

건축용 유리섬유 막재의 반복하중 시험

Cycling Load Test of Architectural Glass Fiber Membrane

박 강 근* 윤 성 기* 이 장 복** 진 우 홍***
Park, Kang-Geun Yoon, Sung-Kee Lee, Jang-Bok Jun, Woo-Hong

요 약

건축용 막재는 자유로운 형태와 가벼움 때문에 전 세계적으로 대공간 구조물에 많이 사용되어 왔다. 건축용 막재가 바람이나 눈하중에 의해서 하중 조건하에서 구조적 문제를 발생하여 막재가 파손되는 경우가 발생하였다. 본 논문에서는 유리섬유 막재는 대한 1축인장시험 및 반복하중 시험을 수행하여 응력 변형도 곡선을 분석하고자 한다. 반복하중 시험에서 얻은 응력 변형도 곡선에서 유리섬유 막재는 반복하중이 작용할 시에 인장강도 이하에서 파단한다는 것을 알 수 있고, 폴리에스터 막재는 반복하중에 의해서 변위가 점차적으로 증가한다는 것을 보여주었다.

Abstract

Architectural membrane are now used in the roof of large span structures throughout the world with the merits of free shape and lightness. Some membrane have some problems of structural capacity by the wind or snow load conditions, large span structures was shown to the tearing of the membrane. This paper is the experimental test on the stress strain curve of cycling load for the glass fiber membrane. In the result of stress strain relationship curve by the cycling load, glass fiber membrane was reduced the tensile strength, the polyester membrane was shown to occur the increase of displacement without load reduction in each load step.

키워드 : 건축용 막, 대공간 구조, 응력 변형도 곡선, 반복하중

Keywords : Architectural membrane, Large span structures, Stress strain curve, Cycling load

1. 서 론

유리섬유 막재나 폴리에스터 건축용 막재는 현재 전 세계적으로 광범위하게 사용되어 대공간 뿐 만 아니라 일반 건축물에서도 재료와 형태 디자인적인 면에서 많은 발전을 이루었다. 최근에는 건축용 막재료가 합성섬유나 유리섬유로 만들어져 물리적인 특성이 우수한 소재들이 개발되었고, 이러한 건축용 막재의 가장 큰 특징은 가볍고 반투명하며 잘

접히기 때문에 대공간 구조 시스템의 지붕재료로 많이 사용되어 왔다. 1940년도에는 폴리에스터 섬유 막재가 개발 되었고, 1970년대에는 PTFE 코팅 유리섬유 막재가 개발되어 우리나라 월드컵 경기장 및 기타 경기장의 지붕 등의 대공간 구조물의 지붕 재료로 많이 사용되어 왔다.¹⁾²⁾ 건축용 막재가 국내에서 많이 사용되어 왔지만 아직 체계적인 시험 방법이나 역학적 특성에 대해서 정립되지 못하여 설계 및 시공 시에 재료의 역학적 특성을 잘못 이해하여 태풍이나 적설하중에 의해서 막재가 파손되어 건축물의 안정성 및 내구성에 문제점들이 발생되고 있는 현실이다. 본 연구에서는 유리섬유 코팅 막재 및 폴리에스터 막재에 대한 반복하중에 대한

* 정회원 · 부산대학교 교수, 공학박사

Tel: 055-350-5345 Fax:055-350-5349

E-mail : sampgk@pusan.ac.kr

** 정회원 · 동아피앤에스 대표이사, 공학박사

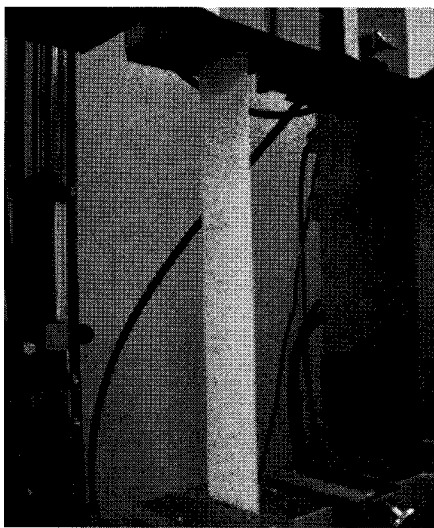
** 한국의류시험연구원부산지부, 공학석사

인장강도 시험을 수행하여, 건축용 막재가 반복하중에 대한 역학적 성능을 평가 하고자 한다.

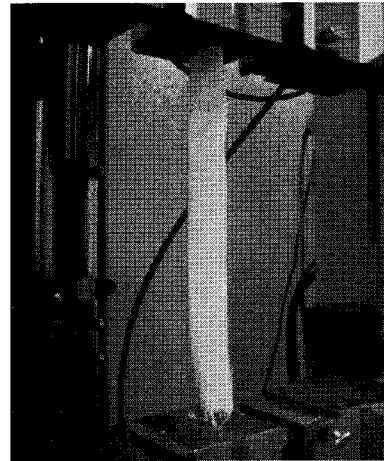
2. 유리섬유 막재의 반복하중 시험

2.1 막재의 인장강도 시험

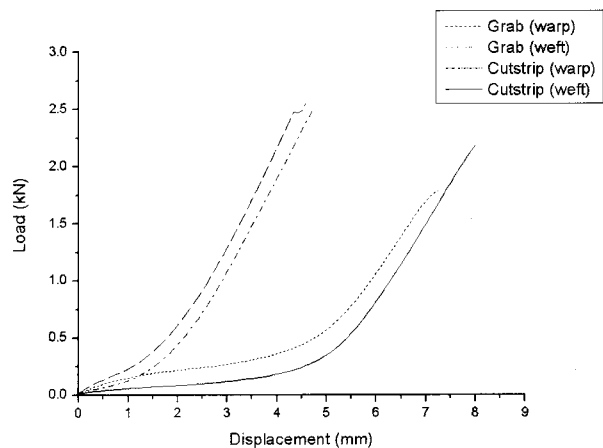
건축용 막재의 1축 인장강도 시험법은 막재의 인장강도, 탄성계수, 신율 등을 구하기 위해서 스트립법(Strip method)과 그레브법(Grab method)으로 분류할 수 있다. 스트립 법에 의한 인장강도 시험은 KSK K 0521(시험체 폭 50mm, 물림간격 200mm, 시험속도 50mm/min), JIS L 1096(시험체 폭 30mm, 물림간격 200mm, 시험속도 200mm/min), ASTM D 4851(시험폭 25.4mm, 물림간격 75mm, 시험속도 50mm/min), DIN 53354(시험체 폭 50mm, 물림간격 300mm, 시험속도 100mm/min)에 정의 되어 있다. 그레브법에 의한 직물의 인장 강도는 KSK K 0521(시험체 폭 100mm, 물림간격 100mm, 시험속도 50mm/min), ISO 13934(시험체 폭 100mm, 클램프 간격 100mm, 시험속도 50mm/min)에 정의되어 있다. 필요한 경우에 시험체 크기를 임의로 조정할 수 있도록 하였다.³⁾⁴⁾



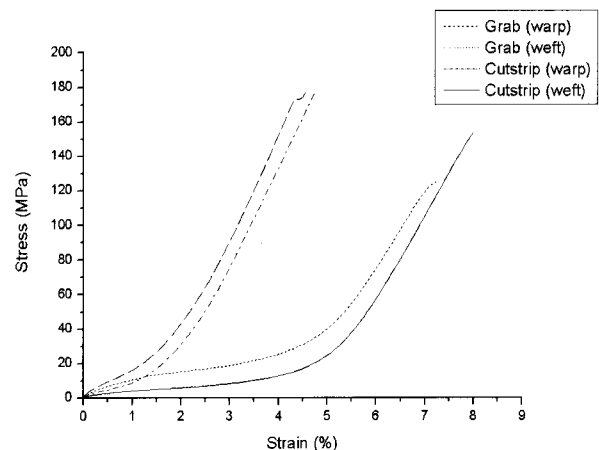
〈그림 1〉 유리섬유 막재의 인장시험 사진(스트립법)



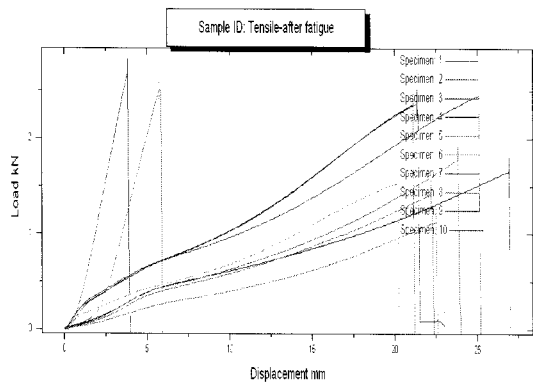
〈그림 2〉 유리섬유 막재의 인장시험 결과
(건축용 막 시험체 두께: 0.58mm)



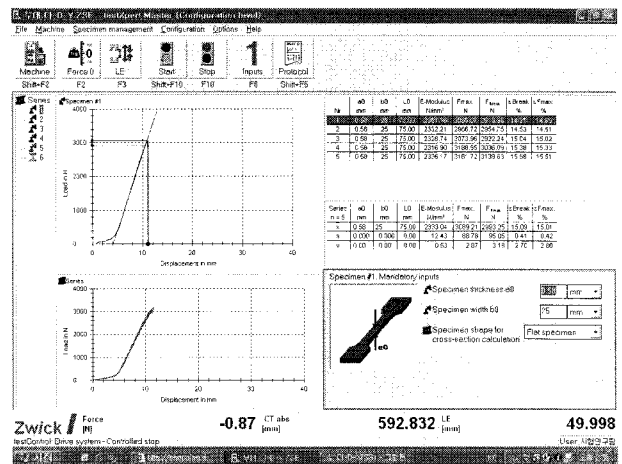
〈그림 3〉 스트립법과 그레브법에 의한 경사 및 위사 방향 하중-변위 곡선 비교(시험체: 폭 25mm, 물림간격 100mm, 두께 0.58mm)



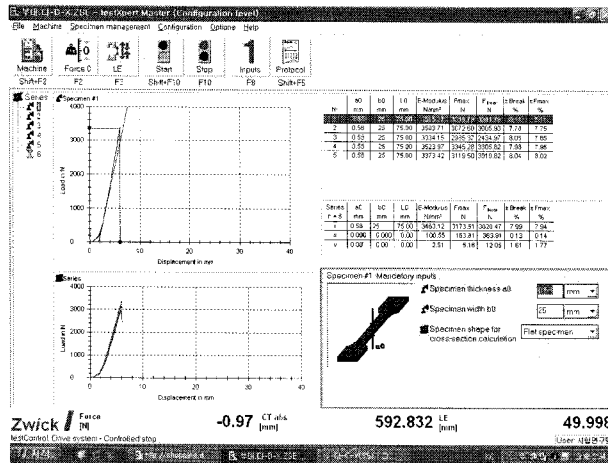
〈그림 4〉 스트립법과 그레브법에 의한 경사 및 위사 방향 응력-변형도 곡선 비교



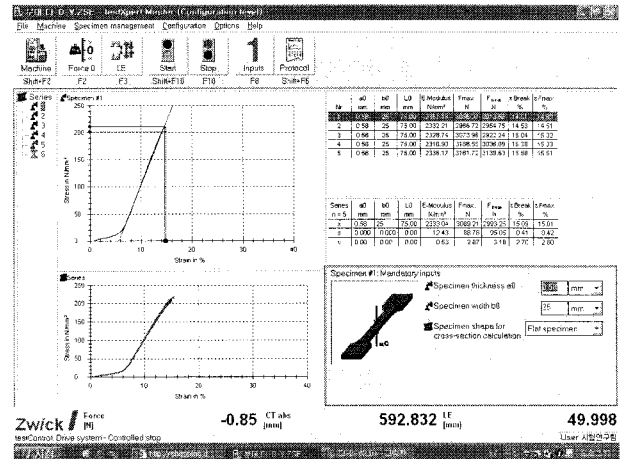
〈그림 5〉 유리섬유 막재(시험체1-2)와 폴리에스터 막재(시험체3-10)의 하중-변위 곡선 비교(시험체: 폭 25mm, 물림 간격 100mm)



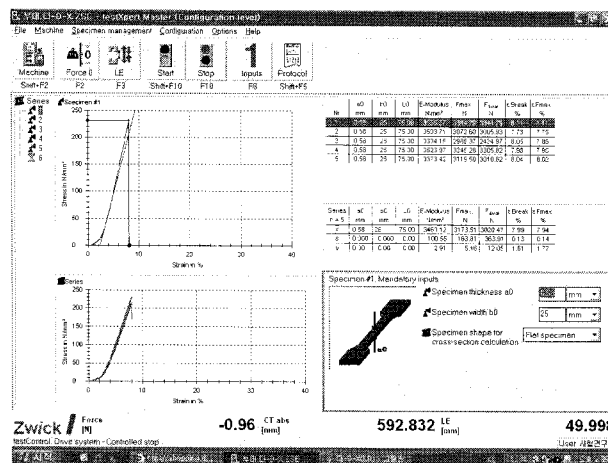
〈그림 8〉 스트립법에 의한 위사방향 하중-변위 곡선 (시험체: 폭 25mm, 물림 간격 200mm)



〈그림 6〉 스트립법에 의한 경사방향 하중-변위 곡선 (시험체: 폭 25mm, 물림 간격 200mm)



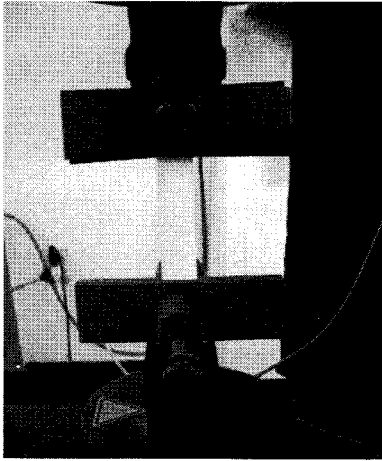
〈그림 9〉 스트립법에 의한 위사방향 응력-변형 곡선 (시험체: 폭 25mm, 물림 간격 200mm)



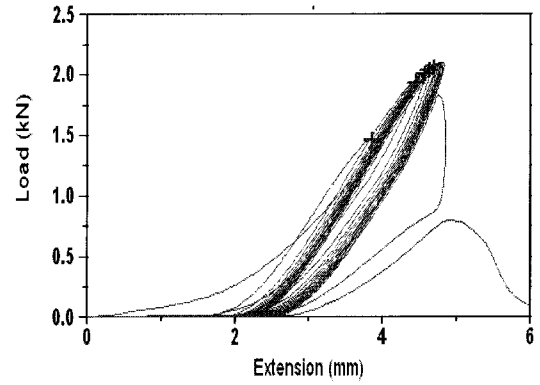
〈그림 7〉 스트립법에 의한 경사방향 응력-변형 곡선 (시험체: 폭 25mm, 물림 간격 200mm)

2.2 막재의 반복하중 시험

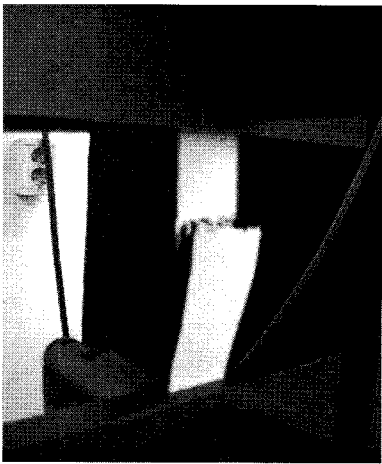
건축 구조물에 사용되는 막재는 지중, 프리스트레스, 바람 등의 하중에 의해서 반복적인 하중을 받고 있고, 경사 방향과 위사 방향의 내력이 다르기 때문에 설계 시에 막재의 역학적 특성을 고려하여 설계를 수행하여야 한다. 본 연구에서는 유리섬유의 인장시험체를 사용하여 반복인장하중 시험을 수행하였다. 1축 반복하중 경사방향 시험체 시편은 폭 25mm, 길이 100mm, 클리프 물림 길이는 20mm로 하였다.



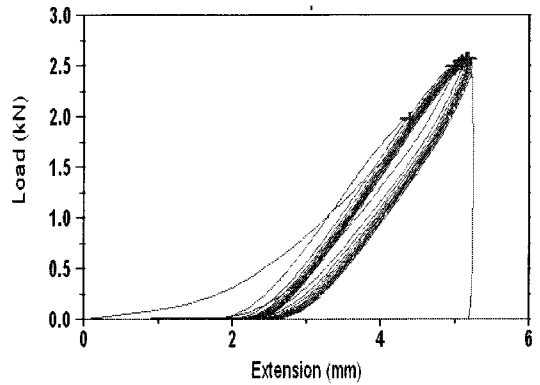
〈그림 10〉 유리섬유 막재의 반복하중시험 사진
(시험체폭 25mm, 물림 길이 10mm)



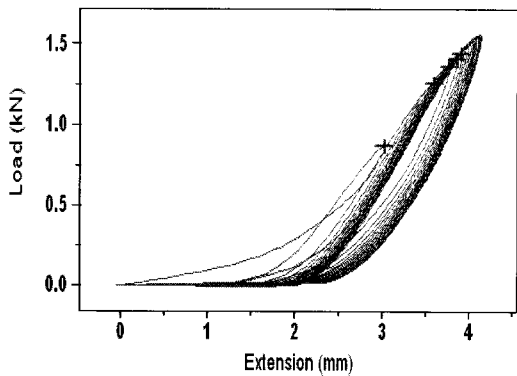
〈그림 13〉 반복하중에 의한 응력-변형 곡선
(하중범위 0-2.2kN, 16사이클에서 파단)



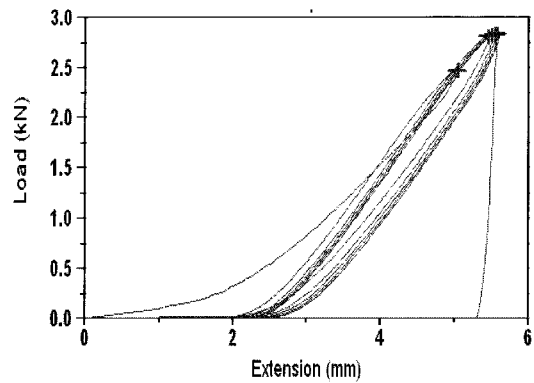
〈그림 11〉 유리섬유 막재의 반복하중시험 파단결과



〈그림 14〉 반복하중에 의한 응력-변형 곡선
(하중범위 0-2.5kN, 13사이클에서 파단)



〈그림 12〉 반복하중에 의한 응력-변형 곡선
(하중범위 0-1.5kN)



〈그림 15〉 반복하중에 의한 응력-변형 곡선
(하중범위 0-2.8kN, 6사이클에서 파단)

3. 유리섬유 막재의 시험결과 고찰

3.1 1축 인장강도에 대한 분석 및 고찰

본 연구에서는 유리섬유 막재에 대한 1축 인장시험에 대한 결과를 하고자 한다. 1축 인장시험에서는 막재의 탄성계수와 신율을 구할 수 있었다.

막재의 1축 인장시험 결과에서 유리섬유 막재의 경사방향에 대한 탄성계수는 3460 N/mm²으로 측정 되었고, 위사방향의 탄성계수는 2333 N/mm²으로 측정 되었다. 탄성계수의 측정 시에 초기의 슬립은 무시하고, 측정해야 한다. 1축 인장시험과 반복하중에 대한 시험결과를 분석해 볼 때 경사방향의 신율은 7.94% 정도이고, 위사방향이 신율은 15.01%로 측정되었다. 신율이 물림부분의 미끄러짐 현상으로 측정시 매우 어렵다는 것을 보여주고 있다. 유리섬유 막재의 경사방향 인장강도는 1624 N/cm이고, 경사방향의 인장강도는 1235 N/cm이다. 유리섬유 막재의 인장 시험시에 변형도는 물림부분에서 초기 유리섬유 막재는 섬유의 제작방법에 따라서 경사방향과 위사방향의 인장강도가 현저히 차이가 있기 때문에 막재의 설계시에 장변과 단변에 대한 방향성을 고려해서 설계를 해야 한다. 일본 막구조협회에서는 2축 인장 시험을 통하여 탄성계수를 구하도록 하고 있으나, 국내에서는 여건상 시험기가 갖추어지지 않았고, 실제 크리이프 인장 시험기를 통하여 단순 인장 시험은 가능 하다고 판단된다. 크리이프 시험기에 의한 2축 인장 시험은 천안 생산기술연구소에 갖추어져 있으나 아직 시험단계의 시험을 수행하고 있다.

〈표 1〉 경사방향 인장시험 결과

경사 방향	두께 (mm)	탄성계수 (N/mm ²)	최대값 (N)	신율 (%)
1	0.58	3565	3344	8.11
2	0.58	3503	3005	7.75
3	0.58	3334	2434	7.85
4	0.58	3523	3305	7.95
5	0.58	3373	3010	8.02
평균	0.58	3460	3010	7.94

〈표 2〉 위사방향 인장시험 결과

위사 방향	두께 (mm)	탄성계수 (N/mm ²)	최대값 (N)	신율 (%)
1	0.58	2351	3055	14.03
2	0.58	2332	2966	14.51
3	0.58	2328	3073	15.02
4	0.58	2316	3188	15.33
5	0.58	2336	3161	15.51
평균	0.58	2333	3089	15.01

〈그림 5〉에서는 유리섬유 막재료 1종류와 폴리에스터 막재 3종류에 대해서 경사방향과 위사방향에 대해서 1축 인장시험을 수행하여 하중-변위 곡선을 비교한 것이다. 폴리에스터 막재의 변위는 20-30% 정도로 주어졌고, 유리섬유 막재에 비해서 변형이 매우 크다는 것을 알 수 있다. 실제 반복 하중의 시험에서도 반복 가력 후에 변형이 회복이 잘 안됨을 알 수 있었다.

인장시험 방법대한 그래브법과 스트립법의 비교에서 스트립법은 클립 물림 부분에서 슬립이 발생하고 그래브법은 지그 물림부분에서 바로 파단되어 찢어지는 현상이 발생함을 알 수 있었다.

3.2 반복하중에 대한 분석 및 고찰

본 연구에서는 유리섬유 막재의 반복하중에 대한 역학적 특성을 분석하기 위해서 하중을 몇 단계로 나누어서 반복하중을 수행하였다. 파단강도의 약 73% 범위의 하중에서 16사이클에서 파단이 일어났다. 비교적 반복 회수가 적은 하중에서도 파단강도 이하에서 끊어진다는 것을 알 수 있다. 유리섬유 막재의 경사방향 신율이 5-6%정도로 측정 되어, 1축 인장 시험에서 보다는 작게 주어졌다. 실제의 신율은 이 값 보다 작을 것으로 사료된다. 실제 막 구조물은 자중이나 프리스트레스 힘이 가해진 상태에서 바람 등의 하중에 의해서 반복적으로 하중을 받고 있기 때문에 보다 심도 있는 시험을 통한 연구가 필요하다고 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 유리섬유 막재에 대한 역학적 특성을 파악하기 위해서 1축 인장시험 및 반복하중 시험을 수행 하였다.

(1)유리섬유 막재의 인장시험 결과에서는 막재의 인장강도, 탄성계수, 신율 등에 대한 값을 구할 수 있었다.

(2)유리섬유 막재의 반복하중 시험결과에서는 파단 강도의 약 73%의 범위에서 16사이클 정도의 비교적 적은 반복에서도 파단이 된다는 것을 알 수 있었다.

앞으로 건축용 막재의 역학적 성능을 보다 명확히 규명하기 위해서는 2축 인장시험, 전단시험, 접합부 시험, 인열강도 시험 등이 추가로 연구되어야 한다고 사료 된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시개발사업의 연구비지원(과제번호 #06 R&D B03)에 의해서 수행되었습니다.

참고문헌

1. Membrane Design and Structures, Modern Architecture Series, 1999.11
2. Technical Information on Permanent Architectural Membrane Material, Chukoh Chemical Industries, 2005
3. 한국산업규격, 한국표준협회, 2006
4. 막재료의 품질성능 시험방법, 일본 막구조 협회, 2003
5. 박강근, 이장복, 김광일, "폴리에스터 막재의 인장강도에 관한 시험", 한국공간구조공학회 국제심포지움 및 춘계학술발표회 논문집, 2007. 5, pp. 79-84
6. 박강근, 윤성기, 한규원, "폴리에스터 막재의 인열강도에 관한 시험", 한국공간구조공학회 국제심포지움 및 춘계학술발표회 논문집, 2007. 5, pp. 85-90