

## 실내모형실험에 의한 녹화보강토벽의 거동분석

### Analysis for Behavior of Green Geosynthetic Reinforced Soil Walls by Laboratory Model Tests

조용성\* · 김유성\*\*

Cho, Yong-Sung · Kim, You-Seong

---

#### Abstract

The existing geotextile reinforced soil wall methods have a demerit in terms of esthetic view because concrete panel or block are used as wall facing of the methods. If grass planting walls could be used in reinforced soil slope or wall methods, efficiency of the methods would be increased with maximization of advantage of the methods. In this study, some possible methods in which grass planting wall is used as wall facing are devised. A series of laboratory model tests were performed to investigate the behavior of newly devised methods in order to compare with the results of each others. As a major result, it was found that this kinds of grass wall facing methods could be accepted as a new construction method even in the sense of stability.

**Keywords** : Geotextile, Reinforced soil, Grass planting walls, Concrete block

---

#### 요 지

기존의 지오텍스타일 보강토벽 공법은 대부분 콘크리트 판넬 또는 블록형식의 벽면을 사용하고 있어 미관상의 단점을 해결하지 못하고 있다. 이러한 보강토 사면 또는 보강토벽의 단점을 보완하여 녹화벽면의 형성이 가능할 경우 기존 보강토 공법의 장점이 극대화되어 이 공법의 효율성을 크게 향상시킬 수 있다. 이와 같은 배경 하에 본 연구에서는 보강토벽 전면에 녹화가 가능한 연성벽면을 형성, 안정성 측면에서도 강성벽면과 거의 동등한 기능을 발휘할 수 있는 공법을 고안하여, 여러 가지 형태의 실내모형 시험을 실시하여 그 거동을 비교·분석하였다. 그 결과, 이러한 녹화벽면 공법은 그 안정성측면에서도 충분히 새로운 공법이 될 수 있을 것으로 판단된다.

**주요어** : 지오텍스타일, 보강토, 녹화벽면, 콘크리트 블록

---

\* 정희원 · 전북대학교 공과대학 토목환경공학부 박사수료

\*\* 정희원 · 전북대학교 공과대학 토목환경공학부 부교수

# 1. 서론

현재 지오텍스타일을 이용한 보강토 공법은 벽면을 콘크리트 블록이나 판넬을 사용하기 때문에 미관상의 단점 및 시간의 경과에 따른 열화현상 등으로 인한 환경적인 문제를 야기할 수 있다. 이러한 단점 및 문제를 해결하기 위해서는 보강토벽 공법의 어떠한 부분을 개선시킬 필요가 있는가 하는 관점에서의 새로운 고찰이 필요하다. 예를 들어 보강토벽의 경우 뒤채움 성토재가 포화도가 높은 점성토의 경우 배수성의 문제에 직면하게 된다.<sup>1)</sup> 그러나 배수성이 우수한 보강재를 사용하여 보강재 자체가 배수통로 역할을 하게 한다면 이러한 문제점을 보완할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 보강토에 사용되는 뒤채움재가 식물 성장에 필요한 영양분과 수분을 전달시켜주는 매개체 역할을 할 수 있다면 보강토 벽면에 녹화 형성이 가능하다. 현재 우리나라의 건설현장에서는 절토·굴착에 따른 현지발생토가 발생되며, 이의 대부분은 포화도가 높고 세립분이 많은 사질토, 풍화토 및 점성토의 경우가 많다. 이와 같은 흙을 성토재료로서의 이용이 가능하다면 경제적으로 보강토 공법이 압도적으로 유리하게 된다. 한편 기존의 보강토벽 공법은 대부분 콘크리트 또는 블록형식의 벽면을 사용하고 있어 미관상의 단점을 해결하지 못하고 있다. 이러한 단점을 보완하여 보강토 사면 또는 보강토벽 공법에 있어 녹화가 가능할 경우 보강토 공법의 보급이 보다 확대될 수 있을 것이다.<sup>2)</sup>

이와 같은 배경 하에 본 연구에서는 보강토 공법에서의 벽면을 초목, 목본식물 등의 생육이 가능하고, 안정성 측면에서도 강성벽면의 경우와 거의 동등한 기능을 발휘할 수 있는 방법을 모색하였다. 이하 여러 가지 형태의 실내모형 시험에 의한 분석결과를 기술한다.

## 2. 시험재료의 역학적 특성

### 2.1 뒤채움재의 역학적 특성

시험에 사용된 뒤채움재(흙)는 현지발생 불량토로서 통일분류법에 의해 CL로 분류되었다. 실내시험에 의한 소성지수(PI)와 비중( $G_s$ )은 각각 8.26, 2.66이고, 투수계수는  $3.157 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$ 로 작다. 다짐시험은 KS F 2312의 표준 A방법으로 시험을 실시하였으며, 최적함수비는 15.0%로 나타났다. 뒤채움재의 입도시험에 의한 입도분

포곡선을 그림 1에 나타내었다.

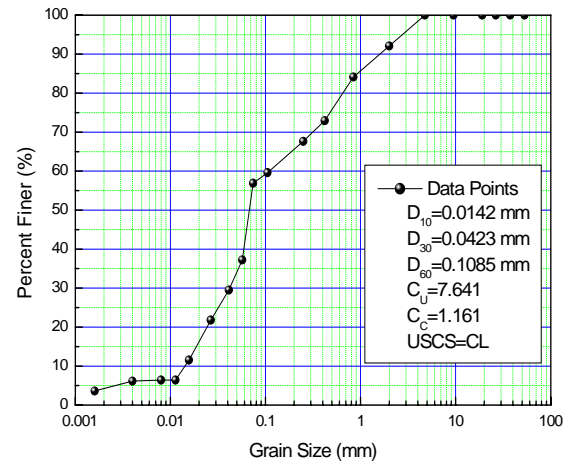


그림 1. 뒤채움재의 입도분포 곡선

### 2.2 사용된 보강재의 역학적 특성

본 연구에서 이용된 보강재는 2종류로서 국내에서 생산되는 폴리에스터 100% 장섬유 부직포와 식생매트(Green Sheet)를 사용하였으며, 보강재 및 식생매트의 특성을 표 1에 나타내었다.

표 1. 생산자가 제시한 보강재의 특성

품명 (회사명)	중량 (g/m <sup>2</sup> )	인장강도 (kgf/in)		두께 (mm)
		길이	폭	
부직포 (P520)	211.6	92.3	61.2	2.05
Green Sheet	239.8	23.5	8.74	0.2
시험방법	KS K 0514-1991	KS K 0520-1995 (C.R.E), Grab법		KS K 0506-1996

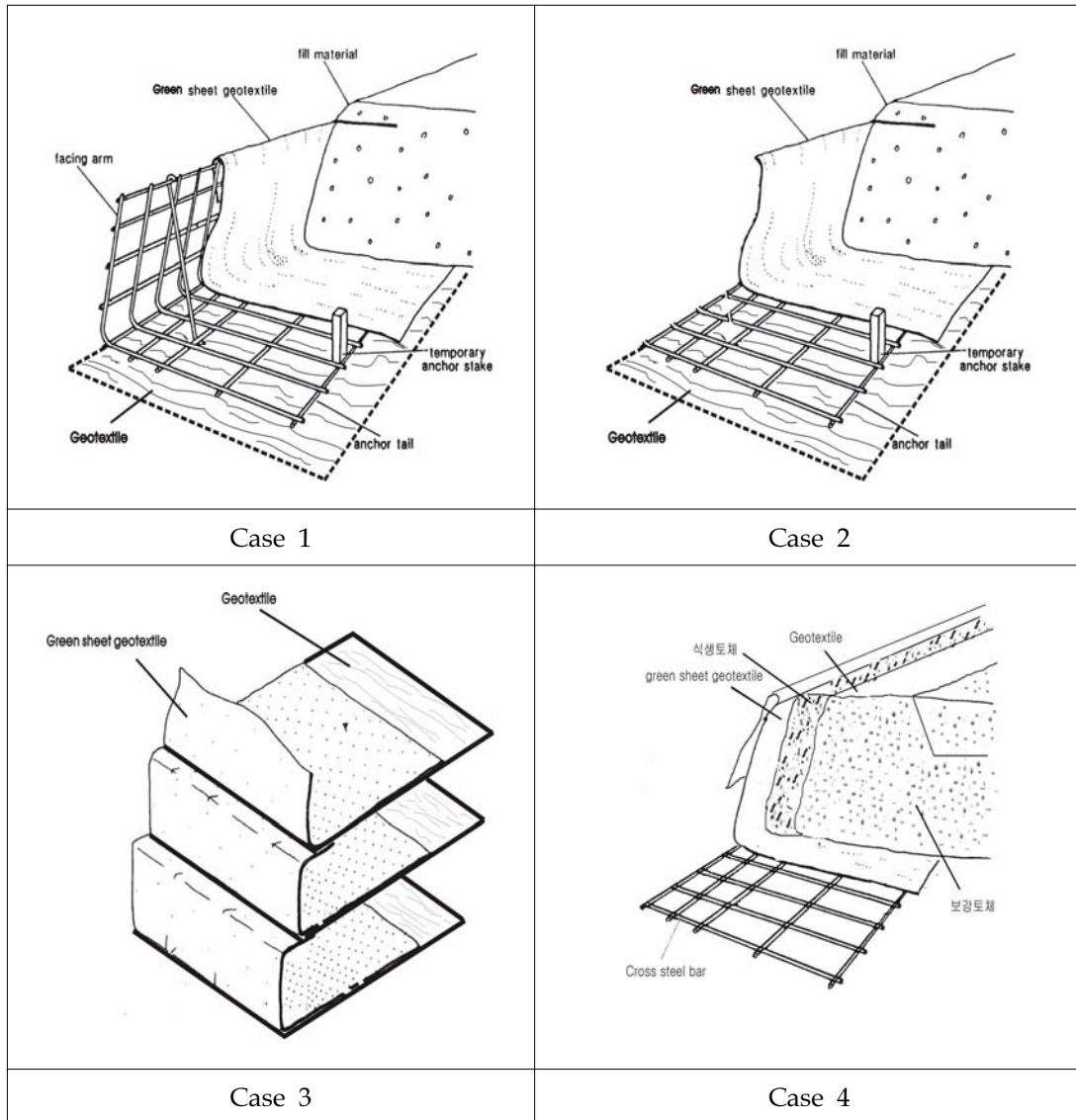
### 3. 실내모형시험에 사용된 모델 및 측정방법

전면 녹화 보강토의 거동특성 분석을 위해 설정된 모델은 Case 1~4의 네가지 형태이다. Case 1은 격자철근을 이용하여 녹화벽면을 형성하는 형태로서 이러한 형태는 현재 Textomur라는 공법으로 외국에서 많은 시공이 이루어

고 있는 형태이다. Case 2는 격자철근을 이용하여 녹화 보강토 벽면을 형성한 후 벽면의 격자철근은 제거하고 하단은 매설하는 형태이다. Case 3은 부직포와 식생매트를 이용하여 녹화벽면을 형성하는 형태이고, Case 4는 Case 3에서 벽면형성을 위하여 격자철근을 이용하는 형태이다. Case 4는 벽면형성에 있어서 식생매트 내부에 1cm의 공간을 확보하여 녹화를 위한 씨앗종자와 퇴비 및 흙과 섞어 식생토체를 형성한 후 벽면에 있는 격자철근을 제거하여 식생매트만으로 벽면을 형성한 형태이다. 또한, 측면의 변위를 최소화 하기 위하여 부직포를 감싸는(wrapping) 방법을 취하고 있다. 전체적인 각 Case별 모형을 표 2에

나타내었다. 모형 보강토벽의 실내시험을 위한 모형 토조는 평면변형을 상태를 재현하기 위해 높이 60cm, 폭 35cm, 길이 160cm로 제작하였다. 토조의 사각측면 중 길이방향 한쪽 측면은 시험 중 내부관측이 용이하도록 두께 20mm의 투명 아크릴 판을 장착하여 파괴면을 관찰할 수 있도록 하였다. 전면벽의 변위와 기초의 침하량은 변위계(LVDT)를 이용하였고, 띠 하중의 재하하중은 만능시험기(UTM)에 설치된 로드셀을 이용하여 측정하였다. 전면벽의 변위계는 보강토벽 바닥으로부터 5cm 위치 및 그 상부에 10cm 간격으로 설치하였고, 재하판에 1개의 변위계를 설치하여 침하량을 계측하였다. 또한, 보강재에서 발생

표 2. 각 Case별 모형도



하는 변형 및 인장력 계측을 위해 스트레인 게이지를 각각의 보강재 3개소에 부착하였다. 부직포의 경우는 클로로프렌(CR) 접착제를 매개체로 하여 스트레인 게이지를 부직포에 간접적으로 부착하여 보강재의 변형률을 계측하는 방법을 이용하였다.<sup>3)</sup>

#### 4. 시험방법

보강재의 배치형태에 따른 보강토벽의 변형거동과 보강효과를 조사하기 위하여 점성토, 부직포( $2tf/m^2$ ), 식생매트를 사용하여, 1개의 무보강토 벽면과 각 Case별 모형 보강토벽을 구축하였다. 현재 Textomur 공법에서 사용하고 있는 격자철근은 직경 10mm, 높이 50cm이지만, 본 시험에서는 격자철근을 1/10로 축소하여 직경 1mm의 wire를 사용하여 높이 5cm로 제작하였으며, 각 wire의 수평·수직 간격은 1/10로 축소하여 제작 사용하였다. 또한, 보강재는 높이를 고려하여 0.5H로 절단하였다. 식생매트(Green Sheet)는 격자 철근의 배치를 기준으로 하층 10cm, 높이 10cm, 상층 10cm로 절단하여 시험에 이용하였다. 뒤채움재의 다짐은 소형 표준다짐시험(KS F 2312의 A방법)시의 다짐에너지  $E_c = 5.625kgf \cdot cm/cm^3$ 을 기준으로 다짐층수와 층별 다짐회수는 5층 777회로 실시하였으며, 이때의 함수비와 다짐도는 표 3에 정리하였다. 보강토벽 높이에 대한 보강재 길이의 비는 0.5로 하였고, 띠 하중은 벽면으로부터 0.2H 떨어진 곳에서 1mm/min의 속도로 재하하였다. 무보강토 벽면의 구축은 벽면의 앞부분에 목재 합판을 대고, 뒤채움재 다짐시 목재합판이 뒤로 밀리지 않도록 목재합판 뒤를 목재로 된 각목 등으로 보강하여 고정시키고 보강토벽을 구축한 다음 목재 각목과 합판 등을 제거하는 방법으로 구축하였다. 모형 보강토벽의 변형거동은 데이터 로거(logger)를 통해 자동 계측하였다.

표 3. 실내모형시험의 함수비와 다짐도

구분	함수비 (%)	습윤단위 중량 ( $tf/m^3$ )	건조단위 중량 ( $tf/m^3$ )	다짐도 (%)
무보강	14.41	2.08	1.81	98.69
Case 1	15.00	1.98	1.72	93.77
Case 2	14.81	2.07	1.80	97.91
Case 3	14.78	2.08	1.81	98.33
Case 4	14.51	2.07	1.81	98.24

### 5. 실내 모형 시험의 결과 및 분석

#### 5.1 하중과 침하량 관계

무보강 보강토벽과 보강토 벽면형태를 달리한 Case 1, 2, 3, 4에 대하여 실내모형시험을 실시하였다. 무보강토벽면의 형성은 뒤채움재를 다진 후 지지판을 제거하여 점성토만의 연직사면을 형성하였다. 무보강토의 실내모형시험 결과 하중강도가 증가함에 따라 급격한 파괴현상을 육안으로 관찰할 수 있었다.<sup>4)</sup> 그러나 보강토벽의 어떠한 경우에도 이러한 파괴현상은 관찰되지 않았다. 무보강토의 극한 하중은  $q_{ult} = 12.46tf/m^2$ 으로 나타났으나, 보강토벽의 경우는 평균  $161.5tf/m^2$ 으로 10배 이상의 강도차이를 보여주고 있으며, 침하량 12mm에서의 하중강도는 보강토가 평균  $46.74tf/m^2$ 으로 무보강토에 비해 약 4배의 강도증가를 보이고 있다. 표 4에 무보강과 각각의 Case에 따른 침하량과 하중강도 관계를 정리하였다.

그림 2는 각 Case에 따른 보강토벽의 하중강도와 침하량 관계를 나타낸 것으로 이 결과에서 각 Case에 따른 파괴점에서의 최대 극한강도는 Case 4 > Case 1 > Case 2 > Case 3 > 무보강토의 순으로 나타나고 있다.

표 4. 각 Case에 따른 하중과 침하량 관계

측정값 \ Case	무보강토	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
침하량 (mm)	12	90	90	106	92.64
극한하중 강도 ( $tf/m^2$ )	12.46	171	150.4	147.8	177.3
침하량 12mm의 하중강도 ( $tf/m^2$ )		55.65	46.67	33.33	51.30

이러한 결과로 볼 때 보강의 경우 큰 차이는 없으나, Case 4의 경우가 강성, 강도 측면에서 모두 다른 방법에 비해 큰 값을 보이고 있어, 보강재의 wrapping으로 인하여 토체의 안정성과 강도증진 효과를 나타내고 있는 것으로 판단된다.

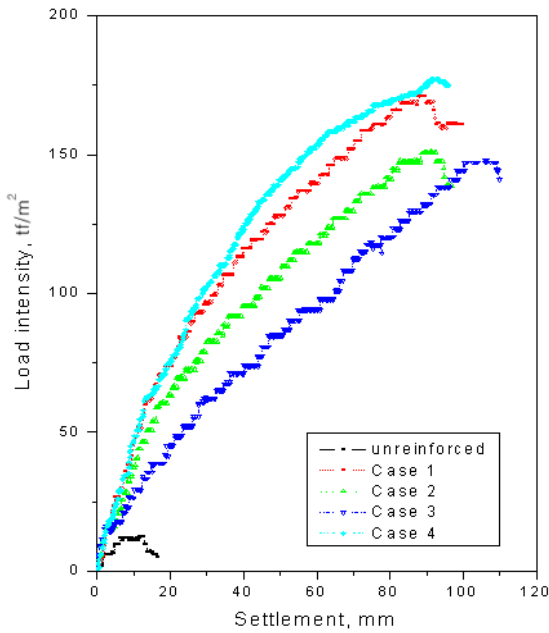


그림 2. 무보강토와 각 Case에 따른 보강토의 하중 강도와 침하량

## 5.2 보강토벽의 전면변위 및 파괴면의 형상

보강토벽의 전면변위 및 파괴면의 양상을 그림 3~6에 하중강도 10, 50, 100, 150 및 극한하중 ( $tf/m^2$ )별로 나타내었다. 각 Case에서 극한하중시의 최대 변위는 40mm 내외로 거의 유사한 값을 보이고 있었으나, 각 Case의 변위 양상은 약간의 차이가 있다.

Case 1의 경우에는 하중 증가에 따라 벽면 중앙부의 변위가 가장 크게 증가하고 있으나, Case 2, 3, 4의 벽면 변위는 약간 상단부(하단에서 35cm)에서 가장 크게 나타났다. Case 1과 Case 4의 경우가 다소 작은 변위를 보여주고 있다. 이것은 Case 1의 경우는 격자철근이 Case 4의 경우는 부직포와 식생매트의 감싸기(wrapping)로 인하여 벽면의 변위가 상대적으로 작게 나타나고 있다고 판단된다.

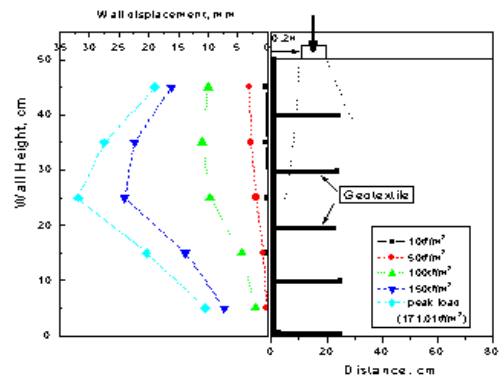


그림 3. Case 1의 전면벽 변위 및 파괴면의 형상

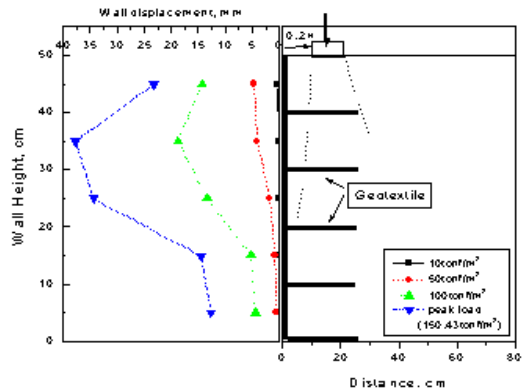


그림 4. Case 2의 전면벽 변위 및 파괴면의 형상

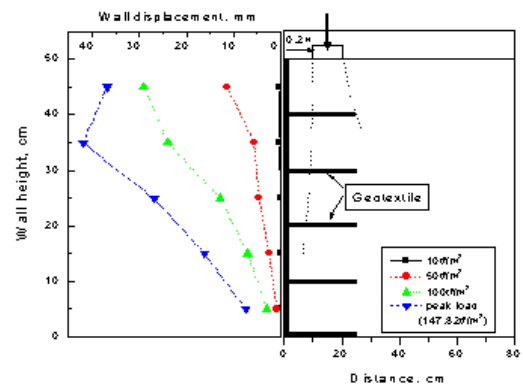


그림 5. Case 3의 전면벽 변위 및 파괴면의 형상

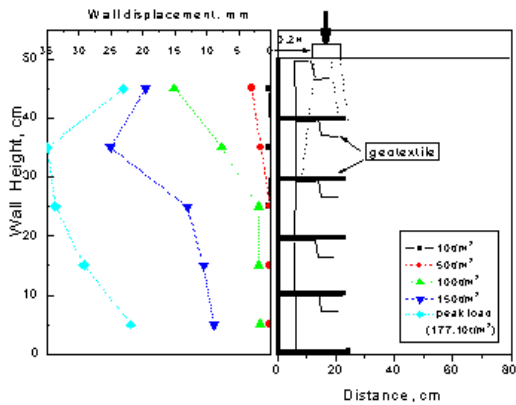


그림 6. Case 4의 전면벽 변위 및 파괴면의 형상

### 5.3 실내모형시험에 사용된 보강재의 거동분석

각각의 보강재 변형은 스트레인 게이지에 의해 계측된 보강재의 국부변형률을 전체변형률로 환산하였다.<sup>5)</sup> 하중재하위치는 보강토 벽면에서 0.2H(10cm)로 격자철근이 흙 속에 묻히는 부분의 끝단 위치에 띠 하중(Strip load)이 가해진 상태이다. 또한, 각각의 하중강도 10, 50, 100, 150 및 극한하중( $tf/m^2$ )에서의 보강재 변형량을 그림 7~10에 나타내었다. 보강재의 변형거동은 재하하중에 비례하여 증가하고, 최대변형은 재하판의 중심부근에서 발생하고 있었으며, 극한하중에 가까울수록 침하량이 커져 상부 층에서는 게이지의 절단이 이루어지는 경우가 종종 발생하였다. 각 Case 형태에 따라 보강재에서 발생하는 변형량은 각층과 높이에서 유사하게 나타났으나, Case 4의 경우에는 다른 Case 형태에 비해 벽면에서 가까운 거리(벽면에서 5cm)에서의 보강재 변형량이 상대적으로 작게 나타나고 있다. 이러한 이유는 다른 Case에 비해 Case 4는 전면이 감싸기(wrapping) 방법으로 되어있어 다른 형태보다 벽면에서의 보강재 변형이 작게 나타나고 있는 것으로 판단된다.

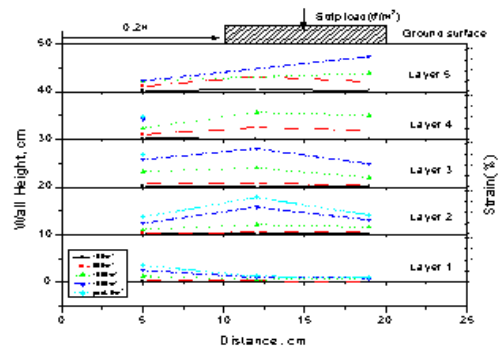


그림 7. Case 1의 하중재하에 따른 보강재의 변형거동

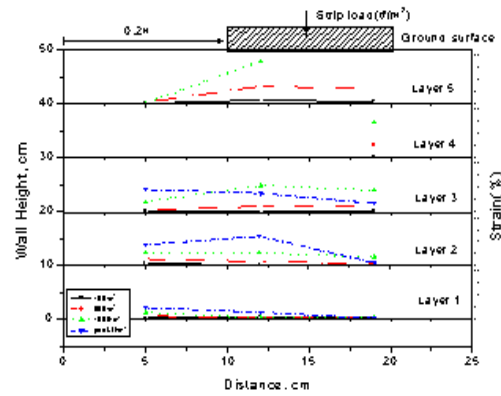


그림 8. Case 2의 하중재하에 따른 보강재의 변형거동

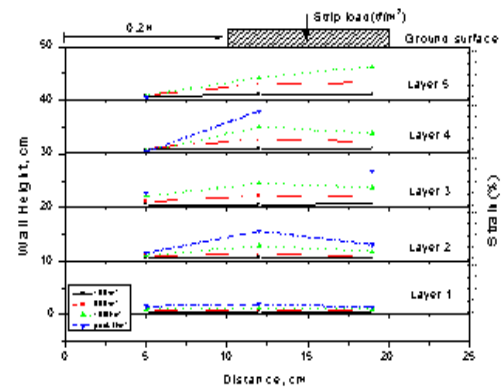


그림 9. Case 3의 하중재하에 따른 보강재의 변형거동

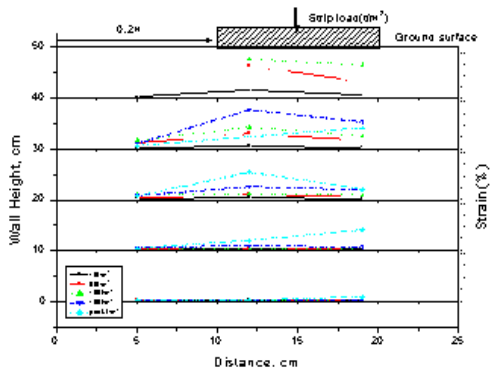


그림 10. Case 4의 하중재하에 따른 보강재의 변형거동

## 6. 결론

본 연구에서 결론은 다음과 같이 요약된다.

1. 무보강토벽에 비해 토목섬유 보강토의 각 Case별 극한 하중은 평균 10배 이상의 값을 나타내고 있어 어떠한 방법을 이용하더라도 비슷한 보강효과를 얻을 수 있다.

2. 각 Case에 대한 실내모형실험 결과에 의하면 최대 전면 변위와 보강재의 변형은 하중이 증가할수록 벽면 높이 30~50cm 부분에서 크게 발생하였으며, Case 4의 경우에서 가장 큰 극한강도가 나타났다.
3. 보강토 벽면이 격자망(철근망) 또는 보강재 감싸기(wrapping)로 형성된 경우에는 다른 보강토의 경우(Case 2,3)에 비해서 상대적으로 전면벽의 변위가 작게 나타난 것이 확인되었다.
4. Case4와 같은 형태의 보강토 벽체는 보강토 벽면의 안정성을 확보함과 동시에 전면벽의 녹화가 가능하므로 기존의 보강토 공법의 단점을 보완한 새로운 차원의 보강토공법이 될 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술연구센터 지원에 의해 이루어졌습니다.

## 참 고 문 헌

1. 김유성, 이재열(1998) 부직포 보강 점성토의 보강효과에 관한 기초적 연구, 한국지반공학회지 제14권 제4호 pp. 61~75.
2. 김유성 등(2001) 녹화 보강토공법 개발에 관한 연구, 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술 연구센터
3. 원명수(2001) 점성토를 활용한 토목섬유 보강토벽의 변형거동에 관한 연구, 전북대학교 토목공학과 박사학위논문.
4. 김유성, 원명수, 김영민(2002) 실내모형실험에 의한 보강토벽의 변형거동에 관한 연구(III), 대한토목학회논문집, 제22권 제3-C호 pp. 251~261.
5. 김유성, 원명수(2001) 토목섬유 보강재의 변형특성 평가기법에 관한 실험적 고찰, 대한토목학회논문집 제21권 제3-C호 pp. 243~255.
6. Yamauchi, H., Tatsuoka, F., Nakamura, K. Tamura, Y., and Iwasaki, K.(1987) Stability of steep clay embankments reinforced with a non-woven geotextile, Proc. the Post Vienna Conf. on Geotextiles, Singapore, pp. 370~386.