

압출성 향상을 위한 고강도 7000계 알루미늄 합금의 제조 및 압출한계선도

함현욱* · 김병민** · 조훈*** · 조형호***

(1999년 4월 20일 접수)

Manufacture of 7000 Al Alloy with Superior Extrudability and Its Extrusion Limit Diagram

H. W. Ham, B. M. Kim, H. Cho and H. H. Cho

Abstract

7000 series Al alloy with good mechanical properties has been focused with tendency to reduce the components weight of aircraft and automobile. However, it is difficult to manufacture a sound extruded product because of segregation, grain growth, casting defect, surface defect, decreasing extrudability and so on. The objective of this study is to manufacture a new 7000 Al alloy more than the extrudability of A7N01 and A7003 through controlling the weight(%) Mg, Zn, Si. Hot extrusion experiments on the axisymmetric rod are performed in 500°C and also performed analysis of the same process using numerical analysis method, a coupled rigid-thermoviscoplastic finite element method. Extrusion limit diagram was obtained for the developed alloy by FE-simulation in order to define the relationship of extrusion speed and initial billet temperature.

Key Words : Hot Extrusion, 7000 Al Alloy, Extrudability, Finite Element Analysis, Extrusion Limit Diagram

1. 서 론

알루미늄 합금은 기존 재료에 비해 비강도가 우수하여 자동차, 항공기, 고속전철 등 수송기계의 경량화를 위한 부품 개발에 많이 사용되고 있다. 세계 여러 자동차 업체에서는 자동차 부품의 10%까지 경량화를 달성시키고 있으며 국내의 경우 엔진 마운팅 블라켓(engine mounting bracket)의 경우 구상화혹연주철재를 A6061의 압출재로 변경하여 37% 이상의 경량화 효과를 얻었으며, 차체 부품 중 범퍼보

강재의 경우, 철재에서 7000 계의 고강도 Al 압출재로 변경하여 30%이상 경량화하는 것을 목표로 개발 중에 있다. 하지만 7000 계 알루미늄 합금의 경우 이형 압출재나 중공 형상의 압출에 필요한 합금의 용해·주조기술의 미화립으로 빌렛소재개발에 많은 문제점을 가지고 있을 뿐만 아니라, 압출가공기술 또한 확보되어 있지 않아 경량화 부품을 개발하는데 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.^(1~4)

압출공정은 한번의 변형으로 복잡한 형상의 제품을 만들 수 있을 뿐만 아니라 정밀도가 높은 봉재나 관재를 생

* 삼립산업(주) 시스템 설계해석팀

** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소

*** 한국생산기술원 주조공정 연구팀

산할 수 있는 방법으로 시간당 생산되는 압출제품의 중량으로 합금의 압출생산성 즉 압출성을 정의한다. 이는 소재의 수율의 향상과 압출 시간 및 데드사이클 시간의 단축으로 향상시킬 수 있으며, 압출 시간의 단축에 가장 효과적인 방법은 압출 속도를 향상시키는 것이지만 이것으로 인해 금형의 베어링부와 압출 제품의 온도가 상승하여 표면 결함이나 요구되는 품질과 형상수치를 현저하게 손상시키는 원인이 된다. 따라서 전전한 제품을 생산하기 위해서는 성형 중의 압출 제품의 온도가 중요하며 결함이 발생하지 않는 범위에서 작은 압출 하중으로 생산 가능한 압출성이 우수한 소재의 개발이 요구되고 있다. 최대 압출성을 얻을 수 있는 금형 구조, 소재와 금형의 온도, 압출비 등 공정 조건의 설계에 대해서 많은 연구^(5~7) 뿐만 아니라, 특히 여러 합금에 대한 압출성을 평가하고 이를 향상시키기 위한 연구가 진행되어 왔다.^(8~11) 이들 연구에서는 기준의 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.

이전의 연구에서 7000 계열 합금의 주요 합금 성분인 Mg, Zn, Si가 압출성에 미치는 영향을 파악하였으며⁽¹²⁾, 이를 바탕으로 본 연구에서는 기준의 A7N01 합금의 압출성을 평가하고 A7N01 합금에 대해 요구되는 기계적 성질을 가지면서 압출성이 우수한 7000 계열의 합금을 설계 및 제조하고자 한다. 그리고 압출성의 주요 영향인자인 압출속도, 빌렛의 초기 가열 온도 등의 압출조건에 따른 영향을 평가하여 빌렛의 초기 가열 온도에 대한 최대 압출 출구 속도를 규정하는 압출한계선도를 도출하여 최대 압출성을 얻을 수 있는 압출조건을 제시하고자 한다.

2. 알루미늄 합금의 압출성 평가

2.1 7000계 합금의 합금 성분비 설계

요구되는 기계적 성질을 만족하면서 우수한 압출성을 가지는 합금을 개선하기 위한 전제적인 과정을 Fig. 1에 나타내었다. 이전의 연구⁽¹²⁾에서는 A7003, A7N01 합금을 기준으로 7000 계열 알루미늄 합금의 주된 첨가원소인 Mg, Zn, Si 성분들이 압출제품의 기계적 성질 및 압출성에 미치는 영향을 평가하기 위해 1차 합금을 설계하여 제작, 균질화 처리를 거친 후 실제 압출실험 및 유한요소해석을 수행하였다. 그 결과를 근거로 2차 합금의

Table 1 The chemical composition of the materials tested

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	V	Al
A7N01	0.30	0.35	0.20	0.20 ~ 0.70	1.0 ~ 2.0	0.30	4.0 ~ 4.5	0.20	0.25	0.10	Bal
Alloy A	≤ 0.30	"	"	"	0.8	"	6.5	-	"	-	Bal
Alloy B	≤ 0.30	"	"	"	1.0	"	6.5	-	"	-	Bal
Alloy C	≤ 0.30	"	"	"	1.2	"	6.5	-	"	-	Bal

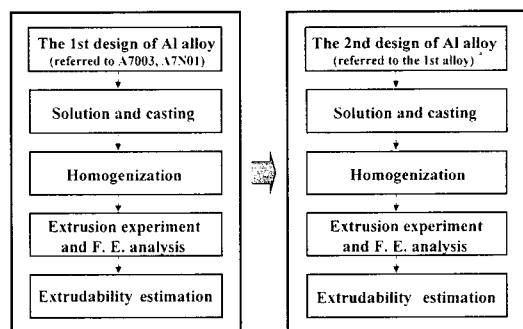


Fig. 1 Modification process for good extrudability of aluminum alloy

성분을 설계하였으며 Mg 성분의 경우 양이 증가할수록 압출압력이 가장 민감하게 증가하고, 압출제품의 최대 온도 또한 상승하지만 기계적 성질은 향상되므로 요구되어지는 기계적 성질을 만족시키기 위해 0.8~1.2 wt%로 제어하였다. Si 성분은 양이 증가함에 따라 압출제품의 온도는 거의 일정한 값을 나타내었고 압출압력은 감소하였다. 하지만 기계적 성질이 나빠지므로 되도록 낮게 제어하였다. Zn 성분은 6~6.5 wt%에서 최소의 압출압력을 나타내었으며 압출제품의 기계적 성질에는 크게 영향을 미치지 않으므로 6.5 wt%로 제어하였다. 그리고 그 외 합금에 영향을 미치는 조성 중 Fe와 Mn의 비는 조대한 Fe금속간 화합물의 정출을 방지하기 위해 0.5~0.8 wt%로 하였으며, Cu는 압출압력과 기계적인 특성에 큰 영향을 미치지 않으므로 0.1~0.2 wt% 범위로 하였다. Ti는 Al-Ti-B 형태의 미세화제에 의한 첨가물을 고려하고, Cr은 시효처리시 석출물을 미세하게 하는 역할을 하므로 약 0.1 wt% 만을 첨가하였다. 위와 같이 압출성이 우수할 것으로 고려되는 합금을 설계하였으며 조성비는 Table 1과 같다.

합금의 용해에는 고주파 유도로(INDUCTOR-Therm 125KW)를 이용하였으며 고순도 흑연 도가니를 사용하였다. 용탕중으로의 불순물이나 개재물의 혼입을 억제할 목적으로 모든 장입지금들을 청결히 유지하였다. 720°C에서 용융된 용탕은 탈가스제(Foseco사의 #190)를 이용하여 탈가스를 행하였으며 200°C로 예열된 주철재 금형에 주입하였다. 회수률의 향상을 피하기 위하여 밀열 슬리브를 압탕부위에 추가로 설치하였다.

2.2 압출성 평가

압출성은 빌렛 온도, 금형 온도, 램 속도, 윤활, 프레스 사양 등 공정 조건과 화학적 조성, 미세 조직, 변형 저항, 균질화 정도 등의 재료 물성치, 금형 및 베어링 형상, 그리고 압출비 등과 같은 많은 인자들의 영향을 받으며, 최대 압출하중, 압출 중 금형 출구부에서의 제품 온도, 압출 가능한 최대 압출속도, 금형 수명, 제품의 치수 정밀도, 제조 비용 등으로 평가되어진다.^(2~4) 여기서 압출시의 성형하중은 제품을 생산하기 위한 기계의 용량과 밀접한 관계가 있으며, 압출 중 금형 출구에서의 제품온도는 성형에 의해 발생되는 열과 금형과 재료의 마찰로 발생하는 열에 의해 계속 상승하여 제품 결합 중의 초기 용융(incipient melting)의 원인이 된다.⁽¹²⁾ 그리고 길이방향으로 제품의 온도가 균일하지 못한 경우 기계적 성질과 치수 정밀도에 악영향을 미친다. 최대 압출속도는 압출 생산량과 가장 밀접한 관계가 있으며, 정해진 공정 조건 내에서 결함이 발생하지 않는 압출속도를 나타낸다.

본 연구에서는 동일한 압출 조건에 대해 각각의 합금에 대해 압출 압력과 표면의 결함이 발생하는 압출제품의 최대 온도를 압출실험 및 유한요소해석을 수행하여 압출성

을 평가 및 비교하였다. 그리고 압출실험 시의 압출 속도를 측정하여 기준이 되는 A6063 합금과 각 합금을 비교하여 압출성 지수, Z를 구하였다.

2.3 압출한계선도

압출조건에 따른 압출한계를 정의하는 한계선도에는 압출비와 압출속도 상승률의 관계에 따라 주조조직의 파괴한계, 제품의 균열발생영역, 프레스의 압력한계를 정의하여 압출가공한계를 나타내는 것 등 여러 가지가 있다. Fig. 2는 압출공정에서 성형의 한계를 초기 빌렛의 온도와 압출비와 관계로 나타낸 것이다. 생산 기계의 사양에 따른 압출 가능 하중에 의해 결정되는 곡선과 압출 제품의 온도가 일정값에 도달하였을 때 표면 결함이 발생하는 한계 곡선으로 나타내어지며, 이로부터 각 합금에 대한 최대 압출성을 얻을 수 있는 빌렛 온도와 압출 속도를 결정할 수 있다. 또한 각 합금의 압출성은 빌렛의 제조 방법, 적절한 균질화 조건 등과 소재의 구배 가열(taper heating), 금형의 질소냉각 등의 방법으로 향상될 수 있다.

3. 실험 및 유한요소해석

3.1 고온 압축 실험

열간 가공의 기본 데이터인 재료의 유한요소해석에 필요한 고온 물성치를 얻기 위해 고온 균일 변형률속도 압축시험을 수행하였다. 유압식 25ton MTS(Material Test System)를 사용하였으며 압축시편의 직경은 10 mm이고 높이는 15 mm이다. Fig. 3은 압축시험 기기의 개략도와 재료시험기에 부착되어져 있는 실험 장치이다. 소재의 가열은 3영역으로 제어되는 가열로를 사용하였으며, 온도 편차는 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 범위 내에 유지되도록 하였다.

온도가 재료의 고온 유동 물성치에 미치는 영향을 파악하기 위해 300, 400, 480, 550°C의 온도에서 일정한 변형률속도 조건으로 실험을 수행하였다. 균일하고 안정된 시편의 시험온도를 얻기 위해 5분간 유지한 후에 실험을 수행하고 압축시험 직후에 시편을 수냉시켰다. 고온에서의 산화 방지 및 윤활 효과를 얻기 위해 BN 윤활 코팅을 하였다. 변형률속도 조건은 0.1, 1, 5 sec⁻¹로 균일한 변형률속도로 시험을 수행하였으며 시편 높이의 50%까지 압축하여 재료의 고온 유동 특성을 평가하였다.

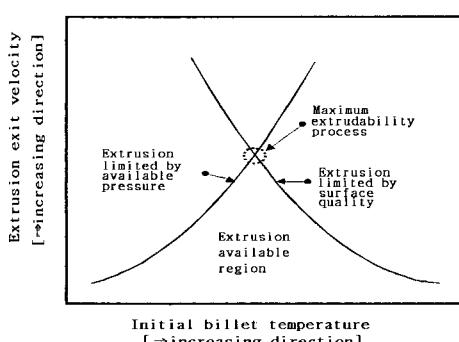


Fig. 2 A typical extrusion limit diagram for an aluminum alloy

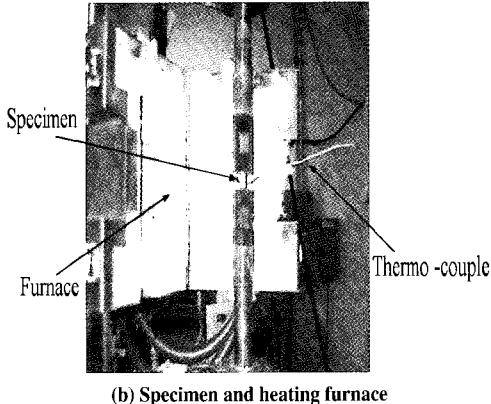
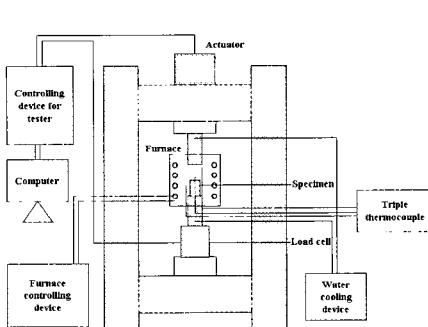


Fig. 3 The schematic diagram and photo of hot compression testor Container Die Extruded product

3.2 열간 압출실험

열간 압출 실험에는 350ton 수평식 압출기를 사용하였으며, Fig. 4에 나타내었다. 금형은 $2\alpha = 180^\circ$ 인 평금형으로 압출비가 13으로 비교적 압출이 용이한 조건으로 실험 후에 압출제품에 대해 인장 시편의 가공이 가능한 크기로 제작하였다.

빌렛은 금형 주조법으로 제조하였으며 완전히 응고시킨 후 응고 속도에 따라 편석이 모여있을 것으로 고려되는 주 입구와 빌렛의 표면을 절삭한 후 실험을 수행하였다. 빌렛의 가열에는 칸탈전기로를 이용하였고, 500°C에서 60분 동안 가열 후 압출시험을 수행하였다. 슬리브는 균일한 온도로 가열하기 위해 열선을 이용하여 3~4 시간 동안 천천히 가열하였다.

다른 금속과는 달리 알루미늄의 압출에서는 슬리브와 소재와의 윤활을 하지 않아도 압출이 가능한 무윤활 상태로 하였으나 슬리브 내에는 이전 압출에 의한 잔유물이 남

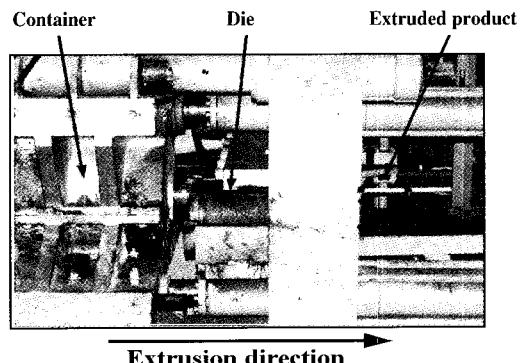


Fig. 4 Horizontal extrusion machine

아있어 압출시 빌렛의 마찰 특성이 매우 클 것으로 보인다. 압출 후 제품은 진직도를 맞추기 위해 스트레칭하였으며 공기 중에서 냉각시켰다.

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

3.3 열간 압출공정의 유한요소해석

변형이 비교적 큰 열간 압출공정을 유한요소해석하기 위하여 강소성 상용 코드인 DEFORM-2D⁽¹⁴⁾를 사용하였

Table 2 Process parameters and conditions of billet and die

Process parameters and conditions	Value
Dimension of billet[mm]	$\varnothing 70 \times h100$
Inner diameter of container[mm]	74
Extrusion ratio	13
Initial temperature of billet[°C]	500
Initial temperature of sleeve[°C]	420
Initial temperature of die[°C]	300
Initial temperature of dummy block[°C]	
Temperature of surrounding medium[°C]	20
Ram speed[mm/sec]	8.12
Friction factor (m)	0.5

다. 벌렛은 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.⁽¹⁵⁾

Table 2는 기타 해석조건과 소재와 금형 등에 대한 열간 물성치 등을 나타내었다. 본 연구에서는 7000계 합금의 성질에 영향을 미치는 성분비에 따른 압출성을 평가하기 위해 압출비, 금형 및 더미 블록 온도 등의 공정변수값들을 동일하게 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 수정된 알루미늄 합금의 미세 조직 및 고온 거동 특성

2차 설계 제조된 합금 및 이와 유사합금인 기존의 A7N01, A7003 합금에 대해 3.1에서 제시한 압축 시험

을 수행하여 고온 열간 물성치를 평가하였다. Fig. 5는 기존의 A7N01, A7003 합금과 수정된 합금들의 온도에 따른 변형률 속도와 유동응력의 관계를 나타낸 것으로 A7003 합금 보다 A7N01 합금의 경우 유동 응력이 큰 것을 볼 수 있는데 이는 Mg 성분이 많이 첨가될수록 알루미늄에 대한 높은 고용강화효과와 Si 성분과 공존하여 중간상 Mg₂Si상에 의한 석출강화 때문으로 고려된다. 유동응력은 온도가 높을수록 작았고 변형률 속도가 빠를수록 큰 값을 나타내었으며 변형률에 따라 거의 일정한 값을 나타내었다.

소성변형에서 중요한 인자인 온도, 변형률속도, 유동응력의 상관관계를 구성방정식으로 정량화하는 것은 이론적으로 물론 재료의 고온 가공성을 분석 및 이해하는데 유용하다. 따라서 각 합금에 대해 열간 유동식은 식(1)과 같은 변형률속도와 속도민감도에 의한 지수 방정식 형태로 나타내어 각 합금에 대해 온도에 따른 상수 C, m 값을 Table 3에 나타내었다. 상수 C는 온도가 증가함에 따라 감소하였으며, 변형률속도 민감 지수는 온도가 증가함에 따라 증가하였다.

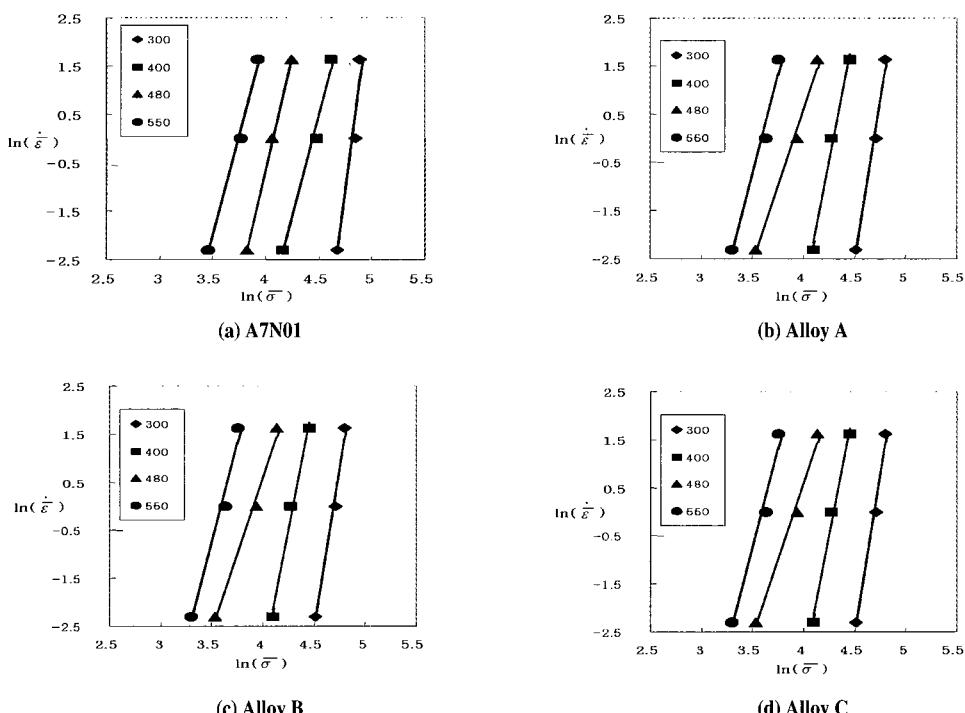


Fig. 5 Relationship between flow stress and strain rate for various temperature conditions

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

Temp.	A7N01		Alloy A	
	C	m	C	m
300	123.32	0.060	109.25	0.075
400	85.05	0.117	73.14	0.091
480	58.61	0.109	49.60	0.155
550	42.46	0.121	36.22	0.170
Temp.	Alloy B		Alloy C	
	C	m	C	m
300	115.61	0.043	117.31	0.027
400	77.96	0.091	84.21	0.117
480	48.11	0.157	50.77	0.164
550	32.51	0.174	32.75	0.177

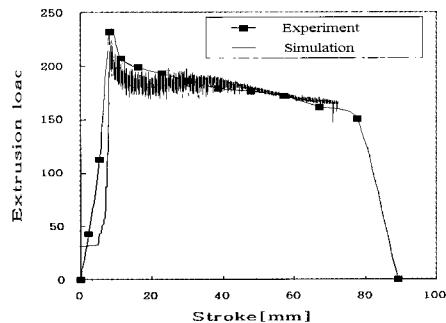
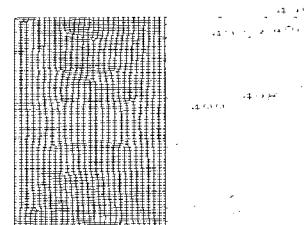
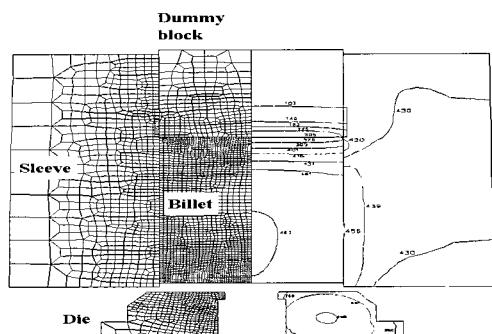


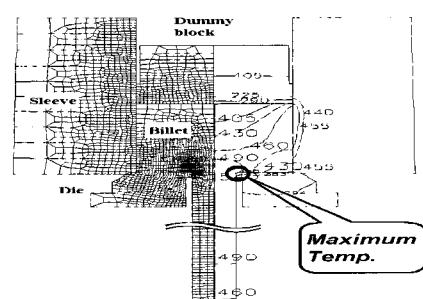
Fig. 6 Comparison of experiments with simulation result of extrusion load



(a) After 5sec air cooling



(b) After 5sec dwelling



(c) During extrusion

Fig. 7 Temperature distribution during extrusion

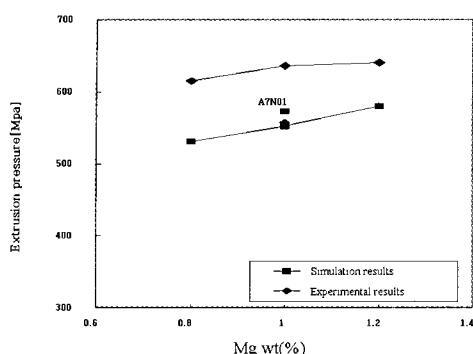


Fig. 8 Comparison of experiment and simulation results of extrusion pressure for the modified alloys

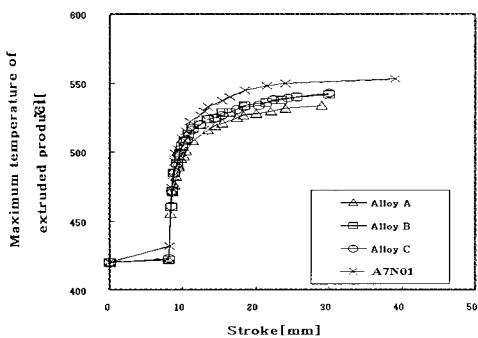


Fig. 9 The effect of components in the maximum temperature of extruded product of the modified alloy and A7N01 alloys

점이 금형에 접촉하였다가 떨어짐에 따른 발생하는 해석적 오차로 생각된다.

Fig. 7은 전체 공정 중의 온도 분포를 나타낸 것으로 Fig. 7(a)는 초기에 노에서 균일하게 가열된 상태에서 압출기로의 이송하는데 소요되는 5초 동안 공기 중에서 냉각되는 것을 열전달 해석한 결과이다. 이 때의 빌렛의 온도는 중심부가 가장 높고 바깥쪽으로 갈수록 낮으며, 편자는 5 °C정도로 매우 작았다. Fig. 7(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 경우 균일한 온도의 압출제품을 얻기 위해서는 초기 빌렛의 구배 가열 설계가 필요할 것이다. Fig. 7(c)는 온도 분포가

Table 4 Comparison of extrusion pressure and tensile strength of used alloy

Alloy	Extrusion pressure [MPa]	Tensile strength [MPa]	
		As cast	Extrusion
A7N01	573	241.05	382.88
Alloy A	490	203.84	321.44
Alloy B	536	202.50	350.16
Alloy C	560	201.39	358.03

안정화되었을 때의 온도 분포로 압출되어가는 출구 부분에서 소성변형에 의한 열과 금형과의 마찰에 의해 발생하는 열에 의해 제품의 바깥쪽의 온도가 매우 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 알루미늄 합금이 일정 온도 이상에서 초기 용융으로 인하여 제품에 결함이 발생하므로 금형과 접촉하는 부분의 최대 온도로 성형 한계를 정할 수 있다. 압출 시에 압출제품의 온도와 온도의 상승률이 작으면 더 높은 속도에서 균일한 성질의 제품을 생산할 수 있을 뿐만 아니라 금형의 수명도 향상되어 압출성이 높다고 할 수 있다.

Fig. 8은 2차 설계된 세 가지 합금 소재와 기존 A7N01 합금의 최대 압출 압력에 대하여 실험 및 해석 결과를 비교한 것으로서 Mg 성분비가 증가함에 따라 압출 압력이 증가함을 볼 수 있다. 실험 결과가 유한요소해석 결과보다 약간 크게 나왔으나 그 경향은 매우 유사하였으며 기존 A7N01 합금과 거의 유사한 압출 압력값을 나타내고 있다.

Fig. 9는 압출재 결함 발생 판단의 기준이 되는 압출 중의 제품의 최대 온도를 나타낸 것으로 2차 설계된 합금 중 합금 A의 경우가 가장 낮은 최대 온도를 가지며 거의 같은 값을 가지는 합금 B와 C는 약간 높기는 하나 기존의 A7N01 합금보다는 모두 낮은 온도를 나타내었다.

Table 4는 2차 설계한 합금 A, B, C와 기존의 A7N01 합금에 대한 주조된 빌렛과 압출제품의 인장강도를 나타낸 것이다. 2차 설계한 합금 A, B, C의 인장강도는 Mg 성분비가 클수록 크게 나타났으며 합금 C가 기존의 A7N01 합금에 유사한 값을 가지고 있었다. 2차 설계한 합금의 경우 금형 주조로 제조하여 연속 주조법으로 제조한 기존의 합금에 비해 미세조직의 크기가 조밀하여 기계적 성질이 떨어지는 것으로 고려된다. 따라서 실제 현장에서 연속 주조법으로 생산할 경우, 더 우수한 기계적 성질을 얻을 수 있을 것이다.

Table 5 Comparison of extrudability index

Alloy	Extrusion index(Z)	
	Data acquired in this study	Data acquired in reference
A6063	100	100
A7N01	60	60
Alloy A	83	-
Alloy B	78	-
Alloy C	73	-

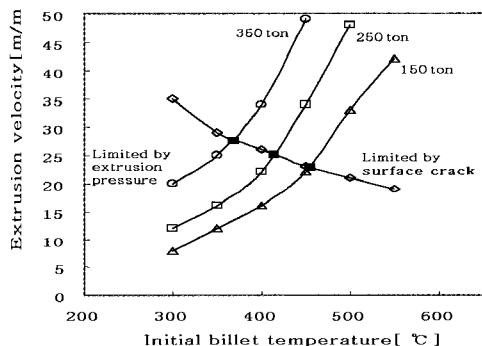


Fig. 10 Extrusion limit diagram for the modified Al alloy (C)

Table 5는 기존의 A6063 합금의 압출속도와 비교하여 수정된 합금의 압출성 지수(Z)를 나타내었다.⁽⁶⁾ 압출성 지수는 실제 압출실험에서 압출되어 나오는 시간을 측정하여 기존 합금인 A6063의 압출 속도를 100으로 하였을 때에 다른 합금과의 상대적인 비교를 하여 얻었다. 기존의 A7N01 합금의 경우 본 실험에서 얻어진 압출성 지수는 기존의 발표된 데이터와 잘 일치하고 있으므로 본 연구의 압출성 지수 산출방법이 적절함을 보여주며, 수정된 합금의 경우 합금 A가 83, 합금 B가 78, 합금 C의 경우 73으로 모두 기존의 A7N01 합금보다 우수한 압출성을 가지고 있음을 알 수 있다.

따라서 기존의 A7N01 합금의 기계적 성질을 만족하면서 최대 압출 압력이 유사하고 압출 중의 온도 상승이 작으며 압출속도를 비교하여 압출성을 평가하였을 때 기존의 재료에 대해 우수한 압출성을 가지는 합금은 C 합금이라 볼 수 있다.

Fig. 10는 요구되는 기계적 성질을 만족하면서 압출성이 우수한 합금 C에 대해 압출한계선도를 나타내었다. 이 때 압출속도는 압출비가 일정하다고 가정하고 램 속도만을 변화시킨 경우이다. 압출한계선도는 초기 빌렛의 온도와 성형 가능한 압출 출구 속도로 나타내며, 압출한계는 압출제품에 결함이 발생하는 조건과 압출기의 용량에 의해 정하여 지는 한계로 정의된다. 초기 용융이 발생하는 온도가 약 625°C인 합금 C에 대하여 압출기의 용량이 150, 250, 350ton인 경우의 한계를 구하였다. 이때 빌렛은 압출실험에서 정한 크기와 동일하게 하였으며 길이에 대한 영향은 고려하지 않았다. 여기서 두 한계 조건의 접점에서 최대 압출성의 조건을 가지게 되는데 이때 합금 C의 경우 각각의 압출기에서 빌렛의 초기 온도는 450, 410, 370°C이고 압출 출구 속도는 22, 25, 27 m/min이다. 이러한 방법은 차후에 각종 알루미늄 합금의 최대 압출성 조건을 설정하는데 유용하게 적용될 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 고강도의 압출성이 우수한 제품을 생산하기 위해 고강도 7000계 알루미늄 합금의 성분에 따른 압출성 및 기계적인 성질을 평가하였다. 기존의 A7N01 합금을 바탕으로 2차 합금을 설계하여, 압출실험과 유한요소해석을 병행하여 압출성을 평가하여 기존의 합금과 비교하였다. 그리고 압출 중 제품의 온도상승에 따른 초기 용융으로 발생하는 결함으로 평가한 압출속도한계와 압출기의 허용하중에 의한 압출속도한계와 빌렛 초기 온도에 따른 압출한계선도를 도출하여 공정설계의 기준을 제시하였다. 이상의 결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 합금의 성분비가 압출성과 기계적인 성질에 미치는 영향을 평가하고 이를 기준으로 합금을 재설계하여 비교 합금인 기존의 A7N01 합금과 비해 최대압출압력과 압출제품의 기계적 성질이 유사하고, 압출 중 금형 출구부 압출제품의 온도가 낮으며 압출속도가 높아 요구되는 기계적 성질을 만족하면서 압출성이 향상된 7000계의 Al 합금을 설계 및 제조하였다.

(2) 개발된 합금에 대한 압출한계선도를 도출하여 실제 압출공정설계의 기준을 제시하였으며, 150, 250, 350ton의 압출기에서 압출 가능한 하중의 한계와 성형 중의 온도상승으로 인해 표면 결함이 발생하는 한계를 규정하였으며, 각각의 압출기에 따라 최대 압출성을 얻을 수 있는 빌렛의 초기 온도는 450, 410, 370°C이고 이때의

압출 출구 속도는 22, 25, 27 m/min 이다.

(3) 고온 압축 및 압출시험 그리고 유한요소법을 이용한 압출성 평가 방법은 알루미늄 합금의 개발 시에 유용하게 적용할 수 있을 것으로 고려되며, 다른 여러 합금에 대해서도 압출한계선도를 도출하여 실제 최대 압출성을 가지는 압출조건 설계에 유용하게 적용할 수 있을 것이다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (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, 1986, "Metal Flow in Extruded Products of Aluminum", J. Japan Ins.. Light Met., Vol. 36, No. 8, pp. 507~513.
- (3) S. Okaniwa, 1990, "Extrusion of Aluminum Alloys", J. Japan Ins.. Light Met., Vol. 40, No. 1, pp. 64~73.
- (4) S. Okaniwa, 1995, "Extrusion of Aluminum Alloys", J. Japan Ins.. Light Met., Vol. 45, No. 8, pp. 471~489.
- (5) O. Lohne, N. Ryum, 1988, "Simulation of Hot Tearing of Aluminum Alloys", Proceedings of the fourth Int'l aluminum extrusion technology seminar, Vol. 2, pp. 303~308.
- (6) A. K. Das, 1988, "Special Features of Process Defects in Aluminum Alloy Extrusions", Proceedings of the fourth Int'l aluminum extrusion technology seminar, Vol. 2, pp. 227~233.
- (7) T. Sheppard, M. P. Clode, 1988, "The Origin of Surface Defects During Extrusion of Al6063 Alloy", Proceedings of the fourth Int'l aluminum extrusion technology seminar, Vol. 2, pp. 329~341.
- (8) M. Abo, F. Sato, "The Small and Precisional Hot Extrusion of Aluminum Alloy", J. JSTP, Vol. 33, no. 379, 1992-8.
- (9) N. Takatsuji, M. Tokizawa, K. Murotani, K. Matsuki, S. Murata, "Improvement of Extrusion Yield Examined from Plastic Flow of Billet Surface Layer", J. JSTP, Vol. 28, no. 319, 1987-8.
- (10) N. Takatsuji, M. Tokizawa, K. Murotani, K. Matsuki, T. Yamabayashi, 1988, "Effect of Die Angle on Pressure Distribution at Internal Surface of Die Block and Extrudability of Billet in Hot Extrusion", J. JSTP, Vol. 29, No. 325.
- (11) M. Tokizawa, N. Takatsuji, K. Murotani, T. Nakamura, Y. Goto, 1988, "Effect of Die Angle on Pressure Distribution on Internal Surface of Container in Hot Extrusion", J. JSTP, Vol. 29, No. 325.
- (12) 합현욱, 김병민, 조형호, 조훈, 1998. 11, "합금 성분비에 따른 7000계 알루미늄 합금의 압출성 평가", 한국정밀공학회 98년도 추계학술대회 논문집(I), pp. 216~219.
- (13) M. P. Clode, T. Sheppard, 1993, "Extrusion Limit Diagrams Containing Structural and Topological Information for A6063 Aluminum Alloy", Material science and technology, Vol. 9, pp. 313~318, April.
- (14) J. P. Tang, W. T. Wu, DEFORM 2D USER Manual Ver. 4.0, SFTC, USA, 1994.
- (15) W. C. Chen, C. H. J. Davies, I. V. Samarasekera, E. B. Hawbolt, J. K. Brimacombe, 1993, "Mathematical Modelling of the Extrusion Process if Particulate Reinforce Metal Matrix Composites", Proc. of the 4th ICTP, pp. 599~604.