

# 하이드로포밍을 이용한 크래쉬박스형 범퍼스테이 제조기술 개발

손성만\* · 이문용\* · 문영훈\*\*

## Development of Manufacturing Technology for Crash Box Type Bumper Stay with Hydroforming

S. M. Sohn, M. Y. Lee, and Y. H. Moon

### Abstract

A bumper comprises a bumper cover, a bumper beam for distributing the load from the impacts applied to the bumper cover and reinforcing the bumper, an absorber member interposed between the bumper cover and the bumper beam, and a pair of bumper stays which secure the bumper beam to the vehicle body. A conventional bumper stay structure is assembled into several stamped parts, so several processes are needed and the structure is complicated. In this study the bumper stay is applied to the tubular hydroforming which is known to have several advantages such as the reduction of the number of the process and the part weight. The thickness distribution of the tube is mainly considered to evaluate the hydro-formability and the shape of the tube is determined.

**Key Words** : Tube Hydroforming, Mechanical hydroforming, Bumper Stay, Impact Energy Absorption, Crash Box

### 1. 서론

하이드로포밍 기술은 이제 국내에서도 하이스코와 포스코를 중심으로 활발한 양산적용이 이루어지고 있으며 앞으로도 더욱 더 많은 부품에 적용될 것이 확실하다. 튜브 하이드로포밍은 그 특성상 폐단면 형상이면서 공정이 복잡하고 중량이 무거운 대형 부품일수록 그 효과가 크기 때문에 현재 국내에서도 엔진크래들(engine cradle), 리어액슬(rear axle), SUV 차량의 사이드레일(side rail) 부품 등이 양산적용되고 있으며 배기계 부품인 매니폴드(exhaust manifold)류와 가전부품인 냉장고 손잡이류 등이 곧 적용될 예정이다[1]. 차체부품인 프론트 사이드멤버(front side member)류는 활발하게 연구는 진행되고 있으나 다른 차체부품과의

상관성과 접합등에 있어 해결해야 할 문제가 있기 때문에 다소 양산적용은 늦어질 전망이다.

알루미늄 소재를 이용한 하이드로포밍의 연구 개발은 일부에서 기초적인 연구를 진행하고 있으며 알루미늄 소재의 성형성의 제약을 극복하고자 상온이 아닌 온간상태에서 성형하는 온간하이드로포밍(warm hydroforming)에 관한 연구도 일부에서 진행되고 있다. 이러한 튜브하이드로포밍의 활발한 적용과 함께 트렁크리드(trunk lid)나 후드(hood)등의 고품질 성형을 위한 판재 하이드로포밍(sheet hydroforming)에 관한 연구도 현재 진행 중이다.

그러나 하이드로포밍 기술을 적용함에 있어 미국과 유럽은 대용량의 설비에서 대형제품의 양산에 주력하는 반면 일본의 경우는 대형 뿐만 아니

\* (주)성우하이텍 기술연구소

\*\* 부산대학교 정밀기계공학과/ 정밀정형금형가공연구소

라 소형의 설비를 통해 소형부품의 적용에도 상당한 관심을 가지고 주름관 튜브(bellows tube)류, 배기계 부품류, 자전거, 오토바이 부품류, 산업설비용 소형부품 등에도 튜브 하이드로포밍을 적용하여 저렴한 설비투자 비용으로 다양한 제품을 양산하고 있다[2]. 국내의 하이드로포밍 기술의 적용 양상은 구미의 양산과 같지만 향후 보다 다양한 부품에로의 적용 및 부가가치 창출을 위한 새로운 적용분야에 대한 연구도 지속되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 튜브 하이드로포밍 기술과 인위적인 접기(folding) 공정을 이용하여 충격흡수를 위한 크래쉬박스형 범퍼스테이(bumper stay) 시제품을 제작하고 범퍼시스템을 구성하여 대차시험을 통하여 충돌에너지 흡수능을 평가하였다[3]. 차량에 있어 일반적인 범퍼시스템은 Fig. 1 과 같이 최전방에 범퍼레일과 범퍼스테이, 프론트 사이드 멤버(front side member)로 구성되어 있으며 범퍼스테이는 범퍼레일과 프론트 사이드 멤버 사이에 체결되어 저속 충돌에서 범퍼레일과 함께 충돌에너지를 흡수하여 차체를 보호하는 역할을 한다.

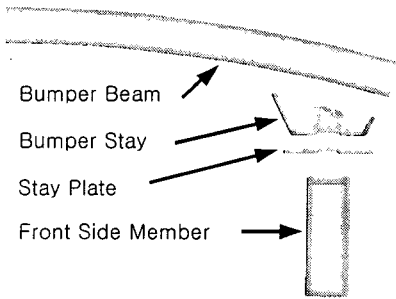


Fig. 1 The schematic view of the bumper system

충돌흡수능이 우수한 제품으로는 BMW328i 의 범퍼스테이가 있지만 속업쇼바의 형태로 매우 고가이면서 중량물이다. 대부분의 범퍼스테이는 프레스 성형 후 점용접 및 아크용접을 통해 조립되어 있어 차량충돌 시 충돌하중에 저항하다가 꺾임과 동시에 급격한 변형을 일으킨다. 그러나 하이드로포밍 범퍼스테이의 경우 1 회 성형하여 스크랩(scrap)이 없이 동시에 좌, 우측 부품을 얻을 수 있어 공정이 간단하며, 크래쉬 박스(crash box)와 같이 차량충돌 시 튜브재의 말림 변형을 통해 범퍼레일과 함께 충돌에너지를 흡수할 수 있게 구성되어 있다[4-5].

## 2. 범퍼스테이 설계 및 성형해석

### 2.1 크래쉬 박스형 범퍼스테이 설계

하이드로포밍 범퍼스테이는 기존 스텝핑 스테이와는 달리 원형관재를 이용하여 확관과 함께 접힘(folding) 공정을 통해 제작되어 충돌에너지를 선형적으로 흡수할 수 있게 설계하였다. Fig. 2 는 최종 하이드로포밍 범퍼스테이 형상으로서 소재는 STKM11A, 두께 2.1mm, 지름 50.8mm 의 구조용강관을 이용하여 외경 66mm 까지 하이드로포밍으로 확관하며, 이때 확관율은 약 30% 정도로 설계되었다.

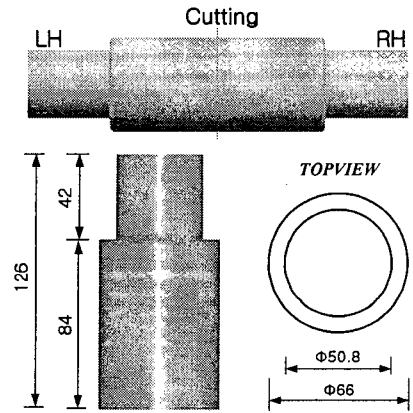


Fig. 2 The mechanical hydroformed bumper stay

이러한 형상의 제품을 단순확관 성형으로 제조한다면 높은 확관율과 작은 코너반경으로 인해 국부적인 집중변형(local strain)이 발생되어 파열될 가능성이 매우 높지만 인위적인 접기공정을 조합한 복합공정을 사용하여 해결하였다. 또한 범퍼충돌 시 정압축에 의한 관재의 말림을 유도하기 위하여 작은 관재는 큰 관재 안으로 일정부분 말려 들어가 있는 형태로 설계되었는데 이것을 구현하기 위하여 금형의 구조를 변경하여 해결하였다.

### 2.2 범퍼스테이 성형해석

범퍼스테이의 하이드로포밍 성형 시 고려되어야 할 점은 최종 성형품이 축방향으로 가압될 경우 끝단 소재가 좌굴되면서 확관부 내측으로 유입될 수 있도록 확관 경사가 커야 한다. 그러나 확관 경사가 너무 클 경우, 국부적인 두께 감소로 확관 모서리부에서 파단될 우려가 있기 때문에 최대 경사 각도를 확인하고 확관부에서의 관재

두께감을 적절히 조절해야 할 필요성이 있다. 따라서 최적의 금형 및 시제품 제작을 위하여 박판전용 해석 프로그램인 DYNAFORM 을 이용하여 관재의 변형거동을 예측하고 두께감소 및 성형성 안전여부를 점검하였다.

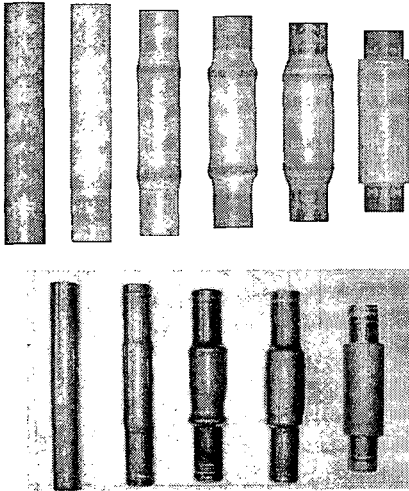


Fig. 3 FEM & test result of hydroforming bumper stay

Fig. 3 에 성형해석과 실험결과를 함께 나타내었고 해석 결과로서 확관 및 축압축에 의해 두께 분포가 다르게 나타나는데 초기 튜브 두께 2.1mm 에 비해 최대확관부인 튜브 중앙은 1.8mm 로 약 14% 정도 박판화가 되었으며 접힘부나 축의 끝단은 축압축에 의한 소재의 유입에 의해 튜브 두께가 약간 증가하는 것으로 나타났다[6].

### 3. 범퍼스테이 시제품 제작

#### 3.1 범퍼스테이 금형제작

범퍼스테이 금형은 Fig. 4 와 같이 본체와 유동이 있는 좌우측의 접힘치구로 이루어져 있다. 최대 확관부의 금형은 고정되어있으며 축압축부의 좌우 블록은 중심부쪽으로 피딩(feeding)이 가능토록 설계하여 튜브를 일정량으로 확관(bulging)한 후 좌우 블록을 중앙부로 압축하여 튜브를 접음(folding)으로 인해 극소반경의 범퍼스테이 제작이 가능하도록 제작되었다. 인위적인 접기공정을 구현하기 위한 좌우 블록은 코너부를 직각으로 구현하기 위한 직선형(straight type)과 직각이상으로 밀어넣을 수 있는 라운드형(round type) 두가지를 고

려하였으며 특히 라운드형은 관재를 안쪽으로 밀어 넣기 위한 치구로서 고려되었다. 인위적인 접기공정 이후 스프링력에 의해 접기용 금형은 다시 제 위치로 복원되고 상부금형을 들어 제품을 취출하도록 제작되었다.

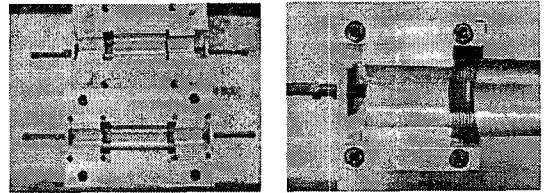


Fig. 4 Bumper dies and folding system

#### 3.2 범퍼스테이 시제품 제작

범퍼스테이를 제작하기위한 공정은 Fig. 5 와 같이 튜브재를 금형에 장입한 후 내압을 높여 튜브를 확관시키고 적정한 시기에 인위적으로 접힘을 시도하여 원소재를 확관된 대구경의 소재 안으로 밀어 넣어 접힘을 구현하고 완성된 시제품을 제작하였다.

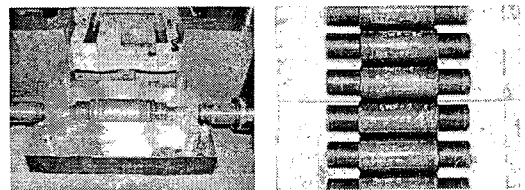


Fig. 5 Tryout and hydroformed bumper stay

Hydroforming Bumper Stay with STKM11A 2.1t (SWF-2)

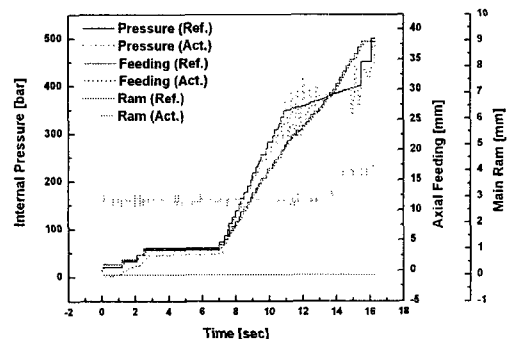


Fig. 6 Hydroforming factors of bumper stay

이때 하이드로포밍 성형조건은 Fig. 6 에 나타내었다. 입력값에 대한 실제 수치들의 응답성은 대략적으로 양호한 편이었으며 소재가 2.1mm 인 경우 내압 400~500bar, 축압축 38mm 정도에서 최적 성형이 되었다. 메인램의 수치를 0(zero)으로 설정하였지만 실제값은 2~3mm 를 나타내는데 이는 금형의 들림현상이 발생한 것을 실제 제품에서도 금형들림에 의한 국부적인 변형이 관찰되었다.

#### 4. 범퍼스테이 성능평가

##### 4.1 범퍼스테이의 정압축 특성 평가

하이드로포밍 성형된 범퍼스테이의 변형거동과 에너지 흡수능을 평가하기 위해 정압축시험을 실시하였다. 크로스헤드 스피드를 달리하면서 압축한 결과 Fig. 7 과 같이 작은 관재가 큰관재의 안쪽으로 말려들어가면서 선형적으로 소성변형하였다. 변형된소재의 단면을 관찰한 결과 변형전 접합부가 압축력이 작용할 경우 말림을 유도하는 것을 알 수 있었고 변형부의 말림도 이상적으로 변형되었다. 2.1t 의 경우 60mm 정도까지 변형될 동안 대략 5,500kgf 의 하중이 지속적으로 작용한 것을 알 수 있었으며 압축속도 차이에 의한 변화는 관찰할 수 없었다

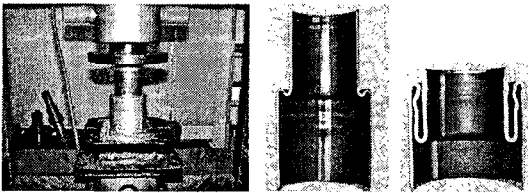


Fig. 7 Compression test results of hydroformed stay

##### 4.2 대차충돌시험 및 성능평가

하이드로포밍 범퍼스테이를 적용한 베르나(LC F/L) 프론트 범퍼를 대차에 장착하여 캐나다 CMVSS215 법규를 기준으로 Fig. 8 과 같이 진자(pendulum) 및 고정벽(barrier) 충돌시험을 실시하였고 이때 대차 중량은 1000kg 이며 속도는 5MPH 로 시험을 실시하였다. 진자충돌시험의 4 가지 항목인 중앙부, 오프셋(offset), 코너부(corner LH, RH) 시험 결과 기존 프레스형 범퍼스테이는 시험에 따라 약간의 변형을 수반하였지만 하이드로포밍 범퍼스테이의 경우 범퍼 빔과 스테이의 연결부만 약간의 변형이 있었을 뿐 변형의 거의 없었다.

고정벽 충돌시험은 대차에 장착된 빔이 대차와 함께 5MPH 의 속도로 고정벽에 충돌하는 실험으로 더욱 가혹한 조건의 시험으로 인해 스테이가 폴딩(folding) 될 것으로 기대하였으나 충돌후에도 범퍼스테이는 말려들어가지 못했다. 따라서 충돌 에너지를 높이기 위하여 속도를 10MPH 로 두배로 높여 충돌시험을 다시 실시한 결과 Fig. 8 과 같이 레일은 심하게 변형되어 곡률은 거의 없어졌으며 하이드로포밍 스테이부도 좌 우측 각각 접합이 일어나면서 변형된 것을 관찰할 수 있었다.

대차 충돌시험을 통해 5MPH 속도에서 진자시험과 고정벽시험에서 밀림양(deflection)과 변형량(intrusion)을 측정된 결과 5MPH 에 대한 법규는 모두 만족하였다. 그러나 5MPH 속도에서 시험하여도 범퍼스테이는 기존의 예상과는 달리 함몰되지 않아 5MPH 성능기준으로 볼 때 하이드로포밍 스테이가 다소 강하게(Over Spec.) 설계된 것으로 판단된다. 고정벽시험에 있어 하이드로포밍 스테이는 밀림량과 변형량이 기존 스테이 대비 5MPH 속도에서는 동일한 결과를 나타내지만 10MPH 의 속도에서의 충돌시험 결과는 우수한 것으로 판단되었다. 두배의 속도에서도 밀림양이나 변형량은 그리 많지 않았으며 하이드로포밍 스테이도 기대대로 안으로 말려들면서 충돌에너지를 흡수한 것으로 판단된다. 향후 범퍼빔의 설계에 있어 빔과 스테이의 붕괴모드를 최적으로 구현한다면 기존 5MPH 뿐만 아니라 RCAR(15km/h→9.3MPH)법규도 충분히 대응할 수 있을 것으로 사료된다[7~8].

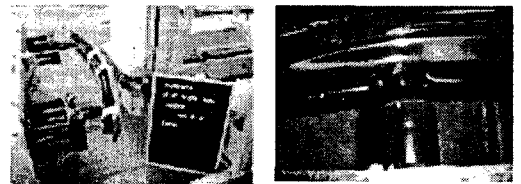


Fig. 8 Pendulum & barrier impact test results at 5MPH and 10MPH

#### 4. 결 론

본 연구를 통하여 극소곡률반경을 지닌 크래쉬 박스형 범퍼스테이를 하이드로포밍으로 제작하였으며 압축변형거동과 함께 실차 충돌시험을 통해 성능을 평가하였으며 그 결과를 정리하면 다음과

같다.

- (1) 기존 하이드로포밍과 금형구조를 변경한 인위적인 접힘(folding)공정을 적용한 복합 하이드로포밍을 사용할 경우 기존 하이드로포밍에서 구현하기 난해한 극소 반경의 제품의 성형이 가능하였으며 국부적인 집중변형(local strain)도 방지할 수 있음을 확인하였다.
- (2) 복합 하이드로포밍 공정을 적용하여 크래쉬 박스형 시제품을 제작하였으며 국부적인 박관화 없이 제품을 성형하였고, 시제품의 정압축 시험 결과 관재의 말림에 의한 선형적인 소성변형이 구현되었다.
- (3) 하이드로포밍 범퍼스테이를 기존 양산차량에 적용하여 충돌시험한 결과 완성차의 충돌성능 요구기준에 만족하였으며 기존대비 동등성능임을 확인하였고 RCAR(15km/h→9.3MPH) 성능만족을 위한 부재로서의 가능성을 확인하였다.
- (4) 하이드로포밍이 적용된 범퍼 시제품 제작을 통해 기존 대비 스테이부 33.8%, 범퍼 전체 6% 정도 경량화 되었으며 범퍼스테이의 소재 회수율은 95% 이상 이었고, 스크랩을 zero 화도 가능할 것으로 사료된다.

## 5. 후기

본 연구는 부산광역시에서 지원하는 부산시 자동차부품 기술개발사업의 연구지원금으로 수행되었으며, 이에 부산광역시와 부산경남 자동차테크노센터 여러분들께 감사의 말씀을 드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] Alexander Strauch, Heinz-Ulrich Lücke, "How to reduce Part Costs and save Weight Hydroforming – an Alternative Manufacturing Process", SAE 2001-01-3400
- [2] Hideo Abe, 2003, "The State of the Art in Tube Hydroforming Technology in Japan", Proceedings of the TUBEHYDRO 2003, pp. 42~53
- [3] 손성만, 이문용, 강부현, 문영훈, 2004, "하이드로포밍을 이용한 충돌에너지용 범퍼스테이 제조기술 개발", 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 27~31
- [4] Masaru Oyama, Noriaki Masuta, "Automotive bumper stay structure ", United States patent, patent number : 5441319, Aug. 15, 1995
- [5] Koji Kariatsumari, Kobe, "Car body energy absorber and bumper stay ", United States patent, patent number : 6481690 B2, Nov. 19. 2002.
- [6] Aue – u-lan , Y., Altan, T., 2002, Determination of biaxial formability and Flow Stress of Tubes for Low Carbon Steel Tubes, ERC report no : THF/ERC/NSM-02-R-14, The Ohio State University, Columbus, Ohio
- [7] 김범진, 허승진, 2003, "알루미늄 경량 차체의 충돌에너지 흡수 성능 향상을 위한 설계 개선 연구", 한국자동차공학회논문집, 제 11 권, 제 3 호, pp. 155~160
- [8] 김현영, 김진국, 허승진, 강혁, 2002, "알루미늄 초경량 차체의 충격 흡수부재 설계 및 충돌 안전도 평가" 한국자동차공학회논문집, 제 10 권, 제 1 호, pp. 216~223