

# 化學藥液에 의한 表層混合工法에 관한 研究

A Study on Surface Mixing Method by Chemical Stabilizer

秦 柄 益\*

Jin, Byung Ik

柳 在 逸\*\*

Yoo, Jae Il

---

## ABSTRACT

This paper is studied about the character of mixed soil which is applied lime and water-glass series.

The effectiveness of mixing such as cut-off effect and shear strength increasement of the chemically treated soils are investigated.

For the main purpose of this study is to develop economical and practical method in chemical mixing method.

The principal contents are described as follow.

- (1) Lime and water-glass series are used as chemical stabilizer and secondary additives in this experiment.
- (2) This study was analyzed and compared with engineering properties by the quantity of additives and by the character of chemical stabilizer.
- (3) And the effects of improvement in those treated soils are investigated as below; the increasement of shear strength, cut-off effect and consolidation character.

## 要 旨

本 研究는 石灰系 및 물유리系 藥液을 사용하여 對象土의 土性變化에 따른 混合固結土의 遮水效果 및 剪斷強度增大 등 藥液混合效果에 대해 究明한 것으로, 經濟적이고 合理的인 工法을 開發發展시키는 데 主目的을 두었다. 주요 研究內容은 다음과 같다.

- (1) 사용된 化學藥液으로는 石灰系 및 물유리系 그리고 2次添加材를 사용하여 混合固結土에 대한 諸實驗을 하고,
- (2) 化學藥液의 종류 및 混合量에 따른 混合固結土의 工學的 特性을 比較·檢討하였으며,
- (3) 混合固結土의 強度增大, 遮水效果, 壓密特性 등 工學的 特性에 의한 改良效果를 究明하였다.

---

\* 正會員·漢陽大學校 工科大學 教授

\*\* 正會員·漢陽大學校 工科大學 助教

## 1. 序 論

최근 國內에서도 化學藥液에 의한 地盤處理工法이 차차 활용되기 시작하면서 그 관심과 중요성이 인식되고 있다.

西海岸干拓·埋立, 道路工事 등 國土開發事業이 활발히 進行되고 있는데, 이에 軟弱地盤의 處理가 難題로 台頭되고 있음에 本工法의 채택 및 활용·개발이 점차 확대되어 가고 있다.

이러한 工法은 國土面積의 확장을 위한 埋立과 干拓事業, 道路·鐵道·地下鐵·Dam·Tunnel 工事 등 그리고 軟弱地盤上에 構造物을 築造하고자 할 때 地盤을 化學藥液과 混合 固結시켜 地盤의 強度增大 및 遮水效果를 높임으로서 漏水·湧水의 防止, 敷地의 早期사용 등에 利用하여 경제적이고 안전·신속하게 工사를 수행할 수 있도록하는 地盤土의 安定化工法이다.

化學藥液에 의한 地盤處理工法에는 藥液注入工法과 藥液混合工法으로 大別되며, 藥液混合工法은 深層混合工法<sup>1), 2)</sup>과 表層混合工法<sup>3), 4)</sup>으로 區分된다.

本研究에서는 적용대상공법 중 表層混合工法을 중심으로 化學藥液 가운데 石灰系와 물유리系 藥液에 의한 混合固結土의 強度增大, 遮水效果 및 壓密特性 등에 대한 工學的 特性을 究明한 것이다.

## 2. 固結化 機構

### 2.1 石灰系

石灰安定處理工法은 石灰의 變性 및 石灰混合土의 固結反應을 利用하여 軟弱地盤을 安定시키는 工法으로 固結化機構의 原理는 短期的으로는 物理的 要因의 物性改良效果와 長期的으로는 化學的 要因인 포조란反應效果 등의 組合作用에 근거를 둔 것이다.

#### 2.1.1 石灰의 短期效果

生石灰가 土中の 물과 水和反應을 하여 消石灰로 變환되는 과정에서 發熱作用과 함께 2배정도 體積이 팽창되며, 또 消石灰는 空隙水에 의하여 칼슘이온(Ca<sup>++</sup>)을 遊離하는 Ion化反應을

한다.

이러한 作用에 의한 「短期的인 處理效果는 生石灰의 消化·吸水·팽창作用, 土粒子凝集, 團粒化作用, 다짐特性的 改良 및 支持力의 增加效果로 나타난다.

#### 2.1.2 石灰의 長期效果

對象土 中の 粘土鑛物은 混合土에서 加水分解反應에 의해 電離되는데 이 電離現象으로 발생되는 Ion은 陰이온으로 帶電되어 石灰의 水和反應으로 인한 陽이온의 칼슘이온(Ca<sup>++</sup>)과 荷電置換反應을 하여 石灰水和物(CSH, CAH 등)을 生成하게 된다. 즉, Ion化反應에 의해 遊離된 OH<sup>-</sup>은 土粒子表面에 SiO<sub>2</sub> 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등을 溶出시켜서 계속 포조란反應을 일으키며, 石灰固結化의 主要因이 된다.

## 2.2 물유리系

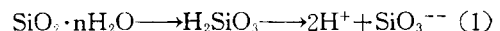
### 2.2.1 물유리系溶液型藥液

물유리의 固結化는 일반적으로 다음과 같은 2 단계로 이루어진다.<sup>5)</sup> 제 1 단계에서는 물유리용액이 重合하여 Colloid 粒자를 形成하고, 제 2 단계에서는 이 粒자들이 서로 集合·結合現象을 일으켜 덩어리를 만들어 물이 溶媒作用을 야기하므로서 固結化에 이르게 된다.

즉, 제 1 단계에서 물유리는 Sinanole 基(SiOH)가 脫水되어 重合하고, Sirokian Bond[—Si—O—Si—]를 만들어서 粒狀의 1次粒子로 成長하게 된다. 다음에 이들 1次粒子사이에 集合·結合作用이 거듭되어 Colloid 集合體를 形成한다. 이 集合體인 흙덩어리가 점점 그 범위를 넓혀 粒子서로가 堅固하게 結合·接着되어 3次元의 網狀의 固結體를 形成하기에 이른다.

### 2.2.2 물유리系懸濁液型藥液

물유리와 시멘트의 固結化機構는 일반적으로 式(1)과 같이 硅酸이온(SiO<sub>3</sub><sup>--</sup>)은 (-)로 荷電되어 있으므로, 물유리의 表面의 일부가 解離되어 규산이온과 水素(H<sup>+</sup>)로 分해되며, 수소이온은 가볍기 때문에 물유리의 표면을 덮게 되어 전체가 (-)로 荷電하고 있다.



한편 시멘트를 水中에 懸濁시킬 경우, 시멘트의 水和로 인하여 生成된 칼슘이온(SiO<sub>3</sub><sup>--</sup>)은

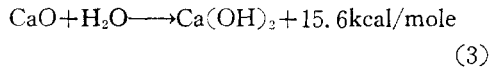
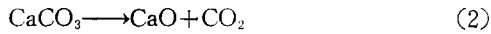
(+)로 荷電된다. 따라서 (+)에 荷電된 시멘트 현탁액과 (-)에 하전된 물유리용액을 혼합하면 放電되어 電荷를 상실하여 荷電置換되어 不安定化되므로서 固結化反應을 일으키게 된다.

### 3. 藥液의 化學反應

#### 3.1 石灰系

##### 3.1.1 石灰의 化學反應

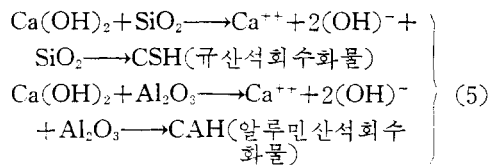
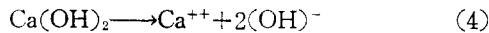
石灰는 生石灰와 消石灰의 총칭으로, 原料로는 石灰石을 燒成하여 生石灰를 製造하고, 그것을 消化시키면 消石灰가 되며 그 反應式은 式(2)와 같다.



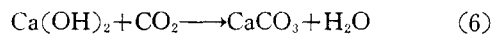
여기서 生石灰가 土中の 물과 水和反應을 일으킬 때 式(3)에서와 같이 生石灰가 土中の 물을 흡수하는 吸水反應과 아울러 發熱反應으로 물의 蒸發作用을 일으켜, 이 반응들이 끝나면서 消石灰(Ca(OH)<sub>2</sub>)로 變換된다. 이 때 消石灰의 부피가 生石灰의 2배정도로 되며 體積팽창으로 인한 地盤의 密度增加의 要因이 되는 것이다.

##### 3.1.2 消石灰의 化學反應

消石灰는 式(4)와 같이 Ion化되어 일반적으로 粘土鑛物의 실리카(SiO<sub>2</sub>)나 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 등과 反應하여 式(5)와 같이 石灰水和物을 生成하게 되며, 粘土微粒子の 固結化로 인해 強度增加의 要因이 된다.<sup>6,7)</sup>



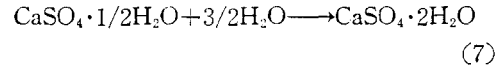
그리고 消石灰는 土中の 탄산가스(CO<sub>2</sub>)와 結合하여 式(6)과 같이 炭酸化하여 炭酸石灰를 生成하여 固結化 과정에서 強度增加를 도모하게 된다.



또한 消石灰의 Ion化된 칼슘이온(Ca<sup>++</sup>)은 土粒子表面의 陽이온(M<sup>+</sup>)과 鹽基交換反應을 일으켜 地盤土의 物理的 特性的 變化를 가져오게 된다.

##### 3.1.3 石膏의 化學反應

有機質土에 2次添加材로 石膏를 使用하게 되면 石灰混合土의 強度增加에 매우 效果的임이 알려져 있다.<sup>8)</sup> 이것은 石膏가 遊離狀態의 칼슘이온(Ca<sup>++</sup>)과 먼저 結合하기 때문이다.

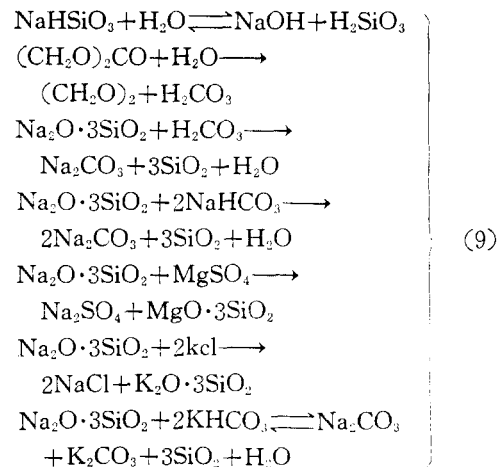
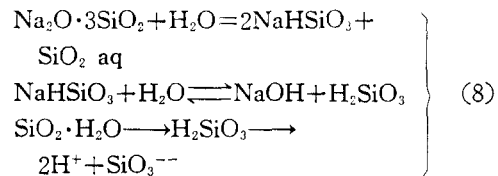


즉, 式(7)과 같이 石膏自體가 固化되면서 有機物質을 포집하는 結果로 유리상태의 칼슘이온(Ca<sup>++</sup>)과 결합할 수 없도록 하여, 칼슘이온이 土中에서 石灰와 固結反應을 할 수 있도록 補助的인 역할을 하게 된다.

#### 3.2 물유리系

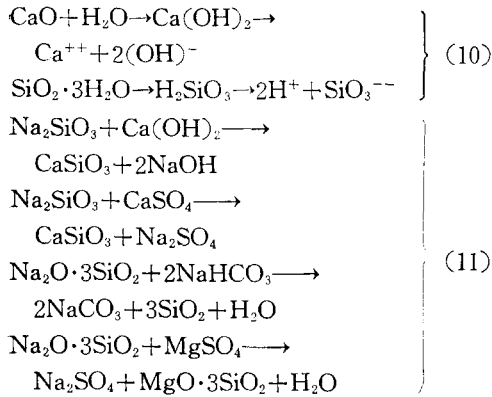
##### 3.2.1 물유리系溶液型藥液

물유리系溶液型藥液은 酸性反應劑와 有機反應劑의 組合으로 된 藥液이며, 물유리중의 알칼리를 中和시키는 複分解反應에 의하여 式(8), (9)와 같이 固結化가 이루어지게 된다.



##### 3.2.2 물유리系懸濁液型藥液

시멘트를 含有하는 현탁액 중의 粒子(주로 Ca<sup>++</sup>)는 (+)로 荷電되어 있으므로 이 兩者를 混合接觸시키면 荷電置換(式(10))이 이루어지므로 式(11)과 같이 硅酸칼슘水和物이 析出되어 固結化작용을 일으키게 된다.



(10) 4. 實 驗

4.1 試料土

石灰系の 試料土로는 城東橋부근에서 채취한 砂質土(A)와 사근동부근에서 채취한 粘性土(B)를 사용했으며, 물유리系는 漢江砂(C)와 粘性土(F)의 乾燥重量比 1:1(D), 1:3(E)으로 調製하여 사용하였다.

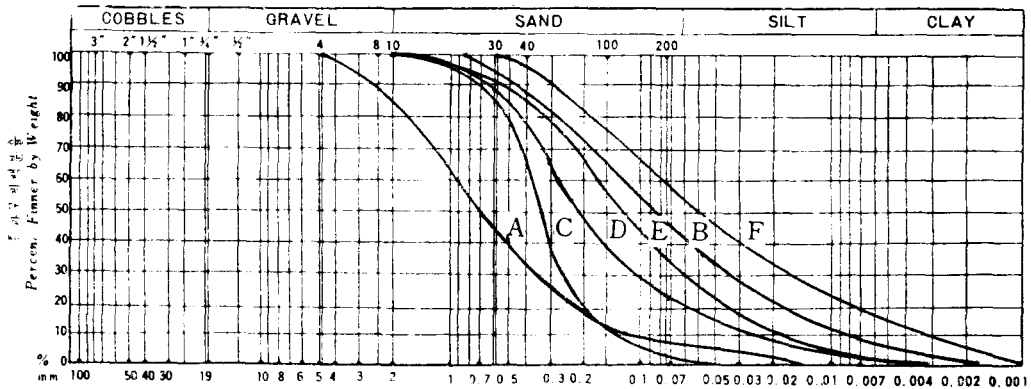


Fig-1. Grading Curve

Table-1. Properties of soils tested

試料名	A	B	C	D	E
比重	2.62	2.51	2.63	2.57	2.52
#40 통과량 (%)	35	88	66	78	85
#200 통과량 (%)	8	45	3	24	36
Cu	7.5	17.5	3.1	11.2	9.4
Gravel	15	0	0	0	0
Sand	77.5	55	98	78	68
Silt	7.5	37	2	20	30
Clay	0	8	0	2	2
	Sand	Sandy loam	Sand	Sandy loam	Sandy loam
k(cm/sec)	A-1 다짐상태	$5.05 \times 10^{-4}$	$2.61 \times 10^{-7}$	—	—
	느슨한 상태	—	—	$3.14 \times 10^{-2}$	$2.4 \times 10^{-4}$
	조밀한 상태	—	—	$6.7 \times 10^{-2}$	$8.9 \times 10^{-4}$
O.M.C. (%)	13.0	21.0	—	—	—
qu (kg/cm <sup>2</sup> )	0.76	1.21	—	—	—

## 4.2 混合材

### 4.2.1 石灰系

石灰系の混合材로는 石灰(消石灰), 石膏 및 실리카 등을 사용하였으며, 石灰의 物理化學的成分은 Table-2 와 같다.

Table-2. Chemical analysis of lime

成分	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Igloss
含量(%)	72.6	1.08	0.84	0.78	24.7

### 4.2.2 물유리系

물유리系 混合材로는 물유리 3호(Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub>SiO<sub>2</sub>), 에틸렌카보네이트((CH<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>CO), 탄산수소나트륨(NaHCO<sub>3</sub>), 황산마그네슘(MgSO<sub>4</sub>) 및 보통포틀랜드시멘트 등을 사용하였다.

## 4.3 實驗方法

石灰系混合土의 混合石灰量 및 配合方法은

Table-3. Testing Method

	石 灰 系	물 유 리 系
試料土含水比	O.M.C.(A시료 : 13%, B시료 : 21%)	5, 10, 15%로 변화
養生方法	습윤양생	기건양생
養生日數	3, 7, 14, 28日	3日, 7日
混合土의 다짐 방법	A-1 다짐	느슨한 상태 : 중량 250g의 나무봉으로 3층 5회씩 느슨하게 다짐. 조밀한 상태 : 중량 500g의 鐵棒으로 3층 5회씩 조밀하게 다짐.
일축압축시험 공시체 mold	PVC pipe 를 $\phi 5.5\text{cm} \times \text{H}11\text{cm}$ 규격으로 그리고 세로로 절단 제작하여 脫型이 용이하게 하였다.	

Table-4. Example for the proportion of lime

	건조시료 중량(g)	석회혼합량 (g)	물(cc)
A 시료	1000	0	150
		50(5%)	157
		100(10%)	165
		150(15%)	172
		200(20%)	180
B 시료	1000	0	266
		50(5%)	280
		100(10%)	293
		150(15%)	306
		200(20%)	319

Table-5. Example for the proportion of silicates or plaster.

	건조시료 중량(g)	석회혼합량(g)	석고 또는 실리 카칩가량(g)	물(cc)
A 시료	1000	100(10%)	0	165
			30(3%)	169
			50(5%)	172
			70(7%)	175
B 시료	1000	150(15%)	0	306
			30(3%)	313
			50(5%)	313
			70(7%)	324

Table-4, -5 와 같으며, Table-3 과 같은 方法으로 실험하였다.

물유리系混合土의 混合藥液量 및 配合方法은 Table-6, -7 과 같으며 Table-3 과 같이 실험하였다.

그리고 混合土의 供試體를 養生日數別로 強度

Table-6. Example for the proportion of solution type in water-glass series

	藥液濃度 (%)	20	25	30	35
A液	물유리 3號	(cc) 80	100	120	140
	물	(cc) 120	100	80	60
B液	有機硬化劑	(g) 5.6	7	8.4	9.8
	無機硬化劑	(g) 6.4	8	9.6	11.2
	其他金屬鹽	(g) 6.4	8	9.6	11.2
	물	(cc) 194	192	190	188

增大 및 壓密特性을 검토하기 위하여 一軸壓縮強度試驗과 壓密試驗을 하였다.

**Table-7.** Example for the proportion of suspension type in water-glass series

A液	물유리 3號(cc)	100	B液	시멘트 (g)	60
	(Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub> )			有機硬化劑 (g)	7
				無機硬化劑 (g)	8
				其他金屬鹽 (g)	8
	물 (cc)	100		물 (cc)	168

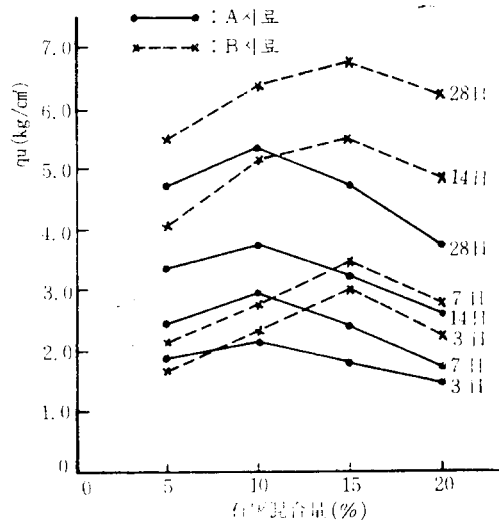
\* 藥液濃度 : 25%

## 5. 實驗結果 및 分析

### 5.1 強度變化

#### 5.1.1 石灰混合土

一軸壓縮試驗結果 試料土에 어느 일정량의 石灰가 混合될 때 가장 큰 強度가 나타났는데, Fig-2에서와 같이 A 및 B시료는 混合量이 각각 10%, 15%(건조시료 중량에 대한 백분율)의 경우에서 最大強度가 나타남을 알 수 있다. A시료의 경우 7日養生強度는 3.6배, 28日養生強度는 7배 增加하였으며, B시료의 경우 7日養生強度는 3배, 28日養生強度는 5.5배의 強度增加를 보였다.



**Fig-2.** Effect of Lime Content on Strength

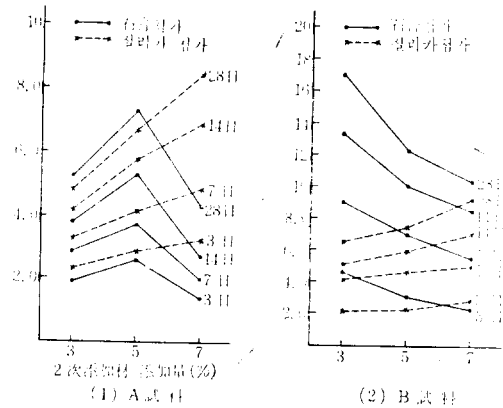
#### 5.1.2 石灰 및 실리카添加 混合土

Fig-3에서와 같이 A試料는 石灰 10%를 混合한 경우에 실리카添加量이 7%에서 一軸壓縮強度가 가장 큰 값이 나타났으며, 養生日 7日, 28日의 경우에 약 6.5배, 11.5배의 強度增加를

보였고, B시료에서는 石灰 15%와 실리카 7%를 添加했을 때 가장 큰 強度를 보였으며, 養生日 7日, 28日의 경우 A시료는 약 4배, 7.5배의 強度增加를 보였다.

#### 5.1.3 石灰 및 石膏添加 混合土

A시료는 石灰 10%, B시료는 15%를 混合한 경우에 2次添加材인 石膏의 添加量이 A시료는 5%, B시료는 3%의 경우 Fig-3에서와 같이 強度가 가장 컸으며, 養生日 7日, 28日의 경우 A시료는 약 4.5배, 8.5배, B시료는 7.5배, 14배의 強度增加를 보였다.

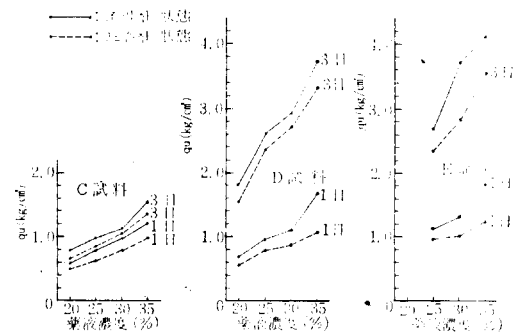


**Fig-3.** Effect of additive Content on Strength

#### 5.1.4 물유리系 混合土

一軸壓縮強度의 試驗結果 어느 一定量의 藥液이 混合될 때 그리고 藥液濃도가 높을수록 큰 強度가 나타남을 보였다.

물유리系溶液型固結土의 시료별 약액농도에 따른 一軸壓縮強度는 Fig-4와 같으며, 試料土 C, D, E의 順으로 즉, 試料土가 細粒일수록 그리고



**Fig-4.** Strength of the Soil stabilization by solution type of water-glass Series

조밀한 상태가 느슨한 상태보다 더 큰 強度를 보였다.

그리고 물유리系溶液型의 경우와 시멘트를 併用한 경우의 密度變化에 따른 混合固結土의 一軸壓縮強度의 비교는 Fig.-5 와 같다. 즉, 藥液濃度 25%의 경우 養生日 1日, 3日의 一軸壓縮強度는 물유리系溶液型만 사용한 경우는 混合前보다 약 4 배 그리고 懸濁液型固結土는 약 8~12 배의 強度增加를 보였다.

그리고 溶液型藥液만 사용한 경우 느슨한 상태보다 조밀한 상태에서 強度增大가 더 컸으나, 시멘트를 併用한 경우는 반대로 느슨한 상태에서 더 큰 強度增大를 보였다.

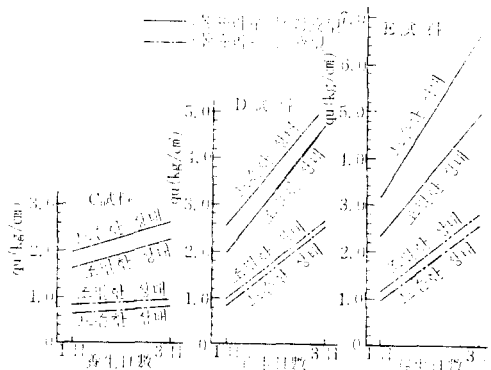


Fig-5. Strength of the soil stabilization by water-glass series

## 5.2 透水性 變化

### 5.2.1 石灰系

石灰混合土의 透水係數는 Table-8과 같이 石灰混合量이 많을수록 透水係數가 감소됨을 보였다.

Table-8. k of the soil-lime stabilization(cm/sec)

석회혼합량(%)	A시료	B시료
0	$5.05 \times 10^{-4}$	$2.61 \times 10^{-7}$
5	$3.08 \times 10^{-4}$	$9.45 \times 10^{-8}$
10	$1.93 \times 10^{-4}$	$5.06 \times 10^{-8}$
15	$8.38 \times 10^{-5}$	$3.15 \times 10^{-8}$
20	$3.62 \times 10^{-5}$	$2.59 \times 10^{-8}$

### 5.2.2 물유리系

壓密試驗결과에 의한 透水係數는 Table-1, -9에서와 같이 시료 C는 대략 混合前의  $10^{-2}$ 에서  $10^{-8}$ 으로, 시료 D는  $10^{-4}$ 에서  $10^{-8}$ 으로, 시료 E는  $10^{-5}$ 에서  $10^{-8}$ 으로 감소하였다.

## 5.3 壓密結果

C시료의 混合前, 물유리系溶液型藥液固結土 및 물유리系懸濁液型藥液固結土의 壓密試驗 結果는 Table-10에서와 같이 容積變化率  $m_v$ 는 溶液型固結土에서 약  $\frac{1}{3}$ , 시멘트를 併用한 현탁액형固結土에서는 약  $\frac{1}{12}$ 로 감소되었으며, 壓密係數  $c_v$ 는 약 4 배, 14 배로 增加되었다.

Table-10.  $m_v, c_v$  of D soil in the treated and untreated soils by water-glass series

藥液濃度	養生日數	다짐상태	$m_v$ 및 $c_v$	荷重 (kg/cm <sup>2</sup> ) 藥液種類	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.4
25%	1日	느슨한 상태	$m_v$ (cm/g)	混合前	$3.15 \times 10^{-2}$	$2.63 \times 10^{-2}$	$2.16 \times 10^{-2}$	$1.72 \times 10^{-2}$	$1.21 \times 10^{-2}$	$6.72 \times 10^{-3}$	$3.29 \times 10^{-3}$
				물유리系	$7.05 \times 10^{-3}$	$6.74 \times 10^{-3}$	$5.71 \times 10^{-3}$	$4.31 \times 10^{-3}$	$3.22 \times 10^{-3}$	$2.16 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-3}$
				물유리系懸濁液	$2.05 \times 10^{-3}$	$1.92 \times 10^{-3}$	$1.68 \times 10^{-3}$	$1.27 \times 10^{-3}$	$9.87 \times 10^{-4}$	$5.06 \times 10^{-4}$	$3.11 \times 10^{-4}$
			$c_v$ (cm <sup>2</sup> /sec)	混合前	$2.96 \times 10^{-4}$	$3.31 \times 10^{-4}$	$4.29 \times 10^{-4}$	$5.07 \times 10^{-4}$	$6.69 \times 10^{-4}$	$1.06 \times 10^{-3}$	$1.89 \times 10^{-3}$
				물유리系	$7.53 \times 10^{-4}$	$1.03 \times 10^{-3}$	$2.08 \times 10^{-3}$	$2.31 \times 10^{-3}$	$4.21 \times 10^{-3}$	$5.02 \times 10^{-3}$	$6.73 \times 10^{-3}$
				물유리系懸濁液	$3.39 \times 10^{-3}$	$4.41 \times 10^{-3}$	$6.84 \times 10^{-3}$	$8.73 \times 10^{-3}$	$1.27 \times 10^{-2}$	$1.35 \times 10^{-2}$	$2.06 \times 10^{-2}$

※ 混合藥液量: 건조시료중량 500g에 대해 150g

※ 試料土의 含水比: 10%

Table-9.  $k$  of the soil stabilization with water-glass series

試料名	C	D	E	
含水比(%)	10	10	10	10
다짐정도	Loose	Loose	Loose	Dense
물유리系溶液型	$2.7 \times 10^{-8} \sim 7.98 \times 10^{-7}$	$6.91 \times 10^{-8} \sim 8.28 \times 10^{-7}$	$7.1 \times 10^{-8} \sim 7.27 \times 10^{-8}$	$7.42 \times 10^{-8} \sim 7.3 \times 10^{-7}$
물유리系懸濁液型	—	—	$4.94 \times 10^{-8} \sim 8.36 \times 10^{-7}$	$4.77 \times 10^{-8} \sim 6.08 \times 10^{-7}$

## 6. 考 察

### 6.1 强度增大效果

#### 6.1.1 石灰系 混合土

對象土의 土性에 따른 石灰混合量은 混合土의 强度特性에 중요한 영향을 미치는데, 混合實驗에서 건조시료중량에 대한 石灰混合量이 A시료는 10%, B시료는 15%에서 最大强度가 발휘되었음을 알 수 있다.

青木<sup>9)</sup>는 細粒分이 함유된 砂質土는 2~10%, 粘性土는 5~15%로 石灰混合量의 적정범위를 제안하였는데, 이는 本研究의 實驗値와 비슷한 경향을 보였다.

모래粒子自體에 함유된 실리카는 石灰와의 固結反應에 도움이 되지 못하므로, 모래에 石灰로 混合處理하는 경우는 별 의미가 없다고 여겨진다. M.Mateos<sup>10)</sup>는 石灰混合土에서 7日强度가 모래는 4%, 粘土는 15% 增大되었음을 보고한 바와 같이 모래에서의 石灰混合效果는 매우 미소함을 알 수 있다.

細粒分을 함유하고 있는 砂質土에서의 强度增大는 細粒分中에 있는 실리카, 그리고 粘性土는 粘性土中에 있는 실리카와 混合石灰와의 固結反應(주로 이온교환 및 포조란반응)에 의하여 발휘된다는 사실을 확인하였다.

또한 强度測定實驗結果 A 및 B시료의 石灰混合土 7日養生强度는 3~3.6 배, 28日 養生强度는 5.5~7 배의 增大效果를 나타냈다. Saour<sup>11)</sup>는 7日强度는 4~8 배, 28日强度는 5~10 배, 그리고 山田<sup>12)</sup>은 7日强度 약 4.5 배, 28日 强度는 약 6 배의 强度增大效果를 보고하였는데, 이들은 本研究實驗結果와 거의 같은 경향임을 알 수

있다. 또한 A.AHMED<sup>13)</sup>의 보고에 의하면 실트質 및 粘土質土의 7日養生 石灰混合强度增大를 3~6 배로, 本研究의 實驗値와 비교해 보면 약간 다른 경향이 있는데 이는 試料土 및 對象土의 土性이 매우 다른 데에 基因한 것으로 생각된다.

Fig.-3에서와 같이 A試料混合土의 强度增大는 A시료의 細粒分(약 8%) 中에 있는 실리카의 固結反應效果에 의한 것이며, 여기에 2次添加材로 실리카를 사용한 경우에 强度가 더 크게 나타난 것은 실리카가 添加됨에 따라 固結反應效果가 增進되기 때문인 것으로 판단된다.

石灰混合土에 함유되어 있는 有機物質은 石灰와의 固結反應을 저해하는 性質이 있으므로, 이의 저해작용을 줄이기 위해 有機質土에서는 石膏를 添加함으로써 强度增大效果를 도모하게 된다.<sup>9)10)</sup>

實驗結果 B시료에 2次添加材로 石膏를 添加한 混合土의 强度增大는 混合處理前보다 7日 强度는 약 7.5 배, 28日 强度는 약 14 배이었고, 石灰만 混合한 경우보다는 약 2.5 배로 큰 强度增大效果가 있었다. 松尾<sup>14)</sup>는 石膏添加時 7日 및 28日의 强度增大가 10~11 배로 本 實驗結果와 매우 近似하였다.

川崎 등<sup>15)</sup>은 石灰混合土에서 有機物含有量이 68.1%인 有機質土에 비해 유기물이 없는 실트質土에서는 10~80 배의 强度가 增加하였음을 보고하였는데, 이는 有機物の 固結反應에 대한 저해작용으로 설명되며, 이 有機質土의 石灰混合土에 石膏를 添加하면 보다 큰 强度增大效果를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

有機質土인 B시료는 A시료에 비해 有機物이 多量 함유되어 있으며, Fig.-3에 圖示한 바와 같이 B시료의 石灰混合土에서 A試料混合土보



다 强度가 작은 것은 B시료에 더 많이 함유된 有機物에 의해 强度要因의 固結反應이 억제되기 때문으로 생각된다. 그리고 2次添加材로 石膏를 사용한 경우에 强度增加效果가 크게 나타난 것은 添加된 石膏自體의 固化性에 의하여 有機物質과 함께 團粒化되어 유리상태의 칼슘이온 ( $Ca^{++}$ )과의 結合을 미리 차단하므로써, 混合土의 固結反應이 원활히 進行될 수 있도록 하기 때문으로 판단된다. 또한 B시료에 실리카를 2次添加材로 사용한 경우, 强度增大效果가 石膏添加時보다 작게 나타난 것은 添加된 실리카는 유기물에 의한 固結反應 저해에 별 도움을 주지 못하기 때문으로 생각된다.

### 6.1.2 물유리系 混合土

물유리系溶液型藥液만 사용한 경우의 强度增大는 느슨한 상태에서는 주로 藥液自身の 薄膜粘着力<sup>16)</sup>의 增加, 조밀한 상태에서는 土粒子自體의 構造性粘着力<sup>17)</sup>의 增加에 의한 것이고, 조밀한 경우가 느슨한 경우보다 强度가 더 크게 나타난 것은 조밀한 경우가 土粒子의 構造性粘着力이 더 크기 때문인 것으로 판단된다.

시멘트를 併用한 懸濁液型의 경우, 溶液型만의 경우와는 반대로 느슨한 상태가 조밀한 상태보다 强度가 더 크게 나타난 것은 混合固結土가 含水 Gel의 상태가 아니고 强度增加에 큰 영향을 미치는 시멘트의 添加量이 많아짐으로 인하여 構造性粘着보다 薄膜粘着力의 영향이 더 크기 때문인 것으로 생각된다.

또한 이들은 膜의 두께지수  $H^{17)}$ 에 의해 설명될 수 있다.

$$H = \frac{d \cdot a}{6} \times \frac{r_1}{r_2} \quad (12)$$

여기서,

$d$ : 試料土의 平均粒徑

$a$ : 混合土中の 藥液의 試료에 대한 重量비 (%)

$r_1$ : 試料土의 單位體積重量(= $G_s$ )

$r_2$ : 藥液의 單位體積重量

試料土가 細粒일수록 그리고 조밀할수록 平均粒徑  $d$ 가 작아지므로 式(12)에서 膜의 두께지수  $H$ 는 작게되는 반면에 藥液粘着力에 대한 混合土의 粘着力倍率( $C/C_0$ )은 커진다(Fig.-6 참조).

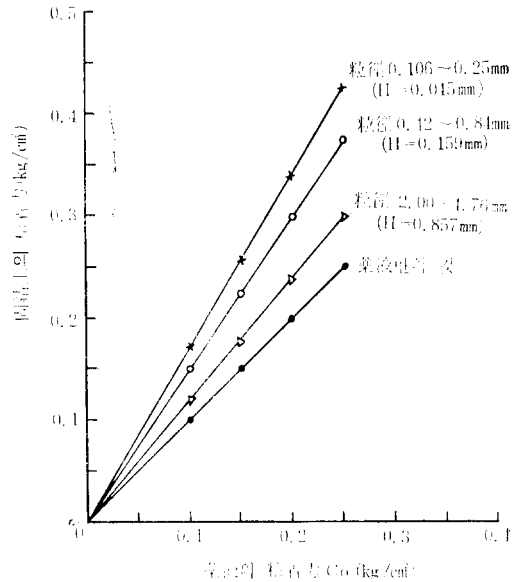


Fig-6. The relationship between Cohesion of stabilizer ( $C_0$ ) and Cohesion of stabilized soils ( $C$ ) in sand.

조). 결국 막의 두께지수가 작을수록 즉, 土粒子를 둘러싼 藥液의 두께가 얇을수록  $H$ 는 작아지고 混合土의 粘着力은 增加하게 되어 强度는 增大된다.

## 6.2 遮水效果

### 6.2.1 石灰系 混合土

石灰系混合土의 透水係數는 混合石灰에 의한 試料土의 空際充填現象 및 混合土의 團粒化現象으로 石灰混合 전후의 空際의 大小變化에 따라 左右된다.

石灰混合土에서 石灰混合量에 따른 透水係數의 變化에 대하여 Rawl 등<sup>18)</sup>은 粗粒土에서는 減少 粘性土에서는 增加한다고 하였고, 寺師 등<sup>19)</sup>은 粘性土에서는 감소한다고 報告한 바 있다.

Table-8에서와 같이 本 實驗結果는 A 및 B 시료 모두 石灰混合量의 增加에 따라 透水係數는 감소하였는데, A시료는 Rawl 등 그리고 B 시료는 寺師 등의 見解와 일치된다.

A 및 B試料混合土의 透水係數低下는 石灰의 Ion化反應에 의해 團粒化된 粒子가 空際를 채우는 filler로 되었기 때문으로 판단된다.

### 6.2.2 물유리系 混合土

혼합토의 遮水効果는 混合材가 試料土의 空隙을 充填시켜 混合土의 透水性이 감소되므로 발휘된다. 즉, 藥液이 土中에서 遮水性이 낮은 Gel 狀의 物質로 變하여 固結됨에 따라 土粒子를 둘러싸고 있는 藥液의 皮膜<sup>20), 21)</sup> 때문인 것으로 판단된다.

### 6.3 改良效果

#### 6.3.1 石灰系 混合土

Thompson<sup>22)</sup>은 39 種의 自然試料를 대상으로 하여 統計的 解析方法으로 石灰反應性에 의한 石灰混合工法의 適否判定의 基準을 근거로하여 本 實驗結果의 判定을 내리면 Table-11 과 같다.

Table-11. The reactivity of lime-soil mixtures in this study

	工 法 區 分	$q_u(T) - q_u(u) = \Delta q_u (\text{kg/cm}^2)$	判 定
A 시 료	石灰混合土	5.24 - 2.28 = 2.96	不 適
	石灰混合土 + 石膏	6.43 - 2.28 = 4.15	適 合(보통)
	石灰混合土 + 실리카	8.75 - 2.28 = 6.47	適 合(보통)
B 시 료	石灰混合土	6.71 - 3.83 = 2.88	不 適
	石灰混合土 + 石膏	17.06 - 3.83 = 13.23	適 合(아주좋다)
	石灰混合土 + 실리카	9.15 - 3.83 = 5.32	適 合(보통)

$\Delta q_u$  : 石灰强度增加量

$q_u(T)$  : 石灰混合土의 28日强度

$q_u(u)$  : 未處理土의 28日强度

Table-11 에 의하면 2次添加材로 A시료는 실리카를 B시료는 石膏를 사용하였을 때 石灰反應性이 가장 좋은 것으로 判定되어 本 研究범위 에서는 改良效果가 가장 좋은 것으로 판별되 었다.

#### 6.3.2 물유리系 混合土

藥液混合에 의한 固結土의 改良效果를 검토하 기 위하여 C시료의 경우를 적용·검토하였다. 壓密試驗結果  $m_v \sim p$  와  $c_v \sim p$  의 관계는 Table- 10 과 같으며, 이 관계에서 藥液混合에 의한 固結土의 改良效果는 다음과 같다.

容積變化率  $m_v$  는 물유리系 溶液型 固結土에서 약  $\frac{1}{3}$ , 懸濁液型 固結土에서는 약  $\frac{1}{21}$ 로 감소되 었고, 壓密係數  $c_v$  는 溶液型 固結土에서는 약 4배 懸濁液型 固結土에서는 약 14배로 增加되었다.

즉,  $m_v$  는  $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{12}$ 로 감소,  $c_v$  는 4~14배로 증가되었으므로 壓密沈下量은 감소된다.

따라서 壓密沈下가 감소하게 되어 藥液混合에 의한 固結土의 改良效果가 좋았음을 알 수 있다.

## 7. 結 論

1. 石灰混合土에서 A시료는 10%, B시료는 15%의 石灰混合을 했을 때 最大强度를 얻었다.

2. 有機質土의 石灰混合土에 2次添加材로 石膏를 사용한 경우 强度增大에 效果의이였으며, 混合時 石膏를 먼저 混合한 후에 石灰를 混合 하여야 强度增大에 도움이 됨을 알 수 있다.

3. Thompson의 石灰混合土의 反應性에 의한 改良效果는 A시료는 실리카를 B시료에는 石膏

를 2次添加材로 사용하였을 때 가장 좋았음을 Thompson의 改良效果基準에 의하여 확인하 였다.

4. 물유리系 固結土의 一軸壓縮强度의 增大는 混合前에 비해 溶液型의 경우 약 4배, 시멘트 를 添加한 경우는 약 8~12배의 强度增加를 보 였으며, 시멘트를 添加한 懸濁液型의 경우가 溶液型의 경우보다 약 2~3배의 强度增大效果가 있었다.

5. 물유리系 固結土의 遮水效果는 混合前에 비해  $10^{-2} \sim 10^{-6}$  배의 透水係數低下를 보여 이의 遮水效果는 매우 良好하였다.

6. 遮水效果 및 一軸壓縮强度는 藥液濃도가 높 을수록, 試料土의 平均粒徑이 작을수록 그리고 試料土의 密度가 물유리系 溶液型의 경우는 클수 록, 懸濁液型의 경우는 작을수록 增大됨을 알 수 있었다.

7. 시료 D의  $m_v$  는 混合前에 비해 물유리系 溶液型 固結土는 약  $\frac{1}{3}$ , 시멘트를 添加한 懸濁液 型의 경우는 14배로 增加하여 물유리系 藥液混

합에 의한 固結土의 改良效果가 컸음을 확인하였다.

### 参 考 文 獻

1. 土質工學會, “軟弱地盤における 工事實施例”, 土質工學會, 東京, 1977, pp.141~166.
2. 石灰協會 石灰安定處理委員會, “石灰による 軟弱地盤の安定處理工法”, 鹿島出版會, 東京, 1983, pp.151~191.
3. 吉田信夫, “淺層安定處理工法”, 土質工學會, 軟弱地盤改良工法に関する 現狀と動向講演會, 1982, pp.77~88.
4. 松尾新一郎, “特許よりみた 石灰安定處理工法”, 日刊工業新聞社, 東京, 1977, pp.23~51.
5. 高野晴男外, “硫酸系 凝結劑による 汚泥處理法について”, 第13回 土質工學會研究發表會講演集, 1979, pp.685~688.
6. 土質工學會, “土質工學における 化學の基礎と應用”, 土質工學會, 東京, 1978, pp.164~177.
7. 宮本康彦, 古賀充基, “安定處理土の 物理化學的性質”, 農業土木學會, 材料施工研究部會報, 第17號, 1979, pp.1~10.
8. 稻松敏夫, 渡邊亮一, “排脫石膏添加による 法面安定處理 現場試驗施工について”, 土木學會, 第34回 年次學術講演集, 第3部, 1979, pp.195~196.
9. 青木正雄, 辻厚志, “石灰混合の 締固め 特性について”, 農業土木學會誌, 第48卷, 第4號, 1980, pp.251~254.
10. Manuel Mateos, “Soil Lime Research at IOWA State University,” *P. of ASCE, J. of SMFE*, Vol.90, No.SM2, 1964, pp.127~153.
11. Emil Karl Sauer, N.F.Weimer, “Deformation of Lime Modified Clay after Freeze-Thaw,” *P. of ASCE, Transportation Engineering Journal*, Vol.104, No.TE2, 1978, pp.201~212.
12. 山田公夫, “混合後の 放置時間が 石灰添加土の強度に與える 影響”, 第13回 土質工學會研究發表講演集, 1979, pp.681~684.
13. SAMER A. AHMED, “Lime-Soil Mixtures for Low-Volume Road Construction in Egypt,” *Transportation Research Record* 827, 1981, pp.27~30.
14. 松尾新一郎, “石灰および リン酸安定處理におよぼす 2次添加物の効果”, 第6回 土質工學會研究發表講演集, 1971, pp.301~304.
15. 川崎浩司 外, “セメント系 安定處理材による 高有機質土の 改良效果に 關する室内實驗(その1),” 第18回 土質工學會研究發表會講演集, 1984, pp.1547~1548.
16. 森麟, 伊藤推夫, “固結した土の 構造性粘着力,” 第3回 土質工學會研究發表會講演集, 1968, pp.11~16.
17. 秦柄益, 千柄植, “藥液注入에 의한 固結土의 工學的 特性,” 大韓土木學會誌, 第28卷, 第6號, 1980, pp.97~107.
18. Nagih M.El-RAWI, Amir A.A. Awad, “Permeability of Lime Stabilized Soils,” *P. of ASCE, Transportation Engineering Journal*, Vol. 107, No. TE1, 1981, pp.25~35.
19. 寺師昌明外, “石灰・セメント系 安定處理土の 基本的 特性に 關する研究(第3報),” 日本港灣技術研究報告, 第22卷, 第1號, 1983, pp.69~96.
20. 秦柄益, 千柄植, “化學藥液에 의한 軟弱地盤固結工法의 開發研究,” 大韓土木學會誌, 第28卷, 第5號, 1980, pp.121~129.
21. 羅文鵠, “土質地盤の 注入における注入材の 選定と注入の 技術,” 最新の藥液注入工法, No.5 pp.24~32.
22. Marshall R.Thompson, “Lime Reactivity of Illinois Soils,” *P. of ASCE, J. of SMFE*, Vol. 92, No.SM2, 1966, pp.67~92.