

論文

낚시대 제조용 스크림 프리프레그 적층복합재료의 기계적 거동

정성균* · 정성교**

Mechanical Behavior of Laminated Composites Using Scrim Prepregs for Fishing Rods

Seong-Kyun Cheong* and Seong-Kyo Jeong**

Abstract

Mechanical characteristics of composite laminates and cylindrical shells using carbon scrim or glass scrim are evaluated in this paper. Composite laminates and cylindrical shells are made by inserting carbon scrim or glass scrim between layers. The mechanical properties are routinely characterized by ASTM standards. Experimental results show that the mechanical properties of UD prepreg in the transverse direction are highly improved by inserting scrims between layers.

초 록

본 연구에서는 카본 스크림과 유리 스크림을 사용한 복합적층판과 원형 관의 기계적 특성을 평가하였다. 탄소섬유 강화 복합재료의 층과 층 사이에 카본 스크림 또는 유리 스크림을 사용하여 제작하였다. ASTM 규격에 따라 섬유방향의 강도와 강성, 섬유수직방향의 강도와 강성 그리고 전단강도와 전단강성을 측정하였다. 본 실험 결과, 스크림재료를 사용한 경우에 섬유방향의 기계적 특성은 감소하였으나, 섬유수직방향의 기계적 특성은 상당히 개선되었다.

1. 서 론

산업의 발달에 큰 기여를 하여온 기계공업은 사용 분야에 따라 다양한 조건을 요구하고 있다. 충분한 강도와 우수한 내식성, 내열성에 따른 초 경량화 등 다양한 조건을 만족하기 위한 신 소재의 개발이 활발히 진행되고 있다. 그 중 소재의 선택에 있어서 안전성이나 경제적인 요인은 대단히 중요하다. 1942년경에 개발된 섬유강화 복합재료는 최근 그 용도가 매우 다양하게 사용되고 있는데 그 대표적인 재료가 탄소섬유강화

(CFRP ; Carbon Fiber-Reinforced Plastics) 복합재료이다.

탄소 섬유강화 복합재료는 높은 비강성(specific stiffness)과 비강도(specific strength) 특성 때문에 항공기와 군사용품 등에 주로 사용되었으나, 최근에는 낚시대, 골프채 등의 스포츠 용품에 이르기까지 그 사용범위는 매우 다양화되었다.[1-4] 복합재료는 보강재와 모재의 결합으로 구성되어 있어 각 구성물이 갖고 있는 특성보다 우수한 성능을 나타내는 재료를 의미한다.[5-7] 보강재는 역학적 하중을 지지하는 역할을 주

* 서울산업대학교 기계공학과

** 서울산업대학교 대학원

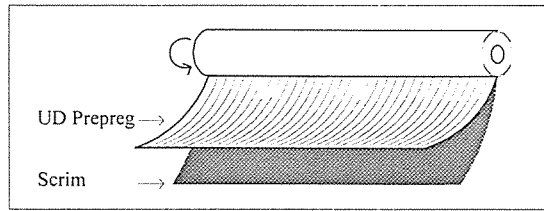


Fig. 1. Manufacturing process for scrim prepreg

로 담당하며, 모제는 섬유와 섬유사이의 하중전달과 형상 결정 등의 역할을 담당하게 된다. 복합적층판(laminated composite)은 일방향(unidirectional)의 섬유 방향을 갖는 프리프레그(prepreg)를 원하는 섬유 방향을 갖는 단층(layer)으로 절단해서 각각의 단층들을 적층하고 성형에 필요한 온도와 압력 등을 가해주어 제작한다. 그러나 낙산대와 같은 튜브형 구조물 제작에 사용되는 일방향 프리프레그는 보통의 구조물에 사용되는 것과는 약간 다르다. 낙산대는 섬유방향이 낙산대 축 방향과 일치되는 단일방향 적층복합재료 튜브형태로 제작되기 때문에 낙산대 축에 수직인 방향 즉, 원주 방향으로는 매우 약한 특성이 있다. 따라서 일방향 복합재료의 섬유 수직방향 및 낙산대 원주 방향의 약한 강도 특성을 보완하기 위해 사용되고 있는 것이 Fig. 1 과 같은 스크림 프리프레그이다. 또한 스크림은 부식저항 및 내마모성, 내충격성 증가 시켜준다[8]. 국내의 고급 낙산대에 사용되고 있는 스크림으로는 유리 스크림(glass scrim)과 카본 스크림(carbon scrim)을 들 수 있다. 그러나 스크림 프리프레그를 낙산대 제조에 사용하면서도 이에 관한 역학적 특성평가가 제대로 이뤄지고 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 카본 스크림 또는 유리 스크림을 사용한 스크림 프리프레그로 적층판과 튜브형태의 시험편을 제작하고, 기본 물성을 평가하였다. 또한 기계적 거동을 평가하여 낙산대 제조용 소재의 개발과 설계 시에 참고로 활용할 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 시험편의 제작

2.1.1 인장 시험편의 제작

본 연구에서 사용한 재료는 SK-Chemicals에서 개발한 에폭시 수지계에 탄소섬유를 함침시킨 일방향 프리

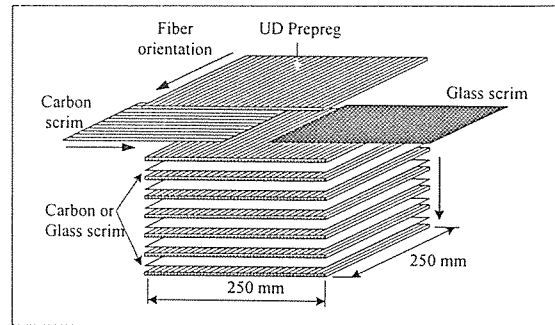


Fig. 2. Configuration of tensile test specimen

Table 1. Material properties of scrim

Type	E_1 (GPa)	E_2 (GPa)	X_t (MPa)	Y_t (MPa)	ν_{12}
Carbon scrim	137.5	7.8	2091.5	31.33	0.32
Glass scrim	29.5		297.7		0.1

Table 2. Basic properties of unidirectional prepreg

Thickness [mm]	Fiber weight [g/m ²]	Resin content [%]	Total weight [g/m ²]
0.125	125	33	187

리프레그(unidirectional prepreg)를 사용하여 스크림을 사용하지 않은 적층판(NS), 카본 스크림을 사용한 적층판(W/CS), 그리고 유리 스크림(W/GS)을 사용한 적층판을 제작하였다. Fig. 2는 인장시험편의 적층형태로 일방향 프리프레그 사이에 카본 또는 유리 스크림을 사용하여 적층판을 제작하였다. 유리 스크림은 직조(woven)로 되어 있어 1, 2방향으로 거의 같은 물성치를 갖고, 카본스크림은 일방향의 섬유를 갖는 프리프레그의 일종으로 제작시 프리프레그의 섬유방향과 수직으로 제작된다. 스크림의 기본 물성치는 Table 1과 같다.

프리프레그는 일본 TORAYCA에서 생산된 T700 탄소섬유를 사용하였다. 본 연구에 사용한 일방향 프리프레그의 특성은 Table 2와 같다.

적층형태는 섬유방향의 탄성계수(longitudinal Young's modulus : E_1), 인장강도(longitudinal tensile strength : X_t)와 포와송 비(longitudinal Poisson's ratios : ν_{12})를 측정하기 위하여 [0]₈의 적층판을 제작하였다. 섬유수직방향의 탄성계수(transverse Young's modulus : E_2), 인장강도(transverse tensile

Table 3. Basic properties of carbon and glass scrim

Materials	Fiber weight [g/m ²]	Resin content [%]	Thickness [mm]
Carbon scrim	20	50	0.02
Glass scrim	25	36	0.03

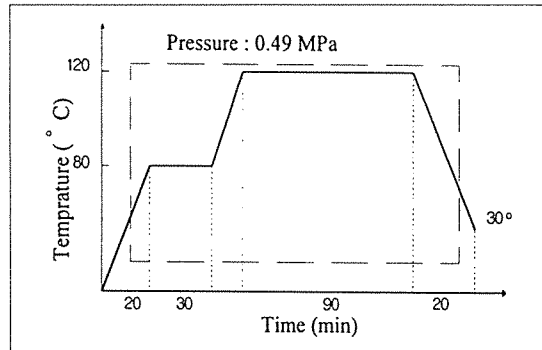


Fig. 3. Processing cycle for laminated composites

Table 4. Thickness of tensile specimen [mm]

Type	Fiber orientation		
	[0°]	[90°]	[±45°]
NS	0.98	2.05	1.40
W/CS	1.20	2.55	1.94
W/GS	1.10	2.30	1.74

strength : Yt)를 측정하기 위하여 [90]₁₆의 적층판을 제작하였다. 섬유 전단방향의 탄성계수(shear Young's modulus : G₁₂), 전단강도(shear strength : S)를 측정하기 위하여 [±45]₁₆의 적층판을 제작하였다[9]. 시험편에 사용한 스크림의 기본특성은 Table 3과 같다.

적층판은 적층 후 오토클레이브를 이용하여 Fig. 3의 과정(curing cycle)으로 제작하였다. 성형된 적층판은 ASTM-3039에서 추천하는 규격으로 제작하였고, 각각의 시험편의 두께는 Table 4와 같다.

2.1.2 3점 굽힘 시험편의 제작

3점 굽힘 시험편의 제작방법은 아래와 같다.

(1) 프리프레그를 Fig. 4와 같이 제단한다.

(2) 맨드릴(mandrel)에 일방향 프리프레그와 스크림(carbon or glass scrim)을 롤링(rolling)하여 3점 굽힘 시험편을 제작한다. 이 때 낚싯대에 제작에 사용되는 스크림 프리프레그의 수는 3 ply로 실제와 동일 조건으로 제작하였다.

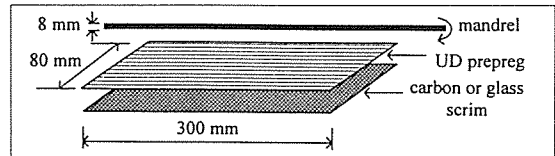


Fig. 4. Pattern and manufacturing process of 3-point bending specimen

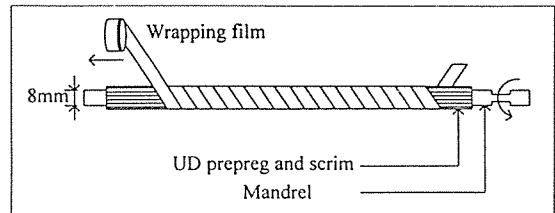


Fig. 5. Fishing rod fabrication procedure

Table 5. Thickness of 3-point bending specimens [mm]

Type	NS	W/CS	W/GS
Thickness	0.45	0.54	0.50

(3) Fig. 5와 같이 래핑기(wrapping machine)를 이용하여 래핑(wrapping) 작업한다.

(4) 오븐(oven)을 이용하여 3점 굽힘 시험편을 제작한다. 성형 과정은 Fig. 3과 같다.

각 시험편의 내경은 모두 8mm이고, 두께는 Table 5와 같다.

2.2 실험 장치

하중 변화에 따른 적층판의 기계적 특성을 측정하기 위해 Fig. 6의 만능시험기를 사용하여 ASTM D3039-96[10]에서 추천하고 있는 방법으로 인장시험을 하였다. 각 시험편의 탄성계수를 측정하기 위하여 게이지 팩터(gage factor) 2.15, 길이(gage length) 5mm, 그리고 119.8Ω인 스트레인게이지를 사용하였다. 게이지의 신호 처리를 위하여 SAMYEON Tech.에서 생산한 MT 16A를 사용하였다. 3점 굽힘 시험은 Fig. 7과 같다. 시험 과정에서의 국부하중에 대한 영향을 최소화하기 위하여 완충제를 부착하였다.

3. 실험 결과

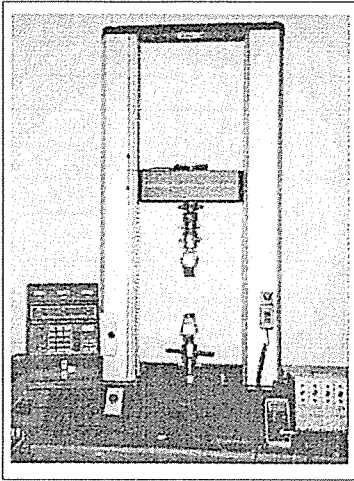


Fig. 6. Tensile test system(Instron 4467)

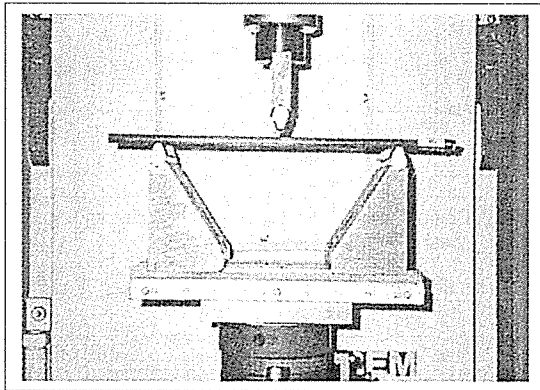


Fig. 7. Illustration of 3-point bending test

3.1 섬유방향의 인장시험 및 결과

섬유방향([0]₈)적층판에 대하여 스크립을 사용하지 않은 경우와 스크립을 사용한 경우에 대하여 인장시험을 수행하였다. Table 6은 각각의 시험결과를 비교한 도표이다.

섬유방향의 인장강성 시험결과 스크립(carbon or glass)을 사용한 시험편은 약 19~27%의 감소를 보였고, 인장강도 역시 약 3~10%의 감소를 보였다.

Table 7과 Fig. 8은 섬유방향의 비강도와 비강성을 비교한 결과로 스크립을 사용하지 않은 시험편이 12.1×10^6 cm, 9.3×10^6 cm으로 가장 높게 평가되었다.

Table 6. Material properties for longitudinal tensile specimen

Type	E_t (GPa)	X_t (MPa)	ν_{12}
NS	129.50	1684.59	0.24
W/CS	94.03(-27.4%)	1502.91(-10.8%)	0.08
W/GS	104.68(-19.2%)	1639.33(-2.7%)	0.22

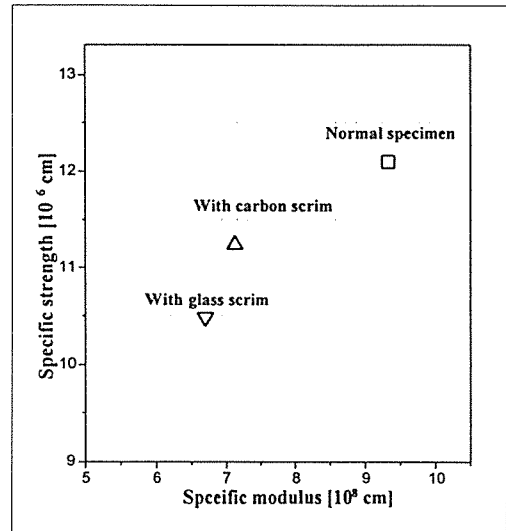


Fig. 8. Comparison of specific modulus and specific strength for longitudinal tensile specimen

Table 7. Specific modulus vs. specific strength for longitudinal tensile specimen

Type	E_t (10^8 cm)	X_t (10^6 cm)	R.C % (resin content)	Density [g/cm ³]
NS	9.33	12.10	30.14	1.40
W/CS	7.13	11.24	31.25	1.32
W/GS	6.70	10.49	32.31	1.61

이처럼 스크립을 사용함으로써 섬유방향 강도 및 강성은 감소하고 있는데, 낙식대에 원주방향의 보강을 위해 피할 수 없는 현상이다.

3.2 섬유수직방향의 인장시험 및 결과

각 시험편 섬유수직방향의 인장 특성을 비교하기 위하여 7~8회에 걸쳐 인장시험을 하였으며, Table 8과 같은 결과를 얻었다.

Table 8에서 카본 스크립을 삽입한 시험편의 강성 및 인장강도가 20.9 GPa, 289.0 MPa로 가장 높게 평가되었다. 이는 유리 스크립을 사용한 시험편은 19.9%

Table 8. Material properties for transverse tensile specimen

Type	E_2 (GPa)	Y_t (MPa)	R.C %
NS	8.29	43.30	32.04
W/CS	20.92(152.4%)	289.03(567.5%)	31.30
W/GS	9.94(19.9%)	56.03(29.4%)	34.62

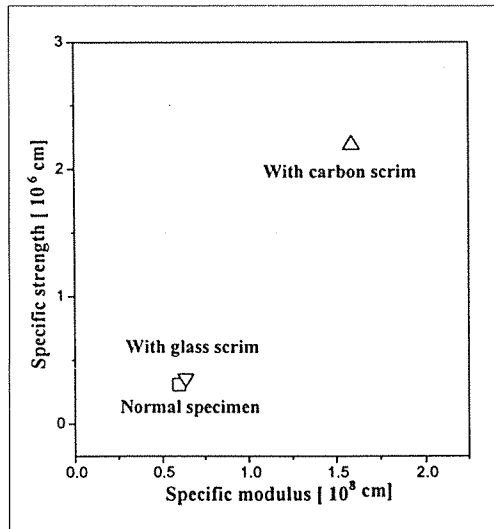


Fig. 9. Comparison of specific modulus and specific strength for transverse tensile specimen

Table 9. Specific modulus vs. specific strength for transverse tensile specimen

Type	$E_0(10^8 \text{ cm})$	$Y_t(10^6 \text{ cm})$	Density [g/cm^3]
NS	0.58	0.31	1.41
W/CS	1.59	2.91	1.34
W/GS	0.64	0.36	1.59

의 인장강성, 29.4%의 인장강도의 증가를 보이고, 카본 스크림을 사용한 시험편은 152.4%의 인장강성, 567.5%의 인장 강도의 증가를 보였다.

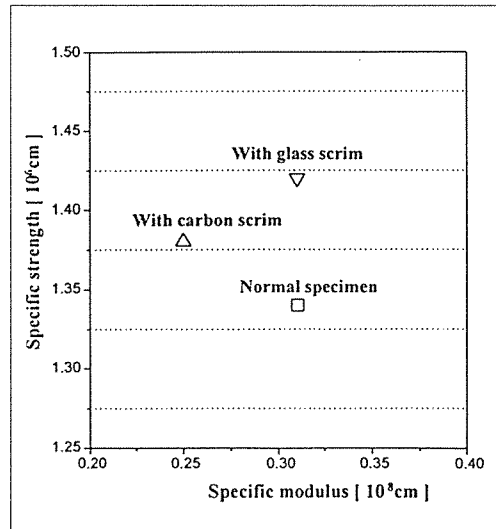
Table 9와 Fig. 9는 섬유수직방향의 인장시험편의 비강도와 비강성을 비교한 결과로 카본 스크림을 삽입한 시험편이 $2.2 \times 10^6 \text{ cm}$, $1.6 \times 10^8 \text{ cm}$ 으로 가장 높게 평가되었다.

3.3 섬유전단방향의 인장시험 및 결과

섬유전단방향(± 45)_{3S}의 적층판에 대하여 스크림을 사용하지 않은 경우와 사용한 경우에 대하여 전단시험

Table 10. Material properties for $[\pm 45]_{3S}$ tensile specimen

Type	G_{12} (GPa)	S(MPa)	R.C %
NS	4.26	185.20	33.20
W/CS	3.34	181.43	32.45
W/GS	4.79	221.53	35.80

Fig. 10. Comparison of specific shear modulus and specific shear strength for $[\pm 45]_{3S}$ specimenTable 11. Specific shear modulus vs. specific shear strength for $[\pm 45]_{3S}$ specimen

Type	$G_{12}(10^8 \text{ cm})$	S(10^6 cm)
NS	0.31	1.34
W/CS	0.25	1.38
W/GS	0.31	1.42

을 수행하였다. 시험결과 각 인장시험편의 강성 및 강도는 Table 10과 같다. 유리 스크림을 사용한 시험편의 전단 강성 및 전단 강도가 4.79 GPa, 221.53 MPa로 가장 높게 평가되었다.

섬유전단방향의 인장시험 결과를 비전단강도와 비전단강성으로 표현하면, Fig. 10, Table 11과 같이 표현할 수 있다.

유리 스크림을 사용한 시험편의 비전단강성 및 비전단강도에서 $0.31 \times 10^8 \text{ cm}$, $1.42 \times 10^6 \text{ cm}$ 로 가장 높게 평가되었다.

3.4 3점 굽힘 시험 결과

각 시험편의 기본 물성을 실질적인 낙식대에 적용하기 위하여 원형단면의 3점 굽힘시험편을 제작하여 5~6회에 걸쳐 3점 굽힘시험을 하였다. Fig. 11과 Table 12는 3점 굽힘시험의 결과로, 카본 스크림을 사용한 시험편의 최대 파단은 318.8N으로 나타났다.

Fig. 12~14는 각 시험편의 파단 형상으로 Fig. 12와 Fig. 14에서 축 방향으로의 파단 형태를 보였으나 Fig. 13와 같이 카본 스크림을 사용한 시험편에서는 원주방향의 파단 형태를 보였다. 이와 같이 카본 스크림을 사용한 경우에는 유리 스크림을 사용한 시험편 및 스크림을 사용하지 않은 시험편과 3점 굽힘시험편의 파단 형태가 다르다. 카본스크림을 사용하여 섬유수 직방향은 높은 보강효과를 나타내었으나, 지나친 보강 효과로 보인다. 재료의 최적 설계 측면에서 볼 때, 가장 이상적인 경우는 파단 형태가 Fig. 12와 Fig. 14의 혼

Table 12. Result of 3-point bending test

Type	NS	W/CS	W/GS
Max. Load[N]	163.64	318.00	239.20

합된 형태가 보이는 순간이 될 것이다.

4. 결 론

현재 낙식대의 제작에 주로 사용되고 있는 유리 스크림 또는 카본 스크림을 사용한 적층판의 인장특성과 이를 원형관을 통한 3점 굽힘 시험 결과를 비교하여

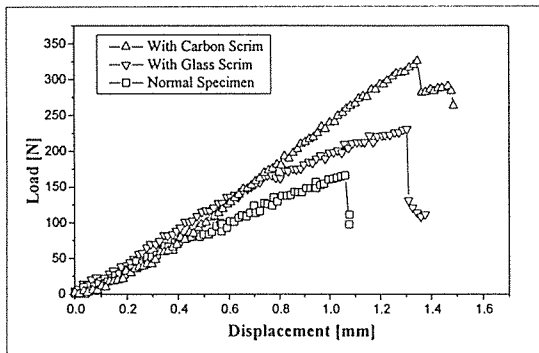


Fig. 11. Force-displacement diagram for 3-point bending test

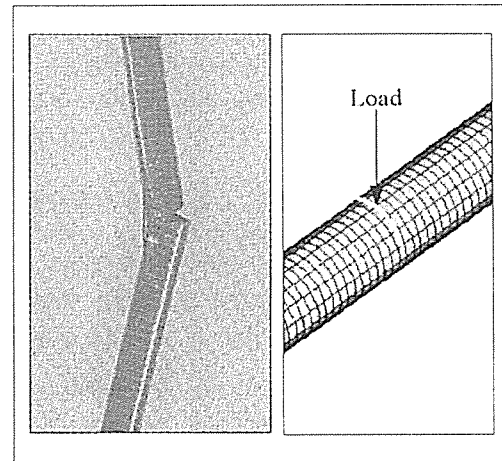


Fig. 13. Failure mode for tubular specimen with carbon scrim

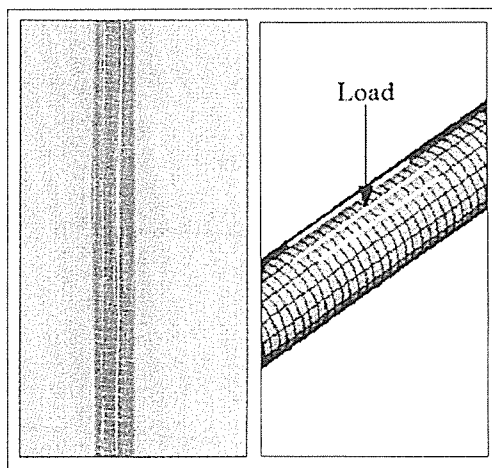


Fig. 12. Failure mode for normal tubular specimen

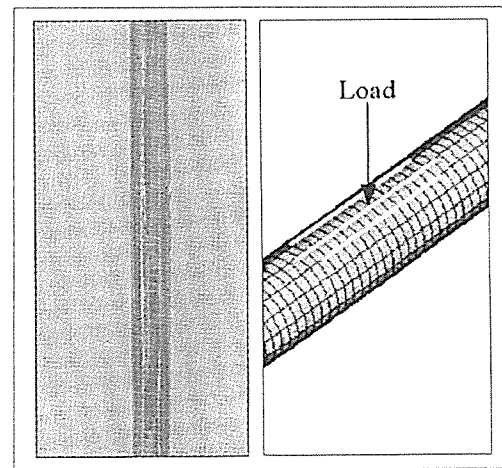


Fig. 14 Failure mod for tubular specimen with glass scrim

다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 섬유방향 인장시험 결과, 유리 스크림을 사용한 경우에 두께의 효과로 인하여 강성(-19.2%), 강도(-2.7%), 비강성(-28.1%), 비강도(-13.3%)의 기계적 특성이 감소하였다. 카본스크림을 사용한 경우에는 강성(-27.4%), 강도(-10.8%), 비강성(-23.6%), 비강도(-7.1%)의 기계적 특성이 감소하였다.

(2) 섬유수직방향 인장시험 결과, 섬유수직방향의 보강 효과로 유리 스크림을 사용한 경우에 강성(19.9%), 강도(29.4%), 비강성(6.5%), 비강도(15.1%)의 기계적 특성이 증가하였다. 카본스크림을 사용한 경우에는 강성(152.4%), 강도(567.5%), 비강성(165.7%), 비강도(602.2%)의 기계적 특성이 매우 증가하였다.

(3) 전단 시험결과, 유리 스크림을 사용한 경우에 기계적 특성이 크게 변하지 않았다. 카본 스크림을 사용한 경우에는 강성(-21.6%), 강도(-2.0%), 비강성(-19.4%), 비강도(3.0%)의 기계적 특성이 다소 감소하였다.

(4) 고가인 카본 스크림을 사용한 3점 굽힘시험편의 경우에 파단이 낚싯대의 축에 수직 방향으로 일어났다. 이것은 섬유수직 방향으로 지나치게 보강되었음을 의미하며, 추후 연구에서 효율적인 재료설계를 한다면 낚싯대의 성능 및 비용을 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 서울산업대학교 학술연구비에 의하여 연구되었으며, 실험에 도움을 주신 SK 케미칼의 임 승규 박사님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Isaac, M.D. and Ishai, "Engineering Mechanics of Composite Materials" Oxford University Press, Vol. 2, 1994, pp. 10~11.
2. Engineered Materials Handbook. Composites, "Applications and Experience" Vol. 46, 1997, pp.799~845.
3. Swanson, S.R., "Introduction to Design and Analysis with Advanced Composite Materials", Prentice Hall, 1997, pp. 22-24.
4. Gibson, R.F., "Principles of Composite Material Mechanics", McGraw-Hill, Inc. 1994, pp7~11.
5. Robert M. Jones, "Mechanics of Composite Materials", Scripta Book Company, 1975.
6. Tsai, S.W. and Hahn, H.T., Introduction to Composite Materials, Tcchnomic Publishing company, Westport, 1980.
7. Mallick, P.K., Fiber-Reinforced Composites-Materials, Manufacturing, and Design, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, 1988.
8. SKC 정밀화학연구개발실, "탄소섬유 스크림 프리프레그 자료집", 1997.
9. 이대길, "복합재료 역학 및 가공론", 성안당, 1996, pp19~41.
10. Standard test method for "tensile properties of polymer matrix composite materials", ASTM D3039, 1996.