

# 藥液注入工法에 對한 考察

## A Study of Chemical Grouting

趙 洸 熙

### 머 리 말

Grouting 은 建設工事に 있어서 適用되며 이 中에서 가장 重要한것의 하나는 透水性을 減少시키고 岩盤과 土質의 支持力을 增大시키는 것이다. Grout 의 目的 및 Grout 되는 基礎의 性質에 依해서 Cement, 모래, 鋸屑, silt, 粘土, 藥液, Asphalt Emulsion 등과 같이 相異한 物質이 Grout 混合에 있어서 使用되고 있다. 이들의 適用範圍를 決定짓는 것은 孔隙의 크기에 影響되는 要因外에 地下水의 狀態, 土壤의 PH 等과 其外, 地質的인 條件을 勘案하여 Grout 材料, Grout 方法等을 選擇하는데 있어서 考慮하지 않으면 안 된다.

그러므로 이와같은 分類는 單純히 案內的인것에 不適하다. Grouting 問題가 豫定되는 곳에는 土壤의 狀態에 따라서 慎重한 調查를 하지 않으면 안 된다. 岩盤基礎에 있어서 넓게 開放된 地層인 斷層이나 hair creak(微龜裂) 등이 發見된다. 河床에 있어서 自由流動 地下水를 同伴한 粗礫의 細砂가 狹在되어 lens 狀과 interbedded 되어 나온다. 그러한 例를 參酌할때 Grout 問題에 있어서는 擔當技術者는 基礎時 如何한 變化에도 適應할 수 있겠음 數種의 型으로 Grout 設計를 하여 施工할 수 있겠음 計劃하지 않으므로 工事に 차질을 갖어오는 前例가 많았다. 이 問題는 慎重히 다루어서 앞으로 善處되기를 期待한다.

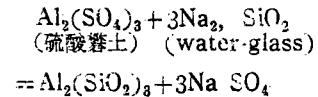
### I. 概 說

#### (1) 藥液注入工法の 沿革

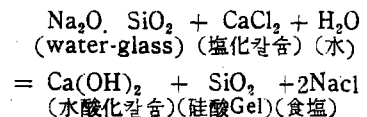
1876年에 Cement Grouting method 가 始作된 以來, 各種建設工事中서 사람의 손이 미치지 못하는 施工位置에 補強하는 工事로는 有力

한 武器로 使用되어 왔으나 粗礫, 細砂의 lense 層에 自由流動 地下水가 있는 곳에서는 그 威力을 喪失하여 왔다. 이의 補強施工法으로 發展된 工法이 藥液注入工法으로서 1906年以後에 出現하여 砂層 및 微細한 空隙充填用으로서 活用되고 있다. 이 工法이 珪化法으로 化學的인 固結法으로서는 처음이다.

創始者 A Francois는 water-glass+硫酸礬土를 混合注入시키는 方法을 考察하였다. 이 方法의 要領을 概觀하면 다음과 같은 化學反應을 일으킨다.



硫酸礬土는 膠狀物質로서 Cement 에 比하여 大端히 微粒이며 潤滑性作用을 함으로 어떠한 微細한 空隙과 龜裂속에도 浸透할 수 있음으로 Grouting method 는 進一步한 方法이다. 다음에 研究發表된 것이 獨逸의 H. Joosten 博士에 依해서 特許된 Joosten 固結法으로 알려진 工法이다. 이 方法도 特許法으로 water-glass+鹽化칼슘을 同時에 注入하는 工法이다. 化學反應을 보면 다음과 같은 反應이 되어 固結한다.



反應過程은 本質的으로 milk가 酸敗할때 「카세인」을 分離凝結하는 것과 거이 같으며 鹽化칼슘이 water-glass에서 珪酸 Gel이 생김으로서 되는 것이다. 두개의 溶液을 相接한 모래管속에 注入할 때 珪酸 Gel은 周圍의 모래粒자에 強力한 吸着力을 줌으로서 모래가 固結하여 돌과 같이 된다. 이 現象은 珪酸 Gel生成의 瞬間, 突發的으로 일어

난다. 或은 空氣中에서 上記한 矽酸 Gel의 吸着에 依한 硬化作用外에 炭酸칼슘硬化作用이 일어난다. 炭酸칼슘分離는 水酸化칼슘과 CO<sub>2</sub>의 反應이 일어난다. 이의 特徵은 固結作用이 빠르다기보다 瞬間的으로 發生함으로 砂礫層 및 水壓이 높은 湧水地帶에 有利하게 施工할 수 있는 工法이다. 그러나 但, 實際施工에 있어서의 問題點(改善 및 研究할 點)이 大端히 많은 것으로 알려진 工法이다. 이 工法이 採擇 施工된 곳은 London의 下水道 Moscow의 地下鐵, England의 Kingston 建物改築, 日本의 丹那 Tunnel(世界 二次大戰前) 掘進時, 止水掘進工事에서 採擇되었다. 이 工法의 實驗을 筆者 經營會社의 技術陣에 依해서 實驗한 結果 配合比와 溫度調節을 하여도 20秒~2分30秒 間에 硬化됨으로 細心한 注意를 하여 注入하지 않는 限 難點이 많은 것으로 알려졌다. 故로 安全施工策으로는 注入管을 2個埋設하여 A液 B液을 各各의 注入管을 通하여 注入시켜서 地盤속에서 合流하여 固結反應이 일어나야 되나 侵透限界를 參酌할때 注入材流動浸透中(좁은 注入有効範圍徑)에 硬化가 累進的으로 進行됨으로 地盤注入法으로는 廣範圍하게 活用키 困難하며 施工用 燭가 局限된 工法으로 生覺된다. 世界 第二次大戰後에 災害復舊工事 및 各種建設工事が 活潑함에 따라 土質力學이 急進的으로 發達하여 地盤의 各種性質이 究明되었기에 先進國에서는 軟弱地盤改善, 構造物基礎補強 및 止水의 目的等等, 多目的으로 活用되어오고 있는 것과 같이 地盤注入工法도 이에 步調를 같이 하여 發達하고 있다. 故로 이의 効率的인 利用度가 높아감에 따라 各種

特許新工法이 繼續的으로 先進國에서 나오고 있으나 우리나라에서는 在來式 20年前의 工法을 오늘날까지 그대로 施工하고 있음은 注入工法에 從事하며, 공부하는 사람으로서는 깊이 反省하여야 될 것으로 生覺한다.

現在, 藥液注入工法은 거이 特許法으로 되어 있기에 機密性이 濃厚하며 一定한 基準이 없음으로 施工面에 있어서 信賴感이 低下되었다는 것은 否認할 수 없는 事實이나 漸次的으로 特許法도 一般에게 公知되어 가고 있으며, 科學化함으로 安心하고 活用할 수 있게됨을 多幸으로 生覺한다. 科學하는 技術者는 果敢하게 또 緻密한 計劃과 研究性下에서 文獻을 徹底히 調査하여 實務에 臨하면 두려울 것이 없을 것으로 안다. 筆者가 調査하고 알려진 法으로는 1964年度까지 알려진 工法이 約 104種이 나온 것으로 안다.

(2) 近來에 와서 Chemical Grouting method와 其他 各種 Grouting method에 있어서 功勞者는 獨逸의 Jähde 教授로 有益한 報告文이 많다. 現在 가장 많이 活用하고 있는 것은 LW工法(LABILES WASSERGLAS)으로 가장 經濟的인 Chemical Grouting method이다. 이것도 water-glass를 主成分으로 하여 注入하는 特許 工法이다. 隣近日本國에서도 water-glass를 主液으로 하여 新工法으로 特許된 것도 3種이나 있으며 此外에는 合成樹脂原料를 主材로하여 漸次的으로 微細한 空隙을 充填시키는 藥材가 出現하고 있으나 이를 大體的으로 간추려서 系統的으로 分類, 要約하여 보면 表-1과 같다.

表-1 藥液注入工法一覽表

區分	注入劑의 名稱	使用材料	主劑의 物理性	凝結時間 (調節의 難易)	注入方式	注入可能한 粒程	備 考
一般用材	Cement	Cement (Fly ash Bentonite)	乾燥粉末		一液	1. mm	
	Clay, Bentonite	Clay, Bentonite	"		一液	1. mm	
	瀝青材	瀝青材, 保護膠質凝結劑	瀝青의 乳濁液		一液	0.2mm	
(出機産品系)	Joosten	矽酸소다 鹽化칼슘	液狀	瞬結	二液	0.5mm	goosten의 特許
	gähde	鹽酸소다 1m	液狀			0.5mm	
	不安定 water-glass (Lw)	矽酸소다 Cement	"	數秒~數十分 (普通)	一液又는 二液	0.1mm	gähde의 特許
	改良型不安定 waterglass(ILw)	矽酸소다 Cement, Bentonite	"	" (易)	"	0.2mm	樋口芳郎特許

區分	注入劑의 名稱	使用 材料	主劑의 物理性	凝 結 時 間 (調節의 難易)	注 入 方 式	注入可能한 粒程	備 考
Sodium silicate	Hydrok	矽酸소-다 矽弗化소-다 重炭酸소-다	"	(易)	一 液	0.2mm	三井建設特許
	Gemi skuto	矽酸소-다 아루린酸소-다	"	(易)	二 液	0.2mm	丸安, 今岡博士特許
	Silicate Bicarbonate	矽酸소-다 重炭酸소-다	"	(易)	一液 또는 二液		
	Sansolta	Sansolta(矽酸소-다)A " (硬化劑)B	二 液	(易)	二 液	0.05mm	二洋化成(株)
Lignin 系	데라, 후아마	리구닝스루후은酸칼슘 重우루우酸칼슘鹽化 第2鐵 鹽化 Na.	黃褐色 粉 末	數分~數十分 (難)	一 液	0.1mm	英prepack 社特許
	T. D. M.	리구닝스루후은酸鹽 重크롬酸소-다 其他		數分~數時間 (易)	二 液	0.1mm	英 Cementation 社特許
	San-grout	리구닝스루후은酸鹽 重크롬酸소-다 鹽化第2鐵 硫酸알루미늄	液 狀	數分~數時間 (普通)	一液 또는 二液	0.1mm	山陽파루루(株)
Acrylamide	AM-9	아구리루아마이드 NN-메치렌스아구리루아마 이드 TEA. AP. kFe	乾燥粉末	數秒~數時間 (大端히容易)	一 液	0.01mm	Karol氏特許
	日東 SS	"	"	數秒~數時間 (大端히容易)	二 液	0.01mm	日東化學特許
	Sami-sol	아구리루아마이드 아스코루酸소-다 TEA. Ap.	"	"	二 液	0.01mm	住友化學(株)
	아 룡	아구리酸칼슘 아구리酸칼슘 Ap. 아구리酸亞鉛, 키오硫酸 Na.	"	數十分~數時間 (易)	二 液	0.08mm	東亞合成(株)

이와같은 條件만으로 要求條件이 充足되지 못하였을 때에는 結合反應이 多種多樣하나 各種添加劑를 加함으로서 要求條件을 滿足시킬수 있다. 이에 對해서 大體의인것을 概觀하여 보면 다음

表-2와 같은 混合劑 및 添加劑를 加함으로서 要求條件에 맞게 誘導하여 注入材를 改善注入시킬수 있음으로 參考로 例示하여 둔다.

表-2 Grouting 에 있어서 各種添加劑의 種類 및 作用

種 別	名 稱	主 作 用	副 作 用	添加量 (Cement %에 對한것)
포 조 란	후라이엡수 其他	Cement 混合水中의 水酸化칼슘과 不溶性化合物生成, 長期強度增加	球狀未立子때문에 流動性增大 所 要水量減少	0-300 普通 0-40
防 沈 劑	Bentonite	Cement 粒子的 沈降分離防止	強度低下	W/C < 200% 3~5
分 散 劑	포조리스等	Cement 粒子的 分散, 團塊防止	所 要水量防止 流動性增大	W/C < 200% 0.25
遲 延 劑	리구닝스루후은 酸 칼슘等	凝結을 느추며, Grout 를 充分히 浸透시킴	注入均一化	0.2以下
膨 脹 劑	아루미 후테기等	Gas 發生에 依한 膨脹	收縮防止	0.005-0.2
促 進 劑	鹽化칼슘 water-glass	急結, 硬化促進	發熱 凍害防止	1-2
潤 滑 劑	스메어링鹽等	分散, 遲滯, 膨脹, 空氣連行等	인르투온 에이도等	0.25
起 泡 劑	石油界面活 性劑等	起泡, 푸라스 메이시메-1增加	極貧配合可能 1:8~1:25	

上記한바와 같이 注入材의 主材別로 分類하여 보면, 一般注入材, Sodium silicate 鹽系, ligning 系, Acrylamide 系 및 其他系로 分類된다. 分類別로 特徵을 보면 注入浸透限界가 가장 問題點이다.

## II. Grouting method 要領

### (1) Grouting 工法의 種類

#### (i) 實施場所, 注入目的에 依한 分類:

##### (가) Consolidation Grouting method.

이는 地盤의 掘鑿壁面, 切取面의 地盤強化, 支持力增大, 構造物基礎強化等の 注入工法.

(나) Cutting Grouting method

止水를 爲한 透水性의 低下, 浸透水 또는 漏水 阻止等の 工法.

(다) Contact Grouting method

P.C.構造物 誘導管充填, 岩盤의 龜裂, 節理目, 空洞充填, Concrete 構造物補強策等이다. 이의 特徵은 注入材가 凝固時 收縮하지 않고 膨脹하여야 될 性質을 要한다.

(ii) 注入壓力에 依한 分類

(가) 低壓 Grouting 工

Zero Grouting 이라고도 말하며 Consolidation Grouting 및 Blanket Grouting 에 適用.

(나) 中壓 Grouting

補助 Cutting Grouting 工 및 Consolidation Grouting 에 適用

(다) 高壓 Grouting 工

Cutting Grouting 工 및 Contact Grouting I 에 適用된다.

(iii) 施工法에 依한 分類

(가) 一段式 Grouting 工

空洞이 많은 岩盤에 適用.

(나) 多段式 Grouting 工

一般土質 및 岩盤에 注入時 適用.

(다) Parker Grouting 工

岩盤의 各種龜裂에 適用되며, 近日에 와서는 土質 Grouting 時에도, 一部適用

(2) Boring

Grouting 에 있어서 Boring 機械의 選定은 Grouting 工의 速度와 經費에 大端히 큰 影響力이 있음으로 Boring 의 깊이 作業條件, 岩質과 地盤에 依한 檢討를 한 다음에 決定하는것이 必要하다. 孔深 10m 以下의 淺孔에 地質이 良好하면 性能이 좋은 Wacone drill 을 使用하는것이 能率도 좋고 經費도 적게 消費됨으로 適切한 機材孔深이 10m 以上이 되면 Boring machine 에 依하지 않으면 안된다. 또 岩質과 能率을 考慮하여 Diamond Bit, Metar Crown, Phot Ball 等を 使用한다. 이中에서 Diamond Bit 에 依한 Boring 은 가장 能率的이다, 工費의 點에서는 가장 높다. 孔徑은 普通 46mm~65mm 의 것이 使用되고 있다.

(3) 注入壓力

Grouting 工法의 注入壓力이 높으면 地盤 및 岩盤이 動搖하며 壓力이 낮으면 Cement milk 및 Cemical Solution 이 地盤空隙의 未充填 岩盤龜裂속에 未浸透된다. 最大壓力은 上部의 岩盤 및 土塊狀에 設置된 構造物의 重量과 Concrete 및 土塊의 物理的 性質에 注入材의 濃度와 粘性에 關聯해서 定하여지는 것임으로 現在까지는 一般的인 結論이 나와 있지 못함으로 各 Dam 및 構造物의 施工例와 Grouting test 의 結果等を 勘案하여 慎重하게 다루어지고 있는 中이나, 不遠將來에 統一性과 工法의 要領이 定하여질 것으로 믿는다. 參考資料로는 Corps of Engineer(美陸軍技術團)에서는 上部에 있는 岩石의 重量 1ft (呎)當 1Lb/in<sup>2</sup> 岩盤의 種類 및 物理的 性質에 있어서 1ft 當 2-3 Lb/in<sup>2</sup> 을 標準으로 하고 있으며 注入材의 濃度와 兩쪽에 Grout 工이 行하여지고 있는지 如否等を 基盤上의 構造物, 重量等を 考慮하여 最大壓力을 定한다. Creage and Justin 은 다음 公式을 주고 있다.

① 塊狀의 岩盤

$$P=h+1.33h(h/100+3\sqrt{h}/20)$$

② 層狀의 岩盤

$$P=h+1.33h(h/960+\sqrt{h}/20)$$

③ 주어진 標高 以上은 Grout 된 層狀의 岩盤

$$P=h+1.33h(h/400+3\sqrt{h}/40)$$

여기에서

P=주어진 깊이에 依해서 近似壓(Lb/in<sup>2</sup>)

h=表面下의 깊이(feet)

이며 土塊에서는 이의 1/4 程度로 보면 近似値가 나온다. 日本의 國鐵盛岡工事局 研究室長 掘松和夫博士의 實驗結果는

$$(注入壓力) \propto \left( \frac{注入流量}{被注入體의 受入量 L/分} \right)^n$$

n=粘性度

로 잡아서 計算하였으며(이는 土被壓과 같음) 中央電力研究所에서 統計年 表를 參酌하니

① Consolidation Grouting 工에서는

$$P=0.4\sim 0.7d$$

② Cutting Grouting 工에는

$$P=0.7\sim 1.0d \quad \text{이다.}$$

(但 Chemical Solution 注入時 最大壓力)

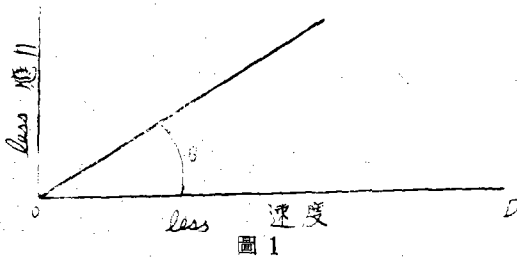
또 U.S.B.R(美聯邦開拓局)에서 Chemical So-

lution Grouting 의 最大壓力으로 注入할 結果表  
를 보면 다음과 같다.

番 號	注 入 壓 力 과 注 入 量
1	3.5kg/cm <sup>2</sup> 에는 20分間에 28ℓ 以下
2	3.5~7kg/cm <sup>2</sup> 에는 15分間에 28ℓ 以下
3	7~14kg/cm <sup>2</sup> 에는 15分 28ℓ 以下
4	14kg/cm <sup>2</sup> 에는 5分間 28ℓ 以下

#### (4) 粘 性

層流間의 shearing strength velocity D 와 그  
때에 생기는 粘性應力 即 Shear stress J 의 關  
係가 圖-1 과 같이 直線의 일 때 이 流體는 New  
ton 流體라고 말한다.



그러나 이 流體應力도 過去와는 달리 High  
turbulonce mixer 를 使用함으로써 注入材에 安全  
性, 流體性, 非分離性을 주어 一層 良好한 注入  
을 할수 있게 된다.

以上과 같이 注入 Grout 의 品質에는 流動性,  
強度, 耐久性, 注入時의 非分離性 및 Grout 의  
Breeding 作用後의 有效率等 諸性質은 施工上  
좋은 것을 要求한다.

이와같은 工法의 要領은 美國土木學會(ASCE)  
土質基礎分科委員會에서 1952年頃에 設置되어 注  
入委員會(Grout committe)에 依해 많이 收錄되  
어 있다. ASCE 의 注入委員會는 1956~7年에 數  
次に 걸쳐서 各種注入에 關한 Symposium 을 開  
催하여 注入工法의 合理化를 活潑히 推進하고 있  
으며, 1961年 總體 Symposium 에서 많은 새로운  
實驗結果로 좋은 資料가 究明되었고 歐洲에서도  
佛蘭西, 獨逸等에서 일즉부터 施工 國家로 各  
種 注入工法의 事例와 새로운 注入工法 等이 漸  
次的으로 밝혀져서 發表되고 있다.

日本에서도 樋口博士, 堀松博士, 丸安博士, 中  
央電力研究所, 農林省에서 實驗, 研究한 結果도  
많이 公表되고 있음으로 우리나라는 어려운 過

를 밟지 않아도 直時 注入工事に 臨할수 있게  
되었음은 한편으로는 多幸한 일로 생각된다.

### Ⅲ. 藥液注入工法各論

Grouting 의 原則에 있어서 市粗粒砂層은 有效  
空隙이 커서 Cement Grouting 및 Clay Cement  
Grouting 이 可能하다. Tunnel 裏込充填 및 地  
盤空洞充填等은 Cement mortar 을 注入한다.

이런 地盤및 條件下의 것은 經泡性이 낮은 工  
法을 擇함이 原則이다. Grouting 은 有效空隙徑  
에 Grain Size 가 有效空隙徑의 15/85 以內徑 即  
空隙有有效徑의 1/5 程度의 注入材徑을 갖은 것이  
가장 有效하며 空隙充填과 同時에 安全하게 注入  
이 된다. 但, Cement, clay Cement, Grouting  
으로 하면 Gel time 遲延으로 地下伏流水가 발  
라서 注入材의 凝結時間調節이 不可하며 流失이  
될 境遇 目的地點에 Cutting Wall 이나 Consoli-  
dation grouting 이 不可하다. 添加劑의 調節로도  
不可할 때에는 Gel time 調節이 容易한 Chemical  
Grouting 을 採擇한다. 空隙이 微細하여 Suspen-  
sion Grouting(懸濁液注入)이 不可할 때에는  
Chemical solution grouting(化學劑溶液注入)을  
選擇한다. 故로 注入材는 有效徑中에서 有效空  
隙의 1/5 經의 注入劑經이 適切함으로 이에 濃  
度를 調節하여 注入하는 것이 良好한 方策이다.  
이와는 條件이 若干 相違하거나 完全相違할 時  
에는 Grouting Suspension Grouting(化學溶劑  
注入) 및 Semi Solution grouting(半溶液注入)  
을 한다. 이러한 條件의 것은 다음과 같다.

#### (1) Sodium silicate(Water-glass)系

Water-glass 系를 利用하는데는 純碎한 Solution  
Grouting(溶液劑注入)과 Semi-Solution Grouting  
(懸濁液注入)法이 있다. 各工法의 適材適應性을  
알기 爲해서는 Water-glass 의 性質을 알아야한다.

#### (i) Wafer-glass 의 物理性

##### (가) Colloid 의 帶電

水溶液中에 있어서 Water-glass 의 帶電은 各  
種의 添加物에 따라 相違하며 荷電狀態의 變化  
에 關한 研究는 大端히 重要한 物理的 性質을  
究明하는데 絕對的인 位置를 占한다. 그러나 千  
變萬化하는 이 Water-glass 의 性質은 組成의 形  
態가 아주 明確히 究明되지 못하고 있다. 最近  
의 研究에 依하면 Water-glass 는 事實上 兩性的

性質을 갖고 있음이指摘되고 있다. 強酸性溶液中에는 苛性소다와 같이 鹽基性을 갖는다. 그러나 純수한 水中에서는 硅酸이 水和物과 같이 石灰 石英 glass와 같은 陰電荷를 帶電하여 水素 ion을 갖음으로서 酸으로 認定케 된다. 이와 같은 荷電의인 性質이 있음으로 添加物에 따라 各種의 物理的인 性質로 變하여 감으로 앞으로 더욱 研究하여 究明하여야 될 性質이 많다.

#### (나) petistation (解膠)

活性炭과 같이 硅酸 Gel은 많은 物質을 吸着한다. 그러나 相違點은 水溶液中에 있어서 吸着樣式이 틀린다. 硅酸 Gel은 所謂 極性吸着劑이다. Colloid 化學의 考察法에 依하면 負荷電의 Colloid는 吸着한 OH ion에 依해서 強하게 帶電하며 그로 因하여 安全하게 되며 所謂 解膠(Retistation)한다. 重合硅酸은 이에 相當한 량이 吸着된 OH ion 때문에 數倍의 荷電을 갖인 重合 ion(polyon)을 賦與한다. 이의 polyon은 相互反發하고 있음으로 熱運動에 依해서 分裂하는 傾向이 있으나 그 以上の 重合을 防止하며 水溶液中에서는 遊離硅酸의 重合을 防止하며 水溶液中에서 遊離硅酸의 重合은 OH ion 濃度와 水分含有量에 依해서 定하여져서 平衡狀態를 持續하는 것이 特色이다.

#### (다) Viscosity (粘性)

Grouting 工法에 있어서 必需條件으로 알아야 될 것이 Viscosity이다. Water-glass 溶液에 關한 性質을 說明하는데 아주 極히 困難한 狀態에 있다. 近來에 와서 有機化合物의 粘性에 對해서 研究한 結果를 보면 化學의 新分野인 高分子 化學이 導入되어야 됨으로 此頁에서 論及하려는 趣旨과는 相違함으로 略한다. 이의 本格的인 性質을 正確히 說明하여 記述하는 것은 언 將來이다. 故로 Grouting 하는에 必要한 粘性은 熱 30°C 까지이며 여기까지는 Newton law에 依하므로 Grouting 하는에는 別支障을 招來하지 않음으로 널리 一般化되어 가고 있다.

#### (ii) Lw 法

安定化한 Water-glass라는 意味에서 獨逸語의  $\phi$ LABILES WASSERGLAS에서 단 册名을 말하여 LW라고 말하며 漸次的으로 이를 LW法이라 呼稱하게 되어 오늘날에 와서는 共通的으로 LW工法이라고 불려진다. 이것은 英語의 Least

那 最少의 努力이라는 意味에서 作業의 單純性을 뜻하는 工法이다.

#### (가) LW의 組成

LW라는 것은 A液 硅酸 Colloid溶液(Water-glass)과 B液, 即 Cement Suspension의 2種을 同時에 注入하게되며 主로 Cement量 或은Cement效果의 增減에 따라 凝固時間(gel time)을 調節하는 特許複合法 Grouting이다.

Bentonite 등의 防沈澱添加劑를 添加함으로써 注入作業時 沈澱物이 防止되며 作業의 安全性을 期할수 있는 工法이다. 이와같이 改良하여 作業하는 工法을 改良型不安定water-glass工法(ILW工法)이라고 하며 日本國鐵研究所 構造物研究室 樋口芳郎博士의 特許로된 工法이다. 一般의인 LW工法은 東伯林에 屬한 Freiberg mine collage의 qähde 教授가 처음 創案 發明하였고, 여러사람에 依해서 改良發展하여 왔다.

#### (나) LW의 反應

不安定 Water-glass의 凝固反應은 大端히 複雜하다. 酸性反應으로 일어나는 他工法과는 다른 方法으로 Water-glass의 PH는 Cement Suspension을 添加하여도 本質的으로 變化하지 않으며 混合物도 역시 鹽基性이다. 이 混合物은 水和에 依해서 생기는 膠質이 있는 轉移時間 以後 規則的으로 生成되어 온다. 이 反應은 凝結劑의 量(Cement)과 凝結劑(Water-glass)에 作用하는 作用時間(分)의 關係로 나타난다. 故로 Cement의 種類에 따라서 反應도 各各임으로 現場에서 條件에 適應되게 最適의 添加物을 調節하고 反應時間을 맞춘다. 但 水溫에 따라서 轉移時間도 影響을 받음으로 注入作業中 絕對的으로 調節하여야 된다. 이 不安全 Water-glass에 依한 工法의 利點은 Joosten工法에 比較하여 注入孔에서 有効影響距離가 큰것과 取扱의 容易性等을 들 수있다. 止水效果도 Joosten工法에 比하여 良好하며 固結狀態도 낮다. 化學分析에 依해서 析出된 硅酸水和物은 물에 不溶解性이며, 化學藥品의 腐蝕에 對해서도 玉石과 같이 固結되어 있다. Water-glass는 Cement Suspension에 粘土를 添加하여서 施工하거나, 粘土 Suspension pozolis 微粉末等을 混合하여서 Cement milk注入이 不可한 地點에 注入을 할수가 있다. 이 Water-glass의 PH 反應에 依해서 固結함으로 支持力 增大를

爲한 目的에는 合當하지 않는다.

上記한 A液中の 矽酸 Colloid 微粒子是 前述한 바와같이 定期的으로 帶電되어 있다. Colloid溶液의 安全性은 이 荷電의 힘이다. 矽酸 Colloid 微粒子是 (-)를 帶電하고 있으며 電場內에서는 (+)極에 移轉한다. Colloid物質에서는 水酸化鐵과 같이 (+)로 帶電되었으며 (-)極으로 移動하는 것도있다. 이러한 電氣의 作用으로 因하여 複合的인 反應이 일어난다.

Cement는 (+)荷電을 帶電으로함 이것이 混合하여 會合하면 兩極은 放電하여 電荷를 喪失, 不安定化하여 凝固하는 反應을 이끈다. 또 Cement의 主成分인 矽酸三石灰와 Water-glass中の 矽酸이 相互結合하여 矽酸石灰水和物로 되어 Gel로서 分離하는 反應을 일으킨다.

#### (다) 注入作業

作業時에는 地盤條件과 自由流動地下水의 影響關係를 考慮하여 注入材의 浸透限界와 凝固時間調節에 따라 1工程式, 2工程式等으로 區分하여 注入한다. 但 自由流動地下水速度가 빠르지 않으면 地質條件을 考慮하여 1工程式을 採擇하는것이 作業의 單純性, 經濟性을 考慮하여 有利하나 不得已한 境遇에는 注入材의 配合를 調節, 硬化時間을 短縮, 2工程式作業을 한다. 이 作業時에는 注入條件과 地盤條件의 影響範圍를 考慮하지 않으면 안된다. ILW工法(改良型 不安定 Water-glass工法)은 LW法에 單純히 Bentonite만 더 添加하여 注入時, 沈澱物發生이 없이 容易하게 注入되게 하는 工程만이다. 安全性과 流動性을 考慮하면 ILW工法이 進一步한 工法이다. 이의 特長은 耐酸耐鹽性, 耐海水, 高温水等에도 耐久性이 가장 높으며, 注入劑가 入手容易하며 低廉價임으로 가장 獎勵하여야 될 工法이다.

이의 配合調節等은 農業土木分野에서 今年度부터 施工에 着手하였으므로 좋은 研究發表가 나올것을 期待한다.

#### (2) Ligning 系

Ligning 은 木材의 重要한 構成要素의 하나로 20~30% 含有量을 갖고있다. 故로 亞硫酸法으로 木材를 處理하여 팔프를 製造할時에 排出되는것은 Ligningsulfon 酸칼슘을 主成分으로 하는 多量의 排液이 생긴다. 過去부터 이排液의 利用方

法에 對하여 많은研究를 해 왔으나 近來까지는 大部分을 利用하지 못하고 廢液으로서 버리고 말았다. 故로 河川, 港灣下水溝, 其他各處가 汚濁되어 各種毒性에 對한 被害를 입고 있었다. 이 亞硫酸팔프排液의 利用方法의 하나로 道路에 對하여 一時的인 防震劑, 安全劑로서의 用途가 있으나, 水溶性으로 因하여 耐久力이 적어서 缺陷을 많이 갖어오고있다. 이와 같이 Ligning 이 防水性에 弱함으로 여러學者에 依해서 研究된結果 1908年 Haoge에 依해서 亞硫酸팔프排液과 無水크롬酸 또는 水溶性크롬酸化合物에서 얻어지는 接着劑가 耐水性을 갖으며 그때에 비로소 硫酸의 併합이 効果的인 것을 알았다. 이것을 漸次로 發展시켜서 亞硫酸팔프排液을 使用하게끔 되었으며 美國에서는 特許가 續出하고 있다. 이는 織物의 充填材로도 使用되고 있다. 이를 Cornell大學의 Group에서 改良에 改良을 加하여 研究되며 現場에서 多量 Grouting 工法에 使用할수 있게끔 Chrome Ligning 工法을 發展시켰다. 여기에 記錄하는 것은 Cornell大學에서 開發한 報告書를 中心으로 하여 記述한다.

#### Chrome ligning의 硬化에 對하여

一定한 Chrome ligning 으로 處理한 土質의 供試體를 水中에서 養生시켰을때 壓縮強度는 Silt層이 最大이며 粘土, 粗砂의 順으로 漸次的으로 弱하여 나간다. 이때 Silt와 Clay의 表面은 耐水性이 大端히 良好하다. Silt나 Clay에 있어서 細粒度의 Ligning과의 사이에 形成되는 化學結合에 依하는 것임으로 큰 強度를 갖는다. Chrome ligning의 效果는 Gel化能의 多少에 依해서 顯著한 影響을 갖는다. Gel化를 支配하는 因子는 여러가지 있으나, 最近에 研究된 바에 依하면 그 活性中心의 水酸基에 基因된다는 것을 알았다. Gel化의 굳기를 支配하는 因子는 6個의 酸素原子에 包圍되어 強力한 共有結合을 形成하고 있는 Chrome Atom으로 생각된다. Chrome는 土粒子表面의 酸素原子와는 堅固히 結合한다. 이것이 細粒土에 있어서 Chrome ligning의 強度가 顯著히 增大하는 主要한 原因일것이다. Chrome ligning 混合物은 附近에 存在하는 水分子를 包含하여 Gel을 生成시키며, 毛細管中에 Gel을 保持시키는 것이 됨으로 土塊中の 물의 흐름을 完全히 止水시킬수가 있다. 土粒子의 表面에 吸着

된 Chrome 酸素에 依해서 土粒子上에 連續의 膜을 친다. 그러므로 Chrome ligning 化合物은 土質에 相當한 壓縮強度와 剪斷抵抗 및 不透性을 갖는다.

(ii) Chrome ligning 性質

亞硫酸팔프排液中의 ligning 으로 變形한 것의 40%液을 A로하고 重크롬酸소다 40% 溶液을 B로하고 물을 C로하면 普通 Grouting 은 A:B:C = 160:20:(60~100)의 重量比로한다. B液의 一部를 아루미鹽分으로 置換한것의 B'는 Gel 時間의 短縮 및 強度의 增大가 期待된다. 아루미鹽配合에 있어서 各種配合이 問題視되나 研究者에 따라 相違함으로 詳論을 避한다. 또 動水傾도가 클 때에 있어서의 注入과 掘鑿斷面漏水의 止水等에는 Gel 化時間의 짧은 것이 要求된다. 衛生上의 點에 關하여 論하면 重크롬酸소다中의 b價의 Chrome 鹽은 劇藥物임으로 ligning 과 混合하였

表-3

注 入 位 置	配 合	深 度	平均壓縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	strain (%)	乾 燥 程 度	試 料 採 取 位 置
No. 1	A. 100 : B. 20. : C. 80	4.5m	3.57	4.5	1.5	中心에서 40cm
No. 3	A. 100 : B. 20. : C. 80	4.5	3.72	4.0	1.51	中心에서 20cm
		4.5	2.46	3.2	1.36	中心에서 60cm
No. 2	A. 100 : B. 20. : C. 100	4.5	1.5	4.9	1.36	中心에서 30cm
		4.5	1.24	4.2	1.53	中心에서 70cm
No. 1	A. 100 : B. 20. : C. 80	5.0	2.64	3.1	1.57	中心에서 30cm
No. 3	A. 100 : B. 20. : C. 80	5.5	2.56	3.3	1.59	中心에서 20cm
		5.5	2.45	3.8	1.48	中心에서 40cm

故로 變形Chrome ligning 에 依한 藥液注入工法의 結果에서 보면 Chrome. ligning 이 注入工法으로서 確實性이 있다는것을 充分히 알수있다고 볼것이며 다만 앞으로 研究對象이 되는것은 耐久性 腐蝕性과 其他, 衛生工學的 檢討만 하면 施工할수있다. 但 充分利用하면 廢品利用으로 經濟性이 낮고 微細한 空隙充填이 됨으로 獎勵할 工法이다.

(3) 아크릴 아미드 (Acrylamide)系

Acrylamide(以下 AAM 라고 呼稱함)가 文獻上으로 記錄되며 나온것이 1894年이다. 工業用途로서 AAM 가 開發 및 注目되기 始作한것은 合纖 및 合成樹脂의 發展에 隨伴하여 極히 最近에 이루어 졌다.

을 때 漸次的으로 無害의 3價 Chrome 鹽으로 變하여 감으로 걱정은 없다. Gel 化後에는 물에 不溶解함으로 不透水性의 固結物이 됨으로 安全하다.

(iii) 注入工法

現場에서 注入은 各種制壓때문에 容易하지 않다. 注入後의 效果에 있어서는 工期의 關係도 있으나, 比較的 容易하게 判斷될때도 있으나 定量的으로 把握하기에는 現在까지는 困難하다. 日本의 例를 들어보면 大阪地下鐵建設現場에서 山陽팔프製品으로 施工한 例를 보면, 注入및치를 1m間隔에 3本으로 하여 砂層 및 loam 層에 注入한 結果, 砂層에는 注入에 依한 固結도가 均一하며, 粘性的 濃도가 낮은것일수록 均一성을 보였으며 loam 層에 있어서는 不均一하며 Block 狀으로 나왔다. 그結果를 보면 表-3와 같다.

그理由는 單量體인 AAM 의 合成이 Acrylnetro (以下 AN 로 呼稱)의 半加水分解에서 일어나고 있음으로 이原料에서 AN 의 合纖原料로서 大量 生産되게 되었다는 것으로 原料問題의 解決이 第一이다. 그러나 合成樹脂 特히 Vinyl 樹脂系의 單量體는 Ethylen 鹽化 Vinyl 스티렌으로 代表되는 것과 같이 大量生産에 依한 價格低下와 用途開發이 車와 車輪과의 關係와 같이 相助하여 開發이 되는 關係로 AN 의 原料로하는 AAM 는 역시 價格面에서 高價가 豫想되며 最近까지 相當한 高價로 用途가 있어도 使用困難한 處地에 있었다. 既述한바와 같이 AN 의 大量生産에 隨伴하여 價格低下 半加水分解合成法의 改善 등의 勞力이 AAM 의 合成樹脂原料로서 使用 가능한 範圍에 들어갔으며 最近에는 用法上의 特許가 나왔다.



Grouting 工에 있어서도 U.S.A 의 Cyonamic Co. 의 Karol 氏에 依해서 特許된 AM-9 를 筆頭로 日本의 日東 SS 等等이 이系列에 屬한다. 이系列은 最近에 開發된 高分子化學에 依해서 特許된 것일므로 土木技術者가 理解할수 있는 範圍에서 說明 하여 보겠다.

AAM의 特徵을 들면

(가) Vinyinormal로서 共重合을 包含하여 重合可能物質이며 Radical 重合外 Anion 的인 重合을 한 然後, Polymer 重合도 行하여진다.

(나) monomer reactive radio (相對的反應性)은 結晶性으로 取扱하기 容易하며 r 線에 依해서 固體대로 重合할수 있다.

(다) monomer 및 radical 重合體는 같이 水溶性이며, 많은 化學的處理를 하여 特殊한 誘導體를 合成하여 얻는다.

(라) Amido 基는 미라민, 尿素와 같이 브루마링에 依해서 메치로-루化合物을 形成하여 縮合系樹脂에도 利用될수 있다. 이들의 4 項目에 있어서의 特徵만이 AAM 用法上的 point 로 하여 注目하지 않으면 안된다.

※ monoma의 物理的性質

AAM는 白色結晶으로 下記物性を 갖는다 加熱에 依해서 昇華하는것 以外에 熱重合을 함으로 正確한 融點測定이 어렵다. AAM의 純品을 얻기 爲해서는 低温의 Bensol에 對한 溶解度の 적은것을 利用하여 温 Bensol에 AAM를 溶解하여 再結晶하는 方法을 써서 얻는다.

※ 化學的性質

이는 2 種으로 區分되나 專門的인 高分子化學을 利用하여야 됨으로 此章에서는 略함 但 Acrylamide에 觸媒를 加함으로 重合反應을 이끄러서 물에 不溶性의 重合體(Gel)를 生成하며 이것이 土質安全에 寄與한다. 이 種類와 用途는 다음表와 같다.

아크릴 酸鹽類의 種類와 用途

名	稱	安定化作用	用途
水重	포리 아크리루 酸 칼슘	凝集, 團粒化	土堤土砂 流失防止 運 道路의 防 塵泥塵化 防止
溶合 液體	포리 아크리루 酸 나트륨		

水	아크릴 酸 칼슘	重合反應 土粒子接着 間隙充填	軟弱地盤의 安全 Dam의 止水壁 Tunnel 內의 漏水 防止 地下水의 流動防止
溶	아크릴 酸 亞鉛		
性	아크릴 酸 마구네슘		
單	아크릴 酸 바리움		
重	아크릴 酸 스트론 치움		
體	아크릴 酸 닛켈		
	아크릴 酸 아루미늄		

이들의 組成에 依한 使用과 亞鉛과 같이 酸性 水溶液에 使用하면 새로히 特出한 效果를 낸다. Cement 併用도 큰 水壓에 견딜수있으며 Tunnel 등의 漏水防止等에도 使用할수 있다.

i) AM-9

가) AM-9의 材料

이材料는 U.S.A. 의 cyonamic co의 主任技師 Karol 氏의 特許로 水中에서 溶解되는 白色粉末 acrylamide와 N<sub>7</sub>N<sup>0</sup>-methylenebis acrylamide 로되어 있다.

觸媒는 AP (ammonium persulfate)와 DMAP N (B-dimethy laminoprop ionitile)와 KFe(potassium ferricyonide)이다.

各劑의 作用과 用途를 說明하면 다음과 같다. AP.....粒狀體로서 強酸化劑이다. 이것을 加함으로 作用이 始作됨으로 最後에 加하지 않으면 안된다. Gel 化時間은 AP 劑를 加한後로 부터 새어나간다.

DMAPN.....어느程度 腐蝕性的인 液體로서 作用 促進을 하기 爲하여 所要된다.

KFe.....붉은 粒狀物로 抑制劑로서 少量 所用되나 使用에 있어서 注意를 하지 않으면 안된다.

着色材로서 벤가라 (赤色)과 酸化루롬(綠色等)이 있다. 이는 試驗用으로 確認하기 쉽게 만들어진것이다.

나) 使用法

처음 清水中에 acrylamide와 N<sub>7</sub>N<sup>0</sup>를 1:1의 比로 合投入하고 約2分 經過後에 KFe를 投入 다음에 DMAPN을 添加한後 約1分이 經過된 後에 AP 劑를 投入한다. Gel time은 AP 劑를 投入한 後부터 計測한다. Gel time은 添加劑의 量에 따라 自由自在로 調節이 된다. Chemical Grouting 中에 가장 調節이 容易하고 毒性이 없고 流動性이 좋은 것이다. 注入壓力은 注水試驗한 程度의 壓力 AM-9으로 充分하며 低壓 Grouting 으로 언제나 注入한다.

다) 物理的性質

- ① Gel化되도 고무狀과 같이 彈性體의 性質이 있다.
- ② 耐酸, 耐鹽性에 絶對安全하며 外刀의 影響을 받지 않는다 그러나 強度가 낮다.
- ③ Viscosity는 물과 같으며 粘性濃度는 1.2 Centi-poise 程度로하여 注入함으로써 清水의 濃度와 거이 같음으로 물이 浸透할수 있는 範圍의 對象物에는 注入이 可能하다.
- ④ Solution 自體의 容積이 注入對象에 가서 그대로 Vinyl化 됨으로 凝縮같은 것이 全然없다. 故로 Cement Grouting 에 있어서 沈澱物 容積計算으로하여 空隙充填을하나 AM-9는 溶解體單位體積을 空隙充填을하나
- ⑤ 일단 凝縮되면 熱의 影響을 받어도 괜찮다

라) 施工結果에 對한 考察

筆者經營業體에서 實驗한 結果를 보면 다음과 같다.

- ① AM-9은 Gel의 瞬間까지 水狀이다.
- ② Gel化時 Grout 溫度가 上昇하여 2-3分後 40°C 前後까지 올라온다. 10-15分後 Grout 溫度는 15-20°C로 내려온다. (氣溫12°C)
- ③ AM-9의 Gel化는 氣溫(水溫)에 大端히 敏感하며 溫度가 높으면 빨리 굳는다.
- ④ AM-9는 動的狀態에서는 Gel化 時間이若干 遲延되는것 같다.
- ⑤ 地盤의 浸透는 물과 같다. LW法에 比較하여 確實히 微細한 空隙까지 浸透시켰다.
- ⑥ 取扱도 比較的 簡單하며 計量에 注意를 하여야 한다.

ii) 日東 SS

日本の 日東化學에서 나오는 NITTO-SS Chemical Grout도 特許品으로 Acrylamide系의 樹脂로 組成된 藥液이다. 이도 AM-9와 거이 같은 工程重合法, 反應을 이르게서 된 Grout材임으로 注入材나 用途, 施工方法이 같다. 그러나 徹底히 秘密이 保障되어 있음으로 確實한 內容에 對한 것은 未知數로 남아있다.

이도 主劑는 2個이며, 開發劑, 促進劑, 抑制劑로 되었고 染色料로는 Rhodamine B를 使用한다.

其他條件은 AM-9와 같으며, 注入液의 調整方法은 다음表와 같다.

表

日東 SS 標準溶液 (10%水溶液) 100kg(ℓ)	
A 液	B 液
日東 SS. 10(kg)	水 50.0(kg)
稀釋水 40(kg)또는 (ℓ)	開始劑 0.5(kg)
促進劑 0.4kg	
抑制劑 6(g)	

上記의 配合이 標準이나 目的에 따라서 添加劑의 量을 增減할수 있다, 重合溫度等의 因子에 따라 顯著히 差異가 있으며, 化學反應의 速度는 反應物質의 濃度의 積에 比例함으로 調節이 可能하다.

※ 注入方法

藥液注入工法에 있어서 調整方法에 있어서는 適當한 硬化時間을 調整하여 A.B兩液은 各各의 注入 pump로 注入하여 Y字管을 使用注入한다. 特別히 考案된 pump로 注入을 하지만 一般적으로는 2工程式을 使用하여 注入하게되나 硬化調節時間이 늦어지면 1工程式으로 注入하여도 괜찮다. 但 B液의 注入 pump는 腐蝕性이 있음으로 觸媒인 開發劑가 없도록 水洗하여 使用한다.

但 이의 注入浸透影響經은 40cm 程度가 現在까지 實驗된 成績에 나타나고 있으며 이는 Silt. Clay層에 限한다. 다만 Water-glass가 未浸透된 地域에 限하여 注入하는것이 經濟性으로 보아서 좋을것으로 思料된다. 耐久性인 耐酸, 耐鹽性에 強하며 體積變化에도 異常이 없다.

(IV) 結 言

이와같이 多種多樣한 注入工法이 있으나 우리가 注入에 있어서 가장 먼저 直面하는것이 工法의 容易성과 安全性 다음에 經濟性을 參酌하여 決定하여야 될 性質의 것임으로 專門家에 依해서 慎重을 期한 然後에 工法을 選擇하여야 할것이다. 우리도 앞으로는 舊態依然한 注入工法을 버리고 科學的인 注入工法을 選擇하여 適材適所에 適宜한 工法을 適用하여야 될것이며 新進研究家가 많이 出現하여 發展시켜 주기를 期待한다.

註: 筆者紹介 京都帝大卒

前職 서울大學校 教授

第4代 民議員

現 世紀地質工社 代表