

# 알루미늄 튜브를 이용한 자동차 리어 서브 프레임의 열간가스 성형해석

김현영<sup>#1</sup>, 윤석진<sup>1</sup>, 이기동<sup>2</sup>, 김양수<sup>2</sup>

## Hot Air Forming Analysis of Automotive Rear Sub Frame using Aluminum Tube

H. Y. Kim<sup>#1</sup>, S. J. Yoon<sup>1</sup>, K. D. Lee<sup>2</sup>, Y. S. Kim<sup>2</sup>

### Abstract

Recently, the hydroforming of high strength aluminum tubes has many studies and applications in manufacturing industry, especially in automotive industry. But high strength aluminum tube has limited expansion capability at most 15% at normal temperature. New manufacturing process, called hot air forming, is introduced to apply aluminum tube to the automotive sub frame components which have complex shape and require high expansion ratio about 40%. The process is carried out at the elevated temperature above 500°C, so numerous material properties and process parameters related to high temperature should be investigated and determined to get a sound product. In this paper, the hot air forming process of automotive sub frame was investigated. The effect of the forming parameters such as the temperature of tool, axial feeding and gas pressure are analyzes by using explicit finite element method.

**Key Words** : Hot air forming(열간가스성형), Aluminum tube(알루미늄 튜브), Axial feeding(축 압축), Thermal property(열간 물성치), Gas pressure(가스 압력)

### 1. 서론

자동차 현가 부품은 차량의 승차감, 외부 충돌에 의한 안정성, 주행 차량의 조정 안정성을 담당하는 주요 부품으로써, 현재 다른 부품에 비해 경량화가 느리게 진행되고 있다. 그러나 현가 부품의 경량화는 차체를 비롯한 sprung mass의 경량화에 비해 약 2~3배의 연비 향상을 기대할 수 있기 때문에 지속적인 경량화가 요구되고 있는 실정이다[1].

이러한 현가장치의 경량화 요구에 부합하고자 여러 선진 자동차 부품 업체에서는 점차적으로 중대형 차량의 서브 프레임(Sub frame) 등에 알루미늄 합금을 적용하여 기존 강재 부품보다 약 20~30% 정도의 경량화를 달성하고 있다. 하지만 기존 알루

미늄 튜브와 프레스 성형한 알루미늄 판재를 MIG 용접하여 생산되었기 때문에 용접수 및 용접 부위가 넓어 비용 절감에 한계가 있었다[1].

그래서 부품 통합화 및 일체화를 기대할 수 있는 하이드로포밍 기술이 부품 제작에 적용되어 부품수와 용접을 감소시켰으나 상온 알루미늄의 낮은 성형성으로 형상 제약이 있다. 그러나 열간가스 성형은 고온에서 알루미늄 소재의 높은 성형성을 이용하는 가공 방법으로 알루미늄 튜브를 고온으로 가열하고 금형에 안착된 튜브 내부에 가스를 불어넣어 성형한다[2]. 열간가스성형을 적용할 경우, 기존 상온 하이드로포밍 성형보다 상당히 증가된 확관률을 얻을 수 있기 때문에 매우 복잡한 형태의 성형이 가능하며 높은 수준의 부품 통합화가

1. 강원대학교 기계메카트로닉스 공학부

2. ㈜ 화신

# E-mail: khy@kangwon.ac.kr

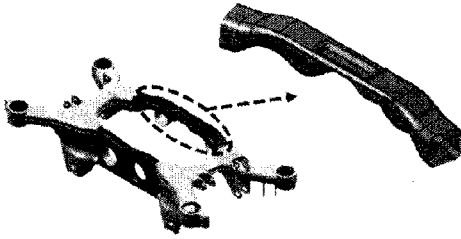


Fig. 1 Automotive rear sub frame

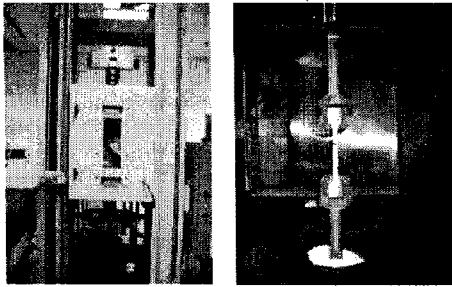


Fig. 2 High temperature tensile test system

가능하다[2].

일반적으로 하이드로포밍 성형 공정을 적용하는 경우, 성형해석을 통해 예비성형의 적용 및 주요 성형인자의 영향 등을 예측하여 제품 생산에 반영하게 된다[1,3]. 하지만 현재까지 국내외적으로 열간가스성형에 대한 경험과 기술이 축적되어 있지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 알루미늄 튜브 열간가스성형을 시뮬레이션할 수 있는 유한요소해석 모델을 구성하고, 이 모델을 실제 자동차 서브프레임 부품에 적용하였다.

## 2. 열간가스성형

### 2.1 리어 서브 프레임

Fig. 1은 자동차용 리어 서브 프레임이다. 다음의 리어 서브 프레임 중 No.1 파트를 알루미늄 튜브를 사용하여 열간가스성형을 적용할 것이다.

### 2.2 알루미늄 소재의 고온 물성치

열간가스성형 해석의 가장 중요한 인자는 알루미늄 재료의 온도별 고온 물성치이다. 본 연구의 물성치는 Fig.2의 고온인장시험기를 사용하였으며, 소재는 열간가스성형을 위해 개발된 Al 5XXX 계열 Modify 합금 소재이며 인장시험은 변형률 속도

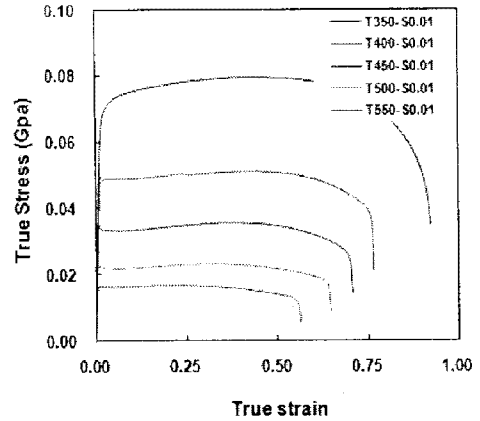


Fig. 3 True stress – true strain curve with various temperature

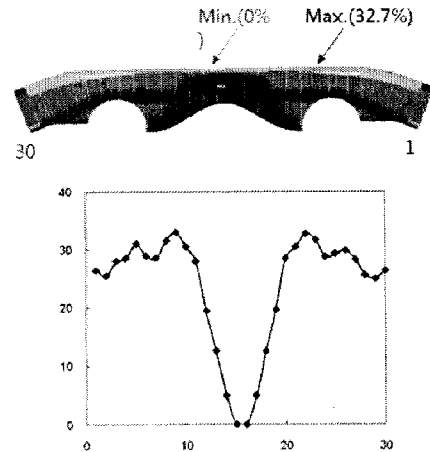


Fig. 4 Expansion ratio distribution of side members

(Strain rate) 0.01/s로 수행되었다. 온도별 인장시험의 결과는 Fig.3와 같으며 350°C 이상에서 온도가 상승할수록 연신률이 감소하여 성형성이 낮아지는 특징을 가지고 있었다.

### 2.3 확관률(Expansion ratio) 분석

Fig. 4는 열간가스성형을 하기 전 확관률 분포를 나타낸 것이다. 확관률은 튜브의 원주 길이를 기준으로 얼마나 확관이 되어야 제품 형상을 만들 수 있는지를 보여준다. 리어 서브 프레임의 No.1 파트 단면의 최소 둘레 길이를 기준으로 튜브의 직경 70mm로 결정하였다. 70mm 직경 튜브를 기준으로 최대 확관률은 32.7%로 열간가스성형 시 확관률에

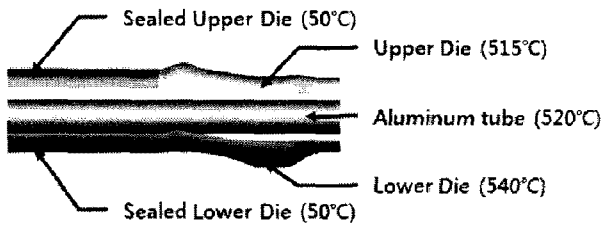


Fig. 5 Initial temperature distribution of pre bulging die set

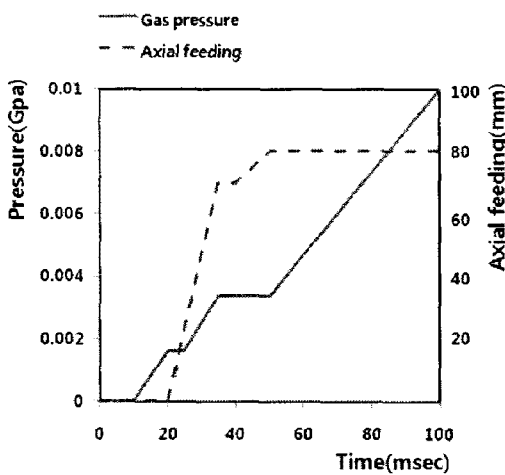


Fig. 6 Gas pressure & axial feeding curve for pre bulging process

Table 1 Thermal property for thermal forming simulation

Specific heat	945J/kg·K(945kN/kg·K)
Thermal cond.	221W/m·K (0.0000221kN/msec·K)

의한 문제는 발생하지 않을 것으로 예상된다.

### 3. 열간가스성형 해석

#### 3.1 프리 벌징(Pre bulging) 공정

Fig. 5는 리어 서브 프레임의 No.1의 1번째 공정인 프리 벌징 공정의 금형 형상 및 금형과 알루미늄 튜브의 초기 온도를 나타냈다. 프리 벌징 공정은 축압축(axial feeding)을 주어 2차 공정인 열간 성형(hot forming) 공정에 성형 불량률이 일어나는 것을 방지하는 공정이다. 프리 벌징 공정시 축압축량이 많으면 튜브의 좌굴(buckling)이 일어나고, 축압축

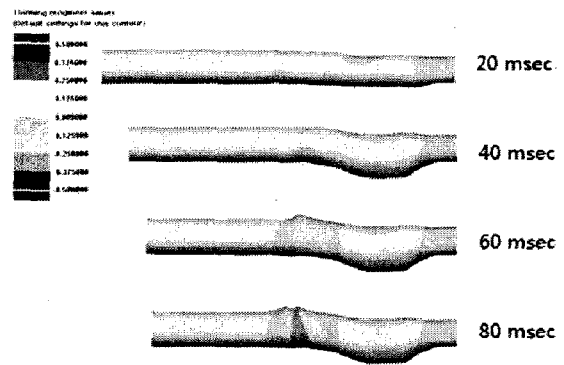


Fig. 7 Result of pre bulging simulation

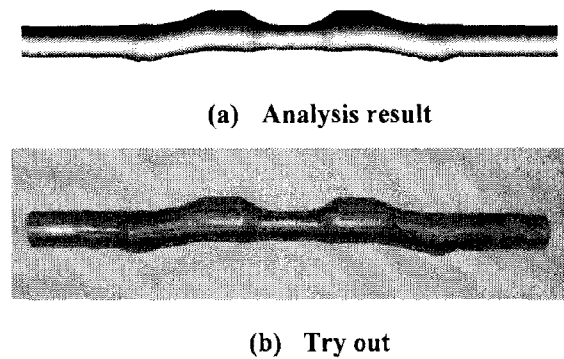


Fig. 8 Comparison of analysis result and try out (pre bulging process)

량이 작으면 2차 공정시 파단(bursting)이 발생한다.

Fig. 6는 시간에 따른 가스 압력 곡선과 축압축 곡선으로 2단계로 성형이 진행된다. 1단계는 일정 가스 압력으로 성형하는 구간이며 2단계는 미성형된 부분을 최종 성형하는 구간이다. Fig. 7은 프리 벌징 공정이 끝난 후 각 단계별 변형양상과 두께 감소율을 나타낸 것이다. 최대 두께 감소율은 7.18%로 파단이 일어나지 않음을 확인할 수 있다. Fig.8은 예비확관 성형 트라이 아웃과 성형 해석의 비교한 것이며, 유사하게 성형된 것을 확인할 수 있었다.

#### 3.2 열간성형(Hot forming) 공정

Fig. 9는 No.1의 2번째 공정인 열간성형 공정의 금형 형상 및 금형과 알루미늄 튜브의 초기 온도를 나타냈다. 열간성형 공정은 금형의 닫힘이 끝나면 상형과 하형 사이에 알루미늄 튜브가 물리계되어 프리 벌징 공정에 비하여 작은 축압축량이

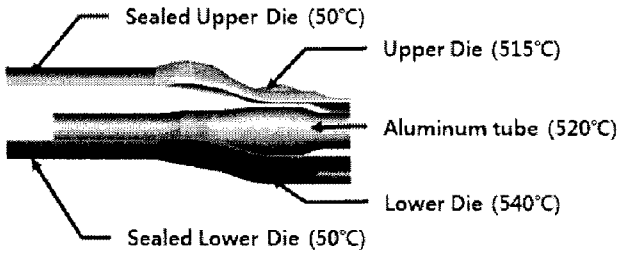


Fig. 9 Initial temperature distribution of hot air forming die set

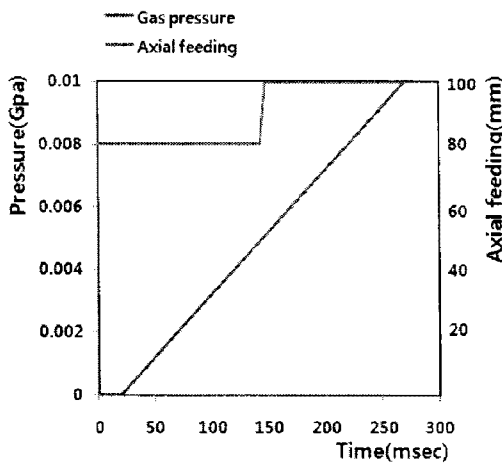


Fig. 10 Gas pressure & axial feeding curve for hot air forming process

들어간다. Fig. 10은 시간에 따른 압력과 축압축량을 나타낸다. Fig. 11는 열간성형 공정 후 각 단계별 변형양상과 두께 감소율을 나타낸 것이다. 1차 공정과 2차 공정에서 축압축을 주어 소재 확관부의 파단을 억제하였지만 최대 확관률 지점에서 파단이 예상되었다. 그리고 Fig. 12는 열간성형 공정의 트라이 아웃과 성형해석 결과를 비교한 것이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 고온 인장 시험을 통한 물성치를 이용하여 리어 서브 프레임의 사이드 멤버에 대한 유한요소 해석을 하였으며, 성형해석과 트라이 아웃의 결과를 비교하여 보았다. 고온 금형 모델과 가스 압력과 축압축을 고려한 유한요소 해석 모델을 구성하였고, 구성된 모델과 고온 물성치를 이용한 알루미늄 튜브의 성형해석을 하였다. 그리고 트라이 아웃 제품과 성형해석의 결과 비교를 통해

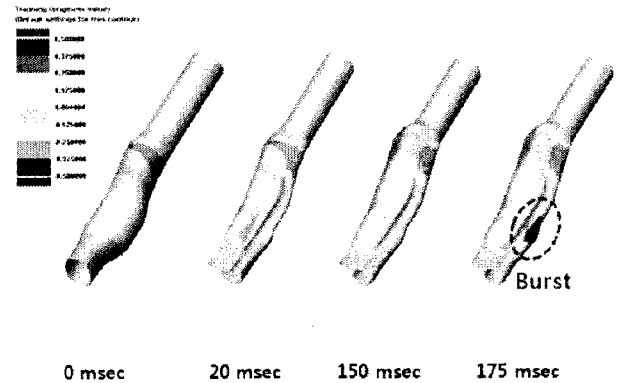
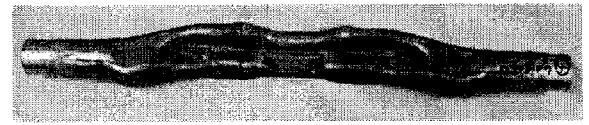


Fig. 11 Result of hot air forming simulation



(a) Analysis result



(b) Try out

Fig. 12 Comparison of analysis result and try out (pre bulging process)

열간가스성형 결과가 유사함을 확인하였다.

#### 참고 문헌

- [1] 권태우, 김중철, 전진화, 장계원, 이우식, 2006, 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 292~294
- [2] 임희택, 박병철, 이우식, 김현영, 2006, 알루미늄 튜브를 이용한 자동차 서브프레임의 열간가스 해석, 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 111~114
- [3] 김현영, 임희택, 황상희, 이기동, 이우식, 김대업, 2007, 알루미늄 튜브의 열간가스 성형해석, 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 116~119
- [4] 임희택, 김형중, 이동재, 김현영, 2006, 알루미늄 하이드로포밍 성형해석 및 성형성 평가, 한국소성가공학회지, 제 15권, 제 2호, pp. 138~142