

酸化鐵의 粉體特性이 Sr-ferrite의 磁氣特性에 미치는 影響

趙泰植 · 金孝準* · 崔承德 · 南孝惠* · 梁忠軫

浦項産業科學研究院 電磁氣研究팀, *嶺南大學校 電子工學科

Effect of the Powder Characteristics of Iron Oxides on the Magnetic Properties of Sr-ferrite

Tae-Sik Cho, Hyo-Jun Kim*, Seung-Duek Choi,
Hyo-Duk Nam* and Choong-Jin Yang

Electromagnetic Materials Laboratory, RIST, Pohang 790-330, Korea

*Department of Electronics, Yeungnam University, Keyungsan 712-749, Korea

요 약

다양한 hard ferrite용 국산 산화철(α - Fe_2O_3)의 분체특성이 Sr-ferrite의 자기특성에 미치는 영향을 조사하였다. 산화철의 평균입도와 입도분포는 철강 냉연공장의 염산폐액 정제방법에 따라 서로 구분되었으며, Sr-ferrite의 자기특성과 미세조직에 큰 영향을 주었다. Ruthner 산화철의 응집현상은 Sr-ferrite의 포화자화를 감소시켰으며, Chemirite(CY) 산화철의 0.80 μm 이상의 조대한 입자는 Sr-ferrite의 고유보자력을 감소시켰다. 평균입도가 0.14 μm 로 가장 작은 Chemirite 포함2냉연(EP) 산화철을 사용하여, 5.8 mol. 1150°C/1시간의 하소조건에서 제조된 Sr-ferrite는 포화자화가 68.2 emu/g, 고유보자력이 4300 Oe인 최적의 자기특성을 나타내었다.

주제어: 산화철, Ruthner/Chemirite공정, 분체특성, Sr-페라이트

ABSTRACT

We investigated the effects of the powder characteristics of various domestic iron oxides (α - Fe_2O_3) on the magnetic properties of Sr-ferrites. The particle size and the distribution of iron oxides were classified by three different refining methods, and greatly affected on the magnetic properties and the morphology of Sr-ferrites. The agglomeration of Ruthner iron oxides and the large particles of Chemirite (CY) above 0.80 μm were degraded the properties of Sr-ferrites. The optimal magnetic properties of Sr-ferrites, showing 68.2 emu/g of saturation magnetization and 4300 Oe of intrinsic coercivity, were achieved at the following conditions; Chemirite (P2EP) iron oxides of 0.14 μm , molar ratio of 5.8, and calcination of 1150°C/1 hr.

Key words: Iron oxides, Ruthner/Chemirite process, powder characteristics, Sr-ferrite.

1. 서 론

Hard ferrite계 영구자석은 가격대비 에너지 효율이 뛰어나고 화학적으로 안정하기 때문에 전세계 영구자석시장의 최대 생산품목으로써, 전기·전자제품의 경박단소화 경향에 따라 고풍성 Sr-ferrite($\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) 개발의 중요성이 증가하고 있다. 현재 국내 이방성 hard ferrite분야는 중국산의 저

가공세로 스피커용 등의 중저급품에서 경쟁력을 상실해 가고 있으며, 일본이 독점하고 있는 고부가가치의 D.C. 모터용 고풍성 이방성 Sr-ferrite 시장으로의 진출이 절실히 요구되고 있다. 그러나 이방성 Sr-ferrite 제조시 주원료인 산화철(α - Fe_2O_3)의 고품질화에 대한 연구가 미흡하고, Sr-ferrite의 다양한 용도에 따라 산화철을 적절하게 구분하여 사용하지 않기 때문에 자기특성과 생산성의 향상에 한계를 나타내고 있다. 고풍성 Sr-ferrite를 개발하기 위해서는 약 0.5 μm 이하의 작은 입도를 갖는 산화철과 SrCO_3 를 균일하게 혼합하는

* 1998년 7월 13일 접수, 9월 2일 수리

* E-mail: tscho@postech.ac.kr

것이 중요하다.¹⁾ 철강냉연공장의 산재공정에서 주로 제조되는 hard ferrite용 산화철은 염산폐액의 정제방법, 열분해온도, 열분해방법 등에 의하여 분체특성, 결정구조, 화학조성에 있어서 차이가 존재하는 것으로 알려져 있다.²⁾ 그러므로 냉연폐산의 정제방법에 따른 국산산화철의 분체특성에 관한 연구는 Sr-ferrite의 특성향상을 위해서 중요하다.

본 연구에서는 주로 POSCO에서 제조되고 있는 hard ferrite용 국산산화철의 냉연폐산의 정제방법에 따른 분체특성이 Sr-ferrite의 하소특성에 어떠한 영향을 미치는지 조사하였다. 제조방법이 서로 다른 산화철을 사용한 Sr-ferrite의 하소특성은 물비, 하소온도의 변화에 따라 고찰되었으며, 이러한 결과를 토대로 높은 잔류자속밀도와 고유보자력이 동시에 요구되는 고품성 Sr-ferrite 제조에 적합한 국산산화철의 분체특성을 제시하고자 하였다.

2. 실험방법

산화철은 hard ferrite용으로 공업적으로 사용되고 있는 국산산화철중에서 냉연폐산의 정제방법에 따라 분무배소법(Ruthner공정), 유동배소법(Chemirite공정)중 cyclone(이하 CY)과 전기집진기(이하 EP)에서 얻어지는 산화철을 냉연공장별로 구분하여 사용하였고, SrCO₃는 비표면적이 5.0 m²/g인 공업용을 사용하였다. 산화철과 SrCO₃는 ball-mill에서 43 wt.%의 원료농도로 1시간동안 습식으로 혼합되었다. 냉

연폐산의 정제방법에 따른 산화철의 특성차이를 검출하기 위하여 하소조제는 첨가하지 않았다. 슬러리상태의 혼합물은 수분을 제거한 후 체질(60 mesh)하여, box형 전기로를 사용하여 하소조건에서 ferrite화 반응을 시켰다.

산화철분말의 평균입도는 Fisher sub-sieve sizer(이하 FSSS)와 용매에 분산시켜 측정하는 Zeta-sizer(Malvern Instrument Co.), 비표면적은 BET법(Micromeritics Co.), 겔보기밀도는 ASTM B-212-48방법, 충전밀도는 Dual autotap(Redington Co)을 사용하여 측정되었다. 산화철분말과 Sr-ferrite 하소분말의 미세조직은 전자주사현미경(SEM)으로 관찰되었으며, 평균입도와 입도분포는 SEM사진을 근거로 Image analyzer(LEITZ TAS Plus)를 사용하여 측정되었다. Sr-ferrite 하소분말의 자기특성은 반자장계수가 0.109인 실린더형 아크릴통에 하소분말을 채워 충분히 결착시킨 다음, VSM(TOEI Co.)을 사용하여 16.4 kOe의 최대자장을 인가하여 측정되었다.

3. 결과 및 고찰

Table 1은 국산산화철의 분체특성을 제조방법에 따라 분류하여 통계적으로 분석한 결과이다. 산화철의 분체특성은 냉연폐산의 정제방법에 따라 서로 구분되는 특징을 나타내었으며, 철강냉연공장에 따른 차이는 적었다. 이는 냉연폐산의 정제방법에 따른 산화철의 분체특성에 대한 표준편차가

Table 1. Powder characteristics of various domestic iron oxides produced from three different processes

Iron oxides		M.P.S. (FSSS) (μm)	M.P.S. (Zeta-sizer) (μm)	BET (m^2/g)	D_{App} (g/cm^3)	D_{Tap} (g/cm^3)
Ruthner	P.H. (1)	0.92	0.49	4.06	0.38	0.58
	K.Y. (2)	0.85	0.40	4.12	0.48	0.83
	Y.Y. (3)	0.84	0.37	4.77	0.50	0.86
	Y.H.	0.85	0.53	4.62	0.43	0.76
	X (σ)	0.87 (0.037)	0.45 (0.075)	4.39 (0.356)	0.45 (0.054)	0.76 (0.126)
Chemirite (CY)	P.H.(2)	0.81	0.44	7.12	0.63	0.92
	K.Y.(1)	0.79	0.39	6.80	0.54	0.90
	X (σ)	0.80 (0.014)	0.42 (0.035)	6.96 (0.226)	0.59 (0.064)	0.91 (0.014)
Chemirite (EP)	P.H.(2)	0.69	0.28	9.62	0.43	0.66
	K.Y.(1)	0.55	0.23	7.78	0.36	0.60
	X (σ)	0.62 (0.099)	0.26 (0.035)	8.70 (1.301)	0.40 (0.050)	0.63 (0.042)
X_{tot} (σ_{tot})		0.79 (0.116)	0.39 (0.100)	6.11 (2.028)	0.47 (0.089)	0.76 (0.135)

매우 작았고, 평균값이 서로 구분되는 결과에서 확인할 수 있었다. FSSS와 Zeta-sizer로 측정된 산화철의 평균입도는 Ruthner 산화철에서 각각 0.87 μm , 0.45 μm 로 가장 큰 값을 나타내었고, Chemirite(EP) 산화철에서 각각 0.62 μm , 0.26 μm 로서 가장 작은 값을 나타내었다. Zeta-sizer에서는 응집되어 있는 산화철을 용매에 분산시켜서 측정하기 때문에 평균입도가 FSSS로 측정된 값과 비교하여 약 0.4 μm 가 작은 결과를 나타내었다. 산화철의 평균입도에 반비례하는 비표면적은 평균입도가 가장 큰 Ruthner 산화철에서는 4.4 m^2/g 이었고, 평균입도가 가장 작은 Chemirite(EP) 산화철에서는 8.7 m^2/g 을 나타내었다. 또한 산화철분말의 겉보기밀도와 텀밀도는 Chemirite(CY) 산화철에서 각각 0.585 g/cm^3 , 0.910 g/cm^3 로서 가장 큰 값을 나타내었다. 그러나 측정된 평균입도가 가장 크고 비표면적이 가장 작은 Ruthner 산화철의 겉보기밀도와 텀밀도는 오히려 Chemirite(CY) 산화철보다 작은 0.448 g/cm^3 , 0.758 g/cm^3 을 나타내었다. 이는 Ruthner 산화철의 경우 제조공정상 분무시의 액적형상으로 각각의 산화철분말이 상대적으로 심각하게 응집되어 있는 결과에 기인 하였으며, SEM사진을 통해서 응집상태를 확인할 수 있었다.

Fig. 1은 제조방법에 따른 Ruthner의 광양2냉연, Chemirite의 포항2냉연(CY)와 포항2냉연(EP) 산화철분말의 형상을 나타낸 SEM 사진으로서, 아세톤을 사용하여 해쇄처리

한 후 프레스한 성형체의 표면사진이다. 광양2냉연 산화철 분말은 Chemirite인 포항2냉연 산화철분말과 비교하여 입도분포가 균일하고 구형인 경향을 나타내었으며, FSSS나 Zeta-sizer로 측정된 평균입도보다 훨씬 작은 미세한 입자들로 구성되어 있었다. Chemirite 산화철은 Ruthner 산화철과 비교하여 상대적으로 넓은 입도분포를 나타내었다. 특히, 포항2냉연(CY) 산화철은 약 1.0 μm 크기의 조대한 입자들이 관찰되었고, 전기집진기에서 얻어진 포항2냉연(EP) 산화철은 예상대로 0.1 μm 정도의 아주 미세한 입자들이 많이 관찰되었다.

Image analyzer를 사용하여 제조방법에 따른 산화철분말의 실제적인 평균입도와 입도분포를 측정하였다. Table 2는 Fig. 1의 SEM사진을 근거로 측정된 냉연폐산의 정제방법에 따른 산화철분말의 입도분포를 입자수(%)로 나타낸 결과이다. 광양2냉연 산화철은 0.40 μm 이하의 균일한 입도분포를 나타내었으며, 평균입도는 0.15 μm 이었고 표준편차는 가장 작은 0.073을 나타내었다. 포항2냉연(CY) 산화철은 평균입도가 가장 큰 0.23 μm 이었고 표준편차가 0.181로서 가장 넓은 입도분포를 나타내었으며, 0.80 μm 이상의 조대한 산화철입자가 약 12 no.% 존재하였다. 포항2냉연(EP) 산화철은 0.70 μm 이하의 입도분포를 나타내었으며, 평균입도는 0.14 μm 로 가장 작았고 표준편차는 광양2냉연 산화철보다 큰 0.102를 나타내었다. 산화철분말이 구형이라는 가정으로 계산된 입도분포를 무게(%)로 나타낸 결과, 상대적으로 조대한 산화철입자의 비율이 크게 증가하였다. 특히, 포항2냉연(CY) 산화철의 경우에 0.8~1.0 μm 범위의 조대한 입자가 입자수로는 1.2 no.%이지만, 비율로는 약 27 wt.%로 많은 양이 존재하였다. 이러한 조대한 산화철 입자들은 SrCO_3 와의 하소반응시 성장하여 다자구상태의 Sr-ferrite

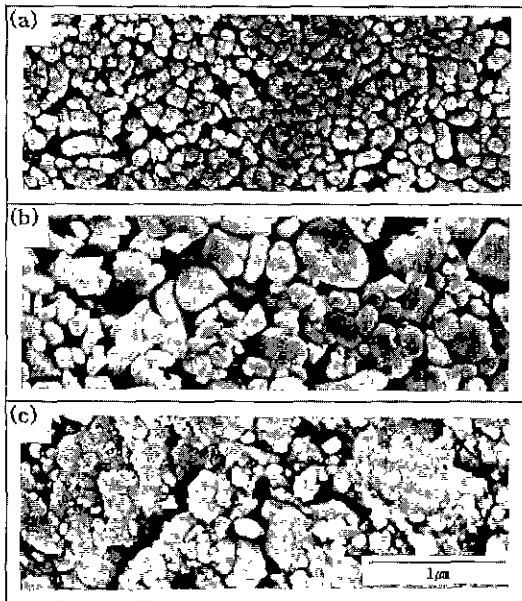


Fig. 1. SEM micrographs of iron oxides produced from three different processes: (a) Ruthner (K2), (b) Chemirite (P2CY), and (c) Chemirite (P2EP).

Table 2. Particle size distributions of domestic iron oxides produced from three different processes (no.%)

particle size (μm)	Ruthner (K2)	Chemirite (P2CY)	Chemirite (P2EP)
0.0~0.1	69.2	42.3	75.8
0.1~0.2	21.7	25.0	17.9
0.2~0.3	7.6	16.0	2.8
0.3~0.4	1.5	8.3	1.4
0.4~0.5	-	1.3	1.4
0.5~0.6	-	3.8	0.6
0.6~0.7	-	1.3	0.3
0.7~0.8	-	1.3	-
0.8~0.9	-	0.6	-
0.9~1.0	-	0.6	-
mean particle size	0.15 μm	0.23 μm	0.14 μm
σ	0.073	0.181	0.102

rite 결정으로 존재할 확률이 높으므로 자기특성중 고유보자력을 감소시키리라 판단된다.

고특성 이방성 Sr-ferrite 소결자석의 개발에서 잔류자속 밀도(B_r)와 고유보자력(H_c)을 동시에 향상시키는 것은 중요하다며, 각각은 다음의 식으로 간략하게 표현될 수 있다.⁹⁾

$$B_r \propto M_s \cdot p_0 \cdot d_c$$

$$H_c \propto (2K/M_s) \cdot f_k - N \cdot M_s$$

잔류자속밀도는 포화자화(M_s), 자화용이축의 배향률(p₀), 소결체의 밀도(d_c)에 비례하며, 고유보자력은 단자구입자의 체적점유율(f_k), 포화자화, 결정자기이방성 상수(K), 탈자화 계수(N)등과 관계가 있다. 본 연구와 관련된 이방성 Sr-ferrite의 하소특성은 포화자화와 단자구입자의 체적점유율에 비례하는 고유보자력을 동시에 향상시키는 것이 중요하며, 이를 위해서는 산화철분말이 Sr-ferrite의 단자구 입체크기보다 작아야 하며 SrCO₃와 균일하게 혼합되어야 한다고 알려져 있다.¹¹⁾ 이방성 Sr-ferrite의 이론적인 단자구 입체크기는 0.75 μm로 알려져 있으며,⁹⁾ 실제적으로는 약 1 μm이하의 크기로 제조하는 것이 자기특성의 향상에 중요하다고 알려져 있다.^{5,6)} 특히, K. Watanabe 등은 이방성 Sr-ferrite 결정의 자구상태를 실험적으로 관찰하였는데, 약 1.3 μm이하에서는 주로 단자구상태로 존재하고, 1.3~2.0 μm범위에서

는 단자구나 2자구상태로 존재가능하고, 2.0 μm이상에서는 주로 2자구 이상의 다자구상태로 존재한다고 보고하였다.⁷⁾

Fig. 2는 제조방법이 다른 Ruthner의 광양2냉연, Chemirite의 포항2냉연(CY)와 포항2냉연(EP) 산화철에 따른 6.0M, 1150°C/30분의 하소조건에서의 Sr-ferrite의 미세조직을 SEM으로 관찰한 사진이다. Ruthner인 광양2냉연 산화철을 사용한 Sr-ferrite는 Chemirite 산화철을 사용한 경우와 비교하여 결정의 입도분포가 균일하고 형상이 상대적으로 구형에 가까운 경향을 나타내었다. Chemirite인 포항2냉연(CY) 산화철을 사용한 Sr-ferrite는 다자구상태로 판단되는 약 2 μm이상의 조대한 결정들이 관찰되었으며, 이는 산화철의 평균입도가 가장 크고 Sr-ferrite의 단자구 입체크기인 0.75 μm보다 큰 0.80 μm이상의 조대한 산화철입자가 존재하는 사실이 있다고 판단된다.

Table 3은 Fig. 2를 근거로 image analyzer로 측정된 Sr-ferrite 하소결정의 입도분포를 입자수(%)로 나타낸 결과이다. 광양2냉연 산화철을 사용한 Sr-ferrite 하소결정은 평균입도가 0.70 μm이고 표준편차가 0.223으로서, 1.40 μm이하의 가장 균일한 입도분포를 나타내었으며 고유보자력은 가장 큰 4813 Oe를 나타내었다. 포항2냉연(CY) 산화철을 사용한 Sr-ferrite 하소결정은 평균입도와 표준편차가 각각 0.89 μm, 0.344로서 상대적으로 가장 큰 값을 나타내었으며, 다자구상태로 존재가능한 1.40 μm 이상의 조대한 결정이 약 9.7 no.% 존재하기 때문에 고유보자력은 가장 작은 4270 Oe를 나타내었다. 포항2냉연(EP) 산화철을 사용한 Sr-ferrite 하소결정은 평균입도가 0.67 μm로 가장 작았지만, 다자구상태로 존재가능한 1.40 μm이상의 조대한 결정이 약 1.4 no.% 존재하기 때문에 고유보자력은 광양2냉연

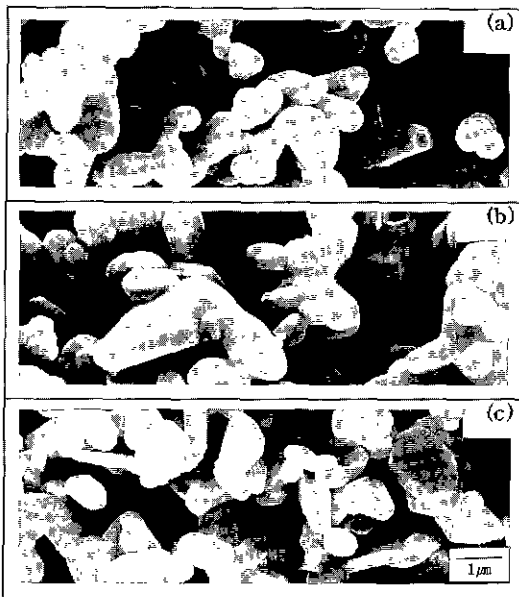


Fig. 2. SEM micrographs of calcined Sr-ferrites with three different iron oxides (6.0M, 1150°C/30 min) (a) Ruthner (K2), (b) Chemirite (P2CY), and (c) Chemirite (P2EP).

Table 3. Crystal size distributions of calcined Sr-ferrites with three different iron oxides (6.0M, 1150°C/30 min; no.%)

Crystal size (μm)	Ruthner (K2)	Chemirite (P2CY)	Chemirite (P2EP)
0.2~0.4	64	1.0	6.8
0.4~0.6	30.7	16.5	42.2
0.6~0.8	34.3	31.1	25.2
0.8~1.0	19.3	27.2	15.0
1.0~1.2	5.4	7.8	8.8
1.2~1.4	3.9	6.8	0.7
1.4~1.6	-	4.9	0.7
1.6~1.8	-	1.9	0.7
1.8~2.0	-	1.9	-
2.0~2.2	-	-	-
2.2~2.4	-	1.0	-
mean crystal size	0.70 μm	0.89 μm	0.67 μm
σ	0.223	0.344	0.238

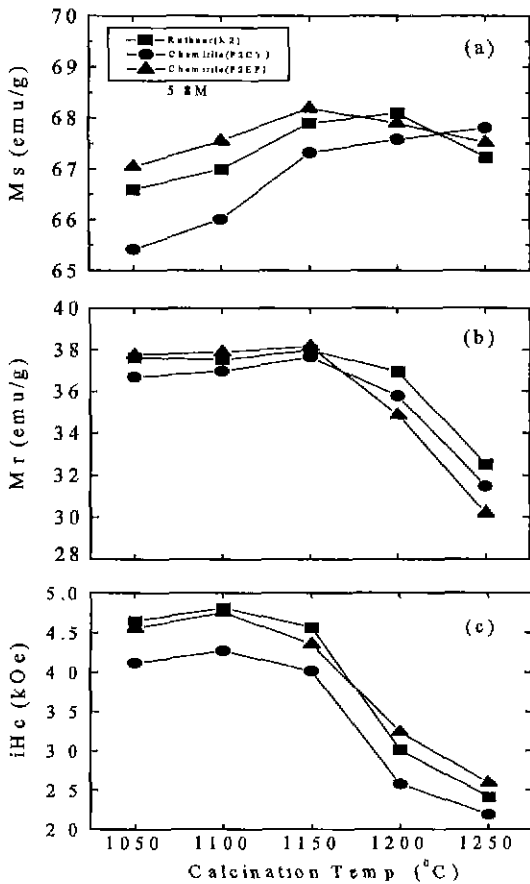


Fig. 3. Magnetic properties of calcined Sr-ferrites with three different iron oxides as a function of calcination temperature: (a) M_s , (b) M_r , and (c) H_c .

산화철을 사용한 경우보다 작은 4647 Oe를 나타내었다. 이상의 결과에서 산화철의 제조방법에 따라 구분되는 분체특성이 이방성 Sr-ferrite 하소결정의 미세조직에도 큰 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 3에는 하소온도에 따른 제조방법이 서로 다른 광양 2냉연, 포항2냉연(CY), 포항2냉연(EP) 산화철을 사용한 상온에서의 Sr-ferrite 하소특성을 나타내었다. 4000 Oe이상의 높은 고유보자력을 갖는 1150°C에서, Sr-ferrite의 포화자화는 산화철의 실제입도가 0.14 μm로 가장 작은 포항2냉연(EP)을 사용한 경우에 가장 큰 68.2 emu/g을 나타내었다. 산화철의 평균입도가 감소함에 따라 Sr-ferrite의 포화자화가 증가하는 이유는 산화철분말과 SrCO₃의 접촉점의 증가로 인하여 ferrite화 반응성이 향상되기 때문이다. 특히, Ruthner인 광양2냉연 산화철은 포항2냉연(EP) 산화철과 비교하여 평균입도가 유사하지만, 응집현상이 보다 심각하기

때문에 포화자화값이 상대적으로 작은 값을 나타내리라 판단된다.

Sr-ferrite의 고유보자력은 평균입도가 가장 큰 포항2냉연(CY) 산화철을 사용한 경우와 비교하여 작은 광양2냉연, 포항2냉연(EP) 산화철을 사용한 경우에 약 500 Oe 증가하는 결과를 나타내었다. Sr-ferrite의 고유보자력은 단자구입자의 체적점유율에 비례하기 때문에, 초기에 사용한 산화철의 평균입도가 작을수록 고유보자력의 향상이 기대된다. 평균입도가 가장 큰 포항2냉연(CY) 산화철의 경우에는 0.80 μm이상의 크기로 존재하는 산화철분말(약 27 wt.%)이 하소반응 후 다자구상태로 성장할 확률이 높기 때문에 Sr-ferrite의 고유보자력은 작은 값을 나타내었다. 또한 포항2냉연(EP) 산화철의 경우에는 Ruthner인 광양2냉연 산화철과 비교하여 평균입도는 작지만 입도분포가 넓고 0.40 μm이상의 상대적으로 조대한 산화철분말들이 2.3 no.% 존재하기 때문에, 하소반응 후 다자구상태로 존재가능한 1.40 μm이상의 Sr-ferrite 하소결정이 보다 많이 존재하기 때문에 고유보자력은 오히려 작은 결과를 나타내었다.

일반적으로 Sr-ferrite의 포화자화는 하소온도가 증가함에 따라 증가하며, 일정온도 이상에서는 결정의 과잉성장으로 인하여 오히려 감소한다. Fig. 3에서도 보듯이, 산화철의 실제입도가 작아짐에 따라 하소반응성의 증가로 인하여 최대포화자화를 나타내는 하소온도가 감소하는 경향을 나타내었으며, 평균입도가 0.14 μm로 가장 작은 포항2냉연(EP) 산화철을 사용한 Sr-ferrite는 1150°C에서 68.2 emu/g의 최대포화자화를 나타내었다. 하소온도에 따른 Sr-ferrite 포화자화의 증가는 하소결정의 크기가 증가해서 상대적으로 결정표면적이 감소하기 때문이다.⁹⁾ 즉, Sr-ferrite의 결정표면은 결정내부와 비교하여 exchange field가 약하고,⁹⁾ 수Å 정도의 비자성층이 존재하기 때문에 포화자화를 감소시키는 것으로 알려져 있다.^{10,11)} Sr-ferrite의 고유보자력은 하소온도가 증가함에 따라 Sr-ferrite 결정의 성장으로 인하여 감소한다. 특히, 1150°C이상의 하소온도에서 잔류자화와 고유보자력이 급격히 감소하는 결과로 보아, Sr-ferrite 하소결정이 대부분 다자구상태로 성장하였으리라 판단되었다. 이러한 결과는 다자구결정에서는 M_r/M_s 비가 감소한다는 사실과도 일치하는 결과이며,¹²⁾ Chemirite(EP)산화철을 사용한 Sr-ferrite의 경우 1150°C에서 M_r/M_s 비가 0.56이었으나 1250°C에서는 0.45로 크게 감소하였다.

Fig. 4는 제조방법이 다른 Ruthner의 광양2냉연, Chemirite의 포항2냉연(CY)와 포항2냉연(EP)사용한 산화철과 SrCO₃의 몰비에 따른 Sr-ferrite의 하소특성을 나타낸 결과이다. Sr-ferrite의 포화자화는 사용한 산화철에 관계없이 5.

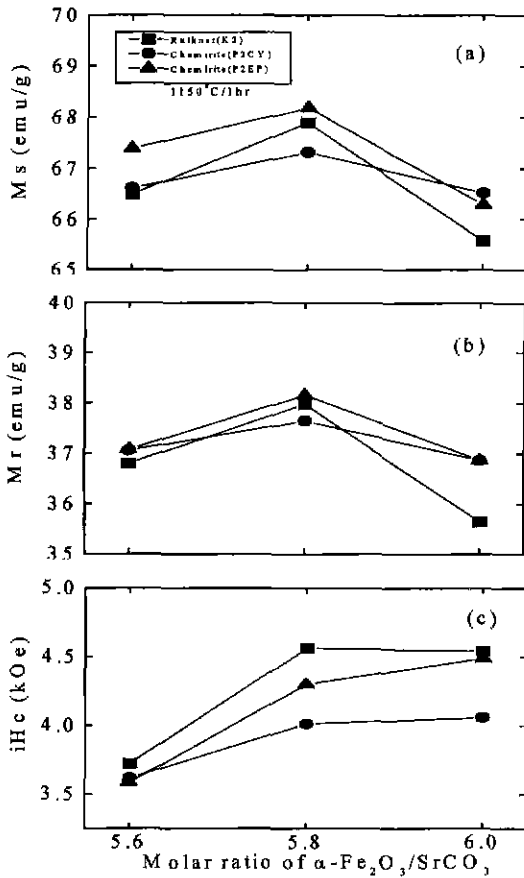


Fig. 4. Magnetic properties of calcined Sr-ferrites with three different iron oxides as a function of molar ratio: (a) M_s , (b) M_r , and (c) iH_c .

8몰에서 가장 큰 값을 나타내었으며, 5.7~5.9몰의 범위에서 Sr-ferrite의 포화자화가 가장 높은 결과를 나타낸다고 알려진 사실³⁾과 일치한다. 이는 화학양론조성인 6.0몰을 기준으로 몰비가 감소하면 과잉의 비자성 SrO성분의 증가로 Sr-ferrite의 포화자화가 감소하지만, 실제로 산화철과 SrCO₃가 이상적으로 균일하게 혼합되는 것이 어렵기 때문에 6.0몰에서는 미반응 산화철이 존재하기 때문이다.

Sr-ferrite의 고유보자력은 몰비가 5.6몰에서 6.0몰로 증가함에 따라 증가하였다. 이는 화학양론조성인 6.0몰을 기준으로 몰비가 감소하면 온도안정성이 낮은 과잉의 SrO성분의 증가로 Sr-ferrite 결정이 상대적으로 크게 성장하기 때문이다. 5.6~5.8몰의 범위에서 평균입도가 0.14 μm 로 가장 작은 포항2냉연(EP) 산화철을 사용한 Sr-ferrite의 고유보자력이 광양2냉연 산화철을 사용한 경우와 비교하여 작은 값을 나타내었다. 이는 Table 2, Table 3에서도 보듯이, 광양2냉

연 산화철과 비교하여 포항2냉연(EP) 산화철은 0.4~0.7 μm 범위의 상대적으로 조대한 입자가 존재하여 하소반응 후 1.40 μm 이상의 다자구상태인 Sr-ferrite 결정으로 성장 가능하기 때문이라 판단된다.

이상의 연구내용은 제조방법에 따른 산화철의 분체특성에 국한되었으며, 향후 산화철의 결정구조나 응집현상에 대한 추가연구를 통하여 산화철의 제특성이 Sr-ferrite의 하소특성에 어떠한 영향을 미치는지 규명될 것이다.

4. 결 론

Hard ferrite용 국산산화철의 분체특성이 Sr-ferrite의 하소특성에 미치는 영향을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 국산산화철의 분체특성은 철강냉연공장의 염산폐액의 정제방법에 따라 서로 구분되는 특징을 나타내었으며, Sr-ferrite 하소분말의 미세조직과 자기특성에도 매우 큰 영향을 주었다.
2. 평균입도가 0.23 μm 로 가장 크고 입도분포가 넓은 Chemirite 포항2냉연(CY) 산화철은 0.80 μm 이상의 조대한 입자가 약 27 wt.% 존재하기 때문에 가장 낮은 Sr-ferrite의 고유보자력과 포화자화를 나타내었다.
3. 0.40 μm 이하의 작고 균일한 입자로 존재하는 Ruthner 광양2냉연 산화철은 포항2냉연(EP) 산화철과 비교하여 Sr-ferrite의 고유보자력은 높으나 산화철분말의 심각한 응집현상 때문에 낮은 포화자화를 나타내었다.
4. 평균입도가 0.14 μm 로 가장 작은 Chemirite 포항2냉연(EP) 산화철을 사용한 Sr-ferrite는 포화자화와 고유보자력을 동시에 향상시키는 것이 가능하였으며, 5.8M, 1150°C/1 hr의 하소조건에서 포화자화가 68.2 emu/g 이고 고유보자력이 4300 Oe인 최적의 자기특성을 나타내었다.

후 기

본 연구는 통상산업부의 중기거점 기술개발사업의 일환으로 수행된 결과로서, 동국합섬(주)과 쌍용양회공업(주)에 감사드립니다.

참고문헌

1. H. Taguchi, F. Hirata, T. Takeishi and T. Mori: "High Performance Ferrite Magnet", ICF6, 1118-1121, Tokyo

- and Kyoto, Japan (1992).
2. Katsuo Koshizuka : "산화철(Fe_2O_3)", Koera Inst. of Resources Recycling, Iron Oxide workshop 發表集, 1-4, Korea (1995).
 3. 金子 裕治, 濱村 敦 : "Studies on Improvement of Magnetic Properties of the Strontium Ferrite Magnet", 粉體および粉末冶金, 39(11), 937-947 (1992).
 4. 金炳鳳, 金敬龍 共譯, with ferrite 페라이트, 155, 清文閣, Seoul (1995).
 5. 田口 仁, 武石 卓 : "A Study on High Performance Ferrite Magnet", 粉體および粉末冶金, 44(1), 3-10 (1997).
 6. H. Kojima, Ferromagnetic Materials 3, 305, North-Holland Pub., Amsterdam (1982).
 7. K. Watanabe, T. Sakurai, and K. Goto, 第8回 日本應用磁氣學會 學術講演概要集, 149, Japan (1984).
 8. O. Kubo, T. Ido, H. Yokoyama and Y. Koike : "Particle size effects on magnetic properties of $Ba_{12-x}Co_xTi_xO_{19}$ fine particles", J. Appl. Phys., 57, 4280 (1985).
 9. S. Kurish, T. Ido and H. Yokoyama : "Surface effect on saturation magnetization of Co-Ti substituted Ba-ferrite fine particles", IEEE Trans. Magn., 23, 3137 (1987).
 10. T. Fujiwara : "Magnetic properties and recording characteristics of Ba-ferrite media", IEEE Trans. Magn., 23, 3125 (1987).
 11. K. Haneda and A.H. Morrish : "Magnetic properties of $BaFe_{12}O_{19}$ small particles", IEEE Trans. Magn., 25, 2597 (1989).
 12. R. Coehoorn, D.B. De Mooij and C. De Waard : "Meltspun permanent magnet materials containing Fe_3B as the main phase", J. Magn. and Magn. Mater., 80, 101-104 (1989).

《 廣 告 》 本 學 會 會 社 發 刊 的 資 料 를 販 賣 하 오 니 學 會 會 社 務 事 務 所 로 문의 바 랍 니다.

- * EARTH '93 Proceeding(1993) 457쪽, 價 格 : 20,000원
(International Symposium on East Asian Recycling Technology)
- * 資 源 리 싸 이 클 링 의 實 績 (1994) 400쪽, 價 格 : 15,000원
- * 학 회 지 합 본 집 I, II, 價 格 : 각 30,000원
(I : 통 권 제 1호 ~ 제 10호, II : 통 권 제 11호 ~ 제 20호)
- * 한 · 일 資 源 리 싸 이 클 링 공 동 위 크 샵 논 문 집 (1996) 483쪽, 價 格 : 30,000원
- * 한 · 미 資 源 리 싸 이 클 링 공 동 위 크 샵 논 문 집 (1996) 174쪽, 價 格 : 15,000원
- * 資 源 리 싸 이 클 링 총 서 I (1997년 1월) 311쪽, 價 格 : 18,000원
- * 日 本 의 리 싸 이 클 링 産 業 (1998년 1월) 395쪽, 價 格 : 22,000원 발 행 처 : 文 知 社