

# 근적외선 집광가열 시 온도조건이 AZ31, Ti-GR2 소재 굽힘성형의 스프링백에 미치는 영향에 대한 실험적 연구

이은호<sup>1</sup> · 황준선<sup>1</sup> · 이창환<sup>1</sup> · 양동열<sup>#</sup>

## The Effect of Temperature on Springback of AZ31, Ti-GR2 during V-bending with Focused Heating using Near-infrared Radiation

E. H. Lee, J. S. Hwang, C. W. Lee, D. Y. Yang

(Received July 17, 2014 / Revised August 18, 2014 / Accepted August 27, 2014)

### Abstract

With the increased concerns of environmental issues, industries are paying more attention to lightweight metals. Because the high degree of springback is an obstacle to the widespread use of lightweight metals, many investigations have been conducted to reduce springback by increasing temperature. However, increasing the temperature of the whole die or the material is energy inefficient, since generally only a limited area of the material is deformed during sheet metal forming. As a solution to this problem, focused heating that only heats the area where plastic deformation occurs may be an alternative approach. In the current study, V-bending tests were conducted at various temperatures after the AZ31, Ti-GR2 sheets were locally heated using near-infrared (NIR) radiation in order to evaluate the effect of temperature on springback. The results of the experiment confirm that the NIR focused heating reduces the springback of AZ31, Ti-GR2 alloys with increasing temperature.

**Key Words** : Near-infrared rays, Focused Heating, V-bending, Springback, AZ31, Ti-GR2

## 1. 서론

산업 전반에 걸쳐 경량화에 대한 관심이 증가함에 따라 마그네슘 합금, 티타늄 합금 등 저비중, 고강도 합금에 대한 수요가 증가하고 있다. 하지만 일반적으로 저비중, 고강도 합금은 상온에서 성형 시 스프링백이 크게 발생하는 단점이 있다[1]. 이 문제를 해결하기 위하여 성형 시 소재의 온도를 향상시켜 스프링백을 감소시키는 온간성형 공정에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Chang 등[2]은 마그네슘 합금판재의 온간성형에 대해, 송우진 등[3]은 온도에 따른 마그네슘 합금의 유동응력에 대해 연구

하였다. 티타늄소재는 park 등[4] 및 Ozturk 등[5]에 의해 연구되었다. 이들 대부분의 연구는 소재전체의 온도를 향상시키는 방법으로 진행 되었는데, 일반적인 판재 성형시 소성변형이 일어나는 부분은 한정되어 있기 때문에 소재 전체의 온도를 향상시키는 것은 불필요한 에너지 소비를 수반하게 된다. 이에 Lee 등[6]은 에너지 절감을 위해 소성변형이 일어나는 영역만을 근적외선(NIR) 집광가열 하여 V-bending 시 발생하는 DP980 소재의 스프링백을 크게 감소시켰다.

본 연구에서는 앞의 인용된 논문에서 사용한 근적외선 집광가열을 AZ31, Ti-GR2 두 저비중, 고강도

1. 한국과학기술원 기계공학과

# Corresponding Author : Dept. Mechanical engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology,  
E-mail : dyyang@kaist.ac.kr

소재에 적용하여 근적외선 집광가열을 효과적으로 적용가능한지를 분석하였다. 또 가열 후에 V-bending 실험을 수행하여 성형 온도별로 발생하는 스프링백을 분석하였다. 실험 결과 근적외선 집광가열 하였을 경우 AZ31, Ti-GR2 두 소재에 있어서 목표영역만을 집중적으로 가열 할 수 있었다. 또한 소성변형 영역만을 집광가열 후 V-bending 하였을 경우 온도 증가에 따라 스프링백을 감소 시킬 수 있었다.

## 2. 실험장치

### 2.1 근적외선 집광가열 장치

타원형 반사판의 초점에 근적외선램프를 두면 램프에서 방사된 근적외선을 매우 좁은 영역으로 집광하여 가열 할 수 있다. 이 원리를 이용하여 판재의 굽힘성형이 일어나는 부분만을 국부적으로 가열 할 수 있다. 본 연구에서는 근적외선 집광가열을 위하여 220V, 2kW 근적외선 램프가 사용되었다. 타원형 반사판은 알루미늄 판재를 이용하여 제작하였고, 타원형 반사판의 초점에 근적외선 램프를 두어 근적외선 집광 가열장치(이하 타원형 가열장치)를 제작하였다. 제작된 타원형 가열장치 및 가열장치의 집광특성은 Fig. 1에서 확인 할 수 있다. 본 실험에 사용된 타원형 반사판의 형태는 아래의 식(1)으로 표현 할 수 있다.

$$\frac{x^2}{(10\sqrt{5})^2} + \frac{y^2}{(30)^2} = 1 \quad (1)$$

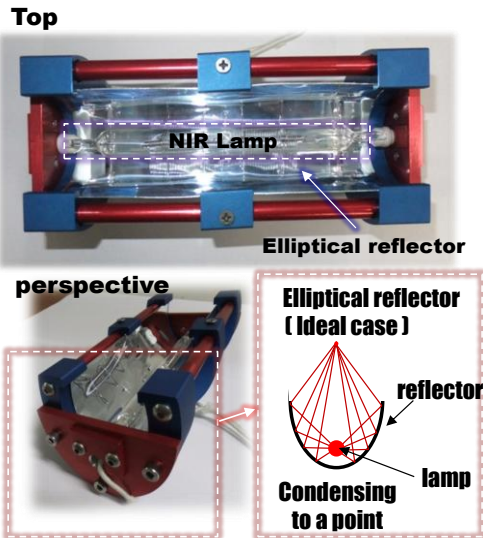


Fig. 1 Elliptical heating device

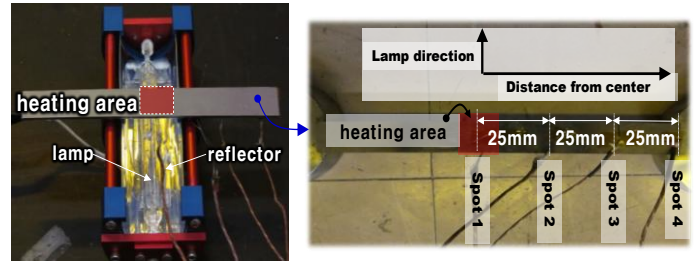


Fig. 2 Experiment for focused NIR heating

Table 1 Heating temperature of each material for NIR focused heating

	AZ31	Ti-GR2
heating temperature	653K	953K
forming temperature	573K	873K

AZ31, Ti-GR2 두 소재의 집광가열 실험을 위하여 Fig. 2와 같이 실험을 구성하였다. 각 소재를 램프의 길이방향과 수직으로 놓고 가열하였으며 대칭선을 중심으로 오른쪽으로 25mm 간격으로 4지점 (spot 1~4)의 온도를 측정하였다. 각 소재의 가열온도(heating temperature)는 기존의 연구에서 소재별로 스프링백이 크게 줄어든다고 알려진 온도를 성형온도(forming temperature)로 설정 한 뒤 그보다 80K 더 높은 온도로 설정하였다. 이는 가열 후 소재를 금형으로 이송할 때 생기는 온도하락을 고려한 것이다. 각 소재의 가열온도와 성형온도 조건은 Table 1에 정리하였다.

### 2.2 V-bending 실험 장비

근적외선 국부가열이 스프링백에 미치는 영향을 분석하기 위하여 AZ31, Ti-GR2 두 소재를 가열 후에 온도 별 V-bending 실험을 진행하였다. AZ 31 소재 1.2mm, Ti-GR2 소재 1.0mm의 두께의 소재가 사용되었다. 실험장비는 Fig. 3에서 확인 할 수 있다. 가열온도(heating temperature)는 소재 이송 시 온도 하락을 고려하여 성형온도(forming temperature) 보다 더 높은 온도로 가열하였다. 각 온도 조건은 Table 2에 정리하였다. 펀치는 정밀한 제어를 위하여 Instron 5583 장비에 고정하여, 펀치의 이송속도는 5mm/s로 설정하였다. 펀치의 반경은 2mm, 6mm 두 가지 형상을 이용하였다. V-bending 시 펀치의 이동거리는 10mm, span은 20mm 이다.

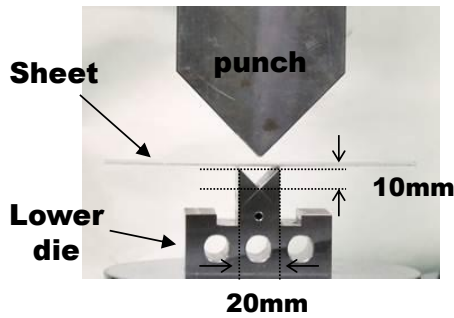


Fig. 3 Equipment of the V-bending experiment

Table 2 Temperature conditions for the experiment

	forming temperature	heating temperature
AZ31	293K	293K
	423K	473K
	523K	573K
	573K	653K
Ti-GR2	293K	293K
	473K	523K
	673K	723K
	873K	953K

### 3. 실험결과

#### 3.1 근적외선 집광가열 실험결과

AZ31, Ti-GR2 두 소재의 근적외선 집광가열 결과는 아래의 Fig. 4,5와 같다. 온도 측정을 위해서 K-type thermocouple을 Fig. 2에서 확인 할 수 있는 각 온도 측정 지점에 부착하여 온도를 측정하였다.

Fig. 4(a), Fig. 5(a) 는 각 소재의 가열 중심부의 시간-온도 그래프이다. 중심부를 목표 가열온도(heating temperature)까지 가열 하기 위하여 AZ31 소재는 3초, Ti-GR2 소재는 7초가 소요되었다. 평균가열속도로 환산하면 AZ31 소재의 평균가열속도는 약 130K/s 이고, Ti-GR2 소재는 약 137K/s 이다. Fig. 4(b), Fig. 5 (b)는 각 소재의 중심부가 목표 가열온도에 도달 하였을 때 소재의 온도분포이다. 두 소재 모두 가열중심부에서는 온도가 매우 높지만 중심부에서 거리가 멀어질수록 온도가 급격히 하락하는 Gaussian distribution의 형태로 온도분포가 발생하는 것을 확인 할 수 있었다. 이와 같은 온도 분포를 보이는 것은 소재의 원

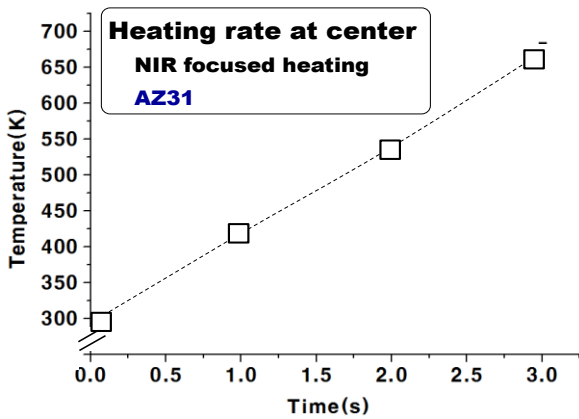
하는 부위에 집광하여 가열할 수 있음을 의미한다. 이렇게 국부적으로 온도가 높은 형태로 가열이 가능할 경우 굽힘 성형같이 소성변형이 매우 좁은 영역에 일어나는 성형공정에 적용 할 수 있다.

#### 3.2 V-bending 실험결과

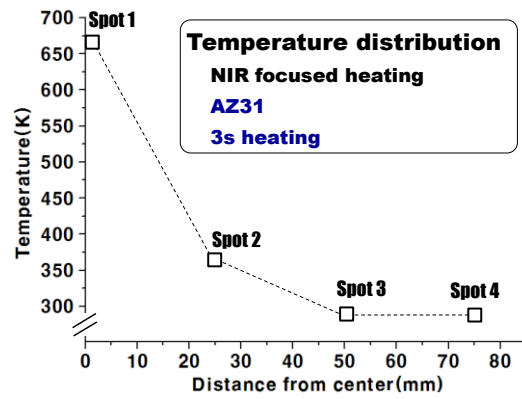
두 소재의 근적외선 집광가열 적용 가능성을 확인 한 후에 V-bending 실험을 진행 하였다. 먼저 굽힘변형이 일어나는 소재의 중심부에 근적외선 집광가열을 한 뒤에 소재를 금형으로 이송한 뒤 V-bending을 하는 순서로 진행하여 스프링백 발생 정도를 확인하였다. 실험은 Table 2에 정리된 온도 조건에 실험온도를 맞추어 진행 하였으며 온도 측정을 위해서 K-type thermocouple을 Fig. 2 에서 확인 할 수 있는 각 온도 측정 지점에 부착하여 온도를 측정하였다.

Fig. 6(a)에서 확인 할 수 있듯이 AZ31 소재의 경우에는 상온에서 성형성이 좋지 않아 펀치반경 2mm로 성형할 경우 소재가 파단이 되었다. 하지만 소재를 가열하여 423K 이상에서 성형 할 경우 파단이 생기지 않고 성형을 할 수 있었다. 이는 일반적으로 잘 알려진 대로 423K 이상에서 hexagonal close-packed(HCP) 구조인 마그네슘의 비저면 슬립계(non-basal slip system) 가 활성화 되면서 변형이 더욱 쉽게 발생하기 때문이다[7]. 더 높은 온도로 가열을 하여 성형온도가 573K이 되면 펀치반경이 2mm로 성형할 때 스프링백이 거의 발생하지 않았다. 이는 기존 마그네슘 합금 연구에서 스프링백 감소경향과 비슷한 결과이다[8]. 펀치 반경이 6mm로 성형 할 경우에는 온도가 상승함에 따라 스프링백이 줄어들었지만 전반적으로 펀치반경이 2mm 일 때 보다 스프링백이 크게 발생하였다. 이는 굽힘성형시에 펀치 반경이 클 경우 소재의 소성변형이 줄어들기 때문이다.

Ti-GR2 소재의 경우에는 반경이 2mm 인 펀치로 성형하여도 상온에서 파단없이 성형 할 수 있었지만 역시 상온에서는 스프링백이 크게 발생 하였다. 근적외선 집광가열로 중심부를 가열 하여 온도가 상승할수록 스프링백이 줄어들어 873K일 경우 스프링백이 거의 발생하지 않았다. 기존의 연구 결과에 의하면 티타늄 소재의 경우 873K 이상일때 항복응력이 크게 감소하는데 이것이 스프링백의 감소 원인으로 파악된다[9].

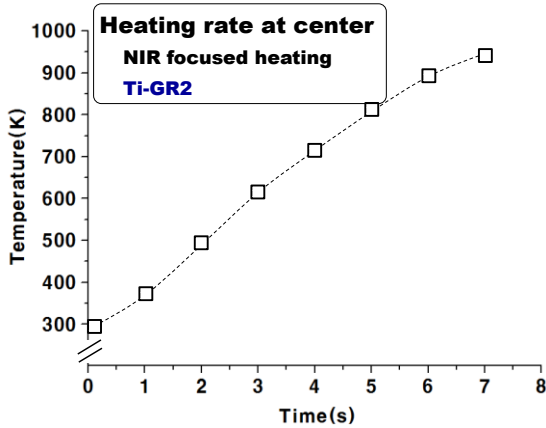


(a) Heating rate at the center of AZ31 when heated by NIR focused heating

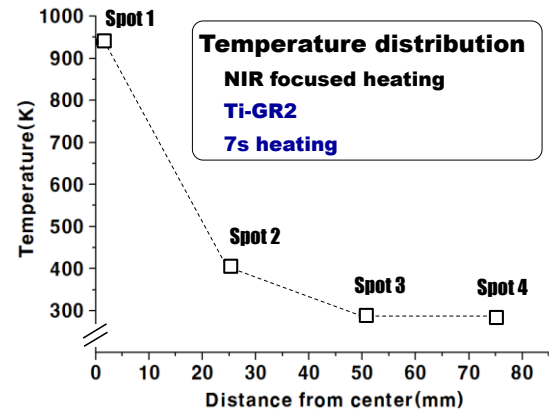


(b) Temperature distribution of Ti-GR2 when heated by NIR focused heating

Fig. 4 Results of NIR focused heating for AZ31

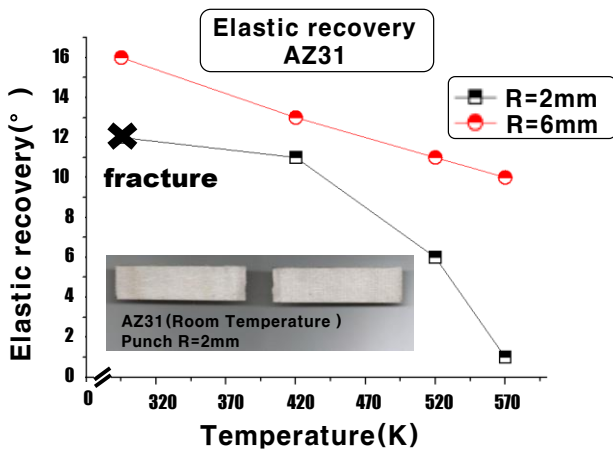


(a) Heating rate at the center of Ti-GR2 when heated by NIR focused heating

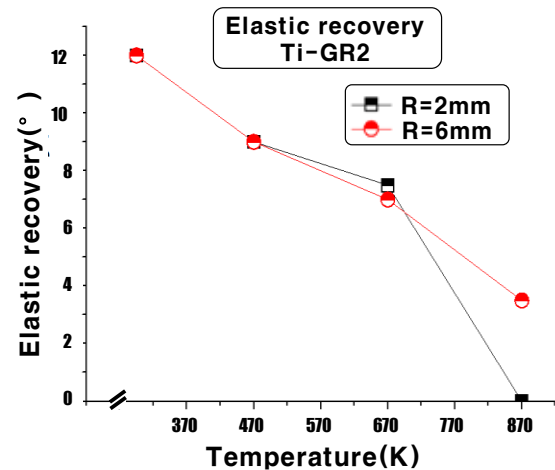


(b) Temperature distribution of Ti-GR2 when heated by NIR focused heating

Fig. 5 Results of NIR focused heating for Ti-GR2

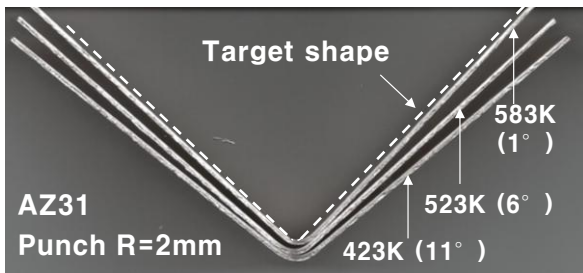


(a) Springback of AZ31 in relation to forming temperature for V-bending

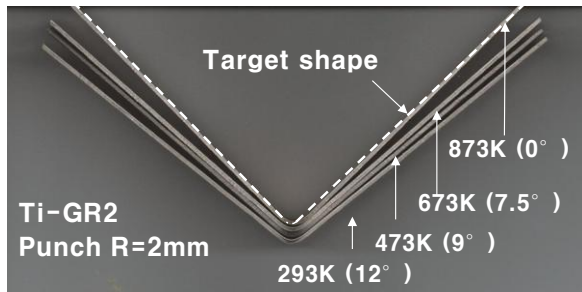


(b) Springback of Ti-GR2 in relation to forming temperature for V-bending

Fig. 6 Springback results



(a) V-shaped bent sheets of AZ31 for NIR focused heating



(b) V-shaped bent sheet of Ti-GR2 for NIR focused heating

Fig. 7 V-shaped bent sheets for NIR focused heating

온도에 따른 스프링백 결과는 Fig. 6에 정리하였다. 실험결과 근적외선 집광가열로 소성변형이 발생하는 부위만 가열 하였을 때도 온도 증가에 따라 스프링백을 감소 시킬 수 있는 것을 확인 하였다. Fig. 7에서 펀치반경이 2mm 일때 각 소재의 성형 후 스프링백 발생 후 시편의 모습을 시각적으로 확인 할 수 있다.

#### 4. 결론

타원형 반사판과 근적외선 램프를 이용하여 매우 좁은 영역을 집중적으로 가열 할 수 있는 타원형 가열장치를 제작하였다. 이 가열장치를 이용하여 AZ31, Ti-GR2 두 소재를 집광가열 후 V-bending 실험을 수행하였다. 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 타원형 가열장치를 이용하여 AZ31, Ti-GR2 소재를 가열한 결과 가열부위만을 집중적으로 가열 할 수 있었다. 이렇게 국부적으로 온도가 높은 형태로 가열이 가능 할 경우 굽힘 성형같이 소성변형이 매우 좁은 영역에 일어나는 성형공정에 적용 할 수

있다.

(2) AZ31 소재를 반경이 2mm인 펀치를 이용하여 상온에서 성형 할 경우 파단이 일어나지만 근적외선 집광가열로 온도를 상승시킬 경우 성형성을 향상 시킬 수 있다. 성형 온도가 573K 일 경우 펀치반경이 2mm로 성형할 때 스프링백이 거의 발생하지 않았다.

(3) 근적외선 집광가열로 소성변형이 일어나는 영역만 가열하여 V-bending 실험을 수행한 결과 AZ31, Ti-GR2 소재 모두 온도가 상승함에 따라 스프링백을 줄일 수 있었다. 성형 온도가 873K 일 경우 펀치반경이 2mm로 성형할 때 스프링백이 거의 발생하지 않았다.

#### 후 기

본 연구는 (주)포스코 석좌기금 지원으로 수행하였으며, 이에 감사 드립니다.

#### REFERENCES

- [1] F. Song, H. Yang, H. Li, M. Zhan, G. Li, 2013, Springback Prediction of Thick-walled High-strength Titanium Tube Bending, *Chi. J. Aeronaut.*, Vol. 26, No. 5, pp. 1336~1345.
- [2] Q. F. Chang, D. Y. Li, Y. H. Peng, X. Q. Zeng, 2007, Experimental and Numerical Study of Warm Deep Drawing of AZ31 Magnesium Alloy Sheet, *Int. J. Mach. Tool. Manuf.*, Vol. 47, No. 3, pp. 436~443.
- [3] W. J. Song, S. C. Heo, T. W. Ku, B. S. Kang, J. Kim, 2011, Evaluation of Strain, Strain Rate and Temperature Dependent Flow Stress Model for Magnesium Alloy Sheets, *Trans. Mater. Process*, Vol. 20, No. 3, pp. 229~235.
- [4] J. G. Park, N. K. Park, Y. S. Kim, 2010, Evaluation of Pess Formability for Ti-6Al-4V Sheet at Elevated Temperature, *Trans. Mater. Process*, Vol. 19, No. 4, pp. 230~235.
- [5] F. Ozturka, R. E. Ece, N. Polat, A. Koksall, 2010, Effect of Warm Temperature on Springback Compensation of Titanium Sheet, *Mater. Manuf. Process*, Vol. 25, No. 9, pp. 1021~1024.
- [6] E. H. Lee, J. S. Hwang, C. W. Lee, D. Y. Yang, W. H.

- Yang, 2014, A Local Heating Method by Near-infrared Rays for Forming of Non-quenchable Advanced high-Strength Steels, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 214, No. 4, pp. 784~793.
- [7] I. Ulacia, C. P. Salisbury, I. Hurtadoa, M. J. Worswickb, 2011, Tensile Characterization and Constitutive Modeling of AZ31B Magnesium Alloy Sheet over Wide Range of Strain Rates and Temperatures, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 211, No. 5, pp. 830~839.
- [8] T. Hama, Y. Kariyazaki, K. Ochi, H. Fujimoto, H. Takuda, 2010, Springback Characteristics of Magnesium Alloy Sheet AZ31B in Draw-Bending, *Mater. Trans.*, Vol. 51, No. 4, pp. 685~693.
- [9] Z. Guo, N. Saunders, J. P. Schillé, A. P. Miodownik, 2008, Proc. Int. Mater. Research. Conf., Chinese Mater. Research Soc., Chongqing, China.