

Mg AZ31B 판재의 기계적 특성과 성형성 분석

이규현¹ · 윤태욱² · 강창룡[#]

A Study on the Mechanical Properties and Formability of Mg AZ31B Sheet

G. H. Lee, T. W. Yoon, C. Y. Kang

(Received August 29, 2014 / Revised November 17, 2014 / Accepted November 18, 2014)

Abstract

Magnesium alloys are currently expected to be widely used for weight reduction of cars and as high efficient materials in the automotive and electronics industries. Although the specific strength of magnesium is excellent, it cannot be easily formed at room temperature due to its HCP structure. However in order to improve the formability of magnesium, it is necessary to investigate its formability in the warm temperature range. In the current study, the aim was to add to the magnesium property database so that the mass production of a magnesium car body can be accomplished. Warm tensile tests were conducted and the forming limit diagram was determined to confirm formability characteristics of magnesium AZ31B alloy sheet. In addition the bending formability and the magnesium damping capacity were evaluated for AZ31B and compared to SPRC440E which is a sheet steel used for car bodies.

Key Words : AZ31B Magnesium Alloy, Mg Mechanical Properties, Mg Sheet, Mg Forming, Mg Car Body, Warm Forming

1. 서 론

최근 심각한 기후 변화, 화석연료의 고갈로 인해서 글로벌 자동차 산업 동향은 친환경, 고연비, 초경량화, 고안전 기술을 경쟁적으로 개발하고 있고, 경량화 기술 분야에서는 종래의 스틸계 중심의 소재에서 Al, Mg, CFRP (Carbon fiber reinforced plastics) 등의 비철 소재의 적용 비율이 지속적으로 증가되고 있다.

비철소재 중에서 Mg은 밀도가 1.74g/cm^3 으로 Al의 2/3, 스틸재의 1/5 정도의 밀도로써 상용 금속 중 가장 경량 합금이고, 비강도가 우수하다. 그리고 우수한 전자파 차폐성, 방열성, 절삭가공성 등의 기계적 특성이 우수하여 가전, 항공, 자동차 분야를 중심으로 적용이 확대되고 있는 소재이다[1,2]. 그러나 Mg은 조밀용방구

조 (HCP)로 강한 저면 집합조직을 형성하여 상온에서 소성변형성이 극히 낮고, 높은 이방성을 가짐으로 일반적인 프레스공법으로 성형 시 쉽게 파열되므로 현재 주로 다이캐스팅, 틱소몰딩법 등의 제약적인 성형공법이 적용되고 있다[7]. 단 Mg은 200°C 이상의 고온에서는 비저면 슬립계의 활성화로 성형성이 향상되고 이방성이 낮아지는 특성이 있다[2, 3]. 이러한 특성을 이용한 Warm Forming 공법이 현재 차체 성형에 가장 적합한 기술로 알려져 있다[4].

본 연구에서는 일반적으로 성형용으로 널리 적용되고 있는 Mg AZ31B 판재의 상온 및 고온인장시험, FLD 성형한계 시험을 토대로 Mg 판재의 기초물성을 평가하였고, 벤딩 성형시험 및 시제품에서 취출한 시편을 이용한 진동감쇠능 및 인장강도 평가를 실시하여 스틸

1. 부경대학교, 금속공학과

2. ㈜성우하이텍, 기술연구소

Corresponding Author : Dept. of Metallurgical Engineering, Pukyong National University, E-mail: metkey@pknu.ac.kr

차체와 성능차이를 분석하였으며, 궁극적으로 Mg 차체의 양산 적용을 위한 기초 Data Base 구축을 목표로 연구를 실시하였다[7].

2. 상온 및 고온 인장시험

2.1 소재선정 및 시험방법

일반적으로 차체 소재로 널리 사용되고 있는 스틸 SPRC440E 0.8t를 기준으로 동등 굽힘강성을 고려하여 Mg AZ31B 1.4t(Posco 시험개발 소재)를 시험 대상으로 선정하였으며, 화학조성은 Table 1, Table 2와 같다. 판재의 기초 물성평가를 위해서 상온과, 고온 인장 시험을 실시했다. 스틸 SPRC440E는 상온, Mg AZ31B는 상온과 250℃ 조건에서 인장시험을 실시했는데, 이는 Mg의 경우 일반적인 온간 성형조건을 고려하였다[4].

인장시험편 규격은 Fig. 1과 같고 시험조건은 Roll 압연방향 기준으로 0°, 시험 속도 0.02mm/s 이며, Table 3에 나타내었다. 인장시험 설비는 INSTRON 5585H과 미세조직 관찰을 위해서 광학현미경을 활용하였다[5].

Table 1 Chemical composition of SPRC440E 0.8t (wt%)

Fe	C	Mn	Si	P	S
98.4	0.08	1.42	0.01	0.02	0.002

Table 2 Chemical composition of AZ31B 1.4t (wt%)

Mg	Al	Zn	Mn	Fe	Si
95.7	3.2	0.7	0.3	0.03	0.02

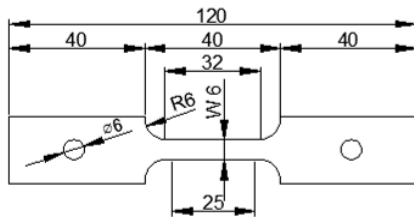


Fig. 1 The geometry of the test specimen

Table 3 Test conditions of Tensile test

Division	Case 1	Case 2	Case 3
Material	SPRC440E 0.8t	AZ31B 1.4t	AZ31B 1.4t
Temperature	RT	RT	250℃
Strain rate	0.02mm/s	0.02mm/s	0.02mm/s

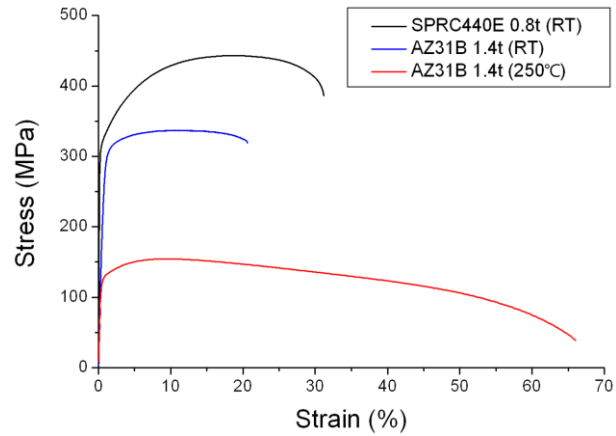
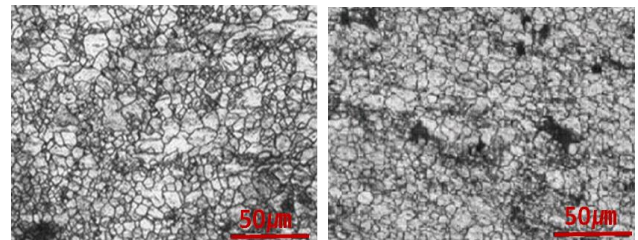


Fig. 2 Strain Stress curve of SPRC440E and AZ31B



(a) AZ31B (Base metal) (b) AZ31B (250℃)

Fig. 3 Microstructure of AZ31B at Base metal and after tensile test 250℃

2.2 시험 결과

시험 결과 스틸 SPRC440E는 Tensile strength(TS) 448MPa, Yield strength(YS) 316MPa, Elongation(EL) 31.9%로 차체부품에서 요구되는 440MPa급 소재의 Spec 범위를 만족하였다. Mg AZ31B 판재는 상온에서 TS 341MPa, YS 269MPa, EL 20%로 성형성이 다소 낮았고, 250℃ 조건에서 TS 154MPa, YS 127MPa, EL 66%로 성형성이 급격히 상승하였다.

Mg AZ31B 250℃ 조건의 시험 전, 후의 미세조직 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 측정 위치는 인장시험 후 파단부로부터 10mm 거리의 단면을 기준으로 관찰하였다. 시험 전은 대체로 미세조직과 조대한 조직이 혼재되었으나 대체로 등축정 조직으로 평균 Grain size가 약 6.2μm 수준이었고, 250℃ 인장시험 후는 모재에 비해서 다소 균일한 등축정으로 변화하였으며 평균 Grain size는 약 7.1μm으로 다소 성장하였으며 이는 동적재결정의 영향으로 사료되다[4]. 250℃ 조건에서 조직의 급격한 변화는 관찰되지는 않았다.

Table 4 Test conditions of FLD at Mg AZ31B

Material	AZ31B 1.4t
Temperature	250 °C
Velocity	80mm/sec
Specimen size	25,50,75,100,123,126,135,200mm

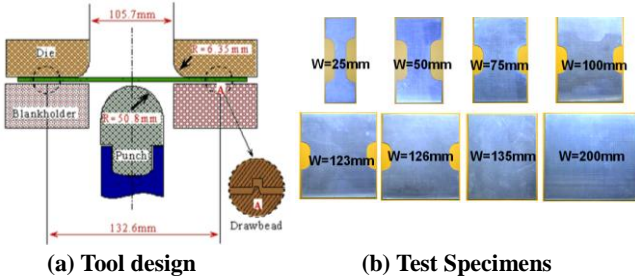


Fig. 4 Tooling Geometry for Dom stretching test

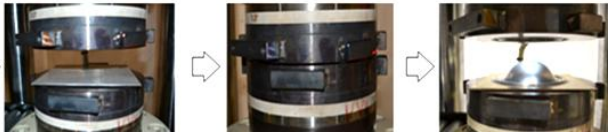


Fig. 5 FLD Test process

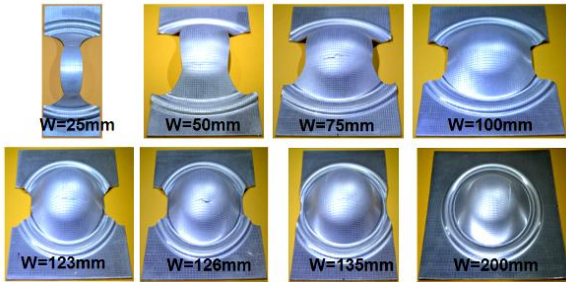


Fig. 6 Specimens after the Dom stretching test

3. FLD 시험

3.1 시험 방법

Mg AZ31B 판재의 성형해석 기준도출을 위해서 FLC (Forming Limit Curve) 도출을 위한 FLD (Forming Limit Diagram) 시험을 실시하였다. 시험설비는 US TM-150T를 사용하였고, 시편 제작 후 사각그리드를 2.0×2.0mm 규격으로 레이저 마킹하여 에칭한 후 압연방향으로 시험하였다.

시험 결과를 Fig. 7에 나타내었으며, FLD 시험을 통해서 Mg AZ31B 판재의 250 °C 온간성형 조건에서 Safety, Necking, Crack zone을 경계로 성형한계 곡선

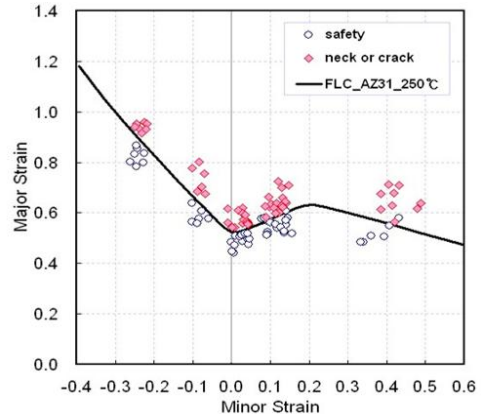
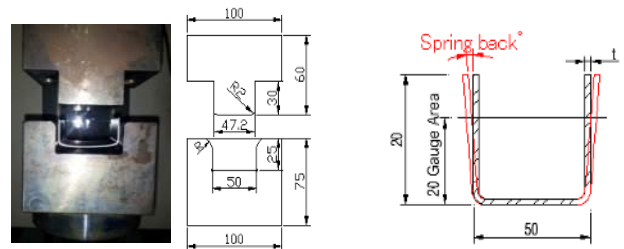


Fig. 7 FLC of Mg AZ31B (250 °C)

Table 5 Test Conditions of V-bending & U-Bending

Division	Case 1	Case 2
Materials	SPRC440E 1.4t	AZ31B 1.4t
Blank Size	90×30mm	90×30mm
Die Radius	2, 4R	2, 4R
Clearance	0% (1.4mm)	0% (1.4mm)
Temperature	RT	250 °C
Velocity	0.1, 0.5mm/sec	0.1, 0.5mm/sec
BHF	10, 50kn	10, 50kn
Direction	0°	0, 45, 90°



(a) U-Bending Die (b) Measurement
Fig. 8 U-Bending Die and Measurement Methods

FLC를 도출하였다. 본 시험으로 고온인장시험 결과와 함께 Mg AZ31B 판재의 성형해석용 기초물성 DATA를 확보하였다.

4. 온간 벤딩성형 시험

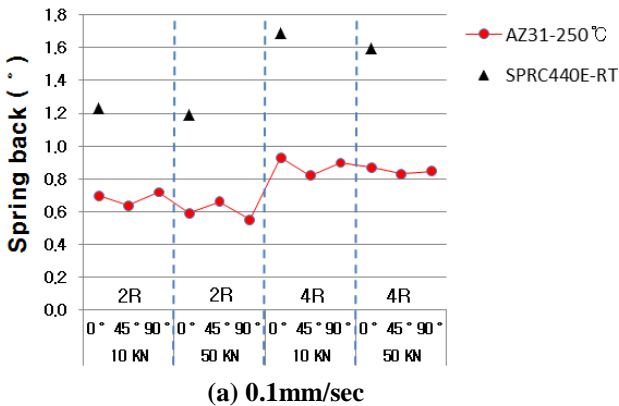
국내 Mg 성형해석 기술 수준으로 완벽하게 구현하기 힘든 스프링백 거동 분석을 위해서 시험실 규모의 온간 U-Bending 시험을 실시하였다. 시험 소재는 스틸 SPRC440E 1.4t와 Mg AZ31B 1.4t로 동등 두

계를 선정하였는데 이는 클리어런스 조건을 동등하게 하기 위함이다. 시험조건은 Table 5에 나타냈고, 금형과 측정 기준은 Fig. 8에 나타내었다.

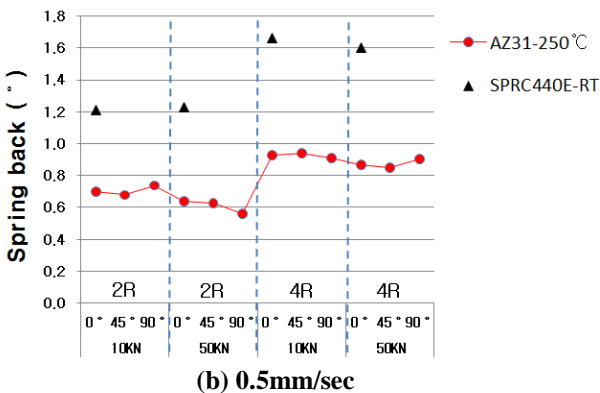
4.1 시험 결과

U-Bending 시험결과 스틸 SPRC440E과 Mg AZ31B의 Spring back 거동을 Fig. 9와 같이 분석하였다. 기본적으로 두 소재 모두 성형곡률이 증가함에 따라 Spring back이 상승했고 가장 영향도가 높은 변수였다. 하중이 증가함에 따라서는 다소 Spring back이 감소하였고 성형속도는 큰 영향을 미치지 않았다. 수치적으로 보면 AZ31B 판재의 경우 성형곡률 2배 증대에 따라서 47% 증가하였고, 성형하중 40KN 증가에 따라서 7% 감소했다.

AZ31B가 SPRC440E에 비해서 평균적으로 Spring back이 0.5~0.6° 수준 낮았는데 이는 온간성형 순간의 Mg 소성변형 기구(Slip, Twin)의 활성화 효과 및 항복강도가 낮아진 원인으로 사료되며 본 시험을 통해서 Mg AZ31B 판재의 Spring back 거동을 파악하였다[6, 7].



(a) 0.1mm/sec



(b) 0.5mm/sec

Fig. 9 Results of U-Bending test

5. 진동감쇠능 시험 및 성형 후 인장시험

5.1 시험 방법

본 시험을 위해서 스틸 차체부품 Reinforcement Center Floor(SPRC440E 0.8t)와 시제품으로 개발한 Mg 차체부품 Reinforcement Center Floor (AZ31B 1.4t)를 시험대상으로 선정하였고, 각 소재의 Blank재와 제품부에서 Fig. 10과 같이 압연방향 기준으로 0° 시편을 취출하였으며, 진동감쇠능과 제품 성형 후 인장강도를 비교하여, Mg 차체의 성능을 평가하였다. 진동감쇠능 시편은 Fig. 11과 같고, 인장시편은 Fig. 1과 규격이 동등하다. 진동감쇠능은 자동차 실내 소음유입 차단 성능이며, 인장강도는 충돌성능을 가늠하기 위해서 평가했고, 상세한 시제품 제작 조건은 개발 업체 보안규정으로 생략했다.



(a) Reinforcement Center floor, SPRC440E 0.8t (0°)



(b) Reinforcement Center floor, AZ31B 1.4t (0°)

Fig.10 Extraction method of test specimens

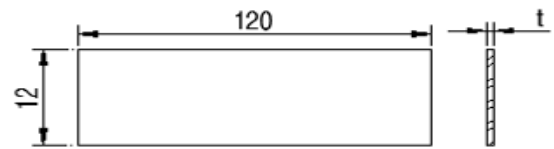


Fig.11 Specimen Size of vibration damping test

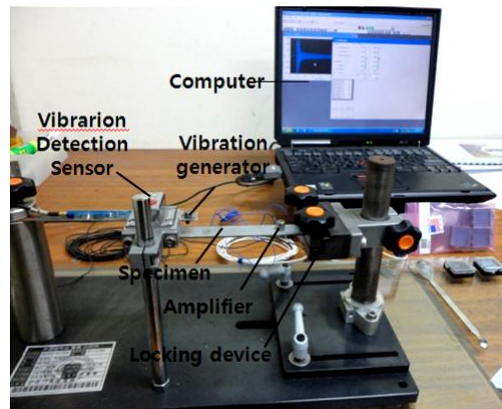


Fig.12 Equipment of vibration-damping test

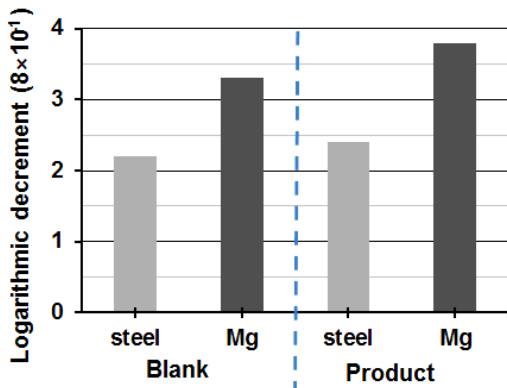


Fig.13 Logarithmic decrement of test specimens

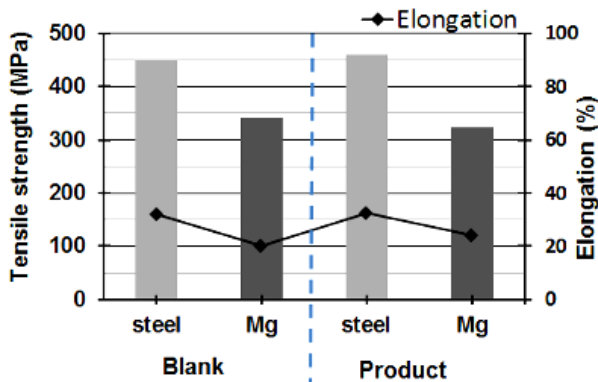


Fig.14 Changes in Tensile strength & Elongations

진동감쇠능의 분석은 Fig. 12의 간이 진동감쇠능 시험기에 시편을 장착한 후 진동을 가한 다음 시간 경과에 따른 진동의 진폭변화를 진동센서로 감지하고 Potentiometer로 전기적 저항으로 변환한 후 증폭기 및 A/D converter를 거쳐 변환된 디지털 신호로 컴퓨터로 보낸 후 분석하였다. 이렇게 산출된 시간대 진폭 곡선을 컴퓨터 계산 프로그램에 입력하여 일반적으로 진동감쇠능의 지표로 이용되는 대수감쇠율 (Logarithmic decrement)을 산출하였다.

5.2 시험 결과

Mg AZ31B가 스틸 SPRC440E에 비해서 진동감쇠능이 평균 약 54% 높은 결과가 나왔다. AZ31B 소재의 경우 강성율이 SPRC440E에 비해서 크게 낮아서 상대적으로 낮은 응력에서 전위의 이동이 일어날수 있고 전위의 이동 증가에 따른 진동에너지가 상대적으로 쉽게 소멸했기 때문에 사료된다. 즉 전위 기구에 의한 감쇠가 지배적으로 발생했다. SPRC440E의 경우 진동감쇠가 기지(페라이트)와 2상(필라이트)

간의 계면에서 소성유동에 기인되는 기구에 의해 지배적으로 일어난다고 알려져 있고 AZ31B에 비해서 전위기구에 의한 감쇠가 상대적으로 쉽게 일어나지 않기 때문에 사료된다. 그리고 AZ31B Blank가 제품에서 취출한 시편보다 13% 낮게 나타났다. 이는 제품의 성형 특성상 시편 추출부의 인장응력 발생과 Mg의 고온 특성으로 Grain Boundary 성장효과로 인해서 진동에너지가 쉽게 손실된 것으로 사료된다.

SPRC440E은 Blank와 단품에서 취출한 시편의 인장강도와 연신율의 차이는 거의 없었고, AZ31B는 단품에서 취출한 시편이 인장강도가 5% 감소하였고 연신율은 5% 상승하였다. 이는 AZ31B의 온간성형 과정에서 발생한 어닐링 효과로 사료된다. 그리고 가공경화가 크게 발생하지 않은 이유는 가공경화는 일반적으로 격한 성형구간에서 주로 발생되며, 시편의 추출 위치가 단조로운 성형 구간으로 연관성이 다소 낮았기 때문이다. 본 시험 결과와 관련하여 향후 Mg 판재의 온간성형 후 물성변화에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

6. 결론

본 연구를 통해서 Mg AZ31B의 기초 물성을 파악하였으며, Mg 소재의 차체부품 적용을 위한 기초적인 Data Base를 확보하였다.

(1) Mg AZ31B의 고온인장시험 결과 250°C 조건에서 TS 154MPa, YS 127MPa, EL 66%로 성형성이 급격히 상승하였으며, 모재에 비해서 Grain Boundary가 다소 성장했다. 이는 동적재결정의 영향이다.

(2) Mg AZ31B의 온간 벤딩성형 시험을 통해서 Spring back 거동의 특성을 파악하였으며, 성형곡률의 변수가 가장 영향도가 높고, 성형곡률 2배 증대에 따라서 47% 증가하고, 성형하중 40KN 증가에 따라서 7% 감소한다.

(3) Mg AZ31B의 진동감쇠능 시험과 성형 후 인장 시험을 통해서 스틸 SPRC440E에 비해서 Mg AZ31B의 진동감쇠능이 약 54% 높았다. 이는 전위기구에 의한 감쇠가 지배적으로 발생한 것으로 사료된다. Mg AZ31B의 온간성형 후 취출한 시편의 인장강도는 다소 감소하고 연신율은 다소 상승하는데 이는 온간성형 과정의 어닐링 효과로 사료되며 향후 추가적인 검증 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 부경대학교 금속공학과, (주)성우하이텍, 자동차부품연구원이 공동 연구한 결과를 토대로 작성하였다.

REFERENCES

- [1] H. Y. Kim, S. C. Choi, H. S. Lee, H. J. Kim, K. T. Lee, 2007, Experiments for Forming Limit Diagram and Springback Characteristics of AZ31B Magnesium Alloy Sheet at Elevated Temperature, Trans. Mater. Process., Vol. 16, No. 5, pp 364~365.
- [2] M. H. Lee, K. K. Kim, H. Y. Kim, S. I. Oh, 2008, Evaluation of the Formability of Warm Forming Simulation of Magnesium Alloy Sheet Using FLD, Trans. Master. Process., Vol. 17, No. 7, pp. 501~506.
- [3] W. R. Lee, H. K. Kim, J. D. Kim, B. K. Han, 2005, Proc. Kor. Soc. Mech. Eng, 60th anniversary of founding Conf.(editor: Kor. Soc. Mech. Eng), Kor. Soc. Mech. Eng, Seoul, Korea, pp. 1441~1442.
- [4] R. H. Kim, M. Y. Lee, G. H. Lee, D. O. Kim, 2011, Proc. Kor. Soc. Automot. Eng. Annual Conf., Kor. Soc. Automot. Eng. Seoul, Korea, pp. 2333~2337.
- [5] W. R. Lee, H. K. Kim, J. D. Kim, B. K. Han , 2005, Proc. Kor. Soc. Mech. Eng., Spring Conf., Kor. Soc. Mech. Eng, Seoul, Korea, pp. 1441~1446.
- [6] M. G. Lee, H. J. Kim, 2011, Experimental and Analytical Study for Evaluating Forming Characteristics of AZ31B Magnesium Alloy Sheet, Trans. Master. Process., Vol. 20, No. 2, pp. 146~153.
- [7] C. G. Kang, K. T. Kwon, S. B. Kang, Experimental Study on the Formability of Simultaneous Deep Drawing of Circular and Rectangular Cups with AZ31 Magnesium Alloy, Trans. Master. Process., Vol. 17, No. 8, pp. 586~593.
- [8] J. G. Choi, S. C. Choi, M. G. Lee, H. Y. Kim, Measurement of Springback of AZ31B Mg Alloy Sheet in OSU Draw/bend Test, Trans. Master. Process., Vol. 16, No. 6, pp. 447~451.