

Dy 화합물 혼합에 따른 (Nd, Dy)-Fe-B 소결자석의 보자력 변화

남궁 석*, 이민우, 박영덕, 조인식, 장태석, 박송이¹, 이성래¹

선문대학교 대학원 재료금속공학과

¹고려대학교 신소재공학과

1. 서론

일반적으로 Nd-Fe-B 소결자석의 보자력을 증가시키기 위해 Dy, Tb와 같은 중희토류 원소를 첨가하는 것은 이들 원소의 이방성자장이 매우 커서 이들이 강자성 2:14:1 상의 Nd와 치환되어 들어가면 2:14:1의 결정자기이방성을 증가시키기 때문이다. 그러나 보자력은 증가하는 대신 이들 원소와 Fe와의 반강자성결합 때문에 자화값이 감소하여 결과적으로 자석의 $(BH)_{max}$ 값이 감소하는 단점도 있다. 또한 이들 원소는 Nd에 비해 매우 비싸고 자원이 부족하여 많은 양이 사용될 경우 자석 가격의 상승은 물론이고 자원고갈 문제도 심각하게 대두될 수 있다. 하지만 현재의 기술로는 이들 원소의 도움없이 25 kOe 이상의 보자력을 갖는 고보자력 이방성 소결자석을 제조하기가 불가능하며, 현재 제조되고 있는 고보자력 자석, 특히 HEV 구동용으로 제조되는 자석은 200°C 이상의 고온에서도 자석이 안정하게 기능할 수 있도록 충분한 보자력을 부여하기 위하여 상온에서는 더 높은 보자력 (≥ 30 kOe)을 유지하여야 하기 때문에, 이들 원소가 필요 이상으로 많이 첨가되고 있다. 최근 이들의 사용량을 줄이면서도 높은 보자력을 얻을 수 있는 기술로 개발된 것이 자석 표면에 다양한 방법으로 Dy (또는 Tb)를 코팅한 후 열처리를 하여 입계를 따라 Dy가 확산되어 들어가 자기이방성이 높은 층을 형성하여 보자력을 향상시키는 방법이다. 그러나 이 경우 제조 공정이 복잡해지고 자석 두께에 따라 Dy가 불균일하게 확산이 되는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 자성 합금분말 자체를 자기이방성을 부여할 수 있는 물질로 coating한 후 소결하여 소결체의 각 결정립이 균일하게 자기이방성이 높은 층으로 둘러싸인 core-shell type 구조를 가질 수 있도록 하여 보자력을 증가시키는 방법을 모색하고자 하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 32.6RE(Dy 6.5 wt%)TM-B 합금을 용해한 후 스트립캐스터를 통해 급속 냉각하여 두께가 약 0.2 ~ 0.4 mm인 합금스트립을 제조하였다. 제조된 스트립은 0.1 MPa의 수소압력으로 400°C에서 2시간 동안 수소처리를 실시한 후 진공 분위기에서 550°C의 온도로 가열하여 수소를 제거하였다. 수소/탈수소 처리한 스트립은 젯밀을 이용하여 분쇄하였으며 약 5~6 μm 의 분말을 제조하였다. 제조된 자성분말에 소량의 Dy₂O₃, DyF₃, 와 DyHx를 각각 혼합한 후 건식 혼합하였다. 이렇게 혼합된 분말은 1.9 T의 자장하에서 일축자장성형을 한 후, 진공소결을 하였다. 이후 850°C, 530°C, 500°C에서 순차적으로 각각 2시간씩 1, 2, 3차 열처리를 실시하였다. 혼입에 사용된 Dy화합물 분말의 형상과 분포, 소결체의 미세구조는 주사전자현미경(Scanning electron microscopy; Hitachi S-3000N)을 통하여 분석하였고, 소결체의 자기특성은 BH loop tracer (Magnet physik Permagraph C-300)를 이용하여 측정하였다. 소결체 내 첨가 화합물의 분포 및 성분은 SEM-EDS와 EPMA를 통하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

소량의 Dy₂O₃나 DyF₃와 같은 Dy 화합물 분말을 자성합금 분말과 혼합한 후 소결을 실시한 결과, 그림에 나타난 바와 같이 Dy 화합물의 첨가량에 비례하여 보자력이 증가하여, Dy₂O₃를 2.0 wt%, DyF₃를 2.4 wt% 혼

합했을 때 8.1 wt%의 Dy를 함유한 합금분말로 제조한 소결자석으로부터 얻어지는 보자력에 상응하는 보자력을 얻을 수 있음을 확인하였다. 이것은 모합금 제조시의 Dy 사용량을 줄이고도 원하는 만큼의 보자력을 얻을 수 있음을 보여주는 것이다.

주어진 소결조건에서, Dy₂O₃를 혼합한 경우에는 Dy가 주로 입계 부근에 분포하며 core-shell type 구조를 형성한 반면, DyF₃를 혼합한 경우에는 Dy가 결정립 내에 고르게 분포하면서 보자력 증가 효과가 더 컸으나 상대적으로 잔류자화는 더 감소하였다. 이와 같이 혼합 소결 후 Dy 분포에 차이가 나는 것은 두 화합물의 결합 에너지 차이에 의한 것으로 생각되며, O와 F는 Nd-rich 계면에 집중 분포함을 확인하였다.

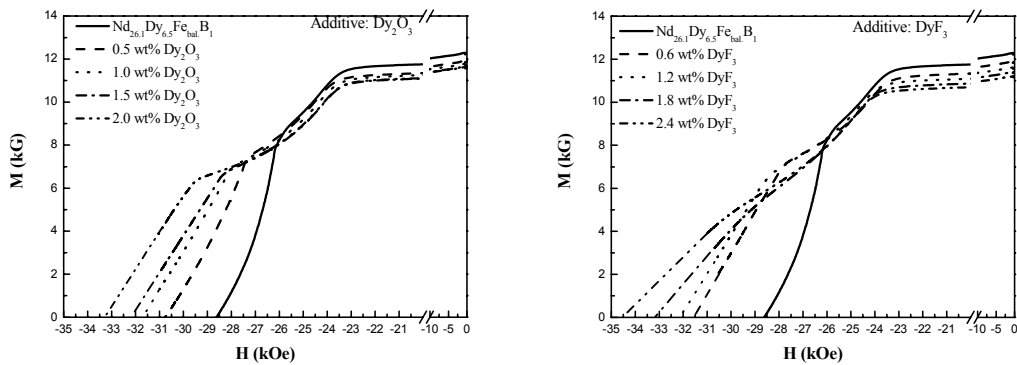


Fig. 1. Demagnetization curves of sintered magnets.

4. 결론

소량의 Dy 화합물을 혼합하여 보자력이 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 각각의 화합물에 따라 Dy의 확산 및 분포가 다르며, 이에 따라 자기특성에 미치는 영향이 다르다는 것을 확인하였다. Dy 화합물의 응집을 제거하고, 모재분말과 균일하게 혼합되도록 한 후 최적화된 조건에서 소결 및 열처리를 실시한다면 보다 향상된 자기특성을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.