

자성분말의 보자력 분포도 측정방법과 그 응용

홍양기 · 박상준 · 정홍식

동양화학공업(주) 중앙연구소

인천광역시 남구 학익동 587-102, 402-040

(1995년 3월 22일 받음, 1995년 6월 26일 최종수정본 받음)

자성분말의 보자력(H_c)과 보자력 분포도는 조성 이외의 제조공정인자에 크게 의존하는 값으로 자성분말 제조시 재현성을 결정하는 중요한 물성중의 하나이다. 자성분말의 자기적 물성을 측정하는 VSM을 이용하여 쉽고 간단하게 보자력 분포도를 측정하는 방법과 그 응용예를 제시하였다. 보자력 분포도 측정은 magnetic hysteresis loop의 dM/dH 대 H 곡선의 형태와 반치폭에서 얻을 수 있다. dM/dH 곡선 형태가 분리되는 것 없이 반치폭이 작아질수록 보자력 분포도는 더 균일해짐을 나타낸다. 보자력이 다른 Ba-Ferrite와 $\gamma-Fe_2O_3$ 혼합물 중 Ba-Ferrite의 H_c 가 높아질수록 dM/dH 대 H 곡선 형태는 peak broadening 후 peak splitting으로 나타나며, 이 peak splitting은 혼합 자성분말의 H_c 차이가 600 Oe 이상일 때 일어난다. 또한 dM/dH 대 H 곡선의 응용으로는 자성분말 보자력 분포도 측정, Ba-Ferrite 구조내로 dopants의 치환 능력 및 $\alpha-Fe$ 의 산화거동을 연구하는데 사용될 수 있다.

I. 서 론

Multi-media 산업이 활성화되면서 기억용량이 큰 storage system이 요구됨에 따라 더욱 균일한 보자력 분포도를 갖는 고보자력의 초미립자 자성분말이 요구되고 있다.¹⁻³⁾ 자성분말의 보자력(H_c)과 그 분포도는 결정자기 이방성과 형상자기이방성에 의해 주로 결정되기 때문에 조성 이외의 제조방법, 제조공정인자들에 따라 달라지므로 자성분말 제조⁴⁻⁶⁾의 재현성에 있어서 중요하다. 기존의 $\gamma-Fe_2O_3$ 같은 침상형 매체의 H_c 는 대부분 형상자기이방성에 의해 결정되지만, 결정자기이방성에 의해 H_c 가 주로 결정되는 Ba-Ferrite의 경우 보자력 분포도는 dopants의 치환 균일성 정도에 의해서 결정되기 때문에 자성입자의 분포도를 측정하여 보자력 분포도를 추정하는 것은 무의미하게 된다. 특히 고보자력을 갖는 자성분말의 제조에 있어서 H_c 의 재현성과 균일한 보자력 분포도의 유지는 저보자력 자성분말의 제조에 비해 더욱 어려워진다. 또한 기록파장이 짧아질수록 입자크기와 SFD (switching field distribution)에 대한 의존성은 더욱 커지며, 입자크기 및 SFD가 작을수록 신호출력은 더 높은 값을 나타내어 보자력 분포의 균일도와 초미립자의 특성이 더욱 요구되고 있다.¹⁾

차세대 고밀도 기록매체로 주목되고 있는 Ba-Ferrite의 경우 dopants의 치환에 따라 H_c 값을 크게 변화시킬 수 있는 장점⁷⁾을 가지고 있는 반면에 H_c 의 좁은 분포도를 일정하게 유지시켜야 하는 문제점을 가지게 된다. 입자의 분포도를 측정하는 것 이외에 알려진 보자력 분포도 측정방법으로는 VSM과 erasing unit를 이용한 자성분

말내 고보자력 성분의 함량을 측정하는 것과 자성분말을 tape로 만들어 SFD를 측정하는 방법이 있다. 전자의 방법은 H_c 가 낮은 $\gamma-Fe_2O_3$ 나 $Co-\gamma-Fe_2O_3$ 의 품질평가를 위해 개발된 것으로 측정방법은 다음과 같다. 먼저 VSM에서 잔류자화 M_r 를 측정하고 erasing unit에서 교류자계로 소거시킨 후 다시 VSM에서 잔류자화 M_e 를 측정하여 식(1)로부터 소거치를 구함으로써 자성분말내의 고보자력 성분의 함량을 측정한다.

$$\text{소거치(dB)} = 20 \log \frac{M_e}{M_r} \quad (1)$$

이 때의 최대 소거자장은 3.3 KOe로 H_c 가 높은 자성분말의 측정에는 적용하기가 곤란하며, 결과의 비교를 위해서는 축적된 많은 결과를 필요로 한다. 또한 자성분말내의 저보자력 성분의 양을 알 수 없는 단점을 가지고 있다. 보자력 분포도의 측정은 후자의 방법이 가장 정확하지만 이것은 많은 시간과 노력이 필요하게 된다.

한편 일반적으로 순수 금속의 산화 및 자성분말내 dopants의 site preference 등의 연구에 Mossbauer spectrum을 이용하고 있다.⁷⁻⁸⁾ 이 때 사용되는 측정시료는 균일한 물성을 가졌다는 가정하에 모든 분석을 행하고 있지만, 측정시료의 균일한 자기적 물성을 확인할 수 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 자성분말을 제조하는데 있어 제품의 균일도를 평가하는 가장 기본적인 측정항목인 보자력 분포도 측정을 VSM을 이용하여 신속하고 간편하게 측정할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 또한 그 응용에 의해 기지의 서로 다른 보자력을 가진 자성혼합물, 실제

Ba-Ferrite 구조내로 dopants의 치환 능력 및 α -Fe의 산화저동을 예로 들어 타당성을 입증하고 이 방법에 따른 보자력 분포도 측정법의 보편화를 꾀하고자 한다.

II. 실험방법

사용된 치환형 Ba-Ferrite 분말은 유리-재결정화법에 의해 제조되었으며, 그 H_c 는 485 Oe에서 4030 Oe 사이의 값을 갖는다. 또한 사용된 γ -Fe₂O₃ 분말의 H_c 는 338 Oe 이었다. Ba-Ferrite(H_c 1269 Oe)와 γ -Fe₂O₃를 무게비로 변화시킨 혼합물과 γ -Fe₂O₃와 H_c 가 다른 Ba-Ferrite 분말(H_c 485, 730, 917, 1273, 4030 Oe)을 각각 50 wt. %씩을 함유한 혼합물은 micro-pulverizer에서 20분간 혼합하였다. 또한 실제 dopants의 종류 및 첨가량을 변화시킨 Ba-Ferrite 분말의 일반식은 BaFe_{12-(x+y)}Co_xM_yO₁₉이다. 일반식에서의 M은 +4가 이온으로 Si, Sn, Ti를 사용하였다.

사용된 VSM은 TOEI사 P7-15 이었으며, 측정조건은 external field 10 KOe, sweep speed 1 min./10 KOe, interval 0.03 sec로 하였다. 또한 보자력 분포도는 dM/dH 대 H 곡선으로부터 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

VSM을 이용하여 자성분말의 보자력 분포도를 측정하는 방법은 tape의 물성중 H_c 를 기점으로 자화반전이 일어나 급속하게 일어나는가를 측정하는 SFD를 응용한 것

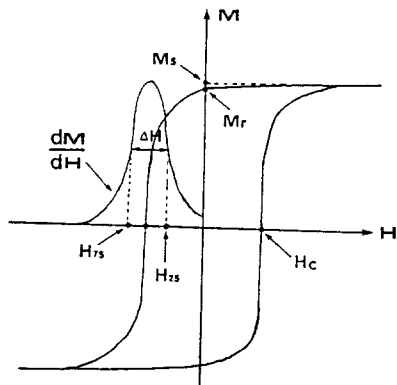


Fig. 1. Hysteresis loop and dM/dH vs. H curve of magnetic tape.

이다. Fig. 1은 tape의 hysteresis loop 및 dM/dH 대

H 곡선을 나타낸 것이다. tape의 경우 H_c 와 dM/dH 대 H 곡선의 최대점에 해당하는 외부자계 값이 거의 일치하여 SFD는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$SFD = \frac{\Delta H}{H_c} = \frac{(H_{75} - H_{25})}{H_c} \quad (2)$$

여기서, ΔH 는 dM/dH 대 H 곡선의 반치폭으로 자성입자들의 자화반전이 25 %와 75 %가 일어나는 외부자계 값의 차이를 말한다. SFD의 값이 작을수록 H_c 부근에서의 자화반전이 급속히 일어남을 나타내고, 이것은 보자력 분포폭(ΔH)이 더욱 작아짐을 의미한다. 자성분말의 경우는 H_c 보다 dM/dH 대 H 곡선의 최대점에 해당하는 외부자계 값이 항상 더 큰 값을 가져 일치하지 않으며, 이것은 자성입자들의 불균일한 H_c 분포도와 자성입자간의 상호작용 및 응집구조 때문이다. 이 때의 SFD는 H_c 와 dM/dH 대 H 곡선의 최대점에 해당하는 외부자계 값이 일치하지 않아 별 의미가 없게 된다. 또한 dM/dH 대 H 곡선을 적분하게 되면 그 면적은 자성분말의 자화량을

Table I. Relationship of full width half maximum(ΔH) and SFD between powder and tape.

Sample	Powder		Tape		
	H_c (Oe)	ΔH (Oe)	H_c (Oe)	ΔH (Oe)	SFD ($\Delta H/H_c$)
1	1035	575	1062	74	0.07
2	973	650	1020	143	0.14
3	750	800	809	170	0.21
4	1519	975	1687	321	0.19
5	1160	1150	1400	322	0.23
6	921	1600	1067	501	0.47

나타내게 된다. Table I은 Ba-Ferrite 분말의 ΔH 와 이 분말을 사용하여 제조한 tape의 ΔH 와 SFD와의 관계를 나타낸 것이다. Ba-Ferrite 분말의 ΔH 는 dopants의 종류와 치환량, 제조방법 및 제조공정인자에 따라 다양한 값을 갖지만, tape에서의 ΔH 는 분말의 ΔH 이외에 분산성 및 배향도가 영향을 미쳐 분말의 ΔH 보다는 훨씬 낮은 값을 갖게 된다. 분말과 tape의 ΔH 값은 서로 다르지만 Table I의 결과로부터 Ba-Ferrite 분말의 ΔH 가 작을수록 tape에서의 ΔH 및 SFD가 더 작은 값을 가져 분말의 ΔH 가 tape에서도 그대로 반영되고 있음을 알 수

있다.

VSM에서 측정된 dM/dH 대 H 곡선이 H_c 에 따른 자성분말의 기여도를 잘 반영시키는지 확인하기 위해 두 가지 형태의 기지의 혼합물을 제조하였다. 기지의 혼합물은 Ba-Ferrite (H_c 1269 Oe)와 γ -Fe₂O₃ (H_c 338 Oe)를 γ -Fe₂O₃ / (γ -Fe₂O₃ + Ba-Ferrite) 무게비로 변화시킨 것과 무게비를 1 : 1로 고정시키고 γ -Fe₂O₃에 H_c 가 다른 Ba-Ferrite 분말 (H_c 485, 917, 1273, 4030 Oe)을 혼합시킨 것이다. 전자의 혼합물로부터는 H_c 가 낮은 γ -Fe₂O₃가 혼합물의 H_c 에 미치는 영향과 dM/dH 대 H 곡선에 γ -Fe₂O₃ / (γ -Fe₂O₃ + Ba-Ferrite) 무게비로 변화시킨 결과가 잘 반영되는지를 확인하기 위한 것이며, 후자의 혼합물로부터는 dM/dH 대 H 곡선의 피크가 broadening에서 splitting 되는 혼합물내 H_c 의 차이를 알아보기 위해서이다. dM/dH 대 H 곡선의 peak broadening 단계까지는 ΔH 값이 균일성을 평가하는데 의미가 있지만, peak가 splitting 되면 ΔH 값은 의미가 없어지고 분리된 곡선의 형태가 중요해진다.

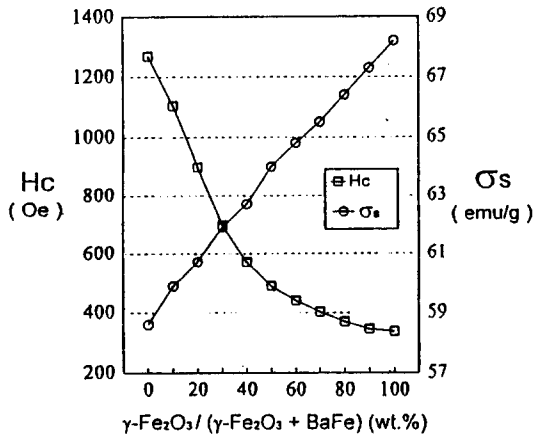


Fig. 2. Change in coercivity and specific saturation magnetization with γ -Fe₂O₃ / (γ -Fe₂O₃ + Ba-Fe) ratio.

Fig. 2는 Ba-Ferrite (H_c 1269 Oe)와 γ -Fe₂O₃ (H_c 338 Oe)를 γ -Fe₂O₃ / (γ -Fe₂O₃ + Ba-Ferrite) 무게비로 변화시킨 혼합물의 H_c 와 포화자화값(σ_s)을 측정된 결과이다. σ_s 는 1g 당 한 방향으로 배열된 자기모멘트의 총합으로 고유의 값을 나타내므로 무게비에 따른 포화자화값의 직선성은 균일한 혼합상태임을 의미한다. 고보자력인 Ba-Ferrite에 저보자력인 γ -Fe₂O₃가 혼합됨에 따

라 포화자화값은 거의 직선적으로 증가하며, 이 때 혼합물의 H_c 는 급속히 감소하여 50 wt. % 이상에서는 γ -Fe₂O₃에 가까운 값을 나타낸다. $M-H$ 곡선에서 H_c 는 잔류자화값이 0이 될때의 외부자계 값, 즉 전체 자기모멘트값의 50 % 자화반전을 일으키는 외부자계의 값을 나타낸다. γ -Fe₂O₃가 50 wt. % 이상인 혼합물에서 H_c 가 γ -Fe₂O₃에 가까운 값을 나타내는 이유는 H_c 가 낮은 γ -Fe₂O₃가 먼저 자화반전을 하여 잔류자화값을 0으로 만들기 때문이다. 이것은 고보자력의 자성분말 제조시에 저보자력 성분에 의해 H_c 가 크게 감소되며, 저보자력 자성분말 제조시에는 상당량의 고보자력 성분이 존재하여도 H_c 는 별 영향을 받지 않음을 의미한다. Fig. 3은 Fig. 2의 혼합분말에 대한 dM/dH 대 H 곡선을 측정된 결과이

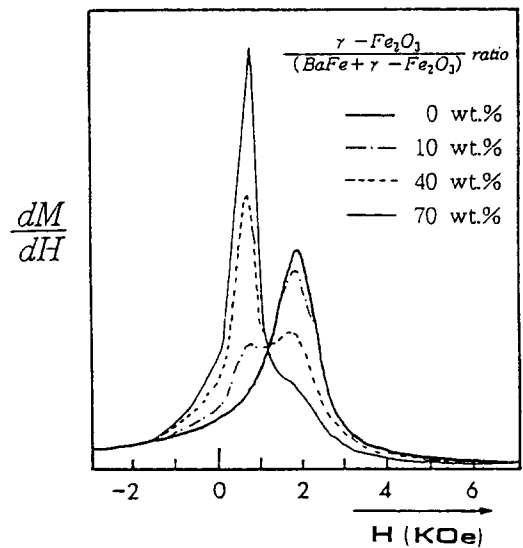


Fig. 3. Change in dM/dH VS. H curve of mixture with γ -Fe₂O₃ / (γ -Fe₂O₃ + Ba-Fe) ratio. (γ -Fe₂O₃ : 338, Oe, Ba-Ferrite : 1269 Oe)

다. dM/dH 대 H 곡선의 형태는 Ba-Ferrite와 γ -Fe₂O₃의 두개의 피크로 분리되며, γ -Fe₂O₃ / (γ -Fe₂O₃ + Ba-Ferrite)에서 γ -Fe₂O₃의 양이 증가함에 따라 Ba-Ferrite 피크의 높이는 감소하고 γ -Fe₂O₃ 피크의 높이는 증가하고 있다. 따라서 dM/dH 대 H 곡선은 각 H_c 에 따른 기여도를 그대로 잘 반영해 주고 있음을 알 수 있다.

dM/dH 대 H 곡선의 피크가 broadening에서 splitting 되는 혼합물 내 H_c 의 차이를 알아보기 위하여 γ -Fe₂O₃에 H_c 가 다른 Ba-Ferrite를 무게비 1 : 1로 혼합한

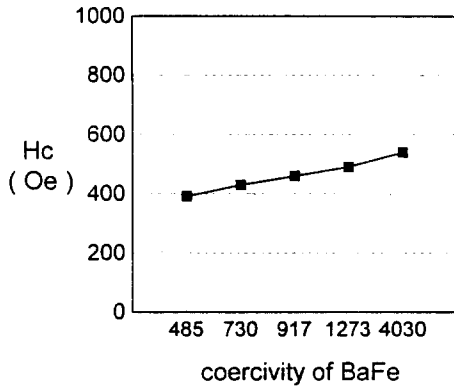


Fig. 4. Change in coercivity of mixture with various coercivity of BaFe.
(mixture ; γ -Fe₂O₃ : BaFe : 1 : 1)

혼합물의 H_c를 측정된 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 혼합물은 H_c가 338 Oe인 γ -Fe₂O₃에 Ba-Ferrite의 H_c가 485, 730, 917, 1273, 4030 Oe인 분말을 혼합한 것이다. 혼합물의 H_c는 Ba-Ferrite의 H_c가 증가함에 따라 약간씩은 증가하나 γ -Fe₂O₃에 가까운 값으로 그 이유는 앞서 Fig. 2에서 설명한 바와 같다. Fig. 5는 Fig. 4의 혼합물에 대한 dM/dH 대 H 곡선을 측정된 결과이다. 혼합물 내 Ba-Ferrite의 H_c가 높아질수록 dM/dH 곡선 형태는 peak broadening 후 peak splitting 되고 있다. peak broadening 후 peak splitting이 일어나는 혼합물은 Ba-Ferrite의 H_c가 917 Oe인 경우로 이 때의 γ -Fe₂O₃와 Ba-Ferrite간의 H_c 차이는 579 Oe이다. 이것은 실제 자성분말의 제조시 자성분말내의 H_c 차이가 대략

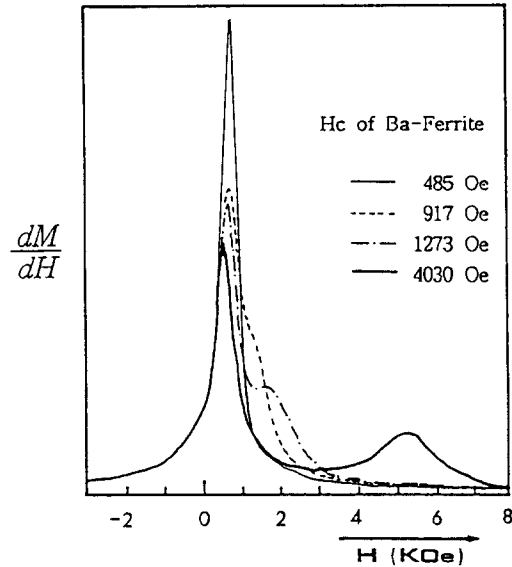


Fig. 5. Change in dM/dH vs. H curve of mixture of γ -Fe₂O₃ and various coercivity of Ba-Ferrite.

600 Oe 이하일때는 dM/dH 대 H 곡선에 peak broadening이 일어나고 600 Oe 이상일때는 peak splitting을 나타낼 수 있음을 의미한다.

실제 dopants의 종류 및 첨가량을 변화시킨 치환형 Ba-Ferrite 분말의 일반식은 BaFe_{12-(x+y)}Co_xM_yO₁₉이며, 여기서 M은 +4가 이온으로 Si, Sn, Ti로 유리-재결정화법으로 제조하였다. Fig. 6는 이들 분말의 dM/dH 대 H 곡선을 측정된 결과이며, 이 때의 자기적 물성은 Table II에 나타내었다. Co⁺² 이온만 치환된 Ba-Fer-

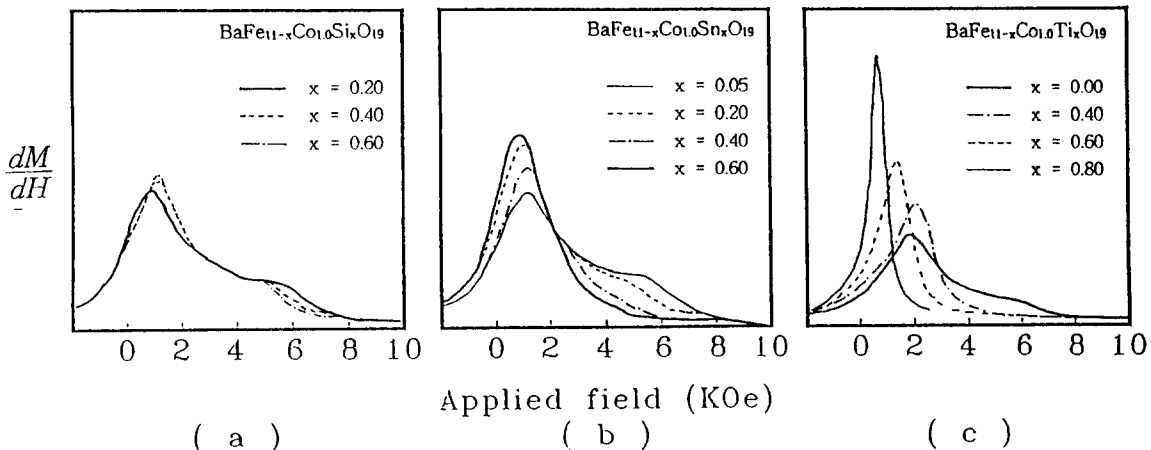


Fig. 6. Change in dM/dH vs. H curve of Ba-Ferrite doping concentration.

Table II. Magnetic properties of BaFe_{11-x}Co₁M_xO₁₉ powder with substituted content.

Composition	H _c (Oe)	σ _s (emu/g)	SR	ΔH (Oe)
BaFe _{11-x} Co ₁ M _x O ₁₉				
X = 0.0	1647	62.4	0.53	3000
X = 0.2	1689	61.6	0.55	3150
X = 0.4	1697	61.4	0.55	3050
X = 0.6	1638	60.8	0.54	2800
BaFe _{11-x} Co ₁ M _x O ₁₉				
X = 0.0	1647	62.4	0.53	3000
X = 0.05	1706	60.8	0.55	3500
X = 0.2	1470	60.5	0.52	2800
X = 0.4	1177	60.2	0.50	2500
X = 0.6	968	58.8	0.47	2350
BaFe _{11-x} Co ₁ M _x O ₁₉				
X = 0.0	1647	62.4	0.53	3000
X = 0.4	1361	61.7	0.49	2100
X = 0.6	887	59.3	0.46	1400
X = 0.8	381	56.3	0.38	750

rite 분말의 경우 H_c 1647 Oe, σ_s 62.4 emu/g으로 우수한 물성을 나타내지만, 이 때의 보자력 분포도는 Fig. 6 (c)의 x = 0인 곡선과 같이 매우 넓게 나타난다. 따라서 +2가 이온만으로는 보자력 분포도가 균일한 Ba-Ferrite를 제조하는 것은 불가능함을 알 수 있다. 치환되는 +4가 이온 또한 각 이온의 특성, Ba-Ferrite 구조내의 적합성 및 제조인자에 따라 치환정도가 달라져 Ba-Ferrite 입자 개개의 H_c 및 그 분포도는 달라지게 된다. 그러므로 동일한 방법으로 제조시 치환하는 dopants의 종류와 치환량에 따라 H_c 및 그 분포도는 다 달라지므로 dopants가 Ba-Ferrite 구조 내부로 치환되는 정도를 dM/dH 대 H 곡선으로부터 쉽게 판별할 수 있게 된다. Fig. 6 (a)의 경우 Si⁴⁺의 치환량이 증가하여도 보자력 분포도에는 별 차이가 없어 거의 치환이 안되고 있으며, Sn⁴⁺을 사용한 Fig. 6 (b)의 경우 치환량이 증가함에 따라 고보자력 성분의 함량이 줄어 들고 저보자력 성분의 양이 증가하여 Si⁴⁺보다는 월등히 Ba-Ferrite의 구조내로 잘 치환됨을 알 수 있다. Ti⁴⁺의 경우인 Fig. 6(c)는 Sn⁴⁺보다도 더 효과적으로 치환되어 치환량이 증가함에 따라 peak splitting된 dM/dH 대 H 곡선이 하나의 피크로 되면서 ΔH값이 감소되는 것을 보여준다. 따라서 +4가 이온인 Sn⁴⁺과 Ti⁴⁺는 Co⁴⁺의 치환을 도와 보자력의 분포도를 효과적으로 향상시키는 역할을 하며, Ba-Ferrite 구조내

부로의 치환능력은 Ti⁴⁺ > Sn⁴⁺ > Si⁴⁺ 순서로 됨을 알 수 있다.

Table III. Magnetic properties of α-Fe powder with oxygen concentration.

O ₂ /(N ₂ + O ₂) (v %)	H _c (Oe)	σ _s (emu/g)	SR
raw	1496	123.5	0.48
1.7	1493	105.4	0.46
2.5	1421	96.7	0.46
5.0	1362	77.2	0.44
10.0	315	42.1	0.27

Table III은 표면처리하지 않은 α-Fe 분말에 대해 80 °C, 2시간 동안 산소량에 따라 aging한 분말의 자기적 물성을 나타낸 것이다. 산소량이 5.0 v %까지 H_c는 약간씩 감소하지만 σ_s는 급속히 감소되고 있다. 산소량이 10 V %인 경우는 거의 산화되어 H_c가 단지 315 Oe이며, 이때의 σ_s는 42.1 emu/g만을 나타내고 있다. Fig. 7은 aging된 α-Fe 분말의 dM/dH 대 H 곡선을 측정된 결

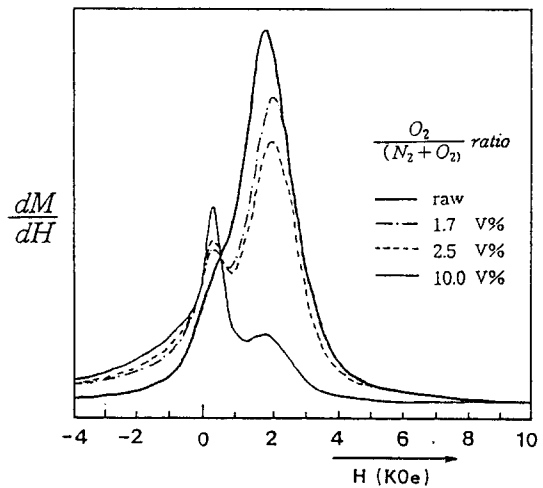


Fig. 7. Change in dM/dH vs. H curve of α-Fe with oxygen concentration.

과를 나타낸 것이다. dM/dH 대 H 곡선은 α-Fe 분말의 산화가 진행됨에 따라 α-Fe의 피크높이는 감소되고 H_c가 낮은 새로운 상의 생성량이 증가하며, 또한 그 면적은 감소되는 것을 보여 주고 있다. 앞서의 σ_s를 급속히 감

소시키는 원인은 H_c 가 낮은 산화물 상 때문이다. 또한 산 소량이 10 V %인 경우에서도 저보자력 성분이 대부분이 지만 산화되지 않은 α -Fe가 잔류하고 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

자성분말의 보자력 분포도 측정은 VSM의 dM/dH 대 H 곡선으로부터 그 곡선의 형태와 반치폭을 측정함으로써 쉽게 알 수 있었다. 혼합물 내 Ba-Ferrite의 H_c 가 높아질수록 dM/dH 곡선형태는 peak broadening 후 peak splitting으로 나타나며, 이 peak splitting은 혼합 자성분말의 H_c 차이가 600 Oe 이상일 때 일어난다. 또한 그 응용예인 기지의 자성분말 보자력 분포도 측정, Ba-Ferrite 구조내로 dopants의 치환 능력 및 α -Fe의 산화 거동에서 그 감도 및 재현성이 우수한 분석방법임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] H. Auweter, H. Jachow, H. Jakusch,

E. Schwab and R. J. Veitch, IEEE Trans. magn., **MAG-27**, 4669 (1991).
 [2] R. G. Simmons, IEEE Trans. magn., **MAG-26**, 93 (1990).
 [3] Y. Nakamura, 日本應用磁氣學會誌, **17**, 768 (1993).
 [4] P. Gornert, E. Sinn, H. Pfeiffer, W. Schuppel and M. Rosler, J. Mag. Soc. Jap., **15**, 669 (1991).
 [5] N. Aoki, セラミックス, **26**, 195 (1991).
 [6] Z. Yang, H. X. Zeng, M. L. Yan and S. L. Geng, J. Mag. Soc. Jap., **13**, 363 (1989).
 [7] Y. K. Hong, X. Z. Zhou, A. H. Morrish and Z. W. Li, IEEE Trans. magn., **MAG-27**, 4654 (1991).
 [8] Y. K. Hong and N. P. Hur, 日本電子情報通信學會誌, **MR88-27**, 15 (1988).

Measuring Method of Magnetic Particles' Coercivity Distribution and Its Applications

Y. K. Hong, S. J. Park and H. S. Jung

Oriental Chemical Industries, Research Center

587-102, Hakik-Dong, Nam-Ku, Incheon, Korea

(Received 22 March 1995, in final form 26 June 1995)

Both manufacturing parameters and particles' chemical composition controll coercivity and its distribution of magnetic particles. The coercivity and its distribution are important properties for high density magnetic recording, so these are used as tool for evaluation of reproducibility of magnetic particles. We report in this paper the applications of dM/dH versus H curve, which is derived from magnetic hysteresis loop, to the evaluation of coercivity distribution of magnetic particles and oxidation studies of recording metal particles. The coercivity distribution can be estimated from the full width half maximum (FWHM) and the peak shape of the dM/dH versus H curve. The peak shape of the curve depends upon distribution of particles' coercivity. The peak of dM/dH versus H curve becomes broad and/or is splitted into two or more peaks. It depends on uniformity of particles' coercivity. When the coercivity difference between Ba-Ferrite and γ - Fe_2O_3 is larger than 600 Oe, the peak becomes broad and is consequently splitted into two peaks. Ununiformly substituted Ba-Ferrite particles show broad peak. It is apparent that the analysis of the curve is one of sensitive measuring techniques for determination of coercivity distribution and studies on magnetic properties of substituted Ba-Ferrite and oxidation of magnetic recording metal particles.