

# Mg 합금 판재 냉간 성형품의 탄성회복량 예측

이영선\* · 김민철\* · 권용남\* · 이정환\*

## Prediction of springback on cold forming of Mg-alloy

Y.S.Lee\*, M.C.Kim\*, Y.N.Kwon\*, J.H.Lee\*

### Abstract

Since Mg alloy has many attractive advantages among the practically used metals, many researchers have been studied to develop useful process and material. However, study for sheet forming has not been a few because of low formability on room temperature.

Formability and springback for AZ31 alloy sheet have been studied to develop the cold forming technology. The experimental and FE analysis were performed to analyzed the springback amounts by using a model of our own. A different three materials were used to investigate the effects of material characteristics. The springback amounts of Mg-alloy sheet formed part were larger than that of the other material.

**Key Words:** AZ31, Al1050, SPCC, Sheet Metal Forming, Room Temperature, Bending, FEM, LS-Dyna

### 1. 서론

상용 금속재료 가운데 최경량이며 전자파 차폐성이 우수하고 또한, 재활용이 가능한 환경 친화형 소재인 마그네슘(Mg)합금은 많은 장점에도 불구하고, 성형성이 좋지않기 때문에 주조제품에 한정되어 적용이 이루어져 왔다. 판재성형, 단조 등과 같은 소성가공 공정은 Mg 합금의 낮은 성형성 때문에 개발에 대한 시도조차 지연되어 왔다고 할 수 있다. 그러나, 핸드폰, 노트북 등과 같은 휴대용 전자기기 시장의 급격한 발전에 힘입어 Mg 합금 제품들이 눈에 띄게 증가하고 있으며, 형상과 기능면에서 주조 공정 보다는 소성가공 공정을 이용하는 것이 유리한 제품 군이 형성되었다. 이러한 제품들을 제조하기 위한 연구들이 많이 진행되고 있는데 상온에서의 낮은 성형성 때문에

대부분이 온간 또는 열간 성형 영역에서 연구가 이루어지고 있다.<sup>(1-5)</sup> 또한, 생산성, 제조원가 등의 경제성을 위해 상온에서의 성형에 대한 연구가 진행되고 있다.<sup>(6-9)</sup>

본 연구에서는 Mg 합금 판재를 냉간에서 성형하기 위한 기술 개발을 위해 성형과 관련된 연구와 함께 냉간 성형시에 큰 값을 나타내는 탄성회복량을 실험과 FEM 해석을 통해 정량적으로 분석하였다.

냉간 판재 성형시에는 탄성회복(Springback)에 의해 금형과 제품간의 치수 차이가 발생되며, 개발기간의 연장과 불량 발생의 주 원인에 해당된다. 더구나 탄성 회복량은 유동응력과 탄성계수에 의해 좌우되므로 Mg 합금과 같이 탄성계수가 상대적으로 작은 소재의 경우는 다른 소재에 비해 탄성회복에 의한 치수 변화가 더욱 더 큰 영향을

\* 한국기계연구원 소성응용그룹

미치게 된다. 따라서, 신소재, 신제품 개발 및 적용을 위해 탄성회복량에 대한 정량적 연구가 필요하다.

탄성 회복량 분석을 위해 사용한 모델은 휴대용 전자기기에 사용되는 대표적인 형상을 이용하였으며, 실험을 통해 시제품을 제조하고 3 차원 측정기를 이용해 치수를 정밀 측정한 후 유한요소해석을 통해 예측한 결과와 비교하였다. 유한요소해석은 상용 프로그램인 LS-Dyna 를 이용하였다. 사용된 소재는 Mg 합금으로 AZ31 을, 판재 소재 종류에 따른 탄성회복량의 차이를 비교하기 위해서는 철계 소재인 SPCC 와 Al 합금인 Al1050 판재를 이용하였다.

## 2. 냉간 판재 성형 실험 유한요소해석

### 2.1 연구 대상 모델

냉간 성형품의 탄성 회복량을 예측하기 위해 사용된 모델은 Fig.1 과 같은 형상으로 AZ31 소재로 제조된 시제품을 보여주고 있다. 연구 대상으로 설계한 모델은 휴대용 전자기기의 대표적인 형상으로 U 굽힘 형상이면서 한쪽은 폐쇄되어 있어 단순 굽힘 뿐만 아니라 드로잉 성형 모드도 존재하도록 함으로써, Mg 합금의 냉간 성형성을 분석하는데 이용하고자 하였다.

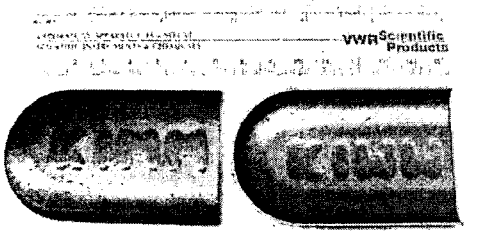


Fig. 1 Model prototype formed with AZ31 sheet

### 2.2 AZ31 판재 특성(소둔 공정의 영향)

실험에 사용된 AZ31 판재의 소둔 전후의 조직 분석을 수행한 결과 Fig.2 와 같이 소둔 공정에 의해 결정립이 미소하게 성장함을 알 수 있다. 소둔 전 조직은 약 7 $\mu\text{m}$  크기의 상대적으로 큰 결정립 경계에 1 $\mu\text{m}$  수준의 미세한 결정립들이 많이 존재하는 반면, 소둔 처리 후 조직은 미세한 결정립의 존재가 감소하고 약 10 $\mu\text{m}$  수준의 결정립들의 분

포가 주를 형성하며 보다 균일해지고 있다. 결정립 성장은 역시 온도가 높을수록 유지시간이 길수록 증가하고 있어, 400 $^{\circ}\text{C}$  에서 60 분 유지한 경우는 30 $\mu\text{m}$  크기의 결정립도 관찰되고 있다.

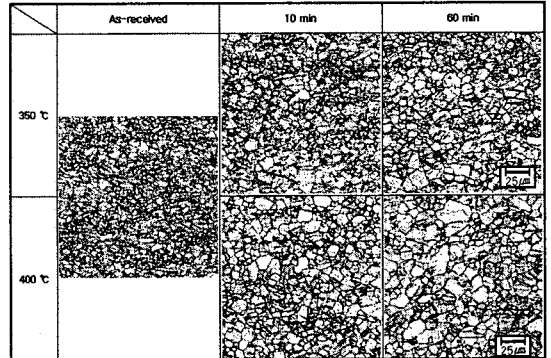


Fig. 2 Microstructure changes according to the annealing temperature and holding time

인장 특성은 Fig.3 과 같이 소둔 공정(350 $^{\circ}\text{C}$  에서 60 분) 에 의해 항복응력은 50MPa 정도 낮아지며, 가공경화 지수는 0.25 에서 0.30 으로 증가되고 있다. 결국 소둔 공정에 의해 결정립은 미소하게 성장하였지만 소성 변형에는 유리하도록 변화되고 있음을 알 수 있다.

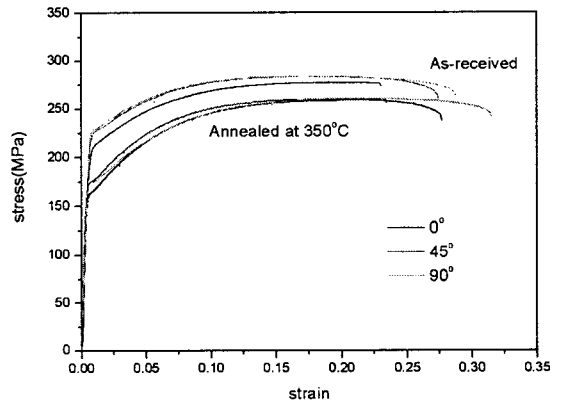


Fig. 3 Change of flow curve by the annealing process

2.3 유한요소해석에 의한 탄성회복량 예측  
탄성 회복량의 예측을 위한 유한요소해석은 상용 프로그램인 LS-Dyna 를 이용하였으며, 성형공정은 내연적방법(Implicit Method)을 탄성회복 공정

은 내연적방법(Implicit Method)을 이용하였다. 해석에 사용된 모델은 Fig.4 와 같으며 성형품의 변형율과 응력 분포는 Fig.5 에 나타내었다.

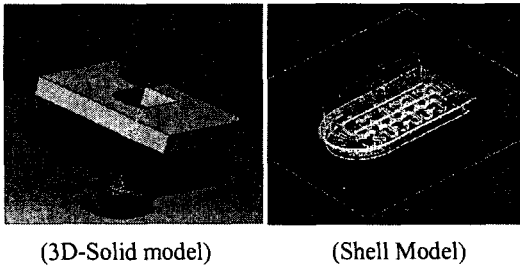


Fig. 4 FE-Model for springback prediction

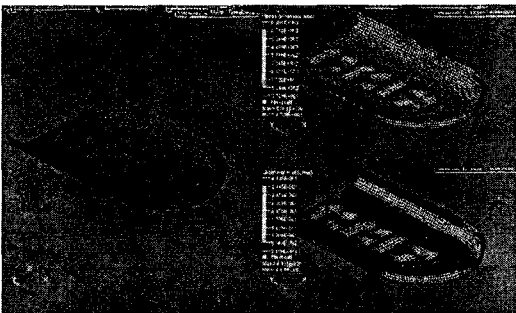


Fig. 5 Strain and stress distribution of sheet formed part(von-Mises)

#### 2.4 탄성 회복량 분석

탄성회복량의 정량적 분석을 위해 성형품 치수를 Fig.6 과 같이 3 차원 측정기를 이용하여 측정하였다. 유한요소해석 결과와의 치수 비교 결과는 Fig.7 에 나타내었는데, 해석에 의해 예측된 치수는 최대 0.5mm 까지 실험값과 미소한 차이를 나타내고 있다. 금형 치수를 기준으로 분석해 보면 실험 결과와 해석 결과가 정 반대의 값을 나타내고 있는데, 이는 탄성 회복 해석시 고정점(Fixed Points)의 위치 선정에 따라 변화되는 영향 때문으로 판단되므로 추가적인 분석이 필요하다.



Fig. 6 Dimension check of formed part by CMM

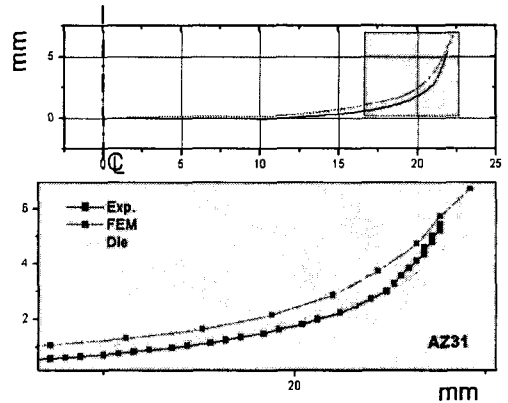


Fig. 7 Dimensional comparison of formed part between experimental and FEA

### 3. 판재 소재 종류에 따른 영향

#### 3.1 소재별 시제품 성형

소재 종류에 따른 영향을 분석하기 위해 사용한 3 가지 합금의 시제품은 Fig.8 과 같으며 밀도 차이로 인해 제품 증량에 많은 차이를 나타내고 있다. Mg 합금은 철계 소재에 비해 25%의 증량에 불과해 역시 휴대용 전자기기 적용에 탁월함을 보여주고 있다.

	SPCC	Al alloy(Al1050)	Mg alloy(AZ31)
Front			
Back			
Weight (g)	23	8	6

Fig. 8 Prototypes for various materials

탄성 회복량은 Fig.9 와 같이 소재에 따라 많은 차이를 나타내고 있으며, 역시 Mg 합금이 가장 크고, SPCC 가 가장 작게 나타났다.

#### 3.2 물성치 및 탄성 회복량 비교

소재 종류에 따른 탄성 회복량의 영향 분석을 위해 사용한 3 가지 소재의 인장곡선은 Fig.10 에서 비교하였다. SPCC 의 소재는 냉간 압연된 상태를 사용한 반면에, Mg 과 Al 합금은 성형성 향상을 위해 350°C 에서 1 시간동안 소둔 처리된 상태의 판재를 사용하였다.

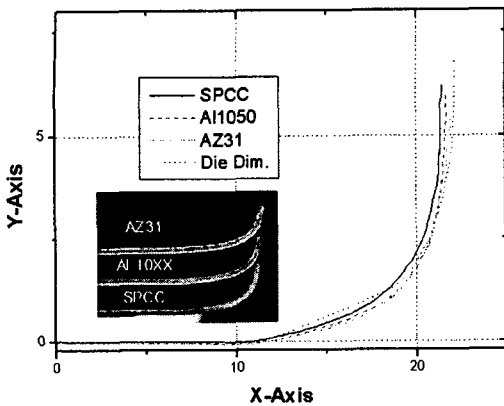


Fig. 9 Comparison of springback for AZ31, Al1050, and SPCC sheet

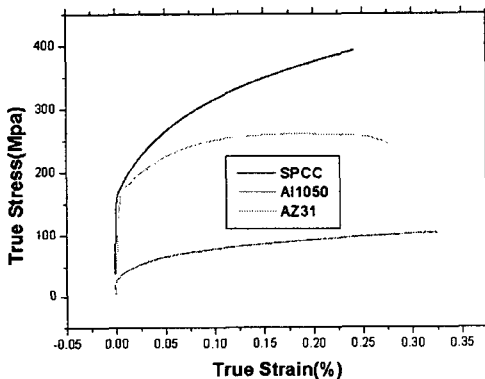


Fig. 10 Flow curves of AZ31, Al1050, and SPCC sheet

분석된 인장 특성을 사용하여 유한요소해석을 수행한 결과를 실험값과 비교하면 그림 11 과 같다. 역시 Mg 합금에 비해 Al 합금이, Al 합금에 비해 철계소재의 탄성회복량이 실험값과 해석값이 보다 잘 일치하고 있는데, Al 합금과 철계 소재의 탄성회복량이 상대적으로 작기 때문으로 판단된다.

#### 4. 결론 및 향후 연구 계획

Mg 합금 판재의 냉간 성형시 발생하는 탄성회복량의 정량적인 분석을 통해 궁극적으로는 그 치수를 정량적으로 제어하고자 수행된 본 연구는 낮은 탄성계수 값 때문에 Mg 합금은 역시 기존 소재들과는 달리 최대 3 배 이상 큰 탄성회복을 나타내었으며, 향후 Mg 합금의 산업적 적용을 위해서는 더욱 많은 연구가 필요함을 알 수 있었다.

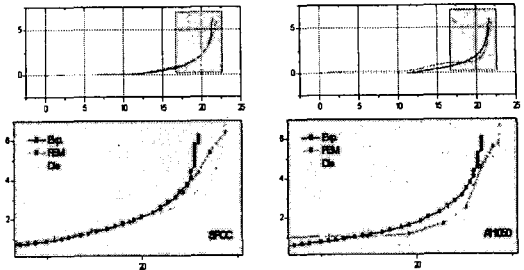


Fig. 11 Comparison between experimental and FEM results of springback amounts for Al1xxx and SPCC sheet

#### 후 기

본 연구는 과학기술부 기본연구사업(탄성회복 제어를 통한 환경 친화형 성형 공정 기술 개발)으로 진행된 결과로서 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) E.Doege, K.Droeder, 2001, J. of Materials Processing Technology, 115, pp14-19
- (2) W.J.Kim, S.W.Chung, C.S.Chung, D.Kum, 2001, Acta Mater. 49, pp3337-3345
- (3) N. Ogawa, M.Shiomi, K.Osakada, 2002, int. J. of Machine Tools and Manufacture, 42, pp607-614
- (4) Shyong Lee, Yung-Hung Chen, 2002, Jian-Yih Wang, J. of Materials Processing Technology, 124, pp19-24
- (5) Hariharasudhan Palaniswamy, Gracious Ngaile, Taylan Altan, 2004, J. of Materials Processing Technology,, 146, pp52-60
- (6) Toshiji Mukai, Masashi Yamanoi, Hiroyuki Watanabe, Kenji Higashi, 2001, Scripta Materialia, 45, pp89-94
- (7) Fuh-Kuo Chen, Tyng-Bin Huang, 2003, J. of Materials Processing Technology,, 142, pp643
- (8) Shoichiro Yoshihara, Hisashi Nishimura, Hirokuni Yamamoto, Ken-ichi Manabe, 2003, J. of Materials Processing Technology, 142, pp609-613
- (9) Hans-Wilfried Wagener, Frank Lehnert, Magnesium alloys and their applications DGM, pp615-620
- (10) 김영탁 외, 2000, "수직벽을 가진 자동차 부품 성형 공정의 스프링백 유한요소해석", 한국소성가공학회지, 제 9 권, 제 6 호, pp574-581