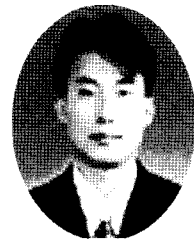


건축용 막재의 인장강도 시험방법

Testing Method of Tension Strength for Architectural Membrane Material



박 장 근*
Park, Kang-Geun



박 성 민**
Park, Seong-Min

1. 막재의 인장강도시험

막이라는 건축 재료는 아주 오랜 옛날부터 텐트나 유목민족의 이동식 천막에 사용되어 왔다. 최근에는 합성섬유나 유리섬유가 만들어지고 내구성이나 방화성, 방수성이 보다 강화된 코팅소재가 새롭게 개발된 결과, 전통적인 막재의 부족했던 항구성과 안전성이 이들 섬유소재에 부여되었다. 막재료의 가장 큰 특징은 반투명하고 가볍고 잘 접히기 때문에 대공간 구조에 적절하고, 전통적인 구조방식이나 재료로는 만들 수 없었던 공간을 막 재료 한 장으로 덮을 수 있다는 점이다. 이와 반대로, 한 장의 얇은 막 재료 때문에 생기는 문제, 즉 소음, 단열, 인열강도 등의 문제를 안고 있다. 막 재료에 대한 소재 개발의 변천과정은 다음과 같다. 1930년대에 PVC, PTFE가 개발 되었고, 1940년대에는 폴리에스테르 섬유가 개발 되었다. 1970년대에는 PTFE 코팅 유리 섬유 막 재료가 개발 되었고, 최근에는 비닐과 같이 햇빛 투광성 및 균질성이 좋은 ETFE 막재가 개발되어 사용되고 있다. 이러한 새로운 소재의 개발은 막

구조 분야에 새로운 방향을 제시했다. 그 내구성은 스테인레스 스틸에 필적 하면서도 항구적인 건축소재로 인식되었다. 폴리에스테르 섬유에 코팅한 막은 경제적이고 구김에 강하고, 인열 강도가 좋아서 막 재료 분야에 새로운 가능성은 제시하고 있다. 과거의 막 재료 사고 예를 살펴보면 다음과 같다. 유리 섬유 막 재료는 유리섬유의 재질의 특성에 의해서 인열에 의해서 파손되는 경우가 많다. 강풍에 의한 막 재료의 찢어짐, 집중호우에 의한 막 면의 폰딩에 의한 파손, 강풍에 의해서 에어돔이 심하게 팽창에 의한 패널의 손상, 눈의 하중에 의한 막 곡면의 폰딩에 의한 붕괴, 에어돔의 내부 압력 관리 부족에 의한 붕괴 등에 의한 사고들이 있었다. 이러한 문제점 들을 개선하기 위해서는 막 재료의 기초적인 성능에 조사가 필요하다. 막 재료는 섬유에 속하기 때문에 섬유의 시험기준에 따라야 한다. 대공간 구조에 사용하는 섬유는 일반 섬유보다도 매우 강하고 두껍기 때문에 섬유의 시험법을 사용하는 것이 적합하지 않을 가능성이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점들을 분석하기 위해서 섬유의 시험법을 분석하고, 건축용 막재의 인장시험을 수행하여 인장강도, 신율, 탄성계수 등을 측정하고자 한다.

* 정회원 · 부산대학교 산업건축과 교수, 공학박사

** 한국염색기술연구소 실장

1.1 스트립법에 의한 인장강도 시험방법

직물의 인장강도 및 신도를 스트립 법(strip method)으로 측정하는 방법에 대해서는 KSK K 0521(2001)에서 규정되어 있다. 이 방법은 호제에 의해서 처리되거나 또는 처리되지 않은 상태의 직물 모두 적용이 가능하다. 이 방법은 직물의 표준상태와 습윤 상태의 인장강도와 신도의 측정에 적용할 수 있다. 시험편의 크기는 다음과 같다. 시험편의 폭은 50mm, 길이는 클램프 간격 200mm에 파지할 수 있는 크기로 한다. 단 파단 신도가 75%를 초과하는 직물은 클램프 간격을 100mm로 할 수 있다. 재료의 규격에 서술되어 있거나, 당사자 간에 합의 된 경우는 폭이 50mm 이외의 크기로 할 수 있다. 시험편의 밀도가 성근 직물의 경우는 시험편 폭 방향으로 20을 이상이 포함 되도록 폭을 조정한다.

시험편의 준비는 다음과 같다. 각 시험편은 길이 방향이 직물의 경사 또는 경사 방향과 평행하고, 우선 풀어낼 올 수 만큼 더 넓게 절단하여 규정된 폭이 되도록 양쪽으로 동일한 올 수를 풀어낸다. 이때 올 수를 풀어낸 부분의 길이가 시험할 때 길이 방향의 올이 빠져나가지 않도록 하기 위해 약 5mm, 또는 15올을 풀어내면 충분하다. 단, 매우 성근의 직물인 경우는 1cm, 반대로 밀도가 큰 직물은 5mm보다 작아도 좋다. 이와 같은 방법으로 올을 풀어낼 수 없는 직물의 경우는, 경사 방향 및 위사 방향의 시험편을 50mm 폭으로 각방향의 올과 나란하게 채취한다. 시험용 시료는 2조의 시험편을 채취한다. 1조는 경사방향, 1조는 위사방향으로 채취한다. 단사간의 합의가 없다면, 각조는 5개 이상으로 한다. 보다 정밀도가 높은 시험을 요구할 경우는 시험편의 수를 증가 시킨다. 열의 영향을 받기 쉬운 경우를 제외하고 시험편을 채취하기 위한 시험실용 시료는 프리 컨디션닝에 따라 12시간 이상 방치한다. 파지면의 폭은 적어도 60mm 이상은 되어야 한다. 클램프에서 파지면이 미끄러지지 않도록 하기 위해서 적당한 물질을 파지면에 대어준다. 이와 같은 물질로는 고무, 종이, 펠트, 가죽 및 플라스틱이 있다. 클램프에서 미끄러지거나 클램프 모서리에서 5mm 이내에서 파단된 시험결과는 버린다. 실험실용 시료는 벌크 샘플로부터 전 폭으로 적어도 1m 길이의 시험

실용 시료를, 각 벌크 끝 부분에서 적어도 3m 이상 떨어진 곳에서 무작위로 채취한다. 이 시료는 주름이나 기타 외관상의 결점이 포함하지 않아야 한다. 시험실용 시료로부터 시험편을 채취할 때는 직물의 양면에서 전체 나비의 1/10 이상 떨어진 곳에서 채취하고, 경사에 대한 시험을 할 때에는 시험편의 긴 방향이 경사와 평행하게 되어야 하며, 위사에 대한 시험을 할때는 시험편의 긴 방향이 위사와 평행하게 되어야 한다.

1.2 그라브 법에 의한 인장강도 시험 방법

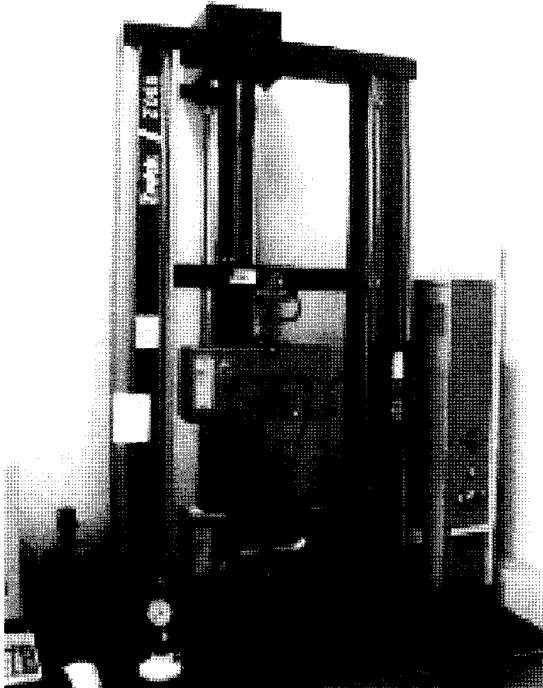
이 규격은 ISO 13934-2 (Textiles-Tensile properties of fabrics-Part 2: Determination of maximum force using the grab method)를 기초로 작성한 한국산업 규격이다. 직물의 인장강도 및 신도를 그라브 법 (grab method)으로 측정하는 방법에 대해서는 KSK K 0521에서 규정되어 있다. 시험편의 준비는 다음과 같다. 시험용 시료로부터 2세트의 시험편을 채취한다. 세트는 경사방향, 1세트는 위사방향에서 채취해야 한다. 시료의 컨디션닝은 최소한 24시간 동안 방치하는 것을 권한다. 각 세트는 5개 이상이어야 한다. 시험편들은 시험용 시료의 각 가장자리에서 150mm 이상 떨어진 위치에서 채취해야 한다. 시험편의 폭은 100mm이어야 하고, 길이는 파지 거리를 100mm로 하기에 충분한 길이가 되어야 한다. 필요에 의해서 75mm로 할 수 있다. 각 시험편에 대해서 폭 방향 끝에서 38mm 떨어진 곳에 길이방향의 올과 나란하게 전 길이에 걸쳐 선을 긋는다. 인장시험기의 신장 속도는 50mm/min으로 한다. 최대하중은 뉴턴 단위로 기록하고, 최대하중까지 늘어난 길이는 밀리미터 단위로 기록하거나, 신도를 퍼센트 단위로 기록한다. 각 시료 방향에 대해서 최소한 5개의 시험편에 대해서 시험을 한다.

1.3 막재의 1축 인장강도 시험

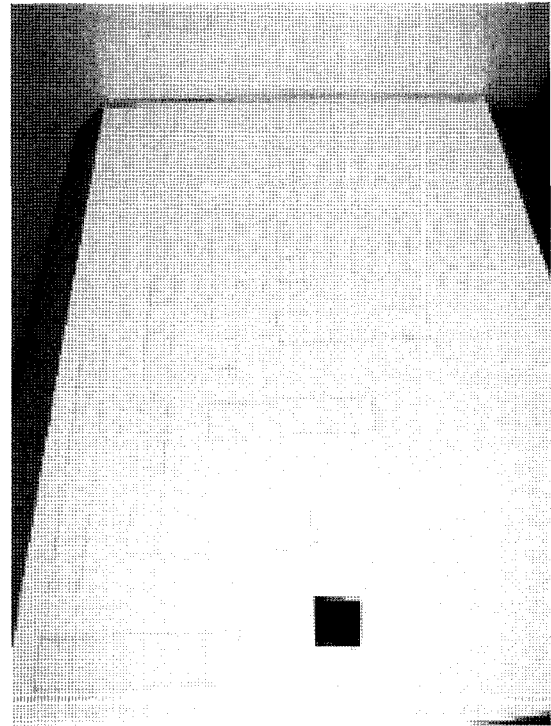
건축용 코팅 막의 인장시험 결과는 다음과 같다. 폴리에스터 막재 및 유리섬유 막재의 2종류로 하였다. 인장상도 시험에서는 폴리에스터 코팅 막 재의 하중-변위 곡선에서는 최대내력, 최대변위를 알 수 있

고, 응력-변형도 곡선에서는 신율, 탄성계수 등을 구할 수 있다. 시험체는 폭 30mm, 파지 길이는 200mm로 하여 시험을 수행 하였다. 시험 속도는 50mm/min으로 시험을 수행하였고, 시험체의 시편은 각각 5개

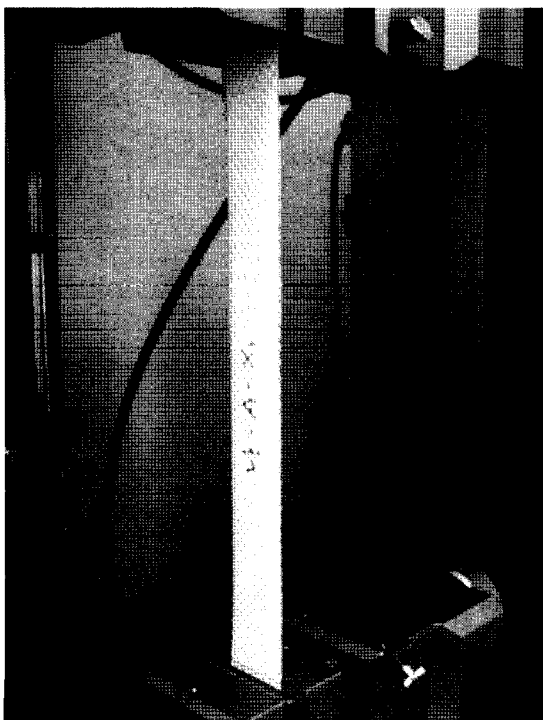
로 하여 수행하였다. 인장시험 결과 폴리에스터 코팅 막재의 신율은 20.10-31.35% 범위였고, 탄성계수는 333-486 N/mm²의 값을 얻었다. 유리섬유 코팅 막 보다는 변형율이 크고 탄성계수는 적음을 알 수 있다.



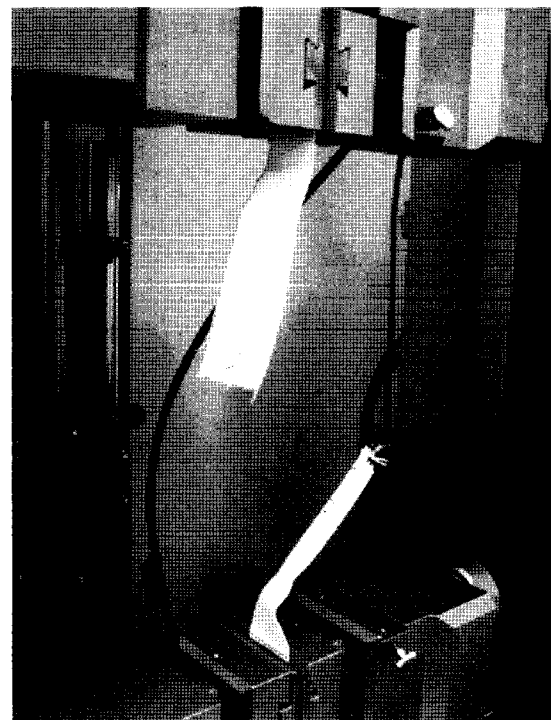
〈그림 1〉 섬유 인장 시험용만능재료시험



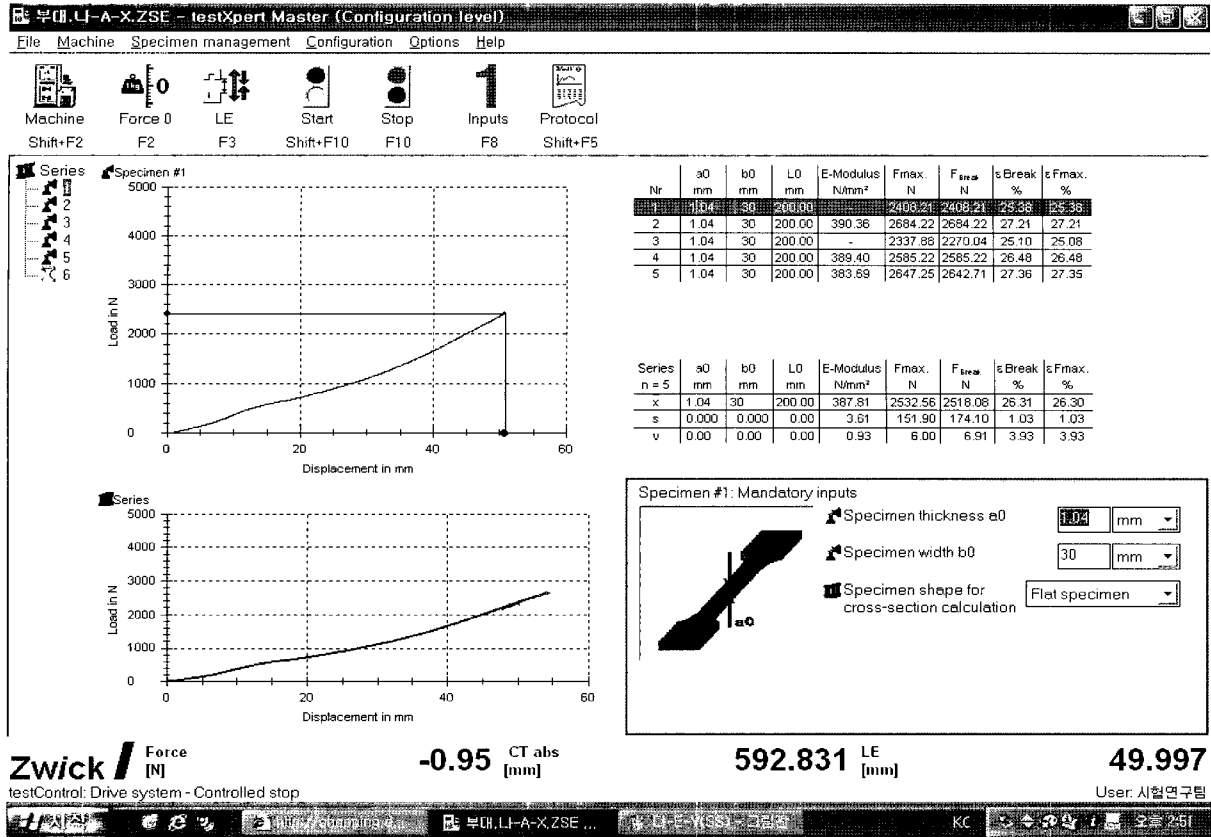
〈그림 2〉 인장 시험용 시편 제작



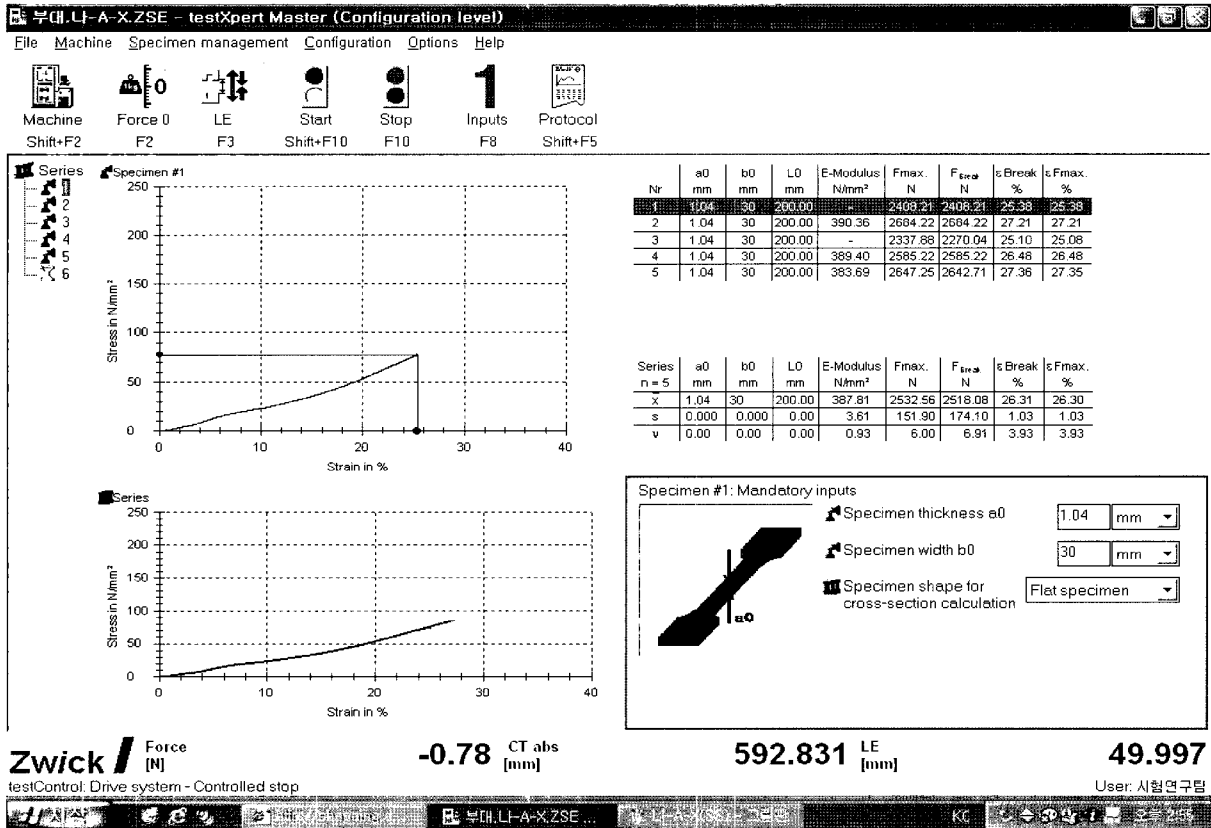
〈그림 3〉 인장 시험용 시편의 설치



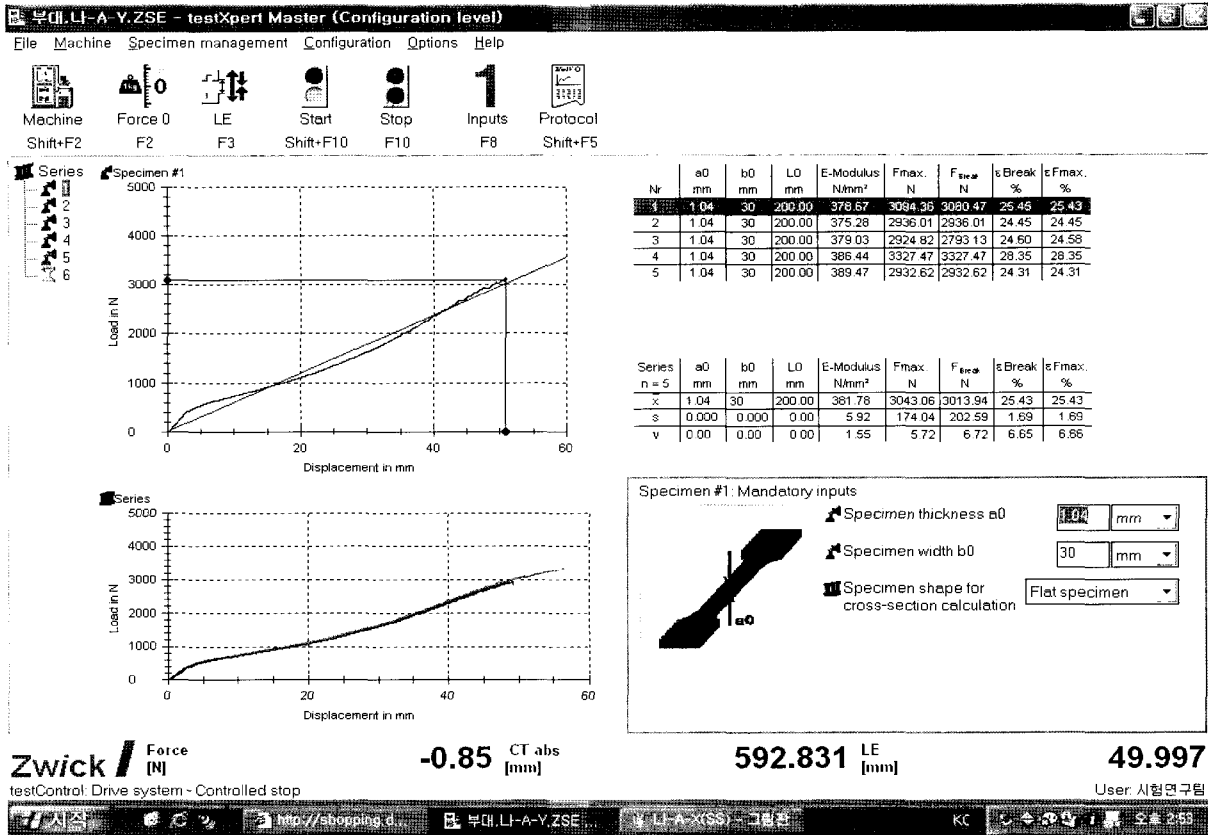
〈그림 4〉 막재의 인장시험 결과



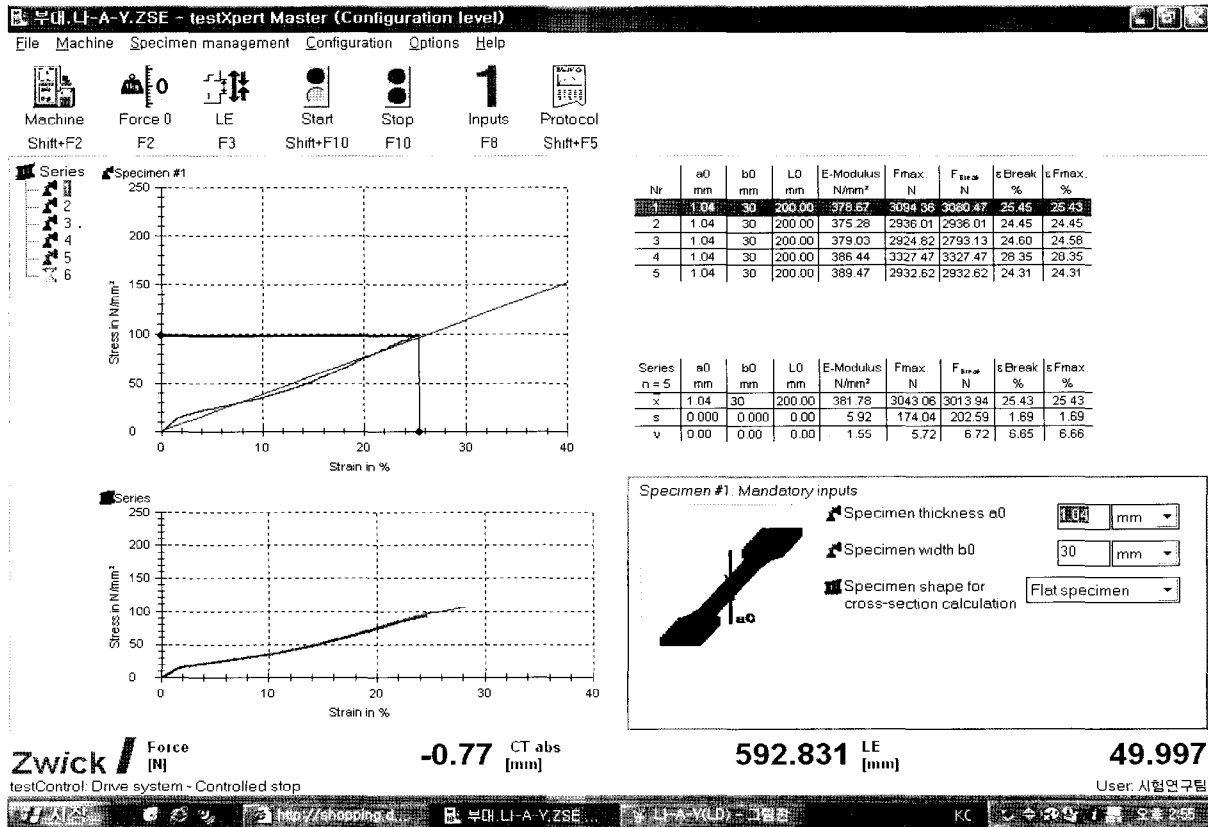
〈그림 5〉 폴리에스터 막재의 위사방향 하중-변위 곡선



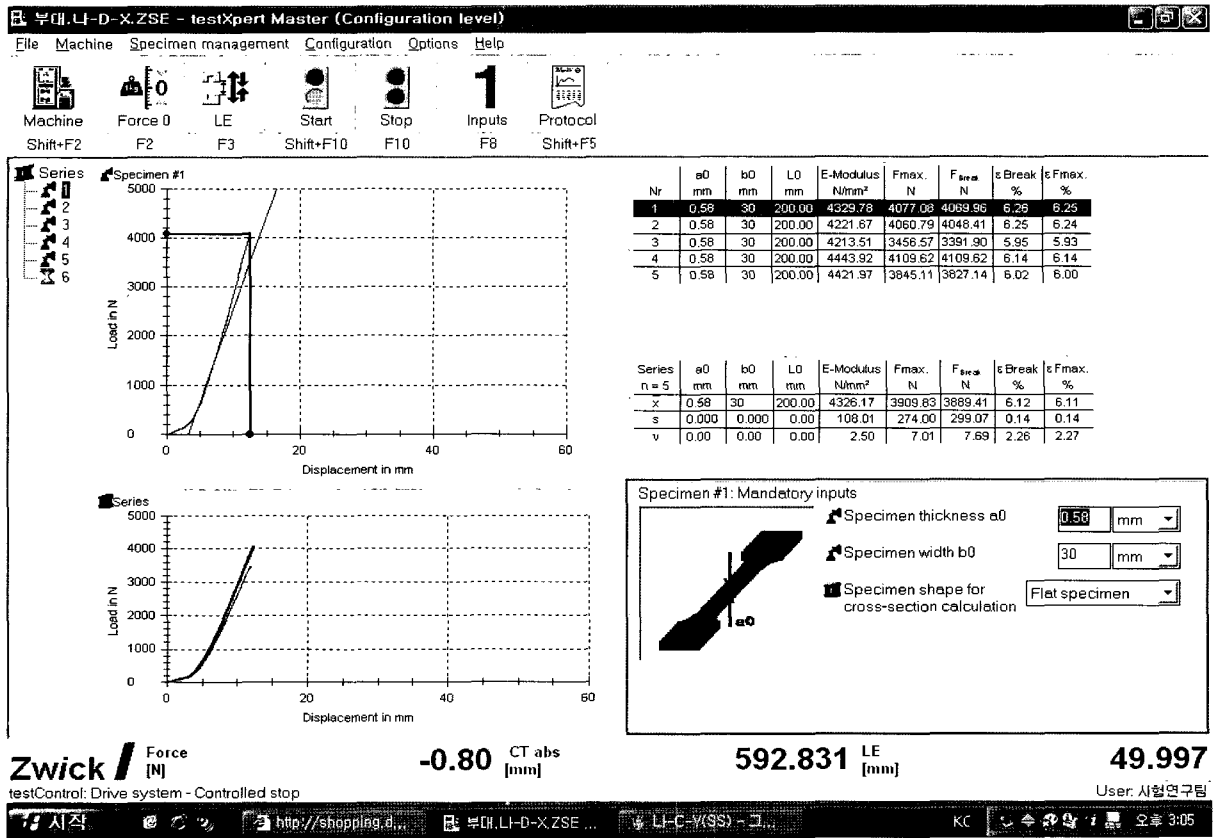
〈그림 6〉 폴리에스터 막재의 위사방향 응력-변형도 곡선



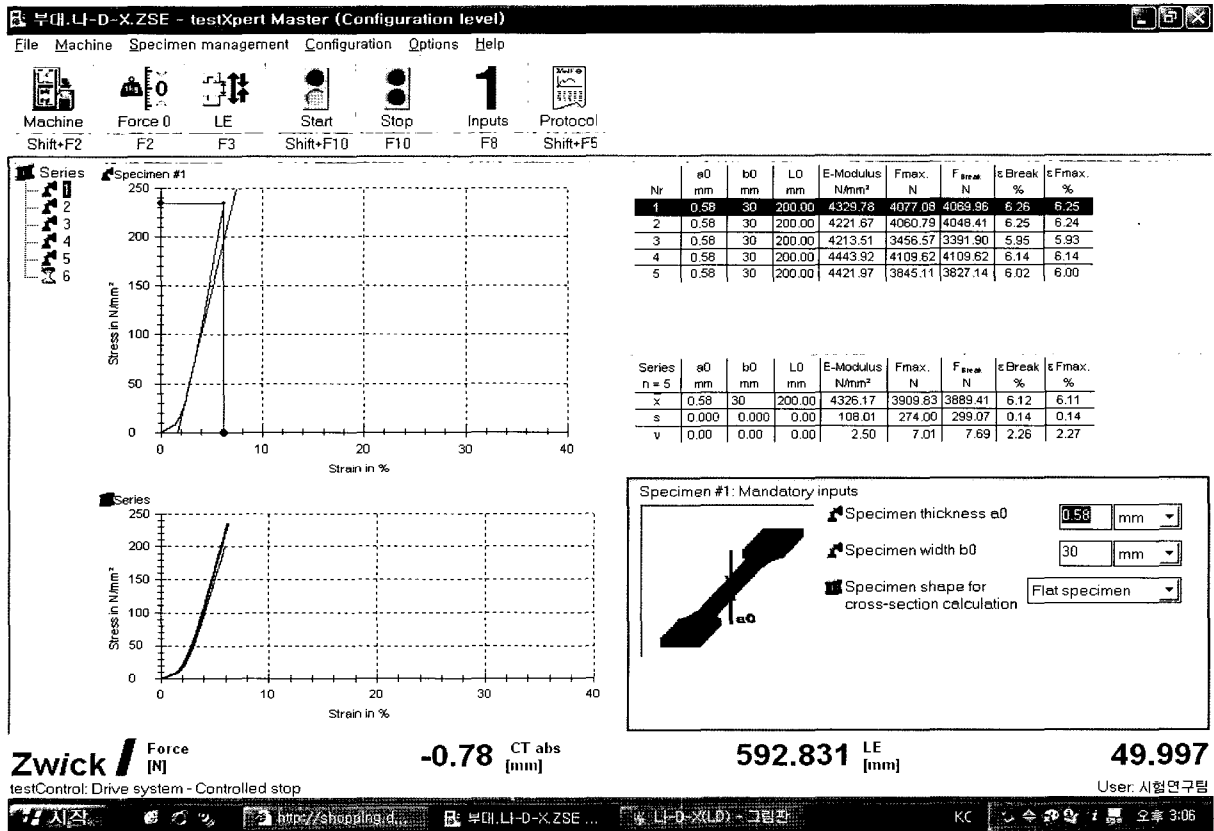
〈그림 7〉 폴리에스터 막재의 경사방향 하중-변위 곡선



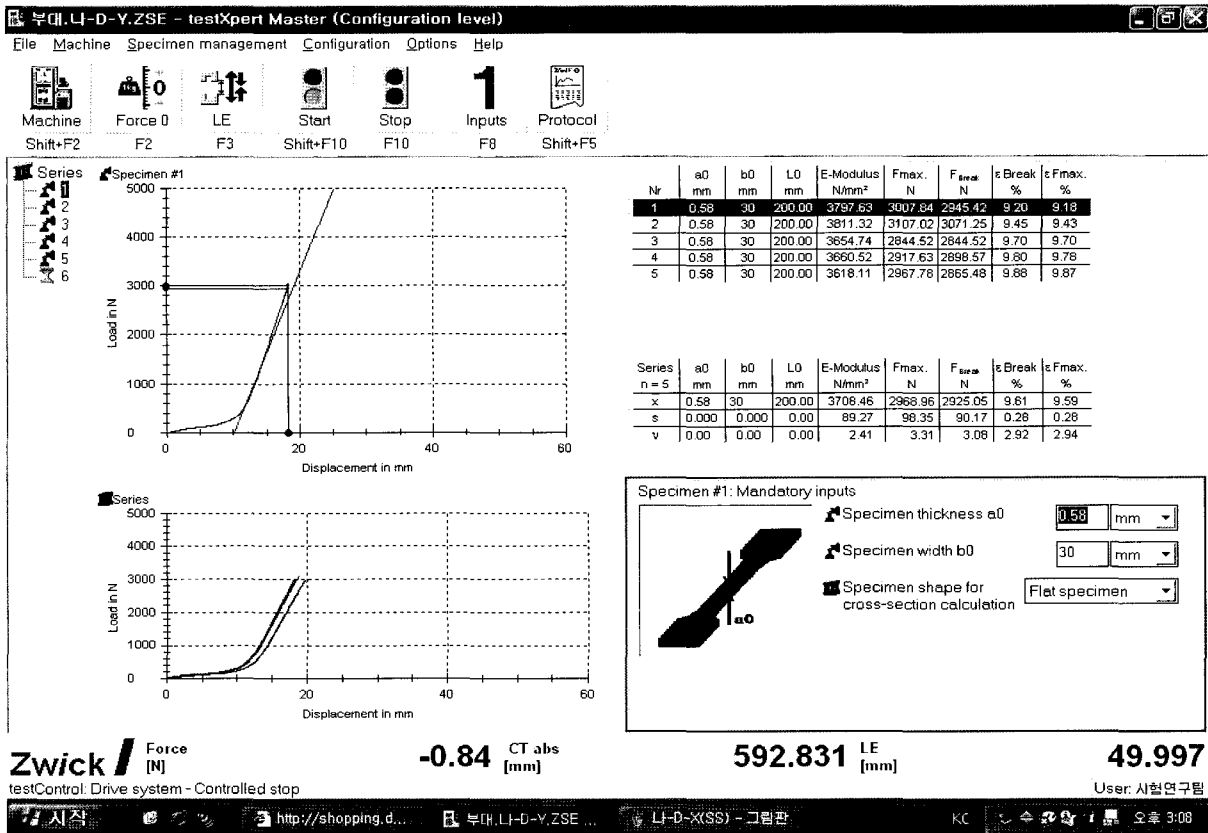
〈그림 8〉 폴리에스터 막재의 경사방향 응력-변형도 곡선



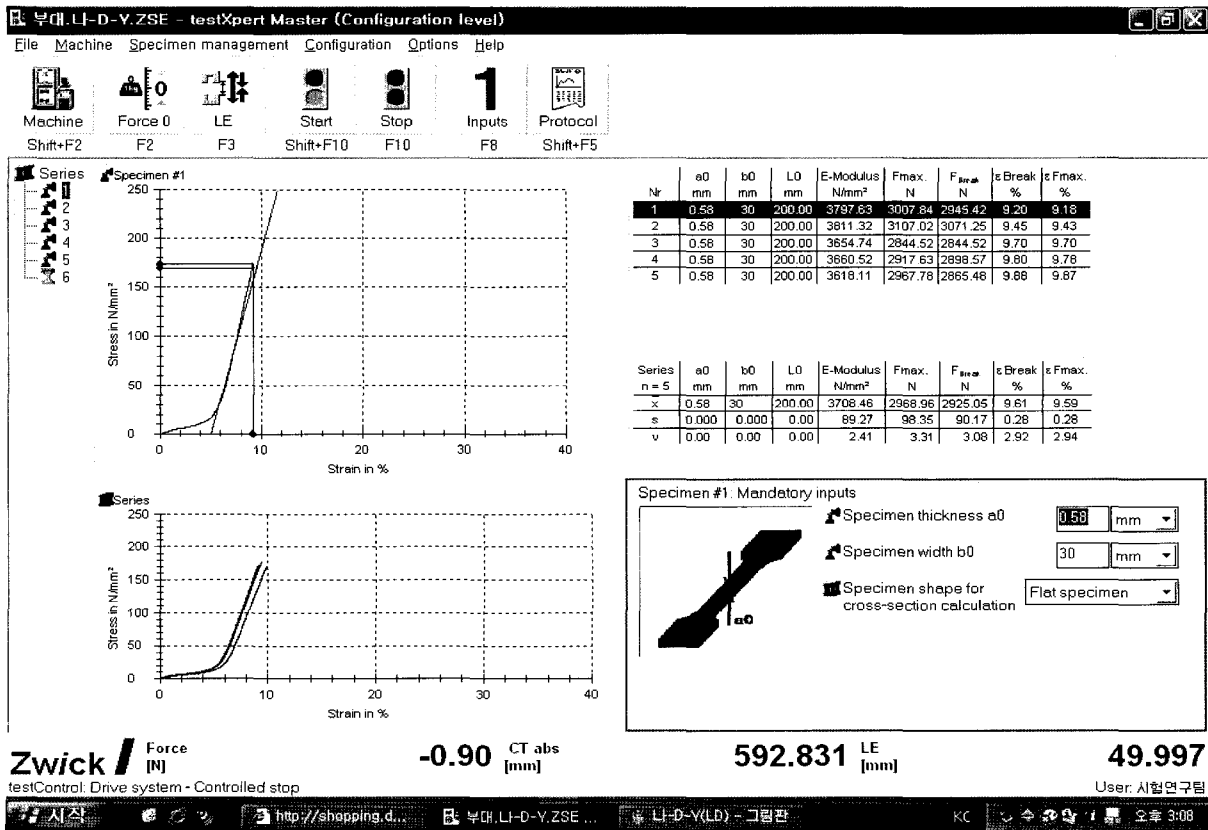
〈그림 9〉 유리섬유 막재의 경사방향 하중-변위 곡선



〈그림 10〉 유리섬유 막재의 경사방향 응력-변형도 곡선



〈그림 11〉 유리섬유 막재의 위사방향 하중-변위 곡선



〈그림 12〉 유리섬유 막재의 위사방향 응력-변형도 곡선

2. 막재의 2축 인장강도 시험

2.1 시험방법

막재료 시험편의 종실(경사) 또는 횡실(위사)방향으로 동시에 가력할 수 있는 인장시험방법에 의해서, 상정되어진 하중비의 하중을 종실방향, 횡실방향으로 가해, 얻어진 하중-변위 관계에 의한 인장강성 또는 포아송비를 구하는 방법에 의한다.

시험편의 형태는 시험편 측정부의 폭의 길이 16센티 이상으로 종실방향, 횡실방향에 대하여 대칭의 형태로 한다. 팔부분은 종실방향과 횡실방향에 따라서 slit또는 잘림을 3~5센티 간격으로 넣는다. 시험편의 코너부분은 반경5에서 15mm의 원호로 재단한다.

시험기는 막재료 시험편의 종실방향 또는 횡실방향을 동시에, 또는 일정의 하중비로 가력가능하고, 또 하중과 측정점의 변위가 측정 가능한 것으로 한다. 종실방향, 횡실방향 각각의 가력은 양측에서 가력하고, 중앙점이 이동하지 않도록 한다.

시료는 원칙으로 원반의 양귀단으로 부터 전체 폭의 1/10씩, 단말부터 100cm 이상을 제외한 부분으로 부터 종실 방향으로 횡실 방향과 함께 실눈에 따라서 채취한다. 시험편은 3장 이상으로 한다.

시험편은 2축 인장 시험기에 설정되어진 실방향에 맞추어서, 시험편의 고정부를 시험기의 소정의 위치에 고정한다. 고정 시에는 시험편에 무리한 응력이 걸리지 않게 하고, 또 시험편에 부자연한 주름 등이 없도록 부착한다.

시험편의 중앙부의 변위는, 종실, 횡실 방향 동시에 하중과 같이 측정한다. 늘어난 길이 측정용 초기표점 간 거리는 20에서 80mm로 하고 정도 좋게 측정한다.

표준상태의 시료를 실온 20~21도의 시험실내에서 시험을 한다.

비고, 표준상태의 시료는, 표준상태의 시험실내에서 4시간이상 방치한 것을 말한다.

2.2 하중가력 방법

1) 시험편을 부착하는 2축 인장 시험기를 다음의 순서에서 하중-변위에 대해서 측정한다. 종실 또는 횡실 방향에 하중비 1:1을 유지하면서, 인장강도의 약 1/4의 하중까지 기준인장축을 기준인장속도로

재하하여, 하중-변위곡선을 기록한다.

2) 재하후는 하중을 0으로 돌린다. 하중의 제거는 재하와 같은 방법으로 하중비 또는 하중속도를 유지한다. 하중이 0에 돌아온 후, 다음 1)의 조작을 한다.

3) 이 방법을 3회 반복한다.

4) 이후에, 정해진 하중비에 따라서 기준인장속도에 맞추어 다시 재하를 행하고, 하중-변위곡선을 기록한다.

5) 다시, 1)에서 3)의 조작을 행하고, 다음의 정해진 하중 비에 대하여 4)의 시험을 행한다.

6) 이 방법을 반복하여, 정해진 하중비의 순서에 따라서 시험을 행한다.

7) 이 시험을 시험체 3장 이상에 대해서 행한다.

주의1) 기준인장축은 하중비의 큰쪽의 실방향으로 한다. 대신, 하중비 1:1의 경우는 종축 방향으로 한다.

주의2) 기준인장속도는 2에서 4mm/min을 표준으로 한다.

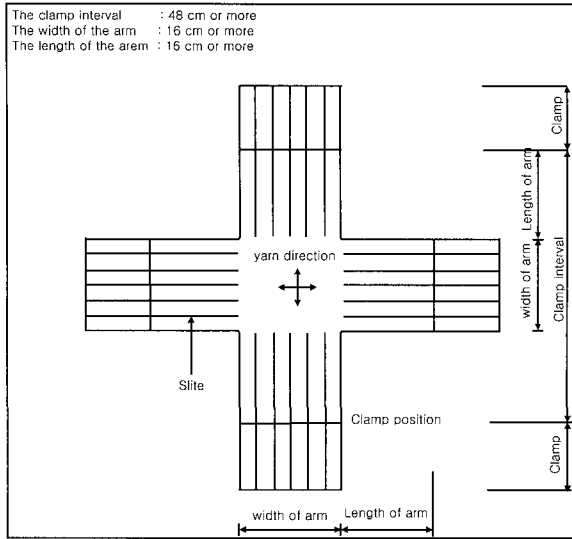
시험에 사용하는 하중비는 다음의 조합으로 한다.

| 실 방향 | 하중비 | | | | |
|-------|-----|---|---|---|---|
| 종실 방향 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| | | ∴ | ∴ | ∴ | ∴ |
| 횡실 방향 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 |

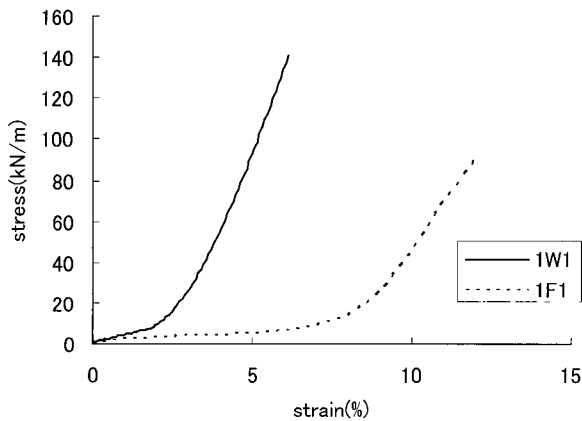
2축 인장 실험에서의 종실, 횡실 방향의 각하중비에서 얻어진 하중-변위 곡선에 의해, 종실 방향과 횡실 방향에 대하여 인장강성 또는 포아송비를 산출한다. 이것을 시험편 3장 이상에 대해서 평균치로 표시한다.

3. 인장시험결과

시험체 크기 30mm×200mm의 폴리에스터 코팅 막의 인장시험을 수행한 결과를 분석 하면 다음과 같다. 인장 시험 결과 폴리에스터 코팅 막재의 신율은 25~26% 범위였고, 탄성계수는 381~387N/mm²의 값을 얻었다. 유리섬유 코팅 막재의 신율은 6~9% 범위였고, 탄성계수는 3,708~4,326N/mm²의 값을 얻었다. 폴리에스터 코팅막재는 유리섬유 코팅 막 보다는 변형율이 크고 탄성계수는 적음을 알 수 있다. 또한 유리 섬유 막



〈그림 13〉 막재의 2축인장 시험편



〈그림 14〉 막재의 2축인장 시험결과

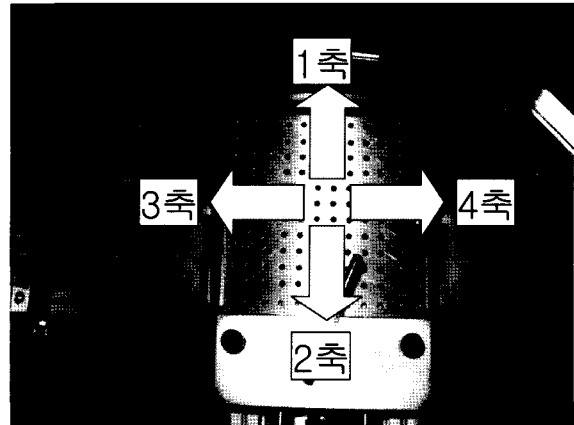
재는 인열 강도가 취약하고 폴리에스터 막재는 인열강도가 강하므로 인열 시험을 통하여 이러한 문제점을 규명할 필요가 있다고 사료된다. 국내에 보유하고 있는 2축인장 시험기는 일반 섬유용 크리이프 측정용으로 개발되어 있어 대공간 건축용 막재에 적합한 2축인장 시험기기의 개발이 필요하다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(과제번호 #06 R&D B03)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

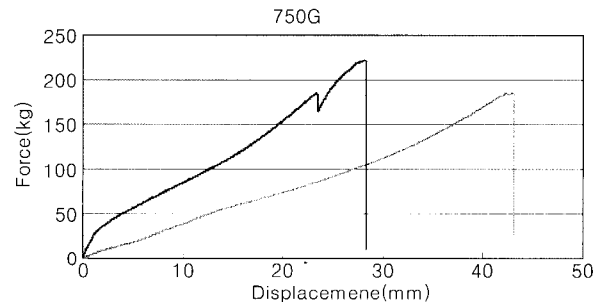
1. 한국산업규격, 2001. 5



〈그림 15〉 막재의 2축인장 시험 및 크리이프 장치



〈그림 16〉 폴리에스터 막재의 2축인장 시험결과



〈그림 17〉 폴리에스터 막재의 초기 크리이프 시험 결과

2. Membrane Design and Structures, Modern Architecture Series, 1999. 11
 3. Minger Wu, Jianming Liu, Qilin Zhang, Jae-yeol Kim and Kang-geun Park, "Uniaxial Tensile Test of ETFE Film", 7th International Symposium for 1st Architecture, 2007, pp.11-16
 4. Membrane Designs and Structures, Modern Architecture Series, 1999
 5. Korean Industrial Standard, 2007
 6. Design and Analysis of Spatial Structures, The Computational Structural Engineering Institute of Korea, 1997