

# LuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>의 열잔류자화 현상 연구

김재영\*, 이보화

한국의국어대학교 물리학과

## 1. 서론

Multiferroic란 강유전성(ferroelectricity)과 강자성(ferromagnetism)이 모두 존재하는 물질이다. multiferroic 물질인 LuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>이 속해 있는 RFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (R=Y, Ho, Er, Tm, Yb and Lu)는 R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> layer와 Fe<sub>2</sub>O<sub>2.5</sub> layer가 c-axis을 따라 교대로 쌓여있는 space group  $R\bar{3}m$  rhombohedral 구조의 물질이다[1]. RFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 중 산소결핍이 없는 stoichiometric YFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>와 ErFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>에서는 250 K에서 자기적 상전이와 190~200 K에서 구조적 상전이가 일어나는 2단계 상전이가 존재한다[2,3]. 그러나 Y<sup>3+</sup>에 비해 상대적으로 이온 반경이 작은 Lu<sup>3+</sup>로 구성된 LuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>의 경우 250 K에서 자기적 상전이는 일어나지 않으나, 190~200 K에서 구조적 상전이가 일어나지 않고, 상전이 온도 이하에서 열잔류자화(thermoremanent magnetization : TRM) 현상을 보인다[4,5]. 이에 본 연구에서는 이러한 상전이 특성을 지닌 LuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>의 자기적 특성과 TRM에 대해 연구하였다.

## 2. 실험방법

다결정 LuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>의 시료를 고체 상태 반응법으로 CO(33%)/CO<sub>2</sub> 혼합 가스 분위기에서 12시간 동안 1200 °C에서 소결하여 합성하였다. X-선 회절 측정(Rigaku, Mini Flex)을 통하여 시료들의 단일상을 확인하였고, VSM(Lake Shore, model 7300)을 이용하여 저온 영역에서 상온까지 온도에 따른 magnetization을 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 1 (a)은 1 kOe의 외부 자기장하에서 LuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>의 온도변화에 따른 magnetization  $\sigma(T)$ 를 나타낸 그림이다. 측정은 외부 자기장을 가하지 않고 시료의 온도를 저온으로 냉각시킨 다음, 외부 자기장을 가해준 상태에서 시료의 온도를 올려주면서  $\sigma$ 를 측정하는 zero field cooling(ZFC) 방법과 외부자기장을 가해준 상태에서 시료를 냉각시키면서  $\sigma$ 를 측정하는 field cooling A(FCA)와 온도를 올리면서 측정하는 field cooling B(FCB) 방법을 이용하였다. ZFC의 경우 150~250 K 영역에서 두 번의 자기적전이가 일어난다. 일반적으로 알려진 Fe의 자기 모멘트에 의한 자발자화로 유도된 250 K에서 일어나는 자기적 전이 뿐 아니라, 150 K 근방에서 또 다른 전이가 일어난다. FC 곡선에서 field cooling 효과를 볼 수 있다. 외부 자기장하에서의 시료가 냉각됨에 따라 자기장 방향으로 magnetic domain이 증가하게 되고, 그로 인해 ZFC 곡선과 FC 곡선의 차이를 일으킨다. 또한 ZFC에서 최대 값을 가지는 230 K 이하의 온도에서 FCA와 FCB의 thermal hysteresis가 나타난다.

Fig. 1 (b)는 1 kOe의 외부 자기장하에서 시료를 냉각시킨 다음 외부 자기장을 제거하고 온도를 올리면서 측정 한 TRM의 결과이다. TRM은 자성체가 고온에서 전이 온도를 거쳐 냉각될 때 외부 자기장에 의해서 잔류자기를 얻게 되는 현상으로, 작은 ferromagnetic cluster의 연속적인 정렬 과정으로 설명 할 수 있다[4]. 이러한 TRM은 온도가 증가하면서 상전이가 일어나는 250 K에서 사라지는 것을 볼 수 있다. 이는 ZFC 곡선과 FC 곡선의 시료의 냉각 과정에서 외부 자기장의 유무와 관련이 있으며 TRM은 ZFC와 FCB의 차이인  $\sigma_{ZFC} - \sigma_{FCB}$ 과 매우 비슷한 형태를 가지고 있음을 알 수 있다.

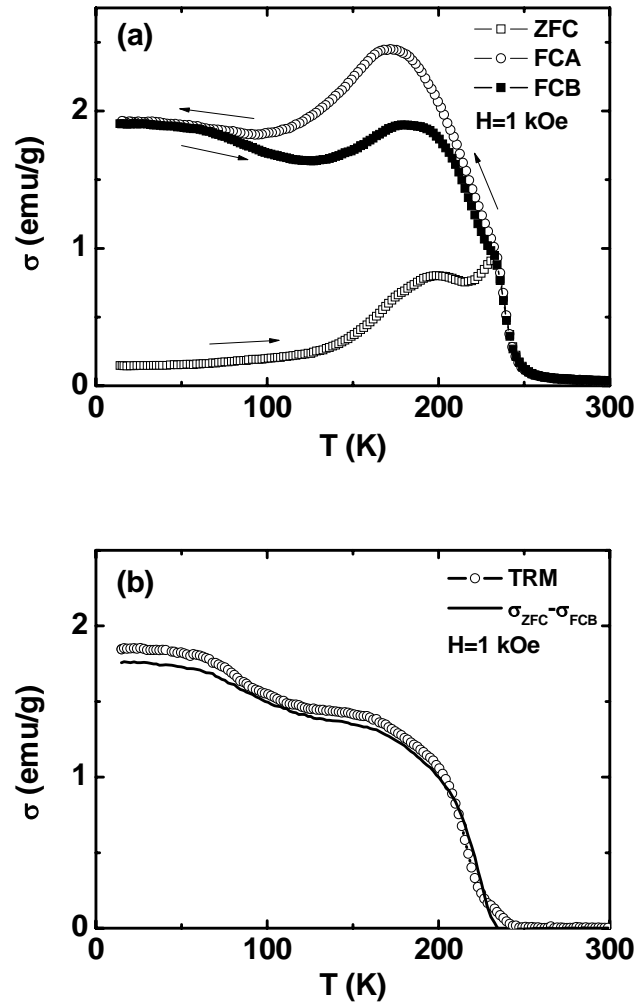


Fig. 1. (a)  $\text{LuFe}_2\text{O}_4$ 의 1 kOe 외부 자기장에서의 온도에 따른 magnetization  $\sigma(T)$  (b) thermoremanent magnetization 과  $\sigma_{\text{ZFC}} - \sigma_{\text{FCB}}$ .

#### 4. Reference

- [1] N. Ikeda, K. Kohn, H. Kiyu, J. Akimitsu and K. Siratori, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **63**, 4556 (1994).
- [2] Y. Nakagawa, M. Inazumi, N. Kimizuka and K. Siratori, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **47**, 1369 (1979).
- [3] J. Iida, M. Tanaka, H. Kito and J. Akimitsu, *J. Phys. Soc., Jpn.* **59**, 4190 (1990).
- [4] J. Iida, M. Tanaka, Y. Nakagawa, S. Funahashi, N. Kimizuka, and S. Takekawa, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **62**, 1723 (1993).
- [5] J. Y. Park, J. H. Park, Y. K. Jeong, and H. M. Jang, *Appl. Phys. Lett.*, **91**, 152903 (2007).