

EPS Geofom을 이용한 Soft Zone 적용방법에 따른 지중아치구조물의 하중저감에 관한 해석 연구

김수하¹, 박종섭^{*}, 강준석²

¹상명대학교 건설시스템공학과, ²서울대학교 조경지역시스템공학부

Numerical Analysis of Load Reduction for Underground Arch Structures with Soft Zone Using Expanded PolyStyrene Geofom

Soo-Ha Kim¹, Jong-Sup Park^{*}, Jun-Suk Kang²

¹Department of Civil Engineering, Sangmyung University

²Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University

요약 지하공간의 수요가 증가되면서 지중구조물의 기능을 저하시키는 상재하중 및 토피증가에 대한 구조물의 안정성 문제를 해결하기 위해 많은 연구자들이 고압축성 물질을 이용한 하중저감방법 연구를 진행해왔다. 본 논문은 하수관거에 작용하는 하중을 EPS Geofom을 활용하여 경감시키는 하중저감공법을 아치구조물에 적용하고 그 효과를 증가시키기 위한 최적의 Soft Zone 적용방법에 대해 기술하고 있다. 지반구조 상호작용을 고려한 ABAQUS 유한요소해석을 통해 아치구조물의 거동 특성을 파악하고 4가지 EPS Geofom 형식을 해석적으로 분석하여 최적의 적용형상을 확인하였다. 해석 결과를 토대로 선정된 최적 단면 형상에 대해 아치구조물의 라이즈비, 시간길이 변화를 해석변수로 고려하여 발생하는 토압감소율을 비교하여 적용성을 분석하였다. 수치해석에서 선정된 최적 Soft Zone를 적용한 아치구조물에 발생하는 토압이 평균 78% 감소되는 것을 확인하였다. 본 연구 결과에서 EPS Geofom의 토압 경량화 효과와 이에 대한 지중아치구조물의 적용성 평가는 지중구조물 설계 시 경제적이고 합리적인 방법을 제공해 줄 것이며, 향후 심층 지하공간에 대한 활용성 증가에 도움이 될 것이다.

Abstract As the demand for underground space increases, many researchers have been studying the load reduction method using high compressible materials to solve for the stability problem of the overhead load and for the increase of the earth pressure which decreases the function of the underground structure. This paper determines the optimum soft zone and the effect of the using EPS Geofom as a load reduction material to arch structures. A finite element analysis program, ABAQUS, is used to analyze the soil-structure interaction and the behavior of buried arch structures considering different four EPS Geofom forms to confirm the most conservative shape. The optimum cross-sectional shape was determined by comparing the results of earth pressure reduction rate in accordance with the change of span-rise ratio and span length of the arch structure. It was confirmed that the earth pressure generated in the arch structure using the optimal soft zone selected by the numerical analysis was reduced by an average of 78%. In this study, the effect of EPS Geofom on soil pressure reduction and its applicability to underground arch structures will provide an economical and conservative way to design underground structures and will help to increase the usability of deep underground space.

Keywords : Arch Structure, EPS Geofom, Reduction of Earth Pressure, Soft Zone, Soil-Structure Interaction

본 논문은 국토교통과학기술진흥원 연구과제[17CTAP-C132629-01]로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jong-Sup Park(Sangmyung Univ.)

Tel: +82-41-550-5314 email: jonpark@smu.ac.kr

Received July 4, 2018

Revised July 24, 2018

Accepted October 5, 2018

Published October 31, 2018

1. 서론

복잡한 지상공간에 발생하는 문제점들을 해결하고 주민들의 생활요구를 충족하기 위해 한정적인 공간에 대한 재개발 필요성이 증대되고 있다. 특히 도로와 공공시설들을 지하공간에 위치시키고 기존에 위치하고 있던 도로 및 공공시설에 상업·주거 공간의 생활시설을 조성하는 입체적인 공간활용 방안이 제시되고 있으며 이를 실현하기 위해 지하공간을 개발하고 활용할 수 있는 관련 공법과 연구들이 요구되고 있다. 하지만 지중구조물은 매설 깊이에 따른 하중 증가, 단면 확대를 통한 강성 증대, 재료비 증가 등으로 이어지는 기술적이고 경제적인 한계에 직면한 상태이다. 따라서 보다 근본적으로 지하구조물에 작용하는 토압과 상재하중을 경량화하고 동시에 경제적이고 안정적인 설계 및 시공을 할 수 있는 공법이 필요하다.

이러한 문제를 해결하기 위해 매설 관거에 Expanded PolyStyrene(EPS) Geofoam을 이용하여 하중을 저감시키는 공법에 대해 연구가 진행된 바 있다[1]. 최근에는 연성관과 파형강관을 비롯하여 다양한 재료에 적용하는 연구[2-4]가 수행되었으며, 하중저감공법이 적용된 박스형 관거를 지하 70m에 매설하여 그 효과를 검증한 연구 결과가 발표되었다[5]. 또한 안정성과 경제성을 증가시키기 위해 관거에 적용되는 EPS Geofoam의 단면형상과 Soft Zone의 크기를 변화시킨 연구가 진행되고 있다[6]. 하지만 EPS Geofoam을 이용한 하중저감공법은 관거에 한정되어 연구가 진행되어 왔다. 따라서 이를 아치구조물 등에 적용하기 위해 거동특성과 하중저감 효과 분석이 필요하다.[7]

본 연구에서는 Soft Zone을 지중아치구조물에 적용하기 위한 최적의 단면형상을 선정하고, 라이즈비와 구조물 크기 변화에 따른 하중저감효과 비교를 통해 안정성 평가를 진행하고자 한다.

2. EPS Geofoam을 활용한 지중구조물

2.1 Imperfect Trench Installation

Imperfect Trench Installation(ITI) 공법은 관거의 상부와 흙 사이에 압축성 물질을 위치시키는 비교적 간단한 공법이다. Fig. 1은 EPS Geofoam과 같은 압축성물질이 관거 위에 놓일 때 주변 흙의 이동을 나타낸다. EPS

Geofoam의 압축성으로 인해 암거 상단부의 흙은 주변의 흙에 대해 상대적으로 하향 침하하는 변위를 인위적으로 유발시킴으로써 하중을 저감할 수 있다[8].

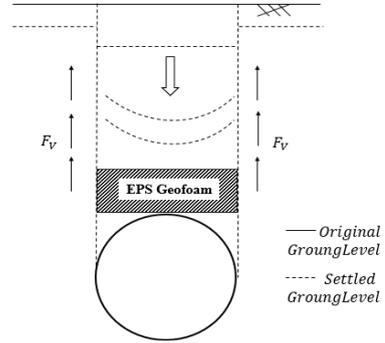


Fig. 1. Mechanism of Imperfect Trench Installation (F_v = Shear Stresses)

2.2 Embedded Trench Installation

Embedded Trench Installation(ETI) 공법은 ITI공법과 같은 하중저감공법의 일종으로 지중 구조물 전체를 EPS Geofoam을 이용하여 둘러싸는 방법이다. ITI공법은 구조물 상단에 걸리는 토압을 최대 40%까지 저감할 수 있으나 줄어든 토압이 구조물 측면으로 이동하는 전이현상이 발생한다. 이는 구조물을 하향하도록 끌어당기는 전단력으로 작용하여 구조물 하단에 작용하는 하중의 증가로 이어져 구조물 전체에 걸리는 최대토압의 감소율에서 큰 효과를 볼 수 없다. 또한 줄어든 상부토압과 비교적 큰 하부토압 사이의 불균형으로 인해 구조물의 솟음 현상이 발생하는 위험성에 노출된다[9]. 따라서 ETI 공법은 Fig. 2와 같이 구조물을 EPS Geofoam으로 둘러싸므로써 구조물 전체에 걸리는 토압을 80%이상 균등

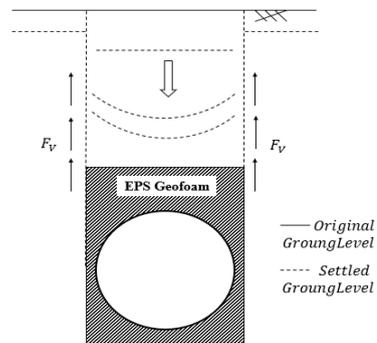


Fig. 2. Mechanism of Embedded Trench Installation (F_v = Shear Stresses)

하게 저감시키고 하향과 상향의 토압의 불균등이 해소되어 구조물에 걸리는 하중의 감소와 안정성이 증대되는 효과가 있다.

3. 유한요소해석 모델링

EPS Geofom 적용 형상에 따른 지중아치구조물의 거동 특성을 분석하기 위해 범용구조해석 프로그램 ABAQUS[10]를 사용하여 평면변형조건에 의한 2차원 해석을 수행하였다. 모델링 및 해석기법은 기존에 수행된 Kang et al.[11] 방법론을 재차 검증하여 적용하였다. 해석요소로 아치는 Beam Element, 지반은 Shell Element를 적용하여 Fig. 3의 탄성해석모델의 메쉬(Mesh)를 완성하였다. 해석 모델인 아치와 토양은 Contact Option을 이용하여 미끄러짐과 분리에 따른 변형이 발생하지 않는 것으로 가정되었다.

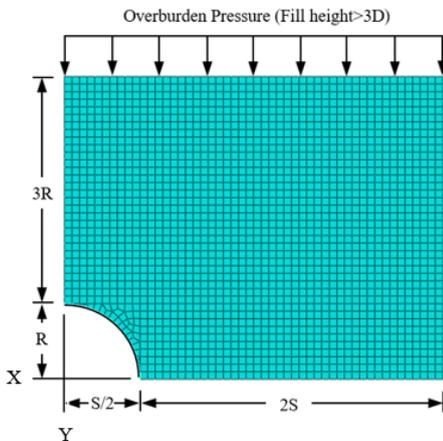


Fig. 3. Finite Element Analysis Modeling

또한 해석 범위가 지반조건인 구조물 중심축에 대칭성을 보이므로 지반과 아치구조물의 절반만이 모델링되었다. 해석단면은 토압분포를 고려하고 경계의 구속조건에 영향을 받지 않도록 구조물의 우측 해석영역은 구조물 지간길이의 2배, 상부해석영역은 구조물 상부로부터 구조물 높이의 3배 길이를 적용하였다.

3.1 해석모델의 재료특성

Soft Zone에 사용되는 EPS Geofom의 규격과 재료

특성값은 ASTM International에서 제공하는 ASTM D6817인 Standard Specification for Rigid Cellular PolyStyrene Geofoam[12]을 사용한다. EPS Geofom은 밀도에 따라 구분되는 탄성모델로 허용압축강도를 고려하여 본 연구에서는 Table 1에 나타난 EPS 15의 값을 적용하였다.

Table 1. Material Properties of EPS 15

Density (kg/m^3)	Elastic Modulus (E, MPa)	Poisson's Ratio	Compressive Resistance at 5% Strain (kPa)	Compressive Resistance at 10% Strain (kPa)
14.4	2.5	0.12	55	70

콘크리트는 탄성계수 28GPa의 보통콘크리트, 지반의 재료특성값은 뒤펀 흙, 성토 등에 동일하게 단위중량 1922.09 kg/m^3 의 상대밀도 90%인 SW90이 적용되었다.

3.2 해석모델의 경계조건 및 하중재하

지반 모델링의 횡방향 경계는 수직 롤러로 구속하였으며 바닥면의 경계는 힌지로 구속하였다. 아치구조물인 Beam Element의 절단면에 있는 노드는 횡방향 변위와 회전에 대해 고정되었다. 구조물의 바닥면은 아치구조물 설치 시 하부 기초의 영향을 고려하여 모든 방향에 대해 고정되는 것으로 가정하여 경계조건을 적용하였다. 하중은 모델링된 지반의 자중만큼 중력방향으로 재하하였으며 3배 이상의 지반은 모델링하지 않고 지반의 밀도와 높이에 의해 산정된 값을 등분포 하중으로 지반의 상단에 적용시켰다[13].

Table 2. Boundary Conditions of Typical Model

Type		X-Axial (Lateral)	Y-Axial (Vertical)	Z-Axial Rotation
Soil	Side	Restrain	Free	Free
	Bottom	Restrain	Restrain	Free
Arch	Upper	Restrain	Free	Restrain
	Lower	Restrain	Restrain	Restrain

3.3 Soft Zone의 형상

아치구조물에 최적화되는 Soft Zone형상을 선정하기 위해서 기존 관거에 적용되었던 ITI공법과 ETI공법을 토대로 4가지 형상을 대상으로 해석을 수행하였다. Soft Zone은 EPS Geofom에 의해 형성되는 영역으로 아치

구조물에 적용시킨 Soft Zone의 형상은 다음 Fig. 4와 같다.

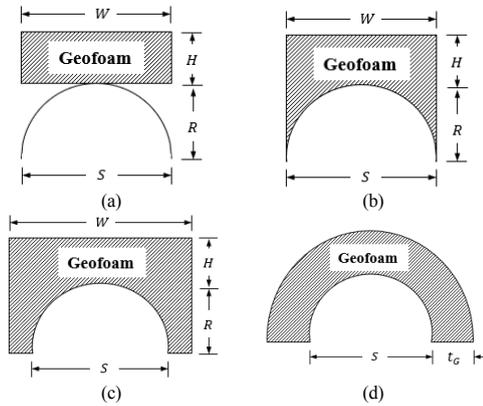


Fig. 4. Geometries of Soft Zone ; (a) Case1(ITI) (b) Case2(ITI) (c) Case3(ETI) (d) Case4(ETI)

R은 아치의 높이(m), H는 EPS Geofoam의 높이(m)이다. H/R이 증가하는 것은 구조물의 높이와 EPS Geofoam 높이 비율이 증가함을 의미한다. S는 아치구조물의 지간길이(m)이며 W는 EPS Geofoam의 폭(m)으로 정의된다. H/R과 마찬가지로 W/S는 구조물의 지간길이와 EPS Geofoam 폭의 비를 나타낸다. W/S는 절반만 모델링된 아치구조물과 마찬가지로 절반의 길이로 계산된 비율이다. H/R=0.2는 EPS Geofoam 높이가 아치 높이의 20%임을 나타낸다. 해석에서 EPS Geofoam의 W와 H는 각각 10-20%, 10-100% 범위로 변화시켰다.

4. 유한요소해석 결과

Soft Zone의 단면형상에 의한 아치구조물의 거동을 분석하기 위해 2차선 도로에 해당하는 지간길이 10m, 높이 5m, 두께 0.4m의 아치구조물을 대상으로 유한요소 해석을 실시하였다. 해석 모델별 발생 토압, 축응력, 최대변위 및 반력 비교를 통해 해석 단면의 안정성을 평가하고 최적 단면을 결정하였다.

4.1 EPS Geofoam 형상에 따른 하중저감효과

Fig. 5는 Soft Zone을 각 단면별로 적용시켰을 때 발생하는 토압을 Soft Zone적용 전과 비교한 결과를 나타낸 것이다. Degree 0 은 아치 크라운, Degree 90은 아치

하단을 의미한다. 결과를 보면 Case2의 경우 아치크라운부터 Soft Zone의 압축 변위가 충분히 일어나는 아치 중간구간까지는 토압이 감소되나 Soft Zone이 적어지는 아치 하단부 85.5°에서 Case1과 같이 토압이 Soft Zone 적용 전보다 증가하는 현상이 발생한다. 이에 반해 아치 전체에서 토압이 감소되는 Case3과 Case4의 경우 Soft Zone이 적용되는 면적은 동일하나 박스형과 아치형으로 구분되며 전체적으로 비슷한 토압 경향을 보이나 아치의 중간부분에서 Case3이 토압감소율이 높았다.

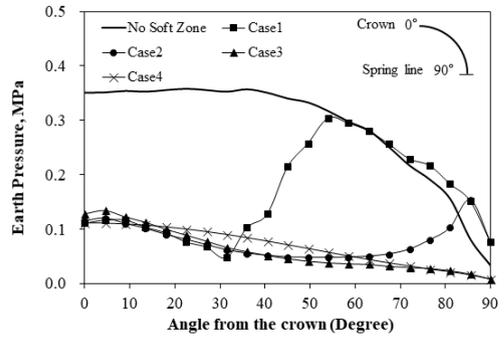


Fig. 5. Earth Pressure at Each Case

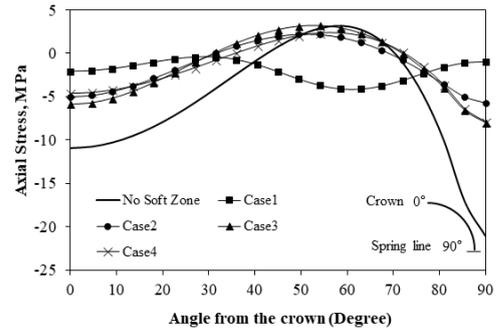


Fig. 6. Axial Stress at Each Case

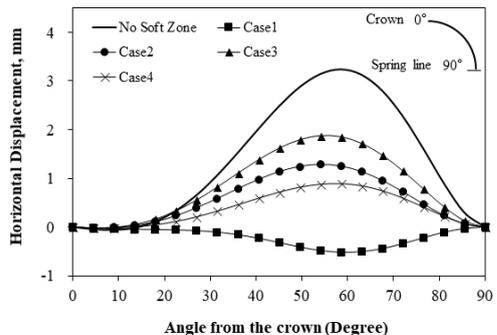


Fig. 7. Horizontal Displacement at Each Case

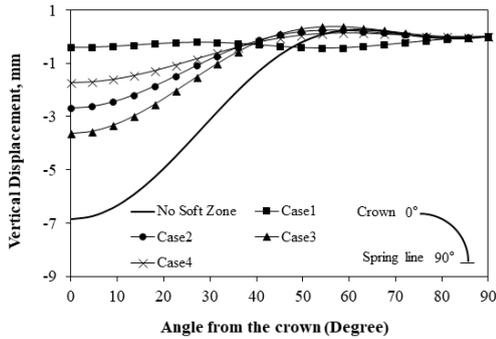


Fig. 8. Vertical Displacement at Each Case

Table 3. Reaction Forces at support(Degree=90, Unit: kN)

Case \ Direction	1	2	3	4
X-Axial	509.49	277.25	119.24	189.28
Y-Axial	1,241.1	541.09	541.22	581.27

Fig. 6은 구조물이 지반과 접촉하는 면에서 발생하는 응력분포를 도시화 한 것으로 Soft Zone 적용 시 Case1-Case4 모두 전체적으로 응력이 감소되었으나 Case1의 아치 40-70°에서 압축응력이 아닌 인장응력 발생 구간으로 변화된다. 이는 Fig. 7과 8의 변위 결과에서 Case1을 적용한 아치구조물 측면부가 횡토압 증가에 의해 토양을 미는 방향이 아닌 구조물 안쪽으로 변위가 발생하는 것을 확인할 수 있다. Soft Zone이 적용되지 않은 경우에 지점에서 발생하는 반력은 $F_x = 748.47kN$, $F_y = 2,305.69kN$ 이다. Table 3은 각 Case1-Case4에서 발생하는 반력을 나타내고 있으며, Soft Zone의 영역이 증가하는 Case3의 횡토압(X축 방향)은 $F_x = 119.24kN$ 으로 84% 감소된 값을 보여주고 있다.

4.2 라이즈비 변화에 따른 해석결과

일반적으로 아치형상을 갖는 구조물은 아치리브의 형상과 라이즈비에 따라 경제성 및 강성에 큰 영향을 받는다. 따라서 아치구조물의 라이즈비(R/S)를 0.25, 0.5, 0.75로 변화시켜 Case3의 Soft Zone을 적용하였을 때 발생하는 토압을 분석하였다. 상부토양을 아치높이의 3배로 모델링한 방법에 따라 라이즈비 0.25의 구조물은 토피고 7.5m, 0.5는 15m, 0.75는 22.5m만큼 하중으로 재하되었다. Table 4-6은 라이즈비 0.2, 0.5, 0.75의 토압

감소율을 나타낸 결과이다. 결과를 살펴보면 Soft Zone을 적용하였을 때 아치하단과 크라운에서 최대, 최소 토압감소율이 발생했다.

Table 4. Reduction Ratio of Earth Pressure (R/S=0.25, Unit: %)

H/R	W/S=1.1			W/S=1.2		
	Max.	Mini.	Average	Max.	Mini.	Average
0.1	86	7	60	86	1	58
0.2	86	37	68	86	31	66
0.3	86	51	72	86	46	70
0.4	86	59	75	86	56	74
0.5	86	65	77	86	62	76
0.6	86	69	79	86	66	78
0.7	86	72	80	86	70	79
0.8	86	75	81	87	72	80
0.9	87	76	82	87	74	81
1.0	87	78	83	87	76	82

Table 5. Reduction Ratio of Earth Pressure (R/S=0.5, Unit: %)

H/R	W/S=1.1			W/S=1.2		
	Max.	Mini.	Average	Max.	Mini.	Average
0.1	88	36	75	91	29	74
0.2	88	59	80	91	55	80
0.3	89	70	83	91	66	83
0.4	89	76	85	91	73	85
0.5	89	79	86	91	77	87
0.6	89	82	87	91	80	87
0.7	89	83	87	91	82	88
0.8	89	85	88	91	83	89
0.9	89	86	88	91	84	89
1.0	89	87	88	92	86	89

Table 6. Reduction Ratio of Earth Pressure (R/S=0.75, Unit: %)

H/R	W/S=1.1			W/S=1.2		
	Max.	Mini.	Average	Max.	Mini.	Average
0.1	88	44	78	90	41	79
0.2	89	66	83	91	63	84
0.3	89	74	85	91	72	86
0.4	89	79	86	91	77	87
0.5	90	82	87	91	80	88
0.6	90	84	88	91	83	89
0.7	90	85	88	91	84	89
0.8	90	86	88	92	85	90
0.9	90	86	89	92	86	90
1.0	90	86	89	92	87	90

Table 4에서 라이즈비가 가장 낮은 0.25의 경우 W/S=1.1 적용 시 최대 토압감소율은 86-87%로 일정한 반면 최소토압감소율은 Soft Zone의 H/R 비율 증가에 따라 7%에서 78%까지 크게 변화되었다. Table 5와 6을

살펴보면 라이즈비 0.5와 0.7의 경우에도 W/S=1.1로 Soft Zone을 적용하면 최대 토압감소율이 88%이상 나타나며 H/R 비율 변화가 아치 크라운에서 발생하는 최소 토압감소율에 큰 영향을 주는 것을 확인할 수 있다. 이때 라이즈비가 커질수록 동일 H/R 비율에서 최소토압 감소율이 증가된다. 0.75의 라이즈비에서는 H/R 0.2에서 평균 토압 감소율이 80-83%이상 되지만 라이즈비 0.25에서는 H/R 0.7이상을 적용해야 80%이상의 평균 토압감소율이 나타난다. 따라서 아치의 라이즈비가 작아지면 Soft Zone의 비율을 증가시켜야 높은 라이즈비에서 발생하는 토압 감소율과 유사해지게 된다.

4.3 아치 크기 변화에 따른 해석결과

아치구조물의 라이즈비를 0.5로 고정하고 지간길이를 1에서 3차선에 해당하는 5m, 10m, 15m로 변화를 주어 Case3에 적용하였다. Fig. 9에서 같은 비율의 EPS Geofoam을 적용시켰을 때 아치 지간길이가 증가될수록 아치 상부에서 5%-10% 적은 토압 감소율이 나타났으며 하부에서 토압 감소율이 높게 나타났다. 하지만 평균 토압 감소율을 살펴보면 아치구조물의 크기 변화에 따른 평균 토압 감소율의 차이는 약 2-4%로 큰 차이를 보이지 않았다.

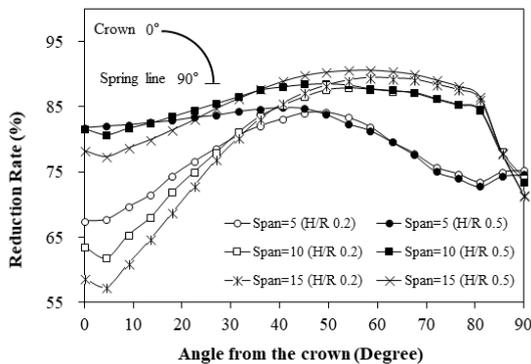


Fig. 9. Reduction Rate of Earth Pressure according to Arch Size (W/S=1.1)

5. 결론

유한요소해석을 통해 다양한 단면의 Soft Zone 적용 시 발생하는 아치구조물의 거동 비교를 통한 최적 단면을 선정하고 선정된 단면을 이용하여 아치구조물의 체원

이 변화될 때 나타나는 하중저감효과를 분석하였다. 분석 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) Soft Zone을 지중아치구조물에 적용시킬 경우 구조물 측면부 Soft Zone의 유무와 단면형상이 구조물의 안전성 평가에 중요한 인자임을 확인하였다. 따라서 라이즈비 0.5의 아치구조물에서 ITI공법 적용 시 발생하는 약 32% 하단 토압 증가 현상을 해결하고 78%이상의 하중저감효과를 확보하기 위해서는 구조물의 측면부에 Soft Zone을 위치시키는 ETI 공법인 Case3을 적용하는 것이 안정적이라 판단된다.
- 2) 아치구조물의 라이즈비가 클수록 ETI공법의 하중저감효과가 증가한다. 낮은 라이즈비를 갖는 아치구조물의 경우 높은 라이즈비의 아치구조물보다 적용되는 EPS Geofoam 높이 비율을 증가시켜야 한다. 0.25-0.75의 라이즈비를 갖는 아치구조물에 ETI공법을 적용시키면 최대 90%까지 토압이 경감된다.
- 3) 아치구조물의 지간길이를 5-15m 까지 증가시켰을 때 평균토압감소율은 2-4%의 차이를 보이며 Soft Zone의 범위를 증가시킬수록 더 작은 차이를 보이게 된다. 구조물의 크기를 증가시켜도 Soft Zone의 비율을 동일하게 적용할 경우 유사한 하중저감효과를 확보할 수 있다.

References

- [1] R. K. Taylor, "Induced Trench Method of Culvert Installation", Highway Research Record No.510, pp.41-55, 1973.
- [2] J. Kang, Y. Jung, Y. Ahn, "Cover requirements of thermoplastic pipes used under highways", *Composites Part B: Engineering*, Vol.55, pp.184-192, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.06.025>
- [3] J. Kang, F. Parker, C. H. Yoo, "Soil - structure interaction for deeply buried corrugated steel pipes Part I: Embankment installation", *Engineering Structures*, Vol.30, No.2, pp.384-392, 2008. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.04.014>
- [4] J. S. Kang, F. Parker, C. H. Yoo, "Soil - structure interaction for deeply buried corrugated steel pipes. Part II: Imperfect trench installation", *Engineering Structures*, Vol.30, No.3, pp.588-594, 2008. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.04.006>
- [5] R. P. McAfee, A. J. Valsangkar, "Field performance,

centrifuge testing, and numerical modelling of an induced trench installation”, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.45, No.1, pp.147-163, 2008.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1139/T07-086>

- [6] C. H. Yoo, J. S. Kang, “Soil-Structure Interaction for Deeply Buried Corrugated PVC and Steel Pipes”, Highway Research Center, Auburn University, 2005.
- [7] Y. W. Jeong, Z. Z. Yi, S. J. Cho, H. G. Im, J. S. Park, J. S. Kang, “Development of Innovative Application Technology of Geofoam for Sustainable Design of Eco-bridges under Deep Soil Cover”, *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, Vol.9, No.2, pp.58-63, 2018.
DOI: <https://dx.doi.org/10.11004/kosacs.2018.9.2.058>
- [8] J. M. Kim, S. D. Cho, B. H. Choi, S. Y. Oh, Y. S. Paik, “Research of Load Reduction on Corrugated Steel Pipe Using EPS Block”, *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.20, No.1, pp.91-99, 2004.
- [9] C. H. Yoo, Bedding and Fill Heights for Concrete Roadway Pipe and Box Culverts: New optimum soft zone geometry for imperfect trench installations of deeply buried concrete roadway pipes. Addendum, Highway Research Center, Auburn University, 2007
- [10] Dassault Systemes, ABAQUS/CAE 2016: Analysis user’s guide, Dassault Systemes Simulia Corporation: Johnston, RI, USA, 2016.
- [11] J. S. Kang, F. Parker, C. H. Yoo, “Effects of frictional forces acting on sidewalls of buried box culverts”, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, Vol.32, No.3, pp.289-306, 2008.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/nag.628>
- [12] ASTM International, Standard Specification for Rigid Cellular PolyStyrene Geofoam : ASTM D6817, 2014
- [13] Korea Water and Wastewater Association, Sewage Facilities Standard, p.130, 2011.

박 종 섭(Joung-Sup Park)

[종신회원]



- 1994년 2월 : 고려대학교 토목환경 공학과 (공학사)
- 1996년 8월 : 고려대학교 토목환경 공학과 (공학석사)
- 2002년 12월 : Auburn University (공학박사)
- 2005년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 건설시스템공학과 교수

<관심분야>

구조공학, 교량공학, 강구조좌굴, 유지보수, 지중구조물

강 준 석(Jun-Suk Kang)

[정회원]



- 1998년 2월 : 고려대학교 토목환경 공학과 (공학사)
- 2000년 2월 : 고려대학교 토목환경 공학과 (공학석사)
- 2007년 5월 : Auburn University (공학박사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 조경지역시스템공학부 조교수

<관심분야>

조경공학, 지속가능 인프라 구축

김 수 하(Soo-Ha Kim)

[준회원]



- 2016년 8월 : 상명대학교 건설시스템공학과 (공학사)
- 2018년 8월 : 상명대학교 건설시스템공학과 (공학석사)

<관심분야>

구조공학, 유한요소해석, 지중구조물