

해안 매립지역의 EPS 성토공법 적용

장용채* · 조성민** · 이유옥***

Applications of the EPS Embankment Method
to Earth Fills at the Seaside.

Y. C. Chang · S. M. Cho · Y. O. Lee

Key Words : 토사성토(Soil embankment), 연약지반(Soft foundation), 상재하중(Over load),
EPS성토공법(EPS embankment construction), 지표면(ground surface),
경량성토공법(light embankment construction).



Abstract

The expansion of old road is needed in constructing the entrance at the ○○I/C road in ○○city. 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.

* 정회원, 목포해양대학교 해양및조선공학부 전임강사
** 한국도로공사 도로연구소 지반연구실 책임연구원
*** 전라남도 울촌산단개발사업소 공사감독

1. 서 론

연약지반상에 도로나 단지 등을 건설할 경우, 성토하중에 의한 기존지반의 안전성부족으로 제체 및 인접지역에 큰 피해를 주는 경우가 많다. 이러한 연약지반의 조사, 설계, 시공 및 유지관리는 일반 토공지역과는 달리 많은 배려가 필요하다. 국토의 개발에 따라 한정된 국토의 효율적인 활용을 위하여, 연안지역을 포함한 연약지반상에 사회기반시설을 설치하는 경우가 날로 증대되고 있다.

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

EPS성토공법은 EPS블록의 단위중량이 일반 토사 하중의 약 1/80이면서, 압축강도가 탄성범위에서 5~10t/m²에 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. 따라서, 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.

2. 수문자료

한국 ○○공사의 수문자료인 ○○지구 도로개설 공사 수리 및 구조계산서(1993.12)의 우수유역도에 의하면 본 검토현장인 EPS성토공법 대상인접지역을 크게 4개 지역으로 나누어 검토하였다. 4개 유역 중 EPS성토공법 적용검토지역은 D유역(106.68ha)에 해당하며 20년빈도의 강우강도가 94.98mm/hr로 나타나, 전체유출량 $Q=21.11\text{m}^3/\text{sec}$ 로 추정되었다. 따라서 현재 3연박스로 되어 있는 수문의 통수유량이 $Q=29.857\text{m}^3/\text{sec}$ 이기 때문에 수위상승에 대한 수문의 통수능력은 충분한 것으로 추정된다.

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. (그림 1. 참조)

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

여기에서, γ_{t1} : 포장, 노반의 단위 체적 중량
 h_1 : 포장, 노반의 두께
 h_2 : 원지반에서 쌓아올린 EPS 블록의 두께(높이)

γ_{t2} : EPS 블록의 단위 체적 중량
 D : 굴착 깊이
 W_L : 교통 상당 하중
 γ_t : 원지반의 단위 체적 중량

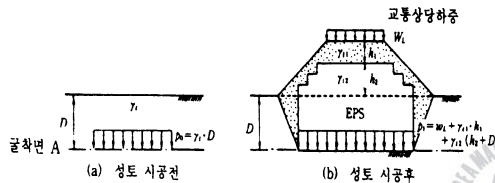


Fig. 1 The thickness of EPS block replacement

b) 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)

$$F_s = P/U$$

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

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

여기에서,

H'_{EPS} : 지하수위 이하의 EPS 블록층 두께
 γ_w : 물의 단위체적중량
 γ_{ti} : 지하 수위 위의 각층의 단위 체적 중량
 H_i : 각 층의 두께

설계 안전율은 $F_s = 1.3$ 이상을 표준으로 한다.

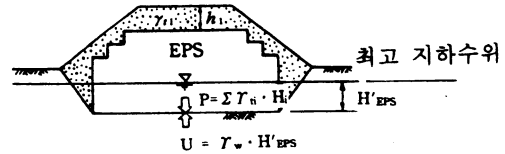


Fig. 2 The stability of buoyancy of EPS block

c) 침하량 검토

EPS 블록 성토에 있어 연약 지반인 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.

$$S = mv \cdot \Delta P \cdot H$$

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

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

여기서, ΔP : 성토에 의한 지반내 증가응력(kgf/cm²)
 H : 연약층 두께(cm)
 mv : 연약층의 체적 압축 계수(cm³/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 실내실험에 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. 또한, 일반 성토재료의 특성과는 달리 최대응력이 나타나지 않으며, 소성상태에서도 일축방향의 압축력이 존재하는 것을 나타낸다. EPS블록은 단위체 적중량이 증가할수록 곡선의 기울기가 크며, 동일 변형상태에서의 압축응력은 단위체적중량이 증가할수록 커지는 것을 알 수 있다. 여기서 응력-변형을 곡선을 분석해보면, 탄성한계(비례한계) 변형이 약 1%정도 범위임을 알 수 있다. (Table 1. 참조)

Table 1. The strength of compressibility (unit : kg/cm²)

구분	시험결과		비고
	1%변형시	5%변형시	
D-30	0.87	2.27	
D-25	0.69	1.36	
D-20	0.62	1.36	
D-15	0.42	0.96	

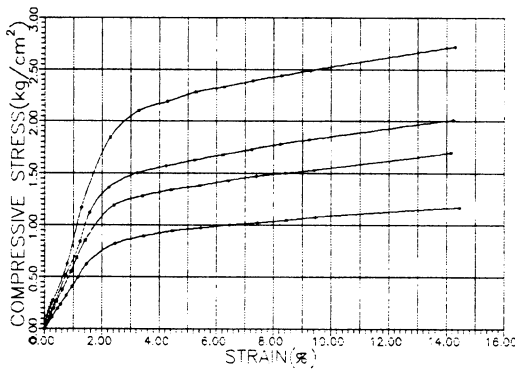


Fig. 3 Compress strength - Strain

4.2 현장검토

1) 검토대상지역은 교통하중이 발생하는 차도부가

아니고, 사람이 이용하는 보도부이기 때문에 활하중이나 충격하중에 대해서는 최악의 상태인 사람이 가득차 있을 경우를 가정한다.

2) 현장에 EPS성토공법을 적용하고자 수문상단까지 만수시의 Elevation을 측정한 결과 E.L 4.49로 나타났다. 따라서, 부력에 대해서 안전한 EPS성토공법을 적용키 위해 EPS블록 하부 2단은 토사성토로 채움을 하고 상부2단(블록지면 E.L 4.37)은 EPS 블록으로 쌓는다. 따라서 EPS블록은 수문상단까지 우수가 가득할 경우에도 수침깊이가 10cm정도로 예상되어 수문의 통수불능상태를 제외하고는 부상에 대해 안전하다. 부력에 대한 검토시 안전율은 다음식으로 계산하며, EPS블록 자중은 계산상 무시하여 안전율으로 한다.(Fig. 4 참조)

$$F_3 = \frac{P}{u}$$

$$P = \sum \gamma_h = 2.0 \times 0.05 + 1.8 \times 0.30$$

$$+ 2.3 \times 0.15 = 0.985 t/m^2$$

$$u = \gamma \cdot H_{EPS} = 1.0 \times 0.12 = 0.12 t/m^2$$

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

따라서 부력에 대해서 안전하다.

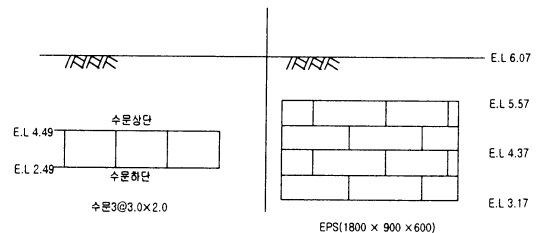


Fig. 4 The design map of floodgate and EPS block (Non-scale)

3) EPS블록의 압축강도에 대한 안전성검토는 다음과 같다.

EPS블록의 상부하중

$$\begin{aligned}\sigma_{z1} &= \sum \sigma_i \cdot H \\ &= 2.0 \times 0.05 + 1.8 \times 0.30 \\ &\quad + 2.3 \times 0.15 = 0.985t/m^2\end{aligned}$$

$$\sigma_{z2} \doteq 1.0t/m^2$$

(보도부에 사람이 가득찰 경우를 가정) 따라서

$$\begin{aligned}\sigma_z &= \sigma_{z1} + \sigma_{z2} \\ &= 0.985 + 1.0 = 1.985t/m^2\end{aligned}$$

토목용3호 (D-20) EPS블록을 사용할 경우 EPS 블록의 설계강도값(허용압축응력)이 $5t/m^2$ 이므로 EPS블록 상단의 상재하중 $1.985t/m^2$ 에 대해 EPS블록의 압축강도는 충분하다.

$$\begin{aligned}1.985t/m^2 (\text{EPS블록의 상재하중}) &< \\ 5t/m^2 (\text{EPS블록 허용압축응력}) &\therefore \text{OK}\end{aligned}$$

4) EPS블록을 2단 사용하였을 경우 지반의 침하는 다음과 같이 예상된다. 현장의 토질상수를 이용하여 Fig. 5의 가상단면에 대한 압밀침하량을 산정하면 다음과 같다

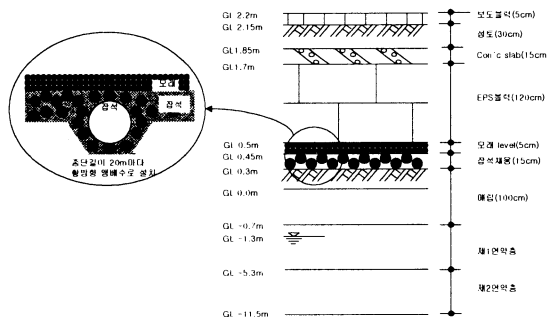


Fig. 5 The Design section of EPS block

$$S_c = \Delta H = \frac{C_c}{1 + e_o} H \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o}$$

각층의 유효 상재하중

$$P_{01} = 1.84 \times 0.6 \times \frac{1}{2} = 0.55t/m^2$$

$$P_{02} = 1.84 \times 0.6 + 0.84 \times \frac{4.4}{2} = 2.95t/m^2$$

$$\begin{aligned}P_{03} &= 1.84 \times 0.6 + 0.84 \times 4.4 \\ &\quad + 0.9 \times 5.8 \times \frac{1}{2} = 7.41t/m^2\end{aligned}$$

$$\Delta P_1 = 2.0 \times 0.05 + 1.8 \times 0.30 + 2.3 \times 0.15$$

$$+ 0.02 \times 1.2 + 2.0 \times 0.2 + 1.8 \times 1.0$$

$$= 3.209t/m^2$$

$$\Delta P_o = 1.8 \times 0.7 = 1.26t/m^2$$

$$\therefore \Delta P = \Delta P_1 - \Delta P_o = 1.95t/m^2$$

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

$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_o} \cdot H \cdot \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o}$$

각층의 압밀침하량은

$$\begin{aligned}S_{c1} &= \frac{0.18}{1 + 1.0} \times 0.6 \times \log 0.55 + \frac{1.59}{0.55} \\ &= 0.0353m\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_{c2} &= \frac{0.18}{1 + 1.01} \times 4.4 \times \log 2.95 + \frac{1.95}{2.95} \\ &= 0.0868m\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_{c3} &= \frac{0.25}{1 + 1.04} \times 5.8 \times \log \frac{7.41 + 1.95}{7.41} \\ &= 0.0721m\end{aligned}$$

$$\therefore S_c = S_{c1} + S_{c2} + S_{c3}$$

$$= 0.0353 + 0.0868 + 0.0721$$

$$= 0.1942m \doteq 20cm$$

따라서 위 가상단면으로 EPS블록을 시공할 경우 예상되는 1차 압밀침하량은 약 20cm이다.

5. 결 론

산업물류의 원활한 수송으로 국가 경쟁력을 향상 시키기 위해 ○○공단 진출입로의 조기완공은 필연적으로 요구된다. 따라서, 원활한 공사수행을 위해서 기 도입된 EPS블록의 효율적인 활용방법을 정리하면 다음과 같이 검토할 수 있다.

(1) 수문자료에 의하면 20년 빈도의 3연박스 수문통수유량이 $29.875\text{m}^3/\text{sec}$ 로 EPS성토공법 적용 검토 지역의 전체유출량 $21.11\text{m}^3/\text{sec}$ 을 통수시키기 충분하여 수문 상단까지의 수위상승은 없을 것으로 추정된다.

(2) EPS성토공법의 적용시 검토된 사항은 다음과 같다.

① EPS블록 위의 활하중 및 충격하중은 보도부이기 때문에 최악의 상태인 사람이 가득차 있을 경우를 가정한다

② 토목용3호(D-20)EPS블록의 허용압축응력이 $5\text{t}/\text{m}^2$ 이기 때문에 상재하중 $1.985\text{t}/\text{m}^2$ 을 지지하기에는 충분하다.

③ EPS블록을 2단 사용할 경우 예상되는 1차압밀 침하량은 약20cm정도로 추정되고, 도로부의 허용침하량이 10cm를 초과하게 된다. 하지만, 이곳은 차량이 통행하는 도로부가 아니고 사람이 다니는 보도부이기 때문에 큰 문제점은 예상되지 않는다.

④ EPS블록의 부력에 대한 안전성은 수문 상단까지 물이 가득차 통수될 경우를 가정해 검토한 결과 $F=8.2$ 로 안전하다.

참고문헌

1. 장용채, “발포폴리스티렌(EPS)을 이용한 경량성토공법”, 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. 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,
8. HIGUCHI Yasuaki, “發泡スチロール 盛土工法”, 基礎工 1990, Vol.18, No.12 pp.10-20
9. 日本土質工學會, “地盤の 側方移動”, 土質基礎工學 라이브러리, 1993
10. 發泡スチロール土工法開發技術, “EPS工法”, 1993