

# 일체화 성형 서브프레임 개발을 위한 벤딩 공정의 영향성 연구

서창희\*·이우식\*·김현영\*\*·임희택\*\*

## A Study of Bending Process for Development of Subframe by Hydroforming

C.H. Suh, W.S. Lee, H.Y. Kim, and H.T. Lim

### Abstract

In the present study, subframe was developed using hydroforming technology. The manufacturing process for subframe consists of tube bending, pre-forming and hydroforming. The effects of bending process for manufacturing hydroformed subframe were researched. And the variables of bending process were studied by FEM simulation. The bending method is rotary draw bending that is the most popular, cost-effective bending method for thin walled tubes.

**Key Words** : Finite Element Modeling, Bending simulation, Rotary Draw Bending, Variables of Bending, Hydroforming Technology

### 1. 서론

오늘날 자동차에 대한 요구는 외관, 주행 성능, 승차감, 안전성, 연비 및 환경문제 등 다양한 면으로 확대되고 있다. 이에 대응하여 미국, 일본, 유럽 등의 선진 자동차 업계에서는 경쟁력 확보를 위하여 고안전 차체의 설계, 경량화 등의 신기술 개발에 계속 박차를 가하고 있으며 하이드로포밍(hydroforming), 레이저 용접 판재(Tailor Welded Blank), 경량 알루미늄 차체 개발 등이 그 대표적인 예이다. 최근 몇 년간 하이드로포밍 기술은 선진국을 중심으로 널리 사용되기 시작하고 있으며, 많

은 발전을 거듭하고 있다<sup>(1)</sup>. 하이드로포밍 공법은 차체 강성 증가, 제조 공정 및 부품수 감소, 금형 절감 등의 다양한 이점이 있으며, 공정은 벤딩(bending), 프리포밍(pre-forming), 하이드로포밍(hydroforming)으로 나뉜다<sup>(2)</sup>. 이 중 벤딩공정에서 발생된 각종 성형상의 문제점들이 이후의 공정에 커다란 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 FEM simulation을 활용하여 벤딩에 영향을 미치는 인자들을 연구하였으며, 실제 서브프레임 제작을 위한 벤딩 공정시 발생되어지는 문제들이 최종 하이드로포밍 성형에 미치는 영향을 연구하였다. 해석에 사용된 유한요소 프로그램은 Pam-Stamp이다.

\* (주)화신

\*\* 강원대학교 기계메카트로닉스공학과

## 2. 본 론

### 2.1 소재

사용된 소재는 하이드로포밍용으로 개발된 HF 370소재이며, 튜브 사양은 외경이 70mm, 두께가 2mm 이다. 그리고 소재의 물성을 Table 1에 나타내었다. 튜브는 조판과정에서 가공경화되며 돌려 방향으로의 시편채취가 어려워 정확한 물성을 얻기에 힘이든다. 따라서 판재의 물성을 해석에 사용하였으며, 향후 튜브 소재의 물성확보 방안에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 여겨진다.

Table 1 Material properties

소재	Y.S. (kgf/mm <sup>2</sup> )	T.S. (kgf/mm <sup>2</sup> )	El. (%)	n
HF370	37.8	44.9	39.6	0.19

### 2.2 벤딩공정의 유한요소해석

벤딩 공정에 영향을 미치는 중요 인자들은 마찰, 맨드렐(mandrel), 부스터(booster) 등이다. 유한요소프로그램을 사용하여 볼맨드렐의 형상 및 수, 부스터의 피딩력에 따른 벤딩 공정에 미치는 영향성을 평가하였다. Fig. 1에 해석에 사용된 벤딩모델을 나타내었으며, 벤딩 반경(bending radius)는 170mm이다.

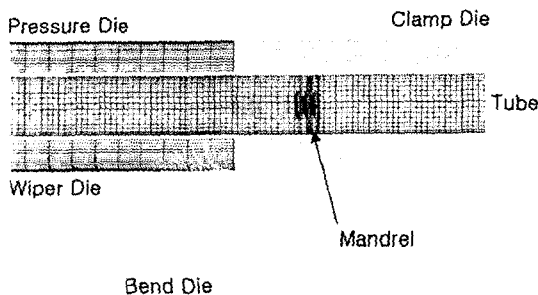


Fig. 1 FEM model of tube bending

#### 2.2.1 맨드렐의 영향성 평가

맨드렐을 사용하지 않을 경우 벤딩을 수행 했을 때 Fig. 2와 같이 튜브의 단면이 원형을 유지하지 못하게 된다. 따라서 이 후의 공정에서 주름등의 발생의 원인이 되므로 적절한 맨드렐의 사용이 요구되어진다. 맨드렐 볼의 형상에 따른 영향을 평가하기 위해서 맨드렐을

Fig. 3(a),(b)과 같이 2가지 형태로 모델링 하였으며 볼 개수에 따른 영향을 평가하기 위해 폭이 좁은 맨드렐볼의 개수를 1개, 5개, 10개로 바꾸어가며 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 벤딩각도는 60도이다.

해석 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 벤딩되어진 튜브 단면 형상은 모두 원형으로 볼맨드렐의 형상에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 두께 감소율은 볼 개수가 10개인 좁은 형태의 맨드렐이 14.5%, 볼 개수가 2 개인 넓은 형태의 맨드렐이 12.5%로 나타났다. 그리고 폭이 좁은 볼맨드렐의 경우 두께 감소율은 볼의 개수가 5개일 경우 11.4%, 1개일 경우 10.7%로 볼의 개수가 많아질수록 소재의 두께가 더 많이 감소함을 알 수 있다. 이는 볼과 튜브의 마찰면적이 넓어 더 큰 마찰력이 작용하므로 발생되어지는 현상으로 여겨진다.



Fig. 2 Thinning distribution after bending simulation without mandrel and the section A

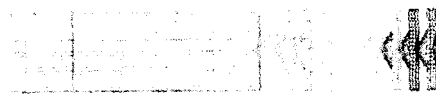


Fig. 3(a) Ball mandrel with narrow width



Fig. 3(b) Ball mandrel with wide width

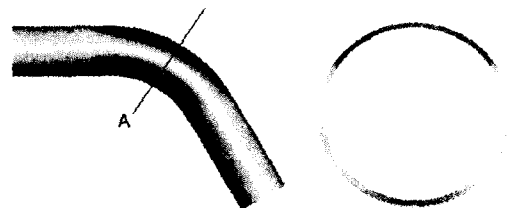


Fig. 4 Thinning distribution after bending simulation with narrow/wide width ball mandrel and the section A

#### 2.2.2 피딩의 영향성 평가

벤딩에 영향을 미치는 또 다른 중요한 인자로는 부스

터에 의한 피딩력을 들 수 있다. 튜브를 벤딩할 경우 튜브 내측은 압축응력을 받게 되어 주름(wrinkle)이 발생할 수 있으며 외측은 인장을 받게 되어 두께가 감소하게 된다. 과도한 두께 감소는 높은 내압이 작용하는 하이드로포밍 공정에서 파단의 원인으로 작용하므로 적절한 피딩이 벤딩공정에서 요구되어진다. 피딩력의 영향을 평가하기 위해 폭이 좁은 볼맨드렐을 사용하여 0kN, 30kN, 60kN, 90kN으로 피딩력을 바꾸어 가며 해석을 수행하였다. 해석 결과 피딩력이 증가할수록 튜브 외측의 두께가 두꺼워져 이후 공정이 하이드로포밍시에 성형이 더 유리할 것으로 여겨진다. 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

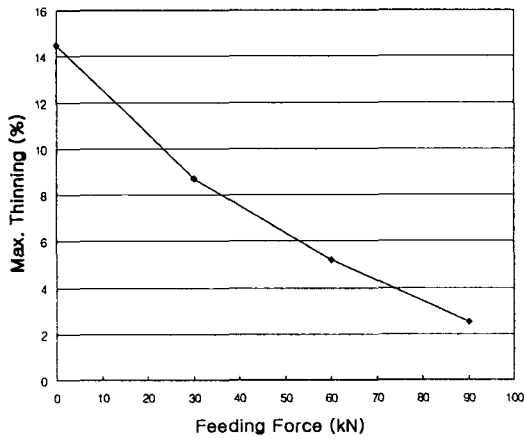


Fig. 5 Max. thinning distribution after bending simulation considered feeding effect

### 2.2.3 서브프레임 제작을 위한 벤딩 해석결과

하이드로포밍 서브프레임을 제작하기 위한 벤딩 해석은 두께 감소가 가장 심한 폭이 좁은 맨드렐을 사용하여 수행되었다. 벤딩은 총 8회에 걸쳐 이루어졌으며, Fig. 6에서 보여 지듯이 벤딩각이 가장 큰 부분에서 최대 두께 감소율이 14.8%로 가장 크게 나타났다.

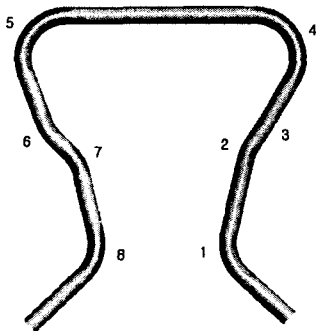


Fig. 6 Final shape of bended tube for subframe

### 2.3 벤딩 공정

해석의 신뢰성을 평가하기 위하여 실제로 제작되어진 벤딩된 튜브와 해석 결과의 두께를 비교하였다. 실제로 제작되어진 튜브와 그 절단면을 Fig. 7에 나타내었으며, 실측된 최소 두께와 해석결과를 Table 2에 나타내었다.

그 결과 두께의 분포는 단면 A와 단면 B에서는 유사한 경향을 나타내었으나 벤딩각이 120도인 단면 C의 경우 해석결과가 실제의 try out 결과보다 두께 감소율이 심한 것을 볼 수 있다. 이는 해석에서 실제 벤딩시에 영향을 미치는 모든 인자들을 고려하지 못함으로 인해 발생되어진 것으로 여겨진다. 그러나 해석 결과가 실제보다 두께 감소율이 심해 안전율을 고려할 경우 상기의 해석 조건이 하이드로포밍 서브프레임 제작을 위한 적절한 벤딩해석 조건으로 여겨진다.

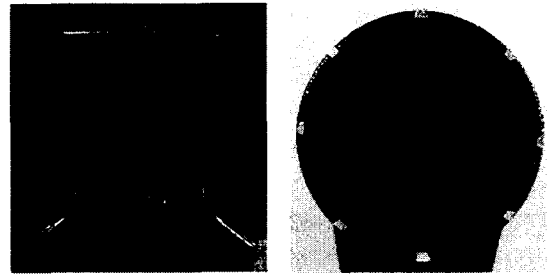


Fig. 7 Bended tube and the section B

Table 2 Minimum thickness comparison between simulation and try out

구분	A section	B section	C section
해석결과 최소두께(mm)	1.78	1.71	1.70
실제벤딩결과 최소두께(mm)	1.77	1.72	1.75

### 2.4 벤딩이 하이드로포밍에 미치는 영향

벤딩 후 튜브가 하이드로포밍 금형에 안착 되어질 수 있게 프리포밍을 실시 후 최종 하이드로포밍을 수행하였다. Fig. 8에서 실제 하이드로포밍 공정 후 파단이 발생한 부위와 그 절단면을 나타내었다. 파단은 대부분 벤딩시 두께 감소율이 큰 부분에서 발생하였다. 그리고 절단면을 검토한 결과 벤딩공정에서 맨드렐에 의해 발생된 튜브 굽힘 및 과도한 두께감소등의 문제가 하이드로포밍 공정에서 응력집중부로 작용하여 파단을 발생시키는 결과를 나타내었음을 알 수 있었다.

하이드로포밍시의 대부분의 파단발생은 초기 벤딩된 튜브의 품질에 상당한 영향을 받음을 알 수 있었으며 하이드로포밍 제품의 설계시에도 두께가 과도하게 감소되는 부분에 심한 소성변형을 받지 않게 고려하여야 함을 알 수 있었다.

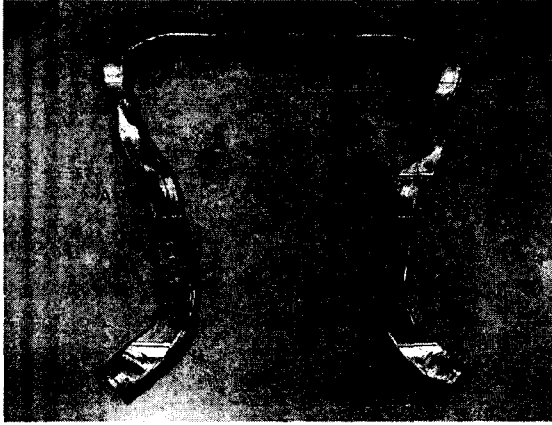


Fig. 8(a) Hydroformed tube and burst areas

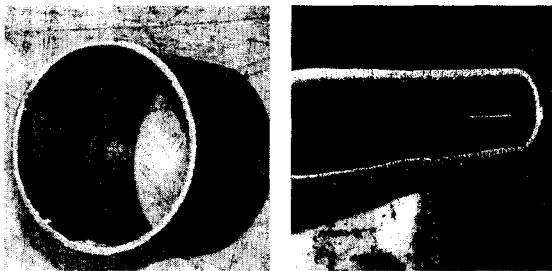


Fig. 8(b) The section A of the bend tube and the hydroformed tube

### 3. 결론

본 연구에서는 유한요소 프로그램을 사용하여 튜브의 벤딩에 영향을 미치는 인자들을 살펴보았으며, 실제 벤딩 공정이 하이드로포밍 공정에 미치는 영향을 연구하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 벤딩시 맨드렐의 형상과 볼의 수가 해석에 상당한 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며 볼의 수가 증가할수록 튜브와의 마찰면적이 커져 두께 감소율이 크게 나타남을 알 수 있었다.

(2) 벤딩시 튜브의 성형에 미치는 피딩력의 영향이 상당히 중요함을 알 수 있었으며 적절한 피딩력의 선정이 중요함을 알 수 있었다.

(3) 실제로 제작된 벤딩된 튜브를 사용하여 유한요소 해석의 신뢰성을 평가한 결과 대체로 만족함을 알 수 있었다.

(4) 실제 하이드로포밍시 파단이 발생된 부분은 대부분 벤딩시 두께 감소가 심한 부분들이었으며 하이드로포밍 공정은 벤딩된 튜브의 품질에 상당한 영향을 받음을 알 수 있었다.

### 후 기

본 연구는 차세대 소재성형 기술개발사업단의 연구 자금을 지원 받아 수행된 과제로 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- (1) F. Dohmann and C. Hartl, 1996, "Hydroforming - A method to manufacture lightweight parts", Journal of materials processing technology, Vol. 60, pp. 669~676.
- (2) 1st International hydroforming congress, 1997. Mov 4~5, Bochum, Germany.
- (3) 김현영, 신용승, 홍춘기, 전병희, 오수익, 2001, "자동차 엔진마운트 브래킷의 판재 및 용접판재 유압성형에 대한 성형해석", 한국소성가공학회 논문집, Vol 10. num1, pp.3-14.
- (4) Jay Liu and Don Hahn, 1999, "Optimizing hydroforming processes using FEM Simulation", AMERIPAM'99
- (5) Kim, H. J., J., Jeon, B. H., Kim, H. Y. and Kim, J. J., 1993, "Finite Element Analysis Liquid Bulge Forming Process of T-Shaped Pipe by and Explicite Code", Advanced Technology of Plasticity, pp.545-550.