

# 희토류 원료 수급 예측과 희토류 영구자석 개발 동향

배 석<sup>1\*</sup>, 김동환<sup>2</sup>

<sup>1</sup>소재연구소, LG이노텍

<sup>2</sup>국제전략자원연구원 원장

## 1. 서 론

친환경 에너지 자동차와 풍력발전기에 필수 소재인 희토류 영구자석을 제조하기 위해서는 경희토류 원소인 Nd, Pr, Sm 등을 비롯하여 중희토류 원소인 Dy, Tb 등이 사용되고 있다. 희토류 원소들은 강력한 자기이방 특성을 갖고 있으며 이온반경이 작아 다른 원소와 다양한 종류의 화합물을 용이하게 형성하게 되므로 일찍이 강력한 영구자석의 소재로서 활발하게 연구되어졌다. 그 결과 미공군연구소에서 SmCo5이 1967년, Sm2Co17 1970년, 현존하는 가장 강력한 영구자석인 Nd2Fe14B이 1982년에 미국의 GM(現 Magnequench) 및 일본의 스미토모 특수강(現 히타치금속)에서 독자적인 프로세스에 의해 각각 개발되었다. 이러한 희토류 영구자석을 제조하기 위해서 필요한 희토류 원료들은 중국으로부터 거의 대부분, 2010년 97%, 공급되어지고 있는데, 2008년부터 중국이 희토류의 수출을 제한하였고, 이에 따라 희토류 수급이 매우 불안정한 상황이 지속되고 있다. 이러한 상황은 향후 지속될 것으로 예상되며 희토류 영구자석의 개발 방향에도 영향을 미쳐 일본의 메이커들 주도하에 중희토류를 적게 사용하고 동등한 특성을 갖는 영구자석이 개발되었으며, 장기적으로는 중희토류를 전혀 포함하지 않는 30 kOe급 영구자석 개발을 목표로 하고 있다.

## 2. 희토류 자원 이슈

희토류 자원은 확정매장량(reserve) 기준으로 중국 36.5%, 독립국가연합 19.3%, 미국 13.2%, 호주 5.5% 등에 주로 분포되어 있으며, 특히 중희토류 자원은 중국에 집중적으로 매장되어 있다. 생산에 있어서도 경희토류인 Nd와 중희토류인 Dy and Tb는 중국에서 거의 전량이 생산되고 있다. 중국외의 국가에도 희토류가 적지 않게 매장되어 있음에도 불구하고 생산량을 늘리지 못하는 이유는 희토류 원광의 추출 및 분리과정에서 발생하게 되는 환경오염 때문이다. 중국희토학회(中國稀土學會)에 따르면 희토류 1톤 생산으로 인해 약 8.5kg의 불소(弗素)와 13kg의 분진이 발생한다. 약 1톤가량의 소성(燒成) 희토류 광석을 생산하기 위해 사용하는 농축 황산고온소성기술은 960만에서 1,200만 리터의 폐기물을 배출하며 여기에는 고농축분진이 포함된 폐가스, 플루오르화수소산, 이산화황, 황산, 약 75,000 리터의 산성 폐수, 그리고 (물을 포함하여) 약 1톤가량 되는 방사성 폐기물이 포함되어 있다. 따라서 선진국에서 완벽한 폐기물 처리설비를 갖추고 생산시 희토류 1톤에 약 145달러에서 220달러에 달하는 환경비용이 추가되므로 중국산 대비 가격 경쟁력이 떨어지게 된다. 90년대 초반부터 2000년대 초반까지 중국은 최저가의 희토류 판매 정책을 고수하였는데, 이로 인하여 미국의 몰리코프사의 마운틴 패스광산의 2002년 폐광을 비롯하여 일본 미쯔비시 화학의 말레이시아 라인 등이 채산성 악화와 환경오염에 대한 심각한 부작용 발생으로 1994년 폐쇄되었다. 같은 이유로 호주의 희토류 업체들 또한 1994년 생산을 포기하게 되어 생산량의 대부분을 중국업체에 의존하게 되었다. 이후 중국의 희토류 생산은 불법채광과 체계적인 생산량 관리를 위하여 북방계 내몽고 지역의 바오강 스틸과 남방계 민메탈과 강서희토공사 3개사를 주축으로 통합 정리되어지고 있다. 2008년 미국발 금융위기의 충격으로 시장경기가 급격하게 꺾여 희토류 가격이 폭락하게 되자, 2009년 여름 중국정부는 희토류 원료의 수출량을 규제하기 시작하였고 2015년까지 희토류 생산 및 수출 업체를 20개로 줄이기로 하였다. 이 시기부터 희토류 가격은 급상승하기 시작하였고, 2010년 초 희토류 조정정책 발표와 그에 해당하는 법률인 2011년 2월 희토류 국가4 조례(1. 환경심사 강화, 2. 불법업체 단속, 채광량 제어, 3. 사업체 통합 정리, 4. 응용기술 연구 심화) 선포로 가격의 비정상적인 폭등세가 이어졌다.

뒤이어 11년 4월 희토류 자원세 증가 조치, 5월 중국 국무원에서 중국내 희토류 비축체제 구축에 대한 내용을 담은 “희토류 산업의 지속발전에 대한 여러 가지 의견” 12호가 발표되어 2월부터 8월까지 6개월 동안 Nd는 5배 Dy 가격은 8배 상승하였다. 향후 이에 대한 대안으로써 미국, 호주, 캐나다 등지에서 광산개발이 집중적으로 이루어진다고 해도 2016년 생산 예측면에서 경희토류인 Nd 생산량은 70%, 중희토류인 Dy와 Tb는 85%를 차지하게 되므로 가격은 여전히 중국의 희토류 관련 정책의 영향 하에 놓이게 된다.

### 3. 희토류 영구자석 개발 동향

대표적 희토류 영구자석인 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B의 중국 생산량은 11년 70,000 t 규모이며, 이중 70%는 중국 내 사용된다. 호주 Lynas사의 조사에 의하면 향후 HEV, EV, 풍력발전의 수요에 힘입어 수요가 매년 9% 이상 급증할 것으로 예상되고 있다. 특히, Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B자석은 큐리온도가 310도에 불과하므로 사용 가능 온도가 100도 전후에 불과하다. 따라서 중희토류 원소인 Dy나 Tb 등을 첨가하여 자기 이방에너지를 늘려 사용온도를 200도까지 높이는 방법이 개발되어 사용되고 있다. Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 자석의 사용온도를 200도까지 높이려면 Nd의 약 10배 가격인 Dy가 10~12 wt.% 까지 첨가되어야 한다. 이러한 Dy나 Tb원소가 중국 외 지역에서 개발중인 호주와 캐나다 지역 광산들로부터 공급이 가능해 진다고 보았을 때도 2015년 10% 정도 부족하게 되고, 이마저도 현재 100% 생산을 담당하고 있는 중국에서 자국 내 사용과 비축을 목적으로 수출을 제한하고 있으므로 시장에서의 부족 현상은 계속 이어질 것으로 예상된다. 따라서 Dy나 Tb의 사용량을 줄이고도 유사한 성능의 자석 성능을 갖는 영구자석의 기술 개발에 2000년대 초반부터 일본 메이커들이 치중하였으며, 그 결과 히타치 금속, 신에츠, ULVAC, 인터메탈릭스 등은 2006년부터 2009년까지 중희토류 입계확산 기술 및 입자미세화(Jet Mill) 기술에 관련된 200 개에 달하는 핵심특허를 연이어 쏟아내었고 시장에 희토류 저감형 영구자석 제품을 출시하였다. 현재의 기술은 25 kOe의 보자력을 갖는 자석(Dy 약 7 wt.%첨가) 기준으로 약 30~50%의 희토류 사용량을 저감하는 수준이며, 앞선 기술들이 연이어 개발되고 있다. 특히, 다이도 특수강의 자회사인 다이도 전자는 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B분말을 이용하여 die upset process를 거쳐 50 MGOe급 MQ3 자석을 개발하는데 성공하였으며, 스미토모 금속광산, 다이도 전자, 니치아 화학 등은 가격이 Nd의 절반정도인 희토류 원소인 Sm을 이용하여 제작한 14MGOe급 Sm<sub>2</sub>Fe<sub>17</sub>N<sub>x</sub> 본드 자석 상용품 등을 출시하였다.

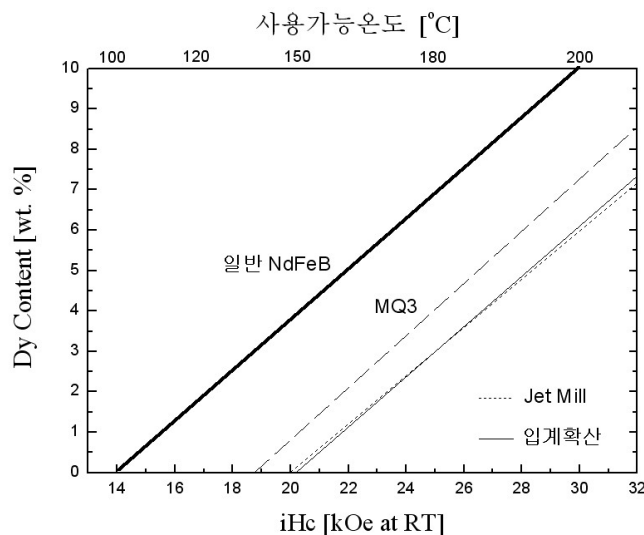


Fig. 1. Coercivity dependence on Dy content.

#### 4. 결 론

친환경 에너지 산업과 맞물려 희토류 영구자석 수요의 급증이 예상되고 있다. 기존 희토류 영구자석의 모든 원천특허가 만기되는 2014년 이후에도 주도권을 잃지 않기 위하여 희토류 자원관리 전략을 구사하는 중국과 희토류 저감 및 대체 기술 전략을 구사하는 일본, 그리고 90년대 초반까지 희토류 산업을 지배해 왔던 미국의 복귀 등이 진행되고 있다. 국내 HEV, EV, 풍력발전 산업분야의 핵심 경쟁력을 확보하기 위해서는 국내 실정에 맞는 장기 연구개발 전략이 필요한 시점이다.

#### 5. 참고문헌

- [1] P.K. Tse, 2011, U.S. Geological Survey Report 2011-1042.
- [2] M. Gowing, 2011, Mackie Research Capital Corp.
- [3] 김동환, 2011, “희토류 자원 전쟁,” pp.46-54,72, 89-91, 미래의창.