

# 차체구조용 CFRP 사이드부재의 정적 압괴특성에 관한 연구

이길성\*·양인영\*\*

## A Study on the Static Collapse Characteristics of CFRP Side member for Vehicle

Kil Sung Lee and In Young Yang

### Abstract

The front-end side members of automobiles, such as the hat-shaped section member, absorb most of the energy during the front-end collision. The side members absorb more energy in collision if they have higher strength and stiffness, and stable folding capacity (local buckling). Using the above characteristics on energy absorption, vehicle should be designed light-weight to improve fuel combustion ratio and reduce exhaust gas. Because of their specific strength and stiffness, CFRP are currently being considered for many structural (aerospace vehicle, automobiles, trains and ships) applications due to their potential for reducing structural weight. Although CFRP members exhibit collapse modes that are significantly different from the collapse modes of metallic materials, numerous studies have shown that CFRP members can be efficient energy absorbing materials. In this study, the CFRP side members were manufactured using a uni-directional prepreg sheet of carbon/Epoxy and axial static collapse tests were performed for the members. The collapse mode and the energy absorption capability of the members were analyzed under the static load.

**Key Words:** CFRP 사이드부재(CFRP side member), 정적압괴실험(Static collapse test), 압괴모드(Collapse mode), 에너지흡수(Energy absorption)

### 1. 서 론

최근 자동차 설계에 있어서의 가장 중요한 목표는 친환경적인 측면과 안전성능에 대한 측면으로 집약될 수 있다. 친환경적인 문제는 연비개선, 배기가스 규제에 대해 차량의 경량화에 초점에 맞추어져 있는 반면에 고안전, 승차감, 고성능 및 다기능화에 대한 안전성의 문제는 무게의 증가를 요구하고 있다. 따라서, 자동차의 설계는 안전성이 확보된 상태에서 차체의 중량을 줄이기 위한 경량화 측면으로 이루어져야 한다.

자동차의 충돌 안전성능은 차체 구조부재가 충

돌시 얼마나 많은 충돌에너지를 흡수하느냐에 달려있으며, 자동차의 충돌에 의한 교통사고는 경사방향을 포함한 전면충돌의 경우가 측면이나 후면으로부터의 충돌에 비해 가장 많이 발생하는 사고형태이기 때문에 전면충돌의 안전성능은 차량 설계에서 가장 중요한 문제 중의 하나이다.

자동차가 전면 충돌할 경우, 차체 부재중 사이드부재가 충돌에너지의 대부분을 부재의 연속적인 대변형에 의한 소성에너지에 의해 흡수하며, 사이드부재는 주로 단일모자형 단면형상을 갖는 강도부재로 구성되어 있다. 이와 같은 사이드부재가 많은 충돌에너지를 흡수하기 위해서는 강성이 큰 강도부재가 요구되며, 탑승자에 가해지는 충격을 작게 하기 위해서는 차체 감속도를 낮게 하기 위해 강도부재가 안정적인 접합이 이루어져야 한다.

이러한 강도부재로 사용되고 있는 구조부재의

\* 조선대학교 대학원 기계설계공학과

\*\* 조선대학교 기계설계공학과

압괴특성에 대한 연구는 여러 가지 재질과 다양한 단면형상에 대해서 행해지고 있다[1-8]. 실제 수송기계의 강도부재인 점용접 부재에 대하여 압괴 특성 및 다양한 단면형상에 따른 연구가 진행되고 있으며[1-3], 대표적인 경량화 재료인 알루미늄과 복합재료를 이용한 균일 단면 구조부재의 에너지 흡수 능력에 대한 연구가 행해지고 있다[4-8]. 특히 복합재료는 금속재료에 비해 비강도 및 비강성이 우수하고 설계요건에 따라 적층배향을 적절히 선정할 수 있어 다양한 재료와 단면형상에 따른 에너지 흡수 능력에 관하여 폭넓은 연구가 진행 중이다[7,8].

본 연구에서는 자동차 사이드부재로 주로 사용되고 있는 단일모자형 단면부재를 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics: 이하 CFRP라 한다.)로 제작하여 U.T.M.을 이용해 축방향 정적압괴실험을 행한 후, 경량화용 CFRP 사이드부재의 압괴특성에 관하여 고찰하고자 한다. 특히, CFRP는 적층각도의 변화에 따라 기계적 특성이 변화하는 이방성 재료이므로, 적층각도의 변화에 따른 압괴모드와 에너지흡수 특성을 고찰하고자한다.

## 2. 시험편

자동차 전면 충돌시 가장 많은 에너지를 흡수하는 차량 전면부 사이드부재는 두께 1.2~1.8mm의 고장력강으로서 폭(가로×세로)=(100~140)×(50~100)mm, 길이=(500~700)mm의 단일모자형 단면부재가 주로 사용되고 있다. 그러나 본 연구에서는 CFRP 프리프레그시트를 사용하여 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 실제 사이드 부재의 약 1/4 치

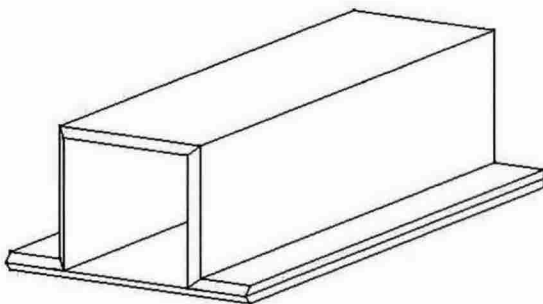


Fig. 1 Configuration of CFRP Hat member

수의 시험편으로써 평판부재와 “C”자형 부재가 결합된 단일모자형 단면부재를 제작하였다. Table 1에 CFRP 프리프레그 시트의 기계적 성질을 나타냈다. 시험편은 Carbon/Epoxy로 조합된 섬유로 일방향 탄소섬유 프리프레그 시트(한국화이버, CU125NS, Carbon fiber Unidirection 125g/m<sup>2</sup>)를 [+θ/-θ]<sub>n</sub>로 각각 적층하여 오토클레이브를 사용하여 성형하였다. 여기서 θ는 적층각이 에너지흡수 특성에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 15, 45, 90, 0/90, 90/0로 하였다. 특히, CFRP의 가장 취약한 특성은 취성문제이며, 압괴초기에 최대하중 이후 급격한 파괴가 발생하여 하중이 급격히 떨어지게 되고, 그로 인해 층내 및 층간 등의 크랙이 성장하게 되어 초기 압괴하중 후의 흡수에너지는 낮아지게 된다. 따라서 일반적으로 한쪽 끝단에 Initiator 또는 고의의 결함(트리거)을 주어 순차적이고 국부적인 압괴를 유도하여 높은 에너지 흡수특성을 갖게 하는데, 본 연구에서는 시험편 끝단을 45°로 모따기하여 트리거가 있는 시험편을 제작하였다. 모든 시험편의 길이는 다이몬드 커터를 이용하여 120mm로 절단하였다.

Table 1 Material properties of the CFRP prepreg sheet

Types Properties	Fiber (Carbon)	Resin (Epoxy #2500)	Prepreg sheet (Fiber direction)
Density	1.83×10 <sup>3</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	1.24×10 <sup>3</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	-
Poisson's ratio	-	-	0.3
Young's modulus	240 [GPa]	3.60 [GPa]	132.7 [GPa]
Tensile Strength	4.89 [GPa]	0.08 [GPa]	1.85 [GPa]
Breaking elongation	2.1 [%]	3.0 [%]	1.3 [%]
Resin content	-	-	33 [% Wt]

## 3. 압괴실험

압괴실험은 만능재료시험기를 사용하여 10mm/min의 변형률 속도로 제어하여 균일한 압축하중이 가해도록 하였다. 또한, 시험편의 압괴 길이는 전체길이(120mm)의 58.3%(70mm)까지 축방향으로 변위를 제어하면서 연속적으로 압괴실험을 행하였다.

시험편에 흡수된 에너지량의 계산은 압력시험에서 얻은 하중-변위선도의 면적을 흡수에너지로 하여, 하중-변위선도를 식 (1)과 같이 적분하여 구하였다.

$$E_a = \int_0^S P dS \quad (1)$$

여기서,  $E_a$ 는 흡수에너지,  $P$ 는 압력하중,  $S$ 는 시험편의 압력길이를 나타낸다.

#### 4. 결과 및 고찰

연속섬유강화 복합재 박육부재에 축 압축하중이 작용시 발생하는 압력형상은 횡방향전단 압력 모드, 라미나 굽힘 압력 모드 및 취성파괴 압력 모드와 국부좌굴 압력 모드의 4가지 모드의 조합으로 나타난다.[7,8]

본 연구에서 사용된 CFRP 사이드부재는 Fig. 2와 같이 적층각에 따라 4가지의 압력모드가 조합된 형태로 압력되었다.

15°로 적층된 부재에서는 층간크랙의 점진적인 진전과 함께 부재의 외측으로 확장하는 스플라인형상으로 압력되었으며, 이러한 압력모드는 층간크랙 진전에 의한 라미나 굽힘과 섬유층의 파단에 의해 대부분의 에너지를 흡수한다.

45°로 적층된 부재에서는 평판부재는 부재의 외측으로 확장되지만, “C”자형 부재는 접힘모드의 형상으로 압력되었다. 이러한 압력모드는 층간크랙의 진전 및 국부좌굴에 의해 대부분의 에너지를 흡수한다.

90°로 적층된 부재에서는 횡방향의 지지 파단으로 인한 파쇄모드의 형상으로 압력되었다. 이러한 압력모드는 주로 횡방향 전단모드에 의한

기지의 파단에 의해 대부분의 에너지를 흡수한다.

0°/90°로 적층된 부재에서는 평판부재는 부재의 외측으로 확장되지만, “C”자형 부재는 파쇄모드의 형상으로 압력되었다. 이러한 압력모드는 주로 평판부재의 층간 크랙의 진전에 의한 라미나 굽힘과 “C”자형 부재의 횡방향 전단모드에 의한 섬유 및 기지의 파단에 의해 대부분의 에너지를 흡수한다.

90°/0°로 적층된 부재에서는 평판부재는 부재의 외측으로 확장되지만, “C”자형 부재는 썩기형 모드의 형상으로 압력되었다. 이러한 압력모드는 주로 평판부재의 층간 크랙의 진전에 의한 라미나 굽힘과 “C”자형 부재의 횡방향 전단모드에 의한 섬유 및 기지의 파단과 함께 층간 크랙의 진전에 의한 라미나 굽힘에 의해서 에너지를 흡수한다.

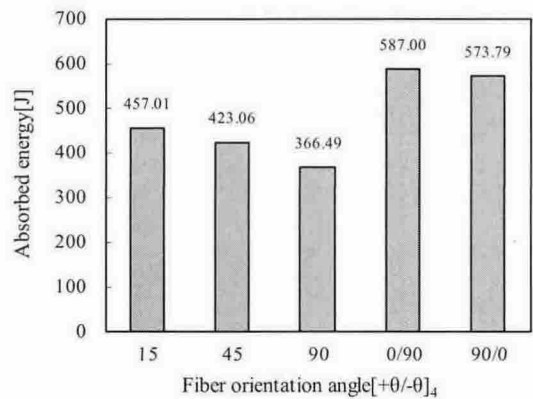


Fig. 3 Relationship between absorbed energy and fiber orientation angle

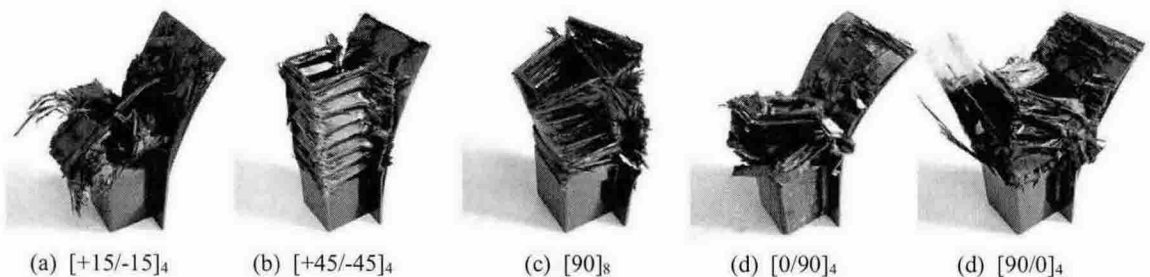


Fig. 2 The Collapse mode of CFRP Hat member fiber according to orientation angle of CFRP

Fig. 3은 적층각도의 변화에 따른 각각의 시험편에 대한 준정적 압괴실험 후 얻어진 데이터의 평균값 중 흡수에너지를 각각 비교한 그림이다.

Fig. 3을 보면 적층각도가 15°에서 90°로 적층각이 증가할수록 흡수에너지가 거의 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 축하중이 작용될 때 적층각이 축방향과 비슷하게 적은 경우, 라미나 굽힘과 섬유와의 파단에 의하여 에너지를 흡수하지만 각도가 증가할수록 섬유의 파단이 없이 횡방향 전단모드에 의한 기지의 파단에 의해 에너지를 흡수하기 때문이라 생각된다.

또한 90°/0°와 0°/90°의 적층각을 갖는 시험편의 최외층 적층각의 영향을 보면, 최외층 적층각이 90°인 경우와 0°인 경우의 에너지 흡수는 비슷하게 나타났다.

## 5. 결론

단일모자형 단면부재를 CFRP로 적층각도의 변화를 주어 제작하여 축방향 정적압괴실험을 행한 후, 경량화용 CFRP 사이드부재의 정적 압괴특성에 관하여 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

CFRP 사이드부재에 축 압축하중이 작용시 발생하는 압괴형상은 적층각에 따라 횡방향전단 압괴모드, 라미나 굽힘 압괴모드 및 취성파괴 압괴모드와 국부좌굴 압괴모드의 4가지의 압괴모드가 조합된 형태로 압괴되었다.

적층각도의 변화에 따른 에너지흡수 특성을 보면, 축하중이 작용될 때 적층각이 축방향과 비슷하게 적은 경우, 라미나 굽힘과 섬유의 파단에 의하여 에너지를 흡수하지만 각도가 증가할수록 섬유의 파단이 없이 횡방향 전단모드에 의한 기지의 파단에 의해 에너지를 흡수하여 적층각이 증가할수록 흡수에너지가 감소하는 경향을 보였다.

또한, 90°/0°와 0°/90°의 최외층 적층각의 영향은 크게 나타나지 않는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

(1) White, M. D. and Jones, N.. "Experimental quasi-static axial crushing of top-hat and double-hat thin-walled sections." *Int. J. Mech. Sci.* 41:179-208, 1999.

(2) White, M. D., Jones, N. and Abramowicz, W.. "A theoretical analysis for the quasi-static axial crushing of top-hat and double-hat thin-walled sections." *Int. J. Mech. Sci.* 41:209-233, 1999.

(3) Cha, C. S., Kang, J. Y. and Yang, I. Y.. "Axial impact collapse analysis of spot welded hat shaped section members." *KSME International Journal* 15:180-191, 2001.

(4) Avalue, M. and Belingardi, G.. "Experimental evaluation of the strain field history during plastic progressive folding of aluminum circular tubes." *Int. J. Mech. Sci.* 39:575-583, 1997.

(5) Singace, A. A.. "Axial crushing analysis of tubes deforming in the multi-mode." *Int. J. Mech. Sci.* 41:865-890, 1999.

(6) Kim, S. K., Im, K. H., Kim, Y. N., Park, J. W., Yang, I. Y. and Adachi, T.. "On the characteristics of energy absorption control in thin-walled members for the use of vehicular structures." *Key Engineering Materials* 233-236:239-244, 2003.

(7) Kim, Y. N., Hwang, J. J., Baek, K. Y., Cha, C. S., and Yang, I. Y.. "Impact collapse characteristics of CF/Epoxy composite tubes for light-weights." *KSME International Journal* 17:48-56, 2003.

(8) G. L. Farley, R. M. Jones. "Crushing Characteristics of Continuous Fiber-Reinforced Composite Tubes." *Journal of composite Materials* 26:37-50, 1992