

시료크기 및 인장속도에 따른 지오그리드의 광폭인장강도 평가

Wide-Width Tensile Strength Properties of Geogrids according to Specimen Length and Testing Speed

조 삼 덕¹ Cho, Sam-Deok
이 광 우^{2*} Lee, Kwang-Wu
오 세 용³ Oh, Se-Yong

ABSTRACT

The tensile properties of geogrid are affected by such factors as temperature, specimen length, gauge length, testing speed and measuring equipment. The tensile strength of geogrids can be determined by ASTM 06637 and ISO 10319. The main differences between two testing methods are testing speed and specimen length. This paper presents the results of the wide-width tensile tests for three geogrids according to different specimen length and tension speed.

요 지

지오그리드의 인장강도 특성은 시험온도, 시료길이, 변위측정방법, 인장속도 및 시험장치 등에 영향을 받는다. 지오그리드의 인장강도시험법은 ASTM 06637 및 ISO 10319에 규정되어 있다. 그러나 이 두 시험법은 인장속도 및 시료길이에서 다소간의 차이를 가진다. 본 연구에서는 국내에서 많이 사용되고 있는 세 가지 종류의 지오그리드를 대상으로 일련의 광폭인장강도시험을 수행하여 시료길이 및 인장속도가 지오그리드의 광폭인장강도에 미치는 영향을 평가하였다.

Keywords : Tensile strength, Geogrid, Wide-width tensile test, Testing speed, Specimen length

1. 서 론

1960년대 초에 개발되어 적용되기 시작한 고분자 합성 섬유 제품인 토목섬유(geosynthetics)는 우수한 내구성과 시공성, 경제성 등의 장점으로 토목분야에서 폭넓게 활용되고 있다. 1970년대까지는 직포(woven geotextile) 및 부직포(nonwoven geotextile)가 각종 토목구조물에 보강재로서 주로 사용되었으나, 이러한 토목섬유 제품은 인장강도, 인장탄성계수, 크리프 등의 측면에서 다소의 제약이 있어, 최근에는 1979년 영국에서 개발된 지오그리드(geogrids)가 우수한 강도특성과 현장 적용성으로 인해 연약지반 보강, 성토사면 보강, 보강토 옹벽 등 다양한 토목현장에서 보강

재로서 폭넓게 활용되고 있다.

지오그리드 보강재를 사용한 보강토구조물 설계시 지오그리드의 인장강도-인장변형률 관계는 중요한 설계인자 중 하나이다. 지오그리드의 인장강도 특성은 일련의 인장강도시험을 통해 평가할 수 있으며, 인장강도시험법으로는 리브(rib)법, 스트립(strip)법 및 광폭인장법 등이 사용되고 있다. 리브인장강도시험(rib tensile test)은 지오그리드의 리브 한 개를 대상으로 인장강도시험을 수행하고, 스트립인장강도시험 및 광폭인장강도시험은 시험시료의 폭을 각각 5cm 및 20cm 이상으로 재단하여 인장강도-인장변형률 관계를 측정한다. 이들 시험법 중 광폭인장강도시험은 리브 혹은 스트립 인장강도시험에 비해 필요한 시료

1 정희원, 한국건설기술연구원 지반연구부 책임연구원 (Research Fellow, Geotechnical Eng. Research Dept., KICT)

2* 정희원, 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원 (Researcher, Geotechnical Eng. Research Dept., KICT, E-mail: kwangwu@kict.re.kr)

3 정희원, 한국의를시험연구원 시험연구부 주임 (Chief Researcher, Testing and Research Dept., KATRI)

의 양이 많고 시험비용이 다소 고가인 단점이 있으나, 시험의 대표성이 가장 우수하여 통상 많이 수행되고 있다.

지오그리드의 인장강도 특성은 시험시의 온도, 시료의 길이, 변형 측정 방법, 인장속도 및 시험장치 등에 영향을 받는다(Austin et al, 1993). 따라서 ASTM, ISO 등 세계의 여러 시험기준에서는 이들 시험법들을 정량적으로 규정하고 있다. 그러나 각 기준들의 시험방법에 다소간의 차이가 있어, 동일한 제품에 대해서도 시험법에 따라 서로 상이한 결과가 나타날 수 있는 문제가 있다. 특히, 급속인장 등과 같이 규정된 시험법을 위반하여 시험을 수행할 경우에는 신뢰성이 떨어지는 결과를 얻을 수 있어 시험법의 통일과 준수에 매우 중요하다.

본 연구에서는 국내에서 많이 사용되고 있는 3개사에서 제작된 3종류의 지오그리드를 대상으로 ASTM 6637(2001)

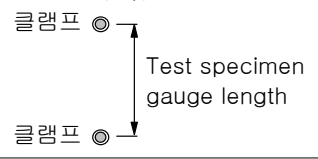
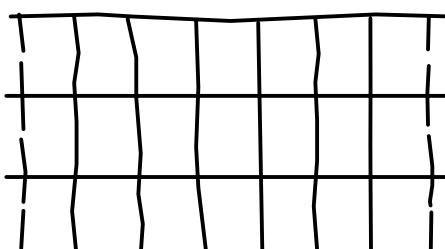
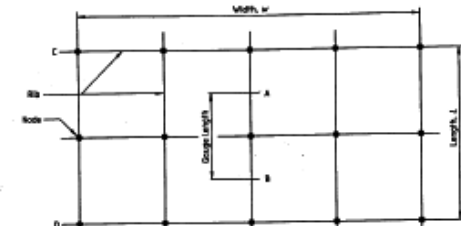
및 ISO 10319(1993) 규정에 따른 광폭인장강도시험을 수행하고, 이들 시험법에서 제시한 시료의 길이와 인장속도를 다양하게 변화시킨 경우에 대한 광폭인장강도시험을 수행하여, 시료의 길이 및 인장속도가 지오그리드의 광폭인장강도 특성에 미치는 영향을 고찰하였다.

2. 광폭인장강도시험

2.1 광폭인장강도시험법

국내외에서 지오그리드의 광폭인장강도 특성을 평가하기 위한 방법으로는 ASTM 6637 및 ISO 10319에 규정되어 있는 시험법을 많이 활용하고 있다. 두 시험법의 특징은 표 1에 나타난 바와 같다.

표 1. 광폭인장강도 시험법의 비교

항목	ASTM D 6637 (2001)	ISO 10319 (1993)
시험기	변형제어식 (CRE type) 인장시험기	변형제어식 (CRE type) 인장시험기
시험속도 결정을 위한 Gauge length	<ul style="list-style-type: none"> Test specimen gauge length : 상하 클램프의 중앙 사이 길이 (Roller Grip type) 	<ul style="list-style-type: none"> Extensometer 측정길이 (보통 6 cm 추천) Extensometer 사용하지 않을 경우 : 상하 클램프의 jaw 사이 길이 (보통 10 cm 추천, Roller Grip type 적용 안됨)
시료 길이	<ul style="list-style-type: none"> 상하 클램프 사이의 거리를 최소 30 cm 또는 3개 이상의 접점 (junction)을 포함 	<ul style="list-style-type: none"> 최소 10 cm 또는 1개 이상의 접점 (junction)을 포함 (jaw에 물려 있는 접점은 제외)
시료 폭	<ul style="list-style-type: none"> 최소 20 cm (5개 이상의 리브 포함) 좌우 양단에 있는 리브는 시험전에 절단 	<ul style="list-style-type: none"> 20 cm 추천 (양쪽 fringe 제외) <ul style="list-style-type: none"> 리브 간격이 7.5 cm 이하인 경우 : 5개 이상의 리브 포함 리브 간격이 7.5 cm 이상인 경우 : 2개 이상의 리브 포함 지오그리드 시료의 가장자리는 절점에서 1 cm 이상 남기고 절단 
시험 속도	Test specimen gauge length의 10 ± 3 %/min	Test specimen의 20 ± 5 %/min
변형 측정길이	Extensometer gauge length : 최소 6 cm (시료 중앙부, 1개 이상의 접점 포함)	최소 6 cm (시료 중앙부, 1개 이상의 접점 포함)
시료 수	신뢰성 평가를 통해 결정. 그렇지 않은 경우 5개 (나머지 시료들의 평균 측정값의 20% 이하로 나오는 시료는 제외)	5개 이상 (나머지 시료들의 평균 측정값의 50% 이하로 나오는 시료는 제외)

이들 시험법은 공통적으로 변형제어 방식(Constant Rate of Extension type)을 채용하고 있다. 즉, 인장시험기의 상·하 클램프(clamp)에 폭 20cm이상의 지오그리드 시료를 장착하고 일정한 속도로 인장을 가하면서 인장변형에 따른 인장강도를 측정하게 된다. 시험시 시료 인장에 따른 인장변형은 시료가 클램프에서 미끄러지는 영향을 최소화하기 위해 시료 중심부에 LVDT 등의 변위측정장치를 설치하여 측정하도록 하고 있다.

두 시험법의 차이는 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 ASTM 6637의 경우 클램프 사이의 최소 거리를 최소 30cm로 하고 시료가 파단될 때까지 분당 시료길이(클램프 사이의 시료길이)의 10±3% 속도로 인장을 가하도록 규정하고 있는 반면에, ISO 10319에서는 클램프 사이의 시료길이와 분당 인장속도를 각각 최소 10cm와 20±5%로 규정하고 있다는 점이다.

현재 국내에서는 지오그리드의 광폭인장강도 시험에 대한 KS 규격이 ISO 10319 규격에 준하여 제정되어 있으며, 대부분의 KS 규격이 ISO 규격에 맞도록 정비되고 있는 실정이므로, 발주처의 특별한 요구가 없는 경우에는 ISO 10319 규격에 따라 지오그리드의 광폭인장강도를 평가하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

2.2 지오그리드 시료

국내에서는 생산된 세 가지 종류의 지오그리드를 대상으로 일련의 광폭인장강도시험을 수행하여 시료 길이와 인장속도가 광폭인장강도특성에 미치는 영향을 평가하였다. 본 광폭인장강도시험에 사용한 세 종류 지오그리드 시료의 제조방법은 각각 아래와 같다.

- A 지오그리드 : 폴리에스터(polyester) 고강도 섬유를 격자형으로 교차시켜 제직/편직한 후 PVC로 코팅하여 제조
- B 지오그리드 : 폴리에스터 레진(resin)을 압출실린더에 통과시켜 편평한 바(bar)형태로 추출한 후 냉각, 연신 공정을 통하여 스트립(strip)형태로 만들고, 이를 격자형으로 교차시켜 레이저 등으로 용접하여 제조
- C 지오그리드 : 폴리에틸렌(polyethylene)을 판상으로 압출시킨 후 격자형태로 구멍을 내고, 1방향방향으로 연신하여 제조

2.3 실험 장치 및 내용

최대 측정용량이 265kN인 인장시험기(United SFM-60)

를 사용하여 광폭인장강도시험을 수행하였다. 본 인장시험기에는 시험시료의 변형량 측정을 위해 Laser - Extensometer 장치가 장착되어 있다. 한편, 지오그리드 시료는 비교적 강도가 큰 재료이므로 본 시험에서는 어느 정도의 미끄러짐을 허용하면서 안정된 시료장착이 이루어지는 롤 타입의 클램프를 사용하였으며, 지오그리드 시료가 클램프 내에서 손상되는 것을 방지하기 위하여 고강도 섬유재를 충전재로 삽입하였다. 그림 1은 광폭인장강도 시험 모습을 촬영한 사진이다.

한편, 본 연구에서 수행한 광폭인장강도시험의 종류 및 내용은 표 2에 나타내었다. 표 2에서 알 수 있는 바와 같이 국내에서 일반적으로 많이 사용하고 있는 대표적인 세 종류의 지오그리드를 대상으로, 시료길이(클램프 사이의 시료 파지길이)가 30cm 및 60cm인 경우에 대하여 각각 인장속도를 5%/min, 10%/min, 20%/min 및 30%/min로 조절하면서 일련의 광폭인장강도시험을 수행하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 표 2에 나타낸 각각의 실험조건에 대해



그림 1. 광폭인장강도시험 모습

표 2. 실험종류 및 내용

지오그리드 종류	시료길이(cm)	인장속도	
		mm/min	%/min
A	30	15	5
B		30	10
C		60	20
		90	30
A	60	30	5
B		60	10
		120	20
C		180	30

여 7회 이상씩의 광폭인장강도시험을 수행하였으며, 실험 결과가 큰 차이를 보이는 경우를 제외하고 유사한 경향을 보이는 5회의 실험결과를 분석하였다.

표 3은 본 연구에서 수행한 광폭인장강도시험 결과를 정리한 결과이다. 광폭인장강도시험 결과 시료길이에 따른 광폭인장강도는 그림 2에 나타내었고, 인장속도에 따른 광폭인장강도는 그림 3에 정리하였다.

3.1 시료길이의 영향

그림 2에 나타낸 세 종류의 지오그리드에 대하여 시료 길이를 30cm 및 60cm로 변화시키면서 수행한 광폭인장 강도시험 결과를 살펴보면, A 및 B 지오그리드의 경우는 시료길이가 30cm 및 60cm인 경우에 대한 실험결과가 대체적으로 유사하게 나타났다. 따라서 이 두 종류의 지오그리드는 시료길이에 대한 인장속도의 비가 동일한 경우, 시료길이의 변화가 광폭인장강도의 크기에 미치는 영향이 미소함을 알 수 있다. 반면에 C 지오그리드의 경우에는 시료길이가 60cm인 경우가 30cm인 경우에 비해 광폭인장강도를 대략 1~9 % 크게 평가하는 것으로 나타났다.

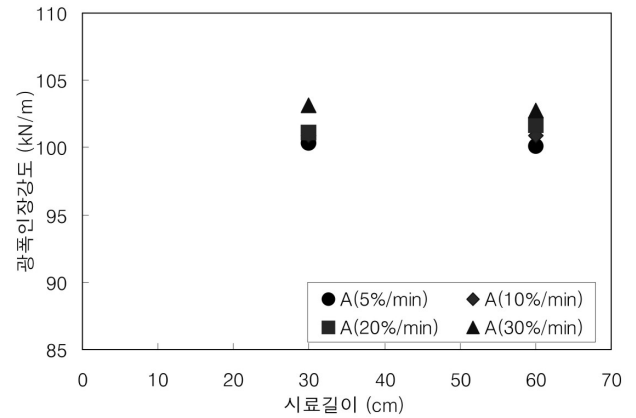
3.2 인장속도의 영향

인장속도에 따른 광폭인장강도를 나타낸 그림 3을 살펴 보면, 세 종류의 지오그리드 모두 인장속도가 빠를수록 광폭인장강도가 대체로 크게 측정되는 경향을 보이고 있으며, 5%/min속도로 인장한 경우에 비해 30%/min속도로 인장한 경우 광폭인장강도를 3%~23% 크게 측정하는 것으로

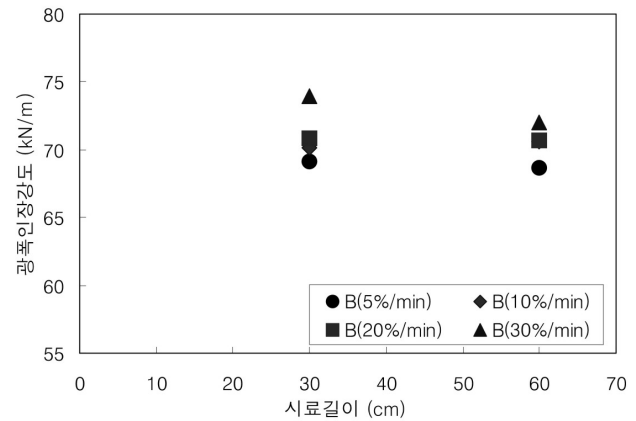
표 3. 광폭인장강도 시험 결과

지오그리드 종류	인장속도(%/min)	광폭인장강도(kN/m)	
		시료길이 30cm	시료길이 60cm
A	5	100.3	100.1
	10	100.9	100.9
	20	101.1	101.7
	30	103.2	102.8
B	5	69.1	68.6
	10	70.1	70.6
	20	70.8	70.7
	30	73.9	72.0
C	5	66.0	72.1
	10	71.9	74.7
	20	78.9	79.6
	30	81.1	82.2

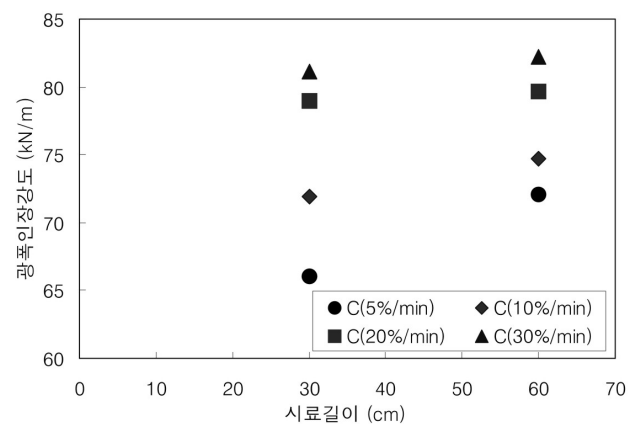
로 나타났다. 5%/min속도로 인장한 경우에 대한 30%/min속도로 인장한 경우의 인장강도 증가율은 A, B 및 C 지오그리드 각각 대략 3%, 5~6% 및 14~24%인 것으로 평가되어, C 지오그리드가 시험시 인장속도의 영향을 가장 크게 받음을 알 수 있다.



(a) A 지오그리드

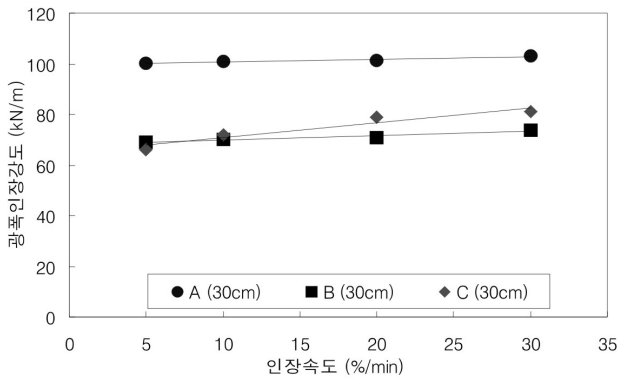


(b) B 지오그리드

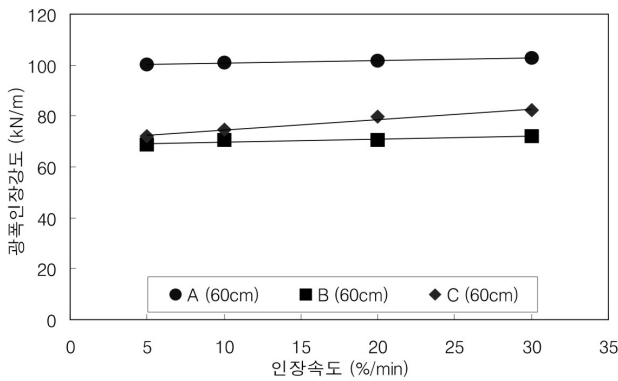


(c) C 지오그리드

그림 2. 시료길이에 따른 광폭인장강도



(a) 시료길이가 30cm인 경우



(b) 시료길이가 60cm인 경우

그림 3. 인장속도에 따른 광폭인장강도

결론적으로, 본 연구에 사용한 세 가지 종류의 지오그리드의 경우, 시료길이 보다 인장속도가 인장강도 특성에 더 크게 영향을 미침을 알 수 있었다. 또한 지오그리드의 재질 및 제조 방법에 따라 광폭인장강도 시험조건이 지오그리드 인장강도특성에 미치는 영향정도가 달라지게 되며, 폴리에틸렌(polyethylene)으로 제조된 지오그리드가 폴리에스터(polyester)로 제조된 지오그리드에 비해 인장속도의 영향을 더 크게 받게됨을 알 수 있었다. 즉, 지오그리드의 재질 및 제조방법에 따라 상당히 클 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 지오그리드 보강토 구조물의 합리적인 설계/시공을 위해서는 인장강도시험법에 대한 규정 정립과 이의 엄밀한 준수가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

또한 지오그리드의 인장강도 특성은 온도, 시료의 길이, 변형 측정 방법, 인장속도 및 시험장치 등 여러 인자들의 영향을 받을 수 있기 때문에, 광폭인장강도 시험결과 성적서에는 광폭인장강도시험 결과의 신뢰성 확보와 설계/시공에의 합리적인 반영을 위하여 아래와 같은 항목을 반드시 포함시켜야 할 것으로 사료된다

- 제품명
- 실험일자
- 실험자
- 시료 샘플
- 그리드 규격
- 시험 온도
- 시료 길이 및 폭 (포함된 접점 개수)
- 인장 속도
- 변형 측정길이
- 클램프 형태
- 적용된 시험법
- 시료 갯수
- 평균 인장강도
(2%, 5%, 최대변형률에서의 평균 인장강도)
- 인장변형률-인장강도 곡선

4. 결론

본 연구에서는 국내에서 많이 사용되고 있는 세 종류의 지오그리드를 대상으로 시편의 길이와 인장속도를 다양하게 변화시킨 경우에 대한 광폭인장강도시험을 수행하여, 시편의 길이 및 인장속도가 지오그리드의 광폭인장강도특성에 미치는 영향을 고찰하였다. 연구결과 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 인장속도를 5%/min, 10%/min, 20%/min 및 30%/min로 조절하면서 광폭인장강도시험을 수행한 결과, 인장속도가 빠를수록 광폭인장강도가 크게 측정됨을 알 수 있었다. 즉, 5%/min속도로 인장한 경우에 비해 30%/min속도로 인장한 경우 광폭인장강도를 3%~23% 크게 측정하는 것으로 나타났다.
2. 시료길이 보다 인장속도가 지오그리드의 인장강도 특성에 더 크게 영향을 미친다. 또한 지오그리드의 재질 및 제조 방법에 따라 광폭인장강도 시험조건이 지오그리드 인장강도특성에 미치는 영향정도가 달라지게 되며, 폴리에틸렌(polyethylene)으로 제조된 지오그리드가 폴리에스터(polyester)로 제조된 지오그리드에 비해 인장속도의 영향을 더 크게 받는다.
3. 광폭인장강도에 미치는 인장속도의 영향은 지오그리드의 재질 및 제조방법에 따라 상당히 클 수 있기 때문에 지오그리드 보강토 구조물의 합리적인 설계/시공을 위

해서는 인장강도시험 방법 및 시험성적서 작성 요령에 대한 규정 제정과 이의 엄밀한 준수가 반드시 필요하다.

4. 현재 국내에서는 지오그리드의 광폭인장강도 시험에 대한 KS 규격이 ISO 10319 규격에 준하여 제정되어 있으며, 대부분의 KS 규격이 ISO 규격에 맞도록 정비되고 있는 실정이므로, 발주처의 특별한 요구가 없는 경우에는 ISO 10319 규격에 따라 지오그리드의 광폭인장강도를 평가하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. ASTM D 6637 (2001), *Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Geogrids by the Single or Multi-Rib Tensile Method*, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, P.A.
2. Austin, D.N., Wu, K.K. & White, D.F. (1993), "The influence of test parameters and procedures on the tensile modulus of stiff geogrids", *Geosynthetic Soil Reinforcement Testing Procedures*, ASTM STP 1190, S.C. Jonathan Cheng, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, pp.90-110.
3. ISO 10319 (1993), *Geotextiles: Wide-width tensile test*, International Organization for Standardization, Switzerland.

(논문접수일 2007. 4. 5, 심사완료일 2007. 5. 15)