

# 필댐 堤體心壁의 斷面變化에 대한 浸透流解析에 관한 實驗的 研究

Experiment on Seepage in Varied Section of Core Wall for Fill Dam Design

秦	柄	益*
Jin,	Byung	Ik
金	在	弘**
Kim,	Jae	Hong

## Abstract

This thesis, intended to establish the design criteria of core wall of a Fill Dam, has determined after a series of twenty one analytic experiments on the seepage flows in various types of core wall that the rates of rise and fall of the seepage flow changing in accordance with the variation of core wall cross section, which is to say, the transformation of slope inclination. Particularly the appropriate design inclination was examined for the sloped core wall.

Putting the resulting values into the existing approximate theoretical function has revealed the volume of theoretical seepage flows. With this result, the experiment values was compared and interestingly enough, a theoretical formula was found which is considered to be the nearest one to the resulting values of the experiment.

It is also discussed in the papers that the seepage alignment and flows in the sloped core wall section that inclined to the upstream and the adoptability of the theoretical function which has been known up to present.

Based on the above mentioned study it is anticipated that thesis should be available for determination of the cross section in the core wall design of a Fill Dam as large amount of references as it can be.

## 要 旨

本論文은 필댐에 있어서 最適心壁 設計의 基準이 될수 있도록 21개의 心壁模型別 浸透流 解析에 대한 實驗을 實施하여 傾斜面의 기울기 變化로 浸透流量의 增減率에 대해서 규명하였고, 특히 傾斜心壁에서의 適定 設計傾斜를 찾아 보았다.

그리고 現在까지 發表된 近似理論式에 實驗値를 代入하여 理論浸透流量을 求하고 實驗値와 比較 研究하였으며, 檢討結果 實驗値에 가장 가까운 理論公式도 찾았다.

또한 上流로 기울어진 傾斜心壁에서의 浸潤線形과 流出點에 대해서도 考察하고 現在까지 發表된 理論式의 適合有無도 檢討하였다.

以上을 研究하여 필댐의 心壁設計時 最適斷面決定을 위한 보다많은 資料를 提示하고자 하였다.

\*正會員·漢陽大學校 工科學 教授, 土木工學科

\*\*正會員·漢陽大學校 大學院 博士課程

## 1. 序 論

필댐 堤體內 또는 基礎地盤內的 浸透수가 許容漏水量的 範圍안에서 될 수 있는 대로 浸潤線을 낮추어 堤體下流側으로 排出되도록 調整해야 한다.

許容浸透량은 貯水池의 目的에 따라 다르지만 灌溉用 댐에서는 貯水量的 0.05%/日 以下를 標準으로 하는데 必要에 따라서는 다른 方法을 併用할 수도 있다<sup>(1)</sup>.

浸水現象을 解析하는 目的은 對象領域內的 水頭 浸透流量, 浸出面의 크기, 浸出點의 位置, 浸透水の 流速分布 및 浸透水壓 等を 求하는 것으로 생각할 수 있다. 이것은 領域의 形態, 境界條件이나 初期條件에 달려있지만 問題가 주어졌을 때 그 境界條件이 數式이나 數值模型, 또는 實驗模型에 어떻게 再現되는가 하는 것이 그 解의 正밀도를 決定하게 된다.

그러나 흙은 不規則한 間隙의 構造를 갖고있기 때문에 正確한 解를 求하는 것은 어렵다고 判斷된다. 따라서 浸潤線의 決定은 浸透流 解析의 가장 重要한 要素로서 設計時의 假定條件과 施工後의 結果가 잘 一致할 수 있도록 實驗과 理論의 綿密한 分析 研究 檢討가 있어야 하겠다.

本 論文에서는 浸透流 現象을 實驗의 으로 研究하기 위하여 心壁의 斜面 傾斜度에 따라 21 形態의 sand model에 의한 室內實驗을 實施하여 필댐心壁의 機能을 보다 效果의 으로 發揮할 수 있는지의 與否에 대한 研究를 하여 實驗結果를 中心으로 檢討를 하였다. 實驗資料를 分析 整理하여 얻은 各 模型別 浸透流量과 浸潤線形狀을 既發表된 여러가지式과 比較檢討 하였으며 특히 心壁 傾斜度에 따라 變化되는 浸透流量, 浸潤線의 形狀 그리고 各 模型別 最適 傾斜度 等を 分析 하는데 力點을 두었다.

필댐의 各種 心壁型에 대한 浸透流量은 既發表된 式 中央心壁과 傾斜心壁에 대해 實驗結果值과 比較 分析하여 各 模型에 대한 水位別 및 上下流面 傾斜와 浸透流量과의 相關關係를 究明하였고 實驗模型에 대한 流入點 및 流出點의 浸潤

線形狀은 實驗을 通하여 分析하였다.

## 2. 浸透流 解析理論

一般的으로 堤體內의 浸透流 現象은 貯水位나 境界條件 等の 變化에 따라서 定常浸透流와 非定常浸透流로 區分할 수 있으며 貯水位가 長期間에 걸쳐 一定水位를 維持하고 있는 境遇가 많으므로 이것을 定常浸透流로 보고 解析할 수 있다.

浸透流의 解析 方法에는 理論的方法, 圖解法 및 實驗的方法들로 分類할 수 있다. 理論의 解法은 흙의 透水性和 境界條件 等の 여러 假定을 根據로 하여 結果를 誘導함으로써 實際와는 잘 符合되지 않는 境遇가 많다. 한편 大部分의 實驗에 의한 結果도 몇個의 假定下에서 얻어진 것이므로 正確하다고 할 수는 없으나 構造與件 및 種類, 假定條件, 因子 및 方法 等으로 여러 實驗方式이 있으나 그들 中 가장 近似한 方法을 採擇하여 使用하고 있다.

흙속의 浸透流 問題는 흙의 種類, 흐름의 狀態, 境界條件 等の 基本事項들을 包含하여 解析하는 것으로서<sup>(2)</sup> 現在까지 發表된 浸透理論에 관한 研究에 대해서 調査해보면 貯水池水面의 水位變動이 거의 없다고 볼 수 있는 필댐 堤體內에 浸透流와 같은 定常的인 浸透水の 흐름에는 D. Forchheimer를 비롯하여 Schocklitsch<sup>(3)</sup>, Schafferdak<sup>(4)</sup>, Iterson, Pavlousky 等の 研究가 있었다.

이들은 어느 것이나 浸潤線形과 浸透流量을 求하는 公式을 Darcy의 理論<sup>(5)</sup>으로부터 유도한 것으로 近似式이라고 할 수 있다. 그리고 半理論式에는 浸潤線形이나 浸透線長을 圖式的으로 구하여 이것을 理論式에 넣어 算定하는 것으로, Dachler<sup>(6)</sup>와 Casagrande<sup>(6)</sup>의 方法 등이 잘 쓰여지고 있다.

특히 흙속을 흐르는 浸透水에 대해서는 Muskat<sup>(7)</sup>, Forchheimer, Darcy 등이 一般的인 水理學中에서 이문제를 가장 상세히 취급하고 있으며, 이 밖에도 Tunker<sup>(6)</sup>, Baver<sup>(8)</sup>, Terzaghi<sup>(9)</sup>, Todd, 및 Uginchus 等の 研究가 있었다.

Darcy는 1856년에 地下水의 運動法則을 發見

한 것과 거의 같은 時期에 필덤內에서 浸潤線의 位置를 決定하는 問題가 다루어지기 始作했다.

1863 年에 Dupuit<sup>(10)</sup>는 不透水性 境界上에 있는 矩形斷面에 관한 浸透流研究에서 等水頭線이 境界面에 鉛直이고, 動水傾斜가 一定하며 浸潤線傾斜와 같다는 假定下에 自由水面에 대한 拋物線을 얻었다.

그리고 實驗의 研究로서는 모래를 使用하여 築造한 模型埴에 대한 研究가 1933 年 Keutner<sup>(11)</sup>에 의하여 實施되었고, 電氣相似 模型實驗은 1933 年의 Vreedenburgh<sup>(13)</sup>와 1936 年의 Stevens<sup>(12)</sup> 및 1935 年의 Wyckoff 와 Reed 의 研究가 有名하며 Hele-shaw<sup>(14)</sup>는 粘性流體를 使用하여 模型實驗을 하였다.

이와 같이 浸透流解析에 관한 研究는 1930 年頃부터 活潑히 進行되기 始作했고 1950 年頃부터는 새로운 數學的 解析方法들이 開發되어 1962 年 Polubarino-Kochina<sup>(15)</sup>는 1942 年 Numerov<sup>(10)</sup>가 開發한 浸潤線의 解를 說明하였으며, Shankin 은 Numerov 의 解를 利用하여 浸潤線과 浸透水量을 計算하였다.

1968 年 Jeppson<sup>(16)</sup>는 complex potential 平面에서 흙埴의 浸透流問題를 公式化하였으며, 1941 年 Southwell 은 relaxation 方法을 工學的 問題에 應用한 後 Finnemore 는 自由水面의 位置를 決定하는데 이 方法을 使用하였다.

上記와 같이 心壁內의 浸潤線形狀과 浸透流量에 대하여는 Kozeny<sup>(17)</sup>, Schaffernak, Iterson, Casagrande 등이 浸潤線이 拋物線이라는 가정으로 研究되었고, Forchheimer, Schmied 등은 矩形斷面인 경우에 대하여 또 傾斜斷面인 경우 Dachler, Pavlovsky, Casagrande, Schoklitsch, L. Casagrande, 福田秀夫<sup>(18)</sup>, 秦柄益<sup>(19)</sup> 申芳雄<sup>(20)</sup>, 權武男<sup>(21)</sup>에 의하여 研究 되었으며 더욱이 電子計算機에 의한 計算技術의 發達과 함께 最近에는 有限要素法을 利用하여 境界條件이 複雜한 浸透流 問題도 解析하여 좋은 結果를 얻고 있다.

### 3. 浸透流量 適用 近似 理論式

필덤의 心壁과 같이 遮水를 目的으로 하는 斷

面의 機能은 浸透流量을 될 수 있는대로 적게하여 遮水의 效果를 充分히 發揮하는데 있다.

이를 위하여 各種心壁型을 設置하여 上, 下流 傾斜面을 變化하였을 때의 浸潤線形狀과 浸透流量을 測定하여 理論値와 比較檢討하였다. 그 結果 傾斜面 變形에 따른 浸透流量 減少 程度를 實驗과 理論式에 의해서 確認할 수 있었다.

Darcy 의 公式을 適用한 浸透量 近似理論式에 는 다음의 方法이 있다.

R. Dachler 法<sup>(19)</sup>

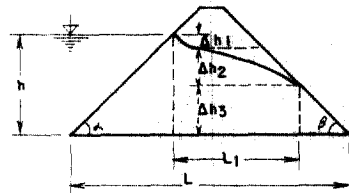


그림 3.1. R. Dachler's seepage line

$$q = k \Delta h_1 (1.12 + 1.93 \tan \alpha) \quad (3.1)$$

$$q = k \Delta h_2 \frac{\Delta h_2 + 2 \Delta h_3}{2 L_1} \quad (3.2)$$

$$q = k \Delta h_3 \frac{\sin^2 \beta}{2} \quad (3.3)$$

$$h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 \quad (3.4)$$

여기서  $q$ : 單位幅에 대한 浸透流量

$k$ : 透水係數

上記式 3.1~3.4 의 方程式을 同時에 滿足하는  $q$  를 求하면 된다.

Pavlovsky 法<sup>(10)</sup>

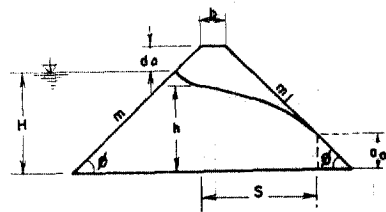


그림 3.2. Pavlovsky's seepage line

$$q = k \frac{H - d_0 - h}{m} \log_e \frac{H}{H - h} \quad (3.5)$$

$$q = k \frac{h^2 - a_0^2}{2s} \quad (3.6)$$

$$q = k \frac{a_0}{m_1} \quad (3.7)$$

$$s = b + m_1 (H - a_0) \quad (3.8)$$

上記 方程式을 同時に 滿足하는  $q$  를 求한다.

A. Casagrande 法

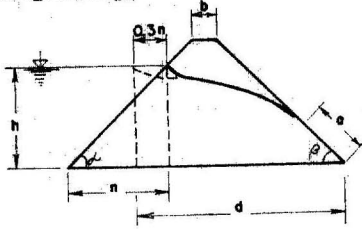


그림 3.3. A Casagrande's seepage line

$$q = k \frac{h^2 - (a \sin \beta)^2}{2d'} \quad (3.9)$$

但,  $d' = d - \frac{1}{2} a \cos \beta$

$$a = \sqrt{h^2 - d^2} - \sqrt{d^2 - h^2 \cot^2 \beta}$$

簡略式  $q = ks = k(\sqrt{h^2 + d^2} - d)$  (3.10)

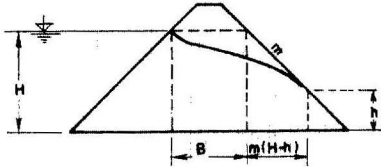


그림 3.4. Schoklitsch's seepage line

$$q = \frac{k(H^2 - h^2)}{2\{B + m(H-h)\}} \quad (3.11)$$

$$h = H + \frac{B}{m} - \sqrt{\left(H + \frac{B}{m}\right)^2 - H^2}$$

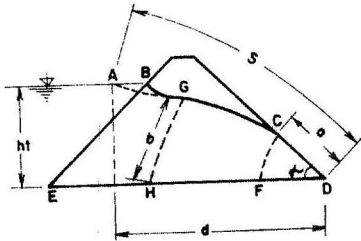


그림 3.5. L. Casagrande's seepage line.

$$q = ki_{av}(GH) = k \left(-\frac{dz}{ds}\right) z = ka \sin^2 \beta \quad (3.12)$$

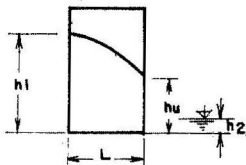


그림 3.6. Forchheimer's seepage line

但,  $a = \sqrt{d^2 + H^2} - \sqrt{d^2 - H^2 \cot^2 \beta}$

$$q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l} \quad (3.13)$$

$q = k(\sqrt{l^2 + h_1^2} - l) = kh_u$ , 流線을 拋物線으로 假定한 경우

$q = \frac{kh_1^2}{2l}$ , 流線이 水平에 가깝다고 假定한 경우

$$q = k \frac{dy}{ds} A \quad (3.14)^{(6)}$$

$$dy = H - \frac{h_1}{2}$$

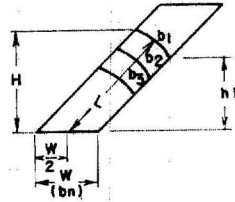


그림 3.7. Fukuta's method for parallel section

$$d_s = \frac{1}{2}(b + W \sin \theta)$$

$A = \frac{H + h_1}{2} \cdot \frac{1}{\sin \theta}$  을 各各 (3.14)式에 代

入하면 다음과 같다.

$$q = \frac{k \left(H - \frac{h_1}{2}\right)}{\left(\frac{b + W \sin \theta}{2}\right)} \left(\frac{H + h_1}{2} \cdot \frac{1}{\sin \theta}\right) = k \frac{(2H - h_1)(H + h_1)}{2 \sin \theta (b + W \sin \theta)} \quad (3.15)$$

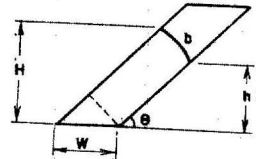


그림 3.8. Jin's method for parallel section

$$d_y = H - \frac{h_1}{2}$$

$$d_s = \frac{1}{n}(b_1 + b_2 + \dots + b_n)$$

$A = L \times 1$  을 (3.15)式에 代入하면

$$q = k \frac{\left(H - \frac{h_1}{2}\right) \cdot L}{\frac{1}{n}(b_1 + b_2 + \dots + b_n)} = k \frac{nL(2H - h_1)}{2(b_1 + b_2 + \dots + b_n)} \quad (3.16)$$

上流部에서 浸透流量을 求하는 近似理論式

a) Pavlovsky

$$q = k \frac{H_d - d_0 - h}{m_1} \cdot \log_e \frac{H_d}{H_d - h} \quad (3.17)$$

$q$ : 單位幅에 대한 浸透流量

$k$ : 透水係數

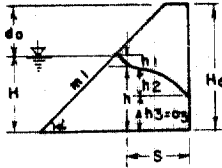


그림 3.9. Core wall of prototypes(1)

b) Dachler

$$q = k \Delta_1 (1.12 + 1.93 \tan \alpha) \quad (3.18)$$

c) Mikhailov

$$q = k \frac{H^2 - h^2}{2 \Delta \beta H} \quad (3.19)$$

$$\Delta \beta = \frac{1}{2 + \frac{1}{m_1}}$$

d) 秦의 式

$$q = k \frac{1}{m_1} \Delta h_1 \quad (3.20)$$

中央部에서 浸透流量을 求하는 理論式

a) Pavlovsky

$$q = k \frac{h^2 - a_0^2}{2s} \quad (3.21)$$

b) Dachler

$$q = k \Delta h_2 \frac{\Delta h_2 + \Delta h_3}{2s} \quad (3.22)$$

下流部에서 浸透流量을 求하는 理論式

a) Pavlovsky

$$q = k \frac{1}{m_2} h_0 \quad (3.23)$$

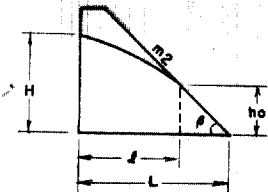


그림 3.10. Core wall of prototypes(2)

b) Dachler

$$q = \frac{\sin^2 \beta}{2} h_0 \quad (3.24)$$

c) A. Casagrande

$$q = k \cdot \sin \beta h_0 \quad (3.25)$$

d) Mikhailov

$$q = k \frac{4}{a m_2 + 6 - a} h_0 \quad (3.26)$$

$$m_2 > 1 \text{ 일때 } a = 4$$

$$m_2 < 1 \text{ 일때 } a = 3$$

e) 秦의 式

$$q = k \frac{a}{m_2} h_0 \quad (3.27)$$

$$a = \frac{5}{6} m_2 + \frac{1}{3}$$

(3.27)式에서  $a$ 를 代入하면

$$q = k \frac{5 m_2 + 2}{6 m_2} h_0 \quad (3.28)$$

#### 4. 實驗 및 研究方法

心壁模型을 設置하는 水槽는 그림 4.1과 같으며 形狀은 184 cm × 61 cm × 30 cm, 두께는 2 mm의 鋼板으로 만들고, 前面에 두께 10 mm의 유리板을 붙여서 浸透流現象을 볼 수 있도록 제작하였다. 유리板에는 10 cm 格子間隔으로 눈금을 그어 측정하기에 편리하도록 하였으며 水位調節用 排水孔(cock)을 水位 20 cm 위로 5 cm 間隔으로 5 個를 設置하였다.

背面에는 potential 測定用 pezometer를 5 cm × 5 cm 또는 10 cm × 10 cm 間隔으로 100 個를 設置하여 其中 94 個에  $\phi$  5 mm의 비닐관으로 連結 別도 유리관으로 제작된 水位板에서 읽을 수 있도록 하였다.

傾斜가 완만한 模型實驗에서는 模型保護用 支持臺를 角木으로 제작 사용하고 模型材料의 流失을 防止하기 위해 가는 鐵網을 使用하였다(사진 4.1~4.3 參照)

心壁材料는 모래를 使用하고 모래의 粒度分布는 表 4.1과 같으며 分布度는 粒徑加積曲線에 나타낸 것과 같다.

透水係數는 定水位透水試驗에 의해서 求한  $k = 4.30 \times 10^{-2}$  cm/sec 이다(그림 4.2 參照).

實驗方法으로서는

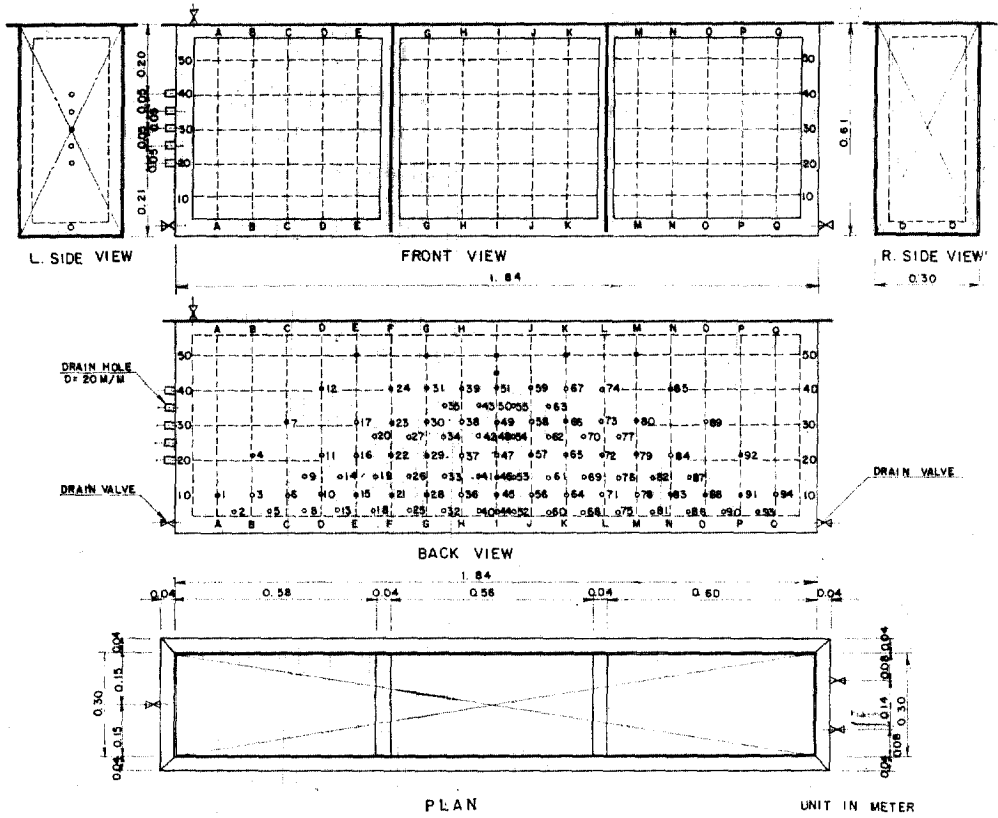


그림 4.1. 水槽一般圖



사진 4.1. Genral view of experimental apparatus

中央心壁型 및 傾斜心壁型의 여러가지 形態에 대하여 浸透流를 實驗的으로 浸潤線과 浸透流量을 觀測하여 既存研究와 比較檢討할 수 있도록 하기 위하여 上流面 水位를 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm, 40 cm, 경우에 대한 浸潤線 및 浸透流量

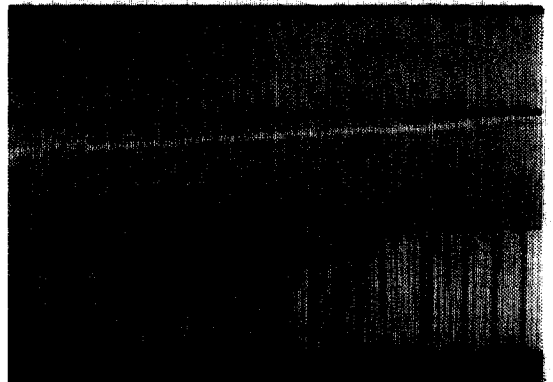


사진 4.2. Stand pipes panel for potential potential 等を 測定하였다.

測定用 色素는 물의 比重에 가까운 과당간산 카리(K Mn O<sub>4</sub>)를 使用하였으며 前面 유리판에 接하는 點으로부터 色素를 注入시켜 浸潤線形을 觀測하였다. 浸透流量은 心壁內의 水位와 透水量

表 4.1. 시료채분석시험 결과

채 번호	채에서 남은 시료의 무게	통과 시료 무게 (g)	통과 시료 백분율 (%)
# 4	— (g)	80.45	100.00
# 10	1.65	78.80	97.95
# 20	4.45	74.35	92.42
# 40	29.51	44.84	55.74
# 60	33.66	11.18	13.90
#140	10.01	1.17	1.45
#200	0.35	0.82	1.02
PAN	0.82	—	—



사진 4.3. Side view of experimental apparatus

이 안정됐다고 推定된 후 計測하기 위해서 水位를 一定하게 하여 全透水量을 3回 以上 測定하여 1,000 cc 當 소요時間을 計量하여 平均流量을 求하였다.

實驗에 使用한 模型은 上下流面 傾斜가 같이 變化되는 梯形斷面 4種, 上下流傾斜가 不同하게 變化되는 斷面 7種, 한 面은 수직 다른 面은 傾斜로 變化되는 梯形斷面 4種, 上下流面이 서로 다른 傾斜를 가진 傾斜斷面 6種 等 21種에 대하여 模型實驗을 하였다.

名 模型의 높이는 大體의 由로 一定하게 하여

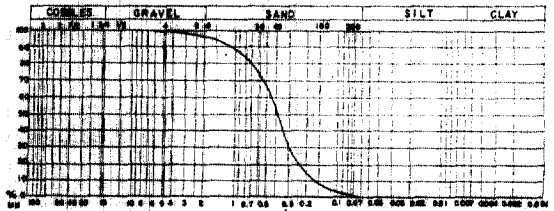
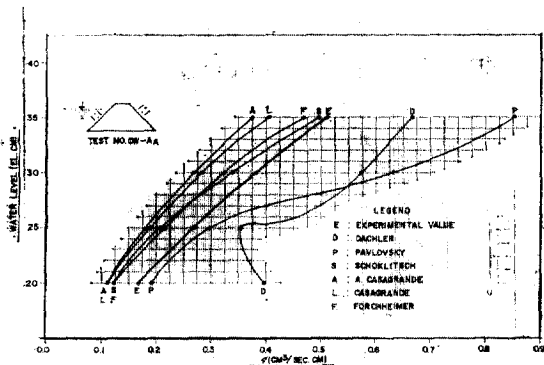


그림 4.2. Grain size accumulation curve of soil used in model test

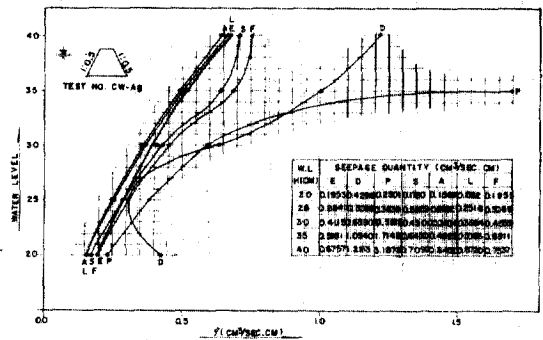
水槽에 築造가 可能한 角度로 變化시켜 가면서 浸透流의 特性을 같은 條件으로 比較 分析할 수 있도록 하였다.

### 5. 實驗値와 計算値의 比較

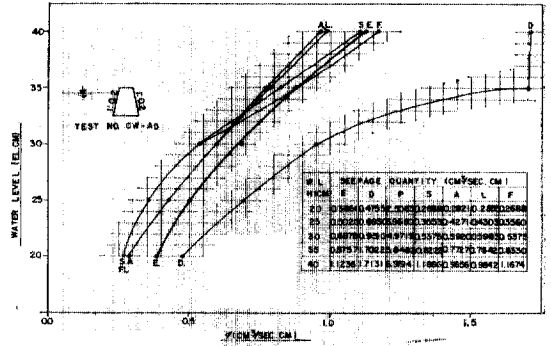
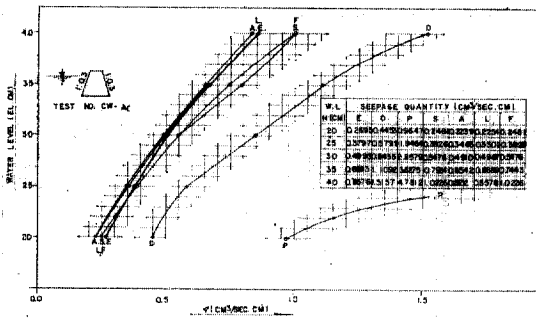
實驗 및 研究 方法에서 제시된 各種 模型別 實驗을 實施하고, 浸透流量 適用 近似 理論式을 利用하여 模型實驗에서 얻은 測定值를 代入計算한 結果를 다음 그림과 같이 나타내었다.



(a)



(b)



(c)

(d)

그림 5.1. Water level VS seepage quantity by testing and calculated values.

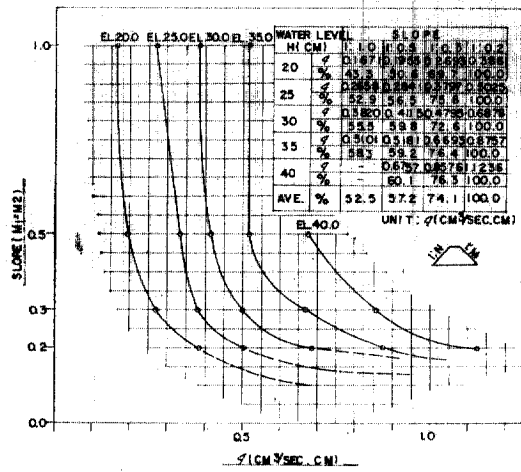
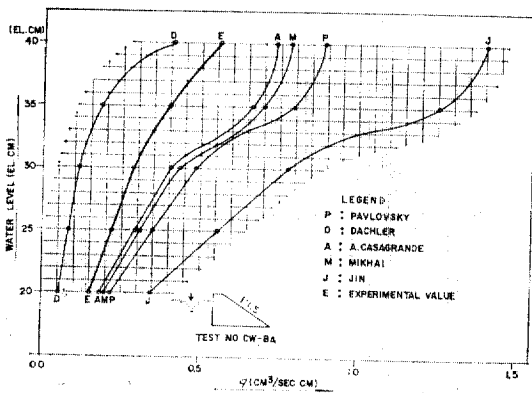
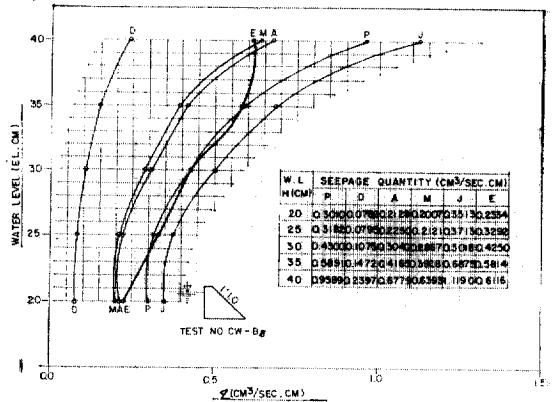


그림 5.2. Relationship between slope and discharge

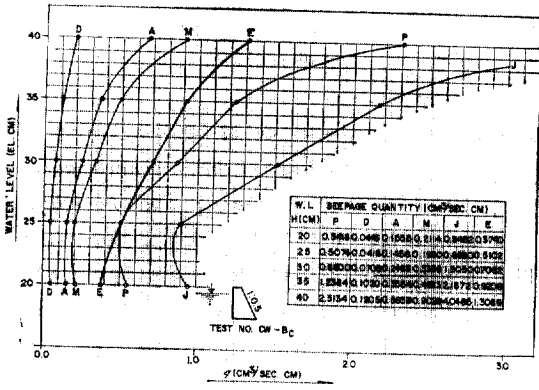


(a)

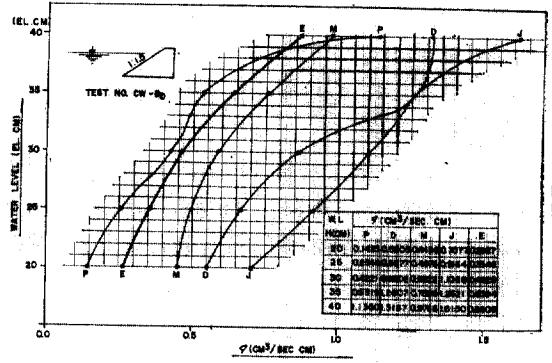


(b)





(c)



(d)

그림 5.3. Water level VS seepage quantity by testing and calculated value

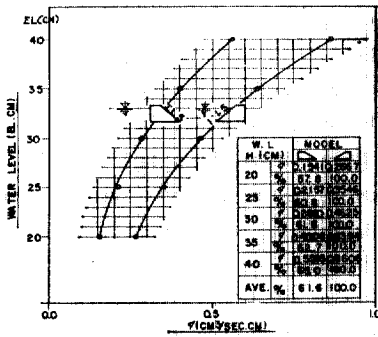


그림 5.4. Relationship between water level and discharge

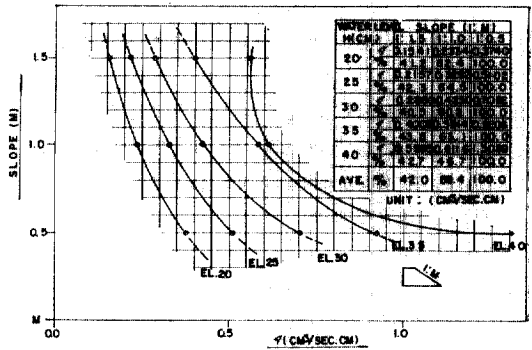


그림 5.5. Relationship between water level and discharge

## 6. 結 論

以上の實驗의 研究結果로 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 實驗値는 大體로 計算値의 中央에 分布해 있으며, 中央心壁型의 境遇 實驗値와 가까운 理論式은 A. Casagrande 公式이었다.

(2) 水位變化에 따른 浸透流量의 分布狀態는 2次曲線으로 나타났다.

(3) 中央心壁型의 境遇 傾斜面에 따른 浸透流量의 變化는 1:0.2, 0.3, 0.5, 1.0에서 100%, 74.1%, 57.2%, 52.5% 등으로 減小하였다.

(4) 上流水位가 높을수록 動水傾斜는 크고 流出點도 比例的으로 높게 나타났다. 또한 水位가 낮으면 下流部에서는 動水傾斜가 완만하여 水平에 가까와 졌다.

(5) 上下流 傾斜가 同一하게 나란한 境遇보다 서로다른 傾斜로된 傾斜心壁에서 浸透流量이 적었다.

(6) 上流側으로 傾斜진 斷面보다 下流側으로 傾斜진 斷面의 傾斜心壁이 浸透流量이 많았다.

(7) 傾斜斷面에서 實驗値와 가장 잘 一致되는 理論値의 기울기는 上下流 나란한 境遇, 下流側으로 1:1.0으로 傾斜진 斷面과 上, 下流 서로 다른 傾斜面을 가진 斷面에서도 下流側으로 1:1.0, 1:0.5로 傾斜진 斷面이었다.

(8) 傾斜心壁이 下流側으로 기울어진 境遇는 大體로 正常的인 浸透流 現象을 보였으나, 上流側으로 기울어진 나란히꼴, 또는 서로 다른 傾斜를 가진 傾斜心壁은 그 浸透流線이 水位보다 올라가서 포물선형을 나타내고, 예상보다 위에서 流出點이 나타나는 傾向이 많았다.

(9) 傾斜心壁의 斷面設計 또는 施工에 있어서

는 본 實驗을 통해서 볼때 浸透流量이 傾斜面에 비해 적게 나타나는 기울기는 1:1.0 附近이 適當하다고 사료된다.

즉, 이것보다 완만해져도 浸透流量은 增加하는 傾向이 있다.

(10) 異形心壁의 境遇 Slope의 變化에 따른 浸透量 變動率은 1:0.5를 100%로 基準할 때 1:1.0, 1:1.5는 各各 59.4%, 42% 등으로 減小하였다.

(11) 異形心壁의 境遇 上流側에 傾斜가 있는 것 보다 下流側에 傾斜가 있을 때 浸透流量은 61.6%로 減小하였다.

### 參 考 文 獻

1. 農林部: 土地改良事業計劃設計基準, p. 120, 1968. 12.
2. 權武男: 堤體의 浸透流解析에 關한 比較研究. 韓國農工學會誌, Vol. 25, No. 1, 1983. 3. p. 46.
3. Harry R. Cedergren. *Seepage Control in Earth Dam*, John Wiley & Sons, Inc, New York 1973, pp. 21~45.
4. Schaffernak, "水理公式集" 日本土木學會, p. 51.
5. Todd, D.K.: "Ground Water Hydrology" John Wiley & Sons, Inc., 1959, p. 310.
6. 秦柄益, "Fill Dam의 浸透에 關한 實驗的 研究" 大韓土木學會創立20週年紀念論文集, 1972. 12, pp. 19~30.
7. Musk, M.: "The Flow of Homogeneous Fluids Through Porous Media" J.W. Edwards Inc., 1946, pp. 338~346.
8. Bavor, L.D.: "Soil Physics" John Wiley and Sons, Inc., New York, 1946, pp. 317~330.
9. Terzaghi. K.: "Theoretical Soil Mecanics" Chapman and Hall. Ltd., London, 1965, pp. 218~242.
10. Harr, M.E.: *Ground Water and Seepage*, McGraw-Hill Book Co., Inc., 1962, pp. 50~57.
11. 久保田敬一, 河野伊一郎, 宇野尙雄: 透水設計へのアプローチ, 日本鹿島出版會, 1979, pp. 31~72, pp. 116~146.
12. Stevens, O.: Discussion of Ground Water and Seepage, "Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 3, Cambridge, Mass., 1936.
13. Vreedenburgh, C.G.F.: On the Steady Flow Water Percolating through Soils With Homogeneous -Anisotropic Permeability, *Proceedings of the 1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, Cambridge, Mass., 1936.*
14. Zelikson, A.: Geotechnical Model Using the Hydraulic Gradient Similarity Method, *Geotechnique, Vol. 19, No. 4, 1959, pp. 495~508.*
15. Polubarinov-Kochina, P. Ya.: *Theory of Ground Water Movement*, Princeton University Press, New Jersey, 1962, pp. 284~297.
16. Jeppson, R.W.: Seepage through Dams in Complex Potential Plane, *Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the A. S.C.E. Vol. 94(IRI), 1968, p. 23.*
17. 申芳雄, "Fill Dam 心壁의 浸透에 關한 實驗的 研究" 大韓土木學會誌, 第26卷 第1號 1978. 3, pp. 117~124.
18. 福田秀夫, "傾斜心壁型フィルタプタムの浸潤線透水量に關する研究, 鹿島技研發行, 1958.
19. 秦柄益, Fill Dam의 浸透에 關한 實驗的 研究 工學博士學位請求論文 1969年 10月.
20. 申芳雄, 모래로 築造된 堤模型의 浸透에 關한 研究, 1977年 7月.
21. 權武男: 堤體의 浸透流解析에 關한 比較研究, 1982年 12月.

(接受: 1984. 11. 23)