

Stitched 다축경편 복합재료의 기계적 특성 및 U 빔 성형

변준형 · 이상관 · 엄문광 · 김태원 · 배성우 · 하동호

Characterization of Stitched Multiaxial Warp Knit Fabric Composites and Channel Beam Manufacturing

J-H. Byun, S-K. Lee, M-K. Um, T-W. Kim, S-W. Bae and D-H. Ha

Key Words: 단위구조, Stitch, 다축경편, 프리폼, 액상성형, 수지유동

Abstract

In the manufacturing of large scale composite structures, the cost-effective processing and the enhancement of structural performance are critical. One of the most effective ways for this purpose is to use stitched multiaxial warp knitted (MWK) perform in the resin transfer molding process. This study reports the effect of stitching on the mechanical properties of MWK composites, and the feasibility processing of the thick U-beam structure utilizing the stitched preforms. Permeability of the preform, viscosity and cure property of the epoxy resin have been measured. The results of resin flow analysis has been used in determining the gate/vent locations of the RTM mold. Cross-sectional observation of the channel beam prototype demonstrated that the resin impregnation was almost complete, except for some surrounding area of stitched yarns.

1. 서론

복합재료 전체 시장의 60% 이상을 차지하고 있는 육상교통, 토목/건축, 선박/해양분야의 산업계를 보면 복합재료 대형 구조물에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 있으나 기존의 복합재 제조 방법인 autoclave 성형법이나 hand layup 성형법으로는 이러한 대형구조물을 빠른 시간 내에 제조한다는 것은 불가능하다. 또한, 형상이 복잡하고 대형인 구조물을 제조하기 위해 조립, 체결 공정을 거치게 되면 생산시간 뿐 아니라 성능이나 경량화 면에서 매우 불리하다. 또한, 철도차량이나 버스, 선박 등은 구조물의 경량화가 필수적이며 공공의 안전을 위하여 성능과 신뢰도가 확보되어야 하므로 기존의 2차원 평면상의 섬유 보강 개념이 아닌 두께 방향으로도 보강이 되는 3차원 복합재 개발이 요구되고 있다.

두께 방향으로 섬유를 보강하는 방법은 3차원 weaving, 3차원 braiding 기술 등이 있으나 가장 손쉽고 생산성이 뛰어난 방법은 stitching 기술이다. 복합재료 구조물 제조에 있어서 stitched 프리폼을 사용하는 이유는 (1)액상성형 공정에서 프리폼의 끝 부분을 stitch 함으로써 작업성을 좋게 하고 (2)stitch 섬유로 인하여 두께방향 강도가 향상되므로 복합재를 접합할 때 효과적이며, 층간 파괴인성치와 충격손상허용치가 증가하기 때문이다. 그러나, 이런 장점에도 불구하고 stitch 영향에 의한 복합재료의 면내 특성에 대한 연구 결과를 보면 상당히 상호 모순적이다. 즉 프리폼의 종류, stitching 인자 및 하중 조건에 따라 복합재의 면내 특성이 향상되거나, 심하게 감소되거나, 어떤 경우는 거의 차이가 없다고 보고되고 있다.

또한, 대형의 복합재 구조물을 제조하기 위해서는 액상성형기술 개발이 필수적이다. 기존의 액상성형 기술은 주로 2차원 섬유배열의 프리폼을 적용한 형태로서 두께가 비교적 얇은 셸 구조에 국한되고 있으나 생산성을 크게 향상시키고 대형의 1차 구조물을 제조하기 위해서는 관련 핵

심기술인 프리폼 제조, 다양한 형태의 프리폼에 대한 수지유통 특성의 정량화, 금형충전 해석 및 경화해석, 센서를 사용한 실시간 공정 모니터링 등의 기술 개발이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 (1) 사용하는 다축경편 종류와 stitching 인자에 따른 stitched 복합재료의 기계적 특성 변화를 확인하고, (2) 다축경편을 사용한 두꺼운 복합재 U빔을 제조하기 위한 액상성형기술을 개발하고자 한다.

2. 다축경편 직물

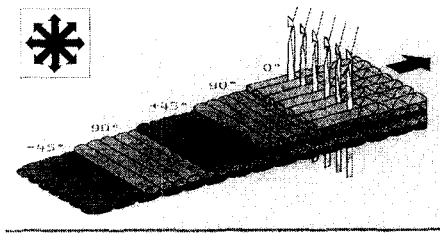


Fig.1 Fabrication schematic of MWK.

Fig. 1은 다축경편 직물 (MWK, Multiaxial Warp Knit fabric)의 직조 개념도인데, 기하학적 구조를 보면 0도, 90도 및 $\pm\theta$ 의 각도를 가지는 섬유층이 두께 방향의 stitch 섬유로 knit되어 있다. 필요에 따라 층 별로 서로 다른 섬유를 사용하거나 매트와 같은 nonwoven 재료를 사용할 수도 있다. 이 직물의 장점은 일반적인 weave에서 볼 수 있는 섬유 굴곡이 없어 기계적 특성이 향상되며, 다양한 각도의 여러 층이 전체적으로 하나의 층으로 구성되기 때문에 복합재료 제조 시 생산성이 매우 뛰어나다. 특히, 각 섬유 다발이 하나씩 knit 되기 때문에 직물을 절단하더라도 섬유가 빠지거나 호트러집이 없으므로 작업성이 우수하다. 단점은 knit 섬유가 지나게 되므로 warp 및 weft 섬유 사이의 간격이 어느 정도 생기기 때문에 섬유체적율이 프리프레그 적층 복합재에 비하여 낮다는 점이다.

본 연구에서는 생산성이 향상된 대형 복합재 구조물 개발을 위하여 프리폼 제작 시간 단축과 작업성 향상을 위하여 (주)동일산사에서 제조된 다축경편 유리섬유 직물을 사용하였다. 직물의 종류는 일방향인 T800과 [0/45/90/-45]의 적층 구조를 가지는 DBLT850이다.

3. 기계적 특성

3.1 시편제조

기계적 특성치를 비교하기 위하여 stitch 된 것과 되지 않은 평판을 제조하였다. 밀도는 3.6 stitch/cm², 간격은 5x7mm로 stitching 하였고, stitching 섬유는 케블라 29를 사용하였다. Fig. 2는 stitch된 DBLT850 평판이다.

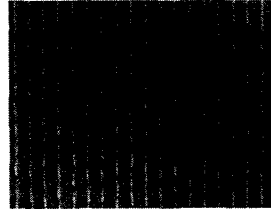


Fig. 2 Stitched DBLT850 composite sample.

3.2 시험결과

Table 1은 stitch 하지 않은 MWK T800 및 DBLT850 복합재에 대한 기계적 특성치를 정리한 것이며, Table 2는 stitch 된 것과 되지 않은 시편의 강도시험 결과이다.

Table 1. Mechanical properties of composites

시험 방법	시편 종류	하중 방향	강도 (MPa)	탄성율 (GPa)	포와 승비
인장	UD	0	1142	42.2	0.269
		90	52.6	12.76	-
압축	DBLT	0	309.0	17.47	0.295
		90	927	43.8	-
면내전단	UD	0	148.8	11.62	-
		90	442	18.80	-
층간전단	DBLT	0	101.4	5.35	-
		0	46.9	-	-

Table 2. Mechanical properties of stitched and unstitched MWK composites

시험방법	시편종류	강도(MPa)
Hole인장	DBLT us	271
	DBLT s	198
베어링	UD/DBLT us	403
	UD/DBLT s	424
층간전단	UD us	62.9
	UD s	57.9

4. 요소단품 액상 성형

4.1 보강재의 유동 전도성 측정

보강재의 유동 전도성(투과성 계수)은 Fig. 3에서 보는 바와 같은 장치를 이용하여 시간에 따른 프리폼내의 수지 전진량을 측정후, 수정된 Adams 방식으로 결정하였다. Fig. 4는 DBLT850 직물의 섬유체적을 변화에 따른 투과성계수 변화를 보인 것이다.

$$T800 UD: K_1 = \frac{(6.5 \times 10^{-6})^2 (1 - v_f)^3}{4 \times 0.047 v_f^2} m^2, K_2 / K_1 = 0.19$$

$$DBLT 850: K_1 = 9.92(6.5 \times 10^{-6})^2 (0.907 - v_f)^{1.52} m^2, K_2 / K_1 = 0.27$$

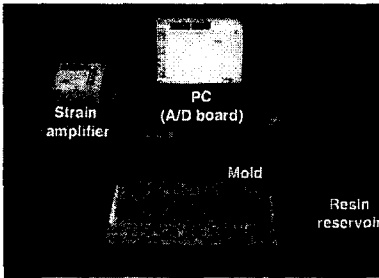


Fig. 3 Permeability measurement set-up.

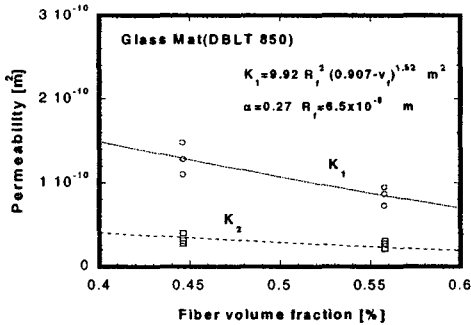


Fig. 4 Permeability of DBLT850 as a function of fiber volume fraction.

4.2 수지 점도 및 경화 분석

본 연구에 필요한 수지는 RTM공정에 적합하도록 pot life가 길어야 하므로 국도화학 에폭시 수지(주재 KBR1729, 경화제 KBH1089, 배합 무게비 주재:경화제=100:90)를 선정하였다. 공정 설계 및 분석을 위하여 점도계 (Brookfield사)를 이용하여 점도를 측정하였으며 DSC를 이용하여 발열량을 측정하였다. Fig. 5는 상온에서의 시간에 따른 점도변화를 보인 것이다.

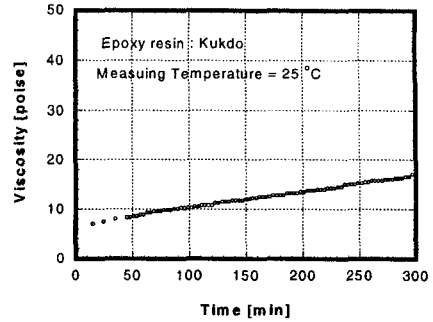


Fig. 5 Viscosity variation as a function of time at room temperature.

4.3 수지 유동 해석

RTM 공정은 금형내에 미리 장착된 보강 프리폼 내부로 수지를 충전시켜 복합재를 성형하는 공법이므로, 금형내 수지 충전 패턴을 예측함으로써 금형 제작에 필요한 gate 및 vent의 위치, 수지 주입의 공정 변수인 주입 압력을 결정할 수 있다. RTM 공정과 같이 수지 함침 영역이 시간에 따라 변할 경우, 유동 해석을 위한 계산 영역 또한 변하게 된다. 그러나, 본 연구의 CVFEM(Control Volume based FEM)에서는 고정된 격자계를 유지한 채로 Volume of Fluid (VOF) 기법을 응용하여 매번 mesh를 재구성하지 않아도 된다. 개발하고자 하는 U beam 부품 제원은 제품 총 길이 2400 mm, 단면 180x90 mm, 두께는 12-16 mm이다.

수지유동해석에서는 closed mold RTM과 함께 open mold RTM (SCRIMP) 공법도 고려하였다. 수지 점도는 일반적인 RTM용 수지의 값 0.7 Pa·s를 적용하였고 수지 주입압력은 5기압, 투과성 계수 K 는 $5 \times 10^{-11} m^2$ 를 사용하였다. 계산은 4가지 경우에 대해서 수행하였는데, 격자계 (node 개수=552, element개수=910)와 각각의 경우에 대한 주입구의 위치 및 주입 방식 및 해석 결과를 Fig. 6 및 Table 3에 나타내었다.

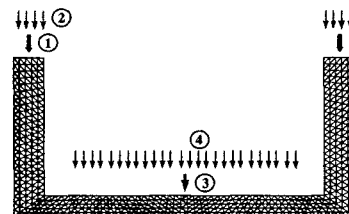


Fig. 6 Cases for resin flow analysis.

Table 3. Summary of analytic results

CASE	완전 충전 시간 (min)	Gate 방식	Vent 수
Closed Mold	1	Point gate	1
	2	Line gate	1
	3	Point gate	2
Open Mold	4	Line gate	2

그림 7과 8에 계산 결과의 일부가 나타나 있는데, 위의 4가지 경우를 비교해 보면 충전 시간은 큰 차이가 없으므로 금형이나 작업의 편의성의 기준으로 볼 때 Case 4가 가장 바람직한 것으로 판단된다.

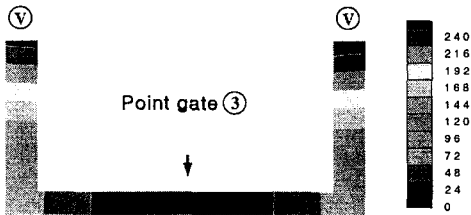


Fig. 7 Resin flow pattern for Case 3.

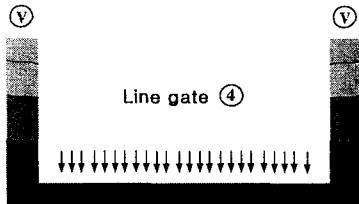


Fig. 8 Resin flow pattern for Case 4.

4.4 요소단품 (Stitched U-beam) 시제작

일반적인 액상성형 기술은 closed mold(압수 금형) 형태이며 대기압 이상의 사출압으로 수지를 금형 내부로 충전시키는 공정이다. 그러나 이 방법은 대형 후판 복합재 구조물의 경우, 복합재 내부에 dry spot이나 미세 air trap이 생길 가능성이 높고 사출압을 수십 기압으로 올려야 하는 단점이 있기 때문에, 본 연구에서는 open mold RTM (SCRIMP)을 이용한 요소단품성형을 시도하였다. 앞에서 언급한 수지 충전 해석을 바탕으로 프리폼 내부에 수지를 효과적으로 함침시키기 위하여 유동 저항이 낮게 설계된 유로를 적용(망형 유로 확보재)하였으며, 제품의 일부면은 금형과 접촉하고 나머지 부분은 vacuum film/ bagging film과 접촉하며, 수지는 주입구를 통하여 진공력에 의해 프리폼 내부로 침투하게 되고 최종적으로

배출구(vacuum port)를 통하여 수지가 나오면 함침은 종료된다. 함침 완료후 경화사이클(승온 하강 속도 2℃ /min, 80℃ 2시간 유지, 120℃ 2시간 유지)에 준하여 수지를 경화시켜 시제를 완성하였다 (Fig. 9).



Fig. 9 Prototype of U-beam composites.

5. 결론

Stitching에 의한 MWK 프리폼 및 액상성형 기술을 적용하여 U빔 복합재를 제조하였다. MWK 복합재의 기계적 기본 물성치를 구했으며 stitching 효과가 강도에 미치는 영향을 확인하였다. 프리폼의 투과성계수 결정, 수지의 점도 측정 및 경화도 분석을 통한 수지 충전 해석 결과로부터 주입구 위치와 주입방식을 결정하였다. 프리폼 내부에 수지를 효과적으로 함침하기 위한 망형유로 확보재를 적용하여 SCRIMP 공법에 의한 U빔 시제를 제작함으로써 대형 구조물을 제조할 수 있는 1차적인 연구 성과를 얻었다.

후기

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 소재성형 기술개발사업에서 수행된 연구 결과임.

참고문헌

- [1] M. K. Kang and W. I. Lee, *Compo. Sci. Tech.*, **59**, 1663 (1999).
- [2] W. B. Young, *Polym. Compo.*, **16**, 250 (1995).
- [3] L. Skartsis, J.L. Kardos and B. Khomami, *Polym. Eng. Sci.*, **32**, 221 (1992).
- [4] S. H. Ahn, W. I. Lee and G. S. Springer, *J. Compos. Mater.*, **29**, 714 (1995).
- [5] M.-K. Um and S.-K. Lee, *Polym. Comp.*, **20**, 771 (1999).