

스트레인 게이지를 이용한 부직포의 변형거동 계측 Measurement of Nonwoven Geotextile Deformation with Strain Gauges

원명수¹⁾, Myoung-Soo Won, 이용안²⁾, Yong-An Lee, 고희우³⁾, Hyoung-Woo Ko
김유성⁴⁾, You-Seong Kim, 박병수⁵⁾, Byung-Soo Park

- 1) 전북대학교 공학연구원 객원연구원, Researcher, Engineering Research Institute, Chonbuk National Univ.
- 2) 전북대학교 토목공학과 박사과정, Candidate of PhD., Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National Univ.
- 3) 전북대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National Univ.
- 4) 전북대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National University
- 5) (주) 지완테크 이사, Director, G-1 TECH. Co., Ltd.

SYNOPSIS : Because of the increasing need to use clayey soil as the backfill in reinforced soil structures and embankment material, nonwoven geotextiles with the drain capability have been receiving much attention. However, there are few studies of the deformation behavior of nonwoven geotextiles at geosynthetics reinforced soil structures in the field because the nonwoven geotextile, which has low tensile stiffness and higher deformability than geogrids and woven geotextiles, is difficult to measure its deformation by strain gauges and to prevent the water from infiltrating.

This study proposes a new, more convenient method to measure the deformation behaviour of nonwoven geotextile by using a strain gauge; and examines the availability of the method by conducting laboratory tests and by applying it on two geosynthetics reinforced soil (GRS) walls in the field.

A wide-width tensile test conducted under confining pressure of 7kPa showed that the local deformation of nonwoven geotextile measured with strain gauges has a similar pattern to the total deformation measured with LVDT. In the field GRS walls, nonwoven geotextile showed a larger deformation range than the woven geotextile and geogrid; however, the deformation patterns of these three reinforcement materials were similar. The function of strain gauges attached to nonwoven geotextile in the walls works normally for 16 months. Therefore, the method proposed in this study for measuring nonwoven geotextile deformation by using a strain gauge proved useful.

Key words: Geosynthetic, Nonwoven geotextile, Strain gauge, Reinforced soil, Geosynthetics reinforced soil wall, Strain

1. 서론

보강토옹벽 뒤채움재로 점성토활용의 필요성이 증가함에 따라 보강토옹벽 보강재로 배수기능을 갖고 있는 부직포가 점차 주목을 받고 있다. 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 변형

계측은 쉽지 않다. Sluimer and Risseeuw(1982), Leshchinsky and 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.

본 연구에서는 부직포에 접착제를 이용하여 스트레인 게이지를 손쉽게 부착하는 방법을 검토하였고, 검토된 방법에 의한 적용가능성을 실내외 시험을 통해 검증하였다. 또한, 보강토옹벽 내의 보강재 변형거동의 분석을 위해 얇은 층의 연약지반 상에 보강재로 부직포와 직포 그리고 부직포와 지오그리드를 혼합 배치하여 높이가 5m인 2개의 실물보강토벽을 구축하였다. 이들 보강토옹벽 내 보강재의 거동은 스트레인 게이지를 사용하여 약 1년 반 동안 계측 하고, 그 결과를 분석하였다.

2. 스트레인 게이지 부착방법

본 연구에 사용된 부직포, 직포, 지오그리드와 스트레인 게이지에 대한 특성은 표 1과 2에 나타내었다. 직포와 지오그리드 경우는 스트레인 게이지를 직접 부착하였고, 부직포의 경우는 그림 1 및 아래와 같은 세부 부착순서에 의해 스트레인 게이지를 부착하였다. 세부부착방법은 다음과 같다.

- (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 바른 후 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 경과한 후, 스트레인 게이지와 터미널을 도포된 접착제 위에 부착한다.
- (5) 리드선을 연결하고, N-1코팅제와 방수테이프 등으로 스트레인 게이지 손상에 대한 보호조치 후, 방수처리한다.

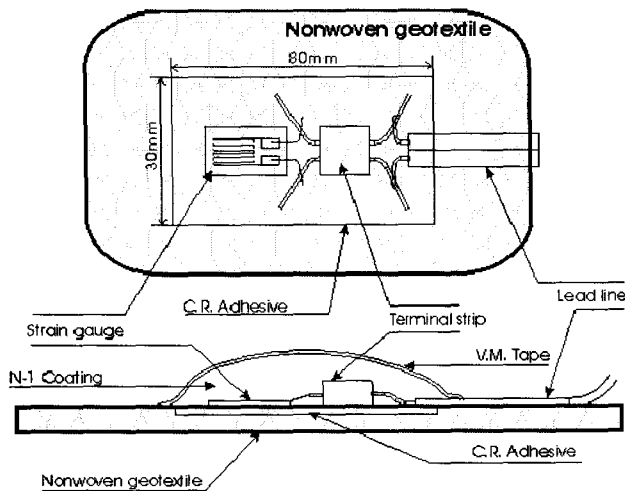


그림 1. 부직포에 스트레인 게이지 부착방법

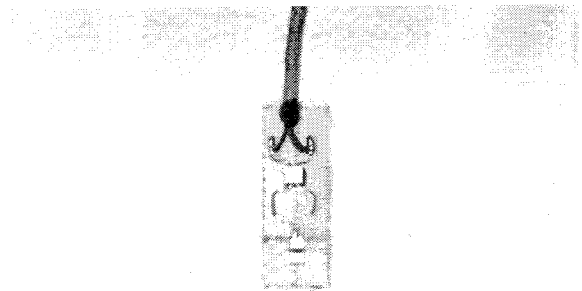


그림 2. 실물보강토옹벽내 부직포에 스트레인 게이지 부착

표 1. 사용된 토목섬유 보강재의 특성

제품명	재료	설명	두께 (mm)	탄성계수 (kN/m)	인장강도 (kN/m)		Manufacturer	CAS Corporation
					제조업자 (KS K 0520)	연구자 (ASTM D 4595)		
KOLON P5100	Polyester	Nonwoven needle-punched	5	156.4	100	89.7	AE-11-S80N-120-EL	2.1±1.0%
KOLON KM5001	Polyester	Woven multi-filament	0.25	235.2	50	51.1		1.20%
AKILEN GRID5/3	Polyester	Geogrid coated with PVC resin	0.5	215.2	50	44.3		120Ω±0.2%

표 2. 사용된 스트레인 게이지의 특성

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, 대기 중에서는 물론 현장 구속조건하에서도 효과적으로 부직포의 변형거동을 계측할 수 있다. 그림 2는 2개의 실물보강토옹벽(그림 5참조)내의 부직포에 본 연구에서 제안한 방법으로 부착된 스트레인 게이지를 보여주고 있다.

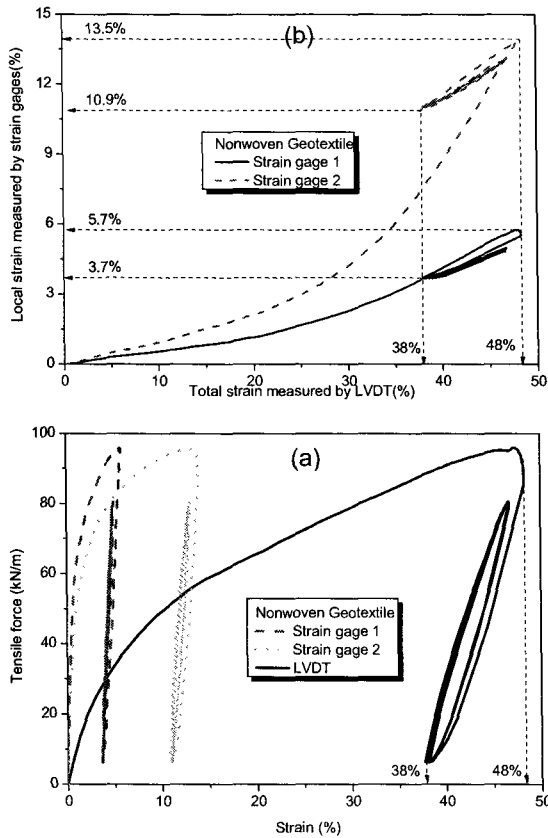


그림 3. 구속압 7kPa하에서 부직포의 하중-인장특성

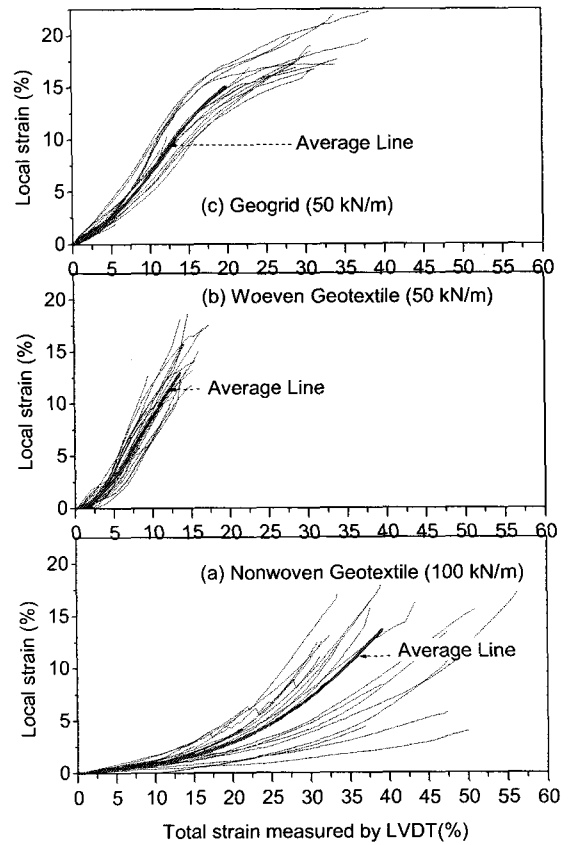


그림 4. 국부변형률과 전체변형률 관계

그림 3은 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 전체변형률과 유사한 거동을 보이고 있고, 특히 전체변형률 38~48%에서 반복 재하-제하 사이클링 거

동일한 패턴으로 나타나고 있다. 이와 같은 양상은 본 연구에서 제안한 방법으로 부직포의 변형거동을 쉽게 효과적으로 예측할 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.

Boyle (1995)에 의하면 스트레인 게이지를 이용한 토목섬유의 변형계측은 토목섬유의 굵목, 인장방향의 fiber 또는 filament의 조건, 포아슨 비, 그리고 토목섬유의 구속조건 등의 영향을 받는 것으로 보고하고 있고, 김유성과 원명수(2001)는 토목섬유의 크기, 인장속도, 그리고 구속조건에 따라 스트레인 게이지를 이용한 토목섬유의 변형계측값은 변하는 것으로 보고하고 있다. 그림 4는 김유성과 원명수(2001)가 보고한 시료의 크기, 인장속도, 그리고 구속조건 등에서의 국부변형률과 전체변형률의 관계를 모두 조합하여 나타낸 것으로, 국부변형률과 전체변형률의 관계는 지오그리드, 직포, 부직포 순으로 양호하게 나타나고 있다. 본 연구에서는 그림에 나타난 각각의 보강재의 평균곡선을 이용하여 스트레인 게이지에 의해 계측된 국부변형률을 전체변형률로 환산하였다. 시료의 크기변화, 인장속도변화, 그리고 구속조건 변화에 따른 국부변형률과 전체변형률의 관계는 김유성과 원명수(2001) 및 원명수(2001)에 의해 보고되어 있다.

3. 실물보강토옹벽구축 및 보강재 변형거동분석

3.1 보강토옹벽 구축방법

본 연구에서는 보강토옹벽 뒤채움재로 인근 현지발생 저소성 점성토(CL)를 사용하고, 보강재로는 부직포, 직포, 지오그리드를 사용하였다.

보강토옹벽은 표 3에 나타난 바와 같이 지표면으로부터 심도 5m까지의 평균 N치가 4정도인 얇은 층의 연약지반 상에 그림 5와 같이 구축하였다. 보강토옹벽은 보강재의 조합형태에 따라 그림 5와 같이 SECTION I(부직포와 직포)과 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 보강토벽을 구축하는데 소요된 공기는 57일이다. 보강토벽에 설치한 계측기기는 그림 6에 나타난 바와 같이 SECTION I·II 단면에 설치하여 데이터 로거를 통해 자동 계측하였고, 계측에 사용된 계측기기는 표 4에 정리하였다.

표 3. 시추조사 결과

구분	매립층	실트질 점토층	자갈층	연암층
층후(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. 보강토옹벽 뒤채움재에 매설된 계측기기

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

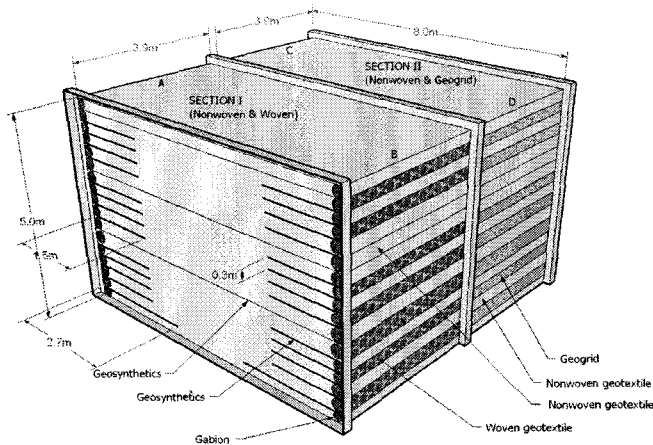


그림 5. 보강토옹벽 전체단면도

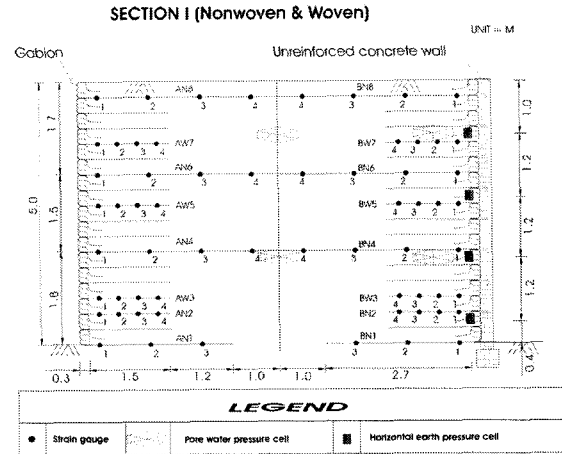


그림 6. SECTION I 단면에 설치된 계측기기

3.2 보강재의 거동분석

그림 7, 8, 9는 3.1에서 기술한 바와 같이 부직포, 직포, 지오그리드 보강재에 스트레인 게이지를 부착하여 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 없음을 알 수 있다. 이들 그림에서 공통적으로 보강토옹벽 구축 후로부터 약 15일 까지 보강재의 변형이 크게 증가하는 것으로 나타나고 있다. 이는 보강토옹벽 구축후 다짐에 의한 잔류응력과 옹벽 구축후로부터 13일 후에 내린 강우강도 180 mm/day에 해당하는 폭우 등에 의한 영향에 기인한 것으로 판단된다.

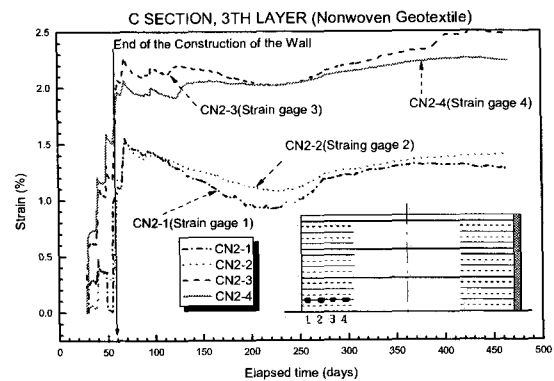


그림 7. C단면 3번째 보강재 층에서 계측된 부직포의 변형거동

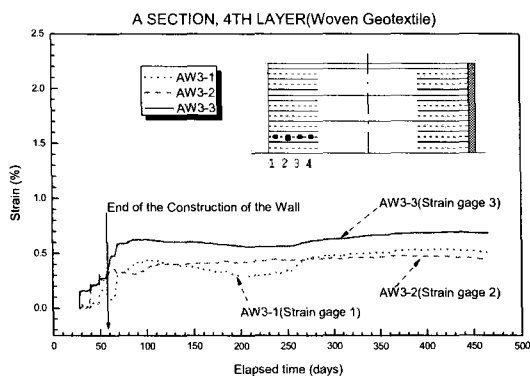


그림 8. A단면 4번째 보강재 층에서 계측된 직포의 변형거동

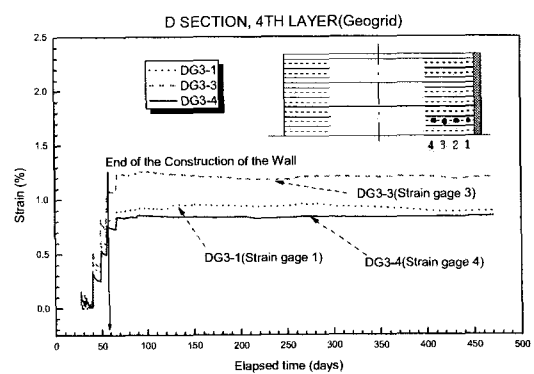


그림 9. D단면 4번째 보강재 층에서 계측된 지오그리드의 변형거동

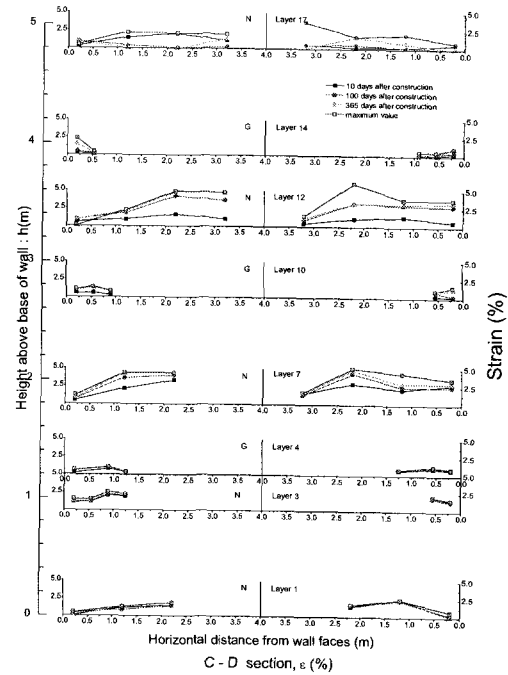
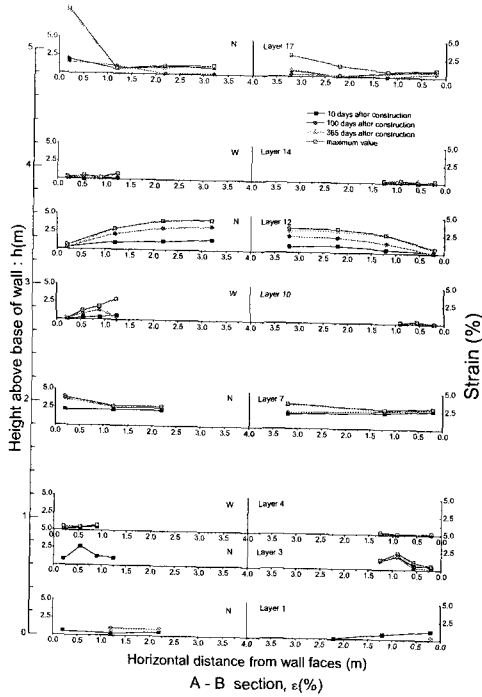


그림 10. SECTION I 에서 계측된 보강재의 변형거동 그림 11. SECTION II에서 계측된 보강재의 변형거동

그림 10과 11의 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. 또한, 그림 10과 11에서 알 수 있듯이 옹벽상부를 제외하고는 보강토옹벽구축 후 약 1년경과 후 보강재변형은 거의 최대치를 나타내고 있어, 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 16개월동안 발생한 최대변형은 부직포 9.05%, 직포 2.92%, 지오그리드 2.33%로 나타났다. 다만, 부직포의 경우는 변형의 최대치가 SECTION I 의 17 층에서 발생한 점으로 볼 때 이는 외적인 요인에 의한 값으로 판단되므로, 이 예외적인 값을 생략하면 부직포에 있어서의 최대변형은 6.05%로 이다. 일반적으로 토목섬유 보강재의 허용변형률은 보강재의 신장성과 강성에 따라 5~10% 를 취하므로, 본 연구 결과에서 나타난 보강재의 변형은 허용범위 안에 있음을 알 수 있다.

4. 결론

이상의 연구결과로부터 얻은 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 구속압 7kPa하에서 실시한 실내 광폭인장시험결과 본 연구에서 제안한 방법에 의해 부직포에 부착된 스트레인 게이지에 의한 국부적 변형거동은 LVDT에 의해 계측된 전체변형거동과 유사한 것으로 나타났다.
- (2) 본 연구에 사용된 부직포, 직포, 그리고 지오그리드의 경우 대부분의 변형은 보강토옹벽구축 후로부터 한 달 이내에 발생하고, 1년이 경과하면 보강재의 변형은 수렴되는 것으로 나타났다.
- (3) 보강토옹벽 내에서 부직포의 변형거동 범위는 직포나 지오그리드보다 크게 나타나고 있으나, 이들 보강재와 변형거동 패턴이 유사하고, 16개월 이상 정상적으로 작동하고 있어, 본 연구에서 제안한 스트레인 게이지에 의한 부직포의 변형거동 계측방법은 유용한 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술연구센터 지원에 의해 이루어졌습니다.

참고 문헌

1. 김유성, 원명수(2001) “토목섬유 보강재의 평가기법에 관한 실험적 고찰”, *대한토목학회논문집*, 제21권 제3-C호, pp. 243-255.
2. 원명수(2001) *점성토를 활용한 토목섬유 보강토벽의 변형거동에 관한 연구*, 전북대학교 토목공학과 박사학위논문.
3. Boyle, S.R. (1995), *Deformation prediction of geosynthetic reinforced soil retaining walls*, PhD. dissertation, University of Washington, U.S.A. pp. 391.
4. Huang, C-C.(1998). “Investigation of the local strains in a geosynthetic composite”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.16, pp. 175-193.
5. Koerner, R.M.(1996). “The state-of-the-practice regarding in-situ monitoring of geosynthetics”, *Proc. 1st European Geosynthetics Conference*, Netherlands, pp. 77-86.
6. Lechchinsky, D. and Fowler, J.(1990). “Laboratory measurement of load-elongation relationship of high-strength geotextiles”, *Geotextiles and geomembranes*, 9(2), pp.145-164.
7. 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.