

코팅제 및 코팅 함량에 따른 철 분말 성형체의 특성

민복기, 김인성, 김종령*, 최성조**
 한국전기연구원, 매트론(주)*, 동부정밀화학**

Properties of compacted iron powder core coated with organic materials

Bok-Ki Min, In-Sung Kim, Jong-Ryung Kim* and Sung-Jo Choi**
 Korea Electrotechnology Research Institute, Mattron Co.*, Dongbu Fine Chemicals**

Abstract : Soft magnetic iron powders have been coated with polyester or phenol resin. And the coated powder (soft magnetic composite) have been pressed into ring type core over the pressure of 870 MPa. Green density, magnetic flux density, permeability, core loss of the samples were measured to look at the effect of the coating materials and the amount of them. Green density is increased with the amount of coating materials and shows the maximum value, 6.5 g/cm³ at 5 w/o, but decreased over it. And lowest value of the core loss is showed for the 5 w/o coated samples.

Key Words : iron powder, coating, soft magnetic composite, motor core, core loss, powder metallurgy, compaction

1. 서 론

전통적으로 전동기의 자성코어소재로는 전기 강판이 주로 사용되어왔다. 전기강판은 자기적 특성이 우수하고, 얇은 강판이 지속적으로 개발되어 철심손실이 적다는 장점을 가지고 있다. 그러나 코어로 사용하기 위해서는 얇은 판을 수십 장 혹은 수백 장씩 같은 모양으로 편칭 금형을 이용하여 따낸 후 적층하여야 하며, 또한 소재 형상의 특성상 두께 방향으로의 자기에너지의 전달 효율이 현저히 떨어지므로 전동기 설계에 많은 제약이 따른다는 단점을 가지고 있었다. 이러한 단점은 자기적 특성이 우수한 분말을 이용하여 분말성형 방법을 적용함으로써 해결될 수 있을 것이다[1,2]. 즉, 분말성형기술에 의해 복잡한 형상의 코어도 정밀한 치수로 간단하게 찍어낼 수 있으며, 더불어 자기특성의 측면에서는 3차원적으로 등방적인 특성을 보이기 때문이다. 그러나 전동기 코어에 요구되는 자기적 특성을 만족하면서 동시에 기계적 강도도 갖춘 복잡한 형상의 코어를 분말야금 방법으로 성형하기 위해서는 절연재, 결합재, 윤활제 등이 적절히 조합이 되어야만 가능하다. 즉, 코어의 교류손실의 최소화, 자속밀도 및 투자율의 최대화, 적절한 강도 유지 및 성형성 확보 등의 상충되는 요구 특성들에 맞는 자성분말과 첨가제의 복합화 기술이 요구된다. 본 연구에서는 페놀수지와 폴리에스테르 수지를 철 분말과 적절한 방법으로 복합화하고 그들의 특성을 분석하였다. 각각의 첨가제에 대하여 성형체의 성형밀도, 투자율 및 손실 등의 특성을 측정하였다.

는 ball-mill법을 이용한 것으로, 폴리에스테르 액상수지 및 Fe 원료를 순철 ball과 함께 일정시간 혼합시켜 코팅하였다. 혼합 초기에는 폴리에스테르 수지가 Fe 원료와 뭉쳐 클러스터가 형성되지만 일정한 시간이 경과하게 되면 입자의 표면에 균일하게 분산되어 과립을 형성한 것과 같은 우수한 유동성을 가지는 입자가 형성된다. 첨가되는 폴리에스테르 수지의 함량을 0~7 wt%의 범위 내에서 변화시켰다.

이와 같은 폴리에스테르 수지를 이용한 절연층 형성방법과 이렇게 제조된 복합재의 성형에 대한 간단한 공정을 그림 1에 도식화하여 나타내었다.

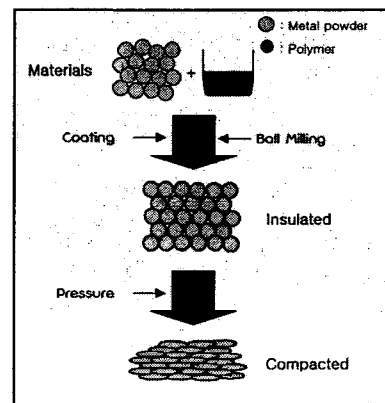


그림 1. 폴리에스테르 액상수지의 코팅과 성형 공정도

2. 실험

2.1 절연층 코팅

(1) 폴리에스테르 수지 코팅

Fe 원료에 폴리에스테르 수지를 코팅시키기 위한 방법으로는 일반적으로 세라믹이나 금속분말의 혼합에 이용되

(2) 페놀 수지 코팅

페놀수지의 Fe 원료 표면의 코팅은 폴리에스테르 첨가 조건과 서로 상이한 공정으로 특성변화를 관찰하고자 고상의 페놀수지 분말을 직접 사용하였다. 즉, 페놀수지 분말을 Fe 원료와 일정한 비율로 섞고, ball mill을 통해 Fe입자 사이에 균일하게 분포시킨 다음 이를 150~200 °C 의 온도까지 가열한 조건에서 가압성형 하였다. 이러한

공정을 그림 2에 도식화하여 나타내었다.

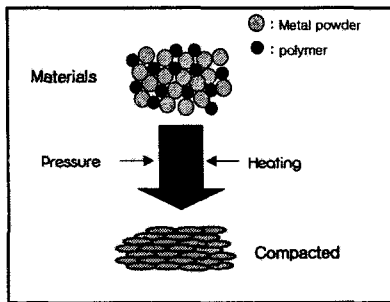


그림 2. 페놀수지의 코팅과 동시 충진의 공정도

2.2 시편 제조

본 연구에서 제조된 시편은 위에서 설명된 바와 같이 코팅제로서 폴리에스테르 수지와 페놀수지를 사용하였다. 각각의 첨가량 등의 제조조건을 표 1에 종합적으로 나타내었다.

시편은 20mm의 외경과 16mm의 내경을 가지고 2mm의 두께를 가지도록 동일한 조건에서 링 형태로 제조하였다. 폴리에스테르 수지가 첨가된 시편은 870 MPa의 성형압력에서 10초간 유지하였고, 페놀수지가 첨가된 시편은 동일한 성형압력과 동시에 200 °C까지 가열하여 페놀수지의 균일한 분포와 경화가 이루어지도록 하였다.

표 1. 시편의 제조조건과 시편명

변수	첨가제 종류	첨가량 및 압도
- 첨가제 조건 - 압도: 53 μm	폴리에스테르 수지	0 wt%
		1 wt%
		3 wt%
		5 wt%
		7 wt%
	페놀수지	0 wt%
		1 wt%
		3 wt%
		5 wt%
		7 wt%

3. 결과 및 검토

3.1 폴리에스테르 수지 코팅 특성

폴리에스테르 액상수지의 첨가에 따른 성형밀도 변화를 그림 3에 나타내었다. 그림에서 보이는 바와 같이 폴리에스테르 수지의 첨가량이 증가할수록 성형밀도는 증가하여 첨가량 5 wt%일 때 약 6.56 g/cm로 최대값을 나타내었고, 함량이 더 많은 경우 다시 감소하는 경향이 나타났다. 첨가량이 5 wt%까지 첨가량이 증가할수록 성형밀도가 증가하는 것은 폴리에스테르의 양이 증가함에 따라 Fe 표면에 코팅되는 비율이 증가하여 압력인가시 금속표면보다 고분자로 형성된 입자표면의 미끄러짐이 우수하여 충전 특성이 증가하고, 입자와 입자 사이에 발생하는 미세공극을 채우기 때문인 것으로 판단된다. 반면, 7 wt%의 첨가

조건에서 밀도가 다시 감소하는 것은, 입자 미끄러짐에 의한 충전 특성은 우수하나 금속입자표면을 모두 피복시킨 뒤 여분의 고분자가 생길 경우, 같은 부피 내에서 금속입자에 대한 고분자가 차지하는 비율이 증가하게 되므로 상대적으로 밀도는 감소하게 된 것으로 보인다.

따라서 5 wt%의 폴리에스테르 수지 첨가시 Fe 입자의 표면을 가장 균일하고 완전하게 피복시키고 충전 특성을 가장 크게 향상시키는 것으로 분석된다.

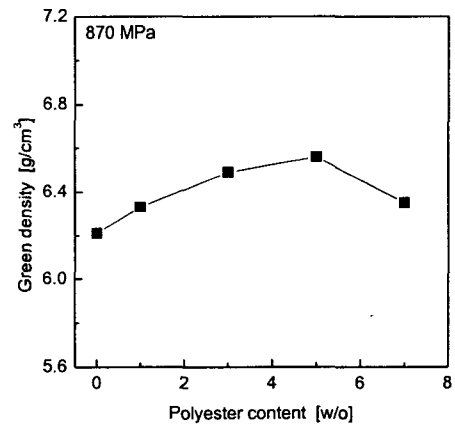


그림 3. 폴리에스테르 수지 함량에 따른 성형밀도 변화.

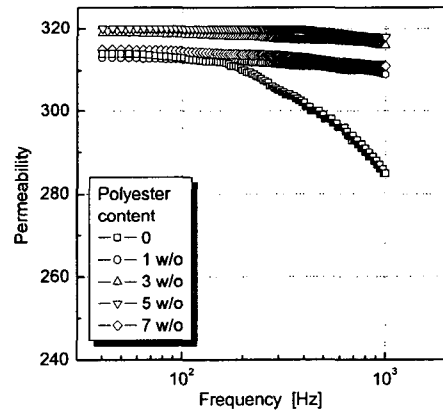


그림 4. 폴리에스테르 수지 함량에 따른 투자율 변화.

그림 4는 폴리에스테르 수지의 함량에 따른 투자율의 변화를 나타낸 것으로서, 순수 Fe에서 첨가량이 증가할수록 투자율은 증가하여 5 w/o 시편에서 약 320으로 최대값을 나타내었고, 7 w/o일 때 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 그림 3의 밀도 변화와 같은 경향으로, 고온 소성공정이 없는 분말코어의 경우 투자율의 특성 변화는 성형밀도 변화에 의존함을 알 수 있다. 또한 순수 Fe에 비해 향상된 주파수 특성은 고분자의 입계형성을 통한 밀도의 증가에 의한 결과로 유추된다. 한편 순수 Fe의 경우 폴리에스테르 수지의 첨가량이 1 w/o인 시편보다 투자율이 높지만 주파수가 증가함에 따라 투자율이 급격히 감소하는 결과를 나타내었다.

그림 5는 폴리에스테르 수지의 함량에 따른 포화자속 밀도(Bm)의 변화를 나타낸 것으로서, 5 w/o 시편에서 약 1.5 T로 가장 높은 포화자속밀도를 나타내었고, 1 w/o 및 7 w/o 등의 나머지 시편은 약 1.3 ~ 1.4 T로 유사한 값을 나타내었다. 폴리에스테르 수지 첨가에 따른 밀도와 투자율의 변화 특성과 비교 분석하기에는 변화량의 차이를 파악하기 힘들 정도로 겹쳐져 있는 것으로 보이지만 실제적으로 각 인가자장에 대한 자속밀도의 절대치는 밀도 변화의 양상과 일치하는 결과를 나타내었다.

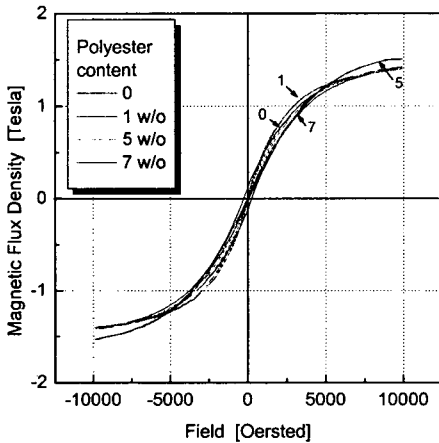


그림 5. 폴리에스테르 수지 함량에 따른 자기이력곡선.

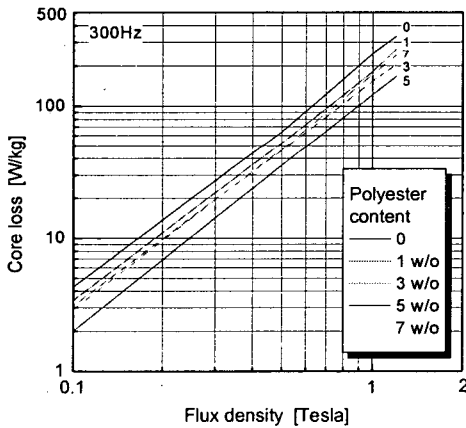


그림 6. 폴리에스테르 수지 함량에 따른 코어 손실.

그림 6은 폴리에스테르 수지의 함량에 따른 코어손실을 인가 자장에 대하여 나타낸 것으로서, 인가자장에 대하여 선형적으로 증가하였고, 0~5 w/o까지 폴리에스테르 함량이 증가함에 따라 코어손실은 감소하였고, 7 w/o 시편에서는 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 이렇게 첨가제의 양이 증가함에 따라 손실이 감소하는 것은 입자표면이나 입자 사이에 절연층을 형성함으로써 코어손실이 감소한 것이며, 7 w/o의 경우는 과잉의 고분자가 오히려 자속형성에 방해요인으로 작용함으로써 손실 증가의 원인이 된 것으로 보인다[3]. 그리고 최저값을 나타내는 5 w/o 시

편의 코어손실 절대값은 300 Hz, 0.5 T에서 36W/kg, 1.0 T에서 122 W/kg으로 나타나 순수 Fe의 손실을 30% 이상 감소시킨 것으로 나타났다.

3.2 페놀수지 코팅 특성

그림 7은 페놀수지의 첨가에 따른 성형밀도 변화를 나타낸 것이다. 폴리에스테르 수지의 첨가에 따른 성형밀도의 변화와 유사한 패턴으로 페놀수지의 첨가량이 증가할수록 성형밀도는 증가하여 함량 5 w/o인 시편에서 약 6.5 g/cm³로 최대값을 나타내었고, 그 이후 다시 감소하였다. 첨가량이 증가할수록 Fe 표면에 코팅되는 비율의 증가로 압축시 고분자로 형성된 입자표면의 미끄러짐이 우수하여 충전 특성이 증가하고, 입자와 입자 사이에 발생하는 미세공극을 채움으로써 페놀수지의 양이 증가함에 따라 성형밀도가 증가하는 것으로 판단된다. 하지만 첨가량에 따른 밀도의 상승 값은 최대 0.3 정도로 낮아 입자 미끄러짐에 의한 충전 특성은 우수하나 페놀수지의 경우 분말형태로 첨가되어 가열되면서 연화와 경화가 이루어지기 때문에 균일한 분산이 이루어져 있지 않을 경우 국부적으로 표면 코팅이 이루어지지 못하고 미세공극이 존재하고 있을 것으로 예상된다.

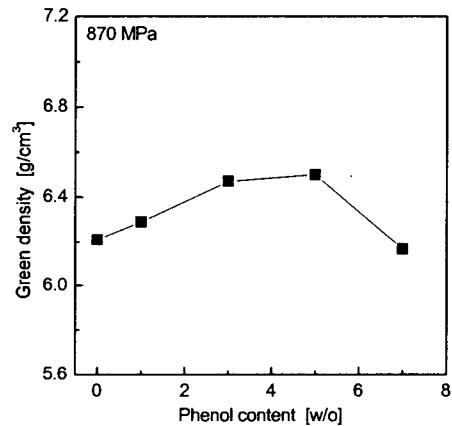


그림 7. 페놀 수지 함량에 따른 성형밀도.

따라서 페놀수지 첨가시 Fe 입자의 표면을 가장 균일하고 완전하게 피복시키고 충전 특성을 가장 크게 향상시키기 위해서는 최초 출발원료와 페놀수지 분말의 완전한 혼합이 요구되며, 그렇지 못할 경우 부분적인 밀도증가는 나타내지만 자기적 특성은 유사하거나 오히려 특성의 불안정을 가져올 수 있을 것이다.

그림 8은 페놀수지의 첨가에 따른 투자율의 변화를 나타낸 것으로서, 폴리에스테르 수지가 첨가된 시편의 결과와 유사한 첨가량에 따른 투자율의 변화 경향을 나타내어 5 w/o 시편에서 최대 300의 값을 나타내고 있다.

고상의 페놀수지 분말을 첨가제로 이용할 경우, 저항층의 형성을 통한 투자율의 증대를 이룰 수는 있지만, 불균일한 첨가가 오히려 악영향을 미칠 수 있으므로 주의해야

할 것으로 판단된다.

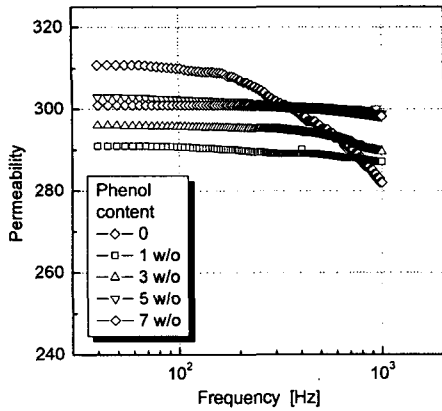


그림 8. 페놀 수지 함량에 따른 투자율.

그림 9는 페놀수지의 첨가량에 따른 자기이력곡선을 보이고 있는 것으로, 포화자속밀도는 전체적으로 1.4 T 내에서 소량 변화하여 페놀수지의 입자표면에서 미치는 영향으로 분석해내기 힘들었지만, 페놀수지의 첨가량에 따른 밀도변화와 Fe의 이론적 포화자속밀도와 성형밀도의 굽은 오차범위 내에서 일치하는 것으로 계산되었다[4].

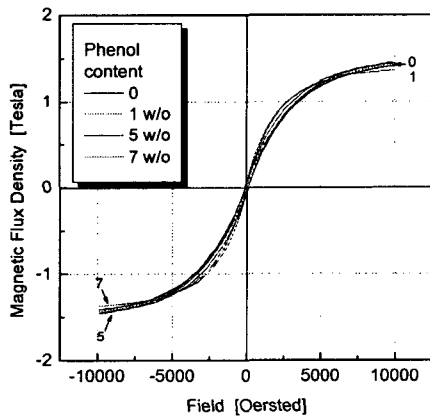


그림 9. 페놀 수지 함량에 따른 자기이력곡선.

그림 10은 페놀수지의 첨가량에 따른 코어손실의 변화를 나타낸 것으로, 페놀수지의 첨가량이 증가할수록 코어손실은 감소하였고, 7 w/o의 경우 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 밀도변화와 동일한 변화를 나타내는 것으로서 고분자의 첨가량이 증가할수록 입자표면과 입자 사이에 분포하는 고분자량이 많아져 코어손실은 감소하게 되는 것이다. 최소의 손실을 나타내는 5 w/o 시편의 코어손실 절대값은 300 Hz, 0.5 T에서 133 W/kg, 1.0 T에서 약 190 W/kg을 나타내어 순수 Fe의 코어손실을 상당히 감소시킨 것으로 나타났다. 하지만 폴리에스테르 수지가 첨가된 시편의 코어손실보다는 다소 높은 값을 나타낸다. 이것은 페놀수지의 고상분말보다 폴리에스테르 액상 수지분

말의 피복특성이 더 우수함을 나타내는 것이다.

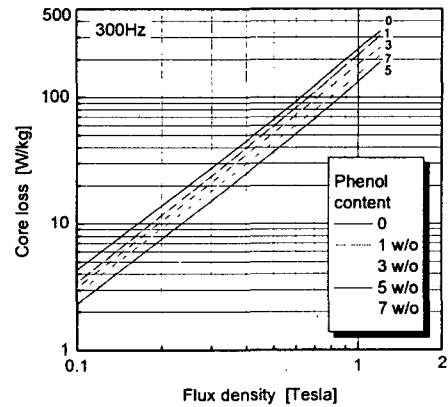


그림 10. 페놀 수지 함량에 따른 코어손실.

4. 결론

Fe 본래의 자기특성을 가능한 한 유지하면서 각종 형상의 자성 코어에 적용할 목적으로 폴리에스테르 및 페놀수지 등의 고분자 전기 절연층을 형성시킨 분말 복합재를 제조하고, 이를 성형하여 특성 측정을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 순수 Fe 금속 원료에 폴리에스테르와 페놀수지를 이용하여 분말의 표면에 절연층을 형성시킬 수 있었고, 고분자의 첨가에 의해 성형밀도를 증가시킬 수 있었다.
- (2) 고상분말을 이용하는 페놀수지보다 폴리에스테르 액상수지를 이용하는 것이 밀도, 투자율, 자속밀도 및 코어손실 등의 모든 면에서 우수하였고, 53 μ m의 입도에서 첨가량은 5 wt%가 가장 적절한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 산자부 산하 에너지관리공단의 연구비 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] M. Persson, P. Jansson, A.G. Jack, B.C. Mecrow, "Soft Magnetic composites offer new PM opportunities", Petal Powder Report, p. 24, January 1996.
- [2] M. Persson, P. Jansson, A.G. Jack, B.C. Mecrow, "Soft Magnetic composite materials - use for electrical machines", 7th Internat'l Conf. on Electrical Machines and Drives, Durham, England, September 1995.
- [3] C. Ishihara, K. Asaka, R. Uro, "Studies on Decreasing Methods of Iron Losses of Powder Cores", J. of Jpn. Soc. of Powder and Powder Metallurgy, Vol. 49, p. 14, 2002.
- [4] C. Ishihara, R. Uro, K. Asaka, "Powder cores of high flux density at high frequency", Proc. 2000 Powder Metallurgy World Congress, Part 2, p. 1348, 2000