

# Mg, Zn, Si 성분이 7xxx 계 알루미늄 합금의 압출성에 미치는 영향

함현욱\*, 김병민\*\*, 조 훈\*\*\*, 조형호\*\*\*

## The Effect of Mg, Zn, Si wt(%) on the Extrudability of 7xxx Al Alloy

Hyun-Wook Ham\*, Byung-Min Kim\*\*, Hoon Cho\*\*\* and Hyung-Ho Cho\*\*\*

### ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the effect of three main chemical compositions(Mg, Zn, Si) on extrudability of 7xxx Al alloy with high tensile strength. A few Al alloys based on 7xxx alloys were metal mold cast with various weight(%) of Mg 0.3-1.2%, Zn 5.0-8.0% and Si 0.4-0.7%, to investigate the effects of extrudability, as well as mechanical properties. To measure the extrudability of cast billets, maximum extrusion pressure and surface temperature at die exit before tearing occurs were obtained by experiment and simulation of thermo-viscoplastic F.E.M. Also the yield and tensile strength of extruded products were tested.

**Key Words** : Hot extrusion (열간압출), 7xxx Al alloy (7xxx 계 알루미늄 합금), Extrudability (압출성), Chemical composition (화학조성), FE-analysis (유한요소해석)

### 1. 서론

최근 에너지 절감 및 환경 보존을 위한 항공기, 자동차 등 수송기계의 경량화가 요구됨에 따라 상대적으로 가벼우면서도 기계적 성질이 보다 더 우수한 알루미늄 합금 부품 개발의 중요성이 증대되고 있는 추세이다. 항공기 부품에는 경질의 A7075 계열합금이 많이 사용되고 있고, 자동차 부품에는 A7N01, A7003 합금 등 중경질 합금이 많이 사용되고 있으며 이들 부품은 주로 압출가공을 통하여 생산된다<sup>1)</sup>. 압출 공정은 기술적으로 비교적 간단하며 한번의 변형으로 복잡한 제품형상을 만들 수 있고 설비자본도 비교적 적게 든다. 또한 정밀도가 높은 봉재나 관재를 제조할 수 있어 매우 경제

적인 가공법이지만 빌렛 제조시의 편석, 성형에 의한 결정립의 조대화, 주조 결함과 압출성의 저하 등으로 인하여 건전한 제품을 만드는데 어려움이 뒤따르고 있다. 자동차 부품 등에 많이 사용되는 7xxx 계 합금은 기계적 성질이 우수하나 압출성이 좋지 않으며 이들 계열의 합금 중에서, 특히 압출성이 좋은 것으로 알려진 A7003 합금에 대해서도 실제로는 빌렛 소재개발 및 난가공성 소재에 대한 압출공정 설계 기법 개발의 부족으로 자동차 경량부품용 압출 제품을 개발하는데 어려움을 겪고 있는 실정이다<sup>2,4)</sup>.

시간당 생산되는 압출제품의 중량으로 정의되는 재료의 압출생산성, 즉 압출성은 수율의 향상과 압출 시간 및 데드사이클 시간의 단축으로 향상시킬 수 있다. 압출 시간의 단축에 가장 효과적인

\* 삼림산업(주) 시스템 설계해석팀  
 \*\* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소  
 \*\*\* 한국생산기술원 주조공정 연구팀

방법은 압출 속도를 향상시키는 것이지만 이것으로 인해 금형의 베어링부와 압출 제품의 온도가 상승하여 표면결함이나 요구되는 품질과 형상수치를 현저하게 손상시키는 원인이 된다. 따라서 견직한 제품을 생산하기 위해서는 성형 중의 압출 제품의 온도가 중요하며 결함이 발생하지 않는 범위에서 작은 압출 하중으로 생산 가능하여 압출성이 우수한 소재의 개발이 요구되고 있다. 그리고 최대 압출성을 얻을 수 있는 금형 구조, 소재와 금형의 온도, 압출비 등 공정 조건의 설계에 대한 많은 연구<sup>15-17)</sup> 뿐만 아니라, 특히 여러 합금에 대한 압출성을 평가하고 이를 향상시키기 위한 연구가 진행되어 왔다<sup>18-11)</sup>. 이들 연구에서는 기존의 재료에 대해 압출성을 평가하고 압출성을 향상시킬 수 있는 빌렛의 균질화 처리 조건 및 압출 조건들을 제시하였지만, 기계적 성질과 압출성에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 고려되는 합금성분비에 따른 합금의 개발에 대해서는 연구가 부족하였다.

따라서 본 연구에서는 우수한 압출성을 가지는 고강도 알루미늄 합금 개발을 하기 위한 기초연구로써 먼저 7xxx 합금의 주성분인 Mg, Si, Zn의 성분비를 달리한 여러 가지의 합금을 주조한 다음, 균질화 처리 후 성분 분석 및 냉간 인장 시험, 열간 압축 시험을 수행하여 각 소재들의 물성치를 조사하였다. 이들 물성치를 이용하여 유한요소해석 (DEFORM-2D<sup>112)</sup>)을 수행하였다. 성분비에 대한 압출시의 압력, 압출제품의 온도, 압출제품의 기계적 성질을 비교하고 각 성분비에 따른 압출압력과 압출제품의 출구 온도, 주조재와 압출제품의 기계적 성질을 비교하여 압출성을 평가하였으며, 또한 계산된 압출압력은 실제 압출실험과 비교되었다.

## 2. 재료의 압출성 평가

압출성에 영향을 미치는 인자들과 압출성을 평가하는 인자들을 Fig. 1에 나타내었다. 압출성에 영향을 미치는 인자들로는 빌렛의 온도, 금형의 온도, 램 속도, 윤활, 프레스 사양 등 공정 조건과 화학적 조성, 미세 조직, 변형 저항, 균질화 정도 등의 재료 물성치, 그리고 금형형상, 베어링 형상, 압출비 등의 금형 형상에 관련된 것들이 있다. 압출성을 평가하는 인자로는 최대 압출하중, 압출중 금형 출구부에서의 제품 온도, 압출 가능한 최대 압출속도, 금형 수명, 제품의 치수 정밀도, 생산

이익 등이 있다<sup>12)</sup>. 여기서 압출시의 성형하중은 제품을 생산하기 위한 기계의 용량과 밀접한 관계가 있으며, 압출 중 금형 출구에서의 제품온도는 성형에 의해 발생하는 열과 금형과 재료의 마찰에 의한 열에 의해 결정되며, 재료의 초기 용융 (Incipient melting) 온도에 도달하였을 때, 제품의 표면에 결함을 발생시키는 원인이 된다. 최대 압출 속도는 앞에서 기술한 바와 같이 압출 생산량을 결정하는데 가장 밀접한 관계가 있으며, 정해진 공정 조건 내에서 결함이 발생하지 않는 압출속도를 나타낸다. 그리고 금형과 소재의 마찰과 이 때 발생하는 열은 금형의 온도 또한 상승시켜, 금형 수명에 영향을 미친다. 본 연구에서는 압출성 평가 기준이 될 수 있는 주요인자인 압출압력, 다이 출구에서의 압출제품의 온도차이 등을 기초로 하여 압출성을 평가하였다.

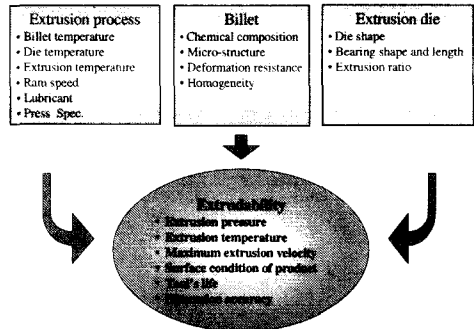


Fig. 1 Significant variables on extrudability in hot extrusion

## 3. 실험 및 유한요소해석

### 3.1 소재제조

본 실험에서 사용되어진 소재는 7xxx 계열 알루미늄 합금의 성질에 큰 영향을 미치는 Mg, Zn, Si의 성분비를 변화시켜 금형 주조하고 균질화 처리를 수행하여 제조하였다. Table 1은 성분분석기를 이용하여 구한 각 소재의 조성을 나타낸 것으로 No.1~4 재료는 Mg 성분비를 0.368~1.085wt%로 변화시켜 주조한 재료이고, No.5~8 재료는 Zn 성분비를 5.101~8.020wt%로 변화시킨 재료이다. 그리고 No.9~12 재료는 Si 성분비를 0.493~0.689wt%로 주조한 재료이다.

Table 1 The chemical composition of the manufactured billet

	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Zn	Ti	Cr	Zr	Al
No.1	0.179	0.368	0.311	0.303	0.220	5.425	0.131	0.190	0.155	Bal.
No.2	0.178	0.518	0.309	0.394	0.528	5.428	0.140	0.195	0.164	Bal.
No.3	0.174	0.839	0.311	0.374	0.210	5.479	0.127	0.193	0.173	Bal.
No.4	0.169	1.085	0.316	0.359	1.201	5.486	0.132	0.189	0.145	Bal.
No.5	0.165	0.717	0.297	0.319	0.205	5.401	0.144	0.199	0.153	Bal.
No.6	0.181	0.744	0.322	0.370	0.212	6.171	0.143	0.188	0.153	Bal.
No.7	0.175	0.794	0.315	0.373	0.206	6.883	0.104	0.184	0.162	Bal.
No.8	0.176	0.749	0.326	0.391	0.208	8.020	0.141	0.184	0.159	Bal.
No.9	0.183	0.734	0.493	0.332	0.212	5.399	0.120	0.189	0.170	Bal.
No.10	0.179	0.778	0.495	0.294	0.346	5.557	0.034	0.177	0.160	Bal.
No.11	0.177	0.730	0.582	0.424	0.212	5.448	0.128	0.186	0.129	Bal.
No.12	0.188	0.750	0.689	0.370	0.209	5.450	0.120	0.184	0.154	Bal.

3.2 열간압축실험

재료의 고온 물성치인 유동응력과 변형률속도의 관계를 얻기 위해 열간압축실험을 수행하였다. Fig. 2와 같은 유압식 25ton MTS를 사용하였으며 압축시편은  $\phi 10 \times h 15 \text{mm}$ 로 가공하였다. 소재의 가열은 세 영역으로 제어되는 가열로를 사용하였으며, 온도 편차는  $\pm 5^\circ\text{C}$ 가 유지되도록 하였다.

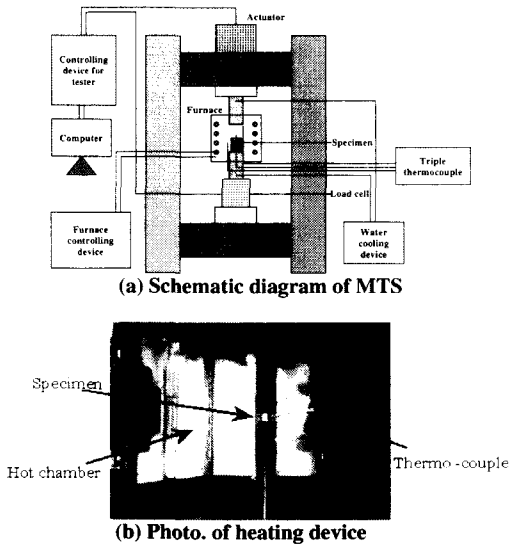


Fig. 2 The schematic diagram and photo. of hot compression tester

재료의 온도와 변형률속도에 대한 영향을 파악하기 위해 온도는 300, 400, 480, 550 $^\circ\text{C}$ 의 조건으로 하였으며, 균일하고 안정된 시편의 시험온도를 얻기 위해 5분간 유지 후 실험을 수행하고 시편은 압축시험 직후 수냉시켰다. 고온에서의 산화 방지 및 윤활 효과를 얻기 위해 B-N 윤활 코팅을 하였다. 변형률속도 조건은 0.1, 1, 5/sec로 균일한 변형률속도로 시험을 수행하였으며 시편 높이의 약 50%까지 압축하여 재료의 고온 유동 특성을 평가하였다. 시험 온도를 고상선 이상의 초기 용융이 발생하는 영역의 온도인 600 $^\circ\text{C}$  부근에서 압축시험을 시도하였으나 이와 같은 온도의 영역에서는 금형 구조한 시편의 특성으로 부분 용융이 발생하여 부서지는 문제점 때문에 체계적인 압축시험은 이루어지지 못하였다.

3.3 열간 압출실험

빌렛은 금형 구조법으로 제조하였으며 완전히 응고시킨 후 응고 속도에 따라 편석이 모여있을 것으로 고려되는 주입구와 빌렛의 표면을 절삭한 후 실험을 수행하였다. 빌렛의 가열에는 칸탈전기로를 이용하였고, 500 $^\circ\text{C}$ 에서 60분 동안 가열 후 압출시험을 수행하였다. 슬리브는 균일한 온도로 가열하기 위해 열선을 이용하여 3~4시간 동안 천천히 가열하였다. 열간 압출 실험은 Fig. 3과 같은 350ton 수평식 압출기에서 수행되었으며, 금형은 평금형으로 압출비가 13으로 비교적 압출이 용이한 조건으로 실험 후에 압출제품에 대해 인장 시편의 가공이 가능한 크기로 제작하였다.

압출 압력의 측정에는 스트레인 게이지가 내장된 압력변환기(Model PT3000)를 압출기의 램에 부착하여 x축에 시간, y축에 유압의 변화가 표시되는 xy 기록계로부터 성형 중의 압출력의 변화를 측정하였다.

다른 금속과는 달리 알루미늄의 압출에서는 슬리브와 소재와의 윤활을 하지 않아도 압출이 가능한 무윤활 상태로 하였으나 슬리브 내에는 이전 압출에 의한 잔유물이 남아있어 압출시 빌렛의 마찰 특성이 매우 클 것으로 보인다. 압출 후 제품은 진직도를 맞추기 위해 스트레칭을 하였으며 공기 중에서 냉각시켰다. Fig. 4는 압출제품에 대한 것으로 표면에 압출 방향으로 가는 선은 금형 자국(Die mark)이며 비교적 표면이 양호하고 소재 표면의 초기 용융에 의한 결함이 없어 압출 조건이

적절함을 알 수 있다.



Fig. 3 Photo. of horizontal extrusion machine

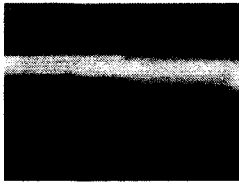


Fig. 4 Photo. of the extruded product

### 3.4 열간 압출공정의 유한요소해석

변형이 비교적 큰 열간 압출공정을 유한요소해석하기 위하여 강소성 상용 코드인 DEFORM-2D를 사용하였다. 빌렛은 가열로에서 오랜 시간 일정한 온도로 가열되므로 균일한 온도 분포를 가진다고 가정하였으며, 가열로에서 슬리브로 이송에 따른 공기와의 대류 및 슬리브 내에서의 유지 시간 동안의 금형과 더미 블록(Dummy block)으로의 열전달을 고려하여 해석하였다. 슬리브 내에서 금형과 소재와의 압력이 작게 걸리는 이송 시에는 열전달 계수를 작게 고려하였고, 압출 가공 시에는 압력이 매우 크므로 열전달 계수를 크게 고려하였다<sup>[4]</sup>.

Table 2 Process parameters and conditions of hot extrusion

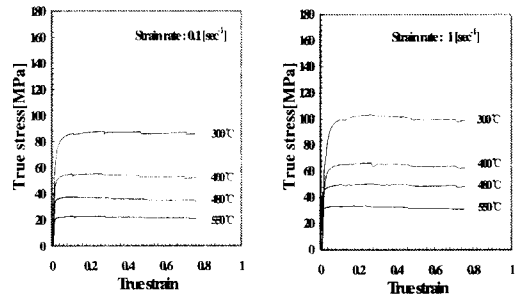
Process parameters and Conditions	Value
Dimension of billet[mm]	φ70 × h100
Inner diameter of sleeve[mm]	74
Extrusion ratio	13
Initial temperature of billet[℃]	500
Initial temperature of sleeve[℃]	420
Initial temperature of die[℃]	300
Initial temperature of dummy block[℃]	100
Temperature of surrounding medium[℃]	230
Ram speed[mm/sec]	8.12
Friction coefficient(μ)	0.5

Table 9는 기타 해석조건과 소재와 금형 등에 대한 열간 물성치 등을 나타내고 있다. 본 연구에서는 7xxx 계 합금의 성질에 영향을 성분비에 따른 압출성으로 평가하기 위해 압출비 및 금형 온도, 더미 블록 온도 등의 공정변수들을 일정하게 하였다.

## 4. 결과 및 고찰

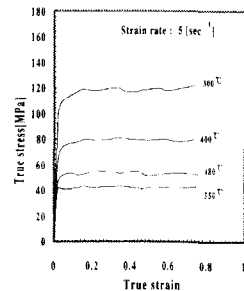
### 4.1 성분비에 따라 제조된 소재의 고온 거동 특성

Fig. 5는 Mg 0.8wt%로 제조한 소재에 대한 온도와 변형률 속도에 따른 응력-변형률 곡선들을 나타내고 있다. 전체적으로 가공 경화 영역은 작은 편이고 온도가 증가할수록 유동응력의 크기가 감소하며 유동응력은 변형초기에서 최대값에 도달한 후 변형이 계속됨에 따라 거의 일정한 값을 나타내었다. 각 온도에서 변형률 속도가 증가할수록 유동응력의 크기가 증가하는 것을 볼 수 있다. 나



(a) strain rate : 0.1 sec<sup>-1</sup>

(b) strain rate : 1 sec<sup>-1</sup>



(b) strain rate : 1 sec<sup>-1</sup>

Fig. 5 Flow stress for Mg-0.8wt% aluminum alloy with various temperature and strain rate

머지 재료에 대해서도 비슷한 양상을 나타내었으며, 유동응력은 변형률에 대해서는 크게 영향을 받지 않으며 온도와 변형률 속도에 대해 크게 변화함을 알 수 있다.

Fig. 6은 변형률 0.8에 대하여 화학 조성을 변화시킨 재료의 온도와 유동응력의 관계를 나타낸 것으로 변형률 속도가 1sec-1인 경우에 대해 나타내었으며 유동응력은 각각의 변형률 속도와 온도에서 일정한 변형량이 지난 후 정상상태에 도달하였을 때의 값을 취하였다. 높은 온도에서 유동응력의 값이 감소하는 것을 볼 수 있어 유동응력에 온도가 큰 영향을 미침을 알 수 있다. Fig. 6 (a)는 Mg 성분비가 다른 재료에 대한 유동응력과 온도의 관계를 나타낸 것으로 성분비가 클수록 유동응력이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이는 Mg 성분이 알루미늄에 대해 높은 고용강화효과와 Si 성분과 공존하여 중간상 Mg<sub>2</sub>Si 상에 의한 석출강화 때문으로 고려된다. 하지만 중간상 Mg<sub>2</sub>Si 상은 인성을 저하시키므로 많은 주의가 요구된다. Fig. 6 (b)

는 Zn 성분비를 변화시킨 재료에 대한 유동응력과 온도의 관계를 나타낸 것으로 성분비에 대해 유동응력이 유사한 값을 나타내었고 6.0~6.5wt%의 부근에서 가장 작은 유동응력을 가지고 있었다. Fig. 6(c)는 Si의 성분비를 변화시킨 재료에 대한 것으로 Si의 성분비가 증가할수록 유동응력이 감소하는 경향을 나타내었다.

소성변형에서 중요한 인자인 온도, 변형률속도, 유동응력의 상관관계를 구성방정식으로 정량화하는 것은 이론적으로는 물론 재료의 고온 가공성을 분석, 설명하는데 유용하다. 따라서 각 합금에 대해 열간 유동식은 변형률속도와 속도민감도에 의한 지수 방정식 형태로 식(1)과 같이 나타내었다.

$$\bar{\sigma} = C\dot{\epsilon}^m \tag{1}$$

Table 3 Summary of C(Mpa) and m value describing the flow stress-strain rate relation,  $\bar{\sigma} = C\dot{\epsilon}^m$ , for various contents at various temperatures (0.1 <  $\dot{\epsilon}$  < 5).

Mg	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4	
	C	M	C	m	C	M	C	M
Temp.								
300	101.97	0.068	104.82	0.064	107.14	0.059	102.7	0.071
400	67.19	0.101	69.52	0.114	73.96	0.086	73.77	0.095
480	47.12	0.112	49.18	0.080	52.49	0.110	50.96	0.126
550	31.76	0.157	36.96	0.110	38.93	0.140	37.31	0.138
Zn	No. 5		No. 6		No. 7		No. 8	
	C	m	C	m	C	M	C	M
Temp.								
300	104.40	0.076	101.34	0.070	102.00	0.066	105.97	0.065
400	70.70	0.099	71.81	0.102	71.41	0.089	76.13	0.102
480	49.12	0.123	51.40	0.101	49.68	0.128	53.16	0.130
550	36.29	0.124	38.33	0.134	36.50	0.135	38.34	0.159
Si	No. 9		No. 10		No. 11		No. 12	
	C	m	C	m	C	M	C	M
Temp.								
300	101.90	0.059	104.68	0.054	105.35	0.054	99.00	0.064
400	72.55	0.130	73.31	0.100	69.80	0.100	66.89	0.100
480	52.24	0.112	54.83	0.079	53.45	0.104	50.85	0.091
550	37.27	0.135	38.70	0.121	38.24	0.127	38.38	0.126

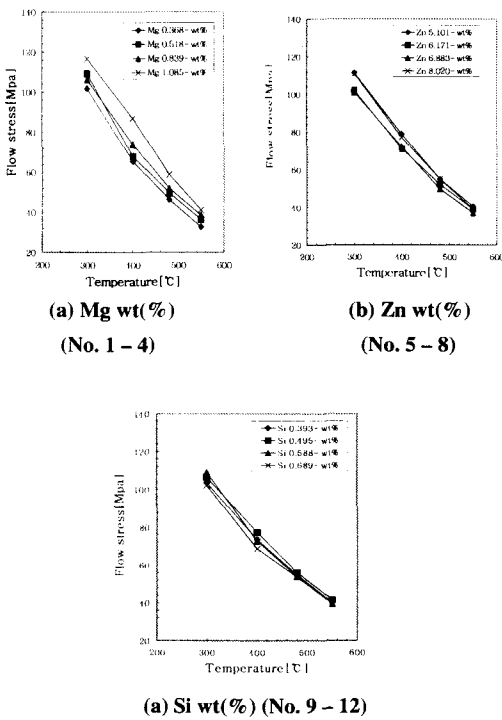


Fig. 6 Effect of deformation temperature on flow stress of aluminum Alloy with various contents

각 합금에 대한 온도에 따른 상수 C, m 값을 Table 3에 나타내었다.

Figs. 7 - 9는 각 합금에 대한 온도에 따른 유동응력과 변형률 속도의 관계를 나타낸 것이다.

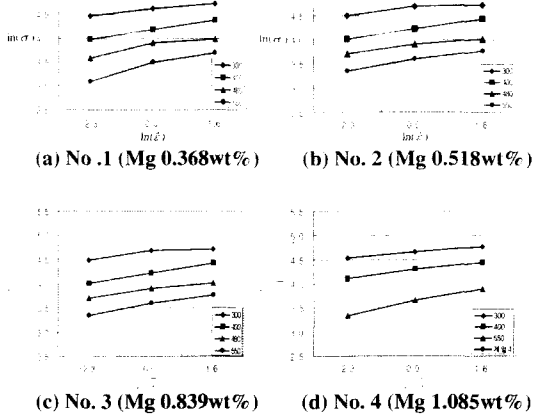


Fig. 7 Relationship of flow stress and strain rate of various Mg contents

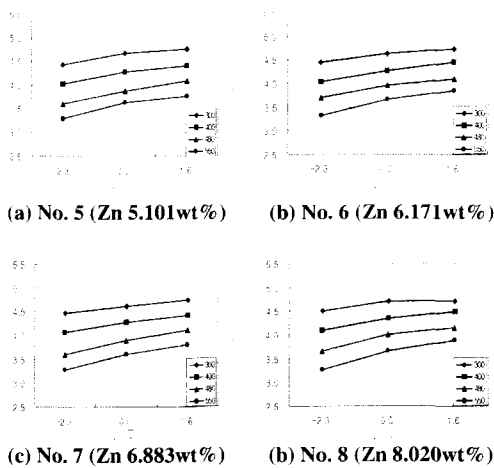


Fig. 8 Relationship of flow stress and strain rate of various Zn contents and temperature

### 4.2 성분비에 따른 압출성 평가

본 연구에서는 7xxx 계 알루미늄 합금의 주성분인 Mg, Zn, Si의 성분비에 따라 제조한 합금의 압출성 평가는 성분비에 대한 압출압력, 다이출구에서의 압출제품의 온도차이등을 기초로 하여 압출성을 평가 하였다.

Fig. 10은 A7N01 소재에 대한 압출 실험시의 스트로크-하중 선도와 유한요소 해석 결과를 비교한

것으로 전체적으로 유사한 경향을 나타내고 있다. 해석 결과에서는 압출 초기에 소재와 슬리브와의 공극으로 인한 압축으로 인해 하중이 균일한 부분이 있다가 슬리브 내부를 다 채우고 압출되어 나오는 시점에서 급속하게 상승하여 최대 하중이 나타났으나, 실험 결과에서는 명확하게 나타나지 않았다. 이는 실제 압출기의 압출 초기에 스템이 일정 속도에 도달하는데 걸리는 시간 때문으로 고려

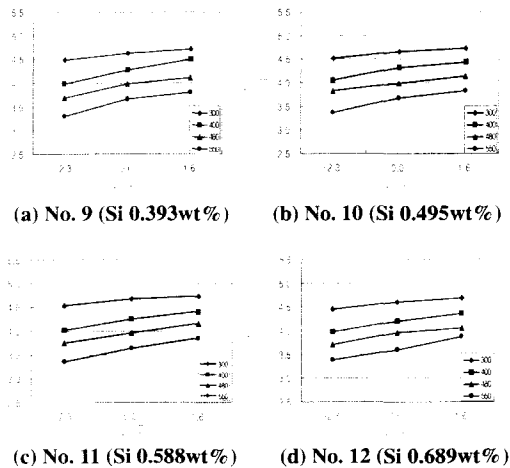


Fig. 9 Relationship of flow stress and strain rate of various Si contents and temperature

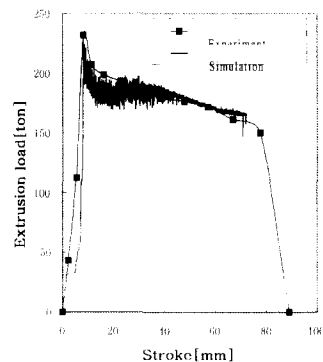


Fig. 10 Comparison of experiment and simulation extrusion load

된다. 최대 하중은 소재가 압축되어 슬리브 내부를 모두 채우는 스트로크가 8.2mm가 되는 부분에

서 나타났으며, 실험결과와 해석결과 모두 230ton 정도로 유사한 값을 나타내었다. 최대 하중점 이후에 소재의 유동상태가 안정되면서 하중이 급속하게 감소하는 것을 볼 수 있으며, 스트로크가 더 진행됨에 따라 빌렛과 슬리브간의 마찰면적의 감소로 하중이 서서히 감소하는 것을 볼 수 있었다. 해석결과에서 진동이 발생하고 있는데 이는 소재 절점들이 금형에 접촉하였다가 떨어지는 해석적인 오차로 고려되며, 압출말기에서는 파이핑 결함이 나타나 더 이상 시뮬레이션결과를 실험과 비교하지 않았다.

Fig. 11 은 A7N01 에 대한 전체 공정 중의 온도 분포를 나타낸 것으로 Fig. 11 (a)는 빌렛이 노에서 균일하게 가열된 상태에서 압출기로의 이송하는데 소요되는 5sec 동안 공기 중에서 냉각되는 것을 열전달 해석한 결과이다. 이 때의 빌렛의 온도는 중심부가 가장 높고 바깥쪽으로 갈수록 낮으며 편차가 5°C 정도로 매우 작았다. Fig. 11 (b)는 슬리브 내에 빌렛의 삽입 후 장치의 셋팅 및 빌렛의 이동하는 시간동안의 열전달을 고려한 결과이다. 현재 사용하는 세장비(L/D : L 빌렛 길이, D 빌렛 지름)가 작은 실험용 빌렛의 경우에는 생산 중의 온도 상승으로 인한 결함이 발생하지 않았지만 실제 생산현장에서 사용되는 세장비가 3~4 정도의 빌렛의 경우균일한 온도의 압출제품을 얻기 위해서는 초기 빌렛의 구배 가열(Taper-heating) 설계가 필요할 것이다. Fig. 11 (c)는 압출 중의 빌렛, 금형 및 압출 부분의 온도 분포를 나타낸 것으로 소성변형에 의한 열생성과 금형과의 마찰에 의해 발생하는 열에 의해 제품의 바깥쪽의 온도가 매우 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 만약 출구 부분에서 제품의 온도가 매우 높아 표면에 초기 용융이 발생할 수 있는데, 이는 열간 압출의 성형한계 설정에 직접적인 영향을 준다. 압출 중 제품의 온도와 온도의 상승률이 작으면 더 높은 속도에서 균일한 성질의 제품을 생산할 수 있을 뿐만 아니라 금형의 수명 또한 길어지게 되어 압출성이 높다고 할 수 있다.

Fig. 12 는 각 성분의 첨가량에 따른 압출압력의 실험과 유한요소 해석 결과를 비교한 것으로 0.5wt%-Mg 소재에 대해서는 약간 큰 차이를 보이나 경향은 매우 유사하였다. Fig. 12 (a)는 Mg 성분의 첨가량에 따른 압출압력을 비교한 것으로 압출압력은 Mg 성분이 많이 첨가될수록 성형하중이

증가함을 알 수 있었다. Fig. 12 (b)는 Zn 성분의 첨가량에 따른 압출압력을 비교한 것으로 전체적으로 유사한 결과를 나타내었으나 특히 6.0~6.5wt%에서 가장 낮은 값을 나타내었다. Fig. 12 (c)는 Si 성분의 첨가량에 따른 압출압력의 결과를 나타낸 것으로 Si 가 0.5wt% 일 때 최대값을 나타내고 있으며 양이 증가할수록 감소하였다.

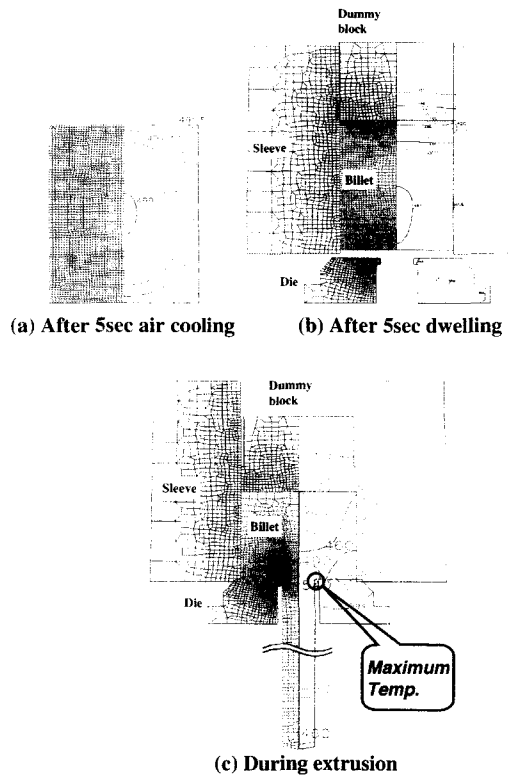
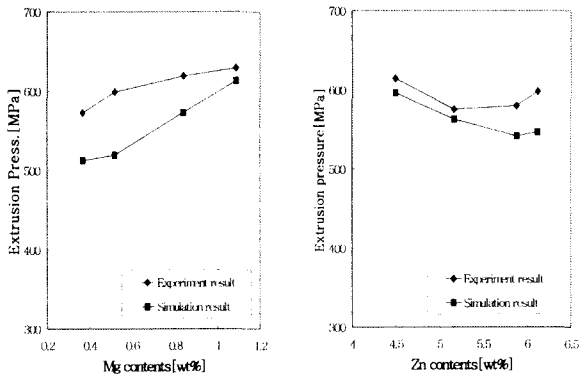


Fig. 11 Temperature distribution during extrusion process

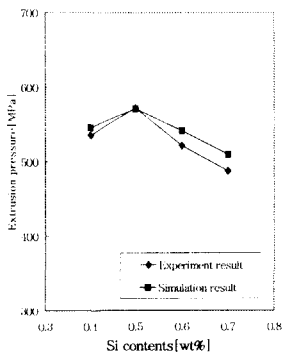
Fig. 13 은 공정중에 소재가 금형의 출구를 빠져 나오는 부분에서 발생하는 압출제품 표면의 최대 온도를 각 성분비에 대해 나타낸 것이다. 소재의 온도는 슬리브 내부에서 소재가 압축될 때까지 변형량과 마찰이 작아 거의 변화가 없었으나, 소재가 압출 출구로 빠져 나오면서 소재의 큰 변형과 금형과의 마찰에 의해 급격히 상승하였다. 스트로크가 약 20mm 진행된 후에는 거의 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. Fig. 13 (a)는 Mg 성분비에 따른 소재의 압출제품의 최대 온도를 나타낸 것으로

로 성분비가 증가함에 따라 온도가 더 큰 값으로 상승함을 알 수 있다. Fig. 13 (b)는 Zn 성분비에 따른 최대 온도를 나타낸 것으로 성분비에 대해 크게 영향을 받지 않았으며, Fig. 13 (c)는 Si 성분비에 대한 최대온도를 나타낸 것으로 Zn와 같이 크게 차이가 나지 않았으나 Si 성분비가 증가할수록 Mg 과 Zn 성분과는 달리 압출제품의 온도가 낮아지는 경향을 볼 수 있었다.

상되어 기계적 성질이 우수함을 알 수 있고, Table



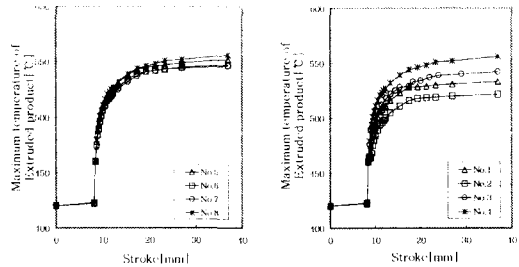
(a) Various Mg contents (No. 1 - 4) (b) Various Zn contents (No. 5 - 8)



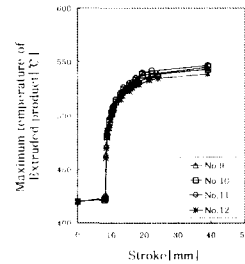
(c) Various Si contents (No. 9 - 12)

Fig. 12 Comparison experiment and simulation result of extrusion pressure with each contents

Table 4 의 (a), (b), (c)는 각각 Mg, Zn, Si 성분비에 따라 주조로 제조된 빌렛과 압출실험을 수행한 압출제품에 대해 인장 시험을 수행하여 항복강도와 인장강도를 비교한 것이다. 성형에 의한 압출제품의 항복강도와 인장강도가 주조재에 비해 모두 향



(a) Various Mg contents (b) Various Zn contents



(No. 1-4) (No. 5 - 8) (c) Various Si contents (No. 9 - 12)

Fig. 13 The effect of components on the maximum temperature of extruded product for various contents during extrusion

Table 4 The effect of components on mechanical properties with various each contents

(a) Mechanical properties with various Mg contents

State	Mg (wt%)	Yield strength[Mpa]	Tensile strength[Mpa]
Extrusion	0.368	198.5	283.2
As cast		141.4	220.1
Extrusion	0.518	242.6	355.6
As cast		170.1	229.5
Extrusion	0.839	275.1	405.7
As cast		165.5	224.8
Extrusion	1.085	283.4	411.3
As cast		186.3	228.4



(b) Mechanical properties with various Zn contents

state	Zn (wt%)	Yield strength[Mpa]	Tensile strength[Mpa]
Extrusion	5.101	247.5	360.4
As cast		160.3	227.6
Extrusion	6.171	269.6	400.1
As cast		162.8	225.2
Extrusion	6.883	285.4	418.5
As cast		199.3	260.3
Extrusion	8.020	292.8	430.7
As cast		183.2	241.8

(c) Mechanical properties with various Si contents

state	Si (wt%)	Yield strength[Mpa]	Tensile strength[Mpa]
Extrusion	0.368	226.7	340.5
As cast		190.1	250.2
Extrusion	0.518	219.5	322.3
As cast		121.8	189.7
Extrusion	0.839	200.6	294.6
As cast		121.1	189.1
Extrusion	1.085	157.2	231.8
As cast		118.6	187.9

4(a)에서 Mg의 양이 증가함에 따라 압출제품의 항복강도 및 인장강도가 더욱 커짐을 알 수 있다. Fig. 4(b)는 Zn 성분비의 소재에 대한 인장시험결과를 나타낸 것으로 Mg의 경우와 유사하게 Zn의 양이 증가함에 따라 압출에 의한 기계적 성질이 향상되어 압출제품의 항복강도 및 인장강도가 커짐을 알 수 있다. Table 4(c)는 Si 성분비의 소재에 대한 인장 시험 결과로 성분비가 클수록 압출제품의 항복강도와 인장강도가 감소하는 경향을 나타내고 있다.

### 5. 결론

본 연구는 고강도이면서 압출성이 우수한 합금을 개발하기 위한 기초 연구로서 압출실험과 유한요소해석을 병행하여 알루미늄 합금의 원소 중 Mg, Zn, Si 성분의 압출성에 미치는 영향을 평가하였다. 이상의 결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Mg 성분은 첨가량이 0.3~1.2wt%로 증가함에 따라 인장강도, 항복강도 등의 기계적 성질은 증가하였으며, 최고압출압력과 압출제품의 최대 온도 상승량도 증가하였다. 이는 Mg의 첨가에 의한

재료의 강화 및 압출성의 저하는 Mg<sub>2</sub>Si의 석출경화효과와 기지내의 Mg의 고용강화, 입자미세화효과에 의한 것으로 보였다.

2) Zn 성분은 첨가량이 5.0~8.0wt%로 증가하면 인장강도, 항복강도 등의 기계적 성질은 약간 높아지는 경향을 보이지만 최고압출압력은 6.0~6.5wt%의 부근에서 최소값을 나타내었고 그 이상의 첨가량에서는 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 압출제품의 최대 온도 상승량은 크게 차이가 나지 않았다. Zn 첨가에 의한 인장강도등의 증가는 과잉의 Zn 성분이 기지내에 고용되어 고용강화효과를 가져온 것으로 보인다.

3) Si 성분은 0.4~0.7wt%로 성분비가 증가함에 따라 인장강도, 항복강도는 오히려 감소하는 경향을 보였는데 이는 과잉의 Si 성분이 고용강화의 효과를 유발하지 않고 인성을 저하시키는 Al(FeMn)Si 상으로 확산되었기 때문이다. 압출압력은 0.5wt%에서 최고치를 나타낸 후 감소하였다.

4) 주요 합금 조성비에 대한 고온 압축 및 압출 시험 그리고 유한요소법을 이용한 압출성 평가 방법은 알루미늄 합금의 개발 시에 유용하게 적용할 수 있을 것이다.

### 후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

### 참고문헌

1. K. R. Brown, M. S. Venie, R. A. Woods, "The Increasing Use of Aluminum in Automotive Applications," JOM, Vol. 47, Issue 7, pp. 20-23, July 1995.
2. S. Okaniwa, "알루미늄압출의 메탈플로우," 輕金屬, Vol. 36, No. 8, pp. 507-513, 1986.
3. S. Okaniwa, "알루미늄압출," 輕金屬, Vol. 40, No. 1, pp. 64-73, 1990.
4. S. Okaniwa, "알루미늄압출," 輕金屬, Vol. 45, No. 8, pp. 471-489, 1995.
5. O. Lohne, N. Ryum, "Simulation of Hot Tearing of Aluminum Alloys," Proceedings of the fourth Int'l aluminum extrusion technology seminar, Vol. 2, pp.

- 303-308, 1988.
6. A. K. Das, "Special Features of Process Defects in Aluminum Alloy Extrusions," Proceedings of the fourth Int'l aluminum extrusion technology seminar, Vol. 2, pp. 227-233, 1988.
  7. T. Sheppard, M. P. Clode, "The Origin of Surface Defects During Extrusion of AA6063 Alloy," Proceedings of the fourth Int'l aluminum extrusion technology seminar, Vol. 2, pp. 329-341, 1988.
  8. M. Abo, F. Sato, "アルミニウムの小型 精密熱間 押出し加工," 塑性と加工, Vol. 33, No. 379, 1992.
  9. N. Takatsuji, M. Tokizawa, K. Murotani, K. Matsuki, S. Murata, "ビレット表皮層の塑性流れからみた 壓出し歩留りの向上," 塑性と加工, Vol. 28, No. 319, 1987.
  10. N. Takatsuji, M. Tokizawa, K. Murotani, K. Matsuki, T. Yamabayashi, "熱間壓出加工における形内壓力 分布および押出性に及ぼすダイス角の影響," Journal of the JSTP Vol. 29, No. 325, 1988.
  11. M. Tokizawa, N. Takatsuji, K. Murotani, T. Nakamura, Y. Goto, "熱間間接壓出し加工におけ る塑性流れおよび形内壓力分布に及ぼすダイス 角の影響," Journal of the JSTP Vol. 29, No. 325, 1988.
  12. J. P. Tang, W. T. Wu, "DEFORM 2D USER Manual Ver. 4.0," SFTC, USA, 1994.
  13. M. P. Clode, T. Sheppard, "Extrusion Limit Diagrams Containing Structural and Topological Information for AA6063 Aluminum Alloy," Material science and technology, Vol. 9, pp. 313~318, April 1993.
  14. W. C. Chen, C. H. J. Davies, I. V. Samarasekera, E. B. Hawbolt, J. K. Brimacombe, "Mathematical Modelling of the Extrusion Process of Particulate Reinforced Metal Matrix Composites," Proceeding of the 4th International Conference on Technology of Plasticity, pp. 599-604, 1993.