

高壓噴射 注入工法

(JSP 工法)

沈 在 九*

1. 序 論

一般的으로 利用되고 있는 藥液注入工法은 對象地盤의 土層 構成 및 土質에 따라 그 效果가 左右되고 있다. 特히 複雜하게 推積된 多層地盤이나 얇은 層이 많이 介在되어 있는 地盤에서는 層 境界에 沿하여 藥液이 빠져 나가는 傾向이 있어서 目的하는 地盤의 土粒子의 間隙에 浸透가 대단히 어렵고 또 期待하는 效果를 얻기 위한 必要 注入量을 미리 算定하기가 困難하다. 더우기 所期의 注入效果가 發揮되어 있는지를 確認하기가 어렵기 때문에 자칫 하면 전혀 그 效果가 나타나지 않는 경우가 發生한다.

이와같은 從來의 注入工法이 갖는 缺點을 除去하고 確實한 效果를 期待하기 위한 여러가지의 誘導 注入工法이 研究되고 있으나 現在까지는 實際로 施工에 適合한 工法이 없었다.

그러나 여기에 記述하는 高壓噴射 注入工法은 超 高壓의 JET를 利用해서 地盤을 切削 崩壞시킴과 同時에 間隙에 Grout 材를 充填하는 一種의 誘導 注入工法이다.

이 工法은 最近에 開發된 工法으로서 今後的 發展이 期待되고 있으며 그의 施工方法을 간단히 說明하면, Double Rod 先端에 Jetting Nozzle을 裝着하여 硬化材를 噴射하면서 回轉하게 하며 Nozzle이 한바퀴 또는 한바퀴 반을 回轉하면 自動적으로 2.5cm 上昇하면서 前과 같은 動作을 反復하게 된다.

이와같은 過程을 繼續적으로 施行하므로써 地盤에 圓柱狀의 固結體를 造成하는 工法이다.

이 工法이 普通의 注入工法과 현저히 다른 特徵은 다음과 같다.

① 土層 構成이나 土質에 依한 影響을 받지 않으며 必要個所에 必要量의 硬化材를 計劃적으로 注入할 수 있다.

② 普通의 注入工法으로는 注入이 困難한 細粒土

地盤에도 適用이 可能하나 岩盤에서는 不適合하다.

③ 土中에 人工적으로 만든 間隙에 硬化材를 充填하는 것이기 때문에 普通의 藥液 注入工法처럼 인근의 建物이나 地下 埋設物에 影響을 미치는 일이 거의 없다.

高壓噴射 注入工法의 技術의 基盤으로서 高壓下에서 噴流流體의 舉動이나 特性 또는 地盤의 破碎 機構 등을 들 수 있다.

流體의 衝擊 Energy에 의하여 固體에 變形을 주는 것은 잘 알려진 事實이다. 이것이 工學的으로 利用되어 소련에서는 採炭技術에 利用되고 있으며 金屬 또는 Plastic 등의 切斷, 그리고 最近에는 船舶의 녹이나 貝殼類를 벗겨내는 技術에 應用되고 있다.

이와 같은 技術에 使用되는 高壓(또는 高速) 噴流水(主로 물)의 吐出壓力은 대단히 다양하지만 土砂를 切削하는 것은 $200\sim 600\text{kgf/cm}^2$, 岩盤切削에는 $2,000\sim 6,000\text{kgf/cm}^2$, 호박돌을 切削하는 데에는 $20,000\text{kgf/cm}^2$ 以上の 壓力이 必要하다고 한다.

이 工法의 特長의 하나로서 Energy 變換效率의 크기를 들 수 있겠다.

高壓噴流 流體의 密度가 크고, 또 流量, Nozzle의 直徑, 壓力의 크기, Nozzle의 移動速度 등을 變化시킴으로써 容易하게 轟의 破碎條件을 變化시킬 수가 있다.

2. 工法의 原理

高速噴流 流體를 使用하여 地盤을 掘削하는 Mechanism에 對해서는 그 現象이 대단히 複雜하기 때문에 理論的인 解明이 아직 完全하게 究明되어 있지는 않지만 아래에 記述하는 各各의 現象의 組合이라는 것을 알 수 있다.

가. 高速噴流 流體의 衝擊力

Watre Hammer 作用에 依하여 發生하는 最大應

* (株)標準 콘크리트

力과 Water JET 噴流가 地盤內에서 水滴群이 되어 地盤에 衝突할 때의 最大壓力은 그 發生機構를 同一하다고 하면 그 Energy는 다음과 같다.

$$E = \gamma \cdot c \cdot v$$

여기서 γ ; 流體의 密度

c ; 水中의 音速

v ; 流速

위의 式에서 알수 있는바와 같이 噴流의 速度가 커지면 (高壓噴射를 할때) 地盤에 作用하는 動壓도 커져서 地盤의 破壞強度에 到達할 때 土粒子는 서로 떨어진다.

나. Cavitation

流體를 徐徐히 減壓시키면 層流가 加速되어진 경우와 같이 亂流를 일으켜서 流體中에 空氣의 空洞이 생기게 된다. 이 現象을 Cavitation이라고 한다. 噴流 流體가 地盤과 衝突할 때 土粒子의 表面을 따라서 흐름이 생기는데 粒徑의 差에 의하여 壓力差가 생겨서 低壓部에 Cavitation에 의한 空洞이 發生한다. 이것이 다시 壓力이 높은 곳에 이르게 되면 周圍의 流體는 이 空洞을 破壞하려고 대단히 빠른 速度로 突進하게 되는데 이 貫性力에 의하여 地盤이 破碎된다.

다. Water Wedge

高速噴流와 接觸하는 地盤面은 應力을 일으키고 그 應力은 水壓의 增加에 의해 增大하며 地盤의 破壞強度까지 높이면 地盤은 破壞된다. 또 地盤中의 間隙이 물로 充填되고 그 가운데에서는 水噴流의 反力作用으로 流體力學的인 壓力 "Water Wedge"가 發生한다. 이 Wedge는 間隙性狀에 따라서 一定한 壓力을 가진 것이 形成된다. 이 경우 Nozzle에서 地盤까지의 距離가 작을수록 Wedge가 되는 條件은 良好하게 된다.

이러한 觀點에서 볼때 間隙比가 큰 地盤, 龜裂이 있는 地盤 등은 水力破碎에 適合하다고 하겠다.

라 疲勞破壞

物質의 表面이 噴流流體를 連續注射할 경우 그 材質에 따라 다르기는 하지만 材質의 引張強度보다 훨씬 낮은 壓力으로도 破壞가 始作된다. (例를 들면 金屬板에서는 10% 程度) 이러한 事實로 미루어 보아 噴流流體와 被破壞物質의 사이에는 어떤 特別한 力學的인 關係가 있는 것을 알수 있다.

더우기 噴流流體에 依한 負荷를 받은 物體의 殘留變形에 疲勞가 蓄積되어 破碎가 發生하게 된다는 것을 理解할 수 있다.

3. 工法의 特色

高壓噴射 注入工法의 原理上의 特色에 對하여 좀 더 具體的으로 論하기로 한다. 이미 高速噴流에 依한 破碎機構의 概要에 對해서는 記述했으나 이것을 工法으로서 具體化 시키려하는 여러가지의 手法가 必要하게 된다.

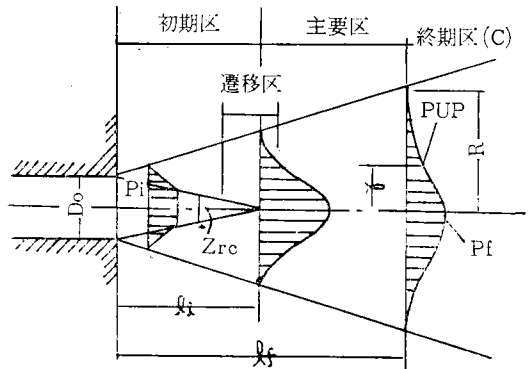


그림. 1. JET의 기초구조

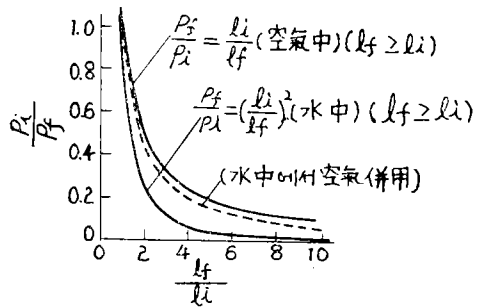


그림. 2. WATER JET中心軸上的 壓力分布

그림. 1에서와 같이 空氣中에 噴射한 JET噴流는 Nozzle 出力 P_i 를 一定하게 하는 初期區(A), 發達하는 主要區(B), 그리고 噴流流體가 不連續으로 되어 Cavitation이 發生하는 終期區로 나눌수 있다.

이들의 關係를 나타내는 實驗式은 다음과 같다.

空中噴射의 경우

$$\frac{P_f}{P_i} = \frac{l_i}{l_f}$$

水中噴射의 경우

4. 工法の System

가. System

JPS 工法の 시스템

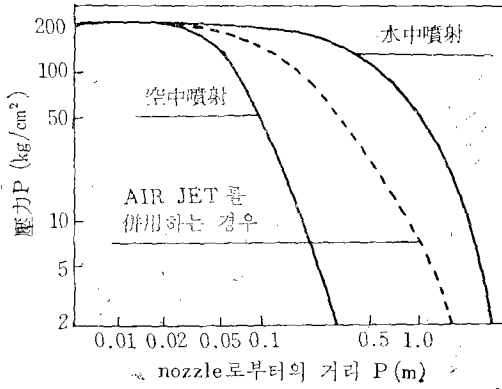


그림. 3. 각위치에서의 JET의 압력

$$\frac{P_f}{P_i} = \left(\frac{l_i}{l_f}\right)^2, \text{ (그림. 2의 實線部分 參照)}$$

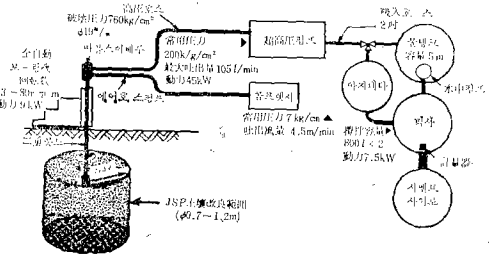
理論적으로 얻어진 JET 噴流는 그 自體로는 바로 實用할 수가 없다.

實際로 地盤을 切削하는 大部分의 경우는 地下水面 以下를 對象으로 하고 있으므로 水中噴射의 경우 밖에 적용되지 않는다. 그러나 그림. 3에서 나타난 바와 같이 水中噴射에서는 200kgf/cm²의 壓力으로 噴射하는 경우 Nozzle로부터 30cm 거리에서 그 效果는 完全히 消滅된다. 이것 때문에 Nozzle의 周圍에 空氣를 同時에 放射시킴으로서 有効射程을 延長시키는 方法을 開發해 졌다. 이것은 噴流流體가 空기를 빨아 들어서 地盤中에 空氣空間을 構成하게 하여서 거의 空中噴射와 같은 條件을 만들어 주게 된다. (그림. 2 및 그림. 3의 點線部分 參照)

그러나 이 空氣를 實用하는 데에는 適正한 噴射速度가 必要하게 되며 그 速度는 音速의 1/2以上이 되어야 한다.

切削範圍를 擴大하기 위하여 使用한 空氣는 切削土를 地表面에 排出시키는 데에도 利用할 수가 있는 長點이 있으며 또 이 工法에 依하여 造成된 固結體끼리의 密着性은 대단히 良好하다.

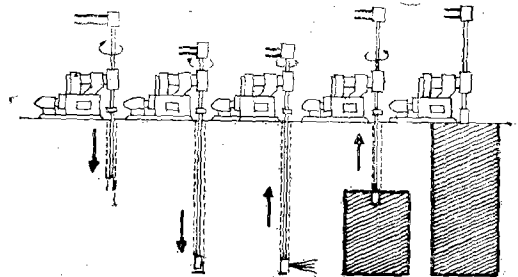
一般的으로 直徑 5~10cm 程度의 Boring을 하는 것만으로 有効徑 0.8~1.2m 程度의 固結體를 얻을 수 있는 點은 이 工法을 廣範圍하게 應用할 수 있는 特長이라고 할 수 있겠다.



나. 施工順序

- ① Plant의 設置
- ② 地盤改良이 必要한 位置에 JSP Jetting Machine의 設置
- ③ NJV, Double Rod, Double Swivel, 등을 組立하여 물과 Air를 使用하여 低壓으로 所要의 深度까지 掘進한 後
- ④ Cement milk(1:1)와 Air를 使用하여 高壓으로 噴射하면서 適正한 時間동안 回轉
- ⑤ 回轉이 끝나면서 2.5cm 自動上昇
- ⑥ 上記와 같은 工程으로 所要의 深度까지 噴射 施工 完了

- ① 보-링開始
地盤條件에 따라 붓트의 回轉과 掘進速度로 所定의 方向으로 計劃深度까지 보-링한다.
- ② JSP開始
붓트의 回轉을 所定의 回轉에 맞추고 噴射 噴土를 발생시킨 다음 噴流水를 시멘트 밀크로 바꾸어 JSP를 開始한다.
- ③ JSP施工-完了



서 既設物을 保護하고 地盤을 改良하며 進行한다.

5. 本工法の適用範圍

本工法은 말뚝과 자주 比較되고 있는데 이것은 경우에 따라 말뚝역활을 하는 일이 많고 또 그 形成過程에서 그렇게 보이기 때문이다.

그러나 本工法을 開發한 當事者는 말뚝으로 開發한 것이 아니라 모든 施設工事中에 基礎 및 假設物이 設置되는 地盤의 安定을 追求하기 위하여 廣範圍하게 다뤄진 것이다.

이러한 觀點에서 아래에 몇가지 適用方法에 對하여 簡單하게 紹介코져 한다.

가. 止水

止水를 目的으로 하는 諸般工事中에 適用된다. 이 경우는 地盤狀態의 如何를 막론하고 全部 可能하다.

土留의 止水, 埋設管下의 止水, 防潮堤, 貯水地 防水堤 等の 漏水防止, 地下 Dam의 建設, 特히 既存 Dam 等の 漏水防止 및 補強 等に 適合하다.

나. 地盤強化

이 경우는 우리의 特別한 關心사가 되는 事項이다.

施設物이 大型化하고 可用地面이 점차 不足하게 됨에 따라 埋立地 또는 干拓地 等 軟弱地盤도 利用하지 않으면 안되게 되었다. 따라서 이러한 軟弱地盤의 支持力 補強 Heaving의 防止, 斜面崩壞의 防止 및 事後 對策, 既設 構造物의 保護 및 Under Pinning 等 어떠한 경우에도 適用 可能하다.

다. 現場 造成杭, 土留杭

現場에서 말뚝을 地中에 造成해야 하는 경우와 土留等の 目的으로 使用할 수 있다.

특히 土留의 경우에는 止水效果를 얻을 수 있기 때문에 Open cut의 左右 壁面의 安定處理에 適合하다.

라. 先行地中보

延長이 긴 構造物을 施工할 때 地盤이 軟弱하거나 地下 埋設物로 因한 장애가 있을 경우 先行하면

마. 注入工事

藥液注入을 包含하는 注入工事全般

6. 國內 施工例

本工法은 1979년 6월에 國內에 처음으로 導入하여 業界의 호경속에 상당히 많은 實績을 올렸으며 그 適用方法에 따른 實績을 열거하면 아래와 같다.

① Undre Pinning 工事 23,553 m. (JSP 施工延長)	
② 軟弱地盤 強化	3,811m.
③ 止水壁 工事	25,990m.
④ 斜面滑動 防止工事	2,385m.
計	55,739m.

7. 後記

本工法은 最近에 日本에서 開發된 工法으로서 土砂層에 普通의 藥液注入 工法을 適用할 때의 問題點을 完全히 解決하게 되었으며 그 成果 또한 획기적이었다.

그러나 日本과 우리나라와의 土質 및 土層 構成 狀態가 相異한 點이 많아서 日本에서 使用하는 裝備 및 施工方法을 그대로 利用하는데에는 여러가지 問題點이 있었다.

따라서 本工法은 施行하는데에는 계속적인 研究 檢討 및 技術開發이 必要하며 앞으로 여러 先輩 諸賢들의 아낌없는 指導鞭撻을 바라는 바이다.

參 考 文 獻

1. 土質安定工法便覽：松尾新一郎
2. 最近의 藥液注入工法：總合土木研究所
3. JSP工法の原理：ニッサンフリース株式會社
4. 土と基礎 1981.5：日本土質工學會
5. 軟弱地盤におはる工事實施例 その2：日本土質工學會
6. 地盤固結劑의 注入方法：大韓民國 特許 第6988號
7. 地下連續壁 造成方法：大韓民國 特許 第8683號