

사용종료매립지 정비방법 및 정비사례 분석

Rehabilitation Method and Case of Closed Waste Landfill

정하익, Ha Ik Chung

한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow Dept. of Civil Eng KICT

SYNOPSIS : There has been a steady increase in closed waste landfill. Sanitary and contamination prevention systems such as liner system, leachate treatment, gas treatment system were not installed in unregulated waste landfill. This study was carried out to introduce the rehabilitation method and case of unregulated closed landfill.

Key words : Waste, Closed, Unregulated, Landfill, Rehabilitation

1. 서론

환경부에서 조사한 바에 의하면 1997년 현재 사용종료된 매립지는 898개소가 되는 것으로 집계되었다. 이들 매립지는 대부분 과거에 건설된 것으로 차수시설, 침출수처리시설 등 오염방지 및 처리시설이 제대로 설치되지 않은 비위생매립지이다. 이들 사용종료 매립지 중에서 약 10%인 88개소만이 침출수를 자체처리하고 있고, 8%인 69개소는 인근 하수처리장에 이송처리 또는 위탁처리하고 있으며, 82%인 741개소는 미처리하고 있는 것으로 보고되었다. 이러한 비위생매립지는 환경오염을 최소화하기 위하여 시급히 정비해야 하는 것으로 평가되었다. 따라서 현재 국가적인 차원에서 사용종료매립지에 대한 정비사업이 진행되고 있다.

비위생매립지를 적정하게 정비하기 위해서는 차수시설 설치상태, 복토상태, 가스처리상태, 침출수 처리상태, 매립면적, 매립량, 매립이력, 폐기물종류, 토지이용실태, 인근지역실태, 지하수이용실태, 상수원 및 인근지천과의이격거리 등 많은 요소에 대한 조사 및 평가가 필요하다. 그리고 조사 및 평가결과를 토대로 적정의 정비공법이 선정되어야 한다. 선정된 정비공법은 실제 적용하기 전에 시험시공을 통하여 적용성을 분석한 후에 적용하는 것이 필요하다. 본 고에서는 사용종료매립지의 정비방법 및 정비사례에 대하여 간략하게 언급하고자 한다.

2. 사용종료매립지 정비방법

2.1 정비방법 종류

사용종료매립지 정비방법은 두 가지 측면에서 검토되어야 한다. 첫째는 환경공학적인 측면으로서 침출수, 가스 등이 적정하게 처리되어야 하고, 둘째는 구조적인 측면으로서 옹벽파손, 지반침하, 지지력 부족 등에 대한 안정성이 확보되어야 한다. 사용종료매립지 적용될 수 있는 정비방법을 표 1에 소개하였다.

표 1 사용종료매립지의 정비방법

공		법	장 점	단 점	비 고	
침하, 지지력 대책공법	고밀도화사전압축	기계적 압축	압축, 고결화공법	30%정도 체적이 감소하며 반영구적	플랜트 필요	
		충격력	동다짐공법	시공이 단순, 20~30% 체적감소	개량심도가 한정	개량공기가 짧을 때 유효
		재하	여성토공법	시공이 확실	리바운드 가능성 있음	
		치환, 압축	진동다짐공법	심층개량가능, 말뚝효과	타입이 어려움	주대책공으로는 취약
	간극충진	그라우트공법	개량심도 선택 가능	적용성의 검토 필요	부분적 개량에 적합	
	무기화(無機化)	소 각 공 법	안정화에 효과적	반출, 매립대책 필요	소각잔회처리방안 검토필요	
	양 질 재 치 환	치환공법(반출)	공법이 확실	반출장소 필요	보조수단 고려	
환경대책 방안	용출방지	압축, 고결화공법	침하, 지지력 대책효과 있음	시공이 복잡		
		주 입 공 법	지반 강화에도 효과적	효과의 확인이 곤란	시험시공 필요	
	무해화	소각, 고결화공법	안정화면에 효과적	중금속의 유무 검토필요		
		산화촉진공법	조기안정화 효과적	플랜트설비 필요		
		악취제거공법	악취제거에 효과적	플랜트설비 필요		
		굴착, 자원화공법	매립폐기물의 재활용 가능	플랜트설비 필요		
		오염제거공법	폐기물내 오염원 제거	오염제거장치 필요	시험시공 필요	
	밀 봉	그라우트커튼	지수효과 확실	부식에 약함	시험시공 필요	
		주입, 고화벽공법	시공성이 좋음	효과의 확인이 곤란		
		지중연속벽공법	효과 확실	벽체의 장기안정이 불안		

2.2 정비방법 개요

1) 전량이송처리공법

매립된 쓰레기를 건어내어 인근의 매립지나 적치장에 재매립하고, 건어낸 부분을 양질토로 치환하는 것이다. 이의 장점은 시공이 단순하고 용이하며, 오염원을 완전히 제거하여 침하, 침출수, 가스발생 문제를 해소시키고 적용효과가 확실하다는 것이다. 반면에 단점은 순성토량이 많아지고 치환용 토취장 개발이 필요하며, 굴착된 쓰레기 처리가 필요하고 처리장의 거리가 먼 경우 운반비가 과다하게 소요된다는 것이다.

전량이송처리공법은 어떠한 공학적인 개념이 있는 공법은 아니며 말 그대로 비위생매립지를 굴착하여 덤프트럭으로 운반 처리하는 방법이다. 이 방법은 눈앞에서 매립지 쓰레기가 사라지기 때문에 가장 확실하게 오염원을 제거할 수 있는 방법이라고 할 수 있다. 하지만 이송된 폐기물은 다시 재매립 해야 하기 때문에 다른 매립지의 수명을 단축시키는 단점이 있다.

2) 선별이적처리공법

매립지에서 일정기간 경과한 폐기물을 굴착하고 선별한 후, 철과 같은 유가물은 회수하여 재활용하고 최종적으로 남은 폐기물 및 토사는 소각처리, 재매립 또는 복토재로 활용한다. 굴착과 자원화 등의 작업은 매립쓰레기의 성상에 크게 좌우되므로, 매립연혁 자료조사 및 현장조사를 통한 쓰레기성상 분석결과에 따라 각각의 과정에 대한 기술적인 대안이 선정되어야 한다.

폐기물매립부지의 부족으로 인하여 기존 폐기물매립지를 확장하거나 새로운 매립지를 확보하는 것은 전세계적으로 시급한 문제가 되었다. 그러나 새로운 폐기물매립지를 선정하는 것은 지역주민들의 반발

이 심하기 때문에 점점 더 어려워지고 있는 실정이다. 최근 일부 선진국들에서는 매립되는 폐기물의 양을 줄이고자 새로운 폐기물처리 방안 및 제도개선에 몰두하고 있다. 하지만 아무리 폐기물의 양을 줄여도 매립해야 할 폐기물은 발생하기 마련이다.

그러므로 기존의 폐기물매립지를 굴착하여 굴착물질 및 매립부지를 재사용하는 폐기물매립지 선별이적처리(Landfill Mining)공법은 새롭게 떠오르고 있는 폐기물문제 해결방안이라고 할 수 있다. 이 방법은 최근 들어 환경공학자들과 공공기관에서 제시하고 있는 폐기물 문제해결방안의 하나로서 매립폐기물을 굴착한 후 토사성분은 매립지 복토재나 성토재등으로 재활용하고 나머지 폐기물성분은 소각처리하거나 재매립하는 방법이다. 이 공법에서 가장 중요한 사항은 매립폐기물의 선별기술이라고 할 수 있다.

폐기물 매립지 선별이적처리공법은 크게 두 가지에 중점을 두고 시행된다. 첫째는 중장비를 이용하여 오래된 매립지내 매립물질을 굴착하는 것이다. 굴착 후 부지는 새로운 매립지로 사용하거나 공원 등 위락지구로 조성을 할 수가 있어 기존 매립부지의 가치를 높일 수 있다. 둘째는 굴착된 물질을 처리하는 것이다. 굴착된 물질들은 선별하여, 재활용할 수 없는 물질은 처분하고 재활용가치가 높은 물질들은 회수할 수 있다. 순도가 높은 재활용물질을 회수하기 위하여 선별기술과 선별된 물질을 재이용하는 기술도 함께 개발되어야 한다.



그림 1 사용종료폐기물 굴착 및 선별 과정

그림 2 선별된 가연성분(비닐, 목재, 섬유류 등)

3) 오염차단공법

매립지를 굴착하지 않은 대신 차수시설이나 가스포집시설등 사후관리시설을 설치하여 침출수나 발생 가스 등을 지속적으로 모니터링하고 처리하는 방법으로서 대규모 매립지에서 적용할 수 있는 소극적 방법이라고 할 수 있다. 이 공법은 매립지를 공원이나 녹지 등으로 이용하고자 할 때 많이 사용되며 매립지가 안정화될 때까지 지속적인 오염원으로 남아 있게 된다. 현재 이 기술은 난지도매립지에 적용되고 있으며 소규모매립에는 적용하지 않는 것이 일반적이다.

이 기술의 핵심인 침출수 차단방안은 그라우팅공법 등 약액주입공법, 슬러리월(slurry wall), 그리고 강널말뚝공법(sheet pile)으로 대별할 수 있다. 그라우팅공법은 매립지 하부에 지하수가 유입되는 것을 방지하기 위하여 약액을 지반 내에 주입, 교반하여 그라우트 커튼을 형성하도록 하는 방법이다. 슬러리월공법은 굴착면의 붕괴와 지하수의 침투를 방지하기 위해 트렌치(trench)에 벤토나이트 슬러리(bentonite slurry)를 공급하면서 원하는 깊이까지 수직으로 굴착한 후 뒷채움재를 충전하여 벽체를 시공하는 방법이다. 강널말뚝공법은 슬러리월공법과 더불어 매립지 연직차수벽으로 이용되고 있으며 국내에서도 보편적으로 시공되고 있다. 이러한 수직차수공법을 선택할 때에는 경제성, 기술성을 충분히 검토한 후 지역특성에 맞게 설치하여야 한다.

연직차단시설의 설치방법에는 오염지역의 둘레를 제어하는 수평배치방법과 오염지역의 깊이를 제어하는 연직배치방법이 있는데 현장 적용시에는 이들을 상호 적절히 조합하여 배치시스템을 구성하는 것

이 필요하다. 수평배치방법에는 전주면, 상류구배 및 하류구배 배치방법이 있다. 그리고 연직배치방법에는 삼입식과 현수식이 있다.

표 2 차단시설의 특성비교

차단벽 종류	폭 (ft)	최소 설치깊이(ft)	10시간당 시공량 (SF)
흙벤토나이트	2~3	80	2,500~15,000
시멘트벤토나이트	2~3	80	1,000~8,000
Biopolymer drain	2~3	70	1,500~5,000
심층혼합	2.5	90	1,000~8,000
심층혼합벽	2.5	90	1,000~3,000
제트 그라우팅	1.5~3	200	300~2,500
그라우트 커튼	일렬	200	200~1,000
사이트파일	단위 사이트	150	2,000~15,000
화학차단벽	다양	수백	100~1,000

4) 지반안정화공법

① 다짐공법

다짐공법은 지반공학분야에서 과거부터 많이 사용되어온 지반개량공법 중의 하나로 폐기물 매립지의 다짐에도 응용되고 있다. 본 공법은 매립시 쓰레기층의 다짐, 매립시 일일복토재 및 중간복토재의 다짐, 투수계수를 낮추기 위한 점토차수재 및 최종복토재의 다짐 등에 쓰여지고 있다. 다짐으로 폐기물의 밀도를 증가시킴으로서 매립물의 양 및 매립지의 사용년수를 늘릴 수 있으며, 매립물의 강도 및 안정성을 높여주고 침하를 줄여주며 매립지 차수재 및 복토재의 수행성을 높여준다.

구조물이 세워질 지역의 매립지반은 건설이전에 여성토를 가미한 선행하중이나 중량의 로라로 다짐하여 압축시키는 것이 필요하기도 하다. 이러한 다짐은 초기 및 일차압밀에 의한 침하를 줄이는데 효과적이며 이차압밀에 미치는 효과는 미지수이다. 그러나 이러한 다짐실시 이후 2~3년간의 침하율이 줄어든 것으로 알려져 있다.

② 동다짐공법

동다짐공법이란 1969년 Louis Mernard에 의하여 최초로 개발된 공법으로 지표면위에 2~20톤 정도의 중량의 추를 20~40m의 거리에서 떨어뜨려 지표면과 심부지반의 밀도와 강도를 증가시키고 압축성을 감소시키는 공법이다. 중량물체의 타격으로 인한 충격파는 깊은 심도까지 전하여지며 불포화 매립물은 바로 다짐시키고 포화 매립물은 액상화 현상을 일으켜 빠른 압밀을 유도한다. 동다짐 수행시 필요한 측정항목은 침하량을 측정하는 레벨측량, 포화된 매립물의 액상화를 평가할 수 있는 동다짐 에너지와 간극수압의 측정, 동다짐 전후 매립물의 강도 및 압축성 측정 등이 있다.

매립지에 적용된 동다짐공법의 사례를 살펴보면, Charles 등(1981)은 15년 된 6m 깊이의 도시폐기물 매립지를 재강부지로 사용하기 위하여 추 무게 15ton, 낙하높이 20m의 동다짐을 실시하여 평균 0.5m의 침하감소 효과를 얻었으며, Welsh(1983)는 복토두께가 1m이고 6~12m 깊이의 매립지를 도로용지로 사용하기 위하여 추무게 18ton, 낙하높이 20m의 동다짐을 실시하여 8%의 침하감소 효과를 얻었다.

③ 그라우팅공법

그라우팅공법이란 시멘트, 석회, 플라이애쉬 또는 라임/플라이애쉬 등의 재료를 매립물의 간극속으로 주입하여 지반의 지지력을 향상시키고 침하를 방지하여 매립지의 안정을 도모하는 공법이다. 폐기물 간극 속에 주입된 그라우트재는 시간이 지남에 따라 고결 되어 폐기물부패를 일으키는 수분을 탈수시키게 되고 매립물 내의 침출수 이동을 저지시키게 된다. 또한 그라우트재는 매립물의 침하를 방지하는 역할뿐만 아니라 매립지의 가스발생을 억제시키고 침출수의 오염정도 및 양을 감소시킨다.

그리고 주입된 그라우트재는 종류에 따라 호기성 및 혐기성 미생물에 독성이 되어 그 활동을 현저히 저하시키며, 고결이 되면 가스이동의 통로를 차단하고, 습기를 제거하여 박테리아의 활동 및 가스의 발생을 억제시킨다. 주입된 그라우트재는 불용성의 수화칼슘 실리케이트와 칼슘 알루미늄네이트를 생성시키고 벌집구조를 형성하여 안정된 구조를 가지게 된다. 물로 완전히 포화된 폐기물은 주입된 그라우트 슬러리에 의하여 물이 밀려나고 그라우트재가 간극에 채워진다.

5) 산화촉진공법

산화촉진공법은 매립지내에 인위적으로 산소를 공급하여 쓰레기의 혐기성 상태를 호기성상태로 바꾸어 쓰레기의 산화를 촉진하여 조기안정화가 가능하도록 하는 것이다. 혐기성 분해과정은 많은 시간이 소요되고 악취 및 유독가스의 발생과 오염농도가 높은 침출수가 발생하는 반면, 호기성 분해과정은 비교적 빠르게 진행되며 오염물의 분해가 거의 완전하게 이루어져 환경오염문제가 발생하지 않으므로, 매립지를 호기성 상태로 유지하여 조기안정화가 가능하도록 한다. 이는 매립지내 유기물질의 호기성 분해에 필요한 산소를 매립지내로 충분히 고르게 공급해 주어 경제적으로 호기성 상태를 만들어 주는 기술이다.

이의 장점은 압축공기를 주기적으로 불어넣어 넓은 범위로 균등하게 공급하여 분해를 촉진하고 근본적인 악취를 제거하며, 침출수내의 오염물 부하를 감소하고 매립쓰레기의 체적을 감소시킨다. 반면에 이의 단점은 송풍기, 바이오필터 등의 신장비의 제작 및 구입에 의한 추가적인 공사비용이 소요될 수 있다.

6) 오염제거공법

① Soil flushing 공법

폐기물 내에 적정의 세척제를 주입하여 오염물질을 추출·처리하는 것이다. 세척제로는 일반적으로 물, 계면활성제, 산, 염기, 착염제 등을 사용한다. 물은 친수성 오염물질, 계면활성제는 소수성 오염물질, 산, 염기 및 착화제는 금속물질을 추출시키는데 주로 사용된다. 폐기물로부터 추출된 오염물질에 대한 처리 및 회수공정이 필요하다.

② Bioremediation 공법

폐기물 내에 미생물, 박테리아 등을 주입하여 유기화합 오염물질을 분해하여 독성을 제거하는 방법이다. 본 공법은 가솔린, 디젤유, 원유, 크레오소트 등의 석유계탄화수소의 제거에 적용이 가능하고 살충제, 염소용제, 할로겐 방향족탄화수소, PCB 등의 처리에도 적용이 가능하다.

③ Bioventing 공법

폐기물 내에 산소를 공급하여 지중 내에 있는 토착 지중 미생물의 활성을 촉진시켜 생분해도를 최대화시키는 공법이다. SVE공법과 비교해 볼 때 본 공법은 미생물활성을 지속시켜 줄 정도의 낮은 공기량을 사용한다는 차이점이 있다.

④ Biosluping 공법

Bioventing과 Vacuum enhanced free-product recovery의 두가지 기술을 혼합한 것으로 Bioventing 공법의 호기성 생분해 촉진기술과 Vacuum enhanced free-product recovery 공법의 NAPL 추출기술을 복합적으로 이용하는 것이다.

⑤ Electrokinetic 공법

폐기물 내에 전기장을 가하여 오염물질의 전기적인 이동메카니즘에 의하여 오염물질을 추출하는 공법이다. 점토질의 세립토와 같이 투수성이 낮은 폐기물의 경우에 기존의 양수, 토양세척, 공기추출 등의 방법을 적용하기 어려운 경우에 적용성이 매우 높다. 최근에는 동전기기법을 이용하여 미생물을 폐기물내에 주입하여 오염된 폐기물을 복원하는 Bioelectrokinetic 공법이 개발되고 있다.

⑥ Vitrification 공법

폐기물 내에 전극을 삽입하고 전기가열하여 폐기물을 유리상(glass)으로 용융·고화하는 것이다. 이 공법을 하수슬러지의 처리에 적용하여 슬러지중의 가연물은 소각하고 불연물은 1500℃ 이상의 코크스 고온가스로 용융시켜 도로재, 콘크리트 골재로 사용 가능한 슬래그를 생산하기도 한다.

⑦ Land farming 공법

폐기물을 지상에 일정한 두께로 포설한 후에 포크레인 등의 장비를 이용하여 교반시켜 호기성조건으로 하여 오염물질의 생화학적 분해를 유도하는 공법이다. 영양물질로는 질소, 인, 비료 등을 사용하고 필요에 따라 첨가제를 주입한다.

⑧ Biopile 공법

폐기물과 개량물질을 혼합한후 침출수 집배수시설 및 유공관을 설치한 기초위에 일정한 높이로 쌓아 놓고 강제주입식 또는 흡인식으로 공기를 공급하여 호기성조건으로 하여 오염물질의 생화학적 분해를 유도하는 공법이다. 영양물질로는 질소, 인, 비료 등을 사용하고 유기물질로는 분뇨, 슬러지 등을 이용하고 필요에 따라 첨가제를 주입한다.

⑨ Composting 공법

오염폐기물을 굴착하여 첨가제, 나무조각, 짚, 분뇨, 식물성 잔재물 등과 같은 유기성 물질을 혼합하여 미생물의 활성을 증진시킴으로 오염물질을 제거하는 것이다.

⑩ Plazama 공법

플라즈마라는 4,000℃이상의 고온에서 이온화된 기체를 이용하여 오염폐기물을 용융시켜 원소화하는 것이다. 이는 다양한 오염물질로 오염된 폐기물을 복원하는 데 사용된다.

⑪ Permeable reactive barrier 공법

불투수성 차단벽을 이용하여 매립지주변을 완전히 차단하는 것이 아니라 투수성 반응벽을 이용하여 오염수를 통과시키면서 오염수내의 오염물질을 제거하는 것이다. 매립지 주변을 좁고 길게 굴착한 후 굴착부에 오염물질 제거용 흡착성 재료로 채움을 실시한다. 반응벽은 시간이 지나감에 따라 포화되고 오염물질이 충전되기 때문에 재료의 흡착능력과 기간에 따라 필요시 재료를 교체해 주거나 재활성화해야 한다.

3. 사용종료매립지 정비사례

3.1 전량이송처리 공법

① 구의동매립지 건축물 축조지역

구의동매립지 상부에는 다양한 건축물이 들어섰는데 건축물이 들어선 지역은 터파기를 하면서 폐기물을 굴착하여 이를 전량 외부로 이송처리 하였다.

② 화명동매립지 공동주택부지 축조지역

화명동매립지중 공동주택부지 내에 매립된 폐기물은 전량 굴착하여 부산시 강서구 생곡동의 생곡매립지로 반입시키고 굴착부지는 양질토로 치환하는 방안이 적용되었다.

3.2 선별이적처리 공법

① 서울시 중랑하수처리장 확장부지

중랑하수처리장의 처리용량을 확장하기 위하여 과거에 폐기물매립지로 이용되었던 부지를 굴착하였

다. 매립층의 특정폐기물여부 판정과 복토재로의 재이용 가능성을 판단하기 위한 연구가 수행되었다. 조사결과 폐기물매립층은 이물질(잔류폐기물)함량이 평균 3.36%였고, 거의 토양에 가까운 물질이었다. 매립층의 휘발성 고형물함량은 약 6.4%였다. 용출시험결과 모든 매립층 시료가 특정폐기물 판정기준에 미달하였다. 매립층의 생물학적 안정화정도 실험도 행하였는데 모든 매립토양이 매우 안정화된 상태라는 결론을 얻었다. 이와 같은 폐기물에 대하여 선별이적 공법을 적용하였다.

② 광주시 일곡 택지개발사업지구

광주시에 북서쪽에 위치한 일곡 택지개발사업지구내에 97,200m²의 면적에 일반폐기물이 단순매립방식으로 매립되었으며 매립고는 4.4m에 달하였다. 굴착된 폐기물의 물리적 성분을 조사한 결과 가연성 폐기물은 평균 27.8%, 연탄재가 평균 70.1%, 기타 불연성 폐기물이 평균 2.1%를 차지하고 있었다. 굴착 후 폐기물 처리량을 최소화하기 위하여 선별기로 토양부분(연탄재 포함)과 순수폐기물을 분리하여 재이용할 수 있도록 하였다. 폐기물 선별은 원통형 이중스크린 장치를 이용하여 폐기물의 성상에 따라 간격을 조정함으로써 선별효율을 증대시켰다.

③ 충북 옥천군

옥천군 비위생매립지는 과거 약 5년간 옥천군에서 발생한 약 116,000m³의 폐기물을 매립처리함으로써 대청호 상수원의 오염원으로서 방치되고 있어 이를 옥천군 신규위생매립장을 조성하여 매립 처리하였다. 기 매립된 폐기물은 선별하여 토사는 복토재로 활용하고, 페비닐은 압축결속하여 임시적치 후 소각하도록 계획하였다. 선별전 매립지를 사전에 안정시켜 메탄의 폭발위험성을 감소시키고, 악취 등의 발생을 억제하였다.

④ 인천광역시 경서동

인천광역시에서는 신공항 고속도로 건설을 위해 경서동 폐기물매립지 일부구간의 폐기물을 선별이적 처리 하였으며 처리대상 매립량은 약 520,000m³ 이었다. 매립된 폐기물은 전처리 후 굴착을 실시하고 굴착한 폐기물을 굴착하기 전에 전처리로서 유해가스에 의한 위험을 제거하기 위하여 악취안정화공법을 적용하였다. 유해물질은 고화처리한 후 위탁 처리하도록 계획하였으며 선별된 폐기물은 재활용하거나 위탁소각을 실시하고 나머지는 기존 매립지 옆에 신규매립지를 조성하여 위생매립하였다.

⑤ 충남 부여군

충남 부여군 비위생매립지의 정비공법은 선별이적처리공법을 채택하였으며 선별토사 76,500m³, 가연성 폐기물 5,360m³으로 설계하였다. 한편 매립지 내부의 침출수를 집수하기 위하여 2개의 집수정을 설치하였다. 침출수 집수방식은 매립고, 침출수량, 경제성, 시공성 등을 감안하여 구조물 주위에 자갈을 포설하여 집수하는 방식을 채택하였다. 집수된 침출수는 탱크로리로 운송하여 현 운영 중인 위생매립지내 침출수처리장에서 처리하였다.

⑥ 전남 해남군

전남 해남군의 비위생매립지 매립면적은 10.386m³이며 매립량은 80,659m² 이었으나 확보된 예산으로 집행 가능한 63,285m³을 선별이적처리량으로 설계하였다. 선별된 폐기물은 기존 소각로에서 일부 소각처리하고 잔여분은 야적하되 우수유입을 방지하기 위한 시설을 설치하였다. 선별처리하지 않은 나머지 17,374m³은 주변에 소제방 및 집배수 맨홀을 설치하고 기존 침출수관에 연결 조치하였다.

⑦ 경남 진주시

진주시 초전동에 위치한 초전쓰레기 매립장은 과거 16년동안 진주시에서 발생한 약 80만m³의 폐기물을 매립 처리함으로써 폐기물 방치로 인한 도시환경문제를 해결하는데 크게 기여하였다. 그러나 비위생적으로 매립·처분함으로써 매립이 완료된 현재 침출수 발생으로 인한 주변지하토양 및 지하수 오염, 매립가스로 인한 국부적 화재발생 및 폭염의 위험성 등의 문제를 초래하게 되었다. 이에 따라 진주시에

서는 초전 쓰레기 매립장의 폐기물을 새로이 조성된 진주시 광역쓰레기 매립장으로 선별이적 처분하기로 결정하였다.

3.3 자체안정화 공법

① 전주시 서곡택지개발지구

전주시 효자동과 팔복동 일원의 서곡택지개발지구의 일부지역에서 매립폐기물이 발견되어 자체안정화공법으로 비위생매립지를 정비하였으며 매립면적은 17,497m² 이었다. 지목상 임야 및 담으로 구성되어 있으나 매립지에서 방출되는 가스에 의한 영향으로 농작물의 생육이 어려우며 택지개발계획상 공원 및 녹지지역으로 계획된 지역이다. 매립폐기물에 대한 처리방안으로는 공사시 악취, 비산먼지, 폐기물의 흘날림 등의 영향을 최소화 할 수 있도록 현재의 매립상태에서 차수시설, 침출수 및 가스의 집수 및 포집 시설을 설치하였다.

② 서울시 난지도매립지

서울특별시 마포구 상암동에 위치한 난지도 매립지는 1978년부터 1993년까지 과거 15년동안 약 92,000천m³의 폐기물을 매립 처분함으로써 서울시의 도시환경문제를 해결하는데 크게 기여하였으나 노천투기형태로 비위생매립되어 주변환경오염을 유발시켜왔다. 발생하는 침출수량은 일일 2,697m³이며 매립가스는 1996년 기준으로 432,000m³/일이 발생되고 있다. 난지도 매립지 정비는 먼저 침출수의 외부유출을 막기 위하여 시멘트/벤토나이트 고화벽 및 시이트파일로 차수벽을 설치하였으며 설치심도는 경제성과 차수벽의 설치효과 등을 감안하여 풍화암까지 설치하였다. 매립지 발생가스는 포집시설, 이송관로 등을 통하여 포집, 이송하고 이를 소각 및 재이용하는 것으로 계획하였다. 그외의 시설로는 우수배제시설, 도로시설, 세륵 및 세차시설, 울타리시설 및 조경시설등을 계획하였다.

표 4 난지도매립지 정비사업 내용

구 분	내 용
침출수 차수시설	<ul style="list-style-type: none"> • 시멘트/벤토나이트 차단벽 및 시이트파일 설치 : 설치심도 20-50m, 연장 6,080m
침출수 집수시설	<ul style="list-style-type: none"> • 사면집수시설 : 사면집수관 25,400m³ • 차집시설 : 방사상집수정 30개소 • 이송관 : 무공관(MDPE) 9,690m, 유공다발관 2600m
침출수 처리시설	<ul style="list-style-type: none"> • 집수 후 침출수처리장으로 이송처리
매립가스 처리시설	<ul style="list-style-type: none"> • 포집시설 : 수평트렌치 4,250m + 수직추출정 430개소 • 이송관로 : 26,540m • 소각시설 : 10기(Flare stack) • 재이용시설 : 5MW 스팀터빈 발전시설
부대시설	<ul style="list-style-type: none"> • 우수배제시설, 도로시설, 유지관로, 세륵세차시설, 울타리시설, 조경 시설 등

③ 부산광역시 화명동 매립지

화명동 매립지는 1985년부터 1987년까지 약 25개월간 부산시에서 발생한 3,323,000m³의 폐기물을 매립처분한 곳으로서 매립 후 사토투기와 골재 야적 등으로 2차 환경오염방지 및 안정화 시설물이 파손되어 광역 택지개발사업에 따른 적절한 환경오염방지대책이 요구되는 곳이었다. 부산시 화명동 매립지의 경우 폐기물을 굴착, 운반하기 전에 가스포집시설을 이용하여 매립가스 중 유해물질을 최소화하도록 계획하였으며 침출수는 집수정을 14개소에 설치하여 장립하수처리장으로 이송 처리하도록 계획하였다. 화명동 매립지 중 공동주택부지 내에 매립된 폐기물은 전량 굴착하여 부산시 강서구 생곡동의 생곡매립장으로 반입시키고 굴착부지는 양질토사로 치환처리하였다. 공동주택외의 도로, 학교, 공원 등의 지역은

원지반인 퇴적층 위에 폐기물과 자갈, 잔석 등이 성토, 매립되어 있으므로 동다짐공법에 의하여 지반을 개량하였다.

표 6 화명동매립지 정비사업 내용

구 분	내 용
침출수 집수시설	<ul style="list-style-type: none"> • 집수정설치 : 14개소 • 이송관로 : D75 1,112m, D100 731m, D150 958m
침출수 처리시설	<ul style="list-style-type: none"> • 1차 처리 후 장립하수처리장으로 이송처리
매립가스처리시설	<ul style="list-style-type: none"> • 포집시설 : 수직추출정 381개소 • 처리시설 : 대기확산환원방식
공공주택단지 내	<ul style="list-style-type: none"> • 전량굴착하여 생곡매립지로 반입시키고 굴착부지는 양질토사로 치환
도로, 학교, 공원 등 (공동주택단지 외)	<ul style="list-style-type: none"> • 동다짐공법에 의한 지반 개량

④ 전남 완도군

완도군 죽청리 매립지는 80년대 초반부터 2000년까지 약 20년 동안 완도읍 지역에서 발생하는 생활 폐기물의 최종처분지로 이용되어 왔으나 환경오염방지를 위한 기반시설 및 체계적인 매립작업이 배제된 비위생매립지로서 주변지역에 대한 오염원으로 작용하고 있었다. 특히 주변지역에 대한 개발 결과, 간척 사업에 의한 농공단지 조성, 경찰서, 보건원 등 공공시설이 주변에 입지하므로써 환경오염저감시설 설치 및 효율적인 토지이용이 가능하도록 실시설계를 완료하고 정비사업을 추진하도록 계획되었다.

3.4 자체고형화 공법

① 서울 상계동매립지

본 지역은 과거에 주변에 분포되어 있는 시멘트 가공제품을 제조 판매하고 발생하는 빈구덩이에 쓰레기를 매립하고 그 위에 약 30 cm 두께의 토사를 복토한 후 비닐하우스를 설치하여 상치, 배추, 시금치 등 고등채소를 재배하는 농지로 사용되었는데 이러한 입지를 신시가지로 개발함에 따라 도로건조·구조물설치 등을 위한 도시폐기물 지반처리 문제가 대두되게 되었다. 본 매립지의 개량방안에 대하여 다각적으로 검토한 결과 약액처리 다짐공법과 동다짐공법이 처리효과와 경제성, 시공성면에서 우수하여 채택하게 되었으며, 특히 동다짐공법은 경제적인 면에서 유리하나 건축공사와 동시에 연약지반을 처리하여야 하므로 건물인접지에는 시공이 곤란하여 외곽도로 지역에 일부 적용하였고 대부분 약액처리 다짐공법이 채택되게 되었다.

② 대전 갑천매립지

갑천은 대전을 관통하는 하천으로 현재 갑천 하류쪽인 대전시 북부지역에 천변도로를 건설중에 약 1 km 정도 연약한 폐기물 매립지역을 통과하게 되었다. 폐기물 매립구간 노상안정처리를 위한 처리 방안으로서 1차적으로 동다짐 공법으로 쓰레기 매립층을 충격 에너지를 이용해 강제 다짐하여 장기간에 걸쳐 발생 예측되는 부등침하 등의 문제점을 사전 보강하고자 하였다. 동다짐 실시로 인하여 충분한 노상의 지지력을 나타내는 구간을 제외한 나머지 구간에 약액(Excellent Soil Compound) 고화처리로 강성매트로 보강 대책을 강구하였다. 동다짐후 동적 콘관입시험 낙하추 하중 12ton, 낙하높이 18m의 동다짐을 실시한 결과 콘관입 저항치의 증가는 100 %에서 최대 500 %, 공간탄성파 속도의 증가는 20%~30% 정도로 나타났다. 층별 침하계측 결과 지표면으로부터 6m 지점의 경우 최저 1cm에서 최대 18 cm 정도의 침하가 계측되었다.

③ 고성 매립지

국도 33호선 고성우회도로 건설공사에 계획된 수로암거 시공을 위하여 기초지반을 굴착한 결과 과거에 생활 쓰레기가 매립된 것으로 확인이 되어 제거하려고 하였으나, 관할군 쓰레기 매립장에서 반입을 거부하고 있어 쓰레기 처리에 많은 비용이 소요되며, 도로부지내의 쓰레기 매립지반을 처리치않고 시공시 침하로 인한 도로포장 파손 및 악취발생 등으로 인한 민원발생의 우려가 있으며, 쓰레기를 다른 장소로 운반 처리할 경우 2차 공해가 유발되어 환경피해가 예상되었다.

생활쓰레기 매립현황의 연장은 220m, 쓰레기 매립깊이는 2.2~3.0m, 발생량은 29,878m³(52,286 ton)이었다. 현장적용이 용이하고 친환경적이며 예산이 적게 소요되는 공법을 적용하기 위해 도로, 토질, 환경분야의 대학교수 및 용역설계사 등 관계 전문가에게 처리대책공법에 대한 자문을 받아 도로의 침하 방지와 침출수 방지 등 개선효과가 우수하고 경제적이며 친환경적인 고화재를 이용한 도로노반 처리공법을 선정하여 처리토록 하였다.

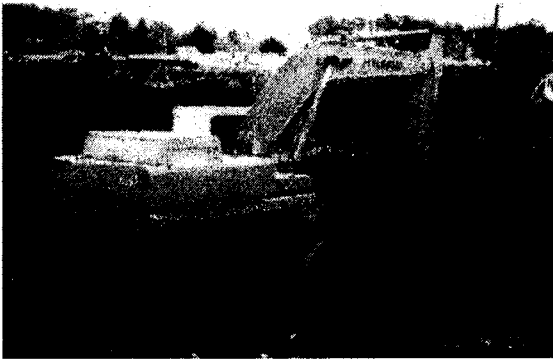


그림 7 생활쓰레기 굴착



그림 8 고화재 혼합

④ 충무 매립지

건교부 부산지방국토관리청에서 발주한 사동-충무간 도로확포장공사중 쓰레기 폐기물처리공사를 쓰레기 고화공법을 이용하여 실시하였다. 쓰레기 고화공사는 길이L=90m, 폭 B=20m, 고화량=3600m³, 두께 T=2m~2.5m이었다.

⑤ 강진 매립지

건교부 익산지방국토관리청에서 발주한 성진-강진간 도로확장 및 포장공사 중 쓰레기 고화처리공사를 실시하였다. 본 공사 구간은 강진읍내로서 교외에 간선하천이 북에서 남으로 유입하고 있으며 목포~순천간 국도변의 하천으로서 이 하천 구릉지대에 수십년간 강진읍내에서 발생하는 생활쓰레기를 투기하여 쓰레기의 부패, 부식으로 인한 악취가 큰 문제가 되었다. 이 지대 성진~강진간 국도확장 4차선 공사를 시공 중 도로중심선에 쓰레기량 35,000m³가량이 투기되어 있어 이 쓰레기를 타 장소로 운반하고 치환공법을 검토한 바 쓰레기처리운반, 성토운반비, 시공비 등을 검토 감안할 때 설계변경공사비가 대단히 많이 소요되는 것으로 판단된다. 고화공사는 고화구간 L=190m, 고화구간두께 T=5~6m(고화량 35,000m³), 고화제 배합률 5%이었다. 지반고화처리 공법으로 영구적 부등침하, 침출수 발생방지, 압축감소 등으로 공해를 방지하였다.

⑥ 서울 올림픽테니스 경기장 매립지

1986년 서울올림픽 테니스경기장 건설중에 매립쓰레기가 발견되어 본 현장에서는 매립쓰레기 지반의 안정화를 위하여 동다짐공법과 고화공법을 이용하여 매립쓰레기를 처리하였다.

3.5 자체차단 공법

① 광주첨단기지 매립지

단지개발시 쓰레기 매립층이 발견된 지역은 공원으로 이용할 계획으로 택지를 개발하고 있었던 지역이다. 쓰레기 매립층의 발견으로 본 지역을 어떠한 처리없이 공원으로 활용할 경우 주변지역의 지하수 오염 가능성이 커짐에 따라 본 쓰레기를 처리하기로 하였다. 따라서 기존의 쓰레기 매립지에서 발생된 쓰레기를 신설 매립지로 처리함과 동시에 신설매립지에서 발생할 수 있는 침출수를 차단하고 주변 지하수오염 및 환경피해를 최소화하기 위해 슬러리월을 주변에 시공하였다.

매립된 쓰레기는 주로 생활쓰레기로 매립한 지 대략 10년이 지난 것으로 추정된다. 쓰레기 성분중 가연성분 즉 음식물 쓰레기는 완전히 분해되고 현재 종이류, 섬유류, 목재류, 등의 성분만이 남아 있었다. 본 지역은 매립된 쓰레기를 위생매립장에 매립하는 시스템을 갖추었다. 이 매립장 주변에 발생할 수 있는 침출수를 차단하기 위하여 슬러리 벽체를 시공하였다. 슬러리월에 사용된 재료는 나트륨계 벤토나이트와 시멘트이었다.

② 영주 아지동 매립지

본 매립장의 경우, 여러 차폐방법 중 시이트파일, 슬러리월, 그라우팅 등의 3가지 차폐방법에 대하여 검토하였다. 그 결과 국내에서 시공실적이 많고 적합성이 인정되며 시공성 및 내구성이 뛰어난 강재 시이트파일로 선정하였다. 추가로 침출수 차폐시설과 병행하여 시이트파일 매립장 내측에 양수정을 설치하여 침출수를 집수, 배수, 처리하는 시스템을 설치 계획하였다. 시이트파일 연결부 사이로 침출수가 새어나가는 것을 방지하기 위하여 시이트파일 연결부에 팽창지수제를 도포하였다.

4. 결론

본 연구에서는 사용종료매립지에 대한 정비방안 및 정비사례에 대하여 살펴보았다. 이의 결과를 정리하면 아래와 같다.

- 1) 사용종료매립지의 정비사업을 진행할 때는 침하, 지지력 등의 구조적 대책공법과 가스, 침출수 등의 환경적 대책방법을 모두 고려하여야 한다.
- 2) 사용종료매립지의 정비방안에는 전량이송처리공법, 선별이적처리공법, 오염차단공법, 지반안정화공법, 오염제거공법 등이 있는데 현장조건 및 폐기물매립조건 등을 고려하여 적절한 정비방안을 선정하는 것이 필요하다.
- 3) 사용종료매립지의 정비사업을 추진한 사례는 많은데 아직까지도 국내 조건에 적합한 최적의 정비공법이 개발되지 않은 상태에 있으므로 향후 종합적인 연구를 통하여 국내 현장에 적합한 정비공법의 개발이 필요하다.

참고문헌

1. 정하익(1994), 오염지반 및 지하수의 정화기술, 건설기술정보, 통권 133호, 한국건설기술연구원.
2. 정하익(1998), 지반환경공학, 유림출판사.
3. 정하익(1999), 비위생매립지의 복원기술, 위생매립지 건설 및 비위생매립지 복원기술, 한국건설기술연구원.
4. 정하익(2000), 비위생매립지 및 불법매립지의 정비방안, 21세기 지속 가능한 매립기술, 매립기술연구회.
5. 정하익(2001), 오염지하수 복원기술 개론, 2001 지반환경, 한국건설기술연구원.
6. 환경부(1997), 사용종료매립지 적정관리방안(안)
7. US EPA (1988), Guidance on remedial actions for contaminated water at superfund sites, EPA/540/G-88/003.