

## 가스분무 Mg-Zn-Y 합금분말 및 압출재의 특성

채홍준 · 이진규 · 배정찬 · 김택수\*  
한국생산기술연구원 신기능소재팀

### Materials Properties of Gas Atomized and Extruded Mg-Zn-Y Alloys

Hong-Jun Chae, Jin-Kyu Lee, Jung-Chan Bae and Taek-Soo Kim\*

Advanced Materials Team, Korea Institute of Industrial Technology,  
TechnoPark Songdo, Incheon 406-840, Korea

(Received November 6, 2006; Accepted December 11, 2006)

**Abstract** Mg-4.3Zn-0.7Y (at%) alloy powders were prepared using an industrial scale gas atomizer, followed by warm extrusion. The powders were almost spherical in shape. The microstructure of atomized powders and those extruded bars was examined using Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) and X-ray Diffractometer (XRD). The grain size of the powders was coarsen as the initial powder size increased. After the extrusion, the grain size became fine due to the severe plastic deformation during the extrusion with the ratio of 10:1. Both the ultimate strength and elongation were enhanced with the decrease of initial particle size.

**Keywords :** Mg-Zn-Y alloy, Extrusion, Powder Metallurgy, Rapid Solidification

### 1. 서 론

마그네슘 합금은 상용합금 중 가장 가벼운 소재로서, 기계가공성 및 주조성이 우수하고 진동 및 충격에 대한 흡진성, 전자파차폐능이 양호한 합금으로 알려져 있으며, 재활용이 가능한 환경친화적인 재료로서, 많은 연구자들에 의해 활발한 연구가 진행되어지고 있다<sup>1,2)</sup>. 그러나 마그네슘 고유의 낮은 강도와 내식성은 마그네슘 합금의 산업적인 적용에 많은 제한 요인으로 작용하고 있다.

마그네슘 합금 중 Mg-Zn-Y 3원계 합금은 고온에서의 높은 강도와 연신 및 낮은 마찰계수와 계면에 너지를 가지는 것으로 보고되고 있으며, 이러한 고온에서의 물성향상은 준결정상(Icosahedral phase, I-phase)에 의한 강화효과와 준결정상과 기지간의 안정적인 계면에 의한 것으로 보고되었다<sup>3)</sup>. 이러한 마그네슘 합금은 주로 주조공정에 의해 제조되고 있으나, 최근에는 급속응고법에 의해 제조된 Mg-Zn-Y 합금

분말을 분말성형하여 기존의 주조재에 비해 우수한 강도를 가지는 결과가 발표되었다<sup>4)</sup>.

이러한 급속응고된 합금분말을 이용하는 분말야금법은 재료의 강도특성을 크게 향상시킬 수 있는 장점이 있으며, 기존의 주조합금에 비해 가공 공정을 줄일 수 있어 비용절감에 효과적이고, 정밀성형이 가능하다. 본 연구에서는 대량생산이 가능한 산업용 가스 아토마이저를 사용하여 Mg-Zn-Y 합금분말을 제조하였으며, 제조된 분말의 특성을 분석하였다. 또한 압출거동에 따른 기계적 특성변화를 살펴보았다.

### 2. 실험방법

Mg-4.3Zn-0.7Y(at%) 조성의 합금분말을 제조하기 위해 Mg, Zn, Mg-Y 모합금을 유도가열하여 모재를 제조하였다. 이를 5 mm의 용탕공급 노즐이 부착되어 있는 가스 아토마이저 장치의 용해챔버에서 채용해한 후 가스 분무하여 합금분말을 제조하였다. 이때

\*Corresponding Author : [Tel : +82-32-850-0409; E-mail : tskim@kitech.re.kr]

노즐크기와 분무압력은 5 mm와 5 MPa 였으며, 용해 온도는 충분한 용탕 유동도를 가지도록 합금의 용점보다 200°C 높은 온도를 유지하였다. 제조된 합금 분말을 Al계 can에 장입하고 탈가스 공정을 거친 후 10:1의 압출비 조건으로 300°C에서 열간압출하였다. 제조된 합금 분말 및 압출재의 구조분석과 조직관찰을 위해 X선 회절분석기(XRD) 및 주사전자현미경(SEM)을 이용하였으며, 인장시험기를 이용하여 기계적 특성을 고찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 가스아토마이저로 제조된 분말의 크기와 형태를 보여주고 있다. 제조된 분말의 평균직경은 55  $\mu\text{m}$  였으며, 그림 1에서 (a)는 직경 33  $\mu\text{m}$  이하(그룹 A)의 분말이며, (b)는 45~63  $\mu\text{m}$ (그룹 B), (c)는 63~90  $\mu\text{m}$ (그룹 C)의 크기를 가지는 분말의 형상을 보여주고 있다. 제조된 Mg-4.3Zn-0.7Y 합금분말

은 분말크기에 상관없이 구형에 가까운 형상과 부분적으로 위성분말을 보여주고 있다.

그림 2는 가스아토마이저로 제조된 Mg-4.3Zn-0.7Y 합금분말의 XRD 결과를 보여주고 있다. XRD 결과로부터 Mg 기지내에 I상(Icosahedral phase)이 분포되어 있음을 알 수 있다. Mg 기지 내에 분포되어 있는 I상은 마찰계수와 계면에너지를 낮추는데 효과적이며, 부식저항, 열적안정성 및 강도의 향상에 기여하는 것으로 알려져 있다<sup>3)</sup>. 또한 과시효에 의한 강도저하 억제 및 고온강도 증가에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다<sup>5)</sup>.

그림 3은 분말의 크기에 따른 미세조직의 단면을 보여주고 있다. 그룹 A의 분말의 경우, 결정립 크기가 약 2  $\mu\text{m}$  이였으며, 그룹 C의 분말의 경우는 약 4-5  $\mu\text{m}$ 의 결정립 크기를 보여주고 있다. 합금분말 크기에 따른 결정립 크기의 변화는 응고시 냉각 속도에 기인하며, 냉각속도가 증가할수록 결정립의 크기는 더 미세해 진다. 급속응고된 분말의 결정립

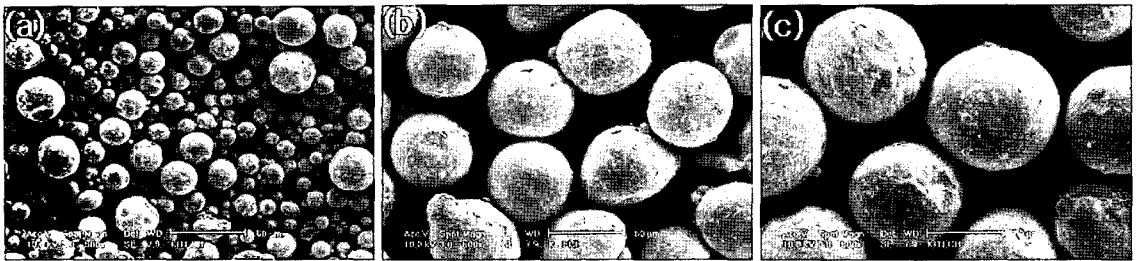


Fig. 1. SEM photographs of atomized powders.(a) group A (~33  $\mu\text{m}$ ), (b) group B (45~63  $\mu\text{m}$ ) and (c) group C (63~90  $\mu\text{m}$ ).

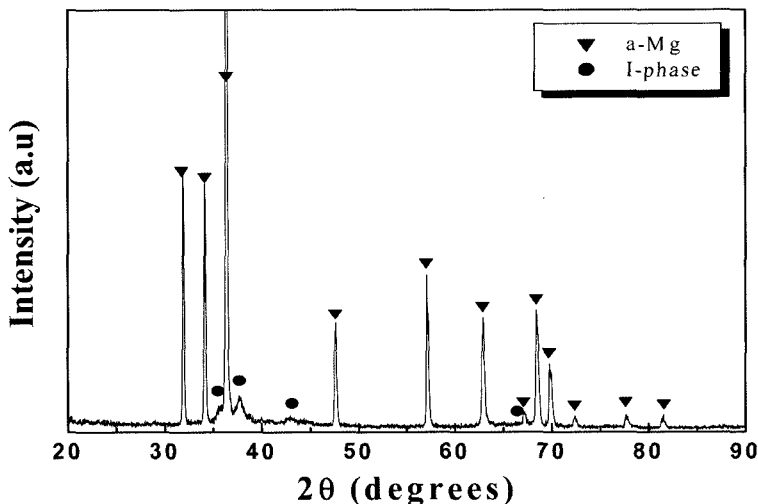


Fig. 2. XRD pattern of  $\text{Mg}_{95}\text{Zn}_{4.3}\text{Y}_{0.7}$  powders.

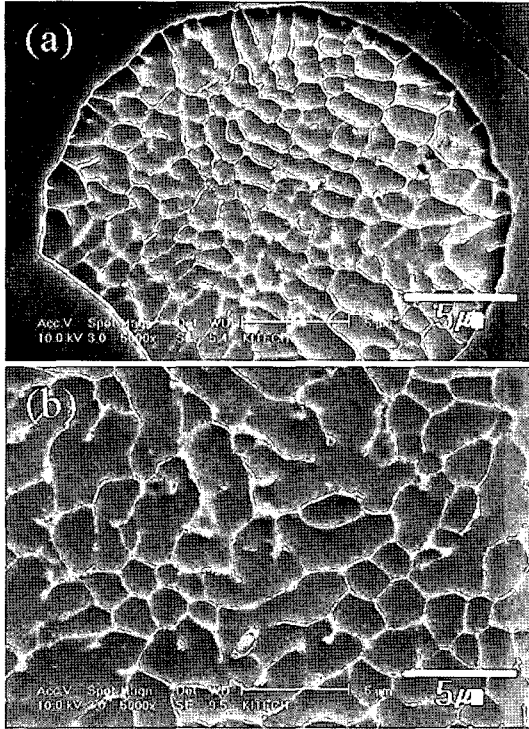


Fig. 3. SEM micrographs of group A (a) and group C (b) powders.

크기는 주조에 의해 제조된 시편의 결정립 크기(약 30 μm)와 비교해서 매우 미세한 것을 알 수 있다. 주조된 Mg-4.3Zn-0.7Y 합금의 경우는 초정으로 응고된 α-Mg이 수지상으로 성장하고, α-Mg과 I상이 층상(lamella)형태의 공정상으로 결정립계에 형성된

Table 1. Elemental composition of grain and grain boundary in the atomized powders (Fig. 4) detected using EDS

	Mg	Zn	Y
A (At %)	94.21	3.68	2.11
B (At %)	88.26	6.82	4.92

것으로 보고 되어지고 있다<sup>6)</sup>. 그림 4 및 표 1은 제조된 Mg-Zn-Y 분말의 기지 및 결정립계의 EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) 결과를 보여주고 있다. 기지에 비해 Zn 및 Y의 분율이 상대적으로 높은 것을 알 수 있으며, 이러한 결과로부터 I상은 결정립계에 대부분 석출된 것으로 사료된다.

그림 5는 63~90 μm(그룹 C)의 크기를 가지는 분말로부터 압출된 시편의 단면(압출방향에 수직인 면)을 SEM으로 관찰한 것이다. 압출이 진행되는 동안 소성변형에 의해 결정립크기가 초기의 4-5 μm에서 약 3 μm로 감소한 것을 관찰할 수 있다. 이와 같은 현상은 압출 및 압연 등의 소성변형 시 발생하는 결정립 미세화에 기인하며, 동일한 조성의 주조재의 경우에도 같은 현상이 보고되어지고 있다. 예를 들어, Singh 등은 약 30-40 μm의 Mg-4.2Zn-0.8Y 주조재를 약 250°C에서 10:1의 비로 압출 시 결정립이 약 10-15 μm로 미세화 되어 기계적 성질의 향상이 기대된다고 보고한 바 있다<sup>7)</sup>.

그림 6은 압출재의 상온 인장시험 결과를 보여주고 있다. 초기 분말의 크기가 증가함에 따라 인장강도는 284 MPa에서 246 MPa로, 연신은 17%에서 14%로 조금 감소하는 것을 보여준다. 압출재의 강도와 연신

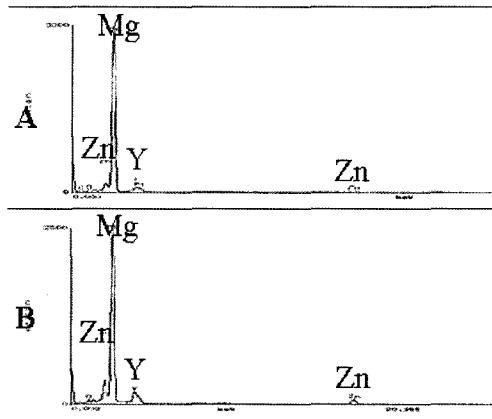
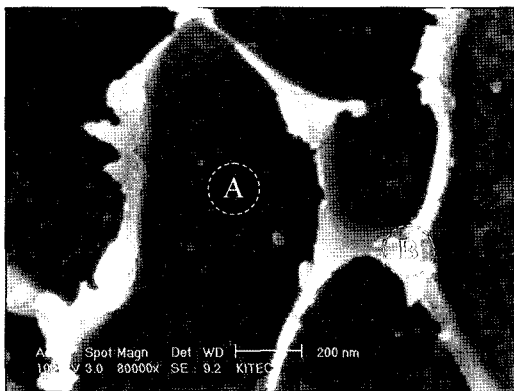


Fig. 4. EDS analysis for grains (A) and grain boundaries (B) on SEM micrograph.

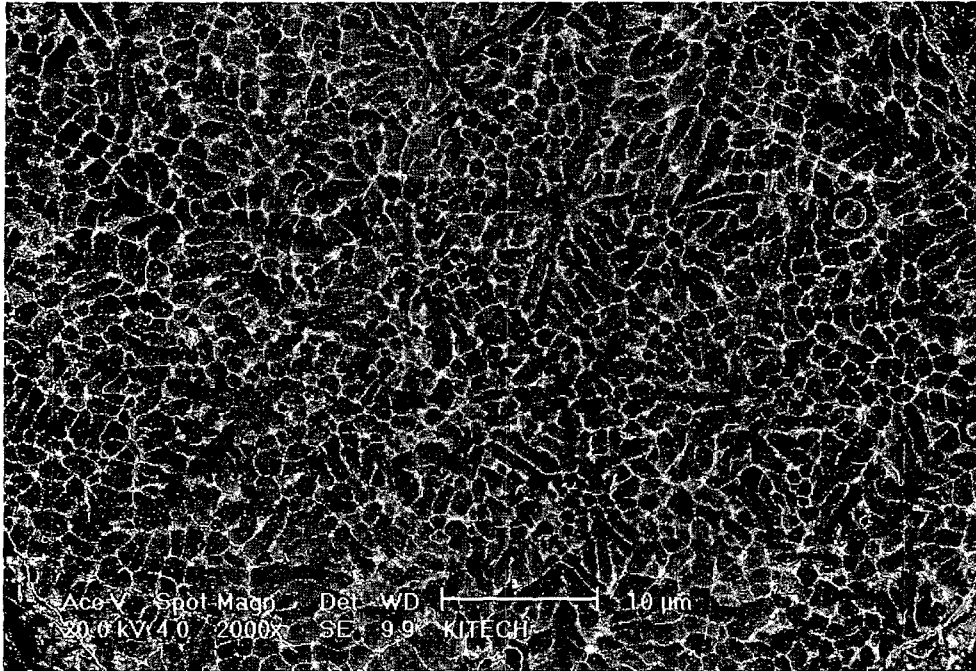


Fig 5. SEM micrograph of Mg-4.3Zn-0.7Y bar (group C).

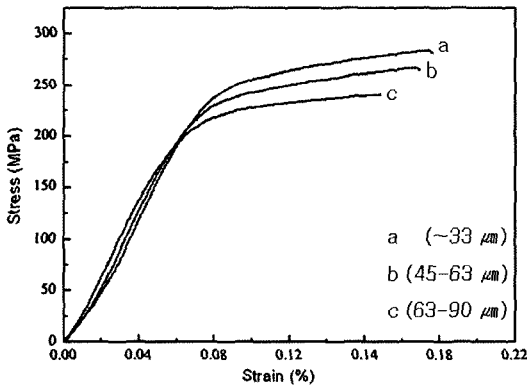


Fig 6. Tensile strengths of extruded bars with initial powder size.

은 상용 Mg 주조재에 비해 높은 값을 나타내고 있으며, 이러한 높은 강도와 연신율은 급냉응고된 합금분말 및 압출시의 소성변형에 의한 결정립미세화와 제 2상인 I-상에 의한 강화효과에 기인하는 것으로 사료된다. 최근 Mg-Zn-Y계 합금에서 I-상의 준주기적배열에 의해, 기지와 I-상은 낮은 불일치도를 가지며 안정한 계면을 형성하는 것으로 보고되었다<sup>6)</sup>.

그러므로, Mg-Zn-Y 압출재의 우수한 연신과 강도

는 기지에 분포하는 I-상과 기지와의 낮은 계면에너지의 의한 결정립 조대화 억제 및 이에 따른 결정립 미세화에 기인하는 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

산업용 가스 아토타미저에 의해 제조된 Mg-4.3Zn-0.7Y 합금분말은 구형에 가까운 형상을 가졌으며, 평균 입자의 크기는 대략 55 μm 이었다. 합금분말의 결정립 크기는 약 2-5 μm 이었고 압출 후에는 약 2-3 μm로 감소하였다. 초기분말의 크기가 직경 33 μm 이하인 경우, 압출재의 인장강도와 연신은 각각 284 MPa과 17%였으며, 이러한 우수한 강도와 연신률은 급냉응고된 합금분말 및 압출시의 소성변형에 의한 결정립미세화와 제 2상인 I-상에 의한 강화효과에 기인하는 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. S. H. Kim, D. H. Kim and N. J. Kim : Mater. Sci. Eng. A, **226** (1997) 1030.
2. M. Suzuki, T. Kimura, J. Koike and K. Maruyama : Scripta Mater., **48** (2003) 997.

3. D. H. Bae, S. H. Kim, W. T. Kim and D. H. Kim : Mater. Trans, **42** (2001) 2144.
4. M. Nishida, Y. Kawamura and T. Yamamoto : Mater. Sci. Eng. A, **375** (2004) 1217.
5. A. Singh and A. P. Tasi : Scripta Mater, **49** (2003) 143.
6. D. H. Bae : Acta Materialia , **50** (2002) 2343.
7. A. Singh, M. Watanabe, A. Kato and A. P. Tasi : Mat. Sci. Eng. A, **38** (2004) 382.