

pH 변화에 따른 점토의 투수특성변화에 관한 연구

A study on the Permeability Characteristics of Clay Contaminated with Various Degree of pH

장 병 옥 · 우 철 응 · 김 성 필 · 김 재 형* (서울대)

Chang, Pyung Wuck · Woo, Chull Woong · Kim, Seong Pil · Kim, Jae Hyung

Abstract

This study was performed to understand permeability characteristic of clays with various pH values. A series of physical properties and permeability tests, consolidation tests was performed on a clay and a marine clay. Results of the study are as follows.

As pH values were decreased, coefficient of permeability was increased because of increase in effective void caused by decrease in thickness of diffuse double layer besides change in soil structures and effective grain size

As pH values were increased, coefficient of permeability of marine clay was increased. Variation of coefficient of permeability of marine clay was increased. Variation of coefficient of permeability of marine clay was largely related because of higher clay contents.

I. 서론

최근 쓰레기 매립장(landfill)과 독성폐기물 매립장(toxic-waste land fill)에서 침출되는 침출수의 이동과 관련한 연구에 관심이 커지고 있다. 이러한 매립장에서는 침출수가 주변환경으로 유출되는 것을 방지하기 위하여 자연적 혹은 인공적인 재료를 차단층으로 이용하게 되는데 일반적으로 점토함량이 높고 투수성이 작은 흙이 많이 이용되고 있다. 점토질 흙의 투수성에 영향을 미치는 물리화학적 인자들의 상호작용에 영향을 받는 투수계수와 공극유체의 관계는 명확하게 알려져 있지 않고, 인자들 사이의 상호작용은 투수계수의 예측을 어렵게 하는 요인이다. 여러 연구자들은 유기화합물을 투과물로 선정하여 실험적 수준으로 점토를 대상으로 한 투수 시험을 실시하여 투수계수의 변화의 원인이 유전상수(dielectric constant)와 극성(polarity), 이온농도(ion concentration) 등에 관계가 있다고 하였다. 토양의 pH는 광물조성, 유기물량, 비표면적, 간극수의 용존성분 등의 물리화학적 성질과 함께 토양의 공학적 특성을 이해하기 위하여 자주 측정되는 항목이다. 하지만 일반적인 측정항목 중의 하나인 pH의 변화에 따른 투수특성 및 기타 공학적 특성에 대한 연구는 극히 미비한 상태이다. 본 연구는 매립지의 차단층 재료로 사용될 수 있는 해성점토와 일반 육상점토를 대상으로 pH에 의한 점토의 투수기작 변화를 살펴보기 위해 투과수의 pH를 변화시키고 이때 나타나는 각 점토의 공학적 특성 변화와 이에 따른 점토의 투수특성의 변화를 실험적으로 규명하고자 한다.

II. 재료 및 시험방법

2.1 재료

본 연구에 사용된 흙 시료는 경기도 수원지방에서 채취한 흙과 전라남도 장흥에서 채취한 흙으로서 중간소성의 점토이다. 시료의 주요 물리적인 특성은 Table 1과 같다. 시료의 주요광물을 조사하기 위해 X선 회절분석(X-ray refraction test)를 실시한 결과 수원점토는 quartz와 kaolinite가 주성분이며, 장흥점토는 quartz, feldspar와 kaolinite가 주성분이다.

투과물의 pH를 조정하기 위하여 1N-H₂SO₄(황산)과 1N-NaOH(수산화나트륨)을 사용하였다. pH는 미국 Orion Research사의 420A 모델 pH meter를 사용하였다. pH는 실험 전에 측정되었으며 범위는 pH 1, 4, 7, 10, 13±0.1로 조정하였다.

Table 1 Physical properties of soils used

Physical properties	Suwon clay	Janghung clay
Index properties		
Specific Gravity	2.62	2.69
Liquid Limit(%)	34.2	29.0
Plasticity Index(%)	17.0	10.3
% clay	18%	30%
U.S.C.S.	CL	CL

2.2 실험방법

40%의 함수비를 가지는 슬러리를 만들어 시료내부의 기포제거와 균질화를 위해 진공을 12시간 이상 가하여 슬러리를 제작한 후 Fig. 1의 강성벽 투수시험기 모듈드 내부에 실리콘을 도포한 후 슬러리를 넣고 하중재하장치를 이용하여 압밀시키고, 압밀이 완료되면 투수장치를 분해하여 트리밍을 한다. Fig. 1의 제어판(a)을 이용하여 공시체를 교체하지 않고 pH단계별로 각각 압력을 20, 40, 60 kPa까지 순차적으로 증가시켜 60kPa의 압력을 일정하게 유지시키고 약 2~4시간 간격으로 그 유출량을 측정하고 투수계수를 산정하였다. 압밀시험은 pH단계별로 각각에 대한 공시체를 교체하면서 ELE사의 일차원 표준압밀시험기로 압밀시험을 수행하였다.

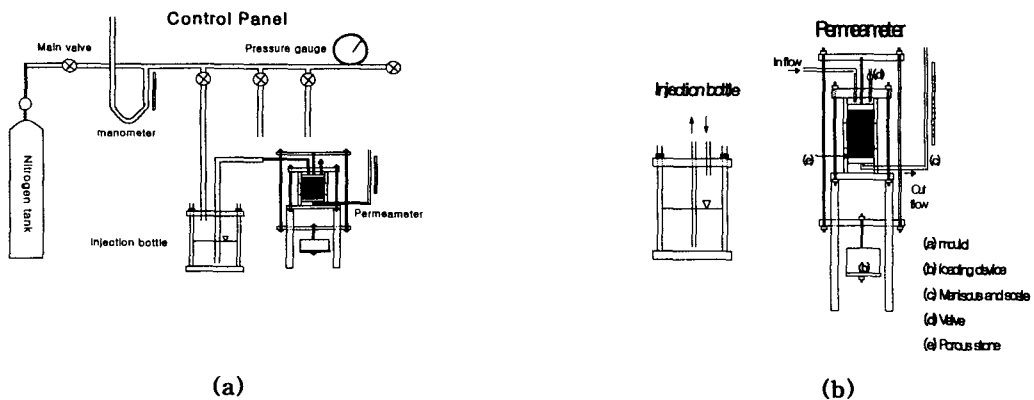
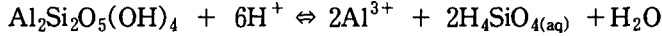


Fig.1 Schematic view of permeability apparatus

III. 결과 및 고찰

3.1. 투수시험

초기공극비가 투수계수에 미치는 영향을 최소화하기 위해 공시체를 교체하지 않고 pH단계별로 투수시험을 수행하였다. 그 결과 Fig.2과 같이 수원점토의 투수계수는 pH가 감소할수록 투수계수가 증가하는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 수원점토의 주요성분인 kaolinite의 경우 다음과 같은 형태의 pH의 변화에 따라 다음과 같은 반응을 보인다.



알루미늄 이온은 pH 변화에 따라 알루미늄 착물을 형성하고 시간에 따라 응축과 종합체형성을 하게 된다. 이러한 pH 변화에 따른 알루미늄 착물의 변화는 입자표면특성을 변화시키게 된다. 즉 pH는 OH 그룹의 해리도를 변화시켜, 높은 pH에서 해리를 일으키고 전하량을 증가시켜 이중층을 두껍게 만들고 낮은 pH의 경우에는 그 반대의 경우로 플록의 파괴를 가져오고 분산작용을 가져온다. Yong 등(1993)은 무기물질의 통과에 의하여 점토의 투수성이 변하게 되는 것은 점토광물의 팔면체 시이트에서 알루미늄이온의 축출과 3개의 추출된 알루미늄이온(Al^{3+})이 자연적으로 흡착된 저가의 양이온(Na^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{2+})과 이온 교환되어 분산이중층의 두께 감소, 그리고 유효간극간격의 감소와 굴곡도의 감소로 인한 투수계수의 증가라고 했는데 이와 잘 들어맞는다. 해성점토 역시 pH의 값이 증가할 수록 투수계수가 감소하는 경향을 보였으며 특히 pH 1에서 투수계수가 많이 증가함을 알 수 있다. 육성점토의 경우와 비교해 보면 전체적으로 해성점토가 pH의 변화에 좀 더 영향을 받는 것을 알 수 있는데 이는 해성점토의 점토 함유비가 높기 때문에 투과수와 물리화학적 반응이 좀더 활발했기 때문이다

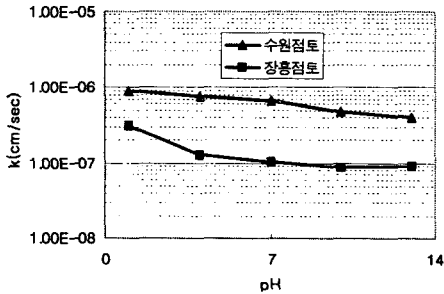


Fig.2 Results of permeability in permeability test

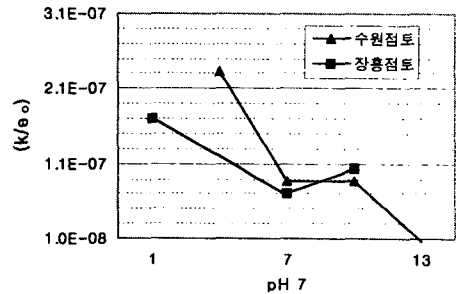


Fig.3 Results of permeability tests in consolidation test

3.2 압밀시험

Fig.3의 투수계수는 각 압밀단계에서의 투수계수를 평균한 값을 사용하였고, pH 변화에 따라 공시체를 재성형하여 공시체의 초기공극비를 일치시킬 수 없었다. 이에 각 pH 단계별로 초기공극비를 정규화하여 (k/e_0) 초기공극비가 투수계수에 미치는 영향을 제거하고 경향성을 분석하였다 그 결과 수원점토는 pH가 감소할수록 투수계수가 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 직접투수시험의 결과와 일치한다. 장홍점토 역시 압밀하중에 따른 투수계수 변화는 하중이 증가할수록 감소한다는 점에서 수원점토와 유사한 거동을 보이나, 투수계수 변화는 수원점토와 다

른 거동을 보인다. 산성영역에서는 그 거동이 유사하나, 알칼리성 영역에서는 오히려 pH가 증가할수록 투수계수가 약간 증가하는 경향을 나타냈다. 그러나 이는 투수계수 측정의 오차를 감안하면 충분한 정도의 엄밀성을 가지는 것은 아니다. 그리고 압밀실험과 직접투수시험에 의한 투수계수를 비교해보면 압밀시험으로 구한 투수계수가 약간 적는데, 이는 압밀하중으로 인해 간극속 점토입자의 침전에 의한 흡간극의 막힘현상에 의한 것으로 판단된다.

IV. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 점토에서 투과물의 pH변화에 따른 물리적 특성의 변화를 구명하기 위해 수원점토와 장홍점토를 대상으로 pH를 변화시켜가면서 강성벽 투수시험, 압밀시험을 실시하였다. 직접투수시험결과 투수계수는 두 점토 모두 pH가 감소할수록 투수계수가 증가하는 경향을 보였다. 압밀시험에서 두 점토 모두 압밀하중이 증가할수록 압밀계수가 증가하는 경향이 나타났으며, 압밀하중 증가에 따라 수원점토와 장홍점토의 투수계수는 감소하였다. 압밀시험으로 구해진 투수계수는 수원점토에서 직접투수시험결과와 유사한 경향을 보였으나, 장홍점토는 알칼리부분에서 증류수인 경우와 뚜렷한 차이를 보이지 않는다. pH가 점토의 공학적인 거동에 영향을 주는 화학적 인자임은 확실하지만, pH에 따른 투수계수 변화의 신뢰성있는 관계를 확보하기 위해서는 직접투수시험과 압축시험의 공학적 거동이 일치하지 않는 영역에 대해 추후 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

V. 참고문헌

1. 구윤희, 1998, 상수슬러지의 수분분포와 탈수성에 대한 영향인자, 서울시립대학교 석사학위논문
2. 민덕기, 황광모, 1998, "폐기물 매립시설 점토 차수층의 지반·환경공학적 특성", 울산대학교 공학연구논문집, 제30권 1호, pp.447-461
3. 전상옥, 1995, 유기투과물이 자연점토의 투수성에 미치는 영향에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문
4. 정종홍, 1997, "점토에서 수용성 유기물의 투수특성에 대한 연구", 서울대학교 석사학위논문
5. Lambe, T. W & R. V. Whitman, 1969, Soil Mechanics, John Wiley & Sons.
6. Yong, R. N and Sheeran, D. E., 1973, "Fabric unit interaction and soil behavior", Proceedings of the International Symposium on Soil Structure, Gothenburge, Sweden, pp. 176-183
7. Fang, Hsai-yang, 1987, "Soil-pollutant interaction effects on the soil behavior and the stability of foundation structures", Environmental Geotechnics and Problematic Soils and Rocks, Balasubramaniam et al.(eds), Balkema, pp. 155-163
8. Yong, R. N., Mohamed, A. M. O. and Warkentin, B. P., 1993, "Principle of contaminant transport in soils", Developments in Geotechnical Engineering 73, Elsevier, pp. 327
9. Fang, Hsai-yang, 1987, "Soil-pollutant interaction effects on the soil behavior and the stability of foundation structures", Environmental Geotechnics and Problematic Soils and Rocks, Balasubramaniam et al.(eds), Balkema, pp. 155-163