

## 불법매립폐기물에서 선별된 토사의 지반환경공학적 특성 분석 Geoenvironmental Characteristics of Sorted Soil From Unregulated Landfill Wastes

정하익<sup>1)</sup>, Ha-Ik Chung, 김상근<sup>2)</sup>, Sang-Keun Kim, 류권, Ryu Kwon, 이용수<sup>3)</sup>, Yong-Soo Lee

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow Dept. of Civil Eng, KICT

<sup>2)</sup> 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Dept. of Civil Eng, KICT

<sup>3)</sup> 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원, Senior Researcher, Dept. of Civil Eng, KICT

**SYNOPSIS** : There has been a steady increase in geoenvironmental engineering projects where geotechnical engineering has been combined with environmental concerns. Many of these projects involve some investigation on geoenvironmental characteristics related to waste landfill and waste soil. This study was carried out to evaluate the geoenvironmental properties of sorted soil from unregulated landfill wastes. The physical, mechanical, and environmental properties of sorted soil were investigated for utilization in civil works.

**Key words** : Soil, Landfill, Geoenvironmental, Waste, Reuse

### 1. 서 론

최근에는 도시의 팽창으로 단지개발시에 불법매립지를 직면하게 되는 경우가 증가하고 있어 단지공사 개발에 곤란을 겪는 사례가 증가하고 있는 실정이다. 특히, 불법매립이나 비위생매립지에는 보통 차수막이 설치되어 있지 않기 때문에 매립지 주위로 침출수가 유출되거나 악취 및 가스 등의 유해물질이 발생하여 인근 주민들에게 위생학적인 위험성을 줄 뿐 아니라 주변의 토양 및 지하수를 오염시키는 등의 환경적인 오염문제를 야기시키는 경우가 많기 때문에 이를 적절하게 처리하지 않으면 커다란 문제가 발생할 수도 있다.

따라서, 본 연구에서는 개발단지내 일부지역에서 차수막이 설치 되어 있지 않은 불법매립폐기물을 합법적으로 적절하게 처리하기 위하여 매립폐기물중 가장 많은 양을 차지하는 선별토사에 대하여 공학적 및 환경적 특성을 살펴본 후, 이를 통하여 실제현장에서의 재활용 가능성에 대한 유무를 판단하고 그에 따른 친환경적인 재활용 방안을 마련하고자 한다.

본 연구에서는 00지역 현장에서 불법매립폐기물의 기계선별작업을 통하여 발생한 선별토사를 채취하여 공학적 및 환경적 특성을 분석하였다. 이를 위하여 선별토사의 공학적 특성으로는 구성성분, 비중, 다짐, 강도, 입도분포 등을 살펴보고, 환경적 특성으로는 장기용출 특성을 살펴보고자 한다.

건설공사현장에서 발견되는 불법매립생활쓰레기는 건설폐기물로 분류된다. 불법매립쓰레기는 일반적으로 과거 10년 이전에 매립된 것이 대부분을 차지하며 매립폐기물내 폐기물과 매립토사는 약 2~4 : 8~6의 비율로 매립토사가 폐기물보다 다소 높게 나타난다. 매립선별토사를 성토재·보조기층재·도로기층재 또는 복토재로 재활용하고자 하는 경우에는 그 최대직경이 100밀리미터 이하이고 이물질 함유량

이 부피기준으로 1퍼센트 이하가 되도록 하여야 한다라는 폐기물관리법 규정 이외에 일반적으로 공사현장에서 제시하고 있는 재활용 품질기준에도 적합하여야 할 것이다.

## 2. 공학적 특성 분석

### 2.1 3상 분류

매립폐기물 선별토사의 성상을 살펴보기 위하여 수분, 유기분, 회분 등 3가지의 성상별로 분류한 후 중량비를 측정하였다. 그 결과, sample-1 선별토사의 성상비는 수분이 34.54%, 유기분이 3.19%, 회분이 62.28%로 분류되었고, sample-2 선별토사의 성상비는 수분이 27.49%, 유기분이 3.38%, 회분이 69.13%로 분류되었다. 그밖의 sample-1의 선별토사와 일반토사를 혼합한 토사는 약 17.16%, sample-2의 선별토사와 일반토사를 혼합한 토사는 약 15.68% 정도의 함수비를 나타내었으며 여기에서 일반토사는 우리나라의 대표적인 흙인 화강풍화토로 하였고 일반토사와 선별토사의 혼합비율은 중량비 6:4로 하였다.

표 1. 선별토사 및 혼합토사의 3상 분류

구 분	수분 (%)	유기분(%)	회분 (%)
sample-1 선별토사	34.54	3.19	62.28
sample-2 선별토사	27.49	3.38	69.13
sample-1 선별토사 + 일반토사	17.16	-	-
sample-2 선별토사 + 일반토사	15.68	-	-
일반토사	9.73	-	-

### 2.2 비중

시료에 대한 비중시험 결과는 아래의 표와 같이 sample-1 선별토사, sample-2 선별토사, sample-1 선별토사+일반토사, sample-2 선별토사+일반토사, 화강토의 비중은 각각 2.49, 2.54, 2.60, 2.62, 2.68로 나타나 일반토사인 화강토의 비중이 가장 크게 나타났다. 이는 선별토사에 토사 이외에 비중이 작은 비닐, 유기물질 등의 함량이 많아 비중이 낮게 나타났기 때문으로 생각된다.

표 2. 선별토사 및 혼합토사의 비중

구분	sample-1 선별토사	sample-2 선별토사	sample-1 선별토사 + 일반토사	sample-2 선별토사 + 일반토사	일반토사
비중	2.49	2.54	2.60	2.62	2.68

### 2.3 입도분포

sample-1 선별토사, sample-2 선별토사, sample-1 선별토사+일반토사, sample-2 선별토사+일반토사, 일반토사의 균등계수는 각각 4.62, 18.5, 10.34, 16.09, 6.60으로 나타났고, 곡률계수는 각각 1.36, 2.28, 1.94, 1.99, 0.47로 나타났다. #200 통과량은 sample-2 선별토사가 12.55로 세립분을 가장 많이 포함하고 있는 것으로 나타났다.

표 3. 선별토사 및 혼합토사의 입도특성

시 료	sample-1 선별토사	sample-2 선별토사	sample-1 선별토사 + 일반토사	sample-2 선별토사 + 일반토사	일반토사
D <sub>10</sub> (mm)	0.52	0.2	0.29	0.23	0.2
D <sub>30</sub> (mm)	1.3	1.3	1.3	1.3	0.36
D <sub>60</sub> (mm)	2.4	3.7	3.0	3.7	1.3
Cu	4.62	18.5	10.34	16.09	6.60
Cg	1.36	2.28	1.94	1.99	0.47
#200 체통과량(%)	6.41	12.55	6.96	9.80	5.55
통일분류	SP	SW	SW	SW	SP

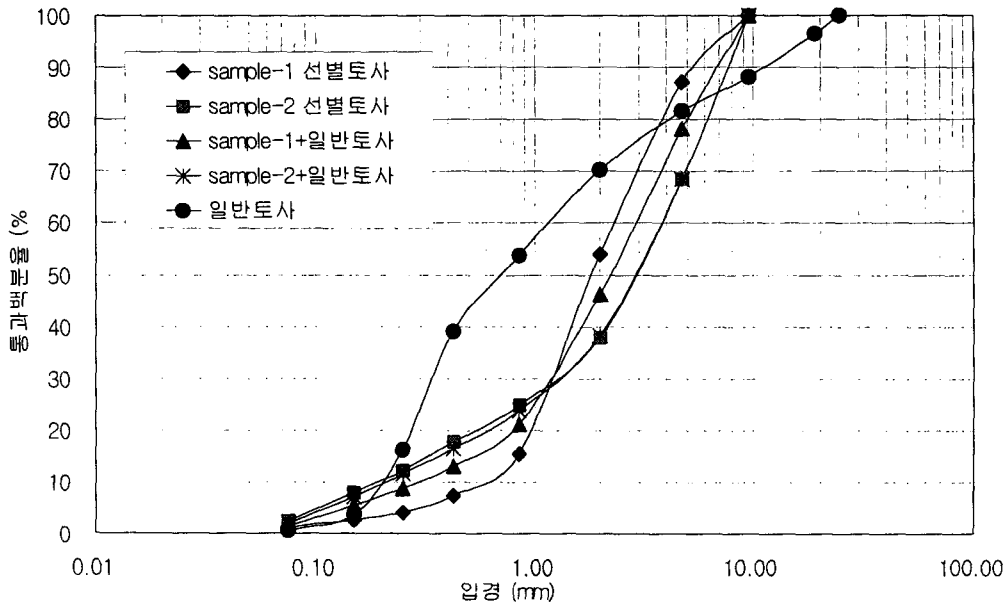


그림 1. 토사별 입도분포곡선

## 2.4 다짐 특성

채취한 선별토사 및 혼합토사에 대하여 D다짐을 수행한 결과 다짐특성은 다음과 같다. sample-1 및 sample-2 선별토사, sample-1 선별토사+일반토사, sample-2 선별토사+일반토사, 일반토사의 최대건조단위중량은 각각 1.52, 1.69, 1.79, 1.87, 2.07 g/cm<sup>3</sup>로써 일반토사의 최대건조단위중량이 가장 크게 나타났다. sample-1과 sample-2 선별토사에 각각 일반토사를 혼합한 후의 다짐특성은 최적함수비가 약간 감소하고 건조단위중량은 상승하여 일반토사와 sample-1, sample-2 선별토사의 다짐특성의 중간 정도에서 최적함수비와 건조단위중량이 형성됐다.

표 4. 선별토사 및 혼합토사의 다짐특성

구분	최적함수비(%)	최대건조단위중량 (g/cm <sup>3</sup> )	다짐방법
sample-1 선별토사	19.50	1.520	D다짐
sample-2 선별토사	14.90	1.690	“
sample-1 선별토사 + 일반토사	17.00	1.795	“
sample-2 선별토사 + 일반토사	11.30	1.870	“
일반토사	9.50	2.07	“

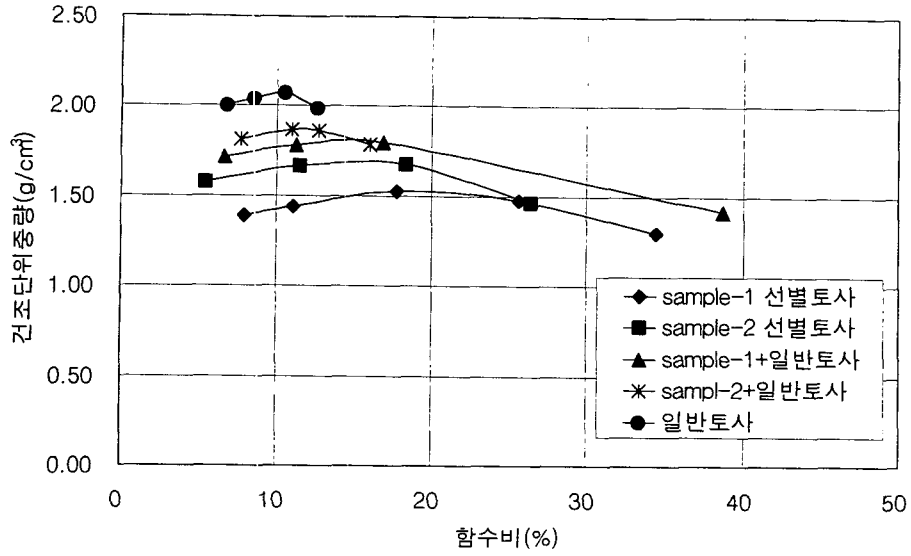


그림 2. 토사별 다짐곡선

## 2.5 CBR 특성

도로의 기초지반 또는 기층 재료의 품질은 주로 CBR로 판단하기 때문에 각 공구 선별토사의 노반재료로서의 공학적 특성을 판단하기 위하여 CBR시험을 수행하였다. sample-2 선별토사와 일반토사를 혼합한 토사의 수정 CBR값은 17.1%로 나타났고  $0.95 \gamma_d$ 에 해당하는 최대건조단위중량은  $1.78 \text{ g/cm}^3$  정도로 나타났다.

표 5. sample-2 선별토사+일반토사의 CBR 특성

구 분	$0.95 \gamma_d (\text{g/cm}^3)$	수정 CBR
sample-2 선별토사+일반토사	1.78	17.1

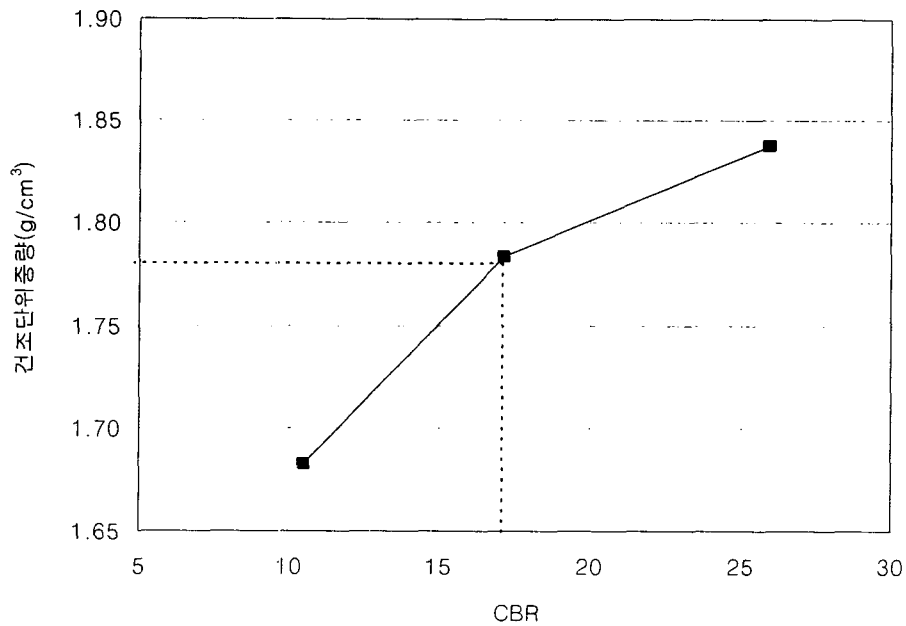


그림 3. sample-2 선별토사 + 일반토사의 CBR곡선

## 2.6 이물질함유량

매립폐기물내 선별토사를 재활용하기 위해서는 폐기물관리법 시행규칙 별표 4 제5호 라목의 규정 “건설폐재류를 재활용하고자 하는 경우에는 이물질함유량이 부피기준으로 1%이하가 되도록 하여한 한다” 라는 항목을 준수하여야 하므로 본 연구에서는 매립폐기물을 선별하여 나온 토사의 이물질함유량을 실험하였다. 매립폐기물내 선별토사의 이물질함유량은 단순 기계선별인 경우 1.88~4.77%로 기준치인 1%를 상회하는 것으로 나타났다. 따라서 선별기를 거친 선별토사에 대해 추가인력을 동원하여 선별토사내의 이물질을 세심하게 제거한 결과 이물질 함유량은 약 0.82~0.89%로 저하되어 재활용 기준치인 1%이하를 만족하였다.

표 6. 선별토사의 이물질함유량

선별 방법	이물질함유량 (%)
단순기계선별	1.88 ~ 4.77
단순기계선별 및 추가인력선별	0.82 ~ 0.89

## 3. 환경적 특성 분석

### 3.1 선별토사 용출

선별토사에 대하여 인공강우를 주입시킨 후, 용출된 시료에 대하여 유기물 농도 및 중금속 농도 등의 성분내 대해 시간경과에 따른 변화를 살펴보는 용출시험을 실시하였다.

표 7. 선별토사의 장기용출 화학농도 분석 결과

(단위 : mg/L)

분석항목	1차 (초기)	2차 (3개월 경과)	3차 (6개월 경과)
pH	7.8	7.9	7.4
COD	48.4	30.5	2.2
카드뮴(Cd)	불검출	불검출	불검출
납(Pb)	0.28	0.08	0.02
수은(Hg)	불검출	불검출	불검출
6가크롬(Cr <sup>6+</sup> )	불검출	불검출	불검출
시아나(CN)	불검출	불검출	불검출
비소(As)	불검출	불검출	불검출

선별토사의 용출시험결과를 살펴보면, 빠른 시일내에 유기물 농도가 2.2 mg/L로 감소되었으며 중금속의 농도변화는 대부분의 중금속이 1차에서 불검출되었다. 그러나, 납의 농도는 3차 용출수에서 0.02 mg/L로 나타났으나 이는 폐기물관리법 기준치인 3mg/L보다 매우 낮은 농도이므로 환경에는 거의 영향이 없음을 알 수 있다. 따라서 매립폐기물내 선별토사에 대한 연속용출시험 결과, 폐기물기준치를 만족하고 있음을 알 수 있었다.

### 3.2 선별토사+일반토사 용출

위와 동일한 방법으로 매립폐기물내 선별토사에 일반토사를 일정비율로 혼합시킨 혼합토사에 대하여 용출시험을 실시하였다. 그 결과, 혼합토사의 유기물 농도는 2차 때부터 8.3 mg/L로 나타나 선별토사만을 용출했던 것보다 더욱 빠른 시일내에 유기물 분해가 이루어졌음을 알 수 있었다. 이후 3차 유기물 농도는 3.0 mg/L로 선별토사와 비슷하게 감소되었으며 납을 제외한 대부분의 중금속도 1차 용출수에서 거의 불검출되었다. 따라서 혼합토사에 대한 연속용출시험 결과, 폐기물기준치를 만족하고 있음을 알 수 있었다.

표 8. 혼합토사의 장기용출 화학농도 분석 결과

(단위 : mg/L)

분석항목	1차 (초기)	2차 (3개월 경과)	3차 (6개월 경과)
pH	7.7	8.0	7.1
COD	42.2	8.3	3.0
카드뮴(Cd)	불검출	불검출	불검출
납(Pb)	0.30	0.05	불검출
수은(Hg)	불검출	불검출	불검출
6가크롬(Cr <sup>6+</sup> )	불검출	불검출	불검출
시안(CN <sup>-</sup> )	불검출	불검출	불검출
비소(As)	불검출	불검출	불검출

#### 4. 결론

본 연구에서는 불법 매립된 폐기물내 선별토사의 공학적, 환경적 특성을 살펴보았다.

- 1) 매립폐기물내 선별토사의 공학적 특성을 살펴본 결과, 비중은 2.49~2.54, 수분은 25.82~36.72%, 유기분은 2.79~3.75%, 회분은 59.82~70.89%이며 유효입경 D<sub>10</sub>은 0.2~0.52mm이고 #200체 통과량은 6.4~12.6%로 나타났다. 선별토사의 다짐특성중 최적함수비는 14.9~19.5%, 최대건조밀도는 1.52~1.69g/cm<sup>3</sup>의 범위로 나타났다.
- 2) 일반토사와 선별토사를 6 : 4의 비율로 혼합한 토사의 공학적 특성을 살펴본 결과, 비중은 2.60~2.62, 유효입경 D<sub>10</sub>은 0.23~0.29mm, #200체 통과량은 6.96~9.86%로 나타났으며 혼합토사의 다짐특성중 최적함수비는 11.3~17.0%, 최대건조밀도는 1.79~1.87g/cm<sup>3</sup>의 범위로 나타났다.
- 3) 선별토사의 이물질함유량은 기계선별로 이물질을 제거한 후의 함유량은 1.88~4.77%로 높게 나타났으나 선별기를 거친 선별토사에 대해 추가인력을 동원하여 이물질 함유량을 측정된 결과 약 0.82~0.89%로 낮추어 재활용 기준치인 1%이하를 만족하였다.
- 4) 선별토사에 대하여 용출시험을 실시한 결과, 빠른 시일내에 유기물 농도가 감소되며 대부분의 중금속이 초기에서 불검출되었다. 또한, 선별토사+일반토사의 혼합토사에 대하여 용출시험 결과, 선별토사만을 용출했던 것보다 더욱 빠른 시일내에 유기물 분해가 이루어졌으며 대부분의 중금속도 1차 용출수에서 거의 불검출되었다.

#### 참고문헌

1. 정하익(1998), 지반환경공학, 유림출판사
2. 정하익(1999), 위생매립지 건설 및 비위생매립지 복원기술, 한국건설기술연구원
3. 남궁완외 4인(1996), 폐기물매립지 선별토양의 물리화학적 특성, 한국폐기물학회지 제13권, 제6호