

발포폴리스티렌(EPS)을 이용한 경량성토공법

장 용 채*

1. 서 론

연약지반상에 도로를 건설할 경우 성토에 의한 안정성의 부족으로 과대한 침하가 발생하여 도로 자체에 큰 피해를 주고, 인접지역에 피해를 주기도 한다. 이러한 연약지반의 조사, 설계, 시공 및 유지에 일반지역에서와는 달리 설계 및 시공에 많은 배려가 필요하다.

이와 같은 연약지반에 성토 및 옹벽 등 구조물을 시공할 경우에는 각종의 지반대책공법이 사용된다. 예를 들면, 지반침하를 촉진시켜 잔류침하량을 적게하는 공법으로써 재하중공법 및 Vertical Drain공법, 지반의 전단변형 및 침하량을 억제하기 위해 말뚝과 같은 구조물에 의한 공법등이 사용된다.

이상의 공법은 성토 및 구조물에 작용하는 하중에 의해 지반침하를 촉진하거나 지반의 강도를 증가시키는 것으로 성토의 침하대책 및 안정대책을 실시하는 공법이다. 따라서, 성토 본체의 중량을 경량화하고 원지반에 미치는 하중의 영향을 적게하여 지반의 침하 및 안정에 대한 대책공법으로 경량성토공법을 이용하는 데, 이 중에서 근원적으로 하중을 줄일 수 있는 방법인 발포폴리스티렌(EPS)의 특성 및 이를 이용한 공법에 대해 기술하고자 한다.

2. EPS공법

2.1 개요

EPS란 Expanded Polystyrene의 약어로서 일정한 반응기내의 물속에서 Styrene Monomer(단량체)를 현탁 중합시켜 얻은 구상(bead type) 중합체에 저비점 탄화수소계 발포제(보통 펜탄, 부탄사용)를 침투시켜 만들어진 발포성 PS수지로서 우리 주위에서 쉽게 볼 수 있는 스티로폼(styropor)을 말한다.¹⁾²⁾

EPS공법은 발포폴리스티렌(EPS)을 경량성토재료로 토목공사에 이용하는 공법으로 EPS는 그 비중이 흙의 1/100전후로 극히 가벼운 데도 적당한 강도를 가지고 있다. 이 경량성에 착안한 노르웨이의 도로기술자가 지금부터 20년전에 자국의 열악한 겨울철 자연환경하에서 동결방지에 처음으로 이용된 EPS를 연약지반 대책공법의 성토재로서 발전시킨 발상이 이 공법을 탄생시켰다고 말할 수 있다. 이후 유럽을 중심으로 하여 이용되어 왔으며 1985년에는 일본에도 도입되었다.

우리나라에서는 연약지반위에 도로건설이 본격화 되지 않아 현재까지 검토단계에 있다가 1993년 10월 13일 한국도로공사 서해안건설사업소 관내 서창 J/C RAMP-A2교, 뒷채움부위에 처음으로 시험시공을 시도하여 본격적인

* 성희원, 한국도로공사 도로연구소 지반연구실 선임연구원

EPS공법의 실용화시대가 열리게 되었다.⁷⁾

EPS공법은 발포폴리스티렌의 대형블럭을 토목, 건축분야인 토목공사, 구조물공사 또는 공원 공사등에 사용하는 공법으로 EPS의 초경량성, 자립성, 내수성, 내압축성 및 경제성 등의 특징을 유효하게 활용한 공법의 총칭이다.¹⁶⁾

- ① 경량성 : EPS의 밀도는 토사와 콘크리트의 약 1/100이다. 본 공법을 연약지반의 성토재로서 적용하는 경우, 성토하중을 크게 절감시킬 수 있고, 연약지반의 침하, 지지력 부족의 문제점을 단숨에 해결할 수 있다.
- ② 자립성 : EPS블럭은 자립성이 있기 때문에 그것을 쌓아올린 구조물을 자립벽으로서 이용할 수 있다. 외국의 경우, EPS블럭을 교대 뒷채움재로서 시공한 예가 있는데 7년후 그 변형을 측정한 결과 거의 변화가 일어나지 않았다고 한다. 이것은 EPS블럭이 자립벽으로서 유효하다는 것을 입증해 준다.
- ③ 내수성 : EPS는 물과 결합하지 않는 발수성 재료이다. 각종 지하수위 조건하에서 흡수성을 시간의 변화에 따라 측정한 결과 흡수량은 극히 적었고 물의 영향도 거의 없었다. 이것은 EPS블럭이 독립기포를 내장한 발포체의 집합체이기 때문에 장기간 수침상태에 있더라도 기포내에 물이 침투하지 않는다는 사실을 증명해 준다.
- ④ 내압축성 : EPS의 압축강도는 EPS의 단위체적중량에 따라서 변화하나 탄성영역에 있는 허용압축강도가 $3-14\text{tf}/\text{m}^2$ 로 성토재로써의 적용이 충분히 가능하다. 또한 EPS는 흙과 달리 소성영역에 있어서도 일축방향의 압축력이 탁월하여 명확한 전단영역이 발생하지 않는 것도 특징이다. 따라서 EPS에는 점착력 및 내부마찰각이란 개념이 없고 내압축재로서의 블럭을 쌓아올려 성토를 구축하는 것이다.
- ⑤ 시공성 : EPS블럭을 쌓는다는 대형건설기계가 필요하지 않으며 시공속도가 빠르

고 연약지반, 급경사지, 좁은 장소 등 대형기계의 사용이 어려운 곳에서의 인력시공이 가능하다. 또, EPS블럭은 현장에서 간단히 절단할 수 있기 때문에 지형에 따른 가공이 용이하다.

- ⑥ 경제성 : 연약지반상의 성토공사에서는 지반개량공법이 불필요하며, 완성후에 계속되는 침하도 절감시킬 수 있기 때문에 보수 등의 유지관리비가 적게 든다. 또한, 경사지에서의 성토공사, 확폭공사 등에서는 최소한의 용지로 끝낼 수 있으며 옹벽 등의 토류공사가 불필요할 뿐만아니라 개설공사의 규모도 축소되기 때문에 경제적이다. 본 공법은 재료의 특징과 시공성을 지반조건과 시공조건에 따라 적절히 이용함으로써 단지 및 주변환경대책 더우기 공사기간의 단축 등에 기여할 수 있다.

2.2 적용분야

EPS는 블럭형태로 제조되어 각종 토목공사에 사용된다. 더우기 EPS는 경량성, 자립성, 시공성 등 여러 우수한 특징중 초경량성과 내압축성이란 가장 큰 장점을 지니고 있어, 블럭을 쌓을 경우 EPS 자체의 자립성이 대단히 우수하다. 이러한 특성때문에 최근들어 건설현장에 EPS의 사용이 광범위하게 확장되고 있다. 또한, EPS는 이러한 초경량성을 장점으로 연약지반상의 성토재로 적용할 경우 침하 및 측방유동에 대한 활동이 억제되어 Sand drain이나 약액주입공법 등 기존의 연약지반개량 대책공법이 필요치 않는다.⁵⁾

일반적으로 EPS를 도로성토구간이나 교대 등 구조물의 뒷채움재로서 사용할 경우 EPS상부에 콘크리트 슬래브를 타설함으로써 성토하중 및 제반 활하중의 분포가 균일하게 작용돼 상재하중의 영향을 분산시킬 수 있다.

비탈면에 성토할 경우에도 EPS를 활용함으로써 안정된 상태가 가능하며 노폭확장 및 공원조성 등 여러 현장에도 적용할 수 있다. 이러한 EPS의 초경량성을 이용하여 연약지반상의 교대가 밀린 곳이나 밀린 가능성이 큰 곳에

EPS를 적용함으로써 수평토압과 측방유동을 줄일 수 있으며, 또한 용벽과 같은 구조물에서도 적용할 수 있다.

EPS는 이론적으로 흙의 내부마찰각 이하의 각도로 토사법면경사를 이루고 그 위에 EPS를 부설한다면 여기에 설치된 흙구조물은 토압이 작용하지 않게 된다. 이외에도 매설관의 보호 대책, 확폭성토, 기초분야 등 다양하게 적용이 가능하다.

표-1은 EPS공법의 주요적용분야를, 표-2는 시공형태별 특징을 각각 정리한 것이다.

2.3 재료의 특성

2.3.1. EPS의 제조방법³⁾

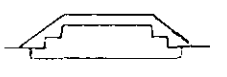




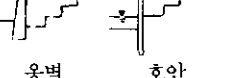
EPS는 석유를 원료로 하여 얻은 스티렌모노머(액체)를 중합하여 발생하는 폴리스티렌(고

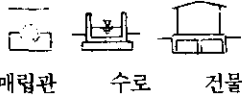
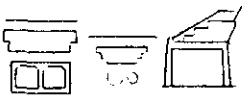
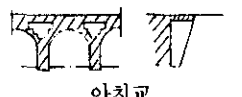

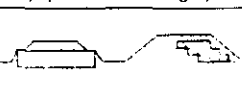
체)과 첨가된 발포제를 주요 원료로 한다. EPS는 비드발포법(EPS)에 의한 것과 압출발포법(XPS)에 의한 것으로 크게 대별하며 제조공정의 흐름을 정리하면 그림-1과 같다.

표-1. EPS공법의 적용분야¹⁾

용도	구성형태	사용목적(형태)
도로	성토	내부충전
농로	확폭성토	충전
보도	교대	복원
가설도로	옹벽	확폭, 확장
철도	배수구	기초
정류장	호안	보호
공원, 스포츠시설	매설관	방호
골프장	직립벽, 자립벽	증축
토지조성	구조물	방진
활주로	수로	
주차장	터널	
주택지	방호시설	
건축물		

표-2. 시공형태별 특징^{1, 2)}

용도	모형도	경량성	자립성	시공성	특징	주요적용분야
성토		◎		○	침하경감 유지관리비 경감 미끄럼안전율 확보	도로, 철도, 활주로, 조성지, 택지, 매립지, 공원
		◎		○	동반침하의 억제 부등침하의 방지 주변의 영향완화	차선확폭, 용지확폭, 제방배후성토
		○	◎	○	토류구조물의 단순화 용지의 유효이용 미끄럼 안전율확보	차선확폭, 용지확폭 (조성지, 골프장, 공원, 주차장, 보도)
구조물배면성토		○	◎		구조물배면의 토압경감 측방유동의 경감, 단차의 방지	교대배면, 구조물배면 반지하구조물
		○	◎	◎	침하의 경감 기초대책의 경감 용지절약	구체교차부의 성토
		○	◎		구조물배면의 토압경감 구조물안전율의 향상	옹벽, 호안등의 토압 저항구조물의 배면

기초		○	○	침하의 경감 부등침하의 방지 기초의 일체화	매설관, 수로기초공장, 저층구조물의 기초, 단순구조물기초
구조물 보호		○	○	기설구조물 하중경감 부등침하, 국부침하방지	지하구조물의 보호, 기설구조물의 보호
중간충전 복원		○	◎	구조물의 하중경감 전압부족의 대응 공간확보	아치교, 대규모교각의 내부충전, 중공부충전, 협소부위성토
확폭증속 공사		○	◎	급속시공 단순시공 기설구조물의 하중경감	흙확장, 흙증속공사, 육상공원성토
가설, 복원		○	◎	급속시공, 급속철거, 시공용이, 공간확보	가설도로, 무대환경 시설대 성토 재해복구

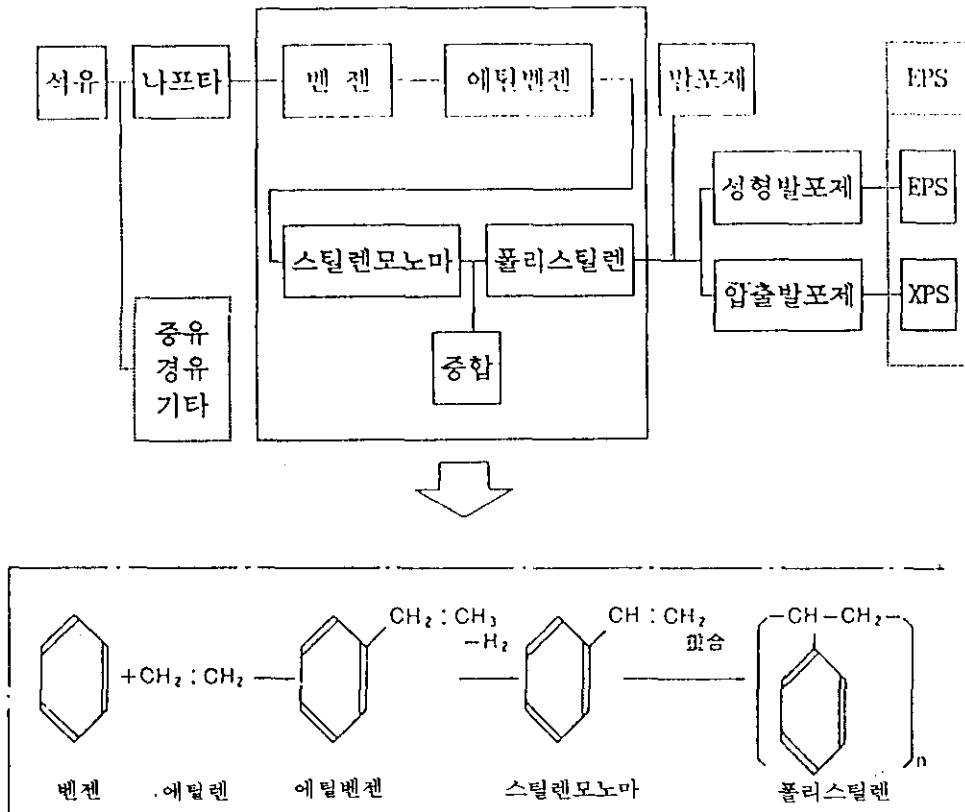


그림1. 석유정제로 부터의 EPS제조 흐름도

비드발포법은 폴리스티렌과 발포제로 부터 제조된 폴리스티렌비드를 소정의 발포비율로 예비발포시킨 것을 사일로(Silo)에서 건조, 숙성시킨 후 성형기로 충전하여 예비발포폼이 연화할 때까지 가열한 후 냉각하여 성형체로 제

조하는 방법(그림-2참조)이고, 압출발포법은 고압하에서 용융시킨 폴리스티렌에 염화메틸, 탄화수소 등의 압축성 액체가스를 혼합하여 압출발포기에서 유동성 겔을 만들고 그것을 발포하여 압출하는 방법이다.

原料 투입 發泡 熟成 成形 EPS 분리

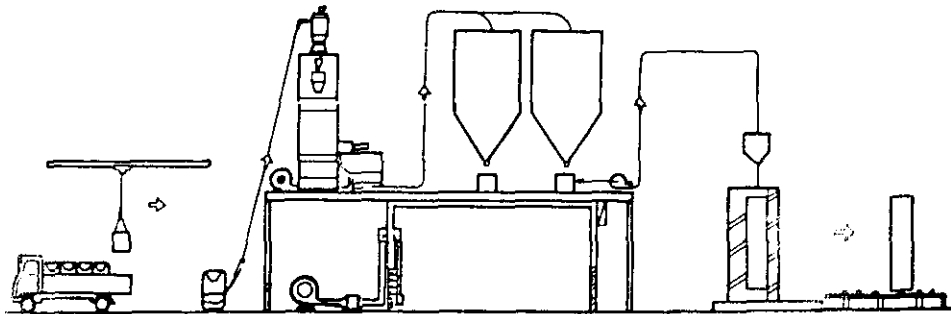


그림2. 비드발포법에 의한 제조 흐름

2.3.2. 물리적 및 역학적 특성

1) 단위체적중량

EPS의 단위체적중량은 제조시의 발포배율에 따라서 결정된다. 즉, 단위체적당에 대해서 발포배율이 커지면 가벼워지고, 작아지면 무거워진다. 현재 제조되고 있는 EPS공법의 재료종별과 단위체적중량을 나타내면 표-3과 같다.

표-3. 발포배율에 따른 EPS의 단위체적중량^{1,2)}

제조법	종 별	발포배율(%)	단위체적중량(tf/m ³)
압출법	DX-29	34.5	0.029
비드법	D-30	33.3	0.030
	D-25	40.0	0.025
	D-20	50.0	0.020
	D-15	62.5	0.015

2) 흡수특성

EPS를 각종 조건하에서 침수시켜 흡수량을 측정하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

- ① 비드발포법(EPS)의 경우, 흡수의 대부분은 침수후 1-2일의 초기에 발생하며 그후는 5-6 vol%까지 증가한다.

- ② 압출발포법(XPS)의 경우, 초기의 흡수는 비교적 적으며 그후 2~3vol%까지 증가한다.

- ③ 비드발포법(EPS)의 흡수량은 압출발포법(XPS)의 흡수량과 비교하여 큰 값을 나타내는데, 이것은 압출발포법(XPS)이 대부분 표면흡수 방법인데 비해 비드발포법(EPS)은 예비발포 입자간에 흡수가 이루어지기 때문이다.

- ④ 비드발포법(EPS), 압출발포법(XPS) 모두 수압이 크게 되면 흡수량은 증가하나, 수압에 의한 흡수량의 증가는 미미하다.

- ⑤ 비드발포법(EPS), 압출발포법(XPS) 모두 100일까지 흡수량이 점증하고 있으나 100일부터 1000일까지의 사이에는 현저한 증가는 보이지 않는다.

여기에서 흡수율vol%는 EPS 1m³에 대해서 물이 차지하는 체적율을 나타낸다. 즉 5vol%의 경우, 1000kg/m³ × 1 × 0.05 = 50kg/m³의 흡수량이 된다. 따라서, EPS의 단위체적중량을 20kg/m³으로 하면, EPS의 흡수량을 고려한 단위체적중량은 20 + 50 = 70kg/m³가 된다.

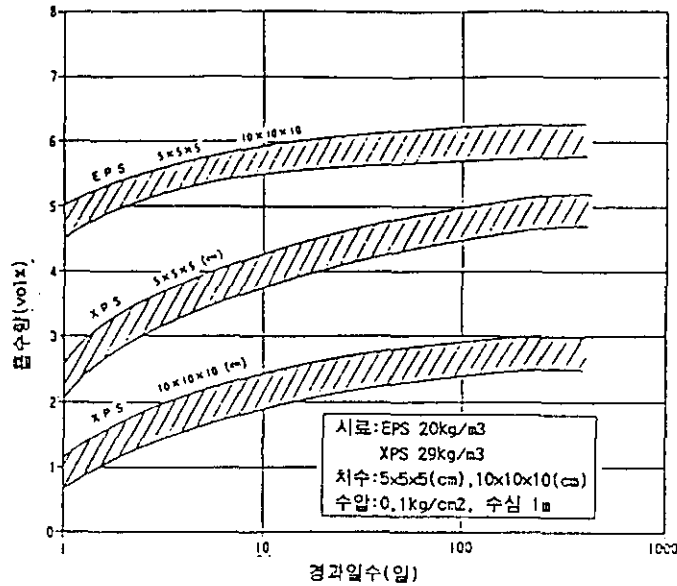


그림3. EPS블럭의 흡수특성 (수압 : 0.1kg/cm²)

상기의 흡수량시험에서 경과일수에 따른 흡수량의 증가는 미미하기 때문에 EPS침수시의 설계 단위체적중량으로써는 제조법 혹은 EPS의 종별에 관계없이 100kg/m³으로 설정하는 것이 바람직하다. EPS와 XPS를 각각 0.1kgf/m²의 수압하에 침수시켜 흡수율을 측정하면 그림-3과 같은 결과를 얻는다.

3) 마찰특성

각종 조건하에서 EPS와 모래와의 마찰계수 (μ)를 측정하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다. 건조모래에서 $\mu=0.58\sim0.46$, 습윤모래에서는 $\mu=0.52\sim0.25$ 이며, 습윤상태의 완전한 충전일수록 μ 가 저하된다. 따라서, EPS를 부설 모래위에 설치한 경우 마찰계수는 다음조건을 확보하여야 $\mu=0.5$ 이상을 확보할 수 있다. 이를 그림으로 나타내면 다음과 같다(그림-4참조).

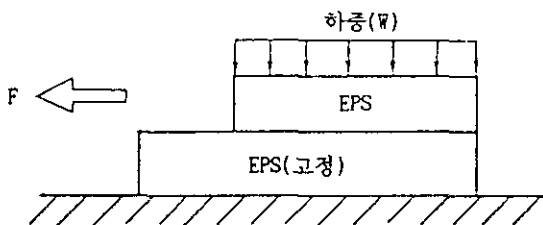


그림4. 마찰계수의 측정

- ① 부설모래를 충분히 다진다.
- ② 부설모래는 지하수 등에 의해 포화상태 또는 습윤상태가 되지 않도록 지하수위 저하대책을 세워야 한다.

4) 열특성

EPS원료에 있는 폴리스틸렌 수지는 열가소성 수지의 하나이므로 고온에서 수지자체가 연화되어 팽창 또는 수축 등의 변형을 한다. 따라서, EPS는 변형이나 강도저하를 발생시키지 않는 70℃이하의 온도범위에서 사용하여야 한다.

한편, EPS는 자체적으로 소화성이 있다. 이는 서로를 분리시킬 수 있는 이연제가 첨가되어 불이 붙어도 점화한 불을 제거하면 3초 이내에 자체적으로 소화되는 특성이 있다.

온도상승과 EPS의 수축량과의 관계를 나타내면 그림-5와 같다.¹⁾²⁾

5) 내구성

노르웨이에서 흙속의 미생물에 의한 영향을 시험한 결과 EPS는 미생물에 대한 영향을 거의 받지 않는 것으로 보고 되었고, EPS는 태양의 자외선에 의해서 변색되므로 EPS가 직접 노출되는 곳에서의 사용은 피해야 한다. 내약

품성에 대해 살펴보면 각종 산이나 살충제등에 대해서는 안정하자 페놀류에는 용해되는 단점을 갖고 있으며 이들을 정리하면 다음 표-4와 같다.

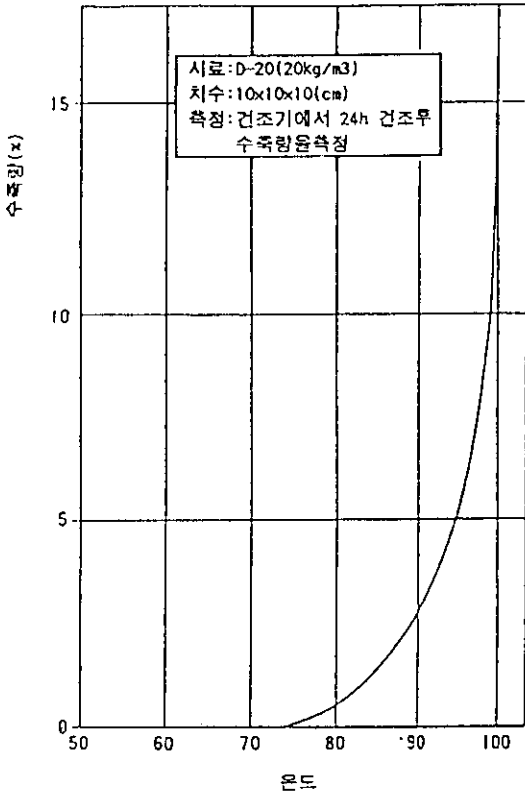


그림5. 온도와 EPS수축량과의 관계

6) 압축강도

EPS의 경우는 밀도가 커짐에 따라 곡선의 상태가 급하게 되어 압축응력도 커지게 되나 명확히 피크(peak)점을 볼 수 없으며, 압축변형의 증가에 따라 압축응력은 점증하는 것을 볼 수 있다. 한편, 압출발포법(XPS)의 경우는 비드발포법(EPS)에 비해 곡선의 상태는 급하며, 피크시의 변형도 작고 이들을 정리하면 그림-6, 표-5와 같이 나타낼 수 있다.

7) Creep특성²⁾

EPS가 정적하중을 받는 경우 탄성적 변형이 외에 재하시간에 의존하는 Creep은 EPS의 허용응력과 더불어 중요한 특성중의 하나이다.

표-4. EPS의 내약품성²⁾

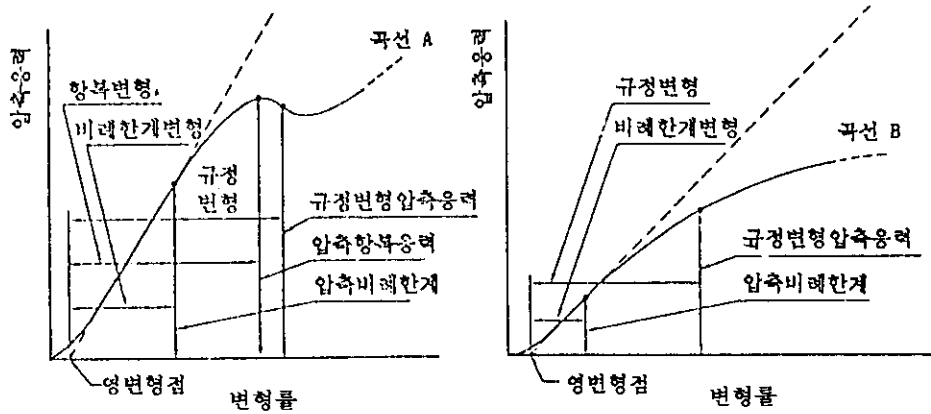
물 질 명	내약품성	물 질 명	내약품성
Acrylonitrile	용 해	Grease	안 정
아스팔트(무용제)	안 정	Glycol ether	용 해
Acetonitrile	용 해	Chloroform	용 해
Acetalkohol	안 정	경유	팽 윤
Acetone	용 해	초산	안 정
아닐톤	용 해	초산 Amyl	용 해
아마인유	팽 윤	초산 Ethylene	용 해
Amylalcohol	안 정	초산 Butyl	용 해
Arylalcohol	안 정	살균제	안 정
Ammonia	안 정	살충제	안 정
Ethanol	안 정	Diethyl ether	용 해
Ethane	용 해	Diethyl Ketone	용 해
Ethylbenzene	용 해	Diethyl benzene	용 해
Ethylene oxide	용 해	Diethylene glycol	안 정
Ethylene glycol	안 정	Dioxane	용 해
염화 Methyl	용 해	Cyclohexanol	안 정
염화 Methylene	용 해	Cyclohexanone	용 해
염화 Benzene	용 해	Cyclohexane	용 해
염산	안 정	취소액	용 해
염소수	팽 윤	중유	팽 윤
올리브유	팽 윤	주석산	안 정
해수	안 정	초산(30%)	안 정
가성칼리용액	안 정	소독액	안 정
가성소오다용액	안 정	제초제	안 정
Gasoline	용 해	Silicon oil	안 정
의산(formic acide)	안 정	수은	안 정
Xylene	용 해	수산화칼슘	안 정
구연산	안 정	수산화나트륨 안정	안 정
수성접착제	안 정	빙초산	용 해
수성도료	안 정	Pyridine	용 해
Styrene	용 해	비료(N.P.K)	안 정
석유	용 해	Phenol	팽 윤

이들의 특징을 요약하면 다음과 같으며 이중 일반적으로 토목공사에 많이 사용하는 D-20 제품을 중심으로 압축 creep특성을 도시하면 그림-7과 같다.

- ① 재하압이 작으면 압축변형은 초기에 발생한 채 안정한 상태로 된다.
- ② 재하압이 큰 경우에도 시간의 경과에 따라 변형이 진행되다 안정상태로 되고, 재하압이 크게 될수록 변형량은 크게 나타난다.

표-5. EPS의 압축강도(표준치)

항 목	단위	제 조 법					비 고
		비드발포법				압출법	
종 별	-	D-30	D-25	D-20	D-15	DX-29	-
단 위 체 적 중 량	tf/m ³	0.030	0.025	0.020	0.015	0.029	-
허 용 압 축 강 도	tf/m ²	9.0	7.0	5.0	3.5	14.0	압축탄성한계
품질관리시의 압축응력	tf/m ²	18.0이상	14.0이상	10.0이상	7.0이상	28.0이상	5%변형시



a) XPS의 경우

b) EPS의 경우

그림6. 압축응력과 변형률

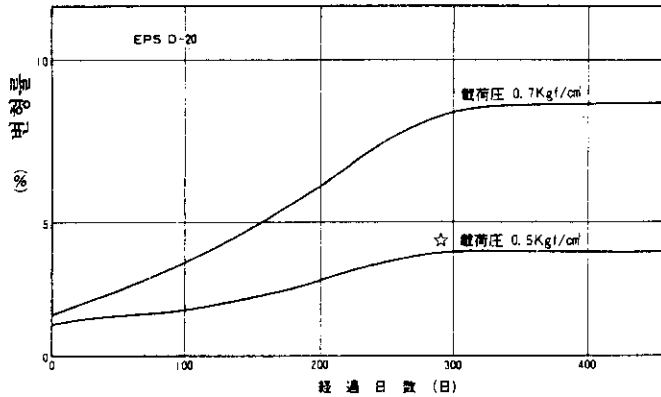


그림7. 압축 Creep 특성(D-20)

③ 안정상태를 유지하는 재하하중은 각 EPS의 압축강도(5%변형시)의 1/2정도 이하로 볼 수 있다.

8) 포아송비
일본의 발포폴리스티를 토목공법 개발기구에서 측정된 EPS의 포아송비를 정리하면 그림

-8, 9와 같다.

- ① 단위체적중량이 커짐에 따라 포아송비도 커진다.
- ② 압축변형이 탄성한계내에 있는 경우에도 포아송비는 거의 일정치(0.10~0.15)를 나타내며, 소성영역으로 접어들면 변형률이 커짐에 따라 작아지는 것을 알 수 있다.¹⁾²⁾

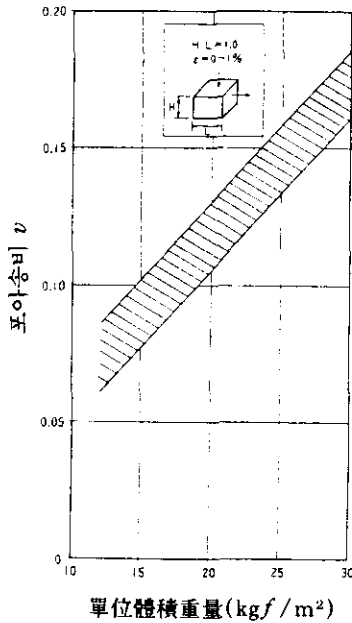


그림8. 포아송비와 단위체적중량과의 관계

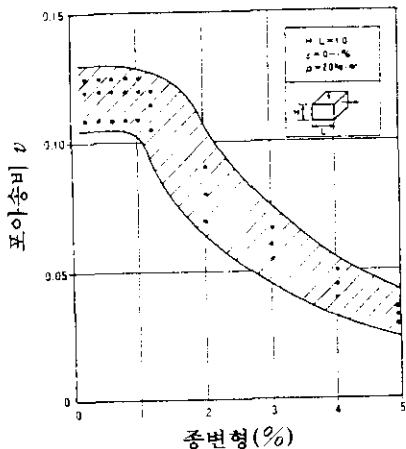


그림9. 포아송비와 압축변형률과의 관계

3. 설 계

EPS의 가장 큰 장점은 초경량성으로, 이와 같은 특징을 살려 하중 경감과 토압경감을 목적으로 다음과 같은 기본적인 설계방법을 제시한다.

EPS공법의 주요한 설계검토항목은

- ① 지지 지반의 안정
- ② 사용된 방호벽(옹벽)의 안정(활동, 전도, 지내력, 변형)
- ③ 부재의 안정 등의 조사
- ④ 지하수위가 영향을 줄 경우, 부상(浮上)에 대한 검토가 필요하다.

3.1 설계하중

EPS공법에 의한 지반의 대책공법을 수립할 때, 일반적으로 토압, 자중, 재하중외에 EPS축압, 수압, 부력 등에 대한 검토를 한 후 설계한다.

3.1.1. 토압

EPS시공을 한 후 배면에 작용하는 토압은 배면지반의 강도, 구배 등에 좌우된다. 즉, 배면지반의 구배가 안정구배보다 적은 값을 가지면 EPS에 작용하는 토압은 0에 가깝다. 한편, 안정구배보다 급한 경우에는 토압이 발생하고 그 값은 일반적인 옹벽에서와 동일하게 계산된다.

흙쌓기방법은 EPS배면토사에 대한 힘의 폐합으로 부터 토압을 구하면 그중 최대치를 주동토압 P_A 라 하고, 작용위치는 저면부에서 $H/3$ 지점으로 하는 토압산정방법이다. 이때, P_A 의 수평성분 P_H 및 연직성분 P_V 는 다음식으로부터 구한다.

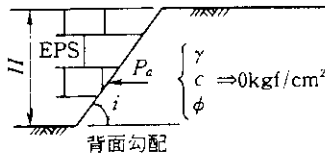
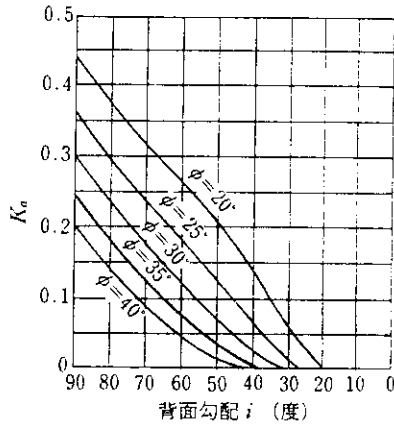
$$P_H = P_A \cdot \cos(\alpha + \delta) \quad (1)$$

$$P_V = P_A \cdot \sin(\alpha + \delta) \quad (2)$$

여기서 α : 벽배면과 연직면이 이루는 각

δ : 벽면 마찰각

그림-10은 EPS배면의 기울기가 변화한 경우의 주동토압계수 K_a 값을 나타낸 것이다.



$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma h^2$$

$$K_a = 2 P_a / \gamma h^2$$

$i \backslash \phi$	40	35	30	25	20
90	0.200	0.244	0.297	0.361	0.438
80	0.139	0.180	0.232	0.295	0.375
70	0.088	0.126	0.174	0.237	0.319
60	0.047	0.078	0.121	0.181	0.264
50	0.015	0.036	0.071	0.124	0.205
40	0	0.005	0.025	0.065	0.137
30	0	0	0	0.012	0.058
20	0	0	0	0	0

그림 10. 주동토압계수 K_a 결정법

3.1.2. 상재하중

실제에 고려하는 상재하중은 용도에 따라 다르나 일반적으로 EPS상부에 재하되는 포장 및 도로시설 등의 활하중으로 구분된다.

자중(사하중)은 도로포장에 있어 각재료의

단위체적중량(표-6참조)에 따라 계산하고, 활하중(교통하중)은 통상적으로 $q=1\text{tf}/\text{m}^2$ 으로 된다.

표-6. 각 재료의 일반적인 단위체적중량

재 료	단위체적중량(tf/m^3)
철근콘크리트	2.50
아스팔트 콘크리트	2.30
모래, 모래질흙	1.90
층적토, 점성토($W_L \leq 50\%$)	1.80

3.1.3. EPS자중

EPS의 단위체적중량은 폴리스티렌의 비드 발포배율에 따라 국내에서 다음과 같이 4종류로 분류하고 있다.

1호의 발포배율은 33.3%($30\text{kgf}/\text{m}^3$), 2호의 배율은 40.0%($25\text{kgf}/\text{m}^3$), 3호의 배율은 50%($20\text{kgf}/\text{m}^3$)이며, 5호의 배율은 62.5%($15\text{kgf}/\text{m}^3$)이다. 이상의 결과를 정리하면, 발포배율이 증가함에 따라 단위체적중량이 작아지는 것을 알 수 있다.

EPS가 장기간 지하수위 아래 설치될 경우는 그 내부에 물이 침입하여 통상적으로 단위중량이 $100\text{kgf}/\text{m}^3$ 으로 증가하기 때문에 이에 따른 침하 및 안정 검토를 반드시 하여야 한다.

3.1.4. EPS에 작용하는 측압¹⁾

옹벽 및 교대 등 배면토압이 문제되는 구조물에 EPS를 사용할 경우 EPS상부의 재하중에 대응한 측압이 구조물의 배면에 작용하며, 이것은 EPS가 탄성거동을 할 때에 발생하는 것이다(그림-11참조).

3.1.5. 부력

EPS의 가장 대표적인 특징이 초경량성인 반면에 이 때문에 발생하는 가장 큰 문제점으로 EPS의 부상(浮上)을 들 수 있다. 따라서 EPS를 지하수위 이하로 설치하는 경우의 부력은 수위하의 동등체적의 물중량이 상방향으로 작용하는 것으로 판단된다.

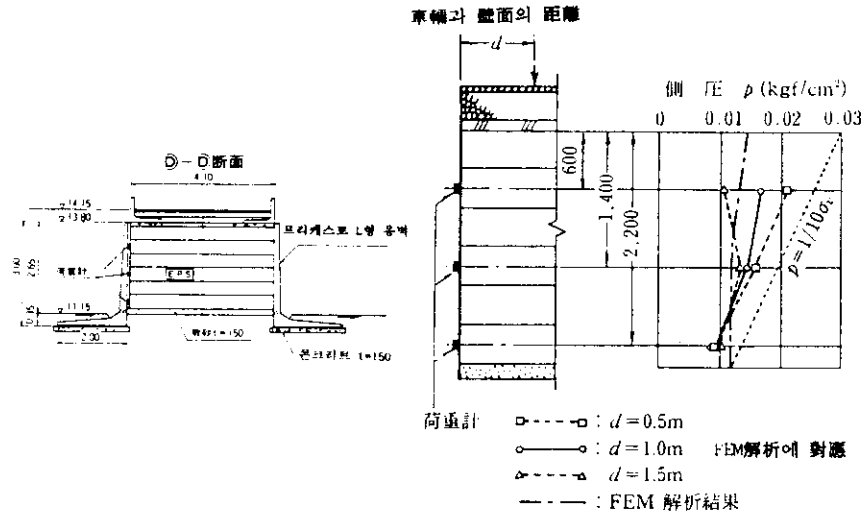
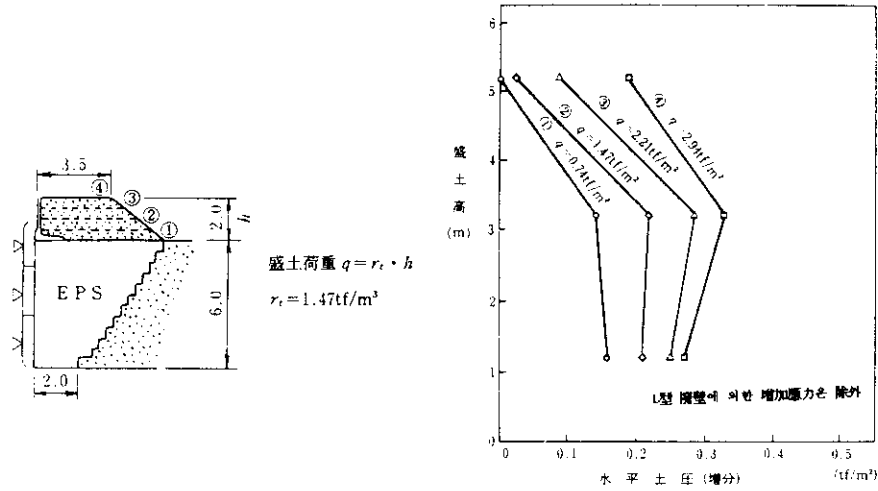


그림 11. EPS 측압

3.2. 하중경감공법

연약지반상에 성토를 실시할 경우는 성토하중에 의한 지반의 침하 및 변형, 이에 따른 주변인접 구조물에 의한 영향, 미끄러짐 파괴 등의 문제점이 발생하게 된다. 또한, 경사지에 성토를 할 경우로 성토하중에 의해 경사방향의 미

끄러짐이 발생한다.⁴⁾

이러한 연약지반상 또는 산사면에 성토를 할 때, 초경량 성토재인 EPS를 이용하면 지반에 추가되는 하중을 대폭적으로 경감시킬 수 있어 지반의 침하, 측방유동 및 미끄러짐을 방지할 수 있다(그림-12참조).

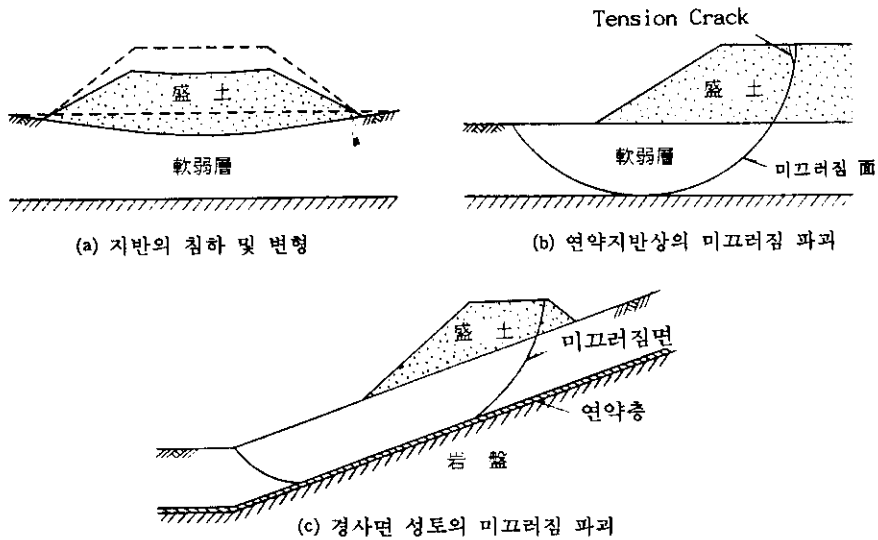


그림 12. 연약지반, 경사지상의 성토시 문제

3.2.1. 설계순서

연약지반상 또는 경사지에 EPS를 시공할 때 다음과 같은 항목에 대해 검토를 하여야 한다.

- ① EPS부재의 응력도 검토
- ② 부상에 대한 검토
- ③ 지반침하의 검토
- ④ 지반의 안정 검토

연약지반상의 EPS성토의 설계순서를 나타내면 그림-13과 같다.

3.2.2. 안정검토

1) EPS부재응력도의 검토

EPS의 장기적인 안정성을 확보하기 위해서는 사하중, 활하중에 의한 EPS에 작용한 응력도보다 큰 허용응력도를 갖는 EPS를 성토재료로 사용할 필요가 있다. EPS부재의 응력도의 검토는 EPS상면의 위치에서 실시한다. EPS에 작용하는 응력도 σ_2 는 포장, 노반 등의 사하중에 의한 응력도 σ_{z1} 과 활하중에 의한 응력도 σ_{z2} 의 합으로 표시된다.

$$\text{즉, } \sigma_2 = \sigma_{z1} + \sigma_{z2} \quad (3)$$

또 사하중에 의한 응력도 σ_{z1} 은 다음식으로

산정한다.

$$\sigma_{z1} = \sum r_i h_i \quad (4)$$

여기서 r_i : 포장, 노반 등 각 재료의 단위체 적중량

h_i : 포장, 노반 등 각 재료의 총두께
활하중에 의한 응력도 σ_{z2} 를 간략하게 계산하면 그림-14와 같다.

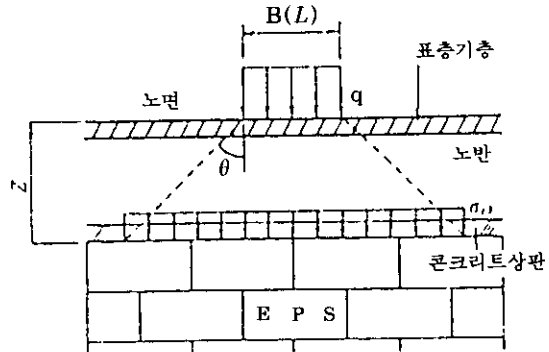


그림 14. 활하중에 의한 전달응력 모식도

$$\sigma_{z2} = \frac{P(1+i)}{(B+2 \cdot Z \cdot \tan\theta)(L+2 \cdot Z \cdot \tan\theta)} \quad (5)$$

σ_{z2} : EPS 상부의 응력

P : 운하중(DB-24하중의 경우,

P=9.6ton)

i : 충격계수($i=15/40+L$)으로 계산하며,

0.3을 넘어서는 안된다.)
 z : 노면으로부터 EPS 상부까지의 깊이(표층, 노반, 콘크리트 상판 포함)
 B, L : 운하중의 재하폭($B=50\text{cm}$, $L=20\text{cm}$)

θ : 하중분산각도
 (콘크리트 상판을 사용하는 경우 : 45° ,
 콘크리트 상판을 사용하지 않는 경우 :
 30°)

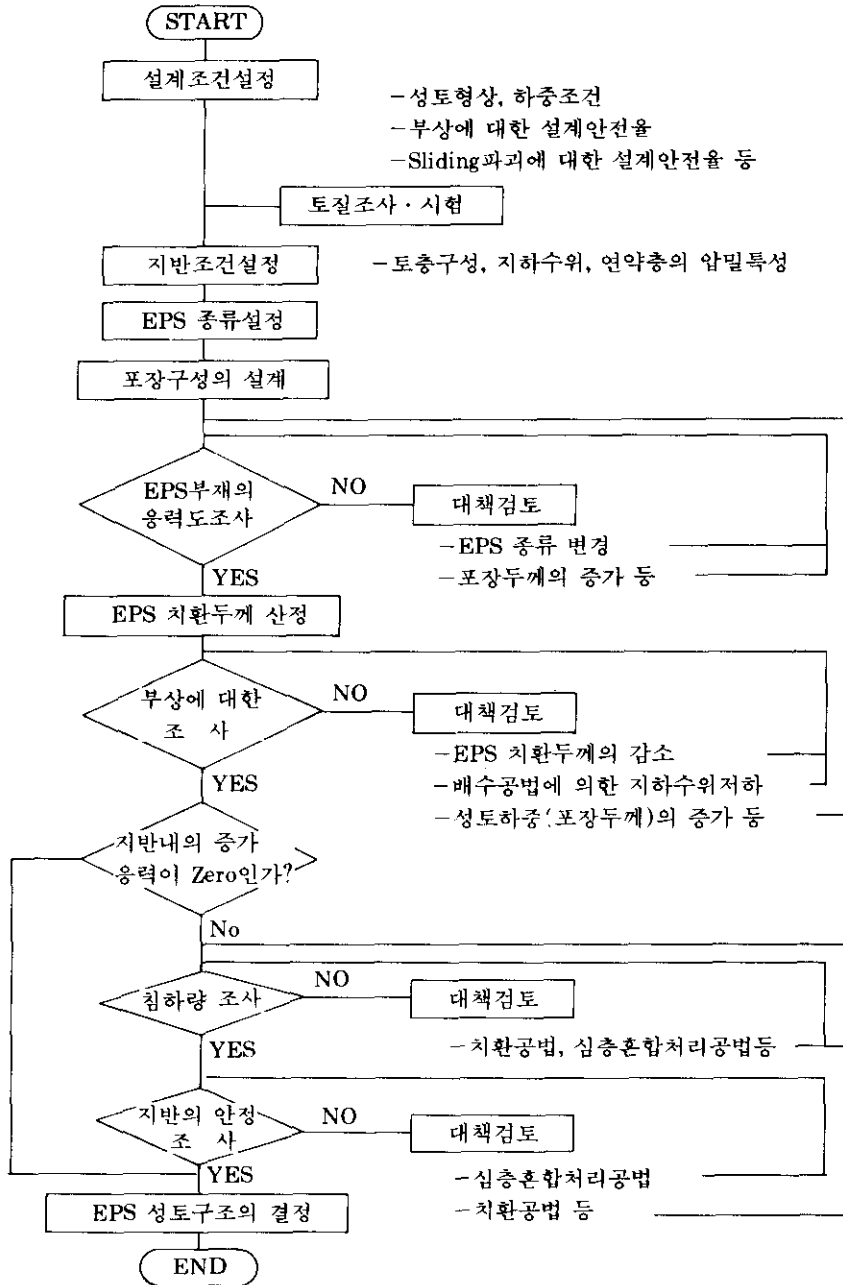


그림 -13. 연약지반의 EPS도로성토 설계순서

이와 같이 구해진 EPS에 작용하는 응력도 σ_2 와 사전에 선정된 EPS의 허용응력도 σ_a 를 비교함으로써 EPS부재응력도의 조사를 실시한다. EPS의 허용응력도 σ_a 가 EPS에 작용하는 응력도 σ_2 보다 작은 경우에는

- ① EPS종별의 변경
- ② 포장두께의 증가 등에 대해서 검토한다.

2) EPS 치환두께의 산정

EPS를 이용한 하중경감공법의 기본적인 사고는 성토하중에 의해 발생하는 지반내 응력도를 적극적으로 억제하거나 혹은 발생시키지 않도록 한다. 이를 위해서 그림-15에 도시한 것처럼 현지반을 굴착하여 굴착면에서 성토시공 전후의 작용응력이 같게 되도록 굴착깊이 (EPS치환두께)를 결정하면된다.

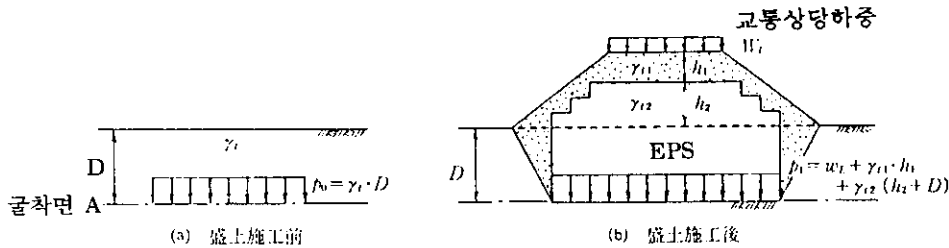


그림 15. EPS치환두께의 산정모델

그림-15의 굴착면 A에서 성토시공전(굴착전)의 토피압 P_0 는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$P_0 = r_t \cdot D \quad (6)$$

여기서 r_t : 현지반의 단위체적중량

D : 굴착깊이

또, 성토시공후의 굴착면 A에 있는 작용응력 P_1 은 다음식으로 구할 수 있다.

$$P_1 = \omega_L + r_{t1} \cdot h_1 + r_{t2} \cdot (h_2 + D)$$

ω_L : 교통상당하중

r_{t1} : 포장 구성재료의 단위체적중량

r_{t2} : EPS의 단위체적중량

h_1 : 포장구성재료의 두께

h_2 : 현지반면에서의 EPS성토 높이

따라서, 성토시공후의 지반내 응력을 같게 하기 위해서 굴착깊이 D 는 아래의 식으로 구할 수 있다. 즉, $P_0 = P_1$ 으로 하면

$$r_t \cdot D = \omega_L + r_{t1} \cdot h_1 + r_{t2} \cdot (h_2 + D)$$

$$\therefore D = \frac{\omega_L + r_{t1} \cdot h_1 + r_{t2} \cdot h_2}{r_t - r_{t2}} \quad (7)$$

단, 굴착면이 지하수위 이하로 되는 경우에

는 시공중 및 시공후 EPS의 부상 및 EPS의 흡수에 의한 단위 체적중량의 증가가 문제되므로 굴착깊이를 감소시켜서 굴착면이 지하수위보다 높게 되도록 하는 것이 바람직하다.

3) 부상에 대한 검토

지형조건등의 제약으로 굴착면이 지하수위 이하로 되는 경우 및 지하수위의 변동으로 설치한 EPS가 침수할 경우에는 EPS에 부력이 작용하기 때문에 EPS성토의 부상에 대한 검토가 필요하다. 이때 지하수위는 예상되는 최고수위를 적용하고 EPS의 자중 및 지반과의 마찰각, 교통상당하중 ω_L 은 안전측을 고려하여 무시한다.

부력에 의한 EPS성토의 부상에 대한 안전율 F_s 는 다음식으로 계산된다.(그림-16참조)

$$F_s = \frac{P}{U} = \frac{r_{t1} h_1}{r_w \cdot h'} \quad (8)$$

여기서, P : 재하중

U : 부력

r_w : 물의 단위체적중량 = 1.0tf/m³

h' : 지하수위이하의 EPS의 두께

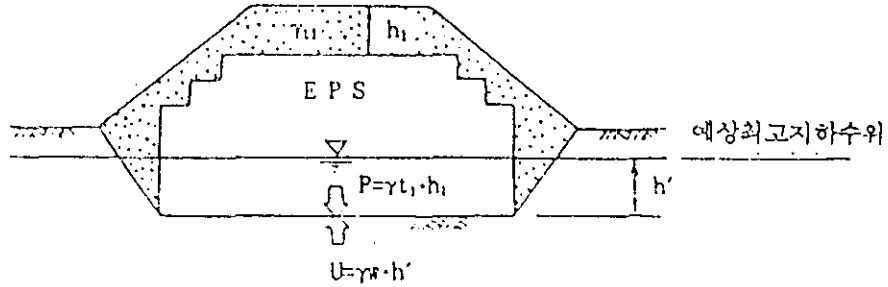


그림 16. 지반의 안정검토 모델

이와같이 구해진 EPS성토의 부상에 대한 안전율 F_s 가 설계안전율 F_{SD} (통상 ≥ 1.2)를 만족하지 않는 경우에는 아래와 같은 대책을 강구하여 안전율이 설계안전율 이상이 되도록 한다.

- ① 굴착깊이의 감소(EPS치환두께를 감소시킨다).
- ② 성토하중의 증가(현 지반면보다 위의 EPS 두께를 감소시켜 포장두께를 두껍게 한다.)
- ③ 배수공의 채용(지하수위를 저하시킨다).

여기에서 ②의 대책을 실시할 경우에는 EPS에 작용하는 응력도 σ_z 가 (5)식에 구한 값보다 크게 되기 때문에 다시 EPS부재의 응력도를 검토할 필요가 있다.

4) 지반의 침하검토

EPS성토의 부력방지를 위해 전술한 대책을 실시할 경우 및 시공성 등에서 굴착깊이를 감소시키는 경우에는 성토하중에 의해 발생하는 지반내응력이 시공전에 비해 커지게 된다. 따라서 기초지반이 연약한 경우에는 증가응력에 의한 지반의 침하에 대한 검토가 필요하다.

성토하중으로 인해 발생하는 굴착면 위치에서의 증가응력 $\Delta\sigma$ 는 다음식으로부터 구할 수 있다.

$$\Delta\sigma = p_1 - p_0 \quad (9)$$

$$p_1 = \omega_{t1} + \gamma_{t1} \cdot h_1 + \gamma_{t2}(h_2 + D)$$

$$p_0 = \gamma_t \cdot D$$

따라서 성토 중앙부에서 지반의 침하량 s 는 다음에 제시하는 식으로 구할 수 있다.

$$s = m_v \cdot \Delta\sigma \cdot H$$

$$s = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \cdot H \quad (10)$$

$$s = \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot \log \frac{p_z + \Delta\sigma}{p_z} \quad (11)$$

여기서, $\Delta\sigma$: 성토하중에 의한 지반내 증가응력(kgf/cm²)

H : 연약층의 두께(cm)

m_v : 연약층의 체적압축계수
(cm²/kgf)

e_0 : 연약층의 초기간극비

e_1 : 증가응력 $\Delta\sigma$ 작용후의 연약층의 간극비(압밀시험 $e - \log p$ 곡선으로부터 구함.)

C_c : 연약층의 압축지수

p_z : 성토시공전의 유효토피압(有效土被壓)

이와같이 구해진 지반의 침하량 s 가 허용침하량 S_a 를 웃도는 경우에는 치환공법 및 심층혼합처리공법 등의 지반개량공법의 병용에 대해서 검토하고, 침하량이 허용침하량 이하가 되도록 한다.

5) 지반의 안정검토

연약지반의 성토시 지반내에 증가응력이 발생하는 경우 및 경사지에 성토시공하는 경우에는 지반의 미끄럼파괴에 대한 검토가 필요하다(그림-17).¹⁾

이렇게 하여 구한 미끄러짐에 대한 안전율 F_s 가 설계안전율 F_{SD} (통상 ≥ 1.2)를 만족하지 않는 경우에는

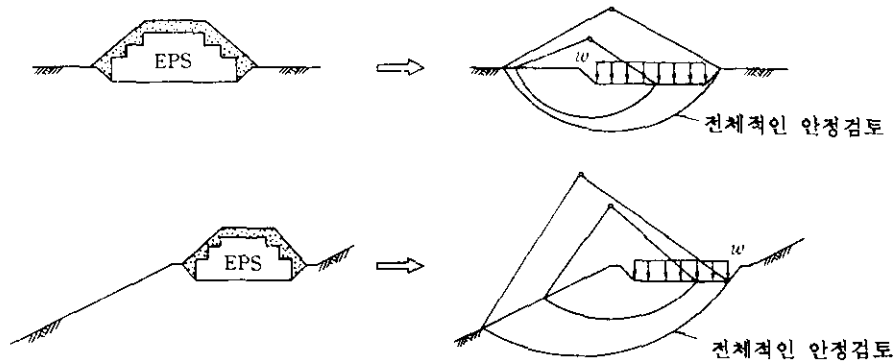


그림 17. 지반의 안정검토 모델

- ① 치환공법, 심층혼합처리공법등 지반개량 공법의 혼용(연약지반상의 성토공의 경우)
- ② 미끄러짐 방지말뚝공법 및 집수공, 배수공의 혼용(경사지상 성토공의 경우)등의 대책을 강구하여 안전율이 설계안전율이 상이 되도록 한다.

3.2.3. 설계계산예

1) 설계조건

그림-18에 도시한 바와 같이 연약지반상에 높이 3m의 도로성토를 계획한다. 통상의 토사에 의한 성토를 실시한 경우에는 과대한 지반 침하가 발생할 뿐만아니라 미끄러짐파괴가 발생할 가능성도 높다고 판단되기 때문에 그 대

책으로써 EPS를 이용한 하중경감공법을 검토한다.¹⁾

설계조건은 아래와 같다.

- ① 성토의 형상 : 그림-18참조.
- ② 지반의 미끄러짐파괴에 대한 설계안전율 : $F_{SD} \geq 1.2$
- ③ EPS성토의 부상에 설계안전율 : $F_{SD} \geq 1.2$

또 EPS성토의 부상에 대한 검토시에는 그림에 도시한 지하수위(G.L.-1.0m)보다 1m 높은 수위(G.L.±0.0m)를 사용한다.

- ④ 사용 개시후의 허용침하량 : $S_a \leq 10\text{cm}$

또 대상지반으로부터 압밀시험한 결과 e-logP곡선을 그리면 그림-19와 같다.

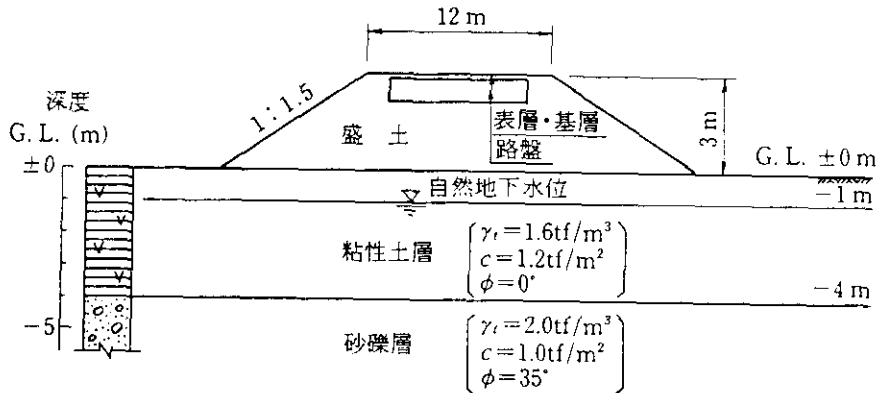


그림 18. 공사개요 및 지반조건

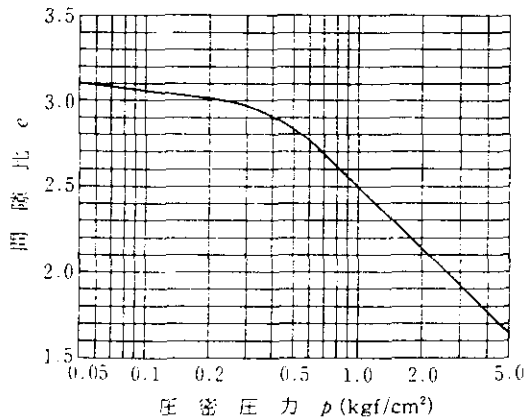


그림19. 점성토의 e-logP곡선

2) EPS부재 응력도의 검토

-성토재료로는 단위체적중량 $\gamma = 20\text{kgf}/\text{m}^3$ 의 EPS(허용압축응력도 $\sigma_z = 0.5\text{kgf}/\text{cm}^2$)를 사용한다.

- 성토상부에는 콘크리트상판을 설치한다.
- 교통량의 구분은 C교통으로 한다.

EPS상부 포장구성의 설계는 그림-20과 같고 사하중에 의한 EPS상부에서의 작용응력도 σ_{z1} 은 (4)식에 의해서

$$\begin{aligned}\sigma_{z1} &= \sum \gamma_i h_i \\ &= 2.3 \times (0.05 + 0.05 + 0.10) + 2.0 \times \\ &\quad (0.20 + 0.20) + 2.5 \times 0.10 \\ &= 1.51 \text{ tf}/\text{m}^2 \text{ 이다.}\end{aligned}$$

또 활하중으로써 T-20하중(후륜하중 $p = 8.0\text{tf}$, 후륜윤대폭 $B = 0.5\text{m}$, 후륜접지장 $L = 0.2\text{m}$)을 고려하면 활하중에 의한 EPS상면에서의 작용응력도 σ_{z2} 는 (5)식으로부터

$$\begin{aligned}\sigma_{z2} &= \frac{P(1+i)}{(B+2 \cdot Z \cdot \tan\theta)(L+2 \cdot Z \cdot \tan\theta)} \\ &= \frac{8.0 \times (1+0.3)}{(0.5+2 \times 0.7 \times \tan 45^\circ)(0.2+2 \times 0.7 \times \tan 45^\circ)} \\ &= 3.42 \text{ tf}/\text{m}^2 \text{ 이다.}\end{aligned}$$

따라서 EPS상부에 작용하는 응력도 σ_z 는 식(3)에 의해

$$\begin{aligned}\sigma_z &= \sigma_{z1} + \sigma_{z2} \\ &= 1.51 + 3.42\end{aligned}$$

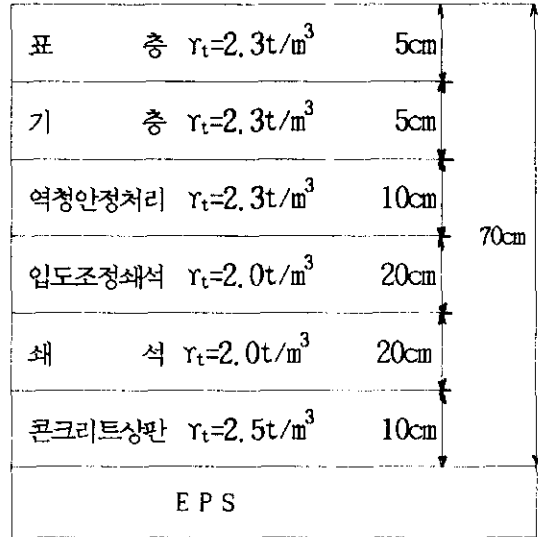


그림20. 포장의 구성

$= 4.93\text{tf}/\text{m}^2$ 이 된다.

따라서 성토재료로서 사용하는 단위체적중량 $\gamma = 20\text{kgf}/\text{m}^3$ 의 EPS의 허용압축응력도는 $\sigma_a = 0.5\text{kgf}/\text{cm}^2 = 5.0\text{tf}/\text{m}^2$ 으로부터 $\sigma_z = 4.93\text{tf}/\text{m}^2 < \sigma_a = 5.0\text{tf}/\text{m}^2$ 이 되어, 재하중에 의한 EPS부재의 응력도에 문제가 없다.

그러나, EPS상부에 작용하는 σ_z 가 EPS의 허용응력 σ_a 와 큰 차이가 없어, 지지응력에 염려가 될 경우는 최상부 EPS의 단위체적중량 $\gamma = 30\text{kgf}/\text{m}^3$ 을 사용하면 보다 안정하다.

3) EPS치환두께의 산정

성토치환전후의 지반내응력을 같게하기 위해서, 굴착깊이 D(EPS치환두께)를 산정한다. 교통상당하중을 $\omega_L = 1.0\text{tf}/\text{m}^2$ 으로 하면, 굴착깊이 D는(7)식으로부터

$$\begin{aligned}D &= \frac{\omega_L + \gamma_{t1} \cdot h_1 + \gamma_{t2} \cdot h_2}{\gamma_1 - \gamma_{t2}} \\ &= \frac{1.0 + 1.51 + 0.02 \times (3.0 - 0.7)}{1.6 - 0.02} \\ &= 1.6\text{m} \text{ (굴착면 깊이 : G.L.-1.6m)가 된다.}\end{aligned}$$

이때 굴착면이 지하수위(G.L.-1.0m)이하가 되므로 이점을 고려하여 굴착깊이를 시산법에 의해 $D = 0.7\text{m}$ 로 설정한다.

4) 부상에 대한 검토

지하수위가 예상되는 최고수위(G.L-0m)까지 상승한 경우의 EPS성토의 부상에 대한 검토를 실시한다. 이때 지하수위 이하의 EPS 두께는 $h'=0.7m$ 가 되므로 EPS성토의 부상에 대한 안전율 F_s 는 (8)식으로 부터

$$F_s = \frac{r_{t1} \cdot h_1}{r_w \cdot h'}$$

$$= \frac{1.51}{1.0 \times 0.7}$$

$$= 2.16 > F_{SD} = 1.2 \text{가 되어 안전하다.}$$

5) 지반의 침하검토

현지반의 굴착깊이 D를 1.6m에서 0.7m로 감소시키므로 지반내에는 성토하중에 의한 증가응력 $\Delta\sigma$ 가 발생한다. 여기에서 증가응력에 의한 기초지반의 압밀침하량 s를 (11)식을 이용하여 계산한다.

성토하중에 의해 발생하는 굴착면 위치에서의 증가응력 $\Delta\sigma$ 는 (9)식에 의해

$$\Delta\sigma = p_1 - p_0$$

$$= [\omega_L + r_{t1} \cdot h_1 + r_{t2}(h_2 + D)] - r_t \cdot D$$

$$= [1.0 + 1.51 + 0.02 \times (2.3 + 0.7)] - 1.6 \times 0.7$$

$$= 1.45 \text{ tf/m}^2$$

$$= 0.145 \text{ kg/cm}^2$$

압밀대상층 두께 H는

$$H = 4.0 - 0.7 = 3.3m = 330cm$$

점성토층 중앙점에서의 성토시공전의 유효

토피압 P_{z0} 는

$$P_{z0} = 1.6 \times 1.0 + (1.6 - 1.0) \times 1.0$$

$$= 2.2 \text{ tf/m}^2$$

$$= 0.22 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\therefore P_{z1} = P_{z0} + \Delta\sigma$$

$$= 0.22 + 0.145 = 0.365 \text{ kgf/cm}^2$$

$$P_{z0} = 0.22 \text{ kgf/cm}^2,$$

$P_{z1} = 0.365 \text{ kgf/cm}^2$ 에 대응하는 지반의 간극비 e_0, e_1 을 그림-19의 $e - \log P$ 곡선에서 구하면 $e_0 = 3.0, e_1 = 2.93$

따라서, 기초지반의 압밀침하량 s는 (10)식으로부터

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

$$= \frac{3.0 - 2.93}{1 + 3.0} \times 330$$

$$= 5.8 \text{ cm} < S_a$$

$$= 10 \text{ cm} \therefore \text{안정}$$

6) 지반의 안정검토¹⁾²⁾

성토하중에 의해 지반내에 증가응력 $\Delta\sigma$ 가 발생하기 때문에 지반의 미끄러짐에 대한 안정을 검토하고 EPS성토부는 하중으로써만 평가하며 전단강도는 무시한다. 원호미끄러짐해석에 의한 안정검토결과는 그림-21에 도시한 바와 같으며 미끄러짐에 대한 안전율 F_s 는 설계 안전율 $F_{SD} \geq 1.2$ 를 만족하는 바, 지반의 안정에 대해서도 문제는 없다.

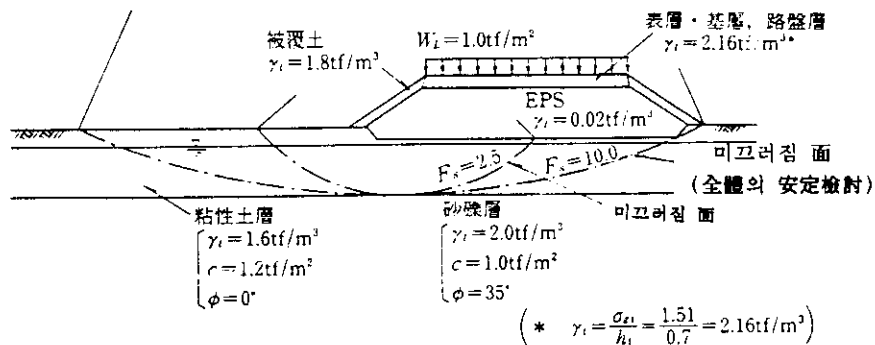


그림21. 원호 미끄러짐해석에 의한 지반의 안정검토

7) EPS성토 구성의 결정

이상의 검토결과를 근거로 EPS성토 구조를

나타내면 그림-22와 같다.

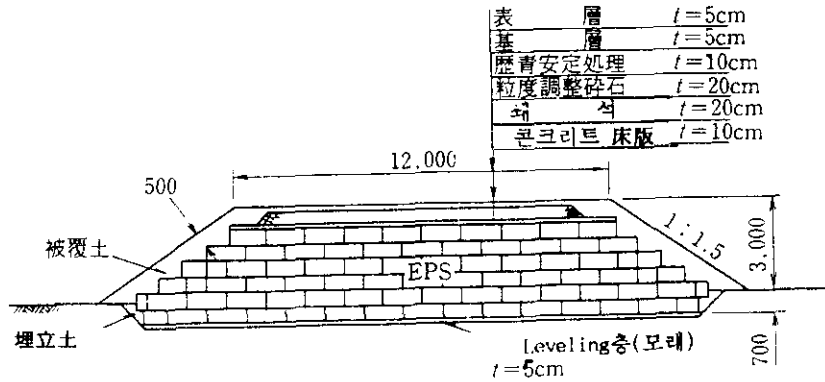


그림22. EPS성토의 구조

3.3. 토압경감공법으로써의 적용

3.3.1. 개요

EPS가 갖는 경량, 자립특성은 시공의 기계화라는 점에서 효과적일 뿐만아니라 교대 및 옹벽 등의 토압에 저항하는 구조물에 설치함으로써 작용 토압의 경감이 가능하며, 구조물구성 및 기초형성의 간략화, 지반개량 등 보조공법의 생략 등을 도모할 수 있다. 또 과거에 건설된 옹벽 등의 구조물이 그 후의 주변개발 및 작용하중, 용도변경 등으로 보강이 필요하게 되었다든지 또한 변형이 발생한 경우의 대책으로 EPS공법은 종래의 방법과 비교하여 경제성, 간편성, 안전, 확실성, 공기 등 많은 점에서 우수한 이점을 갖고 있다. 한편 컬버트 및 도랑 등 지중매설 구조물의 복원재로써 사용한 경우에는 구조물구성의 단순화 및 깊은 심도에도 적용이 가능하게 된다.

이와 같은 특징에 부가하여 EPS의 쌓기형상을 연구하여 배면으로부터의 토압발생을 완전히 제거하고, 이것을 자립구조물으로써 이용가능하다.

EPS공법을 토압경감대책으로써 적용하는 경우의 기본적인 사고는 배면(원지반)에서의 토압을 발생시키지 않도록 쌓는(치환)형상 및 설치범위를 결정하는 것이다. 안정한 EPS쌓는

형상으로 하는 것이 가능한 경우에는 EPS의 경량, 자립의 두가지특성을 유효하게 활용할 수 있으며, 전면벽의 구조는 종래의 옹벽 등에 비교하여 대폭적으로 간략화하는 것이 가능하다. 그러나 설계의 주체가 교대 등 구조물 자체에 있는 경우 및 주변환경 그리고 지반조건 등으로부터 안정하게 쌓는 형상, 설치범위의 확보가 곤란한 경우에는 EPS가 갖는 자립특성을 기대하는 것은 곤란하며, 쌓는형상에 대응한 경감토압을 구조물 자체의 설계에 고려할 필요가 있다.

이와 같이 EPS의 쌓는 형상, 설치범위에 의해 설계의 기본적인 사고가 다르므로 이것을 토압 경감공법으로 적용하는 경우에는 대상으로 하고 있는 구조물의 중요도 및 사용목적은 물론 계획 높이 및 규모, 지형, 지반 등의 기본적인 설계조건의 정리와 함께 EPS의 어떠한 특성에 착안하여 설계할 것인가를 분명히 해 둘 필요가 있다.

EPS전면의 벽면 구조형식의 선정은 기본적으로 종래의 각종 옹벽과 같다. 종래의 옹벽배면에 EPS를 병용한 경우 전도에 대한 안정성의 개선 및 저판반력이 작게 되는 반면 활동에 대한 안전율은 작아지게 된다.

3.3.2. 설계 순서

EPS공법을 토압경감공법의 목적으로 적용하는 경우 표준적인 설계는 그림-23과 같다.

설계는 조건설정에서부터 시작하여, EPS 설치형상의 검토, 각종벽체(방호벽 포함)의 안정 검토, 전체안정, 구조세목 혹은 경제성 등도 고려하여 검토할 필요가 있다.

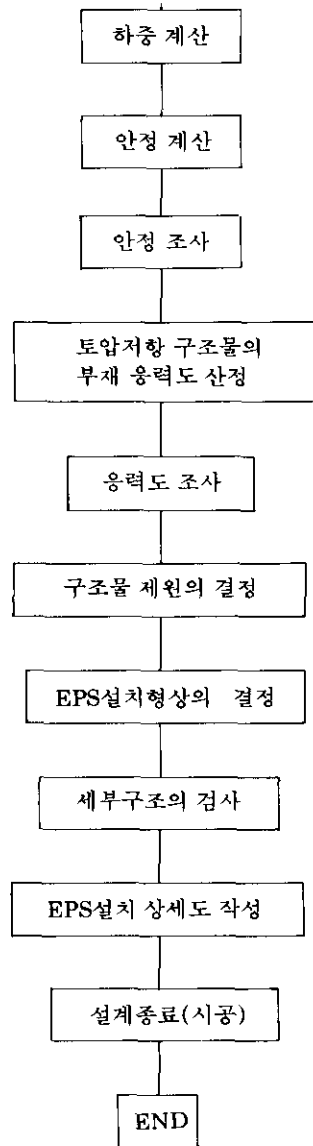
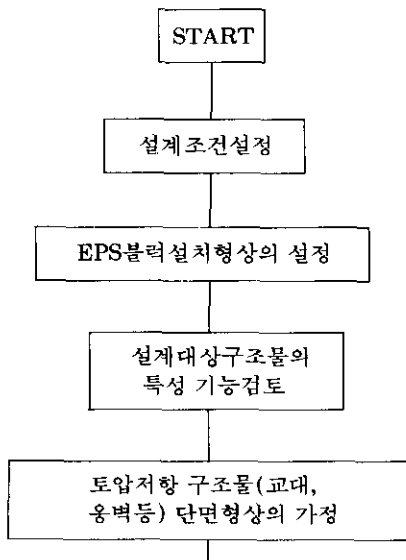
3.3.3. 안정검토

1) 설계하중

계획하고 있는 구조물의 특성을 고려하여 설계하중을 선정하고, 서로 조합하여 안정설계를 실시한다. 설계하중 아래에서도 토압 및 EPS 측압은 EPS의 쌓는 형상 및 설치깊이에 따라 변화하는 것을 알아야 한다.

토압은 그림-24에 나타낸 바와 같이 EPS를 역대형(逆臺形)형상으로 설치한 경우 배면의 경사에 의해서 변화하며, 배면안정경사이하인 경우에는 배면토압은 0으로 된다.

한편 안정경사보다 급한 경우에는 시행쇄기법으로 산정한 값을 안정계산에 사용하고, 안정경사는 지반형태에 따라서 변화하며 정확한 값은 사면안정해석으로부터 구하나, 개략적으로 표-7, 표-8에 제시한 값이 참고치이다.

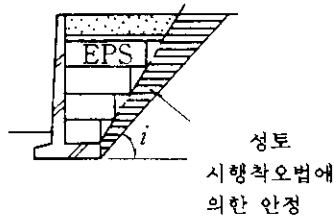


- 계획고, 형상
- 포장구성, 지하수위
- 토질상수, 계획진도

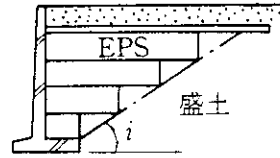
- 토압저감(안정구배)
- 원지반의 안정
- 부력조사, 기초의 지지력

- EPS 설치형상의 자립체로서 안정성
- 대상구조물의 중요성
- 환경 사용조건

그림-23. 설계순서



측압+배면토압
EPS 배면구배 i 가 성토의
안정구배보다 급한경우



EPS 측압의 예 (배면토압 0)
EPS 배면구배 i 가 성토의
안정구배와 동일한 경우

그림24. 배면구배와 발생토압(역대형형상)

EPS의 배면이 불규칙적으로 쌓여있는 경우의 개략적인 토압산정 방법으로는 그림-25에 도시한 가상배면을 고려하여 흙재기내의 EPS가 차지하는 체적비율에 대응한 토압(환산토압)을 산정하는 것으로, 이 결과는 시행채기법에 의한 산정토압보다 약간 큰 값이 된다.

표-7. 절토에 대한 표준 사면경사

원지반의 토질		절토높이	경사
경암	-	-	1:03-1:08
연암	-	-	1:05-1:12
모래	조밀하지 않고 입도 분포가 나쁜 것	-	1:15~
모래질흙	조밀한 것	5m이하	1:08-1:10
		5-10m이상	1:10-1:12
	조밀하지 않은 것	5m이하	1:10-1:12
		5-10m	1:12-1:15
모래질 또는 암괴 혼입의 사질토	조밀한 것 또는 입도 분포가 좋은 것	10m이하	1:08-1:10
		10-15m	1:10-1:12
	조밀하지 않은 것	10m이하	1:10-1:15
		10-15m	1:12-1:15
점성토	-	-	1:0.8-1:12
암괴 또는 옥석 혼입의 점성토	-	5m이하	1:10-1:12
		5-10m	1:12-1:15

2) 벽체의 안정계산 방법

EPS의 설치형상 및 각종벽체 구조물의 안정 조사는 활동, 전도, 지지력 및 전제로써의 안정성을 확인하는 것이다(그림-26참조).

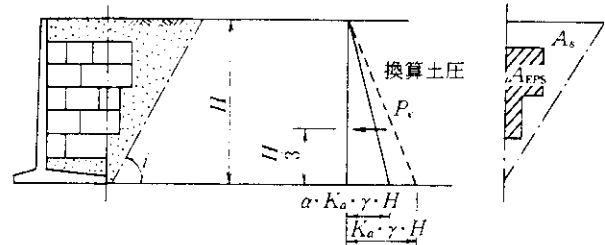


그림25. 환산토압

$$\text{換算土壓 } P_e = \frac{1}{2} \alpha \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$\alpha = A_s (A_{EPS} + A_s)$$

$$K_a : \text{土壓係數}$$

(1) 활동에 대한 안정

활동에 대한 안전율은 다음식을 만족시켜야 한다.

$$F_s = \frac{\text{활동에 대한 저항력}}{\text{활동력}}$$

$$= \frac{\sum V \cdot \mu + C \cdot B}{\sum H} \quad (12)$$

$$\frac{(W + P_v \cdot \mu + C \cdot B)}{P_H} \geq 1.5$$

$\sum V$: 저판하면에서 전연직응력

$\sum H$: 저판하면에서 전수평응력

W : 구체하중(복토, 상재하중 등을 포함)

P_v : 토압합력의 연직성분

P_H : 토압합력의 수평성분

μ : 저판과 기초지반의 사이의 마찰계수
($\tan \delta, \delta$: 벽면마찰각)

C : 저판과 기초지반사이의 점착력

B : 저판폭

(2) 전도에 대한 안정

전도에 대한 검토는 벽체구조 전체의 합력작

표-8. 성토재료 및 성토높이에 대한 표준 사면경사

성토재료	성토높이	경사	
입도가 좋은 모래(SW)	5m이하	1:1.5-1.8	기초지반의 지지력이 충분하고, 침수의영향이 없는 성토에 적용한다. ()의 통일분류는 대표적인것을 참고로 제시.
세립분 혼합 자갈(GM) (GC) (GW) (GP)	5-15m	1:1.8-1:2.0	
입도가 나쁜 모래(SP)	10m이하	1:1.8-1:2.0	
암 괴	10m이하	1:1.5-1:1.8	
	10-20m	1:1.8-1:2.0	
사질토(SM)(SC), 견고한 점성토, 경질점토(홍적층의 경질점성토, 점토)	5m이하	1:1.5-1:1.8	
	5-10m	1:1.8-1:2.0	
화산재질점토(VHz)	5m이하	1:1.8-1:2.0	

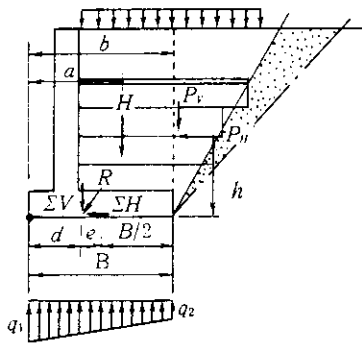


그림 26. 벽구조의 안정계산방법

용위치(편심거리e)에 착안하여 실시한다. 선단에서 합력의 작용점까지의 거리d는 다음식으로 표시된다.

$$d = \frac{(\sum M_r - \sum M_0)}{\sum V} = \frac{(W \cdot a + P_v \cdot b + P_h \cdot h)}{(W + P_v)} \quad (13)$$

$\sum M_r$: 선단에서의 저항모멘트

$\sum M_0$: 선단에서의 전도모멘트

a : 선단으로부터의 W의 중심까지의 수평거리

b : 선단으로부터의 P_v 의 작용점까지의 수평거리

h : 저판으로부터의 P_h 의 작용점까지의 연직거리

합력 R의 작용점의 저판중앙으로부터의 편

심거리 e는 다음 식으로 표시된다.

$$e = B/2 - d$$

전도에 대한 안정조건은 합력 R의 작용위치가 저판폭 B의 중앙 1/3에 있다. 즉, 편심거리 e는 아래의 조건을 만족시키지 않으면 안된다.

$$|e| = B/6$$

또, 전도에 대한 안정평가의 방법으로선단에서의 모멘트에 착안하여 다음식으로도 평가 가능하다. 이러한 검토방법은 설계대상으로 하고 있는 구조물 및 적용분야에서 변화하는 경우가 많다.

$$F_s = \frac{\sum M_r}{\sum M_0} \geq 1.5 \quad (14)$$

(3) 기초지반의 지지력에 대한 안정 지반반력은 다음 식으로 구할 수 있다.

[합력의 작용위치가 저판의 중앙 1/3내에 있는(대형(臺形)분포) 경우]

$$\begin{aligned} \left(\frac{q_1}{q_2}\right) &= \frac{\sum V}{B} \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{B}\right) \\ &= \frac{P_v + W}{B} \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{B}\right) \end{aligned} \quad (15)$$

[합력의 작용위치가 저판의 중앙1/3외에 있는(3각형분포) 경우]

$$q_1 = \frac{2(P_v + W)}{3d} \quad (16)$$

상기식에서 q_1, q_2 는 이하의 관계를 만족시킬 필요가 있다.

$$\left(\frac{q_1}{q_2}\right) \leq q_a = \frac{q_u}{F_s} \quad (17)$$

q_a : 지반의 허용지지력

q_u : 지반의 극한지지력

F_s : 지지력에 대한 안전율(통상 3.0)

4) 지진시의 안정

지진시 벽구조체의 안정검토를 실시할 경우에는 지전관성력 및 배면토압이 작용하고 있는 경우 이것을 지진시 토압으로 바꾸어 전술한 1)~3)의 방법에 준해서 실시한다.

또, 지진시 안정계산의 안전율은 다음 값을 이용한다.

- 활동에 대한 안전율 : $F_s \geq 1.2$
- 전도에 대한 안정 : $|e| \leq B/3$
- 지지력에 대한 안전율 : $F_s \geq 2.0$

3) 전체안정계산방법

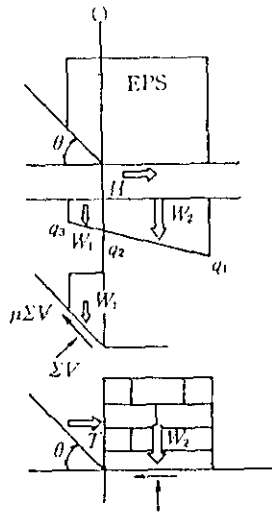


그림 27. 경사지반에 작용하는 EPS의 활동안정

EPS 및 각종 벽체를 포함하여 전체에 대한 안정검토는 원효과과피법에 의해 행하는 것으로 한다.

기초지반의 안정이 확인되었을 경우 EPS축조형상의 안정성에 관해서는 앞에서 언급한 구체체로서의 안정계산방법을 따를 수 있지만, 특별한 경사지반에 EPS를 쌓는 경우의 활동에

대한 안정계산의 고려방안은 아래에 표시한 방법을 참고한다.

그림-27에 있어서 앞의 2), 3)에 나타난 방법에서 지반반력 q_1 , q_3 및 q_2 를 구하여 이것으로부터 W_1 , W_2 를 계산한다. 먼저 사면부의 안정을 고려하여 안정하지 않을 경우의 활동력 T가 평면부의 EPS에 수평하중으로서 작용한다. 평면부에서의 조합조건로부터 EPS축조형상 전체의 활동안정율 F_s 를 다음식으로 구한다.

$$T = \frac{\tan\theta - \mu}{(1 + \mu \tan\theta)} \cdot W_1 \quad (19)$$

$$F_s =$$

$$\frac{\mu \cdot W_2 + \left(\sin\theta - \frac{\tan\theta - \mu}{(1 + \mu \tan\theta)} \cdot \cos\theta\right) \cdot W_1 \cdot \cos\theta}{H + \left(\cos\theta + \frac{\tan\theta - \mu}{(1 + \mu \tan\theta)} \cdot \sin\theta\right) \cdot W_1 \cdot \sin\theta}$$

$$= \frac{\mu \cdot W_2 + \frac{\mu}{(1 + \mu \tan\theta)} \cdot W_1}{H + \frac{\tan\theta}{(1 + \mu \tan\theta)} \cdot W_1} \quad (20)$$

4. 결 론

종래의 각종 지반대책법과는 달리 EPS성토공법은 지반의 침하 및 변형을 일으키는 근원을 제거하여 지반의 안정을 꾀하는 경량성토공법의 하나이다.

- 1) EPS는 초량경성, 자립성, 내수성, 내압축성 및 경제성의 특징이 있다.
- 2) 의 성토재로 적용할 경우, 지반의 침하 및 측방유동에 대한 활동이 억제되어 기존 Sand drain이나 약액주입공법등의 연약지반개량 대책공법이 필요치 않다. 요하지 않으며, 인력으로도 시공이 가능하다.
- 3) 연약지반상의 교대가 밀린 곳이나 밀릴 가능성이 큰 곳에 EPS를 적용함으로써 수평토압과 측방유동을 줄일 수 있으며 또한 옹벽과 같은 구조물에서도 적용할 수 있다.

- 4) EPS는 물과 결합하지 않는 발수성재료로 각종 지하수위조건하에서 흡수성을 시간의 변화에 따라 측정한 결과 흡수량이 극히 적어 물의 영향이 거의 없다.
- 5) EPS블럭을 쌓는다는 대형건설기계가 필요하지 않으며 인력으로도 시공이 가능하다.
- 6) 연약지반상의 성토공사에는 지반개량이 불필요하며, 완성후에 계속되는 침하도 경감시킬 수 있기 때문에 보수등의 유지관리비가 적게 들어 경제적이다.

참 고 문 헌

1. EPS토목공법개발기구, EPS工法, 平成 5年 (1993).
2. 한양대학교 부설 산업과학연구소, 도로성토재료로서의 EPS활용에 관한 연구, 1993.
3. Tadamitsu Iwasaki 道路擴幅のたぬのEPS工法による토류벽의施工例土木技術 45권 2號 pp125-132.
4. 金井道夫, “急傾斜面のEPS成土工法, 土と基礎, 39-8(403) pp 11-16.
5. Hiroaki Taniguchi, 國道 1號 沼津 バイパスのEPS工法, 土木技術 43卷 10號 pp 64-71, 1991
6. 조삼덕, “인공경량재료를 이용한 성토공법”, 건설기술정보, 1990. 6월, pp 21-27, 1990.
7. 장용채, 한국의 EPS성토공법 시공사례 연구, 한국지반공학회, 발포폴리스티렌(EPS)이용 성토공법 국제심포지움, pp81-103, 1994
8. (주) 미원유화, EPS공법(발포폴리스티렌(EPS)을 이용한 초경량성토공법), 1993.