

수평 천연섬유배수재의 공학적 특성 평가를 위한 실험적 연구

Experimental Study on Characteristics of Natural Fiber Mat

*1 김주형 Kim, Ju Hyong

*2 조삼덕 Cho, Sam-Deok

Abstract

Natural fiber mat made with compressed coconut mat and jute filter is in the spotlight recently as an alternative material for sand mat, which is getting expensive in Korea. Tensile strength and permeability tests for the natural fiber mat were carried out to evaluate for its practical use in this study. Despite of very low tensile strength of coconut mat, that of jute filter was satisfied with conventional criteria of geotextile suggested by Christopher and Holtz(1985). Besides, permeability of fiber mat under high compressive pressure was greater than that of conventional sand material used as sand mat. It was found that the fiber mat has a great potential in substituting the conventional sand material.

요 지

최근 모래가격이 급등하고 수급이 어려워져 비교적 가격이 저렴한 코코넛껍질 압축매트와 황마필터로 구성된 수평 천연섬유배수재가 모래 대체재료로서 각광 받고 있다. 본 연구에서는 수평 천연섬유배수재의 인장강도와 투수특성을 평가하여 수평 배수재로서의 사용성을 평가하였다. 수평 천연섬유배수재의 인장특성을 분석한 결과 코코넛껍질 매트의 매우 낮은 인장강도에도 불구하고 대부분의 인장강도가 황마필터에서 발휘되므로 Christopher와 Holtz(1985)가 제안한 일반적인 토목섬유에 대한 인장강도 기준을 훨씬 상회하는 것으로 나타났다. 또한, 매우 높은 압축하중에서 수평 천연섬유배수재의 투수성을 평가한 결과 일반적인 모래의 투수계수보다 높은 투수성을 나타내는 것으로 평가되었다. 이와 같은 결과를 종합적으로 분석하면, 수평 천연섬유배수재는 기존의 모래재료를 대체할 수 있는 배수재료로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

Keywords : Fiber mat, Tensile strength, Permeability

1. 서 론

과거에는 하천 또는 해양에서 모래를 준설하여 연약 지반 개량용 재료로 사용하였으나, 최근에는 양질의 모래를 구하기 어려울 뿐만 아니라, 토취장 건설로 인한 주변환경오염 유발과 공사비용 증가 등의 경제 및 환경적인 이유로 인해 양질의 모래 확보가 매우 어려워지고

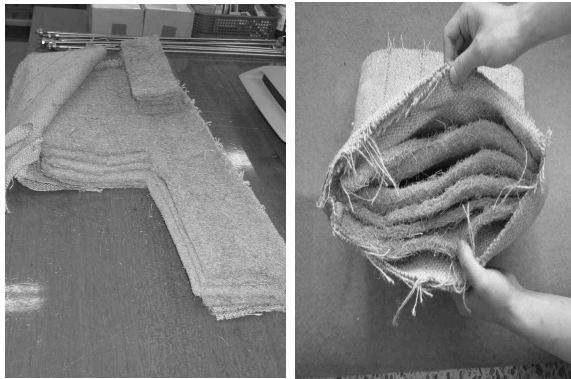
있다. 이와 같은 이유로 연약지반 개량공사시 횡방향 배수와 중장비의 주행성 확보를 위해 사용하고 있는 모래매트의 공사비가 증가하고 있으며, 모래매트를 대체할 수 있는 쇄석매트 등에 대한 연구들이 진행되고 있다. 본 연구에서는 천연섬유로 만든 수평 천연섬유배수재에 대한 실내시험을 수행하여 모래의 대체 재료로서의 가능성을 평가하였다.

*1 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원 (Senior Researcher, Dept. of Geotechnical Eng., KICT)

*2 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원 (Research Fellow, Dept. of Geotechnical Eng., KICT)

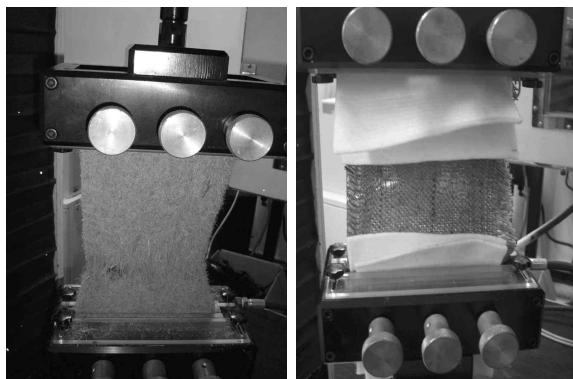
2. 수평 천연섬유배수재

본 연구 대상인 수평 천연섬유배수재는 모래를 대용할 수 있는 수평배수재로서 세립토의 유입을 방지하고 물의 유입만을 허용하는 필터와 수평 배수재 내부에 유입되는 물을 외부로 배출하는 매트층으로 구성되어 있다. 필터는 내부에 흙 입자 유입을 최소화하기 위해 두 겹의 황마필터를 사용하며, 물의 통로로 사용되는 매트는 아자껍질 외피를 압축한 코코넛 매트를 사용하고 있다. 수평 천연섬유배수재 내의 코코넛 매트는 제작상 편의를 위해 1cm 정도 두께의 매트 5장을 겹쳐서 제작하고 있다(그림 1(b)). 현재 일본과 동남아시아에서 널리 사용되고 있는 수평 천연섬유배수재의 폭은 35cm, 두께 5cm이며, 길이 방향으로는 무한대로 제작할 수 있는 것이 특징이다.



(a) 필터와 매트를 분리한 수평 천연섬유배수재 (b) 수평 천연섬유배수재 횡단면

그림 1. 수평 천연섬유배수재



(a) 매트의 인장시험 (b) 필터의 인장시험

그림 2. 수평 천연섬유배수재 인장강도 시험장치

3. 시험방법

3.1 인장강도시험

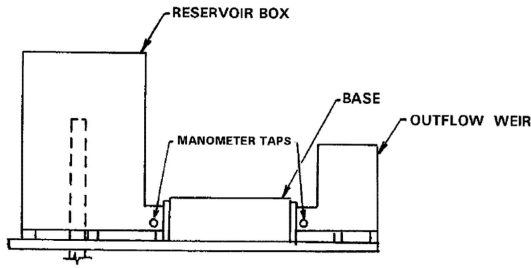
폭이 넓은 수평 천연섬유배수재 필터의 인장강도 시험은 ASTM D4595 “Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method”와 KS KISO 10319 “지오텍스타일의 인장강도시험방법”을 이용할 수 있다. 이 두 시험방법은 직포, 부직포, 지오폴리머, 편물 및 펠트 등 대부분의 지오텍스타일에 적용할 수 있으며, 현재 가장 많이 사용하고 있는 토목섬유 인장강도 평가방법이다. 본 연구에서는 KS KISO 10319를 기준으로 필터와 매트의 하중-변형률 특성을 평가하였으며, 건조/습윤상태 시험편에 대한 시험을 모두 수행하였다. 필터와 매트는 모두 200mm 폭, 100mm 길이의 시험편으로 시험하였으며, 1겹의 필터와 1장의 매트를 대상으로 인장강도 시험을 수행하였다. 인장속도는 분당 $20 \pm 5\%$ 의 변형속도를 제어하여 시험을 수행하였다.

3.2 투수시험

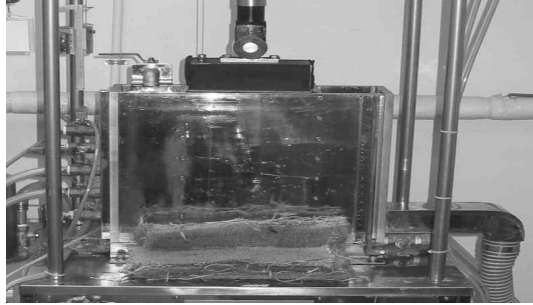
수평 천연섬유배수재의 투수성은 ASTM D4716 “Test Method for Determining the(In-Plane) Flow Rate per Unit Width and Hydraulic Transmissivity of a Geosynthetic Using Constant Head”을 이용하여 평가하였다. 이 규격은 수직압축응력하에서 시험편의 길이 방향과 평행하게 흐르도록 유로를 형성하는 토목섬유에 대해 정수위 수평투수계수를 측정하는 방법이다(그림 3).

시험방법은 다음과 같은 순서로 진행한다.

- ① 시험편을 구김이나 접힘 등이 없도록 하며 바닥면에 설치한다.
- ② 시험편에 2~5kPa 정도의 초기 하중을 가한 후 수조에 물을 채우고 시험편을 통해 물이 흐르도록 한다.
- ③ 시험편에 설정하고자 하는 하중을 가한다.



(a) 수평 통수능시험장치 개요도



(b) 수평 통수능시험장치

그림 3. 수평 통수능시험 장치

- ④ 수조에 물을 공급하여 설정하고자 하는 수위로 조절한다.
- ⑤ 하중과 수위를 조절한 후에 시험편을 통하여 물을 약 10분동안 흘려준다
- ⑥ 시험편을 통과하는 유량을 일정한 시간동안 메스 실린더를 사용하여 측정한다
- ⑦ 식 (1)에 따라 hydraulic transmissivity를 계산한다.

$$\theta = (QL)/(WH) \quad (1)$$

여기서, θ = hydraulic transmissivity(m²/sec),

L = 시험편의 길이(m)

Q = 단위시간당 통과한 평균유량(m³/sec)

W = 시험편의 폭(m),

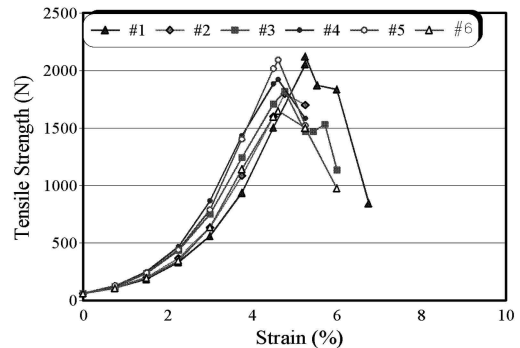
H = 수위차(m)

4. 시험결과 분석

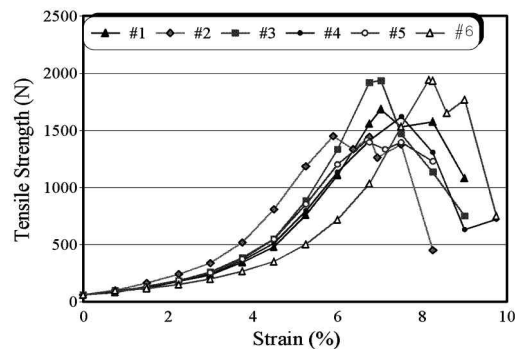
4.1 필터의 인장시험 결과 분석

수평배수재 필터의 인장강도는 광폭인장시험과 스

트립(Strip)법을 모두 수행하여 기존 연직배수재 필터의 인장강도와 비교하였다. 그림 4에 나타난 것과 같이 스트립법(ASTM D5035)을 이용한 수평배수재 필터의 인장강도시험 결과, 자연건조시 인장강도는 1650~2120N/전폭(18.3~23.6kN/m)이며, 습윤시 인장강도는 1450~1940N/전폭(16.1~21.6kN/m)으로 평가되었다. 수평배수재에 사용하고 있는 필터가 연직배수재에 사용하고 있는 필터보다 좀 더 큰 인장강도를 갖으며 인장변형률도 약간 큰 것으로 평가되었다(표 1 참조). 그림 5에서는 KS KISO 10319를 이용한 폭 20cm, 길이 20cm의 수평배수재 필터의 광폭인장시험 수행 결과를 보여주는데, 자연건조상태의 단위폭당 강도는 21.5~24.8kN/m이고 습윤상태는 19.3~22.9kN/m로 평가되었다. 자연건조상태의 최대인장강도 발현시 인장변형률은 7.6~8.7%이며, 습윤상태의 최대인장강도 발현시 인장변형률은 11.8~12.8%로 나타났다. 수평배수재 필터에 대한 특별한 인장강도의 최소 기준은 정해진 것이 없으나, 수평배수재에 사용되는 황미필터는

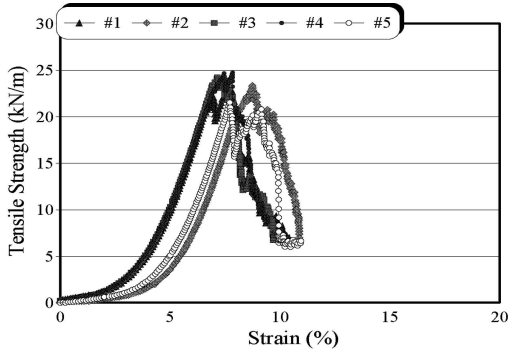


(a) 자연건조상태

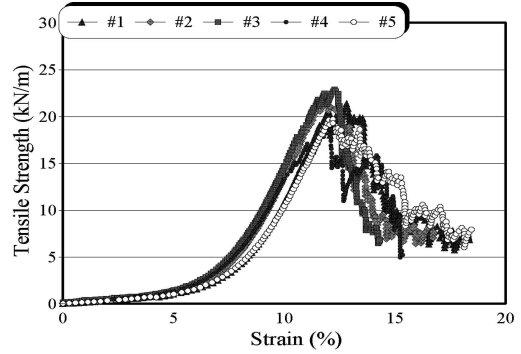


(b) 습윤상태

그림 4. 수평 천연섬유배수재 필터의 스트립 인장강도시험 결과(ASTM D5035)



(a) 자연건조상태



(b) 습윤상태

그림 5. 수평 천연섬유배수재 필터의 광폭인장강도시험 결과(KS KISO 10319)

표 1. 연직/수평배수재 필터의 인장강도시험 결과

필터종류	시험방법	최대인장강도		최대인장강도 발현시 인장변형률	
		자연건조시	습윤시	자연건조시	습윤시
연직배수재 필터	ASTM D5035	1410~1650N/전폭	900~1380N/전폭	3.2~4.6%	5.4~6.7%
수평배수재 필터	ASTM D5035	1650~2120N/전폭 (18.3~23.6kN/m)	1450~1940N/전폭 (16.1~21.6kN/m)	4.6~5.3%	5.9~8.2%
	KSKISO10319	21.5~24.8kN/m	19.3~22.9kN/m	7.6~8.7%	11.8~12.8%

Christopher와 Holtz(1985)가 제안한 일반적인 토목섬유의 인장강도 기준인 350N/전폭을 훨씬 넘는 강도를 가지고 있으며, 일반적으로 사용하는 플라스틱 연직배수재의 인장강도인 500N/전폭에 비해서도 큰 값을 가지고 있다.

실제로 수평 천연섬유배수재는 점성토가 압밀되어 빠져나온 간극수의 배수를 주 목적으로 하기 때문에 전단파괴를 방지하기 위해서는 전단파괴 방지용 토목섬유를 수평 천연섬유배수재와 함께 사용하는 것이 일반적이다. 따라서 수평 천연섬유배수재는 전단파괴방지를 위한 인장강도 평가와 더불어 배수도가 침하 등의 변형에 의해 인장되어 절단되지 않는지 여부에 대한 검토가 필요하다.

그림 6은 침하로 인한 수평 배수재의 인장 파괴 여부를 검토하기 위해 성토높이가 10m이고 성토체 하부 폭이 65m인 제형 단면의 성토체 중심부에서 1.8m의 압밀침하가 발생한 일반적인 성토 단면을 나타낸 것이다. 여기서, 성토 중심부와 성토 선단부의 침하양상을 원호로 가정하면, 성토중심부에서 선단까지 사잇각(θ)은 6.34°가 된다. 성토체 중심부에서 발생한 1.8m의 압밀침하로 늘어난 수평 천연섬유배수재 길이(ℓ)은 식(2)와 같이 계산된다.

$$\ell = 2 \times \theta \times r = 2 \times 0.1106 \times 294.3 = 65.1m \quad (2)$$

따라서 수평 천연섬유배수재의 변형률 $\varepsilon = (\ell - L)/L = (65.1 - 65)/65$ 은 0.15%로 계산되었는데, 표 1의 시험 결과에서 알 수 있듯이 필터의 최대인장강도 발현시 인장변형률은 건조시 최소 4.6~7.6%이고 습윤시에는 최소 5.9~11.8%로, 일반적인 필터의 최대인장강도가 필터 절단 이전에 발휘되는 것을 감안하면, 그림 6과 같은 일반적인 연약점성토 지반상의 성토에 수평배수재로 사용된 천연섬유배수재는 인장변형률에 의한 절단은 발생하지 않을 것으로 판단된다.

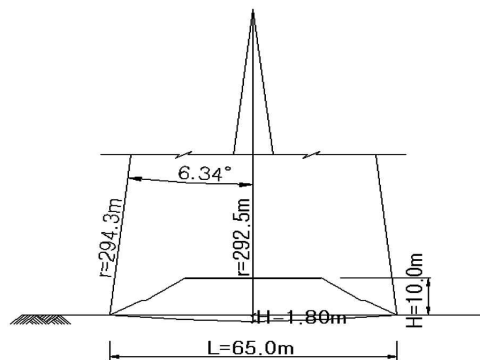
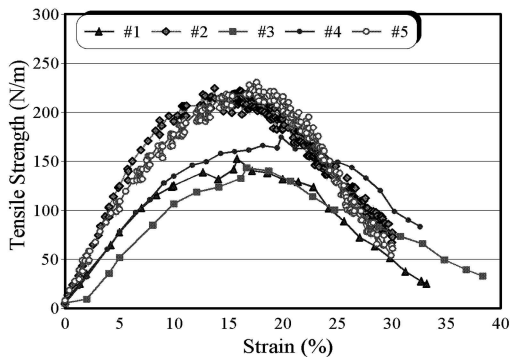


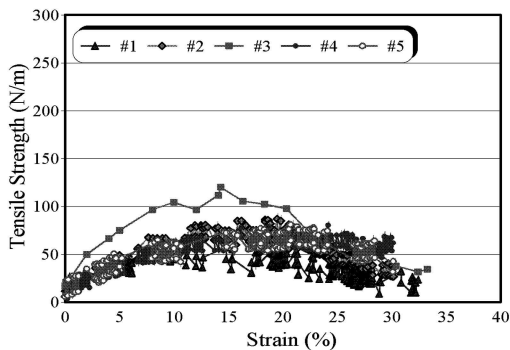
그림 6. 압밀침하로 인한 성토체 하부의 침하양상

4.2 매트 of 인장시험 결과 분석

자연건조상태의 수평배수재 매트 of 최대인장강도는 그림 7(a)에 나타난 것처럼 143.3~230.5N/m이며, 최대인장강도발현시 인장변형률은 13.7~19.9%로 평가되었다. 또한, 습윤상태 of 수평배수재 매트 of 최대인장강도(그림 7(b))는 57.1~119.9N/m로 자연건조상태 of 수평배수재 매트 of 최대인장강도 of 0.25~0.84배 정도 값을 나타내었다. 자연건조상태 of 아자껍질 매트 of 경우에는 최대인장강도가 뚜렷이 나타나는 반면, 습윤상태 of 경우에는 최대인장강도가 뚜렷이 나타나지 않고 변형이 진행됨에 따라 강도가 서서히 감소하는 연화현상이 관측되었는데, 이는 아자껍질로부터 추출한 매우 가는 실들을 엉켜 만든 매트가 물속에 들어가면 결합력이 저하되어 급격히 인장강도가 감소하기 때문으로 판단된다. 수평 천연섬유배수재 매트 of 인장강도는 필터에 비해 매우 작은 인장강도를 가지지만 최대인장강도 발현시 인장변형률이 필터에 비해 상대적으로 커 수평 천연섬유배수재 of



(a) 자연건조상태



(b) 습윤상태

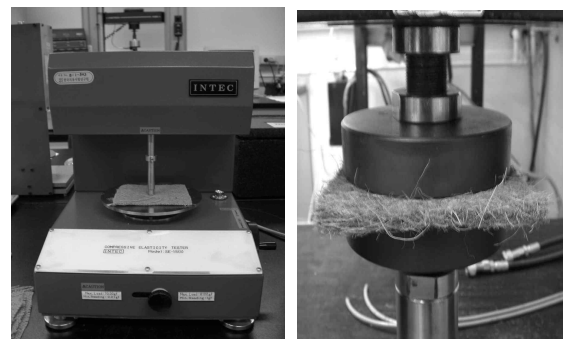
그림 7. 수평 천연섬유배수재 매트 of 광폭인장강도시험 결과

인장강도는 필터가 감당하게 되어 수평 천연섬유배수재 매트 of 작은 인장강도는 전체 수평배수재 of 인장강도에 미치는 영향이 크지 않을 것으로 판단된다.

4.3 수평배수재 of 투수시험

수평 천연섬유배수재 of 투수시험을 위해 시편의 폭과 길이는 각각 9cm와 20cm로 하고 평균 1.3cm의 두께를 갖는 수평배수재 매트 1겹과 상하에 황마필터를 위치시켜 구속압을 각각 50kPa, 150kPa, 300kPa로 하고 각 구속압 재하시 동수경사(i)는 0.1, 0.5, 1.0으로 제어하여 총 3회 시험을 수행하였다. ASTM D4716에서는 일반적으로 두께가 매우 얇은 토목섬유를 대상으로 시험을 하기 때문에 토목섬유재 of 두께를 고려하지 않은 hydraulic transmissivity(Θ)로 투수성을 평가한다. 그러나 수평 천연섬유배수재는 측정 가능한 두께를 가진 모래대체 재료로서 모래와 of 투수성 비교를 위해서는 hydraulic transmissivity(Θ)를 사용하는 것보다는 투수계수(k)를 사용하는 것이 더 나을 것으로 판단되어 본 연구에서는 수평 천연섬유배수재 of 투수성을 투수계수(k)를 이용하여 평가하였다. 또한, 수평 천연섬유배수재는 압력 증가에 따라 두께가 감소하므로 압력 증가에 따른 수평 배수재 of 압축량 평가가 필요한데, ASTM D4716 시험방법으로는 투수시험 도중 수평 배수재 of 압축량을 직접 평가하기 어렵기 때문에 그림 8과 같은 시험장치를 이용하여 각각 필터와 매트 of 압축량을 산정하였다.

그림 8(a) of 필터 두께 측정장치는 지름 1cm인 봉



(a) 필터 두께 측정장치 (b) 매트 두께 측정장치

그림 8. 수평배수재 두께 측정장치

을 이용하여 필터의 두께를 측정하는 방법으로, 1겹의 필터를 50kPa, 100kPa, 150kPa, 200kPa, 250kPa 그리고 300 kPa로 압입하여 각 압력에 해당하는 두께를 측정하였다. 또한 매트 두께 측정은 그림 8(b)와 같이 직경 15cm의 원형 금속판 내에 1겹의 매트를 삽입하고 하중을 가해 압력 증가에 따른 매트 두께의 변화를 나타낸 것으로 압력이 증가할수록 필터 두께는 감소하는 것으로 나타났다. 그러나, 압력이 가해지지 않은 초기의 필터 두께에 비해 300kPa 압력이 가해진 후의 필터 두께가 불과 0.4mm 정도 감소하지만, 매트 두께의 경우에는 압력이 가해지지 않은 초기 두께에 비해 300kPa 압력이 가해진 후의 매트 두께는 초기 두께의 50~60% 정도로 압축이 되어 상당량이 압축되는 것으로 나타났다.

그림 10은 ASTM D4751로 평가한 수평 천연섬유배수재의 투수계수 변화

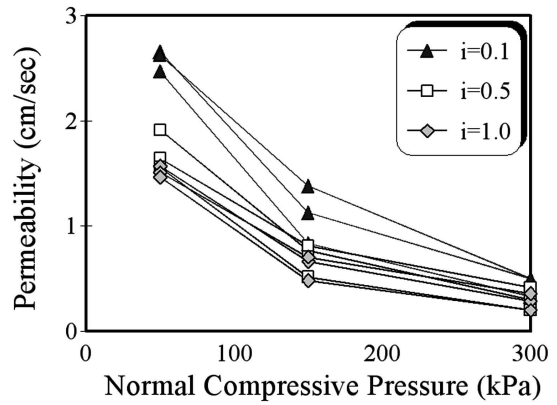
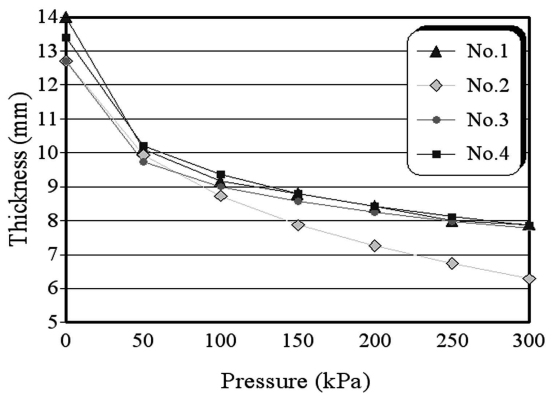
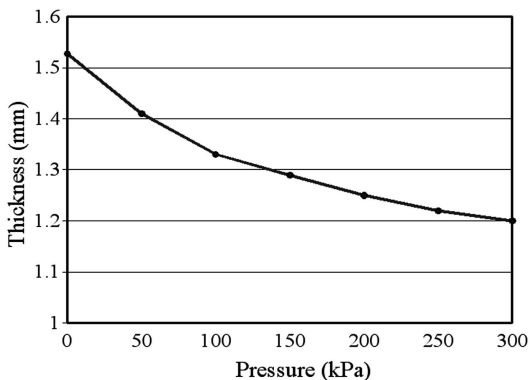


그림 10. 수평 천연섬유배수재의 투수계수 변화

배수재의 동수경사에 대한 투수계수를 나타낸 것으로 그림 9에서 나타난 수평 천연섬유배수재의 압력 증가에 따른 압축량을 고려한 결과이다. 그림 10에서 알 수 있듯이 동수경사가 증가할수록, 구속압이 클수록 수평 천연섬유배수재의 투수계수는 감소하는 경향을 나타내었다. 수평배수재의 투수계수를 산정한 결과 구속압 300kPa일 때 0.19~0.28cm/sec의 투수계수가 산정되었다. 일반적으로 설계에서 수평배수 목적으로 하는 모래의 최소 투수계수는 $3 \sim 5 \times 10^{-3}$ cm/sec 인데, 수평 천연섬유배수재를 1.5m 간격으로 설치한 경우 구속압 300kPa일 때의 수평 천연섬유배수재의 투수계수를 적용하여 산정한 통수량과 모래층 두께 50cm에 해당하는 통수량이 거의 유사한 값을 나타내어 수평 천연섬유배수재는 모래층을 대체할 수 있는 충분한 통수능을 가지고 있다고 평가할 수 있다.



(a) 황마 필터 두께 시험 결과



(b) 코코넛 매트 두께 시험 결과

그림 9. 압력에 따른 수평 천연섬유배수재 필터 및 매트 두께 변화

5. 결론

수평 천연섬유배수재의 공학적 특성을 평가하기 위해 인장강도와 투수계수를 평가한 결과 두 평가항목에서 모두 우수한 결과를 얻었다. 따라서, 수평 천연섬유배수재를 모래 대신 이용한다면 모래가 가지는 배수능력의 효과를 충분히 거둘 수 있을 것으로 판단된다. 다만 이는 수평 천연섬유배수재의 기본적인 시험평가방법을 기준으로 수행한 결과이므로 실제 현장 적용성을 분석하기 위해서는 모형시험 결과와 실제 시공 현장 결과가 함께 분석되어야 할 것이다.

참고문헌

1. ASTM D4595 “Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method”
2. ASTM D4716 “Test Method for Determining the (In-Plane) Flow Rate per Unit Width and Hydraulic Transmissivity of a Geosynthetic Using Constant Head”
3. ASTM D5035, Standard Test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics (Strip Method)
4. KS KISO 10319 “지오텍스타일의 인장강도시험방법”
5. Christopher, B.R. and Holtz, R.D. (1985), Geotextile Engineering Manual, U.S. Federal Highway Administration, Washington D.C.