

---

# 토목섬유 배수공 및 필터의 설계

---

이 상 호 교수  
(경북대학교 농공학과)

## I. 서 론

### II. 토목섬유 배수공의 설계

1. 배수기능
2. 토목섬유의 전수성
3. 토목섬유 배수공의 설계원리
4. 흙댐의 침니 배수공의 설계
5. 성토대상 지반의 수평 배수공의 설계

### III. 토목섬유 필터의 설계

1. 필터의 기능
2. 토목섬유의 구멍크기
3. 토목섬유의 투수성
4. 토목섬유 필터의 설계원리
5. 보유성 기준
6. 투수성 기준

## IV. 결 론

인용문헌

# 토목섬유 배수공 및 필터의 설계

경북대학교 농과대학 농공학과 조교수 이 상 호

## I. 서 론

고분자 합성섬유 제품인 토목섬유(Geosynthetics/Geotextiles)는 선진외국의 경우 그 시공성, 적용성 및 경제성을 인정받아 명실공히 필수적인 토목재료로서의 위치를 확보하고 있으며 토목섬유의 형태도 사용목적에 따라 다양하게 개발되어 사용범위도 날로 확대되어 가고 있는 실정이다. 국내의 경우에도 초기의 시험시공 단계를 벗어나 최근에는 연간 1,000만<sup>m</sup><sup>2</sup> 이상의 물량이 소비되고 있어 토목분야의 중요한 신재료로서 지속적으로 발달될 전망이다.

한편 국내에 있어서 토목섬유의 용도별 사용량을 참고하면 초기에는 주로 보강용으로 사용되었으나 최근의 집계에 따르면 사용실적의 50% 이상이 토목섬유의 투수성을 이용하는 배수 및 필터 목적으로 사용되고 있다. 그러나 이에 관한 연구는 극히 미흡하여 국내 여건을 고려한 설계기준이 정립되지 않은 상태이며 그 설계는 주로 선진외국의 경험에 의존하고 있는 실정이다.

이에 본 자료에서는 1981년 J. P. Giroud\*에 의하여 'Designing with Geotextiles'라는 제목으로 발표된 논문 중에서 토목섬유 배수공 및 필터 설계에 관한 내용을 발췌하여 소개하고자 한다.

---

\* Geoservices, Boynton Beach, Fla., USA.

## II. 토목섬유 배수공의 설계

### 1. 배수기능

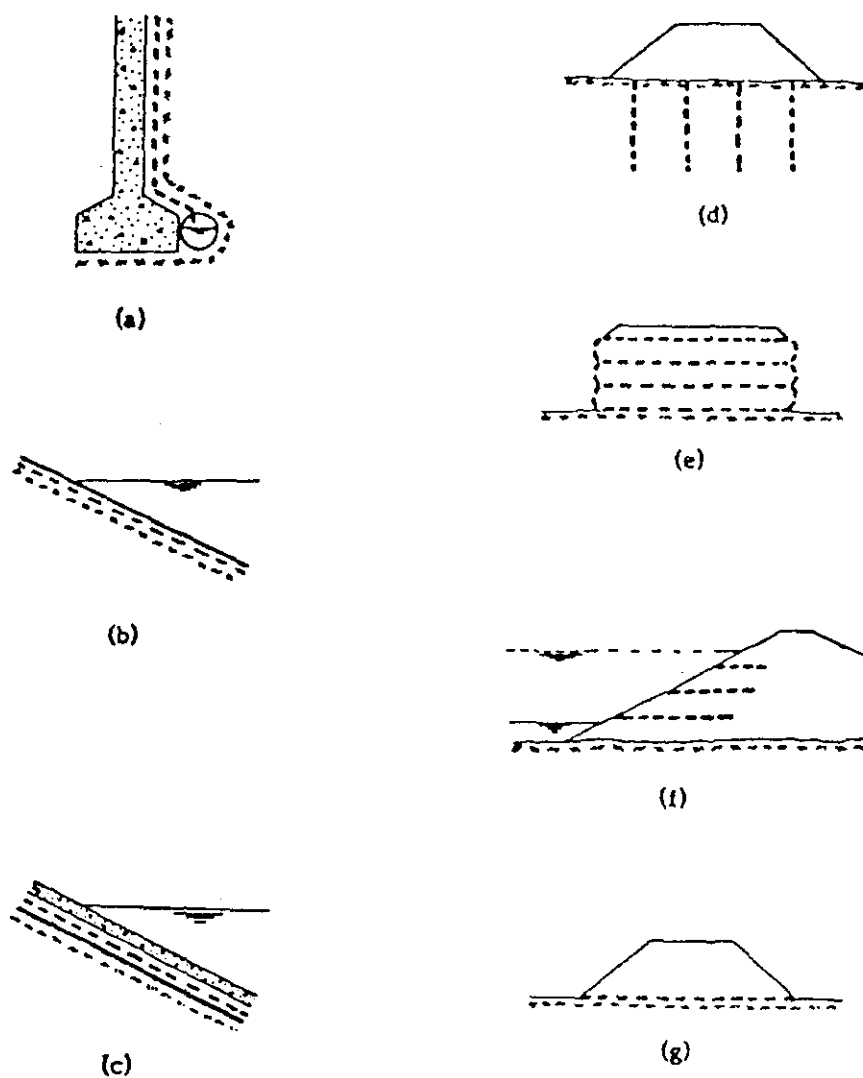


Fig. 1. Examples of geotextile acting as drains: (1) gravity drainage: (a) vertical drain along a wall, (b) geotextile below a geomembrance, (c) Geotextile between concrete lining and geomembrane; (2) drainage by pressure: (d) vertical drain, (e) horizontal drain in a geotextile reinforced embankment, (f) horizontal drain of dam, (g) horizontal drain under an embankment.

토목섬유 배수공(Geotextile drain)은 저투수성 재료(미세한 모래, 콘크리트 및 지오멤브레인)에 밀착 배치된 토목섬유를 통하여 물을 서서히 스며나오게 하는 토목섬유로 정의될 수 있으며 그 기능은 물을 모아 출구로 운반하는 것이다.

토목섬유 배수공의 대표적인 예가 Fig. 1에 도시되어 있다.

## 2. 토목섬유의 전수성

배수공으로 사용되는 토목섬유의 배수능력은 물에 대한 평면전달성, 즉 전수성(Transmissivity)으로 결정되고 토목섬유 평면을 따라 흐르는 물은 Darcy 공식에 의하여 지배된다. 1차원 흐름의 전수성의 성질을 Fig. 2와 같은 등류상태의 경우에서 고려하면 Darcy 공식은 다음과 같이 된다.

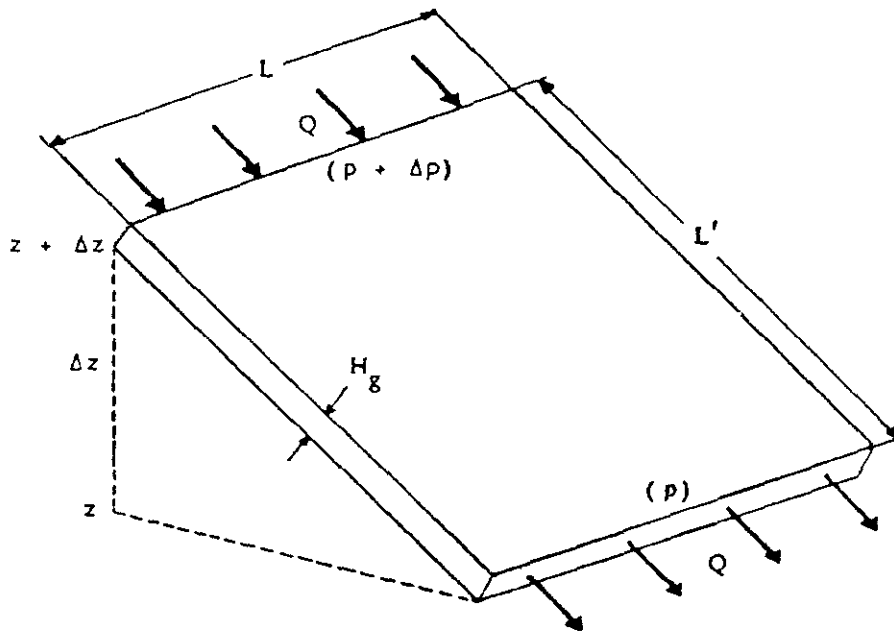


Fig. 2. Uniform flow of water in the plane of a geotextile.

$$\frac{Q}{L} = k_p H_g \frac{\Delta h}{L'} = \theta i \quad (1)$$

여기서, Q: 유량( $\text{m}^3/\text{sec}$ ); L: 수류에 연직인 토목섬유 단면의 길이( $\text{m}$ );  $\theta = k_p H_g$ : 토목섬유의 전수성( $\text{m}^2/\text{sec}$ );  $k_p$ : 토목섬유의 평면투수계수( $\text{m}/\text{sec}$ );  $H_g$ : 토목섬유의 두께( $\text{m}$ );  $i = \Delta h/L'$ : 동수경사(무차원);  $\Delta h$ : 수두손실( $\text{m}$ );  $L'$ : 수류에 평행한 토목섬유의 길이( $\text{m}$ ).

이때 수두손실  $\Delta h$ 는 다음식으로 된다.

$$\Delta h = \Delta z + \frac{\Delta p}{\rho_w g} \quad (2)$$

여기서,  $\Delta z$ : 토목섬유 양단의 포고차(m);  $\Delta p$ : 토목섬유 양단의 수압차( $P_a$ );  $\rho_w$ : 물의 단위체적당 질량( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $g$ : 중력가속도( $9.81\text{m}/\text{sec}^2$ ).

(1)식에서 알 수 있는 바와 같이 토목섬유가 큰 전수성을 나타내기 위하여서는 두께가 두꺼워 평면투수계수(Coefficient of in-plane permeability)가 커야 한다. 직포(Woven geotextile)나 열융합 부직포(Heatbonded nonwoven geotextile) 등은 두께가 얇아서 전수성이 거의 없기 때문에 배수공으로서는 사용될 수 없다. 배수공으로 사용될 수 있는 토목섬유의 형태는 다음과 같다.

- 니들펀칭 부직포(Needlepunched nonwoven geotextile): 두께는 보통 3~6 mm 이상이고 투수계수는  $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{ m}/\text{sec}$  정도, 전수성은  $10^{-7} \sim 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$  정도이다.

- 두꺼운 다공성 재료: 플라스틱 그리드(Plastic grid)나 매트(Mat)가 있으며 흙속에 배치되어 필터로 사용될 때에는 두 평면의 토목섬유로 보호된다. 두께는 보통 10~20 mm 이상이고 투수계수는  $10^{-1} \sim 1 \text{ m}/\text{sec}$  정도, 전수성은  $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$  정도이다.

상기의 두께, 투수계수 및 전수성은 압축응력을 받으면 감소한다. 이 감소효과는 매트와 니들펀칭 부직포에서는 특별히 중요한 의미를 갖는다(Fig. 3).

### 3. 토목섬유 배수공의 설계원리

토목섬유 배수공의 설계는 흙에서 토목섬유로 흐르는 물의 유입량과 토목섬유에 의하여 출구로 운반되는 유출량이 같다는 가정하에 이루어지며 이들 흐름은 Darcy 공식에 근거하여 투수성과 동수경사에 의하여 지배된다.

흙 내부에서의 흐름은 흙의 투수계수와 동수경사에 의하여 지배되며 이 동수경사는 흙의 기하학적 형태와 흙과 토목섬유 내부의 수압차에 의존한다. 따라서 흙 내부의 동수경사가 최대가 되고 토목섬유 내부의 수압이 최소가 되면 배수는 신속하게 이루어질 것이다. 그러므로 설계의 전제조건은 토목섬유 내부의 수압이 토목섬유 내에서 물의 흐름에 모순되지 않는 범위에서 가능한 한 최소값을 가져야 한다는 것이다.

토목섬유 내부에서의 흐름은 토목섬유의 투수성과 동수경사에 의하여 지배되고 이 동수경사는 토목섬유의 시공경사와 토목섬유의 내부와 출구의 수압차에 의하여 결정된다.

실제로 다음과 같은 두 가지의 배수형태를 고려할 필요가 있다.

1) 물이 중력에 의하여 하향으로 흐르는 배수공

이 경우에서 토목섬유 내의 동수경사는 토목섬유의 시공경사로 주어지며 토목섬유 내의 수압은 출구의 수압과 같다(보통 '0').

2) 물이 중력에 의하여 흐르지 않는 배수공

수평배수 혹은 언직상향 배수(Fig. 1: d의 언직배수공)가 이에 속하는 것으로 이 경우

에는 토목섬유 내의 수압은 일정하게 되지 않고 최대수압을 나타내는 흐름의 근원점으로부터 최소수압을 나타내는 출구로 가면서 감소하게 된다. 토목섬유 내에서 최대수압과 최소수압의 차이는 토목섬유 내에서의 물의 흐름을 보장하기 위하여 토목섬유 내에서 충분한 동수경사가 유발될 수 있도록 충분히 커야 한다. 그러나 이미 언급한 바와 같이 흙으로부터 신속한 물의 유입을 위하여서는 흙 내부에서 충분한 동수경사를 가질

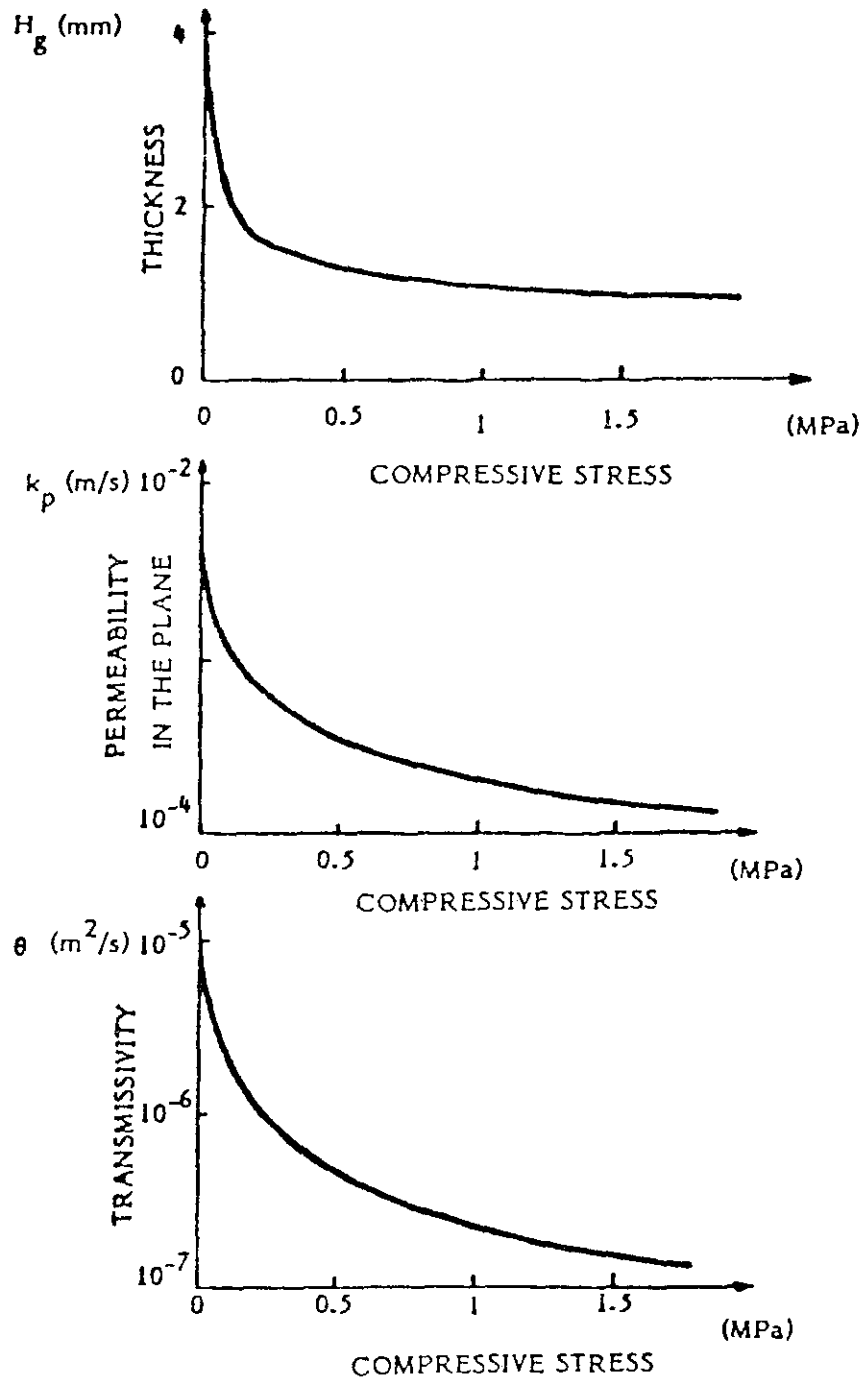


Fig. 3. Thickness, permeability in the plane and transmissivity of a typical needlepunched nonwoven geotextile.

수 있도록 토목섬유 내의 수압이 흙 내부의 수압보다 낮아야 한다. 결론적으로 토목섬유 내에서의 수압과 관계되는 이들 두 가지 조건을 설계에 반영하여야 한다는 것이다.

이하 두 가지 설계예를 제시한다. 첫번째 예는 토목섬유 내에서 수압이 일정하여 단순한 경우와 관계되고 두번째 예는 토목섬유 내의 수압이 변화하는 보다 복잡한 경우와 관계된다.

#### 4. 흙댐의 침니 배수공의 설계

흙댐(Earth dam)의 단면은 Fig. 4와 같다. 물은 토목섬유 내에서 하향으로 흐르기 때문에 흐름을 보장하기 위한 토목섬유 내의 수압은 불필요하다. 더우기 댐 하류측의 수압상승을 방지하기 위하여 침니배수공(Chimney drain) 내의 수압은 '0'가 바람직할 것이다.

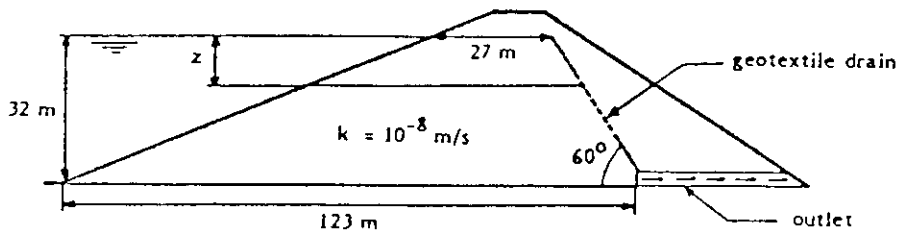


Fig. 4. Cross section of the dam.

토목섬유 내의 수압을 '0'로 가정하면 재체를 통한 유량은 유선망에 의하여 쉽게 계산될 수 있다. 이 고전적 유량 산출법은 상세하게 설명할 여지가 없지만 재체의 투수계수는 일반적으로 연직방향보다 수평방향으로 매우 크기 때문에 상당히 비등방성이라는 것이 주목된다. 그러므로 유선망은 거의 수평이고 토목섬유 배수공의 상단은 상류측 수위까지 연장시켜 포설되어야 한다. 재체를 통한 모든 침윤수는 토목섬유에 의하여 수용되어야 하기 때문에 토목섬유 내의 유량은 유선망으로 부터 쉽게 추산될 수 있고 그 산출결과는 Table 1에 기록되어 있다.

Darcy 공식을 적용하여 토목섬유 내의 예상유출량으로부터 다음과 같이 설계전수성(Required transmissivity)이 추정된다.

$$\theta = k_p H_g = Q / (L i) \quad (3)$$

여기서,  $\theta$ : 토목섬유의 설계전수성( $m^2/sec$ );  $k_p$ : 토목섬유의 평면투수계수( $m/sec$ );  $H_g$ : 토목섬유의 두께( $m$ );  $Q$ : 토목섬유 내에서의 유량( $m^3/sec$ );  $L$ : 수류에 연직인 토목섬유 단면의 길이( $m$ );  $i$ : 토목섬유 내에서의 동수경사(무차원).

토목섬유 내의 수압은 '0'이므로 동수경사는 시공경사  $\beta$ 로 주어진다.

$$i = \sin \beta \quad (4)$$

토목섬유가 완전히 평면상으로 포설된다면  $\beta$ 는 침니배수공의 시공경사가 될 것이다 (Fig. 4에서  $\beta = 60^\circ$ ). 그러나 제체는 단계적인 층상으로 축조되기 때문에 토목섬유 평면을 단계적인 다짐에 의하여 주름이 잡히게 된다. 그러므로  $\beta = 45^\circ$ 로 보는 것이 보다 일반적이다. 결국 설계전수성은 (3)식에 의하여 다음과 같이 된다.

$$k_p H_w = F \sqrt{2} Q/L \quad (5)$$

여기서, F: 안전율.

제체의 상류측 수면하 깊이 z의 변화에 따른 전수성  $\theta$ 의 값과 깊이 z상의 토목섬유에 야기되는 압축응력의 값이 Table 1에 수록되어 있다. 이미 언급한 바와 같이 이 응력은 토목섬유의 전수성에 영향을 준다. 이 압축응력은 고전적 토질역학적인 계산에 의하여 구할 수 있다.

Table 1. Discharge, required transmissivity and compressive stress at different points of the geotextile in the dam.

Depth under the water surface z (m)	Discharge of water in the geotextile per unit width perpendicular to the plane of figure 4 $Q/L$ ( $m^2/s$ )	Required transmissivity [calculated with equation (5) using a factor of safety of 10] (*) $\theta$ ( $m^2/s$ )	Compressive stress applied by the soil on the geotextile $\sigma$ (kPa)
0. ....	0	0	98
1. ....	$1.73 \times 10^{-10}$	$2.44 \times 10^{-9}$	118
10. ....	$1.09 \times 10^{-8}$	$1.54 \times 10^{-7}$	294
15. ....	$2.06 \times 10^{-8}$	$2.91 \times 10^{-7}$	392
20. ....	$3.16 \times 10^{-8}$	$4.46 \times 10^{-7}$	490
25. ....	$4.35 \times 10^{-8}$	$6.15 \times 10^{-7}$	589
30. ....	$5.60 \times 10^{-8}$	$7.92 \times 10^{-7}$	687
32. ....	$6.12 \times 10^{-8}$	$8.65 \times 10^{-7}$	726

(\*) F=10 because the permeability of the dam may be larger than predicted (an uncertainty in the order of 10 for the coefficient of permeability of a soil is common).



토목섬유 배수공 설계의 마지막 단계는 도식적으로 쉽게 수행될 수 있다. Fig. 5와 같이 첫번째로 각 압축응력하의 설계전수성이 도시되고 다음에 이용가능한 토목섬유에 대한 전수성이 설계 전수성과 비교된다. 예를 들면 상류측 수면으로부터 24 m 깊이까지는 1 겹의 토목섬유가 필요하고 24 m 깊이에서 32 m 깊이까지는 2 겹의 토목섬유가 요구된다는 것을 알 수 있다.

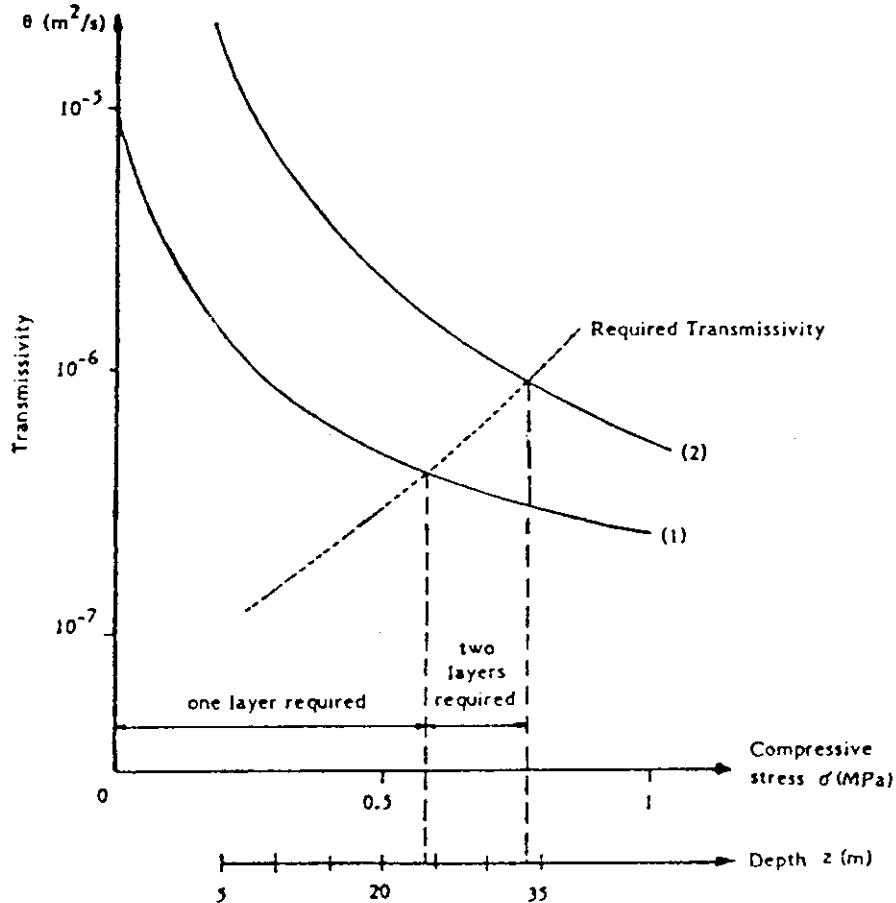


Fig. 5. Graphical solution of the chimney drain design. Solid curves represent the actual transmissivity of one(1) or two(2) layers of the geotextile presented in figure 3.

### 5. 성토대상 지반의 수평배수공의 설계

연약한 포화토상에 축조된 성토부를 고려해 보기로 한다(Fig. 6). 성토에 따른 압축 하중에 의하여 물이 지반으로부터 빠져나오게 되고 성토부는 침하한다. 성토재료가 불투수성이라면 성토부와 기초지반 사이에 포설된 배수공은 빠져나온 물을 모아 측방향으로 출구(성토부의 비탈끝)까지 운반하게 될 것이다.

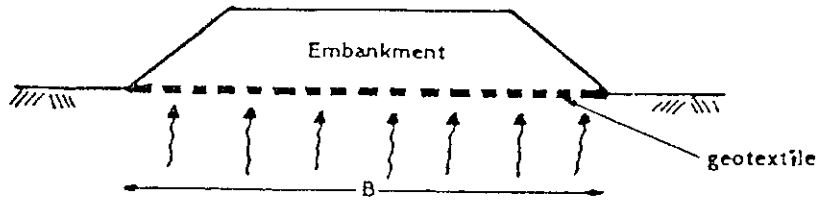


Fig. 6. Drainage under embankment on a soft soil.

배수공은 수평이므로 물은 배수공 중앙부의 수압이 양 말단부의 수압보다 클 때만 배수된다. 그렇지만 흙으로부터 토목섬유로 물이 흐르는 것을 보장하기 위하여 배수공 중앙부의 수압은 흙 내의 수압보다 작아야 한다. 결과적으로 이미 설명한 바와 같이 이들 두 조건의 절충이 필요하다는 것이다.

이러한 문제는 배수공 내의 수압이 '0'인 침니배수공보다 복잡하다. 토목섬유 내에서의 최대수압을 흙 내에서 최대수압의 10~15%로 가정하면 다음 식을 제시할 수 있다.

$$\theta = k_p H_g = \frac{B^2 k}{\sqrt{C_v t}} \quad (6)$$

여기서,  $\theta$ : 토목섬유의 설계전수성( $m^2/sec$ );  $k_p$ : 토목섬유의 평면투수계수( $m/sec$ );  $H_g$ : 토목섬유의 두께( $m$ );  $B$ : 성토의 폭( $m$ );  $k$ : 기초지반의 연직투수계수( $m/sec$ );  $C_v$ : 기초지반의 연직압밀계수( $m^2/sec$ );  $t$ : 성토의 축조시간( $sec$ ).

예를 들어 30 m 폭의 성토부를 10 일(864,000 초)동안 축조할 경우에 지반의 투수계수가  $10^{-10} m/sec$ 이고 압밀계수가  $10^{-7} m^2/sec$ 이라면 토목섬유 배수공의 설계전수성은 다음과 같다.

$$\theta = 3.1 \times 10^{-7} m^2/sec$$

압축응력이 1 MPa(약 50 m 높이의 성토) 이하라면 계산된 설계전수성은 Fig. 3의 토목섬유로 충족될 수 있을 것이다.

# I. 토목섬유 필터의 설계

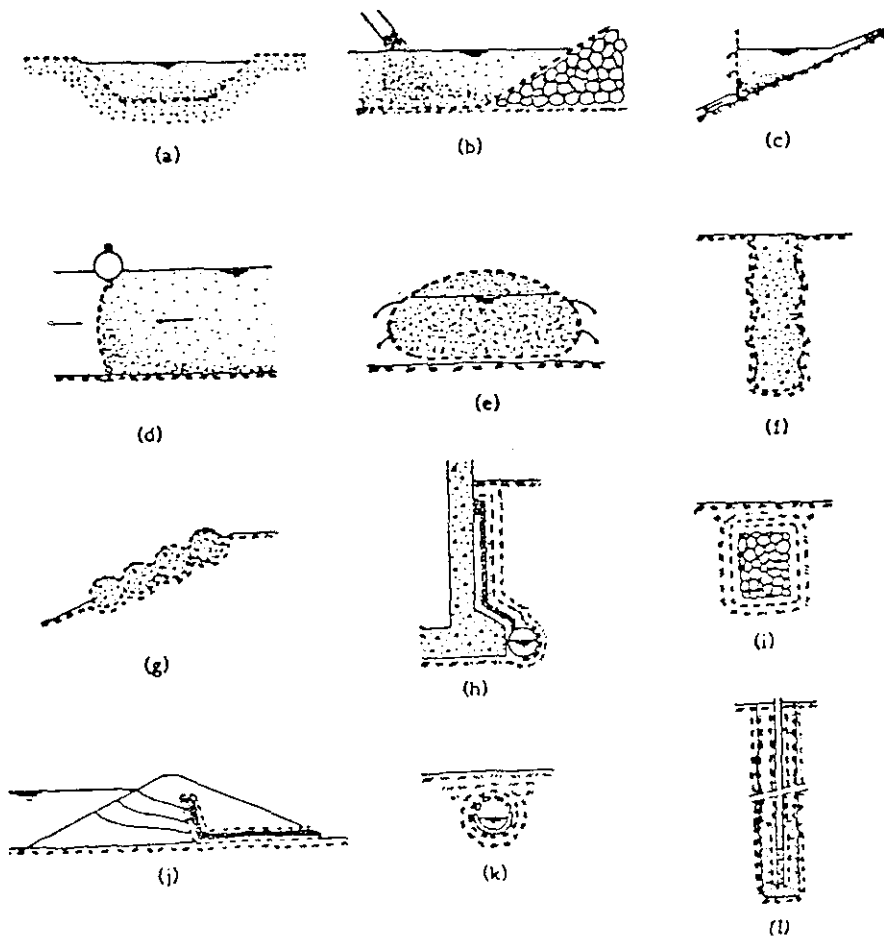
## 1. 필터의 기능

토목섬유 필터(Geotextile filter)의 기능은 다음 3 종류로 고려된다.

### 1) 부유상태의 입자에 대한 필터: 액체필터(Liquid filter)

부유상태의 입자를 내포하는 액체의 흐름을 차단하여 배치되는 필터로서 필터를 통하여 물은 통과시키고 세립자는 차단하는 기능을 가진다(Fig. 7: a~g).

2) 흙 내부의 물을 제거하기 위한 필터: 정적인 흐름에 대한 고체필터(Solid filter)  
 물을 제거시키려는 흙과 물을 모아 운반하는 통수성 재료(자갈, 유공간, 다공성 플라스틱 매트 등) 사이에 배치되는 필터로서 필터를 통하여 물은 통과시키고 토립자는 보유시키는 기능을 가지며 수류의 특성은 1방향 정류(One-way steady flow) 상태로서 정적인 흐름이다(Fig. 7: h~s).



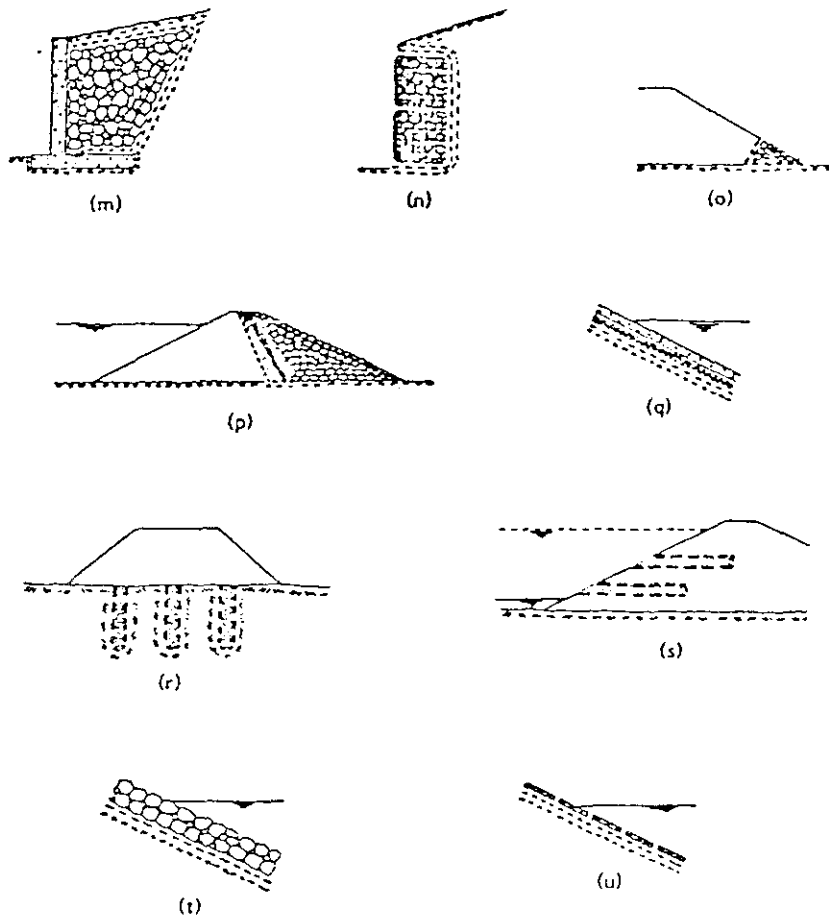


Fig. 7. Example of geotextile acting as filters: (1) filtration of a liquid carrying particles in suspension: (a) Setting pond for ground water recharge, (b) hydraulic fill, (c) silt fence, (d) silt curtain, (e) bag or sausage containing hydraulic fill; (2) filtration of fresh concrete: (f) cast pile, (g) mat for slope or bank protection; (3) drainage: (h) basement geotextile filter, (i) trench, (j) chimney and blanket, (k) pipe; (4) wells: (l) pumping well or piezometer; (5) geotextile filter associated with a geotechnical structure: (m) retaining wall, (n) gabions, (o) rock toe, (p) filter in a zoned dam, (q) canal lining; (6) consolidation: (r) vertical sand drain, (s) horizontal sand drain; (7) filter associated with an armor: (t) rocks, (u) concrete blocks.

3) 보호공과 함께 사용되는 필터: 동적인 흐름에 대한 고체필터  
파랑의 작용으로부터 보호되어야 하는 흙과 조립재의 사면보호공(사석, 콘크리트블럭, 돌망태 등) 사이에 배치되는 필터로서 필터를 통하여 물은 통과시키고 토립자의 이동과 손실을 최소화하는 기능을 가지며 수류의 특성은 2방향 부정류(Two-way unsteady flow) 상태로서 동적인 흐름이다(Fig. 7: t, u).

## 2. 토목섬유의 구멍크기

필터로 사용되는 토목섬유의 주된 성질은 토립자의 보유성과 물에 대한 투과성을 지배하는 토목섬유의 구멍크기(Opening size)이다. 토목섬유의 구멍(Opening)은 그 형태와 크기가 매우 불규칙적이다. 부직포의 구멍은 그 제조 방법으로 보아 당연히 여러가지 형태와 크기로 구성됨은 자명한 사실이거나 직포의 경우에도 실이 불규칙적이고 다소간의 변형에 의하여 그 형태는 완전한 구형이 아니며 그 크기도 동일하지 않다.

그러므로 토목섬유의 구멍크기는 흙의 입도 분포곡선과 같이 구멍크기 분포곡선(Opening size distribution curve)으로 표시된다(Fig. 8). 이상적으로 동일한 크기와 형태의 구멍을 가지는 직포가 있다면 그 구멍크기 분포곡선은 언직선으로 될 것이지만 실제로는 이러한 토목섬유는 존재하지 않는다. 구멍크기 분포곡선을 얻는 방법으로서

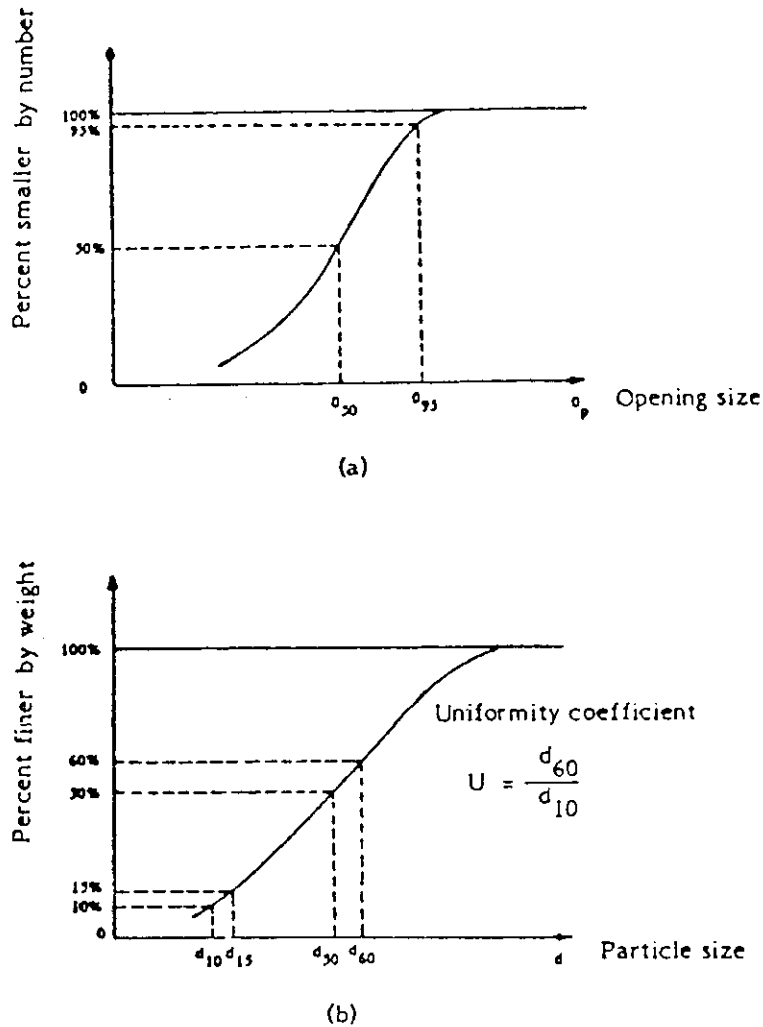


Fig. 8. Charaterization of geotextile and soil: (a) opening size distribution curve of a geotextile; (b) grain size distribution curve of a soil.

는 토목섬유를 통하여 기지구경의 유리구슬을 통과시키는 체분석 방법과 현미경을 사용하여 섬유 사이의 공간을 직접 측정하는 방법 등이 있다. 이들 두 방법에 의한 구멍크기 분포곡선은 완전하게 일치하지 않고 특히 곡선의 하부에서는 비교적 큰 차이를 보이고 있으며 체분석 시험도 실험때마다 약간의 차이를 보인다. 그러나 곡선의 상부는 거의 일치하고 있기 때문에 일반적으로 필터의 설계기준에는  $O_{95}$ 가 사용된다.

일반적으로 사용되는 니들펀칭 부직포는 압축성 재료이므로 피복토의 하중 등에 의하여 압축응력을 받으면 그 구멍크기는 감소하게 된다. 토목섬유의 구멍크기에 대한 압축응력의 영향을 평가하기 위한 실험은 아직까지 수행되지 못하고 있는 실정이지만 니들펀칭 부직포의 경우 다음과 같은 공식을 제안할 수 있다.

$$\frac{O + df}{O' + df} = \sqrt{\frac{H_g}{H_g'}} \quad (7)$$

여기서,  $O$ : 주어진 토목섬유에 대하여 두께  $H_g$ (mm)에 상응하는 섬유 사이의 평균간격 (mm);  $O'$ : 동일한 토목섬유에 대하여 두께  $H_g'$ (mm)에 상응하는 섬유 사이의 평균간격 (mm);  $df$ : 섬유의 직경(mm).

상기의 식은 부직포에 적용될 수 있는 다음 식에 근거를 두고 있다.

$$O = df (\lambda \sqrt{H_g \rho_f / \mu} - 1) \quad (8)$$

여기서,  $\mu$ : 토목섬유의 단위면적당 질량(kg/m<sup>2</sup>);  $\rho_f$ : 섬유의 단위체적당 질량(kg/m<sup>3</sup>);  $\lambda$ : 기하학적 모델에 따른 상수(무차원).

### 3. 토목섬유의 투수성

이미 언급한 바와 같이 일정한 두께 이상의 토목섬유는 물을 평면적으로 운반할 수 있고 이를 전수성으로 표시할 수 있다. 반면에 방수막 등을 입힌 재료를 제외한 모든 종류의 토목섬유 재료는 토목섬유 평면에 언직으로 물을 통과시킬 수 있다. 이와 같은 언직방향의 흐름은 Darcy 공식에 의하여 다음과 같이 된다.

$$\frac{Q}{A} = \frac{k_n}{H_g} \Delta h = \psi \Delta h \quad (9)$$

여기서,  $Q$ : 유량(m<sup>3</sup>/sec);  $A$ : 토목섬유의 면적(m<sup>2</sup>);  $\psi = k_n/H_g$ : 토목섬유의 투수성 (Permittivity) (sec<sup>-1</sup>);  $k_n$ : 토목섬유의 언직투수계수(m/sec);  $H_g$ : 토목섬유의 두께 (m);  $\Delta h$ : 수두손실(m).

니들펀칭 토목섬유의 경우에는 언직투수계수(Coefficient of normal permeability)가 평면투수계수와 거의 같으며 압축응력을 받을때 투수계수의 감소율도 거의 같다 (Fig. 3). 매트도 역시 압축성 재료이다. 그러나 네트(Net), 직포 및 얼음합 부직포 등은 압축성이 작으므로 이들 재료의 투수성은 압축응력에 거의 영향을 받지 않는다.

#### 4. 토목섬유 필터의 설계원리

본 자료에서는 흙 내부의 물을 제거하기 위한 필터만 고려하기로 한다.

토목섬유 필터도 골재 필터와 같이 다음 두 가지 기준을 만족하여야 한다.

- 보유성 기준(Retention criterion): 토목섬유 필터의 구멍크기는 토립자의 이동을 방지할 수 있도록 충분히 작아야 할 것.

- 투수성 기준(Permeability criterion): 토목섬유 필터의 구멍크기는 물의 흐름을 지체시키지 않을 정도로 충분히 커야 할 것. 동일한 공극율을 갖는 토목섬유에 대하여 그 구멍크기가 크면 클수록 투수성이 높다.

그러므로 구멍크기가 이들 두 가지 기준을 만족할 수 있는 토목섬유를 선택하는데 세심한 주의를 기울여야 할 것이다.

#### 5. 보유성 기준

필터에 의하여 흙을 보유하기 위하여서는 두 가지 형태의 매개변수가 고려된다.

- 역학적 매개변수: (1) 수류에 의한 토립자의 이동에 대한 항력(Hydraulic drag force); (2) 흐름의 방향에 따라 토립자의 이동을 일으키거나 방지하는 중력.

- 기하학적 매개변수: (1) 토목섬유의 구멍크기; (2) 흙의 입경과 입도분포; (3) 흙의 밀도.

이들 매개변수에 대한 포괄적인 분석은 대단히 복잡하다. 모래와 같은 입상의 필터에 대한 고전적인 접근방법은 역학적인 매개변수를 고려하는 대신에 단지 다음과 같이 매개변수들의 전통적인 값을 가정할 따름이다.

(1) 항력과 관계되는 동수경사: 상당한 비중을 차지함; (2) 흙의 압축응력과 점착력: 무시될 수 있음; (3) 중력: 고려되지 않음.

이로써 모든 역학적 매개변수가 소거되기 때문에 보유성 기준은 단지 기하학적 매개변수에만 의존하게 되나 고전적 접근방법에서는 흙의 밀도와 입도분포도 무시된다.

반면에 토목섬유 필터에서는 대부분의 매개변수가 소거되는 고전적 방법은 적당하지 않다. 실험 결과치로부터 입증되는 이론적 분석을 통하여 보유성 기준을 Fig. 9와 같이 도출할 수 있다.

Fig. 9에 대한 설명은 다음과 같다.

- 흙의 특성은  $d_{50}$ 과  $U$ 로 표시된다. 토목섬유의 구멍크기는 흙이 느슨할 때보다 조밀할 때 더 크게 규정하고 있다. 이것은 조밀한 흙의 입자는 느슨한 흙에서보다 운동이 활발하지 못하다는 것을 의미한다.

-  $0.95/d_{50}$ 의 최대치는  $U = 3$  일때 인데 이는 흙의 균등계수가 '3'일때 토립자 간의 내부결합력(Interlocking)이 최대이기 때문이다.

- 완전하게 균등한 흙( $U = 1$ )의 경우에는 토목섬유의 구멍크기는 느슨한 흙에 대해서는 토립자보다 작아야 하지만 조밀한 흙에 대해서는 더 크게 규정하고 있다.

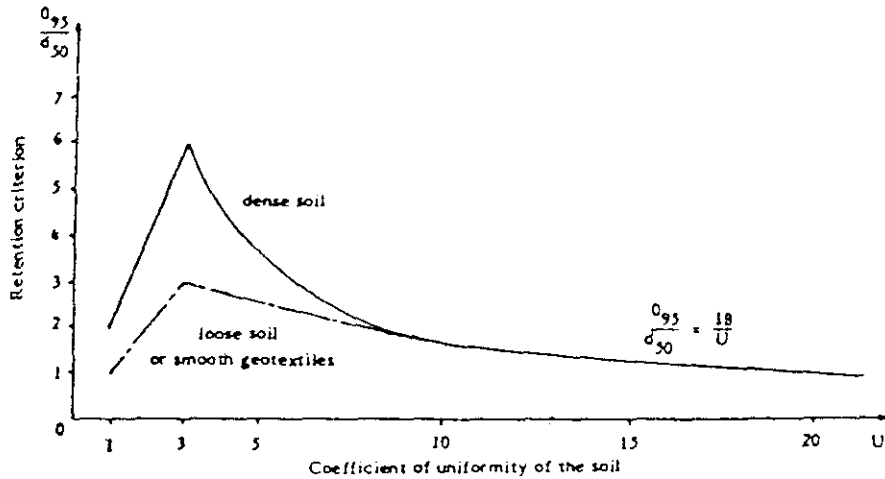


Fig. 9. Retention criterion (note:  $O_{95}$ ,  $d_{50}$  and  $U$  are defined in figure 8).

중간 정도의 조밀한 흙(Medium dense soil)에 대한 실험결과에 의하면 니들펀칭 부직포의 실험결과치는 Fig. 9의 상부곡선과 유사하게 나타난 반면에 직포나 열융합 부직포는 하부곡선과 유사하게 나타났다. 이는 직포나 열융합 부직포와 같이 비교적 표면이 고른 토목섬유에 접촉되는 토립자는 다소 이동이 자유로와 느슨한 경향을 보이지만 니들펀칭 부직포와 같이 거친 표면을 가지는 토목섬유에 접촉되는 토립자는 조밀한 상태를 유지하기 때문일 것이다. 결론적으로 다음과 같이 규정지을 수 있겠다.

- Fig. 9의 상부곡선은 조밀한 흙에 대하여 니들펀칭 부직포를 적용할 경우에 사용한다.

- Fig. 9의 하부곡선은 적용되는 토목섬유의 형태에 관계없이 느슨한 흙에 대한 경우와 흙의 밀도에 관계없이 직포나 열융합부직포와 같이 표면이 고른 토목섬유를 적용했을 경우에 사용한다.

- 대부분의 흙에 대하여 보유성 기준의 안전율은 불필요하지만 투수성 기준에는 안전율을 적용하는 것이 보다 타당할 것이다. 그러나 분산성 점토(Dispersible clay)의 경우에는 보유성 기준에도 안전율을 적용하는 것이 보다 바람직할 것이다.

## 6. 투수성 기준

토목섬유 필터의 투수성은 물의 흐름을 지체시키지 않도록 충분히 커야 하며 이 투수성은 연직투수계수로 고려되고 토목섬유의 구멍크기와 관계가 있다.

토목섬유의 구멍크기와 투수성의 관계는 이론적으로 정립이 된 단계이고 흙에 대하



여서도 이와 유사한 관계들이 이미 규명된 상태이므로 이들 두 가지 관계들을 비교 분석하여 Fig. 10과 같은 설계곡선을 유도하였다. Fig. 10은 토목섬유의 구멍크기  $O_{50}$ 의 최소치를 결정하기 위한 곡선으로 곡선들의 값은 흙의 밀도(공극율  $n_s$ ), 토목섬유의 공극율  $n_g$ , 토목섬유의 투수계수  $k_g$ 와 흙의 투수계수  $k_s$ 의 비  $k_g/k_s$ 의 함수로 된다.  $k_g/k_s$ 는 '1'보다 작아서는 안되고 일반적으로  $k_g/k_s = 10$  이 추천되고 있다.

토목섬유의 투수계수와 흙의 투수계수가 기지이면 Fig. 10을 사용할 필요없이 토목섬유의 투수계수가 흙의 투수계수보다 큰지를 직접 점검할 수 있다. 이러한 경우에는 안전율을 '10'으로 보면 될 것이다.

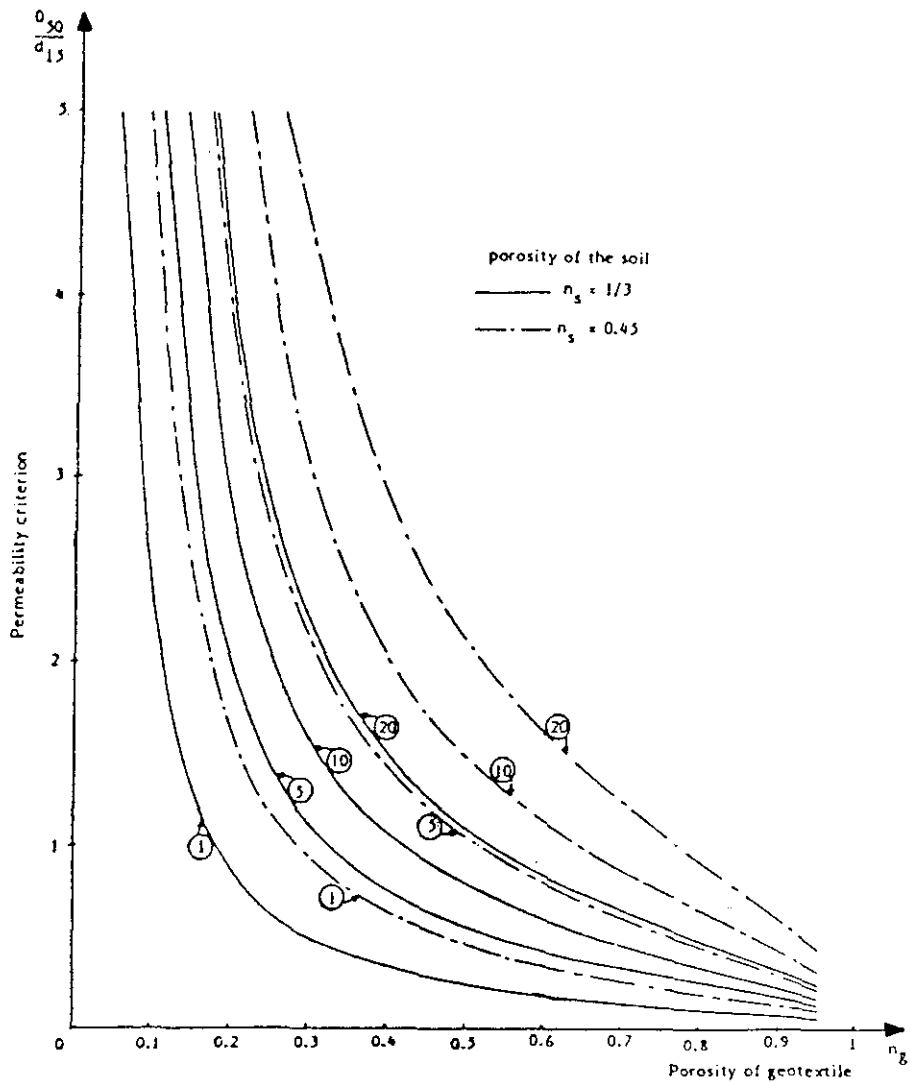


Fig. 10. Permeability criterion (the numbers in the circles represent the values of  $k_g/k_s$ ).

## 7. 설계에

1970년에 축조된 프랑스의 발크로스댐(Valcros dam)은 토목섬유를 사용한 최초의 흙댐으로서 부직포를 배수거(Drainage trench)의 필터재로 사용하였다. 사용된 재체재료의 입도 분포와 토목섬유의 구멍크기 분포는 Fig. 11에 도시된 바와 같다. 토목섬유에 대한 두 개의 곡선 중에서 점선은 압축되지 않은 상태의 구멍크기 분포를 나타내고 일점쇄선은 압축된 토목섬유에 대한 것으로 점선으로 표시된 곡선으로부터 앞의 (7)식을 사용하여 유도된 곡선이다. 댐 내의 토목섬유는 대략 0.2 MPa(10 m 높이의 성토)의 압축응력을 받고 그때의 두께는 Fig. 3에 따르면 압축되지 않은 상태의 0.45배 정도이다. 예를 들면 (7)식에서 섬유직의 직경이 0.027 mm일 때  $O_{95}'$  및  $O_{50}'$ 는 다음과 같이 산출할 수 있다는 것이다.

$$O_{95}' = (0.180 + 0.027) \sqrt{0.45} - 0.027 = 0.112 \text{ mm}$$

$$O_{50}' = (0.080 + 0.027) \sqrt{0.45} - 0.027 = 0.045 \text{ mm}$$

실제로는 댐 내의 토목섬유는 균일하게 압축되지 않기 때문에 그 구멍크기분포곡선의 각 점들은 점선 및 일점쇄선으로 된 두 개의 분포곡선의 범위에서 변화할 수 있으며 결국 압축응력을 받는 토목섬유의 구멍크기분포의 평균곡선은 이들 두 개의 분포곡선 사이에 존재하게 될 것이다.

발크로스댐의 축조 당시에는 토목섬유에 대한 필터기준이 거의 없었다. 따라서 설계에 고려된 유일한 사항은 토목섬유의 평균구멍크기(약 0.1 mm로 추정)가 흙의  $d_{85}$ (Fig. 11에서 약 7 mm)보다 작은지를 점검하는 것이었다. 그러나 10년 동안 발크로

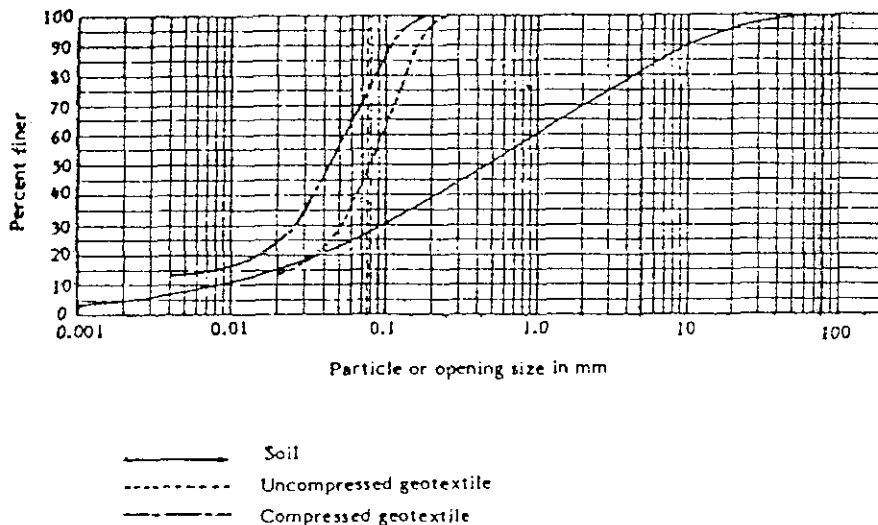


Fig. 11. Grain size distribution of soil and opening size distribution of uncompressed and compressed geotextile in Valcros dam. The uniformity coefficient of the soil, as defined in figure 8:b, is approximately equal to 100.

스댐은 안전하게 임무를 수행해 왔다. 축조후 10년이 지난 시점에서 그러한 전근대적인 설계의 타당성을 분석해 보는 것은 매우 흥미로운 일일 것이다.

1) 보유성 기준의 검토

제체재료의 균등계수  $U = 100$  에 대하여 보유성 기준은 Fig. 9에 의하면 다음과 같다.

$$O_{95}/d_{50} \leq 18/U = 0.18$$

$d_{50} = 0.55 \text{ mm}$  이므로

$$O_{95} \leq 0.099 \text{ mm}$$

압축된 토목섬유에 대한 실제의 값( $O_{95}' = 0.112 \text{ mm}$ )은 설계에서 요구되는 최대치보다 약간 큰 값을 나타내고 있다. 결론적으로 발크로스댐의 경우에는 Fig. 9의 설계곡선에 의한 기준을 다소 만족하지 못하고 있으나 댐이 안전하게 유지된 것은 아마도 설계곡선을 결정할때 흙의 점착력을 고려하지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

2) 투수성 기준의 검토

다음으로 투수성 기준이 만족되어야 한다. 제체재료의 흙은 조밀하고 ( $n_s = 1/3$ ) 니들 편칭 부직포는 압축되었다( $n_g = 0.7$ ). Fig. 10에서 안전율을 '10'으로 보면 투수성 기준은 다음과 같다.

$$O_{50}/d_{15} \geq 0.5$$

$d_{15} = 0.020 \text{ mm}$  이므로

$$O_{50} \geq 0.010 \text{ mm}$$

압축된 상태의 토목섬유는 Fig. 11에서  $O_{50}' = 0.045 \text{ mm}$  이므로 투수성 기준을 만족하게 된다. 실제로 토목섬유와 흙의 투수계수비는 약 '1000'이었기 때문에 당시의 전근대적 설계에도 불구하고 투수성 기준이 만족된 것은 당연한 것이었다.

## IV. 결론

본 문에서 소개된 Giroud의 설계방법은 토목섬유에 대한 기초실험 결과치를 이론적으로 분석하여 만들어진 설계곡선에 의하여 필요한 설계인자들을 결정하는 방법으로서 이 설계곡선은 실무에서 상당히 편리하게 사용될 수 있음을 믿어 의심치 않는다.

토목섬유 배수공에 대하여 제시된 설계방법은 본질적으로 골재 배수공에 대한 설계방법과 같지만 토목섬유는 골재에 비하여 높은 압축성을 갖고 있다는 것이 특별히 고려된 사항이다.

토목섬유 필터에 대한 설계기준은 모래 필터에 대한 고전적 필터기준으로부터 도출되지만 토목섬유의 특수한 성질에 부합되는 몇 가지 선택기준들이 만들어 졌다.

## 인용문헌

Giroud J. P.: "Designing with Geotextiles", *Materiaux et Constructions*, Vol. 14, No. 82, (July~August 1981), 257-272, Section 2, Geotextiles and Geomembranes: Definitions, Properties and Design, Industrial Fabrics Association International, 1984.