花崗土의 風化度가 水分吸着 및 浸透性에 미치는 影響

A Study on the Moisture Adsorption and Permeability Characteristics of Weathered Granite Soils

李 臺 薰* · 都 德 鉉**
Lee, Dea Hoon · Do, Duk Hyun

Summary

To examine the moisture adsorption and permeability characteristics, weathered granite soils of different degrees of weathering, cultivated upland soils and sands of Han-river were sampled.The results are as follows:

1. In case that the mother rock was same, the pF values under same moisture content decreased according as the grain size of soil became finer by the weathering process.

2. In case that the mother rock was different, the pF value varied by the behavior of clay minerals, and the cultivated upland soils showed more sensitive reaction than sands and fresh granite soils.

3. The pF value changed by the difference of primary moisture content and also influenced by soil structure, testing method and etc.

4. The pF value and compaction curve had close relation, however under same moisture content, the pF value decreased by the increment of density.

5. The permeability depend on the available void ratio between the soil particles according to the degree of weathering, and the pF value of available void water between the soil particles which related directly to permeability was about 3.3 except the void water holded in the soil particles.

6. As the above, the pF value and permeability were differentiated by degree of weathering, primary moisture content, density and etc. Therefore it is considered unreasonable to define uniformly by soil texture.

Ⅰ. 緖 論

花崗土의 物理的 性質은 불규칙한 粒子의 形狀, 土粒子의 空隙, 比表面積, 結晶構造 等에 좌우되며 이와같은 性質은 물 分子와 土粒子 사이에 특별한 관계를 지니고 保水性에 크게 영향을 미친다.

종래 밭灌漑를 위해 土壤의 保水力에 대한 문제가 硏究의 초점이 되어온 느낌이 든다[7,9,14,19,27]. 즉Briggs Russel[15,33] 등은 土壤水를 吸着水, 毛管

* 建國大學校 大學院
** 建國大學校 農科大學

水, 重力水로 分類하고 특히 毛細管水의 曲面에 주목하여 不飽和狀態에 있는 土壤水의 力學的 擧動을 고찰한 바 있고 Buckingham[84]은 물의 吸引力에 기인한 毛細 포텐셜의 개념을 定義한 바 있으며 Gardner, Richard[8] 등은 그의 생각을 발전시켜 土壤水의 維持와 移動을 고찰하여 間隙水壓을 測定할 tensiometer를 개발하였다.

또 Schofield는 土壤水 에너지 指數 pF를 제창하였고, Klute는 Richard의 포텐셜 理論에 대한 數値解析의 가능성을 檢討한 바 있다[20].

以上의 硏究는 土壤의 水分狀態와 作物生育과의 관계를 비롯하여 土壤物理의 分野로서 많이 취급되어왔고 最近에는 土木工學 分野로서의 硏究가 진행되고 있다.

한편 흙 속의 물의 이동에 대하여는 Darcy의 法則을 비롯한 여러가지 公式이 提案 되었으나 이는 흙이 均質이고 等方性이라는 조건에서 浸透性을 유도한 것이나 物理的 性質이 복잡한 花崗土와 같은 조건에서는 이를 적용하기 어렵다고 생각된다.

따라서 本 硏究는 밭 土壤에서 pF의 浸透性에 대한 基礎資料를 제공하고저 風化度와 鑛物造成이 다른 花崗土, 熟田土, 江모래 등을 대상으로 風化度와 初期含水比의 程度에 따른 pF 特性, pF와 密度의 관계, 土壤의 浸透性 등을 調査하고, 특히 土壤 物理的 側面에서의 pF에 영향을 주는 要因을 土質工學的 側面으로 分析하였다.

Ⅱ. 材料 및 方法

1. 使用材料

本 硏究에 使用된 試料는 서울 城北區 安岩洞에서 採取한 風化度가 다른 5種의 花崗土(黑雲母花崗岩), 東大門 徽慶洞에서 採取한 花崗土(花崗斑岩) 및 水原市 권선地區 宅地造成 工事場에서 채취한 長石 함량이 많은 花崗土로서 이들의 粘土鑛物은 모두 Kaoline 系에 속하였다.

또 新鮮한 花崗土에 대한 熟田土, 江모래 등의 水分吸着特性을 比較하기 위하여 建國大學校 實習農場의 熟田土, 漢江모래 등을 채취하여 사용하였다.

이들의 物理的性質은 Table-1과 같고 粒度曲線은 Fig. 1과 같다.

2. 試驗方法

가. pF 値側定

pF値의 測定方法은 減壓法(pF 2.5 이하), 吸引法(pF 3.0 이하), 遠心法(pF 2.0~4.5), 壓膜法(pF 3.0~4.3), 蒸氣壓法, 中性子法이 이용되고 있으나 여기서는 便宜上 tensiometer를 使用하였다.

즉 바닥에 구멍이 뚫린 50×50cm 斷面의 상자에 初期含水比와 初期密度(空隙比)를 변화시킨 試料를 50cm 높이로 채우고 이에 tensiometer를 埋設하여 每日 2回 含水量을 測定, 含水比-pF 曲線을 구하였다.

pF値는 tensiometer를 埋設하여 公式 $h=(13.6-1)a-H_0$에 의해 水柱 h를 구하고 이에 따라 pF 값을 求하였다. (여기서 a ; 水銀柱 높이, H_0 ; 水銀柱과 포러스캡까지의 거리) 단, 試驗中에는 土粒

Table-1. Physical Properties of Soil Used

Soils \ Classification	Specific Gravity	Atterberg Limit LL(%)	Atterberg Limit PI	Mechanical Analysis(%) above 2.0mm	2.0~0.074mm	below 0.074mm	Uniformity Coefficient	Soil Classification U.S.C.	Soil Classification P.R.A.	Field Capacity (%)
A	2.65	—	NP	74.9	24.1	1.0	2	SP	sand	21.4
A-1	2.64	—	NP	47.8	50.6	1.6	6	SW-SP	sand	23.7
A-2	2.65	—	NP	33.2	59.2	7.6	10	SW-SP	sand	24.3
A-3	2.65	—	NP	28.9	58.6	12.5	16	SM	sand	25.0
A-4	2.65	—	NP	21.2	54.7	24.1	28	SM	sandy loam	25.9
B	2.63	29.6	NP	62.1	34.8	3.1	11	SW-SP	sand	24.9
C	2.64	36.7	20.4	15.4	54.2	30.4	44	SC	sandy loam	27.8
D	2.63	19.2	NP	17.4	35.1	47.5	35	SM	sandy loam	29.1

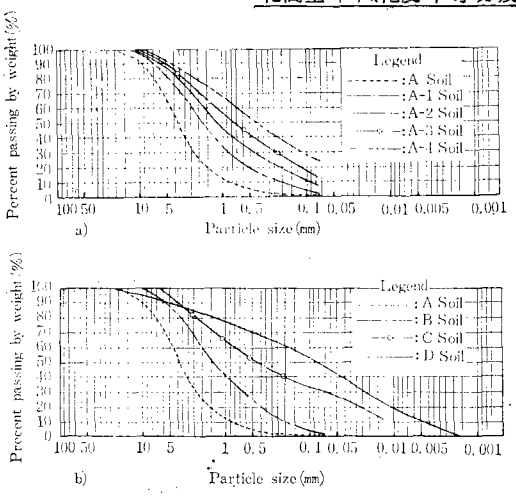


Fig. 1. Grain size distribution curves of soils used

子가 過度하게 파괴되지 않도록 주의깊게 取扱하였다.

나. 透水試驗

土粒子가 가급적 破碎되지 않도록 壓縮 및 충격에 의하여 密度를 변화시키면서 透水試驗用 供試體를 제작하여 KS F 2322에 準하여 定水位透水試驗을 하였다.

기타 필요한 試驗은 韓國工業規格에 準하였다.

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 花崗土의 水分-pF 特性

花崗土의 粒子 또는 土塊의 表面特性과 水分과의 關係는 pF値로 表示되는 경우가 많다[17,21]. 이 값은 土壤中의 水分의 維持能力 및 물의 質的 性質을 評價하는 것으로 工學的 입장에서의 水分을 取扱할 경우에 有利하다.

Fig. 2의 a),b)는 母岩이 같고 風化度가 다른 4試料에 대한 含水比-pF 및 다짐 관계를 表示한 것이다. 그림에서 pF値가 커짐에 따라 含水比는 減小하나 風化가 進展 됨에 따라 同一한 pF値에서도 試料의 含水比는 많아진다. 따라서 風化가 進展되어 細粒土(粘土)를 많이 함유 할수록 保有水分은 많아짐을 알 수 있다.

Fig. 2의 c)는 風化度가 pF에 끼치는 영향을 더욱 상세히 調査하기 위하여 3種類의 花崗土와 熟田土 및 江모래를 2.00~0.84, 0.84~0.42, 0.42~0.25mm의 3가지 粒度로 체分類하여 각각에 대한 水分-pF 曲線을 調査한 것이다.

같은 粒徑의 試料라 할지라도 대부분 石英粒子로 구성된 江모래는 同一한 pF値에서 含水比가 적고 試料로 쓴 3種類의 花崗土는 모두 風化가 進展된 것일수록 同一 pF値에서의 含水比가 높게 나타났다[22].

水分을 質的인 面으로 부터 생각하면 일반적으로 重力水의 pF値는 0~1.8, 毛管水 1.8~4.2, 吸着水 4.5~7.0으로 分類하며 또는 自由水 pF 3.3, 半結合水 pF 3.3~4.1, 結合水 pF 4.1 등으로 分類하는 경우도 있는데 風化가 進展된 試料일수록 토립자 表面의 凹凸이나 粒子內에 空隙이 존재하므로 土粒子 사이에서 界面活性이 未風化 土粒子에 비하여 강하며 그 결과 山崎[33] 等이 지적한 半結合水, 結合水를 많이 갖는다는 것을 의미한다.

또 pF値는 長石粒子의 風化度, 土粒子의 比表面積과 밀접한 관계가 있다고 하였는데[10,16], 이는 종래 長石粒子의 比重 또는 比表面積을 花崗土의 風化度 評價의 基準으로 삼은 원리와 일치하고 있다[4,11].

Fig. 2, c)의 굵은實線은 粒徑範圍 2.00~0.84mm 試料를 風乾한 後에 試片을 만들어 tensiometer를 埋設하여 일시에 加水하여 飽和시켰을때 pF의 변화를 보인것으로 순간적으로는 自然試料와 風乾試料 모두 飽和 되었다하여도 同一한 含水比 및 測定時間이 같을때 風乾試料의 pF値가 현저히 낮은 값을 보이며, 특히 熟田土는 新鮮한 花崗土에 비하여 이 경향이 뚜렷하였다.

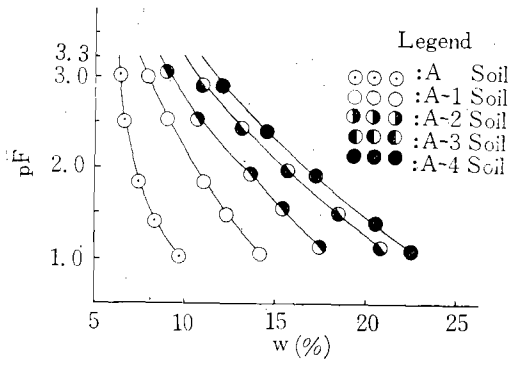
이와같이 初期含水比를 變化시키면 土粒子의 界面構造가 변하여 保持水의 pF가 같은 含水量의 自然土에 비해 낮아지기 때문으로[6] 松川[8,29] 등은 그 이유를 風乾에 의하여 흙이 親水性에서 塑水性으로 변하여 加해진 물은 바로 粒團에 溶媒化되지 않고 間隙水로서 존재하기 때문이라고 하였다.

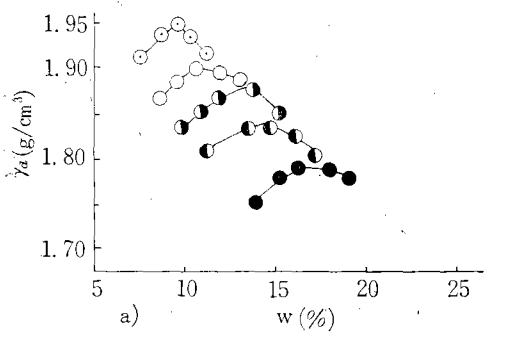
山崎[30,31,32] 등은 흙을 風乾하면 粘性土는 실트質土로 가까워지고 群指數는 低下하여 道路用土로서의 적합한 材料로 변화하는 경향이 있다고 하였다.

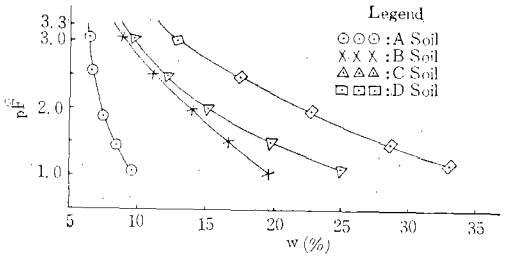
同一한 含水比에서 熟田土가 新鮮한 花崗土에 비하여 pF値가 낮은 이유는 土中의 窒素 含有量에 기인한 듯하다[6].

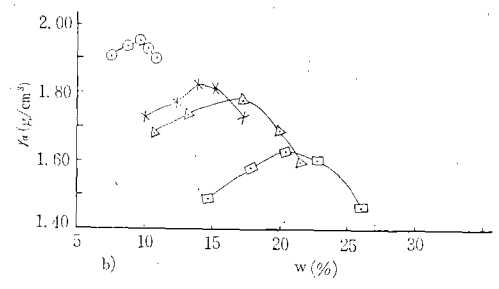
또 pF는 粘土鑛物의 擧動의 差異에도 영향을 받거니와[10] 土粒子의 構造 혹은 分散性에 크게 영향을 받는다. 이에 대하여 妹尾[22]는 粘土分이 많고 團

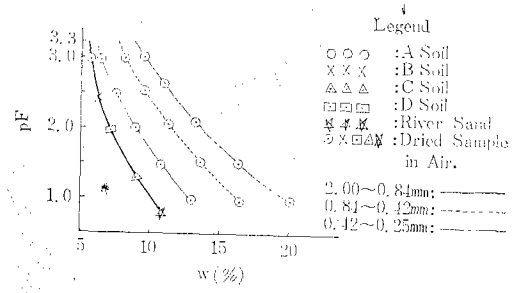
粒構造를 가진 試料는 pF 2.0以下의 單分散 構造의 흙이 pF 2.0~2.5로 浮動化되기 때문이라고 하였으며 이는 須藤[28] 등의 非自由水가 攪亂에 의하여 자

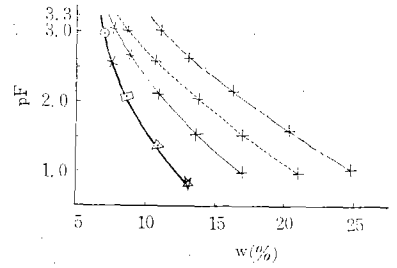


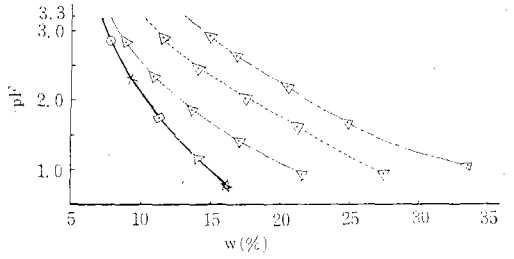


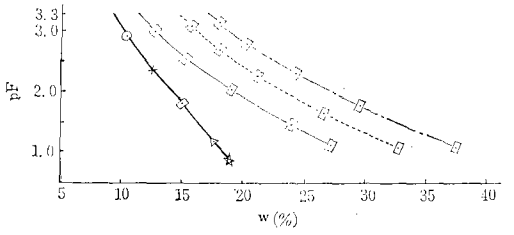












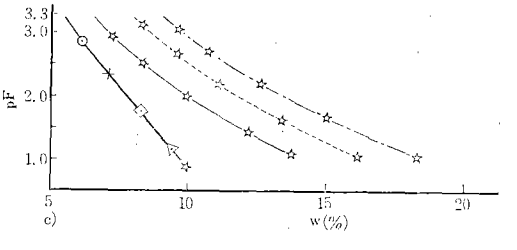


Fig. 2. Correlation of moisture content, pF and dry density

유화 된다고 하는 생각을 더욱 내용적으로 說明한 것으로 眞의 pF値를 구하기 위해서는 교란을 될 수 있는한 적게 해야하며 이 實測値는 有限時間에서 그치는 조작에 의하여 測定하는 것이므로 pF 측정값은 測定方法과 분리해서 생각할 수 없다는 것이다.

한편 pF와 다짐曲線과의 관계를 보면 다짐곡선의 濕潤側에서는 過剩水分으로 인하여 壓縮이 어려우나 含水比(w)가 減少함에 따라 이 作用은 감소하고 逆으로 물은 다짐에 의하여 自由化하며 또 潤滑劑로서 작용하므로 γ_d는 增加하여 最大乾燥密度에 달한다.

w가 점차 감소하면 pF가 높아지며, 다짐에 의한 물의 자유화가 어렵고 潤滑作用이 감소하여 γ_d는 다시 低下하게 된다. 더욱 乾燥된 試料를 다지면 마른 粒團이 다짐에 의하여 파쇄되기 쉬워지므로 γ_d는 계속 감소한다. 이와같이 過剩水分, 물의 潤滑, 粒團破壞의 3要因에 의하여 다짐曲線의 특징이 설명된다.

靑柳[1,2]는 細粒土의 경우 最適含水比보다 乾燥側에서는 綿毛構造를 나타내고 濕潤側에서는 分散, 배향 구조를 나타낸다고 하였는데 여기에서 實施한 실험에도 乾燥側에서 다짐한 경우 pF 3.3 이상의 비교적 높은 水分은 綿毛構造에 상당하고 濕潤側에서 다짐했을 때에는 pF 3.3~1.8의 낮은 pF의 수분까지 포함되는 경우가 많고 이것이 분산, 배향구조에 상당한다고 생각된다.

또 質的으로 風化가 進展된 순서로 含水比-pF曲線 및 乾燥密度曲線이 한결같이 保水性이 큰 高含水比側으로부터 低含水比側으로 곡선의 위치가 이동하는 경향을 나타내고 있으며, 다짐곡선이 低含水比側으로 이동됨에 따라 急變問을 보이는 경향을 나타내고 있다. 이는 齊藤[4,24] 등이 지적한 바와 같이 花崗岩類의 風化土는 모래에서 실트, 粘土粒徑에까지 移行하기 쉬운 흙이며 이러한 殘積土는 모래의 量이 비교적 많을 뿐만 아니라 이의 모양이 대부분 結晶性, 等粒狀 構造로 이루어져 있고, 粘土粒徑은 Kaoline 鑛物을 主體로 하고 있기때문에 比表面積이 比較的 작고 保水性이 작으므로 다짐곡선도 그 特性을 反映하여 비교적 急上昇하는 것으로 생각된다.

그러나 모든 花崗土가 일률적으로 이와같은 성질을 나타내는 것은 아니며 風化에 의해 K, Na 등의 용탈로 多孔質이 되므로 比表面積이 크고 다른 한편으로는 土粒子 內部나 주위의 龜裂로 인하여 保水性이 크고 다짐 곡선도 민감하지 않은 경우가 있다[24].

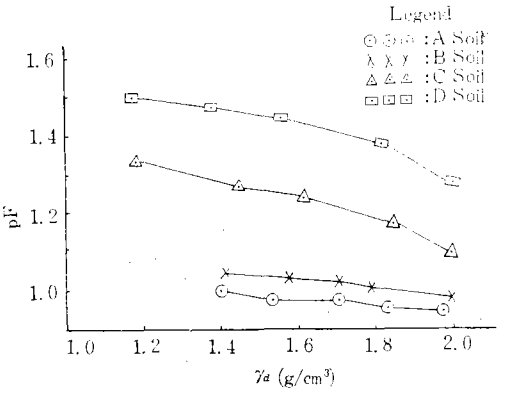


Fig. 3. Relationship between dry density and pF valve

Fig. 3은 含水比를 一定하게 하고 다짐 에너지를 변화시켜 다졌을 때의 乾燥密度와 pF와의 관계를 表示한 것이다. 試料를 다지면 含水比는 그대로이나 密度는 增加하고 pF値는 감소하는 경향을 보인다. 또 細粒土 일수록 현저하였으며, 粒度가 비슷할 경우에는 新鮮한 風化土보다 熟田土가 뚜렷하였다.

이는 粒子 사이의 間隙이 충진됨에 따라 그 사이에 존재하고 있던 수분이 입자의 表面에 浸出하여 自由化와 동시에 粒子에서 구조가 파괴되거나 간극이 감소함에 따라 그 部分에 保持되었던 水分이 由化 하기 때문으로 생각된다.

또 風化가 進展된 花崗土나 熟田土는 保水力이 클 뿐만 아니라 構造가 잘 발달되어 풍화가 적은 新鮮한 花崗土보다 토립자의 再配列이 활발하고[12], 그 結果 aggregate의 間隙分布가 더욱 크게 변화했기 때문이라고 생각된다.

以上과 같이 pF値는 동일한 粒度라 하여도 風化度, 鑛物造成, 初期含水比, 土粒子의 構造, 密度의 變化, 其他 試驗方法에 따라 差異가 나므로 밭 灌漑水量을 測定할 때 土性에 따라 일률적으로 pF値를 규정하는 것은 不合理하다고 생각된다.

흙 속의 물은 內部 液體와 가스 表面에서 생기는 毛管壓力과 固體表面에서의 凝集力의 지배를 받는 상태에 있다. 前者와 後者의 比率은 土壤의 物理的 性質 혹은 흙의 構造를 현저하게 변화시킨다[26,26,28].

그러므로 이러한 형태의 土壤水分은 土粒子의 內部나 주위에 강하게 붙어 있으므로 自由水에 비해 流動이 거의 없다.

이에대하여 妹尾[22]는 土壤水 에너지 指數pF=log ($P_1+P_2+P_3+P_e$)라는 개념을 도입하여 설명하였다 (여기서, P_1 ; 毛管現象에 기인된 요소, P_2 ; 浸透壓 現象에 기인된 요소, P_3 ; 土粒子의 相互作用에 기인된 요소, P_e ; 相壓(intersticial pressure)

일반적으로 극단적인 濕潤 및 乾燥 상태를 제외하고 重力排水가 거의 완료된 개간지의 負壓은 80~150cm(水柱表示) 정도이며, 이는 일반 農耕地에 있어서 灌漑工學上 圃場用水量(不飽和透水係數가 0인때의 水分量)으로서 정의되는 수분상태의 負壓이 100cm H_2O(pF 2.0) 부근에 있는 경우가 많다는 사실과 거의 일치되는 것이다.

한편 밭 作物의 生長速度는 負壓이 거의 水柱 500 cm(pF 2.7)를 넘게되면 수확량이 극히 감소된다.

이와같이 土壤의 保水力과 浸透性은 作物生育에 直接的인 影響을 끼치는 것이다.

2. 風化度와 浸透性

花崗土의 不飽和透水係數는 風化度에 지배되며 Matsuo[11]는 風化度의 파라미터인 比表面積으로부터 土粒子의 基本性質과 관련하여 不飽和透水係數를 추정하는 方法을 제시한 바 있다.

일반적으로 土壤水分은 흙의 量과 總水分量의 比인 含水比로 나타내고 있으나 이는 土壤水分의 에너지 상태를 정확히 나타내는데는 적합하지 않으며 물의 體積含量(體積으로 물의 量을 算出)으로 나타내는 것이 보다 合理的이다.

즉 水分의 保有量을 생각하면 흙의 體積에 대한 물의 體積(θ)으로 나타내는 것이 종래의 含水比로 나타내는 것 보다 오히려 정확한 값이 된다.

한편 現在까지의 연구에서 土粒子內의 空隙에 물이 차있다고 생각되는 pF 값을 3.3으로하여 浸透性의 實驗의 지표로 삼아왔다.

즉, pF 3.3 보다 큰 경우의 土壤水는 土粒子 속의 空隙에 채워지고 흙사이의 間隙으로는 浸透되지 않는다고 가정하여 pF 3.3의 含水比를 透水試驗의 지표로 삼고있다.

Fig. 4는 風化度가 다른 3種類의 花崗土와 熟田土, 江모래를 2.00~0.84mm, 0.84~0.42mm, 0.42~0.25mm 등 3種類로 체분류하여 間隙比(e)와 pF 3.3에서의 물의 體積($\theta_{3.3}$)과의 관계를 보인 것이다

Fig. 4에서 風化度가 進展된 試料의 경우 물이 채워질 수 있는 間隙比가 크므로 $\theta_{3.3}$에서 水量이 增加되는 경향이 있으나 風化가 낮은 試料는 이와같

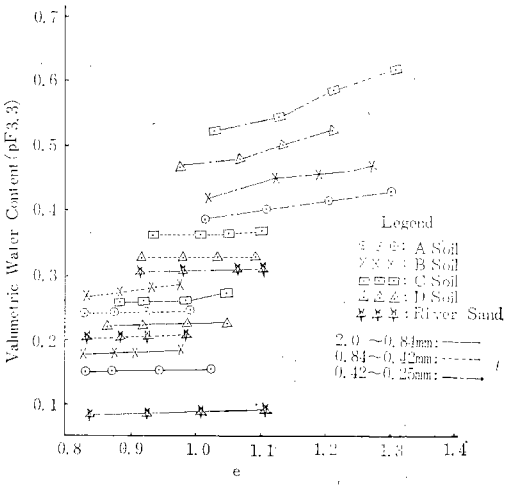


Fig. 4. Relationship between volumetric water content at pF 3.3 and void ratio

은 경향을 뚜렷하게 찾아볼 수 없다.

fig, 5는 이와같은 관점에서 間隙比(e)와 透水係數(k)와의 관계를 보인 것이다.

Fig. 5에서 k는 間隙比의 大小에 따라 현저하게 변화함을 알 수 있다.

한편 Kozeny와 Donat의 透水係數를 구하는 實驗公式은 다음과 같다.

$$K=\frac{C_k}{\mu}\cdot\frac{e^3}{1+e}\cdot D_m^2 \quad \cdots\cdots(1)$$

여기서 C_k ; 形狀係數

μ ; 물의 粘性(dyne·sec/cm²)

e ; 間隙比

D_m ; 平均粒徑(mm)

윗 式에서 間隙比를 변화시켰을 때의 k값을 算定하여 나타내면 Fig. 5의 a) 線과 같으며 이는 實驗에 의한 k값에 비하여 대략 100배 정도 크게 나타났다.

이러한 모순은 土粒子의 風化라는 要素를 고려하지 않았기 때문이라고 생각된다.

物理的인 관점에서 比表面積을 이용하여 k를 算出하는 Carman-Kozeny의 公式은 다음과 같다.

$$k=\frac{\gamma_w}{\mu}\cdot\frac{1}{K_0T^2}\cdot\frac{1}{S^2}\cdot\left(\frac{e^3}{1+e}\right)\cdots\cdots(2)$$

여기서 γ_w ; 물의 單位重量(g/cm³)

μ ; 물의 粘性(0.0114dyne·sec/cm²)

K_0T^2 ; 構造指數 (대략 5)[12]

e ; 間隙比

S ; 單位體積當 흙의 比表面積(cm²/cm³)

이 方法으로 측정된 k 값은 Fig. 5의 b) 線과 같이 實驗값의 대략 $\frac{1}{100}$정도이다. 이 차이는 土粒子內의 間隙이 透水와는 관계가 없는 比表面積이 차지하는 비율이 많기 때문이다[10,14].

즉 土壤 속의 물의 浸透性에 있어 土粒子의 粒徑과 間隙比 만을 고려 했을 때에는 實測 透水係數보다 計算된 透水係數는 過大하게 評價되고 이때 粒徑대신 比表面積을 도입했을 때에는 過小하게 評價된다는 것을 알 수 있다.

한편 前述한 pF 3.3 以上의 水分은 土粒子의 間隙에 채워진 水分으로 이는 浸透性과는 무관한 間隙이므로 실제로 浸透性에 관계한 間隙을 有效間隙比라고 가정하면 다음 式으로 나타낼 수 있다.

$$e_e=(e-W_{PF3.3}\cdot G_s)\cdot\frac{1}{1+W_{PF3.3}\cdot G_s}\quad\cdots\cdots(3)$$

佐佐木[20]에 의하면 花崗土의 相對透水係數(不飽和透水係數／飽和透水係數)는 有效飽和度의 增減에 좌우되며 吸着水나 拘束水는 직접 관계하지 않는 水分이라고 하였는데 이는 위와 같은 관점에서 유도한 公式이라고 생각된다.

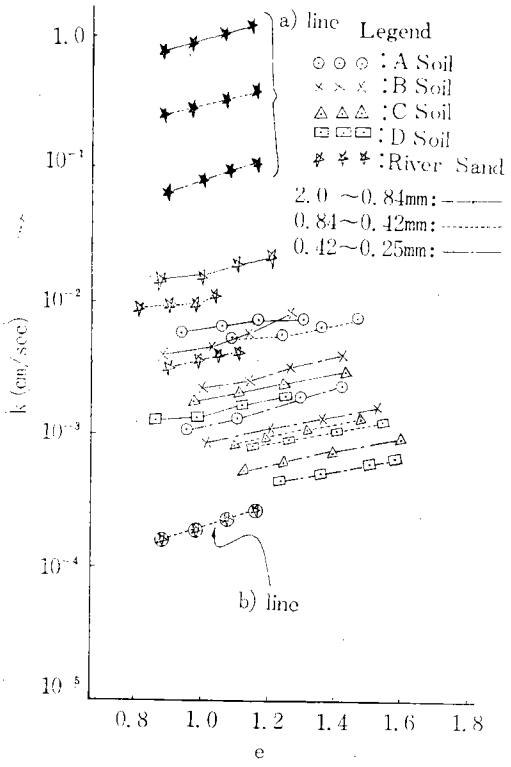


Fig. 5. Variation in coefficient of permeability with void ratio

以上과 같이 花崗土는 그 風化度에 따라 물의 浸透性에 크게 영향을 받으므로 新墾地에서의 必要灌漑水量을 算定할 때에는 이 점을 유의하여야 할 것이다.

Ⅳ. 結 論

土壤의 水分吸着과 浸透特性을 調査하기 위하여 風化度가 다른 花崗土와 熟田土, 漢江모래를 採取하여 試驗한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 母岩이 같은 경우에는 風化가 進展되어 細粒化할수록 동일한 含水比에서의 pF値는 작아진다.

2. 母岩이 다를 경우에는 粘土鑛物의 擧動에 따라 pF値는 변화되고 모래나 新鮮한 花崗土에 比하여 窒素成分이 많은 熟田土가 보다 더 민감한 반응을 보였다.

3. 初期含水比의 差異에 따라 pF値는 變化되며 토립토자의 構造(分散性), 試驗分法 等에도 영향을 받는다.

4. pF曲線과 다짐 曲線은 밀접한 관련이 있으며 동일한 含水比라 하여도 密度가 增加되면 pF値는 감소된다.

5. 浸透水量은 風化度에 따른 土粒子사이의 有效間隙에 좌우되며 토립자 內에 머물러 있는 間隙水를 除外하고 浸透에 직접 관계하는 土粒子 사이의 有效間隙水의 pF値는 3.3이하이다.

6. 以上과 같이 pF値와 浸透量은 동일한 粒度의 흙이라 하여도 風化度, 初期含水比, 密度 등에 의하여 차이가 나므로 土壤의 種類에 따라 일률적으로 규정하는 것은 不合理하다고 생각된다.

參 考 文 獻

1. 青柳省吾, 横瀬廣司(1979); 安山岩 風化殘積土のセン斷强さと pF水分特性について, (風化殘積土の工學的性質に關する研究(2)), 日農土論集 80, pp.17～23.

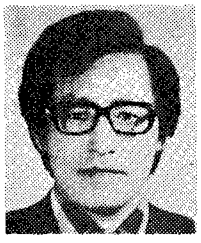
2. 青柳省吾, 横瀬廣司(1976); 花コウ岩風化殘積土のセン斷强さと pF水分特性について, (風化殘積土の工學的性質に關する研究(1)), 日農土論集 62, pp.34～40.

3. Baver, L.D. (1956); Soil Physics, pp.240～247.

4. 都德鉉, 姜乂默(1979); 花崗岩質 風化土의 破碎性에 關한 硏究, 韓國農工學會誌第21卷第2號, pp. 82～103.
5. 福田護(1975); 火成岩系 風化砂質土の工學的性質について. 日土と基礎 Vol.23, No.2, pp. 13～18.
6. 金才正, 趙成鎭(1981); 土壤의 pH, pF와 陰이온(Cl^-, $SO_4^=$)이 煙草의 生育 및 이온平衡에 미치는 影響, 韓國土壤肥料學會誌 14,(3), pp. 117～129.
7. 金始源, 李庚熙, 都德鉉(1934); 田作物 水分消費量 調査 硏究, 韓國農工學會誌 26, (2), pp. 47～53.
8. 松川進, 相馬恒一(1983); 土壤水分特性曲線(脫水曲線)を表わす新たな實驗式, 日農土論集 104, pp.31～38.
9. Matsuo, S. and Nishida, K.(1970); The Properties of decomposed granite Soils and the r influence on permeability, soils and Foundations Vol.10, No.3, pp.93～107. (in Japanse)
10. Matsuo, S., Nishida, K. and Sasaki, S.(1979); Physical Properties of Weathered Granite Soil Particles and Their Effect on Permeability, Soils and Foundations 19(1), pp. 13～22. (in Japanese)
11. Matsuo, S., Nishida, K. and Sasaki, S. (1981); Physical Properties of Soil Particles and Their Effect on Hydraulic Conductivity of Unsaturated Decomposed Granite Soil, Soils and Foundations Vol.21, No.4, pp.1～12. (in Japanes)
12. Mswa, S. (1972); Technology of Particlate Materials, Asakura, pp.345. (in Japanese).
13. 宮內定基, 中村忠春, 酒井俊典(1983); 粘性土における繰返し載荷に伴う pF値の變化と土壤構造との關係, 日農土論集 106, pp.51～60.
14. 宮內定基(1978); 繰返し載荷時の沈下現象に關するレオジー的考察, (半無限粘性土層への繰返し載荷に關する基礎的硏究(Ⅱ)), 日農土論集 77, pp.32～38.
15. Nishida, K., Sasaki S. and Aoyama, C. (1979); Water Adsorption on Decomposed Granite Soil Particles and Its Influence on Permeability, Technology Reports of Kansai University No.20, pp.153～160. (in Japanese)
16. 西田一彦, 佐佐木淸一(1973); マサ土粒子の風化度と水分吸着特性, 第18回土質工學シンポジウム, pp.83～84.
17. 西田一彦, 佐佐木淸一(1974); マサ土粒子の風化度と水分吸着特性, 日土木學會關西支部年次學術講演會槪要集, pp.Ⅲ-20-1～2.
18. Russell, M.B. and Richards, L.A. (1938); The determination of soil moisture energy relations by centrifugation, Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 3, pp.65～69.
19. 櫻井雄二(1976); 遠心分離法による土壤の pF—水分含量關係(1), 日農土論集 64, pp.1～6.
20. 佐佐木淸一, 西田一彦(1983); マサ土のような壓縮性を有する土の不飽和浸透特性に關する硏究, 日土木學會論文報告集 340, pp.155～164.
21. 佐佐木淸一, 西田一彦(1976); 破碎したマサ土の水分・pF 特性について, Doboku Gakkai Kansai Shibu Nenji Gakujtsukoen Gaiyo pp. Ⅲ-5-1～2.
22. 妹尾學(1965); 土壤水エネルギ指數 pFによる構造の考察, 日農土論集 14, pp.11～15.
23. 須藤淸次, 安富六郎(1963); 關東ロースの工學的性質(Ⅱ), 日農土硏別冊(7), pp.98～103.
24. 齋藤實, 中山一義, 日笠正次(1955); 花崗岩質および安山岩質土壤の理學性について 日香川大學農學報 7(1), pp.105～111.
25. 多田敦(1965); 關東ロームの締固めと透水係數について 1, 日農土論集 14, pp.36～40.
26. 多田敦(1965); 關東ロームの締固めと透水係數について2, 日農土論集 14, pp.41～45.
27. 多田敦, 山崎不二夫, 竹中肇, 安富六郎, 田淵公子(1965); 關東ロームにおる新期ロームと古期ロームの物理的性質の比較, 日農土論集 14, pp.67～70.
28. 竹中肇(1965); 收縮擧動より見た土の工學的性質(土の工學的性質(Ⅰ)), 日農土論集 14, pp.32～35.
29. 竹山肇, 安富六郎(1965); pFの變化と軟化·硬化について(土の工學的性質と pFの關係(Ⅱ), 日農土論集 14, pp.54～59.
30. 竹山肇, 山崎不二夫, 安富六郎, 多田敦, 兼田公輝(1965); 關東ロームにおける土工(土の條件

とトラクタの牽引性能), 日農土論集 14, pp. 71～76.
31. 山崎不二夫, 竹山肇(1965); 風乾がアツタベルグ限界に及ぼす影響, 日農土論集 14, pp.46～48.
32. 山崎不二夫, 須藤清次(1965); 土の工學的擧動, (關東ローム을 中心として), 日農土論集14, pp. 1～10.
33. 山崎不二夫, 八幡敏雄, 須藤清次(1963); 關東ロームの物理的性質, 日農土研別册 (7), pp.1～13.
34. 安富六郎, 竹中肇, 須藤清次(1965); 工學的にみた土の剛性率・降伏値と pFについて, (土の工學的性質と pFの關係(1)), 日農土論集 14, pp, 49～53

◇



㊗ 工學博士

柳 時 昶

當學會 正會員인 柳時昶會員은 오랜 研究生活 끝에 博士學位를 받은데 대하여 全會員과 더불어 祝賀드리는 바입니다.

生年月日 : 1941年 2月 24日生
勤 務 處 : 慶尙大學校 農科大學
學位授與 : 東亞大學校 大學院
學位取得日 : 1984年 2月 26日
學位論文 : 浮遊流砂의 鉛直濃度分布에 관한 研究