

# 花崗風化土의 破碎 및 다짐에너지가 透水性에 미치는 影響

Permeability Effect of Decomposed Granite Soil under the Influence  
of Crushability and Compaction Energy

李 滄 洙\*  
Lee, Hyoung Soo

## Abstract

This paper is concerned with the permeability through a decomposed granite soil layer which is influenced by change of grain sizes and crushed soils made by varied compaction energy.

The change in the content of crushed soils can be described in terms of the ratio of surface area ( $S_w'/S_w$ ). The experiments were carried out to obtain the relationships of the coefficient of permeability ( $K$ ) versus the optimum moisture content ( $\omega_{opt}$ ) by the variable head permeability test with the samples that were prepared by compaction test.

The results are found as follows;

(1) By the change in compaction energy, the crush ratio increased whereas the void ratio decreased with a larger maximum dry density running in parallel with the zero air void curve.

(2) The ratio of surface area was  $0.33(P)^{0.96}$  in  $S_w'/S_w$  with no relation to the compaction energy.

(3) The grain size which produced the largest crush of soil particles ranged from 0.5 to 1 millimetre

(4) The relationship of  $K$  versus  $e^3/1+e$  appeared as a straight line on the full-log-scale paper under the optimum moisture state.

(5) As the compaction energy was larger, the passing percentage of #200-sieve grains increased linearly. The increment in the surface area ratio was deemed to have been caused by the decreased in the permeability.

## 要 旨

다짐에너지 變化에 따르는 화강풍화토의 粒度變化 및 破碎量이 透水性에 미치는 影響에 대해 연구하였다.

土粒子의 破碎는 土粒子의 表面積比( $S_w'/S_w$ )로서 나타났고, 다짐에너지를 變化시키면서 실시한 다짐試驗結果 만들어진 試料에 변수위투수시험을 行하여 투수계수와 最適含水比와의 關係를 調査하였다. 그 結果 다음과 같은 사항을 알 수 있었다.

(1) 다짐에너지의 增大에 따라 破碎가 커지고 間隙比가 감소되고 건조밀도는 零空隙曲線에 平行하게 增大된다.

\* 正會員 · 中央大學校 工科大學 土木工學科 副教授

(2) 表面積比는 다짐회수에 관계없이  $S_w'/S_w = 0.33(P)^{0.86}$  로 表示할 수 있다.

(3) 粒子破碎가 가장 크게 일어나는 粒徑은 0.5~1 mm 범위이다.

(4) 最適含水比 상태에서 투수계수  $K$ 와 間隙比函數  $\frac{e^3}{1+e}$  와의 관계는 兩面對數紙上에서 직선 관계가 成立한다.

(5) 最適含水比 상태에서 다짐에너지가 增加되면 200 番체 通過量은 거의 직선적으로 增加되며 表面積比의 增大는 透水性의 低下를 갖고온다.

## 1. 序 論

화강풍화토(decomposed granite soil)는 옛날부터 土木工學用 材料로서 흔히 使用되어 왔으나 最近에는 화강풍화토의 特性이 계속적으로 研究되어 그 工學的 性質이 어느 정도 밝혀졌으므로 흙담의 심벽용材料로서도 使用되기에 이르렀다. 이 화강풍화토는 花崗岩質 岩石(花崗岩, 花崗閃綠岩, 片麻岩 等)의 風化殘積土이며<sup>(1)</sup> 風化의 程度에 따라 그 工學的 性質이 크게 變化하는 것이다. 新鮮한 花崗岩이 화강풍화토化 되는데 要하는 期間은 약 600 萬年에 달한다고 한다<sup>(2)</sup>. 그러나 地質學的인 風化速度의 概念은 그 期間이 너무 길기 때문에 土質工學的으로 利用하는데는 매우 困難하다. Polynov(1937)에 의하면 風化란 塊狀狀態에서 破屑狀態로의 岩石의 變化라고 말하고 있다<sup>(3)</sup>. 그러나 지금까지 花崗岩의 風化速度에 관한 研究는 飯島(1974), 木宮(1975) 등이 있다. 飯島<sup>(45)</sup>는 新鮮한 花崗岩質 岩石으로 된 建造物의 表面이 風化되어 薄離되는데 要하는 時間을 調査함으로써 風化와 時間의 問題를 局部的으로 解決하고 있는데 反하여, 木宮<sup>(4)</sup>은 모든 風化段階에 適用될 수 있는 風化引張強度指數(T.S.I)로서 風化의 程度를 나타내는 方法을 發表함으로써 花崗岩의 風化速度를 數式的으로 定量化하기에 이르렀다.

한편, 화강풍화토는 현저한 破碎性을 나타내는 土質材料로서 土粒子의 破碎는 粒度變化를 일으켜 다짐의 特性이나 透水에 큰 影響을 준다. 즉, 土粒子의 破碎는 粒子의 數와 表面積의 增大를 招來한다. 이 중 表面積은 透水性과 같은 물과 連關되는 工學的 特性을 알아내는데 매우 便利할 것이다. 따라서 現在 화강풍화토의 粒度

分布가 近似的으로 對數正規型이 될 것이라는 假定하에 破碎前의 粒子表面積에 대한 破碎後의 粒子表面積의 比를 破碎前後의 粒子의 加積通過率合과 관련지어 表現하고 있다<sup>(6,14)</sup>.

한편, 화강풍화토의 透水性은 風化度, 鑛物造成, 試料의 攪亂狀態에 따라 달라진다. 화강풍화토는 砂質土이므로 透水性이 클 것 같으나 加해지는 다짐에너지가 增加되면 破碎量이 크게 增加하고 따라서 密度가 增大되고 透水量도 크게 低下되어 透水係數가  $10^{-5} \sim 10^{-6}$  cm/sec 程度까지 減少된다.

여기에, 本研究에서는 화강풍화토의 다짐에너지 變化에 따르는 粒度變化 및 破碎量이 透水性에 어떤 影響을 주는가를 究明하고자 한다.

## 2. 화강풍화토의 特性

### 2.1 화강풍화토의 鑛物造成

화강풍화토의 母岩으로는 花崗岩, 花崗閃綠岩, 花崗斑岩, 片麻岩 等の 結晶性 深成岩과 이들과 同質의 變成岩이 있다. 이들의 鑛物造成은 石英, 正長石, 斜長石, 黑雲母, 角閃石 等이며 앞의 三種은 無色 鑛物이고 뒤의 二種은 有色鑛物이라고 불린다<sup>(6)</sup>.

화강풍화토는 이들의 1次鑛物과 이들이 風化하여 생기는 Kaolinite, Halloysite Illite Cellisite, Vermiculite Gibbsite 等の 粘土鑛物의 組合에 따라 鑛物造成이 달라지는 境過가 많다<sup>(7)</sup>. 화강풍화토는 母岩에서 風化되어 어느 一定한 粒子에 이를 때까지는 주로 物理的 作用을 받지만 細粒化됨에 따라 化學的 作用만을 받게 되는 것 같다. 이는 1次鑛物의 風化過程은 純粹한 化學的 作用이라고 볼 수 있기 때문이다. 예를 들면 1次의 珪酸鹽(珪酸鹽:  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ )인 長石

이 空氣中の 炭酸가스와 물의 作用을 받아 比較的 稼動性的인 鹽( $K_2CO_3$ )과 硅酸( $SiO_2$ )을 生成하는 外에 稼動性이 적은 遊離알미노硅酸( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ), 即 分解된 1次鑛物의 殘砂로서 粘土生成物을 만드는 것을 보아도 明白하다.

Cornu의 研究에 의하면 粘土生成物은 殘留物 質보다도 風化時에 1次鑛物에서 分離되어 생긴 Colloid의 性質을 갖는 새로운 化合物이며 처음에는 Colloid 狀態이지만 차츰 結晶化되어 간다고 볼 수 있다.

粘土鑛物은 Colloid 狀態의 微粒子로서 이루어지며 水化된 硅酸알미늄의 結晶이다. 이 構造는 シリカ 四面體와 알미늄의 8面體로서 이루어지고 이들이 層狀 또는 帶狀으로 結合하여 여러가지 粘土鑛物을 形成한다<sup>(8)</sup>.

X線回折法의 開發에 따라 粘土鑛物의 種類와 含有量의 測定이 可能하게 되고 粘土鑛物의 構造에 관한 理論이 明確해짐에 따라 그 性質 風化度에 의해 造岩鑛物로부터 粘土鑛物이 生成된다는 것이 確認되었다.

## 2.2 화강풍화토의 一般의 特性

自然狀態의 火강풍화토의 自然含水比, 密度空 隙率 등은 風化度에 따라 다르다. 火강풍화토의 比重은 風化度에 따라 減少하지만 거의 變化하지 않는다. 反面에 長石 雲母 등은 風化에 따라 選擇的 變化를 받으므로 이들만의 比重은 2.4~2.65 程度의 範圍로 變化되므로 風化度の 하나의 指標가 된다.

土粒子의 強度는 火강풍화토의 다짐과 같은 外力이 作用하였을 때의 土粒子의 破碎에 關係된다. 一般적으로 長石은 破碎되기 쉬우나 粗粒部分에서는 石英도 長石과 같이 破碎를 일으킨다.

다짐에 있어서의 土粒子의 破碎는 最適含水比 前後에서 最大가 되어 粗粒分이 減少하고 細粒分이 增加된다. 다짐에너지가 커지면 最大乾燥 密度  $\gamma_{dmax}$ 가 增加되고 最適含水比  $W_{opt}$ 는 減少된다. 같은 다짐에너지에서는 風化도가 클수록  $\gamma_{dmax}$ 가 작고  $W_{opt}$ 가 큰 傾向을 나타낸다<sup>(9)</sup>. 더우기 鑛物造成에 따라 다르며 有色鑛物量이 增加하면  $\gamma_{dmax}$ 이 減少되고  $W_{opt}$ 는 증가된다<sup>(10)</sup>.

火강풍화토는 다른 보통흙과 달라서 다짐이 加해지면 粒子破碎를 일으키기 쉬운<sup>(11)</sup> 흙이다.

火강풍화토의 工學的 特性은 鑛物造成과 風化度에 따라 淸해지며 風化되면 細粒化됨과 同時에 粒子內部的 空隙이 發達한다. 따라서 物理的 化學的인 外的 作用力에 대하여 非可逆的 變化를 일으킨다.

## 3. 다짐에너지와 破碎性的인 關係

### 3.1 試料 및 試驗方法

試料는 日本國(茨城縣 眞壁郡 岩瀨町) 筑波山에서 採取한 것이며 이 試料의 自然狀態의 粒度는 그림 3-1에 圖示한 바와 같다. 花崗風化土는 取扱方法이나 試驗方法에 따라 粒度가 크게 變化하므로 攪亂된 試料로서 實驗을 할 때 土粒子의 破碎의 程度가 달라지므로 初期狀態의 基準를 淸하여 그림 3-1로서 나타내었다.

다짐試驗은 KS F 2312에 따라 施行하였으며 이때 다짐回數를 標準다짐인 25회를 基準으로 하고 50, 75, 100, 150, 500, 1000회로 變化시키면서 다짐 前後에 있어서의 粒度分析을 200番체 殘留分에 限하여 施行하였다.

粒度分析結果에 式(3-1)을 利用하여 土粒子의 表面積比( $S_w'/S_w$ )를 求함으로서 다짐에너지 變化에 따르는 粒子破碎量을 산정하였다.

$$\frac{S_w'}{S_w} = (\sqrt[3]{2})^{S \cdot I} \quad (3-1)$$

여기서

$$S \cdot I = 2(P_2' - P_2) - (P_1' - P_1) \cdot (P_1' + P_1 - 2)$$

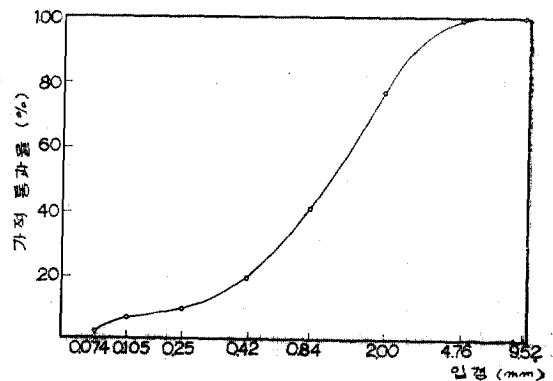


그림 3-1 자연상태시료의 입경가적 곡선

표 3-1 다짐 시험 결과

시 료	구 분 단 위	다 짐 횟 수 回/層	E.	최적함수비	최대전조밀도	74 μm 통과량	건조밀도
			kg-cm/cm <sup>3</sup>	%	t/m <sup>3</sup>	%	%
과 강 풍 파 토		0	0				
		25	5.625	12.50	1.908	1.8	
		50	11.250	11.80	1.961	5.7	100.0
		75	16.875	11.71	1.970	7.0	102.8
		100	22.500	11.50	2.005	7.7	103.2
		150	33.750	10.83	2.016	8.8	105.1
		500	112.500	9.58	2.076	10.0	105.7
		1000	225.000	6.95	2.142	12.7	108.8
						14.2	112.3

표 3-2 입도 분석 계산표

입 경	다 짐 건				25 회			50 회			75 회		
	유효율 (%)	가적통과율 (%)		유효율 (%)	가적통과율 (%)		유효율 (%)	가적통과율 (%)		유효율 (%)	가적통과율 (%)		
		1 회	2 회		1 회	2 회		1 회	2 회		1 회	2 회	
9.52	0.8	100.0	356.6	0	100.0	418.5	0	100.0	427.9	0	100.0	451.1	
4.76	22.4	99.2	256.6	12.3	100.0	318.5	9.6	100.0	327.9	8.7	100.0	351.1	
2.00	35.8	76.8	157.4	33.2	87.7	218.5	30.0	90.4	227.9	27.9	91.3	251.1	
0.84	21.6	41.0	80.6	25.6	57.2	128.1	23.1	57.8	140.2	23.7	63.4	159.8	
0.42	9.5	19.4	39.6	13.4	31.6	70.9	13.3	34.7	82.4	14.5	39.7	96.4	
0.25	3.6	9.8	20.2	5.9	18.2	39.3	6.5	21.3	47.7	7.4	25.2	56.7	
0.105	3.9	6.3	10.4	7.2	12.4	21.1	8.3	14.8	26.4	10.2	17.7	31.5	
0.074	0.7	2.4	4.1	1.5	5.1	8.7	1.4	6.5	11.6	1.3	7.5	13.8	
PAN	1.7	1.7	1.7	3.6	3.6	3.6	5.1	5.1	5.1	6.3	6.3	6.3	
TOTAL	100	356.6	927.2	100	418.5	1227.2	100	427.9	1292.0	100	451.1	1417.8	
	$P_1=3.566$ $P_2=9.272$			$P_1'=4.185$ $P_2'=12.272$			$P_1'=4.279$ $P_2'=12.920$			$P_1'=4.511$ $P_2'=14.178$			

입 경	100 회			150 회			500 회			1000 회		
	유효율 (%)	가적통과율 (%)		유효율 (%)	가적통과율 (%)		유효율 (%)	가적통과율 (%)		유효율 (%)	가적통과율 (%)	
		1 회	2 회		1 회	2 회		1 회	2 회		1 회	2 회
9.52	0	100.0	457.6	0	100.0	465.2	0	100.0	483.6	0	100.0	503.2
4.76	6.0	100.0	357.6	6.0	100.0	365.2	4.7	100.0	383.6	4.3	100.0	403.2
2.00	28.3	94.0	257.6	27.6	94.0	265.2	26.9	95.3	283.6	25.5	95.7	303.2
0.84	26.2	65.8	163.6	24.9	66.4	171.2	24.1	68.4	188.3	22.5	70.2	207.5
0.42	14.6	39.5	97.8	14.5	41.5	104.8	14.1	44.3	119.9	13.9	47.7	137.3
0.25	7.0	24.9	58.3	7.3	26.9	63.3	7.3	30.2	75.6	7.2	33.8	89.6
0.105	9.3	17.9	33.4	10.4	19.6	36.4	10.7	23.0	45.4	11.0	26.6	55.8
0.074	1.6	8.5	15.5	1.7	9.2	16.8	2.1	12.3	22.4	2.0	15.6	29.2
PAN	7.0	7.0	7.0	7.6	7.6	7.6	10.1	10.1	10.1	13.6	13.6	13.6
TOTAL	100	457.6	1448.4	100	465.2	1495.7	100	483.6	1612.5	100	503.2	1742.6
	$P_1'=4.576$ $P_2'=14.484$			$P_1'=4.652$ $P_2'=14.957$			$P_1'=4.836$ $P_2'=16.125$			$P_1'=5.032$ $P_2'=17.426$		

$S_w'$ (cm<sup>2</sup>/g) 및  $S_w$ (cm<sup>2</sup>/g)는 각각 破碎前 및 破碎後의 粒子表面積,  $P_1$  및  $P_2$ 는 破碎前의 첫 번째 및 두 번째 加積通過率合의 1/100 이며  $P_1'$  및  $P_2'$ 는 破碎後의 것이다(표 3·2 참조).

### 3.2 試驗結果 및 考察

#### 3.2.1 다짐試驗

上記試驗에서 얻은 다짐에너지 變化에 따르는 含水比-乾燥密度曲線을 圖示하면 그림 3·2와 같고 이 그림中에서 重要한 事項만을 골라서 整理하면 表 3·1과 같다. 표 3·1중 다짐에너지  $E_c$ (kg-cm/cm<sup>3</sup>)는 日本土質工學會 算定法에 의거 算出하였다<sup>(12)</sup>.

그림 3·2에서 보는 바와 같이 다짐曲線은 다짐에너지가 增加되면 零空隙曲線(Zero Air Void Curve)을 따라 左上向으로 移動한다<sup>(13)</sup>. 이때 다짐回數를 增加시킨다는 것은 試料에 機械的인 에너지를 加하여 土粒子 相互間의 물립狀態와 土粒子의 空隙속에 存在하는 水分의 表面張力에 對하여 土粒子의 배열을 보다 조밀한 狀態로

바꾸려는 것이다. 즉 다짐에너지를 增加시키는 경우 試料의 含水比가 變化되지 않더라도 飽和度가 높아지므로 含水比가 最適含水比라 할지라도 보다 큰 에너지로 다짐試驗을 하면 最適狀態에서 濕潤狀態가 되는 때도 있으므로 다짐曲線이 에너지增加에 따라 左上向으로 移動한다는 것은 理論的인 근거와도 一致한다.

흙의 다짐試驗에서 가장 큰 影響을 주는 要素는 含水比이며 그림 3·2에서 다짐에너지가 적을 때에는 最適含水比는 거의 變化하지 않으나 最大乾燥密度는 크게 增加함을 알 수 있다.

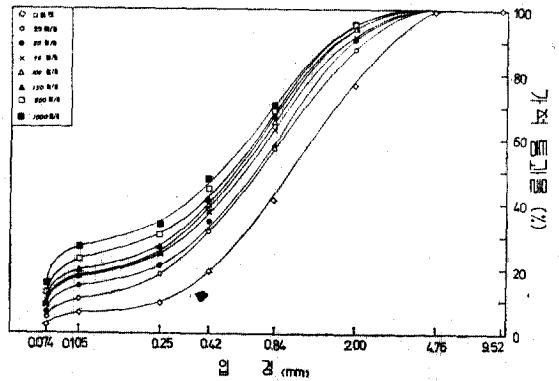


그림 3·3 임경 가적 곡선

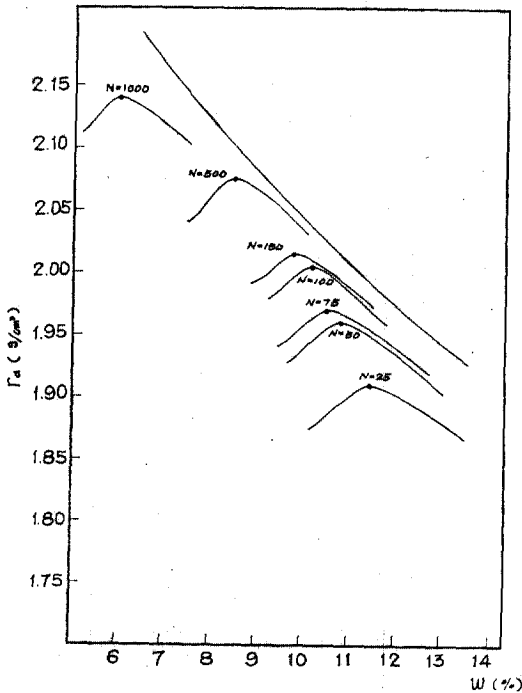


그림 3·2 다짐후의  $\gamma_d$ - $w$  곡선

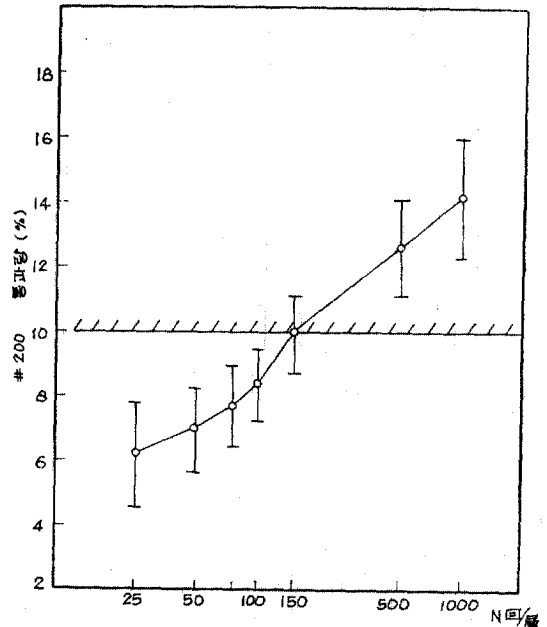


그림 3·4 #200 통과량과 N과의 관계

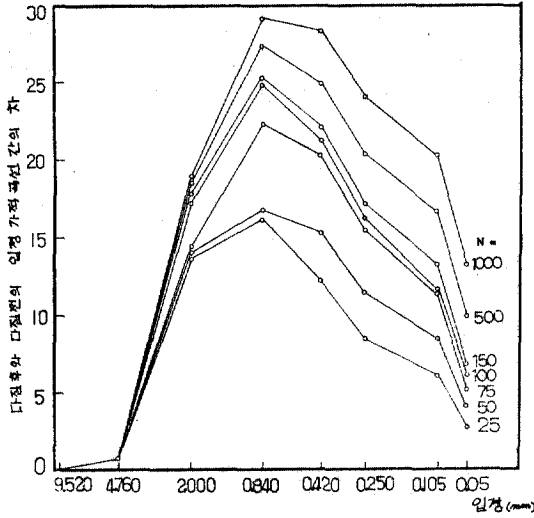


그림 3-5 입회분포의 변화

### 3.2.2 粒度分析

흙의 粒度分布를 構成하는 基本要素는 均一粒徑의 粒子의 含有量이며 이는 土粒子의 破碎性과 밀접한 關係가 있다. 따라서 다짐後의 粒度分析 結果에서 細粒分 즉 200 番체 通過量으로서 破碎程度를 나타내기로 한다.

그림 3-3은 다짐에너지 變化에 따른 土粒子의 破碎로 인한 粒度分布가 어떻게 달라졌는가를 나타낸 것이다.

그림 3-4는 다짐回數와 200 番체 通過量과의 關係를 나타낸 그림이며 이 그림에서 200 番체가 10% 以上이 되려면 다짐回數가 150 회를 넘어야 한다는 것을 알 수 있다.

그림 3-5는 粒度分析의 結果에서 土粒子의 다짐後의 加積重量百分率과 다짐前의 百分率과의 差를 求하여 各粒徑別로 圖示한 것이다. 이 그림에서 아는 바와 같이 다짐回數마다 頂點이 있고 그 최대종거는 土粒子의 破碎를 나타내는 하나의 尺度로 생각할 수 있다. 이 그림을 檢討하면 0.5~1.0 mm의 粒徑範圍內에서 細粒化現象이 크게 나타나지만 다짐回數가 많아지면 보다는 粒徑을 갖는 土粒子가 細粒化하는 傾向이 있음을 나타내고 있다. 다짐에 의한 이러한 土粒子破碎의 程度는 破碎前의 表面積  $S_w$ 에 대한 破

碎後의 表面積  $S_w'$ 의 比로 판단할 수 있다<sup>(6,14)</sup>. 土粒子가 破碎되면 粒子數의 增加와 함께 表面積도 增大됨으로 破碎前後의 表面積의 變化率은 破碎의 程度를 나타내는 하나의 合理的인 尺度가 될 수 있다. 여기서 單位重量當 土粒子의 全表面積은 다음과 같은 式으로 산출할 수도 있다<sup>(14)</sup>.

$$S_w = \frac{1 \cdot \phi_s \cdot D_s^2}{\rho \cdot \phi_s \cdot D_s^3} \quad (3-2)$$

式 (3-2)중  $\rho$ 는 密度,  $\phi_s$ 와  $\phi_v$ 는 各各 面積形狀係數, 體積形狀係數이며,  $D_s$ 와  $D_v$ 는 個數分布에 있어서의 面積 및 體積平均徑이다.

표 3-2와 표 3-3은 比表面積比  $S_w'/S_w$ 의 計算과정을 表示한 計算表이다. 즉 표 3-2는 다짐전 試料 및 25회 다짐에서 1000회 다짐 結果 얻어진 試料의 粒度試驗結果(그림 3-3 참조)로부터 破碎前의  $P_1, P_2$  및 破碎後의  $P_1', P_2'$ 를 구한 計算표이며, 이들값으로  $S.I$ 를 구하고 式(3-1)에 代入하여 구한 表面積比  $S_w'/S_w$ 는 표 3-3에 표시한 바와 같다. 이 表面積比 및 200 番체 通過量을 다짐回數와 관련지어 兩面對數紙에 圖示하면 그림 3-6과 같이 線型關係를 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 이를 一般式으로 나타내면 다음과 같다.

$$\log P = a \log N + \log b \quad (3-3)$$

여기서  $P$ 는 200 番체 通過率이고  $a, b$ 는 定數

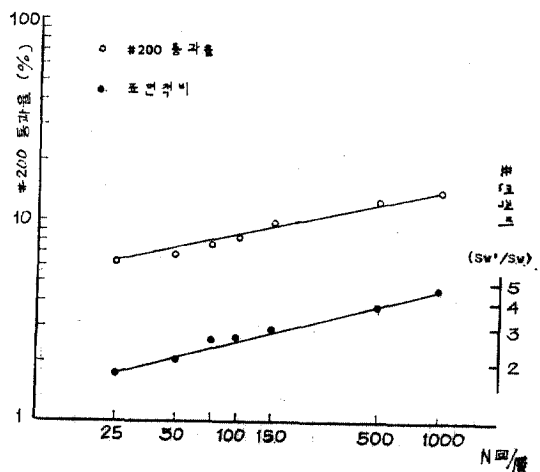


그림 3-6 #200 통과율 -  $S_w'/S_w$  -  $N$ 의 관계

표 3-3 비표면적비

	25회	50회	75회	100회	150회	500회	1000회
S.I	2.44	3.13	4.07	4.22	4.62	5.58	6.64
$\frac{S_w'}{S_w}$	1.76	2.06	2.56	2.65	2.91	3.63	4.63

이며, 그림 3-6의 결과로부터 a와 b는 각각 0.25와 2.64로 구하여진다.

또한 표면적비( $S_w'/S_w$ )와 다짐회수(N)의 관계는 식(3-4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\log\left(\frac{S_w'}{S_w}\right) = c \log N + \log d \quad (3-4)$$

여기서 c, d는 定數이며, 그림 3-6 으로부터 각각 0.24, 0.84로 구하여진다.

식(3-3) 및 (3-4)로부터 200番체 通過量과 表面積比를 聯立하여 풀면 식(3-5)가 유도된다.

$$\frac{S_w'}{S_w} = d \left(\frac{P}{b}\right)^{c/a} \quad (3-5)$$

本 實驗結果에 의한 a, b, c, d를 식 (3-5)에 代入하여 表面積比와 200番체 通過率의 關係를 구

하면 다음式으로 表示할 수 있다.

$$\frac{S_w'}{S_w} = 0.33(P)^{0.96} \quad (3-6)$$

式 (3-6)에서 보면 表面積比와 200番체 通過率과의 關係는 指數的인을 알 수 있다. 이는 그림 3-6에서 보는 바와 같이 200番체 通過率과 表面積比는 다짐에너지 增加에 따라 거의 같은 기울기로 增加됨을 나타낸다. 따라서 다짐回數 N에 關係없이 200番체 通過量과 表面積比關係를 式(3-6)으로 나타낼 수 있다.

#### 4. 다짐에너지와 透水性의 關係

試料는 다짐試驗時에 만들어진 試料를 그대로 利用하여 KSF 2322에 의해 變水位透水試驗을 實施하였다. 試料의 眞空度는 高壓眞空坪를 利用하여 650 mmHg로 維持하고 試料의 透水度에 따라 10~20分間 放置하였으며 各 試料의 飽和度는 거의가 90% 以上이었다.

變水位透水試驗에 의하여 測定된 透水試驗 結

표 4-1 투수 시험 결과

다짐회수	최적함수비 최대전조밀도	투수 시험 결과					최대 투수계수	평균 투수계수
		1	2	3	4	5		
25회/층	함수비	11.88	12.19	11.88	11.77	—	11.77	—
	전조밀도	1.839	1.817	1.824	1.839	—	—	—
	투수계수		$5.9 \times 10^{-3}$	$6.7 \times 10^{-3}$	$4.1 \times 10^{-3}$		$4.2 \times 10^{-3}$	$5.6 \times 10^{-3}$
50회/층	함수비	12.04	11.94	12.04	11.75	11.75	11.92	11.75
	전조밀도	1.926	1.839	1.881	1.926	1.891	1.884	—
	투수계수		$7.3 \times 10^{-3}$	$4.5 \times 10^{-3}$	$2.6 \times 10^{-3}$	$9.8 \times 10^{-3}$	$9.5 \times 10^{-3}$	$9.8 \times 10^{-3}$
100회/층	함수비	11.20	10.85	11.14	11.20	10.76	—	10.85
	전조밀도	1.966	1.912	1.887	1.966	1.961	—	—
	투수계수		$8.9 \times 10^{-4}$	$7.2 \times 10^{-4}$	$7.2 \times 10^{-4}$	$4.6 \times 10^{-4}$	—	$9.5 \times 10^{-4}$
150회/층	함수비	10.92	10.92	10.51	10.75	—	—	10.51
	전조밀도	2.007	1.850	1.961	2.007	—	—	—
	투수계수		$3.5 \times 10^{-4}$	$6.3 \times 10^{-4}$	$5.2 \times 10^{-4}$	—	—	$6.3 \times 10^{-4}$
500회/층	함수비	9.87	8.76	9.49	9.87	—	—	9.49
	전조밀도	2.049	1.985	2.049	2.022	—	—	—
	투수계수		$2.1 \times 10^{-5}$	$3.5 \times 10^{-5}$	$2.2 \times 10^{-5}$	—	—	$3.9 \times 10^{-5}$
1000회/층	함수비	7.69	7.20	7.69	7.25	6.91	—	7.20
	전조밀도	2.114	2.052	2.049	2.065	2.114	—	—
	투수계수		$5.1 \times 10^{-6}$	$1.6 \times 10^{-6}$	$2.0 \times 10^{-6}$	$1.4 \times 10^{-6}$	—	$5.1 \times 10^{-6}$

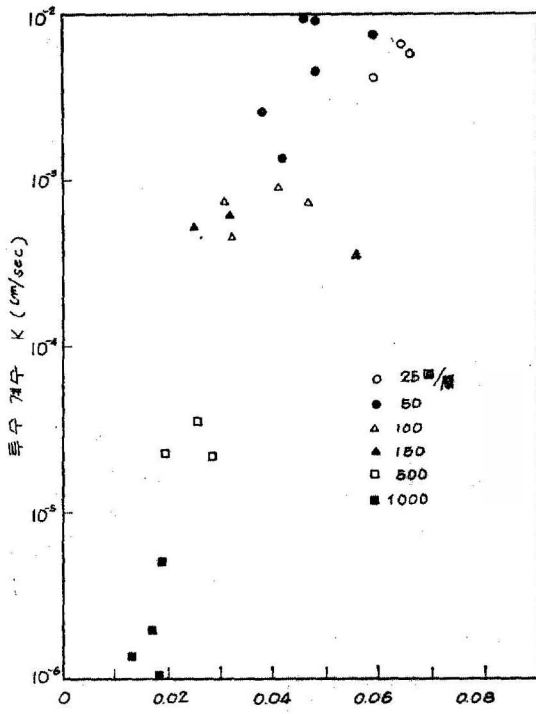


그림 4-1  $K-e^3/1+e$ 의 관계

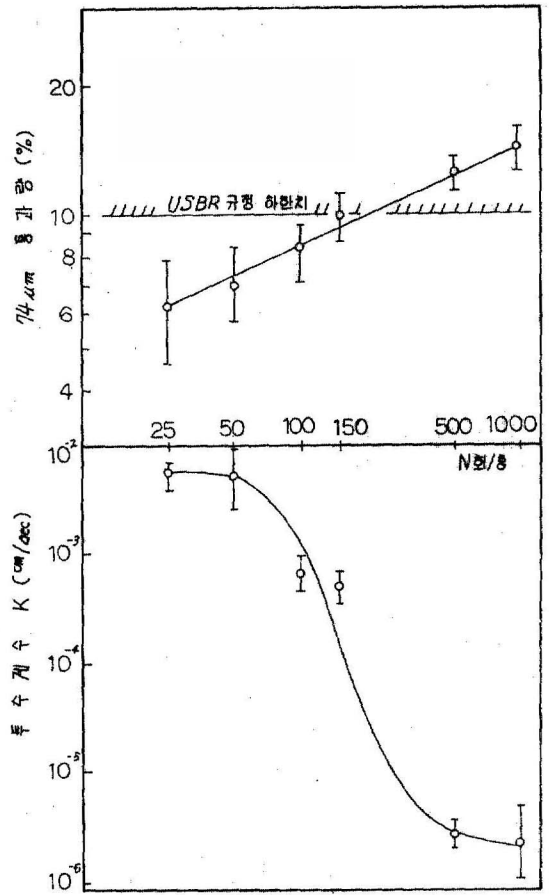


그림 4-3 74  $\mu$ m 통과량-K-N 관계

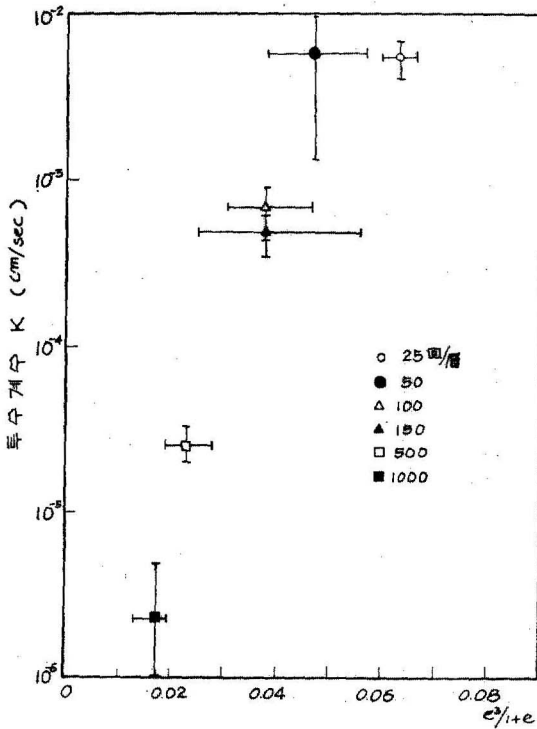


그림 4-2  $K-e^3/1+e$ 의 관계

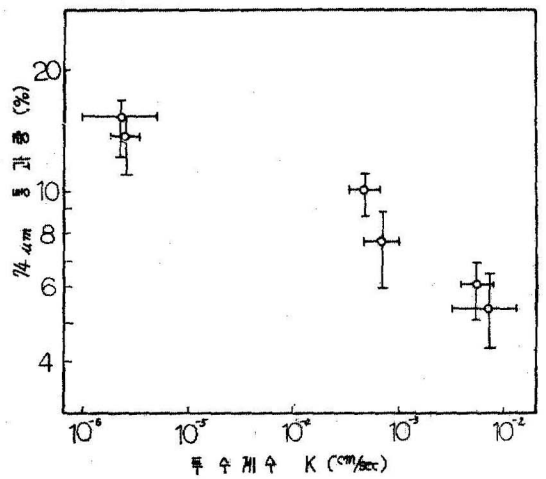


그림 4-4 74  $\mu$ m 통과량과 K 관계



果를 整理하면 表 4·1과 같다. 本 透水試驗에 使用한 試料의 다짐시의 含水比는 表 3·1에 表示된 最適含水比의  $\pm 2\%$  程度가 되게끔 하였다.

Taylor에 의하여 提示된 透水係數  $K$ 와 間隙比函數  $e^3/1+e$ 의 比例關係를 圖示하면 그림 4·1과 같고, 그림 4·2는 透水係數  $K$ 와 間隙比函數  $e^3/1+e$ 의 關係를 그 平均值와 各 다짐에너지에 있어서의 最大 最小의 範圍로서 나타내고 있다. 이 實驗에서 다짐回數가 50~1000回/層에 있어서는 거의 直線型을 나타내나 다짐回數가 25回/層과 같이 적을 때는 直線型이 아니다. 이는 다짐에너지가 加해지기 前에도 試料自體가 相當量의 細粒子들을 包含하고 있기 때문일 것이다.

花崗風化土의 다짐에 의한 土粒子의 破碎現象은 粒子의 變化와 透水性의 低下를 同時에 일으키므로 양자를 별도로 檢討한다는 것은 無意味하다.

花崗風化土의 透水係數는 粒度에 크게 依存하므로 橫軸에 다짐에너지를 對數는금으로 잡고 從軸에 200番체 通過量을 平均值와 標準偏差로서 나타내고 透水係數도 平均值와 標準偏差로 나타내면 그림 4·3과 같다. 이 그림에서 보는 바와같이 다짐에너지가 增加되면 200番체 通過量은 거의 直線的으로 增加되고, 土粒子의 破碎에 따르는 細粒分의 增加는 透水性의 低下에 크게 影響을 준다. 이러한 細粒分의 增加에 따라 透水性의 低下는 그림 4·4에서 더욱 명백하게 알 수 있다.

## 5. 結 論

花崗風化土는 다짐에너지의 增加에 따라 粒子破碎를 일으키고 그 結果가 다짐 特性 및 透水性에 크게 影響을 준다. 이들의 影響은 實驗結果에서 다음과 같이 要約되었다.

(1) 다짐에너지의 增大에 따라 土粒子의 破碎가 顯著하게 커지며 間隙比가 減少되고 乾燥密度는 零空隙曲線에 나란하게 增大된다.

(2) 200番체 通過率과 表面積比는 다짐에너지 增加에 따라 거의 같은 기울기로 增加되며 이는 다짐回數에 關係없이 本研究에 使用된 試料에서

는 式 (3-6)으로 表示할 수가 있다.

(3) 粒子破碎가 가장 크게 일어나는 粒徑은 0.5~1mm 範圍이며 다짐에너지 增大와 함께 더욱 크게 細粒化되는 傾向이 있다.

(4) 最適含水比 狀態에서 花崗風化土의 透水係數  $K$ 와 間隙比函數  $e^3/1+e$ 와의 關係를 兩面 對數紙에 圖示하면 直線關係가 成立된다.

(5) 最適含水比 狀態에서 다짐에너지가 增加되면 200番체 通過量은 거의 直線的으로 增加되고 土粒子의 破碎에 따르는 表面積比의 增大는 透水性의 低下에 크게 影響을 준다.

## 感謝의 말

本 研究는 IBRD 海外派遣研究教授로 日本大學 理工學部 土木工學科에서 수행하였음을 밝히며 文教部 및 學校當局에 感謝드리는 바이다.

## 參 考 文 獻

1. Goldich, S.S. "A study in Rock Weathering" *Jour., Geology Vol. 46*, pp. 17~58, 1938.
2. 木宮一邦, "花崗岩類의 物理的風化指標, としての引張強度—花崗岩의 風化·第一報", 日本地質學會誌, 第81卷 第6號 1975.
3. 高橋彦治, "土木技術者のための地質學" 鹿島出版會, 東京, pp. 69~73, 1980.
4. 木宮一邦, "花こう岩類의 物理的風化指標としての引張強度—花こう岩의 風化·第二報", 日本地質工學會誌, 第81卷 第11號 pp. 683~696, 1975.
5. 福本武明 "粒子破碎量의 表現法에 關する考察", 第6回土質工學研究發表會講演集— pp. 71~80, 1971.
6. E.N. 파르페노프, E.A. 얀로프, 著 佐野豊譯 土壤礦物學, 米子たたら書房, 東京, pp. 5~17, 1968.
7. 上同, pp. 55~63.
8. 上同, pp. 35~47.
9. 松尾新一郎, 福本武明, "マサ土의 風化と破碎의 關係" 土質工學會論文報告集, Vol. 17, No. 4, pp. 99~106, 1977.
10. 松尾新一郎, 西田一彦, "マサ土의 組成と工學的性質についてと有色礦物의 影響について" 土木學會關西支部講演會概要集, pp. 162~167, 1966.
11. 土質工學會編, "日本の特殊土", 第3章 マサ土, 土質工學會, pp. 85~140, 1974.

12. 土質工學會編, 土質試験法(1回改訂版), 日本土質工學會, p. 201, 1979.
13. 藤田龜太郎, 最上武雄 監譯, カニー, ケリセツシ 共著, “土質力學”, 技報堂, 東京, pp. 196~199, 1975.
14. 川北公夫, 小石眞純, 種谷眞一, 粉體工學(基礎編) 槇書店, 東京, pp. 50~52, 1974.
15. 飯島東 | “瀬戸内海地区の風化侵食について”, 一特に地史的觀點からその概略一, 本四連終架橋に伴う周邊地域の自然環境保全のための調査報告書, 国立公園協會, 地形地質, 80~85.

(接受 1983. 8. 8)