

## Flat TR용 핵심 코아의 제조와 동작 특성 안정화 연구

한세원, 조한구, 유동욱, 류명효, \*최광보, \*김성배

한국전기연구원, (주)창성

### Study on manufacturing and operating characteristics of Magnetic cores for Flat TR

Han Se-Won, Cho Han-Goo, Yu Dong-Uk, Ryu Mung-Ho, Choi Kwang-Bo, Kim Sung-Ba

Korea Electrotechnology Research Institute, Chang Sung co.,Ltd

#### Abstract

The flat transformer, typically, has a number of parallel single turn secondary windings. Each secondary winding is coupled to the same primary winding. Therefore, the current in each secondary winding is equal to the ampere-turns in the primary winding, and to each other. These characteristics are particularly advantageous where parallel rectifiers are used. The windings share the current equally, with no need for ballast resistors or other added components. In this study, the ferrite magnetic core samples of Mn-Zn system for the Flat transformer are manufactured and the electrical and magnetic characteristics of its tested. The density of sample FO2-2 sintered at 1350°C is 4.80kg/m<sup>3</sup>, which shows the good microstructural state. The initial permeability and saturation flux density of FO2 at room temperature is 2700 and 510mT, individually. The power loss of FO2 samples at 250kHz have been ranged 350kW/m<sup>2</sup> to 800kW/m<sup>2</sup> with temperature. And the minimum power loss of sample FO2-2 showed at 70°C, which property seems very positive to apply for a flat transformer.

**Key Wards :** The Flat Transformer, Mn-Zn Ferrite Core, Initial Permeability, Saturation Flux Density, Power Loss, SMPS

#### 1. 서론

FLAT 변압기는 페라이트 코어를 메트릭스로 설계 적용하여 주권선의 권선수를 줄여서 제작하기 때문에 매우 낮은 누설 인덕턴스를 가지게 되고 탁월한 고주파 응답특성을 나타낸다. 특히 기존 변압기의 낮은 열 분산성과 높은 누설 인덕턴스 그리고 낮은 주파수 특성과 큰 부피로 인해 발생하는 HOT SPOT와 같은 문제점을 페라이트 코아와 몰드 절연에 따른 고밀도 전원형의 low profile 전자인으로 해결할 수 있다. 이러한 특성은 구동 전압은 낮지만 높은 전류가 요구되는 각종 인버터/컨버

터에 적용하여 에너지 절감은 물론 가격 절감의 효과를 기대할 수 있다. 자성 코아는 어느 정도의 동작 주파수까지 증가시키면 이에 반비례하여 크기가 감소하여 소형 및 경량화가 가능하다. 현재 전자성체의 고주파화는 약 300kHz 영역까지 실용화 단계에 접어들고 있으며 이를 더 높이기 위해서는 저손실형 페라이트 코아의 개발이 필요하다. Mn-Zn계 페라이트 코아는 높은 포화 자속 밀도와 비저항을 가지고 있어 고주파 SMPS용 자심으로 각광받고 있다.


본 연구에서는 Flat TR용 Mn-Zn계 페라이트 코

아를 설계, 제조하여 기본적인 물성과 전기적, 자기적 특성을 측정하였다. 특히 고주파 동작 안정화 특성을 시험하여 Flat TR용 코아로서의 적용 특성을 비교 분석 하였다.

## 2. 실험 방법

Flat TR용 페라이트를 제조하기 위한 기본 조성은 표 1과 같다. 일반적으로 Mn-Zn계 페라이트로 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 외의 첨가물을 사용하여 소결성과 입자크기 및 전기적 특성을 제어하였다. 제조방법은 그림 1과 같은 전형적인 성형 후 소결하는 공정을 채택하여 제조하였으며, 이때 최대 소결온도는 성형밀도 및 입자의 평균크기 등이 최적의 상태가 얻어지는 1350°C로 하여 제조하였다.

표 1. 페라이트 코아 제조를 위한 기본 조성

Compounds	[ZnO-MnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ]-SiO <sub>2</sub> -X
Calcining	850 °C
Homogenization	Attrition Milling(50% spinel)
Pressing	Density 4.8 kg/m <sup>3</sup>
Sintering	1350 °C(grain size ~5μm)
Shape	

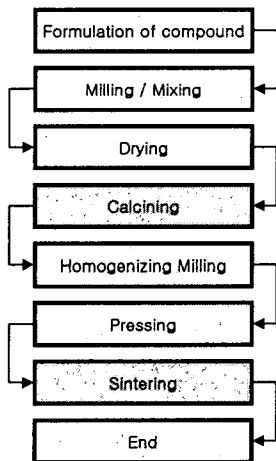


그림 1. Flat TR용 페라이트 코아 제조과정

제조된 페라이트 코아 시편의 미세조직은 SEM, XRD 측정 장비를 사용하여 소결된 시편의 평균 입자 크기와 결정상의 상태 등을 분석하였다. 기본적

인 자성 특성은 B-H 측정 장비를 이용하여 투자율 및 포화 지속 밀도 등을 측정하였다. 주파수에 따른 전기적, 자기적 특성은 LCR 측정 시스템을 사용하여 상용 주파수에서 최대 수㎐까지 온도를 변화시키면서 특성을 비교 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 Flat TR의 특징

기존 변압기는 단일 코아(single core)를 사용하여 1차측 권선 턴수가 많아 동손, 철손 및 큰 누설 인덕턴스를 가지게 된다. 또한 고주파 스위칭에 대한 응답 특성이 나쁘고 부피가 커지는 경향이 있다. 결국 이러한 특성은 변압기의 효율을 향상시키는데 한계를 갖는다(표 2). 최근에 기존 변압기의 개념과는 다른 다중 코아를 채용하여 몰드 절연하는 Flat 형 변압기가 개발되어 고밀도, 고효율, 저가의 AC/DC 컨버터 또는 DC/DC 컨버터에 적용할 수 있는 주 변압기로 주목받고 있다. FLAT 변압기는 복수 코아를 매트릭스로 설계되어 권선의 권선 수를 줄여서 제작하기 때문에 매우 낮은 누설 인덕턴스를 가지게 되고 탁월한 고주파 응답특성을 나타낸다.

표 2. Flat Transformer의 특징

	기존기술 문제점	Flat TR 기술
기술 항목	누설 인덕턴스	최적 코아 소재 개발/메트릭스 설계
	코어 손실	Thin wall 코어 설계 (Eddy current 손실감소, 자속밀도 향상)
	동손	최소 권선 방식/최적 철핵산 및 절연 물성 기술
	낮은 주파수 응답특성	최적 코아 소재/다중 코어 방식/몰드 절연 설계 (각종 손실 및 누설 인덕턴스 개선)
	큰 부피	몰드 절연 방식/메트릭스 TR 설계 (기존 대비 5%)
	Hot Spot 현상	다중 코어 방식/2차 몰드 권선 방식/1차 권선수 감소 설계(기존 대비 75%)
	DC/DC 컨버터 고효율화 및 고밀도화	고효율 Flat TR 적용/최적 구조 최적화 방식 설계

### 3.2 Mn-Zn 페라이트 코아 제조 특성

그림 2와 3은 Flat TR용으로 제조된 페라이트 코아 시편(FO2-2)의 미세조직 SEM 사진과 결정성분을 분석한 EDS 결과를 나타낸 것이다. 전형적인 Mn-Zn계 페라이트 미세 결정 구조를 갖고 있으며 결정상의 평균 크기는 대략 5μm 정도로 판단된다. 기공의 분포는 균일한 상태로 1350°C에서 소결된 시편(FO2)의 밀도는 4.80kg/m<sup>3</sup> 정도의 높은 값으로 측정되었다.

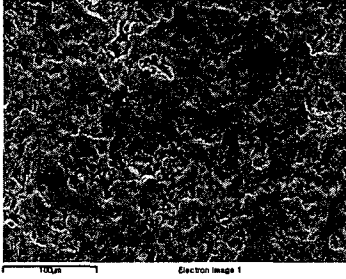


그림 2. Mn-Zn계 페라이트 코어의 SEM

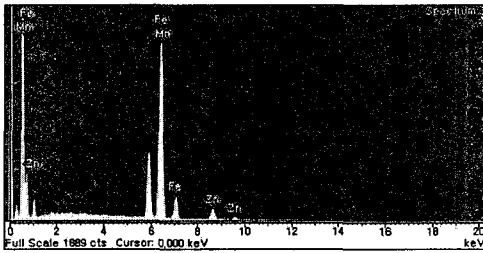


그림 3. Mn-Zn계 페라이트 코어 EDS

표 3은 제조된 Mn-Zn계 페라이트 코어의 밀도와 전기적, 자기적 기본 물성을 비교한 것이다. Mn-Zn계 페라이트 코어의 경우 Ni-Zn계 페라이트 코어와 비교하여 고유 저항이 낮지만 포화 자속 밀도가 높기 때문에 고주파 SMPS용 자심으로 많이 채택된다. 파워 페라이트에서 손실은 히스테리시스 손실과 와전류 손실이지만 스위칭 주파수가 높아지면 주파수에 비례하는 와전류 손실의 저감이 중요하게 된다. 와전류는 페라이트상을 고저항화 하여 저감할 수 있다. 따라서 결정 입자를 가능하면 작게 하여 고정형의 입계에서 절연을 해 주는 방법으로 제조된다. 여기서의 고유 저항은 표 3에서 보듯이 약 5Ωm로 측정되었다.

표 3. Mn-Zn계 페라이트 코어의 기본 물성

Sample : F02(Zn-Mn Ferrite)						
Bias	Bs[G]	Br[G]	Hc[A/m]	Tc[°C]	$\rho$ [Ωm]	D[kg/m <sup>3</sup> ]
DC	4000	600	15	>220	5	4.80

표 4는 페라이트 시편의 고주파 및 온도에 따른 자성 특성을 비교한 것이다. 시편의 차이는 첨가물의 조성 변화에 의한 것이다. 여기서는 포화 자속

밀도와 초기 투자율 및 손실 특성이 안정된 FO2 시리즈를 최적의 시편으로 선택하여 검토하였다.

표 4. Mn-Zn계 페라이트 코어의 자성 특성

Properties	Test Conditions			Values		
	Freq. kHz	Flux Density mT	Temperature °C	F01	F02	F03
Initial Permeability, $\mu$	10	0.1	25	2500	2700	3000
Power Loss, P <sub>v</sub> [W/m <sup>3</sup> ]	250	200	25	600	550	550
			100	440	350	350
Saturation Flux Density, B <sub>s</sub> [mT]	1	H=1000A/m	25	510	510	480
			100	400	400	360
Remanence Flux Density, B <sub>r</sub> [mT]	1	H=1000A/m	25	60	120	100
			100	40	70	80
Corectivity, Hc[A/m]	1	H=1000A/m	25	5.5	13.5	24
			100	-	8.9	10

### 3.3 Mn-Zn 페라이트 주파수 동작 특성

그림 4는 Flat TR용으로 제조된 페라이트 코어 시편 FO2의 주파수에 따른 인덕턴스(Ls)와 품질지수(Q)를 측정한 결과이다. 시편 FO2의 경우 사용하기 적합한 주파수 영역은 ~백kHz영역에 있음을 알 수 있고 인덕턴스는 전형적인 페라이트의 값을 갖는 것을 나타냈다.

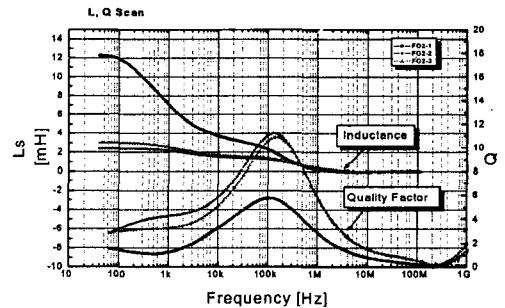


그림 4. 시편 FO2의 주파수에 따른 인덕턴스(Ls)와 품질지수(Q)

Flat TR은 주파수의 사용 범위를 현재 200kHz에서 300kHz 범위에서 실용화를 추구하고 있다. 따라서 적용하는 페라이트 코어의 주파수 동작 특성은 이범위에서 안정한 값을 유지하는 것이 중요하다. 그림 5는 시편 FO2을 블록으로 제작하여 주파수에 따른 인덕턴스와 투자율 특성을 측정한 결과이다.

투자율이나 인덕턴스 모두 상용 주파에서 10<sup>3</sup>kHz 범위까지는 안정한 값을 나타내지만 그 이상이 되면 급격히 감소하는 경향을 보여준다. 이러한 동작 특성의 경우 250kHz에서 설계되는 Flat TR용 페라이트 코어로 안정한 범위에 해당한다.

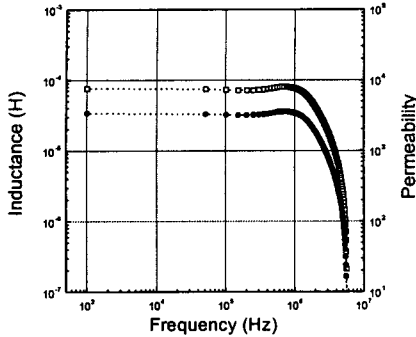


그림 5. 주파수에 따른 인덕턴스와 투자율 특성

페라이트 코아는 동작 온도의 범위가 넓을수록 유리하다. 그러나 손실에 의한 발열로 인해 최적의 동작 온도, 즉 낮은 동작 온도에서 손실이 최소화되는 특성을 설정하게 된다. 그림 6은 사용 주파수를 250kHz로 하고 온도에 따른 코아 손실 특성을 측정한 결과이다. FO2-1에서 FO2-3로 가면서 코아 손실이 최소화되는 동작 온도가 낮아진다. 일반적으로 저발열 설계를 하기 위해서는 100°C이하에서 최소 손실을 갖는 코아를 선택하는 것이 유리하다. FO2-2의 경우 동작 온도가 약80°C정도에서 가장 낮은 손실값을 가지고 있어 적절한 조성을 판단된다.

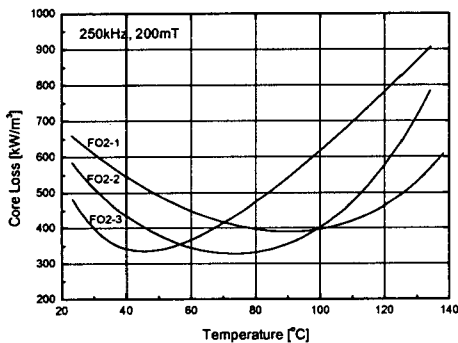


그림 6. 동작 온도에 따른 손실 특성

#### 4. 결론

Flat TR용 Mn-Zn계 페라이트 코아를 설계, 제조하여 기본적인 물성과 전기적, 자기적 특성을 측정하였다. 특히 고주파 동작 특성을 시험하고 Falt TR 코아의 적용 안정성을 비교 분석 하여 다음과 같은 몇 가지 결과를 도출하였다.

- 1) 1350°C에서 소결된 시편(FO2)의 경우 결정상의 평균 크기는 대략 5 $\mu$ m 정도, 기공의 분포는 균일한 상태로 밀도는 4.80kg/m<sup>3</sup>의 높은 값을 나타내었다.
- 2) 250kHz에서 초기 투자율은 2700, 포화 자속 밀도는 약 510mT 그리고 고유 저항은 약 5 $\Omega$ m의 페라이트 소재를 Flat TR용 코아로 선택하였다.
- 3) FO2 시편의 경우 250kHz에서 온도에 따른 손실값의 범위가 300kW/m<sup>3</sup>에서 800kW/m<sup>3</sup>로 측정되었으며 최소 손실 특성은 동작 온도 범위가 80°C이하에서 나타나는 안정된 특성을 얻었다.

#### 참고 문헌

- [1] L. L. James and K. K. Sum, "Flat Transformer Technology", Internet materials, 2001
- [2] 한세원, 조한구, "대전류 출력형 Flat Transformer 설계 및 해석기술", 2003 한국전기전자재료학회 춘계학술대회 논문지 pp15~17, 2002
- [2] Flat Matrix Transformer, Edwrad Herbert, US Patent 4,665,357, 1987
- [3] SMPS 기술 현황, SMPS 기술 조사 위원회, 대한전기학회, 기술조사보고, 제11호, 1997
- [4] High Frequency Switching Power Supplier : Theory and Design, George Chryssis, McGRAW HILL BOOK, 1984 old electrical insulation", 1984.
- [5] J. J. Suh, B. M. Song, "Temperature dependence of power loss on Mn-Zn Ferrite at high frequency, IEEE Transactions of magnetics, 36(5), pp3402~3404, 2000