

저손실 Mg-Zn 페라이트

권 오 흥 김 도 환 최 영 지
관동대학교 IT학부

Low loss Mg-Zn Ferrites

Oh-Heung Kwon Do-Hwan Kim Young-Ji Choi
Kwandong University
E-mail : koh@kwandong.ac.kr

요 약

최근 트랜스 및 코일에 쓰이는 소프트 페라이트 코어는 많은 전자·통신소자에 응용이 되고 있다. 특히, 전기적 특성면에서 다른 금속 재료에 비하여 극히 높은 비저항을 갖으며, 주파수 영역역시 수백 MHz를 넘는 곳에 사용이 된다. 현재 사용되는 용도는 TV 및 퍼스널컴퓨터의 디스플레이에 사용되는 편향요크용, 후라이백, 트랜스용 코어 등에 사용되며 소형 경량화가 요구되고 있다. 따라서 편향 요크용 페라이트 코어에는 고주파수 영역에 있어서 낮은 코아로스 재료가 요구되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 Mg-Zn 페라이트에 있어서 화학조성 및 프로세스가 미세구조에 미치는 영향에 대한 구체적인 연구를 검토하였다.

키워드

Mg-Zn, ferrite, 저손실, 소프트 페라이트 코어, 편향 요크

1. 서 론

Ferrite는 산화철(Fe₂O₃)을 주성분으로 다양한 금속 산화물과의 결합으로 형성된 "산화물"계의 자성 재료이다. 보자력의 강약에 따라 한번 주어진 자기를 반영구적으로 보존하는 자기적으로 강한 Hard Ferrite(경자성재료)와 자심으로서 코일을 감은 경우 이것에 전류를 통하고 있는 동안은 자기를 띠고(자화) 전류를 차단하면 자기를 상실하는 자기적으로 약한 Soft Ferrite(연자성재료) 두 종류로 나눌 수 있으며, Hard-Ferrite는 영구자석으로 Ba계, Sr계와 Nd계 Ferrite가 많이 사용되고 있다. 현재 제조되고 있는 Soft Ferrite Spinel형은 Mn-Zn계, Ni-Zn계, Mg-Zn계의 3가지 재질로 크게 나눌 수 있다. Mn-Zn Ferrite는 포화자속밀도와 초투자율이 높고, 낮은 전력손실의 특성으로 고투자율이 요구되는 트랜스포머용 코어, 인덕터, 필터, 초크코일 등 전자기기에 널리 쓰이고 있으며, Ni-Zn Ferrite는 저투자율, 높은 전기 비저항을 갖아 와전류의 손실이 금속자성재료에 비하여 작기 때문에 저투자율 재료로서 전자파 흡수제, EMI suppressor 등에 사용되며, 각종 인덕터, 소형 트랜스로서 표면실장용 전자부품등에 이용되어지고 있다. Mg-Zn

Ferrite는 주로 편향요크용 Ferrite 코어 재료로서 대량 생산되며, 가전용 제품 및 통신용 전자부품인 TV 및 computer 모니터의 DY(Deflection Yoke)용으로 사용되어지고 있다. 이들 Ferrite의 선택은 얻어지는 전자기 특성, 사용되는 주파수 영역, 형상, 가격 등으로 결정된다. 전자산업이 발전할수록 전자기기 및 전자부품은 경박 단소화로 되어가기 때문에 고기능성 소재의 필요성이 절실하게 대두되고 있는 실정이다. 소프트 Ferrite는 전기 비저항이 매우 높기 때문에 고주파수 대역의 사용재료로서 유익할 것으로 판단된다.

Mg-Zn Ferrite는 cost performance에 매우 뛰어난 재료로 즉, 가격대비 자기 에너지가 매우 우수하기 때문에 주로 체적이 큰 편향요크코어 재료로서 대량 생산되고 있다. Mg계 Ferrite가 전자재료로서 실용화된 것은 마이크로파용 부품이 처음으로, 편향요크용 Ferrite 재료로서 적용된 것은 1957년경이다. 이후에 다른 Ferrite 재료와 같이 구동시 발열을 억제하기 때문에 자기손실의 저감이 중요한 문제가 되어 검토되고 있다. 지금 현재는 Mg-Zn Ferrite의 생산량은 다른 Ferrite 보다 많으나, 또한 해마다 매출에 있어서는 감소하는 현상을

갖고 있는 것은 사실이다. 그러나 해마다 생산량의 증가는 꾸준히 진행이 되고 있으며 폭넓은 고품질의 Mg-Zn Ferrite의 개발과 저손실 저온소성 장점을 갖고 있다. 편향요크코어의 판매가 부진한 것은 낮은 원료비와 구매자에게 싸고 양질의 것을 제공하려하는 가격경쟁이 심하기 때문이다. 현재의 산업시장 규모로는 브라운관 디스플레이와 액정 디스플레이가 반씩 점유할 것으로 보인다. 따라서, 브라운관 디스플레이는 액정 디스플레이가 까다롭게 여기는 대형화면과 가격경쟁 면에서 아직은 승산이 있다고 판단된다. 최근에는 편향요크코어의 형상이 원형뿐만 아니라 각종 편향요크도 만들어지고 있다. 이것은 액정 디스플레이에 대항하여 평면 디스플레이용으로 개발된 것이다. Ferrite의 재료는 그대로이나 프로세서에 있어서 기술이 필요하다. 이들의 편향요크가 사용되는 수평주파수는 현재에 있어서 TV가 32kHz까지이며 디스플레이용으로는 100kHz까지 높아지고 있다. 결국은 Mg-Zn Ferrite는 파워계 재료로 낮은 코어로스가 요구되고 있다. 특히, 최근에 고품위 TV 및 정세도 디스플레이용으로 화상의 정세도를 높이기 위해서 수평편향 주파수를 높이려는 움직임이 일고 있다. Mg-Zn계 Ferrite는 코스트 퍼포먼스에 매우 뛰어난 재료로 주로 체적이 큰 편향요크용 Ferrite 코어에는 고주파수 영역에 있어서도 코어로스가 낮은 재료가 요구된다. 본 연구에서는 Mg-Zn Ferrite에 있어서 화학조성 및 프로세스가 미세구조에 미치는 영향에 대한 구체적인 연구를 검토하였다.

II. 실험 방법

MgO, ZnO, Mn₂O₃, Fe₂O₃, CuO를 원료로 하였으며, 기본조성으로는 저손실 재료의 특성을 나타내는 27.33mol%의 MgO, 20.33mol%의 ZnO, 0.13mol%의 Mn₂O₃, 51.11mol%의 Fe₂O₃, 1.1mol%의 CuO를 선택하였다. 조성비의 변화는 표1과 같다. 실험에 있어서 실험방법 및 소성조건은 그림1, 2와 같이 실행하였다. 혼합시에는 불순물의 유입을 최대한 방지하기 위하여 planetary mill에서 지르코니아 볼을 사용하여 24시간 불밀하였으며, toroid형으로 성형한 후, 하소는 box furnace를 사용하여 공기 중에서 950℃에서 5시간 동안 수행하였다. 하소한 재료를 다시 불순물의 유입을 최대한 방지하기 위하여 planetary mill로 24시간 동안 분쇄하여, 이때 이 분말에 결합제(binder)로 PVA (polyvinyl alcohol) 0.65wt%를 넣은 후 과립화를 하였으며, 다시 성형시 성형을 벽과의 마찰을 줄이기 위해 윤활제를 첨가하여, toroid (외경 20φ × 내경 15φ × 두께 4mm) 형태에 1.5ton/cm²의 압력으로 성형하였다. 성형체는 binder와 각종 유기물들을 제거하기 위하여 binder burn out을 한 후, 성형체는 980℃~1350℃까지 100℃/h의 속도로 승온하여 4시간 소결한 후 150℃/h의 속도로 서냉하였다. 승온부와 냉각부를

공기중에서 소성한 경우와 승온부를 공기중에서 냉각부를 질소중에서 소성한 경우, 승온부와 냉각부를 질소중에서 소성한 경우에 따라 소성을 하였다. 질소 분압은 공기와 질소가스의 유량비로 제어하였다. 이렇게 소결된 시료들은 Impedance analyzer를 이용하여 투자율을 측정하였고, 전력손실은 30mT, 100kHz, 80℃의 상태에서 측정하였다. 이들 시료의 미세구조는 주사 전자 현미경을 사용하여 관찰하였다.

표 1. 제작한 시료의 조성표

| | MgO | ZnO | Mn ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CuO |
|---|-------|-------|--------------------------------|--------------------------------|-------|
| A | 27.33 | 20.33 | 0.13 | 51.11 | 1.1 |
| B | 26.83 | 20.33 | 0.63 | 50.2 | 2.01 |
| C | 23.3 | 19.83 | 1.13 | 49.2 | 6.54 |
| D | 20.33 | 19.83 | 1.63 | 48.2 | 10.01 |

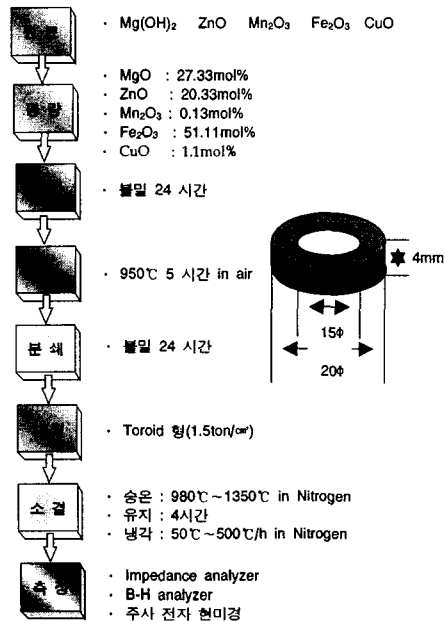


그림 1. 실험방법

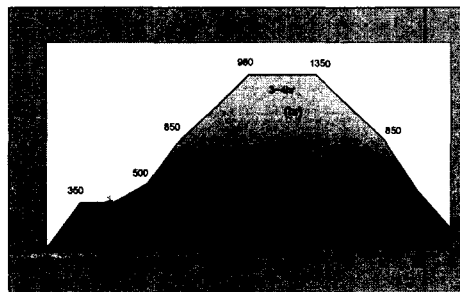


그림 2. 소성조건

III. 실험 결과 및 고찰

코어로스에 영향을 미치는 인자로 고전적인 개념으로 생각하면 그림 3과 같다. 따라서 전자기 특성 및 미세구조를 볼 것 같으면 이것들은 조성 및 첨가물의 선택과 분체특성 프로세스(공정)에 의한 다양한 반응기조에 의해 발생한다.

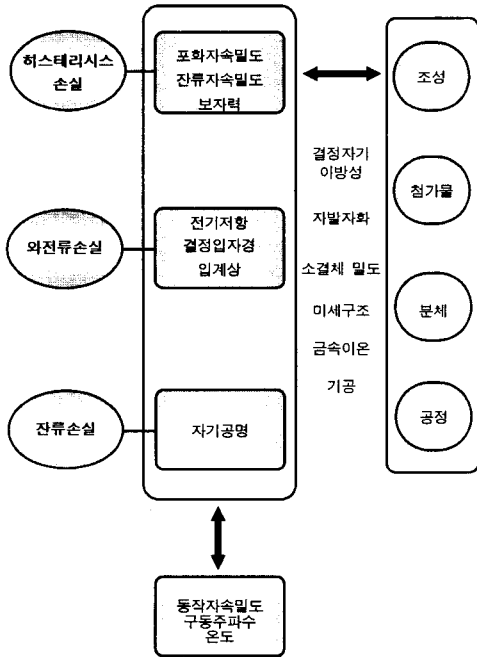


그림3. 코어로스에 영향을 미치는 인자

주파수 1승에 비례하는 히스테리시스 손실과 주파수 2승에 비례하는 와전류손실이 현저하게 높은 Mg-Zn계 Ferrite의 고성능화를 나타내기 위한 방법으로는 화학량 조성, ZnO량의 증가, 치환물을 첨가하여 결정자기이방성에 영향을 주어 결정자기이방성을 저감시켜 히스테리시스 손실을 줄일 수 있는 방법이 필요하며 단, ZnO량은 편향요크에 필요한 균형도 있으므로 주의하지 않으면 안 된다. 따라서, 양단의 로스에 영향을 주는 미세구조의 제어에는 소성조건을 좁히는 것이 대표적인 수단이나 특히, 경제성을 중요시한 Mg-Zn계 Ferrite에서는 불순물을 많이 포함하는 것에서 미량성분의 거동에 조성이 더욱 필요하다.

그림 4.에는 1주기단위의 코어로스 와 주파수의 관계를 나타내고 있다. 기존의 Mg-Zn계 Ferrite는 다른 재료와 비교하여 y절편이 높고, 주파수에 대한 기울기도 큰 것을 알 수 있다. 고전적인 코어 로스의 분석식에서 볼 것 같으면 y절편은 주파수에 비례하는 히스테리시스 손실의 크기를, 기울기는 주파수의 2승에 비례하는 와전류손실의 크기를 나타낸다. 결국, Mg-Zn계 Ferrite는 Mn-Zn계 Ferrite 및 Ni-Cu-Zn계 Ferrite와 비교하여 주파수에 비례하는 로스 및 주파수의 2승에 비례하는 로

스가 현저하게 큰 것을 알 수 있었다. 또, 전기저항이 다른 재료에 비하여 4자리 정도 낮은 Mn-Zn계 Ferrite는 와전류 손실이라고 일컬어지는 주파수의 2승에 비례하는 로스가 매우 낮고 뛰어난 재료임을 알 수 있다. 각각의 페라이트 재료의 미세구조에 있어서도 각 재질은 공통적으로 평균입자크기가 20 μ m정도이나, Mg-Zn계 Ferrite는 불연속입성장이 일어나 입자안에는 포아 및 에치피트가 많이 존재하고 있는 것을 알 수 있었으며, 미세구조의 비교에서도 Mn-Mg-Zn계 Ferrite는 확실히 다른 페라이트 재료와는 다른 것을 알 수 있었다.

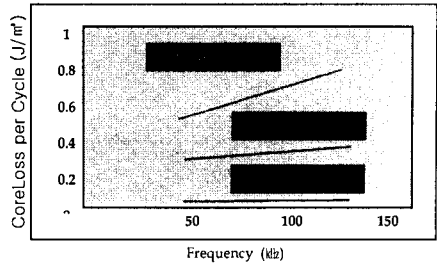


그림 4. 1주기 단위의 코어로스와 주파수의 관계

본 연구에서는 A~D로 제작한 시료의 조성에 따른 Mg-Zn Ferrite의 미세구조를 살펴보면, 작년에 발표한 논문에서와 같이 대체로 Ferrite의 미세구조는 소결속도에 영향을 받는다. 공기중 소성을 제어하는 인자로서, 고온 소성중의 화학량 조성 과 저온소성중의 화학량 조성 과 Fe₂O₃의 차이가 있다. 또, 소성중의 화학량 조성에서의 Fe₂O₃의 차이는 Fe₂의 농도에 영향을 미치며, 결정자기이방성에도 관계한다. 고온에서 소성한 경우, 코어로스는 화학량 조성 부근에서 최고가 된다. 저온에서 소성한 경우는 화학량 조성보다 Fe₂O₃량이 많은 조성에 있어서 코어로스가 낮아졌다. 저온에서 경우에도, 화학량 조성보다도 Fe₂O₃량이 많은 조성에 있어서 코어로스는 낮아지나, 각기 조성에 있어서 코어로스는 낮아지나, 각기 조성의 코어로스는 매우 높게 나타나는 형태를 유지하였다. 또한, 본 연구에서 Cu 첨가에 따른 Ferrite는 1050 $^{\circ}$ C 정도에서 소결의 거동이 이루어졌다. 그림 5와 같이 재질 모두 880 $^{\circ}$ C 부근에서 열 수축이 시작되었으며, Mg를 Cu로 치환하지 않은 시료와 비교하여 치환한 것은 Cu의 함유량이 증가함에 따라 온도에 대한 열수축이 높은 것을 알 수 있었다.

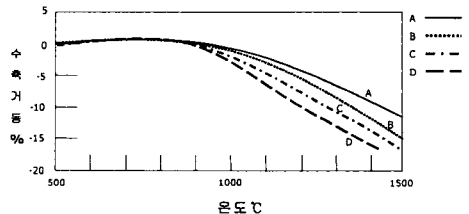


그림 5. CuO첨가에 의한 시료응온시 수축변화

Cu의 고용에 의한 Mg-Zn계 Ferrite에서도 비교적 낮은 온도에 있어서 치밀화가 진행되는건 본 연구에서 확인되었으며, 이들의 시료를 각기 적당한 소성온도에서 작제하여 코어로스를 측정한 결과 그림 6.과 같이 20~60(kW/m²)의 결과치를 보여주었다. Mg-Zn Ferrite에서 Fe를 Mn으로 치환한 시료 쪽이 조금 낮은 코어로스를 얻었으며, Mg를 Cu로 치환했을 때는 앞에서 치환한 시료보다 더 낮은 소성온도에서 더 낮은 코어로스를 얻었다.

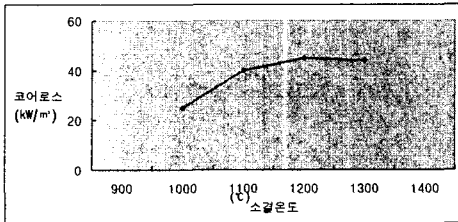


그림 6. 소성온도와 코어로스의 관계

Cu 치환한 Mg-Zn Ferrite의 코어로스가 낮아지는 요인을 분석해보면 일반적으로 주파수에 비례하는 히스테리시스 손실을 자기이방성과 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 여기서 자기이방성과 관계가 있는 것으로 알려진 초투자율과 히스테리시스 손실이 작아지는 것을 표 2.와 그림 7.에서 알 수 있었다. 그것은 Cu 치환이 약 6mol% 이상 치환한 시료에서 높은 투자율이 얻어졌으며, Cu 치환에 의해 결정자기이방성이 작아져 히스테리시스 손실이 줄어든 것으로 생각된다.

표 2. 성형밀도에 따른 수축비와 초투자율

| 100℃, 100kHz | | | |
|--------------|------|-------|---------------|
| 시료 | 성형밀도 | 수축비 | 초투자율(μ) |
| A | 2.91 | 1.182 | 850 |
| B | 2.91 | 1.184 | 950 |
| C | 2.91 | 1.185 | 1200 |
| D | 2.91 | 1.183 | 1250 |

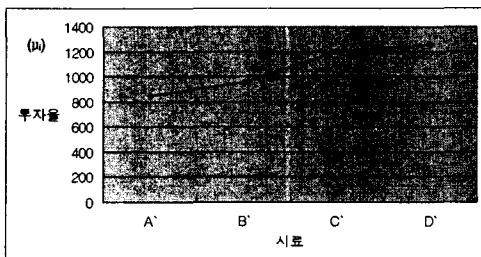


그림 7. 첨가량 변화에 의한 투자율 변화

한편, 주파수의 2승에 비례하는 예상전류손실은 저항률과 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 100kHz의 저항률과 예상전류손실의 관계를 보면, Mg-Zn계 Ferrite에서는 관계가 없는 것으로 생각된다. 따라서, 주파수의 2승에 비례하는 로스는 예상전류손실은 아닌 것으로 보인다. 또, 저항률과는 관계없지만 Cu를 6mol% 이상 치환한 재료로는 주파수의 2승에 비례하는 로스가 작은 것을 알 수 있었다.

IV. 결 론

저손실 Mg-Zn계 Ferrite 시료를 얻기위하여 미세구조를 보면,

- (1) 980℃~1350℃의 소성온도에서 제작한 시료의 코어로스는 20~60(kW/m²)의 결과치를 보였다.
- (2) Mg를 Cu로 치환했을때는 더낮은 코어로스를 얻었다.
- (3) Cu 치환이 약6mol%이상 최환한 시료에서 높은 투자율이 얻어졌으며, 히스테리시스 손실이 줄어든 것으로 나타났다.
- (4) Cu 치환을 하면 낮은 온도에서 소결이 이루어지며, 불순물에 의한 불연속입성장은 1100℃이하의 소성에서 억제됨을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] E.C.Snelling, Soft Ferrite, Properties and Applications, 2nd Edition, Butterworth Co. Ltd., London(1988)
- [2] Y. SakaKi, T. Sato : "Large Signal Eddy Current Losses Beyond 100KHz", IEEE Trans. Magn., 20(1984)
- [3] 신성근, 권오홍, 임계재, 최규만, 최완준, 최영지, "저손실 Mg-Zn Ferrite의 저온소성" 한국자원리싸이클링학회(2002)
- [4] 권오홍, "페라이트 기술동향" 한국자원 리싸이클링학회(2001)
- [5] 권오홍, "V2O5와 CaCo3를 첨가한 Mn-Zn Ferrites의 자기적 특성에 관한 연구" 한국자원리싸이클링학회(2002) Vol.11 No.5
- [6] 권오홍, "페라이트 개발동향" 한국자원 리싸이클링학회(2002) Vol.11
- [7] 村瀬 琢, 野村武史 : 粉体및粉末冶金 46 (1999)
- [8] 金田功, 青木卓也, 村瀬 琢, 野村武史 : 粉体및粉末冶金 46 (1999)