

A7003 합금의 환경친화적 압출공정을 위한 Mg 조성 및 공정비교 연구

조 훈*, 조형호*, 한명근*, 김영직**

(한국생산기술연구원, **성균관대학교 신소재공학과)

Environmentally Friend Extrusion Process of A7003 by Material Life Cycle Assessment

Hoon Cho*, Huyng-ho Jo*, Myung-keun Han*, Young-jig Kim**

(*Korea Institute of Industrial Technology, **Sungkyunkwan University)

ABSTRACT

A7003 alloy has characteristics of their excellent weldability, high corrosion resistance and superior plastic working however the broadening of application for the alloy has been hampered by the lower extrudability associated by Mg content. For improvement of extrudability and enhanced recovery efficiency during Al scrap recycling, it has been generally practiced to reduce Mg content in A7003 alloy. Therefore, it is necessary to investigate the influence of Mg content on mechanical strength and extrudability of A7003 alloy. For efficient material processing which has small amounts, material life cycle assessment(MLCA) is evaluated. The quantitative analysis of energy requirements and CO₂ emission for production of A7003 extruded bar are estimated with different Mg content and billet pre-heating process (heating source by light oil or LPG). In particular, the estimation of energy requirements was performed within shipping and gating range (except the mining and extraction stages) to investigate the influence of the variables on energy requirements and CO₂ emission in detail. As Mg content increased, the flow stress and the extrusion pressure for A7003 alloy increased. It has been thought that an increment in extrusion pressure with increasing Mg content is caused by the solid solution hardening of Mg atoms in the matrix and increment in volume fraction of intermetallic compound, Mg₂Si. The extrudability and the tensile strength are equal to, or above that of conventional A7003 alloy even the content of Mg varied from 1.1wt.% to 0.5wt.% alloy. This means that minimizing the content of Mg in A7003 alloy can enhance recovery efficiency during Al scrap recycling. It can be quoted that rather than Mg content energy source for billet heating is a prime factor to determine the atmospheric CO₂ emission

Key Word : A7003 alloy, Extrusion process, Extrudability, MLCA, Billet heating process

요 약 문

최근 수송기계 경량화 추세에 부응하여 door impact beam, seat side rail 및 hood support와 같은 자동차 부품들에 Al-Mg-Zn계 중경질 A7003 합금소재의 적용이 검토되고 있는 실정이다. 그러나 이들 합금소재의 적용을 위해서는 제품의 용도와 특성을 만족함과 동시에 압출성이 높은 합금소재의 개발이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 A7003 합금소재의 압출성을 향상시키기 위하여 합금원소 첨가량이 미세조직, 압출성 및 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. Mg 조성 제어에 의해 기계적 강도의 저하없이 A7003 합금의 압출성을 향상시킬 수 있었다. 또한 MLCA 기법을 적용하여 A7003 합금중의 Mg 첨가량 및 빌렛가열공정 변화에 따른 에너지 소비량 및 환경오염부하물질 배출량을 산정하였다. A7003 합금중 Mg의 첨가량을 제어하여도 압출재 생산에 소요되는 에너지의 소비량은 거의 같음을 확인하였으며 CO₂와 같은 대기오염물질을 저감시키기 위해서는 유도가열에 의한 빌렛가열공정의 적용이 가장 효과적임을 알 수 있었다.

주제어 : A7003합금, 압출가공공정, 압출성, MLCA, 빌렛가열방식

1. 서 론

A7003 합금은 용접성과 내식성 등이 우수하여 자동차 범퍼 보강재 등 수송기계 경량화 부품에 적용이 시도되고 있으며, 이들 부품은 주로 압출가공에 의해 생산된다. 그러나 요구되는 기계적 강도를 만족시키기 위해서는 압출성의 저하가 수반되어 이들 합금의 적용에 한계가 있는 실정이다. Al을 matrix로 하고 Zn와 Mg을 기본조성으로 A7003 합금의 경우, Zn의 조성은 압출성에 큰 영향을 미치지 않지만 Mg는 압출성과 기계적 강도에 현저한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(1). 그러므로 원하는 기계적 강도와 압출성을 동시에 만족하는 합금을 개발하기 위해서는 Mg의 조성을 제어하여야 한다. 또한 최근 Al 압출 생산 현장에서는 생산성 향상 및 Al scrap recycling 공정중 회수율 향상을 위하여 합금중 Mg의 첨가량을 감소시키는 경향이 있다. 따라서 본 연구에서는 A7003 합금중의 Mg이 압출성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Mg 조성 변화에 따른 미세조직과 압출성과의 관계를 관찰하였다.

또한 최근 들어 ISO 14000 등의 환경규제가 또 다른 국제경쟁력 및 무역 장벽의 요소로 작용하고 있으며 자원의 효율적인 이용과 지속가능한 발전을 위해 저소비, 고효율의 금속가공 공정의 채택이 활발히 모색되고 있다(2). 따라서 본 연구에서는 MLCA(Material Life Cycle Assessment) 기법을 적용하여 A7003 합금의 Mg 조성변화 및 빌렛 가열 공정의 개선에 따른 에너지 소비량 및 CO₂ 배출량을 산정하여 저환경부하형 Al 압출 공정을 확립하고자 하였다.

2. 실험방법

본실험에서는 Mg의 함량을 0.5wt.%, 0.8wt.% 그리고 1.0wt.%로 변화시킨 3종류의 A7003 합금을 고주파 유도용해로에서 용해하여 주철재 금형에서 주조한 후 직경72mm, 길이 200mm로 면삭 및 절단 가공하여 823K에서 12시간 동안 균질화 처리를 행하였다. Table 1에는 이들 합금의 화학조성을 나타내었다.

Table 1. Chemical Compositions of the Alloy used in this Study(wt.%)

	Mg	Si	Fe	Mn	Zn	Al
A7003(0.5Mg)	0.50	0.31	0.39	0.32	5.43	Bal
A7003(0.8Mg)	0.80	0.31	0.37	0.21	5.47	Bal
A7003(1.0Mg)	1.00	0.31	0.36	0.20	5.48	Bal

열간 압출 실험에는 350ton급 수평식 압출기를 이용하였으며 직경 20mm의 봉상으로 압출(압출비:13)하였다. 금형은 2 α =180°의 각을 가진 평금형을 이용하였다. 고주파 연속가열로에서 623K, 673K 그리고 723K의 온도에서 1시간 동안 가열한 후 압출실험을 행하였으며, 로내의 온도 편차는 \pm 5K였다. 압출압력의 변화는 strain gauge 내장형 압력변환기를 ram에 부착하여 X축에 시간, Y축에 유압변화로 표시되는 X-Y식 Recorder로부터 측정하였다. Ram speed는 8.1mm/sec이었으며 다이스 출구 속도는 6.5m/min으로 일정하게 유지하였다. 빌렛의 미세조직관찰에는 광학현미경, SEM 등이 이용되었으며, EPMA 및 XRD 분석에 의해 Al 기지중의 용질원자의 농도변화 및 금속간 화합물의 상분석을 행하였다. KS 14A 비례시험편 기준에 따라 시편을 제작한 후 인장시험을 행하였다.

Al 압출공정의 MLCA는 원료채취 및 추출단계를 제외하고 Primary Al의 수입부터 최종압출제품의 생산까지의 공정에 대해 행하였다. 이는 80% 이상의 에너지가 Bauxite로부터의 Alumina 추출과 Electrolysis에 의한 Al 제조 단계에 소비되고 또한 국내의 경우 primary Al을 전량 수입하여 사용하고 있으므로 압출공정변수에 따른 에너지소비량 및 CO₂ 배출량의 변화를 자세히 관찰하기 위해서였다.

Fig. 1은 일본통계연감을 참고하여 작성한 Al 압출공정의 각 단위 공정별 에너지 소비량 및 원료 수요량을 나타내었다(3).

A7003 합금압출재의 Mg 조성 변화에 따른 에너지 소비량 및 CO₂ 배출량을 산정하였고, 빌렛가열 열원(LPG, 경유, 고주파가열)의 변화에 따른 CO₂ 배출량 변화를 산정하였다.

Matrix A	Trans of Al	Scrap	2 nd Al	Re-melt	Trans of Al	Trans of casting	Extrusion	Vector B
Energy	3181	0	0	4671	3181	4671	407	0
Pri-Al	1	0	0	-0.22	0	0	0	0
Scrap	0	1	0	-0.9	0	0	0	0
2 nd Al	0	0	1	-0.24	0	0	0	0
Al ingot	0	0	0	1	0	-1.414	0	0
Mg	0	0	0	0	1	-0.015	0	0
Alloy	0	0	0	0	0	1	-1.3	0
Product	0	0	0	0	0	0	1	1

Fig. 1. Input/output table of fundamental raw material and energy consumption.

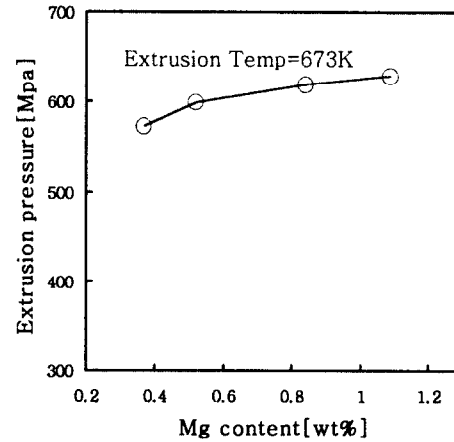


Fig. 3. Comparison of experiment and computer Simulation.

3. 결과 및 고찰

3.1 A7003 합금의 압출특성

A7003 합금의 유동응력은 변형온도가 증가하거나, Mg의 조성이 감소할수록 감소하는 경향을 나타내었으나, 이들 합금의 변형은 Mg의 조성보다 변형온도에 좀더 민감함을 알 수 있었다(4). A7003합금(1.0Mg)의 SEM에 의한 미세조직 관찰 결과, Fan type 및 Dot type의 석출상이 관찰되었다. EPMA 분석에 의해 Fan type은 Al(Fe,Mn)SiZn 상으로 분석되었고 Dot type은 Mg₂Si 석출물로 분석되었다(4).

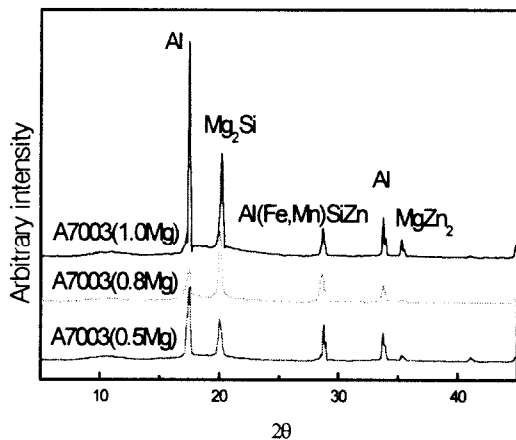


Fig. 2. XRD pattern of A7003 ally in variation of Mg content.

Fig. 2 에는 Mg 조성변화에 따른 A7003 합금의 XRD peak를 나타내었다. XRD 분석에 의하면 Mg₂Si, MgZn₂ 그리고 Al(Fe,Mn)SiZn의 금속간 화합물에 해당하는 Peak가 관찰되었고[5] Mg의 조성이 0.5wt.% 에서 1.0 wt.%로 증가할수록 Mg₂Si 상의 분율이 증가함을 확인할 수 있었다. EPMA에 의해 Al 기지중의 용질원자(Mg)의 농도변화를 분석하였다. Mg의 조성이 0.5wt.% 에서 1.0 wt.%로 증가할수록 Al 기지중의 Mg는 0.4wt.% 에서 1.2 wt.%로 증가하였다

Fig. 3에는 A7003 합금의 Mg조성변화에 따른 최고 압출압력의 변화를 나타내었다. Mg 조성이 증가함에 따라 압출압력이 증가하는 경향을 보이고 있다. XRD 및 EPMA 분석결과를 토대로 Mg 조성 증가에 따른 압출압력의 증가는 Al 기지에 고용되는 Mg

Table 2. Comparison of Extrudability Index

Alloy	Extrudability Index(Z)			
	Tensile strength (MPa)	Extrusion pressure (MPa)	Data acquire in this study	Data acquire in reference
A6063	246(T6)	422	100	100
A7003(0.5Mg)	321	599	83	70
A7003(0.8Mg)	350	619	77	
A7003(1.0Mg)	358	629	73	

의 증가에 의한 고용강화와 금속간 화합물 Mg₂Si의 분율 증가에 의한 것으로 설명할 수 있다.

Table 2에는 Mg 조성변화에 따른 A7003 합금의 압출성 지수 측정 결과를 나타내었다. 압출성 지수는 실제 압출 실험에서 압출되어 나오는 시간을 측정하여 기존 합금인 A6063의 압출속도를 100으로 하였을 경우 다른 합금과 상대적으로 비교를 하여 얻었다. 본 실험에서 얻어진 압출성 지수는 기존에 보고된 Data와 일치하고 있으므로 신뢰할 수 있을 것으로 사료된다(6). Mg의 조성이 0.5wt.%에서 1.0 wt.%로 증가할수록 압출성 지수는 83에서 73으로 감소하는 경향을 나타내었으며, 본 실험에서 측정한 A7003 합금의 인장강도는 Mg 조성이 0.5wt.%인 경우에도 기존 A7003 합금의 인장강도(320MPa)와 거의 같거나 약간 높게 측정되었다. A7003 합금의 Mg 조성을 제어함으로써 기계적 강도의 저하없이 압출성의 향상을 나타내었으며 이러한 결과는 생산성 향상과 Al scrap recycling 공정중 수율 향상을 위해 Mg 첨가량을 제어하고자 하는 최근 Al 압출 생산현장에서의 적용이 기대된다.

3.2 에너지 소비량 및 CO₂ 배출량의 산정

A7003합금 압출재 1ton을 생산하기 위해 소비되는 에너지의 양 및 CO₂ 배출량의 산정결과를 Table 3에 나타내었다. Mg 조성이 1.0wt.%에서 0.5wt.%로 감소할수록 압출성 지수가 증가하여 압출생산성을 기대할 수 있지만 에너지 소비량의 감소는 1% 이내로 미미하였다. A7003 합금의 Mg 조성 변화에 따른 CO₂ 배출량 변화 또한 거의 관찰되지 않았다. Mg의 조성이 0.5wt.% 경우와 1.0wt.%인 경우 모두 CO₂ 배출량은 1138.6kg/ton으로 동일한 산정결과를 나타내었다. 압출공정에 소요되는 에너지원으로는 대부분 전력이 사용되고 있으며 이는 LPG, 경유 등의 에너지원을 주로 사용하는 다른 단위공정(수송, 주조, 열처리)과 구별된다. 즉 다른 에너지원에 비해 CO₂배출량이 적은 전력을 에너지원으로 사용하는 압출공정에서는 Mg 조성 변화에 따른 CO₂배출량의 변화가 거의 관찰되지 않는다. 결론적으로, 본 실험에서는 A7003 합금의 Mg 조성의 변화가 압출성은 향상시키지만 에

너지 소비량 및 CO₂배출량에는 영향을 주지 못함을 확인할 수 있었다.

Table 3. Energy Requirements and CO₂ Emission of A7003 Alloy in Various Mg Content and Extrusion Process

Mg content (wt%)	Extrudability (Z)	Energy requirements (MJ/ton)	CO ₂ emission (kg/ton)
0.5	83	16639.0	1138.6
0.8	77	16649.2	1138.7
1.0	73	16652.5	1138.6

Al압출 생산현장에서는 생산성의 향상과 작업장 환경 개선을 위한 여러 가지 시도가 폭 넓게 시도되고 있는데 그 중의 하나가 유도 가열 방식에 의한 빌렛 가열 공정의 채택이다. 기존의 LPG나 경유 등을 열원으로 하는 빌렛 가열에 비해 고주파 유도가열을 채택하면 가열시간의 단축, 불량률 저하, 균일한 빌렛 가열을 기대할 수 있다. A7003 합금 빌렛 1ton을 1시간에 압출온도(753K)로 가열하는 경우를 고려하여 빌렛 가열로의 에너지원(LPG, 경유, 전력) 변화에 따른 CO₂ 배출량을 산정하였다. 이때 빌렛 가열에는 80,000 kcal의 열량이 요구된다고 가정하였다(7). 산정결과를 Table 4에 나타내었다.

Table 4에서 보듯이, 경유를 열원으로 하는 빌렛 가열 공정을 고주파 가열 방식으로 전환하는 경우, CO₂ 배출량은 압출재 1ton당 225kg에서 194kg으로 감소함을 알 수 있다. 결론적으로, 압출 공정중 CO₂ 배출량의 저감을 위해서는 A7003 합금의 Mg 제어보

Table 4. Emission of CO₂ with Various Billet Heating Process

Energy	Calorific Value	Amount	Coefficient of Emission	Emission of CO ₂ (kg)
Light oil	9200kcal/ℓ	86.9ℓ	2.59kg/ℓ	225
LPG	12000kcal/kg	66.6kg	3.03kg/kg	202
Electricity	2250kcal/kWh	355kWh	0.547kg/kWh	194

다 빌렛 가열 공정에 고주파 빌렛 가열 공정의 적용이 더욱 효과적임을 알 수 있다

institute for environmental studies, Environment Agency of Japan "Carbon dioxide emission intensity based on the input-output analysis"(1997)

4. 결 론

1. A7003 합금의 Mg 조성 증가에 따른 압출압력의 증가는 Al 기지중의 Mg의 고용강화 및 Mg₂Si 금속간 화합물의 체적증가에 의한 것임을 확인하였다.
2. Mg 조성 제어에 의해 기계적 강도의 저하없이 A7003 합금의 압출성을 향상시킬 수 있었으며, Al scrap recycling 중 회수율 증가 효과를 기대할 수 있다.
3. Mg의 조성이 0.5wt.%인 경우와 1.0wt.%인 경우 모두 CO₂ 배출량은 1138.6kg/ton으로 동일한 산정결과를 보였으며 이로써 Mg 조성제어에 의한 A7003 합금 압출공정의 에너지 소비량 감소는 기대할 수 없음을 알 수 있었다.
4. A7003 합금 압출 공정중 발생하는 CO₂배출량을 저감시키기 위해서는 Mg 조성의 제어 보다 전력을 에너지원으로 하는 유도가열 공정에 의한 빌렛의 가열이 더욱 효과적임을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) G. Lang and A. F. Castle; Pro. 2nd Inter. Aluminum Extrusion Tech. Semi., Vol. 1 pp. 293(1977)
- 2) K. Halada et al, "Estimation of the emissions of CO₂, SO_x and NO_x of steel alloys," J. Mater. Res., Vol. 13, No.9(1998)
- 3) Research & statistics department, Minister' s secretariat, Ministry of international trade & industry, "Yearbook of minerals & non-ferrous metal statistics-1999" (2000)
- 4) H. Cho, H.H. Jo and B.M. Kim, "Interrelation of extrudability and microstructure in medium strength A7xxx alloy," Int. J. Materials and product technology, Special Issue, SPMI,(In press)
- 5) L.F. Mondolfo, "Met. Rev." 16, pp. 95(1971)
- 6) Japan Light Metal Association "Aluminum handbook" pp.85 (1985)
- 7) Center of global environmental research, National