

일축 비등방성 자성체의 돌림힘 곡선의 개형

한국과학기술원 물리학과 허진\*, 신성철

Torque-curve shapes of magnetic uniaxial materials

KAIST Jeon Hur\*, Sung-Chul Shin

1. 서론

상대적으로 낮은 세기의 자기마당에서 돌림힘 곡선 개형에 대한 체계적 연구는 새로운 돌림힘 곡선 해석에 필수적이다. 본 논문에서는 자기화 역전기구 전환 이론[1] 및 일축 비등방성 자성체의 돌림힘 곡선에서 미분 가능한 등근 정점의 존재 조건들[2]을 근거로 하여 일축 비등방성 자성체의 돌림힘 곡선의 개형에 대해서 보고한다.

2. 본론

일축 비등방성 에너지가  $K \sin^2 \theta$ 로 표현되는 시료를 자기마당 세기  $H$ 를 고정하고 방향  $\phi$ 를 변화시킬 때, 시료가 받는 돌림힘  $\tau$ 를 고려한다. 본 논문에서는 선행된 연구[1,2]에서 정의된 물리량과 그 표시법 ( $\phi_c, H_0, H_K, h, h_0, t, h'_x, h_1, h_2, h_3$ )을 사용한다. 자벽이 생성되거나 이동하기 위해 필요한 최저 무차원 자기마당  $h_0$ 와 자기마당세기  $h$ 에 따른 이력현상의 유무, 미분 가능한 정점의 갯수, 자기화 역전기구로 구별되는 8개의 영역들을 그림 1에 도식하였다.

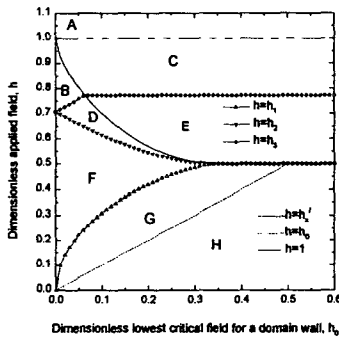


그림 1.  $t-\phi$  곡선의 8가지 유형들을 설명하는 그림.  $h_0$  및  $h$ 로 이루어지는 공간에서 8개의 영역들은 일축 비등방성 자성체의  $t-\phi$  곡선 형태가 8가지 유형들을 갖음을 의미한다. 각 유형의 특징은 다음과 같다. A 영역( $h > 1$ )과 H 영역( $h <$

$h_0$ )에서는,  $t-\phi$  곡선이 이력현상이 없이 연속적이다. B, D, F, G 영역들( $h_0 \leq h \leq h'_x$ )에서는 자기화 역전이 자벽이동에 의해 일어나고, 높은 세기의 C, E 영역들( $h'_x \leq h$ )에서는 결맞음회전에 의해 일어나는데,  $h_0 \leq h < 1$ 이면 항상 이력현상이 나타난다. B와 C 영역들은 자기화 역전기구가 서로 다르지만 높이가  $\pm 1$ 인 두개의 정점들이 나타나는 공통점을 갖는다. B 영역은 자벽이동에 의해 자기화가 역전되며  $h_0 < 0.06$ 인 연자성체에서만 나타나고, C 영역에서는 결맞음회전에 의해 자기화가 역전되며  $h_0 > 0$ 이지만 하면 나타난다. D와 E 영역들도 자기화 역전기구는 서로 다르지만, 높이가 1인 정점만이 나타나는 공통점을 갖는다. D 영역은  $h_0 > 0.35$ 인 시료에서는 나타나지 않고, E 영역은  $h_0 < 0.06$ 인 시료에서는 나타나지 않는다.  $h_0 > 0.35$ 인 시료에서는 나타나지 않는 F 영역에서는 미분 가능한 정점이 존재하지 않는다. G 영역에서는 자벽이동에 의해 자기화가 역전되지만, 높이가  $2h$ 인 정점이 나타난다. 자기화 역전기구 전환 이론에 의하면, 일축 비등방성 자성체는  $h_0$ 에 따라 서로 다른  $t-\phi$  곡선의 개형을 갖는 5가지 시료들로 분류된다. 분류의 기준이 되는  $h_0$ 의 값들은 0, 0.06, 0.35, 0.5이다. 그림 2, 3, 4, 5은 자기화 역전기구 전환 이론으로만 설명 가능한  $t-\phi$  곡선의 개형을 도식한 예이다.

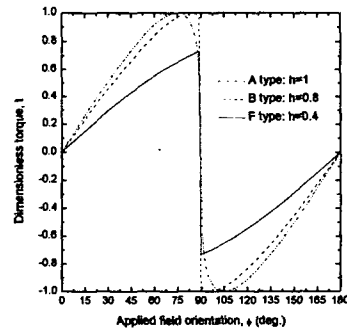


그림 2.  $h_0 = 0$  인 시료의  $t-\phi$  곡선.

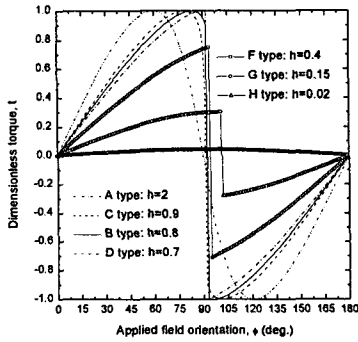


그림 3.  $h_0 = 0.03$  인 시료의  $t-\phi$  곡선.

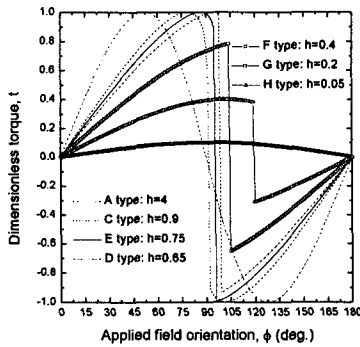


그림 4.  $h_0 = 0.1$  인 시료의  $t-\phi$  곡선.

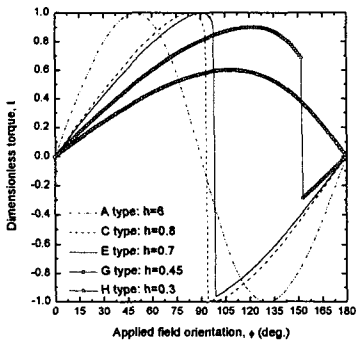


그림 5.  $h_0 = 0.4$  인 시료의  $t-\phi$  곡선.

한편, 주어진  $h$ 에 대해서도 시료의  $h_0$  값에 따라  $t-\phi$  곡선의 형태가 달라진다. 예를로서,  $h = 0.4, 0.75$ 인 경우들에 대해 얻을 수 있는 대표적인  $t-\phi$  곡선들을 그림 6, 7에 도식하였다. 이 그림들의 비교로부터,  $h$ 가 높아짐에 따라  $t-\phi$  곡선에서  $h_0$ 에 대한 정보량이 줄어들며 비등방성에 관한 정보만이 두드러지게 나타남을 알 수 있다.

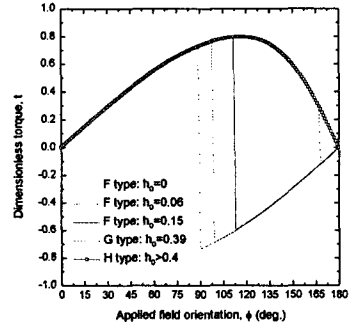


그림 6.  $h = 0.4$  인 경우,  $h_0$ 에 따른  $t-\phi$  곡선.

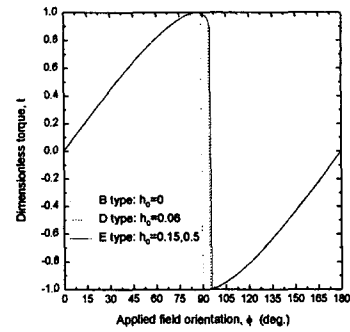


그림 7.  $h = 0.75$  인 경우,  $h_0$ 에 따른  $t-\phi$  곡선.

### 3. 결론

단순 일축비등방성 자성체의 들림힘 곡선의 개형은 인가 자기마당 세기 대 비등방성 자기마당 세기의 비율에 전적으로 의존할 뿐만이 아니라, 자벽의 생성 및 이동에 필요한 최소 임계 자기마당세기도 의존하였다. 단순 일축비등방성 자성체의 들림힘 곡선의 개형은 8개의 유형들로 구성되는데,  $h_0$ 의 값에 따라 단순 일축 비등방성 자성체를 5 유형으로 분류 가능하였다. 본 연구를 통해 얻은 들림힘 곡선의 개형에 대한 깊은 이해는 새로운 해석법들을 개발하는데 큰 기여를 할 것이라 사료된다.

### 4. 참고문헌

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