

여러 가지 조건을 가진 직물 복합재료 시편의 압축특성

전성식*, 오제훈**, 장승환†

Compressive Characteristics of Fabric Composites with Various Conditions

Seong Sik Cheon*, Je Hoon Oh**, Seung Hwan Chang†

Key Words : 셀레니즈 장치 (Celanese Rig), 압축 실험 (Compressive test), 직물 복합재료 (Fabric composites), 미소 좌굴 (Micro-buckling)

ABSTRACT

Because the compressive properties such as compressive stiffness and compressive maximum strength of the fabric composite materials are essential to analyse the drape behaviour and estimate the quality of the final products, compressive tests of fabric composites with different stacking sequences were performed. Appropriate shape and dimensions for the compressive test specimens were prepared and several specimens with different conditions were tested and compared with each other.

1. 서 론

섬유강화 복합재료는 우수한 비강성과 비강도 특성 및 진동감쇠 특성에 기인하여 항공기 및 자동차 구조의 설계에 많이 적용되고 있다. 특히 직물 복합재료 (Fabric composites)는 우수한 성형성과 유연성으로 인해 복잡한 구조의 열성형 (Thermal forming) RTM (Resin transfer moulding) 및 여러 가지 드레이핑 재료로 많이 쓰이고 있다. 직물 복합재료를 이용한 드레이핑 공정을 통해 생산된 제품의 국부적 물성을 예측하기 위해서는 드레이핑 공정 중 발생하는 재료의 전단 변형 및 기타 마이크로 토우 구조의 변형에 따른 물질 특성에 대한 기초 데이터가 필요하다. 따라서 이중 곡률을 가지는 복잡한 구조물의 성공적인 성형 및 성형 후 최종 생산물의 정확한 물성 예측을 위해서는 재료의 드레이핑 거동을 이해하고 직물 복합재료의 미소 구조인 토우의 미소 변형과 성형 후 물질 특성간의 관계를 규명하는 것이 필요하다. 드레이핑 기술과 토우의 변형 패턴에 관한 연구는 적절한 실험과 해석

알고리즘을 통한 기초적인 변형 해석으로부터 토우 변형의 현미경 관찰 혹은 특정한 제조 방법을 이용한 제품에의 응용에 이르기까지 다양한 분야에서 많은 연구들이 이루어졌다. 장승환 [1]은 건직물 (Dry fabrics)의 토우 진폭과 토우 간격과 같은 토우 변수의 변화에 대한 연구를 수행하여 부가 하중과 이에 상응하는 토우 변형의 관계를 알아내었으며, 또한 여러 가지 인장실험을 통해 전단각에 대한 토우 변형 패턴을 검증하였다. 복합재료의 압축 실험에 대한 연구 및 실험도 수행되었다. Hosur [2] 등은 스티치 (Stitched) 혹은 스티치가 되지 않은 탄소섬유/에폭시 직물 복합재료의 고변형을 환경 하에서의 압축 강도를 실험적으로 구하였으며, 동적 압축하중과 정적 압축하중시의 결과를 비교하였다. Fleck [3] 등은 여러 가지 복합재료의 압축 특성에 대한 실험과 이론적 수식을 정립하였으며, 하중 조건 및 재료에 따른 파괴 모드 (Fracture mode)를 규명하고 예측할 수 있는 수식을 제안하였다. Naik [4] 등은 축방향 하중을 받는 평직 복합재료 (Plain weave composites)의

*공주대학교 기계공학부

**한양대학교 기계공학과

†교신저자: 중앙대학교 기계공학부 (E-mail: phigs4@cau.ac.kr)

압축 거동에 대한 해석적 모델을 제시하였으며, 실험을 통해 모델에 의한 계산 결과와 실험 결과를 비교하였다. Fleck [5] 등은 직물 복합재료와 포용으로 구성된 샌드위치 구조의 축방향 압축실험을 수행하여 직물 복합재료 및 포용의 파괴 메커니즘을 분류하고, 여러 가지 적층 각도 및 실험 조건에 따른 압축 해석 및 실험을 수행하였다. 본 논문에서는 십자 적층 (Cross ply) 및 편향각 (Biased angle)을 가지고 적층된 새틴 탄소섬유/에폭시 복합재료의 압축실험을 수행하여 각 적층 각도 및 하중과 이루는 각도에 따른 압축 특성을 측정하였다.

2. 시편

전단변형을 겪지 않은 직물 복합재료를 위한 압축실험을 위해 빔 형태의 시편을 준비하였다. 시편의 형태와 크기는 ASTM [6]에 따라 제작하였다. Fig. 1은 시편의 구체적인 형태와 크기, 그리고 섬유 방향을 보여준다. 압축 실험을 위한 시편의 적층 각도는 각각 $[0/90]_{2T}$ 와 $[\alpha/90-\alpha]_{2T}$ 이며, 두께 (t) 는 시편에 따라 0.8에서 0.9 mm이다.

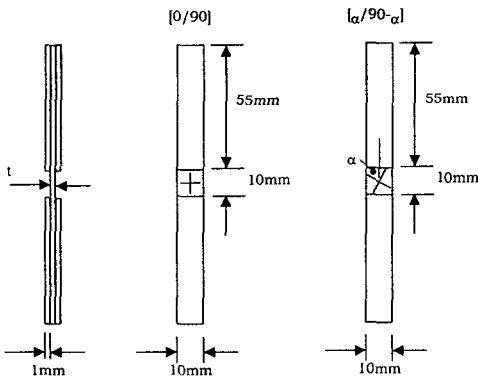


Fig. 1 Specimens for the compressive test of the fabric composites

복합재료 적층판으로부터 시편 크기인 $120 \times 10\text{mm}^2$ 로 잘라낸 후 복합재료 시편의 양단 끝 부분을 알루미늄 탭을 이용하여 에폭시 접착제로 50°C 환경에서 4 시간 동안 경화시켰다. Fig. 1에서 보이는 바와 같이 실험 중 좌굴을 방지하기 위해 시편의 게이지 면적을 $10 \times 10\text{mm}^2$ 로 설정하였다.

3. 압축 실험

압축 실험 중 시편의 변형률을 측정하기 위해 게이지 길이와 게이지 팩터가 각각 2 mm, 2.13

인 스트레인 게이지를 이용하여 시편의 측정 부분에 부착하였다. 얇은 빔 형태의 압축 시편은 약간의 축 불일치 힘 혹은 불균형한 물질특성에 의해 좌굴 (Buckling)이 발생할 수 있으므로 이러한 현상을 방지하기 위해 셀레니즈 장치 (Celanese rig)를 사용하였다. 셀레니즈 장치는 원뿔형 고정구로 구성되어 있으며, 외부에서 가해진 축방향 압축하중을 썸뿔 (Wedge grip)을 통해 전단력으로 전달해 줌으로써 시편의 좌굴을 억제할 수 있다 [6]. 압축 실험 중 발생할 수도 있는 좌굴 현상의 확인을 위해 시편의 양쪽 면에 각각 스트레인 게이지를 부착하였다. 준비된 시편을 셀레니즈 장치에 체결한 후 만능 시험기 (INSTRON)에 장착하고, 모든 스트레인 게이지를 회로보드 (Circuit board)에 연결하여 데이터 획득을 할 수 있도록 하였다. 정확한 데이터 획득을 위해 LabVIEW™ 를 이용하여 스트레인 게이지 계인의 제어 및 데이터 획득을 수행하였다. 실험에 사용된 변형률 속도는 $0.3\text{mm}/\text{min}$ 이다.

3.1 $[0/90]_{2T}$ 시편의 압축 실험

Fig. 2는 $[0/90]_{2T}$ 로 적층된 직물 복합재료 시편의 압축실험 결과를 보여준다. 결과에서 보는 바와 같이 다른 두 개의 시편이 서로 다른 결과를 나타냄을 알 수 있었다.

Fig.2에서 보는 바와 같이 첫번째 결과는 전반적으로 선형성을 유지하였으며, 압축 강성과 강도는 각각 71GPa 과 873MPa 을 나타내었다. 두번째 결과에서는 실험 중 발생한 좌굴 (0.6% strain)에 의해 양쪽 면에 부착한 스트레인 게이지에서 측정된 결과가 다소 다르게 측정되었으며, 압축강성과 강도는 각각 105GPa 과 $1,230\text{MPa}$ 을 가짐을 알 수 있었다. 이러한 변형상의 차이와 서로 다른 강도 및 강성은 실험에 사용한 직물 복합재료의 직조구조 및 그에 따른 스트레인 게이지의 부착위치에 관련되는 것을 판단된다. 직물 복합재료는 새틴 구조 (5 harness satin weave)를 가지고 있으며 (Fig. 3 참조), 사용된 스트레인 게이지의 크기는 약 2mm 로 새틴 구조의 기본 단위와 거의 유사한 길이를 가지고 있으므로 스트레인 게이지가 직물 구조의 종방향 토우 혹은 횡방향 토우에 부착될 경우 서로 다른 측정값을 읽을 수 있다. 특히 $[0/90]_{2T}$ 시편의 경우 두 방향의 물성이 극단적으로 차이가 나기 때문에 이러한 경향은 극대화될 수 있으며, 다른 적층각 ($[\alpha/90-\alpha]_{2T}$)에 대해서는 이러한 현상이 거의 발생하지 않음을 알 수 있었

다.

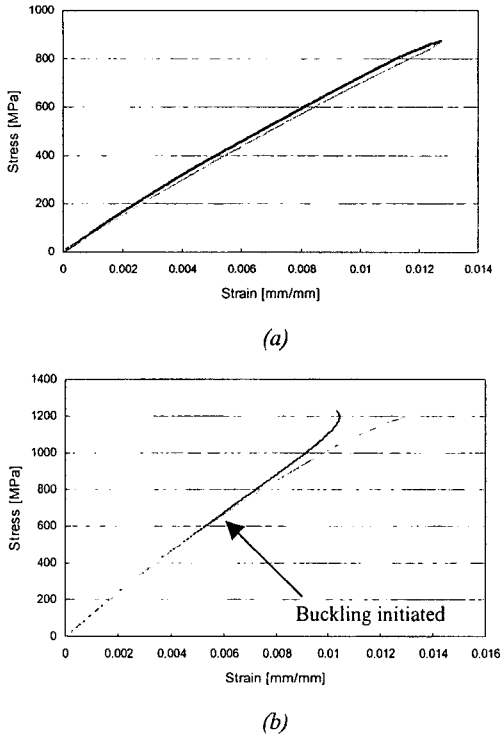


Fig. 2 Compressive test results for $[0/90]_{2T}$ specimens
(a) without buckling
(b) buckling occurred specimen

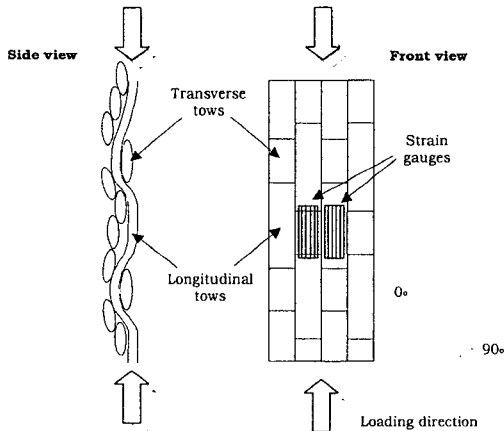


Fig. 3 Woven structure of the composite and possible attaching positions of strain gauges

두 가지 서로 다른 적층 각도에 따른 변형 경향과 더불어 Fig. 4 에 보이는 바와 같이 시편 파괴 경향도 서로 다른 결과를 나타내었다. 스트레인 게이지의 부착위치에 따른 물성 측정치의 차이를 확인하기 위해 한 개의 $[0/90]_{2T}$ 시편의 양쪽

면에 각각 두개의 스트레인 게이지를 종방향 (Longitudinal) 및 횡방향 토우 (Transverse tow) 위에 부착하여 전체적으로 4 개의 스트레인 게이지를 부착한 후 압축 실험을 수행하였다. Fig. 5 에 측정결과를 나타내었다.

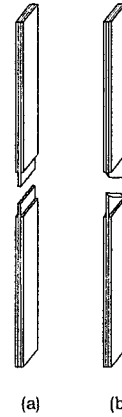


Fig. 4 Failure modes of composite specimens
(a) Through thickness failure for the $[0/90]_{2T}$ specimens
(b) Transverse shear failure for the $[\alpha/90-\alpha]_{2T}$ specimens ($\alpha = 30, 40$)

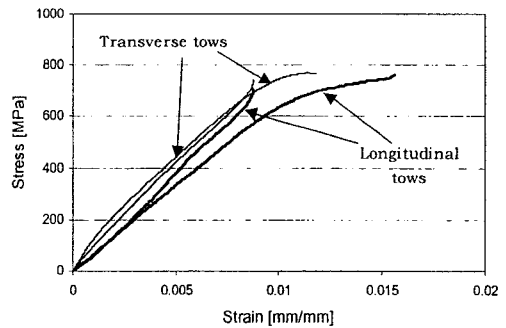


Fig. 5 Stress-strain relation for $[0/90]_{2T}$ composite

측정결과 스트레인 게이지의 부착 위치에 따라 다소 다른 결과를 얻을 수 있었다. 최대 압축강도는 771MPa 이며, 압축 강성은 측정 부위에 따라 66GPa 에서 89GPa 의 값을 가짐을 알 수 있었으며, 최대 압축강성은 횡방향 토우에서 측정되었다. 종방향 토우에서 측정된 변형률은 가장 큰 값을 나타내었는데, 이는 압축 실험 중 하중 방향이 토우의 블록한 파형 구조에 대해 우력을 발생시켜 국부적인 미소 좌굴 (Micro-buckling)을 유발하는 것에 기인한 것으로 판단된다.

3.2 $[\alpha/90-\alpha]_{2T}$ 시편의 압축 실험

적층 각도에 따른 직물 복합재료의 물성을 파악하기 위해 두 개의 서로 다른 시편을 준비하였다. 실험 절차와 사용한 스트레인 게이지의 사양은 이전 실험과 동일하다. 실험을 위한 직물 복합재료 시편은 각각 $[40/50]_{2T}$ 와 $[30/60]_{2T}$ 이다. Fig 6 과 Fig. 7 에 각각의 실험 결과를 나타내었다. $[40/50]_{2T}$ 시편의 경우 최대 압축응력과 강성이 각각 250MPa 과 23GPa (0.3% 변형률에서) 이었으며, $[0/90]_{2T}$ 시편의 경우와 달리 적층각에 기인하여 응력-변형률 선도가 완전한 비선형을 나타내었다. 시편의 파괴는 횡방향 전단 (Transverse shear)에 의해 하중방향과 50°를 이루는 면을 따라 발생함을 알 수 있었다. $[30/60]_{2T}$ 시편의 경우 역시 유사한 응력-변형률 관계를 가짐을 알 수 있었으며, 최대 압축 응력과 강성은 각각 418MPa 과 59~71GPa (0.3% 변형률에서)의 값을 가짐을 알 수 있었다. 이 경우 높은 강도를 가지는 이유는 부가된 압축 하중에 대해 $[30/60]_{2T}$ 시편이 더욱 효과적으로 압축 하중을 받을 수 있음에 기인하며, 강성의 경우 널리 알려진 고전 적층판 이론 (Classical laminate plate theory: CLPT)에 의해 쉽게 유도할 수 있다 [7].

4. 결론

본 논문에서는 서로 다른 적층 각도를 가진 세탄 탄소섬유/에폭시 직물 복합재료의 압축 특성을 적절한 시편과 압축 지그 (Celanese rig)를 이용하여 실험을 통해 측정하였다. 특히 토우구조의 크기와 스트레인 게이지의 상대적 크기에서 유발될 수 있는 스트레인 값을 비교하여 차후 실험에 참고가 될 수 있는 결과를 도출하였다. 또한 각 방향의 토우에서의 변형률을 측정하여 비교하였으며, 그 결과를 통해 직물 복합재료의 마이크로 구조에 따른 물성 측정의 변화를 검증하였다. 마지막으로 하중방향에 대해 편향된 시편의 압축 실험을 수행하여 편향 각도에 따른 압축강도의 변화를 측정하였다.

후 기

이 논문은 2004 년도 한국과학재단의 젊은과학자연구활동지원연구 (과제번호: R08-2004-000-10171-0)에 의하여 지원되었으며 이에 재단측에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 장승환, "탄소섬유 건직물의 일방향 편향 인장 실험과 이축 인장실험," 한국복합재료학회추계 학술대회 논문집, 2003, pp.99-102.
- (2) Hosur MV, Adya M, Vaidya UK, Mayer A, Jeelani S. Effect of stitching and weave architecture on the high strain rate compression response of affordable woven carbon/epoxy composites. Composite Structures, Vol. 59, 2003, pp. 507-523.
- (3) Fleck NA. Compressive failure of fiber composites. Advances in Applied Mechanics. Vol 33, 1997, pp.43-117.
- (4) Naik NK, Tiwari SI, Kumar RS. An analytical model for compressive strength of plain weave fabric composites. Composites Science and Technology, Vol. 63, 2003, pp.609-625.
- (5) Fleck NA, Sridhar I. End compression of sandwich columns. Composites Part A: applied science and manufacturing, Vol. 33, 2002, pp.353-359.
- (6) ASTM Standards D3410/D3410M.
- (7) Gibson RF. Principles of composite material mechanics, McGraw-Hill, 1994.

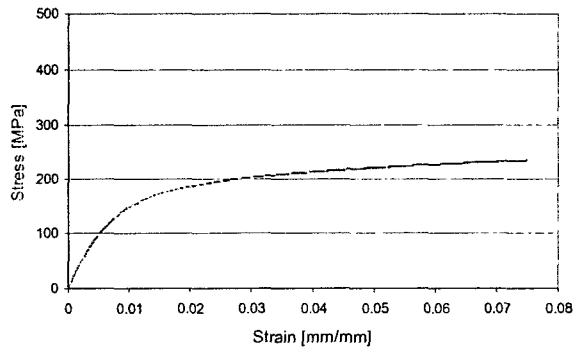


Fig. 6 Stress-strain relation for $[40/50]_{2T}$ composite

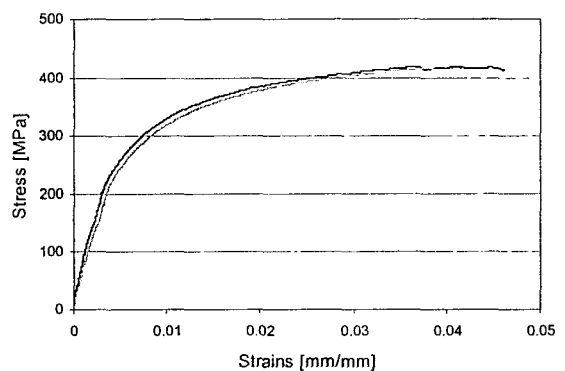


Fig. 7 Stress-strain relation for $[30/60]_{2T}$ composite