

# 건식/습식 방법을 이용한 토목섬유의 유효구멍크기 측정방법 평가

## Opening Size Determination of Geotextiles Using Dry and Wet Methods

김 주 형<sup>1</sup> Kim, Ju-Hyong

조 삼 덕<sup>2</sup> Cho, Sam-Deok

### Abstract

Dry and wet test methods established by Korean industrial standards to estimate opening size of 3 types of geotextile which are widely used for filter of plastic drain board in Korea are performed to evaluate characteristics of the test methods and to compare the test results. Judging from test results, dry method is a relatively poor test, having lots of problems causing many errors but a simple-quick test. Wet method is a very specific test avoiding many of the problems of dry method such as electrostatic charges, trapping in the geotextiles and so on. However, one of wet test methods, KS K ISO 12956, 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 test method is smaller than that of dry test method. Especially, opening size by KS F 2126 which is called hydrodynamic method but at present is not used anymore is similar to or smaller than that by KS K ISO12956 method.

### 요 지

본 연구에서는 한국산업규격에서 제안하고 있는 건식방법과 습식방법을 이용하여 국내 플라스틱배수재 필터로 가장 많이 사용하는 토목섬유 3종류의 유효구멍크기를 평가하고, 시험 수행 과정에서 나타난 각 시험 방법의 특징과 시험 결과를 비교 분석하였다. 시험 결과에 의하면, 건식방법은 신속하고 간단한 시험방법이지만 상대적으로 많은 오차가 발생하는 등 좋지 않은 방법으로 나타났다. 반면에, 습식방법은 정전기 발생이나 섬유 내의 간힘 현상 등 건식방법에서 나타나는 많은 오차를 줄일 수 있는 방법으로 판단되었다. 그러나 습식방법의 한 방법인 KS K ISO 12956의 경우, 시험에 오랜 시간이 소요되며 시험 중 사용 흙의 손실에 대한 기준이 매우 까다로운 것으로 나타났다. 일반적으로 습식방법으로 구한 토목섬유의 유효구멍크기는 건식방법으로 구한 유효구멍크기보다 작은 것으로 나타났으며, 특히 현재 사용하지 않는 방법인 수리동역학적인 방법 KS F 2126로 구한 유효구멍크기는 KS K ISO 12956방법으로 구한 유효구멍크기와 비슷하거나 작은 것으로 나타났다.

**Keywords :** Dry and wet method, Geotextile, Opening size

### 1. 서 론

국내 토목섬유 사용량은 토목섬유가 가지고 있는 많은 장점 때문에 해마다 증가하고 있으며, 그 중에서도

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 설

1 한국건설기술연구원 국토지반연구부 선임연구원 (Senior Researcher, Department of Geotechnical Engr., Korea Institute of Construction Technology, Corresponding author, [haitink@kict.re.kr](mailto:haitink@kict.re.kr), 교신저자)

2 한국건설기술연구원 국토지반연구부 수석연구원 (Research Fellow, Department of Geotechnical Engr., Korea Institute of Construction Technology)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2007년 8월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

치 과정에서 발생하는 주변지반의 교란정도, 배수재의 수직 설치 정도 등의 정밀 시공 여부에 따라 큰 영향을 받는다. 이와 같이 연직배수공법에 미치는 영향인자들은 설계 시에 또는 시공 중에 어느 정도 고려할 수 있으나, 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 토목섬유 내로 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 매우 번거로운 단점이 있어 연구용으로만 사용할 뿐 실제로는 거의 사용하지 않는다.

국내 연직배수재 사용 현장에서는 토목섬유 필터의 성능을 투수성과 유효구멍크기 측정으로 평가하고 있으며, 이 중 토목섬유의 구멍막힘 현상을 간접적으로 평가하는 방법으로 건식 및 습식방법을 이용한 유효구멍크기 측정방법을 사용하고 있다. 그러나 실제로 국내 공사 시방기준에는 건식과 습식의 시험방법과 특성을 무시한 채 시험방법과 기준들이 혼란스럽게 사용하고 있는 것이 현실이다. 특히 2002년에 개정되어 최근 사용하기 시작한 KS K ISO 12956 방법은 1999년 국제표준협회(International Organization for Standardization)에서 제안한 ISO 12956를 도입하여 개정한 것으로, 국내에서는 시험결과나 시험방법에 대한 평가나 고찰 없이 토목섬유의 유효구멍크기 평가에 그대로 사용하고 있다. 예를 들면 시험 방법이 달라 건식 시험의 결과와 분명히 차이가 있을 것으로 예상되는 데도 불구하고 현장에서는 습식시험을 수행하도록 하고 기준은 건식방법의 것을 그대로 사용하는 경우도 있다. 본 연구에서는 국내에서 과거부터 현재까지 사용하고 있는 유효구멍크기 시험을 각각 수행하고, 각 시험방법에 의한 결과를 비교 분석하고자 한다.

## 2. 국내외 연구동향

토목섬유의 유효구멍크기 측정방법은 크게 건식과 습식방법으로 구분된다. 이 중 건식방법은 1970년대 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 각국에서 사용하고 있는 시험방법들이 매우 다양하고 시험편차가 크기 때문이다. 예를 들면, ASTM에서는 50g의 유리구슬을 토목섬유 위에 놓고 10분 동안 진동하도록 규정하고 있으나, 델프트 수리연구소(Delft Hydraulic Laboratory)방법은 50g의 모래를 5분 동안 진동하도록 규정하고 있으며, 영국에서는 100g의 모래를 5분 동안 진동하도록 규정하고 있다. 한국표준협회에서 제안하고 있는 건식방법은 KS K 0754로 ASTM D 4751과 동일한 방법이다. Koerner(2005)는 건식 유효구멍크기 측정방법이 많은 문제를 가지고 있는 방법으로 기술하고 있는데, 현재 미국에서 지속적으로 건식방법을 사용하고 있는 이유로 시험의 간편성을 들고 있다. Koerner(2005)가 지적한 건식 유효구멍크기 측정방법에 대한 문제점들은 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 도출하지 않도록 되어 있음.

토목섬유의 다른 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 현재 ISO에서 제안하고 있는 습식방법의 전신인 Franzius Institut Hanover(FIH) 방법과 물속에 토목섬유와 과립시료를 반복 수침시키는 방법으로 수리동역학적 방법으로 불리우는 Bundesanstalt für Wasserbau(BAW) 방법을 사용하고 있다. FIH 방법은 현재 널리 사용하고 있는 ISO방법에 비해 체 크기, 사용 시료의 분포 및 시험지속 시간 등의 차이가 있으며, 프랑스에서도 BAW방법과 유사한 방법인 AFNOR NF G 38017 방법을 제안하고 있다.

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 습식방법인 FIH와 AFNOR 방법은 전체적으로 건식방법보다 작은 유효구멍크기가 산정되었다. 건식방법인 Delft 방법은 습식방법인 AFNOR방법에 비해 33~49% 큰 것으로 나타났으며, 또 다른 건식방법인 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.

국내에서는 주로 사용이 간편한 건식법과 수리동역

표 1. 토목섬유의 유효구멍크기 시험 결과(Faure, 1986)

| 토목섬유종류 |        | 유효구멍크기, $O_{95}(\mu m)$ |       |     |       |
|--------|--------|-------------------------|-------|-----|-------|
| 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 2. 시험방법별 유효구멍크기 관계(John, 1987)

| 시험방법           | 상관관계                        |
|----------------|-----------------------------|
| 영국, $O_{95}$   | $\approx 1.0 O_{95}(ASTM)$  |
| 네덜란드, $O_{90}$ | $\approx 0.85 O_{95}(ASTM)$ |
| 독일 $D_w$       | $\approx 0.75 O_{95}(ASTM)$ |
| 프랑스 $O_f$      | $\approx 0.70 O_{95}(ASTM)$ |

학적 방법인 KS F 2126 “지반용 섬유유 유효구멍크기 측정방법”을 혼용하여 사용하였으나, 한국산업규격에서는 2002년에 KS F 2126을 폐지하고 국제표준기구에서 제안한 ISO 12956을 도입하여 KS K ISO 12956 “지오텍스타일 및 관련제품 - 유효 구멍 크기 측정 방법 - 습식법”을 사용하도록 하고 있다. 최근에는 질소 등의 기체의 섬유 통과 유량을 측정하여 토목섬유의 유효구멍을 측정하는 방법(ASTM D 6767)도 일부 사용하고 있으나, 이 방법은 국내 토목섬유에서는 아직 널리 사용하고 있지 않다.

본 연구에서는 국내에서 최근까지 토목섬유 유효구멍크기 평가 방법의 대부분을 차지했던 건식방법(KS K 0754)과 최근에 도입된 습식방법(KS K ISO 12956)을 비교 분석하고, 습식방법이 도입되기 전 최근까지 사용되어 왔던 수리동역학적(KS F 2126) 유효구멍크기 시험 결과와 기존 시험방법과의 결과 비교 분석을 통해 각 시험방법들의 장단점 분석을 수행하였다.

### 3. 시험종류 및 방법

#### 3.1 건식법(KS K 0754)

KS K 0754방법은 그림 1과 같은 시험장치를 이용하여 이미 알고 있는 입경의 유리구슬을 토목섬유시료 위에 올려놓고 진동을 주어 토목섬유를 통과한 유리구슬의 중량을 측정하고, 다양한 입경의 유리구슬에 대한 시험결과로부터 입경크기-통과율 곡선을 도시하여 5% 통과율에 해당하는 입경크기를 토목섬유의 유효구멍크기로 결정하는 방법이다. 토목섬유 시험편을 설치하기 위한 체틀의 지름은 200mm이며, 시험에 사용되는 유리구슬의 양은 50g이다. 이 시험에서는 토목섬유 표면에서

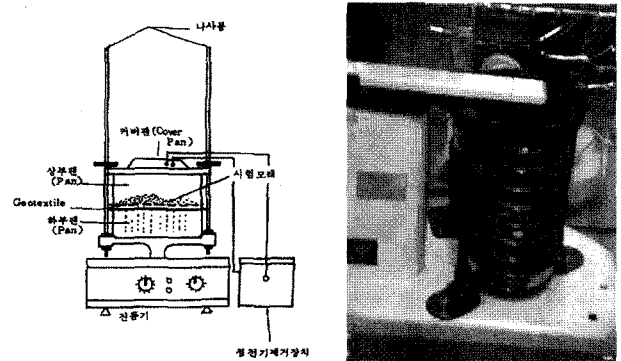


그림 1. 유효구멍크기 시험장치(건식법)

유리구슬이 움직일 때 정전기가 발생할 수 있으므로 정전기 제거를 위한 장치나 정전기 방지용 스프레이를 살포하기도 한다. 건식 유효구멍크기 시험은 가장 작은 지름의 유리구슬부터 시험을 수행하며, 10분 동안 진동시킨 토목섬유 시험편을 통과한 유리구슬의 양(통과백분율)이 5% 이하가 될 때 까지 점차적으로 입경이 큰 유리구슬을 사용하여 반복시험을 수행한다.

### 3.2 습식법(KS K ISO 12956)

습식법은 그림 2와 같은 시험장치를 이용하여 물이 주입되는 상태에서 토목섬유시료에 진동을 가해 토목섬유 위에 놓여진 흙 시료를 하부로 통과시키고, 토목섬유를 통과한 흙 시료와 잔류한 흙 시료에 대한 입도분석을 하여 토목섬유의 유효구멍크기를 결정하는 방법이다. 이 때 사용하는 토목섬유시료의 최소 지름은 130mm이며, 진동장치의 진동수는 50~60Hz, 진폭은 1.5mm(전

체 진폭폭은 3mm)의 것을 사용한다. 물 분사장치의 노즐은 약 300kPa의 압력에서 0.5l/min 정도의 물 분사가 가능한 것을 사용하며, 시험에 사용한 흙 시료는  $3 \leq Cu \leq 20$ ,  $d_{20} \leq O_{90} \leq d_{80}$ 의 조건을 만족하도록 제조하여야 한다. 이 시험은 잔류 흙 시료의 중량과 통과 흙 시료 중량의 합이 초기 전체 흙 시료의 중량과 1% 이상 차이가 나면 재시험하도록 규정하고 있다. 또한, 최소한 3개의 토목섬유 시험편에 대한 시험이 유효하여야 하고, 3개의 유효시험에서 각각의 통과 흙 시료의 중량이 평균값과 25% 이상 차이가 나면 2개의 시험편에 대한 추가 시험을 규정하고 있다. 최종적으로 토목섬유 시험편을 통과한 흙시료에 대한 입도분석을 하여 입도분석-누적 통과율 곡선으로부터 90%의 누적통과율에 해당하는 유효구멍크기  $O_{90}$ 을 결정하도록 하고 있다.

### 3.3 수리동역학적 방법(KS F 2126)

KS F 2126 방법은 습식방법의 일종으로 흔히 수리동역학적 방법이라 불리우는 방법이다. 이 방법은 새로운 습식방법이 제정되기 직전까지 사용되던 습식방법으로 국내에서 최근까지 여전히 일부 공사지역에서 사용하던 방법이다. 수리동역학적 방법은 습식방법의 일종으로 그림 3에서 나타낸 것과 같이 토목섬유 시험편과 흙 시료를 넣은 상자를 반복적으로 물 속에 수침하여, 토목섬유를 통과한 흙 시료에 대한 입도분석을 함으로써 토목섬유의 유효구멍크기( $O_9$ )를 결정한다.

이 시험법에서는 여러 개의 수침상자를 동시에 사용하는데, 수침상자의 바닥은 격자크기가 0.5~2cm인 철망으로 구성되고, 측면의 높이는 15cm 이상, 유효 직경은 10cm 이상으로 규정되어 있다. 각 수침상자에는

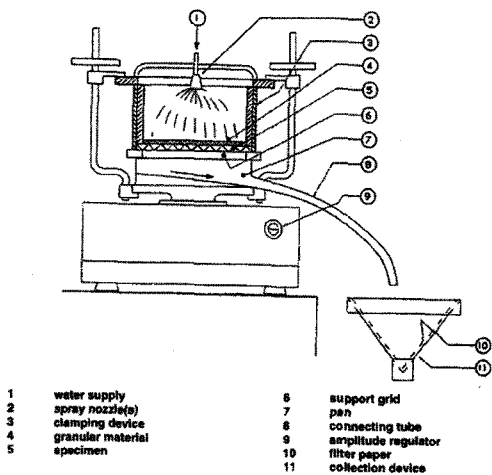


그림 2. 유효구멍크기 시험장치(습식법)

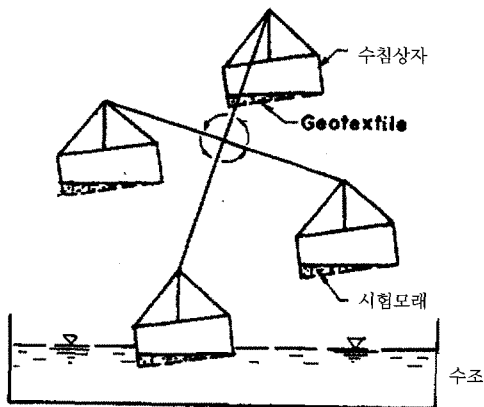


그림 3. 유효구멍크기 실험장치(수리동역학적방법)



$0.7 \pm 0.3 \text{g/cm}^2$ 의 흡시료가 사용되는데, 흡시료는 다음 식 (1)을 만족하여야 한다.

$$d_{\max} \geq 2O_f, \quad C_u > 6.0, \quad d_{10} \leq O_f/4 \quad (1)$$

시험은 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 흡 시료를 수집하여 노건조 시킨 후 입도분석을 수행한다. 입도분포곡선을 도시하여 95% 통과백분율에 해당하는 입경크기를 토목섬유의 유효구멍크기로 결정한다.

## 4. 시험 및 결과 분석

### 4.1 시험대상 재료

건식 및 습식 유효구멍크기 시험방법을 평가하기 위해 국내 사용량의 50% 이상을 차지하고 있는 플라스틱 배수재 필터로 사용하는 열융합부직포 3종을 시험에 사용하였다. 시험에 사용한 열융합부직포는 100% 폴리프로필렌(P.P.)으로 구성되어 있으며, 평균 비중은 0.91, 녹는점은 약  $165^\circ\text{C}$  그리고 섬유의 평균 굵기는  $40 \sim 50 \mu\text{m}$

정도이다. 표 3은 시험에 사용한 토목섬유 필터의 기본적인 물성을 나타낸 것이다.

### 4.2 시험결과 분석

#### 4.2.1 현미경 관측

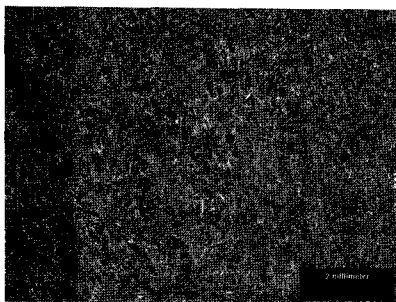
그림 4는 시험에 사용한 세 종류의 토목섬유 시료를 현미경으로 확대한 사진이다. 사진에서 나타난 것과 같이 열융합부직포에서는 섬모의 배열이 불규칙하여 이로 인한 섬유의 간극이 매우 불규칙하게 분포하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 간극의 크기와 모양도 다양한 형태로 나타나고 있으며, 위치에 따라 큰 간극이 발견되었다. 현미경으로 각 시료의 임의 위치에서 발견된 최대 구멍크기를 각각 10회씩 측정할 결과 토목섬유 A의 최대구멍크기 평균값은  $109 \mu\text{m}$ , 토목섬유 B의 최대구멍크기 평균값은  $95 \mu\text{m}$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

#### 4.2.2 건식 시험결과

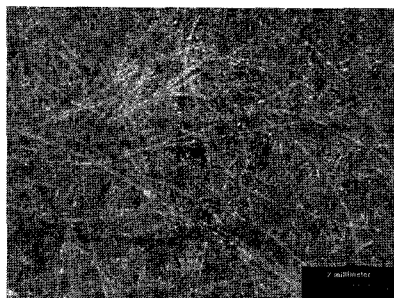
건식방법인 KS K 0754방법을 이용하여 각 시료에 대해 각각 10회씩 유효구멍크기를 측정하였다. 그림 5는 각 대상시료에 대한 건식시험 결과를 나타낸 것으로 건식방법에서는 토목섬유의 유효구멍크기를  $O_{95}$ 로 평가

표 3. 시험 대상 토목섬유의 기본물성치

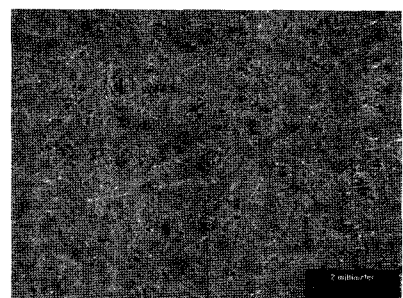
| 시험종류         |            | 시험재료                 |        |        |      |
|--------------|------------|----------------------|--------|--------|------|
|              |            | 토목섬유 A               | 토목섬유 B | 토목섬유 C |      |
| 물성           | 시험법        | 단위                   |        |        |      |
| 면적당 무게       | EN965      | $\text{g/m}^2$       | 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 | $10^{-4} \text{m/s}$ | 1.5    | 1.1    | 1.3  |
| permittivity | ASTM D4491 | 1/s                  | 0.56   | 0.3    | 0.3  |



(a) 토목섬유 A

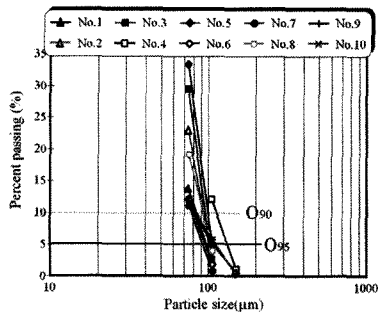


(b) 토목섬유 B

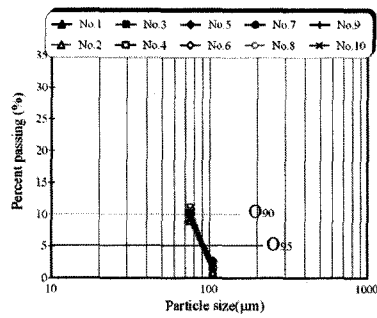


(a) 토목섬유 C

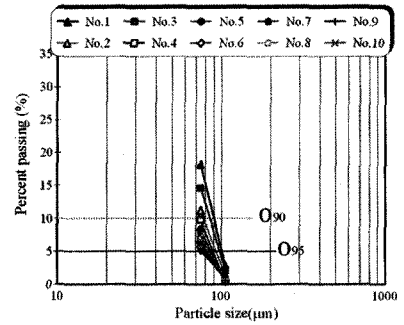
그림 4. 대상 토목섬유의 현미경 사진



(a) 토목섬유 A



(b) 토목섬유 B



(a) 토목섬유 C

그림 5. 건식방법을 이용한 토목섬유의 유효구멍크기

하고 있으나, 습식시험 결과와 비교를 위해 O<sub>90</sub>도 함께 나타내었다. 그림 5에서 각 해당 유리구슬 통과율에 대한 시험 결과를 직선으로 연결한 것과 가로 실선이 만나는 위치의 횡축 값이 대상 토목섬유의 O<sub>95</sub>이며, 가로 점선으로 나타낸 부분과 만나는 위치의 횡축 값이 대상 토목섬유의 O<sub>90</sub>이다. 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 통과

율 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.

#### 4.2.3 습식 및 수리동역학적 시험결과

습식시험의 경우에는 KS K ISO 12956방법으로 세 종류의 토목섬유에 대해 시험을 수행하였다. 그림 6은 시험에 사용한 흙의 입도분포를 나타낸 것으로 그림에서 검은 사선은 KS K 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 KS K ISO 12956에서 제시하고 있는 입도분포를 만족하는 경우(흙분포1)와 제시 범위를 약간 벗어나는 입도(흙분포2)로 시험을 수행하였다.

그림 7은 습식법으로 시험을 수행한 후 토목섬유를 통과한 흙 시료의 입도분포 곡선을 나타낸 것이다. 토목섬유 A는 흙분포1에 해당하는 흙 시료만으로 시험하는

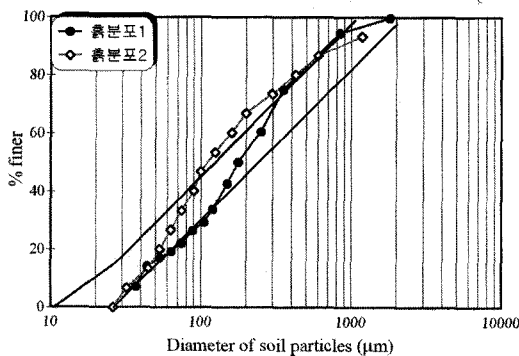
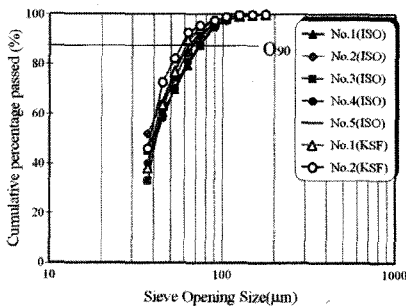
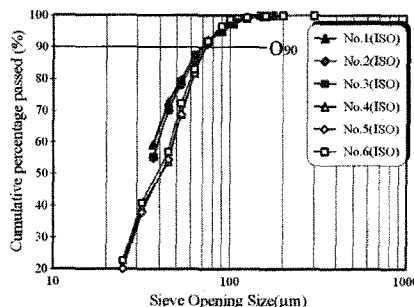


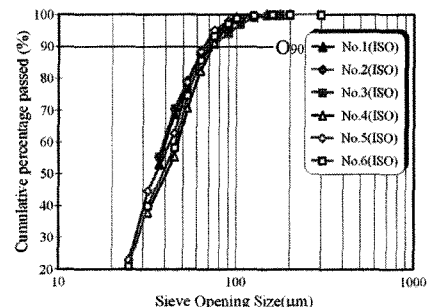
그림 6. 습식방법에 사용한 흙의 입도분포



(a) 토목섬유 A



(b) 토목섬유 B



(a) 토목섬유 C

그림 7. 습식방법을 이용한 토목섬유의 유효구멍크기

대신에 습식법인 KS K ISO 12956을 5회 그리고 수리동역학적 방법인 KS F 2126을 2회 실시하는 등 두 가지 시험을 모두 수행하였다. 반면에 토목섬유 B와 토목섬유 C에 대해서는 습식방법인 KS K ISO1296 방법만을 이용하여 흡분포1 시료를 No.1, No.2, No.3의 토목섬유에 적용하고, 흡분포2 시료를 No.4, No.5, No.6 토목섬유에 적용하여 시험을 수행하였다. 그림에 나타난 가로 실선은 습식방법으로 나타낸 토목섬유의 O<sub>90</sub> 결정선을 나타낸 것이다. 그림 7(a)에서 나타난 것과 같이 토목섬유 A에 대해 KS K ISO 12956과 KS F 2126 방법을 적용한 결과, 두 시험에서 모두 건식방법의 유효구멍크기보다 작은 유효구멍크기 값이 산정되었으며, KS F 2126 방법은 KS K ISO 12956 방법을 적용한 경우보다도 더 작은 유효구멍크기가 산정되었다. 토목섬유 B와 토목섬유 C의 경우 두 종류의 다른 흡분포를 이용하여 시험을 수행해도 O<sub>90</sub>을 구하는데 있어서 유효구멍크기의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

#### 4.2.4 각 시험 결과 분석

표 4는 KS K 0754 건식방법과 KS K ISO 12956 습식방법 그리고 KS F 2126 수리동역학적 방법으로 구한 토목섬유의 유효구멍크기의 평균과 표준편차를 나타낸 것이다. 표 4 결과에서도 나타난 것과 같이 건식방법으로 구한 O<sub>95</sub>의 표준편차는 KS K ISO 12956으로 구한 표준편차에 비해 상대적으로 큰 것으로 나타나 시험 오차가 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 또한 앞서 4.2.1에서 현미경으로 측정된 임의의 위치의 토목섬유 최대구멍크기와 KS K 0754 건식방법으로 측정된 O<sub>95</sub>값이 매우 유사한 값을 나타내는 것은 매우 특이한 사항이다. 표 4에서 KS K 0754방법으로 토목섬유 B와 토목섬유 C의 평균 O<sub>90</sub>값을 산정할 수 없었는데, 이는 KS K 0754에서 최소 직경 75 $\mu$ m의 유리구슬의 통과량이 10%를 초과했기 때문이다.

또한 토목섬유 A의 경우 KS K 0754 방법으로 구한

유효구멍크기 O<sub>90</sub>의 평균값은 KS K ISO 12956으로 구한 O<sub>90</sub>의 평균값보다 22%정도 큰 것으로 나타났으며, KS F 2126 방법으로 구한 O<sub>90</sub>보다 45%정도 크게 평가되는 것으로 나타났다.

### 4.3 시험방법 분석

#### 4.3.1 건식 방법

본 연구에서 수행한 건식시험은 표 5의 결과와 앞서 Korener(2005)가 언급한 것과 마찬가지로 근본적인 시험방법의 여러가지 단점으로 인해 습식방법에 비해 상대적으로 시험오차가 큰 것으로 나타났다. 본 연구에서는 Koerner가 언급한 오차 원인 이외에도 추가적인 오차 원인을 발견하였는데, 첫째로 건식방법에 사용하는 유리구슬크기의 간격이 너무 크다는 것이다. 즉 KS나 ASTM 규정에서는 건식방법에 사용하는 유리구슬 크기를 표 5와 같이 제안하고 있는데, 유리구슬의 크기가 한 쪽으로 몰려 있는 경우 시험 편차가 크게 발생할 수 있다. 특히, 본 연구에서 사용한 연직배수재의 필터와 같이 80 $\mu$ m~100 $\mu$ m정도의 비교적 작은 유효구멍크기 시방기준을 갖는 토목섬유를 건식 방법으로 평가하는 경우 정확한 O<sub>95</sub> 평가가 어려울 수 있다.

표 5. 건식 방법에 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 |

표 4. 건식 및 습식 시험방법의 결과 비교

| 구분    | KS K 0754                           |          |                                     |          | KS K ISO 12956                      |          | KS F 2126                     |          | 현미경으로 관측한<br>평균최대구멍크기<br>( $\mu$ m) |
|-------|-------------------------------------|----------|-------------------------------------|----------|-------------------------------------|----------|-------------------------------|----------|-------------------------------------|
|       | O <sub>95</sub><br>평균<br>( $\mu$ m) | 표준<br>편차 | O <sub>90</sub><br>평균<br>( $\mu$ m) | 표준<br>편차 | O <sub>90</sub><br>평균<br>( $\mu$ m) | 표준<br>편차 | O <sub>90</sub><br>( $\mu$ m) | 표준<br>편차 |                                     |
| 토목섬유A | 105.1                               | 10.7     | 89.9                                | 10.0     | 73.2                                | 4.0      | 62                            | -        | 109                                 |
| 토목섬유B | 92.8                                | 2.4      | -                                   | -        | 71.3                                | 1.4      | -                             | -        | 95                                  |
| 토목섬유C | 87.5                                | 7.7      | -                                   | -        | 69.3                                | 3.0      | -                             | -        | 82                                  |

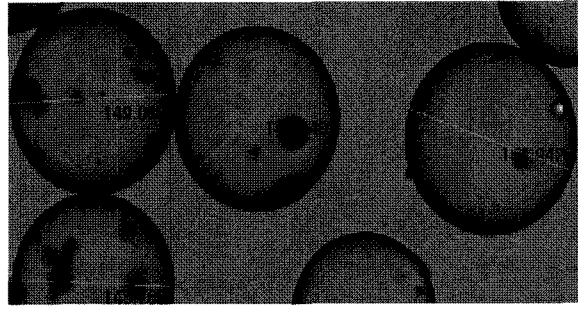
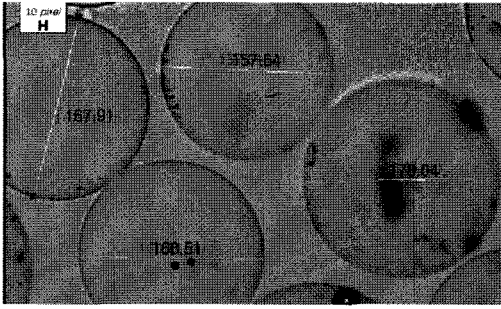


그림 8. 현미경으로 본 유리구슬 사진(150μm)

또한, 사용하는 유리구슬 크기의 부정확성이 또 다른 시험 오차의 원인이 될 수 있다. 그림 8은 시험에 사용하는 150μm에 해당하는 유리구슬의 현미경 사진을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 좌측의 유리구슬 시료의 직경은 157~178μm 정도인 반면, 우측의 유리구슬 샘플의 직경은 145~154 μm로 차이를 나타내고 있다. 우측 사진과 같이 규정보다 약간 작은 유리구슬을 사용하게 되는 원인으로서는 유리구슬의 반복사용으로 인해 유리구슬의 마모로 구슬 직경이 감소할 수도 있고, 체의 눈금이 정확하지 않아 유리구슬을 체가름하여 재사용하는 경우에는 실제와 다른 크기의 유리구슬을 사용할 수도 있다.

#### 4.3.2 습식 방법

습식 방법은 일반적으로 양호한 입도분포를 갖는 과립형 시료를 이용하도록 하고 있으며, 일반적으로 과립형 시료로 흡시료를 이용하고 있다. 큰 입자의 흡은 모래를 이용하면 되지만, 작은 입자의 흡을 사용하는 경우 점토와 같은 세립토를 사용해야 하는데, 점토 입자를 75 μm 눈금 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.

또한, KS K ISO 12956 방법은 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 오차를 1.6~2.2g 이하로 관리하는 것은 매우 어려운 일이다. 또한, 시험 전에 시험 준비 단계의 세립 흡을 준비하는 단계에서부터 토목

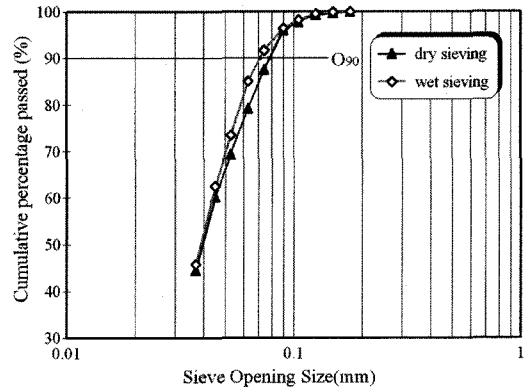


그림 9. 건식 및 습식 방법으로 체분석한 결과

섬유에 흡을 통과시킨 후 통과된 시료를 다시 체분석하는 일련의 과정이 건식법에 비해 상대적으로 많은 시간이 소요되어 비효율적이다.

이와 더불어 KS K ISO 12956에서는 통과 흡시료를 체분석할 때 물로 씻어내는 습식방법으로 체분석을 해야 하는지 또는 건식방법으로 체분석을 해야 하는지에 대해 구체적으로 명시되어 있지 않다. 그림 9는 KS K ISO 12956 방법으로 시험을 수행한 후 통과된 흡 시료를 건식 그리고 습식으로 체분석한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 것과 같이 건식 체분석을 한 경우 O<sub>90</sub>은 78μm가 산정된 반면에, 습식 체분석을 한 경우 O<sub>90</sub>은 71μm가 산정이 되어 두 시험 결과가 약 10%의 차이를 나타내고 있다. 이와 같은 결과를 근거로, 특히 작은 유효구멍크기 시방기준을 갖는 토목섬유에 대해 시험을 수행하는 경우에 시험 오차가 결과에 매우 큰 영향을 미칠 수 있으므로 일관성 있는 시험방법 제시가 필요하다.

#### 4.3.2 수리동역학적 방법

수리동역학적 방법에서 사용하는 흡 시료는 식 (1)에 제시된 기준을 만족해야 하는데, 식 (1)에 제시된 기준은 KS K ISO 12956의 사용 흡 시료의 기준과 유사한



기준이다. 따라서 KS K ISO 12956 방법과 마찬가지로 매우 작은 입자의 흡이 필요하며 이를 쉽게 구할 수 없는 것이 가장 큰 단점이라 할 수 있다. 또한 그림 3에도 나타난 것과 같이 시험 1회 당 4개의 동일 시료를 동시에 시험하고 그 평균 값을 취하므로 1회 시험으로 토목섬유의 유효구멍크기를 효과적으로 평가할 수 있는 장점이 있으나, 반대로 4개의 시료 중 불량시료가 포함된다면 전체의 유효구멍크기 값에 큰 영향을 미치게 되는 단점이 있다.

## 5. 결론

현재 국내에서 사용하고 있는 건식 및 습식 방법으로 연직배수재 필터로 사용하고 있는 열융합 부직포에 대한 유효구멍크기 시험을 수행하여 각 시험 결과 및 시험 과정을 평가하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 건식방법은 시험이 간편한 반면에 시험 오차가 많이 발생할 수 있는 유효구멍크기시험 방법이며, 습식방법의 시험오차는 상대적으로 작게 발생하지만 시험방법이 매우 까다로운 것을 알 수 있었다. 따라서 현재 한국산업규격(KS)에 제시되어 있는 건식법을 사용하는 경우에는 시험 결과의 재현성 문제로 인한 논란의 여지가 있으므로, 시험 결과의 재현성이 좋은 습식방법을 이용해 토목섬유의 유효구멍크기 측정방법을 하되, 습식 시험방법에 사용하는 흡의 표준화, 시험 도중 발생하는 오차한계치의 완화 및 보정 등의 시험과정에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.
- (2) 본 연구에서 사용한 연직배수재에 사용하는 필터용 열융합부직포의 경우 건식방법(KS K 0754)으로 구한 유효구멍크기가 습식방법(KS K ISO12956, KS F 2126)으로 구한 유효구멍크기에 비해 22~45% 큰 것으로 나타났다.
- (3) 근본적으로 건식 및 습식 유효구멍크기 측정 방법은 동적인 시험상태에서 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 사용해야 할 것으로 판단되며, 현장에 적용할 수 있는 토목섬유의 유효구멍크기 기준은 현재 사용하고 있는 건식 및 습식 시험 결과와 직접적인 구멍막힘 현상을 평가하는 방법의 시험 결과를 비교하여 제안되어야 할 것이다.

## 감사의 글

본 논문은 03 건설기반기술 A-15과제의 일환으로 수행된 연구결과입니다. 도움을 주신 건설교통부, FITI 그리고 한국의류시험연구원 관계자 여러분에게 감사의 말씀을 드립니다.

## 참고 문헌

1. 조삼덕 (1998), “연약지반 개량용 수직배수재의 필터기준 연구 - PDB를 중심으로”, 책임연구과제 보고서, 한국건설기술연구원, 건기연 98-159, pp.38.
2. AFNOR NF G 38017, “Ouverture de Filtration”.
3. ASTM D 4751, “Standard test method for determining apparent opening size of g geotextile”.
4. ASTM D 5101, “Standard test method for measuring soil-geotextile system clogging potential by the gradient ratio”.
5. ASTM D 6767, “Standard test method for pore size characteristics of geotextiles by capillary flow test”.
6. 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.
7. John, N.W.M. (1987), “Geotextiles”, Blackie, New York, pp.347.
8. Koerner, R. M. (2005), “Designing with Geosynthetics”, 5th edition, pp.131.
9. KS F 2126, “지반용 섬유의 유효구멍크기 측정방법”.
10. KS K 0754, “지오텍스타일의 유효구멍크기 시험방법 -건식법”.
11. KS K ISO 12956, “지오텍스타일 및 관련제품 - 유효 구멍 크기 측정 방법 - 습식법”.

(접수일자 2006. 4. 24, 심사완료일 2007. 1. 29)