

## Sr-La계휠리트영구자석의 자기적특성에 미치는 $\text{Co}^{2+}$ 의 영향

김혁, 김광수

경애하는 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학기술을 확고히 앞세우고 과학기술과 생산을 밀착시키며 경제건설에서 제기되는 모든 문제들을 과학기술적으로 풀어나가는 기풍을 세워 나라의 경제발전을 과학기술적으로 확고히 담보하여야 합니다.》

최근 전동기, 발전기, 고성기, 자동차, 가정용전기제품, 계량기구, 계전기, 자기치료기구 등의 급속한 발전과 함께 휠리트영구자석의 응용범위도 보다 넓어지고있다. 스트론튬염계휠리트영구자석의 제조공정이 간단하고 그 특성이 좋은것으로 하여 제조조건이나 첨가물과 같은 여러가지 인자들을 고려하여 보다 높은 자기적특성을 얻기 위한 연구들[1-3]이 활발히 진행되고있다.

우리는 Sr-La계휠리트영구자석제조에서  $\text{Co}^{2+}$ 이 자석의 자기적특성제고에 미치는 영향을 고찰하였다.

### 제 조 방 법

선택한 Sr-La계휠리트영구자석의 조성은  $\text{Sr}_{0.7}\text{La}_{0.3}\text{Fe}_{12-x}\text{Co}_x\text{O}_{19}$  ( $x=0.1\sim 0.4$ )이다. La의 첨가량은 선행연구[1]에 기초하여 선택하였다.

출발원료로는  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (99.3%),  $\text{SrCo}_3$ (99.5%),  $\text{La}_2\text{O}_3$ (99.9%),  $\text{CoO}$ (98%)를 리용하였다.

출발물질을 보다 효과적으로 분쇄하기 위하여 행성식분쇄기를 리용하여 증류수속에서 3h동안 분쇄하였다. 분쇄한 분말을 50MPa의 압력으로 성형하여 1 260℃에서 2h동안 소성하였다. 소성후 증류수속에서 4h동안 행성식분쇄를 하였다. 다음 원판형으로 100MPa압력하에서 자기마당성형을 진행하고 1 200℃에서 2h동안 소결하였다.

실험에서는 탄동검류계법에 의한 자화곡선과 리력곡선으로부터 자기적특성량들을 결정하고 아르키메데스법칙을 리용하여 밀도를 측정하였다.

### 결과 및 분석

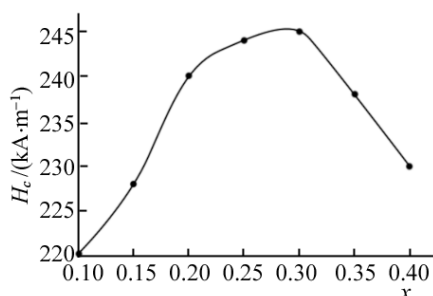


그림 1. Co의 첨가량  $x$ 에 따르는  
보자력의 변화

휠리트영구자석의 자기적특성량들인 잔류자화나 보자력은 출발조성에 따라 크게 달라진다.

그림 1에 Co의 첨가량  $x$ 에 따르는 보자력의 변화를 보여주었다. 그림 1에서 보는바와 같이 Co첨가량의 증가에 따라 보자력은 증가하다가  $x=0.3$ 이상에서는 감소하는 경향성을 가진다.

Sr휠리트의 보자력의 원천은 자기결정학적이방성 마당과 형태이방성마당으로서 여기서 자기결정학적이방성마당은 큰 정의 값을 가지고 형태이방성마당은 작은 부의 값을 가진다. 그러므로 Sr휠리트의 보자력

은 그것의 구조, 형태와 밀접한 관계를 가진다.

Sr 웨리트 구조에는 5개의 자기부살창이 존재하는데 초교환작용의 결과  $2a$ ,  $2b$ ,  $12k$ 의 3개 부살창에서의 자기모멘트는 서로 평행으로 배열되며  $4f_1$ ,  $4f_2$ 의 2개 부살창에서의 자기모멘트는 앞의 3개 부살창에서의 자기모멘트와 거꿀평행으로 배열된다.

$\text{Co}^{2+}$ 은 이온반경이  $0.065\text{nm}$ 로서  $2a$  혹은  $4f_2$  위치에서  $\text{Fe}^{3+}$ 을 치환할수 있다.  $\text{Fe}^{3+}$ 이  $2a$ ,  $4f_2$  위치에서 자기결정학적이방성상수  $K_1$ 에 미치는 영향은 정의 값이고  $\text{Co}^{2+}$ 의 이방성상수는  $\text{Fe}^{3+}$ 보다 두자리수 높기때문에  $\text{Co}^{2+}$ 으로 치환하면 총적인 자기결정학적이방성은 크게 증가하게 되며 보자력도 커지게 된다.

그림 2에 Co의 첨가량  $x$ 에 따르는 잔류자화의 변화를 보여주었다. 그림 2에서 보는바와 같이 Co의 첨가량이 증가함에 따라 잔류자화는 약간씩 증가하다가  $x=0.3$ 일 때 최대값을 가진다.

자성재료에서 잔류자화세기는 자성재료의 조성과 구조에 관계될뿐아니라 자성재료내부의 혼입물, 내부응력, 기공, 결정립자계의 영향도 받는다. 그것은 이와 같은 인자들이 자기쌍극자에 의하여 생기는 힘모멘트의 방향에 영향을 미치기때문이다.

잔류자화도 보자력과 같은 방법으로 설명할수 있다.

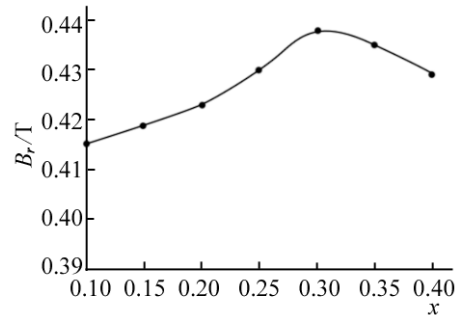


그림 2. Co의 첨가량  $x$ 에 따르는 잔류자화의 변화

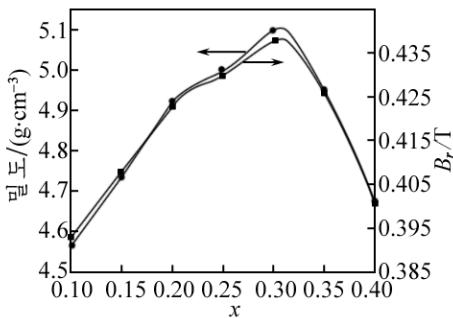


그림 3. 조성에 따르는 밀도와 잔류자화변화

$\text{Co}^{2+}$ 은 이온반경이  $0.065\text{nm}$ 로서  $2a$  혹은  $4f_2$

위치에서  $\text{Fe}^{3+}$ 을 치환할수 있다.  $\text{Co}^{2+}$ 과  $\text{Fe}^{3+}$ 의 자기모멘트는 그 차이가 크지 않기때문에 자화에 미치는 영향은 크지 않다. 따라서  $\text{Co}^{2+}$ 치환량에 따라 이온치환에 의한 자기결정학적이방성마당, 포화자화세기와 같은 고유특성이 높아지므로 잔류자화는 약간씩 증가하며 립계값인  $x=0.3$ 이상에서는 자기모멘트 감소량이 많아지면서 서서히 감소하게 된다.

조성에 따르는 밀도와 잔류자화변화를 그림 3에 보여주었다. 밀도는  $1\text{mg}$ 의 정확도로 쟈 시편의 질량과  $1/100\text{mm}^3$ 의 정확도로 쟈 체적으로부터 계산하였다. 일반적으로 제품의 밀도는 재료의 잔류자화와 비례관계에 있다.

그림 3에서 보는바와 같이 제품의 밀도와 잔류자화곡선은 거의 일치한다. 이것은 밀도가 재료의 잔류자화와 거의 비례관계에 있다는것을 보여준다.

## 맺는 말

Sr-La계 웨리트에서 Co를 첨가하여 보자력을 높일수 있으며 보자력은 Co의 첨가량이  $0.3$ 일 때  $245\text{kA/m}$ 로서 최대값을 가진다.

Co의 첨가에 따라 잔류자화는 크게 변하지 않으며 밀도와 잔류자화는 거의 비례관계에 있다는것을 실험적으로 밝혔다.

## 참 고 문 헌

- [1] L. Harnagea et al.; J. Solid State Chem., 211, 219, 2014.
- [2] C. P. Yanga et al.; JECS, 27, 2765, 2007.
- [3] 刘先松 等; 稀有金属材料与工程, 31, 385, 2002.

주체109(2020)년 12월 5일 원고접수

### **Influence of $\text{Co}^{2+}$ on the Magnetic Properties of Sr-La System Ferrite Permanent Magnet**

*Kim Hyok, Kim Kwang Su*

Adding Co raised the coercive force of Sr-La system ferrite. The coercive force had top value as 245kA/m when addition content of Co was equal to 0.3.

As Co got added, the residual magnetization was hardly varied and it was experimentally verified that density was almost in proportion to residual magnetization.

Keywords: Sr-La system ferrite, magnetic property