

Geotextile의 平面透水性 決定에 관한 比較研究

A Comparative Study on Decision of The In-Plane Permeability of the Geotextile

權 武 男* · 朴 喜 明** · 李 相 昊*
Kwon, Moo Nam · Park, Hee Myoung · Lee Sang Ho

Summary

The in-plane permeabilities for domestic geotextile products are calculated by some theoretical formulas and compared with them obtained by experiments to examine the suitability of those formulas.

The results obtained are as follows:

1. It appears that the diameter of the filament yarn is larger and more uniform than that of the staple fiber according to the microscopic analysis on the geotextile.
2. The in-plane permeability of the geotextile shows that the theoretical values by drag and channel theory is close to the experimental ones.
3. The porosity of the geotextile is hardly influenced by normal pressure.
4. In the case of the same thickness of the geotextile, the side surface area of the filament yarn is larger than that of the staple fiber.
5. The capillary height of the geotextile shows that the theoretical values is close to the experimental ones and thick geotextile is higher than thin geotextile.

I. 緒 論

Geotextile⁷⁾은 國外的 境遇 補強材 排水材¹⁵⁾ Filter材로부터 돌망태 Con'c거푸집 등에 이르기까지 土木分野 全般에 걸쳐 그 使用範圍가 날로 擴大되어 가고 있으며 國內의 境遇에도 1971年¹¹⁾ 農業振興公社에서 施行한 牙山 및 南洋防潮堤 工事に 洗掘防止用으로 一種의 Geotextile을 最初로 使用하여 이른바 Mattress工法으로 命名되었으며 1975年¹¹⁾ 昌原綜合機械工業基地造成工事

에 地盤改良用으로, 1979年¹¹⁾ 京釜高速道路와 南海高速道路의 Overlay 工事に 反射龜熱 防止用 등으로 初期 施驗施工된 이래 그 使用實績이 해마다 急激한 增加趨勢를 보이고 있으나 아직까지 具體的이고 效率的인 設計基準에 對한 研究는 多少 不振한 實情이다.

이러한 Geotextile은 여러가지 機能을 가지고 있으며 그에 對한 設計要因들도 多樣할 것이나 特別히 排水²⁾와 Filter^{1, 2)} 機能을 爲한 設計에서는 그 設計因子로 가장 主目되고 있는 것이 Geotex-

* 慶北大學校 農科大學

** 農業振興公社 農業土木試驗研究所

tile의 透水性에 關한 問題이다. 이에 對하여 Ionescu, A.^{12, 14)}는 Geotextile의 物理的 特性值를 定意하여 透水性과의 關係를 研究하였고, Rollin, A.¹⁵⁾ 등은 Nonwoven Geotextile을 통한 물의 흐름에서 그 透水係數는 Geotextile의 構造와 흐름의 特性에 關한 函數라고 糾明하였다. 또한 McGown, A.¹⁶⁾ 등은 Geotextile의 水理學的 傳導度는 Darcy의 法則과 關係가 있고 透水係數는 여러가지 制限된 因子들로 構成되며, 特히 材料의 壓縮性에 依하여 支配된다고 하였으나 Gource, J. P.⁸⁾ 등은 Nonwoven Geotextile에서 그 透水性은 壓縮에 큰 影響을 받지는 않으나 濾過性은 크게 影響을 받는다고 하였다.

이에 本 研究에서는 國內에서 生産되는 Geotextile을 電子顯微鏡寫眞 分析을 通하여 理論的으로 透水係數와 毛管上昇高를 求하고 實驗値와 比較하여 理論式의 適合性을 判斷하므로써 Geotextile의 設計基準 設定을 爲한 資料를 提供하는데 그 目的을 두고 있다.

II. 材料 및 方法

1. 使用材料

Geotextile¹⁷⁾의 平面透水性 分析을 爲하여 使用된 材料는 國內에서 生産되는 主要製品中 12種을 選擇하였는바 그 製造方法, 重量, 두께 등은 Table-1과 같다.

2. 研究方法

가. Geotextile의 物理的 特性

Table-1에 주어진 試料의 物理的 特性值는 電子顯微鏡을 利用하였다.

Geotextile의 纖維(Filament Yarn 또는 Staple Fiber)를 150倍의 倍率로 顯微鏡 寫眞攝影하여 直徑(df)을 求하고 式 (8)에 依하여 Geotextile의 物理的 特性值를 計算하였다.

나. Geotextile의 平面透水性^{8, 16, 18)}

1) 理論値의 算定

Geotextile의 平面透水係數를 理論的으로 求하기 爲하여 다음과 같은 式을 導入하였다.

A. Hagen-Poiseulle³⁾ 理論의 應用

毛細管을 통한 層流(Laminar Flow)⁴⁾의 流速은

Table-1. Sample geotextiles.

No	Sample name	Chemical compound	Fiber or yarn	Manufacturing technique	Weight (g/mm)	Thickn ess(mm)	Remark
1	K 1	P. E. T	Filament yarn	Spunbond Needlepunching	150	1.2	
2	K 2	〃		〃	200	1.7	
3	K 3	〃		〃	800	2.4	
4	K 4	〃		〃	400	3.4	
5	H 1	P. P	Staple fiber	Needlepunching	400	3.0	P.P 30% P.E.T 70%
6	H 2	P. E. T		〃	500	4.0	
7	H 3	〃		〃	600	5.5	
8	J 1	P. P	Staple fiber	〃	800	2.0	
9	J 2	〃		〃	400	3.0	
10	J 3	〃		〃	500	4.0	
11	J 4	〃		〃	600	5.5	
12	J 5	〃		〃	700	5.0	

* P. P : Polypropylene (Specific Weight 0.91)
P. E : Polyethylene (Specific Weight 0.94-0.96)
P. E. T : Polyester (Specific Weight 1.38)

Hagen-Poiseille의 法則을 導入하면 다음 式으로 주어진다.

$$V = \frac{\gamma_w}{8\eta_w} R^2 \cdot i \dots \dots \dots (1)$$

- V : 毛細管 内の 流速
- γ_w : 물의 單位重量
- η_w : 물의 動粘性 係數
- R : 毛細管의 動水半徑
- i : 動水傾斜

Fig. 1에서와 같이 直徑 d_f 인 두 가닥의 Geotextile 纖維로 形成된 毛管通路의 흐름을 假定하면¹⁾ 動水半徑(Rh)은 다음과 같다.

$$Rh = \frac{A}{P} = \frac{4R - \pi d_f}{4\pi}$$

$$R = \frac{\pi(4Rh + d_f)}{4} \dots \dots \dots (2)$$

(2) 式을 (1)式에 代入하면 다음 式을 얻을 수 있다.

$$V = \frac{\pi^2 \gamma_w}{12q\eta_w} (4Rh + d_f)^2 \cdot i \dots \dots \dots (3)$$

透水性인 Geotextile의 動水半徑 Rh를 Geotextile의 空隙을 通過하는 물의 量과 물과 接하는

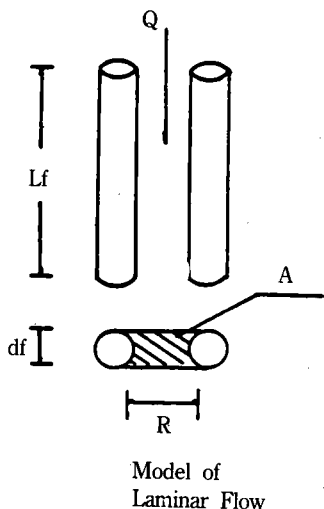


Fig. 1. Model of Laminar Flow.

纖維의 側表面積의 比로 表示할 수 있다. 즉, Geotextile 毛管通路內의 動水半徑은,

$$\frac{\text{流量} Q \text{가 通過하는 斷面積}(L^2)}{\text{流量} Q \text{가 通過하는 斷面潤邊}(L)}$$

$$= \frac{\text{流量} Q(L^3)}{\text{流量} Q \text{가 通過하는 側表面積}(L^2)}$$

로 된다. 따라서 鉛直荷重 σ 下에서 Geotextile 纖維가 絕對體積을 가진다고 假定한다면 一定한 空隙을 形成하게 되고 물과 接하는 側表面積과 의 關係에서 Geotextile의 動水半徑은 다음 式으로 表示할 수 있다.

$$Rh = \frac{e_o}{A_1} \dots \dots \dots (4)$$

- e_o : 鉛直荷重 σ 下의 空隙比
- A_1 : 單位體積當 側表面積

(4) 式을 (3) 式에 代入하므로써 다음 式을 얻을 수 있다.

$$V = \frac{\pi^2 \gamma_w}{12q\eta_w} \left(\frac{4e_o + d_f \cdot A_1}{A_1} \right)^2 \cdot i \dots \dots \dots (5)$$

多孔性 材料의 實際 흐름 條件을 考慮하여 空隙率($n\sigma$)을 (5) 式에 곱하면 다음 式으로 된다.

$$V = \frac{\pi^2 \gamma_w \cdot n}{12q\eta_w} \left(\frac{4e_o + d_f \cdot A_1}{A_1} \right)^2 \cdot i \dots \dots \dots (6)$$

따라서 Geotextile의 平面透水係數는 다음 式과 같다.

$$k_p = \frac{\pi^2 \cdot \gamma_w \cdot n}{12q\eta_w} \left(\frac{4e_o + d_f \cdot A_1}{A_1} \right) \dots \dots \dots (7)$$

上起 n, A_1 , d_f 는 다음 式으로 計算된다.

$$n = \frac{e_o}{1 + e_o} \times 100 = \frac{1 - \mu_s}{hg \cdot \gamma_p}$$

$$A_1 = 2\mu_s \sqrt{\frac{10^3 \pi}{\lambda \gamma_p}}$$

$$d_f = 2\sqrt{\frac{\lambda}{10^3 \pi \cdot \gamma_p}}$$

M_s : Geotextile의 單位面積當 重量

H_g : Geotextile의 두께

γ_p : Geotextile의 單位體積當 重量

λ : 纖維의 纖導(Linear Density)

B. Channel 및 Drag 理論의 適用 Rumann, G¹⁸⁾, (1982)는 Geotextile의 透水係數 k_p 를 空隙率 n 의 函數로 보고 다음 式을 誘導하였다.

$$k_p = \frac{g \cdot \gamma_p \cdot \gamma}{24\pi \cdot \eta_w \cdot \alpha_f \cdot \gamma_p} f(n) = A \cdot f(n) \dots (9)$$

여기서 α_f 는 纖維의 形狀係數로서 圓型일 境遇 $\alpha_f = 1$ 로 본다.

(9) 式에서 n 의 函數 $f(n)$ 은 다음 式으로 表示된다.

<Fowler와 Hertel¹⁵⁾의 Channel 理論>

$$f(n) = \frac{n^3}{(1-n)^2} \dots (10)$$

<Kuwabara¹³⁾의 Drag 理論>

$$f(n) = \frac{2\ln(1-n)^{-1} - n(2-n)}{(1-n)} \dots (11)$$

<Happel⁹⁾의 Drag 理論>

$$f(n) = \frac{4\ln(1-n)^{-1} - n(8-4n+n^2)/(2-2n-n^2)}{(1-n)} \dots (12)$$

2) 實測值의 利用

Geotextile의 平面透水係數의 實測值는 國內外에서 開發된 數種의 Geotextile平面透水性 實驗裝置의 短點을 補完하여 韓國建設技術研究院(K. I. C. T)에서 自體開發한 實驗裝置에 依하여 測定된 實驗結果值로서 同 研究院에서 發刊된 研究報告書¹⁰⁾(Geotextile 種類別 效用性의 比較研究, 1986. 12)에 收錄된 結果值를 利用하였다.

다. Geotextile의 毛管上昇高⁶⁾

1) 理論值의 算定

Fig. 2에서 보는 바와 같이 液體 中에 管을

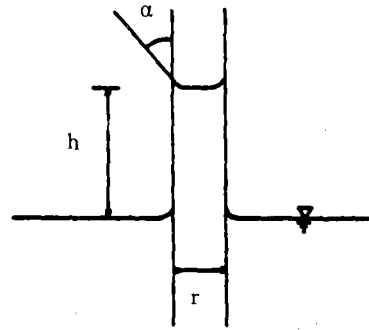


Fig. 2. Model of capillary phenomenon.

세웠을 境遇 毛管上昇高 H 는 古典 物理學 理論을 導入하면 다음과 같다.

$$H = \frac{4T \cos \alpha}{\gamma_w \cdot R} \dots (13)$$

H : 毛管上昇高

T : 液體의 表面張力

α : 管과 液體의 接觸角

毛管斷面이 圓型이 아닌 Geotextile의 境遇는 (2), (4), 및 (8) 式의 R, R_h, A_1, e 및 df 를 (13) 式에 代入하여 다음과 같은 式으로 된다.

$$H = \frac{16T \cos \alpha}{\pi \cdot \gamma_w \cdot \left(\frac{4e \alpha}{A_1} + d_f\right)} \dots (14)$$

(14) 式에서 毛管上昇高 H 는 側表面積 A_1 에 比例함을 알 수 있다.

2) 實測值의 測定

Geotextile의 毛管上昇高를 測定하기 爲하여 Fig. 3과 같은 간단한 裝置를 만들었다.

물의 上昇高를 容易하게 識別하기 爲하여 잉

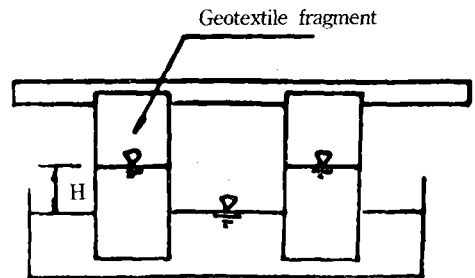


Fig. 3. Capillary height test.

크를 少量 稀釋하였으며 試料의 크기는 8cm×20cm로 하여 測定하였다.

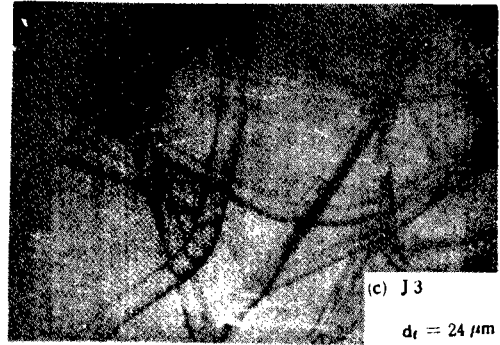
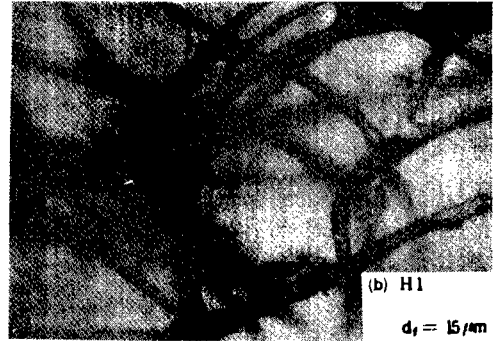
III. 結果 및 考察

1. Geotextile의 電子顯微鏡積 考察

Geotextile의 試料에 對한 直徑, 表面積, 空隙率等 物理的 特性을 觀察, 計算한 結果는 Table-2와 같다.

Photo. 1은 代表的인 試料의 顯微鏡 寫眞으로서 (a)는 長纖維, (b), (c)는 短纖維이다.

Table-2 및 Photo. 1에서와 같이 長纖維(K₁~K



4)는 直徑이 8μm로 가늘고 均一하였으며 短纖維(H₁~H₃, J₁~J₅)는 直徑이 各各 15μm, 24μm로 測定되었으며 長纖維보다 多少 不均一한 것으로 觀察되었다.

Table-2. Physical properties of geotextiles.

Sample	μ _s (g/mm ²)	Hg (mm)	d _r (μm)	λ (Tex)	n (%)	γ _p (g/cm ³)	A ₁ (cm ²)	Remark
K 1	150	1.2	8	0.067	90.9	1.380	54.49	1 Tex=9 Denier
K 2	200	1.7	〃	〃	91.5	〃	72.65	1 Denier= 1g/9km
K 3	300	2.4	〃	〃	90.9	〃	108.98	1 Tex= 1g/1Km
K 4	420	3.4	〃	〃	91.4	〃	152.57	
H 1	400	3.0	15	0.219	89.2	1.239	85.88	
H 2	500	4.0	〃	〃	89.9	〃	107.35	
H 3	600	5.5	〃	〃	91.2	〃	128.82	
J 1	300	2.0	24	0.404	83.5	0.910	55.46	
J 2	400	3.0	〃	〃	85.3	〃	73.95	
J 3	500	4.0	〃	〃	86.3	〃	92.44	
J 4	600	5.5	〃	〃	87.9	〃	110.92	
J 5	700	5.0	〃	〃	84.6	〃	129.41	

* 2.5 KN/m²하에서의 값임.

2. 平面透水性의 比較

Fig. 4는 長纖維에 對하여 鉛直荷重 增加에 따른 Geotextile 平面透水性의 變化를 나타낸 것으로 Hagen-Poiseille 理論에 依한 理論値와 實測値를 比較해 보면 透水係數値가 K_1 과 K_2 에서는 큰 差異를 나타내고 있으며 K_3 에서 K_4 로 즉 두께가 두꺼워질수록 實測値에 接近하는 것으로 나타났다. 이것은 Hagen-Poiseille 式에서 透水係數에 가장 큰 影響을 미치는 Geotextile의 物理的 特性은 纖維의 側表面積이며 透係數는 이 側表面積의 제곱에 反比例하여 長纖維인 境遇 두께가 두꺼워짐에 따라 側表面積의 變化가 큰 때문인 것으로 思料된다.

Drag와 Channel 理論에 依한 理論値는 $K_1 \sim K_4$

모두 實測値에 가깝게 나타났다. 이는 Drag와 Channel 理論에서 透水係數는 空隙率의 函數, 즉 $f(n)$ 에 依하여 決定되고 이 空隙率은 荷重 增加에 對한 變化가 작기 때문에 생각된다. Drag와 Channel 理論에서 荷重增加에 對한 透水係數의 變化를 實測値와 比較해 보면 載荷 初期에는 理論値 減少率이 實測値 보다 작았으나 荷重이 增加할수록 減少率이 實測値에 接近하며, 50KN/m^2 以上에서는 거의 같은 減少率을 보여주고 있다. 따라서 荷重增加에 對한 Geotextile의 透水係數를 決定할 時는 Hagen-Poiseille理論 보다 Drag와 Channel 理論에 依하여 求하는 것이 더 適合하다는 것이 立證되었다.

Fig. 5는 短纖維에 對하여 荷重 增加에 따른 Geotextile의 透水係數의 變化를 나타낸 것으로

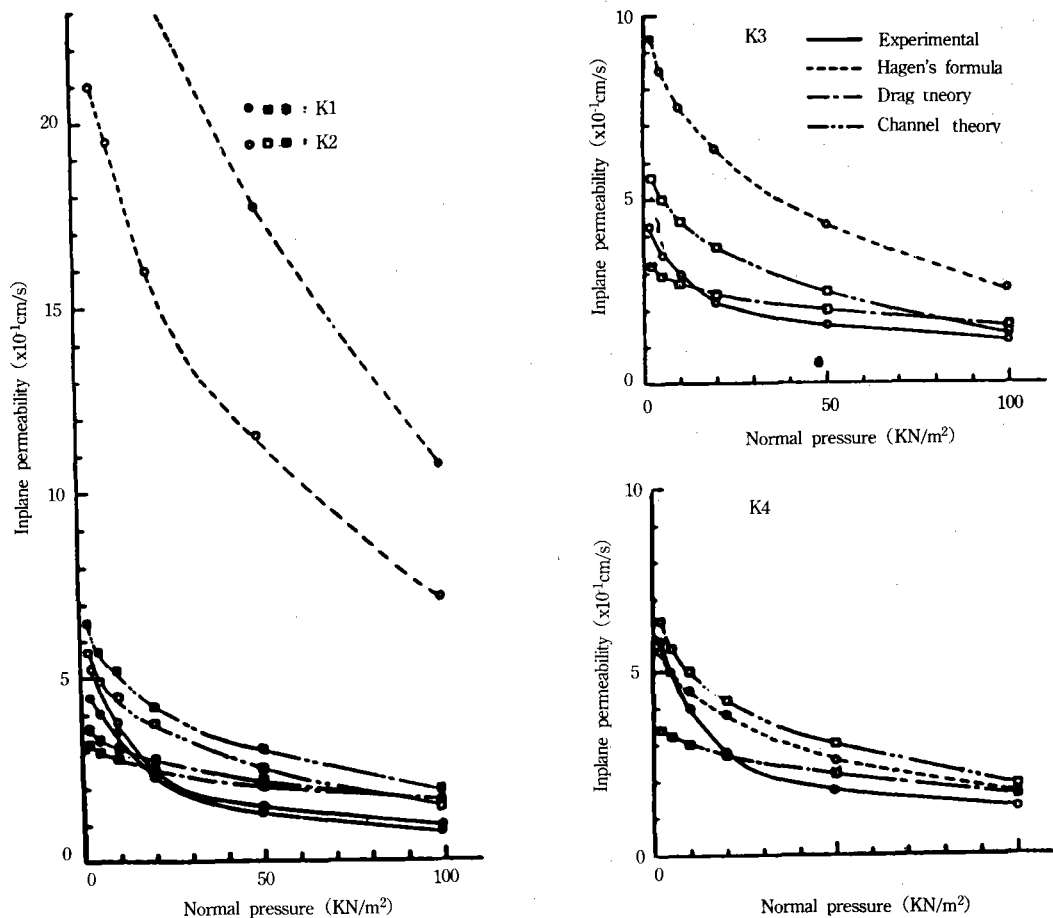


Fig. 4. Relation between inplane permeability and Normal pressure.

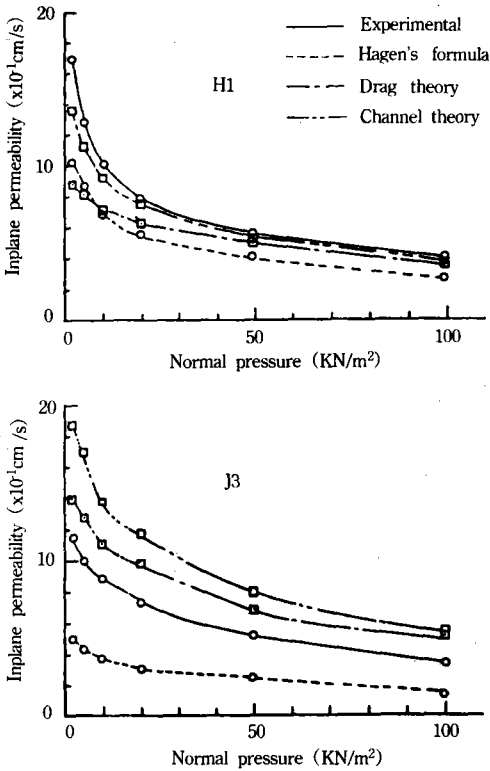


Fig. 5. Relation between inplane permeability and normal pressure.

서 理論値가 實測値에 거의 接近하는 것으로 나타났다. 短纖維의 境遇에서도 長纖維에서와 대체로 같은 變化를 보였는데 50KN/m² 荷重下에서 부터는 理論値와 實測値가 거의 一致하고 透水係數의 變化도 相當히 작아지는 傾向을 나타내고 있다.

이상의 結果에서 Geotextile의 平面透水係數를 理論式에 依하여 計算으로 推定할 境遇 Drag와 Channel 理論에 依하여 求하여도 無妨할 것으로 思料된다. Geotextile의 物理積 特性을 求함으로써 任意의 荷重下에서 Geotextile의 平面透水性을 理論的으로 推定할 수 있을 것이지만 理論式을 透道하기 爲하여 假定된 Geotextile의 構造가 實際와 差異가 있음도 考慮하여야 할 것이다.

3. 荷重增加에 對한 空隙率의 變化

Fig. 6은 荷重增加에 對한 空隙率의 變化를

나타낸 것으로서 空隙은 荷重의 變化를 나타낸 것으로서 空隙은 荷重의 變化에 크게 影響을 받지 않는 것으로 나타났으며 荷重 100KN/m² 下에서 空隙率은 74~80%의 範圍에 있으며 長纖維는 短纖維 보다 空隙率이 2~9% 程度 더 크게 나타났다. 이는 長纖維의 直徑이 短纖維보다 훨씬 작기 때문인 것으로 생각된다.

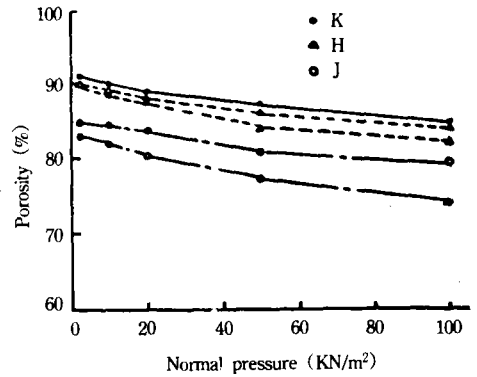


Fig. 6. Porosity variance of gestextiles according to normal pressure.

4. 纖維의 側表面積

Fig. 7은 Geotextile 纖維의 側表面積과 두께와의 關係를 나타낸 것으로 纖維의 두께는 두꺼울수록 側表面積은 增加하는 傾向을 보이고 있으며 長纖維가 短纖維보다 變化가 크고, 같은 두께일 境遇 長纖維의 側表面積이 短纖維 보다 크게 나타났다. 이는 長纖維가 直徑이 더 작기 때문인 것으로 思料된다.

5. 毛管上昇高의 比較

Fig. 8은 纖維의 毛管上昇高 測定値와 (14) 式으로 求한 理論値와의 關係를 나타낸 것으로 Geotextile의 두께가 增加할 수록 毛管上昇高는 높아지는 것을 알 수 있으며 이것은 Geotextile의 側表面積이 增加하면 動水半徑이 작아지므로 毛管上昇高가 增加한다는 理論을 立證하고 있다.

實測値와 理論値 사이의 差는 크지 않고 長纖維가 短纖維 보다 두께 增加에 對한 毛管上昇 效果가 큰 것으로 나타났다. 이는 두께 變化에

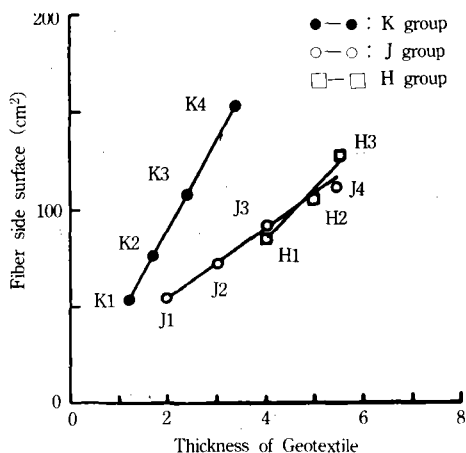
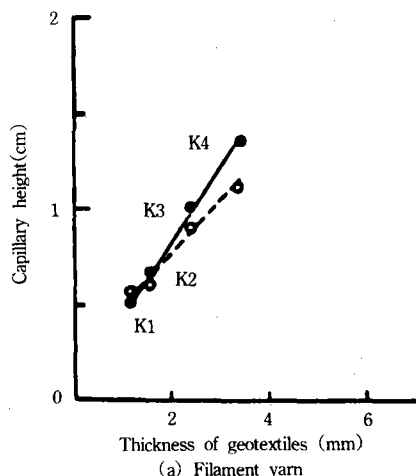


Fig. 7. Relation between fiber side surface and thickness of geotextiles.



(a) Filament yarn

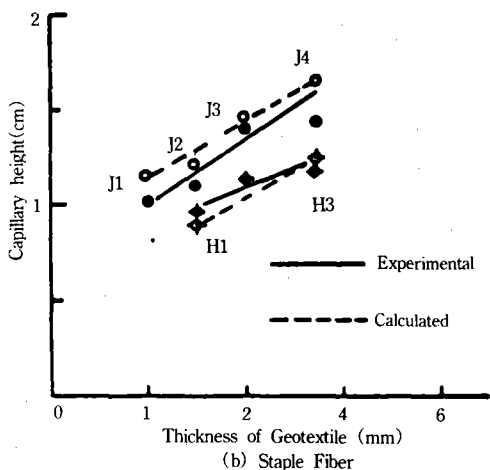


Fig. 8. Relation between thickness of geotextiles and capillary height.

다른 側表面積의 變化는 長纖維가 短纖維보다 커서 動水半徑의 變化가 커지므로 (14)式에 의한 毛管上昇高가 變하기 때문인 것으로 推測된다.

Fig. 9에서 Geotextile의 動水半徑의 變化와 毛管上昇高의 關係에서도 實測値와 理論値가 接近함을 나타내고 있으며 (14) 式의 適合性を 立證하고 있으므로 Geotextile의 毛管上昇高를 (14) 式에 依하여 推定할 수 있을 것으로 思料된다.

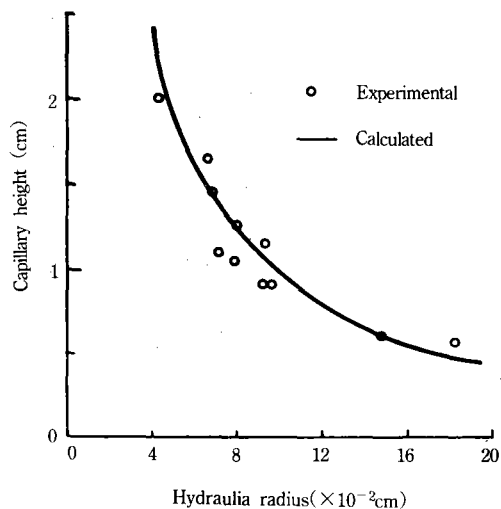


Fig. 9. Capillary height variance according to hydraulic radius of geotextile.

IV. 結 論

國內에서 生産되는 Geotextile의 平面透水係數를 理論式에 依하여 算定하고 그 適合性を 判斷하기 爲하여 實測値와 比較分析한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 電子顯微鏡 分析에 依하면 長纖維는 直徑이 8 μ m으로 短纖維에 比하여 가늘고 均一하였으며 短纖維는 15 μ m, 24 μ m으로 長纖維 보다 多少 不均一한 것으로 나타났다.

2. Geotextile의 平面透水性은 Drag와 Channel 理論에 依하여 求한 理論値가 實測値에 近接하는 것으로 나타났다.

3. Geotextile의 空隙率은 荷重의 變化에 큰 影響을 받지 않는다.

4. 같은 두께일 境遇 纖維의 側表面積은 長纖維가 短纖維 보다 크다.

5. Geotextile의 毛管上昇高는 理論値가 實測値에 接近하였고 두께가 두꺼운 것일수록 높게 나타났다.

參 考 文 獻

1. Beracchi, P., Cazzuffi, D. : 1985, Geotextile Filters for Embankment Dams, *Jor. of Water Power and Dam Construction*, Dec : 11-18.
2. Cedergren, H. R. : 1977, *Seepage, Drainage, & Flownets*, John Wiley & Sons, Inc., 2nd Ed., New York, pp. 175-218.
3. 崔榮博 : 1987, 水理學, 普成文化社, pp. 112-114.
4. Dingman, S. L. : 1984, *Fluvial Hydrology*, W. H. Freeman & Company, New York, pp. 294-300.
5. Fowler, J. L., Hertel, K. L. : 1940, Flow of a Gas through Porous Media, *Jor. of Appl. Phys.* : 11
6. Gamsky, K., Pigo, J. M. : 1982, Geotextile Soil Drainage in Siphon or in Siphon-Capillarity Conditions, 2nd Int. Conf, on Geotextiles, Vol. 1 : 145-148.
7. Girond, J. P., Carrol, R. G. : 1983, Geotextile Products, *Geotechnical Fabrics Report*, Summer : 12-15.
8. Gourc, J. P., Faure, Y. : 1982, Structural Permeability Low of Geotextiles, 2nd Int. Conf, on Geotextiles, Vol. 1 : 149-154.
9. Happel, J. : 1959, Viscous Flou Relative to Arrays of Cylinders, *A. I. Chem. Eng.* : 5
10. 洪成完, 趙三德, 趙重珩 : 1986, Geotextile 種類 効用成의 比較 研究, 韓國建設技術研究院, pp. 5-71.
11. 洪成完外 3人, 김수일, 林載植, 최윤화, 沈在範外 2人, 農工試驗研究所, 하중열, 農振工試驗研究所의 8篇 : 1986, 第1會 土木纖維 Seminar, 大韓土木學會, 農業振興公社, pp. 3-281.
12. Ionescu, A., Kellner, L. : 1982, About Longitudinal Permeability and Draining Capacity of Nonwoven Geotextiles, 2nd Int. Conf, on Geotextile, Vol. 1 : 127-131
13. Kuwabara, S. : 1959, Forces on Rand only Distributed Cylinders in viscous Flou, *Jor. of Phys. Soc., Japan* : 14.
14. Lonescu, A. : 1982, Physical Characteristics of Geotextiles Definition Dimensions, 2nd Int. Conf., on Geotextiles, Vol. 1 : 177-182.
15. Loudiere, D., Fayoux, D., Houis, J., Perfitti, J., Sotton, M. : 1983, The use of Geotextiles in French Dams, *Jor. of Water Power and Dam Construction*, Jan : 19-21.
16. Mc Gown, A., Kabir, M. H., Murray, R. T. : 1982, Compressibility and Hydranlic Conductivity of Geotextiles, 2nd Int. Conf, on Geotextiles, Vol. 1 : 167-172.
17. 農業振興公社 : 1987, 工業用材料研究報告書, pp. 199-239.
18. Ranmann, G. : 1982, In-Plane Permeability of Compressed Geotextiles, 2nd Int. Conf, on Geotextiles, Vol. 1 : 56-60.
19. Rollin, A., Masounaue, J., Lafleur, J. : 1982, Pressure Drop through Nonwoven Geotextiles-A New Analytical Model, 2nd Int. Conf, on Geotextiles, Vol. 1 : 161-166.