

계면수 변화에 따른 CFRP 모자형 단면 부재의 충격 압괴 특성에 관한 연구 A Study on the Impact Collapse Characteristic of CFRP Hat-shaped Section Member according to Change of Interface number

*황우재¹, #양인영²

*W. C. Hwang¹, #I. Y. Yang(iyyang@chosun.ac.kr)²

¹조선대학교 첨단부품소재공학과, ²조선대학교 기계설계공학과

Key words : CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic), Hat shaped section member, Impact collapse characteristic, Interface number

1. 서론

수십 년 동안 차량은 비약적인 발전을 해왔다. 하지만, 이러한 발전과 더불어 여러 가지 문제점이 발생 되었는데 이것은 차량의 무게증가와 배기가스 방출량의 증가로 인한 환경오염 문제이다. 이러한 경량화 문제와 환경오염 문제를 해결하기 위해서는 고 안전 경량 부품 개발이 필수 요소로 인식되고 있다. 또한 차량의 성능 중 충돌 시에 승객을 보호하는 능력을 충돌안전성능이라 하는데 충돌조건, 차량구조, 승객 구속 장치 등의 요인으로 결정 된다. 특히, 자동차의 충돌에 의한 교통사고는 경사방향을 포함한 전면충돌의 경우가 측면이나 후면으로부터의 충돌에 비해 많이 발생하는 사고 형태이기 때문에 전면충돌의 안전성능에 대한 차량개발이 중요한 문제 중의 하나이다.¹⁻⁷

따라서 차량의 설계는 경량화 측면뿐만 아니라 안전성이 확보 되어야 한다. 차량 전면부의 사이드 부재는 많은 차량에서 모자형 단면형상의 강도부재로 구성되어 충돌 시에 골격 부재가 소성 변형하여 충돌에너지를 흡수하도록 설계되어야 한다.

차량의 설계 단계에서는 차량전체의 전면 충돌을 예측하기 전에 사이드부재와 같이 충돌 시 에너지흡수가 크고, 간단한 구조부재에 대해서 압괴거동과 에너지흡수특성을 정확히 파악 하는 것이 중요한 문제이다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 경량화 물질인 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)를 사용하여 시험편을 제작하였다. CFRP는 적층구성의 변화에 따라 기계적 특성이 변하는 이방성 재료이기 때문에 적층조건을 변경하여 모자형 단면부재의 압괴특성과 에너지흡수 특성을 비교분석하여 차량 설계 시 효율적인 설계 데이터를 얻고자 한다.

2. 시험편

자동차 전면 충돌시 가장 많은 에너지를 흡수하는 차량 전면부 사이드부재는 두께 1.22~1.8mm 고장력 강판의 “C” 자형과 평판을 접합한 것으로서 폭 = (100~140) × (50~100)mm, 길이 = (500~700)가 사용되고 있다. 그러나 본 연구에서는 실제 전면부 사이드부재의 1/4크기인 폭 = 30 × 30mm, 플랜지 길이 = 12mm로 “C” 자형과 평판부재가 결합된 CFRP 모자형단면부재를 제작 하였다. CFRP모자형 단면부재는 CFRP 프리프레그시트(한국화이버, CU125NS, Carbon fiber unidirection 125g/m2)를 사용하여 오토클레이브에서 진공 압축 성형하여 제작하였다. Table 1은 시험편에 사용된 재료의 물성치를 나타내었다. CFRP 모자형 단면부재의 에너지흡수는 적층조건에 따라 영향을 받기 때문에 계면수 변화에 따른 에너지흡수특성을 비교 고찰하고자 계면수 (2, 3, 4, 6, 7)를 변화시켜 성형 하였다. 또한 최외각층 변화에 따른 에너지흡수특성을 비교 고찰하였다.

CFRP의 가장 취약한 문제점은 취성문제이며, 압괴초기에 최대하중이후 급격한 파괴가 진행되어 하중이 급격히 떨어지게 되고, 이로 인해 중간 및 층내 크랙이 성장하게 되어 초기 압괴하중 이후 흡수에너지는 낮아지게 된다. 따라서 한쪽 끝단에 Initiator 또는 트리거를 주어 순차적으로 압괴를 유도하여 높은 에너지 흡수특성을 갖게 한다.⁶⁻⁷

본 연구에서는 하중이 작용하는 부분에 45°로 모따기 하여 트리거가 있는 시험편을 제작하였다. 또한 시험편의 길이는120mm로 다이아몬드 커터를 이용하여 절단 하였다.

Table 1 Material properties of the CFRP prepreg sheet

| | Fiber(Carbon) | Resin(Epoxy#2500) | Prepreg sheet |
|---------------------|---|---|---------------|
| Density | 1.83×10 ³ [kg/m ³] | 1.24×10 ³ [kg/m ³] | - |
| Poisson's ratio | - | - | 0.3 |
| Young's modulus | 240[GPa] | 3.60[GPa] | 132.7 [GPa] |
| Tensile stress | 4.89[GPa] | 0.08[GPa] | 1.85[GPa] |
| Breaking elongation | 2.1[%] | 3.0[%] | 1.3[%] |
| Resin content | - | - | 3.3[%Wt] |

3. 압괴실험

충격 압괴 실험은 공기압 수직식 충격장치를 사용하였고, 시험기는 공기압 가속장치인 에어건과 에어실린더, 시험편에 직접적인 충격을 가하는 크로스헤드, 충격하중을 측정할 수 있는 로드셀 및 가이드 바, 베이스 플레이트, 방진고무 및 프레임 등으로 구성되어 있다. 가이드 바를 4개로 구성하고 크로스헤드를 2층 구조(위쪽 판의 두께 18 mm, 아래쪽 판의 두께 23 mm, 측면 길이 320 mm)로 제작하여 크로스헤드가 시험편에 편심 되어 충격이 가해지는 것을 방지하였다. 여기서 크로스헤드의 무게는 40kg 이다. 로드셀은 2개의 원판을 원주로 연결한 형태로서 연강 환봉을 절삭하여 제작하였으며, 위쪽 원판 위에 시험편을 위치시키고, 아래쪽 원판에 3개의 볼트구멍을 만들어 베이스 플레이트에 고정하였다. 시험편에 작용하는 충격하중의 계산은 로드셀의 검출부인 원주의 중앙에 스트레인게이지의 중심축을 중심으로 각각 축 방향 2매, 원주방향 2매를 대칭으로 부착하는 Full bridge 방식으로 부착하여 굽힘과 비틀림의 영향을 제거 하였다.

충돌시에 나타나는 스트레인게이지의 저항변화는 리드선을 통하여 브리지박스(Bridge circuits)와 동적변형증폭기(Dynamic strain amplifier)를 거쳐 전압변화로 증폭된 후 파형 기억장치인 DSO(Digital Storage Oscilloscope)를 사용하여 측정하였다. 시험편의 변위 측정은 압괴가 진행되고 있는 사이 시험편의 변위량과 크로스헤드의 이동량이 일치한다고 보고 크로스헤드에 부착된 표적의 움직임을 광학식변위계(Zimmer OHG사, 100f)로 비접촉 측정하여 변위 데이터를 구하였다. 여기서 사용된 광학식변위계는 광학렌즈를 사용하여 렌즈 측정범위 내에 있는 표적의 백색부와 측색부의 경계선(edge)의 이동량을 전압 변화로 측정하는 것이다. 그리고 시험편에 가해진 충격에너지는 419.44J이다.

4. 압괴모드 및 에너지흡수 특성

본 연구에서는 CFRP 모자형 단면부재의 계면수(2, 3, 4, 6, 7)변화와 최 외층 각도 (0°, 90°)의 변화에 따라 충격압괴실험을 행하였다. Photo. 1은 충격실험후 시험편의 압괴 형태를 나타내고 있다. 최 외층 각도가 0°인 CFRP 모자형 단면부재의 압괴모드는 거의 모든 시험편에서 평판부재는 외측으로 확장되는 압괴모드를 보였고, “C” 형 부재는 외측의 0°는 외측으로 확장되면서 내부의 90°는 파단 되는 압괴의 형태를 보였다. 최 외층 각도가 90°인 CFRP 모자형 단면부재의 압괴모드는 평판부재는 최 외층 각도가 0°인 부재와 비슷한 압괴모드를 보였지만 “C” 형 부재는 외측의 90°방향의 CFRP가 내측의 0°를 외측으로 확장되지 못하도록 하면서 함께 파단 되었다.

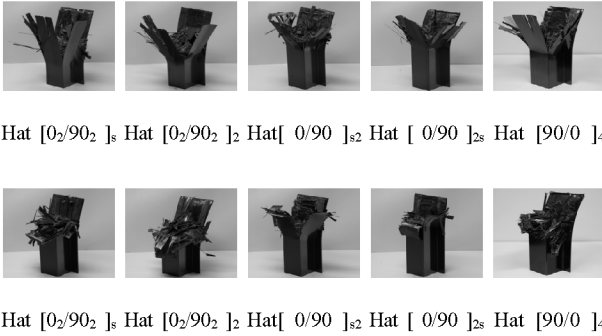


Photo. 1 Collapse modes hat-shaped section members after impact test

Fig. 1은 최 외층 각도가 0°와 90°인 CFRP 모자형 단면부재의 하중-변위선도를 나타내고 있다. Fig. 2는 계면수 변화와 최 외층 각도에 따른 시험편의 단위 질량당 총 흡수에너지지를 보여주고 있다. Fig. 2을 보면 알 수 있듯이 최 외층 각이 0°일 때 계면수가 증가 할수록 총 흡수에너지지는 증가하는 경향을 보여주고 있다. 하지만 7계면에서는 총에너지흡수가 감소하고 있다. 이것은 CFRP의 주요 에너지흡수 메커니즘은 크랙 진전이며, 크랙은 크게 층간크랙(interlaminar crack)과 층내크랙(intralaminar crack) 및 중심크랙(central crack)으로 나눌 수 있다. 따라서 계면수가 증가한다는 의미는 층간크랙을 유발 시킬 수 있는 경우의 수가 증가한다는 의미이다. 이로 인해서 평균압력응력은 증가하게 되는 것이다. 그러나 7계면이 되면, 층간크랙수가 증가함에 따라 층 두께의 감소로 인하여 층내크랙을 유발시킬 수 있는 경우의 수는 감소하게 된다. 결국, 층간크랙 수의 증가로 인하여 다소 평균압력응력은 증가하나 이와 더불어 층내크랙 수의 감소로 인하여 층내크랙 진전이 충분히 일어나지 않아 결국 평균압력응력은 감소하게 된다고 사료된다. 이와 마찬가지로 최 외층 각이 90°인 CFRP 모자형 단면부재도 계면수가 증가 할수록 총흡수에너지가 증가하다가 7계면에서 다소 감소하는 경향을 보여주고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 대표적인 경량화 물질인 CFRP를 사용하여 모자형 단면부재를 성형 하여 계면수(2, 3, 4, 6, 7) 변화 및 최 외층 각도(0°, 90°)에 따른 에너지흡수특성을 비교 고찰하였다.

- 1) 최 외층 각도가 0°인 CFRP 모자형 단면부재의 압력모드는 거의 모든 시험편에서 평판부재는 외측으로 확장되는 압력모드를 보였고, “ㄷ” 형 부재는 외측의 0°는 외측으로 확장되면서 내부의 90°는 파단되는 압력의 형태를 보였다.
- 2) 최 외층 각도가 90°인 CFRP 모자형 단면부재의 압력모드는 평판부재는 최 외층 각도가 0°인 부재와 비슷한 압력모드를 보였다. 하지만 “ㄷ” 형 부재는 외측의 90°방향의 CFRP가 내측의 0°를 외측으로 확장되지 못하도록 하면서 같이 파단 되었다.
- 3) 최 외층 각이 0°일 때 계면수가 증가 할수록 질량당 총 흡수에너지지는 증가하는 경향을 보여주고 있다. 하지만 7계면에서는 총에너지흡수가 감소하고 있다.
- 4) 최 외층 각이 90°인 CFRP 모자형 단면부재도 계면수가 증가 할수록 총 흡수에너지지가 증가하다가 7계면에서 다소 감소하는 경향을 보여 주었다.

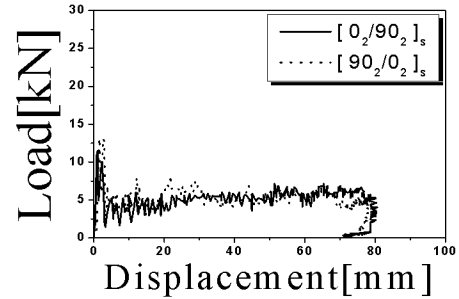


Fig. 1 Load-displacement curves of the specimens

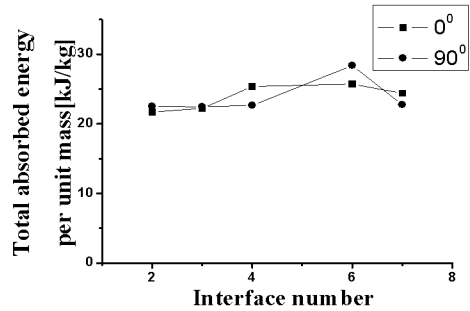


Fig. 2 Total absorbed energy per unit mass according to the interface number

참고문헌

1. Lee, J. S, Kim, Y. R. and Lee, K. S, "Sensitivity Analysis and Optimal Design of Plane Vehicle Frame Structures," Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 5, 4, 74~81, 1996.
2. Chol, G. H, "A Study on the Lightweight Design of a seat Frame in Automotive Vehicles," Korean Society of Machine Tool Engineers, 8, No, 83~89, 1999.
3. Cha, C. S. Kang, J. Y. and Yang, I. Y., "Axial Impact Collapse Analysis of Spot Welded Hat shaped Section member," KSME International Journal, 15, 180~191, 2001.
4. Farley, G. L. and Jones, R. M., "Crushing Characteristics of Continuous Fiber-Reinforced Composite Tubes," Journal of composite Materials, 26, 37~50, 1992.
5. Kim, Y. N., Im, K. H., Kim, S. K and Yang, I. Y., "Energy Absorption Characteristics of CFRP Composite Tubes Under Axial Compression Load," Key Engineering Materials, 233~236, 245~250, 2003.
6. 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.
7. Avallè, 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.