

굽힘 하중 하에서의 2-D Biaxial Braided 중공형 복합재료의 거동

서거원* · 임동진* · 윤희석**

Behavior of 2-D Biaxial braided hollow composite under bending

G.W.Suh, D.J.Lim, H.S.Yoon

Key Words: Biaxial braiding, 2-D Braiding, Textile Composite, Fiber volume

Abstract

This study is about the effect of braiding on the 2-D biaxial braided hollow composite(BD) compared with unidirectional hollow composite(UD). The specimens were made of T700S Carbon/Epoxy prepreg and T700S dried Carbon yarns. Fiber volume fraction of UD and BD was obtained experimentally and analytically. Fiber volume fraction of BD was derived based on unit cell of braiding yarn section. Bending test was executed to investigate the effect of braiding part. The result of experiment and analysis of fiber volume fraction has good agreement. Bending strength of BD is about 20% higher than that of UD.

1. 서 론

산업과 기술이 발달함에 따라 재료에 요구되는 특성이 더욱 다양화되고 있으며, 또한 하나의 재료가 여러 재료의 장점을 동시에 가질 것을 요구하는 경우도 많아져 가고 있다. 이러한 다양한 성능과 기능을 만족 시켜줄 수 있는 재료로 섬유 강화 복합재료(Fiber Reinforced Composite)가 널리 알려져 있다. 복합재료는 고인성, 내피로성, 내충격성 등의 월등히 우수한 성질을 가지고 있다. 따라서 근래에 와서 직물 복합재료에 대해서 많은 연구가 진행되고 있으며, 특히 직물구조 중에서도 브레이딩 방법에 의해 제작된 복합재료에 대한 연구가 많은 관심을 끌고 있다. 브레이딩 방법의 장점은 부피분율을 조절할 수 있으며 길이 방향에 대해서 $\pm\theta$ 만큼의 각으로 다양하게 브레이딩 함으로써 길이 방향 이외

의 방향에 대한 기계적 특성을 향상시킬 수 있다. 지금까지의 연구들은 3차원 직물구조의 해석 [1]이나 2차원 3축 브레이딩[2]에 대한 연구가 주를 이루었다. 본 논문에서는 3축 브레이딩에 비해서 복잡하지 않으며 생산 단가를 줄일 수 있는 2차원 2축 브레이딩에 대해서 연구하였다. 브레이딩 부분의 기하학적 모델링을 통해서 섬유의 부피분율을 구하여 실험적으로 구한 부피분율과 비교하였다. 굽힘실험을 통해서 일방향 중공형 복합재료(UD)와 2차원 2축 브레이딩 중공형 복합재료(BD)의 거동을 해석하여 브레이딩의 영향을 살펴보았다.

2. 이 론

2.1 2차원 2축 브레이딩의 구조

2차원 2축 브레이딩 복합재료에서 두개의 브레이딩 안이 1×1 형태를 갖으며, 브레이딩 안은 길이 방향에 대해서 $\pm\theta$ 만큼 각이 있다. Fig. 1은 브레이딩 부분에 대한 간단한 모델을 나타낸 것이다. 여기서 θ 는 x 방향에 대한 브레이딩 각이

* 전남대학교 대학원

** 전남대학교 기계공학과

며, h , w 는 각각 반복적인 최소 단위의 폭과 길이이다. x 축은 길이 방향이며 y 축과 z 축은 각각 폭 방향과 두께 방향을 나타낸다.

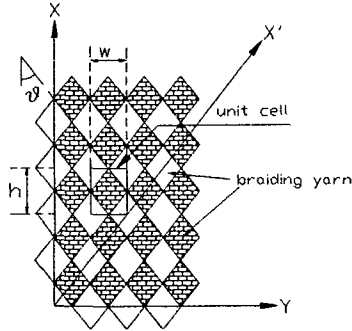


Fig. 1 Schematic of 2-D braiding

2.2 브레이딩 안의 기하학

직물 형태의 복합재료는 기하학적인 조건과 구성요소, 섬유 부피분율에 따라서 복합재료의 기계적 특성이 규정된다. 섬유 부피분율을 예측하기 위해서는 2축 브레이딩의 미소 구조 관찰이 필요하며 Fig. 2는 브레이딩 부분에 대한 현미경 사진이다.



Fig. 3 Microphotograph of braiding yarn section

Fig. 3은 Fig. 2를 간략하게 모델링 한 것이다. Fig. 2와 Fig. 3에서 B 는 브레이딩 안을 표시하며 이 부분을 렌즈모양(Lenticular)[3]이라고 가정할 수 있다. t_b , t_u 는 각각 기하학적 관계에서 구해진 브레이딩 안의 두께와 최소 단위의 두께를 나타낸다. L_c 는 반복적인 브레이딩 안의 파동 길이, r_u 는 브레이딩 안의 파동 반지름이며 ϕ 는 브레이딩 안의 굴곡 각이다.

2.3 섬유 부피분율

복합재료에서 섬유의 부피분율을 예측 할 수 있다면 그 복합재료가 가지는 기계적 특성을 알 수 있을 것이다. 브레이딩 안의 기하학적 형상[2]으로부터 BD의 섬유 부피 분율 (V_f)을 구할 수

있으며 식 (1)과 같다.

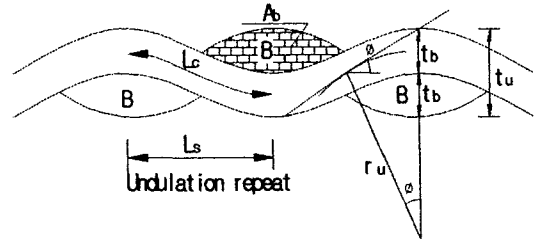


Fig. 1 Schematic of braiding yarn section

$$V_f = 4A_b L_c \quad (1)$$

$$A_b = r_b^2 (\alpha - \sin \alpha) \quad (2)$$

$$L_c = 2r_u \phi \quad (3)$$

식 (2)는 브레이딩 안의 단면적을 나타내며 Fig. 2와 Fig. 3에서 B 부분을 렌즈모양이라고 가정하였으므로 브레이딩 안의 단면적인 A_b 는 두 개의 원이 겹쳐진 부분의 단면적과 같으며 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다.

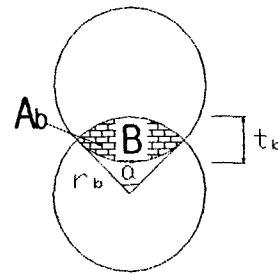


Fig. 4 Cross-sectional shape of a braiding-yarn

식 (3)은 브레이딩 안의 파동 길이를 구하는 식이며 파동 반지름 (r_u)과 굴곡 각 (ϕ)를 이용하여 구할 수 있다. 구해진 섬유의 부피분율을 평균하여 브레이딩 부분의 강성을 구할 수 있다.

3. 실험

3.1 시편의 제작

시편은 T700S Carbon/Epoxy 프리프레그와 드라이 안을 이용하여 UD(일 방향 중공형 복합재료)와 BD(2차원 2축 브레이딩 중공형 복합재료)에 대해서 각각 제작하였다. UD는 지름이 8mm인 스틸 봉에 프리 프레그를 길이 방향으로 감은

후 수축 필름을 사용하고 140℃ 오븐에서 2시간 동안 경화 시켰다. BD는 프리 프래그 위에 16개의 브레이딩 기계를 이용하여 1×1 브레이딩을 한 후에 수지를 함침시키고 140℃ 오븐에 2시간 동안 경화 시켰다. Fig. 5는 시편의 형상을 나타내며 Table 1은 시편의 치수이다.

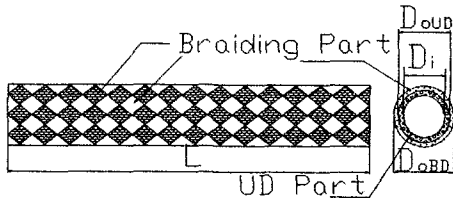


Fig. 5 Schematic of specimen

Table 1 Dimension of specimen

	D_i	D_{oud}	D_{odb}	L
UD	8.5	10.94	0	500
BD	8.5	10.506	11.8	500

3.2 섬유 부피분율

섬유 부피분율을 구하기 위해 UD와 BD의 시편의 무게와 밀도를 측정하였다. 이 때의 시편의 무게는 최소 3g 이상이어야 하며 측정된 시편을 75℃ 질산에 약 5시간 정도 넣어 수지를 녹였다. [4] 수지를 녹인 후에 질산과 증류수를 넣어서 깨끗하게 세척을 한 후에 섬유의 무게를 측정하고 섬유 부피분율은 식 (4)을 이용하여 구하였다.

$$V_f = \frac{W_f/D_f}{W_c/D_c} \quad (4)$$

3.2 굽힘 실험

브레이딩 부분의 영향을 알아보기 위해서 3점, 4점 굽힘실험을 수행하였다. ASTM[5]에는 봉에 대한 굽힘실험을 전단효과때문에 시편의 두께를 반지름 이상으로 하여야 한다. 하지만 중공형 봉에 대해서는 그러한 실험을 할 수 없어서 중공형 봉 형태로 굽힘실험을 수행하였다. 또한 이론적인 처짐량을 전단효과를 고려하여 구하였다. 굽힘실험을 위해 만능시험기(INSTRON8800)를 사용하였다. 실험은 결과의 오차를 줄이기 위해서 같은 조건에서 제작된 시편 3개에 대해서 각각 수행하였다. 시편의 길이는 200mm이며 3점 굽힘실험은 중앙점에서 하중을 가하였고 4점 굽힘실험은 50mm와 150mm에서 각각 하중을 가하였

다.

4. 결 과

Table 2는 Fig. 2의 현미경 사진으로부터 브레이딩 부분 최소 단위의 값을 구한 값이다.

Table 2 Dimension of unit cell

h	w	t_u	t_b	ϕ	θ
3.68	4.69	0.687	0.3435	8.43°	38°

Table 3 Fiber volume fraction obtained of experiment and theory

	Theory	Experiment
BD	0.558	0.5628
UD	0.565	0.55

Table 3에서 브레이딩 양의 모델링을 통해서 구한 부피분율이 실험적으로 구한 값과 근사함을 알 수 있다. 실험적으로 구한 BD의 부피분율이 UD의 경우보다 높다. 이것은 브레이딩을 했을 경우 섬유의 부피분율을 높일 수 있음을 보여준다.

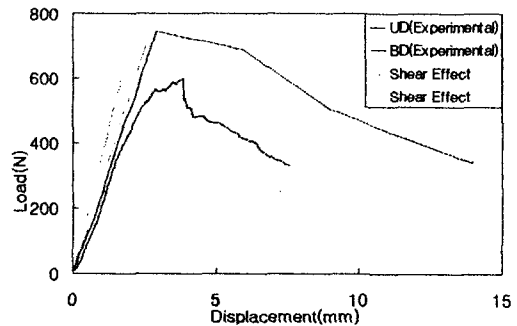


Fig. 6 Result of experiment and theory in 3point

Fig. 6은 3점 굽힘실험에 대한 결과를 보여준다. 실험적으로 구한 처짐과 이론적으로 구한 처짐값이 거의 근사함을 나타내며 앞서 언급한 대로 전단효과를 고려하여서 이론적인 처짐량을 구하였다. 하지만 UD에 대해서는 조금의 오차가 있는데 이 오차는 시편 제작시 생긴 것으로 추정된다.

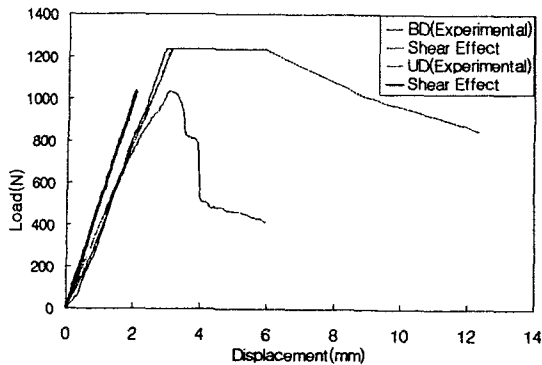


Fig. 7 Result of experiment and theory in 4point

Fig. 7은 4점 굽힘실험에 대한 결과를 보여 준다. 3점 굽힘실험과 동일하게 전단효과를 고려하여 이론적인 처짐량을 구하였다. 실험의 결과는 3점 굽힘실험과 동일한 양상을 나타낸다.

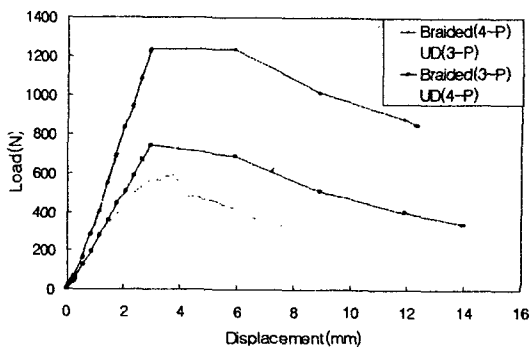


Fig. 8 Result of 3point and 4point bending test

Fig. 8은 3점 굽힘실험과 4점 굽힘실험의 결과를 비교한 것이며 전단효과 때문에 4점 굽힘실험의 경우가 40%정도 높은 하중에서 견딜 수 있다.

4. 결론

위에서 설명한 방법으로 브레이딩의 영향을 알아보기 위해서 복합재료에서의 섬유 부피분율과 굽힘 하중 하에서의 처짐량을 이론과 실험적으로 구하였다. 위의 결과를 살펴보면 아래와 같이 몇 가지 결론을 내릴 수 있다.

1) 이론적으로 구한 BD의 섬유 부피분율과 실험을 통해서 구한 섬유 부피분율이 근사하게 일치하며 브레이딩 양의 형상을 모델링한 것이 적합함을 보여준다.

2) 굽힘실험을 통해서 UD와 BD의 처짐량을 구하였는데 BD는 UD에 비해서 20%정도 높은 하중을 견딜 수 있음을 알 수가 있었다. 이는 UD만을 사용하는 것보다 UD위에 $\pm \theta$ 로 브레이딩 한 경우가 우수함을 보여준다.

3) Fig. 8에서 4점 굽힘실험이 3점 굽힘 실험에 비해 40%정도 높은 하중을 견딜 수 있으며 4점 굽힘실험이 전단효과를 줄일 수 있음을 알 수 있다.

4) Fig. 6과 Fig. 7에서 BD의 경우 초기 파손 후에도 UD의 경우와 다르게 급격한 파손이 일어나지 않음을 알 수 있다.

5) 이론적으로 구한 처짐량이 BD와 UD의 실험 값과 거의 일치함을 볼 수 있는데 이것은 복합재료의 경우에도 탄성이론[6]을 적용하여 이론적인 처짐량을 구할 수 있음을 보여주는 것이다.

후 기

시편제조에 도움을 주신 KIMM의 변준형박사님과 복합재료 그룹 분들께 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] Yang J-M, Ma CL, Chou T-W. Fiber inclination model of three-dimensional textile structural composites. J. Comp 1986; 20:472-84
- [2] J-H Byun. The analytical characterization of 2-D braided textile composites. Composites Science and technology 60 (2000) 705-716
- [3] Shanahan WJ, Hearle JWS. An energy method for calculations in fabric mechanics, part II: examples of application of the method to woven fabrics. J of Textile Institution 1978 ;69:92-100.
- [4] Standard Test Method for Fiber Content of Resin-Matrix Composites by Matrix Digestion ASTM D3171-76
- [5] Standard Test Method for Flexural Properties of Fiber Reinforced Pultruded Plastic Rods ASTM D4476-97
- [6] Timoshenko SP, Theory of elasticity. The United Engineering Trustees Inc./Book- mart Press Publishers, 1934