

論 文

## 해안 도로상의 EPS 하중경감공법의 해석

장 용 채\*

Applications of the Light Weight Method of EPS to  
Sub-road Fills at the Seaside.

*Y. C. Chang*

**Key Words** : 토사성토(Soil Embankment), 연약지반(Soft Foundation), 상재하중(Over Load), EPS성토공법(EPS Embankment Construction), 경량성토공법(Light Embankment Construction), 지표면(Ground Surface).

### Abstract

The expansion of old road is needed in constructing the entrance at the OOI/C road in OOcity. To strength the national competition, many agents who concerned do their best for finishing that construction early as soon as possible.

In generally, soil embankment on soft foundation is caused to reduce the stability by making the settlement of ground surface due to the over load. Thus, we try to make it stable by building EPS embankment construction which in our working place is one kind of the method of light embankment construction after excavating the original ground.

### 1. 서 론

연약지반상에 도로나 단지 등을 건설할 경우, 성토하중에 의한 기존지반의 안전성부족으로 제체 및 인접지역에 큰 피해를 주는 경우가 많다. 연약

지반의 조사, 설계, 시공 및 유지관리는 일반 토공 지역과는 달리 많은 배려가 필요하다. 국토의 개발에 따라 한정된 국토의 효율적인 활용을 위하여, 연안지역을 포함한 연약지반상에 사회기반시설을 설치하는 경우가 날로 증대되고 있다.

\* 정희원, 목포해양대학교 해양시스템공학부 전임강사

이러한 연약지반의 안정을 기하기 위하여 최근 들어 하중경감공법이 많이 이용되고 있는데, 본 연구에서는 이와같은 하중경감공법의 일종인 EPS (Expanded Polystyrene)성토공법을 건설 현장에 적용한 시공 사례를 중심으로 분석하고자 한다.

EPS성토공법은 EPS블록의 단위중량이 일반 토사하중의 약 1/80이면서, 압축강도가 탄성범위에서 5~10t/m<sup>2</sup>에 이르는 초경량 재료이면서 소요의 강도를 발휘하는 공법이다. 우리나라에서는 1973년 발포성 비드가 생산된 이래 농업, 어업, 가전제품 및 건축분야 등에서 다양하게 사용되어 오다, 1993년 한국도로공사 도로연구소에서 서해안 고속도로에 EPS성토공법을 적용함으로써 첫발을 내딛었다.

본 현장은 ○○시 ○○IC접속 진출입로 설치공사에 있어 보도부분의 신설에 따라 기존도로의 확장이 필요하게 되었다. 이곳은 산업물류의 원활한 수송으로(물류비 10%절감운동)국가경쟁력 강화를 위해 도로의 조기완공이 필연적이며, 이를 위해 현장 관계자들은 공사관리에 심혈을 기울이고 있다. 일반적으로 연약지반상에 토공성토를 하게 되면 상재하중으로 인하여 지반이 침하를 일으켜 제체의 안전성을 저하시킬 수 있다. 본 현장에서는 기존 원지반을 일정깊이 굴착한 후 경량성토공법의 일종인 EPS성토공법을 적용하여 제체의 안정을 기하고자 하였다. 하지만 '97. 5월초 집중호우로 인하여 수위가 상승한데다 때마침 수문하류의 해수가 만조시가 되어 수류의 역류를 방지하기 위해 수문을 폐쇄함에 따라 수위가 G.L.(Ground Level)보다 30~50cm정도 더 상승하였다. 이에 따라 기 시공을 완료한 EPS블럭이 수위상승으로 부상하여, 도로의 개통이 지연되었다. 따라서, 본 연구에서는 이와같은 현장을 효율적으로 시공하기 위하여 하중경감공법의 일종인 EPS성토공법을 현장에 적용함으로써, 공기단축은 물론 제체의 안정을 증진시키는 방법에 대해 연구하고자 한다.

## 2. 수문자료

○○공사의 수문자료인 ○○지구 도로개설공사 수리 및 구조계산서(1993.12)의 우수유역도에 의하면 본 검토현장인 EPS성토공법 대상인접구역을 크게 4개 지역으로 나누어 검토하였다. 4개 유역중 EPS성토공법 적용검토지역은 D유역(106.68ha)에 해당하며 20년 빈도의 강우강도가 94.98mm/hr이며, 첨두홍수량은  $Q=21.11\text{m}^3/\text{sec}$ 로 추정되었다<sup>7)</sup>. 따라서 현재 3연박스로 되어 있는 수문의 통수능력은  $Q=29.857\text{m}^3/\text{sec}$ 이기 때문에 수위상승에 대한 수문의 통수능력은 충분한 것으로 판단된다.

## 3. EPS성토공법의 설계

### 1) 설계 일반

EPS 블록 공법을 성토체에 적용하는 경우, 기본적인 개념은 원지반에 증가응력을 발생시키지 않거나 허용지지력 이하가 되도록( $F_s \approx 3$ 적용시) 설계해야 한다.

### 2) 설계 순서

EPS 성토공법에 의한 성토체는 유해한 침하, 부력에 의한 부상검토 및 전체적인 안정이 확보될 수 있도록 설계한다.

### 3) 설계 하중

EPS 성토공법을 설계할 때는 성토 하중(포장·EPS 블록 자중 등), 상재하중, 부력 등을 고려하여 설계한다.

4) 안정 검토

a) 치환 성토 두께의 산정

치환 성토 두께(EPS 블록 성토두께)는 다음과 같이 산정한다. (Fig. 1 참조)

$$D = \frac{(W_L + \gamma_{t1} \cdot h_1 + \gamma_{t2} \cdot h_2)}{(\gamma_t - \gamma_{t2})} \quad (1)$$

여기에서,  $\gamma_{t1}$  : 포장, 노반의 단위 중량

$h_1$  : 포장, 노반의 두께

$h_2$  : 원지반상의 EPS 블록의 높이

$\gamma_{t2}$  : EPS 블록의 단위 중량

$D$  : 굴착 깊이

$W_L$  : 교통 상당 하중

$\gamma_t$  : 원지반의 단위 중량

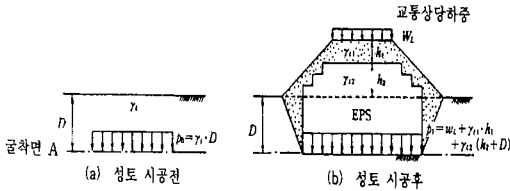


Fig. 1 The thickness of EPS block replacement

b) EPS 부재의 응력도 검토

EPS 블록의 부재에 작용하는 응력은 포장하중(사하중)과 교통하중(활하중)으로 구분된다. 포장하중은 포장체를 이루는 각 재료의 단위체적중량에 높이를 곱한 값( $\sigma_{z1}$ )으로 하며, 교통하중은 상재하중이 EPS 블록 등에 미치는 전달응력으로 다음 식을 이용하여 구한다.

$$\sigma_{z2} = \frac{P(1+i)}{(B+2z \tan \theta)(L+2z \tan \theta)} \quad (2)$$

여기서,

$\sigma_{z2}$  : EPS 블록 윗면에서의 응력도(tf/m<sup>2</sup>)

$P$  : 차륜 하중(DB-24하중의 경우, P=9.6t)

$i$  : 충격계수 ( $i=0.3$ )

$z$  : 포장두께

$B, L$  : 차륜 하중의 재하 폭, 길이

( $B=20\text{cm}, L=50\text{cm}$ )

$\theta$  : 분산각 (콘크리트 판을 사용할 경우는 개략적으로  $\theta=45^\circ$ )

(콘크리트 판을 사용하지 않는 경우는 개략적으로  $\theta=30^\circ$ )

따라서, EPS 블록 상부하중 = 포장하중( $\sigma_{z1}$ ) + 교통하중( $\sigma_{z2}$ ) < EPS 블록의 허용응력 범위에 들도록 설계하여야 한다.

c) 부력 검토

부력에 대한 검토시 수위는 최대 홍수위로 한다. 부상(浮上)에 대한 안전율은 다음 식으로 계산하며, EPS 블록 자중은 계산상 무시하여 안전 측으로 한다. (Fig. 2 참조)

$$F_s = P/U \quad (3)$$

$$P = \sum \gamma_{ti} \cdot H_i$$

$$U = \gamma_w \cdot H'_{EPS}$$

여기서,

$H'_{EPS}$  : 지하수위 이하의 EPS 블록층 두께

$\gamma_w$  : 물의 단위 중량

$\gamma_{ti}$  : 지하 수위 위의 각층의 단위 중량

$H_i$  : 각 층의 두께

설계 안전율은  $F_s = 1.3$  이상을 표준으로 한다.

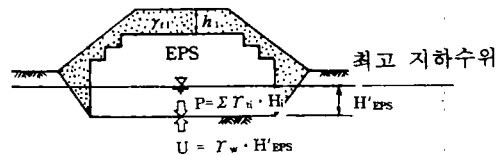


Fig. 2 The stability of buoyancy of EPS block

d) 침하량 검토

EPS 블록 성토에 있어 연약지반인 경우의 침하량 계산은 압밀 침하량을 검토하며, 성토 중앙부의 침하량은 다음 식으로 계산한다. 또한, 요즘은 수치해석 프로그램들이 잘 개발되어 있으므로 검증된 수치해석 프로그램을 이용하여 압밀 침하량을 검토할 수 있다.

$$S = m_v \cdot \Delta P \cdot H \tag{4}$$

$$S = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \cdot H \tag{5}$$

$$S = \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \cdot H \tag{6}$$

여기서,  $\Delta P$  : 성토에 의한 지반내 증가응력(kgf/cm<sup>2</sup>)  
 H : 연약층 두께(cm)  
 $m_v$  : 연약층의 체적 압축 계수(cm<sup>3</sup>/kgf)  
 $e_0$  : 압밀층의 초기 간극비  
 $e_1$  : 시험에 의해 e-logP 곡선에서 구한  $e_1$

4. EPS 성토공법의 현장적용

4.1 압축강도

압축강도는 EPS 블록의 중요한 공학적 성질의 하나이며, 성토재료로서의 활용성 여부를 판단하는 중요 척도 중의 하나이다. 이를 실내시험에 의해 정리하면 Fig. 3과 같이 나타난다. 즉, EPS 블록은 약 1~2%의 변형에 이르기까지는 탄성변형을 하나, 이 변위를 넘어서면 소성변형을 하는 것을 알 수가 있다. 한편, EPS 블록은 일반 성토재료와는 달리 최대응력이 나타나지 않으며, 소성상태에서도 일축방향의 압축력이 존재하는 특징을 갖고 있다.

EPS블록은 Fig. 3에서 알 수 있듯이 블록의 단위체적중량이 증가할수록 곡선의 기울기가 급하며, 동일 변형상태에서 압축응력 역시 커지는 것을 알 수 있다 (Fig. 4참조). 여기서 응력-변형률 곡선을

분석해 보면, 탄성한계(비례한계) 변형이 전체 변형률의 약 1%정도 범위 내임을 알 수 있다(Table 1 참조).

Table 1 The strength of compressibility

구 분	시험결과		비고
	1%변형시	5%변형시	
D-30	0.87	2.27	kgf/cm <sup>2</sup>
D-25	0.69	1.36	
D-20	0.62	1.36	
D-15	0.42	0.96	

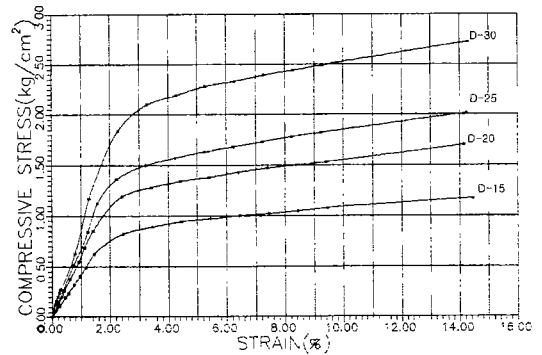


Fig. 3 Compress strength - Strain

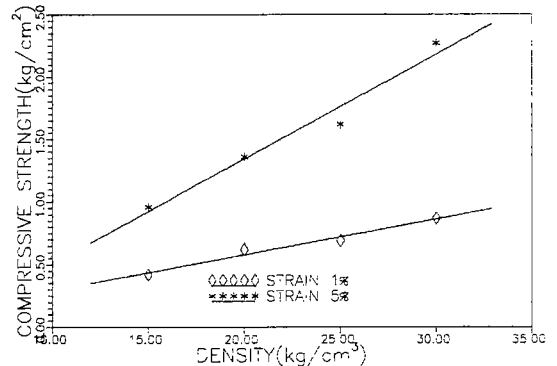


Fig. 4 Compressive strength - Density

4.2 현장검토

1) 검토대상지역은 교통하중이 발생하는 차도부가 아니고, 사람이 이용하는 보도부이기 때문에 활하중이나 충격하중에 대해서는 최악의 상태인 사람이 가득차 있을 경우를 중심으로 수치해석을 한다.

2) 현장에 EPS성토공법을 적용하기 위해, 수문상단까지 만수시의 Elevation을 측정한 결과 E.L 4.49로 나타났다. 본 연구 대상현장은 하부에 연약지반이 존재하고, 바다의 수문과 인접하고 있어 항상 침수문제가 검토되는 지역이다.

무엇보다도 먼저 부력에 대한 검토가 이루어져야 하기 때문에 이에 대한 검토를 수행하면 다음과 같다. EPS 블록은 부력에 대해서 안전하게 시공하기 위하여 원 지반으로 부터 EPS블록의 하부 2단은 토사성토로 채움을 하고, 상부2단(블록저면 E.L 4.37)은 EPS 블록으로 쌓는다. 이렇게 하면, EPS블록은 수문상단까지 우수가 가득할 경우에도 수침깊이가 10cm정도로 예상되어 수문의 통수불능상태를 제외하고는 부상에 대해 안전하다. 부력에 대한 검토시 안전율은 다음 식으로 계산하며, EPS블록의 자중은 계산상 무시하여 안전측으로 한다.(Fig. 5 참조)

앞 장의 c)부력검토에 적용된 수식 (3)을 이용하여 본 해석지반의 부력을 검토하면 다음과 같다.

『상재하중(P)는 0.985t/m<sup>2</sup>,

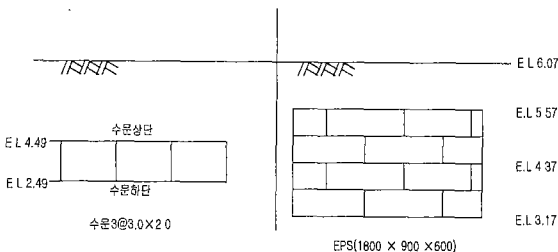


Fig. 5 The design map of floodgate and EPS block (Non-scale)

부력(U)는 0.12t/m<sup>2</sup>이다」

$$\therefore F_s = \frac{P}{u} = \frac{0.985}{0.12} = 8.2$$

따라서, 상기 지반은 부력에 대해서 안전하다.

3) EPS블록의 압축강도에 대한 안전성검토는 수식 (2)를 이용하여 계산하면 다음과 같다.

- EPS블록의 상부하중

『사하중에 의한 응력도  $\sigma_{z1}$ 은 0.985t/m<sup>2</sup>, 활하중에 의한 응력도  $\sigma_{z2}$ 는 1.0t/m<sup>2</sup>이다(보도부에 사람이 가득찰 경우).』

- EPS 블록에 작용하는 응력도

( $\sigma_z = \sigma_{z1} + \sigma_{z2}$ )는 1.985t/m<sup>2</sup>가 된다.

본 현장에는 토목용3호 (D-20) EPS블록을 사용하면 EPS 블록의 설계강도값(허용압축응력)이 5t/m<sup>2</sup>이므로, EPS블록 상단의 상재하중 1.985t/m<sup>2</sup>에 대해 충분한 압축강도를 갖게된다.

$$\text{즉, } 1.985\text{t/m}^2(\text{EPS블록의 상재하중}) < 5\text{t/m}^2(\text{EPS블록 허용압축응력}) \therefore \text{OK}$$

본 현장은 상기 계산 결과에 의해 D-20제품을 사용하면 된다.

4) EPS블록을 2단 사용하였을 경우 지반의 침하는 식 (4), (5), (6)을 이용하여 계산하면 다음과 같다. 현장 지반조사 보고서에 의한 토질상수를 취하여 Fig. 6의 설계단면에 대한 압밀침하량을 산정하면 다음과 같다<sup>7)</sup>.

EPS성토 지반의 압밀 침하량은 Skempton의 1차 압밀방정식에 대입해 개략 계산하면 다음과 같다.

$$S_c = \Delta H = \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \frac{P_{o+\Delta P}}{P_o}$$

각층의 유효 상재하중은 다음과 같다.

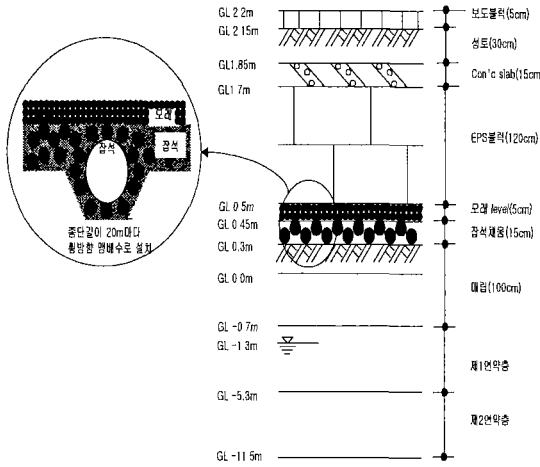


Fig. 6 The Design section of EPS block

$$P_{01} = 0.55t/m^2, P_{02} = 2.95t/m^2,$$

$$P_{03} = 7.41t/m^2$$

상기 값을 지중응력을 구하는 일반적인 다음 수식에 대입하면

$$P_1 = 3.209t/m^2,$$

원지반의 강도  $P_0$ 는  $P_0 = 1.26t/m^2$ 이다.

∴ 응력증분은

$$\Delta P = P_1 - P_0 = 1.95t/m^2 \text{ 가 된다.}$$

식(6)을 이용하여 EPS성토 지반의 압밀 침하량을 계산하면 다음과 같다.

- 각층의 압밀침하량은

$$S_{c1} = 0.0353m, S_{c2} = 0.0868m$$

$$S_{c3} = 0.0721m \text{ 이므로}$$

각 토층의 총 침하량  $S_c$ 는

$$\begin{aligned} S_c &= S_{c1} + S_{c2} + S_{c3} \\ &= 0.1942m \approx 20cm \text{ 가 된다.} \end{aligned}$$

따라서, 위 계산단면으로 EPS블록을 시공하면, 예

상되는 장기 1차 압밀침하량은 약 20cm이다.

## 5. 결론

본 연구에서는 최근 신공법으로 활용되고 있는 EPS 성토공법을 지역적인 조건과 공사기간이 촉박한 현장에 적용한 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 해수면과 인접해 있는 본 지역의 3연박스 수문통수량은 EPS성토공법 적용지역의 침투홍수량보다 30%정도 크기 때문에 도로체재로의 월류는 발생하지 않는다.

(2) EPS블록의 응력도 검토시 활하중 및 충격하중은 접속 지점이 보도부이기 때문에 사람이 가득 차 있을 경우를 가정하여  $1.0t/m^2$ 으로 한다.

(3) 현장에 적용 가능한 EPS 블록은 토목용3호(D-20)의 허용압축응력이  $5t/m^2$ 이기 때문에 활하중+사하중인 상재하중  $1.985t/m^2$ 을 지지하기에는 충분한 D-20을 사용한다.

(4) 접속지점의 1차압밀 침하량은 EPS블록을 2단 적용한 현재 상태의 경우 약20cm정도로 추정되, 도로부의 허용침하량 10cm를 초과하게 된다.

(5) 초과 침하량을 최소화하기 위해서는 하부 지반을 추가 보강하여야하나, 이곳은 차량이 통행하는 도로부가 아니고 보도부이기 때문에 안정성에 문제가 없다고 판단된다.

(6) EPS블록의 부력에 대한 안전성은 수문 상단까지 물이 가득차 통수될 최악의 경우에서도 안전율  $F=8.2$ 로 안전하다.

## 참고문헌

- 1) 장용채, “발포폴리스티렌(EPS)을 이용한 경량 성토공법”, 한국지반공학회지, 제10권 제3호, 1994년 9월 pp. 149~172.

- 2) 장용채외 2인, “EPS 성토공법연구”, 한국도로공사 도로연구소 1994년도 연구보고서
- 3) 장용채, “연약지반상 교대변위 대책공법으로서 EPS성토공법의 적용성에 관한 연구”, 한국건설기술연구원, EPS 토목공법 국제학술 세미나 논문집. 1995.
- 4) 장용채외 2인, “EPS 성토공법”, 한국도로공사 기술교재 92호, 1996.
- 5) 장용채외 1인, “연약지반에서의 토질공학”, 도서출판 새론, 제4, 5장
- 6) 장용채, “1997년 도로기술 자문사례집”, 한국도로공사 도로연구소, 1997.
- 7) 한국수자원공사, “시화지구 도로개설공사 수리 및 구조계산서”, 1993.
- 8) 加藤恒夫, “發泡スチロールを 利用いた 橋台背面土壓 輕減工法の事例”, 基礎工 1994, Vol.22
- 9) HIGUCHI Yasuaki, “發泡スチロール 盛土工法”, 基礎工 1990, Vol. 18, No. 12 pp. 10-20.
- 10) 日本土質工學會, “地盤の 側方移動”, 土質基礎工學ライブラリ, 1993.
- 11) 發泡スチロール土木工法開發技術, “EPS工法”, 1993.