

흙水路에 對한 滲透損失量 推定에 關한 實驗的 研究

Experimental Study on Seepage Losses in Earth Channel

鄭 夏 禹, 劉 漢 烈

Har Woo Jung, Han Yeol Ryu

Summary

Models of cross-sections and channels were made in order to measure seepage losses. Cross-sections were made of sand, sandy clay loam and loam, their thicknesses being 30cm and 40cm, respectively. Flow depths kept in the cross-sections were 4cm, 6cm, 8cm and 10cm. Straight and curved channel models were provided so as to measure seepage losses, when constant water depths maintained at the heads of the channels were 7.3cm and 5.7cm, respectively.

The results obtained in this experiment are presented as follows:

1) A cumulative seepage loss per unit length at a point in the channel varies in accordance with time and flow depth. The general equation of cumulative seepage loss may be as follows (Ref. to Table V-25):

$$q_{cum} = \int_0^a q_{(a)} dt + \int_a^b q_{(b)} dt + \int_b^t q_{(c)} dt$$

2) In case that the variation of water depth through the channel is slight, the total seepage loss may be computed by applying the following general equation:

$$\bar{q}_{cum} \cdot x = \int_0^t q_{cum} \frac{\partial x}{\partial t} dt$$

3) Because seepage loss varies considerably according to water depth in case that the variation of flow depth through the channel is great, seepage loss should be computed by taking account of the change of flow depth.

4) The relation between time and traveling distance of water flow may be presented as the following general equation (Ref. to Table V-29):

$$x = ptr$$

5) The ratios of the seepage losses of the straight channel to the curved channel are 1:1.03 for a flow depth of 7.3cm and 1:1.068 for that of 5.7cm.

6) The ratios of the seepage losses occurring through the bottom to those through the inclined plane in the channel cross-section are 1:2.24 for a water depth of 8cm and 1:2.47 for a depth of 10cm in case that soil-layer is 30cm in thickness. Similarly, those ratios are 1:2.62 and 1:2.93 in case of a soil-layer thickness of 40cm (Ref. to Table V-5).

I. 序 論

作物은 適合한 土壤水分을 維持하여야 잘 成長하여 또한 좋은 結實을 맺게되는 것이다. 人類가 農業에 從事하기 始作하였을 때는 自然現象에만 依存하여 耕作을 하다가 定着하여 集團社會를 이루면서 自然環境을 克服하는데 關心을 기울이게 되었으며 作物에 물을 人工的으로 供給하여 收穫量을 늘리고 實이 좋은 生産品을 얻도록 努力하기에 이른 것이다. 이러한 條件을 만들려면 人工的인 水利施設을 施設해야 하므로 農業水利事業을 始作하였던 것이다.

우리나라에서 農業水利施設의 發達史를 簡單히 살펴 보면 舊作에 물을 供給하기 爲하여 水利施設을 처음으로 築造한 年代는 確實하지는 않으나 記錄(三國史記 卷1)으로 보면 三國時代의 新羅 逸聖尼師今 11

한 구멍들, 鹽度, 水草의 多少等과 關係가 있다.

이러한 여러 要因에서 오는 水路의 損失가운데서 가장 많은 部分을 차지하는 것은 滲透水와 水面을 通한 蒸發量을 들 수 있다. 水面에서의 蒸發量은 比較的 적은 量으로 1929年 美國에서 調查된 것을 보면 9月 한달의 蒸發量이 約 3.4mm 程度로 나타났다. 그러나 全體의 損失量에 對하여 5% 未滿에 該當하는 적은 量이므로 이에 對한 考慮는 普通 하지 않는다. 따라서 大部分의 水路損失은 滲透水에 依한다고 보아서 本 實驗은 흙水路內에서 發生하는 通水 損失中 滲透水量的 算定에 있어 보다 合理的인 計算法을 얻고 또한 直線水路와 屈曲水路에서의 損失量의 對比를 求하고자 하는데 目的을 두었다.

우리나라에서 築造되는 水路는 大部分 흙水路임을 勘案할 때 本 實驗에서 얻은 結果는 灌漑用水計劃을 보다 正確하게 樹立하는데 좋은 資料가 될 것을 期待한다. 그리고 本 實驗에서는 여러 가지 制約때문에 水理模型實驗만 實施하였다.

II. 研究史

土層內에서의 流體의 흐름에 對한 問題는 비단 水路 損失量을 決定하는데 關係가 있을 뿐만 아니라 灌漑水量과 時期決定, 排水效果와 그 時期, 地下水의 開發, 供給과 石油開發等에 있어 極히 重要한 事項의 하나이다. 이들 流體의 흐름은 土壤層의 空隙量에 따라 다르고 또 土層을 構成하고 있는 土壤의 種類와 粒子, 流體의 粘性에 따라 서로 다르게 된다.

이에 對해서 H. Darcy가 1856년에 모래層에 對한 流體의 흐름에 關한 實驗研究를 통하여 다음과 같은 式을 誘導했다.

$$q = kA \frac{\Delta H}{L} \quad (II-1)$$

여기서 q : 流量(m^3/sec)

k : 透水係數(m/sec)

A : 斷面積(m^2)

ΔH : 流入口와 流出口사이의 水頭差(m)

L : 流路長(m)

이러한 滲透量은 土壤의 空隙을 통하여 흐르므로 흙의 空隙率과 密接한 關係를 갖는다. 흙의 空隙率에 關하여 1921年 A.F. Melcher가 發表한 式이 있으며 1930年 P.G. Nutting이 實驗을 통하여 다음의 式으로 空隙率의 값을 比較的 正確히 求할 수 있다고 發表하였다.⁽¹⁷⁾

$$f = 100 \left(1 - \frac{V_s}{V} \right) \quad (II-2)$$

여기서 f : 흙의 空隙率

V : 흙의 全容積 (cm^3)

V_s : 흙粒子의 容積 (cm^3)

1903년에 교란되지 않게 採取한 土壤標本에서의 透水路試驗法에 對하여 Terzaghi가 提案發表를 하였으며⁽¹⁸⁾ 1931년에 J.Kozeny가 土壤內에서의 물의 滲透에 對하여 觀測하였으며 土壤의 透水路試驗에 關한 것을 發表하였다.⁽¹⁷⁾

1913년에 E.G. Hopson이 貯水池와 水路에서의 損失에 對한 調查를 報告하였으며 水路損失이 40~50%가 된다고 하였다.⁽¹⁸⁾

1923年 O.V.P Stout가 水路損失을 測定하는데 必要한 問題點을 發表했으며⁽¹⁹⁾ 1929年 Ralph L.Pars-hall은 水面에서의 蒸發損失에 關한 發表를 하였다.⁽⁶⁾ 1921년에 L.Hopf와 E.Trefftz가 傾斜된 砂土에 設置한 水路에서의 排水에 關한 여러가지 問題를 研究 發表하였다. 이 때에는 滲透面에 對해서는 說明이 없었으며 排水路의 모양을 間接的으로 紹介했을 程度에 그쳤고, 問題에 對한 풀이는 解析的으로나 數理的으로 簡單하게 說明하였다.⁽¹⁷⁾ 그 後 1931년에 들어서 J.Kozeny가 Laplace 方程式을 利用하여 重力水의 흐름을 풀기 始作하였고 또 이러한 흐름의 狀態를 圖式으로 나타내기 위하여 hodograph를 利用하기에 이르렀다.⁽¹⁷⁾

1933년에 이르러 P.Nemenyi가 hodograph의 使用에 對한 理論을 提唱하였고,⁽²⁷⁾ 1934年 G. Hame이 不透水層境界와 一定한 potential surface와 see page surface를 hodograph의 平面에 그려서 二次元的 흐름을 表示하였다.⁽²⁷⁾

1936년에는 V.V.Vedernikov에 依하여 水路內에서 물의 滲透에 對한 特殊한 境遇의 問題를 풀기 위하여 逆 hodograph 變換을 發展시켰던 것이다.⁽²⁷⁾ 그리하여 1937년에는 直線斷面에서의 水路滲透에 對해 利用하기에 이른 것이다.⁽²⁷⁾

1953년에는 W.W.Rasmussen과 C.W.Lauritzen等이 損失水量을 測定하는 器具에 對한 試驗을 하였고⁽²¹⁾ 1954년에는 E.L.Hendricks가 南西部 Louisiana 地域에서의 調查에서 35%의 水路損失을 가져온다고 發表하였으며,⁽²⁴⁾ 1955년에는 A.R. Robinson과 Carl Rohwer等이 美國 西部 17個州에서의 調查에서 水路損失이 40%나 된다고 發表하였다.⁽²²⁾ 1957年 R. P. Teele은 水路損失이 30%에 該當하는 量이라고 發表하였다.⁽²⁸⁾ 또 A.R.Robinson과 Carl Rohwer

는水路에 對한 調査에서 氣溫과 時間을 考慮한 損失量 調査를 發表하였다. (32) 1959年 H. Bouwer 는 地下 灌溉을 爲한 滲透現象에 對한 理論을 發表하였으며, (33) 1964年 Morel Seytoux 는 直線水路에서 水路 滲透水의 흐름에 對한 調査를 하였다. (34) 1971年 R. D. Verma 와 W. Brusaert 는 地下水의 滲透에 關해서 發表하였고, (35) 1972年 B. W. Hunt 가 얕은水路에서의 滲透水에 關해서 發表하였고, (36) 非均質土壤을 통한 三角形水路에서의 滲透에 關한 理論을 A. E. Nimr 와 R. L. Street 가 發表하였다. (37)

1) 水路損失에 對한 實測記錄의 例

(1) 美國의 例(38)

- i) 水路 使用年數에 따른 損失率을 比較
 新設水路에서의 損失率 40~55%
 數年間 使用한 水路에서의 損失率 20~30%
- ii) 通水량과 水路延長에 따른 比較

表 II-1. 通水량과 水路延長과의 比較

通 水 量	水路延長 1km 當 損失量
2.8m ³ /sec 以上	0.59%
1.4~2.8m ³ /sec	1.60 "
0.7~1.4m ³ /sec	2.62 "
0.7m ³ /sec 以下	7.00 "

또 使用年數 5年以內의 水路潤邊의 單位面積에 對한 水路損失 調査를 보면 表 II-2와 같다.

表 II-2. 水路의 潤邊單位面積(m²)當 24時間의 損失水量(m³)의 比較

土 性	損失水量
不透水性 粘質壤土	0.076~0.106
中等 粘質壤土	0.106~0.152
普通 粘質壤土, 細土, 火山灰壤土	0.152~0.229
礫質壤土, 砂質壤土, 凝結한 砂 및 壤土	0.229~0.305
砂質壤土	0.305~0.453
거치른 砂土	0.453~0.609
礫質 砂土	0.609~0.762
거치른 礫土	0.762~0.914

(2) 印度의 例(39)

水路의 種類에 따른 損失量을 보면 表 II-3과 같다.

表 II-3. 水路別 損失率 比較

水路區分	調查者	G. Kennedy	H. Ivens
導 水 路		20%	15%
配 水 路		6 "	7 "
小 用 水路		21 "	22 "
全水路系의 合計		47 "	44 "

또 通水량과 水路延長 1km 當의 損失量과의 比較는 表 II-4와 같다.

表 II-4. 通水량과 水路損失量 比較

通 水 量	水路延長 1km 當 損失量
2.8m ³ /sec 以上	0.16%
1.4~2.8m ³ /sec	0.31 "
0.7~1.4m ³ /sec	0.62 "
0.7m ³ /sec 以下	2.48 "

(3) 日本의 例(40)

日本의 境遇는 水路의 種類別로 區分되어 있지는 않았으나 小用水路에서는 12%의 損失率로 調査되었고, 導水路의 境遇는 20%로 나타났다. 또 用水量과 損失率에 對한 調査는 3가지의 土壤(흙水路, 벤투나이트水路, 粘土水路) 條件이 다른 水路에서 얻은 資料가 있다.

(4) 우리나라의 例(41)

우리나라에서는 흙水路의 損失率로 10~20%로 假定하는데 幹線水路에 對해서는 20%, 支線水路에 對해서는 15%, 支渠水路에 對해서는 10%를 一般으로 適用하고 있다. 實際의 測定 調査는 1971年 水原 近郊에서 調査된 바 있으며, 그 외에도 調査된 것이 多少 있다고 한다.

2) 水路 斷面에서의 滲透水量 推定公式

(1) 등근 潤邊을 가진 水路에서의 滲透(18)(27)

그림 II-1과 같은 水路에서의 滲透量에 對한 算定式을 V. V. Vedernikov 가 다음과 같이 發表하였다.

$$q = k(B + 2H) \tag{II-3}$$

- 여기서 q; 滲透量(m³/sec)
- k; 透水係數(m/sec)
- B; 水路內의 最高水面의 幅(m)
- H; 最高水深(m)
- L; 滲透되는 支配面의 幅(m)

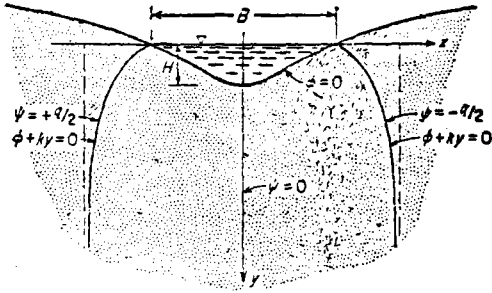


그림 II-1. 曲面水路의 境遇

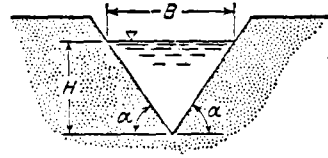


그림 II-2. 三角形水路

또한 水路의 斜面傾斜角 α 와 A의 關係는 그림 II-3과 같으며 여기서 A를 求할 수 있다.

土層이 無限히 깊을 때의 支配되는 幅은

$$L = B + 2H$$

이므로, 水路의 潤邊에 對한 滲透速度는⁽¹³⁾

$$v = \frac{d\phi}{ds} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial \phi}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \phi}\right)^2}}$$

$$\text{또는 } v = \frac{k}{\sqrt{1 + [\pi H / (B + 2H)]^2 - [2\pi H / (B + 2H)] \cos[\pi \psi / k(B + 2H)]}} \quad (\text{II-4})$$

여기서 ds; 流線方向의 微小距離

ϕ ; 포텐셜函數

ψ ; 流線函數

로 求해진다. 이에 대한 몇 가지 境遇에 關한 速度 分布를 V.V. Vedernikov가 研究 發表하였다.

(2) 三角水路에서의 滲透

그림 II-2와 같은 三角水路에 對하여 1937년에 V.V. Vedernikov가 研究 發表한 公式는⁽¹³⁾⁽²⁷⁾

$$q = k(B + AH) \quad (\text{II-5})$$

여기서 q; 滲透量(m³/sec)

k; 透水係數(m/sec)

B; 水面幅(m)

H; 水深(m)

Γ ; Gamma 函數

α ; 水路斜面傾斜角

f_2 ; $\frac{\alpha}{\pi}$ 의 函數

$$A = \frac{2}{\tan \alpha} \times \frac{f_1\left(\frac{\alpha}{\pi}\right)}{J_2 \cdot \frac{\pi}{2} - f_2\left(\frac{\alpha}{\pi}\right)}$$

$$J_2 = \frac{\Gamma\left(\frac{\alpha}{\pi}\right) \Gamma\left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{\pi}\right)}{2\sqrt{\pi}}$$

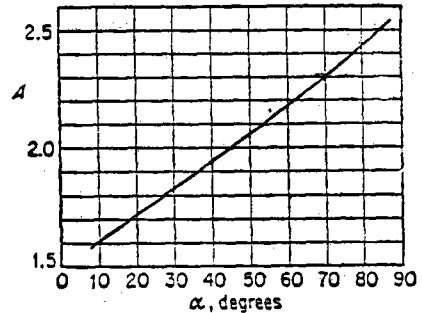


그림 II-3. α 와 A의 關係

(3) 梯形水路에서의 滲透⁽¹³⁾⁽²⁷⁾⁽⁴⁸⁾

i) 地上水位가 깊은 均質土層에 對한 水路의 滲透

이에 對한 算定式은 V.V. Vedernikov가 研究 發表하였다.

$$q = k\left(B + \frac{2HK}{K'}\right) \quad (\text{II-6})$$

여기서 q; 水路單位 길이當 滲透量(m³/sec/m)

k; 透水係數(m/sec)

H; 水深(m)

B; 表面水の 幅(m)

K; 母數 k^* 의 第一種 完全橢圓積分

K' ; 母數 $\sqrt{1-k^*}$ 의 第一種 完全橢圓積分

B_1 ; 水路의 底幅(m)

$$k^* = \cos \frac{\pi m H K}{q}$$

$$m = \frac{B - B_1}{2H}$$

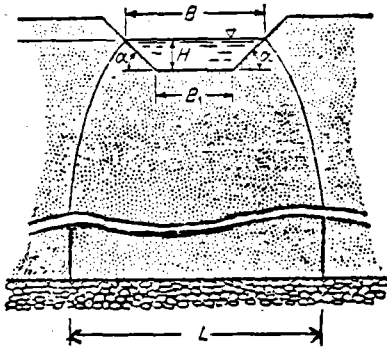


그림 I-4. 地下水位가 깊은 境遇

ii) 地下水位가 얇은 水路인 境遇⁽¹²⁾

그림 I-5와 같은 水路에서 地下水位가 얇은 境遇에 對한 滲透量 算定은 H.Y. Hammad가 發表한 다음 式에서 얻어진다.

$$q = k d \frac{2K}{K' - C} \quad (I-7)$$

여기서 q; 水路單位 길이當 滲透量(m²/sec/m)

k; 透水係數(m/sec)

d; 地下水位와 水路의 表面水와의 高低差(m)

K; 母數 k*의 第一種 完全橢圓積分值

K'; 母數 $\sqrt{1-k^*}$ 의 第一種 完全橢圓積分值

2b; 水路低幅(m)

H; 水深(m)

T; 表層의 두께(m)

$$C = \frac{2d'}{B' + \sqrt{(B')^2 - 2(H')^2}}$$

$$k^* = 0.5[B' + \sqrt{(B')^2 - 2(H')^2}]$$

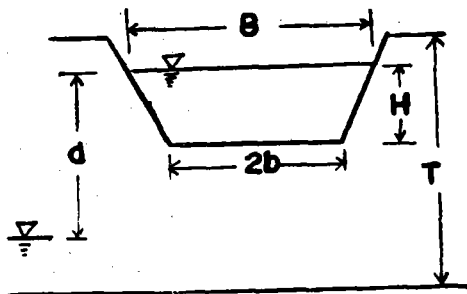


그림 I-5. 地下水位가 얇은 境遇

$$B' = \tan h\left(\frac{\pi b}{2T}\right)$$

$$H' = \tan\left(\frac{\pi H}{2T}\right)$$

또 V.V. Vedernikov는 얇은 表層土에 對한 滲透量 式은 Zhukovsky 函數를 利用하여 다음과 같이 얻었다.⁽¹³⁾

$$q = \frac{2kT K(\beta)}{K'(\beta)} \quad (II-8)$$

여기서 q; 滲透量(m²/sec)

k; 透水係數(m/sec)

T; 表層土의 두께(m)

K(β); 母數 β의 第一種 完全橢圓積分值

K'(β); 母數 $\sqrt{1-\beta}$ 의 第一種 完全橢圓積分值

위의 式과 式 II-6, $q = B + \frac{2HK}{K'}$ 와를 結合하여

M. Muskat는 다음과 같은 式을 얻었다.⁽¹³⁾

$$\frac{q}{k} = \frac{2Hn}{1 - F(\beta, \phi)/k(\beta)} \quad (II-9)$$

여기서 q; 滲透量(m²/sec)

k; 透水係數(m/sec)

H; 水深(m)

n; 水路의 斜面傾斜(cot α)

F(β/φ); 係數 β와 크기 φ의 第一種 完全橢圓積分值

K(β); 係數 β의 第一種 完全橢圓積分值

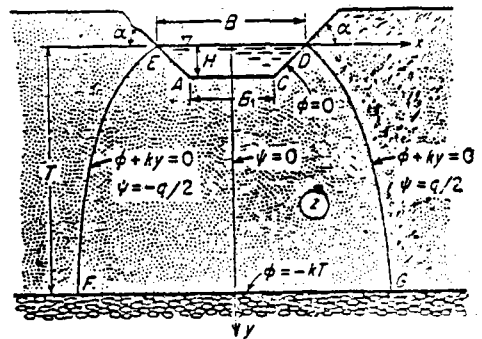


그림 II-6. 地下水位가 얇은 境遇

위의 式들에서 Vedernikov는 $\frac{B}{H}$ 와 $\frac{2K}{K'}$ 에 對한 關係를 그림 II-7과 같이 얻었으며, M. Kuskat는 $\frac{T}{H}$ 와 $\frac{B}{H}$ 의 함수인 $\frac{q}{kH}$ 를 그림 II-8과 같이 얻었다.

Region (I)에서의 滲透量은

$$q = 2k \left(\frac{H_1 - H_0}{L_1} \right) \left(\frac{H_1 + H_0}{2} \right)$$

$$L_1 = L - \frac{B + H_1}{2} \quad (II-10)$$

여기서 q ; 滲透量(m³/sec)

k ; 透水係數(m/sec)

H_0 ; 水路의 中心線에서 L 길이 떨어진 點에서 自由水面的 높이(m)

H_1 ; 水路의 中心線에서 $\frac{B + H_1}{2}$ 만큼 떨어진 點의 自由水面的 높이(m)

H_2 ; 不透性地盤에서 水路의 表面水位까지의 높이(m)

Region (II)에서의 滲透量

$$q = 2k(H_2 - H_1)e \quad (II-11)$$

여기서 e ; 水路形式에 對한 係數

(I), (II) 領域에서 H_1 을 소거하면

$$q = 2ke(H_2 + eL_1 - \sqrt{(H_2 + eL_1)^2 - H_1^2 + H_0^2}) \quad (II-12)$$

여기서 e 는 그림 II-10에서 求할 수 있다.

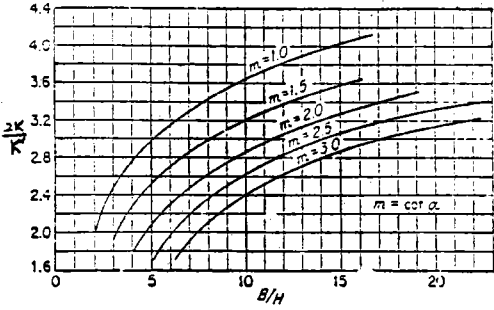


그림 II-7.

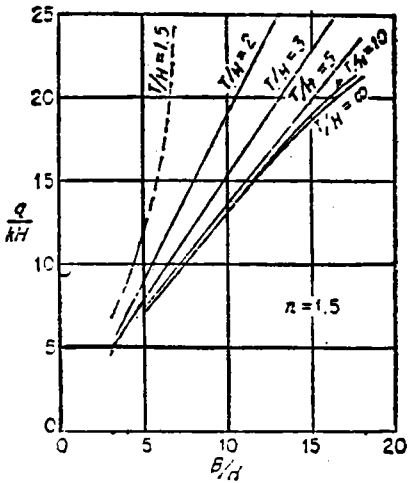


그림 II-8.

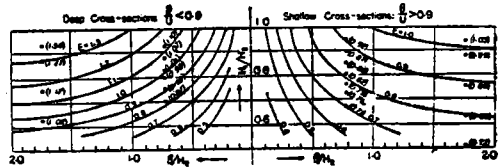


그림 II-10. 상수 e 의 曲線

iii) 不透水層이 水路底에서 가까운 境遇(註)

그림 II-9와 같이 水路바닥에서 不透水性土層이 얇은 境遇에 滲透量算定에 關한 試驗을 R. Dachler가 實施하여 다음과 같은 式을 얻었다.

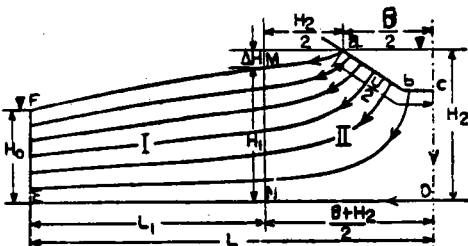


그림 II-9. 不透水性土層이 얇은 境遇

iv) 滲透強度를 考慮한 境遇(註)

滲透量을 計算하는데 있어, 水路의 水深에 따른 滲透強度를 利用하였는데 이것은 水深의 階層에 滲透量이 比例한다고 보아서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q = c\sqrt{H} \quad (II-13)$$

그림 II-11의 境遇에 있어서, 水路의 斜面에서 滲透強度는 밑바닥의 滲透強度의 大略 2/3 에 該當하므로

$$\begin{aligned} q &= 2 \times \frac{2}{3} c \sqrt{H} \frac{H}{\sin \theta} + c \sqrt{H} \times b \\ &= c \sqrt{H} \left(b + \frac{4}{3} \frac{H}{\sin \theta} \right) \quad (II-14) \end{aligned}$$

여기서 q ; 滲透量(m³/sec)

b ; 水路底幅(m)

H ; 水深(m)

斷面積을 考慮할 때

$$A = bH + H^2 \cot \theta, \quad \alpha = \frac{b}{H}$$

를 式에 代入하면

$$q = c \sqrt{\frac{A}{\alpha + \cot \theta}} \left[\alpha \sqrt{\frac{A}{\alpha + \cot \theta}} + \frac{4}{3} \sqrt{\frac{A/(\alpha + \cot \theta)}{\sin \theta}} \right]$$

$$= c [A/(\alpha + \cot \theta)]^{3/4} \left[\alpha + \frac{4}{3 \sin \theta} \right] \quad (II-15)$$

가 된다. 이것으로 單位 水路 길이의 滲透量을 推定한다.

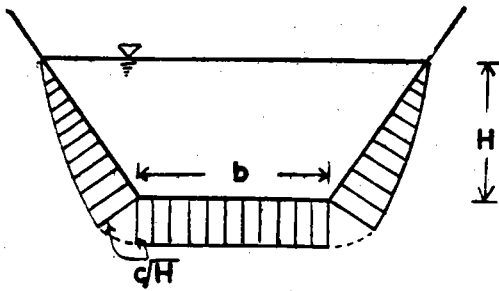


그림 II-11. 水路의 滲透強度分布

v) 水路內의 流量과 流速에 依한 滲透量計算⁽⁴⁴⁾

全水路內에서 滲透量을 斷面積의 제공근과 滲透損失係數로써 算定한 式이다.

$$即 \quad q = 0.01690 k \sqrt{\frac{Q}{v}} \quad (II-16)$$

여기서 q; 滲透量(m³/sec/km)

k; 滲透損失係數(m/day/km)

Q; 流量(m³/sec)

v; 流速(m/sec)

k의 값은 다음 表에서 求한다.

表 II-5.

水路의 土性	k의 값
砂質壤土에 자갈과 경토반이 섞인 것	0.06
粘土, 粘質壤土	0.08
砂質壤土	0.12
火山灰土	0.13
若干 모래가 섞인 火山灰土	0.19
모래와 火山灰 또는 粘土가 混合된 것	0.23
자갈이 섞인 砂質土	0.32
砂質土 자갈 섞인 흙	0.42

vi) 水路의 길이를 考慮한 滲透量 推定⁽⁴⁴⁾

T. Ingham은 다음과 같은 式을 發表하였다.

$$q = (C \sqrt{H B L})_{10^{-6}} \quad (II-17)$$

여기서 q; 滲透量(m³/sec/m)

C; 係數

H; 水深(m)

B; 水面幅(m)

L; 水路延長(m)

C의 값은 다음 表 II-6에서 얻는다.

表 II-6. C의 값

水路의 土性	C의 값
不透水性 粘土	0.69~0.96
地下 1.0~0.5m 點에 盤層이 있는 中等粘土	0.96~1.38
砂質壤土 또는 火山灰質 壤土	1.38~1.52
자갈 또는 모래 섞인 粘質壤土	1.52~2.76
砂質壤土	2.76~4.14
거친 砂土	4.14~5.51
礫質砂土	5.51~6.89
多孔質 礫土	6.89~8.27
자갈 많은 흙	8.27~16.54

以上과 같이 水路에서의 滲透損失量을 算定하는 方法으로써 여러가지 公式들이 發表되었다. 그러나 水深을 一定하게 놓은 狀態에서 한 斷面에 對해 生覺하면 水路의 滲透現狀은 時間에 따라 變함을 알 수 있다. 지금까지의 式들은 時間的 變化를 감안한 것이 아니고 滲透量이 一定한 때에 對한 것이다.

따라서 本 實驗은 時間的 變化를 考慮한 滲透損失量의 算定式을 求하고자 하는데 있다.

III. 水路內의 滲透現象

水路의 損失은 앞 章에서 言及한 바와 같이 여러 가지 要因에 依한 影響을 받는다. t 時間동안에 水路內에 흘러 들어온 水量은 다음과 같이 表示할 수 있다. 即

$$V_{in} = Q_{in} \cdot t = (Q + q)t \quad (III-1)$$

여기서 V_{in} = 時間 t 동안에 흘러 들어온 물의 體積(m³)

Q_{in} ; 水路內로 흘러 들어오는 流量

(m³/sec)

Q; 水路內에 흐르는 流量(m³/sec)

q; 水路內의 損失量(m³/sec)

t; 時間(sec)

이다. 이러한 損失量의 構成因子는 다음과 같다고

볼 수 있다.

$$q_{to} = q_{inf} + q_{eva} + q_{aqu} \quad (II-2)$$

여기서 q_{to} : 水路內의 損失水量의 總和(m³/sec)

q_{inf} : 水路內의 滲透損失量(m³/sec)

q_{eva} : 水路內의 水面蒸發量(m³/sec)

q_{aqu} : 水路內의 水生植物의 消費水量(m³/sec)

이 中에서 水生植物의 消費水量은 極히 少量인 것으로 생각되나 確實한 量을 알기 위한 實測記錄은 別로 없다. 蒸發量도 多少 있으나 全體 損失量에 비해 少量이므로 大部分 滲透損失에 큰 關心을 가지게 된다. 이 實驗에서도 滲透損失에 對한 것을 調査하고져 하였다.

1) 滲透量

滲透量은 一般的으로 土壤內로 물이 流入하는 量을 뜻한다. 따라서 滲透量의 單位는 速度次元(L/T)을 가지게 되는데 여기에서는 水路의 單位길이에 對하여 全斷面에서 흐르는 量으로 換算하여 cc/min의 單位로 取扱하였다. 이러한 滲透量은 時間에 따라서 어느 期間동안은 變化가 있게 되는 것이다.

滲透水가 水路의 潤邊面을 통하여 土壤속의 空隙을 채우고 重力에 의하여 아래로 흘러 갈 때 發生하는 滲透量의 變化는 크게 3個區間으로 分離할 수 있다. 卽 그림 III-1에서 보는 바와 같이 上昇部, 下降部, 定常部로 나누어 생각할 수 있다.

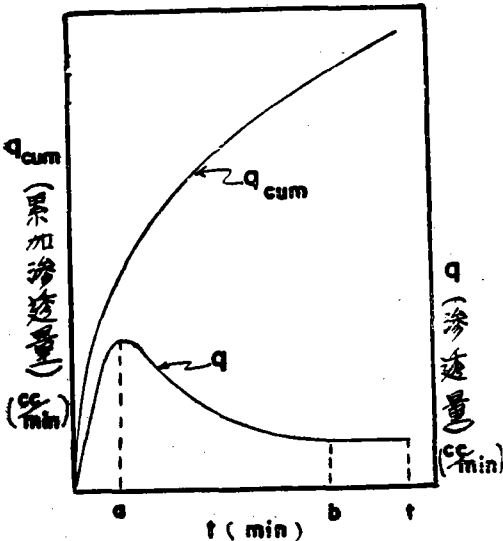


그림 III-1 時間에 對한 滲透量의 變化와 累加 滲透量

그림에서 $0 < t \leq a$ 上昇部

$a \leq t \leq b$ 下降部

$b \leq t \leq t$ 定常部

滲透量 曲線形은 土壤의 構造에 따라 달라지지만 一般形은 類似하다. 그래서 任意의 時間 a까지의 上昇區間을 上昇部라 하고 a~b區間을 下降部라 하고 b 以上의 時間에 對한 區間을 一定하다고 보아 定常部라 하였다. 一般的으로 水路에서 單位길이에 對한 滲透損失量을 一定한 값으로 보고 距離를 곱하여 總滲透損失量을 求하는 것이 常例이다.

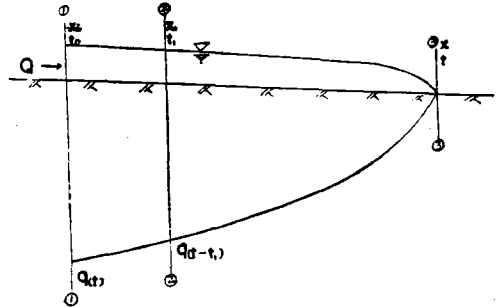


그림 III-2 水路에서의 滲透傾向

위의 그림 III-2에서 보는 바와 같이 滲透量은 時間에 따라 그 量이 變함을 알 수 있다. 어떤 한 地點에 對해서 생각하던 그 地點의 滲透量은 時間이 經過한 만큼 累加되어 가는 것이다.

그림 III-2에서 보면 ①-① 斷面에서의 滲透量은 任意의 時間 t일 때의 것이고 ②-② 斷面은 ①-① 斷面에서 t₁ 만큼 經過한 地點이므로 (t-t₁)에 該當하는 것이다.

따라서 ①-① 斷面和 ③-③ 斷面사이의 滲透量은 다음 式으로 求할 수 있다.

$$q_{inf} = \bar{q}_{cum} \cdot x \quad (III-3)$$

여기서 q_{inf} : 滲透量의 總和

\bar{q}_{cum} : 累加滲透量의 平均值

x: 任意의 時間이 經過한 때의 距離

$$\text{또 } \bar{q}_{cum} \cdot x = \int_0^x q_{cum} dx = \int_0^t q_{cum} \frac{\partial x}{\partial t} dt \quad (III-4)$$

로 되며

$$q_{cum} = \int_0^t q dt \quad (III-5)$$

로 나타낼 수 있다.

여기서 距離 x는 時間 t의 函數이므로

$$x = f(t) = ptr \quad (III-6)$$

로 놓을 수 있다.

그리고 q 의 값을 얻기 위하여는 3個區間으로 나누고 각계에 대한 時間關係를 얻어야 한다.

$$q = q_{(a)} + q_{(b)} + q_{(c)} \quad (II-7)$$

여기서 q ; 任意 時間의 滲透量(m^3/sec)

$q_{(a)}$; 上昇部に 屬하는 區間的 滲透量 (m^3/sec)

$q_{(b)}$; 下降部に 屬하는 區間的 滲透量 (m^3/sec)

$q_{(c)}$; 定常部に 屬하는 區間的 滲透量 (m^3/sec)

따라서 한 地點에서의 累加滲透量은 다음 式으로 求할 수 있다.

$$q_{cum} = \int_0^a q_{(a)} dt + \int_a^b q_{(b)} dt + \int_b^t q_{(c)} dt \quad (II-8)$$

2) 水深과 滲水量과의 關係

水路에서 물이 흘러 내려가면 여러가지 要因에 依하여 水頭가 낮아지게 되는 것이다. 어떤 地點에서의 滲透量은 水深과 密接한 關係를 갖고 있다. 그림 II-3에서와 같이 ① 斷面과 ② 斷面に 對해서 생각하면 ② 斷面の 滲透量은 ① 斷面の 水深에서 Δy 만큼 작아진 水深에 對한 滲透量이 일어 날 것이다. 水深의 變化量을 求하면 다음과 같다.

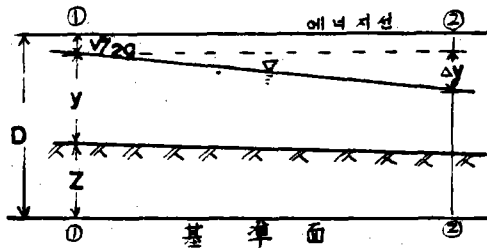


그림 II-3. 水路內에서의 水深變化

에너지식은

$$D = z + y + \frac{v^2}{2g} \quad (II-9)$$

여기서 D ; 全水頭

z ; 基準面에서 水路 바닥까지의 높이

y ; 水深

이다. 그러면 距離에 對한 變化는

$$\frac{dD}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{d(v^2/2g)}{dx}$$

로 되며

$$\text{여기서 } \frac{d(v^2/2g)}{dx} = \frac{d\left(\frac{Q^2}{2A^3g}\right)}{dx} = \frac{-2Q^2}{2gA^3} \frac{dA}{x}$$

$$= \frac{-v^2}{gA} \frac{dA}{dx}$$

$$\frac{dD}{dx} = -s, \quad \frac{dz}{dx} = -s_0 \text{ 라고 하면}$$

一般式은

$$\frac{dy}{dx} = \frac{s_0 - s}{1 - \frac{v^2}{gA}} \quad (II-10)$$

여기서 s_0 ; 水路傾斜

s ; 에너지傾斜

A ; 斷面積(m^2)

B ; 水面幅(m)

IV. 實驗方法

1. 實驗裝置

實驗은 서울大學校 農科大學 農工學科의 實驗室에서 實施하였으며 여기에 使用된 흙은 學校附近에 있는 水路堤體의 材料와 같은 性質의 것 即 sandy clay loam, loam을 擇하였으며 sand는 比較的 細粒인 것으로 滲透現狀을 觀察하는데 基準으로써 擇하였다. 여기에 使用된 土壤의 粒度分析은 表 IV-1과 같다. 또한 使用된 물은 學校에서 쓰고 있는 上水道用水로써 各 實驗裝置에 供給하였으며 이때의 水温은 19°C였고, 動粘性係數 $\nu = 0.0102 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 이 었다. 이러한 물은 模型斷面의 裝置에 있어서는 水道에서 直接 適當한 一定量을 調節하여 供給하고 또한 水深을 一定하게 維持되도록 定水位裝置를 設置하였다. 模型水路에 있어서는 實驗室의 2.3 m^3 容積水槽에서 1/2 HP의 揚水機를 利用하여 供給하였고, 減少된 물은 水道에서 水槽로 補充시켰다.

本 實驗은 크게 두가지로 나누어 模型實驗을 實施하였다. 그 하나는 그림 IV-1과 같이 水路斷面에서의 滲透量에 關한 實驗이고 다른 하나는 그림 IV-4 (a,b,c)와 같은 模型水路를 만들어서 물을 흘려 보낼 때의 滲透損失量을 測定하는 것이었다.

(1) 模型 斷面

i) 模型斷面을 만든 槽의 크기는 90cm×60cm×20cm로써 그림 IV-3(a~h)에서와 같이 水路의 半斷面을 만들었다. 이 때의 水路 바닥의 幅은 7.5cm로 하고 水路의 斜面傾斜는 1:1.5로써 一定하게 維持시켰으며 水路의 길이는 20cm로 하였다.

ii) 土壤의 種類는 sand, sandy clay loam, loam으로서 各계에 對해 實驗하였다.

iii) 土層의 두께 (水路底에서 부터 不透層까지)는 30cm와 40cm로 區分하여 各 土壤에 對한 滲透

表 IV-1 土壤粒度 分析 (通過率)

試料	체 의 크 기 (mm)									土壤種類	備 考
	2.0	1.0	0.5	0.25	0.20	0.10	0.05	0.02	0.002		
I	99.6	98.5	79.6	20.9	15.1	5.7	4.3	2.8	1.8	S	(1)
II	95.8	91.6	79.5	53.1	50.4	43.3	40.6	38.0	27.5	SCL	
III	92.5	87.1	80.1	72.2	71.3	67.8	67.1	52.2	24.3	L	
IV	92.7	87.6	80.1	72.3	71.5	68.5	67.5	52.6	24.2	L	(2)
V	91.2	86.5	79.4	71.8	71.0	67.9	65.3	52.0	24.3	L	

(1) 水路断面 (2) 模型水路

試驗을 하였다.

iv) sand에 대해서는 잉크를 흘린 流線의 幅에 따라 底面과 斜面에서 흘러 나오는 滲透量을 各各測定하였다. 그림 IV-3 (a, b, c, d) 參照.

v) 水深은 4가지로 區分하여 4, 6, 8과 10cm를 擇하여 實驗하였다.

vi) 滲透水量은 各 土層의 밑바닥에서 흘러 나오는 물을 알미늄용기에 받아서 그림 IV-2에서 보는 바와 같이 5kg와 200gr 짜리 저울 두 가지를 使用하여 測定하였다.

vii) 各 土壤에 對한 透水係數는 試料를 採取하여 農村振興廳 土壤課에서 試驗한 값으로 表IV-2와 같다.

表 IV-2 透 水 係 數

土 壤 區 分	sand		sandy clay loam		loam		水 路
	30cm	40cm	30cm	40cm	30cm	40cm	
土 層 의 두께							
透 水 係 數 (cc/min)	2.59	2.2	0.174	0.098	0.057	0.0393	0.2299

(2) 模型 水路

- i) 水路는 그림 IV-4(a, b, c)와같이 直線水路와 曲線水路에 對하여 實驗하였다.
- ii) 水路의 断面은 그림 IV-4(a)와 같이 一定한 断面을 維持시켰다.
- iii) 土壤은 loam 한 가지에 對하여 測定하고 土層은 35cm로 一定하게 維持시켰으며 水路의 기울기는 1/500로 하였다.
- iv) 水路의 浸蝕을 막기 爲하여 강철심을 얹게 裝하였다.



그림 IV-2. 滲透量 測定器具

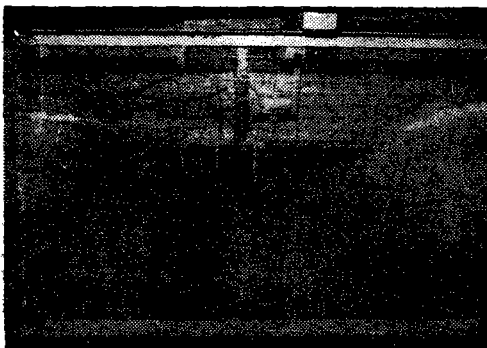


그림 IV-1. 模型断面(全断面의 例)

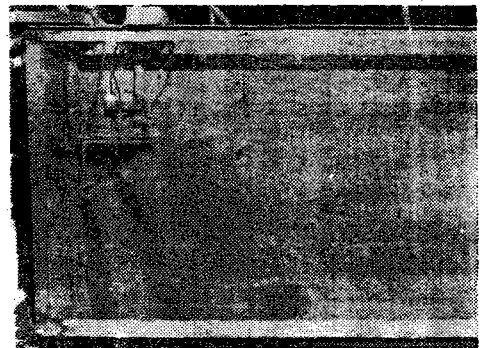


그림 IV-3. (a) sand의 두께 30cm이고 水深 10cm인 境遇

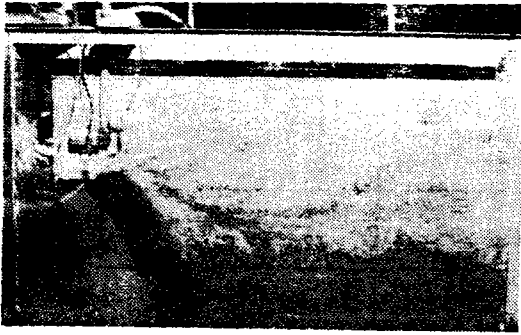


그림 IV-3(b) sand의 두께 30cm이고水深 4cm인境遇



그림 IV-3(e) sandy clay loam의 두께 30cm인境遇

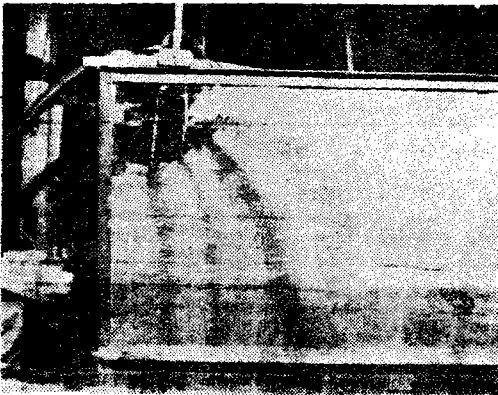


그림 IV-3(c) sand의 두께 40cm이고水深 10cm인境遇

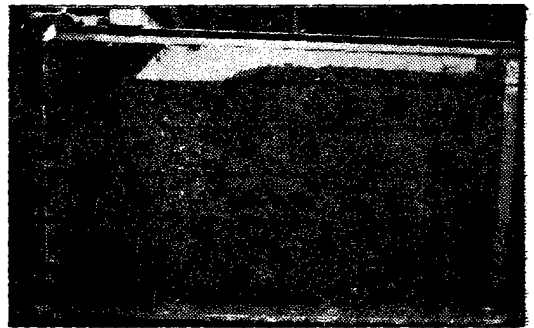


그림 IV-3(f) sand clay loam의 두께 40cm인境遇



그림 IV-3(d) sand의 두께 40cm이고水深 4cm인境遇



그림 IV-3(g) loam의 두께 30cm인境遇

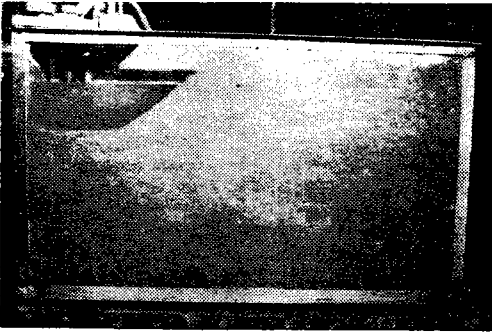


그림 IV-3(h) loam의 두께 40 cm인 邊境

- v) 流量의 測定은 0.577m³인 二個의 體積測定탱크로 測定하였다.
- vi) 水深은 7.3cm와 5.7cm로 流入口에 固定시키고 流量을 測定하였다.

vii) 水路內의 變水深測定은 尺을 썼으며 直線距離 1, 2, 4와 7m에서 曲線距離 1, 2, 4.1과 7.2cm에서 測定하였다.

(2) 實驗方法

① 模型 斷面

- i) 各 土壤과 各 水深에 따라 일어나는 滲透量과 時間 사이의 關係를 調査한다.
- ii) 滲透量이 一定하게 되는 時間을 추적한다.
- iii) 時間에 對한 滲透量加積曲線을 式으로 나타낸다.
- iv) 水路에서의 滲透量算定方法을 講究한다.

② 模型 水路

- i) 水路에서 水深의 變化와 滲透量과의 關係를 調査한다.
- ii) 같은 條件 아래에서 直線水路와 曲線水路의 滲透損失量을 比較한다.

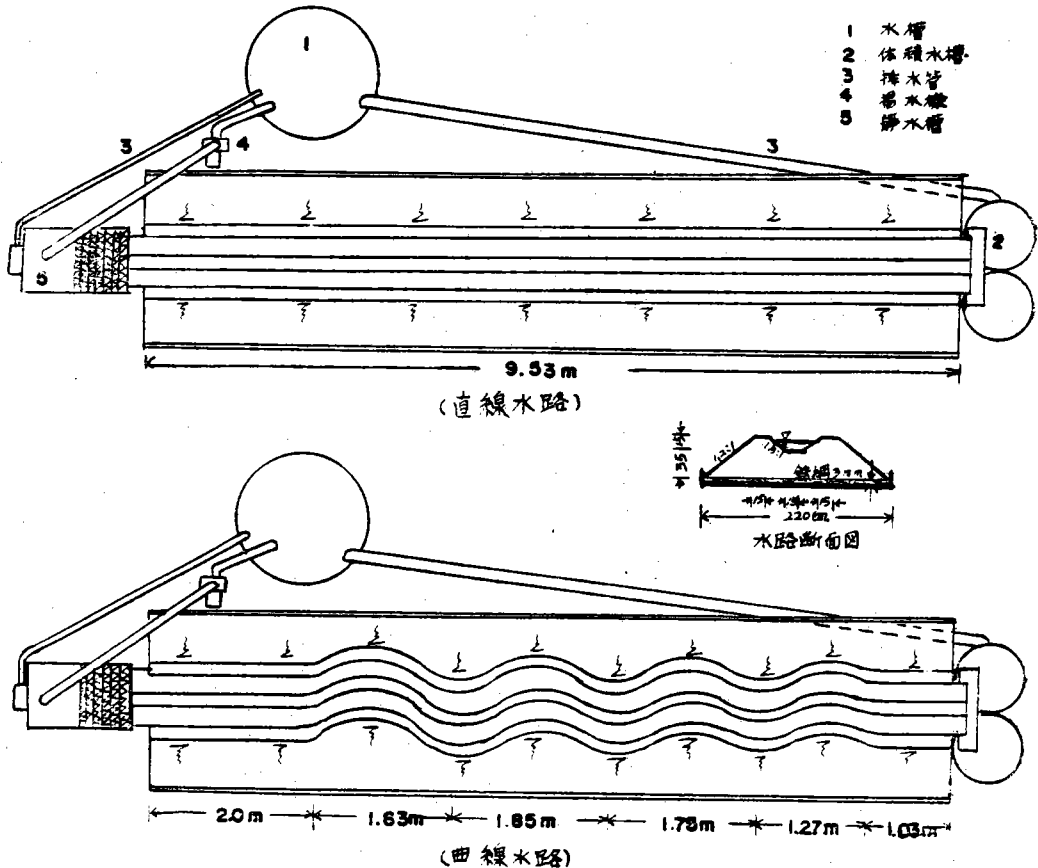


그림 IV-4(a) 水路平面圖

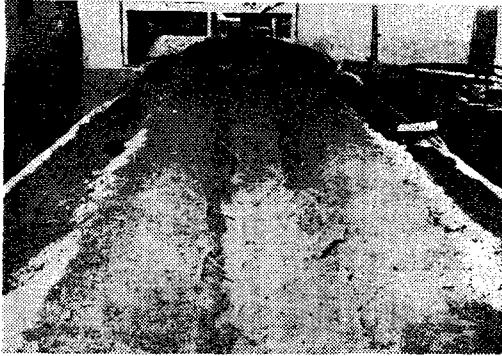


그림 IV-4(b) 直線水路

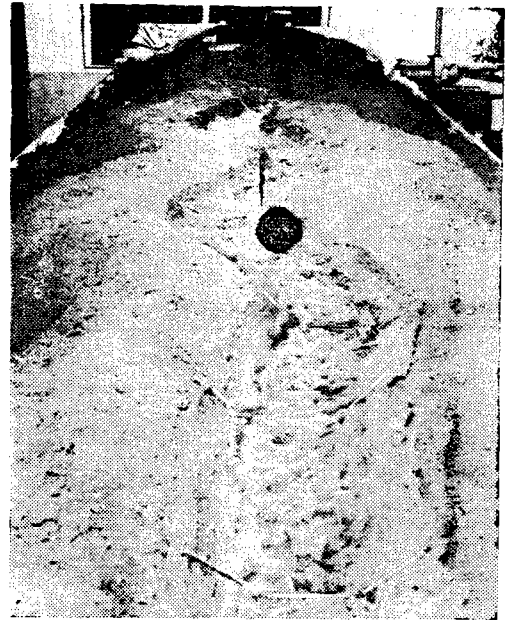


그림 IV-4(c) 曲線水路

V. 結果 및 考察

1. 模型斷面

(1) 水深과 滲透量

各土壤에 對하여 滲透量이 一定하게 된 以後에 20回의 測定에서 얻은 平均値를 取하였다. 測定値는 附錄表-1과 같으며 그 平均値는 表 V-1과 같다.

表 V-1 全幅에 對한 單位 길이當 滲透量(cc/min)

土壤의 種類	土層의 厚 (cm)	水 深 (cm)			
		10	8	6	4
sand	30	175.27*	146.36	125.37	108.89
	40	148.92	131.76	104.85	89.07
sandy clay loam	30	12.02	10.03	8.39	6.51
	40	6.69	5.85	4.6	3.64
loam	30	4.59	3.80	3.22	2.5
	40	2.7	2.35	1.9	1.5

위의 表 V-1의 값은 半斷面을 完全斷面으로 換算하고 그 길이를 單位 길이로 換算한 것이다. 例를 들면 *표의 값은 半斷面을 全斷面으로 하고 水路 길이 20cm를 나누어 주면 다음과 같이

$$\frac{2 \times 1752.7}{20} = 175.27 \text{ 이 된다. 위의 表에서 測定值}$$

에 對하여 Muskat의 式 II-9와 그림 II-8로부터 $\frac{B}{H}$ 와 $\frac{T}{H}$ 의 값에 對한 $\frac{q}{kH}$ 를 얻어서 q 를 計算하여 比較해 보면 다음과 같다.

表 V-2 Muskat 公式에 依한 滲透量(cc/min)

土壤의 種類	土層의 厚 (cm)	水 深 (cm)			
		10	8	6	4
sand	30	175.3	146.26	125.69	97.51
	40	148.8	132.0	104.82	81.53
sandy clay loam	30	11.77	9.83	8.44	6.55
	40	6.63	5.88	4.67	3.63
loam	30	4.53	3.78	3.25	2.52
	40	2.66	2.36	1.87	1.46

위 表의 計算値가 表 V-1의 測定値와 거의 비슷한 값임을 볼 수 있다.

(2) 土層別 滲透量

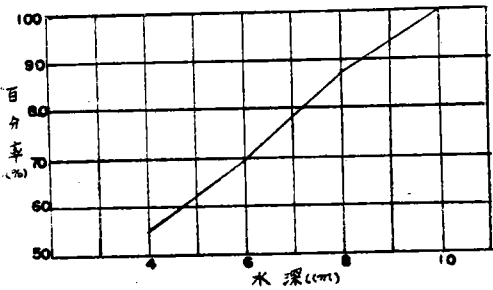
各土壤의 土層別 滲透量을 水深 10cm를 基準하여 그 比率를 보면 다음 表 V-3과 같다.

表 V-3 土層別 滲透量의 變化率

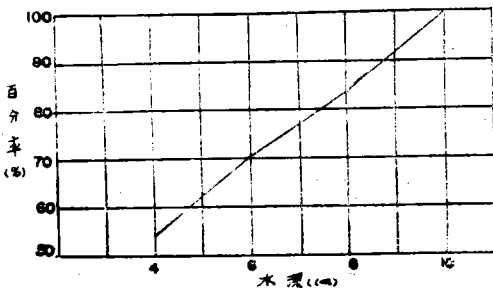
土壤의 種類	土層의 厚 (cm)	水 深 (cm)			
		10	8	6	4
I	30	1.00	0.835	0.715	0.621
	30	1.00	0.834	0.698	0.542
	30	1.00	0.832	0.702	0.545
II	40	1.00	0.885	0.704	0.598
	40	1.00	0.874	0.668	0.544
	40	1.00	0.870	0.704	0.556

表 V-3에서 I; sand
 II; sandy clay loam
 III; loam

위의 表에서 보면 sand의 各 土層의 4cm 水深에 對한 滲透量은 다른 土壤에 對한 값과 比較하여 多少 增加하고 있다. 이는 水深을 固定시키기 爲한 靜水裝置의 吸入으로 因한 水面의 變動이 모래인 水路 傾斜面을 變形시키는 것이 原因인 것 같다. 換言하면 斷面積이 增加하기 때문인 듯 하다. 따라서 特異한 sand의 水深 4cm인 境遇를 除外하고 다른 모든 값을 土層別로 묶어 그 平均値를 그림으로 나타내면 다음 그림 V-1과 같다.



(a) 土層의 두께 30cm 境遇



(b) 土層의 두께 40cm 境遇

그림 V-1. 水深에 對한 滲透量의 比率

위의 그림에서 보면 滲透率의 比가 一定하지는 않다. 그러나 水深 8cm인 境遇를 除外하고서는 增加率이 비슷하게 나타난다.

(3) 水路의 底面과 斜面의 滲透量

그림 IV-3(a,c)에서 보는 바와 같이 sand의 對해

서단 調査하였으리 水深이 10cm와 8cm일 때 土層의 두께 30cm와 40cm에 對하여 各各 比較 測定하였다. 底面과 斜面의 滲透量은 表 V-4와 같다.

表 V-4. 滲透量의 比較(cc/min)

水深(cm) 水路面 土層(cm)	10		8	
	底面	斜面	底面	斜面
30	505.1	1,247.6	451.75	1,011.85
40	378.8	1,110.4	364.0	953.6

이 表의 값들을 써서 水路 底面과 斜面의 滲透量의 比率를 計算한 값은 表 V-5와 같다.

表 V-5. 滲透量의 比率

水深(cm) 水路面 土層(cm)	10		8	
	底面	斜面	底面	斜面
30	1	2.47	1	2.24
40	1	2.93	1	2.62

이 表에서 水深 8cm와 10cm의 各各에 對한 斜面 滲透率의 比는 30cm 土層일 때 1;1.1이고 40cm 土層일 때 1;1.12로 비슷한 傾向을 보이며 30cm 土層과 40cm 土層에서의 값의 差는 浸潤線의 支配面積의 差에서 오는 것 같다. 이것은 滲透量을 滲透強度에 依하여 求한다는 것과는 相反된 傾向을 보여 주고 있다. 여기에 對해서는 土層의 變化에 따라 더 많은 調査가 必要할 것 같다. 水路斷面에서 底面과 斜面의 境界點의 流線은 水深이 增加함에 따라 그 幅이 좁아지고 水深이 낮아지면 反對로 그 幅이 넓어짐을 그림 IV-3(a,b,c,d)에서 볼 수 있다.

(4) 滲透量의 時間的 變化

滲透가 始作되면서 부터 그 量의 變化를 調査한 값은 附錄 表-3에서 보는 바와 같이 初期에 急激히 增加하다가 어떤 時間이 지나면 徐徐히 下降하기 始作한다. 그래서 어느 時間이 經過하면 滲透量이 一定하게 되는 것이다. 이러한 下降部의 變化는 對數紙와 半對數紙上에서 直線으로 나타났으므로 이 直線의 式을 最少自乘法를 適用하여 各 水深(H)에 對해 다음과 같이 求하였다.

i) sand

sand에서는 對數紙上에 그린 그래프가 直線的으로 變하였으리 그리 一般式은

$$q(b) = c \cdot t^{0.2}$$

이다.

여기서 $q(b)$; 下降部의 滲透量(cc/min)

t; 時間(min)

C₁, C₂; 常數

① 土層의 두께 30cm 일 때

土層의 두께 30cm 일 때의 滲透量의 結果는 表 V-6과 그림 V-2와 같다.

表 V-6.

H(cm)	C ₁	C ₂
10	2.453	-0.0854
8	2.389	-0.0894
6	2.2466	-0.05273
4	2.1868	-0.0549

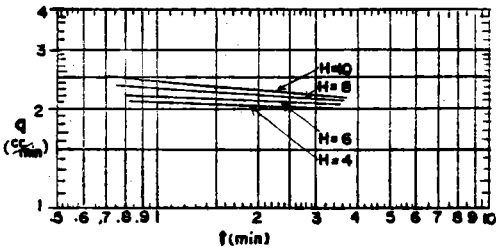


그림 V-2.

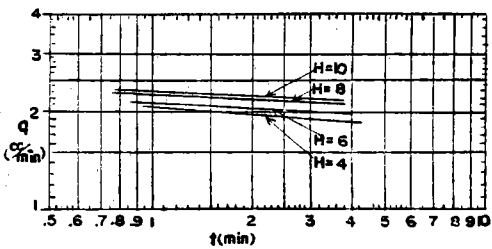


그림 V-3.

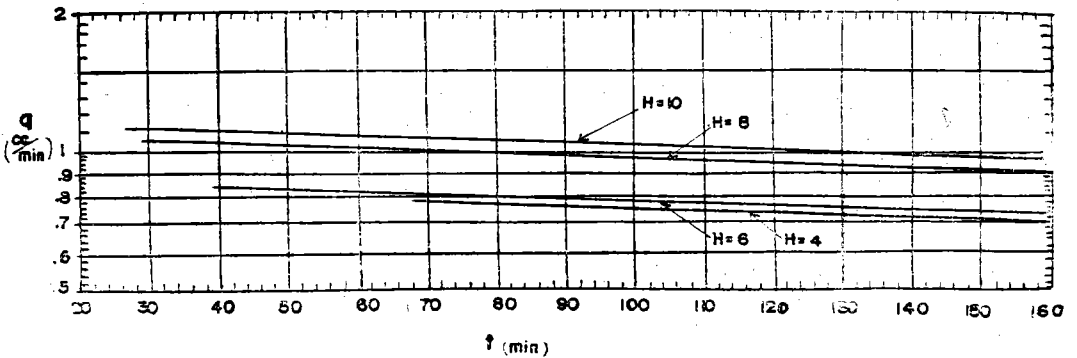


그림 V-4.

② 土層의 두께 40cm 일 때

土層의 두께 40cm 일 때의 滲透量은 表 V-7과 그림 V-3과 같다.

表 V-7.

H(cm)	C ₁	C ₂
10	2.392	-0.0807
8	2.3549	-0.0868
6	2.166	-0.0533
4	2.2116	-0.01139

ii) sandy clay loam의 境遇

여기서는 土層의 두께 40cm에 대해서만 測定하였다. 그 값은 半對數紙上에 그린 그래프에서 直線으로 나타났고 그의 一般式은

$$\log q_{(t)} = c_1 + c_2 t$$

이다.

그 結果는 表 V-8과 그림 V-4와 같다.

表 V-8.

H(cm)	C ₁	C ₂
10	1.1478	-0.00108
8	1.0889	-0.00117
6	0.8711	-0.00085
4	0.8888	-0.0012

iii) loam

滲透量의 變化가 半對數紙上에 그린 그래프에서 直線으로 나타났으며 그의 一般式은 sandy clay loam 土壤의 境遇와 같다.

① 土層의 두께 30cm인 境遇

土層의 두께 30cm의 境遇에 對한 結果는 表 V-9와 그림 V-5와 같다.

表 V-9.

H(cm)	C ₁	C ₂
10	0.9299	-0.0008
8	0.8986	-0.0011
6	0.6874	-0.00069
4	0.5885	-0.00046

② 土層의 두께 40cm 의 境遇

여기에서는 水深 10cm 에 對해서만 調査하였는데 그 結果는 表 V-10과 그림 V-6과 같다.

表 V-10.

H(cm)	C ₁	C ₂
10	0.8438	-0.001375

이들 여러 關係式으로부터 滲透量이 一定하게 되

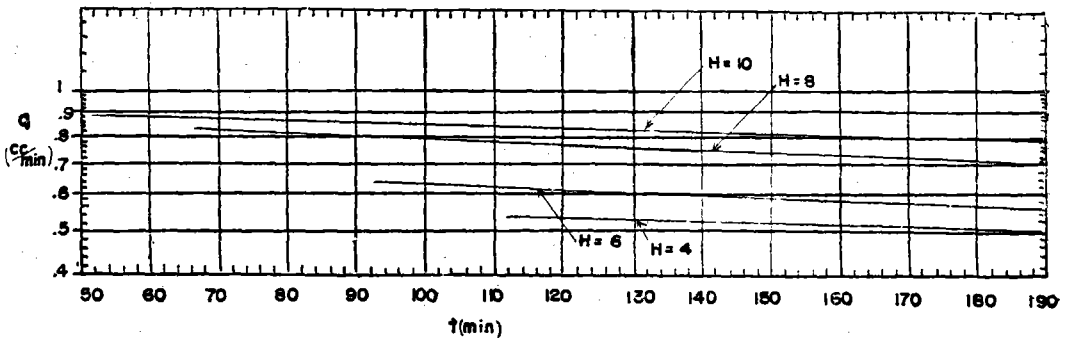
는 時間을 推定할 수가 있다. 그 값은 다음 表와 같은데 이 값은 相對的일 수는 없다. 그 理由는 마지막 下降部에 있어서는 變化量이 매우 微小하므로 所要時間이 길어지기 때문이다. 따라서 全體的인 累加量에 있어서 그 量은 매우 적으므로 無視하면 다음과 같이 위의 式으로부터 얻을 수 있다.

iv) sand 의 境遇

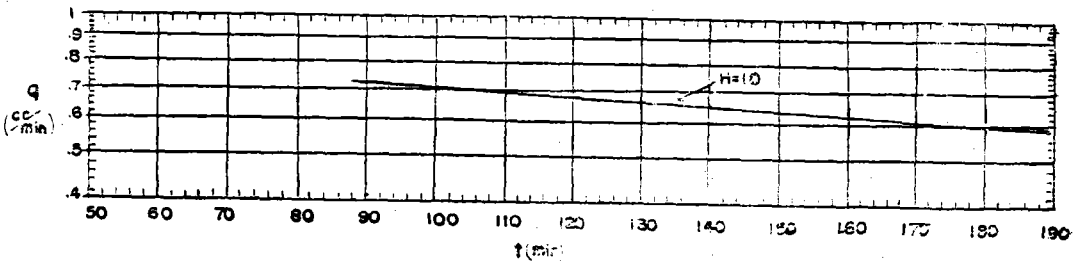
① 土層의 두께 30cm 일 때

表 V-11.

H (cm)	一定滲透量 (cc/min)	安定時間 (min)
10	175.27	370.0
8	146.36	318.4
6	125.37	231.6
4	108.89	202.6



그 립 V-5.



그 립 V-6.

② 土層의 두께 40cm 일 때

表 V-12.

H (cm)	一定滲透量 (cc/min)	安定時間(min)
10	148.92	517.9
3	131.76	512.3
6	104.85	507.0
4	89.07	198.7

v) sandy clay loam 의境遇

① 土層의 두께 40cm 일 때

表 V-13.

H (cm)	一定滲透量 (cc/min)	安定時間(min)
10	6.69	297.9
8	5.85	274.8
6	4.60	243.5
4	3.64	267.3

vi) loam 의境遇

① 土層의 두께 30cm 일 때

表 V-14.

H (cm)	一定滲透量 (cc/min)	安定時間(min)
10	45.9	324.8
8	3.8	286.9
6	3.22	258.9
4	2.5	411.4

② 土層의 두께 40cm 일 때

水深 10cm 에 대해보면 滲透量이 2.7cc/min 일 때 299.8분이나 所要된다.

全體的으로 一定滲透量이 되는에 所要되는 時間은 水深이 높은 境遇에 많으며 이것은 水量이 많은데서 줄어지기 때문인것 같다. 이 값들이 아주 正確한 下降部 終點의 時刻이라고는 말할 수 없으며 大體의인 傾向을 볼 수 있고, 또한 이 實驗에서는 土壤에 따라 다르지만 9時間以內에는 一定滲透量이 되지 않는다고 볼 수 있다. 또 下降部가 始作되는 時間은 上昇部와 下降部의 두 식을 滿足하는 때의 t를 求하여 얻을 수 있다.

(5) 上昇部의 時間에 對한 滲透量

上昇部의 滲透量은 半對數紙上에서 曲線의으로 變하므로 各 水深(H)에 對하여 다음과 같은 一般式을 最少自乘法에 依하여 얻었다.

$$\log q(a) = C_3 + C_4 t + C_5 t^2$$

여기서 $q(a)$; 上昇部에서의 滲透量(cc/min)

t; 時間(min)

C_3, C_4, C_5 ; 常數

i) sand 의境遇

① 土層의 두께 30cm 일 때

土層의 두께 30cm 일 때는 表 V-15와 그림 V-7과 같은 結果를 얻었다.

表 V-15.

H(cm)	C_3	C_4	C_5
10	-0.0017	1.2689	-0.1579
8	-	1.23285	-0.1538
6	-0.0014	0.7508	-0.06233
4	-0.009	0.7272	-0.06022

② 土層의 두께 40cm 일 때

土層의 두께 40cm 일 때는 表 V-16과 그림 V-8에서와 같다.

表 V-16.

H(cm)	C_3	C_4	C_5
10	-0.00054	0.67139	-0.04413
8	-0.09492	0.45441	-0.02179
6	-0.00298	0.43766	-0.020728
4	0.2193	0.306476	-0.01128

ii) sandy clay loam 의境遇

① 土層의 두께 40cm 일 때

土層의 두께 40cm 일 때의 變化는 다음 表 V-17과 그림 V-9에서와 같다.

表 V-17.

H(cm)	C_3	C_4	C_5
10	-0.05987	0.09729	-0.001973
8	-0.2205	0.08359	-0.001349
6	-0.2904	0.05606	-0.006837
4	-0.2875	0.04234	-0.000395

iii) loam 의境遇

① 土層의 두께 30cm 일 때

土層의 두께 30cm 일 때는 表 V-18과 그림 V-11과 같다.

表 V-18.

H(cm)	C_3	C_4	C_5
10	-0.0569	0.05342	-0.0007
8	-0.1016	0.03493	-0.000324
6	-0.1930	0.1882	-0.0001
4	-0.19676	0.1365	-0.00628

◎ 土壤의 두께 40cm 일 때
 土壤의 두께 40cm 일 때 表 V-19와 그림 V-10과 같다.

表 V-19.

H(cm)	C ₁	C ₂	C ₃
10	-0.5168	0.30389	-0.018

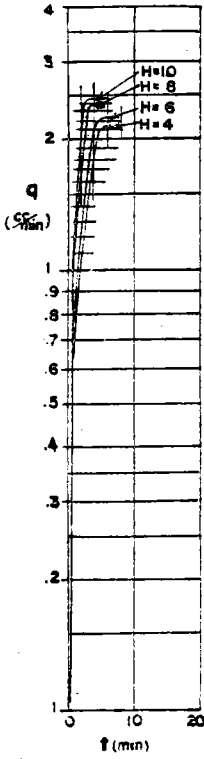


그림 V-7.

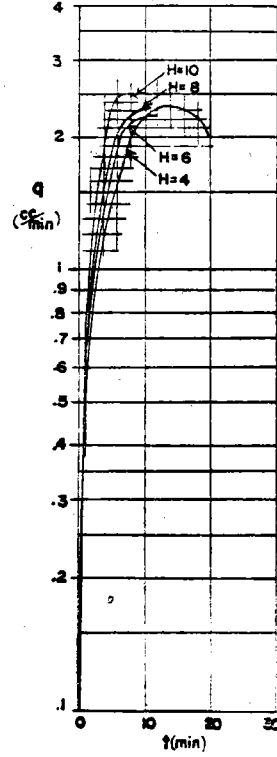


그림 V-8.

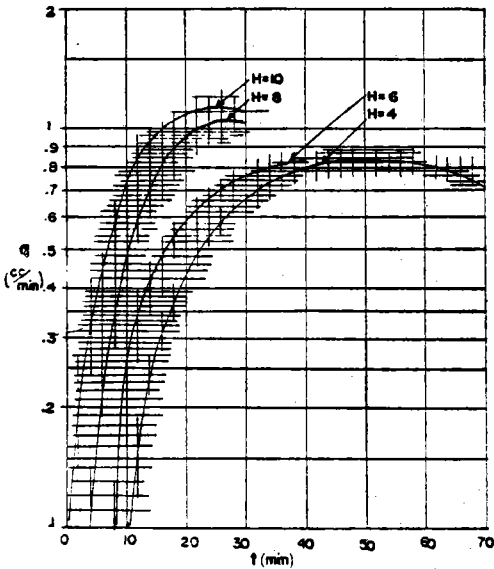


그림 V-9.

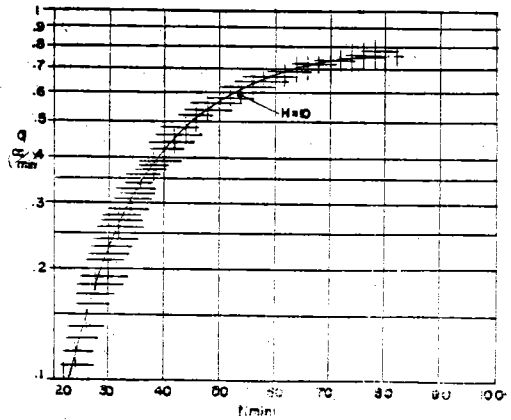


그림 V-10.

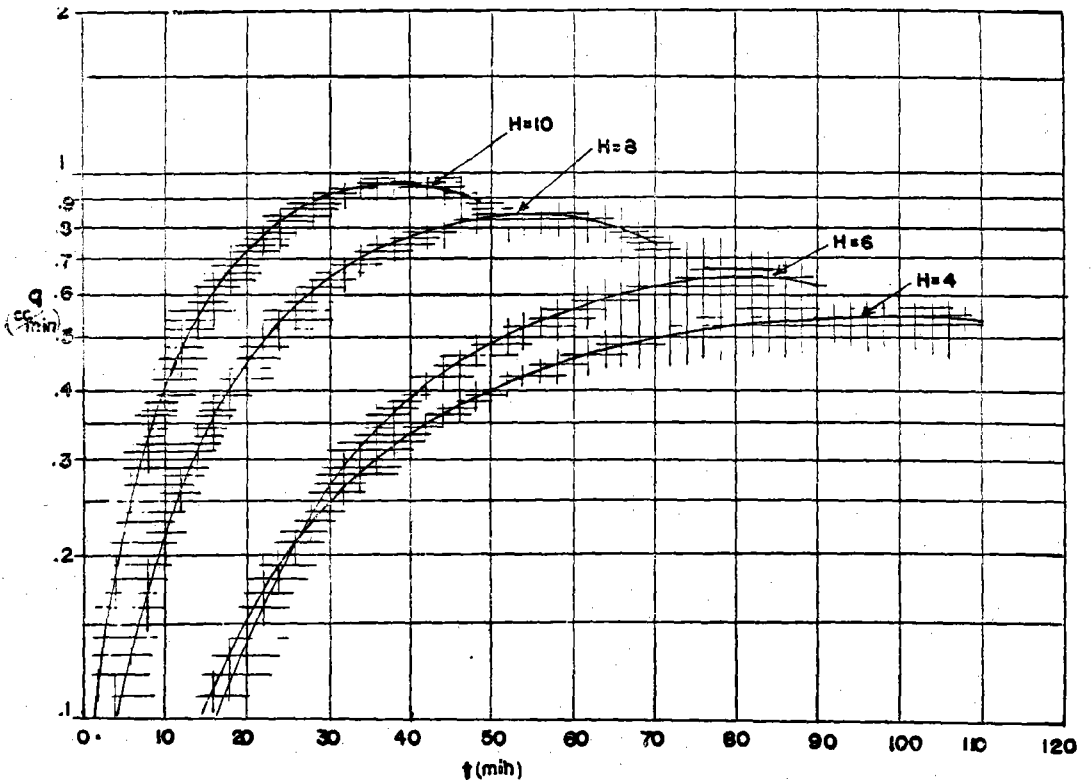


그림 V-11.

(6) 滲透가 一定한 部分의 滲透量

滲透量이 一定하게 維持되면서 滲透할 境遇에는 時間에 對해서 一定하므로 그의 一般式은

$$q_{(c)} = C_c$$

이다.

여기서 $q_{(c)}$; 定常部의 滲透量(cc/min)

C_c ; 常數

이에 對하여 各 土壤別로 보면

i) sand의 境遇

① 土壤의 두께 30cm 일 때

表 V-20.

H(cm)	C_c
10	175.27
8	146.36
6	125.37
4	108.89

② 土壤의 두께 40cm 일 때

表 V-21.

H(cm)	C_c
10	148.92
8	131.72
6	104.85
4	89.07

ii) sandy clay loam

① 土壤의 두께 40cm인 境遇

表 V-22.

H(cm)	C_c
10	6.69
8	5.85
6	4.60
4	3.64

iii) loam

① 土壤의 두께 30cm인 境遇

表 V-23.

H(cm)	C_c
10	4.59
8	3.8
6	3.22
4	2.5

② 土壤의 두께 40cm인 境遇

表 V-24.

H(cm)	C_c
10	2.7

(7) 水路內의 累加滲透量

滲透量에 대한 式들로 부터 다음과 같은 累加滲透量의 式을 얻을 수가 있고 이것을 利用하여 水路內에서의 滲透損失量을 求할 수 있다. 이들 各 式들을 綜合하면 表-25와 같다.

表 V-25.

土壤種類	土層두께 (cm)	水深 (cm)	累 加 滲 透 量
sand	30	10	$q_{cum} = \int_0^6 q_{(a)} dt + \int_6^{870} q_{(b)} dt + \int_870^t q_{(c)} dt$
		8	$q_{cum} = \int_0^8 q_{(a)} dt + \int_8^{820} q_{(b)} dt + \int_820^t q_{(c)} dt$
		6	$q_{cum} = \int_0^7 q_{(a)} dt + \int_7^{240} q_{(b)} dt + \int_240^t q_{(c)} dt$
		4	$q_{cum} = \int_0^7 q_{(a)} dt + \int_7^{210} q_{(b)} dt + \int_210^t q_{(c)} dt$
sand	40	10	$q_{cum} = \int_0^{10} q_{(a)} dt + \int_{10}^{520} q_{(b)} dt + \int_{520}^t q_{(c)} dt$
		8	$q_{cum} = \int_0^{15} q_{(a)} dt + \int_{15}^{520} q_{(b)} dt + \int_{520}^t q_{(c)} dt$
		6	$q_{cum} = \int_0^{15} q_{(a)} dt + \int_{15}^{510} q_{(b)} dt + \int_{510}^t q_{(c)} dt$
		4	$q_{cum} = \int_0^{20} q_{(a)} dt + \int_{20}^{200} q_{(b)} dt + \int_{200}^t q_{(c)} dt$
sandy clay loam	40	10	$q_{cum} = \int_0^{28} q_{(a)} dt + \int_{28}^{800} q_{(b)} dt + \int_{800}^t q_{(c)} dt$
		8	$q_{cum} = \int_0^{85} q_{(a)} dt + \int_{85}^{280} q_{(b)} dt + \int_{280}^t q_{(c)} dt$
		6	$q_{cum} = \int_0^{45} q_{(a)} dt + \int_{45}^{250} q_{(b)} dt + \int_{250}^t q_{(c)} dt$
		4	$q_{cum} = \int_0^{70} q_{(a)} dt + \int_{70}^{270} q_{(b)} dt + \int_{270}^t q_{(c)} dt$
loam	30	10	$q_{cum} = \int_0^{55} q_{(a)} dt + \int_{55}^{850} q_{(b)} dt + \int_{850}^t q_{(c)} dt$
		8	$q_{cum} = \int_0^{70} q_{(a)} dt + \int_{70}^{290} q_{(b)} dt + \int_{290}^t q_{(c)} dt$
		6	$q_{cum} = \int_0^{100} q_{(a)} dt + \int_{100}^{280} q_{(b)} dt + \int_{280}^t q_{(c)} dt$
		4	$q_{cum} = \int_0^{120} q_{(a)} dt + \int_{120}^{420} q_{(b)} dt + \int_{420}^t q_{(c)} dt$
loam	40	10	$q_{cum} = \int_0^{80} q_{(a)} dt + \int_{80}^{800} q_{(b)} dt + \int_{800}^t q_{(c)} dt$

以上の各土壤에 對한 全滲透量을 보면 水深이 달라지면 滲透量이 크게 다르게 나타난다. 그러나 一般水路에서는 水深의 變化가 적은 等流라고 보면 全水路에서의 滲透損失量은

$$\bar{q}_{cum} \cdot x = \int_0^t q_{cum} \frac{\partial x}{\partial t} dt$$

로 求할 수 있을 것이다. 그러나 水深이 甚하게 變하는 水路에 있어서는 滲透量이 上昇區間과 下降區間을 지나서는 常數의 값에 따라 量이 增加되므로 兩斷面에서의 各各의 累加滲透量의 平均에 그 區間の 距離를 곱하여 얻는 것이 좋다.

$$\text{即 } \bar{q}_{cum} \cdot x = x \cdot \frac{\int_0^t q_0 dt + \int_0^{(t-t_1)} q_1 dt}{2}$$

$$= \frac{x}{2} \left[\int_0^t q_0 dt + \int_0^{(t-t_1)} q_1 dt \right]$$

2. 模型水路

水路에서 水深을 固定시키고 물을 흘려 보내서 滲透量을 調査하였던 바 다음과 같은 結果를 얻었다.

(1) 水路內的 滲透量

水深은 兩 가지로 나누어서 調査한 것인 바 平均値가 다음 表 V-26에 실려 있고 附錄 表-4에 實測値가 실려 있다. 또 이 實測値는 滲透量이 一定하여지는 時間 即 물이 흐르기 始作한지 8時間後에 測定한 것이다.

表 V-26.

滲透損失量

水路區分	水深(cm)	流速(cm/sec)	入口流量(l/sec)	出口流量(l/sec)	滲透損失量(l/sec)	II-9式에 의한 값(l/sec)
直線水路	7.3	10.27	1.947	1.746	0.201	0.2038
	5.7	9.0	1.212	1.0528	0.1592	0.1683
曲線水路	7.3	9.9	1.8761	1.6566	0.2195	0.21
	5.7	8.65	1.1882	1.0072	0.181	0.180

위의 表에서 直線水路의 길이는 9.53m 이었고, 曲線水路의 길이는 10.15m 이었다. 直線水路에서 水深 7.3cm 일 때는 平均 1m 당 21cc/sec 로 滲透하고 水深 5.7cm 일 때는 16.7cc/sec 로 滲透된다. 曲線水路에서는 水深 7.3cm 일 때는 21.63cc/sec 이고, 水深 5.7cm 일 때는 17.83cc/sec 로 滲透됨을 알 수 있다. Muskat 의 II-9식과 그림 II-3에 의하여 값에 대해 보면 水深 7.3cm 일 때 21.385cc/sec 이고, 水深 5.7cm 일 때 17.66cc/sec 가 된다. 即 滲透量의 값이 近似的으로 같음을 볼 수 있다.

直線水路와 曲線水路의 滲透損失量의 對比는 水深 7.3cm 일 때 1.030으로, 水深 5.7cm 일 때는 1.068 의 比로서 曲線水路의 滲透損失量이 많다.

(2) 水路內에서의 水深

水路에서 水深의 變化量은 자(尺)를 써서 測定하였으 며 자는 $\frac{1}{64}$ in. 눈금으로 되어 있으며 그 讀值는 表 V-27(a)와 같다.

表 V-27(a) 水深變化

① 直線水路 (單位: cm)

距離(cm)	100	200	400	700
水深(cm)				
7.3	7.141	6.983	6.665	6.189
5.7	5.531	5.363	5.025	4.519

② 曲線水路

距離(cm)	100	200	410	720
水深(cm)				
7.3	7.181	7.062	6.812	6.443
5.7	5.561	5.422	5.131	4.700

이 實驗水路에 對하여 水深變化量 公式에 依하여 求한 값은 表 V-27(b)와 같다. 이들 값은 다음과 같이 계산하여 얻었다. 水路바닥에 간 강철솜(steel wool)의 두께가 平均 5mm 로 되었으므로 이터의 粗度係數는

$$n = \frac{R^{1/8}}{21.9 \log\left(\frac{12.2 \times R}{k}\right)}$$

여기서 n; 粗度係數
R; 徑深(ft)
k; 粗度高(ft)

式으로 求하면 水深이 7.3cm 일 때

$$n = \frac{(0.15086)^{1/8}}{21.9 \log\left(\frac{12.2 \times 0.15086}{0.016405}\right)} = 0.01625$$

이고, 같은 방법으로 水深이 5.7cm 일 때 $n=0.0164$ 이다. manning 公式으로부터 s를 求하면 直線水路에서 7.3cm 水深일 때

$$s = \frac{n^2 v^2}{R^{4/3}} = \frac{(0.01625)^2 (10.27)^2}{(4.598)^{4/3}} = 0.00364$$

이다. 또 $A=189.435\text{cm}^2$, $B=36.9\text{cm}$, $s=0.00364$ $v=10.27\text{cm/sec}$ 일 때의 水深의 變化量은 다음과 같이 求한다.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{s_0 - s}{1 - \frac{v^2 B}{gA}} = \frac{0.002 - 0.00364}{1 - \frac{(10.27)^2 \times 36.9}{980 \times 189.435}} = -0.00168$$

表 V-27(b) 計算으로 求한 水深 變化量

水路種類	水深(cm)	s	dy/dx
直線水路	7.3	0.00364	0.00168
	5.7	0.0037	0.00174
曲線水路	7.3	0.00339	0.00141
	5.7	0.00358	0.00161

(3) 時間과 流下距離

水路에서 流下距離와 時間사이의 關係는 다음 表 V-28과 같다.

表 V-28 流下距離와 時間

① 直線水路 (單位: sec)

距離(cm)	100	200	400	700
水深(cm)				
7.3	8.2	16.4	33.2	58.6
5.7	9.4	18.8	37.8	65.2

② 曲線水路 (單位; sec)

距離(cm)	100	200	410	720
水深(cm)				
7.3	8.5	17.0	35.2	61.9
5.7	9.5	19.1	39.3	69.1

위의 表에서 距離가 멀어질수록 時間이 길어짐을 볼 수 있다. 流下距離와 時間과의 關係를 對數紙上에 그리면 그림 V-12와 같이 直線에 가까우므로 對數를 取하여 最小自乘法에 依해 求하였으며 水深(H)에 對한 값은 表 V-29와 같다. 이의 一般式은 다음과 같다.

$$x = ptr$$

여기서 x: 流下距離(cm)

t: 流下時間(sec)

p, r: 常數

表 V-29 流下時間과 距離

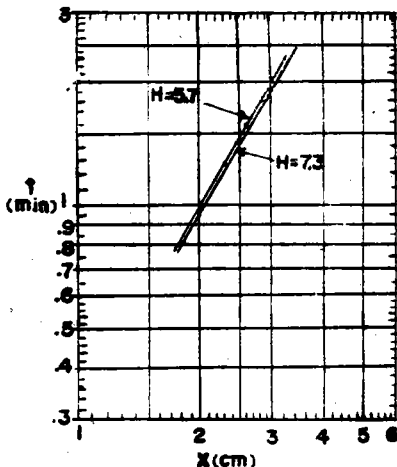
1) 直線水路

H(cm)	p	r
7.3	-1.09765	0.9889
5.7	-1.0306	0.9964

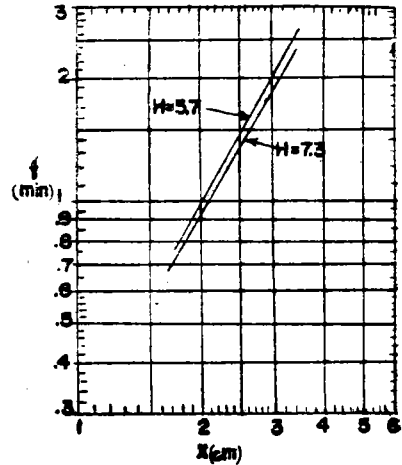
2) 曲線水路

H(cm)	p	r
7.3	-1.07725	0.9934
5.7	-1.0269	0.9948

위의 값에 依하여 주어진 時間에 對한 流下距離를 求할 수 있다.



(a) 直線水路



(b) 曲線水路
그림 V-12.

VI. 結 論

水路의 滲透損失量을 測定하기 爲하여 模型斷面과 模型水路를 만들어 實驗을 하였다. 模型斷面에서는 土層을 30cm와 40cm 두 가지의 두께로 나누고, 土壤은 sand, sandy clay loam, loam 등을 使用하였으며 또 水深은 4cm, 6cm, 8cm와 10cm를 擇하였다. 다음에 模型水路에서는 水路의 線形을 直線과 曲線으로 擇하여 滲透損失量을 測定하였는데 이 때의 水深은 7.3cm와 5.7cm로 固定시켰다.

이러한 實驗에서 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 水路의 한 地點에 對한 單位 길이에서의 累加 滲透損失量은 時間에 따라 다르며 또 水深에 따라 다르다. 이에 對한 一般式은 다음과 같다. (表 V-25 參照)

$$\bar{q}_{cum} = \int_0^a q_{(a)} dt + \int_a^b q_{(b)} dt + \int_b^c q_{(c)} dt$$

2. 水路內에서의 水深의 變化가 적은 境遇는 다음과 같은 一般式으로 全滲透量을 算定할 수 있다.

$$\bar{q}_{cum} \cdot x = \int_0^t q_{cum} \frac{\partial x}{\partial t} dt$$

3. 水路內에서 水深의 變化가 크게 일어날 때는 水深에 따라 滲透量의 變化가 다르므로 水深을 考慮한 算定法을 써야 할 것이다.

4. 水路에서 時間과 流下距離와의 關係는 水深이 낮을 수록 流下時間이 길어짐을 보여 주고, 다음과 같은 一般式으로 나타낼 수 있다. (表 V-29 參照)

$$x = ptr$$

5. 直線과 曲線水路의 滲透損失量의 比는 水深이 7.3cm일 때에 1:1.03 이고, 水深이 5.7cm일 때

1 : 1.068로 나타났다.

6. 水路斷面の 滲透에 있어서 各 土層別로 底面과 斜面의 滲透量을 水深 8cm와 10cm에 對해서 比較하여 보면 다음과 같다.(表 V-5 參照)

土層의 두께가 30cm일 때 滲透量의 比는 各各 1 : 2.24, 1 : 2.47로 되었고, 土層의 두께가 40cm일 때 滲透量의 比는 各各 1 : 2.62, 1 : 2.93으로 되었다.

參 考 文 獻

1. Amer, A.M., "Eliminating Waterlogging Caused by Canal Seepage," A.S.C.E., Vol. 92, No. IR2, pp. 33-46, 1966.
2. Baumann, P. "Ground water Movement Controlled through Spreading," Trans. of A.S.C.E., Vol. 117, Paper No. 2525, pp. 1024-1074, 1952.
3. Bouwer, H., "Theoretical Aspects of Unsaturated Flow in Drainage and Subirrigation," A.S.A.E., Vol. 40, No. 7, pp. 395-400, 1959.
4. Childs, E.C., "Soil Water Phenomena," Wiley-Interscience Publication.
5. Chow, V.T., "Open Channel Hydraulics," McGraw-Hill Book Co.
6. Chu, S.T. and Hustrulid, A., "Numerical Solution of Diffusion Equations," Trans. of A.S.A.E., Vol. 11, No. 5, pp. 705-708, 1968.
7. Collins, D. L. and Bassett, D. L., "Terminal Profile of Water Flowing Over a Porous Bed having Constant Infiltration," Trans. of A.S.A.E., Vol. 7, No. 4, pp. 475-477, 1964.
8. Davis, C.V., "Handbook of Applied Hydraulics," McGraw-Hill Book Co. 2nd ed. pp. 415-427.
9. Follansbee, R., "Evaporation from Reservoir Surfaces," A.S.C.E., Vol. 59, No. 2, pp. 221-268, 1933.
10. Fortier, S. and Scobey, F.D., "Permissible Canal Velocities," A.S.C.E., Vol. 51, p. 1401, 1925.
11. Frevert, R.K. and others, "Soil water Conservation Engineering," John Willey Sons, Inc.
12. Grassi, C.J., "Infiltration Characteristics of Furrow Irrigation In a Heavy-Textured Soil." 1972.

13. Harr, M.E., "Ground water and Seepage," McGraw-Hill Book Company, pp. 231-248.
14. Hendricks, E.L., "Surface Water Supply for Irrigation in the Vermilion River Basin, Louisiana," A.S.C.E., Supper No. 489, pp.1-20, 1954.
15. Hopson, E.G., "The Economic Aspect of Seepage and Other Losses in Irrigation System," Trans. of A.S.C.E., Vol. 76, No. 1, pp. 336-340, 1931.
16. Hornberger, G. M., "Unsteady Free Surface Ground Water Seepage," A.S.C.E., Vol. 98, No. HY3, p. 579, 1972.
17. Hunt, B.W., "Seepage from Shallow Open Channel," A.S.C.E., Vol. 98, No. Hy5, pp. 779-789, 1972.
18. Israelsen, O.W., "Irrigation Principles and Practices," Willy-Interscience Publication, 1950.
19. Jansen, R.B., Surface Curves for Steady Non-uniform Flow," Trans. of A.S.C.E., Vol. 117, Paper No. 2527, pp. 1091-1120, 1952.
20. King, H.W., "Handbook of Hydraulics," McGraw-Hill Book Co.
21. Kirkham, D. and Power, W.L., "Advanced Soil Physics," Wiley-Interscience Publication.
22. Krimgold, D.B. and Beenhouwer, O., "Estimating Infiltration," A.S.A.E., Vol. 35, No. 10, pp. 719-725, 1954.
23. Kruger, W.E. and Bassett, D.L., "Unsteady Flow of Water over a Porous Bed having Constant Infiltration," Trans. of A.S.A.E., Vol. 8, No. 1, pp. 60-62, 1965.
24. Liakopoulous, A.C., "Darcy's Coefficient of Permeability as a Symmetric Tensor of Second Rank," Trans. of A.S.A.E., Vol. 8, No.2, pp. 60-62, 1965.
25. Liakopoulous, A.C., "Derivation of Differential Equation Governing Simultaneous Flow of Liquids and Gases through Porous Media," Trans. of A.S.A.E., Vol. 8, No. 2, pp. 210-215, 1965.
26. Morel-Seytoux, "Domain Variation in Channel Seepage Flow," A.S.C.E., Vol. 90, No. Hy2, pp. 55-79, 1964.
27. Muskat, M., "The Flow of Homogeneous Fluids

- through Porous Media," McGraw-Hill Book Co., 1946.
28. Myers, L.E., "Flow Regimes in Surface Irrigation," A.S.A.E., Vol. 40, No. 11, pp. 676-677, 682-683, 1959.
 29. Nimr, A. E. and Street, R.L., "Seepage from Trenches through Nonhomogeneous Soils," A. S.C.E., Vol. 98, No. IRI, pp. 13-23, 1972.
 30. Parshall, R. L., "Experiments to Determine Rate of Evaporation from Saturated Soils and River-Bed Sand," A.S.C.E., Vol. 55, No. 4, p. 843, 1929.
 31. Rasmussen, W.W. and Lauritzen, C. W., "Measuring Seepage from Irrigation Canals," A. S. A. E. Vol. 34, No.5, pp. 326-329, 1953.
 32. Robinson, A. R. and Rohwer, C., "Measurement of Canal Seepage," Trans. of A.S.C.E., Vol. 122, Paper No. 2865, pp. 347-373, 1957.
 33. Roe, H.B., "Moisture Requirements in Agriculture," McGraw-Hill Book Co., pp. 72-106, 1950.
 34. Russell, M.B., "Movement of Water in Soils," A.S.A.E., Vol. 35, No. 11, pp. 808-810, 1954.
 35. Schreiber, D. L., and Bassett, D.L., "Hydraulic Description of Recession of Shallow Flow over a Porous Bed," Trans. of A.S.A.E., Vol. 10, No. 1, pp. 54-56, 1967.
 36. Scott, V.H., "Prefabricated Linings for Irrigation Ditches," A.S.A.E., Vol.37, No. 2, pp. 113-116, 1946.
 37. Stout, O.V.P., "Measurement of Seepage Losses in Canals," Trans. of A.S.A.E., Vol. 17, No. 1, pp. 157-163, 1923.
 38. Teele, R.P., "The Work of the Office of Experiment Stations of the U. S. Dept. of Agriculture in Agricultural Engineering Lines" Trans. of A.S.A.E., Vol. 1, No. 1, p. 63, 1957.
 39. Tolman, C.F. and Stipp, A.C., "Analysis of Legal Concepts of Subflow and Percolating Water," Trans. of A.S.C.E., Vol. 67, No. 8, pp. 882-895, 1941.
 40. Verma. R.D. and Brusaert, W., "Unsteady Free Surface Ground Water Seepage," A.S.C.E., Vol. 97, No. Hy8, pp. 1213-1229, 1971.
 41. Whitney, J.D. and Porterfield, J.G., "Moisture Movement in a Porous Hygroscopic Solid," Trans. of A.S.A.E., Vol. 11, No. 5, pp. 716-719, 1968.
 42. Yoshida, S., "Fundamental Equations of the Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media," Trans. of A.E.S.J., No. 1, pp. 19-26, 1960.
 43. 農工試驗所; 水路의 水利設計 技術圖書 63號 pp. 10~20.
 44. 農林部; 農地改良事業 設計基準 (灌溉編) pp. 98~111.
 45. 閔丙燮, 外5人; 農業水利學, 鄉文社, 1971.
 46. 狩野德太郎; 灌溉排水, 養賢堂, 1964.
 47. 安守漢, 崔榮博; 水理學, 文運堂, 1964.
 48. 劉漢烈, 崔榮博; 大學水理學, 光林社, 1965.
 49. 李昌九; 農業工學, 富民文化社, 1962.