

# 초상자성 나노입자의 강자성 공명 선폭 분석

김동영\*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 송천동 388번지, 760-749

## 1. 서론

자성 나노입자의 초상자성 특성은 자화 곡선 및 온도에 따른 투자율 측정으로 확인할 수 있다. 자화 곡선 측정에서는 보자력이 0이고 자화 곡선이 랑주뱅 (Langevin) 함수를 따른다. 강자성 공명 신호는 자성 나노입자 내부의 스핀들에 의한 영향을 반영하고 있으므로, 자성 나노입자의 자화량, 형상 및 결정 이방성 등의 자성 특성을 모두 포함한다. 따라서 강자성 공명 신호를 해석할 경우 자성 나노입자의 여러 가지 물성을 분석하는 것이 가능하다. Kliava 등은 자성 나노입자의 크기 및 크기의 분포에 따른 강자성 공명 신호를 계산을 통하여 분석하였으며[1], Biasi 등은 초상자성 자성 나노입자의 강자성 공명신호를 해석하여 결정 이방성 상수를 분석하였다[2]. 그러나 강자성 공명 신호를 해석하여 나노입자들의 자성 물성을 분석하기 위하여 동일한 특성을 갖는 균일한 크기의 나노입자들에 대한 특성 분석이 선행 되어야 하며 이러한 연구는 미비한 수준이다.

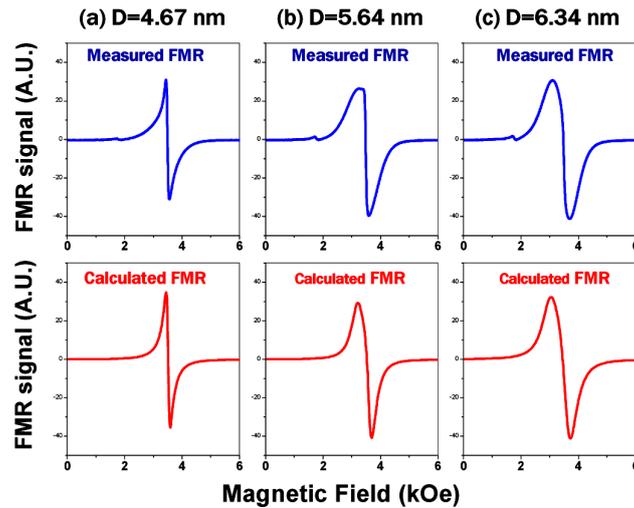
본 연구에서는 초상자성 특성을 갖는 크기가 균일한 산화철 나노입자를 제조하여 강자성 공명 신호를 측정하였으며, 계산을 통하여 초상자성 나노입자의 강자성 공명 신호를 해석하였다.

## 2. 실험방법

강자성 공명 신호 분석에 사용한 균일한 산화철 나노입자들은 Trioctylamine 용매에  $\text{Fe}(\text{OL})_3$  전구체를 고르게 섞은 반응 원액을 사용하여 고온 열분해방법으로 제조하였다. 입자의 크기가 다른 산화철 나노 입자를 제조하기 위하여 나노 입자가 성장하는 과정에서 주사기를 이용하여 약 2.0 ml의 반응 원액을 시간에 따라서 순차적으로 추출하였다. 추출한 반응 원액의 1.0 ml는 에탄올에 희석시켜 잔류 유기 용매를 세척한 후 원심분리기를 이용하여 산화철 나노입자를 추출하였다. 추출한 산화철 나노입자를 초음파 세척기를 이용하여 핵산 용액에 균일하게 분산시킨 후 Cu-grid 위에 한 방울 떨어뜨려 TEM 시편을 제작하였다. 이들 시편은 나노 입자들의 크기 분포 특성을 분석하기 위하여 TEM 사진을 촬영하였다. 추출한 반응 원액의 나머지 1.0 ml는 유리 튜브에 담은 후 9.89 GHz의 주파수에서 작동하는 강자성 공명 측정 장치를 사용하여 자기장의 세기에 따른 강자성 공명 신호를 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 산화철 나노입자의 크기에 따른 강자성 공명 신호의 측정결과와 계산 결과를 보인다. 산화철 나노입자의 직경  $D = 4.67 \text{ nm}$ 인 경우 선폭이 좁으며, 나노입자의 직경이 증가할수록 선폭이 증가하는 경향을 보인다. 강자성 공명 신호의 계산 과정에서 산화철 나노입자의 이방성 상수는 각각  $0$ ,  $1.4 \times 10^5 \text{ erg/cc}$  및  $2.4 \times 10^5 \text{ erg/cc}$ 를 대입하여 구하였다. 이들 결과로부터 산화철 나노입자의 결정 이방성 상수는 양의 값을 보유하고 있으며, 산화철 나노 입자의 크기에 따라서 향상되고 있음을 알 수 있다.  $D = 5.64 \text{ nm}$ 인 나노입자들에 대한 측정 결과와 계산 결과가 서로 상이한 모양을 보이며, 이러한 특성은 입자의 크기가 작을 때 나타나는 강자성 공명신호와 입자의 크기가 클 때 나타나는 강자성 공명 신호가 중첩된 형태로 나타난다.



**Fig. 1.** Comparison with measured and calculated FMR signals of iron oxide nanoparticles with (a)  $D = 4.67$  nm, (b)  $D = 5.64$  nm and (c)  $D = 6.34$  nm.

이들 결과로부터 결정화된 나노 입자에서 나타나는 강자성 공명 신호를 표면 효과와 나노입자 내부의 부피 효과로 구분할 수 있다. 입자가 작은 경우에는 표면 효과가 두드러지게 나타나며, 표면 효과에 의한 강자성 공명신호는 선폭이 좁다. 한편 나노입자 내부의 결정 구조에 의한 부피 효과는 나노입자의 크기가 증가할수록 두드러지게 나타나며 선폭이 넓게 나타남을 알 수 있다.

#### 4. 감사의 글

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(NRF2010-0008282).

#### 5. 참고문헌

- [1] J. Kliava, and R. Berger, J. Magn. Magn. Mater. **205**, 328 (1999).
- [2] E. De Baiasi, et. al, J. Magn. Magn. Mater. **262**, 235 (2003).