한국토목섬유학회논문집 제10권 4호 2011년 12월 pp. 105 ~ 112
J. Korean Geosynthetics Society Vol.10 No.4 December. 2011 pp. 105 ~ 112

# 보강토 교대 옹벽의 장기 거동에 대한 수치 모델링

# Numerical Modeling of Long-Term Behavior of Geosynthetic Reinforced Soil Wall used in Bridge Abutment

유 충 식[1]*  Yoo, Chung-Sik

**ABSTRACT**

This paper presents the numerical modelling technique for modeling the time-dependent behavior of geosynthetic reinforced soil wall under a sustained load. The applicability of power law-based creep models for modeling the creep deformations of geogrid and reinforced soil was first examined. The modeling approach was then used to simulate the long-term performance of a geosynthetic reinforced soil wall used in a bridge abutment. The results indicated that the power law-based models can be effectively used for modelling the long term behavior of geosynthetic reinforced walls under sustained loading. In addition, it was shown that, when using creep deformation susceptible backfill soils, the abutment wall and the sill beam may experience deformations exceeding allowable limits. Practical implications of the findings from this study are discussed in great detail.

**요 지**

본 논문에서는 지속하중이 작용하는 보강토 구조물의 시간의존적 장기거동에 관한 수치 모델링 기법을 다루었다. 먼저 Power Law 기반의 크리프 모델을 이용하여 지오그리드와 뒤채움흙의 크리프 거동의 모델링에 대한 적용성을 검토 하였으며 나아가 보강토 교대 구조물의 장기 거동에 대한 해석에 적용하였다. 그 결과 Power Law 기반의 크리프 모델은 지오그리드와 뒤채움흙으로 구성되는 보강토 교대 구조물에 지속하중 작용시 발생하는 크리프 변형을 적절히 모사할 수 있는 것으로 검토되었으며 크리프 변형이 발생할 수 있는 뒤채움흙을 사용하는 경우 교대 벽체 및 상판기초에 허용치를 초과하는 변위가 발생할 수 있는 것으로 검토되었다. 본 연구에서 얻어진 결과의 실무적 적용 방안에 대한 내용을 기술하였다.

***Keywords*** : Geosynthetics, Geosynthetic-reinforced retaining wall, Sustained loading, Creep, Long-term behavior, Finite-element analysis

## 1. 서 론

지오그리드와 같은 토목합성보강재(geosynthetics)를 이용하는 보강토 공법은 민간 및 공용 구조물 시공에 있어 기존 공법의 대체공법으로서 그 적용성이 확대되고 있다. 특히, 국외에서는 그림 1과 같이 철도 혹은 도로분야 교량 건설시 성토부 혹은 교대부에 교량 구조물의 일부로서 널리 활용되고 있다(Mannsbart and Kropik, 1996; Won 등, 1996; Wu 등, 2001; Abu-Hejleh 등, 2000). 토목합성재료를 이용하는 보강토 구조물을 교량이나 철도노반 건설시 사용할 경우 가장 우려되는 사항은 장기적 관점에서의 구조물 자체의 변형이라고 하겠다. 즉, 벽체의 과다 변위 및 뒤채움구간의 과다 침하는 상부 구조물의 부등침하로 이어지며 이로 인해 교대부와 상판에 단차(bridge bump)가 발생하는 등 다양한 문제가 발생할 수 있어 이러한 우려는 보강토 구조물의 적용성 확대에 대한 장애가 되고 있다.

현재 적용되고 있는 토압기반의 FHWA 설계기준(Elias and Christopher, 1997)과 NCMA 설계기준(Collins, 1997)에서는 이러한 장기성능에 대한 고려방안이 없는 실정이며 단지 토목합성보강재의 장기설계강도(long-term design

1* 정회원, 성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수 (Member, Professor, Dept. of Civil & Envir. Engrg., Sungkyunkwan Univ., E-mail: csyoo@skku.edu)

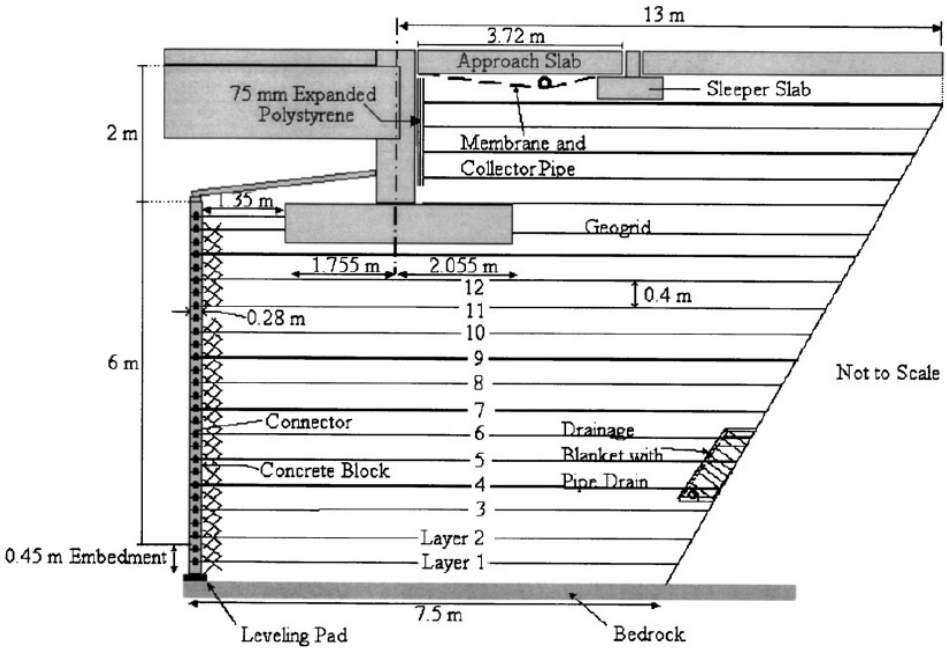



그림 1. 교대에 적용되는 보강토 구조물 예시(Abu-Hejleh 등, 2000)

strength) 산정시 토목합성보강재의 크리프를 고려하여 감소계수를 적용하는데 그치고 있어 침하 혹은 변위 등 사용성에 대한 요구조건(serviceability requirement)에 대한 확보 방안이 없는 실정이다. 또한 기존의 연구결과(Tatsuoka 등, 2004; Kongkitkul, 2004; 유충식 등, 2005)에서는 보강토 구조물에서 토목합성재료의 파단에 대한 안전율은 시공 후 오히려 증가하며 중요한 점은 보강토 구조물에 발생하는 변형률 속도(rate)라고 보고하고 있어 현 설계기준의 보수성을 지적한 바 있다. 아울러 이와 관련된 보강토 구조물의 장기거동에 관한 실험적 연구에서는 지속/반복하중에 노출되는 보강토 구조물은 장기적으로 잔류변형이 발생할 수 있으며 이는 뒤채움흙과 보강재의 잔류변형이 구조물 차원의 장기변형을 유발시키는 것으로 보고한 바 있다(Hirakawa 등, 2004; 유충식 등, 2005; Wu 등, 2001; Liu 등, 2008; 유충식과 김선빈, 2007; 유충식 등, 2007; 유충식과 전한용, 2010).

본 연구에서는 보강토 구조물의 장기 성능 평가 기법 개발 관점에서 보강토 구조물의 장기거동에 관한 수치 모델링시 각 구성요소의 모델링 방안을 고찰하고 이를 확장하여 보강토 옹벽이 교대 옹벽으로 사용되는 경우에 대한 시공조건에 대해 뒤채움흙과 지오그리드의 지속하중 하에서의 응답특성 모델링 방안 및 보강토 구조물 차원에서의 모델링 기법을 제시하였다.

## 2. 보강토의 크리프 특성 모델

### 2.1 뒤채움흙의 크리프 특성 모델

보강토 구조물에 지속하중이 작용할 경우 발생하는 시간의존적 잔류변위는 보강토 구조물을 이루고 있는 구성요소의 크리프 변형특성에 좌우된다. 따라서 보강토의 주 구성요소인 뒤채움흙의 크리프 특성은 잔류변위에 지대한 영향을 미치므로 해석 모델링에 있어서 뒤채움흙의 크리프 특성을 적절히 모델링하여야 한다.

기존의 연구에 의하면 흙의 크리프 특성 곡선은 쌍곡선 혹은 Power 함수로 잘 모사되는 것으로 알려져 있다. 이를 토대로 Singh and Mitchell(1968)은 Power 함수 기반의 크리프 모델인 Singh-Mitchell 모델(이하 SM 모델로 칭함)을 식 (1)과 같이 제안한 바 있다.

$$\dot{\epsilon} = Ae^{\alpha D}\left(\frac{t_1}{t}\right)^m \tag{1}$$

여기서 $\dot{\epsilon}$=변형률속도, $D$=응력수준, $t$=시간을 의미하며 $A, \alpha, m$ 은 크리프 시험을 통해서 결정되는 재료 상수이다. SM 모델에 대한 구체적인 내용은 유충식과 전한용(2010)의 논문에 상세히 기술되어 있다.

위의 SM 모델은 Extended Drucker-Prager 항복규준과

연계하여 적용할 경우 하중 작용에 따른 소성거동과 크리프 거동의 연계 해석이 가능하다. 이때 크리프 포텐셜은 쌍곡선 형태로 정의 되며 그림 2에서와 같이 소성 항복면과 아울러 크리프 항복면을 설정하여 임의 지점에서의 $p-q$ 응력 상태가 크리프 항복면을 벗어나게 되면 크리프 변형이 발생하는 것으로 간주하며 여기서 $\overline{\sigma^{cr}}=q-ptan\beta$ 로 정의된다.

### 2.2 보강재의 크리프 특성 모델

유충식과 전한용(2010)은 Power Law 모델 기반의 크리프 모델을 이용하여 지오그리드의 장기거동을 모델링한 바 있다. 본 연구에서도 보강토 구조물에 설치되는 보강재의 경우와 같이 일축 인장력이 작용하는 경우에 대한 모델링에 있어 von Mises 모델과 Power Law 모델(이하 PL 모델로 칭함)을 연계하여 하중작용에 따른 점탄소성 거동을 모사한 기법에 대한 적용성을 검토하였다. Power Law 모델(이하 PL 모델로 칭함) 기반의 변형률 경화(strain-hardening) 모델을 이용하여 지오그리드의 시간의존적 거동을 모델링할 경우 시간의존적 크리프 변형률 속도($\dot{\epsilon^{cr}}$)는 아래 식 (2)와 같이 정의된다(Perkins, 2000).

$$\dot{\epsilon^{cr}}=\left(A\left(\overline{\sigma^{cr}}\right)^n\left[(m+1)\overline{\epsilon^{cr}}\right]^m\right)^{\frac{1}{m+1}} \tag{2}$$

여기서 $\epsilon_{cr}$은 크리프 변형률이며 $A, n, m$ 는 재료상수로서 크리프 시험을 통해 결정할 수 있다.

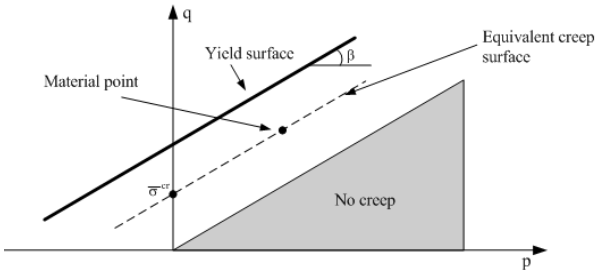



그림 2. 크리프 항복면의 정의

## 3. 모델링 검증

본 연구에서는 앞에 기술한 뒤채움흙 및 지오그리드 보강재의 크리프 모델을 제공하는 범용 유한요소프로그램 Abaqus 6.7(Abaqus, 2007)을 이용하여 시간영역(time domain)에서 보강토의 장기 거동에 관한 모델링 방안을 고찰하였다. 즉, 앞서 기술한 Extended Drucker-Prager 항복규준과 SM 모델을 연계하여 뒤채움흙의 장기 거동을 모델링하는 방안과 Power Law 모델을 이용한 보강재의 장기거동 모델링 방안을 검토하였다.

### 3.1 지오그리드 광폭인장시험

앞에 제시된 PL 기반 크리프 모델에 대해 지속하중이 작용하는 지오그리드 보강재의 하중 응답특성 모델링에 있어서의 적용성 검토를 위해 Kongkitkul(2004)가 수행한 보강재 광폭인장시험 조건을 모델링하고 그 결과를 비교하였다.

광폭인장시험의 해석 모델링에 있어 보강재는 3절점 트러스요소(T2D3)를 이용하여 모델링하였으며 하중재하 순서에 입각해 지속하중에 대한 모델링을 수행하였다. 그림 3은 해석에 적용된 모델을 보여주고 있으며 표 1은 광폭인장시험 조건 및 해석에 적용된 물성, 그리고 하중이력을 정리하고 있다. 지속하중 시험은 PET 재질로 제조된 10 ton/m의 인장강도를 가진 지오그리드에 대해 수행하였으며 지오그리드에 대한 구체적인 내용은 Kongkitkul(2004)에서 제시되어 있다. 본 해석에서 적용한 PL 모델 파라메터는 실험결과에 대한 역해석을 통해 습득하였다.

그림 4는 지속하중 시험조건에 대한 결과를 인장력-변형률 관계로 보여주고 있다. 그림에서 제시되어 있는 해석

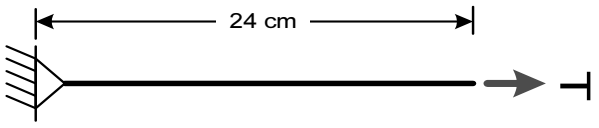



그림 3. 광폭인장시험 해석 모델

표 1. 광폭인장강도 시험조건

| 구분 | | 재질 | 인장강도(kN/m) | 축강성(kN/m) | 크리프 파라메타 | 격자크기(mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 지속하중 | 지오그리드 | PET | 100 | 1300 | $A=1\times10^{-8}$<br>$n=1.1$<br>$m=-0.8$ | 43×41 |
| | 하중이력(kN/m) | 0 → 45 (ML); 45 → (SL for 1hr); 45 → 85 (ML);<br>85 → (SL for 1hr); 85 → 130 (SL for 1hr) → 200kN/m (ML) | | | | |

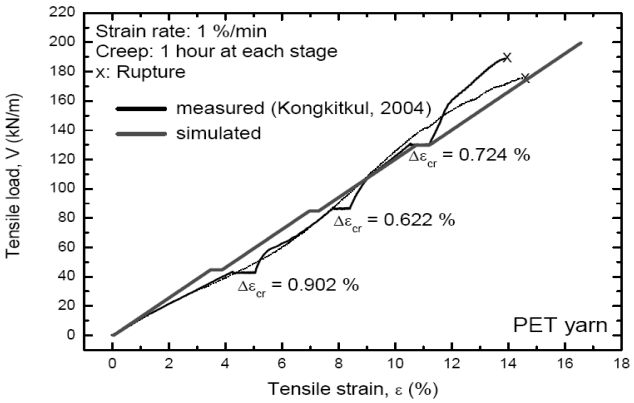



그림 4. 광폭인장시험 모델링 결과(지속하중)

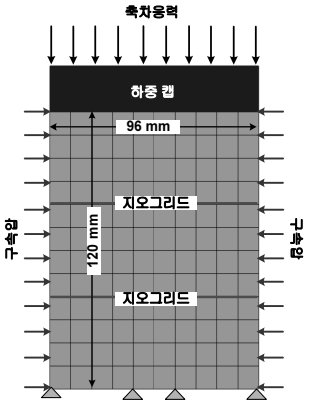
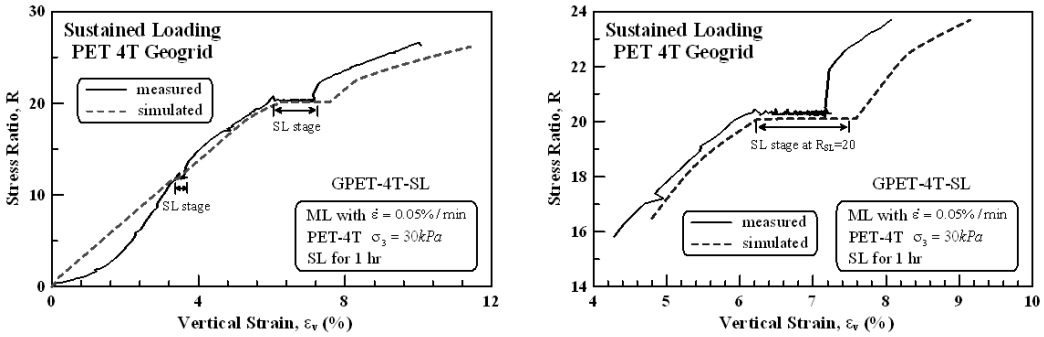



그림 5. PSC 실험 모델링

표 2. PSC 시험 조건-지속하중

| 구 분 | 점착력, c (kPa) | 내부마찰각(deg) | 탄성계수(kPa) | 크리프 파라메타 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 뒤채움흙 | 10 | 40 | 30000 | $A=2\times10^{-5}$<br>$\alpha=0.03$<br>$m=0.7$ | - |
| 구 분 | 재질 | 인장강도(kN/m) | 축강성(kN/m) | 크리프 파라메타 | 격자크기(mm) |
| 지오그리드 | PET | 40 | 1000 | $A=1\times10^{-6}$<br>$n=1.0$<br>$m=-0.7$ | 43×41 |
| 하중이력 | 0 → 350kPa (ML); 350 → (SL for 1hr); 350 → 600kPa (ML)<br>600kPa → (SL for 1hr); 600 → 750kPa (ML) | | | | |




(a) 응력-변형율 곡선 (b) S-L stage 확대부

그림 6. PSC 시험 응력-변형률 곡선 비교(지속하중)

결과는 각 지속하중단계에서의 크리프 변형률을 기준으로 할 때 실험결과 대비 10% 내외의 차이를 보여 잘 일치하는 경향을 관찰할 수 있다. 이러한 결과는 PL 기반의 크리프 모델로 지속하중이 작용하는 지오그리드의 장기 성능 평가에 대한 시뮬레이션이 가능 하다는 것을 보여주는 것으로서 PL 기반의 크리프 모델의 적용성이 높은 것으로 검토 되었다.

### 3.2 보강토에 대한 평면변형률압축시험

본 연구에서는 SM모델의 적용성 검토를 위해 뒤채움흙과 지오그리드로 구성되는 보강토에 대한 평면변형률압축(Plane Strain Compression, PSC)시험에 대한 해석을 수행하였다. 그림 5는 모델 검증에 사용된 시험조건을 도식적으로 나타내고 있으며 표 2는 적용된 뒤채움흙 및 지오그리드의 역학적 특성치와 해석순서를 정리하고 있다. 구체적인 시험방법과 재하조건은 유충식 등(2005)에 기술되어 있다. 해석 모델링에 있어서 본 시험이 평면변형률시험 조건임을 감안하여 뒤채움흙은 8절점 가감적분 고체요소(CPE8R)를 이용하였으며 지오그리드는 3절점 트러스 요소로 모델링하였다.

그림 6은 각 시험조건에 대해 실험결과와 해석결과를

응력비-변형률($R-\Delta\epsilon_v$)곡선의 형태로 비교하고 있다. 여기서의 응력비는 축차응력을 구속압으로 정규화시킨 수치로서 보이는 바와 같이 두 결과는 잘 일치하는 것으로 나타났다. 보다 구체적으로 살펴보면 $R=20$에서 1시간동안의 지속하중 작용시 PSC 실험 및 해석에서 각각 $\Delta\epsilon_{cr}=1.2\%$ 및 $\Delta\epsilon_{cr}=1.5\%$ 정도가 발생하는 것으로 검토되었는데 이러한 수치는 약 10%이내의 차이를 보이는 것으로서 본 연구에서 채택한 모델링방법은 적절한 것으로 판단된다.

## 4. 보강토 교대 구조물 모델링

### 4.1 해석조건 및 모델링

본 절에서는 앞서 검토한 크리프 모델의 구조물 수준에서의 적용성 검토를 위해 보강토 교대 구조물에 대한 모델링을 수행하였다. 고려 대상 보강토 옹벽 구조물은 그림 7에서 보이는 바와 같이 높이 6.4m 옹벽 상부에 폭 1m 높이 2m의 상판기초가 벽체 전면으로 부터 1m 이격되어 위치하고 상판기초에는 길이 30m의 상판이 거치되는 조건으로서 축강성 $J=500\,kN/m$의 지오그리드가 길이

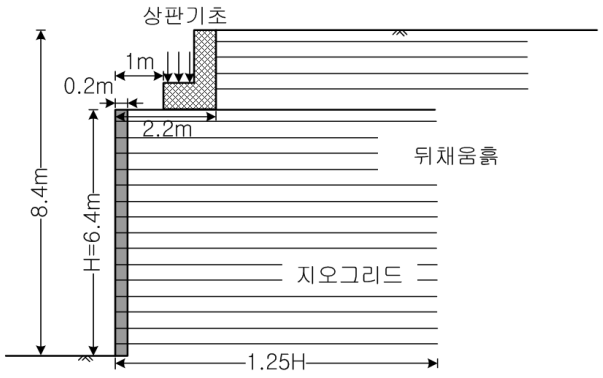



그림 7. 해석 대상 보강토 교대(유충식과 전한용 2010)

1.25H(즉, 8m), 연직간격 0.4m로 설치되는 경우를 고려하였다. 보강토 교대에 대한 구체적인 제원 및 하중 조건은 유충식과 전한용(2010)의 논문에 기술되어 있다. 해석은 상용 유한요소프로그램 Abaqus 6.7(Abaqus, Inc., 2007)을 사용하였다.

해석 모델링에 있어서 뒤채움흙과 벽체블록, 기초는 8절점 가감적분 고체요소(CPE8R)를 사용하여 이산화 하였으며, 지오그리드는 트러스요소(T2D3)를 적용하여 모델링하였다. 재료모델링에 있어서 벽체블록, 기초는 선형 탄성재료로 가정하였으며 벽체와 뒤채움흙의 미끄러짐 거동은 User-Subroutine 기능인 UMAT을 이용하여 벽체와 뒤채움흙 사이에 인터페이스 요소를 구현하여 모사하였다.

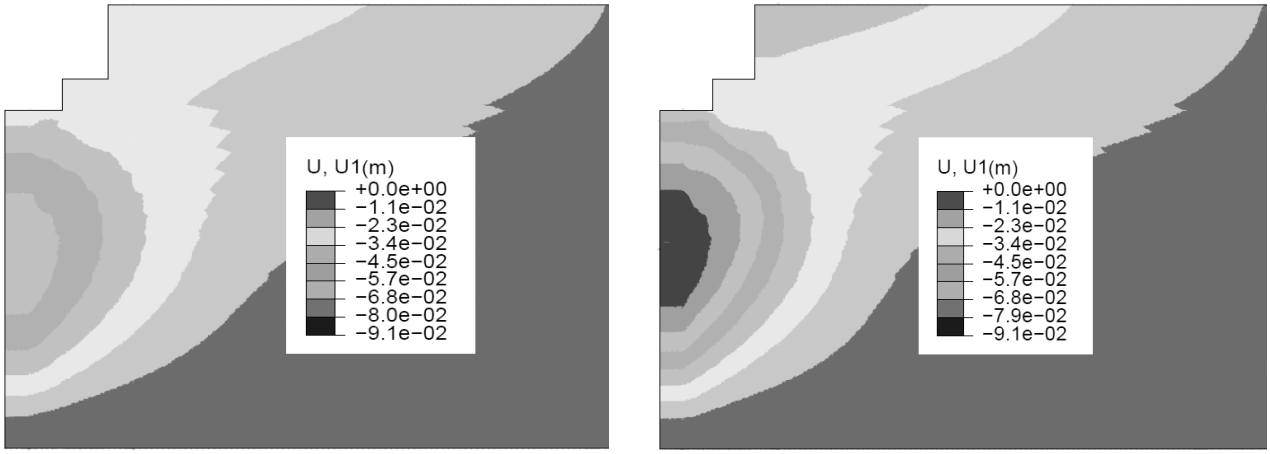
해석 대상 옹벽은 단위중량 $\gamma=20\,kN/m^3$을 갖는 실트질 모래를 이용하여 뒤채움 되는 것으로 가정하고 뒤채움흙의 항복규준으로서 Extended Drucker-Prager 모델을 적용하였다. 이때 점착력($d$)과 내부마찰각($\beta$)은 각각 20kPa 및 43°을 적용 하였으며 뒤채움흙 및 지오그리드의 크리프 파라메타는 PSC 시험에 적용한 시편과 동일한 것으로 간주하였다. 시공과정의 모델링에 있어 [블록설치 ⇒ 뒤채움흙 포설 ⇒ 보강재 포설]로 이루어지는 일련의 시공과정을 상세히 모델링 한 후 상판하중을 작용시키고 3000일 동안에 대한 해석을 수행하였다. 표 3은 해석조건을 정리하고 있다.

### 4.2 해석 결과

그림 8은 시공직후(End of Construction, EOC)와 10년 경과 후 보강토 교대의 수평변위를 등고선 형식으로 보여주고 있다. 보이는 바와 같이 시공직후에는 약 4.5cm 정도의 벽체 최대 수평변위가 발생하나 10년 경과 후에 약 90%가 증가하여 약 9.1cm로 증가하는 경향을 보이고 있

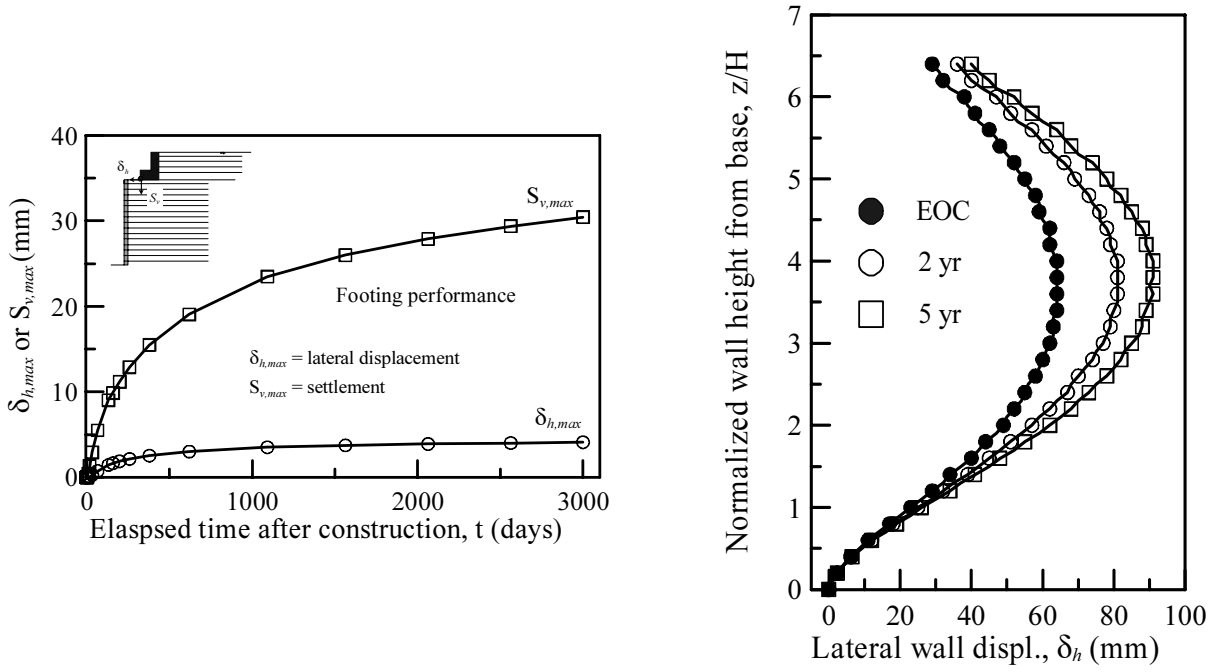
표 3. 교대구조물 해석 조건

| 구 분 | 옹벽높이(H) | 지오그리드길이 | 상판기초 폭 | 벽체-상판기초 이격거리 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 옹벽제원 | 6.4m | 1.25H | 1.0m | 1.0m | - |
| 뒤채움흙 | 점착력, $d$ (kPa) | 내부마찰각, $\beta$ (deg) | 탄성계수(kPa) | 크리프 파라메타 | 비 고 |
| | 20 | 43 | 30000 | $A=2\times10^{-5}$<br>$\alpha=0.03$<br>$m=0.7$ | - |
| 지오그리드 | 재질 | 인장강도(kN/m) | 축강성(kN/m) | 크리프 파라메타 | 비 고 |
| | PET | 20 | 500 | $A=1\times10^{-6}$<br>$n=1.0$<br>$m=-0.7$ | |
| 시공과정 | [블록설치 ⇒ 뒤채움흙 포설 ⇒ 보강재 포설] 반복과정 모델링 | | | | |




(a) 시공완료 직후 (b) 시공 후 10년 경과 후

그림 8. 지속하중 재하로 인한 크리프 변형




(a) 상판 기초 변위 발생 시간 이력 (b) 보강토 옹벽 수평변위 발생 경향

그림 9. 시간에 따른 보강토 교대 거동 변화 경향

다. 이러한 변위 거동에 관한 경향은 시간에 따른 보강토 교대의 변위 거동에 관한 결과를 보여주고 있는 그림 9에서 보다 뚜렷하게 관찰할 수 있다. 즉, 그림 9(a)는 상판기초의 최대 수직 및 수평변위에 대한 시간 이력을 보여주고 있으며 그림 9(b)에서는 시간 경과에 따른 벽체 변위 증가 경향을 보여주고 있는데 그림 9(a)에서 관찰할 수 있는 바와 같이 시공 완료 후 상판기초의 수평 및 연직변위는 멱함수 형태로 발생하고 특히 기초 침하는 최대 30mm 이상 발생하는 것으로 검토되었다. 또한 그림 9(b)에서 관찰할 수 있는 바와 같이 보강토 옹벽 수평변위는 벽체 하단에서 약 2/3H 되는 지점에서 최대치가 발생하며 수평변위 프로파일 역시 시간경과에 따라 변위가 증가하는 전형적인 추세를 잘 보여주고 있다.

한편, 그림 10은 보강토 옹벽에 포설된 지오그리드 보강재 층별 인장 변형률 발생 경향을 보여주고 있는데 보이는 바와 같이 시공 완료 이후 지오그리드 및 뒤채움흙의 크리프 변형률 발생으로 인해 지오그리드의 인장변형률이 최대 3% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 지오그리드 보강재의 크리프 변형률을 보여주고 있는 그림 11에서 또한 관찰할 수 있는데 보이는 바와 같이 상판

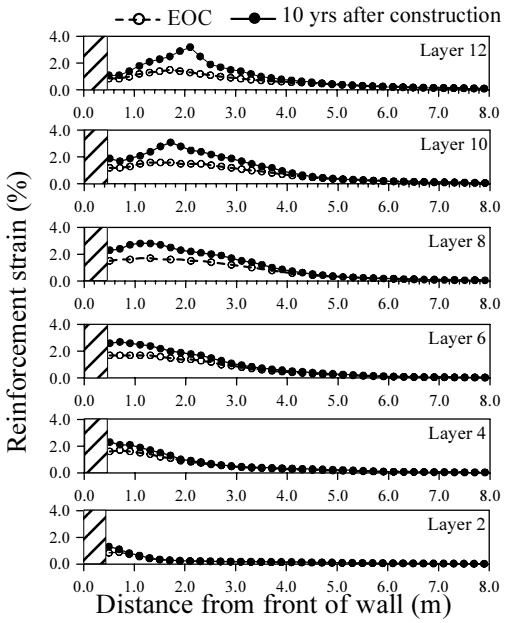



그림 10. 지오그리드 인장 변형률 변화 경향

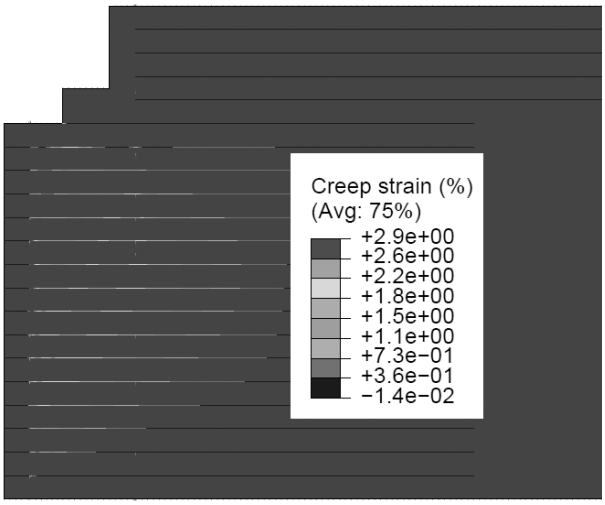



그림 11. 지오그리드 크리프 변형률 발생 경향

기초를 지지하는 보강토 구간 전반에 걸쳐 0.7~3% 정도의 크리프 변형률이 발생하는 것으로 검토되었다.

위에 제시된 바와 같이 장·단기 안정성 및 사용성 확보가 중요한 보강토 구조물의 장기 거동 평가에 있어 본 연구에서 고찰한 Singh-Mitchell 모델과 Power Law 모델을 이용하여 뒤채움흙과 지오그리드 보강재의 크리프 변형에 대한 적절한 수치해석 모델링이 이루어 질 경우 보강토 구조물의 장기 성능 평가가 효율적으로 이루어 질 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 보강토 구조물의 장기거동에 관한 수치모델링 방안 고찰의 일환으로 보강토 옹벽을 구성하는 각 구성요소의 장기 거동 모델링 방안을 검토하였다. 이를 위해 뒤채움흙과 지오그리드에 대한 크리프 거동 모델로서 각각 Singh-Mitchell 모델 및 Power Law 모델의 적용성을 검토하였으며 지오그리드에 대해 수행된 광폭인장 시험 및 보강토 시편에 대한 평면변형률압축시험 결과를 이용하여 두 모델에 대한 요소수준의 적용성 검토를 수행한 결과 Singh-Mitchell 모델과 Power Law 모델은 보강토의 크리프 특성을 현실적으로 모델링할 수 있는 것으로 나타났다.

아울러 Singh-Mitchell 모델과 Power Law 모델의 적용성을 구조물 수준으로 확장하여 교량의 교대부 상판지지 옹벽으로 적용되는 보강토 교대에 대한 해석 모델링을 수행한 결과 벽체 및 뒤채움구간의 변위, 그리고 보강재의 크리프 변형률 발생경향 등에 있어서 현실적인 모델링이 가능한 것으로 검토되었으며 크리프 변형이 크게 발생할 수 있는 뒤채움흙을 사용하는 경우 교대 벽체 및 상판기초에 허용치를 초과하는 변위가 발생할 수 있는 것으로 검토되었다. 따라서 장·단기 안정성 및 사용성 확보가 중요한 보강토 구조물의 장기 성능 평가에 있어 본 연구에서 고찰한 Singh-Mitchell 모델 및 Power Law 모델이 효율적으로 적용될 수 있는 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R01-2004-000-10953-0) 및 일반연구자 지원사업(과제번호 20100008227) 지원으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 유충식, 김선빈 (2007), “하중지지 구조물로서의 보강토 옹벽 - 장기거동 측면에서의 고찰”, *2007 가을 토목섬유학회 학술발표회 논문집*, pp.61-74.
2. 유충식, 김선빈, 김영훈, 한 대희 (2007), “지속하중 및 반복하중 재하시 보강토 옹벽의 잔류변형 특성”, *한국지반공학회논문집*, 제23권, 제6호, pp.5-21.

3. 유충식, 김선빈, 이봉원 (2005), “평면변형압축시험을 이용한 보강토의 시간 의존적 변형 특성 연구”, *한국지반공학회논문집*, 제21권, 제10호, pp.1-13.
4. 유충식과 전한용 (2010), “지오그리드 보강토 교대의 장기거동에 관한 수치해석 연구“, *한국지반공학회논문집*, 제27권, 제1호, pp.65-76.
5. Abaqus (2007), *ABAQUS user's manual version 6.7,* Abaqus, Inc., Pawtucket, Providence, R.I.
6. Abu-Hejleh, N., Wang, T. and Zornberg, J. G. (2000), *Performance of geosynthetics-reinforced walls supportingbridge and approaching roadway structures*, ASCE Geotechnical Special Publication No. 103, Advances in Transportation and Geoenvironmental Systems using Geosynthetics, pp.218-243.
7. Collin, J. (1997), *Design Manual for Segmental Retaining Walls*, 2nd Edition, NCMA, Virginia.
8. Elias, V. and Christopher, B. R. (1997), *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design and Construction Guidelines*, FHWA Demonstration Project 82, FHWA-SA-96-071, Washington, DC.
9. Hirakawa, D., Uchimura, T., Shibata, Y. and Tatsuoka, F. (2002), “Time-dependant deformation of geosynthetics and geosynthetic-reinforced soil structures”, *Proc. of the 7th International Conference on Geosynthetics*, Nice, Vol.4, pp.1427-1430.
10. Kongkitkul, W. (2004), *Effects f material viscous properties on the residual deformation of geosynthetic-reinforced sand*, Ph.D. Thesis, University of Tokyo.
11. Liu, H., Wang, X. and Song, E. (2008), “Long-term behavior of GRS retaining walls with marginal backfill soils”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.27, pp.295-307.
12. Mannsbart, G. and Kropik, C. (1996), “Nonwoven geotextile used for temporary reinforcement of a retaining structure under a railroad crack”, *Geosynthetics: Applications, Design and Construction*, Rotterdam, pp.121-124..
13. Perkins, S.W. (2000), “Constitutive modeling of geosynthetics”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.18, pp.273-292.
14. Singh, A. and Mitchell, J. K. (1968), “General stress-strain time function for soils”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol.94, No. SM 1, pp.21-46.
15. Tatsuoka, F., Hirakawa, D., Shinoda, M., Kongkitkul, W. and Uchimura, T. (2004), “An Old but New Issue; Viscous Properties of Polymer Geosynthetics Reinforcement and Geosynthetic-Reinforced Soil Structures”, *Proc. of the 3rd Asian Regional Conference on Geosynthetics*, Seoul, pp.29-77.
16. Won, G. W., Hull, T. and De Ambrosis, L. (1996), “Performance of a geosynthetics segmental block wall structure to support bridge abutments”, *Earth Reinforcement*, Rotterdam, Vol.1, pp.543-548.
17. Wu, J. T. H., Ketchart, K. and Adams, M. (2001), *GRS bridge piers and abutments*, Report FHWA-RD-00-038, US Department of Transportation, pp.136.

(논문접수일 2011. 11. 10, 심사완료일 2011. 12. 20)