

원통단면 탄소복합재와 혼성 구조부재의 굽힘 특성 평가

김정호*, 정종안⁺, 김지훈⁺⁺

(논문접수일 2012. 01. 25, 수정일 2012. 04. 17, 심사완료일 2012. 05. 17)

Bending Characteristic Evaluations Circular Cross-section Carbon Composite and Hybrid Structural Material

Kim Jung Ho*, Jeong Jong An⁺, Kim Ji Hoon⁺⁺

Abstract

Carbon Fiber reinforced composite material can be designed for the optimized performances of structural member that have achieve appropriate mechanical properties with cross-sectional shape, fiber direction, stacking sequence and thickness. So there are needed extensive databases each optimal design of CFRP structural member by impact through the preparation of different shape, interface number, thickness and stacking angle. When pressure is applied to structural member, compression, bending and torsion is shown on the corresponding member. For the effective utilization of fiber reinforced composite material as main structural member, optimized design technology should be established to maximize mechanical properties for compression, bending and torsion.

In this paper, CFRP prepreg sheet with different stacking angle is manufactured in CFRP and hybrid(Al+CFRP) with circular cross-section. Strength and stiffness is gotten respectively by flexure test. CFRP structure and hybrid structure can be compared with each other. The best design guideline can be analyzed by use of this study result.

Key Words : CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics, 탄소섬유강화플라스틱), Bending(굽힘), Hybrid(혼성), Stacking angle(적층각), Circular cross-section(원형단면)

NOMENCLATURE

σ : strength
M : moment
I : inertia Moment
y : centroid of x-axis
 ε : strain
D : outer of circle shape
d : inner of circle shape
L : Length of specimen
E : modulus or stiffness

1. 서론

재료의 능력을 업그레이드하는 연구 및 개발은 끊임없이 진행되고 있는 가운데 교토의정서, G20정상회의, Rio+20 정상회의 등 환경의 중요성이 대두되면서 수송차량 부분에서는 탄소 배출을 줄이고 연비효율을 높이기 위한 일환으로 수송차량 경량화에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 그중 경량화의 이점을 가진 재료를 기존의 재료 대신 적용하는 연구도 진행되고 있다. 경량화 장점을 가지고 재료 중 탄소섬유 복합재료가 있다. 탄소

* 조선대학교 첨단부품소재공학과
+ 송원대학교 기계자동차공학과
++ 교신저자, 조선대학교 기계설계공학과 (kjh@chosun.ac.kr)
주소: 501-759 광주광역시 동구 필문대로 309

섬유 복합재료는 과거 항공관련 분야에만 적용이 되어 지다가 가격 하락 및 비강도, 비강성, 내식성, 내마모성, 내구성, 내열성, 차음성 그리고 미관등의 이점을 가지고 있어 현재 풍력 플레이드, 수송차량 그리고 레저스포츠 등 다양한 분야에 적용이 되고 있다.

선 연구에서 탄소섬유복합재료를 이용하여 판과 사각튜브형상을 가진 구조부재를 적층각도별로 제작하여 굽힘강도 및 강성 그리고 흡수에너지 평가를 하였다 또한 탄소섬유복합재료의 취성특징을 보완하고자 알루미늄에 탄소섬유복합재료를 적층각도별로 감아 제작한 Hybrid 구조부재를 굽힘강도 및 강성 그리고 흡수에너지 평가를 하였다^(1~3).

본 연구에서는 판과 사각튜브형상이 아닌 원형 튜브 형상을 가진 CFRP 원형 튜브 구조부재와 알루미늄을 보강한 Hybrid 원형 튜브 구조부재를 제작하고 굽힘실험을 통하여 적층각도별 강도 및 강성 평가와 CFRP와 Hybrid간의 비교평가를 하고자 한다. 이때 원형 굽힘 실험을 진행하기 전 ASTM^(13~15)에서와 같은 일반적인 굽힘 지그의 경우 원형 형상의 순수한 굽힘강도를 얻을 수 없어 새로운 굽힘지그를 설계 및 제작하여 굽힘실험을 진행하였다. 새로운 굽힘지그에 대한 타당성 증명은 선 연구에서 행하여 졌다⁽¹²⁾.

2. 실험 방법

2.1 굽힘 지그

원형 단면으로 이루어진 튜브형 구조부재의 굽힘특성을 평가를 위한 별도의 규격이 KS 혹은 ASTM에 명시 되어 있지 않다. 일반적으로 알려진 굽힘지그와 굽힘방법⁽¹⁵⁾으로 실험이 이루어질 경우 하중지그와 원형튜브 구조부재간의 굽힘하중이 선 접촉이 아닌 점접촉으로 작용되어 응력집중이 발생된다. 이로 인해 순수 굽힘력에 의한 재료 파괴 거동을 얻지 못해 굽힘력의 정확한 수치를 얻어낼 수 없다. 순수 굽힘하중이 작용될 수 있도록 원형 튜브 굽힘을 위한 새로운 타입의 굽힘 지그를 설계 제작하였다(Fig. 1). 원형 튜브 굽힘 지그에 대한 정당성 평가는 선 연구에서 나타내었다⁽¹²⁾.

2.2 시 편

CFRP 원형튜브는 38×1×450mm(D×t×L) 형상으로 제작하



Fig. 1 The bending device for circle tube

였다. 시편의 길이 방향을 0° 기준으로 적층 각도는 [±0]₄, [±15]₄, [±45]₄, [±90]₄, [90/0]₄, [0/90]₄으로 적층하였다. 시편 제작을 위해 사용된 CFRP prepreg sheet는 한국화이바의 CU125NS 제품을 사용하였다.

$$\sigma = \frac{M}{I}y \quad (1)$$

$$\epsilon = \frac{6Dd}{L^2} \quad (2)$$

$$E = \frac{(\sigma_2 - \sigma_1)}{(\epsilon_2 - \epsilon_1)} \quad (3)$$

혼성 원형 튜브는 원형 AI 튜브 외측에 CFRP Prepreg Sheet를 CFRP 원형튜브와 동일한 방법으로 적층하였다. 형상의 크기는 40×2×450mm이며 혼성 원형 튜브에 사용된 AI은 두께 1mm인 6063계열 알루미늄합금이다. 이렇게 적층된 CFRP 원형튜브와 혼성 원형튜브를 Autoclave에서 진공압축성형을 하였다.

2.3 굽힘실험

UTM에 Fig. 1에 나타낸 지그설치하고 10mm/min으로 굽힘 실험을 진행하여 하중-변위 선도를 얻었다.

무게와 단면적 크기가 서로 달라 정량적 평가를 위해 원형 CFRP와 Hybrid를 하중을 면적 비와 무게비, 굽힘강도 그리고 굽힘강성으로 비교평가 하였고 굽힘강도-강성을 얻는데 식 (1)~(3)를 사용하였다.

3. 실험 결과

원형단면을 가진 CFRP와 AI이 보강된 원형 Hybrid 두 개의 구조부재를 원형 굽힘 실험에 적합한 새로운 굽힘 지그에 의해 굽힘 실험을 하였고 하중-변위 선도를 Fig. 2에 나타내었다.

CFRP 원형 튜브와 Hybrid 원형 튜브 두 종류에서 공통적으로 [±45]₄에서 비선형이 나타나고 하중이 선형적으로 증가되다가 최대하중이 이후 급격히 하중이 감소하는 경향이 나타났다.

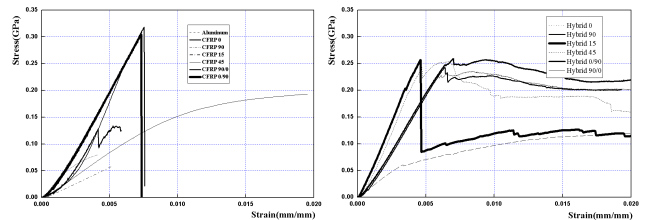


Fig. 2 The Stress-Strain Curve of Circle CFRP and Circle Hybrid

그러나 AI을 보강한 Hybrid 원형 튜브에서는 CFRP 원형 튜브와 달리 하중 감소 후 다시 하중이 증가하는 것을 볼 수 있다.

이는 Hybrid 원형 튜브 외각층 CFRP가 파괴되어 하중이 감소되다가 AI이 버텨오로서 하중이 다시 증가하였다. 이는 AI을 보강함으로써 CFRP의 단점이 취성을 보완할 수 있다.

적층각 변화에 따른 강도와 강성값을 Fig. 3과 4에 나타내었다. CFRP 원형 튜브에서는 [0/90]₄, [90/0]₄ 그리고 [±15]₄ 순서대로 강도값이 높게 나왔고 강성은 [±15]₄가 제일 높고 그 다음 [±0]₄가 높고 [0/90]₄와 [90/0]₄가 3번째로 높음을 보였다. 그러나 사각튜브 굽힘실험 논문에서 이야기 한 바와 같이 [±0]₄ 굽힘은 원형 구조로써 굽힘저항이 받는 것이 아닌 판형태로 굽힘 하중에 저항하는 것으로 나타나 [±0]₄은 배제하여야 한다(Fig. 5). Hybrid 원형 튜브에서는 [0/90]₄, [90/0]₄ 그리고 [±15]₄에서 강도값이 비슷하게 나타났고 강성은 [±15]₄가 높고 그 다음으로 순으로 의 최대 하중이 제일 높게 나타났으며 그다음으로 [0/90]₄와 [90/0]₄가 높게 나타났다.

정량적인 평가를 위해 각 적층별로 측정된 원형 CFRP와 원

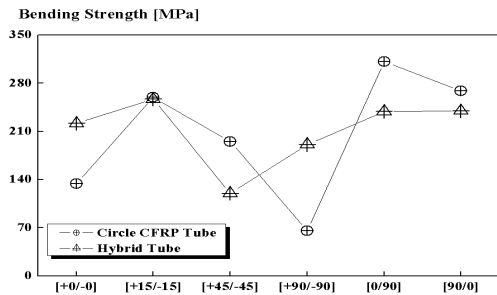


Fig. 3 The result of Circular Shaped CFRP and Hybrid Strength

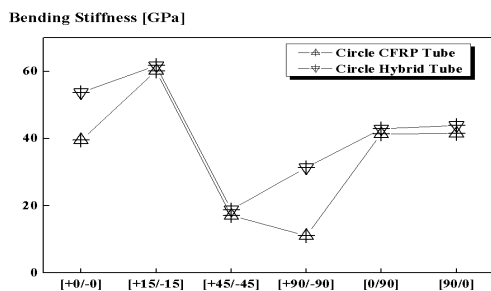


Fig. 4 The result of Circular Shaped CFRP and Hybrid Stiffness

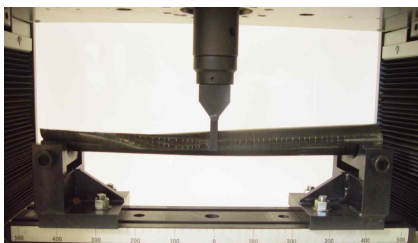


Fig. 5 The Picture of Final bending at Circular CFRP [±0]₄

형 Hybrid 하중(Fig. 5)을 무게비와 단면적비로 Fig. 6, 7에 나타내었다. 무게와 단면적은 각 시험편에서 측정하였다. (CFRP : 0.1kg D37mm t:1, Hybrid : 0.28kg D38mm t:2)

단면적비와 무게비에서 [±90]₄를 제외한 모든 부분에서 원형 CFRP가 원형 Hybrid보다 대부분은 원형 CFRP가 원형 Hybrid보다 적게는 9%에서 최대 140%높게 나왔다. Fig. 5에서는 CFRP에 알루미늄을 보강하였을 때 굽힘하중 저항값이 증가하여 무게비에서나 단면적비로 고려하여도 Hybrid가 좋음이 예상되었으나 실제로는 그렇지 않았다.

그러나 참고문헌 6에 따르면 CFRP로 구조부재를 제작 시 두께가 증가할수록 하중이 증가하지 않고 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 다시 말해 CFRP를 Hybrid와 동일한 두께를 갖거나 동일한 무게를 갖는 구조부재를 제작하고 실험을 하더라도 Fig. 4와 5처럼 같은 결과와 나오지 않을 수 있다고 할

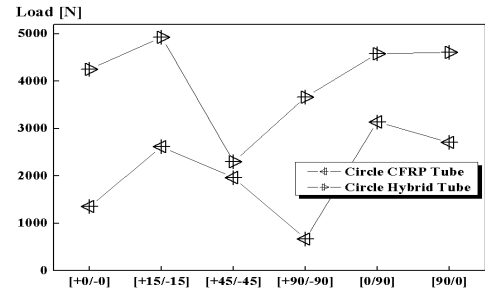


Fig. 6 The result of Circular Shaped CFRP and Hybrid Load

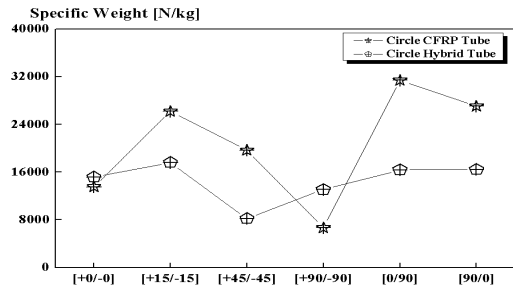


Fig. 7 The result of Circular Shaped CFRP and Hybrid Load by Specific Weight

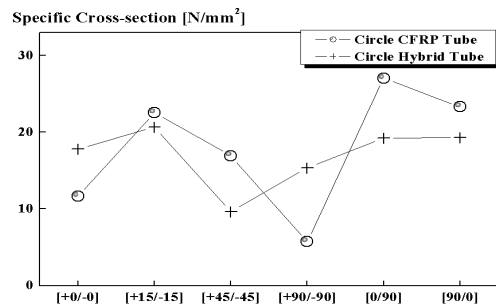


Fig. 8 The result of Circular Shaped CFRP and Hybrid Load by Specific Cross-section

수 있다. 이는 추후 동일한 두께와 동일한 무게를 갖는 시험편을 제작하여 실험할 필요가 있다.

4. 결론

- (1) 각 굽힘 실험에서 하중이 선형적으로 증가하다가 최대하중이 이후 급격히 감소하는 공통적인 경향이 나타났으나, AI를 보강한 Hybrid 원형 튜브에서는 하중이 감소되다가 다시 하중 증가가 나타났다. 이는 AI를 CFRP의 보강재로 사용할 경우 CFRP가 최대하중 이후 취성의 영향으로 완전 파괴되는 것을 보완할 수 있다.
- (2) CFRP를 원형 튜브형태의 구조부재로 제작할 때 제작할 경우 강도와 강성이 높게 측정된 $[0/90]_4$, $[90/0]_4$ 그리고 $[\pm 15]_4$ 으로 적층하여 제작하는 것이 좋다.
- (3) Hybrid를 원형 튜브형태의 구조부재로 제작할 경우, 좋은 강도를 갖는 적층 조건은 CFRP 원형 튜브와 동일한 $[\pm 15]_4$, $[0/90]_4$ 그리고 $[90/0]_4$ 이고 강성이 우수한 조건을 갖는 것은 $[\pm 15]_4$ 이다.
- (4) 실험에서 측정된 하중을 수치적인 단면적비와 무게비로 인한 비교평가는 올바른 평가가 되지 않아 추후 CFRP 원형 튜브와 Hybrid 원형 튜브를 단면크기와 무게를 같게 하여 제작 한 후 굽힘 평가가 필요로 한다⁽⁶⁾.

후 기

이 논문은 2008년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

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.
- (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) 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," *Journal of KSPE*, Vol. 10, No. 4, pp. 152~162.
- (5) 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.
 - (6) Kim, Y. N., 2002, *Axial Collapse Characteristics of CFRP Composite Thin-wall Structures for Light Weight of Vehicle*, A Thesis for a Doctorate, Chosun University, Republic of Korea.
 - (7) 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.
 - (8) 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.
 - (9) Almir, B. S., Santos, N., and Lebre, C. L., 2007, "Flexural Stiffness Characterization of Fiber Reinforced Plastic(FRP) Postured Beams," *Composite structures*, Vol. 81, pp. 274~282.
 - (10) Namgung, C., Kim, D. S., and Lee, J. H., 1997, "A Study on the Bending Process of Glass Fiber Reinforced Thermoplastic Composite," *Proc. of KSPE Spring Conference*, pp. 513~517.
 - (11) 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.
 - (12) Kim, J. H., and Kim, J. H., 2011, "Evaluation of Bending Characteristics for Carbon FRP Structure having Circle Cross-section," *KSMTE*, Vol. 20, No. 2, pp. 202~206.
 - (13) ASTM C1161-02C: 2008, *Standard Test Method for Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature*.
 - (14) ASTM C1341-06: 2000, *Standard Test Method for Flexural Properties of Continuous Fiber-Reinforced Advanced Ceramic Composites*.
 - (15) ASTM D6272-02: 2008, *Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending*.