MgO 코팅된 Fe 분말코아의 특성
Properties of MgO-coated Fe Powder Compressed Cores

장평우*, 신승찬, 최광보
청주대학교 이공대학, 청주시 상당구 내덕동 360-7645
(주)창성 중앙연구소, 인천시 남동구 남동공단 405-100

1. 서 론

분말코어는 연자성분말표면에 절연층을 코팅한 후 성형하여 만들어지므로 벌크코어에 비해 손실이 매우 작다는 장점이 있어 전력변환기기에 많이 사용되고 있으며 근래에는 태양광 PCS, 하이브리드자동차 등의 친환경기기에도 많이 사용되고 있다. 분말코어의 특성은 분말의 연자기특성에 크게 좌우되지만 이웃 입자와의 절연이 충분하지 못하면 교류손실이 커지게 되어 고주파영역에서의 사용이 제한될 수 밖에 없다. 비저항이 낮다는 단점을 제외하고 철은 그 자체로 훌륭한 연자성소재이므로 저주파용 분말코어에서 자주 사용되고 있다. 최근에 철분말을 대기 중에서 산화시킨 후 Mg분말과 혼합하여 진공 중에서 650℃로 열처리하여 MgO 절연층을 만드는 매우 스마트한 방법이 소개되었다[1]. 그러나 분말코어에 필요한 절연층은 매우 치밀하고 비저항이 커야함에도 철을 대기 중에서 산화시키면 부착력이 좋지 못한 Fe_2O_3가 생성되므로 $Fe_2O_3+3Mg \rightarrow 3MgO+2Fe$의 반응에서 생성되는 MgO층도 모재와 부착력도 감소될 것으로 예상된다. 그러나 철 산화물의 하나인 Fe_3O_4는 Al_2O_3나 Cr_2O_3 등과 같이 치밀한 조직을 가지므로 Fe_3O_4의 환원반응이 일어나면 매우 치밀한 MgO층이 생성되어 철분말코어의 특성도 향상될 것으로 예상된다. 본 연구에서는 Fe_2O_3과 Fe_3O_4의 환원반응으로 생성된 MgO 절연층과 이러한 절연층을 사용한 철분말코어의 특성을 조사하고자 하였다.

2. 실험방법

수분무한 Högänes AB사의 SOMALOY 550을 600℃의 질소와 수증기 혼합분위기에서 5, 10, 20분간 산화시켜 Fe_3O_4층을 생성시킨 후 0.2 - 1 wt% Mg 분말과 혼합하여 650℃, 1×10^{-5} Torr의 진공 중에서 1시간 열처리하였다. 열처리한 철분말을 Li-stearate 윤활제와 혼합한 후 150℃ 성형하여 외경 1.27, 내경 0.76 cm인 토로이드 코어를 제작하였다. 성형 중에 생긴 잔류응력을 제거하기 위해 600℃에서 한 시간 진공열처리하였다. 제작된 철코어의 투자율(Permeability, μ)과 코어손실, 직류이력손실, 와전류손실, 코어의 비저항 등의 전자기 특성을 측정하였다. 코어의 투자율은 코어에 코일을 31회 권선하여 impedance analyzer (Hewlett Packard, 4284A model)에서 60 - 2000 Hz의 대역에서 측정하였다. 코어손실은 1, 2차 코일을 12회씩 감아 자속밀도(B_s) 0.5, 1, 1.5 T, 주파수 20 - 2000 Hz에서 B-H analyzer(Iwatsu, SY-8232 model)로 측정하였다. 직류이력 손실은 자속밀도(B_s) 0.1 T에서 직접제작한 직류이력곡선측정기에서 DC B-H 곡선을 그린 후 그 면적을 계산해서 구하였다. 코어의 비저항은 코어의 윗면과 아랫면의 호마이카 코팅층을 제거하고, 은(silver)페이스트로 구리박판을 코어 양면에 부착한 후, 디지털멀티미터를 이용하여 저항(R)을 측정한 후 비저항 값을 계산하였다. 생성된 철과 마그네슘 산화물의 구조를 확인하기 위해 x-선 회절기(XRD, Philips X'Pert)를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 산화된 철분말의 x-선 회절패턴으로 산화철이 Fe_3O_4임을 확인할 수 있었으나 측정된 격자상수는 0.8576 nm로 보고된 0.8394 nm보다 컸다. Fe3O4의 성장속도를 알기 위해 순철판을 산화시켜 질량변화을 측정하여 그림 2에 나타내었으며 성장속도는 1.94 μm/hr였다. 그림 3은 산화시간에 따른 코아손실을 나타낸 것으로

비교를 위해 인산염처리를 한 철분말코어의 손실은 1 T, 2 kHz의 조건에서 6.3 W/cm^{3}였으며 산화시간과 열처리시간에 따른 투자율, 밀도, 보자력 그리고 다른 특성들도 보고할 것이다.

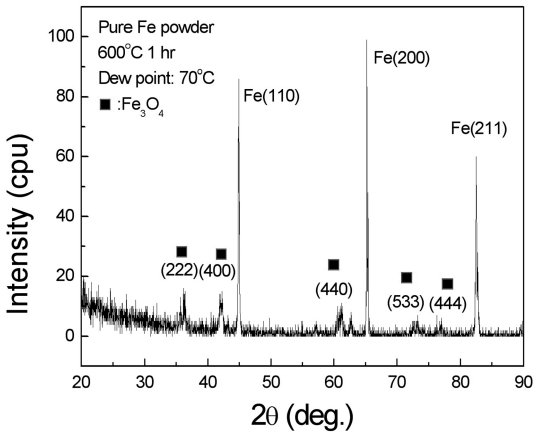

Fig. 1 XRD pattern of oxidized Fe powder

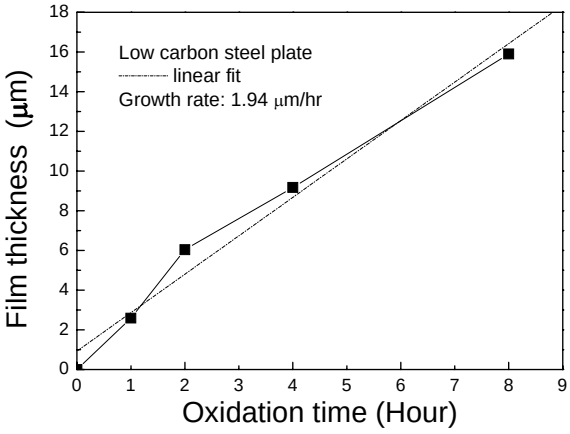

Fig. 2 Variation of oxide film thickness of low carbon steel plate with oxidation time.

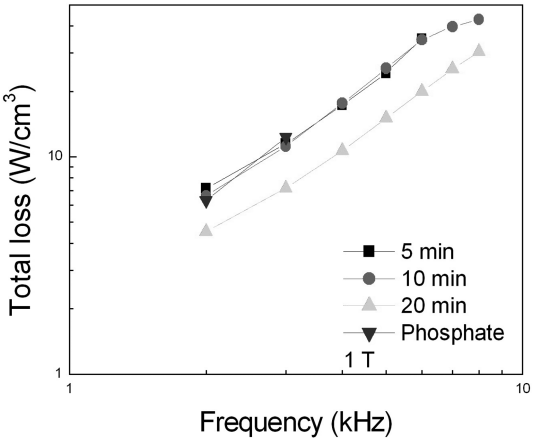

Fig. 3 Core losses with frequency.

4. 참고문헌

[1] Gakuji Uozumi et al, *Materials Science Forum*, **534-536**, 1361(2007).