

Fe-Al 합금분말 코아에서 Si 함량이 미치는 자기적 특성의 관한 연구

김영민^{1*}, 김구현¹, 김달중¹, 최광보¹, 정인범¹

¹(주)창성 중앙연구소

1. 서론

기후변화 위기로 인한 정부의 녹색성장정책과 국제정세에 따른 유가 상승이 대두되면서 하이브리드 자동차와 태양전지의 전원조절장치(Power Conditioning System)의 수요와 필요성이 급증하며, 또한 고성능화가 동시에 요구되고 있다. 이런 에너지 관련 기기에 사용되는 인덕터 또는 리액터는 대전류에서도 높은 투자율이 확보되고, 낮은 코아손실값을 가지며, 성형성이 우수하여 대형화가 가능한 소재이어야 한다. 이와 같은 특성을 만족시키는 소재로는 분말로 제조된 연자성 코아가 있으며, 현재 연자성 코아 재료 중 가장 널리 사용되어지고 있는 것으로는 순철, Fe-Si, Permalloy, Sendust 등이 있다.

연자성 코아 재료 가운데, 철계 합금은 주성분의 풍부한 매장량으로 가격이 저렴하다. 특히, Fe-Si 합금은 낮은 자기 이방성과 자기 변형으로 높은 투자율 확보가 가능하며, 높은 비저항으로 인해 코아손실값이 낮아 자기소자 응용에 높은 활용 잠재력을 가진다. 그러나 Fe-Si 합금분말 코아에서 Si 함량이 5 wt.% 이상이 되면 가공성이 악화되어 소성변형이 어려워지고[1], 성형밀도가 감소하여 자기적 특성이 저하된다. Fe-Al 합금분말 코아는 Al 함량을 16 wt.% 정도까지 첨가하더라도 성형성이 확보가 되며, Al 첨가량은 비례적으로 비저항을 증가시켜 낮은 코아손실값을 가지는 Fe-Al 합금분말 코아를 제조할 수 있다. 이에, 본 연구에서는 Al 함량 변화에 따른 Fe-Al 합금분말 코아의 자기적 특성과 성형성에 미치는 영향에 대해 조사하였다.

2. 실험방법

3N5의 전해철과 Ferro Al을 사용하여 가스 분무법으로 Fe-3~16 wt.% Al 합금분말을 제조하였고, 사별체를 이용하여 106 μm 이하의 분말로 분급하였다. 분말 내부응력을 제거하기 위해, 관상로를 이용하여 질소분위기에서 900 $^{\circ}\text{C}$ 로 2 시간 동안 열처리를 실시하였다. 열처리가 끝난 분말은 분말간의 절연층을 형성시키고자 카울린, 탈크 등을 사용하여 분말 절연을 하였고, 절연된 분말은 기계식 프레스를 이용하여 1.57 GPa의 고압으로 토로이달 형상(OD : 26.9 mm, ID : 14.7 mm, HT : 11.1 mm)으로 성형하였다. 성형된 코아는 응력 제거를 위해, 질소 분위기에서 800 $^{\circ}\text{C}$ 로 1 시간동안 열처리를 실시하였다.

실효투자율은 Impedance Analyzer (HP4294A)를 사용하여 100 kHz에서 측정하였고, 코아손실값은 AC loop tracer(Iwatsu SY-8232)를 사용하여 0.1 T/ 50 kHz의 조건에서 측정하였다. 그리고, 직류중첩 특성은 LCR meter(HP4284A)를 가지고 100 kHz 주파수에서 측정되었다.

3. 실험결과

분말 코아는 압축성형법으로 제조하는 제품으로 주조법으로 제조되는 제품과는 달리, 성형밀도에 자성특성이 매우 민감하다. 이에, 분말 코아 제조시, 가압되는 압력에는 한계가 있으므로, 연성이 높은 재료가 성형밀도 향상에 유리한 것이 사실이다. 그림 1은 Fe-Al 합금분말 코아에서 Al 함량별로 분말의 경도값과 성형밀도를 나타낸 것으로, Al 함량이 증가할수록 경도값은 높아지고 성형밀도는 반대로 낮아진다. 동일량의 Si과 Al을 첨가할 경우, 성형밀도는 유사하였고, 경도값은 Fe-Al 합금분말이 Fe-6.5 wt.%Si 합금분말보다 훨씬 낮은 것을 나타낸다. 그림 2는 Al 함량 변화에 따른 코아손실값을 나타낸 것으로, Al을 첨가할수록 비저항은 비례적으로

증가하게 되어, Fe-16 wt.%Al 합금에서는 $140 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ (Quenched from $700 \text{ }^\circ\text{C}$)까지 높아진다[2]. 비저항이 높을 수록, 코아손실값에서 와전류 손실값은 감소하여 전반적인 코아손실값은 감소하게 된다. Fe-Al 합금분말 코아에서 13 wt.%Al이 첨가된 조성에서 코아손실값이 가장 낮은 363 mW/cc 값을 나타내었고, 일반적인 Fe-6.5 wt.%Si 합금분말 코아의 코아손실값이 약 600 mW/cc 내외를 가진다고 보았을 때, Fe-13 wt.%Al 합금분말 코아는 약 40 % 가량 낮은 코아손실값을 기록하게 된 것이다.

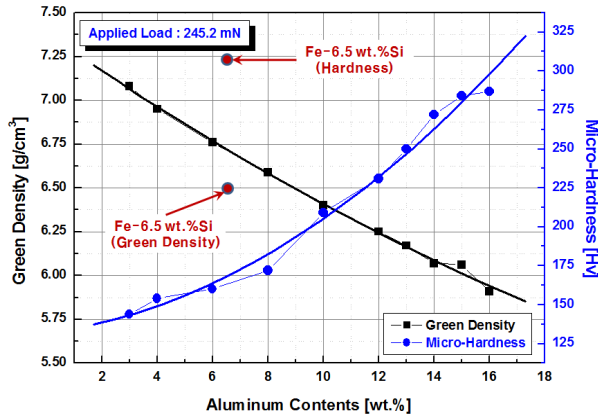


Fig. 1. Green Density and Hardness of Fe-Al alloy powder as a function of aluminum contents

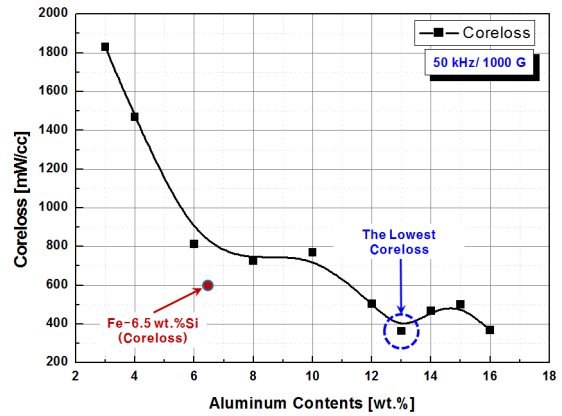


Fig. 2. Electric Resistance and Coreloss of Fe-Al alloy powder as a function of aluminum contents

4. 고찰

기존의 Fe-6.5 wt.%Si 합금분말은 높은 강성으로 인해 낮은 성형성과 높은 코아손실값을 나타내었다. Fe-13 wt.%Al 합금분말은 기존 Fe-6.5 wt.%Si 합금보다 높은 Al 첨가량에도 불구하고, 연성이 우수하여 성형성이 개선되었고, 코아손실값 또한 크게 낮출 수 있었다. 이러한 Fe-13 wt.%Al 합금분말은 기존 Fe-6.5 wt.%Si 합금분말과는 다른 독특한 자기적 특성을 나타내며, 이는 Fe-6.5 wt.%Si 합금분말이 가지는 한계를 극복하기 위한 새로운 시도라는 점에서 그 의미가 있다.

5. 결론

Fe-Si 합금에서 Si 함량이 5 wt.% 이상이 되면 분말의 높은 강성으로 인해 성형성이 낮아지고, Si 함량이 낮아질수록 비저항이 낮아져 코아손실값이 높아진다. 우리는 Si와 유사한 특성을 나타내는 Al을 기존 Si 첨가량보다 많은 Fe-13 wt.%Al 합금분말을 제조하였고, 이 Fe-13 wt.%Al 합금분말은 Fe-6.5 wt.%Si 합금분말보다 연성이 우수하고, 낮은 코아손실값을 나타내었다.

6. 참고문헌

- [1] Bozorth, Ferromagnetism, (1951), 76-77.
- [2] Bozorth, Ferromagnetism, (1951), 214-215.