均質 土壤에서 一次元的인 滲透現象

One Dimensional Infiltration into Homogeneouse Soil.

*李　重　基

Lee　Joong　Key

요　점

이 方法은 종전에 썼던 Cylinder method의 현장 측정이 아니고 시료를 시험하여 그결과치로서 구하게끔 되어 있다. 滲透量을 공극율, 포화도 및 시간의 함수로 표시했으니 이를 실험과 이론을 부합시켜 圖表化시켰다. 그리하여 종전에 쓰던 方法보다 더 정확 한결과치를 얻을수 있게 만들었다.

Ⅰ. 서　론

地下水의 運動速度는 흙의 種類와 구성된 형태 또는 外的으로 作用되는 여러因子에 따라 다르다. 물이 흙의 表面에서 땅속으로 흐르거나 땅속에서 흐르는 것을 地下水의 運動 即 滲透(Infiltration)라 부른다.

이 地下水의 運動을 엄격히 分類한다면 數種으로 나눌수 있으나 여기서는 통털어 滲透라 부르고 이를 地下水로 取扱하여 地下運動을 論하기로 한다.

元來 地下水 運動의 理論的인 分析은 半世紀 以前부터 利用되었으며 이때부터 本格的인 硏究가 始作된 것이다. 地下水의 利用과 人類와의 絕對的인 關係는 人類의 歷史와 더불어 終末을 지울 것이다.

W.G. Greem과 G.A. Ampt(1911年 "地下水 運動에 對한 重力的인 變化의 分析"論文에서)는 地下水의 重力運動을 毛細管현상의 計算과 같이 水理學的 變化에 對하여 說明했다. 地下水의 運動은 方向運動(上昇, 下降, 水平)을 하는데 土壤中에서 下降하는 물은 어떠한 試料의 試驗 결과로 그의 運動현상과 變化형태를 관찰할수 있으나 湧出(上昇運動)과 水平 運動은 試驗의 결과로는 正確한 運動과 變化를 알기엔 극히 힘드는 것이다. 其 理由는 水源으로 부터 透水層 까지의 거리(地下水位와 不透水層 까지의 길이)와 토양의 공극율 포화도 等 여러 因子를 우리 人力으로 解決하긴 극히 힘들며 정확한 값을 얻을수 없기 때문이다.

그러나 Taylor氏는 물의 三方向 運動을 같은 地下水 運動으로 取扱하여 論했다. 上昇하는 地下水의 方程式을 아무리 正確하고 엄밀하게 求해 본다 해도 自然的 條件下에서 생기는 毛細管현상으로 (毛細管力에 依해 上昇한 水位) 上昇한 水位보다 20%나 낮은 결과치를 얻는다.

Hansen은 地下水가 三方向으로 運動하는 滲透현상과 흙이 포화되지 않은 土壤中에서 생기는 정확한 三方向운동에 對하여 說明했고 또 自由水面에서 自然的인 흐름, 滲透水가 運搬되는 층(물에 젖어있는 흙) 물에 젖기 직전의 층(포화 직전의 흙 이를 不連續面이라 칭한다)等에 對하여 說明 했다. (第1圖 참조)

여기서 ho; 自由水面과 地表面間의 거리(m).

물이 通過한 층의 함수量은 정확히 同一값을 갖게되며 포화도는 보통 100%以下가 된다.(一般的으로 80%이다). 그리고 均質土壤中에서 地下水와 滲透水를 論하고 있으므로 이 滲透된 淨水층의 투수계수 (K_T)는 정확히 一定한 값을 갖는다. 그리고 滯水층에서 함수량과 K_T는 不連續面에서 점차 감소되여 土層(물에 젖지 않은 층)에서 最小로 되는 것이다. 물이 滲透時 아무리 Energy가 소모된다 하더라도 함수량과 K_T(투수계수)는 거의 一定하다 이 개념을 利用하고저 흙은 均質이고 포화되지 않았다고 假定한다.

그러면 Darcy's law에서

$$Q=-K_T\cdot A\cdot\frac{\triangle h}{\triangle L}=-K_T\cdot A\cdot\frac{h_r+y}{y}\quad\cdots\cdots(1)$$

이 地下水는 重力을 받고 있으므로

물의 무게 $Wo=\rho\cdot g\cdot H\cdot A$이다.

또 自由水面이나 地下水를 막론하고 壓力을 받고 있다. 이壓力은

$$P=\frac{Wo}{A}=\frac{\rho\cdot g\cdot H\cdot A}{A}=\rho\cdot g\cdot H\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

이를 파스칼의 원리라 부른다.

잠재적인 수두

$$H'=Z+\frac{P}{\rho g}$$

여기서 Z는 위치 Energy 수두이다. 그러므로 위의 (1) (2)식 에서 Q는

$$\triangle Q=n.\ s.A\frac{\triangle h}{\triangle L}$$

* 筆者: 土聯 設計部

$$\triangle\ Q = n.\ s.A\frac{dy}{dt}$$

$$\therefore\ n.s.A\frac{\triangle h}{\triangle L} = n.\ s.\ A\frac{dy}{dt} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

어느 全體의 期間 "T" 時間에 흐른 물의 總量은

$$\triangle\ Qdt = n.s.Ady$$

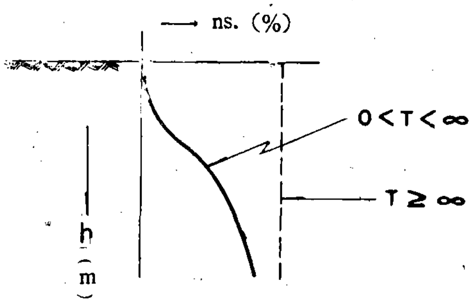
$$\Sigma\ Q = \triangle Q.T. = \int_o^T \triangle\ Qdt = \int_o^T n.s.\ Ady.$$

무한대까지 연속한다면

$$\Sigma\ Q = \int_o^\infty \triangle\ Qdt = \int_o^\infty n.s.Ady$$

萬一 $O < T < \infty$라면 이 滯水 graph 는 逆 포물선으로 나타 나는 것이다.

$T \geq \infty$ 는 graph 가 直線으로 표시된다. 이를 圖示하면 다음과 같다.



그러므로 "T" 時間內에 總 滲透水는 時間을 O에서 T까지 積分한 總量인 것이다. (1) 과 (3) 式에서 積分하여 정리하면

$$\frac{y}{h_T} - ln\left(1 + \frac{y}{h_T}\right) = \frac{k_T t}{n \cdot s \cdot h_T} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

$$\frac{y}{h_T} - 2.\ 3\log\left(1 + \frac{y}{h_T}\right) = \frac{k_T t}{n \cdot s \cdot h_T} \cdots\cdots\cdots\cdots (4)'$$

$h_T + hc - hw$

h_T : 作用 總水頭

h : 표면 水深

k_c : 毛細管현상이로 上昇 또는 下降한水深

y : 土壤表面으로 부터 不連續面까지 깊이

(4)'式의 y/h_T 는 比率(Ratio)을 表示하는 것인데 이 數値를 假定하면 變數 $k_T/n \cdot s \cdot h_T$ 의 값을 얻을 수 있다.

여기서

$n.s$ 는 含水率을 表示 한다.

n : 공극율

s : 飽和度

t : 어느 假定된 時間

dy : y에 對한 미분 계수.

dt : t에 對한 미분 계수.

第1圖는 滲透水가 地中에서 變化되는 모든 物理的 현상을 보기 쉽게 표시한 그림이다.

(4)式은 土壤中에서 水分이 下降運動하는 것을 說明하는 式이고 y는 $h_T\ k_T \cdot n \cdot s$ 가 土壤의 구성형태와 種類에 따라 相異하나 均質土壤에서 地下水를 論하고 있으므로 이값들을 어느 試料의 기둥(土壤柱)에서 一定한 常數라고 가정할때 변수 t(時間)에 따르는 함수이다. 이에 부가하여 이 관계를 解析하고저 地質學的 方法을 소개하고 그예를 들어 설명하려 한다. 또한 다음에 소개될 $k_1 t/n \cdot s \cdot h_T$ 의 변수와 (4)式 右項을 滯水층의 깊이, 滲透量, 이미 滲透된 水量에 對하여 說明 하고저 한다.

Ⅱ. 理 論

1. 假定. 흙은 均質이고 그 조직이 물에 젖은 후에도 變化되지 않는 것으로 본다.

2. 滲透量과 滲透時間과의 關係

流量은 연속 方程式으로 表示 할수 있다.

$$Q = A \cdot I \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

1式 $\quad Q = K_T A\frac{h_T + y}{y}$ 와 (5)式 $Q = I \cdot A$ 에서

$$K_T t \cdot \frac{h_T + y}{y} = A \cdot I \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

$$K_T(h_T + y) = I \cdot y$$

$$\therefore\ I = K_T\left(\frac{h_T}{y} + 1\right) = K_T\frac{h_T}{y} + K_T$$

$$\therefore\ \frac{y}{h_T} = \frac{K_T}{I - K_T} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

(7)式을 (4)式에 代入하면

$$\frac{K_T}{I - K_T} - \log e\left(1 + \frac{K_T}{I - K_T}\right) = \frac{K_T t}{n \cdot s \cdot h_T} \cdots (8)$$

(8)式은 변수 $K_T t/n \cdot s \cdot h_T$ 에 의한 I (滲透量)를 求하는 式이다.

3). 滲透된時間 t와 滲透된量 da 와의 관계

I (滲透量)를 求하고저 (4) 式과 (2) 式의 兩邊을 積分하면 이미 滲透된量과 滲透路長을 다음式으로 表示할수 있다.

$$da - n.s.y \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

여기서 da 는 물이 삼투되어 쌓인 두께(水深으로 表示한)를 表示한다.

$$y = da/n.s.$$

이를 (4)式에 代入하면

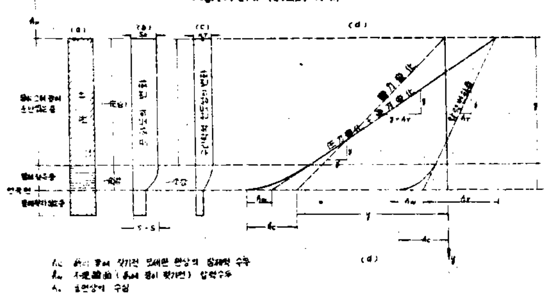
$$\frac{da}{n \cdot s \cdot h_T} - ln\left(1 + \frac{da}{n \cdot s \cdot h_T}\right) = \frac{K_T}{n \cdot s \cdot h_T} \cdots (10)$$

이式은 變數 $K_T t/n \cdot s \cdot h_T$ 와 da 와의 關係式이다. 이式은 土壤의 乾重量% (百分率)에 對한 水分當量의 總증가率과 容積%(百分率)의 水分증가量을 說明한 式이다. 卽 $\quad wAs = n \cdot s \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11)$

여기서 w : 滲透된 後 水分當量의 總증가량이다.

$(w = w_2 - w_1)$

Fig.(1) 흙의 物理的 分析



h_T : $h_o+h_e+h_w$

W_2 : 土壤이 물에 젖은후 含水量

W_1 : 土壤이 물에 젖기前 含水量

As : 比重(흙의 絶對比重을 말한다)

Ⅲ. 地質學的 解法

滲透量(I) (8)式과 이미 滲透된量(da) (10) 式에서 어느 時間(t)에 對해 이量을 正確히 求할수는 없다.

주어진 時間 t 에 對해 I 와 da 의 값을 數學的으로 求하려면 試算法(trail method)이나 誤差수정법(error method)으로 求해야 되지만 이는 매우 不便할뿐 아니라 막대한 時間의 낭비를 要한다.

1. y/h_T 의 $K_Tt/n\cdot s\cdot h_T$ 의 數學的인 關係

(8)式과 (10)式에 依한 地質學的 解法은 (4)式과 (8)式의 右項과 (10)式은 同一하기 때문에 正確히 求할수 있다. (8)式과 (10)式에 對한 地質學的 解法을 爲해 유도된 式이 (4)式의 右項과 같다.

이 (4)式 右項의 y/h_T 는 比率(Ratio)을 表示한다. h_T 는 零에서 부터 無限大 까지 y 에 對한 變數이기 때문에 一定한 값을 갖는다. 即 여기서 變數 y/h_T 의 많은 값을 假定하여 (4)式左項에 代入하여 右項의 값을 얻는다. 이로서 表를 만든것이 第一表이다.

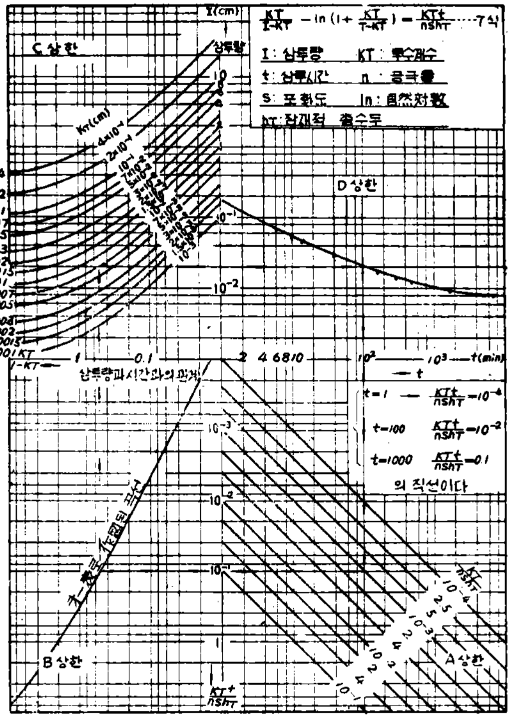
여기서 $$y/h_T=\frac{K_T}{I-K_T}=\frac{da}{n\cdot s\cdot h_T}$$ 이다.

表1 y/h_T 와 $K_Tt/n\cdot s\cdot h_T$ 의 關係

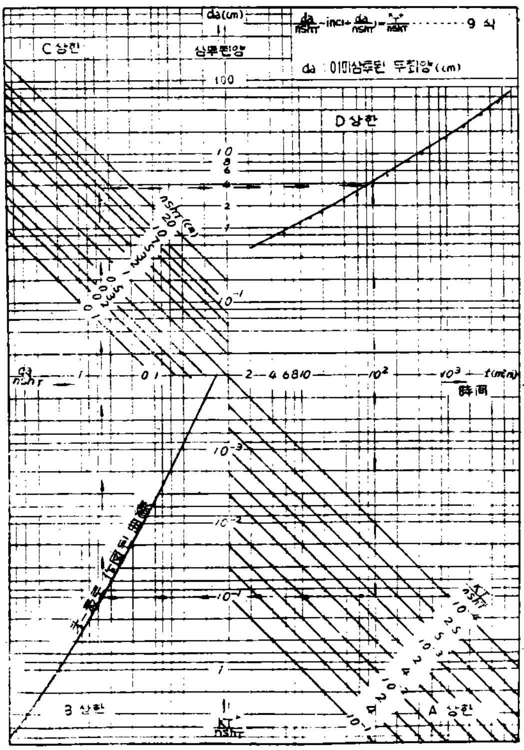
y/h_T	$h_Tt/n.s.h_T$	y/h_T	$K_Tt/n.s.h_T$
0.01	5×10^{-5}	1.0	0.3068^{-6}
0.02	2×10^{-4}	0.2	0.9014
0.03	4.4×10^{-4}	5.0	3.208
0.05	1.2×10^{-3}	10.0	7.602
0.07	2.3×10^{-3}	20.0	17.00
0.10	4.7×10^{-3}	30.0	26.60
0.3	3.76×10^{-2}	50	46.1
0.5	9.45×10^{-2}	70	65.1
0.7	0.17	100	95.39

2. 第2圖의 구성

第2圖는 4個상한(象限)으로 나누어 兩對數紙(log-log graph)에 그린 것이다. 이圖面에서 A 상한(三角法 第4상한에 해당함) 은 변수 $k_Tt/n\cdot s\cdot h_T$ 를 $-y$ 軸으



第2圖 균질토양에서 삼투시간에 대한 삼투량의 그라프적인 해법



第3図 균질토양에서 삼투시간에 對한 이미삼투된 양두께의 그라프적인 해법

로 하고 滲透時間 t를 $+x$軸으로 잡은 것이다. (t時間은 分單位임). 여기서 k (투수계수) cm/分 h_T(水頭) cm로 表示한다. 이 상한內의 直線은변수 $K_Tt/n.s.h_T$로 부터 유도해 그린 것인데 均質土壤에서 $K_T.n.s.h_T$는 一定한 값을 갖는다.

B상한은 (三角法 第3상한에 해당함) K_TI-K_T를 $-x$軸으로 하고 變數 $K_Tt/n.s.h_T$를 $-y$軸으로 그린 것이다. B상한의 曲線은 (7)式의 $y/h_T=K_T/I-K_T$과 $K_Tt/n.s.h_T$의 값으로 만든 第1表로서 그려진 것이다. 또한 (4)'式으로 그린 曲線이다.

C상한(三角法 第2상한에 해당함)은 滲透量 I(cm/分)을 $+y$軸으로하고 變數 $K_T/I-K_T$를 $-x$軸으로 하여 그린 것이다. 이 線들은 K_T(투수계수)선인 것이다.

D상한(三角法 第1상한에 해당함)은 滲透時間 t(分)을 $+x$軸으로 하고 滲透量을$+y$ 軸으로 하여 그린 것이다. $A.B.C$상한은 均質土壤內에서 생기는 모든 滲透현상을 說明하는 曲線인 것이다. D상한은 變數 $K_T/n.s.h_T$와 K_T의 값을 기초로하여 計算한 滲透量이다. 실제의 滲透量을 實驗에서 測定하여 그린 曲線이다.

3. 第2圖를 使用하여 滲透量 計算

여기서 滲透時間을 變數로놓고 評價한다. 大體로 $K_T.n.s.\ h_T$의 값을 알고 滲透時間 t에 對하여 滲透量 I를 求하는 것이다. 여기서 K_T는 透水係數로서 實驗室에서 求할 수있고 또 $n.s.$(공극율과 포화度)도 역시 실험실에서 求할 수 있으며 h_T 역시 實測하여 求한다. 이때 毛細管현상에서 생기는 손실수두와 重力에 依하여 생기는 손실수두는 일일히 求할 수 없으며 다만 실제 젖어있는 滯水層으로 잡는다. 例를들면 第2圖에서 透水係數 $K_T=7\times10^{-3}$cm/分일 경우 時間 $t=100$分 後에는 I와 h_T는 얼마인가를 求하는 것이다.

D상한 t軸에서 $t=100$分이 定하는 曲線上의 點을 잡아 이를 C상한으로 그어 $K_T=7\times10^{-3}$cm/分과 接한점에서 垂直으로 내려그어 B상한의 曲線과 만나는 點에서 水平으로 그어 D상한 t軸에서 垂直으로 내려 그은선과 B상한에서 水平으로 그은선과 만나는점을 잡으면 이값이 곧$K_Tt/s.n.h_T$의 값이다. 여기서 $K_Tt/n.s.h_T=10^{-3}$이다.

그러므로 $\quad I=10^{-2}\times2$cm/分을 알수있다.

$$\therefore\ n.s.h_T=K_T\times10^{-3}=7\times10^{-3}\times10^{+3}=7$$

$$\therefore\ ns.h_T=7\text{ cm}\text{이다.}$$

여기서 공극율 $n=50\%$ 라하면(일반토양에서)

$$h_T=\frac{7}{0.5\times0.8}=17.5\text{cm}$$

$\therefore\ h_T=17.5$cm의 값을 얻는다.

本 土壤에서 100分後 滯水層의 깊이는 17.5cm가 되었고 滲透量 I는 0.2mm/分=0.288m/day의 量을 갖는다. 第2圖를 써서 $h_T.\ K_T.n.s.$ I 어느 값이던지 求할 수 있다.

4. 第2圖를 使用하여 알고있는값 $K_T.\ I.\ t$ 로부터 變數 $n.s.\ h_T$의 決定

$h_T.n.s$((또는$W.As$)는 實驗이나 野外에서 實測하여 알수있다. 그러나 I$.t.k_T$의 測定한 값으로 作圖된 第2圖로 부터 $n.s.K_T$의 評價가 가능하다.

表2 各 材料의 공극율표

材 料 名	공 극 율
土 壤 (Soil)	50~60%
粘 土 (Clay)	45~55
미사(진흙찌기) (silt)	40~50
中粒과 粗粒의混合모래	35~40
均一粒度의 모래 (Sand)	30~40
微粒과中粒의 混合모래	30~35
礫 (gravel)	30~40
礫과모래 (gravel & Sand)	20~35
砂 岩 (Sand stone)	10~20
頁 岩 (Shacle)	1~10
石灰岩 (Limestone)	1~10

Miller와 Gardner에 依한 滲透量計算도 역시 滲透時間의 100分率 曲線으로 부터 얻은 實驗表인데 $n.s.\ h_T$를 計算하는데 쓰여진다. 變數 $n.s.\ h_T$의 값은 一定數로 假定하여 얻은表 인데 이表는 (第1表) 均質 土壤에서 얻어진다.

5. 第3圖의 구성

이圖表도 역시 第2圖의 구성과 같이 4個 상한으로 나누어져 兩對數지(log-log graph)에 作圖되어 있으며 $A.B$상한은 第2圖와 같고 C상한은 이미 滲透된量(da)를 $+y$軸으로 하고 變數 $da/n.s.h_T$를 $-x$軸으로 그린것이다. 이 C상한內의 曲線은 계수 $n.s.h_T$의 값에 따라 決定된다. D상한은 이미 삼투된 量(da)을 $+y$軸으로 하고 時間 t를 $+x$軸으로 하여 作圖된 것이다. 이圖表의 用法도 역시 第2圖의 用法과 같다

여기서 t와 da의 관계는 (10)式의 기록치와 完全一致한다. 그이유는 da는 t에 對한 半對數(Same log graph)지에 表示되는 함수이다. $K_T.n.s.h_T$를 알고 t와 da의 관계를 규명짓는 것은 이$K_T.n.s.h_T$를 알고 t와 I를 求하는 方法과 꼭같다. 그리고 第4圖表는 알고 있는 K_T I$.t$에 의해 변수 $n.s.h_T$의 計算表이다. $K_T=0.018$cm/分의 투수계수를 가진 土壤試料(Soil Sample)을 썼을 경우 $t.$와 I를 알고 $n.s.h_T$의 계산表는 다음 表와 같다.

表 3 $t.l.K_T(=0.018\text{cm}/分)$을 알고 $n.s.h_T$의 計算 결과表

t (時間) (單位分)	1	2.	5.	10.	20.	50.	100.	167
l (삼투량) (cm/分)	0.438	0.31	0.2	0.145	0.108	0.076	ˆ.056	0.049
h_T (삼투수심) (cm)	22.2	21.2	20.0	20.5	20.4	22.5	23.0	24.5

平 均 $h_T=21.8\text{cm}$

Miller 와 Riehard 에 依해 찾아낸 da 와 t 曲線으로 부터의 실험표가 第 4 表이다 이 4 表는 K_T 를 計算하는데 使用된다. 均質土壤의 K_T 는 一定數이기 때문에 여기서 공극율 n 도 역시 一定値를 갖는다. W와 As의 값은 (10)식에서 表示한 것과 같이 n 와 s 의 값을 計算할수 있다. h_T 의 값은 정확한 滯水層의 두께를 水理學的水頭(Hydraulic head)로 나타낸 것이다. (第1圖의 d를 참조 하라)

Free Brawning 氏와 Musgrave 氏에 依해 제출된 試驗 報告書인 第 4 表는 試算法(trail method)과 誤差수정法에 依해 h_T 의 값을 計算하는데 쓰인다. 이 연구는 w 의 값은 滯水層과 乾水層間의 土壤함수量의 平均편차에 의해서 결정한다. 均質土壤中에서 h_T 는 一定數라 假定한다.

第 4 表는 알고 있는 값 $t.da.w.As$ h_T 로 부터 K_T의 計算 결과치이다.

$$n.s=w.As\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(11)$$

$$\frac{da}{As.w.\ h_T}-ln\left(\frac{da}{As.w.\ h_T}\right)=\frac{K_T t}{Asw\ h_T}\cdots\cdots\ (10')$$

이는 (10)式에 (11)式을 代入한것이 (10′)式이다. 이 (10′)식으로 부터 計算한表가 第 5 表인 것이다.

表 4 Free rawning 氏와 Musgrave 氏의 報告論文에서 t 에 對한 $dah_T.K_T$의 실험표

時間 t (分)	TANBARK			GESPERIA		
	da cm	h_T cm	k_T cm/分	dacm	h_T cm	k_T cm/分
20	3.5	54	0.011	3.5	27	0.027
40	5.0	52	0.015	4.6	28	0.022
60	6.3	51	00.16	5.7	29	0.020
80	7.5	51	0.016	6.5	28	0.020
100	8.2	49	0.015	7.3	28	0.019
200	11.8	49	0.014	11.0	25	0.020
300	15.1	48	0.013	14.4	26	0.020
400	17.9	50	0.014	17.7	25	0.021
500	20.3	47	0.014	19.2	25	0.021
平 均	$K_T=0.041\text{cm}/分$			$K_T=0.021\text{cm}/分$		

表 5 $t.da.w.As$ 의 값을 알고서 h_T 의 값을 計算한 表

t (時間)	Soil silt No 105		Soil silt No 137	
	da cm	h_T cm	da cm	h_T cm
W (分)	0.113		0.097	
A_s	1.38		1.28	
K_T	0.0572cm/分		0.06985cm/	
15	4.75	64.0	4.394	50.80
30	10.03	73.0	6.83	56.39
60	11.23	72.4	10.54	54.61
120	16.81	66.0	17.6	63.50
180	21.56	60.9	24.17	77.98
평 균	$h_T=67.31\text{cm}$		$h_T=60.7\text{cm}$	

3.4.5 表의 결과는 均質土壤을 爲하여 만든 것이다.

3.4.5 表의 變數 $n.s.h_T$. K_T 의 변화는 근사적으로 計算 할수있고 흙의 性質은 實驗室이나 野外에서 실측 또는 실험하여 만든 表이다 以上으로 연구한 것이 실험 결과치와 유도된 식에 依해 求해진 값 들이다.

6. 지수 공식 (log Equation)

(1) 滲透量에 使用될 경험지수 공식 第2圖 D 상한에 兩對數지(log-log graph)로 그려진 曲선에서 t 와 i 의 값을 얻을 수 있고 (7)式에도 t 를 兩對수 함수로 表示할수 있다. 이目的은 지수 형식에서 I 와 t 의 관계를 說明코저 한 것이다. 即

$$I=at^b\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

또는 $$I=at^b+c\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(13)$$

여기서 $a.b.c.$ 는 경험상수 이다. 이는 兩對數지에서 직선으로 나타내며 방안지(Section graph)에서 曲線과 1致하기 때문에 근사치를 求할수 있다. 即 曲線을 미분한다면 어느점과 點사이에서 직선을 갖는다. 그러나 이점과 점사이가 멀면 이미정확한 값을 얻진못한다. 그러므로 t 를 짧게 取할수록 정확하다. 예를들면 第 2 圖 D 상한에서 $t=4$ 分에서 $t=300$ 分 間의 직선적인 지수식은

$$I=0.14t^{-0.468}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

또는 $$I=0.16t^{-0.544}+0.007\ \cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

式으로 표시할 수 있다.

(12)式과 (13)式의 時間 t 를 이범위에서 초과시켜 $t=1,000$ 分을 썼을경우 이 計算 결과치는 실제 시간法에서 求했거나 기타 정확히 구해낸 실제의 값보다 26% 가 적고 (14 식을 썼을 경우) 15 식을 썼을 경우는 25% 큰 값을 준다. (12)식과 (13)식의 상수는 假定한것이며 더우기 滲透계수를 포함했으므로 간단치는 않다. 即 (13)式 우측의 상수 $C=K_T$ 이므로 이는 半경험식이다. 이는 y 의 값이 충분히 크고 I 의 값이 K_T 에 접근할때 (6)식과 같게 된다. 即 t 를 충분히 면장할때

(4)式과 (6)式의 K_T는 근사적으로 接近된다. 그리고 滲透量도 거의 一定한 값을 갖게 된다.

(2) da의 경험적인 지수공식

第3表의 D상한의 曲線도 t와 da의 관계를 表示하는 것으로서 (1)항에서 설명한바와 같다.

예를들면

$t=1,000$分~300分 間의 지수공식은

$$da=0.3t^{0.548} \cdots\cdots\cdots\cdots (16)$$

$$da=0.333t^{0.464}+0.007t \cdots\cdots\cdots (17)$$

로서 表示되나 실제로 이방정식의 計算 결과치는 작든 큰든間에 t에 對해서는 使用할수 없다. 예를들면 $t=1,000$分을 (16)식에 썼을 경우 da는 실제보다 6.73 cm 가적고 (17)식에 선 da가 1.25cm 큰 값을 가져온다. (먼저 예를들은 실험결과치를 썼을 경우이다)이 이유는 K_T를 기초로두지 않고 유도한 식이기 때문이다. 그러나 K_T를 산출코저 1次 積分한 결과이기 때문에 이도 역시 半경험식이다.

예를들면 $K_T=0.0018$cm/分을 주면 17式 右項에 $0.0018t$는 직선식이 된다. t를 충분히 연장할때는 da와 t의 관계는 실제에서 측정한 것과 一致할 것이다. 그러나 이 식들 (지수식)은 사용치 않음이 좋다.

Ⅵ. 결 과

이 방법은 종전에 써왔든 Cylinder method와 달리 보다 科學的인 결과를 얻고저 실엄치와 이론을 결부시켜 圖表化 시켰다. 종전에 썼던 Cylinder method는 충분한 時間을 주지 못했고 흙의구성 포화度, 공극율의 함수로 표시되지 못했기 때문에 정확한 값을 얻지 못했으리라 믿는다. 그러나 이方法은 공극율, 포화도, 투수계수를 함수화시켜서 삼투량을 計算하는 식을 만들었기때문에 보다 정확한 그리고 科學的이라 믿는다. 均質이고 같은 토양에서 시료만 채취하여 실험한다면 충분한 期間 동안의 삼투량을 求할수있다. 삼투량은 時간의 자승에 체감法에 준하기때문에 $t=10$分間에 관측된 삼투량을 102日間의 관계기간 全體에 사용한다는 것은 극히 모순이크므로 이런페단을 없애기 위해 삼투량 I와 삼투된양 da를 時間 t의 함수로 표시 하여 전개 시키고 이를 兩對수지 (log-log graph)에 그려서 오차를 수정시켰다.

이 方法이 우리에게는 아직 보급되지 못했지만 종전법보다 더간편하고 정확성을 갖고있다. 그러므로 사업구역내 土壤圖를 만든다면 매우쉽고 정확한 필요 수량을 計算하는데 극히 필요하리라 믿는다.