

첨가제에 따른 전력선 통신용 자심 재료의 전자기적 특성 및 발열거동

論 文

52C-2-1

The Electromagnetic and Thermal Properties of Magnetic Core Materials for the Power Line Communication as the Function of Additives

吳英右* · 李海淵** · 金賢植** · 許廷燮** · 閔馥基*** · 金鍾玲§

(Young-Woo Oh · Hae-Yon Lee · Hyun-Sik Kim · Jeong-Seob Huh · Bok-Ki Min · Jong-Ryung Kim)

Abstract - The electromagnetic properties and thermal behavior of Mn-Zn ferrite cores used for the blocking filter in the Power Line Communication(PLC) application were investigated as the function of additives. The highest density and permeability of 4.98 g/cm³ and 8,221 respectively were obtained to the specimen with composition of MnO 24 mol%, ZnO 25 mol% and Fe₂O₃ 51 mol% added MoO₃ 400 ppm, SiO₂ 100 ppm and CaO 200 ppm since the uniform grains were organized and the microstructures were compacted through reduction of pores. The permeability was increased up to 13,904 as temperature of specimen increased to 110°C, however, it was decreased precipitously under 100 over 110°C. The exothermic behavior was observed in the frequency range from 1 kHz to 1 MHz that the maximum temperature of specimens became 102°C at 1 MHz. In the consequence, the Mn-Zn ferrite core developed by this research will maintain the stable electromagnetic properties since the temperature of ferrite core rose to 93°C in the range of 10 kHz to 450 kHz bandwidth qualified for PLC.

Key Words : Blocking filter, Exothermic behavior, Mn-Zn ferrite, PLC, Permeability

1. 서 론

초고속 전력선 통신(PLC, Power Line Communication)은 실용화 가능성이 매우 높은 통신 기술로 현재 많은 연구가 진행되고 있으며, 일부 상용화가 진행되고 있다. 그러나 전력선 통신에 사용되는 핵심 부품인 자심 재료에 대한 체계적 기술 개발은 현재 이루어지지 않고 있으며, 이러한 기반 기술 개발 없이 전력선 통신의 상용화에는 많은 문제점을 가지고 있다. 일반적으로 통신 필터에 사용되는 자심 재료는 저주파수 대역에서 자기적 특성을 가지며 고속 전력선 홈네트워킹을 위한 고주파 대역에서는 그 역할을 다할 수 없기 때문에 수 백 kHz 대역의 고주파에서도 우수하고 안정적인 자기적 특성을 가지는 자심 재료가 요구되고 있다. 그러나 고주파에서 사용되는 자심 재료는 큰 열적 손실을 수반하므로 이 손실을 최소화시킬 수 있는 기술 소재로 연질 페라이트는 필수 부품이며 실제로 연질 페라이트 코어는 다결정 소결체이고, 금속계 코어에 비해서 전기 비저항이 10³ ~ 10⁶배 정도 크기 때문에 와전류 손실(eddy current loss)이 적고 고주파까지 사용할 수 있다. 따라서 일반적으로 변압기 및 커플링 유닛 그리고 전력선 필터를 구성하는 인덕터의 자심 재료로 이용되고 있으며 원료 조성, 소결 온도, 첨가제 등에 따라 밀도, 결

정립 크기, 입계 저항을 변화시켜 최종 페라이트 소결체의 투자율과 손실특성에 영향을 미친다[1-5].

따라서 본 연구에서는 전력선 통신 블로킹 필터용 자심 재료를 개발하기 위해 고투자율 조성의 Mn-Zn계 페라이트를 선택하여 SiO₂와 CaO 그리고 제3의 첨가제인 MoO₃를 첨가하여 미세구조와 전자기적 특성에 미치는 영향을 고찰하였고 주파수에 따른 발열거동을 분석하여 실제 응용가능성에 대해 연구하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제조

Mn-Zn 페라이트의 3원 상태도에서 고투자율의 특성을 갖는 영역에 포함되는 MnO:ZnO:Fe₂O₃가 24 : 25 : 51 mol%의 조성을 선택하여 900°C에서 3시간 동안 하소하였고 하소된 분말을 분무 건조하여 과립을 얻었다. 저손실 고투자율 특성을 얻기 위해서 Mn-Zn 페라이트 과립에 SiO₂를 100 ppm과 200 ppm, CaO를 100 ppm에서 500 ppm 그리고 MoO₃ 첨가량을 0에서 1000 ppm까지 변화시켰다. 준비된 과립에 PVA를 결합제로써 0.1 wt% 첨가하여 1.5 ton/cm²의 압력으로 일축 가압 성형하였다. 성형체를 Fe³⁺ 이온이 Fe²⁺ 이온으로의 환원과 Mn²⁺ 이온의 Mn³⁺ 이온으로의 산화방지를 위하여 질소분위기에서 대기압 상수(A)를 7.8로 고정하고 등조성선(Isocomposition line)에 부합하는 산소 분압을 식 1로 계산하여 유지시키고 1350°C에서 소결하였으며, 냉각 시에는 산소 유입을 중단하고 질소 분위기 하에서 상온까지 냉각시켰다[6].

* 正 會 員 : 慶南大 工大 新素材工學部 教授

** 正 會 員 : (주) 매트론 技術研究所

*** 正 會 員 : 韓國電氣研究院 先任研究員

§ 正 會 員 : 慶南大 工大 材料工學科 博士課程

接受日字 : 2002年 3月 21日

最終完了 : 2002年 12月 17日

$$\text{Log } P_{O_2} = A - \frac{14540}{T(K)} \quad (1)$$

위의 화학 평형 식에서 P_{O_2} 는 산소분압, A는 실험적으로 변화시킬 수 있는 대기압 상수(atmosphere parameter), T는 절대온도를 나타낸다.

2.2 특성평가

열중량 분석기(TA Instruments, TA4100)를 이용하여 열중량 감소를 분석하였고, X-선 회절 분석기를 이용하여 Mn-Zn 페라이트 하소분말과 소결분말의 결정상을 분석하였으며, 아르키메데스 법으로 소결체의 밀도를 측정하였다. 미세구조를 분석하기 위해 주사전자현미경(SEM)을 이용하였고, 투자율은 0.6 Φ 의 코일을 10회 권선하고 Impedance Analyzer를 이용하여 인덕턴스를 측정 후 계산식을 이용하여 구하였다. 또한 파형 발생기와 열전대를 이용하여 주파수에 따른 발열거동을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 MnO 24 mol%, ZnO 25 mol%, Fe₂O₃ 51 mol%를 혼합한 분말의 열중량 분석(TGA)결과를 나타낸 것으로써 약 800 $^{\circ}$ C에서 시작된 급격한 무게감소가 1200 $^{\circ}$ C 근방에서 종결된 것을 볼 수 있다. 이는 각각의 출발 원료들이 산화환원 반응에 의해 스피넬 페라이트가 생성되었기 때문인 것으로 판단되며, 앞선 연구자들의 Mn-Zn 페라이트의 일반적인 스피넬화 반응연구 결과와 일치하는 것으로써 일반적으로 Mn-Zn ferrite는 MnO-ZnO-Fe₂O₃ 3성분계의 조성에서 생성되나, MnO-ZnO, ZnO-Fe₂O₃, MnO-Fe₂O₃ 3개의 2성분계가 조합된 것으로써 각 2성분계에서 산화물의 양을 1:1로 혼합할 경우의 반응은 아래와 같이 된다[1,7].

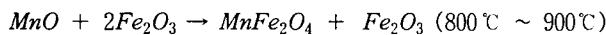
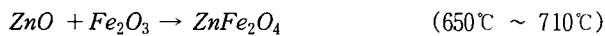
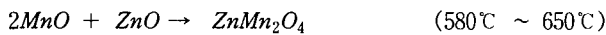


그림 2는 900 $^{\circ}$ C에서 하소한 분말과 1350 $^{\circ}$ C에서 소결된 Mn-Zn 페라이트의 X-선 회절분석 결과로써 하소한 분말에서는 미반응 상태의 α -Fe₂O₃가 일부 잔존하였으나 하소과정에서 잔존하는 이 미량의 α -Fe₂O₃는 소결 과정에서 촉매제의 역할을 할 수 있어 오히려 장점으로 적용되며 1350 $^{\circ}$ C에서 소결된 시편에서는 하소 후에 잔존했던 α -Fe₂O₃가 모두 스피넬화 되어 나타나지 않았다. 이는 그림 1에서와 같이 스피넬화 반응이 진행되는 온도인 900 $^{\circ}$ C와 스피넬화 반응이 완결된 1350 $^{\circ}$ C에서의 열중량 변화 분석결과와 각 온도에서의 반응식과 잘 일치함을 알 수 있다.

그림 3은 CaO 400 ppm, SiO₂ 200 ppm 첨가되고 MoO₃ 첨가량에 따른 미세구조를 나타낸 것으로써 그림 3-(a), (b)와 같이 MoO₃를 첨가하지 않은 시편과 MoO₃가 100 ppm 첨가된 시편의 경우에는 다수의 기공들이 존재하고 있는 것을 볼 수 있는데, 이것은 기본 첨가제로 사용된 CaO와 SiO₂가

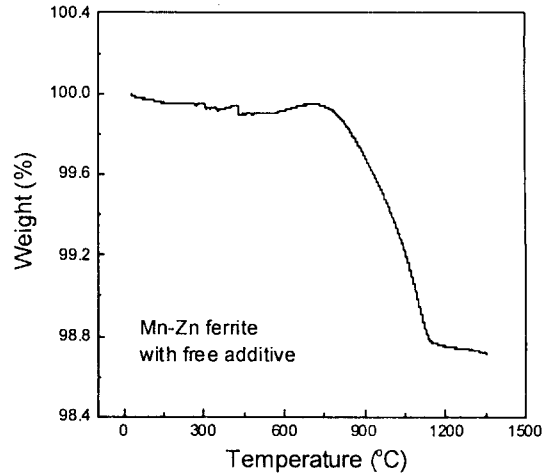


그림 1 열처리 온도에 따른 Mn-Zn ferrite의 열중량 분석 결과

Fig. 1 Weight change of the Mn-Zn ferrite

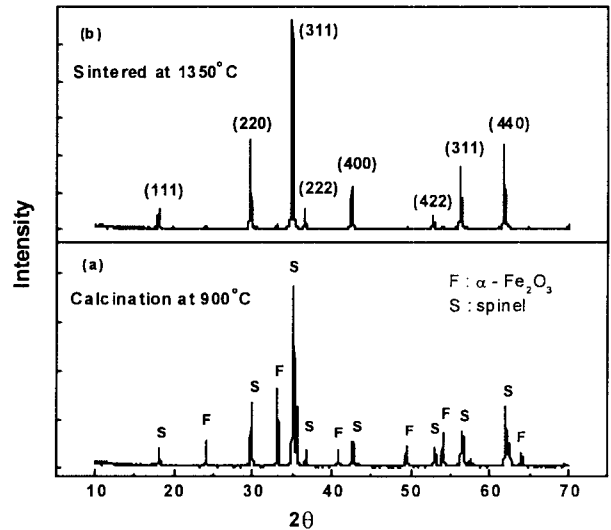


그림 2 Mn-Zn ferrite의 열처리 온도에 따른 X-선 회절분석 결과 (a) 900 $^{\circ}$ C 하소 후, (b)1350 $^{\circ}$ C 소결 후

Fig. 2 X-ray diffraction patterns

Mn-Zn ferrite와 1100 $^{\circ}$ C 부근에서 공정점이 형성되어 flux에 의한 입자성장이 촉진되는데 본 연구에서는 다량의 액상형성에 의한 급속한 치밀화 때문에 과대입자 성장이 발생하고 결정립 내부에 고립기공(closed pore)을 생성시킨 것으로 판단된다[8,9]. 일반적으로 투자율은 결정립의 크기에 비례하여 증가하지만 이러한 다수의 기공 존재는 페리(ferrite) 자성체의 고투자율에 지배적으로 영향을 미치는 자벽이동(domain wall movement)을 방해하여 투자율을 감소시키는 요인으로 작용한다. 또한 MoO₃의 100 ppm 첨가량까지는 미세구조에 큰 영향을 미치지 못했는데 이는 1100 \pm 10 $^{\circ}$ C에서 페라이트와 공정조성이 형성되어 입자성장을 촉진시키는 것으로 알려진 CaO와 SiO₂의 첨가에 지배적인 영향을 받았기 때문인 것으로 판단된다.

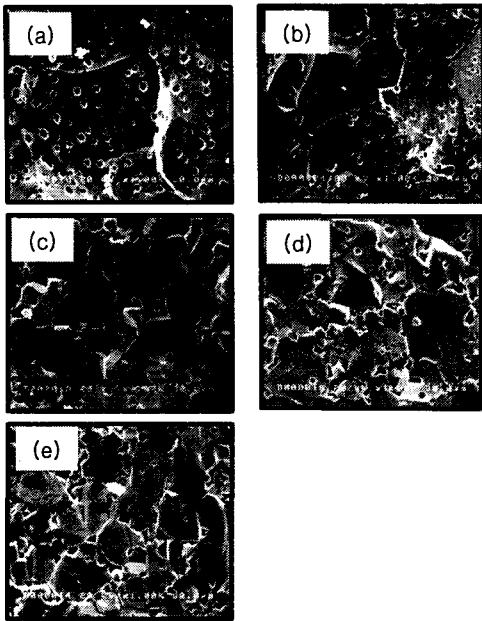


그림 3 1350℃에서 소결한 Mn-Zn ferrite의 MoO₃ 첨가량에 따른 미세구조 변화: (a)MoO₃ free additive, (b) 100 ppm, (c)400 ppm, (d)700 ppm, (e)1000 ppm

Fig. 3 Microstructures of the Mn-Zn ferrite as a function of MoO₃ additive

그러나 그림 3 - (c), (d), (e)의 MoO₃ 400 ppm 이상 첨가된 시편은 입내 기공이 거의 존재하지 않고, 결정립 크기도 균일하며 미세화되어 있는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 MoO₃를 첨가한 경우 소결시 3단계의 거동을 나타내게 되는데, 첫째 710℃ 부근에서 입계면에 액상을 형성하여 물질확산에 의한 입자성장 및 치밀화가 일어나며, 둘째 온도가 점차 증가함에 따라 MoO₃가 증발되는 현상을 나타내고, 마지막으로 격자확산에 의한 약간의 입자성장이 일어난다고 하였다. 그러나 이와 같은 소결 거동은 MoO₃ 단독으로 첨가된 경우, ZnO/MoO₃ 그리고 CaO/MoO₃의 mole% 비율이 1:1 이상인 MoO₃ 과다 영역(MoO₃ rich-region)에서 적용되는 것으로서 본 연구에서 사용된 MoO₃의 첨가량은 CaO나 ZnO와 공융반응을 통하여 액상을 형성할 수 있는 영역 밖에 존재하며 하소 공정 후에 MoO₃가 첨가되었기 때문에 ZnO와의 반응을 억제할 수 있다. 따라서 첨가된 MoO₃가 CaO와 선택적으로 결합하여 Ca₃MoO₆ 형태의 화합물로 소결 온도 이상까지 분해되지 않고 잔존하여 입계에 편석됨으로써 오히려 입자성장을 억제하는 효과를 나타낸 것으로 생각되고, CaO-SiO₂-Mn-Zn ferrite의 공정반응을 통해서 액상을 형성하는 등온 액상선이 CaO의 양이 감소하면 고온으로 이동하기 때문에 Mn-Zn ferrite의 미세구조에 지배적인 영향을 미치는 800℃ - 1200℃ 사이의 온도에서 생성되는 액상량이 감소되어 입자 미세화에 영향을 미친 것으로 판단된다[10-16].

그림 4는 MoO₃ 첨가량에 따른 소결 밀도와 1 kHz에서 측정된 상온(25℃)에서의 투자율 변화를 나타낸 것으로서 첨가량이 증가됨에 따라 밀도가 조금 증가되어 MoO₃가 400 ppm 첨가되었을 때 4.98 g/cm³의 가장 높은 밀도를 얻었으며, 그 이상의 첨가량에서는 큰 변화 없는 것이 관찰되었다. 이는

그림 3의 미세구조와 일치하는 결과로써 입자미세화에 따른 기공의 감소로 치밀한 미세구조를 갖기 때문인 것으로 생각된다. 또한 밀도 증가와 함께 투자율도 증가되어 MoO₃ 400 ppm 첨가되었을 때 초기 투자율을 5644의 최대 값을 얻었다. 그러나 그 이상의 MoO₃ 첨가량에서는 다시 투자율이 감소하였는데 이것은 비자성 이온인 MoO₃가 다량 첨가되어 전체적인 자기적 특성이 저하된 것으로 판단된다.

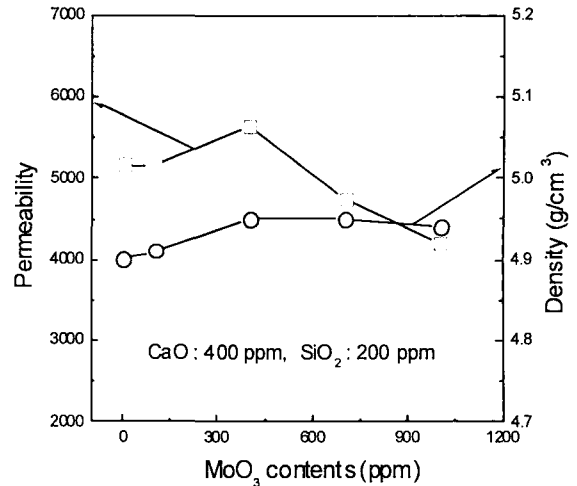


그림 4 MoO₃ 첨가량에 따른 밀도와 투자율 변화
Fig. 4 Density and permeability as functions of MoO₃ contents

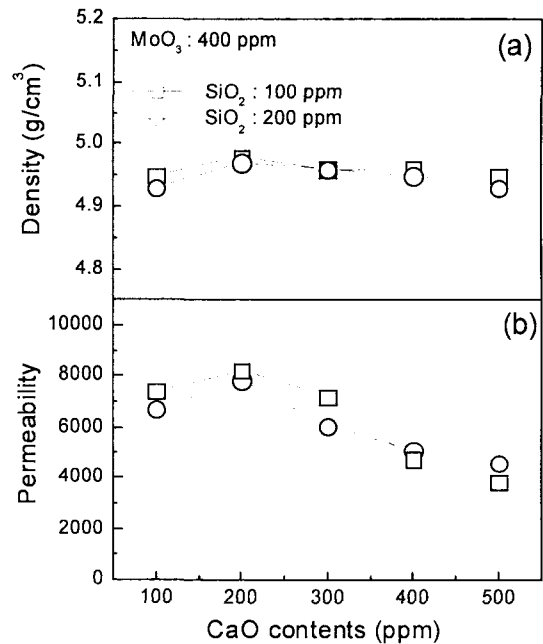


그림 5. CaO 첨가량에 따른 밀도(a)와 투자율(b)
Fig. 5. Density and permeability as functions of CaO contents

그림 5는 가장 높은 투자율 특성을 나타낸 MoO₃ 400 ppm 첨가량에 대한 CaO 및 SiO₂의 첨가량 변화에 따른 Mn-Zn 페라이트의 소결 밀도와 투자율을 나타낸 것으로서, 소결 밀

도는 큰 변화가 없었고 SiO₂의 함량에 무관하게 CaO 200 ppm 첨가된 시편에서 약간 증가되었다. 또한 상온에서 측정된 투자율은 CaO의 첨가량이 200 ppm까지는 증가되어 투자율 8221의 최고 값을 얻었고 그 이상 첨가된 시편에서는 투자율이 현저하게 감소하였다. 이것은 기공이 소멸되어 밀도가 증가했기 때문에 투자율이 증가됐고, CaO가 200 ppm 이상 첨가된 시편에서는 MoO₃, CaO, SiO₂와 같은 비자성 물질들이 다량으로 입계에 편석됨으로써 투자율이 현저하게 감소한 것으로 판단된다.

그림 6은 SiO₂가 100 ppm과 200 ppm 첨가된 경우 가장 높은 투자율 특성을 얻은 MoO₃ 400 ppm과 CaO 200 ppm이 첨가된 시편의 주파수에 따른 투자율을 나타낸 것이다. SiO₂의 첨가량에 무관하게 같은 경향의 주파수 특성을 나타내고 있으며, 약 100 kHz까지는 약간의 투자율 감소를 보이고 있지만 그 이상의 주파수 대역에서는 투자율이 급격히 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

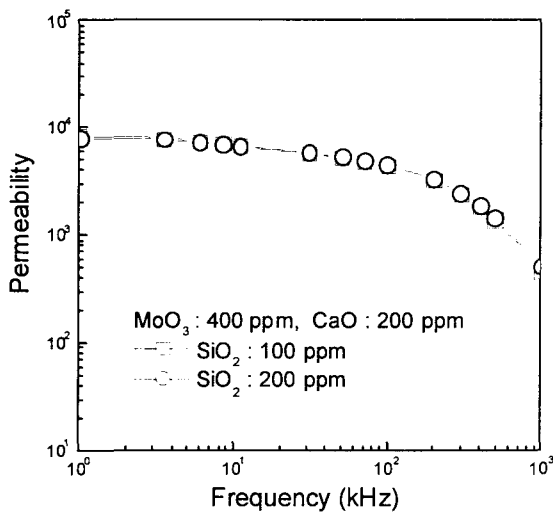


그림 6 MoO₃ 400 ppm, CaO 200 ppm, SiO₂ 100과 200 ppm 첨가된 시편의 주파수에 따른 투자율
Fig. 6 Permeability as a function of frequency

그림 7과 8은 CaO 및 SiO₂의 첨가량 증가에 따른 미세구조 변화를 나타낸 것이다. 결정립 크기는 CaO와 SiO₂의 첨가량에 큰 변화 없는 것을 볼 수 있는데, 이는 일반적으로 Mn-Zn 페라이트에 CaO와 SiO₂를 첨가했을 때 나타나는 입자성장을 MoO₃가 적정량 첨가되면서 오히려 결정립 성장을 억제하는 효과를 가져왔기 때문이다. 그러나 그림 7-(a)와 그림 8-(a)의 CaO가 100 ppm 첨가된 시편에서는 CaO가 제 3의 첨가제인 MoO₃와 선택적으로 결합하여 Ca₃MoO₆ 형태의 제 2상을 형성하기 때문에 입자성장을 억제시키는 CaO의 양이 상대적으로 감소하여, Fe 이온과 함께 반응하여 실제 소결 온도 보다 낮은 온도에서 액상을 생성시키며 과량 첨가 시 과대 입성장을 유발시키는 원소로 알려져 있는 SiO₂의 영향이 지배적이기 때문에 과대 입성장에 따른 약간의 입내 기공들이 관찰되었다. 그러나 CaO가 200 ppm 이상 첨가된 시편에서는 입내 기공이 감소되었으며[14] 이러한 결과에 의한 약간의 밀도 증가를 그림 5에서 확인할 수 있다.

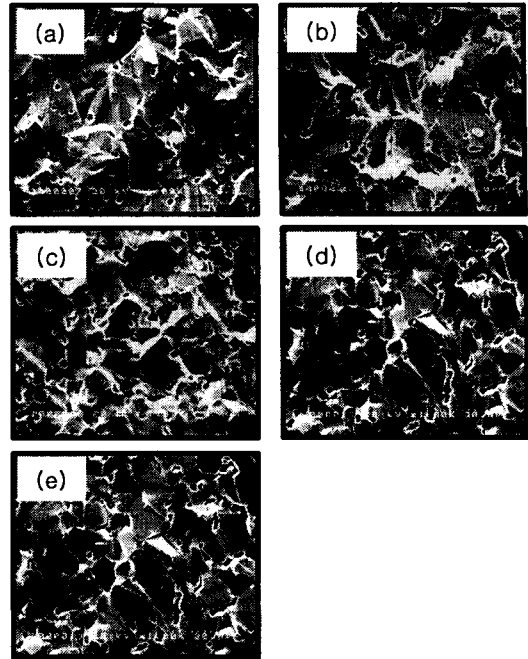


그림 7 Mn-Zn ferrite의 CaO 첨가량에 따른 미세구조 변화: SiO₂ 100 ppm, CaO (a) 100 ppm, (b) 200 ppm, (c) 300 ppm, (d) 400 ppm, (e) 500 ppm
Fig. 7 Microstructures of the Mn-Zn ferrite as functions of CaO contents

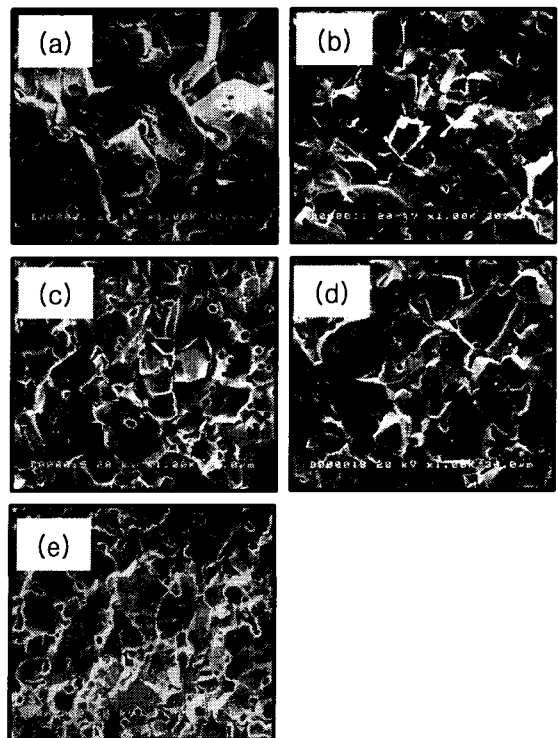


그림 8 Mn-Zn ferrite의 CaO 가량에 따른 미세구조 변화: SiO₂ 200 ppm, CaO (a) 100 ppm, (b) 200 ppm, (c) 300 ppm, (d) 400 ppm, (e) 500 ppm
Fig. 8 Microstructures of the Mn-Zn ferrite as functions of CaO contents

그림 9는 주파수에 따른 코어 표면의 발열거동 측정결과를 나타낸 것으로써 주파수가 증가할수록 발열량이 증가하여 1 MHz의 주파수에서는 시편의 온도가 102℃ 까지 상승하였다. 이것은 주파수에 따른 전력손실에 의한 것으로써 본 연구에서 선택한 고투자율 조성은 저손실 조성의 Mn-Zn 페라이트에 비해서 상대적으로 비저항이 낮기 때문에 와전류 손실(eddy current loss)에 의한 발열 거동은 고투자율 페라이트 코어의 특성을 규정짓는 중요한 요인으로 작용된다. 일반적으로 페라이트 코어는 상용 주파수가 고주파로 이동함에 따라 와전류 손실의 증가에 의한 열이 발생하여 일정 온도 이상으로 코어의 온도가 상승하면 자기적 성질을 잃게되는 현상이 발생하기 때문에 코어의 발열 온도 내에서 자기적 성질을 유지하는 것이 중요하다.

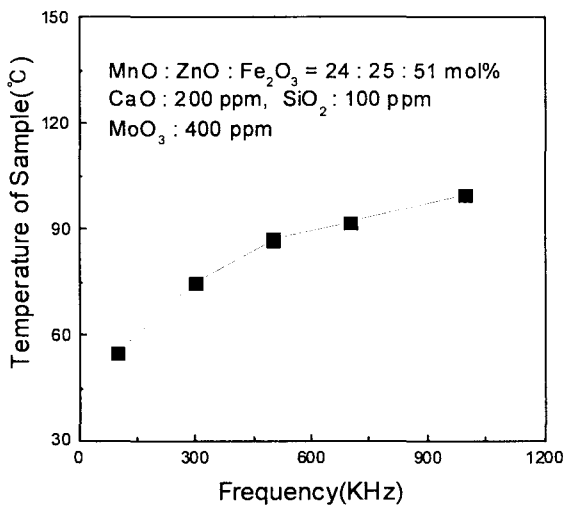


그림 9 Mn-Zn 페라이트의 주파수에 따른 발열거동
Fig. 9 Exothermic behavior as a function of frequency

그림 10은 MnO 24 mol%, ZnO 25 mol%, Fe₂O₃ 51 mol%의 기본 조성에 MoO₃ 400 ppm, SiO₂ 100 ppm, CaO 200 ppm을 첨가한 시편의 온도에 따른 투자율 변화를 도식화한 것으로써 상온(25℃)에서 8221의 값을 얻었지만 110℃에서는 13904의 매우 높은 투자율 값을 얻었다. 그러나 그 이상의 온도에서는 투자율이 급격히 감소하여 전력선 통신용 자심 재료로 사용이 불가능한 100 이하의 낮은 투자율 특성을 나타냈다.

따라서 현재 전력선 통신용 주파수 대역으로 규정되어 있는 10kHz ~ 450kHz에서는 최고 93℃까지 온도상승이 관찰되었으므로 본 연구에서 개발된 페라이트 코어는 규정 주파수 대역의 전력선 통신용 필터에 적용되어 안정적인 전자기적 특성을 발휘할 것으로 판단된다.

4. 결 론

전력선 통신용 블로킹 필터에 적용할 수 있는 고투자율 페라이트 코어를 개발하기 위해서 첨가제를 변화시켜 미세구조

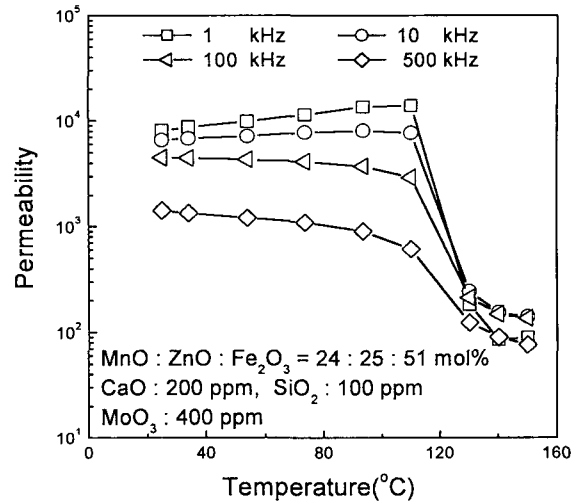


그림 10 Mn-Zn ferrite의 온도에 따른 투자율 변화
Fig. 10 Permeability as a function of temperature

와 전자기적 특성 및 발열거동을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. MnO 24 mol%, ZnO 25 mol%, Fe₂O₃ 51 mol%의 기본 조성에 MoO₃, SiO₂와 CaO를 첨가하여 미세구조를 제어할 수 있었으며, MoO₃ 400 ppm, SiO₂ 100 ppm, CaO 200 ppm을 첨가한 경우 평균 입경 25 μm의 균일한 결정립으로 구성된 미세구조를 얻었고, 기공의 감소에 의한 치밀화로 4.98 g/cm³의 고밀도화가 이루어졌다.
2. MoO₃ 400 ppm, SiO₂ 100 ppm, CaO 200 ppm을 첨가한 경우 25℃, 1 kHz 주파수 대역에서의 투자율 측정 결과 8,221의 가장 높은 투자율 특성을 나타냈다. 또한 시편 온도가 증가됨에 따라 투자율도 증가되어 110℃에서 13,904의 높은 투자율 값이 측정되었으며, 주파수 증가에 따라 시편 표면 온도가 1 MHz에서 102℃까지 상승하였다.
3. 현재 전력선 통신용 주파수 대역으로 규정되어 있는 100 kHz ~ 450 kHz에서는 93℃까지 온도상승이 관찰되었으므로 본 연구에서 개발된 페라이트 코어는 전력선 통신용 블로킹 필터에 적용되어 우수한 특성을 발휘할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-000-00232-02002) 지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 윤상욱, 이형직, 윤기현, 정형진, "자성재료세라믹스", 반도출판사, pp.20-110, 1996.
- [2] H. Rikukawa, and I. Sasaki, "Advances in Ferrites", pp.215, 1988.
- [3] Y. Bando, Y. Ikeda, T. Akashi and T. Takeda, "Modern Developments in powder Metallurgy", Vol.4, pp.339-348, 1971.
- [4] T. G. W. Stijntjes, Proc. Int. Conf. Ferrites, pp.194, 1970.
- [5] A. Goldman, "Modern Ferrite Technology", Kluwer Academic, pp.119, 1990.
- [6] J. M. Blank, Equilibrium Atmosphere Schedules for Cooling of Ferrite, J. Appl. Phys., 32, 376, 1961
- [7] 오영우, 김현식, 경남대학교 신소재 연구소 논문집, Vol. 7, pp.5-17, 1996.
- [8] Miha Y.Matsuo and K. Ono, IEEE. Trans. Mag., Vol.35, No.5, pp.3406, 1999.
- [9] R.Morineau and M. Paulus, Phys. State. Sol., Vol.20, No.a, pp.373, 1973.
- [10] H. Inaba and T. Abe, J.Solid state Chem., Vol.121, pp.117, 1996.
- [11] 김종령, 오영우, 김현식, 이해연, 민복기, 한국 전기 전자재료학회 춘계학술대회 논문집, pp.69-72, 2001.
- [12] C. Hendricks, V. Amarakoon and D. Sullivan, Am. Ceram. Bull., Vol.70, pp.817, 1992.
- [13] T.M.Yanushkevich and V.M. Zhukovskii, Russ.J.Inorg.Chem., Vol.18, No.8, pp.1182, 1973.
- [14] R.Kohlmuller and J.P.faurie, Bull. Soc. Chim. Fr., No.11, pp.4381, 1968.
- [15] D.K.Kunev, L.V.Belyaevskaua, and A.N.Zelikman, Russ. J. Inorg. Chem., Vol.11, No. 8, 1966.
- [16] E.F.Osborn and Arnulf Muan, J.Am. Ceram. Soc., Vol.10, 1960.

저 자 소 개



오 영 우 (吳 英 右)

1951년 5월 30일생. 1988년 부산대 무기 재료공학과 졸업(박사). 1985년~현재 경남대학교 신소재공학부 교수
 Tel : 055-249-2696, Fax : 055-248-5033
 E-mail : ceramoh@kyungnam.ac.kr



이 해 연 (李 海 淵)

1974년 5월 27일생. 2001년 경남대학교 재료공학과 졸업(석사) 현재 (주) 매트론 기술연구소 주임연구원
 Tel : 055-248-5030, Fax : 055-248-5031
 E-mail : hylee@matttrone.com



김 현 식 (金 賢 植)

1967년 3월 20일생. 1998년 경남대학교 재료공학과 졸업(박사) 1993년~2000년 4월 한국전기연구원 연구원, 현재 (주) 매트론 연구소장
 Tel : 055-248-5030, Fax : 055-248-5031
 E-mail : hskim@matttrone.com



허 정 섭 (許 廷 燮)

1970년 9월 10일생. 2000년 8월 경남대학교 무기재료공학과 졸업(석사), 현재 (주) 매트론 기술연구소 선임연구원
 Tel : 055-248-5030, Fax : 055-248-5031
 E-mail : jshuh@matttrone.com



민 복 기 (閔 馥 基)

1959년 9월 26일생. 1996년 고려대학교 재료공학과 박사과정 수료, 1986년~현재 한국전기연구원 선임연구원
 Tel : 055-280-1642, Fax : 055-280-1590
 E-mail : bkmin@keri.re.kr



김 중 령 (金 鍾 玲)

1973년 7월 23일생, 2002년 경남대학교 무기재료공학과 졸업(석사), 현재 동 대학원 박사과정
 Tel : 055-249-2696, Fax : 055-248-5033
 E-mail : jrkim@matttrone.com