

# 액압 성형 공정 시 플랜지부 형성을 위한 FE 해석

최만규<sup>1</sup>, 주병돈<sup>1</sup>, 이성문<sup>1</sup>, 이현종<sup>1</sup>, 문영훈<sup>#</sup>

## FE Analysis of Hydroforming Process for Flange Forming

M. K. Choi, B. D. Joo, S. M. Lee, H. J. Lee, Y. H. Moon

### Abstract

Tube hydroforming provides a number of advantages over the conventional stamping process, including fewer secondary operations, weight reduction, assembly simplification, adaptability to forming of complex structural components and improved structural strength and stiffness. A hydroformed vehicle body component has an attachment flange or the like-formed as an integral part of the hydroforming process. For a given flange shape, a parting plane for the dies is established relative to which the various surfaces of the flange shape, in cross section, have no significant reverse curvature. This study shows analysis results that form the flanged tubular parts in the hydroforming. The thickness variations and defects during the hydroforming for flange forming could be analyzed by FE analysis. FE analysis was performed by LS-DYNA/Dynaform 5.5.

**Key Words :** FEM, Flange, Tube hydroforming, Flanged tube parts.

### 1. 서론

액압 성형 공정은 성형 후 재료의 국부적인 경화영역, 정밀한 제품 생산 가능, 제품의 강성 증가, 가격 경쟁력 향상, 부품 개수 감소에 의한 경량화 등의 장점이 있다. 현재 액압 성형 기술을 적용하여 생산하고 있는 자동차 부품에는 사이드 레일(side rail), 서브프레임(subframe), 대시패널(dash panel), 필라(pollar), 레일루프(rail roof), 패키지 트레일(package trail)등의 승용차 부품 및 트럭용 부품에 이르기까지 다양한 종류가 있다[1-3]. 플랜지부를 성형한 하이드로포밍 제품은 다른 제품과의 결합이 용이하고, 원가절감과 차체경량화와 높은 강도를 얻을 수 있는 이점이 있다[4, 5].

본 연구에서는 설계된 액압 성형품에 플랜지부를 형성하는 공정 시스템을 이용하여 그에 따른 플랜지 액압성형 공정 시 파팅위치와 확관율에 따른 재료의 특성과 파단이 일어날 수 있는 취약

부의 위치, 두께를 분석하였다. 이러한 분석을 통해 파단가능성이 적으며 플랜지부의 길이를 증가시킬 수 있는 파팅위치와 확관율의 범위를 예측해보고자 한다.

### 2. 연구 내용 및 해석 방법

#### 2.1 플랜지 형성 액압 성형 공정 해석모델

Fig. 1 는 플랜지 형성 액압 성형 공정의 순서도를 나타낸 것이다. 상부금형이 완전히 닫히지 않은 상태에서 내압을 가하여 플랜지부로의 확관을



Fig. 1 Hydroforming process for flanged tube parts

1. 부산대학교 기계공학부/정밀정형 및 금형가공 연구소  
# 교신저자: 부산대학교 기계공학부,  
Email: yhmoon@pusan.ac.kr

유도한 다음 내압이 가해지는 상태에서 금형이 완전히 닫히며 플랜지를 형성한다. 추가적으로 내압이 가해지면서 코너부까지 충전이 된 후 공정이 끝이 나게 된다.

플랜지 형성 액압 성형 공정의 해석모델은 Fig.2 와 같이 CATIA V5에서 모델링 후 상용 유한요소해석 코드인 DYNAFORM 5.5에서 해석을 진행하였다. 대칭 조건이기 때문에 시간절약을 위하여 1/4 모델을 이용하였으며, 해석에 사용된 소재는 탄소강인 DP500을 사용하였다. 플랜지 액압 성형 공정변수는 Table 1과 같다.

Table 1 Flange Hydroforming Condition

Feeding (mm)	9.0
Tube diameter (mm)	65.0
Tube thickness (mm)	2.0
Circumferential expansion ratio (%)	10, 20, 30
Die parting angle (°)	30, 45, 60

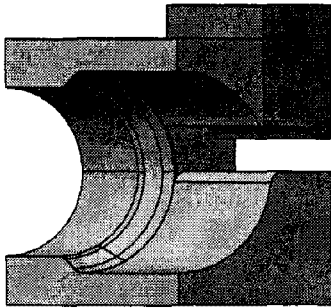
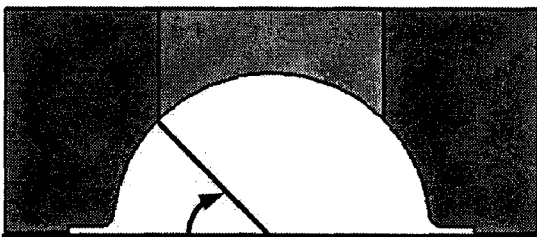


Fig. 2 Mold modeling by CATIA V5

### 2.2 FE 해석

해석에서 사용된 소재는 DP500이며, 외경은 65.0mm, 두께가 2.0mm이다. 금형의 모델링은 Fig. 2 와 같이 CATIA V5 프로그램을 이용하여 모델링 하였다.



Parting Angle

Fig. 3 Define of die parting angle

Fig. 3 은 파팅위치(parting angle)에 대한 정의를 나타낸 것이다. 파팅위치에 따라 플랜지부의 길이, 두께변화, 파단이 일어날수 있는 취약부와 취약부의 두께를 분석하기 위해 확관율은 10%로 고정하고, 파팅위치의 범위를 30°, 45°, 60°로 모델링을 하여 각각 해석을 수행하였고 확관율에 따른 플랜지부의 길이, 두께변화를 분석하기 위해 파팅위치 45°로 고정하고, 확관율을 변수로 하여(0%, 10%, 20%) 모델링을 한 후 각각 해석을 수행하였다. 각각의 해석 경우 50~150Mpa의 내압범위에서 해석을 수행하였다.

### 3. 해석결과 및 고찰

#### 3.1 파팅위치에 따른 분석

내압은 50~150Mpa의 범위내에서 해석을 실행하였다. 그 결과 파단이 일어나지 않고 플랜지의 길이가 나오는 최적 내압조건은 30°일 때 150Mpa, 45°일 때 70Mpa, 60°일 때는 120Mpa이었다. 파팅위치에 따른 두께 변화를 분석한 FE해석의 결과는 Fig. 4 에 나타내었다. 이때의 내압은 최적 내압조건을 적용하였다. 파팅위치에 따른 두께분포는 비슷한 경향을 나타내었다. 하부금형쪽 소재에서는 금형의 구동이 없는 단순 확관이 일어나기 때문에 두께 분포는 일정하게 나타났으며 플랜지가 만들어 지는 0°에서 가장 두꺼운 두께가 나타났다. 상부금형쪽 소재는 플랜지부로의 국부적인 확관과 상부금형이 완전히 닫혀지는 구동에 의해 소재의 연신이 일어나게 되어 두께분포는 일정하지 않게 나타나는 경향을 보였고 취약부의 위치는 파팅위치와는 상관 없이 10°~20°에서 나타났다. 플랜지부가 시작되는 0° 근처에서 상부금형에 의해 국부적인 연신이 일어나게 됨으로써 두

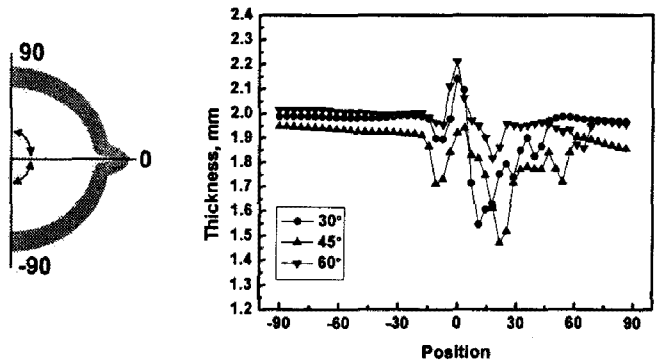


Fig. 4 Thickness variation of die parting angle

계감소가 나타났다. 플랜지 부착형 튜브는 다른 제품과의 결합을 목적으로 하고 있기 때문에 플랜지부 길이가 중요하다. 파팅위치에 따른 플랜지부의 길이는 30°, 45°, 60°일 때 각각 4.3mm, 4.9mm, 4.6mm로 나타났으며 파팅위치가 45°일 때 플랜지부 길이는 가장 길었다. 그 이유는 플랜지부의 길이는 파팅위치가 높은 경우 플랜지부로의 집중적인 확관보다 다른 영역으로의 확관이 일어나게 되어 짧은 플랜지부의 길이를 나타냈으며 파팅위치가 낮을 경우 플랜지부로의 확관이 제한되기 때문에 플랜지부의 길이는 짧게 나오는 것으로 판단된다.

### 3.2 확관율에 따른 분석

내압은 50~150Mpa의 범위내에서 해석을 실행하였다. 그 결과 파단이 일어나지 않고 플랜지의 길이가 나오는 최적 내압조건은 0%일 때 70Mpa, 10%일 때 70Mpa, 20%일 때는 140Mpa이었다. 확관율에 따른 두께 분석을 위한 FE해석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 이때의 내압은 최적의 내압 조건을 적용하였다. 확관율이 0%일 때 두께는 소재의 확관은 제한되어 있지만 파딩에 의해서 소재가 밀려 들어가게 됨으로써 전체적인 두께는 원소재의 두께인 2mm보다 두껍게 나타났다. 상부금형과 하부금형쪽 소재는 2.05 ~ 2.1mm로 일정한 두께분포를 나타내었다. 확관율이 10%, 20%일 때는 들려 있는 상부금형 쪽에서 국부적인 확관과 상부금형의 구동으로 소재에 연신이 일어남으로써 10°~23°사이 구간에서 취약부분의 발생되었고, 두께의 분포는 일정하지 않게 나타났고, 플랜지부가 시작되는 0° 근처부분에는 플랜지부로 국부적인 확관과 금형이 탈힐 때 소재의 연신 때문에

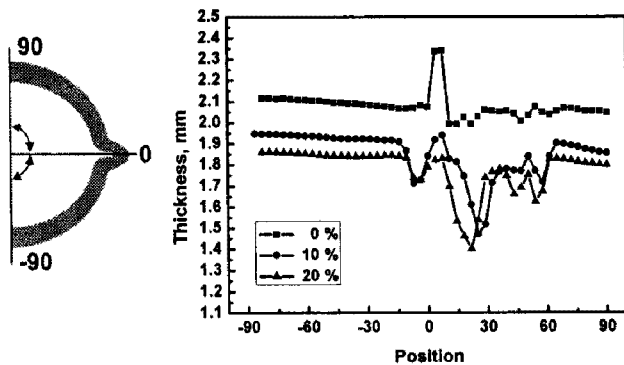


Fig. 5 Thickness variation of circumferential expansion ratio

다른부분에 비해 두께가 감소하는 것으로 나타났다. 취약부의 두께는 0%, 10%, 20%일 때 각각 1.99mm, 1.47mm, 1.39mm로 나타났다.

확관율에 따른 플랜지부 길이는 0%일 때는 5.2mm의 플랜지부를 형성하였고, 10%일 때 4.8mm로 가장 짧은 플랜지부를 형성하였고, 20%일 때는 5.4mm로 가장 긴 플랜지부를 형성하였다. 20%일 때 플랜지부의 길이가 가장 길게 나타났지만 취약부의 두께가 1.40mm로 파단 가능성이 높은 것으로 나타났다.

### 3.3 해석과 실험결과의 비교

확관율이 10%이고, 파팅위치가 45°일 때 두께변화에 따른 해석 결과와 실험결과를 Fig. 6과 Fig. 7에 비교하여 나타내었다. Fig. 6에서는 실험 후 소재의 단면과 해석 후 단면의 형상을 비교하여 나타내었고, Fig. 7에서는 해석결과와 실험결과의 두께분포를 나타내었다. 하부다이에서는 일정한 두께분포가 나타나고 상부금형에서는 국부적인 확관에 의해 균일하지 않은 두께분포를 보이는 비

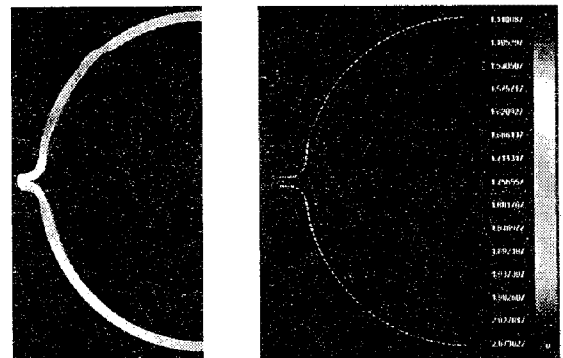


Fig. 6 Comparison of section shapes of FE analysis and experiment

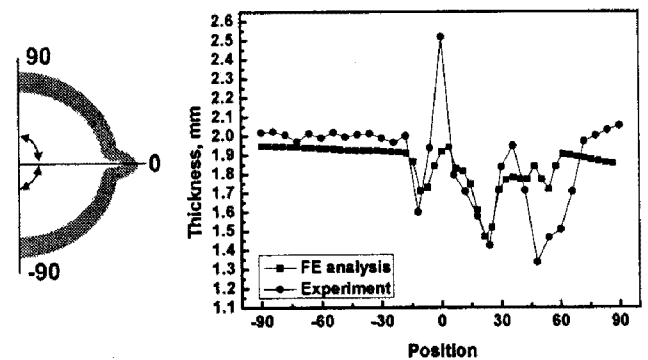


Fig. 7 Comparison of thickness variation of FE analysis and experiment

슷한 경향이 나타났다. 해석결과에서는 연신이 가장 많이 일어나는  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$  에서 취약부가 나타났지만 실험결과 취약부는  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$  가 아닌 파팅위치( $45^{\circ}$ ) 부근에서 상부금형의 엇지부에 의해 소재의 연신이 가장 많이 일어나게 되고  $45^{\circ}$  부근에서 취약부의 위치가 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 플랜지 액압 성형 공정 시 확관율과 파팅위치에 따른 두께변화와 플랜지부 길이를 상용 유한 해석 코드 DYNIFORM 5.5를 이용하여 정량적으로 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같이 나타났다.

(1) 금형의 확관율이 0%, 10%, 20%로 커질수록 원주 방향으로의 확관이 커져 많은 연신이 필요하기 때문에 전체적인 두께는 얇아지고 취약부분의 두께는 원소재에 비해 각각 0.5%, 27%, 30% 얇아지는 것으로 나타났다.

(2) 파팅위치와 확관율에 상관없이 소재의 취약부위치는 상부금형 쪽에서 국부적인 확관과 상부금형의 구동으로 소재에 연신이 일어나는  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 의 위치에서 취약부가 나타났다.

(3) 플랜지부의 길이와 취약부의 두께를 고려한 결과 파팅위치  $45^{\circ}$ , 확관율 10%일 때 파단가능성이 낮고 플랜지부의 길이가 길게 형성되는 것으로 예측된다.

#### 후 기

이 논문은 교육과학기술부/한국과학재단 국가핵심 연구센터사업의 일부 지원으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] F.dohmann, Ch.Hartl, 1997, Tube hydroforming research and practical application, J. Mater. Process. Technol., Vol. 71, pp. 174~186.
- [2] H.Mizukoshi, H.Okada, H.Wakabayashi, 1999, Tee fitting hydraulic formability of aluminum alloy tubes, Advanced Technology of Plasticity, Vol. 2, pp. 1189~1194.
- [3] Yuan-Yao Qian, Dave Cattran and Medhat Karima, 1998, Towards further understanding of the mechanics of tube hydroforming, SAE paper, 982276.
- [4] H.-U. Lücke, Ch. Hartl, and T. Abbey, 2001, Hydroforming, J. Mater. Process. Technol., Vol. 115, pp. 87~91.
- [5] Ahmetoglu M, Altan T, 2000, Tube hydroforming: state-of-the-art and future trends. J. Mater. Process. Technol., Vol. 98, pp. 25~33.