

토목섬유의 유효구멍크기 측정방법 및 측정결과 평가 Determination of Opening Size of Geotextiles

조삼덕¹⁾, Sam Deok Cho, 김주형²⁾, Ju Hyong Kim, 이광우³⁾, Kwang Wu Lee

¹⁾ 한국건설기술연구원 수석연구원, Research Fellow, Korea Institute of Construction Technology.

²⁾ 한국건설기술연구원 선임연구원, Senior Researcher, Korea Institute of Construction Technology.

³⁾ 한국건설기술연구원 연구원, Researcher, Korea Institute of Construction Technology.

SYNOPSIS : Opening size of 3 types of geotextile were tested using dry and wet sieving methods to evaluate characteristics of test methods and to compare the test results. Judging from test results, dry sieving method is a poor test, having many problems causing many errors but a simple-quick test. Wet sieving method is a very specific test avoiding many of the problems of dry sieving such as electrostatic charges, trapping in the geotextiles and so on. However, one of wet sieving tests, KSK ISO12956, takes long time to complete a test and is too strict to handle loss of granular material. Generally, opening size of a geotextile by wet sieving test is smaller than that of dry sieving test. Especially, opening size by KSF 2126 which is one of wet sieving test but disused at present anymore is similar or smaller than that by KSK ISO12956 method.

Key words : Opening size, Geotextile, Clogging

1. 개요

국내에서 토목섬유의 사용량은 토목섬유의 많은 장점 때문에 해마다 증가하고 있다. 그 중 연직 플라스틱배수재 (Plastic Drain Board, PDB)의 사용량은 연약지반 개량공사의 증가와 더불어 엄청나게 증가하고 있는 실정이다. 현장에 적용한 연직배수공법의 효율성은 배수재 자체의 통수성능 뿐만 아니라 배수재 설치 과정에서 발생하는 주변지반의 교란정도와 배수재의 수직 설치 정도 등의 정밀 시공 여부에 따라 큰 영향을 받는다. 이와 같이 연직배수공법에 미치는 영향인자들은 설계 시에 또는 시공 중에 어느정도 고려할 수 있지만, 간극수의 흐름방향으로 점토 세립분의 이동에 따른 PDB 필터 인접부에서의 브릿징 (bridging) 구조형성, 토목섬유 필터 내에서의 구멍막힘 현상 (clogging), 토목섬유 필터 표면에서의 블록킹 (blocking)과 블라인딩 (blinding)현상 및 인접 지반 내에서 흙 필터 층(soil filter layer 또는 filter cake) 으로 인해 발생하는 배수지연 효과는 수치적으로 설계에 고려하기가 매우 어려운 실정이다 (조삼덕, 1998). 실제 지반 내에 설치된 토목섬유 필터의 성능을 분석하기 위해서는 현장 조건과 유사하게 현장 흙과 결합되어 있는 토목섬유내로 물을 흘려보내어 동수경사를 측정하는 ASTM D 5101 (Standard test method for measuring soil-geotextile system clogging potential by the gradient ratio) 방법이 있다. 그러나, 이 방법은 시험에 장시간을 필요로 하며, 시험방법이 번거로운 단점이 있다.

국내에서 토목섬유 필터의 성능은 투수성과 유효구멍크기 측정으로 평가하고 있다. 이 중 토목섬유의 구멍막힘 현상을 간접적으로 평가할 수 있는 방법으로 건식 및 습식방법을 사용하고 있다. 본 연구에서

는 국내에서 사용하고 있는 유효구멍크기 평가 방법들의 특징을 분석하고 각 시험방법에 의한 결과를 비교 분석하였다.

2. 국내외 연구동향

토목섬유의 유효구멍크기 측정방법은 크게 건식과 습식방법으로 구분된다. 이 중 건식방법은 1970년 대 미국육군공병단에서 직포 토목섬유의 유효구멍크기를 평가하기 위해 처음으로 제안되었는데, 현재는 부직포 토목섬유의 유효구멍크기 평가에도 사용하고 있다. 건식방법은 이미 크기를 알고 있는 구형의 유리구슬을 토목섬유 위에 놓고 통과된 유리구슬의 중량을 측정하는 방식이다. 건식방법은 동일한 방법으로 서로 다른 크기의 유리구슬을 반복적으로 토목섬유에 통과시켜 최종적으로는 토목섬유의 간극크기 곡선을 얻을 수 있다. 이 방법은 불행히도 아직 국제표준기구(ISO)에서 수용하지 않고 있는데, 이는 각 국에서 사용하고 있는 시험방법들이 매우 다양하고 시험편차가 크기 때문으로 판단된다. 예를 들면, ASTM에서는 50g의 유리구슬을 토목섬유 위에 놓고 10분 동안 진동하도록 규정하고 있으나, 델프트 수리 연구소(Delft Hydraulic Laboratory)방법은 50g의 모래를 5분 동안 진동하도록 규정하고 있으며, 영국에서는 100g의 모래를 5분 동안 진동하도록 규정하고 있다. 국내에서는 건식방법으로 ASTM D4751과 동일한 KSK 0754를 이용하여 시험하도록 규정하고 있다. Koerner (2005)는 건식 유효구멍크기 측정방법은 많은 문제를 가지고 있는 방법으로 기술하고 있는데, 현재 미국에서 지속적으로 건식 방법을 사용하고 있는 이유로 시험의 간편성을 들고 있다. Koerner (2005)가 지적한 건식 유효구멍크기 측정방법에 대한 문제점들을 다음과 같다.

- ① 필터효과는 항상 물의 흐름과 함께 발생하는데, 건식방법은 이 효과를 고려하지 못함.
- ② 두꺼운 부직포인 경우 유리구슬이 토목섬유 내에 갇히는 현상이 발생함.
- ③ 세립의 유리구슬은 자주 정전기가 발생하여 체에 달라 붙는 경우가 있어 시험오차가 발생함.
- ④ 유리구슬이 큰 간극 쪽으로만 통과되므로 이 경우에는 건식방법에 의해 유효구멍크기의 대표성을 확보하기 어려움.
- ⑤ 이 시험은 유리구슬의 5% 통과크기만 결정하도록 되어 있어 다른 간극크기를 나타내는 곡선을 그리지 않도록 되어 있다.

또한 토목섬유의 유효구멍측정방법으로 습식방법이 있다. 습식방법은 기존 건식방법이 가지고 있는 단점을 보완한 것으로 과립형 시료를 물과 함께 토목섬유를 통과시켜 유효구멍크기를 측정하는 방법이다. 습식방법도 국가마다 제안된 시험방법이 다른데, 독일에서는 부분적으로 체분석 장치를 수정 변경한 Franzius Institut Hanover (FIH) 방법과 수리동역학적 방법으로 불리우는 물속에 반복 수침시키는 Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)방법이 있다. 프랑스에서도 BAW방법과 유사한 방법인 AFNOR 38017를 제안하고 있다.

표 1. 토목섬유의 유효구멍크기 시험 결과 (Faure, 1986)

토목섬유종류		유효구멍크기, $O_{95}(\mu\text{m})$			
종류	두께	ASTM	Delft	FIH	AFNOR
모노필라멘트	0.66mm	87	72	70	62
평직포	0.17mm	140	138	103	100
부직포	4.2mm	180	168	113	113
부직포	2.6mm	136	138	93	83
부직포	1.6mm	86	77	89	72

표 1은 Faure 등 (1986)이 5가지의 토목섬유에 대해 ASTM, DELFT, FIH, AFNOR방법으로 시험한 결과를 나타낸 것이다. 표 1에서 보면 시험 방법에 따라 그리고 시험 대상 시료의 종류에 따라 유효구멍크기가 모두 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 이 결과에서 보면 습식 방법인 FIH와 AFNOR 방법은 전체적으로 건식방법보다 작은 유효구멍크기가 산정되며, 두 시험의 결과는 비슷한 양상을 나타내는데 건식방법인 Delft방법은 습식방법인 AFNOR방법에 비해 33~49% 큰 것으로 나타났으며, 또 다른 건식 방법인 ASTM방법은 습식방법에 비해 41~60% 더 크게 나타났다.

또한 John (1987)은 Faure 등(1986)이 시험한 결과를 바탕으로 미국, 네덜란드, 독일 및 프랑스에서 사용하는 유효구멍크기 값과 ASTM에서 제안하고 있는 유효구멍크기 시험 결과와의 관계를 표 2와 같이 제안하기도 하였다.

표 2. 시험방법별 유효구멍크기 관계 (John, 1987)

시험방법	상관관계
영국, O_{95}	$\approx 1.0 O_{95}$ (ASTM)
네덜란드, O_{90}	$\approx 0.85O_{95}$ (ASTM)
독일 D_w	$\approx 0.75O_{95}$ (ASTM)
프랑스 O_f	$\approx 0.7O_{95}$ (ASTM)

국제표준기구 (International Organization for Standardization)에서는 이와 같이 나라별로 다양하게 사용하고 있는 토목섬유의 유효구멍크기 측정방법을 통합하기 위해 1999년에 ISO 12956 "Geotextiles and geotextile-related products -Determination of the characteristic opening size"를 제안하였다. 현재 국내에서는 기존에 사용했던 습식방법인 KSF 2126 "지반용 섬유의 유효구멍크기 측정방법"을 2002년에 폐지하고, KSK ISO 12956 "지오텍스타일 및 관련제품 - 유효 구멍 크기 측정 방법 - 습식법"을 제정하여 사용하고 있다.

최근에는 질소 등의 기체의 유량을 측정하여 토목섬유의 유효구멍을 측정하는 방법 (ASTM D 6767)도 일부 사용하고 있으나, 이 방법은 국내 토목섬유에서는 아직 널리 사용하고 있지 않고 있다.

본 연구에서는 국내에서 토목섬유 유효구멍크기 평가에 가장 많이 사용하고 있는 건식방법(KSK 0754)과 최근에 도입된 습식방법 (KSK ISO 12956)을 중심으로 유효구멍크기 시험을 수행하여 그 결과를 비교 분석하고, 각 시험방법들의 장단점에 대한 분석을 수행하였다.

3. 시험종류 및 방법

3.1 건식법(KSK 0754)

KSK 0754방법은 그림 1과 같은 실험장치를 이용하여 이미 알고 있는 입경의 유리구슬을 토목섬유시료 위에 올려놓고 진동을 주어 토목섬유를 통과한 유리구슬의 중량을 측정하고, 다양한 입경의 유리구슬에 대한 실험결과로부터 입경크기-통과율 곡선을 도시하여 5% 통과율에 해당하는 입경크기를 토목섬유의 유효구멍크기로 결정하는 방법이다. 토목섬유 시험편을 설치하기 위한 체틀의 지름은 200mm이며, 시험에 사용되는 유리구슬의 양은 50g을 사용한다. 또한, 이 실험에서는 토목섬유 표면에서 유리구슬이 움직일 때 정전기가 발생할 수 있으므로 정전기를 제거를 위한 장치나 정전기 방지용 스프레이를 살포하기도 한다. 주요 시험과정은 다음과 같다.

- ① 건조된 토목섬유 시험편을 체 진동기에 장착된 체 틀에 설치한다.
- ② 유효구멍크기 시험은 가장 작은 지름의 유리구슬로부터 수행하며, 토목섬유 시험편의 중앙부에 50g의 유리구슬을 올려 놓는다.
- ③ 체 틀 위에 덮개와 팬을 설치하고, 10분 동안 진동시킨다.

- ④ 진동이 완료되면, 토목섬유 시험편 위에 잔류되어 있는 유리구슬과 체의 테두리에 묻어 있는 유리구슬 및 토목섬유 시험편을 뒤집어 떨어진 유리구슬을 합하여 잔류중량을 측정한다. 또한, 토목섬유 시험편을 통과한 유리구슬의 중량과 토목섬유 시험편 내에 묻혀 있는 유리구슬의 중량을 각각 측정한다.
- ⑤ 토목섬유 시험편을 통과한 유리구슬의 양(통과백분율)이 5% 이하가 될 때 까지 입경이 보다 큰 유리구슬을 사용하여 ② - ⑤의 과정을 반복한다. 토목섬유 시험편을 통과한 유리구슬의 통과백분율은 (통과된 유리구슬의 양×100)/(전체 유리구슬의 양)이다. 유효 구멍크기를 보다 효율적으로 구하기 위하여 입경크기-통과백분율 곡선을 도시하고, 5% 통과백분율에 해당하는 입경크기를 유효구멍크기로 결정한다.

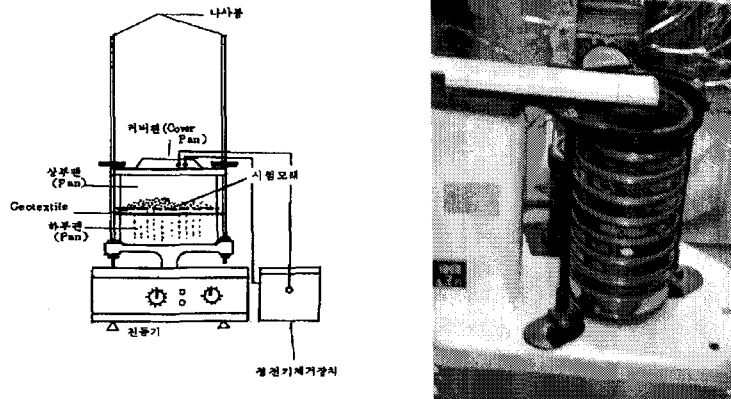


그림 1. 유효구멍크기 실험장치 (건식법)

3.2 습식법(KS K ISO 12956)

습식법은 그림 2와 같은 실험장치를 이용하여, 물이 주입되는 상태에서 토목섬유시료 위에 놓여진 시험 흙시료를 채분석하고, 토목섬유를 통과한 흙시료와 잔류한 흙시료에 대한 입도분석을 하여 토목섬유의 유효구멍크기를 결정하는 방법이다. 이 때 사용하는 토목섬유시료의 최소 지름은 130mm이며, 진동 장치의 진동수는 50~60Hz, 진폭은 1.5mm(전체 진폭은 3mm)의 것을 사용하였다. 물 분사장치의 노즐은 약 300kPa의 압력에서 0.5l/min 정도의 물 분사가 가능한 것을 사용했으며, 시험에 사용한 흙시료는 $3 \leq Cu \leq 20$, $d_{20} \leq O_{90} \leq d_{80}$ 의 조건을 만족하도록 제조하였다. 주요 시험방법 및 시험과정은 다음과 같다.

- ① 흙시료는 체 면적에 대하여 $7.0 \pm 0.1 \text{ kg/m}^2$ 가 되도록 충분한 양을 준비하여 토목섬유 시험편 위에 균일하게 올려놓은 후 실린더와 물 분사장치를 장착한다.
- ② 물 공급장치를 열어서 토목섬유 시험편 전체에 균일하게 물을 살포하며 수위가 흙시료 높이를 넘지 않도록 한다.
- ③ 진동장치의 스위치를 켜고 서서히 진폭이 1.5mm가 되도록 맞춘 후 10분간 진동을 준 후 진동장치를 끄고 물 공급을 중단한다.
- ④ 토목섬유 시험편 위에 남아 있는 흙시료와 함께 토목섬유 시험편을 회수하고 건조시켜 중량을 측정 후 토목섬유 시험편의 건조중량을 감하여 잔류 흙시료의 중량을 계산한다.
- ⑤ 토목섬유 시험편을 통과한 흙시료를 수거하여 건조시킨 후 통과 흙시료의 중량을 측정한다.
- ⑥ 잔류 흙시료의 중량과 통과 흙시료의 중량의 합이 초기 전체 흙시료의 중량과 1% 이상 차이가 나면 재시험한다. 최소한 3개의 토목섬유 시험편에 대한 시험이 유효한 시험이 되어야 하며, 3개의 유효시험에서 각각의 통과 흙시료의 중량이 평균값과 25% 이상 차이가 나면 나머지 2개의 시험편에 대한 추가시험을 한다.
- ⑦ 토목섬유 시험편을 통과한 흙시료에 대한 입도분석을 하여 입경크기-누적통과율 곡선으로부터 90%의 누적통과율에 해당하는 유효구멍크기 O_{90} 을 결정한다.

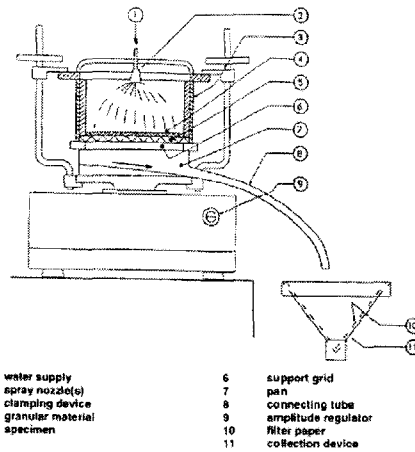


그림 2. 유효구멍크기 실험장치 (습식법)

3.3 수리동역학적 방법 (KSF 2126 : 2002년 폐기)

수리동역학적 방법은 그림 3에서 나타난 것과 같이 토목섬유 시험편과 흙시료를 넣은 상자를 반복적으로 물 속에 수침하여, 토목섬유를 통과한 흙시료에 대한 입도분석을 함으로써 토목섬유의 유효구멍크기(O_f)를 결정한다.

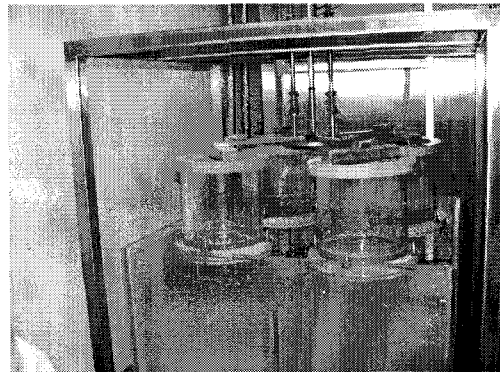
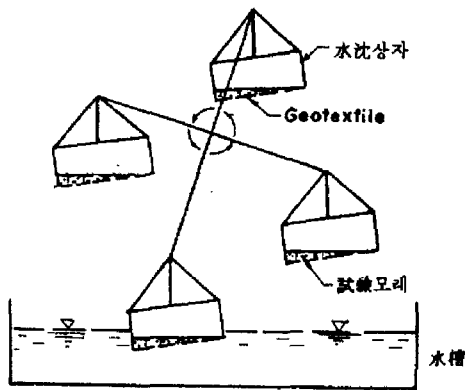


그림 3. 유효구멍크기 실험장치 (수리동역학적방법)

이 시험법에서는 여러 개의 수침상자를 동시에 사용하는데, 수침상자의 바닥은 격자크기가 0.5~2cm 인 철망으로 구성되고, 측면의 높이는 15cm 이상, 유효 직경은 10cm 이상으로 규정되어 있다. 각 수침상자에는 $0.7 \pm 0.3 \text{g/cm}^2$ 의 흙시료가 사용되는데, 흙시료는 다음 기준을 만족하여야 한다.

$$d_{\max} \geq 20f, \quad C_u > 6.0, \quad d_{10} \leq O_f/4$$

실험은 수침상자가 물 속에서 7초, 물 위에서 30초 동안 머물 수 있도록 하여 24시간 동안 2,000 사이클 이상 작동되어야 하며, 실험 중 수침상자는 수면으로부터 $10 \pm 1 \text{cm}$ 정도 수침되어야 한다. 실험장치의 작동이 완료되면 수조 내의 물을 빼내고, 토목섬유 시험편을 통과한 흙시료를 수집하여 노건조 시킨 후 입도분석을 수행한다. 입도분포곡선을 도시하여 95% 통과백분율에 해당하는 입경크기를 토목섬유의 유효구멍크기로 결정한다.

4. 시험 및 결과 분석

4.1 시험대상 재료

유효구멍크기 시험방법을 평가하기 위해 플라스틱배수재 (PDB)에서 필터로 사용하는 열융합부직포 3종을 시험에 사용하였다. 시험에 사용한 필터는 100% 폴리프로필렌(P.P.)으로 구성되어 있으며, 평균 비중은 0.91, 녹는점은 약 165℃ 그리고 섬유들의 평균 굵기는 40~50 μ m 정도이다. 표 3은 시험에 사용한 토목섬유 필터의 기본적인 물성을 나타낸 것이다.

표 3. 시험 대상 토목섬유의 기본물성치

시험재료			토목섬유 A	토목섬유 B	토목섬유 C
시험종류	시험법	단위			
면적당 무게	EN965	g/m ²	165	165	140
두께	EN964-1	mm	0.46	0.39	0.40
인장강도	ASTM D4595	kN/m	12.0	12.9	11.7
인열강도	ASTM D4533	N	335	250	260
투수계수	ASTM D4491	10 ⁻⁴ m/s	1.5	1.1	1.3
permittivity	ASTM D4491	1/s	0.56	0.3	0.3

4.2 시험결과 분석

4.2.1 현미경 관측

그림 4는 시험에 사용한 세 종류의 토목섬유 시료를 현미경으로 확대한 사진이다. 사진에서 나타난 것과 같이 열융합부직포에서는 섬유의 배열이 불규칙하여 이로 인한 섬유의 간극이 매우 불규칙하게 분포하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 간극의 크기와 모양도 다양한 형태로 나타나고 있으며, 위치에 따라 큰 간극이 발견되었다. 현미경으로 각 시료의 임의의 위치에서 발견된 최대 구멍크기를 각각 10회씩 측정 한 결과 토목섬유 A의 최대구멍크기 평균값은 109 μ m, 토목섬유 B의 최대구멍크기 평균값은 95 μ m, 그리고 토목섬유 C의 최대구멍크기 평균값은 82 μ m로 나타났다.

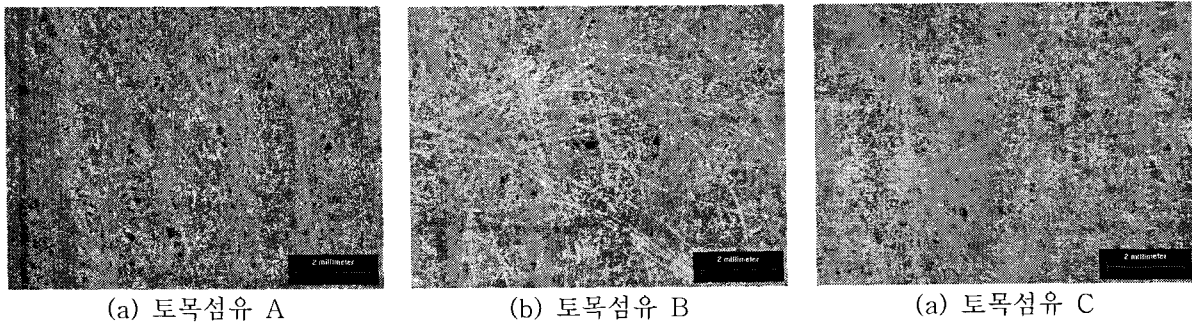


그림 4. 대상 토목섬유의 현미경 사진

4.2.2 시험결과 분석

1) 건식시험

건식방법으로는 KSK 0754방법으로 시험을 수행하였으며, 각 시료에 대해 각각 10회씩 유효구멍크기를 측정하였다. 그림 5는 각 대상시료에 대한 건식시험 결과를 나타낸 것이다. 건식방법에서는 토목섬유의 유효구멍크기를 O₉₅로 평가하고 있으나, 습식시험 결과와 비교를 위해 O₉₀도 함께 나타내었다. 가로 실선으로 나타난 부분과 만나는 위치의 횡축 값이 대상 토목섬유의 O₉₅이며, 가로 점선으로 나타난 부분과 만나는 위치의 횡축 값이 대상 토목섬유의 O₉₀이다. 그림 5에서 나타난 것과 같이 토목섬유 B를

제외하고, 토목섬유 A와 토목섬유 C에 대한 건식시험 결과 유리구슬 통과율 편차가 심하게 나타나는 현상을 발견할 수 있었다. 특히, 상대적으로 입경이 큰 유리구슬보다 상대적으로 입경이 작은 유리구슬을 사용하는 경우, 동일 토목섬유에 대한 유리구슬의 통과율 편차가 심한 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 앞서 Koerner (2005)가 지적한 건식법의 문제점들에 의해 나타나는 현상이라고 할 수 있는데 특히, 본 연구에서와 같이 두께가 거의 비슷한 토목섬유의 경우에는 유리구슬이 토목섬유의 더 큰 간극 쪽으로 더 많이 통과하는 현상이 우세했을 것으로 판단할 수 있다.

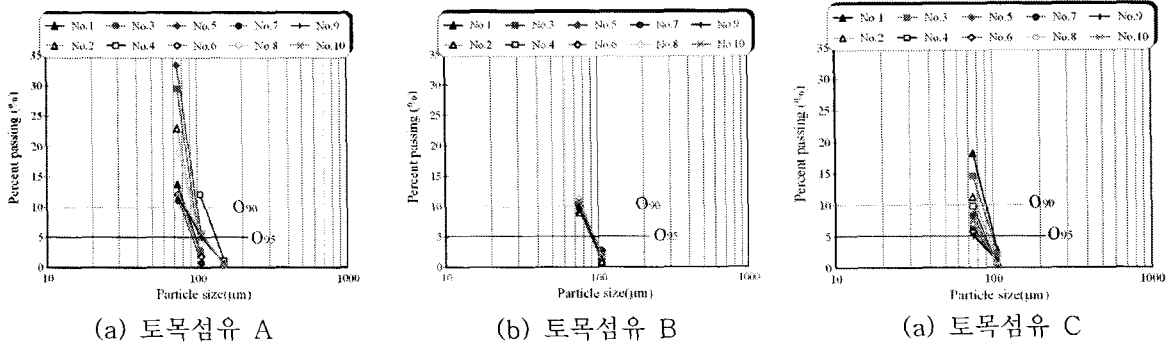


그림 5. 건식방법을 이용한 토목섬유의 유효구멍크기

2) 습식시험

습식시험의 경우에는 최근 개정된 KSK ISO 12956방법으로 토목섬유 A에 대해서는 5회, 토목섬유 B와 토목섬유 C에 대해서는 각각 6회 시험을 수행하였다. 습식시험은 우선 두 종류의 입도 분포를 갖는 흙을 이용하여 시험을 수행하였다. 그림 6은 시험에 사용한 흙의 입도분포를 나타낸 것으로 그림에서 검은 사선은 KSK ISO 12956에서 제시하고 있는 습식 시험에 사용해야 할 흙의 입도분포 범위를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 습식법에 사용하는 흙의 입도분포에 따른 토목섬유의 유효구멍크기 변화 정도를 분석하기 위하여 KSK ISO 12956에서 제시하고 있는 입도분포를 만족하는 경우 (흙분포1)와 제시 범위를 약간 벗어나는 입도 (흙분포2)로 시험을 수행하였다.

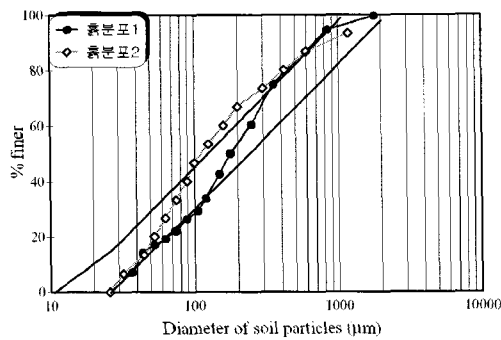


그림 6. 습식방법에 사용한 흙의 입도분포

그림 7은 습식법으로 시험 후 토목섬유를 통과한 흙 시료의 입도분포 곡선을 나타낸 것이다. 토목섬유 A는 흙분포1에 해당하는 흙 시료만을 이용하는 대신에 KSK ISO 12956과 KSF 2126 두 가지 시험을 모두 수행하였다. 반면에 토목섬유 B와 토목섬유 C의 경우 흙분포1 시료를 No.1, No.2, No.3의 토목섬유에 적용하였으며, 흙분포2 시료를 No.4, No.5, No.6 토목섬유에 적용하여 KSK ISO 12956 시험만을 수행하였다. 그림에 나타난 가로 실선은 습식방법으로 나타낸 토목섬유의 O_{90} 결정선을 나타낸 것이다. 그림 7(a)에서 나타난 것과 같이 토목섬유 A에 대해 KSK ISO 12956과 KSF 2126 방법을 적용한 결과, 두 시험 결과 모두 건식방법의 유효구멍크기보다 작은 값이 산정되었으며, KSF 2126 방법은 KSK

ISO 12956 방법을 적용한 경우보다도 더 작은 유효구멍크기가 산정되었다. 토목섬유 B와 토목섬유 C의 경우 두 종류의 다른 흠분포를 이용하여 시험을 수행해도 시험의 결과의 차이가 그리 크지 않은 것으로 나타났다.

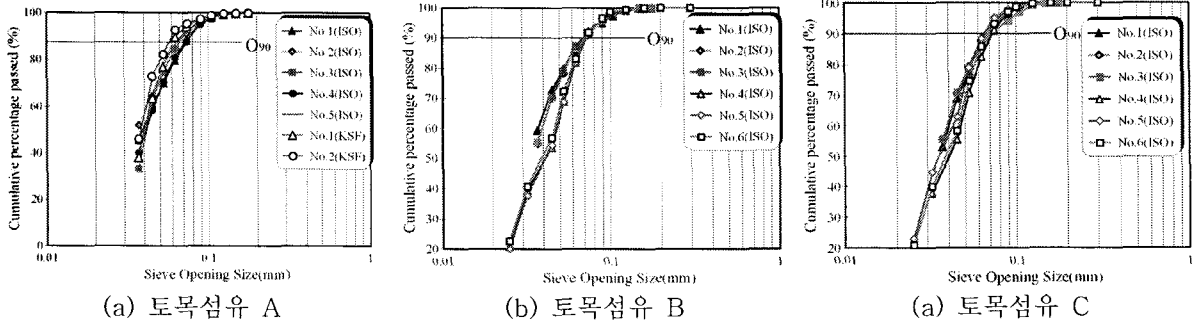


그림 7. 습식방법을 이용한 토목섬유의 유효구멍크기

표 4는 KSK 0754 건식방법과 KSK ISO 12956 및 KSF 2126 습식방법으로 구한 토목섬유의 유효구멍크기의 평균과 표준편차를 나타낸 것이다. 표 4의 결과에서도 나타난 것과 같이 건식방법으로 구한 O₉₅의 표준편차는 KSK ISO 12956으로 구한 표준편차에 비해 그 값이 상대적으로 큰 것으로 나타나 시험 오차가 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 또한 앞서 4.1.1에서 현미경으로 측정된 입의 위치의 토목섬유 최대구멍크기와 KSK 0754 건식방법으로 측정된 O₉₅값과 매우 유사한 값을 나타낸 것은 매우 특이할 만하다. 표 4에서 KSK 0754방법으로 토목섬유 B와 토목섬유 C의 O₉₀의 평균값을 산정할 수 없었는데, 이는 KSK 0754에서 최소 직경 75 μ m의 유리구슬의 통과량이 10%가 넘었기 때문이다.

또한 토목섬유 A의 경우 KSK 0754 방법으로 구한 유효구멍크기 O₉₀의 평균값은 KSK ISO 12956으로 구한 O₉₀의 평균값보다 22%정도 큰 것으로 나타났으며, KSF 2126 방법으로 구한 O₉₀보다 45%정도 크게 평가되는 것으로 나타났다.

표 4. 건식 및 습식 시험방법의 결과 비교

구분 종류	KSK 0754		KSK ISO 12956		KSF 2126			
	O ₉₅ 평균 (μ m)	표준 편차	O ₉₀ 평균 (μ m)	표준 편차	O ₉₀ 평균 (μ m)	표준 편차	O ₉₀ (μ m)	표준 편차
토목섬유A	105.1	10.7	89.9	10.0	73.2	4.0	62	-
토목섬유B	92.8	2.4	-	-	71.3	1.4	-	-
토목섬유C	87.5	7.7	-	-	69.3	3.0	-	-

4.2.3 시험방법 분석

1) 건식시험

위의 결과에서 나타난 것과 같이 현재 사용하고 있는 건식방법은 습식방법에 비해 상대적으로 시험오차가 큰 것으로 나타났다. 이는 앞서 Korener (2005)가 언급한 것과 같이 건식방법이 여러가지 단점이 있기 때문이다. Koerner가 언급한 것 이외에 본 연구에서 파악한 건식방법의 오차 원인은 첫째로 건식방법에 사용하는 유리구슬크기의 간격이 너무 크다는 것이다. 즉 KS나 ASTM 규정에서는 건식방법에 사용할 유리구슬 크기를 표 5와 같이 제안하고 있는데, 유리구슬의 크기가 한쪽으로 몰려 있는 경우 시험 편차가 크게 발생할 수 있다. 특히, 80 μ m~100 μ m정도의 유효구멍크기 시방기준을 갖는 토목섬유를 건식 방법을 사용하여 평가하는 경우 이와 같은 원인으로 인해 O₉₅ 평가가 상당히 어려울 수 있다.

또한 그림 8은 시험에 사용하는 150 μ m에 해당하는 유리구슬에 대한 현미경 사진을 나타낸 것이다.

그림에서 보면 좌측의 유리구슬 샘플의 직경은 157~178 μm 정도인 것으로 나타난 반면에, 우측의 유리구슬 샘플의 직경은 145~154 μm 로 차이를 나타내고 있다. 우측 사진과 같이 규정보다 약간 작은 유리구슬을 사용하게 되는 원인으로 유리구슬의 반복사용으로 인해 유리구슬이 마모가 되어 직경이 감소할 수도 있고, 유리구슬을 깨끗하게 재사용 하는 경우 체의 눈금이 정확하지 않은 경우에 실제와 다른 유리구슬을 사용할 수도 있다.

표 5. 건식방법에 사용하는 유리구슬크기

유리구슬크기			
통과		함유	
mm	체번호	mm	체번호
2.0	10	1.7	12
1.4	14	1.18	16
1.0	18	0.850	20
0.710	25	0.600	30
0.500	35	0.425	40
0.355	45	0.300	50
0.250	60	0.212	70
0.180	80	0.150	100
0.125	120	0.106	140
0.090	170	0.075	200

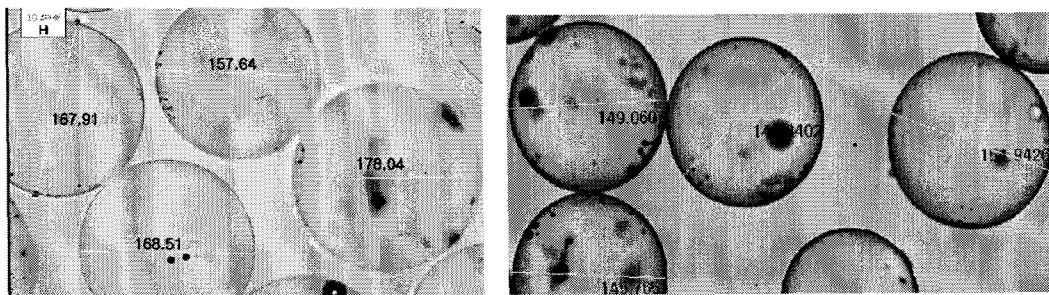


그림 8. 현미경으로 본 유리구슬 사진 (150 μm)

2) 습식 방법

습식방법은 일반적으로 양호한 입도분포를 갖는 과립형 시료를 이용하도록 하고 있으며, 일반적으로 과립형 시료로 흡시료를 이용한다. 큰 입자의 흡은 모래를 이용하면 되지만, 작은 입자의 흡을 사용하는 경우 점토와 같은 세립토를 사용해야 하는데, 점토 입자를 75 μm 이하의 체로 분리하기도 어려우며, 점토는 물에 혼합되면 흙탕물이 되어 시험에 사용하기가 매우 어렵다. 따라서 현재에는 매우 단단한 모래질 흡을 갈아서 시험에 사용할 세립토를 만들어 사용하고 있는데, 이 작업을 대부분 인력으로 하고 있는 실정이다. 두 번째로 KSK ISO 12956방법은 시험기준이나 시험방법이 매우 까다롭게 작성되어 있다. 예를 들면 잔여물과 통과한 과립형 시험재료의 중량의 합이 초기 중량에 비해 1%이상 차이가 나면 해당 시험은 유효하지 않으며 재시험하도록 하고 있는데, 시험에 사용하는 흡 시료의 총 중량이 160g~220g으로, 물로 씻어내는 과정이 있어 시험 전과 후의 전체 흡 중량의 오차가 1.6~2.2g이하로 관리하는 것은 매우 어려운 일이다. 또한, 시험 전에 시험 준비 단계의 세립의 흡을 준비하는 단계에서 부터 토목섬유에 흡을 통과시킨 후 통과된 시료를 다시 체분석하는 일련의 과정이 건식법에 상대적으로 많은 시간이 소요되어 비효율적이다. 또한, 통과 흡시료를 체분석할 때 물로 씻어내는 습식방법으로 체분석을 해야 하는지 또는 건식방법으로 체분석을 해야 하는지에 대해 KSK ISO 12956에는 구체적으로 명시되어 있지 않다. 그림 9는 KSK ISO 12956 방법을 수행한 후 통과된 흡 시료를 건식 그리고 습식 체분석을 한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 것과 같이 건식 체분석을 한 경우 O_{90} 은 78 μm 가 산정된 반면에, 습식 체분석을 한 경우 O_{90} 은 71 μm 가 산정이 되어 두 시험 결과에 차이를 나타내고 있다.

근본적으로 세립분이 필터에 막히는 구멍막힘 현상은 시간에 따라 발생하는 현상이지만, 본 연구에서 언급한 KSK 0754 방법과 KSK ISO12956 방법은 모두 횡방향의 진동을 주어 토목섬유의 유효구멍크기를 평가하기 때문에 토목섬유의 필터의 메카니즘을 근본적으로 평가할 수 있는 시험방법이 아니므로 유효구멍크기는 토목섬유필터의 구멍막힘 현상을 간접적으로 평가하는 방법이라고 할 수 있다.

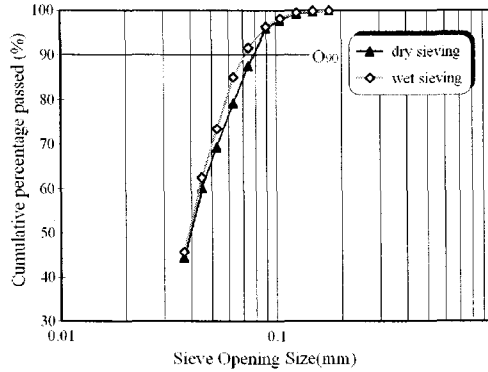


그림 9. 건식 및 습식 방법으로 체분석한 결과

5. 요약

현재 국내에서 사용되고 있는 토목섬유의 유효구멍크기 시험방법을 평가하기 위해 국내에서 행해지고 있는 각 방법으로 토목섬유의 유효구멍크기 시험을 수행하여 시험 결과와 시험 방법을 평가하였다. 그 결과 건식방법은 시험이 간편한 반면에 시험 오차가 많이 발생할 수 있는 유효구멍크기 시험 방법으로 판단되며, 습식방법은 시험오차는 상대적으로 작게 발생하지만 시험방법이 매우 까다로운 것을 알 수 있었다. 또한 본 연구에서 사용한 열융합부직포의 경우 건식방법으로 구한 유효구멍크기가 습식방법으로 구한 유효구멍크기에 비해 22~45% 큰 것으로 나타났다. 근본적으로 두 시험방법은 동적인 시험 상태에서 시험을 수행하기 때문에 실제 토목섬유의 구멍막힘 현상을 직접적으로 평가하기보다는 간접적으로 평가하는 방법이라고 할 수 있다. 토목섬유의 구멍막힘 현상을 직접적으로 평가하기 위해서는 ASTM D 5101 등과 같은 구멍막힘을 직접 평가할 수 있는 방법을 사용하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 조삼덕 (1998), "연약지반 개량용 수직배수재의 필터기준 연구 - PDB를 중심으로 ", 책임연구과제 보고서, 한국건설기술연구원, 건기연 98-159, pp. 38.
2. Faure, Y. et al. (1986), "Theoretical and Experimental Determination of the Filtration Opening Size of Geotextiles" Proceedings of Third International Conference on Geotextiles, Vienna, Vol.4, pp.1275-1280
3. John, N.W.M. (1987), "Geotextiles", Blackie, New York, 347,pp
4. Koerner, R. M. (2005), Designing with Geosynthetics, 5th edition, pp.131
5. ASTM D4751, Standard test method for determining apparent opening size of geotextile
6. ASTM D5101, Standard test method for measuring soil-geotextile system clogging potential by the gradient ratio
7. ASTM D6767, Standard test method for pore size characteristics of geotextiles by capillary flow test
8. KSF 2126, 지반용 섬유의 유효구멍크기 측정방법
9. KSK 0754, 지오텍스타일의 유효구멍크기 시험방법 -건식법
10. KSK ISO 12956, 지오텍스타일 및 관련제품 - 유효 구멍 크기 측정 방법 - 습식법