

## 초미세 나노분말 $MgFe_2O_4$ 의 Superparamagnetic 현상에 관한 연구

국민대학교 물리학과 현성욱\*, 이상원, 김철성

### Superparamagnetic behavior of ultrafine $MgFe_2O_4$ nanoparticles

Dept. of Physics, Kookmin Univ. Sung Wook Hyun\*, Sang Won Lee, and Chul Sung Kim

#### 1. 서 론

최근 페라이트계 산화물을 중심으로 수 나노미터를 갖는 자성 입자의 바이오 응용성에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있는데, 이는 자성 나노입자가 갖는 상온에서의 초상자성 (superparamagnetic behavior) 현상이 바이오 응용에 있어 매우 유리하기 때문이다. 신체 조직내의 세포 간 공간크기는 10 ~ 20 nm 정도이기 때문에, 인체 내에서의 효과적인 치료를 위해서는 10 nm 크기 이하의 입자를 필요로 하며, 10 nm 이하 크기의 자성 입자들은 상온에서 초상자성 현상을 나타내어 외부에서의 인가자장의 변화에 빠른 반응을 보임으로써, 인가자장 제거 시 입자의 잔류 자성이 사라지게 되어 입자간의 서로 응집하려는 현상을 방지할 수 있다.

본 연구에서는 고온 열분해법을 이용하여 스피넬 구조를 갖는 10 nm 크기 이하의  $MgFe_2O_4$  나노입자를 제조하여 초상자성 현상을 해석하고, 바이오 응용성에 적합한 자기적 특성을 향상시키는데 목적이 있다.

#### 2. 실험방법

$MgFe_2O_4$  나노입자는 고온 열분해법으로 제조하였고, 출발원료로서 순도 99.9 % 의 Fe-acetylacetonate, 99.999 % 의 Mg-acetate 를 사용하였으며, 용매는 Benzyl ether 를 사용하였다. Benzyl ether 의 끓는점(298 °C)에서 2 시간 동안 합성반응을 유지하여 검은색의  $MgFe_2O_4$  나노입자를 얻을 수 있었다.

제조된  $MgFe_2O_4$  나노입자의 결정구조를 확인하기 위하여 x-선 회절기 (XRD)를 이용하였고, 피스바우어 분광기를 이용하여 13 K 과 상온 (295 K)에서의 미시적인 자성을 조사하여  $MgFe_2O_4$  나노입자의 합성 여부를 점검하였다. 또한, 거시적 자성을 조사하기 위하여 진동시료 자화율 측정 장치 (VSM)를 이용하였다.

#### 3. 실험결과 및 고찰

$MgFe_2O_4$  나노입자의 XRD 결과를 Fig.1 에 나타내었다. X-선 회절 피크 위치를 분석한 결과, 전형적인 스피넬 구조임을 확인할 수 있었고 [1], Scherrer Equation 을 이용하여 예측한 입자의

크기는 6.7 nm 이었고, 1 T 의 외부자장을 인가하여 측정된 VSM 결과를 이용하여 예측한 입자의 크기는 근사적으로 8.7 nm 임을 계산을 통해 알 수 있었다 [2]. 고분해능 투과전자현미경 (HRTEM) 결과에 의해 알아낸 입자 크기는 6.4 nm 이었다. 또한, 포화자화 값은 상온에서 53.9 emu/g 을 가졌고, 보자력은 거의 존재하지 않아 초상자성 특성이 보임을 확인하였다. 뫼스바우어 측정은 13 K 와 상온 (295 K)에서 실시하였고, 뫼스바우어 스펙트럼을 통하여 상온에서 이중선 (2-line)의 스펙트럼을 보여 초상자성 현상이 나타남을 확인하였으며, 13 K 의 스펙트럼은 전형적인  $MgFe_2O_4$  의 형태를 보이고 있어 의도한 조성의 나노입자가 제조되었음을 확인할 수 있었다. 13 K 에서의 초미세 자기장 값은 529, 508 kOe 로 분석되었으며, 이성질체 이동치를 확인한 결과  $Fe^{3+}$ 의 이온가를 보였다. 그러나, 측정 온도가 증가함에 따라 열 효과의 우세함에 의한 뫼스바우어 스펙트럼의 선폭의 증가를 관측할 수 있었다. 본 연구결과에서 나타난 초상자성 현상, 포화자화 값, 및 낮은 외부 인가자장에서 높은 자화율을 갖는 자기적 특성들은 온열치료 (hyperthermia) 혹은 자성운반 매개체 (magnetic carrier)로서의 응용에 매우 유리한 결과로 판단된다고 고찰된다.

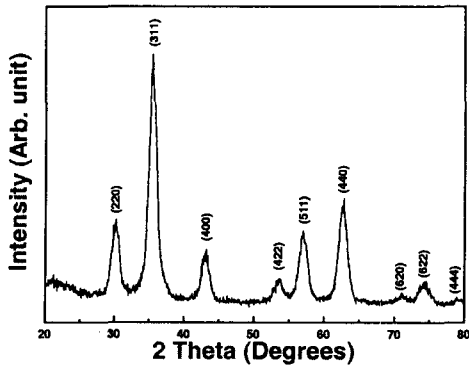


Fig. 1.  $MgFe_2O_4$  나노입자의 X-선 회절도

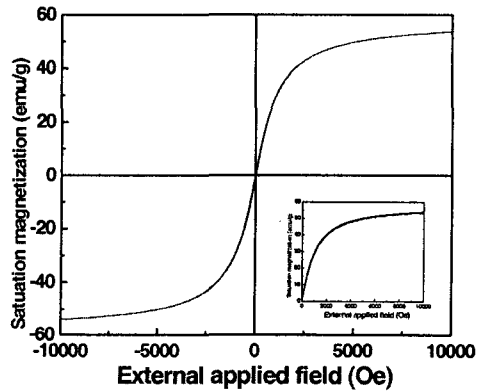


Fig. 2.  $MgFe_2O_4$  나노입자의 자기이력곡선

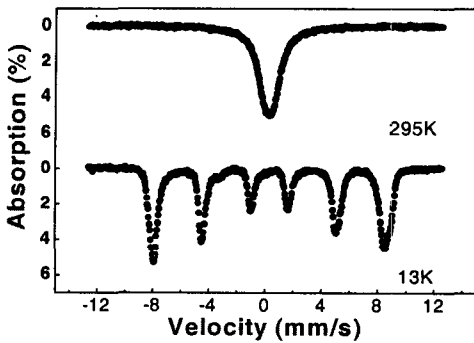


Fig. 3.  $MgFe_2O_4$  나노입자의  $M\ddot{o}$ ssbauer Spectrum

#### 참고논문

- [1] C. S. Kim, and S. W. Lee, Sae Mulli (The Korean Physical Society), **50**, No. 3, 2005 3 147-152.
- [2] D. K. Kim, Y. Zhang, W. Voit, K. V. Rao, and M. Muhammed, JMMM., **225**, 2001 30-36.