

# 시멘트함량 및 다짐습수비가 Soil Cement의

## 壓縮強度에 미치는 影響에 關한 研究

### A Study on the Effects of Molding Water Content and Cement Content on Unconfined Compressive Strength of Soil Cement Mixtures

金 在 英 · 姜 又 默  
Jae Young, Kim · Yea Mook, Kang

#### Summary

This study was conducted to investigate the strength of soil cements for varied molding water content and cement content(3, 6, 9, 12%) in four cement-stabilized soils(KY:sand, MH: sad, SS: sandy loam, JJ: loam). The eoperimental results obtainedfrom unconfined compressive strength tests are asfollows:

1. The optimum moisture content increased in accordance with the increase of the cement while maximum dry density didn't change uniformly.
2. The moisture content for maximum strength was higher than the optimum moisture content in the higher cement content. Moisture-density curves showed a dull peak in the higher cement contents, on the other hand, a sharp peak in the lower cement contents.
3. In molding the specimen with the approximate optimum moisture content, the maximum strength showed at the wet side ofthe optimum moisture content.
4. SS and JJ maybe used as cement-stabilized base of road to require 300PSI of compressive strength cured seven days, but MH andKY may be not adequate.
5. In soil cement, the better the grain size distribution was, the stronger the compressive strength was itn general.
6. The relation between 28-day strength and 7-day strength in the cement-stabilized four soils may be expressed as follows:

$$q_{28} = 1.55q_7 + 1.5$$

in which  $q_{28}$ : 28-day strength.

$q_7$ : 7-day strength.

## I. 序 論

흙이 土木構造物의 重要한 要素가 된 이래 흙에 對한 研究와 關心은 더욱 높아져 왔다. 흙 自體만으로는 充分한 強度를 낼 수 없을 경우에 이흙의 性質을 改良하기 爲한 努力은 일찍이 古代로마인<sup>1)</sup>이 石灰를 混合하여 處理한 것이 始初가 되어 二次大戰以後<sup>2)</sup>에는 高速道路의 建設等으로 因하여 흙의 安定處理가 急速히 進展되어 實用化되기 始作했다. Soil Cement에 關한 研究는 1920년대부터 美國에서 道路鋪裝에 利用하기 爲하여 흙과 시멘트를 混合하여 最初로 試驗하므로써 始作되었으나,<sup>3)</sup> 그러나 體系的인 研究는 1929年<sup>4)</sup> Proctor가 흙에 對한 다짐試驗에서 水分과 密度와의 關係를 發表한後 Filsofov<sup>5)</sup>(1931)가 흙의 제성질에 對한 포트란시멘트 混合의 影響에 關한 論文을 發表한 以後부터 이루어진 것으로 생각한다. 그후 1935년에는 흙과 시멘트와의 混合物에 있어서도 이들을 混合해서 즉시 다짐경우에는 흙의 다짐과 같은 結果가 나타남을 發表하므로써 Soil Cement의 研究에 劃期的인 發展의 契機가 되었다. 또한 Soil Cement에 있어서 水分-密度試驗에 依한 最適含水比의 決定은 特殊한 다짐의 影響에 의해서 最大密度와 最大強度를 나타내게 된다는 것이 發表되어<sup>6)</sup> Soil Cement의 含水比-密度試驗은 흙의 다짐에 關한 研究와 더불어 發展되어 왔다. Soil Cement란 흙의 物理化學的性質과 시멘트固有의 水和作用等 제성질의 長點을 混合한 復合體라고도 할 수 있다. Soil Cement는 그 特有的 성질을 利用하므로써 土木工事分野中 특히 도로부분에서 工事를 용이하게 시공 할 수 있는 동시에 強度增進 및 工事費의 節減等 많은 貢獻을 할 수 있는 것으로 생각한다.

Soil Cement가 最初로 實際工事に 使用된 것은<sup>7)</sup> 1935년에 美國 South Carolina의 Johnsonville 근처 도로건설공사였으며 그후 先進諸國에서는 基層材料인 碎石을 얻기 어려운 地方과 土質이 基層材料로 부적당한 경우 現場附近의 흙에 시멘트를 適當히 混合해서 碎石기층에 代用하여 利用해왔으며 이는 現場의 材料를 使用한다는 理由에서 工事費面에서 많은 節減을 가져오는 利點이 된다. Soil Cement는 이밖에도 흙댐,<sup>8)</sup> 4) 5) 6) 7) 8) 9) 저수지<sup>10)</sup>, 防潮堤<sup>11)</sup>, 堤防<sup>12)</sup>, 地下工事<sup>13)</sup> 및 터널工事<sup>14)</sup> 15) 등에 使用하므로써 그 效果가 인정되었고 앞으로 더욱 많은 分野에 利用될 것으로 믿어진다. 1945年<sup>16)</sup>에는

ASTM과 AASHO에 依해서 標準試驗으로 適用하게 되었고 1952年 6月에는 美國 Massachusetts Institute of Technology에서 開催된 흙의 安定處理에 對한 學術會議에서 安定處理의 定義를 論하였다. 狹意의 安定處理는 흙에 다른종류의 흙, 瀝青劑, 시멘트, 石灰, 염화칼슘, 珪酸鹽, 기타 類機鹽類, 天然 또는 合成의 有機化合物을 混合하여 그物理的 性質을 向上시키는 것이고 廣意 安定處理는 強度를 增加시키고 그의 壓縮性이나 透水性을 減少시키는 것이라고 定義를 내렸다<sup>17)</sup> Dumbleton<sup>18)</sup>(1960)은 석회와 포트란트 시멘트로 安定處理한 흙의 強度增加에 미치는 溫度의 影響에 대한 시험에서 온도상승에 따르는 강도증가의 比率는 0°C와 45°C의 사이에서는 높은온도에서 컷고 반면에 콘크리트에서는 낮은온도에서 컷다고 발표하였다. Dutron<sup>19)</sup>(1961)은 흙에 시멘트를 첨가한 경우 含水比와 다짐이 強度에 미치는 影響에 對하여 研究하고 最適含水比보다 乾燥側에서 強度가 最大로 된다고 하였다. Davidson<sup>20)</sup>(1962), George<sup>21)</sup>(1970)는 最大乾燥密度에 對한 最適含水比와 最大強度에 對한 最適含水比는 恒常 같지 않다고 발표하였다. Moh<sup>22)</sup>(1967)는 강도에 미치는 要素로 흙의성질, 시멘트量, 含水比, 다짐密度, 養生溫度等이라고 발표하였고 Lightsey<sup>23)</sup>(1970), Moriarty<sup>24)</sup>(1971), Chiang<sup>25)</sup>(1972) 등은 Soil Cement의 強度에 含水比의 影響이 重要하다고 發表하였다. Soil Cement는 現在 橋梁建設工事中 橋梁과 道路의 接續部의 連結에 있어서 接續部의 沈下防止工法, 農村道路 및 집안들의 간이포장, 흙별돌사용등에 利用하므로써 큰 效果를 얻을 것으로 생각되어 연구의 餘지가 있다고 본다. 본연구에서는 大田近處에서 4個의 試料를 採取하여 다짐試驗을 하여 最大乾燥密度, 最適含水比를 찾고 含水比 變化에 따른 強度試驗을 하여 含水比가 強度에 미치는 影響에 對해서 究明코저 試驗을 實施하였다.

## II. Soil Cement의 性質

흙에 포트란트 시멘트를 添加하면 흙의 性質 및 構造에 있어서 一定한 變化가 일어 날 것이라는 것은 알려진 事實로서 이 問題에 對해서 처음 研究를 했던 Catton<sup>26)</sup>은 이런 變化는 시멘트의 水和作用에 依해서 흙에 시멘트를 添加하면 흙粒子가 덩어리 형태가 되기 시작하여 시멘트를 더 첨가하면 흙입자는 그 자체의 형태를 잃어버리고 큰 덩어리 형태로

변해서 새로운 형태의 재료가 된다고 하였다. 또 Chadda<sup>29)</sup>는 흙에 시멘트를 첨가하던 시멘트의 수와 작용에 의해서 발생한 可變性을 띤  $Ca^{++}$  이온이 증가하게 되어  $K^+$ ,  $Na^+$  이온으로 완전히 대체하게 된다고 하였다. 陽電荷를 띤  $Ca$  이온이 陰電荷를 띤 흙입자의 表面으로 흡착되어지는 현상이다. 흙과 시멘트의 相互作用은 주로 凝集力를 增加시키고 시멘트함량이 증가 될수록 시멘트 입자의 수와 작용에 의해서 흙덩어리사이의 間隙을 채우게 되는 結果가 되어 力學的으로 큰 強度와 不透水性인 Soil Cement 가 된다. Handy<sup>30)</sup>는 Soil Cement의 長期強度에 對한 說明에서 수와 작용을 하는 시멘트 gel로부터 수산기 이온들이 처음에는 약한 결합을 이루면서 부분적으로 막을 형성하고 있는 Silicon이온에 의해서 흡착되어 시간이 경과 할수록 흙입자의 표면은 활발한 復極(Depolarization) 現象이 일어나 점차 강도가 증가된다고 하였다. Jack<sup>31)</sup>는 Soil Cement에 있어서 수와 작용이 進行함에 따라 점토는 각슬 형태로 轉換되며 점토속에서 Silica와 Alumina가 溶解되어 단단한 재료가 형성된다고 발표하였다. Soil Cement는 보통의 Cement Concrete와 比較 할때 翹引張強度가 強하며 만일 Soil Cement와 Cement Concrete의 壓縮強度를 같은 強度로 하면 翹引張強

도는 Soil Cement가 Cement Concrete의 約 2倍가 된다<sup>32)</sup>. 이 結果 獨逸에서는 주로 翹引張력을 받는 鋪裝의 路盤 또는 基層에 翹引張強度가 比較적 강한 Soil Cement를 利用하고 있다.

### III. 材料 및 試驗方法

#### 1. 使用材料

本試驗에 使用한 試料는 大田市 가양동(KY), 진잠(JJ), 산성동(SS), 문화동(MH)에서 각각 採取하

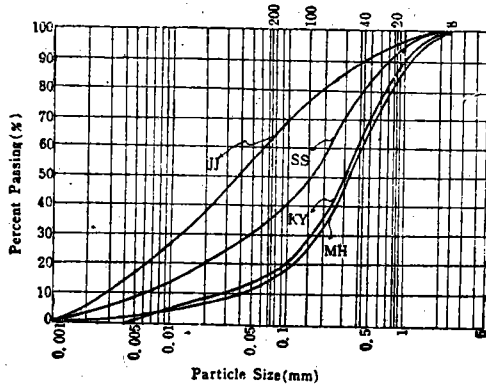


Fig. 1. Grain Size Distribution Curves.

Table-1 Physical Properties of Soils.

| Sample | Gs   | LL | PI | Max. Dry Density<br>kg/cm <sup>3</sup> | Opt. Moisture Content<br>(%) | Cu   | Per. finer than No. 200 Sieve<br>(%) | AASHO Classif. | Classif.  |
|--------|------|----|----|----------------------------------------|------------------------------|------|--------------------------------------|----------------|-----------|
| KY     | 2.68 | 28 | NP | 1.69                                   | 17.0                         | 13.0 | 17.0                                 | A-3            | Sard      |
| MH     | 2.65 | 25 | NP | 1.78                                   | 17.4                         | 13.2 | 16.0                                 | A-3            | Sand      |
| SS     | 2.73 | 34 | 11 | 1.71                                   | 18.3                         | 36.7 | 38.0                                 | A-6            | Sand loam |
| JJ     | 2.74 | 36 | 14 | 1.75                                   | 19.0                         | 18.3 | 65.0                                 | A-6            | loam      |

Table-2 Chemical and Physical Analyses of Cement.

| Item                           | Amount (%) | Item              | Amount (%) | Item                              | Amount (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|------------|-------------------|------------|-----------------------------------|------------------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 21.4       | C <sub>2</sub> S  | 50.0       | Tension strength                  |                              |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.4        | C <sub>1</sub> S  | 23.0       | 3ds(Min. 10kg/cm <sup>2</sup> )   | 20.0                         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.4        | C <sub>3</sub> A  | 9.0        | 7ds(Min. 20kg/cm <sup>2</sup> )   | 25.0                         |
| CaO                            | 63.4       | C <sub>4</sub> AF | 10.0       | 28ds(Min. 25kg/cm <sup>2</sup> )  | 30.0                         |
| MgO                            | 3.4        | CaSO <sub>3</sub> | 2.5        | Compressive Strength              |                              |
| SO <sub>3</sub>                | 1.5        |                   |            | 3ds(Min. 85kg/cm <sup>2</sup> )   | 159.0                        |
| Ig. Loss                       | 0.6        |                   |            | 7ds(Min. 150kg/cm <sup>2</sup> )  | 248.0                        |
| F. CaO                         | 0.7        |                   |            | 28ds(Min. 245kg/cm <sup>2</sup> ) | 350.0                        |
| Insol Resid                    | 0.12       |                   |            |                                   |                              |

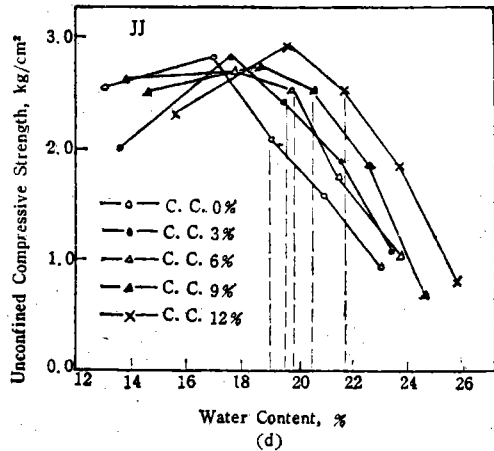
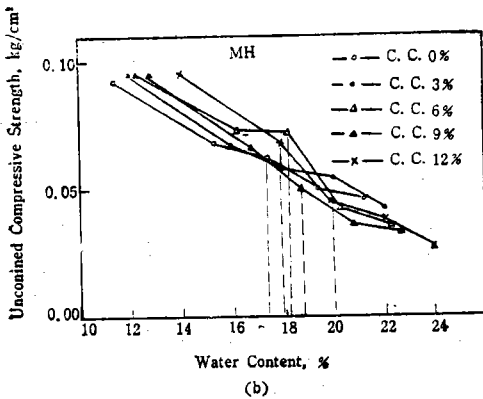
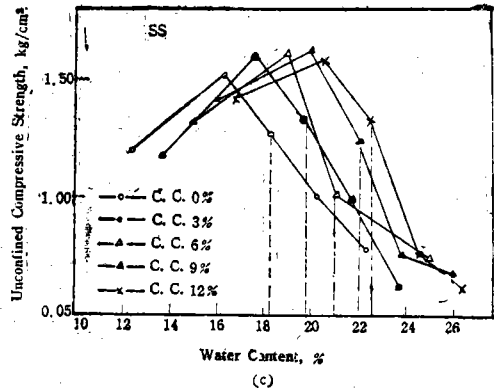
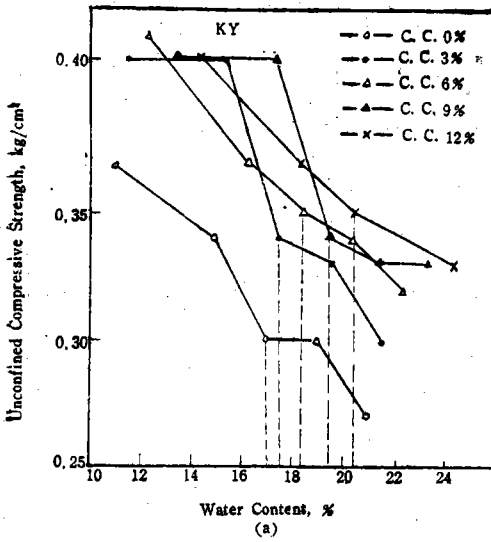


Fig. 3. Effect of Molding water Content and Cement Content on Unconfined Compressive Strength Cured 0 day.

이 일어 날 것으로 생각되며 시멘트함량의 증가가 다짐수비에 영향을 줄 것으로 생각된다. Fig. 2는 4種類의 흙에 각각 시멘트량을 0, 3, 6, 9, 12%씩添加해서 다짐시험을 해서 얻은 습수비와 乾燥密度의關係를 曲線으로 表示한 것이다. 이 그림에서 시멘트 함량이 증가할수록 最適수비는 각각 증가하는 경향을 보였다. Nibon<sup>(4)</sup> (Soil: Sand 35%, Silt 49%, Clay 29%)은 Soil, Soil+3% Lime, Soil+3% Cement인 3가지에 대한 다짐시험에서 石灰와 시멘트를 첨가한 경우가 最適수비가 큰 값을 나타냈고, Chiang<sup>(5)</sup> (Soil: A-6)은 한가지 흙에 시멘트 0, 2, 4, 6%를 첨가해서 다짐시험을 한결과 시멘트

함량이 증가함에 따라 습수비가 증가했다고 발표했다. Wissa(Soil: Sand 42%, Silt 43%, Clay 15%)는 한가지 흙에 대해서 시멘트량 0, 3, 5%를 첨가해서 다짐시험한 결과 시멘트 함량이 증가함에 따라 最適수비는 증가했다고 발표했다. 内田<sup>(6)</sup>도 시멘트 함량이 많을수록 습수비는 큰경향을 나타냈다고 하였고, 시멘트량이 증가할수록 塑性限界, 現場含水當量, 遠心含水當量, 液性限界 및 收縮限界는 증가하고 收縮比와 塑性指數는 減少한다고 발표하였다. 이런현상은 시멘트가 細粒子的의 역할을 하여 空隙의 充填材로서 공극의 용적을 占하여 공극용적을 감소시키고 또한 시멘트의 水和作用에 의해서 합

Table-3 Results of Unconfined Compression Tests.

| Soil Type | Cement Content (%) | Opt. Moisture Content (%) | Max. Dry Density (kg/cm <sup>3</sup> ) | Water Content (%) | Unconfined compressive Strength |                              |                               |                               |
|-----------|--------------------|---------------------------|----------------------------------------|-------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|           |                    |                           |                                        |                   | 0 Day (kg/cm <sup>2</sup> )     | 7 Days (kg/cm <sup>2</sup> ) | 14 Days (kg/cm <sup>2</sup> ) | 28 Days (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| KY        | 0                  | 17.0                      | 1.69                                   | 11                | 0.37                            | —                            | —                             | —                             |
|           |                    |                           |                                        | 15                | 0.34                            | —                            | —                             | —                             |
|           |                    |                           |                                        | 17                | 0.30                            | —                            | —                             | —                             |
|           |                    |                           |                                        | 19                | 0.30                            | —                            | —                             | —                             |
|           |                    |                           |                                        | 21                | 0.27                            | —                            | —                             | —                             |
|           | 3                  | 17.5                      | 1.67                                   | 11.5              | 0.46                            | 1.24                         | 1.60                          | 1.79                          |
|           |                    |                           |                                        | 15.5              | 0.40                            | 1.89                         | 2.00                          | 2.20                          |
|           |                    |                           |                                        | 17.5              | 0.34                            | 2.85                         | 2.96                          | 6.06                          |
|           |                    |                           |                                        | 19.5              | 0.33                            | 2.21                         | 2.76                          | 5.65                          |
|           |                    |                           |                                        | 21.5              | 0.30                            | 2.10                         | 2.62                          | 5.40                          |
|           | 6                  | 18.2                      | 1.64                                   | 12.2              | 0.41                            | 3.58                         | 5.51                          | 6.20                          |
|           |                    |                           |                                        | 16.2              | 0.37                            | 4.41                         | 6.09                          | 8.13                          |
|           |                    |                           |                                        | 18.2              | 0.35                            | 4.96                         | 6.75                          | 8.96                          |
|           |                    |                           |                                        | 20.2              | 0.34                            | 5.79                         | 7.58                          | 9.92                          |
|           |                    |                           |                                        | 22.2              | 0.32                            | 4.96                         | 6.75                          | 8.13                          |
|           | 9                  | 19.5                      | 1.66                                   | 13.5              | 0.40                            | 3.17                         | 8.13                          | 8.96                          |
|           |                    |                           |                                        | 17.5              | 0.40                            | 6.75                         | 9.51                          | 12.54                         |
|           |                    |                           |                                        | 19.5              | 0.34                            | 6.89                         | 11.03                         | 15.71                         |
|           |                    |                           |                                        | 21.5              | 0.33                            | 8.96                         | 11.58                         | 17.92                         |
|           |                    |                           |                                        | 23.5              | 0.33                            | 8.13                         | 10.34                         | 17.09                         |
| 12        | 20.5               | 1.65                      | 14.5                                   | 0.40              | 6.62                            | 10.30                        | 11.34                         |                               |
|           |                    |                           | 18.5                                   | 0.37              | 10.20                           | 16.50                        | 17.09                         |                               |
|           |                    |                           | 20.5                                   | 0.35              | 12.82                           | 17.00                        | 17.92                         |                               |
|           |                    |                           | 22.5                                   | 0.34              | 13.51                           | 19.26                        | 22.47                         |                               |
|           |                    |                           | 24.5                                   | 0.33              | 12.13                           | 17.92                        | 20.26                         |                               |
| MH        | 0                  | 17.4                      | 1.78                                   | 11.4              | 0.92                            | —                            | —                             | —                             |
|           |                    |                           |                                        | 15.4              | 0.69                            | —                            | —                             | —                             |
|           |                    |                           |                                        | 17.4              | 0.63                            | —                            | —                             | —                             |
|           |                    |                           |                                        | 19.4              | 0.50                            | —                            | —                             | —                             |
|           |                    |                           |                                        | 21.4              | 0.47                            | —                            | —                             | —                             |
|           | 3                  | 18.0                      | 1.76                                   | 12.0              | 0.85                            | 0.88                         | 1.20                          | 1.38                          |
|           |                    |                           |                                        | 16.0              | 0.67                            | 1.13                         | 2.21                          | 3.17                          |
|           |                    |                           |                                        | 18.0              | 0.58                            | 2.07                         | 3.00                          | 3.03                          |
|           |                    |                           |                                        | 20.0              | 0.54                            | 1.79                         | 2.16                          | 2.76                          |
|           |                    |                           |                                        | 22.0              | 0.41                            | 1.50                         | 2.00                          | 2.75                          |
|           | 6                  | 18.2                      | 1.75                                   | 12.2              | 0.95                            | 2.76                         | 3.72                          | 4.96                          |
|           |                    |                           |                                        | 16.2              | 0.72                            | 5.20                         | 5.37                          | 5.79                          |
|           |                    |                           |                                        | 18.2              | 0.71                            | 6.00                         | 6.20                          | 8.96                          |
|           |                    |                           |                                        | 20.2              | 0.41                            | 7.45                         | 7.58                          | 11.16                         |
|           |                    |                           |                                        | 22.2              | 0.37                            | 5.10                         | 6.75                          | 11.00                         |

시멘트 함량 및 다짐습水比가 Soijcement의 壓縮強度에 미치는 影響에 關한 研究

|     |      |      |      |      |       |       |       |       |
|-----|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|     | 9    | 18.8 | 1.75 | 12.8 | 0.95  | 3.17  | 4.14  | 6.75  |
|     |      |      |      | 16.8 | 0.65  | 6.75  | 8.13  | 11.30 |
|     | 12   | 20.0 | 1.76 | 18.8 | 0.50  | 8.89  | 15.96 | 17.92 |
|     |      |      |      | 20.8 | 0.47  | 14.96 | 17.72 | 23.29 |
|     |      |      |      | 22.8 | 0.33  | 8.13  | 8.96  | 18.88 |
|     |      |      |      | 14.0 | 0.96  | 4.90  | 5.79  | 12.17 |
|     |      |      |      | 18.0 | 0.69  | 13.65 | 15.71 | 21.50 |
|     |      |      |      | 20.0 | 0.47  | 15.70 | 20.26 | 23.29 |
|     |      |      |      | 22.0 | 0.37  | 17.09 | 21.09 | 28.95 |
|     |      |      |      | 24.0 | 0.27  | 11.58 | 17.09 | 21.50 |
| SS  | 0    | 18.3 | 1.71 | 12.3 | 1.20  | —     | —     | —     |
|     |      |      |      | 16.3 | 1.52  | —     | —     | —     |
|     |      |      |      | 18.3 | 1.38  | —     | —     | —     |
|     |      |      |      | 20.3 | 1.02  | —     | —     | —     |
|     | 3    | 19.7 | 1.68 | 22.3 | 0.79  | —     | —     | —     |
|     |      |      |      | 13.7 | 1.17  | 1.60  | 1.65  | 1.96  |
|     |      |      |      | 17.7 | 1.61  | 2.58  | 2.96  | 3.17  |
|     |      |      |      | 19.7 | 1.34  | 4.41  | 5.51  | 6.20  |
|     | 6    | 21.0 | 1.66 | 21.7 | 0.99  | 3.10  | 3.58  | 5.79  |
|     |      |      |      | 23.7 | 0.62  | 2.10  | 2.21  | 5.40  |
|     |      |      |      | 15.0 | 1.31  | 2.76  | 4.75  | 5.38  |
|     |      |      |      | 19.0 | 1.61  | 6.20  | 8.16  | 9.92  |
| 9   | 22.0 | 1.68 | 21.0 | 1.04 | 9.92  | 15.15 | 16.13 |       |
|     |      |      | 23.0 | 1.04 | 11.16 | 16.54 | 22.30 |       |
|     |      |      | 25.0 | 0.74 | 10.34 | 12.50 | 13.51 |       |
|     |      |      | 16.0 | 1.41 | 4.69  | 9.90  | 10.34 |       |
| 12  | 22.5 | 1.69 | 20.0 | 1.64 | 8.79  | 16.54 | 21.36 |       |
|     |      |      | 22.0 | 1.24 | 17.92 | 27.57 | 35.40 |       |
|     |      |      | 24.0 | 0.74 | 21.09 | 31.01 | 33.87 |       |
|     |      |      | 26.0 | 0.69 | 18.00 | 18.88 | 27.98 |       |
|     |      |      |      | 16.5 | 1.43  | 5.24  | 12.54 | 13.51 |
|     |      |      |      | 20.5 | 1.59  | 14.67 | 22.30 | 24.53 |
|     |      |      |      | 22.5 | 1.34  | 19.92 | 35.40 | 44.12 |
|     |      |      |      | 24.5 | 0.79  | 25.26 | 38.87 | 48.67 |
|     |      |      |      | 26.5 | 0.61  | 19.29 | 20.26 | 37.63 |
|     |      |      |      | 13.0 | 2.52  | —     | —     | —     |
|     |      |      |      | 17.0 | 2.82  | —     | —     | —     |
|     |      |      |      | 19.0 | 2.15  | —     | —     | —     |
| J J | 0    | 19.0 | 1.75 | 21.0 | 1.61  | —     | —     | —     |
|     |      |      |      | 23.0 | 0.99  | —     | —     | —     |
|     |      |      |      | 13.5 | 2.00  | 2.21  | 2.38  | 3.17  |
|     |      |      |      | 17.5 | 2.82  | 4.27  | 4.29  | 5.65  |
|     | 3    | 19.5 | 1.74 | 19.5 | 2.48  | 4.14  | 4.58  | 5.40  |
|     |      |      |      | 21.5 | 1.89  | 2.30  | 2.31  | 2.79  |
|     |      |      |      | 23.5 | 1.13  | 1.10  | 1.30  | 1.38  |

|      |    |      |      |      |       |       |       |       |
|------|----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| J J  | 6  | 19.7 | 1.73 | 13.7 | 2.62  | 2.85  | 4.00  | 4.14  |
|      |    |      |      | 17.7 | 2.67  | 4.82  | 8.13  | 10.34 |
|      |    |      |      | 19.7 | 2.58  | 6.20  | 8.96  | 12.54 |
|      |    |      |      | 21.7 | 1.79  | 8.96  | 10.10 | 13.51 |
|      |    |      |      | 23.7 | 1.02  | 4.20  | 4.72  | 4.85  |
|      | 9  | 20.5 | 1.75 | 14.5 | 2.50  | 4.82  | 5.37  | 8.96  |
|      |    |      |      | 18.5 | 2.79  | 10.34 | 15.09 | 19.30 |
|      |    |      |      | 20.5 | 2.52  | 16.40 | 17.92 | 23.30 |
|      |    |      |      | 22.5 | 1.85  | 17.50 | 20.26 | 27.60 |
|      | 12 | 21.8 | 1.75 | 24.5 | 0.79  | 11.16 | 13.78 | 20.26 |
|      |    |      |      | 15.8 | 2.34  | 5.79  | 15.71 | 16.13 |
|      |    |      |      | 19.8 | 2.96  | 16.26 | 17.92 | 24.12 |
| 21.8 |    |      |      | 2.52 | 17.92 | 21.60 | 30.60 |       |
| 23.8 |    |      |      | 1.89 | 21.50 | 22.30 | 33.08 |       |
|      |    |      | 25.8 | 0.83 | 12.40 | 15.16 | 21.09 |       |

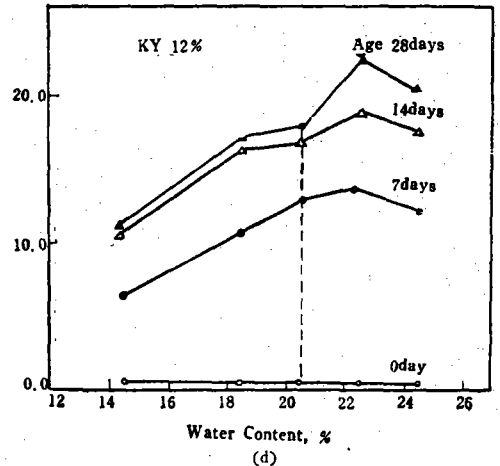
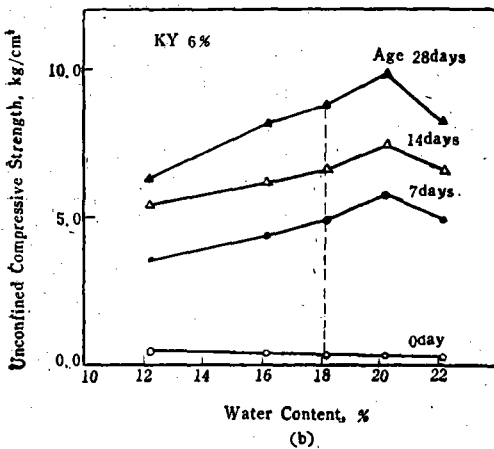
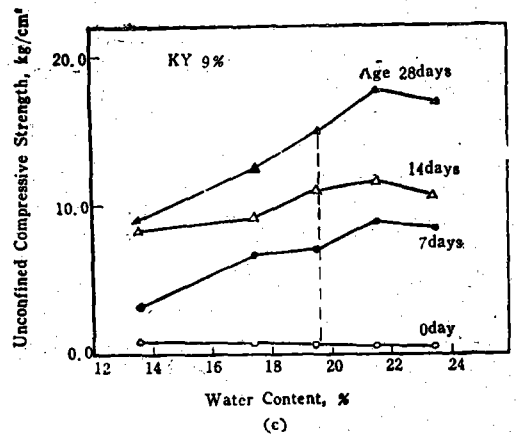
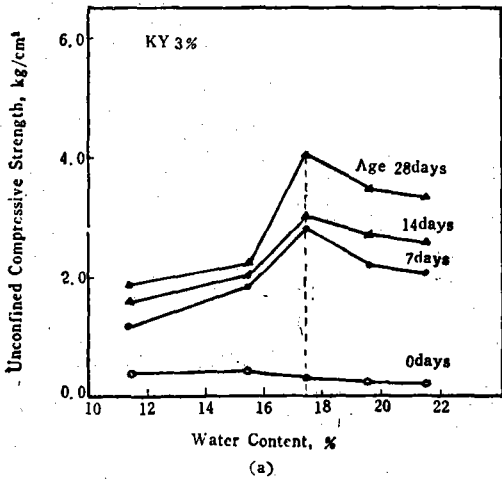


Fig. 4. Effect of Molding water Content and Cement content on Unconfined Compressive Strength of Soil(KY).

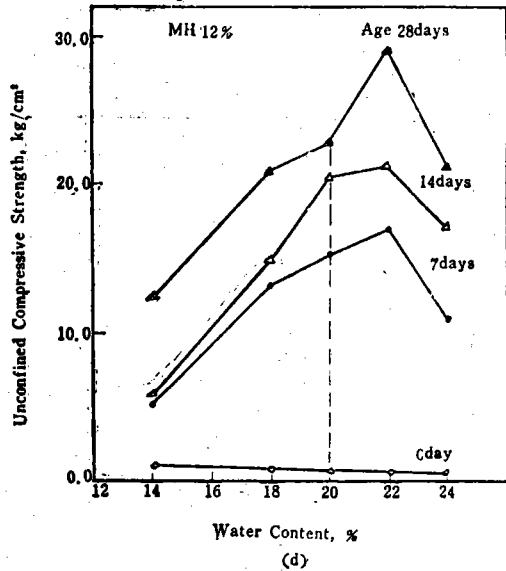
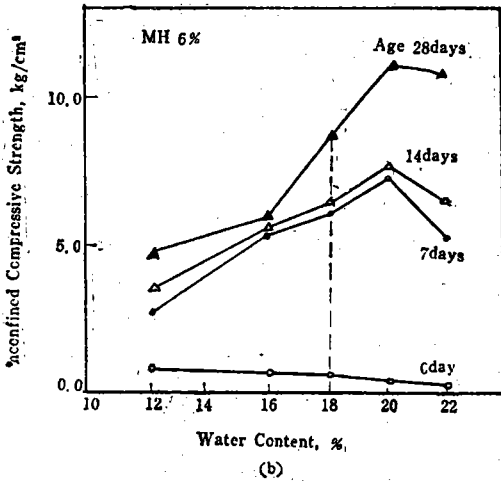
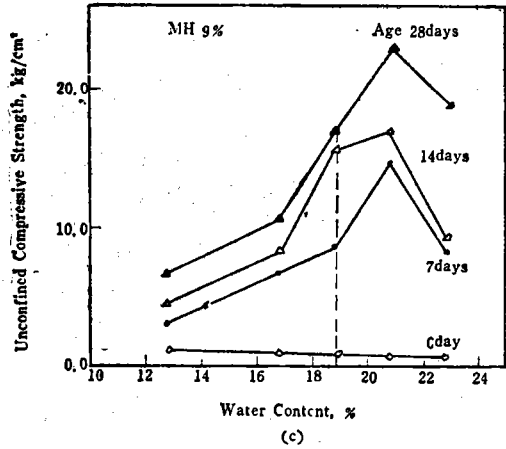
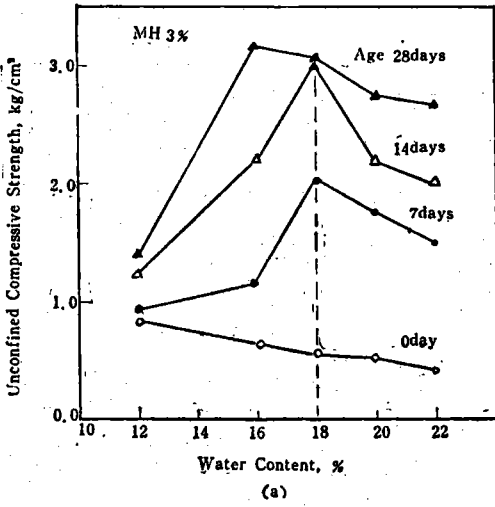


Fig. 5. Effect of Molding Water Content and Cement Content on Unconfined Compressive Strength of Soil(MH).

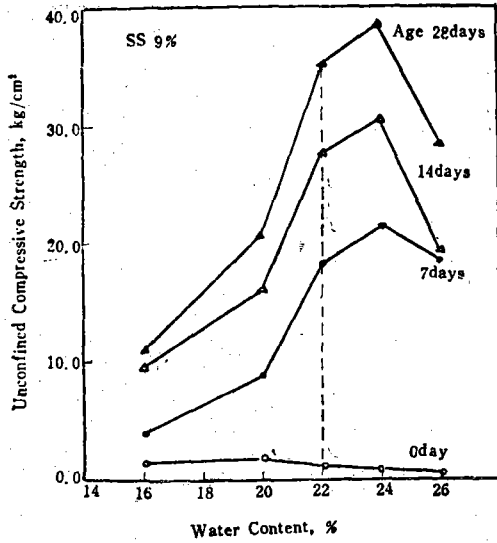
수비가 증가되는 것으로 생각되며 Ingles<sup>37)</sup>는 시멘트의 수와작용에 필요한 함수량은 4%보다 약간 적다고 발표했다. 본연구에서 최대건조밀도는 시멘트량의 증가에 따라서 일정한 增減現象이 나타나지 않았다. Chin<sup>3)</sup> (Soil(A):A-2-4(O) loamy sand, Soil(B): A-6(7) loam)은 두종류의 흙에 시멘트량을 4, 6, 10%씩 각각 넣어서 다짐시험을 한결과 최적함수비 및 최대건조밀도는 시멘트의 증가에 영향이 없다고 발표했다. Wissa<sup>38)</sup>와 Nibon<sup>42)</sup>도 건조밀도와 시멘트량과의 일정한 경향을 찾지 못했다. 흙에 있어서 최적함수비와 최대건조밀도와의 관계는 최적함수비가 증가함에 따라 최대건조밀도는 감소

하는 경향을 보인데 반해<sup>39) 40) 42)</sup> 본연구에서는 흙의 경우와 같은 경향이 나타나지 않았다. 또한 그림에서 시멘트 함량이 많을수록 曲線은 완만하고 작을수록 예민함을 알 수 있다. 이런현상은 시멘트가 粘土粒子和 같은 역할을 하므로서 시멘트 함량이 증가하면 최적함수비는 증가하고 건조밀도-함수비곡선은 완만한 곡선을 나타내는 것으로 생각된다.

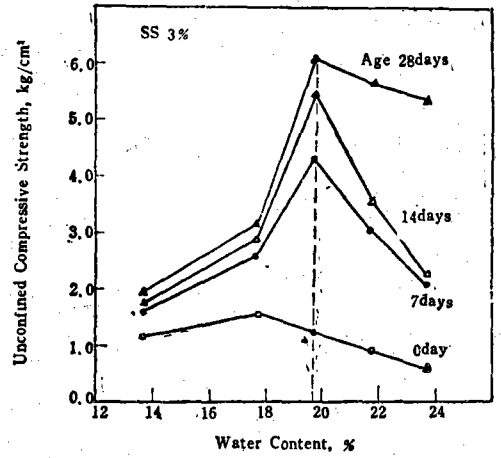
## 2. 다짐습수비가 壓縮強度에 미치는 影響

各土質別, 시멘트 함량 및 습수비 增加에 따른 양생기일 (7, 14, 28日) 별 壓縮強度試驗結果를 要約하면 Table-3과 같다.

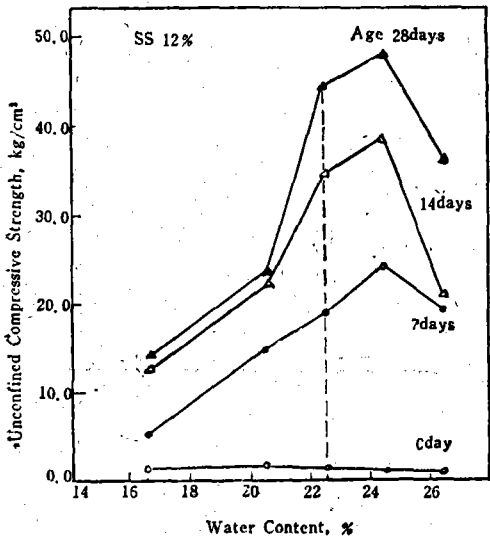




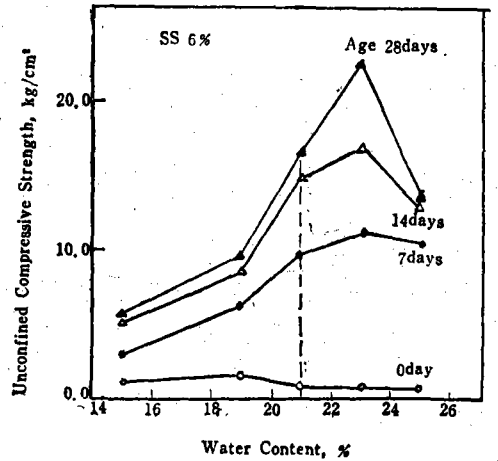
(a)



(c)



(b)



(d)

Fig. 6. Effect of Molding water Content and Cement Content on Unconfined Compressive Strength of Soil (SS).

다짐에 의하여 흙의 건조밀도가 증가하면 점착력과 내부마찰각이 증대하고 전단강도도 증대한다. Fig. 3에서 나타난 결과는 최적함수비에서 壓縮強度가 최대로 되지 않고 최적함수비 보다 건조측에서 압축강도가 최대로 되었다. 모래의 함량이 많은 MH, KY는 습수비가 적을때 최대강도가 나타났고 점토량이 많은 SS, JJ는 최적함수비 보다 약간 건조측에서 최대강도가 나타났으며 시멘트 함량의 변화에 따른 강

도변화는 거의 나타나지 않았다. Krizek<sup>33)</sup>, Lambe<sup>34)</sup>, Pagen<sup>40)</sup>, 姜<sup>39)</sup> 등은 흙의 다짐시험에서 최적함수비 보다 건조측에서 압축강도가 최대로 된다고 발표했다. Fig. 4~7은 습수비의 변화에 따른 壓縮強度를 나타낸 것으로 시멘트 3%이고 양생기일이 7일, 14일, 28일인 경우 KY, MH, SS, JJ가 최적함수비의 건조측 또는 최적함수비에서 최대압축강도가 나타났으며 KY, MH, SS, JJ 모두가 시멘트

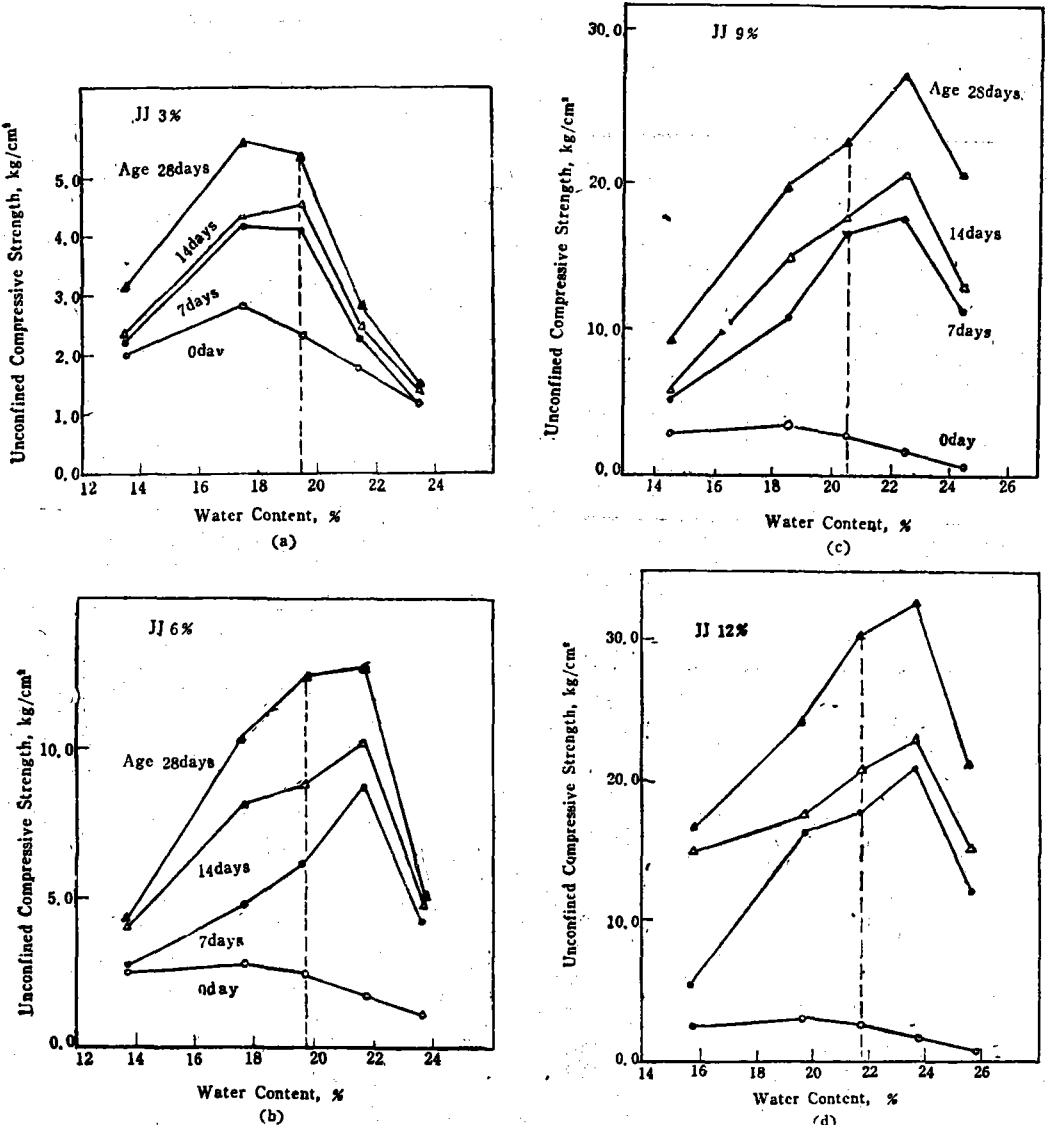


Fig. 7. Effect of Molding water Content and Cement Content on Unconfined Compressive Strength of Soil (JJ).

6, 9, 2%인 경우는 최적함수비를 지나 습윤측에서 모두 최대압축강도가 나타났다. 이결과 시멘트 3% 첨가시는 영향이 적었으나 6%부터는 영향이 크게 나타난 것으로 생각되며 또한 최적함수비 보다 큰 함수비의 경우가 최적함수비 보다 작은 함수비의 경우보다 압축강도는 큰 경향을 보였다. Davidson<sup>13)</sup>, Felt<sup>14)</sup> 등은 시멘트를 8, 12, 16%씩 첨가한 경우 사질흙과 실트질 흙에서는 최적함수비 보다 약간 건조측에서 점토질흙에서는 습윤측에서 강도가 최대로 나타났다고 발표하였다. Newill<sup>15)</sup>은 물 시멘트 비는 Sol Cement의 강도에 큰 영향을 미친다고 발

표했다. 이상의 결과에서 Soil Cement에 있어서 함수비는 강도에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있으며 시멘트량이 3%를 넘을 경우는 최적함수비 보다 습윤측에서 강도가 최대로 되며 이는 시멘트의 수비로 인하여 양생기일에 따라수분이 더욱 필요해지는 것으로 생각된다. 따라서 본연구에서 사용한 KY, MH, SS, JJ의 흙에 있어서 시멘트 3%첨가시 물 제외하고는 최대강도를 나타내기 위해서는 최적함수비 보다 습수량은 2% 더 증가시키는 것이 효과의이라고 생각되며 여기서 Soil Cement의 한 특성을 발견 할 수 있다.

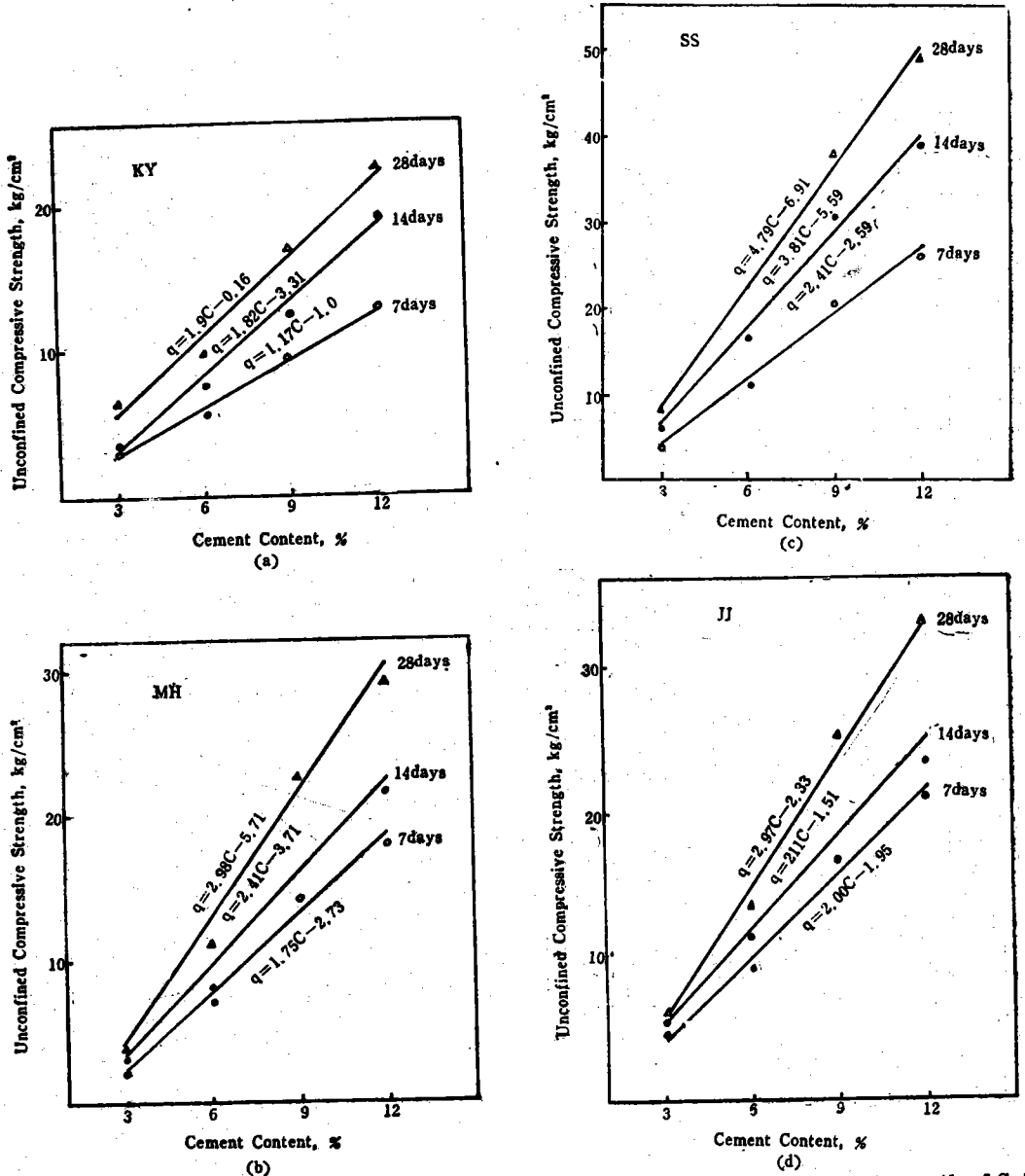


Fig. 8. Relationships between Cement Content and Unconfined Compressive Strength of Soil Cement.

### 3. 시멘트 함유 및 養生期日이 壓縮強度에 미치는 影響

흙에 少量의 시멘트를 添加하므로써 흙만이 낼 수 있는 강도의 數 10배의 강도를 내어 흙의 안정처리에 큰 效果를 나타내는 것으로 생각된다. Catton<sup>4)</sup>, Chadda<sup>5)</sup> 등은 흙에 시멘트를 첨가하면 시멘트의 水和作用으로 시멘트-흙粒子的 相互이온교환작용에

의해서 Soil Cement는 단단해진다고 발표했으며 Herzoy<sup>6)</sup>는 흙과 시멘트사이에서 일어나는 現象에 관한 究明에서 土粒子和 시멘트의 水和作用으로 생기는 物質사이에서 Cementation으로 因하여 硬化된다고 하였다. Fig. 8은 시멘트 함량과 압축강도와의 關係를 나타낸 것으로 KY, MH, SS, JJ모두가 시멘트 함량의 증가에 따라 강도가 증가하는 경향을 보였다. 시멘트를 첨가하지 않고 즉시 파괴한 경우

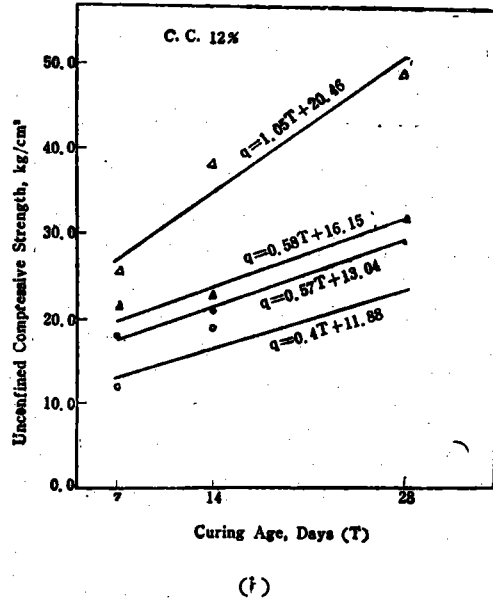
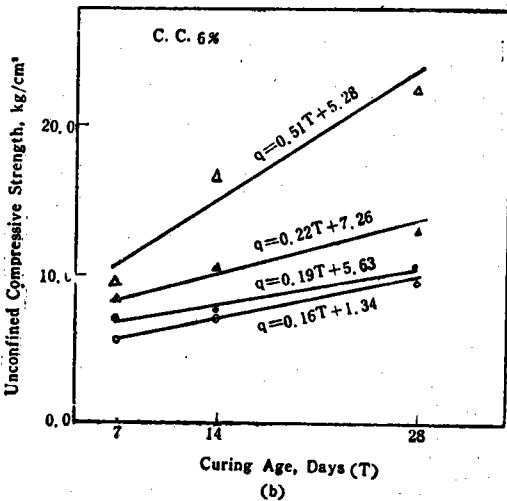
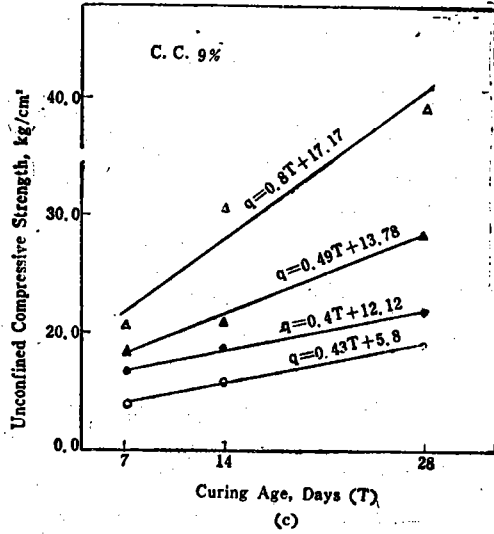
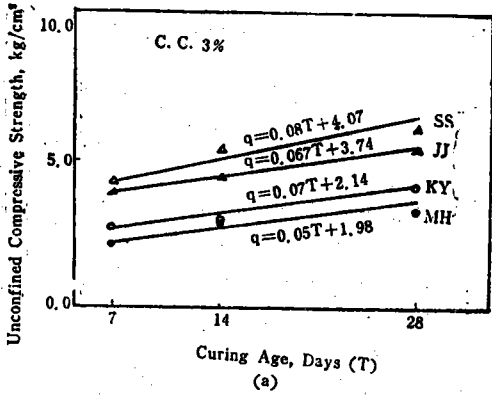


Fig. 9. Relationships between Curing Period and Unconfined Compressive Strength of Soil Cement.

0.1~3kg/cm<sup>2</sup>의 강도밖에 내지 못하는에 비해 시멘트 12%, 28일양생시 KY 22.47kg/cm<sup>2</sup>, MH는 28.95kg/cm<sup>2</sup>, SS는 48.67kg/cm<sup>2</sup>, JJ는 33.08kg/cm<sup>2</sup>의 높은강도를 내었다. 英國, 美國에서는 Soil Cement를 도로의 基層에 使用할 경우 7日養生에 300PSI를 要求하고 있으므로 本研究에서 使用한 시료중 SS는 9%, JJ는 12%만이 해당되고 MH KY는 강도가 弱하여 다른 첨가제 사용이 요구된다. 그러나 Soil Cement에서 시멘트 함량이 10%를 넘으면

不經濟的이라고 생각되며 單價가 시멘트 보다 낮은 石灰를 混合해서 使用하는 것이 有利할 것으로 생각된다. 都淳<sup>11)</sup>은 흙의 안정처리에 있어서 시멘트량이 8~14%, Maclean<sup>12)</sup>은 점토에 시멘트 10%를 첨가하여 充分한 강도를 얻을 수 있었다고 하였고 松尾<sup>13)</sup>은 Sirusu라는 不良한 일종의 火山灰를 안정처리의 대상으로 삼아 시험한 결과 路面에 대해서는 厚 8cm정도에 시멘트 10%정도를 사용하면 적당하다고 발표하였다.

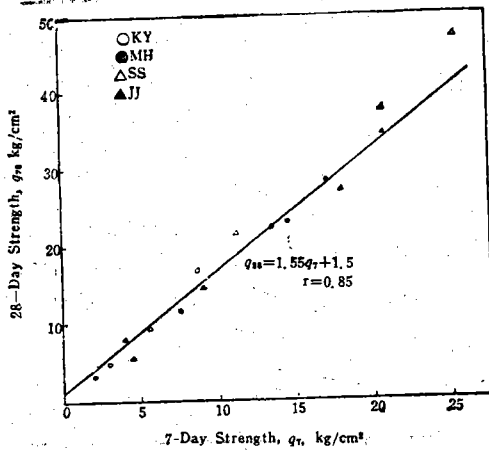


Fig. 10. Relationship between 7-Day and 28-Day Strengths for Soil-Cement Mixtures.

Fig. 9는 養生期日에 따른 시멘트 含量別 壓縮強度를 나타낸 것으로 시멘트 3%의 경우는 SS, JJ, KY, MH가 비슷한 강도를 내었으며 강도面에서 약간의 증가를 보였지만 시멘트 6, 9, 12%의 경우는 양생기일이 증가함에 따라 큰 강도의 증진을 보였다. 시멘트, 6, 9, 12%의 경우 강도의 증가비율은 MH, KY, JJ 등에 비해서 SS가 현저한 증가 경향을 보였으며 토질별 강도는 SS가 제일 높았고, JJ, MH, KY의 순으로 나타났다. 이러한 현상은 粒度分布에 영향이 있는 것으로 생각되며 Table-1에서 Cu(均等係數)가 제일 큰 SS(Cu=36.7)가 강도가 제일 높았고, 다음이 JJ(Cu=18.3)이고 MH(Cu=13.2), KY(Cu=13.0)의 순이다. 즉 입도의 분포가 고물수록 Soil Cement에서는 강도가 높다는 것을 알 수 있다. Croft<sup>10)</sup>는 토질의 안정처리과정에서 흙의 粒度組成이 무엇보다도 重要하다고 강조했다. Table-1에서 No. 200체 통과량은 SS는 36.7%, JJ는 65%, KY는 17%, MH는 16%로서 No 200체 통과량이 36.7%에서 강도는 최대로 되었음을 알 수 있다. 따라서 No 200체 통과량도 균등계수와 함께 강도에 영향을 미치는 것으로 생각된다. Fig. 10은 KY, MH, SS, JJ에 대한 7일 壓縮強度와 28일 壓縮強度와의 關係를 나타낸 것으로서  $r=0.85$ 의 높은 相關係數를 나타내고  $q_{28}=1.55q_7+1.5$ 의 關係式이 성립됨을 알 수 있으며 이식을 使用하여 7일強度를 알면 28일強度를 推定할 수 있는 것으로 생각된다. Yamanouchi<sup>11)</sup>, 西村<sup>12)</sup> 등은 Soil Cement로 안정처리를 하였을 때 최소한 7日間の 양생기일이 요구된

다고 하였고 Soil Cement 工法の 難點을 이 경우를 들어 설명하였다. 또, 도로건설 促進을 위하여 7日間の 양생을 하지 않고 시멘트 처리후 곧 交通에 開放하는 것이 경우에 따라 가능할 것이라는 것을 발표하므로써 앞으로 實際工事に 適用될 줄로 생각된다. Soil Cement에서 문제가 되는 것은 균열로서 George<sup>13)</sup>는 균열이 처음에는 路盤에서 시작되어 이것이 Soil Cement基層에 전달되어 균열이 확대된다고 하였으며 따라서 노반의 다짐이 중요시 된다. Wang<sup>14)</sup>, Bhandari<sup>15)</sup>는 균열의 방지를 위해서 함수비의 조절이 필요하다고 하였는데 양생기일이 증가함에 따라 水分量이 減少되어 균열은 커진다고 하였다. 또한 力學的인 面에서는 어느정도 강도를 확실히 기대할 수 있으나 강도가 너무 강하므로써 생기는 균열의 幅이 커지므로 강도가 너무 강해도 이상적인 시공이 되지 못할 것으로 생각된다.

### V. 結 論

Soil Cement에 있어서 함수비가 壓縮強度에 미치는 영향에 관한 연구를 目的으로 4種類의 흙(KY: Sand, MH:Sand, SS: Sandy loam, JJ: loam)과 시멘트(혼합량 3, 6, 9, 12%)를 使用해서 含水比에 따른 壓縮強度試驗을 한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 시멘트 含量이 增加할수록 最適含水比는 增加하였으며, 最大乾燥密度는 一定한 增減現狀이 나타나지 않았다.
2. 最大壓縮強度를 나타내는 含水比는 시멘트 含量이 增加할수록 最適함수비보다 增加하는 傾向이 나타났고 또, 含水比-乾燥密度曲線은 시멘트 含量이 클수록 완만하고 작을수록 예민한곡선이 나타났다.
3. 最適含水比에 가까운 含水比로서 供試體를 製作할 경우 壓縮強度는 最適含水比의 濕潤側이 乾燥側보다 큰값을 나타냈다.
4. 300PSI의 強度를 要求하는 道路의 基層에 使用하기 위해서는 SS, JJ만이 適合하고 MH, KY는 不適合하다.
5. 一般的으로 Soil Cement의 壓縮強度는, 흙의 粒立配合이 良好한 흙일수록 높은 強度를 나타냈다.
6. KY, MH, SS, JJ의 28日 強度와 7日 強度와의 사이에는  $q_{28}=1.55q_7+1.5$ 의 式으로 表示되는 直線關係가 나타났다.

式에서  $q_{28}$ =28일 壓縮強度  
 $q_7$ =7일 壓縮強度

參 考 文 獻

1. 赤井浩一 1957. 土の粒度配合による締固め特性の變化土と基礎 5(5): 19~22.
2. Bhandari, R. K. M. 1973. An Investigation into the Drying Shrinkage of Cement Treated Mixtures. Indian Geotechn., J. 3(1) : 26~37.
3. Brawner, C.O. 1967. Slope Stabilization with Soil Cement. The B.C. Professional Engineer. June:21~26.
4. Catton, M.D. 1940. Research on the Physical Relations of Soil & Soil Cement Mixtures. H.R.B. Proc. 23 : 821~855.
5. Chadda, L.R. 1970. Phenomenon of Aggregation in the Stabilization of Soils with Cement. Indian Concr. J. 44(5) : 210~212.
6. Chiang, Y. C. & Y. S. Chae. 1972. Dynamic Properties of Cement Treated Soils. H. R. R. 379 : 39~51.
7. Chin Fung Kee & Lee Kim Tak. 1971. Some Effects of Sugar as a Retarder in Soil Cement Stabilization. Proc. 4th Asian Reg. Conf. SM & FE, Engng Bangkok, 1 : 361~365.
8. Circeo, L.J. 1963. Abbreviated Freeze-Thaw Test Procedures for Soil Cement Mixtures. Iowa State Univ. of Science & Technology, 1~8.
9. \_\_\_\_\_, Davidson, D.T. & H.T. 1962. Strength-Maturity Relations of Soil Cement Mixtures. H.R.B.Bull. 353 : 84~96.
10. Croft, J. B. 1966. The Cementitious Stabilization of Soils from Red-brown Earth & Back Soil Profiles in New South Wales. A.R.R.B. Proc. 3(2) : 1529~1557.
11. 都淳一. 1955. 土安の定處理法. 土と基礎3(11) 2~3.
12. Davidson, D.T. & B.W. Bruns. 1960. Comparison of Type I & Type II Portland Cements for Soil Stabilization. H.R.B. Bull. 267 : 33.
13. \_\_\_\_\_, L. George, Pitore, Manuel Mateos. 1962. Moisture-Density, Moisture-Strength & Compaction Characteristics of Cement Treated Soil Mixtures. H.R.B. Bull. 353 : 42~63.
14. Dumbleton, M.J. & N. F. Ross. 1960. Effect of Temp. on the Grain in Strength of Soil Stabilized with Hydrated Lime & with Portland Cement. Ind. Res., Great Britain : 4.
15. Dutron, M.M. & P.R. Cloes. 1961. The Influence of Moisture Content & Compaction on the Strength of Soil Cement. Proc. of the 5th Int. Conf. on SM & FE. Eng., 2 : 227~234.
16. Engineering News Record. 1961. Soil Cement for Dam facing. Engineering News Record, Apr. 6 : 24.
17. Felt, E.J. 1955. Factors Influencing Some of the Physical Properties of Soil Cement Mixtures. H. R. B. Bull. 108 : 138~162. quoted by H.R.B. Bull. 353 : 42.
18. Filosov, A.V. 1931. Effect of Portland Cement on Properties of Clays. J. Appl. Chem., 4 : 773~776. quoted by H.R.B. Bull. 30 : 42.
19. George, K.P. 1963. Base Course Mix Design Criteria for Cement-Treated Loess. Iowa State Univ. of Science & Technology, : 1~2.
20. \_\_\_\_\_ 1973. Mechanism of Shrinkage Cracking of Soil Cement Bases. H.R.R. 442 : 1~10.
21. George R. Lightsey, Ara Arman & Clay-ton D. Callihan. 1970. Changes in the Characteristics of Cement-Stabilized Soils by Addition of Excess Compaction Moisture. H.R.R. 315 : 36~45.
22. Gray, Z.W. 1969. At Glen Elder Dam Improved Soil Cement Placement Procedure Used. Civ. Engng, ASCE 39(5) : 36~39.
23. Haffen, M. 1970. Underground Structures in low-cohesion granular Soils Injection Treatment Prior to Sealing & Stabilization. Bergbauwiss. 17(8) : 290~294.
24. Handy, R.L. 1958. Cementation of Soil Minerals with Portland Cement or Alkalis. H.R. B. Bull. 198.

25. Herzog, A. & J.K. Mitchell. 1963. Reaction Accompanying Stabilization of Clay with Cement. H.R.R. 36 : 146~150.
26. Holtz, W. G. & F. C. Walker. 1962. Soil Cement as Slope Protection for Earth Dams. ASCE Journal of the SM & FE, Proc. 3361 : 107~134.
27. Ingles, O.G. & S. Frydman. 1966. The Effect of Cement & Lime on the Strength of Some Soil Minerals & Its Relevance to the Stabilization of Australian Soils. A.R.R.B. Conf. Proc. 3(2) : 1506.
28. Jack, E.L. 1965. A Study of Cement-Clay Interaction. Univ. of Cali., Berkely, Engineering, Civil, 12, 272~273.
29. 全夢角. 1965. Soil Cement 安定處理에 관한 研究報告. 大韓土木學會誌 13(2) : 16~18.
30. 姜义默. 1971. 흙의 粒度分布가 다짐 효과와 壓縮強度 및 透水係數에 주는 影響에 관한 研究. 忠大 大 究 研究報告書, 第1輯 : 7~45.
1. Koller, E.R. & P.J. Nussbaum. 1970. Developing Technology in Soil Cement for Dams. Trans. 10th Int. Congr. Large Dams, Montreal, 5 : 541~564.
32. Krizek, R.J. & R.L. Kondnor. 1964. Strength Consistency Indices for a Cohesive Soil. H.R. R. 48.
33. Lambe, T.W. 1958. The Engineering Behavior of Compacted Clay. Journal of the SM & FE Proc. of the ASCE 84(SM2) 1655.
34. \_\_\_\_\_. 1960. A Mechanistic Picture of Shear Strength in Clay. Research Conf. on Shear Strength of Cohesive Soils, ASCE: 555~580.
35. Leadabrand, M.J.A. 1961. Bonny Dam Experimental Project. Proc. 5th Int. Conf. 3 : 363~364.
36. Lightsey, G.R., A. Arman. & C.D. Callihan. 1970. Changes in the Characteristics of Cement Stabilized Soils by Addition of Excess Compaction Moisture. H.R.R. 315 : 36~45.
37. Maclean, D.J. & K.E. Cleare. 1953. Investigation of Some Problems in Soils Stabilization. H.R. Abs. 23 : 6. quoted by H.R.B. Bibil. 30 : 46.
38. 松尾春雄, 水野高明, 内田一郎, 山内豊聰, 1953. シラス道路安定に關する現場實驗. 土と基礎 1 (3) : 4~8.
39. Minkov, M. & D. Elastiev. 1970. Lining of Balance Reservoirs with Soil Cement. Proc. I Int. Congr. Int. Assoc. Engng Geol. Paris I : 636~642.
40. Moh, Z.C., Y.P. Chin. & S.C. Ng. 1967. Cement Stabilization of Lateritic Soils. Proc. 3rd Asian Reg. Conf. on SM & FE. Haifa: 42~46.
41. Moriarty, J.P. 1971. A New Model to describe Stabilized Soil Behaviour. Proc. 4th Asian Reg. Conf. SM & FE, Bangkok, July 1 : 385~390.
42. 森満雄. 1962. 土の最大乾密度と最適含水比にワイラ土と基礎. 10(9) : 12~16.
43. 内田一郎, 松本鍊三. 1956. セメント及び石灰による土質の改良土と基礎4(2) : 4~9.
44. Nash, J.K.T.L., F.M. Jardine. & J.D. Humphreys. 1965. The Economic & Physical Feasibility of Soil Cement Dam. Proc. 6th Int. Conf. on SM & FE, Engng., Montreal, VII: 517~521.
45. Newill, D. 1968. An Investigation of Coastal Sands Used in Two Cement Stabilization Projects in west Malaysia. A. R. R.B. Proc. 4(2) : 1274~1283.
46. 西村十一, 成富秀雄, 1963. 島原道路のニールセメント工法について. 土と基礎 9(5) : 5~19.
47. Nibon Ranand & Pravitra Pussavanavin. 1971. Sandy Silt Stabilization by Using Emulsion with Lime or Cement. Proc. 4th Asian Reg. Conf. SM & FE, Bangkok, July, 1 : 397~402.
48. Norling, L. T. 1963. Standard Laboratory Tests for Soil Cement Development, purpose & History of Use. H.R.R. 36 : 1~5.
49. Pagen, C. A. & B. N. Tagannath. 1967. Evaluation of Soil Compaction by Rheological Techniques. H.R.R. 177 : 22~43.
50. Parsons, R.R. & G.P. McNamara. 1964. The Use of Cement Bound Base-Course in the Auckland Area. A.R.R.B. Conf. Proc. 2(2) : 1271~1294.

51. Ruppel, G. 1970. Technique of Injections in Soil. Bergbauwiss, 17(8) : 285~290.
52. Sherard, J.L. 1969. Mixing in Place Soil & Portland Cement. Proc. ASCE, J. Soil Mech. Found. Div. 95(SM6) : 1357~1363.
53. Sussex, U. K. 1971. River Embankment Protection New Method Used on River Arun. Civ. Engng. London 66(775):198.
54. Wang, M.C., K. Moulthrop & V.A. Naccl. 1972. Performance of Soil-Cement Test Pavement in Rhode Island(USA). H. R.R. 379 52~61.
55. Wissa, A.E.Z., C.C. Ladd & T.W. Lambe. 1965. Effective Stress Strength Parameter of Stabilized Soils. Proc. 6th Int. Conf. SM& FE, Montreal, I : 412~416.
56. Yamanouch, T. & M. Isido. 1963. Laboratory on In-Situ Experiments on the Problem of Immediate Opening of Soil-Cement Base to General Traffic. 4th Australia-Newzealand Conf. : 111~114.
57. Zwol, B., F.A. Sluis. 1969. Soil Cement Dumping Stone in Closing Tidal Inlets. Proc. VII Int. Conf. SM & FE, Mexico-city, 2 : 397~403.