

RF Plasma 연소법으로 제조된 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17} + \alpha\text{-Fe}$ 초미세립 복합상 영구자석 분말

박언병*, 박종일, 김종렬¹, 권순주²

포항산업과학연구원 원천소재 연구본부

¹ 한양대학교 금속재료공학과

² POSTECH 신소재 공학과

1. 서론

초미세립 복합상 영구자석은 초미세립으로 석출되어 복합화된 경자성상($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 혹은 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$)과 연자성상($\alpha\text{-Fe}$ 혹은 Fe_3B)간의 교환상호작용(exchange coupling)에 의해 잔류자속밀도를 크게 개선할 수 있다는 점과 경자성상을 단일상으로 하는 조성에 비해 희토류 원소를 70 % 정도를 절감하고도 양호한 자기특성을 얻을 수 있는 장점으로 인해 많은 연구자들에 의해 다양한 측면으로 연구되었다. [1-3] 그런데 열처리 과정 중 두 존재상의 결정화 온도와 결정립 성장 속도가 다르기 때문에, 통상적인 열처리 방법 하에서는 불균일한 결정립 분포와 결정화되지 못한 비정질상에 존재로 인해 교환상호작용이 원활하게 일어나지 못했다. 결과적으로 5 kOe 이상의 보자력을 얻기 힘들었고, 최근에는 희토류 원소의 함량을 증가시키거나 새로운 열처리 기법을 도입하는 연구가 뒤따르고 있다.

이에 본 연구에서는 RF plasma 연소기술을 이용하여 강자성상인 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 과 연자성상인 $\alpha\text{-Fe}$ 를 각각 나노분말로 제조하여 균일 혼합하는 방법과 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 상과 $\alpha\text{-Fe}$ 상을 처음부터 나노 분말로 혼합된 상태로 제조하는 방법을 연구하고, 이후 급속 혹은 반복 소결 열처리 방법을 도입하여 초미세립 복합 영구자석으로의 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 실험방법

강자성상인 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 과 연자성상인 $\alpha\text{-Fe}$ 나노 분말이 혼합되게 제조하기 위해 50~ 100 micro의 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 분말과 $\alpha\text{-Fe}$ 을 불활성기체가 채워진 용기 내에 일정 무게비로 투입하고 혼합기를 이용하여 24시간 동안 고루 혼합하였다. 고루 혼합된 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 과 $\alpha\text{-Fe}$ micro 분말을 파우더 powder feeder에 넣고 10-30 rpm의 속도로 회전과 0-40%의 진동을 가하여 시료를 RF plasma torch 내부에 노즐을 통하여 공급하였다. 각각의 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 상과 $\alpha\text{-Fe}$ 상의 나노 분말을 제조할 때에는 50~ 100 micro의 분말 각각을 powder feeder에 넣고 공급하였다. 회전과 0-40%의 power는 25-60 kW로 조절하였으며, $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 과 $\alpha\text{-Fe}$ micro 분말이 각각 독립적으로 나노 분말이 됨과 동시에 고루 혼합되게 하기 위해 분위기 가스와 Plasma torch 주변에 투입되는 sheath gas와 central gas 그리고 carrier gas의 유량과 속도 그리고 종류를 조절하였다. 필터를 통해 수거된 나노 분말의 상 형성 여부 및 제 2상의 존재 여부를 XRD를 통해 확인하였고, TEM을 통해 입도 크기 및 표면산화 여부를 판단하였으며, 나노분말의 입도 분포는 Beckman Coulter사의 LS13320을 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과

제조된 나노 분말의 존재상을 확인하기 glove box내에서 산화 방지 처리를 한 다음 XRD pattern을 얻었다. 투입한 분말 종류와 혼합 조건 그리고 제조 조건별 XRD를 분석한 결과, $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 과 $\alpha\text{-Fe}$ micro 분말은 고온의 플라즈마에 의해 열분해 및 재성장 과정을 거쳐 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 과 $\alpha\text{-Fe}$ 나노 분말로 합성됨을 확인하였다. 특히 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 과 $\alpha\text{-Fe}$ micro 분말을 사전에 고루 혼합한 후 투입한 경우 나노 분말 상태의 두 상이 혼합되어 존재하고 있음을 그림. 1

을 통해 확인하였다. SEM을 통해 나노 분말의 조성과 크기를 확인한 결과, α -Fe와 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 가 각각 독립적으로 나노 분말로 형성되어 존재하였다. 또한 분말의 입도의 분포도 및 평균입도를 입도분석기로 평가한 결과, 평균 80 nm급의 나노 분말이 고루 분포함을 확인하였다. 결정립의 형성 여부와 나노 분말의 표면 산화여부를 확인하기 위하여 TEM으로 나노 분말을 관찰한 결과, 그림.2에 나타난 바와 같이 구형에 가까운 나노 분말이 고루 분포하고, 고분해능으로 표면을 관찰한 결과 산화층이 형성되지 않고 결정립 상태로 존재함을 확인하였다.

4. 고찰 및 결론

RF Plasma 연소 기술을 이용하여 강자성상인 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 와 약자성상인 α -Fe를 나노 분말로 제조하였다. 또한 micro 분말인 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 와 α -Fe를 일정 무게비로 혼합한 후 동일 공정으로 두 상을 동시에 나노 분말로 합성 및 혼합하는 기술을 개발하였다. 그런데 성형 및 소결 과정에서 산소 혼입으로 인해 연, 경자성상이 동일 무게비로 유지되지 않고 Sm_2O_3 상이 형성되어 Nanocomposite 영구자석화 되지 않았다. 향후 산소 혼입을 차단하고, 결정립 성장을 극히 제한할 수 있는 급속 소결 기술을 도입하여 특성을 향상시킬 예정이다.

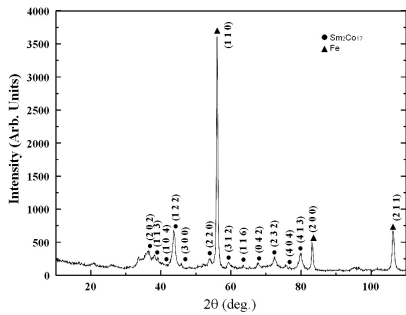


그림. 1 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 와 α -Fe 나노 복합 분말 XRD 결과

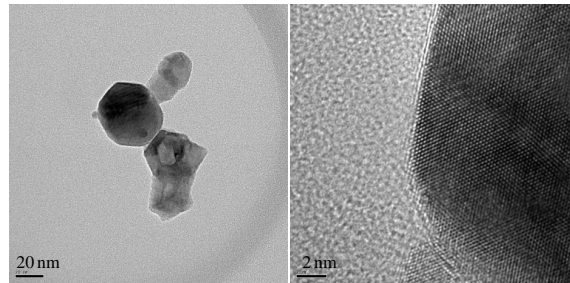


그림. 2 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 와 α -Fe 나노 복합 분말 TEM 결과

5. 참고문헌

- [1] R. Skomski and J. M. D. Coey, IEEE. Trans. Magn. 29 (1993) 2860.
- [2] C. J. Yang and E. B. Park, J. Magn. Magn. Mater. 186 (1997) 243.
- [3] C. J. Yang, E. B. Park, Y. S. Hwang and E. C. Kim, IEEE. Trans. Magn. 35 (1999) 3328.

본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.