

EPS 거동 예측 모델의 적용성에 대한 연구

A Study on the Application of Numerical Model to Predict Behaviour of EPS

천 병 식*1
Chun, Byung-Sik
유 한 규*2
Yoo, Han-Kyu
임 해 식*3
Lim, Hae-Sik

Abstract

EPS is increasingly used as a filling material in soft ground. The beneficial effects of the use of EPS derive from minimizing the stress increment, which, in turn, increases the bearing capacity and reduces the settlement. EPS can also be used as a backfill material for retaining walls and abutments to reduce the horizontal earth pressure. However, there is no rational application for the selection of the EPS fill which is essential to the selection of the filling configuration and the settlement calculation.

In this paper, therefore, the nonlinear numerical model developed from the results of triaxial compression tests is applied to the construction of EPS and verified through the comparison between the prediction and in-situ measurements.

요 지

EPS(Expanded Polystyrene)를 이용한 하중경감공법은 초경량재(20~30kg/m³)인 EPS를 연약지반상에 성토재로 사용하여 지반의 유효응력 증가분을 최소화함으로써 지지력과 침하에 대한 안정성을 쉽게 확보할 수 있고, 옹벽·교대 등의 구조물 뒤채움재나 응급 복구용 채움재로 활용할 경우 토압경감효과를 기대할 수 있으며 점차 활용이 늘어나고 있는 실정이다.

그러나 아직 EPS 성토지반의 침하량 예측 및 EPS 성토범위 결정에 필수적인 EPS의 거동예측을 위한 합리적인 전용 수치해석 모델이 제시되어 있지 못한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 삼축압축시험을 통하여 제안된, EPS의 거동예측을 위한 비선형모델을 실제 EPS 시공예에 적용하고 계측치와 비교하여 제안된 EPS 수치해석 모델의 적용성을 확인하였다.

Keywords : EPS, Load reducing, Numerical modelling of EPS

*1 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

*2 정희원, 한양대학교 공과대학 토목·환경공학과 전임강사

*3 정희원, 대한주택공사 주택연구소 연구원

1. 서론

경량성토공법의 하나인 EPS(Expanded Polystyrene)공법은 EPS라는 경량성 및 자립특성이 우수한 재료를 성토재로 사용하여 교대 및 옹벽 등의 횡토압 구조물에서는 토압의 저감이 가능하며 구체 구조 및 기초 형식의 간략화, 지반개량 등 보조공법의 생략 등을 도모할 수 있는 공법이다.(천병식외3, 1993)

EPS를 사용할 경우 작용하중에 따른 압력 및 변형에 대응할 수 있는 강도와 변형특성을 갖는 EPS를 사용하여야 하며, 설치형상에 따라서 효과가 틀리므로 설치형상, 치환범위의 결정을 위하여는 EPS의 거동을 적절히 예측할 수 있어야 한다. 특히 EPS는 일반적인 흙 재료와는 다르게 거동을 하며 밀도에 따라 강도 및 변형 특성이 크게 차이가 난다.

그러나 현재까지 국내에서는 EPS를 공학적 성토재료로 활용하기 위한 시험 방법이나 설계 적용기준이 실험적 근거에 의해 제안된 것도 최근의 일이다.(천병식외2, 1996)

더욱 EPS 성토재의 거동을 묘사하기 위한 적합한 수치해석모델 제시를 위한 국내 연구는 찾아볼 수 없었으며 국외에서는 South Dakota(1992)에서의 연구가 유일한 것으로 조사되었으나 이 연구에서 제시된 EPS의 변형-응력 특성 묘사 함수식에 포함된 계수들의 정확한 추출에 어려움이 있는 점 등의 문제점을 내포하고 있는 것으로 판단되었다.

이에 본 연구에서는 제안된 비선형 모델을 실제 EPS 성토공법 시공 구간에 적용하여 수치해석을 실시하고 계측자료와 비교 검토하여 제안된 수치모델의 적용성을 검증 하고자 한다.

2. EPS 거동 예측 모델

2.1 기존의 EPS 거동 예측 모델

현재까지 사용되고 있는 EPS 거동예측 모델은 응력-변형률 곡선의 초기부분 접선계수를

이용한 선형탄성모델과 비선형 모델로서는 South Dakota(1992)에서의 연구로 제안된 모델이 유일한 것으로 조사 되었다. South Dakota에서의 제안모델을 살펴보면 그림 2.1, 식 (2.1), (2.2) 와 같다.

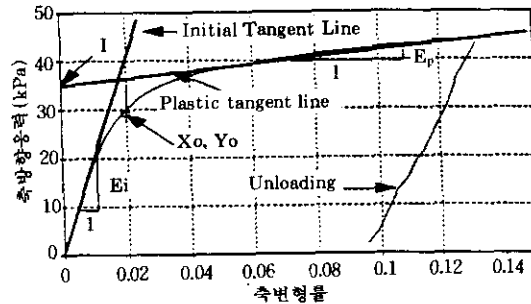


그림 2.1 EPS의 변형-응력관계 묘사를 위한 인자들

$$\sigma_1 = (1 + E_p \epsilon) \left[1 - \exp\left(-C \epsilon^2 - \frac{E_i \epsilon}{I}\right) \right] \quad (2.1)$$

$$C = \frac{E_i}{IX_0} - \frac{1}{X_0^2} \ln \left[1 - \frac{Y_0}{(I + E_p X_0)} \right]$$

$$I = (-107 + 910\gamma) + (0.63 - 0.32\gamma)\sigma_3$$

$$E_i = (-4180 + 39000) + (-6.2 - 53\gamma)\sigma_3$$

$$E_p = (104 + 440\gamma) + (-3.6 + 150\gamma)\sigma_3$$

$$Y_0 = (1.4 + 905\gamma) + (-1.1 - 4.5\gamma)\sigma_3$$

$$\mu = 0.2 - 0.5 \frac{\sigma_3}{62 \text{ kPa}} \text{ for } 0 \leq \sigma_3 \leq 62 \text{ kPa} \quad (2.2)$$

여기서, σ_1 : 축방향 응력

ϵ : 축방향 변형률

γ : EPS 밀도(kN/m^3)

σ_3 : 구속압(kPa)

μ : 포아송비

2.2. 제안된 EPS 거동예측 수치모델

하중 작용하에서 EPS의 축방향 변형-응력 거동은 식 (2.3)과 같이 묘사될 수 있으며 포함된 계수들은 식 (2.4)에서와 같이 EPS의 밀도와 구속압의 함수로 나타낼 수 있다. 또한 각 응력 수준에서의 접선계수를 나타내는 식 (2.3)의 1차도함수는 식 (2.5)와 같은 함수식으로

표현된다.(천병식외3, 1996)

$$\sigma_1 = \frac{a\varepsilon_1^b}{c + \varepsilon_1^b} \quad (2.3)$$

여기서, σ_1 : 축방향 응력

ε_1 : 축방향 변형률

a, b, c : 계수

$$a = -60.955 + 9843.4 * d + 0.339 * \sigma_3$$

$$b = 1.135 + 41.97 * d - 0.008 * \sigma_3$$

$$c = -0.437 + 101.906 * d - 2007.100 * d^2 + 0.011 * \sigma_3 - 0.389 * d * \sigma_3 \quad (2.4)$$

여기서, d : EPS밀도(t/m^3)

σ_3 : 구속압(kPa)

$$E_t = \frac{abc \varepsilon_1^{b-1}}{\varepsilon_1^{2b} + 2c\varepsilon_1^b + c^2} \quad (2.5)$$

여기서, E_t : 접선계수

ε_1 : 축방향 변형률

a, b, c : 밀도, 구속압에 따른 계수

EPS의 수치해석적 거동에측에 필요한 포아송비는 EPS의 밀도·구속압과 식 2.6과같은 관계를 가진다.(천병식외3, 1996)

$$\nu = 0.0967 + 3.0863 * d - 0.0023 * \sigma_3 \quad (2.6)$$

여기서, ν : 포아송비 (Poisson's ratio)

d : EPS밀도(t/m^3)

σ_3 : 구속압(kPa)

3. 제안된 수치모델의 적용성 검증

3.1 EPS의 시공현황

검토 대상지구의 EPS시공 현황은 그림3.1과 같이 경사면 위에 옹벽을 설치하므로써 2단의 옹벽이 설치되게 된다. 이 때 상단 옹벽의 경우 통상의 뒤채움 재료를 사용할 경우에는 경사면 위에 놓이게되는 옹벽저판 기초지지력이 부족할 뿐 아니라 기 설치되어 있는 하단 옹벽에 미치는 토압을 증가시키게 된다. 상단 옹벽 저판의 기초지지력 부족과 하단 옹벽에 미치는 토압경감 효과를 얻기 위하여 경사면의 토사부

분은 안정적 경사(1 : 1.5)로 조성하고 기 설치된 하단 옹벽의 상부에 옹벽을 설치한 후 EPS로 옹벽 뒤채움을 실시하였다. 옹벽 뒤채움에 사용된 EPS는 KSM3808에 규정된 보온판 3호(밀도 $20g/cm^3$ 이상)로 치수 $1.8m \times 0.9m \times 0.4m$ 크기의 EPS 블럭을 그림3.2 에서와 같이 중간에 콘크리트판(상부판 두께 15cm, 중간판 두께 10cm)을 설치하면서 쌓아 시공하였다. 콘크리트 중간판 내에는 와이어메쉬를 설치하고 배면 토사와의 접합부에 그림3.2 에서와 같이 머리부를 두어 정착단의 역할을 하도록 하였다.

EPS 설치부위 지반의 토질은 GM, SM으로 분류되는 암편이 함유된 토사로서 실내 토질시험 및 현장밀도시험에 의한 강도정수 및 물성치는 표 3.1 과 같다.

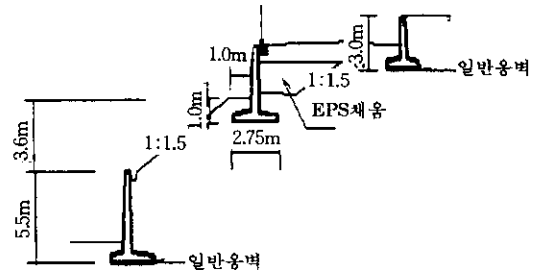


그림 3.1 EPS 옹벽 설치 개요

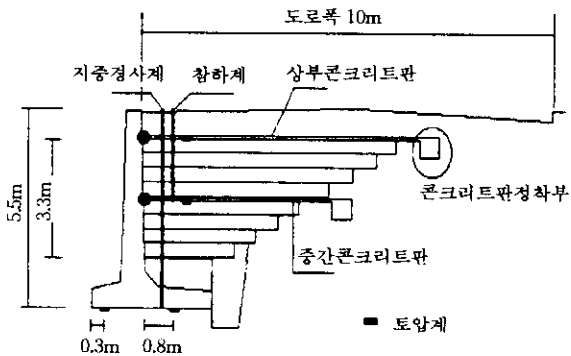


그림 3.2 EPS 옹벽 및 계측기 설치 개요

Table 3.1 EPS 시공부위 지반의 시험결과

| 구 분 | 단위중량 γ_i (t/m ³) | 내부 마찰각 ϕ (°) | 점착력 c (t/m ²) | 최대진조 밀도 γ_{dmax} (t/m ³) | 최적 함수비 w_{opt} (%) |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------------|---------------------------|---|----------------------|
| 경사면의 토사 및 옹벽 저부 지반 | 1.78 | 30 | 1.5 | 1.967 | 9.5 |

3.2 EPS 성토지반의 해석조건 및 적용 물성치

EPS 성토지반은 그림3.3 에서 나타낸 바와 같으며 해석시 EPS 부분은 제안된 비선형 탄성모델과 초기접선계수를 사용한 선형탄성모델을 적용하였고 옹벽 및 EPS 블럭 중간 및 최상부의 콘크리트 상판은 선형탄성모델을 적용하였으며 토사부분은 Mohr-Coulomb 탄소성 모델을 적용하였다. 토사부분의 물성값은 삼축 실내시험과 현장밀도시험 결과치에 의한 점착력,내부마찰각 값과 그 값에 의해 추정된 탄성계수,포아송비값을 사용하였다. 옹벽 및 콘크리트상판은 콘크리트의 제 특성값을 사용하였다. EPS는 선형탄성모델의 경우 스웨덴 토질공학연구소의 EPS밀도별 초기접선계수 시험결과값과 일본 發泡 스티로ル 土工法開發機構(1993)에서의 삼축시험에 의한 포아송비값을 적용하였으며 제안된 비선형 탄성모델의 경우 식(2.5) 과 식(2.6)에 의한 접선계수와 포아송비를 적용하였다. 이와같은 해석에 사용된 물성치를 표 3.2에 나타내었다.

경계조건은 해석영역 저부는 X축,Y축 방향 변위를 구속하고 좌,우측면은 X축 방향 변위는 구속하고 Y축 방향 변위는 허용하는 것으로 하였다.

EPS 설치지반 표면은 도로로 사용되고 있으므로 해석시에 교통하중을 DB24t(도로 표면 등분포 하중 5.1t/m²), DB18t(도로 표면 등분포 하중 3.8t/m²), DB13.5t(도로 표면 등분포 하중 2.9t/m²), 도로 표면 등분포 하중 1t/m² 4가지 경우에 대해 해석하였다. 이때 DB24t, DB18t, DB13.5t에 해당하는 도로표면

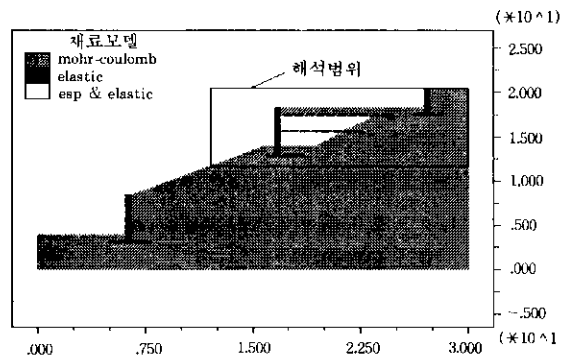


그림 3.3 EPS 시공 지반의 적용모델

Table 3.2 적용모델 및 지반의 물성치

| 구 분 | 단위중량 γ_i (t/m ³) | 내부 마찰각 ϕ (°) | 점착력 c (t/m ²) | 탄성계수 E(kPa) | 포아송비 ν | 체적탄성 계수 K(kPa) | 전단탄성계수 G(kPa) |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|------------|--------------------|--------------------|
| 경사면의 토사 및 옹벽 저부 지반 | 1.78 | 30 | 1.5 | 1.96×10^4 | 0.30 | 1.63×10^4 | 7.5×10^3 |
| 비선형 탄성 EPS 모델 | 0.02 | - | - | 식(2.5) | 식(2.6) | - | - |
| 탄성 EPS모델 | 0.02 | - | - | 5.10×10^3 | 0.12 | 2.24×10^3 | 2.28×10^3 |
| 옹벽 및 콘크리트 상판 | 2.5 | - | - | 2.04×10^6 | 0.15 | 9.52×10^6 | 7.69×10^6 |

등분포 하중은, 본 연구의 해석대상 지중 구조물 설계시 도로표면 차량 축하중에 의한 분포 하중을 Kögler식에 분포각 55°를 고려하여 산정 하였으므로 같은 기준을 적용하여 산정 하였다.

3.3. 해석에 사용된 프로그램

본 연구의 지반 모델 해석에 사용된 FLAC 프로그램은 2차원 Explicit 유한차분 프로그램으로서 유한차분법은 초기치와 경계치를 이용하여 미분방정식을 푸는 수치해석 방법이다. 유한차분법에서는 모든 지배방정식의 도함수들이 공간내 임의의 불연속점에서 현장변수(field variable) 형태의 대수적 표현으로 대치된다.

사용된 프로그램의 또 하나의 특징은 모델링되는 물리적 현상이 불안정할 때라도 수치해석적 구조는 안정적이도록 하기 위하여 정적 해석 문제에 있어서도 동적 운동방정식이 포함되게 된다.

이 기법은 특히 물리적 불안정 가능성을 내재하고 있는 비선형 재료의 해석 등에 효과적이다.

요소 각 절점에서의 구성방정식을 미세하게 세분된 시간단계(이웃 절점에 영향을 주지 않을 정도의 시간단계로 프로그램에서 자동 선택)에서 이전 시간단계에서 구한 값을 초기값으로 하여 방정식의 해를 구하는 방법이며, 평형 상태에 도달할 때까지 반복계산을 수행하여 최종해를 구하는 것이다. 위와 같은 계산이 시간단계마다 반복되며 시간단계가 증가됨에 따라 불균형 힘이 0(zero)에 근접되도록 하는 수치감소모델 개념으로 되어 있다.(ITASCA CONSULTING GROUP, 1995)

본 해석에 사용된 프로그램의 Explicit 수치해석 모델의 해석 흐름을 나타내면 그림 3.4와 같다.

본 연구에서의 EPS 부분 해석을 위한 프로그램은 기존의 선형 탄성해석 계산 과정중 변

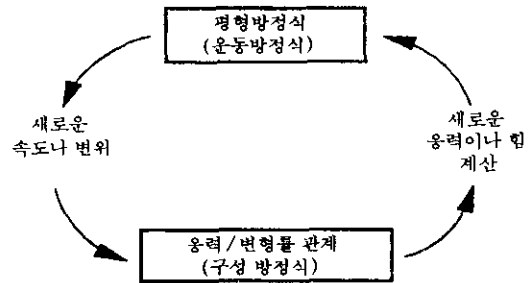


그림 3.4 Explicit 해석방법의 계산 흐름

화하는 변형률과 구속응력을 계산하고 그 값에 의해 식 2.5를 이용하여 각 응력 수준에서의 접선계수와 식 2.6에 의해 포아송비를 구하도록 작성하였다.

4. 해석결과 및 고찰

4.1 수치해석 결과

EPS 설치 지반을 원지반 상태와 시공 과정대로 단계별로 해석하여 최종 해석결과를 실제 계측기 설치 부위를 포함하여 그림으로 나타내어 보았다.

먼저 침하량은 도로표면, 상부 콘크리트판, 중간 콘크리트판, EPS 설치 지반면에서 도로 폭 10m 구간에 대하여 하중 조건별로 EPS를 탄성 모델로 해석한 경우와 본 논문에서 제안한 모델로 해석한 결과를 그림 4.1~그림 4.8에 나타내었다. 이때 실제 계측값도 해석 결과의 해당 위치에 같이 표시하였다.

지중토압은 연직방향 토압을 상부 콘크리트판, 중간 콘크리트판 위치에서 도로폭 만큼의 구간에 대하여 하중조건별·EPS 해석 모델별로 그림 4.9~그림 4.16에 나타내었으며 EPS 뒤채움 응력 저면에서의 토압분포를 그림 4.17~그림 4.20에 나타내었다. 이때 실제 계측값도 해석 결과의 해당 위치에 같이 표시하였다.

EPS 지반내 수평변위는 실제 계측값과 지중변위계(Inclinometer)를 설치한 위치에서의 수평변위를, EPS를 탄성 모델로 해석한 경우

와 제안된 비선형 모델로 해석한 결과를 그림 4.21~그림 4.24에 나타 내었다.

4.2 결과의 고찰

4.2.1 침하량에 대한 고찰

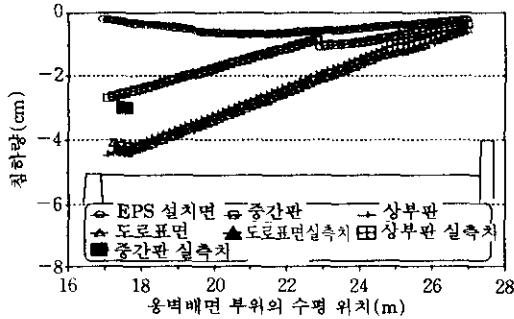


그림 4.1 제안된 EPS 모델에 의한 부위별 침하량 (DB24t)

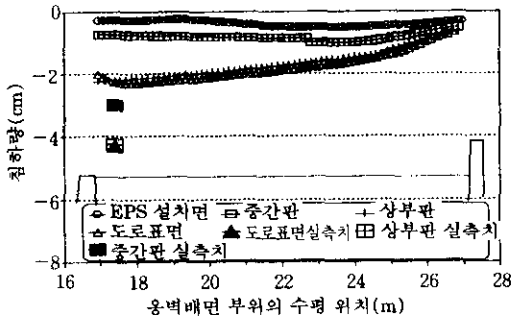


그림 4.2 EPS를 탄성모델로 한 부위별 침하량 (DB24t)

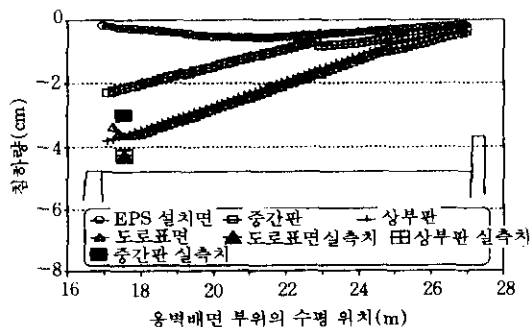


그림 4.3 제안된 EPS 모델에 의한 부위별 침하량 (DB18t)

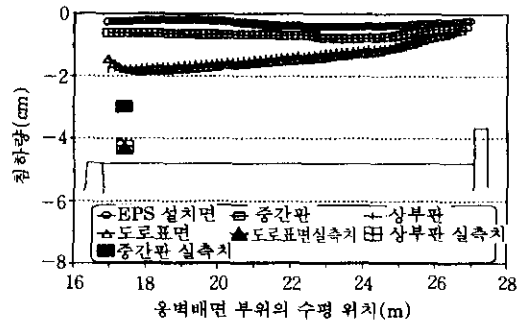


그림 4.4 EPS를 탄성 모델로한 부위별 침하량(DB18t)

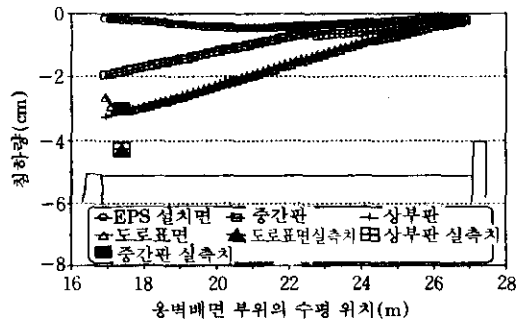


그림 4.5 제안된 EPS 모델에 의한 부위별 침하량 (DB13.5t)

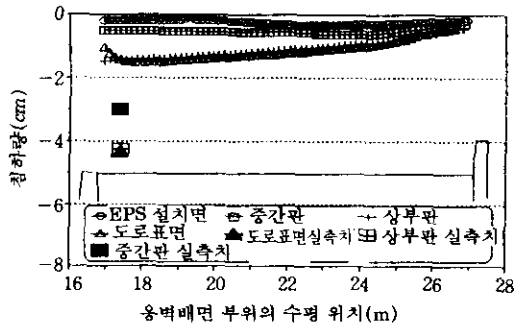


그림 4.6 EPS를 탄성 모델로한 부위별 침하량 (DB13.5t)

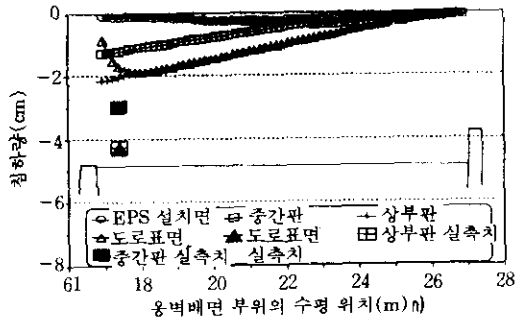


그림 4.7 제안된 EPS 모델에 의한 부위별 침하량 (lt/m²)

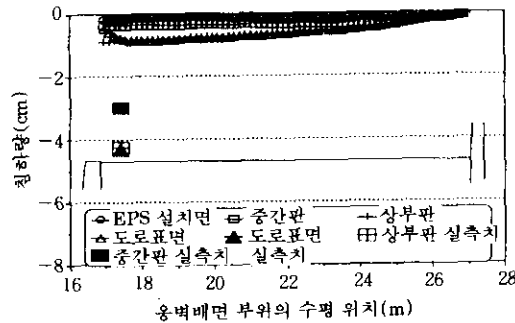


그림 4.8 EPS를 탄성 모델로한 부위별 침하량(lt/m²)

EPS 설치 지반의 침하량 해석 결과 및 측정 결과를 살펴보면 제일 먼저 EPS를 탄성모델로 해석한 결과와 제안된 비선형 모델로 해석한 결과와는 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 전체적으로 EPS 설치지반의 침하량 해석 결과는 EPS를 제안된 비선형 모델로 해석한 경우가 EPS를 선형 탄성체로 모델링한 경우보다 큰 침하를 나타내었다.

먼저 상재하중별 경향을 살펴보면 EPS 설치 지반 표면에 가해지는 상재 하중이 클수록 모델별 침하량 차이가 더 커짐을 알 수 있다.

EPS 설치 부위별 침하량을 살펴보면 설치된 EPS상단면에서는 모델별 침하량 차이가 크고 하부로 내려갈수록 차이가 작아져서 EPS설치 바닥면에서의 모델별 침하량 차이는 아주 작게 나타났다. 상재 하중별 · EPS해석 모델별로 부

위별 침하량을 살펴보면 설치된 EPS 상단면과 도로표면 사이 지반의 침하량은 거의 없는 것으로 실측결과와 해석결과에서 나타나고 있다.

4.2.2 연직 토압에 대한 고찰

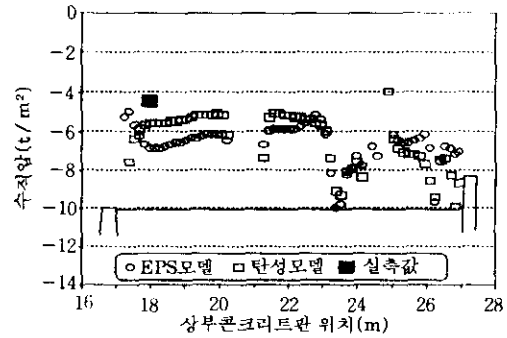


그림 4.9 EPS 설치지반 상부 콘크리트판 부위 연직토압 (DB24t)

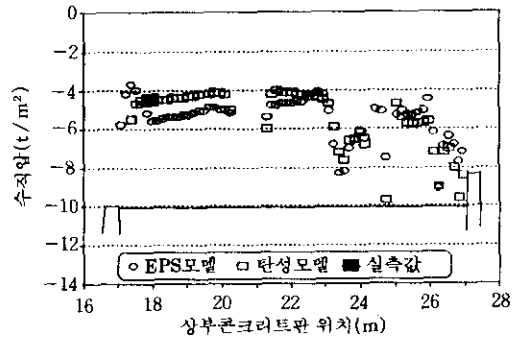


그림 4.10 EPS 설치지반 상부 콘크리트판 부위 연직토압(DB18t)

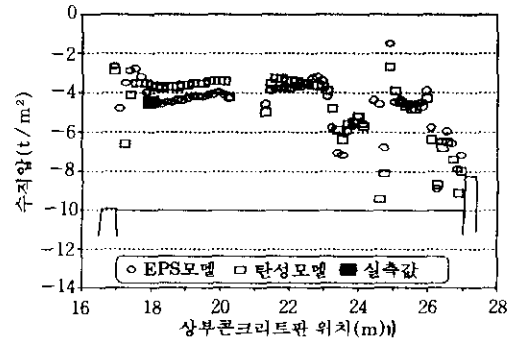


그림 4.11 EPS 설치지반 상부 콘크리트판 부위 연직토압(DB13.5t)

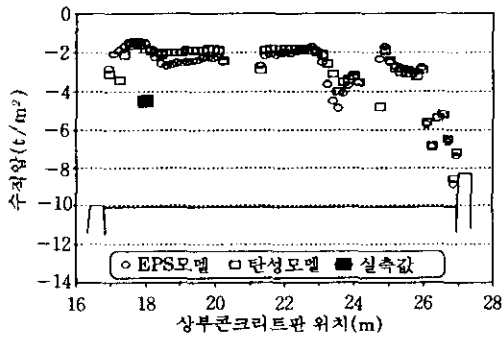


그림 4.12 EPS 설치지반 상부 콘크리트판 부위 연직토압(1t/m²)

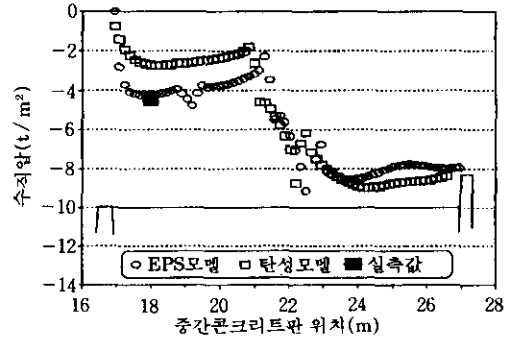


그림 4.15 EPS 설치지반 중간 콘크리트판 부위 연직토압(DB13.5t)

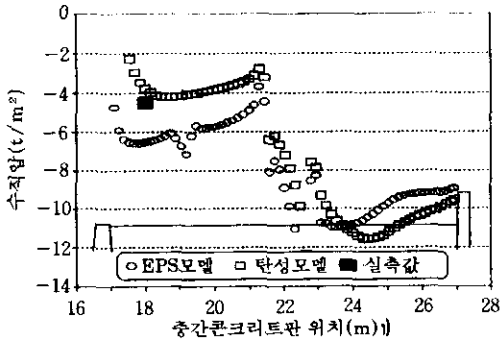


그림 4.13 EPS 설치지반 중간 콘크리트판 부위 연직토압(DB24t)

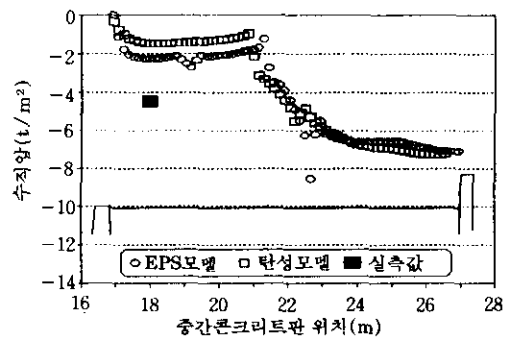


그림 4.16 EPS 설치지반 중간 콘크리트판 부위 연직토압(1t/m²)

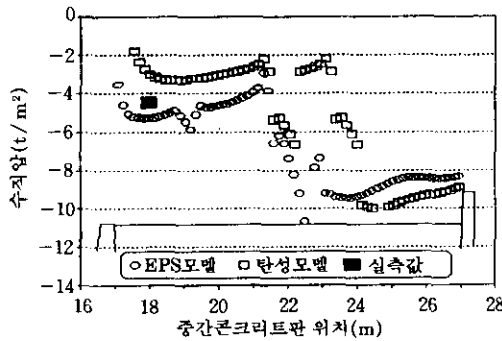


그림 4.14 EPS 설치지반 중간 콘크리트판 부위 연직토압(DB18t)

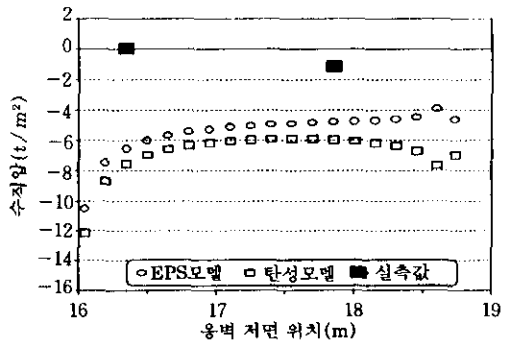


그림 4.17 EPS 설치 옹벽 저판 연직토압 분포(DB24t)

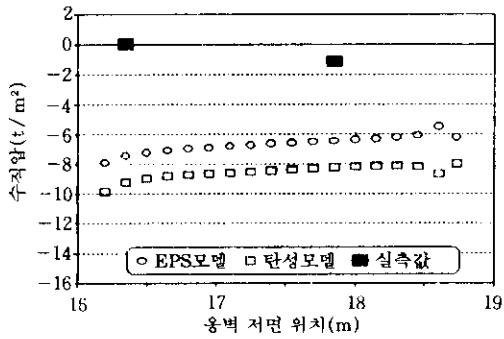


그림 4.18 EPS 설치 옹벽 저판 연직토압 분포(DB18t)

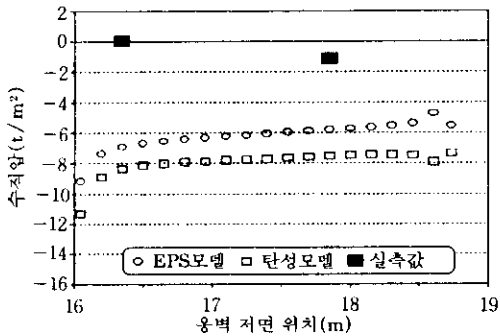


그림 4.19 EPS 설치 옹벽 저판 연직토압 분포(DB13.5t)

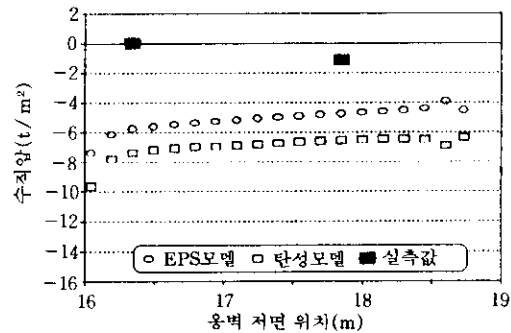


그림 4.20 EPS 설치 옹벽 저판 연직토압 분포(1t/m²)

EPS 설치 지반의 연직 토압을 살펴보면 이 것 역시 침하량과 마찬가지로 EPS를 탄성모델로 해석한 결과와 제안된 비선형 모델로 해석한 결과와는 큰 차이가 있음을 알 수 있다. EPS 설치부분 내부에서는 EPS를 제안된 비선

형 모델로 해석한 경우가 EPS를 선형 탄성체로 모델링한 경우보다 큰 연직 토압을 나타내었다. EPS 설치부위를 벗어나 인접한 토사부분에서는 모델별 토압차이가 점차 작아지는 경향을 나타내었다.

상재하중별 경향을 살펴보면 EPS 설치지반 표면에 가해지는 상재 하중이 클수록 모델별 연직토압 차이가 더 큼을 알 수 있다.

EPS 설치 부위별 연직토압을 살펴보면 설치된 EPS 상단면에서는 모델별 토압 차이가 작고 하부로 내려갈수록 차이가 커져서 EPS설치 중간 콘크리트면에서의 토압차이가 상부콘크리트면에서의 토압차이보다 현저히 큰 것을 알 수 있다.

EPS 뒤채움 옹벽 저판에서의 연직 토압 해석 결과를 살펴보면 상부 콘크리트판이나 중간 콘크리트판 부위에서의 토압 분포와는 달리 수평 거리 변화에 따른 연직토압의 변화가 연속적이며 제안된 비선형 EPS 모델을 적용시킨 경우가 EPS를 선형탄성체로 모델링한 경우보다 더 작은 토압값을 나타내고 있다. 이 결과만을 놓고 볼때 EPS 뒤채움에 따른 옹벽저판 하중강도 감소 효과를 확인할 수 있었다.

4.2.3 지중경사계(Inclinometer)에 대한 고찰

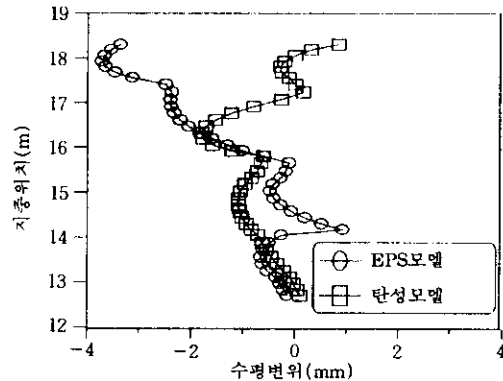


그림 4.21 EPS 설치지반의 수평변위 해석 결과(DB24t)

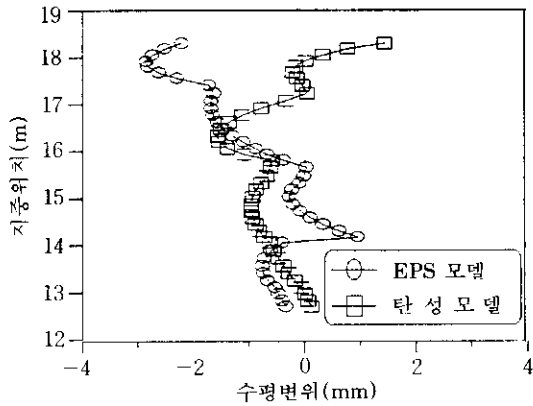


그림 4.22 EPS 설치 지반의 수평변위 해석 결과 (DB18t)

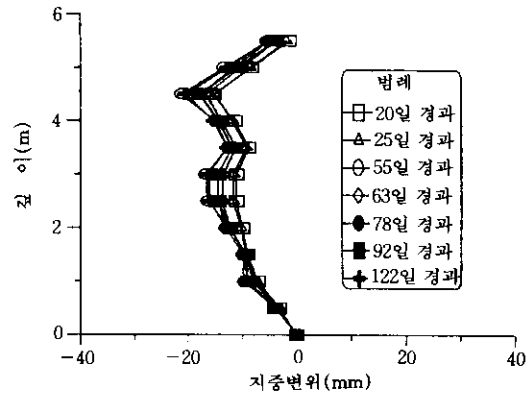


그림 4.25 EPS 지중변위계 계측결과

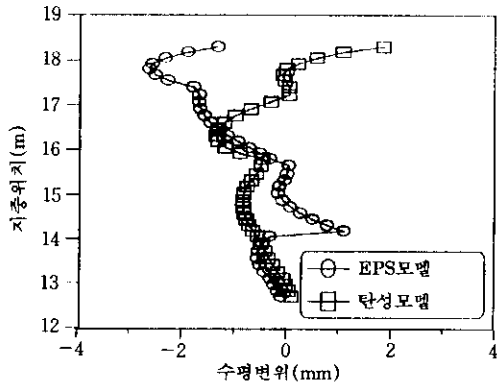


그림 4.23 EPS 설치지반의 수평변위 해석 결과 (DB13.5t)

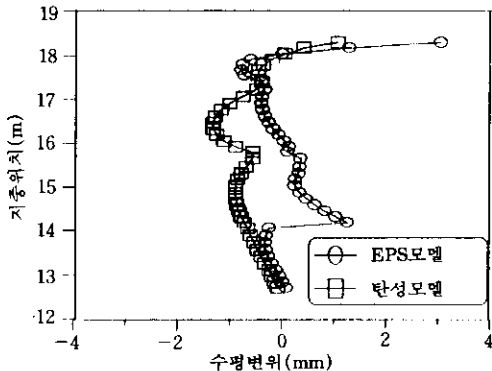


그림 4.24 EPS 설치지반의 수평변위 해석 결과(1t/m²)

EPS 설치 지반의 수평 변위 경향을 파악하기 위하여 그림 3.2에서와 같이 지중경사계를 설치하고 계측 결과와 해석 결과를 그림 4.21~그림 4.25에 나타내었다. 해석 결과와 계측 결과를 비교해 보면 해석 결과의 지중수평 변위는 EPS를 제안된 비선형 모델이나 탄성모델로 해석한 경우 3.7mm 이고 실측 최대치는 20.48mm로서 현저한 차이를 보이고 있다. 이 원인으로서는 지중경사계의 설치시 EPS 지반과의 공간 발생과 지중경사계 하단부의 불확실한 부동점 역할 때문인 것으로 사료된다. 따라서 지중경사계 계측값의 신뢰도는 매우 낮은 것으로 판단되며 실제 지중경사계의 측정은 설치후 122일 경과 시점에서 측정이 불가능 하게 되었다.

5. 결론

새롭게 제안된 비선형 EPS모델과 선형탄성 EPS모델을 실제 공사구간에 적용하고 해석결과를 실측 결과와 비교검토한 바에 따라 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) EPS 설치지반의 침하량 해석 결과는 EPS를 제안된 비선형 모델로 해석한 경우가 EPS를 선형 탄성체로 모델링한 경우보다 큰 침하를 보였으며, EPS 설치 지반 표면에 가해지는 상재 하중이 클수

록 모델별 침하량 차이가 더 커지는 경향을 보였다. EPS 설치 부위별 침하량을 살펴보면 설치된 EPS 상단면에서는 모델별 침하량 차이가 크고 하부로 내려갈수록 차이가 작아져서 EPS 설치 바닥면에서의 모델별 침하량 차이는 아주 작게 나타났다.

- (2) 실측 연직토압 결과치의 해석치와의 비교분석에 의하면 상재하중별, EPS 부위별 모델에 따른 토압 해석결과 상재하중이 클수록, 하중재하면에서의 깊이가 깊을수록 연직토압의 차이가 크게 나타난다.
- (3) EPS 성토지반내의 콘크리트관 부위에서는 제안된 비선형 모델의 경우가 연직토압이 크나 EPS 뒤채움 옹벽 저관과 접한 아래 지반에서의 토압은 EPS를 제안된 비선형 모델로 해석한 경우가 선형탄성 모델로 해석한 경우보다 더 작은 토압분포를 나타내었다.
- (4) 침하량과 연직토압의 해석결과 및 측정결과를 비교검토하여 보면 선형탄성모델을 적용한 경우에 비해 제안된 비선형 EPS 모델이 합리적이고 실제 측정치에 잘 부합하며 밀도와 구속압에 따라 변화하는 EPS의 비선형 거동특성을 잘 묘사할 수 있는 진일보한 EPS 거동예측 모델임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 천병식, 박강호, 김준, 임해식(1993), "E.P.S 를 이용한 하중 저감 공법에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표회논문집(1), pp.473~476.
2. 천병식, 장명순, 임해식(1996), "도로성토하중 경감재 EPS의 공학적 특성에 관한 연구", 한국지반공학회지, pp.59~69
3. 천병식, 임해식, 권형석, 김정관(1996), "EPS의 거동예측 모델에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집(III), pp.453~456.
4. 浜田英治, 山内豊聡(1989), "輕量盛土材としての發泡スチロールの力學的特性", 土と基礎, 일본, pp.13~18
5. 發泡 スチロール 土木工法開發機構(1993), "EPS工法", 理工圖書, 일본, pp.1~58.
6. Yeongki Cho(1992), "Behavior of Retaining Wall with EPS Blocks as Backfill", Thesis of Master Course, University of South Dakota, pp.1~29
7. Sangchul Bang(1995), "Experimental and Analytical Study of Expanded Polystyrene Blocks in Highway Application", EPS 토목공법 국제학술세미나 논문집, 한국건설기술연구원, 서울, pp.105~133.
8. ITASCA CONSULTING GROUP, INC. (1995), FLAC(Fast Lagrangian Analysis of Continua), Version 3.3, Volume I II III. (접수일자 1996. 10. 6)