

원사가 다른 건축용 막재의 인장 특성 연구

Study for Tensile Properties of Architectural Membrane with Different Yarn

서삼열*
Sur, Sam-Yeol

장명호**
Jang, Myung-Ho

박강근***
Park, Kang-Geun

김승덕****
Kim, Seung-Deog

요약

건축용 막재는 일반적으로 직포와 코팅으로 구성되며, PTFE 계열 막재는 유리섬유로 만들어진 직포에 테프론 코팅으로 구성된다. 일반적으로 PTFE 막재에 사용되는 직포에는 β -yarn이 주로 사용되며, β -yarn이 아닌 α -yarn이 사용된 막재도 점차적으로 사용되는 시점이다. 그러나 α -yarn으로 직조된 직포로 만들어진 건축용 막재의 특성에 관한 정보는 일반 막재에 비해 많이 부족한 편이다. 따라서 건축용 막재를 구성하는 직포를 만드는 원사의 굵기에 따른 막재의 역학적 특성에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 실험을 통하여 원사가 서로 다른 막재의 인장 특성을 비교 분석하고자 한다.

Abstract

The architectural membrane generally consists of weave and coating, and the PTFE membrane consists of fiberglass weave and polytetrafluoroethylene coating. The weave is usually made of fiberglass β -yarn. The α -yarn, which is thicker than β -yarn, is also increasingly used for the weave. However, the characteristic data of the architectural membrane that is made of α -yarn weave is still insufficient. Therefore, further studies are needed on the mechanical characteristics of the membrane according to the thickness of the yarn used for the weave that comprises the architectural membrane. This study was performed to identify the mechanical behaviors of the membranes with α -yarn and β -yarn.

키워드 : 건축용 막재, 안, 재료특성

Keywords : Architectural membrane, Yarn, Material behaviors

1. 서론

기둥 없이 수백 미터의 공간을 만들기 위해서는 가벼우면서 강성이 큰 신 재료의 출현은 필수적이라 할 수 있고, 이에 대응하여 새로운 설계와 시공 기술이 개발되면서 보다 진보된 구조물이 탄생한다. 따라서 대공간 구조물의 변천과정은 재료의 발전을 빼놓고는 설명할 수 없다.

재료에 따른 대공간 구조물의 역사는 먼저 콘크

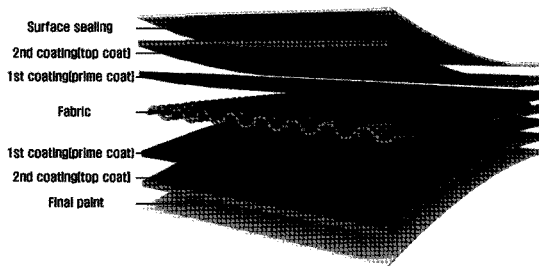
리트를 이용한 셸 구조에서 시작하여 철강을 이용한 스페이스 프레임 구조로 바뀌고, 다시 보다 경량의 케이블 넷 구조로 이어진다. 그 후 획기적인 신소재인 영구 막재가 출현하면서 대공간 구조물 분야는 더욱 진보된 구조 시스템이 개발되었고, 보다 합리적이고 자유로운 발전을 거듭할 수 있게 되었다.

세계 막구조의 현황은 오늘날에 이르러 제1세대에서 제2세대로 이어지고 있다. 즉 현재 사용하고 있는 구조시스템의 확립, 불연성 막재료의 개발, 디테일 및 용접기술의 개발 등, 막구조 시스템의 확립과 체계화가 급속히 발전된 제1세대에서, 다른 건축 재료와의 접합, 전체 구조물과의 조화, 건축 환경형성의 적극적 표현 등을 추구하는 제2세대로 변화되고 있다.

* 정회원·대림대학 건축과 교수, 공학박사
** 교신저자·정회원·대림대학 건축과 프로젝트교수
공학박사
Tel: 031-467-4694 Fax:031-467-4920
E-mail : node20@daelim.ac.kr
*** 정회원·부산대학교 산업건축과 교수, 공학박사
**** 정회원·세명대학교 건축공학과 교수, 공학박사

1950년대부터 본격적으로 사용되기 시작한 막구조는 유목민들의 텐트 구조의 이미지에서 벗어나지 못한 채 가설 구조물이라는 개념을 가지고 있었다. 서커스단의 천막구조물에서부터 만국박람회의 각종 전시장에 이르기까지, 일정한 기간 동안 이용된 후 철거되는 형태를 취해왔다. 그러나 불연성 막재료의 개발 및 막구조 시스템의 체계화로 가설 구조물이란 개념에서 영구 구조물로 개념의 전환이 이루어졌다.

영구 구조물에 사용되는 막재는 재료 자체의 내구성 및 기능성뿐 아니라 구조설계 및 시공단계에서도 주름(wrinkling)이 발생하지 않는 곡면을 구현하기 위해 다양한 고급기술을 요구하고 있다. 현재 국내외에서 대공간 구조를 형성하기 위해 많이 사용되는 막 구조물의 주 재료는 건축구조용 막재(architectural fabric)이다. 건축구조용으로 사용되는 막재는 일반 산업현장에서 쓰이는 막재와 비교할 때, 기본적인 구성은 비슷하지만 내구성 면에서 많은 차이가 있다. 건축 구조용 막재는 직포, 코팅, 토핑으로 구성된다. <그림 1>은 건축구조용 막재의 일반적인 구성도이다.



<그림 1> 막재의 구성도

건축용 막재에 주로 사용되는 섬유는 폴리에스터(polyester)와 유리섬유(glass fiber)이다. 섬유를 꼬아서 실(yarn)을 만든 후, 그림 1에서와 같이 옷감을 만드는 방법과 동일하게 종사(warp)와 횡사(weft)로 서로 교차시켜 직포를 만든다. 따라서 막재료는 직교이방성의 특성을 가지며, 막재의 종사방향의 기계적 특성이 횡사방향보다 강하게 나타난다.

막재의 인장강도는 섬유의 굵기가 가는 것을 여

러 가닥으로 꼬아 만드는 것이 좋기 때문에 유리섬유를 사용할 경우 β -yarn을 이용하는 막재가 구조적으로 유리한 것으로 알려져 있다. <표 1>은 KS L 2057에서 규정하고 있는 유리 섬유의 굵기이다. 여기서 β -yarn은 EC3 계열, α -yarn은 EC6 계열의 유리 섬유를 말한다.

<표 2> 유리섬유의 굵기

구분	유리의 종류	단섬유의 지름	
		지름 (mm)	호칭 지름
ECB(EC3)	무알카리 유리	3	3(B)
ECC(EC4)		4	4(C)
ECD(EC5)		5	5(D)
ECDE(EC6)		6	6(DE)
ECE(EC7)		7	7(E)
ECG(EC9)		9	9(G)
ECH(EC10)		10	10(H)
ECK(EC13)	13	13(K)	
CCG(CC9)	알카리 유리	9	9(G)

따라서 통상보다 굵은 섬유로 직포된 막재의 사용성을 확대하기 이전에 그 막재의 물리적 특성을 파악하여 가는 섬유로 직포된 막재와의 차이를 명확하게 하는 것이 요구된다. 본 연구에서는 물리적인 시험을 통하여 β -yarn보다 굵은 유리 섬유로 직조된 직포를 사용한 막재의 특성을 β -yarn이 사용된 건축구조용 막재와 비교하여 분석하고자 한다. 막재의 기계적 성질에 대한 시험과 장기하중에 대한 저항 능력 등을 측정하는데 중점을 둔다.

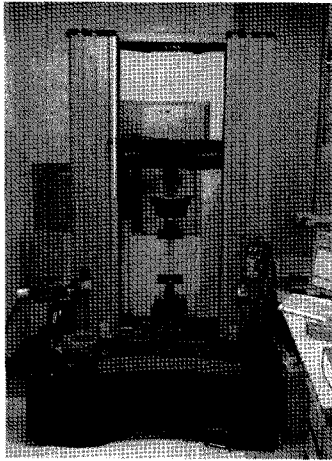
2. 막재의 1축 인장 실험

2.1 1축 인장 시험 방법

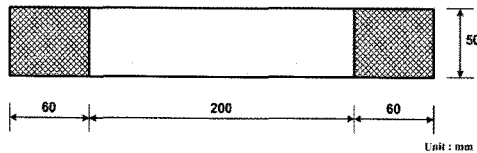
막재의 1축 인장강도 실험은 KS K 0521(2001)에서 규정되어 있는 스트립법에 의해 실시하였다. 스트립법은 호제(糊劑)에 의해서 처리되거나 또는 처리되지 않은 상태의 직물 모두 적용이 가능하다. 이 방법은 직물의 표준상태와 습윤 상태의 인장강도와 신도의 측정에 적용할 수 있다.

시험 장치는 섬유용 인장 시험기를 사용하였다.

<그림 2>는 시험 장치 사진이다. 가력 속도는 예비 실험을 통하여 100mm/min.으로 하였다.



<그림 2> 인장 실험기



<그림 3> 스트립법에 의한 시험편

시험편의 크기는 <그림 3>과 같다. 시험편의 폭은 50mm, 길이는 클램프 간격 200mm에 파지할 수 있는 크기로 하였다.

시료는 벌크 샘플로부터 전 폭으로 적어도 1m길이의 실험실용 시료를 각 벌크 끝 부분에서 적어도 3m이상 떨어진 곳에서 무작위로 채취하였다. 시험용 시료는 2조로 구성되며, 1조는 경사방향, 1조는 위사방향으로 채취하였으며 각 조의 시료는 5개로 하였다. 파지면의 폭은 적어도 60mm이상은 되도록 제작하였으며, 클램프에서 파지면이 미끄러지지 않도록 하기 위해서 파지면에 덧대는 재료로는 고무, 종이, 가죽 및 플라스틱 등이 있으며, 본 실험에서는 네오플렌 고무를 사용하였다. 파지면에서 미끄러지거나 클램프 모서리에서 5mm이내에서 파단된 시험 결과는 무시하였다.

2.2 시험편 개요

실험은 β -yarn(EC3)과 α -yarn(EC6)을 사용하여

제작된 막재를 각 2종씩 선정하여 실시하였다. <표 1>은 선정된 시료를 나타낸 것이다. 시료는 시험 결과의 통계적 유의성을 확보하기 위해 각 시료마다 3set을 수행하였다.

<표 2>는 측정된 시료의 두께와 단위 중량이다.

<표 1> 막재의 구성 재료

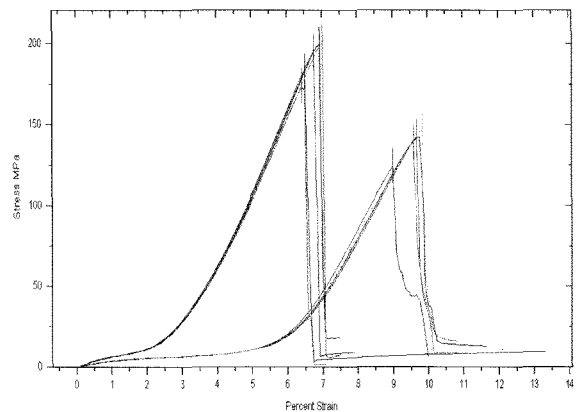
Name	1110	1120	1300	1420
Coating	PTFE	PTFE	PTFE	PTFE
Base Fabric	Woven "EC6" glass α -yarn	Woven "EC3" glass β -yarn	Woven "EC3" glass β -yarn	Woven "EC6" glass α -yarn
Diameter of Base Fabric	6 μ m	3 μ m	3 μ m	6 μ m

<표 2> 막재의 물성

Name	1110	1120	1300	1420
두께 (mm)	0.71	0.75	0.83	0.92
단위 중량 (g/m ²)	1121.9	1205.3	1393.9	1410.2

2.3 1축 인장 강도 시험 결과

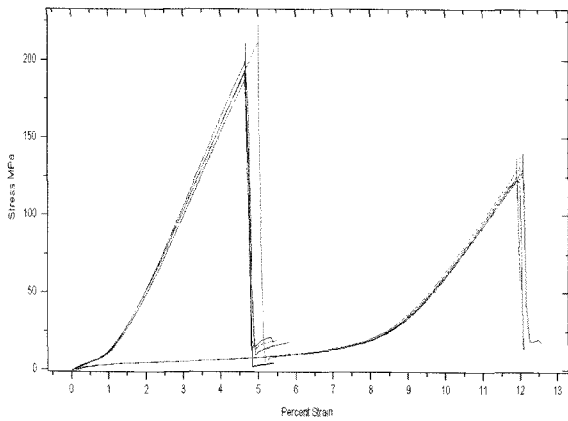
각 시료의 인장강도 시험 결과는 한 set만 선정하여 <표 3>에 정리하였다. 각 시료별 stress-strain 그래프는 <그림 4> ~ <그림 7>에 나타내었다. 시료별로 대표성이 명확하게 나타나는 한 set만 선정하여 나타내었다.



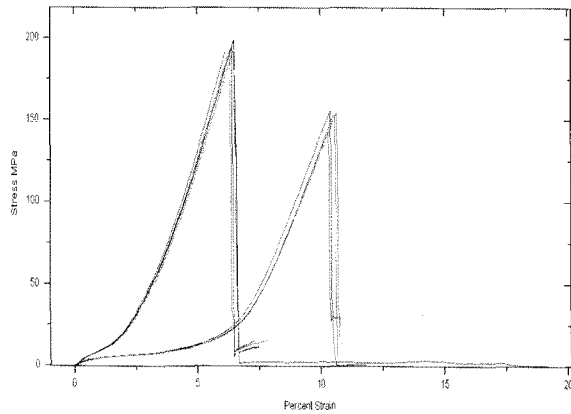
<그림 4> 시료 1110 응력-변형률 곡선 (set 1)

〈표 3〉 인장강도 시험 결과

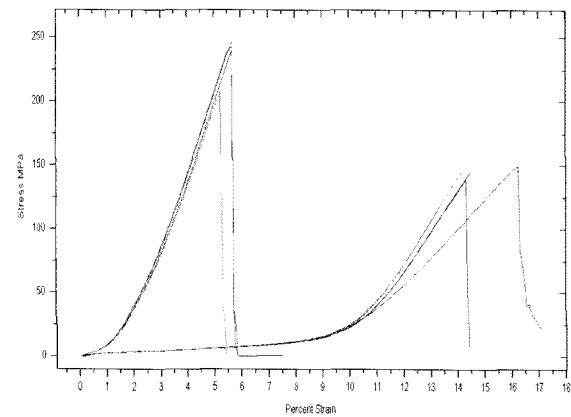
시료 1110									
경사					위사				
No.	Load (kN)	Disp. (mm)	Stress (Mpa)	Strain	No.	Load (kN)	Disp. (mm)	Stress (Mpa)	Strain
1	6.139	13.500	194.891	6.750	1	4.601	19.667	146.079	9.833
2	5.459	12.833	173.286	6.417	2	3.923	18.000	124.524	9.000
3	5.756	13.000	182.721	6.500	3	4.422	19.333	140.381	9.667
4	6.265	13.833	198.884	6.917	4	4.485	19.333	142.393	9.667
5	6.314	14.000	200.437	7.000	5	4.382	19.167	139.100	9.583
시료 1120									
경사					위사				
No.	Load (kN)	Disp. (mm)	Stress (Mpa)	Strain	No.	Load (kN)	Disp. (mm)	Stress (Mpa)	Strain
1	6.962	9.333	198.921	4.667	1	4.232	23.667	120.916	11.833
2	6.742	9.333	192.623	4.667	2	4.479	24.167	127.975	12.083
3	6.574	9.333	187.834	4.667	3	4.365	23.833	124.721	11.917
4	6.755	9.333	193.012	4.667	4	4.279	23.833	122.249	11.917
5	7.394	10.000	211.261	5.000	5	4.589	24.000	131.128	12.000
시료 1300									
경사					위사				
No.	Load (kN)	Disp. (mm)	Stress (Mpa)	Strain	No.	Load (kN)	Disp. (mm)	Stress (Mpa)	Strain
1	7.172	12.500	191.256	6.250	1	5.576	22.167	148.684	11.083
2	7.370	13.000	196.533	6.500	2	5.111	21.333	136.280	10.667
3	7.480	13.167	199.456	6.583	3	5.088	21.167	135.678	10.583
4	7.174	12.833	191.307	6.417	4	5.567	21.500	148.461	10.750
5	7.322	13.000	195.255	6.500	5	5.444	22.000	145.167	11.000
시료 1420									
경사					위사				
No.	Load (kN)	Disp. (mm)	Stress (Mpa)	Strain	No.	Load (kN)	Disp. (mm)	Stress (Mpa)	Strain
1	10.376	12.500	250.033	6.250	1	5.459	28.500	131.530	14.250
2	9.885	12.500	238.183	6.250	2	5.481	28.667	132.081	14.333
3	9.503	12.333	228.999	6.167	3	5.856	31.000	141.099	15.500
4	10.496	11.500	252.264	5.750	4	6.268	32.666	151.037	16.333
5	10.429	11.833	251.292	5.917	5	6.077	32.333	146.430	16.167



〈그림 5〉 시료 1120 응력-변형률 곡선 (set 1)



〈그림 6〉 시료 1300 응력-변형률 곡선 (set 2)



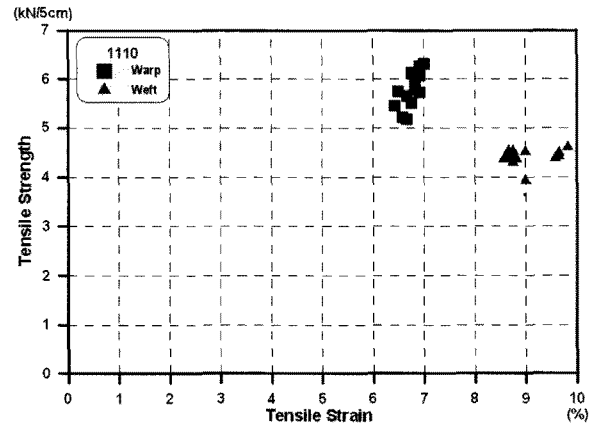
〈그림 7〉 시료 1420 응력-변형률 곡선 (set 3)

각 시료의 인장강도와 인장신도의 평균과 표준편차는 <표 4>와 같다. 각 시료의 시험 결과의 통계적 유의성을 확인하기 위해 인장 강도와 신율에 대한 산점도로 나타내면 <그림 8> ~ <그림 11>과 같다. 분석결과로부터 시험 결과가 일정한 부분에 수

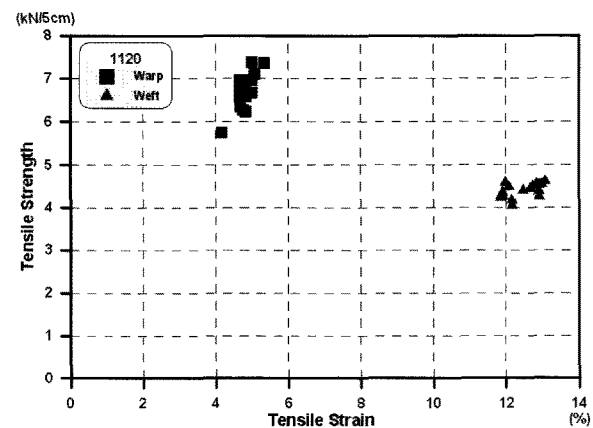
렴하고 있음을 볼 수 있다. 시료 1420의 경우 인장신율에 있어서 데이터가 산란되어 있는 형상을 보이지만 편차가 크지 않기 때문에 시험 결과의 유의성에는 이상이 없다고 할 수 있다.

〈표 4〉 인장강도와 인장신도의 평균과 표준편차

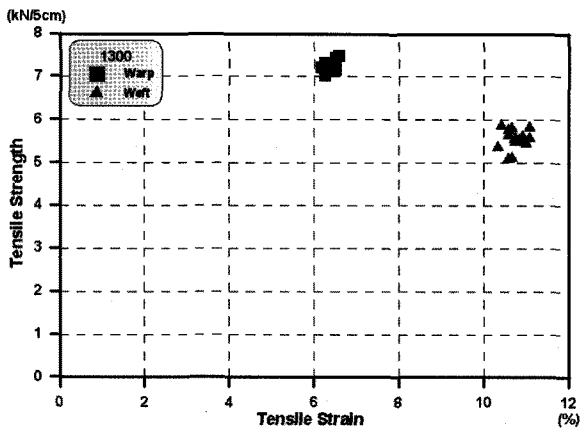
시료명	인장강도		인장신도		
	평균 (kN)	표준 편차	평균 (%)	표준 편차	
시료 1110	경사	5.807	0.355	6.761	0.166
	위사	4.401	0.156	9.011	0.440
시료 1120	경사	6.714	0.442	4.818	0.265
	위사	4.397	0.168	12.478	0.469
시료 1300	경사	7.258	0.115	6.406	0.125
	위사	5.540	0.229	10.739	0.225
시료 1420	경사	9.780	0.527	5.572	0.432
	위사	5.872	0.446	15.672	1.311



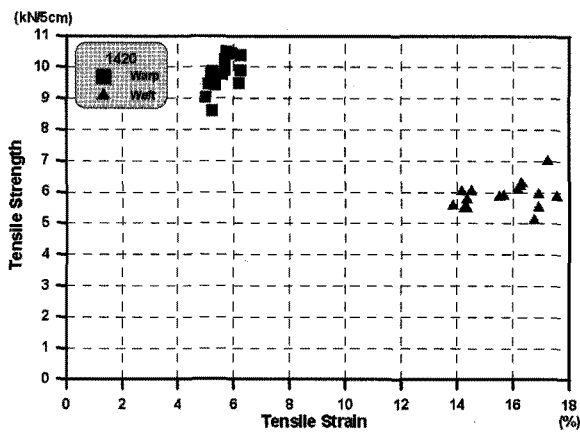
〈그림 8〉 시료 1110의 산점도



〈그림 9〉 시료 1120의 산점도

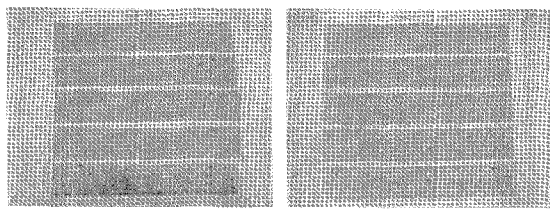


〈그림 10〉 시료 1300의 산점도



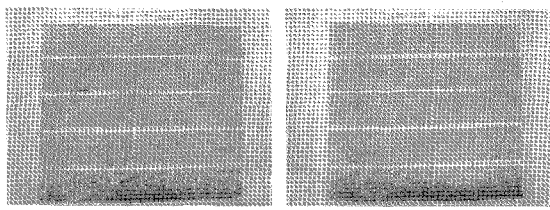
〈그림 11〉 시료 1420의 산점도

각 시료의 파단 형상은 아래 그림과 같다.



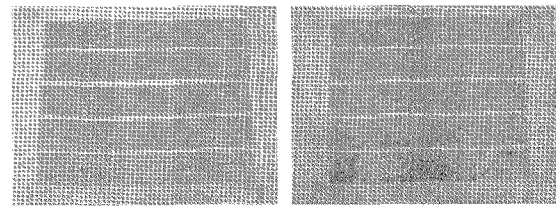
(a)경사방향 (b)위사방향

〈그림 12〉 시료 1110 인장 파단 형상



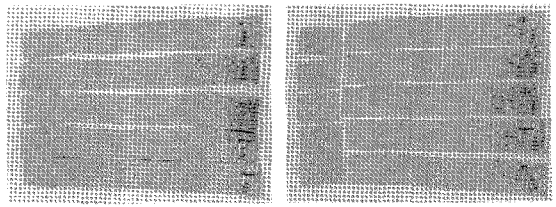
(a)경사방향 (b)위사방향

〈그림 12〉 시료 1120 인장 파단 형상



(a)경사방향 (b)위사방향

〈그림 13〉 시료 1300 인장 파단 형상



(a)경사방향 (b)위사방향

〈그림 14〉 시료 1420 인장 파단 형상

3. 시험 결과 분석

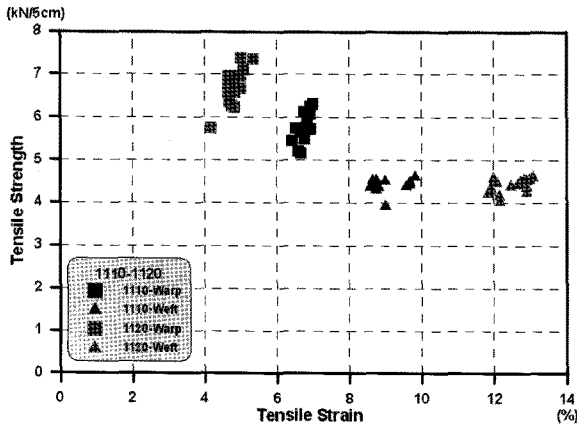
보통 같은 등급 취급할 수 있는 시료 1110과 1120, 시료 1300과 1420을 비교하면 <그림 15>, <그림 16>과 같다. 인장 강도에서의 차이는 크게 나타나고 있지 않지만 변형율에 있어서는 확실한 차이를 보이고 있다.

Base Fabric의 차이에 의한 거동의 차이는 막재 두께의 두께에 따라 다른 양상을 나타내고 있다. 두께가 비교적 얇은 막재인 시료 1110과 1120를 비교하면 EC3 계열인 시료 1120의 경사방향 인장강도는 큰 반면 인장 신율은 상대적으로 작고 위사방향에서는 비슷한 강도에 인장신율은 훨씬 크게 나타나고 있다. <그림 15>에서 확인 할 수 있듯이 시료 1120 결과 안에 시료 1110의 결과가 들어가 있는 형상으로 나타나고 있다.

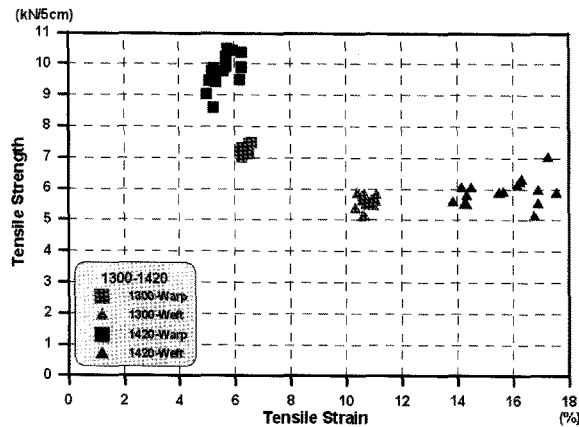
두께가 두꺼운 막재에서는 얇은 막재의 결과와는 반대의 거동이 나타난다. 유리섬유 EC6가 사용된 시료 1420의 결과는 EC3가 사용된 시료 1300 보다 경사방향 인장강도는 큰 반면 인장 신도는 상대적으로 작고 위사방향에서는 비슷한 강도에 인장신도는 훨씬 크게 나타나고 있다.

막재의 두께에 따라 이러한 현상이 발생하는 원인으로 직포를 코팅할 때 발생하는 미세한 응력이

막재에 잔존하고 있다가 creep 현상으로 나타나기 때문에 판단된다. 이러한 현상은 두꺼운 막재에서 현저하게 나타나는 것을 볼 수 있다.



〈그림 15〉 시료 1110과 1120의 비교



〈그림 16〉 시료 1300과 1420의 비교

시료의 파단면을 살펴보면 위사 방향은 사용된 원사에 상관없이 거의 비슷한 파단면을 보이고 있다. 그러나 경사방향의 경우는 굵은 원사를 적용한 시료의 파단면이 좀 더 거칠고 계단 형상으로 나타나고 있다. 이 현상은 두꺼운 막재일수록 크게 나타나고 있으며, 직포에 사용된 원사의 차이에서 오는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 건축용 막재를 만드는 유리섬유 원사가 다른 막재의 인장특성을 1축 인장 실험을 통하여 파악하였다.

유리섬유 원사에 따른 인장강도와 인장신도의 특성을 살펴보면 두께가 비교적 얇은 원단에서 인장강도는 원단에 상관없이 경사, 위사 모두 비슷하게 형성되지만 인장신도에 있어서는 경사방향은 비슷한 양상을 보인다고 할 수 있지만 위사방향은 굵은 원사를 사용한 막재가 30%이상 작게 형성되고 있다. 그러나 두께가 비교적 두꺼운 원단에서는 얇은 막재와는 다른 양상으로 나타나고 있다. 인장신율에 있어서는 굵은 원사를 사용한 막재가 위사방향에 있어서 크게 나타나고 있다.

본 논문에서는 통상적으로 사용하고 있는 원사보다 굵은 원사를 사용한 건축구조용 막재의 인장 특성을 실험을 통하여 파악하였다. 굵은 원사를 사용한 막재의 사용성 판단을 위해서는 추가적으로 인열 성능, 손상 후 인장 강도 등 막재의 제반 특성에 대한 연구가 추가적으로 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(과제번호#06 건설핵심 B03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Bridgens, B., Gosling, P., Birchall, M., "Tensile fabric structures: concepts, practice & developments", The Structural Engineer, 82/14 2004, p21-27
2. Skelton, J., "Mechanical properties of coated fabrics", Mechanics of flexible fibre assemblies, Hearle, J., Thwaites, J., Amirbayat, J., Rijn, A. (Editors), Sijthoff & Noordhoff, Netherlands, 1980, p 461-469
3. Tan, K. Y., Barnes, M. R.: "Numerical representation of stress-strain relations for coated fabrics", Institution of Structural

- Engineers symposium on the design of air supported structures, Bristol, 1980, p162-174
4. Day, A. S.: "Stress-strain equations for non-linear behaviour of coated woven fabrics", Proc. IASS symposium: shells, membranes and space frames, Osaka, Elsevier, Amsterdam, 2, 1986, p17-24
 5. Pargana, J. B., Lloyd Smith, D., Izzuddin, B. A.: "Advanced material model for the analysis of tensioned fabric structures", Computational methods for shell and spatial structures, IASS-IACM, Chania-Crete, Greece, 2000
 6. "Testing method for elastic constants of membrane materials", MSAJ/M-02-1995, Membrane Structures Association of Japan
 7. Reinhardt, H. W.: "On the biaxial testing and strength of coated fabrics", Experimental Mechanics, 16/2, 1976, p 71-74
 8. Mott, R., Huber, G., Leewood, A.: "Biaxial test method for characterization of fabric materials used in permanent fabric roof structures", J. Testing and Evaluation, 13/1, 1985, p 9-16
 9. Clulow, E. E., Taylor, H. M.: "An experimental and theoretical investigation of biaxial stress-strain relations in a plain-weave cloth", J. Textile Inst., 54, 1963, p T323-T347
 10. MacRory, B. M., McNamara, A.B.: "Experimental Investigation of the biaxial load-extension properties of plain weft-knitted fabrics", Textile Res. J., 47, 1977, p 233-239
 11. Bassett, R. J., Postle, R., Pan, N.: "Grip point spacing along the edges of an isotropic fabric sheet in a biaxial tensile test", Polymer Composites, 20, 1999, p 305-313
 12. Happold, E., Ealey, T. A., Liddell, W. I., Pugh, J. W. E., Webster, R. H.: "Discussion: The design and construction of the Diplomatic Club, Riyadh", The Structural Engineer, 65A/1, 1987, p 377-382
 13. Minami, H., Yamamoto, C., Segawa, S., Kono, Y.: "A method for membrane material nonlinear stress analysis using a multi-step linear approximation", in IASS International Symposium on Shell and Spatial Structures, Singapore, 1997, p595-602