

## 토목섬유를 이용한 매설암거의 토압저감효과 연구

### Load Reduction on Buried Pipes and Culverts using Geosynthetics

김진만<sup>1)</sup>, Jin-Man Kim, 조삼덕<sup>2)</sup>, Sam-Deok Cho, 최봉혁<sup>3)</sup>, Bong-Hyuck Choi,  
오세용<sup>3)</sup>, Se-Yong Oh, 안주환<sup>3)</sup>, Ju-Hwan Ahn

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원, Senior Researcher, Civil Eng. Div., KICT

<sup>2)</sup> 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow, Civil Eng. Div., KICT

<sup>3)</sup> 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Civil Eng. Div., KICT

**SYNOPSIS** : The last 30 years have been significant worldwide growth in the use of EPS as a lightweight fill material. A new construction method was introduced, which reduces earth pressure acting on culvert and conduit by placing a thin layer of EPS. This paper analyzes the compressible inclusion function of EPS and geogrid which can results in reduction of earth pressure by arching that is the behaviour of soil-structure system involving redistribution of soil stress around the structure. Field test was conducted to evaluate the reduction of vertical earth pressure using EPS and geogrid inclusion. Based on field test it is found that the magnitude of reduced vertical earth pressure was about 24~50% compared to conventional method.

**Key words** : EPS, geogrid, Compressible Inclusion, Culvert, Reduction of Earth Pressure

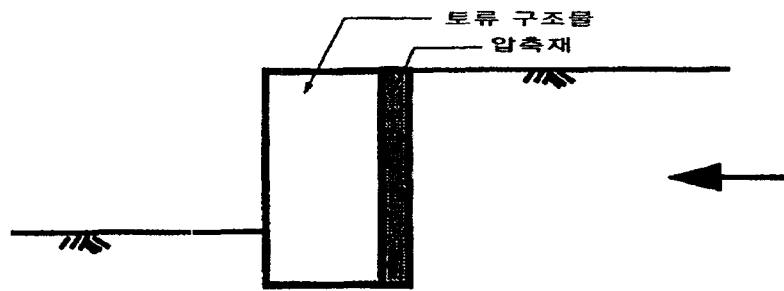
## 1. 서론

최근 국내 건설은 국가적 차원의 장기 건설계획과 맞물려 서남해안을 중심으로 대규모 산업단지 조성, 항만, 신공항 조성 등 해안지역의 개발과 고속도로 조성의 친환경적 특성상 10m 이상의 고성토 매설 관거 및 암거의 설치가 증대되고 있으나, 그러나 국내 매설암거의 설계 및 시공은 획일적이고 일률적으로 정립되어 있어 현장의 복잡한 시공조건을 반영하기에 무리가 따른다.

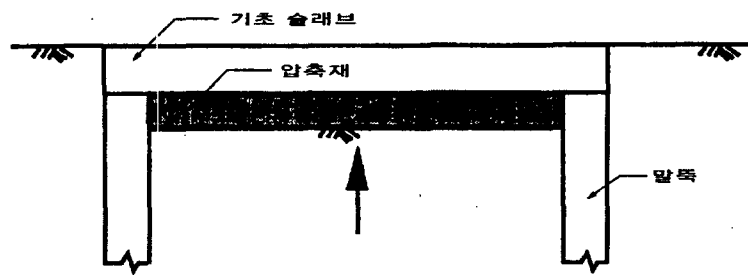
한편, EPS 성토공법은 노르웨이를 중심으로 한 북유럽 국가들과 북미, 일본 등지에서 활발하게 사용되고 있는데, 국내에서도 1993년에 교대 뒷채움재로 EPS를 최초로 사용한 이래 1996년 말까지 23만 m<sup>3</sup> 이상의 물량을 사용하는 등 급속한 발전을 하고 있다. 현재까지 적용되고 있는 EPS 성토공법의 주요 적용분야는 성토분야, 구조물 뒷채움 분야, 기초분야, 구조물 보호분야, 구조물 채움분야, 구조물 확장분야, 가설 및 복구분야 등이다. 최근들어 EPS 성토공법의 연구동향은 EPS 블록의 압축특성과 균질한 재료특성을 이용하여 구조물 배면의 수직 및 수평 하중을 저감하는 분야에 대한 연구가 국내외에서 활발히 추진되고 있다. 그림 1에서는 압축재로서 EPS 블록의 지반공학적 활용 형태를 보여준다(Horvath, 1991).

지금까지의 연구결과에 의하면, 압축재로서 EPS 블록을 포설한 구조물은 구조물 주변에 아칭효과가 발생하여 실제 작용토압이 크게 감소되고, 성토 높이가 증가할수록 그 효과가 증가하는 것으로 나타났다. 또한, Yuichi(1996)는 매설암거 대한 자신의 연구결과에서 암거 상단에 부분적으로 압축재가 포설된 경우에 있어서도 이러한 토압특성이 발생한다고 하였다. 본 논문에서는 시험시공을 통한 파형강관 및

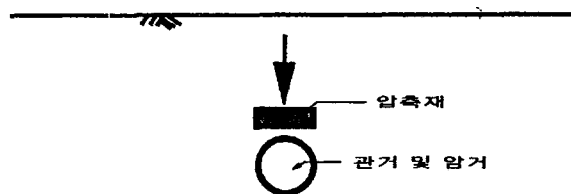
박스형 암거의 침하특성, 토압특성, 변형률 특성 등에 대한 평가를 수행하여 매설암거의 토압저감효과를 평가하고자 하였다.



(a) 옹벽 배면에 적용하는 경우



(b) 기초 슬래브 하부에 적용하는 경우



(c) 파이프 상부에 적용하는 경우

그림 1 압축재로서 EPS 블록의 지반공학적 활용 형태 (Horvath, 1991)

## 2. EPS 압축재를 이용한 매설암거의 하중저감 원리

박스형 콘크리트 암거의 설계는  $\alpha$  라는 연직토압계수를 사용하여 여분의 연직토압을 고려한다. 연직토압계수,  $\alpha$  는 암거 상단의 토피두께(H)와 암거폭(B)의 비(H/B)와 관련되어 표1과 같다 (도로설계요령, 1992). 그러나 일본 북해도 개발국(Hokkaido Development Bureau, 1991)은 연직토압계수,  $\alpha$  의 최대치를 한국도로공사의 1.6과는 달리 2.0으로 상정하고 있다. 즉 이러한 연직토압계수의 값은 암거상단 수직토압이 토피하중의 2배에 달할 수도 있다는 것을 의미하며 또한, 일본의 계측자료에 의하면 연직토압계수는 그림 2에서 보듯이 확대 및 말뚝 기초에서 지역에 따라 2이상인 곳이 많은 것으로 나타났다(Tanaka, 1988). 이러한 매설암거의 수직토압 특성은 앞서 언급했듯이 매설관거와 마찬가지로 시공방법 및 원지반 조건에 따라 유발되는 상대적 변위에 의해 토체 및 암거 주변의 토압분포가 변하는 것에 기인한다.

표 1 H/B에 따른 연직토압계수,  $\alpha$ 의 값 (도로설계요령, 1992)

H/B	H/B < 1	1 ≤ H/B < 2	2 ≤ H/B < 3	3 ≤ H/B < 4	4 ≤ H/B
$\alpha$	1.0	1.2	1.35	1.5	1.6

그림 3에서는 EPS 무포설 및 포설 단면의 토체 자중, 내부 및 외부토체의 상대적 변위에 의한 유발 전단응력으로 인한 암거 상단의 수직토압분포 메카니즘을 보여준다. 그림 3에서 보듯이 무포설 단면 암거 상단의 수직토압은 암거 상단부의 토체자중과 내부 및 외부토체 사이의 양측면에서 발휘되는 하향의 전단응력을 더한 것과 같다. 반면에 EPS 포설단면은 적절한 압축재(EPS블럭)를 사용하여 압축재의 압축에 의한 주변 토체의 상대적 변위가 발생되지 않도록 유도함으로써 2F 만큼의 수직하중을 저감하는 경우를 보여준다. 이때 암거 상단의 수직토압은 압축재의 영향으로 일반적인 암거의 경우와는 달리 토체의 양측면에 상향의 전단응력이 발생하지 않는다. 이러한 압축재 효과는 암거상단 수직토압이 암거상단부 토체의 자중과 같아지도록 유도한다.

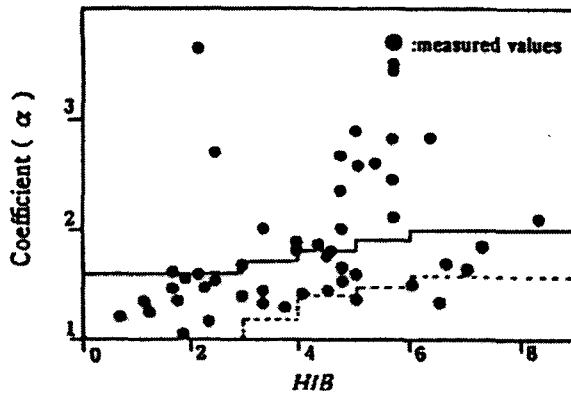


그림 2 확대 및 말뚝 기초에서의  $\alpha$ 와 H/B의 관계 곡선 (Tanaka, 1988)

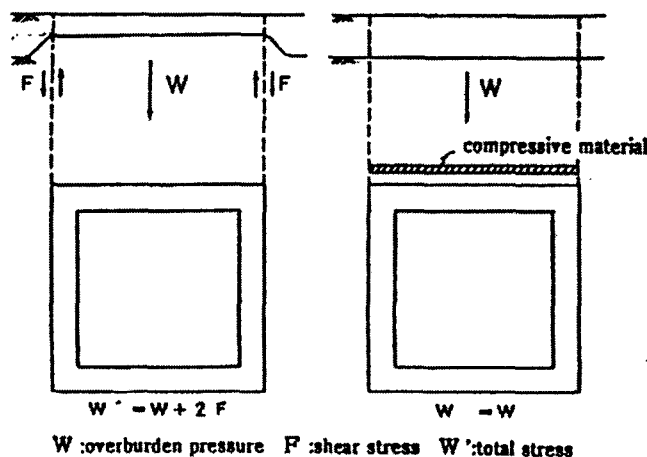


그림 3 EPS 무포설 및 포설 단면의 암거상단부에 작용하는 하중

### 3. EPS 압축재를 이용한 콘크리트 옹벽의 시험시공 및 평가

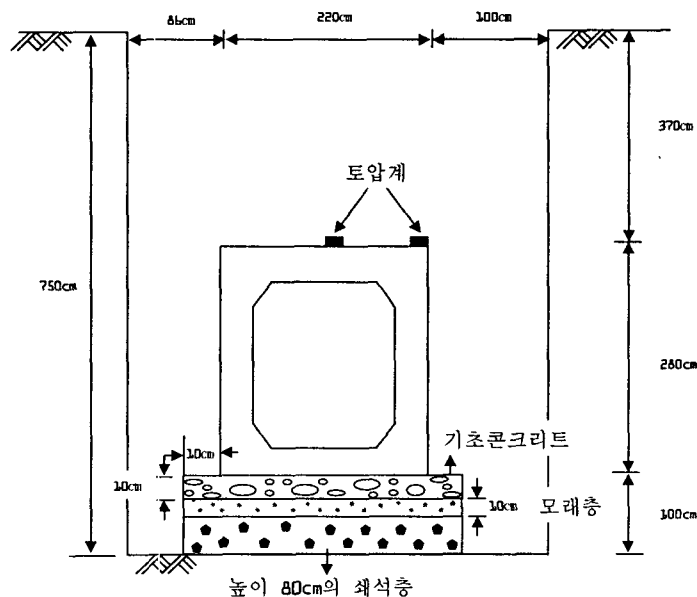
#### 3.1 현장 시험시공 개요

본 연구대상 현장은 한국토지공사에서 수행하고 있는 ○○국가공단 개발 사업에 의해서 해안매립을 통하여 조성한 공단내의 전기 및 통신선로용 매설암거 공사현장으로, 기초지반은 매립 성토층이 3.0m~4.0m 정도가 원지반 점토층위에 매립되어 약 2년 정도가 경과되어 압밀이 거의 종료된 상태이다. 따라서 설계상으로는 현 매설암거가 설치되더라도 추가의 하중증가가 없어 장기간에 걸친 압밀침하에 의한 훼손이 없다는 것으로 되어 있다.

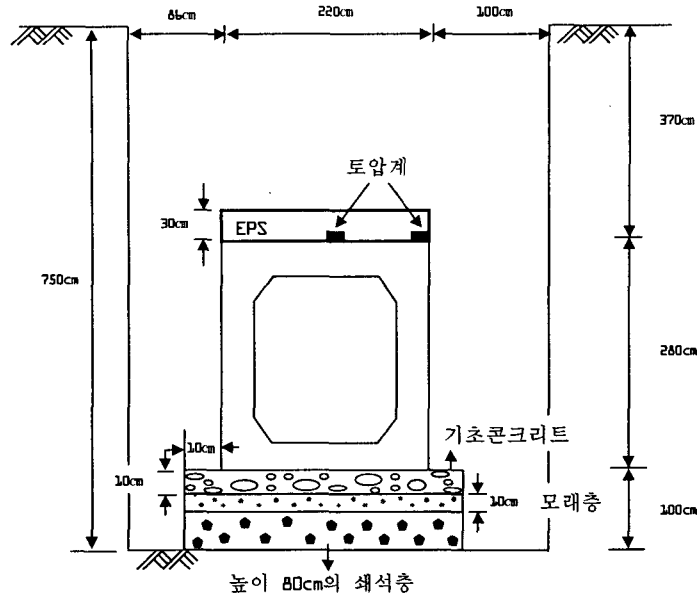
한편, 그림 4에서는 본 현장에서 수행된 EPS 블럭을 이용한 수직토압 경감효과를 위한 시험시공 단면도를 보여준다. 그림 4에서 보듯이 시험대상구간은 EPS 블럭을 이용한 수직토압 경감효과를 평가하기 위해 EPS 성토층, EPS+지오그리드 포설층, 흙 성토층 등으로 구분하여 시공되었다.

앞서도 언급되었듯이 EPS 블럭을 이용한 매설암거의 하중경감공법은 EPS 블럭을 압축재로 이용하여 토체내에 인위적인 변위를 유발시켜 주변 흙의 아칭효과를 극대화시킴으로써 암거상단의 수직토압을 저감시키는 방법이다. 따라서 EPS 성토층 단면은 EPS 블럭만에 의해서 야기된 수직하중 저감효과를, EPS+지오그리드 포설층은 EPS 블럭의 효과 외에 지오그리드 인발저항에 따른 추가적인 아칭효과 유발에 따른 수직하중 저감효과를 평가하기 위한 것이다. 일반적으로 연약지반상 매설암거의 시공은 먼저 대상지반에 연약지반처리를 통한 압밀을 진행한 후 개량된 매립층을 굴착하여 암거를 시공하고 다시 되메우는 순서로 진행된다. 이때 본 현장에서는 매설암거의 기초지반의 지지력 보강을 위해 쇄석을 다짐한 후 연약지반으로 쇄석 관입에 따른 침하방지를 위해 부직포를 포설하였다. 또한, 암거 상단 및 측벽부의 되메우기는 암거상단의 1.2m까지 모래로 포설하고, 그 이후부터 화강풍화토로 포설하는 방식으로 수행되었다(그림 4 참조). 한편, 널말뚝은 수행 암거지역의 암거시공이 완료된 후 다시 회수되어 다음 공정구간으로 진행되도록 되어있다. 이때 널말뚝을 따라 연약한 원지반 흙이 상당한 회수되는 광경을 볼수 있는데 이러한 원지반의 교란 및 시료 손실은 전체적인 암거침하에 상당한 영향을 미치는 것으로 예상된다.

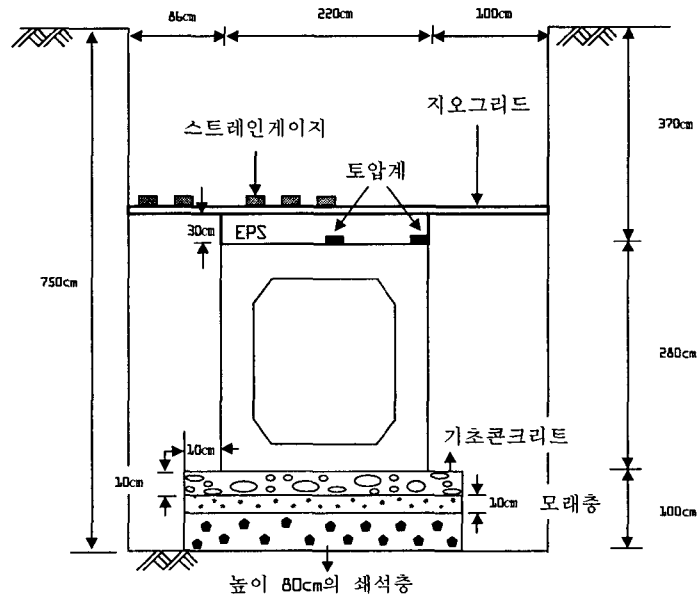
또한, 흙 성토단면은 EPS 성토층 및 EPS+지오그리드 단면에 대한 수직하중의 상대적 비교를 하기 위해 선정되었다. 이때 EPS 블럭의 시공은 D-15와 D-20 2종류를 사용하여 각각 15cm씩 포설하는 방법으로 하였고 지오그리드는 독일산 라우그리드 10t 짜리를 사용하였다.



(a) 흙 성토층



(b) EPS 성토층



(c) EPS+지오그리드 포설층

그림 4 시험시공 현장의 EPS 및 계측기 매설단면도

### 3.2 현장계측 결과 분석 및 평가

#### 3.2.1 수직토압 저감효과

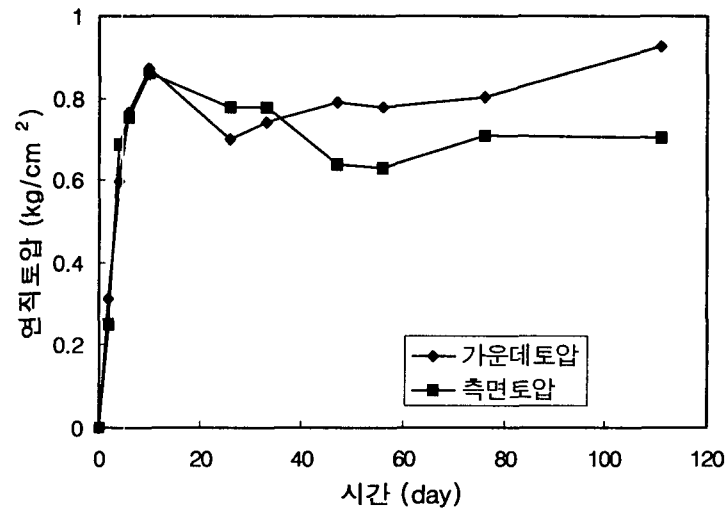
그림 5에서는 시공구간별 매설암거의 수직토압 계측결과를 보여준다. 그림 5에서 보듯이 각 계측단면의 수직토압은 계측단면 형태에 상관없이 성토 시공중인 계측 초기에 급격히 증가하다가 시공완료 후 일정해지는 경향을 나타낸다. 계측결과, 각 단면별 수직토압은 시공이 완료된 시점에서 EPS 구간의 경우  $0.82\text{kg/cm}^2$ , EPS+지오그리드 구간의 경우  $0.51\text{kg/cm}^2$ , 흙성토 구간의 경우  $1.11\text{kg/cm}^2$  등인 것으로

평가되었다. 이러한 수직토압 감소는 상대적으로 흙성토 구간에 비해 EPS 성토층의 경우 24%, EPS+지오그리드 구간의 경우 50% 정도인 것으로 평가되었다.

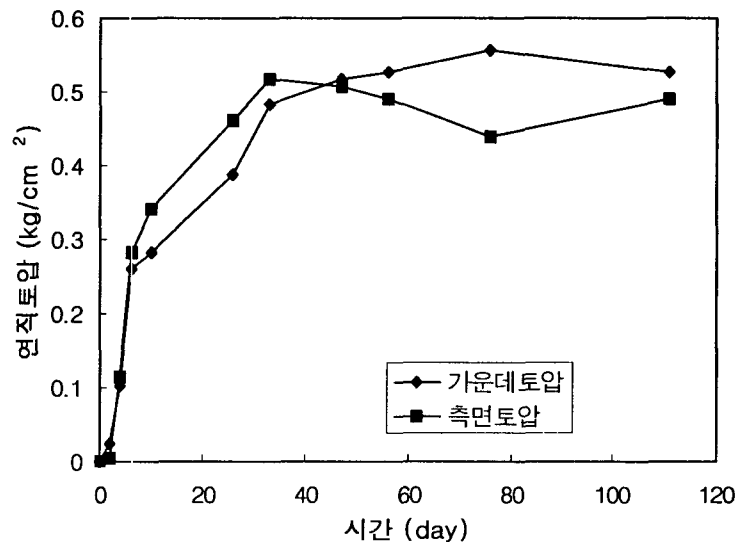
본 현장의 설계하중(W)은 2장에서 언급된 관계식을 이용하여 연직토압계수(H/B<sub>0</sub>)의 비를 1.2, 흙의 단위중량 1.8t/m<sup>3</sup>로 보고 계산하면 0.80kg/cm<sup>2</sup> 정도 이다. 이러한 설계하중은 계측된 EPS 구간의 0.82kg/cm<sup>2</sup>, EPS+지오그리드 구간의 0.51kg/cm<sup>2</sup>, 흙성토 구간의 1.11kg/cm<sup>2</sup> 등의 수직토압에 비해 EPS 블럭 구간 및 EPS블럭+지오그리드 구간의 경우 설계하중과 거의 유사하거나 작게 나타나고, 흙 성토 구간의 경우 설계하중 보다 큰 것으로 계측되었다. 이러한 수직토압 감소효과는 앞서 이론부분에서도 간략히 언급되었듯이 연약지반상 매설암거 주변의 상대적 변위차에 의한 주변 흙의 아칭효과에 기인한다.

### 3.2.2 지오그리드 포설효과

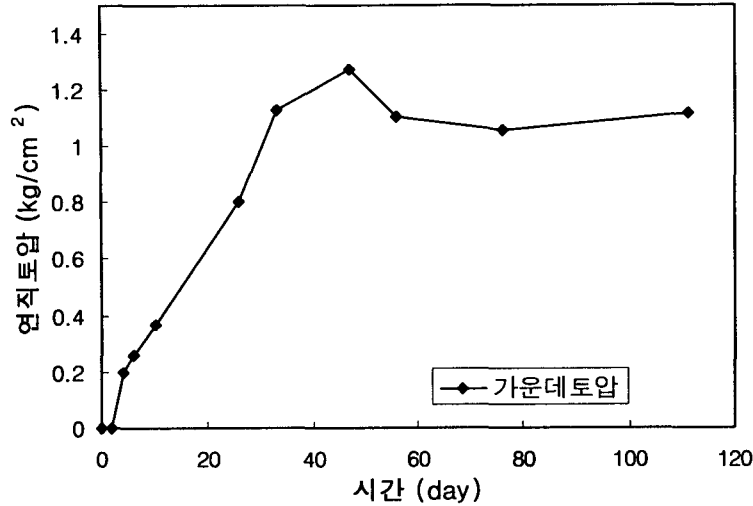
그림 6에서는 EPS+지오그리드 구간의 하중저감 원리를 보여준다. 그림 6에서 보듯이 EPS+지오그리드 구간의 하중저감은 EPS의 압축에 의해서 내부 토체내에 상대적 변위가 유발되고, 유발된 토체내 상대적 변위가 다시 지오그리드에 인장력을 유발시켜 아칭효과가 유발되는 토체 범위를 확대시킴으로써 수직하중 저감을 극대화시키는 메카니즘에 의해서 발생된다.



(a) EPS 구간



(b) EPS+지오그리드 구간



(c) 흙 성토 구간

그림 5 계측 구간별 토압측정 결과

이때 지오그리드에 유발되는 인발력은 연약지반상 지오그리드로 보강된 성토체에 유발되는 수직방향 저항력(  $P_p$  )을 구하는 방법과 같이 식(1)에 의해서 계산된다. 또한, 식(1)에서 보듯이 보강재에 의한 수직방향 저항력은 지오그리드 포설면과 수평방향의 이루는 각에 의해서 결정된다. 이때 흙/ 지오그리드의 마찰효율은 표 2와 같다.

$$P_p = 2L_r W_r \sigma_v f_b \tan \phi \quad (1)$$

여기서,  $f_b$  : 인발저항계수 (  $0 < f_b < 1$  )

$\sigma_v$  : 보강재 표면에 작용하는 유효수직응력,  $t/m^2$

$L_r, W_r$  : 인발저항을 제공하는 그리드의 길이와 폭

$\phi$  : 흙의 내부마찰각

지오그리드 인장력에 대한 수직분력은 식(2)와 같다.

$$f_g = P_p \cdot \sin \theta \quad (2)$$

여기서,  $f_g$  : 지오그리드 인장력의 수직분력

$P_p$  : 지오그리드 인장력

$\theta$  : 암거 상단부 침하면과 측면부 토체의 침하면 사이의 경사각 (  $\theta = \text{침하량/길이}$  )

한편, 흙/보강재의 마찰에 의해 유발된 보강재의 인장력 평가를 위해 지오그리드에 스트레인 게이지를 부착한 후 계측된 변형결과를 토대로, 지오그리드의 광폭 인장강도시험에서의 각 변형률에 대한 인장력을 고려한 항선탄성계수(RAUGRID 10/3-20 : 1154kN/m)를 산정하여 보강재에 유발된 인장력을 평가하였다.

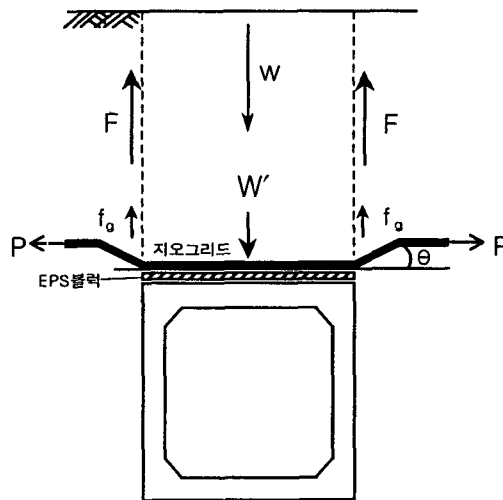
그림 7에서는 스트레인게이지를 이용한 매설암거 상단에 포설된 지오그리드의 인장력 분포특성을 보여 준다. 그림 7에서 보듯이 지오그리드에 유발되는 인장력의 분포 및 크기는 분포형태의 경우 암거상단에 약간 크고 측면부쪽에서 작은 형태를 보이며, 그 크기의 경우 대략 0.22 t/m~0.44 t/m인 것으로 나타났다.

그러나 위에서 언급된 EPS+지오그리드 구간의 탁월한 하중저감 효과는 위에서 언급된 지오그리드 보

강재 유발 인장력의 수직방향성분만으로 설명하기에는 부족한 점이 없지 않아 있으며, 향후 이 부문에 대한 분석은 더 심화된 연구를 통하여 평가되어야 할 것으로 사료된다.

표 2 성토재 종류에 따른 RAUGRID의 마찰효율 값

성토재 종류	C <sub>i</sub> 값
모래질 자갈	0.89
실트질 모래	0.93
모래	1.00
점토, 실트	0.94



$$W' = w - 2 f_g - 2F$$

W' : 암거상단부에 작용하는 전응력    W : 암거상단부 토체의 자중  
 f<sub>g</sub> : 지오그리드 인장력의 수직분력

그림 6 EPS블럭+지오그리드 포설 암거상단부의 작용 하중

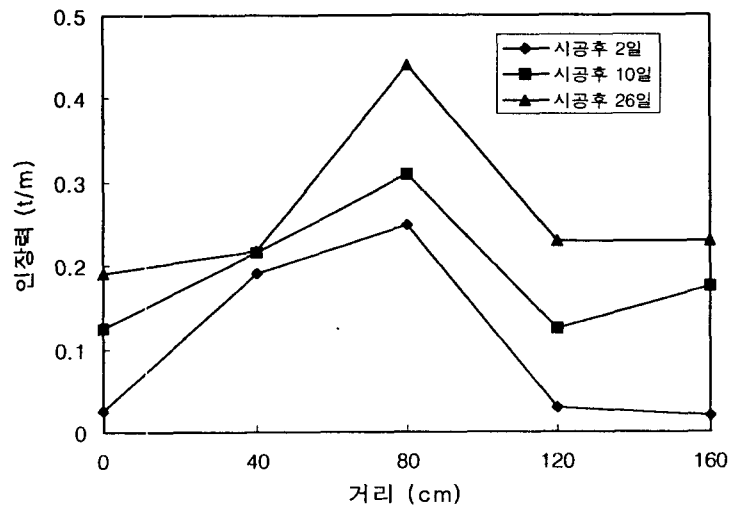


그림 7 암거 상단에 포설된 지오그리드의 인장력



## 4. 결 론

본 논문에서는 국내 EPS 성토공법의 기술정착화를 위해 각 적용사례에 대한 설계·시공방법을 종합적으로 분석하여 현장 적용성을 평가하고, 향후 폭넓은 사용이 기대되는 연약지반 및 고성토 매설암거의 하중저감용으로서 EPS 성토공법에 대한 현장 시험시공을 수행하여 그 기술적 타당성을 검토하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. EPS 매설암거의 계측결과, 각 계측단면의 수직토압은 계측단면 형태에 상관없이 성토 시공중인 계측 초기에 급격히 증가하다가 시공완료 후 일정해지는 경향을 나타냈으며, 시공이 완료된 시점에서 EPS 구간의 경우  $0.82\text{kg/cm}^2$ , EPS+지오그리드 구간의 경우  $0.51\text{kg/cm}^2$ , 흙성토 구간의 경우  $1.11\text{kg/cm}^2$  등으로 나타나, EPS 매설암거에 의한 하중저감효과는 상대적으로 흙성토 구간에 비해 EPS 구간의 경우 24%, EPS+지오그리드 구간의 경우 50% 정도인 것으로 평가되었다.
2. EPS+지오그리드 포설단면에서 하중저감에 이용된 지오그리드에 유발되는 인장력의 분포 및 크기는 분포형태의 경우 암거상단에 약간 크고 측벽부쪽에서 작은 형태를 보이며, 그 크기의 경우 대략  $0.22\text{ t/m} \sim 0.44\text{ t/m}$ 인 것으로 나타나, 지오그리드 보강재 유발 인장력의 수직방향성분만으로 설명하기에는 부족한 점이 없지 않아 있으며, 향후 이 부문에 대한 분석은 더 심화된 연구를 통하여 평가되어야 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. J. S. Horvath(1996), "The Compressible-Inclusion Function of EPS Geofoam : An Overview", Int. Symp. on EPS Construction Method, 1996, pp. 72~81
2. 한국도로공사, 도로설계요령 제2권 토공 및 배수, pp. 386, 1992
3. Hokkaido Development Bureau, "Guidelines for Design and Execution of load construction", 1991.
4. Tanaka et al., "Evaluation of Vertical Earth Pressure Acting on Culverts", Civil Engineering Research Institute, Hokkaido Development Bureau, Monthly Report No. 402, 1988.