

Fe_{73.5}Cu₁Nb₃Si_{15.5}B₇ 나노 결정립 합금 분말 코아의 자기적 특성

노태환* · 최혁열 · 안상재

안동대학교 공과대학 신소재공학부, 경북 안동시 송천동 388, 760-749

(2003년 10월 13일 받음, 2003년 11월 30일 최종수정본 받음)

Fe_{73.5}Cu₁Nb₃Si_{15.5}B₇ 비정질 리본 합금을 490~610 °C의 온도 범위에서 열처리하고 이를 불 밀링 하여 얻은 250~850 μm 크기의 자성분말과 5 wt%의 세라믹 절연체로 구성된 분말 코아의 자기적 특성에 열처리 온도가 미치는 영향을 조사하였다. 550 °C에서 1 h 동안 열처리하여 직경 11 nm의 α-Fe 상 나노 결정립 구조로 되었을 때(전기비저항은 110 μΩ·cm) 가장 높은 실효투자율 및 품질계수를 나타내었으며 그 값은 각각 125와 53이었고, 실효투자율의 경우 약 500 kHz에 이르기까지 일정한 크기를 유지하였다. 그리고 이 열처리 조건에서 230 mW/cm³(f=50 kHz, B_m=0.1 T)의 대단히 낮은 자심손실을 나타내었다. 그러나 이 합금의 분말 코아는 종래의 분말 코아 재료(MPP, 센더스트 등)에 비해 그리 우수하지 못한 직류 바이어스 특성 특히 저 자장 하에서의 낮은 퍼센트 투자율을 나타내었는데, 이는 종래의 소재와 유사한 투자율을 얻는데 너무 큰 입도의 분말이 필요한 것에 그 원인이 있는 것으로 이해되었다.

주제어 : 나노 결정립 합금, 불밀링, 분말 코아, 직류 바이어스 특성

I. 서 론

분말 코아(또는 압분 자심)란 일반적으로 연자성 자심재료를 분말화하고 전기절연체로 표면을 코팅한 다음 압축 성형한 것을 가리킨다. 특징으로는, 반자장이 큰 분말의 집합체로 되어 있어 자화곡선의 선형성이 좋으며, 외부 바이어스 자장이 넓은 범위에서 변하여도 투자율의 일정성이 얻어지고, 공극의 3차원적인 분산이 이루어져 있음에 따라 통상 갭형 자기 코아에서 나타나는 누설자속이 존재하지 않는다. 또 코아 소재가 미세한 분말이므로 고주파 영역에서 상대적으로 와전류 손실이 적다.

분말 코아는 역사적으로 전화통신선에 인덕턴스를 보충해 줌으로써 신호주파수의 변화를 방지하는 통신용 장하코일로써 개발되어 왔으나, 최근에는 반도체 소자의 발전과 함께 전자자기의 소형화 고성능화를 실현시키는데 필수적인 고기능성 자심으로서의 역할이 중요해지고 있다. 그 예로서는 스위칭 전원의 노이즈 필터, 평활용 초크 코일, 인버터 방식의 가전제품에 있는 PFC(power factor correction) 회로부의 리액터 등을 들 수 있다[1].

이러한 용도로 사용되는 분말 코아의 소재에 요구되는 특성으로는, 일반적인 연자성 재료에 필요한 고 투자율(직류 및 교류 투자율) 및 저 보자력 외에 고주파 손실 특히 와전류 손실이 낮고, 포화자속밀도가 커 임의의 직류 바이어스 자장에 대한 불포화 영역의 크기가 크고(즉 쉽게 포화되지 않고) 인가 동작신호 자장에 대한 증분투자율이 커야 한다는 것 등

이 중요하다.

현재 분말 코아 재료로서 많이 사용되는 것에는 철(특히 카보닐 철분), Ni-Fe계 퍼멀로이 합금 그리고 Fe-Si-Al계 센더스트 합금 등이 있다. 이들 재료는 각각 다른 자기적 특성 및 특징을 가지고 있는 바, 카보닐 철분은 투자율이 낮고(20~90) 자심손실이 크나 MHz 대의 비교적 높은 주파수까지 사용 가능하면서 가격이 싸다. Ni-Fe 퍼멀로이계는 MPP(molybdenum permalloy powder, 통상 81%Ni-17%Fe-2%Mo의 조성을 가짐) 합금과 Hi-Flux(50%Ni-50%Fe) 합금의 두 종류로 나뉘는데, 전자는 높은 투자율(15~550)을 가지며 자심손실이 아주 낮으나 상대적으로 포화자속밀도가 작아(7 kG) 직류 바이어스 안정성이 충분하지 못하다. 사용주파수는 1 MHz 이하이며 가격은 분말 코아 중 가장 높은 편이다. 반면 후자는 포화자속밀도가 커(15 kG) 직류 바이어스 안정성이 좋으나 투자율이 상대적으로 낮으며(60~200) 자심손실도 MPP보다 크다. 센더스트 합금은 비교적 큰 포화자속밀도(11 kG)를 가지며 자심손실이 낮고 직류 바이어스 특성도 좋으며 가격도 저렴한 장점을 가지나 투자율이 좀 낮은 편이다(60~125 정도)[2].

이상과 같은 여러 종류의 소재를 사용하여 지금 다양한 용도의 분말 코아가 제조되고 있으나, 향후 엄격한 환경 및 에너지 규제를 만족시키고 보다 가능성이 우수한 분말 코아를 만들기 위해서는 이러한 기존 재료들의 성능을 능가하는 새로운 소재의 개발이 절실히 요구되어지고 있다.

근래 개발된 우수한 연자성 재료로서 분말 코아용으로 크게 기대되는 것으로 비정질 및 나노 결정립 합금이 있다. 이 중 나노 결정립 합금은 통상 급속응고법으로 제조한 FeCuNbSiB계 비정질 합금 리본에 대하여 적정 온도에서 결

*Tel: (054)820-5755, E-mail: thnoh@andong.ac.kr

정화 처리를 하여 만들어지며, 10 nm 정도의 크기를 가진 α -Fe(Si)상의 결정립과 Nb 등이 농축된 비정질 입계상으로 구성되어 있다. 이 합금은 강자성 결합거리보다도 작은 결정립의 크기 때문에 실효적인 결정자기방성이 극소화되어 있고 또 적정 열처리온도에서 자기변형도 0에 가까운 값을 보이며, 미세한 결정립 크기 및 전기저항이 큰 입계의 존재로 인하여 비정질 합금과 유사한 큰 전기비저항을 나타낸다. 이에 따라 이 합금은 고 투자율 및 저 보자력의 우수한 연자성 뿐만 아니라 아주 낮은 고주파 자심손실을 나타내며, 현재 노이즈 필터, 자기증폭기, 각종 초크 코일 및 트랜스포머 등에 실용화 되어 있다[2, 3].

본 연구에서는 이와 같은 제반 물리적 특성을 가지는 철계 나노 결정구조 합금을 이용하여 분말 코어를 제조하고 그 특성을 분석 평가하였다. 최근 이 나노 결정립 합금을 이용하여 위에서 언급한 용도의 분말 코어를 제조하는 연구가 국내외에서 얼마간 보고된 바 있으나 아직 체계적인 데이터가 얻어지지 못할 뿐 아니라 종래의 소재로 만들어진 분말 코어의 특성을 크게 능가하지도 못하고 있는 실정이다[4-6]. 이에 본 연구에서는 우선 비정질 리본의 열처리 온도에 따른 특성 변화를 조사하여 최적 나노 분말 코어를 얻기 위한 열처리 조건과 그 때 가지게 되는 코어 특성을 밝히고자 하였다. 단 사용한 합금의 조성은 현재 상용 나노 결정구조 연자성 합금으로 제공되고 있는 Hitachi Metals의 FINEMET ($Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{13.5}B_9$)와 Vacuumschmelze의 VITROPERM ($Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$)중 후자를 선택하였다.

II. 실험 방법

급냉용고 상태의 두께 약 20 μm 의 비정질 합금을 490~610 $^{\circ}C$ 의 범위에 있는 소정의 온도에서 1시간 동안 진공열처리를 한 다음, 상온의 질소 가스를 주입한 후 물속에서 냉각시켰다. 열처리된 합금은 유성형 불밀(Fritsch P-6)을 사용하여 Ar 가스 분위기 중에서 5분간 150 rpm의 회전속도로 분쇄하였으며(불/시료의 중량비는 12:1), 밀링이 완료된 분말은 체를 사용하여 여러 입도별로 분급하였다.

분급된 것 중 250~850 μm 의 크기를 가지는 분말에 약 5 wt%의 표면 절연처리용 세라믹 물질($SiO_2 \cdot B_2O_3 \cdot PbO$)을 첨가하고 15 ton/cm²의 압력으로 냉간성형하여 외경 12.6 mm, 내경 7.2 mm, 높이 약 3.5 mm의 토로이드형 코어를 제작하였다. 그 후 이 코어들은 무유도 권선로를 사용하여 고순도 질소분위기에서 400 $^{\circ}C$ 로 1 시간 동안 열처리 되었다.

제조된 분말 코어의 자기적 성질로는 실효투자율과 품질계수 및 직류 바이어스 특성 등이 LCR 미터(Hioki 3531 Z Hitester, HP 4284A)에 의해, 그리고 B-H analyzer(Iwatsu

SY-8216)를 사용하여 자심손실 특성이 측정되었다. 그 외 X-선 회절법에 의해 미세구조의 분석 및 결정립 크기의 평가가 이루어졌으며, 4 단자법에 의해 전기비저항의 열처리온도 의존성이 측정되었다.

III. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 각 온도에서 열처리한 분말 코어의 주파수에 따른 실효투자율의 변화를 보여주고 있다. 100 kHz 이하의 주파수를 기준으로 할 때, 490 및 510 $^{\circ}C$ 등의 상대적으로 낮은 온도에서는 각각 40 및 75 등의 낮은 투자율 값을 보여주고 있으나 530 $^{\circ}C$ 에서의 118을 거쳐 550 $^{\circ}C$ 가 되면 124에 이르는 가장 높은 값을 나타낸다. 그 후 590 $^{\circ}C$ 로 열처리 온도가 높아지면 현저하게 투자율이 낮아지기 시작하여 610 $^{\circ}C$ 가 되면 95 정도로 저하되고 만다. 최근 저자 등[5]은 $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{13.5}B_9$ 합금의 분말 코어가 최적 열처리 조건에서 만들어질 때 100 정도의 투자율을 나타내는 것으로 발표한 바 있는데, 이 값에 비해 여기서의 124의 투자율은 상당히 높은 값에 해당되는 것이다.

또 이 그림에서는 각 온도에서 얻어진 투자율이 대략 500 kHz에 이르기까지 거의 일정한 값을 유지하고 그보다 주파수가 높아지면 완만하게 감소하는 모습을 보여주고 있으며, 550 $^{\circ}C$ 에서 열처리한 시료의 경우 1 MHz가 되어도 120 정도를 나타내는 상당히 우수한 투자율의 안정성을 보여주고 있다.

Fig. 2는 Fig. 1의 투자율의 변화에 대응하는 미세조직의 변화를 X-선 회절법으로 조사한 결과를 나타내고 있다. 원래 비정질이던 리본 합금을 490 $^{\circ}C$ 에서 열처리할 경우 비정질 내에서 α -Fe상이 석출하여 결정화가 진행되기 시작하며 이는 570 $^{\circ}C$ 까지 이어진다. 그러나 590 $^{\circ}C$ 이상이 되면 $2\theta = 45^{\circ}$ 부근에 있는 α -Fe상의 주 피크의 바로 앞에 Fe_2B 붕화물의

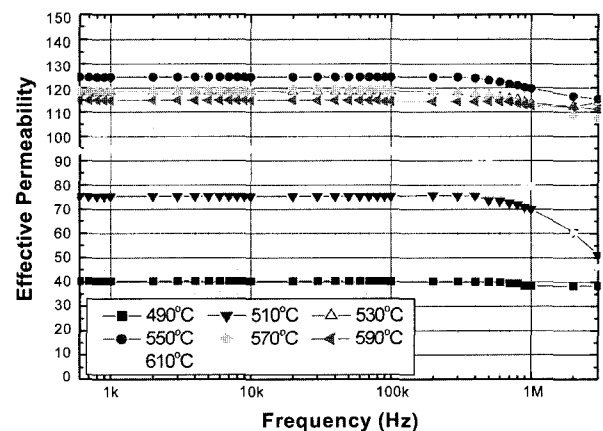


Fig. 1. Frequency dependence of effective permeability for $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{13.5}B_9$ alloy powder cores annealed at various temperatures.

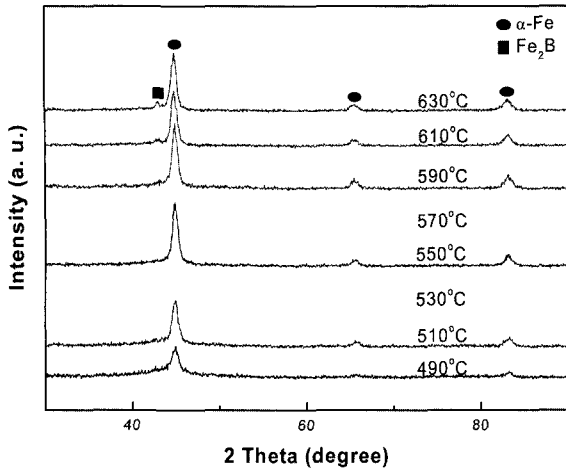


Fig. 2. Variation of X-ray diffraction patterns with annealing temperature in melt-spun Fe_{73.5}Cu₁Nb₃Si_{15.5}B₇ ribbon alloy.

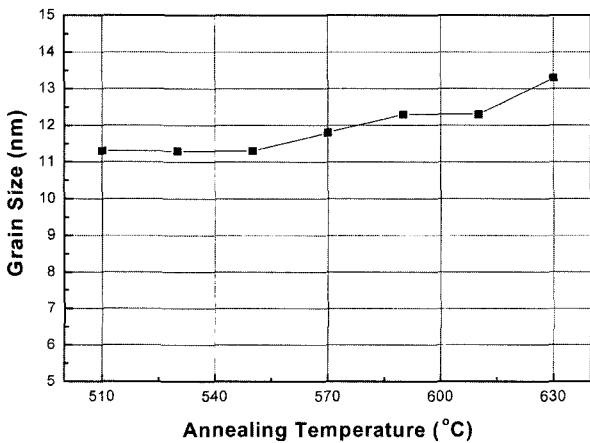


Fig. 3. Variation of grain size with annealing temperature in melt-spun Fe_{73.5}Cu₁Nb₃Si_{15.5}B₇ ribbon alloy.

생성에 기인하는 작은 피크가 나타난다. 한편 이 그림의 주 피크로부터 Scherrer의 식 [8]을 이용하여 α -Fe상의 결정립 크기를 추산하여 보면 Fig. 3과 같이 되는데, 550 °C 이하에서는 11.5 nm 정도가 되며 그 이상의 온도에서는 완만하게 증가하고 있음을 알 수 있다. 또 Hilzinger는 Fe_{73.5}Cu₁Nb₃Si_xB_{22.5-x} (x = 13.5) 나노 결정 합금의 포화자기변형(λ_s)의 열처리온도 의존성을 조사한 결과(열처리 시간 = 1 h) 비정질 상태에서 $\lambda_s = 23 \sim 24 \times 10^{-6}$ 정도이던 것이 열처리 온도의 상승과 함께 감소하여 550 °C 부근에서 2×10^{-6} 의 가장 낮은 값을 나타낸 후 그 이상의 온도에서 다시 증가함을 보고하였으며, x = 16.5의 경우에는 540 °C 근방에서 0이 됨을 밝힌 바 있다[3].

이상과 같은 미세조직상의 변화와 포화자기변형의 열처리 온도 의존성을 종합해 볼 때, 550 °C에서 최고의 투자율이 얻어지는 것은 10 nm 대의 미세한 α -Fe상으로의 상변화에 따른 실효적 결정자기이방성의 감소와 함께 포화자기변형의

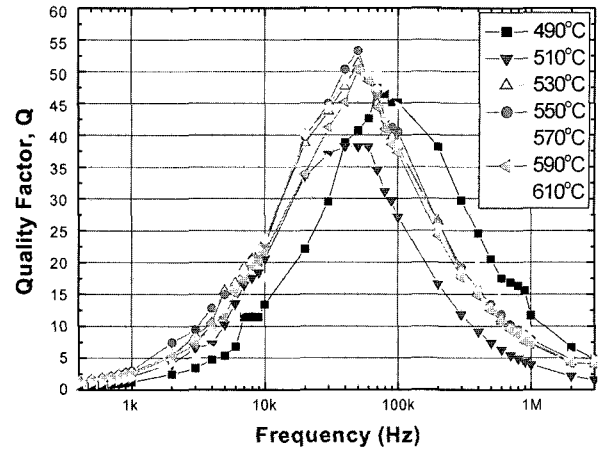


Fig. 4. Frequency dependence of quality factor for Fe_{73.5}Cu₁Nb₃Si_{15.5}B₇ alloy powder cores annealed at various temperatures.

극소화에 기인하는 것으로 생각되며, 570 °C에서의 투자율 감소는 주로 결정립 크기와 포화자기변형의 증가에, 그리고 590 °C 이상에서의 투자율의 빠른 감소는 결정립 증가와 함께 Fe-B 화합물의 석출에 그 원인을 둔 것으로 판단된다.

또 본 논문의 Fe_{73.5}Cu₁Nb₃Si_{15.5}B₇ 합금이 전에 보고한 Fe_{73.5}Cu₁Nb₃Si_{13.5}B₉ 합금[5]보다 최적 열처리 조건에서 더 높은 투자율을 나타냄을 위에서 언급하였는데, 이는 아마도 포화자기변형이 더 낮아서 얻어진 결과인 것으로 추측된다[3].

Fig. 4는 소정의 온도에서 열처리된 각 시료의 품질계수 (quality factor, Q)의 주파수에 따른 변화를 보여주고 있다. 품질계수는 손실계수 $\tan\delta$ (δ 는 자장에 대한 자화의 지연에 따라 발생하는 위상각)의 역수로서 고주파 자심재료의 손실 특성을 나타내는 지표로 사용된다. 이 그림에 의하면 각 곡선은 50~70 kHz에서 최대치를 나타내며 그 이상의 주파수에서는 감소하고 있는데, 그 피크 값은 510 °C 이하에서는 50 이하의 상대적으로 낮은 값을 보이나 550 °C에서 53 정도의 최대 값을 나타낸 후 570 °C 이상에서는 약간이지만 다시 낮아지고 있다. 이와 같이 550 °C에서 최대의 품질계수 값을 보이는 것은 이 온도에서 가장 높은 투자율을 나타내는 것과 연관이 있는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 열처리 온도에 따른 자심손실의 변화를 10~100 kHz의 주파수 범위 및 0.1 T의 유도 조건($B_m = 0.1$ T)에서 측정한 것이다. 결정화 초기 단계인 490 °C에서는 상당히 큰 자심손실을 나타내나 그 이상의 온도에서는 급격하게 감소하여 550 °C에서 최저 값을 보여주며, 그 이상의 온도에서는 다시 자심손실이 증가하고 있다. 특히 550 °C의 경우 50 kHz에서 약 230 mW/cm³의 아주 낮은 값을 나타내었으며, 이는 최근 저자 등[5]이 보고한 Fe_{73.5}Cu₁Nb₃Si_{13.5}B₉ 합금의 자심손실보다 상당히 감소된 것이다.

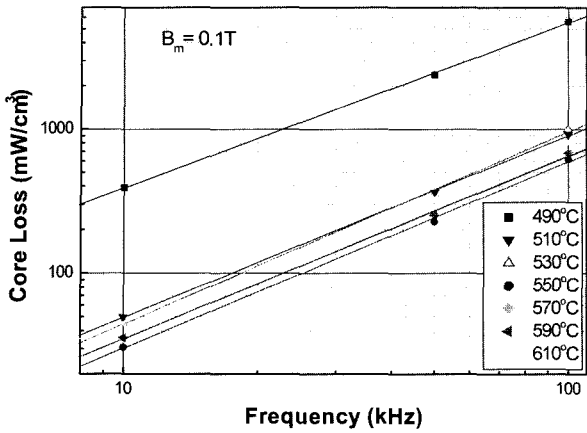


Fig. 5. Frequency dependence of core loss for $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$ alloy powder cores annealed at various temperatures (0.1 T induction).

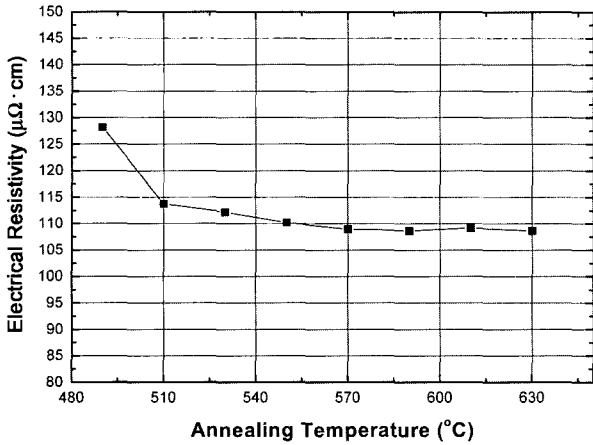


Fig. 6. Variation of electrical resistivity with annealing temperature in melt-spun $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$ ribbon alloy.

잘 알려져 있는 바와 같이 금속 연자성체의 자심손실은 크게 자기이력 손실과 와전류 손실로 구성되어 있으며 주파수가 높아질수록 와전류 손실의 효과가 증가하는데, 이 와전류 손실은 그 재료의 전기비저항과 직접적인 상관관계를 가진다. 이에 열처리 온도에 따른 전기비저항의 변화를 조사하였으며 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

이 그림에 의하면 결정화 초기 단계(즉 비정질상의 분율이 높은 상태)에서는 126 $\mu\Omega \cdot cm$ 의 비교적 큰 값을 나타낸다. 그러나 510 $^{\circ}C$ 이상의 온도에서는 결정화가 진행되면서 아주 약간씩 감소하기는 하지만 대략 110 $\mu\Omega \cdot cm$ 전후의 값으로 일정하게 된다. 따라서 Fig. 5에 나타난 자심손실의 열처리 의존성은 투자율의 변화와 연동되는 자기이력 손실의 변화에 주로 기인하는 것으로 생각되어진다.

통상 분말 코어는 상당한 크기의 직류자장이 중첩되는 조건에서 사용되는 경우가 많다. 따라서 직류중첩시의 투자율의 안정성을 나타내는 직류 바이어스 특성이 중요한데, Fig. 7은

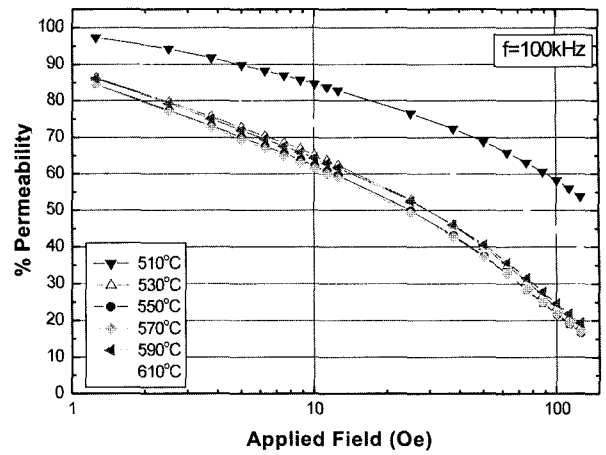


Fig. 7. Variation of % permeability with applied dc magnetic field for $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$ alloy powder cores annealed at various temperatures (measuring frequency : 100 kHz).

인가되는 직류 자장의 크기에 따른 투자율의 감소 정도를 나타내는 비율(바이어스 자장이 없을 때를 기준으로 바이어스 자장 인가 하에서 얻어지는 투자율의 비) 즉 퍼센트 투자율을 보여주고 있다. 이 때 투자율은 100 kHz의 주파수에서 측정된 것이다.

이 그림에서 보는 바와 같이 $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$ 합금의 퍼센트 투자율은 인가자장의 증가와 함께 비교적 빠르게 감소하여, 550~570 $^{\circ}C$ 의 경우 10, 50, 100 Oe의 직류자장 하에서 대략 62, 37, 22%를 나타낸다. 이 값은 다른 열처리 온도에 비해 낮은 값으로서 530 $^{\circ}C$ 이하이거나 590 $^{\circ}C$ 이상이 되면 다시 증가하는 거동을 보인다.

일반적으로 투자율이 낮은 경우 넓은 직류자장의 범위에서 높은 퍼센트 투자율을 보여주는 바, 이 합금의 열처리 온도 의존성도 이와 같은 일반적인 경우에 해당한다고 볼 수 있을 것이다. 그런데 센더스트(85%Fe-9%Si-6%Al)의 경우(투자율 125일 때) 10, 50, 100 Oe에서 각각 88, 40, 16%의 값을 나타내며, 125의 투자율을 가지는 MPP(molybdenum permalloy powder; 79%Ni-17%Fe-4%Mo)의 경우는 98, 50, 13%의 퍼센트 투자율을 가지는 것을 감안해 볼 때[9, 10], 이 나노 결정립 합금은 작은 직류자장 하에서 특히 낮은 퍼센트 투자율을 보여주고 있다.

나노 결정립 합금의 이와 같은 저 자장 하에서의 낮은 투자율은, 이 합금이 MPP 등과 비교하여 비교적 큰 입자 크기(수 백 μm)에서 100~130 정도의 투자율이 얻어지기 때문으로 생각된다. Ni-Fe계 퍼멀로이 합금의 경우에는 통상 100 μm 이하(수 십 μm)의 입자 크기에서 100~120의 투자율이 얻어지는 것과 비교해 볼 때[10], 이 정도 크기의 투자율을 얻는데 $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$ 합금 분말은 종래의 금속 소재에 비해 아주 큰 입도가 필요함을 알 수 있다.

최근 저자 등[5]은 Fe_{73.5}Cu₁Nb₃Si_{13.5}B₉ 합금 분말 코어의 투자율의 입도 의존성을 조사한 결과, 입도가 클수록 투자율이 증가하고 300-850 μm이 될 때 약 100 정도의 값이 얻어짐을 보고한 바 있다. 향후 나노 결정립 합금 분말 코어의 이와 같은 낮은 직류 바이어스 특성을 해결하기 위해서는, 모든 입도의 범위에서 분말 합금의 투자율을 상승시키는 것이 중요하며 특히 100 μm 이하의 작은 입자의 코아에서 100~120 이상의 투자율을 얻는 것이 필요할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

용탕급냉법으로 만든 Fe_{73.5}Cu₁Nb₃Si_{15.5}B₇ 비정질 리본 합금을 열처리하여 나노결정립 구조로 결정화시킨 뒤 분쇄-절연체혼합-압축성형 과정을 거쳐 분말 코어를 제조하는 연구 과정에서, 250~850 μm 크기의 자성분말과 5 wt%의 세라믹 절연체로 구성된 코어의 자기적 특성에 미치는 열처리 온도의 영향을 조사하였다. 550 °C에서 1 h 동안 열처리하였을 때 가장 높은 실효투자율 및 품질계수를 나타내었으며 그 값은 각각 125와 53이었고, 실효투자율의 경우 약 500 kHz에 이르기까지 일정한 크기를 유지하였다. 그리고 이 열처리 조건에서 230 mW/cm³(f = 50 kHz, B_m = 0.1 T)의 대단히 낮은 자심손실을 나타내었다.

이상과 같은 자기적 특성은 11 nm 정도의 미세한 α-Fe 나노 결정립상의 형성과 110 μΩ·cm의 높은 전기비저항 그리고 0의 자기변형 특성에 기인하는 것으로 생각되었다.

그러나 이 합금의 분말 코어는 종래의 분말 코어 재료(MPP, 샌더스트 등)에 비해 그리 우수하지 못한 직류 바이어스 특성 특히 저 자장 하에서의 낮은 퍼센트 투자율을 나타

내었다. 이는 종래의 소재에 비해 같은 투자율을 얻는데 너무 큰 입자의 분말이 필요한 것에 그 원인이 있는 것으로 이해되었으며, 향후 작은 분말의 투자율을 증가시키는 것이 중요하다는 점을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2002-000-00513-0) 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] A. Goldman, Handbook of Modern Ferromagnetic Materials, Kluwer Academic Pub., Boston (1999), pp. 183-205.
- [2] MAGNETICS® Literature PS-01 11G, Magnetic Cores for Switching Power Supplies, Butler (1997).
- [3] H. R. Hilzinger, Soft Magnetic Materials 96, Gorham/Intertech Consulting, Portland (1996), pp. 1-12.
- [4] J. Petzold, Scripta Mater., **48**, 895(2003)
- [5] G. H. Kim, T. H. Noh, G. B. Choi, K. Y. Kim, J. Appl. Phys., **93**(10), 7211(2003).
- [6] H. Xu, K. Y. He, Y. Q. Qiu, Z. J. Wang, W. Feng, Y. D. Hong, X. S. Xiao, Q. Wang, Mater. Sci. Eng., **A286**, 197(2000).
- [7] V. Leger, C. Ramiarinjaona, R. Barrue, R. Lebourgeois, J. Magn. Mater., **191**, 169(1999).
- [8] B. D. Cullity, Elements of X-ray Diffraction, Addison Wesley, Reading(1978), pp. 99-106.
- [9] MAGNETICS® Technical Bulletin No. KMC-S1, Kool Mu ; A Magnetic Material for Power Choke, Butler(1999).
- [10] MAGNETICS® Literature MPP-400 6E, Molypermalloy Powder Cores for Filter and Inductor Applications, Butler(1997).

The Magnetic Properties of Nanocrystalline $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15.5}\text{B}_7$ Alloy Powder Cores

T. H. Noh*, H. Y. Choi, and S. J. Ahn

School of Advanced Materials Engineering, Andong National University, Andong 760-749, Korea

(Received 13 October 2003, in final form 30 November 2003)

The annealing-temperature dependence of magnetic properties in compressed powder cores being composed of ball-milled $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15.5}\text{B}_7$ alloy powders (size : 250~850 μm) and 5 wt% of ceramic insulators has been investigated. When annealed at 550 $^{\circ}\text{C}$ for 1 h and so transformed to α -Fe phase nanocrystalline structure with the grain size of 11 nm (electrical resistivity : 110 $\mu\Omega\text{-cm}$), the highest effective permeability of 125 and quality factor of 53 were obtained, and the permeability persisted up to about 500 kHz. Further the core loss measured at the frequency of 50 kHz and the induction amplitude of 0.1 T was very low (230 mW/cm^3). However the dc bias characteristics was not satisfactory as compared to that of conventional powder core materials(MPP, Sendust etc.). The inferior dc bias property of $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15.5}\text{B}_7$ alloy powder cores was attributed to the fact that the size of powder was too large for obtaining the same permeability with that of conventional materials.

Key words : nanocrystalline alloy, ball milling, powder core, dc bias characteristics.