Stitch된 복합재 빔의 기계적 물성변화

이창훈*·남원상*·송승욱**·변준형*

Stitching effect on the mechanical properties of composite beams

Chang-Hun Lee, Won-Sang Nam and Seung-Wook Song and Joon-Hyung Byun

Abstract

The stitching process has been widely utilized for the improvement of through-thickness property of the conventional laminated composites. This paper reports the effects of stitching on the flexural and interlaminar shear properties of multiaxial warp knitted composites in order to examine the performance improvements. Considered parameters are as follows: the stacking regularity of the multiaxial warp knits, the stitch spacings, the stitching types, the stitching location, and the location of compression fixture nose. These parameters have little effect on the flexural and interlaminar shear properties, except for the case of stitching location. Stitching on the 0° fibers showed the lowest flexural strength and modulus (12% reduction for both properties). The stitch spacing of 5mm resulted 8% reduction in interlaminar strength compared with 10mm spacing.

Key Words: Stitching, multiaxial warp knit, flexural test, interlaminar shear test

1. 서 론

고분자 복합재료는 최소한의 무게로 높은 강도를 얻을 수 있기 때문에 경량화가 가능하고, 제품 설계에 대한 유연성이 높고 부품의 개수를 줄임으로써 부품일체화를 통한 생산성 향상이 가능하며 치수 안정성도 좋다.[1] 그러나 고성능이 요구되는 응용 분야에서 주로 사용되고 있는 복합재 제품의 형상은 프리폼 기술과 복합재 제조기술의 제약으로 인하여 주로 2차원 쉘 (shell) 형태의 부품이며, 이러한 2차원 적층 복합재료는 두께방향의 보강섬유가 없어 층간분리(delamination)에 의한 손상이 발생하기 쉽기 때문에 다양하고 복잡한 하중을 받는 1차 구조물에는 그 사용이 제한적이다.[2]

3차원 복합재는 보강섬유를 3차원적으로 배열하여 두께 방향의 성능을 향상시킨 복합재 부품으로 정의될 수 있는데, 이를 위해서는 직물(textile) 프리폼 제조기술의 개발이 선행되어야 한다. 현재 사용되고 있는 3차원 직물 프리폼은 크게 braiding과 weaving, stitching, knitting으로 나눌 수 있는데, 이 중 본 논문에 적용된 stitching공정은 2D 프리폼에 직접 z-섬유를 배열하기 때문에 프리폼을 직접 직조하는 다른 방법에 비해 간단하게 3차원 구조를 얻을 수 있다.[3]

스티치 (Stitch)된 복합재료의 기계적 특성에 대한 연구가 많이 진행되고 있으나 다축경편(MWK, Multiaxial Warp Knit) 복합재료에 대한 연구결과는 매우 드물다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 다축경편 보강재는 여러 각도로 배열된 섬유층이 하나의 두께로 직조된 형태로서 섬유 굴곡이 없어 기계적 특성이 우수하고 여러 층이 하나로 knit되어 있기 때문에 적층 시 작업성이 우수하므로 대형 복합재 구조물에 많이 적용되고 있다.

본 논문에서는 다양한 스티칭 방법의 적용에 따른 복합재의 굴곡 및 층간전단 특성을 구함으로써, 다축경편 복합재에 대한 스티칭 효과를 확인하고자 한다.

* 한국기계연구원 복합재료 그룹
** 부경대학교, 고분자공학과

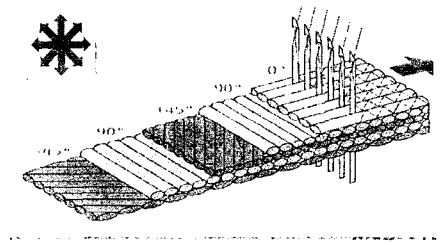


Fig. 1 Fabrication of MWK.

2. 시편 제작

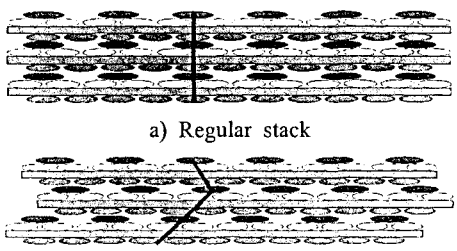
2.1 다축경편 직물의 특징

본 연구에서 사용한 보강재는 (주)동일산자의 유리섬유 DBLT850으로서 [0/-45/90/45] 섬유 배열을 가진다. 전체 직물의 등방성을 위하여 방향에 따라 서로 다른 굵기의 섬유로 구성되어 있고 knitting 섬유에 의해 묶여지므로 0도 섬유 간에는 간격이 생기게 된다. 이 간격은 복합재료로 성형을 하게 되면 수지 과다 지역이 될 수 있으므로 기계적인 특성을 저하시킬 수 있다.

보통 제공되고 있는 DBLT850 직물만을 사용하여 적층하면 대칭구조(symmetry)를 만들 수 없으므로 기존의 DBLT와 다른 [45/90/-45/0] 배열구조의 직물을 같이 사용하여 대칭구조인 $[0/-45/90/45]_{5S}$의 형태로 적층하였다.

2.2 적층방법

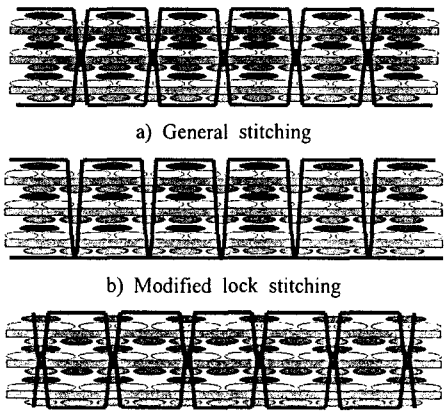
DBLT의 0도 섬유 층의 상대위치에 따라 기계적 물성이 달라질 수 있으므로 Fig. 2에서 보는 바와 같이 두 가지 배열 방법 즉, 0도 섬유가 두께 방향으로 동일한 위치에 규칙적으로 배열 (regular stack) 된 구조와 임의로 배열 (random stack)된 구조를 고려하였다. 스티칭 변수의 영향을 확인하기 위한 시편은 규칙배열로 하였다.



a) Regular stack

b) Random stack

Fig. 2 DBLT stacking types.



a) General stitching

b) Modified lock stitching

c) 0° fiber stitching

Fig. 3 Stitching 방법.

2.3 스티칭 변수

가장 중요한 스티칭 변수는 단위 면적당 스티치 개수, 즉 스티칭 밀도이다. 본 연구에서는 길이 방향의 스티칭 간격은 5mm 로 고정하고 폭 방향은 5mm 및 10mm 로 변화를 주었다. 스티칭 섬유는 Kevlar 29를 사용하였다.

두 번째 스티칭 변수로는 Fig. 3과 같이 loop이 적층 두께의 가운데 위치하는 일반적인 방법 (general lock stitch)과 bobbin에서 공급되는 섬유의 장력을 적절하게 변화시킴으로써 표면에 loop이 나타나게 하는 modified lock stitch 방법을 고려하였다. 세 번째 스티칭 변화는 Fig. 3(c)에서 보는 바와 같이 스티칭 바늘이 0도 섬유 위를 관통하는 경우와 0도 섬유 사이를 지나는 경우에 대해 고려하였다.

시편은 앞에 언급한 다양한 변수를 적용한 프리폼을 수지충전 성형법 (RTM)으로 제조하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 기계적 특성 시험

본 연구에서는 스티칭 효과를 비교적 잘 확인할 수 있는 시험방법으로서 굽힘시험 (ASTM D790)과 층간전단시험 (ASTM D2344)을 하였다. 시험기는 Instron 5567(3ton)을 사용하였고, 굽힘시험은 분당 2.6mm의 속도로, 층간전단 시험은 분당 1mm의 속도로 시험을 하였다.

비교를 위한 기본 물성치를 구하기 위해 스티

치 되지 않은 regular 형태 (RE) 및 random 형태 (RA)의 시편에 대하여 시험하였다. Table 1은 앞 장에서 설명한, 스티칭 변수 및 시험 조건에 대하여 정리한 도표이다. 시험 조건에 따른 특성 변화를 확인하기 위하여 3점 굽힘 시험 시 하중이 가해지는 지점이 스티치 구멍 위치에 있는 경우와 구멍 사이에 위치한 경우를 고려하였다.

Table 1에 표시된 여러 조건을 변화시킨 시편에 대하여 굽힘시험 및 층간전단 시험을 한 결과가 Table 2 및 Table 3에 정리되어 있으며, 여기서, 괄호 안의 값은 표준편차 값이다. Fig.4는 시험 후 시편의 파손을 보여주는 것으로서 두 시험 모두 원하는 파손 모드를 보여주고 있다. 굴곡시편의 경우 인장응력이 작용하는 중앙하부에서 파손이 일어났으며, 전단시편의 경우에는 하중 점의 중앙을 기준으로 좌우 방향의 파손이 일어나지 않고 한 쪽 방향으로 층간분리가 일어남을 볼 수 있다.

Table 1 Cases of stitching and testing parameters

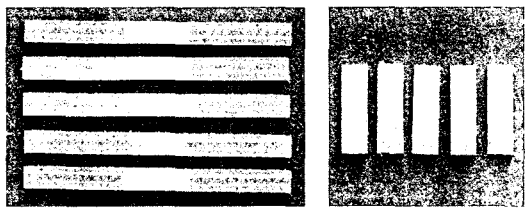
Case	RE05	RE10	RE10-M	RE10-A	RE10-H
Stitch spacing, mm (axial, lateral)	5, 10	10, 10			
Stitch type	general lock		modified lock	general lock	
Stitch location	between axial(0°) yarns			axial yarns	between axial yarns
Loading point	between stitch hole				on stitch hole

Table 2 Flexural test results of non-stitched and stitched samples

Case		Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
Non-stitched	RA	527 (±13.21)	18.65 (±0.190)
	RE	518 (±11.91)	18.23 (±0.211)
Stitched	RE05	524 (±22.80)	18.70 (±0.682)
	RE10	525 (±19.68)	18.70 (±0.278)
	RE10-M	510 (±42.20)	17.30 (±1.077)
	RE10-A	461 (±7.630)	16.50 (±0.422)
	RE10-H	530 (±13.85)	18.00 (±0.434)

Table 3 Interlaminar shear strength of non-stitched and stitched samples

Case		Interlaminar Shear Strength (MPa)
Non-stitched	RA	57.8 (±2.290)
	RE	55.6 (±1.411)
Stitched	RE05	52.9 (±4.010)
	RE10	57.4 (±1.218)
	RE10-M	56.5 (±1.100)
	RE10-A	55.8 (±2.640)
	RE10-H	55.0 (±3.570)



a) b)

Fig. 4 Specimen after tests: (a) flexural specimen; (b) Interlaminar shear specimen.

3.2 결과 분석

3.2.1 적층방법에 따른 효과

규칙적인 적층(RE)과 임의 적층(RA) 시편에 대한 Table 2 및 3의 결과를 보면 굽힘시험과 층간전단시험 모두 표준편차 범위 내에서 비슷하다는 것을 알 수 있다. 그러나 RA 시편이 모든 특성에서 약간의 우위를 보이는 이유는 시편의 폭 방향으로 각 층에 나타나는 응력분포가 더 균일하기 때문으로 생각된다.

3.2.2 스티칭 밀도에 따른 효과

스티치 되지 않은 RE와 스티치 간격을 5mm와 10mm로 한 RE05와 RE10의 경우에서 보면, 스티치하지 않은 시편보다 스티치한 시편의 경우가 더 높은 굽힘강도와 강성을 보이고 있다. 이는 스티치 섬유 배열 방향이 시편의 길이 방향이므로 시편의 인장 면에서 보강효과를 주었기 때문으로 보인다. 그러나, 스티치 간격이 다른 RE05와 RE10 간의 특성 변화는 매우 적은데, 이는 굽힘응력 상태에서의 파괴는 대부분 0도방향의 인

장에서 발생되고 두 경우 모두 스티치 길이의 영향은 적기 때문이다.

층간전단응력 상태의 경우 RE10, RE, RE05순으로 높은 강도를 보였는데, 그 차이는 표준편차 범위에서 미미하다. 그러나 RE10과 RE05를 비교한다면, RE10의 강도가 약 10% 차이로 더 높았다. 즉, 스티치가 많을수록 z-축의 보강이 증가하기 보다는 수지과다 지역의 증가로 강도가 저하된다고 볼 수 있다.

3.2.3 스티칭 형태에 따른 효과

일반적으로 modified lock 스티칭을 하는 경우가 일반적인 lock 스티칭보다 복합재료의 기계적 특성이 우수하다고 알려져 있다. 그 이유는 일반적인 lock 스티치의 경우에는 적층 프리폼 두께의 중앙 부위에 스티칭 섬유가 이루는 loop로 인하여 기포나 수지과다 지역이 생기기 때문이다. 그러나, 굽힘응력 상태에서는 최대응력이 시편의 표면에 분포하기 때문에 표면에 loop이 생기는 modified lock 스티치의 경우가 굽힘하중에 더 취약한 것으로 보인다.

층간전단응력 상태에서는 파손이 시편 두께의 내부에서 일어나기 때문에 일반적인 lock 스티칭이 취약할 수 있으나 전단파손 지점과 수지 과다 지역과는 반드시 일치하지 않기 때문에 최대 전단강도는 스티칭 형태와 무관한 것으로 보인다.

3.2.4 스티치 위치에 따른 효과

스티치 위치가 0도 섬유와 0도 섬유 가운데 있는 RE10 시편과 0도 섬유 바로 위에 있는 RE10-A의 경우를 비교하면, RE10-A의 경우가 큰 강도 및 강성 저하를 보이고 있다. 스티칭 섬유가 0도 섬유 위를 관통할 때 섬유 사이를 벌어지게 하므로 각도가 바뀌게 되고, 비교적 큰 수지과다 지역이 형성되며, 또 섬유 절단이 생기게 되므로 특성이 크게 낮아졌다고 본다. 한편, RE10의 경우, 스티칭 섬유가 0도 섬유 사이에 위치하므로 보강 효과가 증가되는 경향이 있다.

스티칭에 의해 생기는 0도 섬유 주위의 특이성은 내부에 위치하는 0도 섬유에도 생기는데, 층간 전단응력 상태에서 RE10-A의 경우가 RE10의 경우보다 전단 강도가 떨어지는 이유도 내부의 0도 섬유에 생기는 손상 때문으로 보인다.

3.2.5 시험방법에 따른 효과

Z-섬유 삽입으로 인하여 복합재료의 단위 셀이 크기 때문에 압축력을 가하는 시험치구 nose의 위치도 중요한 변수가 될 수 있다. Nose의 위치가 스티치 구멍 사이인 RE10과 구멍 바로 위인 RE10-H의 결과를 보면, 구멍 사이에 위치할 때가 굴곡특성 및 전단특성이 약간 저하했는데, 그 이유는 수지과다로 인한 것이라기보다는 두께방향 섬유에 의한 압축력의 분산으로 응력이 작아졌기 때문으로 생각된다.

4. 결 론

스티치된 유리섬유 DBLT 복합재에 대하여 스티칭 변수나 시험방법 등의 변수에 따른 특성 변화를 확인하기 위하여 굽힘시험과 층간전단시험을 수행하였다. 모든 시험결과는 표준편차 범위 내에서 비슷한 결과를 보였으나 굴곡강도 및 굴곡강성 값은 0도 섬유 바로 위에 스티칭을 하는 방법이 가장 큰 감소 (12%)를 보였다. 층간전단강도에 대해서는 스티칭 간격이 가장 큰 영향을 미쳤으며 5mm 간격의 스티칭이 10mm 간격에 비해 약 8%의 감소를 가져왔다.

후 기

본 연구는 21C 프론티어 사업(차세대 소재성형기술 개발사업)의 연구비 지원으로 이루어 졌습니다. 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

(1) T. J. Reinhart (Eds), "Composite", ASM International, Vol. 1, 1987, pp.27~42.

(2) A.P. Mouritz, K.H. Leong and I. Herszberg, "A review of the effect of stitching on the in-plane mechanical properties of fibre-reinforced polymer composites", Composite Part A, 28A, 1997, pp. 979~991.

(3) J. H. Byun and T. W. Chou, "Mechanics of textile composites", Comprehensive Composite Material, A. Kelly and C. Zweben(Eds), Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands, Vol. 1, Chapter 22, 2000, pp. 719~761.