

# 하이드로포밍을 이용한 충돌 에너지 흡수용 범퍼스테이지제조기술 개발

손성만\* · 이문용\* · 강부현\*\* · 문영훈\*\*

## Development of Manufacturing Technology for Crash Energy absorption Bumper Stay with Hydroforming

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

### Abstract

A bumper comprises a bumper face, a bumper beam for distributing the load from the impacts applied to the bumper face and reinforcing the bumper, an absorber member interposed between the bumper face 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. 서 론

튜브 하이드로포밍 기술은 현재 세계적인 자동차 부품회사들이 적용하고 있는 기술로써 승용차량의 엔진크래들(engine cradle), 리어액슬(rear axle), 소형트럭의 사이드레일(side rail)과 같은 샤시부품 및 배기매니폴드(exhaust manifold)와 같은 배기계 부품에 활발히 적용되어 왔다.<sup>(1)</sup> 국내에서도 일부 차종에 리어액슬과 인스트루먼트빔(instrument beam)에 일부 적용되어 왔으며 그 적용이 점점 확산되어 현재 여러 차종에 상기 부품 뿐만 아니라 엔진크래들 부품도 양산 적용될 예정이다.<sup>(2)</sup>

하이드로포밍 기술을 적용하기에 효과적인 부품은 폐단면 형상이면서 공정이 복잡하고 중량이 무거운 대형 부품일수록 그 효과는 크다. 이

는 튜브 하이드로포밍의 장점에 있어 한번의 공정으로 최종형상에 가깝게 정형제조가 가능하므로 부품수를 감소시킬 수 있고 아울러 금형수의 감소와 함께 각 단품과의 접합 공정도 축소할 수 있기 때문이다. 따라서 구미(歐美)의 세계적인 자동차 부품회사는 대용량의 유압프레스를 이용하여 프리포밍 후 단순확관 성형에 의해 생산되는 대형부품에 관심을 갖고 하이드로포밍 기술의 적용을 연구 개발하여 왔으며, 반면 일본의 하이드로포밍 기술은 주로 소형 프레스에서 확관성형과 함께 기계적 성형을 결합한 형태의 하이드로포밍 제품에 대한 연구가 활발하였 다.<sup>(3)</sup>

기계적 성형은 주로 하이드로포밍 금형에 기구학적인 구조를 추가하여 기존 하이드로포밍에서 구현하기 힘든 작은 코너반경의 구현과 ‘ㄱ,

\* (주)성우하이텍 기술연구소

\*\* 부산대학교 정밀기계공학과/정밀정형 및 금형가공연구소

다, 라' 형과 같은 형태의 부품도 제작이 가능하며 Fig. 1 과 같이 주로 콜렉터(collector), 엘보우(elbow), T-피팅(T-fitting) 과 같은 배기계나 배관용 소형의 부품에 활발히 적용되고 있다.<sup>(3)</sup>

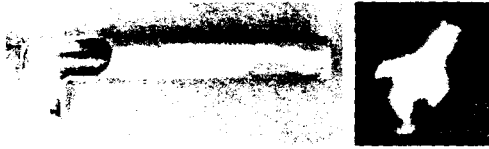


Fig. 1 Mechanical hydroformed minimum radius elbow and collector parts

본 연구에서는 상기와 같은 기계적 하이드로포밍(mechanical hydroforming)을 이용하여 자동차용 범퍼스테이(bumper stay)를 제작하고 범퍼시스템을 구성하여 차량의 저속충돌 시 충돌에너지를 흡수능을 평가하고자 하였다. 차량에 있어 일반적인 범퍼시스템은 Fig. 2 와 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.

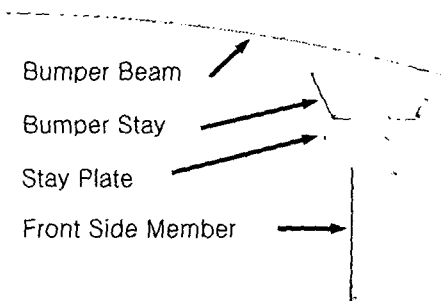


Fig. 2 The schematic view of the bumper system

기존의 범퍼스테이는 프레스로 성형된 다수의 관재를 점용접 및 아크용접을 통해 조립되어 있어 차량충돌 시 충돌하중에 저항하다가 꺾임과 동시에 급격한 변형을 일으킨다. 그러나 하이드로포밍 범퍼스테이의 경우 차량충돌 시 범퍼스테이는 작은 지름의 관재가 큰지름의 관재 안으로 밀려들어가면서 범퍼레일과 함께 충돌에너지를

를 흡수할 수 있게 구성되었으며,<sup>(4-5)</sup> 또한 1 회 성형한 후 가운데를 절단하여 좌, 우측을 동시에 얻을 수 있고 재료회수율도 100%로 설계되어 소재의 손실을 없이하였다.

## 2. 범퍼스테이 설계 및 금형구상

하이드로포밍 범퍼스테이는 기존 스탬핑 스테이와는 달리 원형관재를 이용하여 확관과 함께 접힘(folding) 공정을 통해 제작되어 충돌에너지를 선형적으로 흡수할 수 있게 설계하였다. Fig. 3 은 최종 하이드로포밍 범퍼스테이 형상으로서 초기지름 50.8mm 의 구조용강관 소재를 외경 66mm 까지 하이드로포밍으로 확관하며, 이때 확관율은 약 30% 정도로 설계되었다.

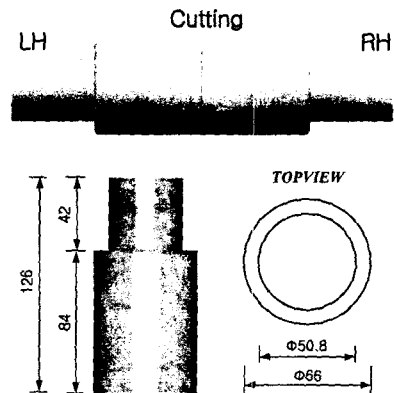


Fig. 3 The mechanical hydroformed bumper stay

범퍼 충돌 시 정압축에 의한 관재의 말림을 유도하기 위하여 확관부의 코너반경은 각각 1mm 와 3.5mm 로 매우 작게 설계되었다. 단순 확관에 의한 일반적인 하이드로포밍 공정으로는 30% 정도의 확관율과 작은 코너반경은 국부적인 집중변형(local strain)으로 인해 파열될 가능성이 매우 높지만 Fig. 4 의 모식도에 나타낸 것처럼 금형에 접기공정을 적용한 기계적 하이드로포밍(mechanical hydroforming)을 사용할 경우 성형이 가능하다.

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 가능하다.

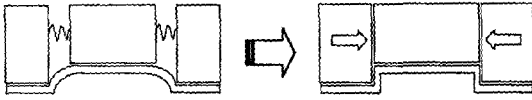


Fig. 4 Schematic diagram of the mechanical hydroforming die mechanism

### 3. 범퍼스테이 압축거동 및 충돌해석

#### 3.1 범퍼스테이의 형상별 압축거동

성형된 범퍼스테이는 크게 Fig. 5와 같이 정압축, 외팔보, 일정반경의 외팔보의 3 가지 경우로 압축거동을 관찰하여 범퍼스테이의 소성변형거동과 충격에너지의 흡수거동을 파악하고자 하였다.

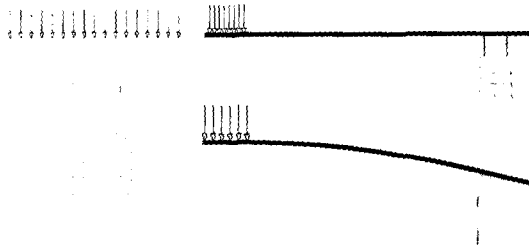


Fig. 5 Schematic diagram of each loading mode

우선 충돌 시 범퍼스테이의 말림현상을 파악하고자 Fig. 6에서와 같이 튜브의 두께를 일정하게 하고 작은관과 큰관의 지름의 비를 달리하여 그 거동을 나타내었다. 관재의 말림은 실제 하이드로포밍의 경우 큰 직경의 관의 두께가 얇아져 큰관이 변형을 일으키지만 균일두께인 경우 작은 관에서 말림현상이 나타났다. 시간에 따른 하중선도를 보면 튜브는 아직 변형여력이 남아 있어 2 차 변형에 의한 반력피크가 존재하지만 ㉓부에서 나타낸 바와 같이 스테이 변형 초기에 단순말림으로 인한 변형모드 및 반력은 동일한 것으로 판단되었다.

세가지 하중모드에서는 초기 관재의 두께는 1.4mm 와 3.2mm 의 두가지 경우로 하고 하이드로포밍 과정에서의 확관부 박판화 현상을 고려하여 상부와 하부의 관재 두께를 달리하여 그 해석 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 정압축모드에서 하부의 지름 큰 관재의 변형이 나타났으며 외팔

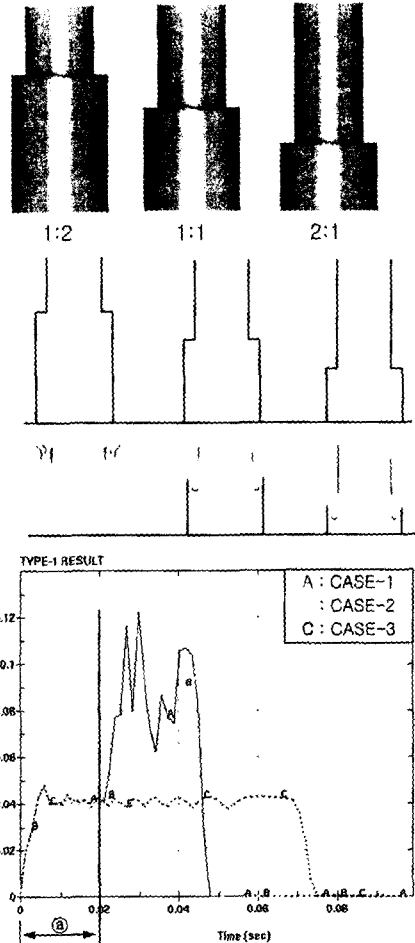


Fig. 6 Comparison of force-time diagrams in each collapse mode

보 형태에서는 일정구간동안 점진적으로 관재가 말려들어가다가 변형 후반부에 접힘부위에서 모멘트가 발생하였는데 곡률평판인 경우는 범퍼스테이의 회전현상이 더욱 심하였다. 두께에 따른 반력의 차이는 정압축 결과를 보면 3.2mm 두께의 스테이는 1.2mm 에 비해 약 4 배의 하중이 걸리는 것으로 나타났다. 외팔보 형태와 곡률평판 형태의 결과에서도 각 범퍼스테이에 미치는 하중은 80~90kN 으로 정압축과 유사하였다. 범퍼스테이의 적정하중과 모멘트현상의 방지를 위해서는 범퍼빔의 강도, 구조강성과도 많은 관련이 있으므로 대상차종의 범퍼빔과의 조합을 통해 최적의 충돌에너지를 흡수할 수 있는 범퍼스테이의 사양을 결정할 수 있을 것으로 사료된다 (6-7)

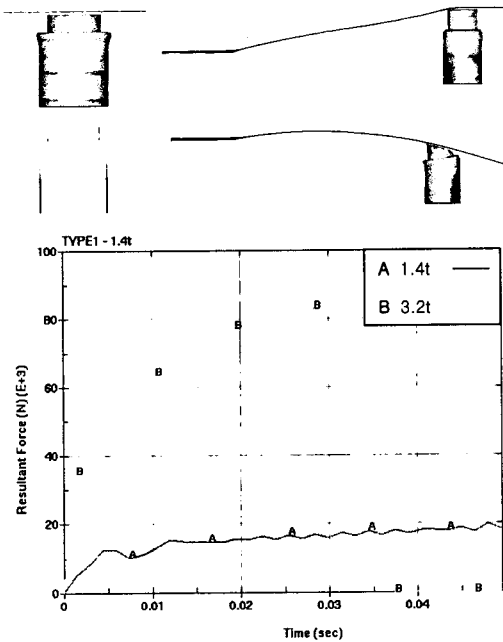


Fig. 7 Deformation of bumper stay in each loading mode

### 3.1 범퍼스테이의 충돌성능 평가

하이드로포밍 범퍼스테이의 충돌에너지 흡수능을 평가하고자 현재 양산중인 베르나 차종의 프론트 범퍼에 적용하여 기존 스탬핑 범퍼의 충돌시험 결과치와 비교하였다. 기존 범퍼시스템의 중량은 7.8kg 이며 튜브형 범퍼시스템이 6.9kg 으로 경량화율이 약 10%정도로 설계되었다. 기존의 에너지 압소버와 범퍼레일을 동일조건으로 하고 범퍼스테이와 체결부만을 교체하여 고정벽 충돌시험을 실시하여 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 범퍼커버에서 측정한 B 점에서의 밀립량(intrusion)은 72.8mm 와 범퍼레일에서 측정한 A 점에서의 변형량(deflection)은 40.5mm 로 완성차업체의 규격을 만족하였다.

이때 밀립량(intrusion)의 규제는 범퍼커버에서 후드(hood) 끝단까지의 공간에서 저속 충돌 시 후드나 헤드램프에 변형을 미치지 않을 구간을 말하여 변형량(deflection)의 규제는 범퍼 레일의 안쪽에서 충돌 시 라디에이터나 팬류에 영향을 미치지 않을 최소공간을 제한하는 것을 말한다.

Fig. 9의 고정벽충돌시험(barrier test) 결과를 살펴보면 범퍼 스테이의 충돌 에너지 흡수율은 50%

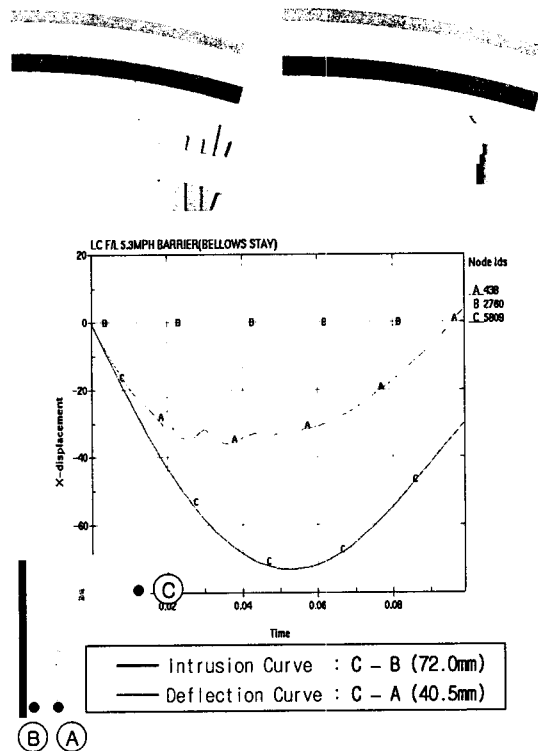


Fig. 8 Comparison of barrier test results between conventional and hydroformed bumper stay system

정도이고 프론트사이드 멤버에는 10% 정도의 영향을 미치는 것으로 나타나는데 이는 그래프 상부에 나타낸 기존 스테이를 사용한 대상차종의 수치가 각각 46%와 12%인 것을 보면 충돌에너지를 적절히 흡수하여 프론트사이드 멤버에 적은 영향을 미친 것으로 판단된다. 그러나 정량적으로는 낮은 수치로서 향후 형상, 공정 및 발포금속의 삽입과 같은 추가적인 연구를 통해 충돌흡수능 향상에 대한 보다 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.<sup>(6-7)</sup>

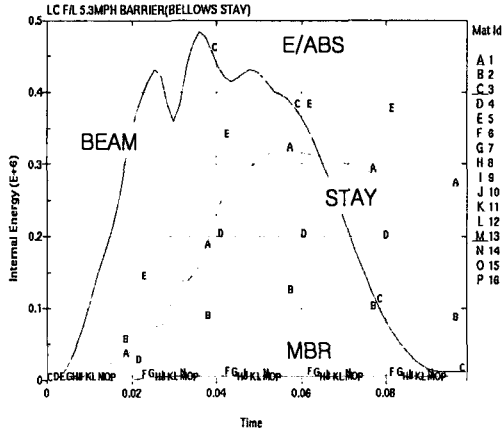
### 4. 결론

본 논문에서는 극소곡률반경을 지닌 하이드로포밍 범퍼스테이의 제작 공정과 관재 범퍼스테이의 변형에 따른 충돌에너지 흡수능을 해석을 통해 평가하였고 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

E/ABS	=====	42%	STAY	20%
BEAM	-----	26%	MBR	12%

## 5. 후기

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



\* Rebound Time : 5.85E-02 sec

E/ABS	=====	40%	STAY	18%
BEAM	-----	32%	MBR	10%

**Fig. 9 Comparison of energy absorption ratio between conventional and hydroformed bumper stay system**

(1) 기계적 하이드로포밍 공정을 통하여 높은 확률율과 극소곡률반경의 범퍼스테이 시제품의 제작 가능성을 확인 할 수 있었다.

(2) 관재 범퍼스테이는 충돌 시 소재의 말림을 통한 선형적인 충돌에너지 흡수 구조가 가능하였다.

(3) 관재 범퍼스테이를 적용하여 충돌시험한 결과 기존의 시스템 대비 10% 경량화, 충돌법규의 만족과 동등이상의 성능을 확인하였다.

(4) 범퍼스테이 소재, 두께, 형상을 변형하여 범퍼레일과 조합하여 설계하면 충돌에너지 흡수능을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다

## 참고 문헌

- (1) 손성만, 이문용, 이상용, 2000, "자동차용 범퍼레일의 하이드로포밍 기술연구", 한국소성가공학회지 제 9 권, 제 6 호, pp. 561~566.
- (2) 김주신, 조영만, 노인호, 노재홍, 2000, "하이드로포밍을 이용한 자동차 부품 개발", 제 3 회 박관성형심포지엄논문집, pp. 50~58.
- (3) Abe.Hideo, 2003, "The State of the Art in Tube Hydroforming Technology in Japan", Proceedings of the TUBEHYDRO 2003, pp. 42~53.
- (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) 김범진, 허승진, 2003, "알루미늄 경량 차체의 충돌에너지 흡수 성능 향상을 위한 설계 개선 연구", 한국자동차공학회논문집, 제 11 권, 제 3 호, pp. 155~160.
- (7) 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.