

# 알루미늄 튜브 온간 하이드로포밍 성형성에 관한 연구

김봉준\*·류종수\*·김대현\*·김동우\*·문영훈\*

## Studies on the Warm Hydroformability of Aluminum Tubes

B.J. Kim, J. S. Ryu, D.H. Kim, D.W. Kim and Y. H. Moon

### Abstract

Aluminum alloys have high potential for weight reduction in automotive and other applications. But aluminum alloys have relatively low tubular hydroformability which can be enhanced by conducting the hydroforming at elevated temperatures. Hot working processes are commonly used in bulk forming such as forging and rolling, but still is rare in sheet metal forming like hydroforming. In this study hydroforming test at elevated temperatures is performed by special designed induction heating system to investigate the hydroformability of aluminum alloys. The high temperature formability characteristics are obtained by T-fitting forming test and circular bulging test and the effects of the process parameters such as feeding amount, internal pressure and temperatures on the tubular forming limits are mainly investigated.

**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 년 전부터 범지구적으로 제정되고 있는 연비 향상 및 배기오염 감소에 관련된 각종 규제 및 법규를 만족하기 위해서는 필수적으로 차량의 경량화를 이루어야 하며, 국내외 많은 자동차 업체에서도 경쟁적으로 경량 차량의 개발에 나서고 있다. 또한 차체의 경량화는 연료소비 및 배기가스 배출의 감소뿐만 아니라 주행 저항 감소와 진동, 소

음이 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. 또한 소재 및 형상에 따라 하이드로포밍 성형 전후의 열처리 및 가공 조건에 따라 성형 특성이 민감하게 영향을 받기 때문에 더욱 정밀한 형상, 금형 및 공정설계와 공정제어기술이 요구

\* 부산대학교 정밀기계공학과

된다. 현재 기존의 철계소재의 성형품에 비해 우수한 특성을 얻기 위해 알루미늄 소재의 두께 증가가 불가피한데 이와 같은 두께 증가를 최소화하기 위해 하이드로포밍 특성에 대한 체계적인 데이터가 확보되어야 한다.

일반적인 하이드로포밍 성형은 상온에서 이루어지는데, 본 연구에서는 상온에서 현저히 떨어지는 성형성을 개선하기 위해 알루미늄의 온도에 따른 특성을 활용하여 온간하이드로포밍 성형기술을 개발, 적용하여 그 가능성을 검토하고자 한다. 이에 온간 하이드로포밍 성형을 위해 짧은 시간에 원하는 온도까지 소재를 가열시킬 수 있는 시스템을 설계, 제작하고 고강도 알루미늄 합금 관재에 대한 온도별 성형성을 검토하여 그 적용 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 실험장비 및 실험방법

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

유도가열 코일이 관재를 감싼 후 가열시키기 위해 Fig. 2 에서와 같이 80ton 급 clamping press 가 상승시 lifting holder 로 연결된 하부 bolster 가 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℃이내인 열매체유를 사용하여 300℃이상까지 관재를 가열할 수 있도록 하였다. 이 때 온도는 평균 10 분 이내에 관재 표면부가 320℃까지 도달이 가능했으며, 설정 온도까지 가열후 코일을 제거하고 상부 금형을 안착시켜 하이드로포밍 성형시킨다.

### 2.2 온도변화실험

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

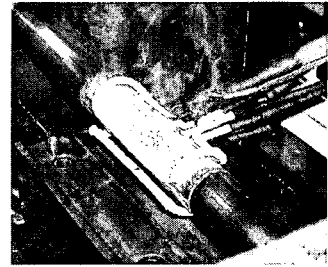
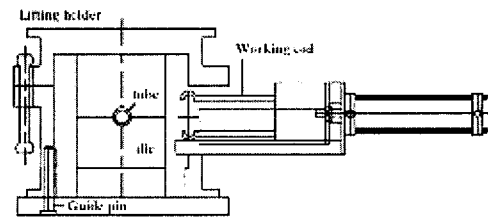
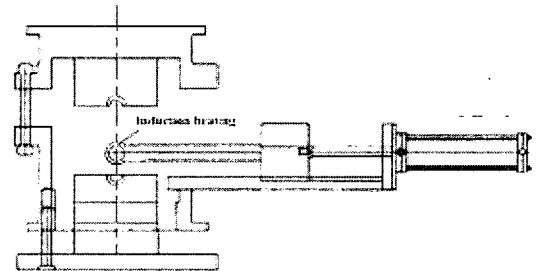


Fig. 1 The induction heating system



(a)



(b)

Fig. 2 Operational mechanism of induction heating system

같이 관재 길이방향의 온도 분포를 K-Type 열전대를 통해 확인한 결과 액체 누수를 막기 위해 관재에 결합된 펀치로의 열전도로 인해 관재 끝단의 온도와 관재 중심부의 표면 온도차는 약 80℃정도 차이가 났으나, 관재 중심부에서 양쪽으로 40mm 까지는 온도차가 5℃이내로 났다. 따라서 확관 성형 부위에서의 온도는 거의 차이가 나지 않아서 온도구배로 인한 성형성 변화는 나타나지 않을 것으로 예측되며, 금형 안착까지 약 20 초, 하이드로포밍시 약 7 초 정도 열원이 없는 상태로 관재 내부에서 온도가 균일하게 분포하게 되어 성형된다.

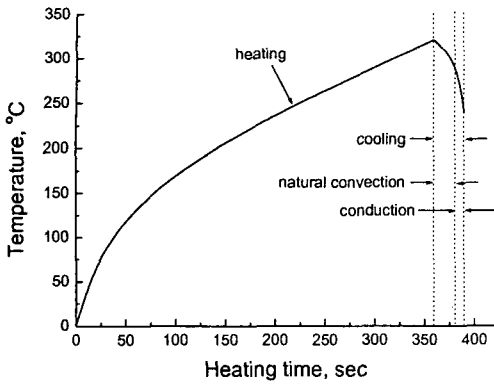


Fig. 3 Temperature variation during heating

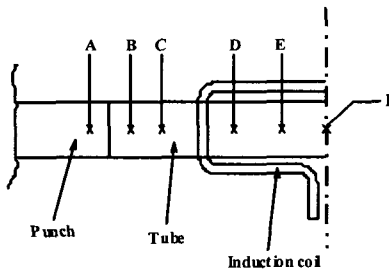
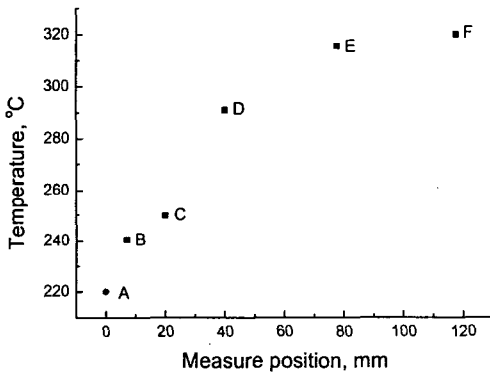


Fig. 4 Temperature distribution of the heated tube

### 3. 결과

3.1 알루미늄 합금 관재의 온간 성형 특성  
알루미늄 온간 하이드로포밍 성형성은 온도에 따라 원주방향 확관량, 두께분포를 측정하여 비

교, 분석하였다. 사용된 소재는 A6061, 7075 미열 처리재로 외경 50.8mm, 두께 5t 인 관재를 사용하였다. 가열시 최종 온도가 각각 320°C, 250°C인 경우 하이드로포밍 성형시 각각 290°C에서 240°C로, 220°C에서 180°C로 온도저감이 일어나면서 성형된다. Fig. 5는 축방향 압입량을 0으로 하고 내부압력만을 증가시켰을 때의 파단압력과 원주 방향 확관량을 비교, 분석한 것이다. 180~220°C 범위에서 A7075의 경우 파단압력이 급격히 감소하며, 성형성도 이에 수반해 22mm 이상 증가하였다. 그러나 240~290°C 온도범위에서는 파단압력이 소폭으로 감소한 반면 확관량은 상대적으로 감소하였는데, 이는 상대적으로 250°C에서의 소재의 변형을 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 파단 압력에 대한 확관량 증가량이 훨씬 더 증가한 것을 알 수 있다.

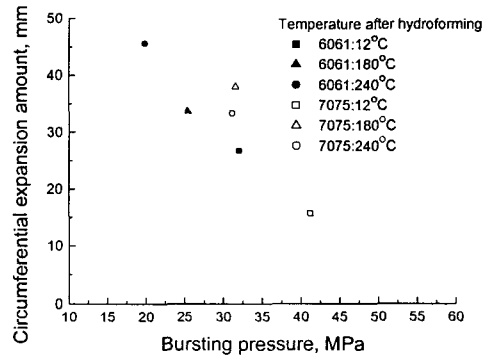


Fig. 5 Variation of the tube specimen at various temperatures

Fig. 6에서는 A6061과 A7075 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

## 참고 문헌

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 40 도 이내의 범위에서는 두께가 더 얇았으나, 그 이후로는 두께가 더 두꺼운 것을 알 수 있다. 이에 따라 관재 표면 orange peel 이 나타나게 되는데, 이에 대한 결함 억제 방법은 추후에 보완 실험을 통해 분석할 예정이다.

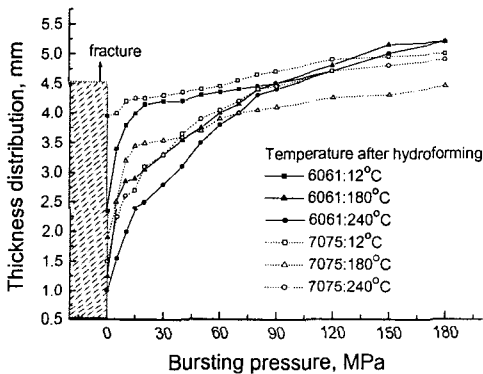


Fig. 6 Thickness distribution of A6061 and A7075 tube specimens at various temperatures

## 4. 결론

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

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

(2) A6061 에 비해 A7075 소재의 경우 온도가 180°C 이상인 경우 성형성이 현저히 증가하였으나, 250°C 이상인 경우 변형률 속도가 현저히 높아져 국부적인 두께 감소가 두드러지게 나타났다.

(3) A6061 의 경우 180°C 이상에 비해 240°C 이상인 경우 성형성이 현저히 증가한 반면 표면에 orange peel 현상이 나타났다.

- (1) M. Y. Lee, S. M. Sohn, S. J. Ryu, K. W. Lee and S. Y. Lee 2002, " Warm hydroforming characteristics of high strength aluminum tubes", 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 41~44
- (2) K.I. Johnson, B. N. Nguyen, R. W. Davies, G. J. Grant, M. A. Khaleel 2003, "A numerical process control method for circular tube hydroforming prediction", Int. J. of Plasticity, vol.20 pp. 1111~1137
- (3) D. Liu, H. V. Atkinson, P. Kapranos, W. Jirattiticharocan, H. Jones, 2003, " Microstructural evolution and tensile mechanical properties of thixoformed performance aluminium alloys", Materials Science and Engineering A361, pp. 213~224
- (4) P. S. Lee, H. R. Piehler, B. L. Adams, G. Jarvis, H. Hampel, A. D. Rollett, 1998, " Influence of surface texture on orange peel in aluminum", J. of Materials Processing Technology, Vol. 80-81, pp. 315~319
- (5) Nader Asnafi and Tomas Nilsson, 2000, " Automotive Tube Bending and Tubular Hydroforming with Extruded Aluminium Profiles", Society of Automotive Engineer, Inc.
- (6) Muammer Koc, Taylan Altan, 2000, " Prediction of forming limits and parameters in the tube hydroforming process", Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol 42, pp. 123~138
- (7) K. Yamaguchi, N. Takakura and S. Imatani, 1995, " Increase in forming limit of sheet metals by removal of surface roughening with plastic strain", J. of Materials Processing Technology, Vol. 48, pp. 27~34
- (8) Alan. A. Luo and Anil. K. Sachdev, 2002, " Strain Development and Microstructure Evolution in Aluminum Tube Bending and Hydroforming", pp.123~131