

## Zn 및 La-Zn 치환에 따른 Sr 페라이트의 자기적 특성에 관한 연구

잠세동\* · 김종오

충남대학교 공과대학 재료공학과, 충남 대전광역시 유성구 궁동 220

김종희

고기능성자성재료연구센터, 충남대학교

(2001년 9월 21일 받음, 2001년 11월 10일 최종수정본 받음)

Sr계 페라이트의 자기적 특성향상을 위하여 화학량론적 조성 SrFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>[SrM]에서 원소치환을 실시한 SrFe<sub>11.7</sub>Zn<sub>0.3</sub>O<sub>19</sub>[Zn<sub>0.3</sub>-SrM] 및 Sr<sub>0.7</sub>La<sub>0.3</sub>Fe<sub>11.7</sub>Zn<sub>0.3</sub>O<sub>19</sub>[(La-Zn)<sub>0.3</sub>-SrM]의 화학조성으로 혼합한 후 공기 중 하소를 실시하여 하소분의 특성을 조사하였고, 소결제로서 SiO<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> 및 SrCO<sub>3</sub>를 첨가하여 평균입도 0.80 μm 까지 습식 미분쇄를 행한 후, slurry 농도를 조절하여 외부자장 8 kOe을 인가하면서 disk 형태로 성형한 후 공기 중에서 소결하여 Sr 페라이트를 제조하여 소결 결정상태 및 자기적 특성을 조사하였다. Sr 페라이트 하소분의 자기특성은 화학량론적인 조성 SrFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>[SrM]에서 포화자화 (M<sub>s</sub>/g)값이 61.06 emu/g에서 단독 Zn을 치환한 SrFe<sub>11.7</sub>Zn<sub>0.3</sub>O<sub>19</sub>[Zn<sub>0.3</sub>-SrM] 조성에서는 포화자화(M<sub>s</sub>/g)값이 66.90 emu/g로 향상되었고, (La-Zn)<sub>0.3</sub>-SrM 조성으로 원소치환을 실시한 하소분말을 사용하여 제조한 페라이트의 자기특성은 잔류자속밀도(B<sub>r</sub>) 4.21 kG, 최대에너지적(BH<sub>max</sub>) 4.19 MGOe의 자기특성 값을 나타내었다.

주제어 : Sr 페라이트, 자기특성, 원소치환

### I. 서 론

페라이트 자석은 회토류계 자석에비해 자기적 특성은 떨어지나 가격이 저렴하고 산화물로 화학적으로 안정한 상태이며, 분말야금적으로 복잡한 형태를 만들 수 있다. 따라서 Sr 페라이트는 오래 전부터 세라믹 자석으로 널리 사용되어 왔는데, 이는 Sr<sup>2+</sup> 이온과 O<sup>2-</sup>이온의 공간적 배열이 안정한 조밀충전구조의 육방정계(hexagonal) 구조로 SrFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> 조성을 가지는 페라이트 자석이다[1, 2].

일반적으로 페라이트의 자기특성은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$B_r \propto M_s \cdot p_o \cdot D_s \cdot (1 - \alpha)$$

$$iH_c \propto p_o [ (2K/M_s) \cdot f_s - N \cdot M_s ]$$

여기서 M<sub>s</sub>는 포화자화(magnetization), p<sub>o</sub>는 자화 용이축의 배향도, D<sub>s</sub>는 소결밀도, α는 비자성상의 체적비율, K는 결정 이방성 상수, f<sub>s</sub>는 단자구의 체적비, 그리고 N은 반자계 계수를 나타낸다. 따라서 페라이트의 잔류자속밀도(B<sub>r</sub>)는 화학조성에 의한 포화자화값(M<sub>s</sub>) 및 자화용이축에 대한 배향도를 향상 시킴으로써 특성향상을 기대할 수 있으며, 보자력(iH<sub>c</sub>)은 비고유(extrinsic) 특성으로써

입자크기 및 분포 등의 외적입자와 같은 소결체의 미세구조 제어로써 향상 시킬 수 있다.

많은 연구자들이 페라이트의 자기특성 향상을 위하여 조성변화, 하소시 결정성장 제어, 미분쇄 공정개선 및 소결 조건 개선 등으로 잔류자속밀도와 보자력의 향상을 이루었으나, 이는 하소 원료에서 포화자화의 근본적인 변화가 없기 때문에 소결후 한계 특성을 나타내었다. 최근에는 이러한 문제를 해결하고자 Sr 페라이트의 화학량론적인 조성 SrFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>에서 Fe<sup>3+</sup> 및 Sr<sup>2+</sup> 이온에 Co<sup>2+</sup> 및 La<sup>3+</sup> 치환으로 포화자화를 향상시키는 실험들이 행하여졌다[4-8].

본 연구에서는 Sr 페라이트의 잔류자속밀도(B<sub>r</sub>) 특성을 향상시키기 위하여 단독 Zn 치환에 따른 Sr 페라이트의 자기특성변화를 조사하였고, 또한 La<sup>3+</sup>가 M형 페라이트 내에서 최대용성한계(the largest solubility limit)를 가지며, Zn 치환에 따른 양전하 감소에 대한 보상을 위한 란탄 계열 원소의 복합첨가에 의한 La-Zn 치환 Sr 페라이트의 하소 특성을 조사하였으며, 이러한 조건으로 제조된 하소분말을 사용하여 치환에 따른 Sr계 페라이트를 제조함으로써 그 자기적 특성변화를 조사하였다.

### II. 실험 방법

본 실험에서는 Sr페라이트 화학량론적인 조성식에서 Fe

\*Tel: (042)821-6233, E-mail: jsd9999@hanmail.net

**Table I.** Experiment table for Sr-system ferrites

| Chemical formula   | Symbol                            |
|--|-----------------------------------|
| $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  | SrM                               |
| $\text{SrFe}_{11.7}\text{Zn}_{0.3}\text{O}_{19}$                             | $\text{Zn}_{0.3}\text{-SrM}$      |
| $\text{Sr}_{0.7}\text{La}_{0.3}\text{Fe}_{11.7}\text{Zn}_{0.3}\text{O}_{19}$ | $(\text{La-Zn})_{0.3}\text{-SrM}$ |

이온에 Zn 치환을 유도하고, 또한 2가 금속 이온의 치환에 따른 전하보상을 위하여 La를 동시 치환한 경우의 자기적 특성을 비교하였다. 본 실험실에서 얻어진 결과 및 발표 논문들에 의하면 La-Co 치환 Sr 페라이트에서  $X = 0.3$  부근에서 최적의 자기특성을 나타낸다고 보고하고 있다[7, 8]. 따라서 본 실험에서도 단독 Zn 치환 및 복합 La-Zn 치환에 따른 하소분과 소결체의 결정상태 및 자기 특성을 분석하고자  $X = 0.3$ 으로 고정한 Table I과 같은 조성식으로 실험을 진행하였다.

본 실험에서는 원소 치환으로 사용된 원료는 안정한 산화물로서  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$ , ZnO 및  $\text{La}_2\text{O}_3$ 를 사용하여 Table I과 같은 조성식으로 원료를 평량후 물을 분산매로 하여 습식혼합을 실시하였고, 이를 건조한 후 시험로에서  $300^\circ\text{C/hr}$ 의 승온속도로  $1230^\circ\text{C}$ 에서 1hr동안 하소를 행하였고, 하소후 결정립의 상태를 관찰하기 위하여 주사전자 현미경(SEM) 분석을 행하였으며,  $3\text{ mm}^3$  입방형으로 시료를 준비하여 진동시료형 자력계(VSM)를 사용하여 Zn 치환에 따른 하소분의 자기특성을 조사하였다.

하소된 분말은 조분쇄후 소결체로서  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  및  $\text{SrCO}_3$  등을 첨가하여 ball mill에서 평균입도  $0.80\ \mu\text{m}$ 까지 습식 미분쇄하고, 이 미분쇄된 원료의 농도를 조절한 후 외부자장  $8\text{ kOe}$ 을 인가하면서 자장 중 성형을 실시하였다.

성형된 시편은 시험로에서  $250^\circ\text{C/hr}$  속도로 승온하여  $1200^\circ\text{C}$  및  $1220^\circ\text{C}$ 에서 1 hr 동안 소결한 후 로내에서 상온까지 자연냉각 처리하였다. 미량원소가 치환된 Sr 페라이트 소결체의 결정 상태를 관찰하기 위해서 주사전자 현미경(SEM) 분석을 실시하였고, BH curve tracer에서  $35\text{ mm}\phi$  search coil 을 사용하여 자장 중 성형에 따른 이방성 방향으로 자기특성 값을 조사하였다.

### III. 결과 및 고찰

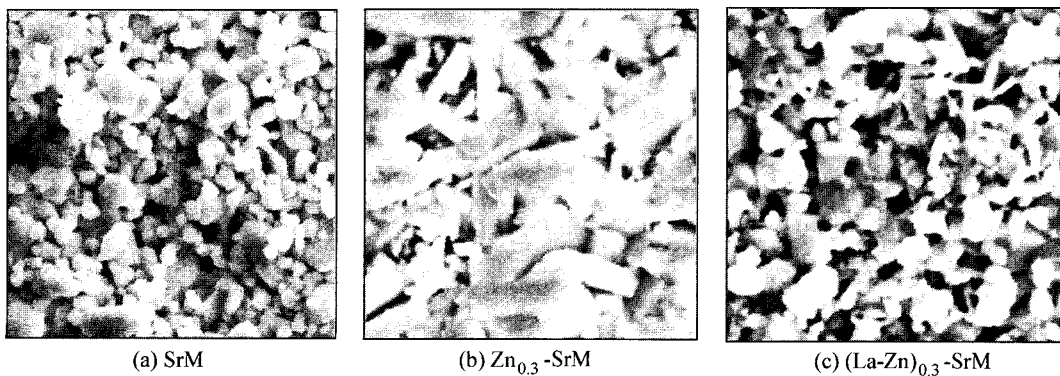
#### 3.1. Zn 치환 Sr 페라이트의 하소특성

##### 3.1.1. 하소분의 결정 상태

Fig. 1은 하소 전 단독 ZnO 첨가한 경우 및 ZnO와  $\text{La}_2\text{O}_3$ 를 동시 첨가하여 원소치환을 실시한 Sr 페라이트의 하소 결정상태를 주사전자 현미경(SEM)으로 관찰한 사진이다.

동일한 혼합 및 하소조건에서 화학량론적인 조성 SrM [Fig. 1(a)]의 경우 하소후 결정이 약  $1\ \mu\text{m}$  정도로 성장하였으나, 단독 Zn 치환을 유도한  $\text{Zn}_{0.3}\text{-SrM}$  [Fig. 1(b)] 조성에서는 하소후 결정이 침상형으로 약  $3\ \mu\text{m}$  까지 성장하였다. 그러나  $\text{La}_2\text{O}_3$ 를 동시 첨가한  $(\text{La-Zn})_{0.3}\text{-SrM}$  [Fig. 1(c)]조성의 경우에는 하소후 결정이 단독 Zn 치환을 유도한 경우와는 달리 화학량론적인 조성과 비슷한 약  $1\ \mu\text{m}$  정도로 성장을 하였다. 이는 Sr 페라이트에 원소치환을 실시한 경우 란탄계열등을 동시 첨가한 경우가 M형 페라이트의 고용범위를 넓게 할 수 있으며, 2가 금속의 치환에 따른 전하의 보상을 이룰 수 있다는 것과 일치한다[6-8].

따라서 금속원소 치환에 의한 Sr 페라이트의 자기적 특



**Fig. 1.** SEM photos of materials calcined at  $1230^\circ\text{C}$  for 1 hr with element substituted Sr ferrite (calcined at  $1230^\circ\text{C}$ , 1 hr) [Magnification  $\times 6,000$ ,  $\text{--- } 1.0\ \mu\text{m}$ ].

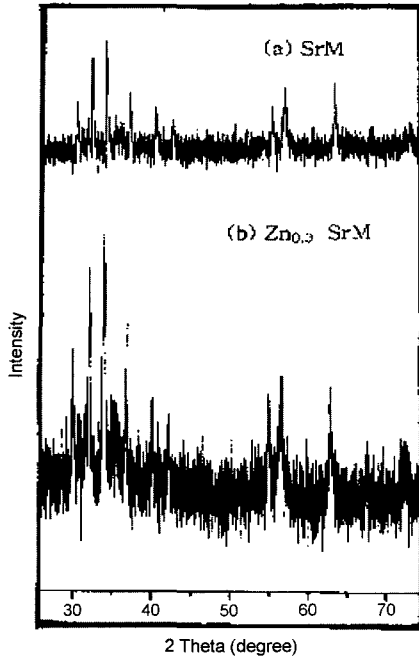


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of Sr-ferrite. (a) SrM, (b) Zn<sub>0.3</sub>-SrM.

성향상을 위하여 하소전 미량의 금속 산화물을 첨가한 경우에 란탄계열 원소의 동시 첨가가 하소후 안정적인 결정 성장을 이룰 수 있으며, 최적 하소 조건설정 등으로 높은 포화자화( $M_s$ ) 및 높은 보자력( $iH_c$ )을 갖는 Sr계 페라이트 하소분말을 제조할 수 있을 것이다.

Fig. 2는 화학량론적인 조성과 미량 Zn을 치환한 Sr 페

라이트 하소분에 대하여 결정성의 변화를 관찰하기 위하여 X선 회절 분석을 실시한 결과이다.

Sr 페라이트의 화학량론적 조성 및 하소전 미량 ZnO를 첨가하여 원소치환을 유도한 경우에도 전체적으로 육방정(hexagonal) 구조상으로 동일한 peak를 나타내고 있으나, Zn치환을 유도한 경우 (b)는 화학량론적인 조성 (a)과 달리 주 peak의 강한 intensity를 관찰할 수가 있는데 이는 미량 ZnO를 첨가한 경우에 하소 결정이 커진 것에 의한 결과라고 사료된다. 즉 Sr 페라이트 조성에 Zn 치환을 위하여 단독 ZnO를 첨가한 경우 동일 하소온도에서 과잉 결정 성장(abnormal crystal growth)을 유도하고 있음을 알 수 있는데, 이는 미량의 ZnO 첨가가 하소 반응시 Sr 페라이트에 고용되어 치밀화를 촉진하여 결정 성장을 유도한 것으로 사료 된다.

이러한 하소중의 비정상적인 결정성장은 소결후 자기적 특성에 영향을 미칠 것이며, 특히 보자력 특성을 크게 감소시킬 것이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 원소치환을 위하여 하소전 미량 ZnO를 첨가 한 경우 하소온도를 화학량론적인 조건에서 보다 더 낮은 온도에서 실시하거나, 고용범위를 조절하고 전하의 보상차원에서 란탄계열등을 동시 첨가한 후 하소를 실시하여 하소 분말의 포화자화의 증가를 유도하면서 결정의 미세화를 유도한다면 높은 잔류자속밀도값과 더불어 보자력 향상도 이룰 수 있을 것으로 사료된다.

3.1.2. 하소분말의 자기특성

Fig. 3은 화학량론적인 조성과 미량 Zn을 치환한 Sr 페라이트 하소분에 대하여 진동시료형 자력계(VSM)에서 측

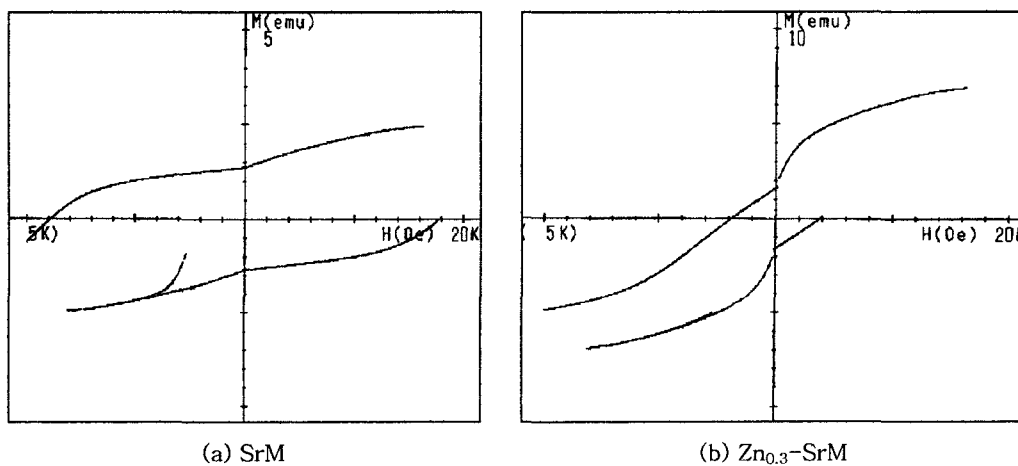


Fig. 3. Hysteresis loops for the calcined compounds of Sr-system ferrite measured by VSM.

**Table II.** Magnetic properties of calcined compounds for Sr-system ferrite measured by VSM

| Composition   | $M_s$ (emu/g) | $M_r$ (emu/g) | $iH_c$ (kOe) |
|---|---------------|---------------|--------------|
| SrFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> [SrM]  | 61.06         | 33.69         | 4.45         |
| SrFe <sub>11.7</sub> Zn <sub>0.3</sub> O <sub>19</sub> [Zn <sub>0.3</sub> -SrM] | 66.90         | 15.38         | 0.94         |

정한 자기이력곡선(hysteresis loops curve)을 나타낸 것이며, 이 측정값을 Table II에 나타내었다.

이에 의하면 화학량론적인 조성으로 혼합한 하소특성은 포화자화값( $M_s$ )이 61.06 emu/g 보자력( $iH_c$ )은 4.45 kOe를 나타내었고, Zn 원소치환 경우에는 포화자화값( $M_s$ )이 66.90 emu/g으로 향상 되었으나, 보자력( $iH_c$ )은 급격히 저하되어 0.94 kOe의 값을 나타내었다.

이는 M형 구조에서 1단위 세포당 4개의 4배위 site (4f1)가 있고 더욱이 그 site의 Fe<sup>3+</sup>는 하향의 자기모멘트를 가지며, 비자성 이온으로써 4배위 위치의 기호성이 강한 Zn<sup>2+</sup>에 의해서 4f1의 Fe<sup>3+</sup>를 치환하는 것이 합리적이며, 이런 Zn<sup>2+</sup> 등의 비자성 이온에 의한 하향 spin을 가진 Fe<sup>3+</sup>를 치환하면 포화자화가 향상한다는 것과 잘 일치하는 것으로 사료된다[7]. 따라서 Sr 페라이트의 Zn 원소치환에 의하여 하향의 spin을 가진 Fe<sup>3+</sup>에 잘 치환되어 포화자화는 향상되었으나, 비정상적인 결정 성장으로 인하여 보자력값이 크게 떨어진 것으로 사료된다.

이러한 하소분 보자력값 저하는 Sr 페라이트 소결 보자력을 향상시키는데 한계를 나타낼 것이다. 따라서 보자력값을 향상시키기 위해서는 Zn 원소 단독 치환의 경우 하소조건을 변화시켜 과대 결정 성장을 방지하거나, M형 페라이트내 최대 가용성한계 (the largest solubility limit)를 가지는 란탄계열 원소의 동시첨가 및 최적 하소조건외 설정 등으로 보자력의 저하를 보상할 수 있을 것으로 사료된다.

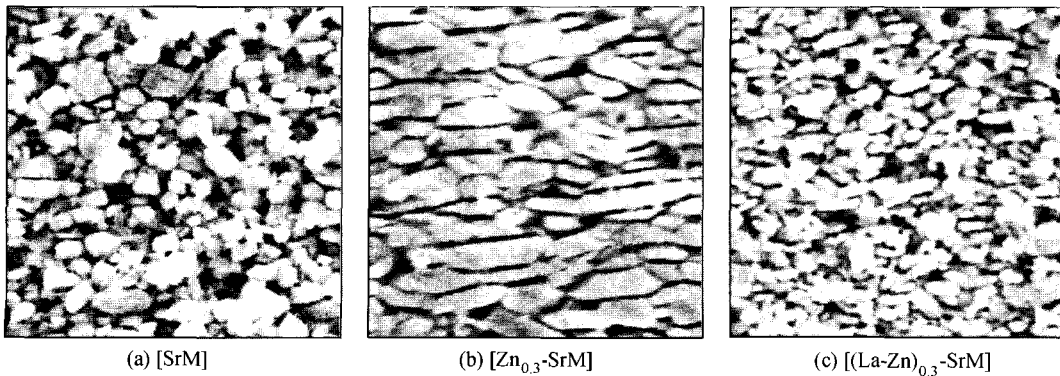
**3.2 Zn 및 La-Zn 치환 Sr 페라이트 소결 특성**

**3.2.1. 미세구조**

Sr 페라이트 화학량론적인 조성 과 단독 Zn 및 복합 La-Zn 치환하여 하소한 분말을 사용하여 소결조제로서 소량의 SiO<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> 및 SrCO<sub>3</sub>를 첨가하고 ball mill에서 평균입도 0.80 μm까지 습식 미분쇄한 후, 자장 중 성형을 실시하여 소결을 행하였다.

Fig. 4는 1220 °C에서 1 hr 동안 소결한 Sr계 페라이트 소결체를 주사전자 현미경 (SEM)으로 분석한 미세구조의 사진이다. 이에 의하면 각각의 하소분말을 동일 조건으로 미분쇄, 성형 및 소결을 실시한 경우에, 초기 하소분 결정 상태처럼 단독 ZnO 첨가 경우에는 화학량론적인 조성보다 소결후 결정이 크고 판상으로 성장하고 있음을 알 수가 있다. 이는 하소 후 크게 성장한 결정이 미분쇄를 실시하여도 큰 결정들이 그대로 존재하였거나 또는 소결에서 재결정화가 빠르게 일어나서 큰 결정 상태를 그대로 유지하여 자장 중 성형에서 배향이 잘 이루어진 것으로 사료된다. 이러한 과대 결정성장은 Sr 페라이트의 자기 특성 특히 보자력 감소를 일으킨다.

그러나 양전하의 감소에 대한 보상으로 M형 페라이트 내에 최대 가용성한계(the largest solubility limit)를 가지는 란탄계열 원소 중 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 동시 첨가한 (La-Zn)<sub>0.3</sub>-SrM 조성에서는 하소 분에서와 같이 과대 결정성장이 없이 균일하고 안정된 결정 상태를 나타내고 있다.



**Fig. 4.** SEM photos of sintered at 1220 °C for 1 hr after calcined at 1220 °C for 1hr [Magnification × 6,000. — 1.0 μm].

3.2.2. 원소치환 Sr계 페라이트의 자기특성

Table III은 Sr 페라이트의 화학량론적 조성 SrFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> 과 원소치환 SrFe<sub>11.7</sub>Zn<sub>0.3</sub>O<sub>19</sub> 및 Sr<sub>0.7</sub>La<sub>0.3</sub>Fe<sub>11.7</sub>Zn<sub>0.3</sub>O<sub>19</sub> 조성에 의한 Sr계 페라이트 소결체를 BH curve tracer에서 외부자장 9 kOe 까지 인가하면서 35 mmφ search coil을 사용하여 측정된 자기특성 값을 나타내었다.

Zn<sub>0.3</sub>-SrM조성의 경우 화학량론적인 조성에서보다 소결 밀도가 향상되면서 잔류자속밀도 (B<sub>r</sub>) 특성은 향상되었으나, 보자력(iH<sub>c</sub>) 특성이 크게 떨어진 것으로 나타났다. 즉 ZnO를 단독 첨가한 하소 분에 대해 시료 진동형 자력계 (VSM) 및 주사전자 현미경(SEM)에서 분석된 것과 같이 초기 하소분말에서는 높은 포화자화 값 (M<sub>s</sub>)을 나타내지만, 하소 및 소결 후 과잉 결정성장이 일어나서 보자력 (iH<sub>c</sub>)의 자기특성이 크게 향상되지 않은 것으로 사료된다. 즉 Zn<sub>0.3</sub>-SrM 경우는 하소분에서 분석된 바와 같이 Zn 이온이 하향의 spin을 가진 Fe<sup>3+</sup>를 치환하면서 포화자화 (M<sub>s</sub>)값은 향상되었으나, 소결체의 주사전자 현미경 (SEM) 분석에서 나타난 바와 같이 과잉 결정성장에 의하여 보자력 (iH<sub>c</sub>) 값이 (La-Zn)<sub>0.3</sub>-SrM 보다 크게 떨어진 것으로 보여진다.

또한 (La-Zn)<sub>0.3</sub>-SrM 조성에서도 높은 소결밀도 와 잔류자속밀도(B<sub>r</sub>) 특성을 나타내지만, 보자력(iH<sub>c</sub>) 특성은 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 단독 ZnO첨가 경우보다는 약간 큰 값을 나타내었으나 화학량론적인 조성보다는 크게 떨어졌다. 외부 자장 9 kOe까지 인가하면서 측정된 자기특성은 La-Zn 치환 경우 잔류자속밀도 (B<sub>r</sub>) 4.21 kG 및 최대에너지적 (BH<sub>max</sub>) 4.19 MGOe의 특성을 나타내었다. 이는 일반적인 화학량론적인 조성에서 잔류자속밀도 (B<sub>r</sub>) 4.08 kG 및 최대에너지적 (BH<sub>max</sub>) 4.00 MGOe 정도인 것과 비교하면 BH<sub>max</sub>의 약 5%의 특성 향상을 보이고 있다.

이는 치환된 Zn에 의하여 포화자화 값의 향상과 양전하의 감소에 대한 보상하기위한 방법으로 복합 치환한 La<sup>3+</sup>가 M형 페라이트내 최대 가용성한계 (the largest solubility

limit)를 가짐으로써 Sr 페라이트의 자기 특성을 향상시키기 위하여 금속이온을 치환할 경우 탄탄계열을 동시 첨가한 경우에 최대효과를 나타낸다는 것과 일치함을 알 수가 있다[6-8].

또한 소결조제로써 사용된 SiO<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> 등은 결정립 (grain boundary)에서 결정성장을 제어하면서 보자력값을 향상시킬 수 있음을 나타낸다. 따라서 높은 잔류자속밀도 (B<sub>r</sub>)을 유지하면서 보자력 (iH<sub>c</sub>)의 향상을 위해서는 La-Zn 치환에따른 치환량의 제조절과 하소조건 및 소결 조건등의 재설정이 필요할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

Sr 페라이트의 화학량론적인 조성 SrM과 원소치환에 의한 Zn<sub>0.3</sub>-SrM 및 (La-Zn)<sub>0.3</sub>-SrM조성으로 하소분말을 제조하여 하소특성을 조사하고, 소결조제와 함께 미분쇄한 후 성형한 시편을 공기 중에서 소결하여 제조한 Sr계 페라이트의 자기적 특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 동일한 혼합 및 하소조건에서 화학량론적인 조성 SrM 경우 하소 후 결정이 약 1 μm 정도로 성장하였으나, 단독 Zn 원소 치환한 Zn<sub>0.3</sub>-SrM에서는 하소 후 결정이 침상형으로 약 3 μm 까지 성장하였다.
- (2) XRD 분석에 의하면 원소치환을 위하여 하소 전 미량의 ZnO를 첨가한 경우에도 전체적으로 육방정(hexagonal) 구조상으로 동일한 peak를 나타내고 있다.
- (3) 화학량론적인 조성에서 하소 전 ZnO를 첨가하여 Zn<sub>0.3</sub>-SrM조성으로 원소치환을 실시한 하소분말의 포화자화값(M<sub>s</sub>)은 61.06 emu/g에서 66.90 emu/g로 상승하였다.
- (4) Sr 페라이트 화학량론적인 조성에서 잔류자속밀도 (B<sub>r</sub>) 4.08 kG, 최대에너지적(BH<sub>max</sub>) 4.00 MGOe 특성이 (La-Zn)<sub>0.3</sub>-SrM 조성으로 원소 치환한 경우 잔류자속밀도 (B<sub>r</sub>) 4.21 kG, 최대에너지적(BH<sub>max</sub>) 4.19 MGOe으로 향상 하였다.

Table III. Magnetic properties of Sr ferrite magnets sintered at 1200 °C and 1220 °C for 1 hr.

| Composition  | Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Magnetic Properties |                       |                          |
|--|------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|
|  |                              | B <sub>r</sub> (kG) | iH <sub>c</sub> (kOe) | BH <sub>max</sub> (MGOe) |
| SrFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> [SrM]   | 4.92                         | 3.99                | 3.71                  | 3.88                     |
|  | 4.96                         | 4.08                | 3.67                  | 4.00                     |
| SrFe <sub>11.7</sub> Zn <sub>0.3</sub> O <sub>19</sub> [Zn <sub>0.3</sub> -SrM]  | 5.04                         | 4.34                | 1.24                  | 3.19                     |
|  | 5.04                         | 4.36                | 1.18                  | 3.02                     |
| Sr <sub>0.7</sub> La <sub>0.3</sub> Fe <sub>11.7</sub> Zn <sub>0.3</sub> O <sub>19</sub> [(La-Zn) <sub>0.3</sub> -SrM] | 5.07                         | 4.22                | 2.50                  | 4.12                     |
|  | 5.08                         | 4.21                | 2.52                  | 4.19                     |

### 참 고 문 헌

- [1] E. P. Wohlfarth, "Ferromagnetic Materials Vol 3", North Holland Publishing Co, (1982), Chap. 4 ,5.
- [2] Y. Kaneko, and A. Hamamura, J. Jpn. Soc. Powder & Powder Metallurgy, **39**(11), 937(1992).
- [3] Y. Kaneko, K. Kitajima, and N. Takusagawa, J. Ceramic Soc. Jpn. **101**(8), 905(1993).
- [4] H. Yamamoto, H. Kumehara, and H. Nishio, J. Jpn. Soc. Powder & Powder Metallurgy, **42**(6), 712(1995).
- [5] H. Yamamoto, J. Jpn. Soc. Powder & Powder Metallurgy, **43**(1), 5(1996).
- [6] H. Taguchi, T. Takeishi, and K. Suwa, J. Jpn. Soc. Powder & Powder Metallurgy, **44**(1), 3(1997).
- [7] H. Taguchi, T. Takeishi, K. Suwa, K. Masuzawa, and Y. Minachi, Pro. J. Phys. IV, France, C1-311(1997).
- [8] K. Iida, Y. Minachi, K. Masuzawa, M. Kawakami, H. Nishio, and T. Taguchi, J. Magn. Soc. Japan, **23**, 1093 (1999).

## Magnetic Properties of Zn and La-Zn Substituted Strontium Ferrite

S. D. Jang\* and C. O. Kim

*Division of Materials Engineering, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea*

J. H. Kim

*Research Center for Advanced Magnetic Materials, Chungnam National University*

(Received 21 September, 2001, in final form 10 November, 2001)

These experiments were carried out to examine the effects of element substitution of Zn and La-Zn for Sr-ferrite. The calcined properties of Zn and La-Zn element substitution were examined, and also the sintered magnetic properties were compared with the stoichiometric condition. The magnetization properties of calcined SrM materials is as follows;  $M_s$  : 61.06 emu/g. Also, the magnetization properties of calcined  $Zn_{0.3}$ -SrM materials is as follows;  $M_s$  : 66.90 emu/g. The sintered magnetic properties of (La-Zn) $_{0.3}$ -SrM composition is as follows;  $B_r$  : 4.21 kG,  $BH_{max}$  : 4.19 MGOe.

**Key words** : Sr-ferrite, magnetic properties, element substitution