

고장력강 관재 액압성형 공정 설계

김기정¹, 김현영[#], 고희규², 신명호²

Hydroforming Process Design of High-Strength Steel Tube

K. J. Kim, H. Y. Kim, H. G. KO, M. H. Shin

Abstract

Tubular torsion beam of high strength steel is going about in an automotive rear axle due to the advantages of light weight and efficient rear packaging capability. High strength tubular beam can be manufactured by the hydroforming in order to ensure dimensional accuracy, while a conventional stamping has been used for steel tubular beam. Internal pressure, feeding and their combination are the key factors of controlling the process. Based on the numerical simulation and try-outs, the optimized hydroforming process conditions for the high strength tubular beam were suggested.

Key Words : Tube Hydroforming(튜브 하이드로포밍), Tubular Torsion Beam(튜블라 토션빔), Finite Element Method(유한요소법), Rear Suspension(후륜 현가장치), Spring back(스프링백)

1. 서론

현재 지구 환경의 파괴가 심각하게 되어 자동차산업은 화석연료의 대량소비, 배기가스에 의한 대기오염, 지구온난화의 원인으로 되는 CO₂의 배출 등의 문제를 조속히 해결해야 하는 과제를 가지고 있다. 이에 따라 자동차 산업은 저연비를 위한 경량화와 부품수를 감축하기 위한 방안으로 튜브 하이드로포밍(tube hydroforming)기술의 적용으로 경량이면서 강성이 높은 부품을 일체화 성형하는 가공법이 널리 이용되고 있다.[1]

특히 토션빔형(torsion) 후륜 현가장치는 다른 방식에 비해 트렁크와 뒷좌석 공간 확보가 용이해 공간 활용이 효율적이며 차고 조정이 쉽다는 장점을 가지고 있다. 이런 장점과 경제적인 생산비로 인해 해외 중소형 차량에 폭넓게 적용되고 있는 실정이다. 일본의 경우 전체 승용차의 40% 이상이 토션빔형 후륜 현가장치를 장착하고 있으며 국내에서도 중소형 차량을 중심으로 토션빔형 후륜 현가장치의 적용이 확대되고 있다[2~3]. 국내

의 경우 판재를 사용한 토션빔이 대부분이며 일부 차량에 선진 제품과 같은 튜브형 토션빔이 적용되고 있으나 설계기술, 중량, 차량성능에 차이를 보이고 있다.[4~5]

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 기존의 브이빔 타입(v-beam type)의 토션빔에서 중량 감소, 소재원가 감소와 롤 센터(roll center)변경이 용이한 튜블라 토션빔(tubular torsion)형태의 후륜 현가장치를 생산하기 위한 스탬핑 공정 및 튜브하이드로포밍 공정을 제안하였다. 또한 고장력강의 정량적인 스프링백 해석을 통하여 설계 모델과의 격차를 줄일 수 있는 최적의 공정을 제안하였다.

2. 튜브 하이드로포밍 공정해석

튜블라 토션빔형 토션빔을 생산하기 위한 스탬핑공정과 튜브 하이드로포밍 공정해석을 수행하였다.

2.1 튜브 물성치

튜브 물성치는 고장력강 소재인 Twip780을 사

1. 강원대학교 기계·메카트로닉스공학과

2. 오스템㈜

교신저자: 강원대학교 기계·메카트로닉스공학과

E-mail : khy@kangwon.ac.kr

하였다. 물성시험결과는 Fig. 2와 같으며, 튜브 소재에서 시편을 채취하여 단축인장 시험을 통해 Table 1과 같이 물성을 구하였다.

2.2 스탬핑 공정해석

튜브라 토션빔 성형은 Fig. 3과 같은 공정으로 수행되었다. 먼저 원형 피드(feed)가 튜브 안쪽으로 삽입된다. 이는 추후 스탬핑 공정시 튜블라 토션빔 양끝부분의 형상을 유지하는 역할로 삽입된 상태로 스탬핑 공정을 시작하게 된다. 피드 삽입 후 홀딩(holding)공정으로 홀더(holder)가 하형 금형과 닫히는 공정이다. Fig. 4는 스탬핑 공정이 완료된 후 두께변형율을 나타낸 것으로 11.02%로 과도없이 성형되며 제작이 가능함을 보여주었다.

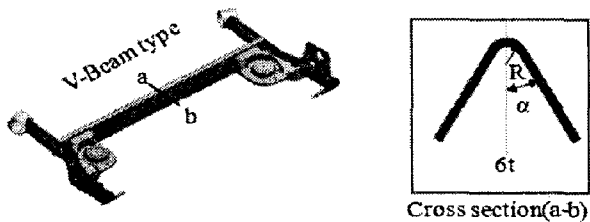
2.3 튜브 하이드로포밍 공정해석

스탬핑 공정이 완료된 후 튜브 하이드로포밍 공정을 통해 스탬핑 공정에서의 미성형 부분들에

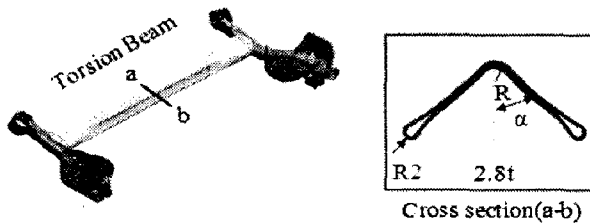
대한 최종 성형을 하게 된다. 튜브 하이드로포밍 공정 성형해석을 위한 금형 구성은 Fig. 3과 같으며 내부압력의 경로는 Fig. 5와 같다.

튜브하이드로포밍 공정은 내부압력으로 성형하게 되므로 초기압력 결정이 중요하다. 내압이 과도할 경우 스탬핑 공정에서 발생된 미성형 부분에 주름이 발생할 수 있으며, 내압이 작을 경우 스탬핑 공정에서의 미성형 부분들의 성형이 완료되지 않기 때문이다.

본 논문에서는 Gary Morphy[6]가 제안한 소재의 항복응력과 튜브의 물성치로 초기 내압을 결정하였다. 이를 바탕으로 튜브 하이드로포밍 압력을 0.2GPa로 결정하였다. Fig. 6은 튜브 하이드로포밍 공정 결과를 나타내며 두께 변형율은 13.83%로 Fig. 7과 같이 스탬핑 공정의 미성형 부분이 금형 형상과 동일하게 성형되었다.



(a) v-beam type



(b) Torsion beam type

Fig. 1 Tubular torsion beam type suspension

Table 1 Mechanical properties of Twip780

Density	7.8e-6kg/mm ³
Young's modulus	201GPa
Poisson's ratio	0.3
Thickness	3mm
Diameter	1180mm
Tube radius	45mm

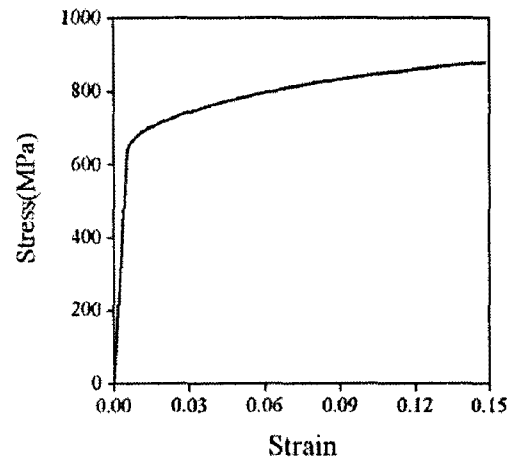


Fig. 2 True strain-stress curve of TWIP780

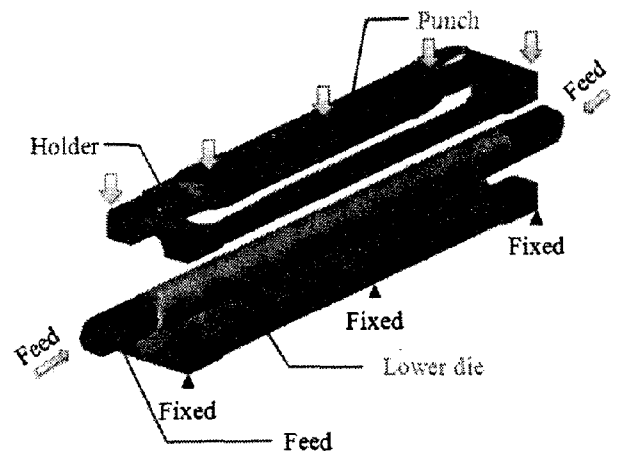
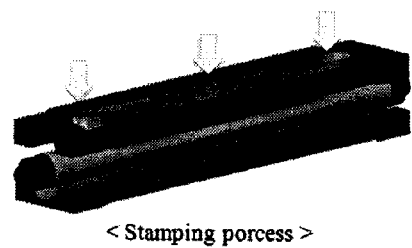


Fig. 3 Boundary condition of hydroforming process for tubular torsion beam



< Stamping process >

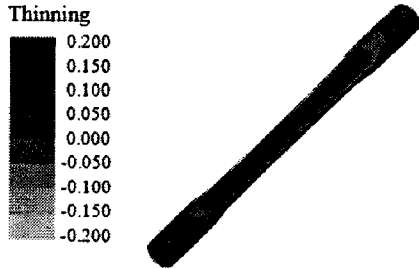


Fig. 4 Analysis result of stamping process

Displacement along direction

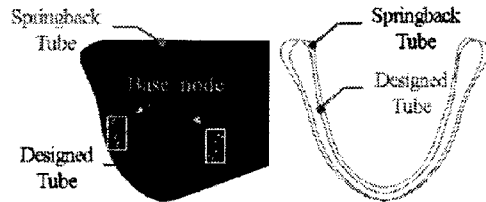
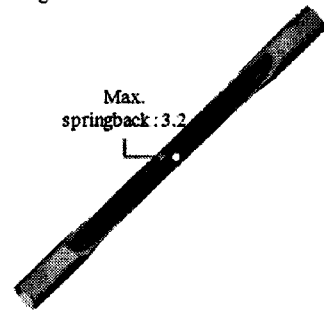
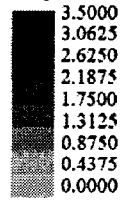


Fig. 8 Analysis result of springback

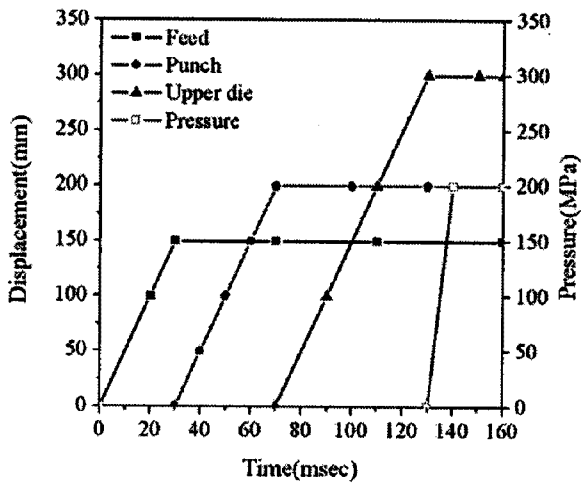


Fig. 5 Loading path for tube hydroforming process

Table 2 Springback compensation of TWIP780

	TWIP 780	Springback compensation
1 st Model	31.611mm	3.2
2 nd Model	31.210mm	3.0

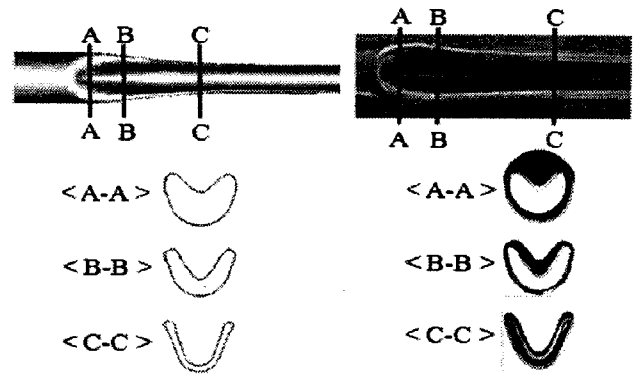


Fig. 9 Section shape comparison of simulation and try out

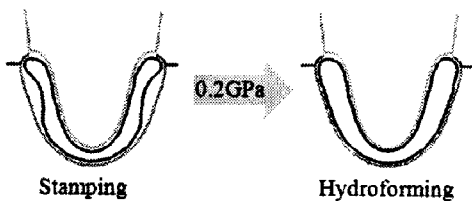
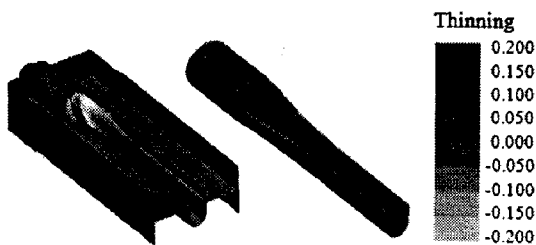


Fig. 7 Result of stamping simulation and hydroforming

3. 스프링백 해석

성형 공정 후 발생되는 스프링백을 예측하고 이에 대한 스프링백 보정을 위해 금형 역보정 방식을 사용하였다. 금형 역보정 방식은 초기 설계 모델에서 금형 형상을 변경하여 설계 금형보다 큰 값을 부여해 스프링백이 발생한 튜블라토션빔 형상이 최초 설계모델의 값으로 되게 하

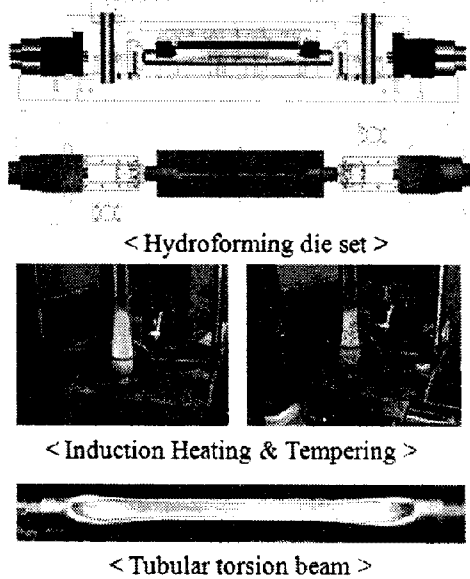


Fig. 10 Tubular torsion beam of production process

는 방식이다. Table 2는 Twip780의 금형 역보정 값이며, 해석 결과는 Fig. 6과 같다. 금형 수정 후 스프링백 해석은 PAM-STAMP™ 스프링백 모듈을 사용하였다. Fig. 7은 금형 역보정 방식을 이용한 스프링백 해석 결과를 나타내며, 이와 같이 금형 수정을 통해 설계 형상 오차를 줄일 수 있었다.

4. 시제품과 성형해석과의 비교

토션빔 트리아아웃은 스탬핑공법과 튜브하이드로포밍 공법으로 수행되었으며 성형조건 및 공정 순서는 성형공정해석 결과를 이용하였다. Fig. 8은 스탬핑과 튜브 하이드로포밍 성형공정 결과에서 단면 A, B, C의 단면 부분의 형상을 비교한 것이다. 실제 시제품과 성형해석과 비교 결과 유사함을 알 수 있었다.

5. 튜블라 토션빔 제작

튜브하이드로포밍 공정을 통해 제작한 튜블라 토션빔을 Fig. 10과 같이 인장 및 항복 강도를 높이기 위한 열처리와 템퍼링(tempering)을 통해 빔의 성능을 향상시켰다. 또한 열처리에 의한 잔류응력을 제거하기 위해 쇼트피닝(shot peening) 공정으로 튜블라 토션빔 제작을 완료하였다.

6. 결론

본 연구에서는 튜블라 토션빔 튜브 하이드로포

밍 성형 공정 설계를 하였으며, 실제공정 결과와 비교하여 최적의 공정을 제안하였다. 또한 정량적인 스프링백 해석 및 금형 수정을 통하여 스프링백 발생을 최소화 할 수 있는 금형 설계안을 제안하였다.

- (1) 튜브 하이드로포밍 공법과 스탬핑공법을 사용하여 튜블라 토션빔 최적 성형공정을 설계하였다.
- (2) 금형 수정을 통하여 초기 설계 금형과의 스프링백 오차를 줄일 수 있는 최적을 금형 설계 공정을 제안하였다.
- (3) 금형 수정 및 스프링백 해석을 통해 튜블라 토션빔 형상의 스프링백 발생을 최소화 할 수 있는 공정을 제안하였다.
- (4) 시제품과 성형해석을 비교한 결과 각 단면의 형상이 유사함을 확인하였다.

참고문헌

- [1] J. Y Lee, H. S Cho, D. H Park, H. S Kwon "Study on the Crashworthiness of Hydroformed Front Side Member", KSTP03-3018, pp. 140~146
- [2] H. Y. Kim, H. T. Lim, H. J. Kim, D. J. Lee, 2005, Comparison of 2D and 3D Prebending Effect in Aluminum Tube Hydroforming Based on the Formability Evaluation, Advanced Technology of Plasticity 2005, Proceedings of the 8th ICTP, pp. 305~306.
- [3] 오인석, 김형영, 고정민, 이동재, 조우강, 2006, 내구성을 고려한 후륜현가 장치의 하이드로포밍 공정설계, 한국소성가공학회, 춘계학술대회 논문집, pp.269~272.
- [4] 조우강, 이재성, 신명호, 이동재, 2006, 실험 계획법을 적용한 가변 롤강성 토션빔의 최적 설계, 한국자동차공학회, 춘계학술대회논문집, pp. 1169~1174.
- [5] H. J Kim, B. H. Jeon, H. Y. Kim, and J. J. Kim "Finite Element Analysis of the Liquid Bulge Forming Process", Advanced Technology of Plasticity, pp. 545~550, 19
- [6] Gary Morphy, "Hydroforming and expanding high strength tube for automotive structural application", Proceedings of IBEC- body assembly & manufacturing, pp103, 1997