

Mn-Zn 페라이트의 전·자기적 물성에 미치는 공정변수의 영향 고찰

황진현 · 신명승* · 한영호

성균관대학교 재료공학과

*이수세라믹(주)

(1997년 3월 6일 받음, 1997년 4월 10일 최종수정본 받음)

Mn-Zn 페라이트의 소결에 영향을 주는 산화물 첨가제와 자기이방성 상수 (K_I) 값이 zero 가 되는 온도, T_{spm} 를 결정해주는 산소분압을 변화시켜가며 전력손실, 미세구조, 초기투자율, 소결밀도, 온도에 따른 초기투자율의 변화를 관찰하였다. 산화물 첨가제는 초기투자율과 소결밀도를 증가시켰으며 동시에 낮은 전력손실을 나타내었다. 이러한 첨가제들은 입계에 석출되는 것으로 T_{spm} 과 T_c (큐리온도)와 같은 자기적 성질을 변화시키지 않았다. 온도에 따른 초기투자율 변화는 냉각시 산소분압이 증가함에 따라 T_{spm} 이 높은 온도로 이동함이 관찰되었다. 또한 냉각시 산소분압조절 만으로는 승온과 소결시 결정된 페라이트의 치밀화가 완전히 보정되지 못함도 확인되었다.

I. 서 론

Mn-Zn 페라이트는 스피넬구조를 가지며 주성분으로 ferric 이온(Fe^{3+})을 함유하는 산화물로 구성된 연자성 물질이다. audio, video, personal computer, 통신기기의 inductor, transformer 등에 사용되며 특히 다른 조성의 연자성 페라이트 보다 초기투자율이 높고 포화자화값이 크기 때문에 고주파 저손실재료로서 많이 활용되고 있다¹⁾. Mn-Zn 페라이트는 전원공급장치 (switching mode power supply, SMPS) 내에서 transformer 재료로 사용되고 있으며, 전자부품의 소형화 추세에 따라 SMPS의 소형화가 요구되고 있다. 작동주파수를 증가시키므로서 높은 출력과, 같은 출력 조건에서 자속의 단면적 감소를 가져올 수 있으므로 SMPS의 소형화는 작동주파수의 증가로서 가능해진다. 그러나 고주파에서 SMPS가 작동될 때 나타나는 코어물질의 power loss 문제로 고주파 저손실 SMPS 재료 개발에 많은 어려움이 따르고 있다. 따라서 고주파 영역으로의 사용 범위가 확대됨에 따라 코어 물질의 전력손실을 최소화해야 한다.

Mn-Zn 페라이트 코어의 전력손실은 hysteresis loss 와 eddy current loss 그리고 residual loss의 3가지로 구성되어 있다. residual loss는 낮은 induction level에서 중요하기 때문에 대용량 magnetic flux를 다루는 power application에서는 전체 power loss를 hysteresis loss와 eddy current loss의 합으로서 다음과 같이 표시할 수 있다²⁾.

$$P = P_H + P_E \quad (\text{Eqn. 1})$$
$$= K_H B^2 f + K_e d^2 B^2 f^2 / \rho$$

여기에서 P_H = hysteresis loss (mW/cm^3), P_E = eddy current loss, B = magnetic flux density, d = cross sectional area, ρ = electrical resistivity, f = switching frequency 이며 K_H 와 K_e 는 hysteresis와 eddy current loss에 해당하는 상수항이다. hysteresis loss는 자구벽의 이동에 대한 방해때문에 생기는 손실로서 자성체 안에 축적되는 에너지 (hysteresis loop)가 열 에너지로 변하여 자성체의 온도를 상승시키게 된다. hysteresis loss는 다음 인자, ① 자기이방성 (magnetocrystalline anisotropy, K_I) ② 자왜 (magnetostriction, λ) ③ 내부 또는 외부응력 ④ 기공, 불순물, 전위 등의 포함정도 ⑤ 포화자화값, M_s 등에 의하여 지배된다. hysteresis loss를 줄이기 위해서는 M_s 만을 제외하고 전부 낮은 값을 가져야 한다. 자기이방성상수 K_I 은 결정 방향간의 자화에 필요한 에너지 차이에 의하여 자구벽의 이동이 방해됨으로서 나타나는 loss의 정도를 말해준다. 자왜현상은 자화가 됨에 따라 자화방향으로 dimension 이 변화하는 현상으로 이러한 dimension의 변화는 자화에 영향을 주어 hysteresis loss를 증가시킨다. K_I , λ_s 는 주로 조성에 의존하는 값들이며 또한 K_I 은 Ti^{4+} , Co^{2+} 와 같은 다른 이온을 치환함으로써 crystalline anisotropy 보상을 통하여 원하는 값으로 조절할 수도 있다. stress, 기공의 부피분율등은 미세조직의 조절을 통하여 최소화시킬 수 있다. Otsuki는 실험을 통하여 power

ferrite의 hysteresis loss는 기공, 불순물, 입계등과 같은 외부적인 요소에 의존한다고 설명하였다²⁾. 따라서 낮은 hysteresis loss를 위해서는 pore가 없는 큰 grain과 얇은 grain boundary를 갖는 높은 밀도의 미세조직이 필요하며 이를 위해서는 적절히 조절된 소결공정과 첨가제의 선택이 필수적이다. 코아에 자속이 변화하면 이러한 변화를 방해하는 방향으로 기전력이 발생하여 와전류(eddy current)가 흐르게 된다. 전류가 흐르면 도체(코아)의 저항에 의해 줄(Joule)열이 발생하게 되는데 이것이 바로 eddy current loss가 된다. Mn-Zn 페라이트의 전기전도 기구는 스핀넬 구조내의 octahedral site에 존재하는 Fe²⁺와 Fe³⁺이온 사이의 전자 hopping에 의하여 이루어지며, 전기전도도는 Fe²⁺이온에 의하여 지배된다³⁾. 고주파에서 eddy current loss를 효과적으로 줄이기 위해서는 Fe²⁺이온의 농도를 감소시켜 코아의 저항을 높여야 한다. 그러나 Fe²⁺이온 농도는 hysteresis loss와 밀접한 관계를 가지고 있는 자기이방성상수(K₁)를 zero로 하는 온도를 결정하기 때문에 Fe²⁺농도 제어에 의한 전기전도도 감소에는 한계가 있다, Eqn. (1)에 의하면 hysteresis loss는 주파수에 선형적으로 증가하지만 eddy current loss는 주파수의 제곱에 비례함을 알 수 있다. 따라서 eddy current loss는 낮은 주파수영역에서는 상대적으로 작지만 500 kHz 이상의 고주파수가 되면 가장 중요한 전력손실기구가 된다²⁾. 재료공학적인 측면에서 eddy current loss를 낮출 수 있는 방법은 재료의 저항(ρ)을 증가시켜주는 것과 eddy current가 통과하는 loop dimension에 해당하는 d 값을 감소시켜줌으로서 가능하다. 재료의 저항증가는 산화물 첨가제를 넣어 grain과 grain boundary에 높은 저항층을 형성시킴으로서 eddy current의 path를 효과적으로 차단시키는 것과 소결과 냉각시 산소분압을 조절하여 grain과 grain boundary의 산화상태에 영향을 주어 절연특성을 향상시키는 방법으로 가능하다. 또한 입성장억제의 효과를 나타내는 첨가제나 저온소결법을 이용하여 실질적인 eddy current의 통과 단면적이 되는 grain의 크기를 감소시키는 것도 eddy current loss 감소에 크게 기여한다.

본 실험에서는 Mn-Zn 페라이트 제조시 공정변수가 페라이트 물성에 미치는 영향을 100 kHz 작동주파수에서 주된 전력손실기구로 알려져있는 hysteresis loss와 연관된 물성변화의 관점에서 살펴보았으며, 물성향상을 위한 방법들에 대하여 고찰하였다.

II. 실험방법

출발조성으로 고주파 저손실재료의 기본특성을 만족시

키는 조성인 54 mol% Fe₂O₃-37 mol% MnO-9 mol% ZnO를 선택하였다¹⁾. 적은 양의 첨가제를 넣는 실험의 경우 원료 자체가 포함하고 있는 불순물의 함량조절이 중요하다. 본 실험에서는 Fe₂O₃ 원료는 50 ppm 이하의 SiO₂를 불순물로 포함하고 BET 4.25 m²/g 인 hematite를 사용하였고, MnCO₃와 ZnO는 순도 99.9 + % 인 Aldrich 사의 G. R 급 시약을 사용하였다. 혼합 후 전체 불순물 함량을 분석하여 Table I에 나타내었다.

Table I. Impurities in synthesized material (after calcination)

불순물	Na ₂ O	NiO	Cr ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
함량(ppm)	42	101	210	25	82
분석방법	A. A	A. A	A. A	A. A	XRF

칭량한 원료 분말을 스테인레스볼과 jar를 이용하여 습식법으로 혼합한 뒤 알루미늄 도가니에 담아 900 °C에서 4시간 동안 하소하였다. 하소가 끝난 분말을 조분쇄한 뒤 산화물 첨가제인 Ta₂O₅, Nb₂O₅, V₂O₅를 넣어 planetary type의 mill을 이용하여 3시간 동안 미분쇄하였다. 분쇄가 끝난 slurry에 바인더로 PVA (polyvinyl alcohol)를 액상형태로 1 wt % 넣은 후 atomizer type의 분무건조기를 이용하여 건조시켰다. 건조가 끝난 과립화 된 분말에 윤활제로 Zn stearate를 0.2 wt % 첨가한 뒤 약 1.7 ton/cm²의 압력으로 외경 30 mm, 내경 20 mm, 높이 10 mm를 갖는 toroid 형태의 성형체를 만들었다. 소결은 tube furnace를 사용하여 end cap이 부착된 alumina tube 내에서 1330 °C에서 3시간 동안 수행하였다. 냉각시 등조성선을 따라가기 위하여 컴퓨터와 MFC (mass flow controller)를 이용하여 다음식에 따라 상평형산소분압을 정확하게 조절하였다⁵⁾.

$$\log P_{O_2} = A - \frac{14540}{T} \quad (\text{Eqn. 2})$$

여기서 A는 atmosphere parameter이며 T(°K)는 소결과 냉각시 온도이다. 실제 산소분압은 YSZ (Yttria Stabilized Zirconia) 센서를 이용하여 측정하였으며 이때 분위기 gas는 air, O₂, N₂ (< 50 ppm O₂ 함유)를 사용하였다. 소결한 시편의 밀도는 Micromeritics사의 gas pycnometer를 사용하여 측정하였고 전력손실은

Iwatsu B-H analyzer를 이용하여 2000 Gauss의 자속 밀도와 100 ℃, 100 kHz 하에서 온도에 따른 단위부피당 손실을 측정하였다. 초기투자율은 HP 4284A LCR meter를 사용하여 측정하였다. toroid 형태의 시편에 11회의 권선을 감고 10 kHz, 10 mV의 측정조건하에서 회로내의 인덕턴스 L_s 를 측정된 뒤 계산하였다. 첨가제와 소결조건이 미세조직에 미치는 영향은 광학현미경과 주사전자 현미경 (SEM)을 이용하여 관찰하였다.

III. 결과 및 고찰

3. 1. 첨가제의 효과

Fig. 1은 3가지 서로 다른 소결온도에서 첨가제에 따른 전력손실값의 변화를 나타내었다. 소결온도가 증가됨에 따라 전력손실은 낮아지고 있으며 한 가지의 첨가제보다는 여러가지가 함께 첨가될 경우 낮은 손실특성을 나타내고 있다. Nb₂O₅ 첨가 효과는 3가지 온도에서 모두 관찰되었다. 그러나 SiO₂의 경우는 1275 ℃와 1325 ℃에서 그 효과가 관찰되었지만 1375 ℃에서는 아무런 효과가 나타나지 않았다. 또한 첨가제 4에서는 모든 온도에서 첨가제 3과 큰 차이를 보이지 않고 있다. 100 kHz에서 코아의 손실은 hysteresis loss가 주된 손실기구로 알려

져 있다^{6, 7)}. 따라서 1375 ℃의 고온 소결과 3가지 이상의 첨가제에서 나타나는 낮은 전력손실은 입자의 성장과 소결밀도 증가에 따른 hysteresis loss의 감소때문이라 보인다. 3가지 이상의 첨가제에 의한 전력손실 감소효과가 상대적으로 낮은 소결온도인 1275 ℃에서 보다 두드러지게 나타난 점에 주목해야 한다. 이러한 현상은 선택된 첨가제들이 소결 반응을 촉진했기 때문이라 사료되며 저온 소결로 인해 나타나는 낮은 밀도와 그에 따른 높은 전력손실은 3가지 이상의 복합 첨가제를 선택함으로써 개선될 수 있음을 의미한다. 그러나 전력손실을 낮추기 위해서는 복합 첨가제뿐만 아니라 적절한 소결온도 또한 함께 고려되어야함을 알 수 있다.

Fig. 2에는 소결온도에 따른 밀도를 4가지 첨가제에서 나타내었다. 높은 소결온도와 다중 첨가제에서 높은 밀도를 나타내고 있다. 이러한 사실은 Fig. 1에서의 낮은 전력손실이 페라이트의 치밀화에 따른 hysteresis loss의 감소효과와 잘 일치한 결과이다. S. Shing 등은 grain의 성장과 기공의 소멸이 조화된 속도로 이루어져야 페라이트의 치밀화가 촉진된다고 하였으며 적정량의 산화물 첨가제는 밀도를 증가시키나 과량 첨가하는 오히려 과대입 성장과 grain 내부에 고립된 기공을 남겨 밀도를 감소시킨다고 보고하였다⁸⁾. 그러나 1375 ℃에서 소결한 4가지

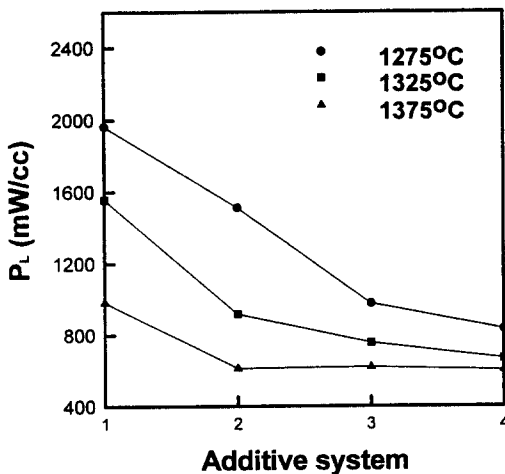


Fig. 1. Power loss of Mn-Zn ferrites at various sintering Temperatures as a function of various additive systems (100 KHz, 100 ℃, 200 mT).

- 1 : CaO 700 ppm
- 2 : CaO · Nb₂O₅ 900 ppm
- 3 : CaO · Nb₂O₅ · SiO₂ 1000 ppm
- 4 : CaO · Nb₂O₅ · SiO₂ · V₂O₅ 1100 ppm

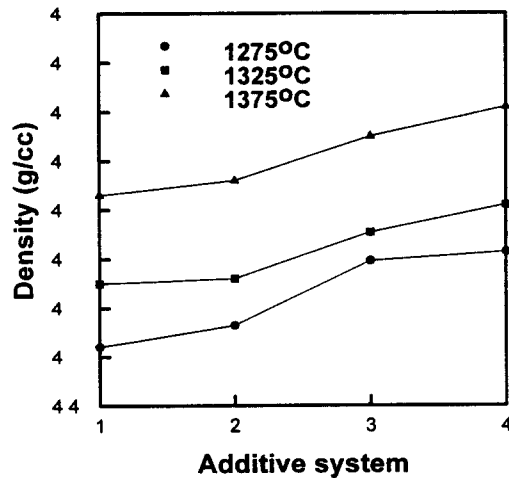


Fig. 2. Effect of additive systems on the density with various sintering temperatures.

- 1 : CaO 700 ppm
- 2 : CaO · Nb₂O₅ 900 ppm
- 3 : CaO · Nb₂O₅ · SiO₂ 1000 ppm
- 4 : CaO · Nb₂O₅ · SiO₂ · V₂O₅ 1100 ppm

첨가제 소결체의 미세조직 사진을 나타낸 Fig. 3을 보면 과대입성장은 발견되지 않았으며 4가지 첨가제가 들어간 경우 상대적으로 치밀한 미세구조를 보이고 있으며, Fig. 2에 나타난 4가지 복합첨가제의 높은 밀도와 서로 상관관계가 있음을 알 수 있다.

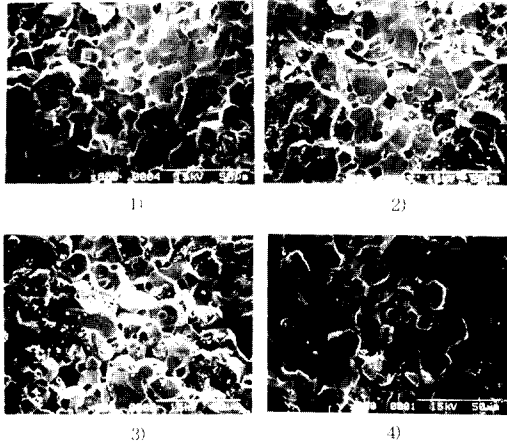


Fig. 3. Effect of additive on microstructure (1375 °C).

- 1 : CaO 700 ppm
- 2 : CaO · Nb₂O₅ 900 ppm
- 3 : CaO · Nb₂O₅ · SiO₂ 1000 ppm
- 4 : CaO · Nb₂O₅ · SiO₂ · V₂O₅ 1100 ppm

Fig. 4에는 첨가제에 따른 초기투자율을 소결온도에 따라 표시하였다. 소결온도가 증가함에 따라 초기투자율은 증가하며 그 증가율은 4가지 복합첨가제의 경우 상대적으로 적다. 1325 °C와 1375 °C의 고온일 경우 2가지 이상의 첨가제에서 초기투자율은 큰 차이를 보이지 않으며 1375 °C의 경우 1275 °C와 1325 °C와는 달리 초기 투자율이 다소 감소됨이 관찰되었다. 이러한 현상은 ferrite에서는 입계구조상 domain wall이 입계를 통과하여 다른 grain으로 이동하지 못하기 때문에 1375 °C의 고온에서 입계내에 포획된 첨가물과 기공등이 domain wall pinning 효과를 일으켜 자구의 이동을 방해하여 초기투자율이 감소한 것으로 보인다. 또한 이러한 현상은 Fig. 1에서 1375 °C의 고온소결의 경우, 2가지 이상의 복합첨가제가 전력손실 감소에 큰 영향을 미치지 못했던 현상과도 연관지어 해석할 수 있다. 초기투자율에 관하여 Guillaud 등은 초기 투자율은 입자 크기와 밀접한 관계를 가지며 입자가 커질수록 초기투자율은 어느 한계까지는 증가하다가, 포획된 내부 pore 등에 의해 domain의 이동이 제한되어, 다시 감소한다는 결과를

보고한 바있으나⁹⁾, 본 실험의 경우 1375 °C의 초기투자율을 값이 1250 °C와 1325 °C보다 크므로 입자크기에 의한 효과로는 볼 수 없으며 1375 °C 고온에서의 다중첨가제에 의한 domain wall pinning 효과로 해석하는 것이 보다 타당하다고 사료된다.

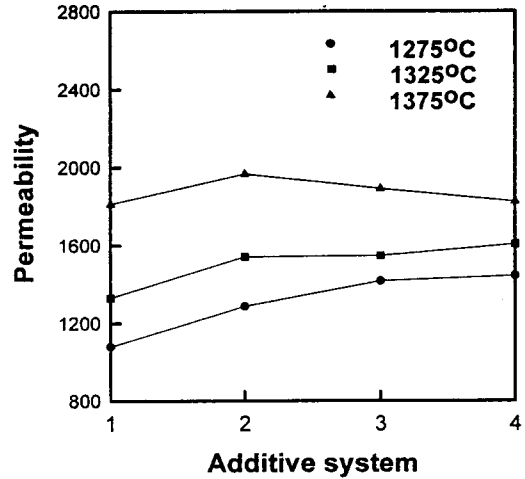


Fig. 4. Effect of additive systems on the initial permeability with various sintering temperatures. (R. T)

- 1 : CaO 700 ppm
- 2 : CaO · Nb₂O₅ 900 ppm
- 3 : CaO · Nb₂O₅ · SiO₂ 1000 ppm
- 4 : CaO · Nb₂O₅ · SiO₂ · V₂O₅ 1100 ppm

3. 2. 소결분위기 효과

Fig. 5는 Eqn. 2에 나타난 atmosphere parameter A 값에 따라 냉각한 시편의 power loss를 온도에 따라 표시한 것이다. 3가지 첨가제를 선택하였으며 power loss의 측정조건은 100 kHz, 200 mT이었다. 환원성 분위기인 질소분위기 냉각시 모든 온도에서 높은 손실을 보이고 있으며 90 °C 근방에서 전력손실이 최소로 나타났다. Eqn. 2에 의한 등중성선을 따라가며 산소분압을 조절하는 경우 A 값이 7.38로 낮아짐에 따라 power loss가 감소하고 있으며 그 최소값이 나타나는 온도가 상대적으로 낮은 온도인 100 °C에 가까워짐을 알 수 있다. A 값이 작아짐에 따라 손실이 감소하는 현상은 ferrous ion (Fe²⁺) 농도의 변화에 의하여 제2차 투자율 최대값이 나타나는 온도 (T_{spm})의 이동에 따른 hysteresis loss의 감소 때문이라는 것을 이전의 실험을 통하여 확인한 바 있다⁶⁾. 주목해야 할 점은 A 값이 증가함에 따라 전력손실 최소값이 나타나는 온도가 보다 높은 온도로 이동한다

는 점이다. Stijntjes는 power loss의 최소가 나타나는 온도에서 초기투자율의 제 2 최대치(second peak maximum)가 나타나고 자기이방성상수(K_1)는 zero가 된다고 보고하였다⁷⁾. A 값 감소에 의한 T_{spm} 의 이동은 Mochizuki가 보고한 ferrous 이온 농도가 증가함에 따라 T_{spm} 은 낮은 온도로 이동한다는 결과와 잘 일치한다¹⁰⁾. 따라서 ferrous 이온 농도를 조절하여 T_{spm} 을 전력손실의 최소가 나타나야 하는 온도와 일치시켜 줌으로서 낮은 전력손실을 얻는 데 이용할 수 있다. 따라서 공정중 A 값을 이용하여 이러한 ferrous 이온 농도를 조절하여 전력손실의 최소값이 나타나는 온도를 조절하고 전력손실 값을 사용온도에서 낮출 수 있다고 사료된다.

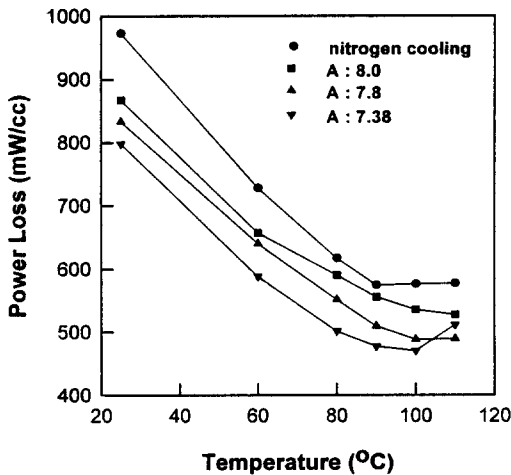


Fig. 5. Temperature dependence of power loss at various atmosphere parameters. (3 additives system, 200 mT, 100 kHz).

Fig. 6은 Fig. 5의 냉각시 사용한 산소분압 조건이 초기투자율에 미치는 영향을 온도의 함수로 표시했다. 질소분위기에서 산화성 분위기로 A 값이 증가함에 따라 T_{spm} 이 보다 높은 온도로 순차적으로 이동함을 알 수 있으며 이는 ferrous 이온 농도변화에 기인한 T_{spm} 의 이동현상과 잘 일치하는 현상이다. 냉각시 분위기에 상관 없이 T_c 는 크게 변화하지 않았으며 냉각조건이 ferrous 이온농도 이외는 ferrite 모상의 화학조성을 크게 변화시키지 못했다고 사료된다. 또한 냉각시 산소분압에 따라 T_c 에서의 permeability 절대값이 차이가 나며 환원성 분위기인 N_2 에서 보다 낮은 값을 나타내고 있다. 환원성 분위기에서 낮은 초기투자율을 나타내는 것은 고온 저산소

분위기에서 흔히 나타나는 Zn-loss에 의한 현상이라 사료된다. Zn-loss는 불균일한 ferrite의 화학조성차이로 나타나는 stress에 의한 투자율 감소와 모상으로부터 Zn 조성을 떨어뜨려 포화자속 밀도 값을 떨어뜨리기 때문이라 사료된다. Zn 함량이 감소하면 Zn가 비자성 원소이기 때문에 스피넬 구조내에서 A site 이온과 B site 이온 사이의 초교환작용이 증가하기 때문에 큐리온도가 상승하고 자기모멘트는 감소하는 현상이 나타난다. 따라서 N_2 분위기 냉각시 나타나는 투자율 감소와 큐리온도 증가는 낮은 산소분압에서 Zn 함량감소와 함께 나타나는 일반적 현상과 잘 일치함을 알 수 있다.

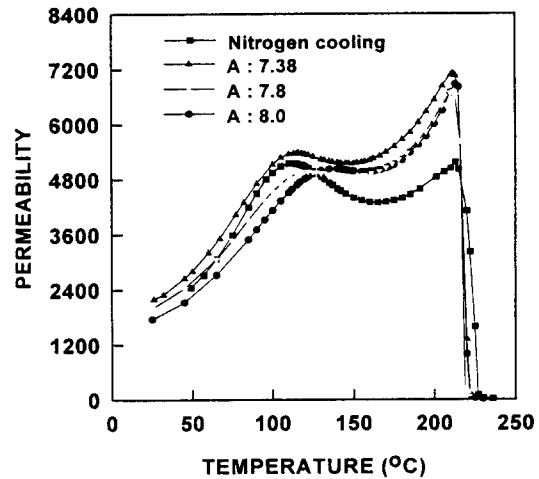


Fig. 6. Permeability-temperature curve of Mn-Zn ferrite with various atmosphere parameters. (3 additives system)

Fig. 7은 본연구에 적용된 4가지 냉각조건에 따른 미세조직의 변화를 나타내었다. A 값 변화에 따라 미세조직상의 큰 변화는 발견하지 못했다. 이러한 현상은 냉각시 산소분압의 조절이 승온과정 과 소결유지 과정에서 결정된 ferrite의 치밀화 정도와 미세구조에 크게 영향을 주지 못함을 의미한다. 본 실험조건이 냉각시에만 산소분압을 조절하였기 때문에 직접적으로 비교하기는 어려우나 Rikukawa에 의하면 소결시작부터 높은 산소분압으로 유지시켜주는 것이 양이온 공공을 유발하여 밀도의 증가와 함께 입자의 성장을 유발한다고 보고한 결과와 비교되며³⁾, 냉각시 A 값의 변화만으로는 승온과 소결과정에서 결정된 미세구조에 큰 영향을 미치지 않는다고 사료된다.

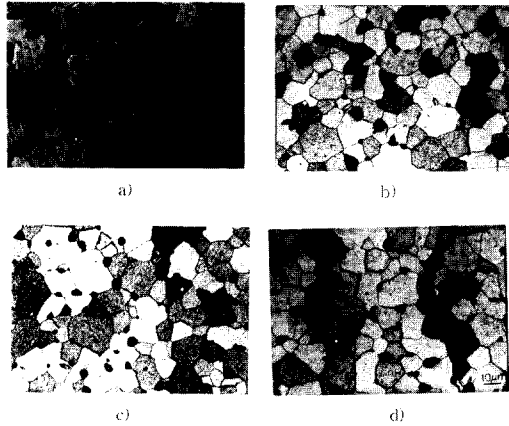


Fig. 7. Microstructure of four different cooling conditions.

a) nitrogen cooling b) A : 8.0 Po₂ control
 c) A : 7.8 Po₂ control d) A : 7.38 Po₂ control

IV. 결 론

1. 1375 °C 의 고온소결의 경우, 낮은 전력손실과 함께 소결밀도와 초기 투자율의 증가가 관찰되었다. 3가지 이상의 다중첨가계가 전력손실에 미치는 효과는 1375 °C 의 고온보다는 1275 °C 의 저온에서 보다 현저하였으며 다중첨가계의 선택은 저온소결을 가능케 한다.
2. 냉각시 atmosphere parameter A 값의 변화는 전력손실의 최소가 나타나는 T_{spm}을 이동시키며, 이는 A 값의 변화로 전력손실의 최소가 나타나는 온도를 이동시켜 사용온도에서 보다 낮은 전력손실을 가능케 한다.
3. 냉각시 낮은 산소분압은 초기투자율 값을 감소시키며

T_c를 보다 높은 온도로 이동시킨다. 이러한 현상은 낮은 산소분압에 의한 Zn loss에 기인한 현상이라 사료된다.

4. 냉각시 산소분압만으로는 승온과 소결과정에서 결정된 페라이트의 미세구조를 크게 변화시키지 못했지만 자기적 특성에는 영향을 주었다.

참 고 문 헌

- [1] E. C. Snelling, "Soft Ferrite", Butterworths & Co, pp 1, 1988.
- [2] E. Otsuki, Ferrites, Proceeding of ICF-6, pp. 59-64, Ed. by T. Yamaguchi, M. Abe, The Jpn. Soc. Powder and Powder Metallurgy, Japan, 1992.
- [3] H. Rikukawa and I. Sasaki, Advances in Ferrites (ICF-4), Vol. 1, pp 215-219, 1989.
- [4] E. Roess, Advances in Ferrites (ICF-5), Vol. 1, pp. 129-136, 1989.
- [5] J. M. Blank, J. Appl. Phys., 32, 376(1961).
- [6] J. H. Hwang, S. K. Han, Y. H. Han, Korean Journal of Material Research, Vol. 6, No. 1, pp 40-48, 1996.
- [7] G. W. Stijntjes, J. J. Roelofsma, Advances in Ferrites (ICF-4), Vol. 1, pp 493-500, 1989.
- [8] S. Shing, R. B. Tripathi and B. K. Das, Advanced in Ferrites (ICF-5), Vol. 1, pp. 183, 1989.
- [9] A. Goldman, "Modern Ferrite Technology", Van Nostrand Reinhold, pp 119, 1990.
- [10] Takashi Mochizuki, Ferrites, Proceeding of ICF-6, pp 53-58, 1992.

The Study on the Effect of Processing Parameters on the Electromagnetic Properties of Mn-Zn Ferrites

J. H. Hwang, M. S. Shin* and Y. H. Han

Department of Materials Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon, Korea

** ISU ceramic, Seoul, Korea*

(Received 6 March 1997, in final form 10 April 1997)

The effect of oxide additive system and P_{O_2} condition on the power loss, microstructure, initial permeability (μ_i), sintered body density, μ_i vs. temperature curve of Mn-Zn ferrites has been investigated. The density and permeability increased with various additive systems while the power loss decreased. It was confirmed that the oxide additives are grain boundary materials and do not change the magnetic properties of Mn-Zn ferrites such as T_{spm} and T_c . The μ_i vs. T curve indicated that T_{spm} moved to the higher temperature as P_{O_2} increased. It was also confirmed that the microstructure of Mn-Zn ferrites was independent of the P_{O_2} control during cooling.