

# 하이드로포밍을 이용한 범퍼스테이 FEM 성형해석

강부현\* 김봉준\* 류종수\* 손성만\*\* 문영훈\*

## Finite element analysis on the hydroforming of bumper stay

B.H. Kang, B.J. Kim, J.S. Ryu, S.M. Son 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** : Bumper Stay, Bellows Tube, Crash Box, Tube Hydroforming

### 1. 서 론

현재의 하이드로포밍은 대형 부품에 무게를 두고 연구 개발되고 있다. 따라서 상대적으로 소형 부품에 적용할 수 있는 부품의 개발이 늦어지고 있다. 이러한 시점에 부피가 작고, 전문화된 응용제품의 개발에 박차를 가한다면 국내 하이드로포밍 시장을 활성화 시키고 제품 개발에 대한 다양화 및 전문화된 기술력을 보유하여 하이드로포밍 선진국으로 한걸음 나갈 수 있을 것이라 예상된다. Fig. 1은 일반적인 범퍼스테이의 구조를 도시한다. 현재 적용되고 있는 프레스 부품 조립 방식의 스테이는 부품수가 많고 이 부품들을 점용접 및 아크용접을 통해 조립되는데 그 공정과 공정간의 이동, 지그, 설비 등이 많이 필요하게

된다. 이러한 복잡한 공정을 하이드로포밍 공법을 이용한다면 한번의 성형으로 정형제품을 얻을 수 있는 장점이 있기에 이를 범퍼스테이에 적용하고자 하였다. 하이드로포밍을 응용한 다첩성 주름 형태의 범퍼스테이는 현재 생산되고 있는 범퍼빔(Bumper beam)의 충격 흡수능을 더욱 향상시키고, 다공정 접합 방식의 제조공정을 단공정 일체화 방식으로 간소화할 것이라 예상된다. 따라서 본 연구에서는 제품의 성형 이전에 다양한 형상의 범퍼스테이를 모델링하여 그에 따르는 성형성의 평가와 성형 가능한 최적의 형상을 선정하고자 한다.

### 2. U-형 벨로우즈관 성형해석

\* 부산대학교 정밀기계공학과/정밀정형 및 금형가공연구소

\*\* 성우하이텍(주)

## 2.1 하이드로포밍 공정

일반적인 벨로우즈관(bellows tube)의 성형은 벌징(bulging)공정과 폴딩(folding)공정으로 이루어진다. 하지만 이번 연구에서는 형상에 따른 여러 공정변수가 있으나 접기 공정을 제외하고, 내부 압력과 축방향 압입에 의한 하이드로포밍 공정으로 성형을 하기 위해서는 축방향 펀치의 진행 방향에 수직이 되는 경사면 직선부, 소재유입과 압입력 전달에 따른 골의 직선부가 가장 큰 변수가 된다. 따라서 이번 성형해석에서는 축방향 압입과 내부 압력만으로 U-형 벨로우즈관이 원활하게 성형가능한지를 검토하고자 한다. 일반적인 U-형 벨로우즈관은 Fig. 2 와 같이 공정변수에 따른 4 가지의 형태로 모델링하여 성형해석을 수행하였다.

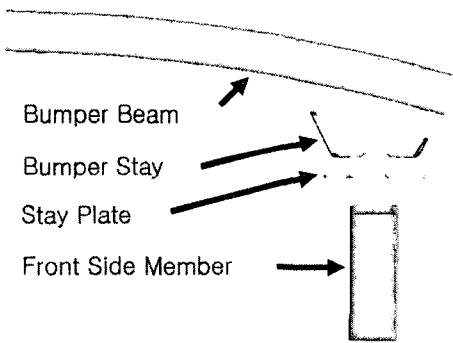
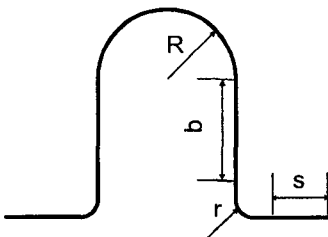


Fig. 1 The schematic view of the bumper beam parts



R : 산의 곡률반경  
r : 골의 곡률반경  
b : 경사면 직선부  
s : 골의 직선부

Fig. 2 Schematic drawing of the U-bellows

## 2.2 공정변수 따른 형상별 성형해석

아래의 4 가지 형상에 따른 성형공정의 순서는 먼저 축방향 압입으로 환관부 쪽으로 소재의 적절한 좌굴을 형성시킨 다음 내부압력의 증가와

압입량을 제어하여 금형의 형상으로 성형시키는 것이다.

(a)는 실제 U-형 벨로우즈의 기본형상을 모델링하여 성형해석한 것이다.

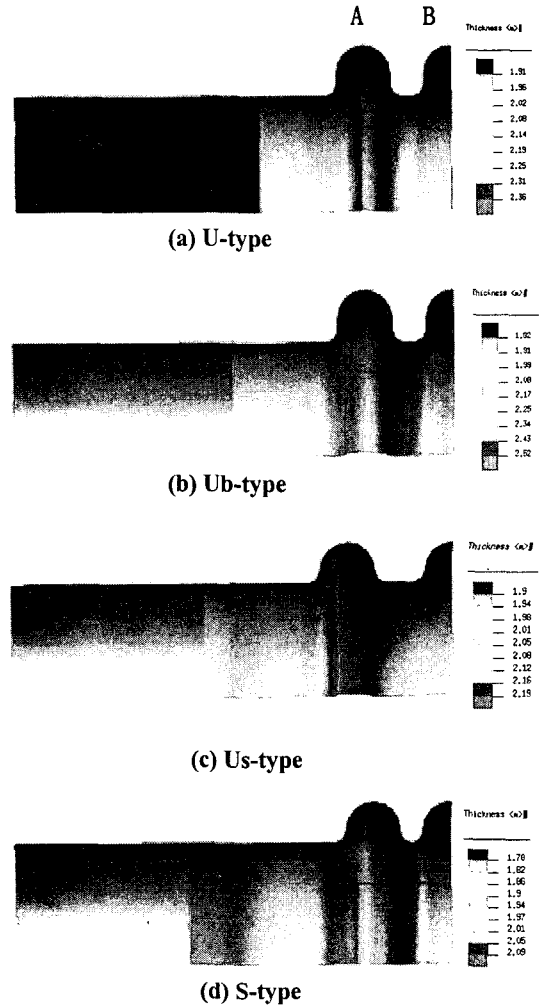


Fig. 3 Thickness distribution of the bellows tube forming component

성형 초기 단계에서 A, B 두 부분에 좌굴에 의한 경사각이 생겼으나 두 부분의 경사각 불균형은 스텝이 진행될수록 심해져 펀치의 압입으로 인한 축방향 압입력의 상당량이 수평으로 전달되지 못하고 A 부분에서 소모되어 버려 B 부분에는 영향을 미치지 못하게 된다. 결국 A 부분은 압입량과 내부압력이 균일하게 작용하여 금형의 형상에 일치하는 성형성을 보여 주었으나 B 부분은 일정 단

계 이후 거의 변화가 없었다.

최대 확관 이후 압입량의 증가함에 따라 소경부가 확관부로 만입되어 버리는 현상이 발생했다. 이 때 수평으로 전달되는 축방향 압입량이 수직으로 되어있는 경사면의 직선부에는 더 이상 전달되지 못하여 A 부분에서의 압축이 일어난다.

(b)는 U-형 벨로우즈의 기본 형상에서 경사면 직선부가 성형성에 끼치는 영향을 파악하기 위하여 경사면 직선부를 없앤 형상이다. 전체적인 성형 양상은 기본 U-형상과 크게 달라지지 않았으나 B 부분의 경사각은 조금 향상된 것을 확인할 수 있었다. 마지막 스텝의 해석에서는 기본 U-형과 마찬가지로 A 부분에서의 압축이 발생하였다. 이는 경사면 직선부의 제거만으로는 하이드로포밍에 의한 U-형 벨로우즈 성형이 안정적으로 이루어질 수 없다는 것을 보여준다.

(c)는 골의 직선부가 끼치는 영향을 알아보기 위해 골의 직선부를 제외한 형상이고 성형 양상은 앞서 수행한 결과와 크게 다르지 않았다. 경사면 직선부의 영향으로 소재의 유입과 축방향 압입력의 전달도 원활히 이루어지지 않았으며 골의 직선부의 배제도 성형성에는 크게 기여하지 못함을 알 수 있었다.

마지막으로 (d)는 수평으로 전달되는 축방향 압입량을 압축응력으로 흡수해 버리는 경사면의 직선부와 소재의 원활한 유입을 어렵게 하는 골의 직선부를 없애고, 산과 골부분으로만 이루어진 S-형 벨로우즈관을 성형해석 하였다. 앞서 수행한 성형해석의 결과들과 비슷한 양상을 띠었으나 A 부분의 최대확관이 이루어질 때까지 B 부분의 경사각은 점진적으로 증가하여 더 높게 나왔다. 같은 조건하에서 각각의 형상을 달리한 U-형 벨로우즈 성형에서 S-형의 경사각이 가장 높고 전체적으로 좀 더 나은 성형성을 보였으나 완전한 S-형의 벨로우즈 성형에는 미치지 못함을 알 수 있었다(Fig. 4).

### 3. CRASH BOX 성형해석

앞서 수행한 성형해석 결과에서 충격흡수부를 산으로 모델링한 금형은 소재가 기대형상을 만족시키지 못하였다. 따라서 이번 성형해석에서는 이전의 확관부인 산과 골부분을 역전시켜 확관되도록 설계한 Crash Box 형태로 성형해석 하였다(Fig. 5). 확관부 간의 길이를 20mm, 15mm, 10mm

로 각각 모델링하여 이에 따른 성형성을 평가하고자 한다(Fig. 6).

(a)확관부 간의 길이 10mm

축방향 압입량 4.2mm 에서 A 부분은 금형의 형상으로 확관되었으나 이미 파단 두께로까지 얇아졌다. 그리고 B 부분의 확관을 위해 내부 압력을 70MPa 까지 올렸지만 더 이상의 확관은 일어나지 않았고 내부 압력으로 인해 소재의 두께가 두께 감소율 20%를 넘어서 파단이 일어났다. A 부분에서 먼저 파단이 일어나는 원인은 소재의 두께에 대한 확관 체적이 과도하게 높아서 축방향 압입으로 인한 소재의 유입이 있다 하더라도 확관의 변형 추이를 미쳐 따라가지 못해서이다.

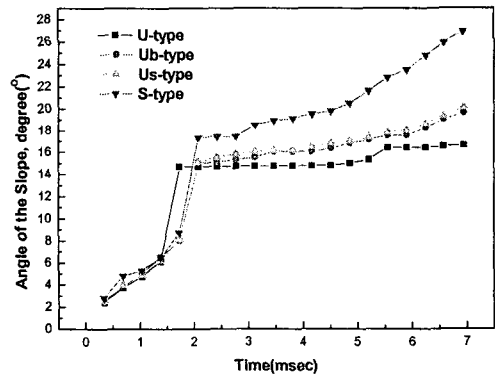
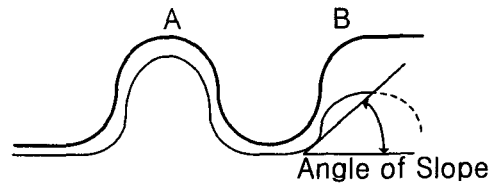


Fig. 4 Relationship between angle of the slope and tube shape

또 여기서의 해석결과를 보면 확관부 간의 거리가 10mm 로, 이 부분만을 국한해서 보면 S-형 벨로우즈관과 거의 유사한 형태라는 것을 알 수 있다. 내부 압력만으로 금형의 형상에 맞는 성형을 한다는 것은 어렵고 성형 도중 파단될 수 있는 위험성을 가지고 있다. 따라서 위의 성형 해석의 경우에는 성형 초기 축방향 압입을 통하여 소재의 두께 감소를 보상할 수 있으나 이전에 소재의 두께 감소를 고려한 확관부의 설계가 필요하다

(b)확관부 간의 길이 15mm

확관부 간의 길이 10mm 의 경우 보다는 우수한 성형성을 보였고 소재의 두께 감소율도 20% 이내였다.

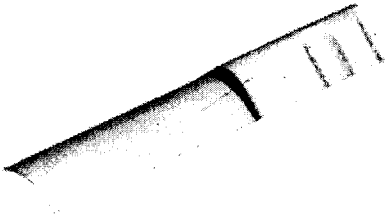


Fig. 5 Schematic drawing of the crash box

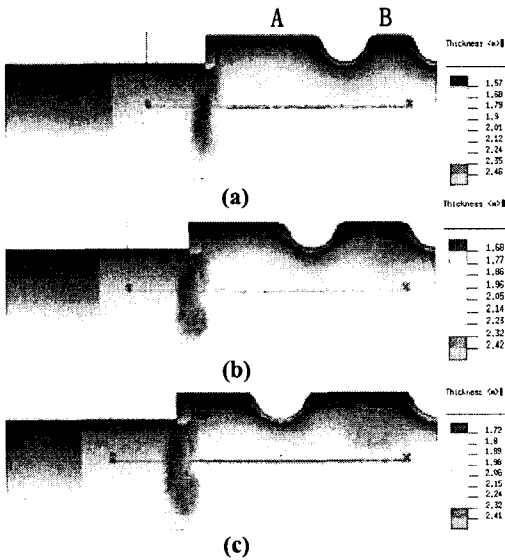


Fig. 6 Thickness distribution of the bellows tube forming component

(c)확관부 간의 길이 20mm

최종 공정까지 소재는 금형의 형상에 거의 유사하게 확관 되었으며 두께 감소율도 안정적이었다. 이번 해석에서 A, B 순서로 되던 확관량과 확관순서가 이전의 공정과 달랐지만 기대형상에 가

까운 확관을 보였다. 그 이유는 B 부분은 확관부 체적이 커서 축방향 압입력 없이도 확관부로 소재의 유입이 용이했고 상대적으로 확관부 체적이 적은 A 부분은 확관부로 소재의 유입이 B 부분보다 어려웠지만 축방향 압입력이 보상해주었기 때문이라고 사료된다.

#### 4. 결론

1) U-형 벨로우즈관의 성형시 축방향 압입력과 내부압력을 고려하여 변형된 S-형 벨로우즈관으로 성형성을 높일 수 있었다.

2) 하이드로포밍 공정을 이용한 U-형 벨로우즈관 해석에서 축방향 압입력의 전달의 어려움은 산부분에서 수직응력으로 흡수해버리기 때문인 것으로 사료된다.

3) 접기 공정을 제외한 하이드로포밍 공정만으로는 완전한 벨로우즈관 생산에 어려움이 있을 것으로 생각된다.

4) Crash Box 성형에서 확관부 체적이 큰 부분은 축방향 압입력 없이도 확관부로 소재의 유입이 용이했다. 따라서 상대적으로 확관부 체적이 적은 부분은 축방향 압입력으로 확관을 보상해줄 수 있는 설계가 필요하다.

#### 참고 문헌

- (1) 김주신, 조영만, 노인호, 노재홍 : “하이드로포밍을 이용한 자동차 부품 개발”, 제 3 회 박관성형 심포지엄 논문집, pp50~58(2000)
- (2) Masaru Oyama, Noriaki Masuta, “Automotive bumper stay structure”, United States patent, patent number : 5441319, Aug. 15. 1995.
- (3) Koji Kariatsumari, Kobe, “Car body energy absorber and bumper stay”, Automotive bumper stay structure”, United States patent, patent number : 6481690 B2, Nov. 19. 2002.