PS Ball 풍쇄슬래그의 일일복토재 및 집배수재 재활용을 위한 연구
A Study on the alternative daily cover and envelop materials of PS Ball slag

김상근[1], Sang-Keun Kim, 정하익[2], Ha-Ik Chung, 송봉준[1], Bong-Jun Song, 장원석[3], Won-Seok Chang

[1] 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Division, Korea Institute of Construction Technology
[2] 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원, Senior Researcher in Chief, Geotechnical Engineering Division, Korea Institute of Construction Technology
[3] (주)에코마이스터,연구소장, Senior Researcher, Ecomaister company

SYNOPSIS : The purposes of daily cover are to control odor and volatile organic compound emissions, to control litters, to mitigate rainfall infiltration. Under usual operation of landfill, the soil layer of 15cm thick is used for daily cover, but about 20~25% of landfill capacity is consumed by daily cover volume. Considering our limited land and difficulty in getting landfill site, developing an alternative daily cover material which usually occupies much less volume than soil will be very significant. Also, if we can use waste material for alternative daily cover, we can get additional benefit of recycling waste.

Key words : landfills, daily cover, slag

1. 서 론

폐기물의 무단 투기 혹은 무계획적인 매립으로 인해 많은 환경문제가 발생함에 따라 매립지의 적정 설계, 위생적인 관리 및 합리적인 운영이 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 그러므로 폐기물 매립시 발생되는 침출수 처리와 매립장 운영시 발생되는 폐기물의 분진 및 가스상 물질에 의한 환경문제의 저감을 위해서는 매립지와 매립작업의 적절한 관리 운영, 매립작업 후의 복토, 그리고 매립가스의 효율적인 포집과 안전한 처리 등이 필요하다.

매립지의 복토는 쓰레기 냄새 발생억제, 병원균의 확산방지, 화재 방지, 침출수 저감 및 지표수와 지하수 오염방지, 우수배제 등의 역할을 수행하기 위하여 현재 폐기물관리법에 의거하여 투수성이 낮은 양질의 흙을 사용하여 두께 15cm 이상으로 다지도록 하고 있다. 그러나, 대다수 매립장이 복토재로 사용할 흙의 확보에 어려움을 겪고 있어 최근에는 토사의 확보 및 구입, 운반 등에 따르는 문제와 복토재를 두껍게 실시함으로써 생기는 매립용적의 감소문제를 해결하기 위하여 흙 이외의 다른 물질의 사용이 활발하게 검토되고 있다. 특히 좁은 국토와 많은 인구 등으로 인해 매립지 확보에 어려움이 예상되는 현실을 감안한다면 일일복토재로서의 기능을 발휘하면서도 흙을 대체할 대용복토재의 개발 및 실용화는 이미 가지고 있는 매립지의 수명연장과 경제적인 측면에서 중요한 의미를 가진다.

본 연구에서는 특수가공된 PS Ball 풍쇄슬래그는 작은 물입자가 혼입된 공기를 일정한 송풍압력으로 분무하여 분무지역을 형성하고 상기의 분무지역에 용융상태의 제강슬래그를 직접 통과시켜 유리화된 높은 강도의 결정체로서 화강토 및 하수슬러지 등과 혼합하여 매립장의 일일복토재로 재활용하기 위한 특성을 분석하였으며 입자가 큰 슬래그에 대해서는 집배수재로의 재활용 가능유무에 대하여 평가하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료

본 연구에 사용된 시료는 PS Ball 풍쇄슬래그, 화강토, 하수슬러지, 고화제를 사용하였다. 복토재로 널리 사용하는 양질의 흙으로는 경기 화강토를 사용하였다. 풍쇄슬래그 및 화강토를 혼합비(8:2, 7:3, 5:5)별로 섞여 실험을 하였다. 또한, 풍쇄스래그와 하수슬러지를 혼합하여 재활용하는 경우에는 풍쇄슬래그 : 하수슬러지 : 고화재(이하, 고화물로 표시)의 혼합비율을 무게비 100 : 100 : 1(시료 1m^{3}당 시멘트 100kg : 시멘트의 1%)로 하였다. 집·배수재로의 풍쇄슬래그의 재료는 입자의 크기가 큰 시료(5~10mm, 10~20mm) 등 두가지에 대하여 실험하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 기본물성 및 환경 유해성 평가

현재 폐기물관리법 시행규칙에는 화학복토재 등 인공복토재는 폐기물공정시험방법에 의한 용출시험을 통하여 유해성이 없어야 사용이 가능하기에 본 연구에 사용된 PS Ball 풍쇄슬래그, 화강토, 하수슬러지 등에 대하여 용출시험 및 기본물성을 평가하였다.

2.2.2 혼합비 도출을 위한 물리적 특성 평가

복토재활용을 위한 풍쇄슬래그 및 화강토, 하수슬러지의 혼합비를 결정하기 위하여 각 혼합비별 일축압축강도, CBR, 투수계수, 우수배제실험 등을 수행하였으며 집배수재로의 이용을 위하여 투수계수를 수행하였다. 일일복토재로서의 강도 측정을 위하여 KSF 2320의 일축압축강도실험을 수행하였다. 투수계수를 측정하기 위하여 시료의 크기를 지름 10cm, 높이 15cm로 성형하여 변수위 투수시험법(KS F 2322)을 수행하였다. 투수계수의 측정은 강도별 양생일별로 투수계수 값을 나타내었다. 우수배제기능을 평가하기 위한 우수배제실험은 1×1×1m 크기의 실험조에 경사각이 약 15도가 되도록 하여 15cm 두께로 재료를 채워 넣은 후, 복토가 끝난 복토층위에 일정시간 동안 일정량의 강우 강도를 적용하여 복토재 표면에서의 유출량과 침투량을 흙과 복토재 각각의 경우에 대해 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 재료 특성 및 환경 유해성 평가 결과

본 연구에서 사용된 PS Ball 풍쇄슬래그는 물리적으로 비중인 3.72정도이고 압축강도나 경도는 모래에 비해 약 2배정도 높게 나타났으며 흡수율도 기존모래에 비해 0.16정도 낮게 나타났으며 형상은 거의 구형에 가까우며 자연상태의 밀도는 약 2.3정도로 나타났다. 또한, 입도크기를 실험한 결과, D_{10}은 0.46mm이고 D_{60}은 1.36mm로 나타났으며 균등계수는 평균 2.84로 나타났으며 곡률계수는 1.06으로 나타나 입자의 분포는 양호한 편이며 크기는 대부분 균등한 것으로 나타났다.

풍쇄슬래그의 주요 화학적성분은 CaO, Fe_2O_3, SiO_2으로 다량의 석회성분을 함유하고 있으며 폐기물 용출실험을 한 결과, 납, 구리, 비소, 수은, 카드뮴, 6가 크롬, 시안 등 유해한 중금속이 모두 검출되지 않은 일반재료물질임을 확인할 수 있었으며 풍쇄슬래그에 화강토를 5:5로 혼합한 시료와 하수슬러지 및 고화재를 첨가한 고화물 시료에서도 한국폐기물공정시험법에 따라 용출분석한 결과, 여러 중금속이 소량 검출되어 폐기물허용기준 이내로 나타났다.

표 1. 화학복토재료에 대한 용출시험결과 (폐기물공정시험법에 의거)

규제물질	허용기준 (ppm)	풍쇄슬래그	풍쇄슬래그 (5:5)	고화물
Pb	3.0 이하	ND	0.001	ND
Cu	3.0 이하	ND	0.007	0.08
As	1.5 이하	ND	0.001	0.02
Hg	0.005 이하	ND	ND	ND
Cd	0.3 이하	ND	ND	ND
Cr^{+6}	1.5 이하	ND	0.002	0.02
CN	1.0 이하	ND	ND	ND

3.2 물리적 특성 평가 결과

3.2.1 일축압축강도 및 우수배제특성

일축압축강도에 대한 복토재의 법적 기준은 없으나 매립차량에 대한 주행성의 개선을 위해서는 0.5kgf/cm^{2}이상을 요구하고 있다. 풍쇄슬래그와 화강토의 비율을 8:2, 7:3으로 일축압축강도 실험을 하였으나 측정값이 0.5kgf/cm^2 이하로 나타나고 있음을 알 수 있다. 5:5의 비율로 혼합하여 실험을 측정한 결과, 0.5kgf/cm^2 이상이 나왔으며, 양생 7일 이후부터는 거의 일정한 일축압축강도로 나타났다. 또한, 하수슬러지와 고화물을 첨가한 경우에도 측정값이 0.5kgf/cm^2 이상으로 나타나고 있음을 알 수 있다.

따라서, 복토시 건설기계의 주행이 가능한 일축압축강도의 기준인 0.5kgf/cm^{2}이상을 만족하는 것은 풍쇄슬래그와 화강토를 5:5로 혼합한 경우와 풍쇄슬래그에 하수슬러지와 고화물을 첨가한 경우로서 복토재의 역할중 운반차의 도로역할을 수행하는데 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

우수배제율을 50mm의 우수량으로 하여 측정한 결과, 풍쇄슬래그(5:5), 고화제, 화강토 순으로 나타났다. 결론적으로 풍쇄슬래그(5:5) 및 고화제 첨가된 풍쇄슬래그로 복토한 경우의 우수배제기능이 화강토로만 복토한 경우보다 우수한 것으로 평가할 수 있다

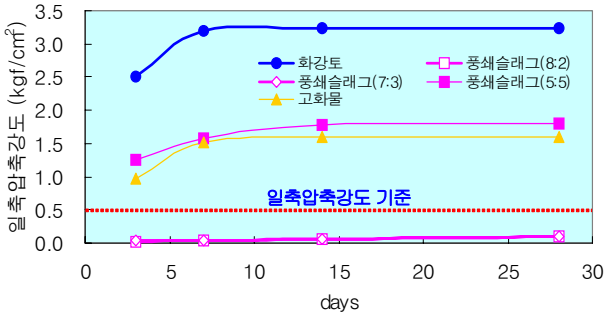

그림 1. 풍쇄슬래그 혼합비별 일축압축강도

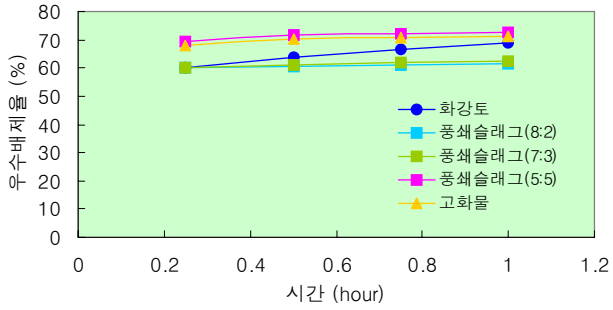

그림 2. 풍쇄슬래그 혼합비별 우수배제특성

3.2.2 투수계수

매립장 중간복토재의 투수계수 기준은 명확히 제시되지 않고 있지만 투수계수가 낮은 점토나 점토질 모래를 기준으로 하고 있는데 일반적으로 점토질 흙의 투수계수는 1×10^{-5}~1×10^{-6}cm/sec 이다. 실험결과, 그림에 나타난 것과 같이 화강토, 고화물, 풍쇄슬래그(5:5)의 투수계수는 1×10^{-5}~1×10^{-6}cm/sec로 나타나고 있다.

매립시설 바닥 차수시설의 침출수 집·배수층의 기준은 투수계수가 1×10^{-2} cm/sec이상이고 두께가 30cm 이상이어야 한다. 집·배수관을 보호하기 위하여 5~10mm의 풍쇄슬래그 및 10~20mm 크기의 풍쇄슬래그에 대하여 투수계수를 측정한 결과, 그림 4에 나타난 것과 같이 5~10mm의 풍쇄슬래그의 투수계수는 평균 2.38×10^{-1}의 높은 투수성을 보이고 있으며 10~20mm의 풍쇄슬래그 투수계수도

2.41×10^{-1}로 나타나 기준치를 충분히 만족하고 있음을 알 수 있다.

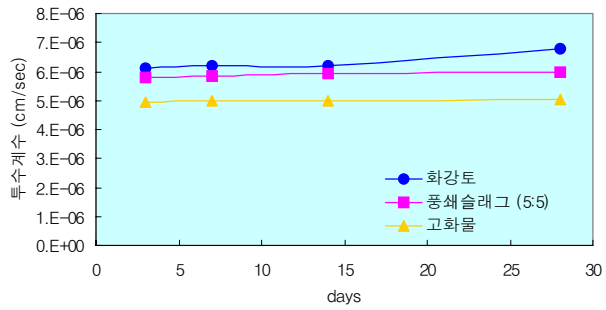

그림 3. 풍쇄슬래그 혼합비별 투수계수

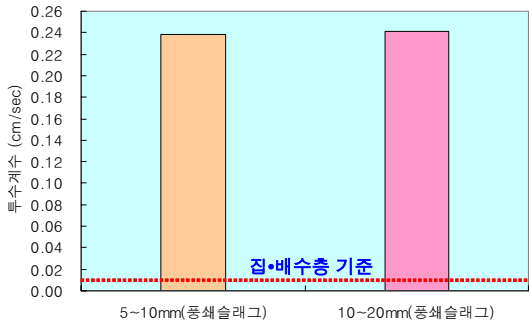

그림 4. 집배수재료 투수계수

4. 결론

풍쇄슬래그의 일일 및 중간복토재로의 활용성을 평가하기 위하여 기존에 매립장에서 일일복토재로 사용되고 있는 화강토와 화강토+풍쇄슬래그, 고화물에 대하여 일축압축강도, CBR, 투수계수, 중금속용출특성 및 물리적 특성 등에 대하여 비교실험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 중금속용출특성의 결과에서 보았듯이 납, 구리, 비소, 수은, 카드뮴, 크롬, 시안 등 유해한 중금속의 용출실험 결과 어떠한 것도 검출되지 않은 안전하고 무해한 청정재료임을 확인할 수 있다.
2. 매립장 복토시에 사용되는 건설장비의 주행 등 작업에 필요한 일축압축강도는 $0.5kgf/cm^2$ 이상으로 나타나고 있으며, CBR에서는 2.5%이상의 값을 나타내고 있는바, 풍쇄슬래그 및 화강토를 5:5로 혼합한 경우와 하수슬러지 및 고화제를 첨가한 풍쇄슬래그의 경우에서만 기준치를 만족하였으며 화강토 복토시보다 우수한 것으로 나타났다.
3. 투수계수는 점토나 점토질 모래(투수계수는 1×10^{-5}~1×10^{-6}cm/sec)를 기준으로 했을 때에는 풍쇄슬래그(5:5) 및 고화물 첨가한 풍쇄슬래그가 5.82×10^{-6}~5.96×10^{-6}cm/sec로서 적정 수준으로 확인되었으며, 양생일별 투수계수의 값이 거의 변화가 없는 것으로 보아서 투수계수는 양생기간과 상관없이 거의 일정함을 알 수 있다.
4. 우수배제율을 50mm 우수량으로 하여 측정한 결과, 풍쇄슬래그(5:5), 고화제, 화강토, 풍쇄슬래그(7:3), 풍쇄슬래그(8:2)순으로 나타났는데, 풍쇄슬래그(5:5) 및 고화제 첨가된 풍쇄슬래그로 복토한 경우의 우수배제기능이 화강토로만 복토한 경우보다 우수한 것으로 나타났다.
5. 매립시설 침출수 집·배수관로 보호용 골재(투수계수가 1×10^{-2} cm/sec이상, 최대지수는 50mm 이하)로 사용하기 위하여 5~10mm의 풍쇄슬래그 및 10~20 mm 크기의 풍쇄슬래그에 대하여 투수계수를 측정한 결과, 각각 2.38×10^{-1}, 2.41×10^{-1}로 나타나 기준치를 충분히 만족하고 있음을 알 수 있다.

참고문헌

1. 이용수, 정하익(1998), “폐기물매립장의 차수재 및 복토재로서 하수슬러지 재활용”, **한국지반공학회지**, Vol. 13. No. 4, pp. 5~11
2. 유남재, 김영길, 박병수, 정하익(1999), “하수슬러지의 차수재 및 복토재로의 이용타당성에 관한 연구”, **한국지반공학회지**, Vol 15. No. 2, pp. 43~71
3. Victor L. Hauser(2001), "Natural covers for landfills and Buried waste", *Journal of Environmental Engineering*, pp.768~775