

PET Filament 연신사의 물성이 직물의 수축특성에 미치는 영향(II) - 직물의 수축특성 -

송주화 · 김종섭*† · 강태진

서울대학교 공과대학 섬유고분자공학과, *한성대학교 의생활학부
(2000. 4. 14. 접수)

The Effect of Thermal Shrinkage of PET Filament Yarn on the Dimensional Properties of Woven Fabric(II) - Shrinkage Characteristics of Woven Fabric -

Ju Hwa Song, Jong Seob Kim*, and Tae Jin Kang

Department of Fiber and Polymer Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

*Fashion Design Business Division, Hansung University, Seoul 136-092, Korea

(Received April 14, 2000)

Abstract : Shrinkage behavior of woven fabrics composed of PET drawn yarns manufactured under different pre-heat treatment conditions of practical fabrication processes was studied. The shrinkage characteristics of woven fabrics were determined by the weaving density as well as by the shrinkage level of yarn remaining, and these parameters predominantly affected the shrinkage characteristics of woven fabric in the low temperature range of 80~90 °C. The crystallinity of drawn yarns with different shrinkage ratios increased in the progress of the fabrication process up to a constant level, however changes in the dye adsorption with different fabrication and finishing process could not be observed.

1. 서 론

Poly(ethylene terephthalate)는 제조공정중의 고유한 다전성(versatility)으로 인하여 많은 기술개발이 이루어져 왔으며 그중에서도 수축률의 다양화는 신합섬의 탄생을 가능하게 하여 PET의 새로운 수요창출에 기여한 바가 크다. 신합섬의 제조기술에 이용되는 PET 특성 중의 하나가 수축특성으로서, 특히 수축특성을 달리한 이종사 혼섬을 시도한 것이 신합섬의 주류를 이루는 이수축혼섬사계 기술이다.

서로 다른 수축률로 제조된 두가지 원사를 에어 인터레이싱(air interlacing) 등의 방법으로 합사하여 사용하면 이수축특성을 발휘하여 직물의 풍만함(bulkiness)이나 유연함을 증가시킬 수 있으나 고분자 구조변화에 따른 상대적 이염성이나 염색반 등의 염색성 변화가 문제가 되기도 한다.

PET의 열수축 거동 메커니즘에 관한 연구는 다양하게 이루어져 왔다[1-4]. 특히 Kitazawa[5]는 150 데니어 PET POY에 10 mg/den의 장력을 부가하여 선열처리후 가열 수축시키면 선열처리온도 78 °C까지는 수축률이 감소하나 그후 95 °C까지는 오히려 신장하기 시작하여 신장률이 증가하다가 95 °C 이상의 선열처리온도에서는 다시 신장률이 감소하여 0%에 수렴하며 이러한 신장현상은 POY의 방사조건이나 선열처리시의 부여장력에 따라 그 신장 발현 정도가 달라지게 된다고 보고하였다.

또한 이러한 자발신장 개념은 PET 필름에서도 관찰되는데 Bosley[6]는 열처리전 일정배향상태를 갖는 폴리머 사슬 중의 배향된 핵에 열이 가해져 결정화가 진행되면 무정형부는 축방향으로의 압축을 받게되어 신장하게 된다고 주장하였다. 한편 Toda[7]는 열처리에 의해서 PET의 결정화도는 증가하나 결정주변의 무정형부 밀도는 감소하여 염료침투가 용이해져서 염착량이 증가한다고 보고하였으나, Tomio[8,9]는 열처리 온도 조건에 따라 PET의 염착량은 감소하다가 일정온도를 지

[†]To whom correspondence should be addressed.
jskim@hansung.ac.kr

나면 다시 염착량이 증가하는 임계온도구간이 존재한다고 보고하였다. 본 연구에서는 수축특성이 다르게 제조된 PET 연신사를 사용하여 기본적 수축 특성과 하중, 수축온도, 선열처리 조건 등에 따른 PET 연신사의 수축거동을 조사한 전보[10]에서의 해당 원리를 사용한 직물을 제조하고 열처리 조건에 따른 형태변화를 검토하여, 직물에서의 PET 연신사의 수축특성과 염가공 공정중의 실제 수축 거동과의 상관관계를 조사하였다.

2. 실험

2.1. 시료

본 실험에 사용된 PET 연신사의 제조방법(증합, 방

사, 연신)과 물리적 특성은 전보[10]에서 보였다.

2.2. 제작준비

경사 : Table 1과 같이 PET filament 75 den/36fil SDY(spin draw yarn)를 사이징시 구분·권취하여 loom beam을 준비하였다. 사이징시의 챔버온도는 140 /145 °C, 실린더 온도는 130/130/125/125/120 °C, 사속은 220 m/min이었으며 평균 호부착량은 7.6%이었다.

위사 : filament yarn은 콜 권사기(cop winder)를 사용하여 직접 목판에 권취하였으며 이후 커버팩터(cover factor) 계산시 정확성을 기하기 위하여 실측섬도를 Table 2에 보였다.

Table 1. Loom beam preparation

	Ends/sized beam	Doubling no.	Total ends/loom beam	Reed application	Loom beam length (m)
Beam 1	1500	3	4500	29, 32, 37	200
Beam 2		4	6000	40	200

Table 2. Fineness(denier) of the different types of yarn

Types of yarn	H	R	L	C	LL	Warp yarn
Fineness	75.5	75.3	75.5	75.6	73.6	73.2

Table 3. Weaving specification

Weave number	Reed (dents/in.)	Picks/in.	Type of weft yarn	Weave number	Reed (dents/in.)	Picks/in.	Type of weft yarn
H-1	29	76	H	C-4	32	76	C
R-1	29	76	R	LL-4	32	76	LL
L-1	29	76	L	H-5	32	95	H
C-1	29	76	C	R-5	32	95	R
LL-1	29	76	LL	L-5	32	95	L
H-2	32	58	H	C-5	32	95	C
R-2	32	58	R	LL-5	32	95	LL
L-2	32	58	L	H-6	37	76	H
C-2	32	58	C	R-6	37	76	R
LL-2	32	58	LL	L-6	37	76	L
H-3	32	66	H	C-6	37	76	C
R-3	32	66	R	LL-6	37	76	LL
L-3	32	66	L	H-7	40	76	H
C-3	32	66	C	R-7	40	76	R
LL-3	32	66	LL	L-7	40	76	L
H-4	32	76	H	C-7	40	76	C
R-4	32	76	R	LL-7	40	76	LL
L-4	32	76	L				

*Number of threads per dent is 3 for all weaving specification.

2.3. 제조(Fabrication)

직물 : shuttle stop change식의 복직기(승리 기계 제작소)를 사용하였으며 제작속도는 150 picks/min로 Table 3에 나타낸 weave No. 별로 각 2 meter씩 제작하였다.

편성물 : 5종의 원사(H, R, L, C, LL)를 2합하여 24 needles/inch의 tube knitting machine에서 needle과 guide간의 장력을 5 g으로 하여 편직하였다.

2.4. 직물의 수축률

Table 3에서 만들어진 생지를 경·위 방향으로 34 cm × 26 cm의 넓이로 절단하여 생지 주변을 알코올 램프로 그을린 후 위사방향으로 연결하였다. 이것을 circular type 염색기인 Roaches 소형 염색기에서 80, 90, 100, 110, 120, 130 °C의 온도로 30분간 정련·축소하면서 NaOH 0.5 g/l와 계면활성제 BK-20 0.5 g/l를 투입하여 호발을 도왔으며 이때 승온·강온 속도는 2 °C/min이었다. 정련된 원단을 자연 건조시킨 후 밀도 변화와 함께 (1), (2), (3) 식에 의해 경·위 방향의 수축률과 cover factor[11]의 변화를 구하였다.

$$\text{Warp(Weft)} - \text{directional shrinkage (\%)} =$$

$$\frac{N_a - N_b}{N_a} \times 100 \quad (1)$$

여기서, N_a : picks (ends) per inch after shrinkage

N_b : picks (ends) per inch before shrinkage

$$\text{Fractional cover } (K_1, K_2) =$$

$$0.01375 \times \text{No. of threads/inch} \times \sqrt{\text{denier}} \quad (2)$$

(1: warp, 2: weft)

$$\text{Cover factor } (K) = K_1 + K_2 \quad (3)$$

2.5. 염색가공정 진행에 따른 원사의 물성변화

원사에서부터 간단한 편성물의 원단화 과정을 거쳐 감에 따른 결정화도와 염색성의 변화 추이를 살펴보자 준비된 5종 원사의 튜브 니트 생지를 95 °C에서 정련, 자연건조하고 4번부가 파지된 상태로 160, 180, 200 °C의 온도에서 30초간 열처리하였다. 이 때 원사, unscoured fabric, scoured fabric, 3종의 set fabric 등의 결정화도를 밀도구배관법에 의하여 측정하였으며 scoured fabric과 3종의 set fabric을 Tersail blue BG (Ciba-Geigy사 제조) 0.5% o/wf의 염료 농도로 동록 염색하고 자연건조 시킨 후, Datacolor International사의 Datamatch 600을 이용하여 K/S value(Kubellka Munk Constant)를 측정하였다.

또한 세트지간 염착량 차의 원인을 규명하기 위하여 H와 LL 원사, 각각의 180 °C 세트 원단에 대하여 일본 Rikaku사의 DMAX-III B type의 WAXD 기기에서 CuK α 1.5408 Å 파장의 X-선 비임을 조사하여 결정크기를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 정련온도에 따른 피복도 변화와 경·위사의 수축거동

Figure 1은 위사밀도 변경에 따른 직물 피복도의 변

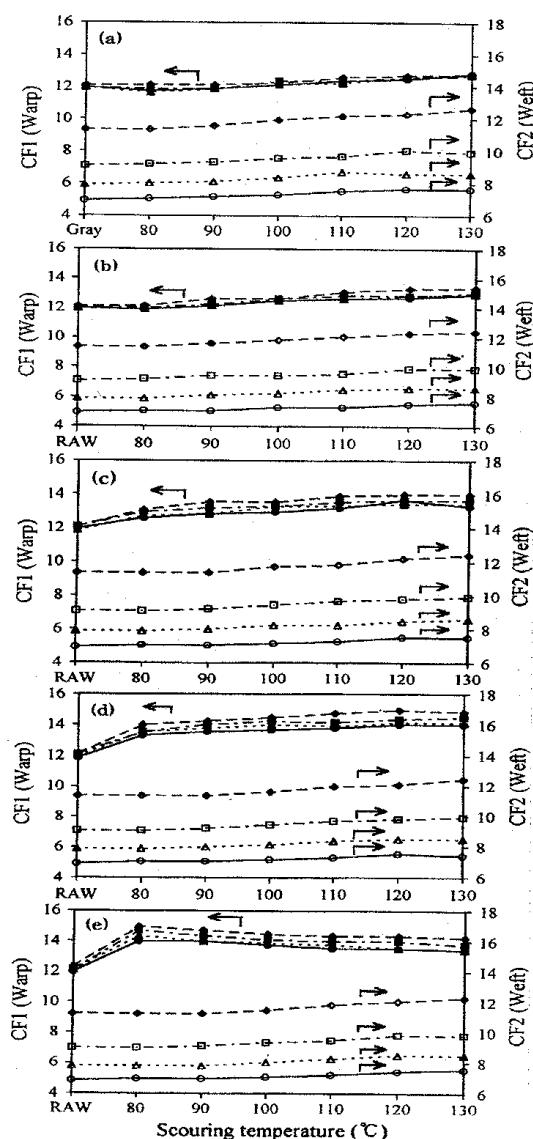


Figure 1. Variation of fractional cover(CF) with scouring temperature for different yarn types 2(○), 3(△), 4(□) and 5(◇) with filled symbols representing warp and blank ones representing weft: (a) H, (b) R, (c) L, (d) C, and (e) LL.

화를 나타내었다. 5종 위사가 적용된 직물의 수축 거동을 보면 생지 위사 밀도를 변경하였을 때, 상대적으로 위사밀도가 많은 직물의 경우 저온인 80°C 정련온도에서 경사 커버팩터의 상승이 많았다. 이는 경위사

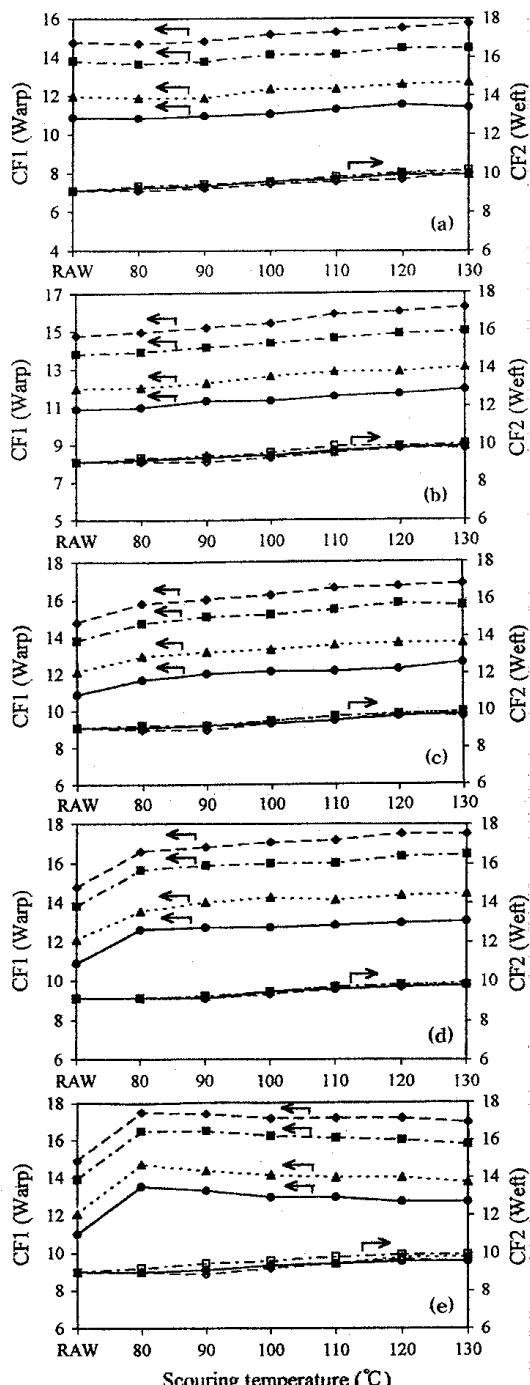


Figure 2. Variation of fractional cover(CF) with scouring temperatures for different yarn types 1(○), 4(△), 6(□) and 7(◇) with filled symbols representing warp and blank ones representing weft: (a) H, (b) R, (c) L, (d) C, and (e) LL.

가 직물수축의 기여도에 경쟁의 관계에 있어, 경사보다 수축률이 상대적으로 높은 위사의 본수가 많을수록 위사방향의 수축을 용이하게 하여 경사의 피복도를 더 많이 증가시키기 때문이며 위사의 수축률이 높을수록 경사 피복도의 상승도 더 높게 나타난다. 그러나 이후 수축 온도 상승에 따른 경사 피복도의 상승은 위사밀도에 관계없이 거의 직선적인 형태로 나타났다. 이러한 현상은 경사 밀도를 변경하였을 때도 동일하여 Figure 2에 나타난 바와 같이, 경사밀도를 변경하여도 정련온도 상승에 따른 위사 피복도의 상승은 거의 직선적이었다.

또한 5종 원사가 적용된 각각의 원단은 그 수축 거동이 서로 다른 바, 초기 수축이라 할 수 있는 80°C 정련에서 위사에 H 원사가 적용된 원단의 경우는 정련온도가 증가함에 따라 경사 피복도(fractional cover: K1)가 서서히 증가하며 R, L C, LL의 순서로 점차 증가가 많으나, 위사 피복도(fractional cover: K2)의 증가는 H 원사가 적용된 원단에서 다소 큼을 알 수 있다. 이같은 경향은 수축환경에서의 경·위사는 일정공간으로 수축함에 있어 서로 경쟁관계에 있게 되어 위사의 수축률이 높으면 경사는 수축을 하지 못하기 때문이라 생각된다. 한편 LL 원사가 위사로 사용된 원단은, 다른 4종의 원사가 사용된 원단이 정련온도에 따라 수축률이 증가하는 경향을 보이는 점과는 다른 수축거동을 보이는 바, Figure 1(e)에서 보듯이 초기 80°C의 정련온도에서는 위사가 가장 많이 수축하여 경사 피복도가 최고치를 보이나 그 이상의 온도에서는 점차 저하함을 알 수 있다. 이같은 현상은 전보[10]에서 LL 원사에 80°C×2분 선열처리를 하였을 때 나타난 자발신장 현상과 유사한 것으로서 선열처리시 열처리 효과가 80°C 부근에서 최대수축을 보이기 때문에 이후 90°C 이상으로 승온하려면 최대 수축을 보였던 80°C 온도를 경과하여야 한다. 이때 직물은 최대 수축상태로 파지되고 승온 후의 정련온도로 열처리되기 때문에 최고 정련온도에서는 선열처리효과에 의하여 일부 신장하게 되는 것으로서, 선열처리가 심해질수록 더 신장하는 것으로 나타났다. 이것은 Kitazawa 등[5]의 실험에서, PET POY에 열처리를 하였을 때 이후의 수축공정에서 신장함을 보인 결과와 동일한 의미로 생각된다.

3.2. 정련온도에 따른 원단 수축률의 변화

직물의 피복도 및 형태 변화를 파악하는 계수로 커버팩터를 사용하지만 직물의 수축 정도를 파악하는 방법으로 많이 사용하는 방법은 수축률이다. 실제적으로

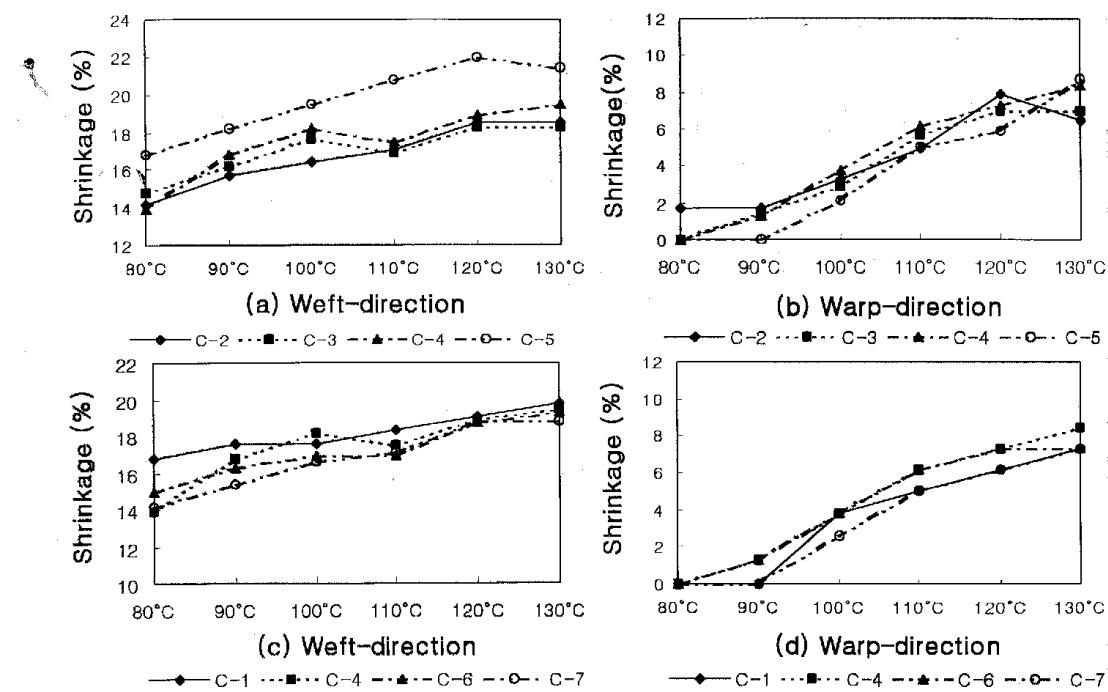


Figure 3. Variation of fabric shrinkage with scouring temperature; (a), (b) weave specification C-2, 3, 4, 5 (c), (d) C-1, 4, 6, 7.

는 제작설계를 할 경우나, 향후 염가공시의 수축정도를 개략적으로 산정할 경우에 염가공시의 품질관리 수단으로 또는 정련축소 정도를 판단하는데 이용되며 직물 원가계산시 중요한 계수로 사용한다.

커버팩터나 수축률은 어느 것으로도 직물의 형태 변화를 파악할 수 있으나, 커버팩터가 섬도와 직물 밀도로 계산되는 절대적인 계수라 한다면, 수축률은 밀도의 증가분을 수축후의 밀도로 나누어 계산하는 상대적인 계수라 하겠다.

본 실험의 결과를 수축률의 관점에서 검토하면 커버팩터의 경우와 동일한 경향을 보인다. 즉 Figure 3 (a), (b)에서 보듯이, 제작규격 2, 3, 4, 5로 위사인 C 원사의 밀도를 달리하여 제작한 원단은 80°C 정련온도에서, 생지의 위사 밀도가 많은 C-5가 밀도가 적은 C-2보다 위사 방향으로의 수축률이 높았으며 정련온도가 증가하여도 C-5와 C-2 사이에는 2~3%의 수축률 차이가 유지되었다. 또한 경사방향으로의 수축률은 위사밀도가 낮은 C-2 원단이 낮은 온도에서 먼저 수축률이 일어났으나 정련온도 상승에 따른 수축률 차이는 미세하였다.

한편 Figure 3 (c), (d)에서 보는 바와 같이 경사 밀도를 변경한 제작 규격 1, 4, 6, 7에서는 경사 밀도가 많은 C-7보다 경사 밀도가 상대적으로 적은 C-1 원단에서 위사의 수축이 용이하여 수축률이 높게 나타남을

알 수 있다.

3.3. 염색가공 공정진행에 따른 염착성의 변화

서로 다른 물성을 갖는 원사로 구성된 직물이 제작 및 염색 가공 공정을 거쳐감에 따른 물성 변화를 파악하기 위하여 H, R, LL의 3종원사로 구성된 편성물을 이용하여 편성, 정련, 세트 공정을 거친 후 각 편성물을 구성하는 원사의 결정화도와 염착성의 변화를 파악하여 보았다.

Figure 4는 그 결과를 나타낸 것으로 각 원사가 적용된 편성물은 공정을 거침에 따라 그 결정화도가 증가하고 원사간에 나타났던 결정화도의 차이가 점점 좁혀져 세트 공정을 거치면 거의 유사한 수준의 결정화도에 도달함을 알 수 있었다.

그러나 정련이나 세트 공정을 거친 편성물의 염착성은 결정화도와 달리 그 격차가 좁혀지지 않는데 그 이유는, Toda[7]의 연구 결과 등에서 볼 수 있는 바와 같이, 열처리에 의하여 PET의 결정화도는 증가하고 이 때 열처리 전의 결정을 핵으로 하여 주위의 분자쇄가 결정에 참가하게 된다. 이에 따라 열처리 후의 결정 주변의 무정형부 밀도(amorphous density)가 집중적으로 감소하여 이 부분으로의 염료 침투가 용이하여져서 다른 무정형부에 비하여 상대적으로 염착량이 증가하게 된다. 따라서 동일한 결정화도의 원단이라도 염색 직

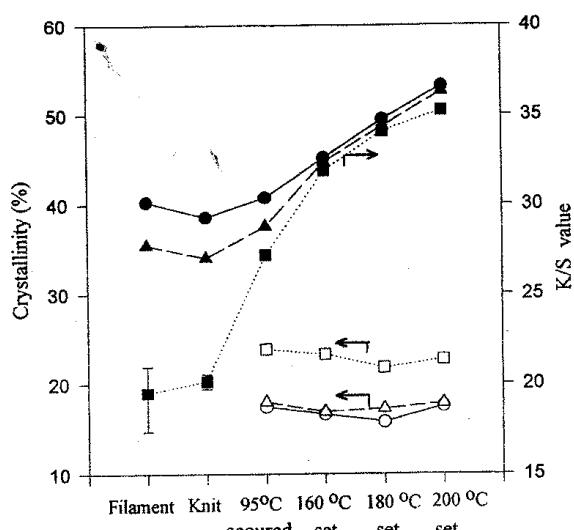


Figure 4. Variation of crystallinity and apparent dye adsorption at each process step: blank symbols are crystallinity and filled one K/S value; (—) yarn H, (---) yarn R, (.....) yarn LL.

전의 결정 크기와 표면적이 염착량을 좌우하게 된다.

하나의 원사를 구성하는 결정이 동일한 직육면체로 구성되고 결정화도를 결정과 비결정의 부피분율인 것으로 가정하고 *Table 4*를 보면, 세트된 직물에서 H 원사 결정의 평균 크기가 LL의 경우보다 체적상 약 1.714배 크고(결정의 수는 반대), 결정당 표면적비로 환산하면 약 1.386배 큼을 알 수 있다. 여기에 전체 결정의 수를 감안하여 표면적비로 나타내면 LL 원사의 전 결정 표면적이 H 원사에 비하여 1.237배 넓어서 동일한 결정화도 일지라도 원단의 세트 후의 염착량 차이는 당연히 발생하는 것으로 생각할 수 있다.

그리고 *Figure 4*에서 보듯이 정련과 세트 온도에 따라 원단의 염착량이 조금씩 감소하다가 다시 증가하며 최소 염착이 160~180 °C의 열처리 구간에서 나타났는데 이는 Tomio 등[8,9]과 Pal[12]의 연구와 동일한 결과임을 알 수 있으며, 이렇게 열처리 온도의 증가에 의

하여 염착량이 감소하다가 일정 온도를 초과하면 다시 염착량이 증가하는 현상의 원인은 다음과 같이 설명할 수 있다. 즉, 일정 열처리를 받은 원사의 염착량은 원사의 결정화도가 증가할수록 무정형부의 절대적인 감소에 의하여 자연히 염착력이 감소한다는 측면과, 무정형부의 분자쇄가 결정화에 참여함으로써 무정형부의 밀도가 감소하여 이 부분에 집중적으로 염료가 흡착되어 응결된다[7]는 측면의 경쟁 관계에 의하여 결정되는 것으로서, 그 임계온도가 160~180 °C 사이가 됨을 알 수 있다.

4. 결 론

다양한 수축률의 발현이 가능한 PET 필라멘트 연신사로 제작된 원단의 수축특성을 알아보기 위하여 자유수축률이 서로 다른 5종의 원사를 위사로 사용한 직물을 제작하고 정련온도에 따른 피복도와 수축률 변화, 염가공 공정 진행에 따른 결정화도와 염착성의 변화를 조사하였다. 원사가 미열처리 상태로 제작된 원단은 선열처리시의 수축결과와는 다르며, 경위사의 피복도는 80 °C의 수축온도에서도 연신사의 자유수축률에 비례하여 증가하고 이후는 정련온도 증가에 따라 거의 직선적인 관계를 나타내었다. 이러한 현상은 특히 초기 수축에서 결정적으로 나타나며, 위사밀도가 다를 때 정련온도의 증가에 따른 경사 피복도 증가 비율은 원사들간에 거의 일정하였다. 한편 원단의 초기 수축시 위사밀도 차이에 의하여 발생하는 경사 피복도 차는 위사의 수축률이 높을수록 현저함도 알 수 있었다. 또한 다양한 수축률의 연신사가 제작전 선열처리, 정련, heat-set 등의 열처리 공정을 거치면 그 원사의 결정화도는 상승하여 일정치로 수렴하지만 염색중의 염착량에는 차이를 나타냈으며, 이때의 염착량은 결정의 크기에 반비례함을 알 수 있었다. 결론적으로 PET 연신사의 자유수축률은 제사공정이후의 제포·염색 과정중에 부가되는 장력과 열 등에 의하여 감소하며, PET 직물의

Table 4. Comparison of crystal size of high temperature drawn yarn (H) and yarns drawn to low draw ratio at low temperature (LL)

	Apparent crystal size (Å)				Apparent crystal volume (Å) ³	Remarks
	(010)	(110)	(100)	(105)		
H yarn	52	44	33	59	101244	
LL yarn	-	-	-	49		
H 180 °C set	54	43	40	57	123120	fabric
LL 180 °C set	38	38	30	63	71820	

수축특성은 구성하는 경·위사가 염색가공 단계까지 보유하는 수축률과 제작밀도에 의하여 결정되는데, 특히 수축 초기 단계의 저온 영역에서 결정적인 영향을 받음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. A. Ribinick, *Text. Res. J.*, **39**, 742(1969).
2. J. R. C. Pereira and R. S. Porter, *Polymer*, **25**, 877 (1984).
3. W. O. Statton, J. L. Koenig, and M. J. Hannon, *Appl. Phys.*, **41**, 4290(1970).
4. J. H. Nobbs, D. I. Bower, and I. M. Ward, *Polymer*, **17**, 25(1976).
5. T. Kitazwa and E. Hashi, *Sen-i Gakkaishi*, **32**, 359 (1975).
6. D. E. Bosley, *J. Polym. Sci.*, **20**, 77(1967).
7. T. Toda, H. Yoshida, and K. Fukunishi, *Sen-i Gakkaishi*, **50**, 599(1994).
8. K. Tomio, K. Kenji, and K. Yoshiya, *J. Textile Mach. Soc. Japan*, **38**, T192(1985).
9. K. Tomio, M. Sei-ichi, and K. Kenji, *J. Textile Mach. Soc. Japan*, **38**, T150(1985).
10. J. H. Song, J. S. Kim, and T. J. Kang, *J Korean Fiber Soc.*, **36**, 902(1999).
11. 육영수, “기초직물구조학”, Chap. 2, 동명사, 1991.
12. S. K. Pal, Y. C. Mehta, and R. S. Gandhi, *Text. Res. J.*, **59**, 734(1989).

부직포/다축경편성물 하이브리드 복합재료의 역학적 성질에 관한 연구

김태균 · 이경우* · 강태진†

서울대학교 섬유고분자공학과, *동아대학교 의상섬유학부

(2000. 2. 10. 접수)

Mechanical Properties of Hybrid Composite of Nonwoven and Multiaxial Warp Knit

Tae Kyun Kim, Kyung Woo Lee*, and Tae Jin Kang†

Department of Fiber & Polymer Science, Seoul National University, Seoul 151-752, Korea

*Division of Fashion and Textiles, Dong-A University, Pusan 604-714, Korea

(Received February 10, 2000)

Abstract : The mechanical properties of hybrid composite of glass nonwoven and Kevlar multiaxial warp knit have been studied. The effects of structural changes in hybrid composites were investigated with the focus on the interhybrid structures resulting from changes in the stacking sequence of the two different materials. The hybrid composites showed good flexural properties, because the short staple reinforced fibers in nonwoven fabrics effectively disturbed the propagation of crack path by fiber-bridging and significantly improved interlaminar fracture energy.

1. 서 론

근래에 와서 많이 쓰이고 있는 섬유강화 복합재료는 종래의 금속재료에 비하여 높은 비강도, 비탄성률, 내부식성, 화학적 안정성이 우수하여 사용 목적에 맞는 재료를 디자인하고, 특정의 용도에 필요한 물성의 요구치에 맞추어 재료를 만들어 넣 수 있다는 장점을 가지고 있다.

일반적으로 복합재료는 한가지 보강재를 사용하였을 경우, 특정 물성은 기대치에 도달하게 되나, 보강재의 특성으로 인한 복합재료의 다른 물성의 저하가 발생할 수 있게 된다. 예를 들어 탄소 섬유를 보강한 경우, 내열성이나 내마모성은 현저한 증가를 보이지만 충격에는 아주 약하다는 단점을 가지게 된다. 한가지 보강재를 사용한 경우의 단점을 보완하기 위한 방법으로 보강재를 2가지 이상의 재료를 사용하는 방법이 있으며, 이런 종류의 복합재료를 하이브리드 복합재료라 한다 [1]. 하이브리드 적층 복합재료는 섬유의 보강방법에 따라 크게 3가지의 범주로 나눌 수 있다. 하나의 층안에 2가지, 혹은 그 이상의 섬유를 보강하여 적층한

intralay 하이브리드, 한가지 보강 섬유로 이루어진 층을 번갈아, 혹은 적당한 적층 순서로 바꾸어 가며 적층한 interply, 중심부와 표면을 다른 보강재로 보강한 skin-core 구조 등의 3종류가 그것이다[2].

이러한 재료들에 대한 초기의 연구는 주로 탄소 섬유의 내충격성 보완에 관한 연구가 대부분이었다. 몇몇 연구자들은[3-7] 하이브리드에 의하여 탄소섬유강화 플라스틱의 내충격성에 팔목할만한 향상을 가져온다는 결과를 발표하였다.

보통 일방향 플라이는 각각의 층을 적층하는데 많은 시간과 노력이 필요하고, 생산 단가가 높아진다. 이와 같은 단점을 극복하고자 개발된 것이 다축경편성물로 (multiaxial warp knit(이하 MWK)) 각 층별로 일정한 방향으로 배열된 다층섬유집합체를 두께 방향의 재봉사(stitch yarn)를 이용하여 고정시켜주는 구조이다. 층별로 배열된 섬유들을 knit로 묶어 줌으로써 직물형태로 만들어 주면 배열이 쉽게 변형되지 않으므로, 작업이 빨라지고 더욱 균일한 물성의 제품을 제조할 수 있게 된다. 이와 같은 MWK는 고강도, 고탄성률을 지니며, 내충격성에 뛰어난 장점을 가지고 있지만 적층 복합재료로 제조하면 굽힘성질에 취약한 단점이 있다.

본 논문에서는 케블라 다축경편성물의 단점을 보완하기 위한 방법으로 케블라 제직포에 비해 가볍고 가

*To whom correspondence should be addressed.
taekang@plaza.snu.ac.kr

격이 저렴한 유리섬유 부직포와 MWK를 하이브리드화하여 굽힘성질을 중심으로 여러 가지 복합재료의 기계적 물성 변화를 검토하였으며, 또한 복합재료 제조 시 부직포 적층 위치를 변화시켜 그에 따른 기계적 물성 변화도 고찰하였다.

2. 실험

2.1. 시료

기지재 : 본 연구에서 사용된 기지재는 불포화 폴리에스테르로 세원 화학의 MP-011을 사용하였으며 기계적 물성은 Table 1에 나타내었다. 불포화 폴리에스테르의 개시제로는 benzoyl peroxide(BPO)를, 경화제로는 diallyl phthalate를 사용했으며 polyester:diallyl phthalate:BPO의 비율은 100:97:1로 했다.

보강재 : A. 유리섬유 부직포

본 연구에서 사용된 유리섬유 부직포는 Vetrotex사(독) 제품으로 그 특성을 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Properties of unsaturated polyester resin

Physical properties	Polyester resin
Density (g/cm ³)	1.25
Tensile modulus (GPa)	4.5
Tensile strength (GPa)	0.02
Maximum strain (%)	1~5

Table 2. Specifications of nonwoven fabric

Physical properties	Nonwoven fabric
Fiber type	E-glass
Fabric system	Chemical bonding
Fiber length (cm)	4~5
Density (g/cm ³)	2.54
Areal density (g/cm ²)	600

Table 3. Physical properties of Kevlar MWK fabric

Physical properties	MWK
Fiber density (g/cm ³)	1.44
Fiber tensile modulus (GPa)	2760
Fiber tensile strength (GPa)	58
Fiber ultimate strain (%)	3.6
Fabric system	0/+45/90/-45
Fabric areal density (g/cm ²)	700

B. 다축 케블라(MWK) 경편성물

본 연구에서 사용된 MWK 직물은 Kevlar 29로 제작된 것으로 그 물성을 Table 3에 나타내었다.

2.2. 시편제조공정

케블라 MWK와 유리섬유 부직포 직물을 적당한 크기로 절단한 후 개시제, 경화제와 알맞은 비율로 섞은 폴리에스테르 수지를 그 위에 균일하게 도포한 후 수지의 점도를 조절하기 위해 첨가한 아세톤을 수 시간 동안 휘발시킨 후에 hot press로 90 °C에서 약 10분간, 120 °C에서 약 1시간동안 15 MPa의 압력으로 가압하여 성형하였다.

2.3. 실험

인장 실험 : 인장강도, 인장계수를 측정하기 위해서 ASTM D-638 M의 방법에 따라 인장실험을 하였다. 시편의 위아래를 대칭으로 하기 위해서 케블라/케블라/케블라/케블라(KKKK), 케블라/유리섬유/유리섬유/케블라(KGGK), 유리섬유/케블라/케블라/유리섬유(GKKG), 유리섬유/유리섬유/유리섬유/유리섬유(GGGG)에 대하여 실험하였다. K와 G는 각각 케블라, 유리섬유 부직포를 나타낸다.

압축 강도 실험 : 굽힘성질에 중요한 영향을 주는 압축 강도를 ASTM D3501-76의 방법에 따라 실험하였다.

굽힘 실험 : 굽힘강도와 굽힘계수를 측정하기 위해서 ASTM D790-84a의 방법을 참고하여 3점 굽힘 실험을 하였다. cross-head speed는 5 mm/min, 지지 거리는 10 cm로 하였으며 굽힘강도와 굽힘계수는 다음 식에 의하여 구하였다.

$$\text{Flexural strength} = \frac{3PL}{2bt^2}$$

$$\text{Flexural modulus} = \frac{L^3m}{4bt^3}$$

여기서, P 는 최대하중, L 은 지지거리, m 은 하중/신장곡선의 초기 기울기, t 는 시편두께, b 는 시편의 폭을 각각 나타낸다.

Short beam 전단실험 : 시편의 층간 전단력을 측정하기 위해서 ASTM D2344-76법에 의하여 short beam 전단실험을 실시하였다. 시편은 KK, KG, GG를 2배의 scale인 케블라 MWK 4장 유리섬유 부직포 8장으로 평균 두께가 7.4 mm가 되게 하였다. span depth ratio는 4가 되도록 span length를 29.6 mm로, cross-head speed는 2 mm/min으로 하였고 다음 식에 의하여 층간전단력(ILSS)값을 계산하였다.

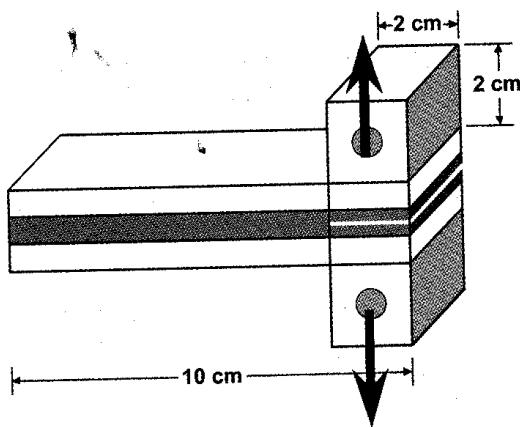


Figure 1. Configuration of double cantilever beam (DCB) specimen.

$$\text{Interlaminar shear strength} = \frac{3P}{4bt}$$

Mode I interlaminar fracture test : Mode I interlaminar fracture energy, G_I 값을 double cantilever beam(DCB)을 제작하여 compliance법으로 계산하였다. 시편의 크기는 100 mm × 20 mm × 13.8 mm(tap 두께 포함)이며 시편 끝에 20 mm의 film을 미리 두어 starter crack을 주었으며 시편의 양면에 tap을 3장씩 붙인 후에 봉을 끼우기 위해 구멍이 있는 steel block을 epoxy 접착제로 붙였다. 시편의 모양은 Figure 1과 같다. crack length를 5 mm씩 진행시키면서 load(N)와 crack opening displacement(COD)를 기록했다. mode I fracture energy, G_I 값을 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$G_I = \frac{dU}{dA} = \frac{1}{2} P^2 \frac{dC}{dA}$$

여기서, P 는 하중, U 는 에너지, A 는 면적, C 는 컴플라이언스(compliance)를 각각 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 인장 특성

KKKK, KGGK, GKKG, GGGG의 적층이 다른 복합재료에 대한 인장 실험을 한 결과를 Figure 2~4에 나타내었다. 유리섬유 부직포의 경우 인장강도에 있어서 보강 섬유의 구조적 원인으로 19%정도 MWK에 비해 감소하였다. 그러나 인장계수에 있어서는 부직포가 MWK에 비해 약 58%정도 높은 값을 나타내었다. 하이브리드화된 KGGK, GKKG의 인장강도와 인장계수는 혼합법칙(rule of mixture)에 의한 평균값 정도를 나타내 별다른 하이브리드 효과를 보이지 않았다. 파

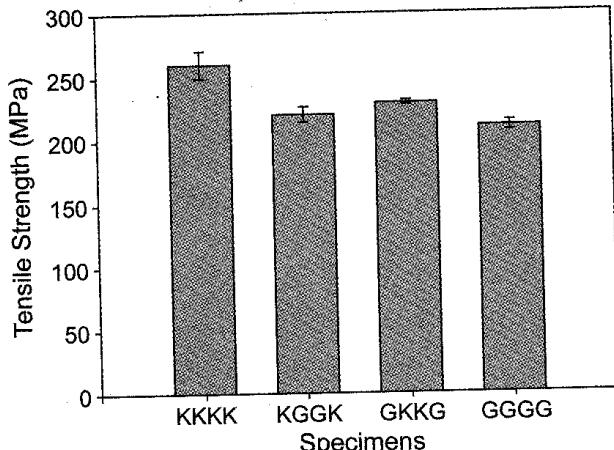


Figure 2. Tensile strength of Kevlar MWK/Glass-nonwoven hybrid composites.

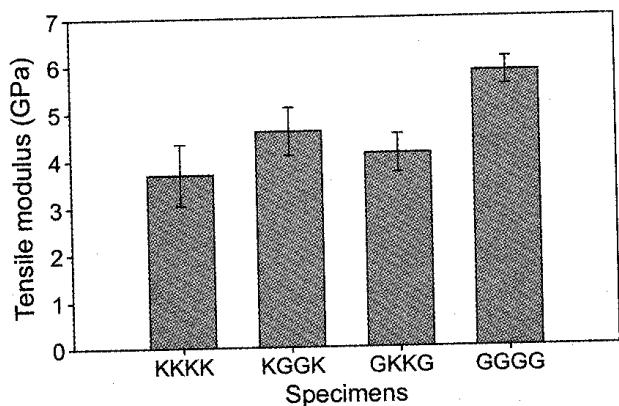


Figure 3. Tensile modulus of Kevlar MWK/Glass-nonwoven hybrid composites.

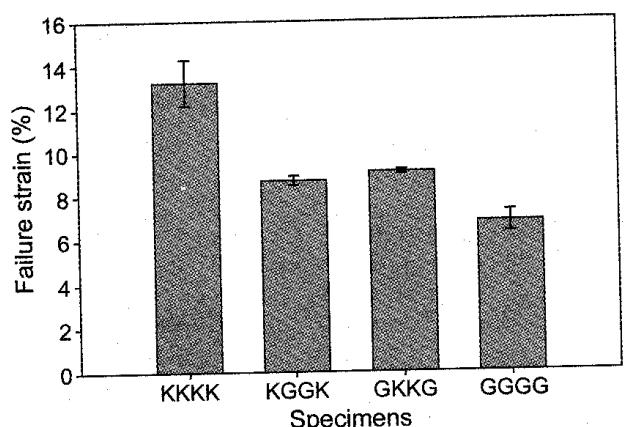


Figure 4. Failure strain of Kevlar MWK/Glass-nonwoven hybrid composites.

단 신장률의 경우 하이브리드 복합재료내의 신장도가 큰 MWK가 신장도가 작은 부직포의 파단후에도 crack

arrestor로 작용해서 KGGK, GKKG의 파단 신장률은 GGGG에 비해 31%정도 상승함을 보였다. Figure 5는 인장 실험 후의 시편을 나타낸 것으로 하이브리드화된 KGGK에서 부직포는 이미 끊어졌지만 crack arrestor의 역할을 하여 파단 신장률의 상승을 돋는 MWK가 여전히 이어져있는 것을 보이고 있다.

3.2. 압축 특성

Table 4에 8가지 시편의 압축강도를 나타내었다. 굽힘성질에 큰 영향을 주는 압축강도는 유리섬유 자체의

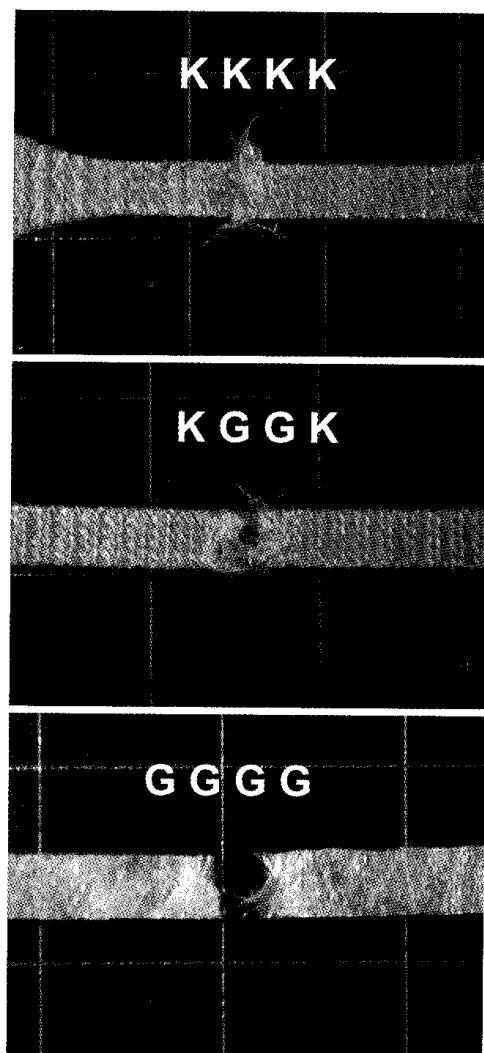


Figure 5. Tensile breakage of Kevlar MWK/Glass-nonwoven hybrid composites.

Table 4. Compressive properties of Kevlar MWK/glass-nonwoven hybrid composites

Specimens	KKKK	KKGG	KGKG	KGGK	GKKG	GKGK	GGKK	GGGG
Compressive Strength(MPa)	21.03	57.20	62.10	55.20	66.70	62.10	57.20	95.20

높은 압축 성질과 강한 계면 결합력의 영향으로 GGGG 가 KKKK보다 약 4.5배 가량 높았으며, KKKK는 약 한 계면 결합력으로 delamination에 의한 buckling 현상을 보이며 낮은 압축 강도를 보였다. 하이브리드 복합재료중 높은 압축 강도를 나타내는 부직포 층이 양 바깥에 위치한 GKKG층이 가장 높은 압축 강도 값을 나타냈다.

3.3. 굽힘 특성

Figure 6,7에 8가지 sequence에 대한 굽힘 실험 결과를 나타내었다. 유리섬유 부직포는 중간 파단 인성이 커서 굽힘시 인장과 압축을 억제하여 주며, 압축강도에 있어서 MWK보다 약 4.5배 가량 큰 값을 나타내기에 MWK 보다 굽힘강도에 있어서도 약 3.2배 가량 높은 값을 보였다. 하이브리드화한 것을 살펴보면, GGGG가 KKKK보다 인장강도에 있어 약 19%정도 떨어지는데 반해 압축 강도에 있어서는 약 4.5배 이상 큰 값을 나타내므로 부직포 층이 압축을 받는 위층에 적 충될 때 굽힘강도에 있어 좋은 하이브리드 효과를 나타냈다. 그 중에서도 GKGK에 대해서는 약 48%의 가장 좋은 하이브리드 효과를 나타냈는데 이것은 압축을 받는 안쪽에 부직포 층이 있고 인장을 받는 바깥 면에 케블라 층이 있는 이유도 있지만 특히 GKGK의 모든 층간의 계면 결합력이 높아서 거의 one-phase로 작용한 결과 인장과 압축을 억제하는 힘이 강해서 나타나는 결과로 볼 수 있다. GKGK 시편의 경우 압축 강도가 높은 부직포 층이 안쪽에 위치하고 있지만 가운데

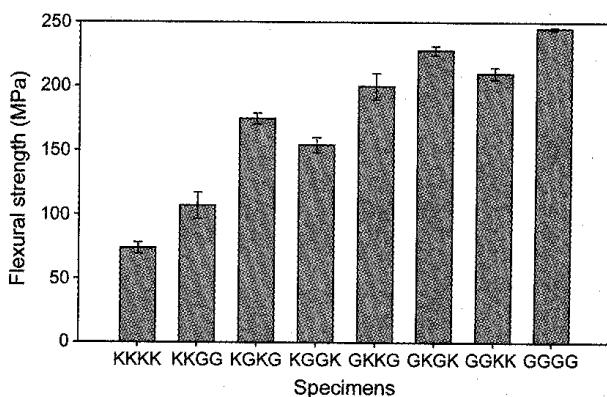


Figure 6. Flexural strength of Kevlar MWK/Glass-nonwoven hybrid composites.

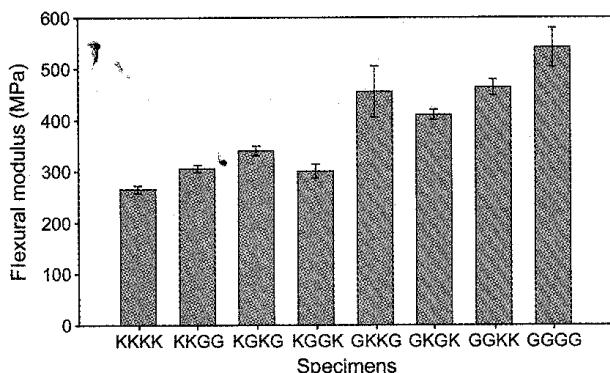


Figure 7. Flexural modulus of Kevlar MWK/Glass-nonwoven hybrid composites.

의 케블라와 케블라층 사이에서 굽힘시 기지재의 절단이 발생하여 굽힘강도에 있어 GKKG보다 작은 값을 보였다. 굽힘계수에 있어서도 같은 경향을 나타냈지만 다른 점은 압축 강도가 높고, 인장계수가 큰 부직포 층이 양 바깥쪽 층에 위치했을 때 혼합법칙에 의한 평균 값의 13% 높게 가장 좋은 하이브리드 효과를 나타냈다.

3.4. Short beam shear test

MWK층과 부직포층 사이의 전단력을 MWK층 사이의 층간 전단력과 비교하기 위해서 KK, KG, GG의 층간 전단력을 측정하였는데 KK 시편의 케블라 MWK층 사이에서는 층간 전단이 일어나 4.71 MPa로 층간 전단력이 측정되었지만, GG 시편의 유리섬유 부직포층 사이와 KG 시편의 MWK층과 부직포층 사이에서는 층간 전단이 일어나지 않고 MWK층 사이에서 전단이 일어나 부직포층 사이와 MWK층과 부직포층 사이의 층간 전단력을 측정할 수 없었다. 이것은 MWK층 사이에서는 주로 기지재의 파단에 의해 층간 전단이 일어나지만, 부직포와 부직포층 사이, 부직포층과 MWK사이에서는 층간 파단 이동을 부직포의 단섬유가 방해하여 층간 전단력에 있어 큰 값을 나타내기 때문이다. 이러한 이유로 뒤의 mode I fracture test를 실시하여 부직포층과 부직포층 사이, 부직포층과 MWK층 사이의 층간 파괴 인성을 측정하였다. 세가지 시편의 파괴양상을 Figure 8에 나타내었다.

3.5. Mode I interlaminar fracture toughness

KK, KG, GG에 대하여 mode I interlaminar fracture test를 실시하여 균열길이의 변화를 Figure 9에 나타내었으며 GG와 KG의 계면간의 파단인성이 KK에 비해 약 40% 높음을 알 수 있었다. 이것은 적층 복합재료의 층과 층 사이에는 섬유가 존재하지 않고

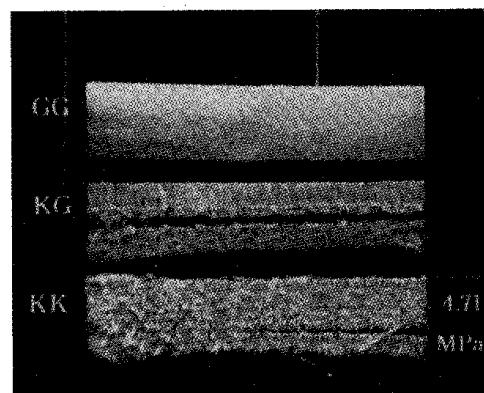


Figure 8. Side view of specimens after short beam shear test.

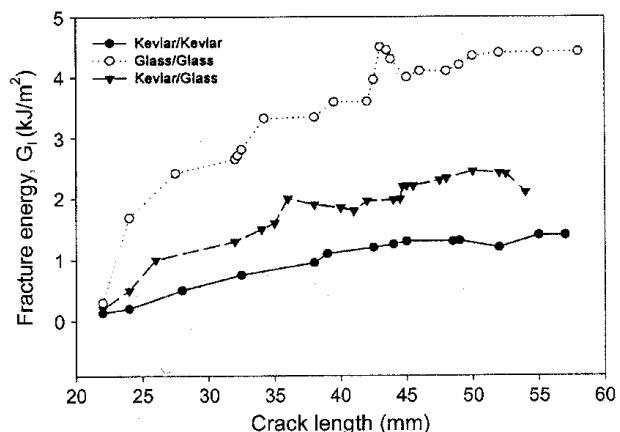


Figure 9. Mode I fracture energy(G_I) of Kevlar MWK/glass-nonwoven hybrid composites.

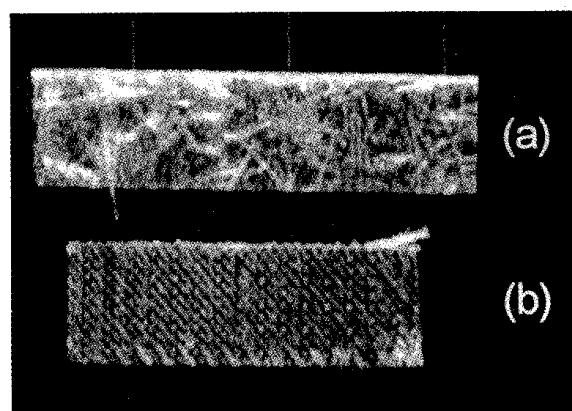


Figure 10. Surface of layer after mode I interlaminar fracture test. (a) Glass-nonwoven/Kevlar MWK, (b) Kevlar MWK/Kevlar MWK.

기지재만으로 지지되나 이 층에 유리섬유 부직포의 단섬유가 보강됨으로써 층간 파괴 인성이 향상되었다. Figure 10은 mode I test 후의 파단면을 현미경으로

11^쪽 대한 사진으로, KK 계면에서는 주로 기지재에서만 파단이 일어남을 확인할 수 있었고, GG, KG의 계면에서는 기지재의 파단이 일어남과 동시에 부직포를 구성하는 단섬유들의 pull-out 현상과 파단이 일어남을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 케블라 다축 경편성물과 유리섬유 부직포의 하이브리드 복합재료에 관한 것으로 충격 성질에는 뛰어난 성질을 보이나 굽힘성질에 있어서는 취약점을 보이는 케블라 MWK와 유리섬유 부직포를 폴리에스테르 수지로 하이브리드화하여 이것이 인장, 압축, 굽힘 등 기계적 성질과 충간 파단인성에 미치는 영향에 대하여 살펴보았고, 적층순서가 물성에 미치는 영향에 대해서도 살펴보았다. KKKK, KGGK, GKKG, GGGG의 경우 GGGG가 KKKK보다 약 58% 높은 인장계수를 보이지만, 인장강도에 있어서는 섬유 구조적인 원인으로 약 19% 낮은 값을 나타냈다. 하이브리드화했을 경우에는 혼합법칙에 의한 평균값 정도를 나타냈을 뿐 하이브리드 효과는 나타나지 않았다. 파단 신장률은 KKKK가 crack arrestor로 작용해서 하이브리드 복합재료의 경우 GGGG에 대해 31% 큰 값을 보였다. 8 가지 종류의 sequence에 대한 압축강도는 GGGG가 KKKK보다 약 4.5배 높게 나타났으며 굽힘성질의 경우에는 부직포 하이브리드화에 의한 충간 파단 인성 증가와 부직포 자체의 높은 압축 강도가 굽힘성질에 있어서 좋은 하이브리드 효과를 나타냈다. 특히 GKKG

는 압축을 많이 받는 위치인 맨 위층에 부직포 층이 있고 모든 계면이 파단 인성이 큰 GK 계면에서 인장과 압축 억제효과로 굽힘강도가 약 48% 향상되었으며 가장 좋은 하이브리드효과를 보였다. 굽힘계수는 굽힘강도와 비슷한 경향을 보였다. KK, KG, GG에 대하여 실행한 short beam shear test의 경우 KK에 비해 KG, GG가 충간 전단력이 매우 커 전단이 일어나지 않아 mode I fracture toughness test를 실행하였는데 부직포와 MWK충간의 충간 파괴인성이 MWK충간의 충간 파괴 인성보다 약 40%가량 크다는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. N. L. Hancox(Ed.), "Fiber Composite Materials", Applied Sci. Publishers LTD., London, 1981.
2. D. R. Lovell in "Fiber Composite Hybrid Materials" (N. L. Hancox Ed.), Applied Sci. Publishers, London, 1981.
3. D. F. Adams, *J. Mater. Sci.*, **10**, 1591(1975).
4. G. Dorey, G. R. Sidney, and J. Hutshins, *Composites*, **9**, 25(1978).
5. H. Wells and N. L. Hancox, *Composites*, **2**, 145 (1971).
6. J. Summerscale and D. Short, *Composites*, **9**, 57 (1978).
7. P. K. Mallick and L. J. Broutman, *J. Testing and Eval.*, **5**, 1920(1977).