

多層土壤에서의 물과 空氣의 움직임 (Water and Air Movement in Bounded Layered Soil)

鮮 于 仲 皓
Sonu, Jung Ho

Abstract

Traditional descriptions of water movement in soils and of calculations of infiltration rates neglect the air movement and its compressibility. The movement of two fluids in the bounded layered porous medium is treated analytically and computer simulations are conducted for given boundary conditions and initial saturation profiles. The movement of a given saturation across the interface between the different soil layers is theoretically developed by considering the conservation of mass. It is shown that the existence of the interface affects the infiltration rate when the average total velocity is greater than zero. The transition from one layer to another layer cause a change in the capillary drive and consequently influences the infiltration rate.

1. 序 言

중전(중)의 浸透水(Infiltration)의 문제에서는 空氣는 토양에서의 물의 움직임에 영향을 주지 않는다는 가정하에 모든 理論이 展開되어 왔으나 近來의 實驗이나 理論에서 空氣의 存在는 實價的으로 무시되어서는 안된다. 本論文에서는 各各 性質이 다른 토양의 층으로 이루어진 경우 空氣와 물의 움직임에 대하여 研究하였다. 이러한 多層土壤에서의 두개 流體의 움직임은 비단 침투수(Infiltration)의 問題뿐만이 아니라 油田(Oil Reservoir)으로부터 石油를 채취하는 경우에도 적용시킬 수 있어 문제는 여러 方向으로 利用될 수 있다. 特히 土壤이 여러개의 다른 性質을 가진 층으로 構成되어 있을 경우에는 서로 섞이지않는 流體(Immiscible fluid)의 相互關係로 因하여 그 두流體의 흐름에는 상당히 복잡한 관계를 나타낸다. 이들을 理論的으로 解決하기 위하여 다음의 가정을 定立하였다.

1. 各流體에 對한 相對浸透係數가 零보다 클때 各流體의 壓力은 各층의 境界에서 連續이다.
2. 두流體의 壓力이 各層境界에서 連續일때는 모세관 壓力(Capillary Pressure)은 連續이다.
3. 質量不變의 法則과 Darcy의 公式이 두流體에 對

하여 적용된다.

4. 함수비는 各境界에서 不連續일 수 있다.

2. 理 論

Darcy의 公式과 連續方程式을 두 流體에 對하여 적용시키면

$$V_w = -\frac{k k_{rw}}{\mu_w} \left(\frac{\partial p_w}{\partial z} - \rho_w g \right) \dots\dots\dots(1)$$

$$V_a = -\frac{k k_{ra}}{\mu_a} \left(\frac{\partial p_a}{\partial z} - \rho_a g \right) \dots\dots\dots(2)$$

$$\phi \cdot \frac{\partial}{\partial t} (\rho_w S_w) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_w V_w) = 0 \dots\dots\dots(3)$$

으로 나타낼 수 있다.

여기서 w 와 a 는 물(water)과 공기(air)의 약자이며 V 는 유속, k 및 k_r 는 절대 및 상대침투계수(Intrinsic and Relative Permeability)를 나타내며 p 및 ρ 는 압력 및 밀도이다.

두 流體의 흐름을 구하기 위해서는 (式) 1, 2, 3의 同時解가 要求되나 式 (1), (2), (3)은 非線型 偏微分方程式을 나타내므로 이의 解는 解析的으로 求할수 없다 非線型을 除去하기 위해 Fractional Function을 導入하여 이의 간이解를 求하면 土壤內에서 特定한 함수量의 變化速度는 아래와 같은 公式으로 나타낼 수 있다. 즉

$$\frac{dz}{dt} \Big|_{s_w} = \frac{V}{\phi} \frac{\partial F_w}{\partial S_w} \Big|_{s_w} \dots\dots\dots(4)$$

多層土壤인 경우에 各층境界에서의 포화도의 결정은 境界를 지난 물과 공기의 연속방정식에 依하여 결정되며 이는 즉 $V_1(t) \cdot F_{w1} = V_2(t) \cdot F_{w2}$ 이며 質量不變의 法則에 依하여

$$V_1(t) = V_2(t) \text{이다.}$$

따라서

$$F_{w1} = F_{w2} \dots\dots\dots(5)$$

가되며 이로부터 境界 上部에서의 포화도(Saturation)가 결정되면 圖解法에 依하여 境界 下部에서의 포화도를 결정할 수 있다(그림 1).

3. 電子計算機에 依한 模擬實驗

式 (1)~(5)을 전자 계산기에 依해 多層土壤에서 모의 실험하기 위해 砂岩인 Fine Soil과 粒子가 큰 土壤의 二層으로 構成되어 있는 土壤을 考慮하였다. 地表에는 0.8cm의 물이 항상 供給되었으며 初期에 土壤은 完全히 乾燥상태이었다. 이들 各층토양의 성질은 그림 2, 3, 4, 5에 나타내었다.

침투가 始作되면서 부터 침투율은 上層토양의 性質에 依해서 감소되며 그림 6에서 보인 바와같이 층境界를 지나면서 급격하게 감소된다. 境界를 지난 以後의 침투율은 上層과 下層의 영향을 동시에 받으며 Wetting Front는 境界를 지나면서 前進 속도가 감소됨을 볼 수 있다(그림 7). 또한 그림 8, 9, 10과 11에서 포화도와 깊이-시간관계는 正성적으로 나타내었으며 밀폐된 공기에 의해 境界층에서 포화가 감소됨을 알수있다.

4. 結 論

土壤中에서 空氣의 역할이 重要함을 인식하여 물의 침투과정에서 空氣의 存在를 充分히 고려하였다. 二個의 層으로 構成되어있는 土壤에서의 물과 空氣의 움직임을 電子計算機로 模擬實驗한 결과 Wetting Front가 層의 境界를 지난 때는 急激한 침투율의 變化를 보였으며 土壤內의 空氣壓도 變化되는 것을 볼수 있었다. 또한 空氣가 충분히 압축되면서 層 境界에서는 포화도가 감소(Desaturation)가 되었다.

참 고 문 헌

- (1) Childs, E.C., "The physical Basis of Soil Water Phenomena," Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons, New York, 1969.
- (2) Hillel, D., "Soil and Water: Physical Principles and Process," Academic press, New York, 1971.
- (3) Philip, J.R., "Theory of Infiltration," Advances in Hydroscience, Vol.5, Chow V.T. ed., Academic Press, New York, 1969.
- (4) Dixon, R.M., and Linden, D.R., "Soil Air Pressure and Water Infiltration Under Border Irrigation," Personal Communication, 1972.
- (5) Noblanc, A. and Morel-Seytoux, H.J., "Perturbation Analysis of Two-Phase Infiltration," Proc. of ASCE, J. of Hyd. Div., Vol.98, No. HY9, 1972.
- (6) Sonu, J., "Water and Air Movement in Bounded Layered Soil," Ph.D. Thesis, Dept. of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1973.
- (7) Brustkern, R.L., "Analytical Treatment of Two Phase Flow During Infiltration," Unpublished Ph.D. Dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1973.
- (8) McWhorter, D.B. and Corey, A.T., "Similitude for Flow of Two Fluids in Porous Media, Proc. Intern. Hydrology Symposium, Vol.1, Fort Collins, Colorado, Sept. 1967.
- (9) Brustkern, R.I. and Morel-Seytoux, H.J., "Analytical Treatment of Two Phase Infiltration," Proceeding of ASCE, J. of Hyd. Div., Vol.96, No. HY12, December, 1970.
- (10) Miller, D.E. and Gardner, W.H., "Water Infiltration into Stratified Soil, Soil Sci. Soc. of Amer. Proc. 26, 1962.
- (11) Whisler, F. and Klute, A., "Analysis of Infiltration into Stratified Soil. Columns," Proc. of Wageningen Sym. Water in the Unsaturated Zone. IASH, Vol.1, No.82, June 1966.

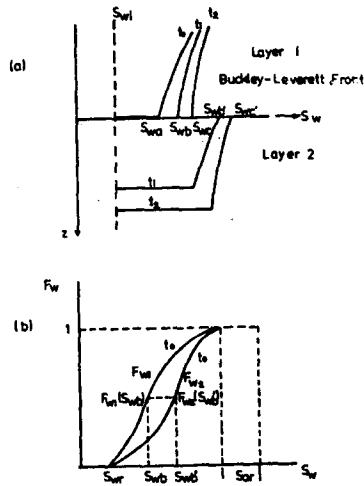


Fig. 1. Evolution of saturation profile at the boundary when $F_{w1} > F_{w2}$

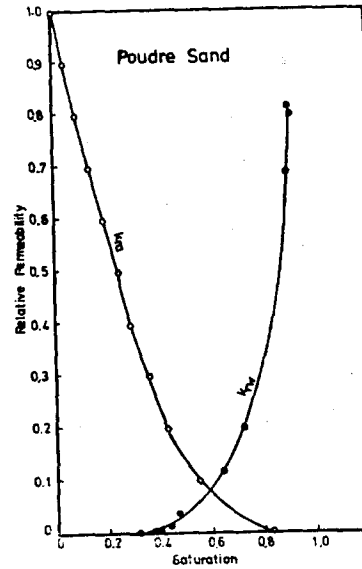


Fig. 2. Relative permeability for poudre sand

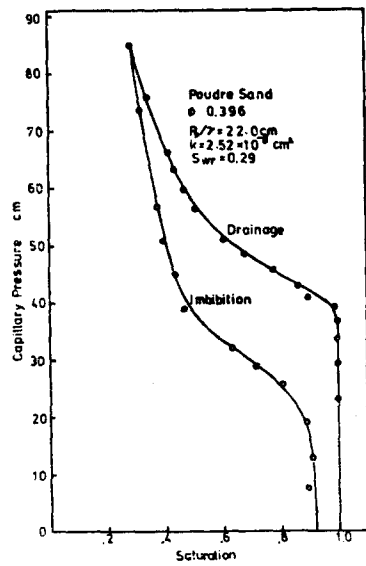


Fig. 3. Capillary pressure vs. saturation for poudre sand

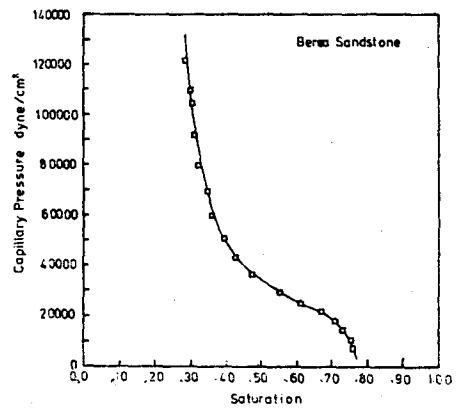


Fig. 4. Capillary pressure for herea sandstone

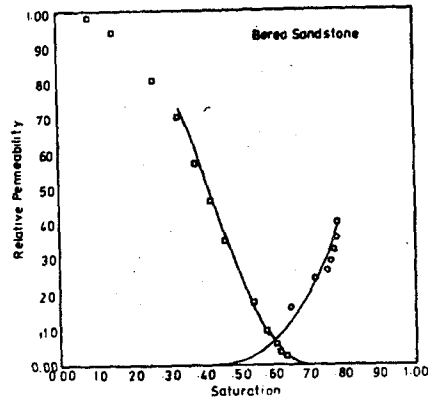


Fig. 5. Relative permeability for berea sandstone

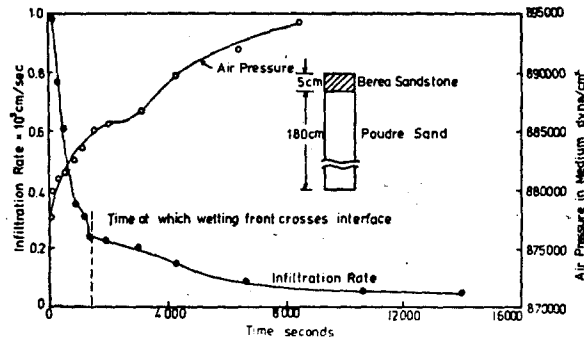


Fig. 6. Variation of infiltration rate and air pressure for the fine-coarse medium

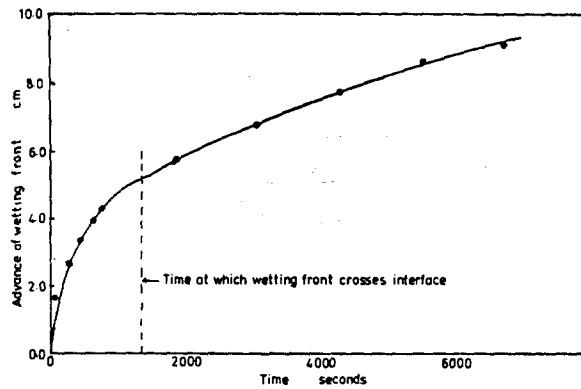


Fig. 7. Advance of wetting front for fine-coarse medium

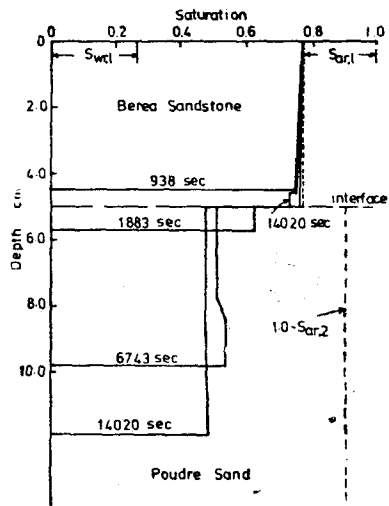


Fig. 8. Propagation of saturation profile for fine-coarse medium

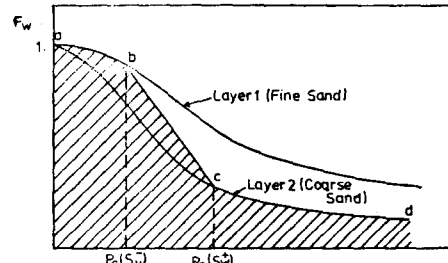


Fig. 9. Evaluation of $\int f_w dp$ when wetting front crosses the interface

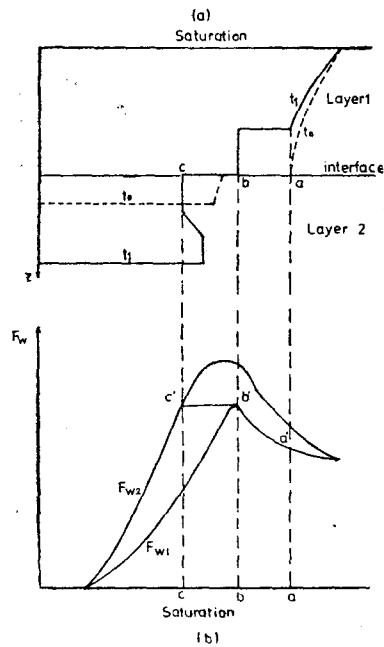


Fig. 10. Desaturation at the interface

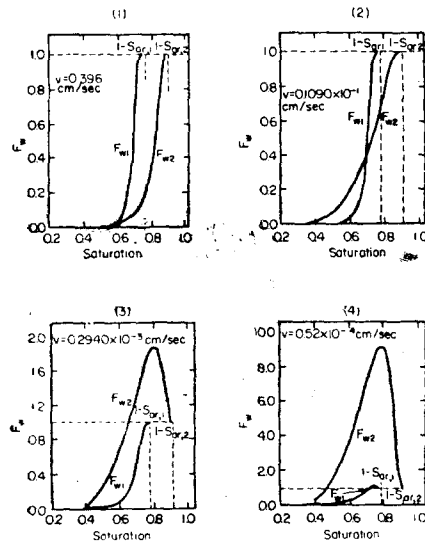


Fig. 11. Dependence of F_w on total velocity