

M - type 부과형 와전류 센서에 의한 변태율 측정

위상봉*, 김한수, 한민구

서울대학교 공과대학 전기 공학과, 관악구 신림동 151-742

* 한국 전기 연구소, 경상남도 창원시

EDDY CURRENT MEASUREMENT OF TRANSFORMED FRACTION BY M-TYPE SENSOR

Sang-Bong Wee*, Han-Soo Kim, Min-Koo Han

Dept. of Electrical Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

* Korea Electrotechnology Research Institute, Kyungnam, Changwon

ABSTRACT

Nondestructive eddy current testing has been used for measuring the electromagnetic properties of metals. It is well known that the conventional eddy current sensors are not effective to measure multi-layer properties. In this paper, the mutual inductance type sensor is studied and transformed fractions of metals are measured. Characteristic factors in eddy current testing are considered and their influences on the testing results are investigated.

1. 서론

와전류 시험법은 교류자장을 여기시켜 금속을 포함한 도전체에 발생한 와전류를 측정하여 시험체의 전자기적 물성을 알아내는 방법이다. 최근에 와서 와전류 측정은 금속에 존재하는 결함 뿐만 아니라 금속의 변태율, 박막의 두께 등의 여러가지의 물성들을 측정하기 위하여 연구되어져 왔다.[1,2,3] 금속상의 변태율은 전자기적 물성과 판계를 갖고 있으므로 와전류 측정법에 의해 측정하게 된다.

와전류 시험법에 의한 변태율의 측정은, 여기 기능과 감지 기능을 하나의 센서로 하는 L - type 센서에 의해서 주로 연구되어져 왔다.[4,5] 그러나 L - type 센서는 구조면에서는 간단하지만 측정의 다양성 즉, 거리에 따른 변이 제거 또는 자기 이방성의 측정하기에는 부족한 면을 가지고 있다. 따라서 두 기능을 분리하여 측정하는 M - type 센서가 요구되어지고 있다. M - type 센서는 평판 시편을 기준으로 여기 및 감지 센서가 같은 방향에 있는 비부과형과 반대방향에 있는 부과형이 있으며 비부과형은 L - type 과 결과가 비슷하다. 본 논문에서는 부과형에 대해서 연구되어 졌다.

와전류 탐상은 여러가지 실험조건 즉, 예를 들면 입력되는 주파수, 측정 센서의 거리, 실험 대상의 물성, 센서의 구조 등에 의해 영향을 받으므로 측정하고자 하는 목적에 따라서 실험조건을 결정해줘야 한다.[6] 따라서 여기에서는 변태율을 측정하기 위한 적절한 조건들이 연구되었다.

2. 장치 및 시편 제작

와전류 방법에 의한 변태율의 측정을 위하여 변태율 시편을 제작하였다. 시편크기는 $25 \times 25 \text{ cm}^2$ 이며 두께는 1.2mm 이다. 변태율의 전자기적 물성은 표 1과 같이 측정되었다. 전기전도도는 four point probe에 의해서, 자기투자율은 B-H curve tracer 에 의해서, 변태율은 광학현미경에 의해서 측정되었다.

표 1. 변태율 시편의 전자기적 물성

시편 번호	변태율 [%]	σ [Sm^{-1}]	μ_r (비투자율)
1	0.22	1.3×10^6	1
2	84.4	1.16×10^6	8.82
3	90.3	1.25×10^6	10.63
4	98.3	1.6×10^6	30.92

전원장치는 전압이 최대 200 V, 주파수가 3 - 18 KHz 의 전압원으로 하였으며 출력되는 전압은 Digital Storage Oscilloscope로 측정하였다. 그림 1 은 와전류 측정의 개략도를 나타내고 있다.

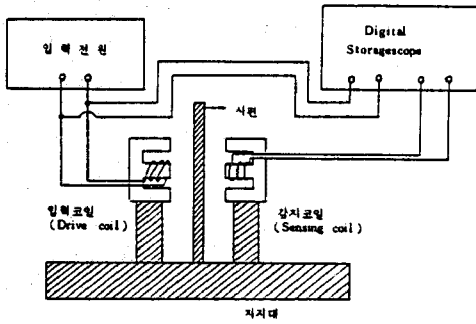


그림 1. M-type 와전류 측정의 개략도

3. 결과 및 검토

감지 코일로 출력되는 값은 전압 및 위상으로서 입력되는 전압과 비교하였다. 측정시 발생하는 여러가지 변수인, 변태율, 거리, 주파수, 시편의 두께 등에 의한 영향을 살펴보았다. 전압은 115 V, 기준되는 주파수는 3.0090 KHz 로 주었다. 출력 전압의 고조파 성분은 무시할 수 있을 정도로 작으나 여기센서와 감지센서가 평판시료에 대칭이 되지 못 할 경우에는 파형이 일그러짐을 보인다. 본 논문에서는 센서들을 대칭적으로 배치하여 실험하였다.

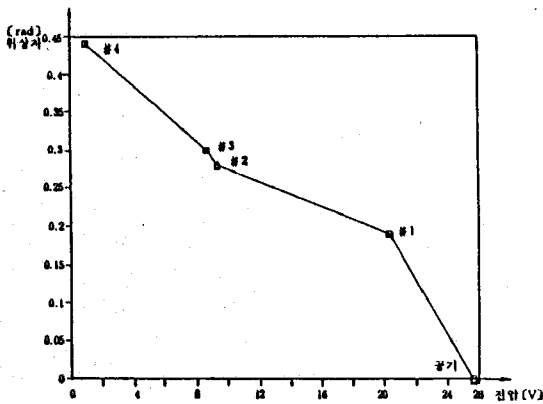


그림 2. 각 변태율 시편의 와전류 시험 출력 (입력 115 V, f = 3 KHz, d = 20 mm)

변태율의 증가에 따라 출력전압은 급격히 감소하고 위상차는 반대로 증가한다. 위의 현상은 그림 2 에서 잘 보여주고 있다. 변태율이 증가한다는 것은 표 1 에서 보여주는 바와 같이 투자율이 크다는 것을 뜻하므로 그에따라 자기적 차폐가 이루어 지게 되는 것이다. 그림 2 상으로 전압과 위상차가 모두 변태율 측정에 사용될 수 있음을 알 수 있다. 특히 4번 시편의 경우 출력이 급격하게

감소하는데 그 이유는 3 KHz 의 주파수에서 그 시편의 skin depth가 1.27 mm 로서 시편의 두께가 1.2 mm 인 것을 고려할 때 이러한 조건에서 거의 자기적 차폐가 이루어짐을 볼 수 있다.

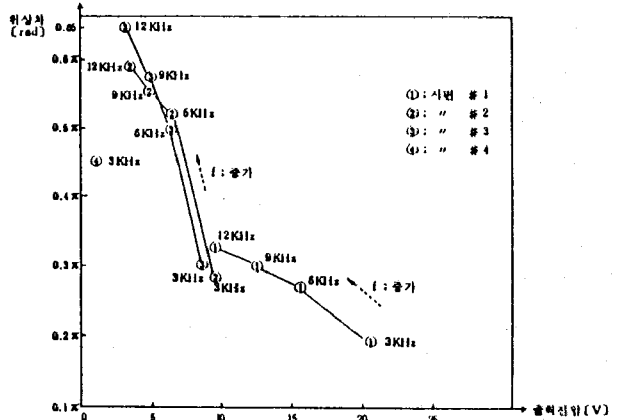


그림 3. 주파수 변화에 따른 출력 변화

측정시 인가되는 주파수에 따라 전자기적 차폐의 효과가 결정되므로 측정하려는 물성에 따라 알맞은 주파수를 계산해서 인가시켜 주어야한다. 그림 3 는 제작된 시편에 주파수를 3K 에서 12 KHz 까지 3KHz 식 증가시켜가며 얻어진 측정 결과 인데 주파수의 증가에따라 전압의 크기는 작아지고 위상차는 증가함을 볼 수 있다. 4번제의 시편의 경우는 6KHz 이상의 주파수에 대해서는 변화량을 측정치 못했다. 이것은 침투 깊이를 넘는 주파수에서는 투과형 와전류 탐상이 불가능한 것을 보여주고 있다. 주파수와 위상차와의 관계에서 비자성 도체인 1번 시편은 주파수와 무관하게 $\pi/2$ 를 넘지 못하는 반면 2,3 번의 자성체 시편에 있어서는 $\pi/2$ 를 쉽게 넘어서는 것으로 보아 변태율 공정상의 상변이 시점은 위상차로 측정될 수 있을 것이다.

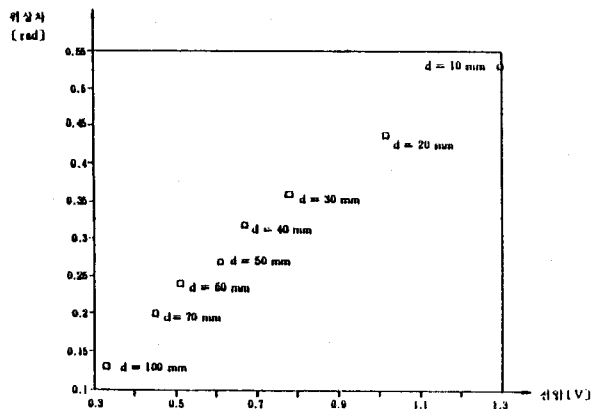


그림 4. 여자 코일과 감지 코일의 거리 변화에 따른 출력 (f = 3KHz)

그림 4는 평판시편을 가운데두고 여기 센서와 감지 센서간의 거리를 변화시켜 가면서 측정된 결과이다. 거리가 증가할 수록 출력전압과 위상차 모두가 감소하였다.

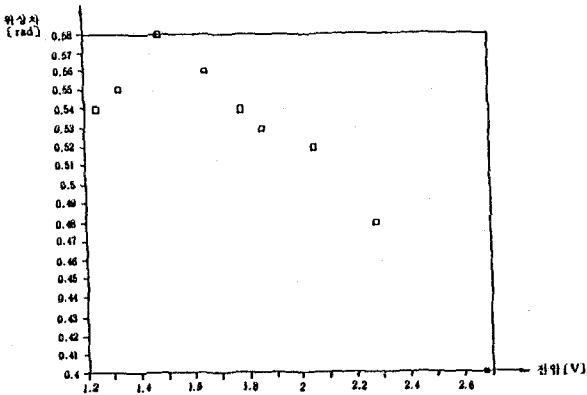


그림 5. 시편의 코일과의 거리 변화에 따른 출력

그림 5는 여기센서와 감지 센서 사이의 거리를 일정하게 두고 여기 센서와 시편과의 거리 X를 가변시켜가며 측정된 결과로서 출력 전압은 여기 센서에서 멀 수록 감지 센서에서 가까울 수록 커지며 위상차는 X=6mm 에서 0.58로 최대값을 보여주고 있다.

4. 결론

M - type 와전류 시험법에 의한 변태율의 측정은 출력 전압과 위상차 모두에 의해서 측정이 가능함을 보였다. 특히 비자성체에서 자성체로 변태되기 시작하는 것은 출력전압의 위상차에 의해서 측정이 가능 함을 제시하였다. 주파수의 증가에 따라 출력 전압은 증가하는 경향을 띄우다가 skin depth가 시편의 두께보다 작아지는 경우에는 측정이 불가능 함을 보였다. 시편과 센서간의 거리증가는 출력 전압의 감소를 가져왔다. 위의 결과들은, M - type 와전류 센서에 의한 변태율의 측정이 가능함을 보여주고있다.

5. 참고 문헌

[1] Sang-Bong Wee, Min-Koo Han and Han-Soo Kim, " Numerical and Experimental Method for Nondestructive Evaluation of Transformed Fraction and Cracks in Metal by Eddy Current Probe", Proceeding of 3rd IEEE CEFC, December, 1988

[2] D. Placko, H Clergeot and E. Santander, "Physical Modeling of an Eddy Current Sensor Design for Real Time Distance and Thickness Measurement in Galvanization Industry:, Proceeding of 3rd IEEE CEFC, December, 1988

[3] R. Palanisamy, Prediction of Eddy Current Probe Sensitivity for the Sizing of Case Depth in Ferrous Components", IEEE Tran. on Magnetics, Vol. Mag. 23, No. 5, September 1987

[4] *Nondestructive Testing Handbook, Vol. 4, Electromagnetic Testing:ASNT, 1986*

[5] Sang-Bong Wee, Han-Soo Kim, Min-Koo Han, Ki-Jang Oh, Jin-Rak Lee and Ki-Nam Peak, "Noncontact on-line Measurements of Metal Properties by Eddy Current Sensors", Proceedings of the 28th Annual Conference, Vol. 2, 1989

[6] Han-Soo Kim, Il-Han Park, Sang-Bong Wee, Song-Yop Hahn and Min-Koo Han, " Eddy Current Methods for Evaluation of the Transformed Fraction of Metals by Voltage Source", IEEE Tran. on Magnetics to be published