

선별이적처리를 통한 사용종료 비위생매립지 정비방안 연구

Reclamation of Closed Non-Sanitary Landfills by Sorting Transfer Control

김 동 오¹⁾ · 김 태 경²⁾ · 김 미 화³⁾ · 김 문 일[†]

Kim, Dongoh · Kim, Taekyoung · Kim, Mihwa · Kim, Moonil

ABSTRACT : The aim of this study was an evaluation of closed non-sanitary landfill's stabilization degree and a determination of its an optimal reclamation method. In order to evaluate the stabilization degree, physical compositions of landfill wastes in 21 closed non-sanitary landfills were analyzed. There were 4 major items such as cover soils, organics, combustibles and incombustibles. With respect to the results of physical compositions, it was determined that the waste in 9 sampling sites of closed non-sanitary landfills after 10years of the relief time was not fully stabilized. The closed non-sanitary landfills must be reclaimed as soon as possible. The main material in closed non-sanitary landfills was cover soils and the highest content was 89.96%. Otherwise, the contents in sanitary landfills was small and 9.89~11.12%. Therefore, it was evaluated that the recovered soil by sorting transfer treatment could be reused as on-site cover soils of the reclaiming non-sanitary landfills and/or constructing materials.

Keywords : Non-sanitary landfill, Optimal reclamation method, Relief time, Sorting transfer treatment

요 지 : 본 연구의 목적은 사용종료 비위생매립지의 안정화 정도를 평가하고 안정화되지 않은 사용종료 매립지의 재정비 방안을 도출하는데 있다. 안정화 정도는 기존 사용종료 비위생매립지 21개소의 매립폐기물 시료를 채취하여 그 성상을 분석하여 평가하였다. 물리적 성상으로는 토사, 유기물, 가연성 및 불연성으로 분석하였다. 그 결과 매립폐기물 시료를 채취한 9개소의 비위생매립지는 사용종료 후 10년 이상 경과되었음에도 완전한 안정화가 이루어지지 않았으며, 사용종료 비위생매립지의 재정비가 시급함을 알 수 있었다. 비위생매립지의 물리적 성상중 토사 함량이 높았으며 가장 높은 함량은 89.96%이었다. 이와는 달리 위생매립지의 경우는 9.89~11.12%로 토사함량이 낮았다. 따라서 선별이적처리에 의해 회수된 토사는 재정비를 해야하는 비위생매립지의 복토재나 건설재료로의 재활용할 수 있을 것으로 평가되었다.

주요어 : 비위생매립지, 매립폐기물, 사용종료 경과년수, 선별이적처리

1. 서 론

우리나라는 폐기물처리를 지나치게 매립에 의존한 결과 소규모 비위생매립지가 다량으로 건설되었고, 이로 인한 환경오염 발생과 오염된 지역의 토양 처리비용을 증가시키는 사회문제를 유발하게 되었다. 폐기물매립지는 ‘폐기물관리법’ 제 50조의 규정에 의한 환경부령에 준하여 매립장이 종료된 후 20년간 사후관리를 하도록 되어 있다. 그러나 매립이 종료되고 경과년수가 20년이 지난 현 시점에도 안정화가 진행되고 있는 곳도 있어 추가적으로 장기간 사후관리를 해야 하는 곳이 나타나고 있다.

매립지의 안정화는 매립된 폐기물의 구조적 안정화와 생물·화학적 안정화로 구분할 수 있다. 매립된 폐기물 중 유기물과 같은 분해성 폐기물은 생물학적 작용에 의해 분해되어 무기화되는 과정에 CH₄가스를 발생하고 부피가 감소된다. 그 외의 폐기물은 물리화학적 작용에 의해 압축,

분해, 열화되어 최종적으로 일반토양과 같은 안정적인 구조를 가진 물질로 환원되는 것을 말한다. 동시에 이 작용에 의해 폐기물의 재료적인 강도도 작아져 압축 및 침하가 일어나 구조적으로 안정하게 되는 것이다. 이러한 매립 폐기물의 안정화 단계는 일반적으로 침출수나 매립가스를 정화하는 등의 매립지 유지관리를 하지 않아도 환경에 미치는 영향을 무시할 수 있는 1단계, 땅속에 머물러 있는 한 외부에 영향을 미치는 변화를 일으키지 않는 상태의 2단계, 폐기물을 굴착해 대기나 강우에 노출시켜도 환경에 영향을 미칠 수 있는 변화가 일어나지 않는 토양환원상태와 같이 3단계로 구분된다.

그러나 과학기술의 발전과 더불어 매립되는 폐기물의 질 또한 악화되어 유기물이라 할지라도 난분해성 물질이 대부분을 차지하고 있어 매립되어 안정화되기까지 수백 년 가까운 기간이 소요되며, 동시에 환경보전 비용도 많이 소요되어 3단계의 안정화까지 도달하기는 거의 불가능한

1) 비회원, (주)포스벨

2) 비회원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

3) 비회원, 한양대학교 토목공학과 Post-Doc

† 정회원, 한양대학교 공학대학 건설환경시스템공학전공 조교수(E-mail : moonilkim@hanyang.ac.kr)

실정이다. 따라서 폐기물 매립지 안정화 촉진 또는 조기 안정화기술은 주로 1~2단계의 목표를 달성하는데 초점을 맞추고 있다(한정현, 2004). 2002년 5월 기준으로 국내 사용종료 매립지는 1,170개소로 면적으로는 17,929천m², 매립된 폐기물량은 173,637천ton으로 조사되었으며, 이들 매립지 중 일부는 환경오염을 야기할 수 있는 불량 매립지로 재정비가 시급한 실정이다(표 1). 지하수 수질검사를 실시한 곳은 182개소로 사용종료 매립지의 15.6%에 해당하며, 66.5%인 778개소가 미승인 매립지이었다. 침출수 처리 시설을 갖추고 있는 매립지는 226개소, 19.3%로 매우 낮은 수치이다(양정화, 2002).

사용종료 매립지 정비방법은 환경부(2001)의 사용종료 매립지 정비지침에 의하며 안정화되지 않은 매립폐기물 처리는 현지안정화 방법과 굴착·선별이적 처리방법으로 정비하며 정비방법은 현장조사 및 상부토지이용계획 등을 고려하여 선정한다. 이중 현지안정화 방법은 타지역으로의

오염 확산을 방지하는 것을 최우선 목표로 하는 것으로 침출수의 발생을 근원적으로 저감하기 위하여 매립지 상부 capping과 발생된 침출수가 주변의 토양 및 지하수 등으로 유출되는 것을 방지하기 위한 차단기술을 적용하여 정비한다(최재규, 2004). 현지안정화의 경우, 침출수 차집시설(표 2)과 가스포집시설 등 사후관리시설을 설치하여 발생된 침출수나 가스 등을 지속적으로 포집하여 오염지역에서 제거함과 동시에 그 발생량을 지속적으로 모니터링하여야 한다. 현지안정화 방법의 경우 안정화를 진행하는 동안 매립지상부를 공원이나 녹지 등으로 이용할 수 있으나 안정화 될 때까지 매립지의 구조적 불안정이 지속되므로 이에 대한 대비 또한 해야 된다.

선별이적처리는 Landfill Mining Technology라고 불리는 것으로 국내·외에서 가장 많이 사용하는 방법 중 하나로 매립폐기물 선별 시 선별토양의 안정화 처리에 관하여 많은 연구가 되어 있는 처리방법이다(한국건설기술연구원, 2006).

표 1. 국내 사용종료 생활폐기물 매립지 현황(양정화, 2002)

국내 사용종료 생활폐기물 매립지 현황				
매립지수	규모		설치 승인 여부	
	1만m ² 이상	1만m ² 미만	승인	미승인
1,170개소	221개소	949개소	294개소	778개소
침출수				
침출수 발생량(m ³ /day)		침출수 처리방식		
7,048	매립지수	47개소	176개소	9개소
	처리량	3,626m ³ /day	3,156m ³ /day	266m ³ /day
매립지 사용종료 경과년수				
5년 미만	5~10년	10~15년	15년 이상	
325개소	378개소	332개소	135개소	
토지이용실태				
택지	공장등	농경지등	나대지등	기타
85개소	136개소	394개소	465개소	90개소

표 2. 침출수차단용 연직차수 방식 비교(민영준, 2006)

구분	타입식벽	주입식벽	굴착후 채움식벽	주열식혼합공법 (심층혼합교반공법)
개요	강재나 콘크리트 재료를 지반속에 강제타입하여 연속벽체 형성	지반내 침출수를 차단하기 위하여 그라우팅으로 벽체 형성	지반을 종방향으로 깊게 굴착하고 굴착공간에 뒷채움하여 연속벽체 형성	Pile drive를 이용 개랑제와 지반을 교반하여 벽체 형성
시공법				
종류	시트 파일	그라우팅	슬러리 월, IMAX	AIG, DWM, IBF, MBS
적용성	토사지반 적용 용이	암반 적용 용이	굳은 지반 적용 용이	연약지반 적용 용이

장기간에 걸쳐 안정화되지 않은 매립폐기물 중 난분해성 폐기물을 선별하여 소각, 재활용 등을 통해 처리하여 안정화가 느린 매립부지의 이용가치를 높여 주는 방법이다. 국내에 상용화되어 적용되는 선별기기로는 디스크스크린, 진동스크린, 1단 회전스크린, 2단 역회전스크린 및 트롬멜 스크린이 있다. 한국토지공사(2006)에 의하면 이중 망 막힘 방지칼날이 부착된 트롬멜 스크린의 선별효율이 95%이상으로 다른 선별장치의 선별효율 50~70%와 차이를 보이고 있다(표 3).

본 연구의 목적은 사용종료된 비위생매립지의 매립경과 연수에 따른 매립폐기물의 물리적 조성 및 안정화 정도를 평가하고, 각 사용종료 매립지의 특성에 따른 정비방법을 도출하는 데 있다. 또한 사용종료 비위생매립지와 위생매립지의 매립폐기물 성상 비교에 의하여 안정화를 최적화하고 회수된 토사의 재이용성을 비교하여 사용종료 비위생매립지의 적정 정비방안을 제시하고자 한다.

2. 연구재료 및 방법

2.1 조사대상 매립지 선정

사용종료 비위생매립지의 정비 사업을 위해 정밀조사, 기본계획 및 타당성조사, 기본 및 실시설계 등과 같이 시공 중에 있는 비위생매립지를 사용종료 기간에 따라 구분하고, 총 21개소를 조사대상지역으로 선정하여 매립 폐기물을 분석하였다. 비위생매립지의 안정화정도를 비교하기 위해 위생매립지 2곳을 선정하여 성상분석을 실시하였다(표 4).

그림 1은 선별이적처리를 이용하여 사용종료된 매립지의 안정화되지 않은 매립폐기물을 선별하는 공정을 보여 주고 있다. 안정화되지 않은 사용종료 매립지의 매립폐기물은 가연성, 무기물, 토사 등으로 구분하여 가연성분의 경우 소각처리로 대부분 처리한다. 무기물 중 철, 알루미늄 등과 같은 유용자원은 선별분리하여 재이용하며 복토재로 사용된 토사의 경우 이물질을 제외하고 간단한 처리를 거쳐 토목공사장의 되메움 토사나 인근 매립지의 복토

표 3. 매립폐기물을 선별하여 토사분리에 사용되는 장치 예(한국토지공사, 2006)

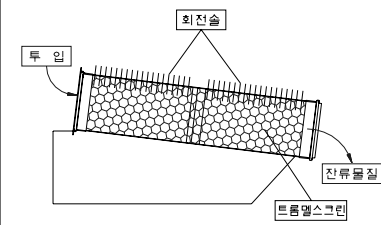
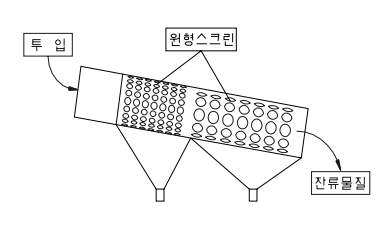
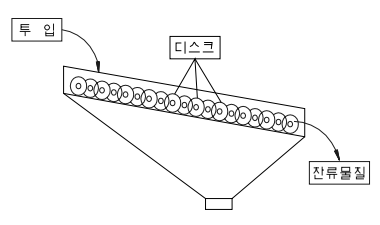
구 분	칼날 및 회전솔 부착 트롬멜스크린	버너 및 에어노즐 (열풍) 부착 원형스크린	디스크 스크린
개 요	• 스크린 막힘 방지 칼날 스크린이회전하면서 타공망을 긁어주고 회전솔이 망 막힘을 풀어줌	• 원통스크린에 망 막힘 방지 화염버너 및 에어노즐 장치를 장착	• 회전하는 개별 원판들로 구성되어 원판사이로 선별
개념도			
장 점	• 고효수율 폐기물 선별 효율 우수 • 토사 회수율 매우 높음(95%이상)	• 건설폐기물 등 함유율이 높지 않은 토사선별시 유리	• 자가 청소능력, 원판 간격조절가능 • 작업속도 빠르고 장비 규모 작음
단 점	• 기계장치가 고가임	• 스크린 막힘으로 선별효율 저하 • 화염 및 2차 환경오염 유발	• 현 장적용 경험이 적음 • 함유율 높은 폐기물 선별효율 낮음

표 4. 조사대상매립지 현황

구 분	소재지	종 류	경과 년수	조사 횟수	구 분	소재지	종 류	경과 년수	조사 횟수
칠곡왜관	경북 칠곡군	비위생	10	5	전주서부신시가	전북 전주시	비위생	17	1
방어	울산광역시	비위생	10	6	춘천근화	강원도 춘천시	비위생	18	4
금홍동	공주시	비위생	10	19	광명역세권 1공구	경기도 광명시	비위생	20	1
논현지구	인천광역시	비위생	10	2	광명역세권 2공구	경기도 광명시	비위생	20	3
만세교리	경기도 포천시	비위생	11	2	청라	인천광역시	비위생	20	8
신경	강원도 홍성군	비위생	11	2	파주운정	경기도 파주시	비위생	미상	3
영파1	전북 정읍시	비위생	11	4	하남풍산	경기도 하남시	비위생	미상	20
만홍동	전남 여주시	비위생	12	8	대전서남부	대전광역시	비위생	미상	9
금산	충남 금산시	비위생	15	6	미군부대	제7항공통신	비위생	미상	5
산동교	광주광역시	비위생	15	3	환희	충북 청원군	위생	7	1
천안신방	충남 천안시	비위생	16	6	서천군	충남 서천군	위생	6	4
전주하가	전북 전주시	비위생	17	5					

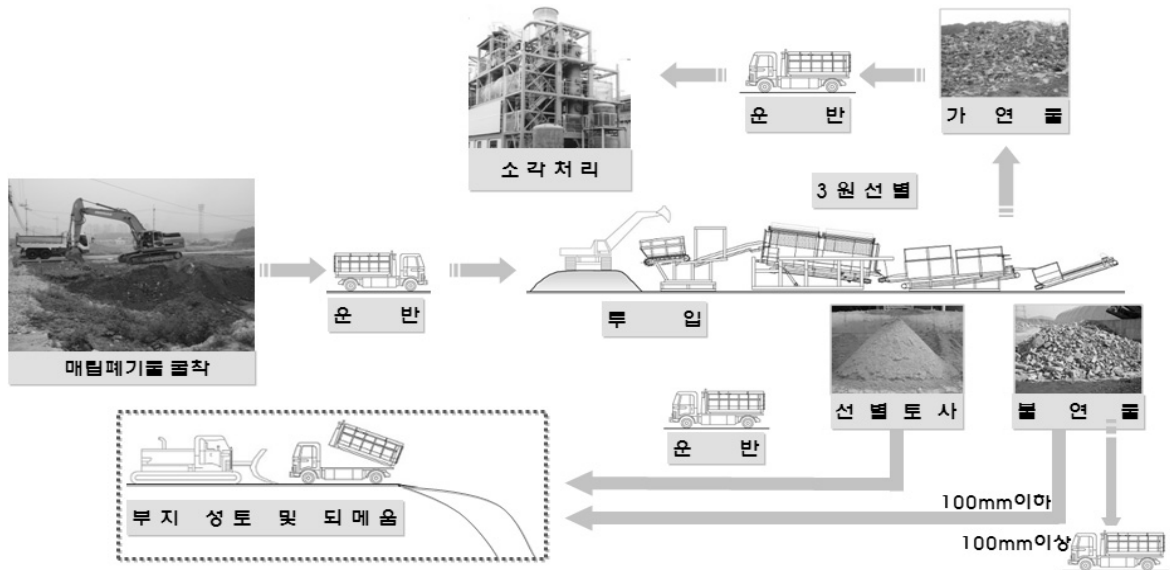


그림 1. 매립 폐기물 선별이적처리 공정도

재로 재사용하도록 한다.

2.2 조사 및 분석방법

표 4의 사용종료 비위생매립지 21개소의 매립폐기물을 굴착하여 시료를 채취하였다(그림 2). 폐기물은 가연성(음식물류, 종이류, 비닐/플라스틱류, 섬유류, 가죽/고무류, 기타 가연성물질)과 불연성(금속류, 유리/도자기류, 자갈, 기타 불연성물질)과 토사로 구분하여 분석하였다. 토사는 입경 35mm이하의 체분석에서 얻어진 무기물의 무게로 나타내었다. 사용종료기간과 매립지 안정화 정도를 평가하기 위하여 가연성과 불연성 폐기물로 구분하고 비교적 단시

간내에 분해가 이루어지는 음식물류 함량과 토사함량을 사용종료 경과년수별로 비교 분석하였다. 또한 매립폐기물에 함유된 중금속(Cu, Cr⁶⁺, Cd, Pb, Hg, As)을 공해공정시험법(용출법)에 의해 분석하였다.

2.3 사용종료 비위생 매립지 정비방안 검토

사용종료 비위생매립지를 정비하는 방법으로는 현지안정화와 굴착선별이적처리가 있으며, 기타 방법으로는 굴착이적처리가 있다. 이 두 가지 정비방법의 장단점을 분석하여 표 5에 비교하여 나타내었다(민영준, 2006). 본 연구에서 선정된 사용종료 비위생매립지의 매립폐기물의 물리적 성상



(a) 폐기물 굴착



(b) 매립폐기물 채취



(c) 무게 측정



(d) 물리적 성상분리



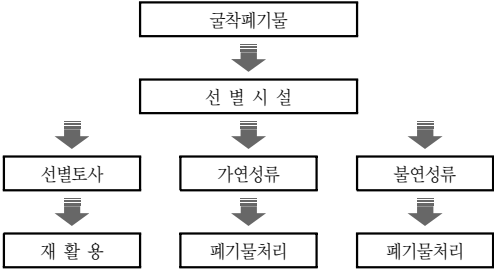
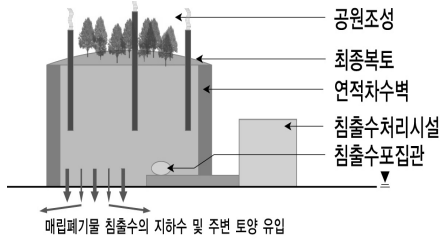
(e) 체분석(φ:35mm)에 의한 토사분리



(f) 성상별 무게 측정

그림 2. 매립폐기물 현장 성상조사 과정

표 5. 굴착선별과 현지안정화를 이용한 매립지 정비 장·단점

구 분	굴착선별	현지안정화
개 요	<ul style="list-style-type: none"> 현장에 국가신기술 선별기계장치를 설치 폐기물을 토사류, 가연성류, 불연성류, 철재류로 선별 분리 토사류 및 불연성류는 현장 성토재로 되메움 가연성류는 압축매립 또는 소각하는 정비 방법 	<ul style="list-style-type: none"> 매립지 외곽부분에 침출수가 매립지 밖으로 흘러나오지 못하도록 차수벽을 설치 매립지 상부에 가스포집시설과 상부차수시설을 설치 침출수가 매립지 외곽으로 흘러나오지 않게 하는 정비 방법
개념도		
특징	<ul style="list-style-type: none"> 환경오염원의 원천적 제거 : 폐기물을 선별하여 지속적인 악취, 침출수, 가스발생이 없는 오염 발생원의 원천적 제거 방법 전체 매립지 토지에 선별토사 재이용 : 건물 신축 가능 공사기간이 다소 길 : 선별기계 장치 추가 투입시 공기 단축 가능 폐기물 굴착에 따른 악취, 비산 등이 다소 발생 가능 : 악취 안정화 및 비산방지시설 설치 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 공사기간이 선별안정화에 비해 다소 짧음 공사 후에도 지속적인 지하수 오염 : 바닥으로 스며드는(수막) 침출수 차단 불가 악취, 인화성 가스의 지속적인 발생으로 폭발 위험 : 20년 동안 가스포집 및 연소시설 관리 필요 매립지 토지 이용도 제한 : 건축물 시설건립 불가, 공원화 가능하나 가스 배출구 및 침출수처리시설 준치로 미관 손상 사후관리비 과다 필요 : 과량의 침출수의 처리비용, 가스안전시설 비용 및 폐기물 관리비에 준하는 20년 사후관리비 지출
토지 활용	<ul style="list-style-type: none"> 정비된 전제지역 대지로 활용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 전체 면적 : 공원화, 근린체육시설, 수목지역 등

분석결과에 따라 표 5의 굴착선별이적처리와 현지안정화 방법 중 환경성, 경제성 및 재활용성을 고려하여 사용종료 비위생매립지 안정화를 위한 정비방안을 제시하고자 한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 사용종료 매립지의 매립폐기물 물리적 성상

표 6은 매립경과년수에 따른 사용종료 비위생매립지 21개소와 위생매립지 2개소의 물리적 성상 분석결과를 요약하여 나타낸 것이다. 사용종료 비위생매립지와 위생매립지의 가장 큰 차이점은 토사함량인 것으로 나타났다. 표 6에서 보는 바와 같이 위생매립지의 토사함량은 15%미만임에 불구하고 사용종료 비위생매립지의 경우 매립경과년수와는 상관없이 토사함량은 최소 27.20%에서 최대 89.96%로 매우 불규칙하며 높았다. 사용종료 비위생매립지의 경우 자갈함량 또한 논현(14.99%), 광명1(21.39%), 파주 운정(16.25%), 그리고 하남 풍산(28.53%)의 순으로 높게 나타났다. 토사와 자갈함량이 높은 비위생매립지의 경우 이 둘 성분을 분리 회수할 경우 복토재로의 재사용 또는 토목재활용 자재로 사용할 수 있을 것으로 판단되었다. 따라서 사용종료 비위생매립지를 정비하고자 하는 경우, 재활용

가능한 토사의 회수율을 증가시키고 분해되어 안정화되지 않은 유기물을 효율적으로 제거할 수 있는 방안이어야 함을 알 수 있었다.

사용종료 비위생매립지와는 달리 청원 환희와 서천군에 위치한 위생매립지에는 비닐/플라스틱 함량이 51.65%와 56.06%로 매우 높게 나타났다. 사용종료 비위생매립지 중 청라(23.61%), 칠곡 왜관(25.47%), 그리고 양전(34.40%)에서 비교적 높은 폐비닐 및 플라스틱 함량을 나타내었다. 사용종료된 매립지의 매립폐기물 중 폐비닐과 플라스틱의 경우 고발열 물질로서 분리 회수하여 열에너지로 회수할 수 있을 것으로 판단된다. 비위생 및 위생 매립지 몇 곳에서 음식물류가 검출되었는데 그 함량은 0.01~6.08%로 나타났으며 의외로 위생매립을 실시한 서천군에서 가장 높았다. 따라서 사용종료 비위생매립지 중 유기물 함량이 다소 높게 검출된 양전, 신방의 경우와 위생매립지인 서천군의 경우 매립지 안정화를 이루기 위해서는 전체적인 재정비가 필요한 것으로 판단된다.

그림 3은 사용종료 비위생매립지 중 21개소 및 위생매립지 2개소를 대상으로 각각 매립종료 이후 매립폐기물의 조사시점까지를 근거로 종료기간별로 구분하여 폐기물의 물리적 성상분석결과를 나타낸 것이다. 사용종료 비위생매립지와 위생매립지의 매립폐기물 중 가연성과 비가연성의 비

표 6. 사용종료 비위생 및 위생매립지의 물리적 성상 분석결과(weight, %)

지역	항목	음식 물류	종이류	섬유류	목초류	고무/ 피혁류	비닐/ 플라스틱	철 류	알루미늄	유리 (자기)	자 갈	토 사	비고
경과 년수 10 ~ 15년	칠곡 왜관	0.00	1.12	4.72	3.86	0.00	25.47	4.46	0.00	5.52	0.00	54.86	
	울산 방어	0.00	2.22	2.53	1.81	0.96	6.19	0.38	0.11	0.91	8.31	76.58	
	금홍	0.96	3.42	3.09	1.33	0.54	13.06	2.01	0.00	1.97	0.28	73.35	
	논현	0.00	0.00	0.00	1.12	0.00	2.30	0.15	0.00	0.00	14.99	81.44	
	만세 교리	0.00	0.00	5.54	7.63	2.75	3.38	0.00	0.00	0.30	0.00	80.39	
	신경	0.90	1.30	2.80	2.25	2.65	8.45	5.85	0.00	10.65	0.00	65.15	
	영파1	0.13	2.26	1.14	2.76	1.09	4.49	2.08	0.00	1.54	0.00	84.53	
	만홍	0.00	0.53	2.76	1.01	1.71	17.05	1.80	0.00	0.70	0.00	74.45	
	양전	4.90	11.90	6.30	4.50	1.70	34.40	2.60	1.70	4.90	0.00	27.20	
	산동교	0.00	0.00	0.03	0.20	0.07	12.62	0.65	0.00	0.52	1.80	84.12	
매립 경과 년수 15년 이상	신방	2.34	5.97	4.73	5.40	1.22	12.12	1.12	0.00	1.84	9.93	55.34	
	전주 하가	0.00	0.00	2.28	0.06	0.92	7.28	0.34	0.18	0.16	0.00	88.78	
	전주 서부	0.00	1.41	0.69	0.00	0.11	12.45	1.33	0.00	1.00	0.00	83.01	
	근화	0.00	2.74	0.28	0.07	0.00	3.31	1.73	0.00	2.01	0.00	89.96	
	광명1	0.00	0.00	1.73	0.62	0.00	2.48	0.00	0.00	0.00	21.39	73.79	
	광명2	0.56	0.14	3.05	1.42	0.00	7.53	0.05	0.00	1.20	7.83	78.27	
	청라	0.08	0.37	10.38	1.25	12.21	23.61	0.31	0.00	0.66	0.00	51.13	
	파주 운정	0.00	0.00	3.66	0.75	0.00	11.44	0.87	0.00	0.09	16.25	66.93	
매립 경과 년수 미상	하남 풍산	0.01	0.00	0.71	0.51	0.24	1.34	0.20	0.00	0.92	28.53	67.54	
	대전서남부	0.00	0.18	4.38	0.30	0.87	9.67	0.51	0.08	0.46	0.00	83.60	
	미군	0.00	0.00	3.31	1.76	0.20	12.92	1.53	0.00	0.07	0.43	79.78	
	청원 환희	0.00	3.85	10.99	3.85	8.24	51.65	3.85	0.00	2.20	5.49	9.89	위 생 매립지
서천군	6.08	7.76	2.71	0.69	4.49	56.06	3.10	0.00	5.42	2.57	11.12		

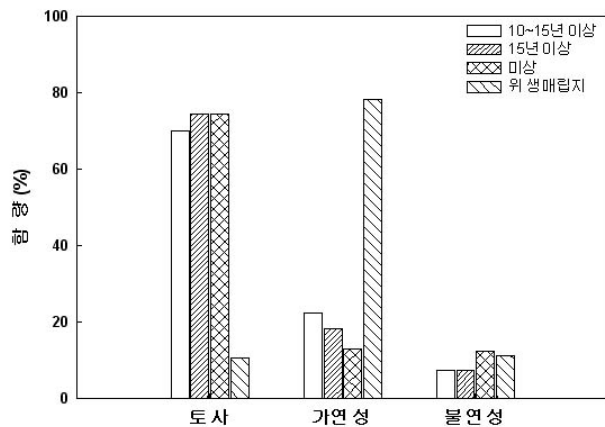


그림 3. 사용종료 매립경과 년 수에 따른 비위생매립지 및 위생매립지의 매립폐기물 물리적 성상

율을 고찰한 결과, 사용종료 비위생매립지의 경우 토사함량은 70.21~74.46%이었고 가연성 물질의 함량은 13.06~22.9%로 매우 낮게 나타났다. 이와는 달리 위생매립지의 경우 토사함량은 10.51%로 매우 낮았으며 가연성은 78.19%로 매우 높게 나타났다.

그림 3과 같이 사용종료 비위생매립지와 위생매립지에서 가연성분 함량이 크게 차이 나는 이유는 대상매립지의 매립이력이나 지역적 특성의 차이 때문인 것으로 사료

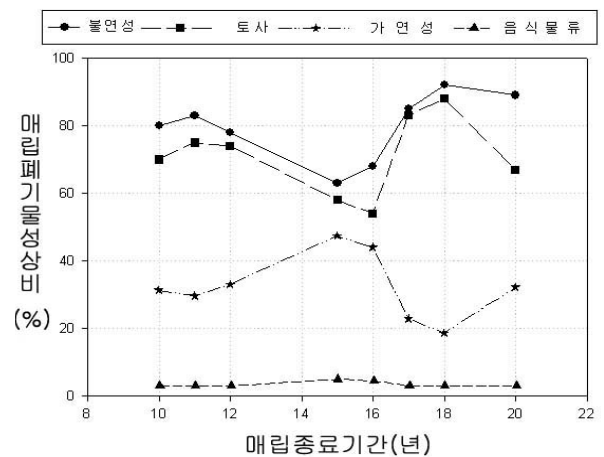


그림 4. 비위생매립지 사용종료 기간별 매립폐기물의 물리적 성상비

된다. 뿐만 아니라, 위생매립지의 매립폐기물중 가연성분 함량이 사용종료 비위생매립지에 비해 높은 이유는 1997년 이후 시행된 생활폐기물의 분리수거 시행에 의한 따른 영향이 큰 것으로 사료된다. 또한 매립하고자 하는 폐기물의 분리수거효율 증가는 적은 양의 복토재로도 비산과 같은 문제를 쉽게 해결할 수 있었기 때문인 것으로 사료된다.

그림 4는 사용종료 후 비위생매립지의 장소와는 상관없이 매립경과년수에 따른 매립폐기물의 물리적 성상을 비교

하여 나타난 것이다. 매 사용종료 후 15~16년의 매립지에서 가연성 함유량이 가장 많았으며, 사용종료 후 18년이 경과된 비위생매립지가 가연성 함유량이 가장 적었다. 이는 사용종료 비위생매립지에 매립이 진행되는 동안의 폐기물 중 유용자원 회수율과 법적 규제등과도 밀접한 관련이 있을 것으로 사료된다. 그림 3에서도 나타난 바와 같이 사용종료 비위생매립지의 경우 매립종료 후 12년에서 16년 사이에는 오히려 가연성분이 증가되는 것처럼 나타났는데 이는 순수한 가연성분의 증가가 아니라 복토재 사용량의 감소에 의한 영향이 더 큰 것으로 판단된다. 즉 비위생매립지의 경우 분리수거가 명확히 수행되지 않은 상태에서 매립폐기물의 매립량에 따른 일정한 복토량에 대한 규정이 없는 상태에서 매립된 결과로 그 때 그때의 복토재 확보량과 수거되는 폐기물량에 따라 비위생적으로 매립된 결과로 사료된다.

3.2 사용종료 비위생매립지 정비방안

표 6과 그림 3 및 그림 5에 나타난 바와 같이, 사용종료 비위생매립지의 정비에는 표 5에 나타난 현지안정화 보다는 굴착선별 방법이 더 경제적인 것으로 판단되었다. 표 6에 보면 조사지로 선정된 사용종료 매립지 9개소에서 음식물류가 검출되었으나 비위생매립지인 양전과 신방, 위생매립지인 서천군만 상대적으로 높은 비율로 나타났으며 나머지 매립지의 경우 매립폐기물에 의한 침출수 발생은 적을 것으로 예상된다. 또한 사용종료 비위생매립지의 경우 토사함량이 매우 높고 자갈함량 또한 높아 매립지 안정화를 가속화하고 분리된 토사와 자갈이 재활용 기준에 부합되도록 처리하여 정비중인 사용종료 매립지의 성토재료 재이용하거나 재활용 골재로 사용할 수 있을 것으로 판단되어 굴착선별에 의한 매립지 정비가 더 효율적인 것으로 판단되었다. 굴착선별에 의한 사용종료 매립지 정비는 미량으로 존재하는 안정화되지 않은 매립폐기물을 근본적인

로 제거해주기 때문에 환경오염발생원이 사라지고, 정비 후 상부 토지를 대지로 활용할 수 있어 사회적 개발 요구에 대응할 수 있을 것으로 사료되었다.

3.3 매립폐기물의 분리선별 회수율

굴착선별 안정화 정비의 가장 중요한 측면인 재활용가능 자원의 회수를 위해서는 무엇보다도 가연성과 불연성 및 토사를 얼마만큼 효율적으로 선별하느냐에 달려있다. 표 3에 나타난 바와 같이 선별기 마다 제각기 선별효율이 다르고 적용할 수 있는 폐기물의 성상 또한 다름을 알 수 있다. 선별장치 및 선별기술을 사용종료된 비위생매립지의 안정화를 위해 사용하고자 하는 경우 장치의 단순함과 광범위한 적용성이 우선되어야 한다. 이를 고려할 때 표 3의 트롬멜 스크린에서 함수율이 높은 경우에도 칼날 및 회전솔로 막힘을 방지할 수 있어 안정화가 이루어지지 않은 사용종료 비위생매립지의 매립폐기물을 선별분리하는 데 매우 유용할 것으로 사료된다. 매립폐기물의 수분함량이 높을 경우 토사 및 기타 폐기물이 스크린의 망(35mm) 막힘을 일으킬 수 있는데 망 막힘 현상이 발생하더라도 손쉽게 해결할 수 있는 장치가 트롬멜 스크린임을 알 수 있다.

사용종료 비위생매립지에서 분리된 토사(35mm이하)는 정밀분리장치를 통해 다시 한번 선별하여 이물질들을 최대한으로 분리하여 골재로의 재활용 기준에 부합되도록 처리하여 재사용함으로써 최종 폐기 또는 재매립해야 하는 폐기물 양을 감소할 수 있다. 매립폐기물의 선별이적처리를 하는 동안 가연성과 불연성은 각각 이적 및 소각처리와 재활용 및 이적처리로 토사는 재정비를 수행하는 사용종료 비위생매립지의 성토재료 재활용할 수 있을 것이다.

트롬멜 스크린을 이용하여 선별 분리된 토사의 재활용을 위해 파주 운정과 광명역세권의 시료를 채취하여 중표 7과 같이 금속 함량 용출시험을 한 결과, 지정폐기물의 폐

표 7. 선별 분리된 토사의 재활용을 위한 폐기물내 중금속 용출시험 결과

시험항목	단위	기준	파주운정	광명역세권
Pb	mg/L	3.0	불검출	0.02
Cu	mg/L	3.0	불검출	0.062
As	mg/L	1.5	0.017	불검출
Cr ⁶⁺	mg/L	1.5	불검출	불검출
Hg	mg/L	0.005	불검출	불검출
Cd	mg/L	0.3	불검출	불검출
CN ⁻	mg/L	1.0	불검출	불검출
유기인	mg/L	1.0	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	mg/L	0.1	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	mg/L	0.3	불검출	불검출
기름성분	mg/Kg	중량비 5%	5%이하	5 이하

기물용출시험의 모든 항목의 기준치 이내임을 확인할 수 있었다. 따라서 선별 분리된 토사는 재정비를 수행하는 현장의 성토재 및 되메움재 등으로 재활용한 뒤 장기간에 걸친 주변 토양환경에 미칠 수 있는 환경유해성을 표 8과 같이 평가하였다. 표 8에 나타난 바와 같이 토양 오염도 시험분석에서 토양오염우려기준 “가”지역을 기준으로 할 때 모든 항목이 기준치 이내로 매우 양호하였다. 또한 이물질 함유량은 파주 0.08%(V/V), 광명 0.55%(V/V)으로 모두 1% 미만의 기준치 이내로 검출되어 선별 분리된 토사를 현장에서 재활용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

3.4 환경성 검토 및 정비 만족도 평가 필요성

사용종료 비위생매립지를 정비하기 위해서는 정비과정 및 정비 후 발생하는 악취, 비산먼지 및 소음 등 각종 환경오염원을 고려해야 한다. 작업장에 돔을 설치하여 돔 내 작업이 이루어질 수 있도록 하여 작업 중 발생하는 비산먼지와 악취 및 소음이 주변 환경에 영향을 미치지 않도록 고려하고 있으며, 돔 설치 여건이 어려운 곳에서는 표 9와 같이 공사 시 각종 제한을 두어 운영하고 있다.

사용종료 비위생매립지의 정비 후 주민만족도 설문조사(환경부, 2005)결과를 살펴보면 94.7%가 비위생매립지가 방지됨으로써 생활환경이 나쁘다고 응답했고, 정비사업 실시 후 93.2%가 만족한다고 응답했다. 이는 전국에 산재해 있는 사용종료 비위생매립지로 인해 인근 주민들이 피해를 입고 있다는 것을 나타내고 있으며, 대부분이 정비를 원하고 있는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 정비사업 완료 후 문제가 되는 가장 큰 요인인 지하수 오염은 현지 안정화를 통해 정비 사업을 실시하였을 경우 발생하는 문제로 선별이적처리 시에는 오염원을 제거하기 때문에 발생하지 않을 것이며, 악취와 먼지 및 그 외 문제점에 대해서도 오염원의 근본적인 제거로 피해가 발생되지 않을 것으로 사료된다.

4. 결 론

국내에 산재해 있는 사용종료 비위생매립지 정비를 위하여 21개소의 매립폐기물의 물리적 성상을 분석한 결과 매립경과년수에 상관없이 토사함량이 27.20~89.96%로 위

표 8. 선별 분리된 토사를 성토재나 되메움재로 사용하였을 때 토양오염 유발가능성 평가

시험항목	토양오염우려기준 “가” 지역	토양오염대책기준 “가” 지역	파주오정	광명역세권
Cd	1.5	4.0	불검출	0.067
Cu	50	125	2.058	0.206
As	6.0	15	0.073	0.335
Hg	4.0	10	불검출	0.0230
Pb	100	300	6.17	1.54
Cr ⁶⁺	4.0	10	불검출	불검출
Zn	300	700	29.9	42.2
Ni	40	100	6.21	12.9
F	400	800	불검출	불검출
유기인화합물	10	-	불검출	불검출
PCB	-	-	불검출	불검출
CN	2.0	5.0	불검출	불검출
페놀	4.0	10	불검출	불검출
유류(동-식물성 제외)				
BTEX	-	-	불검출	불검출
TPH	500	-	불검출	불검출
TCE	8.0	20	불검출	불검출
PCE	4.0	10	불검출	불검출

표 9. 환경오염저감을 위한 대책

구 분	운영대책
악 취	부지경계선에서 희석배수 15(공기희석관능법)이상일 경우 탈취제살포
소 음	가설방음판넬 설치, 소음기 부착, 주행속도 및 과적 제한 등
비산먼지	웬스 및 비산 방진망 설치, 이동식 살수 장치 운영, 주행속도 제한

생매립지의 9.89~11.12%에 비해 매우 높았다. 사용종료 비위생매립지 9개소에서 소량 (0.01~4.90%)의 음식물쓰레기가 검출되어 안정화가 여전히 진행 중인 것으로 나타났다. 의외의 결과로 위생매립지인 서천군에서의 음식물류 함량이 6.08%로 매우 높아 위생매립지라고 하더라도 매립 당시의 법적 여건 따라 생물학적으로 분해 가능한 물질 매립함량이 높을 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 사용종료 비위생매립지와 위생매립지에서 음식물류가 검출될 경우 선별적으로 분리하여 제거하여야 함을 알 수 있다.

재정비가 필요한 사용종료 비위생매립지의 물리적 성상 분석결과를 고려할 때 적절한 재정비 방안은 선별처리인 것으로 도출되었다. 적용할 수 있는 선별처리로는 다양한 형태의 스크린을 이용한 선별로 선별분리하고자 하는 대상물질에 따라 스크린을 선택하고 유지관리하므로써 최대의 선별 분리효율을 얻을 수 있을 것으로 사료되었다.

사용종료 비위생매립지에서 선별 분리된 많은 양의 토사를 재정비를 수행하는 매립지의 성토재 또는 되메움재로 재활용하기 위해 중금속 용출과 토양오염우려에 관한

실험을 수행한 결과 모든 항목에서 지정폐기물의 재활용 기준에 만족하는 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. 민영준 (2006), *비위생매립지 Y의 정비방향 및 개선연구*, 석사학위논문, 전남대학교 산업대학원, pp. 1~64.
2. 양정화 (2002), *폐기물 매립지 관리현황 및 사후토지이용 사례연구*, 석사학위논문, 건국대학교 산업대학원, pp. 46~47.
3. 최재규 (2005), *폐기물 매립지 선별토사의 물리화학적 특성에 관한 연구*, 석사학위논문, 서울시립대학교 도시과학대학원, pp. 1~55.
4. 한국건설기술연구원 (2006), *건설폐기물 처리기준 설립을 위한 연구*, pp. 233~236.
5. 한국토지공사 (2006), *매립쓰레기 처리에 관한 연구*, pp. 104~109.
6. 한정현 (2004), *폐기물매립지의 안정화 평가기법에 관한 연구*, 석사학위논문, 안양대학교 대학원, pp. 10~51.
7. 환경부 (2001), *사용종료 매립지 정비지침*, 환경부설계지침서, pp. 3~23.
8. 환경부 (2005), *사용종료매립지 주민만족도 설문조사결과 보고(정비사업추진 관련)*, 환경부홈페이지/환경부[주요정책]환경정책.

(접수일: 2008. 11. 3 심사일: 2008. 11. 4 심사완료일: 2008. 12. 17)