

미소자기 전산모사를 이용한 NdFeB 영구자석의 미세구조 최적화

최진혁^{1*}, 이재혁¹, 정연준², 한보경², 김상국¹

¹서울대학교 재료공학부, ²현대자동차 분말소재개발팀

1. 서론

상용화된 (Nd_{0.7}Dy_{0.3})-Fe-B 자석은 ~240kJm⁻³의 (BH)_{max}와 ~3.0T의 보자력을 가지며 하이브리드 자동차 및 전기차의 모터에 사용되고 있다. 하지만 중희토류 원소인 Dy의 자원량은 희박하며 가격이 비싸기 때문에, 이를 저감시키거나 완전히 없앤 Nd-Fe-B 영구자석의 개발이 큰 관심을 모으고 있다.[1] 중희토류를 사용하지 않고 Nd계 자석의 보자력을 향상시키기 위해서는 무엇보다 재료의 미세구조 및 자구의 역할을 이해하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 유한요소법 모델링 및 전산모사를 통해 영구자석의 미세구조를 제어함으로써 보자력을 향상할 수 있는 방법을 살펴보았다.

2. 방법

유한요소법 미소자기 전산모사(FEMME)[2]를 사용하여 계산을 진행하였다. 500nm³ 큐브 내에 보로노이 다이어그램(Voronoi diagram)을 이용하여 다수의 결정립과 수 nm의 결정립계를 형성시켰다(그림 1). z축으로 각 결정립의 자화용이축을 배열시킨 후, z축으로 외부자기장 +6T ~ -6T 까지 변화하며 자기이력곡선 및 자화반전 과정을 분석하였다.

최근 결정립계의 자성특성을 전자 홀로그래피(Electron holography), 스핀편향 주사전자현미경(spin polarized SEM) 등으로 관찰한 실험 결과에 따르면 결정립계가 상당한 포화자화값을 가짐이 확인되었다[3,4]. 본 연구에서는 결정립계의 특성에 따라 변화하는 보자력, 잔류자화 및 자화반전 과정을 전산모사를 통해 분석하였다.

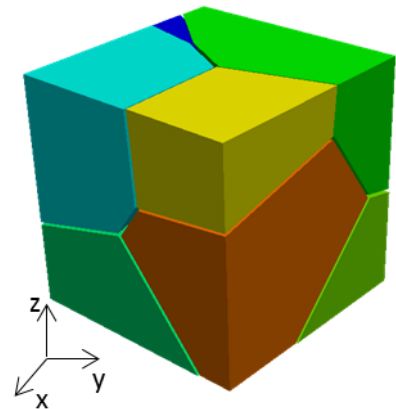


그림 1. 결정립 구조 설계

3. 결과 및 고찰

큐브 내 8, 27, 64 개의 결정립을 생성하며 그 평균 크기를 달리한 모델에서 보자력을 비교하였을 시 결정립의 크기가 작아질수록 보자력이 증가함을 확인할 수 있었다. 또한, 결정립계의 포화자화값을 달리하며 보자력을 분석하였을 시 결정립계의 포화자화값이 감소할수록 보자력은 증가함을 확인하였다(그림 2). 반면, 결정립계의 A_{ex}(Exchange stiffness constant)의 변화는 보자력에 큰 영향을 끼치지 못함을 확인하였다.

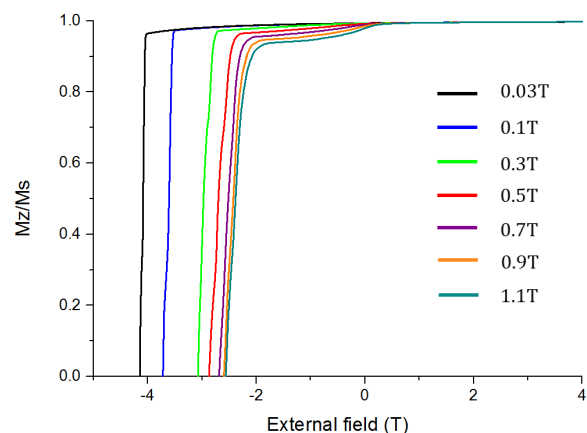


그림 2. 결정립계 포화자화값에 따른 자기이력곡선

4. 참고문헌

- [1] K.Hono and H.Sepehri-Amin, *Scripta Materialia* 67,530 (2012)
- [2] D. Suess, and T. Schrefl, FEMME: Finite Element MicroMagnEtics 5.0.9 (SuessCo, <http://suessco.com/>).
- [3] Teruo Kohashi, Kumi Motai, Takeshi Nishiuchi and Satoshi Hirosawa, *Applied Physics Letters* 104, 232408 (2014)
- [4] Y. Murakami, T. Tanigaki, T. T. Sasaki, Y. Takeno, H. S. Park, T. Matsuda, T. Ohkubo, K. Hono, and D. Shindo, *Acta Materialia* 71, 370 (2014)