

대형 상용차 앞차축 액슬 하이드로포밍 공법 적용 연구

전동현¹, 김윤규¹, 나상묵¹, 박두수[#]

The study of adopting the hydroforming method in the front axle of the commercial vehicle

D.H. Jeon¹, Y.G. Kim¹, S.M. Na¹, D.S. Park[#]

Abstract. This study is concerned with adopting the hydroforming method in the front axle of the commercial vehicle. Generally the front axle of the commercial vehicle is made by the several operations of press forging. This product supports the big weight of the vehicle and load. The weight of the press forging parts is also so more than it of the press parts of the passenger car. So, we have studied the hydroforming method to lessen the weight of the front axle of the commercial vehicle. To apply the hydroforming method in the commercial vehicle, we had to use the operation of reducing the diameter of the used tube prior to the hydroforming operation.

Keywords: Preforming operation, hydroforming operation, Reducing diameter operation, mechanical characteristic.

1. 서 론

최근 자동차 산업은 초고강도 강관의 개발, 자동차 부품의 새로운 제조 기술 및 IT 산업의 성장과 함께 급속한 발전을 이루었다. 특히 자동차 철강부품의 새로운 제조 공법에는 TWB, 하이드로포밍, 핫프레스포밍, 핫가스블로잉포밍 공법들이 연구 진행중이며, 일부 공법은 양산 적용되고 있다. 이런 승용차의 급속한 발전에 비해 상용차의 경우 경량화 및 차량의 연비 성능보다는 많은 중량을 싣어 나르는 것이 주목적이므로 차량의 안전성 및 하물의 적재용량이 오히려 중요시되어 승용차만큼 빠른 기술 발전이 진행되지는 않았다.

차량의 안전성을 최우선 과제로 하면서도 많은 기술 발전의 성과로 국내뿐만 아니라 해외로 차량을 수출하면서 좀더 경쟁력을 갖기 위해서는 차별화된 기술적용이 필요하였다. 이러한 시장의 요구에 맞물려 최근 몇 년 사이 국내 승용차에 급속히 확대 적용되어 경량화 및 원가절감에 기여하는 있는 하이드로포밍 공법을 상용차에 적용하고자 하는 검토가 진행되었다. 여러 검토 부품들 중 상용차의 프론트 액슬 부품은 여러 번의 열처리와 프레스 단조후 선반이나, 밀링가공이 별도로 필요로 하며 부품 중량 및 단품 가격 측면에서 적용 후 효과가 클 것으로 기대되어 하이드로포밍 공법을 적용하여 경량화하고자 하였다.

1. 현대하이스코 기술연구소

교신저자: 현대하이스코 기술연구소, dspark@hysco.com

2. 프런트 액슬 서스펜션

상용차에서의 프런트 액슬부품의 역할은 차량의 조향장치와 제동장치가 조립되는 부품으로써 차량 앞부분의 하중을 지지함과 동시에 타이어로 전달하는 역할을 한다.

부품 형상은 Fig. 1 과 같이 기존의 프레스 단조부품의 레이아웃을 만족하면서 경량화 효과를 높이기 위해 하이드로포밍 공법을 적용하였다. 프레스 단조품의 반복적인 열처리 및 프레스 단조공정과 후처리 공정인 선반 및 밀링으로 이루어진 공정을 튜브 조관, 튜브 축관, 프리포밍, 하이드로포밍, 열처리 5 개의 공정으로 단순화시켜 제작되었다.

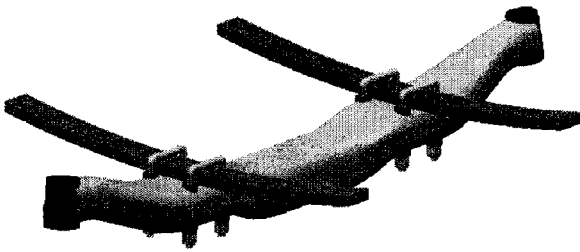


Figure. 1 Front Axle

이 부품의 특징은 상용차의 차량 레이아웃을 만족하기 위하여 양측 끝단부와 중앙부의 튜브의 직경변화가 거의 40%에 달한다. 이를 하이드로포밍공정에서 확보하기에는 불가능하다. 이를 위해 별도의 축관공정을 추가하였다. 축관공정은 부품의 프레스 포밍 공법으로 펀치와 다이를 이용하여 원래의 직경을 조금씩 줄여나가는 공정으로 우선 성형해석을 이용하여 공법을 검토한 후 시험 테스트를 진행하였다.

상용차량의 큰 하중을 견디기 위해 중경의 후속관이 사용되었으며 이것을 차량의 킹핀이 부착되는 부위의 레이아웃을 만족하기 위해 축관공정이 필요하며 현재 생산되고 있는 승용차 프레임에서는 사용되지 않는 공법이다.

3. 축관의 해석 및 테스트 결과

3.1 소재의 물성치

이 연구를 위해 사용된 소재는 J55 라는 고장력 강으로 열처리가 가능한 소재이며, 열처리를 가할 경우 원래 소재가 가진 강도 2 배 이상의 기계적 특성을 나타낸다.

이 소재의 물성은 Table 1와 같다.

Table 1 Material properties of tube

Property	Value
Tensile stress, Ts	63.1 Kg/mm ²
Yield stress, Yp	53.6 Kg/mm ²
Elongation, El	28.8 %
Work hardening exponent, n	0.12
Young's modulus, E	21.0X10 ⁶ Kg/mm ²
Poisson's ratio, v	0.3

3.2 축관 공정

기존의 파이프 축관은 프레스 포밍에 의한 공법보다는 스피닝이나 스웨이징 설비를 이용하여 선반이나 밀링하듯이 설비를 이용한 가공에 의해 이루어진다. 이런 공정에 의해 이루어진 공정품은 하이드로포밍 부품의 특징인 외관의 유선형 곡선면을 구현하기 어려울 뿐더러 후속관의 경우 가공 시간 또한 많이 소요된다.

본 연구에 사용한 프레스 포밍에 의한 축관 공법은 금형을 이용하기 때문에 외관 표면 품질이 양호하며 가공 시간을 줄일 수 있다.

상용차 프런트 액슬에 축관 공정을 적용되어야 하는 이유는 크게 2 가지로 볼 수 있다. 첫 번째로는 기존 차량의 레이아웃을 만족시키기 위해서이다. 사용된 후속관 $\phi 168$ 는 기존 차량 레이아웃을 만족시킬 수 가 없다. 두 번째로는 하이드로포밍 공정의 특성상 부품은 튜브 내부의 압력에 의해 성형이 이루어진다. $\phi 168$ 의 가해지는 내부압력을 계산하면 600 톤 이상의 액시얼 펀치 실린더가 필요하게 된다.

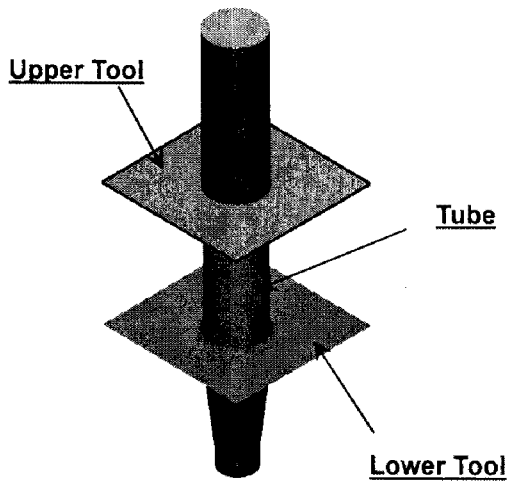
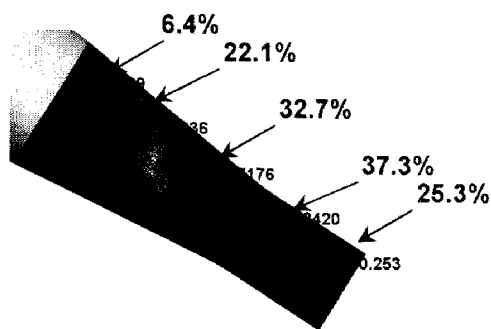


Figure. 2 Structure of forming die



(a) Result of operation



(b) Thickness change

Figure. 3 Results of forming simulation

600 톤의 유압 프레스 2 대가 하이드로포밍 기계에 부착되어야 함으로 부품 제작 가능성 및 양산성이 결여된다. 해외의 사례에서도 하이드로포밍 부품의 최대 튜브 직경은 $\phi 140$ 까지 사용된 사례를 확인할 수 있다.

축관 성형 공법은 Figure.2 와 같이 상형 홀더와 하형 다이로 구성되었다. $\phi 168$ 강관을 $\phi 110$ 로 거의 35%의 축관하기 위해서는 3 개의 축관 가공 공정으로 나누어 해석을 진행하였다. 축관공정의 직경 변화는 다음과 같다.

$$; \phi 168 \rightarrow \phi 148 \rightarrow \phi 128 \rightarrow \phi 110$$

축관 공정의 해석 결과는 Figure.2 와 같으며 두께 변화는 주로 축관부에서 발생하였으며 부품의 끝단보다는 다이의 하단 변곡구간에서 최대 두께 변화가 발생하였으며 35%의 축관 성형으로 인해 최대 41%(7.56t \rightarrow 10.65t)까지 두께 변경이 발생하였다.

이러한 해석에 의한 예측 결과는 실제 시험에서도 유사한 결과를 보였으며 이러한 두께 변화는 프런트 액슬에서 하중이 바퀴로 전달되는 킹핀 조립 부위의 구조상 취약한 부위에 대한 두께를 보강할 수 있는 효과를 가지고 올 수 있었다.

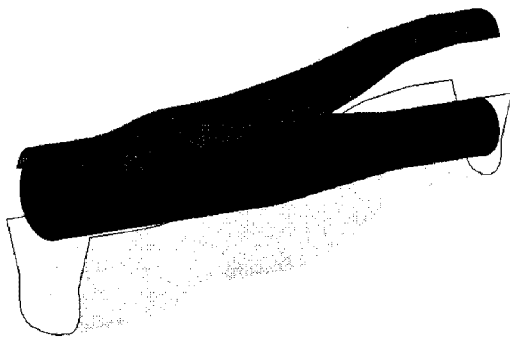
3.3 프리포밍 공정

축관된 공정품을 하이드로포밍하기 위해서는 예비 성형 공정인 프로포밍 공정을 거쳐야 한다. 특히 프런트 액슬의 경우 후육관을 사용함으로써 예비 성형을 통해 형상을 최대한 최종 형상과 유사하게 성형해 주어 하이드로포밍에서 변형량을 최소화하는 공법이 필요하다.

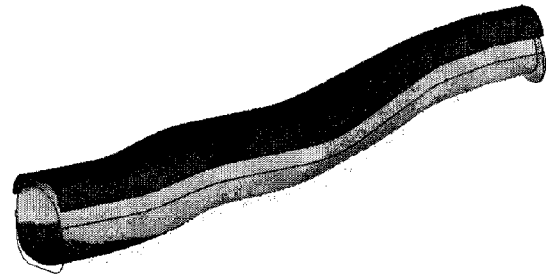
프리포밍 금형의 형상을 최종 형상과 유사하지만 프레스 포밍에 의한 성형이 관재가 아닌 튜브라는 특성을 감안하여 튜브의 주름이나 찌그러지는 현상이 발생하지 않도록 최대한 유선형 형상으로 금형을 설계하였다.

특히 부품의 중앙부와 끝단부의 단차에 의한 프레스 밴딩이 이루어지게 되는데 이 부위의 금형 형상을 Figure.4 에서와 같이 거의 대각선을 이루게 하여 주름이나 찌그러지는 현상을 최소화하였다.

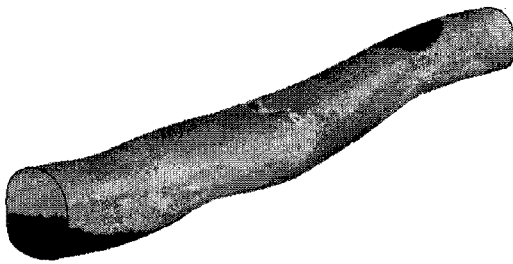
이 공정에서 부품의 두께 변화는 크게 발생하지 않으며 단지 최종 부품의 형상과 유사한 형상으로 성형하는 되는 것을 확인할 수 있었다.



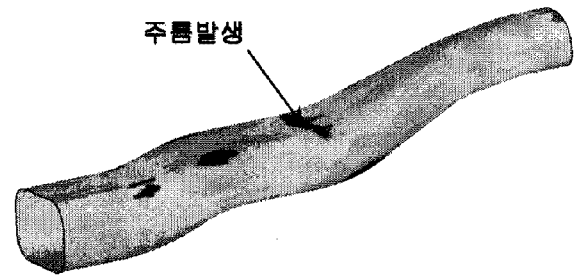
(a) Performing die



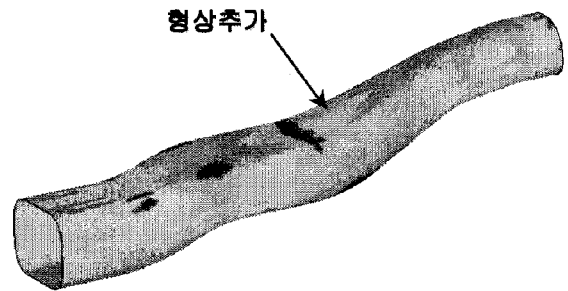
(a) Hydroforming die



(b) Shape change



(b) Initial result



(c) Final result

Figure. 4 Result of performing simulation

3.4 하이드로포밍 공정

하이드로포밍 공정은 부품의 최종 형상을 성형하기 위해 부품과 동일한 형상으로 된 상하형 다이에 고압력의 수압을 이용하여 성형하는 공정이다.

후육관의 파이프를 사용한다고 그 만큼 압력을 높일 수는 없다. 제품 설계단계에서부터 부품의 두께를 반영된 하이드로포밍 부품 설계가 이루어져야 하며 프리포밍 공정 또한 하이드로포밍 공정에서 형상의 변화를 최소화할 수 있도록 공법이 이루어져야 한다.

초기 하이드로포밍 부품의 해석 결과는 Figure.5의 (b) 처럼 프리포밍에서 발생된 미세 주름 부위에서 약 1mm 정도의 주름이 발생하였다.

Figure. 5 Result of hydroforming simulation

제품의 전체형상에서 벤딩력을 받는 부위에서 주름의 발생은 제품의 구조 성능 측면에서 치명적일 수 있다. 이를 해결하기 위해 여러가지 방안이 제시되었으나 그 중에서 주름 발생부위에 포밍 형상을 추가하여 그 구간에서 주름 추가 방지 역할 및 프리포밍에서 미세하게 발생된 주름이 펴지도록 형상 변경을 하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 상용차 프런트 액슬에 대해 하이드로포밍 공법을 적용하기 위해 기존의 하이드로포밍 공법에 축관 가공을 추가하였다. 축관공정에서 두께 변화가 가장 많이 발생하였지만 이를 반영한 제품 설계가 이루어져 하이드로포밍 공정에서 양호한 제품을 얻을 수 있었다.

각 공정별로 나타난 특성은 다음과 같다.

(1) 축관 공정

투입된 강관의 35% 축관 가공에 의해 부품 하단의 변곡구간에서 41%의 두께 증가가 발생하였으며 표면품질은 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

(2) 프리포밍 공정

이 공정에서는 하이드로포밍을 위한 가형상을 만들어 주는 공정으로 두께는 크게 변하지 않았지만 벤딩이 발생하는 구간에서 미세주름이 발생하였다.

(3) 하이드로포밍 공정

고압력의 수압을 이용하여 최종 형상을 성형하는 공정으로 프리포밍공정에서 발생된 주름이 심해지는 현상이 발생하여 벤딩 발생 구간에 형상추가를 통해 문제를 해결하였다. 제품의 두께변화 및 제품 형상은 양호한 결과를 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] Xia, Z. C, 2003, "Failure Prediction of Tubular Hydroforming Process Following Pre-Bending", International mechanical engineering Congress, pp. 135~136
- [2] Bardelcik, A., Worswick, M. J., "Numerical Investigation into the Effects of Bending Boost and Hydroforming End Feed on the Hydroformability of DP600 Tube", Sheet/Hydro/ Gas Forming Technology and Modeling 2005, pp.93~104
- [3] Yuan Shijian, Han Cong, 2004, "Hydroforming of an Engine Cradle", Forging & Stamping Technology, pp.41~44
- [4] Granelli, T., 1999, "Fundamentals of Bending for Hydroforming", Automotive Tube Fabricating Conference, pp.J1~J15
- [5] Gantner. Peter, Bauer. Herbert, Harrison. David K, De. Silva, Anjali K.M, 2005, "A New Bending Technique in the Hydroforming Process Chain", Journal of Materials Processing Technology, pp.302