

## 모형시험에 의한 점성토 보강토벽의 거동분석

### Analysis of Clayey Reinforced Soil Wall Behavior by Model Test

이용안<sup>1)</sup>, Yong-An Lee, 이재열<sup>2)</sup>, Jae-Yeol Lee, 김유성<sup>3)</sup>, You-Seong Kim

<sup>1)</sup> 전북대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Eng., Chonbuk National Univ.

<sup>2)</sup> 전북대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Eng., Chonbuk National Univ.

<sup>3)</sup> 전북대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Eng., Chonbuk National Univ.

**SYNOPSIS :** Reinforced Soil Wall has several merits comparing with conventional retaining wall. The conventional method has the limit of wall height, ununiform settlement of the foundation ground, quality assurance of the embankment body, shortening of construction period, economical construction and so on. Basis of previous mentioned things reinforced soil wall is the substitutional method of conventional retaining wall and its necessity is continuously increasing. The embanking material used in reinforced soil wall is generally limited such as a good quality sandy soil, and in many case constructors have to transfer such a good embanking material from far away to construction site. As a result, they would be pressed by time and economy. If poor soils could be used embanking material, for example, clayey soil produced in-situ by cutting and excavation, the economical merit of reinforced soil wall would be increased more and more. Likewise, a lot of study about laboratory experimental behavior of reinforced soil wall using a good quality soil is being performed, but is rare study about clayey soil containing much volume of fine particle relatively in Korea. In this study, the authors investigated behavior of the geosynthetic reinforced and unreinforced soil walls using clayey soil as embanking material in view of horizontal movement of walls, bearing capacity and reinforcement stress.

**Key words :** Geosynthetics, Reinforced soil wall, Embanking material, Clayey soil

## 1. 서론

보강토벽 공법은 기존의 콘크리트옹벽 공법에 비교하여 높이의 제한, 기초지반의 부등침하, 성토체의 품질확보, 공기의 단축, 경제성 등의 문제점을 해결할 수 있는 대체 공법으로써 그 수요가 점차 확대되고 있다. 그러나, 보강토벽에서의 뒷채움재에 대한 조건은 양질의 사질토로 제한되어 있어 국내 토질여건을 고려해 볼 때, 현장에 따라 이러한 양질의 사질토를 반입한다는 것은 시간적, 경제적 부담이 되고 있다. 따라서, 건설현장에서의 절토, 굴착에 따른 현지발생 불량 점성토 등을 보강토벽에서의 성토재료로 활용할 수 있다면 보강토벽 공법의 활용성은 보다 증가하게 될 것이다. 또한, 보강토벽 공법에서 양질의 뒷채움재에 대한 실내실험적 연구는 어느정도 가시적인 성과를 이루고 있다고는 할 수 있으나, 세립분이 다량 함유된 점성토 등을 대상으로 한 연구는 상대적으로 국내에서는 거의 이루어지고 있지 않다.

따라서, 본 연구에서는 실내모형시험을 통하여 세립분이 다량 함유된 불량 점성토로 뒷채움한 토목섬유 보강토벽의 거동을 보강재의 종류 및 강성벽면 유무의 조건을 변화시켜 조사하여 실제 보강토벽의 파괴 및 변형거동을 예측하는 기초자료로 활용하고자 하였다.

## 2. 모형 보강토벽의 개요

### 2.1 모형토조 및 모형 보강토벽의 구축

모형 보강토벽의 실내시험을 위한 모형토조는 평면변형을 상태를 재현하기 위해서 높이 60cm, 폭 50cm, 길이 100cm 로 제작하고 토조의 한쪽 측면은 시험중 내부관측이 용이하도록 두께 10mm의 투명 아크릴을 부착하였다. 보강토벽의 형태는 포장형 보강토벽으로서 동일한 인장강도를 갖는 각각의 보강재(부직포, 직포, 지오그리드)와 강성벽면의 유무에 따라서 보강토벽의 보강효과를 보강재의 변형량, 전면벽체의 변위 및 지지력 등의 차이를 통하여 조사하였다. 그림 1은 모형 보강토벽의 모식도를 나타낸 것이다.

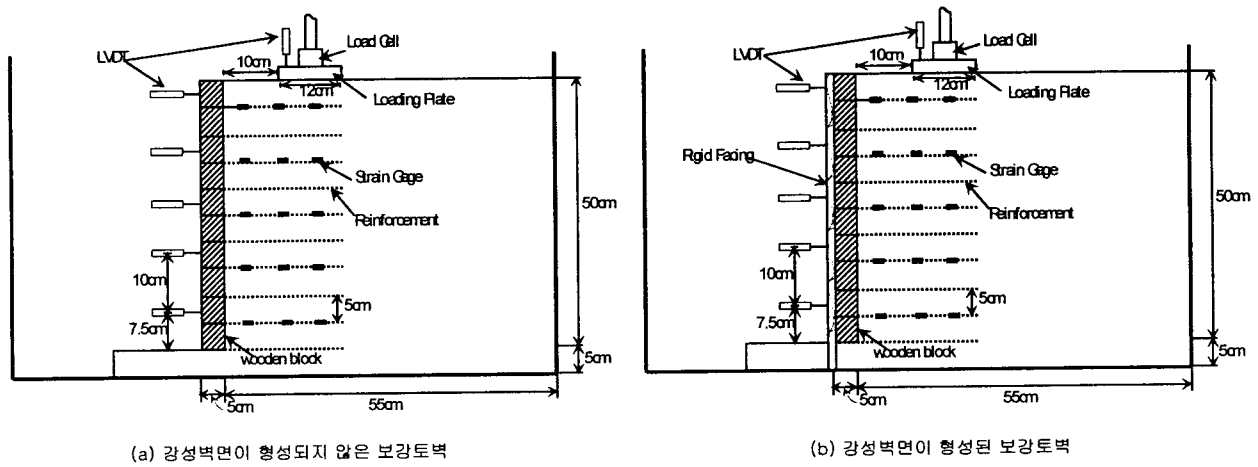


그림 1. 보강토벽의 모식도

### 2.2 뒷채움재

모형 보강토벽의 뒷채움재는 보강토벽의 뒷채움재에 대한 일반적인 시방기준과는 부합되지 않는 점성토(CL)로써 Flat-bottom hammer(15×15cm)를 이용하여 일정하게 다짐을 행하였다. 표 1에 모형 보강토벽의 뒷채움재로 사용한 흙시료의 물성치와 다짐상태를 나타내었다.

표 1. 뒷채움재의 물리적 성질 및 다짐상태

Gravity ( $G_s$ )	Plastic Index(PI)	Percent #200 Finer (%)	Permeability coefficient (cm/s)	USCS	Water contents (%)	Dry unit weight ( $tf/m^3$ )	Cohesive ( $kg/cm^2$ )	Friction angle(°)
2.691	10.03	78	$10^{-7}$	CL	$20 \pm 1$	1.485	0.224	21.8

## 3. 보강재의 특성 및 인장특성에 관한 재평가

본 연구에 이용된 보강재는 총 3종류로서 국내에서 생산되는 폴리에스터 100% 장섬유 부직포와 직포 및 지오그리드를 사용하였다. 각 보강재의 인장강도는 약  $5 tf/m^2$ (생산자 제시값)로 동일한 인장강도를

가진 보강재를 사용하여 각각의 경우에 점성토 보강벽의 거동을 비교하고자 하였다. 한편, 보강재를 지반보강에 이용하는 경우, 인장강도 및 인장강성은 가장 중요한 요소로서 토목섬유의 인장강도는 시험편의 길이, 인장속도, 클램프 간격의 비율 등에 따라서 상이한 값을 나타내게 되므로 인장시험을 통해 인장강도를 측정하였고, 보강재의 인장변형률 및 인장응력은 Strain Gage를 각 보강재에 부착하여 측정하였다. 그림 3~5 및 표 2에 인장시험의 결과를 나타내었다. Strain Gage는 부직포의 경우 클로로프렌(CR)접착제를 이용하여 Strain Gage 부착부분을 경화시켜 강성을 확보한 후 얇은 Rubber Membrane으로 그 면을 편평하게 하고 그 위에 시안화 아크릴레이트(CN) 접착제를 사용하여 부착하였다. 또한 방수를 위해 N-1 코팅제를 도포하고 마지막으로 VM 테이프로 표면을 마무리 하였다. 직포와 지오그리드의 경우는 CN 접착제로 직접 부착하였다. 그림 2에 Strain Gage 부착방법에 대한 개요를 나타내었고, 그림 6~8에는 보강재의 실제 변형률과 Strain Gage값과의 상관관계를 나타내었다.

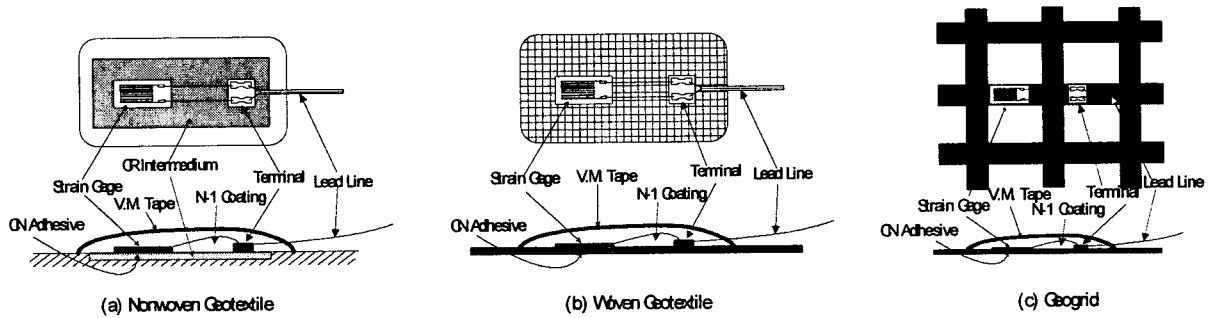


그림 2. Strain Gage 부착방법

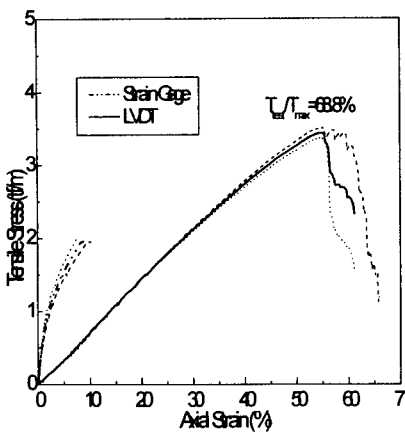


그림 3. 부직포의 인장시험 결과

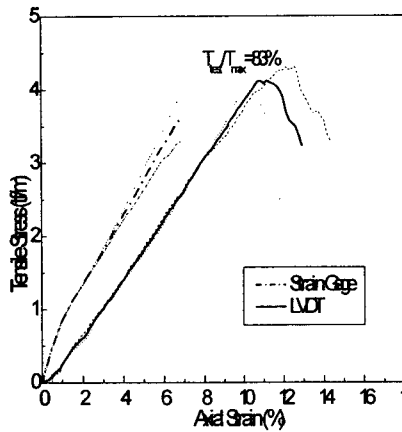


그림 4. 직포의 인장시험 결과

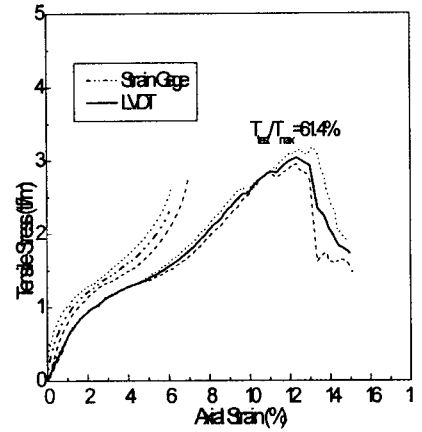


그림 5. 지오그리드의 인장시험 결과

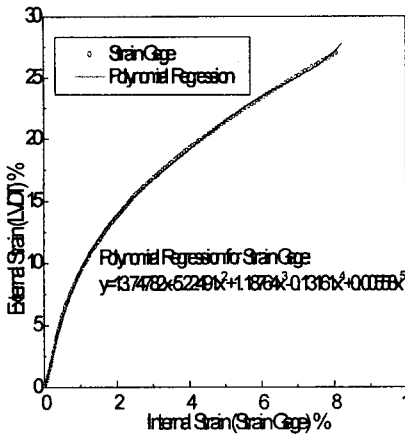


그림 6. 부직포 변형률값의 상관관계

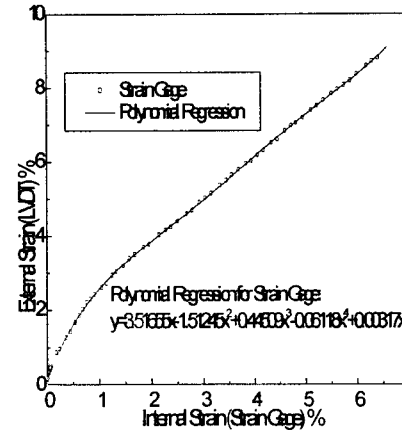


그림 7. 직포 변형률값의 상관관계

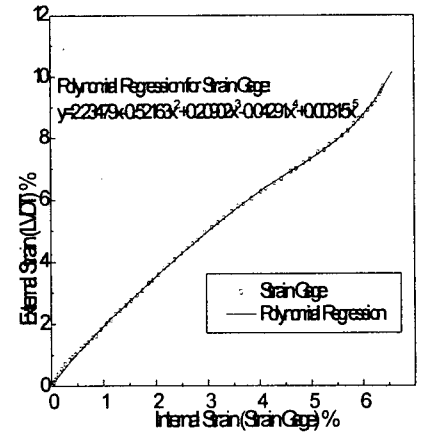


그림 8. 지오그리드 변형률값의 상관관계

표 2. 인장시험 결과

Reinforcement	Product name	Tensile Strength(tf/m)			Elongation at Peak(%)			2% Secant modulus
		Report by Maker	Wide-width Test	Ratio(%)	Report by Maker	Wide-width Test	Ratio(%)	
Nonwoven Geotextile	P540	5	3.44	68.8	60~100	57	94	7
Woven Geotextile	PET 5ton	5	4.15	83	13	11	85	32
Geogrid	AKILENGRID 5/3	5	3.07	61.4	12	12	100	47

## 4. 보강재 종류에 따른 점성토 보강토벽의 거동

### 4.1 하중과 침하량 관계

그림 9는 변형을 제어 방법(1mm/min)으로 측정된 무보강토벽 및 부직포, 직포, 지오그리드로 보강된 점성토 뒷채움 보강토벽의 하중~침하량 관계를 나타낸 것이다. 보강토벽의 하중~침하량 관계는 무보강의 경우와는 달리 극한점을 나타내지 않고 지속적인 증가추세가 뚜렷하고 이러한 추세는 벽높이의 10%(50mm)의 큰 변형이 발생한 후에도 계속 이어지고 있다. 이러한 현상은 각각의 보강재에 의한 보강효과로 취성과괴로부터 연성과괴 형식으로 변화되어 있음을 보여주고 있다. 각각의 보강재에 의한 보강효과의 차이는 다음과 같다.

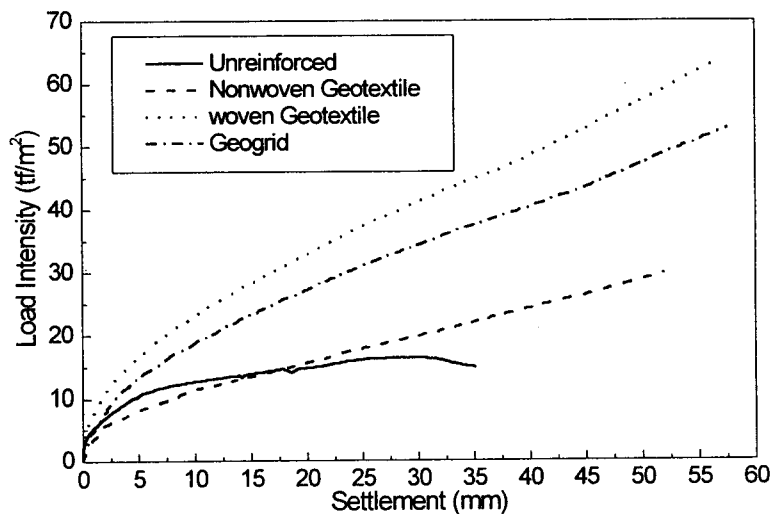


그림 9. 무보강토벽과 보강토벽의 하중~침하량 관계

- 1) 불량 점성토를 뒷채움재로 사용하더라도 지지력에 관한 충분한 보강효과를 기대할 수 있다.
- 2) 당연한 결론이나, 거의 유사한 인장강도를 갖는 보강재를 사용하고 있음에도 지지력에 관한 보강효과는 크게 차이를 보이고 있다.
- 3) 지오그리드의 강성이 직포의 강성에 비해 40% 가량 크나, 보강효과는 직포의 경우가 크다.

이와 같은 결과로 볼 때, 강도 및 강성이 큰 보강재에 의한 보강효과가 반드시 크다고는 할 수 없으므로, 흙의 특성과 가장 조화를 이룰수 있는 보강재를 선택할 필요가 있고, 또한 보강토벽의 설계도 위와 같은 보강효과의 차이를 고려한 방법을 모색함이 합리적이다. 인장강성이 작은 직포의 경우가 지오그리드에 비해 더 큰 보강효과를 나타내고 있는 것은 우선, 흙과의 접촉면적의 대소차이인 것으로 생각된다. 즉, 격자상의 보강재는 면상의 보강재에 비해, 적어도 점성토 보강의 경우 그 보강효과가 감소하는 것으로 생각된다.

## 4.2 보강재의 변형률 분포

그림 10은 부직포에 부착된 Strain Gage를 이용하여 하중재하시 부직포에 발생하는 변형률 분포를 나타낸 것이다. 이 변형률 분포는 인장시험의 결과를 바탕으로 매개체를 사용하여 얻은 변형률 분포를 그림 6의 관계식을 이용, 실제 변형률 값으로 환산하여 나타낸 결과이다. 그림 10에 나타난 바와 같이 부직포에서 발생하는 인장응력 및 변형률은 하중 직하점에서 전체 부직포 층에 걸쳐 가장크게 나타나 있고, 벽체 하부에서 상부로 이동할수록 인장응력이 크게 발생하고 있다. 최대 인장변형률은 약 6%정도로 최대 인장강도의 8.4%만이 발휘되고 있다. 그림 11에 나타난 직포에 발생하는 변형률 분포 또한 실제 변형률 값으로 환산된 결과로서 부직포의 경우와 유사한 경향을 나타내고 있다. 그러나 직포의 최대 인장변형률은 2.5%이내로서 부직포에서 발생하는 최대 인장변형률 약 6%보다 훨씬 작고 최대 인장강도의 16%가 발휘되고 있다. 그림 12에 나타난 지오그리드의 최대 인장변형률은 2%이하로 나타나고 있으며 최대 인장강도의 18.8%만이 발휘되고 있다. 지오그리드의 경우가 부직포나 직포의 경우와 상이한 점은 전체 지오그리드 보강층에 걸쳐서 하중의 직하점 보다는 재하판이 놓여있는 선단에서의 변형률이 가장 크게 나타나고 있다. 이것은 아마도 함수비가 높은 점성토와의 마찰효과가 면상의 부직포나 직포에 비해 감소되기 때문인 것으로 생각된다.

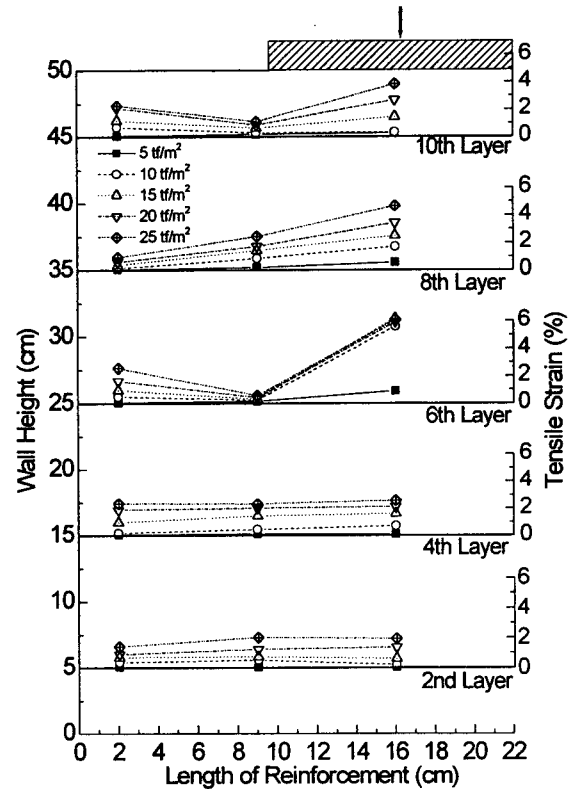


그림 10. 부직포에 발생하는 인장변형률 분포

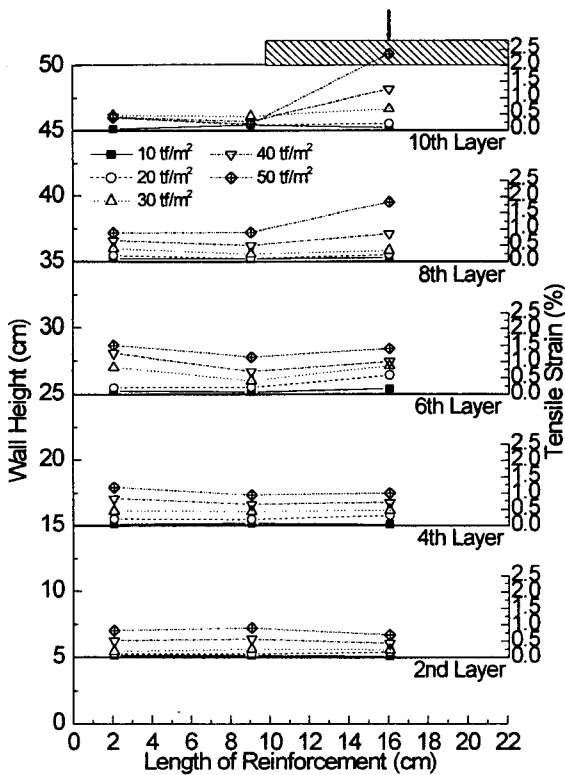


그림 11. 직포에 발생하는 인장변형률 분포

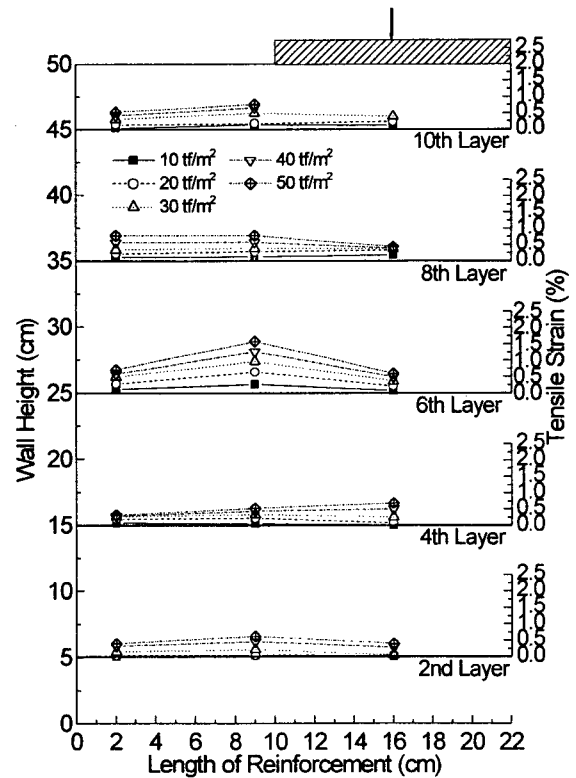


그림 12. 지오그리드에 발생하는 인장변형률 분포

### 4.3 전면벽체의 변위

그림 13 ~그림15에 동일한 재하하중에서 무보강토벽 및 보강토벽의 수평변위를 비교하여 나타내었다. 각 하중단계별로 나타낸 수평변위는 하중 초기 단계에서는 벽체 상단에서부터 보다 크게 진행되다가 하중이 증가할수록 벽체 중간 부근에서 가장 큰 변위를 나타내고 있고 벽체 하단부는 재하하중에 의한 영향이 상대적으로 작게 나타나고 있다. 동일한 재하하중(15 tf/m<sup>2</sup>)에서의 최대 수평변위는 무보강토벽과 비교하여 부직포의 경우 약 22%정도로 나타나고, 직포의 경우 3.7%, 지오그리드의 경우 4.1%로 수평변위가 거의 억제되고 있음을 알 수 있다. 재하하중 20 tf/m<sup>2</sup>, 50 tf/m<sup>2</sup>에서도 역시 지오그리드의 경우보다는 직포 보강 점성토벽의 수평변위가 더 작게 나타나고 있어 전술한 하중~침하량 관계에 의한 보강효과와 동일한 거동을 보이고 있다. 이는 점성토에서는 격자상의 보강재보다는 면상의 보강재가 보다 큰 보강효과를 나타낼 수 있음을 시사하고 있다.

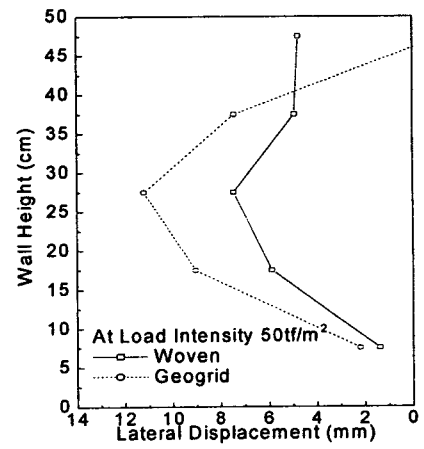
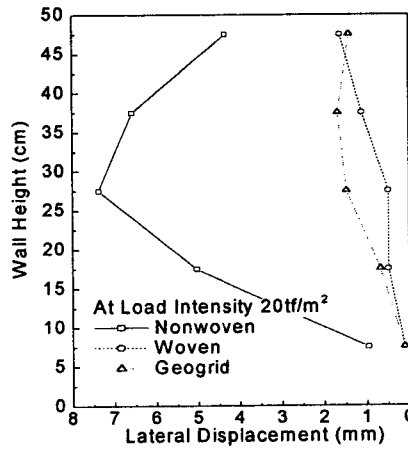
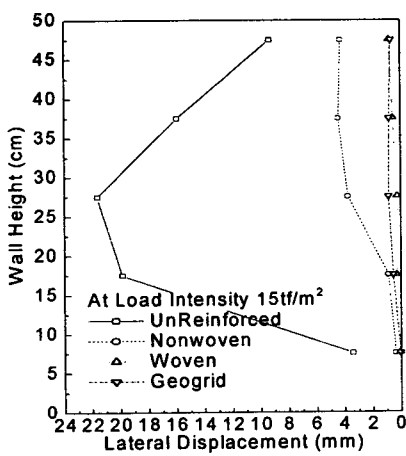


그림13. 15 tf/m<sup>2</sup>에서 수평변위 비교

그림14. 20 tf/m<sup>2</sup>에서 수평변위 비교

그림15. 50 tf/m<sup>2</sup>에서 수평변위 비교

## 5. 강성벽면(일체형)의 구축에 따른 보강토벽의 거동

### 5.1 강성벽면이 하중~침하량 관계에 미치는 영향

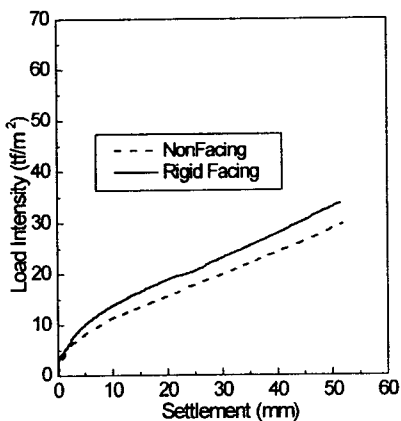


그림 16. 강성벽면의 영향(부직포)

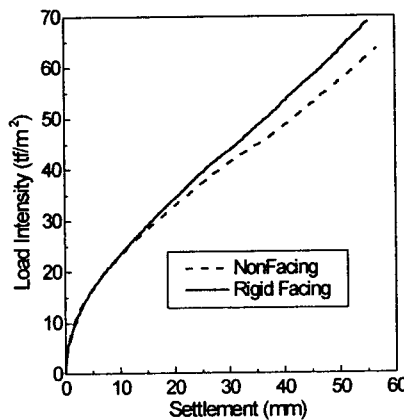


그림 17. 강성벽면의 영향(직포)

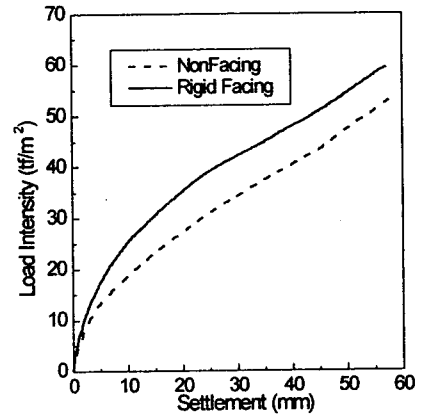


그림 18. 강성벽면의 영향(지오그리드)

그림 16 ~그림 18에 강성벽면(12mm 합판)의 유무에 따른 부직포, 직포, 지오그리드로 보강된 보강토벽의 하중~침하량 관계를 비교하여 나타내었다. 각각의 그림에 나타난 바와 같이 강성벽면이 없는 경우에 비해 강성벽면이 있는 경우가 재하 초기부터 보다 높은 강성과 강도를 보이고 있다. 전체적으로 강성벽면의 효과는 비교적 일정하게 나타나고 있어 점성토 뒷채움 보강토벽의 지지력의 증가는 일체형 벽면을 사용할 경우 고려될 수 있음을 시사하고 있다.

## 5.2 강성벽면이 보강재의 변형을 및 벽면의 수평변위에 미치는 영향

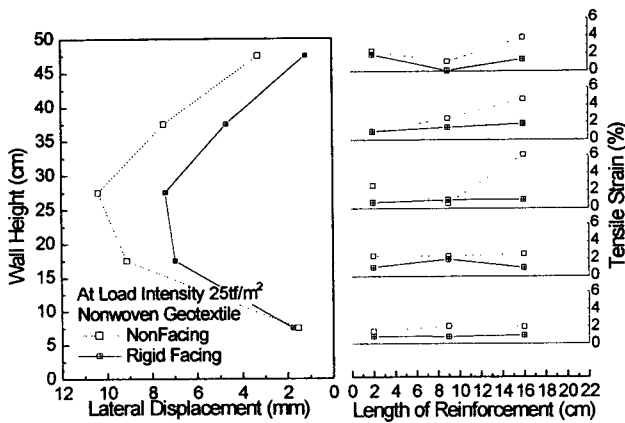


그림 19.강성벽면 유무에 따른 수평변위와 보강재 인장변형을 관계(부직포, 25 tf/m<sup>2</sup> 재하하중강도)

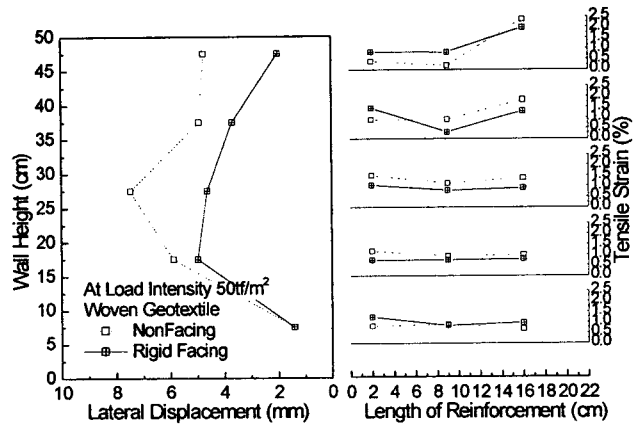


그림 20.강성벽면 유무에 따른 수평변위와 보강재 인장변형을 관계(직포, 50 tf/m<sup>2</sup>재하 하중강도)

그림 19 ~그림 21은 동일한 재하하중에서 강성벽면의 유무에 따른 수평변위의 분포와 보강재에서 발생하는 인장변형을 분포를 비교하여 나타낸 것이다. 강성벽면을 구축함으로써 보강재에 발생하는 인장변형을 및 수평변위는 감소되고 있고 이것은 벽면 강성의 영향이라는 것은 명백하다. 강성벽면이 없는 경우와 강성벽면이 있는 경우의 작용력과 저항력을 단순히 다음식과 같이 나타낼 때, 보강재에서 발휘되는 인장응력의 차이는  $T_0 - T = \sigma_w$ 가 된다.

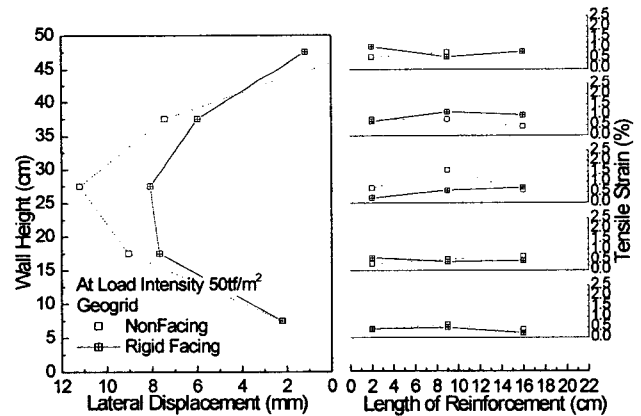


그림 21.강성벽면 유무에 따른 수평변위와 보강재 인장변형을 관계(Geogrid, 50 tf/m<sup>2</sup>재하 하중강도)

- 1) 강성벽면이 없는 보강토벽;  $P_h = \sigma_T + T_0$
- 2) 강성벽면이 있는 보강토벽;  $P_h = \sigma_T + T + \sigma_w$

여기서,  $P_h$  : 수평토압,  $\sigma_T$  : 흙의 인장응력,  $\sigma_w$  : 벽면강성에 의한 수평방향 저항응력

$T_0$  : 벽면강성이 없는 보강토벽에서 보강재의 인장응력

$T$  : 벽면강성이 있는 보강토벽에서 보강재의 인장응력

따라서 벽면강성에 의한 벽체 배면에서의 토체가 보다 큰 구속압력을 받게 되므로, 벽면강성이 없는 경우의 보강재 + 흙의 합성토체보다 강성벽면 + 보강재 + 흙의 합성구조체가 큰 강성을 갖게 되고, 그에 따른 전면벽체의 수평변위도 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.

이러한 결과로부터 점성토 보강토벽의 경우 벽면공은 중요한 구조적 역할을 담당하게 됨을 알 수 있으며, 향후, 이와같은 메커니즘을 고려한 정량적 설계법이 요구된다.

## 6. 결 론

토목섬유 보강재의 종류와 벽면강성(일체형)의 유무에 따른 점성토 뒷채움 보강토벽에 대한 실내모형 시험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 무보강토벽의 거동은 취성과파괴를 나타내고 있으나 보강토벽의 경우 벽높이의 10%(50mm)의 침하를 넘어선 과대변형이 발생하여도 뚜렷한 파괴점을 나타내지 않는 연성과파괴의 형태를 나타낸다.
- 2) 각각의 보강재가 동일한 인장강도를 가지더라도 강성의 차이에 의해서 보강효과는 서로 다르게 나타난다.
- 3) 다만, 강성이 큰 지오그리드에 비해 강성이 작은 직포의 보강효과가 크게 나타나고 있다. 이는 점성토 보강의 경우에는, 격자상의 보강재가 면상의 보강재에 비해 흙과의 접촉면적비가 작아 보강효과가 작게 나타나는 것으로 판단된다. 따라서 점성토와 같은 세립분이 많은 토질에서 인장강성이 동일한 경우 격자상의 보강재 보다는 면상의 보강재가 보다 효과적이다.
- 4) 각각의 보강토벽에 강성벽면(일체형)이 있는 경우, 강성벽면이 없는 보강토벽에 비해 지지력은 향상되고, 벽면의 수평변위는 억제되며 보강재가 부담하는 인장응력은 감소하게 된다.
- 5) 위와 같은 결론에서, 점성토 뒷채움 보강토벽의 구축은 가능한 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 전북대학교 지반연구실, (1998), “경제성을 고려한 연직사면 성토공법의 최적화에 관한 연구”, 건설교통부, 97연구개발사업 연차보고서.
2. 송성원, (1999), “토목섬유보강 점성토의 보강효과에 관한 연구”, 전북대학교 대학원 석사학위 논문.
3. 한국지반공학회, (1998), “토목섬유 설계 및 시공요령”, pp.30~36, pp.58~88, pp.253~302.
4. RRR工法協會, (1993), “補強盛土工法-設計・施工マニュアル-”, pp.2~47.
5. 斜面・盛土 補強土工法 技術總覽 編集委員會, (1993)“斜面・盛土 補強土工法 技術總覽”, 株式會社産業技術 サービスセンター, pp.59~94.
6. Hoe Ing Ling, Jonathan T. H. Wu and Tatsuoka. F, (1992), “Short-Term Strength and Deformation Characteristics of Geotextiles Under Typical Operational Conditions”, Institute of Industrial Science University of Tokyo, Geotechnical Engineering Laboratory Report, pp.127~161.
7. Tatsuoka. F, Tateyama. M and Murata. O, (1992), “Earth Retaining Wall with a Short Geotextile and a Rigid Facing”, Institute of Industrial Science University of Tokyo, Geotechnical Engineering Laboratory Report, pp.75~78.