

## 열습환경 하에서의 적층각도 변화에 따른 CFRP 모자형 단면부재의 압괴특성

양용준\*, 양인영<sup>+</sup>, 심재기<sup>++</sup>

(논문접수일 2009. 7. 14, 심사완료일 2009. 9. 14)

### Collapse Characteristics of CFRP Hat Shaped Members under the Hygrothermal Environment According to Stacking Angle

Yongjun Yang\*, Inyoung Yang<sup>+</sup>, Jaeki Sim<sup>++</sup>

#### Abstract

It is important to satisfy the requirements and standards for the protections of passengers in a car accident. There are lots of studies on the crushing energy absorption of structure members in automobiles. We have investigated collapse characteristics and moisture absorption movements of CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics) hat shaped sectional members when CFRP laminates are under the hygrothermal environment. The absorbed energy, mean collapse load and deformation mode were analyzed for side members which absorbed most of the collision energy. Therefore we have made a static collapse experiment to research into the difference of absorbed energy and deformation mode between moisture absorbed specimen and non-moisture absorbed specimen.

**Key Words** : CFRP(탄소섬유 강화 플라스틱), Interface Numbers(계면수), Hat shaped sectional members(모자형 단면부재), hygrothermal(열습), Moisture Absorption(수분흡수), Static Collapse(정적압괴), Absorbed Energy(흡수에너지)

## 1. 서론

CFRP 섬유강화 복합재료는 금속에 비해서 비강도와 비강성이 높기 때문에 현재 여러 분야에서 널리 사용되고 있는 추세에 있으며 그 이용 분야 또한 점차 확대가 되고 있다.

하지만 CFRP 복합재는 여러 정적부하에 대해서는 우수한 역학적 특성을 보이는 반면에 여러 가혹한 환경에 장시간 놓여 있을 때에는 그 우수한 역학적 특성을 보장받기가 매우 어렵다<sup>(1-5)</sup>.

또한 장시간 주위 환경에 놓여 있어도 충분한 기계적 성질

\* 조선대학교 첨단부품소재공학과  
++ 교신저자, 조선대학교 메카트로닉스공학과 (jgsim@chosun.ac.kr)  
주소: 501-759 광주광역시 동구 서석동 조선대학교

이 유지되어야 하지만 고온 및 고습의 상황 하에서 수분이 복합재료내로 침투함으로써 연성재의 역할을 수행함으로써 인체 기지의 분자배열 및 화학적 성질을 변화시키고 복합재료의 계면특성 및 구성재료의 기계적 성질을 저하시킴으로써 강도 저하가 크게 나타나는 문제점이 있다. 고온·고습 환경 하에서 복합재료에 대한 연구로서 CFRP 적층판 복합재에 대한 수분 흡수 거동과 잔류응력 등의 강도평가에 관한 다양한 연구들이 진행되어 왔었지만 자동차용 구조부재의 형상을 갖는 CFRP 박육부재에 대한 연구는 미흡한 실정 이었다<sup>(6-10)</sup>.

따라서 현재 차량용 구조부재로 사용되고 있는 모자형 단면부재와 비슷한 형상으로 제작된 CFRP 모자형 단면부재를 제작하여 고온·고습 환경 하에서 장시간 놓여있을 때의 기계적 성질의 변화 등에 중점을 두고 연구를 하였고, 온도와 습기의 작용을 동시에 평가할 수 있는 환경을 설정하기 위해 증류수를 이용하여 항온수조에 장시간 잠기게 함으로써 고온·고습 환경을 설정하였다.

또한 본 연구에서는 자동차용 구조부재로 널리 사용되어지고 있는 박육부재의 형상으로 제작된 시험편을 사용하여 적층 방향을 달리 함으로써 시험편의 각도 변화를 주었으며 이로 인한 고온·고습 상황에서 수분흡수 거동의 변화를 알아보고, 나아가 수분을 흡수하지 않은 시험편과 조건을 같이 하여 수분침투에 따른 강도 및 흡수에너지에 대해 비교 및 고찰해 보았다.

## 2. 시험편

### 2.1 시험편의 제작

본 실험에 사용된 시험편 제작에는 일방향 CFRP Prepreg sheet(CUI25NS)를 사용하였다. 시험편 제작 방법으로는 알루미늄 사각 맨드릴 위에 차량용 충돌에너지흡수 박육부재 형상을 갖게끔 모자형(□)과 평판(—)을 각각 8ply로 적층하였다.

모자형과 평판은 각각 섬유배향 각도가  $[+15^\circ/-15^\circ]_4$ ,  $[+45^\circ/-45^\circ]_4$ ,  $[90^\circ]_8$ ,  $[90^\circ/0^\circ]_4$ ,  $[0^\circ/90^\circ]_4$ 가 되도록 배향각도의 변화를 갖는 시험편을 제작하였으며, 시험편 성형은 경화온도까지 고온·고압을 가하는 오토클레이브 성형으로 제작을 하였다.

### 2.2 시험편의 형상 및 종류

본 연구에 사용된 시험편의 형상은 자동차용 구조부재로 널리 사용되고 있는 모자형상의 단면을 갖는 박육부재의 형상으로 실제 전면부 사이드부재의 1/4 크기인 폭(가로×세

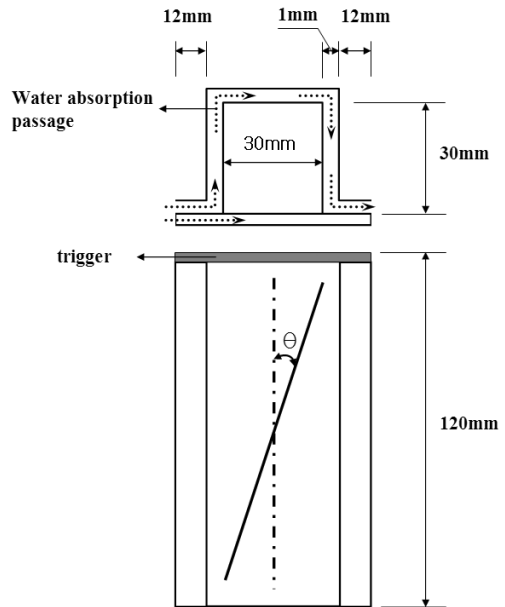


Fig. 1 Hat shaped sectional members

Table 1 Type of specimen

Angle No.	Stacking Composition	Experiment Condition	
[15°]	$[+15^\circ/-15^\circ]_4$	(NH) Non Hygrothermal	(H) Hygrothermal
[45°]	$[+45^\circ/-45^\circ]_4$		
[90°]	$[90^\circ]_8$		
[90°/0°]	$[90^\circ/0^\circ]_4$		
[0°/90°]	$[0^\circ/90^\circ]_4$		

로) = 30×30mm, 플랜지 길이 = 12mm로 모자형(□) 단면부재와 평판부재를 결합하여 제작하였다. 압괴실험 중 안정적인 변형을 유도함으로써 최종 압괴 변위까지의 일률적인 변형을 피함으로써 그로인한 압괴하중 및 흡수에너지를 얻기 위한 목적으로 시험편 끝단에 45°의 트리거 가공을 함으로써 초기조건을 설정하였다<sup>(11)</sup>.

Fig. 1과 Table 1은 실험에 사용된 시험편의 형상 및 종류를 나타내고 있다.

## 3. 실험방법

수분의 흡수로 인한 강도저하를 평가하기 위하여 본 연구

에서는 고온·고습 환경 하에서의 흡습 실험을 실시하였고, 실험 후 수분이 흡수된 시험편과 흡수되지 않은 시험편들에 대해 정적 압괴실험을 수행하여 수분의 침투로 인한 CFRP 모자형 박육부재의 압괴특성을 알아보았다.

### 3.1 흡습실험

금속에 비해 비강도·강성이 우수하여 CFRP 복합재는 여러 분야에서 널리 사용되고 있지만, 고온·고습이 가해지는 열습환경과 충돌하중을 받는 가혹한 환경에서는 그 뛰어난 강도 및 강성을 보장받기란 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 구조부재의 설계 목적상 장시간 사용될 것을 가정하여 여러 가혹한 환경 중 열습환경 하에서의 CFRP 복합재의 강도저하를 평가하기 위하여 항온항습기를 이용한 열습 환경을 설정하였으며, Photo. 1의 항온항습기를 이용하여 시험편에 수분이 완전흡습상태에 도달 할 때까지 흡습실험을 실시하였다.

항온항습기를 이용한 열습 실험에서 설정 온도의 변화는 시험편 내부의 수분흡습을 촉진시키는데에 그치는 것으로 판단하고<sup>(6)</sup>, 자동차 구조부재로 사용될 목적으로 차량의 엔진룸 내부 온도에 근접하게 평가가 될 수 있는 온도인 60°로 설정하여 장시간 수분에 노출시켰다.

실험 중 시험편 내부에 흡수되는 수분의 증가를 관찰하기 위하여 매 72시간 마다 1/10,000g까지 측정이 가능한 정밀 전자저울을 사용하여 시험편의 수분 흡수량을 측정 한 후 Fick's law에 따른 수분 흡습률 공식 식 (1)을 이용하여 흡습 거동에 따른 흡습률을 측정하였다.

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



Photo. 1 Hot waterbath

여기서  $M$ 은 시험편의 흡습률,  $W_m$ 은 수분이 흡수된 시험편의 무게,  $W_d$ 는 수분이 흡수되기 전의 시험편의 무게이며, 이를 백분율로 환산함으로써 수분흡습률  $M$ 을 얻을 수 있었다.

### 3.2 정적 압괴실험

수분이 흡수된 시험편과 흡수되지 않은 시험편에 대해서 만능시험장치(UTM)를 사용하여 변형률 속도의 영향이 나타나지 않는 충분한 속도인 10mm/min의 속도로 변위를 제어하면서 시험편 압괴길이가 60mm가 되는 전체길이의 60%에 도달 할 때까지 정적 압괴실험을 실시하였다.

압괴실험 후 얻어진 Fig. 2와 같은 하중-변위선도의 면적을 시험편이 흡수한 에너지로 보고 이를 식 (2)로 적분하여 흡수에너지를 구하였으며, 시험편의 단면적으로 평균압괴하중을 나눔으로써 평균 압괴응력을 구할 수 있었다.

$$E_a = \int_{L_0}^L Fdl \quad (2)$$

$E_a$ 는 시험편에 흡수된 에너지를 나타내며,  $F$ 는 압괴하중,  $l$ 은 압괴과정에서 압괴된 시험편의 길이를 나타낸다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 수분 흡습 거동

수분의 흡습은 약 2500시간이 경과되면서 수분흡습률 곡선의 경사가 완만해 짐을 알 수 있었으며, 이를 수분의 포화상태로 보고 흡습실험을 종료하였다. 흡습실험을 통한 CFRP 모자형 단면부재 내부로 흡수되는 수분흡습률을 시간의 변

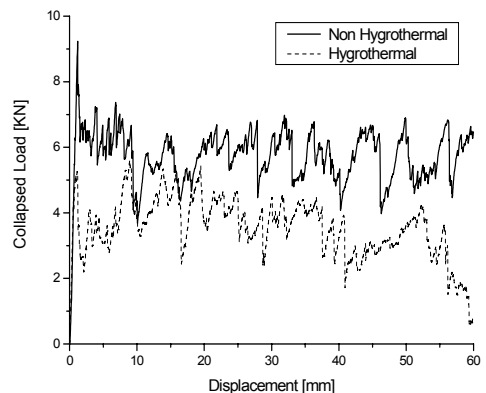


Fig. 2 Load-displacement curve of collapsed specimen [90°]

화에 따라 분석해본 결과 실험 초기부터 약 0.5%의 수분이 흡수되었던 구간과 그 이후부터 완만한 경사로 꺾여지는 구간, 그리고 그 이후의 평행상태 구간으로 구분이 됨을 알 수 있었다.

CFRP 모자형 단면부재의 수분 흡습률을 측정된 결과 시험편의 종류와 초기 시험편 제작 과정에서의 차이로 인하여 초기 수분 흡습의 증가치의 차이가 발생하였지만 시간이 경과함에 따라 대부분 시험편에서의 수분 흡습은 일정하게 평가됨을 알 수 있었다. 실험 초기부터 수분 흡습률이 0.5%가 될 때 까지 경과되었던 시간은 약 200시간이 소요가 됨을 알 수 있었다. 그 이후에는 수분흡습률이 약 1.0%에 가까워지는 400시간이 경과되면서 점차 수분흡습률의 증가가 완만해짐을 알 수 있었으며, 경과 시간 또한 현격하게 증가함을 알 수 있었다. 그리고 약 2000시간이 경과된 시점해야 비로써 시험편 내부의 수분이 포화상태가 됨을 알 수 있었으며, 약 2500시간이 경과되면서 모든 시험편에서 수분흡습률의 증가는 거의 일정하게 나타남을 알 수 있었다.

시험편 내부로 수분의 흡수는 시험편의 섬유방향이 수분에 노출되는 방향으로 관찰할 때 90° 이하의 섬유 배향, 즉 +15°, -15°, +45°, -45°, 0°의 섬유배향에서에서 수분흡수가 이루어짐을 알 수 있었으며, 특히 0°의 적층 방향의 경우에는 초기에 수분의 흡수가 크게 발생하여 시간이 지남에 따라서 수분의 흡수가 평형을 이룰 때까지의 수분 흡습률의 수치 또한 높음을 알 수 있었다. 시험편의 단면부분 보다는 플렌지 부분에 수분의 흡수가 가장 큼을 알 수 있었다.

시간의 경과에 따른 수분 흡습률을 다음의 그래프로 나타내었다. Fig. 3은 시간 경과에 따른 시험편 내부의 수분흡습률을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 수분 흡

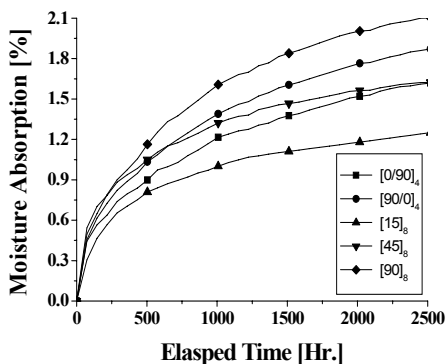


Fig. 3 Moisture absorption rate according to elapsed time of specimen

습 증가량이 가장 큰 시험편은 90°의 적층각을 가지고 있는 시험편임을 알 수 있었다. 이는 수분이 가장 많이 흡수될 수 있는 시험편 측면, 즉 플렌지 부분에서 90°의 시험편은 모자형과 평판이 각각 8ply의 sheet로 모두 적층방향 0°를 가짐으로써 수분에 완전히 노출되었기 때문으로 사료 된다.

또한 수분흡습의 증가가 가장 작은 시험편은 적층방향 [+15°/-15°]를 갖는 시험편으로써, 플렌지 부분에는 적층 각도가 점차 90°에 가깝게 구성이 됨으로써 수분의 흡수가 가장 많이 발생하는 플렌지 부분 보다는 시험편 단면 부분에서 수분의 흡수가 용이하였기 때문에 다른 시험편의 적층 각도에 비해 수분의 흡수가 낮았던 결과로 사료가 된다.

[0°/90°] 시험편과 [45°] 시험편은 2500시간이 경과가 되는 시점에서는 수분 흡습량이 거의 일치함을 알 수 있었다. 다만 초기 0.5%, 약 200시간이 경과되는 시점부터 수분 흡습 증가량이 다소 차이가 있는데, 이는 앞서 선행되었던 계면수 변화에 따른 수분 흡습에 대한 고찰에서 다루었던 탄소섬유 복합체에 수분이 흡수되는 조건으로는 첫째 수분의 방향과 탄소섬유 방향이 일치하는, 즉 0°의 적층배향을 이루고 있을 때 이다. 두 번째로는 주위환경의 온도에 얼마만큼 영향을 받느냐 이다. 앞서 서론에 언급 하였듯이 수분에 노출되었을 때 주위 환경의 온도에 의하여 수분 흡습의 증가량에 차이가 있는 것을 알 수 있었다.

따라서 시험편 최외각이 수분이 흡수되기 용이한 0°방향을 가지고 있을 경우에는 수분 흡수가 용이함을 알 수 있었다. Fig. 3의 그래프에서는 [0°/90°]<sub>4</sub>로 적층한 시험편이 [90°/0°]<sub>4</sub>의 시험편 보다 수분 흡습 증가량이 낮음을 알 수 있다. 이는 [0°/90°] 시험편의 최외각층 섬유 적층 각도는 수분 흡수가 가장 많이 발생하는 플렌지 부분에서 90°를 이루고 있고, 단면부분에 수분이 흡수될 수 있는 적층각도 0°를 이루고 있기 때문에 같은 적층각도 배향 일지라도 수분의 흡수에서는 차이가 나타남을 알 수 있었다.

## 4.2 압궐모드

흡습실험을 통해 수분에 노출된 시험편과 노출되지 않았던 시험편들에 대해 정적압궐실험을 실시한 후 다음과 같은 압궐모드를 관찰할 수 있었다.

수분에 노출되지 않았던 시험편과 수분에 노출되었던 시험편 모두에서 층간 파괴로 인한 전단과 굽힘 모드가 혼합되어 나타나는 취성파괴의 모드를 관찰할 수 있었다.

[0°/90°] 시험편의 경우 최외각 섬유의 파단에 의해 높은 압궐특성을 나타내는 파쇄형 모드와 최외층 섬유의 굽힘이

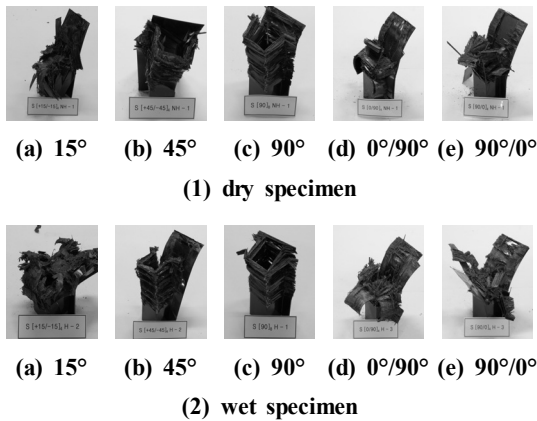


Photo. 2 The shape of dry and wet CFRP specimen

혼합되는 취성파괴 모드를 관찰할 수 있었으며, [90°/0°] 시험편의 경우는 최외각 섬유층의 확장으로 인한 확장형 스플라인 모드가 나타났고, 시험편 내부에서는 [0°/90°] 시험편에서 관찰할 수 있었던 파괴와 굽힘이 혼합되는 취성파괴 모드를 관찰할 수 있었다.

하지만 수분의 흡수로 인해 탄소강화섬유와 에폭시 간의 결합력의 약화로 섬유층과 층간 파괴보다는 굽힘이 주를 이루는걸 알 수 있었고, [90°]의 경우에는 최외각 섬유층이 횡방향으로 접히는 압괴모드가 주를 이루는걸 관찰할 수 있었으며, [45°] 시험편의 경우 또한 횡방향으로 접히는 압괴모드와 취성파괴 모드가 혼합됨을 관찰할 수 있었다. 이는 수분이 흡수됨으로 인하여 시험편 내부의 탄소강화섬유와 에폭시 사이의 결합력이 완화가 되면서 압괴 시 취성의 성격을 갖는 섬유의 파괴나 파단보다는 연성의 굽힘과 접힘이 주를 이루고 있는걸 알 수 있었다. 그로인해 수분이 침투되지 않은 시험편 보다 안정적인 압괴모드가 나타남을 알 수 있었다.

수분이 흡수되었던 시험편들은 초기 압괴 시 수분이 흡수되지 않았던 시험편과 동일한 취성파괴를 관찰할 수 있었지만 점차 파괴보다는 굽힘이 주를 이루면서 수분이 흡수되지 않았던 시험편보다 안정적인 압괴가 진행됨을 알 수 있었다. Photo. 2는 수분이 흡수되지 않았던 시험편과 수분이 흡수된 시험편의 압괴실험 후 얻을 수 있었던 압괴형상을 나타낸 그림이다.

### 4.3 압괴특성

수분의 침투로 인한 CFRP 박육부재의 강도저하를 알아보기 위해 수분이 흡수된 시험편과 수분이 흡수되지 않았던 시험편에 대해 압괴실험을 실시한 결과 Fig. 4, 5, 6 과 같은

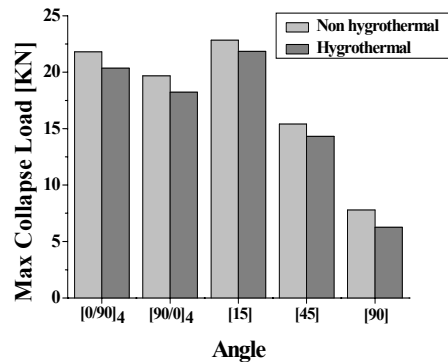


Fig. 4 Relationship between max collapse load and variation stacking angle

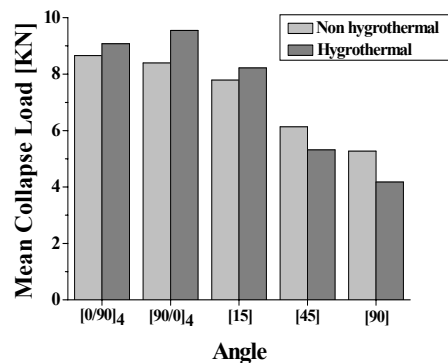


Fig. 5 Relationship between mean collapse load and variation stacking angle

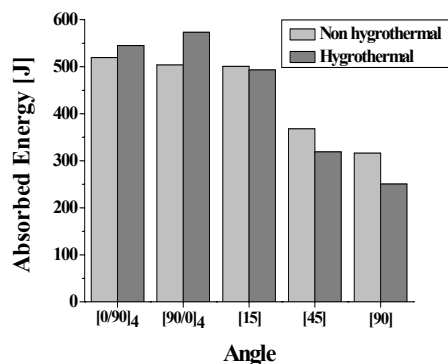


Fig. 6 Relationship between absorbed energy and variation stacking angle

최대하중 및 평균하중 그리고 흡수에너지 그래프를 얻을 수 있었다.

그림에서 알 수 있듯이 수분의 침투로 인하여 수분이 흡수되지 않았던 시험편 보다 최대하중의 감소가 나타남을 알 수 있었으며, 수분 흡습률이 높은 시험편일수록 그 감소가 현격하게 감소가 되는걸 알 수 있었다.  $[0^\circ/90^\circ]$  시험편의 경우 약 6%의 감소가 있었던 반면 같은 배향 및 적층 구성을 갖는  $[90^\circ/0^\circ]$ 의 경우는 약 7%의 감소가 발생하였다. 이는 수분흡습 거동에서 알 수 있었던바 시험편 최외각이 수분이 흡수되기 용이한  $0^\circ$ 방향을 가지고 있는  $[90^\circ/0^\circ]$  시험편이 수분의 흡수가 용이하였기 때문임을 알 수 있었다.

수분 흡습률이 가장 낮았던  $[15^\circ]$  시험편의 경우 약 4%정도 감소가 되었고, 수분흡습률이 가장 높았던  $[90^\circ]$  시험편의 경우 약 19%의 감소가 있었다. 따라서 수분의 흡수로 인하여 최대하중의 감소는 현격하게 감소가 됨을 알 수 있었다.

수분의 흡수로 최대하중에서는 현격한 감소치를 보이는 반면, 평균하중과 흡수에너지 에서는 그 감소가 최대 20% 정도로 저하가 됨으로써 수분의 흡수는 최대하중 보다는 평균하중과 흡수에너지에 더 많은 저하요인을 갖는걸 알 수 있었다. 단,  $[0^\circ/90^\circ]$ ,  $[90^\circ/0^\circ]$ ,  $[15^\circ]$  시험편의 평균에너지와 흡수에너지는 시험편의 압괴가 발생하는 과정에서 배향 각도와 계면 구성의 차이로 인하여 최대하중에서의 감소와는 달리 증가가 됨을 알 수 있었다. 이는 수분의 흡수로 인하여 계면과 수지간의 결합력이 약화되고 압괴모드에서 살펴보았듯이 섬유와 매트릭스 주를 이루는 과정에서 안정적인 압괴가 주요인인 것으로 사료가 된다.  $[0^\circ/90^\circ]$  보다는  $[90^\circ/0^\circ]$ 이 수분의 흡습률이 높은 만큼 평균에너지와 흡수에너지 또한 높게 나타남은 그 원인인 것으로 평가할 수 있다. 따라서 최대하중은 감소의 경향을 보였으나 최대하중 이후로는 수분이 흡수되지 않았던 시험편보다 안정적인 압괴를 보이면서 특히  $[90^\circ/0^\circ]$ ,  $[0^\circ/90^\circ]$ ,  $[15^\circ]$ 의 시험편에서는 평균하중과 흡수에너지가 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

## 5. 결론

CFRP 박육부재에 대해 수분 흡수 거동 및 수분 침투로 인한 강도 저하를 알아보기 위해 흡습 실험과 정적 압괴실험을 병행하여 수행한 후 그 결과를 비교 및 고찰을 하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 적층각도 변화에 따른 수분흡수 거동을 살펴본 결과  $90^\circ$ 의 적층각도를 갖는 시험편이 초기 흡습률이 크게

증가하는 경향을 보인 반면,  $15^\circ$ 적층각을 갖는 시험편이 흡습률이 가장 저하됨을 알 수 있었다. 또한 대부분의 시험편들이 0.5%에서 1.0% 구간 사이에서 흡습률 증가가 둔화되는걸 알 수 있었다.

- (2) 수분이 흡수된 시험편과 수분이 흡수되지 않은 시험편의 압괴 형상을 살펴본 결과 수분의 침투로 인해 CFRP 내부의 열화현상의 발생으로 인하여 계면간의 결합력 또한 약해짐을 알 수 있었고, 시험편의 압괴 형상 또한 수분이 흡수된 시험편의 경우가 보다 더 안정적인 압괴모드를 이루는 것을 알 수 있었다.
- (3) 정적압괴실험을 통해 그 강도를 비교해 본 결과 수분의 흡수는 최대하중 보다는 평균하중과 흡수에너지에 더 많은 저하요인을 갖는 것을 알 수 있었으며, 강도의 저하는 수분의 흡수가 완전 개방상태가 되는  $[90^\circ]$  시험편에서는 약 19% 정도의 강도저하가 발생하였고, 이 외의 시험편에서는 수분이 흡수되지 않았던 시험편보다 대략 7% 정도의 강도저하가 나타남을 확인할 수 있었다.

## 후 기

이 논문은 2008년 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

## 참 고 문 헌

- (1) Karasek, M. L., Strait, L. H., Amateau, M. F., and Runt, J. P., 1995, "Effect of Temperature and Moisture on the Impact Behavior of Graphite/Epoxy Composites : Part I - Impact Energy Absorption," *Journal of Composites Technology & Research*, Vol. 17, No. 1, pp. 3~10.
- (2) Weitsman, Y., 1990, *Moisture in Composites : Sorption and Damage, Fatigue of Composite Materials*, Elsevier Science Publishers B, Amsterdam, pp. 384~429.
- (3) Wang, H. and Vu-khanh, T., 1995, "Fracture Mechanics and Mechanical of Impact-Induced Delamination in Laminated Composites," *Journal of Composite Materials*, Vol. 29, No. 2, pp. 156~179.
- (4) Challenger, K. D., 1986, "The Damage Tolerance of Carbon Fiber Reinforced Composite," *A Workshop Summary Composite Structure*, Vol. 6, pp. 295~318.
- (5) Ishai, O. and Shragi, 1990, "Effect Impact of Loading

- on Damage and Residual Compressive Strength of CFRP Laminated Beam,” *Composites Struct.*, Vol. 14, No. 4, pp. 310~337.
- (6) 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, pp. 1486~1500.
- (7) G. Sala, 2000, “Composite degradation due to fluid absorption,” *Composites Part B*, Vol. 31, pp. 357~373.
- (8) Yuichiro, A., Yamada, K., and Takashi I., 2007, “Effect of hygrothermal condition on compression after impact strength of CFRP laminates,” *Composites science and technology*, Vol. 68, pp. 1376~1383.
- (9) Lool,, J. S., Yang, I. Y., and Adachi, T., 2000, “Characteristics of Delamination in Graphite/Epoxy Laminates under Static and Impact Loads,” *Key Engineering Materials*, Vol. 183~187, pp. 731~736.
- (10) Im, K. H. and Yang, I. Y., 2000, “A Study on Effects to Residual Fatigue Bending Strength of Orthotropy CFRP Composite Laminates under High Temperature and Moisture,” *Transactions of Korea Society of Automotive Engineers*, Vol. 8, No. 6, 247~258.
- (11) 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 of Mechanical Engineers A*, Vol. 24, No. 12, 2945~2951.