

湛水狀態에 있어서 成層土壤의 물의 浸透에 關한 研究

A Study on Permeability of Stratified soil in the Close State Under Existence of Stagnant Water.

趙 炯 勇*
Hyong Yong Cho

Summary

Following are the results of the study on the property of falling permeation of stratified soil in the close state under existence of stagnant water on a soil layer.

1. When on the stratified soil a least permeating layer was put on the soil layer the load pressure was present owing to appearance of saturation close state driving decrease of the pressure in the lower layer, on the other hand when the least permeating layer was placed under the layer the lower least permeating layer pressure was decreased.
2. In the case of least permeating layer the variation of current gradient according to the respective level after treating the layer was enormous and due to usual storage phenomena for the K_1 layer which was coarse that was trifle.
3. The permeability of the respective layer of stratified soil in the close state did not always coincide with that of single layer.
4. Generally Zunker's equation of average permeability was valid but actually calculated permeating velocity after treating the layer of stratified soil was seriously differ from the measured value owing to the variation of current gradient, especially when the pressure head at the layer boundany was discontinuous the validity of the equation of average permeability was seemed to be doubtful.
5. The permeating velocity of stratified soil was regulated by the least permeating layer, i.e. it is thought to be rational to estimate the value by calculating the current gradient with its proper permeability, pressure headon the layer and its thickness.

I. 緒 論

1. 序 言

土壤의 浸透現象에는 地下水와 毛管水の 運動에

* 春川農業高等學校

依한 浸透外에 水路나 논의 물과 같은 地表水가 地下水로 向해 降下 浸透되어가는 所謂 地表水降下浸透가 있다.

地下水의 浸透는 浸透土層中 어느 部分에서나 正 壓浸透를 이르키나 (地下水面이 毛管水の 浸透는 어느 點에서나 負壓浸透를 이르킨다¹⁾ (그림 1). 그

러나 地表水의 浸透는 浸透土層의 部分에 따라 正壓 또는 負壓을 이르기기도 한다.

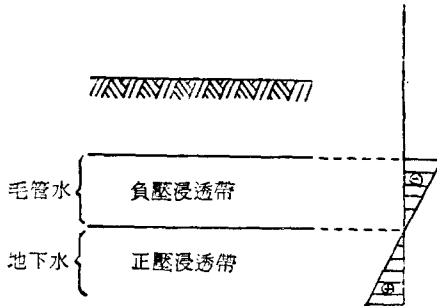


그림 1. 地下水 및 毛管水の 浸透現象

負壓浸透에 관한 研究로서는 秋葉(1942)⁹⁾의 誘動毛管水의 研究로 始作되어 本格化되었으며 地表水, 浸透의 研究로서는 山崎(1943, 1958)^{11), 14)}의 土壤毛管浸透의 研究 및 成層土壤浸透의 研究라든가, 古田(1967, 1968)^{11), 12)}의 成層土壤浸透의 研究等 많은 負壓浸透의 研究가 行하여졌다.

그러나 土層表面에 滲水가 存在하는 閉鎖狀態에 있어서의 成層土壤의 降下浸透에 관한 研究로서는 別로 研究된바 없으므로 本研究에서는 土層表面에 滲水가 存在하는 閉鎖狀態에 있어 成層土壤의 降下浸透의 性質을 究明하므로써 土層境界의 壓力分布가 不連續한 境遇에 있어 飽和浸透現象과 成層土壤中 最小透水層이 浸透流速에 미치는 影響에 關하여 究明코져 한다.

II. 研究史

土壤의 浸透에 關한 研究로서는 降下正壓浸透에 對해서는 일찌기 Schönwälder(1928)¹⁰⁾의 研究가 있었으며 降下負壓浸透에 關해서는 Weil and(1928)¹¹⁾, 秋葉(1942)⁹⁾ 등의 研究가 있었다.

Schönwälder(1928)¹⁰⁾는 砂層中 封入空氣를 多量으로 含有하는 境遇 浸透係數는 標準地下水 浸透係數의 41~71%가 되며 浸透土層의 두께 20cm 이상 이 되면 約 50%가 된다고 報告하였다.

均質土壤中の 鉛直 降下 浸透에 關해서는 富士(1954, 1955)^{9), 10)}에 依해 土壤中の 壓力水頭의 變化 및 負壓發生機構에 關하여 既히 究明되었으려 成層土壤의 浸透에 關해서는 Zunker(1930)¹⁸⁾, Dachler(1933)²⁰⁾, 山崎(1958)¹⁴⁾, 古田(1967, 1968)^{11), 12)} 등의 研究가 있다. Zunker(1930)¹⁸⁾는 地下水가 土層方向

에 對해서 鉛直 및 水平方向으로 飽和狀態를 이루며 流動할때 全層透水係數가 어떻게 變化하는가를 考察하였고 Dachler(1933)²⁰⁾은 다시 成層土壤의 層에 任意의 角度를 이루고 흐르는 境遇의 透水係數에 關하여 研究하였다. 또한 山崎(1958)¹⁴⁾는 土壤의 成層에 依해 일어나는 降下負壓浸透를 主 研究對象으로 하여 負壓浸透를 이끄는 成層條件, 負壓의 性質, 透水係數의 特性, 等を 究明하였고 古田(1967, 1968)^{11), 12)}는 土層表面에 滲水가 存在하는 開放狀態에 있어 成層土壤의 鉛直降下浸透에 關하여 浸透流速은 全土層中에 있어 最小透水層의 透水係數, 그 土層上에 作用하는 壓力水頭 및 土層의 두께에 依해 規制됨을 究明하였으며 또한 最小透水層의 두께는 成層土壤의 浸透流速에 對한 規制影響 및 最小透水層에 있어 固有透水係數가 나타나는 土層의 두께에 關해서 解明하였다.

Zunker(1930)¹⁸⁾는 그의 研究에서 降下 浸透係數는 地下水浸透係數의 約 1/2이라고 하였으며 降下 浸透係數는 浸透가 閉鎖狀態時 地下水浸透係數의 約 1/2의 값을 갖으며 浸透가 開放狀態時 地下水浸透係數의 1/2以下 0까지의 값을 갖는다고 報告하였다.

山崎(1958)¹⁴⁾는 正壓浸透 또는 閉鎖負壓浸透가 이루어지는 層의 浸透係數는 標準地下水 浸透係數의 50~60%가 되며 開放負壓浸透가 이루어지는 層의 浸透係數는 標準降下 浸透係數보다 若干 적은 값에서 0 사이에 있다고 하였다.

古田(1967, 1968)^{11), 12)}는 成層土壤에 있어서의 鉛直降下浸透는 開放浸透이기 때문에 不飽和狀態가 되며 最小透水層以外에는 各單層土 自體가 갖는 透水係數의 數值를 나타내지 않는다고 하였으며 이 같은 狀態에서 일어나는 成層土壤의 浸透流速은 最小透水層에 作用하는 正의 壓力水頭 및 正壓部分의 土層의 두께를 考慮하여 算出하는 것이 合理的이라고 報告하였다. 한편 그는 透水係數가 比較的 적은 土層은 두께가 1.0cm 以下인 境遇에는 固有의 透水係數의 값을 나타내지 못하고 이로 因하여 透水係數에 依한 磨擦 抵抗損失이 적어지며 壓力의 低下는 매우 적다고 하였다. 또 最小透水層 두께에 對하여는 浸透流速을 求하기 爲한 動水勾配는 土層上下端의 壓力水頭로 부터 算出하였고 土層下端의 壓力水頭를 0으로 하여 求한 값을 比較한 境遇 土層은 1.0cm 부근의 두께에서는 壓力水頭를 使用한 計算值가 實測에 가까운 값을 나타내며 6.0cm以上이 增加할것 같으면 下端 壓力水頭를 0으로한 計算值가 實測值

에 接近한다고 報告하였다. 또 土壤內의 壓力分布에 對해서는 浸透水の Conductivity, 抵抗係數外에 成層相互의 透水係數, 有效間隙量等의 影響을 받기 때문에 이는 今後의 問題點이 된다고 報告하였다.

Ⅱ. 實驗材料 및 方法

1. 實驗材料

가. 供試土壤

供試土壤은 土性이 같은 3種類의 砂土를 擇하였으며 이들의 粒度分析 및 物理的인 性質은 表 1, 2와 같다.

表-1 供試土壤의 粒度分析

單層土 의名稱	通過率 (%)	細 土 (mm)			土 性	備 考
		粗 砂	細 砂	微 砂		
	2.0mm이상	2.00~0.25	0.25~0.05	0.05~0.01		
K ₁	0	62.5%	22.8%	14.7%	砂 土	粒徑 2.00mm이하
K ₂	0	51.0"	33.1"	15.9"	"	粒徑 1.00mm이하
K ₃	0	13.6"	79.3"	7.1"	"	標準모래

※ 本 分析은 KSF 2301의 規定에 依하였음

表-2 供試 土壤의 物理的 性質

土層名	土 性	참 比 重	겉보기비중	間 隙 率(%)	備 考
K ₁	砂 土	2.64	1.45	45.2	粒徑 2.00mm이하
2	"	2.63	1.47	43.5	粒徑 1.00mm이하
3	"	2.62	1.55	40.9	標準모래

나. 降下浸透 試驗裝置

(1) 鋼鐵製圓筒

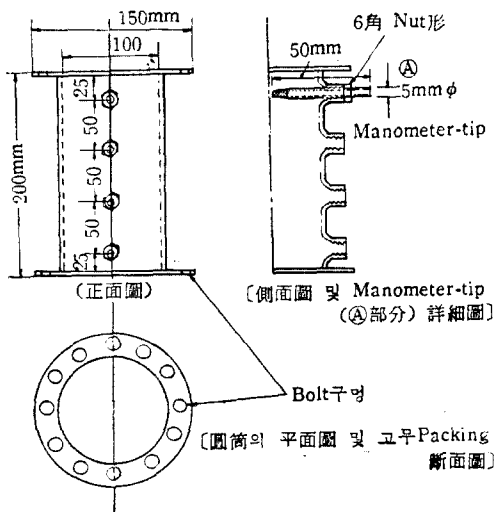


그림 2. 鋼鐵製 圓筒 및 Manometer-tip

直徑(內徑) 10.0cm, 길이 20.0cm의 鋼鐵製圓筒 3個와 滲水深을 주기 爲한 部分의 圓筒(길이 10.0

cm)을, 各各 12個(一斷面)의 Bolt로 結合하였고 各 圓筒間에는 水密 및 氣密을 爲해 고무 Packing을 使用하였다(그림 2).

(2) Manometer-tip

直徑 5.0mm, 길이 50.0mm의 Brass製로서 上記 鋼鐵製의 圓筒에 나사로 固定하였으며 Tip先端 3.0cm의 길이 까지 土中에 挿入하였다. 이때 Tip의 先端에는 壓力水가 浸出하여 Manometer 內部가 平衡을 이루어 壓力水頭를 測定할 수 있게 되어있다. 또한 이 Tip에 따라 流出되는 土粒자를 防止하기 爲해 Tip先端에 鐵網을 씩었다(그림 2 (A)部分).

(3) Manometer

壓力水頭 測定을 爲해 가로 1.00m, 세로 1.00m의 Veneer板에 Section paper를 붙여 Scale로 하고 그 위에 直徑 5.0mm의 유리管(길이 約 1.00m)을 鉛直으로 세워 Manometer로 使用하였고 圓筒에 나사로 固定된 Tip으로부터 Manometer까지 길이 1.0~1.5m의 鹽化 Vinyl管을 各各 連結하였다.

또한 各 Manometer의 0이 되는 基準點은 各 Manometer-Tip의 높이에 該當되는 곳을 잡았으며 Manometer 內의 壓力水頭가 이 基準點 보다 위에

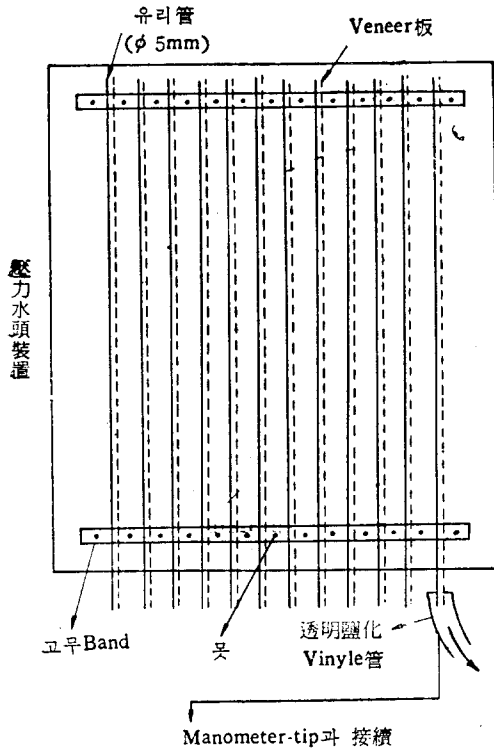


그림 3. 壓力水頭測定裝置(Manometer)

있을때의 壓力을 正壓, 아래로 내려 갔을때의 壓力을 負壓으로 하였다(그림 3).

2. 實驗方法

가. 土層의 處理

土層의 處理는 三處理 三反覆으로 다음과 같이 處理하였다.

나. 單層土의 透水試驗

3種類의 供試土를 그림 2의 鐵製圓筒에 各各別

個로 채웠으며 供試土에 물을 加하여 飽和狀態를 維持케하고 土壤이 均質토록 나무막대로 가볍게 쥐져 있다. 또한 土壤內部에 含有되어 있는 空氣를 排除키 爲하여 물을 아래로 부터 徐徐히 供給하였으며 圓筒內部 壁面에는 녹이 쓸지 않고 壁面과 土壤柱 間隙에서 生기는 漏水를 防止하기 爲하여 Grease를 발랐다.

給水는 처음 下方給水로 始作하여 上部에 滲水가 생기게 한 後 上方給水로 바꾸었으며 滲水深은 4.0 cm를 維持하였고 下流端에 排水口를 設置하였는데

表-3 土層의 處理

試驗區	土層의 順序
A	$K_3-K_1-K_2$
B	$K_2-K_3-K_1$
C	$K_1-K_2-K_3$

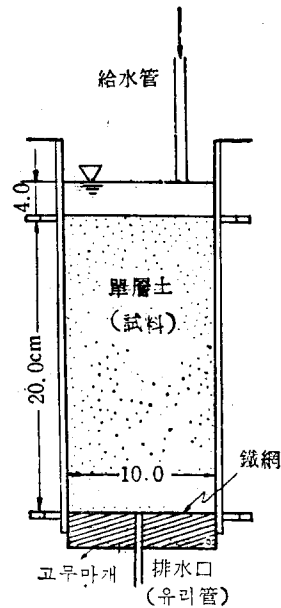


그림 4. 單層土의 透水試驗

排水口의 水面이 土壤下端의 位置에 存在토록 하여 그림 4와 같이 透水試驗을 하였다. 이때의 供給水는 水道물을 減壓 Tank(60×60×70cm)에 貯藏하여 水銀柱 20. cm의 吸引壓은 約 12時間 作用시켜 脫氣水로 하여 供給하였다.

浸透量은 給水後 直接 하지 않고 1 週間程度 連續 給水를 하여 土壤內 含有空氣에 依한 浸透量에 미치는 影響을 極小로 하여 安定된 平衡狀態로 維持시킨後 測定하였다.

다. 成層土壤의 透水試驗

上記 單層土의 透水試驗 終了後 各 單層土(三種類)를 組合하여 1組로 하고 그림 5와 같은 成層土 試驗裝置를 組立하였다. 또 下端에는 갈때기 모양의 鋼鐵製容器를 結合하였고 여기에 鹽化 Vinyle管으로 排水토록 하였으며 先端에는 그림 6과 같은 유리관을 使用, 그 分岐點을 排水口 位置로 하였다. 또한 滲水深의 表面과 放出口의 位置를 水位差로 하였고 脫氣水를 下端으로부터 보내어 土壤內部의 含有空氣를 排除하고 水深은 4.0cm를 維持하였다.

成層土의 境遇는 Manometer를 使用하기 때문에 檢定이 必要하며 이는 下端을 滲水表面보다 위의 位置에 멈추게 하고 靜水, 飽和狀態로 하여 壓力水頭가 正의 位置를 나타내는가를 檢定하였다.

이와 같은 檢定이 끝난後 排水位置를 順次로 四段階로 設定, 浸透量및 壓力水頭를 測定하였다. 이 排

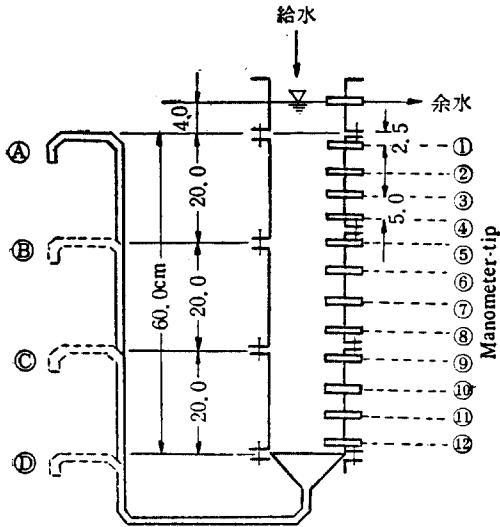


그림 5. 成層土壤의 降下浸透試驗裝置

水口의 位置는 그림 5와 같이 H를 水位差라 하면

- ㉠ $H_1=4.0\text{cm}$, ㉡ $H_2=24.0\text{cm}$, ㉢ $H_3=44.0\text{cm}$,
- ㉣ $H_4=64.0\text{cm}$ 가 된다.

그림 5의 裝置에 있어 鐵製圓筒 및 Manometer-Tip 등의 接合部는 漏水 및 外部空氣의 浸入防止를 爲해

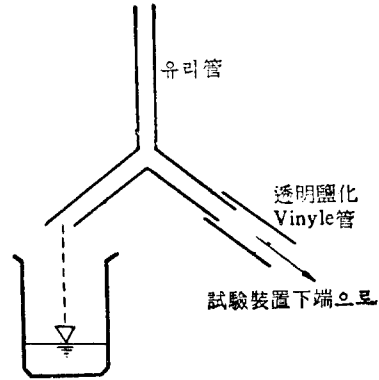


그림 6. 浸透水測定

카라핀을 칠하였다.

土壤中の 壓力水頭測定도 Manometer를 使用하였고 成層土壤의 浸透量에 있어서도 單層土의 境遇와 같이 安定된 平衡狀態에 있어 測定하였다.

IV. 實驗結果 및 考察

1. 實驗結果

가. 單層土의 透水試驗

單層土에 있어서의 透水試驗結果는 表 4와 같다.

表-4 單層土의 透水係數 (cm/sec)

單層土	成層試驗前	成層試驗後	平均値	備 考
K_1 層	5.10×10^{-2}	4.64×10^{-2}	4.87×10^{-2}	2.00mm 이하모래
K_2 層	1.84×10^{-2}	1.53×10^{-2}	1.66×10^{-2}	1.00mm 이하모래
K_3 層	9.43×10^{-3}	8.87×10^{-3}	9.15×10^{-3}	標準모래

(水溫 15°C 換算)

나. 成層土의 透水試驗

(1) 成層土의 各水位差에 對한 浸透流速과 壓

力水頭는 다음 表 5 및 表 6과 같다.

表-5 成層土壤의 各水位差에 對한 浸透流速(cm/sec)

試驗區	土 層 處 理	水 位 差 (cm)			
		$H_1=4.0$	$H_2=24.0$	$H_3=44.0$	$H_4=64.0$
A	$K_1-K_1-K_2$	7.78×10^{-4}	5.92×10^{-3}	1.14×10^{-2}	1.56×10^{-2}
B	$K_2-K_3-K_1$	8.13×10^{-4}	4.92×10^{-3}	8.49×10^{-3}	1.15×10^{-2}
C	$K_1-K_2 K_3$	1.24×10^{-3}	5.84×10^{-3}	9.24×10^{-3}	1.36×10^{-2}

表-6 土層處理別 水位差에 대한 壓力水頭(cm)

수위차 시험구 토층의 길이	H ₁ =4.0cm			H ₂ =24.0			H ₃ =44.0			H ₄ =64.0		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	(K ₂ -K ₁ -K ₂)	(K ₂ -K ₂ -K ₁)	(K ₁ -K ₂ -K ₂)									
①	6.5	7.3	6.4	4.7	16.7	6.6	3.2	6.3	6.8	1.3	5.6	6.3
②	10.4	11.5	12.1	5.4	9.3	11.4	0.7	8.6	10.3	-5.4	7.2	10.5
③	16.1	16.4	17.0	7.2	12.7	15.6	0.7	10.1	14.8	-7.5	8.7	14.4
④	20.2	21.3	21.0	11.7	17.1	20.1	5.3	12.9	18.9	-6.0	10.4	17.0
⑤	24.4	25.6	26.6	13.8	13.5	22.5	1.7	2.0	20.0	-10.3	-11.5	17.2
⑥	30.4	27.9	31.2	16.4	16.8	25.8	5.6	3.6	21.6	-7.4	-12.3	17.0
⑦	35.1	33.4	35.4	22.1	19.4	29.2	9.7	4.2	23.6	-3.5	-12.4	17.0
⑧	38.9	39.5	40.6	27.3	22.0	32.3	13.3	6.2	25.7	-0.3	-11.8	20.1
⑨	45.8	43.8	45.8	30.5	25.4	33.0	15.1	7.2	20.5	-0.2	-11.4	5.9
⑩	48.2	48.6	49.9	31.2	30.5	35.7	15.9	11.7	21.5	-1.6	-8.1	4.2
⑪	53.4	54.7	54.5	34.9	34.6	37.2	16.8	16.2	22.3	-1.8	-4.2	3.4
⑫	60.2	58.5	59.6	39.7	39.2	41.0	20.7	19.6	24.2	-1.7	0.4	5.1

※ 本 調査는 各試驗區別 三反覆의 平均値임

(2) 成層土의 動水勾配 및 浸透流速

表-7 各土層의 動水勾配 및 浸透流速의 算定値와 實測値

區分 試驗區	水位差 (cm)	單層土	土層의 두께 L(cm)	壓力水頭差 h(cm)	動水勾配 $I = \frac{h}{L}$	算定流速 $V = k \frac{h}{L}$ (cm/sec)	實測流速 (cm/sec)
A	H ₁ =4.0	K ₂	①~④ L ₂ =15.0	h ₂ =1.3	0.09	8.24×10 ⁻⁴	7.78×10 ⁻⁴
		K ₁	⑤~⑧ L ₁ =15.0	h ₁ =0.4	0.03	1.46×10 ⁻³	
		K ₂	⑨~⑫ L ₂ =15.0	h ₂ =0.6	0.04	6.64×10 ⁻⁴	
	H ₂ =24.0	K ₂	①~④ L ₂ =15.0	h ₂ =8.0	0.53	2.75×10 ⁻⁴	5.92×10 ⁻³
		K ₁	⑤~⑧ L ₁ =15.0	h ₁ =1.5	0.10	4.87×10 ⁻³	
		K ₂	⑨~⑫ L ₂ =15.0	h ₂ =5.8	0.39	6.47×10 ⁻³	
	H ₃ =44.0	K ₂	①~④ L ₂ =15.0	h ₂ =12.9	0.86	7.87×10 ⁻³	1.14×10 ⁻²
		K ₁	⑤~⑧ L ₁ =15.0	h ₁ =3.4	0.23	1.12×10 ⁻²	
		K ₂	⑨~⑫ L ₂ =15.0	h ₂ =9.4	0.63	1.05×10 ⁻²	
	H ₄ =64.0	K ₂	①~④ L ₂ =15.0	h ₂ =22.3	1.49	1.36×10 ⁻²	1.58×10 ⁻²
		K ₁	⑤~⑧ L ₁ =15.0	h ₁ =5.0	0.33	1.61×10 ⁻²	
		K ₂	⑨~⑫ L ₂ =15.0	h ₂ =16.5	1.10	1.83×10 ⁻²	
B	H ₁ =4.0	K ₂	①~④ L ₂ =15.0	h ₂ =1.0	0.07	1.16×10 ⁻³	8.13×10 ⁻⁴
		K ₂	⑤~⑧ L ₂ =15.0	h ₂ =1.1	0.07	6.41×10 ⁻⁴	
		K ₁	⑨~⑫ L ₁ =15.0	h ₁ =0.3	0.02	9.74×10 ⁻⁴	
	H ₂ =24.0	K ₂	①~④ L ₂ =15.0	h ₂ =4.6	0.31	5.15×10 ⁻³	4.92×10 ⁻³
		K ₂	⑤~⑧ L ₂ =15.0	h ₂ =6.5	0.43	3.93×10 ⁻³	
		K ₁	⑨~⑫ L ₁ =15.0	h ₁ =1.2	0.08	3.90×10 ⁻³	
	H ₃ =44.0	K ₂	①~④ L ₂ =15.0	h ₂ =3.4	0.56	9.20×10 ⁻³	8.49×10 ⁻³
		K ₂	⑤~⑧ L ₂ =15.0	h ₂ =10.8	0.72	6.59×10 ⁻³	
		K ₁	⑨~⑫ L ₁ =15.0	h ₁ =2.6	0.17	8.08×10 ⁻³	

C	$H_4 = 64.0$	K_2	①~④ $L_2 = 15.0$	$h_2 = 10.2$	0.68	1.13×10^{-2}	1.15×10^{-2}
		K_3	⑤~⑧ $L_3 = 15.0$	$h_3 = 15.3$	1.02	9.33×10^{-3}	
		K_1	⑨~⑫ $L_1 = 15.0$	$h_1 = 3.2$	0.21	1.02×10^{-2}	
	$H_1 = 4.0$	K_1	①~④ $L_1 = 15.0$	$h_1 = 0.4$	0.03	1.46×10^{-3}	1.24×10^{-3}
		K_2	⑤~⑧ $L_2 = 15.0$	$h_2 = 1.0$	0.07	1.16×10^{-3}	
		K_3	⑨~⑫ $L_3 = 15.0$	$h_3 = 1.2$	0.08	7.32×10^{-4}	
	$H_2 = 24.0$	K_1	①~④ $L_1 = 15.0$	$h_1 = 1.7$	0.11	5.36×10^{-3}	5.84×10^{-3}
		K_2	⑤~⑧ $L_2 = 15.0$	$h_2 = 5.2$	0.35	5.81×10^{-3}	
		K_3	⑨~⑫ $L_3 = 15.0$	$h_3 = 7.0$	0.47	4.30×10^{-3}	
	$H_3 = 44.0$	K_1	①~④ $L_1 = 15.0$	$h_1 = 2.9$	0.19	9.25×10^{-3}	9.24×10^{-3}
		K_2	⑤~⑧ $L_2 = 15.0$	$h_2 = 9.3$	0.62	1.03×10^{-2}	
		K_3	⑨~⑫ $L_3 = 15.0$	$h_3 = 11.3$	0.75	6.86×10^{-3}	
	$H_4 = 64.0$	K_1	①~④ $L_1 = 15.0$	$h_1 = 4.3$	0.29	1.41×10^{-2}	1.36×10^{-2}
		K_2	⑤~⑧ $L_2 = 15.0$	$h_2 = 12.1$	0.81	1.34×10^{-2}	
		K_3	⑨~⑫ $L_3 = 15.0$	$h_3 = 15.9$	1.05	9.61×10^{-3}	

의 算定値와 實測値는 表 7 과 같다.

2. 考 察

가. 成層土의 壓力水頭

(1) 最小透水層 K_3 가 上部에 位置한 境遇 (A區).

土層의 處理는 $K_3-K_1-K_2$ 의 順序로 配置하였으 며 各 水位差에 對한 壓力水頭는 表 8. 및 그림 7

表-8 A區의 壓力水頭의 變化

土層	水位差(cm) 土層의 깊이(cm)	$H_1 = 4.0$	$H_2 = 24.0$	$H_3 = 44.0$	$H_4 = 64.0$
		K_3	-2.5	6.5	4.7
K_1	-7.5	10.4	5.4	0.7	-5.4
	-12.5	16.1	7.2	0.7	-7.5
	-17.5	20.2	11.7	5.3	-6.0
	-22.5	24.4	13.8	1.7	-10.3
K_2	-27.5	30.4	16.4	5.6	-7.4
	-32.5	35.1	22.1	9.7	-3.5
	-37.5	38.9	27.3	13.3	-0.3
	-42.5	45.8	30.5	15.1	-0.2
K_3	-47.5	48.2	31.2	15.9	-1.6
	-52.5	53.2	34.9	16.8	-1.8
	-57.5	60.2	39.7	20.7	-1.7

에서 보는 바와 같이 水位差 $H_1 = 4.0\text{cm}$ 에서는 土層全體가 靜水壓分布와 같은 一種의 貯留狀態를 이루며 $H_2 = 24.0\text{cm}$ 에서는 土層全體의 壓力水頭가 減少

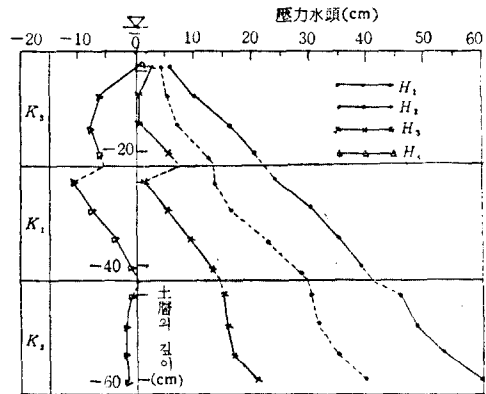


그림 7. A區의 兩力水頭分布

되어 壓力勾配는 漸次 急하게 變하나 亦是 前과 같은 貯留狀態를 나타내고 있다. $H_3 = 44.0\text{cm}$ 에서는 K_3 層, 깊이 $-7.5 \sim -12.5\text{cm}$ 에서 壓力水頭가 0.7cm 로서 서로 같고 $H_4 = 64.0\text{cm}$ 에서는 全土層에 있어서 깊이 -2.5cm 인 點을 除外하고는 全體的으로 負壓을 나타내고 있다. 또한 $H_3 = 44.0\text{cm}$, $H_4 = 64.0\text{cm}$ 의 分布에서는 K_3 및 K_1 層 境界에서 上下 土層의 壓力水頭가 不連續的으로 變化하였다.

한편 土層 및 水位差에 따른 壓力水頭에 對한 有意性을 살펴 보면 表 9와 같이 行間(土層) 및 列間(壓力水頭)에 있어 1%의 高度의 有意性이 認定되었으며 土層 및 壓力水頭 相互間에 있어서는 有意性이 認定되지 않았다.

表-9 分散分析表(A區)

要 因	平方合 (S.S)	自由度 (D.F)	不備分散 (M.S)	分散比 (F)
行 間(土層)	2,607.31	2	1,303.66	6.25 **
列間(壓力水頭)	6,468.74	3	2,156.25	10.34 **
交 互 作 用	1,23.41	6	187.24	0.89
小 計	10,139.48	11	—	—
殘 差	5,002.64	24	208.44	—
全 體	15,142.12	35	—	—

(2) 最小透水層 K_3 가 中間에 位置할 境遇(B구)

土層의 處理는 $K_2-K_3-K_1$ 의 順序로 配置하였으 며 各 水位差에 對한 壓力水頭分布는 表 10 및 그림 8에서 보는 바와 같이 $H_1=4.0\text{cm}$ 에서의 壓力水頭는 A區와 비슷한 傾向을 나타냈고 $H_2=24.0\text{cm}$ 에서는 K_2 및 H_3 의 境遇에 있어 壓力이 갑자기 떨어졌으며 그 以下의 깊이에서는 壓力水頭가 直線인 增加를 보여 一種의 貯留現象을 나타냈다. 또 $H_4=44.0\text{cm}$ 에

表-10. B區의 壓力水頭變化

土層의 깊이(cm)	水位差(cm)				
	$H_1=4.0$	$H_2=24.0$	$H_3=44.0$	$H_4=64.0$	
K_2	-2.5	7.3	6.7	6.3	5.6
	-7.5	11.5	9.3	8.6	7.2
	-12.5	16.4	12.7	10.1	8.7
	-17.5	21.3	17.1	12.9	10.4
K_3	-22.5	25.6	13.5	2.3	-11.5
	-27.5	27.9	16.8	3.6	-12.3
	-32.5	33.4	19.4	4.2	-12.4
	-37.5	39.5	22.0	6.2	-11.8
K_1	-42.5	43.8	25.4	7.2	-11.4
	-47.5	48.6	30.5	11.7	-8.1
	-52.5	54.7	34.6	16.2	-4.2
	-57.5	58.5	39.2	19.2	0.4

에서는 全土層이 正壓을 보였고 $H_2=24.0\text{cm}$ 의 境遇 보다도 壓力水頭가 低下되었으 며 $H_4=64.0\text{cm}$ 는 K_3 層 以下부터 負壓을 나타내었는데 土層깊이 -22.5~37.5cm의 位置에서의 負壓은 거의 비슷한 값을 보였다.

一般으로 各 水位差에 따른 壓力水頭勾配는 全土層의 水位差 B의 增大에 따라 增加되는 것이라 생각되며 어느 水位差의 境遇에도 貯留狀態를 나타내고 있었다. 또한 K_2 와 K_3 層의 境界에서는 水位差

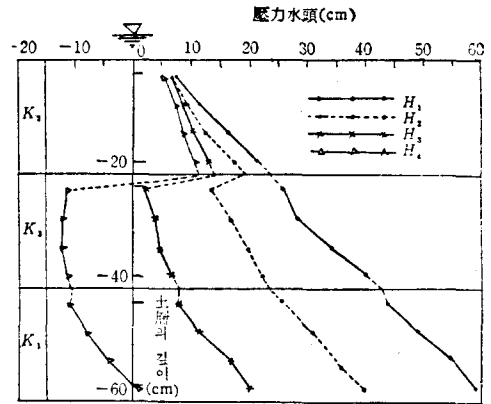


그림 8. H區의 壓力水頭分布

$H_2=24.0\text{cm}$, $H_3=44.0\text{cm}$ 및 $H_4=64.0\text{cm}$ 인 分布에서 壓力의 不連續인 變化를 가져왔다.

한편 土層 및 水位差에 따른 壓力水頭에 對한 有意性은 表11에서 보는 바와 같이 土層 및 壓力水頭 共히 1%의 高度의 有意性이 認定되었으며 土層과 壓力水頭 사이에도 1%의 有意性이 認定되었다.

表-11 分散分析 (B區)

要 因	S.S	D.F	M.S	F
行 間(土層)	1,019.65	2	509.83	12.35 **
列間(壓力水頭)	6,762.66	3	2,254.22	54.62 **
交 互 作 用	1,596.13	6	266.02	6.45 **
小 計	9,398.44	11	—	—
殘 差	990.58	24	41.27	—
全 體	10,389.02	35	—	—

(3) 最小透水層 K_3 가 下部에 位置하는 境遇 (C구)

土層處理는 $K_1-K_2-K_3$ 의 順序로 配置하였으며 各 水位差에 對한 壓力水頭는 表12 및 그림 9에서 보는 바와 같이 $H_1=4.0\text{cm}$ 의 壓力水頭分布는 前記 A,B區와 같은 靜水壓分布인 一種의 貯留狀態를 나타내고 있으며 本 C區의 處理는 最小透水層인 K_3 層이 下層에 存在하므로 各 水位差 共히 全層正壓을 나타내었다. 또한 各 土層境界에서는 水位差 $H_2=24.0\text{cm}$, $H_3=44.0\text{cm}$, 및 $H_4=64.0\text{cm}$ 의 分布에서는 모두 不連續인 壓力變化를 가져왔는데 이는 K_3 層內에 浸透수가 다른 土層과 同一量으로 흐르기 때문에 縮少된 通水斷面에 있어 流速이 增加되어 壓力水頭가 土層內에서 減少되고 따라서 二層의 境界面에 壓力의 不連續이 생긴 것으로 생각된다. 이러한 事

表-12 C區의 壓力水頭變化

土層	水位差(cm) 土層깊이 (cm)	H ₁ =4.0	H ₂ =24.0	H ₃ =44.0	H ₄ =64
		K ₁	-2.5	6.4	6.6
	-7.5	12.1	11.4	10.3	10.5
	-12.5	17.0	15.6	14.8	14.4
	-17.5	21.0	20.1	18.9	17.0
K ₂	-22.5	26.6	22.5	20.0	17.2
	-27.5	31.2	25.8	21.6	17.0
	-32.5	35.4	29.2	23.6	17.9
	-37.5	40.6	32.3	25.7	20.1
K ₃	-42.5	45.8	33.0	20.5	5.9
	-47.5	49.9	35.7	21.5	4.2
	-52.5	54.5	37.2	22.3	3.4
	-57.5	59.6	41.0	24.2	5.1

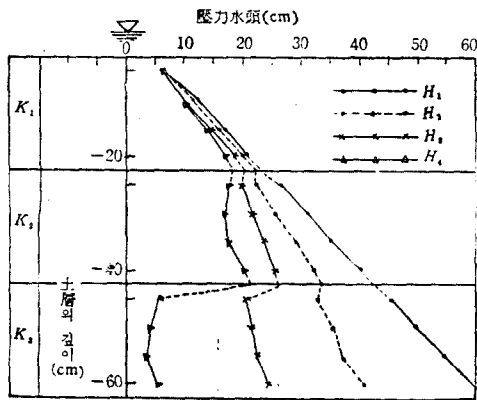


그림 9. C區의 壓力水頭分布

實은 Scott, Corey(1961)²²⁾나 Arbbhahirama(1968)²³⁾ 등의 研究結果와 一致하고 있는 것이다.

한편 土層 및 水位差에 따른 壓力水頭에 對한 有意性은 表 13에서 보는 바와 같이 行間(土層)에서

表-13 分散分析表(C區)

要 因	S.S	D.F	M.S	F
行 間(土層)	677.42	2	338.71	3.72*
列間(壓力水頭)	2,327.58	3	775.86	8.52**
交互作用	2,653.21	6	442.20	4.86*
小 計	5,658.21	11	—	—
殘 差	2,185.13	24	91.05	—
全 體	7,843.34	35	—	—

는 5%의 有意性이 認定되었고 列間(壓力水頭)에서는 1%의 高度의 有意性이 認定되었다. 또한 土層과 壓力水頭 相互間에는 5%의 有意性이 認定되었다.

以上 成層土壤에 있어서의 土層의 處理別 各 水位差에 對한 壓力水頭分布에 關하여 考察하였는데 이들의 一般의인 傾向을 要約하면 다음과 같다.

(가) 最小透水層 K₃가 上層에 位置하고 他層이 下層에 存在하는 境遇 이들 下層土에 있어서는 壓力의 低下로 飽和-閉鎖狀態가 되어 負壓을 이르기며 特히 K₃層이 最上層에 存在하는 境遇는 上層의 一部分을 除外하고는 全體의으로 負壓狀態를 나타냈다. 이와 같은 現象은 土層이 成層土壤이기 때문에 最小透水層에 있어 上下의 位置에서 일어나는 potential差에 依한 負壓의 發生이라 생각되며^{24), 25)} 이 負壓의 값이 아래 K₃層에 影響을 미쳐 K₁層中에서 負壓으로 부터 正壓으로의 變化를 이르고 있다(그림 7).

(나) 最小透水層 K₃가 下層에 存在하고 다른 層이 下層에 存在하는 境遇에는 위 上層土에서는 壓力이 貯留現象을 나타내며 下層의 K₂層에 있어 壓力의 低下를 가져왔다. 이때 같은 層의 順序로된 K₂-K₁에 있어서도 K₃層이 負壓을 나타낼때와(그림 8), 正壓이 繼續되는 境遇(그림 9)가 생기며 이 같은 相異點은 위 粗粒層 下端에 作用하는 壓力의 크기에 依해 下層에 存在하는 K₃層의 壓力크기가 影響을 받는 것이라 생각된다.

나. 成層土의 動水勾配의 變化

土層의 處理別 各 水位差에 따른 動水勾配의 變化는 實測한 壓力水頭 및 土層內의 두께로부터 求하였으며 ($I = \frac{h}{L}$) 表 14에서 보는 바와 같이 어느 試驗區 및 水位差에 있어서도 最小透水層인 K₃層의 動水勾配가 가장 큰 값을 가지며 K₁層에는 恒常 貯

表-14. 土層處理別 水位差에 對한 動水勾配

試驗區	土層	水位差(cm)			
		H=4.0	H ₂ =24.0	H ₃ =44.0	H ₄ =64.0
A	K ₃	0.09	0.53	0.86	1.49
	K ₁	0.03	0.10	0.23	0.33
	K ₂	0.04	0.39	0.63	1.10
B	K ₂	0.07	0.31	0.56	0.68
	K ₃	0.07	0.43	0.72	1.02
	K ₁	0.02	0.08	0.17	0.21
C	K ₁	0.03	0.01	0.19	0.29
	K ₂	0.07	0.35	0.62	0.81
	K ₃	0.08	0.47	0.75	1.05

留現象이 보여 動水勾配의 數値는 0.02~0.33의 적은 값을 나타냈다.

한편 土層 및 水位差에 따른 動水勾配의 有意性을 보면 表 15에서 보는 바와 같이 行間(土層)에는 有意性이 認定되지 않았으나 列間(水位差)에 있어서는 5%의 有意性이 認定되었다.

表-15 分散分析表(動水勾配)

要 因	S.S	D.F	M.S	F
行 間(土層)	0.0661	2	0.0331	0.985*
列間(動水勾配)	0.5375	3	0.1792	5.33
殘 差	0.2014	6	0.0336	—
全 體	0.8050	11	—	—

(1) 最小透水層 K₃가 上層에 存在하는 境遇 (A區).

K₃層의 動水勾配는 水位差의 增加에 따라 0.09에서 始作하여 1.49로 漸次 增加하였으며 中間層인 K₁層은 0.03에서 부터 0.33의 增加를 보였으나 K₃層에 비해 增加率이 매우 작게 나타났다. 그런데 이는 下層인 K₂層이 K₁層보다 粒徑이 微細하기 때문에 K₁層에 있어서의 貯留現象에 基因된 것이라 생각된다. 또한 下層인 K₂層은 0.04~1.10의 範圍였으며 특히 H₁=64.0cm에 있어서 거의 1.00에 接近하고 있음을 알수있다(表 14).

(2) 最小透水層 K₃가 中間에 位置하는 境遇 (B區).

上層土 K₂層의 各水位差에 對한 動水勾配를 보면 0.07~0.68의 範圍로 漸次 增加되었으며 H₁=4.0cm에서는 上記 (1)의 境遇(A區) K₂層과 比較하여 보면 (2)의 境遇(B區)가 큰 값을 나타내고 있으나 H₂=24.0cm以下에서 부터는 (1)의 境遇보다도 全部 적은 값을 나타내고 있다. 이는 中間土層에 K₂層이 存在하기 때문에 上層 K₃層에는 어느 水位差에 對해서도 貯留現象이 일어나 動水勾配의 값이 적어지는 것이라 생각된다. 또한 中間土層 K₃層에서는 0.07~1.02의 範圍를 漸次 增加되었으며 前記 (1)의 K₂과 같이 動水勾配는 1.00에 接近되어 가고 있다.

또 下層土의 K₁層은 0.02~0.21의 範圍로서 增加되었으며 이 土層에서는 透水係數와 地下水位的 位置關係때문에 貯留現象을 이르기므로 動水勾配의 增加率은 中間土層인 K₃層에 비해 적은 값을 나타냈고 이 K₁層의 動水勾配는 이들 B區中 가장 적은 값을 나타내었다(表 14).

(3) 最小透水層 K₃가 下層에 位置하는 境遇 (C區).

上層土의 K₁層에는 0.03~0.29의 範圍의 境加를 보였으며 中間層 K₂層에는 0.07~0.81의 範圍의 增加를 보였고 兩 土層 어느것이나 K₃層이 最下層에 位置하기 때문에 貯留現象을 보였다. 특히 粗粒層인 K₁層에는 各 水位差 共히 最小의 값을 나타내었다. 또한 下層土 K₂層에 있어서는 0.08~1.05의 範圍의 漸次的인 增加를 보였으며 H₁=64.0cm에 있어서의 動水勾配는 거의 1.00이 되어 壓力水頭의 減少를 가져왔다(表 14).

다. 壓力水頭의 算定

土壤中 壓力水頭 分布를 나타내는 一般式은 Navier-Stokes의 運動方程式으로 부터 誘導된¹⁰⁾ 것이라든가, 또는 速度 Potential로부터 誘導된¹¹⁾ 것, Darcy의 法則으로부터 誘導된¹²⁾ 것 등이 있으나 이들 어느 것이나 다음 式으로 表示할수 있다.

$$\frac{P}{\rho g} = H_0 + (1 - \frac{V}{K})Z \dots \dots \dots (1)$$

여기서 $\frac{P}{\rho g}$: 土壤의 깊이 Z에서 일어나는 壓力

水頭(cm).

V : 浸透流速(cm/sec)

K : 透水係數(cm/sec)

Z : 土壤中 任意의 點의 깊이(cm).

H₀ : 滯水深(cm).

富士(1955)¹⁰⁾는 “土壤浸透에서 일어나는 負壓發生機構에 關한 研究”에서 開放浸透에서 일어나는 正壓部分과 負壓部分에는 浸透係數의 큰 差異는 있으나 實用的으로는 測定誤差를 考慮하여 全體의 平均値를 取하는 것이 좋다고 하였다. 그러나 本 研究와 같은 閉鎖浸透에 있어서는 正壓 負壓 兩部分에 있어 흐름의 質의 差異가 없기 때문에¹³⁾¹⁴⁾ 透水係數는 正負壓 關係없이 같은 값으로 取扱하여 各 土層의 固有平均 透水係數를 使用함이 좋으리라 생각된다.

成層土壤에서는 土層境界의 壓力水頭가 不連續的인 變化를 이르기므로 土層이 變化하면 透水係數, 有効間隙, 粒徑分布等 透水條件이 變化하게 된다. 따라서 壓力水頭의 算定은 各 層마다의 壓力水頭의 初期値와 各 土層의 固有透水係數로부터 求하였다. 이때 壓力水頭의 初期値라 함은 土層境界에 있어서는 壓力水頭를 測定하지 않았기 때문에 各 土層最上部的 壓力水頭의 實測値를 말하는 것이다.

이제 各 試驗區의 壓力水頭分布를 上記 壓力水頭 算定式에 依하여 求해 보면 表16, 表17, 表18과 그

림 10, 그림 11 및 그림 12와 같다.

表-16 A區의 壓力水頭計算值

土層 (cm)	水位差(cm)				
	H ₁ =4.0	H ₂ =24.0	H ₃ =44.0	H ₄ =64.0	
K ₃	-2.5	4.3	5.7	4.4	2.8
	-7.5	10.8	9.3	4.6	0.4
	-12.5	11.4	12.8	5.9	-2.0
	-17.5	15.9	16.3	6.5	-4.4
K ₁	-22.5	25.8	24.3	21.3	19.1
	-27.5	30.7	29.8	25.2	22.4
	-32.5	35.5	33.6	29.2	25.8
	-37.5	40.4	37.8	32.9	29.1
K ₂	-42.5	42.4	29.9	19.7	-0.3
	-47.5	46.9	33.0	21.6	-0.8
	-52.5	51.4	36.0	23.4	-1.3
	-57.5	55.9	39.1	25.3	-2.0

表-17 B區의 壓力水頭計算值

土層 (cm)	水位差(cm)				
	H ₁ =4.0	H ₂ =24.0	H ₃ =44.0	H ₄ =64.0	
K ₂	-2.5	6.3	5.7	5.1	4.8
	-7.5	11.0	9.2	7.3	6.3
	-12.5	15.6	12.6	9.5	7.9
	-17.5	20.1	15.6	11.7	9.4
K ₃	-22.5	10.8	16.8	10.3	-0.5
	-27.5	12.3	19.7	11.7	-1.5
	-32.5	13.8	22.5	12.1	-2.5
	-37.5	15.3	25.4	14.5	-3.5
K ₁	-42.5	45.7	39.1	39.3	37.6
	-47.5	50.6	47.1	43.4	41.5
	-52.5	55.6	53.3	47.6	45.5
	-57.5	59.4	56.9	51.7	49.4

表-18 C區의 壓力水頭計算值

土層 (cm)	水位差(cm)				
	H ₁ =4.0	H ₂ =24.0	H ₃ =44.0	H ₄ =64.0	
K ₁	-2.5	6.4	6.2	6.0	5.8
	-7.5	11.3	10.7	10.0	6.1
	-12.5	16.1	15.1	13.0	7.5
	-17.5	21.0	19.6	16.0	8.9

K ₃	-22.5	24.9	18.6	12.8	9.2
	-27.5	29.6	21.9	14.5	9.8
	-32.5	35.5	25.1	16.4	10.8
	-37.5	40.4	26.4	18.3	11.9
K ₂	-42.5	43.1	28.9	14.6	-6.1
	-47.5	47.7	29.7	15.9	-6.4
	-52.5	52.3	32.4	17.1	-6.6
	-57.5	56.9	35.1	18.4	-6.9

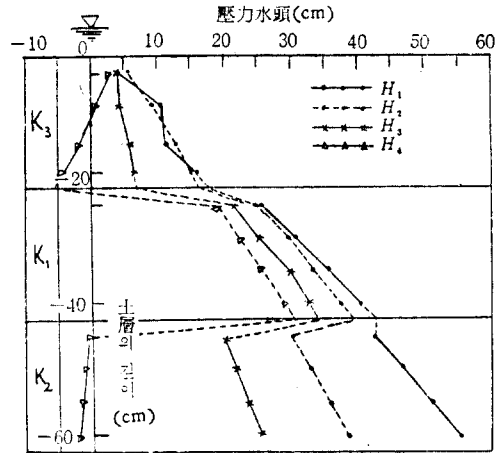


그림 10. A區의 算定 壓力水頭變化

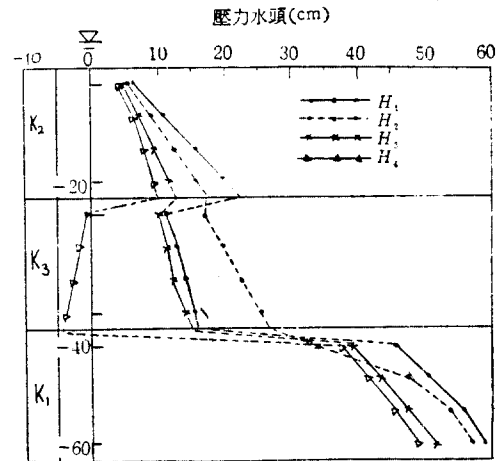


그림 11. B區의 算定 壓力水頭變化

한편 實測한 壓力水頭와 前記 (1)式으로부터 算出한 壓力水頭와를 各 試驗區別로 水位差 H₄=64.0cm에 對한 1例를 들어 比較해 보면 그림 13, 그림 14 및 그림 15에서 보는 바와 같이 큰 差異를 나타내교

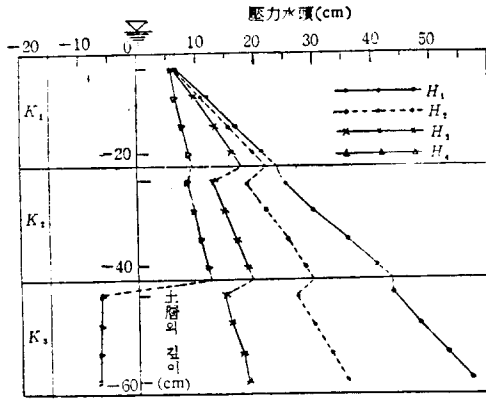


그림 12. C區의 算定 壓力水頭變化

있으며 또한 各 試驗區別로 χ^2 檢定을 하여 보면 다음과 같다.

A區: $\chi^2_A = \sum_{i=1}^k \frac{(f_i - e_i)^2}{e_i} = 13.35 > 5.99 = P_{0.05}$

B區: $\chi^2_B = 76.41 > 5.99 = P_{0.05}$

C區: $\chi^2_C = 9.93 > 5.99 = P_{0.05}$

以上の 檢定結果 各區 共히 5%의 有意性이 認定되므로서 이는 實測値와 理論値가 統計的으로 큰 差異를 나타내 주고 있는 것이다.

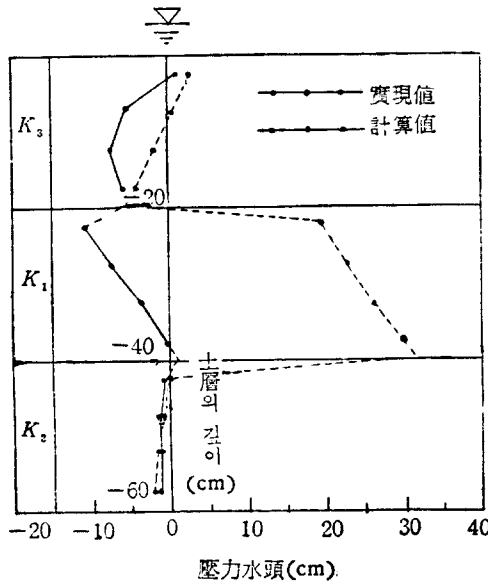


그림 13. A區에 있어 壓力水頭的 實測値와 計算値

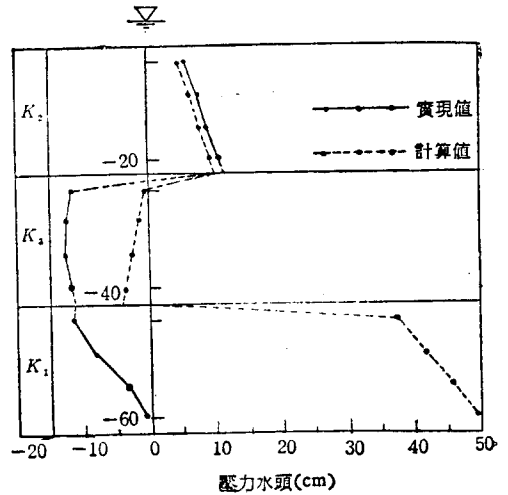


그림 14. B區에 있어 壓力水頭的 實測値와 計算値

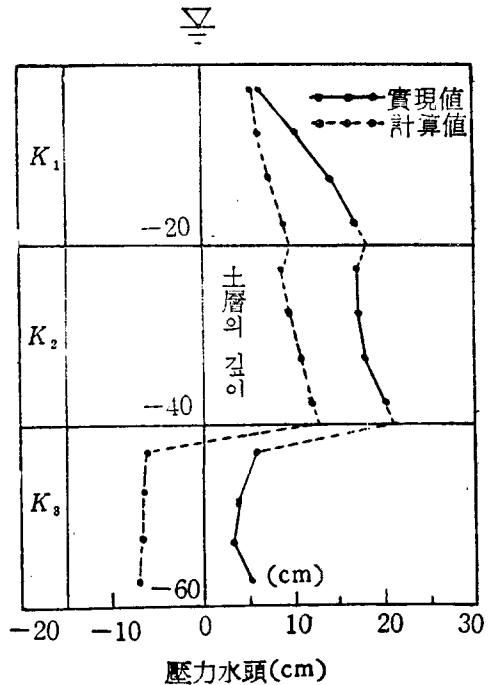


그림 15. C區에 있어 壓力水頭的 實測値와 計算値 따라서 이러한 事實은 浸透水の 毛管運動에서 일어나는 Conductivity 및 抵抗係數¹¹⁾와 成層相互의 透水係數, 有效間隙量 等に 基因한 것이 아닌가 생각된다.

라. 成層土의 浸透流速 算定

(1) Darcy法則에 依한 算定

成層土의 浸透流速은 Darcy 法則¹²⁾을 應用하여 算定하였으며 各 水位差에 따른 算定値와 實測値를 比較하여 보면 表 19와 같다.

表-19 成層土의 浸透流速算定値와 實測流速 (V=ki)

試驗區	水位差 (cm)	單層 t	動水 勾配	算定流速 (cm/sec)	實測流速 (cm/sec)
A	H ₁ =4.0	K ₁	0.09	8.24 × 10 ⁻⁴	7.78 × 10 ⁻⁴
		K ₂	0.03	1.46 × 10 ⁻³	
		K ₃	0.04	6.64 × 10 ⁻⁴	
	H ₂ =24.0	K ₁	0.53	2.75 × 10 ⁻³	5.92 × 10 ⁻³
		K ₂	0.10	4.87 × 10 ⁻³	
		K ₃	0.39	6.47 × 10 ⁻³	
	H ₃ =44.0	K ₁	0.86	7.87 × 10 ⁻³	1.14 × 10 ⁻²
		K ₂	0.23	1.12 × 10 ⁻²	
		K ₃	0.63	1.05 × 10 ⁻²	
	H ₄ =64.0	K ₁	1.49	1.36 × 10 ⁻²	1.58 × 10 ⁻²
		K ₂	0.33	1.61 × 10 ⁻²	
		K ₃	1.10	1.83 × 10 ⁻²	
B	H ₁ =4.0	K ₁	0.07	1.16 × 10 ⁻³	8.13 × 10 ⁻⁴
		K ₂	0.07	6.41 × 10 ⁻⁴	
		K ₃	0.02	9.74 × 10 ⁻⁴	
	H ₂ =24.0	K ₁	0.31	5.15 × 10 ⁻³	4.92 × 10 ⁻³
		K ₂	0.43	3.93 × 10 ⁻³	
		K ₃	0.08	3.90 × 10 ⁻³	
	H ₃ =44.0	K ₁	0.56	9.20 × 10 ⁻³	8.49 × 10 ⁻³
		K ₂	0.72	6.59 × 10 ⁻³	
		K ₃	0.17	8.08 × 10 ⁻³	
	H ₄ =64.0	K ₁	0.68	1.13 × 10 ⁻²	1.15 × 10 ⁻²
		K ₂	1.02	9.33 × 10 ⁻³	
		K ₃	0.21	1.02 × 10 ⁻²	
C	H ₁ =4.0	X ₁	0.03	1.46 × 10 ⁻³	1.24 × 10 ⁻³
		K ₁	0.07	1.16 × 10 ⁻³	
		K ₂	0.08	7.32 × 10 ⁻⁴	
	H ₂ =24.0	K ₁	0.11	5.36 × 10 ⁻³	5.84 × 10 ⁻³
		K ₂	0.35	5.81 × 10 ⁻³	
		K ₃	0.47	4.30 × 10 ⁻³	
	H ₃ =44.0	K ₁	0.19	9.25 × 10 ⁻³	9.24 × 10 ⁻³
		K ₂	0.62	1.03 × 10 ⁻²	
		K ₃	0.75	6.86 × 10 ⁻³	
	H ₄ =64.0	K ₁	0.29	1.41 × 10 ⁻²	1.36 × 10 ⁻²
		K ₂	0.81	1.34 × 10 ⁻²	
		K ₃	1.05	9.61 × 10 ⁻³	

表 19에서 보는 바와 같이 各土層의 浸透流速 算定値는 實測値와 거의 비슷한 값을 나타내고 있으나 各水位差에 있어 A區에서는 H₁=4.0cm일때 K₁層과

H₄=64.0cm에서 K₃層이 若干 差異가 있었으며 B區에서는 H₁=4.0cm에서 K₂層이, C區에서는 H₁=4.0cm 일때 K₁層이, H₂=44.0cm 일때 K₂層이, H₃=64.0cm에서 K₃層이 差異가 있을뿐 別다른 큰 差異는 없으며 또한 實測値와 算定値에 對한 X²檢定 結果에 있어서도 X²=0.49<5.59=P 0.05로서 有意性은 全혀 認定되지 않아 算定値는 實測値에 接近 하고 있음을 알수 있는 것이다.

한편 實測한 浸透流速과 動水勾配로부터 透水係數를 求하면 表 20과 같으며 이 表에서 보는 바와 같이 大部分의 土層이 그의 固有透水係數와 비슷한 값

表-20 處理別 水位差에 對한 算定透水係數

$$(k' = \frac{v}{i})$$

試驗區	水位差 (cm)	單層	土動水勾	配實測浸透流速 (cm/sec)	算定透水係數 k'(cm/sec)
A	H ₁ =4.0	K ₁	0.09	7.78 × 10 ⁻⁴	8.72 × 10 ⁻³
		K ₂	0.03		2.59 × 10 ⁻³
		K ₃	0.04		1.95 × 10 ⁻³
	H ₂ =24.0	K ₁	0.53	5.92 × 10 ⁻³	1.12 × 10 ⁻²
		K ₂	0.10		5.92 × 10 ⁻³
		K ₃	0.39		1.51 × 10 ⁻²
	H ₃ =44.0	K ₁	0.86	1.14 × 10 ⁻²	1.33 × 10 ⁻²
		K ₂	0.23		4.96 × 10 ⁻³
		K ₃	0.63		1.90 × 10 ⁻²
	H ₄ =64.0	K ₁	1.49	1.58 × 10 ⁻²	1.06 × 10 ⁻²
		K ₂	0.33		4.78 × 10 ⁻³
		K ₃	1.10		1.44 × 10 ⁻²
B	H ₁ =4.0	K ₁	0.07	8.13 × 10 ⁻⁴	1.16 × 10 ⁻³
		K ₂	0.07		1.16 × 10 ⁻³
		K ₃	0.02		4.02 × 10 ⁻⁴
	H ₂ =24.0	K ₁	0.31	4.92 × 10 ⁻³	1.59 × 10 ⁻³
		K ₂	0.43		1.14 × 10 ⁻³
		K ₃	0.08		6.15 × 10 ⁻⁴
	H ₃ =44.0	K ₁	0.56	8.49 × 10 ⁻³	1.52 × 10 ⁻³
		K ₂	0.72		1.18 × 10 ⁻³
		K ₃	0.17		4.99 × 10 ⁻⁴
	H ₄ =64.0	K ₁	0.68	1.15 × 10 ⁻²	1.69 × 10 ⁻³
		K ₂	1.02		1.13 × 10 ⁻³
		K ₃	0.21		5.48 × 10 ⁻⁴
H ₁ =4.0	K ₁	0.03	1.24 × 10 ⁻³	4.13 × 10 ⁻³	
	K ₂	0.07		1.77 × 10 ⁻³	
	K ₃	0.08		1.55 × 10 ⁻³	

C	H ₁ =24.0	K ₁	0.11	5.84 × 10 ⁻⁸	5.31 × 10 ⁻²
		K ₂	0.53		1.10 × 10 ⁻²
		K ₃	0.47		1.24 × 10 ⁻²
	H ₂ =44.0	K ₁	0.19	9.24 × 10 ⁻⁸	4.86 × 10 ⁻²
		K ₂	0.62		1.49 × 10 ⁻²
		K ₃	0.75		1.23 × 10 ⁻²
H ₃ =64.0	K ₁	0.29	1.36 × 10 ⁻²	4.69 × 10 ⁻²	
	K ₂	0.81		1.68 × 10 ⁻²	
	K ₃	1.05		1.29 × 10 ⁻²	

을 나타내고 있으나 K₁층은 A區의 H₁=4.0cm에서만이 다른 他區에서는 거의 固有透水係數에 接近되고 있으며 K₂층은 各區 모두 비슷한 값을 나타내었다. 또한 K₃층을 보면 A區의 H₁=4.0cm에서 비슷하였고 나머지 他區 모두 다른 값을 나타냈다. 따라서 成層土壤의 最小透水層 即 K₃層 以外の 土層에서도 그 固有의 透水係數과 값이 다르고 있음을 알 수 있으며 成層土壤의 浸透流速은 最小透水層(K₃層)에 의해 規制된다고 생각된다.

이와 같은 事實은 本 研究가 閉鎖浸透에 關한 研究이기는 하나 古田(1968)¹²⁾의 研究結果와도 一致되고 있는 것이다.

(2) Zunker의 式에 依한 算定

Zunker(1930)¹³⁾는 地下水가 土層의 鉛直 및 水平 方向으로 流動할 때 全 土層의 平均透水係數 및 流速

을 다음 式으로 나타내었다. 即 全 土層의 平均透水係數 K, 浸透流速을 V라하면

$$K = \frac{L}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3}} \text{ (cm/sec)} \dots\dots\dots(2)$$

$$V = \frac{h}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3}} \text{ (cm/sec)} \dots\dots\dots(3)$$

여기서 k₁, k₂, k₃: 各 土層의 透水係數(cm/sec).
L₁, L₂, L₃: 各 土層의 두께(cm).
h=h₁+h₂+h₃: 全 土層의 壓力水頭差(m).

前項에 論한 바와 같이 成層土壤의 透水係數는 最小透水層에 있어 恒常 固有透水係數를 나타내기 어려우며 이는 土層順序에 依하여 土層内部에 貯留 및 減壓現象이 일어나 動水勾配에 基因한 것이라 생각된다.

한편 土層境界에 있어 壓力分布의 連續性을 생각하면 이 平均透水係數의 公式는 各 土層境界에 있어 壓力이 連續될 境遇에 成立되며 不連續인 境遇는 이 公式의 成立이 疑問인 것으로 생각된다.

또 成層土壤의 浸透流速이 最小透水層에 依해 規制된다는 事實을 適用, K₃層의 固有透水係數와 그의 土層에 있어 動水勾配에 依한 浸透流速을 算出한 값 및 Zunker의 平均透水係數公式를 써서 求한 計算値와 比較하여 보면 表 21과 같다.

위 表에서 보는 바와 같이 最小透水層에 있어 浸

表-21 處理別 水位差에 對한 計算 및 實測 浸透流速

試驗區	水位差 (cm)	單層土	土層의 두께 (cm)	壓力水頭差 (cm)	動水勾配	算定流速 (cm/sec)	實測流速 (cm/sec)	(3)式에 依한 流速 (cm/sec)
A	4.0	K3	15.0	1.3	0.09	8.24 × 10 ⁻⁴	7.78 × 10 ⁻⁴	1.23 × 10 ⁻³
B	"	"	"	1.1	0.07	6.41 × 10 ⁻⁴	8.13 × 10 ⁻⁴	
C	"	"	"	1.2	0.08	7.32 × 10 ⁻⁴	1.24 × 10 ⁻³	
A	24.0	"	"	8.0	0.53	2.75 × 10 ⁻⁴	5.92 × 10 ⁻³	8.10 × 10 ⁻³
B	"	"	"	6.5	0.43	3.93 × 10 ⁻⁴	4.92 × 10 ⁻³	
C	"	"	"	7.0	0.47	4.30 × 10 ⁻⁴	5.84 × 10 ⁻³	
A	44.0	"	"	12.9	0.86	7.87 × 10 ⁻⁴	1.14 × 10 ⁻²	1.39 × 10 ⁻²
B	"	"	"	10.8	0.72	6.59 × 10 ⁻⁴	8.49 × 10 ⁻³	
C	"	"	"	11.3	0.75	6.86 × 10 ⁻⁴	9.24 × 10 ⁻³	
A	64.0	"	"	22.3	4.9	1.36 × 10 ⁻²	1.58 × 10 ⁻²	2.02 × 10 ⁻²
B	"	"	"	15.3	1.02	9.33 × 10 ⁻³	1.15 × 10 ⁻²	
C	"	"	"	15.8	1.05	9.61 × 10 ⁻³	1.36 × 10 ⁻²	

透流速은 Zunker式에 依한 算定値와 實測値사이 큰 差異를 나타내고 있으며 x² 檢定結果에 있어서는 x²=14.37 > 5.59 = P_{0.05}로서 5%의 有意性이 認定

되므로서 實測値와 理論値가 統計의 으로 큰 差異를 나타내 주고 있다.

V. 結 論

土層表面에 湛水가 存在하는 閉鎖狀態에 있어 成層土壤의 降下浸透의 性質을 究明한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

① 成層土壤에 있어 最小透水層이 土層의 上位에 놓여 있을때 이들 下層에서는 壓力의 低下를 이르게 飽和-閉鎖狀態가 되어 負壓을 나타내며 最小透水層이 下層에 位置할 境遇에는 이들 上層土에서는 壓力의 貯留狀態를 나타내며 下層의 最小透水層에 있어 壓力의 低下를 가져왔다.

② 土層의 處理別 各 水位差에 따른 動水勾配의 變化는 最小透水層이 가장 큰 값을 갖었으며 粗粒層인 K₁層에는 恒常 貯留現象을 보여 가장 적은 값을 나타냈다.

參 考

- 1) 鄭英鎭(1973) : 近代統計學의 理論과 實際, 寶晉齋, pp. 113~156.
- 2) 鄭寅峻(1964) : 土質力學, 文運堂, pp. 49~53.
- 3) 趙炯勇, 盧演鎬(1973) : 壓縮土壤의 透水性과 水稻收量에 關한 研究, 韓國 農工學會誌, 15(2), pp. 24~30.
- 4) 秦柄益(1970) : 土質力學, 治庭文化社, pp. 42~72.
- 5) 秋吉滿壽次(1942) : 誘動毛管水の 研究, 日本 東京大學 農工學教室研究, 第1集.
- 6) 久保田敬一(1966) : 浸透水と 土의 安定, 山海堂 pp. 29~45.
- 7) 黑田正治(1966) : 溶解氣體による 不飽和浸透의 發生とその 浸透性에 關する研究, 九大 農學部 學藝雜誌, 22(3).
- 8) 田淵俊雄(1959) : 負壓에 關하여, 土壤의 物理性 1, pp. 9~16.
- 9) 富士岡義一(1954) : 土壤의 鉛直 降下 浸透에 關하여 負壓 發生機構에 關する 究明, (I), 農工研 21, pp. 343~347.
- 10) —————(1955) : 同(II), 農工研, 23, pp. 277~280.
- 11) 古田力(1967) : 탄水 狀態에 關하여 成層土壤의 鉛直 降下浸透에 關する 研究, (I), 日本 農業土木 論文集, 第23號 pp. 1~7.
- 12) —————(1968) : 同(II), 日本 農業土木 論文集, 第26號, pp. 68~71.
- 13) 山崎不二夫(1943) : 土壤의 急降下 毛管 浸透의 負壓에 關하여 農工研成 15(1),

③ 閉鎖狀態에 있어 成層土壤의 各 土層은 單層土에서 나타난 固有透水係數의 값을 恒常 維持하기는 어려웠다.

④ 一般的으로 閉鎖狀態의 成層土에 對해서는 Zunker의 平均浸透係數의 式에 使用되고 있으나 實際의 成層土壤에는 土層의 處理에 따른 動水勾配의 變化로 因하여 浸透流速의 計算值가 實測值에 對하여 誤差가 크게 나타났다. 特히 壓力水頭가 不連續인 境遇에는 이 平均 透水係數의 式의 成立은 疑問인 것으로 생각되었다.

⑤ 成層土壤의 浸透流速은 最小透水層에 依해 規制되며 最小透水層의 固有透水係數와 그 土層에 作用하는 壓力水頭및 該 土層의 두께로부터 求한 動水勾配에 依해 算定하는 方法이 보다 合理的이라 생각되었다.

文 獻

- 14) —————(1958) : 層土壤의 降下 浸透에 關する 研究, 日本 東京大 農學部 農地改良 研究室, 研究と 記録, 第6集, pp. 1~30.
- 15) —————外 3名(1960) : 半濕田의 土壤 斷面의 物理的 物質と 浸透-水田 浸透에 關する 研究, (3), 農工研 28(4), pp. 199~205.
- 16) A. Arbhahirama and C. Kridakorn(1968) : Steady downward flow to a water table, Water Resources Research, Vol. 4, pp. 1249~1257.
- 17) B. Schünwälder(1928) : Die Rieselfeldanlage in inner Abhängigkeit von der wasser-durchlässigkeit des Bodens, Der kulturtechniker, 31, pp. 382.
- 18) F. Zunker(1930) : Das Grundwasser, Handbuch der Bodenlehre, Bd. VI, pp. 165.
- 19) H. Weiland(1928) : Über wasserbewegung in durchfeuchtem Boden mit Besonderer Berücksichtigung der Heberwirkung des Sandes, Dissert, Danzig,
- 20) R. Dachler(1933) : Über sicherwasserströmungen in geschichtetem Material, Die Wasserwirtschaft, 26(2).
- 21) S. Takagi(1960) : Analysis of the Vertical downward flow of water through a tow-layered Soil, Soil Sci, 90, pp. 98~103.
- 22) V.H. Scott and A.T. Corey(1961) : pressure distribution during steady flow in unsaturated Sands, Soil Sci, Soc, Amer, proc, 20, pp. 270~274.