

터널배수재 필터의 폐색 및 수리적 특성에 관한 연구

A Study on Clogging and Hydraulic Properties for Drain Filters of Tunnels

문준석* · 한봉수** · 장연수** · 이두화***

* (주)선진 엔지니어링 종합건축사사무소 (mjs622@hanmail.net)

** 동국대학교 토목환경공학과 (hanssoda@hanmail.net)

*** (주)삼보기술단 (samboeng@chollian.net)

ABSTRACT

Durability of tunnel drains is important, because the accumulation of groundwater around the tunnel due to clogging of filter or reduction of discharge capacity of drain causes reduction of the life time of tunnel linings. In this paper, clogging and discharge capacity of drain and filter of tunnels are evaluated using a gradient ratio test and filter design criteria.

The results of the gradient ratio test showed that gradient ratio(GR) is high when fine content is high in the soil samples and equivalent opening size(EOS) of filter materials is small. Measured GR was less than allowable critical gradient ratio = 3.0, which is the clogging criteria of U.S. Army Corps of Engineers.

Key word : Tunnel drains, Clogging criteria, Discharge capacity, Gradient Ratio(GR), Equivalent opening size(EOS)

1. 서론

최근 합성섬유재(geosynthetic material)가 폐기물 매립지의 차수재와 배수층 대체재로서 활성화 되고 있고 터널을 비롯한 지하 구조물 구축시에도 구조물 주위의 간극수압을 저하시켜 지하구조물의 안정성을 도모하고자 합성섬유재를 이용한 배수재의 활용을 설계에 반영하도록 하고 있다. 이러한 배수재는 구조물이 사용되고 있는 기간동안은 정상적인 배수기능을 수행할 수 있어야 하는 데 많은 경우 지하수 유입시 주변 세사가 함께 유입되어 배수재의 폐색을 일으키게 된다. 배수재의 폐색은 배수재 내부로 미세입자의 유입, 간극 내부에 미세입자의 막힘 그리고 배수재 상부면에 미세입자가 퇴적으로 인해 발생되며, 배수재의 투수성을 감소시키므로 배수재 폐색여부는 배수재의 배수기능을 평가하는 중요한자로 인식되고 있다.

본 논문에서는 서울지역내 지하철 현장에서 풍화잔류토 시료를 채취하여 국내 터널라이닝 주변에 사용되고 있는 배수재의 폐색특성과 투수능 특성을 동수경사비 시험을 통하여 평가한 후 문헌에 나타난 관련 배수재 설계기준을 이용하여 터널배수재의 국내 풍화잔류토에의 적합성을 검토하였다.

2. 동수경사비(Gradient Ratio) 시험

미세입자가 터널배수재의 폐색(Clogging)에 미치는 영향을 평가하기 위해 국내·외에서 가장 일반적으로 사용되고 동수경사비시험을 실시하였다.

2.1 실험재료의 특성

2.1.1 흙 시료의 특성

본 연구를 위해 안암동과 가리봉동 지하철 공사구간에서 흙 시료를 채취하였다. 두 시료는 국내에 널리 분포되어 있는 대표적인 화강풍화토이고 표 1은 흙 시료의 공학적 특성을 정리한 것이다.

안암동 시료는 풍화가 많이 진행되어 겉보기에는 풍화암과 흡사하지만 손에 약간의 힘을 가하면 쉽게 부서질 정도로 약화되어 있으며 배수재 폐색에 영향을 주는 실트는 11%정도 섞여 있고 가리봉동 시료는 200번체를 통과하는 미세입자를 28%정도 함유하고 있다.

표 1 흙 시료의 공학적 특성

구분	안암동 시료	가리봉동 시료
자연 함수비(%)	16.7	24.8
비중 (Gs)	2.60	2.68
간극비 (e)	0.41	0.5
최대건조밀도 (t/m^3)	1.84	1.78
최적 함수비 (%)	11.5	14.5
자갈(>#10) 함유량(%)	35.6	17.9
모래(≠10~≠200) 함유량(%)	53.1	54.2
실트(≠200~0.005) 함유량(%)	11.3	23.8
점토(<0.005) 함유량(%)	0.0	4.15
균등계수 (Cu)	25.4	12.0
곡률계수 (Cg)	2.37	1.02
통일분류 (USCS)	SW-SM	SM
흙의 투수계수 (cm/sec)	8.1×10^{-4}	1.6×10^{-4}

2.1.2 터널배수재료의 특성

터널에 사용되는 배수재의 유효입경을 관찰하기 위해 국내 우수 생산업체인 K상사에서 생산된 제품 중에서 터널배수재로 많이 사용되고 있는 부직포를 선정하였다. 선정된 2종류의 장섬유 부직포는 P.E.T재질로 제조되었고 각 시료의 중량은 각각 265.1g와 419.9g이었으며 표 2는 두 배수재료의 물리적 특성치로 한국원사직물시험연구원의 역학적 시험장치에 의하여 측정된 결과이다.

표 2 배수재의 물리적 특성

구분	부직포 P525	부직포 P540
중량 (g/m^2)	265.1	419.9
두께 (mm)	2.5	3.6
비중 (Gs)	1.35	1.35
인장강도 (kg/in)	길이방향	251.4
	폭방향	137.6
인장신도 (%)	길이방향	70.0
	폭방향	84.0
융합강도 (kg)	91.8	125.0
투수계수 (cm/sec)	3.8×10^{-1}	2.7×10^{-1}
섬도 (denier)	4.74	4.74
섬유직경 (m)	22.29×10^{-6}	22.29×10^{-6}

2.2 시험장치의 구성

시험장치는 ASTM D 5101-90과 캐나다의 SAGEOS(Deron et al., 1997) 장치를 개조한 시험장치를 이용하여 하였다. 기존의 ASTM 동수경사비 시험장치는 배수재와 수압을 측정하는 Manometer 사이의 거리가 멀어 흙-배수재 경계면의 거동을 정확히 파악할 수 없다. 따라서, 본 시험에서는 배수재에서 6mm 떨어진 위치에 Manometer가 추가로 설치하는 SAGEOS 시험장치로 기존의 단점을 보완하였다. 또한 각 지점의 수두측정의 오차를 줄이기 위해 Manometer를 양쪽 벽면에 대칭으로 부착시켰다. 시험장치는 물이 유입되는 상부셀(Cell), 흙 시료가 채워져 있는 중간셀 그리고 유입된 물이 시험장치 외부로 유출되는 하부셀로 구성되어진다. 배수재는 중간셀과 하부셀의 경계부에 위치하고 있으며, 토체나 유체의 이동에 의한 처짐을 방지하기 위해 금속 다공판으로 배수재를 지지하고 있다. 상부셀을 통해 유입되는 물이 셀의 측벽부를 타고 이동되는 것을 방지하기 위해 각 포트사이에는 고무

링을 부착시켰다.

2.3 시험방법

동수경사비시험은 ASTM D 5101-90에 준하여 시행하였다. 하부셀 위에 놓인 금속 유공판 위에 배수재 시료를 깔고 현장 지반조건에 맞도록 흙 시료를 다져 넣은 중간셀을 결합한 후 시험기에 누수가 발생하지 않도록 시험장치를 조립한다. 시험기의 유출부를 통해 물을 주입하여 시료를 포화시킨다. 시료를 완전 포화시키기 위하여 48시간이상 시료를 방치하는 것이 좋다. 포화가 완료되면 몰드의 각 포트에 Manometer에 연결하고, 연결관에 공기가 잔류하지 않도록 물을 채운다. 유출구를 닫은 상태에서 1번에 발생하는 유입수두가 0.1m가 되도록 수두를 조정하고 시간에 흐름에 따라 각 포트에 발생하는 수두를 측정한다. 이러한 과정을 유입수두를 달리하여 반복 시행하며 각 수두에 대한 동수경사비와 투수량을 측정한다.

3. 시험결과

시험은 두 종류의 원지반토와 두 종류의 터널배수재에 대하여 수두를 달리하여 시행하였으며 이로 인해 얻은 4경우의 동수경사비 변화와 투수능의 변화 결과는 모두 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 안암동 흙시료와 P525 시스템의 경우의 시험결과만을 대표적으로 기술하였다.

3.1 동수경사비 변화에 대한 수두분포

터널에서 지하수위의 증감에 따라 변하는 수두를 묘사하기 위해 동수경사를 1, 2, 5로 변화시켜 지하수 흐름에 의한 폐색현상과 수두의 변화 그리고 투수능의 변화를 관찰하였다. 그림 2는 흙-배수재 시스템 경계면에서 떨어진 거리에 따른 흙 내부의 수두 변화를 관찰한 결과이다.

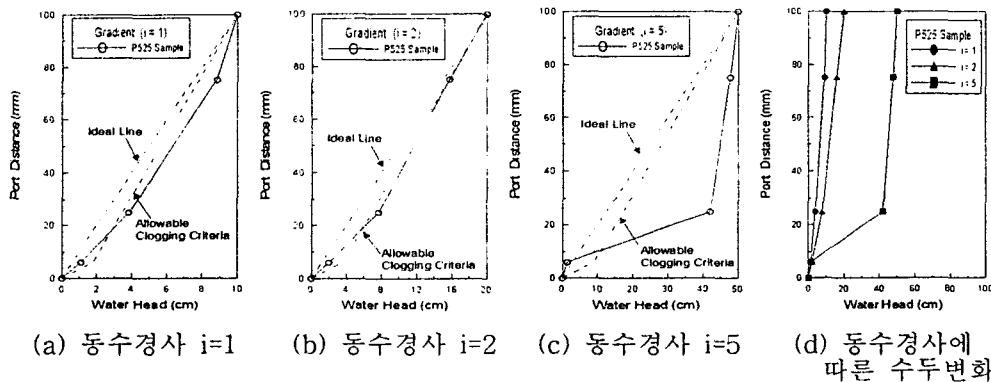


그림 2 안암동 흙시료-터널배수재 P525 시스템의 수두분포

동수경사가 1인 경우 흙-부직포 경계면 주변지역에 Clogging이나 Blinding으로 인해 수두가 1.1cm만큼 증가되었으나 배수재의 폐색기준에는 안정한 것으로 나타났다. 동수경사 2인 경우도 동수경사가 1인 경우와 유사한 경향이 나타났으며 흙-부직포 경계면에는 2cm의 수두가 발생하였다. 동수경사가 5인 경우에는 높은 유입수두에 의해 흙-부직포 경계면 주변의 미세입자가 유실되고, 부직포의 유효입경보다 큰 입자들이 Bridging 구조를 형성하여

Piping현상이 발생하였다.

3.2 동수경사비 변화에 대한 지하수흐름 변화

그림 2는 안암동 흙시료-배수재 P525 시스템 주변의 흐름의 변화를 관찰한 결과로 동수경사의 크기에 관계없이 $2\sim 3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ 의 투수계수에 수렴하였다. 동수경사가 클수록 투수계수가 작아지는 것은 했지만 그 차이는 미소하였다. 동수경사비 (GR)는 동수경사(i)가 1인 경우 초기에 배수재 상부의 미립자가 유출되어 Piping현상이 발생하였으나 시간이 경과함에 따라 상부의 미립자가 이동하여 배수재 상부나 배수재 내에 퇴적되어 동수경사비가 1.82까지 증가한 후 수렴하였다. 동수경사가 2인 경우에는 초기의 동수경사비가 1.9까지 급상승하여 동수경사비가 크게 증가될 것으로 예상되었으나 더 이상의 동수경사비 증가는 발생하지 않았다. 동수경사비가 5인 경우에는 높은 유입수두로 인하여 초기 동수경사비가 급증하였으나 점차 감소하여 동수경사비 2.2에 수렴하였으며 투수 2일 이후에는 동수경사비가 빠르게 안정상태를 회복하였다. 동수경사비의 증가의 원인을 찾기 위해 실험이 종료된 배수재의 무게를 측정하고 배수재 내에 미세입자가 퇴적되어 발생하는 Clogging보다는 배수재 상부에 미세입자가 퇴적되어 발생하는 Blinding의 영향이 큰 것으로 나타났다.

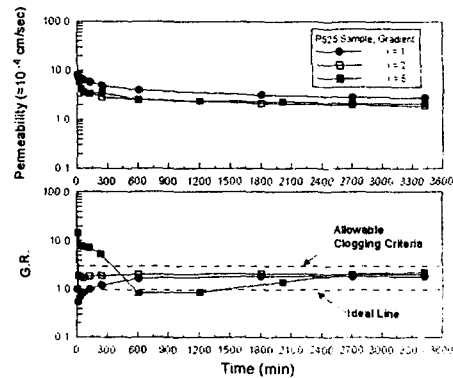


그림 2 흙-배수재 시스템 주변의 지하수흐름 변화

4. 결론

동수경사비 시험을 실시한 결과를 통하여 얻어진 원지반 미세입자의 유출 특성과 배수재의 투수능 변화 그리고 폐색 특성을 요약하면 다음과 같다.

- ① 입도분포가 다른 흙시료와 유효입경이 동일한 터널배수재에 대한 동수경사비는 미세입자의 함유량이 많은 흙일수록 동수경사비(GR)가 크고 입도분포가 동일한 흙시료와 유효입경이 다른 배수재의 GR은 유효입경이 작은 배수재에서 크게 나타났다.
- ② 흙-배수재 시스템에 가해지는 동수경사가 클수록 흙-배수재 시스템 주변의 미세입자의 유실이 많아지고, Bridging 구조도 빠르게 형성되나 Bridging구조가 빠르게 형성되면 지하수 흐름의 변화나 동수경사비 변화도 빠르게 안정화되었다.
- ③ 화강풍화토의 지하수 흐름의 변화는 동수경사의 크기가 달라도 5~10시간 내에 수렴하고 동수경사비의 변화도 일정 크기로 수렴하는 경향을 보였다.
- ④ 국내 터널의 배수재에 대한 폐색(Clogging) 특성을 분석한 결과 흙-배수재 경계면에 폐색이 발생하나 지하수 배수기능을 상실할 정도는 아닌 것으로 나타났다.

참고 문헌

- ASTM (1990), "Standard Test Method for Measuring the Soil-Geotextile System Clogging Potential by the Gradient Ratio", D5101-90.
- Deron, N., Jack, M. and Eric, B. (1997), "Expanded anti-clogging criteria for

woven filtration geotextile", *Geosynthetics '97 Conf. Proc.*, Long Beach California, pp. 1123-1143.