

Chain stitch 다축경편물의 전단 및 성형 거동에 관한 연구

이지석* · 홍석진* · 유웅렬* · 강태진*

Study on the Shear and Forming Behavior of Chain Stitched Multi-axial Warp Knitted Fabric Preform

Jiseok Lee, Seokjin Hong, Woong-Ryeol Yu, and Tae Jin Kang

Abstract

In this study we investigated the shear and forming behavior of chain stitched multi-axial warp knitted fabric preform, so called non-crimp fabric (NCF). The picture frame test was performed to characterize the shear behavior of NCF and also provide material properties for the numerical simulation of its deformation behavior. The forming behavior of NCF with chain stitch were investigated using hemispherical forming tools. The experimental results show that processing conditions such as blank holder force (BHF) and preform shape are crucial to determining the forming behavior of NCF. For instance, an asymmetric formed shape, which is due to the stitches introduced to NCF, turns into a symmetric one as BHF increases. Furthermore the in-plane and out-of buckling (wrinkle), the severance of which were quantified using image processing method, decreases significantly as BHF increases.

Key Words: composite forming, blank holder force, wrinkle measurement, non-crimp fabric

1. 서 론

텍스타일강화 복합재료는 큰 비강성을 필요로 하는 우주항공 및 군사용에 널리 사용되고 있으나 상대적으로 느린 공정 속도로 인한 고비용과 시트성형 공정시의 발생하는 링클링등의 문제점으로 인해 대량생산이 필요한 부품소재로의 용도 전개가 제한받고 있다.

본 연구에서는 chain stitch가 도입된 Non-crimp fabric preform을 시트 성형공정을 사용하여 다양한 곡면의 파트로 제조할 때 발생하는 문제점에 대한 연구와 이를 해결하기 위한 공정변수(프리폼 형상 및 프리폼 지지력)의 설정에 대해 연구

하였다. 또한 성형공정 시 발생하기 쉬운 링클의 정량적 분석을 위하여 image processing 방법을 사용하여 wrinkle에 대한 정량화를 실시하였다.

2. 실험

2.1 직물프리폼

본 연구는 연속사 강화 복합재료 프리폼의 성형거동에 대한 연구로 chain stitch가 도입된 NCF(non-crimp fabric) 프리폼을 사용하였다. 프리폼의 형상과 스티칭 패턴의 영향을 고려하기 위해 경위사가 시편 아웃라인에 평행한 경우(TCN)와 경위사가 대각선 방향으로 배열된 샘플(TCD)을 준비하였다. 시료 크기는 350mm × 350mm 로 고정하였다. 스티칭과 섬유 배열이 성형거동에 미치는 영향을 고려하기 위하여, 샘플위에 네 가지 서로 다른 축들 (ST90, warp, ST, weft)을 표시하였다. ST90은 스티칭에 직각인 방향이고, ST는

* 서울대학교 재료공학부

스티칭에 평행한 방향이다. warp와 weft는 섬유방향이다. 각 축을 따라 15mm의 간격으로 마킹하여 성형후의 프리폼의 변형을 조사하였다.

2.2. Picture-frame shear test

NCF의 전단 성질과 성형거동 시뮬레이션을 위한 물성을 picture-frame shear test를 통해 해석하였다. 본 연구에서 사용된 직물 프리폼은 스티칭의 도입으로 비대칭 전단거동을 보이므로 resultant force가 스티칭에 평행한 경우와 수직인 경우, 두 가지에 대하여 실험하였다. Fig.1은 Picture frame shear test의 개략적 그림이다.

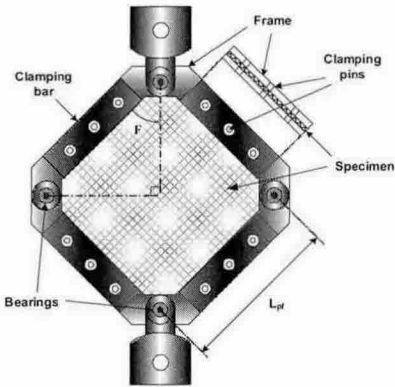


Fig. 1. Schematic diagram of picture-frame test

2.3. 성형거동 실험

반구형 펀치를 이용한 성형 거동 해석을 위해 그림 2에서 같은 성형틀을 제작하였다. 이때 사용된 펀치의 반경은 75mm였고, blank holder의 면적은 0.017m²이었다. punching rate은 75mm/min로 하여 1 분동안 직물 프리폼을 스탬핑 하였다. 이후 unsaturated polyester resin을 경화제를 도포하여 상온에서 경화시켰다.

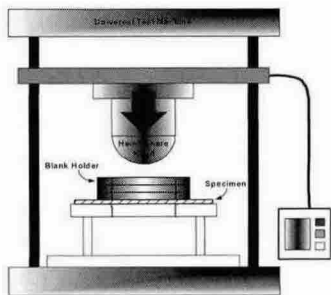


Fig. 2. Schematic diagram of hemispherical forming

2.4. Fiber angle change and node displacement

성형 후의 각 노드의 섬유각의 변화를 전술한 바와 같이 서로 다른 4개의 축을 따라 측정하였다. 각 축의 노드 거리 변화는 직물 표면 분석기인 TJK200을 이용하여 성형된 직물의 전체 3차원 좌표를 얻었고, 이들 중 각 node의 3차원 좌표만을 추출하여 구의 곡률을 고려하여 노드 간 거리변화를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Characterization of shear properties of NCF

picture-frame test의 결과로 chain stitch를 가지고 있는 NCF의 전단 성질을 Fig. 3.에 나타내었다. stitch로 인하여 resultant force 방향에 평행한 시료가 더 높은 전단력을 나타냈다. 이것은 stitch로 인한 전단변형의 방향 의존성을 나타내는 것으로, 이로 인해 구형펀치에 의해 성형된 시료는 비대칭 형상을 보이게 된다. 또한 chain stitch의 경우는 이전 연구인 tricot stitch와는 달리 stitching 구조로 인하여 스티칭에 평행한 방향에서 resultant force를 가한 경우, 전단변형이 큰 경우 stitching이 절단되어 그림에서 보이는 것과 같은 softening 거동을 나타냄을 알 수 있었다.

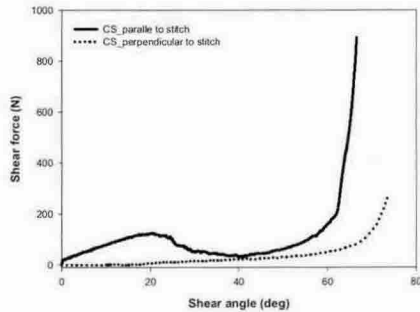


Fig. 3. Shear force versus shear angle of NCF with chain stitch

3.2 Asymmetric fiber angle change of formed NCF

펀칭후의 성형거동은 성형전에 설정된 내축을 따라 섬유각을 측정하여 살펴보았다. 각 방향에서 섬유각의 변화를 Fig.4에 표시하였다. ST와 ST90에서의 섬유각 변화는 전단 변형으로 인하여 그 변화 정도가 크게 나타났으나 섬유 방향인 warp와 weft는 성형시 드로잉(drawing)에 의한 인

장력을 받으므로 전단 변형이 발생하지 않았다.

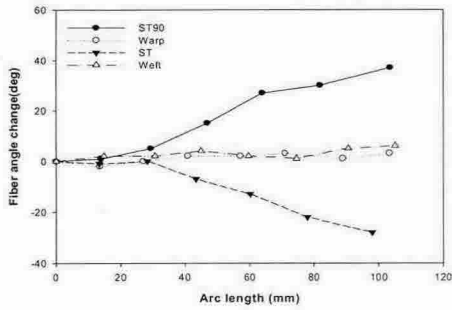
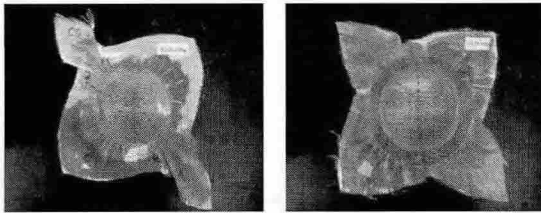


Fig. 4. shear angle versus arc length of chain stitched NCF

3.3 The effect of BHF on forming behavior

Fig. 5.는 BHF에 따른 NCF의 성형거동을 나타내고 있다. BHF가 증가함에 따라 성형모습은 가해진 tension으로 인해 비대칭(asymmetric)에서 대칭(symmetric) 형상으로 변화함을 알 수 있다.



(a) BHF : 0.5kgf (b) BHF : 61.4kgf

Fig. 5. formed shapes of CS_N according to BHF

섬유각의 변화를 살펴보면 반구의 적도 부근의 ST와 ST90축에서 가장 큰 섬유각의 변화를 보였다. BHF의 증가에 따라 ST와 ST90에서의 섬유각 변화는 줄어드는 경향을 보였다.(Fig. 6.) 이는 BHF가 성형 공정 중에 tow들이 드로잉(drawing)되는 것을 줄이고 또한 직물 프리폼의 전단 변형을 방해하기 때문이다. 또한 상대적으로 ST90 축 방향의 섬유각 변화가 ST 축 방향보다 크게 나타났는데 이는 ST 방향에서는 스티칭이 전단변형을 방해하는데 비해 ST90 방향에서는 이들 스티칭에 의한 전단거동 저항이 없기 때문이다.

반구형 펀치에 의한 성형시 직물프리폼에 링클링의 발생하였다 (Fig. 7.) 이는 반구의 적도 근처에서 가장 큰 전단 변형이 발생하기 때문이

다. 이러한 결점들은 전단 변형과 섬유끼리의 끌려움을 막는 BHF의 증가에 따라 줄어들 것으로 기대된다.

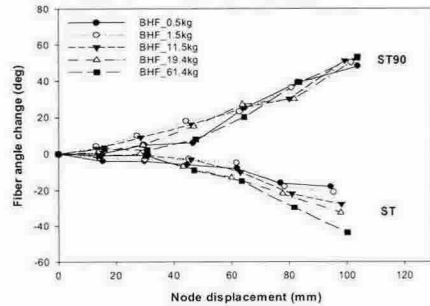
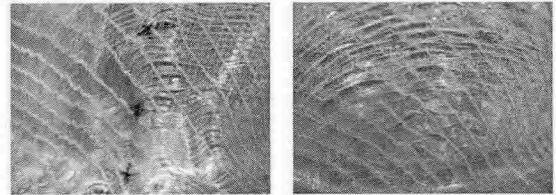


Fig. 6. Fiber angle change to node displacement of ST90 and ST as BHF increases



(a) BHF : 0.5kgf (b) BHF : 61.4kgf.

Fig. 7. In-plane and out-of buckling near equator of hemisphere

3.4 Quantitative characterization of wrinkle

슬릿 레이저와 이미지 프로세싱을 이용하여 NCF preform에 발생한 wrinkle를 정량화하였다. 이들 정량화 방법을 설명하면 다음과 같다. wrinkle이 발생한 preform에 두 개의 레이저 빔을 조사한 상태에서 수직 방향에서 CCD 카메라를 이용해 프로파일 이미지를 추출하였다. 얻은 이미지를 그레이 스케일 영상(Fig. 8(a))과 이진 영상(Fig. 9(a))으로 변환시킨다. 이때 변형 전의 원형에 가장 가까운 원의 방정식을 찾기 위해서 계산에 필요한 픽셀들만을 얻는 것이 필요하다. 이를 위해 선의 중심 픽셀만을 찾는 세션화, 돌출 화소를 제거하는 Pruning, 노이즈 제거 알고리즘을 사용하였다. Fig. 8(c)는 세션화 된 결과 이미지를 보여준다. 이 화소의 좌표 데이터로부터 가장 적합한 원의 방정식을 구한다. 이는 preform의 반지름을 안다고 가정하면 원의 중심을 구하는 문제로 귀결되며 하프 변환 (Hough transform) [2]

을 이용하여 구할 수 있다. Eq. (1)에서 r 이 일정하다고 가정하고 Fig. 8(c)에서 구한 픽셀들의 좌표값 x, y 를 통해 u, v 를 구한다.

$$(x-u)^2 + (y-v)^2 = r^2 \quad (1)$$

u 와 v 를 좌표축으로 하는 새로운 좌표계, 즉 하프 공간(Hough space)에서 각 픽셀의 좌표 x, y 값에 상응하는 많은 원들이 그려지게 된다. 하프 공간에서 가장 높은 intensity를 갖는 픽셀의 좌표값이 preform 프로파일에 가장 가까운 원의 중심 좌표가 된다 (Fig. 8(d) and Fig. 9). 구해진 원의 중심에서 각 픽셀까지의 거리 값들의 평균, 표준편차로부터 preform wrinkle의 정도를 정량화할 수 있다.

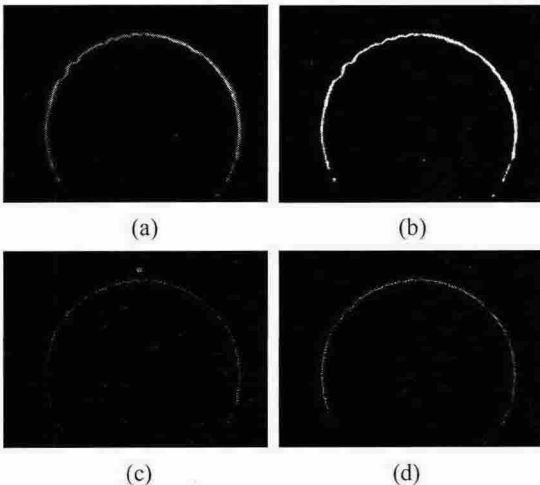


Fig. 8. Evaluation of wrinkle of NCF preform using the image processing.

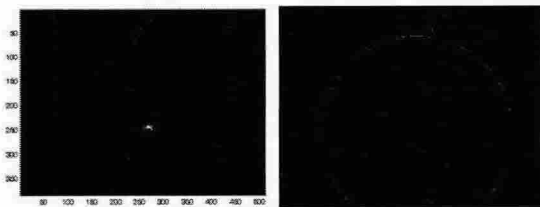


Fig. 9. Circle detection using the Hough transform.

Table. 1은 이미지 프로세싱 방법을 통하여 계산된 평균 반지름과 wrinkle을 이루고 있는 각 픽셀까지의 거리에 대한 표준편차를 나타내고 있다. 이에 따르면 평균 반지름, 즉 wrinkle의 상대적인 양은 BHF에 따라 감소한다. 그리고 wrinkle의 크기를 의미하는 표준편차도 감소한다. 이는 BHF

에 따라서 wrinkle의 양도 줄어들고, wrinkle의 크기 또한 줄어들음을 확인할 수 있다.

CS_D	0.5 kgf	1.5 kgf	11.5 kgf	19.4 kgf	61.4 kgf	100 kgf
mean radius	351.30	335.39	293.62	280.63	262.12	255.61
SD of radius	134.30	121.03	100.85	86.70	71.00	58.75
CS_N	0.5 kgf	1.5 kgf	11.5 kgf	19.4 kgf	61.4 kgf	100 kgf
mean radius	358.68	321.52	296.01	292.17	279.27	276.75
SD of radius	154.79	157.15	102.74	91.31	87.52	71.00

Table. 1. mean radius and SD(standard deviation) of radius with BHF (unit : pixel)

4. 결론

본 연구는 NCF의 성형거동에 관한 실험적 연구로 공정변수 (프리폼형상 및 블랭크홀더 지지력)에 따른 성형거동의 변화를 섬유각의 변화와 링클링을 측정하여 살펴보았다. 프리폼형상 및 블랭크홀더력은 프리폼의 성형거동에 지배적인 영향을 미침을 확인하였다. 또한 이들 공정변수의 최적화를 통해 성형시 발생하는 링클링등의 결점을 현저히 줄임수 있음을 확인하였다.

감사의 글(?)

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음 (R11 - 2005 - 065)

참고문헌

- (1) Woong-Ryeol Yu, Philip Harrison, and Andrew Long, Composites : Part A, 36, 1079-1093, 2005
- (2) R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image Processing," Addison-Wesley Publishing Company, New York, 1992.