

## 자동차용 브레이크 튜브 관단부의 성형해석

# On the Deformation Analysis of the Brake Tube-End for Automobiles

한규택 · 박정식

K. T. Han, J. S. Park

**Key Words** : Brake Tube(브레이크 튜브), Finite Element Analysis(유한요소해석), Roll Forming(롤 성형), Open Die Forging(개(開)금형 단조), SPCC(Cold Rolled Mild Steel : 냉간 압연 강판)

**Abstract** : Brake tube is considered one of the most important parts in automobile. The shape of brake tube end has a great influence on the function of brake, and the quality and productivity of brake tube have relation to die design. The forming process of brake tube end is performed by hydraulic press forming machine.

In this paper, the forming processes of tube end for automobile is analyzed and designed to make the optimal form of brake tube end. Also, finite element analysis has been carried out using DEFORM™ 3D to predict the optimal shape of brake tube end and the results obtained showed the optimal length between punch and chuck is 1.0 ~ 1.2mm. The shape of tube end is in good agreement with the finite element simulations and the experimental results.

### 1. 서 론

자동차용 브레이크 튜브는 자동차 내에서 브레이크의 성능에 중대한 영향을 미치는 핵심 부품중의 하나이다. 자동차의 완벽한 제동을 위해 브레이크 튜브는 균열, 파손, 누유 등의 결함에 대하여 완벽하게 품질보증되어야 하며, 특히 튜브 양 끝단의 성형부 형상은 브레이크의 성능에 중대한 영향을 미치는 부분이므로 정밀성형이 이루어져야 한다. 현재 실용차에 장착되고 있는 브레이크 튜브는 일반 유압프레스 성형기를 이용하여 관단부를 성형하고 있으며, 관단부 성형에 있어서 튜브의 찌힘이나 밀림 등이 빈번하게 발생함에 따라 금형에서 펀치의 교환주기가 현저히 짧고, 생산비의 증가를 유발시키고 있다.

튜브의 관단부 성형공정은 일종의 개(開)금형 단조 공정으로써, 개(開)금형을 이용한 자동차용 브레이크 튜브 관단부의 성형공정은 자동차 규격<sup>1)</sup>에 만족하는 양호한 제품의 생산에 가장 적합한

공정이며, 이와 같은 튜브제품의 성형에 관련한 문헌 및 연구자료<sup>2)~6)</sup>가 다수 보고되고 있다.

본 연구에서는 튜브 양 끝단의 성형부를 유한요소 해석을 이용하여 시뮬레이션을 하였으며, 이를 토대로 최적의 성형형상을 만들어내기 위한 최적 성형공정 설계의 조건을 제시하고자 한다.

### 2. 자동차용 튜브의 특성

본 연구에 사용된 튜브소재는 SPCC이고, 박판을 롤 포밍(Roll forming)하여 이중벽 구조로 성형한 뒤 일정한 형상치수로 인발시켰으며, 그 기계적 성질 및 화학조성은 다음 Table 1, 2와 같다.

Fig. 1은 현재 생산되고 있는 자동차용 브레이크 튜브의 단면형상과 체결시의 단면형상을 나타낸 것으로, "A" 부는 너트와 체결시 압착됨과 동시에 스프링 효과를 유발하여 오일의 누유억제 및 나사의 풀림방지 역할을 한다.

본 연구에서는 유한 요소 해석을 통해 "A"부의 길이가 최적이 되는 조건을 찾는 것에 목적을 두고 있으며, 해석을 위해 상용 유한 요소 해석 코드인 DEFORM™ 3D 를 사용하였다.

접수일 : 2002년 6월 4일  
한규택 : 부경대학교 기계공학부  
박정식 : 부경대학교 대학원

Table 1 Mechanical properties of the SPCC tube

Tensile Strength (MPa)	Yielding Point (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HRc)
Min 294	Min 177	Min 25 Gauge Length: 50mm	60

Table 2 Chemical compositions of the SPCC

C	Si	Mn	P	S	coating thickness	
					inside	outside
Max 0.12%		Max 0.50%	Max 0.04%	Max 0.045 %	Cu 3 $\mu$ m	Zn 25 $\mu$ m

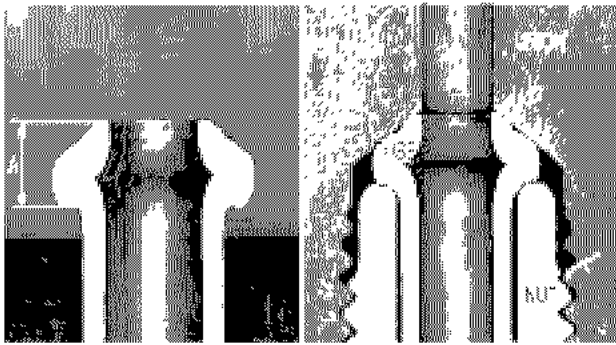


Fig. 1 The photo of end form with  $\varnothing$ 4.76 brake tube and unlocking face

### 3. 관단 성형실험

본 연구에 사용된 금형은 Fig. 2와 같은 형태로 설계하였으며, 펀치(Top die)와 척(Bottom die)으로만 구성되고, 튜브가 Die외부로 돌출되는 길이를 정확하게 제어하기 위해 Die의 앞부분에 접촉식 센서를 부착하였다. Fig. 3은 실험에 사용된 수평식 유압프레스 성형기에 금형이 부착된 모습을 나타내는 것이다.

사용된 금형은 직접 소재와 접촉하는 성형부가 허용공차 이상으로 마모될 때까지 파손되지 않아야 함으로 냉간단조용 금형재료로 주로 사용되는 SKD11종을 사용하였으며, HRc60정도로 열처리하였다. 척은 4.76mm 튜브 소재를 정확하게 척킹(chucking)하기 위해 반경 2.35mm의 홈을 방전가공하였으며, 밀림을 방지하기 위해 홈의 중간에

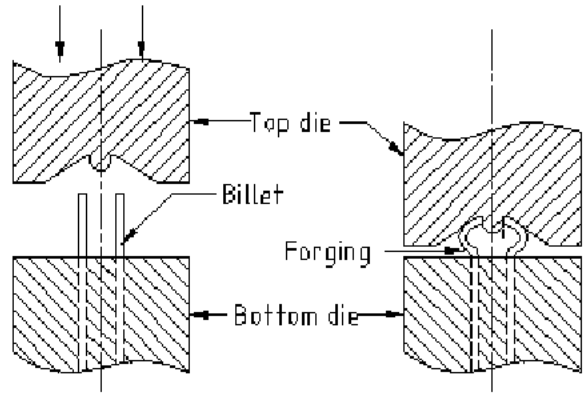


Fig. 2 Open die forging process for tube

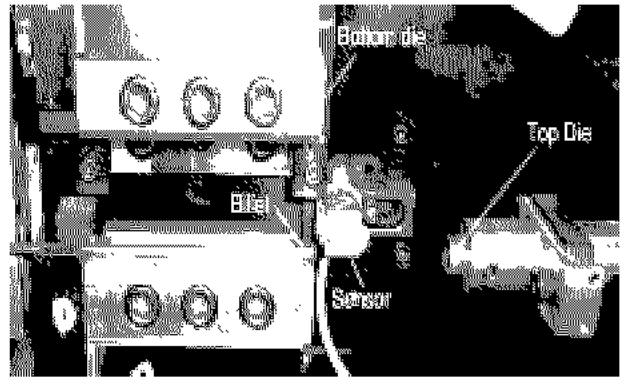


Fig. 3 The photo of experimental system

0.05mm의 턱을 만들었다. 척과 센서와의 거리를 0.5~3mm까지 0.1mm 간격으로 변화시키면서 각각의 과정마다 3회씩 반복 실험하였다.

### 4. 이론 해석

유한요소법을 이용하여 재료의 강소성 변형거동을 정확히 해석하기 위해서는 재료의 변형특성을 적절히 표현할 수 있는 구성방정식이 필요하다.

일반적으로 강소성체의 소성영역에서의 응력 변형률의 일반적인 관계는 식(1)과 같이 나타내어진다.

$$\sigma = K\epsilon^n \quad (1)$$

여기서, K는 강도계수이며, n은 가공경화지수 또는 변형률 경화지수라 불리는 값이다.

본 연구에 사용된 SPCC 재료의 유동응력과 변형률 및 변형률속도의 관계식은 인장시험결과 제시되어진 데이터를 이용하였다.

해석을 위하여 사용된 펀치와 소재사이의 마찰 조건은 식(2)와 같은 마찰인자를 사용하였다.

$$|\tau_s| = mK = m\frac{\sigma}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

여기서,  $m$ 은 전단계수,  $\sigma$ 는 유동응력,  $K$ 는 전단 유동응력을 나타내는 것으로, 윤활유를 사용한 냉간 성형공정에서의  $m$ 값은 일반적으로 0.05에서 0.15이며, 본 연구에서는 0.08을 적용하였다.

### 5. 유한요소해석

#### 5.1 모델링

본 연구에서 해석할 3D 개(開)금형 모델은 Fig. 4와 같다. 상하의 펀치와 다이는 강체로 가정하였으며, 소재는 강소성 재료로 가정하였고, 소재압연 방향에 따른 이방성은 고려하지 않았다.

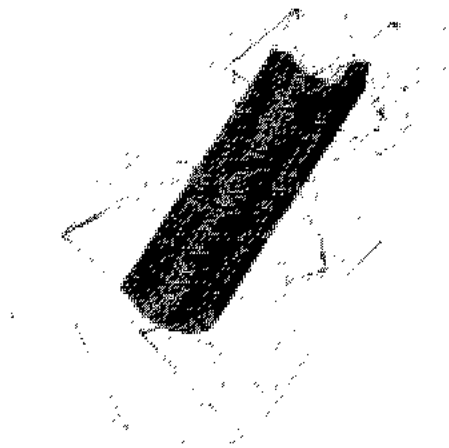


Fig. 4 Finite element model of the tube

#### 5.2 공정매개변수

설명에 있어 편의를 위해 Fig. 1의 “A”부를 사두(蛇頭)라 부르기로 하겠다.

Table 3은 해석에 사용된 데이터를 나타내었다.

Table 3 Data for simulation

Parameter	Unit	Value
Workpiece		SPCC
Temperature	℃	20
Step No.		100
Stroke per Step	mm	0.04
Friction coefficient	$\mu$	0.08

## 6. 결과 및 고찰

### 6.1 필요하중

Fig. 5는 성형시 발생하는 하중과 스트로크 관계를 나타내는 것으로, 스트로크 3.96mm 지점에서부터 좌측으로 완만한 그래프를 보이다가 스트로크 0.968mm 지점에서부터 다시 한번 큰 하중이 걸리는 것을 볼 수 있다. 이것은 좌굴이 끝난 소재가 펀치의 과도한 스트로크에 의해 사두형상이 겹쳐져서 발생하는 하중이라 사료되며, 따라서 펀치와 척사이의 거리는 최소 0.88mm를 넘지 말아야 한다고 판단된다.

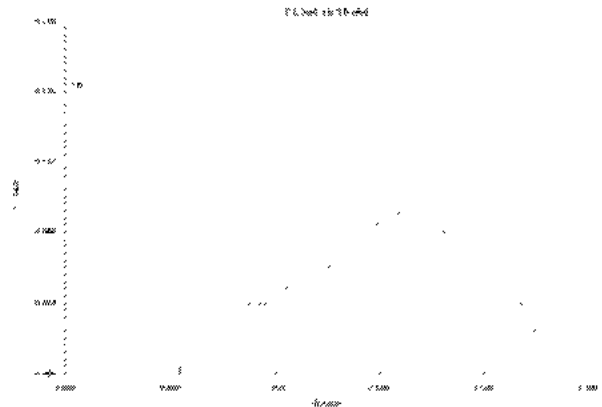


Fig. 5 Simulated Load Stroke curve

### 6.2 응력분포

Fig. 6은 펀치의 하강에 따른 소재의 응력변화 추이를 보여준다. 초기 소재가 펀치에 의해 압력을 받을 때 끝단부 외측에서부터 접촉하고 있으며, 펀치와 척 사이에서 재료는 좌굴이 일어남을 알 수 있다. 또한 최종단계에서 성형부의 중앙부에 응력이 집중되어 있음을 알 수 있으며, 척과 펀치사이의 거리가 1.2mm가 되는 STEP 80에서 응력이 최대로 나타났다. 이는 실용차 조립시 성형부가 너트에 의해 압착되면서 유니언(union)에 결합될 때 탄성복원력에 의한 너트의 풀림방지 효과를 효과적으로 얻을 수 있는 치수라고 판단된다. 실제 SAE(Society of Automotive Engineers)에 규정되어 있는 브레이크 튜브의 형상과도 거의 일치하고 있다.

### 6.3 변형률 분포

Fig. 7은 펀치의 하강에 따른 변형률의 분포상을 나타내는 것으로, 사두형상을 나타내는 부분에서 전체적으로 완만한 변형상태를 나타내는 것으로 사료된다.

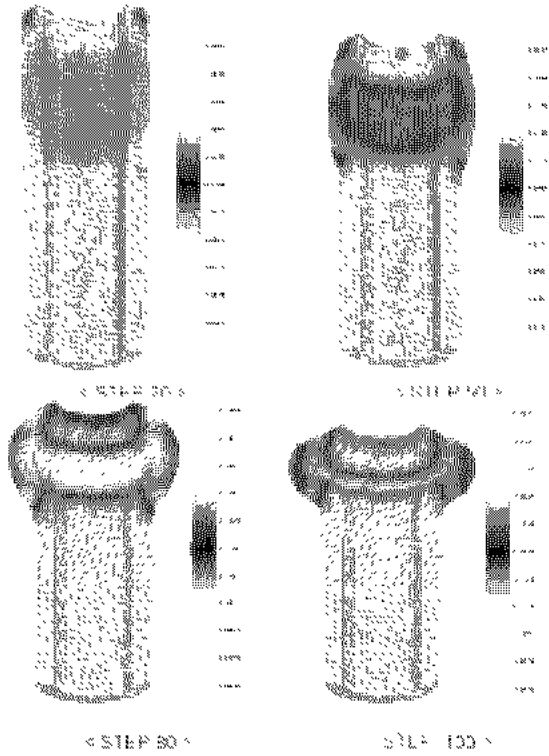


Fig. 6 Distribution of effective stress

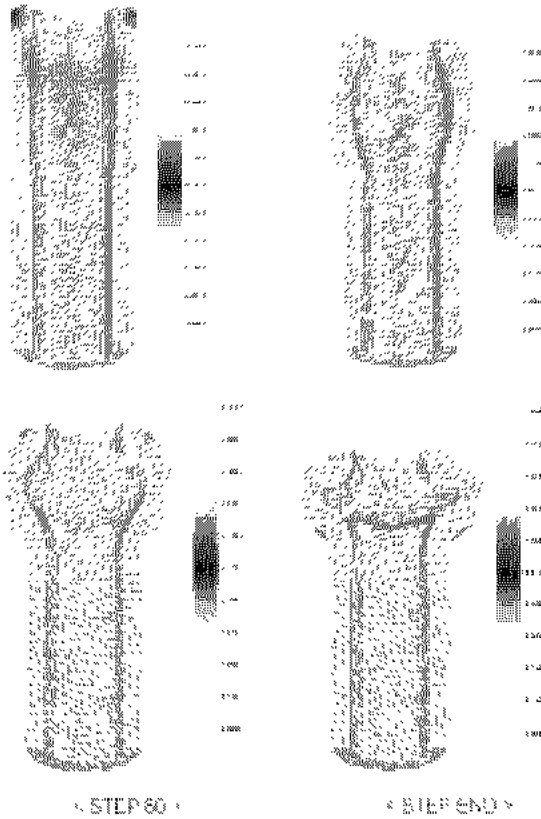


Fig. 7 Distribution of effective strain

#### 6.4 Damage 분포

Fig. 8은 손상(damage)의 분포상태를 나타낸 것으로 변형의 최종단계에서 보면, 사두형상의 중앙부근에 손상(damage)의 분포가 집중되어 있음을 알 수 있다.

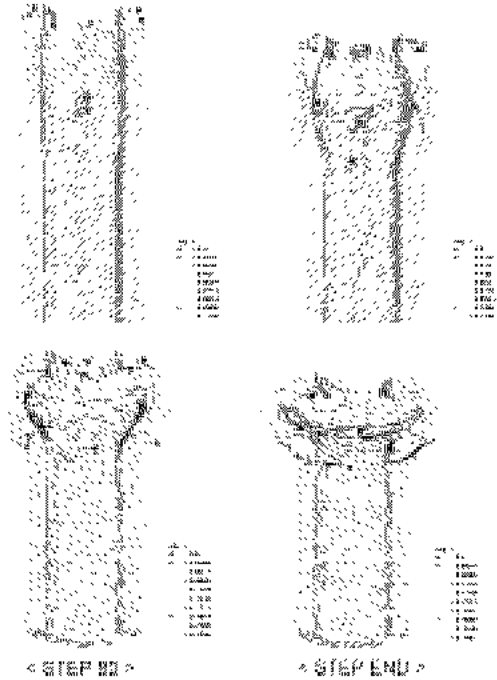


Fig. 8 Distribution of damage

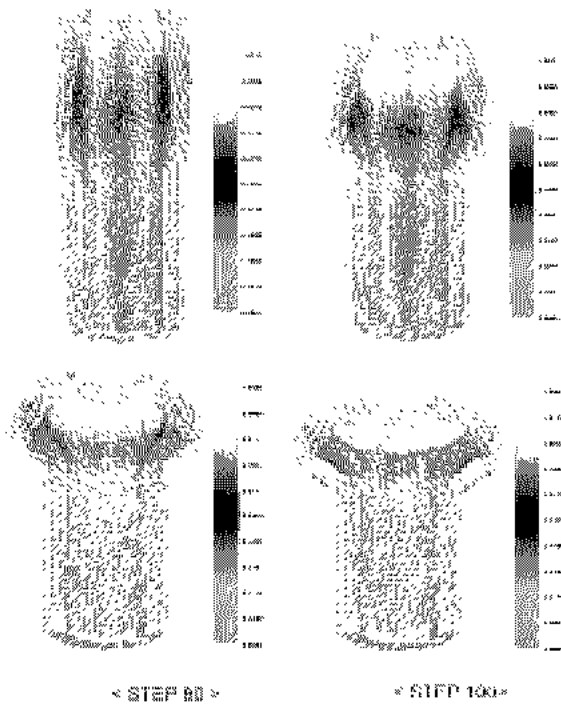


Fig. 9 Distribution of velocity

6.5 속도 분포

Fig. 9는 속도분포 상태를 나타낸 것으로 변형의 최종단계에서 보면 사두형상의 바깥쪽방향으로 속도 분포가 크게 나타났으며 이것으로 사두형상의 중앙부 쪽으로 변형이 많이 일어났음을 알 수 있다.

셀의 거동해석”, 한국공작기계학회지, 제9권, 제5호, pp. 150~156, 2000

6. 김용석, 금영탁, “축대칭 튜브 하이드로포밍 공정의 유한요소시뮬레이션”, 한국소성가공학회지, 제11권, 제1호, pp. 75~83, 2002

7. 결 론

본 연구에서는 자동차용 브레이크 튜브의 관단부 성형공정에 대한 실험과 유한 요소 해석을 통해 최적의 금형설계 조건이 제시되었다. 실험은 실제 상용재료인 SPCC 소재를 사용하였고, 펀치와 척간의 간격을 변화시키면서 관단부 성형실험을 실시하였으며, 또한 각 공정에 대한 유한 요소 해석을 수행한 결과 실제 형상과 유사한 형상의 양상을 나타내었다. 해석을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 펀치와 척간의 간격은 너트체결시의 스프링 효과를 감안했을 때 1.0~1.2mm가 가장 적당하다고 사료되어지며, 이는 너트의 풀림방지 효과도 동시에 얻을 수 있다고 판단된다.
- 2) 사두형상의 중앙부에서 가장 큰 응력이 발생하였다.
- 3) 펀치하중을 예측하여 성형기의 적정용량을 선정할 수 있었다.
- 4) 강소성 유한요소법을 이용하여 개(開)금형 공정의 이론해석을 수행함으로써, 금형과 소재의 취약부분을 예측할 수 있었고, 이를 성형공정설계에 반영함으로써 공구의 수명을 연장하고, 양질의 제품을 생산할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 자동차 규격집, “KS R2028”, 1991
2. S. I. Oh, et. al., “Capabilities and Applications of FEM code DEFORM ; the perspective of the developer”, J. Mat. Proc. Tech., pp.81 85, 1991
3. T. Altan, S. I. Oh, H. L. Gegel, “Metal Forming : Fundamentals and Applications”, ASM Series in Metal Processing, pp.171 187, 1983
4. 전기찬, “박판금속의 성형”, 반도출판사, pp.85 111, 1993
5. 이종선, 홍석주, “전좌굴을 고려한 복합적응원통