

# 藥液의 浸透注入에 의한 土質性狀變化

Variation of Soil Properties by Permeating Injection of Chemical Grouts

千 柄 植\*  
Chun, Byung Sik

## Abstract

Variation of soil properties is studied by permeating injection of chemical grouts, such as cement type, water-glass type, and acrylamide type, to the same soil samples with different densities. Moreover, injection tests using specially prepared equipments of 1.0 shot system and 1.5 shot system are attempted to investigate permeating injection effects in highly compacted soil and in the presence of ground water.

The main factor which causes the improvement of cut-off effect and shearing strength is the cohesion of soil. The strength in the loose state is fundamentally governed by the membrane cohesion, meanwhile, in the loose state is governed by the structural cohesion.

Injection effects under the ground water flow is considerably decreased, and effective gelling ratio of approximate 45~80% is observed by variation of velocity and gel time, besides grading of injection materials has high relation with permeation and traveling length but has little relation with effective gelling ratio.

Permeating injection effects, such as gelling scope, gelling strength in highly compacted soil conditions can be confirmed by penetration resistance diagram and iso-strength curve.

## 要 旨

密度가 다른 同一試料土에 시멘트系, 물유리系 및 아크릴아미드系 등의 藥液을 浸透注入시켜 固結土에 대한 土質性狀變化를 究明한 것이다. 더욱, 매우 잘 다져진 地盤 그리고 流水中에서의 注入效果를 檢討하기 위하여 1液 1系統式과 2液 1系統式の 特殊注入裝置를 設計製作하여 浸透注入을 試圖하였다.

固結土의 剪斷強度 및 遮水效果의 增大는 주로 粘着力에 의한 것으로서 느슨한 상태의 경우는 薄膜粘着力에 의해서, 조밀한 경우는 構造性粘着力에 의해서 增大된다.

流水中에서의 注入效果는 매우 低下하여 流速 및 gel time의 變化에 따라 45~80%의 有效固結率이 얻어졌으며, 더욱 注入材의 粒度는 浸透性 및 移動距離에는 크게 影響을 미치나 有效固結率에는 별다른 影響이 없다는 사실을 알 수 있었다.

貫入低抗分布圖와 等強度曲線에 의해 다짐程度가 매우 큰 地盤에 대한 固結範圍, 固結強度 및 藥液浸透狀況 등의 注入效果를 合理的으로 判定할 수 있었다.

\* 正會員 · 漢陽大學校 工科學科 土木工學科 助教授

## 1. 序 論

都心地에서의 地下鐵工事나 大型建物建築을 할 경우에 지하굴착으로 인한 振動, 地下水位低下 또는 土留壁에 作用하는 土壓增大 등으로 주변 지반의 균열, 沈下 또는 隣接構造物의 倒壞 등은 우리 주위에서 흔히 볼 수 있는 일이다.

이러한 大型事故防止對策工法の 하나로서 藥液注入工法이 世界各國의 實情에 맞게 開發되어 廣範圍하게 活用되고 있다. 實用화된 注入藥液 만도 수십종에 이르고 대부분 특허로 보호되어 있으며 現在도 環境保全面에서 安全性和 適用效果面에서 信賴性 그리고 經濟的 面에서 우수한 藥液 및 注入裝備의 開發研究가 進行되고 있다 (1), (2), (3). 다행히 우리 나라에도 그동안 本工法이 많이 紹介되어 最近 L·W 注入工法 등이 서울 地下鐵工事に 도입되어 각광을 받고 있다.

一般的으로 注入對象地盤의 土質에 따라 透水性이 良好한 地盤일 경우는 土粒子空隙에 藥液을 浸透固結시키기 위해 浸透注入을 하고 使用하는 藥液도 浸透성이 좋은 溶液型이 쓰이나 반대로 透水性이 나쁜 粘性土地盤에는 藥液을 土粒子空隙에 浸透시키기는 어렵기 때문에 homogel 強度가 높은 藥液을 脈狀으로 壓入하여 地盤全體를 改良하는 脈狀注入이 効果의이므로 藥液도 粘性이 높은 懸濁液型이 많이 쓰이고 있다. 여기서는 實驗室 條件에 맞는 浸透注入을 採擇하였다.

本研究은 요즘 大型安全事故가 유발되고 있는 都心地에서의 굴착공사에서 굴착전에 미리 土留壁背面에 소정의 藥液을 注入, 固結土壁을 순간적으로 形成시켜 地盤의 強度 및 遮水效果를 높임으로서 地下水位低下를 막고 土壓을 激減시켜 隣接構造物 및 주변 지반의 도괴 및 균열 등을 막기 위한 工法增進에 주 목적을 두었다.

本研究를 위하여 다짐도가 다른 試料土에 몇 가지 藥液을 注入시켜 注入前後의 強度定數, 透水性係數 變化狀態 등 工學的 特性을 調查하였고 특히 密度가 매우 큰 地盤에서의 注入效果增大를 위하여 貫入試驗을 위한 注入裝置를 設計製作하여 注入地點으로부터의 距離에 따른 注入效果를 檢討하였다. 또한 流水中에서의 藥液의 稀釋과

流失을 막고 注入效果를 增大시키기 위해 注入裝置를 改善하여 流速, 藥液의 濃度, gel time, 注入速度, 壓力, 注入方式에 따른 注入材의 移動距離, 有效固結率 등을 檢討하는 등 特殊浸透 注入裝置에 의한 試驗을 試圖하였다. 土中에서의 이러한 물의 흐름 현상은 지하굴착 또는 水位變動으로 인해 動水勾配가 커지게 되는 곳이나 伏流水가 存在하는 地盤에서 흔히 볼 수 있는 現象으로서 注入效果는 매우 떨어지게 된다(4).

## 2. 注入機構

### 2.1 注入時間 및 浸透距離

藥液의 浸透에 걸리는 時間 및 距離는 理論的 으로는 gel time, 注入壓力, 注入速度, 注入孔의 有效徑, 注入方式 및 地盤의 透水係數, 空隙率, 藥液의 性質 등에 關係되나 實際로는 不均質한 地盤狀況, 地下水의 流動, 注入藥液의 經時的 變化, gel化에 따른 流動體의 複雜한 浸透機構 등에 關係하고 있기 때문에 이들을 엄밀히 數式化한다는 것은 매우 곤란하다.

三木教授(5)는 Maag의 式을 應用하여 半徑  $r$ 의 注入管 先端으로부터 半徑  $R$ 의 範圍까지 藥液이 3次元의 放射狀으로 浸透하는데 걸리는 時間을  $t$ 라 하고 平均的인 注入壓力水頭를  $h$ 로 하면 다음 식이 얻어진다.

$$t = \frac{\mu_g/\mu_w}{\gamma_g/\gamma_w} \cdot \frac{n}{kh} \cdot \frac{R^3 - r_0^3}{3r_0} \quad (2-1)$$

여기서,  $n$ : 흙의 空隙率(小數)

$r_0$ : 注入管의 半徑(cm)

$R$ : 注入有效半徑(cm)

R.H. Karol(6)은 溶液型 藥液의 浸透距離를 半徑  $R$ (cm)로서 다음과 같이 나타내었다.

$$R = 2\pi\sqrt{\frac{Qt}{\mu n}} \quad (2-2)$$

여기서,  $Q$ : 單位注入量( $\text{cm}^3/\text{sec}$ )

$t$ : 注入所要時間(sec)

$\mu$ : 藥液에 대한 물의 比粘度

$n$ : 흙의 空隙率(小數)

有效注入範圍나 必要한 gel time을 구하는 方法으로서 Maag, Karol의 두 식이 많이 쓰이고 있으나 이들 式들은 다음과 같은 限定的 條件을 必要로 한다. 즉,

(i) 地盤은 完全均質하여야 된다. 따라서 垂直, 水平透水係數가 다를 경우는 適用될 수 없다.

(ii) 藥液의 浸透狀態는 層流이어야 한다. 따라서 Darcy의 法則에 따라야 한다.

(iii) 注入材의 粘性은 gel time까지 一定不變하여야 한다. 따라서 現在 이 條件을 대체로 滿足하는 藥液은 아크릴아미드系 밖에 없다.

이들 條件 外에도 現實의 注入 pump에 의해 浸透注入이 可能한 地盤이어야 한다는 등의 條件으로 보아서는 어느 程度 이상의 粗度를 가진 砂地盤이 아니면 안 되기 때문에 結局, 粘性土에는 거의 適用이 어렵다고 하겠다.

### 2.2 注入壓 및 注入量

Maag와 Thiem은 砂質土層에서의 注入壓力를 先端注入方法과 strainer注入方法에 의하여 各各 다음과 같이 研究發表하였다<sup>(7)</sup>.

$$P_1 - P_0 = \frac{Q \gamma_w}{4,000\pi kg} \left( \frac{1}{r_0} - \frac{1}{R} \right) \quad (2-3)$$

$$P_2 - P_0 = \frac{2.3 Q \gamma_w \log R/r_0}{2,000\pi k_s a} \quad (2-4)$$

여기서,  $P_1$ : 先端注入方法에 의한 注入壓(kg/cm<sup>2</sup>)

$P_0$ : 地盤內의 水壓 또는 空氣壓(kg/cm<sup>2</sup>)

$Q$ : 注入量(cm<sup>3</sup>/sec)

$\gamma_w$ : 물의 單位體積重量(g/cm<sup>3</sup>)

$k_s$ : 藥液의 透過係數(cm/sec)

$r_0$ : 注入孔의 半徑(cm)

$R$ : 影響半徑(cm)

$a$ : strainer 部의 길이(cm)

표 3.1 아크릴아미드系 注入材의 配合示方例

아크릴아미드系 濃度		10% (標準溶液)	15%	20%
區分				
A 液	아크릴아미드 (主材)	10g	15g	20g
	TEA	0.4g	0.6g	0.8g
	KFe (抑制劑 0.002%)	0.002g	0.003g	0.004g
	물	40cc	35cc	30cc
B 液	KP(開始劑 0.5%)	0.5g	0.75g	1.0g
	물	50cc	50cc	50cc

$P_2$ : strainer 注入方法에 의한 注入壓 (kg/cm<sup>2</sup>)

注入量<sup>(8),(9)</sup>은 대개 다음과 같이 구하고 있으나 不確定要素에 左右되는 일이 많으므로 注意하여야 한다.

$$Q = R^2 \pi n \alpha (1 + \beta) \quad (2-5)$$

여기서,  $R$ : 注入有効半徑(cm)

$n$ : 흙의 空隙率(小數)

$\alpha$ : 土質에 따른 注入率(0.6~1.0)

$1 + \beta$ : 安全率

### 3. 實 驗

#### 3.1 使用注入材 및 試料土

注入材로서 시멘트系는 注入을 원활히 하기 위해 分散劑(Poz. No. 5L) 添加率을 5%로, W/C=300%, 벤토나이트 添加率 5%로 하고 元素로서 크롬리그닌系를 5%로 配合하였다. 물유리系는 溶液의 濃度를 25%, 30% 및 35%로 아크릴아미드系는 10%, 15%, 및 20%로, 變化시켰

표 3.2 물유리系 注入材의 配合示方例

區分		濃度(%)	25 (標準溶液)	30	35
A 液	물유리 (Na <sub>2</sub> O·SiO <sub>2</sub> )		100 cc	120 cc	140 cc
	물		100 cc	80 cc	60 cc
B 液	硬化劑		14 g	16.8 g	19.6 g
	물		196 cc	193 cc	190 cc

표 3.3 試料土의 工學的 性質

性質	狀態	느슨한상태	조밀한상태
	比重		2.64
粒徑 (mm)	最大粒徑	2.25	2.25
	D <sub>60</sub>	0.74	0.74
	D <sub>10</sub>	0.15	0.15
	Cu	4.9	4.9
乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )		1.45	1.61
空隙比		0.84	0.65
透水係數 (cm/sec)		1.71 × 10 <sup>-4</sup>	8.2 × 10 <sup>-2</sup>
粘着力 (kg/cm <sup>2</sup> )		0.035	0.041
內部摩擦角 (°)		29.54	37.48

다(표 3-1, 표 3-2. 配合示方例 參照). 試料土로는 한강모래로서 표 3-3과 같이 同一試料를 다짐 程度를 變化시켜 가면서 두 가지 상태로 區分하였다.

地盤이 매우 잘 다져진 경우는, 注入地點으로 부터의 距離에 따른 注入效果를 檢討하기 위하여 藥液으로서는 gel time 調節이 간편한 아크릴아미드系와 물유리系를, 試料土로서는 漢江砂를 採擇하였다. 藥液의 濃度는 두 경우 모두 標準溶液으로 하였다(표 3-1, 표 3-2).

流水中에서의 實驗은 稀釋을 고려하여 濃度를 물유리系 35%, 아크릴아미드系 20%로 높이고 試料土는 透水性을 고려하여 매우 느슨한 상태로 調製하였다.

### 3.2 實驗裝置 및 實驗方法

그림 3-1과 같은 裝置에 의해 藥液을 注入, 固結시켜서 軸의 物理試驗 및 一軸壓縮, 直接剪斷, 壓密試驗 등의 力學試驗을 통하여 強度定數, 透水係數 등 諸土質係數를 구하였다. gel time 은 式(2-2)에 의해 5分으로 算出되었으며 따라서 抑制劑(KFe,  $K_3Fe(CN)_6$ )를 0.002% 添加하였다. 注入量은 式(2-5)에서  $12cm^3$ , 注入壓은 式(2-3)에 準하여  $4\sim 5kg/cm^2$  으로 유지시켜 가면서 시멘트系는 1.0 shot system 으로 물유리系와 아크릴아미드系는 1.5 shot system 으로 浸透 注入시켰다.

地盤이 매우 조밀한 경우의 試驗은 一般的 注入裝置로는 어렵기 때문에 그림 3-2와 같이 中心部까지 곧 바로 藥液이 注入될 수 있도록 砂柱를 設置하는 등 特殊裝置로 1.5 shot system 에 의해 浸透 注入을 試圖하였다. 그림 3-3에서와 같이 5층으로 나누어 다짐봉에 의해 단계적으로 다쳤고 注入壓은  $5kg/cm^2$ , gel time 은 5分으로 하고 浸透 注入後 그림 3-3과 같은 9개의 地點에서 소형 cone penetrometer 에 의해 貫入試驗을 하였다.

한편 土中에 흐르는 물 속에서도 注入이 가능하게 하기 위하여 그림 3-5와 같이 610mm의 水頭差를 두어 1.5 shot system 으로 注入을 試圖하였다. 注入壓은  $0.3\sim 0.4kg/cm^2$ , gel time 은 임의로 1분과 2分으로 調節하였고 流速은 流量調節코크에 의해 0, 0.1, 0.15 cm/sec 으로

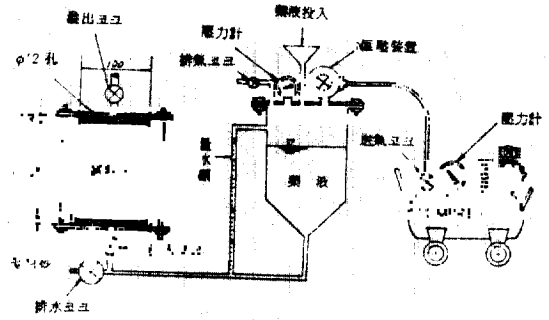


그림 3.1 藥液注入裝置

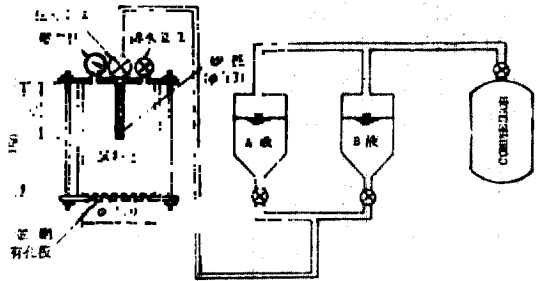


그림 3.2 貫入試驗用 藥液注入裝置

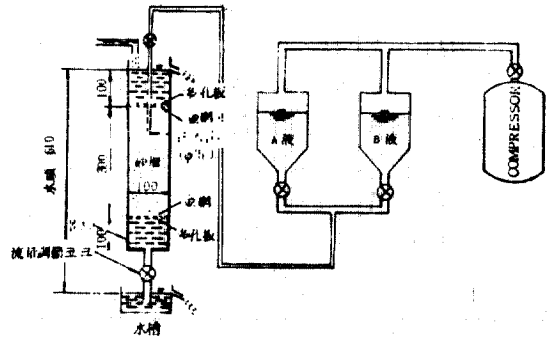


그림 3.3 流水中에서의 藥液注入裝置

變化시켰으며 注入完了後에도 약 10分間 同一流速으로 通水시켜서 完了固結後 mold는 세로 방향으로 2등분 하여 脫型하고 그 固結狀態를 調查하였다.

## 4. 實驗結果 및 考察

### 4.1 藥液注入固結土의 工學的 性質

시멘트系, 물유리系 및 아크릴아미드系 등의

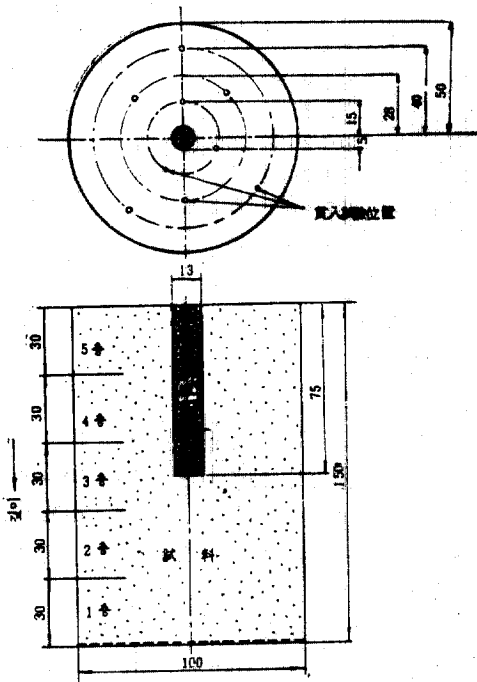


그림 3.4 貫入試驗位置

藥液에 의해 固結된 흙에 대한 試驗結果中 紙面關係上 물유리系와 아크릴아미드系만을 나타내면 표 4-1~표 4-2와 같다.

#### 4.1.1 剪斷強度의 變化

藥液注入 固結土는 藥液注入前에 비하여 그 剪斷強度가 매우 增加함을 알 수 있다. 흙의 剪斷強度를 粘着力 C와 內部摩擦角  $\phi$ 로 나누어 생각해 보면 粘着力은 시멘트系의 경우 약 2배까지, 물유리系의 경우는 3배 이상, 아크릴아미

드系의 경우는 무려 10餘倍 가까이 增加하는 반면, 內部摩擦角은 세 경우 모두 느슨한 상태에서는 약간 減少, 조밀한 상태에서는 약간 增加 또는 거의 一定함을 알 수 있다. 結局 剪斷強度의 增大는 흙의 粘着力의 增加 때문에 이루어지며 內部摩擦角<sup>(10), (11)</sup>의 剪斷強度에 미치는 影響은 거의 없다고 볼 수 있겠다.

느슨한 상태에서는 藥液에 의한 gel의 不透水性으로 인해 非排水狀態로 되어 剪斷時에 發生하는 空隙壓에 의해 摩擦抵抗이 減少하여 內部摩擦角이 減少되는 것으로 생각되며 이때 剪斷強度의 主體는 藥液임을 알 수 있다. 조밀한 상태에서는 剪斷破壞時에 dilatancy 現象에 의해 gel이 늘어나게 되어 空隙壓이 負壓<sup>(12)</sup>으로 되어 內部摩擦角은 增加하는 것으로 생각되며 이때 剪斷強度의 主體는 藥液의 強度와 더불어 土粒子 自身の 어떤 性質에 左右됨을 알 수 있다.

森麟教授<sup>(13)</sup>는 同一粒徑의 群으로 된 5種의 모래와 3種의 注入材를 使用하여 固結土의 粘着力을 藥液自體의 作用에 의한 薄膜粘着力(C')과 土粒子 自體의 特性으로 인한 構造性 粘着力(C<sub>s</sub>)로 說明한 바 있다.

筆者의 研究結果<sup>(14)</sup>에 의하면, 一般의 藥液의 粘着力(C<sub>s</sub>)이 작을 때는 固結土의 粘着力(C)은 構造性粘着力(C<sub>s</sub>)이 大部分을 차지하기 때문에 이것은 매우 重要한 要素가 되는데 이것은 剪斷時에 發生하는 負壓(U)과 gel로 固定된 粒子間의 摩擦角( $\phi_0 = \tan^{-1} \frac{C_s}{U}$ )에 따라서 크게 左右된다. 또한 이들은 試料土의 密度, 土粒子의 形狀, 粒徑, 遮水係數, 均等係數 및 注入材의 濃度, 粘度 등의 性質에 따라 크게 달라진다. 즉,

표 4.1 固結土의 工學的 性質(물유리系)

試料土狀態 藥液濃度(%) 性質	느슨한 상태			조밀한 상태		
	25	30	35	25	30	35
比重	2.62	—	—	—	—	—
空隙比	0.47	—	—	0.39	—	—
濕潤密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.77	—	—	1.85	—	—
透水係數(cm/sec)	$8.2 \times 10^{-6}$	$5.8 \times 10^{-6}$	$1.4 \times 10^{-6}$	$1.5 \times 10^{-6}$	$1.3 \times 10^{-6}$	$1.1 \times 10^{-6}$
粘着力(kg/cm <sup>2</sup> )	0.08	0.085	0.105	0.102	0.120	0.131
內部摩擦角(°)	27.5	28.5	29.8	37.9	38.6	39.5
一軸壓縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )	0.273	0.289	0.370	0.420	0.501	0.565

표 4.2 固結土의 工學的 性質(아크릴아미드系)

試料土狀態 藥液濃度 (%)	느슨한 상태			조밀한 상태		
	10	15	20	10	15	20
性質						
比重	2.62	—	—	—	—	—
空隙比	0.45	—	—	0.37	—	—
濕潤密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.76	—	—	1.86	—	—
透水係數(cm/sec)	6.90×10 <sup>-7</sup>	2.50×10 <sup>-7</sup>	1.74×10 <sup>-7</sup>	2.10×10 <sup>-7</sup>	1.80×10 <sup>-7</sup>	1.38×10 <sup>-7</sup>
粘着力(kg/cm <sup>2</sup> )	0.200	0.240	0.278	0.235	0.300	0.340
內部摩擦角(°)	27.90	28.50	30.25	37.50	38.21	39.20
一軸壓縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )	0.682	0.810	0.972	0.965	1.241	1.434

土粒子的 形狀이 모일수록, 粒徑이 작을수록, 均等係數가 클수록 透水係數는 작아져서 遮水效果 및 強度는 增大되며, 使用注入材의 濃度가 커질수록 粘度는 커지게 된다. 結局 藥液注入固結土는 이들 要素의 影響을 받아 剪斷強度 및 遮水效果가 매우 增大되는 것이다.

4.1.2 藥液의 濃度와 粘着力·內部摩擦角과의 關係

實驗結果에 따라 藥液의 濃度에 따른 粘着力, 內部摩擦角의 變化現象은 그림 4-1 과 같다.

그림에서와 같이 粘着力에 대해서는 아크릴아미드系는 물유리系에 비해 조밀한 상태에서나 느슨한 상태에서나 濃度의 影響을 크게 받고 있음을 알 수 있다. 즉, 濃度가 10% 增加함에 따라 粘着力은 조밀한 경우 0.23 kg/cm<sup>2</sup>에서 0.34 kg/cm<sup>2</sup>으로 약 50%가 增加하였다.

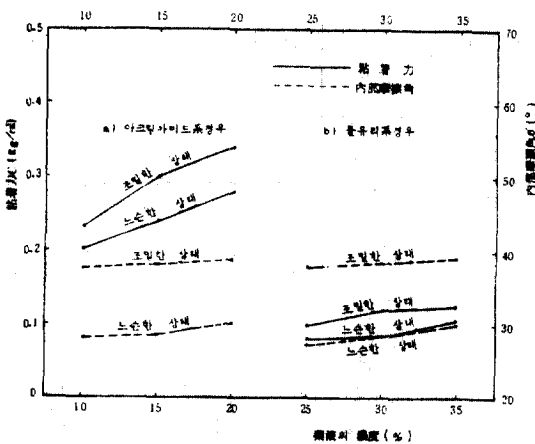


그림 4.1 藥液의 濃度에 따른 固結土의 粘着力과 內部摩擦角과의 關係

內部摩擦角에 대해서는, 아크릴아미드系나 물유리系나 共に 느슨한 상태가 조밀한 상태보다 濃度의 影響을 약간 크게 받고 있는 듯하나 대체적으로 큰 差는 없음을 알 수 있다.

4.1.3 空隙比와 粘着力·內部摩擦角과의 關係  
空隙比의 變化에 따른 粘着力 및 內部摩擦角의 減少現象은 이들 2점의 測定值를 연결하여 그 傾向을 나타내면 그림 4-2와 같다.

1) 粘着力에 대하여

시멘트系, 물유리系, 아크릴아미드系 順으로, 懸濁液型, 溶液型 順으로 기울기 및 切片이 커져감을 알 수 있다. 따라서 이와 같은 順으로 強度效果가 커지며 空隙比의 減少에 따라 強度의 增加效果는 더 커짐을 알 수 있다.

2) 內部摩擦角에 대하여

懸濁液型, 溶液型 順으로 切片 및 기울기가 커짐을 알 수 있다. 그러나 粘着力에서와는 달리 물유리系와 아크릴아미드系의 順序가 바뀌어 있으나, 內部摩擦角은 強度增加에 無關하다는 점을 생각한다면 별 의미가 없을 것으로 생각된다.

4.1.4 遮水效果

透水係數는 注入前에 비하여 시멘트의 경우 10<sup>-2</sup> 배 정도, 물유리系의 경우 10<sup>-4</sup> 배 정도, 아크릴아미드系의 경우 10<sup>-6</sup> 배 정도까지 低下되었다. 이러한 遮水效果는 空隙을 메워 土粒子를 둘러싸고 있는 gel의 被膜<sup>(15), (16)</sup> 때문인 것으로 생각된다.

藥液注入에 의한 剪斷強度 및 遮水性의 改良效果는 결국 粘着力의 向上 때문이라고 볼 수 있다.

空隙比와 透水係數와의 關係를 나타내면 그림

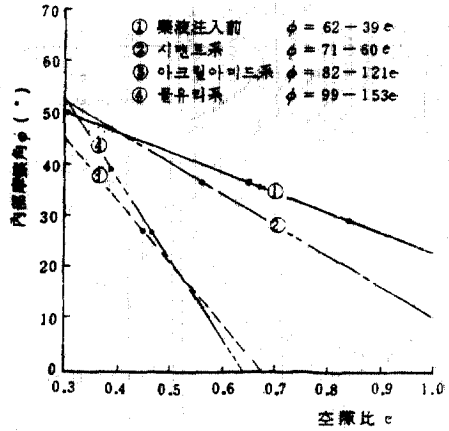
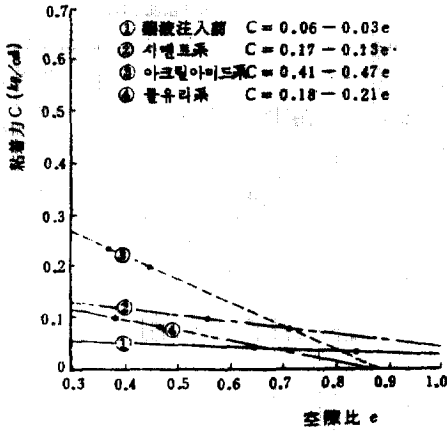


그림 4.2 空隙比와 粘着力·内部摩擦角과의 關係

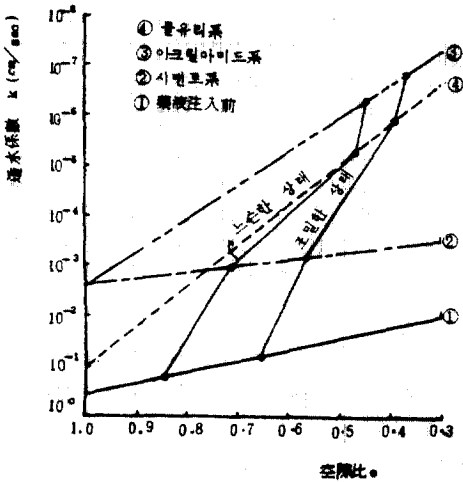


그림 4.3 空隙比와 透水係數와의 關係

4-3과 같다. 그림에서 보면,透水係數는 空隙比의 變化에 따라 크게 달라진다. 즉, 遮水效果는 空隙比가 작아질수록 커지는데 그 程度는 시멘트系, 아크릴아미드系, 물유리系 순으로 增大된다.

#### 4.2 地盤이 매우 다져진 경우의 注入效果

藥液注入 固結土에 대한 貫入試驗結果를 藥液注入前後의 貫入位置와 貫入抵抗과의 關係로 나타내면 그림 4-4와 같다.

또한 藥液注入前後의 貫入抵抗值의 比, 즉 等

強度曲線을 깊이에 따라 나타내면 그림 4-5와 같다.

藥液의 注入에 의한 固結範圍와 固結強度는 그림 4-4에서와 같이 貫入抵抗分布圖에 의하여 잘 나타나고 있다. 즉, 同一깊이에서 아크릴아미드系는 물유리系보다 높은 強度를 나타낼 수 있다. 또한 一般的으로 注入地點에서부터의 距離 즉, 浸透距離에 따라 貫入抵抗值에 크게 影響을 미쳐 매우 減少함을 알 수 있다.

等強度曲線은 그 形態에 의하여 그 浸透特性을 잘 알 수 있다. 즉, 큰 強度가 일어질수록 浸透效果가 좋고, 曲線이 아래 方向으로 길게 늘어질수록 浸透性이 좋음을 알 수 있다. 아크릴아미드系는 물유리系보다 浸透性 또는 強度面에서 약간 우월함을 알 수 있다.

#### 4.3 流水中에서의 浸透效果

流水中에서의 藥液浸透效果, 流速과 gel time에 따른 注入材의 移動距離 및 有効固結率을 나타내면 표 4-3과 같다.

표 4-3에서와 같이 注入材의 移動距離는 아크릴아미드系가 물유리系보다 크다. 따라서 流速 및 gel time의 影響을 더 많이 받고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 理由는 아크릴아미드系의 粘度(1.2 cps)가 물유리系의 粘度(2.6 cps)보다 훨씬 작기 때문인 것으로 생각된다.

有効固結率도 역시 粘度가 낮은 아크릴아미드

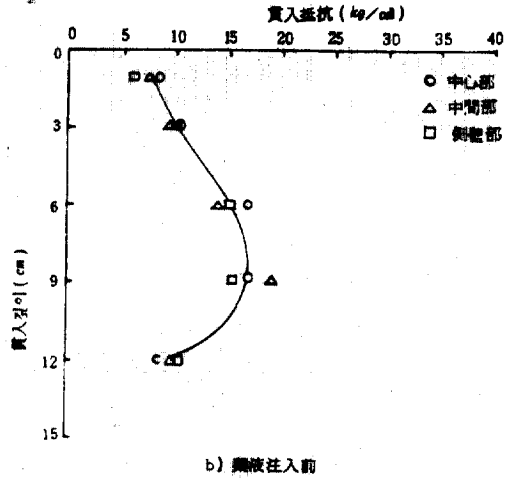
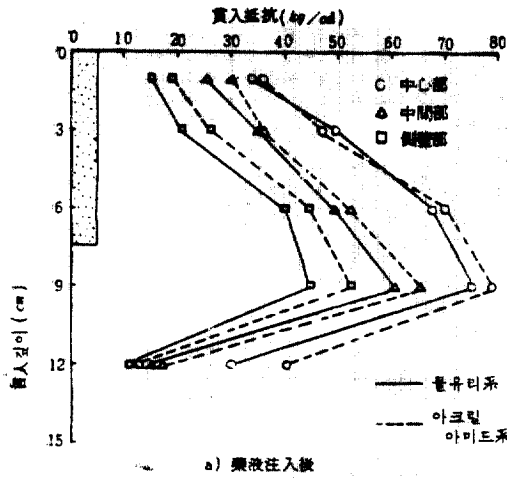


그림 4.4 藥液注入前後의 貫入抵抗分布

표 4.3 注入材의 移動距離(cm)

( )는 有効固結率(%)

藥液種類 GT(分)	아크릴아미드系		물유리系	
	1	2	1	2
流速 (cm/sec)	1	2	1	2
0.00	0(95)	0(90)	0(90)	0(85)
0.10	5~7(80)	8~10(65)	4~5(64)	7~10(60)
0.15	10~12(71)	13~18(55)	8~12(53)	12~15(45)

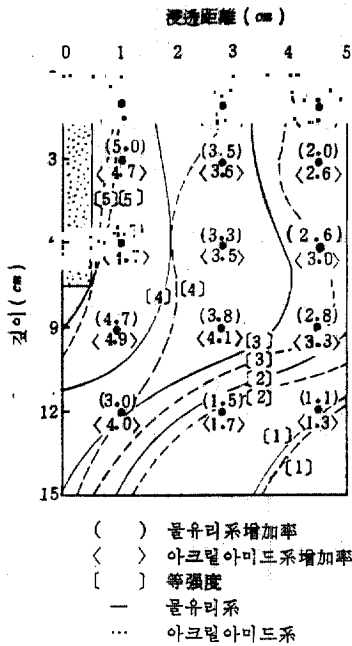


그림 4.5 貫入抵抗 等強度曲線

系가 粘度가 높은 물유리系보다 높게 얻어진 점으로 보아 粘度는 浸透性 및 移動距離에는 影響을 미치게 되나 有効固結率에는 別 影響이 없음도 確認할 수 있었다. 따라서 물유리系가 流速 및 gel time의 影響을 더 많이 받고 있음을 알

수 있다.

아크릴아미드系, 물유리系 모두 浸透效果에 있어서 流速과 gel time의 影響을 크게 받고 있는 것만은 사실이다.

一般的으로 土中에 注入된 藥液은 流水에 의하여 移動하게 되며 流速, gel time이 커질수록 移動距離 및 流動比도 커지게 된다. 또 그 固結形態도 圓形에서부터 차차 流水의 흐름 방향으로 옛가락처럼 길게 늘어진 형태로 變하게 된다. 두 藥液 모두 이와 같이 작은 有効固結率 이 얻어진 것은 流速과 gel time에 의한 影響 때문인 것으로 보인다.

### 5. 結 論

密度가 다른 同一試料土에 藥液을 浸透注入시켜 固結土에 대한 土質性狀變化를 究明한 것으로서 특히 매우 잘 다져진 地盤 그리고 流水中



에서의 注入效果를 究明하기 위해 設計製作한 特殊注入裝置에 1.0 shot system 과 1.5 shot system 으로 注入試驗을 試圖하였다.

研究結果를 要約, 整理하면 다음과 같다.

(1) 藥液注入에 의한 固結土는 注入前의 흙에 비해 剪斷強度가 매우 增加되나 이는 주로 粘着力의 增大에 의한 것으로서 内部摩擦角은 느슨한 상태에서는 약간 減少, 조밀한 상태에서는 약간 增加 또는 거의 一定한 傾向을 보였다.

(2) 藥液注入에 의한 遮水效果는 매우 커서 透水係數의 減少가 시멘트의  $10^{-2}$  배에서부터 아크릴아미드系의  $10^{-6}$  배까지 되었다.

(3) 藥液의 浸透注入에 의한 固結範圍와 固結強度는 貫入抵抗分布圖에 의해, 藥液의 浸透特性은 等強度曲線의 形態에 따라 쉽게 識別할 수 있다.

(4) 流水中에서의 注入效果는 매우 低下하여 아크릴아미드系 및 물유리系의 경우, 流速 및 gel time 에 따라 大略 45~80%의 有効固結率이 얻어졌으며, 더욱 藥液의 粒度는 浸透性 및 移動距離에는 크게 關係되나 有効固結率에는 別關係가 없음도 알 수 있었다.

(5) 固結土의 剪斷強度는 느슨한 상태에서는 주로 藥液自體의 作用에 기인한 薄膜粘着力에 의해 增大되며, 조밀한 경우에는 이와 함께 土粒子 自體의 特性으로 인한 構造性粘着力에 의해 增大되는 것으로 이것은 土粒子 및 使用注入材 自身の 特性에 따라 크게 좌우된다. 결국 藥液注入固結土는 이들 要素의 影響을 받아 剪斷強度 및 透水係數가 매우 增大됨을 알 수 있었다.

## 謝 辭

本 研究는 韓國科學財團의 研究費支援으로 1981~2 年에 수행되었는 바 同財團에 謝意를 表한다.

## 參 考 文 獻

1. Glossop, R., "The Invention & Development of Injection Process", *Geotechnique*, Vol. 11, No. 4, pp. 255~279, 1961.
2. Warner, J., "Compaction Grouting-A Significant Case History", *P. of ASCE, J. of SMFE*, Vol.

104, *GT7*, pp.837~842, July, 1978.

3. 土と基礎, 日本土質工學會, Vol.30, No.1, 1982.1.
4. Karol, R.H., "Symposium on Grouting: Grouting in Flowing Water and Stratified Deposits", *P. of ASCE, J. of SMFE*, Vol. 87, SMZ, pp.125~145, April, 1961.
5. 三木五三郎, "土質と注入施工", 土木學會關東支部 講習會 講演集. 日本下水道事業團, pp.31~39, 1978.
6. Karol, R.H., "Soils & Soil Engineering, Chap. 17 (Chemical Grouting)", *Prentice-Hall Eng. and Eng. Mechanics Series*, Englewood Cliffs, N. Y., 1960.
7. 坪井直道外, "藥液注入工事における注入壓に関する2,3の考察", 土木學會 第27回 年次學術講演會 講演集, 第N部, pp.541~544, 1972.
8. 吉田迪雄, "注入工法の合理化", *施工技術*, Vol. 2, No. 10, pp.24~28, 1969.10.
9. 坪井直道外, "藥液注入工法の設計", *土木施工*, Vol. 12, No. 2, pp.133~137, 1971.2.
10. Skipp, B.O. and Renner, L., "The Improvement of Mechanical Properties of Sand," *Conference sur Grouts & Drilling Muds in Engineering Practice*, Butterworths, London, pp.29~35, 1963.
11. Scott, R.A., "Fundamental Considerations Governing the Penetrability of Grouts and their Ultimate Resistance to Displacement", *Grout and Drilling Muds in Engineering Practice*, Butterworths, 1963.
12. 森麟, "藥液注入工法の現狀と將來への展望", 土と基礎, Vol. 26, No. 8, pp.1~2, 1978.8.
13. 森麟外, "固結させた土の構造性粘着力", 土と基礎, Vol. 17, No. 6, pp.11~18, 1969.6.
14. 千柄植, "化學藥液에 의한 土質性狀變化에 關한 研究", 漢陽大學校 大學院, 工學博士學位論文集, pp.28~34, 1980.12.
15. 坪井直道外, "藥液注入工法の設計", *土木施工*, Vol. 12, No. 2, pp.133~137, 1971.
16. Schiffman, R.L., Wilson, C.R., "The Mechanical Behavior of Chemically Treated Granular Soils," *Proceedings, ASTM*, Vol. 58, pp.1218~1244, 1958.

(接受: 1982.10.28)