

NdFeB 소결자석의 제조공정 개선에 의한 자기특성 향상

남궁 석*, 이연호, 김문갑, 이민우, 장태석

선문대학교 대학원 재료금속공학과, 충남 아산시 탕정면 갈산리 100

1. 서론

NdFeB 자석은 1984년에 발표된[1,2] 이후 1990년대 들어 본격적인 상용화가 시작되었으며, 우수한 자기적 특성으로 인하여 각종 전자기기 부품에 필수적으로 사용되면서 이제는 최종 제품의 경쟁력을 결정하는 핵심기반소재로 자리 잡았다. 최근에는 미래형 자동차, 지능형 로봇, 그린 에너지 등 차세대 성장동력산업에서도 자성소재와 그 응용부품이 더욱 중요한 위치를 차지하게 되면서, 이 자석의 수요가 더욱 빠르게 증가하고 있다. 2000년대 초중반까지 희토류 소결자석은 주로 HDD용 VCM 혹은 MRI 등에 사용되면서 부품의 소형화와 고에너지화를 위해 자석의 잔류자속밀도를 향상시키기 위한 연구가 주로 이루어져 왔지만, 2000년대 중반 이후에는 응용분야가 고성능 모터 분야로 본격적으로 확대되면서 자기적으로 열악한 환경에서도 사용 가능하도록 보자력을 향상시키기 연구가 중요한 이슈로 등장하였다. 현재 하이브리드자동차의 구동모터와 같이 고온/고출력 환경에서 사용되는 응용분야에는 200 °C 이상에서도 자석이 안정적으로 그 기능을 발휘할 수 있도록 30 kOe 이상의 높은 보자력을 가져야 하는 것으로 알려져 있다.[3]

NdFeB 소결자석의 보자력을 증가시키기 위해서는 결정자기이방성이 매우 큰 Dy나 Tb 같은 원소로 Nd를 치환하는 것이 일반적이거나, 보자력은 증가하는 대신 포화자화값이 감소하여 결과적으로 자석의 $(BH)_{max}$ 값이 상당히 감소된다. 또한 이들의 가격이 Nd에 비해 월등히 비싸고 자원이 부족하여 많은 양이 사용될 경우 자석 가격의 상승 및 자원고갈 문제를 야기할 수도 있다. 그러나 현실적으로 이들 원소의 도움 없이 25 kOe 이상의 보자력을 갖는 고보자력 이방성 소결자석을 제조하기는 불가능하다. 따라서 이들의 사용을 최대한 억제하면서도 높은 보자력을 얻기 위해서는 자석의 전반적인 미세조직 특성을 개량함으로써 조직의 불균일성에 의해 보자력이 감소하는 것을 방지할 수 있는 요소 기술들의 개발이 필요하다.

이를 위하여, 본 연구에서는 NdFeB 소결자석 제조를 위한 단계별 단위 기술들의 개선 및 최적화를 통하여 소결자석의 자기적 특성, 특히 보자력 향상을 도모하고자 하였으며, 그 중에서 모합금 제조 및 분쇄 공정의 개선이 자기적 특성에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 합금의 총희토류량은 32.6 wt%로, 이중에서 Dy를 2~10 wt%까지 변화시키며 strip casting 법으로 모합금을 제조하였고, 균질한 모합금이 얻어지도록 캐스팅 조건을 조절하였다. 모합금의 조분쇄를 위한 수소처리에는 0.12 MPa의 압력하에서 온도를 상온 ~ 500°C까지 변경하며 실시한 후 진공분위기에서 탈수소처리하였다. 최종분말은 젓밀 분급기의 회전수를 제어하여 다양한 크기의 분말로 제조하였다. 통상적인 방법으로 자장성형된 성형체는 진공소결로에서 1070°C/4 hr의 조건으로 소결하였으며, 소결 후에는 다양한 조건에서 열처리를 실시하였다. 제조된 분말의 입도, 형상 및 분포는 입도분석기, SEM 등을 통하여 분석하였고, 소결체의 자기적 특성은 BH loop tracer를 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Dy 함량을 변화시키며 strip 합금을 제조한 결과 Dy 함량이 증가할수록 강자성 2:14:1상과 비자성 Nd-rich 상으로 이루어진 층상구조가 잘 발달하였으며, 그 간격도 감소하였다. 일반적으로 수소처리를 상온에서 실시하

던 것과 달리, 400°C에서 실시하였을 때 가장 높은 보자력이 얻어졌는데, 이는 분말 자체의 크기 변화보다는 Nd-rich상의 분포 변화에 기인한 것으로 보인다.

한편, 젯밀 분선기(classifier)의 회전속도를 7000 rpm까지 변화시키며 분말을 제조한 결과, 회전속도가 증가할수록 분말의 크기는 감소하였으나, 분말의 크기가 작아지면 이에 따라 소결자석의 보자력도 증가하고 잔류자화는 감소하는 일반적인 경향과는 달리, 분말의 크기가 작아질수록 잔류자화는 증가하고 보자력은 감소하는 정반대의 경향을 나타내었다. 이에 대한 원인은 아직 확실하지 않으나 분급과정에서 분말크기가 작아질수록 대부분 미분으로 존재할 Nd-rich상이 제거되면서 일어난 현상으로 보인다. 또한 소결 후의 열처리를 통상적인 2단계 열처리 대신 3단계를 거쳐 실시한 결과, 보자력이 증가하는 것을 확인하였다. 이러한 결과들을 종합하여 개선된 공정기술을 적용하여 소결자석을 제조하였을 때, Fig. 1에 나타난 것처럼 동일한 조성에서 잔류자화의 감소없이 2~3 kOe의 보자력 증대 효과를 얻을 수 있었다.

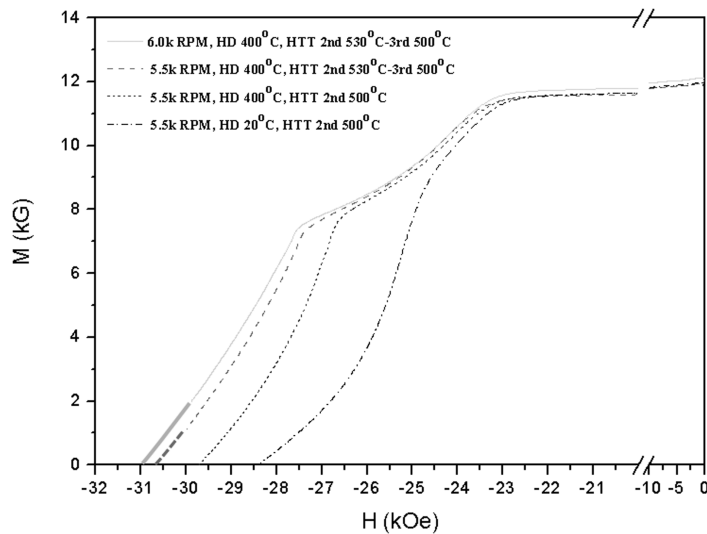


Fig. 1. Demagnetization curves of sintered magnets.

4. 결론

모합금 균질도 향상을 비롯한 소결자석 제조 공정기술들의 부분적 개선과 최적화를 통하여 종전보다 Dy 함량을 15% 이상 줄이고도 32 kOe 이상의 보자력과 67 (MGOe+kOe) 이상의 경자기지수를 갖는 우수한 자석을 제조할 수 있었다. 즉 이러한 단계별 요소기술의 개선은 궁극적으로 자석의 미세조직 특성을 개선하는 결과를 가져왔으며, 이로부터 Dy 함량을 저감하고도 높은 보자력을 얻는 일석이조의 효과를 얻을 수 있었다.

5. 참고문헌

- [1] M. Sagawa, S.Fujimura, H. Yamamoto and Y. Matura, *J.Appl. Phys.* **55** (1984), 2083.
- [2] J. J. Croat, J. F. Herbst, R.W. Lee and F. E. Pinkerton, *J.Appl.Phys.* **55** (1984), 2078.
- [3] 장태석, 재료마당 23권 2호, 30.

* 본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.