

# 아토마이저법에 의한 Mn-Al 자성분말 합성 기술

이정구\*, 백연경, 최철진

기능재료연구본부, 한국기계연구원 부설 재료연구소

## 1. 서론

녹색성장을 위한 에너지 고효율 이용이라는 사회적 요구에 따라 고성능 희토류 영구자석이 주목을 받고 있다. 이러한 자석물질 중에서 Sm-Co, Nd-Fe-B, Sm-Fe-N과 같은 희토류-천이금속 금속간화합물은 매우 높은 자기특성을 나타내는 것으로 알려져 있지만, 희토류자원의 불안정한 수급성 및 가격폭등으로 가까운 미래에 자석의 안정적인 공급에 차질이 우려된다. Mn-Al 영구자석은 우수한 자기특성을 가지고 있어 이방성 페라이트의 대체 가능성으로 많은 주목을 받아왔으며, 특히 Mn과 Al은 저렴한 가격 및 매장량이 풍부하다는 점에서 각광을 받고 있다. Mn-Al계에서  $\tau$  상이 유일하게 강자성을 발현하나, 이는 준 안정상으로 일반적으로 고온상인  $\epsilon$  상을 급냉하는 방법과 적절한 속도로 냉각하는 방법에 의해서만 얻을 수 있다. 따라서 Mn-Al 합금의 자기특성은  $\epsilon \rightarrow \tau$  상변화 동안에 발생하는 미세조직에 매우 민감하게 의존하는 것으로 알려져 있다. 지금까지, 실용적인 영구자석은 Mn-Al 합금에 Carbon을 첨가하여 압출하여 얻어졌다. 하지만 Carbon이 도핑된 Mn-Al 합금은 페라이트나 알니코와 비교하여 큐리온도가 낮고 압출공정은 다소 고비용이 필요하다는 단점이 있다. 따라서, Mn-Al 합금분말의 자기특성을 향상시키기 위한 최적의 열처리 조건을 확립하는 것이 매우 시급하다. 본 연구에서는,  $\epsilon$  상 Mn-Al 합금분말을 가스 아토마이저법에 의해 제조한 다음 열처리 과정을 통해 강자성  $\tau$  상을 제조하였다. 특히, 아토마이저로 제조된 Mn-Al 합금분말의 자기특성에 미치는 입자크기와 열처리 공정의 영향을 체계적으로 조사하였다. 또한 미분쇄공정이 입자크기와 자기특성에 미치는 영향에 대해서도 조사하였다.

## 2. 실험방법

실험에는 고순도(>99.9%) Mn 과 Al를 이용하였다. Mn과 Al를 유도용해하여 Mn-30 wt.% Al 조성의 모합금을 제조하였다. 이 모합금은 60 kgf/mm<sup>2</sup>의 압력의 질소가스로 아토마이저를 실시하여 합금분말을 제조하였다. 이렇게 제조된 아토마이저 분말은 25~38, 45~75, 100~150  $\mu$ m로 각각 분급을 실시한 다음, 500~700°C 온도에서 진공열처리 한 후 실온으로 냉각하였다. 기계적 미분쇄 과정은 2가지 방법으로 실시하였다. 첫 번째는 아토마이저로 제조된  $\epsilon$  상 분말을  $\tau$  상으로 상변화시키기 위하여 먼저 650°C에서 20분간 열처리한 다음 볼밀을 실시하였다 (이후 P1으로 표기). 두 번째는 아토마이저로 제조된 분말을 먼저 P1과 같은 조건에서 볼밀을 실시한 다음 열처리를 실시하였다. 또한 P1 공정에서는 볼밀 후 280°C 온도에서 추가 진공열처리를 20분 실시하였다. 분말의 구조와 크기는 X-ray diffraction (XRD)와 scanning electron microscopy (SEM)으로 관찰하였다. 그리고 분말의 자기적 특성은 vibrating sample magnetometer (VSM) 로 조사하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 가스아토마이저법으로 제조된 Mn-Al 합금분말의 전형적인 SEM 사진이다. XRD 분석 결과 아토마이저로 제조된 분말은 100% 고온상인  $\epsilon$  상인 것으로 확인되었다. 이 합금분말을 500~700°C 온도에서 20분간 열처리 한 결과, 온도가 550°C까지 올라감에 따라  $\tau$  상에 해당하는 XRD peak의 강도가 증가하였다. 하지만 보다 높은 600~700°C 온도까지 올리면 평형상인  $\gamma_2$ ,  $\beta$  상에 해당하는 XRD peak의 강도가 점차로 증가하였다.

그림 2 는 잔류자화와 보자력의 입자크기와 열처리 온도에 의한 변화를 나타내고 있다. 입자크기와 상관없이 열처리온도가 650°C까지 올라감에 따라 잔류자화와 보자력은 증가하였다. 하지만 700°C에서는 감소하였다.

또한, 보자력은 500~550°C 온도까지 급격하게 증가하고 550~650°C 온도에서는 크게 변하지 않았다. 한편, 작은 크기의 분말이 높은 보자력을 나타내었다.

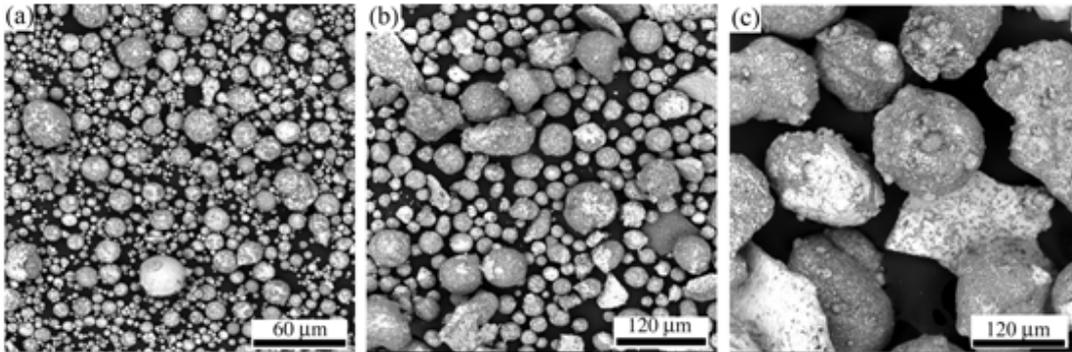


Fig. 1. Typical SEM images of the gas-atomized Mn-Al powders with different particle size: (a) 25~38  $\mu\text{m}$ , (b) 45~75  $\mu\text{m}$ , and (c) 100~150  $\mu\text{m}$ .

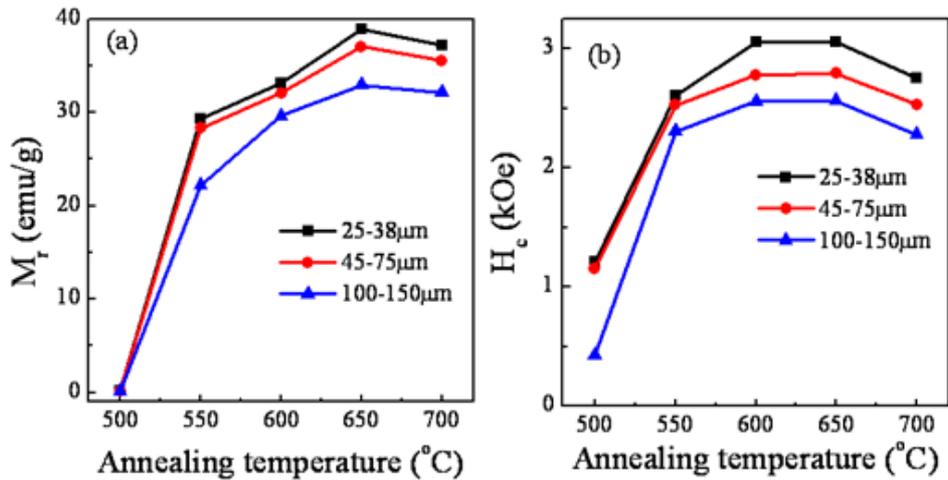


Fig. 2. Effects of particle size and annealing temperature on the  $M_r$  and  $H_c$  of the annealed powders. Annealing : at 500~700°C in an interval of 50°C for 20 min.

본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.