

평면투수 실험을 통한 기존 배수재와 고투수성 배수재의 성능 평가 **Performance Assesment of the Existing Tunnel drain and higher permeable for the In-plane Test**

마상준¹⁾, Sang-Joon Ma, 이흥수²⁾, Heung-Soo Lee, 최희섭²⁾, Hee-Sup Choi, 김경덕³⁾, Kyung-Duk Kim

¹⁾ 한국건설기술연구원 지반방재환경연구실 책임연구원, Research Fellow, Geotechnical Disaster & Environment Research Dept., Korea Institute of Construction Technology

²⁾ 한국건설기술연구원 지반방재환경연구실 연구원, Researcher, Geotechnical Disaster & Environment Research Dept., Korea Institute of Construction Technology

³⁾ 한일시멘트공업(주) 중앙연구소 레미탈팀장, Product Develop Leader, Central Research Center, Hanil Cement CO.

SYNOPSIS : In this study, performance Assesment of the existing tunnel drain and higher permeable for the In-plane Test. Two separate simulation tests from geotextile and Lightweight Foamed Mortar compare. performed:the one is the in-plane test and the other is the clogging phenomenon test. As a result, NATM Composite used to Ligheweight Foamed Mortar pemability 80%, more than existing tunnel drain. Also, clogging phenomenon test do low assesment more than existing tunnel drain geotextile.

Keywords : In-plane Test, permeability, NATM Composite lining Tunnel

1. 서 론

1970년대 중반 이후 지하철 건설로 인한 지하공간의 활용과 도로, 철도 등 정부의 사회 간접자본의 확충계획과 더불어 터널건설이 증가하면서 터널의 장기적인 사용성과 안정성의 개념에 관한 관심이 점차 높아지고 있는 추세이다. 하지만 국내 터널의 경우 장기적인 사용성과 안정성 저하를 초래하는 다양한 터널변상에 노출되어 있다.

다양한 터널변상의 원인 중 본 연구에서는 장기적인 사용성과 안정성 저하에 영향성이 큰 배수성능 저하 현상에 관하여 알아보고자 하였다. 기존 터널 배수재로 이용되는 부직포는, 터널 내로 유입되는 지하수를 충분히 배수시켜 라이닝에 수압이 작용되지 않도록 해야한다. 그러나, 흙이나 숯크리트 미세입자들에 의해 부직포에 블로킹, 블라인딩 및 폐색현상이 발생하여 부직포의 배수성능이 저하되고, 이로 인해 부직포의 내구성능이 현저하게 감소하여 시간이 경과함에 따라 점차 터널배수재의 배수기능이 상실되는 등 많은 문제점에 노출되어 있다.

이에, 본 연구에서는 현재 국토해양부와 민간기업의 주도로 연구개발 중에 있는 신개념 터널기술인 NATM Composite 라이닝 공법의 배수재로 적용되고 있는 경량기포 모르타르와 기존 배수재와의 평면투수 실험을 통해 기존 배수재로 사용되고 있는 부직포의 문제를 대처할 수 있는 고투수성 배수재의 배수성능을 평가하고자 하였다.

2. 평면투수 실험

2.1 실험개요

본 연구에서는 경량기포 모르타르와 실제 현장에서 많이 쓰이고 있는 배수재인 부직포와의 배수성능을, 시간에 따른 통수량으로 비교·분석하여 본 연구에서 배수재로 사용될 경량기포 모르타르의 배수성능에 대한 효율성에 대해 확인하고자 하였다.

2.2 실험재료 및 배합표

2.2.1 흙시료

본 연구에 사용된 화강풍화토로서 강원도 홍천군 00현장에서 수급하였으며 클로킹 현상을 규명하기 위해 국내 지질 중 가장 널리 분포된 화강풍화토를 사용하였다. 물성시험 평가항목은 입도분석(KS F 2302), 아터버그 한계시험(KS F 2303)에 의거하여, 액성한계, 소성한계, 액·소성지수, 체분석, 비중계분석을 실시하였다.

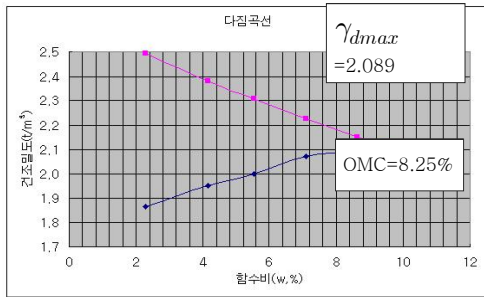


그림 1. 다짐곡선

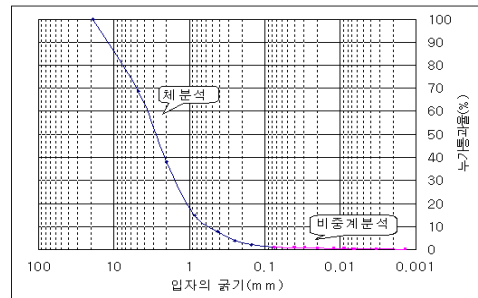


그림 2. 체 분석 및 비중계 분석

2.2.2 부직포

본 연구에 사용된 부직포는 일반적으로 국내 터널 현장에서 가장 널리 쓰이는 제품을 선정하였고, FITI 시험연구원으로부터 시험성적서를 받았고 부직포의 물리적 특성은 표와 같다.

시험항목	시험결과	시험항목	시험결과
섬도(denier)	4.53	인장강도(MPa)	37.9
중량(g/m ²)	308.3	인장신도(%)	60 ~ 100
두께(mm)	3.00	수직투수계수(cm/s)	4.8×10 ⁻¹
유효구멍크기(μm)	0 ₉₅ : 38 이하	비중	1.38

2.2.3 경량기포모르타르 배합표

본 연구에 사용된 경량기포모르타르의 경우 지반의 잔류 응력 전달의 역할 뿐 아니라 지하수 배수 문제도 모두 해결할 수 있을 것이라 판단되어 기존 터널 배수재와의 투수성능 비교를 하고자 하였고, 배합표는 다음 표와 같다.

구 분		슬러리			기포균			총 계
		레미탈	단위수량	소계	기포제	희석수량	소계	
경량기포	중량(kg)	450	293	743	0.7	32.4	33.1	776
	용적(L)	146.8	293.0	439.8	0.6	32.4	660.7	1100

2.3 실험조건

부직포는 12cm×30cm로 성형하여 24시간 이상 수침시킨후 사용하였고, 시료의 포화도는 압을 주지 않은 상태에서 물의 흐름이 일정하게 유지될 때까지 방치하여 물의 흐름이 정상상태가 될 때 이 시점을 시료가 포화된 것으로 가정하였고, 성형된 시료의 상부에는 수압에 의해 상부의 흡입자가 세굴되는 것을 방지하기 위해 다공질 판을 설치하였다. 배수재와 경량기포 모르타르의 폐색효과와 유출특성을 파악하기 위하여 흡에 가해지는 동수경사를 0.15, 0.3, 0.45로 변화를 주었으며 배수재일때 가해지는 하중을 0kg/cm², 0.075kg/cm², 0.15kg/cm², 0.3kg/cm², 0.6kg/cm²으로 변화시켜서 수행하였다. 실험이 완료된 배수재는 건조시킨 후 무게를 측정하여 실험전후의 무게차이를 측정하였고, 이로부터 배수재에 폐색된 양을 정량적으로 산정하였고, 경량기포 모르타르도 같은 방식으로 폐색된 양을 산정하였다.

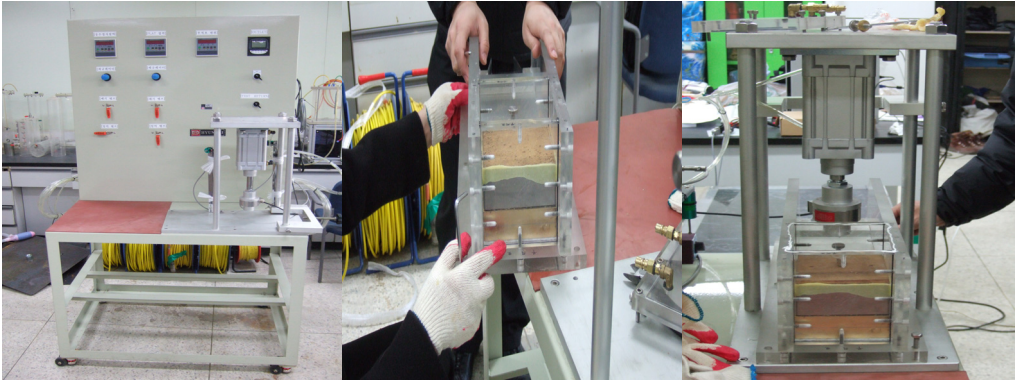


그림 3. 실험장치의 구성도 및 실험수행

3.3 실험결과 및 분석

기존 터널 배수재와 고투수성 배수재 경량기포모르타르 평면투수 실험을 통하여 다음 그림4의 결과를 도출하였으며, 각각의 실험결과는 다음과 같다.

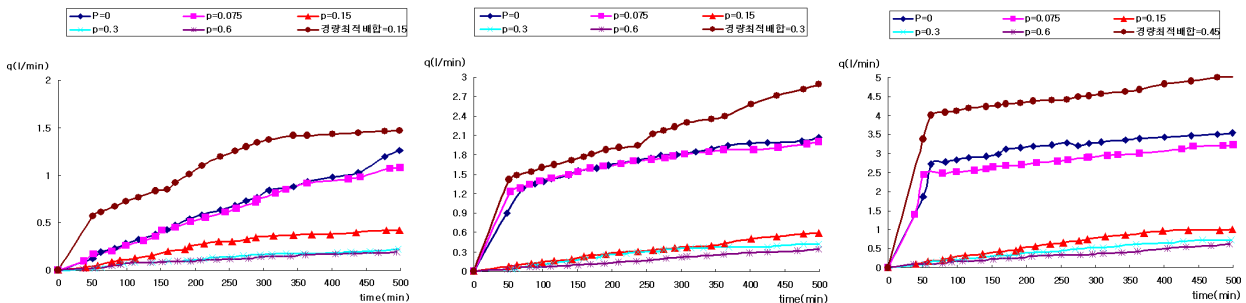


그림 4. 동수경사에 따른 누적통수량($i=0.15, i=0.3, i=0.45$)

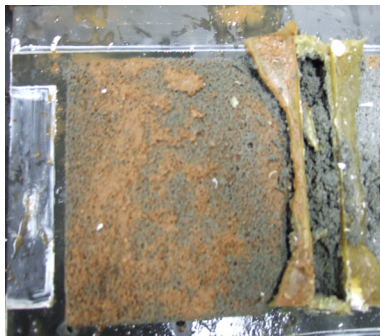


그림 5. 경량기포모르타르 실험 후 흙의 잔량

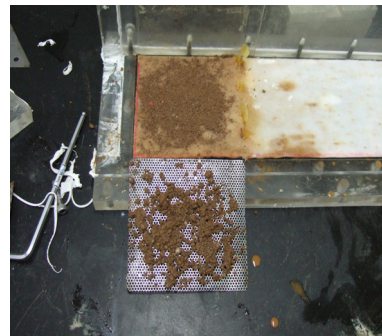


그림 6. 부직포 실험 후 흙의 잔량

실험은 부직포의 양단에서 일정한 수두차가 유지되도록 수두를 조절하였으며, 일정한 수두하에서 흙속을 통과한 물이 부직포를 통해서 나오는 유량을 계속해서 측정하여 누적통수량을 측정하였으며 그 결과는 그림 4와 같다.

동수경사를 동일하게 0.15로 가하고 부직포의 하중은 0~0.6까지 5단계로 증가시켜서 실험을 수행하였다. 그림 4와 같이 부직포에 하중을 0.15kg/cm²이상으로 가한 경우 낮은 통수량이 나왔으며 하중을 주지 않거나 낮게 가한 경우에는 실험종료시 가장 낮은 통수량 대비 약 80%이상 차이가 나타났다. 경량기포 모르타르 최적배합의 경우 가장 우수한 통수량을 보였으며 초기 50분 경과후 더 이상의 입자의 이동이 발생하지 않는 것으로 판단되며, 이는 안정화 상태로 접어들어 평형상태에 도달함을 알 수 있다.

경량기포모르타르와 부직포에서 일반적인 유출특성을 고려해 보면 흙속의 미세한 입자들이 부직포를 통과해서 빠져나감으로서 시스템의 유량이 증가하는 경우와, 부직포에 인접한 미세한 입자가 운반이 되면서 좀 더 큰 입자는 부직포에 막히거나 걸리게 됨으로써 유량이 감소하는 것을 생각할 수 있다. 그림

4를 통해 각 실험조건별로 실험의 지속시간은 대략 8~9시간 정도였으며 시간이 지남에 따라 유량이 일정해지는 구간에서 실험을 종료하였다.

그림 4에 나타낸바와 같이, 경량기포모르타르의 경우 유량 변화특성을 보면 수압을 가하기 시작한 초기 약 50분 경과시까지 최대 유량이 발생하고 시간이 흐름에 따라서 점차적으로 유량의 감소가 발생함을 알 수 있다. 반면, 부직포의 경우 부직포에 가해지는 하중이 증가할수록 유량이 작아짐을 알 수 있다, 이에, 주어진 하중조건에서 정상상태의 유량은 거의 비슷한 값을 보여 동수경사에 따른 영향은 미소하다고 판단된다.

또한, 간극수에 포함된 세립분이 경량기포모르타르의 간극을 메우는 폐색효과가 발생하여 초기통수량과 달리 일정한 유량을 유지 하는 것으로 사료된다. 그림 5~6은 실험직후 경량기포모르타르 및 부직포의 폐색효과를 나타내었다.

경량기포모르타르와 부직포의 투수성능을 비교하고자 실험을 실시한 결과 그림에서 알 수 있듯이 큰 차이가 나타남을 알 수 있고, 그림 3과 같이 동수경사 변화에 따른 유량의 변화를 확인 할 수 있다. 부직포에 걸리는 하중이 큰 경우 대비 약 90% 이상의 차이를 나타내었다. 이에 경량기포모르타르의 경우 기존 배수재인 부직포 대비 고투수성을 지니고 있음을 증명하였고, 평면흐름시험이 종료된 후에, 배수재 및 경량기포모르타르 시편에 폐색되어 있는 흡입자의 중량을 재어본 결과 그 양을 부피로 고려한 경우 부직포에 비하여 적음을 확인 할 수 있었다. 이는, 경량기포모르타르의 경우 부직포에 비해 유효간극크기와의 비가 커서 부직포의 간극속에 갇히게 되는 흡입자의 양이 적은 것으로 판단된다.

4. 결 론

기존 터널 배수재와 고투수성 배수재 경량기포모르타르 평면투수 실험을 통한 결론은 다음과 같다.

- 1) 경량기포모르타르의 경우 유량 변화특성을 보면 수압을 가하기 시작한 초기 약 50분 경과시까지 최대 유량이 발생하고 시간이 흐름에 따라서 점차적으로 유량의 감소가 발생함을 알 수 있고. 반면, 부직포의 경우 부직포에 가해지는 하중이 증가할수록 유량이 작아짐을 알 수 있다, 이에, 주어진 하중조건에서 정상상태의 유량은 거의 비슷한 값을 보여 동수경사에 따른 영향은 미소하다고 판단된다.
- 2) 경량기포모르타르와 부직포에서 일반적인 유출특성을 고려해 보면 흡속의 미세한 입자들이 부직포를 통과해서 빠져나감으로서 시스템의 유량이 증가하는 경우와, 부직포에 인접한 미세한 입자가 운반이 되면서 좀 더 큰 입자는 부직포에 막히거나 걸리게 됨으로써 유량이 감소할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 각 실험의 결과에 비춰볼 때 경량기포모르타르와 부직포의 투수성능을 비교하고자 실험을 실시한 결과 그림에서 알 수 있듯이 큰 차이가 나타남을 알 수 있고, 그림 4와 같이 동수경사 변화에 따른 유량의 변화를 확인 할 수 있다. 부직포에 걸리는 하중이 큰 경우 대비 약 90% 이상의 차이를 나타내었다. 이에 경량기포모르타르의 경우 기존 배수재인 부직포 대비 고투수성을 지니고 있음을 알수있었고, 평면흐름시험이 종료된 후에, 배수재 및 경량기포모르타르 시편에 폐색되어 있는 흡입자의 중량을 재어본 결과 그 양을 부피로 고려한 경우 부직포에 비하여 적음을 확인 할 수 있었다. 이는, 경량기포모르타르의 경우 부직포에 비해 유효간극크기와의 비가 커서 부직포의 간극속에 갇히게 되는 흡입자의 양이 적은 것으로 판단되며, 또한, 기존 터널 배수재로 사용되고 있는 부직포의 배수기능 저하문제를 대처할 수 있는 고투수성재료로 경량기포모르타르가 적합할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이인모(2000), “폐색으로 인한 흙/부직포 시스템의 투수능 저하 모델”, 한국지반공학회 논문집
2. 국토해양부(1996), “경량기포콘크리트 재료개발 연구”
3. Terzaghi, K.(1943), Theoretical Soil Mechanics, John Wiley and Sons, New York, pp100~120