

α -Fe와 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상으로 구성된 Nd-Fe-B 나노복합합금의 자기적 성질
(Magnetic properties of nanocomposite Nd-Fe-B composed of
 α -Fe and $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ phases)

선문대학교, 박정호, 장태석

Tetragonal 구조를 갖는 정량적 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ($\approx \text{Nd}_{12}\text{Fe}_{82}\text{B}_6$) 화합물에서의 Nd양보다 적은 양의 Nd를 함유하는 Nd-Fe-B 합금에서는, 일반적으로 입자크기가 큰 연자성 α -Fe가 지나치게 많이 존재하면서 외부에서 가해주는 자장에 대해 강자성 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 와 별개의 자기적 변화를 보여주기 때문에, 보자력이 아주 적어 실용성이 없다. 그러나 이러한 합금을 급냉응고한 후 적절히 열처리해주면 α -Fe와 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 입자가 나노화하면서 이들 사이에 교환상호작용이 일어나 등방성 상태에서도 $M_s/2$ 보다 큰 잔류자화와 함께 적절한 크기의 보자력도 얻을 수 있다. 이러한 교환상호작용은 연자성 Fe₃B와 강자성 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 사이에서도 일어날 수 있으나, 이 합금 시스템에서는 일반적으로 전자에서보다 적은 보자력이 얻어진다. 본 연구에서는 목표조성이 $\text{Nd}_9\text{Fe}_{84}\text{B}_7$ 인 합금을 냉각속도를 변화시키면서 급냉응고하고 다양한 조건에서 열처리를 실시한 후, 이러한 열처리 조건의 변화에 따른 자기적 성질의 변화를 조사하였다.

우선 냉각속도, 즉 Cu wheel (ϕ 200mm)의 회전속도를 30 - 45 m/s로 변화시키면서 급냉응고시킨 합금의 x선회절패턴을 분석한 결과, 30 m/s에서는 비정질상과 함께 소량의 α -Fe, $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상이 함께 정출하였으나, 35m/s 이상에서는 합금이 완전히 비정질화하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과를 토대로 45 m/s에서 급냉응고시킨 합금들을 650 - 725°C의 범위에서 각각 5, 7, 10, 12, 15분간 열처리한 결과, 열처리 후에는 모든 합금들이 α -Fe와 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 가 혼합된 복합상으로 이루어지고 있었다. 그러나 상의 전개 정도는 서로 달라서 열처리 온도 또는 시간이 낮거나 짧을 때에는 α -Fe와 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 의 전개가 불완전하여 자기이력곡선의 이상한에서 굴곡이 나타나는 경향이 비교적 뚜렷하게 나타난 반면, 열처리 온도가 높고 시간이 길 때에는 상의 전개가 비교적 완벽하게 일어나면서 이러한 굴곡이 사라짐을 알 수 있었다. 특히 700 - 725 °C에서 10 - 15분간 열처리한 합금들은 마치 강자성 단일상으로 이루어진 합금에서의 매끄러운 자기이력곡선과 같은 형태의 자기이력곡선을 나타내, α -Fe와 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 사이의 교환상호작용이 잘 일어나고 있음을 알 수 있었다. 그러나 이러한 차이에도 불구하고 모든 합금들이 66% 이상의 M_r/M_s 비율을 나타냄으로써, 열처리 조건의 변화에 관계없이 교환상호작용은 일어나고 있음을 알 수 있었다. 700 °C 이상에서 열처리한 합금들에서는 M_r/M_s 의 비가 대부분 70% 이상이었으며, 700 °C에서 15분간 열처리한 합금의 경우 $M_r/M_s = 71\%$, $iH_c = 3 \text{ kOe}$, $(BH)_{\max} = 13.9 \text{ MGOe}$ 의 자기적 특성을 나타내었다. 한편 recoil 특성을 조사해본 결과, 교환상호작용이 이상적으로 일어나는 복합합금에서의 recoil 특성과 단일상으로 이루어진 합금에서의 recoil 특성의 중간정도의 특성을 나타내, $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 와 α -Fe의 입자 크기와 분포가 최적 상태에 이르지 못하고 있는 것을 알 수 있었다. 그 결과, 보자력은 기대했던 것보다 적어 대부분의 합금들이 3 kOe 내외의 값을 나타내었다.