

EPS의 압축성을 이용한 콘크리트 옹벽 시스템 연구

Retaining Wall System Using the Compressible Inclusion Function of EPS

김진만¹⁾, Jin-Man Kim, 김호비²⁾, Ho-Bi Kim, 조삼덕³⁾, Sam-Deok Cho,
주태성⁴⁾, Tae-Sung Joo 최봉혁⁵⁾, Bong-Hyuck Choi

¹⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원, Senior Researcher, Civil Eng. Div., KICT

²⁾ (주)한진중공업 건설기술연구소 연구원, Research Engineer

Construction Technology Research Institute, Hanjin Heavy Industry and Construction

³⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow, Civil Eng. Div., KICT

⁴⁾ (주)한진중공업 건설기술연구소 책임연구원, Senior Research Engineer

Construction Technology Research Institute, Hanjin Heavy Industry and Construction

⁵⁾ 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. This paper analyzes the compressible inclusion function of EPS which can results in reduction of static earth pressure by accomodating the movement of retained soil. A series of model tests was conducted to evaluate the reduction of static earth pressure using EPS inclusion and determine the optimum stiffness of EPS. Also, field test was conducted to evaluate the reduction of static earth pressure using EPS inclusion. Based on field test it is found that the magnitude of static earth pressure was reduced about 20% compared with theoretical active earth pressure.

Key words : EPS, Compressible Inclusion , Retaining Wall, Reduction of Earth Pressure

1. 서론

EPS 성토공법은 노르웨이를 중심으로 한 북유럽 국가들과 북미, 일본 등지에서 활발하게 사용되고 있는데, 국내에서도 1993년에 교대 뒷채움재로 EPS를 최초로 사용한 이래 1996년 말까지 23만 m³ 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.

일반적으로 강성 옹벽에 작용하는 토압은 국내의 경우 쿨롱과 랭킨이론에 따라 수행되고 있으나, 이러한 토압 산정에 영향을 미치는 요인들에 대한 다양한 연구가 많은 연구자들에 의해 수행되어져 왔다(김홍택, 1992). 지금까지의 연구결과들을 종합해 보면, 주동상태에 도달하기 위해 필요한 벽체 변위는 현장 및 실내 모형시험을 통하여 옹벽높이(H)의 0.05~0.5%H 정도인 것으로 평가하고 있으며, Ingold, Duncan & Seed, Peck & Mesri 등은 뒤채움 지반의 다짐에 의해 유발되는 토압 산정 식들을 제안하고 있고, 특히 Broms & Ingelson은 다짐에 의해 유발되는 잔류토압이 시공 중 벽체 변위가 발생될 경우

소멸된다고 보고하고 있다. 실제 시공된 옹벽은 벽체가 주동상태에 이르지 못할 정도의 미소 변위만 발생되어, 시공시 뒤채움 흙의 다짐 등의 영향으로 주동토압 이상의 토압이 작용한다.

한편, 국내·외에서는 EPS(Expanded PolyStyrene)성토공법을 이용한 적용분야가 점차 확장되고 있는 추세에 있으며, 그 대표적인 사례로 EPS 블록을 이용한 옹벽 배면의 수평토압 저감 분야를 들 수 있다. 이때 압축재로서 EPS 블록은 옹벽 배면의 토압을 인위적으로 사다리꼴이나 사각형 형태로 전환시킬 뿐만 아니라 시공시 다짐장비에 의한 진동의 EPS 흡진효과에 의한 균열방지 등 안정적인 옹벽 설계를 유도한다. 이중 특히 Horvath(1996)는 그림 1과 같이 옹벽 배면에 EPS 블록이나 지오그리드가 포설될 경우 배면에 작용하는 수평토압에 의한 EPS 블록의 압축으로 옹벽배면에 토압을 저감시킬 수 있다고 하였다. 특히, EPS 블록이 옹벽 배면에 설치된 옹벽은 변위유발에 의한 토압 감소, 다짐유발응력 감소, 상재하중에 의한 토압 감소, 지진하중에 의한 토압 감소 등의 효과가 있는 것으로 평가되고 있다.

2. 실내 모형토조시험

2.1 시험 재료 및 장비

(1) 흙시료

본 연구에 사용한 흙시료는 우리나라의 주문진 지역에서 채취되는 비중 2.63, 내부마찰각 35°인 주문진 규사를 이용하였으며, 모형토조실험은 자연함수비 2.0~3.0%, 건조단위중량 1.48 t/m³ 정도로 수행되었다.

(2) EPS 블록 시료

본 연구에 사용된 EPS 블록 시료는 밀도가 D-10(10 kg/m³), D-14(14 kg/m³), D-20(20 kg/m³)으로서, 시험시 시료는 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cm의 두께를 이용하였다. 그림 2에서는 EPS 블록 시료의 단면 형상을 보여준다.

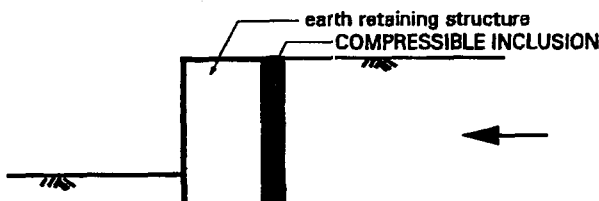


그림 1 옹벽 배면에 설치하는 경우

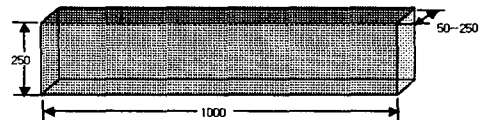
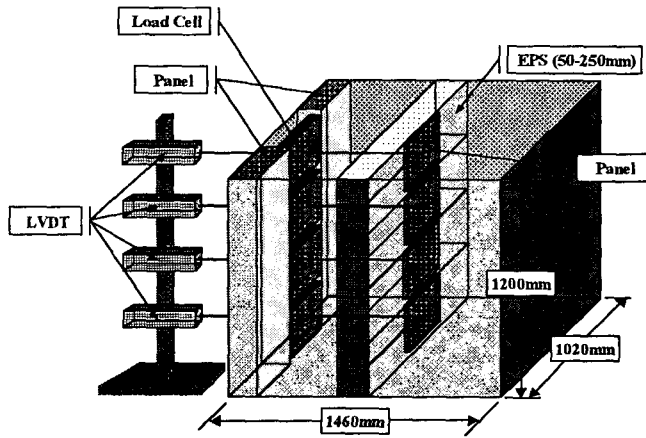


그림 2 EPS 블록의 규격(단위 mm)

(3) 모형토조시험 장비

모형토조실험에 사용된 기본장비는 모형토조, 칩하판, 토압계, LVDT 및 데이터로거 등을 들 수 있다. 특히 실험에 사용된 모형토조는 그림 3에서 보는 바와 같이 146cm×102cm×120cm 크기의 토조를 이용하였다. 이때 상재하중은 철재로 제작된 재하판을 유압을 이용하여 재하하였다. 또한, 그림 3에서 보듯이 사용된 계측기는 모형토조 전면에서 EPS 블록의 압축에 의한 수평토압의 저감효과 및 압축량을 측정하기 위한 로드셀 타입의 토압계와 LVDT 등이 있다.

모형토조시험은 EPS 블록의 측벽부 포설 효과를 평가 하기 위해 EPS 블록이 포설되지 않은 모래지반과 EPS 블록이 포설된 지반에 대해 EPS 블록의 포설 두께 및 밀도, 재하하중 등을 변화시켜 가며 수평토압 및 EPS 블록의 압축 변위량을 비교, 분석하는 방식으로 수행되었다.



(a) 모형토조시험 모습



(b) 모형토조시험 장치규격

그림 3 모형토조 시험모습 및 규격

2.2 실험종류 및 내용

실내 토형토조시험에서는 EPS 포설 두께 및 밀도, 재하하중 등을 변화시켜 가며 다양한 형태의 재하시험을 수행하여 EPS 블록 포설에 따른 수평토압 저감 효과, 최적의 EPS 포설단면 및 밀도를 선정하고자 하였다. 표 1에서는 EPS 블록 포설에 따른 수평토압 저감 효과를 평가하기 위해 수행한 평가 시험의 종류와 내용을 보여준다.

표 1 수행한 평가시험의 종류 및 내용

평가항목	변화인자	재하 하중 조건
EPS 블록의 밀도 효과	D-10, D-14, D-20	0.15, 0.50, 1.00, 1.50 kg/cm ²
EPS 블록의 두께 효과	5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cm	
EPS 블록 무포설 효과	모래 포설	

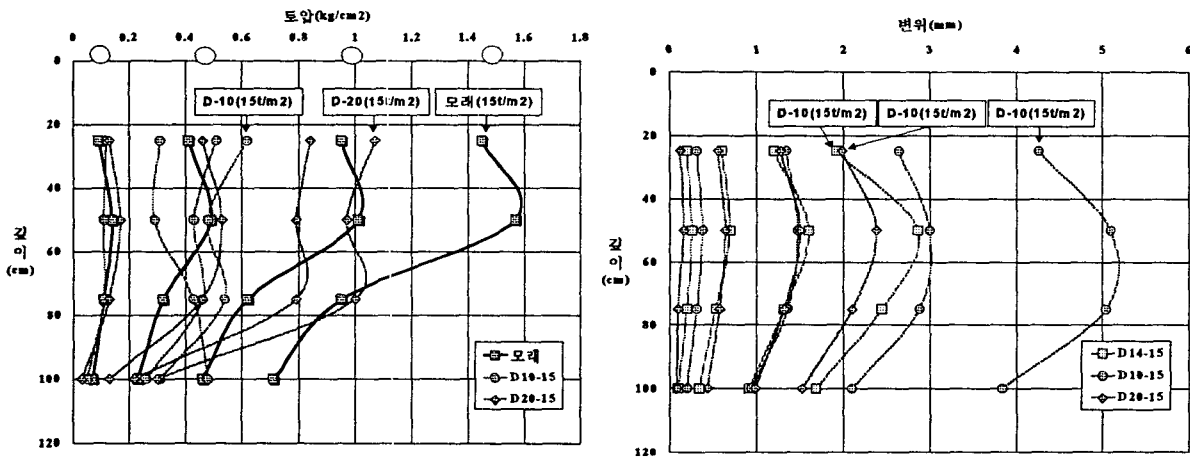
2.3 토조시험 결과 및 분석

(1) 재하하중 효과

그림 4에서는 모래 및 EPS블록 포설지반(밀도:D-10, 20 ; 두께 : 15cm)의 재하하중별 수평토압 및 압축 변위 곡선을 보여준다. 그림 4(a)에서 보듯이 재하하중별 수평토압 관계 곡선은 EPS 블록이 포설되지 않은 모래지반의 경우, 재하하중의 영향을 받아 초기에 깊이에 따라 다소 증가하다가 일정 깊이 이하로 내려갈수록 비선형적 감소 형태를 나타낸다. 그러한 수평토압 특성은 상재하중 클수록 더욱 뚜렷한 경향을 보인다. 일반적으로 재하하중에 의한 연직토압특성은 흙이 균질하고, 등방성이며, 반무한 탄성체일 경우 비선형적으로 깊이에 따라 감소하는 형태를 나타낸다. 이와는 달리 수평토압 특성은 초기에 깊이에 따라 다소 증가하다 일정 깊이 이하의 경우 비선형적 감소 형태를 나타낸다. 그 원인은 얕은기초의 지지력 특성에서 알 수 있듯이 기초(재하판) 직하에서 압축탄성존이 재하하중의 증가에 따라 형성되어 지반 압축에 따른 흙의 전단응력(수평토압)의 증가 특성에 기인한 것으로 사료된다.

한편, EPS블록 포설지반의 수평토압특성은 EPS 블록 포설의 영향에 기인하여 재하하중별 토압분포 특성 변화, 아칭효과, 사하중과 상재하중의 하중 중첩 효과 등에 의해 결정된다. 그림 4(a)에서 보듯이 재

하중중별 토압분포특성은 하중단계 0.15 kg/cm²의 경우 사각형 형태로 EPS 블록의 포설 효과가 나타나지 않는 반면에 상대적으로 재하하중이 큰 1.0 kg/cm² 및 1.5 kg/cm²의 경우 EPS 포설 효과에 의해 수평토압 저감이 크게 발휘되는 것으로 나타났다. 또한, 하중단계 0.5 kg/cm²에서는 재하하중 0.15 kg/cm²와 1.0 kg/cm²과 달리 수평토압저감 효과가 증가되고 있는 중간 위치적인 수평토압특성을 보였다. 이러한 경향은 그림 4(b)에서 보듯이 EPS 블록의 압축에 의한 배면토체의 변위와 수평토압 상호 연관적 특성에 의한 아칭효과에 기인한다. 그림 4에서 보듯이 수평토압특성은 모래지반의 경우 성토깊이 0.5m에서 가장 큰 형태를 보이며, 이러한 모래지반의 수평토압 분포특성은 EPS 블록의 압축 변위량을 크게 증가시켜 가장 큰 수평토압 저감효과를 유도한다. 즉 EPS 블록에 의한 수평토압 저감효과는 상재하중이 클수록 EPS 블록의 큰 압축량에 비례하여, 그에 따른 응력 재분배(아칭효과)가 유발된다. 한편, 그림 4(a)에서 보듯이 EPS 블록에 의한 수평토압 저감특성은 성토 깊이가 1.0m에서 급격히 소산되는 특성을 보인다. 그 원인으로는 재하판에 의한 발생된 응력구근이 토조하부로 전달되면서 토조 중간부위에서 발생된 아칭효과의 간섭 영향으로 급격히 소산됨으로써 발생된다. 또한, 하중단계 0.15 kg/cm² 단계의 수평토압은 사각형 분포를 나타내며, 그러한 경향은 자중에 의한 수평토압이 삼각형 분포이고, 상재하중에 의한 수평토압의 경우 역삼각형이므로 토체 하단에서 하중의 중첩의 원리에 의하여 사각형 분포 토압을 나타내는 것으로 판단된다.



(a) 수평토압 특성

(b) 압축변위 특성

그림 4 재하하중별 수평토압 및 압축변위 관계 곡선

(2) EPS 블록 밀도의 영향

EPS 블록에 의한 하중저감효과는 재하하중별 토압분포의 변화 형태, 아칭효과, 사하중과 상재하중의 하중중첩원리 등에 기인한다. 즉 EPS 블록의 수평토압 저감 효과는 상재하중에 의한 배면토체에 유발되는 수평토압에 의해 EPS 블록의 압축이 발생되어 토체내 인위적 변위가 유발되고, 이러한 변위로 인한 토체내 상대적 변위차가 아칭효과를 유발시킴으로써 나타난다.

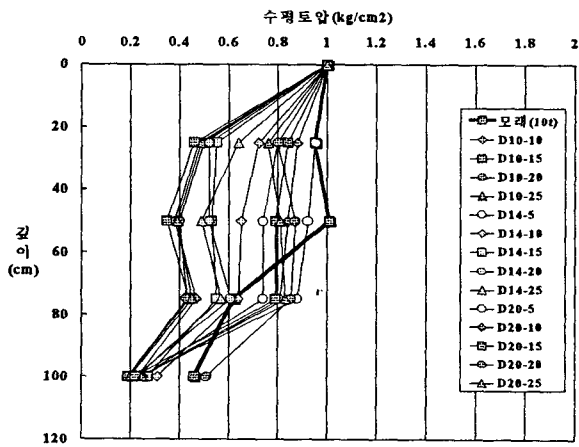
그림 5에서는 EPS 블록의 밀도 및 두께 변화에 따른 수평토압 및 압축변위량 관계곡선을 보여준다. 그림 5에서 보듯이 EPS 블록의 밀도 변화에 따른 수평토압 저감효과는 동일 하중조건하에서 EPS 블록의 강성도가 작을수록 수평토압이 작아지는 경향을 보인다. 표 2에서는 EPS 블록의 밀도 및 두께 변화에 따른 토압계수(K)를 보여준다. 표 2에서 보듯이 EPS 블록의 밀도에 따른 토압계수는 D-10의 경우 0.23~0.37, D-14의 경우 0.31~0.43, D-20의 경우 0.46~0.55 등으로, 밀도가 작을수록 토압계수가 작아져 저감효과가 큰 것으로 평가되었다. 이를 모래지반의 토압계수와 비교해 보면, 평균적으로 EPS 포설층의 수평토압저감 효과는 D-10의 경우 63%, D-14의 경우 52%, D-20의 경우 32% 등인 것으로 나타났다.

표 2 EPS 블록의 밀도 및 두께 변화에 따른 토압계수(K) 변화

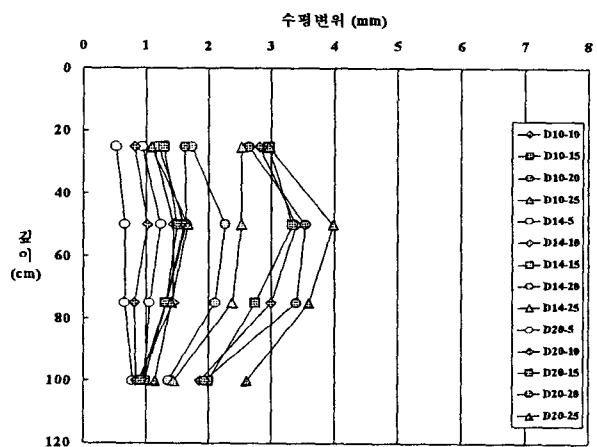
밀도 \ 두께	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	평균값
모래층	0.73					0.73
D-10	0.37	0.25	0.25	0.24	0.23	0.27
D-14	0.43	0.36	0.32	0.31	0.31	0.35
D-20	0.55	0.51	0.46	0.51	0.47	0.50

주) 본 시험결과는 토조깊이 0.5m, 상재하중 15t/m²인 경우이고, 시험 모래의 K_a는 0.27인.

또한, 그림 5(b), (d)에서 보듯이 밀도 변화에 따른 압축 변위량은 수평토압과 반대로 상재하중에 상관없이 EPS 블록의 밀도가 작아질수록 압축 변위량이 커지는 경향을 나타내었다. 이러한 EPS 블록의 밀도와 수평토압 및 압축 변위량 사이의 관계는 동일 하중조건하에서 EPS 블록의 강성도(밀도)가 작을수록 압축량이 커짐으로써 압축 변위량의 증가로 인하여 수평토압이 작아지는 경향에 기인한다.

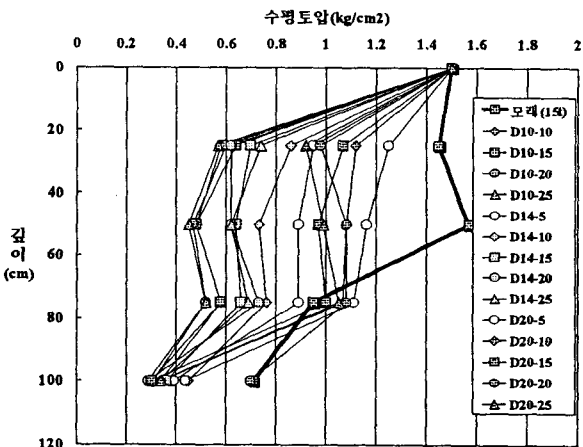


(a) 깊이에 따른 수평토압 곡선

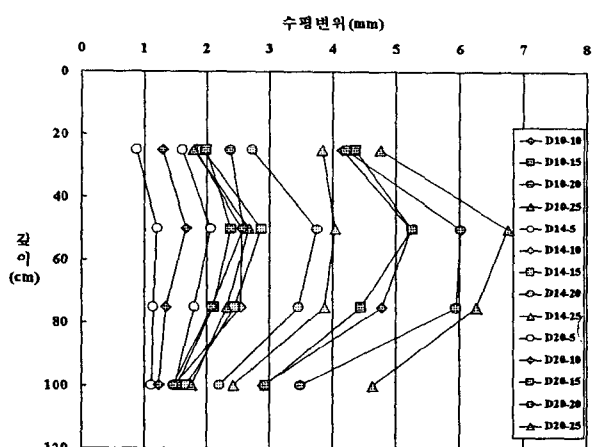


(b) 깊이에 따른 EPS 블록의 압축변위 곡선

(재하하중 1.0kg/cm²인 경우)



(c) 깊이에 따른 수평토압 곡선



(d) 깊이에 따른 EPS 블록의 압축변위 곡선

(재하하중 1.5kg/cm²인 경우)

그림 5 EPS 블록의 밀도 및 두께 변화에 따른 수평토압 및 압축변위량 관계곡선

(3) EPS 블록 두께의 영향

EPS 블록에 의한 수평토압 저감 효과는 그림 5(a) 및 (c)에서 보듯이 EPS 블록 두께 변화에 따라 D-10인 경우 변위차가 크에도 불구하고 수평토압이 일정하고, D-14 및 D-20의 경우 압축 변위량의 변화에 따라 수평토압이 변화되는 경향을 보여, EPS 블록의 압축변위량에 비례하다가 일정 변위 이후에 EPS 블록의 압축변위량에 무관한 경향을 보이는 것으로 평가되었다. 이러한 경향은 일반적인 변위-토압 특성과 마찬가지로 토체 배면의 아칭효과에 의한 토압저감 효과는 압축 변위량에 무한정 비례하여 발생하는 것이 아니라 어떤 임계 변위량 이상에서 일정해지는 특성에 근거한 것으로 사료된다. 따라서 D-10의 경우 수평토압 저감효과는 모든 두께의 EPS 블록이 임계 변위량을 넘어섬으로써 압축변위가 상이하여도 수평토압의 분포 및 크기가 유사하다. 반면에 D-14 및 D-20의 경우, 임계 변위량에 도달하지 못한 관계로 각 블록의 두께별로 압축 변위에 비례하여 수평토압이 저감되는 특성을 보였다.

한편, 그림 5(b) 및 (d)에서 보듯이 임계 변위량은 D-10의 EPS 블록을 포설하였을 때 재하하중 1.0kg/cm^2 에서 약 2.5~3.0mm이고, 재하하중 1.5kg/cm^2 에서 3.0~5.0mm으로, 벽체 높이에 각각 0.25%~0.30%H, 0.30%~0.50%H에 해당하는 것으로 평가되었다. 일반적으로 랭킨 및 쿨롱의 주동토압에 이르는 변위량은 앞서 언급되었듯이 0.05~0.5%H인 것으로 알려져 있다. 본 시험결과는 수평토압저감에 이르는 변위량이 0.25%~0.50%H로, 앞서 언급된 연구결과와 마찬가지로 작은 변위량하에서 발생된다는 것이 일치하고 있다. 그러나 EPS 블록을 이용한 수평토압 저감 효과는 연구결과에서 보듯이 랭킨 및 쿨롱토압과 달리 EPS 포설 단면에서 랭킨의 토압계수가 작아지는 효과 뿐만 아니라 분포형태 변화에 따른 토압저감 효과가 더 큰 장점이라고 할 수 있다.

3. EPS 압축재를 이용한 콘크리트 옹벽의 시험시공 및 평가

3.1 현장 시험시공 개요

본 장에서는 캔틸레버(역 T)형 콘크리트 옹벽의 직선부 1개소를 선정하여 토압계, 변형핀, 침하판 등의 각종 계측기를 매설하고, EPS 압축재 포설 단면 및 무설포 단면에 대한 시공 중 및 시공 후의 작용 수평토압의 크기 및 분포형태, EPS 블록의 압축 변위량 등의 역학적 거동특성을 비교·분석하고자 계획된 시험시공에 대한 개요를 설명한다.

본 연구의 대상 현장은 충청남도 태안~서산간 국도 32호선 도로확포장공사 현장”으로 도로 인터체인지(IC) 건설을 위한 옹벽 시공이 리핑암 지반 위에 계획되었다. 본 현장에 사용된 뒤채움흙은 국내 널리 분포되어 있는 화강풍화토를 사용하였다. 뒤채움 흙시료는 현장 자연함수비 13.4%, 비중 2.67, 최대건조 밀도 2.04 g/cm^3 , 최적함수비 8.5%, 통일분류법상 SW으로 나타난 화강풍화토로 판명되었다. 본 현장의 시험시공에 사용된 EPS 블록은 단위 중량 D-10, 두께 15cm 로 실내 모형토조시험 재료와 동일한 제품을 사용하였다.

압축용 EPS 블록을 이용한 콘크리트 옹벽의 현장계측 항목은 전면벽체에 작용하는 수평토압, 지중침하, EPS 블록의 압축 변위량 등이나, 이중 지중침하에 관한 계측 결과는 본 논문에 수록하지 않았다. 또한, 현장계측에 사용된 주요 장비는 토압계로서 용량 2kg/cm^2 인 스트레인게이지 타입의 수평토압계 및 로드셀 2종을 사용하였다. 그림 6에서는 매설된 계측기의 매설위치 및 형태를 보여준다.

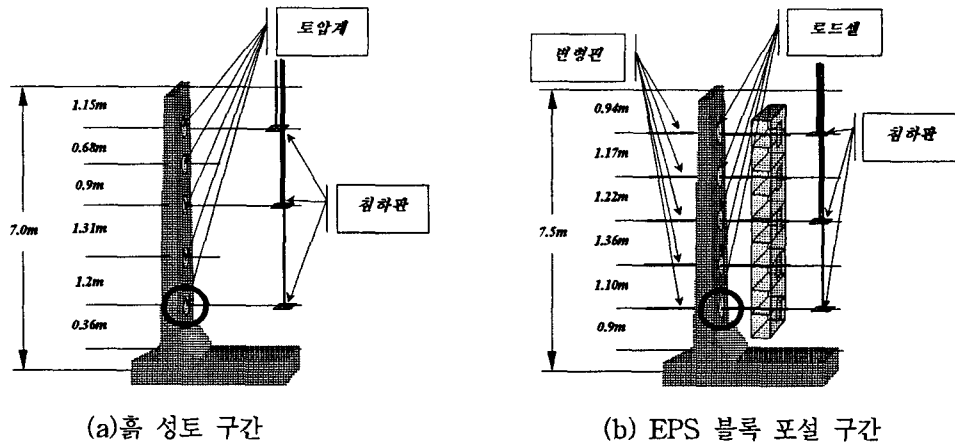


그림 6 계측기 매설도

3.2 현장계측 결과 분석 및 평가

(1) 수평토압

그림 7에서는 본 현장의 흙성토 구간 및 EPS 블록 포설 구간의 벽체높이에 따른 옹벽 배면의 수평토압 계측결과를 보여준다. 그림 7에서 보듯이 흙성토 옹벽의 수평토압은 삼각형 형태의 토압분포로, 시간경과에 따른 토압변화가 미미하며, 그 크기가 옹벽 상단부에서 랭킨의 주동토압과 유사하고 옹벽 하단부로 갈수록 정지토압 보다 더 큰 상태의 토압을 나타낸다. 이러한 계측결과는 김명모(2000)의 연구결과에서도 유사한 경향을 나타내며, 그 원인으로서는 옹벽 하단부의 구속조건(기초근입부 옹벽 전면의 수동저항과 벽체 하단의 현치부에 의한 구속 효과)에 의한 변위 억제 효과 및 다짐유발 응력에 기인한 것으로 사료된다. 특히, 흙성토 옹벽의 수평토압은 기초저단으로부터 1.7m 부근의 경우 시공완료 직후 5.9t/m^2 , 시공완료 95일 후 6.4t/m^2 으로, 랭킨 주동토압의 약 2배 정도이다.

한편, 압축용 EPS 블록을 이용한 콘크리트 옹벽의 수평토압은 기존의 흙성토 옹벽과 달리 사다리꼴 형태의 토압분포로, 토류벽이나 보강토 옹벽과 유사한 분포 형태를 보였다. 또한, 본 옹벽의 수평토압은 시간경과에 따른 토압변화가 상대적으로 흙성토 구간에 비해 다소 큰 특성을 나타낸다.

EPS 블록이 포설된 옹벽의 수평토압은 그 크기가 옹벽 상단부에서 0.4H 구간까지의 경우 랭킨의 주동토압 보다 다소 큰 값을 보이며, 0.4H에서 옹벽 하단부로 갈수록 작아지며, 시공완료 95일 후 최하단 rP 측기의 토압은 1.68t/m^2 으로, 주동토압의 약 0.5배 정도이다. 이때 옹벽 상단부 수평토압의 증가는 아칭 효과 발현시 하부 토체들의 옹벽 구체쪽으로의 변위에 의한 하중 분담의 영향으로 사료된다. 또한, 이러한 사다리꼴 분포특성을 가정할 때 합력의 작용점은 대략 0.41H 정도이다.

이러한 압축용 EPS블록을 이용한 콘크리트 옹벽의 수평토압은 앞서 언급된 실내시험결과와 마찬가지로 EPS 블록의 압축에 따른 아칭효과에 기인한다. 일반적으로 보강토 옹벽 및 가설 흙막이 구조물에서의 토압계수는 일반적인 옹벽의 벽체 변형 형태와 다른 포물선 형태의 변형특성을 고려하여 사다리꼴 토압 분포로 $0.45\sim 0.65K_0$ 를 가정하고 있다. 본 현장의 토압은 $0.5K_0$ 정도를 보이나, 특히 옹벽 하단부의 경우 옹벽 높이(수직응력)가 높을수록 더 수평토압 저감 효과를 기대할 수 있는 형태를 보이고 있다.

(2) EPS 블록의 압축 변위

그림 8에서는 시간경과별 벽체높이에 따른 EPS 블록의 압축변위량을 보여준다. 그림 8에서 보듯이 콘크리트 옹벽내 EPS 블록의 압축변위량은 삼각형 형태로, 벽체 하단부로 갈수록 변위량이 큰 형태를 나타낸다. 또한, EPS 블록의 압축변위량은 시간경과에 따라 다소 진전되는 형태를 보이고 있으며, 이는 앞

서 언급된 시간 진전에 따른 수평토압의 변화 특성과 일치하며, EPS 블록의 압축에 따른 토체내 변위 유발이 직접적으로 토압에 영향을 미친다는 것을 보여준다.

한편, 압축용 EPS블록을 이용한 콘크리트 옹벽의 시공완료 후 95일 경과시까지 최대수평변위는 대략 6mm 정도로 옹벽높이(H)의 0.08% 정도가 발생한 것으로 나타났으나, 이는 다소 작은 량으로 계측에 따른 문제인 것으로 판단된다.

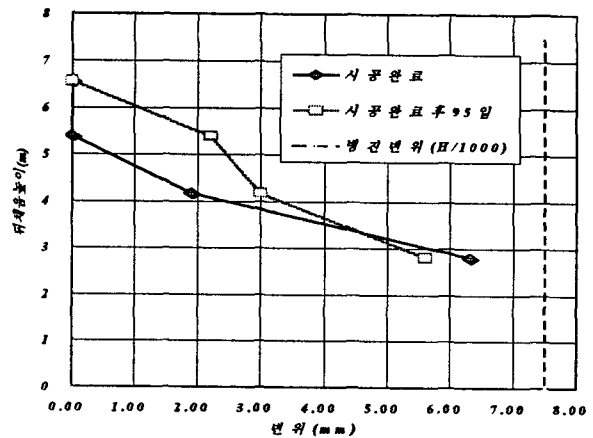
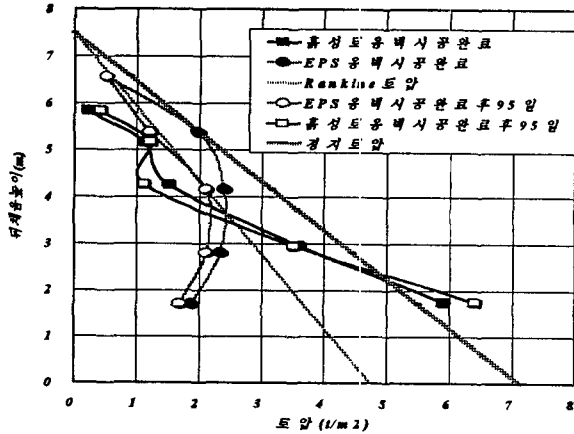


그림 7 벽체높이에 따른 수평토압 변화 곡선

그림 8 벽체높이에 따른 EPS 압축 변위량 곡선

4. 결론

본 논문에서는 다짐균열 방지, 수평토압 저감 등의 효과가 탁월한 EPS 블록을 이용한 수평토압 저감 옹벽 시스템을 개발하고자 다양한 실내시험 및 현장계측을 통하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 실내 모형토조시험을 분석한 결과, EPS 블록에 의한 수평토압 저감효과는 상재하중이 클수록 EPS 블록의 큰 압축량에 비례하여, 그에 따른 응력 재분배(아칭효과)가 유발되며, EPS 블록의 밀도별로 일반 홍성토 지반에 비해 평균적으로 D-10의 경우 63%, D-14의 경우 52%, D-20의 경우 32% 정도 인 것으로 평가되었다.
2. EPS 블록에 의한 수평토압 저감 효과는 EPS 블록의 두께 보다는 입계 변위량에 영향을 받으며, 입계 변위량은 벽체 높이 각각 0.25%~0.30%H, 0.30%~0.50%H에 해당하는 것으로 평가되었다.
3. EPS 블록을 이용한 콘크리트 옹벽의 수평토압은 벽체 하단부로 갈수록 변위량이 큰 삼각형 형태의 EPS 블록 압축특성에 직접적인 영향을 받아 사다리꼴 형태의 토압분포특성을 가지며, 합력의 작용점이 대략 0.41H 정도로, 그 크기가 높이 7.5m의 옹벽의 하단부에서 주동토압의 약 0.5배 정도인 것으로 평가 되었다.

참고문헌

1. 김명모(2000), “옹벽의 설계 자동화기법에 관한 연구”, ‘97 건설교통기술연구개발사업 보고서.
2. 김홍택, 백영식(1992), “옹벽의 설계 및 발생토압에 관한 고찰”, 한국지반공학회지, 제8권, 제4호, pp. 99~117
3. J. S. Horvath(1996), "The Compressible-Inclusion Function of EPS Geofoam : An Overview", Int. Symp. on EPS Construction Method, 1996, pp. 72~81