

고장력강판 적용을 위한 자동차 범퍼빔 구조성능의 기초연구

강종수¹, 송명환², 임재용^{3*}

¹자동차부품연구원, ²(주)명진테크, ³대구대학교 기계공학부

A Preliminary Study on the Structural Performance of the Bumper-Beams for High-Strength Steel Applications

Jong-Su Kang¹, Myung-Hwan Song², Jae-Yong Lim^{3*}

¹Korea Automotive Technology Institute

²Myungjin Corporation

³School of mechanical Engineering, Daegu University

요약 최근 자동차 업계는 연비향상 및 안전성 강화를 위해 경량 신소재를 적용하여 부품의 경량화를 추구하고 있다. 이를 위해 차체 부품 소재로서 고장력강판의 적용 비중이 50%를 넘고 있는 실정이다. 이에, 본 논문에서는 범퍼빔 부품의 소재로 고장력강판 적용을 위한 기초 연구로서 소재 및 두께 변경에 따른 범퍼빔의 구조강성과 에너지 흡수능력을 해석적 방법으로 비교 평가하였다. 우선 고장력강판을 범퍼빔에 적용하기 위해 기존의 범퍼빔 단면형상과는 다른 타입의 범퍼빔 단면형상을 설계하였으며, 굽힘해석을 통해 설계된 범퍼빔이 충분한 구조성능, 즉, 구조강성과 굽힘하중력을 가지고 있는지 조사하였다. 중앙접합부의 형상에 따라 굽힘에 대한 구조성능은 현저한 차이가 관찰되지는 않았으며, 25ton, 7.5ton/mm내외의 충분한 굽힘저항력과 강성을 가지고 있는 것으로 조사된다. 또한, 충돌해석을 통해 소재 및 두께를 변경하였을 경우의 효과를 비교평가 하였다. 해석결과 고장력강판을 범퍼빔에 적용하기 위해서는 두께를 줄임으로써 기존소재에 버금가는 에너지흡수성능을 구현할 수 있으며, 동시에 뚜렷한 경량화를 이룰 수 있을 것으로 판단된다. 본 기초연구를 토대로 고장력강판 범퍼빔의 구조성능 개선을 위한 향후 연구방향에 대해 제시하였다.

Abstract Consistent efforts have been made to reduce the weight of automotive parts by using lightweight materials. This has resulted in the replacement of conventional steels in car body structures with high-strength steels, and the current usage rate has reached 50%. This study examines the structural stiffness and energy absorption capability of bumper beams made of high-strength steels. New types of bumper beam cross sections are proposed. The structural stiffness and maximum bending force were computed via finite element analysis as about 25tons and 7.5tons/mm, and there were no significant differences among the proposed cross sections. Dynamic analysis was also carried out to investigate the energy absorption capabilities of the bumper beams, and the effects of materials and thickness reduction were analyzed. High-strength steel can be used to achieve weight reduction with comparable structural performance to conventional bumper beams.

Keywords : Bending Analysis, Bumper-Beams, High-Strength Steel, Impact Analysis, Weight Reduction

1. 서론

최근 자동차 업계에서는 강화된 안전법규를 만족시키는 한편, 경량화를 달성하기 위한 노력이 동시에 이루어지고 있다. 전기차 등 친환경차의 개발로 수백 kg에 달하는 배터

리를 채용하여 차량의 중량은 점점 증가하고 있지만 연비 향상을 위한 경량화 이슈가 끊임없이 제기되는 추세이다. 이는 경량신소재 적용과 소재·부품의 형상최적화 등을 통한 혁신적인 기술 개발로 달성할 수 있을 것이라 예상된다. 국내외 완성차업체에서는 차체 부품의 소재로서 고장력

*Corresponding Author : Jae-Yong Lim(Daegu Univ.)

Tel: +82-53-850-6688 email: jaeyong.lim@daegu.ac.kr

Received April 14, 2017

Revised June 8, 2017

Accepted June 9, 2017

Published June 30, 2017

강판의 적용빈도가 늘어나고 있는 추세이다. 해외 완성차 업체에서는 범퍼빔의 소재로 1,300MPa급 강판을 양산하여 차체에 적용하고 있으나, 현재는 1,500MPa급 강판의 상용화 위해 연구개발하고 있다[1,2]. 국내에서는 아직 1,200MPa급 강판은 양산-적용 초기단계이나, 1,500MPa급 강판을 적용하기 위한 범퍼빔 개발은 전무한 상황이다.

차체 구조관점에서 고장력강판 적용의 효과는 강도를 증대시키고 동시에 두께 감소에 의한 경량화를 들 수 있다. 하지만, 고장력강판은 높아진 재료의 강도로 인해 스프링 백량은 상대적으로 크며, 소성변형에 많은 하중이 요구되는 등 몇 가지 기술적 제약을 지니고 있다. 이러한 제약조건을 극복하면서 개발목표치를 만족하기 위한 형상 및 공정 개발에 대한 연구가 필요하다.

범퍼는 차량의 앞부분과 뒷부분에 장착되어 차량 충돌 시 충돌에너지를 일차적으로 흡수하여 차체의 극심한 변형을 최소화하여 궁극적으로 승객을 보호해 주는 부품이다[3,5,6]. 그림 1에서 나타낸 바와 같이 범퍼는 범퍼빔(Bumper Beam), 범퍼스테이(Bumper Stay), 범퍼페시아(Bumper Fascia)로 구성된다. 범퍼스테이와 용접된 범퍼빔은 차체 사이드멤버에 볼트로 차체 바디에 장착된다. 범퍼 구성품 중 충돌에너지의 흡수는 범퍼빔에서 상당량이 이루어지므로 범퍼빔의 구조적 성능은 매우 중요하다[4]. 한편, 범퍼페시아는 플라스틱 재질로서 차량의 스타일링에 맞추어 외관상 중요할 뿐 충돌에 대한 구조적인 역할은 미미하며, 우레탄으로 구성된 폼 역시 범퍼페시아와 범퍼빔 사이에 존재하여 외부에 가해진 충돌력을 범퍼빔에 전달하는 역할과 함께 약간의 충돌에너지를 흡수하는 정도이다.

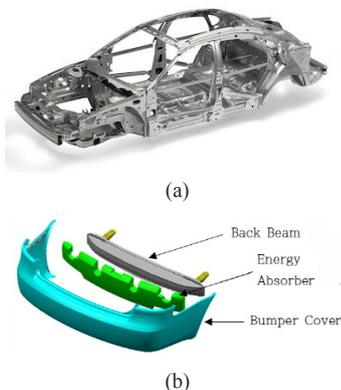


Fig. 1. Car body and Bumper Structures: (a) Car body structure (b) Bumper structure

중요 구조 부품인 범퍼빔에 신소재를 적용하기 위해서는 설계 초기단계에서 전산구조해석을 통해 우수한 구조적 성능을 갖도록 적절한 형상과 치수를 결정하고 이에 대한 분석과 이해가 필요하다.

본 논문은 고장력강판 소재의 범퍼빔 적용에 관한 기초 연구로서, 3점 굽힘 해석과 충돌해석을 통해 소재 및 두께 변경에 따른 범퍼빔의 구조강성과 에너지 흡수능력을 비교 평가하여 고장력강판 적용 범퍼빔 개발에 있어서 앞으로 나아갈 바를 제시하였다.

2. 범퍼빔 단면 형상

본 절에서는 고장력강판을 적용할 수 있는 범퍼빔의 대상 단면에 대해 소개한다. 본 연구에서 저자들은 기존의 범퍼빔 단면 특허를 회피하고자 고강도 소재 및 롤포밍 성형 공정을 적용한 범퍼빔에 대한 기술자료와 특허를 분석한 후, 범퍼빔 단면을 새로이 결정하고 강성과 에너지흡수능에 대해 분석하고자 하였다.

그림 2에는 3가지의 범퍼빔의 단면형상을 나타내었는데, 그림 2(a)와 (b)는 기존의 범퍼빔 단면형상이며, 그림 2(c)에는 특허 회피를 위해 새로이 설계된 범퍼빔의 단면형상을 나타내었다. 이를 각각 Design-O1, Design-O2, Design-N라 부르기로 한다.

일반적으로 범퍼빔 형상은 폐단면 타입으로서 1EA 레일 혹은 2EA 레일로 구성되어 접합되는 구조로 되어 있다. Design-O1 범퍼빔 단면은 아래의 그림 2(a)과 같이 1EA 레일을 이용하여 폐단면을 이루며 접합되며, 범퍼빔 대칭성에 대한 특허 전략으로 제품의 성형성/조립성/부품 특성을 감안하여 중심선을 기준으로 좌우 비대칭 구조로 구성되어 있다. 그림 2(b)에 나타낸 Design O2 형상은 2EA로 구성된 범퍼빔의 단면 형상이며, 일체형과는 달리 2EA의 단면을 성형하여 용접하는 구조이다. 즉, Design-O2는 전방레일과 후방레일사이 길이방향 상하 단부 및 중앙을 따라 용접으로 접합되는 플랜지 형상구조이다.

앞선 Design-O1, Design-O2의 범퍼빔 비드 형상에 대한 특허 회피 전략으로 강성 및 충돌흡수성능을 발휘할 수 있으면서 롤포밍 공정의 특성, 생산성/원가 등을 고려한 범퍼빔 형상을 추가적으로 설계하였다. 이는 그림 2(c)의 Design-N에 보이는 바와 같으며, 구조성능과 경제성에서 유리하도록 대칭형 단면 형상으로 설계하였다. Design-O2

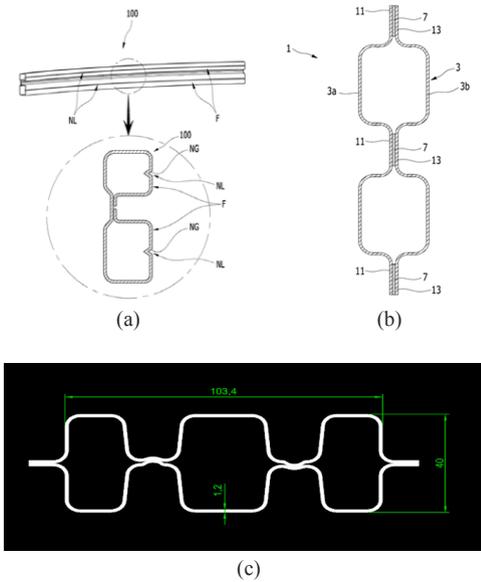


Fig. 2. Bumper beam sectional shape (a) Design-O1: 1EA rail type (b) Design-O2: 2EA rail type (c) Design-N: New 2EA rail type

에 비해 전방레일과 후방레일의 접촉 부분에 대한 신뢰성을 높이기 위해 일자형이 아닌 곡선형이 특징이라 할 수 있다[7,8].

본 연구에서는 특허를 회피할 수 있는 Design-N을 기반으로 비드형상 접합부 상세를 변경한 몇 가지 설계단면에 대해 굽힘해석과 충돌에너지 흡수능력을 분석하여, 고장력강판을 적용하였을 경우 경량화 가능성에 대한 전망을 분석하였다.

3. 굽힘해석

3.1 해석모델 및 경계조건

서론에서 언급한 바와 같이 범퍼는 우수한 에너지 흡수능과 함께 과도한 변형이 방지되어야 하므로 충분한 강성이 확보되는지 검토할 필요가 있다. 앞 절에서 소개한 대칭형 단면형상을 가지는 Design-N을 기반으로 범퍼범 접촉부위의 형상을 약간씩 변경한 3 가지 범퍼범 단면에 대한 굽힘 강성을 3점 굽힘해석을 통해 평가하였다. 세 가지 단면형상을 Table 1에 나타내었는데, Design-N에서 분화된 설계단면으로 Design-N1, Design-N2, Design-N3라 칭하도록 하겠다.

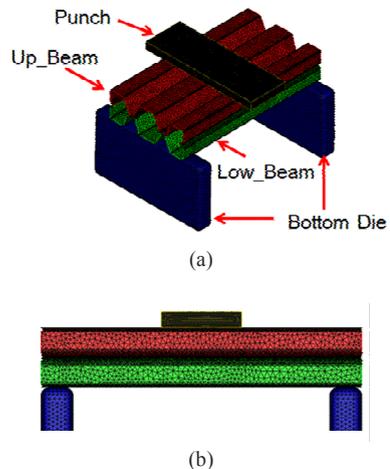
굽힘해석용 범퍼범은 3차원 Tetra 요소를 사용하여 Solid로 모델링하였으며, 재료 물성치는 Table 2와 같이 Docol 1.2GPa급 소재의 데이터를 활용하였다. 또한, Low Beam 아래 부분에 다이(Die)를 설치하고 Up Beam의 윗부분을 펀치(Punch)로 20mm를 눌러 굽힘해석을 수행하였다. Low Beam과 다이의 접촉부분 그리고 Up Beam과 펀치의 접촉부분은 해석 시 접촉(Contact)으로 처리하였다. 이러한 3점 굽힘해석을 통해 각 형상별로 굽힘 저항력과 강성을 체크하였다. 구성된 유한요소해석 모델은 그림3과 같다.

Table 1. Bumper beam sectional shape for the bending analysis

Bumper Section Shape		
Design-N1	Design-N2	Design-N3

Table 2. Material data for Docol 1.2GPa

Material	Docol 1.2GPa
Young's modulus(MPa)	2.1 x 10 ⁵
Yield strength(MPa)	895
Ultimate Strength(MPa)	1,388



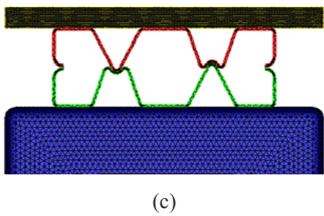


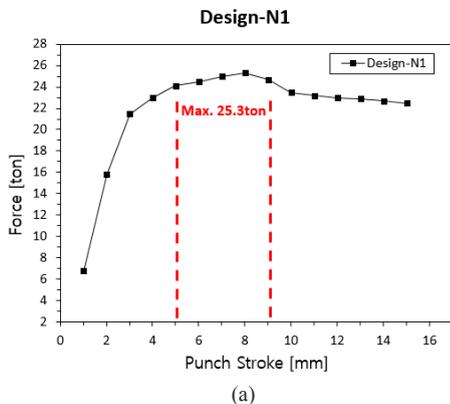
Fig. 3. Bumper beam bending analysis condition (a) Bending analysis schematic diagram (b) Front view (c) Side view

3.2 해석결과

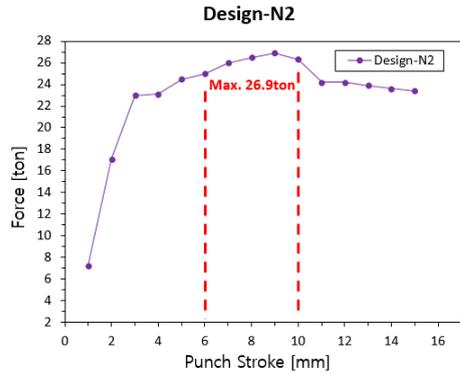
Table 3과 그림 4에는 설계된 범퍼빔 Design-N1 ~N3 단면형상에 대해 3점 굽힘해석 결과를 요약 정리하였다. 강성과 굽힘저항력을 평가한 결과 Design-N2에서 3점 굽힘 저항력 26.9 ton, 구조강성 7.8ton/mm으로 가장 높게 나타났다. 범퍼빔 형상 Design-N1 과 Design-N3의 굽힘 저항력과 구조강성은 각각 25.3ton, 7.4ton/mm과 24.2ton, 7.1ton/mm으로 나타났다. 3점 굽힘해석 결과 중앙접합부의 형상에 따른 현저한 차이가 관찰되지는 않았지만, 고하중인가시 신뢰성이 높은 Design-N2의 단면 형상으로 범퍼빔의 충돌해석 모델을 구성하였다.

Table 3. Bumper beam bending analysis result summary

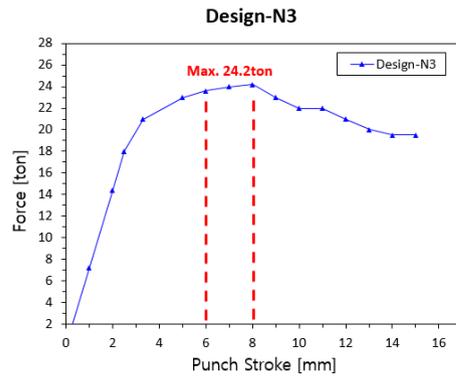
Classification	Bumper Section Shape		
	Design-N1	Design-N 2	Design-N3
Area(mm ²)	431.1	405.5	390.2
Bending Force(ton)	25.3	26.9	24.2
Structural Stiffness (ton/mm)	7.4	7.8	7.1
Weight(kg)	4.1	3.8	3.7



(a)



(b)



(c)

Fig. 4. Bumper beam bending analysis result: (a) Design-N1 (b) Design-N2 (c) Design-N3

4. 충돌해석

4.1 해석모델 및 경계조건

전 절의 굽힘해석 결과를 반영하여 충돌해석용 범퍼빔의 형상은 굽힘저항력이 가장 우수한 범퍼빔 Design-N2 단면형상을 이용하여 범퍼빔 3D 모델을 구성 후 충돌해석을 수행하였다. 1.2GPa급 1.4t 소재의 범퍼빔 대비 1.5GPa급 1.4t 및 1.2t 소재의 범퍼빔에 대한 충돌성능을 비교 평가하였다. 이 범퍼빔 모델을 Design-N2-A, Design-N2-B, Design-N2-C라 하며, 모델 상세는 Table 5에 나타난 바와 같이, Design-N2-A는 기존의 재료적용, Design-N2-B는 고장력재료 적용, Design-N2-C는 고장력재료를 적용하되 두께 치수를 감소시킨 모델이다. Design-N2-C 모델에 주목할 점은 고강도강판적용의 본 목적은 강도가 높은 재료를 사용함으로써 치수감소를 유도하여 경량화를 꾀할 수

있다는 점이다.

모델을 실제 충돌 시 충돌에너지는 범퍼빔과 범퍼 스테이가 대부분 흡수하므로 범퍼빔과 범퍼스테이 모델만 고려하는 것이 가장 효율적인 방법이다. 따라서, 본 해석모델 역시 범퍼 페이스를 제외하고 범퍼빔과 범퍼 스테이만을 모델링하였으며, 강판 소재 및 두께에 따른 충돌성능을 비교 평가하였다. 범퍼빔 충돌성능 시뮬레이션 평가용 해석모델은 그림 5와 같이 범퍼빔, 스테이, 플레이트 및 Barrier로 구성하였다. 범퍼빔은 2차원 Shell 요소를 사용하였으며, 범퍼빔의 앞 범퍼와 뒤 범퍼는 레이저용접으로 접합되는 방식이므로 용접부는 Shell 요소를 이용하여 연결하는 방식으로 모델링하였다. 또한, 범퍼빔과 스테이 역시 용접으로 접합되어 있으므로 Shell 요소로 연결하였으며, 스테이와 플레이트는 볼트로 체결되어 있으므로 RBE2 강체 요소로 연결하였다. 범퍼빔과 Barrier는 충돌에 의해 접촉이 발생하므로 해석 모델에 Contact을 지정하였으며, 충돌 후 차량의 무게중심에 Lumped Mass 요소를 적용하여 중형차급의 중량 1,450kg을 부가하였다.

충돌 시뮬레이션 조건은 범퍼빔이 정지 상태에서 40msec 후 10km/h 속도까지 증가한 후 10km/h 조건으로 Barrier에 충돌하도록 초기조건을 부여하였으며, 범퍼빔과 충돌하는 Barrier는 강체 요소로 모델링하여 변형이 없는 것으로 모사하였다.

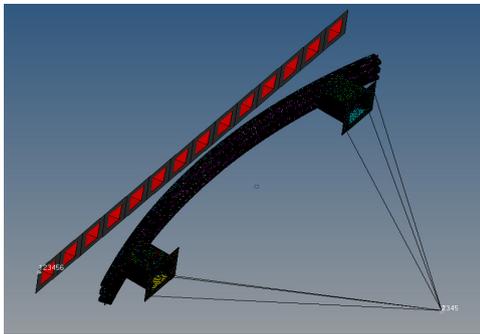


Fig. 5. Bumper beam 3D impact analysis model

Table 4. Material data for Docol 1.5GPa

Material	Docol 1.5GPa
Young's modulus(MPa)	2.1 x 105
Yield strength(MPa)	1,497
Ultimate Strength(MPa)	1,631

Table 5. Bumper beam analysis model

Classification	Model		
	Design-N2-A	Design-N2-B	Design-N2-C
Specification	1.2GPa 1.4t	1.5GPa 1.4t	1.5GPa 1.2t
Purpose for model constructions	Standard	Material Comparison	Weight Comparison

4.2 해석결과

차량의 충돌에너지는 아래 그림과 같이 반발에너지(Rebound Energy)와 흡수에너지(Absorbed Energy)로 나누어진다. 반발에너지는 범퍼빔에 흡수되어 다시 차량에 전달되는 에너지이며, 흡수에너지는 범퍼빔이 흡수한 에너지로서 범퍼빔의 비탄성거동으로 인해 저장된 에너지이다. 초기 충돌에너지와 반발 및 흡수 에너지에 대한 관계는 에너지 보존 법칙에 의해 식(1)과 같다.

$$E_{ini} = E_{reb} + E_{abs} \quad (1)$$

여기서, E_{reb} 는 반발에너지, E_{abs} 는 흡수에너지 그리고, E_{ini} 는 초기 충돌에너지이다.

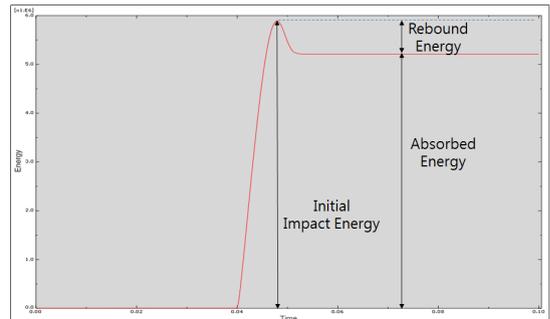


Fig. 6. Typical impact energy curve

Table 6. Bumper beam impact simulation result summary

Classification	Model		
	A	B	C
Eabs(kJ)	4,952	4,287	4,454
Weight(kg)	5.915	5.915	5.070
Eabs(kJ)/Weight(kg)	837	725	879
Displacement Gap(mm)	45.6	29.8	34.9

충돌해석은 범퍼빔이 Barrier와 충돌 후 120msec까지 해석을 진행함으로써 충돌로 인한 범퍼빔의 변형 및 복원 상태를 모니터링하였다. 그리고, 범퍼빔 충돌 흡수능력을 평가하기 위해 각 모델별로 범퍼빔 중량 대비 충돌 후 흡수 에너지(Plastic Dissipation Energy)를 비교하였다. 또한, 충돌 후 소성변형량 PEEQ(Equivalent Plastic Strain)와 변위(Displacement)를 비교 평가하였다.

충돌 후 범퍼빔의 소성변형으로 흡수된 에너지는 Design-N2-A모델이 가장 크게 나타났다. 또한, 범퍼빔의 영구변형량은 충돌 후 범퍼빔의 가운데 및 끝 노드점의 변위량의 차이를 비교하였다. 비교 결과 Design-N2-A모델은 45.6mm로서 가장 크고 Design-N2-B모델이 29.8mm로서 가장 작게 나타났다. 이는 1.2GPa강판을 적용한 Design-N2-A모델의 강성과 1.5GPa강판을 적용한 Design-N2-B, Design-N2-C모델의 강성 차이로 인해 흡수에너지 및 영구 변형이 더 크게 발생한 것으로 판단된다.

또한, 두께가 1.2mm인 C모델의 중량은 5.070kg로서 두께가 1.4mm인 A, B모델의 중량 5.915kg보다 0.845kg 적은 것으로 나타났다. 이로 인해 C모델의 중량당 전체 충돌 에너지는 1,123kJ/kg로서 가장 크고, 중량당 흡수된 충돌 에너지 역시 879kJ/kg로서 Design-N2-C모델이 가장 큰 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구는 차량 충돌 시 충돌에너지 흡수를 통해 차체 변형 및 인체 손상을 최소화하는 역할을 담당하는 고장력강판 범퍼빔 단면 형상의 설계, 고장력강판소재 적용의 효과 및 두께 변경을 통한 경량화 효과에 대해 토의하였다.

- 1) 본 연구를 통해 기존의 범퍼빔 단면형상과 제조방법과는 다른 새로운 형상의 범퍼빔 형상이 제시되었다. 제시된 범퍼빔의 단면 형상은 고강도 강판의 적용을 통해 충분한 강성과 에너지흡수능을 가지고 있는 것으로 조사되었다.
- 2) 1.2GPa급과 1.5GPa급의 범퍼빔의 에너지 흡수능력 비교 시, 1.2GPa급 범퍼빔의 에너지 흡수능력이 더 우수하였으나, 두께 감소를 통해 고장력강판 범퍼빔의 에너지 흡수 성능도 개선할 수 있는 것으로 나타났다.

- 3) 범퍼빔의 1.5GPa급 강판의 두께를 1.4mm에서 1.2mm로 변경하였을 경우 중량이 감소되며, 흡수된 충돌에너지 모두 1.5GPa급 강판 1.2mm 모델이 가장 큰 것으로 나타났다. 따라서, 고장력강판을 적용한 범퍼빔은 치수감소를 가능하게 할 수 있으며, 중량당 흡수에너지를 극대화할 수 있으므로 범퍼빔의 경량화가 가능하다. 한편, 고강도강판을 적용할수록 충돌 후 흡수에너지는 적으나, 충돌로 인한 영구변형이 적어 범퍼빔 주변 구조물의 변형을 최소화할 수 있다.
- 4) 고강도 소재의 범퍼빔 적용으로 인해 충돌에너지 흡수력이 떨어지는 단점을 극복하기 위해 향후 충돌부위의 강도를 변경할 수 있는 국부연화 기술 등의 연구를 통해 경량화와 구조성능을 개선할 수 있다고 판단된다.

References

- [1] Javad Marzbanrada, Masoud Alijanpoura, Mahdi Saeid Kiasatb, "Design and analysis of an automotive bumper beam in low-speed frontal crashes", *Thin-Walled Structures*, vol. 47, no. 8-9, pp. 902-911, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2009.02.007>
- [2] Yuxuan Li, Zhongqin Lin, Aiqin Jiang, Guanlong Chen, "Use of high strength steel sheet for lightweight and crashworthy car body", *Materials & Design*, vol. 24, no. 3, pp. 177-182, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0261-3069\(03\)00021-9](https://doi.org/10.1016/S0261-3069(03)00021-9)
- [3] D. K. Park, C. D. Jang, S. B. Lee, S. J. Heo, H. J. Yim, M. S. Kim, "Optimizing the shape of a bumper beam section considering pedestrian protection", *International Journal of Automotive Technology*, vol. 11, no. 4, pp. 489-494, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12239-010-0060-y>
- [4] K. J. Kim, S. T. Won, "Effect of structural variables on automotive body bumper impact beam", *International Journal of Automotive Technology*, vol. 9, no. 6, pp. 713-717, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12239-008-0084-8>
- [5] J. W. Lee, K. A. Youn, "Hood and bumper structure design methodology for pedestrian regulation", *Trans. Korean Society of Automotive Engineers* vol. 13, Issue 3, pp. 162-170, 2005.
- [6] H. J. Yim, M. S. Kim, J. Park, S. J. Heo, D. K. Park, "Shape Optimization of Bumper Beam Cross Section for Low Speed Crash", *SAE in US*, ISSN 0148-7191, no. 2005-01-0880, 2005.
- [7] E. Schubert, M. Klassen, I. Zemer, C. Walz, G. Sepold, "Light-weight structures produced by laser beam joining for future applications in automobile and aerospace industry", *J Mater Process Technology*, vol. 115, pp. 2-8, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)00756-7](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)00756-7)

- [8] M. Paz, C. P. Strehl, P. Schrader, "Computer determination of the shear center of open and closed sections", Computer & Structure, vol. 6, pp. 117-125, 1976.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(76\)90061-4](https://doi.org/10.1016/0045-7949(76)90061-4)

강 종 수(Jong-Su Kang)

[정회원]



- 2016년 8월 : 한양대학교 기계공학 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 2004년 6월 : (주) 삼성항공 연구원
- 2004년 7월 ~ 2006년 3월 : (주) 현대위아 연구원
- 2006년 4월 ~ 현재 : 자동차부품연구원 선임연구원

<관심분야>

자동차, 기계시스템

임 재 용(Jae-Yong Lim)

[정회원]



- 1999년 2월 : KAIST 기계공학 (공학사)
- 2001년 2월 : KAIST 기계공학 (공학석사)
- 2012년 12월 : University of Virginia 기계공학 (공학박사)
- 2005년 1월 ~ 2007년 6월 : 자동차부품연구원 연구원
- 2013년 2월 ~ 2016년 2월 : 한국철도기술연구원 선임연구원
- 2016년 3월 ~ 현재 : 대구대학교 기계공학부 조교수

<관심분야>

구조경량화 및 경량재료, 피로 및 충격거동

송 명 환(Myung-Hwan Song)

[정회원]



- 1992년 2월 : 국민대학교 기계공학 (공학사)
- 1992년 5월 ~ 현재 : (주)명진테크 연구소장

<관심분야>

자동차, 기계시스템