C4

돌림힘 곡선 특수값들의 해석법

한국과학기술원 물리학과 허 진*, 신 성철

Analysis of peculiar values of torque curves

KAIST Jeen Hur*, Sung-Chul Shin

1. 서 론

본 논문에서는 자기화 역전기구 전환 이론[1] 및 일축 비등방성 자성체의 돌림힘 곡선에서 미분 가능한 둥근 정점의 존재 조건 및 일축 비등방성 자성체의 돌림힘 곡선의 개형에 대한 연구[2]를 근거로 하여 돌림힘 곡선 특수값들의 해석법에 대해서 보고한다.

2. 본 론

자기마당 세기 H를 고정하고 방향 ϕ를 변화시킬 때, 자기화량이 M이고 일축 비등방성 에너지가 $K\sin^2\theta$로 표현되는 시료가 받는 돌림힘 τ를 고려한다. 여기서, 자기화가 역전되는 자기마당의 방향을 ϕ_c, 자벽이 생성 또는 이동에 필요한 최소 임계자기마당 세기를 H_0, 비등방성 자기마당 세기를 $H_K(=2K/M)$라 하고, 무차원 자기마당 세기들 $h(=H/H_K)$, $h_0(=H_0/H_K)$, 및 무차원 돌림힘 $t(=\tau/K)$를 도입하였다. h_0 및 h에 따라 t-ϕ 곡선 형태는 이력 현상의 유무, 미분 가능한 정점의 갯수, 자기화 역전기구로 구별되는 8가지 유형 갖는다. 각 유형에 따른 돌림힘 곡선의 특수값들을 표 1에 나타내고, 그림 1에 특수값의 자기마당 의존성을 도식하였다. $H_K = H/h$ 및 $M = 2Kh$임을 상기하면, 맞추기 기법 (method fo fitting)과 해석적인 방법으로 K 및 h를 측정하여, 비등방성 자기마당 세기 및 자기화량을 측정할 수 있다. 예로서, 하나의 시료에 대해서 자기마당 세기에 의존하는 여러개의 돌림힘 곡선들로부터, 표 1에 나타낸 돌림힘 곡선 특수값들 중 하나를 선택하여 자기마당 세기의 함수로 측정하면, 맞추기 기법으로 K 및 h를 측정할 수 있다. 해석적인 방법의 예로서, 측정된 하나의 돌림힘 곡선에 대해, 그 유형을 파악하고 그 유형에 대해서 성립하는 특수값들 사이의 상호 관계로부터 K 및 h를 측정할 수 있다. A 유형 돌림힘 곡선에 대해서 $K = \tau_{hp_+}$이 성립하고, $h = \tau_{\frac{\pi}{2}}'/(2\tau_{hp_+} + \tau'_{\frac{\pi}{2}})$ 및 $h = (\tau'_{\frac{\pi}{2}} - \tau'_0)/(\tau'_{\frac{\pi}{2}} + \tau'_0)$ 이 성립한다. 여기서, τ_{hp_+}, τ'_0, $\tau_{\frac{\pi}{2}}'$은 각각 정점의 높이, 용이축 방향 및 곤란축 방향에서의 기울기이다. A 유형 돌림힘 곡선에 대한 해석적인 방법과 마찬가지로, 이력 현상이 존재하는 여러 유형에 대해서도 해석적인 방법들을 개발하였다.

먼저, $h \geq h_2$를 만족하는 높은 자기마당세기 얻어지는 A, B, C, D, E 유형의 실험 돌림힘곡선으로부터 비등방성 및 포화자기화량을 측정할 수 있는 방법에 대해 설명한다. A, B, C, D, E 유형의 실험적인 τ-ϕ곡선에서 식 $\tau_{hp_+} = K$ 및 $h = \tau'_0/(2\tau_{hp_+} - \tau'_0)$의 관계가 성립함을 알 수 있다. 따라서 실험적으로 높은자기마당세기에서 측정된 하나의 τ-ϕ곡선에서 τ_{hp_+}, τ'_0들을 측정하면, 윗 식들을 이용하여 K와 h를 구할 수 있다.

표 1. Peculiar values of τ-ϕ curves.

Type	Conditions	$K\,t\vert_{\phi=\frac{\pi}{2}}$	$K\frac{\partial t}{\partial\phi}\vert_{\phi=0}$	$K\frac{\partial t}{\partial\phi}\vert_{\phi=\pi}$	$K\frac{\partial t}{\partial\phi}\vert_{\phi=\frac{\pi}{2}}$
A	$1 \leq h$	0	$\frac{2Kh}{h+1}$	$\frac{2Kh}{h+1}$	$-\frac{2Kh}{h-1}$
C	$h_3 \leq h < 1$	$2Kh\sqrt{1-h^2}$	$\frac{2Kh}{h+1}$	$\frac{2Kh}{h+1}$	$\frac{2Kh^2(2h^2-1)}{h^2-1}$
D	$h_2 \leq h < h_x$	$2Kh\sqrt{1-h^2}$	$\frac{2Kh}{h+1}$	$\frac{2Kh}{h+1}$	$\frac{2Kh^2(2h^2-1)}{h^2-1}$
E	$h_x \leq h < h_3$	$2Kh\sqrt{1-h^2}$	$\frac{2Kh}{h+1}$	$\frac{2Kh}{h+1}$	$\frac{2Kh^2(2h^2-1)}{h^2-1}$
B	$h_2 \leq h < h_3$, $h_2 \leq h < h_x$	$2Kh\sqrt{1-h^2}$	$\frac{2Kh}{h+1}$	$\frac{2Kh}{h+1}$	$\frac{2Kh^2(2h^2-1)}{h^2-1}$
F	$h_1 < h < h_2$	$2Kh\sqrt{1-h^2}$	$\frac{2Kh}{h+1}$	$\frac{2Kh}{h+1}$	$\frac{2Kh^2(2h^2-1)}{h^2-1}$
G	$h_0 \leq h \leq h_1$	$2Kh\sqrt{1-h^2}$	$\frac{2Kh}{h+1}$	$\frac{2Kh}{h+1}$	$\frac{2Kh^2(2h^2-1)}{h^2-1}$
H	$h < h_0$	$2Kh\sqrt{1-h^2}$	$\frac{2Kh}{h+1}$	$\frac{2Kh}{h-1}$	$\frac{2Kh^2(2h^2-1)}{h^2-1}$

이제; ($h \leq h_1$)를 만족하는 낮은 자기마당에서 얻어지는 G 및 H 유형의 실험 돌림힘곡선으로부터 비등방성 및 포화자기화량을 측정하는 방법에 대해 설명한다. G 및 H 유형의 실험 돌림힘곡선에서 얻어지는 둥근 양정점의 높이는 $MH = \tau_{lp_+}$을 만족한다. 여기서, $h = \tau_{lp_+}/\tau'_0 - 1$ 및 $h = \sqrt{1 - \left(\frac{\tau_{\frac{\pi}{2}}}{\tau_{lp_+}}\right)^2}$ 가 성립한다. 따라서 실험적으로 높은자기마당세기에서 측정된 하나의 τ-ϕ곡선에서 τ_{lp_+}, $\tau'_{\frac{\pi}{2}}$, τ'_0들 중 2개를 측정하면 h를 구할 수 있다. 한편, A 및 H 유형 돌림힘 곡선들에 대해서는 각각 $\tau_{hp_+}\tau'_0 + \tau'_{\frac{\pi}{2}}\tau'_0 - \tau_{hp_+}\tau'_{\frac{\pi}{2}} = 0$ 및 $2\tau'_0\tau'_\pi + \tau_{lp_+}\tau'_0 - \tau_{lp_+}\tau'_\pi = 0$이 성립한다. 여기서, τ'_π는 음의 용이축 방향에서의 기울기이다. 이들 특수값들의 관계는 시료가 $K\sin^2\theta$로 표현되는 비등방성 에너지 갖는지 여부를 확인할 수 있는 지표가 될 수 있다.

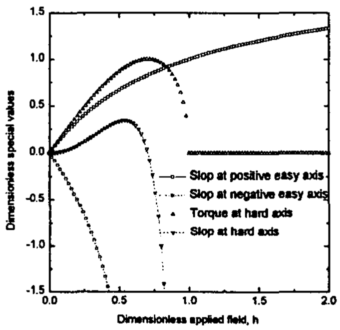

그림 1. t-ϕ 곡선 특수값의 자기마당 세기에 대한 의존성.

3. 결 론

본 연구에서는 단순 일축 비등방성 자성체의 돌림힘곡선의 특수값들을 구하고, 특수값들을 이용하여 비등방성 에너지, 비등방성 자기마당, 포화 자기화량을 측정할 수 있는 방법들을 개발하였다. 이력현상의 유무 및 자기화 역전기구의 종류와 미분 가능한 정점의 갯수에 의해 8가지의 유형으로 구분되는 1차 일축 비등방성 자성체의 돌림힘 곡선들에 적용될 수 있는 측정법들을 개발하였다.

4. 참 고 문 헌

[1] 허진, 신성철, 응용물리, **10** (5), 463 (1997).
[2] 허진, 신성철, 자기학회, **8** (1), 34 (1998).