

경량화 CFRP 부재의 휨 강도와 강성 특성

The Characteristics of Flexure Strength and Rigidity in Light-weight CFRP Members

양인영¹, 김정호², ✉김지훈¹

In Young Yang¹, Jung Ho Kim² and ✉Ji Hoon Kim¹

¹ 조선대학교 기계설계공학과 (Department of Mechanical Design Engineering, Chosun Univ.)

² 조선대학교 첨단부품소재공학과 (Department of Advanced Parts and Materials Engineering, Chosun Univ.)

✉ Corresponding author: kjh@chosun.ac.kr, Tel: 062-230-7523

Manuscript received: 2008.7.11 / Revised: 2008.8.28 / Accepted: 2008.9.1

Applications of composite materials in various engineering fields have been extended significantly. For being useful composite materials, we could modify the rigidity and strength characteristics of composite material according to structures and material direction.

In this study, CFRP, which has been widely used in space-leisure and general structural applications due to the weight, elasticity coefficient, high fatigue strength and lower thermal transformation ect, was selected. As the CFRP is an anisotropic material whose mechanical properties change with its stacking sequence or angle, special attention was given to the effects of the fiber orientation angle on the bending characteristics of CFRP flat and CFEP square members. It's different on the each result of strength and rigidity of CFRP flat and CFRP square members

Key Words: Composite Material (복합재료), Carbon Fiber Reinforced Plastics (CFRP, 탄소섬유강화플라스틱), Strength (강도), Rigidity (강성)

기호설명

- σ = Max Bending Stress [Pa]
- $E_B I$ = Stiffness Coefficient [Nm^2]
- P = Load
- L = Span Length
- b = Width
- d = Depth
- $D = rL^2/6d$
- δ = Displacement
- M = Bending moment
- I = Moment of Inertia of Area
- Z = Section Modulus

1. 서론

복합재료는 여러 공학분야에서 꾸준히 활용이 증가되고 있다. 여러 연구자들은 각각의 구조에 필요한 재료의 방향에 따른 강성도 및 강도의 특성을 복합재료의 메커니즘 설계 방법에 따라 조절할 수 있다. 복합재료를 이용한 구조물의 설계변수로는 여러 가지 다양한 재료시스템, 적층방향, 적층두께 그리고 적층순서 등이다. 복합재료를 설계에 활용할 시에 이와 같은 설계변수에 의한 강성도 및 강도의 특성을 파악하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 치수 안정성, 물성의 불변성, 고강도 및 고강성도, 내부식성 등 많은 장점을 가지고 우주·항공산업, 운동·레저산업, 일반적인 구조부재·부품류등에 널리 사용되고 있는 CFRP를 구조부재에 적용하고자 한다. 특히 자동차의 경우 자동차 기능의 집적화, 복잡화 그리고 고기

능화가 되어 가고 있으며 안전과 환경에 대한 관심이 높아지고 법규규제가 강화되고 있는 현 실정에 맞춘 연구설계가 진행 되고 있다.

비강도와 비강성이 좋은 CFRP 구조부재를 얻기 위한 이론수식을 통해 응력해석(강성도, 강도)을 구하여 분석비교 하기에는 일반 등방성 재료에 비해 섬유와 기지재료 각각의 물성치값과 섬유와 기지재료가 복합된 물성치값의 차이와 다양한 경향 때문에 매우 어렵고 복잡하여 대부분 실험에 의존되고 있다. 구조부재는 외부의 힘이 가해질 때 압축, 굽힘 그리고 비틀림이 동시에 작용되므로 압축, 굽힘 그리고 비틀림에 대한 각각의 연구를 하여야 한다. 압축에 대한 CFRP 구조부재의 연구는 많이 진행되어 있다. 그러나 굽힘과 비틀림에 대한 연구는 많이 미비한 실정으로 본 연구에서 강도와 강성도가 효과적으로 높은 설계변수를 구하고자 여러 설계변수 중 적층각도의 조건변화를 준 사각 CFRP 구조부재를 오토클레이브(Autoclave)진공압축 성형법으로 제작 하고 굽힘실험을 행하였다. CFRP의 적층 방향에 대한 기본적인 메커니즘을 알아 보고자 CFRP 굽힘판을 오토클레이브 성형법으로 제작하고 굽힘실험을 하였다.

2. 실험방법

KS 규격에 따른 굽힘실험 방법에 일반적인 굽힘 시험편의 규격은 시험편의 두께에 따른 지지대의 길이(Support span)가 정해지며, ASTM 규격에서 시험편의 크기는 두께에 따른 지지대의 길이 비를 1:16 으로 규정되어 있다. 그러나 몇몇의 고 이방성 복합재료의 경우에는 전단 강도의 영향을 받지 않으며 굽힘강도와 강성도 등과 같은 굽힘 계수측정을 위해 두께에 따른 지지대 길이의 비를 1:60 으로 시험편의 크기를 규정하기도 한다.

2.1 시험편

CFRP의 적층각도, 적층두께는 선행 연구되었던 CFRP 압축실험에서 압축강도와 흡수에너지가 가장 높게 나타난 설계변수를 적용하였다.

본 연구에 설계변수인 적층각도 종류를 +0° /-0°, +15° /-15°, +45° /-45°, +90° /-90, 90° /0°, 0° /90° 으로 정하였고 적층 순서는 A, B, A, B, A, B, A, B 순서로 적층하였으며 기호를 [A/B]₄ 로 표시하였다(Fig. 1). 시험편 제작에 사용되는 복합재료는 CFRP prepreg sheet(HANKUK carbon, CU125US,

Carbon Fiber uni-direction 125g/m²)를 사용하고 CFRP의 적층각도의 메커니즘을 기본적으로 알아보기 위해 CFRP 굽힘판을 제작하였다. CFRP 굽힘판은 굽힘실험 시 정확한 계수측정을 위해 전단강도의 영향을 최대한 줄이기 위해 CFRP 굽힘판의 길이는 200mm, 두께는 2mm, 너비는 40mm 으로 하였다. 그리고 CFRP 사각부재 제작방법으로 단면적 크기가 28 x 28mm 인 멘드렐(Meldrel)에 이형 필름을 감고 CFRP 프리프레그 시트(CFRP prepreg sheet)를 8 겹(Ply)으로 감고 사각 튜브모양으로 성형하였다. CFRP 굽힘판과 CFRP 사각부재를 130℃에서 오토클레이브의 진공압축 성형법으로 제작하기 전에 Fig. 2 에 보이는 것과 같이 평평한 철판 위에 이형필름을 감싼 성형품을 놓고 그 주위에 지그(Jig)들을 쌓아 진공테이프와 진공팩으로 밀봉하였다. 제작된 모든 시험편들은 잔류응력이 생기지 않도록 다이아몬드커터로 절단하였다.

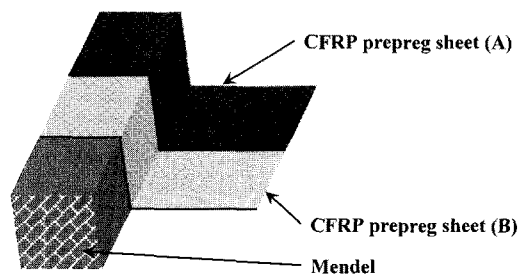


Fig. 1 Schematic view of fabrication

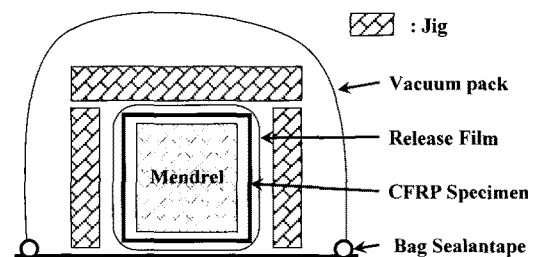


Fig. 2 Schematic arrangement of CFRP specimen under vacuum pressure in the autoclave

2.2 실험장치

굽힘실험 방법에는 3 점 굽힘 실험법과 4 점 굽힘 실험이 있다. 굽힘 실험이 쉽고 간단하여 많이 사용되는 3 점 굽힘 실험법을 본 연구에 적용하였으며, Fig. 3 과 같이 지지대(supports)의 반경이 30 mm 이며 미끄럼을 방지하고자 자유단고정으로

하며, 하중단(Loadng nose) 반경은 10mm 이고 시험편의 중앙에 위치 하는 굽힘장치를 제작 하였다.

굽힘장치를 만능재료시험기(UTM)에 로드셀과 액추에이터 사이에 하중단장치(Loadng nose device)와 지지장치(Supports device)를 설치하였으며, 시험편을 지지대 장치 위에 놓고 하중단 장치를 하중 방향으로 5mm/min 과 10mm/min 속도로 이송시켜 굽힘실험을 하였다.

굽힘실험후 하중-변위 선도를 측정하여 CFRP 굽힘판의 강도는 식(1), CFRP 사각부재 강도는 식(2)에 따라 계산되었으며, 굽힘 강성도는 식(3)에 따라 계산하였다.

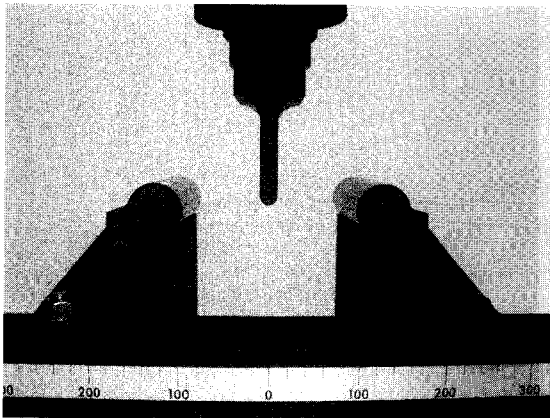


Fig. 3 Three point bending device

$$\sigma_{Flat} = (3PL/2bd^2)[1 + 6(D/L)^2 - 4(d/L)(D/L)] \quad (1)$$

$$\sigma_{Square} = \frac{M}{Z} = \frac{6d_2PL}{4(d_2^4 - d_1^4)} \quad (2)$$

$$E_B I = \frac{P\dot{L}}{48\delta} \quad (3)$$

3. 실험결과 및 고찰

굽힘실험 이후 CFRP 굽힘판과 CFRP 사각부재의 하중-변위선도를 Fig. 3~4 에 나타내었다. 모든 시험편들은 최대하중 이후 시험편의 파괴가 일어나며 급격한 하중감소를 보이는 공통점을 가졌다. 이것은 전단력에 의해 모드 II(MODE II)로의 층간파괴가 발생된 것으로 이점까지의 에너지를 흡수 에너지로 보고 특성을 해석하였다.

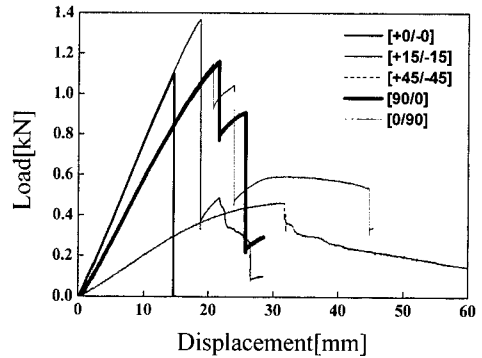


Fig. 4 Load-Displacement Graph on CFRP Flats

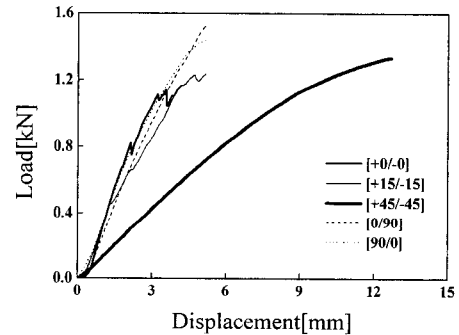
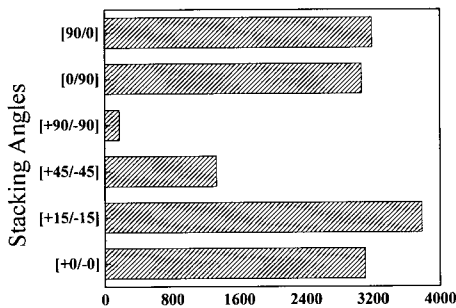


Fig. 5 Load-Displacement Graph on CFRP Square

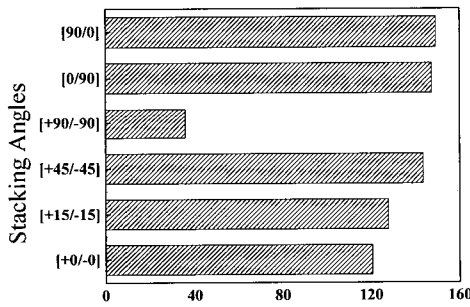
굽힘실험 후 CFRP 굽힘판의 하중-변위선도에서는 +45° /-45° 는 다른 굽힘판(+0° /-0° , +15° /-15° , 90° /0° , 0° /90°)보다 낮은 기울기가 나타나며 최대 하중은 다른 시험편들과 비슷한 수준까지 측정되었고 +45° /-45° CFRP 사각부재의 하중-변위선도에서는 +45° /-45° CFRP 굽힘판과 비슷하게 기울기를 나타냈으나 다른 시험편들과 달리 낮은 최대하중을 보였다. 그리고 CFRP 굽힘판과 CFRP 사각부재의 90° /0° 와 0° /90° 의 하중-변위 그래프는 두 부재가 유사함을 보였고 +90° /-90° 은 매우 낮은 하중에서 파괴되어 Fig. 4~5 에서 제외하였다.

Fig. 6~7 은 CFRP 굽힘판과 CFRP 사각부재의 강도를 나타내었다. CFRP 굽힘판의 강도는 +15° /-15° 가 제일 높으며 +0° /-0° , 0° /90° 그리고 90° /0° 가 다음으로 높았으며, CFRP 사각부재의 0° /90° , 90° /0° 그리고 +15° /-15° 순으로 높았다. CFRP 사각부재의 하중-변위선도에서 나타나듯이 0° /90° 와 90° /0° 는 거의 비슷함을 나타냈다. 강도에서는 0° /90° 이 더 높았으나 오차범위를 생각해보면 0° /90° 와 90° /0° 의 강도가 거의

비슷하다고 할 수 있다. CFRP 복합재료를 강도 높은 판을 만들고자 할 때 +15° /-15° 을로 적층된 판이 제일 좋고 강도 높은 CFRP 사각부재를 제작하고자 할때는 0° /90° 이나 90° /0° 으로 적층된 구조부재가 좋음을 말할 수 있다.



Strength of Flexure on CFRP Flats
Fig. 6 Strength of Flexure on CFRP Flats

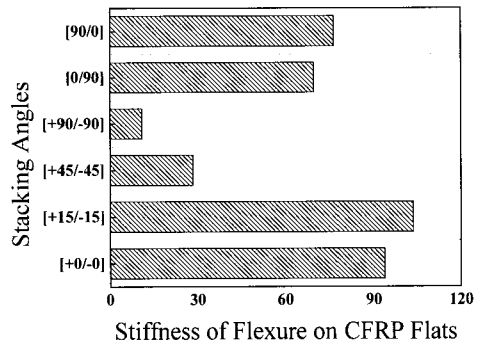


Strength of Flexure on CFRP Squares
Fig. 7 Strength of Flexure on CFRP Squares

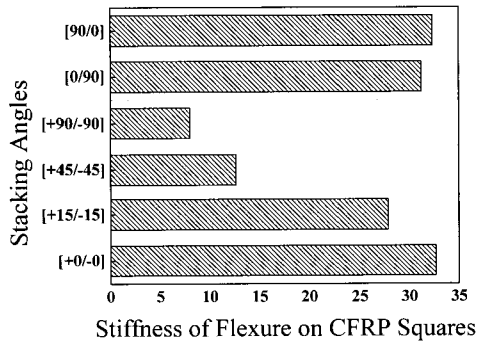
Fig. 8~9 은 CFRP 굽힘판과 CFRP 사각부재의 강성도를 나타내었다. CFRP 굽힘판의 강성도의 경우 CFRP 굽힘판의 강도가 높게 측정되었던 +15° /-15° 가 제일 높게 나타났고 +0° /-0° 가 다음으로 높음이 나타났다. CFRP 사각부재는 0° /90° , 90° /0° 그리고 +0° /-0° 이 거의 비슷하게 나타났다. CFRP 복합재료를 강성도가 높은 판을 만들고자 할 때는 +15° /-15° 으로 적층된 판이 제일 좋다고 할 수 있고 강성도가 높은 CFRP 사각부재를 제작할 경우에는 0° /90° , 90° /0° 와 +0° /-0° 으로 적층된 구조부재가 우수하다.

종합적으로 정리해 볼 때, 강도와 강성도가 높은 CFRP 굽힘판과 CFRP 사각부재를 제작하기 위해서는 CFRP 굽힘판의 경우 +15° /-15° 으로 적

층하여 제작할 때 가장 좋으며, CFRP 사각부재의 경우 0° /90° 또는 90° /0° 으로 적층하여 제작하는 것이 가장 좋다.



Stiffness of Flexure on CFRP Flats
Fig. 8 Stiffness of Flexure on CFRP Flats



Stiffness of Flexure on CFRP Squares
Fig. 9 Stiffness of Flexure on CFRP Squares

4. 결론

복합재료 CFRP 를 구조부재로 사용할 때 적층 각도를 변수요인으로 하여 CFRP 굽힘판과 CFRP 사각부재를 굽힘 실험 후 강도와 강성도의 특징을 분석하였다.

1) 굽힘 실험 후 하중-변위 선도에서는 대부분 최대하중 이후 하중이 급격히 감소하는 경향을 보였다. 그러나 CFRP 굽힘판과 CFRP 사각부재의 +45° /-45° 에서 다른 시험편에 비해 낮은 기울기를 보이면서 CFRP 굽힘판에서는 다른 시험편과는 상대적으로 낮은 하중점에서 감소했으며 CFRP 사각부재에서는 다른 시험편과 비슷한 최대하중점에서 하중이 급격히 감소하는 다른 경향을 보였다.

2) CFRP 굽힘판의 강도는 +15° /-15° 가 가장 높았으며, 강성도도 역시 +15° /-15° 가 가장 높았다.

3)CFRP 사각부재의 강도는 $0^\circ / 90^\circ$ 와 $90^\circ / 0^\circ$ 가 높았고, 강성도에서는 $0^\circ / 90^\circ$, $90^\circ / 0^\circ$, $+0^\circ / -0^\circ$ 가 제일 높게 측정되었다.

참고문헌

1. Sim, J. K., Yang, I. Y. and Oh, T. Y., "Impact damage and residual bending strength of CFRP composite laminates involved difference of fiber stacking orientation and metrics," J. of KSPE, Vol. 10, No. 4, pp. 152-162, 1993.
2. Lee, K. S. and Yang, I. Y., "Influence of stacking Conditions on the Collapse Characteristics of CFRP Side Member," KSMTE Spring Conference, Vol. 20, No. 5, pp. 397-402, 2006.
3. Song, K. H., "The Mechanical Properties of CFRC under High Temperature," Korean Journal of Materials Research, Vol. 11, No. 4, pp. 258-265, 2006.
4. Shin, K. C., Lee, J., Kim, K. H., Song, M. C. and Huh, J. H. "Axial crush and bending collapse of an aluminum/GFRP hybrid tube and its energy absorption capability," Composite Structure, Vol. 57, Issues 1-4, pp. 279-287, 2006.
5. Mamalis, A. G., Manolakos, D. E., Ioannidis, M. B. and Papapostolou, D. P., "Crashworthy characteristics of axially statically compressed thin-walled square CFRP composite tube: experimental," Composite Structure, Vol. 63, Issues 3-4, pp. 347-360, 2004.
6. Lee, S. H., Kim, C. W. and Choi, N. S., "Bending collapse behaviors and energy absorption characteristics of aluminum-GFRP hybrid tube beams," Key Engineering Materials, Vol. 326-328, pp. 1825-1828, 2006.
7. Almir, B. S., Santos, N. and Lebre, C. L., "Flexural stiffness characterization of reinforced plastic(FRP) postured beams," Composite Structures, Vol. 81, Issue 2, pp. 247-282, 2007.
8. Namgung, C., Kim, D. S. and Lee, J. H. "A Study on the bending process of glass fiber reinforced thermoplastic composite," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 513-517, 1997.
9. Standard Test Method for Density, ASTM D6272-02