Fe₃O₄ 다중 과립 나노클러스터의 자성입자 분광 분석 Magnetic Particle Spectrometry of Fe₃O₄ Multi-granule nanoclusters

Lijun Pan^{1*}, Bum Chul Park¹, Micheal Ledwig², Leon Abelmann^{3,4†} and Young Keun Kim^{1†}

¹Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul 02481, Korea

²Pure Devices Würzburg 5397084, Germany

³KIST Europe, Saarbrücken 66123, Germany

⁴University of Twente, Enschede 7522, The Netherlands

자성나노입자는 생물독성이 없고 생체적합성 물질로 알려져 있으며 오랜 기간 동안 연구되고 사용되어 있 다. 요증 자기입자 이미징 (Magnetic Particles Imaging, MPI) 에서 조영제로 응용하는 것을 밝혀다. MPI에서 이미징 콘트라스트는 입자의 자기응답 (dM /dt) 에서 정현파 구동 필드로 발생한다. 민감도와 해상도를 높이려 면 드라이브 주파수의 배수에서의 응답 만 고려한다 (고조파). [1] 따라서 Fe₃O₄ 입자의 자기 히스테리시스 루 프의 정확한 모양은 MPI 성능에 강한 영향을 미친다. 단결정 입자를 사용하는 경우, 입자 크기와 자기 특성간 에 강한 상관관계가 있다. 본 연구에서는 수정된 폴리올 방법으로 Fe₃O₄ 다중과립 나노클러스터를 합성한다. [2] 전구체 농도 및 합성 조건을 조절하면서 입자크기 및 괴립크기 조정한다. 입자 미세형상 및 결정구조를 투과전자현미경(TEM)로 관찰하면 X-Ray 회절 (X-ray Diffraction. XRD) 로 측정 했다. 일정한 과립 크기에서의 다른 입자크기 (그룹 1)과 일정한 입자크기에서의 다른 과립크기(그룹 2)의 샘플 히스테리시스 루프 (Vibrating Sample Magnetometry, VSM)측정해서 자성 변화를 조사한다. 20 kHz에서 자성 입자 분광 분석 (Magnetic Particles Spectrometry, MPS)을 통에서 자성입자 MPI 스캐너 중에 이미징 성능 예측할 수 있다. VSM에 의해 측정 된 잔류 자성 및 보자력은 입자 크기뿐만 아니라 과립의 증가에 따라 증가한다. MPS에 의해 20 kHz에서 측정 된 보자력은 VSM 결과보다 2 ~ 4배 높지만 입자가 구동 분야에서 포화 될 수 있다면 입자 및 과립 크기 와 동일한 관계를 따릅니다. 그룹1하고 그룹 2 중에 30 mT 자기장에 히스테리시스 루프 포화되고 제일 크게 나오는 샘플 2게(S3,77 nm, 과립크기 17.3 nm / S5, 57 nm, 과립크기 36 nm))의 특성 비교 했다. MPS에 자기장 20 mT로 감소시키면 과립크기 큰 입자(S5) 는 더 이상 포화되지 않는다. 따라서 S3의 MPI신호는 30 mT 자기 장에 안정하고 강하게 나타나고, 20mT으로 감소해도 상대적으로 안정하게 보여준다. 이들 현상 보면, 나노글 러스터의 크기뿐만 아니라, 그중에 과립크기도 그의 MPI 성능 영향을 미친다는 것을 확인했다.

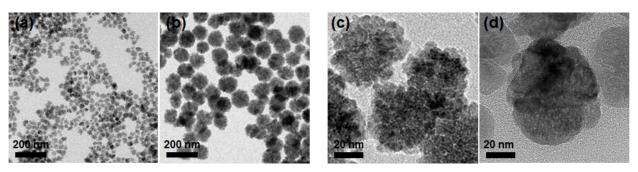
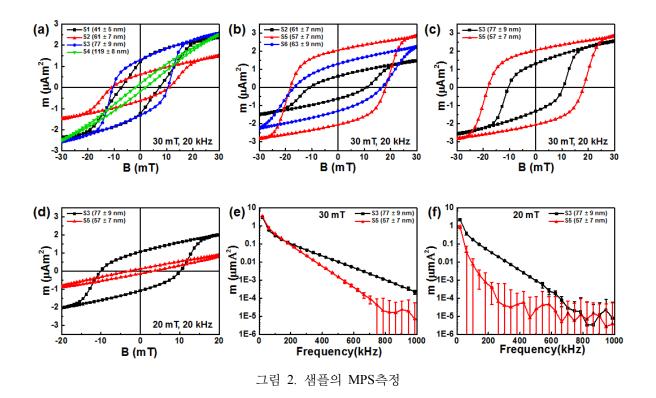


그림 1. 크기 다른 자성나노클러스터 (a), (b)와 과립크기 다른 자성나노클러스터 (c), (d)의 TEM 이미지



참고문헌

- [1] N. Panagiotopoulos et al., International Journal of Nanomedicine, 10, 3097 (2015)
- [2] J. Cha et al., RSC Adv., 3, 3631 (2013)