



시멘트계 안정제로 개량된 지반재료의 투수성 평가

Assessing Hydraulic Conductivity of Cement-Modified Geomaterials

성열정* 박성완** 박희문***
 Seong, Yeoul Jeong Park, Seong-Wan Park, Hee Mun

1. 서론

최근 재활용에 대한 관심이 증가하고 있고 대체 지반재료 및 흙의 성질을 개량하기 위한 연구의 필요성이 증대되고 있는 실정이다. 지반재료를 개량하거나 안정제로 활용할 경우 강도적인 측면에서 많은 효율의 증대가 예상되나 내구적인 부분에 대한 검토도 병행되고 있다. 특히 도로와 같이 강우나 온도와 같은 외부환경 및 계절적인 영향을 많이 받는 경우 이를 반영한 특성 평가가 요구되고 있다.

본 논문에서는 석탄회의 75~80%정도 차지하는 비회(Fly Ash) 와 시멘트를 복합적으로 적용하여 도로기초 지반재료의 투수적 성질을 실험적으로 평가하였다.

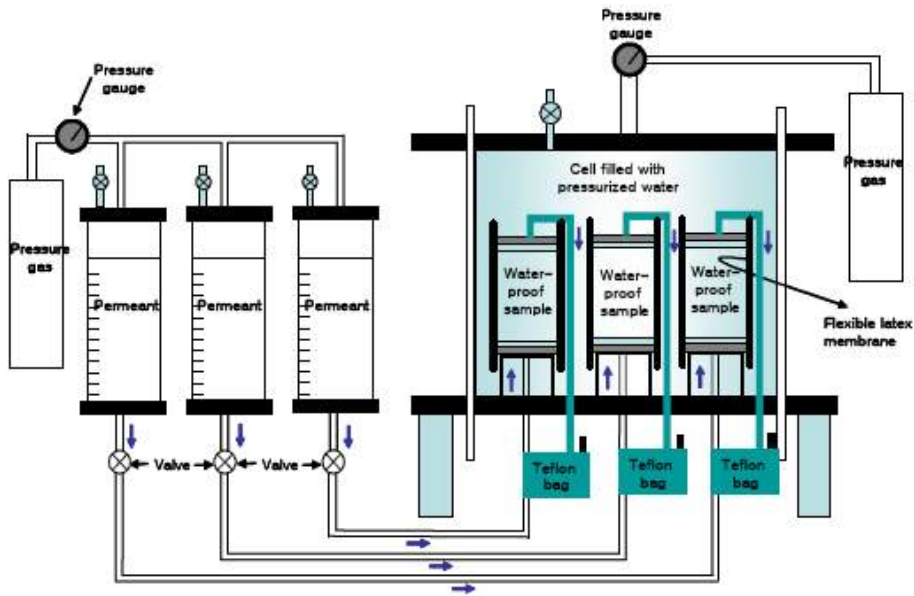
1.1 실내 시험

실험적인 평가를 위하여 중부내륙고속도로 내 시험도로, 강원도 0지역 및 경기도 0지역 현장의 시료를 교란상태로 채취하였다. 대상 시료의 입도분포는 국토해양부에서 규정된 도로 노상재료 범위내에 존재하였으며, 각 지역 재료들은 통일분류법상 시험도로는 SW, 강원도 및 경기도 지역 노상토는 SM계열로 각각 분류하였다. 시료의 주요 물성값은 <표 1>과 같다. 시험에 사용된 투수 장치는 연성벽 형태로 그림 1.이 모식도이다. 투수시험기의 구성을 살펴보면, 투수액을 담고 있는 액통, 공시체를 담고 있는 압력셀, 압력을 조절하는 질소가스, 그리고 테프론 백 4가지로 구성되어 있다. 질소가스를 사용하여 투수시험기의 동수경사를 조절하고 압력을 조절하여 현장 지반조건의 구속응력 상태를 묘사할 수 있다. 그림 2.는 연성벽 투수시험기 전경이다.

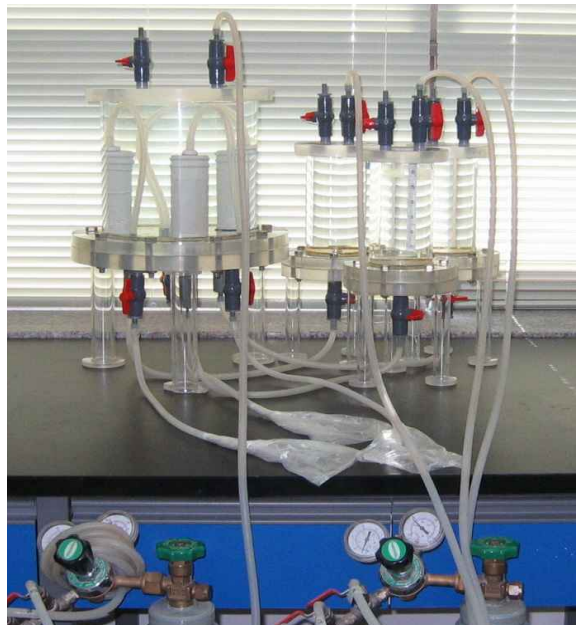
<표 1> 각 시료별 기본 물성값

구분기호	SW	SM-1	SM-2	
비 중	2.653	2.677	2.689	
소성지수 (%)	NP	NP	6.8	
입도	#200 통과율 (%)	4.92	18.84	24.26
	#40 통과율 (%)	24.35	32.03	52.17
	#4 통과율 (%)	93.82	73.55	85.30
짐	최적함수비 (%)	9.50	10.10	15.80
	최대건조밀도(kN/m³)	18.86	20.68	17.74

* 정희원 · 중앙대학교 건설환경공학과 박사과정 · 02-816-0251 · (E-mail :htsrsw@naver.com) - 발표자
 ** 정희원 · 삼우 IMC 대표 이사 · 공학박사 · 02-816-0251 · (E-mail :kiheun@samwooimc.com)
 *** 정희원 · 삼우 IMC 기술연구소 부장 · 공학박사 · 02-816-0251 · (E-mail :dhkim1327@hotmail.com)



〈그림 1〉 연성벽 투수시험기의 모식도



〈그림 2〉 연성벽 투수시험기

시험 공시체는 시료의 직경을 고려하여 제작하였다. 시편의 성형은 원시료를 적용하는 것이 원칙이지만 시편 직경의 제약으로 모델시료를 적용하는 경우도 있다. 본 연구에서는 matrix model을 통해 시료를 성형하는 방법을 채택하였다. 참고로 큰 입자들(oversize)을 제거한 모델시료를 사용하여 시험을 수행하는 경우 시편의 직경에 따른 최대입자크기는 다음〈표 2〉와 같다.



〈표 2〉 시편직경에 따른 허용 최대 입자 크기

시편직경(mm)	허용 최대 입자(공칭입자) 크기(mm)
200	38
150	30
100	19
70	13
50	10

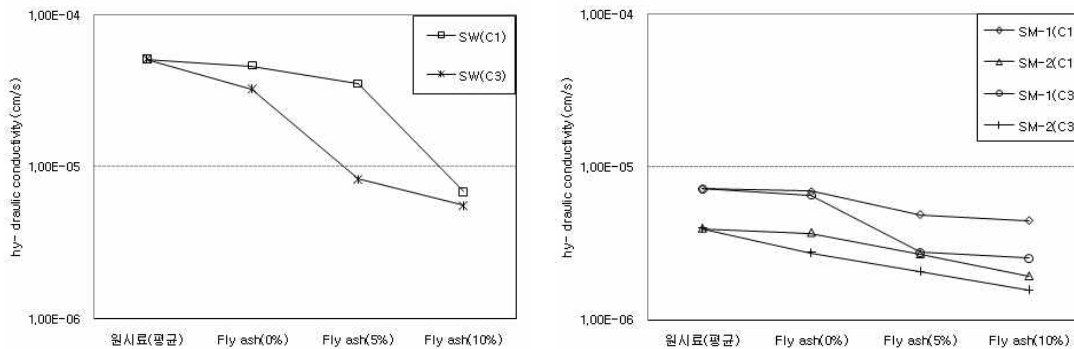
연성벽 투수시험기의 제안사항을 고려하여 직경 50mm, 높이 100mm로 허용 최대입자크기는〈표 2〉와 같지만 흙의 입도분포 범위 및 KS 규정을 참고하여 허용 최대 입자크기를 4.75mm로 제한하였다. 개량제 혼합시 함량은 지반재료의 노건조 무게에 대한 비율로서 혼합하여 KS 규정을 참고하여 최적함수비와 최대 건조단위중량의 조건으로 PVC 파이프를 사용하여 제작하였다. 제작된 공시체는 온도 20~25℃ 및 습도 95% 이상 항온 항습조건에서 7일간 습윤 양생을 실시하였다. 함량에 따른 다짐시험을 하지 않고 원시료의 다짐시험결과에 따라 공시체를 제작하여 시험을 실시하였는데 이는 Hopkins (1994)의 기존 연구를 활용한 것으로 안정제 종류별로 동일한 안정제 함량에서 비교를 통하여 최적 안정제를 선정하여 실험 결과들의 동등한 비교가 가능한 장점이 있다. 투수시험시 도로지반에 일반적으로 미치는 하중을 고려하여 34.5kPa의 구속압력을 적용하였으며 20.7kPa의 동수경사를 적용하여 측정하였다. 안정제의 함량에 따른 공시체의 시험조건은 〈표 3〉과 같다.

〈표 3〉 개량제 사용시 시험조건

시료	개량제 종류	함량(%)
SW	시멘트 : C	C1
		C1F5
SM-1	시멘트+플라이애쉬 : C+F	C1F10
SM-2		C3
		C3F5
		C3F10

3. 시험 결과

그림 3. 은 함량에 따른 재료별 투수계수의 변화를 나타낸 것으로 전반적으로 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 수화반응 생성물인 Ettringite가 궁극적으로 흙 사이의 간극을 메우고 결합력을 증대시켜 투수성을 저하시키는 결과를 가져온 것으로 판단되며 이는 정치복(2000)의 연구결과와 유사하다.

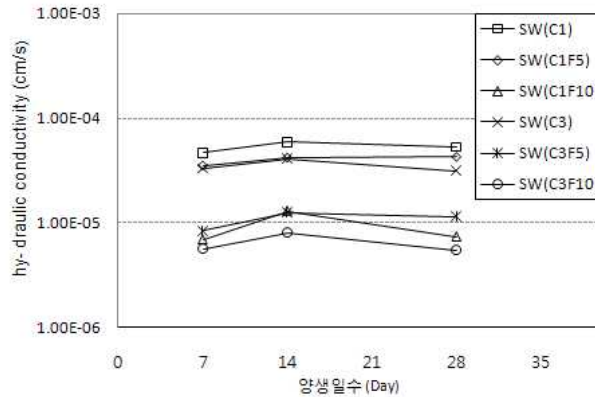


〈그림 3〉 안정제 함량에 따른 투수계수 변화



No. 40체 통과율이 작은 SW시료의 안정제 함량이 C1, C1F5, C3인 경우의 투수계수는 원시료의 투수계수결과에 비해 감소세가 미세하게 관측되었으나 시료의 안정제 함량이 C1F10, C3F5, C3F10 일 때는 원시료의 투수계수 값보다 7~9배 감소하였다. 이는 일정수준 이상의 시멘트와 플라이애쉬 혼합에 의한 수화반응이 개량된 지반재료의 마이크로구조를 보다 축소시킨 것으로 판단된다.

그림 4. 는 안정제의 함량별 투수계수 변화폭이 큰 SW시료를 통하여 함량별 재령에 따른 투수계수의 변화를 살펴보았다. 시험결과 각 시료의 함량별 양생일수에 따른 변화는 미세한 것으로 관측되었으며 이는 최적함수비를 유지하기위해 온도 20~25℃, 습도 95% 이상 유지되는 항온항습기의 습윤양생시 최적 함수비에서 안정제의 수화반응이 작게 일어난 것으로 추정되며, 최적함수비보다 더 높은 함수비에서의 습윤 양생과 또는 수침 양생시 더욱 큰 수화반응으로 인한 재령별 투수계수 감소가 있을 것으로 예상된다.



〈그림 4〉 SW 시료의 함량별 양생일수에 따른 투수계수 변화

4. 종합

본 연구에서는 현장에서 채취한 지반재료를 대상으로 투수시험을 실시한 결과를 종합하면 다음과 같다.

1. 지반재료의 개량제 함량에 따른 투수계수의 변화는 전반적으로 함량이 증가할수록 투수계수는 작아지는 경향을 나타내고 있다.
2. SM계열의 시료들은 안정제 함량이 증가할수록 2~4배 감소하였고, 함량에 따른 투수계수는 시멘트 3%이상, 플라이애쉬 5% 이상 적용시 변화가 급격히 감소함을 알 수 있다.
4. 함량별 양생일수에 따른 투수결과는 변화가 크지 않은 것으로 관측되나 최적함수비 보다 높은 함수비에서 습윤/양생 또는 수침/양생시 수화반응으로 인하여 재령별 투수계수가 감소할 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 건설교통부 (2003), “도로공사표준시방서”
2. 정치복 (2000), “시멘트계 고화제로 개량된 흙의 거동 특성 - 마이크로 실리카와 CSA 시멘트 중심으로-”, 연세대학교 석사학위논문
3. Tommy C. Hopkins., David Q. Hunsucker and Tony Beckham (1994), "Long-Term Performance of Flexible Pavements Located on Cement-Treated Soils," Transportation Research Record