

# 온도 변화에 따른 열습 환경하에서의 CFRP 모자형 단면부재의 강도평가

양용준\*, 국 현<sup>+</sup>, 양인영<sup>++</sup>

(Manuscript received: Jul, 23, 2012 / Revised: Oct, 16, 2012 / Accepted: Oct, 23, 2012)

## Strength Evaluation on CFRP Hat-shaped Sectional Members According to Changes in Temperature Under Hygrothermal Environment

Yongjun Yang\*, Hyun Kook<sup>+</sup>, Inyoung Yang<sup>++</sup>

### Abstract

CFRP composites with light weight, high strength, and high elasticity by comparing with metal are widely used rather than previous steel plates. However, CFRP composite material has the weakness at hydrothermal and collapsed impact environment. Especially, moisture absorption into composite material can change molecule arrangement and chemical properties under hydrothermal environment. And static collapse experiment is the research in the differences of absorbed energy and deformation mode between moisture and non-moisture absorbed specimens. This study is compared and analyzed on the progress change of moisture absorption ratio after setting up the temperatures of 60 and 80 degrees C in order to comprehend how the change in the temperature influences on moisture absorption status inside CFRP composite materials.

**Key Words** : CFRP, carbon fiber reinforced plastic(탄소섬유 강화 플라스틱), Hat Shaped Members(모자형 단면부재) Interface Numbers(계면수), Hygrothermal(열습), Static Collapse(정적압괴), Moisture Absorption(흡습), Absorbed energy(흡수에너지)

### 1. 서론

CFRP는 금속재료에 비해 20~50% 가벼우면서 높은 강도와 강성을 얻을 수 있는 장점으로 인해 경량화가 요구되는 우주항공 산업을 비롯한 자동차산업, 선박산업 등 경량화가 필요로 하는 산업 분야에 널리 사용되고 있으며, 내열성과 내식성 등이 뛰어나기 때문에 현재 스포츠용품, 환경산업, 건축분야 등 각 분야의 고성능 산업용 소재로 점차 확대되고 있다. 그 적용분야 또한 1차 구조부재에 까지 적용되고 있는 시점에 이르렀다<sup>(1-2)</sup>.

구조부재의 성격상 복합재료의 유용한 기계적 성질이 장시간 주위 환경에 노출 시 기계적 성질이 유지되어야 하지만 고온·고습의 가혹한 환경하에서는 수분이 복합재료 내로 흡수됨으로 인해 섬유와 에폭시의 결합력이 약해져 계면이 연성화가 됨으로서 그 기계적 성질 및 화학적 성질의 변화가 발생한다. 이러한 화학적 변화는 강도저하가 크게 나타나는 문제점이 발생한다<sup>(3-7)</sup>.

따라서 현재 차량용 구조부재로 사용되고 있는 모자형 단면부재의 형상으로 제작된 CFRP 모자형 단면부재를 제작하여

\* 동강대학 소방안전과리과  
+ 조선대학교 첨단부품소재공학과  
++ 교신저자, 조선대학교 기계설계공학과  
주소: 501-759 광주광역시 동구 서석동

✉ Corresponding Author E-mail: iyyang@chosun.ac.kr

고온·고습의 가혹한 환경하에서 장시간 노출 시켰을 때의 기계적 성질의 변화 등에 중점을 두었으며, 온도와 습기의 작용을 동시에 평가할 수 있는 환경을 설정하기 위해 증류수를 이용하여 항온수조에 장시간 노출 시킴으로써 고온·고습 환경을 갖도록 조성하였다.

본 연구에서는 구조부재로 사용되고 있는 모자형 단면부재를 다양한 적층구성을 통해 무흡습 시험편과 흡습된 시험편을 각각 2계면, 4계면, 6계면의 적층구성의 차이를 두어 이에 따른 흡수거동과 강도평가를 실험적으로 고찰하였다.

## 2. 시험편

### 2.1 시험편 제작

본 실험에 사용된 시험편 제작에는 한국화이버(주) 일방향 CFRP prepreg sheet(cu125ns)를 사용하였으며, 제작 방법으로는 알루미늄 사각 맨드릴(mandrel) 위에 이형필름(release film)을 감고 차량용 충출에너지 흡수 박육부재 형상을 갖게끔 모자형(∩)과 평판(—)을 적층한 후 오토크레이브를 이용하여 경화점 온도 130℃, 경화시간을 90분으로 하여 제작 하였다.

시험편의 축 방향 중심으로 섬유축의 적층각도가 0°와 90°가 되도록 방향과 순서를 달리 적층하여 2계면, 4계면, 6계면의 변화를 설정하였으며, 무흡습 시험편과 각 온도설정에 따른 흡습시험편을 계면변화에 따라 각각 3개씩 제작하여 실험을 실시

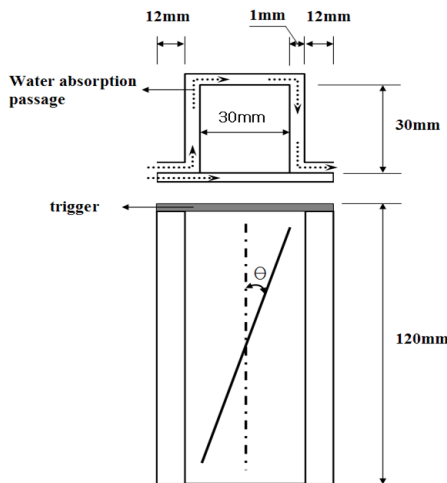


Fig. 1 CFRP hat-shaped Specimen

Table 1 Types of CFRP hat-Shaped specimen

Interface No.	Dry specimen	Wet specimen	
		60℃	80℃
2 interface	[90° <sub>2</sub> /0° <sub>2</sub> ] <sub>s</sub>	[90° <sub>2</sub> /0° <sub>2</sub> ] <sub>s</sub>	[90° <sub>2</sub> /0° <sub>2</sub> ] <sub>s</sub>
4 interface	[90°/0°] <sub>s2</sub>	[90°/0°] <sub>s2</sub>	[90°/0°] <sub>s2</sub>
6 interface	[90°/0°] <sub>2s</sub>	[90°/0°] <sub>2s</sub>	[90°/0°] <sub>2s</sub>

하였다. 시험편 제작 후 잔류응력이 발생하지 않도록 하기 위해 다이아몬드 커터를 이용하여 시험편의 길이 120mm 로 절단하였으며, 압괴실험 중 일률적인 변형을 유도하기 위하여 하중을 받는 시험편 끝단에 45°의 트리거 가공을 하였다<sup>(8)</sup>.

Fig. 1에서는 본 실험에 사용된 시험편의 형상 및 크기를 나타냈었다. Table 1은 본 실험에 사용된 시험편들의 종류와 적층순서를 나타내었다.

## 3. 실험 방법

### 3.1 흡습실험

흡습실험은 Fig. 2의 항온수조에 증류수를 사용하여 시험편을 잠그게 하여 시험편 내부의 흡수거동을 평가하였다. 항온수조의 설정온도로는 복합재료의 계면변화가 적게 나타나는 온도인 60℃와 차량 전면부에 구조부재로 사용되었을 것을 가정한 가장 높은 온도이며 Epoxy 수지의 Glass 전이 온도 이하인 80℃<sup>(9)</sup>로 설정하였다. 온도를 유지하면서 매72시간 간격으로 1/10,000g까지 측정이 가능한 정밀전자저울을 사용하여 시험편의 흡습량을 측정후 Fick's law에 따른 흡습률 공식 식 (1)에 의해 흡습률을 구할 수 있었다<sup>(10)</sup>.

흡습실험이 종료가 되는 시험편 내부의 수분 포화상태를 측정하기 위하여 다음의 식 (2)를 이용하였으며, 시험편이 포화상태에 도달했다고 판단 될 때 흡습실험을 종료하였다<sup>(11)</sup>.

$$M = \frac{W_m - W_d}{W_d} \times 100 \quad (1)$$

여기서  $M$ 은 시험편의 흡습률,  $W_m$ 은 흡습된 시험편의 무게,  $W_d$ 는 흡습되기 전의 시험편의 무게이다.

$$\frac{W_{m-1} - W_m}{W_d} < 0.0005 \quad (2)$$

여기서  $W_{m-1}$ 은 흡습된 시험편 전의 시험편 무게,  $W_m$ 은 흡수된 시험편의 무게,  $W_d$  흡습되기 전의 시험편의 무게이다.



Fig. 2 Hot waterbath

### 3.2 정적압괴실험

흡습으로 인해 압괴특성을 평가하기 위하여 무흡습 시험편과 흡습된 시험편을 UTM(universal testing machine)을 이용하여 10mm/min의 속도로 시험편의 전체길이인 60%까지 변위를 제어하면서 정적압괴 실험을 실시하였다. 압괴실험 후 얻어진 하중변위선도의 면적을 시험편이 흡수한 에너지로 보고 식 (3)을 이용하여 흡수에너지를 구하였다.

$$E_a = \int_{L_0}^L Fdl \quad (3)$$

여기서  $E_a$ 는 시험편에 흡수된 에너지를 나타내며, F는 압괴 하중, l은 압괴과정에서 압괴된 시험편의 길이를 나타낸다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 흡습거동

온도변화에 따른 흡습거동을 고찰하기 위하여 설정 온도인 60°C와 80°C에서 시험편 내부의 흡습률을 측정하고 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 80°C에서는 포화상태까지 도달하는 시간이 60°C에서보다 약 57% 빠르게 나타남을 알 수 있었으며, 흡습률의 증가가 가장 크게 나타나는 약 1%까지의 초기 흡습 증가량 또한 약 83% 정도 빠르게 증가함을 알 수 있었다. 또한

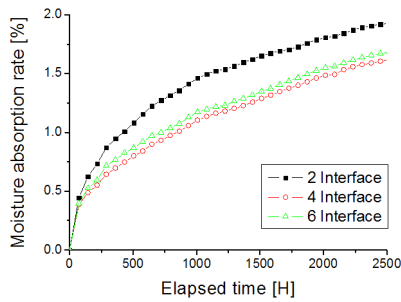


Fig. 3 Moisture absorption rate according to elapsed time(temperature 60°C)

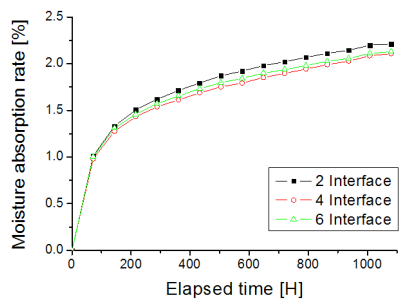


Fig. 4 Moisture absorption rate according to elapsed time (temperature 80°C)

실험 초기부터 흡습률이 0.5%에 도달하기 까지는 약 24시간이 경과됨과 동시에 급격한 증가를 보임을 알 수 있었고 그 이후 1.5%까지 도달하기 까지는 약 260 시간이 경과됨과 동시에 경과시간 또한 초기보다 현격하게 증가함을 알 수 있었다. 그 이후에는 장시간 동안 완만하게 증가 하면서 약 1100시간이 경과 하면서 거의 흡습률이 일정하게 나타남으로써 포화됨으로 판단하고 실험을 종료 하였다.

따라서 온도가 증가함에 따라 포화상태로 판단되는 시점까지의 흡습 시간은 점차 감소됨을 알 수 있었다.

### 4.2 압괴모드

흡습실험을 통해 흡습된 시험편과 흡습되지 않았던 각각의 시험편들에 대해 정적압괴실험을 실시 후 Fig. 5의 “Farley and Jones”가 정의한 횡방향 전단, 라미나 굽힘 그리고 국부 좌굴의 모드가 조합된 형태 등의 압괴모드가 나타남을 알 수 있었다<sup>(12-16)</sup>. Fig. 6의 실험 후 압괴모드를 관찰한 결과 무흡습 시험편과 흡습시험편 모두에서 층간 파괴로 인한 전단과 굽힘 모드가 혼합되어 나타나는 취성파괴 모드를 관찰할 수 있었다. 흡습으로 인해 시험편 내부의 탄소강화섬유와 에폭시 간의 결합력의 약화로 완화가 되면서 압괴 시 취성의 성격을 갖는 파괴나 파단보다는 연성의 굽힘과 접힘이 주를 이루는 걸 알 수 있었다.

따라서 무흡습 시험편과 흡습 시험편들은 초기 압괴 시 동일한 취성파괴를 관찰할 수 있었지만 점차 파괴 보다는 주로 굽힘

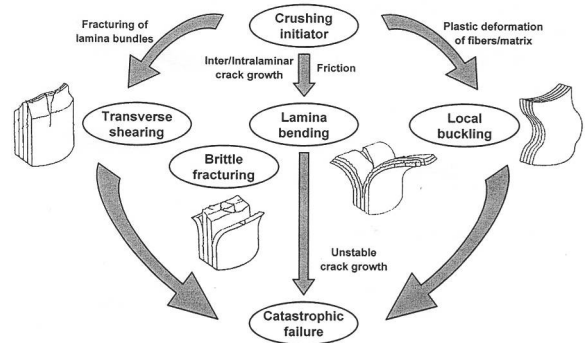


Fig. 5 Crushing process of continuous fiber reinforced composite



(a) Dry (b) 60°C (c) 80°C

Fig. 6 Shape of collapsed specimens

Table 2 Collapse characteristics of the dry specimens and wet specimens

Interface		Max load [kN]	Decrease [%]	Mean load [kN]	Decrease [%]	Energy [J]	Decrease [%]
2	Dry	15.13		8.14		488.23	
	60°C	14.75	2.6	7.5	8.5	450.1	8.5
	80°C	13.84	9.3	7	16.3	419.9	16.3
4	Dry	17.97		8.45		506.64	
	60°C	15.48	11.7	8.01	5.5	480.46	5.4
	80°C	14.15	22.2	7.6	11.2	456	11.1
6	Dry	17.35		9		540.26	
	60°C	17.03	1.9	8.3	8.4	497.93	8.5
	80°C	15.55	11.6	7.83	15	469.98	15

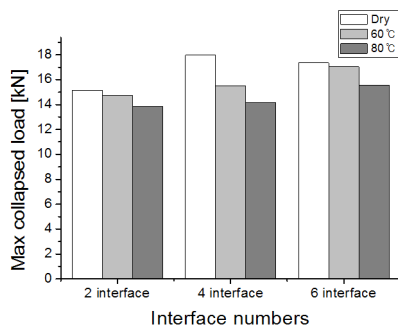


Fig. 7 Changes of interface number and temperature due to collapse characteristics

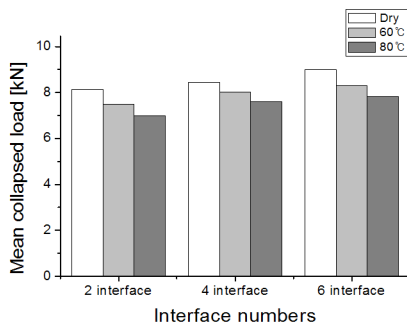


Fig. 8 Changes of interface number and temperature due to collapse characteristics

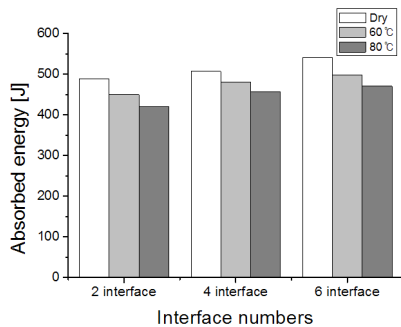


Fig. 9 Changes of interface number and temperature due to collapse characteristics

을 이루면서 무흡습 시험편보다 흡습된 시험편이 보다 안정적인 압괴가 진행됨을 알 수 있었다.

### 4.3 압괴특성

무흡습 시험편과 흡습시험편에 대해 정적압괴실험을 실시한 결과 Table 2의 최대하중과 평균하중 및 흡수에너지를 얻을 수 있었으며, 계면변화에 따른 흡습후의 강도특성을 Fig. 7~9를 통해 흡습에 따른 강도저하와 온도 변화에 따른 강도저하를 고찰할 수 있었다.

각 시험편의 최대하중에서는 약 2%의 강도저하가 나타났지만 4계면 시험편의 경우 무흡습 시험편의 강도저하 평가시 정량적인 데이터를 얻지 못한 결과 강도저하가 크게 나타난 것으로 사료된다. 하지만 평균하중과 흡수에너지에서는 모든 시험편이 약5~8%의 강도저하를 보이는 것을 알 수 있었다. 따라서 흡습에 의한 압괴특성은 최대하중에서는 극히 적게 나타남을 알 수 있었다.

또한 온도변화에 따른 강도저하를 비교해본 결과 80°C 온도에서 흡습된 시험편의 경우 60°C 온도에서 흡습된 시험편에 비해 약 2배의 강도저하가 나타남을 알 수 있었다. 따라서 흡습에 의한 강도저하는 온도가 높을수록 크게 나타남을 알 수 있었다.

## 5. 결론

본 연구에서 CFRP 모자형 부재의 온도에 따른 흡습거동과 이로 인한 압괴특성을 평가하여 최적의 적층구성을 찾기 위해 고온·고습 환경하에서의 실험과 압괴실험을 병행하여 실험한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 열습에 의한 가혹한 환경하에서 탄소섬유강화복합재 내부의 흡습정도는 온도가 높을수록 초기 흡습량이 크게 증가함으로써 수분 포화상태에 이르는 시간이 점차 감소됨을 알 수 있었다.

- (2) 흡습된 시험편 내부의 연성화로 인해 압궤모드는 파괴와 굽힘이 혼합되는 취성파괴 모드가 나타남을 알 수 있었으며, 흡습으로 인해 파괴보다는 굽힘모드가 크게 나타나 안정적인 압궤모드를 보여줌을 알 수 있었다.
- (3) 흡습률이 높은 시험편일수록 강도가 저하됨을 알 수 있었으며, 고온·고습의 가혹한 환경하에서의 장시간 노출 하계된다며 4계면의 적층구성을 가질 경우 강도 면에서 다른 적층구성보다 상대적으로 유리한 조건을 갖는 것을 알 수 있었다.

## References

- (1) Jcantwell, W. J., and Morton, J., 1985, "Detection of Impact Damage in CFRP Laminates," *Composite Structures*, Vol. 3, Issues. 3-4, pp. 241~257.
- (2) Song, S. I., Bae, K. J., Lee, K. H., and Park, G. G., 2002, "Light Weight Design for Automotive Door Using Optimizations and Design of Experiments," *Transactions of KSAE* Vol. 10, No. 1, pp. 125~132.
- (3) Zheng, Q., and Morgan, R. J., 1993, "Synergistic Thermal-moisture Damage Mechanism of Epoxies and Their Carbon Fiber Composites," *Journal of Composite Materials*, Vol. 27, No. 15, pp. 1465~1479.
- (4) Choi, H. S., Ahn, K. J., and Nam, J. D., 1998, "Hygroscopic Behavior of Unidirectional Carbon Fiber/epoxy Composite Laminates," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 22, No. 8, pp. 1486~1500.
- (5) Sala, G., 2000, "Composite Degradation due to Fluid Absorption," *Composites Part B*, Vol. 31, Issue. 5, pp. 357~373.
- (6) Yuichiro, A., Ken, Y., and Takashi, I., 2008, "Effect of Hygrothermal Condition on Compression Sfter Impact Strength of CFRP Laminates," *Composites Zcience and Technology*, Vol. 68, Issue. 6, pp. 1376~1383.
- (7) Rief, C., Lindner, M., and Kromp, K., 1990, "Experimental Investigations and a Model Proposal on Damage Mechanisms in a Reinforced Carbon-Carbon Composite," *Composite Materials: Testing and Design, ASTM STP 1059*, Vol. 9, pp. 564~579.
- (8) Kim, Y. N., Choi, H. S., Cha, C. S., Im, K. H., Jung, J. A. and Yang, I. Y., 2000, "Influence of Stacking Sequence Conditions on the Characteristics of Impact Collapse using CFRP Thin-Wall Structures," *Transactions of the Korean Society Mechanical Engineers A*, Vol. 24, No. 12, pp. 2945~2951.
- (9) Jung, J. A., and Yang, I. Y., 1996, "Impact Damages and Residual Strength of CFRP Laminates under the Hygrothermal Environment," *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers (A)*, Vol. 20, No. 12, pp. 3748~3758
- (10) Shen, H., and Springer, G. S., 1978, "Effects of Moisture and Temperature on The Tensile Strength of Composite Materials," *Journal of Composite Material*, Vol. 9, Issue. 3, pp. 2~16.
- (11) Tomblin, J., Seneviratne, W., Mckenna, J., and Ng, Y., 2001, "B-Basis Design Allowables for 2x2 Biaxially Braided RTM Composite Material Systems," *National Institute for Aviation Research Wichita State University*
- (12) Choi, J. H., Lee, K. S., and Yang, I. Y., 2010, "Energy Absorption Characteristics of CFRP/Form Circular Members according to Interface Number," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 19, No. 5, pp. 603~608.
- (13) Farley, G. L. and Jones, R. M., 1992, "Crushing Characteristics of Continuous Fiber-Reinforced Composite Tubes," *Journal of Composite Materials*, Vol. 26, No. 1, pp. 37~50.
- (14) Farley, G. L. and Jones, R. M., 1992, "Analogy of the Effect of Materials and Geometrical Variables on Energy-Absorption Capability of Composite Tubes," *Journal of Composite Materials*, Vol. 26, No. 1, pp. 78~89.
- (15) Farley, G. L. and Jones, R. M., 1992, "Crushing Characteristics of Composite Tubes with Near-Elliptical Cross sectionals," *Journal of Composite Materials*, Vol. 26, No. 12, pp. 1741~1751.
- (16) Hwang, W. C., Sim, J. K., and Yang, I. Y., 2011, "A Study on the Collapse Characteristics of Al/CFRP Square Structural Member for Light Weight," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 20, No. 3, pp. 219~224.