

# Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>층을 코팅한 철분말코아의 제조 및 특성

주수용\*, 장평우, 최광보<sup>1</sup>

청주대학교 이공대학, <sup>1</sup>(주)창성 중앙연구소

## 1. 서론

최근 지구온난화와 에너지문제가 대두되자 신재생에너지를 활용하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 신재생에너지들은 최종 전기에너지로 변환해서 사용되는 경우가 대부분이므로 에너지변환에 따른 손실도 중요한 문제이므로 태양광발전이나 연료전지에 사용되는 PCS(power conditioning system)나 전기자동차 또는 하이브리드자동차의 전력변화장치의 효율이 주목받고 있다. 이러한 변환장치들에 사용되는 자성코아들에 흐르는 직류가 점차 증대하고 크기도 대형화되고 있어 기존의 페라이트 또는 합금코아들로는 한계가 있으므로 분말자성코아에 대한 인식이 점차 높아지고 있다.

분말자성코아는 기체분무 또는 수분무로 만들어진 연자성금속분말을 절연체와 혼합하고 금형에 넣고 가압성형 한 뒤 열처리하여 제조되므로 다른 코아들에 비해 공정이 매우 간단하므로 경제적인 측면에서도 강점이 많다. 분말코아에서 중요한 공정은 연자성분말에 알맞은 절연체의 종류와 함량을 선택하여 혼합하는 공정으로 각 브랜드마다 고유의 절연체를 개발해 사용하고 있다.

분말자성코아의 절연체는 통상 자성을 띄지 않아 반자장이 금속분말에 작용되 일반적인 코아보다 투자율이 감소하므로 높은 직류전류에도 큰 투자율을 나타낼 수 있다. 그러나 비자성의 절연체를 사용하기 때문에 자속밀도의 감소를 수반하게 되므로 연자기특성면에서 바람직하지 않다. 이보다 더 중요한 것이 고주파에서의 와전류손실을 줄이기 위해 절연체가 완벽하게 분말들을 고립시켜야 한다는 것이다.

한편 분말표면에 산화 등을 통해 절연체를 만들면 절연체가 분말을 완벽하게 포위하므로 와전류손실을 효율적으로 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 또한 이전의 논문들에서 절연체의 두께가 약 1 um일 때 절연체의 비저항이 금속분말보다 10<sup>5</sup>배 더 크더라도 와전류는 분말안에서만 국소화되므로 절연체의 비저항이 더 크더라도 와전류손실은 더 이상 감소하지 않는다는 것을 확인하였다[1].

본 연구에서는 순철을 수증기에서 산화를 시켜 표면에 비저항이 비교적 작은 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 자성절연층으로 코팅된 순철분말을 제작하고 성형, 열처리를 거쳐 분말코아로 제조한 뒤 그 특성을 조사하였다.

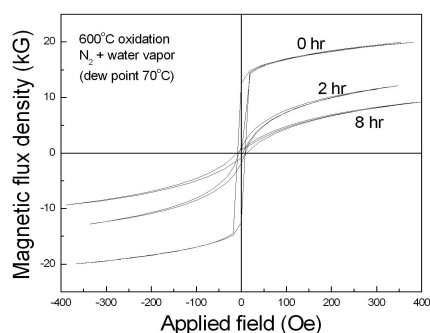


Fig. 1. B-H loops of Fe cores.

Table 1 Properties of various Fe cores

	OX	FE +K	FE+A+K	OX+K	OX+A+K
Density	6.62	7.52	7.32	6.51	6.43
Permeability	32	7	8	28	25
Core loss	7286	65150	42615	5924	5929

OX : oxidized powder, FE: pure Fe powder, A: insulating agent, K: lubricant, density(g/cm<sup>3</sup>), coreloss(mW/cm<sup>3</sup>)

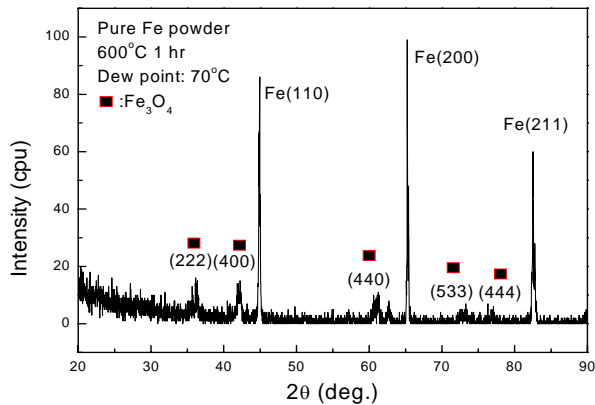


Fig. 2. XRD patterns of oxidized Fe powders.

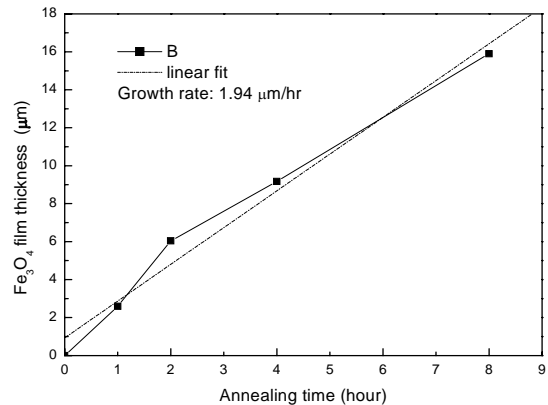


Fig.3 Growth rate of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> film on low carbon steel.

## 2. 실험방법

직경 180 μm 이하의 순철분말을 이슬점이 70°C 인 수증기와 질소의 혼합기체를 600°C 에서 열처리하여 산화시켰다. 산화Fe분말 또는 순철분말을 윤활제 또는 윤활제/절연체를 넣고 혼합, 성형을 한 뒤 잔류응력을 줄이기 위해 700°C,  $5 \times 10^{-5}$  torr의 진공에서 열처리하였다. 열처리한 코아의 교류손실은 100 kHz, 0.1 T의 조건에서 Iwatsu SY-8232로 측정하였으며, 직류이력곡선을 측정하여 직류이력손실을 측정한 후 충손실에서 직류이력손실을 빼와 전류손실을 측정하였다. 구조특성은 XRD로 측정하였다. 생성된 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>의 두께는 저탄소강을 같은 조건으로 열처리할 때 시간에 따라 두께가 일정하게 증가한다고 가정하고 시간에 따른 질량의 증가를 측정하여 구했다.

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 분말열처리시간에 따른 코아의 직류이력곡선을 나타낸 것으로 열처리 시간이 증가함에 따라 곡선의 기울기가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이것은 열처리를 할 때 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>의 경자성상이 생성되어 반자장이 증가하였기 때문에 경자성상의 상대투자율은 공기와 비슷한 1이다. 열처리가 끝난 분말도 검은색을 띠고 있어 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>가 생성되었음을 짐작할 수 있었으며 Fig. 2에서의 XRD실험에서도 확인할 수 있었고, 격자상수는 0.8758 nm로 JCPDS의 0.8394 nm보다 작았다. 격자상수가 이렇게 큰 차이가 나는 이유는 정확히 알 수 없지만 Fe층과 긴밀하게 접촉되어 있어 잔류응력 때문에 생기는 것으로 생각되나 정확한 분석이 필요하다.

열처리시간에 따른 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 경자성막의 두께를 알기 위해 저탄소강에 대해 시간에 따른 두께변화를 나타낸 것이 Fig. 3으로 거의 직선적인 성장을 하고 또 시간 당 약 1.94 μm로 생성되고 있음을 알 수 있다. Table 1은 8시간 산화시킨 산화 Fe 분말과 순철분말로 만들어진 코아의 충손실을 나타낸 것이다. 순철분말과 일반적인 절연체/윤활제를 혼합하여 만든 코아의 손실은 42,615 mW/cc로 산화분말의 손실보다 훨씬 크다. 이러한 결과는 산화층의 두께가 10 μm 이상으로 매우 두껍기 때문에 이보다 얇은 두께를 가진 분말로 만든 코아에 관한 실험은 현재 진행 중이다.

## 6. 참고문헌

- [1] Pyungwoo Jang and Bonghan Lee, to be published in IEEE TRAN. MAGN., VOL. 45, NO. 6, JUNE 2009.