

## 압축재 포설에 따른 매설관거의 하중저감 효과 평가

### A Study of Load Reduction Effect on Conduits Using Compressible Inclusion

\*1 김진만 Kim, Jin-Man

\*2 최봉혁 Choi, Bong-Hyuck

\*3 조삼덕 Cho, Sam-Deok

\*4 주태성 Joo, Tae-Sung

\*5 김호비 Kim, Ho-Bi

\*6 이종화 Rhee, Jong-Wha

#### Abstract

Researches on the induced trench method using compressible materials such as clay, mud, straw, or EPS block have been performed to reduce the load acting on buried conduits under a high fill. The induced trench method has the problems that the arching area due to the compressible arching material is one dimensional or localized in a narrow zone. The main purpose of this study is to solve the problems of the induced trench method mentioned above. The various types of laboratory model tests are conducted to find the effects of the variations of EPS block width, multilayer application, soil density, and diameter of the flexible steel pipe. A series of model tests was conducted to evaluate the reduction of earth pressure on conduits using EPS block. Based on modeling test it is found that the magnitude of vertical earth pressure on conduits was reduced about 60% compared with conventional flexible conduit systems.

#### 요 지

지중매설구조물에 작용하는 수직하중 저감기법인 유도 고랑형 기법은 관거 상단의 내부토체에 압축성이 큰 재료(점토, 이토, 지푸라기 등)를 뒤채움함으로써 다짐된 지반인 외부토체에 대해 상대적으로 하향 침하하는 변위를 유발시킴으로써 발생하는 아칭효과에 의해 하중을 저감시키는 기법이다. 그러나, 기존의 유도 고랑형 기법은 상대적 변위를 유발시키기 위한 압축재인 점토, 이토, 지푸라기 등이 현장의 품질관리차원에서 관리가 어렵다는 문제점을 가지고 있다. 최근의 관련 연구 경향은 압축재로서 재료 관리가 용이한 대체 재료의 개발과 EPS 블록의 활용성 검증 등에 초점이 모아 지고 있는 실정이다. 본 논문에서는 연성강관의 포설 효과, EPS 블록 포설 형태, 연성강관의 직경 등을 변화인자로 한 일련의 실험을 통하여 연성관 및 EPS 블록 포설에 따른 수직하중 저감 효과와 매커니즘을 분석하고, 현장적용에 필요한 최적 단면 및 설계 시 적용되는 환산하중계수( $K'$ )을 제시하고자 한다.

**Keywords** : Geosynthetics, Conduit, EPS Block, Compressible Inclusion, Flexible pipe

\*1 정희원, 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원(Senior Research, Geotechnical Research Dept., KICT)

\*2 정희원, 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원(Research, Geotechnical Research Dept., KICT)

\*3 정희원, 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원(Research Fellow, Geotechnical Research Dept., KICT)

\*4 정희원, (주)한진중공업 건설기술연구소 책임연구원(Senior Research Engineer, Construction Technology Research Institute, Hanjin Heavy Industry and Construction)

\*5 정희원, (주)한진중공업 건설기술연구소 연구원(Research Engineer, Construction Technology Research Institute, Hanjin Heavy Industry and Construction)

\*6 비희원, 평산에스아이(주) 대표이사(Rresident, Pyungsan SI Ltd.)

## 1. 서론

최근 국가적 차원의 장기 건설계획과 맞물려 서남 해안을 중심으로 대규모 산업단지 조성, 항만, 신공항 조성 등 해안지역의 개발과 고속도로 조성의 친환경적 특성상 10m 이상의 고성토 매설 관거 및 암거 등 지중매설구조물의 설치의 필요성이 증대되고 있는 실정이다. 그러나, 현재의 설계법에 따르면 이와 같은 고성토 매설 관거 및 암거는 높은 성토고에 따른 큰 하중을 지지할 수 있도록 매설관의 강성을 증대시켜야 하므로 구조물의 단면이 커지게 됨에 따라 경제성 및 시공성에 있어 많은 문제점이 내포되어 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근 일본, 노르웨이, 미국 등에서는 EPS 블록의 압축성을 이용한 하중 저감 방안에 대한 연구가 진행 중에 있다. 이와 같이 토체 내 발현되는 아칭효과를 극대화시키는 재료인 EPS 블록을 이용한 고성토 매설 관거 구축공법은 수직하중 저감에 따른 경제적인 암거 및 관거 단면의 선정, 구조물의 안정성 증대, 시공의 용이성 등 많은 장점을 갖고 있다.

따라서, 고성토 지중매설구조물의 시공이 증가하는 국내 건설여건을 고려해 볼 때 EPS 블록과 같은 토목섬유를 이용한 지중매설구조물의 하중저감 대책에 대한 연구가 시급한 실정에 있다. 본 연구에서

는 다양한 형태의 실내 모형토조 실험을 수행하여 EPS 블록의 하중저감 특성을 규명하고 현장적용에 필요한 최적 단면 및 설계 시 적용되는 환산하중계수(K')을 제시 하고자 한다.

## 2. 아칭재에 의한 하중저감 원리

본 논문에서는 아칭재에 의한 하중저감원리 개념도를 보여주는 그림 1에 나타난 바와 같이 아칭재인 EPS 블록을 과형강관 상부에 포설하고, 그에 따른 수직하중 저감 효과와 그 매커니즘을 분석하였다. 이러한, 매설관의 하중저감에 관한 연구는 Neilson(1972)과 Taylor(1973)의 유도고랑 기법에 의한 매설관의 수직하중 저감 기법에 대한 연구를 시작한 이래로 많은 연구자에 의해 연구되었다.

유도 고랑형 기법은 관거 상단의 내부토체에 압축성이 큰 재료(점토, 이토, 지푸라기 등)를 뒤채움함으로써 다짐된 지반인 외부토체에 대해 상대적으로 하향 침하하는 변위를 유발시킴으로써 발생하는 아칭 효과에 의해 하중을 저감시키는 공법이다. 이때 침하에 의해 야기된 내부 토체와 외부 토체 사이의 상대적 변위는 내부 토체 상방향의 전단력을 발생시키고, 발생된 전단력은 관거 상부 토체의 무게를 지탱하여 관거 상단에 작용하는 하중을 저감시킨다. 이와 같은

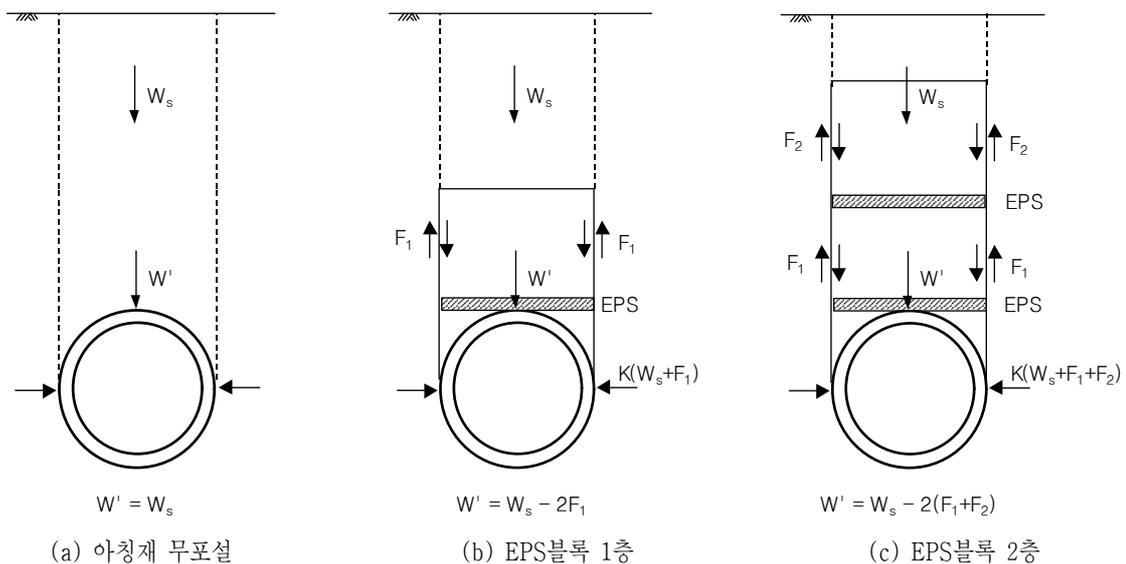


그림 1. 아칭재에 의한 하중저감원리 개념도

기법은 모래지반의 응력해방 후 터널 상부에서 나타나는 아칭효과와 비슷하다.

그러나, 기존의 유도 고랑형 기법은 상대적 변위를 유발시키기 위한 압축재인 점토, 이토, 지푸라기 등이 현장의 품질관리차원에서 관리가 어렵다는 문제점을 가지고 있다. 최근의 관련 연구 경향은 압축재로서 재료 관리가 용이한 대체 재료의 개발과 EPS 블록의 활용성 검증 등에 초점이 모아지고 있는 실정이다. 현재 일본, 노르웨이, 미국 등지에서는 매설암거 분야에 대한 몇몇의 적용사례가 있으며, 고성도에 따른 매설암거 및 관거의 하중저감 대책방안에 대한 연구 사례는 다음과 같다.

## 2.1 일본의 연구사례

일본의 북해도 개발청에서는 암거분야의 하중저감기법으로 EPS 블록을 이용한 매설암거의 시험시공을 수행하였다(Yuichi et al., 1996). 시험시공 현장의 성토층은 습윤단위중량이  $1.84 \text{ t/m}^3$  정도이고, 토피고가 24.5m였다. 따라서 연직토압계수,  $\alpha$ 는 암거 상단의 토피두께(H)와 H/B의 비를 고려하여 1.2로 평가되었다. 현장의 시공은 EPS 블록의 경우 18m 구간에 시공높이 1m, 단위중량  $20\text{kg/m}^3$ 로, 흙성토의 경우 단계별로 '93년 9.3m, '94년 18.5m, '95년 22.5m로 수행되었다. 현장계측 결과 EPS 매설암거는 시공높이별로 연직토압계수가 EPS 구간의 경우성토 높이 9.3m에서 0.94, 1.26, 18.5m에서 0.68, 0.86, 22.5m에서 0.80, 0.99로 나타나, 흙성토의 2.0 보다 2배이상의 하중저감효과가 있는 것으로 판명되었다.

## 2.2 노르웨이의 연구사례

노르웨이 NRRL(Norwegian Road Research Laboratory)에서는 Eidanger, Telemark county의 18번 유로국도에서 현장시험을 수행하였다. 이때 압축재로 사용된 EPS블록은 D-20( $20\text{kg/m}^3$ ),  $0.5 \times 1.0 \times 2.0\text{m}$  크기를 사용하였다. EPS 블록이 포설된 암거 주변 토압은 암거 상단 중앙의 경우 수직토압  $75\text{kPa}$

로, 토피하중  $277\text{kPa}$ 의 27% 정도로 급격한 감소가 나타나는 반면에 암거 측벽부의 경우 수직토압  $201\text{kPa}$  일때 수평토압  $124.6\text{kPa}$ 의 62% 정도로 암거 상단 중앙 수직토압에 비해 토압이 커지는 경향을 보였다. 이러한 경향은 EPS 블록 상단 토체의 아칭효과에 의해 수직 토압은 감소 되지만 그 영향으로 암거 측벽부의 수직토압이 증가되어 측벽부 수평토압의 경우 오히려 더 커지는 경향에 의해서 야기되는 것으로 보고되었다.

## 2.3 국내의 연구 동향

한국건설기술연구원에서는 해안매립을 통하여 조성한 공단내의 전기 및 통신선로용 매설암거 공사현장에 연약기반 침하방지를 위한 하중저감기법으로 EPS 블록을 이용한 하중저감기법 연구를 수행하였다(한국건설기술연구원, 1996년).

EPS 블록을 이용한 수직토압 경감효과를 위한 시험시공 단면은 EPS 블록을 이용한 수직토압 경감효과를 평가하기 위해 EPS 성토층, EPS+지오그리드 포설층, 흙 성토층 등으로 구분하여 시공되었다.

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

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.

### 3. 실내 모형시험

#### 3.1 시험 재료 및 장비

##### 3.1.1 흙시료

본 연구에 사용한 흙시료는 우리나라의 주문진 지역에서 채취되는 비중 2.63, 내부마찰각 35, 최대다짐밀도  $1.68 \text{ t/m}^3$ 인 주문진 규사를 이용하였다. 모형토조실험은 다음의 표 1 및 그림 2에서 보듯이 상대다짐도에 따른 지중매설구조물에 작용하는 하중특성을 조사하기 위하여 여러 단계의 낙하고에 대해 상대다짐도를 측정하였다. 모형토조에 이용된 낙하고는 그림 2에서 나타난 바와 같이 중간의 상대다짐도(약 87.5%)를 나타내는 50cm를 이용하여 실험을 수행하였으며, 모형토조 실험 중 함수비는 2.0~3.0% 정도를 유지하였다.

##### 3.1.2 EPS 블록 시료

본 연구에 사용된 EPS 블록 시료는 밀도가 D-15 ( $15 \text{ kg/cm}^3$ ), 두께 5cm, 길이 100cm를 이용하였으며, 폭은 단면 결정을 위한 예비 실험 단계에서는 사용된

관의 직경, D(100cm, 150cm)에 대하여 1.0D, 1.2D, 1.3D, 1.7D, 1.9D, 2.1D를 사용하여 예비 실험을 하였으며, 본 실험에서는 사용된 관의 직경(100cm, 150cm)과 동일한 1.0D를 사용하였다. 그림 3에서는 EPS 블록 시료의 단면 형상을 보여준다.

##### 3.1.3 매설관 시료

본 연구에 사용된 매설관 시료는 다음의 표 2에 나타난 바와 같이 압축강도 시험을 수행하여 실제 현장에서 지중 매설암거로 이용되는 파형강관 1형 두께 2.0mm, 직경 300mm와 직경 600mm의 강성계수와 유사한 값을 갖는 직경 100mm, 150mm, 두께 0.5mm인 아연도금 강관을 사용하였다. 파이프 시료의 강성계수를 알기 위하여 수행된 압축강도 시험은 연성관 압축강도 시험 규정인 KPS M 2009를 따라 시험을 수행되었다. 압축강도 시험은 하중재하 프레임과 데이터 분석시스템으로 구성되어 있는 일반적인 압축장비 시스템을 이용하였으며, 압축강도 시험시 압축속도는  $50 \text{ mm/min}$ 로 수행하였다.

표 1. 낙하고에 따른 흙시료의 상대다짐도

낙하고(cm)	1회	2회	3회	평균 모래무게(kg)	평균 단위중량( $\text{t/m}^3$ )	상대다짐도(%)
	모래무게(kg)	모래무게(kg)	모래무게(kg)			
20	36.65	36.70	37.60	36.98	1.438	85.6%
40	37.35	37.65	37.25	37.42	1.454	86.6%
60	39.00	38.85	38.70	38.85	1.510	89.9%
80	39.10	39.00	39.15	39.08	1.519	90.4%
100	39.05	39.55	38.75	39.12	1.521	90.5%

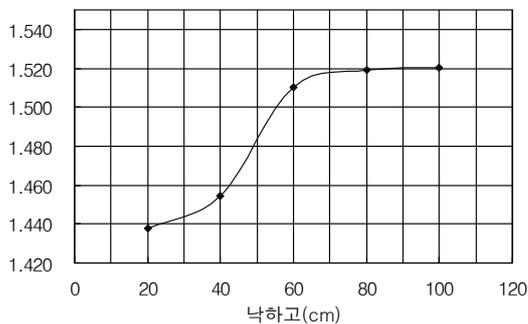


그림 2. 낙하고에 따른 흙시료의 단위중량

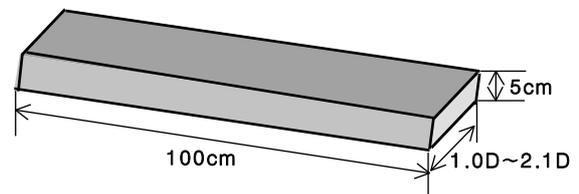


그림 3. EPS 블록의 규격

표 2. 파이프 시료의 압축강도 시험결과

파이프 종류	5% 변형시의 하중강도 (F, kg/cm)	5% 변형시의 변위량 ( $\Delta y$ , cm)	강성계수 (PS=F/ $\Delta y$ , kg/cm/cm)
직경 : 600mm 두께 : 2.0mm	18.43	3	6.14
	18.51	3	6.17
직경 : 300mm 두께 : 2.0mm	7.42	1.5	4.95
	7.97	1.5	5.31
직경 : 100mm 두께 : 0.5mm	2.21	0.5	4.42
	2.58	0.5	5.15
직경 : 100mm 두께 : 0.8mm	8.42	0.5	16.84
	8.82	0.5	17.63
직경 : 150mm 두께 : 0.5mm	1.12	0.75	1.49
	1.13	0.75	1.51
직경 : 150mm 두께 : 0.6mm	1.75	0.75	2.33
	1.79	0.75	2.39
직경 : 150mm 두께 : 0.8mm	3.94	0.75	5.25
	4.04	0.75	5.39

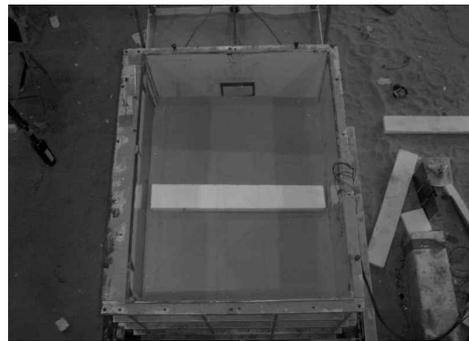
### 3.1.4 모형토조시험 장비

모형토조시험에 사용된 기본장비는 모형토조, 가압관, 토압계 및 데이터로거 등을 들 수 있다. 특히

실험에 사용된 모형토조는 그림 4(d)에서 보는 바와 같이 140cm×102cm×90cm(L×B×H) 크기의 토조를 이용하였다. 이때 상재하중은 철재로 제작된 가



(a) 파형강관 설치 모습



(b) EPS 블록의 설치 모습

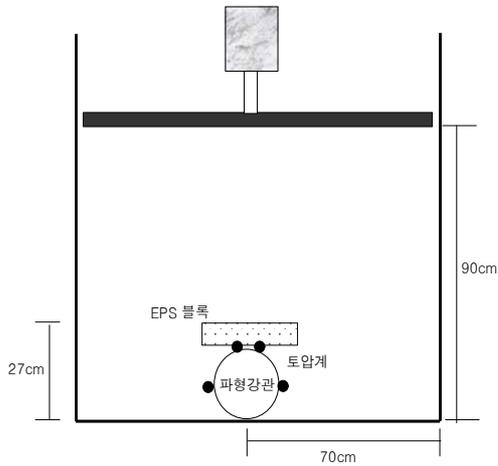


(c) 낙사 장면

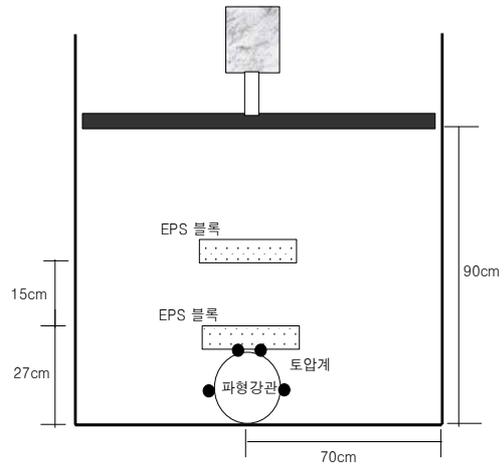


(d) 모형토조 하중재하 모습

그림 4. 모형토조 시험 개요 및 토압계 설치 모습 (계속)



(e) EPS 1단 포설시의 토압계 설치 모습



(f) EPS 1단 포설시의 토압계 설치 모습

그림 4. 모형토조 시험 개요 및 토압계 설치 모습

압판을 유압을 이용하여 재하하였다. 또한, 실험 중 일정한 낙하고를 유지하고 토조내에 균등한 다짐도를 유지하기 위하여 강사기를 사용하였다. 강사기의 크기는 낙하고가 50cm이기 때문에 토조내에 들어갈 수 있는 크기인 130×100 cm로 제작되었으며, 낙하高的 조절은 실험실내에 설치되어 있는 크레인을 이용하여 조절하였다. 한편, 지중매설구조물에 작용하는 하중 특성을 계측하기 위해 사용된 토압계는 그림 4(e)와 (f)에서 보듯이 매설관 상부(2개)와 양측면(각 1개)에 일본 도쿄쇼키사에서 제작된 직경 50mm, 용량 2.0kg/cm<sup>2</sup>인 토압계를 설치하였다.

### 3.2 실험종류 및 내용

실내 모형토조시험은 표 3에서 보듯이 아칭재 무포설의 경우와 아칭재 포설의 경우에 대하여 연성관계의 하중분포 특성, EPS 포설폭에 따른 효과, EPS

다칭 포설 간격에 따른 효과, 환경 변화에 따른 효과 등을 규명하기 위한 실험을 수행하였다. 각 실험단계에서 낙하고는 50cm를 유지하였으며, 재하하중은 고성토 하중을 반영하기 위하여 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0t/m<sup>2</sup>의 하중단계를 적용하였다.

## 4. 계측 결과 및 분석

### 4.1 EPS 포설폭 변화에 따른 하중저감효과

일반적으로 성토된 지반의 수직토압(토피하중)은 성토재의 자중에 의해서 수직토압(토피하중)이 선형적으로 증가하며, 연성관 매설시 연성관에 의한 인위적 토체내 변위 유발에 따른 토압 재분배 효과인 아칭효과에 의해 하중저감효과가 발생한다(Spangler, 1941). EPS 포설폭 변화에 따른 수직토압-상재하중 관계 곡선을 보여주는 그림 5에서 보듯이 일반 흙지

표 3. EPS 포설 단면결정을 위한 실험 내용

포설 형태	실험항목	변화인자
아칭재 무포설	연성관거의 하중분포	매설관 유(100cm), 무
아칭재 포설	EPS 블록 포설폭에 따른 효과	1.0D, 1.5D, 2.1D
	다층에 따른 수직 포설간격 효과	0.5D, 1.0D, 1.2D, 1.5D
	환경 변화에 따른 효과	관경(100mm, 150mm)
	다짐밀도 변화에 따른 효과	상대다짐도 85.6%, 87.5%

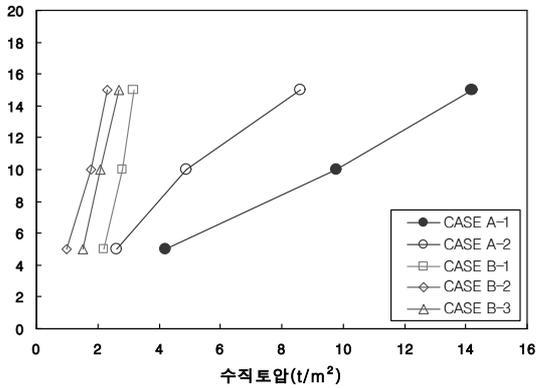


그림 5. EPS 포설폭 변화에 따른 수직토압-상재하중 관계 곡선

반을 모사하기 위한 매설관이 없는 경우(CASE A-1)와 연성관거가 매설된 경우(CASE A-2)를 비교해 보면 이러한 하중저감효과가 잘 나타나고 있으며, 하중저감효과는 상재하중이 커질수록 큰 것으로 평가되었다.

한편, EPS 포설폭 변화에 따른 하중저감효과는 EPS 포설폭을 관직경의 1.0배(CASE B-1), 1.5배(CASE B-2), 2.1배(CASE B-3) 까지 변화시켜가며 수직토압을 평가한 결과, 포설폭 변화에 따라 1.5D에서 가장 저감효과가 크다가 2.1D 사이에서 다시 저감량이 감소하는 경향을 보이지만, 그 크기의 경우 별 차이를 보이지 않는다. 예로써 EPS 포설폭 변화에 따른 수직하중은 하중단계 15t/m²에서 1.0D의 경우 3.2t/m², 1.5D의 경우 2.3t/m², 2.1D의 경우 2.7t/m²로써 연성관 EPS 무포설의 8.6t/m²에 비해 각각 63%, 73%, 69% 등의 저감효과가 나타났다.

EPS 포설폭 변화는 외적토체와 상대적 변위를 유발시켜 아칭효과를 야기시키는 내적 토체의 크기를 변화시키는 효과가 있다. 즉, EPS 포설폭 변화에 따른 하중저감효과의 평가는 내적토체 크기 변화에 따른 하중저감효과를 평가하는 과정이고, 평가 결과 내적토체와 외적토체 사이의 경계면에 발생된 전단력(F)이 관거상단(토압계 매설위치)에서 멀어질수록 영향이 적어짐으로써 하중저감효과가 반감되는 것으로 평가되었다.

따라서, EPS 한층 포설에 따른 하중저감 대책은 포설폭의 경우 경제성을 고려하여 1.0D로 하는 것이

바람직하며, 저감 효과의 경우 60%정도가 기대된다.

#### 4.2 다층에 따른 포설간격 효과

유도 고랑(Induced Trench)형 매설관거는 압축재로 EPS 블록이나 압축성이 큰 유기질 점토를 이용하여 관거 상단의 수직하중을 저감하는 방법으로, 유도 고랑 관거 상단의 압축변위가 발생하는 아칭영역은 관거상단면에서 증가침하면까지 이다. 즉 유도 고랑 관거는 하중저감에 이용되는 내적 및 외적 토체의 양경계면에 발생되는 전단력, F를 연직방향면에 있어서 관거 상단면에서 증가침하면까지 발생시키는 것을 의미한다. 한편, 연성관거 상단의 EPS 다층 포설은 아칭 영역을 수직방향으로 확대시키는 방법으로, 증가침하면 위에 다시 아칭재를 포설하여 아칭영역을 수직방향으로 확장하여 보다 큰 하중저감을 유도하는 기법이다.

본 실험은 EPS 포설 폭을 1.0D로 고정시킨 후 연직방향의 EPS 포설간격을 관 직경에 대해 1.0D(CASE C-1), 1.2D(CASE C-2), 1.5D(CASE C-3)로 변화시켜 가면서 토압저감효과를 평가한 것이다. 그림 6에서는 EPS 포설 간격 변화에 따른 수직토압-상재하중 관계 곡선을 보여준다. 그림 6에서 보듯이 EPS 포설 간격 변화에 따른 하중저감효과는 2층 포설 EPS의 간격 1.0D에서 가장 크고, 포설간격이 관 상단 EPS에서 멀어질수록 저감효과가 작아지는 경향을 보였다. 예로써 EPS 포설 간격 변화에 따른 수

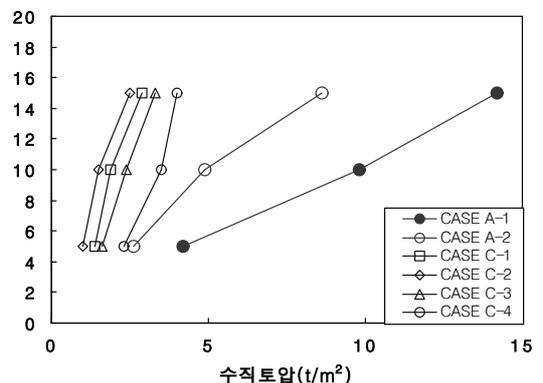


그림 6. EPS 포설 간격 변화에 따른 수직토압-상재하중 관계 곡선

직하중은 하중단계 15t/m<sup>2</sup>에서 1.0D의 경우 2.5t/m<sup>2</sup>, 1.2D의 경우 3.3t/m<sup>2</sup>, 1.5D의 경우 4.0t/m<sup>2</sup>로써 연성관 EPS 무포설의 8.6t/m<sup>2</sup>에 비해 각각 71%, 62%, 53% 등의 저감효과가 나타났다. 또한, 1층 EPS 포설 단면과 하중저감효과를 비교하면, 하중저감효과는 1층 포설의 경우 3.2t/m<sup>2</sup>, 2층 포설, 1.0D의 경우 2.5t/m<sup>2</sup>로 약 22%의 추가 저감효과가 발생되었다.

EPS 다층에 따른 포설 간격 변화 효과는 다층의 아칭영역을 구축하여 전체 아칭영역을 확대시켜 효과가 있지만, 앞서 언급된 하중분산 메카니즘에서 언급했듯이 외적토체의 수직토압을 증가시키는 경향이 있다. 즉, 2층 포설에 의한 저감효과는 1.5D의 경우 4.0t/m<sup>2</sup>로써 외적 토체의 수직토압 증가 효과에 의해 1층 포설의 3.2t/m<sup>2</sup>보다 수직토압을 25% 정도 증가시키는 역기능이 보였다.

따라서, EPS 다층 포설은 다층 포설에 따른 역기능을 고려하여 수직방향의 포설 간격을 1.0D로 하는 것이 바람직하며, 아칭재 무포설 단면(CASE A-1)에 비해 저감 효과의 경우 70%정도가 기대된다.

#### 4.3 관경 변화에 따른 하중저감 효과

일반적으로 연성관거의 관경 변화는 관 압축강도 특성 중 강성도 특성을 변화시키는 영향인자 이다. 본 실험은 아칭재 효과에 대한 관경의 영향 정도를 관경 100mm, EPS 포설 폭 1.0D, 1층 포설(CASE B-1), 관경 150mm, EPS 포설 폭 1.0D, 1층 포설(CASE E-1)과 비교하여 평가하고자 하였다. 그림 7에서는 관경

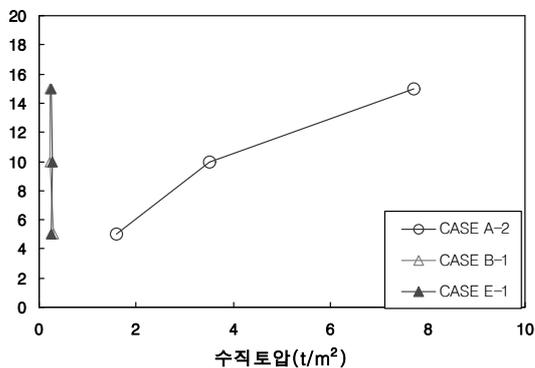


그림 7. 관경 변화에 따른 수직토압-상재하중 관계 곡선

변화에 따른 수직토압-상재하중 관계 곡선을 보여준다. 그림 8에서 보듯이 관경 변화 효과는 연성관거에 작용하는 수직하중 저감효과에 대해 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 예로써 평가된 수직하중은 하중단계 15t/m<sup>2</sup>에서 CASE B-1의 경우 3.2t/m<sup>2</sup>, CASE E-1의 경우 3.4t/m<sup>2</sup>으로 직경과 무관한 것으로 평가 되었다. 이는 앞서 언급된 실험 관거의 압축강도시험 결과에서 보듯이 관의 직경이 다를지라도 관 두께의 변화에 의해 강성도가 거의 유사함으로써 동일한 아칭효과 유발에 따른 특성에 기인한 것으로 사료된다. 따라서, 아칭재 효과는 관직경 보다는 관의 강성도에 영향을 받는 것으로 평가되었다.

#### 4.4 토목섬유를 이용한 하중저감기법의 하중계수(K) 산정

설계시 파형강관의 정점에 작용하는 설계하중(P<sub>v</sub>)은 다음의 식 (1)~(2)과 같이 토피고(H)와 관 직경(D)과의 관계에 따라 다짐밀도에 따른 하중계수, K 값을 반영하여 산정한다. 한편, 하중계수, K 값은 뒤 채움재의 다짐밀도에 따른 값으로 본 실험에서 수행된 상대밀도 87.5%인 경우 대략 0.8 정도로 평가되고 있다.

$$P_v = K \times (DL + LL) \quad : \quad H \geq D \text{ 인 경우} \quad (1)$$

$$P_v = DL + LL \quad : \quad H < D \text{ 인 경우} \quad (2)$$

표 4에서는 토목섬유를 이용한 하중저감기법의 환산하중계수, K' 을 보여준다. 표 4에서 보듯이 모형토조실험 결과인 파형강관의 환산하중계수는 상대밀도 87.5%, 파형강관 만 매설된 CASE A-2인 경우 대략 0.53인 것에 비해 설계하중계수, K의 경우 0.80과 큰 차이를 보였다. 이러한 원인은 일반 성토재와 순수 모래시료의 재료적 차이에 따른 것으로 판단된다. 특히 일반 성토재는 순수 모래시료와 달리 점토를 많이 함유하고 있어 그와 같은 경향을 보이는 것으로 사료된다.

한편, 표 4에서 보듯이 토목섬유를 이용한 하중저감기법의 환산하중계수, K' 은 EPS 블록 1층의 경우

표 4. 토목섬유를 이용한 하중저감기법의 환산 하중계수,  $K'$

구 분	평가항목	수직토압( $t/m^2$ )	저감율(%)	환산 하중계수, $K'$
CASE A-2		8.6	-	0.53
CASE B-1		3.2	63	0.20
CASE C-1		2.5	71	0.15
CASE E-1		3.4	60	0.21
CASE F-1		3.5	59	0.22

0.2, EPS 블록 2층 포설한 경우 0.15 등으로, 일반적인 파형강관 매설조건의 설계하중계수,  $K'$  0.53에 비해 작게 나타나, EPS 블록과 같은 아칭재를 사용한 하중저감기법이 효과가 있는 것으로 평가되었다. 한편, 환산하중계수,  $K'$  이 작은 원인은 앞서 언급된 일반 성토재와 순수 모래시료의 재료적 차이에 따른 것으로, 실제 현장 적용시에는 본 실험의 결과에 비해 다소 감소된 하중저감 효과가 나타날 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 다양한 형태의 실내 모형토조 시험을 수행하여 지중매설구조물에 대한 EPS 블록의 하중저감 특성 및 메카니즘을 규명하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. EPS 한층 포설에 따른 하중저감 대책은 포설폭의 경우 경제성을 고려하여 1.0D로 하는 것이 바람직하며, 저감 효과의 경우 60%정도가 기대된다.
2. EPS 다층 포설은 다층 포설에 따른 역기능을 고려하여 수직방향의 포설 간격을 1.0D로 하는 것이 바람직하며, 아칭재 무포설 단면에 비해 저감 효과의 경우 70%정도인 것으로 평가되었다.
3. 연성관거의 관경 변화에 따른 수직하중 저감효과는 하중단계  $15t/m^2$ 에서 관경 100mm, EPS 포설 폭 1.0D, 1층 포설의 경우  $3.2t/m^2$ , 관경 150mm, EPS 포설 폭 1.0D, 1층 포설의 경우  $3.4t/m^2$ 으로

나타나, 관직경 보다는 관의 강성도에 영향을 받는 것으로 평가되었다.

4. 토목섬유를 이용한 하중저감기법의 환산하중계수,  $K'$  은 EPS 블록 1층의 경우 0.2, EPS 블록 2층 포설한 경우 0.15 등으로, 일반적인 파형강관 매설조건의 설계하중계수,  $K'$  0.53에 비해 작게 나타나, EPS 블록과 같은 아칭재를 사용한 하중저감기법이 효과가 있는 것으로 평가되었다. 한편, 환산하중계수,  $K'$  이 작은 원인은 일반 성토재와 순수 모래시료의 재료적 차이에 따른 것으로, 실제 현장 적용시에는 본 실험의 결과에 비해 다소 감소된 하중저감 효과가 나타날 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. AASHTO(1996), Standard Specification for Highway Bridges, 16th Edition.
2. AISI(1993), Handbook of steel Drainage & Highway Construction Products, Fourth Edition, 518pp.
3. AISI(1995), Modern Sewer Design, 3rd Edition, 306pp.
4. Marston, A.(1930), "The Theory of External Loads on Closed Conduits", Bulletin No.96, Iowa Engineering Experimental Station, Ames, IA, pp.5~8.
5. NCSPA(1967), Corrugated Steel Drainage Steel Structures
6. NCSPA(1994), Installation Manual for CSP, Pipe Arches, Structural Plate
7. NCSPA(1995), Sewer Manual for Corrugated Steel Pipe
8. Spangler, M.G.(1948), "Underground Conduits", Transaction ASCE, Vol.113.
9. Watkins, R.K.(1993), Structural Mechanics of Bruied Pipes, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Utah State University, UT 84322, 267pp.