

경량 고강도 알루미늄 범퍼 빔 개발

강동포¹·이우식¹·이문용²·김대업¹

Development of Lightweight & High Strength Bumper Beam of 7XXX Series Aluminum Alloy

D.P.Kang¹·W.S.Lee¹·M.Y.Lee²·D.U.Kim¹

Abstract

Although extruded aluminium bumper beam has been commonly used in advanced car makers, there are not so much precedent for its localization. For the localization of aluminum bumper beam of 7XXX series, benchmarking, material modifications of 7XXX series aluminum alloy, section design of beam, impact analysis had been performed in this study. High fuel efficiency and weight reduction could be achieved by using aluminum bumper beam of which the weight is lighter than that of steel. Moreover, it is expected to reach higher recycling rate by substituting aluminum for steel.

Key Words : Bumper beam(범퍼 빔), Extrusion(압출), Pendulum test(진자시험), Barrier test(고정벽시험)

1. 서론

급격한 자동차의 증가로 인한 대기중의 배기가스의 배출은 지구온난화 및 환경파괴의 주범으로 인식되고 있으며, 유럽연합 등 선진국을 중심으로 환경규제도 날로 심해지고 있는 상황이다. 이로 인해 현재 세계 각국의 완성차 메이커를 중심으로 자동차의 배기가스의 저감을 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 주로 엔진 및 구동계 효율의 향상, 차체의 경량화를 통한 연비향상이 주를 이루고 있다. 특히 프론트 엔드 모듈(Front End Module)의 경우는 기존 강판재의 범퍼 빔을 고강도 알루미늄(Aluminum) 압출재로 대체하려는 노력이 활발하다. 범퍼 빔의 적용현황을 살펴보면 국내의 경우 양산품의 70%는 알루미늄에 비해 상대적으로 강도가 우수하며 동시에 저가인 고장력 강판을 프레스나 롤포밍 공법을 이용하여 제조하

고 있으며, 30% 정도는 저중량, 저가의 섬유강화 플라스틱 재료 (GMT등)를 사출성형하여 제작하고 있다. 이와는 대조적으로 국내에서는 아직 알루미늄을 이용한 범퍼 빔 개발은 사례가 많지 않다. 과거 1990년 후반에 국내 A사가 소형차에 강도가 높지 않은 6XXX계 알루미늄 범퍼 빔을 적용한적이 있으나 적용기간이 길지 못하였다. 현재는 국내 B사의 대형차종에 알루미늄 범퍼 빔이 양산되고 있는 것이 전부이다. 반면 국외의 경우는 국내와 달리 알루미늄 범퍼 빔의 양산 사례가 매우 많다. 예로 유럽의 VOLVO, BMW, AUDI, SAAB, VOLKS WAGEN, PORSCHE, RENAULT, 북미의 GM, CHRYSLER, FORD, 일본의 TOYOTA, MAZDA 등 대부분의 선진업체에서 알루미늄 압출 범퍼 빔을 양산에 적용하고 있으며 유럽에서만 연간 4백만개 이상의 범퍼 빔에 알루미늄이 적용되고 있는 실정이다.

1. 현대모비스㈜ 기술연구소

2. 성우하이텍㈜ 기술연구소

교신저자 E-mail : kdp2000@mobis.co.kr

2. 본 론

2.1 이론적 배경

2.1.1 7XXX계 알루미늄 합금의 압출특성

일반적으로 7XXX계 알루미늄 합금의 압출특성에 가장 큰 영향을 미치는 인자로는 합금강도 및 압출 단면의 구조를 들 수 있다. 소재적 측면에서 7XXX계 알루미늄 합금의 경우 고강도를 지니게 되는데, 이러한 재질적 고강도는 압출 특성에는 오히려 좋지 않은 영향을 미친다. 예로 선진 C사의 자료를 보면 7XXX계 알루미늄 합금의 압출 속도는 인장강도 500 MPa급 소재의 경우 당 10 미터 정도, 400 MPa급은 분당 15 미터, 300 MPa급은 분당 30 미터 정도의 수준으로 강도와 압출 속도는 반비례 관계를 나타내고 있다.

구조적 측면에서는 압출재 단면의 형상 및 두께가 압출특성에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 강도가 높은 재질을 사용할 때는 압출이 용이한 Open 형의 개단면 구조가 적당하며, 소재의 강도가 충분하지 않을 경우는 Hollow 형의 폐단면을 이용해 구조적인 보강을 하게 된다. 결과적으로 단면의 형상 및 두께의 최적화설계 및 해석이 알루미늄 범퍼빔 개발에 큰 비중을 차지하게 된다.

2.1.2 범퍼의 충격흡수 시험 인증기준

범퍼 충격흡수 시험은 2.5 MPH(4km/h) 및 5 MPH(8km/h)의 두가지 기준을 사용하고 있으며, 이러한 속도에서 범퍼가 충격을 흡수하여 타부품으로 충격력이 전이하지 않는 충격흡수력을 우선적으로 가져야 함을 규정하고 있다. 현재 국내는 물론 미국 및 유럽의 경우 2.5 MPH 기준을 적용하며 캐나다의 경우는 5 MPH를 적용하고 있다. 본 연구에서는 보다 가혹한 조건인 5 MPH(8km/h) 기준으로 개발을 진행하였다.

5 MPH 범규 기준은 진자 충격시험과 고정벽 충격시험을 순차적으로 실시하며, 진자 충격시험의 경우 5 MPH 속도로 1회의 센터(Center) 충격, 1회 오프셋(offset) 충격, 3 MPH의 속도로 1회 코너(Corner)에 충격을 가하게 된다. 그리고 마지막으로 고정벽 충돌시험을 통해 5 MPH의 속도로 고정벽에 정면충돌한 후 각 점검항목이 기준에 적합해야 함으로 규정한다.

2.2 기술 현황 조사

2.2.1 선진차종 벤치마킹 결과

알루미늄 범퍼 빔 개발시 선행되어야 할 과제가 고강도 알루미늄 압출소재의 개발이었으며, 이를 위해 선진사 알루미늄 범퍼 빔의 소재 및 물성을 조사하기 위해 미국, 유럽, 일본의 양산 차 범퍼 빔을 도입하여 그 제반특성과 사양을 비교 분석하였다. 선진 차종의 알루미늄 범퍼 빔은 주로 6XXX계(Al-Mg-Si)와 7XXX계(Al-Zn-Mg)합금이 적용되었으며 6XXX계 알루미늄 합금은 압출성은 대체로 양호하나, 강도가 낮은 관계로 이를 구조적으로 보완하기 위해 Hollow, Hollow + Open 형의 복잡한 단면을 이루며, 이로 인해 압출금형의 형상 자유도가 제한되는 설계상의 문제점이 있었다. 반면 7XXX계 알루미늄 합금은 강도는 우수하나 압출성이 나쁜 관계로 Open 형의 단순한 단면을 가지는 경우가 많으며, 범퍼 빔의 강성 향상과 압출성을 개선을 위해 단면 두께를 두껍게 설계되었다. 벤치마킹 결과를 바탕으로 압출 및 스트레치 벤딩(Stretch Bending), 용접, 기계적 체결 등의 가공성을 고려하여 기존의 7003 알루미늄 합금을 기준으로 조성을 변경하여 합금설계를 수행하였다.

2.2.2 국내의 특허 현황

국내 자동차 메이커의 범퍼 빔에 대한 기술적인 기반 및 이와 관련된 특허 출원 현황은 선진국의 자동차 메이커에 비해 매우 취약한 실정이다. 현재 세계적으로 범퍼 빔 관련 특허 출원건수는 증가추세를 보이고 있으며, 이로 미루어 활발한 연구개발 활동을 진행되고 있음을 알 수 있었다. 관련 특허의 주요 내용은, 빔의 구조, 소재 및 제조방법 관련 건이 주를 이루었으며, 출원건수 등으로 미루어 스웨덴의 Raufoss, 일본의 Kobe Steel, Nippon Light Metal, 미국의 Alcoa 등의 업체가 해당 기술의 선도적인 기술을 가진 업체인 것으로 조사됐다.

2.3 실험 방법

2.3.1 7XXX계 알루미늄 합금설계

벤치마킹 결과를 기준으로 압출특성 및 압출 후의 빔의 스트레치 벤딩특성, 합금의 용접특성이나 기계적 체결 등을 고려하여 기존의 7003 알루미늄 합금의 주요 원소의 함량 조절을 통해 소재 요구특성의 향상을 기하였다.

2.3.2 시압출을 통한 합금의 압출성 및 물성

평가

시제품 제작에 앞서 개발 합금의 압출성 및 기계적 성질을 평가하기 위해 그림 1과 같이 시제품과 단면형상 및 크기가 유사한 사각 파이프 금형을 이용해 시압출을 실시하여 7003M1 합금의 압출성 및 물성을 평가하였다. 빌렛은 500 Kg 파일렛 플랜트(Pilot Plant)를 사용하여 제작하였으며, 압출 후 열처리를 실시하였다. 열처리 후 압출방향을 따라 인장시험편을 채취하여 합금의 기계적 성질을 평가하였다. 단, 실제 범퍼 빔 제작시 실시하는 스트레치 밴딩(Stretch bending) 과정으로 인해 발생하는 기계적 성질의 변화는 시압출에서는 고려하지 않았다.



Figure 1. 사용된 압출금형

2.3.3 설계 및 충격해석을 통한 시제품의 단면 최적화

시제품의 최적단면 선정을 위해 인장강도 400 MPa급의 물성을 보인 선진 D사의 범퍼 빔 단면을 기준으로 1차 단면형상을 설계를 하였으며, 충격해석은 7003M1 소재 물성 데이터를 이용하여 수행하여 최적의 충격특성을 가지는 시제품 단면을 선정하였다.

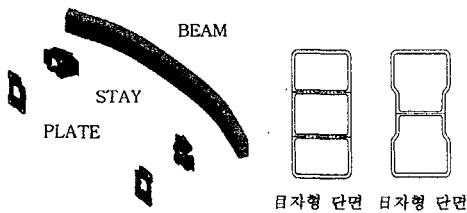


Figure 2. 범퍼 빔 구성품 및 단면 최적안

범퍼 빔의 설계단면은 그림 2와 같이 D, 사각형상으로 가로 60 mm, 세로 100 mm 크기를 가지며, D자 단면의 경우 전체 두께를 3.0 mm로, 사각 단면의 경우 전체 두께를 2.5 mm로 설계하였으며, 차체부와의 체결부품인 스테이(stay) 및 플레이트(Plate)는 고장력강판을 프레스 성형한 제품을 사용하였다.

충격해석을 위한 모델링 작업시 범퍼 빔을 그림 3에 나타냈으며, 유한요소 모델은 총 5,548개의 절점과 5,878개의 요소들로 이루어져 있다. 충격 흡수재(Energy absorber)는 솔리드로 그 외 구성품은 3절점 및 4절점 셸(shell) 요소로 구성하였다. 범퍼 시스템은 좌우 대칭 형상이므로 충격해석은 1/2모델만을 대상으로 하였다.



Figure 3. 범퍼 형상 모델링

충격해석은 진자충돌(Pendulum)과 고정벽 충돌(Barrier)을 실시하여야 하나 고정벽 충격시험이 더 가혹한 조건하의 시험 방법이므로 최적 단면 설정을 위한 충격해석으로는 고정벽 충격해석만을 수행하였다.

고정벽 충격시험은 차량을 일정속도로 유지시키며, 고정벽에 충격시키는 과정을 거친다. 따라서 충격해석에 적용시키기 위해서는 그림 4처럼 가상공간 상에 임의의 고정벽을 만들고 차량속도만큼 범퍼 시스템 전체에 속도를 부여해 주었다.

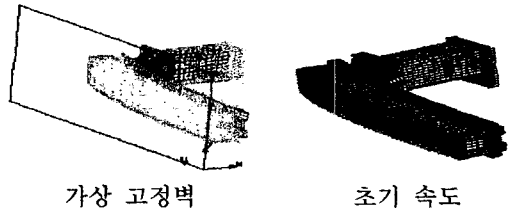


Figure 4. 고정벽 충격해석을 위한 초기 조건

충격해석 시간은 디지털(digital) 533 MHz 워크스테이션(workstation)에서 CPU time 약 8시간 20분이 소요 되었다. 고정벽 충격해석시 범퍼 시스템의 속도는 CMVSS 5 MPH로 실시하였다.

2.3.4 시제품 제작 및 물성 평가

해석상 최적의 충돌특성을 구현하는 D자 및 사각형의 두 가지 단면을 가지는 시제품을 제작하였다. 두 단면 모두 가로 600 mm, 세로 100 mm의 직사각형이며 D자형은 단면 전체를 3.0 mm로,

日자형은 단면 전체를 2.5mm로 제작하였다. 日자형은 7003M1소재를, 日자형은 7003M2 소재를 적용하여 시제품을 압출, 스트레치 벤딩 후 열처리하여 기계적 특성을 평가하였다.

시제품을 압출, 스트레치 벤딩 후 T5 열처리하여 그림 5와 같이 시제품을 조립하였다. 시제품의 기계적 특성을 평가한 결과 평균적으로 7003M1 소재의 경우 인장강도 397 MPa, 연신율 16%를, 7003M2 소재의 경우 인장강도 426 MPa, 연신율 13%를 보였다. 이처럼 원소재의 강도보다 스트레치 벤딩과 열처리를 거친 시제품의 강도가 높아지는 이유는 가공경화의 영향으로 보인다.

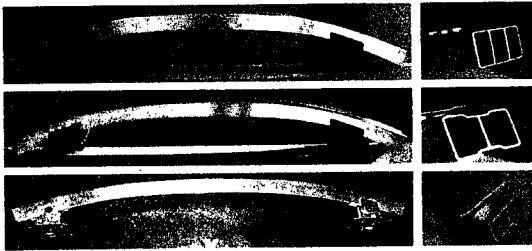


Figure 5. 시제품 및 단면형상

여기서 日자형은 日자형보다 두께 및 구조적인 보강 효과가 있어 상대적으로 강도가 낮은 400 MPa급의 7003M1 소재를, 日자형은 日자형에 비해 두께 및 구조적인 열세로 상대적으로 강도가 높은 420MPa 급의 7003M2 소재를 적용하였다.

2.3.5 시제품 충격특성 평가

시제품의 성능평가를 위해 범퍼 빔과 스테이(Stay)를 조립하여 범퍼 충격시험을 실시하였다. 日, 日자형 단면의 범퍼 빔을 양산대기 차량인 A차종의 실차중량을 고려하여 실험하였으며, 진자 시험(Pendulum test) 실시 후 고정벽 시험(Barrier test)을 연속하여 실시하였다. 관련법규는 CMVSS 215(캐나다)로 진자시험은 센터(Center) 5 MPH, 오프셋(Offset) 5 MPH, 코너(Corner) 3 MPH, 고정벽은 5 MPH 속도로 시험하였다. 시제품의 성능평가는 A차종의 허용밀립양

을 기준으로 고정벽 시험 후 빔의 밀립량의 초과여부로 판단하였다.

日자형 범퍼 빔의 경우 진자 및 고정벽 충격시험 결과 최종 인트루전양은 A차종의 허용밀립양을 만족하였다. 그러나 日자형 범퍼 빔의 경우 진자 코너시험 후, A차종의 허용밀립량을 초과하지는 않았으나 범퍼 빔의 파손이 심해 고정벽 시험은 실시하지 못하였다. 이와 같은 日자형 빔의 충격특성 취약 원인으로 日자형에 비해 상대적으로 구조적 열세인 日자형, 2.5mm 단면두께의 적용 때문으로 판단된다. 또한 7003M2 소재의 7003M1 대비 상대적으로 낮은 연신율도 충격특성 열세의 한 원인으로 사료된다.

충격시험 결과 구조적 안정성이 입증된 日자형 단면을 최종 단면형상으로 선정하였으며, 설계 개선 및 Stay의 알루미늄 Crush Box형으로 제작 등을 통해 최적 설계된 경량 알루미늄 고강도 범퍼빔 시스템을 개발 완료하였다.

3. 결 론

본 연구는 국내 양산경험이 없는 7XXX계 고강도 알루미늄 합금을 이용한 범퍼 빔의 제작을 목적으로 하였다. 선진차종 벤치마킹을 통해 양산 알루미늄 범퍼 빔의 적용동향을 파악할 수 있었으며, 이를 통해 적용소재 및 공법관련 데이터베이스 축적 및 설계의 기준을 마련할 수 있었다.

상용7003 합금의 화학성분 함량조절 및 최적 열처리조건 선정을 통하여 인장강도 400 MPa급의 7003M1 합금을, 420 MPa급의 7003M2합금을 설계하여 시제품 압출을 통해 압출속도, 압출압력 및 빌렛온도에 관한 압출특성 데이터를 확보하였다.

구조 및 충격해석을 통해 범퍼 빔의 최적단면으로 日, 日자형의 폐단면을 선정하여 충돌시 범퍼내 응력집중 및 차량의 범퍼 허용밀립량 해석 등 제반 해석기법을 축적함과 동시에 각 단면의 시제품을 압출, 조립하여 북미 5 MPH 범퍼 기준으로 충격시험을 실시하였으며, 日자형 단면을 가지는 시제품의 경우 진자 및 고정벽 충격시험을 통해 충격특성이 우수한 것으로 확인할 수 있었다.