

## EPS의 재료특성, 설계법 및 시공사례에 대한 고찰

김 홍 택\*

### 1. 서 론

발포스티로폴(Expanded Poly-Styrene, 이하 EPS)이 경량성토재로 이용되어진 것은 1985년 교량 설비 도로공사가 최초였다. 그 후 해마다 활용이 확대되어, 1989년도 말까지 150건의 사용실적을 보기에 이르렀다. 특히 1988년경 부터 1~2년 동안의 신장은 현저하였고, EPS의 경량성과 탁월한 재료특성 그리고 시공의 용이성 등이 인식되어 활용성이 큰 토목공법으로 점차 정착되어가고 있다. EPS는 단위체적중량이  $0.02 \sim 0.03 \text{ t/m}^3$  정도로서 일반 흙과 비교하여 1/60~1/90 정도로 가볍다는 특징때문에, 연약지반의 침하대책이나 미끄러짐 방지대책에 유효한 재료로 주목을 받고있다.

EPS가 도로의 경량성토재로서 최초로 사용된 것은 1982년 노르웨이 오슬로 교외의 Flom 다리 설비도로의 개조공사였다. 이 도로는 지반이 연약한 이탄층인데다 교통량이 많았기 때문에 연간 10cm 정도 침하가 생기고 매년 표층을 두텁게 하는 일종의 덧씌우기 유지보수공사가 필요로 하게 되었다. 따라서 근본적인 침하방지대책으로서 경량성토재를 이용한 치환이 검토되었다. 처음에는  $1.0 \text{ t/m}^3$  정도의 경량성토재를 생각했지만 보다 효과를 높이기 위해 초경량 재료인 EPS 블럭을 채용하게 되었다.

그 결과 더 이상의 침하는 거의 발생하지 않게 되었고, EPS 성토공법의 효과가 인식되었다. 이것을 계기로 노르웨이 국립도로연구소(NR-RL)에서는 EPS에 의한 성토공법 연구가 활발하게 추진되었고, 연약지반 대책공법의 하나로써 기술체계가 확립되기에 이르렀다. 1990년 말까지 노르웨이에서 EPS에 의한 시공실적은 120건  $240,000 \text{ m}^3$ 에 달하고 있다.

스웨덴의 경우도 연약지반의 침하대책으로서 일찍부터 EPS의 활용에 착안하고 있었다. 스웨덴 국립토질연구소(SGI)에서는 연간 50~70mm 정도의 침하가 발생하는 교량 설비도로의 복구대책으로서, 1980년대 EPS에 의한 치환공사를 실시하고 그 성과를 거두었다. 그 이후 EPS의 사용실적은 계속적으로 신장되고 있다. 프랑스의 경우도 국립토목연구소(LCPC)가 중심이 되어 EPS 공법의 보급을 진전시키기 위한 노력을 기울이고 있고, 또한 많은 연구결과가 계속해서 발표되고 있다.

1985년 6월 노르웨이 오슬로에서 EPS를 도로성토에 적용하는 국제학술회의가 개최되었다. 그 회의에 참석한 三木五三郎이 본 공법을 소개한 것을 계기로 하여 일본에서도 EPS 활용에 대한 관심이 높아졌다. 그 이전에도 EPS를 교대나 옹벽의 뒷채움재로 사용하려는 시도가 없었던 것은 아니나, 연약지반상의 성토 침하대책으로서 EPS 공법이 최초로 이용된 것은

\*정회원, 홍익대학교 공과대학 토목공학과 부교수

이즈음 부터이다. 이와 같은 움직임에 힘입어 EPS를 토목공법에 적극적으로 활용하기 위한 연구활동이 각 방면에서 활발하게 진척되었다. 1986년에는 민간 토목회사를 중심으로 EPS 토목공법 개발기구가 설립되고, 연구개발과 보급 촉진을 위해 많은 노력을 하게 되었다. 1987년 10월에는 EPS에 의한 실물크기의 대규모 성토를 구축하고 그 시공성을 확인함과 동시에 실제 주행을 반복하고, 응력전달, 뒤틀림의 발생 상태, 그 이외의 여러가지 거동 파악에 노력하였다. 그 결과 성토재로서 충분히 활용할 수 있음이 입증되었다. 이와같은 활동계기로 EPS 공법의 시공실적도 착실한 성장을 보였다. 일본에서는 1985년 부터 사용하기 시작하여 1989년까지 총 시공건수는 150건, 총 사용량은 130,000m<sup>3</sup>이다. 1988년과 1989년 2년간 시공실적의 용도별 분류를 보면, 당초 연약지반의 침하

대책으로 출발한 EPS 공법이 그 후 토압경감 효과를 거당하여 교대 및 옹벽 등의 뒷채움재로서 활용이 많아졌고, 적용분야도 도로 뿐만 아니라 동경해안의 임해공원 조성등의 실적에서 대표 되듯이 연약지반상에 있어서 공원의 조성 또는 골프장 fairway 확장공사의 용도 등 상당히 다양화되고 있는 추세이다.

## 2. EPS 시공방법 개요

준비공, 굴착공, 배수공, 기초공, EPS 반입 및 가설비, EPS 설치공, 콘크리트공, 벽면공, 법면공, 부대설비공 등의 순서로 시공한다(그림 1).

콘크리트공에서 중간상판은 원칙적으로 EPS 4~6층 마다 1개소를 설치한다. 다만, 앵커 등의 설치조건에 따라 적절히 바꾸어 선택

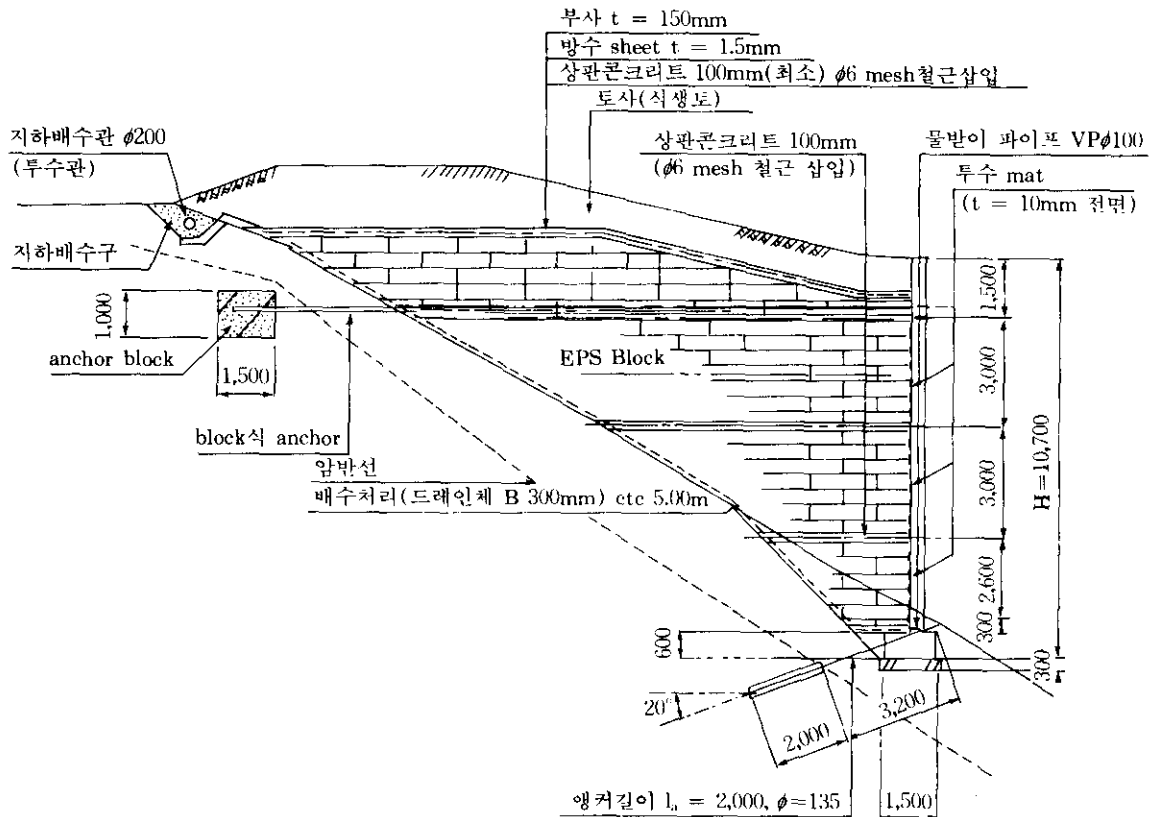


그림 1. 전형적인 EPS의 시공 단면도

하는 것이 좋다. 또한 콘크리트 타설은 원칙적으로 펌프타설을 하며, 표면 마무리는 나무흙손으로 처리한다. 시공시에 EPS 각층에 1~2mm 정도의 단차가 발생하는 경우가 있지만, 상판의 타설에 의해 안정성을 유지하게 된다. 상판타설 완료 후에 다시 높이를 측정하여 시공이 잘 되었는지 확인해야 한다.

### 3. 성토제체의 안정해석

치환성토 두께의 산정

$$D = (W_L + r_{11} \cdot h_1 + r_{12} \cdot h_2) / (r_1 - r_{12}) \quad (1)$$

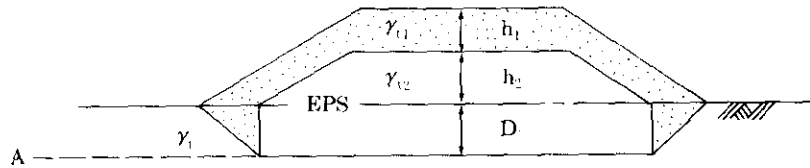


그림2. EPS 치환 두께

부력에 대한 안정검토

부력에 대한 안정검토시 수위는 가능한 최대 예상수위로 가정한다. 부력에 대한 안전율은 다음의 식(2)를 토대로 계산하며, EPS의 자중은 안전측에서 무시한다.

$$F_s = \frac{P}{U} \quad (2)$$

여기서,  $U = r_w \cdot H'_{EPS}$

$P : \sum \gamma_i \cdot H_i$

$H'_{EPS} : 지하수위보다 아래에 있는 EPS층 두께$

$r_w : 물의 단위체적중량$

$r_1 : 지하수위 보다 위에 존재하는 각층의 단위체적중량$

$H_i : 각층의 두께$

설계안전율  $F_s$ 는 1.2 이상을 표준으로 하며, 만일 부력에 대한 안전율이 설계안전율 조건을 충족하지 않을 경우, 다음에 열거한 적절한 대응책을 시행하여 안전율을 1.2 이상으로 증대

여기서,  $r_{11} : 포장·노반의 단위체적중량$

$h_1 : 포장·노반의 두께$

$r_{12} : EPS의 단위체적중량$

$h_2 : EPS의 성토두께$

$r_1 : 원지반의 단위체적중량$

$D : 굴착심도$

$W_L : 교통상당하중$

식(1)은 그림 2의 굴착면 A에서의 발생응력이 성토 이전 및 이후에 서로 같아지도록 하여 유도된 식이다.

시켜야 한다.

- ① 굴착심도의 감소(치환 EPS 두께의 감소)
- ② 성토하중의 부가(상부 EPS 두께의 감소)
- ③ 위의 ① 및 ②의 대응책을 병용.
- ④ 앵커설치 등으로 부상(浮上) 방지
- ⑤ 배수공 설치(지하수위 저하)

증가응력의 산정

EPS 성토에 의한 치환저면부에서의 증가응력  $\Delta\sigma$ 는 다음의 식(3)에 의해 결정한다. EPS 층의 침수부분은 원칙적으로 습윤단위중량  $r'$ 을 사용하는 것으로 한다.

$$\Delta\sigma = P_1 - P_0 \quad (3)$$

여기서,  $P_1 = W_L + r_{11} \cdot h_1 + r_{12} \cdot (h_2 + D)$

$$P_0 = r_1 \cdot D$$

압밀침하나 지지력 등에 대한 검토는, EPS 성토의 저부면(그림2의 A)을 기준으로 이루어진다. 연약지반상의 성토에서 침하억제를 주목적으로 EPS 공법을 활용하는 경우에는, 증가응력이 0(zero)이 되도록 설계하는 것이 바람

직하다. 그러나, 부력에 대한 대응책 및 지하수 위 부근에서 시공성 등의 이유때문에 지반내에 증가응력이 발생하는 경우도 있다. 이와같은 경우에는 증가응력에 의한 압밀침하에 대해 검토를 행해야 한다. 또한 이 경우에, 지반의 예상 압밀침하량을 산출한 후 적절한 침하대책을 사전에 충분히 시행할 필요가 있다. 잔류침하량은 노면 및 주변 구조물 등에 미치는 영향을 충분히 고려하여 결정해야 하며, 이 과정에서 EPS에 유해한 마모가 발생하지 않도록 유의하여야 한다. 부등침하량은 10cm 정도 이하로 제한하는 것이 바람직하다.

### 전체안정검토

기초지반을 포함하는 성토체체의 전체적인 안정검토는 원호활동법을 토대로 이루어진다. 원호활동에 대한 안전율은 1.2 이상을 원칙으로 한다. 현재까지는 EPS 성토체 내부(EPS 블록 상호간의 조합체)의 파괴 mechanism에 대해서는 명확한 규명이 이루어지지 않고 있으며, 따라서 전체안정검토에서 EPS 성토체자체를 일체화된 구조체로 간주하여 평가하고 있다.

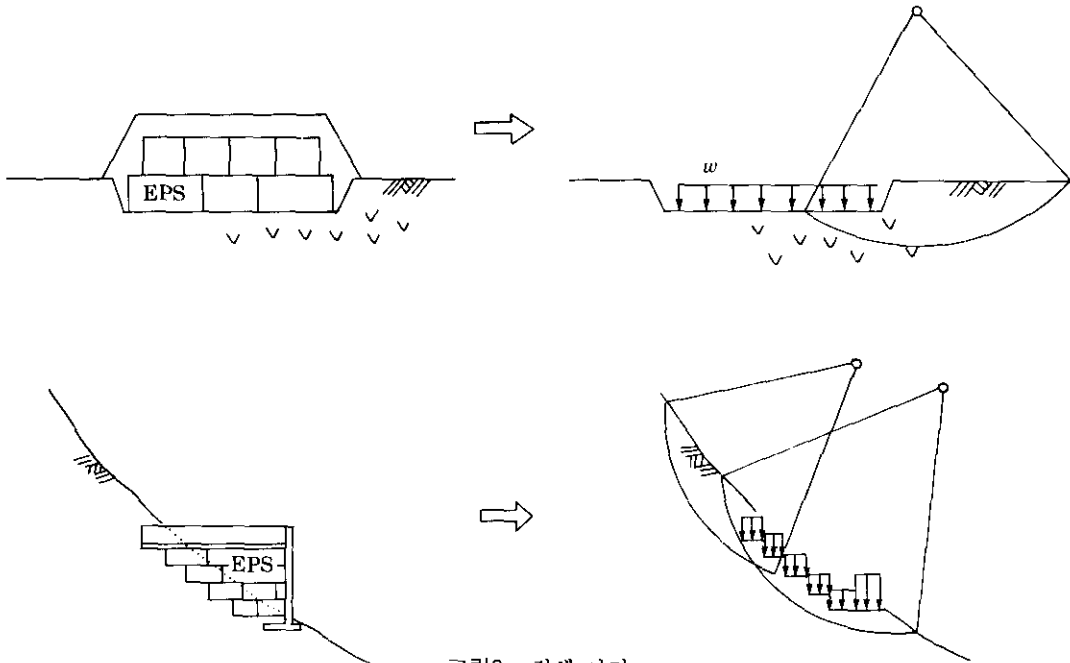


그림3. 전체 안정

### EPS층에 대한 전달응력

상재하중에 의해 EPS층으로 전달되는 응력은 간략하게 다음의 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$\sigma_z = \frac{P(1+i)}{(B+2 \cdot Z \cdot \tan \theta)(L+2 \cdot Z \cdot \tan \theta)} \quad (4)$$

여기서,  $\sigma_z$  : EPS 상부면에서의 응력(t/m<sup>2</sup>)

P : 운하중(T-20 하중의 경우,

P=8,000kg)

i : 충격계수(i=0.3)

Z : 포장 두께

B : 차폭(T-20 하중의 경우,  
B=50cm)

L : 차륜접지장(T-20 하중의 경우,  
L=20cm)

$\theta$  : 하중분산각도(콘크리트상판을 사용할 경우에는  $\theta=45^\circ$ , 콘크리트상판을 사용하지 않을 경우에는  $\theta=30^\circ$ )

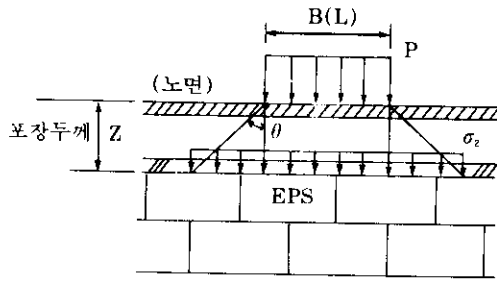


그림4. 전단응력의 근사계산

이외에도 전단응력을 계산하는 방법에는 Boussinesq 방법 및 Boston Code법 등이 있다. covering 층으로 철근콘크리트상판을 사용할 경우, 위의 식(4)로부터 계산된 값은 비교적 안전측에 해당된다는 것이 실험적으로 이미 확인된 바 있다.

EPS층에 전달되는 응력은 포장구조 및 covering층 등에 따라 달라지게 된다. 엄밀하게 결정하는데는 유한요소법이나 다층탄성론 등을 적용하는 것이 유효하다. 단, 포장 각 층에서의 강도정수 및 응력분산효과 등을 평가할 필요가 있다.

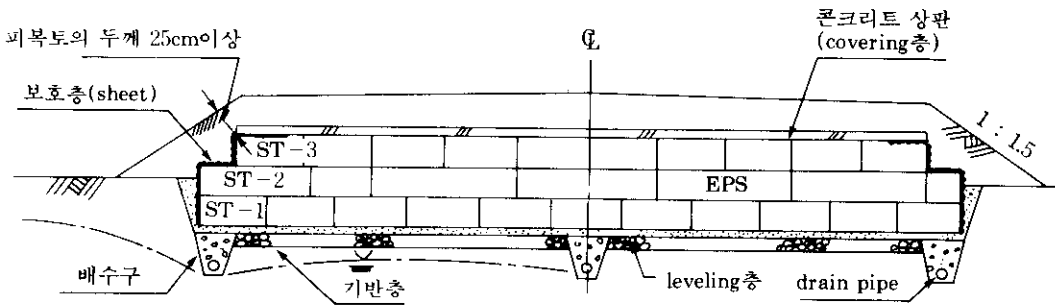


그림5. EPS 성토 표준 단면

### 3. 하중

#### 하중의 종류

EPS 공법의 설계에 있어 고려해야 할 하중의 종류는 다음과 같다.

- ① 배면토압 및 수압
- ② EPS 측압

#### 구조세목

EPS공법에 의한 성토체는 그림5에 도시된 구조체를 표준으로 한다. 구체적으로는,

- ① EPS 설치 기반에 쇄석이나 soil cement 등을 이용하여 기반층을 설계하고, 그 위에 leveling 층으로 2~5cm 정도의 數砂層을 설치한다.
- ② EPS 블럭을 상호배치하며 연결기구를 사용하여 일체화를 도모한다.
- ③ EPS 층의 상부에는 재하중의 분산 및 방호 등을 목적으로 하는 콘크리트상판 등을 설치한다.
- ④ 법면구배는 1:1.5 보다 급구배로 하지 않는 것이 바람직하며, 피복토의 두께는 25cm 이상으로 한다.
- ⑤ EPS가 다층으로 쌓아올려지는 경우에는, 블럭을 고정시킬 목적으로 중간에 콘크리트 상판을 설치한다.
- ⑥ 지하수위가 높은 장소나 물의 침입이 예상되는 장소에는, 지하배수구 및 drain pipe 등을 설치하여 수위의 저하를 도모하는 것이 바람직하다.

- ③ 자중
- ④ 상재하중
- ⑤ 부력
- ⑥ 지진하중
- ⑦ 기타(충격하중, 제동하중 등)

### 토압 및 수압

쌓아올린 EPS의 배면지반이 자립하지 않는 경우나 수위상승이 고려되는 경우에는, 토압 및 수압을 고려해야 한다. 토압의 계산은 Coulomb, Rankine 또는 Terzaghi 방법 등을 토대로 이루어진다. 수압은 정수압 분포로 산정한다.

EPS를 역사다리형으로 설치한 경우, 배면구배가 안정하면 토압이 없다고 보며, 안정구배보다 급한 경우에는 흠쇄기법으로 계산한다. 안정구배는 지반상태에 따라 다르며, 토압은 사면안정해석이론에 의한 정밀계산 이외에도, 다음의 표1 및 2를 이용하여 개략적으로 구할 수 있다.

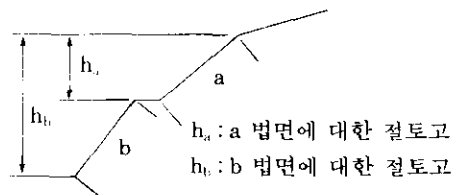
표1. 질토에 대한 표준 경사면구배

토 질	구 배		
경 암	1 : 0.3 ~ 1 : 0.8		
연 암	1 : 0.5 ~ 1 : 1.2		
모 래	조밀하지 않고 입도분포가 나쁜 것 1 : 1.5 ~		
사 질 토	조밀한 것	5m 이하 1 : 0.8 ~ 1 : 1.0 5~10m 1 : 1.0 ~ 1 : 1.2	
	조밀하지 않는 것	5m 이하 1 : 1.0 ~ 1 : 1.2 5~10m 1 : 1.2 ~ 1 : 1.5	
	자갈 또는 암괴가 섞인 사질토	조밀한 것 또는 입도분포가 좋은 것	10m 이하 1 : 0.8 ~ 1 : 1.0 10~15m 1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
		조밀하지 않은 것 또는 입도분포가 나쁜 것	10m 이하 1 : 1.0 ~ 1 : 1.2 10~15m 1 : 1.2 ~ 1 : 1.5
점 성 토	10m 이하 1 : 0.8 ~ 1 : 1.2		
암괴 또는 옥석이 섞인 점성토	5m 이하 1 : 1.0 ~ 1 : 1.2		
	5~10m 1 : 1.2 ~ 1 : 1.5		

주) ① 토질구성 등에 따라서 단일 구배로 하지 않을 때의 절토고 및 구배의 고려방법은 아래의 그림과 같이 한다.

- 구배는 소단을 불포함.
- 구배에 대한 절토고는 해당 절토 법면으로 부터 측정된 상부 전체 절토고이다.

- ② 실트는 점성토로 간주
- ③ 윗표 이외의 토질은 별도로 고려한다.



EPS의 배면을 불규칙하게 쌓은 경우에는, 가상배면을 고려하여 흠쇄기 내부의 EPS가 차지하는 체적비율에 대응하는 토압(산정토압)으로 개략적으로 산정한다. 또한 EPS를 사다리형으로 설치한 경우, 토압은 Coulomb 방법을 토대로 계산한다. 이 경우 토압합력의 작용 위치는 EPS 배면에 있고, EPS 전체가 활동, 전도 및 부재응력 등에 대해서 안전하고 그 자

체로서 자립성이 있으며, 전면의 구조물에는 EPS 측압이 작용하지 않는 것으로 판단할 수 있다.

### EPS 측압

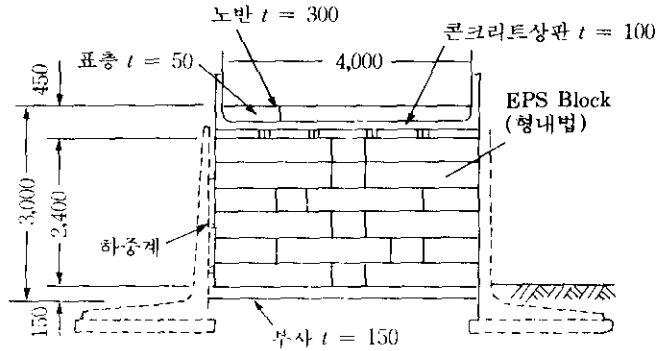
쌓아올린 EPS의 측압은 사용목적에 고려하여 설정해야 할 필요가 있다. 또한 상재하중에 의하여 EPS가 탄성변형할 경우에 횡방향으로

표2. 성토재료 및 성토고에 대한 표준 경사면구배

성토재료	성토고(m)	구 배	비 고
입도가 양호한 모래(SW), 세립분이 섞인 자갈(GM), (GC), (GW), (GP)	5m 이하	1:1.5~1:1.8	기초지반의 지지력이 충분히 있고 침수의 영향이 없는 성토에 적용한다. ( )의 통일분류는 대표적인 것을 참고로 나타낸 것이다.
	5~15m	1:1.8~1:2.0	
입도가 불량한 모래(SP)	10m 이하	1:1.8~1:2.0	
	10m 이하	1:1.5~1:1.8	
암괴(버력 포함)	10m~20m	1:1.8~1:2.0	
	5m 이하	1:1.5~1:1.8	
사질토(SM), (SC) 굳은 점질토, 굳은 점토 (홍적층의 굳은 점질토, 점토, 관동 로움 등)	5~10m	1:1.8~1:2.0	
	5m 이하	1:1.8~1:2.0	
화산회질성 점토(VHg)	5m 이하	1:1.8~1:2.0	

주) 성토고는 법면두께와 법면상단과 하단의 고저차를 말한다.

단면



차갈과 벽면간의 거리

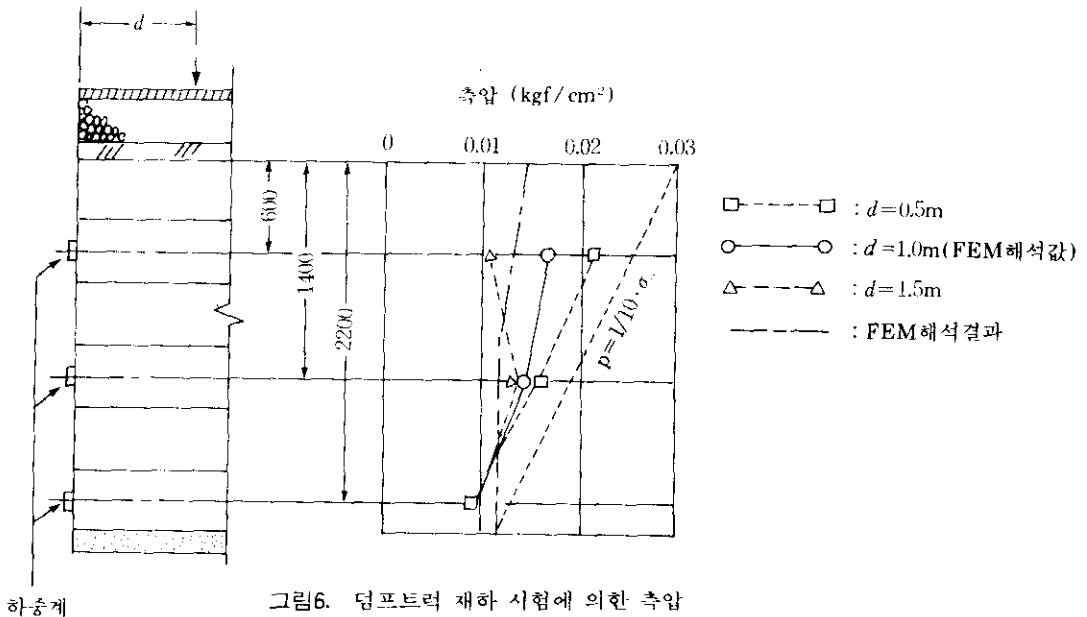


그림6. 덤프트럭 재하 시험에 의한 측압

는 거의 팽창하지 않는다.

일본 건설성 토목연구소에서 행한 대형실험 결과에 의하면, 역사다리형 EPS 성토의 경우 상재하중의 0.1배 정도의 EPS 축압이 측정된다. 또한 직립형 EPS 성토에 대한 덤프트럭 재하시험에 따르면, 상재하중의 0.1배 정도 보다 작은 크기의 축압이 측정된다. 그러나, EPS의 적립형태에 따라 또한 상재하중의 크기 및 종류에 따라 토압 및 EPS 축압이 어느 정도 변화하는지 정확히 규명된 바는 아직까지 없으나, 이에 대해 부분적으로 실험을 통해 얻어진 분석결과는 참고문헌 6에 기술되어 있다.

### 자중

EPS 자체의 자중은 건조상태의 조건하에 있는 경우(지하수위 위쪽)에는, EPS의 단위체적중량(표4)으로 한다. 또한 지하수위 아래쪽이나 지하수위 근처인 경우에는, 흡수에 의한 단위체적중량의 증가를 고려해서  $100\text{kg}/\text{m}^3$ 으로 한다.

표4의 내용은 설계시 EPS 자중의 취급방법을 나타낸 것이다. 건조상태의 EPS 중량은 폴리스티렌 수지의 발포배율에 따른 단위체적중량을 이용한다. 침수상태의 중량은 간극부분에 약간의 물이 흡수되어 건조상태와는 다른 중량이 된다. 침수상태의 중량은 침수환경 및 시간 등에 의해 변화한다. 흡수시험 결과에 의하면 밀도  $20\text{kg}/\text{m}^3$  정도의 EPS의 경우, 침수상태에서  $50\sim 70\text{kg}/\text{m}^3$  정도로 밀도가 증가하는 결과를 나타내고 있다.

### 상재하중

설계에 이용하는 상재하중으로서, 포장, 통행차량 등 EPS 상부구조의 자중, 활하중 등을 고려한다. 활하중은 등분포 하중으로서  $q=1\text{t}/\text{m}^2$ 로 하고, 또한 각 재료의 단위 체적중량은 표3의 값들을 이용한다.

성토지반의 침하검토에는 필요에 따라 교통상당하중을 고려하는 경우도 있다. 특히 연약지반상의 저성토도로에 있어서는 성토체 자중에 의해서 발생하는 압밀침하와는 별도로 반복

교통하중에 의해서도 침하가 발생하는 것을 알 수 있다. 교통상당하중은 반복재하되는 교통하중을 정적하중으로 평가하는 것이고, 그림 7을 이용해 이와같은 하중을 결정할 수 있다. 교통상당하중의 적용에 있어서는 도로토공-연약지반 대책공 지침을 참조하기 바란다.

표3. 각 재료의 단위체적중량

재 료	단위체적중량
철근콘크리트	$2.50\text{t}/\text{m}^3$
아스팔트 콘크리트	$2.30\text{t}/\text{m}^3$
자갈, 역질토	$2.00\text{t}/\text{m}^3$
모래, 사질토	$1.90\text{t}/\text{m}^3$
실트, 점성토( $W_L \leq 50\%$ )	$1.80\text{t}/\text{m}^3$

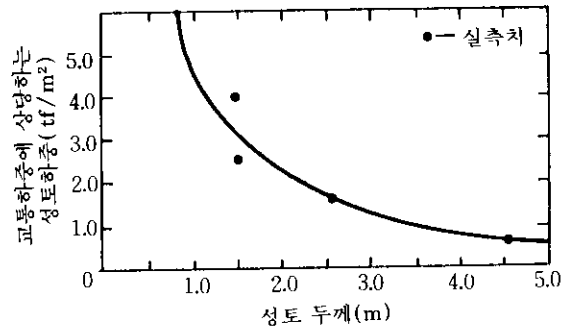


그림7. 교통상당하중과 성토두께의 관계

### 부력

지하수위 등이 EPS 설치부까지 영향을 미치는 경우에는, EPS에 작용하는 부력을 고려하지 않으면 안된다. 부력이 수沈한 EPS 설치부에 작용하는 것으로 하고, 설계대상 구조물에 가장 불리하게 작용하는 상태로 가정한다.

EPS는 지하수위 위쪽에 설치하는 것을 원칙으로 한다. 그러나, 지형적으로 또는 사용조건에 따라서 EPS가 지하수위 아래쪽에 설치되는 경우, EPS에 작용하는 부력을 반드시 고려해야 한다. 이 경우 고조물의 안정에 불리한 전도나 활동에 대한 검토에서는 부력을 고려하고, 지반지력의 검토에서는 무시한다.



### 지진의 영향

지진시의 안정계산은 원칙적으로 수정진도법을 토대로 한다. EPS 및 상재구조물의 설계진도는 지진발생시의 응답특성을 고려한다. 이 특성은 구조물의 규모 및 형상 등에 따라 달라지고, 구조물의 폭에 비하여 높이가 더욱 높은 소위 "Top Heavy"인 상태에서는 다른 응답을 나타낼 가능성이 종종 있다. 이 때문에 유한요소법 등에 의한 응답해석을 행하여 설계진도를 정한 사례도 있다.

### 기타하중

풍하중, 충격하중, 제동하중 및 관성력 등의 각종 하중은 도로교 지방서 기준을 참고로 하여 결정한다.

## 4. EPS 재료의 특성

### 압축강도 시험

일축압축시험과 삼축압축시험에 의해 얻어진 EPS의 응력-변형률 관계 및 포아슨비를 정리하면 다음과 같다(참고문헌 10). 일축압축시험은 무게가 서로 다른 세개의 EPS블럭을 사용하였고, 삼축압축시험은 무게가 서로 다른 네개의 EPS 블럭에 크기가 다른 구속압력을 가하였다. 또한 삼축압축시험은 구속압력이 9psi를 초과하면 공시체의 변형량을 고려해야 하므로, 9psi 이하로 제한하였다.

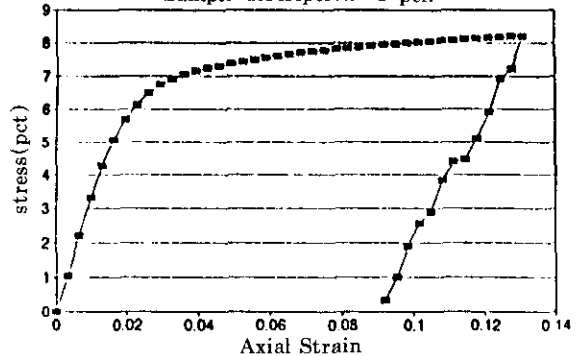
그림 8을 통해 응력-변형률 관계곡선의 모양이, EPS 블럭의 단위무게와 구속압력의 크기에 상관없이 거의 유사함을 알 수 있다. 일반적으로 EPS 블럭의 단위무게가 증가하면 initial modulus가 증가하며, 또한 plastic modulus도 낮은 비율로 증가한다. 이것은 EPS 블럭이 단위무게가 크면 클수록 더 강하다는 특징을 나타낸다. 또한 구속압력이 증가할수록, plastic modulus는 증가하지만 initial modulus는 감소하는 현상을 나타낸다.

### 단위체적중량

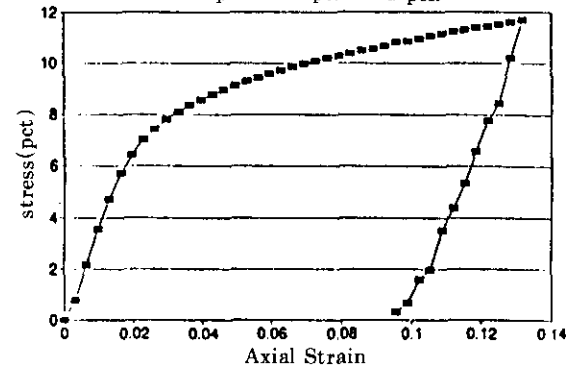
EPS의 단위체적중량은 폴리스틸렌 비즈를

예비 발포시킬 때의 발포배율에 의해 변화한다. 발포배율이 커지면 중량이 가벼워지고, 발포배율이 작아지면 중량이 무거워진다. 표4는 단위체적중량과 발포배율사이의 관계를 정리한 것이다.

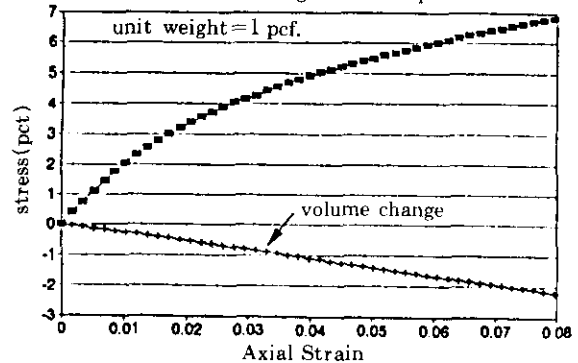
EPS for uniaxial compression test  
Sample description : 1 pcf.



EPS for uniaxial compression test  
Sample description : 2 pcf.



Undrained Triaxial Test on EPS  
Confining stress=0 psi



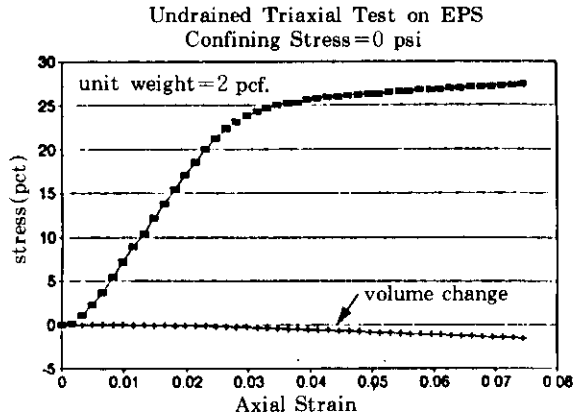


그림8. 일축압축시험과 삼축압축시험의 결과

### 크리이프 특성

EPS는 압축응력이 탄성영역 이내에서 해당되는 경우, 장기적인 압축크리이프는 거의 발생하지 않는다. 5% 탄성압축강도의 2%정도 이하의 재하라면, 압축 크리이프는 거의 문제되지 않는다.

### 흡수특성

EPS의 흡수량은 밀도나 제조법의 차이, 수압 등에 의해 좌우된다. 밀도 20 kg/m<sup>3</sup>의 EPS(expanded poly-styrene)와 밀도 29kg/m<sup>3</sup>의 XPS(extruded poly-styrene)에 대해서 0.1 kg/m<sup>2</sup>의 수압하에서 흡수시킬 때, 밀도 20

표4. 단위체적중량과 발포배율의 관계

제조법	종별	단위체적중량	발포배율	설계단위체적중량
압출법	DX-29	29 ± 2.0kg/m <sup>3</sup>	34.5	0.029 kg/m <sup>3</sup>
형내법	D-30	30 ± 2.0kg/m <sup>3</sup>	33.3	0.030 kg/m <sup>3</sup>
	D-25	25 ± 1.5kg/m <sup>3</sup>	40.0	0.025 kg/m <sup>3</sup>
	D-20	20 ± 1.5kg/m <sup>3</sup> -1.0kg/m <sup>3</sup>	50.0	0.020 kg/m <sup>3</sup>
	D-16	16 ± 1.0kg/m <sup>3</sup>	62.5	0.016 kg/m <sup>3</sup>
	D-12	12 ± 1.0kg/m <sup>3</sup>	83.3	0.012 kg/m <sup>3</sup>

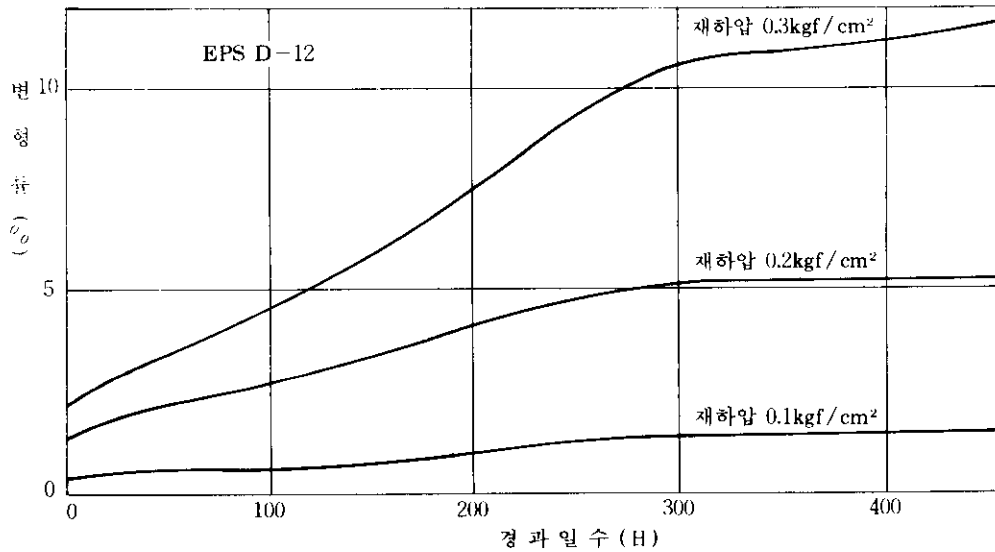


그림9. 압축 Creep특성(D-12)

kg/m<sup>3</sup>의 EPS 경우는 밀도 20kg/m<sup>3</sup>의 XPS 보다 흡수량이 커진다.

노르웨이 국립도로연구소(NRRL)의 보고에 따르면, 지하수위 아래쪽에 9년간 설치된 EPS의 최대흡수량은 9VOL%(전체체적에 대해서 9%), 또한 주기적으로 건설을 반복한 상태에서는 최대 4VOL%라는 자료가 제시되어 있다. EPS를 지하수위 부근, 또는 지하수위 아래쪽에 설치하는 경우에는 이같은 흡수특성을 고려하여 단위체적중량에 이 중량들을 추가하는 것이 필요하다.

### 내열성

EPS의 원료인 폴리스티렌은 열가소성이기 때문에, 고온에 놓이면 경화하여 팽창 또는 수축이 일어난다. 여기에서 알 수 있듯이, EPS는 약 80℃ 부근 부터 열에 의한 수축이 시작되고 100℃에 이르면 급격한 수축이 일어난다. 한편 연소성에 대해서 살펴보면, 자기 소화성 타입의 블럭에는 불연제가 첨가되어 있기 때문에, 일단 불이 나도 불의 근원을 제거하면 3초 정도 이내에 스스로 소화되는 성질을 가지고 있다.

### 내구성

EPS는 자외선에 의해 변색한다. 따라서 직접 자외선에 노출되는 옥외에서의 사용은 피해야 한다. 지중에서의 EPS의 내구성에 관해서는 노르웨이의 실측치가 도움이 되고 있다. 그것에 따르면 설치 12년 후에 EPS를 샘플링하여 압축시험을 해 본 결과 당초 설치시의 강도와 동등 이상의 수치를 나타낸다고 보고되어 있다.

지중에서는 특별한 일이 없는 한 강도저하 등의 문제는 발생하지 않는다고 볼 수 있다. 지중의 미생물에 대한 연구도 노르웨이에서는 문제가 비교적 없다고 보고되어 있다. 약품이나 화학물질에 대한 안전성에 있어서는 일장일단이 있다. 주의해야 할 것은 가솔린에 약하다는 것이다.

## 5. 경제성

EPS 블럭의 제조비용은 현재 30~35\$/m<sup>3</sup>(노르웨이의 경우)정도이다. 이것은 1972년 당시의 제조비용에 비교하면 반값 정도이다. 또한 낮은 수송비 때문에 운반거리가 멀더라도 전체적인 시공비용에는 크게 영향을 미치지 않는다. 다른 채움재와 가격을 서로 비교할 때, 단위하중감소가 비용에 미치는 영향을 반드시 고려해야 한다. 일반적인 도로채움재의 평균단위중량을 2t/m<sup>3</sup>으로 가정하고, 운반거리에 따른 비용을 분석한 결과가 그림 10에 도시되어 있다. 그림 10의 결과는 재료비를 제외하고, 체적감소 및 설치와 다짐에 따른 비용을 포함하여 계산된 결과이다. 그림 10의 결과에 따르면, 거리에 따라 EPS 보다는 다른 재료들이 더욱 효율적인 경우도 있으나, 이런 재료들의 경우 손쉽게 구하기 어려운 문제점을 아울러 지니고 있다.

노르웨이에서는 기반개량공법인 모래기둥, piling, salt wells 및 석회기둥과 같은 방법들과 더불어 EPS를 사용하며, 지역여건 등에 따라 효율적인 방법이 선택되긴 하나 EPS는 기술적인 장점 특히 하중감소특징 때문에 종종 선호되는 경향을 보이고 있다.

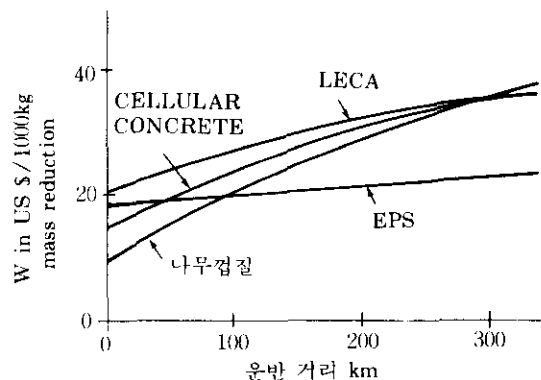


그림 10. 여러 경량재의 가격 비교

## 6. 도로성토 시공사례

### 배경

노르웨이의 오슬로 시당국은 교통량 증대로 인하여, 오슬로 교외의 Loenga에 위치한 E6 도로에서 Mossevn으로 연결되는 새로운 교차로를 설치하고자 하였다(그림 11 및 표5). 이 지역의 지반조건은 매우 나쁘고, 기반암층까지의 깊이는 E6 근처에서는 약 10m, Loenga 다리 아래에서는 25m 정도의 큰 변화가 있었다. 또한 이 지반에는 매우 연약한 점토층이 2~3m 정도의 두께로 존재하고 있었다.

표 5. 도로시공사례 관련조건

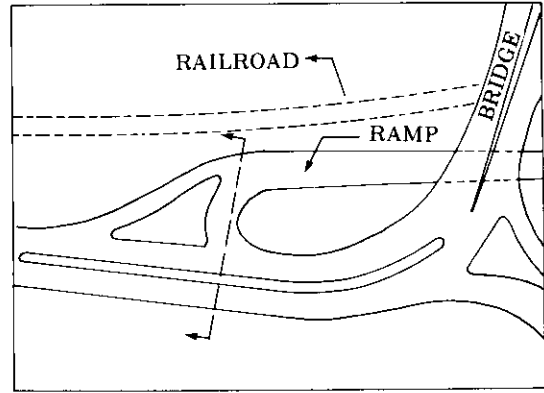
지역: Loenga/Oslo, Norway
Road no./section: E6 Mossevn
일일 교통량 : 5,000대
성토길이 : 90m
허용하중 : 10ton
성 토 고 : 최대 5.5m
EPS 사용량 : 1,700m <sup>3</sup>
시공년도 : 1983년

EPS(plastic foams)를 사용하기로 결정하기 이전에 몇가지 다른 방법들이 검토되었다.

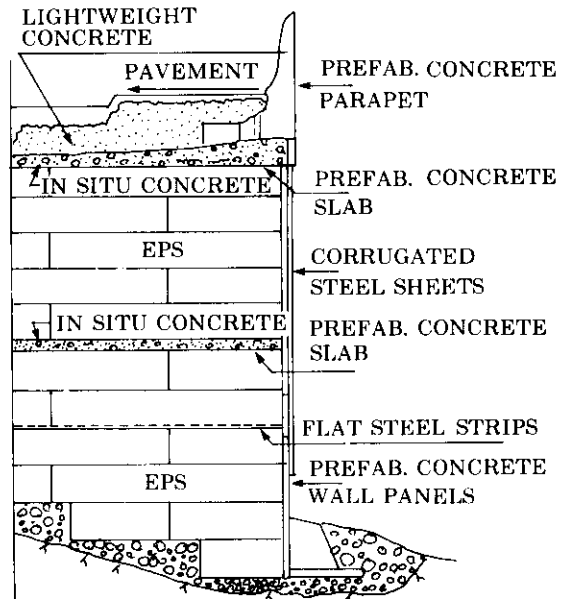
즉,

- ① EPS를 이용한 성토
- ② 기반암까지 말뚝으로 지지하는 옹벽설치
- ③ 기반암까지 영구적인 sheet pile walls 설치
- ④ 기반암까지 말뚝으로 지지되는 교량

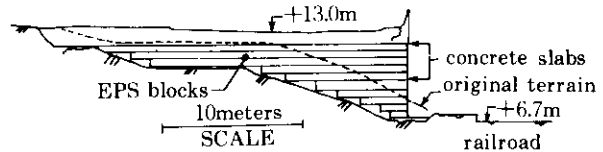
일반 옹벽은 안정성 문제로, 방법 ③과 방법 ④는 많은 비용과 기술적인 문제 등으로 검토 대상에서 제외되었다. 방법 ②는 방법 ①과 시공 비용면에서는 비슷하였으나, 철로 위의 고압전선 때문에 말뚝향타에 어려움이 예상되었고, 또한 운용중인 철로 옆에서 향타작업을 하는 것도 문제시 되었다. 따라서 최종적으로 방법 ①이 채택되었다. EPS성토시공은 장비의 사용면에서 많은 유리한 점이 있었으며, 또한 공기가 단축되는 결정적인 장점이 인정되었다.



(a) 공사전



(b) 뒷채움 단면 상세도



(c) 뒷채움 단면도

그림 11. 시공사례

### 시공

우선 최대 성토고가 6m나 되는 곳을 안정하게 하기 위해서, 기존의 사면을 1:3(경사각도 20°)의 경사도로 완만하게 하였다. 0.5m×

1.0m×2.5m의 크기로 잘 차단된 모든 EPS 블럭을 한방향으로 수평이 되게 쌓았고, 그 블럭들을 알맞게 하기 위해 지반을 자갈로 깔았다. 이 골재층은 성토 하부의 배수시스템을 보호하는 역할도 한다.

블럭 재료와 채움재의 시공시 요구조건은 Norwegian Road Research Laboratory(1980)에 의해 만들어진 규정을 따랐다. EPS 성토체 중간을 고정시킬 필요가 있어, 12cm 두께의 concrete slab을 설치하도록 계획하였다. 그러나 블럭의 크기가 균일하여 수평이 잘 잡혀 있을 경우에는 콘크리트 슬래브를 따로 들 필요가 없다. 도로의 상부구조는 EPS 블럭 위에 15cm 두께의 철근콘크리트를 타설하고 그 위에 40~50cm 정도의 기층과 아스팔트 표층으로 마무리하였다. EPS 성토체의 형상이 철로와 병행하여 수직으로 이루어진 형태이기 때문에, 시공상 특별한 고려를 해야 했다. 성토의 외부벽체를 부식이나 화재등으로 인한 손상을 방지하기 위해 케인트칠을 했으며, corrugated steel sheets로 보강했다. 또한 이것들을 성토한 위쪽 부분은 콘크리트 슬래브로, 아랫쪽 부분은 special brackets으로 고정 시켰다. 이외에도, 채움재 부분의 콘크리트 난간 설치도 특별히 고려사항이 요구되었다. 즉,

- (1) 난간을 이음매 없이 시공한다는 것은 불가능한 일이며, 이 문제를 효율적으로 해결하기 위해서 난간을 조립식으로 만들어 성토 가장자리에 짜맞추어 시공했다.
- (2) 성토 가장자리에 무거운 구조물을 시공할 경우, EPS 성토체에 과도한 처짐이 발생할 우려가 있다. 이러한 상황을 방지하기 위해 보도 아래에는 경량성토를 하고, 성토 가장자리에는 더 높은 압축강도를 지닌 EPS를 사용하였다. 게다가 난간은 평상시보다 더 큰 하중을 지탱하도록 설계를 해야했다. 그 이유는 경사도가 휘어져 있고 차량이 난간에 직각으로 충돌할 가능성이 있기 때문이다. 채움재에 대한 침하측정결과 시공후 첫해에는 대략 1cm 정도의 침하가 있었다. 그러나, 계속 측정

한 결과 최근 6개월 동안 침하가 거의 없었고, 앞으로 더 이상의 침하는 없을 것으로 판단되었다.

## 7. 결 론

EPS는 아직까지 저렴한 토목재료는 아니다 (참고문헌 9에 의하면 EPS 가격 : 25,000원 /m<sup>3</sup>). 현재 1m<sup>3</sup>당 EPS 성토비용은 일반 토공에 비해 상당히 고가이다. 그러나 연약지반의 침하나 구조체의 안정대책 등을 위한 장기적인 유지관리 비용을 포함하면, 오히려 전체 비용면에서 경제적인 경우도 종종 있다. 특히 경량의 재료이기 때문에 운반비가 적게 들고 1인당 작업량이 토공에 비해 훨씬 적다. 또한 재료 자체의 자립 특성으로 인하여 도로의 확폭 공사시 추가적으로 용지를 매입할 필요가 없기 때문에, 용지비가 비싼 곳에서는 일반 토공에 비해 훨씬 유리하다. 또한 대형 시공장비를 사용하지 않기 때문에, 시공시의 소음이나 지반 변형의 우려가 거의 없고 공사기간이 대폭 단축되는 것이 큰 장점이라 하겠다. 따라서 이와같이 설계단계에서 수량적으로 계산할 수 없는 장점들이 많아 경제성이 있다고 볼 수 있다.

현재까지는 EPS가 안정성이나 침하의 문제가 있는 지역의 도로성토에 사용되어 왔으나, EPS 공법의 특성과 장점으로 보아 앞으로 보다 많은 지역에서 확대 적용될 것이며, EPS의 사용량도 크게 증가하게 될 것으로 예상된다. 또한 지금까지 EPS의 성토고는 주로 4~5m 정도였지만 앞으로 10~20m 이상의 성토도 가능하게 될 것이다. EPS는 신속한 성토와 제거가 가능한 재료이므로 임시적인 우회도로 설치시 유용하게 사용될 수 있으며, 지금까지 사용되지 않았던 부분에 적용될 가능성도 높다. 아울러 보강토 공법과 병행하여 두 공법의 장점을 복합한 새로운 공법 개발 등의 연구가 앞으로 진행되어야 할 것이다.

지금까지 언급한 것은 EPS 공법의 활용 가능성을 위한 일부 분석자료에 불과한 것이다. 이제까지 노르웨이, 일본 등지에서 EPS를 사

용해 본 결과 여러가지 장점들을 발견했지만, 여전히 EPS 사용량이나 적용면에서 볼 때 초기 단계에 있다. 앞으로 EPS 성토의 안정성에 대한 확신과 EPS 재료비가 더욱 낮아지면 본 공법에 대한 선호도가 훨씬 높아질 것으로 전망된다.

## 참 고 문 헌

1. Frydenlund, T. E., & Aaboe, R., (1988), "Expanded Polystyrene-A Superlight Fill Material," International Geotechnical Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforce, pp.383-388.
2. Frdelund, T. E., (1987), "Soft Ground Problems," Plastic Form in Road Embankments, NRRL, pp. 7-12.
3. 桶口靖明(1990), "發泡スチロール盛土工法," 基礎工, Vol, 18, No. 12, pp.10-20.
4. 發泡スチロール土工法開發機構(1990), 發泡スチロール土工法 技術資料-施工・積算 マニュアル.
5. 發泡スチロール土工法開發機構(1992), 發泡スチロール土工法 技術資料-材料マニュアル.
6. 發泡スチロール土工法開發機構(1993), 發泡スチロール土工法 技術資料-設計マニュアル.
7. 發泡スチロール土工法開發機構(1993), EPS工法
8. 대한주택공사(1993), 하중저감공법 실용화 방안 연구.
9. 정형식(1994), "발포스티렌 이용 성토공법의 특징과 개요," 발포 폴리스티렌 이용성토공법 국제심포지엄 논문집, pp.5-31
10. Cho, Y.(1992), "Behavior of Retaining Wall with EPS Blocks as Backfill," Master of Science in Civil Engineering, South Dakota School of Mines and Technology, Rapid City, South Dakota