

댐핑재가 도포된 차체 박육부재의 압괴 특성

송 상 기[†] · 박 상 규^{**} · 송 찬 일^{*}

(원고접수일 : 2002년 11월 26일, 심사완료일 : 2002년 12월 27일)

The Collapse Characteristics of Vehicle Thin-walled Members Coated Damping Material

Sang-Keel Song[†] · Sang-Kyu Park^{**} · Chan-Il Song^{*}

Key words : Hat-shaped Thin-walled Member(모자형 단면 박육부재), Impact Test(충격 시험), Energy Absorption Capacity(에너지 흡수 특성), Load-Displacement Diagram(하중-변위 선도), End Effect(단부효과)

Abstract

The purpose of this study is to analyze the collapse characteristics of widely used spot welded section members coated damping material Y1000 and to develop an analysis method for acquiring exact collapse loads and energy absorption ratio. Hat-shaped thin-walled members have the biggest energy absorbing capacity in a front-end collision. The sections were tested on quasi-static and impact loads. Specimens with two type thickness, width ratio and spot weld pitch on the flange have been tested in impact velocities(6.73m/sec and 7.54m/sec) which imitate a real-life car collision. As a result, it was developed the system for acquiring impact energy absorbing characteristics of structure united thin-walled member and damping materials.

기 호 설 명

E_a : Absorbed energy
 E_k : Kinetic energy
 m : Cross head mass
 P : Axial compression load
 v : Impact Velocity

1. 서 론

일반 승용차는 앞부분의 내판이 박육부재로 구성되며 충돌시에 골격부재가 소성변형하여 충돌에너지를 흡수하도록 설계되어 있다. 또한, 차실을 감싼 구조부재는 차체 앞부분이 소성변형하면서 에너지를 흡수하는 동안에 그 자신은 변

[†] 책임저자(순천제일대학 차량기계학부) E-mail : sksong@suncheon.ac.kr, T : 061)740 - 1316

^{*} 조선대학교 전기공학과

^{**} 여수대학교 기계공학과

형되지 않고 차실내의 공간을 유지해야만 한다. 자동차가 충돌할 경우 차체 부재중 사이드 레일이 충돌에너지의 60~70%를 부재의 연속적인 대변형에 의한 소성에너지에 의해 흡수된다. 자동차의 차체구조에 주로 사용되는 모자형 박육 단면부재가 소성변형 되면서 운동에너지를 적절히 흡수하여 승객을 보호하려는 개념의 차체구조 설계에 이용되고 있으며⁽¹⁻³⁾ 충돌할 때 자동차의 구조부재가 소성 변형할 때의 압괴거동을 정확히 파악하고 차체단면 부재의 에너지 흡수 특성을 파악하는 것이 설계의 초기 단계에서 중요한 문제이다⁽⁴⁻⁶⁾. 또한, 자동차 메이커들은 차체 부재에 일정한 두께로 댄핑재를 도포함으로써 각종 진동·소음과 충격을 흡수할 수 있는 완충재들을 많이 개발하여 소비자들의 다양한 욕구 충족에 대비하고 있다. 신물질 특허를 받은 Y1000(주)완진에서 개발한 충격에너지와 진동·소음을 줄이기 위한 물질의 상품명)의 댄핑재에 대한 정적·동적 충격 압괴 특성을 파악하고 기존 차체용 철판에 도포두께 변화에 따른 충격 흡수 에너지에 대한 정확한 근거를 바탕으로 개발되는 각종 자동차의 안정성을 높이기 위한 부재 개발과 충격에너지를 평가할 수 있는 실험적 모색이 필요하게 되었다. 차체 박육부재의 에너지 흡수특성에 관한 연구는 주로 준정적 압괴응력을 이론적으로 해석하였으며⁽⁷⁻¹⁰⁾ 에너지 흡수력을 명확히 하고자 하였으나 압괴과정에서의 하중-변형관계나 재료의 가공정도, 용접부위의 접합여부, 댄핑재료의 도포 두께에 따른 에너지 흡수 특성을 고려한 연구결과는 찾아보기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 충돌시 적절히 에너지를 흡수하여 승객의 안전을 도모할 수 있는 경량화 박육부재의 댄핑재를 평가하고 축방향 하중을 받을 때 압괴특성에 대한 고찰을 바탕으로 충격에너지 흡수 특성을 고려한 경량화 용 차체 구조부재와 댄핑재를 개발할 수 있도록 하고자 한다.

2. 준정적 압괴실험

2.1 시편

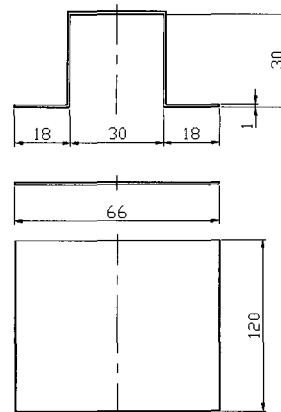


Fig. 1 Configuration of thin-walled specimen.

차체구조부재로 널리 쓰이고 있는 SCP1 냉간 압연강판을 사용하여 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 단일모자형 단면부재를 점용접하여 제작하였다. 단일모자형 단면부재는 두께가 0.8mm, 1.0mm, Y1000 댄핑재의 코팅 두께는 도포하지 않은 것, 1mm 도포, 2mm 도포, 3mm 도포로 각각 코팅하였으며 시험편의 끝부분은 점용접이 가능하지 않기 때문에 시험편 끝부분으로부터 5mm 떨어진 위치에서 22mm씩 용접타점이 상하좌우대칭이 되도록 하였다. 용접조건은 220V, 85A의 전류에서 1.5초 통전으로 모든 시험편에 동일하게 유지하였다. 또한, 시험편의 길이는 오일러 좌굴을 일으키지 않고 실험시 압괴가 수주기 반복하여 나타나는데 충분한 길이인 120mm로 하였다.

2.2 준정적 실험장치 및 방법

SCP1 냉간압연강판의 준정적 압괴실험은 Instron 8260 만능시험기를 이용하였으며, 로드셀과 액츄에이터 사이에 두 개의 압축 지그를 평행이 되도록 설치하고, 변형속도의 영향이 나타나지 않도록 10mm/min 속도로 압축하중을 가하였다. 또한, 실험은 여러번의 예비실험을 실시하여 실험결과의 재현성이 좋도록 하였으며, 실험결과에 단부효과가 나타나지 않고 순차적인 압괴가 주기적으로 발생하도록 시험편 전체의 축방향 길이가 60mm가 될 때까지 즉 변형량이 60mm가 되도록 압괴하였다. 시험편에 흡수된 에너지 흡수량의 계산은 압괴실험에서 얻은 하

중-변위 선도의 사선면적에 해당된다. 따라서, 하중-변위 선도를 다음 식과 같이 적분하여 부재 내에 흡수된 에너지 특성을 평가하였다.

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

여기서, E_a 는 박육부재에 흡수된 에너지, P 는 압괴하중, l_0 는 시험편의 변형전의 길이, l 은 시험편의 변형 후의 길이를 각각 나타낸다.

3. 충격압괴실험

3.1 충격압괴 시험기

준정적 압괴실험에서 사용한 동일한 시험편에 대하여 Fig. 2와 같은 크로스 헤드를 수직방향으로 낙하시키면서 속도를 증가시켜 부재에 충격을 가하는 방식인 공기압 수직식 충격시험장치를 이용하여 충격압괴실험을 행하고 압괴과정에서의 하중 및 변형을 측정하였다.

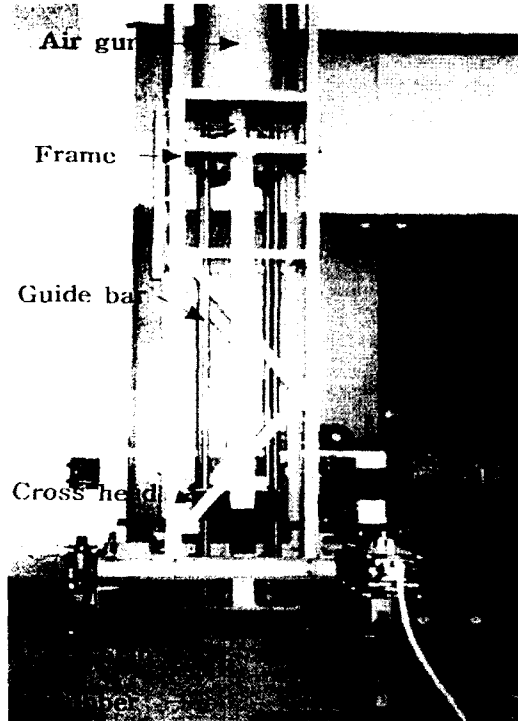


Fig. 2 Impact testing setup for crushing.

3.2 측정시스템 및 실험 방법

충격압괴 시험기는 가속장치에 의해 수직하향으로 가속된 크로스 헤드가 4개의 가이드 바로 안내되어 로드셀 위의 시험편에 충돌하여 압괴하는 방식으로 된 시험기를 사용하였다. 가이드 바를 4개로 하고 크로스 헤드를 2층 구조로 하여 크로스 헤드가 시험편에 편심되어 충격이 가해지는 것을 방지하고 보다 재현성 높은 실험을 할 수 있도록 하였으며 충돌속도와 크로스 헤드의 무게를 고려한 운동에너지를 다음 식과 같이 구하였다.

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 \text{ [J]} \quad (2)$$

충격시험장치의 공기압과 충격속도와의 관계는 각 공기압 상태에서 수차례 실험을 통한 평균값을 사용하여 공기압과 충돌속도와의 관계식을 이용하였다. 충격압괴 실험에서 냉간압연강의 시편두께가 1mm인 경우 5기압(충격속도 7.54m/sec), 시편 두께가 0.8mm인 경우 3.5기압(충격속도 6.73m/sec)의 압력으로 실험하였다^[11].

시험편에 작용하는 충격하중은 로드 셀에 부착된 반도체 스트레인 게이지의 충돌시 변형 변화를 하중으로 환산하여 결정하였다. 시험편의 압괴 시간변화 즉 변위의 측정은 크로스 헤드에 부착한 표적의 이동거리를 광학식 변위계(ZIMMER OHG사, 100F)를 사용하여 측정하였다. 광학식 변위계는 광학 렌즈를 이용하여 렌즈 내에 있는 표적의 백색부와 흑색부의 경계선의 변위량을 전압 변화로 환산하는 것이며, 렌즈를 교환하여 측정 가능한 변위량을 변화시킬 수 있다. 충격 압괴실험도 준정적 압괴실험과 마찬가지로 압괴 과정에서의 변형 및 하중을 계측하였다. 압괴가 진행되고 있는 동안 시험편의 변형량과 크로스 헤드의 이동량은 일치하므로 크로스 헤드에 부착된 표적의 움직임을 광학식 변위계로 비접촉으로 계측하여 변형 데이터를 구하였다. 시험편의 두께변화와 Y1000의 도포량에 따라 흡수에너지와 압괴하중을 구할 수 있는

실험을 하였다. 본 연구에서는 크로스 헤드가 시험시편에 떨어진 운동에너지가 일정하므로 작용한 운동에너지와 변형된 길이로 에너지 흡수 특성을 고찰하였다.

4. 압괴실험 결과

4.1 준정적 압괴실험

SCP1 냉간압연강판 모자형 박육 시편두께가 0.8mm, 1.0 mm일 때 각각 다른 3개의 시편에 대한 준정적 실험 결과 얻어진 하중-변위 선도를 Fig. 3과 Fig. 4에 각각 나타내었다.

SCP1 냉간압연강판의 시편두께에 따른 각 시편에 대한 정적 압축시험에서의 흡수에너지 값과 평균하중 값에 대한 결과를 Table 1에 정리하였다.

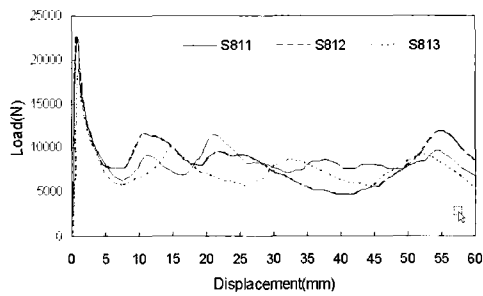


Fig. 3 Static load-displacement characteristics for the hat-shaped member (SCP1, 0.8t, 1mm).

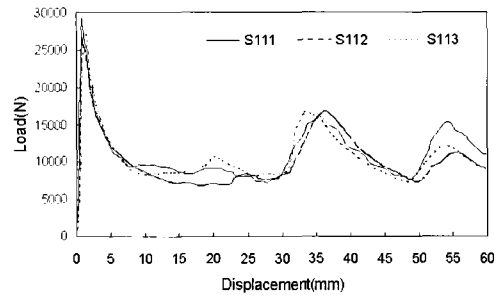


Fig. 4 Static load-displacement characteristics for the hat-shaped member (SCP1, 1.0t, 1mm).

Table 1 Energy absorption abilities under static oading

| Material | Thickness | Specimen | Energy (J) | Meanenergy (J) | Absorbed energy (%) | Mean load (N) | Total mean load (N) |
|--------------|-----------|----------|------------|----------------|---------------------|---------------|---------------------|
| Scp1 0.8t | 0mm | S801 | 435.003 | 444.646 | - | 3883.92 | 4008.70 |
| | | S802 | 426.898 | | | 3811.55 | |
| | | S803 | 472.037 | | | 4330.62 | |
| | 1mm | S811 | 515.360 | 491.154 | 10.5% | 4642.86 | 4448.69 |
| | | S812 | 505.894 | | | 4476.93 | |
| | | S813 | 452.208 | | | 4226.27 | |
| | 2mm | S821 | 463.529 | 462.013 | 3.9% | 3995.92 | 4115.49 |
| | | S822 | 458.849 | | | 4096.83 | |
| | | S823 | 463.660 | | | 4253.73 | |
| 3mm | S831 | 465.017 | 464.483 | 4.5% | 4079.08 | 4174.04 | |
| | S832 | 452.144 | | | 4073.39 | | |
| | S833 | 476.289 | | | 4369.65 | | |
| Scp1 1.0t | 0mm | S101 | 618.105 | 625.341 | - | 5238.32 | 5268.75 |
| | | S102 | 654.379 | | | 5453.18 | |
| | | S103 | 603.540 | | | 5114.76 | |
| | 1mm | S111 | 671.643 | 637.617 | 2% | 5644.02 | 5432.20 |
| | | S112 | 605.409 | | | 5264.41 | |
| | | S113 | 635.798 | | | 5388.17 | |
| | 2mm | S121 | 627.161 | 675.745 | 8% | 5270.29 | 5932.93 |
| | | S122 | 788.964 | | | 7305.27 | |
| | | S123 | 611.111 | | | 5223.22 | |
| | 3mm | S131 | 627.925 | 740.687 | 18.4% | 5366.89 | 6450.20 |
| | | S132 | 751.634 | | | 6593.31 | |
| | | S133 | 842.502 | | | 7390.39 | |

4.2 충격 압괴실험

Fig. 2와 같은 공기압 가속식 충격시험기를 이용한 충격 압괴실험에서 최대 압괴하중은 원통 박육부재를 충격 압괴할 때 초기에 생기는 피크 점에서 나타났다. 충격에너지는 식 (2)와 같이 크로스 헤드의 운동에너지와 동일하므로 속도 6.73m/sec에서 904.55J, 속도 7.54m/sec에서 1136.64J이다. 충격에너지는 Table 2에 시편두께 0.8mm, 1.0mm, 도포두께 0mm, 1mm, 2mm, 3mm에 따라 압괴된 길이로 충격흡수율을 계산하였다.

5. 실험결과 및 고찰

준정적 압괴실험 결과를 흡수에너지 평균 압괴하중과 압괴모드에 대하여 고찰하였다. 흡수 에너지는 압괴실험에서 얻은 하중-변위선도를 적분하여 구하였고, 그 값을 압괴길이 60mm로 나눔으로서 평균하중을 구하였다. 일반적으로 최대 압괴하중은 박육시험편을 압괴할 때 초기에 생기는 피크점에서 나타났다.

두께가 0.8mm와 1.0mm SCP1의 준정적 압괴

Table 2 Energy absorption abilities under dynamic loading

| Specimen | Impact velocity Absorbed energy | Coating Thickness (mm) | Deformed length (mm) | Mean length (mm) | Impact absorbing ratio |
|-------------|---------------------------------|------------------------|----------------------|------------------|------------------------|
| SCPI (0.8t) | V = 6.73 (m/sec) 1056.33[J] | 0 | 83,76,82,73,74 | 77.6 | - |
| | | 1 | 67,70,78,79,76 | 74 | 4.6% |
| | | 2 | 65,68,70,68,65 | 67.2 | 13.4% |
| SCPI (1.0t) | V = 7.54 (m/sec) 1136.64[J] | 0 | 66,65,70,64,65 | 66 | 14.9% |
| | | 1 | 53,64,63,56,59 | 59 | - |
| | | 2 | 61,56,53,55,50 | 55 | 6.8% |
| | | 3 | 56,52,56,54,55 | 54.6 | 7.5% |
| | | 3 | 46,45,53,48,45 | 47.4 | 19.7% |

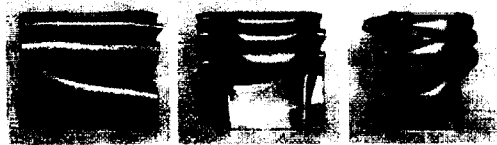


Fig. 5 Shape of collapsed specimen.

실험에서 압괴 후 나타난 Fig. 3과 Fig. 4로부터 압괴과정을 관찰해 보면 순차 압괴의 최초 주름이 형성될 때 하부 쪽이 상부보다 짧기 때문에 주름의 상하부가 동시에 압괴된 주름 부분에 접촉하는 것이 아니라 아래쪽이 먼저 접촉하면서 하나의 피크가 나타나고, 상부의 주름이 접촉했을 때 다시 또 한번의 피크가 나타났다. 따라서 하나의 주름은 주름이 형성되는 초기에 작은 피크부가 생기고 주름이 완성될 때 큰 피크부가 생겼다고 볼 수 있다. 이러한 경향은 두께가 두꺼울수록 뚜렷하게 나타나며 압괴 전반부에서 잘 나타나고 점차 사라지면서 비축대칭모드가 나타났다. 비축대칭 모드에 나타난 특징 중 하나인 주름 외곽의 돌출부는 평균적으로 Fig. 5와 같은 압괴 실험결과와 같이 3~4개가 형성되었다. 대체적으로 SCP1의 압축시험은 안정적으로 이루어졌으며 Table 1에서 보듯이 SCP1을 시편두께 0.8t에 도포두께 1mm(10.5%), 2mm(3.9%), 3mm(4.5%), 시편두께 1.0t에 도포두께 1mm (2%), 2mm (8%), 3mm(18.4%)로 0.8t는 1mm 도포가 가장 좋았으며 1.0t는 3mm 도포가 가장 큰 효과를 나타내고 있다. SCP1의 도포두께가 1mm일 때 도포 두께에 따라 에너지 흡수율이 커짐을 알 수 있다. 이는 박육부재의 형상과 두께에 따라 에너지 흡수율에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

또한, 충격압괴 실험에 의한 흡수에너지의 평균값을 구해보면 약 96%가 충격 압괴시 시험편이 변형하는데 소요된다. 약 4%는 압괴시 시험편의 반발에너지, 마찰에너지, 열에너지 그리고 소음에너지 등으로 소실되었다고 생각된다. SCP1의 변형된 길이로 인한 충격흡수율은 Table 2에서 나타내듯이 시편두께가 0.8mm, 도포두께가 1mm일 때 4.6%, 2mm일 때 13.4%, 3mm일 때 14.9%, 시편 두께가 1.0mm일 때 도포두께가 1mm는 6.8%, 2mm는 7.5%, 3mm는 19.7%의 충격흡수율을 나타내고 있다. 준정적 압괴 실험보다 충격실험에 대한 에너지 흡수율이 도포두께에 따라 증가하는 경향을 보이고 있다.

6. 결 론

자동차가 충돌할 때 에너지를 적절하게 흡수하는 냉간압연강판의 모자형 박육부재의 형상변화와 자동차 충돌시 진동·소음·충격을 완화하기 위해 개발된 댐핑재 Y1000의 도포두께 변화에 따른 모자형 박육부재의 준정적 및 충격 압력실험을 행하여 충격에너지 흡수특성과 변형길이로 인한 충격흡수율에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모자형 박육부재의 준정적 압력실험에서 냉간압연강판의 에너지 흡수율은 시편의 두께 0.8mm, 댐핑재의 도포두께 1mm일 때와 시편의 두께 1.0t, 도포두께 3mm일 때가 가장 크게 나타났다.

2. 모자형 박육부재의 충격실험은 시편의 두께와 댐핑재의 도포두께 변화에 대하여 준정적 압력실험보다 안정된 에너지 흡수를 보이며 댐핑재의 도포 두께에 따라 에너지 흡수율이 증가함을 알 수 있다.

3. 냉간압연강판의 충격실험 결과 시편두께가 0.8mm일 때 5~15%, 1.0mm일 때 7~20% 까지 댐핑재의 도포 두께에 따라 증가함을 알 수 있다.

후 기

“이 논문은 2000년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음”

참 고 문 헌

1. 山屋 雅敏, 谷 正紀, 1971, 薄板箱形部材の 塑性變形による エネルギー 吸収, 三菱重工技報, Vol.8, No.1, pp. 124~130.
2. W. Johnson and A. G. Malis, 1978, Crashworthiness of Vehicles, Mechanical Engineering Publications, London.
3. N. Jones, T. Wierzbicki, Eds, 1983 Structural Crashworthiness, Butterworths, London.
4. 綾紀元, 高橋邦弘, 1974, 車體の エネルギー 吸収特性, 日本自動車技術會 論文集, No.7, pp. 60~66.
5. 石井 義唯, 1991, 衝突による 薄肉圓筒の 塑性座屈に關する 實驗的研究, 東京工業大學 修士論文.
6. W. Abramowicz, T. Wierzbicki, 1983, On the crushing mechanics of thin-walled structures, J. Appl. Mechanics. Vol. 50, pp. 727~734.

7. T. Wierzbicki, 1986, Crushing analysis of metal honeycombs, Int. J. Impact Engineering, Vol.1, No.2, pp. 157~174.
8. N. Jones, 1989, Structural Impact, Cambridge university press, London.
9. Johnson, S. R. Reid, 1978, Metallic Energy Dissipating Systems, Applied Mechanic Reviews. Vol. 31, pp. 277~288.
10. Batterman, S. C., 1965, Plastic buckling of axially compressed cylindrical shells, AIAA Journal, 3, P. 316.
11. C. S. Cha, 2000, Evaluation of impact collapse characteristics in vehicle members having thin-wall section. Graduate School of Chosun University, Ph.D Thesis.

저 자 소 개



송찬일(宋燦日)

1937년 9월생. 1964년 조선대학교 전기공학과 졸업. 1968년 조선대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 1983년 현재 조선대학교 전기공학과 교수.



박상규(朴相圭)

1960년 5월생. 1981년 조선대학교 금속대정밀기계공학과 졸업. 1983년 인하대학교 기계공학과 졸업(공학석사). 1989년 인하대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학박사). 1991년~현재 여수대학교 기계공학과 부교수. 당학회 중신회원.



송상기(宋商基)

1960년 4월생. 1983년 조선대학교 기계공학과 졸업. 1985년 인하대학교 기계공학과 졸업(공학석사). 1994년 인하대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학박사). 1993년 현재 순천제일대학 차량기계학부 조교수.