

보론강을 이용한 리어 범퍼 임팩트빔의 경량 설계 및 해석

김 기 주^{*1)} · 한 창 평¹⁾ · 임 종 한²⁾ · 이 영 숙³⁾ · 원 시 태⁴⁾ · 이 재 웅⁵⁾

서정대학 자동차과¹⁾ · 경원대학교 기계·자동차공학과²⁾ · 대림대학 자동차과³⁾ ·
서울과학기술대학교 제품설계금형공학과⁴⁾ · 지에스원 연구개발팀⁵⁾

Light-weight Design and Simulation of Automotive Rear Bumper Impact Beam Using Boron Steels

Kee Joo Kim^{*1)} · Chang Pyung Han¹⁾ · Jong Han Lim²⁾ · Young-Suk Lee³⁾ ·
Si-Tae Won⁴⁾ · Jae-Woong Lee⁵⁾

¹⁾Department of Automobile Engineering, Seojeong College, Gyeonggi 482-777, Korea

²⁾Department of Mechanical & Automotive Engineering, Kyungwon University, Gyeonggi 461-701, Korea

³⁾Department of Automobile Engineering, Daelim College, Gyeonggi 431-715, Korea

⁴⁾Department of Product Design and Manufacturing Engineering, Seoul National University of Science & Technology,
Seoul 139-743, Korea

⁵⁾Research and Development Team, GS-ONE Company, 48-3 Youngjang-ri, Gwangtan-myeon, Paju-si, Gyeonggi 413-851, Korea

(Received 18 April 2011 / Revised 10 August 2011 / Accepted 19 August 2011)

Abstract : Increasing the fuel economy has been an inevitable issue for the development of new cars, and one of the important measures to improve the fuel economy is to decrease the vehicle weight. In order to obtain this goal, the researches about lighter, stronger and the well impact absorbing bumper impact beam have been studied without sacrificing bumper safety. In this study, the overall weight reduction possibility of rear bumper impact beam could be examined based on the variation of frontal, offset and corner impact crash capability by substituting a ultra high strength steel material (boron steel) having tensile strength of 1.5 GPa grade instead of conventional steels. In addition, the section variations (open section, closed section, open section with 5 stays) of the bumper impact beam structure were examined carefully. It could be reached that this analysis could be well established and be contributed for design guide and the optimum design conditions of the automotive rear bumper impact beam development.

Key words : Automotive body(자동차차체), Rear bumper impact beam(리어 범퍼 임팩트빔), Crush simulation(충돌 해석), Light-weight(경량화), Boron steel(보론강)

1. 서 론

리어 범퍼는 차체의 후방에 장착되어 차량의 저속 충돌 시 차체 및 승객을 보호해 주는 역할을 하는 자동차용 부품이다. Fig. 1에 나타낸 것처럼 범퍼는 크게 임팩트빔(impact beam, reinforcement), 폼(foam) 구조의 충격흡수재 및 커버(cover)로 구성되

며, 스테이(stay)가 있는 범퍼가 있으며 이 중 범퍼 임팩트빔은 차체 사이드멤버(side member)에 장착되어 충돌 시 상당한 충돌에너지를 흡수한다.^{1,2)} 특히, 고속에서는 범퍼 스테이와 사이드멤버 앞단의 크래시 박스가, 저속에서는 범퍼 폼이 그 역할을 하기도 한다. 범퍼의 충돌성능은 자동차의 각종 충돌로부터 승객을 보호하기 위하여 제정된 각국의 법규를 만족하여야 한다. 현재 많은 자동차 회사들에

*Corresponding author, E-mail: kjkim@seojeong.ac.kr

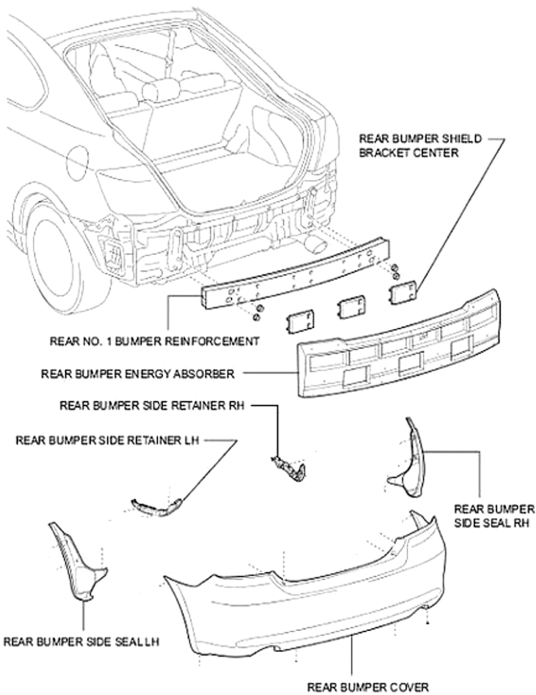


Fig. 1 Rear bumper assembly

서는 신규개발중인 차량에 승객 안전을 보장하면서 연비가 우수한 자동차를 개발하기 위하여, 가볍고 튼튼하며 충격흡수를 잘하는 범퍼를 개발/장착하기 위하여 많은 연구를 수행하고 있다. 특히, 각종 자동차용 부품의 구조성능 평가를 위해 유한요소해석을 설계에 이용하고 있으며, 그 범위는 점차 넓어지고 있다.²⁾ 자동차 연비개선을 목적으로 하는 경량화를 위한 방법은, 현재 기존의 철강을 강도를 요하는 부위나 보강재들의 부품을 박판의 고장력강으로 대체 사용하는 방법이 있다. 그러나 알루미늄합금 등은 가격경쟁력을 갖추기 위한 원가 절감 측면에서의 한계, 프레스성형, 접합(용접), 표면처리 등의 공정에서 아직도 많은 문제들이 있는 등의 단점이 있다.

그러므로 본 연구에서는 자동차 경량화의 일환으로 자동차용 리어 범퍼 임팩트빔의 구조적인 측면과 보론(Boron)강으로 소재의 재질을 변경하였을 때의 센터, 오프셋(offset) 및 코너 충돌성능의 변화를 유한요소해석 기술로 고찰하여 경량화 가능성을 충돌 측면에서 분석하였다.

2. CAE를 이용한 임팩트빔의 구조인자 분석

Fig. 2에 범퍼 임팩트빔의 유한요소 모델 및 하중/경계조건을 나타내었다. 그림에 나타나듯이 임팩트빔의 한쪽 끝을 고정하고 다른 쪽 끝단부에 각 케이스별로 동일한 값인 100 N-mm의 단위 모멘트를 부여하여 Nastran 상용프로그램으로 다양한 경우에 대하여 비틀림 강성을 계산하였다.³⁻⁶⁾

Table 1에 본 연구에서 사용한 각각 두께 2.0 mm를 갖는 보론강과 SPFC780 강재의 기계적 특성을 나타내었다. 표에 나타나듯 보론강의 경우 인장강도 및 항복강도가 SPFC780에 비해 상당히 높은 것을 확인할 수 있다.

Fig. 3에 오픈 섹션을 갖는 범퍼 임팩트빔의 변형형을 나타내었는데 Fig. 2의 비틀림 강성을 부여하고 정부 대비 끝단부에서 변위가 발생함을 알 수 있다.

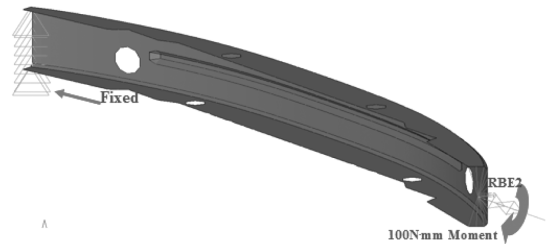


Fig. 2 Model and boundary conditions of bumper impact beam

Table 1 Mechanical properties of beam materials

Materials	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
SPFC780	534.6	816.6	15.4
Boron steel	1,048.1	1467.8	7.9

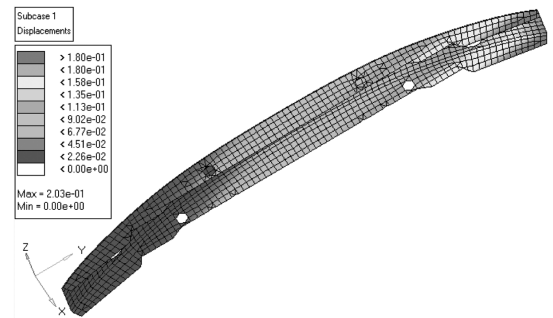


Fig. 3 Deformed shape of bumper impact beam

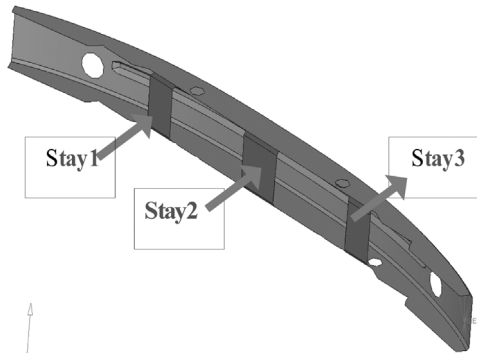


Fig. 4 Design change example from open section bumper

범퍼 임팩트빔의 설계구조의 변화를 주어 역시 구조 변화의 영향을 분석하였다. Fig. 4에 구조 변화를 위해 오픈 섹션의 범퍼에 스테이를 추가하는 설계변경안을 나타내었으며 스테이의 개수를 조절하여 강성값의 변화를 계산하였다.³⁾

범퍼 임팩트빔의 비틀림 강성을 비교하는 이유는 범퍼 구조가 밀폐형 구조(비틀림 강성이 가장 큰 경우)에서 오픈 섹션으로의 변화(오픈 섹션 혹은 스테이 개수의 변화)로 인해 비틀림 강성이 현저하게 낮아질 것이기 때문에 이들 구조 변화 시 비틀림 강성에 미치는 영향을 비교하고자 한다.

Fig. 5에 범퍼 임팩트빔의 설계 구조의 변화(스테이가 없거나 개수를 달리하여)에 따른 비틀림강성 해석결과를 비교하여 나타내었다. 오픈섹션에 비하여 스테이의 개수가 증가하는 것에 비례하여 비틀림강성이 증가하는 것을 확인할 수 있으며 임팩트빔의 뒤판을 완전히 밀폐시킬 경우 비틀림강성이 20배 이상 증가하는 것으로 나타났다.³⁾

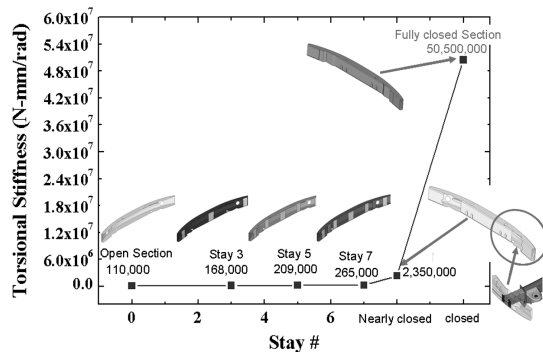


Fig. 5 Effect of stay portions on torsional stiffness[3]

3. 임팩트빔 소재변경에 따른 경량화 및 충돌특성 해석 및 고찰

리어 범퍼 임팩트빔 소재는 기존 소재인 SPFC780 (인장강도 780MPa)과 보론강(Boron steel; 인장강도 1500MPa)을 이용하였다. 고강도 소재를 채용하여 초기 설계모델인 밀폐형 섹션구조(□)를 오픈형구조(□)로 바꾸어 범퍼 충돌성능의 저하 없는 경량화 가능성을 검토하였으며 Fig. 6에 범퍼 정면충돌해석에 사용한 FE-모델을 나타내었다. 충돌해석은 LS-Dyna 상용 프로그램을 이용하였다.

Fig. 7(a)에 당 해석에서 사용한 충돌해석 조건을 나타내었는데, BL=0인 경우가 센터충돌을, BL=300인 경우가 오프셋충돌(Offset crush)의 하중 충돌조건임을 표기한 것이며 Fig. 7(b)에 코너 임팩트 충돌조건을 나타내었다.

Fig. 8(a) 및 Fig. 8(b)에 밀폐형구조(□)를 갖는

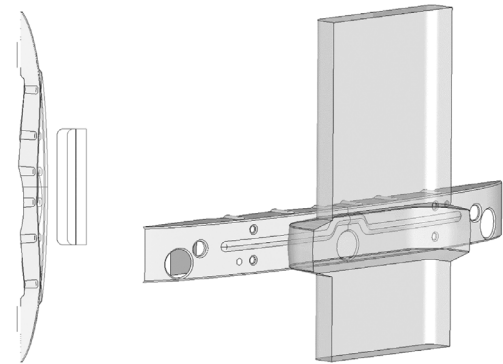


Fig. 6 FE-model for rear crash simulation

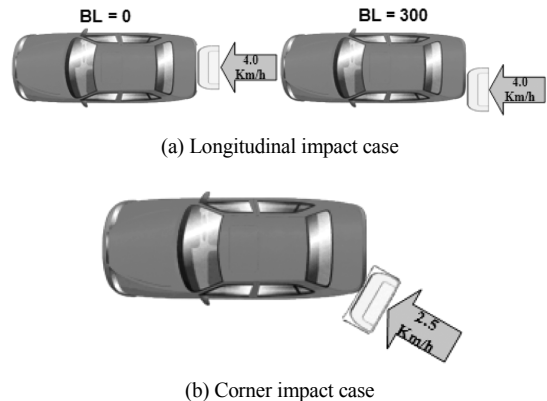
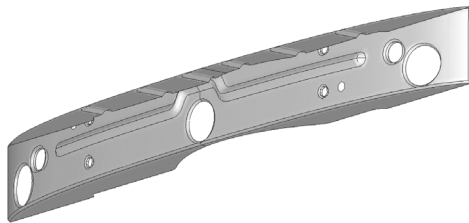


Fig. 7 Impact conditions (speed and loading regions)



(a) With SPFC780 material (closed section)



(b) With Boron steel material (open section)

Fig. 8 Models of rear bumper with SPFC780 and boron steels

SPFC780 소재 및 오픈형구조(□)를 갖는 보론강으로 모델링한 리어 범퍼임팩트빔을 나타내었다.

Fig. 9에 밀폐형구조(□)를 갖는 SPFC780 소재의 리어 범퍼의 센터 충돌해석 후 시간에 따른 차량의 길이방향 변위(X-direction)의 변화를 나타냈으며 이때 최대 침입양(intrusion)은 26.2 mm 이었다. Fig. 10에 보론강 소재의 Fig. 10과 같은 구조를 갖는 개선된 임팩트빔의 센터 충돌해석 결과를 나타내었으며 최대 침입양은 31.7 mm로 밀폐형구조(□)를 갖는 SPFC780보다 높게 나타났다. 이는 Fig. 11과 같이 기존의 Boron steel 소재의 오픈형 범퍼에 스테이를 5개 추가하는 설계구조로 수정한 것이며 이의 변위 변화(BL=300인 경우)를 Fig. 12에 나타내었다. 읍셋 충돌 해석결과 개선된 임팩트빔의 침입양은 35.3 mm로 밀폐형구조를 갖는 SPFC780 적용 임팩트빔의 침입양과 유사한 충돌성능을 갖는 것으로 나타났다. 상기 결과들을 Table 2, Table 3에 정리하여 나타내었으며 본 논문에서의 설계변경으로 리어 범퍼 임팩트빔의 설계구조가 기존 SPFC780 소재 대비 경량화 효과와 아울러 센터 및 읍셋 충돌 성능도 커버할 수 있는 개선 사례임을 알 수 있다. 또한 기존 범퍼 안전법규는 읍셋충돌의 경우 1.5 mile/h로 충돌시 손상이 없어야 상용화가 가능한데 본 해석결과를 토대로 법규 안전성 문제는 없을 것으로 판단된다. Table 2에 나타나듯이 밀폐형 구조를 갖는

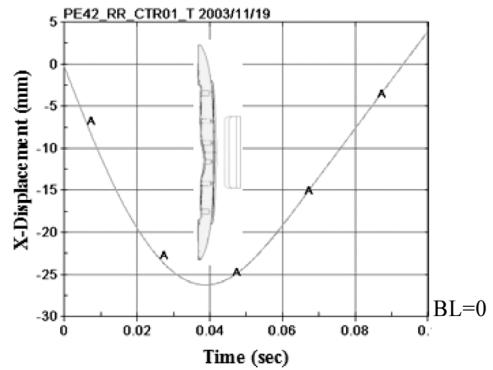


Fig. 9 Impact Intrusion of SPFC780 (□), (Max: 26.3 mm)

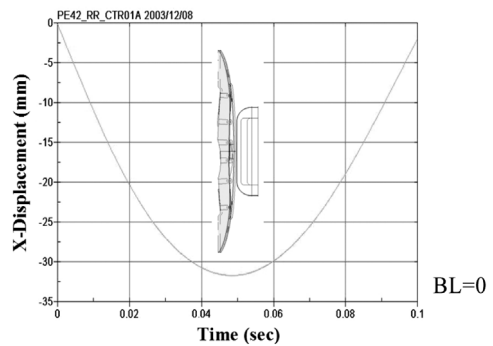


Fig. 10 Impact Intrusion of boron steel(5stays), (Max: 31.7 mm)

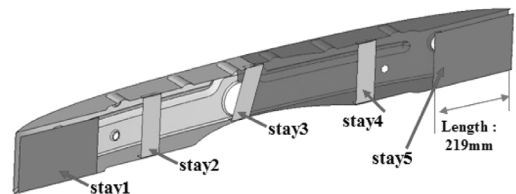


Fig. 11 Modified bumper impact beam as including 5 stays

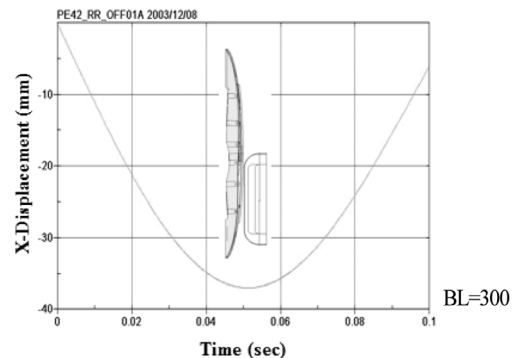


Fig. 12 Impact Intrusion of boron steel(5stays), (Max: 35.3 mm)

Table 2 Summary of analysis results (BL=0)

Materials (section)	Weight (kg)	Maximum intrusion (mm)
SPFC780 (□)	9.4 (100%)	26.2 (100%)
SPFC780 (ㄷ)	5.5 (58.5%)	49.8 (190%)
Boron Steel (ㄷ)	5.5 (58.5%)	38.3 (146%)
Boron Steel (5 stays)	6.3 (67.0)	31.7 (121%)

Table 3 Summary of analysis results (BL=300, Corner)

Materials (section)	BL=300	Corner
SPFC780 (□)	33.6 (100%)	19.7 (100%)
SPFC780 (ㄷ)	-	-
Boron steel (ㄷ)	42.9 (128%)	16.3 (83%)
Boron steel (5 stays)	35.3 (105%)	16.0 (81%)

SPFC780 소재 범퍼의 중량이 9.4 kg이었으나 본 연구에서 제안된 방법으로 오픈 섹션의 범퍼에 스테이를 추가하여 보론강 소재를 적용 시 범퍼 임팩트빔의 상당한 경량화가 가능할 것이다.

4. 결론

리어 범퍼 임팩트빔에 대하여 밀폐형 섹션을 지닌 임팩트빔을 오픈형 섹션 구조형태로 설계 변경하여 임팩트빔의 소재를 보론강으로 교체 후 경량화 효과 분석과 함께 센터(BL=0), 옵셋 충돌(BL=300) 및 코너 충돌 특성을 모사하였다. 해석결과 5개의 스테이를 추가한 경우, BL=0인 경우 임팩트빔의 침입량은 31.7mm로 SPFC780 임팩트빔(□)과 비교해 121%의 값을 나타내었으며 BL=300인 옵셋충돌의 경우 SPFC780 임팩트빔(□)과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 코너충돌의 경우 오픈형 섹션구조로 설계된 보론강 소재를 채택한 경우 SPFC780 임팩트빔(□)과 비교 시 침입량은 16.0 mm로 81%의 값을 나타낸 바 임팩트빔의 경량화가 가능할 것으로 사료되며 본 설계방안으로 범퍼 개발 시 상당한 범퍼 경량화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

다양한 설계자들이 본 논문의 참고를 통하여 서

로 다른 형상을 갖는 다양한 범퍼의 경량화 수정 설계 방향을 찾을 수 있을 것으로 기대하며, 정량적인 경량화율을 나타내지는 않았지만 차량 개발 시 범퍼의 형상은 모두 다르기 때문에 이러한 설계방안이 경량화 가능성을 높이는 데 기여할 것이다.

후 기

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2011년도 산학연공동기술개발사업(No.00046571-3)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

- 1) S. J. Lee, J. S. Park and D. H. Goo, "The Development of Material Technology Applied to Bumper Beam," Transactions of KSAE, Vol.10, No.4, pp.206-215, 2002.
- 2) J. W. Lee and K. A. Youn, "Hood and Bumper Structure Design Methodology for Pedestrian Regulation," Transactions of KSAE, Vol.13, No.3, pp.162-170, 2005.
- 3) K. J. Kim and S.-T. Won, "Effect of Structural Variables on Automotive Body Bumper Impact Beam," Int. J. Automotive Technology, Vol.9, No.6, pp.713-717, 2008.
- 4) D. H. Shin, K. H. Kim and K. Sohn, "Analysis of Car-pedestrian Collisions Using Scaled Korean Dummy Models," Transactions of KSPE, Vol.24, No.5, pp.110-117, 2007.
- 5) D. K. Park and C. D. Jang, "Optimum SUV Bumper System Design Considering Pedestrian Performance," Int. J. Automotive Technology, Vol.11, No.6, pp.819-824, 2010.
- 6) D. K. Park, C. D. Jang, S. B. Lee, S. J. Heo, H. J. Yim and M. S. Kim, "Optimizing the Shape of a Bumper Section Considering Pedestrian Protection," Int. J. Automotive Technology, Vol.11, No.4, pp.819-824, 2010.