

AL 박육부재의 에너지 흡수 제어특성

양용준*, 양인영⁺

(논문접수일 2007. 9. 19, 심사완료일 2007. 11. 9)

Energy Absorbing Control Characteristic of Al Thin-walled Tubes

Yong-Jun Yang*, In-Young Yang⁺

Abstract

The structural members must be designed to control characteristics of energy absorption for protecting passengers in a car accident. Study on collapse characteristics of structural member is currently conducted in parallel with other studies on effective energy absorption capacity of structural members with diverse cross-sectional shapes and various materials. This study concerns the crashworthiness of the widely used vehicle structural members, square thin-walled tubes, which are excellent in the point of the energy absorption capacity. The absorbed energy, mean collapse load and deformation mode were analyzed for side member which absorbs most of the collision energy. To predict and control the energy absorption, controller is designed in consideration of its influence on height, thickness and width ration in this study. The absorbed energy and mean collapse load of square tubes were increased by 15~20% in using the controller, and energy absorbing capability of the specimen was slightly changed by change of the high controller's height.

Key Words : Collapse Load(압궤하중), Al Thin-walled tubes(알루미늄 박육부재), Energy Absorption Capacity(에너지흡수 능력), Control Characteristics of Energy Absorption(에너지흡수 제어특성), Controller of Energy Absorption(에너지흡수 제어기)

1. 서론

차량 충돌 시 발생하는 충돌에너지를 차량의 승객이 고스란히 받을 경우 승객의 안전은 매우 위험하게 된다. 이에

대한 안전대책으로서 충돌 시 발생하는 충돌에너지를 차체 구조부재의 변형에 의한 에너지흡수로 완화시킴과 동시에 승객의 생존공간을 확보할 수 있도록 차실부분은 견고하면서도 적절한 변형을 갖는 차체구조로 설계되어야 한다.

* 조선대학교 첨단부품소재공학과
+ 교신저자, 조선대학교 기계설계공학과 (iyyang@chosun.ac.kr)
주소: 501-759 광주광역시 동구 서석동

따라서 차체구조부재의 압괴모드 및 에너지흡수특성에 대하여 자세히 연구하고 설계할 필요가 있으며 적절한 변형을 유도하고 그에 따른 흡수능력을 제어함으로써 최적의 효율을 갖는 부재를 찾는 것은 매우 중요하다.

지금까지의 구조부재의 에너지흡수에 관한 연구를 살펴보면 정적 하중 하에서의 압괴거동에 관해 평균압괴응력에 관한 이론식과 소성 변형하는 부재를 대상으로 소성 힌지의 이동에 따른 흡수에너지를 고려하여 평균압괴 강도에 관한 이론식을 유도하고 실험과 비교하였으며, 아코디언 모양의 압괴 주름에 대해 기하학적 모델을 제시하여 주름길이를 계산하고 에너지 평형조건에 의해 정적 평균압괴하중을 구하였다. 이상과 같은 대부분의 연구는 주로 균일 단면부재를 대상으로 하여 평균압괴응력을 이론적으로 해석함으로써 에너지 흡수능력을 명확히 하고자 하였으며, 형상과 재질을 변화시키면서 흡수에너지의 향상을 꾀하고 있었지만, 형상과 재질의 변화없이 압괴가 진행되는 과정 중의 하중과 변형관계를 이용하여 에너지흡수능력을 향상시키려는 시도는 찾아보기 어렵다¹⁻⁷⁾.

그리하여 본 연구에서는 적절한 변형과 에너지흡수능력을 증가시키기 위해 제어도구인 에너지 흡수 제어기(이하 제어기라 함)를 제작하여 Al 박육부재의 제어기 사용에 따른 효과 및 에너지흡수 능력을 비교·고찰하여 가장 효율적인 에너지흡수 성능을 갖는 차체구조부재의 설계 자료를 얻고자 한다.

2. 정적압괴실험

2.1 시험편 제작

본 연구에서는 차량등 구조부재에 주로 사용되고 있는 Fig. 1과 같은 Al 사각박육부재를 기계가공하여 제작하였다.

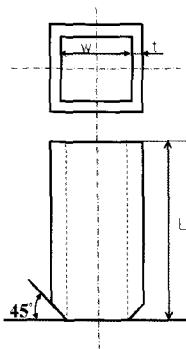


Fig. 1 Configuration of the thin-walled square specimen

Al 박육부재의 재질에는 Al6063(Al-Mg-Si)을 사용하여 4변의 길이가 각각 34mm, 44mm, 54mm이고, 두께는 각각 0.8mm, 1.0mm가 되도록 밀링가공하여 제작하였다. 가공할 때는 관의 내측에 사각기둥의 멘드릴을 넣어 절삭과정에서 발생하는 관의 변형을 억제하였다.

Al 박육부재의 길이는 오일러 좌굴을 일으키지 않으면서 실험 시 압괴가 수주기 반복하여 나타나는데 적합한 길이인 200mm로 사용하여 순차적으로 발생하는 압괴를 통하여 제어기의 영향을 일정하게 평가하려 하였으며, 이를 위해 45° 절삭가공을 하여 초기 트리거를 주었다. 실험에 사용된 시험편의 치수와 기호에 관하여 Table 1과 2에 정리하였다.

2.2 제어기 제작

제어기는 Table 1에 나타난 시험편의 한 변의 길이, 시험편과 제어기 사이의 틈새 (0.2mm)를 고려하여 각각 제작하였고, 제어기의 높이는 10mm, 20mm로 제어기의 두께는 10mm, 20mm로 각각 Fig. 2와 같이 제작하였다.

Table 1 Dimensions of the specimen for square tubes

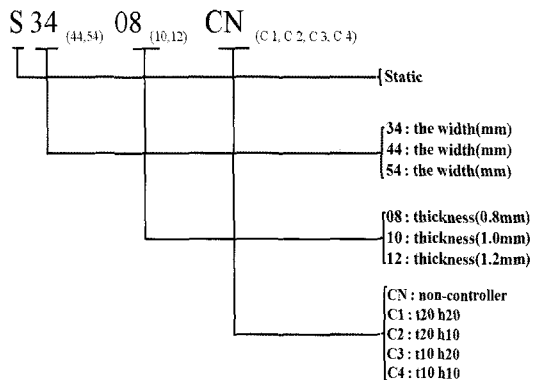


Table 2 Definition of the specimen number

Specimen ID	L(mm)	w(mm)	t(mm)	w/t
S3408	200	34	0.8	0.024
S3410	200	34	1.0	0.029
S4408	200	44	0.8	0.018
S4410	200	44	1.0	0.023
S5408	200	54	0.8	0.015
S5410	200	54	1.0	0.019

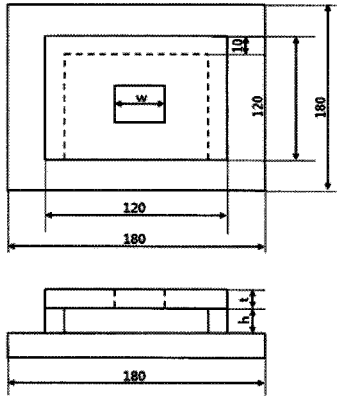


Fig. 2 The controller of energy absorption

에너지흡수능력을 조절하기 위해 제작된 제어기를 이용하여 제어기의 유·무, 제어기의 두께(t), 제어기의 높이(h) 가 에너지흡수에 미치는 영향에 관하여 고찰하였다.

CN은 제어기를 사용하지 않은 경우, C1은 제어기의 상판의 두께가 20mm이고 제어기의 높이가 20mm인 경우, C2는 제어기 상판의 두께가 20mm이고 제어기의 높이가 10mm인 경우, C3은 제어기 상판의 두께가 10mm이고 높이가 20mm인 경우, C4는 제어기 상판의 두께가 10mm이고 높이가 10mm인 경우의 시험편으로 표기하였다.

2.3 실험방법

정적압괴실험은 만능재료시험기를 이용하였으며 축압축 하중을 가하여 길이가 200mm인 시험편이 90mm가 될 때까지 즉 변형량이 110mm가 되도록 압괴시켰다. 압괴실험의 압괴속도는 10mm/min으로 하여 변형률속도의 영향을 받지 않도록 하였으며, 시험편과 가압판 사이에는 기름에 의해 윤활되어 가압판에 의한 양단의 구속을 원활하게 하였고, 가압판 사이에 제어기를 삽입하여 제어기의 영향에 대하여 실험을 실시하였다. 압괴과정에서 하중-변위선도는 변위제어에 의하여 측정하였다.

시험편에 흡수된 에너지흡수량의 계산은 Fig. 3과 같은 압괴실험에서 얻은 하중-변위선도의 면적이 시험편에 흡수되는 에너지라고 생각하여, 하중-변위선도를 식 (1)과 같이 적분하여 부재 내에 흡수된 에너지특성을 평가하는데 이용하였다.

$$E_a = \int_{L_0}^L Fdl \quad (1)$$

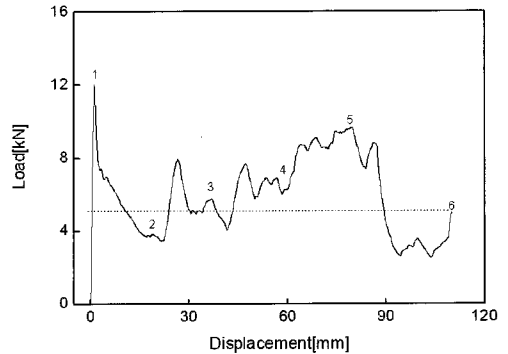


Fig. 3 Load-displacement curve and Collapsed process of specimen

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 시험결과 및 고찰

정적압괴실험에서 얻어진 하중-변위선도로부터 흡수에너지 (E_a), 최대하중 (F_{max}), 평균압괴하중 (F_m)을 구하였다. 평균압괴하중은 흡수에너지를 시험편의 변형량으로 나눔으로써 구할 수 있다. 정적압괴실험을 수행한 결과 대부분의 시험편은 트리거가 있는 쪽으로부터 초기변형이 시작되었으며, 그 후 순차적으로 압괴가 시작될 때에 최대하중에 이른다. 두께에 따라서 최대응력은 다르고 두께가 두꺼운 쪽이 압괴가 시작될 때 초기 최대응력이 크게 나타났다. 평균압괴하중을 시험편의 단면적으로 나누어서 구한 평균응력과 후폭비와의 관계를 Fig. 4에 나타냈다. 후폭비가 클수록 평균응력은 커지는 경향을 보이고 있다.

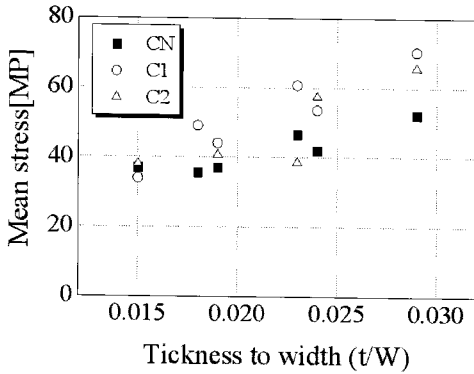


Fig. 4 Relationship between thickness to width and mean stress

3.2 압괴모드

압괴실험에서 나타난 변형모드는 Figs. 5, 6에서 나타난 바와 같이 대칭모드, 비대칭모드 및 혼합모드가 보여지나 어떠한 특별한 관계를 보이지는 않았다. 모드의 특징은 제어기가 없는 경우에는 주로 한가지 모드로 나타났으나 제어기를 설치한 경우에는 혼합모드의 경향을 보이는데 이는 정사각 단면 부재의 변형모드가 모서리부와 측면에서 다르기 때문으로 생각된다.

3.3 흡수에너지-변위선도

정적압괴 실험결과 얻어진 흡수에너지-변위선도를 다음의 Figs. 7~9에 나타냈다.

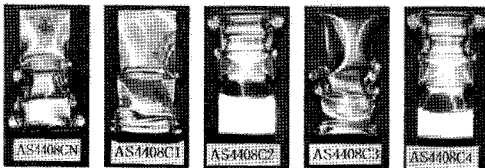


Fig. 5 Shape of collapsed specimen, S4408



Fig. 6 Shape of Collapsed Specimen, S4410

Fig. 7은 폭 34mm, 두께 0.8mm, 1.0mm의 시험편의 경우 흡수에너지-변위선도이다. 제어기의 영향으로 에너지흡수가 높음을 알 수 있었다. 제어기의 높이가 10mm, 20mm인 경우에는 제어기의 영향을 받아 기울기가 급격한 변화를 일으켜 흡수에너지를 향상시키고 있음을 알 수 있었다. 두께가 0.8mm인 시험편의 경우 C1이 C2 보다 흡수에너지가 낮은 이유는 시험편의 찢어짐으로 에너지를 충분히 흡수하지 못한 것으로 보여진다.

Fig. 8은 폭 44mm, 두께 0.8mm, 1.0mm인 경우로서 C1은 제어기에 의한 영향을 확인할 수 있었지만 C3, C4는 초기 변형이 제어기의 위쪽에서 일어난 결과로 제어기가 없는 것과 일치하고 있다. 제어기의 높이가 20mm인 경우 제어기의 영향을 받아 기울기가 급격한 변화를 일으켜 흡수에너지를 향상시키고 있다.

Fig. 9는 폭 54mm, 두께 0.8mm, 1.0mm인 경우로서 두께가 0.8mm인 경우 제어기의 영향을 받고 있으나 제어기의

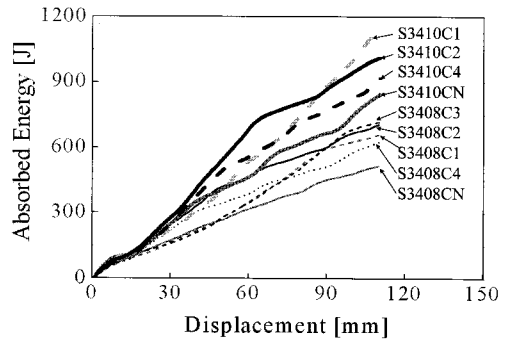


Fig. 7 Relationship between thickness to width and absorbed energy, S34

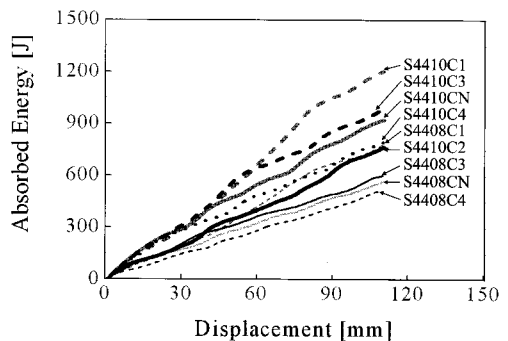


Fig. 8 Relationship between thickness to width and absorbed energy, S44

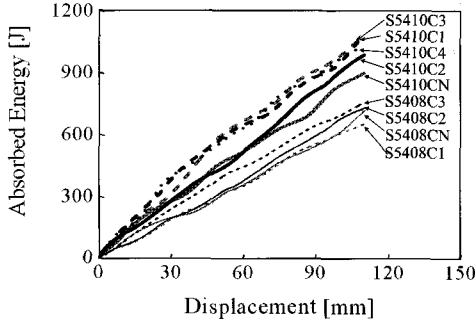


Fig. 9 Relationship between thickness to width and absorbed energy, S54

영향은 미비하게 나타났다. 이는 후폭비가 작아질수록 변형 모드가 다르게 나타나고 또한 모서리부분에 균열이 발생하는데 따른 것으로 생각된다. 두께가 1.0mm인 경우에는 제어기의 영향으로 흡수에너지가 증가하였으나 C2는 제어기의 위쪽에서 압괘가 일어나 제어기의 영향을 받지 못해 CN과 같은 경향을 나타내고 있다. 에너지흡수는 C1, C2, CN순으로 나타났다.

Fig. 10과 Fig. 11에서는 제어기의 높이와 두께에 따른 시험편에 대한 평균하중을 나타냈다. 제어기 설치의 영향으로 평균하중이 증가하였으며, 제어기가 설치된 시험편 중 C1의 경우가 즉, 제어기의 높이가 높고 두께가 두꺼운 경우가 높게 나타난 것을 알 수가 있다. 하지만 S3408C1과 S5408C1의 경우 C2와 C3보다 더 작게 나타난 이유는 시험편에 작용된 제어기의 영향이 미비하여 에너지 흡수 제어가 부족한 것으로 보여진다.

4. 결론

본 연구에서는 충돌시 승객의 안전을 도모할 수 있도록 최적의 구조부재를 개발하기 위해 AI 사각박육부재의 압괘 특성을 조사하였고, 사각박육부재의 에너지흡수 능력을 향상시키기 위하여 제어기를 이용한 압괘실험을 실시하였다.

실험결과 두께가 두꺼운 시험편에서는 축대칭모드가 많은 시험편에서는 비축대칭모드가 지배적이었다.

일부시험편의 경우 압괘 과정에서 제어기를 설치하지 않은 시험편의 위쪽에서부터 압괘가 시작되거나, 시험편의 후폭비에 비례하여 상대적으로 두께가 얇은 시험편의 경우 시험편의 찢어짐이 발생하여 시험편에 설치한 제어기의 영향을 충분히 받지 못하였다.

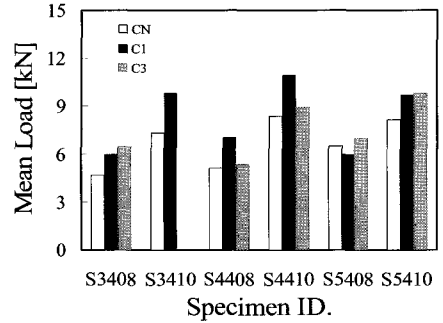


Fig. 10 Relationship between thickness to width and mean load

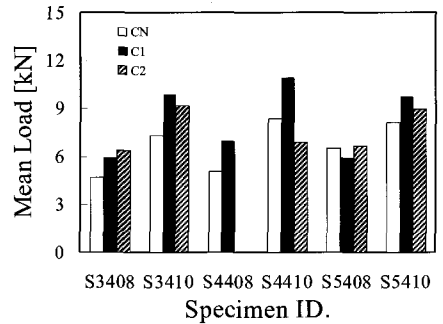


Fig. 11 Relationship between thickness to width and mean load

제어기를 이용한 압괘실험결과 사각박육부재의 에너지흡수량 및 평균압괘하중이 제어기를 사용하지 않은 경우보다 15~20%정도 증가함을 알 수 있었다.

흡수에너지는 제어기의 높이가 높은 쪽에서, 제어기의 두께가 두꺼운 쪽에서 증가하는 경향을 보였고, 흡수에너지의 증가는 후폭비에 의존하는 경향이 크게 나타남을 알 수 있었으며, 동일한 단면적의 경우라도 두꺼운 경우가 단위질량당 흡수에너지가 크게 나타났다.

이상의 실험 결과 사각박육부재의 압괘가 진행되는 과정에 에너지흡수제어기를 사용함으로써 단위면적당 에너지효율을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

후기

이 논문은 2007년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음

참고 문헌

- (1) Abramowicz, W., 1981, "Simplified Crushing Analysis of Thin-Walled Columns and Beams," *Engineering Transactions*, Vol. 29, No. 1, pp. 5~26.
- (2) Abramowicz, W., and Wierzbicki, T., 1986, "On the Crushing Mechanics of Thin-Walled Structures," *J. Appl. Mech.*, Vol. 50, pp. 157~174.
- (3) White, M. D., and Jones N., 1999, "Experimental quasi-static axial crushing of top-hat and double-hat thin-walled ," *International Journal of Mechanical Science*, Vol. 41, pp. 179~208.
- (4) White, M. D., Jones, N., and Abramowicz, W., 1999, "A theoretical analysis for the quasi-static axial crushing of top-hat and double hat thin-walled sections," *International Journal of Mechanical Science*, Vol. 41, pp. 209~233.
- (5) John Fenton, 1996, *Handbook of vehicle design analysis*, Society of automotive engineers, Inc. pp. 9~12.
- (6) Mahood, H. F., and Paluzny, A., 1981, "Design of thin walled Columns for Crash Energy Management-Their Strength and Model of Collapse," *Proc. 4rd Instructural Conference on Vehicle Structural Mechanics*, Nov. 18-20, Dotroit, pp. 7~18.
- (7) Chol, G. H., 1999, "A Study on the Lightweight Design of a Seat Frame in Automotive Vehicles," *Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 8, No. 5, pp. 83~89.