

NdFeB 소결자석의 고보자력 고온 안정화에 대한 연구

장태석*, 임태환, 남궁석

선문대학교 하이브리드공학과, 충남 아산시 탕정면 갈산리 100

1. 서론

NdFeB 자석은 1984년에 등장한 이후 양적으로나 질적으로 많은 발전을 거듭하여 이제는 세계적 산업 소재로 성장하였다. 이 자석의 2008년도 전세계 생산량은 약 70,000톤에 이르며, 그 중 소결자석이 90 %를 차지하고 있다. 1990년대 들어서 본격적인 상용화의 궤도에 오른 NdFeB 자석은 그동안 VCM, 오디오, 비디오, 휴대폰, MRI 등과 같이 외부자장의 영향을 덜 받고 상온이나 높지 않은 온도에서 작동되는 분야에 주로 사용되어 왔다. 이러한 응용 분야에서는 보자력보다는 단순히 높은 에너지를 갖는 자석이 요구되기 때문에, 종래의 연구개발은 자석의 $(BH)_{max}$ 값을 좌우하는 잔류자화 값을 향상시키는 데에 주력하여 왔다.

그러나 최근 석유에너지의 고갈과 함께 이산화탄소 배출에 따른 지구 온난화 문제에 대처하기 위해 하이브리드/전기자동차와 같은 친환경자동차나 풍력발전과 같은 그린에너지의 개발과 상용화가 본격화함에 따라, 이들의 구동에 필요한 모터의 수요가 급증하면서 이들 모터의 핵심소재인 NdFeB 자석의 수요도 크게 증가하고 있다. 그런데 NdFeB 자석이 이와 같은 모터에 적용되기 위해서는 모터의 stator 코일에서 발생하는 반대 자장을 충분히 이겨내고 고온 환경에서도 자력을 잃지 않도록 높은 보자력을 가져야 한다. 하이브리드/전기자동차의 경우, 200~220 oC 이상에서도 안정적으로 기능을 발휘할 수 있도록 30 kOe 이상의 보자력을 갖는 자석이 요구되고 있다. [1,2] 이에 따라 최근에는 잔류자화의 감소를 최소화하면서도 보자력을 증대시키기 위한 연구가 NdFeB 자석 연구의 중요한 이슈가 되고 있다.

본 연구에서도 소재원천기술개발사업의 일환으로 이와 같이 보자력이 높은 고품성 NdFeB 소결자석을 제조하기 위한 기술을 개발하고 있으며, 이를 통하여 국내에 관련 연구기반과 기술을 확충함은 물론 고품성 자석에 대한 해외 의존도를 줄이고 미래 수요에 대비하는데 일조하고자 한다.

2. 연구방법

현대의 기술로 NdFeB 소결자석의 잔류자화는 이미 이론값의 약 97 %, $(BH)_{max}$ 도 이론값의 약 92 %에 이르러 59.5 MGOe [3]에 이르고 있는 반면, 보자력은 이론값의 40 %에도 이르지 못하고 있어서 아직도 개발할 여지가 많은 부분이다. NdFeB 자석의 보자력을 높이기 위해서는 Dy, Tb와 같은 중희토류 원소로 Nd를 치환하여 anisotropy field를 높이는 것이 일반적이나, 이 방법은 자석의 $(BH)_{max}$ 값을 상당히 감소시킬 뿐만 아니라, 이들 원소의 가격이 Nd에 비해 월등히 비싸 자석의 가격을 상승시키는 문제점이 있다. 실제로 현재 제조되는 고보자력 NdFeB 자석, 특히 자동차용으로 제조되는 자석에는 이들 원소가 필요 이상으로 많이 첨가되고 있어서, 이런 추세로는 머지않은 장래에 매장량이 많지 않은 이들 원소의 고갈을 야기할 우려가 있다. 그러므로 이들 원소를 효과적으로 사용하면서도 높은 보자력을 얻을 수 있는 방안을 마련하는 것이 필요하며, 이를 위해서는 자석의 전반적인 미세조직 특성을 개선하여 조직, 특히 결정입계의불균일성에 의한 보자력 감소를 최소화해야 한다. 따라서 본 연구에서는 자성분말의 표면/계면 특성은 물론 이를 이용하여 제조한 소결체의 결정립과 계면 특성을 정밀 제어함으로써 보자력, 나아가 자석의 자기 특성을 극대화할 수 있는 기술을 개발하는데 주안점을 두고 있다.

본 연구에는 선문대학교 외에 한양대학교, 고려대학교의 연구팀과 국내 유일의 NdFeB 소결자석 생산업체인 자화전자가 참여하여 고보자력 자석용 합금설계에서부터 모합금 및 분말특성 제어기술, 다양한 소결 및 열처리 기술, 결정립 및 계면구조 정밀 해석 등에 연구가 유기적으로 이루어지고 있으며, 순간소결(SPS)법에 의한 NdFeB

자석 제조의 가능성도 타진하고 있다.

3. 연구결과

지금까지의 연구결과, Tb를 첨가하지 않고 Dy 첨가량도 약 5 % 정도 줄인 32.6RE-TM-B 자석으로부터 영구자석 성능지수($(BH)_{max} + iH_c$) ≈ 65.4 , 보자력 ≈ 32 kOe의 우수한 특성을 얻을 수 있었으며, 200 oC에서의 감자율도 5 % 미만이어서 하이브리드자동차 구동모터의 사용 온도 범위에서도 이들 자석의 자기적 특성이 안정적으로 유지됨을 알 수 있었다. 또한 조분 제거와 반복 열처리가 보자력 향상에 효과적임을 알 수 있었으며, 2:14:1 결정립 계면의 구조 및 화학적 성분 변화가 보자력 변화와 밀접한 관계가 있음을 확인하였다.

4. 결론

현재 가장 성능이 우수한 자석은 이방성 NdFeB 소결자석이며, 미래형 자동차의 구동모터와 같은 고성능 모터용 소재로의 수요 변화에 따라 본 연구에서와 같이 고보자력, 고틱성 자석을 개발하는 것이 시급하게 되었다. 이와 같은 NdFeB 자석은 2000년대 중반 이후 매년 20~30 %의 비율로 급성장하고 있으며, 이러한 증가 추세는 이 자석을 필요로 하는 모터의 수요가 증가하는 한 계속될 것으로 전망된다. 일본의 한 경제연구소는 하이브리드자동차의 판매량이 2020년까지 매년 15~20 %, 2030년까지는 매년 13 % 정도씩 증가할 것으로 예상하고 있는데, NdFeB 자석의 수요에도 이러한 증가 추세가 그대로 반영될 것이다. 자동차 산업이 국가의 중추 산업인 우리나라에서도 NdFeB 자석은 없어서는 안 될 중요한 소재이나, 현재 고성능 자석은 전량 일본에서 수입되고 있다. 따라서 국내에서도 이에 대한 기술개발과 생산이 제 때에 이루어지지 않으면 장차 이들의 해외 의존도가 더욱 심화될 뿐만 아니라 자동차 산업은 물론 우리나라의 미래 성장동력산업인 로봇, 그린에너지 산업 등의 발전에도 커다란 장애 요인이 될 것이다.

5. 참고문헌

- [1] Y. Kaneko, Proceeding of the 16th workshop on rare earth magnets and their applications, 2, 83 (2000).
- [2] H. Nagata and M. Sagawa, Proceeding of the 17th workshop on rare earth magnets and their applications, 354p (2002).
- [3] M. Uehara, L. Magn.Magn. Mater. 284, p 281 (2004).

* 본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.