

Blocking filter 자심 재료용 Mn-Zn ferrite의 전자기적 특성 및 신호 감쇄율

이해연, 김현식*, 김종령, 오영우**

(주) 매트론*, 경남대학교**

Electromagnetic properties and attenuation of Mn-Zn ferrite used in the blocking filter application

Hae-Yon Lee, Hyun-Sik Kim*, Jong-Ryung Kim and Young-Woo Oh**

MATTRON Co., Ltd., Kyungnam Univ.1**

Abstract

전력선 통신 blocking filter-용 자심 재료를 개발하기 위해서 MnO 24 mol%, ZnO 25 mol% and Fe₂O₃ 51 mol%의 기본조성에 MoO₃, SiO₂, CaO를 첨가하여 1350℃에서 대기압 상수 A를 7.8를 고정하고 소결하여 미세구조를 제어하였으며 기본 조성에 MoO₃ 400 ppm, SiO₂ 100 ppm and CaO 200 ppm을 첨가한 경우 평균 입경 25 μm의 균일한 결정립으로 구성된 미세구조를 얻었고 기공의 감소에 의한 치밀화로 4.98 g/cm³의 고밀도화가 이루어 졌다. 또한 소결체의 균일한 미세구조와 고밀도화로 인해서 8221(25℃, 1 kHz)의 가장 높은 투자율 특성을 나타냈다. 시편의 온도가 증가함에 따라 투자율이 증가되어 110℃에서 13904의 거대 투자율이 측정되었고. 코일의 인가주파수가 1 kHz에서 1 MHz까지 증가됨에 따라 최고 102℃까지 시편 온도가 상승하였다. 가장 높은 투자율 특성을 나타낸 ferrite 코어를 사용하여 단상 및 3상용 블로킹 필터의 감쇄율을 측정된 결과 현재 국내의 전력선 통신용 주파수 대역으로 규정되어 있는 10 kHz ~ 450 kHz 대역에서 각각 -46.46 dB와 -73.9 dB의 최고 값을 얻었다.

Key Words : 전력선 통신, Mn-Zn ferrite, 감쇄율, blocking filter, 발열거동

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 soft ferrite는 필수 부품이며 실제로 변압기 및 커플링 유닛의 자심 재료로 이용되고 있으며 원료 조성, 소결 온도, 첨가제 등에 따라 밀도, 결정립 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-Zn ferrite를 선택하여 SiO₂와 CaO 그리고 제 3의 첨가제인 MoO₃를 첨가하여 미세구조와 전자 기적 특성에 미치는 영향을 고찰하였고 주파수에 따른 발열거동과 감쇄율을 분석하여 실제 응용가능성에 대해 연구하였다.

2. 실험

2.1 시편제조

Mn-Zn ferrite의 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 ferrite 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].

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

위의 화학 평형 식에서 P_{O₂}는 산소분압, A는 실험적으로 변화시킬 수 있는 대기압 상수, T는 절대온도를 나타낸다. X-선 회절 분석기를 이용하여 Mn-Zn ferrite 하소분말과 소결분말의 결정상을 분석하였으며, 아르키메데스 법으로 소결체의 밀도를 측정하였다. 미세구조를 분석하기 위해 주사전자현미경(SEM)을 이용하였고, 투자율은 0.6φ의 코일을 10회 권선하고 Impedance Analyzer를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 900°C에서 하소한 분말과 1350°C에서 소결한 Mn-Zn ferrite의 X-선 회절분석 결과로써 하소한 분말에서는 미반응 상태의 α-Fe₂O₃가 일부

잔존하였으나 소결 후의 시편에서는 모두 스피넬화되어 나타나지 않았다. 이는 그림 1의 열중량 변화 분석결과와 각 온도에서의 반응식과 잘 일치함을 알 수 있다.

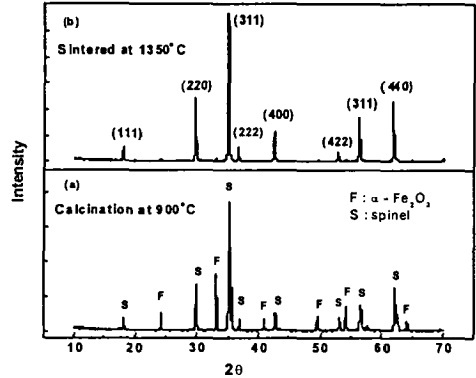


그림 1. Mn-Zn ferrite의 X-선 회절분석 결과

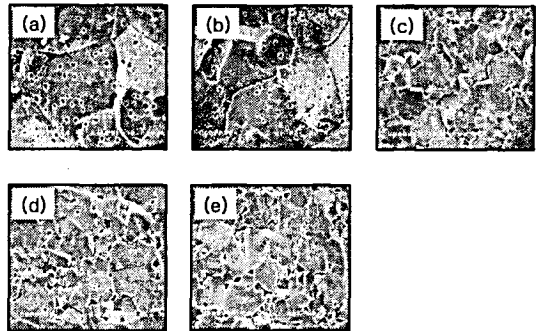


그림 2. Mn-Zn ferrite의 MoO₃ 첨가량에 따른

미세구조 변화:

- (a) MoO₃ free additive, (b) 100 ppm, (c) 400 ppm, (d) 700 ppm, (e) 1000 ppm

그림 2는 CaO 400 ppm, SiO₂ 200 ppm 첨가되고 MoO₃의 첨가량 변화에 따른 미세구조를 나타낸 것으로써 그림 2-(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 2-(c), (d), (e)의 MoO₃ 400 ppm 이상 첨가된 시편의 미세구조에서는 입내 기공이 거의 존재하지 않고

있는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 MoO_3 를 첨가한 경우 소결시 액상을 형성하여 물질확산에 의한 입자성장 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 하소공정 후에 MoO_3 가 첨가되었기 때문에 ZnO 와의 반응을 배제할 수 있다. 또한 첨가된 CaO 와 MoO_3 가 선택적 결합을 하여 $\text{Ca}_3(\text{MoO}_4)_2$ 형태의 화합물로 소결온도 이상까지 분해되지 않고 잔존하여 입계에 편석됨으로 오히려 입자성장을 억제하는 효과를 나타낸 것으로 판단된다[5-7].

그림 3은 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.

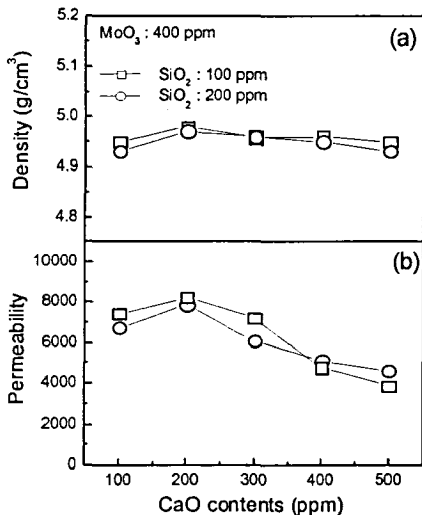


그림 3. CaO 첨가량에 따른 (a)밀도와 (b)투자율

그림 4는 주파수에 따른 코어 표면의 발열거동 측정결과를 나타낸 것으로써 주파수가 증가할수록 발열량이 증가하여 1 MHz의 주파수에서는 시편의 온도가 102°C 까지 상승하였다. 일반적으로 ferrite 코어는 상용 주파수가 고주파로 이동함에 따라 와전류 손실의 증가에 의한 열이 발생하여 일정온도 이상으로 코어의 온도가 상승하면 자기적 성질을 잃게되는 현상이 발생하기 때문에 코어의 발열 온도 내에서 자기적 성질을 유지하는 것이 중요하다.

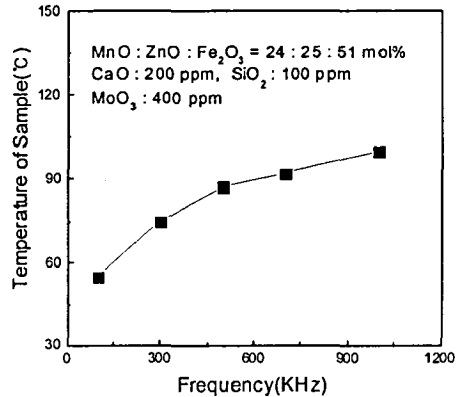


그림 4. Mn-Zn ferrite의 주파수에 따른 발열거동

그림 5는 MnO 24 mol%, ZnO 25 mol%, Fe_2O_3 51 mol%의 기본 조성에 MoO_3 400 ppm, SiO_2 100 ppm, CaO 200 ppm을 첨가한 시편의 온도에 따른 투자율 변화를 도식화한 것으로써 상온(25°C)에서 8221의 값을 얻었지만 110°C에서는 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°C까지 온도상승이 관찰되었으므로 전력선 통신용 필터에 적용되어 안정적인 특성을 발휘할 것으로 판단된다.

그림 6은 블로킹 필터의 주파수에 따른 감쇄율 측정 결과이다. 단상 블로킹 필터의 경우 전력선 통신용 주파수인 100 kHz 이상 450 kHz 이하의 주파수 대역에서 최고 -46.46 dB의 최고 감쇄율을 얻었고, 3상 50 A급 블로킹 필터의 경우는 최고 -73.9 dB의 감쇄율을 얻었다. 동일한 주파수 대역에서 단상과 3상용 블로킹 필터의 감쇄율의 현격한 차이를 볼 수 있는데, 이는 분전반과 적산전력

계에서 블로킹 필터 설치공간이 제한되어 있으므로 각각의 블로킹 필터에 사용된 Mn-Zn ferrite core의 크기가 다르기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 사용된 core의 크기가 상대적으로 큰 3상용 블로킹 필터는 높은 inductance 값으로 인하여 주파수에 상관없이 단상용 블로킹 필터의 감쇄율 보다 우수한 것으로 사료된다.

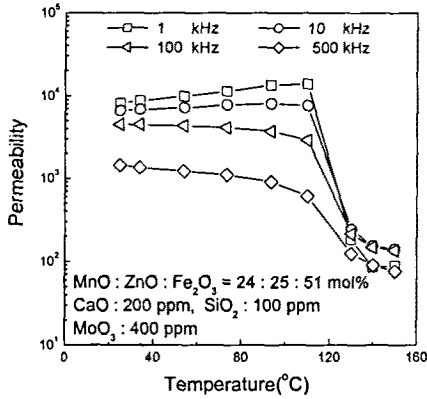


그림 5. Mn-Zn ferrite의 온도에 따른 투자율

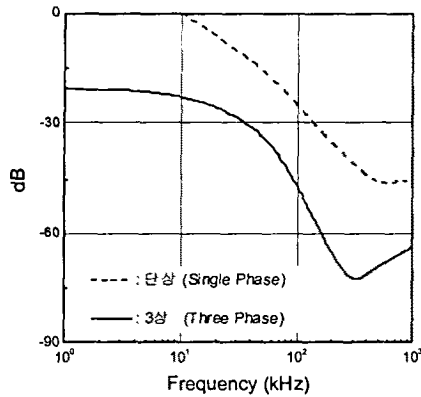


그림 6. 단상 및 3상 블로킹 필터의 감쇄율

4. 결론

전력선 통신용 필터에 사용할 수 있는 고투자율 ferrite 코어를 개발하기 위해서 기본 조성, 첨가제 그리고 소결 조건을 변화시켜 미세구조와 전자적 특성 및 발열거동을 고찰하고 개발된 코어를 사용하여 제작된 블로킹 필터의 감쇄율을 측정 한 결과 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°C, 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°C에서 13,904의 높은 투자율 값이 측정되었으며, 주파수 증가에 따라 시편 표면 온도가 1 MHz에서 102°C까지 상승하였지만, 전력선 통신용 주파수 대역인 10kHz ~ 450kHz에서는 93°C까지 증가하였다.

3. 개발된 ferrite 코어를 사용하여 제조된 단상 및 3상용 블로킹 필터의 감쇄율을 측정한 결과 현재 국내의 전력선 통신용 주파수 대역으로 규정되어 있는 10 kHz ~ 450 kHz 대역에서 각각 -46.46 dB와 -73.9 dB의 최고 값을 얻었다.

참고 문헌

- [1] 윤상옥, 이형직, 윤기현, 정형진, "자성재료세라믹스", 반도출판사, P. 20, 1996.
- [2] H. Rikukawa, and I. Sasaki, "Advances in Ferrites", p. 215, 1988.
- [3] Y. Bando, Y. Ikeda, T. Akashi and T. Takeda, "Modern Developments in powder Metallurgy", Vol.4, p.339, 1971.
- [4] A. Goldman, "Modern Ferrite Technology", Kluwer Academic, p. 119, 1990.
- [5] J. M. Blank, "Equilibrium Atmosphere Schedules for Cooling of Ferrite", J. Appl. Phys., 32, 376, 1961
- [6] 오영우, 김현식, 경남대학교 신소재 연구소 논문집, Vol. 7, p.5, 1996.
- [7] T. M. Yanushkevich and V. M. Zhukovskii, Russ. J. Inorg. Chem., Vol.18, No.8, p.1182, 1973.