

# 最新基礎工法으로 脚光을 받는 paper drain 工法

秦 柄 益\*

## 1. 概 說

最近의 建設工事に 있어서의 技術革新은 눈부신바 있는데, 土質基礎에 關聯된 分野에 있어서도 거듭 새로운 工法이 續出하여 이에따라 施工法도 크게 變遷되어 가고 있는 現狀에 있다.

여기 紹介하는 paper drain 工法도 最近에야 그의 實用性이 認證되어 先進外國에서 新工法으로 쓰여지기 시작한 것으로 알고 있다.

paper drain 工法은 sand drain 工法과 같이 軟弱地盤에서 壓密促進을 위하여 쓰여지는 工法으로 1937年「스웨덴」國立 土質研究所의 Walter Kjellman 에 의해서 開發되었던 것이다. 그후「벨기에」에서 實用化되는듯 했지만 별로 使用되지 않은채 約 30年을 經過하였다.

그러나 最近에 와서 日本에서는 臨海工場地帶가 增大함에 따라 軟弱地盤의 處理가 必要해 지고, 더욱 sand drain用 모래의 入手가 困難해짐에 따라 1933年에 本工法을 導入하여 實用化하기에 이른 것이다. 그리하여 現今에는 本工法에 의한 實施例를 종종 볼 수 있게 되었다. 우리나라에도 머지 않은 將來에 本工法이 導入되어 實用化에의 期待를 갖고, 여기 paper drain 工法을 紹介하는 바이다.

## 2. drain paper의 特性

paper drain用 drain paper의 紙質은 地盤中에

\* 技術士(建設部門)  
漢陽大學校 工科大學 教授

서 짓눌리지 않으며, 施工中이거나 地盤의 變化에도 切斷되지 않을 強度를 保有하여야 하며 透水性이 좋아야 한다.

또한 종이는 濕潤狀態로 되면 일반적으로 強度가 몹시 低下하므로 이것을 防止하기 위해서는 팔프纖維를 에폭시樹脂, 尿素樹脂, 매라민樹脂 등의 高分子劑를 使用해서 코팅해둘 必要가 있다.

더욱 drain paper는 地中에서 오랜 歲月 腐蝕되지 않고 初期의 狀態를 維持하도록 하기 위해서 砒素化合物, 鹽素化合物, 錫化合物 등이 添加된다.

결국, drain paper의 具備條件으로서는,

(i) 周圍의 地盤보다도 큰 透水性을 가져야 할 것.

(ii) 종이의 透水性에 經時變化가 일어나지 않을 것.

(iii) 施工中이거나 打設後의 地盤의 變形에 隨伴하여 切斷되지 않을만한 充分한 強度를 保有할 것.

(iv) 地盤中에서 周圍로 부터 눌러도 쭈그러지지 않을 것.

등이 그의 基本이 되어야 한다.

다음, drain paper의 斷面形狀에 對해서는 地盤의 攪亂을 可及的 적게 하기 위하여 일반적으로 폭 10cm, 두께 3mm의 크기의 것이 採用되고 있다.

그리고 斷面에는 排水中에 空隙水壓이 發生하지 않고 浸透해 온 地中水가 곧 밖으로 排出될 수 있도록 세로 方向으로 그림-1과 같은 各種 形狀의 구멍을 設置하고 있다.

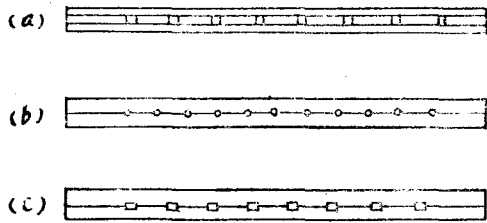


그림-1 drain paper 의 단면

위와 같은 紙質과 形狀으로 만들어진 drain paper 는 數值的으로 어느 정도의 性質을 具備하고 있는지에 대해서는 아직 明確한 값을 表記하기 어려우나 現在 存在하는 drain paper는 대개 다음의 範圍內의 것으로 되어 있다.

- 氣乾狀態時의 引張強度 : 300~500kg
- 24時間浸水時의 引張強度 : 150~250kg
- 透 水 係 數 :  $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm/sec
- 중 이 의 密 度 : 0.45~0.6g/cm<sup>3</sup>

### 3. paper drain 의 設計

paper drain의 設計는 sand drain의 設計와 꼭 같은 方法으로 行할 수가 있다.

Kjellman 이나 Kallstenius는 납작한 drain paper 의 斷面을 圓柱로 생각하고 設計하고 있는데 實驗과 經驗을 통해서 다음과 같은 換算式을 提案하였다.

$$D = \alpha \frac{2A + 2B}{\pi} \dots\dots\dots(1)$$

여기서,  $D$  : drain paper의 等價換算圓의 直徑

$A$  : drain paper의 폭

$B$  : drain paper의 두께

$\alpha$  : 形狀係數(Kallstenius는 0.75로 取하고 있음)

따라서, 오늘날 쓰여지고 있는 drain paper 는 위에서도 말한바와 같이  $A=10$ cm,  $B=0.3$ cm 이므로 (1)式에 各值를 代入해서  $D \approx 5$ cm를 얻어, 直徑 5cm의 sand drain과 等價로 볼 수 있다.

이와같이 해서 drain paper의 換算徑이 定해지면 다음은 sand drain時 쓰여지는 Barron의 方式<sup>2)</sup>에 의하여 Barron의 數表 또는 高木教授의 數表를 使用해서 쉽게 設計된다.

그러나 여기서 한가지 注意할 것은 보통 sand drain의 경우에는 排水의 有效徑  $d_e$  와 sand drain의 徑  $d$  와의 比 ( $d_e/d$ )가 20정도까지의 數表만이 作成되어 있으므로, paper drain의 경우에 1m 以上の 間隔으로 打設할 때에는 Barron等의 數表<sup>2)</sup>가 쓸 수 없게 된다. 따라서 paper drain의 設計에 容易하게 쓰일 수 있는 計算圖表를 Kallstenius<sup>3)</sup> 등이 作成한 것이 있다.

圖表作成에 있어서는 다음과 같은 條件을 假定하여 作成하였다.

- (i) 載荷中의 壓縮은 一定하다.
- (ii) 載荷中의 透水係數는 一定하다.
- (iii) 空隙水의 흐름은 Darcy의 法則에 따른다.
- (iv) 空隙水의 흐름은 drain에 直角方向이다.
- (v) drain 中에서는 過剩空隙水壓이 發生하지 않는다.
- (vi) 沈下는 空隙水의 脫水에 의해서 일어난다.

壓密最終沈下量은  $m_v \cdot P \cdot 2H$  로 되고, 載荷後의 어느 時間에 있어서의 壓密沈下量은  $m_v \cdot \sigma \cdot 2H$  로 表示된다.

따라서 壓密度는

$$U = \frac{\sigma}{P} \dots\dots\dots(2)$$

이고, 空隙水는 Darcy의 法則에 의해서 흐르기 때문에

$$v = k \left( \frac{\partial u}{\partial \rho} \right) \dots\dots\dots(3)$$

로 된다.

- 위에서,  $m_v$  : 容積變化率 (cm<sup>2</sup>/kg)
- $P$  : 載荷重 (kg/cm)
- $2H$  : 粘土層의 두께 (cm)
- $\sigma$  : 有效應力 (kg/cm)
- $k$  : 透水係數 (cm/sec)
- $\rho$  : drain中心부터의 距離 (cm)
- $u$  : 過剩空隙水壓 (kg/cm<sup>2</sup>)

따라서 壓密度  $U$ 는 結果만 表示하면 다음과 같이 된다. 式誘導에 關係서는 專門書<sup>3)4)</sup> 등을 參考하기 바란다.

$$U = 1 - e^{-(2Cv \cdot t) / \left[ \frac{d^2}{\pi} \left( \log \frac{d}{r \sqrt{\pi}} - \frac{3}{4} \right) \right]} \dots\dots(4)$$

여기서,  $C_v$ : 壓密係數  
 $t$ : 時 間  
 $d$ : paper drain 間隔  
 $r$ : drain의 半徑

그런데 (4)式을

$$U = 1 - e^{-\frac{C_v \cdot t}{m}} = 1 - e^{-\frac{t}{g}} \dots\dots\dots(5)$$

로 놓으면

$$m = \frac{d^2}{2\pi} \left( \log \frac{d}{r\sqrt{\pi}} - \frac{3}{4} \right) \dots\dots\dots(6)$$

$$g = \frac{m}{C_v} \dots\dots\dots(7)$$

이기 때문에, 스웨덴에서는 (6)式의  $r$ 에 對한  $m$ 와  $d$ 의 關係 및  $U$ 에 對한  $g$ 와  $t$ 의 關係를 圖表化한 것이 그림-2, 그림-3 이다.

따라서 時間  $t$ 에 대한 所要壓密度  $U$ 가 주어지면 그림-3 으로부터  $g$ 가 求해 지므로, 이것과

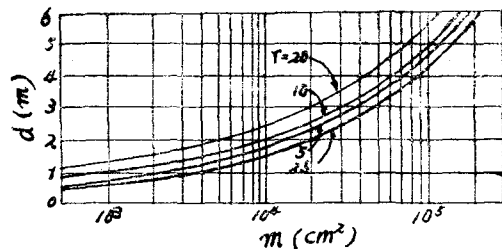


그림-2 drain 徑에 대한  $m$ 와 drain間隔과의 關係

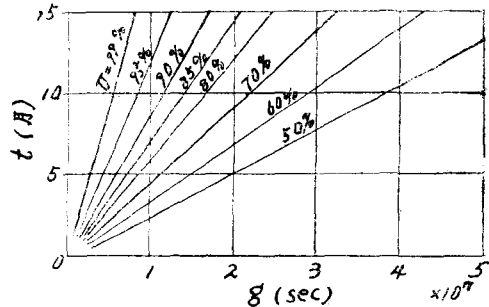


그림-3 壓密度에 대한  $g$ 와 時間과의 關係

(7)式으로부터 그 地盤의  $C_v$ 를 使用해서  $m$ 의 값을 求한다.

그 다음 그림 2로 부터 paper drain 의 間隔을 얻게되는 것이다.

#### 4. paper drain 의 施工法

paper drain의 打設은 周圍의 地盤을 흠으려 지지 않게 drain paper를 地中에 插入하면 되는 것이다.

따라서 地盤의 堅固함과 機械의 走行性의 정도에 의해서 이에 適合하도록 여러 方法이 考案되어 있다.

여기 몇가지의 打設機를 紹介하면서 그의 施工法을 說明하여 본다.

#### 4-1 TD型 打設機

처음에는 스웨덴에서 考案되었는데 그 後에 Kallstenius의 指導下에 벨기에의 Franki 社에서 開發된 打設機로서 鋼製의 心軸 (mandrel) 속에 drain paper를 內裝시킨채로 地中에 插入하고 心軸만을 뽑아내는 方式이다.

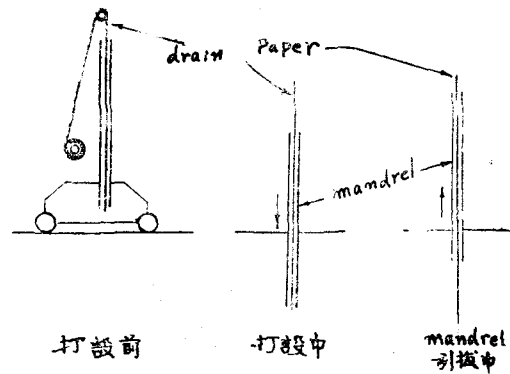


그림-4 TD型 打設機의 說明圖

心軸을 插入하거나 引拔하는 것은 心軸上端에 wire rope를 固定해 놓고, 이것을 감았다 풀었다 하면서 操作한다. 그림-4는 이를 說明하는 그림이다.

이와같은 Franki方式을 1963年 日本에서 導入하여 製作한 것이 TD型打設機인데, 日本에서는 이것을 製作함에 있어 타이어式을 크로우라식으로 바꾸고, wire rope로서 心軸의 插入과 引拔作用을 하는 것을 chain으로 바꿨다.

더욱 機構의 自動化에 改良을 摸索했는데 가장 問題로 된 것은 종이를 확실하게 地中에 남기고 오는 操作으로, 이를 위해 心軸의 内部에서 종이의 摩擦抵抗을 적게하게 하고 多少 剛性을 갖게하여 心軸先端部分의 改良을 行하였다.

Kallstenius-Franki의 方式에서는 心軸先端을 그림-5와 같이 打設中에는 뚜껑이 종이를 누르고 있고, 引拔時에는 自動적으로 열려 종이를 먹어 놓게 되어 있다.

打設機械의 主要諸元은 表-1과 같다.

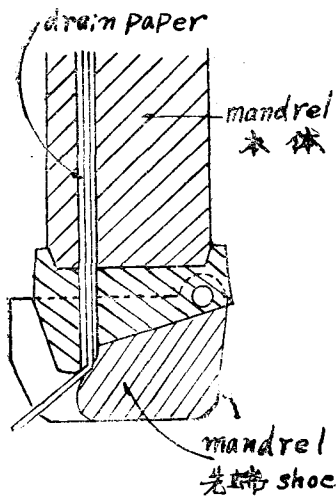


그림-5 Kallstenius-Franki式 心軸先端

表-1 TD型 打設機의 主要諸元

	TD20型	DT12型
全 長(m)	9.06	8.0
全 高(m)	26.315	16.555
全 幅(m)	3.8	3.3
心軸全長(m)	23.89	14.602
全 重 量(ton)	43	30
動 力	200HP 1800 r. p. m.	
打設깊이(m)	20	12

表-1에서 보는 바와같이 본打設機는 상당히 대형이기 때문에 軟弱한 地盤에서는 走行에 困難한 경우가 종종 일어나곤 한다.

#### 4-2. PDW型·PDC型 打設機

PDW型은 前記 TD型打設機가 너무 大型이고 重量이 過大하기 때문에 軟弱한 地盤 등에서 輕量으로 簡易하게 打設할 수 있도록 NEW JEC Buldozer Co. 에서 研究開發한 打設機이다.

따라서 本打設機는 TD型에 比해서 全重量이 10에 不過하며, 6~9kg의 레일에 車臺를 놓고 그 위에 打設機構를 실은 것으로 打込은 롯드로 종이를 押込하는 方式으로 되어 있다.

施工法은 drain paper를 접어 굽혀서 이것을 롯드先端에 붙인 押込棒으로 눌러고 이대로 롯드를 눌러내리는 것이다.

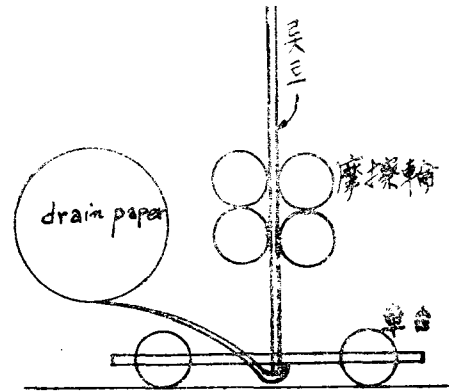


그림-6 PDW型 打設機

그림-6에서 보는 바와 같이 롯드의 押込機構는 機械의 安定을 維持하기 위해서 摩擦輪을 使用하였다.

이로 말미암아 打設機의 크기도 매우 작게 할 수가 있다.

이와같이 重量이 가벼움으로 매우 軟弱한 地盤이나 좁은 地域에서의 打設에는 有効하나 直接 종이를 롯드로 挿入하게 되므로 drain paper는 힘에 대해서 強한 것이 要求되고 N值가 5以上の 砂層이 中間層에 介在되어 있는 地盤에서는 挿入이 困難해 질 때도 있게 된다. 本打設機械의 主要 諸元은 表-2에 보여 주는 바와 같다.

表-2 PDW型 打設機의 主要諸元

	PDW 151型	PDW 152型
全 長(m)	3.7	4.54
全 高(m)	6.4	6.354
全 幅(m)	1.235	1.54
全 重 量(ton)	2.0	3.5
動 力(HP)	11	15
打設깊이(m)	10~20m	

한편 PDC型은 PDW型의 打設能力을 增大시키기 위해서 손벨을 붙인 것으로 機構는 PDW型과 同一하며, 打設깊이는 25m까지 可能한 것이다.

#### 5. sand drain 工法과의 比較

paper drain의 特徵은 sand drain에 比하여 첫째: 打設에 의해서 周邊地盤을 흠으려 뜨리지 않으며,

들재: drain斷面이 깊이 方向에 걸쳐 一定하고,  
 셋재: 施工速度가 빠르며,  
 넷재: 工費가 低廉하다는 것이다.

이들을 조금 더 具體的으로 比較해 보면 다음과 같다.

#### 5-1 打設에 의한 周邊地盤에의 影響

2, 3의 實測例에 의하면 直徑 40cm의 sand pile을 깊이 約 10m까지 2.0m의 正三角形 配置로 打設한 경우에는 打設한 pile의 대단히 가까운 곳에서 15~20mm의 地盤表面이 떠 올라오고, 이에 따른 地盤表面의 變位가 일어나는 距離는 打設된 pile로부터 7~8m에 까지 波及되고 있다.

이에 대해서 paper drain을 打設한 경우에는 거의 無視할 수 있을 만큼 地盤表面의 變位는 없다고 해도 좋을 정도이다.

#### 5-2 施工管理

drain paper는 工場製品이기 때문에 形狀, 斷面, 品質等に 對해서 均一性을 保有하게 된다.

따라서 現場에 있어서는 그의 挿入狀況을 自記記錄計에 의해서 容易하게 記錄할 수 있으므로 施工管理를 確實하게 行할 수가 있다.

#### 5-3 經濟性

paper drain은 前述한 바와 같이 換算徑이 5cm이기 때문에 30~50cm 徑을 갖는 sand drain과 同一效果를 내려면 打設數를 늘리고 打設間隔을

작게잡지 않으면 안된다.

지금, 90% 壓密에 이르는 時間을 同一하게 했을 때의 40cm徑 sand drain과 paper drain의 打設間隔의 關係는 2-3倍의 打設本數를 要하게 된다. 한편 打設速度는 sand drain에 比해서 paper drain은 4~5倍의 速度로 打設을 할 수 있으며, 打設費는 1m當 1/4~1/5 정도이기 때문에 paper drain이 sand drain에 比하여 經濟的이라고 할 수 있다.

#### 參 考 文 獻

- 1) 米倉亮三: 土と基礎 最新の工法, P 121~P125 土質工學會 發行 1967. 12
- 2) R. A. Barron: Consolidation of fine grained soils by drain wells, trans. A.S.C.E. Vol. 113, 1958
- 3) 米倉亮三: 스웨덴 における 퍼퍼 드레인 設計圖表, 土と基礎誌 Vol. 13, No. 8 1965. 8
- 4) Statens geotekniska Institute Meddelande Nr.2 Redogörelse för Sta. geo. Inst. Verksamhet under Aren 1944~1948.
- 5) 最上武雄, 福田秀夫: 現場技術者のための 土質工學, P 384~385 鹿島技術研究所發行 1967. 3



韓國 技術士會의 技術士  
 패용 뱃지입니다.

純金(3.75g)으로 製作  
 實費로 普及하오니 申請 있  
 으시기 바랍니다.

韓國 技術士會 事務局

連絡處: 서울特別市 中區 明洞2街 5-5

電話 (22) 8265