

# 후륜 현가장치용 부재의 튜브성형기법 개발

김세호<sup>#</sup>, 김기풍<sup>1</sup>, 박천일<sup>2</sup>

## Development of the Tube Forming Method for the Cross Member of a Rear Suspension

S. H. Kim, K. P. Kim, C. I. Park

### Abstract

Tool design is carried out for a press forming of a cross member in the rear suspension assembly based on the result of the finite element analysis. The analysis simulates the two-stage stamping process with the initial design and it fully reveals the unfavorable mechanism which develops inferiorities during forming. In this paper, a new design guideline is proposed to modify the process and tool shapes for a single-stage forming process. With the improved tool design, this study fabricates prototypes that satisfy the durability requirement.

**Key Words :** Tool Design, CTBA, Tube Press Forming, Finite Element Analysis, Durability

### 1. 서론

최근 환경문제 및 에너지 절감 필요성의 대두와 운송수단의 고속화로 인하여 차량의 경량화, 안전화가 차량설계, 생산분야의 목표가 되고 있다. 서로 상반되는 경량화와 안전도 강화를 위한 차체의 고강도, 고강성화의 목표를 동시에 만족시키기 위하여 신기술개발에 많은 노력을 기울이고 있다.

본 연구의 대상은 Fig. 1에 도시한 차량 후륜 현가장치의 부품인 크로스 멤버의 역할을 하는 CTBA(Coupled Torsion Beam Axle)이다. 현재 소형차종에서는 두께 5~6 mm인 단일 후판을 V-빔 형태로 판재 프레스 제작하는 방식이 사용되고 있다. 프레스 방식으로 제작된 부품은 용접부 플랜지의 형상을 용이하게 설계하기 어려우며, 플랜지부도 부재와 같은 두께를 가져야 하므로 중량이 크게 증가하게 된다. 프레스 성형으로 제작하던 CTBA를 Fig. 2에 도시한 바와 같이 튜브 형태의 원소재

로부터 튜브 성형을 통해 단면을 변화시켜 일체형 부품으로 제작하는 방식을 개발하고 있다. 튜브형 CTBA의 생산을 위한 금형은 일반적으로 2단계의 성형법[1,2] 또는 중심부는 프레스성형으로 제작하고 연결부는 하이드로포밍을 이용하여 제작[3,4]되고 있다. 본 논문에서는 튜브형 CTBA의 제품개발을 위한 금형설계를 유한요소해석을 통하여 수행하였으며, 설계상의 문제점을 해결하는 설계수정방안을 제시하였다. 비용절감의 효과를 얻기 위하여 1단계의 성형만으로 제품을 생산할 수 있는 금형설계안을 제시하였다. 금형설계안으로부터 시제품을 생산하고, 해당제품의 내구특성을 시험을 통하여 분석하였다.

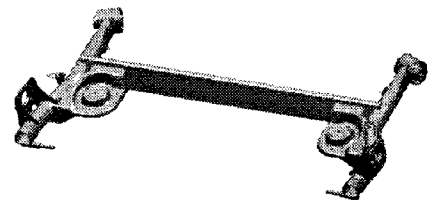


Fig. 1 Beam type CTBA with the stamping process of a single thick sheet metal

1. 한국생산기술연구원 디지털응용기계팀

2. (주)체시스 기술연구소

# 교신저자: 대구대학교 자동차·산업·기계공학부

E-mail: mvksh@daegu.ac.kr

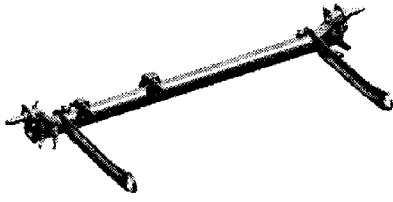


Fig. 2 CTBA with the tube forming process

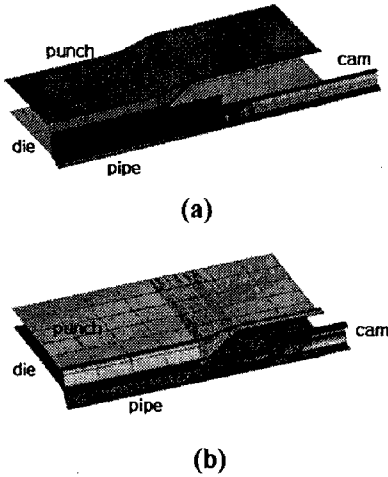


Fig. 3 Finite element model of the tube and the tools: (a) OP10 stage; (b) OP20 stage

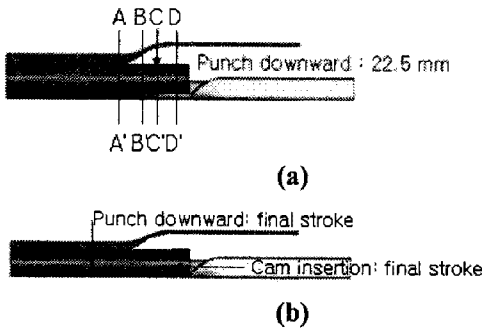


Fig. 4 Relative movement of the tools and the tube with the initial design during the OP10 process: (a) punch forming process; (b) punch forming and cam inserting process

## 2. 초기설계안의 금형설계 및 분석

본 논문에서는 유한요소 성형해석을 통하여 튜브 프레스 성형공정 초기안을 분석하고 금형설계 데이터의 문제점을 파악하였다. 파악된 문제점을 제거하고 추후 양산에 적용하기 위한 공정개선 방안을 제시하였다.

### 2.1 초기 금형설계안의 해석조건

초기설계에서는 제품을 생산하기 위하여 2단계

공정으로 분할하여 성형을 수행하였다. 튜브의 재료는 DP60이며  $\bar{\sigma} = 1023.7(\bar{\epsilon}^p + 0.00126)^{0.16}$  의 응력-변형률 곡선을 가진다. 원소재 외경은 90 mm, 소재두께는 2.5 mm이다. 튜브 프레스 성형공정용 금형은 펀치, 다이, 캠으로 이루어져 있으며, 성형은 펀치하강과 동시에 캠이 길이방향 안쪽으로 삽입되어 튜브의 함몰을 방지하면서 이루어진다.

Fig. 3에 각 단계에서 튜브와 금형의 유한요소 모델을 도시하였다. 모델의 대칭성을 이용하여 1/4만 모델링하였다. 편의상 튜브 길이, 폭, 높이 방향을 각각 x, y, z축으로 설정하여 해석 및 분석을 실시하였다. 단면이 동일하고 장착 시 비틀림을 주로 받는 중심부위를 토선부, 타 부품에 장착되는 부위를 끝부, 토선부와 끝부의 중간부위를 연결부로 칭하도록 하였다. 이상의 조건을 바탕으로 각 단계의 성형해석을 수행하였으며, 변형상의 문제점을 파악하여 설계수정에 반영하도록 하였다.

### 2.2 초기설계안의 해석결과

제1단계 성형공정에서는 펀치와 캠의 상대운동을 Fig. 4와 같이 부과하였다.

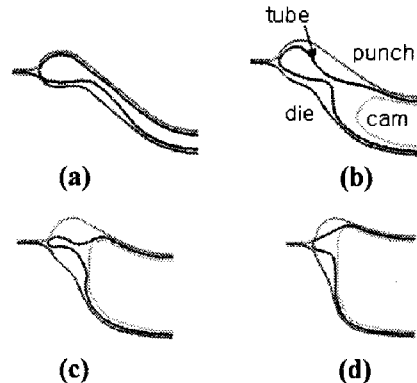


Fig. 5 Shape of cross sections of tools and the tube with the initial design after the OP10 stage: at sections (a) A-A'; (b) B-B'; (c) C-C'; (d) D-D'

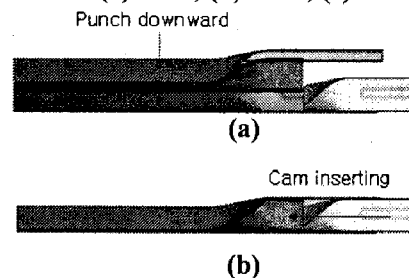


Fig. 6 Relative movement of the tools and the tube with the initial design during the OP20 process: (a) punch forming process; (b) punch forming and cam inserting process

### 3. 수정 금형설계안 및 성형해석

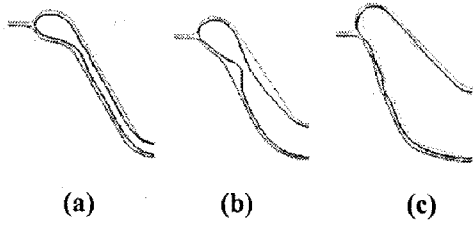


Fig. 7 Shape of cross sections of tools and the tube with the initial design after the OP20 stage: at sections (a) A-A'; (b) B-B'; (c) C-C'

튜브와 금형의 형상 및 튜브의 형상은 각각 Fig. 4에 도시하였다. 튜브 단면에서의 변형형상을 Fig. 5에 도시하였으며, 튜브의 함몰이 발생함을 확인할 수 있다. 연결부에서 금형 외부로 팽창된 튜브 최외곽면이 성형중 상형에 접촉하고 역압힘에 의하여 안쪽으로 함몰되는 현상으로 보인다.

제1단계 성형에서 얻은 튜브의 성형 데이터를 이용하여 제2단계 성형공정의 성형해석을 수행하였다. Fig. 6에 펀치 하강중의 금형과 튜브의 형상을 도시하였으며, 단면형상을 Fig. 7에 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 토션부 및 연결부 대부분에서는 제1단계 공정에서 발생한 형상불량이 여전히 남아 있는 것을 알 수 있다. 초기설계안의 해석에서 나타난 설계상의 문제점은 크게 아래와 같이 구분할 수 있다.

- (1) 펀치가 튜브에 접촉하여 성형이 일어나는 순간 캠이 튜브 끝단에 충분히 삽입되어 있지 않아 중간부에 형상불량이 발생함.
- (2) 펀치와 다이의 폭이 변형에 의하여 팽창된 튜브 외곽부분의 폭보다 좁아 성형중 접촉 및 역압힘이 발생하여 토션부와 중간부 하단부에 형상불량이 발생함.

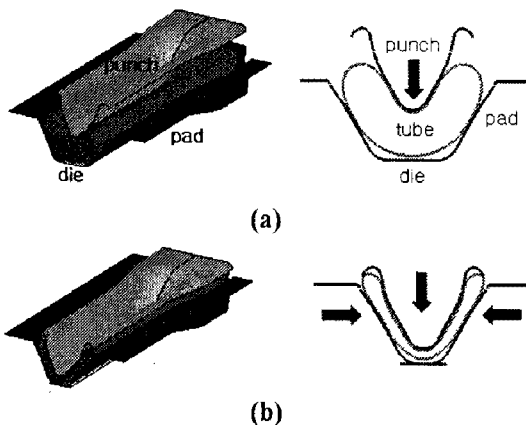


Fig. 8 Schematic plan of the tool movement: (a) punch; (b) movement of punch and pad

#### 3.1 수정 금형설계안

본 논문에서는 기존 2 단계 설계안의 해석결과를 이용하여 성형공정을 1 단계로 축소시키는 방안을 제안하였고, 다음과 같은 금형설계 변경안을 도출하였다.

- (1) 다이의 옆면(패드)이 성형전에 폭 방향으로 벌어져 있다가 펀치하강과 동시에 안쪽으로 이동하여 패드 역할을 하게 한다. Fig. 8에 수정설계에서의 금형 및 튜브의 상호운동을 도시하였다. 캠을 사용하여 금형 부품의 운동을 연동시켰다.
- (2) 캠의 운동도 펀치와 연동시켜서 펀치가 튜브에 닿기 이전에 캠이 일정부분 튜브 속으로 삽입되어 형상불량을 방지하도록 하였다.
- (3) 펀치와 패드 외곽부의 폭을 증대시켜 사전 접촉 및 역압힘, 변형공간 부족에 의한 여유발생 등을 방지하였다.

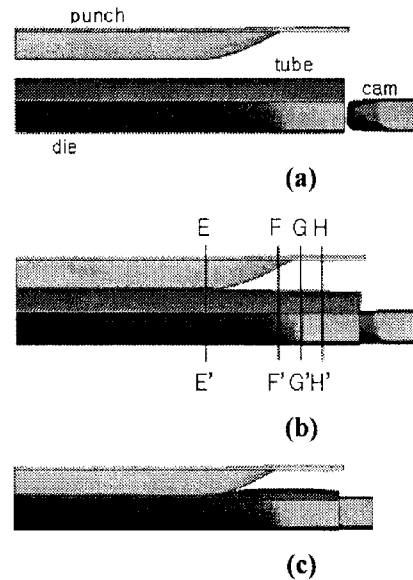


Fig. 9 Subsequent deformed shapes of the tools and the tube with the modified design: when punch strokes are (a) 0 mm; (b) 32.6 mm; (c) 67.5 mm

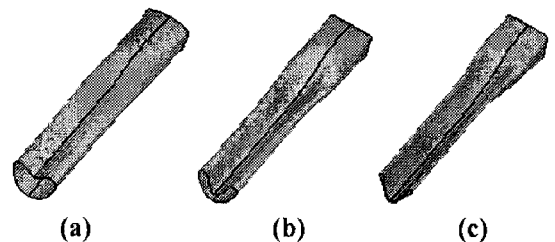


Fig. 10 Subsequent deformed shapes of the tube with the modified design: when punch strokes are (a) 67.5 mm; (b) 100.2 mm; (c) final stroke

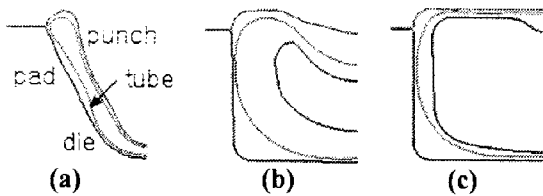


Fig. 11 Shape of cross sections with the modified design: at (a) E-E'; (b) F-F'; (c) G-G'

### 3.2 수정 금형설계안 해석

펀치 행정에 따른 금형과 튜브의 형상은 Fig. 9에 도시하였으며, 튜브의 변형형상은 Fig. 10에 도시하였다. 기존의 설계안에서 발생하던 형상불량은 발생하지 않았으며, 안정적인 성형품이 얻어질 것으로 예측되었다. Fig. 11에는 Fig. 9에 도시한 튜브 단면부와 금형의 접촉 및 변형양상을 도시하였으며, 초기설계안보다 향상된 결과가 얻어진 것으로 판단된다.

## 4. 금형 및 제품 제작

제 3 장의 해석결과를 바탕으로 튜브형 CTBA의 금형설계를 수행하고 금형을 제작하였다. 제작된 금형으로 시험성형을 실시하였다. 금형은 펀치(상형), 다이(하형), 패드, 캠으로 이루어져 있으며, 공정을 1 단계로 축소하여 성형하기 위하여 패딩 공정을 추가하였다. 펀치 이동 중에 패드와 캠의 운동을 구현하기 위하여 캠구조를 이용하여 상하 및 전후 운동이 가능하도록 하였다. 제작된 금형을 이용하여 시험성형을 수행하고 시제품을 제작하였다.

제작된 금형을 이용하여 Fig. 12와 같은 시제품을 생산하였으며, 후륜 현가장치에 조립하였다. 시제품을 단품 롤 내구시험을 수행하여 설계상의 문제점을 파악하였다. 시험결과 롤내구 및 단축내구 시험에서 시험사양을 만족하는 결과를 얻었다.

## 5. 결론

본 논문에서는 차체 후륜 현가장치 부재의 일체화를 위한 신기술인 튜브 성형법을 개발하기 위한 공법을 설계하였다. 설계안을 바탕으로 시제품을 제작하고 내구시험을 거쳐 제품이 실차에 장착 가능함을 확인하였다. 본 논문에서 얻어진 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

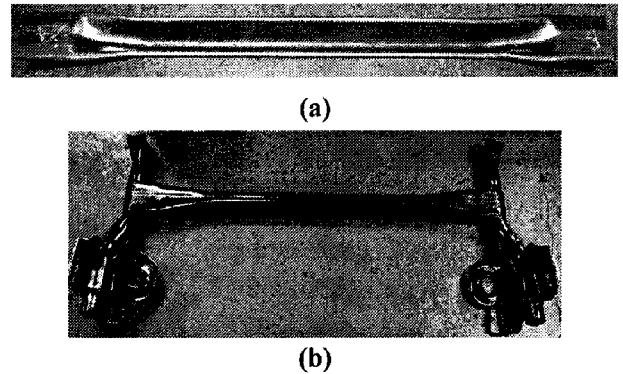


Fig. 12 CTBA product and rear suspension assembly: (a) formed product; (b) assembled rear suspension assembly

(1) 초기설계안의 성형해석을 바탕으로 금형 수정안을 도출하였고 이를 검증하기 위한 성형해석을 수행하였다.

(2) 기존의 연구에서 2 단계로 제작되던 부품을 1 단계 성형만으로 생산할 수 있도록 금형 최적화를 수행하였다. 이러한 설계안을 해석으로 검증하여 추후 금형 및 제품 설계를 수행하였다.

(3) 생산된 시제품을 후륜 현가장치에 장착하고 단품 롤 내구 시험 및 단축내구 시험을 수행한 결과 최종 설계에 의하여 제작된 제품이 시험 사양을 만족함을 확인하였다.

### 1.

## 참고 문헌

- [1] R. Hansen, G. Wecker, Method of deforming an initial pipe having a circular cross-section into a U-shaped section and device for carrying out the method, US Patent 6119501, 2000.
- [2] 박병철, 권태우, 이동화, 서창희, 김종철, 김태준, 이우식, 2004, 튜브포밍공법을 이용한 후륜 현가부품의 개발, 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 32~35.
- [3] 임희택, 오인석, 고정민, 김현영, 2007, 내구성을 고려한 토션빔형 후륜 현가장치의 튜브 하이드로포밍 공정 설계, 한국소성가공학회 논문집, 제16권, 제3호, pp. 201~209.
- [4] Porche Engineering Services Inc., ULSAB-AVC-PES Engineering Report, 2001.