

添加劑에 의한 Soil-Cement의 性質 改良

Improvement of Soil-Cement with additives

都 德 鉉*
Duk Hyun Do

Summary

Six kinds of weathered granite soils whose degree of weathering and mineral compositions are different, were tested in order to improve the soil-cement. by performing compression test, durability (freezing-thawing) test and mesurement of shrinkage are made.

From result of the tests as mentioned above, the following conclusions are drawn.

The unconfined compressive strength of secondary additives containing soil-cement mixtures and their resistance against freezeing-thawing are more increased and shrinkage is more decreased than soil-cement mixtures only in case opitimum quantity of additives are added to soil-cement mixtures, and according as types of soils.

I. 序 論

道路 鋪裝의 基層이나 補助基層 材料로서 Soil-Cement 安定處理 工法の 適應性에 對하여 多年間에 걸쳐 室內 試驗 및 現場 試驗 鋪裝을 통한 研究 結果 凍結 深度가 比較的 낮은 우리나라 中部 以南의 排水가 良好한 地域에 適用 可能한 工法임이 立證 되었고¹⁾ 따라서 점차 고갈 되어가는 모래나 강 자갈의 節約은 물론이고 骨材의 運搬 距離에 따라 工費를 節減 할수 있음은 이미 報告한 바와 같다²⁾!

Soil-Cement 安定處理 工法에 적당한 材料는 粒과 細粒의 粒度 配合이 良好한 花崗岩質 風化土 임을 提示 한 바 있으나³⁾ 現地 條件上 이에 適合하지 못한 土取場의 搬入土나 路床土를 그대로 使用할 경우, 基層材料로서 規定된 壓縮強度 30 kg/cm²

이상을 얻기 위하여는 시멘트 要求量이 많아 질뽀만아니라 시멘트 添加量이 7% 이상 이거나 또는 使用材料中에 Kaolinite, Illite 및 Montmorillonite 등의 粘土鑛物이나 一次鑛物중에서도 有色鑛物의 含有量이 많을 경우에는 시멘트의 水和作用에 의하여 發生되는 收縮龜裂이 현저하게 나타나며 따라서 安定處理層의 壽命을 減少시킬 우려가 있으므로 同一한 시멘트 添加量에서의 強度增進 效果를 높이고 또 收縮龜裂을 줄이기 위하여는 良質骨材의 選擇은 물론이고 最適含水比보다 약간 乾燥한편으로 조정하여 다짐을 한後 最小 7日間을 濕潤養生을 實施하며 水分의 급격한 蒸發을 피하는 것이 重要하다.

最近에는 Soil-Cement混合土에 石灰나 후라이에쉬 또는 여러가지 化學藥品等 第2의 加添劑를 少量添加하여 收縮龜裂을 低下시키고 強度와 耐久性

*國立建設研究所 土質科

을 增大시키는等 Soil-Cemnt의 性質을 改良하기 위한 研究가 활발하여졌다.

Soil-Cement에서의 이들 第2의 添加劑는 시멘트 콘크리트에서의 減水劑, 遲延劑 硬化促進劑等の 效果를 노리는 것으로 Soil-Cement에서는 시멘트와 第2의 添加劑와의 反應 뿐만아니라 花崗岩質風化土 자체의 化學成分 또는 風化가 進行되어 生成된 여러종류의 粘土鑛物과의 반응도 기대되므로 시멘트 콘크리트에서 보다 第2第 添加劑의 效果가 多樣할 것으로 생각되며, 이와같은 目的에 이용되는 第2 添加劑의 種類는 수십種에 달하는 것으로 研究報告 되어 왔다. 卽 三浦¹³⁾, 三嶋¹⁵⁾, 山内¹⁶⁾ 등은 Soil-Cement에서 Lignin의 添加效果에 대하여, Cordon⁹⁾, George⁹⁾ Moh¹⁴⁾ 등은 Sodium chloride (NaCl₂)의 效果에 대하여, 그리고 内田¹¹⁾은 카마이트澤의 效果에 대하여 研究하여 第2 添加劑를 適當히 使用함으로써 시멘트만을 添加하였을 때보다 最適含水比가 減少되고 最大乾燥密度의 增大와 더불어 壓縮強度가 增大되 었으며 特히 Lignin은 凍結에 대한 抵抗性이 컸고, Sodium chloride는 收縮에 대한 抵抗性뿐만 아니라 有機質土에서의 強度增大效果가 컸다고 하였다. 또 有機質土에서의 強度增大效果가 기대되는 添加劑는 이외에도 Sodium Sulfate, Calcium chloride 및 Sodium hydroxide等도 인정되고 있다. ^{8,9,14)}

金⁹⁾, Wang¹⁸⁾ 등은 糖分을 시멘트 混合土에 添加하였던 바 使用 試料에 따라서는 強度增大 效果가 있었고 乾燥收縮量이 低下되었으며 또한 시멘트의 水和作用을 遲延시키므로써 시멘트 混合後 다짐 시간이 遲延되어도 強度 低下率을 줄일 수 있었

다고 하였다. 또 鄭⁹⁾은 4種類의 試料에 시멘트 8%와 이에 第2의 添加劑를 0.5% 混合處理하였던 바 Sodium Carbonate는 濕潤養生時보다 水浸養生時의 強度가 더 컸고 Potassium hydroxide (KOH)도 試料에 따라서는 強度增大의 效果가 나타났다고 하였다. 이외에도 Magnesium oxide (MgO), Lithium hydroxide (LiOH), Calcium Carbonate (CaCO₃) Sodium Orthosilicate (Na₂SiO₃), Sodium Sulfite (Na₂ SO₃), Sodium fluoborate(NaBF₄), Sodium aluminate (Na₂Al₃) 등도 強度 增大 效果는 물론이고 특히 後 4種類의 添加劑와 Expansive Cement等은 硬化 促進劑의 效果가 있다고 하였으며¹¹⁾ 아스펠트 乳劑¹²⁾와 후지베톤(日産), 土工王水(國産)等도 適當量을 添加함으로써 強度 増進效果가 認定되고있다. 本 研究은 Soil-Cement의 性質을 改良하기 위하여 6種類 花崗岩質 風化土에 시멘트를 處理하고 이에 第2 添加劑의 添加量을 變化시키면서 다짐 시험 壓縮 強度 試驗 및 收縮量을 調査하여 시멘트 만으로 處理하였을 때 와의 差異點을 比較 檢討하였다.

II. 材料 및 試驗方法

1. 使用材料

本 研究에 使用된 試料는 風化도와 鑛物組成이 다른 6種類의 花崗岩質風化土로서 이들의 粒度分布는 Fig. 1과 같고 物理的 性質 및 化學的 成分은 Table-1 및 Table-2와 같다.

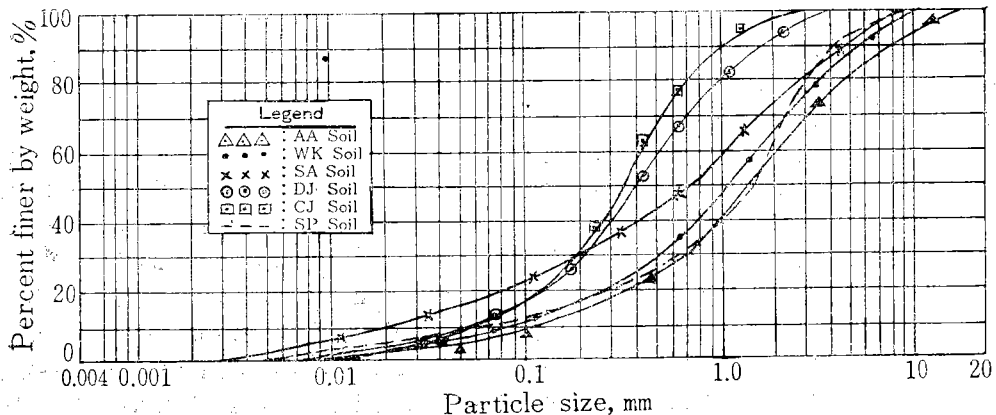


Fig. 1. Grain size distribution curves

Table-1. 使用試料의 物理的 性質

| 試料名 | 比重 | 自然含水比 (%) | Atterberg 界限 | | | 最大粒徑 (mm) | 粒度組成分類 (%) | | | 均等係數 | 畝分類 | | 最大乾燥密度 (g/cm³) | 最適含水比 (%) | 採取場所 | 主要 1 次 2 次 物 質 |
|-----|-------|-----------|--------------|------|-----|-----------|-------------|-------------|--------------|-------|-------|----------|----------------|-----------|------------|---------------------------------|
| | | | LL | PL | PI | | No.10 Sieve | No.40 Sieve | No.200 Sieve | | 統一分類 | AASHO 分類 | | | | |
| AA | 2.645 | 3.9 | NP | — | — | 19.1 | 53.5 | 20.3 | 6.53 | 17.1 | Sw~SM | A-1-b | 1,904 | 10.1 | 서울城北安岩 | 石英, 長石, 雲母 |
| WK | 2.630 | 7.5 | 32 | NP | — | 9.5 | 59.5 | 26.8 | 8.92 | 23.8 | Sw~SM | " | 1,864 | 13.2 | 서울東大門 | " |
| SA | 2.674 | 10.1 | 43.8 | 34.3 | 9.5 | 9.5 | 70.0 | 36.9 | 20.1 | 107.2 | SM | A-2-5 | 1,749 | 14.1 | 忠南, 禮山, 新安 | 石英, 長石, 雲母 및 Kaolinite |
| DJ | 2.658 | 9.0 | 40.8 | NP | — | 4.8 | 94.4 | 51.8 | 12.58 | 9.8 | " | A-2-5 | 1,693 | 14.7 | 大田第2工業團地 | 石英, 長石, 雲母 및 Sericite Muscovite |
| CJ | 2,651 | 6.6 | NP | — | — | 2.2 | 99.8 | 61.5 | 11.19 | 6.3 | Sw~SM | A-2-4 | 1,689 | 15.2 | 清州, 郊外 | 石英, 長石, 雲母, Kaolin group |
| SP | 2.650 | 7.8 | NP | — | — | 9.5 | 58.4 | 27.4 | 12.9 | 42 | SM | A-1-b | 1,865 | 11.9 | 忠南, 唐津, 新平 | 石英, 長石, 雲母 |

Table-2. 使用試料의 化學的 成分

| 區分 試料名 | Ig. Loss (%) | SiO ₂ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | FeO (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | CaO (%) | MgO (%) | K ₂ O (%) |
|-----------|--------------|----------------------|------------------------------------|---------|------------------------------------|---------|---------|----------------------|
| AA | 0.94 | 76.7 | 14.98 | 0.11 | 0.78 | 0.99 | 0.55 | 4.25 |
| WK | 2.34 | 71.8 | 19.7 | 0.11 | 0.87 | 1.39 | 0.82 | 4.27 |
| SA | 4.04 | 68.7 | 23.2 | 0.07 | 0.68 | 1.45 | 0.89 | 4.52 |
| DJ | 3.59 | 69.7 | 23.04 | 0.11 | 1.79 | 2.06 | 0.82 | 2.18 |
| CJ | 2.80 | 71.03 | 20.74 | 0.18 | 1.25 | 0.92 | 0.53 | 4.50 |
| SP | 1.85 | 72.34 | 17.53 | 0.14 | 0.65 | 0.88 | 0.64 | 3.45 |

本研究에 使用된 시멘트 및 石灰는 國內에서 生産되는 포틀랜드 시멘트 및 消石灰이며 石膏는 鎭海第4肥料工場의 廢棄物을 採取하여 使用하였다. 또

후라이 애쉬와 其他 化學藥品은 市中商品을 購入 使用하였으며 이들의 物理的 性質과 化學的 成分은 Table-3. 및 Table-4와 같다.

Table-3. 使用시멘트의 物理的 性質

| 區分 | 比重 | 粉末度 (cm ² /g) | 凝結 時間 | | 安定度 (%) | 壓縮 強度 (kg/cm ²) | | | 引長 強度 (kg/cm ²) | | |
|-----|------|--------------------------|----------|---------|---------|-----------------------------|-----|------|-----------------------------|-----|------|
| | | | 初結 (min) | 終結 (hr) | | 3 日 | 7 日 | 28 日 | 3 日 | 7 日 | 28 日 |
| 시멘트 | 3.14 | 2,860 | 145 | 5:50 | 0.21 | 148 | 203 | 268 | 16 | 22 | 29 |

2. 試驗方法

自然試料에 시멘트 8%와 試料의 種類에 따라 第2添加劑의 混合量을 0.2, 0.5, 1, 2, 4%로 變化시키면서 添加하며 KS F 2331에 따라 다짐시험을 하였

다. 그 結果 最適含水比와 最大乾燥密度를 求하고 最適含水比에서 最大乾燥密度에 相當하는 試料量을 달아 KS F 2329에 規定된 直徑 7cm, 높이 14cm의 mold에 3회로 나누어 넣고 各回마다 直徑 2cm의 다짐棒으로 適當히 다진후 最後에 上下에서 프라그에

Table-4. 使用시멘트 flyash, 石灰 및 石膏의 化學成分

| 區分 | Ig. Loss (%) | SiO ₂ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO ₂ (%) | S (%) | Alkali (%) | 不容成分 (%) |
|------|--------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------------------|-------|------------|----------|
| 시멘트 | 0.78 | 22 | 5.75 | 3.20 | 62.98 | 2.85 | 2.1 | — | — | 0.7 |
| 라이아쉬 | 6.24 | 47.35 | 36.72 | 3.98 | 1.54 | 0.53 | 0.13 | — | — | — |
| 石灰 | 19.04 | 3.75 | 1.13 | 0.76 | 59.11 | — | 0.26 | 0.078 | — | 0.8 |
| 石膏 | 20.34 | — | — | 0.0037 | 40.65 | — | 4.24 | 16.37 | 20.43 | — |

Table-5. 其他使用添加劑의 種類

| 種類 | Sodium Metasilicate (Na ₂ SiO ₃ ·9H ₂ O) | Calcium Chloride (CaCl ₂) | Magnesium chloride (MgCl ₂ ·6H ₂ O) | Sodium hydroxide (NaOH) | Sodium carbonate (Na ₂ CO ₃) | Sodium Sulfate (Na ₂ SO ₄) | Magnesium sulfate (MgSO ₄ ·7H ₂ O) | poolzzolith8 |
|----|---|---------------------------------------|---|-------------------------|---|---|--|--------------|
| 外觀 | 粘質溶液 | 結晶性粉末 | 左 同 | 左 同 | 白色粉末 | 左 同 | 結晶性粉末 | 黃褐色粉末 |
| 用途 | 工業用商品 | 左 同 | 左 同 | 左 同 | 左 同 | 左 同 | 左 同 | 左 同 |

의하여 油壓적기로 壓縮하여 密度가 均一하도록 供試體를 製作하고 시료의 種類에 따라 3, 7, 14, 28日 壓縮強度 試驗을 하였다. 濕潤養生溫度는 21±2°C, 相對濕度는 95%을 유지하였으며 모든 供試體는 24時間 水浸後 壓縮強度 試驗을 하는것을 원칙으로 하였다.

또 凍結融解에 대한 抵抗性을 調査하기 위하여 7日養生 供試體에 대하여 -23°C의 凍結 케비닛에 24時間 凍結시키고 그후 水温 21±2°C에 24時間 水浸시키는 方法으로 이를 1 cycle로하여 7 cycle 및 12 cycle後의 壓縮強度 試驗을 하였다.

한편 시멘트의 水和作用에 따라 發生되는 收縮量을 調査하기 위하여 5種類의 試料에 시멘트 8%와 第2의 添加劑 1%를 混合한 壓縮強度 試驗用 供試

體를 製作하고 28日 濕潤養生後의 收縮量을 測定하였다.

III. 結果 및 考察

1. 다짐含水比와 다짐密度와의 關係

Soil-cement의 強度에 直接的인 影響을 미치는 要素로서는 使用材料의 性質과 養生方法等을 들수 있으며 이들의 條件이 同一할 경우에는 다짐 Energy를 增大시켜 다짐密度를 높이는 것이 바람직 하겠으나 이외에도 Soil-Cement 混合土에 少量의 第2 添加劑를 添加하여 同一한 다짐 Energy에서 最適含水比를 줄이고 最大乾燥密度를 增大시킴으로서

Table-6. 다짐 試驗 結果 (cement 8% + 第2 添加劑)

| 試料名 | 第2添加劑名 | | Cement | | Sodium metasilicate Na ₂ SiO ₃ ·9H ₂ O | | Calcium chloride (CaCl ₂) | | Flyash | | Gypsum | | Lime | |
|-----|---------|----------------------------|--------|-------|---|-------|---------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | OMC (%) | Rdmax (g/cm ³) | OMC | rdmax | OMC | rdmax | OMC | rdmax | OMC | rdmax | OMC | rdmax | OMC | rdmax |
| AA | 0 | 9.5 | 1,958 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 0.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 0.5 | — | — | 9.6 | 1,981 | 9.5 | 1,958 | 9.4 | 1,960 | 9.6 | 1,960 | 9.6 | 1,965 | — |
| | 1 | — | — | 9.8 | 1,986 | 9.4 | 1,966 | 9.6 | 1,963 | 9.7 | 1,958 | 10 | 1,963 | — |
| WK | 0 | 12.7 | 1,868 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 0.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 0.5 | — | — | 12.8 | 1,860 | 12.6 | 1,869 | 12.6 | 1,868 | 12.8 | 1,869 | 12.9 | 1,863 | — |
| | 1 | — | — | 13.2 | 1,852 | 12.5 | 1,873 | 12.6 | 1,868 | 13.0 | 1,866 | 13.2 | 1,854 | — |
| | 2 | — | — | 13.5 | 1,843 | 12.3 | 1,878 | 12.8 | 1,870 | 13.2 | 1,865 | 13.5 | 1,851 | — |
| | 4 | — | — | — | — | — | — | 12.6 | 1,872 | 13.3 | 1,865 | 13.6 | 1,848 | — |

添劑에 의한 Soil-Cement의 性質 改良

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------|-----------------------|---|---------------|-------------------------|---------------|---------------------------------------|---------------|---|----------------|--|----------------|------------|----------------|
| SA | 0 | 13.5 | 1,811 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | 0.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | 0.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | 1.0 | — | — | 13.8 | 1,795 | 13.2 | 1,815 | 13.8 | 1,815 | 13.7 | 1,802 | 14.5 | 1,789 | |
| DJ | 0 | 14.2 | 1,715 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | 0.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | 0.5 | — | — | 14.5 | 1,701 | 14.2 | 1,720 | 14.4 | 1,715 | 14.3 | 1,718 | 14.5 | 1,708 | |
| | 1 | — | — | 14.9 | 1,868 | 14.0 | 1,723 | 14.0 | 1,720 | 14.0 | 1,713 | 14.7 | 1,695 | |
| CJ | 0 | 14.0 | 1,721 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | 0.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | 0.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | 1 | — | — | 14.2 | 1,715 | 13.8 | 1,732 | 14.2 | 1,726 | 14.3 | 1,712 | 14.5 | 1,702 | |
| 試料名 | 第2添劑名 | | Magnesium chloride (MgCl ₂ ·6H ₂ O) | | Sodium hydroxide (NaOH) | | Sodium Carbonate (NaCO ₃) | | Sodium sulfate (Na ₂ SO ₄) | | Magnesium sulfate (MgSO ₄ ·7H ₂ O) | | Pozzolith8 | |
| | 添劑量 (%) | MOCC(%) γ dmax | OMC | γ dmax | OMC | γ dmax | OMC | γ dmax | OMC | γ d.max | OMC | γ d.max | OMC | γ d.max |
| AA | 0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 0.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 9.5 | 1,973 |
| | 0.5 | 9.4 | 1,962 | 9.6 | 1,960 | 9.6 | 1,952 | 9.5 | 1,974 | 9.5 | 1,958 | 9.4 | 1,985 | — |
| | 1 | 9.3 | 1,967 | 9.8 | 1,968 | 9.8 | 1,949 | 9.5 | 1,986 | 9.4 | 1,965 | — | — | — |
| WK | 0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 0.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 12.6 | 1,874 |
| | 0.5 | 12.6 | 1,871 | 12.8 | 1,870 | 12.9 | 1,872 | 12.9 | 1,878 | 12.7 | 1,868 | 12.4 | 1,875 | — |
| | 1 | 12.5 | 1,875 | 12.9 | 1,875 | 13.0 | 1,878 | 12.9 | 1,885 | 12.6 | 1,875 | — | — | — |
| | 2 | 12.3 | 1,876 | 12.0 | 1,871 | 13.0 | 1,868 | 12.6 | 1,886 | 12.5 | 1,877 | — | — | — |
| | 4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| SA | 0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 0.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 13.5 | 1,823 |
| | 0.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 13.5 | 1,833 |
| | 1.0 | 13.2 | 1,818 | 13.6 | 1,875 | 13.7 | 1,868 | 13.2 | 1,836 | 13.2 | 1,818 | — | — | — |
| DJ | 0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 0.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 14.0 | 1,724 |
| | 0.5 | 14.1 | 1,725 | 14.4 | 1,724 | 14.3 | 1,720 | 14.0 | 1,723 | 14.0 | 1,711 | 14.0 | 1,730 | — |
| | 1 | 14.0 | 1,735 | 14.6 | 1,730 | 14.5 | 1,708 | 13.8 | 1,738 | 13.9 | 1,728 | — | — | — |
| CJ | 0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 0.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 13.8 | 1,725 |
| | 0.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 13.8 | 1,742 |
| | 1 | 13.7 | 1,743 | 14.2 | 1,739 | 14.4 | 1,736 | 13.7 | 1,746 | 13.8 | 1,736 | — | — | — |

強度를 增大시킬 수 있음은 前述 한 바와 같다 .

Table-6은 5種類의 自然試料에 시멘트 8%와 第2의 添劑 混合量을 여러가지로 變化시키면서 다짐 시험을 한 結果 最適含水比와 最大乾燥密度와의 關係를 나타낸것으로 自然試料를 다졌을때보다 시멘트 混合量을 增加 시키면서 다지면 最適 含水比

가 減少되고 最大 乾燥 密度가 增大 되었음은 이 미 報告한 바와 같으나¹⁾이에 少量의 第2 添劑를 添加함으로써 다음과 같은 3가지 類形의 共通點을 찾아 볼수 있었다. 卽 石膏, 石灰等 比較的 比重이 낮은 粉末狀의 添劑와 粘性이 큰 Sodium Metasilicate等은 最適 含水比의 增大와 더불어 最

大乾燥 密度가 減少 되었으며 반대로 Calcium chloride, Magnesium chloride, Sodium sulfate, Magnesium sulfate, pozzolith 8 등은 最適 含水比가 減少되고 最大 乾燥密度가 增大되는 傾向을 나타 내었다. 그리고 Sodium Hydroxide, Sodium Carbonate, 후라이 에쉬 등은 最適含水比와 最大乾燥密度 모두 增大되었다.

그러나 이와같은 最適含水比와 最大乾燥密度的 變化는 Table-6에서와같이 시료의 種類에 따라 다르게 나타났다. 또 最大乾燥密度的 減少가 반드시 Soil-Cement의 強度低下를 의미하는 것은 아니며 乾燥密度가 低下되어도 添加劑의 化學反應에 따라 強度의 增大를 기대할 수 있을 것으로 생각된다. Fig. 2는 Table-6에서 WK試料에 대하여 第2添加劑의 添加量을 여러가지로 변화시키면서 다짐을 하였을 때의 最大乾燥密度的 變化를 나타낸 것으로 最大乾燥密度를 增大시키는 性質을 가진 添加劑도 一定量 이상을 添加하면 密度 增加率이 완만하거나 오히려 減少되는 傾向을 나타내고 있어 最適 添加量이 存在함을 알수 있었다.

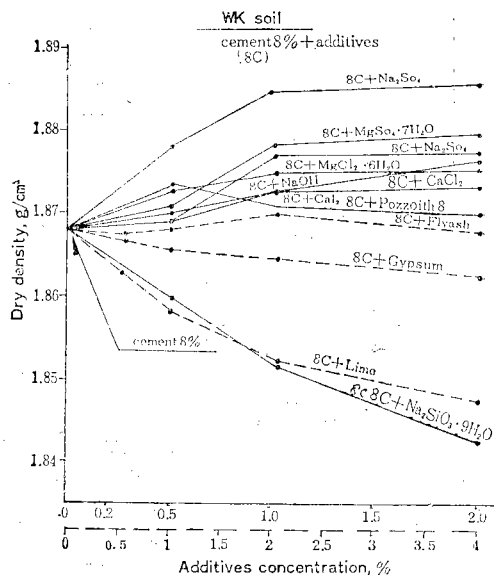


Fig. 2. Relationship between additives concentration and dry density of soil-cement mixture with various additives

Table-7. 시멘트와 石灰混合土의 다짐시험 結果

| 試料名 | 石灰含有量(%) | 0 | | 2 | | 4 | | 6 | | 8 | |
|-----|----------|------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|
| | | OMC | γ_d max. | OMC | γ_d max. | OMC | γ_d max. | OMC | γ_d max. | OMC | γ_d max. |
| SP | 0 | 11.9 | 1,864 | 12.0 | 1,872 | 11.9 | 1,868 | 12.5 | 1,854 | 13.0 | 1,824 |
| | 2 | 11.7 | 1,866 | 11.8 | 1,890 | 11.8 | 1,875 | 12.4 | 1,856 | 13.3 | 1,843 |
| | 4 | 11.6 | 1,898 | 11.8 | 1,897 | 12.0 | 1,886 | 12.2 | 1,865 | 12.8 | 1,854 |
| | 6 | 11.4 | 1,907 | 11.6 | 1,902 | 11.8 | 1,893 | 12.0 | 1,886 | 12.9 | 1,875 |
| | 8 | 11.4 | 1,917 | 11.5 | 1,908 | 11.4 | 1,905 | 11.8 | 1,901 | 12.6 | 1,898 |

또 시멘트와 石灰 混合率의 變化에 따른 最適含水比와 最大 乾燥 密度的 關係를 調査하기 위하여 粒度가 良好한 SP試料에 시멘트와 石灰混合率을 變化시키면서 다짐시험을 한결과 Table-7과 같이 시멘트 添加量 보다는 石灰添加量의 影響이 큰 것으로 생각되며 混合率이 增大됨에 따라 最適含水比는 增大되었고 最大乾燥密度는 減少되었다. 이와같은 현상은 石灰의 比重이 使用試料보다 낮기때문에 그 添加量의 增加에 따라 最大乾燥密度가 낮아지는 것으로 생각된다.

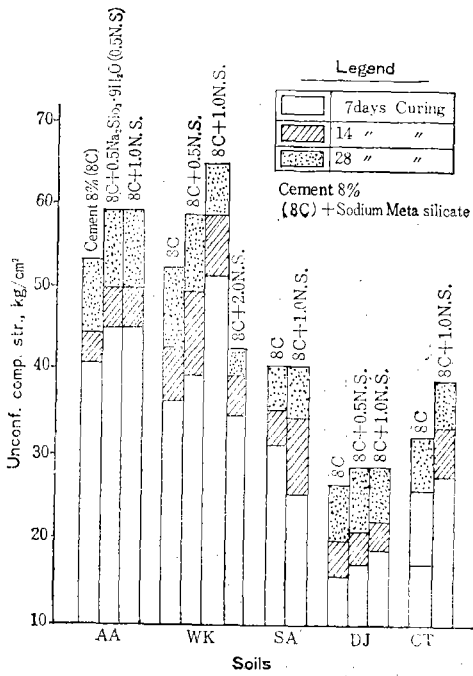
2. 添加劑와 壓縮強度와의 關係

同一한 시멘트 添加量에서의 第2의 添加劑가 壓

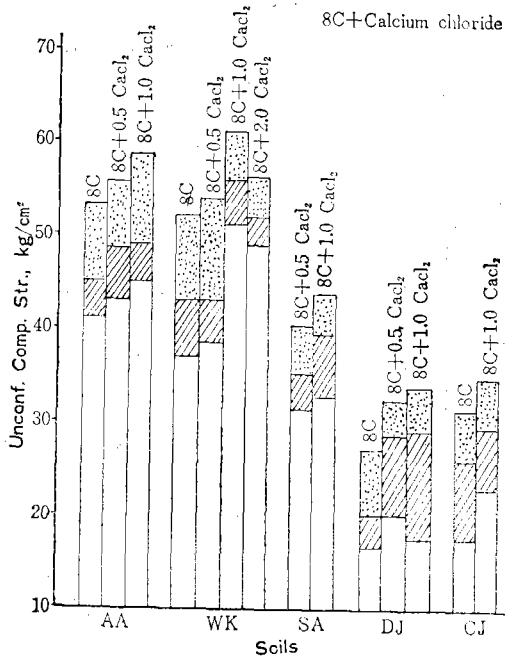
縮強度에 미치는 影響을 檢討하기 위하여 5種類의 試料에 시멘트 8%와 第2添加劑의 混合量을 여러가지로 變化시키면서 7.14.28日 濕潤養生하여 壓縮強度試驗을 한結果는 Fig. 3과 같았다.

Fig. 3에서 Sodium Metasilicate, Calcium chloride, Sodium Carbonate, Sodium Sulfate Magnesium Sulfate 및 Magnesium Chloride 등을 0.5~1.0% 添加함에 따라 시멘트만 添加하였을 때보다 壓縮強度가 增大되었고 후라이에쉬 石膏 石灰 및 Pozzolith 8 등은 試料의 種領에 따라 壓縮強度가 增大되거나 반대로 減少되었다. 또 Sodium hydroxide 를 添加時는 모든 試料에서 壓縮強度가 低下되었는데 이는 Sodium hydroxide를 過多하게 添加하였

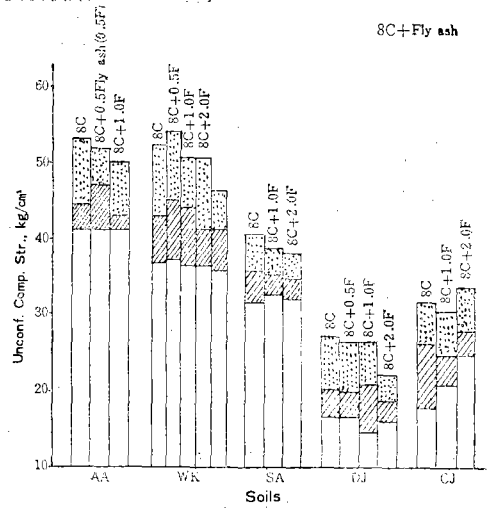
添加劑에 의한 Soil-Cement의 性質 改良



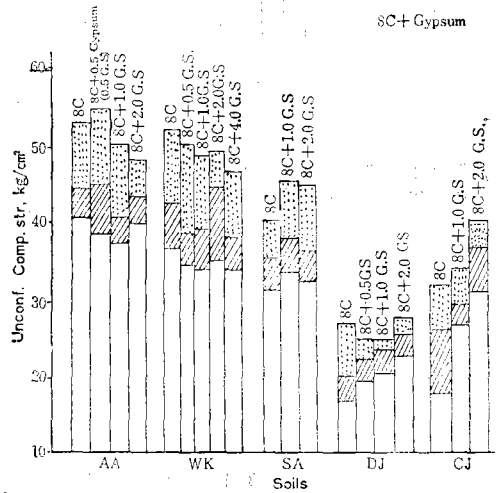
a) Cement 8% + Meta-Silicate ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)



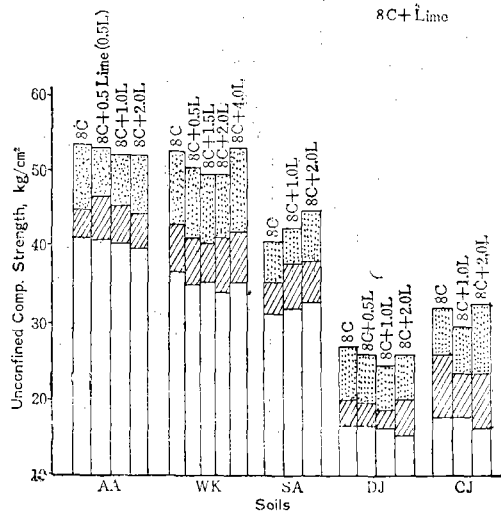
b) Cement 8% + Calcium Chloride (CaCl_2)



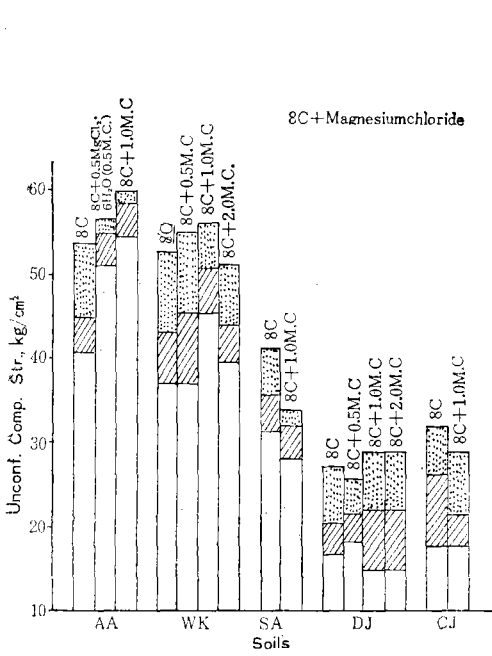
c) Cement 8% + Fly Ash



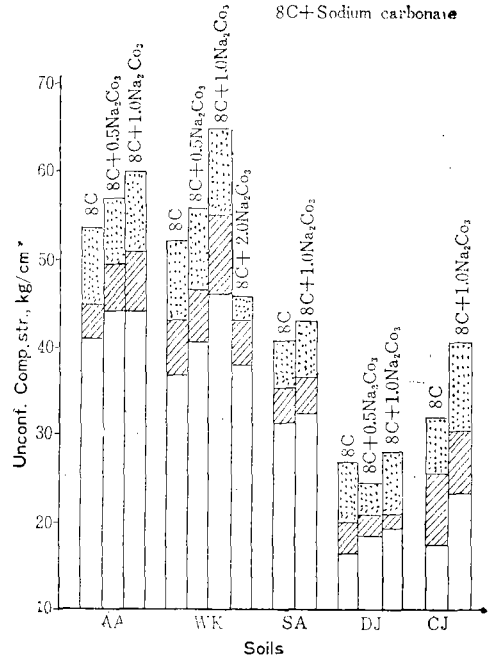
d) Cement 8% + Gypsum



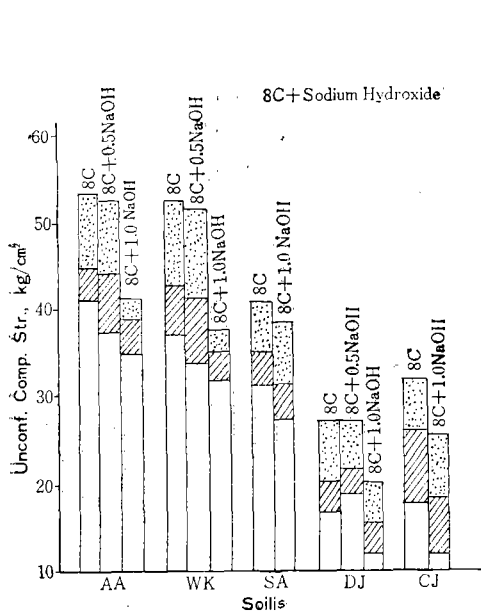
e) Cement 8% + Lime



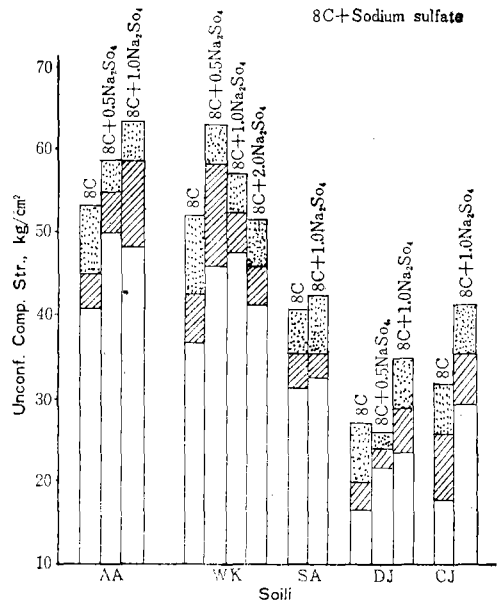
f) Cement 8%+Magnesium chloride ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)



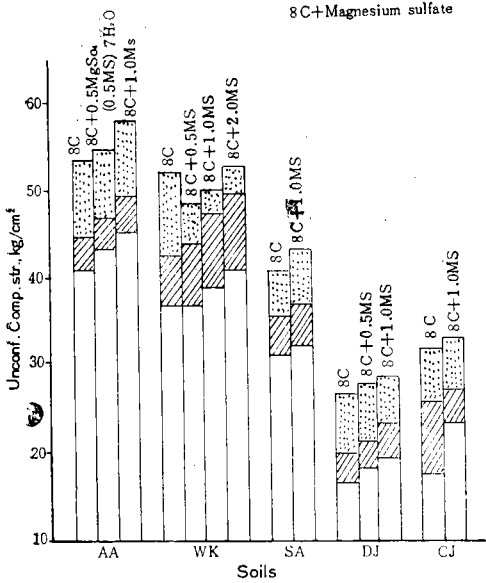
h) Cement 8%+Sodium Carbonate(Na_2CO_3)



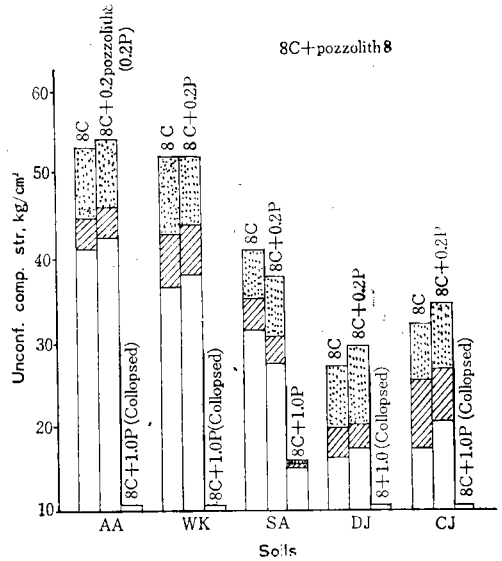
g) Cement 8%+Sodium Hydroxide(NaOH)



i) Cement 8%+Sodium Sulfate(Na_2SO_4)



j) Cement 8% + Magnesium Sulfate (Mg SO₄)



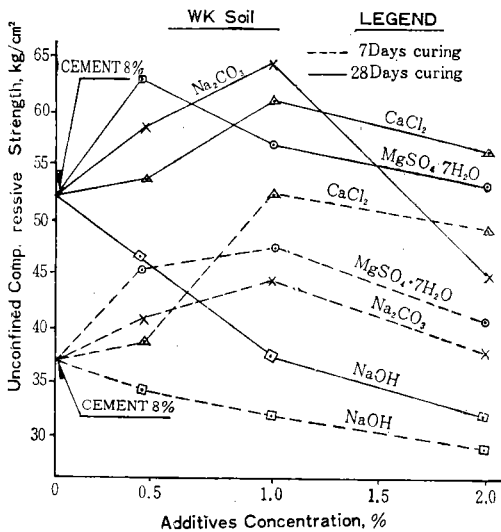
k) Cement 8% + Pozzolith 8

Fig. 3. Effect of additives on 7. 14. 28 days unconfined compressive strength of cement stabilized soils

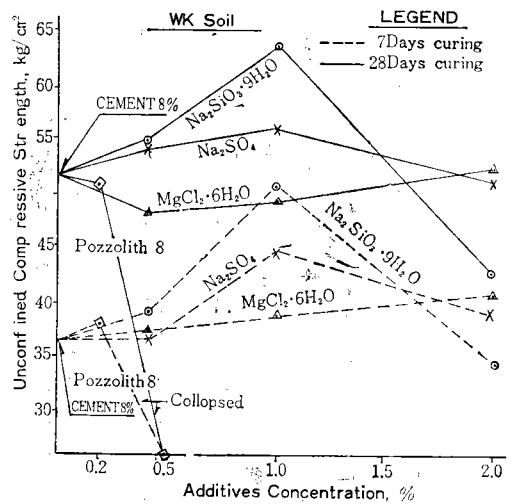
기 때문인 것으로 생각되며 Laguros⁷⁾는 이를 0.25 ~ 0.5% 添加함으로써 强度增大와 收縮低下의 效果가 나타났다고 하였다.

Fig. 4는 WK試料에서 第2添加劑 混合量の 增加에 따른 壓縮强度의 變化를 나타낸 것으로 대부분의 添加劑는 그 添加量의 增加에 따라 壓縮强度

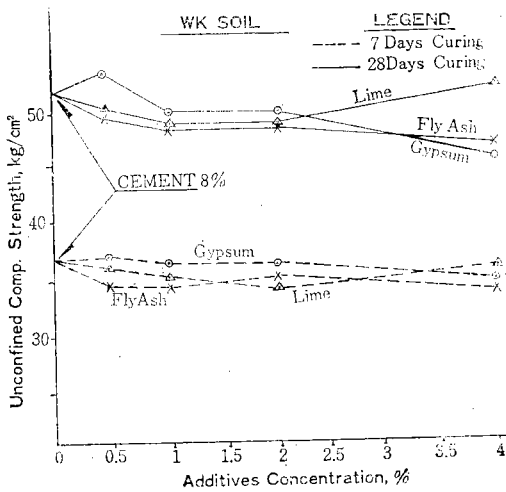
가 增大되는 傾向을 나타내었으나 一定量 以上에서는 오히려 減少되었다. 即 시멘트 混合土에서 第2添加劑의 效果가 가장 큰 最適添加量이 存在하는 것으로 생각되며 Sodium metasilicate, Magnesium Chloride, Sodium Carbonate 및 Sodium Sulfate 등의 最適添加量은 0.5~1.0%, magnesium Sulfate



a) Cement 8% + Additives (Na₂CO₃, CaCl₂, MgSO₄·7H₂O, NaOH)



b) Cement 8% + Additives (MgCl₂·6H₂O, Na₂SO₄, Na₂SiO₃·9H₂O, Pozzolith 8)



c) Cement 8% + Additives(Lime, Fly Ash, Gypsum)

Fig. 4. Relationship between additives and Unconfined Compressive strength of Soil-cement mixture with various additives

는 0.5~2%였으며 Pezzolith 8은 0.5%를 혼합하였던바 시멘트만 處理한 試料보다 強度가 低下되었거나 壓縮強度試驗을 할 수 없을 程度로 供試體가 崩壞되었으므로 0.2%가 最適添加量으로 생각된다. 또 石灰, 石膏 및 후라이애쉬는 試料의 種類에 따라 最適添加量이 다르게 나타났다. Table-8은 SP 試料에 대하여 시멘트와 石灰의 混合率을 變化시키면서 3.7.28日 養生 壓縮強度 試驗結果를 나타낸 것으로 左側은 非水浸 右側은 24時間 水浸後의 壓縮強度試驗結果이다.

Table-8에서 시멘트와 石灰를 混合 添加하면 시멘트만 添加하였을 때보다 強度가 오히려 低下되었으나 石灰添加量이 4%以上이고 養生日數 7日以後부터는 시멘트만 添加하였을 때보다 強度가 增大되기 시작하였다. 또 濕潤養生時에 比하여 24時間 水浸時의 強度 低下率은 대부분 10%이하로서 水浸에 대한 抵抗性이 있는 것으로 나타났으며 이외에도 후라이애쉬, 石膏 및 前述한 Sodium Carbonate等도 水浸에 대한 抵抗性의 效果가 인정되고 있다.

Fig. 5는 WK試料에 시멘트 8% 및 第2添加劑를 1%添加하였을 때의 養生日數와 壓縮強度와의 關係를 나타낸 것으로 養生日數의 增加에 따른 壓縮強度

Table. 시멘트와 石灰 混合土의 壓縮強度

| 試料名 | 石灰含有量(%) | 養生方法 養生日數 시멘트含量(%) (日) | 0 | | 2 | | 4 | | 6 | | 8 | |
|-----|----------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| | | | 濕潤 | 水浸 | 濕潤 | 水浸 | 濕潤 | 水浸 | 濕潤 | 水浸 | 濕潤 | 水浸 |
| | | | 0 | 3 | — | — | 4.3 | — | 0.5 | — | 6.8 | — |
| | 7 | — | — | 5.2 | 3.5 | 1.2 | 8.2 | 14.1 | 13.5 | 15.2 | 14.7 | |
| | 28 | — | — | 11.7 | 8.3 | 25.6 | 17.9 | 30.2 | 26.5 | 31.7 | 29.5 | |
| 2 | 3 | 8.2 | — | 5.9 | — | 7.4 | — | 9.3 | — | 11.5 | — | |
| | 7 | 14.7 | 10.5 | 12.3 | 9.4 | 16.5 | 13.0 | 18.2 | 17.4 | 24.3 | 19.6 | |
| | 28 | 18.2 | 13.4 | 23.5 | 20.5 | 34.1 | 31.2 | 41.5 | 38.6 | 48.7 | 41.5 | |
| 4 | 3 | 18.9 | — | 12.6 | — | 13.8 | — | 15.2 | — | 15.6 | — | |
| | 7 | 23.1 | 20.8 | 21.2 | 15.4 | 22.0 | 20.3 | 24.4 | 21.7 | 28.3 | 22.4 | |
| | 28 | 32.4 | 28.5 | 44.7 | 38.8 | 51.5 | 45.3 | 57.1 | 47.7 | 60.0 | 54.7 | |
| 6 | 3 | 21.2 | — | 18.5 | — | 20.0 | — | 22.2 | — | 23.6 | — | |
| | 7 | 31.7 | 25.3 | 31.5 | 28.2 | 33.1 | 27.2 | 33.8 | 29.6 | 34.5 | 32.4 | |
| | 28 | 38.4 | 41.1 | 51.2 | 48.9 | 54.2 | 48.2 | 66.9 | 56.2 | 73.3 | 64.2 | |
| 8 | 3 | 23.6 | — | 19.2 | — | 21.5 | — | 23.6 | — | 26.9 | — | |
| | 7 | 35.1 | 29.4 | 34.4 | 28.3 | 35.4 | 29.5 | 37.2 | 33.5 | 39.4 | 36.5 | |
| | 28 | 46.7 | 43.2 | 53.2 | 47.5 | 58.6 | 49.6 | 70.1 | 64.8 | 86.2 | 70.4 | |

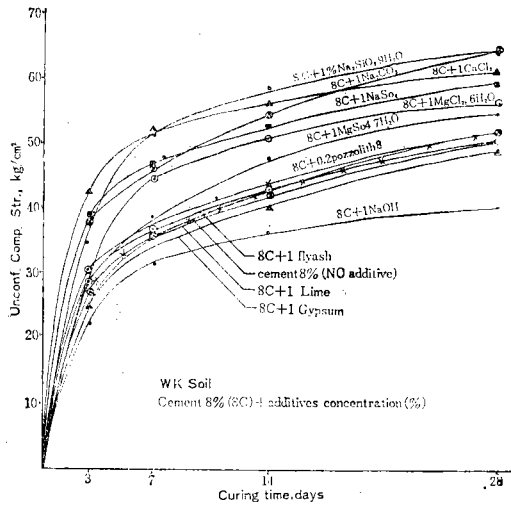


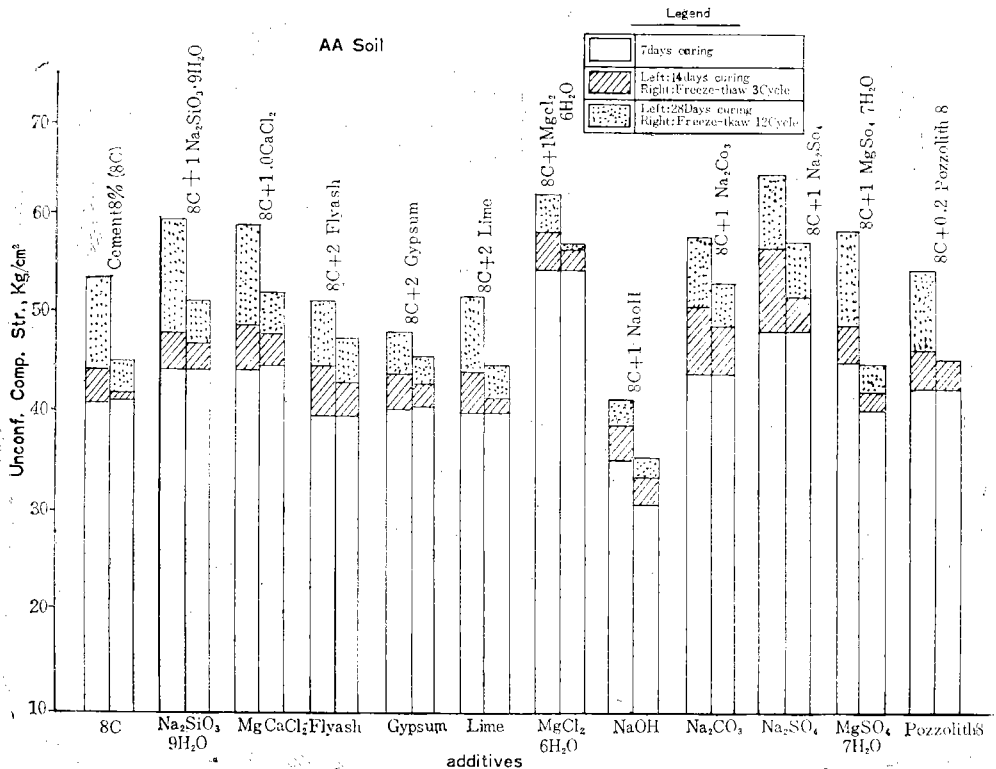
Fig. 5. Relationship between curing time and Unconfined compressive strength of soil-cement mixtures with various additives

의 增大는 시멘트만 添加하였을 때의 傾向과 비슷하나 Sodium metasilicate, Calcium chloride Sodium Carbonate 및 Sodium sulfate 등은 3日 強度가 급격히 增大되었음을 고려할때 이들은 硬化 促進劑의 效果가 있는 것으로 생각된다. 한편 O'flaherty¹⁰⁾에 의하면 石膏, 石灰, 후라이에쉬 및 Pozzolith 8 등은 遲延劑로서의 效果가 기대 된다고 하였으나 本 研究에서는 이와같은 現象이 明確히 나타나지는 않았다.

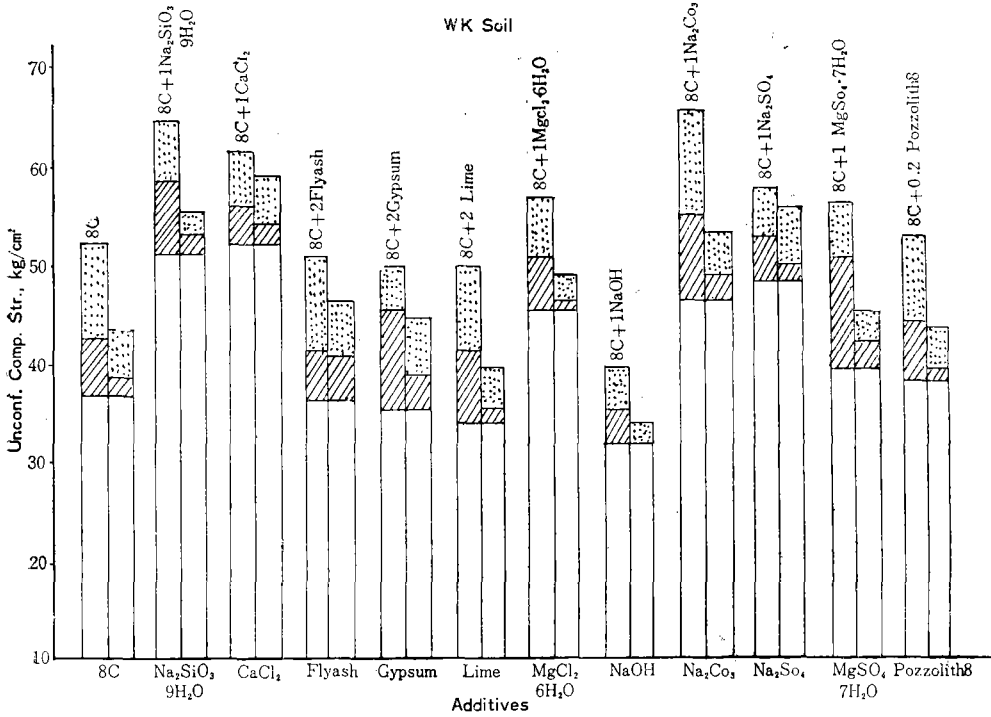
3. 添加劑와 凍結 融解 및 收縮과의 關係

第 2의 添加劑가 Soil-Cement의 凍結에 對한 抵抗性에 미치는 影響을 檢討하기 위하여 5種類의 試料에 Cement 8%와 添加劑를 1% 處理하여 7日間 濕潤 養生을 거친 後 凍結 融解 3 Cycle 및 12 Cycle 反復에 따른 壓縮 強度와 14, 28日 濕潤 養生 時의 壓縮 強度를 比較 하였던바 Fig. 6과 같았다.

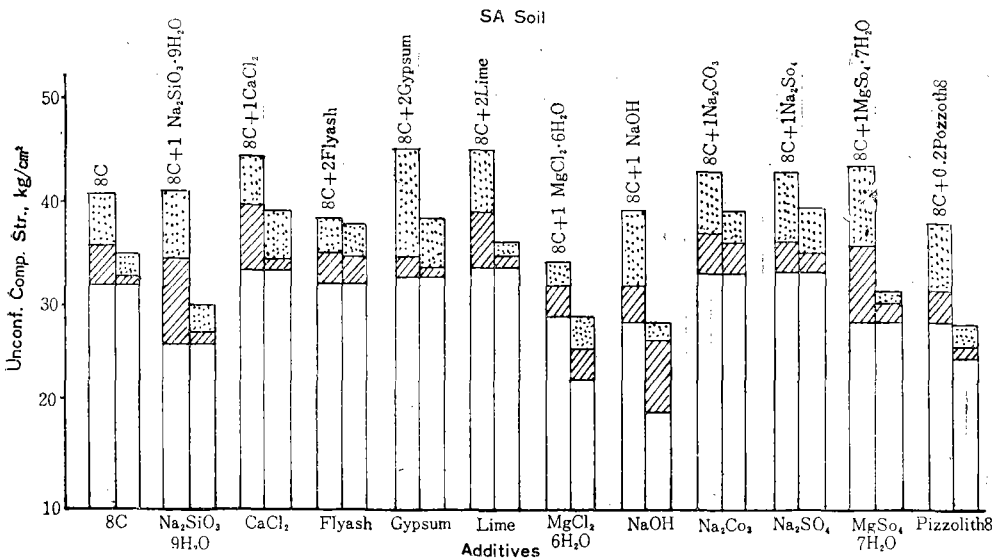
Fig. 6에서 Calcium chloride, 후라이에쉬 石膏 및 Sodium Sulfate 등은 凍結 融解 cycle 反復에 따른 壓縮 強度 低下率이 比較的 낮은 것으로 나타났으며



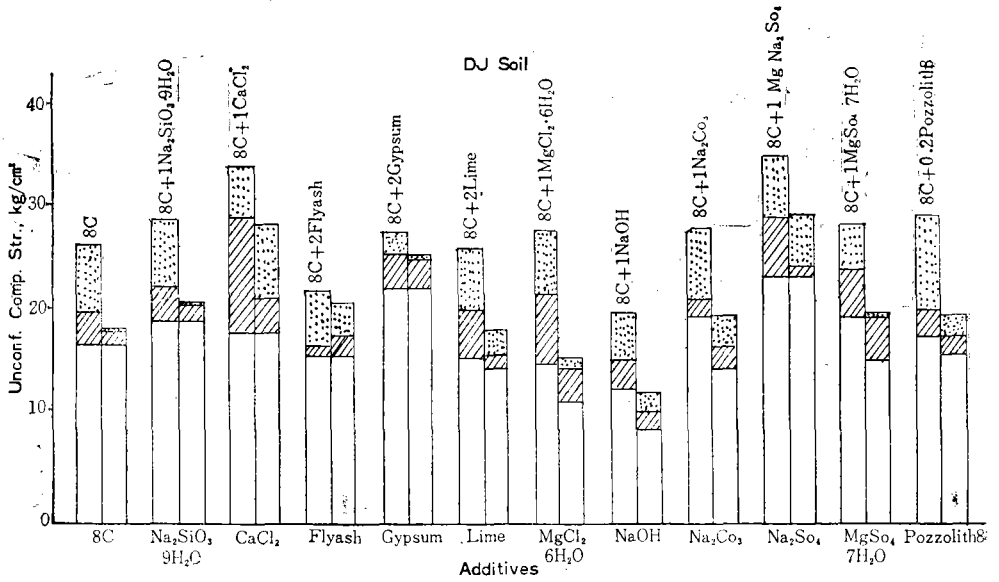
a) AA Soil (Cement 8% + Additives)



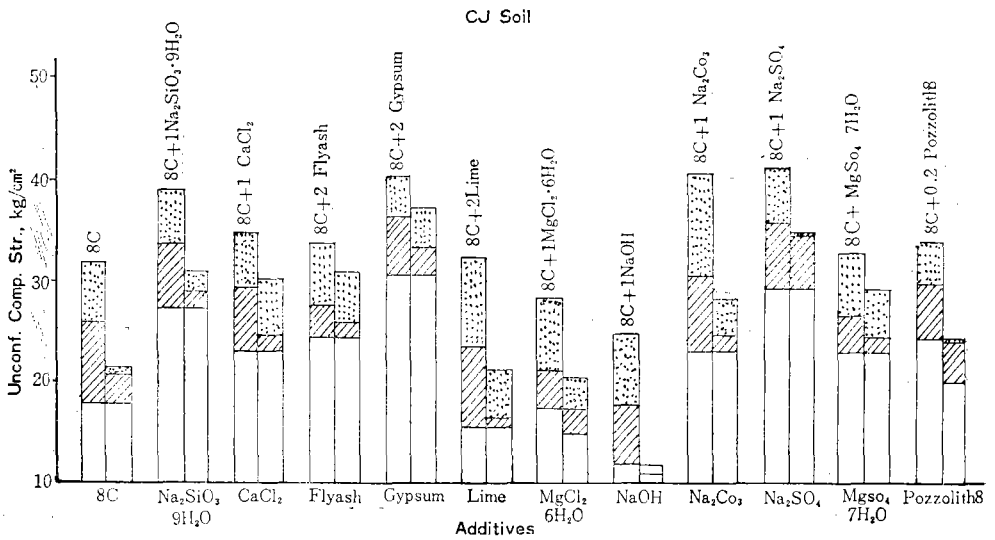
b) WK Soil (Cement 8% + Additives)



c) SA Soil (Cement 8% + Additives)



d) DJ Soil (Cement 8%+Additives)



e) CJ Soil (Cement 8%+Additives)

Fig. 6. Effect of secondary additives on unconfined compressive strength development of soil-cement mixtures after 12 cycles of freezing-thawing.

따라서 이들 添加劑는 凍結에 대한 抵抗性의 效果가 있는 것으로 推定된다. Cordon²⁾도 후라이에쉬 및 Sodium Sulfate 등은 Soil-cement에서의 凍結에 대한 抵抗性을 增大시키는 效果가 있다고 하였다.

Fig. 7은 一次鑛物중에서 有色鑛物(黑雲母및白雲母)含有量이 가장 많고 風化度가 상당히 進行되어

Sericite Muscovite,와 같은 粘土鑛物이 存在하고 있는 DJ試料에 시멘트 8%와 第2添加劑 1%를 混合處理한 壓縮強度 供試體에 대하여 28日間 濕潤養生後 收縮量을 나타낸 것으로 시멘트만 添加하였을 때보다 本研究에 使用된 모든 第2의 添加劑는 收縮을 低下시키는 效果를 나타내었으며 이중에서도 fly ash의 效果가 가장 컸다.

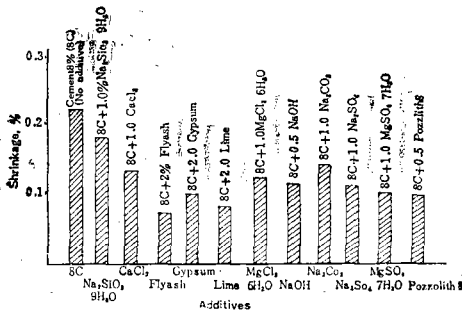


Fig. 7. Effect of additives on shrinkage of soil-cement mixtures with various additives

이상의 결과를 종합하면 Soil-cement 安定處理工法을 實際에 適用함에 있어 少量의 第2添加劑를 시멘트량의 일부로 代用함으로써 强度和 耐久性の 増大 및 收縮龜裂의 減少等 Soil-cement의 性質의 改良은 물론이고 現場 條件에 따라서 工費를 節減할 수 있을 것으로 생각된다.

IV. 結 論

花崗岩質 風化土에 시멘트를 添加하여 道路鋪裝의 基層이나 補助 基層 材料로서 利用할때 후 라이에쉬, Calcium Chloride等 第2의 添加劑를 使用함으로써 얻어지는 效果를 分析 檢討하기 위하여 이들 第2添加劑의 混合量을 變化 시키면서 다짐 試驗, 壓縮强度 試驗等을 實施한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 시멘트 混合土에 Sodium Metasilicate 石膏 및 石灰등을 添加한 試料는 最適 含水比가 増大되었고 最大 乾燥 密度는 減少 되었으며 Calcium Chloride, Magnesium Chloride, Sodium Sulfate, Magnesium Sulfate 및 Pozzolih 8 등을 添加하면 最適 含水比가 減少되고 最大 乾燥密度는 増大되었다. 또 Sodium hydroxide, Sodium Carbonate 및 fly ash 등을 添加하면 最適 含水比와 最大 乾燥 密度가 増大되었다.

2. 本 研究에 使用된 添加劑는 最大 壓縮 强度를 나타내는 最適 添加量이 存在하였다. 即 Cement 8% 添加土에서 Sodium hydroxide 및 Pozzolih 8 등의 最適 添加量은 0.5% 以下로 推定되며 sodium metasilicate, Calcium Chloride, Magnesium chloride, Sodium carbonate 및 Sodium Sulfate等 化學 藥品은 0.5~1% 範圍였고 후라이에쉬, 石膏, 石灰

等은 使用 試料의 性質, 特히 粒度 分布에 따라 差異가 있었다.

3. 시멘트 8% 混合土에 Sodium Metasilicate, Calcium Chloride, Sodium Carbonate, Sodium Sulfate, Magnesium Sulfate 및 Magnesium chloride 등을 0.5~1% 添加 하였던바 모든 試料에서 시멘트만 處理 하였을때 보다 壓縮 强度가 増大 되었으며 후라이에쉬, 石膏, 石灰 및 Pozzolih 8 등은 試料의 種類에 따라 壓縮 强度가 増大하였거나 반대로 減少되었다. 또 Sodium hydroxide는 0.5% 添加量에서 모든 試料의 壓縮 强度가 低下 되었다.

4. Sodium metasilicate, Calcium Chloride, Sodium Carbonate, Sodium sulfate 등은 3日 强度가 급격히 増大되어 硬化促進劑의 效果 있는 것으로 생각된다.

5. 粒度가 良好한 SP 試料는 4% 미만의 石灰 添加量에서는 시멘트만 添加 하였을때 보다 壓縮 强度가 減少되었으나 그 以上の 石灰 添加量에서는 壓縮 强度가 増大 되기 시작 하였다.

6. Calcium chloride, 후라이에쉬, 石膏 및 Sodium sulfate 등은 凍結에 대한 抵抗性이 컸다.

7. 本 研究에 使用된 모든 添加劑는 시멘트만 添加하였을때 보다 收縮量이 작았으며 特히 후라이에쉬는 收縮量의 減少 效果가 가장 컸다.

參 考 文 獻

1. Cordon, W.A.: "Resistance of Soil-Cement exposed to sulfates" HRB. 309, 37-56(1962)
2. 都德鉉, 李在顯: "道路基層安定處理에 關한 試驗研究" 大韓土木學會誌, Vol. 26, No. 2, p. 73-84(1978)
3. 都德鉉: "花崗岩 質風化土의 道路基層 利用에 關한 研究" 國立建設研究所, 建設技術, No. 51, p. 1-51(1978)
4. George, K.P.: "Cracking in cement-treated based and means for minimizing it" HRR. 255, 59-71(1968)
5. 鄭寅峻: "Soil-Cement에 關한 調查研究" 서울大學校 工科大学, 應用科學研究所, 1-21(1967)
6. 金在英: "遲延劑로서 矽분이 시멘트 混合土에 미치는 影響" 韓國農工學會誌, Vol. 18, No. 3, p. 1-8(1977)
7. Laguros, J.C. and D.T. Davidson: "Effect of chemicals on Soil-Cement Stabilization"

- HRR. 36, 172-208(1963)
8. Lambe, T.W. A.S. Michaels and Za-c. Moh; "Improvement of soil-Cement with alkalimetal compounds," H.R.B. 241, 67-108(1960)
9. Lambe, T. W. and Za-c. Moh; "Improvement of strength of soil-Cement with Additives" H.R.B. 183, 38-47(1957)
10. 李用九, 南仁熙, 都德鉉: "Cement 및 石灰에 의한 道路基層安定處理 工法에 관한 研究" 國立建設研究所, 建設研究所 資料, Vol. 376, p. 1-117 (1978)
11. 內田一郎, 谷口嘉紀: "カーバイド渾よる マサ土の安定處理に關する實驗" 土と基礎, Vol. 14, No. 6, p. 21-25(1966)
12. 三浦裕二: "添加劑によるソイルセメントの性質改良" 鋪裝, Vol. 3, No. 11, p. 18-25(1968)
13. Moh, Za-C. and T. William: "Improvement of soil-Cement with chemical additives," HRB. 309, 57-76(1962)
14. Moh, Za-C: "Soil stabilization with Cement and Sodium additives," Jour. of the SM & FE DIVISION. Proc. of the ASCE, SM. 6, 81-105(1962)
15. 三嶋信雄: "粒徑のそろ一た山砂の強度特性について" 日本道路公團, 試驗所 報告, p. 18-36 (1972)
16. O'Flaherty, C.A., A. Mateos and D.T. Davidson: "Flyashand Sodium Carbonate as additives to Soil-Cement mixtures," HRB. 353, 108-123(1962)
17. Renanand, N. and P. Pussayanavin: "Sandy silt stabilization by using emulsion with Lime or Cement" proc. 4th Asian Reg. Conf. Soil mech. Found. Eng. Bangkok. July 1971. Vol. 1, p. 397-402(1971)
18. Wang, J.W.H.: "Use of additives and expansive Cement for Shrinkage crack Control in Soil-Cement" A review, HRR. 422, 11-20 (1973)
19. 山内豊聰: "リグニン系の 材料による 土質安定" 土と基礎, Vol. 5. No. 3, p. 32-37(1957)