

매립장의 인공점토차수재 개발에 관한 연구

신은철*, 김성환**, 오영인**

*인천대학교 공과대학 토목공학과 조교수

**인천대학교 공과대학 토목공학과 석사과정

Development of Amended Clay Liner for Waste Containment System

Eun Chul Shin, Sung-Hwan Kim**, Young-In Oh***

**Assistant Prof., Dept. of Civil Engrg., Univ. of Incheon*

***M.S. Student, Dept. of Civil Engrg., Univ. of Incheon*

ABSTRACT

Recycling of useful industrial waste is highly recommended by the government. Some geotechnical properties such as specific gravity, dry density, unconfined compressive strength, pH, compressibility, permeability were determined to evaluate the feasibility of waste lime use in the landfill as an admixture clay liner. Various types of environmental tests on waste lime were conducted to compare the results with the EPA requirements. Laboratory test results indicate that admixture soil(waste lime/decomposed granite soil) is a promising material as an admixture clay liner in the sanitary landfill.

Key words : Waste lime, Clay liner, Landfill

요 약 문

산업폐기물의 재활용은 정부가 적극적으로 권장하고 있다. 폐석회의 비중, 건조단위중량, 일축 압축강도, pH, 투수계수 등의 지반특성을 실내시험결과를 고찰함으로써 폐석회가 매립장에서 인공차수재 및 복토재로 사용 가능성을 평가한다. 폐석회를 몇가지 환경실험을 통해서 그 결과를 EPA기준과 비교하였다. 본 논문에서는 실내실험을 수행한 결과를 전술하였고, 실험결과 분석에 의하면 혼합토(폐석회/화강풍화토)가 위생매립장의 인공차수재로 가능성이 있다고 판단된다.

주제어 : 폐석회, 점토차수재, 매립장

1. 서론

국내 위생매립장 시공현장의 경우 산악지방이나 해안지역에 위치하여 대규모 토목공사로 인하여 차수재로 쓰일 점토와 하부, 중간, 상부 복토재의 부족으로 많은 어려움을 겪고 있다. 본 논문에서는 각종 토질실험 및 환경실험을 통하여 폐석회를 재활용하여 인공차수재 개발 가능성에 대한 연구결과를 기술하였다. 본 연구에 사용한 시료는 인천광역시에 위치한 화학공장에서 소다회(Na_2CO_3)를 생산하는 과정에서 발생하는 폐석회이다. Maher와 2인(1993), Rhew와 Barlaz(1995)는 폐석회를 매립지에 사용하여 유용한 효과가 있음을 발표하였다. 신은철외 2인(1996)이 연구한결과에 의하면 본 연구대상인 폐석회에 대한 토질 역학적 특성은 고령토와 비슷한 안정된 점토성질을 갖고 있어서 점토를 대용하여 양질의 건설재료로 사용될 수 있음이 입증되었다.

2. 쓰레기 매립지 차수재 기준

수도권 매립지 기반시설 조성사업 공청회 자료(1995)에 의하면 중간복토의 투수계수는 $5 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$, 지반층의 투수계수는 $1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 를 설계적용 조건으로 하였다. 미국환경청(1989)에서 발표한 매립지 차수재의 기준은 투수계수는 $1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$, 점토 및 미사도 함유량은 20% 이상, 소성지수 10% 이상, 자갈 함유량은 10% 미만, 직경이 2.5cm 이상인 입자 함유량은 0% 로 규정하고있다.

3. 시험결과 및 분석

① 폐석회의 환경적인 평가 : 폐석회의 용출시험결과는 표 1에 기술되어있다. 표 1에 나타난 폐석회의 환경시험 성적서에 의하면 모든 검사항목이 환경청이 지정한 기준과 RCRA규제 항목을 만족하고 있다. SEM에 의한 폐석회의 화학성분분석결과를 백분율로 나타내면 다음과 같다. SiO_2 , 4.0%; Al_2O_3 , 2.1%; Fe_2O_4 , 1.7%; CaO , 34.5%; MgO , 16.0%; K_2O , 0.7%; Na_2O , 0.5%; TiO_2 0%; lg.loss 40.6%로 나타났다. 광물분석결과 폐석회는 산화물(Oxides & Hydrates)성분을 소량함유하며, 탄수화물(Carbonates)은 다량함유하고 있다, 반면에 수화물(Hydrated

Silicates)은 함유하지 않고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과로 보아 CaO 가 대부분 탄산화되어 탄산석회(폐석회)로 전환되었다고 판단된다.

표 1. 폐석회의 용출시험결과

검사 항목	국내기준치	미국 RCRA규제 항목	성 적
납 또는 그화합물	3.0mg/l	5.0mg/l	불검출
구리 또는 그화합물	3.0mg/l	-	0.04mg/l
비소 또는 그화합물	1.5mg/l	5.0mg/l	불검출
수은 또는 그화합물	0.005mg/l	0.2mg/l	불검출
카드뮴또는 그화합물	0.3mg/l	1.0mg/l	0.05mg/l
6가크롬 화합물	1.5mg/l	5.0mg/l	불검출
시안화합물	1.0mg/l	-	불검출
수분함량	85%이하	-	47.9%

② 폐석회와 화강풍화토의 기본물성치 : 폐석회의 자연 함유비는 58%, 200번체를 통과량은 약 97%, 비중은 2.04, 액성한계43%, 소성지수 10.5%, 액성지수 10, 활성도 0.08, 표준다짐시험결과 폐석회의 최대건조단위중량은 1.20g/cm^3 , 최적함수비는 37.6%로 나타났다. 폐석회의 투수계수를 도출하기 위하여 변투수시험과 압밀시험을 각각 수행하였다. 최적함수비의 95% 다짐을 실시한후 완전히 밀폐하고 시료를 포화시키기 위하여 3m정도의 수두에서 일주일을 방치한후 변투수시험을 실시하였다. 변수위 투수시험결과를 검토해보면 폐석회의 경우에 평균 투수계수가 $4.669 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 이다. 압밀시험결과 폐석회의 투수계수는 12.8kg/cm^2 의 하중이 재하되었을 때 최소투수계수는 $6.94 \times 10^{-9} \text{cm/sec}$ 으로 판명되었다.

화강풍화토인 혼합토의 200번체 통과율은 평균 26.55%로 통일분류법에 의하면 실트질의 모래(SM)로 분류된다. 비중은 2.55~2.59, 액성한계는 25.39~33.9%, 소성한계는 NP로 나타났다. 또한 화강풍화토의 변수위 투수시험 결과에 의하면 $2.38 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 을 나타냈고, 표준다짐시험결과 최대건조단위중량이 1.827g/cm^3 , 최적함수비는 12.9%로 산출되었다.

③혼합비에 따른 비중 및 pH 시험결과 : 폐석회(침전물석회와 탈수케익석회)를 화강풍화토와 혼합하였을 경우 양생되지 않은 시료에 대하여 혼합비가 0~50% 범위에서 그 영향을 고찰하여 보았다. 그림 1에서 보면 비중의 변화곡선을 보면 침전물석회와 탈수케익석회를 화강풍화토와 혼합하였을 경우 비중이 혼합비율이 0~10% 사이에서 급격한 감소를 보이고 그 이후에는 점차 감소되는 경향을 보이고 있다. 폐석회 자체의 pH값은 침전물석회가 10.05, 탈수케익석회가 9.51로 나타났다. 혼합비가 증가함에 따라 pH값이 상당히 증가함을 알수있으며 일정정도의 혼합비 이상이면 pH값의 증가비가 감소하는 경향을 보였다.

④혼합비에 따른 다짐 시험 및 양생기간별 일축압축강도 : 폐석회와 화강풍화토의 혼합비에 따른 다짐특성을 고찰하기 위하여 표준다짐시험을 실시하였다. 다짐시험결과는 그림 2에 나타난것과 같다. 폐석회의 혼합량이 증가함에 따라 세립토의 함량이 증가하여 최대건조밀도는 감소하고 최적함수비가 증가한다고 사료된다.

그림 3에 나타난 시료의 양생일과 혼합비에 따른 일축압축강도시험 결과를 고찰해 보면 폐석회는 단기 양생강도를 제외하고 3일 양생일 이후부터는 모든 양생단계에서 혼합비 20%가 최대일축압축강도 값을 나타내었다.

⑤폐석회의 양생온도 및 기간에 따른 일축압축강도 : 폐석회다짐은 건조축 95%이상 이 되도록 다진후 각각의 온도에서 양생을 하였으며, 일정한 기간동안 양생한후 일축압축시험을 실시하였다. 그 결과는 그림 4에 나타내었다. 온도변화에 대하여 살펴보면 양생온도 65℃는 양생기간이 7일이 지난 후에 강도증진이 월등했으며, 양생온도 28℃는 아주 완만한 강도증가를 보였으나 양생온도 5℃에서는 양생기간이 경과할수록 강도가 작아지는 것을 볼 수 있었다.

⑥혼합비에 따른 압밀특성 : 양생 기간에 따른 일축압축시험을 했을 때 일축압축강도가 가장 좋았던 혼합비 20%, 30%를 선택하여 다짐의 건조축 95%로 다진후 시료를 추출하여 압밀시험을 실시하였다. 그 결과는 그림 5에 나타내었다. 압밀과정에서 양생한 시료의 경우가 양생을 하지않은 경우보다 완만한 변화를 보였으며, 이

러한 경향은 일축압축강도시험결과에서와 동일한 현상으로 보았듯이 경화반응을 하면서 시료의 강도를 증가되는 결과로 판단된다.

⑦강제 압밀 투수시험 : 투수시험결과를 보면 대부분의 값이 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-7}$ cm/sec 범위의 값을 나타냈다. 그리고 양생한 시료와 양생하지 않은 시료를 비교해보면 양생한 경우의 시료가 투수계수가 더 크게 나왔다. 이는 화강풍화토와 폐석회를 혼합하였을때 서로의 화학반응 때문에 공극이 커지는 것으로 생각된다. 이값들에서는 \sqrt{t} 법이 logt보다 크게 나타났으며 그 값은 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-8}$ cm/sec 범위의 값을 나타냈다. 이러한 시험을 실시한 결과 차수재가 가지는 기본물성치중에 가장 중요하다는 투수계수(1×10^{-7} cm/sec이하)는 하중정도에 따라 다소 차이가 있다.

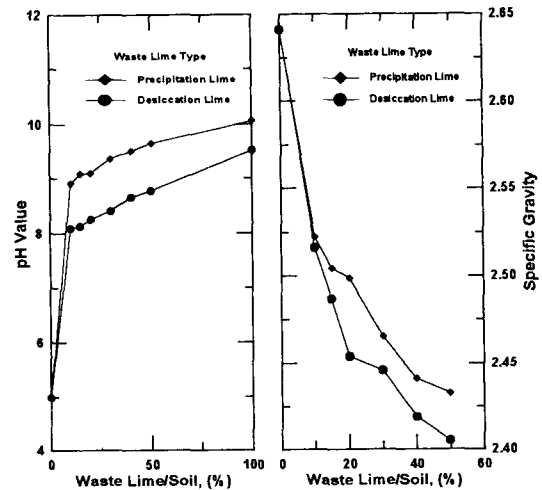


그림 1. 혼합비에 따른 pH 및 비중시험결과

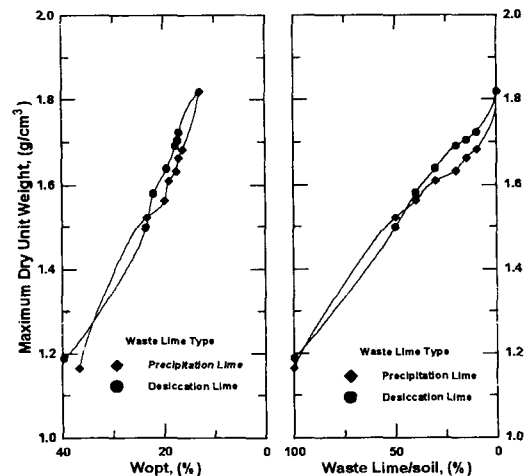


그림 2. 혼합비에 따른 $\gamma_{d(max)}$ 및 w_{opt} 의 변화

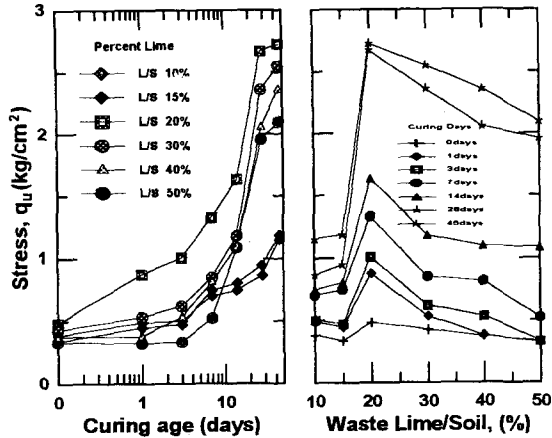


그림 3. 혼합비(폐석회/화강풍화토)에 따른 양생기간별 일축압축강도 변화

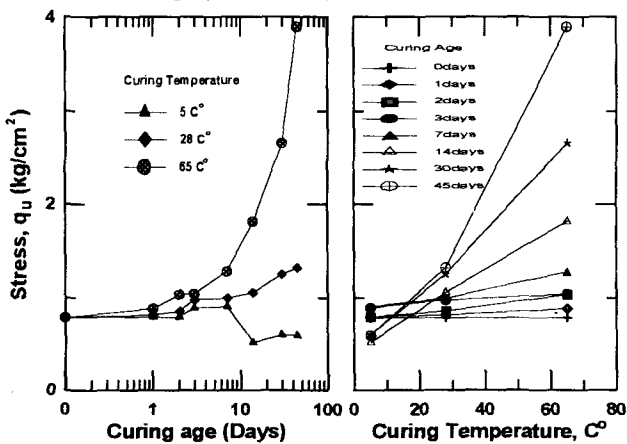


그림 4. 폐석회의 양생기간과 양생온도에 따른 일축압축강도 변화

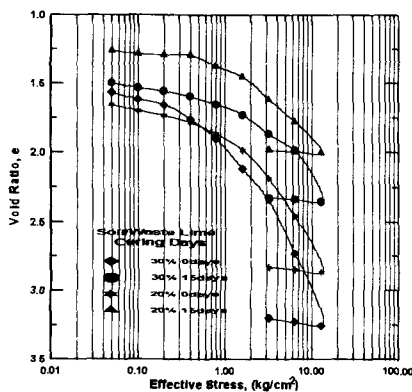


그림 5. 폐석회의 혼합비에 따른 압밀특성

4. 결론

1. 폐석회의 환경오염물질의 함유율은 국내 및 미국 환경청 기준이하로 나타났다.
2. 폐석회의 혼합비가 증가할수록 최대건조밀도

가 감소하고 최적함수비는 증가함을 알수 있었다.

3. 폐석회와 화강풍화토를 혼합한시료의 pH값은 7.5~8.5의 범위를 보여주고 있어 환경적으로 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.
4. 압밀시험결과를 이용해 도출된 폐석회의 투수계수는 재하하중이 3.2kg/cm^2 일때 $0.81 \times 10^{-7}\text{cm/sec}$ 이다.
5. 압밀시험결과로 투수계수는 $\log t$ 방법에 의해 계산된 투수계수가 \sqrt{t} 방법에 의해 계산된 투수계수보다 낮은 것으로 나타났다.
6. 폐석회/화강풍화토의 비율이 20%일 때 일축 압축강도가 가장 높고 압밀지수와 투수계수가 낮아 매립장의 하부차수로 사용할 때 지지력확보에 문제가 없으며 압밀침하량이 낮아 차수재로서 적합함이 입증되었다.

감사의 글

본 연구는 환경부에서 시행한 선도기술개발사업(G-7프로젝트)의 연구과제 입니다. 관계자 여러분께 적극적인 협조에 감사드립니다.

참고문헌

1. 신은철, 오영인, 김남돈(1996), "부산석회의 토질역학적 특성에 관한 연구", 한국지반공학회, '96 봄 학술 발표회 논문집, pp.259~264.
2. 수도권매립시운영관리조합(1995), "수도권 매립지(3공구)기반시설 조성사업 공청회자료", pp.245~246.
3. Maher, M.H., Butziger, J.M., Disalvo, D.L., & Weis, I.S.(1993). "Lime Sludge Amended Fly Ash for Utilization as an Engineering Material", *Fly Ash for Soil Improvement*, ASCE, GSP No. 36, pp.73~88.
4. Rhew, R.D. & Barlaz, M.A(1995). "Effect of Lime-Stabilized Sludge as Landfill Cover on Refuse Decomposition", ASCE, *J. of Environmental Engineering*, Vol. 121, No.7, pp.449~506.
5. U.S. EPA. *Requirements for Hazardous Waste Landfill Design, Construction, and Closure*, EPA/625/4-89/022, 1989.