U-1

$Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$ 나노결정구조 합금 분말코아의 절연체에 따른 자기적 특성

(The Magnetic Properties of Nanocrystalline $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$ Alloy Powder Cores with Different Insulators)

안동대학교 신소재공학부 최혁열*, 노태환

1. 서 론

현재 널리 이용되고 있는 압분코아 재료로는 철, Ni-Fe계 퍼멀로이, Fe-Si-Al계 센더스트 분말 등이 있으며, 이러한 재료를 이용한 연자성 분말코아는 자심손실이 적고, 넓은 주파수 범위에서 일정한 투자율을 가지며 직류바이어스 자장 인가 시에도 높은 자기적 안정성을 유지한다. 그런데 최근 종래의 재료보다 우수한 연자성 특성을 지닌 Fe계 나노결정 합금이 보고되면서 이를 사용해 분말코아를 제조하고자 하는 연구가 이루어지고 있다[1]. 저자는 지금까지 Fe계 나노결정 합금을 이용해 조성, 분말제조 방법, 열처리 온도 등에 따른 손실 특성, 직류 중첩 특성 등 여러 자기적 특성의 변화거동을 연구한 바 있다[2, 3]. 하지만 아직도 기존 분말코아의 특성을 능가하지 못하는 수준에 머물고 있는 바 이를 개선하기 위해 다른 제반 공정 기술의 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

분말코아의 자기적 특성은 자성분말 뿐만 아니라 자성분말간의 전기적 절연성을 부여하는 절연체의 종류, 특성 등에도 크게 의존하는 것으로 생각된다. 이에 본 연구에서는 Fe계 나노결정립 분말($Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$합금)을 다양한 세라믹 및 고분자 절연물질(Talc, GF, Polyamide)들과 혼합해서 압축 성형한 후 그에 따른 자기적 특성을 검토해 보았다.

2. 실험 방법

나노결정립 자성합금을 얻기 위해 먼저 두께 약 20 ㎛의 비정질합금 리본을 석영관에 넣고 무유도 권선로를 사용해 550 ℃에서 1시간 동안 진공열처리 하였다. 그 후 열처리된 리본은 볼밀(Fritsch Pulverisette 6)를 이용해 150 rpm에서 10분간 밀링(Ar 분위기)하였으며, 분쇄가 완료된 분말은 체(sieve)를 사용하여 입도별로 분급하였다. 분급된 분말 중 250-850㎛ 크기의 분말에 소정의 절연체를 각각 3wt% 혼합한 뒤, 15 ton/㎠의 압력으로 냉간성형하여 외경 12.6 mm, 내경 7.2 mm의 토로이드형 코아를 제작하였다. 이후 코아는 냉간성형과 밀링 시 가해진 응력제거를 위해 다시 한번 400 ℃로 1시간 동안 질소분위기에서 열처리 되었다.

분말 코아의 자기적 특성으로는 실효투자율과 품질계수, 자심손실 및 직류 바이어스 특성 등을 LCR meter와 B-H analyzer를 사용하여 측정하였으며, 주사전자 현미경(SEM)을 이용해 절연상태와 코아의 미세조직을 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1과 2는 절연체 종류에 따른 실효투자율과 자심손실의 변화를 나타내고 있는데, 절연물질에 따라 그 값이 상당히 달라짐을 보여주고 있다. Talc($3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$)로 절연해 만든 분말코아의 경우 실효투자율이 약 120 정도이며 400kHz까지 비교적 일정하게 유지되었으나 Polyamide의 경우는 실효투자율이 약 95 정도로 비교적 낮은 반면 그 크기가 수 MHz까지 유지됨을 볼 수 있었다. 자심손실은 투자율의 경우와 반대로 Polyamide로 절연한 코아가 대체로 낮은 값을 보였으며 50 kHz-0.1 T의 조건에서 약 276 mW/cc 의 낮은 값을 나타내었다.

한편 이와 병행해서 SEM을 이용하여 자성분말간 절연상태와 그 분말코아의 성형상태를 관찰하였다(그림3). Talc와 GF(glass frit: $SiO_2 \cdot B_2O_3 \cdot PbO$)를 혼합한 분말 코아의 경우 입자들이 고밀도로 배열되어 있지만 절연층의 형성은 잘 관찰되지 않았다. 반면 Polyamide를 첨가한 분말코아는 절연층이 잘 형성되기는 했으나 곳곳에 다소의 빈 공간이 내부에 발생되어 있는 모습을 보였다. Polyamide는 낮은 융점을 가지면서 젖음성이 좋아 어닐링 시 자성분말 사이에서 절연층이 잘 형성되나 후열처

리 시 용출에 의해 기공을 형성하는 것으로 보여지며, 이로 인해 절연성과 내부 반자장의 증대가 얻어져 투자율이 낮아지면서 코아 손실이 저감된 것으로 생각된다. 한편 Talc 등 세라믹 물질을 절연체로 사용한 것은 자성물질의 고밀도 분포에 따라 투자율은 크나 Polyamide에 비해 불완전한 절연상태가 얻어져 상대적으로 코아손실이 큰 것으로 믿어진다.

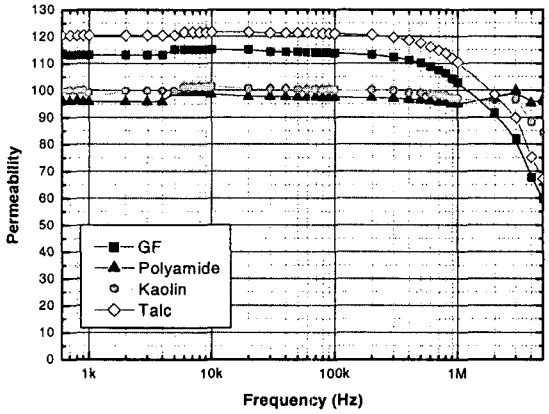

Fig 1. Frequency dependence of effective permeability for nanocrystalline alloy powder cores with different insulators.

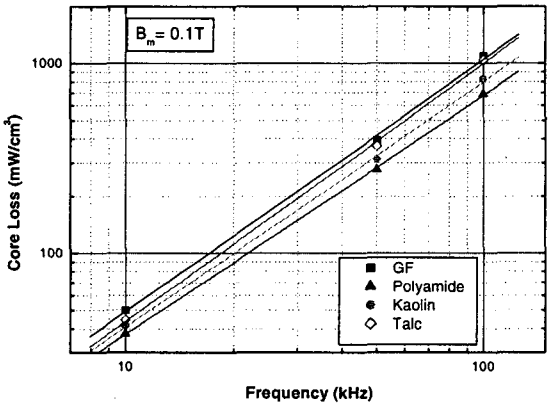

Fig 2. Frequency dependence of core loss for nanocrystalline alloy powder cores with different insulators(B_m=0.1T)

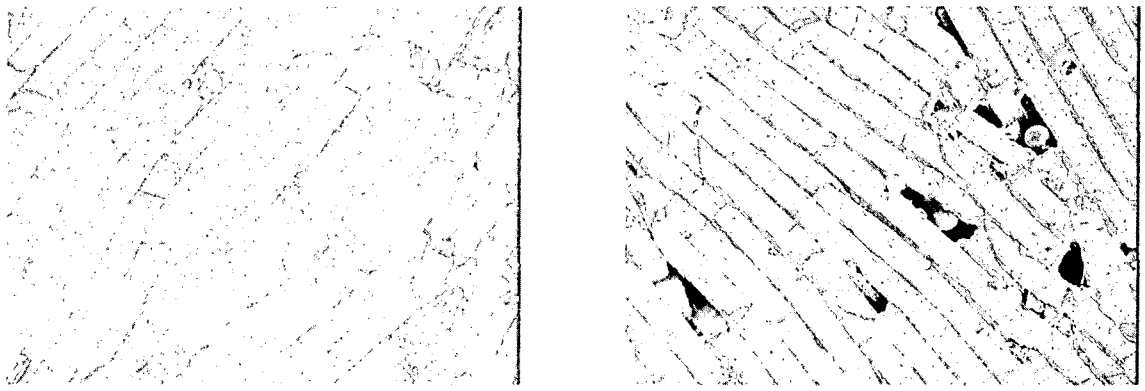

Fig 3. SEM micrographs of nanocrystalline alloy powder cores with Talc(left side, x300) and with Polyamide(right side, x300)

4. 참고문헌

[1] G. H. Kim, T. H. Noh, G. B. Choi, K. Y. Kim, J. Appl. Phys., 93(10), 7211(2003)
[2] 노태환. 최혁열, 안상재, 한국자기학회지, vol. 14, No.1 (2004), pp. 7-12
[3] H. Y. Choi, S. J. Ahn, T. H. Noh, Phys., Stat,. Sol., (2004), in press