

## 알루미늄합금의 열간 액압성형법 성형성에 대한 가열조건의 영향도 분석

김봉준 · 박광수 · 류종수 · 손성만 · 문영훈<sup>†</sup>  
부산대학교 정밀기계공학과

### The Effect of the Heating Conditions on the Warm Hydro-Formability of the Alumium Alloys

Bong-Joon Kim, Kwang-Su Park, Jong-Soo Ryu, Sung-Man Son, and Young-Hoon Moon<sup>†</sup>  
Dept. of Mechanical & Precision Eng, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

**Abstract** Modern automobiles are built with a steadily increasing variety of materials and semifinished products. The traditional composition of steel sheet and cast iron is being replaced with other materials such as aluminum and magnesium. But low formability of these materials has prevented the application of the automotive components. The formability can be enhanced by conducting the warm hydroforming using induction heating device which can raise the temperature of the specimen very quickly. The specimen applied to the test is A6061, A7075 extruded tubes which belong to the age-hardenable aluminum alloys. But in the case of A6061 age hardening occurs at room temperature or at elevated temperatures before and after the forming process. In this study the effects of the heating condition such as heating time, preset temperature, holding time during die closing and forming time on the hydroformability are analyzed to evaluate the phenomena such as dynamic strain hardening and ageing hardening at high temperatures after the hydroforming process.

(Received 25 April, 2005 ; accepted 24 May, 2005)

**Key words:** Warm hydroforming, Aluminum alloy, Induction heating system

#### 1. 서 론

현재 전세계적으로 자동차업계에서는 안정성 향상과 더불어 환경 문제와 관련한 자동차 배기가스 저감에 대한 관심이 집중되고 있다. 자동차의 연료 소비는 자동차 중량에 비례하여 증가하므로 연비 향상과 배기가스의 감소를 위해서는 자동차의 경량화는 필수 불가결하다. 근래 몇 년전부터 범지구적으로 제정되고 있는 연비 향상 및 배기오염 감소에 관련된 각종 규제 및 법규를 만족하기 위해서는 필수적으로 차량의 경량화가 이루어져야 하며, 국내외 많은 자동차 업체에서도 경쟁적으로 경량 차량의 개발에 나서고 있다[1]. 또한 차체의 경량화는 연료소비 및 배기가스 배출의 감소뿐만 아니라 주행 저항 감소와 진동, 소음이 낮아지고 차체의 관성이 경감되어 조종 안정성, 동력 성능 등의 질적 향상이 이루어져 그 파급효과는 대단히

크다.

차량 경량화는 최적설계기술, 부품 성능 극대화 기술, 대체재료 적용기술 등으로 나뉘는데, 이중 대체재료에 대해서는 경량재료의 적용에 의한 경량화로 이 개발에 사용되는 재료로는 알루미늄, 마그네슘, 플라스틱 등의 재료들이 주를 이룬다. 이 중 알루미늄의 경우 경량화를 위해 철계 소재를 대체하는데 필요한 고강도 합금의 경우 성형성은 상온에서는 철계 소재에 비해 크게 떨어진 다[2]. 또한 소재 및 형상에 따라 액압성형 전후의 열처리 및 가공 조건에 따라 성형 특성이 민감하게 영향을 받기 때문에 더욱 정밀한 형상, 금형 및 공정설계와 공정제어기술이 요구된다. 현재 기존의 철계소재의 성형품에 비해 우수한 특성을 얻기 위해 알루미늄 소재의 두께 증가가 불가피한데 이와 같은 두께 증가를 최소화하기 위해 액압성형 특성에 대한 체계적인 데이터가 확보

<sup>†</sup>E-mail : yhmoon@pusan.ac.kr

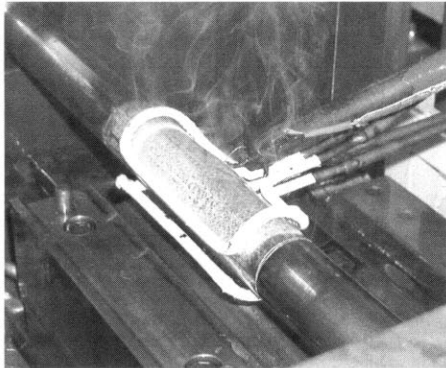
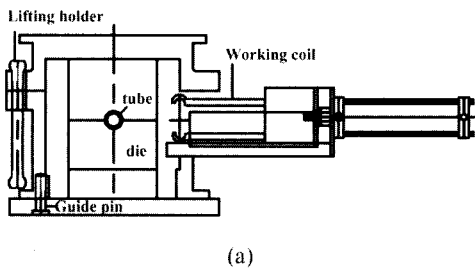
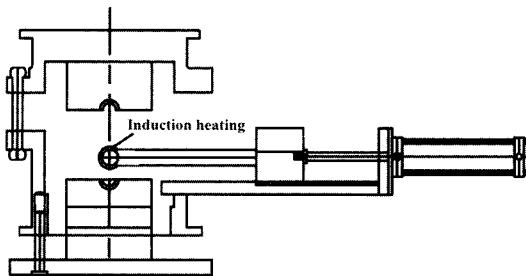


Fig. 1. The induction heating system.



(a)



(b)

Fig. 2. Operational mechanism of induction heating system.

되어야 한다.

일반적인 액압성형법 성형은 상온에서 이루어지는데, 본 연구에서는 상온에서 현저히 떨어지는 성형성을 개선하기 위해 알루미늄의 온도에 따른 특성을 활용하여 온간액압성형 기술을 개발, 적용하여 그 가능성을 검토하고자 한다. 이에 온간액압성형을 위해 짧은 시간에 원하는 온도까지 소재를 가열시킬 수 있는 시스템을 설계, 제작하고 고강도 알루미늄 합금 관재에 대한 온도별 성형성을 검토하여 그 적용 가능성을 분석하였다. 아울러 가열시간, 설정온도, 금형 밀폐와 액압성형시의 유지 시간과 같은 공정인자가 성형성에 미치는 영향도를 분석하였다.

## 2. 실험내용

### 2.1 실험장비 및 실험방법

액압성형시 관재를 빠른 시간에 가열하고 효과적으로 온도를 제어하고, 관재 두께가 5 mm인 국부적인 부분에서 효율적으로 가열시키기 위해 주파수가 30 kHz, 10 kw 사양의 유도가열장치를 적용하였다 (Fig. 1).

유도가열 코일이 관재를 감싼 후 가열시키기 위해 Fig. 2에서와 같이 80 ton급 clamping press가 상승시 lifting holder로 연결된 하부 bolster가 같이 들어올려지는데, 이 때 하부 금형은 원래 위치에 안착되어 있어 코일이 관재 주변을 감싸게 될 경우 금형과의 간섭이 일어나지 않고 성형시킬 수 있다. 관재 내부에 유입되는 유체는 끓는점 320 °C 이내인 열매체유를 사용하여 300 °C 이상까지 관재를 가열할 수 있도록 하였다. 이 때 온도는 평균 10분 이내에 관재 표면부가 320 °C까지 도달이 가능했으며, 설정 온도까지 가열후 코일을 제거하고 상부 금형을 안착시켜 액압성형시킨다.

### 2.2 온도변화실험

이 때 상부금형 안착까지 주변 공기와 펀치로의 대류로 인해 관재 중심부 온도가 초당 1 °C 정도 하강하게 되며, 금형과의 접촉시 초당 7 °C 가량 온도가 떨어지게 된다(Fig. 3). 보통 코일의 치수와 가열장치의 주파수에 따라 관재내에서 온도 구배가 나타나게 된다[3]. 따라서 Fig. 4(a)의 위치에서의 관재

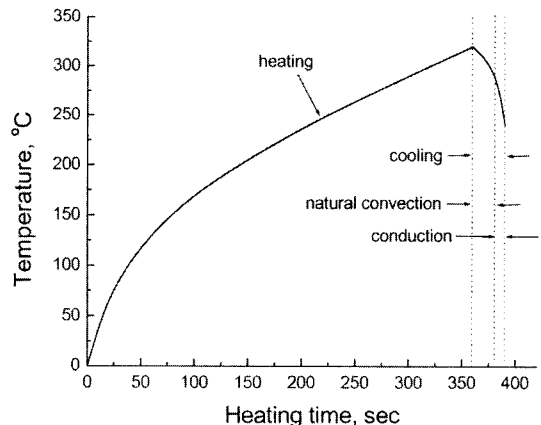


Fig. 3. Temperature variation during heating.

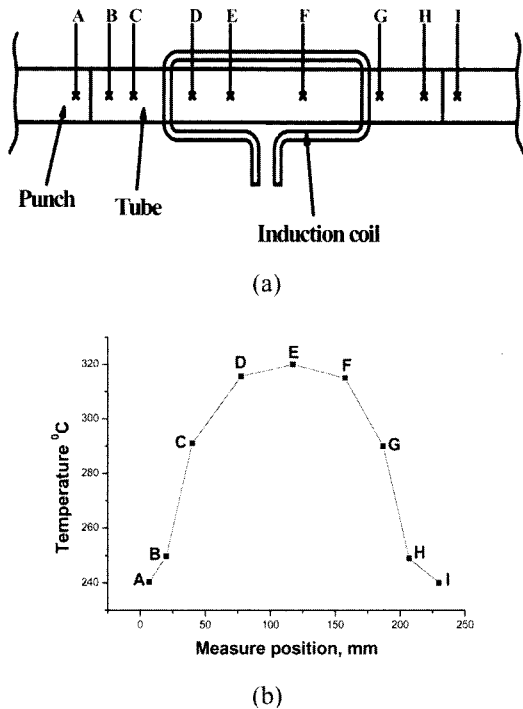


Fig. 4. Temperature distribution of the heated tube.

길이방향의 온도 분포를 K-Type 열전대를 통해 확인한 결과 액체 누수를 막기 위해 관재에 결합된 펀치로의 열전도로 인해 관재 끝 단의 온도와 관재 중심부의 표면 온도차는 약 80°C 정도 차이가 났으나, 관재 중심부에서 양쪽으로 40 mm 까지는 온도차가 5°C 이내이었다(Fig. 4(b)). 따라서 확관 성형부위에서의 온도는 거의 차이가 나지 않아서 온도구배로 인한 성형성 변화는 나타나지 않을 것으로 예측되며, 급형 안착 까지 약 20초, 액압성형시 약 7 초 정도 열원이 없는 상태로 관재 내부에서 온도가 균일하게 분포하게 되어 성형된다.

### 3. 실험결과

#### 3.1 알루미늄 합금 관재의 온간 성형 특성

알루미늄 온간액압 성형성은 온도에 따라 원주방향 확관량, 두께분포를 측정하여 비교, 분석하였다. 사용된 소재는 A6061(Al-Mg-Si계), 7075(Al-Zn-Mg-Cu계) 미열처리재로 외경 50.8 mm, 두께 5 mm인 관재를 사용하였다.

가열시 최종 온도가 각각 320°C, 250°C인 경우

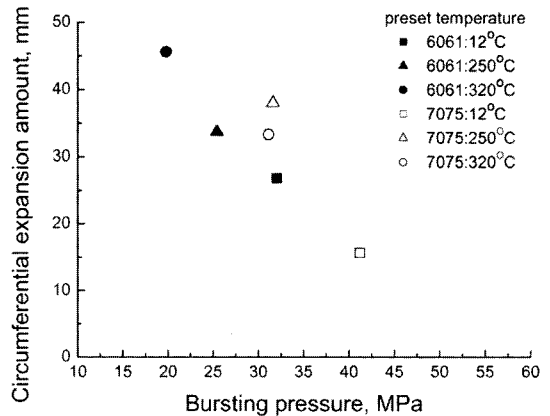


Fig. 5. Variation of the tube specimen at various temperatures.

온간액압성형시 각각 290°C에서 240°C로, 220°C에서 180°C로 온도저감이 일어나면서 성형된다. Fig. 5는 축방향 압입량을 0으로 하고 내부압력만을 증가시켰을 때의 파단압력과 원주방향 확관량을 비교, 분석한 것이다[4]. 180~220°C 범위에서 A7075의 경우 파단압력이 급격히 감소하며, 성형성도 이에 수반해 22 mm 이상 증가하였다. 그러나 240~290°C 온도범위에서는 파단압력이 소폭으로 감소한 반면 확관량은 상대적으로 감소하였는데, 이는 상대적으로 250°C에서의 소재의 변형률 속도가 급격히 올라서 국부적인 두께 감소가 두드러지게 나타나 성형시 파단이 빨리 진전되기 때문이다. 이 경우 A7075의 경우 온도가 250°C 이상일 때는 성형 압력 상승폭을 현저히 줄여서 내부압력 증가로 인한 관재 변형속도를 줄여서 성형시켜야 할 것이다. 그리고 A6061 관재의 경우 온도가 240°C 이상일 때 파단압력에 대한 확관량 증가량이 훨씬 더 증가한 것을 알 수 있다.

Fig. 6에서는 A6061(Al-Mg-Si계)과 A7075(Al-Zn-Mg-Cu계) 관재의 온도에 따른 파단부를 기준으로 한 원주방향 두께분포를 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 A7075의 경우 상온에서 두께 감소가 거의 일어나지 않고 취성 파괴가 일어났으나, 온도를 180°C 이상 증가시킨 경우 연신율이 대폭으로 상승하여 파단부 두께가 현저히 감소한 것을 알 수 있다. A6061 경우 가열온도가 240°C 이상인 시편의 경우 180°C 이상의 시편에 비해 고온으로 인한 가공경화가 지연되어 국부적인 변형이 집중되어 40도 이내의 범위에서는 두께가 더 얇았으나, 그 이후로는

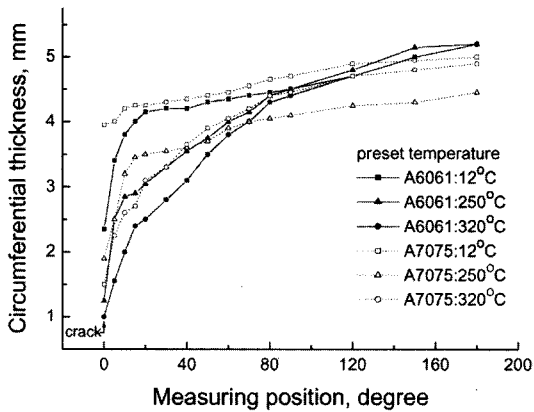
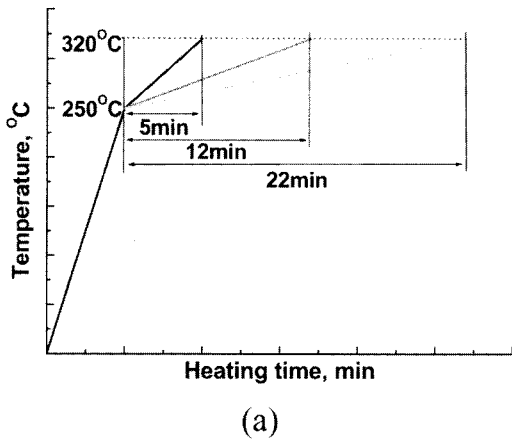
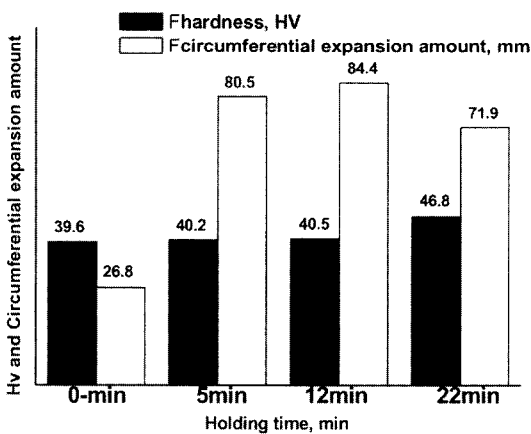


Fig. 6. Thickness distribution of A6061 and A7075 tube specimens at various temperatures.



(a)



(b)

Fig. 7. (a) Schematic diagram of induction heat-treatment. (b) Variations of the hardness and circumferential expansion amount with holding time at 250°C~320°C(A6061 specimen).

두께가 더 두꺼운 것을 알 수 있다[5]. 이에 따라 관재 표면 orange peel이 나타나게 되는데, 이에 따른 결함으로 외관 손상 및 성형성 저하를 초래한다.

### 3.2 고온에서의 알루미늄 관재 유지시간에 따른 성형성 차이 분석

Fig. 7(a)는 본 연구에서 수행한 고온에서의 알루미늄 관재 유지시간을 나타낸 것이다. 온도 상승속도는 유도가열 장치의 출력 비율과 관재 외부의 유도 코일과 시편과의 간격으로 제어한다. 시편은 5분, 12분, 22분 동안 250°C에서 320°C로 가열시켰다. Fig. 7(b)에서 보여지는 것과 같이 각각의 온도 조건 별로 시편을 가열한 후 상온에서 서냉시켜 비커스 경도계로 경도값을 측정한다. 같은 온도 조건하에 가열한 후 온간 단순확관 실험을 수행하여 나온 원주방향 확관량을 비교하여 고온에서의 유지시간에 따른 성형성 차이를 분석하였다. 고온 유지시간이 12분 이내인 경우 경도값과 원주방향 확관량에 큰 차이가 나타나지 않은 반면 22분이 경과되었을 때에는 경도값이 증가하고 확관량이 감소하였다. 이는 A6061 압출 관재가 250°C 이상에서 22분 후에 시효경화가 발생하였기 때문으로 온간 성형에 악영향을 미치는 요인으로 판단되며, 온간액압성형시 고온에서의 유지시간을 최소한으로 줄여 성형성 저하를 방지해야 한다[6].

## 4. 결 론

유도가열장치를 이용한 A6061, A7075 미열처리 관재의 온도변화에 따른 성형성 차이를 분석한 결과 다음과 결론을 맺었다.

(1) 유도가열장치를 사용하여 관재를 내부 유체를 채워넣은채 가열한 결과 관재 중심부를 기준으로 40 mm 이내에서는 온도 구배가 크지 않았다.

(2) A6061에 비해 A7075 소재의 경우 온도가 180°C 이상인 경우 성형성이 현저히 증가하였으나, 250°C 이상인 경우 변형을 속도가 현저히 높아져 국부적인 두께 감소가 두드러지게 나타났다.

(3) A6061의 경우 180°C 이상에 비해 240°C 이상인 경우 성형성이 현저히 증가한 반면 표면에 orange peel 현상이 나타났다.

(4) A6061의 경우 고온에서 짧은 노출시간에도 시효경화 현상이 나타났는데, 이 소재를 온간액압성형에 적용시 성형성 저하를 막기 위해 고온 유지시간을 제한해야 한다.

### 참고문헌

1. C. W. Kim: The Trend Weight Reduction Technology in new Generation Vehicles. The Korean Institute of Metals and Materials, **7** (2000) 13.
2. E. Chu, Yu Xu: Hydroforming of aluminum extrusion tubes for automotive applications. Part I: buckling, wrinkling and bursting analyses of aluminum tubes. International Journal of Mechanical Sciences, **46** (2004) 263-283.
3. H .K. Jung, C. G. Kang and Y. H. Moon: Induction Heating of Semisolid Billet and Control of Globular Microstructure to Prevent Coarsening Phenomena: Journal of Materials Engineering and Performance, **9** (2000) 12-23.
4. D. Shan, Y. S. Kim, Y. Lu, S. T. Kim and C. L. Wang: Characteristics of Tee Tube Forming Deformation Zone using Plastic Pressure-Building Medium, Met. Mater. Int., **6** (2000) 519-524.
5. B. J. Kim, D. I. Hyun, S. M. Oak, S. K. Choi and Y. H. Moon: Effect of Process Parameters on Tubular Hydroformability, Key Engineering Materials, **233** (2003) 457-462.
6. D. Kum, and G. Frommeyer: Temperature Dependence of Threshold Stress for Aluminum-based Materials Exhibiting High Strain Rate Superplasticity, Met. Mater. Int., **4** (1997) 239-244.