

# 發泡폴리스티렌(EPS)에 의한 盛土의 設計

柳 基 松\*

## 1. 序 言

發泡폴리스티렌은 EPS(Expanded Poly-Styrene)라고도 하고 우리나라에서는 스티로폴이라 부르고 있으며, 그 主原料는 폴리스티렌과 發泡劑이다. 이것은 1943年初에 美國에서 工業化되어 建物の 斷熱材, 物品包裝時 衝擊防止材 및 市場에서 魚物箱子 等に 利用되어 왔다.

그런데 이것이 土木材料로서 道路盛土에 처음 利用된 것은 1972年 노르웨이의 오슬로 郊外에 있는 橋梁의 接續道路 改修工事이다. 이 道路의 基礎地盤은 軟弱한 泥炭土層으로써 年間 10cm의 沈下가 생겨 每年 補修工事を 해야 하기 때문에 이에 대한 對策으로 既說盛土를 超輕量의 發泡폴리스티렌 블록으로 置換한 것이다.

이러한 輕量盛土工法은 1985年 노르웨이의 오슬로에서 開催된 “道路盛土用 플라스틱포움(plastic foam in road embankment)”에 관한 國際會議에서 道路의 輕量盛土材로서 그 效果가 認識됨에 따라 土木工法으로 定着하게 되었고 또한 이에 대한 各種 研究論文이 發表되고 있다.

## 2. 製造法 및 物性

### 가. 製造法

韓國工業規格 KS M 3808에 의하면 發泡폴리스티렌의 製造法은 비드法과 押出法이 있는데 여기서 비드法은 폴리스티렌에 發泡劑를 添可한

粒자를 所要密度로 豫備發泡시켜서 冷却한 後型內에 充填하고 加熱, 2次發泡하여 成形하는 方法으로써 이 製品은 Expanded Poly-Styrene (EPS)이라 부른다.

押出法은 高壓下에서 溶融한 폴리스티렌과 液化개스를 混合, 壓出發泡機中에서 流動性겔을 만들어 押出機로 普通壓力의 徐冷室에 發泡하면서 押出하는 方法인데 이 製品은 Extruded Poly-Styrene (XPS)이라 부른다.

### 나. 物 性

#### 1) 單位重量

發泡폴리스티렌의 單位重量은 폴리스티렌粒자를 豫備發泡시킬 때의 發泡倍率에 棼수 棼單位重量이 적으며, 비드法에 의한 單位重量은 12~30 kgf/m<sup>3</sup>, 押出法은 29kgf/m<sup>3</sup>가 標準이다.

#### 2) 強 度

發泡폴리스티렌의 壓縮強度는 單位重量에 比例하여 增加하며, 그림 1은 지름 3.5cm, 높이 7.0cm인 供式體의 一軸壓縮試驗結果인데 壓縮變形 約 2%까지는 彈性的인 舉動을 나타낸다.

따라서 設計時 許容壓縮強度는 應力-變形曲線에서 彈性限界內의 값(壓縮變形 1% 程度)을 使用해야 한다. 한편 三軸壓縮試驗에 있어서는 그림 2와 같이 桴과는 反對로 수직 應力( $\sigma$ ) 棼수 棼 剪斷強度( $\tau$ )가 적으므로 發泡폴리스티렌은 壓縮材보다는 引張材임을 나타내는 것이라 생각 된다.

#### 3) 크리이프 및 吸收特性

壓縮應力이 彈性領域內에 있는 경우에 發泡폴

\* 淸회원, 농어촌진흥공사 淸공기술연구소 수석연구원

리스티렌의 長期的인 壓縮크리프는 거의 볼 수 없으며, 吸收量은 經過時間과 함께 增加하는데 이는 單位重量, 製造方法 및 水壓에 따라 다르다.

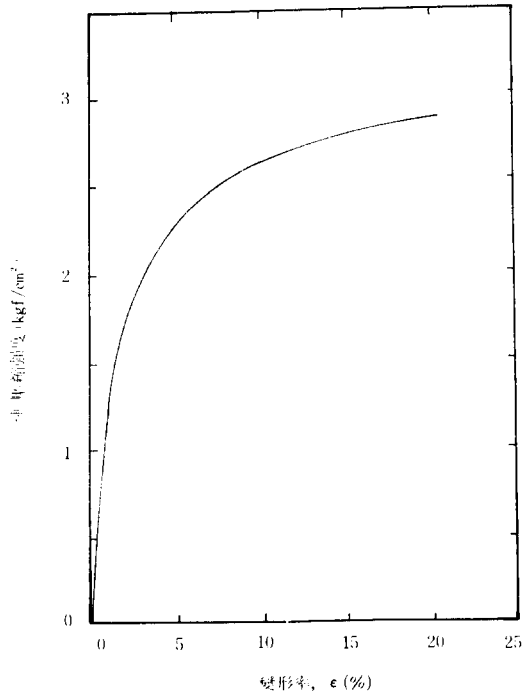


그림 1. 壓縮強度와 變形率

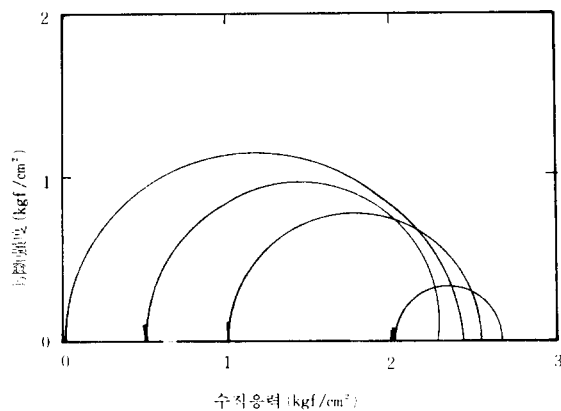


그림 2. 剪斷強度와 수직應力

#### 4) 熱特性

發泡폴리스티렌의 原料인 폴리스티렌은 熱可

燒性이므로 高溫에 露出시키면 軟化하여 膨脹 또는 收縮하며, 發泡폴리스티렌은 約 80°C 에서 收縮을 始作하여 100°C 에 到達하면 急激히 增加한다.

#### 5) 耐久性 및 耐藥品特性

發泡폴리스티렌은 紫外線에 의하여 劣化되므로 日光에 直接 露出되는 屋外에서 使用해서는 안된다. 曠속에서의 耐久性은 노르웨이에서 調査한 바에 의하면 12年 經過後에도 壓縮특성은 當初와 같으며, 曠속의 微生物에 의한 影響도 問題가 없다고 하였다.

따라서 曠속에서는 特別한 일이 없는 한 強度 低下가 생기지 않는다고 생각되며, 耐藥品性은 개소린 등에 약하다.

### 3. 盛土의 設計

發泡폴리스티렌을 盛土材로 使用할 경우의 一般의인 斷面은 그림 3과 같다. 即, 먼저 地盤上에 모래를 敷設하고 發泡폴리스티렌을 積層한 後 콘크리트슬래브, 基層 및 表層의 順序로 所要의 높이까지 施工을 한다.

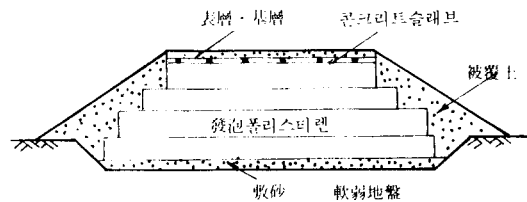


그림 3. 盛土의 一般斷面圖

#### 가. 設計荷重

發泡폴리스티렌에 의한 道路盛土 設計時 考慮하는 荷重은 活荷重(交通荷重), 死荷重(表層, 基層, 콘크리트, 發泡폴리스티렌 등의 自重) 및 浮力 등이 있다.

##### 1) 盛土荷重

發泡폴리스티렌에 의한 盛土荷重은 (1)式으로 구하며, 盛土 兩側面 被覆土重量은 微小하므로 省略하였다(그림 4 參照).

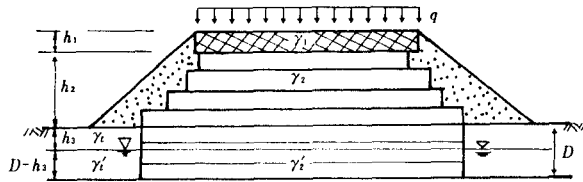


그림 4. 盛土荷重模型圖

$$P_1 = q + \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + h_3 \gamma_2 + (D - h_3) \gamma_2' \quad (1)$$

여기서,

$P_1$ : 盛土荷重(t/m<sup>2</sup>)

$q$ : 路面에 作用하는 等分布荷重(t/m<sup>2</sup>)

$\gamma_1$ : 表層, 基層 및 콘크리트슬래브의 單位重量(t/m<sup>3</sup>)

$h_1$ : 表層, 基層 및 콘크리트슬래브의 두께(m)

$\gamma_2$ : 發泡폴리스티렌의 單位重量(t/m<sup>3</sup>)

$h_2$ : 地表面上部 發泡폴리스티렌의 두께(m)

$D$ : 掘鑿深度(m)

$h_3$ : 地表面에서 地下水位까지의 두께(m)

$\gamma_2'$ : 發泡폴리스티렌의 水中單位重量(t/m<sup>3</sup>)

### 2) 浮力

發泡폴리스티렌에 作用하는 浮力은 (2)式으로 구한다.

$$U = \gamma_w (D - h_3) \quad (2)$$

여기서,

$U$ : 浮力(tf/m<sup>2</sup>)

$\gamma_w$ : 물의 單位重量(tf/m<sup>3</sup>)

### 3) 置換 地盤土重量

發泡폴리스티렌으로 置換되는 地盤土重量은 (3)式으로 구한다.

$$P_0 = \gamma_t h_3 + \gamma_t' (D - h_3) \quad (3)$$

여기서,

$P_0$ : 發泡폴리스티렌으로 置換되는 盛土의 重量(tf/m<sup>2</sup>)

$\gamma_t$ : 地盤土의 濕潤單位重量(tf/m<sup>3</sup>)

$\gamma_t'$ : 地盤土의 水中單位重量(tf/m<sup>3</sup>)

### 나. 發泡폴리스티렌의 根入深度

1) 發泡폴리스티렌 底面에 作用하는 增加應力

(1) 및 (3)式을 利用하여 發泡폴리스티렌 底面에 作用하는 增加應力을 구하면 (4)式과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta\sigma &= P_1 - P_0 \\ &= q + \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_2 h_3 + \gamma_2' (D - h_3) \\ &\quad - \gamma_t h_3 - \gamma_t' (D - h_3) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,  $\Delta\sigma$ : 폴리스티렌 底面에 作用하는 增加應力(tf/m<sup>2</sup>)

2) 發泡폴리스티렌의 根入深度

發泡폴리스티렌 底面에 作用하는 增加應力이 생기지 않도록 (4)式의  $\Delta\sigma$ 를 零으로 하여 發泡폴리스티렌의 根入深度를 구하면 (5)式과 같다.

$$D = \frac{q + \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_2 h_3 - \gamma_t h_3}{\gamma_t' - \gamma_2'} + h_3 \quad (5)$$

### 다. 浮力에 대한 檢討

地下水位가 있으면 構造物에 浮力이 作用하므로 構造物浮上에 대한 安全性은 (6)式으로 檢討한다.

$$F_s \leq \frac{P_1 + \gamma_w (D - h_3)}{U} \quad (6)$$

여기서,

$F_s$ : 浮力에 대한 安全率

$P_1$ : 盛土荷重(tf/m<sup>2</sup>)

$U$ : 浮力(tf/m<sup>2</sup>)

(6)式에 의한 安全率은 1.2를 標準으로 하며, 그 以下이면 適切한 浮上防止對策을 講究해야 한다.

### 라. 壓密沈下에 대한 檢討

軟弱地盤의 沈下를 防止하기 위하여 發泡폴리스티렌을 使用할 경우는 增加應力을 가능한 限 零이 되도록 設計하면 좋으나 부득이 增加應力이 發生할 경우는 壓密沈下를 檢討해야 한다.

### 마. 壓縮強度에 대한 檢討

發泡폴리스티렌 部材에는 盛土의 上載荷重 및 被覆層의 鉛直荷重으로 인하여 應力이 發生한다. 이 應力은 發泡폴리스티렌의 許容壓縮應力을 超過하면 않으며, 上載荷重에 의하여 發泡폴리스티렌 上面에 傳達되는 應力은 (7)式으로 구한다.

$$\sigma_2 = \frac{qBL}{(B + 2h_1 \tan\alpha)(L + 2h_1 \tan\alpha)} + \gamma_1 h_1 \quad (7)$$

여기서,

$\sigma_2$ : 發泡폴리스티렌 上面에 傳達되는 應力  
(tf/m<sup>2</sup>)

B: 荷重面の 短邊長(m)

L: 荷重面の 長邊長(m)

$\alpha$ : 鉛直荷重의 分散各(度)

콘크리트슬래브의 경우:  $\alpha=45^\circ$

콘크리트슬래브가 아닐 경우:  $\alpha=30^\circ$

#### 4. 結 言

노르웨이에서는 發泡폴리스티렌에 의한 盛土의 施工實績이 많고 또한 施工한 構造物에서 施料를 採取하여 單位重量, 吸收量 및 壓縮強度 등을 調査하여 長期的인 研究를 하고 있으며, 日本에서도 많은 研究實績과 함께 實用化段階에 이르고 있다.

한편 우리나라에서는 1987年 大韓土質工學會의 學術發表에서 發泡폴리스티렌 工法이 發表되었으나 土木資料로서의 施工實績이 아직 없는데 이는 發泡폴리스티렌의 價格이 비싸므로 他工法보다 不利하기 때문이라 생각된다.

그러나 超軟弱地盤上的 盛土와 같이 構造物에

따라서는 本工法을 適用해야 할 경우도 있으므로 이 工法에 關心을 가지고 學界, 研究機關 및 製品會社의 産學協同에 의한 發泡폴리스티렌工法의 研究開發이 要望된다.

#### 參 考 文 獻

1. Thomas A. Coleman(1974): "Polystyrene Form is Competitive, Lightweight Fill", Civil Engineering, ASCE, Vol. 14, No.2, pp.68~69.
2. 福住隆二(1986): "發泡스티ロール土木工法", 日本土木學會論文集, No.373, pp.148~150.
3. 能等繁幸(1986): "發泡ポリスチレンを用いた盛土工法", 土木技術, 41-3, pp.30~34.
4. 山内豊總(1987): "發泡스티로-루(ESP)의 力學的 特性和 盛土材로서의 問題點", 大韓土質工學會, 87年度 學術發表會 發表講演集, pp.107~119.
5. 韓國工業標準協會 編(1988): "KS M 3808 발포폴리스티렌 보온재"
6. 柳基松(1989) "發泡폴리스티렌(Expanded Polystyrene)의 物性和 利用", 韓國農工學會誌, 第31卷 第1號, pp.9~12.
7. 通口 靖明(1990): "發泡스티롤盛土工法", 基礎工, Vol. 18, No.12, pp.10~20.