

Hydroforming을 위한 Tube bending에 관한 연구

양재봉*, 이한남**, 전병희***, 오수익****

A study on tube bending for hydroforming

Jaebong Yang, Hannam Lee, Byunghee Jeon, Soo-ik Oh

Abstract

Tube bending is an important factor of the hydroforming processes. The tube must be bent to the approximate centerline of the finished part prior to hydroforming to enable the tube to be placed in the die cavity. This paper presents the simulation results in prebending process by a rotary bending machine and a bend die, that is used to form an automotive part, a tie bar. Prebending simulation is carried out to obtain the shape change of cross section and thinning in bending process. To avoid occurring wrinkle in compressive zone during bending process, a wiper die is included. A parametric study is carried out to obtain the effect of the forming parameters such as a bend radius and tube thickness.

Key Words : Hydroforming, Tube bending, Prebending

1.서론

현재 자동차의 발전 추세는 고성능화, 고속화, 고안전화로 되고 있으며 이에 따라 자동차의 각종 부품도 소형, 경량화로 발전되는 추세이다. 이에 대응하여 미국, 일본, 유럽 등의 선진 자동차업체에서는 경쟁력 확보를 위하여 고안전 차체의 설계, 경량화 등 신기술 개발에 계속 박차를 가하고 있는데 하이드로포밍(hydroforming), 레이저 용접 판재(tailor welded blank), 스페이스 프레임(space frame), 알루미늄 차체 등이 그 대표적인 예이다.

하이드로포밍은 경량화 및 안전성 확보에 대한 요구를 충족시키면서 가격 경쟁력이 있는 제품을 생산하기 위한 기술로서 횡방향 부재(cross member), 서브프레임(subframe), 필라(pillar) 등 자동차의 많은 부품에 적용될 수 있는 방법이며 기존의 스탬핑에 비하여 많은 장점이 있다. 스탬핑의 경우 2개의 판재를 따로 성형하여 스폿 용접에 의하여 결합하는 반면 하이드로포밍은 1개의 튜브를 사용하므로 부품 개수 및 공정수가 감소되며, 높은 강성과 강도를 갖는 부품을 생산할 수 있으며, 스폿 용접을 위한 플랜지가 없으므로

경량화 및 소재 수율면에서 유리하며, 형상이 복잡한 부품을 생산할 수 있다.

튜브 하이드로포밍 성형공정은 크게 예비 굽힘(prebending)공정과 액압 성형(hydroforming)공정의 2단계로 나누어진다. 하이드로포밍 공정을 원활히 행하기 위해서는 소재가 다이 캐비티 내에 안착될 수 있도록 굽힘 공정을 거치게 된다. 이는 일종의 예비 성형 공정으로서 튜브의 굽힘 공정의 신뢰성과 재현성은 하이드로포밍에 있어 매우 중요한 요소이다. 예비 굽힘 공정에서 발생하는 두께와 단면형상의 변화는 최종 성형 제품의 품질에 큰 영향을 미치므로 성공적인 굽힘 공정의 수행여부가 튜브 하이드로포밍 공정에서 중요한 인자가 된다.

튜브의 굽힘에는 다양한 방법이 있으나 그 중에서도 rotary draw bending machine이 가장 널리 사용되고 있다. 기본적으로 사용되는 tool은 bend die, pressure die 및 clamp die이며 굽힘 반경이 작거나 소재의 두께가 얇은 경우에는 mandrel과 wiper die가 사용된다. 이들은 소재의 내측에 좌굴이 발생하지 않도록 지지하는 역할을 한다. 소재를 tool에 위치시키고 clamp die와 pressure die가 소재를 고정한 후 bend die가 회전하면서 굽힘이 진행된다.

mandrel과 wiper die의 사용은 생산비용을 증가시키는 요인이 되므로 가능한 한 이들의 사용

* 서울대학교 대학원

** (주)윤영

*** 인덕대학교 기계설계과

**** 서울대학교 기계항공학부

은 회피하는 것이 바람직하다. mandrel 사용의 필요성 여부를 판단하는 가이드 라인으로서 다음과 같은 bend factor가 사용된다.

$$\text{Bend Factor} = \frac{\text{Wall Factor}}{\text{Degree of Bend}} = \frac{\text{OD/Wall Thickness}}{\text{Bend Radius/OD}}$$

bend factor가 12보다 작은 경우에는 mandrel을 사용하지 않는 것이 좋으며 20보다 큰 경우에는 mandrel과 wiper die가 사용된다. bend factor가 12와 20 사이라면 mandrel을 사용하지 않아도 되나 이 경우 상당한 단면 형상 변화가 발생하게 된다.

본 연구에서는 하이드로포밍 기술을 적용한 승용차용 타이바(tie bar)를 개발하는 데 있어서 굽힘(prebending)공정 과정을 해석하였다. Rotary draw bending machine과 금형에 의한 굽힘 공정을 각각 해석하여 비교하였으며, bend radius, 튜브두께와 같은 성형인자들의 영향을 해석하였다.

2. 굽힘 해석

타이바는 차실 앞쪽 부위에서 횡방향으로 위치된 부재이며 instrument panel, steering wheel 등을 취부 하고 진동을 억제하며, 충돌시 차실의 변형을 억제하여 승객의 생존 공간을 확보하는데에 중요한 역할을 하는 자동차 부품이다. 타이바의 개략적인 형상과 각 단면 형상을 그림 1에 나타내었다. 그림에서 보듯이 굽힘각이 35°, 58°, 52° 인 굽힘부가 각각 2 개씩, 총 6개의 굽힘 부위가 있다. Bend radius는 76mm 이며, 적용 튜브의 외경은 48mm이고 두께는 2mm이다. 튜브 재료의 응력 변형률 관계는 인장시험을 통하여 구하였으며 다음과 같다.

$$\sigma(\epsilon) = K (\epsilon + \epsilon_0)^n$$

여기서, $K = 468.305 \text{ MPa}$, $\epsilon_0 = 0.0219$, $n = 0.206$ 이다.

Rotary bending machine과 튜브의 해석 모델을 그림 2에 나타내었다.

타이바의 bend factor를 구해보면 15.1이 되며 이는 조건에 따라 튜브 내부에 주름이 발생할 수 있는 경우이다. 그림 3(a)는 wiper die가 없이 굽힘 해석을 한 경우 튜브 내부에 주름이 발생한 모습을 나타내며, 그림 3(b)는 wiper die를 사

용한 경우 주름이 발생하지 않은 결과를 나타낸다. Wiper die와 튜브간의 간격이 0.6mm 보다 큰 경우도 주름이 발생하였으며 간격이 이보다 적은 경우 주름이 발생하지 않았다.

그림 4와 5는 6개의 굽힘 공정이 끝난 후 튜브 형상과 두께 분포를 나타낸다. 굽힘각이 58° 인 곳의 인장을 받는 부위에서 두께가 1.7mm로 최소이며, 압축을 받는 부위의 두께는 2.4mm로 최대이다.

Rotary bending machine으로 예비 굽힘 공정을 수행할 경우 6번의 굽힘 공정이 필요하게 되며, 인접한 굽힘 부위 사이의 간격이 좁은 경우 bending machine에 의한 굽힘이 어려울 수 있다.

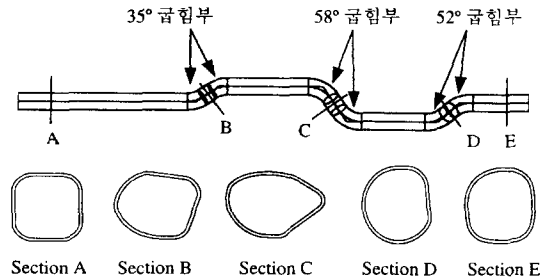


그림 1 타이바(tie bar)의 형상과 단면

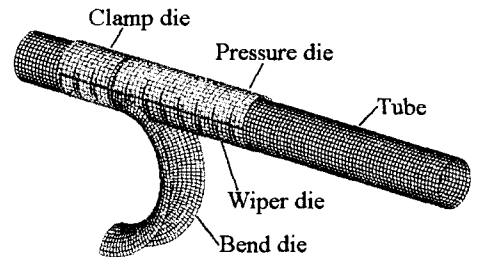
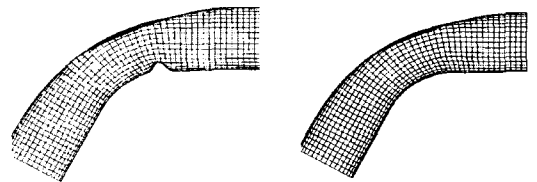


그림 2 Bending machine과 튜브의 초기 mesh



(a)wiper die가 없을 때 (b)wiper die가 있을 때
그림 3 굽힘 후 튜브 형상

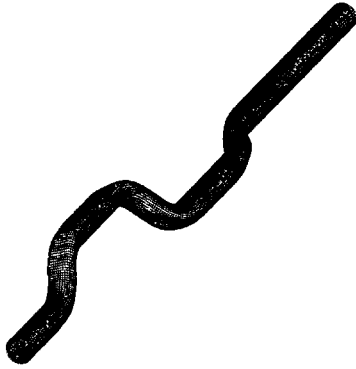


그림 4 굽힘 공정이 끝난 후 튜브 형상

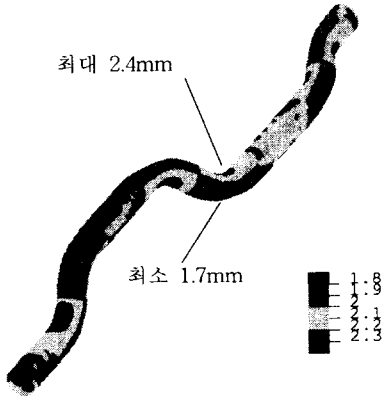


그림 5 굽힘 공정이 끝난 후 튜브 두께 분포

금형을 이용할 경우 같은 굽힘각을 가진 2개의 굽힘부가 동일 평면 내에 위치함으로써 한번의 공정으로 성형이 가능하게 되어 총 3번의 굽힘 공정으로 전체를 성형할 수 있게 된다. 그림 6은 굽힘 금형의 해석모델을 나타낸다.

그림 7과 8은 금형을 이용하여 3번의 굽힘 공정이 끝난 후의 파이프 최종 형상과 두께 분포를 나타낸다. 굽힘각이 58° 인 곳의 인장을 받는 부위에서 두께가 1.83mm로 최소이며, 압축을 받는 부위의 두께는 2.3mm로 최대이다

그림 9는 bending machine에 의한 경우와 금형에 의한 경우의 소성변형률 분포를 나타낸다.

그림 10, 11에서는 각 굽힘 부위의 단면형상을 나타내었다. 그림 10은 bend radius가 76mm 인 경우이고 그림 11은 금형에 의한 경우이다. 그림에서 58° 굽힘부의 좌굴량이 가장 큰 것을 알 수 있으며, 금형에 의한 경우의 단면형상이 bending machine에 의한 경우 보다 좀더 원형에

가까운 것을 알 수 있다.

그림 12는 58° 굽힘 부위에서의 두께를 bend radius가 76mm, 65mm, 55mm인 경우와 금형에 의한 경우에 대하여 나타낸 그래프이다. 이 그래프의 두께분포를 보면 금형을 이용한 굽힘 공정에서 튜브의 두께분포가 가장 좋은 결과임을 알 수 있다.

그림 13은 58° 굽힘 부위에서의 두께변형률을 튜브의 두께가 1mm, 2mm, 3mm인 경우에 대하여 나타낸 그래프이다.

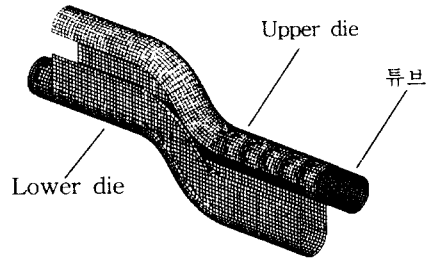


그림 6 금형을 이용한 굽힘 공정 모델

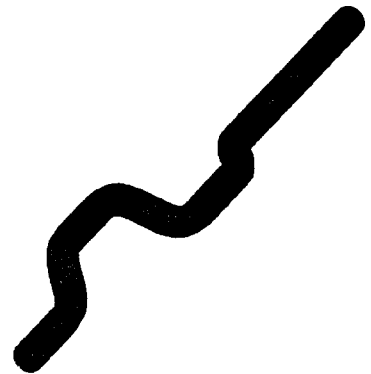


그림 7 굽힘 공정 후 튜브 형상 (금형 이용)

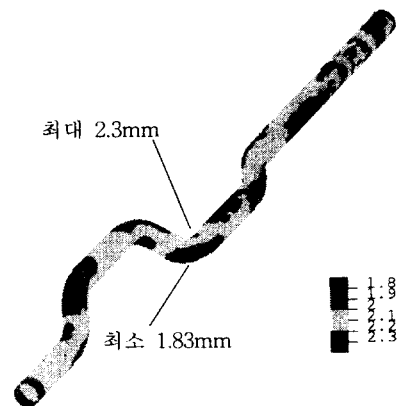
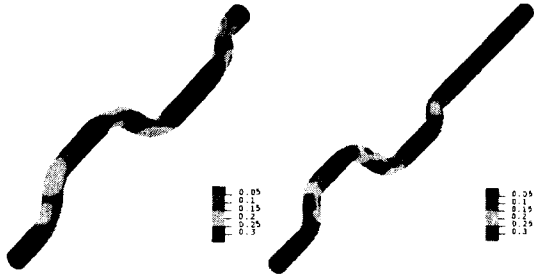
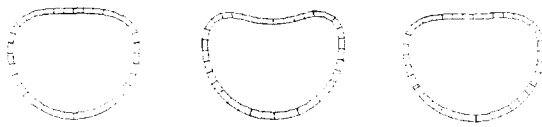


그림 8 튜브 두께 분포 (금형 이용)



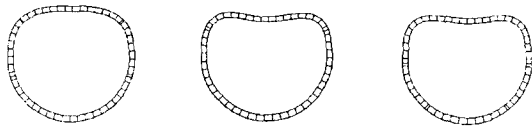
(a) bending machine (b) 금형

그림 9 소성변형률 분포



(a) 35° 굽힘부 (b) 58° 굽힘부 (c) 52° 굽힘부

그림 10 굽힘부 단면형상 (bend radius: 76mm)



(a) 35° 굽힘부 (b) 58° 굽힘부 (c) 52° 굽힘부

그림 11 굽힘부 단면형상 (금형의 경우)

3. 결론

하이드로포밍의 예비 성형 공정인 튜브의 굽힘 공정을 rotary draw bending machine과 금형을 이용한 경우에 대하여 각각 해석하였다.

Rotary draw bending machine을 이용한 경우 bend radius가 76mm, 65mm, 55mm인 경우와, 튜브의 두께가 1mm, 2mm, 3mm인 경우에 대하여 각각 해석하였다.

Wiper die가 없을 경우 튜브 내부에 주름이 발생하는 것을 알 수 있었으며, wiper die를 사용한 경우 주름발생이 억제된 결과가 나타남을 알 수 있었다.

튜브의 단면형상과 두께분포를 비교함으로써 금형에 의한 굽힘 결과가 가장 좋은 결과임을 알 수 있었다.

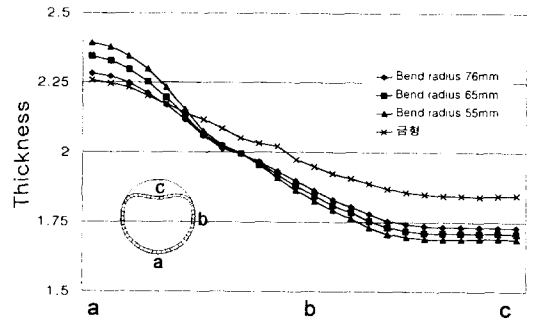


그림 12 58° 굽힘 부위에서의 두께 분포

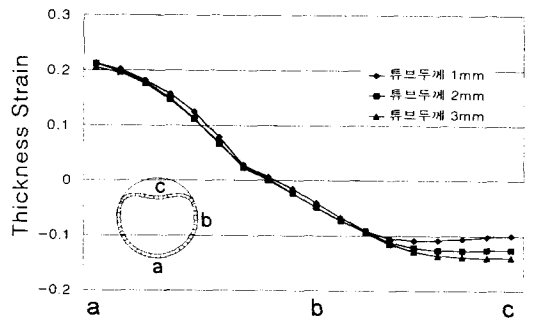


그림 13 58° 굽힘 부위에서의 두께변형률 분포

참고문헌

1. H. J. Kim, B. H. Jeon, H. Y. Kim, and J. J. Kim, "Finite Element Analysis of the Liquid Bulge Forming Processes", Advanced Technology of Plasticity, pp. 545-550, 1993
2. S. Fuchizawa, "Deformation of Metal Tube under Hydrostatic Bulge Forming with Closed Die", Advanced Technology of Plasticity, pp. 1543-1548, 1990
3. L. Oldcare, "Introduction to Tube Bending for Hydroforming Applications", TPA's 2nd Annual Automotive Tube Conference, 1997
4. Longwu Wu and Yong Yu, "Computer Simulation of Forming Automotive Structural Parts by Hydroforming Process", pp. 326-329, Numisheet '96
5. 김의석, 백홍진, 전병희, 오수익, "Hydroforming을 위한 예비 굽힘 성형의 해석", 한국소성가공학회 98추계학술대회논문집, pp. 27-31.