

발포폴리스티렌 이용 성토공법의 특징과 개요

정 형 식*

A Review on EPS Construction Method

Hyung-Sik, Chung*

ABSTRACT

When applying a load to the soft ground, two conditions should be considered to avoid failure or malfunction of the soil-structure. The two conditions are bearing capacity of the subsoil and settlement characteristics of the subsoil.

Therefore, it is necessary to make a design which provides a certain factor of safety against bearing capacity failure and ground settlement on soft ground. The most obvious solution to overload problem is to reduce the load. Therefore, reducing the embankment load by applying light fill materials may then be considered.

The use of Expanded-PolyStyrene(EPS) as fill material in road embankment and behind retaining wall built on deep deposit of soft clayey stratum may solve the settlement problem, thus it eliminates the need of soil stabilization.

In this paper, construction method on soft ground using EPS are investigated. For reference, the cost of EPS fill and vertical drains in road embankment are compared for a zone in Yangsan-Gupo highway site.

* 한양대학교 토목공학과 교수 (Professor, Dept. of Civil Eng., Hanyang Univ.)

1. 서론

최근 우리나라는 경제발전에 따른 산업고도화로 지역간의 원활한 소통이 더욱 필요하게 되었으며 기존의 도로망으로는 교통량의 급증으로 인한 교통체증을 해결할 수 없게 되었다. 따라서 수송시간 및 수송비 절감에 따른 국제경쟁력 강화와 지역주민의 생활편의 증진 및 수도권 인구분산등을 목적으로 상당량의 기존도로 확장 및 신설도로 건설을 계획하고 있다.

도로를 확장하는 공법에는 현지의 지형이나 지질 및 주변환경등의 조건에 따라 단순히 토사를 안정사면 구배로 시공하는 경우에서 부터 교량등의 구조물에 의한 경우까지 여러가지가 있으며 신설도로의 경우에는 우리나라 서해안 고속도로의 경우와 같이 두꺼운 연약층이 존재하는 지반이나 초연약지반에 도로를 건설해야 할 경우도 발생한다.

또한 도로뿐만이 아니라 기존 구조물의 인접한 지역에 토목구조물을 축조하는 경우가 많아졌고 이에 따라 토목구조물의 기능과 안정성을 만족하고 주변지반에 미치는 영향도 고려한 설계, 시공 및 유지관리가 점차 중요한 문제로 대두되고 있다.

기초지반이 매우 연약한 곳에 토목구조물을 축조하는 경우에는 대규모 지반개량과 구조물의 안정성 확보 또는 침하방지를 위해서 많은 기초처리를 필요로 하는 경우가 있다. 이러한 경우 일반성토재에 비하여 단위체적 중량이 적은 EPS(Expanded Poly-Styrene)와 같은 경량성토재로서 토목구조물을 축조함으로써 요구하는 효과를 얻을 수 있다.

2. EPS 공법의 특징 및 적용

2.1 EPS의 역사

EPS는 폴리스티렌 수지에 발포제를 첨가하여 가열경화시킴과 동시에 기포를 발생시켜 발포수지로한 것으로서 폴리스티렌 수지는 스티렌모노머를 중화하여 제조한다. 스티렌모노머의 합성법은 1866년에 독일에서 발견되어 1929년에는 폴리스티렌의 중합기술이 개발되었다. EPS는 1943년 미국에서 압출발포법에 의해 공업화가 되었고 1952년에는 독일에서 발포성 폴리스티렌 비즈가 개발되었다.

일본에는 1954년에 발포성 비드(bead)가 수입된 후 1960년 경을 전후하여 국내생산이 시작되었다. 그후 수요가 많아지게 됨으로써 생산이 많아지고 현재에는 어업, 농업, 가전 및 건설자재분야 등의 각종성형품에 사용되어 1989년에는 연간 25만톤이 생산되게 되었다.

2.2 EPS의 특징

EPS공법은 발포스티롤의 대형블럭을 토목, 건축분야의 토목공사, 구조물공사 등에 이용하는 공법으로 EPS의 초경량성, 내압축성, 자립성, 내수성 및 시공성등의 특징을 유효하게 활용하는 공법이다.

EPS의 특징은 다음과 같다.

① 초경량성

EPS의 단위체적중량은 토사의 약 1/100이고, 기존의 경량성토재와 비교하여도 약 1/10~1/50의 초경량재료이다. 연약지반이나 경사지역등의 지반강도가 작은 곳에 하중경감 대책으로서 이용할수 있는 이외에, 경량블럭체로서의 취급이나 급속시공이나 축조, 또는 매립재로서도 활용이 가능하다.

② 내압축성

EPS의 압축강도는, EPS의 단위체적중량에 따라 변화하지만, 탄성영역에 있어서 성토재료로서의 적용이 충분히 가능하다. 또한 EPS는 흙과 주변에서의 소성영역에 있더라도 일축방향의 압축력을 초과하면 명확한 전단영역이 발생하지 않는 것도 특징이다. 따라서, EPS는 점착력이나 내부마찰각 같은 개념은 아니고 내압축재로서의 블럭을 쌓아올려 성토를 구축하

는 것이다.

③ 자립성

EPS는 불력을 연직으로 쌓아올리는 경우, EPS의 자립면이 형성되고 그 위에 재하중이 작용하는 경우에도 측방으로의 변형은 극히 작은 것이 일반적이다. 따라서, EPS를 교대나 옹벽등의 매립재로 이용하는 경우에 구조물 배면의 토압을 대폭적으로 작게 할 수 있다. 또한, 경사지에 확폭성토를 시행하는 경우에도 자중에 의한 토압은 발생하지 않으며, 벽면을 설치하는 경우에는 기존의 토압저항 구조물로 부터 방호벽정도로 간편화 하는 것이 가능하다.

④ 내수성

EPS는 합성수지의 발포체로서, 발수성을 갖고 있기 때문에 강수 또는 일시적인 침투수등이 발생하는 통상의 시공조건에서는 취수에 의한 재료특성의 변화는 발생하지 않는다.

⑤ 시공성

EPS는 경량이기 때문에 사람에 의한 운반이나 설치가 충분히 가능하다.

표 2.1은 EPS의 일반적인 성질 및 특성을 나타낸 것이다.

표 2.1 EPS의 일반적 특성

성 질	시험방법	단위	제 조 법				
			형내발포법			압출법	
밀 도	JIS A 9511	g/cm ³	0.025	0.020	0.016	0.028	
역화 적성 질	압축강도	ASTM D1621	kgf/cm ²	1.6	1.1	0.9	3.0
	복 원 율	10% 20회	%	97	97	98	93
	휨 강 도	JIS A 9511	kgf/cm ²	4.6	3.5	3.0	4.3
	인장강도	JIS K 6767	kgf/cm ²	5.3	4.5	3.6	5.0
열성 질	열전도율	JIS A 1412	kcal/mhc	0.028	0.030	0.034	0.029
	내열온도	BS 3837	°C	80	80	80	75
	선팅창계수	ASTM D696	×10 ⁻⁶ /°C	5-7	5-7	5-7	5-7
내수 성	흡수율	JIS A 9511	g/100cm ²	0.14	0.16	0.18	0.69
	수증기투과율	ASTM E96-53T	g/m ² h	0.8	1.0	1.2	0.6
가요성	JIS A 9511		합격	합격	합격	합격	

2.3 EPS 공법의 발달

EPS는 초경량성, 내압축성, 내수성, 단열성 등에 우수한 특징을 갖고 있지만 이중에서 단열성을 이용하여 예로부터 건축공사나 도로 및 철도의 동상방지에 사용된 실적이 있다. 또한 초경량성을 이용하여 연약지반대책으로서 사용된 것은 1972년 노르웨이 오슬로 교외의 Flom교 설치도로 개수공사시 도로침하대책으로 사용된 것이 최초이다.

노르웨이 국립도로연구소(NRRL)은 연약지반상의 도로성토에 따른 침하문제의 대책으로서 EPS의 초경량성과 자립성을 이용하여 그 불력을 쌓고 그 위에 포장을 시행하여 전체 침하발생이 없도록 하는 EPS 공법을 완성하였다. 또한 1977년에는 교대 뒷면에 성토의 단차발생방지 대책으로 EPS를 이용하여 충분한 성과를 얻었다.

그후 EPS 공법기술은 많은 공사실적을 거두었으며 스웨덴의 스웨덴 국립토질연구소(SGI), 프랑스의 국립토목 연구소(LCPC) 및 미국, 캐나다 등지에서 EPS의 활용에 대한 연구가 진행되었다. 일본에서도 1985년 연약지반상의 교대 뒷채움 및 도로공사를 시작으로 많은 EPS를 사용하고 있다.

2.4 EPS 공법의 적용

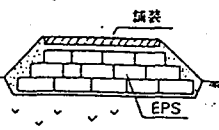
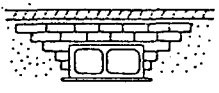
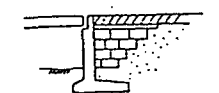
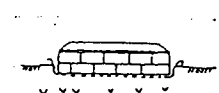

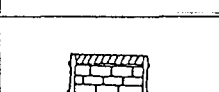


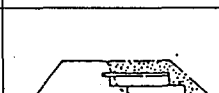

EPS는 block 형태로 제조되어 토목시공에 이용되며 EPS block은 재료 특성상 초경량이고 내압축성도 가지며 block을 쌓는 경우 자립안정성이 우수한 성질을 가지고 있다. 이러한 특성을 이용하여 최근 토목공사에서 이용이 증대되고 있다.

우선 EPS는 초경량성이기 때문에 연약지반상의 성토재로 적용한 경우 침하 및 측방유동에 대한 활동이 억제되며 대폭적인 지반개량등의 대책이 필요하지 않게 된다. 또한 EPS 상단에 콘크리트 슬래브 등의 포장이 상재하중의 영향을 분산시키므로 도로등의 성토재료로 이용하여도 차량하중에 대한 지지가 가능하다. 사면상에 성토를 하는 경우에도 EPS를 활용함으로써 안정된 상태가 가능하며 노폭확장 및 골프장의 fairway 확장등에도 이용할 수 있다.

또한 EPS의 경량성과 높은 자립성을 이용하여 옹벽과 교대배면의 뒷채움재로 이용하였을 경우 횡압력을 상당히 감소시킬 수 있다. 특히 EPS 배면의 흠이 안정구배를 이루고 있다면 이론적으로는 토압이 작용하지 않게 된다. 그 밖에 culvert와 같은 매설관 보호대책, 재해 복구 및 가설도로의 성토등에 이용이 가능하다.

다음 표 2.2는 EPS 공법의 적용분야를 나타낸 것이다.

표 2.2 EPS 공법의 적용분야

용도	모식도	특징			공법의 장점
		경량성	자립성	시공성	
연약지반상의 성토		○		○	<ul style="list-style-type: none"> · 침하경감 · 지반대책 저감 · 유지관리 저감
구조물 매립		○	○		<ul style="list-style-type: none"> · 상재하중 및 토압저감 · 구조물 부재단면 저감 · 부등침하 방지
고대및 옹벽 뒷채움		○	○		<ul style="list-style-type: none"> · 아파트 배면축압 경감 · 축방유동압 경감 · 단차방지
가설도로		○		○	<ul style="list-style-type: none"> · 시공성향상(공기단축) · 지반처리 저감 · 철거, 복구의 간소화
경사지에서 성토		○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> · Sliding 안전률 확보 · Sliding 대책공 저감 · 용지감소
자립벽		○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> · 최소한의 용지확보 · 벽면 구조물의 간소화
성토 및 조성지 확보		○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> · 기설구조물 영향감소 · 침하방지 · 용지감소
Land Slide 지역의 성토		○		○	<ul style="list-style-type: none"> · 하중경감에 따른 · 억지력 저감 · Sliding 안전률 향상
재해 복구시 성토		○		○	<ul style="list-style-type: none"> · 성토의 조기복구 · 가설복구 및 복구로써 적용가능
매설관 기초 및 낙석방지					<ul style="list-style-type: none"> · 완충성 일체화 · 하중경감 · 매설관 부등침하 방지 · 기설 구조물에의 하중 경감

3. EPS 활용방안

3.1 EPS사용을 위한 지반조사

지반조사는 지반에 구축되는 모든 구조물의 안전 및 경제적 건설, 그리고 구조물의 운영에 필요한 지반의 특성 및 설계에 요구되는 제반정수를 구하기 위하여 행해진다. EPS를 공사에 적용하기 위해서는 주변여건의 조사와 시공조건의 조사 그리고 설계시 필요한 제반토질정수를 구하기 위한 조사가 시행되어야 한다.

EPS는 초경량재료이고 큰 부력을 발생시킴으로 EPS가 시공되는 지역의 지하수 상태와 우기시 최대강우량 및 홍수시의 지하수위 상승한계등에 대한 계절적인 조사가 시행되어야 한다. 부득이한 경우 지하수위 상승으로 인하여 EPS에 부력이 작용할 경우에는 배수설계를 하여 부력에 대한 안전성 검토를 하여야 한다.

또한 시공당시의 시공여건을 조사하기 위하여 작업장의 작업공간, 기존구조물이 형식 및 중요도, 매설물의 상황등에 대한 조사가 요구되며 시공중에 주변환경에 영향을 미치는 소음, 진동, 오수 및 분진등에 대한 처리도 고려해야 한다.

설계시 요구되는 토질정수를 구하기 위해서 다음에 열거된 항목에 대한 조사가 필요하다.

① 토압의 계산에 필요한 토질정수

EPS공법 사용시 EPS재 배면의 지반사면 구배는 안정사면 구배로 하는 것을 기준으로 하나 그렇지 못한 경우에는 토압을 고려하여야 하며 이 경우 토압산정에 필요한 지반조사가 이루어져야 한다.

② 기초지지력 계산 및 압밀침하 검토에 필요한 토질정수

EPS재에 의한 성토는 기존 지반에의 응력 증가가 없는 것을 기본으로 하나 그렇지 못한 경우 EPS 및 포장재의 하중과 교통 등에 의한 상부적재하중이 고려되어야 하며 이를 고려함으로써 기존 기초지반의 기초지지력 계산 및 압밀침하량 산정에 필요한 지반조사가 행해져야 한다.

③ 안정성 검토에 필요한 토질정수

EPS성토 완료 후의 전체적인 안정성 검토는 주로 사면안정해석이 이루어진다. EPS성토는 하중 증가가 없는 것을 기준으로 하므로 사면파괴는 발생하지 않을 것으로 생각되나 경사면 등에서의 EPS시공은 사면파괴 가능성이 있고 또 증가하중도 고려하여야 하므로 사면 안정해석을 위한 지반조사가 필요하다.

3.2 EPS 설계기준

EPS는 노르웨이, 일본, 프랑스, 미국, 캐나다, 스웨덴 등지에서 그 사용을 위한 연구가 활발히 진행중에 있으며 실제로 토목용 재료로서 여러분야에 이용하고 있다.

EPS를 토목용 재료로 이용하기 위한 설계기준은 국내에서는 아직까지 정립되지 않은 실정이다.

EPS는 초경량, 자립성 면에서 종래의 건설재료와 상이한 특성을 갖고 있으므로 EPS에 의한 공법적용시에는 타 공법의 고려방법을 다루어야 할 필요가 있다.

EPS 공법의 주요한 설계검토 항목은,

- 1) 지지지반의 안정
- 2) 사용된 방호벽(옹벽)의 안정(활동, 전도, 지내력, 변형에 대한 안정)
- 3) 부재의 안정성 등의 조사
- 4) 부상

등에 대한 검토가 필요하다.

또한 이러한 검토뿐만 아니라 기존구조물과의 접합방법이나 배수시설, EPS블럭의 축조 방법이나 충격에 있어서의 검토가 필요할 경우도 있다. 이러한 설계검토의 구체적인 방법을 다음에 나타내었다.

3.3 EPS 활용방안

3.3.1 동상방지

도로부에서의 팽창 폴리스틸렌(EPS)의 사용은 동상방지목적으로 60년대 중반부에 시작했으며 오늘날 일반적으로 도로의 동상방지에 사용되는 재료는 압출 폴리스틸렌(XPS)이다.

그림 3.1은 도로에서 동상방지용으로 사용된 XPS와 성토용으로 사용된 EPS의 사용정도를 나타내었다.

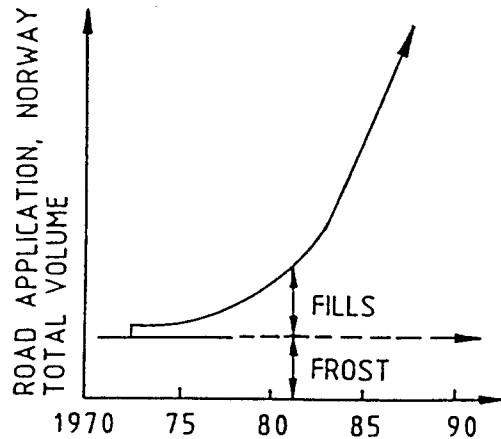


그림 3.1 도로에 사용된 XPS와 EPS의 관계
(XPS : 동상방지용, EPS : 성토용)

EPS는 스웨덴뿐만이 아니라 프랑스, 네델란드, 그리고 캐나다에서도 여러가지 제품이 사용되었다. 이 나라들뿐만 아니라 특히 심한 침하와 안정문제를 가지고 있는 다른 나라에서의 시장 잠재력은 대단하다. 지금까지는 이 방법이 아직 널리 알려지지 않은 이유 때문에 이용분야가 국한되어 있는 실정이고 또 이 방법이 아직까지 토목기술자들에게는 낯설은 공법이기 때문이라고 생각된다.

그러나 이 공법의 사용결과 아직까지는 이 방법에 어떤 큰 결점은 없는 것으로 나타났다.

EPS의 이용 가능성은 다음과 같이 볼수 있다.

- ① 재래의 경량재로는 해결할 수 없는 공사에서의 사용.
- ② 다른 경량재와의 가격 경쟁에서의 우위성
- ③ 침하와 안정이 문제가 되지 않는 공사에서의 사용.

이외에도 빠른 시공과 자립능력 때문에 EPS는 다른 공법들과 충분히 경쟁할 수 있다.

3.3.2 EPS재질의 개선

EPS에 대한 압축시험결과 5%의 변형한계를 넘어설때도 여전히 강도를 지니고 있는 특성을 가지고 있다. EPS 생산자는 현재의 공정을 발전시켜 19 ~ 20 kg/m³의 범위에서 100 KN/m²의 압축강도를 내는 제품을 생산하기 위한 노력이 필요하다. EPS는 1985년 현재 KG 당 1 \$ 하는 원재료의 가격만으로도 다른 경량재와의 가격경쟁력이 있으나 원재료 가격이 생산비용의 80%를 차지하고 있으므로 원재료의 가격이 급등하면 적은량의 재료로 높은강도를 얻을 수 있는 기술이 필요할 것이다.

그림 3.2는 앞으로 더 나은 방향으로 개선되어야 할 EPS의 특성을 표시한 것이다.

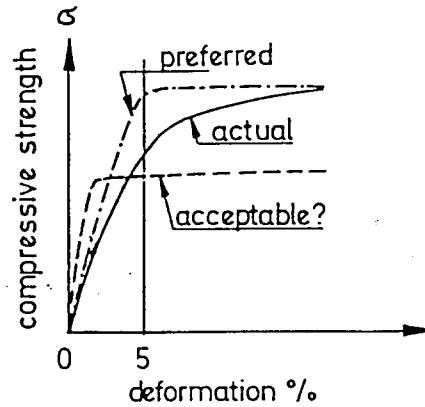


그림 3.2 앞으로 요구되는 EPS의 압축응력 - 변형을 관계

현재 사용되고 있는 40 kg/m^3 이하의 낮은 설계밀도를 갖는 재료를 얻기 위해서는 습기방지장치가 개선되어야 한다. 이것이 기술적으로 가능하다더라도 이러한 개선은 단지 사용자에 의한 요구만으로 끝나지 않도록 노력해야 할 것이다.

3.3.3 EPS의 유사제품

적어도 200 kg/m^3 이하의 설계밀도의 재료가 필요하다면 오늘날 EPS의 경쟁제품은 찾아보기 힘들다. 특별한 경우에 있어서는 팽창성 점토(Leca)나 개스가 찬 콘크리트 폐기물이 단지 더 나은 경제성 때문에 사용될 수도 있다. 그러나 현재 상태에서 저밀도 제품들중 EPS의 경제성을 능가하는 제품은 별로 없을 것으로 보인다.

(1) 압출 폴리스틸렌

압출 폴리스틸렌(XPS)은 여러해동안 30 kg/m^3 이상의 밀도로 생산되어 왔다. 최근에는 100 KN/m^3 의 XPS가 생산되었는데 XPS가 방수성이 우수하더라도 블럭으로 제조되지 못하고 단지 판형으로만 제조되는 결점이 있다. XPS가 지금보다 훨씬 나은 변형특성을 가진다면 XPS도 성토재료로서의 가능성을 무시할 수는 없을 것이다.

(2) 벌집구조의 소재

또다른 발포성 플라스틱 소재로서 벌집구조를 가진 플라스틱 소재가 대두되고 있으며 기술적인 면이나 경제적인 면에서 유력한 대체물이 될 수 있을 것으로 보인다. 벌집구조의 장점은 밀도에 비하여 높은 압축강도에 있다(그림 3.3 참조).

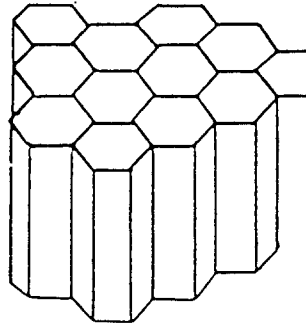


그림 3.3 벌집구조를 가진 제품

(3) 석고폐기물

석고는 해마다 많은 나라에서 막대한 양이 부산되고 있다. 저밀도의 기포성 석고 생산이 가능하다면 도로성토재로서의 EPS를 대체할 수 있을 것이다.

3.3.4 도로에서의 EPS 사용전망

오늘날 EPS는 1~4 m 되는 도로제방에서 안정 또는 침하문제로 주로 사용되고 있다. 앞으로 오랜 기간동안 주로 이 목적으로 사용될 것이나 EPS의 사용이 증가추세에 있는 지금 새로운 이용법이 모색되고 있다. 오랫동안 EPS의 시공은 높이 4~5 m 에 국한되어 왔으나 높이에 한계가 없으며 10~20 m, 아니 더 이상까지도 시공될 수 있을 것이다.

EPS는 빠른 시간에 시공될 뿐만 아니라 철거될 수도 있다. 그러므로 현시점에서 시공경험이 없는 곳에서도 EPS는 무한한 잠재력을 가지고 있다. 보강토개념과 관련하여 이 두 방법을 유효적절하게 이용할 수 있는 새로운 해결책이 나올 수 있다. EPS로 측벽을 만들고 Concrete Slab를 얹어 보행용 또는 매설 Culvert를 시공할 수 있다. 이것은 EPS가 안정이나 침하문제외에 또 다른 이점이 있음을 보여준다.(그림 3.4 참조)

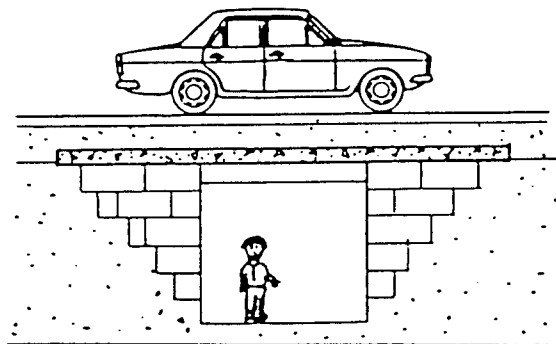


그림 3.4 지하 매설물로서의 EPS의 활용 가능성

노르웨이의 Vestfold 지역과 Sor-Trondelag의 E6 지역에 대한 계획 역시 토질공학적인 안목이 중요시되지 않는 곳에서의 EPS 사용을 보여주고 있으며 구조부에서 EPS를 조합함으로써 도로성토재하의 Culvert의 길이를 급격히 줄일 수 있음을 보여준다(그림 3.5 참조)

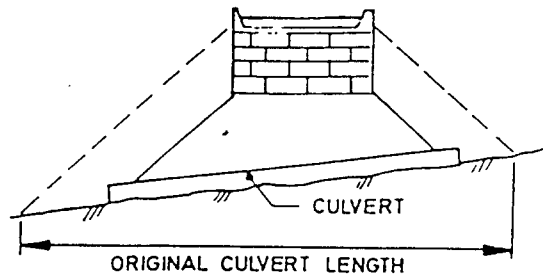


그림 3.5 EPS를 이용한 Culvert 길이의 감소효과

상당한 높이와 폭의 제래의 제방을 쌓는 대신에 EPS를 사용하여 수직벽을 시공함으로써 같은 높이에 작은 폭을 차지하는 제방을 쌓을 수 있으며 Culvert의 길이를 감소시킬수록 경제성이 있다.

EPS를 사용하여 Concrete Beam의 효과적인 시공을 보여준 노르웨이의 Sande 지역에서의 적용원리는 부등침하가 예상되는 시공현장에서도 그대로 적용할 수 있다.(그림 3.6 참조)

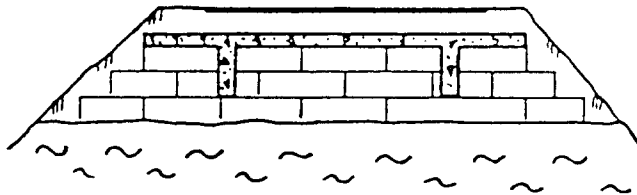


그림 3.6 EPS 내부의 콘크리트 타설

또한 EPS는 부교로서의 이용가능성도 있으며 산사태가 자주 발생하는 곳에서의 임시도로복구재로서도 사용할 수 있다(그림 3.7 참조)

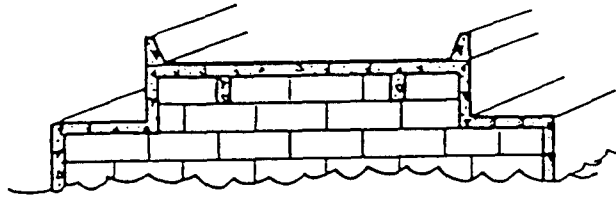


그림 3.7 EPS를 부교에 이용함으로써 비용절감이 가능

이상에서 소개된 것은 EPS의 앞으로 적용될 새공법의 일부분일 뿐이다. 13년 동안의 시공결과 EPS의 전망은 매우 고무적이거나 아직은 여러가지 면에서 시작단계에 있다고 할 수 있다.

4. 경제성 분석

4.1 기존 공법과의 비교

본 연구에서는 토목용재료로써 EPS의 활용가능성을 검토하기 위하여 일반적인 토목구조물 공사 시공시 기존의 공법으로 시공할 경우와 EPS를 이용하여 시공할 경우의 공사비를 비교하여 경제적인 측면에서 검토하였다.

(1) 연약지반 처리공법시의 공사비 비교

연약지반상에 도로성토를 하는 경우 기존공법과 EPS공법에 대한 공사비를 비교하기 위하여 경남 양산군 양산읍에서 부산 강서구 대저동까지를 연결하는 양산-구포간 고속도로 건설 구간중 STA.2K+980~3K+050(L=70m)지점 단면을 선정하였다. 본 고속도로가 건설되는 지역의 지반은 연약한 점토층이 지하 약 30~40m까지 두껍게 분포하고 있어 연약지반처리를 위해 당초 Sand Drain공법을 채택하고 있었으며 이 지점의 설계단면 형상은 그림 4.1과 같다. 최종계획 성토고는 8.6m이고 도로폭은 24.0이며 성토사면의 경사는 1:1.7로 계획되어 있다.

단, 현재 이 지점은 Pack Drain공법으로 공법을 변경한 상태이다.

공사비 비교를 위해 이용된 사항은, 연약지반의 처리를 위해서 지표하 30m까지 Sand Drain을 시공하는 것으로 하였으며 Sand Drain 간격은 1.2m로 하였다. Mat는 P.P. Mat(T=0.5ton) 1매와 P.E Mat 3매가 사용되었다. 이 구간에서는 도로 시공시 필요한 압밀도를 얻기 위하여 10.2m 까지 성토하여 선재하중을 가한 후 선재하중을 제거하여 설계높이 8.6m까지로 하는 것으로 하였으며 성토 및 압밀소요기간은 1816일 정도가 소요되는 것으로 계산되었다.

또한 연약지반 처리를 위한 Sand Drain 공법 대신 EPS 공법을 이용하여 시공할 경우 EPS 성토단면 형상은 그림 4.2와 같으며 도로폭 및 성토고는 Sand Drain 공법 적용시와 동일하게 적용하였다.

설계에 적용된 EPS는 $\gamma = 20\text{kg/cm}^2$ 으로 하였으며 Sand Drain 공법에 의한 설계와 EPS 공법에 의한 설계 모두 안정에 대해서는 문제가 없는 것으로 계산되었다.

위에서 언급한 각각의 공법에 대한 공사비를 비교한 결과는 표 4.1과 같다.

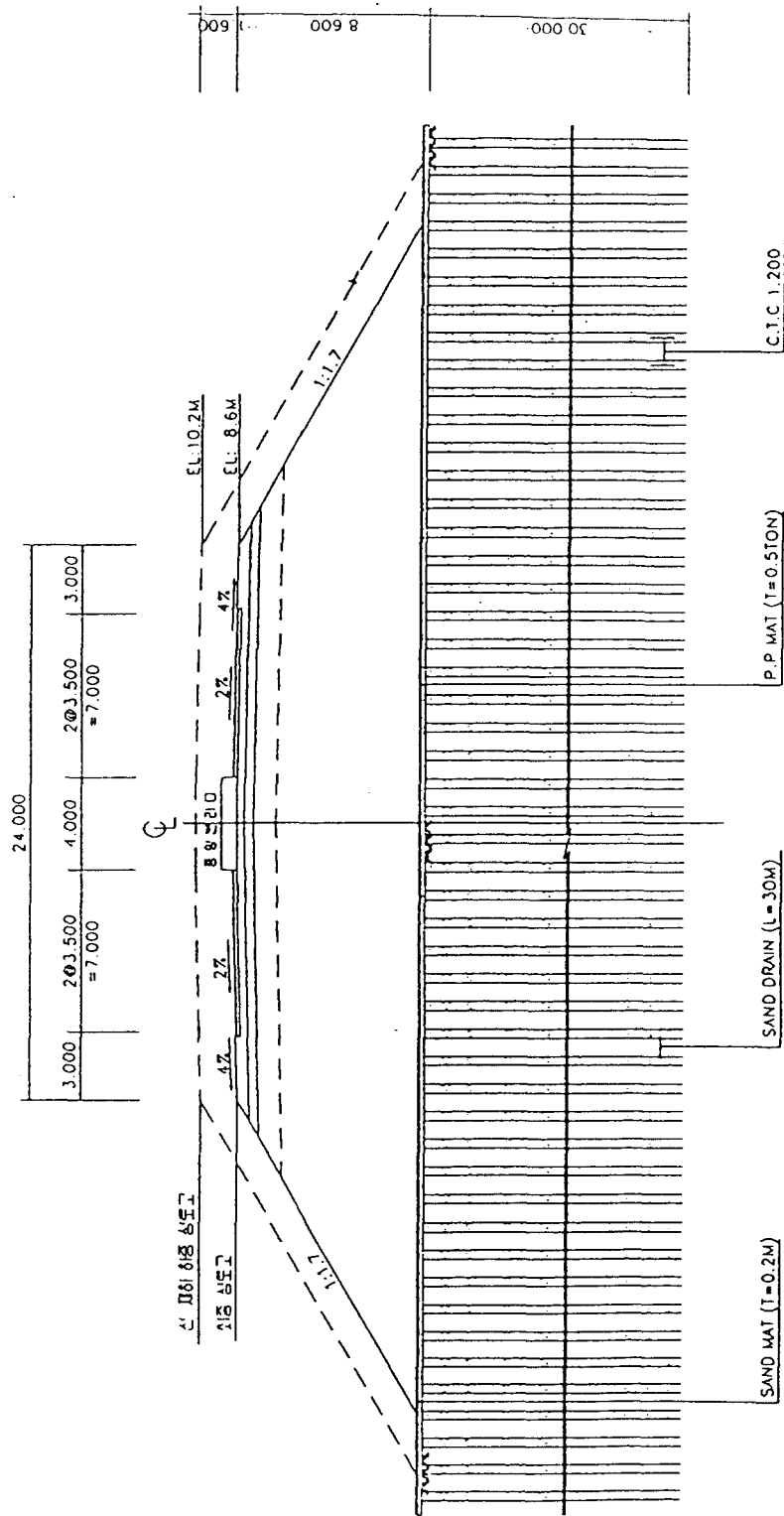


그림 4.1 연약지반상의 도로건설을 위한 연약지반처리공법
(SAND DRAIN공법 이용)

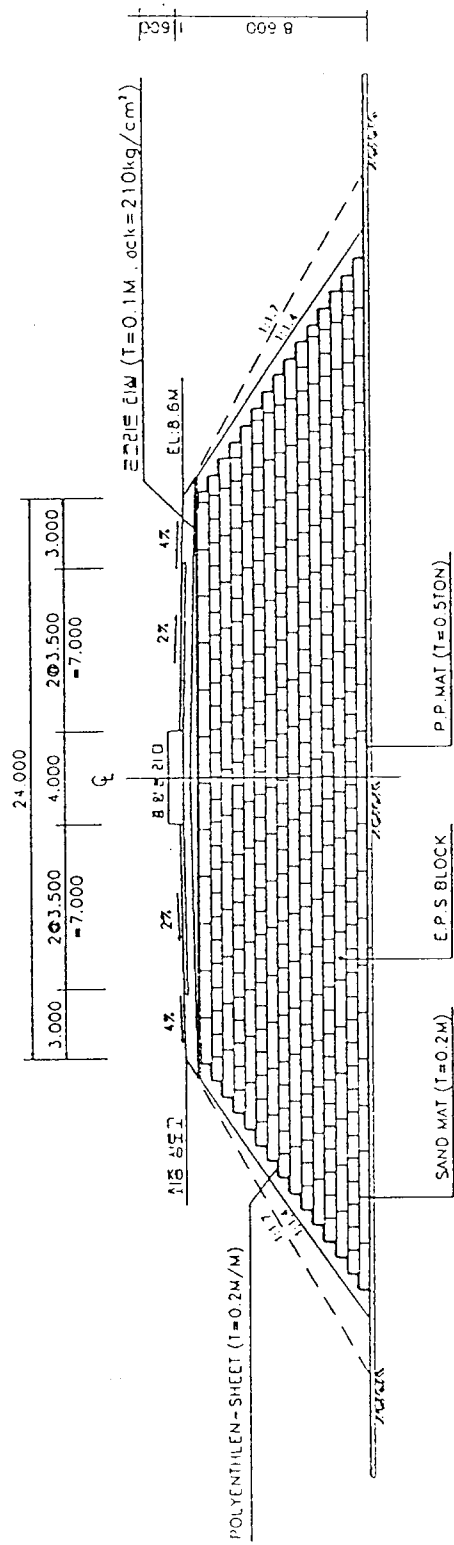


그림 4.2 연약지반상의 도로건설을 위한 연약지반처리공법
(EPS공법 이용)

표 4.1 Sand Drain 공법과 EPS 공법의 공사비 비교

공 법	Sand Drain 공법	EPS 공법
총 공사비(L=70m)	514,993,000 원 (100%)	585,228,000 원 (100%)
m 당 공사비	7,357,000 원	8,361,000 원
토 공	87,303,715 원 (17.0%)	8,769,120 원 (1.5%)
포 장 공	32,732,375 원 (6.3%)	21,758,937 원 (3.7%)
Sand Drain 및 EPS 공	394,956,474 원 (76.7%)	554,699,476 원 (94.8%)

본 공사비 비교대상 구간의 공사비 비교결과 EPS 공법에 의한 공사비가 Sand Drain으로 시공할 경우보다 약 13.6% 정도 더 소요되는 것으로 나타났다.

Sand Drain 공법과 EPS 공법에 의한 세부 공사비 산출내역은 표 4.2 및 4.3과 같다.

표 4.2 Sand Drain공법 적용시 세부공사비 산출내역(연약지반 도로성토)

공 종	구 분	내 역	단 가	금 액
1. 토 공	① 노상, 포설	2,208	526	1,066,728
	② 노체, 포설	18,212	371	6,756,652
	③ 줄떼	1,960	2,228	4,366,880
	④ 표토제거	3,843	85	326,655
	⑤ 운반(덤프, L=12km)	20,240	2,972	60,153,280
	⑥ 토사	20,240	723	14,633,520
			합 계	87,303,715
2. 포 장	① 표층 (T = 5 cm)	0.48a		
	a 구입 및 운반	5.57ton	21,409	119,248
	b 포설 및 다짐	48m ³	298	14,304
	② 텍코팅 (RSC - 4)	10.01		
	a 구입 및 운반	4001	3	1,200
	b 포설 및 다짐	1,001m ²	40	40,400
	③ 기층 (T = 15 cm)	1.49a		
	a 구입 및 운반	52.30ton	16,263	850,555
	b 포설 및 다짐	149m ²	604	89,996
	④ 프라임코팅(MC - 1)	13.02a		
	a 구입 및 운반	1,0421	3	3,126
	b 포설	1,302m ²	26	33,852
	⑤ 보조기층(T = 30 cm)	671m ³		
	a 구입	671m ³	11,412	7,657,452
b 운반	671m ³	2,498	1,676,158	
c 포설 및 다짐	671m ³	1,054	707,234	
⑥ 선택층 (T = 40 cm)	742m ³			
a 구입	742m ³	10,491	7,784,322	
b 운반	742m ³	2,498	1,853,516	
c 포설 및 다짐	742m ³	1,800	1,335,600	
⑦ 중앙분리대	196m ³	53,907	10,565,772	
		합 계	32,732,375	
3. SAND DRAIN	① SAND MAT	846m ³	4,881	4,129,326
	② P.P MAT (T=5 TON)	4,230m	939	3,971,970
	③ SAND PILE(R=400m/m)	88,140m	2,905	256,046,700
	④ 과재성토제거	5,739m ³	368	2,111,952
	⑤ 침하판	5 EA	19,296	96,480
	⑥ PIPE(R=25m/m)	5 EA	10,388	51,940
	⑦ 침하측정봉(R=25m/m)	150m	996	149,400
	⑧ 침하봉 보호판	150m	7,881	1,182,150
	⑨ 경사계	1 EA	1,328,159	1,328,159
	⑩ 간극수압계	1 EA	707,397	707,397
	a 모래구입비	11,922m	10,500	125,181,000
		합 계	394,956,474	
		총 계	514,992,564	

표 4.3 EPS공법 적용시 세부공사비 산출내역(연약지반 도로성토)

공 종	구 분	내 역	단 가	금 액
1. 토 공	① 줄때	1,960m ³	2,228	4,366,880
	② 표토제거	3,843m ³	85	326,655
	③ 운반(덤프, L=12km)	1,103m ³	2,972	3,278,116
	④ 토사	1,103m ³	723	797,469
			합 계	8,769,120
2. 포 장	① 표층 (T = 5 cm)	0.48a		
	a 구입 및 운반	5.57ton	21,409	119,248
	b 포설 및 다짐	48m ³	298	14,304
	② 텍코팅 (RSC - 4)	10.01		
	a 구입 및 운반	400l	3	1,200
	b 포설 및 다짐	1,001m ²	40	40,400
	③ 기층 (T = 15 cm)	1.49a		
	a 구입 및 운반	52.30ton	16,263	850,555
	b 포설 및 다짐	149m ²	604	89,996
	④ 프라임코팅(MC - 1)	13.02a		
	a 구입 및 운반	1,042l	3	3,126
	b 포설	1,302m ²	26	33,852
	⑤ 보조기층(T = 30 cm)	671m ³		
	a 구입	671m ³	11,412	7,657,452
b 운반	671m ³	2,498	1,676,158	
c 포설 및 다짐	671m ³	1,054	707,234	
⑥ 중앙분리대	196m ³	53,907	10,565,772	
			합 계	21,758,937
3. EPS	① E.P.S	21,076m ³	25,000	526,900,000
	② POLYETHLEN - SHEET(T=0.2m/m)	2,758m ²	1,155	3,185,490
	③ P.P MAT (T=5TON)	3,283 ²	939	3,082,737
	④ SAND MAT (T=0.2m)	769m ³	4,881	3,753,489
	⑤ 콘크리트타설(T=0.1) (σ _{ck} =210kg/cm ²)	180m ³	53,907	9,703,260
	⑥ 모래구입비	769m ³	10,500	8,074,500
			합 계	554,699,476
			총 계	585,227,533

(2) 육교 교대구간의 EPS 설계시 공사비 산출

남해고속도로 확장공사 불암육교 교대구간은 뒷채움 재료로써 초경량 성토재료인 EPS를 이용하였으며 설계에 따른 교대의 단면형상은 그림 4.3과 같다.

EPS 설치를 위한 배면의 절토구배는 1:3으로 시공하는 것으로 하였다.

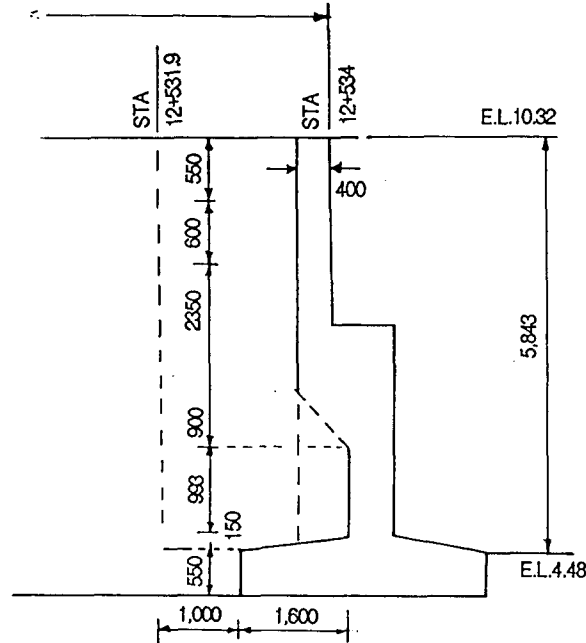


그림 4.3 남해고속도로 확장공사 불암육교 교대 단면도

또한 본 공사구간에서의 공사비 산출내역은 다음 표 4.4와 같다.

이 구간의 EPS 시공에 의한 총 소요 공사비는 94,779,968원 이며 노무비, 재료비, 경비는 각각 16.6%, 81.4%, 2%를 차지하는 것으로 나타나 EPS 공법에 의한 시공은 재료비가 총 공사비중 상당히 많은 부분을 차지하고 있다.

표 4.4 EPS공법에 의한 교대구간 뒷채움공사의 세부공사비 산출내역

공 종	규 격	수량	단위	총 액		노무비		재료비		경 비	
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액
1. E.P.S 공					94,779,968				77,170,461		1,896,592
1. E.P.S 부설	1.8x0.9x0.6	3015	m ³	23323	70,318,845	2965	8,939,475	20358	61,379,370	20358	
2. Polyenthlen Sheet 타설	비닐 Sheet t=0.2mm	1877	m ³	1155	2,167,935	829	1,556,033	326	611,902	326	
3. 콘크리트타설	$\tau_{ck}=210$	164	m ³	53907	8,840,748	15895	2,606,780	35430	5,810,520	35430	423,448
4. 모래운반	다 짐	43	m ³	11929	512,947	634	27,262	9709	417,487	9709	68,198
5. 보조기층	비 다 짐	691	m ³	11898	8,221,518	621	429,111	9705	6,706,155	9705	1,086,252
6. 질 토		192	m ³	7804	1,498,368	547	105,024	6938	1,332,096	6938	61,248
7. 상재하중제거		731	m ³	374	274,856	57	41,667	63	46,053	63	187,136
8. 피 북 토		395	m ³	368	145,360	131	51,745	59	23,305	59	70,310
9. 풀 페		271	m ³	2586	700,806	2586	700,806				
10. 맹 압 거		657	m ³	2525	1,658,925	1799	1,181,943	726	476,982	726	
		89	m ³	4940	439,660	821	73,069	4119	366,591	4119	

4.2 경제성 분석

EPS 공법의 활용을 위한 경제성 분석을 위하여 연약지반상에 축조되는 도로성토 공법중 Sand Drain 공법과 EPS 공법을 비교하여 경제성을 평가한 결과 현 시점에서는 EPS 공법에 의한 시공이 다소 공사비가 많이 드는 것으로 나타났다.

EPS 공법에 의한 시공은 현재 우리나라 실정상 순수재료비가 차지하는 비율이 상당히 높은 것으로 나타났다. 즉 연약지반상의 도로성토 경우에는 총 공사비 중에서 EPS 공이 차지하는 비율이 약 95% 정도이며 순수 EPS 재료가 차지하는 비율도 총 공사비의 90%에 해당하는 것으로 나타났다. 또 교대구간의 EPS 시공에는 총 공사비의 81.4%가 EPS 시공을 위한 재료비에 충당되었다. 반면, 연약지반 개량공법으로 Sand Drain 공법을 이용할 경우에는 Sand Drain 공에 이용된 공사비가 총 공사비의 76.7% 정도로 나타났다.

그러나 EPS 공법은 토공을 위한 공사비가 Sand Drain공법 적용시의 토공비용에 비하여 약 10% 밖에 되지 않으며 포장에 소요되는 공사비도 EPS공법에서는 동상방지층이 필요하지 않으므로 Sand Drain공법에 의한 포장공사비의 약 66% 만이 소요되는 것으로 나타났다.

공사비 비교결과 현 상태에서는 우리나라의 실정상 EPS 재료의 비용이 너무 고가인 관계로 타 공법에 비하여 경제성 측면에서 약간 불리하나 토공비나 그 외에 소요되는 경비가 상당히 저렴한 것으로 나타났다. 또한 EPS의 대량생산으로 EPS재료의 가격이 현재가격의 90%, 80%, 70%, 60%, 50%로 하락할 경우를 가정하여 연약지반에서의 도로성토 공사를 앞에서 검토한 경상남도 양산 - 구포간 고속도로를 예로들면 표 4.5와 같다.

표 4.5 EPS재료가격에 따른 Sand Drain공법과의 공사비 비교
(연약지반 도로성토의 경우)

EPS 재료비 비율	EPS 총 공사비	Sand Drain 총 공사비	Sand Drain 총 공사비와 EPS 총 공사비와의 비율
100 %	585,227,533	514,992,564	113.6 %
90 %	532,537,533	"	103.4 %
80 %	479,847,533	"	93.2 %
70 %	427,157,533	"	82.9 %
60 %	374,467,533	"	72.7 %
50 %	321,777,533	"	62.5 %

위의 표에서 비교한 공사비는 공사의 종류나 지역특성에 따라서 다를 수 있지만 본 연구에서 공사비 비교를 위해 대상으로 삼은 구간에서의 EPS 재료비에 따른 Sand Drain 공법과

공사비 비교결과 EPS 재료비가 현재가격의 약 80% 정도만 되어도 Sand Drain 공법을 이용한 공사비의 약 93% 정도밖에 소요되지 않으므로 향후 대량생산을 통하여 EPS 재료비가 낮아진다면 경제적인 측면에서도 충분히 유리한 공법이라고 사료된다.

또한 연약지반 처리공법으로 Sand Drain 공법등의 압밀축진공법은 연약기초지반이 압밀되는 시간이 상당히 길고 본 연구대상 지점에서 약 3년간의 압밀소요기간이 필요한 것으로 나타났다. 그러나 EPS공법에 의한 시공은 하중경감 공법으로서 원 지반내에 증가응력이 발생하지 않도록 하는 것을 원칙으로 하고 있으므로 압밀을 위한 소요기간이 필요치 않아 단기간내에 공사를 완료할 수 있다는 이점을 가지고 있으며 포장 완공후에도 Sand Drain공법은 포장의 예상침하에 대하여 불확실한 반면 EPS 공법은 원칙적으로 침하는 없는 것으로 설계한다.

5. EPS의 적용 가능성 검토

EPS 공법은 발포스티롤(Expanded Poly-Styrol)을 토목용 재료로써 이용하는 공법으로 적용 가능 분야는 다음 표 5.1과 같다.

표 5.1 EPS 공법의 적용분야

용 도	기 대 효 과
연약지반상의 성토	침하경감, 지반대책 경감, 유지관리 저감
구조물 매립	상재하중 및 토압저감, 구조물 부재단면 감소, 부등침하 방지
교대및 옹벽 뒷채움	아파트 배면측압 경감, 측방유동압 경감, 단차방지
가 설 도 로 가 설 도 로	시공성향상(공기단축), 지반처리 저감 철거 및 복구의 간소화
경사지에서의 성토 의 성토	Sliding 안전률 확보, Sliding 대책공 저감, 용지감소
자 립 벽	최소한의 용지확보, 벽면 구조물의 간소화
성토 및 조성지 확보	기설구조물 영향감소, 침하방지, 용지감소
Land Slide 지역의 성토	하중경감에 따른 역지력 저감, Sliding 안전률 향상
재해 복구시 성토 성 토	성토의 조기복구, 가설복구 및 복구로써 적용 가능
매설관 기초 및 낙석방지	매설관 부등침하 방지, 기설 구조물에서의 하중

EPS는 초경량성이고 자립성을 가지고 있으므로 재래의 일반 경량성토재료는 해결할 수 없는 공사에의 사용이 가능하며 다른 경량재에 비하여 경제적인 측면에서 우위에 있다. 또한 빠른 시공성으로 공기단축이 가능하며 자립능력 때문에 다른 공법들과 비교하여도 충분히 경쟁이 가능하리라고 본다.

현재 EPS 공법은 EPS 재료가 차지하는 비용이 공사비의 80%~90%정도 이상을 차지하고 있으므로 EPS 원 재료의 가격변동에 상당히 많은 영향을 받으며 본 연구에서 대상으로 삼은 연약지반 도로성토의 경우 EPS 재료가 현재가격의 80% 정도만 되어도 기존 Sand

Drain 공법에 의한 공사비의 93% 정도만 소요되는 것으로 계산되었다. 따라서 앞으로는 적은양의 재료로 높은 강도를 발휘하는 제품을 생산하여 재료비를 절감할 수 있는 기술개발이 요구된다.

도로에서의 EPS의 적용은 지금까지 1~4m 정도의 도로제방에서 안정이나 침하저감을 목적으로 사용되어 왔으며 동상방지 대책공법으로 이용되어 왔다.

앞으로의 EPS 시공은 10~20m 이상되는 도로에서도 시공이 가능할 것으로 보며 시공 및 철거가 용이하고 공기가 매우 적으므로 앞으로 매우 광범위한 분야에 적용될 것으로 전망된다.

6. 결론

본 연구에서 경량성토재료인 EPS의 특징 및 EPS를 이용한 성토공법의 활용에 대한 검토 결과는 다음과 같다.

- 1) EPS는 초경량성 재료로서 자립성이 우수하고 반복하중이나 Creep등에서 우수한 물리적 특성을 가지고 있다.
- 2) EPS 공법은 1972년 노르웨이에서 도로침하 대책공법으로 사용한 것이 최초이다. 그후 미국, 캐나다, 프랑스, 스웨덴 및 일본 등지에서 토목용재료로 많은 시공실적을 남겼으며 재료특성에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다.
- 3) EPS는 초경량성 재료로서 도로제방에 단위중량이 $20\text{kg}/\text{cm}^3$ 정도되는 EPS를 많이 사용하고 있으며 그 특징을 이용하여 연약지반상에 도로건설시 하중경감에 의한 침하방지를 기대할 수 있다. 또한 자립성을 이용하여 교대 및 옹벽등의 뒷채움 재료로 사용시 토압저감으로 벽면구조물의 간략화나 용지감소가 가능하며 그 이외에도 거의 모든 분야에 적용시 우수한 성능을 발휘하는 것으로 조사되었다.
- 4) 연약지반의 도로성토공사시 지반개량공법으로서 Sand Drain 공법과 EPS 공법의 경제성을 분석한 결과 현재에는 EPS 공법이 다소 많은 공사비가 소요되는 것으로 나타났으며 이는 국내실정상 높은 가격의 EPS 원 재료가 차지하는 비용이 총 공사비의 80%~90% 이상 소요되기 때문인 것으로 사료된다.
- 5) 따라서 EPS의 가격을 현재의 약 80%정도 이하로 인하할 수 있다면 연약토층이 깊은(약 20~30m) 지역에서는 기존의 Sand Drain 공법에 대하여 공사비 면에서 경쟁력이 있을 것으로 사료되므로 이를 위하여 적은량의 재료로 높은 강도를 발휘하는 제품을 생산하여 재료비를 절감하는 기술개발이 요구된다.
- 6) Sand Drain 공법은 재하후 2년~3년 정도의 압밀소요기간이 필요하기 때문에 도로공사기간이 필연적으로 길어지며 예측한 잔류침하량에 대한 신뢰성이 매우 낮으므로 준공후에도 노면상태가 불량한 경우가 많다. 이에 비하여 EPS는 연약지반상의 성토공사에 적용시 원지반내의 증가응력이 거의 없도록 하여 시공하므로 침하를 위한 소요기간이 필요하

지 않아 단기간내에 공사를 완료할 수 있으며 완공후에도 침하량에 대한 문제가 발생하지 않는다는 장점이 있다.

- 7) 토목용재료로서 EPS의 활용은 우리나라에서 아직까지 시공실적이 없으나 거의 모든 분야에 적용이 가능하며 효과도 좋은 것으로 나타나 매우 광범위한 분야에의 적용이 가능할 것으로 전망된다. 도로포장이나 기타 토목구조물에 사용시는 우선 외국의 기존설계기준을 적용할 수 있을 것이다.