

EPS 블록을 이용한 파형강관의 하중저감에 관한 연구

Research of Load Reduction on Corrugated Steel Pipe Using EPS Block

김진만 ¹	Kim, Jin-Man	조삼덕 ²	Cho, Sam-Deok
최봉혁 ³	Choi, Bong-Hyuck	오세용 ³	Oh, Se-Yong
백영식 ⁴	Paik, Young-Shik		

Abstract

Researches on the induced trench method using compressible materials such as clay, mud, straw have been performed to reduce the load acting on buried conduits under a high fill in USA and Canada. And in-situ tests on load reduction method using EPS block as a compressible inclusion have been performed in Japan and Norway. Using a EPS block as a compressible materials can have various benefits such as cost-effective design, enlargement of safety and easy construction of structure under high fills. This paper analyzes the arching material function of EPS which can result in reduction of earth pressure by arching effect in Corrugated Steel Pipe. A series of tests were conducted to evaluate the reduction of earth pressure on conduits using EPS. Based on field test it is found that the magnitude of vertical earth pressure on conduits was reduced to about 35~40% compared with conventional flexible conduit systems.

요 지

지중매설구조물의 하중저감과 관련하여 미국과 캐나다에서는 점토, 이토, 지푸라기 등의 압축재를 이용한 유도고랑 관거(induced-trench)기법에 대한 연구가 진행되어 왔으며, 일본과 노르웨이 등에서는 압축재로서 EPS 블록을 이용한 하중 저감 방법에 대한 현장 시험시공을 통한 연구가 수행된 바 있다. 이와 같이 아칭효과를 극대화시키는 재료인 EPS 블록을 이용한 고성토 매설구조물 구축공법은 작용하중 저감에 따른 경제적인 구조물 단면의 선정, 구조물의 안정성 증대, 시공의 용이성 등 많은 장점을 갖고 있다. 본 논문에서는 연성 관거인 파형강관에 대한 토압 저감을 대상으로 아칭재인 EPS의 아칭 효과에 따른 토압 저감 효과를 분석하였다. 일련의 EPS를 이용한 하중 저감 평가 시험이 수행되었으며, 현장 시험을 기초로 한 수직 토압 저감효과는 일반적인 연성관거에 비해 약 35~40% 정도인 것으로 평가되었다.

Keywords : Compressible inclusion, Conduit, CSP, EPS

1. 서 론

최근 국가적 차원의 장기 건설계획과 맞물려 서남해안을 중심으로 대규모 도로, 공항, 항만조성 등 해안

지역의 개발 및 도심지하철 공사로 인해 8m 이상의 고성토 매설구조물의 설치가 증대되고 있다. 현재 매설구조물의 설계는 암거의 상단에 작용하는 수직하중의 분포 및 크기, 매설되는 구조물의 형태 및 종류, 성토

1 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원 (Member, Senior Research, Geotechnical Engrg. Research Dept., KICT, jmkim@kict.re.kr)
 2 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원 (Member, Researcher Fellow, Geotechnical Engrg. Research Dept., KICT)
 3 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원 (Member, Researcher, Geotechnical Engrg. Research Dept., KICT)
 4 정회원, 경희대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Kyunghee Univ.)

높이와 구조물의 폭, 상재하중, 기초지반의 지지력 등을 고려하여 설계단면에 작용하는 힘과 모멘트에 대한 평형을 분석하는 방법으로 수행된다. 이와 같은 설계법에 의하면 고성토 매설구조물은 높은 성토고에 따른 큰 하중을 지지할 수 있도록 매설구조물의 단면 확대를 통해 강성을 증대 시켜야 하므로 경제성에 있어서 불리한 상태이다.

지금까지의 매설관거 관련 연구동향을 살펴보면, Anson Marston의 매설관거에 작용하는 외적하중에 대한 초기 이론(Marston, 1913 ; Marston, 1930) 등을 발표하였고, Spangler는 정적 및 동적 하중에 의한 매설관거의 변형(Spangler at al., 1926) 및 침하비 특성(Spangler, 1950) 연구를 통한 관 주변의 아칭효과를 규명하였다. Schlick(1932)은 광폭 고랑에서의 하중연구를 통하여 고랑형 및 제방형 등과 같은 매설형태에 따른 토압특성을 규명하였고, White et al.(1960)은 현재 연성관거의 설계에 널리 쓰이는 압축링법을 제안하였다. 또한, Howard(1977)는 다양한 실내 및 현장실험을 통하여 설계시 요구되는 흙 종류 및 다짐정도에 따른 지반반력계수(e)값을 제시하였다.

한편, Spangler(1973)는 강성관과 연성관 사이의 토압 분포 특성 차이를 연성관의 변형에 따른 아칭효과에 의한 주변 지반과 관체 사이의 하중분담효과로 규명하였다. Spangler(1973)의 연구결과에 의하면, 연성관의 하중에 대한 저항 메카니즘은 성토하중이나 교통하중과 같은 외력이 작용했을 때 관의 수직 및 수평방향의 변형이 발생하고, 변형의 발생에 따른 주변 토체에 수동저항을 유발시켜 외적인 하중을 아칭효과에 의해 주변 흙으로 전가시키는 형태이다. 그림 1은 Spangler(1973)에 의해서 수행된 같은 직경의 강성관(콘크리트 홈관)과 연성관

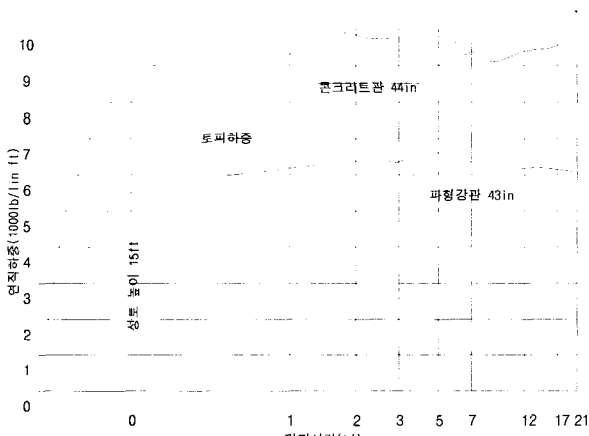


그림 1. 강성 및 연성 관의 시간경과에 따른 수직하중 특성

(파형강관)의 수직하중 비교 연구결과를 보여주고 있다. 그림 1에서 보듯이 연성관(파형강관)은 동일한 조건하에서 강성관(콘크리트 홈관)보다 관거 상단에 작용되는 수직하중이 약 40% 정도 저감되는 것을 알 수 있다.

하중저감기법으로서 유도고랑관거기법은 Scheer & Willet(1969), Nielson(1972), Taylor(1973), Sladen et al. (1988) 등에 의해서 수행되었으며, 이들은 압축재로 점토, 이토, 지푸라기, EPS(Expanded Polystyrene) 블록 등을 이용한 유도고랑관거에 대한 하중저감효과 및 경제성 등을 제시하였다. 유도 고랑형 기법은 그림 2와 같이 관거 상단의 내부토체에 압축성이 큰 재료(점토, 이토, 지푸라기 등)를 뒤채움재로 사용하여 주변의 다짐된 지반인 외부토체에 대해 상대적으로 하향 침하하는 변위를 인위적으로 유발시킴으로써 하중을 저감시키는 공법이다. 이때 압축재의 침하에 의해 야기된 내부 토체와 외부 토체 사이의 상대적 변위는 내부 토체와 외부 토체 사이에 상향의 전단력을 발생시키고, 발생된 전단력은 관거 상부 토체의 무게에 의해 관거 상단에 작용하는 연직 하중을 저감시킨다.

하중저감을 위해 많이 쓰이는 EPS 블록은 보통 발포 스티로폼으로 불리워지고 있으며, 공업 재료적으로 발포 스티로폼으로 불리워진다. EPS 블록이 부피 1m³ 정도의 대형 블럭형태로 제조되어 토목공사에 성토재로서 적용되기 시작한 것은 1972년 노르웨이 NRRL(Norwegian Road Research Laboratory)에서 EPS 성토공법을 개발하면서부터 이다(NRRL, 1987). 또한, NRRL(1994), Yuichi et al.(1996), 김진만(1997) 등은 EPS 블록 및 EPS 블록/지오그리드의 압축성을 이용한 매설관거의 하중저감기법에 관한 연구를 발표해 왔다. 이와 같은 EPS 블록을 이용한 고성토 매설관거의 하중저감기법은 하중 저감

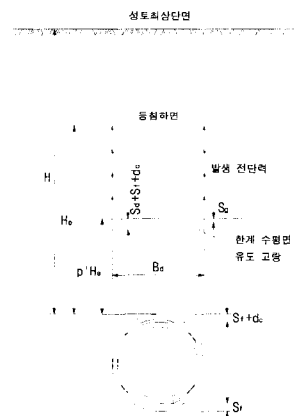


그림 2. 유도고랑관거기법 개념도

에 따른 경제적인 압거 및 관거 단면의 선정, 구조물의 안정성 증대, 시공성 등 많은 장점을 갖고 있다.

따라서 본 연구에서는 연성 매설구조물인 파형강관을 대상으로 다양한 형태의 실내 모형토조 시험 및 현장 시험시공을 수행하여 지중매설구조물에 대한 EPS 블록의 하중저감 특성과 메카니즘을 규명하고, 본 기법이 적용된 파형강관 시스템의 합리적인 설계정수를 제시하고자 하였다.

2. 실내 모형토조시험

본 논문에서는 연성관의 하중저감 효과를 규명하고, EPS를 이용한 하중저감 기법의 현장 적용성 평가를 위한 최적 단면 선정 및 다짐밀도 변화에 따른 하중저감 효과 규명, EPS를 이용한 하중저감 기법의 환산하중 계수, K_{Lab} 를 제시하고자 다음과 같은 실내 모형토조시험을 수행하였다.

2.1 실내 모형토조시험 개요

본 연구에 사용한 흙 시료는 우리나라의 주문진 지역

에서 채취되는 비중 2.63, 내부마찰각 35° , 최대다짐밀도 $1.68t/m^3$ 인 주문진 규사를 이용하였으며, 아칭효과를 유발시키는 압축재로 사용된 EPS 블록은 밀도가 $D-15(15kg/cm^3)$, 두께 5cm, 길이 100cm 이며, 폭은 매설되는 관의 직경, D에 대하여 1.0D, 1.5D, 2.0D로 변화하여 사용하였다. 한편, 매설관 시료는 압축강도 실험을 수행하여 실제 현장에서 매설관으로 이용되는 파형강관 1형 직경 300mm와 직경 600mm, 두께 2.0mm의 강성계수와 유사한 값을 갖는 직경 100mm, 두께 0.5mm, 강성계수 5.15인 아연도금 강관을 사용하였다.

실내 모형토조시험에 사용된 기본장비는 모형토조, 가압판, 강사기, 토압계 및 데이터로거 등이 있으며, 실험에 사용된 토조의 크기는 $140cm \times 102cm \times 90cm$ 이며, 상재하중의 재하는 유압을 이용하여 철재로 제작된 가압판으로 재하하였다. 또한, 실험 중 일정한 낙하고를 유지하고 토조내에 균등한 다짐도를 유지하기 위하여 사용된 강사기는 $130cm \times 100cm \times 50cm$ 크기의 강사기를 사용하였다. 한편, 지중매설구조물에 작용하는 하중 특성을 예측하기 위해 사용된 토압계는 매설관 상부에 2개와 양측면 각 1개 씩 직경 50mm, 용량 $2.0kg/cm^2$ 인 토압계를 설치하였으며, 정적 데이터 로거를 이용하여

표 1. 실내 모형토조시험 항목

포설 형태	실험항목	변화인자
아칭재 무포설	연성관거의 하중저감 효과	매설관 유(100cm), 무
아칭재 포설	EPS 블록 포설폭에 따른 효과	1.0D, 1.5D, 2.0D
	EPS 블록 다층 포설에 따른 수직 포설간격 효과	0.5D, 1.0D, 1.2D, 1.5D
	다짐밀도 변화에 따른 효과	상대다짐도 85.6%, 87.5%

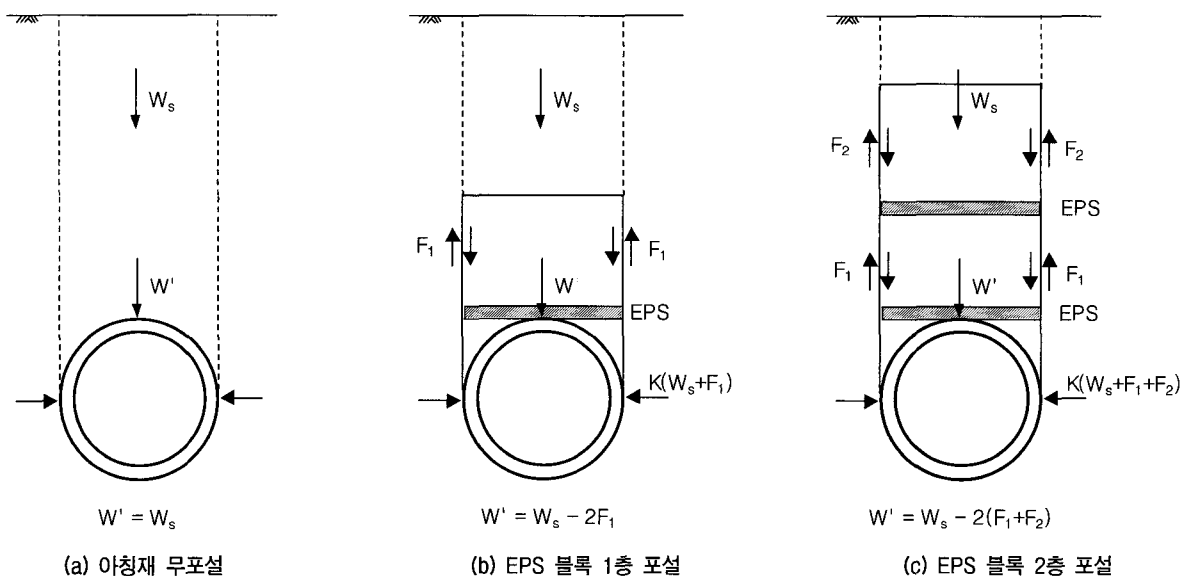


그림 3. 아칭재에 의한 하중저감원리 개념도

계측을 수행하였다.

또한, 실내 모형토조실험의 다양한 형태의 실험항목을 보여주는 다음의 표 1에서 보듯이 다양한 형태의 변화인자에 따른 실내 모형토조실험을 수행하였으며, 각 실험단계에서 낙하고는 50cm(상대다짐밀도를 87.5%)를 유지하였으며, 재하하중은 고성토 하중을 반영하기 위하여 0.0, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0t/m²의 하중단계를 적용하였다. 그림 3에서는 적절한 아칭재 (EPS 블록 1층, EPS 블록 2층) 포설을 통한 내부토체와 외부토체 사이의 발현되는 아칭효과에 의한 관거 하중저감기법의 메카니즘을 보여준다.

2.2 모형토조실험 결과 및 분석

2.2.1 연성관의 하중저감 효과

연성관 매설에 따른 하중저감 효과를 규명하기 위하여 매설관이 없는 경우와 연성관을 매설한 경우 관 상단부 위치에 작용하는 수직토압을 비교·평가하였다. 상재하중별 EPS 블록 포설폭 변화에 따른 수직토압 관계곡선을 보여주는 그림 4(a)에서 보듯이 매설관이 없는 CASE A-1의 경우 상재하중 15.0t/m²에서 수직하중이 14.2t/m²으로 평가되었으며, 연성관을 매설한 CASE A-2의 경우 동일한 상재하중에서 8.6t/m²의 수직하중을 나타나 약 39% 정도의 연성관에 의한 하중저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 그림 4(a)를 보면 이와 같은 하중저감 효과는 상재하중의 크기에 비례하는 것으로 평가되었으며, 이와 같은 하중저감 효과의 원인에 대하여 Spangler(1973)는 연성관의 수직처짐에 의한 토체내 변

위 유발에 따른 토압이 재분배되는 아칭효과에 기인한다고 하였다.

2.2.2 최적 단면 결정을 위한 실험

EPS 블록을 이용한 하중저감기법의 현장 적용을 위한 최적의 EPS 블록 포설 단면의 결정을 위하여 EPS 블록의 폭 및 포설 간격 변화에 따른 모형토조실험을 수행하였다. 다음의 표 2 및 그림 4(a), (b)는 최적 단면 결정을 위한 실험 결과를 보여주고 있다. 표 2에 제시된 결과는 상재하중 15t/m²인 경우에 대한 결과이며, 여기서 수직하중 저감효과는 연성관만이 매설된 경우(CASE A-2)에 대한 결과와 비교한 것이다. 표 2에서 보듯이 최적의 EPS 블록 포설 단면은 수직토압의 저감효과와 경제적인 이유 등을 고려하여 EPS 블록 폭 1.0D~1.5D, EPS 블록 수직 포설간격 1.0D로 선정하였으며, 이때 하중저감 효과는 약 60~70% 정도로 평가되었다.

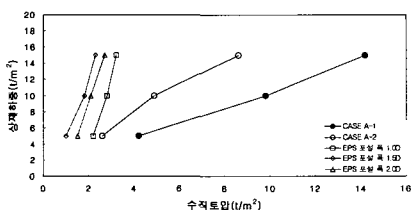
한편, EPS 블록 수직 포설 간격 변화를 살펴 보면 수직 포설 간격이 증가함에 따라 추가 저감효과가 (-)로 나타나 오히려 수직토압의 증가하는 현상이 발생하였다. 이러한 수직토압의 증가 원인은 EPS 블록 다층 포설의 경우 다층의 아칭영역을 구축하여 전체 아칭영역을 확대시키는 효과가 있지만, EPS 블록간의 수직 간격이 증가할 경우 아칭효과에 의한 하중분산 메카니즘에 의해 증가된 외적토체의 수직토압이 하부의 매설관에 작용하여 수직토압을 증가시킨 것으로 판단된다.

2.2.3 다짐밀도 변화에 따른 하중저감 효과

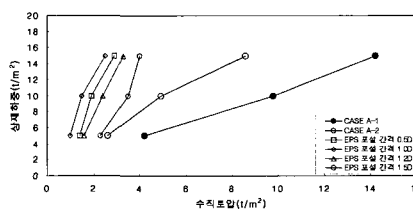
다짐밀도의 변화는 연성관의 설계에 있어서 연성관

표 2. 최적 단면 결정을 위한 모형토조실험 결과 (상재하중 15.0t/m²)

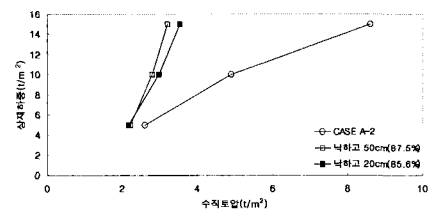
측정 항목 \ 변화인자	EPS 블록 1층 포설 폭			EPS 블록 2층 수직 포설 간격			
	1.0D	1.5D	2.0D	0.5D	1.0D	1.2D	1.5D
수직토압(t/m ²)	3.2	2.3	2.7	2.9	2.5	3.3	4.0
수직토압 저감효과(%)	63	73	69	66	71	62	53
추가 수직토압 저감효과(%)	-	-	-	9	22	(-)3	(-)25



(a) EPS 블록 포설폭 변화



(b) EPS 블록 수직 포설간격 변화



(c) 상대다짐밀도 변화

그림 4. 각 변화 인자별 수직토압-상재하중 관계곡선

에 작용하는 수직하중의 산정에 영향을 주는 요소이며, 일반적으로 파형강관 설계 시 수직하중은 다짐밀도에 따른 하중계수(K)에 의해 다짐밀도가 클수록 관 상단에 작용하는 수직하중이 작아지는 경향을 보인다. 그림 4(c)에서는 상대밀도 변화에 따른 수직도압-상재하중 관계 곡선을 보여준다. 그림 4(c)에서 보듯이 상대밀도 변화에 따른 토압특성은 상재하중 15t/m²에서 상대밀도 87.5%의 경우 3.2t/m²으로, 상대밀도 85.6%의 경우 3.5t/m² 보다 상대밀도 변화에 따른 약 9% 토압저감효과가 있는 것으로 나타났다. 한편, 일반 파형강관 설계 시 이용되는 하중계수, K는 다짐밀도 85%의 경우 0.86, 다짐밀도 87.5%인 경우 0.80으로써 다짐밀도 변화에 따른 토압하중의 변화를 고려하여 계산된 하중저감율이 9% 정도로 본 실험의 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

2.2.4 토목섬유를 이용한 하중저감기법의 환산하중계수, K_{Lab}

본 실험에서 수행된 상대밀도 87.5%에 대한 실제 파형강관 설계 시 적용되는 하중계수, K는 대략 0.8 정도이다. 한편, 다음의 표 3은 EPS를 이용한 하중저감기법의 환산하중계수, K_{Lab} 을 보여준다. 표 3에서 보듯이 모형토조실험 결과에 따른 환산하중계수, K_{Lab} 은 상대밀도 87.5%에서 대략 0.53인 것으로 평가되었으며, EPS 블록 1층의 경우 0.2, EPS 블록 2층 포설 경우 0.15 등으로, 일반적인 파형강관 매설조건인 설계하중계수, K 0.8에 비해 매우 작게 나타났다. 이와 같이 하중계수가 작게 산정된 원인은 일반 성토재와 순수 모래시료의 재료적 차이에 따른 것으로 판단되며, 특히 일반 성토재는 순수 모래시료와 달리 점토를 많이 함유하고 있어 이와 같은 경향이 나타난 것으로 사료된다.

3. 현장 시험시공 및 계측

EPS 블록을 이용한 하중저감 효과 규명을 위한 현장 시험 시공은 일반 파형강관 매설 단면과 아칭재로서

표 3. 토목섬유를 이용한 하중저감기법의 환산 하중계수, K_{Lab}

구분 \ 평가항목	수직도압(t/m ²)	저감율(%)	환산하중계수 K_{Lab}
EPS 무포설	8.6	-	0.53
EPS 블록 1층 포설	3.2	63	0.20
EPS 블록 2층 포설	2.5	71	0.15

EPS 블록이 포설된 하중저감기법 적용 단면에 대하여 토압계, 스트레인 게이지, 변위계(LVDT), 침하판 등의 각종 계측기를 현장에 매설·계측함으로써 토압 크기 및 분포형태, 변형 형태, 지중침하 특성 등을 분석하고, 아칭재로서 EPS 블록을 이용한 파형강관 하중저감기법의 현장 적용성을 평가하였다.

3.1 시험 시공 재료

현장 성토재로 사용된 흙은 현장 주변에 넓게 분포되어 있는 화강풍화토를 사용하였다. 현장 흙시료의 기본 물성치는 현장 자연함수비 14.5%, 비중 2.63, 최대건조밀도 1.94t/m³, 최적함수비 12.1%, 통일분류법상 SW로 판명되었다. 한편, 현장 다짐밀도는 평균 2.03t/m³ 정도로 나타나, 실내에서 수행된 다짐시험에 따른 최적다짐밀도, $\gamma_{max} = 2.18t/m^3$ 의 93% 정도인 것으로 평가되었다.

시험시공시 매설된 파형강관 시료는 KS D 3506에 의한 열연용 아연 도금강관으로 만들고, 파형강관의 제조에 사용되는 재료는 KS D 3503(일반구조용 압연강재)의 것을 성형 후 용융 아연도금한 것으로, IRS 형태의 철판 두께 2mm, 관경 1,000mm의 제품을 사용하였다.

아칭재로 사용된 토목섬유인 EPS 블록은 앞서 설명한 모형토조시험과 동일한 재질의 것으로, EPS 블록의 제원은 밀도가 15kg/m³이고, 길이 100cm, 두께 10cm 이다.

3.2 계측 항목 및 매설 계측기

본 연구에서 수행한 현장계측 항목은 표 4와 같다. 표 4에서 보듯이 평가된 주요 항목은 파형강관에 작용하는 토압, 지중침하, 강관 직경의 변형, EPS 블록의 변형 등을 포함되어 있으며, 표 5에서는 현장시험 변화인자별 범례를 보여준다.

표 4. 시험시공시 평가된 항목

평가 항목		사용장비	계측기 설치 위치
토압 특성	수직 및 수평 토압 특성 아칭재 효과	토압계	각 CASE 별 상부(수직도압) 1개, 측면(수평도압) 2개씩 설치
파형강관의 변형특성		LVDT	각 단면별 수평 및 수직지점에 설치
변형 특성	EPS 블록의 변위 특성	변위봉	포설 EPS 블록의 상단과 하단에 설치
지중침하		침하판	1.0m 간격으로 중앙부에 설치
현장다짐 밀도		RI장비	성토 단계별 4회 측정

표 5. 현장시험 변화 인자별 범례

구분	평가항목	아 칭 재	EPS 블록 포설폭	EPS 블록 수직 간격	관경(mm)
CASE A	-	-	-	-	1,000
CASE B	EPS 블록 1층	1.0D	-	-	1,000
CASE C	EPS 블록 2층	1.0D	1.0D	1.0D	1,000

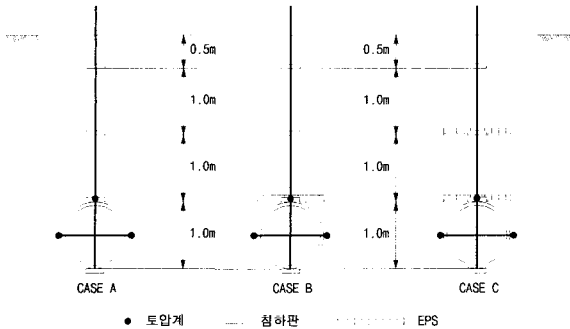
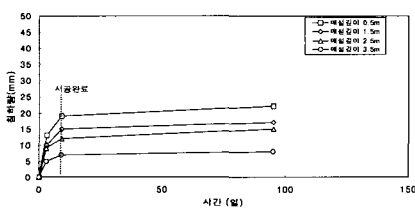


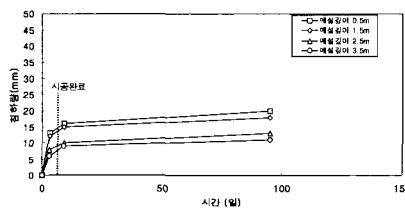
그림 5. 현장시험을 위한 계측기 매설도

한편, 현장시험은 고성토 매설깊이에 따른 토압저감 효과를 규명하기 위하여 콘크리트 블록을 제조하는 공장의 야적부지를 실험부지로 이용하여 재하하는 방식으로 수행되었다. 이때, 콘크리트 블록의 무게는 약 40kg/개 정도이며, 단위하중의 크기는 3층 재하시 약 5.4t/m² 정도인 것으로 나타났다. 본 실험은 콘크리트 블록이 상재하중으로 5.4t/m² 정도로 재하되는 블록 야적장에서 토압 및 침하 등에 대한 계측을 수행하였다.

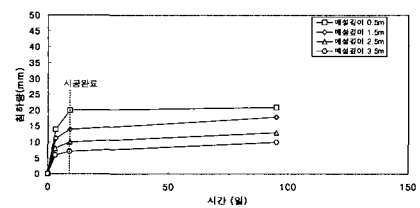
현장계측에 사용된 주요 장비는 토압계로써 모형토조실험과 마찬가지로 매설관 상부에 2개 양측면 각 1개씩 직경 100mm, 용량 2.0kg/cm²인 토압계를 설치하였으며, 정적 데이터 로거를 이용하여 계측을 수행하였다. 파형강관의 현장 적용성 검토를 위하여 현장시험을 위한 계측기 매설도를 보여주는 다음의 그림 5와 같이 토압계, 침하판, LVDT 등을 설치하여 시공중과 시공후의 현장계측을 수행하였다.



(a) CASE A



(b) CASE B



(c) CASE C

그림 6. 각 CASE 별 경과일수-침하량 관계 곡선

3.3 현장 시험시공 결과 및 분석

3.3.1 변형특성

(1) 침하특성

다음의 그림 6은 시험시공을 통하여 계측된 각 단면별 침하량을 보여주고 있다. 그림 6에서 보듯이 시공완료 직후 각 CASE 별로 계측된 침하량과 층별 침하량은 매설깊이 0.5m 지점에서 약 16mm~23mm 정도로 각 CASE 별로 전체 침하량이 거의 유사하고, 매립 깊이 3.5m와 비교하여 약 1% 미만의 매우 작은 값을 나타내고 있다. 한편, 시험시공시 CASE 별 파형강관의 침하 특성은 관 직상단에서 매설깊이가 커질 수록 침하량이 크고, 시공 중에 침하가 대부분 발생하면서 증가하다가 시공완료 후 침하량이 일정해지는 경향을 보였다. 이러한 침하특성은 다짐장비 및 다짐성토에 따른 수직하중의 증가와 흙 입자간의 안정화에 기인하는 것으로 판단된다.

(2) EPS 블록의 변형특성

다음의 그림 7의 (a)에서는 각 CASE 별 시간경과에 따른 EPS 블록의 압축량을 보여준다. 이때 범례 CASE C-1 및 CASE C-2는 포설된 2단의 EPS 블록 중 1층의 EPS 블록의 경우 CASE C-1으로, 2층의 EPS 블록의 경우 CASE C-2로 표기하였다. 그림 7의 (a)에서 보듯이 EPS 블록 1단에 포설된 CASE B, C-1 단면의 EPS 블록 총 변형량은 각 단면별 19.8mm, 24.3mm 등으로, EPS 블록 2단에 포설된CASE C-2 단면은 21.3mm 정도로 나타났다으며, 시공 중 변형량은 각각 12.8mm, 14.8mm, 15.8mm로 시공 중에 EPS 블록의 압축이 대부분 발생되고 시공완료 후에는 각각 7mm, 9.5mm, 5.5mm 정도 발생하는 것으로 나타났다.

위에서 언급된 실험결과로 볼 때 EPS 블록을 이용한 하중저감기법은 시공 중 변형량까지 고려하여 19.8mm~24.3mm의 EPS 블록 압축 변형에 의해 하중저감이 유발

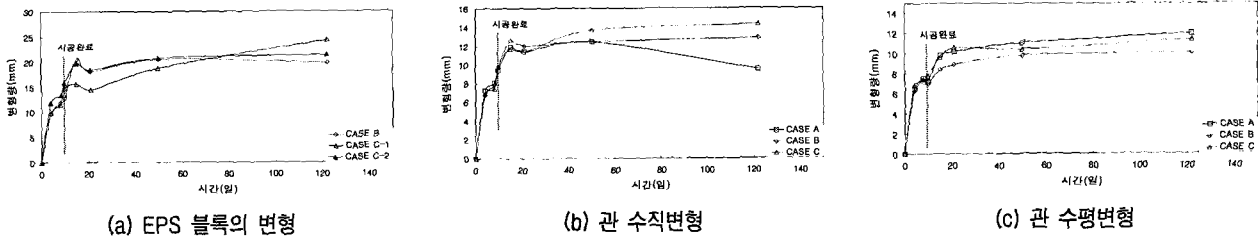


그림 7. 시간경과에 따른 EPS 블록 및 관 변형 관계 곡선

되는 것으로 평가되었다.

(3) 관 변형특성

파형강관의 관 변형특성은 시공된 파형강관 내부의 수직 및 수평방향으로 설치된 기준점을 이용하여 시공 중 및 시공 완료 후의 파형강관의 수직 및 수평방향의 관 변형특성을 평가하였다.

그림 7(b), (c)에서는 CASE 별 시간경과에 따른 수직 및 수평방향의 관 변형특성을 보여준다. 그림 7(b), (c)에서 보듯이 각 CASE 별 관 변형량은 토체 침하특성이나 EPS 압축특성과 같이 시공중에 전체 관 변형량의 70% 정도가 발생되고, 시간경과에 따라 일정해 지는 경향을 보였다. 예로써 수직방향 최대 관 변형량은 CASE A의 경우 12.4 mm, CASE B의 경우 13.5mm, CASE C의 경우 14.3mm 등으로 관직경의 1.2~1.4% 정도로 모든 CASE에서 유사한 것으로 평가되었다.

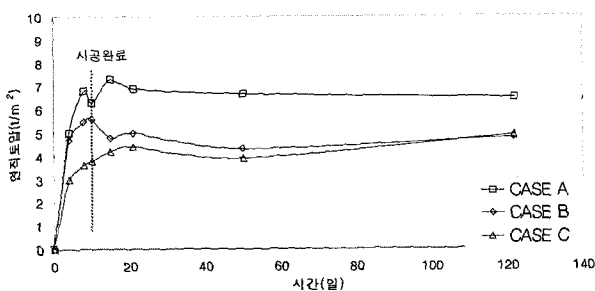
한편, 수평방향 최대 관 변형량은 CASE A의 경우 12.1mm, CASE B의 경우 10.6mm, CASE C의 경우 11.5mm 등으로 관직경의 1.0~1.2% 정도로, 모든 CASE에서 유사한 것으로 평가되었다. 일반적으로 파형강관과 같은 연성관의 허용변형율은 건설교통부 도로설계편람에 의하면, 최대 5%로, 본 현장의 시험대상 파형강관의 경우 관 변형만을 고려할 때 안정된 것으로 평가되었다.

3.3.2 파형강관의 토압 특성

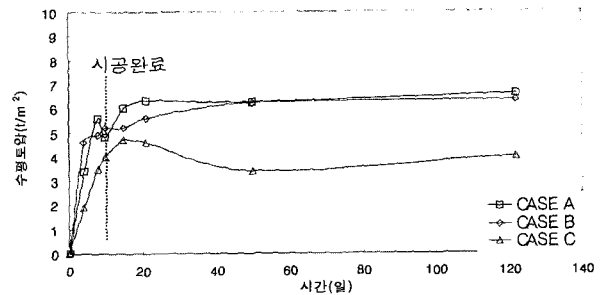
그림 8에서는 시간경과에 따른 각 CASE 별 수직 및 수평토압 특성을 보여준다. 그림 8에서 보듯이 수직 및 수평토압 특성은 모든 계측 CASE에서 성토 단계별로 토압이 증가하다가 완공 직후 시간경과에 따라 일정해지는 경향을 나타내고 있다.

한편, 각 CASE에 작용하는 토압 특성을 보여주는 표 6에서 보듯이 현장 계측 수직토압은 Marston 이론 및 현행 파형강관 설계법 등에 의해 계산된 값에 비해 다소 작은 경향을 보였으며, 이는 설계법이 다소 안전측으로 제안된 것에 기인한 것으로 사료된다. 한편, 파형강관과 같이 연성관은 표 6에서 보듯이 단면별 토압비가 CASE A의 경우 0.94, CASE B의 경우 1.44, CASE C의 경우 1.21로 아칭재가 없이 파형강관만 매설된 CASE A 보다 아칭재 포설 단면의 토압계수가 대체적으로 큰 것으로 평가되었다. 이러한 토압 특성은 수직토압에 의해서 관체의 수평변위가 발생되어 토체 내에 수동저항이 유발됨으로써 발생하는 것으로 판단된다.

한편, 표 6의 EPS 포설에 따른 하중저감효과에서 보듯이 수직토압에 대한 하중저감효과는 EPS 블록 1단 포설 단면(CASE B)에서 35.0%, EPS 블록 2단 포설 단면(CASE C)에서 약 41.0% 정도 발생되었다. 이러한 EPS 포설에 따른 하중저감효과는 EPS 블록 1단 및 2단 포설 단면의 경우 현장 침하특성에 의해 유발된 성토하중 및



(a) 수직토압



(b) 수평토압

그림 8. 시간경과에 따른 수직 및 수평토압 관계 곡선

표 6. 각 단면에 작용하는 토압 특성

단 면		CASE A	CASE B	CASE C
수직토압 (t/m ²)	Marston 이론치 ¹	3.73~7.89	3.73~7.89	3.73~7.89
	파형강관 설계치 ²	7.32	7.32	7.32
	계측치	6.67	4.30	3.90
수평 토압(t/m ²)		6.25	6.20	4.70
토압비 ³		0.94	1.44	1.21
수직토압 저감효과(%) ⁴		-	35.0	41.0

주) 1. Marston 이론치 : 제방형 연성관거 수직 토압공식을 이용하였으며, 여기서 C_c 는 매설관 주변이 잘다져진 상태로 가정하여 침하비를 $-0.3 \sim 0.7$, 돌출비를 1로 보고 1.835~3.885의 범위로 평가하여 계산한 결과임.
 2. 파형강관의 수직토압에 대한 설계치는 일반적인 파형강관에 작용하는 수직하중 산정 공식을 이용하였으며, 여기서 $DL=2.03t/m^2$, $LL=5.4t/m^2$ 를 이용하고, 하중계수 K는 실제 다짐도 93%에 해당하는 0.70의 값을 이용하였음.
 3. 토압비는 계측된 수직토압과 수평토압의 비로 계산한 결과임.
 4. 수직토압 저감효과는 EPS를 포설하지 않은 CASE A를 기준으로 평가하였음.

추가 재하하중을 아칭재인 EPS 블록이 8mm~10mm로 압축되면서 주변 흙지반으로 하중을 분담시킴으로써 발생된 것으로 평가되었다.

3.3.3 EPS 포설에 따른 환산하중계수, K_{Field}

현장시험에 의한 토목섬유를 이용한 하중저감기법의 환산하중계수, K_{Field} 를 보여주는 표 7에서 보듯이 파형강관의 하중계수는 현장 상대다짐밀도 93%에서 파형강관만 매설된 A단면의 경우 대략 0.63으로, 도로 설계편람의 설계하중계수, K 0.70과 큰 차이를 보이지 않았다.

또한, 표 7에서 보듯이 EPS 블록을 이용한 하중저감기법의 환산하중계수, K_{Field} 은 EPS 블록 1층 포설(CASE B)의 경우 0.41, EPS 블록 2층 포설(CASE C)의 경우 0.37 등으로, EPS 블록 2단 포설인 경우가 최대의 효과가 있는 것으로 평가되었으며, 본 연구에서는 설계의 안전율을 높이는 차원에서 토목섬유를 이용한 하중저감기법의 환산하중계수, K_{Field} 값을 현장 상대다짐밀도 93%이상인 경우 0.5로 제안하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

표 7. 아칭재 효과에 의해 수정된 하중계수, K_{Field} (다짐도 93%)

단면	평가항목	수직토압(t/m ²)	저감 효과(%)	하중계수	
				K_{Field}	K
CASE A		6.70	-	0.63	0.70
CASE B		4.30	35	0.41	
CASE C		3.90	41	0.37	

4. 결론

본 연구에서는 다양한 형태의 실내 모형토조실험 및 현장 시험시공을 수행하여 지중매설구조물에 대한 EPS 블록의 하중저감 특성 및 메카니즘을 규명하고 현장 적용성을 평가하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- (1) 다양한 형태의 실내 모형토조실험을 수행하여 파형강관에 대한 아칭재로서 EPS 블록의 영향 정도와 하중저감 메카니즘을 규명하였다.
 - ① 최적의 EPS 블록 포설 단면은 수직토압의 저감효과와 경제적인 이유 등을 고려하여 EPS 블록 폭 1.0D~1.5D, EPS 블록 수직 포설간격 1.0D로 선정하였으며, 이때 하중저감 효과는 60%~70% 정도로 평가되었다.
 - ② 다짐밀도 변화에 따른 토압특성은 상재하중 15t/m²에서 상대밀도 87.5%의 경우 3.2t/m²으로, 상대밀도 85.6%의 경우 3.5t/m²으로 약 9% 정도의 토압저감효과가 있는 것으로 평가되었다.
 - ③ 토목섬유를 이용한 하중저감기법의 환산하중계수, K_{Lab} 은 EPS 블록 1층의 경우 0.2, EPS 블록 2층 포설 경우 0.15 등으로, 일반 성토재의 점토함유에 따른 재료적 차이에 기인하여 일반 설계시 적용되는 설계하중계수, K 0.8에 비해 너무 작게 평가되는 경향을 보인다.
- (2) 파형강관의 현장 적용성 평가를 위한 침하특성, EPS 블록 변형특성, 관 변형특성, 토압특성 등에 대한 현장시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.
 - ① 평가 CASE 별 파형강관의 침하특성은 시공 중에

침하가 대부분 발생하면서 증가하다가 시공완료 후 침하량이 일정해지는 경향을 보이는 것으로 평가되었다.

- ② 아칭재로서 EPS 블록은 시공 중 변형량까지 고려하여 19.8mm~24.3mm의 EPS 블록 압축 변형에 의해 하중저감이 유발되는 것으로 평가되었다.
- ③ 관 변형특성은 토체 침하특성이나 EPS 압축특성과 같이 시공 중 전체 관 변형량의 70% 정도가 발생되고, 관직경의 1.0~2.0% 정도가 발생되어, 설계허용변형량 5%에 훨씬 미치지 않는 안정된 것으로 평가되었다.
- ④ 토목섬유를 이용한 하중저감기법의 환산하중계수, K'_{Field} 는 EPS 블록 1층 포설(CASE B)의 경우 0.41, EPS 블록 2층 포설(CASE C)의 경우 0.37 등으로, EPS 블록 2단 포설인 경우가 효과가 큰 것으로 평가되었으며, 안전성을 고려하여 EPS 블록을 이용한 하중저감기법의 환산하중계수, K'_{Field} 값을 현장 상대다짐밀도 93%이상인 경우 0.5로 제안하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김진만, 조삼덕, 안주환, 오세용 (1997), "EPS 성토공법의 현장 적용성 평가 연구", 한국건설기술연구원, p.135.
2. Howard, A. K. (1977), "Modulus of Soil Reaction Values for Buried Flexible Pipe", *GFI*, ASCE, Vol.103, Jan..
3. Marston, A. and Anderson A. O. (1913), "The Theory of Loads

- on Pipes in Ditches and Test of Cement and Clay Drain Tile and Sewer Pipe", Bulletin No. 31, Iowa Engineering Experimental Station, Ames, Iowa.
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. Nielson, F. D. (1972), "Experimental studies in soil structure interaction", *Highway Research Record*, No.413, pp.30-40.
6. NRRL (1987), "Case History 1 : Flom (the first EPS road)", Plastic Foam in Road Embankments, Meddelelse nr 61, NRRL, pp.34-35.
7. NRRL (1994), "Rigid Culverts Beneath High Fills, Long Term Behavior", Publication No. 74, NRRL, p.70.
8. Scheer, Alfred C., and Gerald A. Willett, Jr. (1969), "Rebuilt Wolf Creek Culvert Behavior", Highway Research Board Rec.
9. Sladen J. A. & Oswell J. M. (1988), "The Induced Trench Method - a Critical Review and Case History", *CAN. GEOTECH. J.*, Vol.25, pp.541-549.
10. Spangler, M. G., Robley Winfrey and Clyde Mason (1926), "Experimental Determination of Static and Impact Loads Transmitted to Culverts", Bulletin No. 76, Iowa Engineering Experimental Station, Ames, Iowa.
11. Schlick, W. J. (1932), "Loads on Pipe in Wide Ditches", Bulletin No. 108, Iowa Engineering Experimental Station, Ames, Iowa.
12. Spangler, M.G. (1948), "Underground Conduits", *Transaction ASCE*, Vol.113.
13. Spangler, M. G. (1950), "A Theory of Loads on Negative Projecting Conduits", *Proc. Highway Research Board* 37.
14. Spangler, M. G. and Handy, R. L. (1973), *Soil Engineering*, Harper & Row(Intext), New York, 1973.
15. Taylor R. K. (1973), "Induced Trench Method of Culvert Installation", Discussion by M. G. Spangler, Highway Research Board Rec.
16. Yuichi et al. (1996), "Earth Pressure Reduction for Culverts Using EPS", *Proc. Internatioal Symposium on EPS Construction Method (EPS TOKYO '96)*, TOKYO, pp.214-221.

(접수일자 2003. 10. 30, 심사완료일 2004. 2. 10)