

Blocking filter용 자심 재료의 전자기 특성 및 신호 감쇄율

Electromagnetic Properties of Magnetic Core Materials and Attenuation of Blocking Filter

오영우*, 이해연*, 김현식**
(Young-Woo Oh*, Hae-Yon Lee*, and Hyun-Sik Kim**)

Abstract

The electromagnetic properties and thermal behavior of Mn-Zn ferrite cores for the blocking filter of Power Line Communication(PLC) application were investigated as a function of additives. The highest density and permeability were 4.98 g/cm³ and 8,221, respectively and were obtained to the specimen with composition of MnO 24 mol%, ZnO 25 mol% and Fe₂O₃ 51 mol%, added MoO₃ of 400 ppm, SiO₂ of 100 ppm, and CaO of 200 ppm. The uniform grains were organized, and the microstructures were densified due to reduction of pores in the specimen. The permeability was increased up to 13,904 as the 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, and the maximum temperature of specimen was 102°C at 1 MHz. In the consequence, the Mn-Zn ferrite core developed in this research will maintain the stable electromagnetic properties since the temperature of ferrite core rose to 93°C in the range of 100 kHz to 450 kHz bandwidth qualified for PLC. The blocking filters were designed for single phase and three phases using the in-line and non-contact core. The best attenuation ratios of -46.46 dB and -73.9 dB were measured in the range of 100 kHz to 450 kHz bandwidth, respectively.

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

1. 서론

최근에 차세대 인터넷 통신망으로 주목받고 있는 전력선 통신(PLC, Power Line Communication)은 실용화 가능성이 매우 높은 통신 기술로 현재 많은 연구가 진행되고 있으며, 일부 상용화가 진행되고 있다[1]. 그러나 전력선 통신에 사용되는 핵

심 부품 중 블로킹 필터에 사용되는 자심 재료에 대한 체계적 기술 개발은 현재 이루어지지 않고 있으며, 이러한 기반 기술 개발 없이 전력선 통신의 상용화에는 많은 문제점이 예상된다. 일반적으로 전력선 필터에 사용되는 자심 재료는 저주파수 대역에서 자기적 특성을 가지므로, 고속 전력선 홈네트워킹을 위한 고주파 대역에서는 그 역할을 다할 수 없다.

고주파에서 사용되는 자심 재료는 큰 열적 손실을 수반하므로 이 손실을 최소화시킬 수 있는 기술 소재로 soft ferrite는 필수 부품이며, 실제로 연질 페라이트는 다결정 소결체이고, 금속계 코어에 비해서 전기 비저항이 10⁴ ~ 10⁶배 정도 크고 낮은

* : 경남대학교 신소재공학부
(마산시 월영동 449번지,
Fax: 055-248-5033
Coressponding Author : ceramoh@kyungnam.ac.kr)
** : (주) 매트론 기술연구소
2003년 2월 10일 접수, 2003년 3월 4일 1차 심사완료,
2003년 3월 19일 최종 심사완료

와전류 손실(eddy current loss)때문에 고주파까지 사용할 수 있다. 따라서 변압기 및 커플링 유닛 그리고 전력선 필터를 구성하는 인덕터의 자심 재료로 이용되고 있지만 전력선 홈네트워킹용 블로킹 필터에 사용하기 위해서는 수 백 kHz 대역에서도 우수하고 안정적인 자기적 특성을 가지는 자심 재료가 요구되고 있다[2-6].

따라서 본 연구에서는 전력선 통신용 블로킹 필터에 응용 가능한 자심 재료를 개발하기 위해 고 투자율의 특성을 갖는 조성의 Mn-Zn 페라이트를 선택하여 SiO₂와 CaO 그리고 제3의 첨가제인 MoO₃를 첨가하여 미세구조와 전자기적 특성에 미치는 영향을 고찰하고, 전력선 통신을 위한 필수 요소인 전력선 통신용 블로킹 필터를 설계하고 제작하여 그 특성을 평가하였으며, 실제 응용가능성에 대해 연구하였다.

2. 실험

MnO : ZnO : Fe₂O₃ = 24 : 25 : 51 mol%의 고 투자율의 특성을 갖는 Mn-Zn ferrite 조성을 선택하여 5°C/min의 승온 속도로 900°C에서 3시간 동안 하소하였다. 하소된 분말은 건조온도 200°C에서 분무건조하여 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 결합제로서 0.1 wt% 첨가하여 1.5 ton/cm²의 압력으로 일축 가압 성형하였다. 성형체는 7°C/min의 승온 속도로 1350°C에서 소결하였다. Fe³⁺ 이온이 Fe²⁺ 이온으로의 환원과 Mn²⁺ 이온의 Mn³⁺ 이온으로의 산화방지를 위하여 질소분위기에서 대기압 상수(A)를 7.8로 고정시키고 등조성선(Isocomposition line)에 부합하는 산소 분압을 식 (1)로 계산하여 유지시켰다.

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

위의 화학 평형 식에서 P_{O₂}는 산소분압, A는 실험적으로 변화시킬 수 있는 대기압 상수(atmosphere parameter), T는 절대온도이다. 제조된 Mn-Zn 페라이트 중에서 가장 높은 투자율 특성을 갖는 시편을 이용하여 단상 및 3상용 전력선 블로킹 필터를 제작하였다.

Mn-Zn 페라이트 하소분말과 소결분말을 X선

회절 분석기를 이용하여 결정상을 분석하였으며, 아르키메데스 법으로 소결체의 밀도를 측정하였다. 미세구조와 결정립 크기를 분석하기 위해 주사전자현미경(SEM)을 이용하였고, 0.6Φ의 코일을 10회 권선하고 Impedance Analyzer를 이용하여 투자율을 측정하였다. 또한 과형 발생기와 열전대를 이용하여 1 kHz ~ 1000 kHz 범위에서 발열거동을 측정하였다. Oscilloscope를 사용하여 제조된 전력선용 블로킹 필터의 감쇄율을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 900°C에서 하소한 분말과 1350°C에서 소결한 Mn-Zn 페라이트의 X선 회절분석 결과로써 하소한 분말에서는 미반응 상태의 α-Fe₂O₃가 일부 잔존하였으나 소결 후의 시편에서는 모두 스피넬화되어 나타나지 않았다.

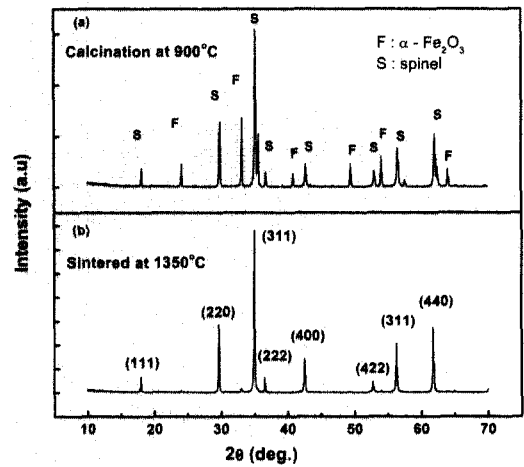


그림 1. Mn-Zn 페라이트의 열처리 온도에 따른 X선 회절분석 결과.

(a) 900°C 하소 후, (b) 1350°C 소결 후.

Fig. 1. X-ray diffraction patterns of Mn-Zn ferrite after calcination at 900°C and sintering at 1350°C.

그림 2는 CaO를 400 ppm, SiO₂를 200 ppm 첨가하고 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 CaO

와 SiO₂ 때문에 과다한 액상이 형성되어 과대입자 성장이 일어나 결정립 내부에 고립기공(closed pore)을 생성시켰기 때문인 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 MoO₃를 첨가한 경우 소결시 액상을 형성하여 물질확산에 의한 입자성장 및 치밀화가 일어난다고 하였다[7]. 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 공정반응을 통하여 액상을 형성할 수 없는 영역에 존재하며, 하소 공정 후에 MoO₃가 첨가되었기 때문에 ZnO와의 반응을 배제할 수 있다. 또한 첨가된 CaO와 MoO₃가 선택적 결합을 하여 Ca₃MoO₆ 형태의 화합물로 소결온도 이상까지 분해되지 않고 잔존하여 입계에 편석됨으로써 오히려 입자성장을 억제하는 효과를 나타낸 것으로 판단된다[6,8,9].

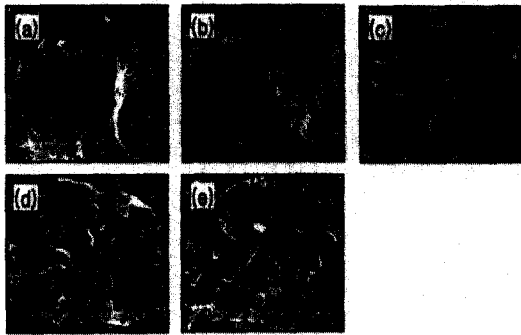


그림 2. Mn-Zn 페라이트의 MoO₃ 첨가량에 따른 미세구조 변화.

Fig. 2. Microstructures of the Mn-Zn ferrite as a function of MoO₃ additive:

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

그림 3은 가장 높은 투자율 특성을 나타낸 MoO₃ 400 ppm 첨가량에 대한 CaO 및 SiO₂의 첨가량 변화에 따른 밀도와 투자율을 나타낸 것으로서, 밀도는 큰 변화가 없었고 SiO₂의 함량에 무관하게 CaO 200 ppm 첨가된 시편에서 약간 증가되었다. 또한 투자율은 CaO의 첨가량이 200 ppm 까

지는 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.

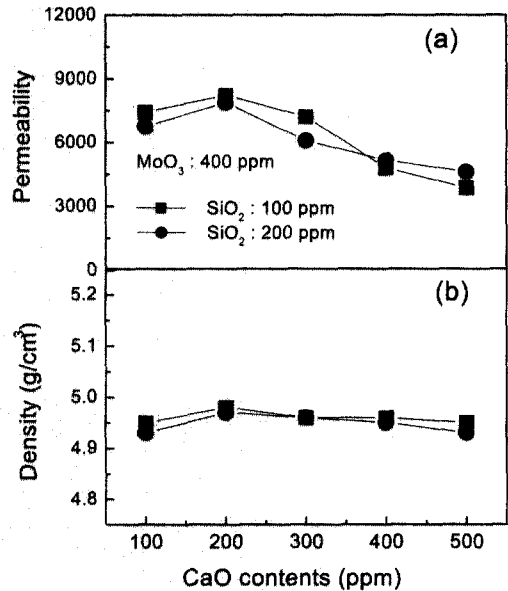


그림 3. CaO 첨가량에 따른 투자율(a)과 밀도(b).
Fig. 3. Permeability(a) and density(b) as a function of CaO contents.

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

그림 5는 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 것으로서 상온(25°C)에서 8,221의 값을 얻었지만 110°C에서는 13,904의 매우 높은 투자율 값을 얻었다. 그러나 그 이상의 온도

에서는 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.

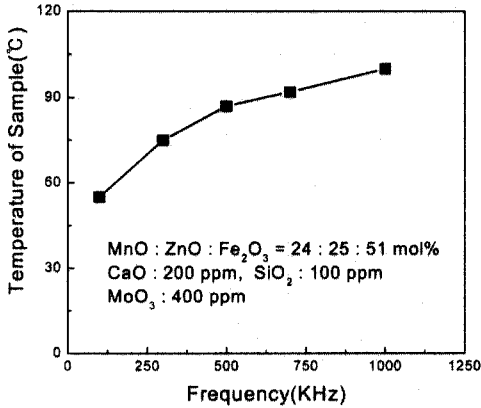


그림 4. Mn-Zn 페라이트의 주파수에 따른 발열거동.
Fig. 4. Exothermic behavior of Mn-Zn ferrite as a function of frequency.

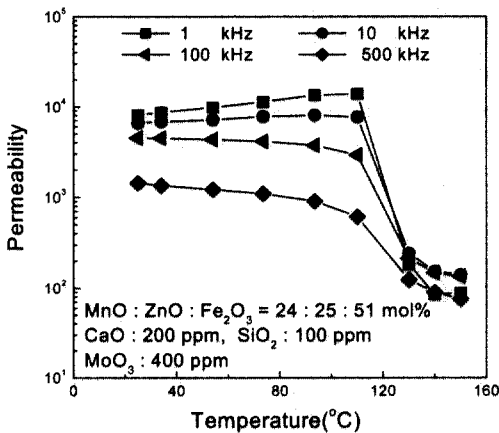


그림 5. Mn-Zn 페라이트의 온도에 따른 투자율.
Fig. 5. Permeability of Mn-Zn ferrite as a function of temperature.

블로킹 필터는 전력선 통신을 위해 전원 주파수 50 Hz 또는 60 Hz에는 영향을 주지 않고 특정 주파수 대역의 신호만을 감쇄하는 장치로서 분전반

또는 세대 분전함에 설치되어 태내의 전력선 통신 신호가 태외로 전송되는 것을 차단하고 태외의 전력선 통신 신호가 태내로 유입되는 것을 차단한다. 또한 현재 전력선 통신 모델은 100 kHz 이상 450 kHz 이하의 주파수를 통신 주파수로 사용하고 있기 때문에 blocking filter의 상용화를 위해서는 그림 6 과 같이 100 kHz ~ 450 kHz의 신호 대역에서 최소 -30 dB 이상의 높은 신호 감쇄율이 요구된다.

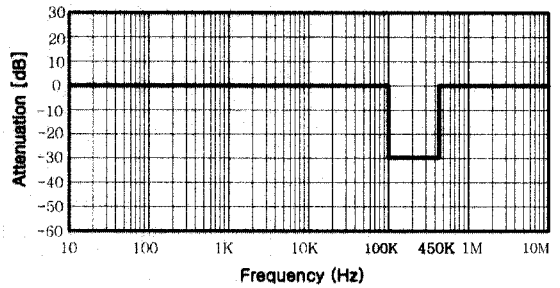


그림 6. 이상적인 Blocking filter의 감쇄율.
Fig. 6. Attenuation ratio of ideal blocking filter.

그림 7은 본 실험에서 8,221의 가장 높은 투자율 특성을 나타낸 Mn-Zn ferrite를 이용하여 전원 방식에 따라서 단상과 3상용으로 분리하여 제조된 블로킹 필터의 회로도이다. 각각의 AC 라인에 연결되어 있는 인덕터는 전력선이 코어 내부로 지나가는 인 라인 코어(In Line Core)의 형태로 구성하였고, 전력선 사이에 캐패시터를 연결하였다. 또한 3상용 블로킹 필터의 인덕터 중 배선용 차단기(MCCB)의 1차측에 사용된 L2는 기존에 설치된 전력선의 절단이 불가능한 경우이기 때문에 코어를 절단하여 케이스 내에 코어를 넣어서 블로킹 필터를 구성하였다. 각각의 blocking filter에 사용된 자심재료의 크기를 표1에 나타내었다.

표 1. Blocking filter에 사용된 자심 재료의 형상.
Table 1. Dimension and number of core used in each blocking filter.

Dimension (mm)	Mn-Zn Ferrite core		
	L	L1	L2
O. D.	21.5	27.7	21.5
I. D.	13.8	16	13.8
Thickness	12.3	12.7	12.3
Number	2	4	2

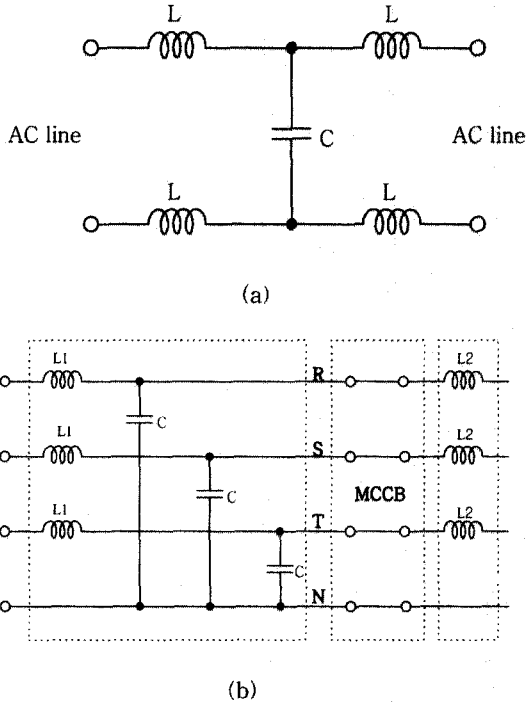


그림 7. 단상(a) 및 3상 50A 급(b) 블로킹 필터 회로도.

Fig. 7. Circuit diagrams of Blocking filter as functions of power types single phase (a) and three phases(b).

그림 8은 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 적산전력계에서 블로킹 필터 설치공간이 제한되어 있으므로 각각의 블로킹 필터에 사용된 Mn-Zn 페라이트 코어의 크기가 다르기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 사용된 core의 크기가 상대적으로 큰 3상용 블로킹 필터는 높은 인덕턴스 값으로 인하여 주파수에 상관없이 단상용 블로킹 필터의 감쇄율 보다 우수한 것으로 사료된다.

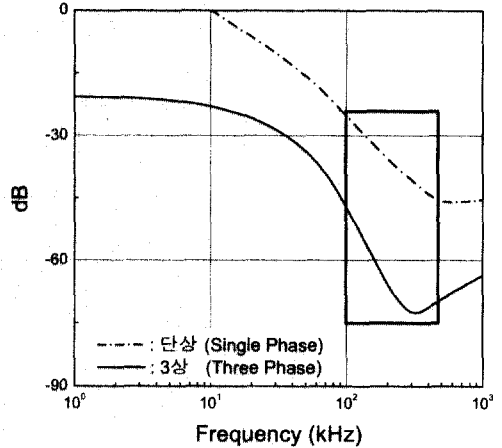


그림 8. 단상 및 3상 블로킹 필터의 감쇄율.
Fig. 8. Attenuation ratio of Blocking filter as functions of power types.

4. 결론

전력선 통신용 필터에 사용할 수 있는 고투자율 페라이트 코어를 개발하기 위해서 기본 조성, 첨가제 그리고 소결 조건을 변화시켜 미세구조와 전자기적 특성 및 발열거동을 고찰하였고, 개발된 코어를 이용하여 블로킹 필터를 제작하여 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℃, 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 10 kHz ~ 450 kHz에서는 93℃까지 증가하였다.
3. 개발된 페라이트 코어를 사용하여 제조된 단상 및 3상용 블로킹 필터의 감쇄율을 측정 한 결과 현재 국내의 전력선 통신용 주파수 대역으로 규정되어 있는 10 kHz ~ 450 kHz 대역에서 각각 -46.46 dB와 -73.9 dB의 최고 값을 얻었다.

감사의 글

본 연구는 2002학년도 경남대학교 학술논문게재 연구비 지원으로 이루어졌음.

참고 문헌

- [1] Y. Honda, M. Inoue, R. Iwatsubo, and K. Sakanobe, "Protocol analyzer for home busSystem(HBS)", IEEE trans. Consumer Electronics, Vol. CE-36, No. 3, p. 686, 1990.
- [2] 오영우, 이선학, 이해연, 김현식, "첨가제 변화에 따른 $Ni_{0.8}Zn_{0.2}Fe_2O_4$ 의 미세구조와 자기적 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 5호, P. 406, 2002.
- [3] H. Rikukawa and I. Sasaki, "Advances in Ferrites", South Asia books, p. 215, 1989.
- [4] 김종령, 오영우, 김덕훈, 이해연, 김현식, 민복기, "첨가제 변화에 따른 Mn-Zn ferrite의 자기적 특성", 한국전기전자재료학회 2001하계 학술대회논문집, p. 69, 2001.
- [5] 문현욱, 서강수, 최희태, 신용진, "저손실 Mn-Zn-Fe 페라이트의 제조에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 3권, 3호, p. 205, 1990.
- [6] 윤상욱, 이형직, 윤기현, 정형진, "자성재료세라믹스", 반도체출판사, P. 20, 1996.
- [7] Y. Matsuo, K. Ono, M. Ishikura, and I. Sasaki, "Effects of MoO_3 addition on Manganese Zinc ferrite", Vol. 33, No. 5, p. 3751, 1997.
- [8] 오영우, 김현식, "Mn-Zn 페라이트의 입계 전기 저항층 형성", 경남대학교 신소재 연구소 논문집, 7권, p. 5, 1996.
- [9] T. M. Yanushkevich and V. M. Zhukovskii, "System $MoO_3 - CaO$ ", Russ. J. Inorg. Chem., Vol. 18, No. 8, p. 1182, 1973.