

전기강판의 포화자기변형 측정

유권상*

한국표준과학연구원 기반표준부

1. 서론

자기변형은 강자성체가 외부자기장에 의해 자화될 때, 자성체의 크기가 변화는 현상으로 자기이력, 자기 이방성과 함께 강자성체의 근본적인 특성인 자기탄성효과에서 기인한다. 자성체의 길이를 l , 자기변형에 의한 길이변화를 Δl 이라고 하면 자기변형 λ 는 $\Delta l/l$ 로 주어진다.

자기변형을 측정하기 위해서는 거리측정용 센서시스템, 시편자화용 자기장 인가장치 및 제어시스템이 필요하며, 이를 측정하는 방법에는 X-선 회절장치를 이용하는 방법, 시편의 미소변위를 직접 또는 간접적으로 측정하는 방법 등이 있다. 길이를 직접 측정하는 방법으로 광학적인 방법을 이용하면 가장 정밀정확 (10^{-9} m)하게 측정할 수 있으나 측정장치가 복잡하다는 단점이 있다. 따라서 비교적 미소 길이변화를 간편하게 측정할 수 있는 위치변환기 LVDT (linear variable differential transformer) 법, 스트레인 게이지법, 전기 용량법, 미소각 자화 회전법 등을 사용하는 경우가 많다.

그러나 LVDT는 차지하는 공간이 커서 기존의 전자석을 이용하기 어렵고, 스트레인 게이지법은 게이지 계수가 온도에 따라 변하고, 측정시편에 게이지를 접착제로 부쳐서 측정하므로 오차가 발생할 수 있다. 전기용량법은 형태효과의 영향을 받을 수 있고, 미소각 자화 회전법은 비정질 리본에 한정되어 사용된다는 단점이 있다.

2 차고조파는 인가 자기장의 수직방향으로 자화용이축을 가진 비정질 재료에서 이방성 자기장을 측정하는데 사용되었고, 나선형의 이방성을 갖는 pinning 면에서 자벽의 동적 상호작용을 조사하는데 사용되었다. 그리고 방향성 3 % 전기강판에서 2 차 고조파 파형의 피크 간격은 자구 생성 및 소멸 자기장과 관계가 있음이 밝혀졌다.

본 연구는 압연방향을 폭으로, 압연방향의 수직방향을 길이로 갖는 방향성 3 % 전기강판에서 인장응력에 따른 2 차 고조파의 파형을 측정하고, 피크 간격 사이의 자기장을 이용하여 포화자기변형을 측정할 수 있는 방법을 제시한다.

2. 장치구성

고조파 측정용 전기강판 시험편은 압연방향을 폭으로 압연방향의 수직방향을 길이로 갖는 시편을 준비하였다. 시편의 크기는 길이 120 mm, 폭 15 mm, 두께 0.3 mm인 박판형이다. 고조파를 측정하기 위한 개략도가 그림 1에 주어져 있다. 코일 포머에 탐지코일, 직류 및 교류 자기장 인가용 코일을 권선하였다. 직류는 I/O acquisition board (National Instrument PCI-MIO-16XE-10, 16-bit resolution)에서 발생한 파형을 전력증폭기 (Tecron 7562)로 전력 증폭하여 인가하였고, 교류 자기장은 파형발생기 (hp 3325B)로 인가하였다. 2 차 고조파는 섭동 자기장을 참조신호 (reference signal)로 하여 탐지코일에 유도되는 전압을 록-인 증폭기로 측정하였다. 시편은 최대 자기장이 1.5 kA/m이고, 주파수가 0.05 Hz인 삼각파형을 인가한 후, 1 kHz, 80 A/m의 정형파를 섭동 자기장으로 인가하였다. 선트로 읽은 자기장과 록-인 증폭기로 읽은 고조파 파형은 I/O acquisition board의 입력축을 통하여 측정하였으며 컴퓨터에서 데이터를 처리하게 하였다. 인장응력은 시편의 길이방향으로 인가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 인장응력에 따른 자기이력곡선과 2 차 고조파의 파형을 보이고 있다. 자기이력곡선은 굴곡점 (inflection point)을 갖는 wasp-waived 형태를 가지며, 인장응력이 커질수록 굴곡점 사이의 간격

이 좁아진다. 2 차 고조파의 피크는 무릎 근처에서 나타나며, 이는 180° 자구의 생성과 소멸에 의한 것이다. 그리고 인장응력이 커지면 피크 사이의 간격이 감소함을 알 수 있다.

응력 하에서 이방성 상수는 다음과 같이 기술된다.

$$K = K_c(\phi) + K_\sigma \quad (1)$$

여기서 $K_c(\phi)$ 는 결정 이방성 상수이고, $K_\sigma = (3/2)\lambda_s\sigma$ 는 응력 유도 이방성 상수이다. 자구 생성 자기장은 이방성 상수의 합수로써 주어진다.

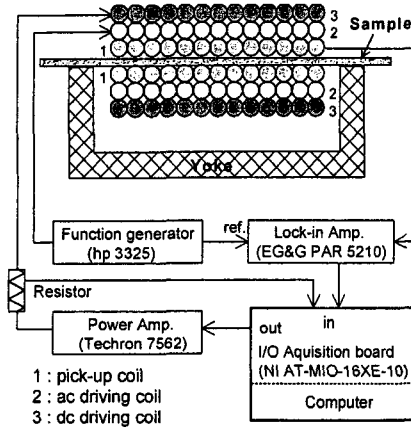


그림 1. Block diagram for the measurement of the second harmonics profiles at silicon steel.

$$H_n = NM_s - 2K/(\mu_o M_s) = NM_s - 2(\mu_o M_s)(K_c(\phi) + (3/2)\lambda_s\sigma) \quad (2)$$

여기서 N , M_s 는 반자장 계수와 포화 자기변형이다. 본 측정에서는 자료가 닫혀있으므로 반자장 계수 N 은 0이다. 따라서 식 (2)에서 $\lambda_s = (1/3)(\mu_o M_s)\tan\delta (= \Delta H/\Delta\sigma)$ 이다.

그림 3은 인장 응력에 대한 2 차 고조파의 피크 간격이 감소함을 보여주고 있다. 그림 4에서 기울기 $\Delta H/\Delta\sigma$ 을 구하고 식 $\lambda_s = (1/3)(\mu_o M_s)\tan\delta$ 을 이용하여 포화 자기변형을 구하면 24.1×10^{-6} 이고, 이 값은 J.W. Shilling이 구한 23.7×10^{-6} 과 잘 일치한다.

4. 결론

2 차 고조파 파형을 자기 이방성을 반영한 자구 생성 및 소멸 자기장으로 해석하였다. 인장응력이 증가함에 따라 자기 이방성이 감소하므로 2 차 고조파 피크 사이의 간격은 좁아졌다. 인장 응력에 대한 2차 고조파 피크 간격에서 구한 기울기에서 방향성 3% 전기강판의 포화 자기변형을 계산하였으며, 그 값은 24.1×10^{-6} 이었다. 이 방법을 이용하면 보다 간편하게 방향성 전기강판의 포화자기변형을 측정할 수 있다.

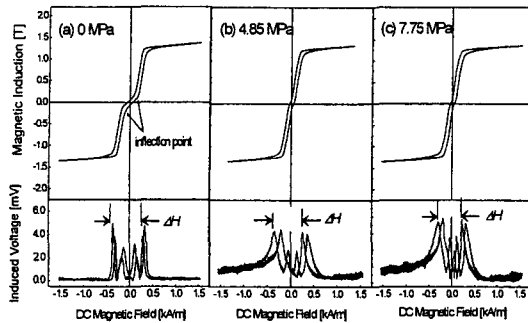


그림 2. The change of hysteresis loops and the second harmonics with tensile stress.

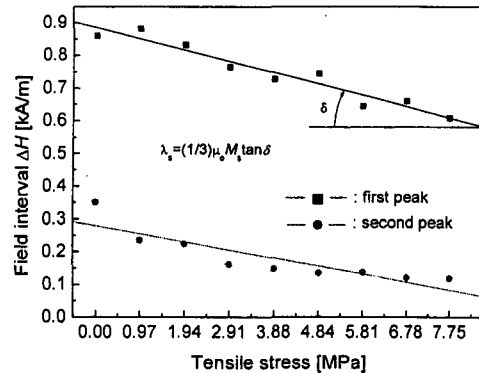


그림 3. The field interval with tensile stress.