

# AZ31B 마그네슘 합금의 인장특성 및 이방성의 실험적 연구

김세호<sup>1</sup>, 이형욱<sup>#2</sup>, 이근안<sup>2</sup>, 김경태<sup>2</sup>, 최석우<sup>2</sup>

## An Experimental Study on Anisotropic Tensile Properties of AZ31 Mg Alloy

S. H. Kim, H. W. Lee, G. A. Lee, G. T. Kim, S. W. Choi

### Abstract

In this paper, anisotropic tensile properties of the AZ31B Mg-alloy sheet are obtained with the tensile test at elevated temperatures. Change of microscopic structures and the hardness is inspected after the solution heat treatment process in order to confirm the micro-structural stability of the used sheet metal. Results obtained from tensile tests show that it is very difficult to apply the conventional modeling scheme with the assumption of strain hardening to the forming analysis of the magnesium alloy sheet which shows the strain-softening behavior at the elevated temperature.

**Key Words** : AZ31B Mg alloy, Solution heat treatment, Tensile test, Anisotropic parameters, strain-softening

### 1. 서론

마그네슘 합금은 초경량이며 진동흡수성이 우수할 뿐만 아니라 재활용이 용이하고 플라스틱에 비하여 전자파 차폐성이 우수하기 때문에 자동차, 전자, 정보통신기기 부품으로 널리 활용되고 있다. 세계적으로 환경, 에너지 관련 법규가 엄격해지고 휴대용 전자부품에 대한 경량화가 추구되는 상황에서 향후 초경량 마그네슘 부품의 수요는 더욱 증가할 것으로 예상된다. 상당수 마그네슘 부품의 경우 판재제조 후 프레스성형 공정을 적용하는 편이 기술적, 경제적으로 유리하나 이에 대한 연구가 매우 부족한 실정이다.

마그네슘 판재 성형을 위한 금형을 개발하기 위해서는 마그네슘 재료 자체의 기계적 특성 및 성형성 등의 변형특성 파악이 필수적이다. 최근 마그네슘 합금의 온간성형 시 기계적 물성치를 구하기 위한 연구[1-2]가 활발히 수행되고 있으며, 실제 양산분야의 금형설계 및 제품품질 예측을 할 수 있는 수준으로 연구가 발전하고 있다. 그러

나, 온도와 변형률 속도의 의존함수인 재료물성의 전산역학적 모사에는 한계가 있어, 성형해석 시의 하중예측, 변형률 분포, 파단 및 주름의 예측은 여전히 어려운 난제로 남아있다.

본 논문에서는 AZ31B 마그네슘 합금 판재의 기계적 물성 및 성형성 파악을 위하여 인장시험을 수행하였다. 먼저 기공 및 조직 결함 등 문제가 없는 조직을 얻기 위한 방법으로 용체화 처리 및 풀림 과정을 통하여 조직의 변화 및 정도 변화를 파악하였다. 다양한 온도에서의 기계적 물성을 얻기 위하여 인장시험을 실시하고, 상온 및 온간상태에서의 응력-변형률 선도, 기초 소성 물성치 및 평면이방성 계수를 얻어내었다.

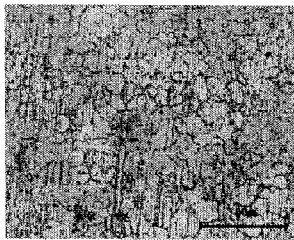
### 2. 용체화 처리

AZ계열 마그네슘 합금의 경우 공정화합물의 용융이나 기공의 형성을 억제하기 위하여 260°C 이상의 온도에서 원하는 용체화 온도까지 시료를 서서히 가열하여 풀림처리를 하는 것이 일반적이

1. 대구대학교 자동차 산업 기계공학부  
2. 한국생산기술연구원 디지털성형공정팀  
# 교신저자: hwlee@kitech.re.kr

다. 본 논문에서는 원소재의 기공 형성 등의 불량을 제어하고 압연공정에서 생긴 잔류응력을 제거하기 위하여 400°C로 시편을 가열하고 공랭하여 조직 및 비커스 경도(Hv)의 변화를 파악하였다.

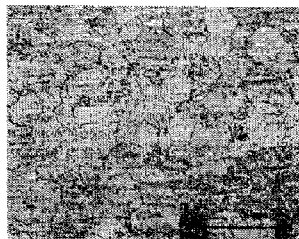
Fig. 1에 현미경 조직 사진을 도시하였으며, 사진에서 알 수 있듯이 용체화 처리를 한 경우 초기 조직보다 조직의 크기가 커지게 되나 10시간 이상 가열하게 되면 조직의 변화가 크지 않은 것을 확인할 수 있었다. Table 1에는 경도의 변화를 표로 나타내었으며, 용체화 처리 이후의 경도 감소는 10% 미만인 것으로 파악되었다. 시험 결과로 미루어 볼 때 시험에 사용한 시편은 열처리가 완료되어 제공된 것으로 생각되며, 인장 또는 성형 시험 시 추가적인 열처리가 필요하지 않다는 결론을 얻을 수 있었다.



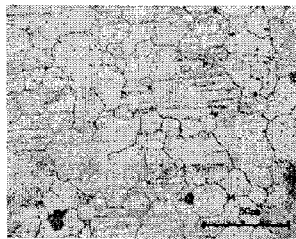
(a)



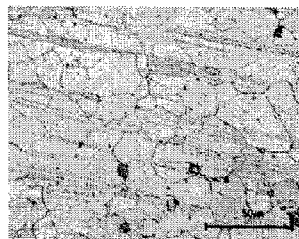
(b)



(c)



(d)



(e)

**Fig. 1 Microstructures of specimens according to the annealing time: (a) as received; (b) 10 hrs; (c) 15 hrs; (d) 20 hrs; (e) 25 hrs**

**Table 1 Measured hardness values after the annealing process**

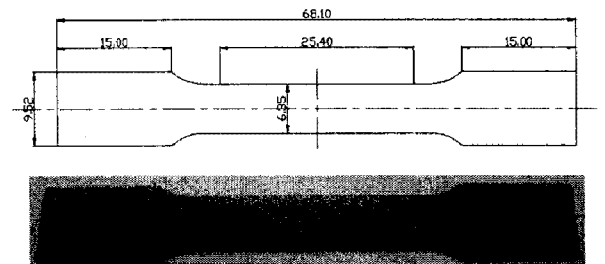
Temperature(°C)	Heating time (hrs)	Hardness (Hv)
As received	0	68.8
420	10	68.2
	15	63.1
	20	65.2
	25	67.8

### 3. 기계적 물성치 도출

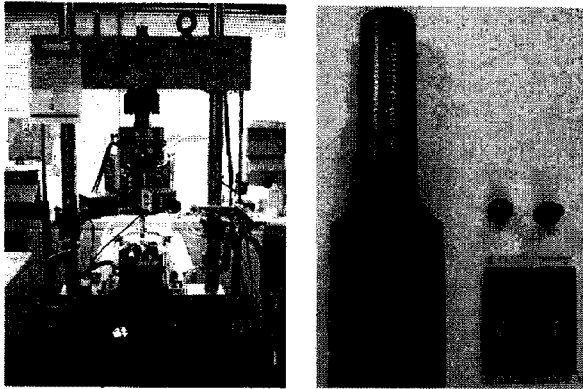
#### 3.1 인장시험 개요

AZ31B 마그네슘 합금 판재의 기본적인 기계적 물성치를 추출하기 위하여 다양한 온도 조건에서 인장시험을 수행하였다. 사용된 소재의 초기 두께는 0.8 mm 이며, 온도는 상온, 100°C, 200°C, 300°C, 400°C의 5가지로 하여 시험을 수행하였다. 준정적인 변형을 기본으로 하여 변형률 속도는  $5 \times 10^{-3}$ 을 부과하였다. 소재는 ASTM 8M-97 Subsize 시편형상으로 와이어 절단하여 제작하였으며, 소재 생산공정에서의 압연에 의한 이방성의 영향을 파악하기 위하여 압연방향에 대하여 각각 0°, 45°, 90°의 방향으로 절단하여 제작하였다. 인장시험에 사용된 시험기는 MTS 647이었으며, 시편의 가열을 위한 노(Furnace)를 장착하여 시험하였다. 정확한 연신률의 측정을 위하여 Extensometer를 부착하여 측정하였다. Fig. 2와 Fig. 3에 각각 시험기의 형상 및 고온인장 시험용 지그의 형상을 도시하였다.

이방성 계수는 시편을 연신률 10%까지 인장하고 폭과 표점거리의 변화를 측정하여 계산하였다. 통상 이방성 계수는 15% 정도의 인장 후 측정하나 마그네슘 합금의 경우 연신률 저하로 인한 네킹의 우려 때문에 10%의 연신률만을 부과하였다.



**Fig. 2 Schematic view of the specimen for the tensile test (ASTM 8M-97 sub size specimen)**



(a) (b)

Fig. 3 Schematic view of the testing apparatus: (a) tensile testing machine; (b) jig

시편 길이와 폭의 측정을 위하여 최대 분해능이 0.04mm인 Video Microscope와 최대 분해능이 0.021 mm인 일반용 스캐너의 두가지 방법을 이용하여 측정하였으며, 스캐너의 경우가 더 정확한 결과를 보이는 것으로 분석되었다.

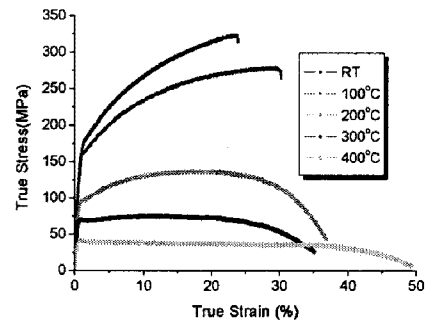
### 3.2 인장시험 결과

3.1절에서 설명한 조건을 바탕으로 시험을 수행하였으며, 압연방향에 대하여 3가지 방향에 대한 응력-변형률 선도를 Fig. 4에 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 온도가 증가함에 따라서 유동응력이 낮아지는 열적연화 현상을 확인할 수 있었다. 또한, 상온과 100°C의 경우 변형경화 현상이 일어나며, 최대 인장응력 발생과 동시에 시편의 파단이 발생하는 현상[3]을 확인할 수 있었다. 반면에 200°C 이상 온간가공의 경우에는 변형률이 일정 수준 이상 증가하게 되면 동적 재결정에 의한 조직의 미세화로 인하여 네킹 등의 불안정성이 발생하지 않으면서 유동응력이 낮아지는 연화현상이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 온간가공 상태에서의 응력-변형률 선도를 일반적인 지수 형태의 Swift 식으로 모사하는 것이 바람직하지 않음을 알 수 있다.

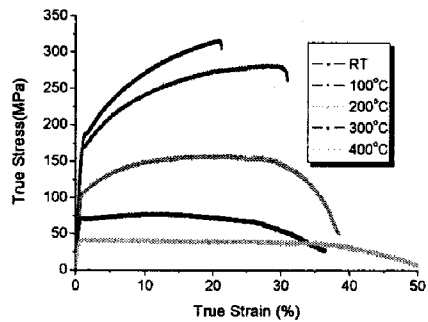
Fig. 5에 압연방향, 90° 방향, 45° 방향에서의 항복강도, 인장강도, 연신률의 변화를 보이고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 온도가 증가할수록 각 물성치 차이가 작아지고 있다. 특이한 점으로 온도가 증가하면 일반적으로 강도가 낮아지고 연신률이 증가하나 시험에서 얻은 결과에서는 300 °C의 경우가 가장 낮은 연신률을 보이고 있다. 이는 이방성 계수가 해당 온도에서 가장 낮은 값을 갖는

것과 연관이 있다고 판단되었다.

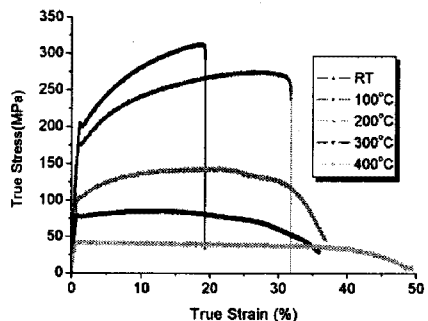
구하여진 이방성 계수는 Fig. 6에 도시하였다. 압연방향의 수직방향에서 가장 큰 이방성을 보였으며, 압연방향에서 가장 작은 이방성을 보였다. 수직 이방성 계수는 상온에서 2보다 큰 값을 보였으나 최소값을 갖는 300°C에서는 1보다 작은 값을 보였다. 이는 Agnew와 Duygulu[4]의 연구결과와 매우 유사한 결과를 보이는 것으로 실험결과와의 타당성을 확인할 수 있다.



(a)

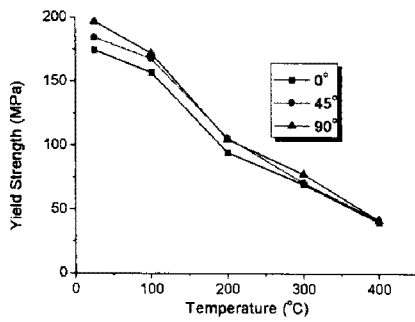


(b)

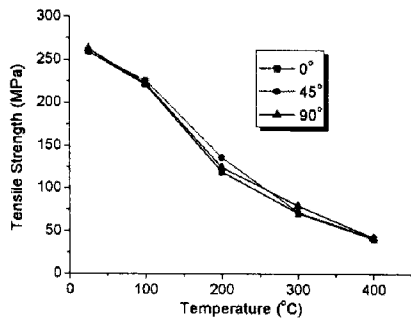


(c)

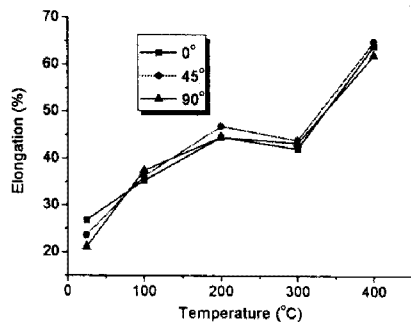
Fig. 4 Hardening Curves obtained from the tensile test of the AZ31B Mg-alloy sheet: (a) 0°; (b) 45°; (c) 90°



(a)

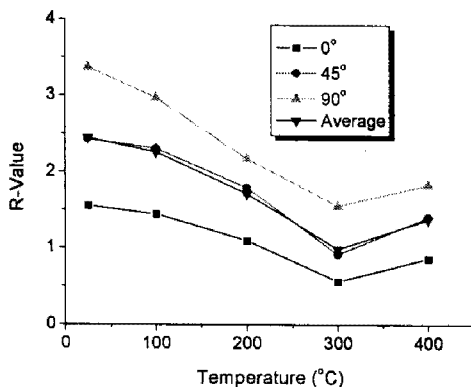


(b)



(c)

**Fig. 5 Tensile properties of the AZ31B Mg-alloy sheet:**  
(a) yield strength; (b) tensile strength; (c) elongation



**Fig. 6 R-values of the AZ31B Mg-alloy sheet**

## 4. 결론

본 논문에서는 AZ31B 마그네슘 합금의 온간성형을 위한 기초 물성치를 구하기 위한 시험 및 분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 원소재의 결함을 제거하기 위한 용체화 처리 및 풀림처리를 하였으며, 여러가지 조건에서 처리한 결과 열처리에 의하여 조직크기가 커지는 결과를 보였다. 경도시험을 수행한 결과 경도값은 10% 이내로 감소하여 용체화 처리에 의한 기계적 물성의 변화는 크지 않은 것으로 파악되었다.

(2) 다양한 온도조건에서 마그네슘 합금의 인장시험을 수행하여 기초적인 기계적 물성치 및 이방성 계수를 구하였다. 온도가 증가할수록 이방성이 감소하는 경향을 보였으나, 300°C 에서 연신률이 감소하고 이방성이 최소가 되는 특이한 현상을 발견할 수 있었다.

(3) 온간성형 조건에서는 동적재결정에 의한 연화현상이 발생하는 것을 확인하였고, 기존의 변형경화 이론으로는 마그네슘 합금의 온간성형을 전산해석하기 어렵다고 판단되었다.

## 후 기

본 연구는 2010 생산기반혁신기술개발사업의 일환으로 수행되었으며, 관계자분들께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] H. Takuda, T. Morishita, T. Kinoshita, N. Shirakawa, 2005, Modeling of formula for flow stress of a magnesium alloy AZ31 sheet at elevated temperatures, J. Mater. Process. Technol, Vol. 164-165, pp. 1258 ~ 1262.
- [2] J. Liu, Z. Cui, L. Ruan, A flow stress formulation of magnesium alloy at elevated temperature, proc. NUMISHEET2007, pp. 1319 ~ 1324, 2007.
- [3] S. Kamado, H. Ohara, Y. Kojima, Advanced Manufacturing Technologies of Magnesium Alloys, CMC Press, 2005.
- [4] S. R. Agnew, O. Duygulu, 2005, Plastic anisotropy and the role of non-basal slip in magnesium alloy AZ31B, Int. J. Plasticity, Vol. 21, pp. 1161 ~ 1193.