

# 石灰混合土의 強度特性에 關한 研究

## A Study on the Strength Characteristics of Lime-Soil Mixtures

趙 誠 正\*  
Cho Seong Jeong

### Summary

This study was conducted to obtain the most effective distribution of grain size and the optimum lime content for lime-soil stabilization. To achieve the aim, the change of consistency, the characteristics of compaction and unconfined compressive strength were tested by adding of 0, 4, 6, 8, 10 and 12 percent lime by weight for all soils adjusted by given ratios of sand to clay.

The results obtained were as follows;

1. There was a tendency that the plasticity index of lime-soil mixture was decreased by increasing the amount of lime, whereas the liquid limit was varied irregularly and the plastic limit was increased.
2. With the addition of more lime, the optimum moisture content of lime-soil mixture was increased, and the maximum dry density was decreased.
3. The optimum lime content of lime-soil mixture was varied from soil to soil, and the less amount of small grain size, the less value of optimum lime content.
4. The optimum distribution of grain size for lime-soil mixture was in the soil, having the ratio of about 60 percent of cohesive clay and about 40 percent of sand by weight.
5. In the soil having fine grain size, the effect of curing appeared for long periods of time, whereas the increasing rate of unconfined compressive strength was great on the soil of coarse grain size in the earlier stage of curing period.

### I. 緒 論

우리나라는 經濟成長과 더불어 建設工事が 活潑해지고, 規模 또한 大形化됨에 따라 各種 骨材難이 豫想된다.

其中 道路나 住宅改良工事に 實際로 活用可能한 石灰는 全國의 埋藏量이 豊富하여 그 利用方案이 切實히 要請된다. 石灰安定處理工法은 흙에 石灰를 3~20% 添加시켜, 흙의 安定성과 耐久性을 增

대시키는 工法이며, 石灰가 흙의 安定處理材料로서 適應성이 認定되어 工事に 適用된것은 Egypt의 Pyramid이 最初이며, 道路에의 利用은 Rome과 Greece時代가 始初이고, 東洋에서는 中國의 萬里長城과 印度에서 Dam을 建設하는데 石灰가 利用되었다는 記錄이 있다.

美國이나 日本等地에서는 1940年代를 始發로 해서, 試驗研究를 거듭하여, 實際로 施工을 하고 있는 實情이나, 우리나라는 現在 청평과 양수리間의 道路에 試驗施工 程度에 그쳐 試驗段階를 벗어나지

\* 忠北大學校 農科大學

못하고 있다.

石灰安定處理는 Cement에 比하여 큰 強度를 期待할 수 없기 때문에 그의 適用範圍는 主로 큰 強度를 要하지 않는 構造物로서 運動場, 在來道路의 路床과 路盤의 補強, 砂利 道路面의 補修, 強度 또는 安定性이 不足한 路盤 材料의 改良, 高含水比 粘性土를 路床 및 路盤材料로 的 改良, 高含水粘性土의 Trafficability(走行性)의 改良, 凍土防止를 爲한 遮斷層으로서의 利用, 路床의 噴泥防止層으로서의 利用 및 石灰 Pile 施工에 依한 軟弱한 基礎地盤의 改良 등을 들 수 있다.

그러나 石灰添加의 土質改良效果를 土質學의 側面에서 보면 含水比가 큰 粘性土의 石灰混合으로 因한 含水比低下, 흙의 Consistency의 改善, 處理土의 強度 特性의 向上 등을 들 수 있다. 이것은 모두 흙과 石灰와의 反應에 依하여 이루어지는 것으로 흙에 石灰가 添加되면 化學적으로나 物理적으로 變化를 일으켜 工學的인 性質이 改善되는 것인데, 其中 化學的인 變化는 흙과 石灰와의 Ion交換反應이 일어난다, 石灰의 Ca Ion이 粘土表面에 吸着되어 흙중의 微粒子가 凝集化하는 作用, 土粒子 表面에 吸着된 Ca이 흙중의 SiO<sub>2</sub> 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 反應하여 安定된 結晶礦物로 變化하는 Pozzolan反應, 石灰混合土의 結晶水의 一部가 炭酸 Gas의 作用에 依하여 炭酸과 置換하여 보다 安定된 結晶礦物로 變化하는 炭酸化 作用 等이다.

또 物理的인 變化는 粒度分布, 最適含水比 및 最大乾燥密度, 壓縮強度의 變化等인데, 아직도 풀지 못한 疑問點이 많아 現在 世界 各國에서 研究가 活潑히 進行되고 있다.

이 分野에 對한 研究를 살펴보면 Pietsch<sup>(15)</sup>는 20 種類의 Iowa 흙에 對한 Atterberg limit 試驗結果 石灰를 添加한 全體의 石灰混合土에서 Atterberg limit 와 2 $\mu$  粘土含量 사이에는 直線關係가 成立한다고 하였다.

한편 Hilt<sup>(16)</sup>는 Atterberg limit와 一軸 壓縮強度에 對한 石灰含量曲線에서 볼때 石灰含量이 크면 塑性限界는 큰 變化가 없고 強度는 增加하나, 石灰含量이 작을때 塑性限界는 增加하고 強度는 比較의 큰 變化가 없었다고 報告하였다.

Viskochil<sup>(17)</sup>은 石灰-Flyash 處理土의 다짐方法을 달리하여 強度를 增加시키는 密度를 찾았고, Dawson<sup>(18)</sup>은 石灰處理土에 膨脹성이 큰 頁岩가루를 添加하여 相當한 強度의 增加를 보았다고 하였으며, Jones<sup>(19)</sup>는 California膨脹性 粘土에 0~6%의 石灰

를 添加하여 水分에 對한 膨脹性, 乾燥에 對한 收縮性, 一軸 壓縮強度 및 乾濕에 對한 耐久性 試驗을 하여 그 흙의 膨脹성과 收縮성을 크게 減少시켰고, 安定성을 高潮시켰으며, 現場에서 使用하는 石灰含量은 4%程度가 바람직하다고 하였다.

Eades<sup>(20)</sup>는 粘土中에서도 石灰와 가장 複雜한 反應을 하는 純粹한 粘土礦物의 石灰와의 反應을 X-Ray와 D.T.A分析에 依하여 究明하였으며, Ladd<sup>(21)</sup>는 粘質砂土로부터 有機質粘土에 이르는 4가지 흙의 다짐과 強度特性에 對한 石灰添加의 效果를 試驗한 結果 石灰는 濕潤養生後 흙의 強度를 增加시켰으나 石灰處理效果는 흙의 種類에 따라 差異가 있으며, Silt와 같이 塑性이 작은 흙은 粘土와 같이 塑性이 큰 흙에 比하여 石灰處理效果가 작았으나, 石灰混合粘土가 最終強度에 이르자면 數個月 또는 數年이 걸린다고 하였다. 또한 石灰處理土의 最大強度는 最適含水比의 濕潤側에서 最大強度가 일어나는 塑性이 큰 粘土를 除外하고는 普通 最適含水比에서 일어난다고 하였다.

Shen<sup>(22)</sup>은 粘土와 모래를 一定한 比率로 配合한 後 3, 5, 7%의 石灰를 添加하여 最適 FGF/L Ratio를 求하였는데, 그 값은 12~14라고 報告하였다.

勿論 흙-石灰-물 的 反應에 影響을 미치는 要素는 수없이 많은데, 그 一次的인 要素로는 흙의 粒度, 흙속에 들어 있는 粘土礦物의 種類와 有機物의 量, 石灰의 種類와 量 및 흙에 添加되는 化學材料 等이고, 二次的인 要素는 含水比, 石灰處理方法, 다짐의 量, 濕潤混合後 다지기까지의 遲延時間(遲다짐) 및 養生期間과 養生溫度 等이다.

延지금까지 單一 自然土에 對한 石灰處理試驗은 많이 되었으나 粒度를 調整하여 試驗한 例는 別로 없었다.

따라서 本 研究에서는 흙의 安定處理에서 石灰添加의 效果가 가장 좋은 粒度配合 및 各 粒度別 最適石灰添加量을 求하기 爲하여 粘土와 모래를 一定한 比率로 調整 配合한後 0, 4, 6, 8, 10, 12%의 石灰處理를 하여 Consistency의 變化, 다짐特性 및 一軸 壓縮強度 試驗을 하여 考察하였다.

## II. 材料 및 方法

### 1. 使用材料

本 試驗에 使用한 흙 試料는 10番체 (2.00mm)를 通過하고 40番체 (0.42mm)에 殘留한 粗粒土인 忠北

淸源郡 美湖川에서 採取한 모래와 40番체를 通過한 細粒土인 忠北 淸州所在 韓國陶瓷器生産工場에서 陶瓷器 原料로 使用하는 全南 寧南産 Kaolinite系統의 粘土를 一定한 比率로 混合한 配合土를 使用하였으

며, 그의 混合比率는 Table-1과 같고, 使用試料의 物理的 性質 및 化學成分은 Fig. 1, Table-2 및 Table-3과 같다.

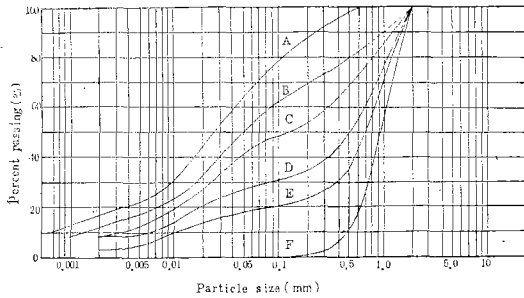


Fig.1. Grain size distribution curve

Table-1. Mixing ratio of sand and clay

Type of soil	Mixing ratio (%)	
	Sand	Clay
A	0	100
B	20	80
C	40	60
D	60	40
E	80	20
F	100	0

Table-2. Physical property of soil

Type of soil	Specific gravity	Natural M.C (%)	Atterberg limit (%)			Max. grain size (mm)	Grain size distribution, percent passing (%)			Coeff. of uniformity	Classification fo soil		Max. dry density (g/cm <sup>3</sup> )	Opt. moisture content (%)	Location of sampling
			LL	PL	PI		No. 10 sieve	No. 40 sieve	No. 200 sieve		Unified soil classification	AAS HO			
A	2.53	5.973	58.0	32.2	25.8	0.60	100.0	100.0	73.4	64.6	MH	A-7-6	1.522	25.60	전남영광
B	2.54	4.727	43.0	20.3	22.7	2.00	100.0	77.8	58.6	62.9	CL	A-6	1.700	24.00	
C	2.55	3.493	34.2	21.6	12.6	2.00	100.0	62.7	47.0	102.9	SC	A-6	1.754	19.48	
D	2.56	2.403	26.0	16.8	9.2	2.00	100.0	41.3	29.8	113.3	SC	A-2-6	1.885	14.75	
E	2.56	1.111	21.1	13.5	7.5	2.00	100.0	27.0	19.5	80.0	SC	A-2-4	1.894	13.20	
F	2.64	0.258	N P	N P	N P	2.00	100.0	0.0	0.0	2.0	SP	A-1-b	—	—	충북·미호천

Table-3. Chemical composition of soil

Item	Ig-loss (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	P H
A	8.27	72.60	1.78	11.60	2.65	1.25	6.2
B	6.86	76.80	1.84	9.52	2.18	1.00	6.6
C	5.45	81.00	1.91	7.44	1.71	0.76	6.7
D	4.04	85.20	1.97	5.37	1.24	0.51	6.8
E	2.63	89.40	2.04	3.29	0.77	0.27	7.1
F	1.22	93.60	2.10	1.21	0.30	0.02	7.3

Table-4. Physical property and chemical composition of lime

Item	GS	Per. finer than No.200 sieve	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Ig-loss
Lime	2.40	95.08%	0.71%	0.13%	0.04%	71.4%	0.69%	26.6%

또한 本 試驗에 使用된 石灰(消石灰)는 忠南 嶺山 石灰鑛業株式會社 製品를 使用하였는데, 그의 物理的 性質 및 化學成分은 Table-4와 같다.

2. 試驗方法

가. Consistency試驗

흙 試料에 0, 4, 6, 8, 10, 12%의 石灰를 添加한 石灰混合土에 對하여 KSF 2303 및 KSF 2304에 依한 Atterberg limit試驗을 하였다.

나. 다짐試驗

흙 試料에 0, 4, 6, 8, 10, 12%의 石灰를 添加한 石灰混合土에 對하여 KSF 2312에 依한 다짐試驗을 하여 最適含水比와 最大乾燥密度를 求하였다.

다. 壓縮强度試驗

壓縮强度試驗用 供試體는 흙 試料에 石灰含量 0, 4, 6, 8, 10, 12%의 養生期間 0, 7, 14, 28日에 對한 同一한 供試體를 3個씩 製作하였다.

供試體는 높이가 直徑의 2倍(43×86mm)가 되도록 製作하였다. 이 供試體 製作은 KSF 2312에 依하여 다짐試驗에서 求한 最適含水比로 調節하여 最大

乾燥密度에 相當하는 量을 3회에 걸쳐 몰드에 다져 넣고, 上下에서 Plug에 依하여 油壓 Jack로 壓縮하여 上中下 密度가 均一하게 되도록 하였고, 供試體는 養生期間中 大氣中으로 부터 炭酸Gas의 Carbonation을 防止하기 爲하여 비닐로 密封하여 濕潤養生裝置內에서 養生溫度를 20±2°C, 濕度는 95%로 維持하여 養生하였다.

養生期間은 0, 7, 14, 28日로 하였으며, 壓縮强度試驗은 Proving ring의 容量 1 ton인 手動式 一軸壓縮强度試驗機와 容量 5 ton의 萬能材料試驗機를 併用해서 使用하였다.

III. 結果 및 考察

1. Consistency 變化

本 試驗에서는 Kaolinite粘土만으로 된 A試料과 Kaolinite粘土 80%, 60%, 40%와 모래 20%, 40%, 60%를 各各 混合한 B,C,D試料에 對하여 Atterberg limit試驗을 하여 Kaolinite粘土含量과 石灰含量에 따른 Consistency의 變化試驗을 한 結果 Table-5와 같다.

Table-5. Atterberg limit of soil and lime-soil mixture

Soil type Atterberg limit(%) Lime content (%)	A			B			C			D		
	LL	PL	PI	LL	PL	PI	LL	PL	PI	LL	PL	PI
0	58.0	32.2	25.8	43.0	20.3	22.7	34.2	21.6	12.6	26.0	16.8	9.2
4	57.5	36.7	20.8	42.3	23.8	18.5	32.6	24.4	8.2	25.0	19.1	5.9
6	57.0	37.7	19.3	41.2	26.8	14.4	33.0	25.5	7.5	26.0	20.3	5.7
8	56.0	38.4	17.6	43.9	30.1	13.8	33.5	26.1	7.4	26.0	20.7	5.3
10	57.0	40.3	16.7	45.2	32.7	12.5	35.0	28.1	6.9	25.9	20.8	5.1
12	57.2	41.2	16.0	45.2	33.1	12.1	34.0	28.2	5.8	26.7	21.8	4.9

粘土含量에 따르는 石灰添加量과 液性限界와의 關係는 Fig.2(a)에서 보는바와 같이 液性限界는 Kaolinite粘土만으로 된 A試料가 約 60%로 가장 큰 값을 나타냈고, 粘土含量이 40%인 D試料에서 25%로 가장 작았으며, 試料別 減少幅은 A試料과 B試料가 가장 커서 15%, B試料와 C試料, C試料와 D試料는 10%로 거의 같은 幅으로 減少하였다.

또한 石灰添加에 따른 變化를 보면 全 試料에 對하여 石灰含量 6%까지는 減少하다가 그 以上の 添加量에서는 若干 增加하는 傾向을 나타내, 試料에 따라 變化가 一定하지 않음을 나타냈다.

Herrin<sup>(4)</sup>과 Ladd<sup>(11)</sup>에 의하면 液性限界는 石灰 添加에 影響을 받는데, 普通 石灰含量의 增加와 더불어 減少하나, 흙에 따라서는 反對로 增加하는 경우

도 있으며, 一般의으로 塑性이 큰 粘土에서[減少하고 塑性이 작은 흙에서 增加한다고 하였고, Wang<sup>(10)</sup>도 塑性이 대단히 큰 흙에서 液性限界는 石灰添加量의 增加로 漸次 減少하였다고 報告하였으며, 全<sup>(7)</sup>도 石灰混合量이 增加할수록 液性限界는 減少된다고 하였다.

그러나 有泉<sup>(1)</sup>은 흙에 石灰를 添加하면 液性限界는 多少의 增減은 있어도 變化幅은 작다고 하였고, 松尾<sup>(12)</sup>도 粘性土에서 石灰를 添加하면 一般의으로 液性限界가 減少한다고 하여, 本 試驗 結果에서 粘土含量이 많은 A試料과 거의 一致하였다.

石灰添加量과 塑性限界와의 關係는 Fig.2(b)에 나타난 바와같이 塑性限界도 液性限界와 같이 粘土含量이 가장 많은 A試料가 33%, B,C,D試料는 各各

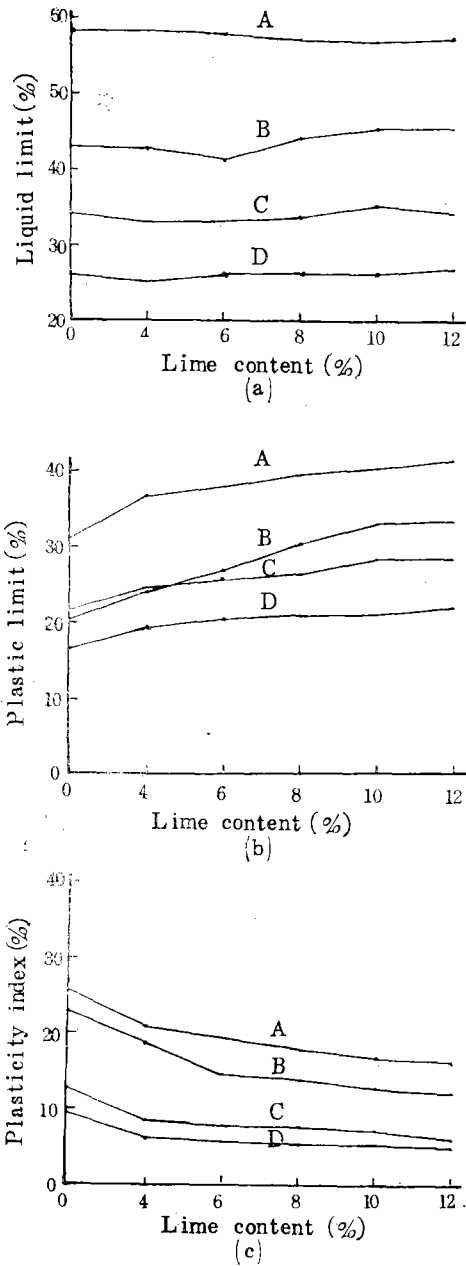


Fig. 2. Relation of atterberg limit to lime content by type of soil

20%, 21%, 18%를 나타내어, 粘土含量的 증가에 따라 塑性限界が 漸次로 増加하는 傾向을 보였다.

非石灰處理土의 塑性限界 試驗에서 粘土含量이 많은 B試料가 C試料보다 塑性限界가 작은 것은 試驗過程에서의 錯誤로 思料된다.

Hilt<sup>(6)</sup>는 6種類의 自然狀態의 粘土에 0~12%의

石灰를 添加시켜 試驗한 結果, 塑性限界는 少量의 石灰添加에 依하여 實質的인 增加가 있었고 石灰處理에 依한 最大增加는 粘土鑛物과 混合할 때이며, 其中에서 Montmorillonite, Illite, Kaolinite의 順으로 增加되었고, 全 粘土鑛物에 對하여 約 3%의 石灰含量까지만 增加率이 컸고 그 後는 거의 變化가 없었다고 하였으며, Herrin<sup>(4)</sup>도 모든 흙에서 少量의 石灰添加로 塑性限界는 增加된다고 하였다.

Wang<sup>(11)</sup>은 塑性이 대단히 큰 흙에 對하여 塑性限界試驗을 한 結果 塑性限界는 어떤 一定한 點까지 石灰添加量의 增加에 따라 커졌고, 그 以上의 石灰添加量에서는 塑性限界에 影響을 주지 않는다고 하였다.

松尾<sup>(12)</sup>도 粘性土에 石灰를 添加하면, Ion交換이 일어나 土性이 變하여, 一般的으로 塑性限界가 增加한다고 하였다.

Pietsch<sup>(13)</sup>는 20種類의 代表的인 Iowa 흙을 選擇해서 塑性限界에 對한 Dolomitic消石灰의 影響을 試驗하였는데, 모든 흙의 塑性限界는 塑性限界가 若干 變하는 石灰 凝固點까지는 少量의 石灰添加와 同時에 增加하였다고 하였고, 有泉<sup>(1)</sup>과 全<sup>(7)</sup>등도 흙에 石灰를 添加하면 塑性의 變化가 顯著하게 나타나 塑性限界의 增加가 컸다고 하였다.

以上의 研究結果와 比較하여 볼때, 一般的으로 石灰添加量에 比例하여 塑性限界는 增加하며, 特히 石灰含量 4~6%까지는 增加率이 컸고, 石灰添加量이 8%以上에서는 塑性限界의 增加率이 작게 나타난다고 생각된다.

또한 塑性指數는 Fig.2(c)에서 보는 바와 같이 塑性指數는 液性限界와 塑性限界의 差에 該當하는 값이기 때문에 塑性限界와는 反對로 나타난다.

全 試料가 石灰添加量이 增加함에 따라 塑性指數는 一律的으로 減少하는데, 그 減少率은 比較的 粘土含量이 많은 A,B試料는 石灰含量이 6%, 比較的 粘土含量이 적은 C,D試料에서는 4%까지는 큰 減少率을 나타냈고, 그 以上의 石灰含量에서는 減少率이 작게 나타났다.

Miller<sup>(14)</sup>는 粘土에 石灰를 添加시켜, 塑性指數가 큰값을 適正한 값으로 減少시켰다고 하였고, Herrin<sup>(4)</sup>은 塑性이 큰 粘土의 塑性指數는 少量의 石灰添加로 50~80%가 減少되었으며, 塑性指數 30%인 粘土가 不過 6%의 石灰添加로 2日內에 非塑性이 되었으며, 石灰添加에 依한 塑性指數의 減少量은 主로 흙의 種類에 影響을 받고, 대단히 塑性이 큰 粘土의 塑性指數는 普通 작은量의 石灰添加로 相當한

量이 減少되나, 塑性이 작은 흙은 石灰添加에 依한 減少량이 작고, 또한 石灰의 量이 增加됨에 따라 그 흙의 塑性指數는 減少하며, 石灰가 흙과 反應하는 時間과 石灰의 種類에 依한 影響이 크며, 塑性指數의 減少는 石灰를 添加한後 2~3時間內에 大部分이 나타났고, 2~3日內에 흙의 塑性變化는 거의 끝난다고 하였으며, 生石灰는 普通 消石灰보다 塑性의 減少가 빠르게 일어난다고 하였다.

Jan<sup>(9)</sup>은 塑性指數는 石灰含量 3, 5, 7, 10% 添加로 自然土에서 35%로부터 18, 16, 13, 11%까지 減少되었는데, 3%의 작은 石灰含量의 添加로 35%로부터 18%까지 急激하게 減少되었으나 添加率이 增加되면서 減少率은 작게 나타났다고 하였으며, Wang<sup>(10)</sup>은 石灰는 約 2%以上の 量에서 Gumbotil粘性土의 塑性指數를 減少시켰고, 가장 큰 減少는 칼슘분이 많이 含有된 消石灰이며, 水酸化칼슘, 酸化마그네슘, 水酸化마그네슘은 塑性指數를 低下시키는 化合物로서 塑性指數減少의 效果는 위와 같은 順으로 나타난다고 하였다.

松尾<sup>(12)</sup>는 粘性土에 石灰를 添加하면 Consistency의 變化를 가져와 塑性指數의 減少가 뚜렷하며, 路床과 路盤材料의 細粒粉의 塑性이 클때 그것을 低下시키는 것이 되어 土工이 容易해진다고 하였으며 Jones<sup>(8)</sup>은 흙에 0, 2, 4, 6, 8%의 石灰를 添加한 石灰混合土에서 2%의 石灰添加는 그 흙의 塑性指數를 若干 減少시켰으나 4%以上の 添加는 顯著하게 塑性指數를 減少시켰다고 하였다.

以上の 結果를 綜合할 때 石灰添加에 依한 塑性指數의 減少는 粗粒土보다 細粒土에서 크게 나타나며, 또 塑性指數를 減少시키는 데는 粗粒土보다 細粒土에 더욱더 많은 石灰를 添加하지 않으면 안될 것으로 思料된다.

2. 다짐特性

供試體 製作에 앞서 石灰混合土의 다짐特性을 究明하기 爲하여 各 試料에 石灰를 混合한 後 다짐 試驗을 한 結果 Table-6과 같다.

Fig.3에서 보는 바와 같이 非石灰處理土와 石灰處

Table-6. Compaction data of soil and lime-soil mixture

Soil type Compaction Lime content (%)	A		B		C		D		E	
	Wopt (%)	γd max (g/cm³)	Wopt (%)	γd max (g/cm³)	Wopt (%)	γd max (g/cm³)	Wopt (%)	γd max (g/cm³)	Wopt (%)	γd max (g/cm³)
0	25.60	1.522	24.00	1.700	19.48	1.754	14.75	1.885	13.20	1.894
4	27.50	1.486	25.00	1.605	20.00	1.722	16.20	1.824	15.50	1.835
6	29.70	1.442	25.80	1.509	21.00	1.710	17.00	1.801	15.52	1.823
8	30.00	1.414	26.00	1.504	21.55	1.700	17.50	1.780	16.00	1.818
10	31.00	1.407	26.30	1.499	22.64	1.637	18.00	1.771	16.20	1.812
12	31.12	1.390	27.50	1.480	22.72	1.625	19.11	1.750	16.50	1.809

理土의 試料別 最適含水比의 變化를 보면 粘土含量이 100%인 A試料에서는 25.60%, 粘土含量이 60%인 C試料에서는 19.48%, 粘土含量이 20%인 E試料에서는 13.20%로 粘土含量이 減少함에 따라 最適含水比도 減少하였다.<sup>(10)</sup>

한편 試料別로 非石灰處理土와 石灰處理土의 石灰含量의 增加에 따른 最適含水比의 變化를 보면 非石灰處理土인 A試料에서 25.60%가 6%의 石灰를 添加하여 29.70%로, 12%의 石灰를 添加하여 31.12%로 最適含水比가 增加되었으며, 全試料에서 石灰添加量이 많아질수록 最適含水比의 增加現象을 보였다.<sup>(9,10)</sup>

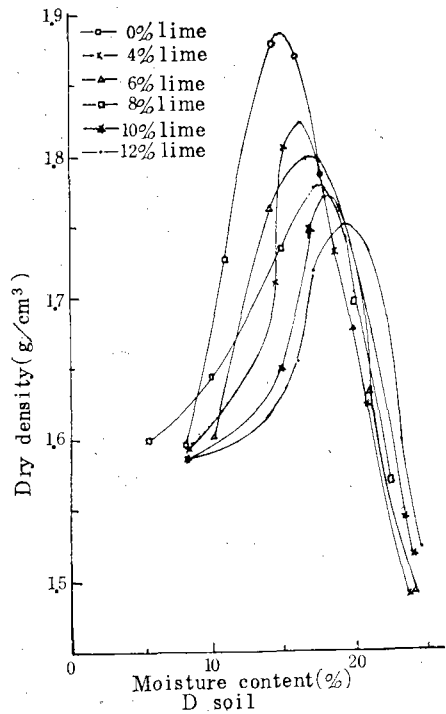
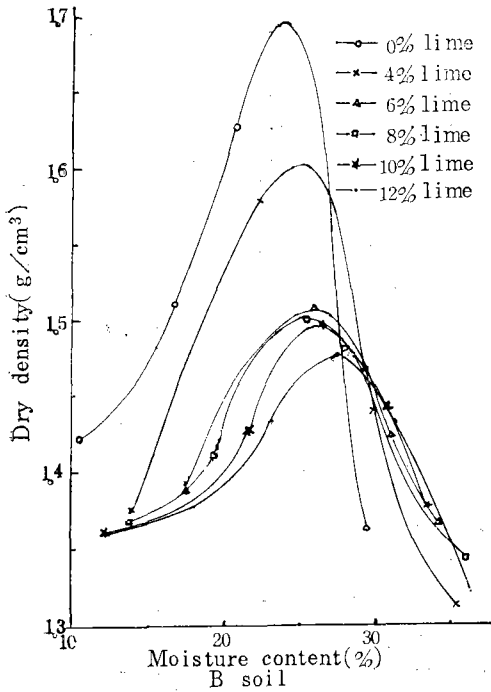
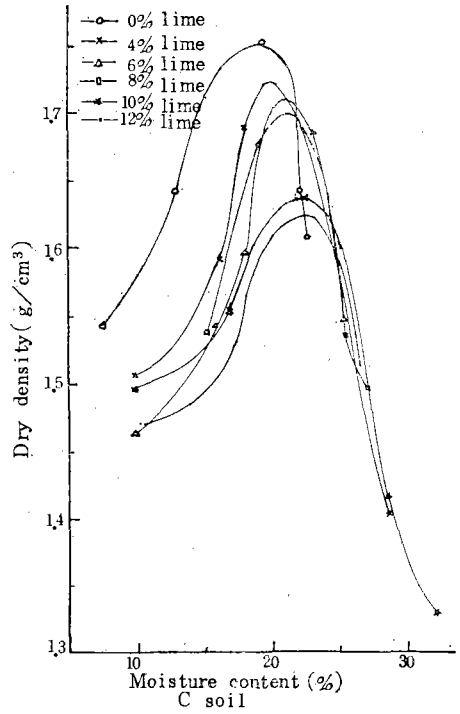
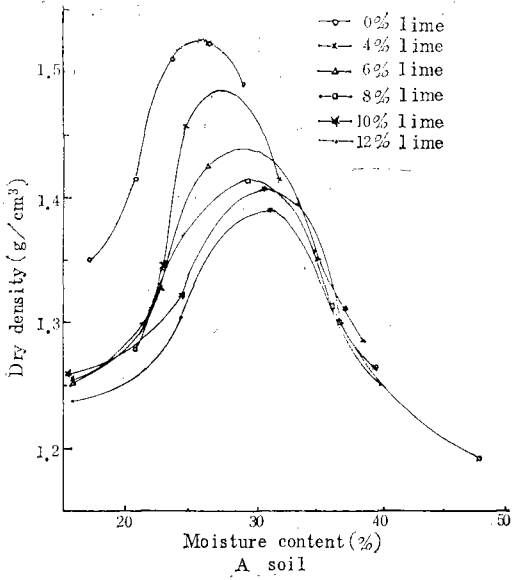
이러한 現象은 粘土含量이 많은 흙은 粒子間 空隙은 작아서 透水性은 不良하지만, 總空隙量이 모

래보다 커서 保水容量이 크고, 또 粘土含量이 적은 흙은 粒子사이의 空隙은 크지만 흙 全體의 總空隙量은 細粒土에 比하여 相當히 작아서 相對的으로 흙의 保水容量이 작은데 基因되는 것으로 生覺된다.

한편, 石灰含量에 따른 試料別 最大乾燥密度의 變化를 보면, 石灰處理를 하지 않은 경우, A試料의 最大乾燥密度는 1.522g/cm³, C試料 1.754g/cm³, E試料 1.894g/cm³를 나타내어 粘土含量이 增加함에 따라 最大乾燥密度는 減少하는 結果를 나타냈다.<sup>(10)</sup>

또한 試料에 따른 石灰含量別 最大乾燥密度의 變化를 보면, 石灰添加量의 增加에 따라 最大乾燥密度의 減少現象을 뚜렷이 보였다.<sup>(10,10)</sup>

粘土含量이 많은 흙일수록 最大乾燥密度가 작은



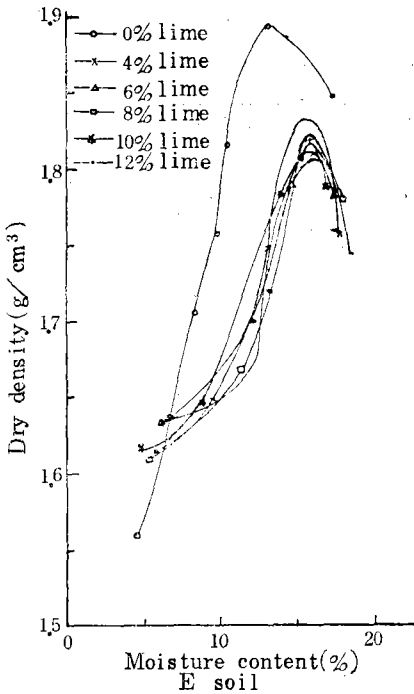


Fig. 3. Relation of dry density to moisture content by lime content in each soil

것은 微細한 粒子는 最適다짐狀態가 되려면 보다 큰 含水比를 必要로 하므로 물의 增加는 그 만큼의 흙 粒子의 減少를 가져와 比重이 물보다 훨씬 더 큰 흙 粒子의 減少는 結果의 結果로 흙의 最大乾燥密度가 減少되는 것으로 生覺된다.

또한 모든 試料에서 石灰添加量의 增加에 따라 最大乾燥密度가 減少하는 것은 石灰가 濕한 흙과 混合되면서 化學反應에 依하여 Ion交換이 생겨 石灰混合土에서 Agglomeration과 Flocculation作用에 依한 것과 比重이 2.40인 石灰의 添加量이 增加함에 따라 그보다 比重이 큰 흙 粒子가 相對的으로 밀려나게 되어 比重이 큰 흙의 量이 減少되므로 最大乾燥密度가 작아지는 것으로 生覺된다.

Wang<sup>(18)</sup>은 2%의 Calcitic石灰와 Dolomitic石灰를 添加해서 各各 7.4%~9.0%와 6.2%~7.7%의 最大乾燥密度의 減少를 나타냈고, 12%까지는 모두 2% 石灰添加마다 約 1%씩 減少되었고, 石灰含量의 增加로 最適含水比가 增加되는 것이 一般的인 傾向인데, 初期增加率は 크나 漸次로 增加率이 減少되며, 0으로부터 2%까지는 2%부터 4%로 增加되나, 2~12% 石灰含量사이에서는 石灰含量 4%增加

마다 約 1%의 增加를 보인다고 하였고, Wang<sup>(18)</sup>은 흙에 石灰나 Cement의 添加는 最大乾燥密度를 減少시키며, 添加量이 增加됨에 따라 더욱 더 느린 率로 減少하는 傾向을 나타냈다고 하였다.

姜<sup>(9)</sup>은 石灰混合量이 增加하면 最適含水比는 增加하고, 最大乾燥密度는 減少하는데, 石灰含量 8%以下에서 그 現象이 더욱 顯著하게 나타났다고 하였고, 金<sup>(10)</sup>은 石灰含量이 增加하면 最大乾燥密度의 減少率은 작아지고, 最適含水比의 增加率도 또한 減少하는데, 그것은 石灰混合土의 混合初期에 化學反應이 活潑하게 進行되는데 基因하는 것으로 生覺된다고 하였다.

Herrin<sup>(4)</sup>은 石灰含量의 增加로 最大乾燥密度는 減少하는데, 普通 흙에서 平均 約 2~5%程度의 減少를 보이고, 雲母質 Silt와 같은 흙에 있어서는 5% 石灰添加로 約 5%가 減少되었다고 하였고, 또한 2~3%의 石灰添加로 最適含水比가 25%程度 增加하였다고 報告하였다.

Shen<sup>(14)</sup>은 Kaolinite와 Illite粘土를 모래와 各各 一定한 比率로 配合하여 最大乾燥密度와 最適含水比를 다짐試驗에 依하여 求한 結果 粘土含量이 많은 配合土의 最大乾燥密度는 粘土含量이 작은 것에 比하여 작았고, 最適含水比는 反對로 컸다고 하였으며, Kaolinite粘土보다 Illite粘土가 最大乾燥密度가 컸고 最適含水比는 작았다고 報告하였다.

以上の 研究 結果를 綜合的으로 分析해 보면 粘土含量이 增加할수록 最大乾燥密度는 減少하고 最適含水比는 增加하며, 또 石灰添加量이 增加할수록 最適含水比는 增加하고 最大乾燥密度는 減少하는 것으로 生覺된다.

### 3. 壓縮强度

本 試驗에서는 粘土와 모래를 여러가지 粒度로 配合한 試料에 0, 4, 6, 8, 10, 12%의 石灰를 混合해서 다짐試驗을 하여 求한 最大乾燥密度와 最適含水比로 供試體를 製作하여 壓縮强度試驗을 한 結果는 Table-7과 같다.

#### 가. 石灰混合量과 壓縮强度와의 關係

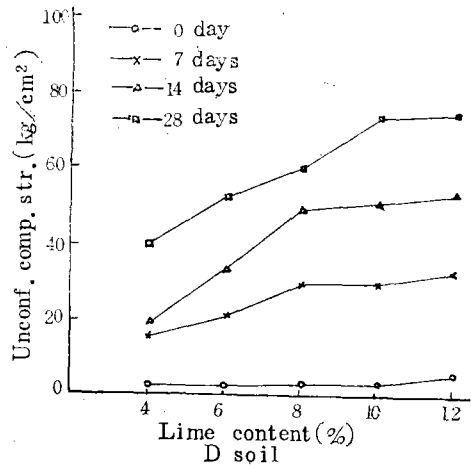
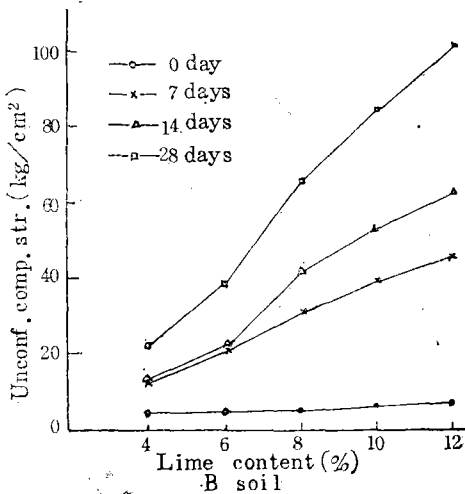
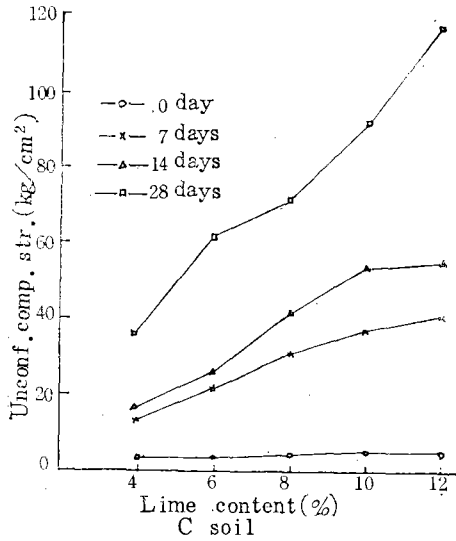
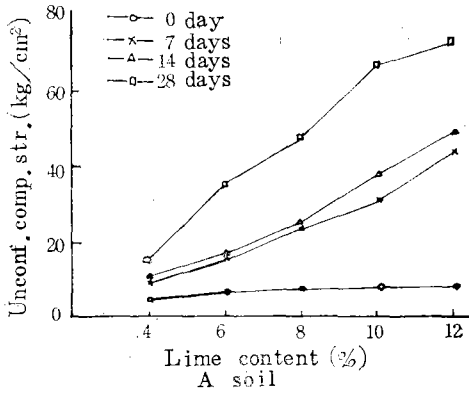
Fig.4는 各 試料別로 養生期間에 따르는 石灰混合量과 壓縮强度와의 關係를 나타낸 것이다.

供試體를 만든 直後 即 養生期間이 0인에는 粘土含量이 가장 많은 A試料에서 最大强度를 나타냈고, 粘土含量이 적은 E試料에서 가장 작은 强度를 나타내어 粘土含量의 多少에 따라서 强度가 決定됨을 알 수 있다.



Table-7. Unconfined compressive strength data(kg/cm<sup>2</sup>)

Curing day Lime content(%)	Soil type																			
	A				B				C				D				E			
	0	7	14	28	0	7	14	28	0	7	14	28	0	7	14	28	0	7	14	28
4	5.17	9.80	10.34	15.16	4.27	10.33	12.93	21.91	2.89	12.40	15.86	35.48	2.34	15.50	18.26	38.58	-	6.41	11.62	21.70
6	6.20	15.45	15.73	34.45	5.31	20.33	21.36	38.58	3.24	21.70	25.49	61.66	3.03	20.81	33.21	52.02	-	8.13	17.09	26.18
8	7.37	23.10	24.75	47.19	5.86	31.48	40.76	65.45	4.14	31.21	41.10	71.15	3.38	28.94	48.81	59.94	-	8.92	17.57	27.56
10	7.72	30.04	36.47	66.14	6.41	38.93	52.02	84.05	5.03	37.89	53.11	91.97	3.58	29.97	50.02	73.03	-	10.30	19.57	30.32
12	8.06	43.44	48.29	72.68	6.89	45.81	62.58	101.96	5.10	40.51	55.12	116.09	5.24	32.17	53.62	74.16	-	10.85	19.98	31.12



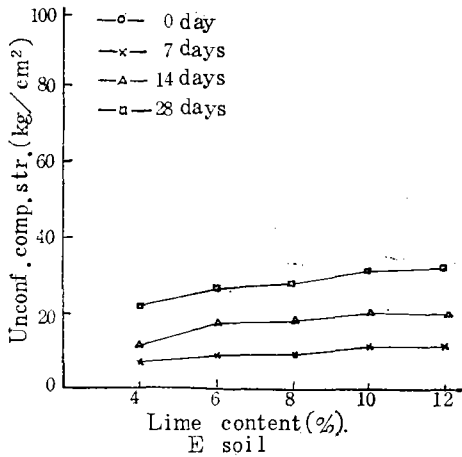


Fig. 4. Relation of compressive strength to lime content by curing period in each soil

그러나 養生期間이 7日以後부터는 石灰含量에 比例하여 壓縮強度가 增加하였고, 特히 粘土含量이 많은 A,B,C試料에서는 石灰混合量에 比例하여 強度增加率이 큰 값을 나타냈으나, 粘土含量이 작은 D,E試料에서는 6~8%以上에서 그의 增加率이 완전한 現象을 나타내고 있다.

Jones<sup>(8)</sup>는 Friant Kern運河에서 採取한 膨脹性 粘土에 對한 試驗에서 石灰含量 6%에서 最大強度를 얻었고 그 以上에서는 石灰含量의 增加와 더불어 強度도 減少한다고 하였다.

Eades<sup>(9)</sup>는 Georgia Kaolinite 粘土는 Ion交換量과 塑性은 작지만 3日 養生期間의 最適石灰含量은 6%라고 하였다.

全<sup>(7)</sup>은 粘土質, 砂質 혹은 花崗岩質風化土에 있어서 石灰含量 20%까지는 石灰含量이 增加함에 따라 強度가 增加한다고 하였다.

Wang<sup>(10)</sup>은 모래 30.6%, 실트 31.9%, 粘土 37.5%인 흙에 石灰를 여러가지 比率로 混合하여 7日, 28日 強度試驗을 한 結果 4~6%에서 最大強度를 나타냈다고 하였고, 石灰混合土의 7日과 28日 強度사이의 增加는 7日 強度를 基準으로 하여 約 80%가 되었다고 하였다.

Wang<sup>(10)</sup>은 石灰混合土의 強度는 土質에 따라서 다르나 大略 4~12%에서 最大強度를 나타낸다고 하였다.

姜<sup>(9)</sup>은 石灰混合土의 養生期間이 增加함에 따라 強度는 增加하고 그 增加率은 石灰含量이 8%일때 가장 컸고, 또 石灰含量이 8%일때 初期強度는 작은

값을 나타내고 있으나, 2週日以後부터는 큰 強度를 나타내어 4週間 養生하였을때는 顯著히 큰 強度를 나타냈으므로 養生期間을 4週以上으로 取하면 最大強度를 내는 石灰含量은 8%보다 작게 될 것으로 믿는다고 하였다.

Pietsch<sup>(11)</sup>는 10種類의 흙에 여러가지 比率로 石灰를 混合하여 28日間 養生하여 壓縮強度試驗을 한 結果 4種類의 흙에서는 4~6%의 石灰를 混合했을 때 最大強度를 나타냈고, 6%以上 混合하면 強度는 오히려 低下하는 現象을 나타냈으며, 其他 6種類의 흙에서도 石灰含量이 8%以上에서는 強度增加率이 減少한다고 하였다.

本 試驗에서는 모든 試料에서 石灰含量 12%일때 最大強度를 나타냈으며, 粘土含量이 40%, 20%인 D,E試料에서 石灰含量이 10%前後에서 強度增加率이 完滿하게 나타났다.

따라서 最適 石灰混合量은 土質에 따라서 다르고 또 細粒土 含量이 작은 흙일수록 最適石灰混合量은 작은 값을 나타낼을 알 수 있다.

#### 나. 흙의 粒度和 壓縮強度와의 關係

Fig.5는 石灰混合量에 따르는 各 試料(粘土含量)와 壓縮強度와의 關係를 나타낸 것으로 Fig.5(a)(b)에서와 같이 初期強度는 主로 粘土含量이 많은 A,B試料에서 最大強度를 나타냈으나, 養生期間이 28日인 Fig.5(d)에서는 粘土含量이 60%인 C試料에서 壓縮強度는 最大値를 나타내고 있다. 다만 石灰含量이 4%인 경우는 粘土含量이 40%인 D試料에서 壓縮強度의 最大値를 나타냈다.

이와같은 現象은 養生初期에는 試料의 粒度가 強度에 미치는 影響이 작으나 養生期間이 길어질수록 粒度에 의한 影響이 큰것으로 생각된다. Fig.5(d)에서 養生期間 28日에서는 石灰混合量이 6, 8, 10, 12%일때는 粘土含量이 60%인 C試料에서 最大強度를 나타냈으나, 石灰混合量이 4%일때만은 粘土含量이 40%인 D試料에서 最大強度를 나타냈고, 養生期間 14日以下에서는 石灰混合量이 4%와 6%인 貧配合일때 D試料에서 最大強度를 나타내고 있다.

Ladd<sup>(11)</sup>는 石灰는 흙과 反應하여 흙의 強度를 增加시키는 固結成分을 生成시키고 濕潤養生을 시키면 흙의 強度를 增加시키나, 石灰處理效果는 흙의 種類에 따라 크게 다르다고 하였다.

또 실트(有機質土)와 같은 塑性이 比較的 작은 흙은 粘土와 같이 塑性이 큰 흙보다 石灰處理效果가 작으며, 塑性이 큰 粘土는 石灰를 混合하여 最終 強

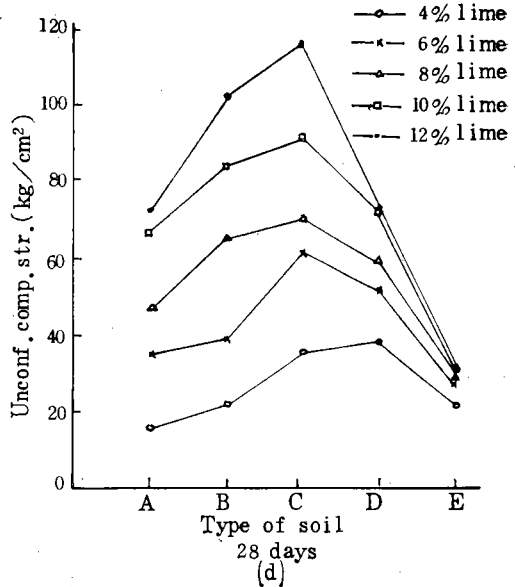
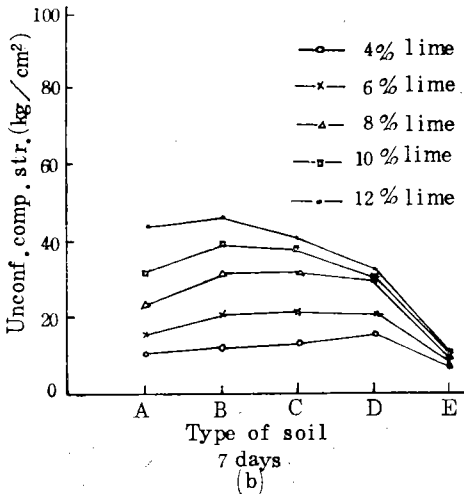
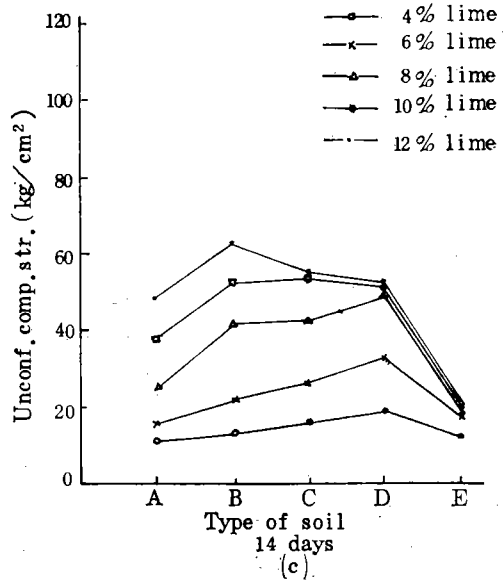
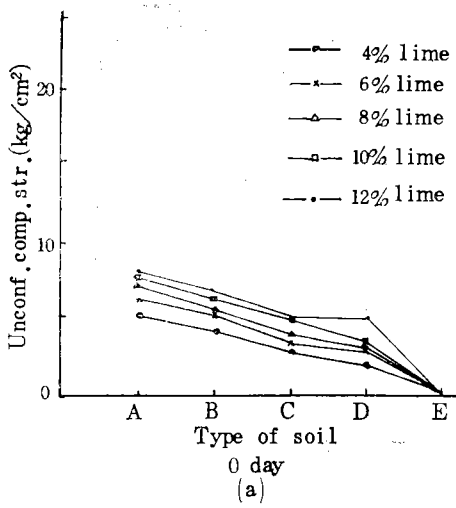


Fig. 5. Relation of compressive strength to type of soil by lime content in each curing period

도에 이르자면 數個月 또는 數年이 걸린다고 하였다.

松尾<sup>(12)</sup>는 흙을 石灰로 安定處理하는데는 粘土鑛物中 Montmorillonite, Kaolinite Illite가 아주 효과가 크나 가장 強度가 큰 것은 粘性이 큰 細粒土를 適當히 含有한 砂質土이고 石灰處理效果가 가장 低調한 것은 塑性이 낮은 砂質土이었다고 하였다.

Shen<sup>(16)</sup>은 Kaolinite와 Illite粘土를 모래와 各各  $K_{100}S_{00}$ ,  $K_{80}S_{20}$ ,  $K_{60}S_{40}$ ,  $K_{40}S_{60}$ ,  $K_{20}S_{80}$  및  $I_{100}S_{00}$ ,  $I_{80}S_{20}$ ,  $I_{60}S_{40}$ ,  $I_{40}S_{60}$ ,  $I_{20}S_{80}$  混合土로 配合하여 5% 石灰處理를 하여 強度試驗을 한 結果 Illite粘土가 Kaolinite粘土보다 2倍 程度의 強度를 나타냈으며, Kaolinite粘土에서는 養生期間 0으로부터 12週까지

共히  $K_{60}S_{40}$ 混合土에서 最大強度를 나타낸 反面, Illite粘土에서는 最大強度가 養生期間에 따라 다르게 나타났고, 養生期間이 增加함에 따라 粘土含量이 작은 試料에서 最大強度를 나타내어 養生期間 7日以下에서는  $I_{100}S_{00}$ 混合土에서, 12週 養生에서는  $I_{60}S_{40}$ 混合土에서 最大強度를 나타냈다고 報告한바 있다.

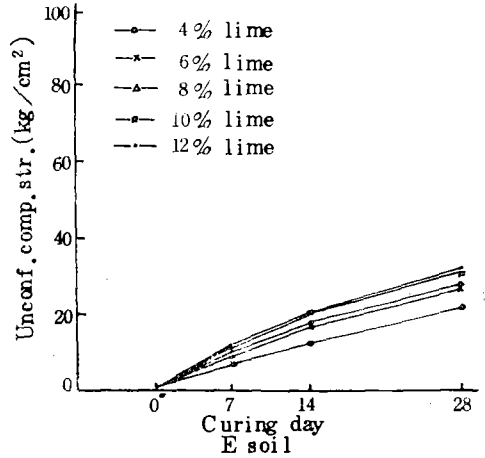
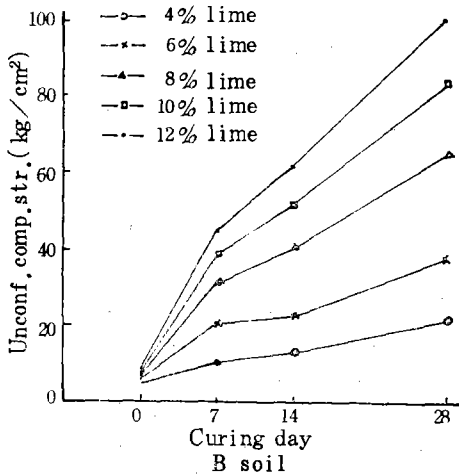
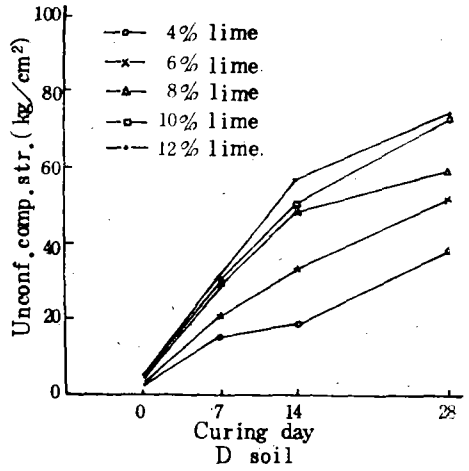
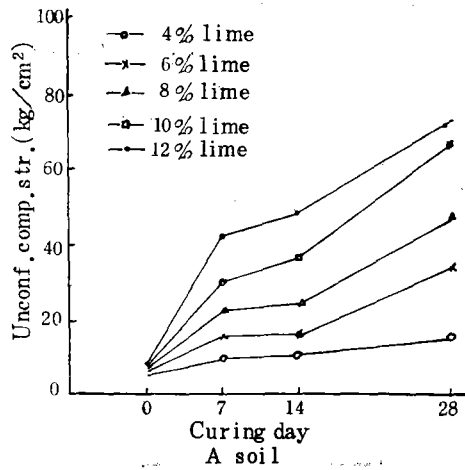


Fig. 6. Relation of compressive strength to curing period by lime content in each soil

現在까지 石灰安定處理土는 主로 細粒土만을 생각해왔으나 以上の 結果를 綜合할때 塑性이 큰 粘土와 모래가 適當히 混合된 흙에서 安定處理의 效果가 가장 큰 것을 알 수 있다.

即, 塑性이 豊富한 粘土가 60%內外, 모래가 40%內外의 比率로 混合된 흙에서 가장 理想的인 安定處理가 됨을 알 수 있다.

다. 養生期間과 壓縮强度와의 關係

石灰混合土의 强度增加 速度는 다져진 混合土가 養生되는 温度와 養生期間과 直接的인 關係가 있다. 養生温度가 낮을 때에는 强度增加는 大端히 느리고 높은 温度로 養生할때는 石灰混合土의 强度 增加는 大端히 빠르게 나타난다. 養生温度 21°C에서 3~4

個月間 養生하여 얻을 수 있는 強度를 60°C로 養生하면 10日內에 얻을 수 있다.<sup>(4)</sup>

Fig.6은 養生溫度를 20±2°C, 濕도를 95%로 固定하여 石灰混合量에 따르는 養生期間과 壓縮強度와의 關係를 나타낸것이다.

Fig.6에서 보는바와 같이 粘土含量이 많은 A, B, C試料과 粘土含量이 적은 D, E試料은 養生期間에 對한 強度增加 現象이 다르게 나타났다.

即, 粘土含量이 많은 試料에서는 7日부터 14日까지는 強度增加率이 완만하게 나타나고, 14日을 超過하면 다시 強度增加率은 큰 값을 나타낸다.

粘土含量이 작은 D, E試料에서는 初期에는 強度增加率이 큰 값을 나타내고, 14日을 超過하던 強度增加率이 완만하게 나타난다.

Herrin<sup>(4)</sup>은 石灰가 흙과 充分히 反應하기 爲해서 는 石灰를 흙과 混合하여 充分히 다진後 養生期間을 주지 않으면 안된다고 하였다.

Mateos<sup>(13)</sup>는 6種類의 흙에 石灰를 混合하여 7日, 28日, 90日間 養生하여 強度試驗을 한 結果 土質에 따라 最大強度를 나타내는 石灰混合量은 다르나 大略 6~12%에서 最大強度를 나타냈고, 養生期間이 增加할수록 壓縮強度도 增加하나 28日以後는 그의 增加率이 완만하다고 하였다.

姜<sup>(9)</sup>은 養生期間이 增加하면 最大強度를 나타내는 石灰混合量은 減少하고, 石灰混合土를 다질때는 最適含水比보다 濕潤側의 含水比로 다질때 더욱 큰 壓縮強度를 나타낸다고 하였다.

以上の 結果에 依하면 粗粒土가 많은 흙은 養生初期에 強度增加率이 큰 값을 나타내고, 細粒土가 많이 含有되어 있는 試料은 長期間에 걸쳐 養生效果가 나타남을 알 수 있다.

#### IV. 摘 要

本 研究에서는 흙의 安定處理에서 石灰添加의 效果가 가장 좋은 粒度配合 및 各 粒度別 最適石灰添加量을 求하기 爲하여 粘土와 모래를 一定한 比率로 配合하여 0, 4, 6, 8, 10, 12%의 石灰를 添加하여 Consistency의 變化, 다짐特性 및 壓縮強度試驗을 하였다. 그 結果를 要略하면 다음과 같다.

1. 石灰添加量을 增加시키면 液性限界는 不規則하게 變化하고, 塑性限界는 增加하며 塑性指數는 減少하는 傾向을 보였다.
2. 石灰添加量을 增加시키면 最適含水比는 增加하고 最大乾燥密度는 減少하였다.

3. 石灰混合土의 最適石灰添加量은 土質에 따라 다르고, 또 細粒土含有量이 적은 흙일수록 最適石灰添加量은 작은 값을 나타냈다.

4. 石灰混合土의 가장 理想的인 粒度分布는 粘性이 豊富한 粘土가 60%內外, 모래가 40%內外의 比率로 配合된 흙으로 나타났다.

5. 粗粒土가 많은 흙은 養生初期에 壓縮強度의 增加率이 컸고, 細粒土가 많이 含有된 흙은 長期間에 걸쳐 養生效果가 나타났다.

#### 謝 辭

이 論文은 1979年度 文敎部 學術研究助成費에 依하여 研究 된것임.

#### 參 考 文 獻

1. 有泉昌. 1977. 石灰安定處理의 機構. 土と基礎 25(1) : 9-16.
2. Dawson, R.F. and C.M. Dowell. 1957. Expanded shale as an admixture in lime stabilization. HRB, 183 : 33-37.
3. Eades, J.L. and R.E. Grim. 1960. Reaction of hydrated lime with pure clay minerals in soil stabilization. HRB, 262 : 51-63.
4. Herrin, M. and H. Mitchell. 1961. Lime soil mixture. HRB, 304 : 99-138.
5. Hilt, H.G. and D.T. Davidson. 1960. Lime fixation in clayey soils. HRB, 262 : 20-32.
6. Jan, M.A. and R.D. Walker. 1963. Effect of lime, moisture and compaction on a clay soil. HRR, 29 : 1-12.
7. 全夢角. 1975. 石灰에 依한 土質安定處理. 大韓土木學會誌, 23(3) : 61-66.
8. Jones, C.W. 1958. Stabilization of expansive clay with hydrated lime and with portland cement. HRB, 193 : 40-47.
9. 姜父默, 金成完, 趙成燮. 1972. 石灰混合土의 壓縮強度에 關한 研究(第1報)—石灰含量 및 養生이 壓縮強度에 미치는 影響—韓國農工學會誌, 14(4) : 1-9.
10. 金在英, 李基春. 1978. 石灰混合土의 遲延다짐이 壓縮強度에 미치는 影響. 韓國農工學會誌, 20(4) : 31-36.
11. Ladd, C.C., Z.C. Moh and T.W. Lambe. 1960.

- Recent soil-lime research at the Massachusetts Institute of Technology. HRB, 262 : 64-85.
12. 松尾新一郎. 1976. 石灰安定處理工法. 土質安定工法便覽 : 215-242.
  13. Mateos, M. and D.T. Davidson. 1962. Lime and flyash proportions in soil, lime and flyash mixtures, and some aspects of soil lime stabilization. HRB, 335 : 40-64.
  14. Miller, R.H. and W.J. McNichol. 1958. Structural properties of lime-flyash aggregate compositions. HRB, 193 : 12-23.
  15. Pietsch, P.E. and D.T. Davidson. 1962. Effects of lime on plasticity and compressive strength of representative Iowa soils. HRB, 335 : 11-30.
  16. Shen, C.K. and S.K. Li. 1970. Lime stabilization of clay-sand mixtures. HRR, 315 : 91-101.
  17. Viskochil, R.K., R.L. Handy and D.T. Davidson. 1957. Effects of density on strength of lime-flyash stabilized soil. HRB, 183 : 5-15.
  18. Wang, W.H., D.T. Davidson, E.A. Rosauer and M. Mateos. 1962. Comparison of various commercial limes for soil stabilization. HRB 335 : 65-79.
  19. Wang, W.H., M. Mateos and D.T. Davidson. 1963. Comparative effects of hydraulic, calcitic and dolomitic limes and cement in soil stabilization. HRR, 29 : 42-54.