

고강도강을 이용한 경량 차체 범퍼 임팩트빔의 충돌 안전 설계 및 해석 Crash Safety Design and Simulation of Automotive Bumper Impact Beam for Light-Weight

*#김기주¹, 성창원¹, 원시태², 이학주³, 최병익³, 김경식³, 손일선⁴

*#K. J. Kim¹(kjkim@seojeong.ac.kr), C. W. Sung¹, S.-T. Won², H. J. Lee³, B.-I. Choi³, K. S. Kim³ and I. S. Sohn⁴

¹서정대학 자동차과, ²서울산업대학교 금형설계과 ³한국기계연구원 나노역학팀, ⁴오산대학 기계자동차계열(성장동력사업단)

Key words : Automotive Body, Bumper Impact Beam, Safety, Crush Simulation, Light-Weight

1. 서론

범퍼는 차체의 전·후방에 각각 장착되어 차량의 저속 충돌 시 차체 및 승객을 보호해 주는 역할을 하는 자동차용 부품이다. 범퍼는 크게 임팩트빔(impact beam), 스테이(stay), 폼(foam) 구조의 충격흡수재 및 커버(cover)로 구성되며, 이 중 범퍼 임팩트빔은 차체 사이드멤버(side member)에 장착되어 충돌 시 대부분의 충돌에너지를 흡수한다[1,2]. 범퍼의 충돌성능은 자동차의 각종 충돌로부터 승객을 보호하기 위하여 제정된 각국의 법규를 만족하여야 한다. 현재 많은 자동차 회사들에서는 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 유한요소해석(CAE)을 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 고강력강으로 대체 사용하는 방법이나 알루미늄 합금 등과 같은 대체 소재를 개발하는 방법이 있다. 그러나 알루미늄합금 등은 가격경쟁력을 갖추기 위한 원가절감 측면에서의 한계, 프레스성형, 접합(용접), 표면처리 등의 공정에서 아직도 많은 문제들이 있는 등의 단점이 있다.

그러므로 본 연구에서는 자동차 경량화의 일환으로 자동차용 범퍼 임팩트빔의 구조적(두께, section 변화, 구성설계부품 설계 변경)인 측면과 고강도강으로 소재의 재질을 변경하였을 때의 정면 및 오프셋(offset) 충돌성능의 변화를 유한요소해석 기술로 고찰하여 경량화 가능성을 충돌 측면에서 심층 분석하였다.

2. CAE를 이용한 임팩트빔의 구조 인자 분석

Fig. 1에 범퍼 임팩트빔의 유한요소 모델 및 하중/경계조건을 나타내었다. 그림에 나타나듯이 임팩트빔의 한쪽 끝을 고정하고 다른 쪽 끝단부에 100 N·mm의 단위 모멘트를 부여하여 Nastran 상용프로그램으로 다양한 경우에 대하여 비틀림 강성을 계산하였다.

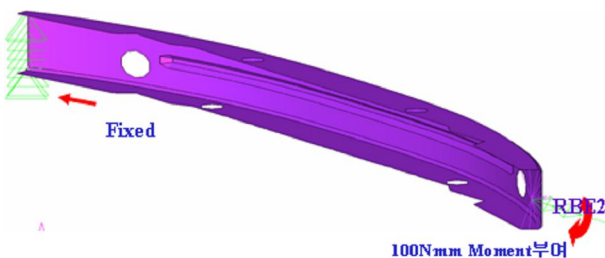


Fig. 1. Model and boundary conditions of bumper impact beam.

범퍼 임팩트빔 섹션 높이를 초기 109(초기모델), 165.5(1.5배), 218(2배) 및 272.5 mm(2.5배)로 달리하여 섹션 높이가 비틀림강성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 범퍼 임팩트빔의 두께를 2.0 mm ~ 3.5 mm로 변화시켜 두께가 비틀림 강성에 미치는 영향을 조사하였으며, 설계구조의 변화를 주어 역시 구조 변화의 영향을 분석하였다.

Fig. 2에 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 뒤편을 완전히 밀폐시킬 경우 비틀림강성이 20배 이상 증가하는 것으로 나타났다[3].

Fig. 3에 범퍼 임팩트빔의 높이 변화, 두께변화 및 범퍼 설계의 변화(스테이가 없거나 개수를 달리하여)에 따른 비틀림강성 해석결과를 비교하여 나타내었다. 범퍼 임팩트빔의 높이 변화, 두께변화 및 범퍼 설계의 변화 중 가장 비틀림강성을 증대시킬 수 있는 방법은 임팩트빔의 높이(section height)를 증가시키는 것임을 확인할 수 있었다. 또한 스테이의 개수를 늘리는 방법이 가장 비틀림강성을 증대시키는 효과가 작게 나타남을 알 수 있다. 그러므로, 임팩트빔의 비틀림강성을 높이기 위해서는 설계상 다른 부품과의 간섭 등을 고려할 때 임팩트빔의 높이를 최대화시키는 것이 가장 효과적임을 알 수 있다[3].

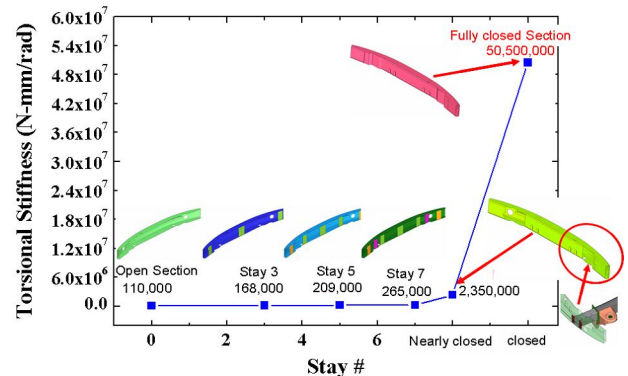


Fig. 2. Effect of stay portions on torsional stiffness[3].

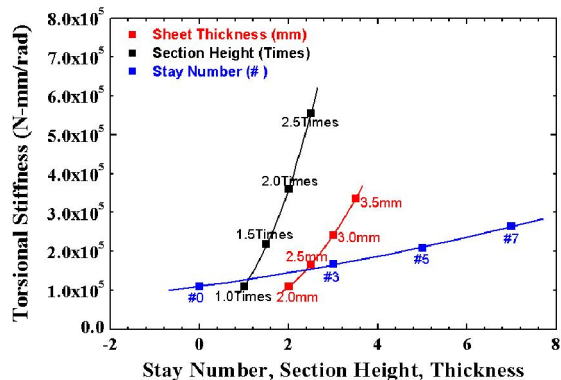


Fig. 3. Effect of section variations on torsional stiffness[3].

3. 임팩트빔 소재변경에 따른 경량화 및 충돌특성 분석

임팩트빔소재는 기존 소재인 SPFC780(인장강도 780MPa)과 보론강(Boron steel; 인장강도 1500MPa)을 이용하였다. 고강도 소재를 채용하여 초기 설계모델인 밀폐형 섹션구조(口)를 오픈형구조(ㄷ)로 바꾸어 충돌성능의 저하 없이 경량화가 가능할지를 검토하였으며 Fig. 4에 오프셋충돌해석에 사용한 FE-모델을 나타내었다. 충돌해석은 LS-Dyna 상용 프로그램을 이용하였다.

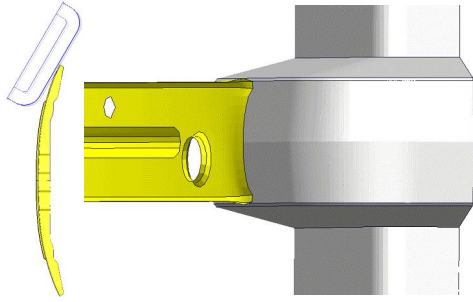


Fig. 4. FE-model for offset crash simulation

Fig. 5에 당 해석에서 사용한 충돌해석 조건을 나타내었는데, BL=0인 경우가 정면충돌을, BL=300인 경우가 오프셋충돌(Offset crush)의 하중 충돌조건임을 표기한 것이다.

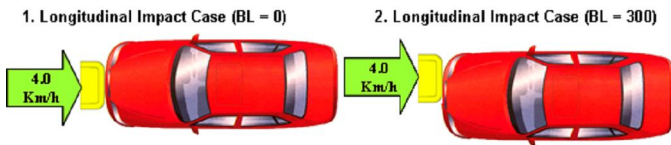


Fig. 5. Impact conditions (speed and loading regions).

Fig. 6에 Boron steel 소재의 오픈형구조(□)를 갖는 임팩트빔의 오프셋 충돌해석 후 시간에 따른 차량의 길이방향 변위(X-direction)의 변화를 나타냈으며 이 때 최대 침입양(intrusion)은 31.3 mm 이었다. Fig. 7에 보론강 소재의 Fig. 8과 같은 구조를 갖는 개선된 임팩트빔의 오프셋충돌해석 결과를 나타내었으며 최대 침입양은 28.6 mm로 오픈형구조 보다 낮게 나타났다. 이는 Fig. 8 와 같이 기존의 Boron steel 소재의 오픈형 범퍼에 스테이를 5개 추가하는 설계구조로 수정한 것이며 이의 변위변화(BL=0인 경우)를 Fig. 9에 나타내었다. 해석결과 개선된 임팩트빔의 침입양은 21.2 mm로 밀폐형구조를 갖는 SPFC780 적용 임팩트빔의 침입양과 동등한 충돌성능을 갖는 것으로 나타났다. 상기 결과들을 Table 1d에 정리하여 나타내었으며 본 논문에서의 설계변경으로 범퍼 임팩트빔의 설계구조가 기존 SPFC780 소재 대비 경량화 효과와 아울러 전방 및 오프셋 충돌 성능도 만족할 수 있는 개선 사례임을 알 수 있다.

4. 결론

범퍼 임팩트빔에 대하여 섹션높이(section height) 변화, 임팩트빔 두께 증대 및 스테이(격막)를 추가한 섹션(section)종류의 변화에 따른 비틀림강성(Torsional Stiffness)을 비교하였으며 가장 효과적인 것은 임팩트빔 높이를 증대 시키는 것임을 알 수 있었다. 밀폐형 섹션을 지닌 임팩트빔을 오픈형 섹션 구조형태로 설계 변경하여 임팩트빔의 소재를 보론강으로 교체 후 경량화 효과 분석과 함께 정면 및 오프셋 충돌특성을 모사하였다. 해석결과 5개의 스테이를 추가한 경우, BL=0인 경우 임팩트빔의 침입양은 21.2mm로 SPFC780 임팩트빔(□)과 비교해 99.4%의 값을 나타내었으며 BL=300인 오프셋충돌의 경우 SPFC780 임팩트빔(□)과 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

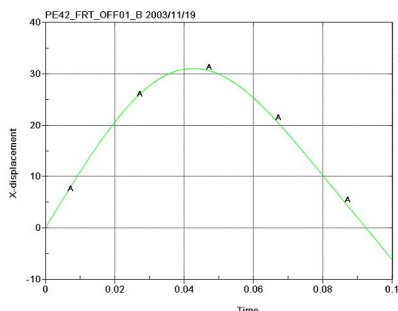


Fig. 6. Impact Intrusion of BORON(□), (Max: 31.0 mm).

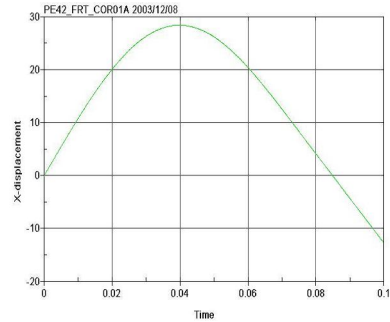


Fig. 7. Impact Intrusion of boron steel(5stay), (Max: 28.6 mm)

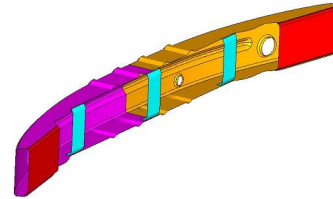


Fig. 8. Modified bumper impact beam as including 5 stays

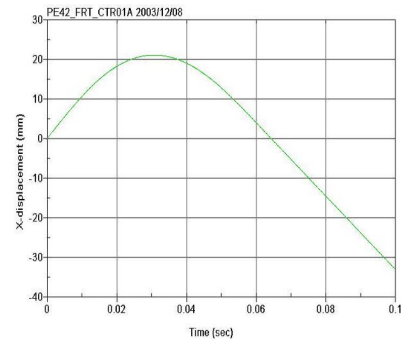


Fig. 9. Impact Intrusion of boron steel(new), (Max: 21.2 mm)

Table 1(a). Summary of analysis results and weight (BL=0).

Materials (Section)	Maximum Intrusion (mm)	Weight (kg)
SPFC780 (□)	21.3 (100%)	6.5 (100%)
SPFC780 (□)	31.0 (146%)	4.3 (66.2%)
Boron Steel (□)	24.6 (115%)	4.3 (66.2%)
Boron Steel (5 stays)	21.2 (99%)	4.6 (70.8%)

Table 1(b). Summary of analysis results and weight.

Materials (Section)	BL=0	BL=300
SPFC780 (□)	21.3 (100%)	27.9 (100%)
SPFC780 (□)	31.0 (146%)	-
Boron Steel (□)	24.6 (115%)	31.0 (111%)
Boron Steel (5 stays)	21.2 (99%)	28.6 (103%)

Acknowledgement

본 연구는 지식경제부의 21 세기 프론티어기술개발사업의 일환인 '차세대소재성형기술개발사업단' 의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이상재, 박진수, 구도희, "The Development of Material Technology Applied to Bumper Beam", KSAE, 10(4), 206-215, 2002.
2. 이제완, 윤경안, "Hood and Bumper Structure Design Methodology for Pedestrian Regulation", KSAE, 13(3), 162-170, 2005.
3. K. J. Kim, S.-T. Won, "Effect of Structural Variables on Automotive Body Bumper Impact Beam", Inter. J. of Auto. Tech. 9(6) 713-717 2008.