

Pressure-Plate Extractor 內 土壤水分含量 變化로부터 不飽和水理傳導度の 計算

盧 熙 明* · 柳 順 昊*

Calculation of Unsaturated Hydraulic Conductivity from Soil Moisture Changes in Pressure-Plate Extractor

Hee-Myeong Ro and Sun-Ho Yoo

Summary

A study was carried out to develop a modified Gardner's method, which enabled us to obtain simultaneously both the unsaturated hydraulic conductivities and the moisture retention curves by the use of a soil moisture pressure-plate extractor. The unsaturated hydraulic conductivity was calculated from soil moisture changes under different tension ranges in the pressure-plate extractor by means of Gardner's pressure-plate outflow equation.

From 30mbar-tension to 10bar-tension, the unsaturated hydraulic conductivities obtained on three soils (Bonryang sandy loam, Yesan silt loam, and Pogog clay loam) varied 3.09×10^{-2} cm/day~ 4.06×10^{-6} cm/day, 1.34×10^{-2} cm/day~ 7.30×10^{-6} cm/day, and 1.83×10^{-2} cm/day~ 8.50×10^{-6} cm/day, respectively.

In comparison with the outflow method, it is inconvenient to perform the periodic determinations of the soil moisture content that require release of the applied pressure before readjusting the pressure desired for each measurement. Nevertheless, the main advantage of the modified method is that the unsaturated hydraulic conductivities of different soils can be calculated simultaneously with a small amount of each soil sample.

It is concluded that the unsaturated hydraulic conductivity can be calculated from soil moisture changes in the soil moisture pressure-plate extractor.

緒 言

土壤의 水分移動에 對한 研究는 毛細管을 흐르는 流體의 laminar flow에 對해 Hagen과 Poiseuille에 의해 提起된 이래, 1856年 Darcy에 의해 多孔性 媒質을 흐르는 定量的 記述이 이루어졌다. Darcy法則의 比例常數인 水理傳導度는 溫度에 따른 水分의 密度와 粘性, 水分含量과 張力 및 置換性 陽이온에 의한 孔隙分布變化 等에 의해 影響을 받는다.⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽¹¹⁾ 實驗室에서 steady-state flow system 또는 transient-state flow system을 適用하여 不飽和水理傳導度를 測定할 수 있다. 實驗室에서 行할 수 있는 가장 普遍的인 transient flow 法은 流出量法이며, 이

는 水分張力의 變化에 따른 水分含量의 範圍에서 不飽和水理傳導度는 一定하다는 假定 下에 展開되었다. Gardner⁽⁵⁾는 最初로 壓力增加에 의한 pressure-plate 流出量으로부터 土壤의 不飽和水理傳導度를 計算하였다.

적은 量의 試料로 單位時間 內 여러 土壤의 不飽和水理傳導度를 測定할 수 있는 方法을 提案하고, 實用面에 利用하고자 供試土壤에 對해 水分含量變化를 測定하여 不飽和水理傳導度를 計算하였다.

理論的 背景

水分의 一次元 垂直移動을 支配하는 方程式은 다

* 서울대학교 農科大學(College of Agriculture, Seoul National University, Suwon 170, Korea)

음과 같다.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right] \quad (1)$$

여기서, Φ 는 hydraulic potential, θ 는 土壤水分의 부피함량, t 는 時間, z 는 土層의 座標, $K(\theta)$ 는 土壤의 不飽和水理傳導度이다.

pressure-plate extractor 內 土壤試料의 높이를 L , 壓力을 P , 壓力增加를 ΔP 라 할 때, 다음과 같은 境界 또는 初期條件 下에 水分含量의 函數가 얻어진다.

$$z = 0, \quad t > 0 \text{ 일 때 } P = 0 \quad (2-a)$$

$$z = L, \quad t > 0 \text{ 일 때 } \partial P / \partial z = 0 \quad (2-b)$$

$$0 < z < L, \quad t = 0 \text{ 일 때 } P = \Delta P \quad (2-c)$$

$t = 0$ 일 때의 水分含量을 初期水分含量 (W_i), $t = \infty$ 일 때의 水分含量을 最終水分含量 (W_f)이라 하면, 不飽和水理傳導度 $K(\theta)$ 에 對한 다음의 關係式이

얻어진다.

$$K(\theta) = \frac{4B(W_i - W_f)L^2 \rho g}{\pi^2 V (\Delta P)} \quad (3)$$

여기서, ρ 는 水分의 密度, g 는 重力加速度, V 는 土壤試料의 부피이고, B 는 기울기의 陽의 값이다.

材料 및 方法

1. 供試土壤

水原市 西屯洞 蠶業試驗場 南側 農業技術研究所 試驗圃場의 本良 砂壤土, 서울대학교 農科大學 牧場의 禮山 微砂質壤土 및 서울대학교 農科大學 舊果樹園의 浦谷 埴壤土를 供試土壤으로 選擇하여 實驗을 遂行하였다. 供試土壤의 理化學的 特性은 表 1과 같다.

Table 1. The physical and chemical properties of three soils.

Soil type	Soil depth (cm)	Sand	Silt	Clay	OM	Bulk density
		----- % -----	----- % -----		(%)	(g/cm ³)
Bonryang SL	0 - 15	70.5	15.7	13.8	1.58	1.31
Yesan SiL	15 - 30	33.5	40.5	3.0	1.26	1.18
Pogog CL	0 - 20	31.0	40.5	28.5	1.52	1.25

2. 實驗方法

pressure-plate extractor 內 plate 위에 同一土壤試料 當 3 反復의 直径 5.08cm, 높이 1.0cm의 고무 丸을 올려 놓고 여기에 2mm체를 通過한 土壤試料를 充填하였다. plate에 蒸溜水를 加하여 試料로 스며들게 한 후, pressure-plate extractor에 一定한 壓力을 加하였다. 주어진 壓力에서 試料의 水分含量이 平衡에 이르는 동안 適當한 時間 間隔으로 pressure-plate extractor로부터 土壤試料를 꺼내어 重量法에 의하여 水分定量을 하였다. 先行한 壓力의 最終水分含量을 다음 단계 壓力의 初期水分含量으로 하고, 式 (3)에 의하여 不飽和水理傳導度를 計算하였다.

結果 및 考察

1. 時間에 따른 水分含量 變化

本良 砂壤土의 경우, 壓力別 時間에 따른 水分含

量의 變化는 그림 1과 같다. 先行한 壓力의 最終水分含量은 다음 단계 壓力의 水分含量變化에서 1 時間 以內에 그 量에 到達하였다. 供試土壤에 對하여 施行한 모든 壓力에서 水分含量의 平衡은 24時間을 前後하여 이루어 졌다.

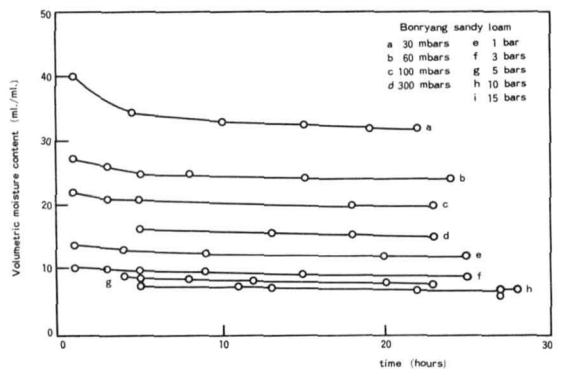


Fig. 1. Change in volumetric moisture content with time.

2. 土壤水分特性曲線

壓力別 最終水分含量을 測定하여 求한 水分特性曲線은 本良 砂壤土의 경우, 그림 2와 같다. 測定值가 直線으로부터 거의 偏差가 없는 것으로 보아, 測定한 壓力別 最終水分含量이 土壤 固有의 水分張力別 水分含量에 近接한 것이라 생각된다.

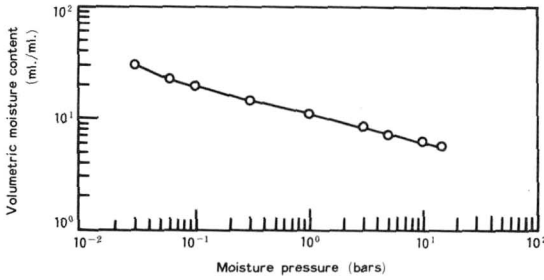


Fig. 2. Moisture retention curve of Bonryang sandy loam.

3. 最終水分含量에 對한 時間에 따른 水分含量의 差

本良 砂壤土의 경우, 壓力區間別 最終水分含量에 對한 時間에 따른 水分含量의 差는 그림 3과 같다. 壓力이 높을수록 直線의 기울기의 절대값은 작아지는 傾向을 보였다. 禮山 微砂質壤土와 浦谷 埴壤土에서도 같은 傾向이었으며, 이들의 資料는 紙面을 많이 차지하므로 省略하였다.

4. 水分張力의 函數인 不飽和水理傳導度の 計算 및 圖示

壓力區間別 直線의 기울기로부터 式 (3)에 의해 計算한 不飽和水理傳導度는 表 2와 같다.

本良 砂壤土의 경우, 水分張力에 對한 不飽和水理傳導度の 變化는 그림 4와 같다. 直線의 길이는 測定한 壓力區間을 意味한다. Gardner⁽⁵⁾의 結果와 比較하여 1 bar. 以上에서는 같은 傾向이, 보다 낮은 張力에서는 낮은 傾向이 나타났다. Shaykewich⁽¹⁴⁾는 試料攪亂의 影響은 높은 張力에서 보다 낮은 張力에서 자주 發生한다고 報告하였다. Hill과 Sumner⁽⁷⁾는 砂壤土의 경우 假密度가 增加하면, 낮은 張力에서 保水力이 減少되고 높은 張力에서 保水力이 增加된다고 報告하였다. 土壤의 假密度는 土粒의 크기, 有機物의 含量 및 生物孔隙의 分布程度에 따라

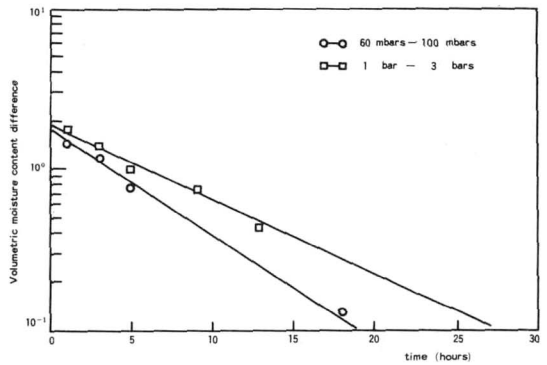


Fig. 3. Volumetric moisture content difference, $W_t - W_{final}$, with time. (Two examples of data for Bonryang sandy loam are plotted.)

Table 2. Unsaturated hydraulic conductivities of three soils.

P _i * (bars)	P _f ** (bars)	Unsaturated hydraulic conductivity (cm/day)		
		Bonryang SL	Yesan SiL	Pogog CL
0.03	0.06	3.09×10^{-2}	1.34×10^{-2}	1.83×10^{-2}
0.06	0.1	6.34×10^{-3}	5.73×10^{-3}	5.08×10^{-3}
0.1	0.3	0.97×10^{-3}	1.51×10^{-3}	1.67×10^{-3}
0.3	1.0	1.67×10^{-4}	1.49×10^{-4}	3.10×10^{-4}
1.0	3.0	7.95×10^{-5}	8.53×10^{-5}	8.72×10^{-5}
3.0	5.0	1.95×10^{-5}	2.59×10^{-5}	1.88×10^{-5}
5.0	10.0	4.60×10^{-6}	7.30×10^{-6}	8.50×10^{-6}
10.0	15.0	—	—	3.90×10^{-6}

* Initial pressure

** Final pressure

相異하며, 이들은 透水력과 密接한 關係가 있다고 생각된다. Marshall⁽¹⁰⁾은 不飽和 水理 傳導度는 孔隙 半徑의 제곱에 比例한다고 報告하였다. 以上에서 比較의 大孔隙이 있는 砂壤土의 경우, 水分含量이 많은 곳에서 水分移動이 容易하기 때문에 낮은 張力에서 Gardner⁽⁵⁾의 結果가 本 實驗의 結果보다 높게 測定되었으리라고 생각된다. 그 外에 두 結果間의 차이는 逆流現象, 土壤構造의 차이, 孔隙率⁽⁹⁾ ⁽¹⁰⁾ 및 溫度⁽⁶⁾ ⁽¹³⁾에 基因한다고 생각된다. Bruce와 Klute⁽²⁾는 充填이 不均一하면 不飽和 水理 傳導度の 變異가 있다고 報告하였다.

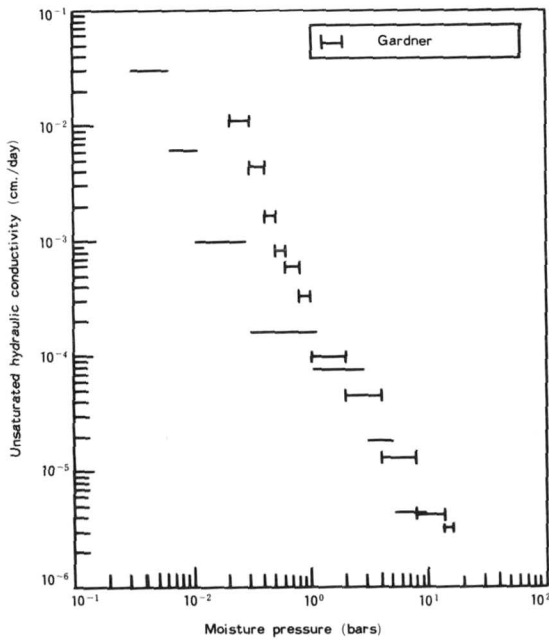


Fig. 4. Change in unsaturated hydraulic conductivity of Bonryang sandy loam, which is compared with Gardner's data (Pachappa SL).

5. 供試土壤間 水分含量의 函數인 不飽和 水理 傳導度 比較

水分含量의 函數인 不飽和 水理 傳導度는 水分含量의 增加와 함께 增加하였으며 그림 5에 圖示하였다. 土性이 微細할수록 水分含量增加에 對하여 不飽和 水理 傳導度는 均一하게 增加하였으며, 이는 土性 間에 分布하는 孔隙의 크기와 模樣 및 水分容量의 차이에 基因한다고 생각된다. 本良 砂壤土의 경

우, Nielsen 等⁽¹²⁾의 報告와 같이 水分含量이 높은 경우 不飽和 水理 傳導度가 急激히 增加하였다. Jackson⁽⁸⁾의 報告와 같이 土性이 微細할수록 水分含量에 따라 不飽和 水理 傳導度가 急激히 變하였다.

soil moisture pressure-plate extractor 內 土壤 水分含量變化를 測定하는 方法은 流出量 測定에 의한 方法에 比해 水分定量을 하여야 하고, 그 때마다 壓力平衡이 다시 이루어져야 하는 短點이 있다. 그러나, Gardner⁽⁵⁾의 結果와 比較 解析하면, 土壤 水分含量變化測定法으로 보통 實驗室에서 적은 量의 試料로써 特別히 考案된 裝置에 의하지 아니하고 單位 時間에 여러 土壤의 不飽和 水理 傳導度를 測定할 수 있다.

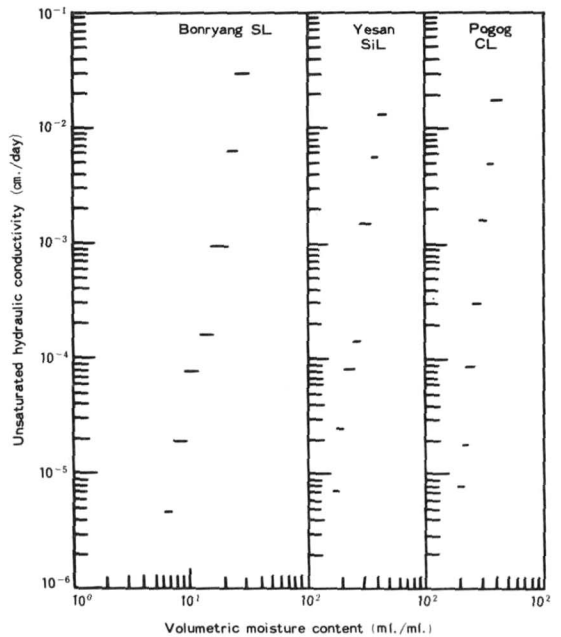


Fig. 5. Unsaturated hydraulic conductivities of three soils at different volumetric moisture content.

摘 要

土壤의 不飽和 水理 傳導도와 水分特性曲線을 同時에 求할 수 있는 方法을 提案하기 위하여 Gardner의 流出量法을 變形하여 soil moisture pressure-plate extractor를 利用하여 供試土壤에 對하여 實驗을 遂行하였다. Gardner의 pressure-plate 流出方程式을 利用하여 相異한 水分張力에서 pressure-

plate extractor内 水分含量变化로부터 不飽和水理
 伝導度を 計算하였다.

水分張力 30mbar에서 10bar까지 本良 砂壤土, 礼
 山 微砂質壤土 및 浦谷 埴壤土의 不飽和水理伝導度
 는 各各 3.09×10^{-2} cm/day ~ 4.06×10^{-6} cm/day, 1.34
 $\times 10^{-2}$ cm/day ~ 7.30×10^{-6} cm/day 및 1.83×10^{-2} cm/
 day ~ 8.50×10^{-6} cm/day로 變하였다.

流出量法과 比較하여 適當한 時間 間隔으로 水分
 定量を 하여야 하고 그 때마다 壓力을 調整하여야
 하는 不便이 있으나, 同時에 여러 土壤의 不飽和水
 理伝導度の 計算이 可能한 長點이 있었다.

soil moisture pressure-plate extractor内 土壤水
 分含量变化로부터 不飽和水理伝導度の 計算이 可
 能하였다.

引 用 文 獻

1. Bodman, G.B., and N.E. Edlefsen. 1934. Soil Sci. 38: 425-444.
2. Bruce, R.R., and A. Klute. 1956. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20: 458-462.
3. Buckingham, E. 1907. U.S. Dept. Agr. Bur. Soils Bull. 38: 9-60.
4. Gardner, W.R., and J.A. Widstoe. 1921. Soil Sci. 11: 215-232.
5. Gardner, W.R. 1956. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20: 317-320.
6. Haridasan, M., and R.D. Jensen. 1972. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36: 703-708.
7. Hill, J.N.S., and M.E. Sumner. Soil Sci. 103: 234-238.
8. Jackson, R.D. 1963. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27: 123-126.
9. Kunze, R.J., G. Uehara, and K. Graham. 1968. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32: 760-765.
10. Marshall, T.J. 1958. J. Soil Sci. 9: 1-8.
11. Marshall, T.J., and J.W. Holmes. 1979. Soil physics. London, Cambridge University Press.
12. Nielsen, D.R., D. Kirkham, and E.R. Perrier. 1960. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24: 157-160.
13. Reitemeier, R.F., and L.A. Richards. 1944. Soil Sci. 57: 119-134.
14. Shaykewich, C.F. 1970. Can. J. Soil Sci. 50: 431-437.