

핫스탬핑에 의한 자동차 도어 임팩트빔의 개발

염영진 † · 김종국* · 이현우** · 황정복** · 김선웅** · 김원혁** · 유승조**

Development of Vehicle Door Impact Beam by Hot Stamping

Youngjin Yum, Jonggook Kim, Hyunwoo Lee, Jungbok Hwang, Sunung Kim,
Wonhyuck Kim and Seungjo Yoo

Key Words: Side crashworthiness(측면충돌 안정성), Door impact beam(도어 임팩트빔),
Hot stamping(핫스탬핑), Boron steel(보론강), Bending test analysis(굽힘 시험 해석)

Abstract

A hot stamping technology of vehicle door impact beam made of thin sheet steel has been developed, with the aim of ensuring occupant safety in a side collision. This technology has been implemented to increase the strength of vehicle body parts and to reduce not only the weight of door impact beam but also the number of work processes.

Mechanical tests were performed to obtain material properties of hot-stamped specimen and those were used as input data in stamping and structural simulation for optimal design of door impact beam. Strength of hot-stamped door impact beam increased to the value 102% higher than that of conventional pipe-shaped door impact beam and structural simulation showed that hot-stamped door impact beam achieved 28% weight reduction.

1. 서 론

핫스탬핑(Hot Stamping)기술은 판재를 가열한 후 성형과 동시에 열처리를 실시하여 제품의 강도를 강화시키는 공법으로 최근 일본과 유럽을 중심으로 고강도를 요구하는 차체부품에 부분적으로 적용되고 있다.

자동차의 도어 임팩트빔은 측면 충돌시 충격량을 흡수하여 승객을 보호하는 중요 구조물로 이

에 해당된다. 도어 임팩트빔은 중앙의 열처리된 빔과 빔 양단에 도어 인너 패널과 결합하기 위한 브라켓으로 구성된다. 박판을 롤포밍하여 용접한 후 열처리를 실시하여 경화한 빔 양단에 박판 성형으로 제조된 브라켓을 CO₂ 용접하는 복잡한 제조공정을 가진다. 또한 고강도강판의 성형 한계로 인하여 빔 대비 브라켓의 강도가 약 50% 수준에 머무르고 있다. 이는 차량의 측면 충돌시 임팩트빔 브라켓부의 국부적인 변형 증가로 인하여 임팩트빔의 충돌에너지 흡수력을 저하시킨다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 핫스탬핑 적용 가능한 빔과 브라켓의 일체화 설계가 요구된다.

본 연구에서는 핫스탬핑 소재의 상온 및 고온 인장시험을 통한 기계적 물성을 확보하였다. 또한 패널 타입 임팩트빔 개발을 위하여 단면 형상을 선정하고, 양산 차종을 대상으로 임팩트빔 설

† 정회원, 울산대학교 기계자동차공학부

E-mail : yjyum@ulsan.ac.kr

TEL : (052)259-2132 FAX : (052)259-1680

* 울산대학교 대학원 기계공학과

** (주)엠에스오토텍 기술연구소

계를 수행, 성형 및 구조해석을 이용한 최적화 설계 기술 개발을 목적으로 하였다.

2. 핫스탬핑 기계적 물성 시험

핫스탬핑 소재는 경화능을 높이기 위하여 보론이 첨가되어 일반적으로 보론강이라고 불리운다. 현재 일반적으로 사용되는 보론강은 알루미늄 도금 강판과 비도금 강판으로 분류된다.

핫스탬핑 기계적 물성 평가에 사용된 소재는 일본 NSC(Nippon Steel Corporation)의 Usibor1500(이하 보론강이라 칭함)의 보론강으로서, 소재의 가열시 산화 스케일 발생을 억제하기 위하여 알루미늄 도금된 소재이다. 두께가 1.2mm의 소재를 사용하였고, 소재의 화학 조성은 아래 Table 1과 같다.⁽¹⁾⁻⁽²⁾

Table 1 Chemical composition of Usibor1500

Composition	C	Mn	Cr	B
wt %	0.22	1.2	0.15	0.002

2.1 보론강 상온 인장 시험

최적화 설계를 위한 구조해석시 사용하기 위해서는 보론강의 핫스탬핑 전/후의 기계적 물성치를 필요로 한다. 따라서 핫스탬핑 전/후의 시편을 제작하였다. 핫스탬핑 후의 시편을 제작하기 위하여 모자단면을 가지는 금형을 제작 후 핫스탬핑하여 시편을 제작하였다. 인장시편 규격은 KS13B호를 사용하였다. 아래 Fig.1는 핫스탬핑 후의 시편제작용 시작품 및 시편을 보여준다. 인장시험결과는 Fig.2와 Table 2에 나타내었다.

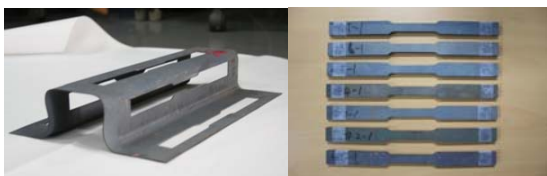


Fig. 1 Usibor1500 specimens after hot-stamping

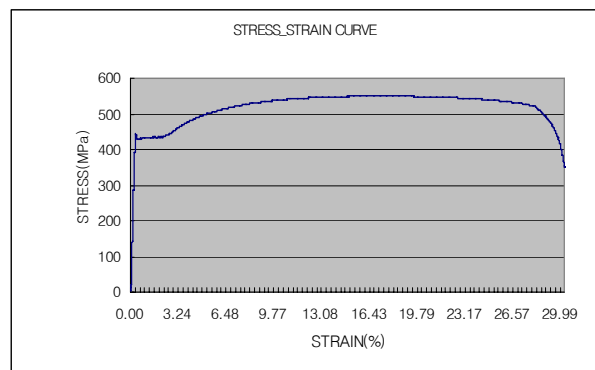
2.2 보론강 고온 인장 시험

고온 인장 실험을 하기 위해서 Fig. 3과 같이 인장시험기 및 가열로를 이용하였다. 시편을 가

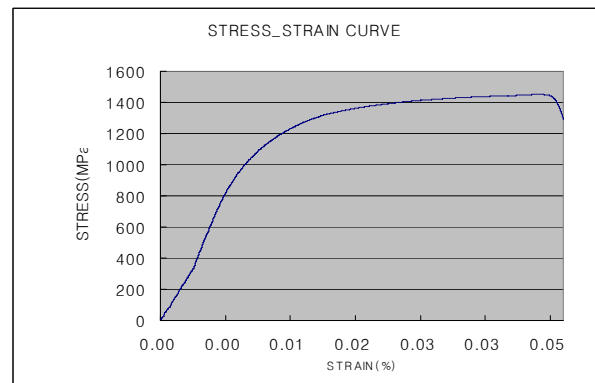
열로 내부에서 가열하고, 온도를 측정하여 목표 온도에 도달하였을 때 인장시험기를 작동하는 방법으로 수행하였다.

Table 2 Result of tensile test(at room temperature)

	Area	Tensile strength	Yield strength	Elongation
Before Hot stamping	13.37mm ²	582.1MPa	397.9MPa	23.1%
After Hot stamping	13.63mm ²	1450.9MPa	1055.6MPa	6.0%



(a) stress-strain curve before hot stamping



(b) stress-strain curve after hot stamping

Fig. 2 Stress-Strain curve of Usibor1500

핫스탬핑 공정은 보론강을 900℃ 이상으로 가열하여 강의 조직이 오스테나이트 조직이 되도록 한 다음에 금형으로 가열된 소재를 옮겨서 고온 상태에서 성형을 하는 방법이다. 따라서 핫스탬핑 공정을 해석하기 위해서는 소재가 가열로에서 가열되는 온도인 900℃에서부터 성형이 완료되는 시점인 500℃까지의 소재의 고온 기계적 성질이 필요하게 된다.⁽³⁾ Fig. 4는 핫스탬핑 공정별 블랭크의 온도변화를 나타낸다.



Fig. 3 Universal testing machine and furnace

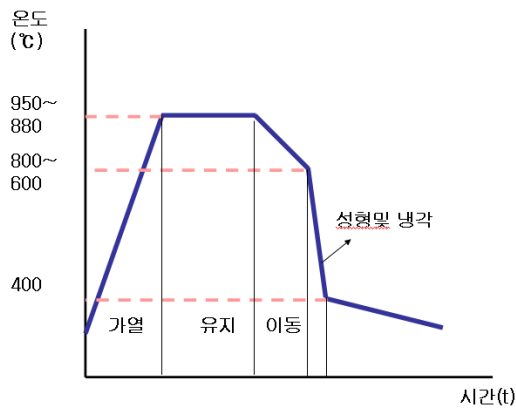
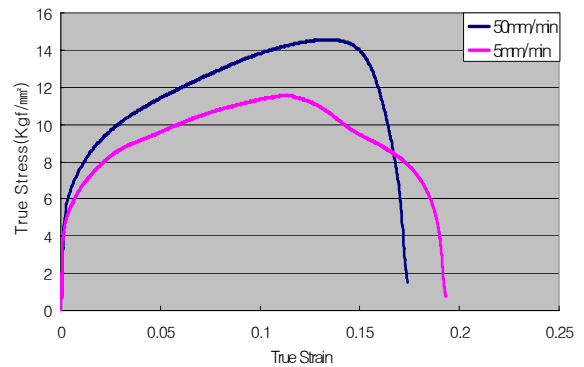
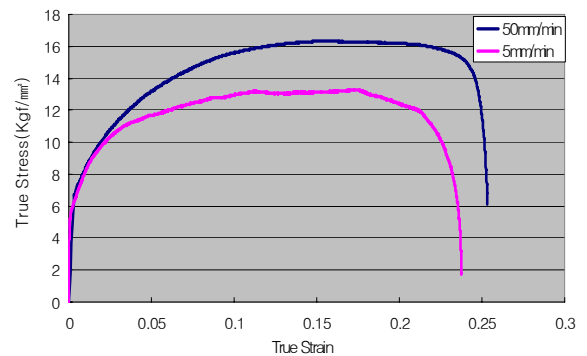


Fig. 4 Temperature change of blank for hot stamping process

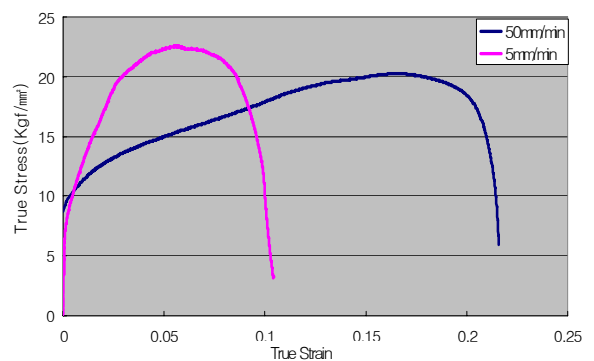
이러한 성형 조건을 고려하여 보론강의 고온 기계적 성질을 900℃, 800℃, 700℃, 600℃, 500℃에 대하여 각각 측정하였다. 고온 상태에서 소재의 기계적 성질은 변형률 속도에 크게 영향을 받기 때문에 변형률 속도에 대한 소재의 기계적 성질을 함께 측정하기 위하여 5m/min 과 50m/min 두 가지 인장 속도에 대하여 각각 고온 인장 시험을 수행하였다. Fig. 5는 각각의 설정 온도에 대하여 인장 속도를 각각 5m/min 과 50m/min 으로 하여 고온 인장 시험한 경우 소재의 고온 인장 시험한 결과를 나타내었다. 인장 시험 결과는 진응력과 진변형률로 변환하여 나타내었다. 모든 시험 조건에서 소재는 변형률 증가에 따라서 항복 강도가 증가하는 가공 경화 특성을 나타내었다. 이러한 가공 경화 특성은 소재의 성형성의 향상을 가져오기 때문에 복잡한 형상의 제품의 성형이 가능하게 된다. 소재를 900℃로 가열한 후 700℃로 냉각하여 고온 인장시험을 수행한 경우 전체 연신율이 높게 나타나 성형성이 우수한 것을 알 수 있었다. 특히 변형 속도가 높은 경우 보다 우수한 성형성을 나타내는 것을 알 수 있었다.



(a) Temperature : 900℃ → 800℃



(b) Temperature : 900℃ → 700℃



(c) Temperature : 900℃ → 600℃

Fig.5 Stress-strain curve of heated Usibor1500

3. 임팩트빔 기본 설계

3.1 단면 형상 선정

본 연구에서는 Fig. 6과 같이 기존의 환봉과 차체부품에 일반적으로 사용되는 One-hat 및 Two-hat 단면 형상을 선정하였다. 각각의 단면형상에 대하여 단면계수를 측정함으로써 빔의 굽힘

강도에 대하여 예측이 가능하다. 단면형상 측정 결과는 Table 3에 표시하였다. 단면계수는 상용 프로그램인 CATIA를 이용하여 계산하였다.



Fig. 6 Beam profile of impact beam for comparison of section modulus

Table 3 Comparison of section modulus

	Round	One-hat	Two-hat
Area(A)	1.87cm ²	1.45cm ²	1.90cm ²
Sectional Modulus(S)	2.09cm ³	1.85cm ³	1.68cm ³
S/A	1.12cm	1.27cm	0.88cm

3.2 샘플 빔을 이용한 3점 굽힘 해석

단면 형상에 따른 빔의 강도를 비교하기 위해서 3점 굽힘 시험 해석을 수행하였다. One-hat 및 Two-hat의 단면을 길이방향으로 연장하여 샘플 빔을 모델링하였다. 샘플 빔의 길이는 400mm이며, 높이는 30mm로, 두께는 1.2mm로 선정하였다. 샘플 빔 양단에서 50mm 떨어진 지점에서 양단을 지지하고 샘플 빔의 중앙에서 반원형의 램을 모델링하여 50mm/min의 속도로 샘플 빔을 가압하였다. Fig. 7은 샘플 빔의 해석 모델조건을 보여준다. 해석은 상용 소프트웨어인 LS-DYNA970을 이용하여 변형(시간)에 따른 반력을 측정하여 서로 비교하는 것을 목표로 하였다. 해석 결과를 필터링하여 Fig.8에 나타내었다. Two-hat 샘플 빔의 반력 최대치가 약 167% 높게

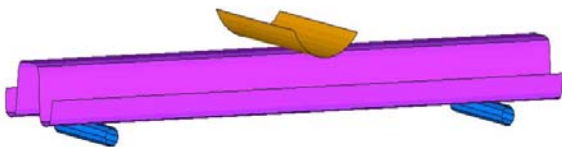


Fig. 7 Analysis model of 3-point Bending

나타났다. One-hat 샘플 빔의 초기 반력이 높게 측정된 것은 상대적으로 높은 단면계수에 의한 변형저항력이 높은 것으로 보여 진다. 그러나 중

반이후부터 빔이 국부적으로 접혀지는 현상이 발생하여 반력이 상승되지 못한 것으로 판단된다. 반면에 Two-hat 샘플 빔의 경우 초기에 빔이 폭 방향으로 펼쳐지는 형상으로 변형하여 반력이 상대적으로 낮게 측정되었으나 중반이후부터는 중앙에 두개의 hat가 서로 만나 내부가 원형을 이루어 반력이 지속적으로 상승한 것으로 판단된다. 따라서 임팩트빔은 Two-hat 단면을 가지는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

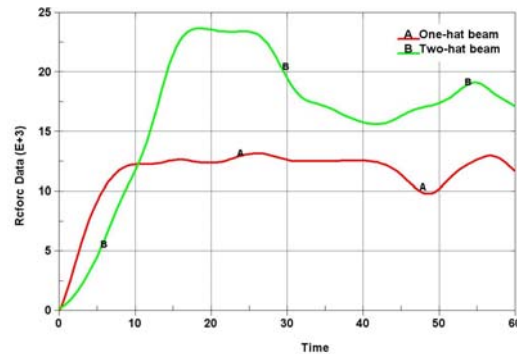


Fig. 8 Reaction-force of sample beam

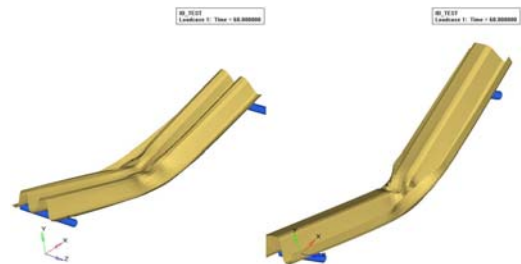


Fig.9 Deformation of sample beam at 60sec

3.3 임팩트 빔 기본설계

샘플 빔을 이용한 해석결과를 바탕으로 양산차종에 대해 적용하고자 되어 인너와 아우터 패넬 형상을 고려하여 임팩트빔을 기본 설계 하였다.



Fig.10 Section of vehicle door

Fig.10은 임팩트빔이 설치되는 부위의 자동차 되어 구조이다. 프런트부의 되어 인너 및 아우터의 간격이 약 5~6mm로 매우 좁은 반면에 리어부는 되어 아우터로부터 약 50~60mm의 넓은 폭을 가진다. 따라서 Fig.11과 같이 Two-hat 단면을 길이방향으로 연장하고 양단에 되어 인너부와 맞닿는 면을 가지며, 임팩트빔의 중앙부는 되어 아

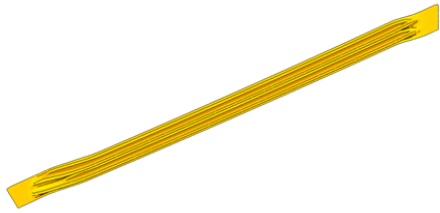


Fig. 11 Proto design of impact beam

우터면과 3mm의 간격을 가지도록 설계하였다.

4. 최적화 설계 및 시작품 제작

4.1 최적화 설계

기본설계를 끝마친 임팩트빔 모델을 이용하여 성형성을 평가하고 변형양상을 파악하여 강도 향상을 위한 최적화 설계를 수행하였다.

일반적으로 빔의 굽힘강도를 테스트하기 위해서는 3점 굽힘시험 방법이 널리 쓰이고 있다. 본 연구에서는 임팩트빔 전체의 강도를 평가하는 것이 목표이다. 따라서 임팩트빔 양단의 브라켓을 포함하여 지지하는 조건을 사용하는 것이 바람직하다. 상기 조건을 만족시키기 위해서 임팩트빔의 양단을 도어 인너에 용접하고, 도어 인너의 변위를 구속하여 구조해석을 수행하였다. 기본 용접은 2개로 시작하여 용접점 증가에 따른 영향을 분석하고, 또한 국부적인 변형 발생을 제거하는 것을 목적으로 하였다. 해석은 상용 소프트웨어인 LS-DYNA970을 이용하여 변형(시간)에 따른 반력을 측정하여 비교 평가 하였다. Table 4에는 구조해석 CASE별 설계 변경 이력을 보여준다.

모델A보다 모델B의 반력이 높은 것으로 보아 핫스탬핑을 이용한 임팩트빔의 강도가 더 높다.

모델 C와 B의 비교결과 빔 양단부에 Hat 단면을 연장하는 것이 강도 향상에 더욱 유리한 것으로 판단된다.

Table 4. Model change of structural analysis

구분	변경사항
A	기존 양산 사양
B	기본 설계 사양
C	#1번의 FR 및 RR부 hat 단면 연장
D	#2번의 RR부 용접점을 3개로 변경
E	#3번의 RR부 용접점관련 형상 수정
F	#4번의 Blank Size 조절 및 홀 삽입

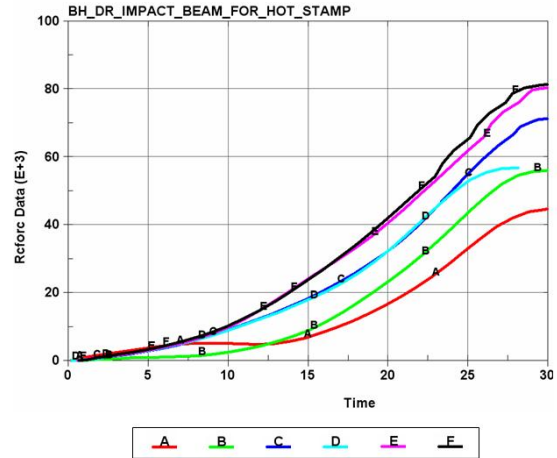


Fig. 12 Reaction force-time curve of analysis model

핫스탬핑을 이용한 도어 임팩트빔 성형은 품공법을 이용하는 것이 최적이다. 따라서 성형해석을 통하여 블랭크 최적 형상 및 성형성 평가를 하였다. 성형해석은 Autoform을 이용하여 수행하였으며, 소재의 물성 데이터는 고온인장시험 결과를 이용하였다. Fig.13은 모델 F의 최적 블랭크 형상을 이용하여 성형해석한 결과이다. 성형해석 결과 터짐은 발생하지 않지만 임팩트빔 양단의 단차발생 부에서 살물림이 발생한다. 급격한 단차발생을 없애고, 단차를 완만히 수정할 경우 주름 해소가 가능할 것으로 판단된다.

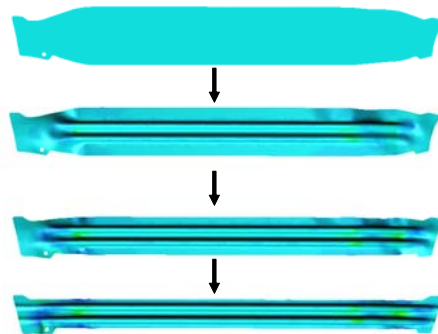


Fig.13 Shape of forming stage

4.2 시작품 제작

최적화 설계 결과를 바탕으로 임팩트빔 금형을 제작하였다. 핫스탬핑 금형은 내부에 냉각수 순환을 위한 냉각채널을 포함하지만, 시작금형에는 냉각 채널을 포함하지 않고 있다. Usibor1500 소재를 최적 블랭크로 절단하고, 시작금형을 이용하여 시작품을 제작하였다. Table. 5에는 도어 임팩트빔을 핫스탬핑 시작품과 비교하여 나타내

Table. 5 Comparison of impact beam

	Shape	Weight	Strength
Conventional		1,962g	43.7kN
Hot stamping		1,298g	88.4kN

고 있는데, 표에서 보는 것과 같이 보강재를 제거하거나 제품의 형상을 변경하여 센터필라 및 도어 임팩트빔 단품으로는 33% 경량화를 이룰 수 있었다.

5. 결론

자동차 도어 임팩트빔을 Hot-stamping 공법으로 제조하기 위하여 양산 차종과 교체 가능한 도어 임팩트빔을 설계하고, 성형해석 및 구조해석을 이용한 최적화 과정을 수행하여 시작품을 제작하였다. 이를 통하여 핫스탬핑 공법을 임팩트빔에 적용하기 위한 설계안을 도출할 수 있었다.

(1) 단면계수/단면적의 비는 One-hat 단면이 가장 높으나, 변형양상에 따라서 Two-Hat 단면을 가진 임팩트빔의 강도가 더 높을 수 있음을 보였다.

(2) 핫스탬핑 임팩트빔의 정도 향상을 위해서는 급격한 단차부위를 피하는 것이 좋다.

(3) 핫스탬핑 임팩트빔의 강도 향상을 위해서는 Hat 단면이 빔 끝단까지 지속되며, 용접점이 3개 이상 필요함을 알 수 있었다.

(4) 시작품 제작결과 핫스탬핑에 의한 도어 임팩트빔 제작시 기존 도어 임팩트빔 대비 약 34%의 경량화 및 102%의 고강도화가 가능하였다.

후 기

이 논문은 2006년에서 2008년까지 부품소재기술개발사업과제 지원을 받아 연구되었음.

참고문헌

(1) R. Mohan Iyengar, B. Fedewa, Y.-W. Wang, D.F Maatz Jr., R.L Hughes, 2008, "Implications of Hot-Stamped Boron Steel Components in automotive Structures", American Society of Automotive Engineering - International Congress and Exposition, SAE Technical Paper Series 2008-01-0857, pp.63-76.

(2) Daniel Duque Munera, Aurelien Pic, Dmien Abou-khalil, Francis Shmit, 2008, "Innovative Press Hardened Steel Based Lase Welded Blanks Solutions for Weight Savings and Crash Safety Improvements", American Society of Automotive Engineering - International Congress and Exposition, SAE Technical Paper Series 2008-01-1076, pp.77-84.

(3) M.Merklein, J. Lechler, 2008, "Determination of Material and Process Characteristics for Hot Stamping Process of Quenchenable Ultra High Strength Steels with Respect to a FE-Based Process Design", American Society of Automotive Engineering - International Congress and Exposition, SAE Technical Paper Series 2008-01-0853, pp.35-50.