

## 자동차 부품용 마그네슘 합금 관재 압출공정조건 분석<sup>§</sup>

박철우\* · 김호윤\*<sup>†</sup>

\* 한국과학기술정보연구원

### Analysis of Tube Extrusion Process Conditions Using Mg Alloy for Automotive Parts

Chul Woo Park\* and Ho Yoon Kim\*<sup>†</sup>

\* Korea Institute of Science and Technology Information

(Received May 22, 2012 ; Revised August 10, 2012 ; Accepted August 14, 2012)

**Key Words:** AZ31, Extrusion(압출), Ram Speed(램 속도), Billet Temperature(빌렛 온도), Weight Reduction(경량화)

**초록:** 경량화는 대기오염과 자원고갈의 측면에서 매우 중요하게 인식되고 있어, 많은 자동차용 부품이 Al 및 Mg 합금으로 대체되었으며, 관련 연구가 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 Mg 합금은 Al 합금에 비해 높은 재료비와 난성형성으로 인한 낮은 생산성 때문에 제한적으로 적용되고 있다. 본 연구에서는 FEA를 이용하여 자동차 범퍼 백 빔용 관재에 대한 공정조건을 분석하였으며, 생산성을 향상시킬 수 있는 방법을 확립하였다. 물성치 확보를 위해 물성시험을 수행하였으며, 소성변형 중 발생하는 열 관련 물성을 정의하기 위하여 단순형상에 대한 실험과 해석을 수행하였다. 이후 온도조건 및 램 속도를 고려하여 제품에 대한 해석을 수행하였다. 이를 통하여 압출공정조건을 확립하였으며, 표면결함이 없는 제품을 성형하는데 성공하였다.

**Abstract:** Weight reduction is increasingly being considered very important in light of air pollution and the exhaustion of resources. As a result, many automotive components are being replaced by Al and Mg alloys, and studies are increasingly focusing on the same. However, the use of Mg alloys is limited because they have higher material cost and lower productivity owing to the difficult forming conditions compared with Al alloys. In this study, the tube extrusion process conditions of an automotive bumper back beam were analyzed using FEA. Material tests were performed to determine the properties, and experiments and analyses for a simple shape were performed to define the data for heat generation during plastic deformation. Then, the analyses of the product were carried out by considering various temperatures and ram speeds. The conditions were then established, and a product without surface defects was extruded successfully.

### 1. 서론

기존 화석연료의 고갈과 대기오염으로 인한 국제적 환경규제의 강화로 인해 자동차와 같은 운송장치의 경량화에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 부품의 경량화를 위해서는 비중이 낮고 비강도가 높은 소재를 선택하여, 구조적 안정

성 및 수명을 확보할 수 있는 형상을 설계하는 것이 필요하다. 일반적으로 철계 또는 비철계 소재를 적용한 부품의 경우 생산성 향상 및 제조원가 절감을 위하여 압연, 압출 등의 소성가공 공정을 적용하나, 성형조건이 매우 까다로운 마그네슘 합금은 아직도 다이캐스팅을 포함한 주조제품의 사용이 압도적으로 많다.<sup>(1)</sup>

마그네슘 합금이 소성가공 공정에 적용하기 어려운 이유는 타 소재에 비해 표면균열 및 표면산화 등 표면결함이 발생하기 쉬워 한계압출속도선도에서 압출 가능한 영역이 매우 좁기 때문이다.<sup>(2)</sup> T. Murai 등은 압출가공기술의 3요소로 빌렛 제조

<sup>§</sup> 이 논문은 2012년도 대한기계학회 CAE 및 응용역학부문 춘계 학술대회(2012. 5. 10-12., 제주 휘닉스아일랜드) 발표논문임

<sup>†</sup> Corresponding Author, [sieg9321@naver.com](mailto:sieg9321@naver.com)

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

기술, 금형 설계기술, 압출조건 제어기술을 제시하였고, 국내외적으로 해당기술들에 대한 연구가 진행되고 있다. 예를 들면 성분, 미세조직, 전후처리를 이용한 압출성능 향상에 관한 연구<sup>(1,3)</sup>나, 금형 구조설계에 관한 연구<sup>(4)</sup>가 있다. 마그네슘 합금을 이용한 압출공정에 관한 국내의 연구는 대부분 압출조건 제어기술에 관한 내용이며, 일부 합금성분에 따른 성형성 판단 및 전후처리 공정에 대한 연구<sup>(1,5)</sup>가 있다.

그러나 이러한 연구는 대부분 로드(rod)와 같은 단순한 단면형상에 대한 연구로 한계압출속도를 결정하는데 주안점을 두고 있어, 실제 현장에서 적용할 수 있는 복잡한 형상에 대한 연구는 찾아보기 어렵다. 본 연구에서는 자동차의 충돌 시 가해지는 충격을 흡수하는 부품인 자동차용 범퍼 백빔(bumper back beam)을 대상으로, 유한요소해석 기법을 이용하여 표면결합이 발생하지 않는 공정조건을 정립하였으며, 이후 생산성을 극대화할 수 있는 방안을 제시하는 것을 목적으로 수행하였다. 이를 위하여 적용 소재에 대한 물성시험을 수행하였으며, 소성가공에 의해 발생하는 열을 해석적으로 고려하기 위하여 단면형상이 단순한 직사각단면의 바(bar)에 대한 실험 및 해석을 수행하였다. 최종적으로 범퍼 백빔에 대한 3D 해석 및 빌렛 예열온도와 램 속도에 대한 변수화 해석을 수행하여 생산성을 고려한 성형공정조건을 제안하였으며, 이를 바탕으로 표면산화나 뜯김 등의 표면결합이 없는 시제품 압출에 성공하였다. 그리고 개발결과를 바탕으로 제조원가 등을 검토하여 양산화 가능성을 검토하였다.

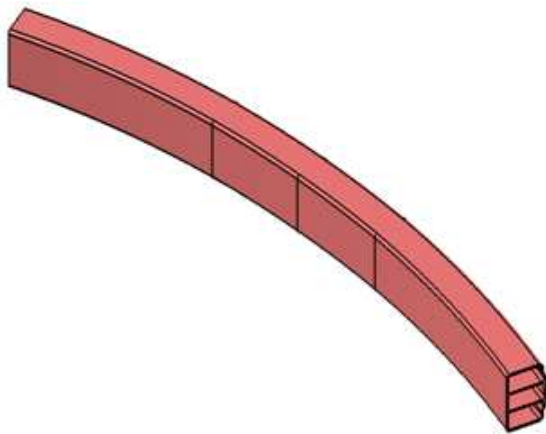


Fig. 1 Design of automotive bumper back beam

## 2. 물성시험 및 해석조건 확립

### 2.1 대상제품

본 연구에서 고려한 제품은 자동차용 범퍼 백빔으로, 자동차의 프론트 및 백 범퍼 내부에 설치되어 충돌 시 발생하는 힘을 흡수하는 부품이다. 본 연구에서 적용한 범퍼 백빔의 설계안은 Fig. 1과 같다. 원형 빌렛을 압출한 후 스트레치 벤딩(stretch bending) 공정을 적용하여 제품을 완성한다.

### 2.2 물성시험 및 데이터

부품의 소재는 구조용으로 많이 사용되고 있는 AZ31을 선정하였으며, 분광분석기를 이용하여 측정된 성분분석결과는 Table 1과 같다.

또한 유한요소해석에 사용하기 위하여 고온압축 시험기를 이용하여 물성치를 측정하였으며, 변형률(0.1, 1.0, 10.0)과 온도(100, 200, 300, 400[°C]) 조건에 따라 응력-변형률 선도를 작성하였다. 물성시험에서는 일반적으로 공칭응력-공칭변형률선도가 구해지며, 이를 진응력-진변형률선도로 전환하여 입력하였다. 입력된 물성치는 Fig. 2와 같다.

### 2.3 해석도구

자동차용 범퍼 백빔의 성형해석에 사용된 해석 도구는 소성가공 공정의 유한요소해석에 일반적으로 널리 사용<sup>(6)</sup>되고 있는 DEFORM 3D(ver. 10.2)이다.

Table 1 Specification and estimated data of AZ31 applied to an automotive bumper back beam(wt%)

	Al	Cu	Mn	Ni	Si	Zn	Mg
Spec.	2.5~3.5	Max. 0.03	0.2~1.0	-	Max. 0.05	0.7~1.3	Rem.
Data	2.79	0.0025	0.321	0.0027	0.032	0.827	Rem.

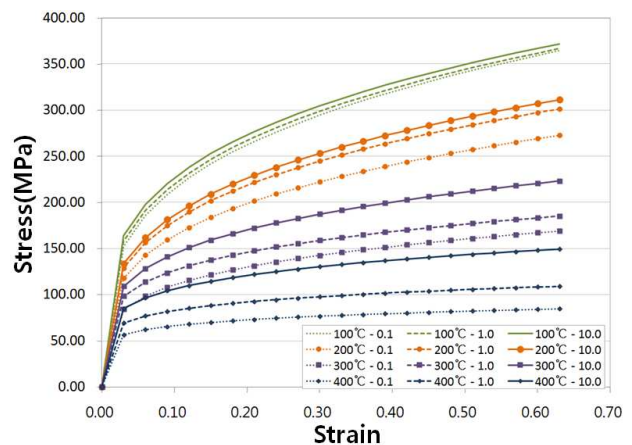


Fig. 2 Data sheet of properties applied to FE analysis using DEFORM 3D

2.4 해석조건

마그네슘 합금은 높은 소재온도에 의해 발생하는 표면결합제어가 매우 중요하다. 따라서 압출공정 중 발생하는 소성열에 대한 고려가 필요하며, 이 값을 결정하기 위해 기초해석을 수행하였다.

소성변형열계수 외에 마찰전단계수와 같은 해석용 데이터는 문헌<sup>(7)</sup>을 참고하였으며, 적용된 데이터는 Table 2와 같다.

2.5 공정조건

마그네슘 합금의 압출과 관련된 일반적인 연구에서는 표면결합 예방을 위하여 압출 시 공정조건을 엄격하게 제한하고 있다. 마그네슘 합금의 임계성형온도는 약 350~450[°C] 정도로 알려져 있으며, 빌렛 예열온도는 150~300[°C]를 유지<sup>(2,7)</sup>한다.

최초 개발 시 이러한 조건을 적용하여 제품성형을 시도하였으나, 보유하고 있는 장비(최대용량: 1,800[tonf])에서 압출이 불가능하였다. 본 연구는 이러한 한계를 극복하기 위해 수행되었다.

2.6 소성변형열(Deformation Heat)계수

동일한 장비에서 성형 가능한 공정조건을 확보하기 위해서는 빌렛의 표면온도를 예측하여 표면결합을 예방해야 한다. 이를 위해서 실험과 해석을 비교하여 소성변형열계수를 결정하였다.

실험에 사용된 장비는 800[ton]급 압출기이고, 사용된 금형과 압출된 바를 Fig. 3에 나타내었다. 제품단면은 직사각형이고, 실험조건은 램 속도 1.2[mm/sec], 컨테이너/빌렛/금형의 온도는 각각 370/360/380[°C]이다. 장비 특성을 고려, 금형 출구에서 약 800[mm] 지점에서 빌렛의 표면온도를 측정하였으며, 측정된 온도는 약 395[°C]로 나타났다.

Table 2 Various coefficients used in FE analysis

Shear Friction Coefficient		0.60
Heat Transfer Coefficient (N/sec·mm·°C)	Billet - Die	11.00
	Billet - Env.	0.02

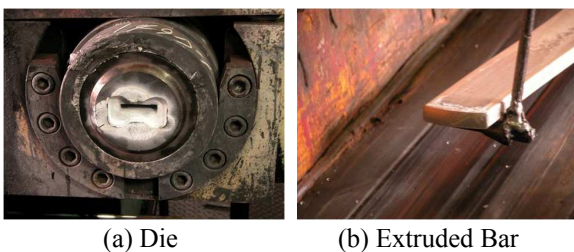


Fig. 3 The experimental equipment and the extruded bar to define the thermal coefficient considering heat generated during plastic deformation

실험과 비교하기 위해 수행한 유한요소모델 및 해석결과를 Fig. 4에 나타내었다. 이때 해석시간 단축을 위해 1/4 대칭모델을 적용하였다. Fig. 4(a)의 해석모델에서 소성변형열계수를 2.1부터 감소시켜가며 해석을 수행하였으며, 해석을 통해 계산된 금형 출구로부터 약 800[mm] 지점의 표면온도를 Table 3에 나타내었다.

Table 3으로부터 AZ31을 유사한 조건에서 압출할 경우, 소성변형률계수를 0.9로 적용하는 것이 타당함을 알 수 있다. 이후 범퍼 백 빔에 대한 해석에서도 소성변형열계수에 0.9를 적용하였다.

3. 유한요소해석

3.1 자동차용 범퍼 백 빔 성형용 금형

본 연구에 적용된 제품은 자동차용 범퍼 백 빔으로, 제품 및 금형단면은 Fig. 5와 같다. 본 제품은 Fig. 5(a)에서 보이는 바와 같이 내부공간이 분할된 중공형이므로 단일 금형으로 압출하기는 어렵다. 따라서 압출금형 역시 소재를 분리하는 분할금형과 압력을 이용하여 분리된 소재를 다시 붙이는 접착금형이 필요하다. 유한요소해석에 사용된 두 금형 모델을 Fig. 6에 나타내었다.

Table 3 The predicted temperatures by FE analysis on the surface of extruded bars(Unit : °C)

Deformation Heat Co.	2.1	1.9	1.6	1.4	1.2	0.9
Surface Temperature	413	409	407	403	400	395

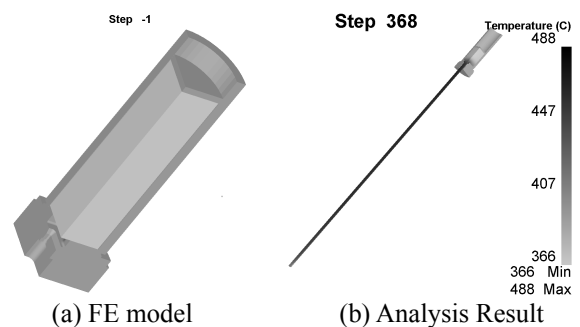


Fig. 4 The FE model and analysis result used in the set-up simulation

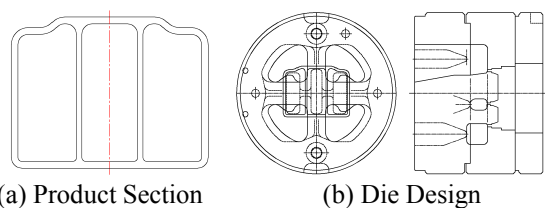


Fig. 5 The design of product and dies to manufacture an automotive bumper back beam

3.2 공정분할

실제 압출공정은 1회 성형으로 제품이 완성되나, 본 제품과 같이 빌렛이 분할되었다가 접착되는 공정을 해석적으로 구현하는 것은 매우 어렵다. 실제로 1회 성형을 해석적으로 시도해 보았으나, 빌렛이 접착금형 내부를 채우는데 수렴도 어렵고, 해석시간도 1주일 이상 소요되었다. 따라서 본 연구에서는 성형공정을 2회로 나누었으며, 제1공정에서는 빌렛이 분할되어 금형내부를 충전시키는 과정을 표현하였고, 제2공정에서는 충전된 소재가 금형출구를 통해 제품이 나오는 것을 표현하였다. 이렇게 분할된 공정을 Fig. 7에 나타내었다.

3.3 해석결과 - 제1공정

제1공정에서는 분할금형을 빌렛이 통과하여 접착금형 내부를 충전하는 과정으로, 그 결과를 Fig. 8에 나타내었으며, 공정조건은 Table 4와 같다.

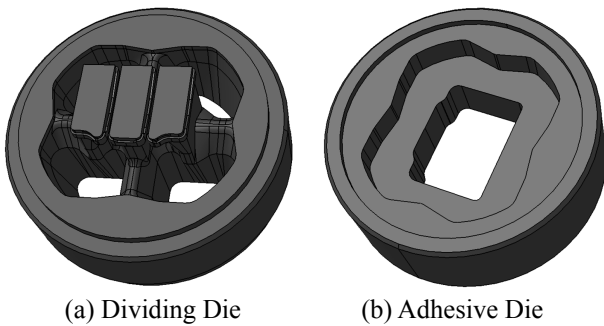


Fig. 6 The dies to extrude an automotive bumper back beam

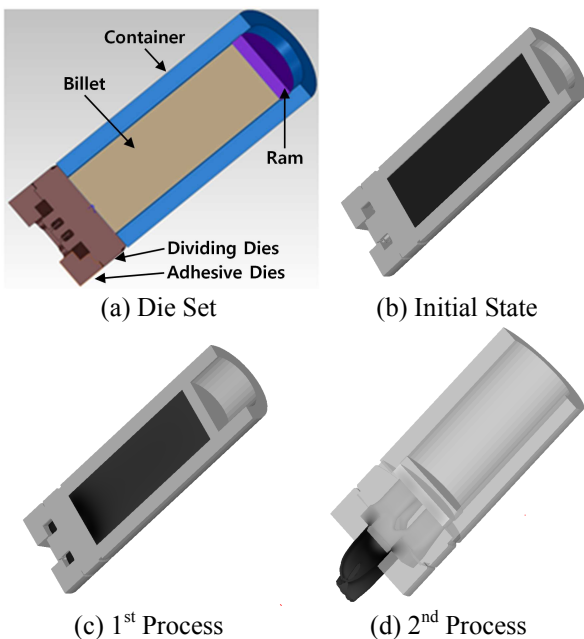


Fig. 7 Die set-up and process division for FE analysis

램이 움직이기 시작하면 빌렛이 분할금형을 통과하면서 분할되기 시작하고, 분할된 빌렛이 접착금형의 내부 공간을 채운다. 이때 최대온도는 약 414[°C]로, Fig. 8(d)에서 발생위치를 확인할 수 있다. 응력과 변형률에 대한 데이터를 검토해도 별다른 문제점이 나타나지 않았다.

Table 4 The process conditions used in FE analysis

Temperature(°C)			Ram Speed (mm/sec)
Dies	Container	Billet	
380	370	380	1.2

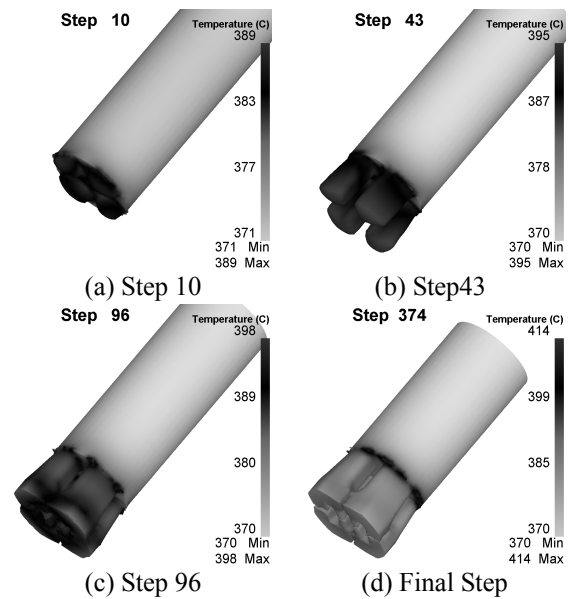


Fig. 8 Temperature distributions at the principal steps and final step on 1<sup>st</sup> process

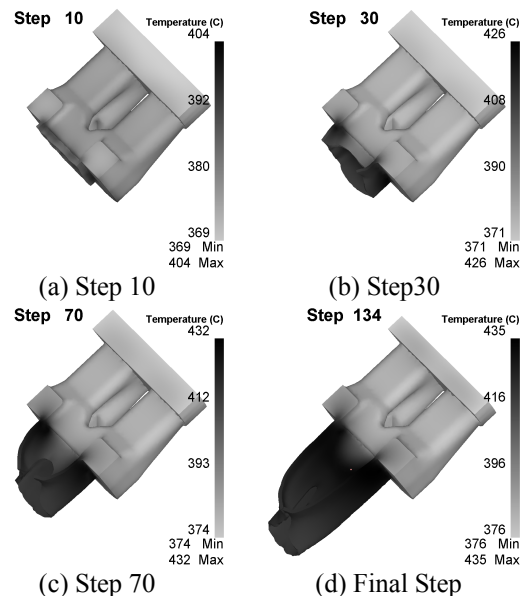


Fig. 9 Temperature distributions at the principal steps on 2<sup>nd</sup> process



3.4 해석결과 - 제2공정

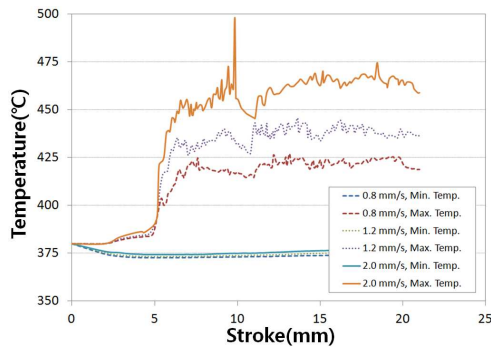
제2공정에서는 Fig. 8(c)와 같이 분할된 빌렛이 압력에 의해 접착되어 제품단면을 완성하는 공정으로, 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

접착금형 베어링 부의 속도차로 인하여 제품에 휨 현상이 발생하였으나, 곧 안정화되어 정상적인 단면이 압출되기 시작하였다. 제품의 최대온도는 약 436[°C]로 나타났으며, 압출하중은 약 1,500 [tonf]으로 나타나 보유하고 있는 장비로 압출이 가능할 것으로 판단되었다.

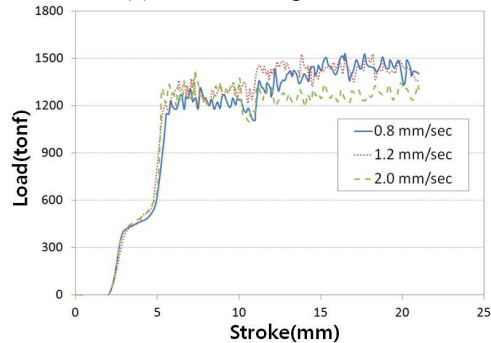
3.5 램 속도의 영향

압출제품의 생산성은 램 속도에 의해 결정되므로, 램 속도가 0.8, 1.2, 2.0[mm/sec]일 때 빌렛의 온도와 성형하중이 어떻게 변화하는지 알아보았다. 빌렛의 예열온도는 380[°C]이며, 다른 공정조건 및 해석조건은 이전해석과 동일하게 적용하였다.

램 속도 변화에 따른 빌렛의 온도변화와 성형하중변화를 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 램 속도가 증가하면 빌렛의 최대온도는 크게 증가하나, 빌렛의 최소온도는 압출초기 약간 감소하다가 변형이 진행되면 상승하지만 거의 380[°C]를 유지하였다.



(a) Surface Temperature



(b) Forming Load

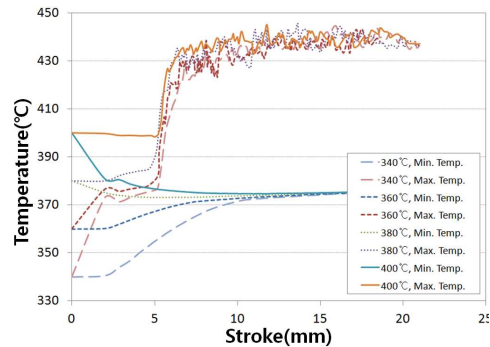
Fig. 10 Variation curves of surface temperature and forming load with ram speed change (Initial billet temp.: 380[°C])

반면, 램 속도가 변화하더라도 성형하중은 큰 변화가 없다. 램 속도가 0.8[mm/sec]과 1.2[mm/sec]에서는 성형하중이 비슷하고, 오히려 2.0[mm/sec]에서는 다소 낮아진 것을 확인할 수 있다. 이는 결정립 미세화로 인한 것으로 보이며, 성형속도 증가에 따라 결정립이 미세화되고, 이로 인해 결정립의 미끄러짐의 원활해지기 때문이라는 이전 연구<sup>(8)</sup>와 동일한 결과이다. 이것을 고려하면 약 450[°C] 부근에서 이러한 효과가 나타난다고 추정할 수 있다.

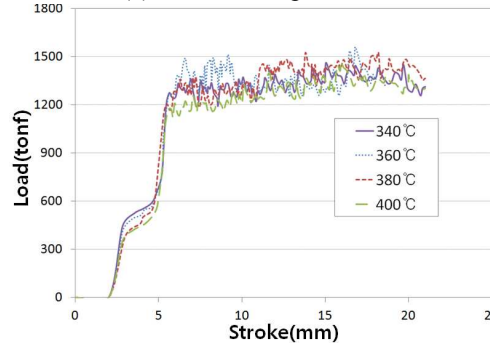
그리고, 램 속도 2.0[mm/sec]에서는 스피드 크랙이나 산화, 뜯김 등의 표면결함이 발생하였다. 이 결과와 Fig. 10(a)의 그래프를 비교하면 빌렛표면온도가 약 450[°C] 이상일 때는 표면결함이 발생할 것으로 유추할 수 있다.

3.6 빌렛온도의 영향

빌렛의 예열온도에 따라 성형 후 빌렛의 표면온도와 성형하중이 어떻게 변화하는지 알아보았다. 빌렛의 예열온도가 340/360/380/400[°C]일 때의 빌렛표면온도와 성형하중의 변화를 Fig. 11에 나타내었다. 램 속도는 1.2[mm/sec]이며, 다른 공정조건 및 해석조건은 이전해석과 동일하게 적용하였다.



(a) Surface Temperature



(b) Forming Load

Fig. 11 Variation curves of surface temperature and forming load with initial billet temperature change (Ram speed: 1.2[mm/sec])

빌렛의 예열온도 변화는 최대표면온도나 성형하중에 미치는 영향이 램 속도 변화에 비해 미미함을 Fig. 10과 비교하여 Fig. 11로부터 알 수 있다. 제2공정 중 빌렛의 최대표면온도는 약 440[°C], 최대성형하중은 약 1,500[tonf]로 계산되었으며, 이는 빌렛이 접촉금형의 베어링 부를 통과할 때 발생함을 확인하였다.

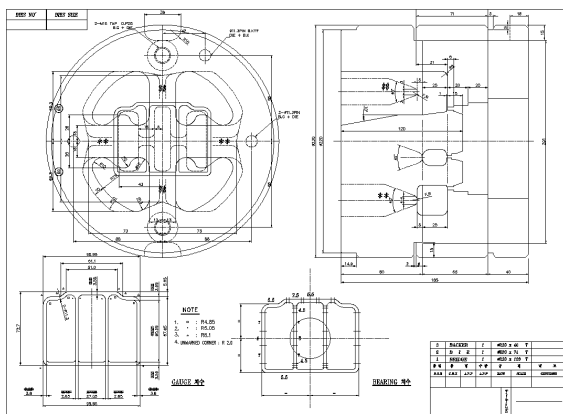
#### 4. 압출실험 및 고찰

##### 4.1 압출실험

이러한 해석결과들을 바탕으로 표면결함을 예방하면서 생산성을 최대화할 수 있는 공정조건을 결정하여 Table 5에 나타내었다. 금형과 컨테이너는 각각 380[°C]과 370[°C]를 유지하고, 빌렛온도와 램 속도는 각각 400[°C]와 1.2[mm/sec]이하를 유지해야 한다. 이러한 공정조건을 목표로 두 차례 압출을 시행하였으며, 직경 76.2[mm]의 빌렛을 적용하도록 Fig. 12와 같이 금형을 설계 및 제작하였다.

**Table 5** The target and estimated values of the principal process conditions

	Temperature(°C)			Ram Speed (mm/sec)
	Dies	Container	Billet	
Target	380	370	Below 400	Below 1.2
1 <sup>st</sup> Exp.	395	382	378	1.0~1.2
2 <sup>nd</sup> Exp.	374	378	368	1.0~1.2



(a) Design



(b) Dividing Die Side

(c) Adhesive Die Side

**Fig. 12** Design and manufacturing of die set to extrude an automotive bumper back beam

다만, 실제 현장에서는 금형 각 부분의 목표온도나 램 속도와 같은 공정변수를 정확하게 제어하기 어려우므로, 실험 시 마다 별도로 측정을 하였다. 목표조건과 실험 시 측정된 조건을 Table 5에 추가하여 나타내었다.

1차 압출의 경우 분할 및 접촉금형, 컨테이너가 과예열되어 목표온도를 넘었으며, 2차 압출에서는 목표온도에 근접하게 제어하였다. 램 속도는 가능한 1.2[mm/sec]를 넘지 않도록 제어하였으며, 빌렛의 예열온도는 400[°C] 이하인 상태로 적절히 유지하였다.

##### 4.2 압출실험결과

금형과 컨테이너의 예열온도 조절에 실패한 1차 실험에서는 산화, 뜯김 등의 결함이 발생하였으나, 2차 실험에서는 그러한 결함이 발생하지 않았다. 두 실험에 대한 결과를 Fig. 13에 나타내었다.

1차 압출에서는 압출초기부터 산화와 뜯김 등 표면불량이 발생하였으며, 금형출구로부터 약 500[mm]지점에서 측정된 온도는 440~450[°C]였다. 이러한 결함은 베어링 부의 온도가 450[°C]를 넘어 표면에 산화가 발생하고, 이 산화물이 금형에 소착되어 뜯김현상이 발생하는 것으로 추정된다.

2차 압출에서는 Fig. 9(d)의 해석결과와 동일하게 압출초기 휨 현상이 발생하였으나, 곧 결함이 없는 제품이 압출되었다. 2차 압출 시 측정된 빌렛의 온도는 410~430[°C]였다. 금형출구로부터 500[mm] 정도 압출될 때까지 냉각되는 것을 고려하면, 금형내부의 최대온도가 약 440[°C]로 계산된 유한요소해석과 유사한 결과라고 판단된다.



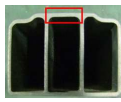
(a) 1<sup>st</sup> Extrusion





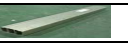
(b) 2<sup>nd</sup> Extrusion

**Fig. 13** Experimental results for extrusion process to manufacture an automotive bumper back beam

**Table 6** Comparison of mechanical properties and the location collected specimen for tensile test

	Tensile S. (MPa)	Yield S. (MPa)	Elongation (%)	
General	250	165	12.00	
Estimated	262	207	12.72	

**Table 7** Comparison of manufacturing costs for mass production of an automotive bumper back beam

Raw Mat.	Steel	Al Alloy	Mg Alloy
Product			
Applied Process	Roll Forming	Ext. + Stretch F.	Ext. + Stretch F.
Weight(kg)	7.4	5.2	3.9
W/Reduction (%)	-	29.7	47.3
Material Cost <sup>*,**</sup>	-	23,400 (4,500×5.2)	23,400 (6,000×3.9)
Machining Cost <sup>**</sup>		7,000	7,500
Unit Price <sup>**</sup>	15,000	30,400	30,900

\* Material Cost = Material Unit Cost × Weight

\*\* Unit of Each Cost: KRW

4.3 압출제품의 기계적 특성 평가

본 제품은 압출 공정 중 빌렛이 분할 및 접착공정을 거쳤기 때문에, 제품의 물성이 AZ31 소재에 요구되는 일반적인 기계적 성질을 만족하는지 평가해야 한다. 2차 압출을 통해 제작된 시제품으로부터 인장시험편(5호)을 채취하였으며, 그 결과를 마그네슘 합금 압출 파이프의 기계적 특성과 비교하였다. 일반 마그네슘 압출 파이프의 물성치를 충분히 만족함을 Table 6으로부터 알 수 있다.

4.4 경량화 효과 분석 및 양산가능성 검토

자동차용 범퍼 백 빔은 원래 철계 소재로 제작되었으나, 최근 알루미늄 합금을 적용한 제품으로 대체되었다. 제조원가는 약 2배 정도 알루미늄이 비싸지만, 약 30%의 경량화 효과가 있어 현재는 알루미늄 제품이 적용 중이다.

마그네슘 합금을 적용하여 제품의 제조원가를 계산하였으며, 그 결과를 타 소재를 적용한 경우와 비교하여 Table 7에 나타내었다. 소재의 단가는 마그네슘 합금이 더 비싸지만, 제품의 중량을 고려하면 제품당 재료비는 거의 동일한 것으로 계산되었다. 마그네슘 합금을 적용할 경우 재료비 및 가공비를 고려하면 제조원가는 거의 비슷하나, 약 18%의 추가적인 경량화 효과가 있을 것으로 예상된다.

5. 결론

경량화 소재인 마그네슘 합금(AZ31)을 적용하여 자동차용 범퍼 백 빔에 대한 압출공정을 상용 유

한요소해석 프로그램인 DEFORM 3D를 이용하여 해석하였다. 그 내용을 바탕으로 공정조건을 결정하여 2회의 실험을 수행하였으며, 도출된 결론은 다음과 같다.

- 압출장비의 용량한계 내에서 범퍼 백 빔을 성형할 수 있는 공정조건을 확립하였다.
- 해석 및 실험결과를 비교하여 소성변형열계수를 결정하였으며, AZ31 소재에서는 0.9가 적합하다.
- 수렴성 향상과 해석시간 단축을 위해 압출공정을 2단계로 분할하더라도 실험과 유사한 결과를 얻을 수 있었으며, 빌렛의 최대온도 및 최대하중은 제2공정의 베어링 부에서 발생하였다.
- 위의 내용으로부터 금형내부의 충전 등 특별한 이유가 없다면 금형을 충전시킨 후 정상상태해석을 이용하는 것이 수렴성 향상 및 해석시간단축에 유리하다.
- 표면결함이 발생하는 온도는 약 450[°C]로 판단되며, 해석을 통해 성형 중 빌렛의 성형온도가 그 이하가 되도록 공정 및 금형을 설계하여야 한다.
- 성형 중 빌렛의 온도는 램 속도와 금형의 예열 온도에 의해 결정되며, 빌렛 예열온도의 영향은 다소 낮다.
- 접합부의 기계적 성질을 판단하기 위해 해당 부위에서 인장시험편을 채취하여 인장시험을 수행하였으며, 그 결과 일반 마그네슘 합금 압출 파이프보다 우수한 물성을 보임을 확인하였다.
- 마그네슘 합금(AZ31)의 압출 시, 표면결함을 예방하기 위해서는 성형 중 빌렛의 표면온도를 제어해야 하며, 이를 위해 금형의 예열온도제어는 매우 중요하다. 따라서 생산현장에서 연속적으로 제품을 성형하기 위해서는 빌렛의 소성변형열에 의한 접합금형 내부의 온도상승을 억제할 수 있는 별도의 방안이 필요할 것으로 판단된다.
- 마그네슘 합금으로 자동차용 범퍼 백 빔을 제조할 경우, 기존 알루미늄 합금 제품과 비교하여 제품단가는 거의 비슷한 수준에서 약 18%의 추가적인 경량화 효과를 얻을 수 있다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 중소기업 M&S 환경지원사업의 연구비 지원과 한국과학기술정보연구원의 슈퍼컴퓨터(TACHYON II) 지원으로 이루어진

결과입니다.

### 참고문헌

- (1) Yoon, D.J., Lee, S.M., Lim, S.J. and Kim, E.Z., 2010, "Deformation Behavior of Commercial Mg-Al-Zn-Mn Type Alloys Under a Hydrostatic Extrusion Process at Elevated Temperatures," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 24, No. 1, pp. 131~135.
- (2) Murai, T., Matsuoka, S., Mukaiyama, H., Nakagawa, F. and Miyamoto, S., 2006, "Advanced Extrusion Technology of Magnesium Alloys," *Transactions of Materials Processing*, Vol. 15, No. 4, pp. 274~280.
- (3) Guohong, Q., Canfeng, F., Yun, B., Hai, H. and Xingguo, Z., 2011, "Effect of Hot Extrusion on Microstructures and Properties of TiB<sub>2</sub>/AZ31 Magnesium Based Composites," *Rare Metal Materials and Engineering*, Vol. 15, No. 4, pp. 274~280.
- (4) Xu, S.B., Jing, C.N and Ren, G.C., 2011, "Finite Element Simulation of Die Design for Warm Equal Channel Angular Extrusion Process of AZ31 Alloy and its Experimental Investigation," *Materials Science Forum*, Vol. 667/669, No. 1, pp. 75~80.
- (5) Shim, J.D. and Lee, D.H., 2011, "Microstructure Control, Forming Technologies of Mg alloys and Mg scrap Recycling," *J. of Korean Inst. Of Resources Recycling*, Vol. 20, No. 1, pp. 69~79.
- (6) Ceretti, E., Taupin, E. and Altan, T., 1996, "Simulation of Metal Flow and Fracture Applications in Orthogonal Cutting, Blanking, and Cold Extrusion," *Annals of the CIRP*, Vol. 46, No. 1, pp.187~190.
- (7) Lee, H.W., Yoon, D.J., Park, S.S., You, B.S. and Choi, S.H., 2008, "The Simulation of Direct/Indirect Extrusion of AZ31 Magnesium Alloy be FEM," *Proceeding of the Korean Society for Technology of Plasticity 2008*, pp.142~145.
- (8) Yoon, D.J., Kim, E.Z. and Cho, C.D., 2007, "Forming Characteristics of Magnesium Alloy in Cup-Rod Combined Extrusion Process," *Proceeding of the Korean Society for Technology of Plasticity 2007*, pp.70~73.