

불량 매립지에서 굴착된 폐기물의 물리화학적 특성평가

남궁완 · 이노섭[†] · 박준석* · 인병훈

건국대학교 공과대학 환경공학과

* (재)자연환경연구소

Physicochemical Properties of Landfill Mined Wastes from Old Landfill Site

Wan Namkoong · Noh-Sup Lee[†] · Joon-Seok Park* · Byung-Hoon In

Department of Environmental Engineering, College of Engineering, Konkuk University

* Natural Environment Research Institute

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the physicochemical characteristics of mined waste(separated waste and soil) and to predict environmental effect of an old landfill site located at north of Seoul. Municipal solid waste(MSW) had been disposed of at the old landfill site used in this study for about 2 years(1990-1992). The old landfill site selected for this study had accepted mainly municipal solid waste. The landfill-mined waste contained separated waste (40.9%) and soil(59.1%) by wet weight basis. The separated waste consisted of combustible(91.0%) and non-combustible(9.0%). The combustible waste was mainly non-biodegradable plastics. The low heating value of the separated combustible waste, which is calculated by Dulong's equation, was as high as 3,470kcal/kg. According to the Korean Extraction Procedure, separated waste and soil were proved to be not hazardous. The total content of heavy metal in the separated waste and soil met standard of California State, USA. Therefore the separated waste may be re-landfilled at a sanitary landfill site and/or burned up at an incinerator, and the separated old soil may be used as landfill cover-soil at a sanitary landfill site. Water quality of two streams was grade IV, of which water could be used as industrial and agricultural water. The streams near the landfill site might not be contaminated by leachate from the old landfill site. It was estimated that organic matter in the old landfill site would not be actively biodegraded within a short period of time.

Keywords : Old landfill site, Landfill mining, Separated waste, Separated soil

I. 서론

과거에 사용되었던 매립지들은 현재처럼 공학적인 설계과정을 거친 후 조성된 것이 아니고 거주인구가 적고 지대가 낮은 지역 등에 단순히 투기하는 형태로 조성되어 왔다. 뿐만 아니라 매립이 완료된 후 침출수 처리나 매립지가스(LFG) 처리 등의 적절한 사후관리마저 제대로

이루어지지 않은 상태로 방치되어 왔다. 따라서 이러한 불량매립지들은 위치뿐만 아니라 매립기간, 매립량, 그리고 매립된 폐기물의 특성 등도 정확히 기록되어 있지 않은 실정이다. 우리나라의 경우 사용이 종료된 매립지가 1997년 현재 총 898개소에 이르고 있으나 이들 매립지 중에서 지하수 검사(182개소)나 침출수 처리(157개소)와 같은 사후관리를 실시하고 있는 곳은 미미한 실정이다.¹⁾ 인구가 증가하고 도시가 확장됨에 따라 건물 등을 신축하기 위한 부지의 확보가 점점 더 어려워지고 있다.

[†] Corresponding author : Department of environmental engineering, Konkuk University, Seoul
Tel : 02-2201-5409,
E-mail : electro@konkuk.ac.kr

따라서 불량매립지 또는 매립이 완료된 후 안정화기간을 충분히 거친 매립지의 재이용에 대한 관심이 점점 커지고 있다. 미국 등 선진외국의 경우 불량매립지 또는 매립이 완료된 매립부지를 재이용하기 위한 매립지 굴착사업(landfill mining project)이 시행되었으며 우리 나라의 경우에도 일부 불량매립지를 대상으로 실시되었으나 그 실적은 미미한 상황이다.²⁻⁴⁾

본 연구의 조사대상 매립지는 1990-1992년 사이에 경기도 북부의 U시에서 발생된 생활쓰레기를 단순매립했던 곳으로 매립완료 후 약 6년이 경과된 시점에서 조사가 실시되었다. 이 매립지의 총매립면적은 58,821m²이며 평균 매립고는 3.23m로서 총매립용적은 약 190,000m³이었다. 본 연구에서는 매립지 굴착시 발생하는 선별쓰레기와 선별토사의 물리화학적 특성 및 용출특성과 생분해가능성 실험 등을 평가하여 매립지의 안정화 정도, 처분방법 및 주변환경에 미치는 영향을 평가하고자 실시하였다.

II. 연구방법

1. 시료채취

분석에 필요한 시료(선별쓰레기, 선별토사, 침출수, 그리고 하천수)는 Fig. 1에 나타낸 각 지점으로부터 채취하였다. 연구대상 매립지의 매립깊이는 위치에 따라 모두 달랐으며 복토층을 제외한 매립쓰레기만의 평균 매립고는 3.23m였다. 굴착기를 이용하여 각 지점별로 복토층을 걷어낸 후 매립지 바닥층까지의 폐기물을 모두 굴착하였다. 그리고 각 지점별(총 8개 지점)로 굴착폐기물을 혼합한 후 실험에 필요한 100kg 이상의 굴착폐기물을 각각 채취하였다. 채취된 굴착폐기물은 지점별로 인력선별하여 선별쓰레기와 선별토사로 분류하였다. 선별쓰레기는 다시 가연분과 비가연분으로 세분하였으며 가연분만 채취하여 분석용 시료로 이용하였다. 침출수는 굴착폐기물을 채취한 곳과 동일한 지점에서 채수병(PE)을 이용하여 채취하였다. 인근 하천수는 두

개의 하천으로부터 매립지 상부에서 각각 1개, 매립지와 접하는 곳에서 각각 1개, 두 하천에 합류하는 곳에서 1개, 그리고 합류된 하천의 하류에서 1개 등 총 6개 지점에서 채수병을 이용하여 채취하였다. 매립지가스는 4개 지점에 유공관을 매설한 후 현장에서 직접 측정하였다. 이때, 유공관은 매립지 바닥까지 단도록 설치하였으며 복토층 위로 올라온 유공관은 매립가스 측정시를 제외하고는 밀봉 상태를 유지하였다.

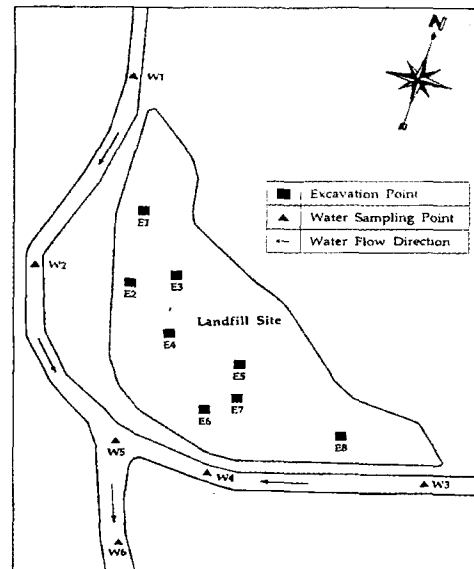


Fig. 1. Topography of old landfill site examined in this study.

2. 생분해 가능성 실험

매립 폐기물들의 추가적인 분해가능성을 평가하기 위하여 소규모의 반응기(75ℓ)를 이용하여 실험을 실시하였다(Fig. 2). 반응기에 투입된 굴착폐기물은 8개 지점에서 채취된 시료를 혼합한 것이다. 생물학적 분해가능성을 확인하기 위하여 선별쓰레기 중에서 비가연분은 제외하고 가연분과 선별토사만을 혼합하여 투입하였다.

이 때, 인위적으로 미생물을 추가 식중하지 않았으며 수분함량만 70%로 조절하였다. 공기공급량은 $0.075\text{m}^3/\text{m}^3(\text{굴착폐기물})\cdot\text{min}$ 이었으며 공기공급방법은 연속공급과 간헐공급(4시간 공급/4시간 휴지)으로 구분하여 공급하였다.

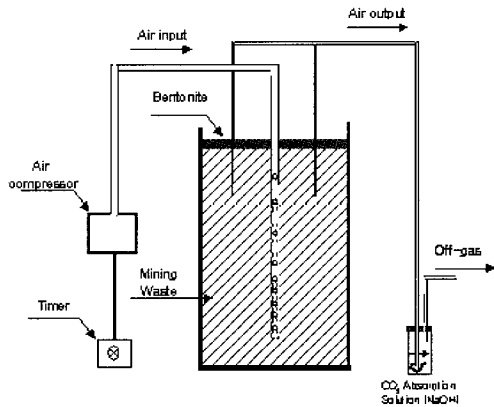


Fig. 2. Schematic diagram of reactor used in this study.

3. 분석방법

굴착폐기물의 물리적 조성은 먼저 선별쓰레기와 선별토사로 분류한 후 선별쓰레기를 다시 가연분과 비가연분으로 분류하였다. 가연분은 음식류, 종이류, 비닐류, 섬유류, 목재, 고무 및 가죽류 등의 6개 항목으로 세분하였으며 비가연분은 철류, 알루미늄, 유리 및 도자기류의 3개 항목으로 세분하였다. 가연분과 선별토사에 대하여 폐기물공정시험법에 따라 삼성분 분석을 실시하였으며,⁵⁾ 원소분석기(Vario, EL)를 이용하여 원소분석도 실시하였다. 선별쓰레기와 선별토사의 중금속 용출특성은 폐기물공정시험법의 용출시험방법에 따라 분석하였다.⁵⁾

매립지가스는 휴대용 가스분석기(GA-94, Geotechnical Instrument)를 이용하여 매립지내 매설된 유공관을 통하여 발생하는 메탄, 이산화탄소, 산소, 질소, 그리고 황화수소 농도를 현장에서 직접 측정하였다. 암모니아는 휴대용 암모니아 분석기(F-0108-E, SENSIDYNE)를 이용하여 분석하였다.

매립지가스 중에 포함된 BTEX는 핸드샘플러를 이용하여 활성탄칼럼(SK, Cat No. 226-01)에 흡착시킨 후 용매(methylene chloride)로 탈착시켜 가스크로마토그래프(Hewlett Packard 5890 Series II)를 이용하여 분석하였다. 악취는 Kalmor-Σ(Kalmor)를 이용하여 측정하였다. Kalmor-Σ는 관능법에 의한 악취측정치를 기계화한 것으로서 관능법 1, 2, 3, 4, 5도는 각각 100, 200, 300, 400 그리고 500이상의 수치로 기록된다. 침출수 및 하천수의 중금속농도는 폐기물공정시험법에 따라 분석하였다. 침출수 및 하천수의 BTEX는 헥산을 넣어 추출한 후 가스크로마토그래프로 분석하였다. COD_{Cr}과 BOD₅는 standard method에 따라서 분석하였으며, SS 및 T-P는 수질오염공정시험법에 따라서 분석하였다.^{6,7)} TOC는 TOC-analyzer (TOC-5000, Shimadzu)를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 굴착폐기물의 물리화학적 특성

1) 겉보기밀도 및 물리적 조성

굴착폐기물(선별쓰레기 + 선별토사)의 겉보기밀도는 약 $556\text{kg}/\text{m}^3$ 으로 1995-1996년 사이에 측정된 U시의 생활폐기물 겉보기밀도인 $205\sim 250\text{kg}/\text{m}^3$ 보다 약 2배 이상 높았다.⁸⁾ 굴착폐기물의 겉보기밀도가 이처럼 높은 이유는 생활폐기물과는 달리 겉보기밀도가 높은 선별토사가 59.1%로 절반 이상을 차지하고 있기 때문이다.

매립지를 굴착하는 경우 선별쓰레기와 토사의 비는 매립되는 폐기물의 형태, 매립기간, 안정화 정도, 일일복토의 종류와 양, 선별방법 등에 따라 달라질 수 있으며, 매립종료 후 경과기간이 길수록 토사의 비율이 높아진다.⁹⁾ 본 연구대상 매립지의 경우, 선별토사가 평균 59.1%(질량비)로 전체의 절반 이상을 차지하였다. 상대적으로 짧은 매립경과기간(약 6년)에도 불구하고 연구대상 매립지의 토사함량이 이처럼 높은 이유는

음식류 등 분해용이한 성분들의 빠른 분해와 함께 연탄재 등과 같은 토사성 물질들이 함께 매립되었기 때문에 판단된다. 따라서 본 연구대상 매립지의 경우에도 선별쓰레기와 선별토사의 비율로만 살펴보면 상대적으로 안정화가 많이 진행된 상태임을 알 수 있다.

선별토사를 제외한 선별쓰레기는 가연분이 91.0%, 비가연분이 9.0%이었다 (Table 1). 가연분의 경우 비닐류(49.4%)가 대부분을 차지하고 있었으며 비가연분의 경우에는 유리 및 도자기류(4.6%)가 상대적으로 높게 나타났다. 선별쓰레기의 가연분과 비가연분 함량은 1995-1996년 사이에 발생한 U시의 생활쓰레기 가연분(93.8%) 및 비가연분(6.2%) 함량과 큰 차이가

없었다.⁹⁾ 그러나 선별쓰레기의 세부 조성들을 살펴보면 난분해성인 비닐류(49.4%)로 대부분을 차지하였으나 U시의 생활쓰레기는 분해되기 쉬운 성분인 음식류(54.0%)가 대부분을 차지하고 있어 조성별로는 큰 차이를 보였다.⁸⁾ 이를 매립 후 15년이 경과된 난지하수처리장 확장부지(가연분 : 92%, 비가연분 : 8.0%)와 20년이 경과된 중랑하수처리장 확장부지(가연분 : 96.8%, 비가연분 : 3.2%) 등 기존에 굴착된 매립지들과 비교해보면 큰 차이를 보이지 않았으며 조성별로도 큰 차이가 없었다.¹⁰⁾ 따라서 분해가 용이한 성분이 거의 없는 본 연구대상 매립지가 앞으로 활발한 분해활동을 보이지는 않을 것으로 판단된다.

Table 1. Physical composition of separated wastes (% , wet weight basis)

Component	This study	U city ⁹⁾	Jungrang ¹⁰⁾	Nanji ¹⁰⁾	
Combustible	Food waste	6.1	54.0	-	-
	Papers	15.9	27.8	-	-
	Plastics	49.4	10.0	45.2	51.6
	Textiles	13.2	1.5	31.0	24.1
	Wood	3.7	-	12.6	9.0
	Leather/rubber	2.7	0.5	8.0	7.3
	Subtotal	91.0	93.8	96.8	92.0
Non-combustible	Metal	4.4	2.0	0.1	3.9
	Glass/ceramic	4.6	2.1	3.1	4.1
	Briquet ash	-	2.1	-	-
	Subtotal	9.0	6.2	3.3	8.1
Total	100	100	100	100	

2) 삼성분 분석

가연분 선별쓰레기의 삼성분을 분석한 결과 수분함량, 유기물함량, 그리고 재함량이 각각 28.1%, 57.9% 그리고 14.0%이었다 (Table 2).

이처럼 유기물함량이 50% 이상 높게 나타난 것이 생물학적으로 분해 용이한 성분들이 아직 많이 남아있다는 것을 의미하는 것은 아니다.

Table 2. Results of moisture, volatile solids, and ash analysis

Sample	Wet weight basis(%)			Dry weight basis(%)	
	moisture	volatile solids	ash	volatile solids	ash
Separated waste*	28.1	57.9	14.0	80.5	19.5
Separated soil	25.4	3.5	71.1	4.7	95.3

* Only combustible

즉, 물리적 조성 분석결과에서도 나타난 것처럼 가연분의 50% 이상이 난분해성인 비닐류 및 섬유류로 추가적인 분해가능성은 높지 않은 것으로 판단된다 (Table 1). 선별토사의 유기물함량(3.5%)은 일반 토양의 유기물함량(3-6%)과 유사하였다.¹¹⁾

3) 원소분석 및 발열량

가연분 선별쓰레기의 원소분석결과 탄소 51.06%, 수소 6.11%, 산소 20.19%, 질소 2.92%, 그리고 황은 0.32%이었다. 원소분석결과를 기초로 Dulong식을 이용하여 계산된 건조고위발열량은 5,370kcal/kg이었으며, 습윤고위발열량은 3,861kcal/kg, 습윤저위발열량은 3,470kcal/kg, 그리고 가연분건조고위발열량은 6,668kcal/kg이었다. 선별쓰레기(3,470kcal/kg)를 U시 생활쓰레기(1,533kcal/kg) 및 서울시 서부지역 생활쓰레기(1,577kcal/kg) 등의 습윤저위발열량과 비교해보면 선별쓰레기의 경우가 2배 이상 높았다.⁸⁻¹³⁾ 이는 선별쓰레기의 경우 발열량이 낮은 음식물류가 상대적으로 적게 포함되어 있고 발열량이 높은 비닐류가 상대적으로 많이 포함되어 있기 때문이다 (Table 1). 따라서 선별쓰레기를 소각장에서 소각하는 경우 발열량에 의한 문제는 없는 것으로 판단된다.

4) 용출시험 및 전량시험

선별쓰레기와 선별토사에 대한 용출시험 및 전량시험 결과는 Table 3에 나타내었다. 선별쓰레기와 선별토사의 중금속 용출시험 결과는 두 시료 모두 기준치보다 낮은 값을 나타내었으며 TCE와 TeCE는 모두 불검출되어 일반폐기물로 판정되었다. 따라서 선별쓰레기는 인근의 생활폐기물 매립지에 재매립하거나 소각장에서 소각이 가능하였으며, 선별토사는 인근 매립지의 복토재로 재이용하거나 굴착된 매립지의 복구에 사용이 가능하였다. 선별쓰레기와 선별토사에 대한 중금속 전량시험 결과에 따르면 선별쓰레기가 납을 제외한 나머지 중금속항목에서 선별토사에 비하여 높게 나타났다. 선별쓰레기는 아연이 상대적으로 다른 중금속에 비하여 높게 나타났으며 선별토사는 납이 상대적으로 높게 나타났다. 중량하수처리장 확장부지의 선별토사의 경우 납 90mg/kg, 구리 124mg/kg, 아연 142mg/kg, 그리고 니켈이 13mg/kg으로 본 연구대상 매립지의 선별토사가 훨씬 낮은 결과를 나타내었다.¹²⁾ 우리나라에는 현재 전량시험에 의한 중금속 규제기준이 없는 상태이기 때문에 참고로 미국 캘리포니아주의 중금속 규제농도와 비교해 보아도 본 연구대상 선별토사는 모두 기준치 이내인 것으로 나타났다.¹⁴⁾

Table 3. Results of Korea extraction test and total heavy metal content analysis in landfill-mined wastes

	Test method	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Cd	CN	TCE	TeCE
Extraction (mg/L)	Standard*	3.0	-	3.0	-	1.5	0.3	1.0	0.3	0.1
	Separated waste	0.04	ND	0.09	0.03	0.01	ND	ND	ND	ND
	Separated soil	0.10	ND	0.02	0.05	0.04	ND	ND	ND	ND
Total (mg/kg)	Standard**	1,000	2,500	250	2,000	2,500	100	-	-	-
	Separated waste	49.4	72.7	47.3	10.7	26.4	ND	-	-	-
	Separated soil	68.76	39.85	31.49	7.24	8.74	ND	-	-	-

* Standard of Korean standard leaching test, ND : not detected,

** Standard of total heavy metal test of California State, wet weight basis(mg/kg)

2. 매립지가스

Table 4는 연구대상 매립지에서 측정된 매립지가스 농도를 나타낸 것이다. 혐기성분해가 활발하게 이루어지고 있는 매립지에서의 전형적인 메탄(55%)과 이산화탄소(45%)의 비와는 달리 본 연구대상 매립지에서는 메탄과 이산화탄소가 각각 31.65%와 17.85%이었으며, 산소(9.0%)와 질소(41.5%)도 높은 농도로 검출되었다. 질소와 산소가 이처럼 높게 검출되는 이유는 매립고가 약 3.23m로 낮아 외부공기가 매립지 내부로 유입되고 있기 때문인 것으로 판단된다.

매립지가스 중에 포함되어 있는 BTEX는 벤젠이 0.12-0.20mg/m³, 톨루엔이 ND-0.13mg/m³, 에틸벤젠이 0.08-4.31mg/m³, 그리고 자일렌이 ND-0.12mg/m³이었다. 이것은 난지도 쓰레기 매립장의 벤젠(6.8±2.5mg/m³), 톨루엔(18.1±6.7mg/m³), 에틸벤젠(11.9±5.1mg/m³), 그리고 자일렌(7.5±2.3mg/m³) 농도에 비하여 매우 낮았다.¹⁵⁾ 뿐만 아니라 난지도 쓰레기 매립장의 경우 악취유발물질로 알려져 있는 황화수소(0.07ppm)와 암모니아(28ppm)가 비교적 높게 나타났으나 본 연구대상 매립지에서는 검출되지 않았다.¹⁵⁾

Table 4. Generation characteristics of LFG at the old landfill site (unit: %)

Site	CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂	H ₂ S(ppm)	NH ₃ (ppm)
This study	31.65	17.85	9.00	41.50	ND*	ND
Nanjido	55.70	41.10	0.08	0.31	0.07	28.80

* Not detected

3. 침출수 및 인근 하천수 수질

침출수의 수질을 분석한 결과 COD_{cr}(1,055~2,058mg/l), BOD₅(675~1,087mg/l), TOC(6,452~10,830mg/l) 등 유기물함량은 매립경과기간이 유사한 전주시 택지개발지구내 매립지(매립경과기간 : 약 4년) 보다 높았다 (Table 5).¹⁶⁾ 암모니아성 질소의 농도 역시 629~3,725mg/L로 전주시 택지개발지구내 매립지에 비하여 높게 나타났다.¹⁶⁾ 그러나 매립지가스에서는 검출되던 BTEX의 경우 침출수에서는 검출되지 않았으며 중금속의 경우에도 특별히 높은 수준을 나타내지는 않았다.

하천수 수질의 경우 용존산소와 pH는 지점별로 큰 차이가 없었다 (Table 6). BOD₅는 전 지점이 1.93~6.71mg/l로 공업용수 2급 및 농업용수로 사용하는데 적합한 IV등급(기준 : 8mg/l

이하)에 해당하는 수질을 나타내었다. SS는 매립지 주변에서 부지조성공사를 하면서 유입된 토사의 영향으로 불규칙적으로 급등하기도 하였으나 모든 지점에서 0.04mg/l 이하로 매우 낮은 수준이었다. 특히, 모든 수질분석 항목들이 매립지 상류 지점 및 매립지와 접하는 지점에서 측정된 결과들과 큰 차이가 없었으며 중금속의 경우 우리 나라 하천수 수질기준을 모두 만족시키고 있어 특별한 문제는 없는 것으로 판단되었다. 따라서 유기물항목 및 중금속항목 등 하천수의 수질분석 결과를 종합해보면 침출수의 유입으로 두 하천이 오염되지 않고 있는 것으로 판단된다.

4. 굴착폐기물의 생물학적 안정화정도

굴착폐기물의 생물학적 안정화정도는 발생하는 이산화탄소의 농도변화와 용출액의 COD_{cr}

농도변화로 판단하였다. 굴착폐기물의 조성은 생물학적으로 분해가 불가능한 토사 및 난분해성인 비닐류가 대부분을 차지하고 있으며 분해 용이한 음식류 등의 유기물 비율이 매우 낮은 상태이다 (Table 1). Fig. 3에서 보는 바와 같이 공기공급방식에 상관없이 이산화탄소의 최대 발생농도는 4-5% 내외로 발생된 후 지속적인 분해활동 없이 급격히 감소되는 경향을 보이고 있다. 굴착폐기물의 실험전후의 물용출 COD_{cr}를 비교해본 결과에 따르면 연속공급의 경우 1,840mg/l에서 1,100mg/l로 감소되었으며 간헐공급의 경우에는 1,720mg/l에서 1,080mg/l로 감소되어 큰 차이를 보이지 않았다. 이산화탄소가 짧은 기간 동안이나마 비교적 높은 농도로 발생된 이유는 용출가능한 유기물들이 분해되었기 때문으로 판단된다. 다시 말하면 굴착폐기물에 포함되어 있는 용출가능한 유기물들이 최적의 공기공급량(0.075m³/m³(굴착폐기물)·min)

및 함수율(70%) 상태에서 단기간 내에 급격히 분해되면서 비교적 높은 농도의 이산화탄소가 발생된 것이다. 따라서 함수율이 25% 내외로 매우 낮고 공기공급이 원활하지 않은 연구대상 매립지에서는 실내실험 결과와 유사한 급격한 분해반응이 일어나지는 않을 것으로 판단된다.

Kalmor-Σ를 이용하여 실험초기에 측정된 약취는 연속공급과 간헐공급 모두 200을 나타내었다. 실험시작 후 11일째 되는 날 측정된 약취는 연속공급은 30-40, 간헐공급은 40-50 사이의 값을 나타내어 상당한 감소를 보였다. Kalmor-Σ를 측정된 값이 200인 경우 직접관능 범으로는 무슨 냄새인지 구분할 수 있을 정도인 보통취기에 해당하는 2도에 해당한다. 따라서 대상 매립지에 대한 굴착사업(landfill mining)을 수행하기 전에 약 10일 정도 공기를 공급해준 후 굴착을 실시하면 약취로 인한 민원이 발생되지 않을 것으로 예상된다.

Table 5. Water quality characteristics of leachate generated from the old landfill site (unit: mg/l)

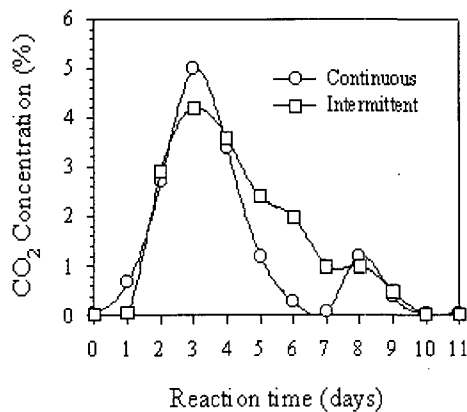
Items	This study	J city ¹⁶⁾
COD _{cr}	1,055~2,058	337.6~569.5
BOD ₅	675~1,087	101.3~184.3
TOC	6,452~10,830	-
T-P	0.25~1.90	0.245~8.614
TKN	746~4,430	-
NH ₃ -N	629~3,725	5.024~13.642
SS	2.00~8.47	342~354
pH	6.42~7.04	7.1~7.4
BTEX	ND	-
Pb	1.54~2.70	ND
Cu	0.07~0.92	0.206~0.351
Cd	ND	ND
Cr	ND~3.26	0.02~0.05
Zn	0.91~5.54	1.105~2.008
Ni	0.16~1.01	-

ND : Not detected

Table 6. Water quality characteristics of two streams near the landfill site (unit: mg/ℓ)

Items	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
COD _{cr}	2.43	2.40	7.33	3.00	3.45	3.02
BOD ₅	1.93	1.88	6.71	2.85	3.44	2.87
TOC	7.70	9.82	11.15	9.34	11.47	8.19
T-P	0.08	0.04	0.61	0.19	0.37	0.26
TKN	3.94	11.24	8.62	15.79	14.28	15.00
NH ₃ -N	3.80	10.79	7.49	15.05	13.42	13.33
SS	0.01	0.01	0.04	0.03	0.04	0.02
pH	6.80	6.93	7.17	7.03	7.15	7.20
DO	11.93	12.20	9.80	10.00	10.40	11.00
BTEX	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pb	0.0028	0.0030	0.0012	0.0026	0.0042	0.0040
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu	0.0033	0.0084	0.0035	0.0030	0.0054	0.0037
Zn	0.0497	0.0978	0.0189	0.0352	0.0522	0.0423
Ni	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cr	0.0068	ND	ND	ND	ND	0.0023

ND : Not detected

**Fig. 3.** Variation of CO₂ concentration by reaction times in each aeration mode.

IV. 결 론

택지개발지구 내에 위치하고 있는 불량매립지로 부터 굴착된 폐기물에 대한 물리적 조성, 삼성분,

그리고 원소분석 등에 대한 조사결과와 매립가스, 침출수, 그리고 주변 하천의 수질분석 결과 그리고 굴착폐기물의 생물학적 분해가능성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 굴착된 폐기물은 선별쓰레기 40.9%와 선별토사 59.1%로 구성되어 있었다. 선별쓰레기의 대부분은 가연분(91.0%)으로 구성되어 있었으며 가연분의 대부분은 비닐류(49.4%)와 같은 난분해성 물질들로 구성되어 있어 추가적인 분해가능성은 낮았다.
2. 삼성분 분석결과에 따르면 가연분 선별쓰레기는 수분함량, 유기물함량, 그리고 재함량이 각각 28.1%, 57.9%, 그리고 14.0%로 나타났으며, 선별토사는 각각 25.4%, 3.5%, 그리고 71.1%로 나타났다.
3. 가연분 선별쓰레기의 습윤저위발열량은 3,470 kcal/kg으로 동일 지역 또는 다른 지역의 생활폐기물에 비하여 매우 높은 결과를 나타내어 선별쓰레기를 소각처리하는 경우 발열량의

- 부족으로 인한 보조연료의 사용가능성이 상대적으로 매우 낮았다.
4. 선별쓰레기와 선별토사에 대한 용출시험 및 전량시험 결과에 따르면 두 경우 모두 일반폐기물로 판정되었다. 따라서 선별쓰레기의 경우 인근 매립지 등에 재매립이 가능하였으며 선별토사의 경우 유기물함량이 3.5%로 일반토양과 유사한 수준을 나타내어 복토재로 재이용이 가능하였다.
 5. 매립지가스를 분석한 결과 메탄(31.65%)은 낮은 농도로, 산소(9.0%)는 높은 농도로 검출되었다. 그리고 BTEX의 경우 매우 낮은 농도를 나타내었으며 특히 악취를 유발하는 황화수소와 암모니아는 검출되지 않았다. 따라서 매립지를 재이용하기 위하여 굴착(landfill mining)하는 경우에 악취로 인한 민원이 발생할 가능성이 상대적으로 낮았다.
 6. 인근 하천수의 수질분석 결과에 따르면 하천수는 공업용수 2급 및 농업용수로의 사용이 적합한 IV등급에 해당하는 수질을 나타내었으며 침출수의 유입에 의한 직접적인 오염 가능성을 확인할 수 없었다.
 7. 연구대상 매립지는 분해용이한 유기물들의 분해는 거의 완결된 상태로 나타났으며 매립층에 공기공급을 통한 호기성 분해를 유도하는 경우 단기간에 걸친 추가적인 분해를 제외하고는 생물학적 분해반응이 일어날 가능성은 거의 없었다.
- 참고문헌**
1. 환경부 : 사용종료매립지 실태조사 결과 및 지하수 오염방지 대책. 1997.
 2. David, D.V. and Roger, B. : Environmental monitoring and observations before and during excavation of a landfill in Owatona. Minnesota, geotechnical practice for waste disposal. Processing of Geotechnical Engineering Conference, 833-845, 1987.
 3. U.S. EPA : Evaluation of the collier county. Florida landfill mining demonstration, 1993.
 4. Fuller, W.H. and Warrick, A.W. : Soils in waste treatment & utilization. Vol. 1, CRC Press Inc., 1985.
 5. 환경부 : 폐기물공정시험법. 1995.
 6. APHA, AWWA, WPCF : Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 18th ed., 1992.
 7. 환경부 : 수질오염공정시험법. 1995.
 8. 금호엔지니어링주식회사 : 의정부시 폐기물 소각시설 건설사업 타당성조사 중 쓰레기 성상조사. 1996.
 9. Krogmann, U. and Qu, M. : Landfill mining in the United States. Proceedings of Sardinia 97, 6th International Landfill Symposium, 543-552, 1997.
 10. 남궁완, 인병훈, 황의영, 이노섭, 김정대, 박준석 : 폐기물매립지 선별쓰레기의 물리화학적 특성 및 야적시 환경영향. 한국폐기물학회지, 16(5), 518-525, 1999.
 11. Alexander, M. : Introduction to Soil Microbiology. John Wiley & Sons Inc., 1977.
 12. 남궁완, 최정영, 황의영 : 폐기물 매립지 굴착토양의 재활용을 위한 타당성조사 연구. 한국폐기물학회지, 12(5), 638-643, 1995.
 13. 이승희, 민달기 : 서울 서부지역 생활폐기물의 물리·화학적 특성에 관한 연구. 한국폐기물학회지, 17(5), 537-542, 2000.
 14. Kornberg, J.F., Von Stein E.L. and Savage G.M. : Landfill mining in the Unites State : An analysis of current projects. Proceedings of Sardinia 93, 4th International Landfill Symposium, 1555-1561, 1993.
 15. 삼성물산주식회사 : 폐기물매립지 악취안정화를 위한 공정개발. 1996.
 16. 한국토지개발공사 : 전주시 서곡택지개발사업지구내 매립쓰레기 처리대책보고서. 1994.