구속신장시험에 의한 토목섬유의 인장력-변형률거동 특성

방윤경 · 이준대*† · 전영근**
대원과학대학 토목과 · *세명대학교 토목공학과 · **세명대학교 대학원 토목공학과
(2001. 10. 10. 접수 / 2002. 5. 19. 채택)

Stress-Strain Properties of Geosynthetics by Confined Extension Tests

Yoon-Kyung Bang · Jun-Dae Lee*† · Young-Geon Jeon**
Department of Civil Engineering, Daewon Science College
*Department of Civil Engineering, Semyung University
**Department of Civil Engineering, Graduated School of Semyung University
(Received October 10, 2001 / Accepted May 19, 2002)

Abstract : In this study, stress-strain relationships were investigated by performing the confined extension tests for seven types of geosynthetics such as geotextiles, composite geosynthetics and geogrids. A comparison was made between unconfined and confined moduli for each geosynthetic material to quantify the soil confinement effect on stress-strain properties. A comparison was also made between the increase of moduli at the same strain level with the types of the geosynthetics to demonstrate the different stress-strain responses. Based on the result of the extension tests, the higher the confining stress, the larger the secant modulus of geosynthetics. The secant modulus at 5% strain is twice as much as that of 10% strain, especially there is a noticeable increasing of secant modulus for the two nonwoven geotextiles.
Key words : geosynthetics, confined extension test, wide-width tensile tests, stress-strain relationship, secant modulus

1. 서 론

토목섬유는 보강사면이나 보강토옹벽, 연약지반 등 각종 토목구조물의 안정성 확보를 위한 목적으로 광범위하게 활용되고 있다. 토목섬유를 이용한 토목구조물 설계시 현장조건을 평면변형률문제인 경우, 토목섬유의 응력-변형률 관계는 광폭인장시험에 의해 결정된다. 그러나, 토목섬유에 따라서는 구속하중이 응력-변형률 관계에 영향을 미칠 수 있으므로 구속신장시험에 의한 응력-변형률 관계를 설계에 적용하는 것이 보다 현실적이다. 실제로 여러 연구자들의[1,2] 연구결과, 구속응력의 크기가 증가함에 따라 토목섬유의 5% 변형시 할선계수와 극한강도가 대체로 증가하는 것으로 나타난 바 있으며, 그 증가량은 토목섬유의 종류에 따라 다소의 차이를 보이나 최대 약 400% 이상의 큰 증가율을 나타내는 경우도 있는 것으로 보고된 바 있다. 구속신장시험 기구는 McGown등에[3] 의해 최초 제안된 이래 여러 연구자들에[4,5] 의해 수정되고 개량되어 왔으며, 주로 흙의 구속응력이 토목섬유의 변형률 거동에 미치는 영향에 관한 기초연구가 주류를 이루고 있다.

이 연구에서는, 국내에서 사용되고 있는 부직포, 직포, 복합포 및 지오그리드 등 7종류의 토목섬유를 대상으로 광폭인장시험 및 구속신장시험을 수행하였으며, 이를 토대로 토목섬유의 인장력-변형률 거동에 미치는 구속응력의 영향을 정량적으로 평가하였다. 또한, 토목섬유 5% 및 10% 변형률에 해당하는 할선계수를 비교 분석하였다.

2. 구속신장시험

2.1. 시험장치 및 재료

이 연구에서는 Yuan et al.의[2] 구속신장시험장치를 이용하였다. 구속상자의 내부 크기는 450×400×

†To whom correspondence should be addressed.
jdlee@semyung.ac.kr

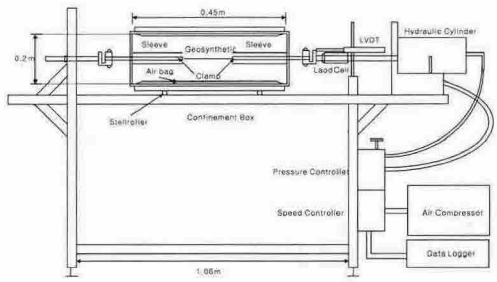

Fig. 1. Configuration of confined extension test apparutus

200mm(길이×폭×높이)이고, 흙시료에 구속응력을 재하하기 위한 고무멤브레인이 구속상자의 상·하에 설치되어 있다. Fig. 1에는 시험에 사용된 구속신장시험기의 개요를 나타내었다.

이 연구에서 사용한 흙시료는 주문진 지역에서 채취되는 주문진규사를 함수비 2.0~3.0%의 자연함수비 상태로 사용하였으며, 흙시료의 비중은 2.63, 직접전단시험에 의한 모래의 내부마찰각은 36.5°이다. 시험에 사용된 토목섬유는, 지오그리드 보강재와, 부직포 및 직포 지오텍스타일, 그리고 지오그리드와 부직포 토목섬유를 결합한 형태의 복합포등 국내에서 사용되고 있는 7종류의 토목섬유로서, 구속신장시험 및 실내인발시험시 토목섬유의 인장강도가 상대적으로 큰 경사방향(길이방향)으로 시험을 수행하였다. 시험에 사용된 토목섬유는 Table 1과 같다.

Table 1. Summary of geosynthetic properties

시료번호	명 칭	재 질	두께 (mm)	중량 (g/m^2)	광폭 인장강도 강도 (t/m)	광폭 인장강도 신율 (%)	비 고
1	composite S	Polyester(그리드)+ Polypropylene (부직포)	4	750	10	15 이하	복합포
2	composite C	Polyester(그리드)+ Polypropylene (부직포)	3~4	510	11	13 이하	복합포
3	geogrid S	Polyester (PVC코팅)	1.9~2.6	620	8.95	10 이하	연성지오그리드
4	geogrid F	Polyester (PVC코팅)	1.5	610	11	10 이하	연성지오그리드
5	woven K	Polyester	0.5	300	10*	10~30*	직포
6	nonwoven K	Polyester	3	400	5*	60~100*	장섬유부직포
7	nonwoven P	Polypropylene	6.8	1,000	7.5	50 이상	단섬유부직포

*: ASTM D 5034에 의함.

2.2. 시험방법

구속상자 내부의 모래는 상·하 각 3층씩 층다짐을 실시하였다. 이때, 모래의 단위체적중량은 1.33g/cm^3을 유지하도록 하였다. 모래 다짐시 단위체적중량 1.33g/cm^3을 기준으로 하여 각 층에 필요한 중량만큼의 시료를 할당하는 중량-체적 할당법을[6] 사용하였다. 다짐은 직접 손으로 하거나 소형 다짐봉을 사용하여 할당된 흙이 각 층에 채워질 때까지 계속하였다. 인장시험시 토목섬유의 전체 길이방향 모두에 걸쳐서 인장력이 고르게 분포할 수 있도록 구속상자 하부에 롤러를 부착하는 방법을 이용하였다. 시험기구의 클램프는 비교적 작은 부피로도 슬리브 내에서 토목섬유를 완벽하게 잡아주는 기능을 필요로 하므로, 다수의 예비시험을 실시하여 설계하였다. 시험에 사용한 토목섬유의 크기는 200×600mm로, Fig. 1에서 클램프간의 시료길이는 100 mm이다. 시험시 변형률 속도는 10%/min를 유지하도록 하였고, 인장력의 크기는 하중계에 의해, 변위는 LVDT에 의해 동시에 자료수집기를 이용해 매 5초 간격으로 측정하였다. 구속응력의 크기는 통상의 보강토 벽체에서 인발파괴가 예상되는 상부 5m 정도의 토피하중을 감안하여 10t/m^2 이내의, 3, 6 및 9t/m^2의 세가지로 하였으며, 구속응력이 없는 조건에서의 광폭인장시험도 함께 수행되었다.

3. 시험결과 및 분석

3.1. 구속응력에 따른 토목섬유의 인장력-변형률 거동

Fig. 2~Fig. 8에는 구속신장시험결과 나타난 구속응력에 따른 토목섬유의 인장력-변형률 거동을 명시하였다. 시험대상 토목섬유 모두에서 구속응력의 크기가 증가할수록 토목섬유의 할선계수가 뚜렷이 증가하며, 최대강도 또한 증가하는 경향을 보이고 있다. geogrid S 및 geogrid F의 경우, 구속응력에 따른 할선계수와 최대강도의 변화량이 상대적으로 미미하게 나타났으며, 구속응력 변화에 따른 인장력-변형률 관계곡선 형상의 차이가 명확하지 않아 Fig. 7 및 Fig. 8에는 구속신장시험 결과 인장력-변형률 관계의 구분이 비교적 명확하게 나타난 경우(구속응력이 0t/m^2인 경우와 9t/m^2인 경우)만을 명시하였다. 지오그리드 시료의 경우 기타 토목섬유에 비하여 구속응력에 따른 인장력-변형률 거동의 경향이 뚜렷한 차이를 보이지 않는 이유는 지오그리드의 경우 길이방향 섬유의 마찰력 및 세로방향 섬유의 지지저항의 복합적 작용에 의해 마찰저항이 유발되

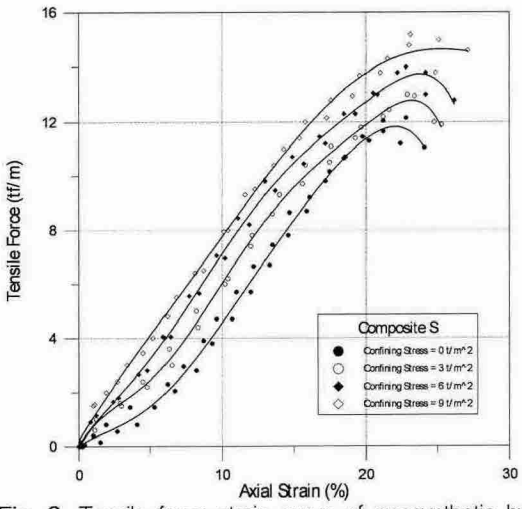

Fig. 2. Tensile force-strain curve of geosynthetic by confined extension test(composite S)

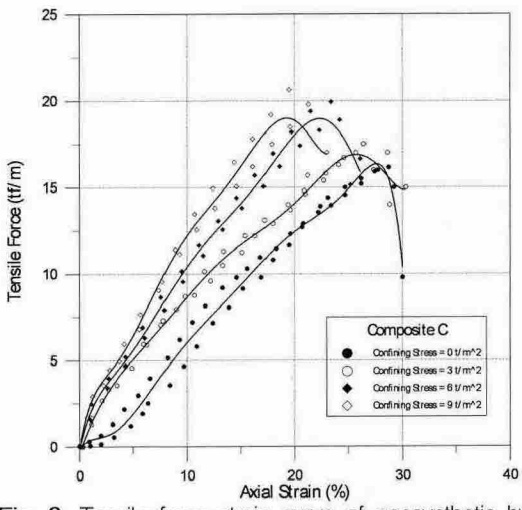

Fig. 3. Tensile force-strain curve of geosynthetic by confined extension test(composite C)

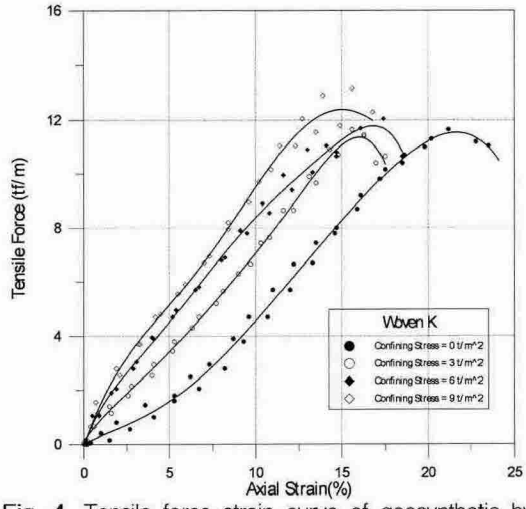

Fig. 4. Tensile force-strain curve of geosynthetic by confined extension test(Woven K)

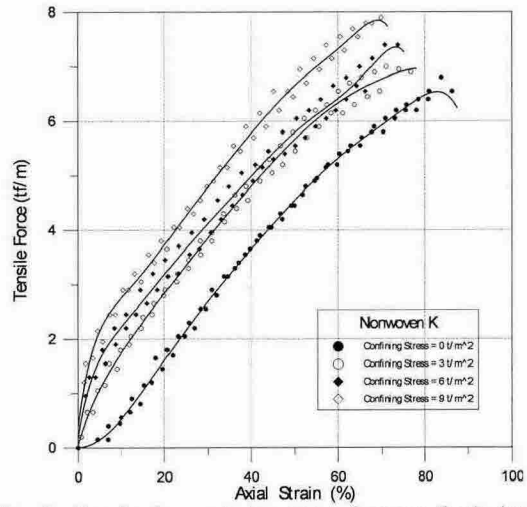

Fig. 5. Tensile force-strain curve of geosynthetic by confined extension test(Nonwoven K)

어 연속적인 마찰면을 갖는 기타 토목섬유와 인발 저항 특성이 상이하게 나타나는 것이 그 원인으로 판단된다. 또한 지오그리드를 제외한 부직포, 직포 및 복합포 토목섬유의 초기 할선계수가 매우 작은 값을 보이는 원인은, 토목섬유 접점에서의 섬유간 미끄러짐과 이완된 섬유의 긴장 때문에 구속하중이 없는 경우에는 초기 할선계수가 매우 작은값을 보이는 반면, 구속응력이 존재하는 경우에는 구속하중에 따라 증가된 마찰력이 미끄러짐을 방해하고 인장시 섬유를 초기에 긴장시키는 역할을 하여 할선계수의 증가를 초래하는데 있는 것으로 판단된다.

3.2 구속응력에 따른 토목섬유의 할선계수

Fig. 9 및 Fig. 10에는 토목섬유 종류에 따른 할선계수의 증가비(구속응력이 없는 경우에 대한 할선계수의 비)와 구속응력 관계를 나타내었다. 시험대상 토목섬유는 모두 할선계수의 증가비가 구속응력의 크기에 비례하여 증가함을 알 수 있으며, 10% 변형률에 비하여 5% 변형률에 해당하는 할선계수 증가비가 약 2배 이상 크게 나타났다. 구속응력의 크

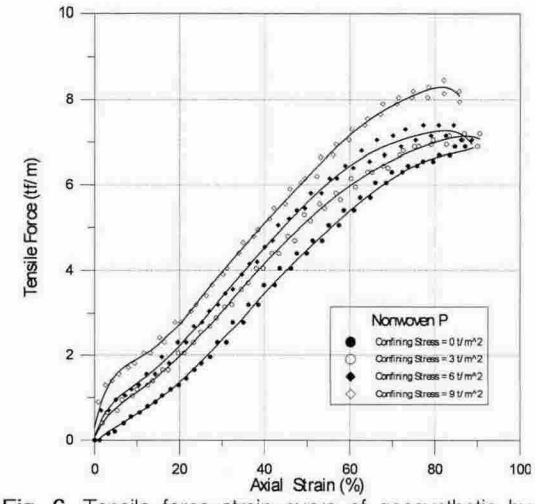

Fig. 6. Tensile force-strain curve of geosynthetic by confined extension test(Nonwoven P)

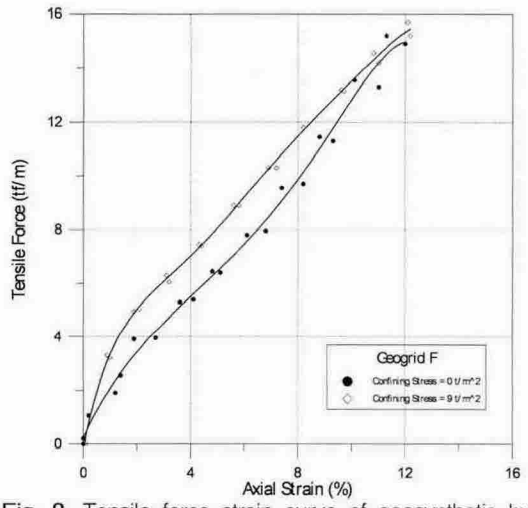

Fig. 8. Tensile force-strain curve of geosynthetic by confined extension test(Geogrid F)

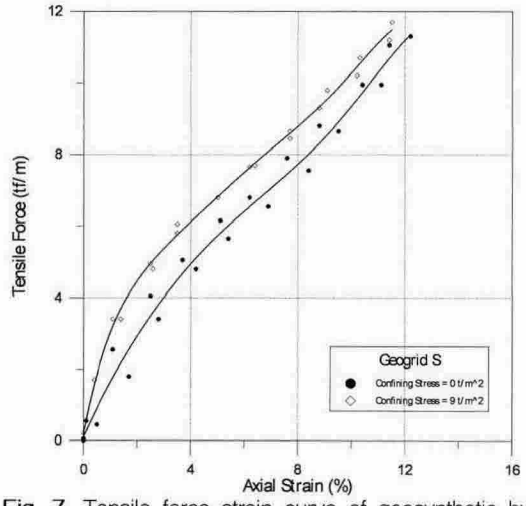

Fig. 7. Tensile force-strain curve of geosynthetic by confined extension test(Geogrid S)

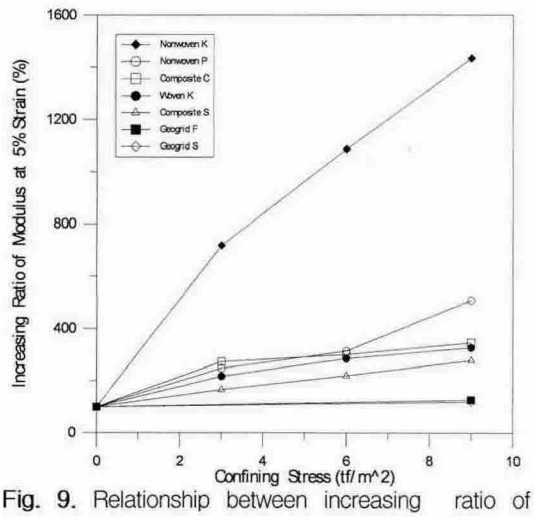

Fig. 9. Relationship between increasing ratio of secant modulus and confining stress at 5% strain

기가 0t/m^{2}으로부터 9t/m^{2}으로 증가함에 따른 할선계수 증가비는 5% 변형률시 약 120%(Geogrid S)~1433%(Nonwoven K)의 범위로, 또한 10% 변형률시 약119%(Geogrid S)~529%(Nonwoven K)의 범위로 각각 나타났으며, 토목섬유 종류별로는 부직포 토목섬유(Nonwoven K, Nonwoven P)에서 가장 큰 증가율을, 지오그리드(Geogrid S, Geogrid F)에서 가장 작은 증가율을 각각 나타내었다.

3.3. 구속응력에 따른 토목섬유의 인장력

Fig. 11~Fig. 13은 구속응력의 크기가 토목섬유의 인장력 변화에 미치는 영향을 살펴보기 위해, 구속응력이 없는 상태에서 측정된 토목섬유 인장력 F_u를 기준으로 하여 구속응력이 각각 3t/m^2, 6t/m^2 및 9t/m^2 작용하는 경우의 인장력 증가율을 나타내었다. 인장력 증가율은 구속응력이 없는 상태에서 측정된 인장력 F_u와 구속응력 작용시 이와 동일한

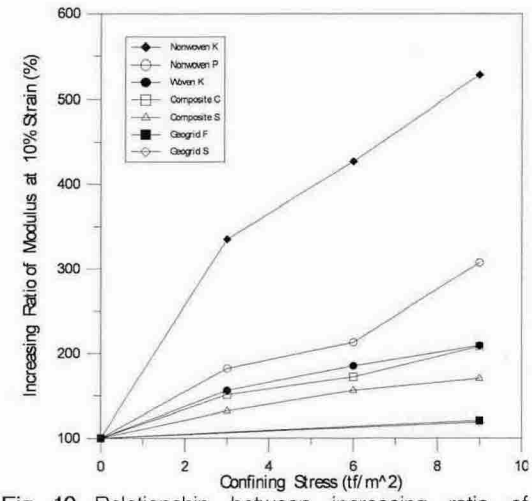

Fig. 10. Relationship between increasing ratio of secant modulus and confining stress at 10% strain

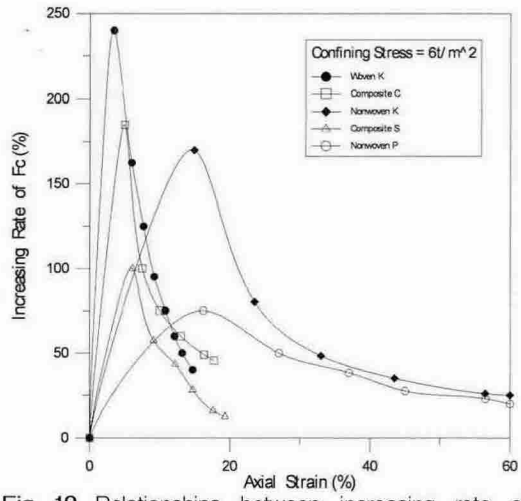

Fig. 12. Relaionships between increasing rate of tensile force and strain(confined stress 6t/m^2)

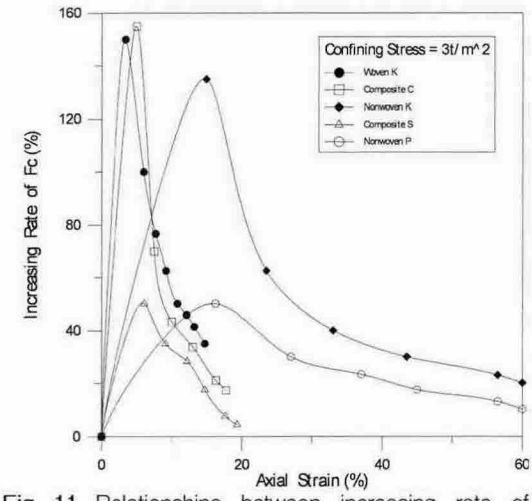

Fig. 11. Relationships between increasing rate of tensile force and strain(confined stress 3t/m^2)

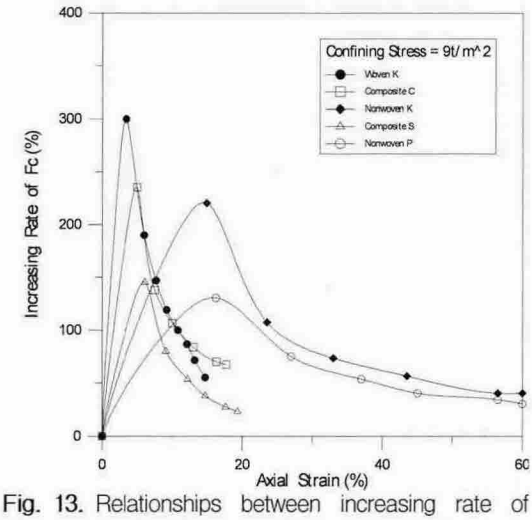

Fig. 13. Relationships between increasing rate of tensile force and strain(confined stress 6t/m^2)

변형률하에서 측정된 인장력 F_c의 크기에 의해 결정되었다. 구속응력의 크기에 비례하여 구속 인장력 F_c의 증가율이 증가하는 것으로 나타났으며, 시험 개시 이후 변형이 시작되는 초기는 변형률이 증가함에 따라 구속 인장력 F_c의 증가율이 증가하다가 일정한 변형률 이후에는 구속 인장력 F_c의 증가율이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 구속응력에 의한 인장력 증가율이 최대가 되는 토목섬유의 길이 방향 변형률은 모든 구속응력 조건에서 약 3%(Woven K)~15%(Nonwoven K)의 범위로 나타났다. 이를 토대로 구속응력 재하시 인장력 증가량의 크기를 광폭인장시험에 의한 인장력 F_u의 함수로 나타낼 수 있으므로 구속응력 재하시 동일 변형률하에서의 인장력 F_c로 환산할 수 있으며, 보다 다양한 종류의 토목섬유를 대상으로 이 결과를 응용할 경우, 광폭인장시험 결과를 이용하여 구속하중

재하시의 토목섬유 인장력과 변형률의 관계를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

이 연구는 국내에서 사용되고 있는 부직포, 직포, 복합포 및 지오그리드 등 7종류의 토목섬유를 대상으로 광폭인장시험 및 구속신장시험을 수행하였으며, 이를 토대로 토목섬유의 인장력-변형률 거동에 미치는 구속응력의 영향을 정량적으로 평가하였다. 또한, 토목섬유 5% 및 10% 변형률에 해당하는 할선계수를 비교 분석하였으며 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 광폭인장시험 결과 지오그리드를 제외한 부직포, 직포 및 복합포 토목섬유의 경우 초기 할선계수가 매우 작게 나타났으며, 구속신장시험에 의한 구속응력의 크기가 증가할수록 토목섬유의 할선계수가 뚜렷이 증가하여, 결과적으로 10% 변형률시에 비하여 5% 변형률시에 약 2배 이상 큰 할선계수 증가율을 나타내었다.

2) 지오그리드시료의 경우, 구속응력에 따른 할선계수와 최대강도의 변화량이 상대적으로 미미하게 나타났으며, 구속하중에 따른 할선계수 증가율은 부직포 토목섬유(Nonwoven K, Nonwoven P)에서 가장 큰 증가율을, 지오그리드(Geogrid S, Geogrid F)에서 가장 작은 증가율을 나타내었다.

3) 구속응력 작용시 일정 변형률하에서의 토목섬유 인장력의 크기는 광폭인장시험시 동일 변형률하에서의 인장력에 비하여 증가하였으며, 인장력 증가율은 구속응력의 크기에 비례하고 변형률이 작은 경우는 변형률 크기에 비례하여 증가하나, 변형률 약 3%~15% 이후에는 증가율이 점차 감소하는 것으로 나타났다.

4) 광폭인장시험에 의한 토목섬유의 인장력-변형률 관계를 이용하여 구속응력 재하시 동일 변형률하에서의 인장력 변화량을 정량적으로 예측할 수 있을 것으로 판단되며, 이를 위하여 향후 보다 다양한 종류의 토목섬유를 대상으로 이 결과를 응용하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1) McGown A., Andrawes, K. Z. and Kabir, M. H.(1982), "Load-Extension Testing of Geotextiles Confined In-Soil," Proceedings of the Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, U.S.A., Vol. 3, pp. 793-798.

2) Yuan, Z., Swan, R. H. Jr., and Bachus, R. C.(1998), "Soil Confinement Effect on Stress-Strain Properties of Geosynthetics," 6th Int. Conf. on Geosynthetics, pp. 523~528.

3) McGown A., Andrawes, K. Z., Wilson-Fahmy, R. F. and Brady, K. C.(1981), "A New Method of Determining the Load-Extension Properties of Geotechnical Fabrics," Department of Environment, Department of Transport, U.K., Report SR 704, pp. 14.

4) 김유성, 원명수(2000), "변형률 속도, 크기, 구속압을 고려한 토목섬유의 인장거동," 토목섬유학술발표회 논문집, pp. 95~104.

5) Leshchinsky, D. and Field, D. A.(1987), "In-Soil Load Elongation, Tensile Strength and Interface Friction of Nonwoven Geotextile," Proc. of Geosynthetics'87, New Orleans, pp. 238~249.

6) Alfaro, M.C., Miura, N. and Bergado, D.T.(1995), "Soil-Geogrid Reinforcement Interaction by Pullout and Direct Shear Tests," Geotechnical Testing Journal, Vol. 18, No. 2., pp. 157~167.