

통수능 시험을 이용한 터널 배수재의 폐색 특성 연구

A Study on Clogging Characteristics of Geosynthetic Drains in Tunnels Using Discharge Capacity Test

이진웅*, 장연수**†, 천병식***, 추석연****

Jin-Woong Lee*, Yeon-Soo Jang**†, Byung-Sik Chun***, Seok-Yeon Choo****

Abstract The effects of discharge capacity by changing pressure in tunnel are evaluated by performing the discharge capacity test with the thickness change of the needle punched geotextiles being currently used in tunnel. In addition, the serviceability of Geocomposite type drain and the effects of calcium carbonate(CaCO₃) substances on hydraulic characteristics of geosynthetic materials in tunnels are evaluated by performing discharge capacity test. Geocomposite drains of three different types and needle punched geotextiles are used for performance comparison.

Keywords : Discharge capacity test, Geocomposite drain, Geotextile, Clogging

초 록 토목섬유 배수재는 배수, 분리, 필터 및 침식 방지용으로 광범위하게 사용되고 있으며, 해외에서는 지오킴포지트 형태의 배수재를 터널 배수재로서 사용하고 있다. 그러나 현재 국내 터널관련 표준시방서와 설계기준은 Needle Punch형 부직포의 기준만 제시하고 있으며, 터널 시공에는 현장 조건의 따라 부직포의 두께를 증가시켜 배수층으로 사용하는 방법만 제시되어 있다. 본 논문에는 현재 터널에서 일반적으로 사용하는 Needle Punched Geotextile에 대하여 두께변화에 따른 통수능시험을 실시하였다. 또한 지오킴포지트 형태의 배수재(Type A, B, C)와 Needle Punch형 배수재(Type G)에 대하여 석회성분(CaCO₃) 유무의 따른 폐색효과를 통수능시험을 실시하여 상호 비교하였다.

주요어 : 통수능 시험, 지오킴포지트형 배수재, 지오텍스타일, 폐색현상

1. 서 론

터널에서 라이닝 배면부에 과대한 지하수가 체류하면 장기적으로 라이닝 배면에 과대한 수압이 작용하게 되어 터널의 안정성 및 유지관리상의 문제 등을 초래할 수 있다. 이러한 터널에서 작용하는 수압을 제거하기 위해 배수형 터널에서 여과와 배수의 기능을 갖춘 토목섬유 배수재(geosynthetic drains)의 사용이 증가하고 있다. 그러나 현재 터널관련 표준시방서와 설계기준[3]은 Needle Punch형 부직포의 기준만 제시하고 있으며, 필터링과 배수유도 성능이 뛰어난 다른 토목섬유의 사용에 대한 기준은 미비한 실정이다.

† 교신저자: 동국대학교 공과대학 건설환경공학과(ysjang@dongguk.edu)

* (주)단우기술단 지반공학부, 기사, ** 동국대학교 공과대학 건설환경공학과, 교수

*** 한양대학교 공과대학 건설환경공학과, 교수, **** (주)단우기술단 대표이사

토목섬유 배수재의 통수능에 대한 연구는 다양하게 진행되었으며, Maheshwari et al. [1]은 흙 시료와 배수재의 종류에 대한 투수성을 실내시험을 통해 측정하여 지오텍스타일의 종류에 따른 공극 및 투수능의 차이가 폐색 현상이 발생하는 것과 밀접한 관계를 갖는 것으로 평가하였다. Wu et al. [2]는 지오텍스타일 배수재가 적용된 경계면의 상태를 쇄구슬 판 및 다공 평판을 이용하여 통수능 실험을 수행하였으며, 적용된 경계면의 상태에 따라 배수능이 달라진다고 평가하였다. 그러나 터널에서 배수재를 사용할 경우, 통수능의 영향에 대한 연구 및 석회성분이 배수재에 미치는 영향에 대한 연구는 이루어지지 않은 실정이다.

본 논문에는 현재 터널에서 일반적으로 사용하는 Needle Punched Geotextile에 대하여 두께 변화에 따른 통수능시험을 실시하였다. 또한 지오킴포지트 형태의 배수재(Type A, B, C)와 Needle Punched형 배수재(Type G)에 대하여 석회성분(CaCO₃) 유무의 따른 폐색효과를 통수능 시험을 실시하여 상호 비교하였다.




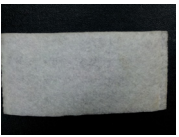




2. 본 론

2.1 시험재료의 특성 및 시험방법

2.1.1 시험재료의 특성

지오킴포지트 형태의 배수재 3종류(Type A, B, C)와 Needle punched형 필터를 사용한 지오킴포지트 형태의 배수재 Type G를 선정하여 각 구속압력에 따른 통수능 시험을 수행하였으며, 사용된 4종류의 지오킴포지트형 배수재의 형상 및 특징은 Table 1에 정리하였다. Type A, B, C는 Thermal Heat bonded 필터재를 사용하였으며 코어의 형태는 Type A, B는 하모니카형이고 Type C는 성곽형의 코어를 사용하였다. Type G는 Needle Punched형 필터재를 사용하였으며 그물형태의 코어를 사용하였다.

Table 1 Geocomposite drains

	Type A	Type B	Type C	Type G
Shape of core	harmonica	harmonica	castle	retiform
Thickness	5mm	10mm	3mm	5mm
Filter	Thermal Heat Bonded			Needle Punched
Thickness of filter	0.4mm	0.6mm	0.35mm	1mm
Plane				
Cross section				

2.1.2 시험방법

본 연구에서는 선정된 배수재를 사용하여 각 구속압력에 따른 통수능 시험을 진행하여 실제 터널에서의 사용성을 검토하였다. 사용된 시험 장치는 구속압의 영향을 고려해 줄 수 있는 Delft 시험기를 응용하여 본 연구를 위해 제작하였다.

실험 방법은 배수재를 상·하부 캡에 고정시킨 후 고무멤브레인으로 피복하여 원형압력실에 설치하고 원형압력실 내부를 증류수로 채운 후 완전히 포화가 되면 모든 밸브를 잠근다. 일정수두장치에 의해 동수경사가 최대가 되도록 유입 유출 물탱크 높이를 조절하고 구속압력이 0kPa인 상태에서 유입밸브와 유출밸브를 열어 배수재 내부와 호스를 완전히 포화시킨다. 포화가 끝난 후 원형압력실을 바닥에 누이고 항압장치로 원형압력실에 50, 100, 400kPa을 순차적으로 가하고 각각의 통수량을 측정한다. 적용한 동수경사는 지하수위의 영향을 고려하기 위해 국내외 통수능 시험 문헌을 조사하여 일반적으로 사용되는 0.2, 0.5를 적용하였다. 동수경사 0.2의 경우 배수층을 통한 일반적인 지하수유출의 경우를 0.5의 경우는 빠른 지하수 유출의 경우를 알아보려고 하였다. 통수능 시험에 사용된 조건을 table 2에 나타내었다.

Table 2 Experimental condition of discharge capacity test

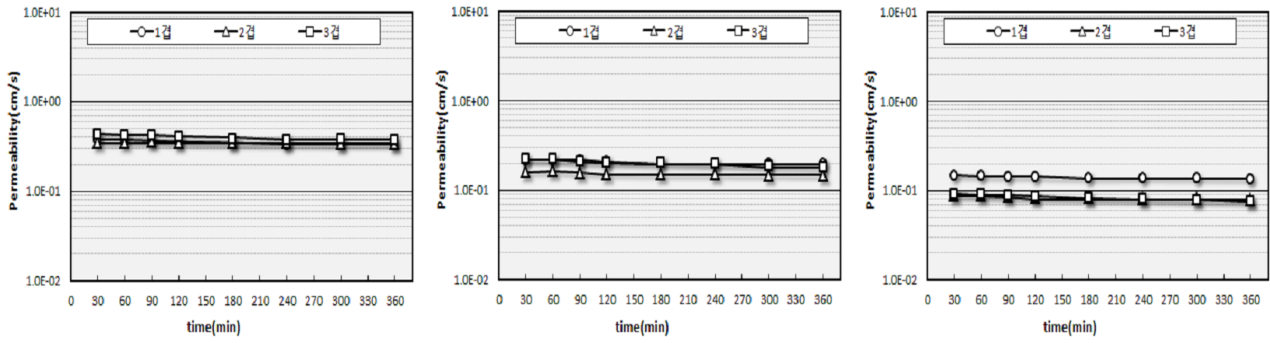
	Experimental condition
Geosynthetic drain	Geocomposite [Type A, B, C, G]
	Needle Punched [1, 2, 3 layers]
Confining pressure (kPa)	50, 100, 400
Gradient (i)	0.2, 0.5

3.1 시험결과 및 분석

3.1.1 Needle punched Geotextile의 압력에 따른 통수능

구속압 50, 100, 400kPa의 압력을 가하여 Needle punched형 배수재의 두께에 따른 통수능 시험을 실시하였다. 유출수를 통과시킨 시험시간은 6시간으로 하였으며 석회성분의 유무의 따른 통수능의 변화도 검토하였다(Fig. 1, Fig. 2). 한국철도시설공사[4]에서 발행된 철도터널에서의 배수재에 대한 시방서에 의하면 투수계수 범위를 $\alpha \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ ($\alpha=1\sim 9$)로 제시하고 있다.

시험 결과 배수재의 석회성분을 사용하지 않은 Needle punched형 배수재의 투수계수는 6시간이 경과한 경우도 일정한 값을 유지하였다. 반면 석회성분이 포함된 유출수를 사용할 경우, 두께가 증가할수록 석회에 대한 폐색 저항력이 높아지는 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 2(a)). 하지만 높은 압력을 받는 경우(Fig. 1(b), Fig. 1(c)), 석회성분이 없는 침출수에 대하여 투수계수는 허용범위 $1 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 보다 낮은 값을 보였고, 석회성분이 포함된 경우 투수계수 값은 Needle punched형 배수재의 두께에 상관없이 모두 허용범위보다 낮아지는 모습을 보였다(Fig. 2(b), Fig. 2(c)).

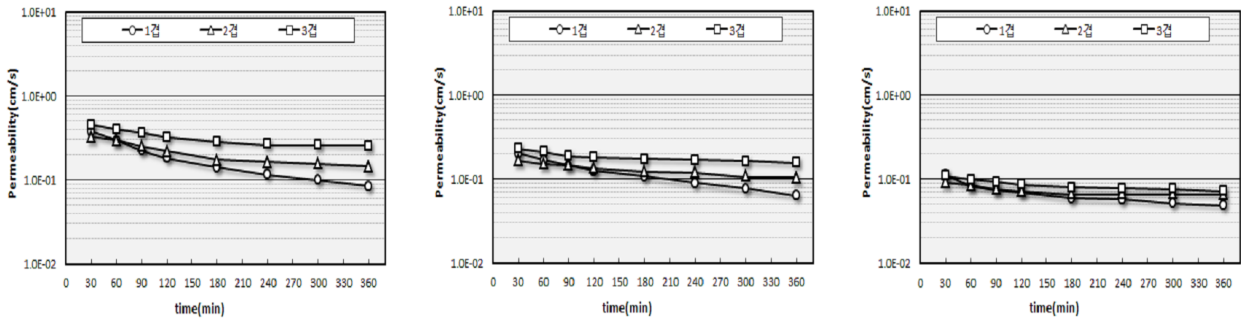


(a) Confining pressure 50kPa

(b) Confining pressure 100kPa

(c) Confining pressure 400kPa

Fig. 1. Discharge capacity of Needle punched geotextile with non-lime water ($i = 0.2$)



(a) Confining pressure 50kPa

(b) Confining pressure 100kPa

(c) Confining pressure 400kPa

Fig. 2. Discharge capacity of Needle punched geotextile with lime water ($i = 0.2$)

3.3.2 지오킴포지트형 배수재의 압력에 따른 투수능

선정된 지오킴포지트형 배수재 Type A, B, C, G를 사용하여 석회성분이 포함되지 않은 경우와 석회성분이 포함된 경우에 대하여 투수능 시험을 실시하였다.

구속압 50, 100, 400kPa에서 석회성분이 없는 경우 동수경사 0.2와 0.5를 사용한 시험 결과를 Fig. 3에 나타내었고, 석회성분이 포함된 유출수를 사용한 경우의 시험결과를 Fig. 4에 나타내었다.

구속압 50kPa의 경우 지오킴포지트형 배수재의 투수계수는 2~8cm/sec로 Needle punched형 배수재와 비교하여 상당히 높은 값을 나타내었다. 석회성분이 없는 경우 배수재의 투수계수는 시간이 지나도 큰 변화를 보이지 않는 반면, 석회성분이 포함된 유출수를 사용하는 경우 배수재의 투수계수가 Type A와 C의 경우 8cm/sec정도에서 6cm/sec정도까지 감소하는 모습을 나타내었다. 그러나 Needle punched형 배수재만을 사용하였을 경우와 비교하여 투수능력이 매우 뛰어난 것을 볼 수 있다(Fig. 3(a), Fig. 4(a)).

구속압 100kPa의 경우 배수재의 투수계수가 1~6cm/sec로 구속압 50kPa를 가하였을 때와 비교하여 상당히 낮아지는 것을 확인하였다. Needle punched형 배수재를 사용한 Type G가 가

장 낮은 투수계수를 나타내었고, 코어의 형태만 다른 Type A와 C가 상대적으로 높은 투수계수를 나타냈다. 석회성분의 유무에 따른 통수능 시험 결과를 비교할 경우, 배수재의 투수계수가 시간이 지남에 따라 낮아지는 모습을 보이나 지오킴포지트형 배수재 자체의 투수계수가 높아져 터널의 배수재로서 내구성이 있는 것으로 판단된다(Fig. 3(b), Fig. 4(b)).

구속압 400kPa의 매우 큰 압력에서 통수능 시험 결과 지오킴포지트형 배수재의 투수계수가 100kPa의 구속압과 비교하여 더욱 낮아지는 것을 확인하였다. 하모니카형 코어 사용한 Type A와 성곽형 코어를 사용한 Type C를 비교했을 때, 100kPa까지 성곽형 코어를 사용한 Type C의 투수계수가 높았던 것과 달리 높은 구속압을 가할 경우 하모니카형 코어를 사용한 Type A의 투수계수가 C보다 높은 값을 나타내었다(Fig. 3(c), Fig. 4(c)). 이는 터널에서 지오킴포지트형 배수재를 사용할 경우 높은 압력하에서 코어의 형태가 배수에 큰 영향을 미친다는 것을 시사한다. 구속압 400kPa에서의 석회성분에 유무의 따른 투수계수를 비교했을 경우 압력에 의해 상당히 낮아진 투수계수가 석회성분이 포함된 유출수에 의해 더욱 낮아지는 것을 볼 수 있었다. 하지만 압력에 의한 영향보다 유출수의 석회유무에 따른 영향은 크지 않았다.

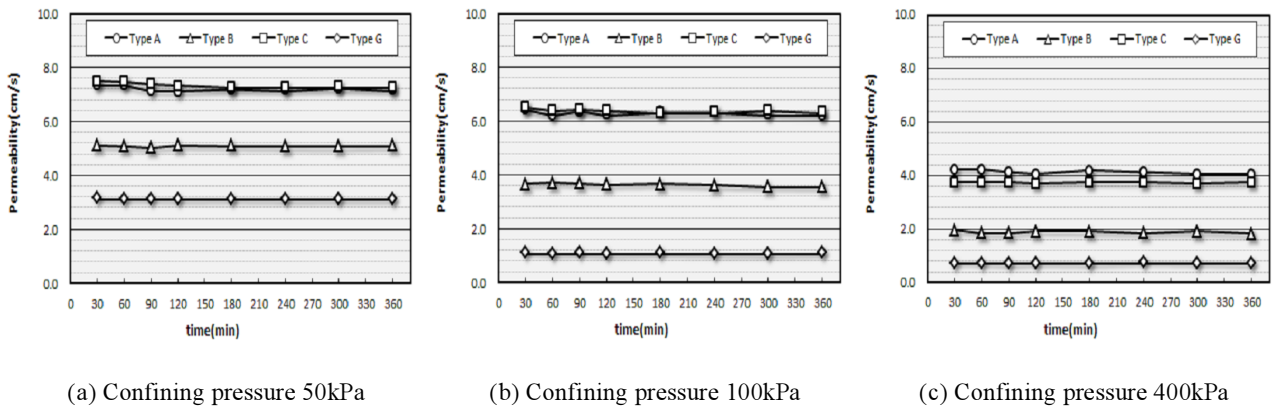


Fig. 3. Discharge capacity of Geocomposite with non-lime water ($i = 0.2$)

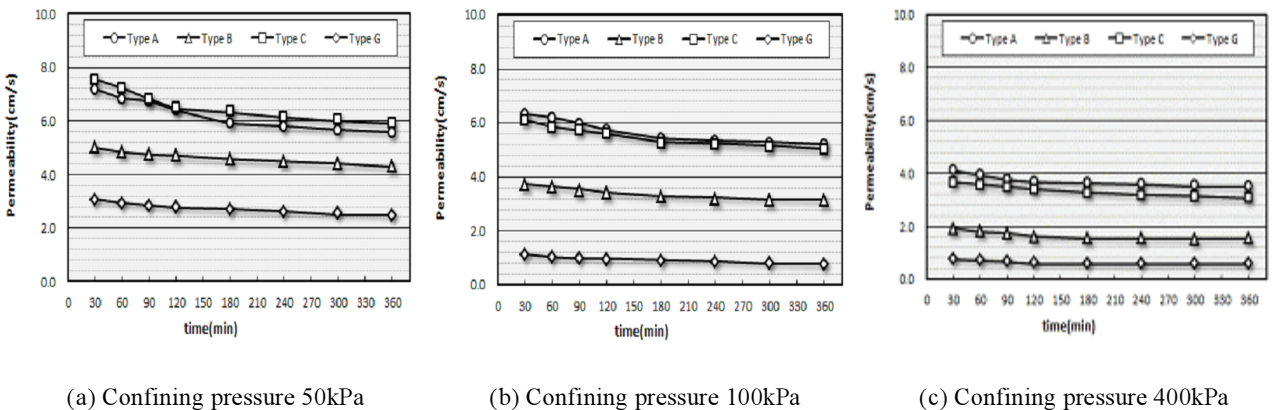


Fig. 4. Discharge capacity of Geocomposite with lime water ($i = 0.2$)

3. 결 론

현재 터널에서 일반적으로 사용 중인 Needle Punched Geotextile에 대하여 두께에 따른 통수능 실험을 실시하였다. 또한 지오킴포지트 형태의 배수재의 사용성을 평가하기 위하여 지오킴포지트 형태의 배수재(Type A, B, C)와 Needle Punched형 배수재(Type G)에 대하여 석회성분(CaCO₃) 유무에 따른 폐색효과를 통수능시험을 실시하여 상호 비교한 결과는 다음과 같다.

1. Needle punched Geotextile의 석회성분의 유무에 따른 시험 결과 석회성분이 포함된 유출수를 사용할 경우, 두께가 증가할수록 석회의 대한 폐색 저항력이 높아지는 것을 확인 할 수 있었지만, 투수계수의 경우 허용범위 $1 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 보다는 낮은 값으로 측정되었다.

2. 지오킴포지트형 배수재의 통수능 시험 결과 Needle punched형 배수재와 비교하여 상당히 높은 투수계수 값을 나타내었고, 석회성분을 포함한 침출수를 사용한 시험결과 배수재의 투수계수가 낮아지는 모습을 보이나 터널 배수재로서 충분히 사용 가능할 것으로 판단되었다.

3. 하모니카형 코어를 사용한 Type A와 성곽형 코어를 사용한 Type C를 비교한 결과 낮은 압력에서 높은 투수계수를 보였던 Type C가 높은 압력을 받아 코어의 형태를 유지하지 못하고 하모니카형 코어의 Type A보다 투수계수가 낮아졌으며, 이는 터널의 높은 압력에서 코어의 형태가 배수에 큰 영향을 미친다는 것으로 판단되었다.

4. 배수재 통수능시험을 실시하여 배수재의 성능을 비교해본 결과 현재 사용 중인 Needle Punched Geotextile은 석회성분으로 인한 폐색 저항력이 기준에 부적합하였다. Thermal Heat Bonded Geotextile을 필터재로 사용한 지오킴포지트형 배수재는 폐색에 대한 저항력과 터널에서의 사용성 모두 적합한 것으로 평가 되었다.

후 기

본 논문은 서울산업통산진흥원 2010년도 서울시 산학연 협력사업(ST100052)의 연구비에 의하여 연구되었습니다. 또한 이 논문은 국토해양부 및 한국해양과학기술진흥원의 과제인 “표준화를 위한 구조물기초설계기준 정비” 연구 결과의 일부입니다(S-2013-A0439-00004).

참고문헌

- [1] Maheshwar, B. K. and Gunjagi, D. A.(2008) Filtration and Clogging Behavior of Geotextiles with Roorkee Soils, *Geotexhical and Geological Engineering*, 26(1), pp. 101-107.
- [2] Wu, C. S., Hong, Y. S., Yan, Y. W. and chang, B. S.(2006) Soil-nonwoven geotextile filtration behavior under contact with drainage materials, *Geotextiles and Geomembranes*, 24, pp. 1-10.
- [3] 한국터널공학회(2009), 터널 설계기준 해설서.
- [4] 한국철도시설공단(2004), 철도공사전문시방서.
- [5] 장연수, 이광열(2000), 지반환경공학, 구미서관, pp.411~415.