

## 나노결정 NdFeB 영구자석의 자기적 특성과 미세조직

한국표준과학연구원 김형태\*, 조성호, 김윤배  
 Kurchatov Institut G.A. Kapustine  
 광양대학 전우용  
 전북대학교 김학산

Magnetic Properties and Microstructure of Nanocrystalline  
 NdFeB Permanent Magnets

KRISS H.T. Kim\*, S.H. Cho, Y.B. Kim  
 Kurchatov Institute G.A. Kapustin  
 Kwangyang College W.Y. Jeon  
 Chonbuk National University H.S. Kim

## 1. 서론

급냉응고된 NdFeB 리본합금은 수십 나노크기의  $Nd_2Fe_{14}B$  강자성상으로 이루어져 있다 [1]. 이와 같은 합금분말은 열간가공을 거쳐 나노결정 NdFeB 영구자석으로 제조될 수 있다. 그러나 열간가공 단계에서 상대적으로 조대한 입자들은 시료에 가해지는 응력에 민감하게 반응하지 못하여 불규칙한 방위분포를 그대로 유지하게 되어서, 잔류자화와 보자력을 저하시키는 결과를 가져오는 요인으로 작용한다. 특히 열간소성변형에 의해 이방성 자석을 제조하는데 전구체(precursor)로 사용되는 등방성 자석은 리본분말의 보자력을 그대로 유지된 상태로 제조할 수 있으나,  $Nd_2Fe_{14}B$  입자들의 집합조직 형성으로 인한 이방성이 부여되는 이방성 자석은 열간소성변형과정에서 입자성장으로 인하여 보자력이 급속히 저하하게 된다. 본 연구에서는 CAPA 공정[2]에 의해 나노결정 NdFeB 영구자석을 제조하고, 등방성 및 이방성 NdFeB 자석의 미세조직과 결정성장 거동을 관찰하였다.

## 2. 실험방법

본 실험에 사용된 원료분말은 급냉응고법으로 제조하여 결정화 처리를 거친 MQP-A(미국, GM社) 분말이다. 흑연몰드를 이용하여 CA-press 공정에 의해 등방성 NdFeB 자석을 제조한 후, CA-deformation 공정에 의해  $Nd_2Fe_{14}B$ 의 c-축이 프레스 방향으로 정렬된 이방성 자석을 제조하였다. CA-press에 의해 직경 20 mm, 두께 8 mm 크기의 등방성 자석을 제조한 후 CA-deformation에 의해 이방성 자석을 제조하였다. 제조된 시편의 자기적 특성은  $2mm \times 2mm \times 2mm$ 로 시편을 절단한 후 최대 7960 kA/m (~10 T)의 자장을 가할 수 있는 펄스마그네토미터(Pulsed field magnetometer)를 이용하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 등방성 자석을 프레스 응력 축 방향과 응력축에 수직인 방향으로 펄스마그네토미터를 이용하여 측정한 자기이력곡선을 나타낸 것이다. 잔류자화값이 차이를 보이는 것은 기본적으로 등방성이지만 부분적으로 자화 용이 방향인  $Nd_2Fe_{14}B$  c-축이 프레스 응력 축 방향으로 정렬되어 있기 때문이며, 입자경계 부근에서 이방성 결정성장을 관찰할 수 있었다. 보자력이 원료분말 이상인 시료에서는 분말상태의  $Nd_2Fe_{14}B$  결정상의 크기를 그대로 유지한 약 50 nm이었으며, 입자경계 부분에서 부분적으로 조대

화된 등축결정을 형성하는 영역을 제외하고는 결정립의 성장이 거의 없는 것으로 판단된다.

Fig. 2는 이방성 자석의 방향에 따른 자기이력곡선을 나타낸 것으로, 방향에 따라 보자력은 같은 반면 잔류자화 특성은 큰 차이를 보이고 있다. 이것은 등방성 조직에서 관찰되었던 등축 결정이 프레스 응력방향의 수직방향으로 성장하면서 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B c-축이 프레스 방향으로 정렬된 집합조직을 강하게 형성하는데서 기인되는 것으로, 두께가 약 50 nm 이고 길이가 약 500 nm 인 결정이 프레스 응력축의 수직방향으로 적층되어 있는 구조를 형성하고 있기 때문이다 (Fig.3(b)).

Fig. 3(a)는 등방성 자석에서 조대화된 결정 사이에서 관찰된 Nd-rich 상을 보여주고 있다. 결정입계에 약 10-30 nm 크기의 상들이 길게 늘어서 있으며, 이방성 자석의 경우에도 등방성 자석에서 관찰된 것과 유사한 Nd-rich 상들의 분포를 관찰할 수 있었다 Fig. 3(b).

#### 4. 참고문헌

- [1] A. Melsheimer, M. Seeger and H.Kronmuller, J. Magn. Magn. Mater., 202, 458(1999).
- [2] H.T. Kim, Y.B. Kim and H.S. Kim, J. Magn. Magn. Mater., 224, 173(2001).

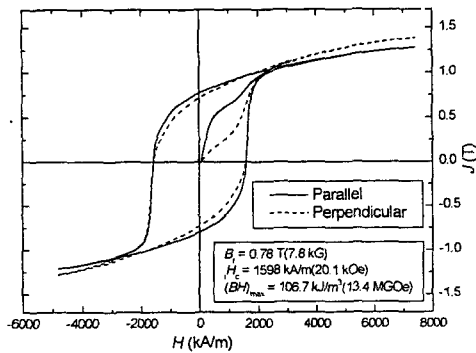


Fig.1 Magnetic hysteresis loops of the CA-pressed isotropic magnet obtained from MQPA power.

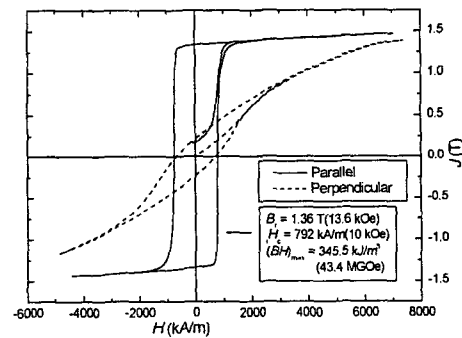


Fig. 2 Magnetic hysteresis loops of the CA-deformed anisotropic magnet obtained from MQPA power.



Fig. 3 SEM images of the fracture surface of isotropic magnet (a) and anisotropic magnet (b).