

에너지 관련 연자성재료의 응용

송용설
(주)에이엠오

1. 서론

최근 가장 많이 이야기되고 있는 단어가 “그린”이다. 지구의 온난화로 인한 환경 위기에 대한 많은 연구 결과가 발표되고 있으며, 지난해부터 시작된 각종 자원 가격의 상승, 특별히 유가의 급상승에 따른 자원 위기는 환경 및 에너지와 관련하여 많은 변화를 이끌어 내고 있다. 온실 가스를 줄이고자 하는 국제 사회의 협력과 노력이 이어지고 있으며, 각국 정부는 다양한 에너지 관련 정책을 경쟁적으로 추진하고 있다. 우리나라도 지난해부터 “저탄소 녹색 성장”이 화두가 되어 각종 정부정책 및 지원이 시작 또는 계획되고 있으며, 기업들도 이러한 흐름에 따라 친환경 전략을 앞다투어 내놓고 있다. 소재 및 부품의 개발 분야도 친환경 제품의 생산, 즉 그린마케팅과 분리될 수 없으며, 에너지의 효율적 사용을 위한 소재의 개발 및 새로운 친환경 제품의 개발에 필요한 소재의 개발에 관심이 집중되고 있다.

2. 연자성재료의 자기적 특성

에너지의 효율적 사용 및 친환경 제품의 개발과 관련된 소재 중 자성재료, 특별히 연자성소재와 관련된 가장 중요한 개념은 자기 손실이다. 연자성재료는 대부분의 전기·전자기기, 특별히 전력의 전달 및 공급과 관련된 회로 부품으로 사용되고 있으며, 에너지의 전달 또는 에너지의 안정적 공급을 담당하게 된다.

연자성재료에 있어서 에너지의 전달 및 공급은 연자성재료의 자화과정(magnetization)에 의해 이루어지게 되는데, 이 자화과정에 사용되는 에너지는 시스템에서 전달되는 에너지와 관계없이 사용되는 에너지로 손실로 나타나게 된다. 에너지에 대한 관심에 따라 소형 경량화에 대한 요구와 더불어 에너지 손실 절감이 중요한 과제가 되고 있다. 연자성재료는 자계 속에 놓이면 자계의 방향으로 자구(magnetic domain)가 정렬하는 과정이 일어난다. 이 자화과정은 연자성재료 내부의 결정립, 개재물, 응력, 자구의 이방성 등의 존재 및 종류와 크기에 따라 달라지는데, 이 자화과정의 쉬운 정도에 따라 소모되는 에너지의 양이 달라지게 된다.

일반적으로 연자성소재의 손실은 자화과정에서 자구의 이동에 필요한 에너지인데, 연자성소재의 자기적 특성, 물리적 특성 및 사용 환경에 따라 다음과 같이 간단하게 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_t &= P_h + P_e + P_a & P_h &: \text{히스테리시스손실, } P_e &: \text{와전류손실, } P_a &: \text{이상손실} \\
 P_h &= K_1 f B_m^{1.6} & K_1, K_2, K_3 &: \text{정수, } f &: \text{주파수, } B_m &: \text{최대자속밀도} \\
 P_e &= K_2 t^2 f^2 B_m^2 / \rho & t &: \text{재료(판)의 두께, } \rho &: \text{비저항} \\
 P_a &= K_3 t B_m^2 V^2 / \rho & V &: \text{자벽이동속도}
 \end{aligned}$$

즉, 연자성재료의 손실을 줄이기 위해서는 재료의 박판화, 입자 미세화, 비저항의 향상 등을 생각할 수 있다. 현재 모든 연자성재료 및 이를 사용한 연자성부품의 응용 방향은 소형 경량화 및 에너지 손실의 절감이다. 이를 위하여 최대자속밀도, 비저항과 같은 연자성재료의 고유 특성 향상, 자구 미세화 또는 비정질화, 나노결정립화 등에 의한 자구 제어, 박판화 및 층간절연과 같은 공정의 개발 등이 이루어지고 있다.

규소강판, 페리이트, 철분말, 센더스트 등의 기존 연자성재료를 바탕으로 고규소강판(6.5% Si), 하이플렉스, 물리펄얼로이, 철계 및 코발트계 비정질, 철계 나노결정립합금 등이 전기·전자기기의 새로운 요구에 대응하여 상호 경쟁하며 발전하고 있다.

3. 에너지 관련 연자성소재의 응용

지금까지 연자성재료에 대한 전기·전자기기의 요구는 소형 경량화였다. 그러나 최근에는 에너지의 효율적 사용 및 새로운 에너지원의 개발에 필요한 요구에 대응하는 것이 추가되었다.

최근의 시장의 요구인 저탄소 녹색성장과 관계되는 연자성재료의 응용을 살펴보고자 한다. 많은 응용 중 에너지의 효율적 사용, 에너지의 효율적 관리, 그리고 대체에너지 산업 등에서 새로운 요구가 지속적으로 증가하고 있다.

1) 무부하손의 절감을 통해 에너지의 효율적 사용에 대응하는 고효율 변압기 철심

발전소에서 생산된 전력을 소비자가 사용하기 까지 15% 이상의 송전 손실이 배전용 변압기에서 발생하게 된다. 따라서 이러한 손실을 절감하기 위하여 철심재료를 기존의 규소강판에서 비정질 또는 자구미세화 강판으로 교체하면 기존의 규소강판 비하여 30-50% 손실을 줄일 수 있다. 이 경우, 연간 3,000억원 이상의 절감효과 및 3000ton의 CO₂ 배출감소 효과를 기대할 수 있다.

2) 전력공급장치의 효율 향상을 통한 에너지의 효율적 사용에 대응하는 자기 코어

컴퓨터, 서버 등 기기의 운영에 필요한 전력을 안정적으로 공급하기 위해서 자기 코어가 사용되고 있다. 이러한 전력공급장치는 소형 경량화를 위하여 사용주파수의 고주파화(수백 kHz)가 추진되어 손실이 적은 자기 코어가 요구되고 있으며, 최근에는 80%대의 기기의 효율을 의무적으로 90%대로 올려야 하므로 더욱 손실이 적은 재료가 요구되고 있다. 하이플렉스, MPP, 비정질 등을 사용한 코어가 사용되고 있으며 그 시장이 점차 확대되고 있다.

3) 고속모터의 설계를 가능하게 하는 고속모터용 저손실 비정질 코어

고정밀 동작기계, 터보 컴프레서 등에 사용되는 모터의 고속화에 대한 필요성이 증대되고 있다. 모터의 고속화를 위한 자기회로 설계기술, 고정도 밸런싱기술 개발 등과 함께, 모터가 고속으로 회전속도가 증가함에 따라 연자성재료의 손실이 급격하게 증가하므로 코어 손실의 감소 방안이 필요하다. 모터에서의 에너지 손실 중, 마찰, 회로, 동손 등은 반도체 전력소자 및 회로 기술의 발달 그리고 권선방식의 최적화를 통하여 최소화에 접근하고 있다. 철손의 경우, 고속회전, 대출력, 소형경량화 등의 요구에 최근 비정질 코어를 사용하는 시도가 이루어지고 있다.

4) 에너지의 효율적 관리를 위한 전력 사용량을 감지하는 전류센서

과거에는 산업의 발전과 더불어 에너지의 생산 증대가 가정 중요한 문제였으나, 이제는 자원의 한정과 환경 문제 등으로 에너지의 효율적 관리 및 사용이 큰 관심사가 되고 있으며, 사용되는 기기의 정확한 모니터링과 시스템의 제어기술이 필요하게 되었다. 신뢰성 있는 시스템의 구축을 위해서는 과거의 아날로그 방식의 전력량 사용 검지기술에서 디지털방식으로의 전환이 필수적이며 다양한 환경 상황에서 정밀성과 신뢰성이 보장되는 전류센서가 필요하게 되었다. 최근 전력량의 측정을 위한 전류센서에 비정질 및 나노결정립합금을 사용한 전류센서가 개발되어 스마트 미터링 및 원격검침 기술의 발전에 대응하고 있다.

5) 대체에너지 산업에의 응용되는 태양광, 풍력 발전용 인덕터

한정된 화석 원료의 사용에서 탈피하고자 하는 노력이 태양광 및 풍력 등과 같은 대체에너지의 개발로 이어지고 있다. 에너지의 발전 및 저장과 관련하여 가장 중요한 요소는 효율이다. 1%의 효율 향상이 중요한 이슈인 상황에서 인버터의 효율에 큰 영향을 주는 것이 인덕터이다. 저손실의 고효율 인덕터의 개발이 중요하며, 현재 상대적으로 높은 포화자속밀도를 갖는 비정질, 하이플렉스, 고규소강판 등을 사용한 인덕터가 효율을 향상시키기 위한 경쟁을 지속하고 있다.

6) 차세대 자동차에의 응용이 기대되는 하이브리드자동차, 연료전지자동차 등의 인덕터

자동차에서 뿜어져 나오는 배기가스가 환경오염 및 지구온난화의 주범으로 인식되면서 전 세계 자동차 시장은 친환경 그린카로 빠르게 재편되고 있다. 자동차 배기가스규제 및 고연비의 차량을 선호하는 소비자들에 대응하기 위하여 하이브리드자동차 및 전기자동차의 개발이 가속화되고 있다. 방식에 따라 차이가 있으나, 파워 콘트롤 유니트의 부스터 인덕터 등에 자기 코어가 사용되고 있다. 자동차의 경우, 높은 전류 특성, 높은 효율 등의 자기적 특성뿐만 아니라, 온도에 따른 높은 신뢰성, 크기 및 무게의 제약, 낮은 가격 등 다양한 요구에 대응해야 한다. 비정질, 하이플렉스, 고규소강판 등의 연자성재료가 지속적인 특성 향상을 위하여 노력하고 있다.

4. 결론

에너지의 효율적 사용 및 대체에너지의 개발이 최대 이슈다. 이에 대응하는 연자성재료의 경우에는 저손실 재료의 개발이 가장 큰 과제이다. 자기적 손실을 줄일 수 있는 이론적 요소들을 바탕으로 이를 실현할 수 있는 재료의 개발이 지속적으로 이루어질 것으로 기대된다.