 21.8로 나타났다.
- (2) 매립지 주변 지표수 및 지하수를 분석한 결과 특정유해물질은 전혀 검출되지 않았으며, 지표수는 BOD 10.7mg/g, SS의 경우 37.8mg/g, 대장균 31,157(MPN/100ml)로 나타났고, 지하수는 COD_{Mn}은 1.13-1.38mg/g, NO₃-N은 1.025-4.075mg/g로 나타났다.
- (3) 침출수는 T-P 0.002-0.028mg/g, NH₃-N 4.0-21.0mg/g로 나타났으며, BOD/COD_{Cr}비가 평균 0.18로 나타났다. 들의 결과를 매립시설 침출수 오염물질 배출 허용 기준과 비교해 볼 때 NH₃-N과 대장균을 제외한 항목이 청정지역의 기준치 이내로 나타났으며, NH₃-N과 대장균

은 가지역 기준 이내인 것으로 나타났다.

- (4) 토양은 토양오염우려기준에 하회하는 농도분포를 나타내었으며 매립 종료 후 14년이 지난 매립지의 CH₄와 CO₂가스는 각각 13.25%, 6.17%로 나타났고, H₂S나 CO가스는 검출되지 않았다. 지표 가스는 CO₂, CH₄, H₂S, CO가스 농도는 검출되지 않았으며, NH₃가스 농도는 평균 7.56ppm으로 분석되었다.

감사의 글

이 논문은 충주대학교 대학구조개혁사업비(교육인적자원부 지원)의 지원을 받아 수행한 연구임

참고 문헌

1. 환경부 (2007), *환경백서*, pp. 659~713.
 2. 김영목, 이상용, 김만구, 신승철 (1993), 폐기물 매립지반에 대한 동다짐 공법 적용평가, *대한토목학회*, Vol. 13, No. 5, pp. 209~222.
 3. 남궁완, 이동훈 (1998), *폐기물처리공학(上下)*, 동화기술, pp. 1039.
 4. 환경부 (1997), *사용종료매립지 정비 지침사업 결과*, pp. 3~22.
 5. 이민희, 장병인, 윤철, 연익준, 김광렬 (2005), 비위생 매립지의 물리적 조성 및 가스분석을 통한 안정화 평가 -노은매립지 사례연구-. *한국지반환경공학회*, Vol. 6, No. 4, pp. 45~51.
 6. 연익준, 주소영, 김광렬 (2002), 소규모 비위생매립지의 환경안정성 평가, *한국폐기물학회지*, Vol. 29, No. 2, pp. 234~243.
 7. 홍상표 (2003), *비위생매립지 개선 및 안정화 방안에 관한 연구*, 충북환경기술개발센터, pp. 2~15.
 8. 환경부 (2002), *사용종료매립지 정비지침(안정화도 평가기준)*, pp. 16~21.
 9. 환경부 (2006), *폐기물공정시험법*, pp. 93~96.
 10. 환경부 (2006), *폐기물관리법*, 별표 11.
 11. 환경부 (2006), *수질관리법*, 별표 4, 별표 13.
 12. 환경부 (2006), *수질오염공정시험법*, pp. 15~336.
 13. 환경부 (2006), *토양오염공정시험법*, pp. 15~100.
 14. 환경부 (2006), *대기오염공정시험법*, pp. 79~150.
 15. 환경부 (2006), *토양환경보전법*, 별표3, 별표 7.
 16. 박동운 (2002), *사용종료매립지 선별토사의 생물학적 안정화도 평가에 관한 연구*, 서울대학교 석사학위 논문, pp. 5~10.
 17. 김낙주, 서용찬, 최원규 (1997), 비위생 쓰레기 매립지의 복구를 위한 기초 조사 연구, *한국폐기물학회지*, Vol. 14, No. 1, pp. 115~122.
 18. 환경부 (2005), *2005년도 토양측정망 및 실태조사*, pp. 5~20.
- (접수일: 2008. 1. 15 심사일: 2008. 2. 29 심사완료일: 2008. 9. 2)