

현무암 석분슬러지 혼합토의 투수특성

Permeability Characteristics of Soils Mixed with Powdered Sludge of Basalt

김기영¹, 이강일^{2*}, 윤중만³, 송영석⁴, 김태형⁵

Ki-Young Kim¹, Kang-il Lee^{2*}, Jung-Mann Yun³, Young-Suk Song⁴, Tae-Hyung Kim⁵

¹Member, General Manager, Jeju Free International City Development Center, 213-4 Cheomdan-ro, Jeju City, Jeju Special Self-Governing Province, Republic of Korea

²Member, Professor, Department of Civil Engineering, Daejin University, 1007 Hokook-ro, Pochen, Republic of Korea

³Member, Professor, Department of Construction Information System, ShinAnsan University, 135 Shinansandeahak-ro Danwon-Gu, Ansan, Republic of Korea

⁴Member, Principal Researcher, Geologic Environment Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 124 Gwahang-ro, Yuseong-Gu, Daejeon, Republic of Korea

⁵Member, Professor, Department of Civil Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727 Taejong-ro, Yeongdo-Gu, Busan, Republic of Korea

ABSTRACT

In this study, the mixed soil with an optimum mixed ratio was suggested in order to recycle the powdered sludge of basalt in Jeju Island as the impermeable liner materials. As the results of soil laboratory tests, the grain size of the powdered sludge of basalt is less than 0.1mm and the powdered sludge was classified into ML or CL category in accordance with the Unified Soil Classification System (USCS). Also, the grain size of natural soils is ranged from 0.1 mm to 10 mm and the soils were classified into SW category in USCS. To select the optimum mixed ratio of powdered sludge, the variable permeability test was performed to various mixed soils with different powdered sludge amount under both optimum compaction and field conditions. As the results of permeability tests, the coefficient of permeability of mixed soils was decreased with increasing the mixed ratio of powdered sludge, and the mixed soil with mixed ratio of 60% has the minimum coefficient of permeability. Therefore, the optimum mixed ratio of powdered sludge is 60% for recycling the powdered sludge of basalt as the impermeable liner materials.

요 지

가 (USCS) ML CL 0.1mm
(USCS) SW 가 0.1-10mm
가 가 , 가 60% 가
60%

Keywords : Powdered sludge, Natural soil, Impermeable liner material, Coefficient of permeability, Optimum mixed ratio

Received 20 May. 2015, Revised 17 Jun. 2015, Accepted 18 Jun. 2015

*Corresponding author

Tel: +82-31-539-2024; Fax: +82-31-539-2020

E-mail address: kilee@daejin.ac.kr (K.I. Lee)

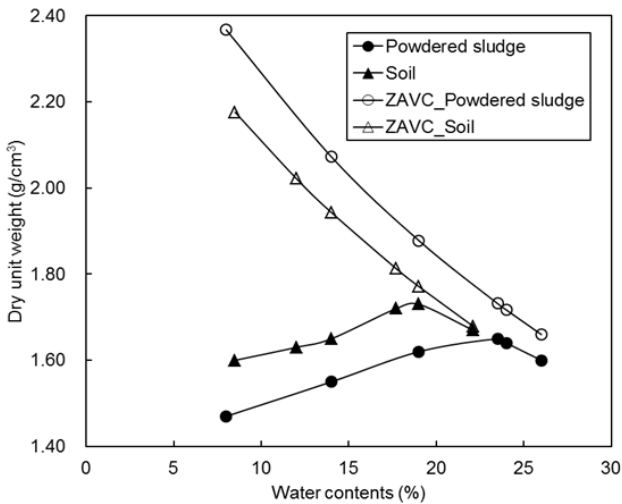


Fig. 2. Result of compaction test

는 흙과 다르므로 토질의 분류기준을 적용하기는 어려우나 통일분류법(USCS)에 의하여 분류하면 무기질의 실트 및 매우 가는 모래인 ML과 소성이 보통이하인 무기질 점토인 CL과 유사한 것으로 나타났다.

한편 현장토의 입도분포곡선은 Fig. 1에 석분슬러지의 입도분포곡선과 함께 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 현장토 입자의 직경은 대부분 10-0.1mm 사이에 존재하는 것으로 나타났다. 현장토의 비중은 2.67로서 일반적인 토사의 비중을 갖는 것으로 나타났으며, 액성한계는 40.0%, 소성한계는 22.7%이며, 소성지수는 17.3이다. 현장토의 다짐곡선은 석분슬러지의 다짐곡선과 함께 Fig. 2에 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 현장토의 다짐곡선은 석분슬러지의 다짐곡선의 상부에 위치하고 있으며, 최적함수비는 더 작고 최대건조단위중량은 더 큰 것으로 나타났다. 현장토의 최적함수비는 19.0%, 최대건조단위중량은 1.73g/cm³으로 나타났다. 한편 현장토의 경우 토질의 분류기준인 통일분류법(USCS)에 의하여 분류하면 입도 분포가 좋은 모래인 SW로 분류되는 것으로 나타났다.

현무암 석분슬러지의 화학적 특성을 살펴보면 pH는 약

8.67로 나타나 약알칼리성을 띠고 주성분은 SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃가 78.39%로 주종을 이루고 있는 것으로 나타났다. SiO₂ 및 Al₂O₃는 경화과정 중에 형성되는Ca(OH)₂와 반응하여 터버모라이트(tobermorite : CaO·SiO₂·H₂O)를 형성하며, Al₂O₃의 경우 Ca(OH)₂와 반응하여 3CaO·SiO₂·H₂O를 형성하며 석고와 반응하여 에트링가이트(ettringite)를 형성하는 포졸란 반응을 일으킨다.

3. 투수시험 장치 및 시험방법

석분슬러지 혼합토는 현무암 석분슬러지와 인근 지역에서 채취된 현장토를 혼합하여 제작하였다. Table 2는 본 연구에서 적용된 석분슬러지 혼합토의 혼합비를 나타낸 것이다. 혼합토 제작시 석분슬러지의 혼합비는 중량대비 0%, 10%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%로 하여 시험편을 제작하였다.

혼합토의 경우 최적의 다짐조건과 현장토의 상대밀도를 고려하여 투수시험을 위한 시료를 제작하였다. 투수시험을 위한 시료를 제작하기 위하여 준비한 시료를 충분히 포화시킨 후 배수구가 달린 뒷개로 물이 새어나지 않도록 O-ring을 끼워 넣어 볼트로 고정시켰다. 그리고 변수위 투수시험방법을 적용하여 투수계수를 측정하였다. 석분슬러지 혼합토의 투수시험을 위하여 다짐시험장치를 활용하여 별도의 투수시험몰드를 제작하였다. Fig. 3은 별도로 제작된 투수시험몰드의 모식도를 나타낸 것으로, 몰드 내에서 시료의 포화가 가능하고 투수시험도중 시료의 상부에 모래 및 하부에 다공질판을 두어 세립토가 빠져나가지 않도록 고안하였다. 그리고 Fig. 4는 제작된 투수시험몰드를 나타낸 것으로 표준다짐시험 몰드와 동일한 규격으로 제작하였으며, 소정의 단위중량과 함수비로 투수시험용 시료를 직접 다짐으로서 시험체를 성형할 수 있도록 설계하였다.

Table 2. Mixed ratio of powdered sludge and natural soil

Contents	Powdered sludge (%)	Soil (%)
A	0	100
B	10	90
C	20	80
D	40	60
E	60	40
F	80	20
G	100	0

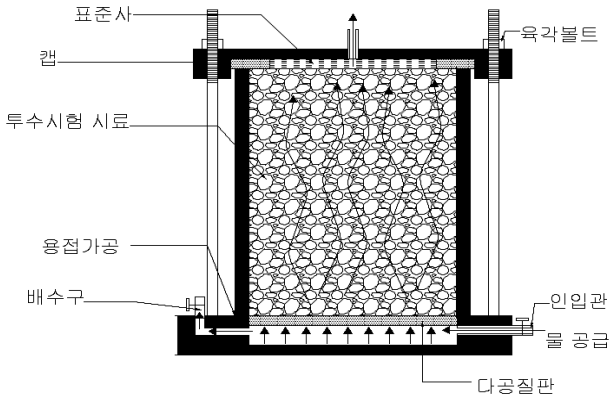


Fig. 3. Concept for mold of permeability test



Fig. 4. Modified mold of permeability test

4. 시험결과 및 분석

4.1 최적다짐조건에서 석분슬러지 혼합토의 투수특성

석분슬러지 혼합토의 투수특성을 조사하기 위하여 최적의 다짐조건에서 석분슬러지의 혼합비에 따른 투수계수를 측정하였다. 먼저 최적의 다짐조건에서 석분슬러지 혼합비에 따른 최적함수비와 최대건조단위중량을 비교하였다. Fig. 5는 석분슬러지 혼합비에 따른 최대건조단위중량을 나타낸 것이고, Fig. 6은 석분슬러지 혼합비에 따른 최적함수비를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 석분슬러지의 혼합비가 증가함에 따라 혼합토의 최대건조단위중량은 증가하는 것으로 나타났으며, 혼합토의 최적함수비는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 현장토에 세립토가 우세한 석분슬러지가 혼합됨에 따라 혼합토의 입도분포가 양호해지고 이로 인하여 혼합토의 다짐정도가 향상되는 것으로 판단된다.

한편 Fig. 7은 각각의 석분슬러지 혼합비에서 최적의 다짐조건으로 시료를 성형한 후 제작된 투수시험장치를 이

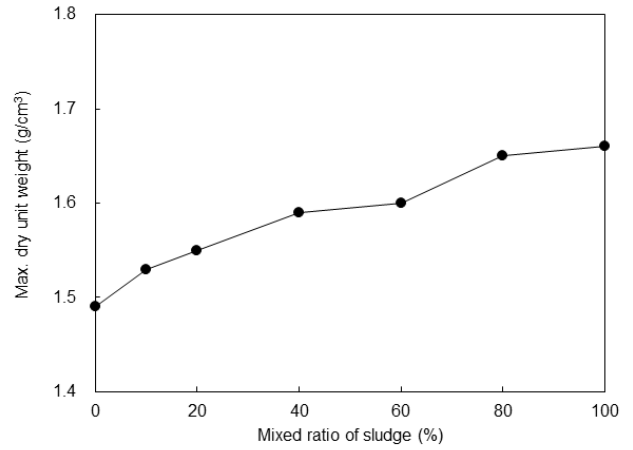


Fig. 5. Maximum dry unit weight for various mixed ratio of sludge

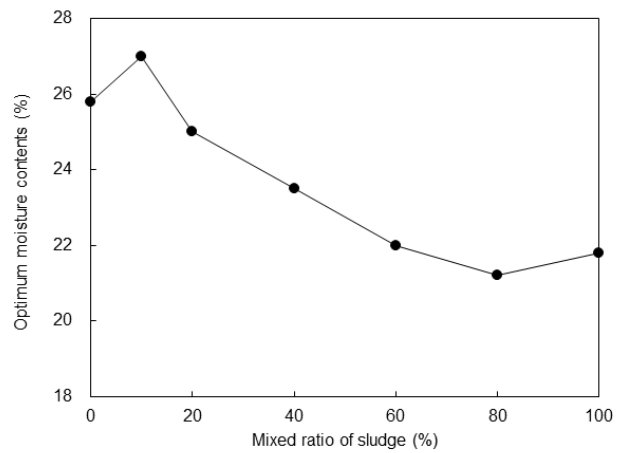


Fig. 6. Optimum moisture contents for various mixed ratio of sludge

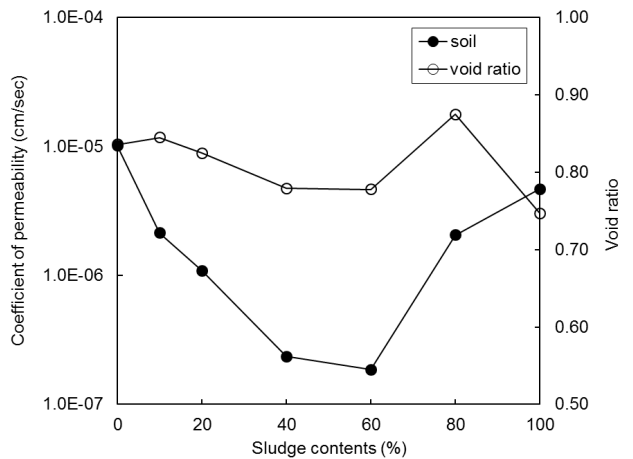


Fig. 7. Coefficient of permeability for various mixed ratio of sludge under optimum compaction condition

용하여 투수계수를 측정한 결과이며, 각 혼합비에서의 간극비를 함께 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 석분슬러지 혼합비가 증가함에 따라 혼합토의 투수계수는 감소

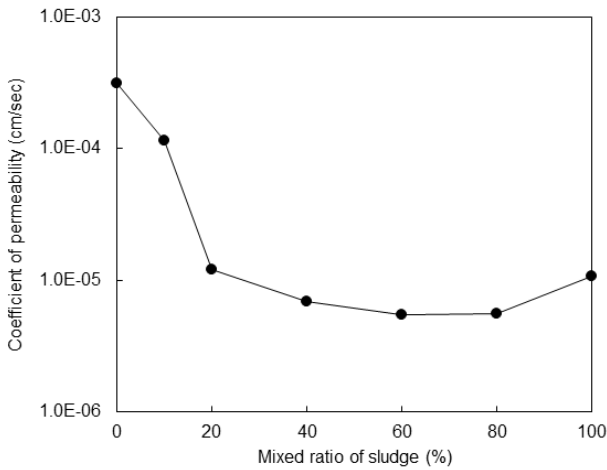


Fig. 8. Coefficient of permeability for various mixed ratio of sludge under field condition

하다가 다시 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 특히 석분슬러지의 혼합비가 60%인 경우 가장 낮은 투수계수를 갖는 것으로 나타났다. 이때 다짐시험결과를 토대로 산정된 간극비의 경우 석분슬러지의 혼합비가 40%에서 60%사이에서 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 석분슬러지의 혼합비가 40%에서 60%사이일 경우 다짐이 잘 된다는 것을 의미하며, 이때 혼합토의 투수계수도 작다는 것을 나타낸다. 따라서 석분슬러지를 차수용 재료로 재활용하기 위해서는 석분슬러지의 혼합비를 혼합토의 60% 내외에서 조절하는 것이 바람직하다.

4.2 현장조건에서 석분슬러지 혼합토의 투수특성

현장토를 채취한 위치에서의 현장 밀도시험을 수행하고 현장에서와 동일한 조건인 상대밀도 90%를 갖도록 시료를 조성하여 투수시험을 실시하였다. Fig. 8은 각각의 석분슬러지 혼합비에서 현장조건인 상대밀도 90%로 시료를 성형한 후 제작된 투수시험장치를 이용하여 투수계수를 측정된 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 석분슬러지 혼합비가 증가함에 따라 혼합토의 투수계수는 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 특히 석분슬러지 혼합비가 20%이하까지 투수계수가 급격하게 감소하며, 이후 비교적 완만하게 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 석분슬러지 혼합비가 혼합토의 60%일 경우 가장 낮은 투수계수를 갖는 것으로 나타났다. 이는 최적의 다짐조건으로 석분슬러지 혼합토를 성형한 경우와 동일한 결과를 보이며, 석분슬러지를 차수용 재료로 재활용하기 위해서는 석분슬러지의 혼합비를 60%로 선정함이 바람직하다. 그러나 폐기

물 관리법상에서 차수재료의 투수계수는 $1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 이므로 이를 만족시키기 위해서는 시멘트 등의 추가적인 혼합이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 제주도 내에서 발생하는 현무암 석분슬러지를 차수용 재료로 재활용하기 위하여 현무암 석분슬러지와 현장토를 교반하여 각 혼합비별 투수계수를 측정하고, 최적의 석분슬러지 혼합비를 선정하였다. 이에 대한 측정결과 및 분석내용을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 현무암 석분슬러지의 입경은 대부분 0.1mm 이하이고, 비중은 2.97로서 일반적인 토사에 비해 크며, 토질의 분류기준인 통일분류법(USCS)을 적용하면 ML 및 CL과 유사하다. 그리고 현장토의 입경은 0.1-10mm 사이에 존재하고, 비중은 2.67이며 통일분류법(USCS)을 적용하여 분류하면 SW에 해당한다.
- (2) 석분슬러지 및 현장토에 대한 다짐시험결과, 현장토의 다짐곡선은 석분슬러지의 다짐곡선 상부에 위치하고 있으며, 최적함수비는 더 작고 최대건조단위중량은 더 큼을 알 수 있다.
- (3) 석분슬러지 혼합비에 따른 혼합토의 최적 다짐조건에서 석분슬러지 혼합비에 따른 혼합토의 투수계수를 측정된 결과 석분슬러지 혼합비가 증가함에 따라 혼합토의 투수계수는 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보이며, 석분슬러지의 혼합비가 60%인 경우 가장 낮은 투수계수를 갖는다.
- (4) 현장에서와 동일한 조건인 상대밀도 90%에서 석분슬러지 혼합비에 따른 혼합토의 투수계수를 측정된 결과 석분슬러지 혼합비가 증가함에 따라 혼합토의 투수계수는 감소하는 경향을 보이며, 석분슬러지 혼합비가 60%일 경우 가장 낮은 투수계수를 갖는다.
- (5) 석분슬러지 혼합비에 따른 혼합토의 투수계수를 측정된 결과를 토대로 석분슬러지를 차수용 재료로 재활용하기 위한 석분슬러지의 최적 혼합비는 60%임을 알 수 있다. 그러나 석분슬러지의 혼합비가 60%인 혼합토는 차수재료의 투수계수인 $1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 를 만족시키지 못하므로 시멘트 등의 추가적인 혼합이 필요할 것으로 판단된다.

References

1. Kim, K.S. and Song, Y.S. (2007) "Recycle possibility of the stone dust in quarry as subbase layer materials of the road", *The Journal of Engineering Geology*, Vol.17, No.2, pp.279-287. (in Korean)
2. Korea Aggregates Association (2006) *A study on the characteristics of stone dust and its application plan*, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 397p. (in Korean)
3. Ma, S.J., Kim, D.M., Ahn, S.C. and Lee, S.U. (2004) "Development of fillers for underground cavity -Experiment with stone dusts as a main material-", *Journal of Korea Solid Wastes Engineering Society*, Vol.22, No.1, pp.67-78. (in Korean)
4. Ministry of Commerce, Industry and Energy (2000) *A study on the development of stone dust recycling technology*, pp.13-14. (in Korean)
5. Song, Y.S., Kim, K.S. and Woo, K.S. (2012) "Stability of embankments constructed from soil mixed with stone dust in quarry reclamation", *Environmental Earth Sciences*, Vol.67, pp.285-292.
6. Suh, Y.C., Park, K.H., Nam, Y.K. and Lee, S.H. (1995) "A study on the determination of the layer coefficient of the cement-treated-screenings base for the asphalt pavement", *Journal of the Korean Society of Civil Engineering*, Vol.15, No.5, pp.1233-1239. (in Korean)
7. Waste Control Act (2003), *Article 2 of Chapter 1*. (in Korean)