

# 압축성재료를 이용한 콘크리트 옹벽의 수평토압 저감방안에 대한 연구

## Reduction of Horizontal Earth Pressure on Retaining Structures by a Synthetic Compressible Inclusion

류기정\* · 백영식\*\* · 김호비\*\*\* · 김기웅\*\*\*\*

Yoo, Ki-Cheong · Paik, Young-Shik · Kim, Ho-Bi · Kim, Khi-Woong

### Abstract

Current methods for lateral thrust calculations are based on the classical formulations of Rankine or Coulomb. However, the previous studies indicate that lateral earth pressures acting on the wall stem, which is the function of deformation parameters of the backfill, are close to the active condition only in the top half of the wall stem and in the lower half of the wall stem, the lateral earth pressures are significantly in excess of the active pressures. This paper presents 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 were 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 can be reduced about 20% compared with classical active earth pressure.

**Keywords** : Concrete retaining wall, Reduction of earth pressure, EPS, Compressible inclusion

### 요 지

통상 콘크리트 옹벽에 작용하는 수평토압 산정에는 Rankine이나 Coulomb의 토압이론을 사용하고 있으나 문헌연구결과, 실제 옹벽 벽체에 발생하는 변위인자에 의한 영향으로 벽체 중단부 이상에서는 주동토압 상태를 나타내고 있으나 벽체 중단부 하단에서는 주동토압보다 큰 토압을 가지고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 수평토압을 저감하기 위한 방안의 하나로 압축성 재료인 EPS를 벽체 배면에 설치하여 배면토체의 변위를 인위적으로 유발함으로써 수평토압의 크기를 저감시킬 수 있는 방안을 제시하였다. EPS에 의한 수평토압 저감효과, 최적의 EPS 포설두께 및 밀도를 알아보기 위한 실내모형토조시험을 실시하였으며 그 효과가 검증되었다. 실내모형토조시험에서 도출된 결과를 이용한 현장 시험시공결과, EPS 포설에 의해 약 20%의 수평토압저감효과를 가질 수 있는 것으로 평가되었다.

**주요어** : 콘크리트 옹벽, 수평토압저감, 발포폴리스티렌(EPS), 압축성재료

\* 정회원 · (주)한진중공업 토목설계팀 상무

\*\* 정회원 · 경희대학교 토목건축공학부 교수

\*\*\* 정회원 · (주)한진중공업 건설기술연구소 주임연구원

\*\*\*\* 정회원 · 시립인천전문대학 토목과 교수

## 1. 서론

콘크리트 옹벽의 설계에 사용하는 수평토압에는 외적인 정검토에 사용하는 외적안정용 토압과 단면설계에 사용하는 단면산정용 토압이 있으며 현재까지 실내시험이나 현장 계측을 통해 문헌에서 연구된 수평토압은 주로 단면산정용 토압을 말한다. 이때 뒤채움 흙의 물리정수, 옹벽의 기하학적 형상 등이 동일하다면 배면토체의 변위는 단면산정용 수평토압에 가장 큰 영향을 미치는 요소이다. 이와 관련된 국내의 연구문헌을 살펴보면 벽체에 충분한 변위가 발생한다는 가정하에 벽체 단면계산에 사용하는 고전주동토압이론은 옹벽 벽체에 작용하는 수평토압을 과소산정하는 것으로 평가되었으나 하중계수, 강도감소계수, 안전율 등을 사용하여 안정성을 확보함으로써 실무에 사용하고 있다. 그러나 콘크리트 옹벽 설계는 옹벽의 높이가 높거나 현장조건이 설계시보다 불리한 조건을 가질 수 있다는 것을 감안한다면 정확한 공학적 근거를 가지고 안전측으로 이루어져야 한다.

한편, 20세기 초반부터 유럽, 미국, 일본 등지에서는 토체내 압축성 재료를 삽입하여 흙구조물의 상대적인 변위를 유발함으로써 토압을 저감시키는 방안에 대한 연구를 진행하고 있다. 특히 1972년 노르웨이에서 최초 적용된 후 경량성토공법으로 활용되고 있는 EPS 블록은 기존의 압축성 재료인 건초더미, 유리섬유, 마분지, 유기질점토 등과 달리 응력-변형을 관계가 명확하고 압축량 조절이 가능하고 지반공학에 적용하기 위한 사전검증이 완료되었다는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 문헌고찰을 통해 현재 콘크리트 옹벽에 작용하고 있는 수평토압의 크기 및 분포를 알아보고 압축성 재료로서 EPS 블록을 활용한 토압저감원리를 살펴보았다. 또한, EPS 블록의 압축성을 이용한 토압저감효과를 규명하기 위한 실내모형토조시험과 현장시험시공을 통해 토압저감의 메커니즘과 현장적용성을 평가하였다.

## 2. 문헌고찰

### 2.1 콘크리트 옹벽에 작용하는 수평토압에 영향을 미치는 요소

수평토압에 영향을 미치는 요소로는 벽체변위, 시공완료

후 경과시간, 온도변화, 옹벽의 기하학적 형상 등이 있으나 특수한 조건을 제외하고는 배면토체의 변위에 비해 그 영향이 매우 작다고 볼 수 있다. 여기서 배면토체의 변위는 배면토체와 벽체 사이에 EPS 블록과 같은 압축성재료를 삽입하지 않는다면 옹벽 벽체 변위와 동일하다. 결국 옹벽 벽체에 작용하는 수평토압은 배면토체, 즉 벽체에 유발되는 변위에 의해 좌우되며, 수평토압의 분포는 변위의 형태에 따라, 수평응력의 크기는 변위의 크기에 따라 달라진다.

#### 2.1.1 벽체변위의 형태

옹벽 벽체에 발생한 변위 형태에 따라 수평토압 분포는 매우 다르게 나타난다. Fang과 Ishibashi(1986)는 공기 건조상태의 오타와규사(Air-dry Ottawa silica sand)로 뒤채워진 약 1m 높이의 실내모형토조에서 벽체에 인위적으로 3가지 변위형태를 가한 후 수평토압을 측정한 결과, 벽체에 수평이동변위가 발생할 경우, 수평토압분포는 그림 1에서와 같이 변위가 진전됨에 따라 상단부에서 Coulomb의 주동토압보다 큰 값을 가지다가 중앙부에서는 유사한 값을 나타내고 하단부로 갈수록 Coulomb의 주동토압보다 작은 값을 나타낸다고 하였다. 그러나 벽체하단을 중심으로 한 회전이동변위가 발생할 경우, 그림 2에서와 같이 수평토압분포는 벽체 상단부 및 중앙부에서는 Coulomb 주동토압과 유사한 값을 나타내다가 하단부에서는 주동상태보다 큰 값을 나타내었다. 이 때 옹벽 최하단부에서는 벽체 변위에 따라 다소 다른 값을 보이고 있으나 정지토압 정도의 크기를 가지고 있다는 결과를 얻었다.

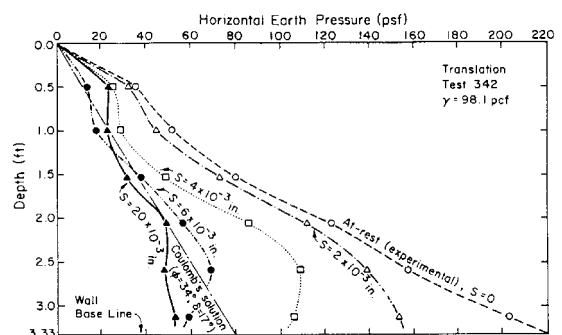


그림 1. 수평이동변위에 따른 수평토압분포

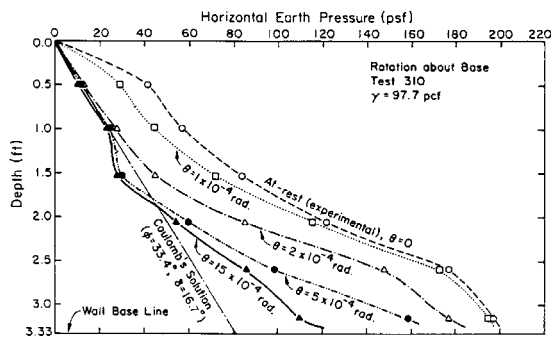


그림 2. 하단 회전변위에 따른 수평토압분포

이와 같이, 벽체의 변위형태에 따라 수평토압의 분포 및 크기는 변화하며 캔틸레버형 콘크리트 옹벽 벽체 변위의 형태는 다음장에서 분석한 현장계측결과와 상대비교하여 유추할 수 있다.

### 2.1.2 벽체변위의 크기

옹벽 벽체에 발생한 변위의 크기는 임의의 지점에서의 수평응력을 결정짓는다. 옹벽에서 뒤채움흙을 주동상태로 유도할 수 있는 최소변위를 살펴보면 Terzaghi(1934, 1936)는 여러 회의 시험을 통해 주동상태에 이르기 위한 벽체변위를 뒤채움 흙의 다짐상태, 흙의 종류에 따라  $0.001H \sim 0.005H$  정도로 보았다. Matsuo 등(1978)은 약 10m 높이의 대형옹벽시험을 통해 벽체에 주동변위가 발생하더라도 주동변위량이 배면토체에 소성변형을 일으킬만큼 크지 않으면 수평토압이 정지상태에 가까운 크기까지 회복되므로 정지토압에 기초한 콘크리트 옹벽 설계를 제안하였다. 그러나 배면토체에 소성변형이 일어날 만큼의 충분한 변형이 발생하면 토압의 회복력은 현저히 저하된다는 실험결과를 얻었다. Sherif 등(1984)은 진동대 위에 설치된 1.2m 높이의 모형토조에 공기건조상태로 오타와 규사를 뒤채움한 후 수행한 실내모형토조시험으로부터 벽체가 하단을 중심으로 회전할 때 주동상태에 도달하기 위해 필요한 벽체변위량은 깊이에 관계없이 동일하다고 보았다. 이는 옹벽 배면전체가 주동토압에 이르기 위해서는 벽체하단부근에서 더 많은 회전변위가 필요하다는 것을 뜻하고, 이론적으로는 옹벽 최하단의 수평토압은 절대로 주동상태가 될 수 없음을 의미한다. 또한, 주동상태에 도달하기 위한 벽체변위량은 배면토체의 단위중량이나 내부마찰각

에 관계없이 동일하다고 하였다. 이러한 결과는 규사를 이용한 실내모형토조시험의 뒤채움조건에서 토체가 주동상태에 도달할 때 단위중량과 내부마찰각이 동일한 값으로 수렴된 측정값을 근거로 도출되었다.

이와 같이, 앞서 서술한 연구결과를 종합해보면 주동상태에 도달하기 위해 콘크리트 옹벽 벽체에 필요한 최소변위량은 깊이에 관계없이 동일한 값을 가지며 그 값은 여러 조건에 따라 다양하나  $0.001H \sim 0.005H$  정도인 것으로 평가할 수 있다.

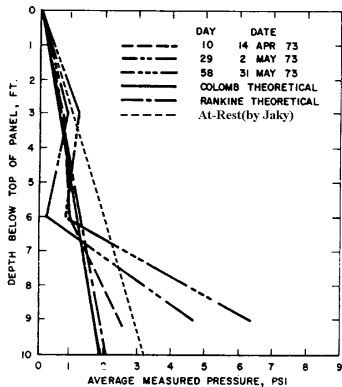
## 2.2 콘크리트 옹벽의 현장토압계측 및 수치해석

### 2.2.1 현장 토압계측

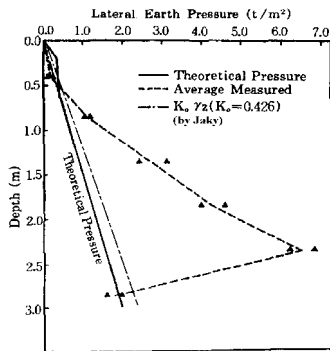
그림 3은 캔틸레버형 콘크리트 옹벽에 작용하는 수평토압에 관한 Coyle 등(1976), 정성교외(1995), 김명모(2000)의 계측사례를 나타낸다. 그림 3의 3가지 계측사례는 뒤채움 흙의 물리정수, 옹벽의 기하학적 형상, 계측기 종류 등에 차이가 있어 절대비교 하기에는 다소 무리가 있으나 옹벽 벽체에 작용하는 수평토압 계측데이터의 정성적인 경향을 평가하면 옹벽 상단부의 경우, 주동토압에 비해 다소 작거나 유사한 경향을 보이다가 하단부에서는 주동토압을 넘어서서 정지토압 정도의 크기를 가지고 있다. 이러한 이유를 Coyle et al.(1976)는 벽체 상단부에서는 주동상태에 도달할만한 변위가 발생하였으나 벽체 하단부에서는 주동상태에 도달할만한 변위가 발생하지 않았기 때문이라고 보았고, 정성교외(1995)에서는 옹벽의 기하학적 형상과 다짐정도의 진행과정에서 발생되었던 옹벽의 연직, 수평 각변위, 저판부에서 구속상태에 있는 흙과 구조물의 상호작용에 기인한다고 하였다. 이와 같은 국내외 수평토압 계측결과를 Fang and Ishibashi의 연구결과와 함께 종합해보면 현장조건에 따라 다소 다르겠지만 역T형 콘크리트 옹벽에는 벽체하단을 중심으로 한 회전변위가 지배적으로 발생하고 벽체 하단부에서는 주동상태를 유발할만한 변위가 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다.

### 2.2.2 옹벽의 수치해석

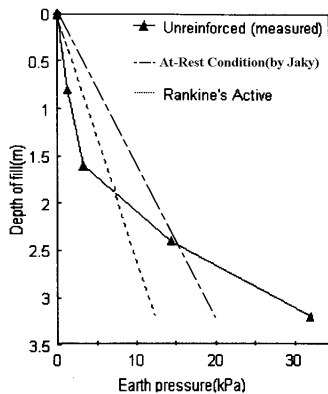
Goh(1993)는 역T형 콘크리트 옹벽에 대한 유한요소해석을 통해 옹벽에 발생하는 수평토압을 벽면마찰각에 따라



(a) Coyle(1976) 계측사례



(b) 정성교외(1995) 계측사례



(c) 김명모(2000) 계측사례

그림 3. 캔틸레버형 콘크리트 옹벽계측사례

그림 4와 같이 2가지로 제시하였다.

벽면마찰이 큰 경우, 옹벽 최상단에서 중단부까지는 Rankine 주동토압을 따르다가 중앙부 이하에서는 Rankine

주동토압과 최하단부 정지토압을 연결하는 수평토압분포를 제시하였고 벽면마찰이 작은 경우, 옹벽 최상단에서 중단부까지는 Rankine 주동토압을 따르다가 중앙부 이하에서는 Rankine 주동토압과 (최하단부 정지토압+최하단부 주동토압값의 중간값)까지를 연결하는 토압분포를 제시하였다. 그림 4에 제시된 수평토압은 수치해석만에 의해 얻은 결론이긴 하나 앞서 서술한 국내의 많은 수평토압 계측 사례와 유사한 경향을 나타냈다.

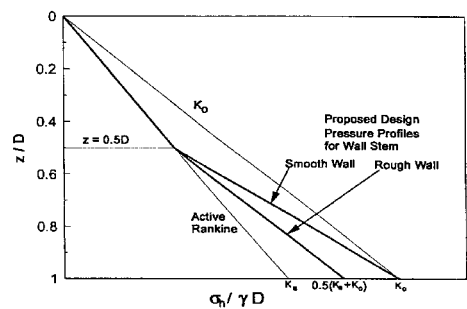


그림 4. 캔틸레버 옹벽 수평토압(simplified)

### 3. 압축성재료를 이용한 토압저감원리

앞장에서 서술한 내용을 종합해보면 현재 콘크리트 옹벽 단면설계시 벽체에 충분한 주동변위가 발생한다고 가정하고 수평토압으로 사용하고 있는 고전토압이론은 실제 현장에서 콘크리트 옹벽 벽체에 작용하고 있는 수평토압을 과소평가한 것으로 판단된다.

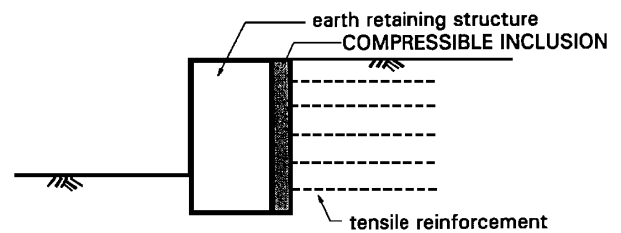


그림 5. REP-Wall 개념도

한편, 국내외에서는 EPS(Expanded PolyStyrene)성 토공법을 이용한 적용분야가 점차 확장되고 있는 추세에 있으며, 그 대표적인 사례로 EPS 블록을 이용한 옹벽 배면의 수평토압 저감 분야를 들 수 있다. 그림 5와 같이 압

축성 재료로서 사용된 EPS 블록은 옹벽 벽체의 수평토압을 인위적으로 사다리꼴이나 사각형 형태로 전환시킬 뿐만 아니라 시공시 다짐장비에 의한 진동의 흡진효과에 의한 구조물 균열방지 등의 여러 장점을 가지고 있다.

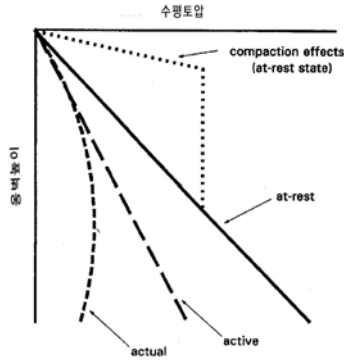


그림 6. REP-Wall 개념에 의한 토압 분포

Horvath(1996)는 강성벽체에 압축성재료를 설치하면 그림 6과 같이 배면토체에 일정크기 이상의 변위유발효과 및 아칭효과가 중첩 발생하여 옹벽 상단부는 주동토압과 거의 유사한 값을 나타내다가 옹벽 하단부에서 수평토압이 감소하는 포물선 형태의 토압분포 및 크기를 나타낸다고 보았다. Horvath는 압축성 재료를 이용한 토압저감방안에 대한 연구에서 이러한 개념의 옹벽 시스템을 “REP(Reduced Earth Pressure) Wall”이라고 명명하였다.

압축성 재료를 이용한 옹벽 시스템은 응력과 변형이 동시에 고려되어야 하며 옹벽, 압축재, 지반의 응력-변형률 거동 등의 흙/구조물 상호작용이 반영되어야 하므로 해석 및 설계가 매우 어렵다. 그림 7에서 보듯이 “REP Wall”의 설계 개념은 압축재의 응력-변형 특성과 주동상태에 도달하기 위해 요구되는 흙의 변형을 일치시킴으로써 흙/구조물 상호작용을 간단히 반영하고 있다.

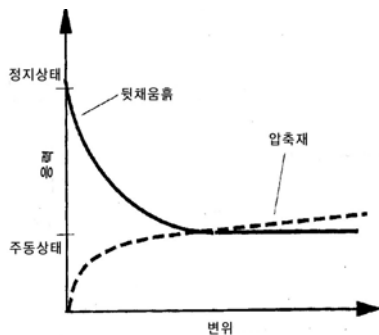


그림 7. 지지된 흙과 압축재의 응력-변형률 거동특성<sup>8)</sup>

## 4. 실내모형토조시험

실내모형토조시험에서는 뒤채움 흙의 응력, EPS 블록의 두께, 밀도변화에 따른 수평토압 및 EPS 블록의 압축량을 측정함으로써 EPS 블록 압축에 따른 수평토압 저감효과와 하중전달 메커니즘을 규명하고자 하였다.

### 4.1 시험재료 및 장비

#### 4.1.1 뒤채움 흙시료

본 시험에 사용한 흙시료는 표 1과 같은 물성치를 가지고 있는 주문진 규사(silica sand)를 이용하였고 이때 조성된 모형지반은 낙사법을 이용하여 단위중량이 1.48 t/m<sup>3</sup> 정도가 유지되도록 하였다.

표 1. 뒤채움 흙시료의 역학적 특성

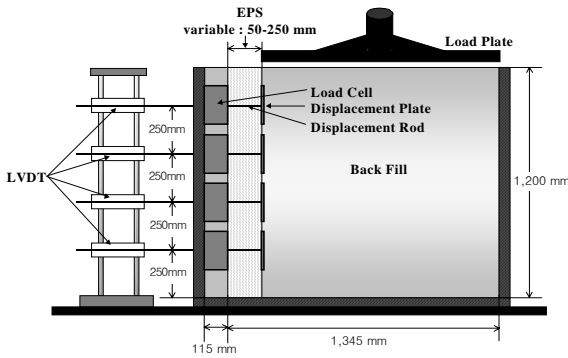
비중	함수비 (%)	모형토조시험시 평균 단위중량 (t/m <sup>3</sup> )	내부마찰각 (°)
2.63	2.0~3.0	1.48	33

#### 4.1.2 EPS 블록 시료

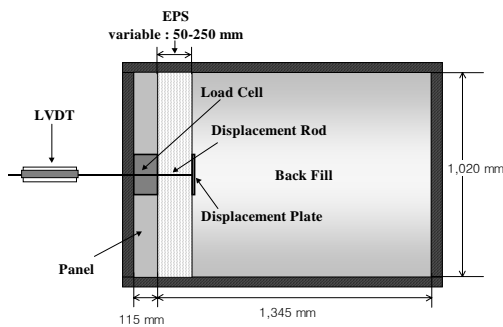
본 시험에 사용된 EPS 블록은 0.010tf/m<sup>3</sup>(D-10), 0.014tf/m<sup>3</sup>(D-14), 0.020tf/m<sup>3</sup>(D-20)의 밀도를 가진 시료로서 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cm로 두께를 변화시켜가며 시험을 실시하였다.

#### 4.1.3 모형토조시험 장비

모형토조시험에 사용된 장비는 크게 모형토조, 침하판, 토압계, LVDT 및 데이터로거로 구성되어 있다. 시험에 사용된 모형토조는 그림 8에서 보는 바와 같이 146cm×102cm×120cm 크기의 토조를 이용하였다. 이때 상재하중은 철재로 제작된 재하판을 유압을 이용하여 재하하였다. 또한, 모형토조 전면에 EPS 블록의 압축에 의한 수평토압의 저감효과 및 압축량을 측정하기 위한 로드셀 타입의 토압계와 LVDT가 있다.



(a) 측면도



(b) 평면도

그림 8. 모형토조시험장치

## 4.2 실험종류 및 내용

실내모형토조시험은 EPS 블록의 배면부 포설 효과를 평가하기 위해 EPS 블록이 포설되지 않은 모래지반과 EPS 블록이 포설된 지반에 대해 EPS 블록의 포설 두께 및 밀도, 재하하중 등을 변화시켜가며 수평토압 및 EPS 블록의 압축 변위량을 비교, 분석하는 방식으로 다양한 형태의 재하시험을 수행하여 EPS 블록 포설에 따른 수평토압 저감효과, 최적의 EPS 포설단면 및 밀도를 선정하고자 하였다. 표 2에서는 EPS 블록 포설에 따른 수평토압 저감효과를 평가하기 위해 수행한 평가시험의 종류와 내용을 보여준다.

표 2. 수행한 평가시험의 종류 및 내용

평가항목	변화인자	재하 하중 조건
EPS 블록의 밀도 효과	D-10, D-14, D-20	1.5, 5.0, 10.0, 15.0 tf/m <sup>2</sup>
EPS 블록의 두께 효과	5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cm	
EPS 블록 무포설 효과	모래 포설	

## 4.3 토조시험 결과 및 분석

### 4.3.1 재하하중에 의한 수평토압 변화

그림 9는 재하하중별 수평토압 및 압축변위 관계곡선(밀도 : D-10, 20 ; 두께 : 15cm)을 보여준다. 그림 9에서와 같이 EPS 블록을 설치하지 않은 모래지반의 경우, 수평토압은 뒤채움 깊이에 따라 다소 증가하다 일정 깊이 이하에서 감소하는 형태를 나타낸다.

일반적으로 재하판 하중에 따른 수평토압은 깊이에 따라 초기에 다소 증가하다 일정 깊이 이하에서 감소하는데 그 원인은 앞은기초의 수평응력분포 특성과 같이 재하판 하중의 증가에 따라 재하판 직하에서 압축전단면이 형성되므로 압축전단면 상에서는 깊이에 따라 수평응력이 다소 증가하다 압축전단면 이하에서 비선형적으로 감소하는 것이다.

본 시험에서 측정된 EPS 블록이 포설되지 않은 모래지반의 수평토압이 이러한 경향을 나타냈고 이는 상재하중이 클수록 더욱 뚜렷하게 나타났다.

한편, EPS 블록을 설치한 모래지반의 재하하중별 수평토압특성은 재하하중이 1.5tf/m<sup>2</sup>로 작은 경우, 뒤채움 토체 내부의 응력이 매우 작아 EPS 블록의 압축량이 매우 작으므로 EPS 블록의 설치효과가 나타나지 않았고 재하하중이 10tf/m<sup>2</sup>, 15tf/m<sup>2</sup>의 경우 EPS 블록의 압축에 의해 수평토압 저감효과가 크게 나타났다.

또한, EPS 블록을 설치한 지반과 모래뒤채움 지반의 토압 분포 차이는 EPS 블록의 압축에 의한 배면토체의 아칭효과에 의한 것으로 판단되었다. 그림 9의 수평토압분포를 살펴보면 모래뒤채움 지반인 경우, 25cm, 75cm 지점의 수평토압과 비교하여 50cm 지점의 수평토압이 최대인 것에 반해 EPS 블록을 설치한 경우, 50cm 지점의 수평토압이 작은 것을 알 수 있다. 이는 모래뒤채움에서 응력레벨이 큰 50cm 부근에서 EPS 블록을 설치한 경우에는 EPS 블록의 큰 압축을 유도하면서 지반에 주동변위가 발생하여 수평토압이 저감됨으로서 EPS 블록이 설치된 지반의 토압분포는 50cm 부근보다 25cm 및 75cm의 토압이 더 큰 양상을 나타냈다.

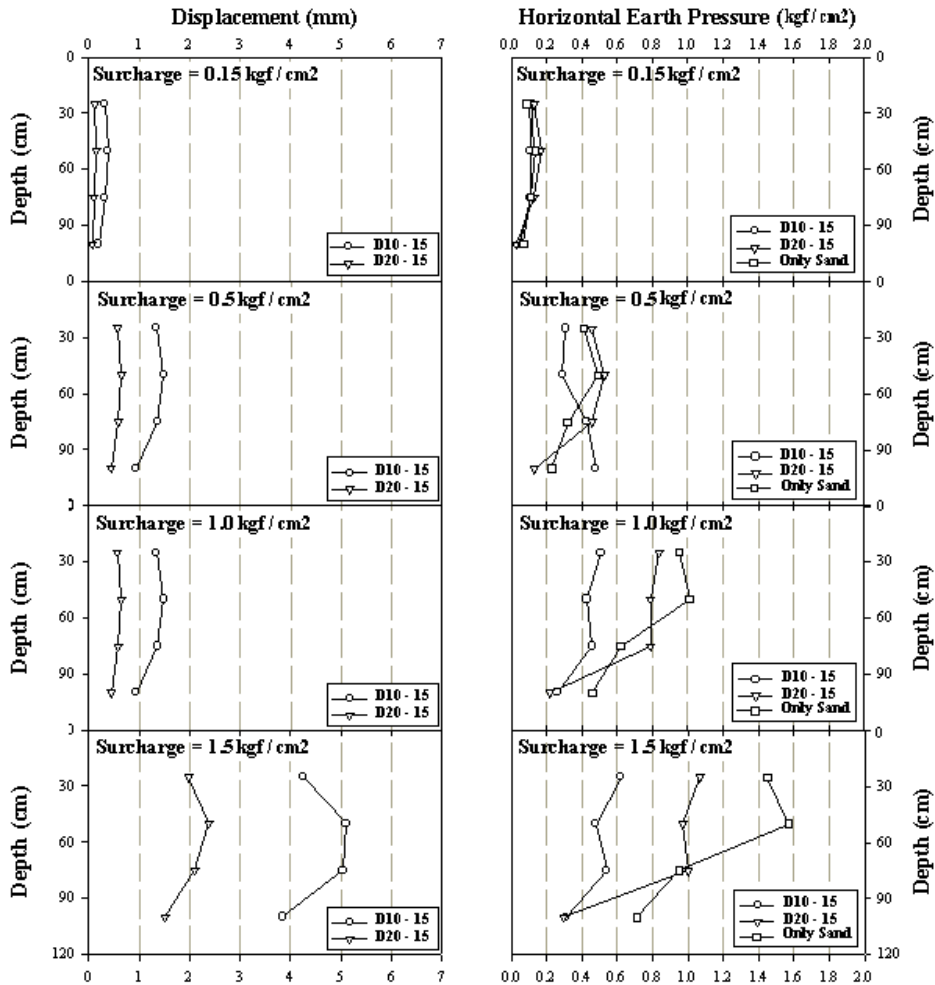


그림 9. 재하하중별 수평토압 및 압축변위 곡선(표기 : 밀도(D-10, 20)-두께(cm))

즉, 토압저감효과는 응력레벨이 큰 경우 EPS 블록의 큰 압축을 유발시키고 그에 따라 토압이 재분배되어 아칭효과가 생김으로서 발현된다. 따라서 EPS 블록을 이용한 콘크리트 옹벽의 현장 적용에서는 콘크리트 옹벽 중 응력레벨이 큰 일정깊이 이하에서 큰 수평토압 저감효과를 발휘할 것으로 예상되었다.

#### 4.3.2 EPS 블록 밀도 및 두께의 영향

EPS 블록에 의한 수평토압 저감효과는 배면토체가 EPS 블록에 전달하는 수평응력이 EPS 블록의 압축을 발생시켜 토체내 인위적 변위가 유발되고, 이러한 변위가 토체내 상대적

변위차를 일으켜 아칭효과를 발현시킴으로써 나타난다. 또한, EPS 블록의 아칭효과는 초기에 EPS 블록의 압축변위량에 비례하여 수평토압 저감효과가 증가되는 특성을 보이다가 일정 변위 이후에는 EPS 블록의 압축변위량에 크게 영향을 받지 않는 특성을 보인다.

또한, 그림 10에서 보듯이 밀도 및 두께 변화에 따른 압축 변위량은 상재하중에 상관없이 EPS 블록의 밀도는 작아질수록 두께는 커질수록 압축 변위량이 커지는 경향을 나타내었다. 이러한 수평토압과 압축 변위량 사이의 관계는 동일하중 조건에서 EPS 블록의 강성도가 작을수록 압축량이 커지고 이로 인해 수평토압이 작아지는 경향을 나타낸다. 그러나 EPS 블록 D-10인 경우 두께변화에 따라

변위차가 크에도 불구하고 수평토압이 일정하였다. 이는 EPS 블록에 의한 수평토압 저감효과가 일정량의 압축변위(임계변위량) 이상이 발생되면 더 이상 효과가 없다는 것을 말해준다. 반면에 D-14 및 D-20의 경우, 임계 변위량에 도달하지 못한 관계로 각 블록의 두께별로 압축변위의 차이에 비례하여 수평토압이 감소하는 특성을 보였다.

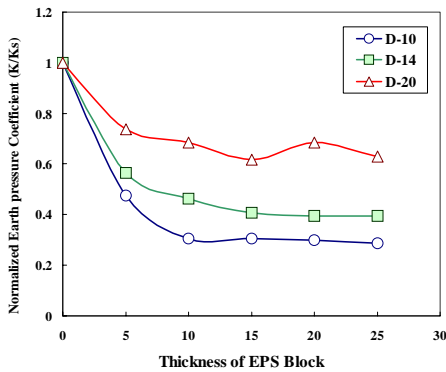
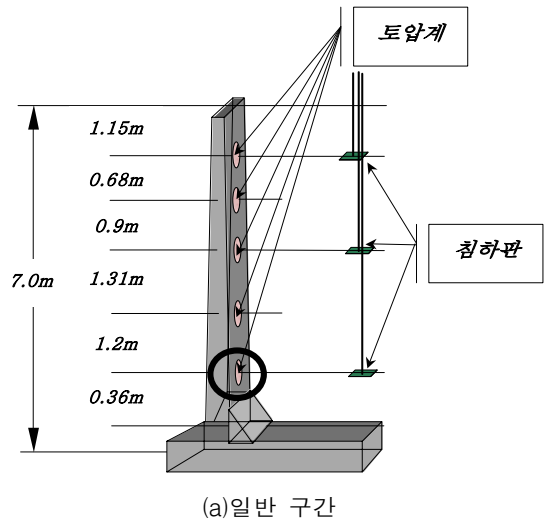


그림 10. EPS 블록 밀도/두께변화에 따른 토압계수 (상재하중=1.5tf/m<sup>2</sup>, 길이=50cm)

항목은 전면벽체에 작용하는 수평토압, 지중침하, EPS 블록의 압축 변위량 등이 있다. 또한, 현장계측에 사용된 주요 장비는 토압계로서 용량 20tf/m<sup>2</sup>인 스트레인게이지 타입의 수평토압계 및 로드셀 2종을 사용하였다. 그림 11은 매설된 계측기의 매설위치 및 형태를 보여준다.



(a) 일반 구간

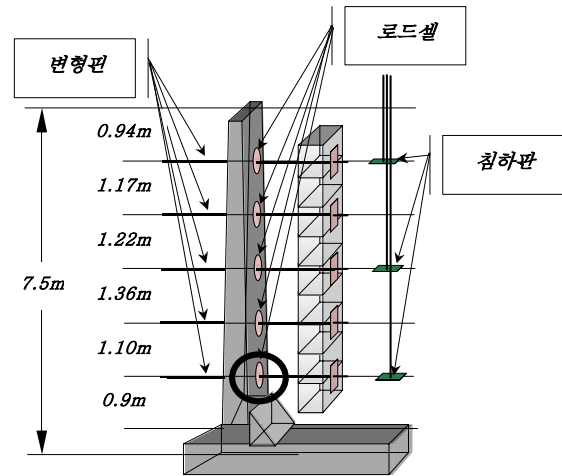
## 5. 현장시험시공

### 5.1 현장시험시공 개요

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

본 연구의 대상 현장은 충청남도 국도 32호선 도로확포장공사 현장으로 도로 인터체인지(IC) 건설을 위한 옹벽 시공이 리핑암 지반 위에 계획되었다. 본 현장에 사용된 뒤채움 흙은 국내 널리 분포되어 있는 화강풍화토를 사용하였다. 뒤채움 흙시료는 현장 자연함수비 11.2%, 비중 2.56, 최대건조밀도 1.94 tf/m<sup>3</sup>, 최적함수비 12.1%, 통일분류법상 SP로 나타난 화강풍화토로 판명되었다. 본 현장의 시험시공에 사용된 EPS 블록은 단위 중량 D-10, 두께 15cm 로 실내모형토조시험에서 가장 큰 토압저감효과를 가진 것으로 판명된 물성치를 가진 재료를 사용하였다.

압축용 EPS 블록을 이용한 콘크리트 옹벽의 현장계측



(b) EPS 블록 포설 구간

그림 11. 계측기 매설도

### 5.2 현장계측 결과 분석 및 평가

그림 12에서는 일반구간 및 EPS 블록 포설 구간의 벽체 높이에 따른 옹벽 배면의 수평토압 계측결과를 보여준다.



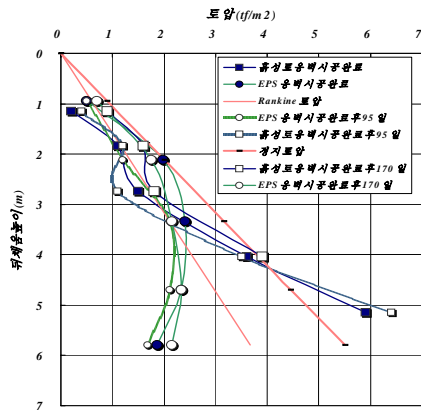


그림 12. 벽체 높이에 따른 옹벽 배면의 수평토압 변화 곡선

일반 콘크리트 옹벽의 수평토압은 옹벽 상단부의 경우, Rankine 주동토압보다 다소 작은 값을 가지다가 옹벽 하단부로 갈수록 Rankine 주동토압보다 커지고 최하단부에서는 정지상태의 토압크기를 나타낸다. 이러한 계측결과를 앞에서 서술한 Coyle 등, 정성교, 김명모의 계측결과에서도 유사한 경향을 나타내고 있으며 그 원인으로는 벽체 하단 현치부에 의한 변위구속 및 층다짐에 의한 다짐잔류응력, 벽체하단을 중심으로 회전변위를 가지는 콘크리트 옹벽의 하단부 변위 구속에 의한 것으로 사료된다. 특히 일반 콘크리트 옹벽의 수평토압은 기초 하단으로부터 1.7m 부근의 경우 시공완료 직후  $5.9\text{tf/m}^2$ , 시공완료 170일 후  $6.4\text{tf/m}^2$ 으로 Rankine 주동토압의 약 2배정도 값을 나타냈다.

한편, EPS 블록의 압축성을 이용한 콘크리트 옹벽의 수평토압은 기존 일반 콘크리트 옹벽과 달리 사다리꼴 형태의 토압분포로서 가설 흙막이구조물, 보강토 옹벽에서 가지는 수평토압분포와 유사한 형태를 보였다.

EPS 블록의 압축성을 이용한 콘크리트 옹벽의 수평토압은 옹벽 상단부에서 0.5H구간까지의 경우, Rankine 주동토압과 유사한 값을 보이며 최하단부의 경우, 시공완료 170일 후  $2.1\text{tf/m}^2$ 로서 Rankine 주동토압의 약 0.5배 정도이다. 이때 옹벽 상단부의 수평토압이 일반 콘크리트 옹벽부에 비해 다소 큰 것은 상부 EPS 블록 압축이 응력 레벨이 낮아 작게 발생하였고 상대적으로 큰 하부 토체의 주동변위에 저항하기 위해 발생한 야칭 효과에 따른 하중 분담의 영향으로 사료된다.

이와 같이 옹벽 상단부에서 0.5H구간까지는 Rankine 주동토압과 같고 0.5H구간에서 최하단까지는 동일한 응력을 가지는 사다리꼴 분포특성을 가정할 때 기존의 Rankine 주동토압이론에 의한 토압 크기( $\gamma H^2 K_a / 2$ )보다 25% 작은  $3\gamma H^2 K_a / 8$  정도의 수평토압만이 옹벽 벽체에 작용하고 있는 것으로 평가되었다. 이 때 수평토압 합력의 작용점은 대략 0.4H 정도이다.

EPS 블록의 압축성을 이용한 콘크리트 옹벽의 수평토압 특성은 실내모형토조시험결과와 마찬가지로 EPS 블록의 압축에 따른 야칭효과에 기인한다. 일반적으로 보강토 옹벽 및 가설 흙막이구조물에서의 토압계수는 기존 콘크리트 옹벽의 벽체 변형 형태와 다른 포물선 형태의 변형특성을 고려한 사다리꼴 토압분포로서  $0.45K_a \sim 0.65K_a$ 의 값을 가지고 있다. 본 현장의 계측된 수평토압은  $0.5K_a$  정도를 보이고 있으나, EPS 블록을 이용한 콘크리트 옹벽의 수평토압 분포 및 크기를 살펴보았을 때 옹벽 높이가 높을수록 상대적으로 큰 수평토압 저감이 발생되리라 판단된다.

## 6. 결론

본 논문에서는 캔틸레버형 콘크리트 옹벽 벽체에 작용하는 수평토압의 분포 및 크기를 규명하기 위해 국내외의 여러 문헌을 분석하고 다짐균열 방지, 수평토압 저감효과가 탁월한 압축성 재료인 EPS 블록을 이용한 수평토압 저감기법을 개발하고자 다양한 실내시험 및 현장계측을 통하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 캔틸레버형 콘크리트 옹벽에는 벽체하단을 중심으로 한 회전변위가 지배적으로 발생하고 벽체 하단부에서는 주동상태를 유발할만한 변위가 발생하지 않는다는 것을 알 수 있고, 주동상태에 도달하기 위해 콘크리트 옹벽 벽체에 필요한 최소변위량은 깊이에 관계없이 동일한 값을 가지며 그 값은  $0.001H \sim 0.005H$  정도로 평가할 수 있다.
2. 캔틸레버형 콘크리트 옹벽 벽체에 작용하는 수평토압은 벽체 중앙부를 기준으로 상단부에서는 주동토압이론을 잘 따르다가 하단부로 갈수록 주동토압보다 큰 값을 가지며 최하단부에서는 정지토압과 유사한 크기를 갖는다.

3. 실내모형토조시험 분석 결과, EPS 블록에 의한 수평토압 저감효과는 상재하중이 클수록 EPS 블록의 큰 압축량에 의해 응력 재분배가 유발되며, EPS 블록의 밀도 별로 모래성토 지반에 비해 평균적으로 D-10의 경우 63%, D-14의 경우 52%, D-20의 경우 32% 정도의 토압저감효과를 가진 것으로 평가되었다.
4. 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 평가되었다.

5. 향후 EPS블록을 포설한 토체지지 구조물에 대한 다양한 시험시공을 통해 현장적용성 대한 좀 더 세밀한 검토를 실시하고자 한다.

## 참 고 문 헌

1. 김명모(2000), 옹벽의 설계 자동화기법에 관한 연구, 97 건설교통기술연구개발사업 보고서.
2. 김홍택, 백영식(1992), 옹벽의 설계 및 발생토압에 관한 고찰. 한국지반공학회지, 한국지반공학회, 제 8권, 제 4호, pp. 99~117.
3. 류기정(2001), EPS의 압축성을 이용한 콘크리트 흙막이 구조물 시스템, 박사학위논문, 경희대학교, 120p.
4. 정성교, 이만렬, 정진교(1995), 역T형 옹벽에 뒤채움다짐으로 유발된 횡토압의 현장계측. 한국지반공학회지, 한국지반공학회, 제 11권, 제 2호, pp. 5~17.
5. Coyle, H. M., Bartoskewitz, R. E.(1976), Earth Pressure on Precast Panel Retaining Wall. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 102, No. GT5, pp. 441~456.
6. Fang, Y. S., Ishibashi, I.(1986), Static Earth Pressure with Various Wall Movements. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 112, No. 3, pp. 317~333.
7. Goh, A. T. C.(1993), Behavior of Cantilever Retaining Walls. Journal of Geotechnical Engineering., ASCE, Vol. 119, No. 11, pp. 1751~1769.
8. Horvath J. S.(1996), The Compressible-Inclusion Function of EPS Geofoam : An Overview, Int. Symp. on EPS Construction Method, pp. 72~81.
9. Matsuo, M., Kenmochi, S., Yagi, H.(1978), Experimental Study on Earth Pressure on Retaining Wall by Field Tests. Soil and Foundations., JSCE, Vol.18, No.3, pp. 27~41.
10. Sherif, M. A., Fang, Y. S., and Sherif, R. I(1984),  $K_A$  and  $K_0$  Behind Rotating and Non-Yielding Walls. Journal of Geotechnical Engineering., ASCE, Vol. 110, No. 1, pp. 41~56.