Journal of the Korean Association for Spatial Structures
Vol. 9, No. 2 (통권 36호), pp.77~82, June, 2009

건축용 ETFE 필름 막의 역학적 특성 시험

Mechanical Characteristic Test of Architectural ETFE Film Membrane

박 강 근* 윤 승 현** 배 부 환***
Park, Kang-geun Yoon, Seoung-Hyun Bae, Boo-Hwan

요 약

ETFE 막재는 Ethylene Tetra Fluoro Ethylene의 약자로 색깔이 없고, 투명한 필름 막이다. ETFE 필름의 장점은 내화학성이 있고, 잘 접히지 않으며, 매우 가볍운 재료라는 것이다. 필름의 두께는 50마이크로 미터에서 300 마이크로 미터 두께가 주로 사용되고. 직포가 없어며 햇빛 투과율이 우수하고 재료의 강도는 다른 막재에 비해서 낮다. ETFE 막재의 인장강도는 40MPa에서 60MPa 정도이고, 인장 변형도는 약 200%에서 400% 정도이다. 본 논문에서는 ETFE 필름 막재의 역학적특성 시험을 수행하였다. 인장 시험으로 부터 인장 변형도, 인장 강도, 응력 변형도 곡선을 구하였고, ETFE 막재의 항복 강도를 결정하여 탄성계수를 구하였다. 그리고 온도하중에 의한 응력-변형도 특성과 반복하중에 대한 필름의 역학적 특성을 분석하였다.

ABSTRACT

ETFE is the abbreviation of Ethlene Tetra Fluoro Ethlene, a sort of colorless and transparent granules. The advantage of ETFE film has chemical resistance, anti-stick property, very lightly material. The thickness of EFFE film is used to from 50 ㎛ to 300 ㎛ and have superior ability of daylight transmission and elongation, while the strength is lower than that of fabric membrane. The tensile strength of ETFE film changes from 40Mpa to 60Mpa and the tensile strain at break can get to about 300-400%. The mechanical characteristic test of ETFE film is described in this paper. The tensile strain at break, the tensile strength and the stress-strain curve are obtained from the test. And then it was analyzed stress-strain characteristic by temperature and mechanical characteristic by cycling load.

키워드: 인장 시험, 건축용 ETFE 막재, 응력변 형도 곡선, 햇빛 투과, 반복 하중

Keywords: Tensile test, Architectural ETFE membrane, Stress strain curve, Daylight transmission, Cycling Load

1. 서 론

ETFE(Ethylene Tetra Fluoro Ethlene Etylene) 필름 막재는 테트라 플루로르 에틸레네 에틸렌으로 구성된 열가소성 불소수지 공중합체로 만들어진 투명하고 가벼운 초경량 필름이다. 2001년 영국의 남서부에 콘월지역에 지어진 에덴 프로젝트 돔형 식물원, 2005년도에 건설된 독일의 알리안츠 아레나 축구 경기장, 2008년도 베이징 올림픽의 수영장의 외부와 메인 스타디움의 지붕에서 그린 올림픽을 내건 중국 정부의 친환경 경기장을 만들기 위해서 ETFE 필름 막재를 사용하였다. 특히 독일의 알리안츠 축구 경기장과 올림픽 수영경기장은 ETFE 필름의 투명한 필름 효과를 최대한 발휘한 아름다운 조명과 환상적인 야경은 많은 세계인들에게 강한 인상을 주었다. ETFE 필름은 가벼우면서도 안전한 초대형 대공간 구조물에서 지붕의 중량을 획기적으로 줄일 수 있고, 투명하고 자정능력이 우수한 필름은 자유로운 형태를 추구하는 현대의 새로운 빌딩 디자인의 건축용 자재로 각광을 받을 것으로 예상이 된다.[3]

본 연구에서는 EFFE 막재의 역학적 특성을 파악하기 위해서 인장시험, 반복하중 시험, 온도 영향 시

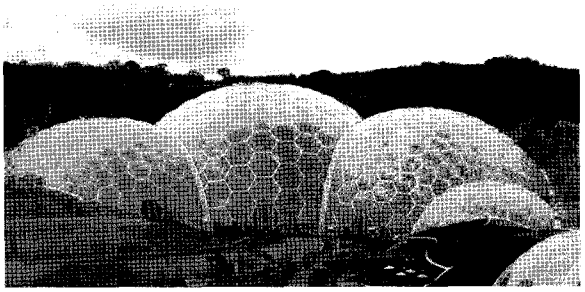
* 정회원 · 부산대학교 건축학부 교수, 공학박사
Tel : 055-350-5345 Fax : 055-350-5349
Email : sampgk@pusan.ac.kr
** 정회원 · 부산대학교 건축학부 교수
*** 정회원 · 막크막스 코리아 주식회사, 사장

험, 크리이프 시험 등을 수행하였다. 인장시험 결과로부터, 응력변형도 관계곡선을 구하고, 파단강도, 파단시의 변형률, 항복점, 탄성계수 등에 대한 역학성 특성에 대한 기초적인 자료를 구하고자 한다.

2. ETFE 막재을 사용한 주요 건축물

2.1 영국 에덴 프로젝트 식물원

영국 에덴 프로젝트 식물원은 영국의 남서부 콘월 지역에 있어며 2001년에 완공 되었다. 이 식물원은 3개의 돔으로 구성 되어 있고 직경이 제일 큰 돔은 직경이 250m이다. 돔형 지붕의 외부 디자인은 물방울의 형상으로 만들었고, 내부에 일정한 250Pa 공기 압력을 유지하는 쿠션 이중 막으로 구성되어 있다.

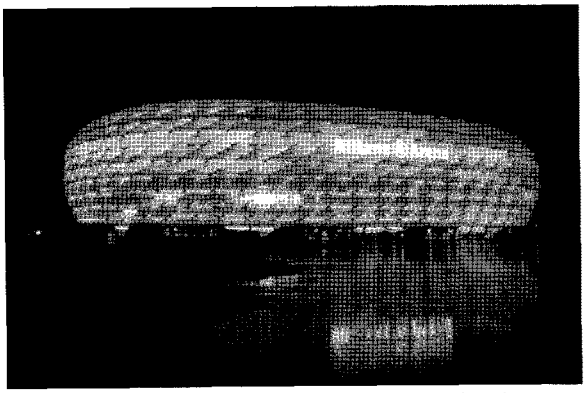


〈그림 1〉 영국 에덴 프로젝트 식물원(2001)

영국 남서부의 콘월 지역은 은퇴 노인들이 많이 사는 낙후된 곳이다. 주력산업인 고령토 채굴 산업이 사양산업이 되었고, 런던에서 기차로 5시간이나 걸리는 외지이다. 아름다운 자연과 따뜻한 날씨가 장점인 여기서 천혜의 환경을 보전하면서 지역개발을 이루자는 아이디어가 나왔다. 바로 에덴 프로젝트이다. 세계 최대 규모의 식물원을 만들어 식물에 관한 모든 것을 보여주고, 인간과 환경, 지속가능한 미래를 생각하도록 하는 이른바 '에듀테인먼트' 시설이다. 2001년 문을 연 이곳은 연평균 125만명의 유료 관람객이 찾는 영국 5대 관광지로 떠올랐고, 최고의 명물은 열대림을 고스란히 재현한 초대형 온실이다. 온실 지붕은 ETFE 막재로 만들어 햇빛과 자외선이 그대로 통과하며 청소를 하지 않아도 투명도를 유지한다. 지구온난화로 더워지는 세계에서 인간이 어떻게 살아야 하는지를 보고 깨닫도록 하겠다는 의도를 담고 있다.[1)-3)]

2.2 독일 알리안츠 아레나 축구 경기장

2006년 독일 월드컵을 개최 위해서 지어진 총 12개의 축구 스타디움 중 뮌헨에 건설된 알리안츠 아레나 스타디움은 ETFE 막재를 사용함으로써 대형 스타디움에서 ETFE 막재의 역할과 새로운 가능성을 보여주었다. 바닥 면적이 약 6600m2(66mX105m)의 면적으로, 2784개의 평행사변형 모양의 ETFE 유닛으로 구성되어 있다. ETFE 쿠션의 내부 압력은 300Pa로 유지 되며 풍하중이나 눈하중이 작용할 시에는 800Pa까지 올라가게 되어 있다. ETFE 막재로 외부를 완전히 덥고 있고 야간 외부 경관조명이 환상적이다.[1)-3)]



〈그림 2〉 알리안츠 아레나 경기장 녹색조명

2.3 중국 워트 튜브 국가 수영장

2008년 베이징 올림픽 국가 수영장의 기하학적인 아름다움과 환상적인 야경은 세계인들의 깊은 인상을 남겼다. 이 수영장의 크기는 가로 세로가 177m이고 높이가 31m이며 ETFE 막재의 표면적이 100,000m2에 달해 세계 최고 규모의 ETFE 막재 프로젝트였다. 올림픽 튜브 경기장은 태양열 에너지로

〈그림 3〉워트튜브 경기장 야경

수영장에 열을 제공하는 워터큐브의 직육면체 외관은 둥근 물방울 입자를 형상화 하였고다. [1)-3)]

3. ETFE 막재의 역학적 특성 시험

3.1 ETFE 필름의 물리적 특성 개요

건축용으로 사용되는 ETFE 필름의 일반적인 물리적 특성은 다음과 같다.

(1)신장률: 매우 유연하고 시장이 매우크다. 신장률이 250-400%정도 이다.

(2)투광성: 가시광선 영역에서는 90%이상의 투과율을 보이고, 자외선 영역에서는 80%이상의 투과율을 가지고 있다.

(3)자정능력: ETFE 막재 필름은 사출재 이므로 표면이 매우 매끄럽고 비점착성이므로 먼지 등의 오염물이 거의 붙지 않고 빗물에 씻겨 내려간다.

(4)단열성: 200㎛ 두께의 막이 6mm 유리의 단열성능과 비슷하고, 2중 쿠션 막의 경우에는 공기층을 가지고 있기 때문에 우수한 단열 성능을 가지고 있다.

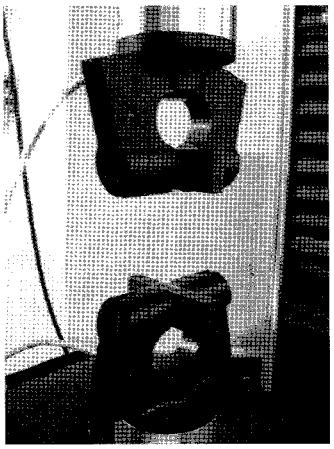
(5)내후성: 기후촉진시험에서 약20년의 우수한 내후 성능을 가지고 있고, 약 20년 후에 약 20%의 저하가 예상되는 재료이다.

(6)내화학성: PVC, PVF 보다 우수한 내화학성을 보유하고 있다.

(7)불연성능: 방염 1등급자재이며 용융점은 260℃ 정도이고, 불에 접촉 시에 구멍이 나서 오그라들고, 용융에 의한 액체가 발생하지 않는다.

3.2 250 ㎛ ETFE 필름 의 역학적 특성 시험

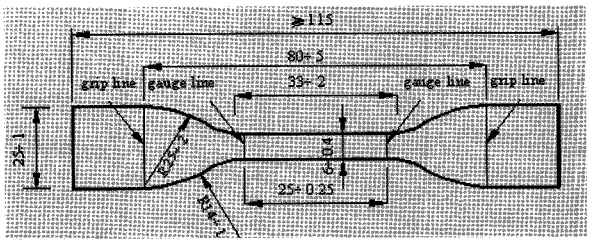
건축용 250 ㎛ ETFE 필름 막재의 역학적 특성 시험 결과는 다음과 같다. 본 시험 연구에서는 ETFE 필름 막재에 대한 인장시험을 수행하여 인장강도, 항복강도, 탄성계수, 신율을 측정하였다. 그리고 필름의 열에 대한 영향을 분석하기 위해서 -23℃에서 150℃ 범위의 온도에 2시간 가열하고 23℃에서 30분간 둔 후에 인장 시험을 수행하였다. 그리고 반복하중에 대한 변형을 파악하기 위해서 반복하중 시험을 수행하였다.



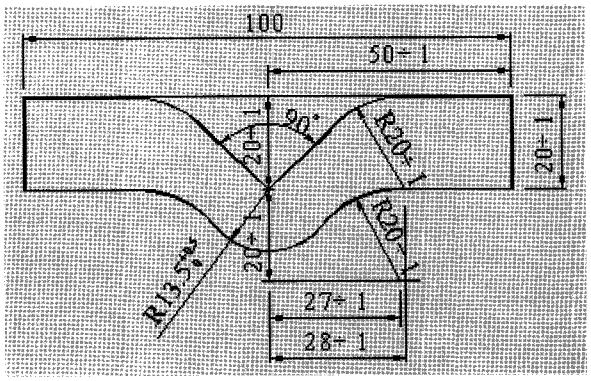
(a) 인장 시험 사진

(b) 인열 시험 사진

〈그림 4〉 인장 및 인열 시험 사진



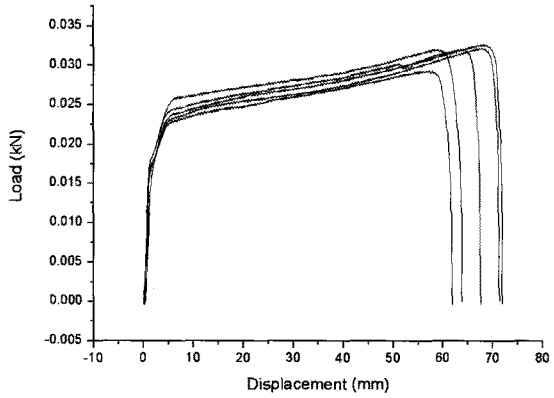
(a) 인장 시험체 형상



(b) 인열 시험체 형상

〈그림 5〉 인장 및 인열 시험체 형상

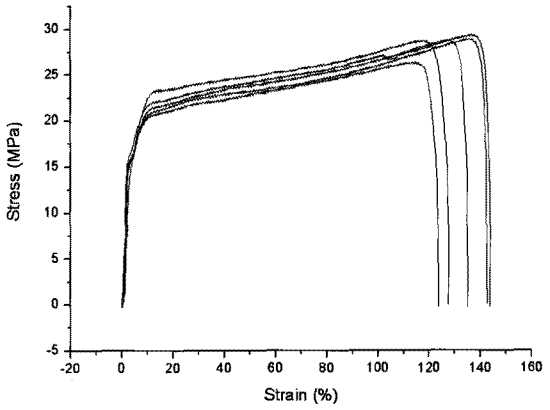
〈그림 6〉 인장 시험체의 파단 형상



〈그림 7〉 하중-변위 곡선(250㎛)

〈표 1〉 인장시험 결과에 대한 파단하중 및 변위

시험체	파단 하중(kN)	파단 변위(mm)	클립 간격(mm)
1	0.032	63.833	50
2	0.032	67.500	50
3	0.033	71.917	50
4	0.029	61.833	50
5	0.032	71.333	50



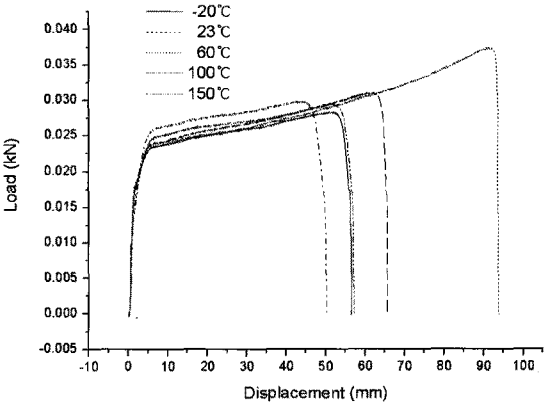
〈그림 8〉 응력-변형도 곡선(250㎛)

〈표 2〉인장시험 결과에 대한 파단강도 및 변형도

시험체	파단강도(MPa)	파단변형도(%)	신장변형도(%)
1	28.745	127.667	255.332
2	28.802	135.000	270.000
3	29.359	143.833	287.668
4	26.386	123.667	247.332
5	28.921	142.667	285.332

〈표 3〉 탄성계수 환산표

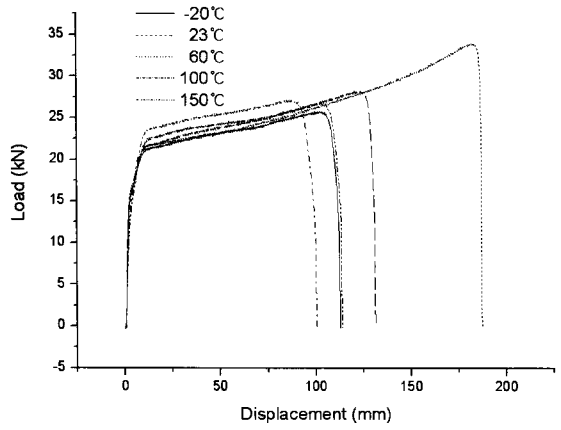
시험체	Young's Modulus (MPa)	2nd line Slope (MPa)	3rd line Slope (MPa)
1	1063.238	81.453	5.370
2	1078.712	90.364	6.177
3	948.460	83.829	7.221
4	678.058	116.009	4.289
5	721.773	110.268	4.599



〈그림 9〉 온도하중에 의한 하중-변위 곡선(250㎛)

〈표 4〉인장시험 결과에 대한 파단강도 및 변형도

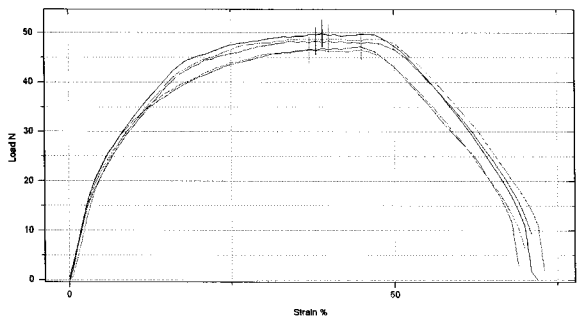
시험체	파단하중(kN)	파단변위(mm)	가력온도(℃)
1	0.028	56.417	-25℃
2	0.031	65.750	23℃
3	0.037	93.750	60℃
4	0.030	50.167	100℃
5	0.029	57.083	150℃



〈그림 10〉 온도하중에 의한 응력-변형도 곡선(250㎛)

〈표 5〉인장시험 결과에 대한 파단강도 및 변형도

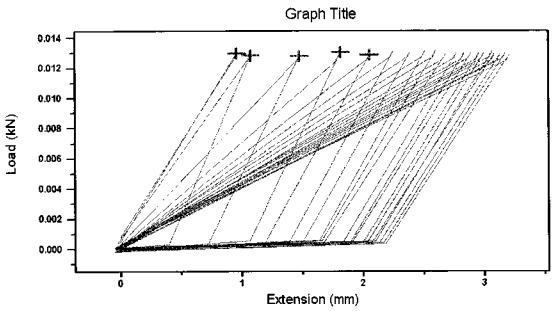
시험체	파단 강도(MPa)	파단 변형도(%)	신장 변형도(%)
1	26.038	112.833	225.668
2	28,875	131.500	263.000
3	34.465	187.500	375.000
4	25.685	100.333	200.668
5	27.398	114.167	228.332



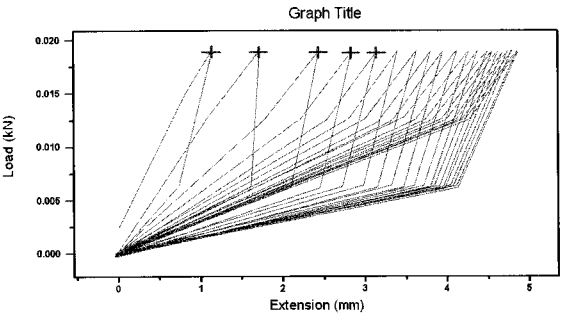
〈그림 11〉 인열강도에 대한 하중-변위 곡선(250㎛)

〈표 6〉인장시험 결과에 대한 파단강도 및 변형도

시험체	인열 하중(kN)	최대 변위(mm)	변형도(%)
1	0.047	22.500	45.000
2	0.047	18.500	37.000
3	0.048	19.000	38.000
4	0.050	19.900	39.000
5	0.049	20.000	40.000



〈그림 12〉 반복하중에 대한 하중-변위
(판단하중의 40%범위)



〈그림 13〉 반복하중에 대한 하중-변위
(파단하중의 60%범위)

4. 고찰 및 결론

건축용 250 ㎛ ETFE 막재의 인장시험, 인열강도 강도 시험, 열 영향 시험, 반복하중 시험 등에 대한 고찰 및 결론은 다음과 같다.

(1) 인장시험에 의한 ETFE 막재의 하중 변위 곡선 및 응력 변형도 관계 곡선은 Tri-linear 곡선 형태를 보여 주고 있다. ETFE 필름 막재의 파단강도는 26-28MPa 정도이다.

(2) ETFE 필름 막재는 응력 변형도 곡선에서 그립 거리에 의해서 계산된 파단 변형도는 약 127-143%이고, 신장부분의 늘어난 길이에 대한 신장 변형도는 247-285%로 주어졌다.

(3)응력 변형도 곡선에서 Tangent Young's Modulus는 678-1063MPa의 값을 얻었다.

(4) 열에 2시간 동안 가열한 후에 대한 응력 변형도 곡선에서 파단강도는 25-34Mpa이고, 파단변형도는 100-187%, 신장 변형도는 200-375%로 주어졌다.

(5) 막재의 반복 하중 시험 결과에서 막재에 하중에 의해서 늘어난 경우에는 다음 하중 가력시 원래되로 변형이 회복되지 않고 계속적으로 늘어남을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술 연구비(2년)에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

1. 배부환, 이창훈, 초경량 건축외장재 ETFE, 한국공간구조학회지 기술기사, 2009. 4, pp.17-22
2. 장일순, 이성범, "세계의 건축을 바꾸어 가는 ETFE", 2008 한국공간구조학회 춘계학술발표회 논문집, 2008. 5, pp.53-58
3. 박강근, 최영화, 김이성 "건축용 ETFE 막재의 인장강도 시험", 한국공간구조공학회 춘계 학술발표대회 논문집, 2009, pp.113-116

접수일자 : 2009년 3월 4일
심사완료일자 : 2009년 5월 13일
게재확정일자 : 2009년 5월 16일