

〈기술논문〉

자동차 범퍼빔 적용 차세대 재료기술의 개발

The Development of Material Technology Applied to Bumper Beam

이상제*, 박진수*, 구도희*, 정병훈*
Sangje Lee, Jinsu Park, Dohoi Koo, Byunghun Jung

ABSTRACT

It is to be classified into friendly environment and safety problems, as a main technology development of the recent automotive industry. As these tendency, lots of automobile companies focus on a reduction of fuel expenses and strengthen of crash safety using high strength steel. In this study advanced technologies such as tailored blanks, aluminum extrusion and high strength steel forming applied to bumper beam will be described. As a result of impact analysis and an actual impact test, in terms of beam performance and a possibility for the mass production will be discussed.

주요기술용어 : High strength steel(고장력 강판), Tailored blanks(테일러 블랭크), Aluminum extrusion(알루미늄 압출), Bumper beam(범퍼 빔), Impact analysis(충돌해석), Actual impact test(실제 충돌시험)

1. 서론

1.1 자동차 기술동향

오늘날 자동차관련 업계의 핵심 기술개발은 환경친화성 문제와 차량 충돌 안전측면의 확보 등 크게 두가지 분야로 대표된다. 이를 위한 대체 재질의 개발과 새로운 차체 제작기술 및 조립기술 등은 이미 선진 자동차업체를 중심으로 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 차세대 자동차를 겨냥한 기술개발이 꾸준히 이뤄지고 있는 실정이다.

여러 가지 핵심기술 중 공통적으로 요구되

는 사항은 차량의 재료개발과 경량화 기술이다. 대표적인 기술개발 사례로서 초경량 철강 차체(ULSAB, Ultra-Light Steel Auto Body)의 개발을 들 수 있다. 이는 고장력강을 적용함으로써 강성을 증대시킴과 동시에 두께감소에 의한 경량화를 이루고자 추진되고 있다. 하지만 고장력강은 자체의 높은 강성을 가지고 있는 반면, 일반 강종에 비해서 스프링백이 크고 성형성도 많이 떨어지는 제약을 안고 있다. 따라서 고장력강판의 성형을 용이하게 하기 위해서는 자체 신율을 증대시킨 고강도 강종(TRIP강)을 개발함과 동시에 신공정 개발 - Tailored Blanking, Hydroforming 등에도 꾸준한 연구가 필요하다.^{1,2)}

* 회원, (주)성우하이텍 기술연구소

두께 또는 재질이 상이한 복수 소재를 이용하여 강성 및 성형성 등의 특성을 최적화하는 테일러 블랭크(이상 TB) 기술은 유럽이나 미국을 중심으로 일반화되어 있으며, 국내에서도 현재 일부 양산에 적용되고 있다. 이 기술은 차체 부품을 제작하는 경우에 있어서 중량 감소 및 재료수율 향상, 금형수 감소 등의 비용절감 효과를 기대할 수 있다. 또한, 필요 부위에 대해서는 국부적인 강도보강을 할 수 있기 때문에 차체강성과 충돌특성 향상 등의 성능개선 문제를 동시에 피할 수 있는 장점이 있다.³⁾³³³

차량 경량화 기술은 최적설계, 부품성능 극대화 및 경량재료 대체기술 등으로 분류될 수 있다. 경량화 재료에는 일반적으로 알루미늄, 플라스틱, 복합재료 등이 사용되고 있으며, 특히 알루미늄은 합금의 형태로 주어졌을 때 경량특성 외에도 비강도·내식성·열전도성 등이 향상된다고 알려져 있다. 앞으로 대체 경량재료로서의 알루미늄은 기존 자동차용 철강재료보다 우수하고 생산후의 재활용성이 높아 실제 차량 적용시 큰 기대효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.⁴⁾

이상과 같이 차량 설계시에 요구되는 충돌 안전성과 차량 경량화를 동시에 만족시키기 위해서는 새로운 생산공법 및 설계기술, 또한 이를 뒷받침할 수 있는 CAE 해석기술을 필요로 한다. 본 연구는 이러한 설계 및 생산기술 개발을 통하여 경량화와 충돌성을 만족시킬 수 있는 범퍼빔을 개발하고, 실 제품에 적용해 봄으로써 그 효용가능성을 파악해 보고자 한다.

1.2 범퍼빔 역할

범퍼는 대물충돌 또는 차량끼리의 저속 충돌시, 차량 및 탑승자를 보호하는 역할과 동시에 외장품으로서 조형상의 기능도 담당하고 있다. 일반적으로 범퍼의 구조는 Fig. 1과 같이 범퍼커버(Cover)와 충격흡수재(Energy Absorber), 범퍼빔(Beam), 차체연결부(Stay) 등으로 구성된다.

충격흡수재 안쪽에 위치하는 범퍼빔은 차량의 저속 충돌시 흡수재가 충돌에너지를 충분히 흡수할 수 있도록 지지함과 동시에 차체 및 타 부품의 손상을 방지할 수 있도록 여분의 충돌에너지를 감소시켜주는 역할을 한다.

범퍼 시스템에 관한 성능은 각국에서 제정된 법규에 따라 평가되어 진다. 국내의 경우는 안전기준 제 93조에 명시되어 시행중에 있으며, Fig. 2에 보이는 충돌시험 장치를 이용

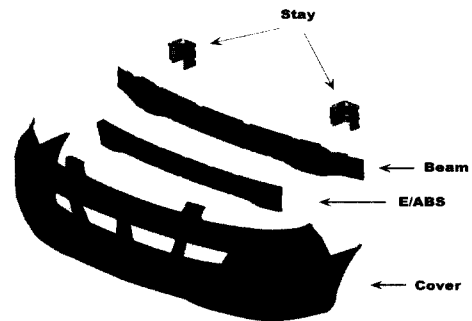


Fig. 1 Structural diagram of the bumper system

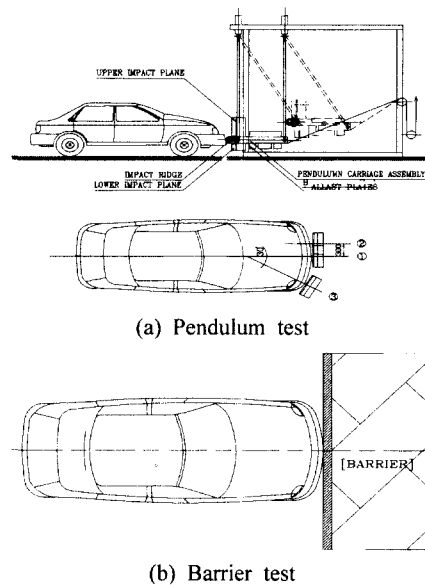


Fig. 2 Schematic view of the impact testing device

하여 Center, Offset, Corner Pendulum Test, Barrier Test 순으로 시험이 진행된다. 이때 각 시험 사이에는 30분 이상의 간격을 두어 충격을 받은 범퍼시스템이 복원될 수 있는 충분한 시간을 마련하도록 한다. 이러한 일련의 충돌 시험이 모두 끝난 후에는 등화장치나 차량상태에 이상이 없는지를 점검하여 시험품의 만족여부를 판정하게 된다.

이상과 같은 시험조건에 따라 본 연구에서는 범퍼빔에 대한 충돌해석을 수행해 보고, 실제 차량 테스트를 거쳐 그 결과를 비교하고자 한다.

2. TB 적용 범퍼빔 구성

2.1 범퍼빔 구성

자동차의 연비를 절감하고 성능을 향상시키기 위해서는 근본적으로 차량구조의 경량화가 필요하다. 이미 선진 자동차 업계에서는 경량화를 위한 차체개발에 많은 노력을 기울여 왔으며, 이와 관련된 기술개발도 함께 진행되어 왔다.

TB 기술은 쉽게 말하자면, 강도가 요구되는 부위에는 두께가 두껍거나 강도가 높은 재질을 사용하고, 강도가 크게 필요치 않는 부위는 얇은 재질을 사용하여 소재를 구성하는 기술이라 할 수 있다. 따라서 강도유지를 위해 사용되는 보강부품을 삭제할 수 있으므로 경량화 및 부품수 감소가 가능하며, 소요 제작비를 동시에 줄일 수 있는 장점이 있다.^{5,6)}

본 연구에서는 기존 양산중인 범퍼빔을 기본 모델로 하여 이와 비교해 보았을 때, 구조 성능이 동등이상이고 경량화된 범퍼빔을 개발하고자 TB 기술을 적용하였다. Fig. 3에 나타난 빔 구성모델은 기존의 일체형 프레스 범퍼빔에서 충격집중이 예상되는 정면부위를 두께가 두꺼운 소재를 사용하여 보강하고, 양쪽 코너 부위는 상대적으로 얇은 소재를 사용하여 구성한 것이다. 두 판재 사이의 연결은 국

내 최초 순수기술로 개발된 레이저 용접시스템을 사용하여 성형 판재를 구성하였다.

기존의 빔 형상과 비교해 보았을 때, 개발된 TB 적용 빔은 내부 보강부품을 줄여 부품수가 5개에서 2개로 감소했으며, 전체 빔 중량 또한 기존 제품보다 16.3% 정도 감량되는 효과를 얻을 수 있었다. 원가적인 측면에 있어서도 약 6.4%의 절감효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 외형적 요소뿐만 아니라 조립품질 향상 및 부분적 강성증대 등 생산성 측면에서도 상당한 시너지 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

2.2 충돌해석에 의한 성능평가

Fig. 4와 같이 모델링 작업을 통해서 TB 적용 범퍼빔의 형상을 구성해 보았다. 사용된 유한요소 모델은 총 15,715개의 절점과 15,480개의 요소들로 이루어져 있으며, 충격흡수재는 솔리드(solid) 요소로, 그외 구성품은 3절점 및 4절점 쉘(shell)요소로 구성하였다. 범퍼 시스템은 좌우대칭 형상이므로 해석은 1/2모델만을 대상으로 진행하였다.

먼저, 진자와 범퍼시스템 중심이 닿는 Center Pendulum 해석이 진행되었다. 충격시

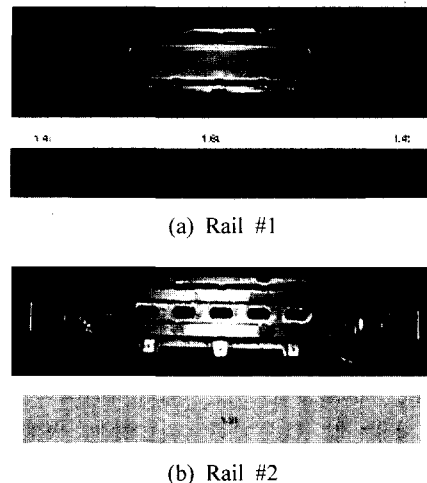


Fig. 3 Photograph of the bumper beam using the TB

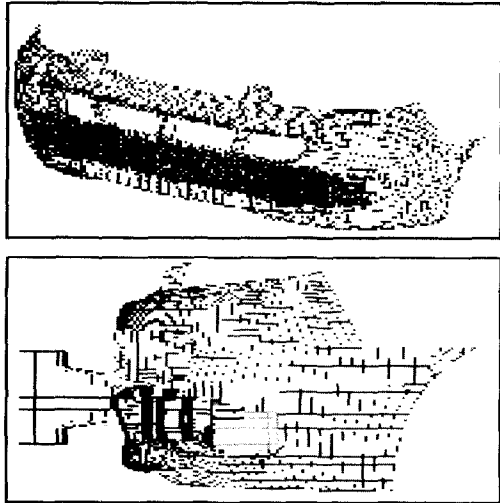


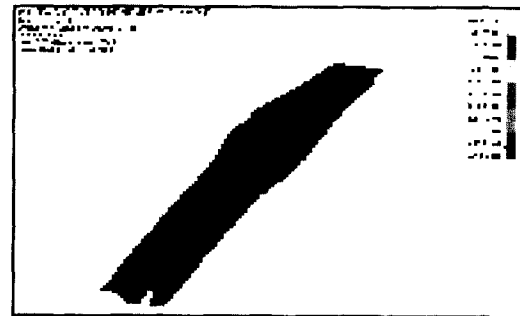
Fig. 4 FEM model of the bumper system

진자에 의한 직접마찰 또는 구성부품들 간의 상호영향을 고려하기 위해서는 내부적으로 여러 가지 경계 및 접촉조건이 필요하다. 예를 들어 진자와 범퍼커버와의 표면마찰, 충격흡수재(E/ABS)와 범퍼빔, 그리고 차체와 연결되는 부위의 접촉현상을 감안해 경계조건을 설정하였다. 본 해석은 전체 시스템의 1/2 형상만이 적용되었으므로 중심선에는 y축 방향으로의 이동과 x축, z축을 중심으로 한 회전을 모두 구속시켰다(x축은 전장방향(T), y축은 전폭(L), z축은 전고방향(H)을 의미한다). 차량중량 1980kg을 범퍼시스템 및 진자에 부여하고, 실제 시험속도보다 약간 높은 4.3km/h의 초기속도를 충격 진자 모든 절점에 적용시켰다.

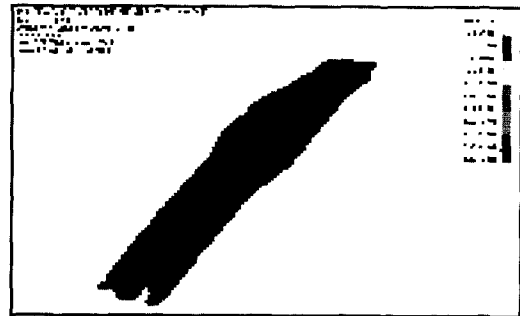
진자의 이동 시점부터 진행시간을 0.13초로 지정했을 때, 총 해석시간은 Digital 533MHz Workstation에서 CPU time으로 약 6시간 42분이 소요되었다. 해석결과 범퍼빔의 형상은 중심부에서 약간의 함몰현상이 발생되었으며 이때의 응력을 측정해 본 결과, 약 414.2MPa 정도 최대응력이 집중되는 것으로 관측되었다. Fig. 5는 최대 변형후 변형이 일어났던 부위가 점차 복원되면서 보이는 응력분포도를 나타낸

다. 이를 통하여 빔의 영구변형과 충돌후 잔류응력 등을 측정해 볼 수 있다.

Fig. 6은 시간에 따른 빔의 X축 방향 변위량을 나타낸 곡선이다. 중심 단면을 놓고 보았을 때, 빔의 상단부 절점을 A, 차량중심부 중 임의의 점을 B, 그리고 진자의 한 절점을 C로 정의하였다. 그래프를 보면, 약 0.05sec시점에서 B-C 간 간격이 제일 크게 보이며 그때의 거리는 36.7mm, A-B간 거리는 5.5mm로 측정되었다.



(a) At rebound time



(b) After restored

Fig. 5 Predicted stress distributions after simulation

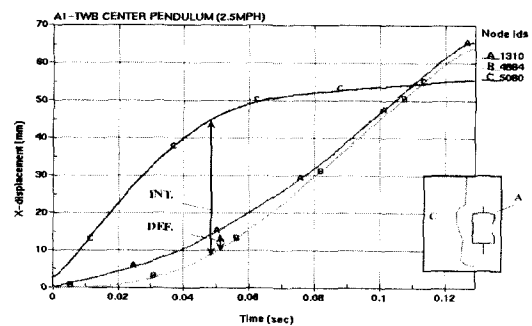


Fig. 6 Displacement - Time curve

여기서, B-C 사이의 거리는 범퍼시스템의 가장 끝단이 충격에 의해서 안쪽으로 밀려들 어간 거리를 의미하는데, 이것을 흔히 밀림량 (Intrusion)으로 표현한다. 이 값은 범퍼 커버에서 차체까지의 거리를 나타내므로 차량 충돌 시 주어진 설계 기준을 벗어나게 되면 차체에 손상을 입힐 염려가 있다. 그리고 A-B간 거리는 범퍼빔의 끝단에서부터 변형된 거리를 의미하며, 변형량(Deflection)으로 표현된다. 변형량은 차량에 따라 조금씩 다르지만 승용차에서는 대부분 50mm 정도 이상의 공간을 확보해 놓고 있다.

고정벽(Barrier)시험은 진자(Pendulum)시험과는 달리 차량을 일정속도로 유지시키며 고정된 벽면에 충돌시키는 시험이다. 따라서 해석 적용을 위해서는 Fig. 7과 같이 가상공간 상에 임의의 고정벽을 만들고, 차량 속도만큼 범퍼 시스템 전체에 속도를 부여해 준다.

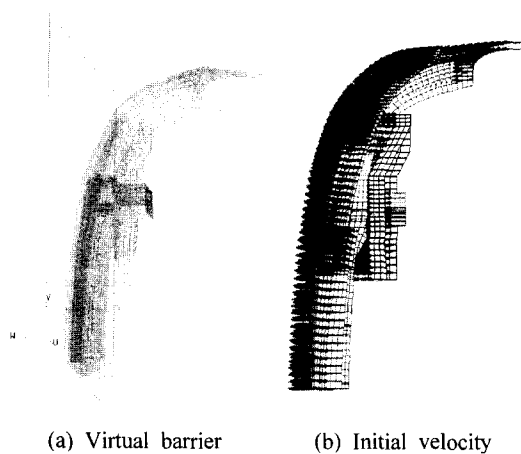


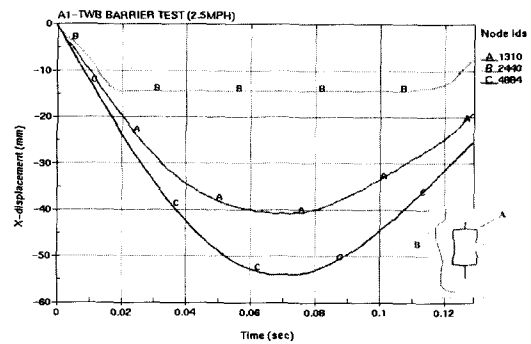
Fig. 7 Applied conditions for the barrier impact test

해석시간은 Digital 533MHz Workstation에서 CPU time으로 약 7시간 40분이 소요되었다. 해석결과, 시간 대 변위량 곡선은 Fig. 8과 같이 나타났으며 대칭선을 기준으로 변형된 범퍼빔의 단면을 Fig. 9에 나타내 보았다. Rebound 시점인 0.08초에서 빔의 변형이 최대로

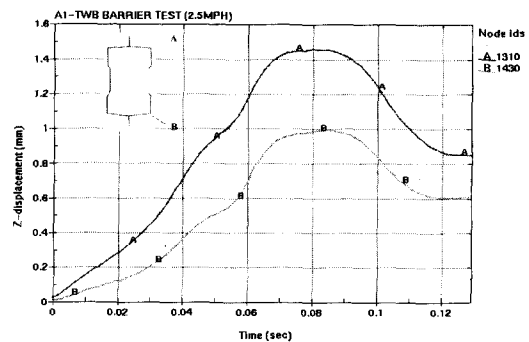
일어나고 있음을 볼 수 있다.

충돌시 범퍼빔은 X-방향으로의 변형뿐만 아니라 전고 방향인 Z-방향으로도 변형을 일으키며, 심한 경우에는 위쪽 상관 부품들에게 지 영향을 미칠 수 있게 된다. 따라서 Fig. 8(b)와 같이 시간에 따른 Z-방향의 변위량을 살펴보았다. 그래프로부터 빔의 양쪽 끝 절점 A, B는 모두 양의 Z-방향으로 움직이고 있으며, 최대 1.5mm의 변형을 일으키고 있음을 짐작할 수 있다.

이상으로 TB가 적용된 범퍼빔의 특성을 살펴본 결과, 부품수 및 중량을 감소했음에도 불구하고 전체적인 범퍼시스템의 성능에는 크게 문제가 되지 않음을 볼 수 있었다. 한편, 판재의 강도 및 두께의 조합에 따라 그리고 용접선 위치에 따라라도 빔의 성능이 좌우될



(a) X-displacement curve



(b) Z-displacement curve

Fig. 8 Displacement curve according to the time

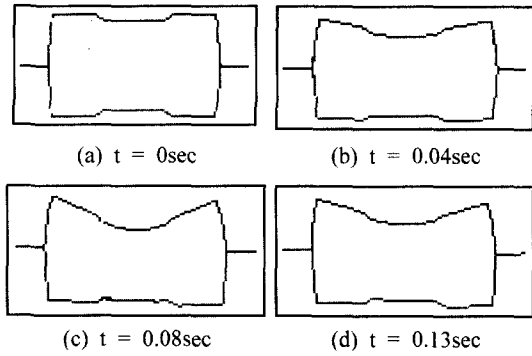


Fig. 9 Sectional deformation shape of the bumper beam according to the time

수 있으므로 CAE를 통한 최적화 설계가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

3. 고장력강판 적용 범퍼빔 구성

3.1 범퍼빔 구성

고안전·초경량 차체에 대한 관심이 높아지면서 이에대한 적합한 성능요건을 만족시킬 수 있는 재료의 요구가 늘어나고 있다. 이러한 추세에 따라 예전의 자동차 차체(Body)에 대부분 적용되던 철강재료는 점진적으로 감소하고 있는 반면, 탄소함유량 및 합금원소를 첨가해서 일반강재 보다 강도를 한층 증대시킨 고장력강판이 그 대체 재질로 주목받기 시작하고 있다. 최근에는 강도를 높임과 동시에 성형성을 고려한 신소재 강판도 개발되고 있기 때문에 그 적용범위가 점차 확대될 전망이다.

지금까지 개발되어 양산에 적용하고 있는 고장력강판은 인장강도 343~784N/mm²급이 대부분을 차지하고 있으며, 주로 강도를 요하는 자동차 부재에 적용되고 있다. 하지만 높은 강도상의 장점에도 불구하고 고장력강판을 적용하는데 있어 최대 걸림돌은 낮은 성형성으로 인한 성형 불안정이라 할 수 있다. 특히 인장강도 784N/mm²급 또는 980N/mm²급 강판을 적용하기 위해서는 일반 프레스공법으로는 파단 및 스프링백량이 심하여 성형하기가 대단히 어려운 실정

이다. 따라서 본 연구에서는 롤포밍(Roll Forming)공법을 이용하여 성형을 유도해보고, 범퍼빔을 제작해서 그 성능을 평가해 보고자 한다. Fig. 10은 개발된 롤포밍 공정의 작업라인과 성형 흐름도를 나타낸 그림이다.

본 연구에서는 인장강도 980N/mm²급 강판의 적용을 대상으로 했으며, 설계 단계에서 최적화 작업(parametric study)에 의해 빔의 단면형상을 결정하고 제품 제작이 진행되었다. 소재물성 및 롤러(roller) 각 단의 굽힘각에 따라 롤포밍 시스템을 구성하고, 이로부터 제작된 빔 형상은 Fig. 11과 같다.

전체적으로 빔의 구조는 두께 1.2t의 Rail-1과 Rail-2가 플랜지를 맞대어 서로 점(spot)용접되고, 그 내부에 두께 1.0t의 보강재가 추가되는 형상을 이루고 있다. 그리고 Stay는 뒤쪽

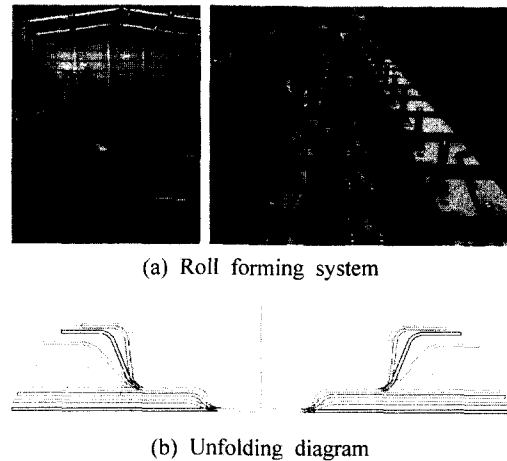


Fig. 10 Roll forming equipment and unfolding flow

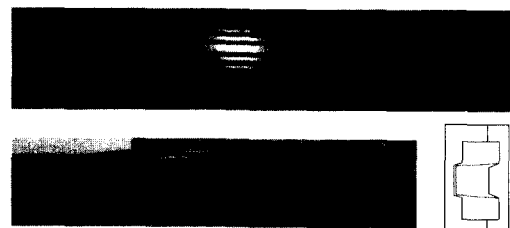


Fig. 11 Bumper beam using the high strength steel

차체 연결부와 체결될 수 있도록 Rail-2 후면에 CO₂ 아크용접되어 있다.

조립된 전체 빔의 중량은 약 5.7kg으로 측정되었다. 고장력강판 미적용시, 빔 두께를 0.2t 높였을 경우 약 0.8kg 정도의 중량이 증가되기 때문에 본 연구에 적용된 시스템에서는 두께감소에 의한 약 12%의 감량효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

3.2 충돌해석에 의한 성능평가

충돌해석을 통하여 최적의 단면형상을 찾아내고 성능만족 여부를 평가하였다. 유한요소 모델링된 각 단품의 형상과 시험조건을 Fig. 12에 나타내었다. 5.2km/h의 차량속도로 고정벽에 부딪히는 고정벽 시험을 수행한 결과, 범퍼빔 중심부에서 V자형의 흠과 함께 빔이 함몰되는 현상을 보였다. 이는 곡률진 빔 형상이 양쪽 Stay부에 지지되어 있기 때문에 일정한도 이상의 힘을 받게 된다면 그 중앙에서 모든 충격력이 집중될 것으로 예상된다. Fig. 13은 이러한 빔의 형상을 시간에 따른 응

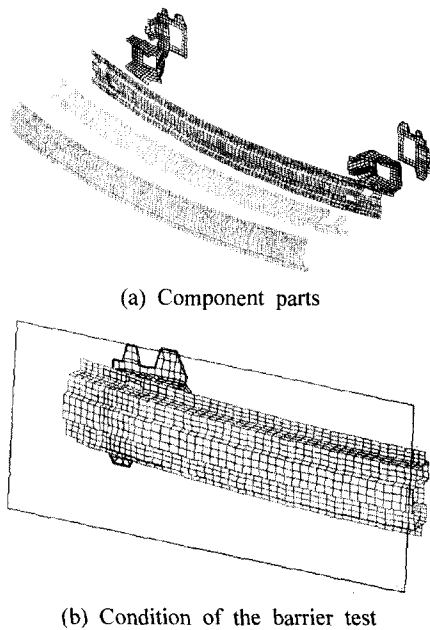


Fig. 12 FEM model for the barrier impact test

력분포로써 나타낸 그림이다. 회복(rebound) 시점 이후에도 중앙의 V형 흠은 그대로 남아 있어 영구변형을 일으킬 것으로 보인다.

Fig. 14는 시간에 따른 X-방향 변위로서 각각 차체중량(A), Rail(B), 충격 흡수재(C)의 한 절점에서 체크된 결과값을 나타낸다. A곡선이 변곡되는 시점 - 가장 낮은 값을 보이는 시점이 고정벽에 충돌한 후 rebound되는 시점으로 추측해 볼 수 있다. 따라서 그때의 최대 밀림량(A-C)은 68.7mm, 최대 변형량(A-B)은 58.4mm로 측정되었다.

Fig. 15는 충돌시험 테스트 장비(대차시험)에 장착된 범퍼빔 사진과 테스트 후 변형된 빔의 형상을 보여주고 있다. 실제 테스트에서도 빔의 중앙에 함몰에 의한 V자형 변형이 발

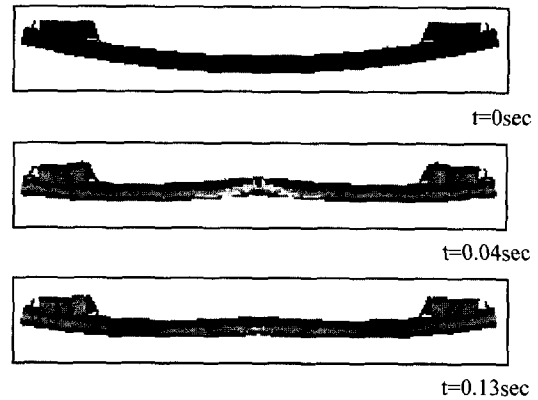


Fig. 13 Deformation shape according to the time

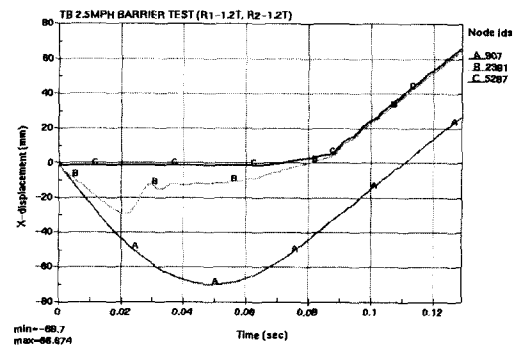


Fig. 14 X-displacement curve

Table 1 Results of actual test and analysis

	Simulation	Experiment
Intrusion(mm)	68.7	69.0
Deflection(mm)	58.4	66.0

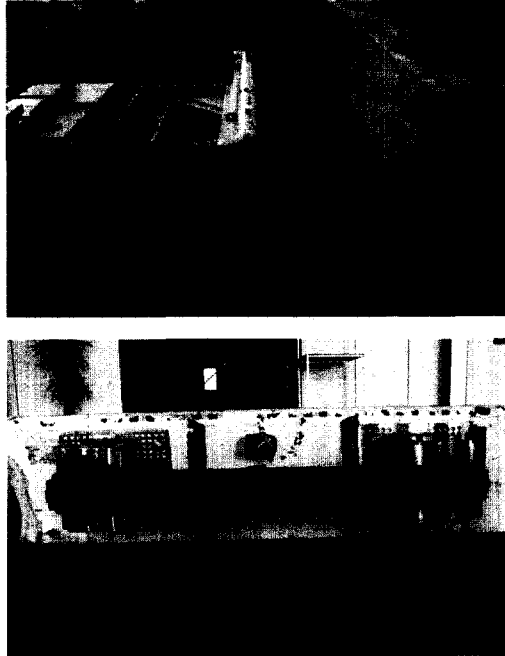


Fig. 15 Barrier impact testing equipment

생됨을 볼 수 있다. Table 1의 실험결과와 비교해 볼 때, 변형된 양상 및 결과값이 해석치와 매우 유사하다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 알루미늄 적용 범퍼빔 구성

4.1 범퍼빔 구성

자동차 기술개발의 목표인 고안전 및 고성능 차량, 승차감과 편리성을 고려한 차량의 개발은 급격한 차량 무게의 증가를 초래하게 되었다. 따라서 우선적으로 해결해야될 당면과제는 전체 차량중량의 20~30%를 차지하는 차체 중량을 최소화시켜야 한다는 것이다. 이와 관련하여 경량재료로의 대체 및 새로운 가공 조립기술의 개발 등이 그 대안으로 검토되

고 있는 가운데 앞서 소개된 고정력강판 이외에 알루미늄 재질을 이용한 경량화에 관심이 집중되고 있다.

알루미늄 합금재료는 일반 강판에 비해 낮은 밀도를 가지고 있는 반면, 강도가 큰 특성이 있으므로 자동차산업에서도 그 효용 가치가 높을 것으로 평가된다. 예를들어, 차체 제작시 알루미늄 재질을 이용하게 되면 기존 강판과 비교하여 동일한 강성조건을 만족시킬 때, 약 30% 이상의 경량화가 가능하다고 보고되어 있다.⁷⁾

본 연구에서는 알루미늄 소재를 이용하여 범퍼빔을 구성해 보고, 해석 및 실제 차량 테스트를 통해 그 적용 가능성을 검토해 보았다. Fig. 16은 차량구조에 대한 최적단면을 설정하여 압출성형의 형태로 제작된 빔 형상을 보여주고 있다. 빔의 전면부 두께를 높임으로써 충돌시에 전달되는 충격을 초기에 완화시키고자 하였으며, 압출성형의 장점을 살려 빔 안쪽에 보강 리브를 추가하는 것으로 자체 강성을 높일 수 있도록 설계하였다.

4.2 충돌해석에 의한 성능평가

설계된 제품 형상에 따라 충돌해석을 위한 모델링을 구성하였으며, 시험항목인 고정벽 테스트에 맞는 해석조건을 부여하였다. Fig. 17에 이에대한 FEM 모델을 나타내었다.

빔이 고정벽에 충돌해서 rebound 되는데 걸리는 시간은 0.08초로 측정되었다. 빔의 곡률형상 및 알루미늄 재질특성에 따라 다소 높은 수치를 보였는데, rebound time이 길수록 빔에서 흡수되는 에너지량이 많아지고 빔 자체 강성이 약할 경우에는 합몰·좌굴·비틀림 등 변형을 일으킬 우려가 높아진다.

Fig. 18은 해석결과로 나타난 빔의 응력분포와 실제 차량테스트 후 나타난 실험결과를 비교한 그림이다. 실제 충돌시 빔의 상태는 중앙부위에 약간의 합몰현상이 나타났고, Stay 체결부위에 충격력에 따른 변형 흔적이 남아

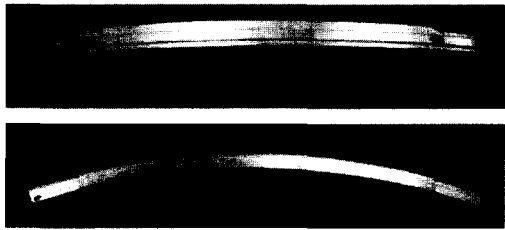


Fig. 16 Photograph of the aluminum bumper beam

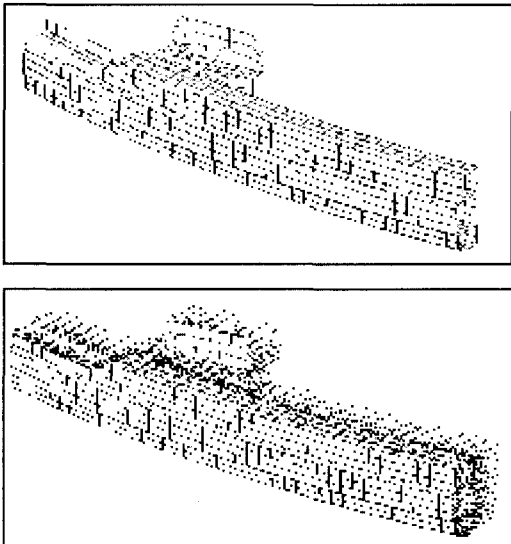


Fig. 17 FEM model of the aluminum bumper beam

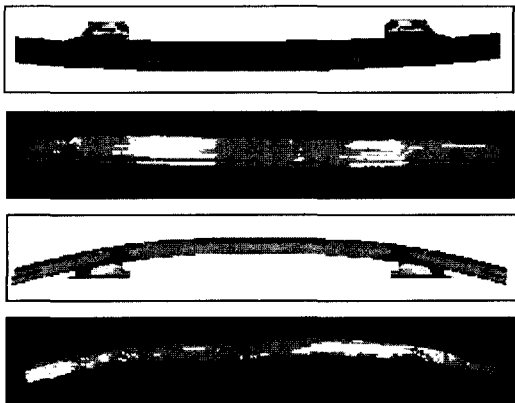


Fig. 18 Comparison of simulation with experimental result

있었다. 해석결과에서는 빔의 함몰은 나타나지 않았지만 중심부를 기준으로 충격부위에

높은 응력이 걸리고 있으며, 양쪽 Stay에서도 힘의 집중현상이 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 19는 시간에 따른 X-방향 변위곡선을 나타낸 그래프이다. Table 2와 같이 실제 테스트 결과 측정된 변위량에 거의 근접한 결과를 나타내었다.⁸⁾

Table 2 Results of actual test and analysis

	Simulation	Experiment
Intrusion (mm)	66.2	61.0
Deflection (mm)	21.2	22.0

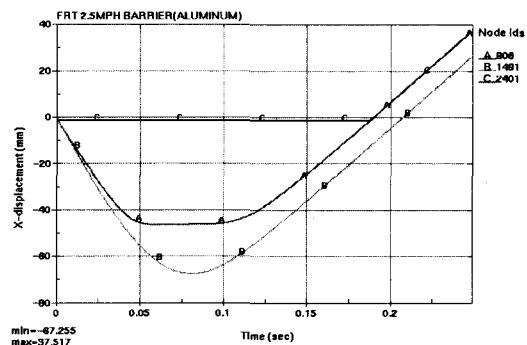


Fig. 19 X-displacement curve

5. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 차세대 자동차를 겨냥한 핵심기술인 차량의 재료개발과 경량화 기술에 대해서 살펴보았다. 선행 기술을 이용하여 자동차 범퍼빔에 적용시켜 보았고, 충돌해석을 통한 사전검토 및 실제 차량테스트를 통하여 그 적용 가능성을 검증해 보았다. 이로부터 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

1) 순수 국내기술로 개발된 레이저 용접시스템을 이용하여 TB 소재를 구성하였다. 자동차 범퍼빔에 적용한 결과, 기존 일체형 빔에 비해서 부품수 및 중량은 감소되었지만 성능면에서는 거의 동등한 수준의 결과를 얻을 수 있었다.

2) 차체강도 향상과 중량감소에 의한 연비 저감을 목적으로 고장력강판에 대한 개발 및 적용이 확대되고 있다. 본 연구에서는 인장강도 980N/mm²급 고장력강판을 이용하여 범퍼빔 구성에 적용시켜 보았다. 그 결과, 충돌성능 향상 및 두께감소에 의한 경량화 약 13%의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

3) 차세대 자동차를 위한 경량화 소재로서 알루미늄 사용량이 점차 증가되고 있다. 본 연구에서는 해석을 통한 최적단면을 설정하고 압출성형으로써 알루미늄 범퍼빔을 구성하였다. 기존 철강재료의 성능과 동등한 수준임을 전제할 때, 약 40% 정도의 경량화가 가능할 것으로 보인다.

4) 이상과 같이 차세대 자동차를 겨냥한 재료기술의 개발 및 적용에 관해서 살펴보았다. 실제 적용결과 모두 기존 제품에 비하여 중량 및 성능면에서 보다 향상된 결과를 보였다. 하지만, 제품 생산시에 나타나는 성형성문제 및 스프링백 예측기술, 재료 수급율과 리사이클 처리기술 등에 대한 연구는 아직 미흡한 단계이므로 이에대한 기술개발이 향후 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 김종하, 이경남, "Tailored Blank Intensive 고안전 초경량 철강차체," 제7회 G7 차세대자동차기술논문집, pp.342-347, 2000.
- 2) 허승진, 정영섭, "초경량 철강차체의 전후방 충돌에너지 흡수부재 최적화 설계," 제7회 G7 차세대자동차기술논문집, pp.361-366, 2000.
- 3) 송세일, 최성진, 임종순, 신정규, 박경진, "Tailored Blank 기술을 적용한 고강도 경량도어 최적화 설계," 제7회 G7 차세대자동차기술논문집, pp.354-360, 2000.
- 4) 강혁, 김준수, "Aluminum Space Frame 적용 초경량 차체 개발," 제7회 G7 차세대자동차기술논문집, pp.367-373, 2000.
- 5) B. Kinsey, Z. Liu, J. Cao, "New Apparatus and Method for Forming Tailor Welded Blanks," SAE, 1999.
- 6) B. Kinsey, N. Song, J. Cao, "Analysis of Clamping Mechanism for Tailor Welded Blank Forming," SAE, 1999.
- 7) 허승진, 윤병동, 김현영, 김진국, "알루미늄 초경량차체의 충격에너지 흡수부재 설계 및 해석(II)," 제8회 G7 차세대자동차기술논문집, pp.295-302, 2001.
- 8) LSTC, LS-DYNA Keyword User's Manual, 1999.