

## 원통 CFRP 구조재의 굽힘 특성 평가

김정호\*, 김지훈<sup>+</sup>

(논문접수일 2010. 12. 7, 심사완료일 2011. 1. 31)

### Evaluation of Bending Characteristics for Carbon FRP Structure having Circle Cross-section

Jung-Ho Kim\*, Ji-Hoon Kim<sup>+</sup>

#### Abstract

Works on the strength and stiffness in the structural members are carried out widely with various material and cross-sections with ever increasing safety concerns, they are presently applied in various fields including railroad trains, air crafts and automobiles. In addition to this, problem of lighting structural members became important subject by control of exhaust gas emission, fuel economy and energy efficiency. So, Light weight of member structures is necessary for the high performance and various functions.

In this study, the CFRP flat and circular member was manufactured by CFRP prepreg sheet in autoclave. Carbon FRP is an anisotropy material whose mechanical properties change with its fiber orientation angle, so this study apply to the effects of the fiber orientation angle on the bending characteristics of the member. Each CFRP flat and circle are compared by strength and stiffness.

**Key Words** : Strength(강도), Stiffness(강성), CFRP(탄소 섬유 복합재), Bending(굽힘), Orientation angle(적층각)

## 1. 서론

과거 유리(Glass) 또는 탄소(Fiber)섬유복합재료는 주로 항공관련 분야에서만 사용되다가 최근에 풍력 블레이드, 항공·수송, 레저스포츠 여러 공학 분야에서 꾸준히 활용이 증가하면서 여러 연구자들은 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>(6-12)</sup>. 특히 수송차량의 경우 자동차 기능의 집적화와 복잡화 그리고 최근 G20정상회의에서의 수송차량 관련 환경규제 강화로 인해 이산화탄소 감소, 연비효율을 증가와 하이브리드·수소자동차 개발이 쟁점이 되는 가운데 수송차량의 구조가 가벼우면서 강

도강성이 높은 재료나 구조 개발 연구가 필요해졌으며, 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 여기에 치수 안정성, 물성의 불변성, 고강도 및 고강성도, 내부식성 등 많은 장점을 가지는 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)를 적용하였다<sup>(5)</sup>.

CFRP는 각각의 구조에 필요한 재료의 방향에 따른 강성도 및 강도의 특성을 복합재료의 메커니즘 설계 방법에 따라 조절할 수 있으며 복합재료를 적용한 구조물의 설계변수로는 여러 가지 다양한 제작방법, 온도, 흡습량, 적층방향, 적층두께 그리고 적층순서 등이 있다. 이와 같은 설계변수에 의한 강성도 및 강도의 특성을 파악하는 것은 매우 중요하다. 그러나 CFRP의

\* 조선대학교 첨단부품소재공학과 (shedhim@gmail.com)

주소: 광주광역시 동구 서석동 975번지

+ 교신저자, 조선대학교 기계설계공학과 (kjh@chosun.ac.kr)

강성과 강성등과 같은 수치를 이론식을 통하여 얻는다는 것은 매우 어렵고 복잡하여 대부분 실험에 의존되고 있다.

본 연구에서는 탄소 복합재료의 적층 각도에 따른 굽힘 특성을 알기위하여 기본적인 CFRP 굽힘 시편(Laminate)을 제작하여 굽힘 특성을 평가하고 CFRP가 구조부재로서 형상을 가질 때 굽힘 특성을 예측하고자 한다. 형상을 가진 CFRP 구조부재는 적층각도에 다른 원형 튜브형으로 제작하여 굽힘 특성을 평가하였다.

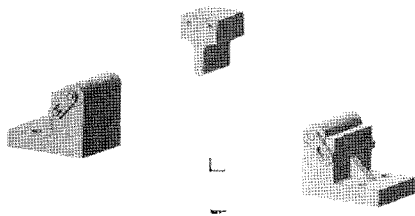
## 2. 실험방법

### 2.1 시편

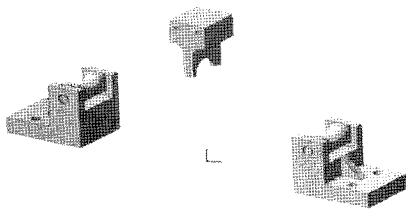
CFRP 굽힘 시편(CFRP Flat Specimen)은 ASTM규격에 따라 30 × 2 × 120mm(너비, 두께, 길이)으로 하고 CFRP 원형 튜브(CFRP Circle Tube)는 38 × 1 × 450mm(외각 지름, 두께, 길이)인 형상으로 제작하였다<sup>(13-15)</sup>. 시편의 길이 방향을 0°를 기준으로 적층 각도는 [±0°]<sub>4</sub>, [±15°]<sub>4</sub>, [±45°]<sub>4</sub>, [±90°]<sub>4</sub>, [90°/0°]<sub>4</sub>, [0°/90°]<sub>4</sub>으로 하였다. 제작 방법은 선행 되었던 에

Table 1 CFRP prepreg sheet

Code name	CU 1253
CF Wt(gr/m <sup>2</sup> )	125
Resin Wt(gr/m <sup>2</sup> )	73
R/C(%)	37±2
Scrim Wt(gr/m <sup>2</sup> )	34
Total Wt(gr/m <sup>2</sup> )	232
THICK-NESS(mm)	0.160



(a) Normal Bending Device



(b) Special Bending Device

Fig. 1 The bending devices

따라 같은 방법으로 따라 실험되었다<sup>(1-4)</sup>. 각 시편의 총길이는 굽힘 하중에 의해 힘이 일어난 후 지지단에 충분히 걸칠 수 있도록 시편 양끝부분을 10%씩 더 길게 하였으며 시편 제작에 사용된 재료는 Table 1.에 나타내었다.

### 2.2 실험장치

반경이 30mm인 2개의 지지단과 반경이 5mm인 하중단을 가진 굽힘 장치는 제작하고 (Fig. 1) 굽힘 지그의 지지단은 자유고정, 하중단(Node Span)은 완전 고정으로 하였다.<sup>13-15</sup> 굽힘 지그를 만능재료시험기(UTM)에 로드셀과 액추에이터 사이에 설치를 하며 하중단은 시편의 정 중앙에 위치하고 굽힘 시편은 5mm/min, 10mm/min으로 정적 굽힘 실험을 하였다. 본 실험에 앞서 CFRP 원형 튜브와 같은 구조부재에 대한 굽힘 시험은 ASTM에 명시 되어 있지 않다. 그래서 기존의 ASTM규격에 따라 원형 튜브를 굽힘 실험 할 경우 굽힘 응력이 외에 응력집중으로 쉽게 파단 되어 굽힘력의 정확한 수치를 얻어낼 수 없다. 그리하여 응력집중이 일어나 않고 원만한 굽힘이 작용할 수 있도록 원형 튜브에 맞는 굽힘 지그를 새로이 제작하였다. 새로운 굽힘 지그가 기존의 굽힘 지그보다 굽힘력을 효과적으로 얻어 낼 수 있는지 알아보기 위해 두 종류의 굽힘 지그에 동일한 시편으로 실험하여 CFRP 원형 튜브를 위한 굽힘 지그의 정당성을 나타내고 CFRP 굽힘 시편과 CFRP 원형 튜브 시편을 각 지그에서 굽힘 실험 한 후 UTM에서 얻어진 응력-변위 선도를 측정하여 각 시편의 특성을 평가하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

CFRP 원형 튜브 지그를 일반적인 지그와 새로운 지그를 이용하여 굽힘 실험을 한 후의 측정된 최대하중을 Fig. 2에 나타내었다. 그래프에서 보는 것과 같이 새로운 굽힘 지그가 기존의 굽힘 지그보다 하중이 최소 19.23%, 최대 51.95%으로 높게 나왔다. 이는 기존의 굽힘 지그보다 새로운 굽힘 지그가 응력집중이 많이 감소하고 굽힘력이 효율적으로 측정되었다고 증명하였다. CFRP 굽힘 시편과 CFRP 원형 튜브 시편을 각 지그를 설치하여 굽힘 실험 후 S-S 그래프로 Fig. 3, 4에 나타내었다.

CFRP 굽힘 시편에서는 강도가 ±15°가 제일 높고 근접한 수치로 0°그리고 0°/90°와 90°/0°순으로 높음을 나타냈다. 90°는 일반적인 예상대로 굽힘 하중이 기지르만 집중됨으로써 매우 약함이 나타났다. ±45°는 다른 굽힘 시편과 달리 낮은 하중에 굽힘 파괴가 일어나지만 변형이 다른 시편에 비해 매우 오랫동안 버틸 수 있음을 알 수 있다.

0°/90°와 90°/0°은 최대 강도 이후 급격히 감소하는 것과 달리 최대 강도 이후 다시 강도 증가하는 것을 볼 수 있다.

이는 90°플라이(Ply)와 0°플라이간의 긴밀한 상호 작용으로 급격한 강도 감소가 되지 않는다. 이들 시편에 금속계열의 보강재가 적용 된다면 좋은 결과를 얻을 수 있을 거라 판단이 된다. 이는 다음 연구에 하고자 한다. CFRP 원형 튜브 시편에서는 CFRP 굽힘 시편과 달리 0°/90°와 90°/0°가 제일 높고 그 다음으로 ±15°으로 나타났다. CFRP 굽힘 시편에서 0°가 다른 종류보다 좋은 강도를 가지고 있었나 튜브모양으로 제작 할 경우 굽힘 하중에 대해 평행면(xy)은 강함을 보이고 수직면(xz)은 매우 약함을 보이는 상반된 결과가 낮은 강도값을 갖게 되었다(Fig. 5). 이렇게 수직면과 평행면에 복합적으로 작용되어야 좋은 강도를 얻을 수 있다는 것을 나타냈다.

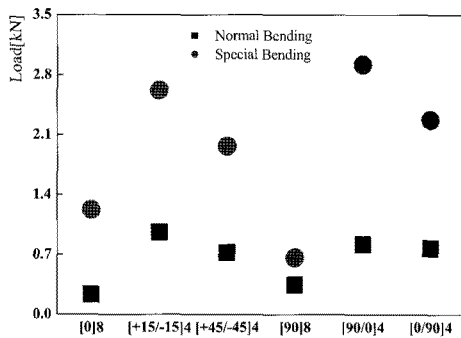


Fig. 2 Result between Normal and Special Bending Test for Circle Tube Specimen

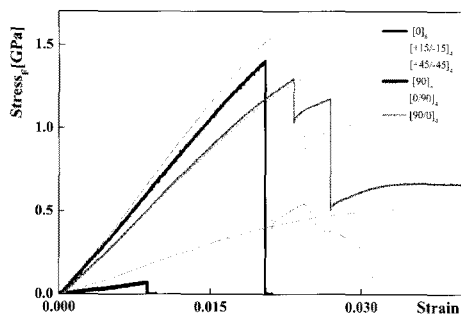


Fig. 3 Stress-Strain Curve Flat Specimens

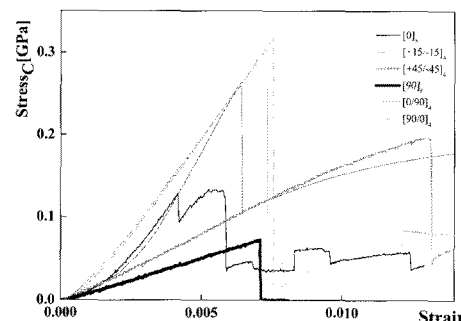


Fig. 4 Stress-Strain Curve Circle Tubes

각 CFRP 굽힘 시편과 CFRP 원형 튜브 시편에서 얻어진 최대 응력 지점에서 굽힘 강성을 값을 구하여 Fig. 6, 7에 나타 내었다.

CFRP 굽힘 시편의 적층 각도에 따른 강성평가는 ±15°가 제일 높고 0°, 90°/0°그리고 0°/90°순으로 나타났다. 90°/0°와 0°/90°의 강성에서 최외각층이 90°인가 0°인가에 따라 처짐량이 달라 강도값이 거의 비슷했던 것과 달리 두개의 시편의 차이점이 보여졌다. CFRP 원형 튜브의 적층 각도에 따른 강성

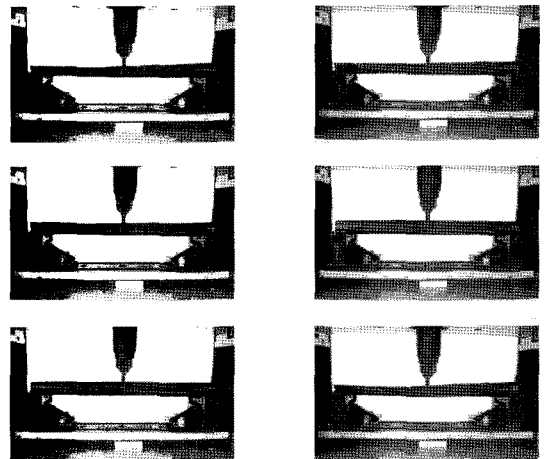


Fig. 5 Process of Bending Test for 0° Specimen

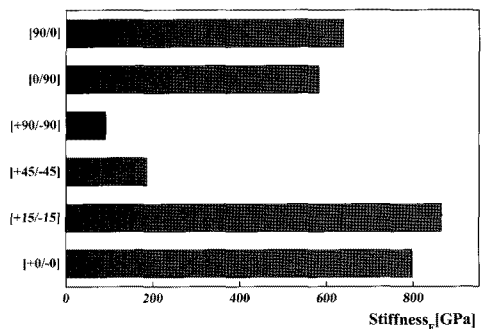


Fig. 6 Graph of Stiffness for Flat Specimen

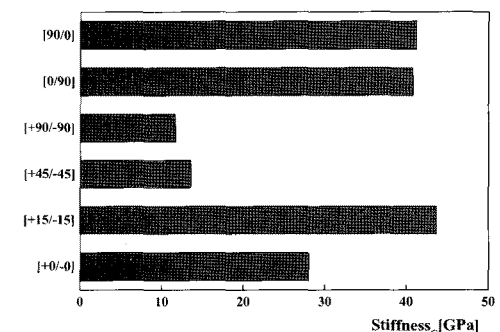


Fig. 7 Graph of Stiffness for Circle Tube

평가는 강도와 전혀 다른 경향이 나타났다. 15°이 90°/0°와 0°/90°보다 약간 더 높게 나타났다. 15°가 하중면에서는 낮게 측정되었으나 S-S curve의 기울기가 높아 높은강성값이 나타났고 또한 보강재를 적용할 때 효과적인 결과를 볼 수 있을 것이라 예측한다.

#### 4. 결론

섬유 복합재료 CFRP를 원형과 같은 간단한 형태의 구조부재로 제작하였을 때 적층 각도에 따른 굽힘 특성을 알아보고자 원형 튜브 굽힘 실험에 맞는 굽힘 장치를 새로이 제작하고 굽힘 시편과 함께 굽힘 특성을 비교 분석하였다.

- (1) 새로운 굽힘 지그가 기존의 굽힘 지그보다 하중이 최소 19.23%, 최대 51.95%으로 높게 나왔다. 이는 새로운 굽힘 지그가 굽힘 하중이 효율적으로 적용되었다고 알 수 있다.
- (2) CFRP 굽힘 시편 실험 후 강도적인 면에서 ±15°가 제일 높고 ±45°는 다른 굽힘 시편과 달리 낮은 하중에 굽힘 파괴가 일어나지만 변형이 다른 시편에 비해 매우 오랫동안 버틸 수 있음을 알 수 있다. 0°/90°와 90°/0°은 최대 강도 이후 완전 파단 되는 다른 시편과 달리 최대 강도 이후 다시 강도 증가하는 것을 볼 수 있다. 이들 시편에 보강재를 적용 한다면 좋은 결과를 얻을 수 있을 거라 판단이 된다.
- (3) 강도적인 측면에서 CFRP 원형 튜브 시편에서는 CFRP 굽힘 시편과 달리 0°/90°와 90°/0°가 제일 높게 나타났다. 이는 섬유복합재를 판 또는 형상을 갖는 각 구조부재에 따라 다른 경향이 나타났다.
- (4) 0°으로 제작된 굽힘 시편의 강도는 다른 시편보다 좋은 강도를 가지고 있었나 튜브모양으로 제작 할 경우 그 반대의 결과가 나타났다. 구조부재 형태로 제작 할 경우 수직면과 평형면에 각각 좋은 강도를 얻어야 전반적인 좋은 강도를 얻을 수 있다는 것을 나타났다.
- (5) CFRP 굽힘 시편의 적층 각도에 따른 강성평가는 ±15°가 제일 높았고 90°/0°와 0°/90°의 강성은 최외각층에 따라 강도비교 때와 달리 강성값 차이점이 보였다.
- (6) S-S curve의 기울기값이 높은 15°, 90°/0° 0°/90°순으로 강성값이 높았다. 90°/0°와 0°/90°약간의 값 차이는 결과 5와 동일하다.

#### 후 기

본 과제(결과물)은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Kim, J. H., Jeong, J. Y., Bang, J. M., Kim, J. H., and Yang, I. Y., 2009, "Characteristics of CFRP Structure of Bending Strength and Rigidity According to Stacking Orientation Angle." *AJSE*, Vol. 34, No. 1C, pp. 21~27.
- (2) Kim, J. H., Yang, Y. J., Im, K. H., Yang, I. Y., and Kim, J. H., 2007, "Characteristics of Bending According to Stacking Sequence for Hybrid Circular Members", *International Conference on Smart Materials and Nanotechnology in Engineering*, Vol. 6423, pp. 642345-1.
- (3) Kim, J. H., Kim, J. H., Cha, C. H., and Yang, I. Y., 2008, "Bending Characteristics of CFRP & Hybrid Shaped Hat Structure Member According to Stacking Orientation Angle." *KSMTE*, Vol. 17, No. 3, pp. 34~39.
- (4) Yang, I. Y., Kim, J. H., and Kim, J. H., 2008, "The Characteristics of Flexure Strength and Rigidity in Light-Weight CFRP Members", *KSPE*, Vol. 25, No. 11, pp. 95~99.
- (5) Sim, J. K., Yang, I. Y., and Oh, T. Y., 1993, "Impact Damage and Residual Bending Strength of CFRP Composite Laminates Involved Difference of Fiber Stacking Orientation and Metrics," *KSPE*, Vol.10, No.4, pp. 152~162.
- (6) Lee, K. S., and Yang, I. Y., 2006, "Influence of Stacking Conditions on the Collapse Characteristics of CFRP Side Member," *KSMTE spring conference*, Vol. 20, No. 5, pp. 397~402.
- (7) Song, K. H., 2006, "The Mechanical Properties of CFRC under High Temperature," *Korean Journal of materials Research*, Vol.11, No.4, pp. 258~265.
- (8) Shin, K. C., Lee, J., Kim, K. H., Song, M. C., and Huh, J. H., 2006, "Axial Crush and Bending Collapse of an Aluminum/GFRP Hybrid Tube and Its Energy Absorption Capability," *Composite structure*, Vol. 57, Issue 1-4, pp. 279~287.
- (9) Mamalis, A. G., Manolakos, D. E., Ioannidis, M. B., and Papapostolou, D. P., 2004, "Crash Worthy Characteristics of Axially Statically Compressed Thin-Walled Square CFRP Composite Tube : Experimental," *Composite structure*, Vol. 63, Issue3-4, pp. 347~360.
- (10) Lee, S. H., Kim, C. W., and Choi, N. S., 2006, "Bending Collapse Behaviors and Energy Absorption Characteristics of Aluminum-GFRP Hybrid Tube Beams," *Key engineering materials*, Vol. 326~328, pp. 1825~1828.
- (11) Almir, B. S., Santos, N., and Lebre, C. L., 2007, "Flexural Stiffness Characterization of Reinforced Plastic(FRP) Postured Meams," *Composite structures*, Vol. 81, pp. 247~282.
- (12) Namsung, C., Kim, D. S., and Lee J. H., 2007, "A Study on the Bending Process of Glass Fiber Reinforced Thermoplastic Composite," *Proc. of KSPE spring conference*, pp.

513~517.

- (13) Designation: C 1161-02C, 2002, *Standard Test Method for Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature*, PA 19428-2959, United States.
- (14) Designation: C 1341-00, 2000, *Standard Test Method for Flexural properties of Continuous Fiber-Reinforced Advanced*

*Ceramics*, PA 19428-2959, United States.

- (15) Designation: D 6272-02, 2002, *Standard Test Method for Flexural properties of Unreinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending*, PA 19428-2959, United States.