creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000236675

2008년 8월
석사학위논문

차체사이드부재의 충격 흡수 능력에 관한 연구

조 선 대 학 교 대 학 원

기계설계공학과

박 준 우

차체사이드부재의
충격 흡수 능력에 관한 연구

A study on the crashworthiness capacity
of vehicle side member

2008 년 *8* 월 *25* 일

조 선 대 학 교 대 학 원
기계설계공학과
박 준 우

차체사이드부재의
충격 흡수 능력에 관한 연구

지도교수 양 인 영

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함.

2008 년 *4* 월 일

조 선 대 학 교 대 학 원

기계설계공학과

박 준 우

박준우의 석사학위 논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 정 낙 규 ㊞

위 원 조선대학교 교수 양 인 영 ㊞

위 원 조선대학교 교수 김 지 훈 ㊞

2008 년 *5* 월 일

조 선 대 학 교 대 학 원

목 차

LIST OF TABLES ..... Ⅰ
LIST OF FIGURES ..... Ⅱ
LIST OF PHOTOGRAPHS ..... Ⅳ
ABSTRACT ..... Ⅴ

제 *1* 장 서 론 1
제 1 절 연구배경 1
제 2 절 연구동향 5
제 3 절 연구목적 및 방법 8

제 *2* 장 시험편 및 제작방법 10
제 1 절 시험편 10
제 2 절 제작방법 14
1. 단면 형상 변화에 따른 시험편의 종류 15
2. 단면적 비에 따른 단일 모자형 시험편의 종류 17

제 *3* 장 압궤실험 19
제 1 절 정적압궤실험 19
1. 단면형상 변화에 따른 단면부재 21
2. 단면적 비 변화에 따른 단면부재 30

제 2 절 충격압궤실험 ····· 37
1. 단면형상 변화에 따른 단면부재 ····· 43
2. 단면적 비 변화에 따른 단면부재 ····· 48

제 4 장 결과 및 고찰 ····· 52
제 1 절 단면형상 변화에 따른 압궤특성 ····· 53
제 2 절 단면적 비 변화에 따른 압궤특성 ····· 56

제 5 장 결 론 ····· 59

참 고 문 헌 ····· 61

LIST OF TABLES

Table 1 Prospect of materials for vehicles' components ····· 4
Table 2 Classification and Characteristic of CR ····· 12
Table 3 Usage and necessary property of CR ····· 13
Table 4 Mechanical properties of SCP1 in uniaxial direction ····· 14
Table 5 Dimensions of test specimens having different cross-sectional configuration ····· 16
Table 6 Dimensions of TH specimens ····· 18
Table 7 Specification of strain gage used for impact test ····· 42
Table 8 Static crushing test results for specimens having different cross-sectional configuration ····· 54
Table 9 Impact crushing test results for specimens having different cross-sectional configuration ····· 55
Table 10 Static crushing test results for specimens having different cross-sectional ratio ····· 57
Table 11 Impact crushing test results for specimens having different cross-sectional ratio ····· 58

LIST OF FIGURES

Fig. 1 Examples of collapse patterns for various cylindrical structures at height reduction of 50% ····· 6
Fig. 2 Thin-walled grooved tube ····· 6
Fig. 3 Crush pattern of axial impact on foam-filled tube ····· 6
Fig. 4 Spot-weld peel test ····· 7
Fig. 5 Bonded specimens after tests ····· 7
Fig. 6 Component parts of a vehicle ····· 9
Fig. 7 Four types of specimens including flanges ····· 15
Fig. 8 Three types of TH specimens ····· 17
Fig. 9 Load-Deformation history for TTH (Thickness of 1㎜, Top-Triangle-Hat section, Static) ····· 22
Fig. 10 Load-Deformation history for TH2 (Thickness of 1㎜, Top-Hat section, Static) ····· 24
Fig. 11 Load-Deformation history for DTH (Thickness of 1㎜, Double-Triangle-Hat section, Static) ····· 26
Fig. 12 Load-Deformation history for DH (Thickness of 1㎜, Double-Hat section, Static) ····· 28
Fig. 13 Load-Deformation history for TH1 (Ratio of cross sectional area of 1.21, Top-Hat section, Static) ····· 31
Fig. 14 Load-Deformation history for TH2 (Ratio of cross sectional area of 2.11, Top-Hat section, Static) ····· 33

Fig. 15 Load-Deformation history for TH3
(Ratio of cross sectional area of 4.22, Top-Hat section, Static) ····· 35
Fig. 16 Impact test setup ····· 40
Fig. 17 Mechanism of impact test for optimization ····· 41
Fig. 18 Sample of special 4-gage method ····· 42
Fig. 19 Load-Deformation history for TTH
(Thickness of 1㎜, Top-Triangle-Hat section, Impact) ····· 44
Fig. 20 Load-Deformation history for TH2
(Thickness of 1㎜, Top-Hat section, Impact) ····· 45
Fig. 21 Load-Deformation history for DTH
(Thickness of 1㎜, Double-Triangle-Hat section, Impact) ····· 46
Fig. 22 Load-Deformation history for DH
(Thickness of 1㎜, Double-Hat section, Impact) ····· 47
Fig. 23 Load-Deformation history for TH1
(Ratio of cross sectional area of 1.21, Top-Hat section, Impact) ····· 49
Fig. 24 Load-Deformation history for TH2
(Ratio of cross sectional area of 2.11, Top-Hat section, Impact) ····· 50
Fig. 25 Load-Deformation history for TH3
(Ratio of cross sectional area of 4.22, Top-Hat section, Impact) ····· 51
Fig. 26 Energy absorption characteristics per specimen
made of various shapes ····· 54
Fig. 27 Comparison of absorbed energy with total energy ····· 55
Fig. 28 Energy absorption characteristics per TH specimen ····· 57
Fig. 29 Comparison of absorbed energy with total energy ····· 58

LIST OF PHOTOGRAPHS

Photo. 1 Equipment for static tests (Universal Testing Machine) ····· 20
Photo. 2 Crush pattern after axial static test on TTH specimen ····· 22
Photo. 3 Views of the progressive collapse of TTH specimen ····· 23
Photo. 4 Crush pattern after axial static test on TH2 specimen ····· 24
Photo. 5 Views of the progressive collapse of TH2 specimen ····· 25
Photo. 6 Crush pattern after axial static test on DTH specimen ····· 26
Photo. 7 Views of the progressive collapse of DTH specimen ····· 27
Photo. 8 Crush pattern after axial static test on DH specimen ····· 28
Photo. 9 Views of the progressive collapse of DH specimen ····· 29
Photo. 10 Crush pattern after axial static test on TH1 specimen ····· 31
Photo. 11 Views of the progressive collapse of TH1 specimen ····· 32
Photo. 12 Crush pattern after axial static test on TH2 specimen ····· 33
Photo. 13 Views of the progressive collapse of TH2 specimen ····· 34
Photo. 14 Crush pattern after axial static test on TH3 specimen ····· 35
Photo. 15 Views of the progressive collapse of TH3 specimen ····· 36
Photo. 16 Crush pattern after axial impact test on TTH specimen ····· 44
Photo. 17 Crush pattern after axial impact test on TH2 specimen ····· 45
Photo. 18 Crush pattern after axial impact test on DTH specimen ····· 46
Photo. 19 Crush pattern after axial impact test on DH specimen ····· 47
Photo. 20 Crush pattern after impact static test on TH1 specimen ····· 49
Photo. 21 Crush pattern after impact static test on TH2 specimen ····· 50
Photo. 22 Crush pattern after impact static test on TH3 specimen ····· 51

ABSTRACT

A study on the crashworthiness capacity of vehicle side member

Park Jun Woo
Advisor : Prof. Yang, In-Young, Ph. D.
Dept. of Mechanical Design Engineering
Graduate School of Chosun University

In modern society, drivers and engineers take carefully into account the safety capacity as well as the main function of the vehicles that is to transport passengers or goods as they purchase and produce them. The top-hat cross-section is the most commonly used side member in vehicles. In order to help automakers design the optimum devices and develop the production technologies for such structures, it is very important to look into their collapse properties and histories. In this study, the valid physical meanings such as absorbed energy and mean crushing load of specimens containing spot-welds are experimentally studied. Static and dynamic normal crushing tests have been respectively conducted on the materials which have different configurations; top-triangle, double-triangle, and double-hat thin-walled sections. Same tests have been also carried out on different cross-sectional area ratios in TH. Each of the post-test results including load-displacement curves is compared and the superior

energy absorption capacity is determined.

Objects including vehicles, aircrafts, and ships consist of a number of components and they perform their own roles in each part. Although a car is one of the preferred means of transportation, with the increment of car accidents pessengers' interest in safety gets increasing day after day. As a result of that, skilled engineers are trying to advance the existing items and develop the new efficient materials.

In order to conduct static and dynamic axial crushing tests on four kinds of specimens(top-triangle-hat, top-hat, double-triangle-hat, and double-hat) which were manufactured by welding the top and bottom part. There are six spot-welds per sample, the diameter is 6mm and distance between spot-welds is 22mm.

The static tests were carried out on the Universal Testing Machine at a continuous speed of 10mm/min and test specimens were crushed by controlling the displacement up to 70mm out of total length at ambient temperature.

To acquire important results of impact tests, the crosshead of 40kg has been vertically shot into a substance on the load cell at a speed of 7.19m/s repeatedly. The computer controlled optical displacement transducer 100F, ZIMMER, supplied the amount of axial deformation and impact load was measured using strain gauges attached to the load cell.

Energy absorption of the specimens on both static and dynamic tests could be computed by obtaining the area of load-deformation curves. It also means that the energy absorption is equal to the mean crush load times the total deformation. In experiments on the impact axial crushing, we assumed that materials on the load cell entirely absorb E_I(Impact energy) that is a theoretical value. However, post-test results were approximately 4% less than expectation .It may be thought that friction taking place between the cross head and vertical axis deprived specimens of the energy.

The DH has the highest amount of energy absorption in static tests and absorbs the similar energy in spite of less deformation than others in impact tests. That is to say, it means that DH members have the highest strength among tested ones. However, they did not show the regular progressive collapse mode such as TH which is widely used for frontal-crash protection of vehicles. DH structures will be very helpful for side member providing that they have stable lobes and make an effective deformation configuration barring deteriorating strength.

제 1 장 서 론

제 1 절 연구배경

오늘날 널리 사용되고 있는 내연기관을 탑재한 형태의 자동차는 19세기 말에 이르러서야 실용화가 되었지만, 사람과 물자의 교류 및 다양한 형태의 정보의 교환을 특징으로 하는 현대사회의 자동차에 대한 의존도는 더욱 심화되고 있으며, 이에 따른 교통 정체, 유해 배출 가스의 증가, 불필요하게 낭비되는 에너지, 교통사고로 인한 인명 손실 등의 산적한 문제를 야기시키고 있다. 이 중 교통사고로 인한 부상자 치료비, 자동차 수리비 등으로 지출되는 경제적 손실이 우리나라의 경우 1년에 약 11조원에 달하며, 교통사고로 인하여 매년 610만 명의 사람이 다치고, 16만 명 이상이 목숨을 잃고 있는 실정이므로, 소비자들이 자신의 안전에 대하여 높은 관심은 나날이 증가하고 있다. 따라서 미래형 자동차 기술 중에서 자동차에 각종 안전장치 및 사고예방 시스템 장착을 통한 안전도 향상을 높이는 것은 가장 중요하고 시급하게 풀어야 할 과제이다.

자동차의 설계에 있어서 조정안전성, 정숙성, 쾌적성, 승차감 등 제품으로서의 소비자의 욕구를 충족시키고, 법규로 정해진 규격에 적합하면서 전체적인 차량성능을 최대화하는 것은 매우 중요하다. 이러한 성능 중 충돌 시에 승객을 보호하는 능력을 충돌안전성능이라 하는데 충돌조건, 차량구조, 승객 구속장치 등의 요건으로 결정된다. 1968년 미국의 연방 자동차 안전기준이 공고되면서 이에 의한 안전시험이 요구됨으로서 각국은 신차 개발 비용의 절감을 위하여 설계단계에서 차체의 충돌안전성을 고려하지 않을 수 없게 되었다. 예를 들면, 자동차의 정면충돌 시 승객이 타고 있는 객실부의 변형은 승객의 안전이 확보되도록 설계되어야 한다. 일반적으로 승용차의 차체구조에서 정면 또는 후면 충돌 시 대부분의 에너지를 종부재가

받게 됨으로 엔진 레일, 사이드 멤버 등의 종부재들은 정규부하를 지지하는 것 이외에 충돌에너지의 흡수특성을 고려하여 설계되어야 한다. 따라서 신차개발이나 모델의 변경 등을 시도하기 위하여, 종부재의 충돌특성에 대한 예측은 차체의 강도해석과 함께 차량의 설계 시 필수적이며 중요한 문제이다.

승용차의 차체는 일체 구조, 프레임 부착 구조, 스페이스 프레임 구조의 세 가지로 크게 나누어지는데, 현재는 대부분이 일체 구조로 개발되고 있다. 일체 구조로 된 차량들의 경우 각종 성능 향상과 중량 감소를 동시에 만족시키기 위하여 고장력 강판, TWB(Tailor Welded Blank) 등을 적용하는 것이 현재의 추세이다. 스포츠 차량과 경주용 차량 등 특수 차량에서나 볼 수 있는 스페이스 프레임 차량의 경우 폭스바겐에서 일반 승용차에 적용하여 개발하였고, 알루미늄 스페이스 프레임을 이용하면서 각 조인트 부분이나 도어 등이 장착되는 부분은 다이캐스팅 공법으로 개발된 A2가 아우디에서 개발되었다. 이 예에서 보듯이 현재의 차체개발은 기존의 제작 방법의 틀을 벗어나 중량 및 각종 성능을 만족하게 하는 새로운 시도가 계속되고 있다. 차체의 각 부분마다 만족하여야 할 성능에 맞추어 제작 공법을 선택 적용하고 있으며 재질도 각 부위의 특성에 따라 Table 1과 같이 알루미늄, 마그네슘, 플라스틱, 고장력강, 일반강 등이 적용되고 있다. 여러 가지 재질을 혼용하여 사용하게 되거나 부품이 제작된 방법이 다를 경우에는 일반적으로 사용되고 있는 점 용접이나 볼트 체결 방법은 불가능하거나 비효과적이기 때문에 레이저 용접, 아크 용접, 볼트, 점 용접, 리벳 등을 혼합하여 사용하는 방법이 시도되고 있다. 차체를 구성하는 부품을 성형하는 방법에서도 마찬가지로 스탬핑, TWB 스탬핑, 하이드로 포밍, 벤딩, 주조, 인발, 사출 등 여러 가지가 사용되고 있다.

일반적으로 차체는 차량을 구성하는 구조부재나 패널류로써 엔진이나 현가장치 등 주행 시 필요한 계기류, 시트 등이 탑재되어 차량으로 구성된다. 차체 앞부분은 엔진이나 현가장치를 지지하고 여러 보조 기기류를 격납하는 역할도 하지만, 전면 충돌 시 에너지를 흡수할 수 있는 구조로 되어야 한다. 많은 차량에서는 차체 앞부

분의 내판을 모자형 단면형상의 강도부재로 구성하여 충돌사고 시 전면부 골격부재는 소성 변형하여 충돌에너지를 흡수하도록 설계하고 있다. 또한, 차실을 감싼 구조부재는 차체 앞부분이 소성변형하면서 에너지를 흡수하는 동안에 그 자체는 변형되지 않고 실내의 공간을 유지하도록 설계하고 있다. 즉, 차량 실내의 구조부재는 에너지흡수라고 하는 관점과 차체 앞부분으로부터 전달된 하중을 흡수·분산을 통하여 실내의 변형이 적게 되도록 설계된다. 특히, 차량의 초기설계 단계에서는 차량전체의 전면충돌 안전성능을 예측하기 전에 전면부 사이드부재와 같이 충돌시 에너지흡수량이 크고, 간단한 구조부재에 대한 압궤거동과 에너지흡수 특성을 정확히 파악하는 것이 중요한 문제이다. 이와 같은 요구에 부응하기 위하여 수송기계의 강도부재로 사용되고 있는 구조부재의 압궤특성에 대한 연구는 여러 가지 재질과 다양한 단면형상에 대해서 행해지고 있으며, 축 하중을 받는 강도부재의 압궤가 진행되는 과정 중에 하중-변형관계나 압궤모드를 고려한 최적의 구조부재를 구하기 위한 연구결과는 매우 중요한 자료이다. 또한, 차량 전면충돌 시 충격을 최소한 줄여 인명피해를 막을 수 있도록 자동차 전면의 사이드부재에 에너지 흡수성이 뛰어난 구조와 재료를 사용하여, 승차공간의 변형을 최대한 억제하고 승객의 안전을 보장하려는 개념이 차체구조부재 설계에 이용되어야 한다, 따라서, 차량설계의 초기단계에서 차체구조부재의 압궤특성을 정확히 인지하여 구조검토를 효과적으로 행하기 위한 해석방법의 개발이 중요한 과제라고 생각된다.

Table 1. Prospect of materials for vehicles' components

자동차	2002년				2007년			
	철	플라스틱	알루미늄	기타	철	플라스틱	알루미늄	기타
Door	85	5	3	7	80	10	8	2
Front Door	84	10	3	3	75	75	15	5
Hood	86	5	10	-	70	10	14	6
Rear Deck	90	3	6	1	75	10	10	5
Rear Quarter Panel	90	2	2	6	75	5	5	5
Roof	95	1	1	2	90	4	5	1

제 2 절 연구동향

차체의 강도부재로 사용되고 있는 구조부재를 토대로 국내·외적으로 박육부재의 다양한 단면형상에 대한 정적·동적 압궤 특성에 이론, 실험 및 수치 모의실험에 대한 연구가 널리 행해지고 있다.

예를 들면, M.D. White, N. Jones, W 등은 모자형 단면과 이중모자형 단면에 대한 이론해석 및 정적압궤 실험을 행한 후 대칭모드 및 비대칭모드의 형상 제안과 부재들의 에너지 흡수 측면을 고찰하였다.[1-2] Minoru Yamashita, Manabu Gotoh 등은 Fig. 1과 같이 두께 및 모서리 수 변화에 따른 수치 모의실험 후 효과적인 단면부재를 예측하였다.[3] 또한, S.J. Hosseinipour는 Fig. 2와 같은 박육부재 안에 홈을 만들어 정적 압궤실험을 행한 후 홈이 없는 부재와의 실험결과를 비교·고찰하였고,[4-5] H.R. Zarei와 M. Kröger는 박육부재 안에 폼재를 채워서 충격 압궤실험(Fig. 3)을 행한 후 폼재의 영향을 고려하였다.[6]

이와 더불어 압궤실험 시 용접부의 영향을 알아보기 위하여 F. Schneider와 N. Jones는 압궤 실험 전 샘플을 제작하여 peel test(Fig. 4)를 하였으며,[7] G. Belingardi, L. Goglio 등은 용접이음이 아닌 접착제를 사용하여 제작한 구조부재에 대하여 충격 압궤실험(Fig. 5)을 행한 후 시험편의 에너지 흡수 측면에 대해 고찰하였다.[8]

이상의 많은 실험들은 다양한 형상의 구조부재중 가장 효율적인 부재를 선택하고, 리벳, 용접 등 뿐만 아니라 이음효율이 좋은 재료를 선택하고자 한다.

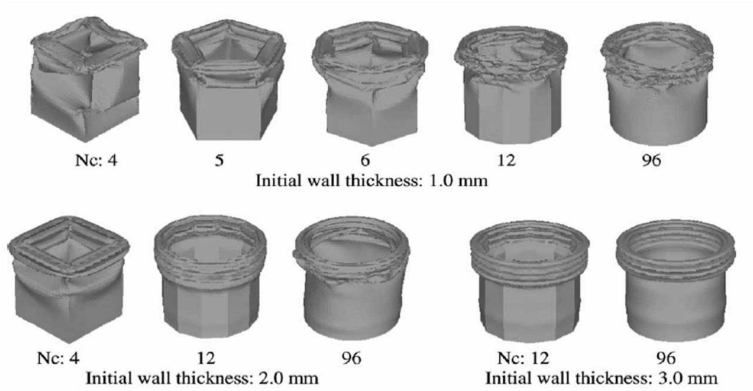


Fig. 1 Examples of collapse patterns for various cylindrical structures at height reduction of 50%.

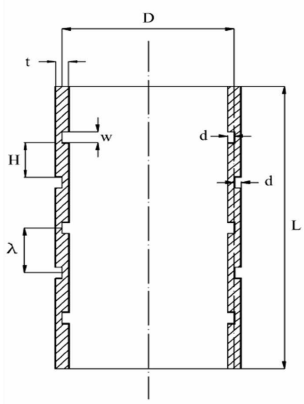


Fig. 2 Thin-walled grooved tube.

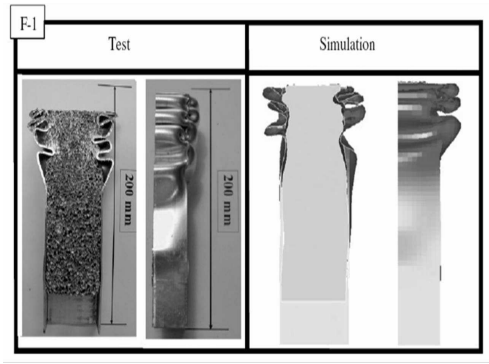


Fig. 3 Crush pattern of axial impact on foam-filled tube.

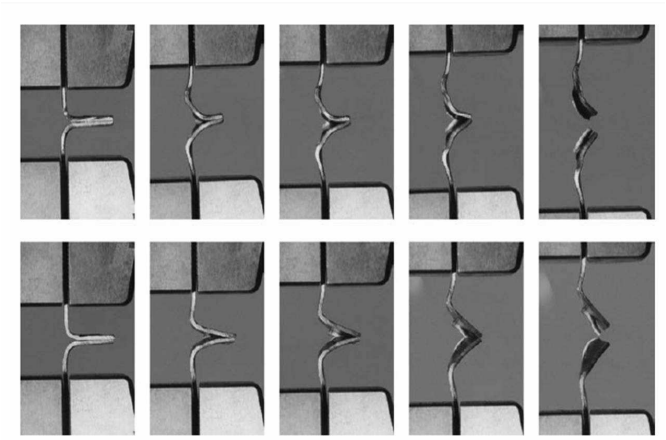


Fig. 4 Spot-weld peel test.

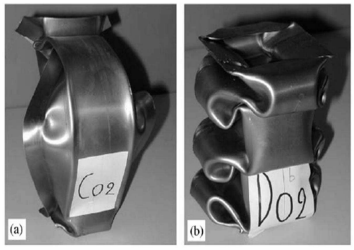


Fig. 5 Bonded specimens after tests.

제 3 절 연구목적 및 방법

모자형 단면 점용접부재를 축 방향으로 압궤시키면 상자형 단면부재와 다른 변형거동이 나타나는데 이러한 충돌현상의 메커니즘을 해석하는 것은 구조물의 충돌특성을 이해함과 동시에 차량설계의 초기 단계에서 필요로 하는 안전설계의 자료를 얻을 수 있게 된다.

본 연구에서는 차량의 전면사이드 부재와 sill부분으로 널리 이용되고 있는 점용접된 단일 모자형 단면형상(Top-Hat section : 이하 TH라고 한다)[1] 뿐만 아니라 모서리 수를 감소 또는 증가시킨 단일 삼각 모자형 단면형상(Top-Triangle-Hat section : 이하 TTH라고 한다), 이중 삼각 모자형 단면형상(Double-Triangle-Hat section : 이하 DTH라고 한다), 이중 모자형 단면형상(Double-Hat section : 이하 DH라고 한다) 부재들에 대하여 정적 및 충격압궤 하에서 에너지 흡수능력을 해석하고, 압궤하중과 변형모드를 얻기 위한 해석방법을 개발하고자 한다. 또한, TH단면형상에 대해서는 평판과 "ㅁ"부분의 단면적 비를 변화시켜 위와 같은 실험을 행하고자 한다.[9]

먼저, 단면형상변화 즉, 모서리 수 변화에 따른 시험편을 제작하여 UTM을 이용하여 정적 축 압궤실험을 실시하여 최대압궤하중, 평균압궤하중, 에너지흡수능력 및 압궤현상을 해석한다. 이와 더불어 단일 모자형 단면에 대해서는 단면적 비를 변화시켜 똑같은 정적 축 압궤실험을 행하고자 한다.

다음으로 이를 기초로 하여 실제 차량충돌과 같은 동적 충격하에서 정적압궤 해석에서 사용한 동일한 시험편에 대하여 공기압 수직식 충격시험장치를 이용하여 충격압궤시험을 행한다. 특히, 충격실험은 공기압에 의한 크로스헤드의 속도에 많은 영향을 받기 때문에 충분한 예비실험을 통해 적절한 공기압을 결정해 압궤현상을 관찰하고자 한다.

위의 두 실험 후 단면형상변화 및 단면적 비 변화에 따른 압궤실험 중 가장 좋

은 에너지 흡수장치가 결정될 것이다.

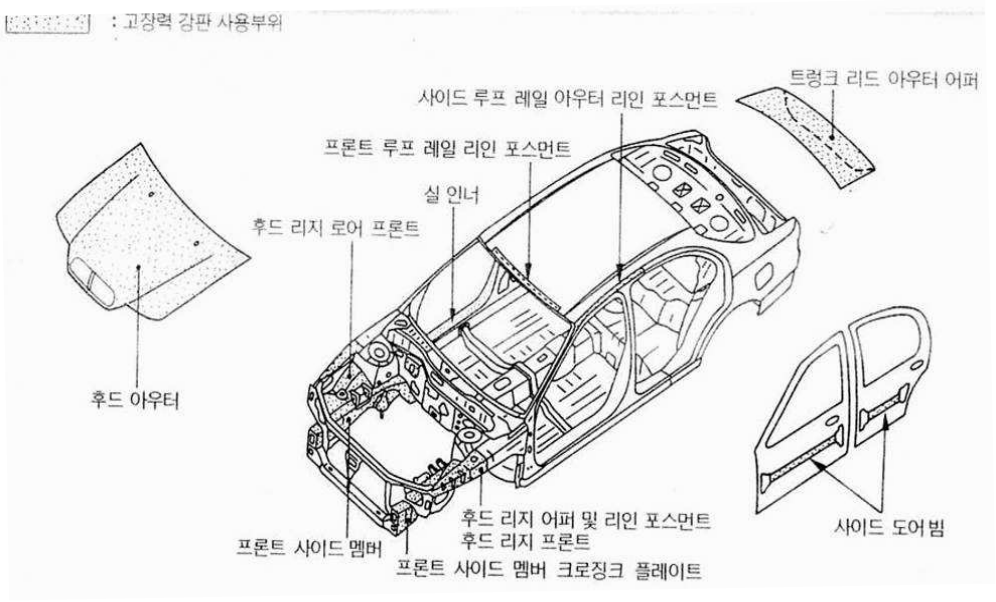


Fig. 6 Component parts of a vehicle.

제 2 장 시험편 및 제작방법

제 1 절 시험편

본 연구에서 사용된 차체 구조로 널리 사용되고 있는 냉간압연강판(Cold Rolled Carbon Steel Sheet, CR, 일명 냉연강판)은 열연코일을 소재로 표면스케일을 제거하고(산세공정) 두께 0.15 ~ 3.2 ㎜ 정도까지 압연한 후 소둔과 조질압연을 거쳐 생산한다. 냉연강판은 열연강판에 비해 두께가 얇고 두께정도(精度)가 우수하며 표면이 미려하고 평활하며 가공성이 우수하다. 이러한 특성에 따라 자동차, 가전기기, 가구, 사무용품, 차량, 건축 등에 직접 사용되거나 아연, 알루미늄, 주석, 크롬 등의 도금용 원판으로 사용된다.

냉연강판의 종류는 KS D3512에서 규정된 1종(SCP1, 일반용), 2종(SCP2, 가공용), 3종(SCP3, 심가공용) 등이 있으며 KS에서 규정되어 있지 않으나 KS와 같이 취급되고 있는 냉연강판으로는 저항복점 강판, 초심가공용강판(EDDQ)등이 있으며 특수냉연강판으로는 법랑용강판, 내식·내후성강판, 저급전기강판, 표면피복강판, 경질강판, 고강도강판, 청열강판(Blue Sheet), 엠보싱강판 등이 있고 도금원판으로는 아연도금강판, 석도원판 등이 있다. 1종(SCP1)은 일반용으로 표면이 미려하고 가장 수요가 많은 제품으로 벤딩이나 간단한 드로잉가공에 적합한 강판으로 자동차 차량외판, 세탁기 및 냉장고의 외판, 텔레비전, 캐비넷, 가벼운 가공용, 자동차부품, 철제가구, 배전반 등 주로 평판용으로 사용된다. 2종(SCP2)은 가공용으로 SCP1에 비해 우수한 가공성을 얻을 수 있는 강판으로 도어, 가솔린 탱크 등과 통신기 부품, 전기밥통외판 등에 사용된다. 3종(SCP3)은 심가공용으로 SCP2에 비해 우수한 심가공성을 갖고 있으며 야금학적으로 결정립을 조정하고 있기 때문에 심가공 후 아름다운 표면을 얻을 수 있다. 따라서 자동차용 Rear, Fender, Front

Pannal 등에 사용된다. 또한 조질도에서 소둔한 상태 그대로인 것, 표준 조질의 것, 각종 경질의 것이 있다.

SCP1-T는 표준조질 및 어닐링상태의 강판이 주문자의 지정에 의해 인장시험치 또는 에릭슨치의 어느 한쪽 또는 양쪽을 보증하고 있으며 SCP3-N는 비시효성 심가공용으로 심가공성이 매우 우수하고 비시효성을 보증하며 연신응력(Stretcher Strain)이 발생하지 않는다. 따라서 자동차용 Front Fender, Lamp Body, Oil Cap용으로 사용된다. 저항복점강판은 저항복점 및 저항복비를 갖고 있고 압력시 형상성, 강성이 우수해 자동차의 Roof Door, Bonnet, Trunk Lid 등 형상성이 요구되는 곳에 사용된다. 초심가공용강판은 가공성에 있어 KS강판과 같거나 또는 KS강판보다 좋은 것으로 자동차용 Fender, Oil Pan 등에 사용되는데 철강업체들이 각각 독자적으로 만들고 있다. 법랑용 강판은 코팅법랑을 비롯한 각종 법랑제품에 적합한 강판으로 각종 가스, 전기, 석유, 기구, 식기, 욕조 등에 사용된다. 저합금내식내후성강판은 합금원소에 의해 매우 얇고 단단한 산화피막이 형성되어 부식의 진행을 효과적으로 방지하는 강판으로 철도차륜, 자동차, 건재 등에 사용되며 도장강판은 방청과 방식을 목적으로 강판 또는 도금강판 위에 각종 도료를 도장하거나 플라스틱 필름을 도포한 것으로 건축 내외장재, 용기구 등에 적합하다. 아연도금원판은 아연을 도금하기 위한 강판으로 지붕, 건축자재 등에 사용되며 석도원판은 주석도금을 위한 강판으로 각종 제관의 소재로 사용된다. 한편, 열연강판을 산세 처리한 후 냉간압연하고 전기청정공정에서 압연유 등을 제거한 냉간압연 강대를 미소둔강판(F/H, Full Hard Steel Sheets)라고 하며 도금강재용, 강관용, 건설자재용으로 사용한다.

Table 2 Classification and Characteristic of CR

	제품분류		특기사항
연 질 강 판	일반용	CQ1, CQ2	저탄소강(자동차용CQ는 IF강)
	가공용	DQ	상소둔용 저탄소강
		DDQ	연속소둔용은 극저탄소 IF강
		EDDQ	극저탄소 IF강(C, S, P 저함량)
		SEDDQ	
고강도 강 판	일반용	고용강화강	TS 40～60㎏, 저탄소강+P, Si, Mn
		석출강화강	TS 50～70㎏, 저탄소강+Ti, Nb(P, Si, Mn)
	가공용	P첨가강	TS 35～45㎏, 저탄소강+P
		심가공용	TS 35～45㎏, 극저탄소강IF강+P, Si, Mn(50～60㎏급 Cu첨가강)
		소부 경화강	TS 35～40㎏, 극저탄소IF강, 잔류고용원소에 의한 BH성 확보
고강도 강 판	저항복 비 형	복합 조직강	TS 50～100㎏, 2상역소둔 후 급랭
용기용 강 판	초고강 도 강	회복, 석출, 고용, 변태	TS 50～180㎏, Bainite강, TRIP강, 회복소둔강 등
	BP	T1～T6	주로 탄소강, 연질 D&I는 극저탄소강도 적용
	DR-BP	DR8～DR10	저탄소강(BP를 20～50% 재압연)
기능형 강 판	법랑강판		심가공용(욕조 등)은 극저탄소IF강
	기타		제진강판, 내후성강판, 극박강판 등

주 : CQ = Commercial Quality, DQ = Drawing Quality

DDQ = Deep Drawing Quality, EDDQ = Extra Deep Drawing Quality

SEDDQ = Super Extra Deep Drawing Quality

Table 3 Usage and necessary property of CR

용도별 분류		요구특성	대표적 특성치	용도	적용재질
패널용		평탄도, 굴곡강도 용접봉	EW, CW급준도 굴곡시험	강제기구, 냉장고, 건재패널	SCP1
가공용	심가공용 압출성형 굴곡가공 전단가공 플랜지 성형	가공종류, 부품의 형상에 대해 성형성, 형상성, 내시효성 등이 요구된다. 부품의 사용방법에 따라 용접성, 화성처리성, 표면외관, 성형품의 강도 등이 요구된다.	항복점, 인장강도, 항복비, 연신율, 국부연신, 항복연신μ치(가공경화계수), γ치(소성변형비), CCV, 에릭슨치, 탄성계수, 화학성분청정도, 집합조직, 경정이보 표면족도도	자동차, 전기기기 등의 각종 부품, 자동차 Front Fender, Hood, Floor Door, 냉장고Door, Shell	SCP1 SCP2 SCP3 SCP-EN
가공용	가공용	〃	〃	자동차 전기기기 등의 각종 경량화부품	고장력 냉연강판
	경가공용	강도, 용접성, 인성	항복점, 인장강도, 항복비, 연신율, 화학성분	셔터, 정전	SCP1 1/8H, 1/4H, 1/2H, H
법랑용		밀착성, 내소성, 변형정도, 표면결함, 가공성		순간온탕기, 자동취사기, 가스렌지	탈탄강
기타				저합금, 내식내후성, 냉연강판, 윤활강판, 엠보싱강판, 저급전자강판, 청렬강판	

제 2 절 제작방법

차체 전면부 사이드부재로 널리 사용되고 있는 SCP1 냉간압연강판을 이용하여, Top-Triangle-Hat(TTH) 단면, Top-Hat(TH) 단면, Double-Triangle-Hat(DTH) 단면, Double-Hat(DH) 단면을 갖는 시험편을 점용접하여 제작하였다. 모든 시험편들은 두께 1㎜, 플랜지 길이 12㎜, 점용점 지름 6㎜, 점용접 간격은 이론적인 점힙 길이인 22㎜로 하였으며, 시험편의 가장자리는 점용접이 불가능하기 때문에 가장자리로부터 5㎜ 떨어진 위치에서 점용접을 시작하였으며, 용접타점이 좌우대칭이 되도록 하였다. 또한, 시험편의 길이는 오일러좌굴을 일으키지 않고 실험시 압궤가 여러번 발생하는데 충분한 길이인 120㎜로 하였으며, 모든 시험편들은 동일한 단면적을 갖게 제작하였다. 특히, 차량 사이드부재의 단면형상으로 많이 이용되고 있는 TH형상에 대해서는 평판과 평판위의 "ㅁ"부재의 두께변화에 따른 에너지 흡수 특성을 영향을 알아보기 위하여 추가적으로 2가지의 다른 시험편을 제작하였다.

Table 4는 두께 1㎜인 SCP1 냉간압연강판의 인장실험 후의 결과를 보여준다.[10)]

Table 4 Mechanical properties of SCP1 in uniaxial direction

Yield strength [MPa]	Tensile strength [MPa]	Young's modulus [GPa]	Poisson's ratio	Elongation
173.6	303.4	203	0.31	45.3

1. 단면 형상 변화에 따른 시험편의 종류

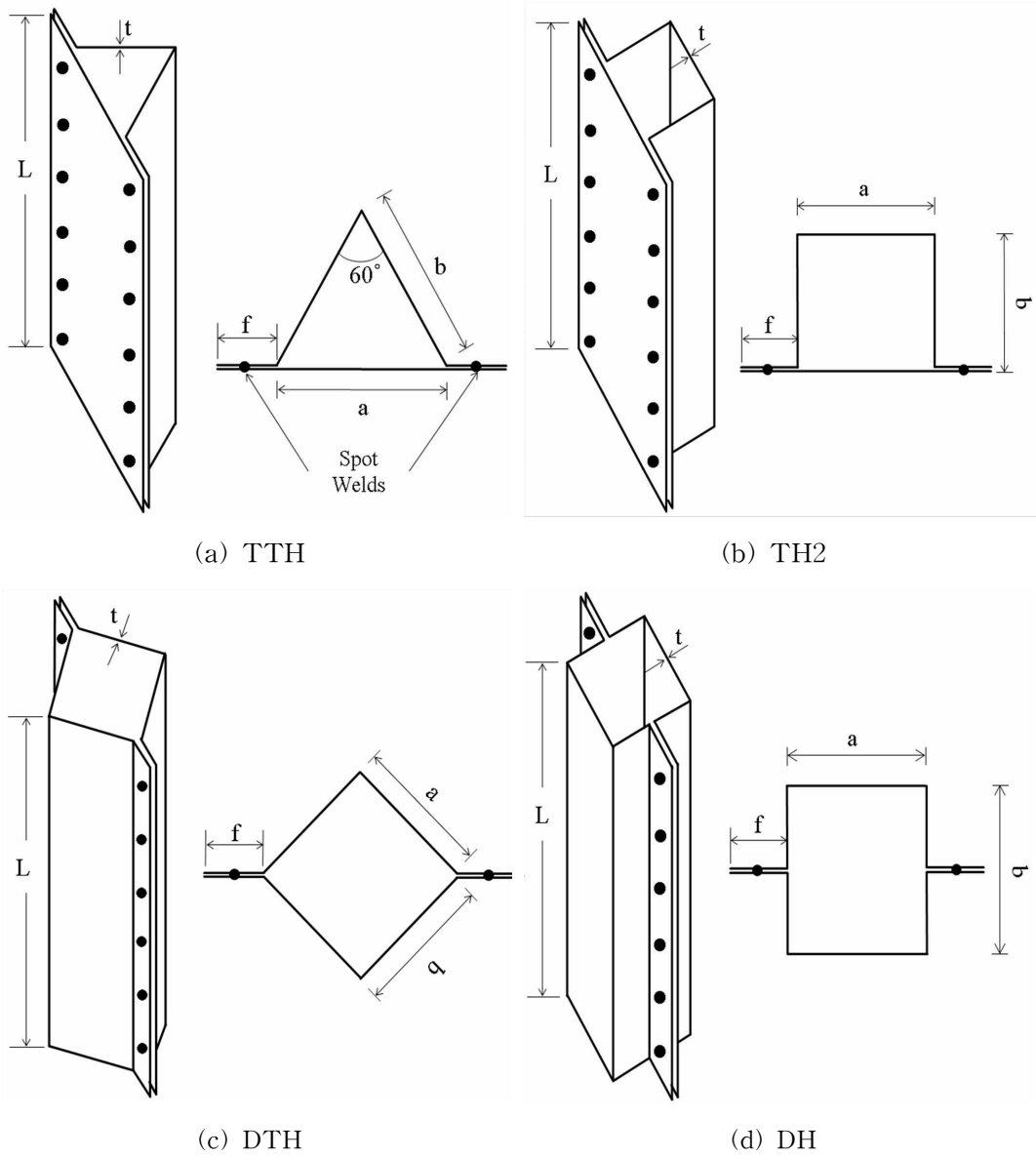


Fig. 7 Four types of specimens including flanges.

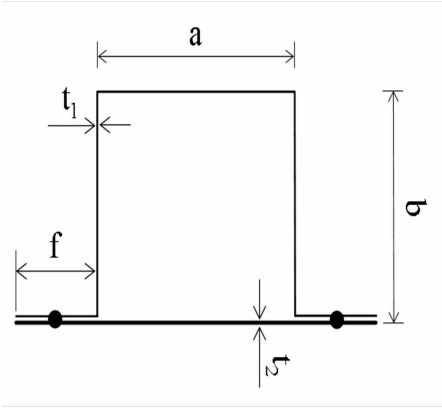
단면 형상 변화 즉, 모서리수 증가에 따른 시험편의 에너지 흡수를 평가하기 위하여 앞에서 언급한대로 점용접된 시험편을 준비하였다. 각각의 시험편은 Fig. 7에서 나타낸 바와 같이 실제 부재 크기의 약 1/4 ~ 1/5로 축소화시켜 제작하였다.[11)]

Table 5는 시험편의 길이, 두께, 단면적, 무게 등을 보여주고, 시험편의 무게는 OHAUS사의 전자저울을 이용해 10개 이상을 측정하여 평균값을 구하였다.

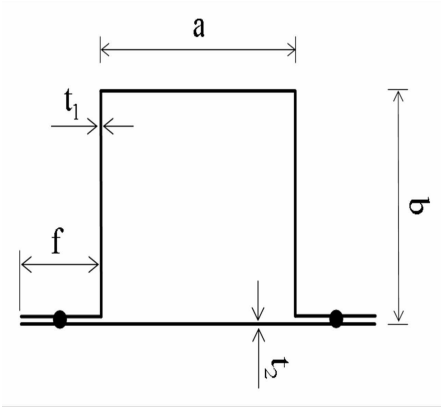
Table 5 Dimensions of test specimens having different cross-sectional configuration

Specimen	L[㎜]	a[㎜]	b[㎜]	f[㎜]	t[㎜]	A[㎜²]	m[g]
TTH	120	40	40	12	1	168	155.69
TH2	120	30	30	12	1	168	153.67
DTH	120	30	30	12	1	168	153.99
DH	120	30	30	12	1	168	149.81

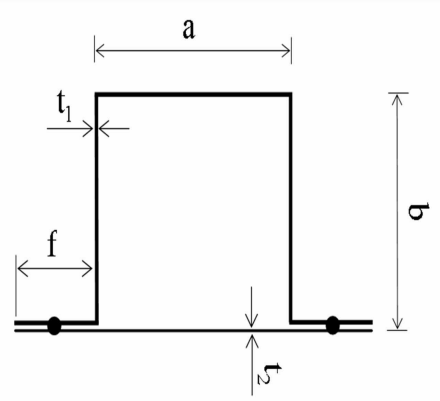
2. 단면적 비에 따른 단일 모자형 시험편의 종류



(a) TH1



(b) TH2



(c) TH3

Fig. 8 Three types of TH specimens.

TH시험편에서는 일반적으로 평판 위의 “ㅁ”단면측보다 평판 측의 좌굴하중이 낮기 때문에 평판 측의 좌굴이 계기가 되어서 압궤되는 것으로 사료되므로, 위의 4가지 시험편 중 TH시험편에 대해서는 길이는 동일하게 유지하고 평판과 “ㅁ”부분의 두께 변화 즉, 단면적비 변화에 따른 에너지흡수 특성을 고찰하기 위하여 Fig.

8과 같이 2가지의 다른 시험편을 추가적으로 제작・준비하였다.

Table 6은 변화를 준 TH시험편의 각각의 두께, 단면적, 무게와 동일하게 유지된 너비, 플랜지 길이 등을 보여준다.

각각의 시험편 평판 단면적은 75.6㎟, 54㎟, 32.4㎟이고, 평판위의 모자형 단면적은 91.2㎟, 114㎟, 136.8㎟이며 평판 단면적에 대한 모자형 단면적의 비 즉, (모자형 단면적)/(평판 단면적)의 값은 각각 1.21, 2.11, 4.22이다.

Table 6 Dimensions of TH specimens

Specimen	L[㎜]	a[㎜]	b[㎜]	f[㎜]	t_1[㎜]	t_2[㎜]	A[㎟]	m[g]
TH1	120	30	30	12	0.8	1.4	166.8	152.3
TH2	120	30	30	12	1	1	168	153.67
TH3	120	30	30	12	1.2	0.6	169.2	155.72

제 3 장 압궤실험

준비된 시험편을 가지고 기계의 안정성 및 초기조건을 맞추기 위해 실제 실험에 앞서 여러번의 예비실험을 행하였다. 즉, 시험편 상・하의 플래튼 수평유지, 광학식 변위계에 가장 적절한 빛의 세기, 시험편의 변위량을 측정하는데 적합한 카메라 렌즈 등 정적 및 충격실험에 가장 좋은 환경을 구현하였다.

제 1 절 정적압궤실험[13-14)]

본 실험에서는 Photo.1과 같은 SHIMADZU사의 만능재료시험기(AG-1S, 100kN)를 사용하여 로드셀과 액츄에이터 사이에 두 개의 압축지그를 평행하게 설치하고, 변형속도의 영향을 최소화하면서 10mm/min로 변위제어를 통하여 균일한 압축하중이 가해지도록 정적압궤실험을 실시하였다. 실험 시 편심하중을 방지하기 위하여 시험편을 압축지그의 정중앙에 위치하도록 하였으며, 여러 번의 예비실험을 거쳐 실험결과의 신뢰도를 높였다. 이때, 시험편의 변형은 시험편 전체의 축 방향 길이(120mm)의 58.3%(70mm)까지 변형되도록 변위를 제어하면서 연속적으로 압궤실험을 행하였다. 압궤실험은 각 시험편당 4~5회 수행하여, 오차 범위 5% 내 데이터의 평균값을 취하였다.

본 실험에서는 단면 형상변화에 따른 시험편과 평판부재와 “ㅁ”자형 부재의 단면적 비를 변화시켜 정적 축 방향 압궤실험을 행하여, 압궤가 진행되는 동안의 하중-변위선도, 압궤 후 시험편의 형상 및 특정 지점에서의 시험편 압궤형상을 나타냈다.

Photo. 1 Equipment for static tests (Universal Testing Machine).

압궤실험 후 얻어진 하중-변위선도의 면적은 시험편이 흡수한 에너지이며, 하중-변위 선도를 식 (1)과 같이 적분하여 부재 내에 흡수된 에너지량을 구하였으며, 이것은 뒤의 그림들과 같이 평균하중에 최종 변위량을 곱한 것과 같다.

$$E_a = \int_0^{\delta_{max}} P(\delta)\,d\delta = P_m \times \delta_{max} \tag{1}$$

$$P_m = \frac{1}{\delta_{max}} \int_0^{\delta_{max}} P(\delta)\,d\delta = \frac{E_a}{\delta_{max}} \tag{2}$$

여기서, E_a는 시험편에 흡수된 에너지이며, $P(\delta)$는 압궤하중을 나타내며, δ는 압궤된 길이, P_m은 평균압궤하중을 나타낸다. 그리고 평균압궤하중은 흡수에너지를 압궤된 길이로 나눈 값으로 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

1. 단면형상 변화에 따른 단면부재

본 연구에서는 정적압궤(10mm/min)하에서 단면형상 변화에 따른 압궤특성을 살펴보고자 하중-변위관계와 압궤 후의 형상을 4방향에서 나타냈다. 또한, 변형이 진행되고 있는 동안의 압궤현상을 관찰하기 위하여 변위가 각각 0mm, 5mm, 10mm, 20mm, 30mm, 50mm 그리고 시험편이 완전히 압궤된 70mm에서의 변형상태를 나타냈다.

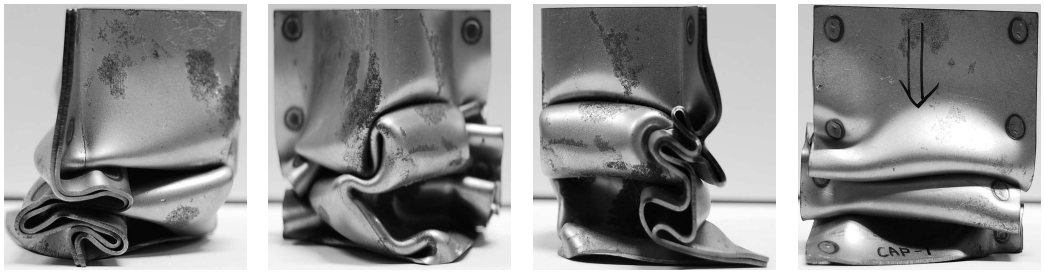
Fig. 9는 두께 1㎜의 TTH 단면부재의 시험편에 대한 정적 압궤실험 결과 얻어진 하중-변위 선도를 나타냈으며, Photo. 2는 압궤 후의 형상을, Photo. 3은 압궤과정을 나타냈다.

Fig. 10은 두께 1㎜의 TH2 단면부재의 시험편에 대한 정적 압궤실험 결과 얻어진 하중-변위 선도를 나타냈으며, Photo. 4는 압궤 후의 형상을, Photo. 5는 압궤과정을 나타냈다.

Fig. 11은 두께 1㎜의 DTH 단면부재의 시험편에 대한 정적 압궤실험 결과 얻어진 하중-변위 선도를 나타냈으며, Photo. 6은 압궤 후의 형상을, Photo. 7은 압궤과정을 나타냈다.

Fig. 12는 두께 1㎜의 DH단면부재의 시험편에 대한 정적 압궤실험 결과 얻어진 하중-변위 선도를 나타냈으며, Photo. 8은 압궤 후의 형상을, Photo. 9는 압궤과정을 나타냈다.

Fig. 9 Load-Deformation history for TTH
(Thickness of 1㎜, Top-Triangle-Hat section, Static).



(a) Left-hand (b) Front (c) Right-hand (d) Back

Photo. 2 Crush pattern after axial static test on TTH specimen.

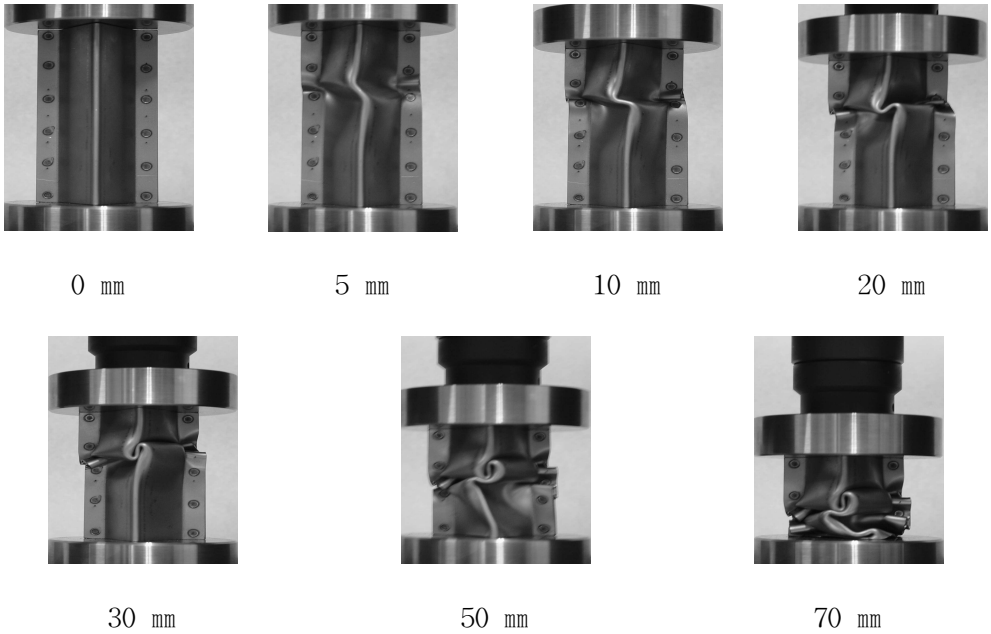
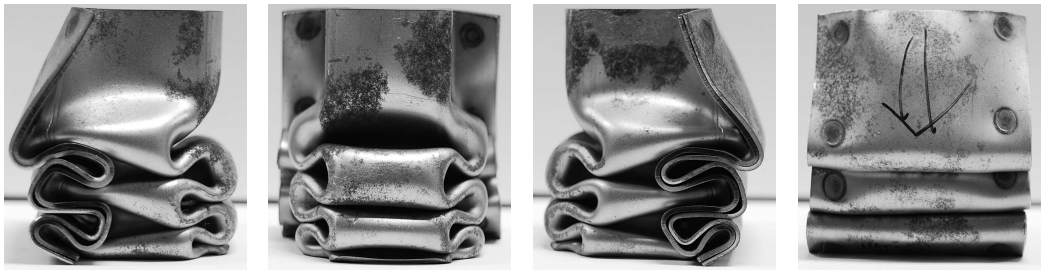


Photo. 3 Views of the progressive collapse of TTH specimen.

Fig. 10 Load-Deformation history for TH2
(Thickness of 1㎜, Top-Hat section, Static).



(a) Left-hand (b) Front (c) Right-hand (d) Back

Photo. 4 Crush pattern after axial static test on TH2 specimen.

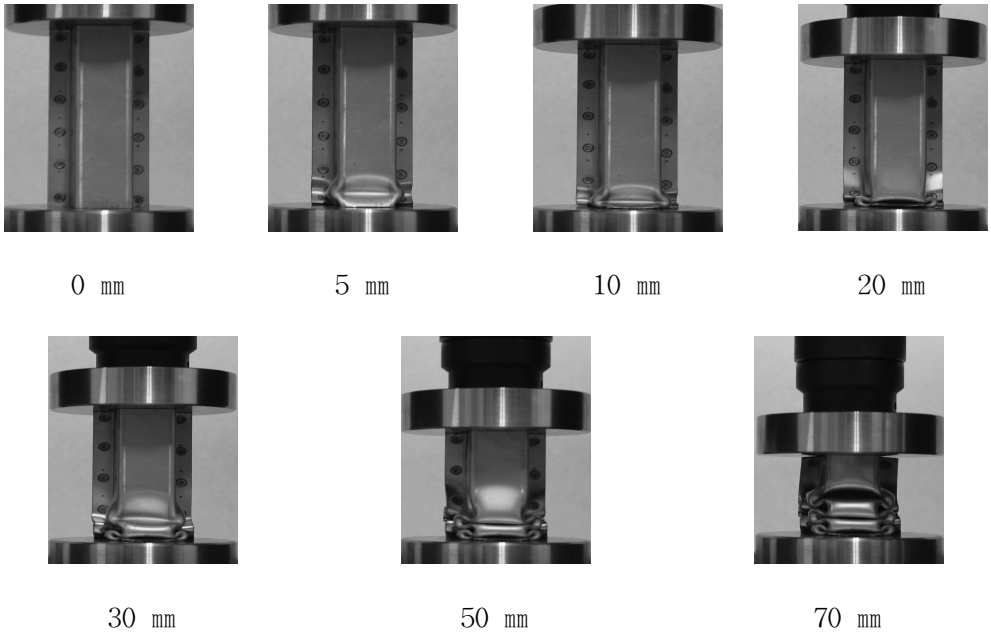


Photo. 5 Views of the progressive collapse of TH2 specimen.

Fig. 11 Load-Deformation history for DTH
(Thickness of 1㎜, Double-Triangle-Hat section, Static).

(a) Left-hand (b) Front (c) Right-hand (d) Back

Photo. 6 Crush pattern after axial static test on DTH specimen.

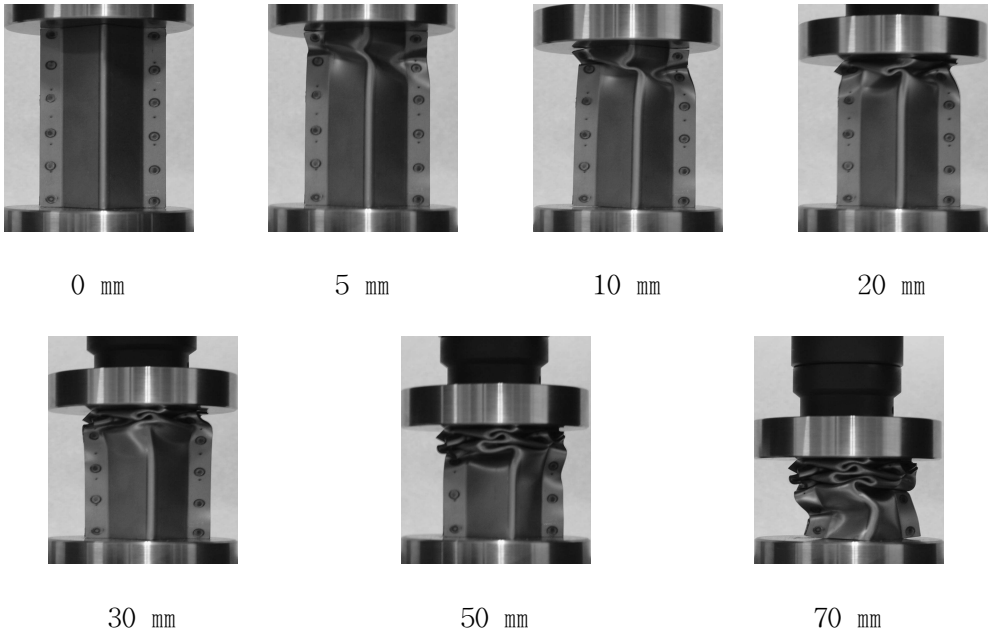


Photo. 7 Views of the progressive collapse of DTH specimen.

Fig. 12 Load-Deformation history for DH
(Thickness of 1㎜, Double-Hat section, Static).

(a) Left-hand (b) Front (c) Right-hand (d) Back

Photo. 8 Crush pattern after axial static test on DH specimen.

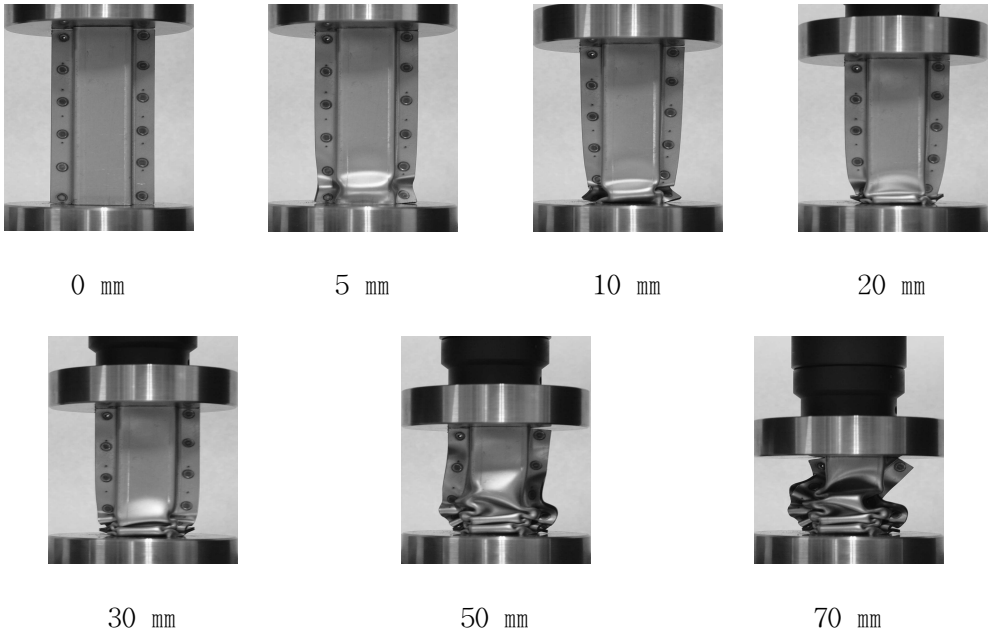


Photo. 9 Views of the progressive collapse of DH specimen.

2. 단면적 비 변화에 따른 단면부재

본 연구에서는 정적압궤(10mm/min)하에서 단면적 비 변화에 따른 압궤특성을 살펴보고자 하중-변위관계와 압궤 후의 형상을 4방향에서 나타냈다. 또한, 변형이 진행되고 있는 동안의 압궤현상을 관찰하기 위하여 변위가 각각 0mm, 5mm, 10mm, 20mm, 30mm, 50mm 그리고 시험편이 완전히 압궤된 70mm에서의 변형상태를 나타냈다.

Fig. 13은 단면적 비가 1.21인 TH1 단면부재의 시험편에 대한 정적 압궤실험 결과 얻어진 하중-변위 선도를 나타냈으며, Photo. 10는 압궤 후의 형상을, Photo. 11은 압궤과정을 나타냈다.

Fig. 14는 단면적 비가 2.11인 TH2 단면부재의 시험편에 대한 정적 압궤실험 결과 얻어진 하중-변위 선도를 나타냈으며, Photo. 12는 압궤 후의 형상을, Photo. 13은 압궤과정을 나타냈다.

Fig. 15는 단면적 비가 4.22인 TH3 단면부재의 시험편에 대한 정적 압궤실험 결과 얻어진 하중-변위 선도를 나타냈으며, Photo. 14는 압궤 후의 형상을, Photo. 15는 압궤과정을 나타냈다.

Fig. 13 Load-Deformation history for TH1

(Ratio of cross sectional area of 1.21, Top-Hat section, Static).

(a) Left-hand (b) Front (c) Right-hand (d) Back

Photo. 10 Crush pattern after axial static test on TH1 specimen.

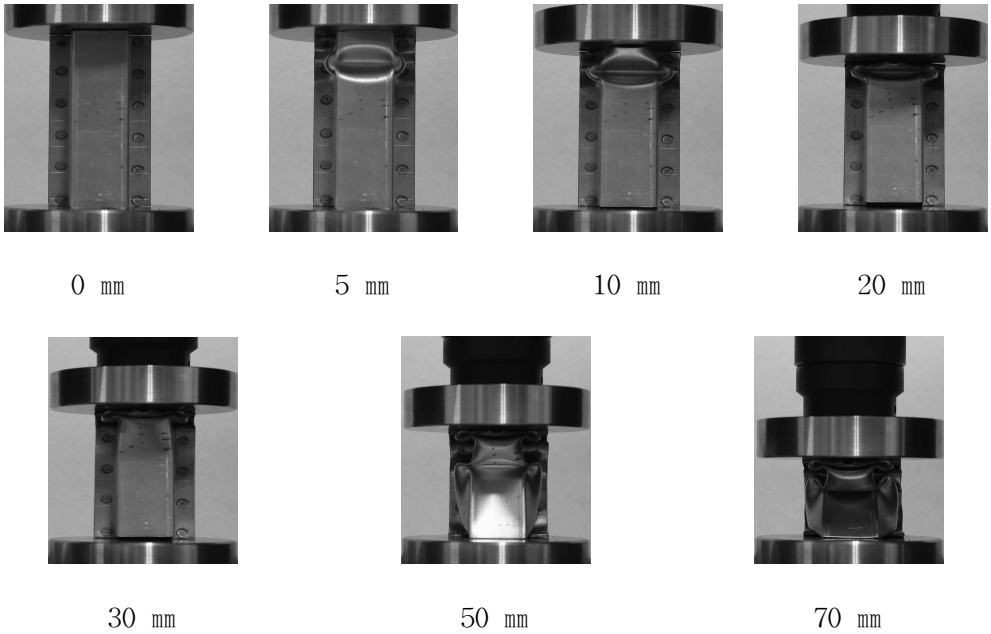
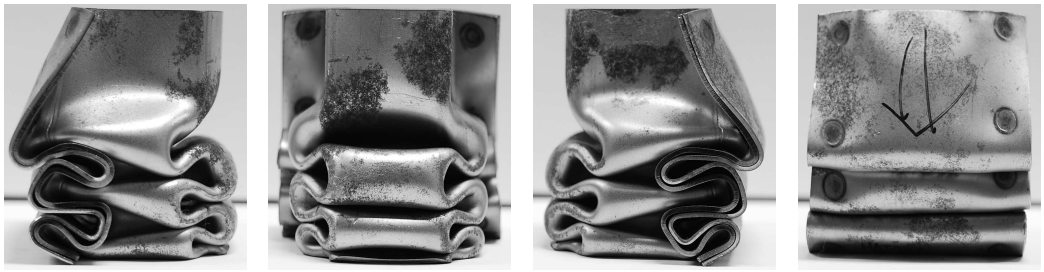


Photo. 11 Views of the progressive collapse of TH1 specimen.

Fig. 14 Load-Deformation history for TH2
(Ratio of cross sectional area of 2.11, Top-Hat section, Static).



(a) Left-hand (b) Front (c) Right-hand (d) Back

Photo. 12 Crush pattern after axial static test on TH2 specimen.

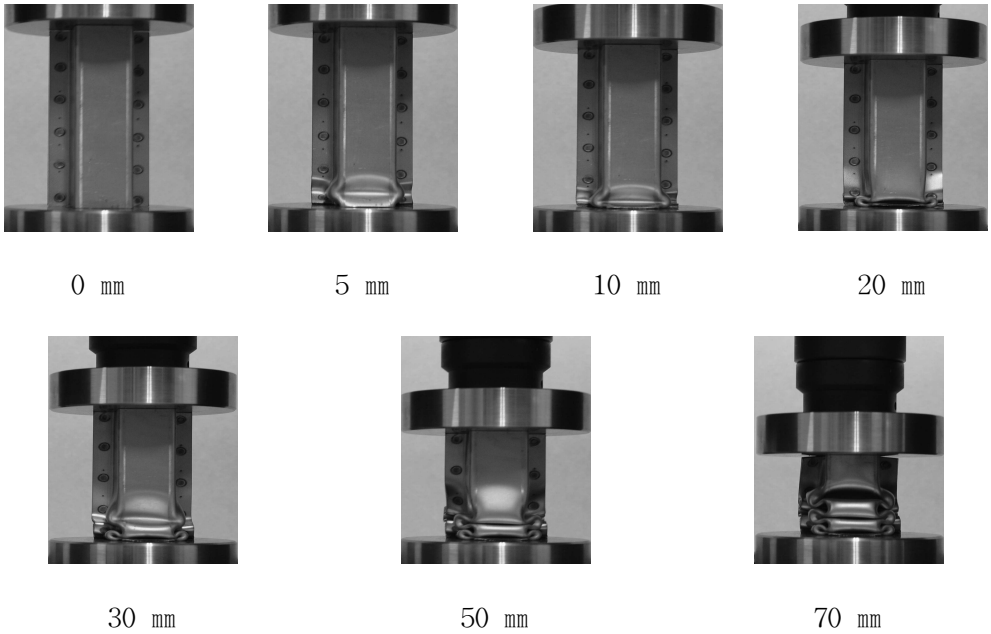


Photo. 13 Views of the progressive collapse of TH2 specimen.

Fig. 15 Load-Deformation history for TH3

(Ratio of cross sectional area of 4.22, Top-Hat section, Static).

(a) Left-hand (b) Front (c) Right-hand (d) Back

Photo. 14 Crush pattern after axial static test on TH3 specimen.

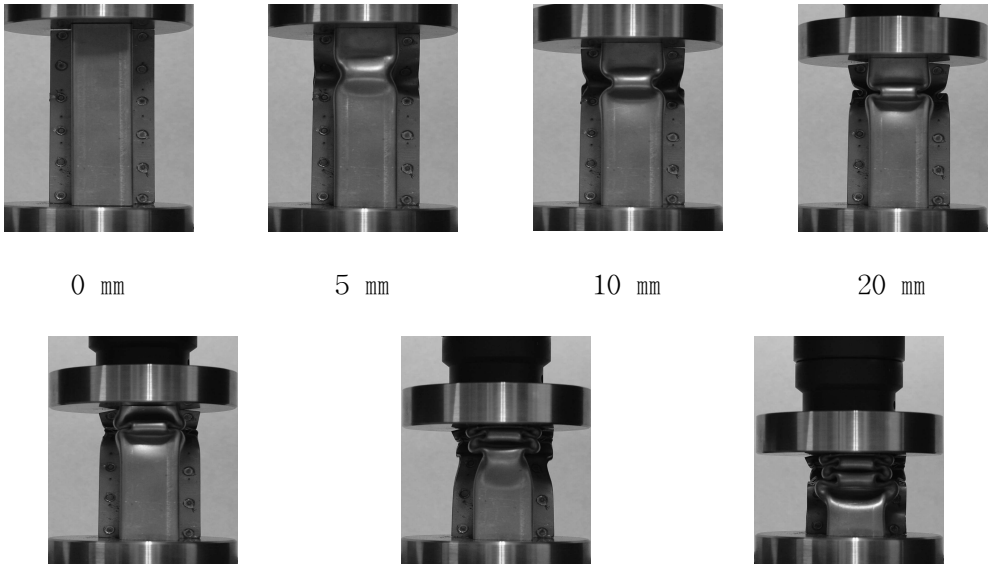


Photo. 15 Views of the progressive collapse of TH3 specimen.

제 2 절 충격압궤실험[15-20]

본 절에서는 정적 압궤실험에서 사용한 동일한 시험편에 대하여 공기압 수직식 충격시험장치를 사용하여 충격 압궤실험을 행하고, 압궤과정에서 시간에 대한 하중 및 변위를 측정하였다.

측정된 하중 및 변위에서 시간을 소거하여 충격압궤가 진행되고 있는 동안의 하중-변위선도를 구하였으며 흡수에너지 E_a, 전체흡수에너지 E_T, 평균압궤하중 P_m, 최대압궤하중 P_{max} 및 시험편의 변형된 길이 δ를 구하여 각 부재의 에너지 흡수특성에 대하여 고찰하였다. 특히, 충격 압궤실험에서는 동일한 충격에너지를 가했을 때 각 시험편의 압궤길이가 동일하지 않기 때문에 흡수에너지를 정량적으로 고찰하기 위하여 식(3)과 같이 Magee와 Thornton이 언급한 압궤효율의 역수를 사용하였다.[1)]

$$\frac{1}{e_0} = \frac{l}{\delta_f} \tag{3}$$

여기에서, e_0는 압궤효율, l은 시험편 길이, δ_f는 충격실험 후 변형된 길이이다.

식(3)은 모든 시험편이 전체길이인 120㎜가 압궤되었다고 가정하여 전체흡수에너지 E_T를 구할 때 식(4)와 같이 사용되어진다.

$$E_T = E_a \times \frac{1}{e_0} \tag{4}$$

충격속도는 크로스헤드가 로드셀 위의 시험편에 충돌하기 직전의 속도를 측정하였으며, 충격시험장치의 공기압에 의해 구해진다. 즉, 공기압이 0MPa에서는 충격속도가 4.83m/s, 0.4MPa에서는 충격속도가 7.19m/s, 0.6MPa에서는 충격속도가

7.94m/s였다. 수차례의 예비실험을 통해 실제충격실험에서는 모든 시험편의 압궤형상을 관찰하기 가장 적절한 7.19m/s의 충격속도를 선택하였다.

로드셀 위의 시험편이 흡수하는 이론적인 충격에너지 E_I는 식(5)와 같이 크로스헤드의 운동에너지와 같으므로 속도 7.19m/s에서는 약 1033.92J이다.

$$E_I = \frac{1}{2}mv^2 \tag{5}$$

여기에서 m은 크로스헤드의 질량, v는 0.4MPa에서의 충격압궤속도이다. 충격압궤실험에 의한 각 시험편의 흡수에너지의 평균값을 구해보면 약 991.21J로 이론적인 충격에너지의 약 96%를 차지한다. 이는 약 4%는 압궤변형 시 시험편의 반발에너지, 크로스헤드 낙하 시 가이드 바와의 마찰에너지 등으로 소실되었다고 생각된다.

본 실험에 사용한 공기압 수직식 충격실험장치는 공기압 가속장치로 크로스헤드를 수직방향으로 낙하시켜 충격을 가하는 방식이다. 실험장치의 모습은 Fig. 16에 나타냈으며, Fig. 17은 충격시스템의 구성도를 보여주고 있다.

실험장치는 공기압 가속장치, 크로스헤드, 로드셀, 베이스 플레이트, 방진고무, 에어실린더, 가이드바, 프레임으로 구성되었다. 크로스헤드는 충돌에 의해 로드셀 위의 시험편을 압궤하는 부분으로 질량은 40kg으로 하고, 시험편의 변위를 측정하기 위하여 이동표적을 설치하였다. 또한 속도측정을 위해 레이저 속도장치를 크로스헤드가 통과하는 부분에 설치하였다.

본 실험에 사용된 로드셀을 2개의 원판을 원주로 연결한 형태이고, 연강환봉을 절삭하여 제작했다. 상 원판위에 시험편을 올려놓고, 하 원판에는 4개의 볼트구멍을 만들어 베이스 플레이트에 고정하였다. 로드셀의 목 중앙에 Table 7과 같은 스트레인게이지 4매를 Fig. 17과 같이 4-gage method 형식으로 부착하였다.

시험편에 가해지는 충격하중은 로드셀에 부착된 스트레인게이지의 충돌 시 변형

률을 하중으로 환산하였고, 변위의 측정은 크로스헤드에 부착된 표적의 이동을 OHG사의 광학식변위계(ZIMMER, 100F)를 사용하여 측정하였다. 광학식변위계는 광학렌즈를 사용하여 렌즈 측정범위 내에 있는 표적의 백색부와 흑색부의 경계선의 변위량을 전압변화로 측정하는 것이며, 렌즈를 교환하여 측정가능한 변위량을 변화시킬 수 있다. 본 실험에서는 초점거리가 1080㎜이며 100㎜의 이동거리까지 측정이 가능한 100-10형 렌즈를 사용하였다.

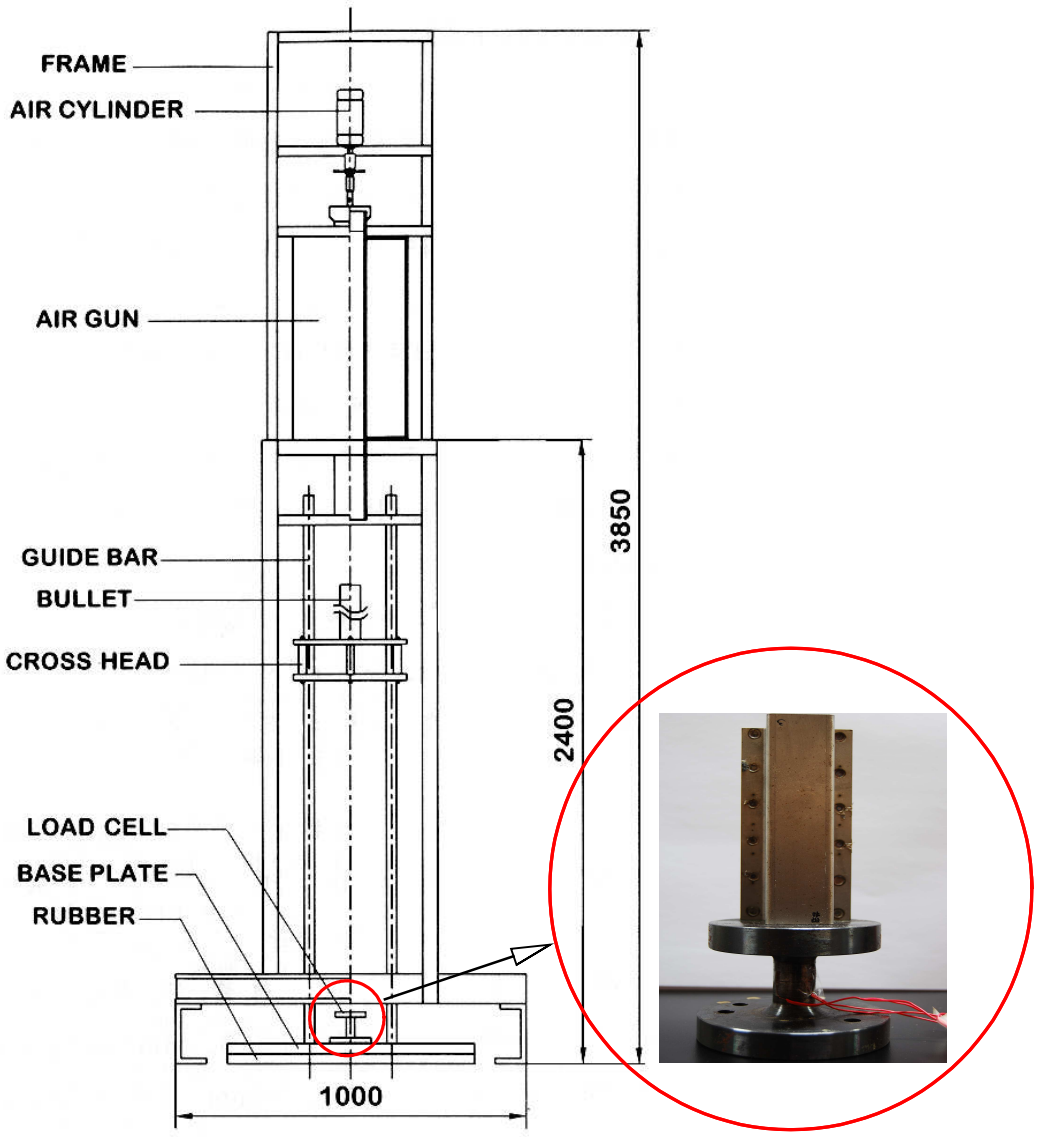


Fig. 16 Impact test setup.

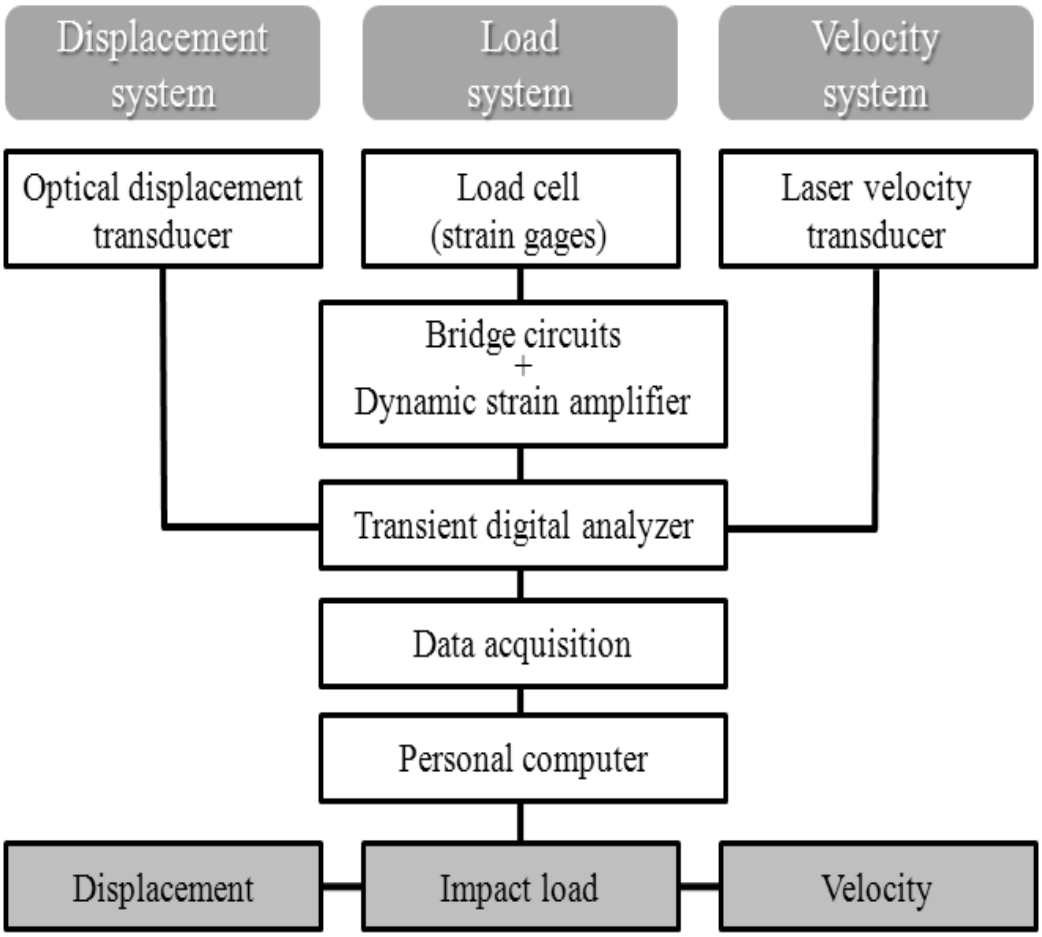


Fig. 17 Mechanism of impact test for optimization.

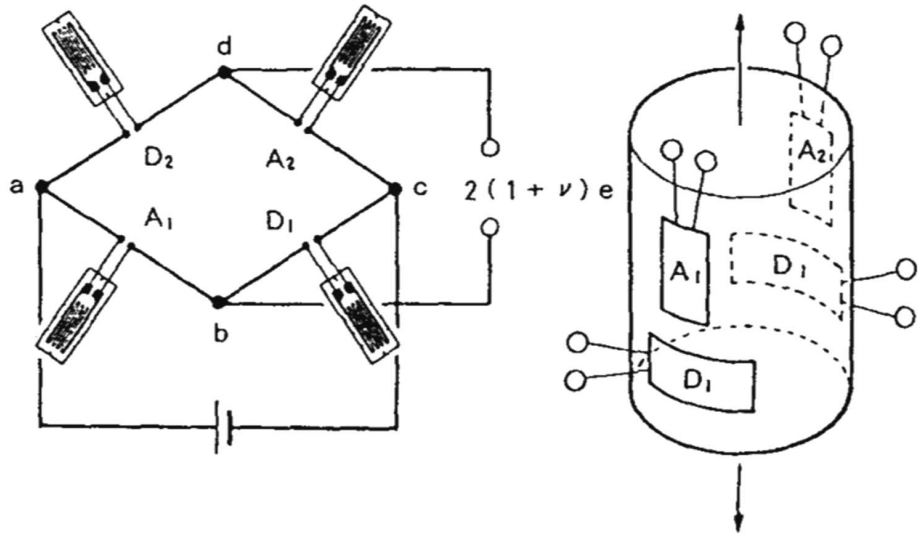


Fig. 18 Sample of special 4-gage method.

Table 7 Specification of strain gage used for impact test

Type	KFG-5-120-C1-11L1M2R
Gage length	5 ㎜
Gage resistance	120.4 ± 0.4 Ω
Gage factor	2.11 ± 1.0%
Adoptable thermal expansion	11.7 PPM/℃
Transverse sensitivity	0.40 %

1. 단면형상 변화에 따른 단면부재

충격압궤실험에 의해 구한 단면형상 변화에 따른 단면부재의 하중과 변형에서 시간을 소거하여 충격압궤가 진행되고 있는 과정의 하중-변위선도 즉, 압궤선도를 Figs. 19～22에 나타냈으며, 압궤된 후의 형상을 Photo. 16～19에 나타냈다.

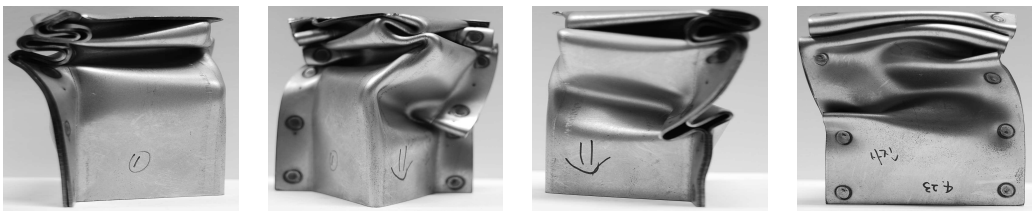
Fig. 19는 두께 1㎜의 TTH 단면부재의 시험편에 대하여 충격속도 7.19m/s(충격에너지 1033.92J)로 충격을 가했을 때 얻어진 하중-변위 선도를 나타냈으며, Photo. 16은 압궤된 후의 형상을 나타낸다.

Fig. 20은 두께 1㎜의 TH2 단면부재의 시험편에 대하여 충격속도 7.19m/s(충격에너지 1033.92J)로 충격을 가했을 때 얻어진 하중-변위 선도를 나타냈으며, Photo. 17은 압궤된 후의 형상을 나타낸다.

Fig. 21은 두께 1㎜의 DTH 단면부재의 시험편에 대하여 충격속도 7.19m/s(충격에너지 1033.92J)로 충격을 가했을 때 얻어진 하중-변위 선도를 나타냈으며, Photo. 18은 압궤된 후의 형상을 나타낸다.

Fig. 22는 두께 1㎜의 TTH 단면부재의 시험편에 대하여 충격속도 7.19m/s(충격에너지 1033.92J)로 충격을 가했을 때 얻어진 하중-변위 선도를 나타냈으며, Photo. 19는 압궤된 후의 형상을 나타낸다.

Fig. 19 Load-Deformation history for TTH
(Thickness of 1㎜, Top-Triangle-Hat section, Impact).



(a) Left-hand (b) Front (c) Right-hand (d) Back

Photo. 16 Crush pattern after axial impact test on TTH specimen.

Fig. 20 Load-Deformation history for TH2
(Thickness of 1㎜, Top-Hat section, Impact).

(a) Left-hand (b) Front (c) Right-hand (d) Back

Photo. 17 Crush pattern after axial impact test on TH2 specimen.

Fig. 21 Load-Deformation history for DTH
(Thickness of 1㎜, Double-Triangle-Hat section, Impact).

(a) Left-hand (b) Front (c) Right-hand (d) Back

Photo. 18 Crush pattern after axial impact test on DTH specimen.

Fig. 22 Load-Deformation history for DH
(Thickness of 1㎜, Double-Hat section, Impact).

(a) Left-hand (b) Front (c) Right-hand (d) Back

Photo. 19 Crush pattern after axial impact test on DH specimen.

2. 단면적 비 변화에 따른 단면부재

충격압궤실험에 의해 구한 단면적 비 변화에 따른 단면부재의 하중과 변형에서 시간을 소거하여 충격압궤가 진행되고 있는 과정의 하중-변위선도 즉, 압궤선도를 Figs. 23～25에 나타냈으며, 압궤된 후의 형상을 Photo. 20～22에 나타냈다.

Fig. 23은 단면적 비가 1.21인 TH1 단면부재의 시험편에 대하여 충격속도 7.19m/s(충격에너지 1033.92J)로 충격을 가했을 때 얻어진 하중-변위 선도를 나타냈으며, Photo. 20은 압궤된 후의 형상을 나타낸다.

Fig. 24는 단면적 비가 2.11인 TH2 단면부재의 시험편에 대하여 충격속도 7.19m/s(충격에너지 1033.92J)로 충격을 가했을 때 얻어진 하중-변위 선도를 나타냈으며, Photo. 21은 압궤된 후의 형상을 나타낸다.

Fig. 25는 단면적 비가 4.22인 TH3 단면부재의 시험편에 대하여 충격속도 7.19m/s(충격에너지 1033.92J)로 충격을 가했을 때 얻어진 하중-변위 선도를 나타냈으며, Photo. 22는 압궤된 후의 형상을 나타낸다.

Fig. 23 Load-Deformation history for TH1

(Ratio of cross sectional area of 1.21, Top-Hat section, Impact).

(a) Left-hand (b) Front (c) Right-hand (d) Back

Photo. 20 Crush pattern after impact static test on TH1 specimen.

Fig. 24 Load-Deformation history for TH2

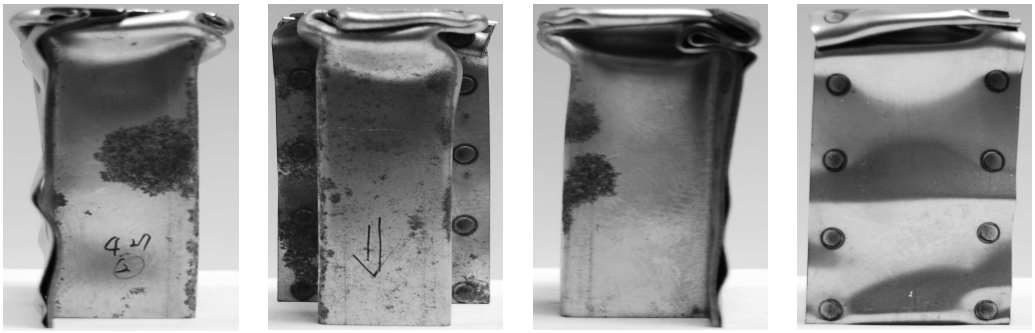
(Ratio of cross sectional area of 2.11, Top-Hat section, Impact).

(a) Left-hand (b) Front (c) Right-hand (d) Back

Photo. 21 Crush pattern after impact static test on TH2 specimen.

Fig. 25 Load-Deformation history for TH3

(Ratio of cross sectional area of 4.22, Top-Hat section, Impact).



(a) Left-hand (b) Front (c) Right-hand (d) Back

Photo. 22 Crush pattern after impact static test on TH3 specimen.

제 4 장 결과 및 고찰

차체 사이드부재의 기본형상인 점용접된 단일모자형 단면부재(TH2) 및 단면형상을 변형시킨 부재들(TTH, DTH, DH)과 단면적 비를 변형시킨 단일모자형 단면부재들(TH1, TH3)에 대하여 축 방향 정적실험과 충격실험을 실시하여 흡수에너지 E_a, 전체흡수에너지 E_T, 평균압궤하중 P_m, 최대압궤하중 P_{max} 및 변형된 길이 δ를 나타냈으며, 압궤모드에 대하여 고찰하였다.

흡수에너지는 압궤실험에서 얻은 하중-변위선도를 적분하여 구하고, 그 값을 압궤길이로 나눔으로서 평균압궤하중을 구하였으며, 충격압궤하에서는 동일한 충격에너지를 가했을 때 모든 시험편의 압궤길이가 동일하지 않기 때문에 흡수에너지를 정량적으로 고찰하기 위하여 모든 시험편이 전체길이인 120㎜가 압궤되었다고 가정하여 전체흡수에너지를 고찰하였다.[21-31)]

제 *1* 절 단면형상 변화에 따른 압궤특성

Table 8, 9는 단면형상 변화 즉, 모서리 수 증가에 따른 정적 압궤 및 충격 압궤 실험결과의 평균값으로 흡수에너지, 평균 압궤하중, 최대 압궤하중, 전체 흡수에너지, 변형된 길이에 대한 데이터 값을 나타낸다. Fig. 26, 27은 Table 8, 9의 데이터 값 중에서 정적실험에서의 흡수에너지와 충격실험에서의 흡수에너지 및 전체흡수에너지를 비교한 그림이다. Table 8, 9 및 Fig. 26, 27로부터 단면형상 변화 즉, 모서리 수의 증가에 따라 흡수에너지 및 평균 압궤하중이 증가하였다. 하지만, 최대 압궤하중의 경우 정적실험에서는 모서리 수 증가에 따라 증가하였지만, 충격실험하에서는 명확하지 않았다. 이는 충격 압궤실험은 정적 압궤실험과 달리 짧은 시간에 걸쳐 진행될 때 시험편과 크로스헤드 접촉 시 발생하는 작용·반작용의 영향때문이라고 생각된다. 충격 압궤실험에서 시험편의 변형량은 모서리 수 증가함에 따라 감소하는 경향을 보여준다.

시험편의 압궤모드를 살펴보면, TH2단면부재는 평판부재가 부재 내측으로 변형될 때 평판부재와 마주보는 "ㅁ"부분은 부재 외측으로 변형되면서 규칙적이고 안정적인 평형모드가 지배적이다. DH단면부재는 상자형 단면부재와 비슷한 중심축에 대하여 대칭인 아코디언 변형모드를 이루나, 용접선이 압궤하중의 중심선에 있기 때문에 플랜지 부의 간섭에 의하여 불안정한 대칭모드가 지배적이다. TTH단면부재는 TH2단면부재와 같이 용접선이 압궤하중의 중심선으로부터 일정거리 떨어져 있어 TH2단면부재와 비슷한 변형모드를 보이나, 초기의 평판부재가 부재 외측방향으로 변형될 때 "∧"부분의 2벽면 중 하나의 벽면은 부재 안쪽으로 다른 쪽은 부재 바깥쪽으로 변형되는 불안정한 압궤모드를 보여주었다. DTH단면부재는 마주보는 "∧"부분은 TTH단면부재와 동일하게 변형되며, DH단면부재와 같이 용접선이 압궤하중의 중심선에 있기 때문에 플랜지부의 간섭에 의해 불안정한 대칭모드가 지배적이다.

Table 8 Static crushing test results for specimens having different cross-sectional configuration

Specimen type	Energy absorption E_a [J]	Mean collapse load P_m [kN]	Maximum collapse load P_{max} [kN]
TTH(3)	1044.68	14.92	42.48
TH2(4)	1231.97	17.60	43.46
DTH(6)	1537.70	21.97	55.90
DH(8)	2058.70	29.41	58.55

Fig. 26 Energy absorption characteristics per specimen made of various shapes.

Table 9 Impact crushing test results for specimens having different cross-sectional configuration

Specimen type	Energy absorption E_a [J]	Total absorbed energy E_T [J]	Mean collapse load P_m [kN]	Maximum collapse load P_{max} [kN]	Deformation δ [㎜]
TTH(3)	992.23	1736.40	14.51	62.44	68.40
TH2(4)	991.15	2021.94	16.87	58.79	58.80
DTH(6)	988.44	2273.42	18.95	65.51	52.15
DH(8)	990.41	3268.35	27.21	61.12	36.4

Fig. 27 Comparison of absorbed energy with total energy.

제 2 절 단면적 비 변화에 따른 압궤특성

Table 10, 11은 단면적 비 변화에 따른 정적 압궤 및 충격 압궤실험결과의 평균값으로 흡수에너지, 평균 압궤하중, 최대 압궤하중, 전체 흡수에너지, 변형된 길이에 대한 데이터 값을 나타낸다. Fig. 28, 29는 Table 10, 11의 데이터 값 중에서 정적실험에서의 흡수에너지와 충격실험에서의 흡수에너지 및 전체흡수에너지를 비교한 그림이다. Table 10, 11 및 Fig. 28, 29로부터 단면적 비 증가에 따라 흡수에너지 및 평균 압궤하중이 증가하였다. 이는 평판보다는 부재의 모서리 부가 존재하는 "ㅁ"단면에 더욱 많이 응력이 집중된다고 사료되어진다. 하지만, 최대 압궤하중의 경우 정적실험에서는 단면적 비가 증가함에 따라 증가하였지만, 충격실험 하에서는 명확하지 않았다. 이 또한 충격 압궤실험은 정적 압궤실험과 달리 짧은 시간에 걸쳐 진행될 때 시험편과 크로스헤드 접촉 시 발생하는 작용·반작용의 영향때문이라고 생각된다. 충격 압궤실험에서 시험편의 변형량은 단면적 비가 증가됨에 따라 감소하는 경향을 보여준다.

단일모자형 단면부재는 일반적으로 "ㅁ"단면측보다 평판 측의 좌굴하중이 낮기 때문에 평판 측의 좌굴이 계기가 되어서 압궤된다. 정적 압궤실험에서는 TH2, TH3단면부재는 규칙적이고 안정적으로 압궤가 진행되었지만, TH1단면부재는 평판측이 "ㅁ"단면측보다 더 두껍기 때문에 압궤진행 시 "ㅁ"부분이 들리는 현상이 발생하였다. 충격 압궤실험에서는 TH2단면부재는 정적 압궤실험과 마찬가지로 안정적인 압궤모드 지배적이었고, 나머지 두 단면부재도 준 안정적으로 압궤되었지만, 변형량의 차이가 크게 나타났다. 즉, TH단면부재 제작 시 평판부재와 "ㅁ"단면부재의 두께는 상당히 중요한 고려인자로 사료되어진다.

Table 10 Static crushing test results for specimens having different cross-sectional ratio

Specimen type	Energy absorption E_a [J]	Mean collapse load P_m [kN]	Maximum collapse load P_{max} [kN]
TH1(1.21)	526.45	7.52	26.62
TH2(2.11)	1231.97	17.60	43.46
TH3(4.22)	1856.20	26.52	64.16

Fig. 28 Energy absorption characteristics per TH specimen.

Table 11 Impact crushing test results for specimens having different cross-sectional ratio

Specimen type	Energy absorption E_a [J]	Total absorbed energy E_T [J]	Mean collapse load P_m [kN]	Maximum collapse load P_{max} [kN]	Deformation δ [㎜]
TH1(1.21)	992.78	1528.88	12.73	74.68	78.00
TH2(2.11)	991.15	2021.94	16.87	58.79	58.80
TH3(4.22)	992.44	3046.80	25.36	68.16	39.13

Fig. 29 Comparison of absorbed energy with total energy.

제 5 장 결 론

본 연구에서는 충격 흡수 능력 측면에서 자동차 전면부 사이드부재의 충돌에 대한 안전성을 평가하기 위하여 단면형상의 변화, 즉 모서리 수 증가와 단면적 비 변화를 준 시험편 제작하여 정적·충격 압궤실험을 행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모서리 수가 8개인 DH단면부재가 변위를 제어한 정적 압궤실험에서 에너지 흡수, 평균 압궤하중, 최대 압궤하중이 가장 높게 나타났다. 충격 압궤실험에서도 에너지 흡수, 전체에너지 흡수, 평균 압궤하중은 높게 나타났지만, 최대 압궤하중은 명확하지 않았다. 또한, 모서리 수가 증가함에 따라 시험편의 변형량은 감소하는 경향을 보였다.

2. TH단면부재들 중에서는 TH3단면부재가 정적 압궤실험에서 에너지 흡수, 평균 압궤하중, 최대 압궤하중이 가장 높은 값을 보여주었다. 충격 압궤실험에서는 에너지 흡수, 전체에너지 흡수, 평균 압궤하중은 높게 나타났지만, 최대 압궤하중은 명확하지 않았다. 또한, 단면적 비(모자형 단면적/평판 단면적)가 증가함에 따라 시험편의 변형량은 감소하였다.

3. 충격 압궤실험에서 로드셀 위의 모든 시험편은 이론적인 충격에너지 E_I보다 약 4% 적은 에너지를 흡수하였으며, 변형량을 감안한 전체 흡수에너지 측면에서는 DH단면부재가 가장 많은 에너지를 흡수할 것으로 사료되어진다.

4. 단면형상 변화에 따른 정적 압궤실험에서는 TH2단면부재만이 규칙적이고 안정적인 평형모드가 지배적이었고, TTH 및 DTH단면부재는 불안정한 압궤모드가

형성되었다. DH단면부재는 상자형 단면부재와 비슷한 중심축에 대하여 대칭인 아코디언 변형모드를 이루나, 용접선이 압궤하중의 중심선에 있기 때문에 플랜지 부의 간섭에 의하여 불안정한 대칭모드가 지배적이다. 충격 압궤실험에서도 정적 압궤실험과 비슷한 결과가 도출되었다.

5. 단면적 비 변화에 따른 정적 압궤실험에서는 TH2, TH3단면부재는 규칙적이고 안정적으로 압궤가 진행되었지만, TH1단면부재는 평판 측이 “ㅁ”단면측보다 더 두껍기 때문에 압궤진행 시 “ㅁ”부분이 들리는 현상이 발생하였다. 충격 압궤실험에서는 TH2단면부재는 정적 압궤실험과 마찬가지로 안정적인 압궤모드 지배적이었고, 나머지 두 단면부재도 준 안정적으로 압궤되었다.

6. DH단면부재가 강성을 저하시키지 않고 더욱 안정적이고 효과적인 변형모드를 유도한다면, 다른 부재들보다도 더욱 효과적인 자동차 전면부 사이드부재로 사용될 수 있을거라고 사료되어진다.

참 고 문 헌

1. M.D. White, N. Jones. Experimental quasi-static axial crushing of top-hat and double-hat thin-walled sections. International Journal of Mechanical Sciences 1999;41:179-208
2. 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 1999;41:209-233
3. Minoru Yamashita, Manabu Gotoh, Yasuhiko Sawairi. Axial crush of hollow cylindrical structures with various polygonal cross-sections Numerical simulation and experiment. Journal of Materials Processing Technology 2003;140:59-64
4. S.J. Hosseinipour. Mathematical model for thin-walled grooved tubes under axial compression. Materials and Design 2003;24:463-469
5. G.H. Daneshi, S.J. Hosseinipour. Grooves effect on crashworthiness characteristics of thin-walled tubes under axial compression. Materials and Design 2003;23:611-617
6. Sergey L. Lopatnikov, Bazle A. Gama, John W. Gillespie Jr. Modeling the progressive collapse behavior of metal foams. International Journal of Impact Engineering 2007;34:587-595
7. F. Schneider, N. Jones. Influence of spot-weld failure on crushing of thin-walled structural sections. International Journal of Mechanical Sciences 2003;45:2061-2081
8. G. Belingardi, L. Goglio, M. Rossetto. Impact behaviour of bonded built-up beams: experimental results. International Journal of Adhesion & Adhesives 2005;25:173-180
9. 김진성, 임지호, 허 훈, 이문용, 정병훈. 비대칭 모자형 단면 사각관의 정적 붕괴 실험 및 결과의 임의성. 한국자동차공학회 2003;추계학술대회논문집2호:1379-1384
10. 이길성, 백경윤, 차천석, 정진오, 양인영. 차체구조용 박육단면부재의 단면형상변화에 따른 축압궤 특성에 관한 연구. 한국정밀공학회 2003;춘계학술대회논문집:155-158
11. Ainian Zhang, Katsuyuki Suzuki. A study on the effect of stiffeners on quasi-static crushing of stiffened square tube with non-linear finite element method. International Journal of Impact Engineering 2007;34:544-555
12. A.G. Mamalis, D.E. Manolakos, M.B. Ioannidis, D.P. Papapostolou. Crashworthy characteristics of axially statically compressed thin-walled square CFRP composite tubes: experimental. Composite Structures 2004;63:347-360

13. E. Rusiński, A. Kopczyński, J. Czmochowski. Tests of thin-walled beams joined by spot welding. Journal of Materials Processing Technology 2004;157-158:405-409
14. V. Tarigopula, M. Langseth, O.S. Hopperstad, A.H. Clausen. Axial crushing of thin-walled high-strength steel sections. International Journal of Impact Engineering 2006;32:847-882
15. Yujiang Xiang, Qian Wang, Zijie Fan, Hongbing Fang. Optimal crashworthiness design of a spot-welded thin-walled section. Finite Elements in Analysis and Design 2006;42:846-855
16. H.R. Zarei, M. Kröger. Optimization of the foam-filled aluminum tubes for crush box application. Thin-Walled Structures 2008;46:214-221
17. A. Rossi, Z. Fawaz, K. Behdinan. Numerical simulation of the axial collapse of thin-walled polygonal section tubes. Thin-Walled Structures 2005;43:1646-1661
18. S.A. Meguid, M.S. Attia, J.C. Stranart, W. Wang. Solution stability in the dynamic collapse of square aluminum columns. International Journal of Impact Engineering 2007;34:348-359
19. W. Abramowicz. Thin-walled structures as impact energy absorbers. Thin-Walled Structures 2003;41:91-107
20. G.M. Nagel, D.P. Thambiratnam. A numerical study on the impact response and energy absorption of tapered thin-walled tubes. International Journal of Mechanical Sciences 2004;46:201-216
21. Ki-Young Yoon, Nam-Hoi Park, Young-Joon Choi, Young-Jong Kang. Natural frequencies of thin-walled curved bemas. Finite Elements in Analysis and Design 2006;42:1176-1186
22. Abramowicz W, Jones N. Dynamic axial crushing of square tubes. International Journal of Impact Engineering 1984;2(2):179-208
23. Abramowicz W, Wierzbicki T. Axial crushing of multi-corner sheet metal columns. Journal of Applied Mechanics 1989;56:113-120
24. Wierzbicki T, Abramowicz W. Manual of Crashworthiness Engineering vol.Ⅱ. Cambridge, MA: MIT, 1987
25. Belingardi G, Avalle M, Fizzotti R, Tarditi A. Experimental results on the axial crushing behaviour of hat-section thin-walled beam assembles by adhesive bonding. Proceedings of the Florence ATA 2001 Conference, Paper 01A1043, Florence, Italy, May 2001.
26. Reid SR, Reddy T, Gary MD. Static and dynamic axial crashing of foam-filled sheet metals tubes. International Journal of Mechanical Sciences 1986;28:285-322

27. Reyes A, Langseth M, Hopperstad OS. Square aluminum tubes subjected to oblique loading. International Journal of Impact Engineering 2003;28:1077-1106
28. Borvik T, Hopperstad OS, Reyes A, Langseth M, Solomos G, Dyngeland T. Empty and foam-filled circular aluminum tubes subjected to axial and oblique quasi-static loading. International Journal of Crash-worthiness 2003;5:481-494
29. Kavi H, Toksoy AK, Guden M. Predicting energy absorption in a foam-filled thin-walled aluminum tube based on experimentally determined strengthening coefficient. Master Des 2006;27:263-269
30. Nex CP, Smith RA. Impact performance of model spot-welded stainless steel structures, In: Allison IM, editor., Experimental mechanics. vol. 1. Rotterdam: Balkema; 19983 p. 251-256
31. Birch RS, Alves M. Dynamic failure of structural joint systems. Thin-Walled Structures 2000;36:137-154

저작물 이용 허락서

학 과	기계설계공학과	학 번	20067522	과 정	석사
성 명	한글 박 준 우 한문 朴 埈 旴 영문 Park Jun Woo				
주 소	광주광역시 동구 서석동 20-14				
연락처	E-mail : bonovono7@hanmail.net				
논문제목	한글: 차체사이드부재의 충격 흡수 능력에 관한 연구				
	영문: A study on the crashworthiness capacity of vehicle side member				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포・전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송・출력을 허락함.

동의여부 : 동의(○) 반대( )

2008 년 8 월 일

저작자: 박 준 우 (인)

조선대학교 총장 귀하