

차체구조용 박육단면부재의 단면형상변화에 따른 축압괴 특성에 관한 연구

이길성*, 백경윤(조선대학교 대학원 기계설계공학과)
차천석, 정진오(순천대학교 기계자동차공학부), 양인영(조선대학교 기계정보공학과)

A Study on the Axial Collapse Characteristics of Thin-Walled Members for Vehicles on the Variation of Section Shapes

K. S. Lee, K. Y. Baek(Department of Mechanical Design Engineering Graduate School, Chosun University)
C. S. Cha, J. O. Chung(Division of Mechanical and Automotive Engineering, Suncheon National University)
I. Y. Yang(Department of Mechanical Information Engineering, Chosun University)

ABSTRACT

The front-end side members of automobiles absorb most of the energy in a front-end collision. The front-end side members are required to have a high stiffness together with easiness to collapse sequentially to absorb more impact energy. The axial static collapse test (5mm/min) was conducted by using UTM with respect to the single hat shaped section members which are the standard section shape of the spot welded section members, to the single cap shaped section members, to the double cap shaped section members and to the double hat shaped section members whose section shape are changed in order to give more stiffness. As a result of test, the energy absorbing characteristic was analyzed for different section shapes. That is, it was analyzed that the change of section shape influenced the absorbing energy, the mean collapse load and the maximum collapse load, and that the relation between the change of section shape and the collapse mode.

Key Words : Side member(사이드부재), Collapse test(압괴실험), Absorbing energy(흡수에너지), Mean collapse load(평균압괴하중), Maximum collapse load(최대압괴하중).

1. 서론

자동차의 충돌에 의한 교통사고는 경사방향을 포함한 전면충돌의 경우가 측면이나 후면충돌에 비해 많이 발생하는 사고형태이기 때문에 전면충돌의 안전성능은 차량개발의 초기단계에서 가장 중요한 문제의 하나이다.¹⁻²⁾

자동차 전면 충돌사고시 자동차 전면부에서 충돌에너지를 적절히 흡수할 수 있다면 그만큼 탑승자에게 가해지는 상해가 경감된다. 전면 충돌사고시 자동차의 충돌에너지를 흡수하는데 가장 크게 기여하는 것은 전면부 사이드부재이며, 기본적인 단면형상은 모자형 단면부재로서 점용접에 의해 이루어졌다.³⁻⁶⁾ 이와같은 사이드부재가 많은 충돌에너지를 흡수하기 위해서는 강성이 크면서 효과적인

접합이 이루어져야만 한다. 사이드부재의 강성을 증가시키기 위해서는 단면형상을 변화시키면 가능하다. 즉, 강도부재가 축하중을 받을 때 응력분포는 모서리부에서 대부분 집중되면서 압괴된다.⁷⁻⁸⁾ 그러므로, 현재 사이드부재의 기본단면 형상인 단일모자형 단면부재에서 벗어나 모서리부의 수를 증가시킨 단면형상을 갖게 하면 가능하다. 그러나, 단면형상을 변화시킨 강도부재가 축방향 하중을 받을 경우 적절한 접합이 이루어지지 않을 수 있다. 따라서, 단면형상변화에 따른 강성을 증가시키면서 효과적인 접합이 이루어지는 사이드부재를 개발하는 것이 자동차 전면부 충돌사고시 많은 충돌에너지를 흡수할 수 있게 하는 방안이다.

본 연구에서는 강성의 변화를 주기 위하여 사이드부재의 기본적인 단면형상인 모서리수가 4개인

단일모자형 단면부재와 더불어 단면형상을 변화시킨 모서리수가 3개인 단일캡형 단면부재, 모서리수가 6개인 이중캡형 단면부재 및 모서리수가 8개인 이중모자형 단면부재에 대하여 UTM을 이용한 축방향 정적압괴(5mm/min)실험을 행하였다. 실험결과로부터 단면형상을 변화시킨 결과가 흡수에너지 또는 평균압괴하중 및 최대압괴하중에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 변형모드를 고찰하여 변형모드가 에너지흡수특성에 미치는 영향을 분석하였다

2. 시험편

실제 차량전면부 사이드부재는 고장력강으로써 폭(가로×세로)=(100~140)×(50~100)mm, 길이=(500~700)mm가 사용되고 있다. 그러나, 본 연구에서는 SCP1 냉간압연강관을 사용하여 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 실제 사이드부재의 약 1/4 치수의 시험편으로써 단일캡형 단면부재(S-cap), 단일모자형 단면부재(S-hat), 이중캡형 단면부재(D-cap) 및 이중모자형 단면부재(D-hat)를 점용접하여 제작하였다. 점용접은 수차례 예비실험을 통하여 압괴시 용접부가 떨어지지 않도록 하였다.

점용접 간격은 이론적인 점용접길이⁹⁾인 22.0mm로 하였으며, 시험편의 끝부분은 점용접이 불가능하기 때문에 끝부분으로부터 5mm 떨어진 위치에서 시작하였고, 점용접 타점은 직경 6mm로 하여 상하대칭이 되도록 하였다. 그리고, 시험편의 두께는 1.0mm이며, 길이는 120mm로 하였다. 또한, 모든 시험편의 단면적은 동일하다.

Table 1은 시험편의 기계적 성질을 나타낸다.

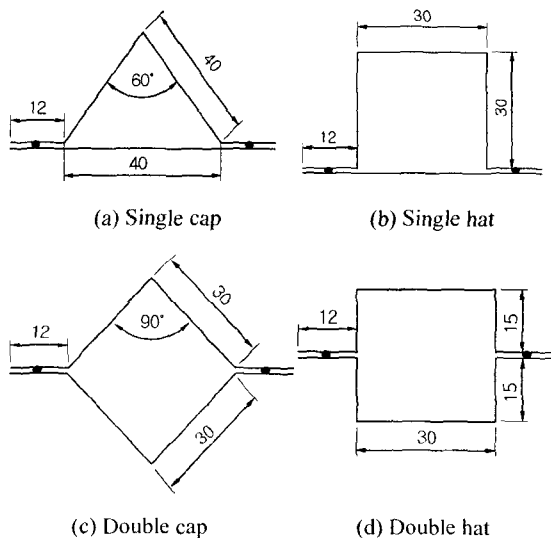


Fig. 1 Configuration of the specimens

Table 1 Material constants of specimens

Yield strength [MPa]	Tensile strength [MPa]	Young's modulus [GPa]	Poisson's ratio	Elongation [%]
173.5	302.4	203	0.31	45.3

3. 압괴실험

UTM을 사용하여 각 시험편에 대해 5~6회의 축방향 정적압괴(5mm/min)실험을 행하였다. 시험편의 압괴길이는 시험편 전체길이(120mm)의 58.3%(70mm)까지 변위를 제어하면서 압괴시켰다. 그 결과 얻어진 하중-변위선도를 Fig. 2에 나타냈으며, 하중-변위선도의 면적을 구하여 시험편의 흡수에너지를 계산하였고, 흡수에너지를 압괴길이(70mm)로 나눔으로써 평균압괴하중을 구하였다. 또한, 최대압괴하중은 하중-변위선도의 최대압괴하중값을 의미한다. 그리고, Fig. 3은 각 단면부재의 압괴후의 형상이다.

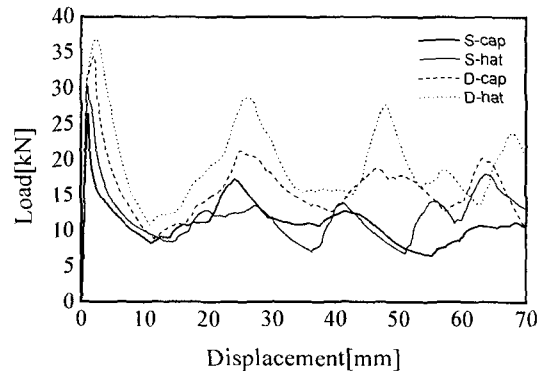


Fig. 2 Relationship between load and displacement



Fig. 3 Profiles of collapsed specimens

4. 결과 및 고찰

압괴과정중 변형모드를 보면, 단일모자형 단면부재는 용접선이 압괴하중의 중심선으로부터 일정거리 떨어져 있고, 평판부재의 좌굴하중이 "ㄷ"자형부재의 좌굴하중보다 낮기 때문에 평판부재의 좌굴에 의해서 변형모드가 결정된다. 즉, 평판부재가 부재 내측으로 변형될 때 평판부재와 마주보는 "ㄷ"자형부재는 부재 외측으로 변형되면서 규칙적이고

안정적인 평형모드가 지배적이다. 이중모자형 단면부재는 상자형 단면부재와 비슷한 중심축에 대하여 대칭인 아코디언상 변형모드를 이루나, 용접선이 압재하중의 중심선에 있기 때문에 플랜지부의 간섭에 의하여 불안정한 대칭모드가 지배적이다. 그리고, 단일캡형 단면부재는 단일모자형 단면부재와 같이 용접선이 압재하중의 중심선으로부터 일정거리 떨어져 있어 단일모자형 단면부재와 비슷한 변형모드를 보이나, 초기에 평판부재가 부재 외측방향으로 변형될 때 ">" 자형부재의 2벽면 중 하나의 벽면은 부재 내측으로 또 다른 벽면은 부재 외측으로 엇갈리면서 변형하는 불안정한 반평형모드를 이루고, 이중캡형 단면부재는 단일캡형 단면부재와 이중모자형 단면부재의 혼합된 변형모드를 보였다. 즉, 마주보는 ">" 자형부재는 단일캡형 단면부재와 동일하게 변형하며, 이중모자형 단면부재와 같이 용접선이 압재하중의 중심선에 있기 때문에 플랜지부의 간섭에 의하여 불안정한 반대칭모드가 지배적이다.

Table 2는 단면형상변화에 따른 각각의 단면부재들에 대하여 정적압재실험 후 얻어진 데이터의 평균값으로써 흡수에너지, 평균압재하중, 최대압재하중의 결과값을 나타낸다. 또한, Fig. 4는 Table 2의 데이터 값 중 단면형상변화(모서리수 변화)에 따른 최대압재하중을 비교한 그림이며, Fig. 5는 평균압재하중을 비교한 그림이다. 그리고, Fig. 6은 각 단면부재의 압재변위에 따른 흡수에너지의 변화를 나타내는 그림이다.

Table 2 및 Figs. 4, 5을 보면 모서리수가 많아질수록 강성이 증가하여 최대압재하중 및 평균압재하중이 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 최대압재하중에 대한 커브피팅선도의 식은 $y=1.9695x+21.41$ 로, 평균압재하중에 대한 커브피팅선도의 식은 $y=1.6814x+5.1729$ 로 나타났다. 즉, 모서리수가 3개인 단일캡형 단면부재에 비하여 모서리수가 4개인 단일모자형 단면부재의 경우 최대압재하중은 약 12.0%, 평균압재하중은 약 9.4% 높았고, 모서리수가 6개인 이중캡형 단면부재는 단일모자형 단면부재에 비하여 최대압재하중은 약 14.1%, 평균압재하중은 약 28.4% 높았다. 그리고, 모서리수가 8개인 이중모자형 단면부재는 모서리수가 6개인 이중캡형 단면부재에 비하여 최대압재하중은 약 7.6%, 평균압재하중은 약 26.8% 높게 나타났다. 또한, Fig. 6에서와 같이 압재변위에 따른 흡수에너지의 증가를 보면, 여기에서도 단면형상변화에 따른 강성증가의 효과로 인하여 흡수에너지의 증가를 잘 나타나고 있다. 특히, 이중모자형 단면부재의 경우가 단일캡형 및 단일모자형 단면부재에 비하여 에너지흡수가 현저히 크다는 것을 알 수 있다. 이는, 축하중을 받

는 강도부재는 단면형상을 변화시키면 충분히 강성을 증가시켜 에너지흡수를 증가시킬 수 있다는 것을 보이는 것이다. 그러나, 불안정한 변형모드를 가지고 있는 강도부재는 축하중을 받아 큰 변형이 요구될 때는 순차적인 압재가 이루어지지 않고 도중에 좌굴이 일어나 에너지흡수 특성이 현저히 떨어질 수 있다. 따라서, 강성을 저하시키지 않고 더욱 효과적인 변형모드를 유도한다면, 단일모자형 단면부재에 비하여 이중모자형 단면부재가 더욱 효과적인 자동차 전면부 사이드부재로 사용할 수 있을 것이라 사려된다.

Table 2 Collapse test results for specimens

Specimen Type	Absorbed energy [J]	Mean collapse load [kN]	Maximum collapse load [kN]
S-cap	743.8	10.6	26.6
S-hat	809.6	11.6	29.8
D-cap	1045.3	14.9	30.4
D-hat	1325.5	18.9	36.6

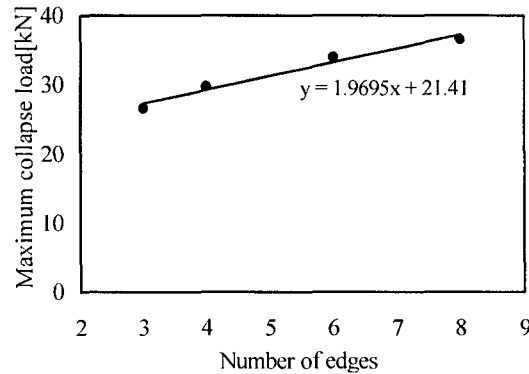


Fig. 4 Relationship between maximum collapse load and number of edges

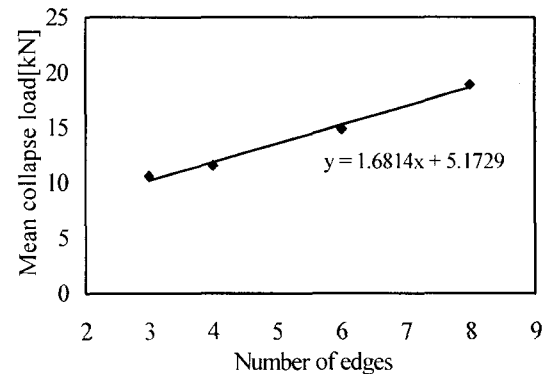


Fig. 5 Relationship between mean collapse load and number of edges

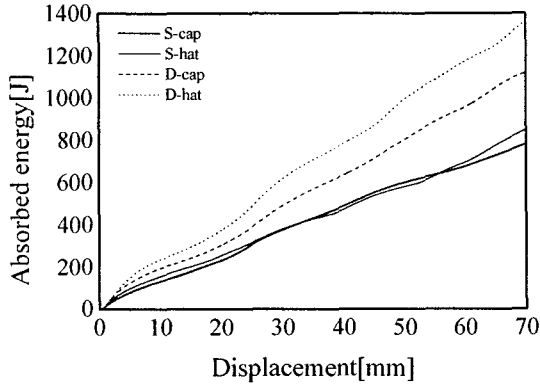


Fig. 6 Relationship between absorbed energy and displacement

4. 결론

자동차 전면부 사이드부재의 기본형상인 단일모자형 단면부재와 더불어 단면형상변화를 준 단일캡형 단면부재와 이중캡형 단면부재 및 이중모자형 단면부재를 제작하여 축방향 정적 압괴실험을 행한 결과, 단면부재의 모서리수의 증가에 비례하여 흡수에너지 또는 평균압괴하중 및 최대압괴하중이 선형적으로 증가함을 알 수 있었다. 즉, 모서리수가 8개로 가장 많은 이중모자형 단면부재의 경우가 에너지흡수 특성이 가장 우수하였다. 그리고, 변형모드를 보면, 단일캡형 단면부재의 경우는 불안정한 반평형모드, 단일모자형 단면부재의 경우는 안정적인 평형모드, 이중캡형 단면부재의 경우는 불안정한 반대칭모드, 이중모자형 단면부재의 경우는 불안정한 대칭모드가 지배적이었다. 따라서, 이중모자형 단면부재에 대하여 강성을 저하시키지 않고 더욱 효과적인 변형모드를 유도한다면, 단일모자형 단면부재에 비하여 더욱 효과적인 자동차 전면부 사이드부재로 사용할 수 있을 것이라 사려된다.

후 기

이 논문은 2003년도 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었음

참고문헌

1. H. Ishikawa, "Computer simulation of automobile collision, Reconstruction of accidents", SAE Paper No. 851729, 1985
2. E. G. Janssen et al., "Evaluation of vehicle-cyclist impacts through dummy and human cadaver tests",

11th ESV, 1987

3. M. D. White, N. Jones, "Experimental quasi-static axial crushing of top-hat and double-hat thin-walled sections", International Journal of Mechanical Science 41, pp. 179-208, 1999.
4. M. D. White, N. Jones, W. Abramowicz, "A theoretical analysis for the quasi-static axial crushing of top-hat and double-hat thin-walled sections", International Journal of Mechanical Sciences 41, pp. 209-233, 1999.
5. 차천석, 김정호, 양인영, "모자형 단면 점용접부재의 축방향 압괴특성에 관한 연구(I)", 한국정밀공학회지, 제 17권, 제 3호, pp.192-199, 2000. 3.
6. 차천석, 양인영, "모자형 단면 점용접부재의 축방향 압괴특성에 관한 연구(II)", 한국정밀공학회지, 제 17권, 제 5호, pp.195-201, 2000. 5.
7. 차천석, 강종엽, 양인영, "FEM 에 의한 단일모자형 단면부재의 축방향 충격압괴 해석", 한국정밀공학회지, 제 17권, 제 12호, pp. 129-136, 2000
8. 차천석, 김영남, 양인영, "FEM 에 의한 점용접된 이중모자형 단면부재의 축방향 압괴특성에 관한 연구" 한국정밀공학회지, 제 18 권 제 7 호, pp.120-126, 2001
9. Mahmood, H. F., and Paluzny, A., "Design of thin walled Columns for Crash Energy Management-Their Strength and Model of Collapse", Proc. 4rd Instructurral Conference on Vehicle Structural Mechanics, Nov. 128-0, Detroit, pp.7-18. 1981