

## 단면형상이 다른 Al/CFRP 혼성박육부재의 축압특성<sup>§</sup>

황우채\* · 이길성\*\* · 차천석\*\*\* · 김지훈\* · 나승우\*\*\*\* · 양인영\*†

\* 조선대학교 기계설계공학과, \*\* (주)휴먼컴퍼지트, \*\*\* 동강대학교 소방안전관리과, \*\*\*\* 서울금속

### Axial Collapse Characteristics of Aluminum/Carbon Fiber Reinforced Plastic Composite Thin-Walled Members with Different Section Shapes

Woo Chae Hwang\*, Kil Sung Lee\*\*, Cheon Seok Cha\*\*\*, Ji Hoon Kim\*, Seung Woo Ra\*\*\*\* and In Young Yang\*†

\* Dept. of Mechanical Design Engineering, Chosun Univ.,

\*\* Humancomposites CO., Ltd.

\*\*\* Dept. of Fire Protections and Safety Engineering, Dongkang College

\*\*\*\* SEOUL METAL CO., Ltd.

(Received April 17, 2014 ; Revised June 11, 2014 ; Accepted June 11, 2014)

**Key Words:** Energy Absorption Mechanism(에너지 흡수 메커니즘), CFRP(탄소섬유강화플라스틱), Collapse Characteristics(압괴 특성), Section Shapes(단면 형상)

**초록:** 본 연구에서는 Al/CFRP 혼성 구조부재가 승용차용 사이드부재에 사용될 것을 상정하여 Al/CFRP 혼성 구조부재의 단면형상의 변화, 최외각층의 변화가 압괴 특성에 어떠한 영향을 미치는가를 실험적으로 고찰하여 수송기계의 경량화를 위한 사이드부재로 사용될 수 있는 설계 데이터를 얻고자 하였다. 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 최외각각이 0°로 적층된 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재가 사각 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재 보다 52.9%, 모자형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재 보다 49.93% 높게 나타났으며, 최외각각이 90°로 적층된 경우 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재 사각 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재 보다 50.49%, 모자형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재 보다 49.2% 높게 나타났다.

**Abstract:** In the present study, we aimed to obtain design data that can be used for the side members of lightweight cars by experimentally examining the types of effects that the changes in the section shape and outermost layer of an aluminum (Al)/carbon fiber reinforced plastic (CFRP) composite structural member have on its collapse characteristics. We have drawn the following conclusions based on the test results: The circular Al/CFRP composite impact-absorbing member in which the outermost layer angle was laminated at 0° was observed to be 52.9 and 49.93 higher than that of the square and hat-shaped members, respectively. In addition, the energy absorption characteristic of the circular Al/CFRP composite impact-absorbing member in which the outermost layer angle was laminated at 90° was observed to be 50.49 and 49.2 higher than that of the square and hat-shaped members, respectively.

## 1. 서론

최근 차량은 보행자의 안전성 확보, 지구 환경 보호 및 신 에너지원·신 동력원에 대한 대응이 긴급한 과제가 되고 있다. 이러한 요구에 맞춰 자동차의 그린화는 청정연료의 사용뿐 아니라 연료

사용의 저감과도 관련됨으로써 차량의 중량은 여전히 자동차 산업이 고효율 차량을 도모할 때 해결해야 할 가장 중요한 과제로 남아 있다.<sup>(1)</sup>

차량의 중량증가에는 차체가 대형화된 점과 안전대책이나 쾌적성향상에 따른 부품 수의 증가 등이 영향을 주고 있다. 이러한 차량중량증가로 인해 자동차 완성업체는 금속에서의 수치화와 함께 고강도강판, 알루미늄 및 마그네슘 등의 사용비율 증가, 설계·구조 합리화 등 다양하게 경량화를 추진해왔는데, 이러한 데이터는 기존 설계의 연장

§ 이 논문은 2014년도 대한기계학회 생산 및 설계공학부문 춘계학술대회(2014. 4. 24-25., 라마다프라자호텔) 발표논문임

† Corresponding Author, iyyang@chosun.ac.kr

© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

선상에서의 재료 치환으로는 큰 경량화를 바라볼 수 없게 되었다. 한편으로 자동차의 경량화는 이산화탄소 배출량 삭감이나 연비향상에 의한 지구 환경 문제에 대한 대응 관점에서 그 요구가 더욱 높아지고 있다. 또한 최근 차세대 에코카로써 전기자동차가 주목을 받고 있는데 본격 보급의 열쇠라 볼 수 있는 항속거리 연장을 달성하기 위해서는 2 차 전지의 성능 향상과 함께 혁신적인 차체 경량화가 필요하다는 인식이 나오고 있다.<sup>(1)</sup>

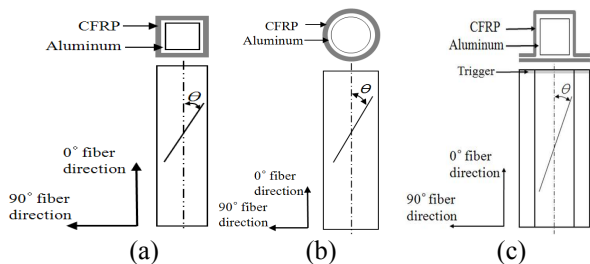
이러한 차체구조의 경량화를 위한 연구는 최적 구조설계 기술과 재료 및 소재개발 기술이라는 두 가지 측면으로 추진되고 있다. 복잡한 형상을 가지고 있는 차체 구조의 최적설계를 위한 강성해석이나 충돌해석 등을 위해서 컴퓨터를 이용한 유한 요소해석을 수행하고 있으며,<sup>(2-4)</sup> 경량재료의 개발을 통한 차체 중량 및 관성에너지의 저감은 가장 효과적인 연비개선 방안으로 평가되고 있어 기존의 철강부품을 알루미늄 및 플라스틱 등으로 대체 개발 및 확대 적용하는 추세에 있다.<sup>(5-8)</sup> 따라서 이러한 경량화용 구조부재의 충돌안전성능 평가에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 자동차 충돌 시 승객의 안전 보호 공간 확보를 위한 차량 내 구조물의 충분한 강성 및 안전성을 확보하고, 충돌 시 많은 에너지를 흡수할 수 있는 단면 형상변화에 따른 최적의 충격특성을 갖는 Al/CFRP 혼성박육부재의 정량적인 설계 데이터를 얻고자 한다.

### 2. 시험편

본 장에서는 Al/CFRP 혼성부재가 경량화 자동차 1 차 구조부재로 사용될 것을 상정하여 형상이 각각 다른 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 안전성능을 평가하였다.

시험편은 사이드 부재의 형상을 모방한 사각형 단면을 갖는 알루미늄과 CFRP 부재가 결합된 사



**Fig. 1** Configurations of specimen((a) Al/CFRP Square shaped member, (b)Al/CFRP Circular shaped member, (c) Al/CFRP Hat shaped section member)

각 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재와 원형 단면을 갖는 알루미늄과 CFRP 부재가 결합된 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재 및 차량 전면부 사이드 부재의 기본형상인 단일 모자형 단면을 갖는 모자형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재에 대하여 에너지흡수 능력과 압괴 모드를 고찰하여 안전성능을 평가하였다.

사각 혼성 부재는 Fig. 1(a)과 같이 알루미늄 사각 부재의 외측을 CFRP 프리프레그 시트로 적층하여 오토클레이브(autoclave)로 성형하였으며 원형 혼성 부재는 Fig. 1(b)와 같이 알루미늄 원형 부재의 외측을 CFRP 프리프레그시트로 적층하여 성형하였다.

모자형 경량화 부재는 탭핑(tapping)된 맨드릴에 CFRP 프리프레그시트를 적층하여 오토클레이브를 사용하여 성형하였으며, 실재 전면부 사이드부재의 1/4 크기인 폭(가로×세로)=30×30mm, 플랜지 길이=12mm 로 Fig. 1(c)와 같이 "∩"자 단면부재와 평판부재를 결합하여 제작하였다. 그리고 CFRP의 취성 파괴에 대한 단점을 보완하기 위하여 내부에 알루미늄을 보강한 모자형 혼성부재 형태의 시험편을 제작하였다.

또한, 이방성 재료인 CFRP의 적층 구성의 변화에 따른 압괴 특성을 평가하고자 프리프레그시트 8 매를 축 방향을  $[90^{\circ}/0^{\circ}]_4$ ,  $[0^{\circ}/90^{\circ}]_4$  로 적층각을 변화시켰으며 7 계면으로 적층하여 제작하였다.

알루미늄 부재는 서울메탈(주)에서 가공한 6063-T5 계열로서 두께는 1.0mm 이며, 원형부재는 외경 38mm, 사각부재는 한 변의 길이가 30mm 인 정사각형 단면이다. 알루미늄 원형 및 사각구조부재는 동일한 성분으로 동일한 제작과정을 거쳐 기계적 성질이 일치하며, CFRP 부재는 한국하이버(주)에서 생산한 일방향 Carbon Fiber/Epoxy Resin 프리프레그시트(CU125NS)를 적층하여 오토클레이브를 사용하여 성형하였다. 시험편의 길이는 실험 시에 잔류응력이 발생하지 않도록 하기 위하여 다이아몬드 커터를 이용하여 절단하였으며 시험편의 길이는 120mm 로 하였다.

### 3. 정적압괴실험

본 장에서는 사각, 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재 및 모자형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재에 대하여 적층각도의 변화에 따른 압괴 특성을 살펴보고자 정적 압괴 실험을 행했다.

정적압괴실험은 만능재료시험기를 사용하였으며, 로드셀과 액추에이터 사이에 두 개의 압축 지그를

평행하게 설치하고 변형속도의 영향이 시험편에 나타나지 않도록 10mm/min 의 변위제어를 통하여 균일한 압축하중이 가해지도록 실험을 행하였다. 실험 시 편심 하중이 작용하지 않도록 시험편 제작 시 연마가공을 통하여 수평을 맞추었으며, 여러 번의 예비실험을 거쳐 실험결과와 재현성이 좋도록 하였으며, 실험결과에 단부효과(end effects)가 나타나지 않고 순차적인 압제가 주기적으로 발생하도록 시험편이 60mm 까지 변형되도록 변위를 제어하면서 연속적으로 압제 실험을 행하였다.

정적 압제 실험 후 얻어진 하중-변위선도와 충격 압제 실험 후 측정된 하중-시간 및 변위-시간 데이터에서 시간 성분을 소거하여 얻어진 하중-변위선도의 면적을 시험편이 흡수한 에너지로 보고 하중-변위선도를 식 (1)과 같이 적분하여 시험편에 흡수된 에너지량을 구하였다.

$$E_a = \int_{l_0}^l P(l)dl \quad (1)$$

여기서,  $E_a$  는 시험편에 흡수된 에너지이며,  $P(l)$  은 압제 하중을 나타낸다.

#### 4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재가 승용차용 사이드부재에 사용될 것을 상정하여 Al/CFRP 혼성 구조부재의 단면형상의 변화, 최외각층의 변화가 압제 특성에 어떠한 영향을 미치는지를 실험적으로 고찰하여 수송기계의 경량화를 위한 사이드부재로 사용될 수 있는 설계 데이터를 얻고자 하였다. Fig. 2 는 최외층각이 0°인 [90°/0°]<sub>4</sub> 로 적층된 사각, 원형 Al/CFRP 혼성 충격흡수부재 및 모자형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재가 정적 압제 하중을 받을 때의 하중-변위 선도이며, Fig. 3 은 최외층각이 90°인 [0°/90°]<sub>4</sub> 로 적층된 사각, 원

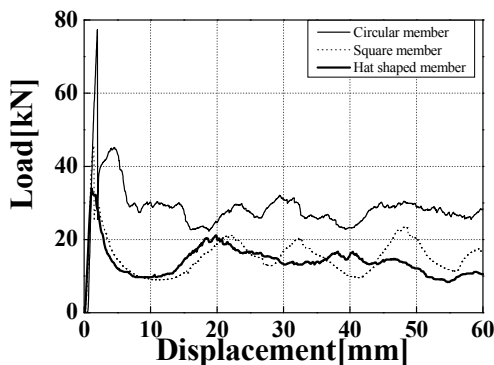


Fig. 2 Load-displacement curve of compound members [90°/0°]<sub>4</sub>

형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재 및 모자형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재가 정적 압제 하중을 받을 때의 하중-변위 선도를 나타낸다.

Fig. 2, 3 로부터 알 수 있는 바와 같이 최외층각이 90° 인 경우나 0°인 경우 모두 압제 하중은 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재가 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 사각 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재, 모자형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재 순으로 낮게 나타났다. Fig. 2, 3 의 실험결과로부터 얻은 하중-변위선도를 적분하여 Fig. 4 에 단면의 형상이 서로 다른 Al/CFRP 혼성부재의 흡수에너지의 크기를 나타냈으며, 압제 시 발생하는 흡수 에너지 특성과 압제 모드를 고찰하기 위하여 Al/CFRP 혼성 부재의 피크하중이 발생하는 위치와 피크하중의 크기를 Table 1, 2 에 나타냈다.

Fig. 4 로부터 알 수 있는 바와 같이 흡수에너지는 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재가 가장 높게 나타났으며, 다음으로 사각 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재 및 모자형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재 순으로 낮게 나타났다. 또한 최외층각이 90°인 경우가 최외층각이 0°인 경우 보다 약간 높게 나타났다. 이와 같은 이유를 파악하기 위하여 압제 하중의 피크부의 발생위치와 크기 및 압제 모드에 관해 고찰하기로 한다.

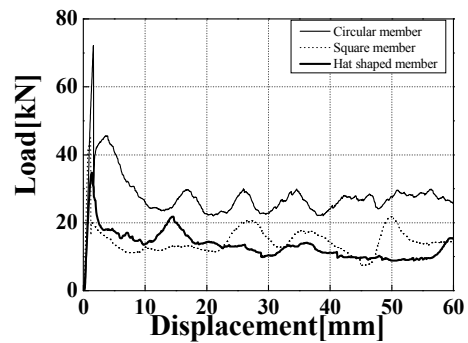


Fig. 3 Load-displacement curve of compound members [0°/90°]<sub>4</sub>

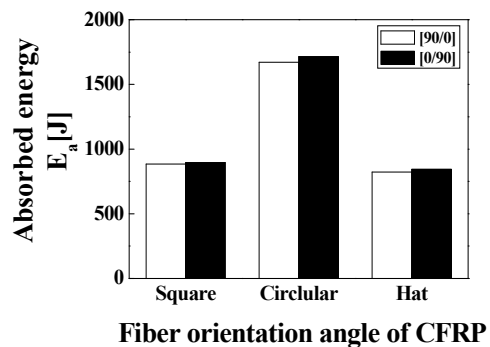


Fig. 4 Relationship between absorbed energy and section shape for Al/CFRP compound members

**Table 1** Position and peak load. on peak point of Al/CFRP compound member(outerlayer 0°)

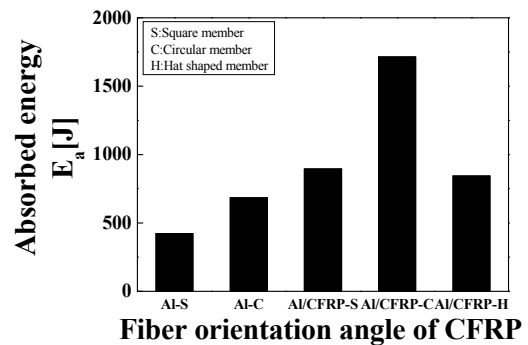
	First	Second	Third	Fourth	Fifth
Circular member	72.14kN	45.49 kN	29.78 kN	29.99 kN	29.89 kN
	1.624mm	3.908 mm	16.941 mm	25.941 mm	34.575 mm
Square member	45.03 kN	12.91 kN	20.7 kN	17.76 kN	21.97 kN
	1.191 mm	10.141 mm	27.191 mm	35.324 mm	50.191 mm
Hat shaped member	34.76 kN	21.82 kN	14.43 kN	14.13 kN	15.43 kN
	1.349 mm	14.552 mm	20.2 mm	36.267 mm	59.37 mm

**Table 2** Position and peak load. on peak point of Al/CFRP compound member(outerlayer 90°)

	First	Second	Third	Fourth	Fifth
Circular member	77.37 kN	45.16 kN	29.67 kN	32.1 kN	30.25 kN
	1.992mm	4.575 mm	22.842 mm	29.442 mm	44.708 mm
Square member	45.64 kN	21.14 kN	20.46 kN	23.61 kN	17.51 kN
	1.476 mm	21.476 mm	32.359 mm	48.342 mm	59.043 mm
Hat shaped member	33.96 kN	20.32 kN	20.72 kN	16.73 kN	16.68 kN
	1.136 mm	18.302 mm	19.621 mm	38.176 mm	40.442 mm

최외층각이 0°로 적층된 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 경우는 최대 피크하중이 1.624mm 근방에서 발생 후 두 번째 피크가 3.908mm 근방에서 생기고 세 번째, 네 번째, 다섯 번째 피크가 각각 16.941mm, 25.941mm, 34.575mm 근방에서 순차적으로 반복하여 피크부가 발생하며 압괴 됨을 알 수 있는데 이는 내부 Al 원통부재가 축 방향으로 압괴 되는 경우 항복 후 첫 번째 주름이 생성되는 단계에서 하중이 크게 저하하고 그 후 저하한 하중이 일정한 진폭으로 하중이 주기적으로 변화하는 접힘모드(folding mode)가 주로 발생되었다. 또한, 외부 CFRP 부재의 경우 최외층의 0°의 섬유가 부재의 외측으로 확장되고 파단 되면서 압괴 되는 파쇄 확장 모드(fragmentation and splaying mode)의 형태로 압괴 되었다. 하지만, 최외층각이 90°로 적층된 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 경우는 축 방향 0°의 섬유가 부재의 외측으로 확장되어 알루미늄 부재와 분리 되려 하지만 90°섬유가 0°섬유의 국부좌굴로 인한 확장을 방해하면서 90°섬유와 함께 파단 되면서 압괴되었다. 이와 같이 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 경우 0°와 90°의 조합으로 인하여 축하중이 작용되면 초기 피크 하중 이후 CFRP 와 알루미늄 계면에서의 분리로 인해 내부 알루미늄 부재는 순차적인 압괴에 의해서, 외부 CFRP 부재는 라미나 굽힘에 의해 분리되면서 에너지를 흡수하였다.

Fig. 5 는 알루미늄 사각 및 원형 시험편과 Al/CFRP 혼성 부재와의 흡수에너지를 보여주고 있다. Fig. 5 를 보면 알 수 있듯이 알루미늄 사각 및 원형 시험편보다 사각 및 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의



**Fig. 5** Relationship between absorbed energy and section shape for Al and Al/CFRP compound members

에너지 흡수 능력이 높은 것을 알 수 있다. 이는 알루미늄 사각 및 원형 충격 흡수부재의 경우 접힘에 의해서 에너지를 흡수한 반면 사각 및 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 경우는 외측의 CFRP 부재가 알루미늄의 접힘 사이로 끼어 들어감으로써 에너지 흡수 능력이 더 좋은 것으로 사료된다.

Fig. 6(a)와 (b)는 압괴 실험 후 압괴 형상을 보여주고 있다. 하지만, Table 1 에서 최외층각이 90°로 적층된 사각 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재와 모자형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 경우는 최대 피크하중이 작용 후 두 번째 피크가 각각 10.141mm, 14.552mm 근방에서 생겼으며, 외부 축력에 저항하는 저항력이 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재에 비하여 상당히 약하다는 것을 알 수 있으며 이로 인하여 에너지 흡수능력 또한 저하한 것으로 사료된다.

이는 사각 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 경우

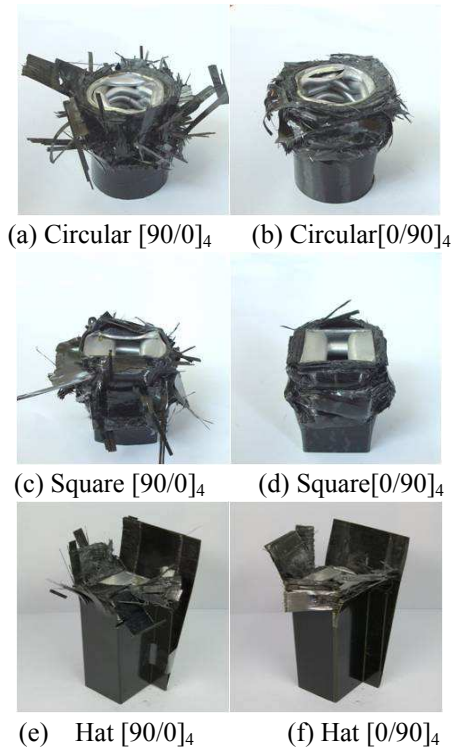


Fig. 6 Shape of collapsed Al/CFRP members

는 축 대칭으로 압제되는 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재와 달리 Al 사각형 박육부재가 불안정 소성 압제가 발생하여 압제 속도가 매우 빠르기 때문이라 생각되는데 Table 1로부터 알 수 있듯이 5 번째 피크가 발생할 때 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재에서는 압제 길이가 34.575mm 였고, 사각 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재에서는 50.191mm 길이로 압제되었다.

사각 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 압제 형상을 나타낸 Fig. 6(c)와 (d)에서도 Fig. 6(a)와 (b)에서와 유사하게 외부의 CFRP 섬유는 부재의 외측으로 확장되고 파단 되면서 압제 되는 파쇄 확장 모드의 형태로 압제되었다. 그러나 사각 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 경우 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재와 다르게 외부 CFRP 부재 4 개의 모서리부분이 축 하중을 받음과 동시에 찢겨지는 섬유의 파단이 발생하며 압제되었다. 따라서 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재보다 압제 하중이 낮고 흡수에너지 또한 낮음을 알 수 있었다. 모자형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 경우도 역시 사각 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재에서와 유사하게 초기 피크 발생 후 급격히 압제 되어 5 번째 피크가 발생할 때 59.37mm 가 되어 완전히 압제 되었다. 하지만, 모자형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 경우는 외부의 CFRP 부재가 모서리부 찢겨짐과 평

Table 3 Collapse modes and energy absorption mechanisms of circular compound member

Fracture pattern	
Orientation angle	0°/90°, 90°/0°
Collapse mode	Al : Folding (symmetry or asymmetry) CFRP : Fragmentation and splaying
Energy absorption mechanisms	Folding, Lamina bending, Fiber breaking, Local buckling

판부 플랜지부의 분리확장이 추가로 발생하였다. 이와 같은 압제는 외부의 90°와 0°로 적층된 CFRP 부재는 축 하중을 받음과 동시에 평판부재는 층간 크랙 및 층내 크랙의 점진적인 진전과 함께 부재의 외측으로 확장되며 모서리부 파단, 플랜지부 분리/확장, 횡전단 크랙, 섬유파단을 동반한 파쇄확장모드로 압제되었다.

따라서 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재, 사각 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재보다 압제 하중이 낮고 흡수에너지 또한 낮음을 알 수 있었다. 모자형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 압제 형상을 Fig. 6의 (e)와 (f)에 나타냈다.

또한, 사각 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재, 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재 및 모자형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 단면적은 각각  $2.32 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ,  $2.34 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ,  $6.18 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ 으로 사각과 원형 부재의 경우 단면적에는 큰 차이가 없었다. 하지만, 모자형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 경우 단면적이 사각과 원형 부재에 비하여 큰 값임에도 에너지 흡수 능력은 저하하였다.

이는 사각 및 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 경우 알루미늄의 접힘 사이로 CFRP 가 끼어 들어감으로써 알루미늄의 점힘과 동시에 CFRP 의 파괴 패턴인 라미나 굽힘, 섬유파괴 및 국부좌굴의 영향으로 에너지 흡수 능력이 좋은 것으로 사료된다. 하지만, 모자형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 경우 CFRP 모자형 부재와 평판부재가 분리됨으로써 사각 및 원형 Al/CFRP 혼성 충격 흡수부재와 같이 CFRP 가 충분히 끼어 들어가지 못

함으로써 사각 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재 보다 에너지 흡수 능력이 저하되는 것으로 사료된다.

Table 3 에 가장에너지 흡수 능력이 우수한 원형 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 압괴 모드와 에너지 흡수 메커니즘과의 관계를 나타냈다.

사각 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 에너지흡수 메커니즘은 원형 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 에너지흡수 메커니즘외에 사각부재의 모서리부가 찢겨지는 섬유파단이 발생했고 모자형 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 경우는 모서리부 찢겨짐과 평판 부 플랜지부의 분리확장이 추가로 발생했다. 이런 이유로 사각 AI/CFRP 혼성 충격 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재의 경우는 모서리부 찢겨짐과 평판 부 플랜지부의 분리확장이 추가로 발생했다. 이런 이유로 사각 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재나 모자형 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재가 원형 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재보다 에너지흡수특성이 낮은 것으로 사료되며 최외층각이 0°로 적층된 원형 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재가 사각 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재보다 52.9%, 모자형 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재보다 49.93% 높게 나타났으며, 최외층각이 90°로 적층된 경우 원형 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재 사각 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재 보다 50.49%, 모자형 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재 보다 49.2% 높게 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 AI/CFRP 혼성 구조부재가 승용차용 사이드부재에 사용될 것을 상정하여 AI/CFRP 혼성 구조부재의 단면형상의 변화, 최외각층의 변화가 압괴 특성에 어떠한 영향을 미치는가를 실험적으로 고찰하여 수송기계의 경량화를 위한 사이드부재로 사용될 수 있는 설계 데이터를 얻고자 하였다. 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 최외층각이 90°인 경우나 0°인 경우 모두 최대 압괴 하중 및 흡수에너지는 원형 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재 가 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 사각 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재, 모자형 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재 순으로 낮게 나타났으며 최외층각이 90°인 경우가 최외층각이 0°인 경우 보다 약간 높게 나타났다.

(2) 원형 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재는 내부 알루미늄 부재가 원주방향으로 돌출부를 형성하면서 순차적으로 압괴가 진행되는 접힘모드가 주로 발생하여 에너지를 흡수하며 CFRP 는 섬유의 파

단과 섬유가 알루미늄 부재 사이로 끼어 들어가는 국부좌굴에 의해서 에너지를 흡수하였다.

(3) 사각 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재는 축 대칭으로 압괴 되는 원형 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재와 달리 AI 사각형 박육부재가 불안정 소성 압괴가 발생하여 압괴 속도가 매우 빠르고 사각형 부재 4 개의 모서리부분이 축 하중을 받음과 동시에 찢겨지는 섬유의 파단이 발생하며 압괴 되기 때문에 원형 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재 보다 최대 압괴 하중 및 흡수에너지가 낮게 나타났다.

(4) 모자형 AI/CFRP 혼성 충격 흡수부재 역시 AI 사각형 박육부재가 불안정 소성 압괴가 발생하여 압괴 속도가 매우 빠르고 축 하중을 받음과 동시에 CFRP 평판부재는 층간 크랙 및 층내 크랙의 점진적인 진전과 함께 부재의 외측으로 확장되며 모서리부 파단, 플랜지부 분리/확장, 횡전단 크랙, 섬유파단에 의해 파괴되므로 최대 압괴 하중 및 흡수에너지가 가장 낮게 나타났다.

(5) 원형 AI 부재는 주로 대칭 접힘에 의해, 사각형 AI 부재는 혼합 접힘에 의해, CFRP 는 라미나 굽힘, 섬유파단 및 국부 좌굴에 의해서 에너지를 흡수하였다.

## 후 기

“본 논문(저서)은 산업통상자원부 산업기술혁신사업(우수기술연구센터사업)으로 지원된 연구임 (No.10045724)”

## 참고문헌 (References)

- (1) A&D Consultants., 2011, *Status and Forecast Report of Composite Material for Automotive*, A&D Consultants, Seoul.
- (2) Minoru, Y., Manabu, G. and Yasuhiko S., 2003, "Axial Crush of Hollow Cylindrical Structures with Various Polygonal Cross-Sections Numerical Simulation and Experiment," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 140, pp. 59~64.
- (3) Farley, G. L. and Jones, R. M., 1991, "Prediction of Energy-Absorption Capability of Composite Tubes," *Journal of Composite Materials*, Vol. 26, pp. 388~404.
- (4) Farley, G. L., 1992, "Relationship Between Mechanical-Property and Energy-Absorption Trends for Composite Tubes." *NASA Technical Paper*, OMB 0704-0188.
- (5) Kim, Y. N., Im, K. H., Kim, S. K. and Yang, I. Y., 2003, "Energy Absorption Characteristics of CFRP Composite Tubes Under Axial Compression Load,"

- Key Engineering Materials*, Vol. 233-236, pp. 245~250.
- (6) Mamalis, A. G., Manolakos, D. E., Ioannidis, M. B. and Papapostolou, D. P., 2004, "Crashworthy Characteristics of Axially Statically Compressed Thin-Walled Square CFRP Composite Tubes: Experimental," *Composite Structures*, Vol. 63, pp. 347~360.
- (7) Mamalis, A. G., Manolakos, D. E., Demosthenous, G. A. and Johnson, W., 1991, "Axial Plastic Collapse of Thin Bi-Material Tubes as Energy Dissipating Systems," *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 11, pp. 185~196.
- (8) Andre Laoie, J. and Kellas, S., 1996, "Dynamic Crush Tests of Energy-Absorbing Laminated Composite Plates," *Composite : part A*, Vol. 27A, pp. 467~475.