

고조파 특성 및 우수한 선형성을 가지는 전류센서용 자기코어

장동욱, 남진택*, 송용설
(주)에이엠오 연구소 자성부품그룹

1. 서론

전자식 전력량계가 고정밀화 되고, 세계적으로 보급화 되고 있는 추세에 따라 핵심부품인 전류센서의 정밀도 향상에 대한 요구가 늘어나고 있는 추세이며, 특히 AC전류뿐 만 아니라 DC전류가 인가되었을 때도 전류센서 내부의 자기코어가 포화되지 않고 본래의 특성을 유지하는 동시에 초기의 정밀도 또한 유지할 수 있는 고조파 특성을 가지는 전류센서가 요구되고 있다. 통상적으로 코발트를 주성분으로 하는 비정질 합금리본을 이용한 자기코어가 상기의 특성에 부합하여 상용화되었고 세계적으로도 고가의 가격이지만 널리 쓰이고 있다. 하지만 시장에서는 코발트 원재료의 비싼 가격으로 인해 더 저렴한 제품을 요구하고 있으나, DC-Tolerance 특성을 가지면서도 우수한 선형특성과 정밀도를 가지는 자기코어를 만들기는 용이하지 않다. 이에 종래의 제품에 비해 저렴하면서도 우수한 선형성과 DC-Tolerance 특성을 동시에 가지는 전류센서(자기코어)의 제작 및 실험과정에 관련된 연구에 대해 설명하고자 한다.

2. 실험방법

우수한 DC-Tolerance 특성을 가지고 있는 Fe와 우수한 선형특성을 기대할 수 있는 Ni을 조합하였고, 각 Fe-Ni의 wt% 또는 at% 별로 질소 분위기 하에서 수직 자장 열처리 실험을 실시하였다. 최적의 열처리 온도를 산출하기 위하여 열분석(DSC측정)을 실시 하였으며, 또한 원재료 조성별로 리본을 제작한 후 조성검증을 위하여 EDX분석을 실시하였다. 자기 코어의 열처리 조건변수로는 열처리 온도, 수직 자장 세기, 열처리 시간 등이며, 각각의 변수에 대해 별도의 조건 실험을 통하여 최적의 조건을 독립적으로 찾아낸 다음 최종적으로 조합하여 열처리를 실시하였다. 제작된 자기 코어시편은 *B-H loop analyzer*를 통하여 자기이력곡선을 측정하여 기본적인 자기적 특성을 확인하고, 플라스틱 케이스에 삽입 후 전류센서로 제작하기 위해 에나멜 동선을 각 코어 당 2,500턴 권선하여 위상오차 계측기를 통하여 전류센서의 위상오차(Phase angle error)를 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 Ni 성분비에 따른 자기이력곡선의 변화를 나타낸 그림이며, Ni이 포함되지 않은 Fe기반의 비정질 합금코어에서 나타내는 자화곡선은 Fig. 2와 같으며, Ni을 적당량 첨가함으로써 Fig. 3과 같은 선형적인 특성을 가지는 자화곡선이 나타나게 된다. Ni의 증가에 따라 투자율의 감소가 일어나며, 이로써 원하는 고조파 특성을 구현할 수 있으며, Ni 이외에 Co를 첨가하여 수직 자장 열처리를 거쳐 선형적인 자화곡선을 가지는 자기코어를 만들 수도 있으며(Fig. 4), 이는 Fe-Ni합금에 비하여 더 높은 포화자화 값을 얻을 수 있는 장점이 있으나, Co 원재료의 높은 가격으로 Ni을 이용하여 동등한 전류센서의 특성을 구현해 내는 것이 더 바람직 할 것이다. IEC 62053-21 규격에 따르면 DC-Tolerance 특성을 가지는 전류센서로서 전자식 전력량계에 쓰이기 위해서는 오차율이 최대 3% 이내여야 하며, 이는 전류센서의 위상오차에 직접적으로 연관된다. 위상오차는 입력부와 출력부의 전류파형의 위상 차이를 말하며, $\arctan((R_B+R_{Cu})/(\omega \cdot L))$ 로 표현된다. 제작된 전류센서는 고 정밀급 위상오차 측정장비를 이용하여 위상오차를 측정하였다. 저 전류대역과 고 전류대역간의 위상오차율의 차이가 적을수록 더 정밀한 전류센서라고 할 수 있으며, 상기의 실험으로 얻어진 자기코어를 이용한 전류센서는 전 전류 영역대에서 최대 오차율이 3% 이하이기 때문에 정밀급 전류센서로서 사용이 가능할 것으로 판단된다. Fig. 5는 상기 실험으로 얻어진 자성코어를 플

라스틱 사출물에 삽입하여, 0.17 mm 직경의 동선을 이용하여 2,500턴 권선한 후, 2차 출력부 사이에 12.5 Ω 크기의 부담저항을 걸고 측정된 위상오차 곡선이다.

4. 결론

비정질 재료의 기본적인 조성 Fe, Si, B와 선형적인 자기 특성의 구현을 위해 Ni 및 기타 원재료를 첨가하였다. DC tolerance 특성을 가지는 고 정밀급 전류센서로써 사용하기 위해 적합한 자화곡선을 Ni 성분 함유량별 자기코어를 제작하여 수직 자장 열처리 실험을 통해 특성 구현실험을 실시하였으며, 그 결과 $Fe_{67}Ni_{24}Cr_2Si_4B_3$ (wt%) 조성에서 열처리 온도 390 °C, 수직자장 3,500 G, 열처리 시간 1시간 조건하에서 투자율 1,700~2,000 μ, 최대자속밀도 1.4~1.5 T, 보자력 1~5 A/m, 각형비 1~2%의 자기적 특성을 구현하였으며, 이 같은 특성으로 DC-Tolerance 특성을 가지는 정밀급 전자식 전력량계에 사용될 수 있는 자기코어(전류센서)를 제작하였다.

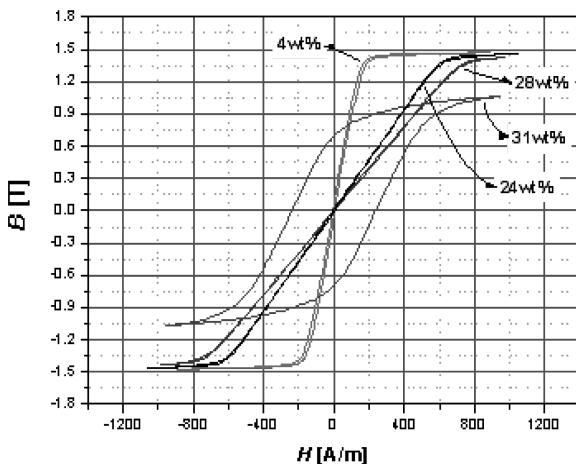


Fig. 1. Ni 조성비에 따른 자화곡선 변화

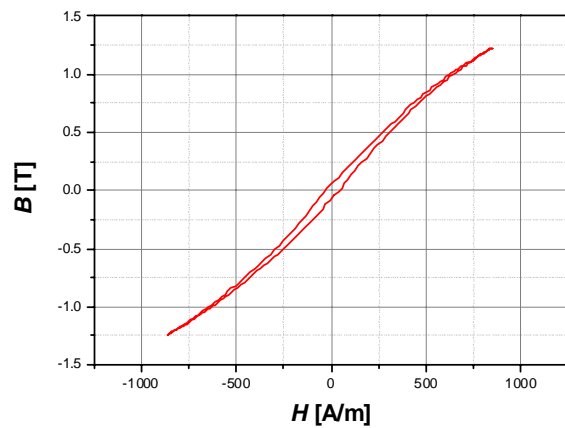


Fig. 2. Fe계 비정질합금 코어의 자화곡선

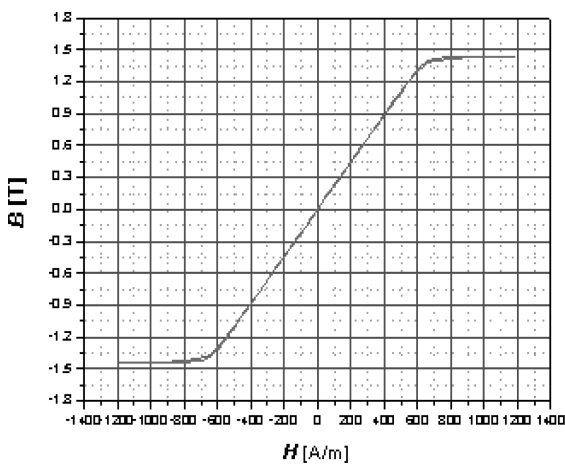


Fig. 3. Fe-Ni 자성코어의 자화곡선

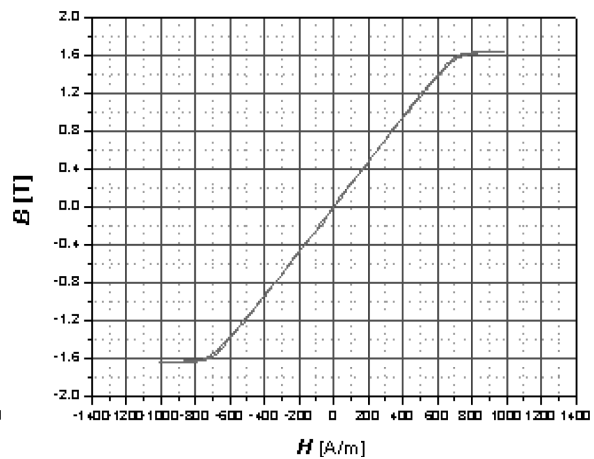


Fig. 4. Fe-Co 자성코어의 자화곡선

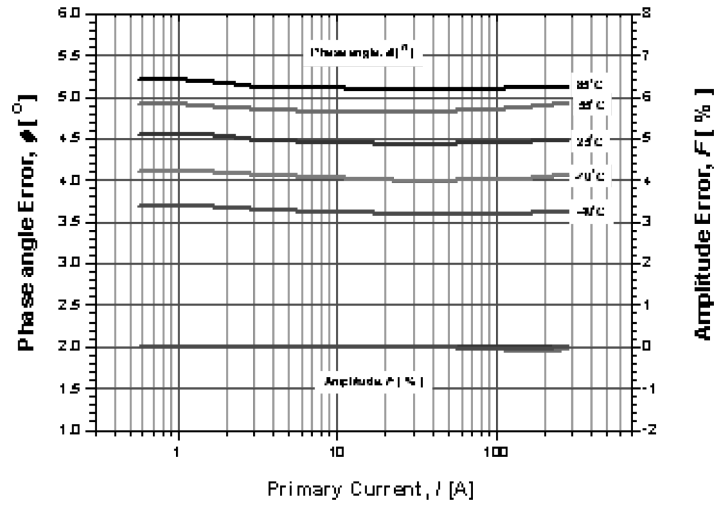


Fig. 5. Fe-Ni 자성코어의 온도별 위상오차 곡선