

내구성을 고려한 후륜현가 장치의 하이드로포밍 공정 설계

김현영¹, 오인석¹, 고정민², 이동재², 조우강²

Durability Based Design for Hydroforming process of Rear Suspension

H.Y.Kim, I.S.Oh, J.M.Go, D.J.Lee and W.K.Cho

Abstract

The hydroforming processing is a relatively new technology in comparison with conventional stamping process. The hydroforming processing makes torsion beam in rear suspension of automobile. The durability of torsion beam is very important characteristic that operate in an automobile. In order to optimize the hydroforming process and satisfy the durability, the hydroforming simulation which could control an axial compression and high internal pressure with computer simulation has to be operated. This paper is about an optimum design to improve the kinematic and compliance characteristics of a torsion-beam of suspension system. The result from finite element analysis shows that the forming and the durability are optimized. If there is effect of First pressure in hydroforming processing that gap is in the die tool, the prototype of tube is not satisfied on the durability test.

Key Words: Tube Hydroforming, Torsion Beam, Finite Element Analysis, Durability, Rear Suspension

1. 서론

자동차의 후륜 현가장치 중 토션빔타입은 일반적으로 다른 방식에 비해 경제적, 공간 효율적이며, 차고의 조정이 쉽다는 장점을 가지고 있다. 이러한 토션빔은 트렁크 및 뒷좌석 공간의 확보 및 비교적 경제적인 생산비로 인하여 중, 소형차 등의 리어 서스펜션에 많이 장착되고 있다. 일반적으로 판재가 적용되지만 튜브를 적용함으로써 기존 제품보다 빔의 두께는 6.0mm의 판재에서 2.6mm의 튜브재질로 두께가 감소하여 리어 서스펜션의 전체적 무게를 경량화 할 수 있다.

그리고 튜브 성형공정에 있어 액압(hydraulic pressure)을 이용한 하이드로포밍(hydroforming)기술은 초기 배관용품 등에 적용되어 왔으며, 1980년

대 이후에 자동차 산업에 적용되기 시작되었다. 이 기술은 컴퓨터 제어기술 및 유압기기 등의 발달된 유럽, 미국 및 일본의 자동차 업계를 중심으로 널리 쓰이고 있는 추세이다[1].

하이드로포밍 기술은 스탬핑(stamping)이나 점용접(spot welding)을 통한 기존의 생산 방식과 비교하여 보았을 때 부품수 감소, 공정단축, 부품중량 감소, 부품강도와 강성의 향상, 치수정밀도 및 재료 효율 향상 등의 장점을 가지고 있다. 그러나 이 기술은 고가의 생산장비, 공정 및 공구설계에 대한 기초적인 기술의 부족, 부품형상의 제한 등의 단점을 가지고 있다[2~3].

본 연구에서는 튜브가 적용된 튜블라 토션빔(tubular torsion beam)형 리어 서스펜션의 성형공정을 유한요소해석(finite element analysis)을 이용하여

1. 강원대학교 기계의용공학과
2. ㈜AUSTEM 기술연구소

기존의 스템핑(stamping) 공정 및 하이드로포밍(hydroforming) 공정 각각에 대한 성형성을 평가하였다. 또한 각 공정에 대한 해석결과를 바탕으로 토션빔형 리어 서스펜션의 롤 내구 특성을 예측하고 실제 피로 시험을 실시하여 결과를 비교함과 동시에 내구성능에 영향을 주는 성형공정의 인자를 찾아내고 이를 바탕으로 튜블라 토션빔(tubular torsion beam)의 최적의 하이드로포밍 성형 공정을 도출하였다.

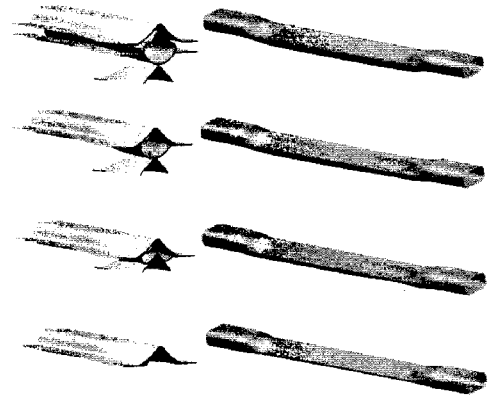


Fig. 1 Simulation of 2nd stamping process

2. 스템핑 공정(stamping process)

성형할 리어 서스펜션 및 튜블라 토션빔의 형상은 'V'형이며 재료의 물성치는 자동차구조용 열간압연강재 (Steel Automobile Press Hot)라하는 SAPH440 과 (Dual Phase Steel)로 불리는 DP590 를 사용하였다.

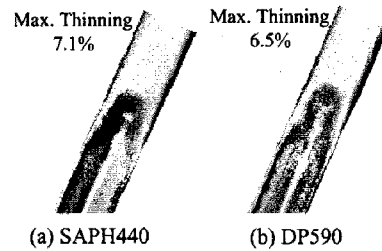


Fig. 2 Max. Thinning distribution

2.1 스템핑 공정 내용

스템핑 공정은 2 차 공정으로 나누어 실시하였다. 그리고 각 공정을 실행할 때에 코어(Core)를 삽입하여서 성형성을 보완하였다. 코어를 삽입하기 위한 예비공정은 튜브를 눌러 줌으로써 원형의 모양을 타원형으로 성형 후 삽입하였다. 1 차 금형(frist Die)의 형상은 코어가 삽입되고 상금형(Upper Die)이 닫히며 성형을 실행하였다. 2 차 금형(second Die)으로 이동 후에 성형을 실행하였다.

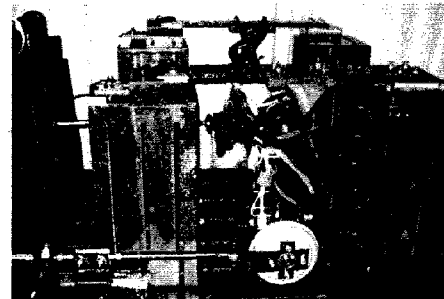


Fig. 3 Torsion Beam axle durability test

Fig. 1 는 성형되는 과정과 그 형상을 나타낸 것이다. Fig. 2 는 각 재질별 성형 후 최대두께변형률을 보여주고 있다. 성형된 제품을 실제 차량 장착 상태로 조립하여 롤 내구성 테스트를 실행 하였다. 시험 기준은 서스펜션의 피벗포인트를 핀으로 고정하고 뒷부분을 좌측과 우측을 번갈아 비트는 내구성 테스트이다. 측정장치의 형상은 Fig. 3 과 같다. 토션빔 내부에 Fig. 4 과 같이 균열이 생길 때까지 시험을 실행하였다. 결과는 Table 1 와 같다. 스템핑 공정으로 성형된 제품은 성형성이 양호하였으나 내구성 테스트에서 Target 대비 낮은 한계 수명을 보였다. 따라서 토션빔의 'V'형상의 끝부분의 원호크기를 크게 하여 응력집중을 완화할 수 있는 튜브의 성형이 필요함을 알수 있었다.



Fig. 4 Crack resulted from the durability test

Table 1 Results of durability test by stamping process

Material	Analysis Result(cycles)	Test(cycles)
Sheet beam	?	200,000
SAPH440 (Tubular)	15,331	60,000
DP590 (Tubular)	44,976	90,000

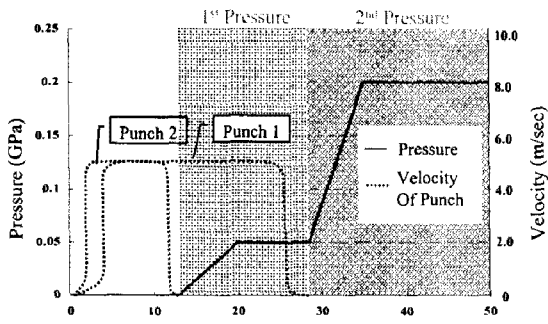


Fig. 5 Plan of Hydroforming process

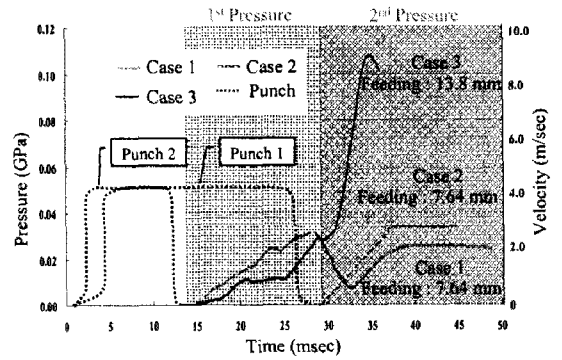


Fig. 9 Internal pressure and punch velocity (Tryout)

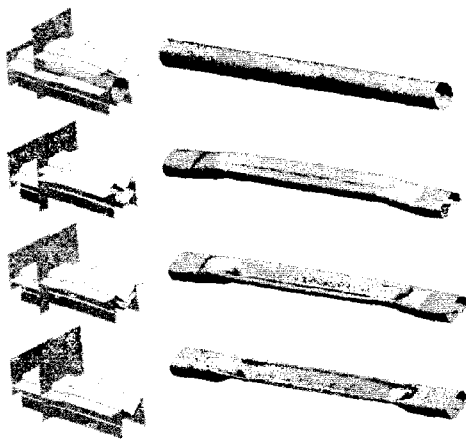


Fig. 6 Simulation of Hydroforming process

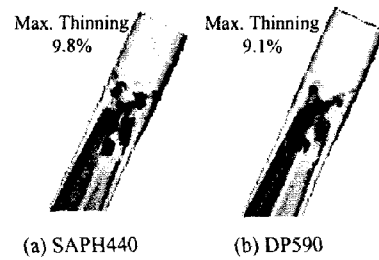


Fig. 10 Max. Thinning distribution of Case 2

3. 하이드로포밍 공정 (Hydroforming process)

내구성을 만족하기 위해서는 공정 후 제품의 두께가 균일하게 나타나고 'V'형상의 곡률이 더 크게 나오는 하이드로포밍 공정이 타당하다고 판단하여 실행하였다.

3.1 초기에 제안된 하이드로포밍 공정

성형공정을 제안하기 위해 해석을 선행하게 되었다. 하이드로포밍의 공정은 Fig. 5의 표와 같이 성형을 실행하였다. 해석을 수행한 결과, 펀치 (punch) 위치의 차이에 따라 SAPH440은 8.5~10.3%, DP590은 13~13.3%의 최대 두께변형률을 보였으며 형상은 Fig. 6과 같이 성형됨을 확인하였다. Fig. 7에서 보듯이 하이드로포밍 공정의 사용으로 토션빔의 'V'형상끝부분의 곡률이 크게 바뀌었으며 그로인하여 내구성 시험 시에 더욱 좋은 결과를 기대할 수 있다고 판단하였다. 그래서 위와 같이 해석을 통하여 확인한 공정을 실제 공정에 제안하였다. Fig. 8은 실제 트라이아웃에서 제작된 제품과 해석을 통해 나온 결과를 비교한 그림이다.

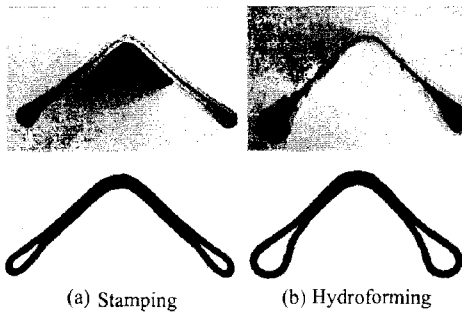


Fig. 7 Cutting section of Torsion beam

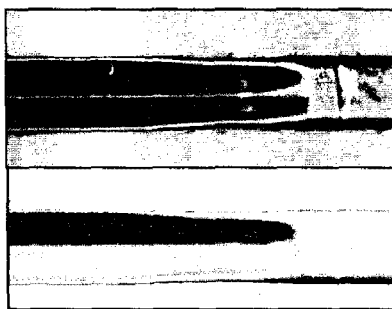


Fig. 8 Prototype of Hydro-tube Torsion beam

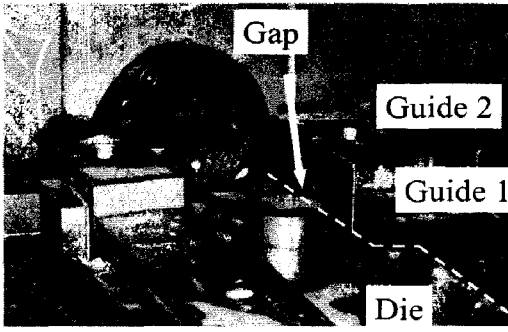


Fig. 11 Gap in the Die tool

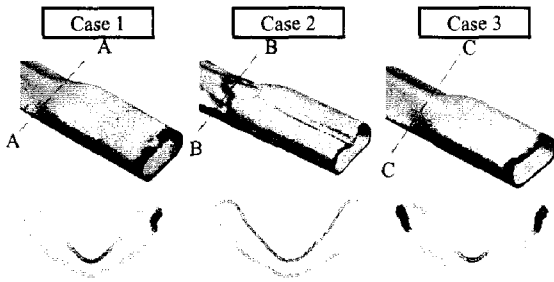


Fig. 12 Section of each Case

Table 2 Results of durability test by hydroforming process

Material	Analysis Result(cycles)	Test(cycles)
SAPH440	56,885	100,000
DP590	144,691	100,000 (Case 1)
		225,000 (Case 2)
		100,000 (Case 3)

3.2 트라이아웃(Tryout) 공정

하이드로포밍 공법의 트라이아웃과 해석에서 제안된 내용과는 다르게 적용되었다. 트라이아웃으로 만들어진 내용은 하이드로포밍 공정으로 제작된 제품이 Case 1, 2, 3로 세가지로 분류되어 성형이 되었다. Fig. 9에서 트라이아웃의 압력곡선을 확인 할 수 있다. Fig. 10에서 볼 수 있듯이 Case 2는 1차압력이 작용하지 않으므로써 불량한 성형성을 보였다. 성형성과 두께변형률은 두 재질이 비슷한 결과를 보였고 두께변형률은 모든 제품이 양호한 결과를 보였다. 트라이아웃한 제품의 테스트 결과를 보면 Table 2과 같이 성형성이 불량한 Case 2만이 내구시험을 만족하는 결과가 나타났다.

3.3 성형공정의 문제점 확인

DP590의 경우 1차압력이 주어지면 다이(die)와 가이드(guide) 사이의 틈이 발생하는 사실을 확인하였다. Fig. 11에 점선으로 표시되어있는 부분이 성형시 틈새가 생기는 부분이다. 가이드가 옆으로 벌어진다는 가정 하에 틈새를 만들고 해석을 재실행 하였다. Fig. 12과 같이 Case 1과 Case 3제품의 끝단에 찹힘현상이 나타남을 확인하였다. 이로써 1차압력이 가해질 때 금형의 틈새로 튜브가 찹히는 (Bending & Unbending)과정을 해석에서 확인 할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 도선빔 타입을 내구성 시험과 관련되어 해석을 수행하였다. 실제 성형에서 나타난 오류를 해석적으로 확인하여 내구성과의 연관성을 확인하였다.

(1) 스템핑 공정 해석을 실행 시 내구 시험 중 응력집중으로 인한 균열발생으로 내구수명을 만족하지 못하였고, 하이드로포밍 공정을 제안하고 성형성은 양호함을 확인하였다.

(2) 트라이아웃 공정의 결과 Case2는 성형성이 불량하였는데 내구성 시험에서 만족하는 예상의 결과를 얻었다. 그래서 추가적인 원인규명이 필요하였고 찹힘현상(Bending & Unbending) 때문임을 해석으로 확인하였다.

참고 문헌

- [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 1993*, pp. 545~550, 1993.
- [2] Ahmetoglu, M, Sutter, K, Lee, X. J. And Atlan, T., 1999, "Tube Hydroforming-Current Research, Applications and Need for Training", *Engineering Research Center of Net Shape Manufacturing, The Ohio State University, Columbus, Ohio*
- [3] Srinivassan, T. M, Shaw, J. R and Thompson, K, 1998, "Tubular Hydroforming : Correlation of Experimental and Simulation Results", *SAE Technical paper series, No. 980448*, pp. 131~137.