

# 밀도와 계면수에 따른 CFRP/Foam 원형부재의 압괴 특성

## Collapse Characteristics of CFRP/Foam Circular Member according to Foam Density and Interface Numbers

\*최주호<sup>1</sup>, #양인영<sup>2</sup>

\*J. H. Choi<sup>1</sup>, #I. Y. Yang(iyyang@chosun.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 조선대학교 첨단부품소재공학과, <sup>2</sup> 조선대학교 기계설계공학과

Key words : CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic), Collapse mode, Energy absorption, Density

### 1. 서론

자동차의 설계는 승객을 안전하게 보호할 수 있는 안정성이 확보된 상태에서 차체의 중량을 줄이기 위한 경량화 측면으로 이루어져야 한다. 차량 충돌시 발생하는 충돌에너지를 차량의 승객이 고스란히 받을 경우 승객의 안전은 매우 위험하게 된다. 이에 대한 대책으로써 충돌시 발생하는 충돌에너지를 차체구조부재의 변형에 의한 에너지 흡수로 완화시키고 동시에 승객의 생존공간을 확보할 수 있도록 차실부분은 견고하면서도 적절한 변형을 갖는 차체구조로 설계되어야 한다. 따라서 자동차가 충돌할 경우 차체구조부재의 압괴모드 및 에너지 흡수 특성을 고려한 설계기법이 아주 중요하며 최적의 안전성능을 갖는 부재의 개발이 대단히 중요하다.<sup>1-3)</sup>

본 연구에서는 이러한 복합재료 중에서도 대표적인 경량화 재료인 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic, 이하 CFRP라 칭함)와 Polyurethane Foam을 사용하여 시험편을 제작하여 CFRP/Foam의 경량화 구조부재가 정적압괴 및 충돌하중을 받을 경우를 상정하여 압괴특성을 정량적으로 평가하고자 하였다. CFRP는 적층구성의 변화에 따라 기계적 특성이 변하는 이방성 재료이기 때문에 계면수의 변화와 Foam의 밀도에 따른 CFRP/Foam 원형부재의 압괴모드와 에너지흡수 특성을 비교분석하여 가장 효율적인 에너지흡수 특성을 갖는 차체구조부재를 설계하는데 유용한 자료를 얻고자 한다.

### 2. 시험편

본 실험에 사용된 시험편은 CFRP 프리프레그시트를 적층하여 오토클레이브를 사용하여 성형한 후 원형 CFRP tube에 Polyurethane Foam을 충전하여 제작하였다. CFRP 프리프레그시트는 한국화이바(주)에서 생산한 일방향 Carbon Fiber/Epoxy Resin 프리프레그시트를 사용하였으며 CFRP부재에 충전된 Foam은 (주)우진산업개발에서 제작한 밀도 40Kg/m<sup>3</sup>, 60Kg/m<sup>3</sup>로 충전하였다. 실험에 사용된 시험편의 형상을 Fig. 1에 나타내었으며 프리프레그시트와 Foam의 물성치는 Table 1, 2에 나타내었다.

CFRP원형부재의 에너지흡수는 적층조건에 따라 영향을 받기 때문에 계면수 변화에 따른 에너지흡수 특성을 비교 고찰하고자 계면수를 변화시켜가며 성형하였으며 CFRP tube와 충전된 Foam의 밀도에 따른 에너지흡수를 조사하기 위하여 밀도는 40Kg/m<sup>3</sup>, 60Kg/m<sup>3</sup>으로 변화를 주었다.<sup>4)</sup> 시험편의 성형은 오토클레이브를 이용하여 챔버 내부둘레에 위치한 히터에 의해 경화점 온도 130°C, 경화시간을 90분으로 하여 제작하였다.

또한 시험편은 단부효과가 나타나지 않고 좌굴이 생기지 않으면서 주기적으로 반복적인 압괴가 일어나도록 하기 위하여 다이아몬드 커터기를 사용하여 120mm의 길이로 절단 하였다. CFRP의 취약한 문제점은 취성문제로 인해 층간 및 층내 크랙이 성장하게 되어 초기압괴하중 이후 흡수에너지가 낮아지는 것을 방지하기 위하여 한쪽 끝단에 45°의 트리거를 주어 순차적으로 압괴를 유도하여 높은 에너지 특성을 갖게 하였다.<sup>5)</sup>

### 3. 압괴실험

정적압괴실험은 만능재료시험기를 사용하여 10mm/min의 변형률 속도로 제어하면서 균일한 압축하중이 가해지도록 축방향 압괴실험을 행하였고, 전체길이의 58.3%가 되는 길이인 70mm까

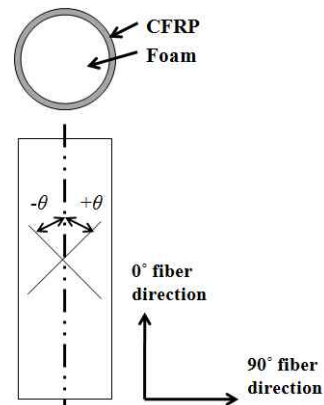


Fig. 1 Configuration of specimen

Table 1 Material properties of CFRP prepreg sheet

	Fiber (Carbon)	Resin (Epoxy #2500)	Prepreg sheet
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	1.83x10 <sup>3</sup>	1.24x10 <sup>3</sup>	-
Poisson's ratio	-	-	0.3
Young's modulus [Gpa]	240	3.60	132.7
Tensile strength [Gpa]	4.89	0.08	0.3
Resin content [%Wt]	-	-	33

Table 2 Material properties of Foam

Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Thermal Conductivity [W/m·K]	Bending Strength [N/cm <sup>2</sup> ]	Compressive Strength [N/cm <sup>2</sup> ]
40	0.020	30	13
60	0.020	37	15

지 변위를 제어하면서 연속적으로 압괴실험을 행하였다. 시험편에 흡수된 에너지 흡수량의 계산은 압괴실험에서 얻은 하중-변위 선도의 면적이 시험편에 흡수되는 에너지라 생각하여 하중변위 선도를 적분하여 부재내에 흡수된 압괴특성을 평가하는데 이용하였다.

### 4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 CFRP/Foam원형부재의 계면수와 밀도에 따라 정적압괴실험을 행하여 얻어진 하중-변위 선도로부터 흡수에너지(Ea)를 구하였다. 정적압괴실험을 수행한 결과 시험편의 대부분은 트리거가 있는 쪽으로부터 초기변형이 시작되었으며, 그 후 순차적으로 압괴가 시작될 때에 최대하중에 이르게 된다.

다음의 Fig. 2, 3은 최외각층이 0°, 90°일 때의 충전된 Foam의 밀도와 계면수에 따른 부재의 총흡수에너지를 보여주고 있다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 먼저 최외각층이 0°일 경우, 계면수가 증가함에 따라 총에너지 흡수가 증가하다 6계면에서 감소하고 다시 증가하는 경향을 보였으며 최외각층이 90°일 경우는 Fig. 3에서 볼 수 있듯

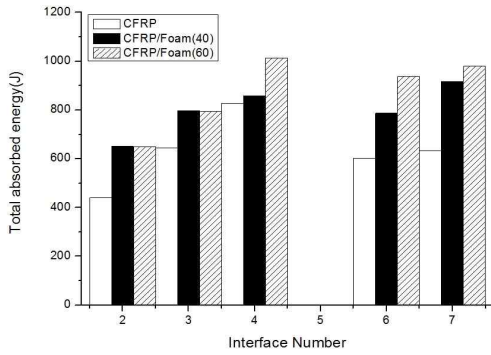


Fig. 2 Relationship between total absorbed energy and interface number according to foam density(Outer angle 0°)

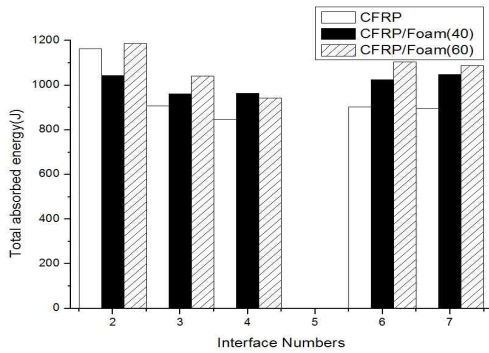


Fig. 3 Relationship between total absorbed energy and interface number according to foam density(Outer angle 90°)

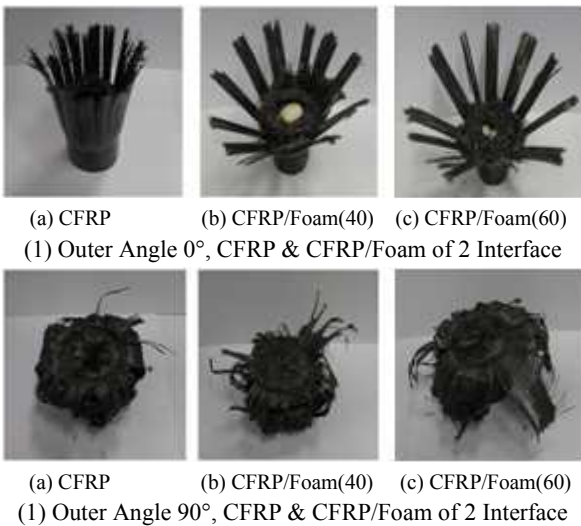


Photo. 1 The Collapsed shape of CFRP and CFRP/Foam(40, 60) according to Outer Angle

이 0°일 때에는 반대로 계면수가 증가함에 따라 흡수에너지 및 평균에너지가 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보였다. 여기서 최외각층 90° 2계면의 경우 폼을 충전하지 않은 시험편의 총흡수에너지가 높게 나온것은 시험편 제작시의 문제로 생각된다. 또한 정적실험 후의 압괴모드를 관찰할 수 있었는데 실험에 사용된 시험편의 경우 폼을 충전시키지 않은 시험편과 폼을 충전 시험편 모두 최외각층이 0°일 경우 Photo. 1의 (1)과 같이 시험편의 최외각층 플라이 섬유의 확장으로 인한 확장형 스플라인모드가 나타났으며 시험편의 내부에서는 90°섬유에서 보여지는 파괴와 굽힘이 혼합되는 취성파괴 모드를 관찰할 수 있었다. Photo. 1의 (2)와 같이 최외각층이 90°일 경우 최외각층 섬유의 파단에 의해 높은 압괴특성을 나타내는 파쇄형 모드와 최외각층 섬유의 굽힘이 혼합되는 취성 파괴모드를 관찰할 수 있었다.

### 5. 결론

본 연구는 Foam을 충전한 복합구조부재를 차량 경량화를 위한 구조부재로 적용하기 위하여 정적 축 압괴실험을 행하였다.

복합구조부재에 대하여 최외각층 각도의 차이와 CFRP섬유의 계면수의 차 및 충전한 Foam의 밀도에 따른 정적실험을 행하여 시험편의 계면수의 변화와 밀도에 따른 에너지 흡수 특성과 압괴모드에 대하여 비교 고찰하였다.

그 결과 모든 시험편들은 트리거를 준방향에서 압괴가 시작되었으며 최외각층 각도의 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있었다. 또한 섬유 적층시 내부 첫 섬유의 방향이 90°일 때, 90°섬유의 ply수가 두꺼울 수록 에너지흡수 능력 30~40%정도 향상된다는 걸 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. Abramowicz, W., 1981, "Simplified Crushing Analysis of Thin-walled Column and Beams," Engineering Transaction, 29, 5-26.
2. Abramowicz, W., and Wierzbicki, T., 1986, "On the Crushing Mechanics of Thin-walled Structure," J. Appl. Mech., 50, 157-174.
3. Farley, G. L. and Jones, R. M., "Prediction of Energy-Absorption Capability of Composite tubes," Journal of Composite Materials, 26:388-404, 1991.
4. Lee K. S., Cha C. S., and Yang I. Y., "A Study on the Axial Crushing Behavior of Aluminum CFRP circle Members for Light Weight," Transaction of KSAE, 13, 5, 50-56, 2005.
5. Wang, Q., Fan, Z. and Gui, L., "Theoretical analysis for axial crushing behavior of aluminum foam-filled hat section," Int. J. Mech. Sci. 49, 515-521, 2.