

전력선 통신 Blocking filter용 자심 재료의 전자기적 특성

Electromagnetic properties of magnetic core materials used in the blocking filter for Power Line Communication

이해연*, 김현식*, 허정섭*, 안용운**, 오영우**

H.Y. Lee, H.S. Kim, J.S. Huh, Y.W. An, Y.W. Oh

Abstract

The electromagnetic properties and thermal behavior of ferrite cores used in the blocking filter for PLC were investigated as a function of additives. The highest density of 4.98 g/cm³ and permeability of 8221 were obtained to the specimen added MoO₃ 400 ppm, SiO₂ 100 ppm and CaO 200 ppm since the microstructures were compacted through reduction of pores in the specimen, The permeability was increased up to 13094 at 110°C with increasing temperature of specimen, however, it was decreased precipitously to under 100 over 110°C. The exothermic behavior was observed that the temperature of specimens became 102°C at 1MHz. In the consequence, the 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 10kHz to 450kHz bandwidth qualified for PLC.

Key Words : PLC(Power Line Communication), Mn-Zn ferrite, Permeability, Blocking filter, Exothermic behavior

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 가지므로, 고속 전력선 홈네트워킹을 위한 고주파 대역에서는 그 역할을 다할 수 없으며 수 백 kHz 대역에서도 우수하고 안정적인 자기적 특성을 가지는 자심 재료가 요구되고 있다.

Ferrite는 원료 조성 성분 및 소결 온도 변화 뿐만 아니라 고저항층을 형성하고 소결을 촉진시키기 위한 첨가제에 따라 최종 페라이트 소결체의 자기적 특성에 지대한 영향을 미친다. 미량의 첨가제에 의해 밀도나 입자 사이즈를 증가시켜 초기 투자율을 증가시키는 방법으로 Bando는 CaO와 SiO₂가 첨가되었을 때, 1100±10°C에서 페라이트의 공정조성이 형성되어 입자성장률 촉진시킨다고 보고하였고 Stijntjes는 SiO₂, ZrO₂, Bi₂O₃를 첨가하면 입계에 제2상으로 석출되어 고저항층을 형성시킴으로써 와전류 손실을 감소시킨다고 보고하였다. 그리고 SiO₂와 CaO의 첨가량이 각각 200 ppm과 400 ppm일 때 손실의 감소 특성이 가장 뛰어나다고 많은 연구자들에 의해 보고되었다[1,2].

따라서 본 연구에서는 전력선 통신 블로킹 필터용 자심 재료를 개발하기 위해 고투자율 조성의 Mn-Zn ferrite를 선택하여 SiO₂와 CaO 그리고 제3의 첨가제인 MoO₃를 첨가하여 미세구조와 전자기적 특성에 미치는 영향을 고찰하였다.

* (주) 매트론 기술 연구소
(경남 마산시 월영동 449,
Tel/Fax : 055-248-5030/5031
E-mail : hylee@matttrone.com)

** 경남대학교 신소재공학부

2. 실험

2.1 시편제조

고투자율의 특성을 갖는 MnO : ZnO : Fe₂O₃가 24 : 25 : 51 mol%의 조성을 선택하여 칭량하고 900℃에서 3시간 동안 하소하였다. 하소된 분말은 분무건조 하여 SiO₂를 100 ppm과 200 ppm, CaO를 100 ppm에서 500 ppm 그리고 MoO₃ 첨가량을 0에서 1000 ppm까지 변화시켜 첨가하였다. 준비된 과립에 1.5 ton/cm²의 압력으로 일축 가압 성형하여 1350℃에서 소결하였으며, 승온은 대기 중에서 소결 종료 30분 전부터 질소분위기에서 대기압 상수(A)를 7.8로 고정하고 등조성선(Isocomposition line)에 부합하는 산소 분압을 식 (1)으로 계산하여 유지시켰다.

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

열중량 분석기(TA)를 이용하여 열중량 감소를 분석하였고, X-선 회절 분석기를 이용하여 결정상을 분석하였다. 미세구조를 분석하기 위해 주사전 자현미경(SEM)을 이용하였고, 투자율은 Impedance Analyzer를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 Mn-Zn ferrite 혼합 분말의 열중량 분석(TGA)결과를 나타낸 것으로써 약 800℃에서 시작된 급격한 무게감소가 1200℃ 근방에서 종결된 것을 볼 수 있다. 이는 각각의 출발 원료들이 산화 환원 반응에 의해 스피넬 페라이트로 생성됨을 알 수 있었고, 이러한 열중량 분석결과는 기존 연구자들의 Mn-Zn ferrite의 스피넬화 반응에 대한 연구 결과와 일치하는 것으로써 일반적으로 Mn-Zn ferrite는 MnO-ZnO-Fe₂O₃ 3성분계의 조성에서 생성되지만, MnO-ZnO, ZnO-Fe₂O₃, MnO-Fe₂O₃ 3개의 2성분계가 조합된 것으로써 각 2성분계에서 산화물의 양을 1:1로 혼합할 경우의 반응은 아래와 같이 된다[3,4].

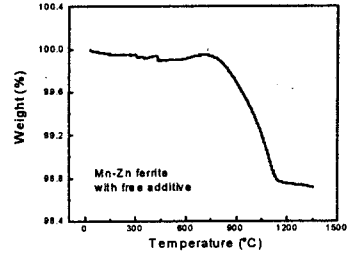
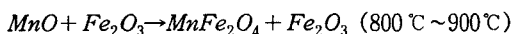
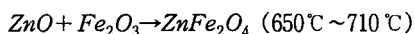
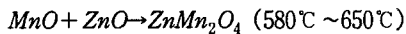


그림 1. Mn-Zn ferrite의 열중량 분석 결과
Fig 1. Weight change of the Mn-Zn ferrite

그림 2는 900℃에서 하소한 분말과 1350℃에서 소결한 Mn-Zn ferrite의 X-선 회절분석 결과로써 하소한 분말에서는 미반응 상태의 α-Fe₂O₃가 일부 잔존하였으나 소결 후의 시편에서는 모두 스피넬 화되어 나타나지 않았다. 이는 그림 1의 열중량 변화 분석결과와 각 온도에서의 반응식과 잘 일치함을 알 수 있다.

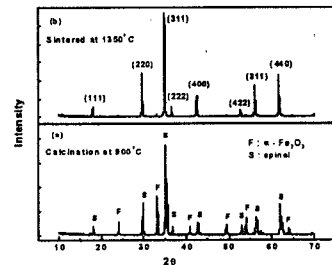


그림 2. Mn-Zn ferrite의 X-선 회절분석 결과
Fig. 2. X-ray diffraction patterns

그림 3은 CaO 400 ppm, SiO₂ 200 ppm 첨가되고 MoO₃의 첨가량 변화에 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 있다. 이는 기본 첨가제로 사용된 CaO와 SiO₂ 때문에 과다한 액상이 형성되어 과대입자 성장이 일어나 결정립 내부에 고립기공(closed pore)을 생성시킨 것으로 판단된다. 그러나 그림 3-(c), (d), (e)의 MoO₃ 400 ppm 이상 첨가된 시편의 미세구조에서는 입내 기공이 거의 존재하지 않고 있는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 MoO₃를 첨가한 경우 소결시 액상을 형성하여 물질확산에 의한 입

자성장 및 치밀화가 일어난다고 하였다. 그러나 이와 같은 소결 거동은 MoO_3 단독으로 첨가된 경우, ZnO/MoO_3 그리고 CaO/MoO_3 의 mole% 비율이 1:1 이상인 MoO_3 과다 영역(MoO_3 rich - region)에서 적용되는 것으로써 본 연구에서 사용된 MoO_3 의 첨가량은 CaO 나 ZnO 와 공정반응을 통하여 액상을 형성할 수 없는 영역에 존재하며 하소 공정 후에 MoO_3 가 첨가되었기 때문에 ZnO 와의 반응을 배제할 수 있다. 또한 첨가된 CaO 와 MoO_3 가 선택적 결합을 하여 Ca_3MoO_6 형태의 화합물로 소결온도 이상까지 분해되지 않고 잔존하여 입계에 편석됨으로 오히려 입자성장을 억제하는 효과를 나타낸 것으로 판단된다[5-7].

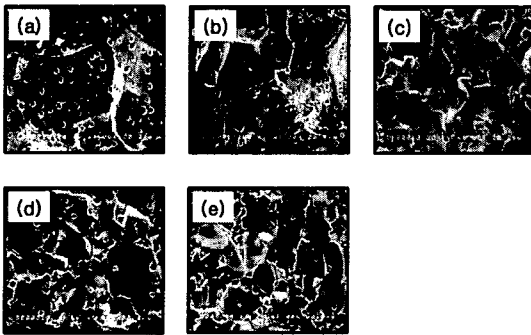


그림 3. Mn-Zn ferrite의 MoO_3 첨가량에 따른 미세구조 변화:
(a) MoO_3 free additive, (b) 100 ppm, (c) 400 ppm, (d) 700 ppm, (e) 1000 ppm
Fig. 3. Microstructures of the Mn-Zn ferrite as a function of MoO_3 additives

그림 4는 MoO_3 첨가량에 따른 소결 밀도와 상온(25°C)에서의 투자율 변화를 나타낸 것으로써 첨가량이 증가됨에 따라 밀도가 조금 증가되어 MoO_3 가 400 ppm 첨가되었을 때 4.98의 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 MoO_3 400 ppm 첨가되었을 때 초기 투자율 5644의 최대 값을 얻었다. 그러나 그 이상의 MoO_3 첨가량에서는 다시 투자율이 감소하였는데 이것은 비자성 이온인 MoO_3 가 다량 첨가되어 전체적인 자기적 특성이 저하된 것으로 판단된다.

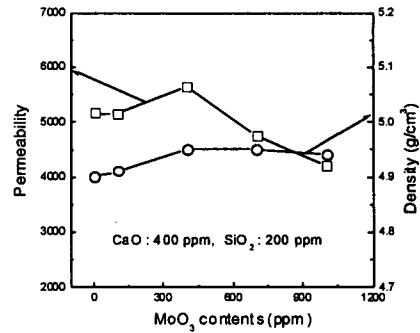


그림 4. MoO_3 첨가량에 따른 밀도와 투자율 변화
Fig. 4. Density and permeability as a function of MoO_3 contents

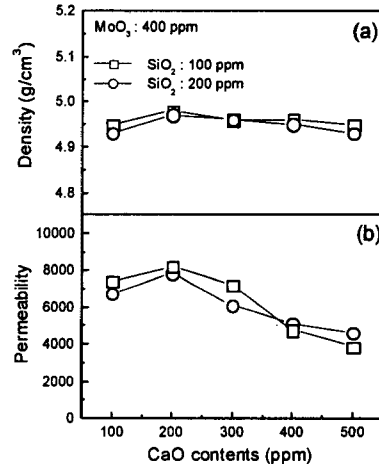


그림 5. CaO 첨가량에 따른 (a)밀도와 (b)투자율
Fig. 5. Density and permeability as a function of CaO contents

그림 5는 가장 높은 투자율 특성을 나타낸 MoO_3 400 ppm 첨가량에 대한 CaO 및 SiO_2 의 첨가량 변화에 따른 밀도와 투자율을 나타낸 것으로써, 밀도는 큰 변화가 없었고 SiO_2 의 함량에 무관하게 CaO 200 ppm 첨가된 시편에서 약간 증가되었다. 또한 투자율은 CaO 의 첨가량이 200 ppm까지는 증가되어 투자율 8221의 최고 값을 얻었고 그 이상 첨가된 시편에서는 투자율이 현저하게 감소하였다. 이것은 기공이 소멸되어 밀도가 증가했기 때문에 투자율이 증가됐고, CaO 가 200 ppm 이상 첨가된 시편에서는 MoO_3 , CaO , SiO_2 와 같은

비자성 물질들이 다량으로 입계에 편석 됨으로써 투자율이 현저하게 감소한 것으로 판단된다.

그림 6은 주파수에 따른 코어 표면의 발열거동 측정결과를 나타낸 것으로써 주파수가 증가할수록 발열량이 증가하여 1 MHz의 주파수에서는 시편의 온도가 102℃ 까지 상승하였다. 일반적으로 ferrite 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.

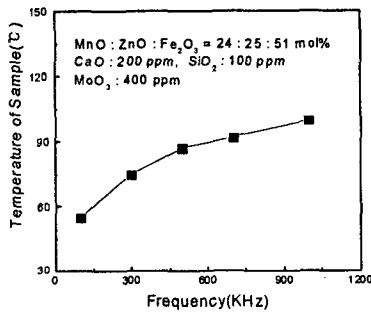


그림 6. Mn-Zn ferrite의 주파수에 따른 발열거동
Fig. 6. Exothermic behavior as a function of frequency

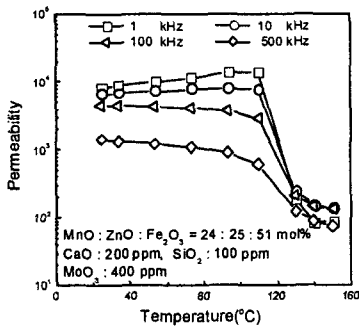


그림 7. Mn-Zn ferrite의 온도에 따른 투자율
Fig. 7. Permeability as a function of temperature

그림 7은 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 전력선 통신용 필터에 적용되어 안정적인 특성을 발휘할 것으로 판단된다.

4. 결론

고투자율 ferrite 코어를 개발하기 위해서 첨가제를 변화시켜 미세구조와 전자기적 특성 및 발열거동을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. MnO 24 mol%, ZnO 25 mol%, Fe₂O₃ 51 mol%의 기본 조성에 MoO₃ 400 ppm, SiO₂ 100 ppm, CaO 200 ppm을 첨가한 경우 25℃, 1 kHz 주파수 대역에서의 투자율 측정 결과 8221의 가장 높은 투자율 특성을 나타냈으며, 기공의 감소에 의한 치밀화로 4.98 g/cm³의 고밀도화가 이루어졌다.

2. 시편 온도가 증가됨에 따라 투자율도 증가되어 110℃에서 13,904의 높은 투자율 값이 측정되었으며, 주파수 증가에 따라 시편 표면 온도가 1 MHz에서 102℃까지 상승하였지만, 전력선 통신용 주파수 대역인 10kHz ~ 450kHz에서는 93℃까지 증가하였다.

참고 문헌

- [1] T. G. W. Stijntjes, Proc. Int. Conf. Ferrites, pp.194, 1970.
- [2] A. Goldman, "Modern Ferrite Technology", pp.119, 1990.
- [3] 윤상욱, 이형직, 윤기현, 정형진, "자성재료세라믹스", 반도출판사, pp.20-110, 1996.
- [4] 오영우, 김현식, 경남대학교 신소재 연구소 논문집, Vol. 7, pp.5-17, 1996.
- [5] H. Inaba and T. Abe, J.Solid state Chem., Vol.121, pp.117, 1996.
- [6] H. Inaba and T. Abe, J.Solid state Chem., Vol.121, pp.117, 1996.
- [7] R.Kohlmuller and J.P.faurie, Bull. Soc. Chim. Fr., No.11, pp.4381, 1968.