

환경성평가를 통한 비위생 매립지 정비방안

이해승*

강원도립대학 소방환경방재과

Uncontrolled Landfill Maintenance Plans through the Environmental Evaluation

Hae-Seung Lee*

Dept. of Fire Protection & Environmental Prevention, Gangwon Provincial College

Abstract

In this study, we intend to present the uncontrolled landfill maintenance plans by diversely reviewing the operating conditions of landfill and environmental effects and economical issues resulted from the operation of landfill for the purpose of suggesting the optimal maintenance plans applicable to the uncontrolled landfill and unused landfill located in Korea. We perform the basic and precise surveys against three landfill sites showing the biggest problem out of 8 unsanitary landfills sites located in Y County.

We compare and review the treatment plans prepared and operated by the N Landfill. The compared and reviewed results show that the local stabilization plan is more effective than the excavation and transfer treatment plan when considering the economic efficiency only. However, the excavation and transfer treatment plan is valid when considering the diverse elements. The G Landfill is operated with separated into living waste landfill section and construction waste landfill section. However, some landfill gas collection bores or holes are installed in its living waste landfill section, which has not been used for about 20 years, as a part of follow-up control. The element causing the environmental damage is considerably reduced in its living waste landfill section. However, the effort to keep the follow-up control through the local stabilization work is required. The landfill is under processing in the construction waste landfill section. However, most of buried wastes are the inorganic wastes such as waste materials and concrete, so the maintenance plan focused on the use of top land by installing the local stabilization facilities is considered as an effective plan. The landfill is under processing in the K Landfill. It seems to be difficult to maintain this landfill through the local stabilization. The excavation and transfer treatment plan to completely remove the potential environmental pollution source is considered as the valid plan.

Key words : Uncontrolled landfill, Landfill gas. Environmental evaluation.

* Corresponding author E-mail : haeseun@gw.ac.kr

I. 서론

환경부자료에 의하면 지하수 오염방지시설, 매립가스 처리시설, 침출수 차단 및 집배수시설 등 환경오염방지시설을 갖추지 않고 폐기물을 매립한 후 사용이 종료된 비위생 매립지가 1,000여개 이상이라고 한다.^{1,2)}

비위생 매립지는 폐기물매립 층에서 발생하는 침출수가 인근지역에 누출되어, 하천, 지하수, 토양을 오염시키고, 위생해충의 서식지가 되며, 매립가스로 인한 악취 및 화재 발생의 개연성이 높다.

비위생 매립지를 장기간 방치할 경우 주변 오염토양 및 지하수를 원래상태로 복원하는 것은 시간과 비용이 많이 소요되기 때문에 매우 어려운 일이다. 따라서 많은 지방자치단체들이 비위생 매립지를 정비하고 있으며, 몇 가지 비위생 매립지 정비기술들이 개발되어 현장에 적용되고 있다.³⁾

본 연구에서는 사용 중이거나 매립이 종료된 비위생 매립지의 새로운 정비방안을 제시하고자 한다. 이를 위하여 강원도 Y군 비위생 매립지 8개소 중 가장 문제가 심각한 3개소를 대상으로 기초 및 정밀조사를 수행하고, 비위생 매립지의 현장여건, 사업시행에 따른 경제성, 사회성 및 환경영향 등을 다각적으로 검토함으로써 주변지역의 환경피해를 최소화하고, 매립지별 매립용량 및 주변여건 등이 고려되는 정비방안을 제시하고자 한다.

II. 조사

1. 조사개요

연구대상 비위생 매립지는 강원도 Y군 비위생 매립지 8개소 중 가장 문제가 심각한 N, G, K 매립지 등 3개소이다.

이들 매립지 3개소에 대한 환경영향평가, 안정화도 평가 등 정밀조사를 실시하였다. 현장조사는 매립 면적, 용량, 매립고 등 매립지 규모, 복토상태, 주변 토지이용현황 등 비위 매립지 정비사업 시행의 기초 자료를 조사하였다.

매립지 환경영향평가 항목은 지표수 및 지하수의 수질, 토양오염 등이고, 매립지 안정화도 평가항목은 매립폐기물의 양, 침출수와 매립가스 발생량 및 매립지 내·외부 온도 등이다.

정밀조사 결과를 토대로 비위생 매립지 정비방안을 제시하였다.

2. 조사항목

비위생 매립지 정비를 위한 주변 환경조사는 지표수 수질, 지하수 수질, 토양오염 등을 조사하고, 매립지 안정화도를 평가하기 위해 매립폐기물의 양, 침출수와 매립가스 발생량 및 매립지 내·외부 온도 등을 조사하였다.

지표수 시료는 매립지 인근하천에서 채수하고, 지하수는 굴착하여 $\Phi 100\text{mm}$ 관경의 PE관을 설치하고 매립지별로 3개의 감시정을 설치하여 지하수위의 관측이 용이한 심도까지 측정하였다.

토양시료는 복토를 걷어낸 후 표층과 심층을 대상으로 4m 정도까지 굴착하여 채취하였으며, 침출수는 매립지 내부에 집수정을 2개소씩 설치하여 채수하고, 매립가스 및 매립가스 온도는 외부온도의 영향 및 내부환경의 변화에 비교적 덜 민감한 수직가스정을 설치하여 측정하였다.

또 폐기물 매립층과 원지반의 성상과 특성을 파악하기 위하여 시추조사, 현장시험 및 실내시험을 실시하고 지층의 분포 및 토성을 파악하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 매립지 일반 환경

N 매립지는 계곡 사면을 따라 폐기물을 쌓아올리는 전형적인 계곡형 매립지로서 조사대상 매립지 중 가장 규모가 크다. 장마와 같은 우기 시 매립사면의 붕괴가 우려된다.

현재 인근지역 폐기물이 반입되고 있는데, 침출수 저류시설은 없고 부지경계 우측 하단에 고인 웅덩이에서 하천에 침출수가 누출되고, 파라.모기 등 위생해충이 서식하고 악취가 매우 심각하다.

매립지 하류에 흐르는 하천이 상수도 보호구역과 인접해 있어 상수도 보호차원에서

도 정비대책이 마련되어야 한다.

G 매립지는 상·하부 두 개의 매립구간으로 나뉘지는 계곡형 매립지로서, 상부는 건설폐기물을 매립하는 중이고, 하부는 생활폐기물 매립이 완료되었다.

K 매립지는 국도와 인접해 있고 입구 우측에 간이 소각장이 설치되어 있으며, 매일 5톤 차량 10대 분의 폐기물이 반입되고 있다. 주변에 관광지가 인접해 있어서 여름철 관광성수기에는 유입되는 폐기물량이 3배 이상 증가한다.

비위생 매립지 정비대책을 수립하지 않을 경우 주변 환경을 오염시켜 주민불편은 물론 관광지 이미지를 훼손할 가능성이 높다.

Table 1. Present condition of uncontrolled landfill.

Item	Area (10 ³ m ²)	Volume (10 ³ m ³)	Construction year	Height(m)	Waste type	Note
N	3.4	49.8	1995. 02	10 ~ 20	domestic	using
G	10.0	58.0	1987. 01	3 ~ 12	domestic + construction	finished
K	3.5	30.8	1995. 01	14	domestic	using

2. 주변환경

매립지 침출수의 지하수 유입여부를 확인하기 위해 지하수의 수질을 조사하였는데, N, G, K매립지 3곳 모두 지하수의 수질이 「먹는 물 수질기준」을 충족시키는 것으로 나타났다.

매립지 3곳 지하수의 주요 수질은 pH가 5.74 ~ 7.42, NO₃-N이 0.368 ~ 1.268 mg/L, 염소이온이 15.3 ~ 22.1mg/L, 대장균군 48 ~ 300 MPN/100mL이었으며, 특정유해물질도 미미하거나 검출되지 않은 것으로 나타났다.

그러나 N 매립지 지하수에서 낮은 농도이지만 탁도가 검출되어 침출수 일부가 지

하에 유입되는 것으로 추정된다. 또 G 매립지 지하수 측정점 2곳(GGW-1, GGW-2)에서도 미세한 탁도가 측정되어, N, G 매립지의 지하수에 대한 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 판단된다.

매립지 인근 지표수 오염을 파악하기 위하여 N, G, K 매립지를 대상으로 매립지 인근하천에 각 2개소의 측정지점에서 시료를 채취하여 수질을 분석한 결과, 매립지 침출수에 의한 영향은 미미한 것으로 나타났다.

그러나 N 매립지 주변 하상의 모래, 자갈색깔이 옅은 갈색을 띄고 있어서 침출수 일부가 하천에 유입되는 것으로 판단되어 N 매립지에 대한 정비가 필요한 것으로 사

료된다.

Table 2. Analysis results of ground water.

(Unit : mg/L)

Item	Site	N			G			K		
		NGW-1	NGW-2	NGW-3	GGW-1	GGW-2	GGW-3	KGW-1	KGW-2	KGW-3
pH		7.42	6.47	6.38	6.89	6.90	6.03	6.30	6.62	5.74
NO ₃ -N		1.205	0.986	1.268	0.758	0.678	0.724	0.368	1.028	0.873
Cl ⁻		18.2	18.3	20.1	18.3	15.3	18.3	22.1	18.7	21.3
general bacteria		1,200	1,400	1,130	1,045	610	530	780	1,900	610
Escherichia coli (MPN/100mL)		100	260	130	100	60	48	130	250	300

Table 3. Analysis results of surface water.

(Unit : mg/L)

Item	Site	N		G		K	
		NW-1	NW-2	GW-1	GW-2	KW-1	KW-2
pH		7.7	7.7	8.3	8.4	8.2	8.3
BOD		3.8	3.8	3.9	4.3	4.2	4.5
SS		14.7	7.3	8.7	6.7	5.0	8.7
Cd		ND	ND	ND	ND	0.007	ND
As		0.022	0.035	0.051	0.059	0.066	0.065
Hg		0.002	0.001	0.003	0.001	0.008	0.008
PCB		ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pb		0.034	0.076	0.008	0.022	0.077	0.020

매립지 인근지역 토양의 오염정도를 파악하기 위하여, N, G, K매립지 주변토양을 채취하여 토양오염공정시험법으로 분석한 결과, N 매립지는 Cu 1.268 ~ 2.564mg/kg, Pb 1.526 ~ 3.475mg/kg의 범위로 검출되었다.

G 매립지는 Cu 1.047 ~ 2.158mg/kg, Pb 1.089 ~ 2.658mg/kg의 범위로 검출되

고, K 매립지는 Cu 1.874 ~ 3.256mg/kg, Pb 2.178 ~ 3.983mg/kg의 범위로 검출되었다. 또 N, G, K 매립지에서 Ni, F, Pb 등이 다소 검출되고, Cr⁶⁺, 페놀, 시안, 유기인 등은 검출되지 않았다.

매립지들의 토양오염조사 결과는 「토양오염 우려기준(“가”지역)」을 만족시키는 것으로 나타났다.

Table 4. Soil analysis results.

(Unit : mg/L)

Item	Site		N				G				K				Soil Standard (Ga)
			S-1		S-2		S-1		S-2		S-1		S-2		
	surface	depths	surface	depths	surface	depths	surface	depths	surface	depths	surface	depths	surface	depths	
Cd	0.026	0.031	ND	0.023	ND	0.041	ND	0.028	0.031	0.048	ND	0.036	1.5		
Cu	2.564	2.154	2.142	1.268	1.854	1.047	1.925	2.158	2.514	1.874	2.874	3.257	50		
As	0.007	0.025	ND	0.032	ND	0.008	0.006	0.020	0.041	0.028	ND	0.039	6		
Hg	0.045	0.032	0.006	0.0010	0.009	0.024	0.021	0.032	0.020	0.030	0.008	0.031	4		
Pb	3.258	2.471	3.475	1.526	2.658	1.572	2.142	1.089	3.983	2.178	3.572	3.587	100		
Zn	10.263	9.563	8.456	10.259	2.048	3.569	3.256	4.256	7.265	5.147	4.214	3.598	300		
Ni	0.085	0.045	0.048	0.035	0.036	0.027	0.041	0.032	0.036	0.048	0.045	0.048	40		
F	25.14	15.24	32.14	36.58	12.47	15.69	11.42	13.58	21.54	20.25	25.97	18.36	400		

3. 안정화도 조사

안정화도 조사의 목적은 매립 폐기물의 성상을 조사·분석하여 매립지 주변 환경에 미치는 영향을 파악하고 안정화 진행정도, 매립심도 및 침하 현상 등을 예측하는 것이다.³⁾ 또 정비사업 추진 시 재활용 폐기물을 선별하고, 재매립 계획을 합리적으로 수립하는 기본 자료를 확보하는 것이다.

3.1. 폐기물 조사

매립 폐기물의 성상을 파악하기 위하여 매립지별로 2지점 이상 시료를 채취하고 성상을 조사하였으며, 현장조사 후 물리적 조성, 3성분, 용출시험, 원소분석 등의 항목을 분석하였다.

매립폐기물의 밀도는 수분함량과 함께 물리적 특성의 주요 인자로서 폐기물의 조성, 성상 및 수분함량 등의 영향을 받는다. 조사대상 비위생 매립지 표층의 겉보기 밀도는 0.829 ~ 0.957 ton/m³이며, 심층의 밀도는 0.847 ~ 0.886 ton/m³이었다.

이러한 결과는 일반도시 매립폐기물의 밀도 0.7 ~ 1.2 ton/m³과 유사한데,⁴⁾ 이는 매립폐기물의 토사함량이 많고 많은 시간이 경과함에 따라 폐기물이 어느 정도 분해되었기 때문이라고 판단된다.

매립폐기물의 가연성 및 불연성함량은 매립물질의 조성뿐만 아니라, 분해정도 및 분해상태를 추정하는 척도가 된다.

조사대상 매립지 표층의 폐기물을 채취하여 인력선별에 의해 분류한 결과, 표층 폐기물의 가연성분은 9.35 ~ 18.41%, 불연성분은 81.59 ~ 90.65%이며, 불연분 중에 토사류가 80%이상을 차지하는 것으로 나타났다.

심층 폐기물은 가연성분이 10.38 ~ 17.33 %, 불연성분이 82.67 ~ 89.62 %로써 역시 토사류의 영향으로 불연성분의 비율이 높은 것으로 추정된다. 실험결과 토사류의 비율이 가장 높았는데, 이는 매립복토의 영향으로 판단된다.

생분해성 물질인 음식물류폐기물은 나타나지 않고, 난분해성인 비닐, 플라스틱류와 종이류, 목재류, 섬유류, 고무류 등이 분류되었는데, 이러한 물질들은 장기간에 걸쳐 느린 속도로 분해가 예상된다.

폐기물의 조성을 살펴보면 3개소 매립지 모두 분해성 성분의 분해는 거의 완료되고 난분해성물질과 일부 생분해성 물질이 매립층에 잔류하여 가스를 생성하고, 우수 및 지하수 등에 의해 침출되고 있는 것으로 판단된다.

매립지 안정화도 판단기준에 따르면 매립폐기물의 안정화도 평가기준을 가연물 함량 5% 미만이거나 C/N비 10 이하로 제시하고 있다.³⁾

연구대상 매립지의 가연물 함량은 6.5 ~ 8.2 %로서 안정화도 기준인 5%를 초과하고, C/N비는 114.5 ~ 298.5로서 안정화도 기준인 10이하를 훨씬 초과하는 것으로 보아, 아직 안정화가 한창 진행 중인 것으로 추정된다.

Table 5. Combustible materials ratio inside of landfill. (Unit : %)

Site	N				G				K			
	NCS-1		NCS-2		GCS-1		GCS-2		KCS-2		KCS-2	
Type	surface	depths	surface	depths	surface	depths	surface	depths	surface	depths	surface	depths
Ratio	10.3	7.8	8.4	6.4	7.3	5.5	6.5	6.7	7.8	6.5	8.0	6.9
Average	8.2				6.5				7.3			

Table 6. C/N ratio of landfill.

Site	N				G				K			
	NCS-1		NCS-2		GCS-1		GCS-2		KCS-2		KCS-2	
Type	surface	depths	surface	depths	surface	depths	surface	depths	surface	depths	surface	depths
C	49.92	39.51	46.57	38.41	41.79	34.49	34.37	27.36	43.75	37.93	46.49	38.17
N	0.22	0.26	0.20	0.22	0.14	0.2	0.3	0.15	0.21	0.22	0.19	0.20
C/N ratio	226.9	151.9	232.8	174.6	298.5	172.4	114.5	182.4	208.3	172.4	244.7	190.8

3.2. 침출수

침출수는 고농도의 유기물, 질소성분 및 무기성 염 등을 함유하고 있으며, 매립지의 지질학적 특성, 매립경과 시간에 따라 성상이 달라진다.^{5,6)} 따라서 주기적으로 분석하여 조성변화를 파악함으로써 매립상태를 예측할 수 있으나, 자료가 미흡하여 침출수의 성상 및 변화추이를 도출하기는 어려운 실정이다.

침출수 측정을 위해 매립지별로 집수정 2곳씩을 설치하고 채수하여 분석한 결과, N 매립지의 pH는 8.12~8.24, BOD 및 COD는 각각 101.0~221.0 mg/L 및 260.0~320.0 mg/L이고, G 매립지의 pH

는 8.14~8.15, BOD 및 COD는 각각 68.0~78.0 mg/L 및 142.0~160.0 mg/L이며, K 매립지의 pH는 8.23~8.32, BOD 및 COD는 각각 126.0~238.0 mg/L 및 290.0~340.0 mg/L로 나타났다.

매립지 3곳 모두 BOD농도가 허용기준을 초과하고, BOD/COD 비가 0.39~0.7로서 안정화도 평가기준인 0.1 이하³⁾를 충족시키지 못하여 매립지들의 안정화가 아직 진행 중으로 판단된다.

매립지 3곳 모두 침출수가 허용기준 “나”지역의 일부항목을 충족시키지 못하므로 적절한 관리대책이 수립되어야 할 것으로 사료된다.

Table 7. Analysis results of leachate.

(Unit : mg/L)

Item	N		G		K	
	NL 1	NL 2	GL 1	GL 2	KL 1	KL 2
BOD	101.0	221.0	78.0	68.0	126.0	238.0
COD	260.0	320.0	160.0	142.0	290.0	340.0
BOD/COD	0.39	0.69	0.48	0.48	0.43	0.70
NH ₃ -N	30.1	42.3	45.6	43.2	60.6	66.3
Inorganic Nitrogen	75.3	72.1	78.3	67.3	84.5	91.2

3.3. 매립가스

매립가스는 가스포집관을 설치하고 수직 가스배출관에 휴대용 매립가스분석기(GA 2000 plus, Geotechnical Instrument, ATEX 승인)를 연결하여 매립지별로 현장에서 2회씩 포집, 측정하였다. 분석항목은 CH₄, CO, O₂, N₂, H₂S, NH₃ 등이다.

매립가스의 메탄함량은 N 매립지의 NG 1은 23.5~24.0 %, NG 2는 48.0~51.0 %로서 NG 1보다 NG 2에서 매립폐기물의

분해가 활발히 이루어지는 것으로 판단된다.

G 매립지의 GG 1은 메탄가스가 발생하지 않았는데, 이는 산업폐기물 매립지역으로써 분해성 유기물이 적거나 유독물질에 의하여 미생물활동이 활발하지 않은 것으로 판단된다. GG 2는 메탄함량이 5.9~10.1 %로서 매우 적은데, 매립기간이 오래 경과되어 그 동안 분해성 유기물이 거의 분해된 것으로 판단된다.

K 매립지의 KG 1은 메탄함량이 47.0 ~ 48.5 %로서 매우 높고, KG 2는 6.6 ~ 7.1%로 매우 낮게 나타났는데, 최근에 매립되어 분해가 활성화되지 않았기 때문이다.

위 사항을 종합하면 3곳 매립지 매립가스의 메탄함량은 8 ~ 36.63 %로써 안정화도 평가기준인 5% 이하³⁾보다 높음으로 폐기물의 안정화가 아직 진행 중인 것으로 판단된다.

Table 8. CH₄ ratio of the inside of landfill gas. (Unit : %)

Item	N		G		K	
	NG 1	NG 2	GG 1	GG 2	KG 1	KG 2
CH ₄ ratio	23.9	49.5	1.0	8.0	47.8	6.9
Average	36.7		4.5		27.4	

3.4. 매립지 내외부 온도

매립지 온도는 매립심도와 매립기간에 따라 달라진다. 매립초기에는 유기물이 활발하게 분해되어 40℃ 이상 올라가지만 매립기간이 경과함에 따라 14 ~ 30℃로 저하한다.

매립지의 온도는 외부와 내부환경의 영향이 적은 수직가스장에서 측정하였다. 측정시기에 따라 다소 편차가 있으나, 내부와 외부의 온도차는 N 매립지의 NT 1은 18.

0 ~ 20.0 ℃, NT 2는 12.0 ~ 14.0 ℃이고, G 매립지의 GT 1은 16.0 ~ 19.0 ℃, GT 2는 14.0 ~ 15.0 ℃이며, K 매립지의 KT 1은 18.0 ~ 19.0 ℃, KT 2는 14.0 ~ 15.0 ℃이었다.

내부와 외기온도차가 매우 높은 이유는 조사시기가 겨울철이었기 때문에 외기 온도가 낮은 계절적 요인이 있지만, 아직도 분해성 유기물이 활발하게 분해되고 있기 때문이라고 판단된다.

Table 9. Temperature of inside & outside landfill. (Unit : ℃)

Item	N				G				K			
	NT 1		NT 2		GT 1		GT 2		KT 1		KT 2	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
Inside	14.0	15.0	8.0	9.0	14.0	14.0	10.0	11.0	15.0	16.0	10.0	12.0
Outside	-6.0	-3.0	-6.0	-3.0	-5.0	-2.0	-5.0	-3.0	-4.0	-2.0	-4.0	-3.0
Difference	20.0	18.0	14.0	12.0	19.0	16.0	15.0	14.0	19.0	18.0	14.0	15.0

3.5. 지반 안정화

원지반과 폐기물 매립층의 성상과 특성을 파악하기 위하여 시추조사, 현장시험 및 실내시험을 실시하고 지층의 분포상태 및 토성을 분석하였다.^{7),8)}

시추조사 결과 N 매립지의 경우 매립층은 지표면으로부터 0.2~1.3 m 두께로 분포하며, 주로 실트 섞인 모래-자갈로 구성되

어 암갈색내지 암회색 색조를 띠고, 매립층 하부는 1.1~8.7 m의 퇴적층으로 이루어져 있는데 표준관입시험의 N값은 4/30 ~ 29/30로서 보통내지는 단단한 연경도로 판단된다.

G 매립지의 매립층이 가장 두터운 곳은 12.0 m이고 점토, 실트 섞인 모래 및 세립질 모래와 자갈 등이 혼재되어 있으며 색조는 황갈색을 띠고 있다. 매립층 하부는 3.

0~6.0 m의 풍화토층이고 하천변에 위치한 지점은 1.1 m의 비교적 얇은 층이었다. 표준관입시험의 N값은 32/30 ~ 50/16으로 보통조밀내지는 매우 조밀한 상대밀도를 나타내었다.

K 매립지의 매립층 두께는 3.0~8.0 m 이고, 매립층 하부는 전답토층과 풍화토층으로 구성되어 있다. 각층의 N값은 전답토층 6/30정도의 보통 단단한 연경도이고, 풍화토층은 11/30 ~ 50/13 범위의 보통조밀 또는 매우 조밀한 상대밀도를 나타내었다.

4. 정비방안

4.1. 개요

비위생 매립지 정비법은 폐기물을 굴착하지 않고 오염원을 차단·관리하는 현지안정화법과 폐기물을 굴착하여 다른 곳에서 위생적으로 처리하는 굴착·이적법으로 구분된다. Table 10에 비위생 매립지 현지안정화 및 단순굴착·선별 이적 처리법의 개요, Table 11에 비위생 매립지 정비방안 제시하고, Fig. 1에 비위생 매립지의 안정화 대책수립과 부지의 조기 활용을 위해 선정된 대안의 평가 흐름을 나타내었다.

N, G, K매립지별로 적정 정비방안을 선정하기 위해 앞에서 검토한 2가지 정비방안별로 경제적, 환경적 측면을 고려하여 최적 정비방안을 검토하였다.

Table 10. General improvement project overview.

Items		Descriptions	Remarks
Local stabilization	Maintenance and management	<ul style="list-style-type: none"> If the problem is not serious, isolate the pollution source and install the treatment facilities. Prepare the long-term maintenance and management plans focused on the stability. 	Review of each alternative
	Maintenance and recycling	<ul style="list-style-type: none"> Isolate the pollution source and install the treatment facilities. Improve the unsanitary landfill site to the sanitary landfill site and then use as the landfill site. 	
	Excavation and recycling	<ul style="list-style-type: none"> Excavate and reduce the buried wastes through the sorting and incineration. Secure the additional landfill capacity by reducing the waste and use the secured area as the landfill site. 	
	Ground improvement	<ul style="list-style-type: none"> Improve the ground where the waste is buried through the compaction, substitution and hardening process. Improve the ground where the waste is buried under the intention of installing the facilities on the top of ground 	
Excavation, sorting and transfer	Excavation, transfer and sanitary landfill	<ul style="list-style-type: none"> Excavate the buried waste and then transfer the excavated waste to the sanitary landfill site for the landfill. Reduce the environmental pollution and accomplish the intended land use purpose through the sanitary landfill. 	Review of each alternative
	Excavation, sorting, transfer and disposal	<ul style="list-style-type: none"> Incinerate the waste after the excavation and sorting and then recycle the sorted waste and reduce the volume of waste. Adopt the positive unused landfill site maintenance plans such as recycling and reduction of volume. 	Review of each alternative
Reviewed results		<ul style="list-style-type: none"> Decide the plan to utilize the unused landfill site as the landfill site in consideration of surrounding environments and site maintenance or excavation and transfer plans excluding the ground maintenance plan targeting the specific use or purpose as the alternatives 	

Table 11. Alternative as an applicable maintenance project.

Items	Overview		Remarks
Passive maintenance	Plan 1	<ul style="list-style-type: none"> Prepare the long-term land use plan after the passive site maintenance. 	Long-term follow-up control (20 years) is required.
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Start the final landfill site cover plans, install the eco-friendly facilities and plant the trees </div>	
Positive maintenance	Plan 2	<ul style="list-style-type: none"> Prepare the long-term land use plan after the positive site maintenance. 	
		<div style="display: flex; align-items: center; gap: 20px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Isolate the leachate</div> ➡ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Start the final landfill site cover plans, isolate the leachate and install the landfill gas treatment facilities </div> </div>	
Excavation and transfer plans	Plan 1	<ul style="list-style-type: none"> Recycle the sorted soils and bury the combustible and incombustible materials 	
		<div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Remove the odor</div> ➡ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Excavation and sorting</div> ➡ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Recover the site through the sanitary landfill.</div> </div>	
	Plan 2	<ul style="list-style-type: none"> Recycle the sorted soils and bury the combustible and incombustible materials 	
		<div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Remove the odor</div> ➡ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Excavation and sorting</div> ➡ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Recover the site through the sanitary landfill and incineration</div> </div>	
	Plan 3	<ul style="list-style-type: none"> Excavate the buried wastes and then transfer all excavated wastes to the sanitary landfill site for the sanitary landfill and recover the site with soils moved from other areas. 	
		<div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Remove the odor</div> ➡ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Excavation</div> ➡ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Recover the site by asking the professional service</div> </div>	

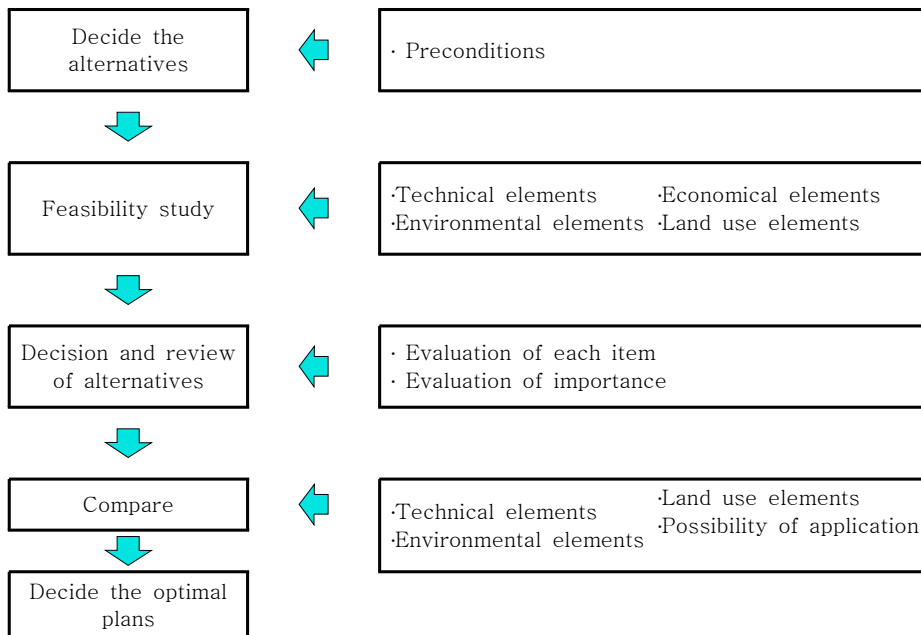


Fig. 1. Alternative evaluation flow chart.

4.2. 안정화도 평가

매립지가 주변 환경에 미치는 영향 및 매립폐기물의 안정화 정도를 평가하고 지하수질, 지표수질, 토양오염도 등에 대한 정밀 조사를 실시였다.

N 매립지는 매립개시 후 약 14년이 경과한 매립지이며 현저한 오염징후는 나타나지 않았으나, 인근 농경지 및 하천에서 침출수 누출흔적이 발견되고, Y군 비위생 매립지 중 생활폐기물이 가장 많이 매립되어 있어서 적절한 정비대책을 수립하지 않을 경우 주변지역의 2차 오염 가능성이 매우

높다.

환경영향평가를 실시하기 위해 지표수 및 지하수의 수질과 토양오염을 분석한 결과, 모든 항목이 환경기준을 만족하지만, 지하수에서 약간의 탁도가 나타나 침출수 유입이 우려된다.

안정화도 평가결과, 매립폐기물의 가연성분이 평균 7.3 %, C/N비 172.4~244.7, BOD/COD비 0.43~0.70, CH₄ 함량 평균 27.35%로서 안정화도 평가기준을 충족시키지 못하므로 적절한 대책이 요구된다.

Table 12. Results of stabilization evaluation.

Item		Combustible materials ratio	C/N ratio	BOD/COD ratio	CH ₄ ratio
N	Result	8.2	151.9~232.8	0.39~0.69	36.63
G	Result	6.5	114.5~298.5	0.48	8.0
K	Result	7.3	172.4~244.7	0.43~0.70	27.35
Stabilization evaluation		5% and less	10 and less	0.1 and less	5% and less

4.3. 정비방안

앞에서 제안한 정비대안을 기준으로 각 매립지의 시설 여건 및 환경적 측면을 고려하여 대안별 평가를 수행하였으며, 대상매립지 정비대안으로 현지안정화법과 굴착이적처리법 2가지를 선정하였다. 굴착이적처리방안에 비해

N 매립지의 경우 2가지 처리방안 중 비용적 측면만을 고려하면 현지안정화법이 타당하나, 기술적, 환경적 측면에서 굴착이적처리법이 효율적일 것으로 사료된다.

굴착이적처리 방안 중 Table 11에 제시한 1안과 제 3안은 이원선별 및 무선별을 통한 위탁 및 이적처리 방안으로 비용부담이 크며, 재활용 자원을 이용하지 못한다는 측면에서 N 매립지 정비방안으로 부적합하다고 판단된다.

따라서 우선검토 정비방안으로서 적극적

정비방안(2안)과 굴착이적방안 중 2안이 적합할 것으로 사료된다.

G 매립지의 처리방안 검토결과, 비용측면에서 현지안정화법이 굴착이적처리법에 비해 효율적일 것으로 판단된다.

Table 11에 제시한 굴착이적처리 방안 중 1, 3안은 G 매립지 정비방안으로서 부적합하다고 판단된다.

위와 같은 측면에서 우선검토 정비방안으로 적극적 정비방안(제2안)과 굴착이적방안(제2안)이 G 매립지에 적합할 것으로 사료된다.

G 매립지 생활폐기물 매립구간은 매립기간이 20년 이상 경과된 사용종료매립지이다. 매립가스 포집공 등이 일부 설치되어 기초적인 사후관리가 이루어지고, 복합약취가 약간 남아있으나, 환경위해 요소는 상당부분 저감된 상태이다. 현지안정화 공사를

통한 사후관리를 지속적으로 유지하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

건설폐기물 매립구간은 매립이 진행 중이지만 매립폐기물이 대부분 폐자재, 폐콘크리트 등 무기성 폐기물이므로, 현지안정화 시설을 설치하고 상부토지를 이용하는 정비 방안이 효율적이라고 판단된다.

K 매립지의 경우 현재 매립이 진행되고 있어서 안정화 부대시설 설치가 현장여건상 어려우므로, 현지 안정화법에 의한 비위생 매립지의 정비는 어려울 것으로 판단된다. 비용부담이 크지만 환경오염 잠재원을 완전히 제거할 수 있는 굴착이적처리 방안이 타당하다고 사료된다.

현재 건설 중인 Y군 위생매립지는 소각

시설에서 배출되는 소각재만을 매립하여 침출수 발생을 제어하는 무방류 시스템 매립 시설로서 3원선별을 통한 전처리 과정 없이는 매립이 불가능하다.

따라서 Table 11에 제시한 굴착이적방안 중 제 1 정비방안은 적합하지 않고, 굴착이적 방안 제 3안은 위탁처리비용 부담이 커서 본 K 매립지 정비방안으로 부적합하다.

우선검토 정비방안으로 적극적 정비 제 2안과 굴착이적방안 제 2안을 선정하였다. Fig 2, 3에 굴착이적처리법에 소요되는 예산과 현지 안정화법에 소요되는 예산을 제시하고, Table 13에 정비방안별 검토결과를 제시하였다.

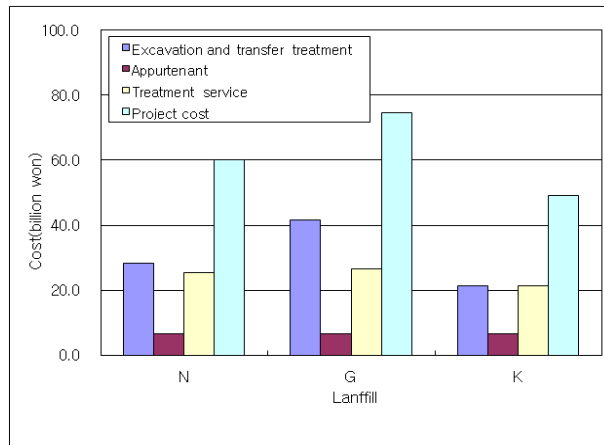


Fig. 2. Project cost of Excavation and transfer treatment plans.

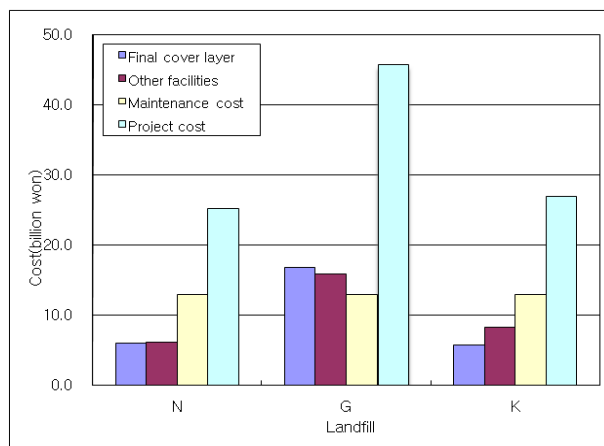


Fig. 3. Project cost of local stabilization.

Table 13. Results of Reviewing Each Maintenance Plan.

Maintenance plans	Excavation and transfer treatment plans	Local stabilization	
Maintenance project overview	<p>This plan is prepared focused on sorting the buried wastes to excavate into 3 categories such as combustible and incombustible materials and waste soil, asking the treatment of garbage to the professional service provider and reusing the waste soil as the soil to cover or fill the landfill site.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Excavator and sorting equipment • Collection system and environmental pollution preventive facilities 	<p>Landfill period is more than 10 years, so the effect to surrounding environment is expected to be small. However, there is a river around the landfill site, so need to install the stabilization facilities such as leachate isolation facilities, gas treatment facilities, rainwater drainage system and final covering plans.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leachate isolation facilities and gas treatment facilities • Rainwater drainage system and site improvement plan, final covering plans and slope stabilization plans 	
Restricted elements	N	<ul style="list-style-type: none"> • 2nd pollution counter plans are required upon starting the maintenance works (Odor, dust and leachate) 	<ul style="list-style-type: none"> • This landfill site is located in the valley, so the big problem is expected when the equipment accesses to the site for the installation of leachate isolation facilities.
	G	<ul style="list-style-type: none"> • 2nd pollution counter plans are required upon starting the maintenance works (Odor, dust and leachate) 	<ul style="list-style-type: none"> • The landfill sections are far away, so it is difficult to install and manage the facilities.
	K	<ul style="list-style-type: none"> • 2nd pollution counter plans are required upon starting the maintenance works (Odor, dust and leachate) 	<ul style="list-style-type: none"> • Big problem is expected when the equipment accesses to the site for the installation of leachate isolation facilities.
Required project cost	N	<ul style="list-style-type: none"> • Excavation and sorting treatment: About 2.83 billion Won is required. • Appurtenant work: About 0.65 billion Won is required • Treatment service cost: About 2.53 billion Won is required • Project cost: About 6.01 billion won is required 	<ul style="list-style-type: none"> • Final cover layer : About 0.60 billion Won is required. • Other facilities: About 0.62 billion Won is required. • Maintenance cost for 15 years: About 1.3 billion Won is required. • Project cost: About 2.52 billion won is required
	G	<ul style="list-style-type: none"> • Excavation and sorting treatment: About 4.16 billion Won is required. • Appurtenant work: About 0.65 billion Won is required • Treatment service cost: About 2.65 billion Won is required • Project cost: About 7.46 billion won is required 	<ul style="list-style-type: none"> • Final cover layer : About 1.68 billion Won is required. • Other facilities: About 1.59 billion Won is required. • Maintenance cost for 15 years: About 1.3 billion Won is required. • Project cost: About 4.57 billion won is required
	K	<ul style="list-style-type: none"> • Excavation and sorting treatment: About 2.12 billion Won is required. • Appurtenant work: About 0.65 billion Won is required • Treatment service cost: About 2.13 billion Won is required • Project cost: About 4.9 billion won is required 	<ul style="list-style-type: none"> • Final cover layer : About 0.57 billion Won is required. • Other facilities: About 0.83 billion Won is required. • Maintenance cost for 15 years: About 1.3 billion Won is required. • Project cost: About 2.7 billion won is required

IV. 결론

강원도 Y군 매립지중 오염정도가 심각한 3개 매립지를 대상으로 기초 및 정밀조사를 수행하고, 현장여건, 경제성, 사회성 및 환경영향 등을 검토하여 비위생 매립지 정비방안을 도출한 결론은 다음과 같다.

1. N과 G 매립지는 지하수에서 미세한 탁도가 관찰되므로 침출수 유출에 대한 지속적인 모니터링이 필요하고, 특히 N 매립지는 주변 하상이 얇은 갈색을 띠고 있어 정비방안 의 수립이 가장 시급하다.

2. 매립지 3곳의 가연성분은 6.5~8.2 %로서 안정화 기준 5%를 초과하고, C/N비 역시 114.5~298.5로서 안정화도 기준 10이하를 훨씬 초과하여, 3개 매립지 모두 안정화가 진행 중인 것으로 추정된다.
3. 매립지 3곳 침출수의 BOD농도는 68~238 mg/L로서 모두 배출허용기준을 초과하고, BOD/COD 비율은 0.39~0.7로서 안정화도 평가기준 0.1이하를 충족시키지 못하므로 안정화가 진행 중이라고 판단된다.
4. 매립지 3곳 매립가스의 CH₄ 함량은 8~36.63 %로서 안정화도 평가기준 5% 이하보다 높고, 매립지 내부온도도 높게 나타나 매립지의 안정화가 진행 중이라고 추정된다.
5. N 매립지의 매립층 두께는 0.2~1.3 m 이고, 매립층 하부는 1.1~8.7 m의 퇴적층이며, G 매립지의 매립층 두께는 12m 이고, 매립층 하부는 풍화토층이 1.1~6.0 m로 분포 하고 있다. K 매립지의 매립층 두께는 3.0~8.0 m이고, 매립층 하부는 전담토층과 풍화토층이며, 각층의 N 값은 전담토층 6/30정도의 보통 단단한 연경도이고, 풍화토층은 11/30~50/13 정도의 보통조밀 또는 매우 조밀한 구조이다.
6. 매립지 정비방안은 비용측면에서 최종 복토만 시행하는 소극적 정비방안이 있

으나, 주변 환경과 매립지 특성을 고려하여 최종복토, 차수시설 등 부대시설을 설치하는 적극적 안정화 방안과 매립폐기물 전량을 굴착하고 3원선별을 통하여 분리 처리하는 굴착·이적처리방안을 도입하는 것이 가장 적합하다.

참고문헌

1. 한지선, 성은혜, 박현주, 김창균, “정량 PCR을 이용한 비위생 매립지의 특정 세균 및 효소 유전자와 수질인자와의 상관관계 평가”, 29(8), 대한환경공학회지, 895~903(2007).
2. Status report on policy of environment conservation, MOE(Minister of Environment, Korea), 2003.
3. 사용종료매립지 정비방안, 환경부(2001)
4. 춘천시 근화 사용종료매립장 정밀조사 용역 종합보고서, 춘천시(2006)
5. Christensen, T. H., Cossu, r. and Stegmann, R., Landfilling of waste : Leachate, Elsevier Applied Science. Londao and New Yokr(1992)
6. 권철웅, 조순행, 최영수, 하동윤, 윤계섭, “고령화된 매립지에서 발생하는 침출수의 처리방안”, 19(3), 대한환경공학회지, 325~336(1997)
7. 토양정밀조사지침, 환경부. 2001.
8. 토양환경평가지침, 환경부, 2001.