

천연마섬유 배수재의 필터특성에 관한 연구

A Study of the Filter Properties of Natural Fiber Drain

이광민¹⁾, Kwang-Min Lee, 장연수²⁾, Yeon-Soo Jang, 김수삼³⁾, Soo-Sam Kim, 고경환⁴⁾, Kyung-Hwan, Koh

¹⁾ (주)그린-필 대리, Geotechnical Engineer, Greenfil Co., Ltd.

²⁾ 동국대학교 공과대학 토목공학과 부교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Dongguk University

³⁾ 중앙대학교 건설환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil and Environment Engineering Chung-Ang University

⁴⁾ 삼성중공업 차장, Assistant Director, Samsung Heavy Industry

SYNOPSIS : The properties of natural fiber filter are evaluated using laboratory experiments to find out the possibility of natural fiber drain as a substitute material of plastic board drain. Experiments performed for natural fiber filter are effective opening size, permeability and clogging. Three filters were used in the experiment, which are constituted with the filter of different densities encircled with wefts and warps. The results were compared with those for the filter of MD88-80.

Key words : natural fiber filter, effective opening size, permeability, clogging

1. 서론

대규모 연약지반의 조기 침하와 강도증진을 위하여 사용되고 있는 연직배수공법의 하나로서 플라스틱 코어를 직물섬유로 감싼 밴드형태의 플라스틱 드레인(Plastic Board Drain, PD재)이 국내에서도 널리 사용되어 오고 있다. 그러나 이러한 PD재에 있어서도 그 효율 및 적용성에 대한 확고한 신뢰성은 확보되어 있지 못한 실정인데 그 이유는 밴드형태의 PD재가 가지고 있는 통수능력이 개량하고자 하는 연약층의 두께에 비례하여 축압의 영향을 크게 받으며, 또한 지반의 연직 침하 변형에 따른 배수재의 굴곡 및 격입 등에 의해 배수재의 성능이 크게 저하되기 때문이다. 이러한 PD재가 가지고 있는 한계성을 극복할 수 있는 새로운 형태의 배수재로 최근 동남아 지역 및 일본 등에서 천연섬유배수재(일명 natural fiber drain)의 활용 사례가 나타나고 있다.

코코넛 코어(core)와 마섬유로 구성된 천연섬유배수재는 기존의 플라스틱 드레인과 비교하여 성능면에 있어 그 적용성이 뒤떨어지지 않으며 장기간 기능이 유지되고 변형에 대한 영향을 크게 받지 않는 등 그 재료특성이 우수한 것으로 보고되고 있다. 또한, 기존의 합성섬유제품은 지반개량재료의 역할수행이 종료된 후에는 그 필요성이 소실되나 영구적으로 썩지 않기 때문에 지반개량지구의 형질변경 등에 따라 굴착이 동반되는 경우 굴착에 어려움을 주고 이러한 폐 PD재의 처리에 문제가 발생한다. 그러나 천연섬유배수재는 배수재의 기능을 다한 후에 소정의 시간이 지나면 지중의 박테리아에 의해 분해되어 최종적으로 흙과 동화하는 환경친화적인 특성을 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 마섬유의 필터의 기능성을 평가하기 위하여 필터의 재료특성과 유효구멍크기, 투수성, 그리고 막힘에 대한 평가를 수행하여 마섬유의 필터재로서의 사용가능성을 확인하고 가장 적합한 형태의 마섬유필터 제원을 파악하고자 하였다.

2. 실험에 사용한 마섬유필터의 재료특성

본 실험에서는 3종류의 필터를 사용하였는데 3가지 모두 경사와 위사방향으로 섬유가 교차하여 직조된 직포형태로 제조되었다. 그림 1 에서 보는 바와 같이 두 개는 경사방향으로 두 올의 단섬유, 위사방향으로 한 올의 단섬유가 사용되었고(그림 1(a), 1(b) 참조), 나머지 하나는 경사와 위사 두 방향으로 각각 두 올의 단섬유가 사용되었다(그림 1(c) 참조). 3가지 필터의 섬유 조직밀도는 각기 다르며 SKFT1 필터가 가장 조직이 성기고 SKFT2 필터는 SKFT1 필터의 단위공극크기의 2/3(67%)이며, SKFT3 필터는 SKFT1 필터의 단위공극크기의 1/2(50%)에 해당한다.

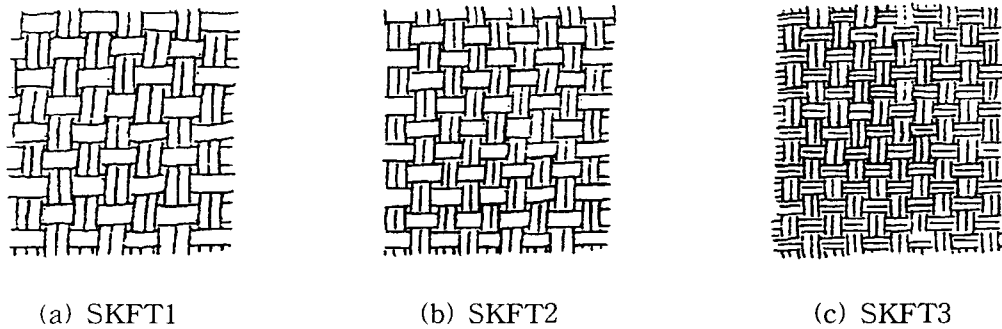


그림 1 실험에 사용한 3종류 필터의 직포구조

3종류 필터의 단섬유직경과 중량, 두께 등의 재료특성은 표 1과 같으며, 이에 의하면 SKFT3나 SKFT2가 SKFT1에 비해 단섬유직경과 중량, 두께가 더 작은 재료임을 알 수 있다.

표 1 실험에 사용한 3종류 마섬유필터의 재료특성 비교

재료특성		필터종류		
		SKFT1	SKFT2	SKFT3
단섬유직경 (mm)	위사(weft)	1-1.5(2올)	0.5-1(2올)	0.5-1(2올)
	경사(warp)	2-2.5(1올)	1-1.5(1올)	0.5-1(2올)
중량(g/m ²)		550-600	450-500	400-450
두께(mm)		2-2.5	1-1.5	0.8-1.3

3종류의 필터 중 SKFT1의 인장강도와 파열강도, 인열강도 등의 상세한 재료특성을 표 2에 나타내었는데 이 필터재의 특성값들은 대부분 Christopher(1985)가 제안한 최소기준치 이상의 값들을 나타내고 있다.

표 2 본 실험에 사용된 마섬유필터의 재료특성(SKFT1의 경우)

재료성질		단위	실험결과 (Elongation, %)	실험방법	최소기준치 (Christopher, 1985)
중량		g/m ²	550-600	KS K 0515 ASTM D 3776	
인장강도 (Strip법)	경사	건조	27.78 (7.30%)	KS K 0520 ASTM D 4595	
		습윤	24.60 (11.8%)		
	위사	건조	19.72 (9.20%)		
		습윤	19.18 (9.90%)		
인장강도 (Grab법)	경사	건조	0.704 (8.60%)	KS K 0520 ASTM D 4632	0.356
		습윤	0.672 (13.7%)		
	위사	건조	0.531 (7.90%)		
		습윤	0.335 (6.60%)		
과열강도(Mullen법)		kN/m ²	2050	KS K 0351 ASTM D 3786	898
인열강도 (Trapezoid법)	경사	kN	0.178	KS K 0537 ASTM D 4533	0.111
	위사		0.158		

3. 필터재의 유효구멍크기 측정

토목섬유의 유효구멍크기를 결정하는 방법에는 현미경이나 사진투영등에 의한 육안분석법, 유리구슬이나 건조 모래를 이용한 건식 체분석법, 습식 체분석법 등이 있다. 본 실험에서는 건식과 습식 두가지 방법을 모두 사용하여 필터재의 유효구멍크기를 측정하였는데 습식시험을 첨가한 이유는 필터재로 천연마섬유를 사용하는 경우, 재료의 특성상 현장에서 수분과 접촉하게 될 때에 마섬유필터의 울이 수분을 함유하여 부풀게 되므로 이 경우 마섬유필터의 유효구멍 크기에 변화가 있을 것으로 예상되기 때문이다.

3.1 건식 체분석법을 이용한 유효구멍크기 실험

3.1.1 실험장치

실험장치의 형태는 그림 2와 같이 체 진동기, 하부팬, 필터재가 설치된 체, 정전기 제거장치가 연결된 커버팬 등으로 구성되어 있으며, 필터재는 클램프 장치를 이용하여 체에 고정시켰다.

3.1.2 실험방법

본 실험에서는 밀도가 각기 다른 3종류의 마섬유필터 SKFT1, SKFT2, SKFT3에 대한 유효구멍크기를 측정하였는데 각각의 마섬유필터를 한 겹, 두 겹, 세 겹, 네 겹으로 나누어 측정하였다. 그리고 MD88-80의 필터와 비교하여 어느 경우에 비슷한 유효구멍크기를 갖는가를 알아보았다.

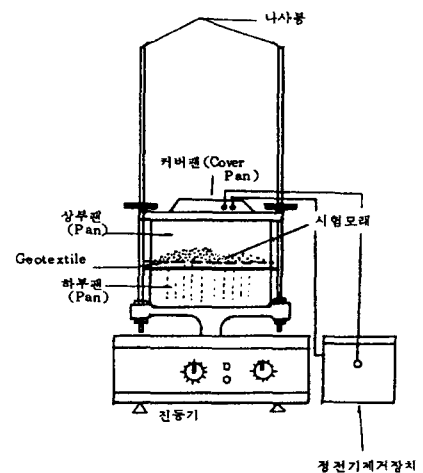


그림 2 건식 유효구멍크기 실험 장치 및 모형도(조삼덕, 1987)

3.1.3 실험결과

각 필터에 대한 실험결과는 그림 3에 나타내었는데 SKFT1의 측정결과를 나타낸 그림 3(a)를 보면 1겹을 사용한 경우는 유효구멍크기가 0.2mm로서 MD88-80이 0.082mm인 것에 비하면 무척 큰 값을 나타내고 있으며 2겹을 사용한 경우는 0.1mm로서 MD88-80에 대한 시험결과와 비교적 비슷한 양상을 보인다. 3겹과 4겹을 사용한 경우는 0.085mm와 0.071mm로서 2겹에 비해 작은 값을 나타내고는 있지만 그다지 큰 차이가 없었다.

SKFT2에 대한 시험 결과(그림 3(b))를 보면 1겹인 경우는 유효구멍크기가 0.120mm로서 SKFT1의 경우보다 더 작은 값을 나타내었으나 MD88-80의 유효경 0.082mm과 비교하여 보면 유사한 크기를 나타내고 있음을 알 수 있다. 2겹과 3겹을 사용한 경우에는 각각 0.060mm, 0.047mm로서 오히려 MD88-80보다 더 작은 값을 나타내었다.

SKFT3에 대한 시험결과(그림 3(c))는 SKFT2의 결과와 유사하며 1겹, 2겹, 3겹인 경우 유효구멍크기는 각각 0.108mm, 0.053mm, 0.041mm로서 MD88-80의 값과 비교해 보면 1겹인 경우는 거의 유사한 크기를 나타내고 2겹, 3겹인 경우는 더 작은 값들을 나타내고 있다.

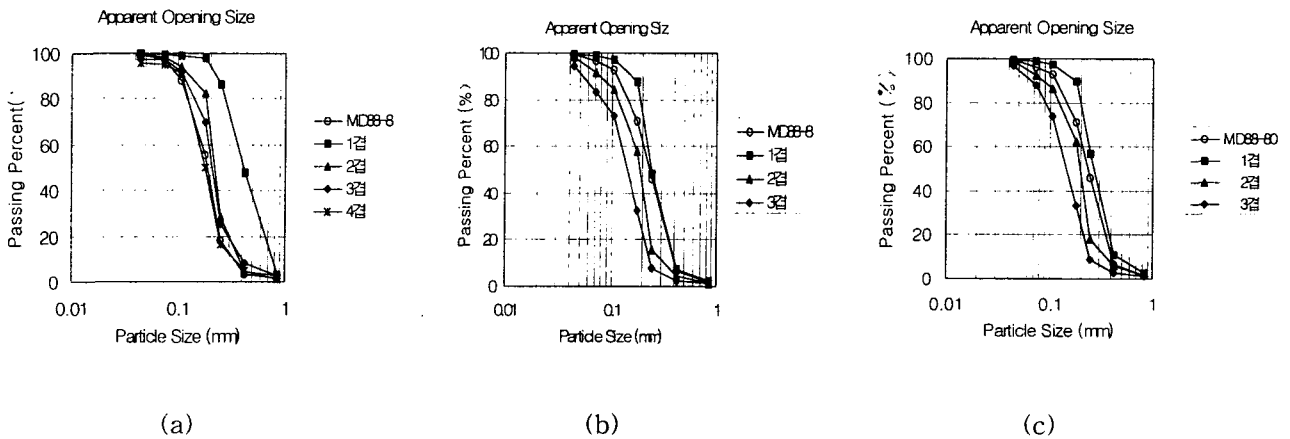


그림 3 SKFT1, SKFT2, SKFT3의 유효구멍크기 측정실험 결과

3.2 습식 체분석법을 이용한 유효구멍크기 실험

3.2.1 실험장치

실험장치는 내경 18cm, 높이 15cm의 원통형 플라스틱 실린더 2개와 원통형 플라스틱 수조 2개, 그리고 2개의 실린더를 수직방향으로 침수와 탈수를 일정한 속도로 반복하는 장치로 구성되어 있다(그림 4 참조).

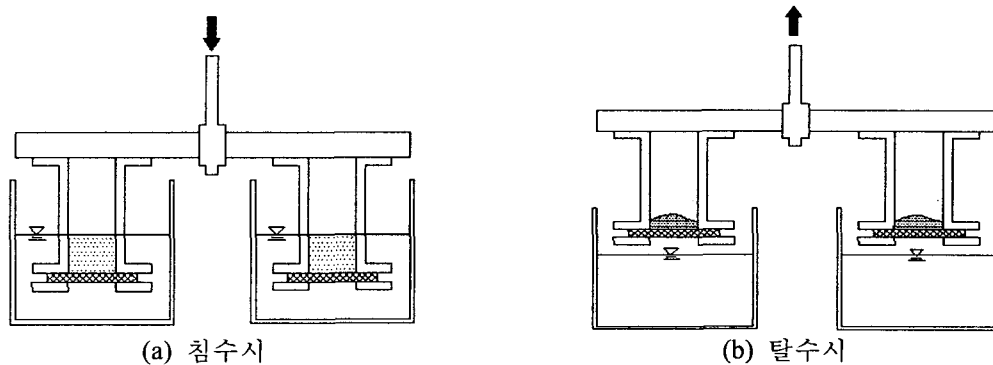


그림 4 습식 유효구멍크기 실험기구 단면도 (a) 침수시, (b) 탈수시(Rollin, 1986)

3.2.2 실험방법

습식에 의한 방법은 여러 방법중 수리동역학적 체분석법인 CGSB(Canadian General Specification Board) 148.1-10.2의 방법을 사용하였으며 SKFT1에 대해서만 실험하였다.

그림 4와 같은 장치를 이용하여 필터가 고정되어 있는 실린더를 밑에 놓인 수조에 침수와 탈수를 반복하며 이때 토목섬유의 침수깊이가 약10cm, 침수시 적어도 7초간, 탈수시 적어도 30초가 되도록 한다. 각각의 실험 cycle수는 최소 1000회 이상으로 규정하고 있다(Rigo et al., 1990).

3.2.3 실험결과

그림 5를 보면 4종류의 필터재 모두가 건식방법에서 측정된 결과에 비해 유효입경이 조금씩 작게 나왔는데 이는 마섬유필터가 물에 접촉되면 각각의 올이 물을 함유하여 부풀게 되므로 흡입자의 통과가 방해되기 때문인 것으로 추정된다.

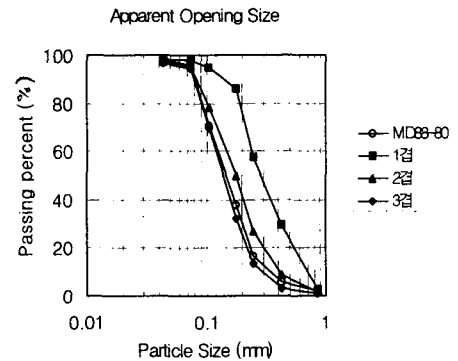


그림 5 SKFT1의 습식 유효구멍크기 측정실험 결과

4. 흡-필터 시스템의 투수성 실험을 이용한 막힘특성 분석

이 실험은 장기적 흐름실험(LTF test; Long-Term Flow test)(Koner and Ko, 1982)과 유사한 방식의 실험으로 흡-필터 시스템의 시간에 따른 투수성의 변화와 필터재 막힘의 상태를 분석하기 위하여 그림 6과 같은 본 실험에서 고안된 실험장치를 사용하여 수행되었다. 실험의 결과는 각각의 함수비에 따라 일정한 시간간격으로 측정된 흡-필터 시스템의 투수량과 필터를 통과한 흡시료의 양을 측정하여 시간별로 나타내었으며 실험이 끝난 후에 필터에 막혀있는 흡의 양을 측정하여 함수비별로 비교하여 보았다.

4.1 실험장치

그림 6과 같이 일정수두장치에 연결된 길이 20cm, 직경 10cm인 4개의 원통형 셀에 마섬유필터(SKFT1) 1겹, 2겹, 3겹, MD88-80을 각각 설치한다. 셀은 상, 하부의 2부분으로 나뉘어져 있으며 접합부에는 O-ring이 설치되어 물이 새는 것을 방지하도록 하였다. 셀 상부에는 일정수두장치로부터 물이 유입되는 밸브가 설치되어 있으며 하부는 밑을 개방하여 그 밑에 비이커를 두고 흡과 필터재를 통과한 물을 모을 수 있도록 하였다.

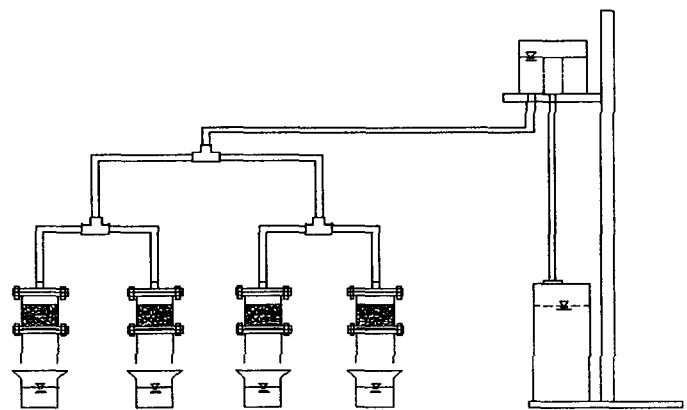


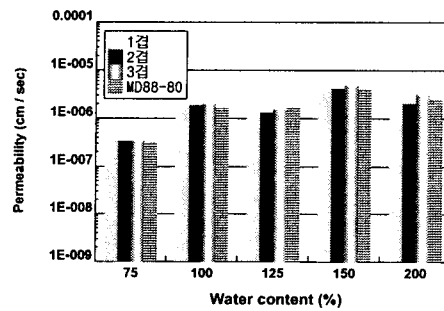
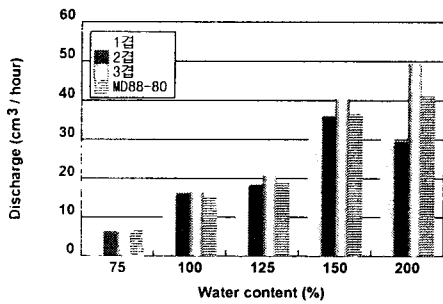
그림 6 흡-필터 시스템의 투수성 실험장치

4.2 실험방법

흙시료는 해성점토(CL)를 사용하였으며 이 시료를 No. 10번체를 통과 시킨 후 장치된 셀의 필터재 윗부분(상부)에 8cm 높이가 되도록 채운다. 이때 수조의 수위는 160cm가 되게 하여 $i = 20$ 으로 유지한다. 그리고 상부의 밸브를 열어 물을 유입시켜 수압을 가하고 이때의 시간을 측정해 둔다. 그리고 나서 셀 하부를 통해 흘러나오는 물의 양을 시간별로 측정하고 비이커를 바꾸어 측정한 비이커에 있는 물은 건조로 건조시켜 필터재를 통과해 나오는 흙의 양도 시간별로 측정한다. 흘러나오는 물의 양이 점차 줄어들어 일정한 상태를 유지하게 되면 측정을 멈춘다. 이러한 실험을 시료의 함수비를 75, 100, 125, 150, 200%로 달리해 가며 실험한다. 그리고 각각의 실험을 마친 후에 필터재에 보유되어 있는 흙의 양을 조사하여 마섬유필터가 1겹, 2겹, 3겹인 경우에 어떤 차이가 있는지를 알아보았다.

4.3 실험결과

그림 7에 나타낸 바와 같이 함수비가 증가함에 따라 투수량은 증가하며 투수계수는 큰 차이는 없으나 조금씩 증가하고 있음을 볼 수 있다. 이는 실험에서 함수비가 각기 다른 흙시료를 지오텍스타일 위로 8cm 높이가 되도록 맞추었기 때문에 함수비가 커지면 그만큼 흙의 양이 줄어들고 시간이 지남에 따라 흙시료의 압축이 진행되면 함수비가 큰 흙층의 두께가 더 얇아지기 때문이다.

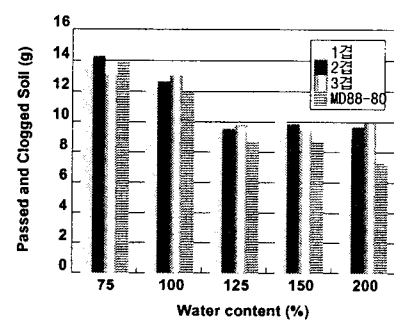
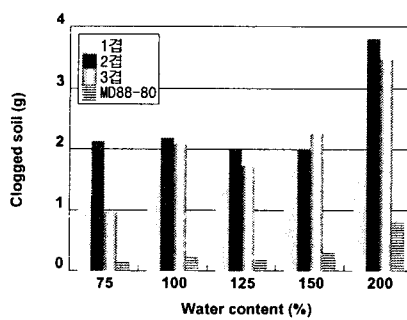
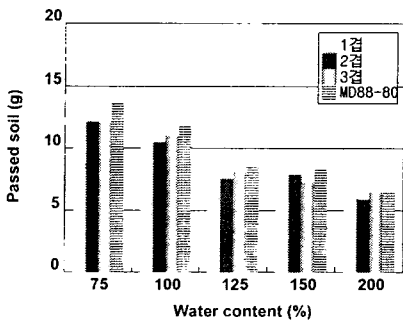


(a) 함수비-투수량

(b) 함수비-투수계수

그림 7 함수비에 따른 투수량과 투수계수

그림 8에는 함수비에 따라 passing되는 soil과 clogging되는 soil을 나타내고 있는데 그림 8(a)에서는 함수비가 커짐에 따라 통과되는 흙의 양이 점차 줄어드는 것을 볼 수 있으며 그림 8(b)에서는 clogging되는 흙의 양이 거의 비슷하나 함수비가 200%인 경우에는 조금 증가된 것을 보인다. 그리고 그림 8(c)에서는 passing된 soil과 clogging된 soil의 합해진 양을 함수비 별로 나타내었는데 함수비가 커짐에 따라 점차 감소하는 양상을 보였다.



(a) 함수비-Passed soil

(b) 함수비-Clogged soil

(c) 함수비-Passed and clogged soil의 합계

그림 8 함수비에 따른 passed and clogged soil

6. 결론

본 연구에서는 천연재료인 마섬유의 필터재로서의 사용가능성을 확인하기 위하여 마섬유필터의 재료 특성과 유효구멍크기, 투수성, 그리고 막힘에 대한 평가를 수행하였으며 이러한 수행결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. 건식방법에 의한 유효구멍크기 측정실험에서 SKFT1의 경우에는 2겹을 사용할 때에 MD88-80과 비슷한 양상을 나타내었고 SKFT2나 SKFT3의 경우에는 1겹만 사용해도 MD88-80과 유사한 유효경을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.
2. 습식방법에 의한 유효구멍크기 측정실험에서는 건식방법에서 측정한 결과에 비해 유효입경이 조금씩 작게 측정되었는데 이는 마섬유필터가 물에 접촉되면 각각의 울이 물을 함유하여 부풀게 되므로 흡입자의 통과가 방해되기 때문인 것으로 추정된다.
3. 흡-필터 시스템의 투수성실험에서 SKFT1을 1겹, 2겹, 3겹 사용한 경우와 비교목적으로 MD88-80을 사용한 경우에 통수량과 투수계수에 있어서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나 막힘을 일으킨 흡의 양은 MD88-80이 조금 적은 것으로 측정되었다. 그러나 통과된 흡의 양과 막힘을 일으킨 흡의 양을 합한 경우에는 4가지 경우에 큰 차이가 없는 것으로 보아 각각의 경우가 투수성에 미치는 영향은 거의 비슷하다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 趙三德(1986), *Geotextile 種類別 效用性의 比較研究*, 한국건설기술연구원.
2. Christoper, B. R. and Holtz, R. D.(1985), *Geotextile Engineering Manual*, U. S. Federal Highway Administration, Washington, DC.
3. Koerner, R. M. and Ko, F. K.(1982), "Laboratory Studies on Long-Term Drainage Capability of Geotextiles," *Proc. 2nd Int. Conf. on Geotextiles*, Las Vegas, NV, 1-6, IFAI, pp. 91-95.
4. Rigo, J. M., Lhote, F., Rollin, A. L., Mlynarek, J., and Lombard, G.(1990), "Influence of Geotextile Structure on Pore Size Determination," *Geosynthetics : Microstructure and Performance*, ASTM STP 1076, I. D. Peggs, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 90-101.
5. Rollin, A. L.(1986), "Filtration Opening Size of Geotextile : The Parameters Influencing the Pore Size Determination," *ASTM Standardization News*, May.