

보강토옹벽의 장기거동분석에 관한 연구

Long Term Behaviors of Geosynthetics Reinforced Soil Walls

원 명 수¹ Won, Myoung-Soo
이 용 안² Lee, Yong-An
김 유 성³ Kim, You-Seong

Abstract

Geosynthetics reinforced soil (GRS) walls with a flexible wall face allow deformation. GRS walls constructed on the weak ground change in both horizontal earth pressures on wall faces and the tensile stress of geosynthetics, affecting the backfill in time until the deformation of the backfill and the foundation is completed. However, there are few studies that were done to measure and analyze the horizontal earth pressures and geosynthetics deformation on GRS walls constructed on the soft ground for a long period of time. Two field GRS walls in this study are constructed on a shallow layer of a weak foundation to measure and analyze geostynthetics deformation, horizontal earth pressures, and pore water pressures for the duration of approximately 16 months. Strain gauges are used to measure geosynthetics deformation; this study specifically suggests a new method of measuring nonwoven geotextile using strain gauges. Most geosynthetics deformation occurred within a month after the construction of GRS walls. The maximum deformation measured for approximately 16 months appeared as follows: nowoven geotextile: 6.05%, woven geotextile: 2.92%, and geogrid: 2.33%. Pore water pressures on the GRS wall can be ignored; however, horizontal earth pressures on the bottom and the upper part of the wall face appear larger than earth pressures at rest.

요 지

연성벽체인 보강토옹벽은 변형을 허용하므로 연약지반 상에 구축될 경우 뒤채움재와 연약지반의 변형이 수렴될 때까지 경과시간에 따라 벽체에 작용하는 토압과 옹벽내에 작용하는 보강재의 인장력은 변하나, 이들을 장기간에 걸쳐 계측 및 분석한 사례는 거의 없다. 본 연구에서는 얇은 층의 연약지반상에 실물보강토옹벽을 구축하여 보강재의 변형, 토압, 간극수압 등을 약 16개월 동안 계측 및 분석하였다. 스트레인 게이지를 사용하여 보강재의 변형을 계측하였으며, 특히 부직포의 변형 계측에 스트레인 게이지를 적용하는 새로운 방법을 제안하였다. 대부분의 보강재 변형은 옹벽구축 후로부터 한 달 이내에 발생하고, 약 16개월 동안 계측된 부직포, 직포, 지오그리드에서의 최대변형률은 6.05, 2.92, 2.33%로 나타났다. 보강토옹벽 내에서 간극수압은 무시할 수 있으나, 벽면에서의 수평토압은 옹벽의 저부와 상부에서 정지토압보다 크게 나타났다.

Keywords : Geogrid, Geosynthetic, GRS wall, Nonwoven geotextile, Reinforced Soil

1 정희원, 전북대학교 공학연구원 객원연구원 (Member, Researcher, Engrg. Research Institute, Chonbuk National Univ., wondain@kunsan.ac.kr, 교신저자)

2 정희원, 전북대학교 토목공학과 박사과정 (Member, Candidate of PhD., Dept. Of Civil Engrg., Chonbuk National Univ.)

3 정희원, 전북대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. Of Civil Engrg., Chonbuk National Univ.)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2007년 2월 28일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

1. 서론

보강토옹벽 뒤채움재로 점성토를 활용할 경우 보강토옹벽 보강재로 배수기능을 갖고 있는 부직포의 사용이 유리하다. 부직포는 배수기능과 가격이 저렴하다는 장점을 갖고 있으나, 지오그리드나 직포에 비해 강성이 작고, 변형이 큰 단점을 갖고 있다. 보강재의 변형거동을 분석하기 위해서는 보강재의 하중-인장 특성과 국부적인 계측 데이터가 필요하나, 실물보강토옹벽 내에서 보강재의 국부적인 변형계측은 쉽지 않다. Sluimer와 Risseuw(1982), Leshchinsky와 Fowler(1990)은 실리콘을 이용하여 스트레인 게이지를 직포에 부착하는 방법을 제안한 바 있고, 직포와 지오그리드의 경우 직접적인 부착이 가능하나(Boyle, 1995; Koerner, 1996), 부직포의 경우는 직접적인 스트레인 게이지 부착에 의한 변형계측은 쉽지 않다. 다만, Huang(1998)은 gauge cement를 활용하여 부직포와 직포로 된 복합포의 부직포 표면에 스트레인 게이지를 부착하는 방법을 제안하였다. 국내의 경우 스트레인 게이지를 이용하여 부직포의 거동을 장기간 계측한 사례는 전무하나, 스트레인 게이지를 이용한 보강토옹벽 내 지오그리드의 변형거동에 관한 연구는 활발하게 진행되고 있다(김진만 등 2005; 유충식 등 2005; 유충식과 정혁상 2004; 조삼덕 등 2005). 본 연구에서는 부직포에 접착제를 이용하여 스트레인 게이지를 손쉽게 부착하는 방법을 검토하였고, 검토된 방법에 의한 적용가능성을 실내외 시험을 통해 검증하였다. 또한, 보강토옹벽 내 보강재의 변형을 유도하고, 뒤채움재로 점성토를 사용한 옹벽이 안전하게 구축될 수 있는지의 여부와 뒤채움재로 점성토를 활용할 경우 부직포의 배수기능 등을 검토하기 위해 얇은 층의 연약지반 상에 보강재로 부직포와 직포 그리고 부직포와 지오그리드를 혼합 배치하여 높이가 5m인 2개의 실물보강토옹벽을 구축하였다. 이들 보강토옹벽의 내적 거동분석은 매설된 4개의 토압계와 4개의 간극수압계 그리고 부직포, 직포, 그리고 지오그리드 보강재에 부착된 총 124개의 스트레인 게이지에 대해 약 1년 반 동안 계측을 통해 수집된 데이터를 이용하여 수행되었다.

2. 스트레인 게이지 부착방법

본 연구에 사용된 부직포, 직포, 지오그리드와 스트레인 게이지에 대한 특성은 표 1과 표 2에 나타내었다. 직

포와 지오그리드의 경우는 스트레인 게이지를 직접 부착하였고, 부직포의 경우는 그림 1 및 다음과 같은 세부 부착순서에 의해 스트레인 게이지를 부착하였다.

- (1) 스트레인 게이지와 터미널이 부착될 수 있는 적당한 크기를 부직포 위에 직사각형으로 그린다. 이 때 직사각형의 장변은 인장방향으로 위치하도록 한다.
- (2) 적당한 량의 접착제를 미리 그려진 직사각형 위에 고르게 도포한다.
- (3) 접착제를 바르고 3~5분이 경과한 후, 평평하고 매끄러운 고무판을 이용하여 접착제가 도포된 부분을 10분 이상 눌러 접착제가 부직포에 평평하게 부착되도록 한다.
- (4) 부직포에 접착제를 바르고, 24시간 이상 경과 후, 스트레인 게이지와 터미널을 도포된 접착제 위에 부착한다.
- (5) 리드선을 연결하고, N-1 코팅제와 방수테이프 등으로 스트레인 게이지의 손상에 대한 보호조치 후, 방수처리한다.

상기와 같이 접착제를 매개체로 사용해 부직포에 스트레인 게이지를 부착할 경우 접착제가 연성이고, 신축성이 좋으므로 인장응력에 저항하는 저항력이 작고, 또한 부직포 밑에서 올라오는 물에 의한 영향을 방지할 수 있어, 대기중에서는 물론 현장 구속조건하에서도 효과적으로 부직포의 변형거동을 계측할 수 있다. 본 연구에서 제안 방법과 Sluimer와 Risseuw(1982) 그리고 Leshchinsky와 Fowler(1990) 등이 이용한 실리콘방법은 원리 및 기능면에서는 같지만, 접착제가 실리콘에 비해

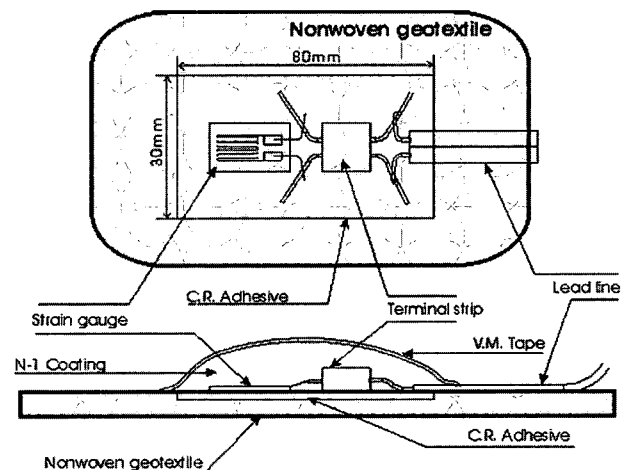


그림 1. 부직포에 스트레인 게이지 부착방법

표 1. 사용된 토목섬유 보강재의 특성

제품명	재 료	설 명	두 께(mm)	변형계수(kN/m)	인장강도(kN/m)	
					제조업자 (KS K 0520)	연구자 (ASTM D 4595)
KOLON P5100	Polyester	Nonwoven needle-punched	5	156.4	100	89.7
KOLON KM5001	Polyester	Woven multi-filament	0.25	235.2	50	51.1
AKILEN GRID5/3	Polyester	Geogrid coated with PVC resin	0.5	215.2	50	44.3

표 2. 사용된 스트레인 게이지의 특성

Section	Name or Properties
Manufacturer	CAS Corporation
Type	AE-11-S80N-120-EL
Gage factor	2.1±1.0%
Transverse sensitivity	1.20%
Resistance	120Ω±0.2%

부직포에 침투가 좋아 도포된 면을 평탄하게 하는 과정이 쉽고, 부직포 인장시 접착제와 부직포 간의 분리현상이 발생하지 않는 차이점이 있다.

그림 2는 본 연구에서 제안한 방법으로 부직포에 스트레인 게이지를 부착할 경우 실물보강토옹벽에서 효과적으로 부직포의 거동을 계측할 수 있는지의 여부를 확인하기 위해 구속압 7kPa하에서 광폭인장시험(ASTM D4595)을 수행한 결과이다. 그림에서 스트레인 게이지에 의해 계측된 국부변형은 LVDT에 의해 계측된 전체 변형률과 유사한 거동을 보이고 있고, 특히 전체변형률 38~48%에서 반복 재하-제하 사이클링 거동과 같은 양상을 나타내고 있다. 이와 같은 양상은 본 연구에서 제안한 방법으로 부직포의 변형거동을 쉽게 효과적으로 계측할 수 있음을 시사해 주고 있다. 그림에서 스트레인 게이지 2가 1에 비해 국부변형이 크게 나타난 이유는 게이지 위치에 의한 것으로 게이지 2가 1보다 인장력이 작용하는 지점에 가깝게 부착되었기 때문인 것으로 판단된다. 그림 3은 본 연구에 구축한 보강토옹벽내의 부직포에 본 연구에서 제안한 방법으로 부착된 스트레인 게이지를 보여주고 있다. Boyle(1995)에 의하면 스트레인 게이지를 이용한 토목섬유의 변형계측은 토목섬유의 굵목, 인장방향의 fiber 또는 filament의 조건, 포아송비, 그리고 토목섬유의 구속조건 등의 영향을 받는다. 김유성과 원명수(2001)는 토목섬유의 크기, 인장속도, 그리고 구속조건에 따라 스트레인 게이지를 이용한 토목섬유의 변형계측값이 변하는 것

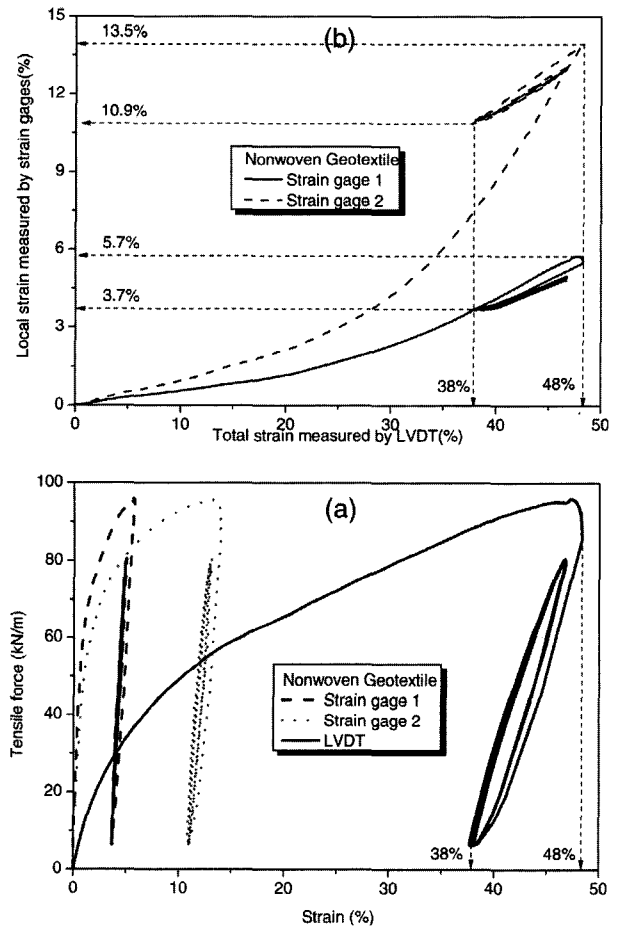


그림 2. 구속압 7kPa하에서 부직포의 하중-인장특성



그림 3. 실물보강토옹벽 부직포에 스트레인 게이지 부착

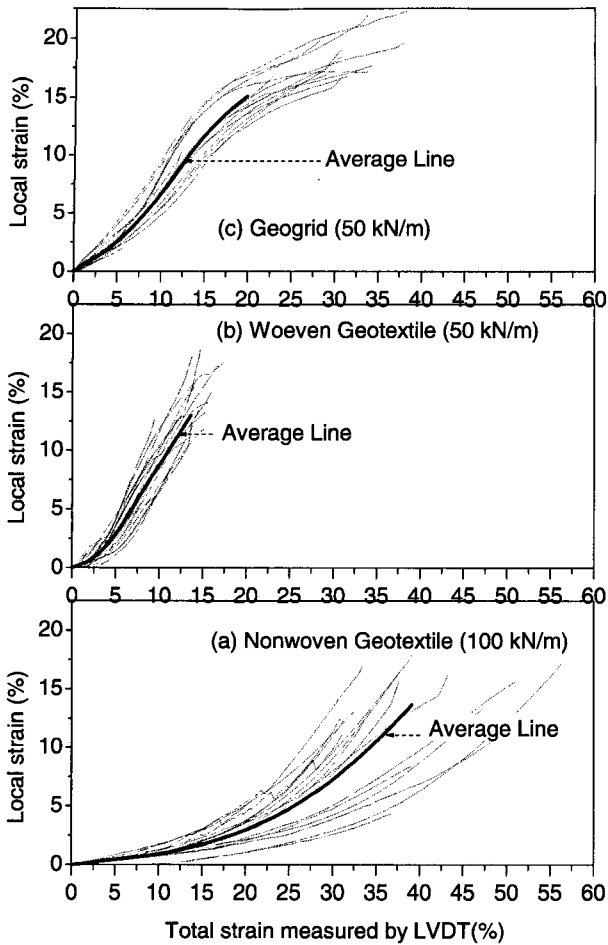


그림 4. 국부변형률과 전체변형률 관계

으로 보고하고 있다. 그림 4는 김유성과 원명수(2001)가 보고한 시료의 크기, 인장속도, 그리고 구속조건 등에서의 국부변형률과 전체변형률의 관계를 모두 조합하여 나타낸 것으로, 초기부분에서의 국부변형률과 전체변형률의 관계는 지오그리드, 직포, 부직포 순으로 양호하게 나타나고 있다. 본 연구에서는 그림 4에 나타난 각각의 보강재의 평균곡선을 이용하여 스트레인 게이지에 의해 측정된 국부변형률을 전체변형률로 환산하였다.

3. 실물보강토옹벽구축 및 보강재 변형거동분석

3.1 보강토옹벽 구축방법

본 연구에서는 보강토옹벽 뒤채움재로 인근 현지에서 채취한 저소성 점성토(CL)를 사용하고, 보강재로는 부직포, 직포, 지오그리드를 사용하였다. 보강토옹벽 뒤채움재로 사용된 점성토의 특성은 표 4와 같다. 보강토옹벽은 표 3에 나타난 바와 같이 지표면으로부터 심도 5m까지의

표 3. 시추조사 결과

구분	매립층	실트질 점토층	자갈층	연암층
층 후(m)	1.4	3.4	0.7	2.5
심도(m)	0~1.4	1.4~4.8	4.8~5.5	5.5~8.0(시추종료)
N치	-	3~4	50	-

표 4. 사용된 뒤채움재의 특성

매개변수	값
단위중량(kN/m ³)	18.5
점착력(kN/m ²)	54.8
내부마찰각(deg)	29.1
비중	2.67
액성한계(%)	30.6
소성한계(%)	22.3
함수비(%)	17
투수계수(cm/sec)	3.157×10^{-6}
흙의 분류(통일분류법)	CL

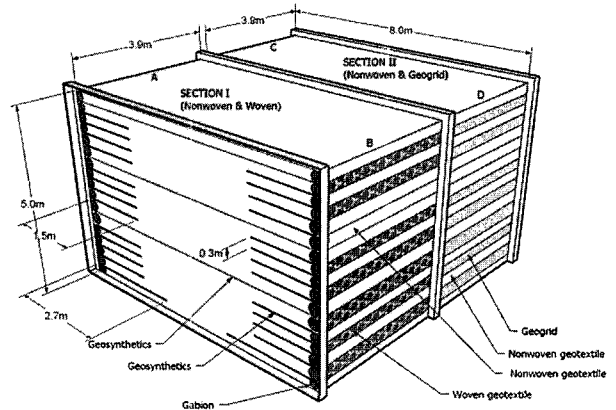


그림 5. 보강토옹벽 전체도



그림 6. 보강토옹벽 구축 직후의 전경사진

평균 N치가 4정도인 얇은 층의 연약지반 상에 그림 5와 그림 6과 같이 구축하였다. 보강토옹벽은 보강재의 조합 형태에 따라 그림 5와 같이 SECTION I(부직포와 직포)과

표 5. 보강토옹벽 뒤재움재에 매설된 계측기기

계측기기	수량	SECTION			
		SECTION I		SECTION II	
		A	B	C	D
스트레인 게이지	124	31	31	31	31
토압계	4	-	4	-	-
간극수압계	4	-	4	-	-

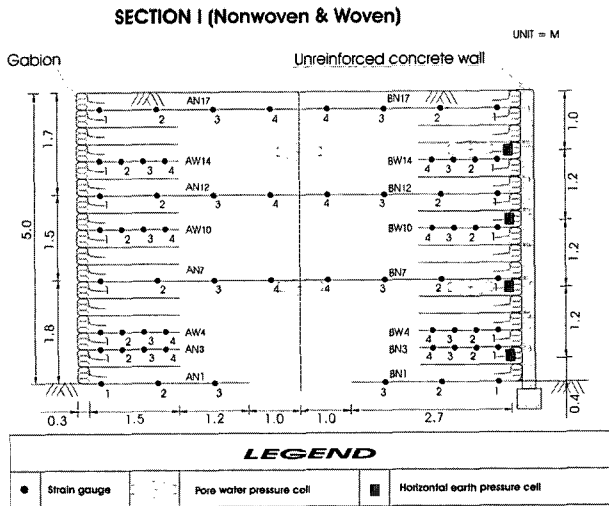


그림 7. SECTION I 단면에 설치된 계측기기

SECTION II(부직포와 지오그리드)로 나누고, 다시 세분하여 A, B, C, D단면으로 구분하였다. B, D단면은 보강토옹벽이 구축되고 18개월이 지난 후, 벽면을 콘크리트로 타설하여 강성 벽면을 갖는 일체형 보강토옹벽으로 구축하였다. 보강토옹벽의 성토는 단계적 시공법을 적용하였다. 즉, 자갈로 채워진 게비온(gabion)을 전면에 쌓고, 소형 진동 다짐기를 사용하여 각 토층을 15cm간격으로 2회 다짐하는 방법으로 총 높이 5m(완성고)인 보강토옹벽을 구축하였으며, 성토완료 후 벽면으로부터의 과도한 수평변형이 발생하는 것을 방지하기 위해, 성토 중 벽면의 수평변형을 허용하여 흙과 보강재의 일체화를 도모하였다. 이와 같은 보강토옹벽을 구축하는데 소요된 공기는 57일이다. 뒤재움재의 다짐은 다짐도 87~98%로, 87%이상으로 실시하였다. 보강토옹벽에 설치한 계측기기는 그림 7에 나타난 바와 같이 SECTION I·II 단면에 설치하여 데이터 로거를 통해 보강토옹벽의 거동을 자동 계측하였고, 계측에 사용된 계측기기는 표 5에 정리하였다.

3.2 보강재의 거동분석

그림 8, 9, 10은 2장에서 기술한 바와 같이 부직포, 직포, 지오그리드 보강재에 스트레인 게이지를 부착하

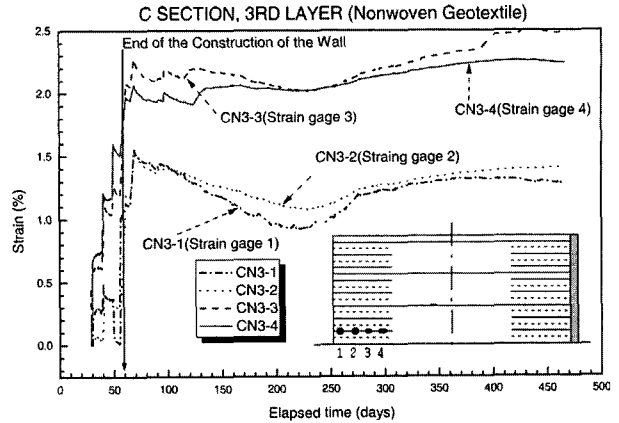


그림 8. C단면 3번째 보강재 층에서 계측된 부직포의 변형거동

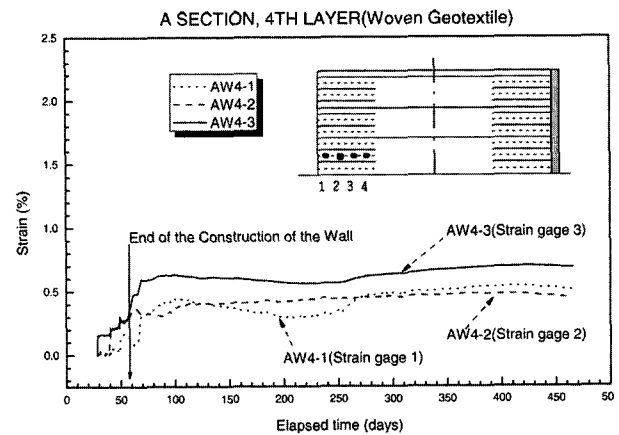


그림 9. A단면 4번째 보강재 층에서 계측된 직포의 변형거동

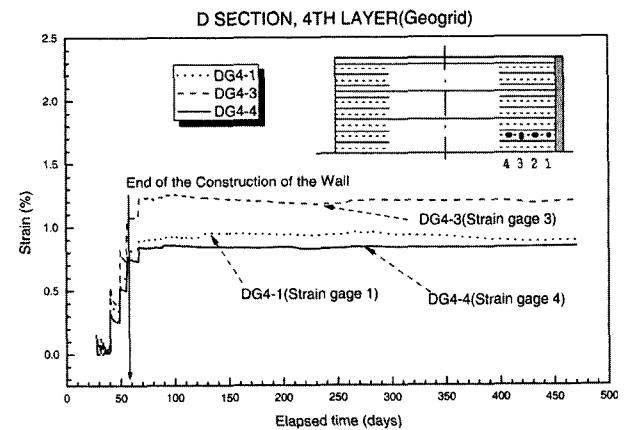


그림 10. D단면 4번째 보강재 층에서 계측된 지오그리드의 변형거동

여 보강토옹벽 내에 매설된 각각의 보강재로부터 계측된 국부변형률을 그림 4를 통해 전체변형률로 환산하여 나타낸 것이다. 이들 그림에서 부직포의 경우가 직포나 지오그리드에 비해 변화의 폭이 다소 크나, 전반적인 부직포의 변형거동 경향을 파악하는 데는 큰 무리가 없을 수 있다. 이들 그림에서 공통적으로 보강토옹벽 구축 후로부터 약 25일 까지 보강재의 변형이 크게 증가

하는 것으로 나타나고 있다. 이는 보강토옹벽 구축후 다짐에 의한 잔류응력과 옹벽 구축 후로부터 13일 후에 내린 강우강도 180mm/day에 해당하는 폭우 등에 의한 영향에 기인한 것으로 판단된다. 180mm의 폭우로 인한 간극수압의 변화는 거의 계측되지 않았고, 폭우 후 육안 관찰시 뒤채움재로부터 배수가 부직포를 타고 흘러내린 흔적이 발견되지 않은 점으로 보아 폭우가 간극수압에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단되나, 폭우로 인해 뒤채움재의 상부 지표면에는 10cm이상의 부등침하가 발생하였다. 즉, 폭우로 인해 보강토옹벽의 외적변형이 발생하였고, 이로 인해 보강재에서 큰 변형이 발생했을 것으로 판단된다.

그림 11과 12의 SECTION I·II에서 시간 경과에 따른 부직포의 변형은 직포, 지오그리드보다 크고, 그 차는 벽의 상부로 올라갈수록 커지는 경향을 나타내고 있다. 이는 7, 12, 그리고 17번째 보강재 층에서 보강재가 보강토옹벽의 길이를 횡단하도록 배치하여 상대적으로 보강재가 받는 수직(상재)하중이 크고, 부등침하의 영향을 많이 받기 때문인 것으로 판단된다. 이론적으로 보강재 끝단에서는 변형이 발생하지 않으나, 그림 8~12에

서 4번에 위치한 스트레인 게이지에서 변형이 나타난 이유는 바닥으로부터 첫 번째 보강재 층과 뒤채움재 단면을 횡단하는 7, 12, 17번째 보강재를 제외한 보강재의 포설 길이는 벽 높이의 30%에 해당하는 1.5m이고, 4번의 스트레인 게이지가 보강재 끝단으로부터 25cm 이격된 곳에 위치하기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 보강토옹벽에서 보강재의 변형은 시공 후 1년이 경과하면 거의 종료되는 것으로 판단된다. 성토과정부터 보강토옹벽구축 후 약 10일이 경과한 후에 각 보강재에서 발생한 최대변형은 부직포 2.94%, 직포 0.65%, 지오그리드 1.07%이고, 약 16개월 동안 발생한 최대변형은 부직포 6.05%, 직포 2.92%, 지오그리드 2.33%로 나타났으나, 부직포의 경우는 변형의 최대치가 SECTION I의 17 층에서 발생한 점으로 볼 때 이는 외적인 요인에 의한 값으로 판단되므로, 이는 예외적인 값으로 처리하였다. 일반적으로 토목섬유 보강재의 허용변형률은 보강재의 신장성과 강성에 따라 5~10%를 취하므로, 본 연구 결과에서 나타난 보강재의 변형은 허용범위 안에 있음을 알 수 있다.

그림 13과 14는 그림 11과 12에서 나타난 보강재의 변

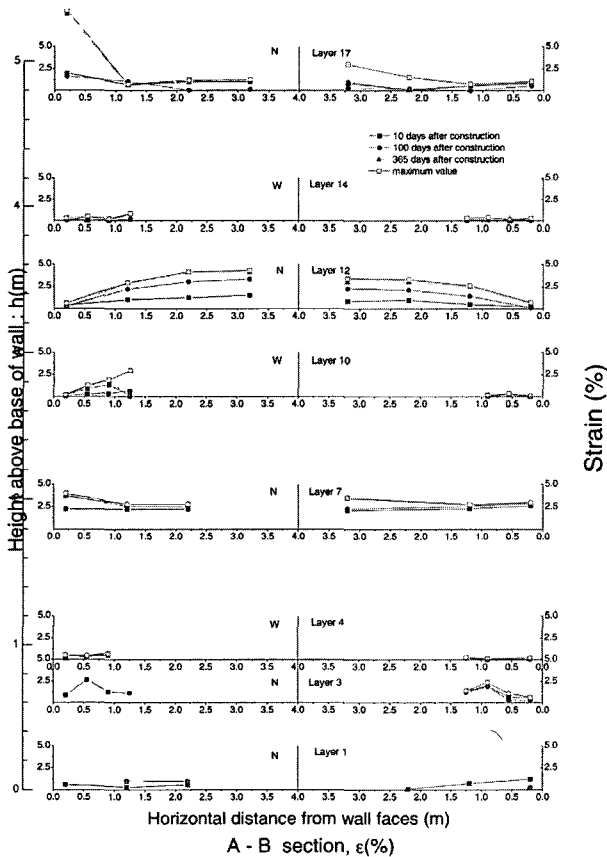


그림 11. SECTION I에서 계측된 보강재의 변형거동

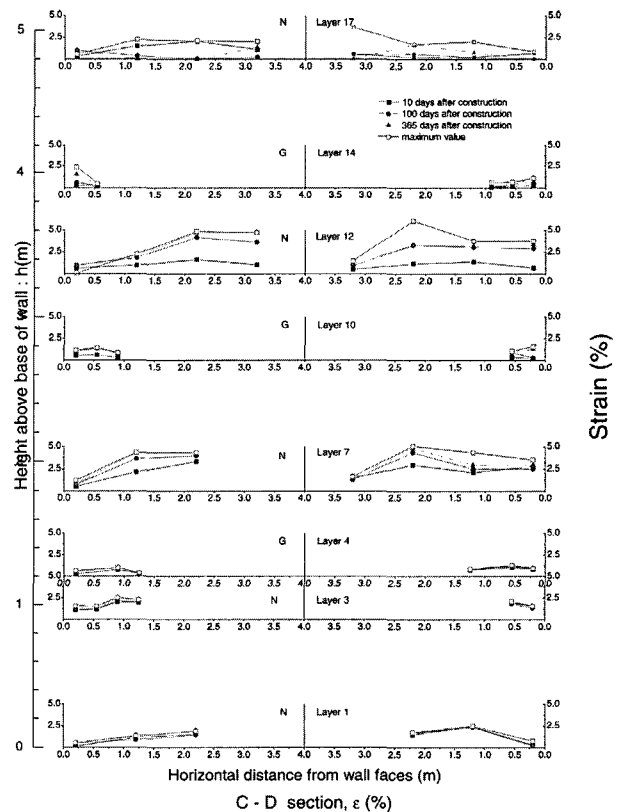


그림 12. SECTION II에서 계측된 보강재의 변형거동

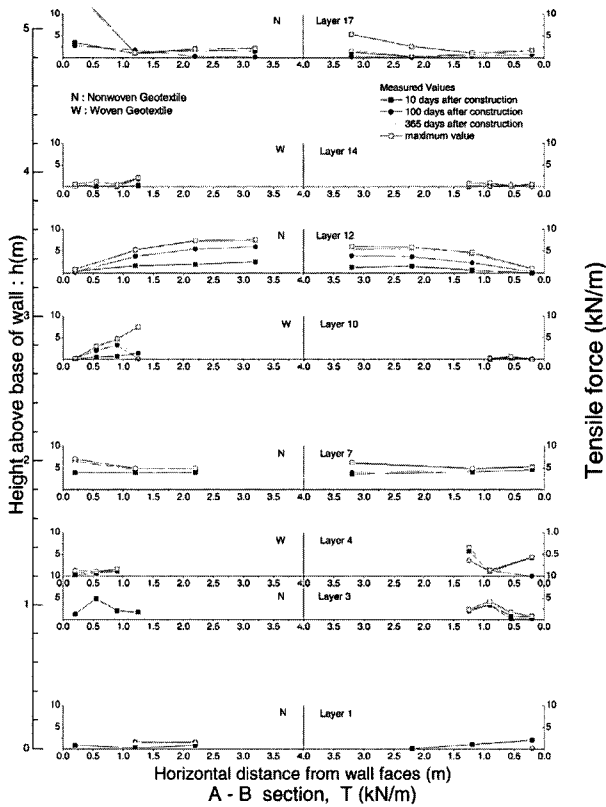


그림 13. SECTION I에서 경과시간에 따른 보강재의 인장력 분포

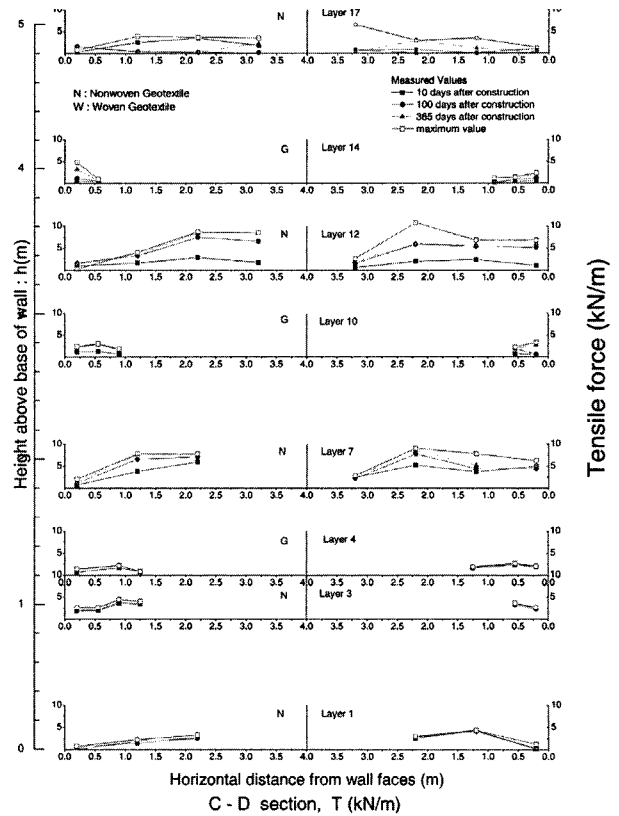


그림 14. SECTION II에서 경과시간에 따른 보강재의 인장력 분포

형률을 광폭인장시험결과(ASTM D 4595)을 이용하여 인장력으로 나타낸 것이다. 보강재의 변형률을 인장력으로 전환하는 과정은 원명수(2001)의 연구결과를 인용하였다. 보강옹벽 구축 후 10일이 경과한 후, 계속된 각 보강재의 최대인장력은 부직포 5.25kN/m, 직포 1.50kN/m, 지오그리드 2.32kN/m로, 이는 본 연구에서 수행한 광폭인장시험시 파괴인장강도(부직포 89.7kN/m, 직포 51.1kN/m, 지오그리드 44.3kN/m)의 5.85%, 2.94%, 5.24%에 해당하는 값이다. 또한, 약 16개월 동안 계속된 각 보강재에서의 최대인장력은 부직포 10.78kN/m, 직포 7.46kN/m, 지오그리드 4.86 kN/m로, 이는 파괴인장강도의 12.02%, 14.60%, 10.97%에 해당한다. 일반적으로 보강토구조물 설계시 보강재의 허용인장강도는 인장강도의 30~50%를 취하므로, 본 연구 결과에서 나타난 보강재의 인장력은 매우 안전한 값을 알 수 있다.

4. 수평토압 및 간극수압

4.1 수평토압

그림 15는 보강토옹벽 벽면에서의 경과시간에 따른

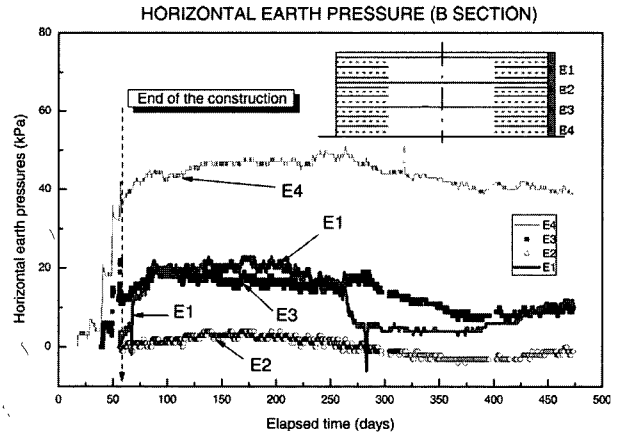


그림 15. 보강토옹벽 벽면에서의 경과시간에 따른 수평토압 분포

수평토압의 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 수평토압은 잔류다짐응력과 집중폭우 등의 영향으로 성토완료 후로부터 30일 정도 까지 증가한 후 일정 상태를 유지하다가 약 200일 이후부터 다소 감소하는 경향을 나타내고 있다. 여기서 흥미로운 것은 지표면으로부터 1m와 3.4m아래에 설치된 E1과 E3의 토압계에서 측정된 수평토압이다. 즉, E1의 경우 경과시간이 87일이 되면서부터 E1보다 2.4m아래에 설치된 E3보다 큰 값을 나타내고 있다. 이처럼 보강토옹벽 상단에 설치된 E1에서의

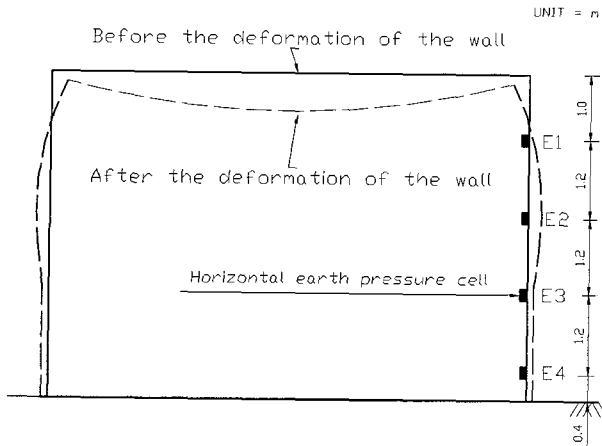


그림 16. 보강토옹벽의 외적 변형 추정도

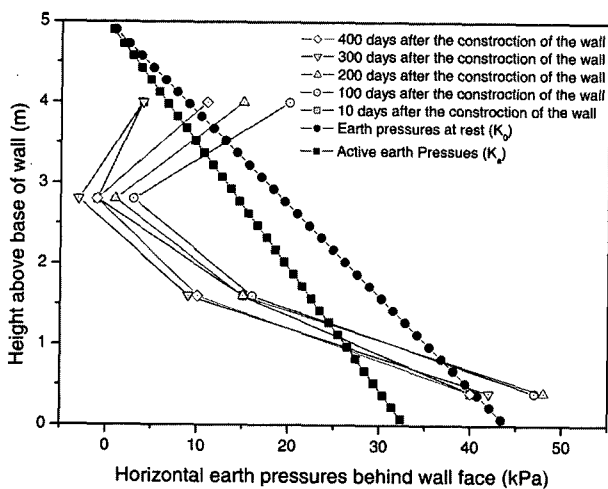


그림 17. 계측된 수평토압과 계산된 수평토압 비교

수평토압이 E3보다 크게 나타난 이유는 ① 본 보강토옹벽은 얇은 연약지반 상에 구축되었고, ② 뒤채움재로 사질토에 비해 압축성이 큰 점성토를 사용하였고, ③ 벽면은 각 층의 보강재로 게비언(gabion)를 감싸는 형식으로 구축되었기 때문에 그림 16에 나타난 바와 같이 보강토옹벽이 변형되어, 옹벽의 상부에서 수평토압의 발생에 의한 것으로 판단된다. 실제로, 보강토옹벽 상부 지표면에서는 Arch형태의 침하와 10cm정도의 부등침하가 발생하였다. E2의 경우 계측초기부터 수평토압이 작게 나타나고 있는데, 이는 토압계 자체의 이상, 또는 E2가 설치된 부분에서의 벽체 변형에 따른 토압계의 뒤로 밀림 현상에 의한 것으로 판단된다.

그림 17은 보강토옹벽 구축 후 10, 100, 200, 300, 400일에 벽면에서 계측된 수평토압을 Rankine의 주동토압 및 정지토압과 함께 나타낸 것이다. 보강토옹벽 구축 후로부터 10일과 300일에 계측된 수평토압의 경우 벽의 저부에서는 주동토압보다는 크고 정지토압보다는 작으며, 나머지 부분

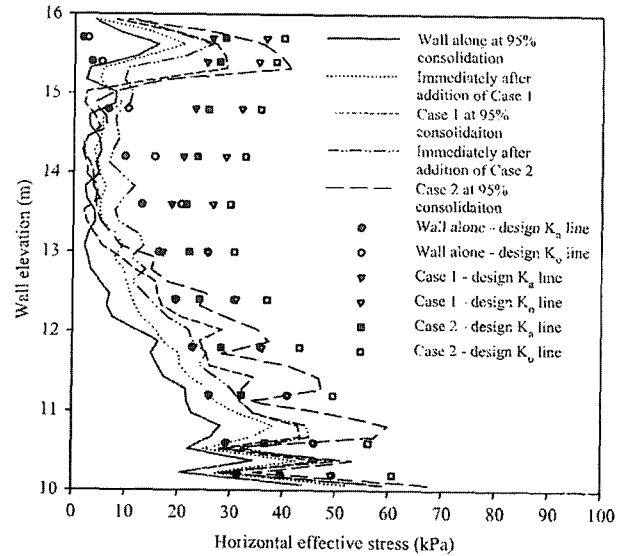


그림 18. 보강토옹벽 벽면에서의 수평토압분포(Skinner and Rowe, 2005)

에서는 주동토압보다 작게 나타나고 있다. 이러한 수평토압분포는 Andrawes et al.(1990), Ho(1993), Ho and Rowe(1997) 등의 연구결과에서도 나타나고 있다. Ho and Rowe(1997)는 보강재의 길이가 0.7H보다 작으면, 보강토뒤채움재 배면에서 작용하는 수평토압에 의해 벽면에서의 수평토압이 증가하고, 증가된 수평토압은 보강토옹벽 앞꿈치(toe)를 기점으로 모멘트가 발생하여 이 부분(toe)에서의 수직, 수평응력이 이론치보다 크게 나타날 수도 있다고 보고하고 있다. 보강토옹벽 구축후로부터 100일과 200일에 계측된 수평토압은 벽의 저부와 상부에서 정지토압보다 크게 나타나고 있다. 100일과 200일에 계측된 수평토압은 Skinner and Rowe (2005)가 점성토의 두께가 10m인 기초지반 위에 보강재(Geogrid)의 길이를 4m로 배치하여 높이가 6m인 보강토옹벽을 구축한 것으로 가정하여 수행한 FEM해석 결과에서 나타난 수평토압분포와 유사하다. 그림 18은 Skinner and Rowe(2005)가 수행한 해석 결과를 나타낸 것으로 그림에서 Case 1은 사하중(성토하중+교대하중=125kPa)만을 고려한 경우이고, Case 2는 사하중(125kPa)과 활하중(40kPa)을 고려한 경우이다. 따라서, 연약지반상에 연성벽면을 갖는 보강토옹벽을 구축할 경우 벽의 저부와 상부에서의 수평토압은 정지토압보다 크게 나타날 수도 있으므로, 설계시 주의가 요구된다.

4.2 간극수압

본 연구에서는 보강토옹벽 뒤채움재로 점성토를 사

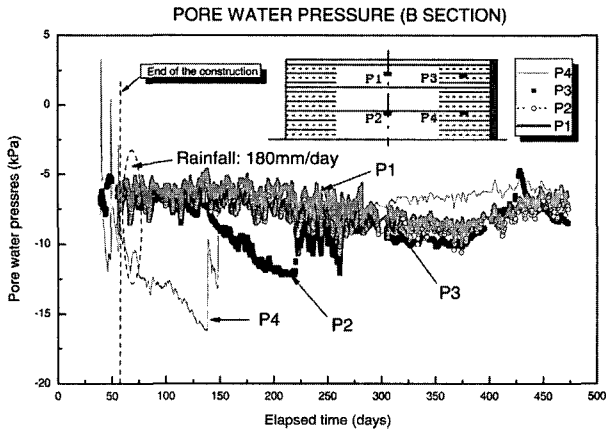


그림 19. 경과시간에 따른 간극수압 분포

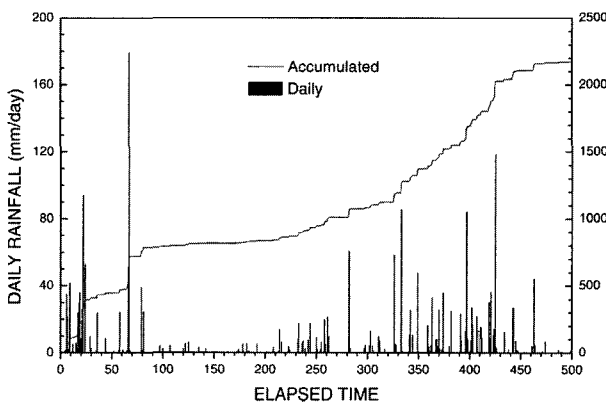


그림 20. 강우량의 경시변화

용하였고, 보강재로 투수성을 갖고 있는 부직포를 사용하였다. 따라서, 과잉간극수압이 보강토벽체 변형에 영향을 줄 수 있어, 강우강도에 따른 간극수압의 거동을 파악하고자 SECTION I의 B단면에 그림 7에 나타낸 바와 같이 4개의 간극수압계를 설치하였다.

그림 19와 20은 경과시간에 따른 간극수압과 강우강도를 나타낸 것이다. 보강토옹벽 구축후로부터 13일 후에 발생한 1일 강우강도 180mm/day의 폭우에 따른 간극수압의 변화 폭은 3kPa미만이고, 전반적으로 간극수압은 강우강도에 관계없이 5~10kPa범위를 나타내고 있다. 따라서, 벽체 내의 간극수압은 강우량의 영향을 거의 받지 않는 것으로 판단된다. 이는 뒤채움재의 투수계수($3.157 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$)가 작아 대부분의 강우가 지표면을 따라 흘러 내림을 의미하므로, 본 연구에서 의도했던 지표수 유입에 의한 부직포의 배수기능을 검토하기 어려웠다.

5. 결론

이상의 연구결과로부터 얻은 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 실내 광폭인장시험결과 스트레인 게이지의 국부변형은 외부변위계에 의해 계측된 전체변형과 거동패턴이 유사하고, 보강토옹벽 내에서 16개월 이상 정상적으로 작동하고 있어, 본 연구에서 제안한 스트레인 게이지에 의한 부직포의 변형거동 계측방법은 유용한 것으로 판단된다.
- (2) 약 16개월 동안 계측된 부직포, 직포, 지오그리드에서의 최대변형률은 6.05, 2.92, 2.33%로 나타났고, 이는 각 보강재 인장강도의 12.01, 14.60, 10.97%에 해당하므로 보강토옹벽 내의 보강재는 안전한 것으로 판단된다.
- (3) 강우강도가 뒤채움재 내의 간극수압에 미치는 영향은 미미하나, 폭우시 보강토옹벽의 외적 변형거동이 발생할 경우 옹벽 내에 매설된 보강재에서 큰 변형이 발생하는 것으로 나타났다.
- (4) 수평토압은 옹벽의 저부와 상부에서 정지토압보다 크게 나타났다. 따라서, 본 연구에서와 같이 얇은 연약지반상에 연성벽면을 갖는 보강토옹벽을 구축할 경우 옹벽의 저부와 상부에서 정지토압보다 큰 수평토압이 발생할 수도 있으므로 보강토옹벽 설계와 시공시 주의가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 1996년도 건설교통기술연구개발사업(연구과제(R & D/96-0036)성과의 일부)의 후속연구로 이루어진 것입니다.

참고 문헌

1. 김유성, 원명수 (2001), "토목섬유 보강재의 평가기법에 관한 실험적 고찰", *대한토목학회논문집*, 제21권 제3-C호, pp.243-255.
2. 김진만, 오세용, 이대영, 최봉혁 (2005), "지오그리드를 이용한 보강사면의 현장 계측 연구", *대한토목학회 정기학술대회*, 생토공학, pp.1282-1286.
3. 유충식, 김선빈, 이봉원 (2005), "보강토구조물의 장기거동(실험 및 현장계측)", *한국토목섬유학회, 가을 학술발표회*, pp.147-156.
4. 유충식, 정혁상 (2004), "계단식 형태의 실대형 블록식 보강토 옹벽의 거동", *대한토목학회논문집*, 제24권 제4-C호, pp.213-222.
5. 원명수 (2001), *점성토를 활용한 토목섬유 보강토벽의 변형거동에 관한 연구*, 전북대학교 토목공학과 박사학위논문.

6. 조삼덕, 이광우, 이훈연, 장기수 (2005), “2단 고성토 보강토옹벽의 거동평가 - 사례연구”, 한국토목섬유학회, 가을 학술발표회, pp.95-102.
7. Andrawes, K.Z., Loke, K.H., Yeo, K.C. and Murray, R.T. (1990), “Application of boundary yielding concept to full scale reinforced and unreinforced soil walls”, *Performance of Reinforced Soil Structures*, British Geotechnical Society, pp.79-83.
8. Boyle, S.R. (1995), *Deformation prediction of geosynthetic reinforced soil retaining walls*, PhD. dissertation, University of Washington, U.S.A. pp.391.
9. Ho, S.K. (1993), *A numerical investigation into the behaviour of reinforced soil walls*, PhD dissertation, Universtiy of Western Ontario, London, Canada. 408pp.
10. Ho, S.K. and Rowe, R.K. (1996), “Effect of wall geometry on the behaviour of reinforced soil walls”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.14, pp.521-541.
11. Huang, C-C. (1998), “Investigation of the local strains in a geosynthetic composite”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.16, pp. 175-193.
12. Koerner, R.M. (1996), “The state-of-the-practice regarding in-situ monitoring of geosynthetics”, *Proc. 1st European Geosynthetics Conference*, Netherlands, pp.77-86.
13. Lechchinsky, D. and Fowler, J. (1990), “Laboratory measurement of load-elongation relationship of high-strength geotextiles”, *Geotextiles and Geomembranes*, 9(2), pp.145-164.
14. Skinner, G.D. and Rowe, R.K. (2005), “Design and behaviour of a geosynthetic reinforced retaining wall and bridge abutment on a yielding foundation”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.23, pp. 234-260.
15. Sluimer, G., Risseeuw, P. (1982), “A strain-gauge technique for measuring deformation in geotextile”, *Proc. 2nd Internat. Conf. on Geotextiles*, Las Vegas, USA, pp.835-838.

(접수일자 2006. 1. 9, 심사완료일 2006. 8. 26)