

국부적 자속 포화 현상을 이용한 인덕터 및 변압기의 공극 등가 모델에 관한 연구

Study on Transformer and Inductor Using Equivalent Air gap to Partial Flux Saturation

박성준*, 이상훈**, 김정훈⁵

Sung-Jun Park*, Sang_Hun Lee**, Jeong-Hun Kim

〈Abstract〉

BY the Transformers and reactors, the input electrical energy is converted into magnetic energy. At the end through the magnetic energy was passed at the output parameter. Specially At the flyback transformer or a reactor airgap were designed to contain more magnetic energy. But that work is very difficult for the optimal design. It is that Contradictions are between the length of the Air-gap, Winding inductance, DC bias. As to e Several conflicting conditions in order to determine the optimum Air-gap has a lot of experience and trial & error is necessary.

The approach proposed in this paper, the auxiliary winding on the core attached to part of primary core, that by applying a DC voltage has a dramatic effect like Core with designed Air-gap. This inventiveness and advantage is to regulate arbitrarily the Saturation Flux Quantity by the input signal to secondary winding. Accordingly obtained the biggest effect is that increasing limits of the saturation current destined by the material and shape of the conventional core. In other words, that can decrease the size of the transformer and reactor, While maintaining the current saturation capacity.

This paper, prove its effect as using the local flux saturation in transformers and reactors for research by the computer program using the finite element method (FEM) simulation, followed by actual experiment to verify

Keywords : Transformer, Reator, Air gap, Partial Flux Saturation

* 주저자, 전남대학교 전기공학과 교수, 工博
부산대학교 일반대학원 졸업
705-703 대구시 남구 현충로 170

* Post Author, Professor Dept, of Electrical
Engineering, PhD Yeungnam University college
Tel:+82-62-530-1774
E-mail : sjpark1@jnu.ac.kr

** 교신저자, 영남이공대학교 전기자동화과 교수, 工博
부산대학교 일반대학원 졸업
705-703 대구시 남구 현충로 170

** Corresponding Author, Professor Dept, of Electrical
Automatic Engineering, Ph.D Yeungnam University college
Tel:+82-53-6501-9266 Fax:+82-53-624-4736
E-mail : purme417@vnc.ac.kr

1. 서론

전력변환기에 사용되는 인덕터의 코어에 공극을 설계하면 에너지의 대부분은 공극부분에 축적된다. 인덕터에 축적되는 전체 에너지는 자성체에 축적되는 에너지와 공극에 축적되는 에너지의 합이 된다.

인덕터에 공극이 없는 경우, 자성체에 축적되는 에너지는 매우 적다. 이것은 자성체의 투자율이 매우 높아 자성체 내부의 자계가 매우 적기 때문이다. 트랜스포머에서는 패러데이 법칙에 의해 역기전압이 유기되기 위한 여자전류 성분을 제외하고는 모든 권선의 기자력의 합은 0이므로 에너지를 축적할 필요가 없고, 여자전류를 최대한 줄여야 하므로 실효 투자율이 커야 하는데 이러한 특성은 일반적인 트랜스포머에는 적합하나 Flyback 트랜스포머나 인덕터 등에는 적합하지 않다. 그 이유는 작은 자계에서도 포화됨에 따라 에너지를 축적할 수 없기 때문이다. Flyback 트랜스포머나 필터 인덕터를 설계할 때는 공극을 설계해야 하기 때문에 최적설계를 하는 것은 보통의 트랜스포머보다 어렵다. 공극이 있는 인덕터의 설계가 어려운 이유는 공극의 길이와 권선수, 인덕턴스, 직류 중첩 특성 간에 서로 모순점이 있기 때문이다. 여러 가지 상반되는 조건에서 최적의 공극을 결정하기 위해서는 많은 경험과 시행착오가 필요하다.

다만 만약 코어에 공극 효과를 줄 수 있는 다른 대체적 수단이 있고 그 제어매개체의 크기 및 양을 유동적으로 손쉽게 제어할 수 있다면 이를 마다할 이유는 없을 것이다.

본 논문에는 코어의 국부적 자속포화현상을 이용한 리액터와 변압기의 공극 등가모델을 제안하고자 한다. 주 코어의 일부에 자그마한 보조코어를 달아서 전류를 인가하여 주 코어의 일부를 포화시킴으로서 주 코어의 주 자속량이 극적으로 변화 시키고자한다. 이를 통해 주 코어의 일부에 공

극을 설치한 것과 같은 효과를 가지고자 한다.

제안된 공극 등가모델을 확인하기 위해 COMSOL Multiphysics라는 유한요소 해석 프로그램(Ver 4.3) 활용 하였으며 페라이트 코어와 에나멜 코팅된 동선, 제작된 파워 스택을 활용하여 그 효과를 실험을 통하여 검증하였다.

2. 공극과 자기회로의 특성

자성체를 이용한 전기기기에서, 자성체 각 부분의 자속은 전기회로에서 전류는 구하는 방법과 유사하게 회로를 구성하여 구할 수 있는데 이와 같이 구성된 회로를 자기회로(Magnetic Circuit)라고 한다. 자기회로를 분석할 때에는 다음과 같은 사항을 고려해야만 한다.

첫째 전기회로에서 도전율은 전계강도에 따라 선형적이라 가정함에 비해 자기 물질에서의 투자율은 히스테리시스 루프를 보면 알겠지만 비선형 구간이 존재하기 마련이다. 그림 1은 이를 비교하여 나타낸 것이다.

둘째 전기회로에서 전류는 공기보다 도체에서 흐르는 것으로 제한된다. 왜냐하면 필수적으로 공기의 도전율은 0이기 때문이다. 그러나 공기의 투자율은 0이 아니고 μ_0 이다 예를 들면 페라이트와

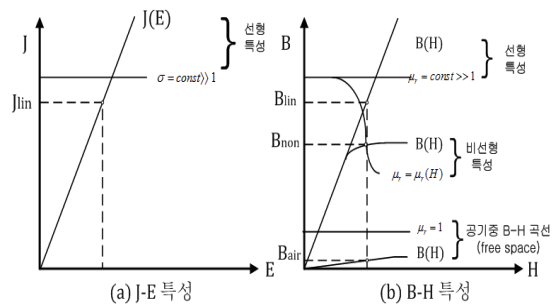


Fig. 1. Corresponding to Conductivity and Permeability

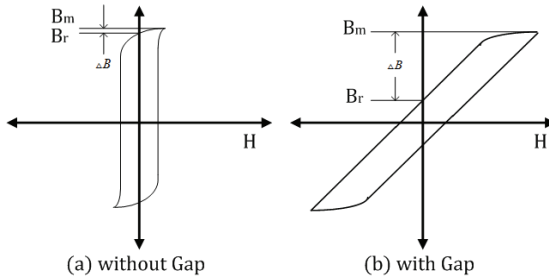


Fig. 2. Effect of the Air-Gap

같이 자성체는 수천의 큰 투자율 값을 가지지만 약간의 자속은 자기회로 밖, 즉 자성체 바깥의 공기로 누설된다. 다만 자기회로 해석에서 문제를 단순화시키기 위해 누설 자속을 0으로 가정하는 경우가 많다는 것은 별개의 것이다.

셋째 자속이 공기 중으로 누설되므로 페라이트 코어 내에 자기회로 요소로 간주되어야 하는 공극 (Air gap)을 고려해야 한다. 코어에 가하는 공극은 강력한 감자력 효과를 가지고 있어 히스테리시스 곡선을 깎아내고 고투자율 재료의 투자율을 많이 감소시킨다. 그림 2는 갭이 있을 때와 없을 때의 대표적인 환형 코어의 히스테리시스 곡선의 특징을 대략적으로 나타낸 것이다.

전력변환기에 사용되는 리액터는 그림 3과 같은 공극이 있는 철심에 코일을 감은 형태이다. 이러한 형태의 리액터 단자에 전압 V를 인가한 경우, 전기입력은 코일의 저항을 무시한 경우 자기 에너지로서 리액터 내에 저장되는데 이 때의 에너지 분포는 다음 식과 같다.

$$W_m = W_{mi} + W_{m,g}$$

$$= S l_i \int_0^B \frac{B}{\mu_i} dB + \frac{S l_g}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$$

(1)

식 (1)에서 우변 첫째 항은 철심에 저장되는 에너지 W_{mi} , 둘째 항은 공극에 저장되는 에너지

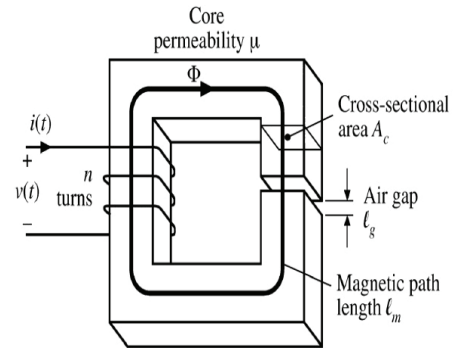


Fig. 3. Reactor with the Air-Gap

$W_{m,g}$ 를 나타낸다. 철심의 자화곡선이 선형적일 경우 W_{mi} 와의 $W_{m,g}$ 비는 식 (2)와 같다.

$$W_{m,g} = \mu_r \frac{l_g}{l_i} W_{mi} \tag{2}$$

여기서 l_g 가 l_i 에 비해 작다고 하더라도 철심의 투자율이 매우 큰 값을 가지기 때문에 자기에너지의 대부분이 공극에 저장됨을 알 수 있다.

자성물질에 외부에서 전류가 가해질 경우 물질 속의 자기장은 전류가 만드는 자기장과 자성체의 자화가 만드는 자기장이 합성된 것인데 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \vec{B}(\text{magnetization}) \tag{3}$$

여기에서 자성체 자체의 자화에 의한 자기장은 물체 특유의 자화율이라는 개념을 도입하여 해석하면 다음과 같은 수식으로 정의할 수 있다.

$$\vec{B}(\text{magnetization}) = \mu_0 \chi_m \vec{H} \tag{4}$$

결국 위식을 식에 대입하면 최종적으로 다음의 식으로 정리가 되며 이는 전자기학의 대표적인 자성체에 대한 특성식이다.

$$\vec{B} = \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H} \quad (5)$$

$$\vec{B} = \mu\vec{H}$$

외부에서 자력을 포화점까지 가할 수 있고 그 포화점이란 모든 영역에서 같은 방향으로 배열이 되는 것을 의미한다.

3. 제안된 국부포화를 이용한 리액터 및 변압기의 공극 등과 모델

본 논문에서는 제안된 국부포화를 이용한 리액터 및 변압기의 공극 등과 모델을 만들기 위해 다음과 같은 형태를 고려하였다.

첫째 부속코어나 2차코일에 바이어스 전류를 흘렸을 때 주 코어의 전류의 흐름이 어떻게 변화할 것인가를 관찰하였다.

둘째 주 코어의 전류가 포화상태로 두었을 때 부속코어 내지 2차코일의 바이어스 전류에 의해 포화상태를 극복할 수 있는지를 관찰하였다.

셋째 주코어의 전류와 전압을 측정함으로써 인덕턴스의 값이 어떻게 변화하고 이로써 등가 공극의 길이는 어느 정도가 될 것인지를 관찰함에 있다.

이로써 예측한대로 인덕턴스의 값의 변화에 의해 기존의 리액터보다 부피나 무게를 줄일 수 있는지를 판단하고 그에 따라 부속코어나 2차코일의 바이어스 전류에 의해 리액터의 용량을 늘릴 수 있는지를 검토 할 것이다.

4. 시뮬레이션

제안된 등가 모델을 확인하기 위해 유한요소 해석 툴인 Comsol Multiphysics 4.3 Version을

이용하여 시뮬레이션을 하였다. Physics Module 은 AC/DC 모듈에서 Magnetic Fields(mf)를 사용하였다. 그림 4는 지오메트리 구조(2차원 표현)와 각각의 명칭과 재질을 표시하여 시뮬레이션 환경을 나타내도록 하였다. 지오메트리 구조에서도 알 수 있듯이 동선이 감기는 부분이 매우 간략화 되어 있는데 이는 프로그램 자체의 특성으로서 하나의 도메인 혹은 영역을 설정하도록 하여 권선의 재질 타입, 턴수, 권선의 단면적, 여자전류/전압 및 그 값을 사용자가 정하도록 한 것이다. 주권선에는 도전율을 6e7[S/m], 턴수는 100 N, 단면적은 6e-8[mm²], 여자 타입은 전류로서 1kHz 정현파 10 A를 주도록 하였다. 보조권선에는 6e7[S/m], 턴수는 500 N, 단면적은 6e-8[mm²], 여자 타입은 전류를 입력하도록 하였다.

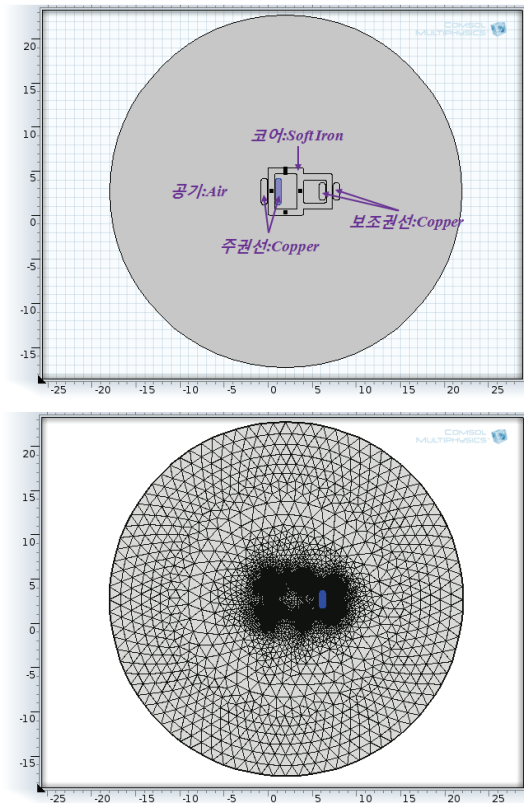


Fig. 4. The Shape of the Geometry and Materials

그림 6은 보조권선에 여자전류 혹은 바이어스 전류를 입력하지 않은 상태에서의 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 결과 주코어 부분에서만 자속의 흐름이 감지되고 있다. 따라서 그림 6은 일반적인 인덕터로서의 모습을 보여주고 있다. 컬러로서 표현된 것은 스칼라량으로서의 자속밀도이다.

그림 6은 보조권선에 2A의 여자전류를 흘려서 주 코어의 일부를 포화시키려고 한 경우이다. 보조권선에 여자전류가 흐름에 따라 보조코어에 자속이 유기가 되고 이에 따라 보조코어와 주코어의 공유부분에서는 자속의 포화현상이 일어나게 된다. 이는 주자속의 흐름을 막게 되고 이에 따라

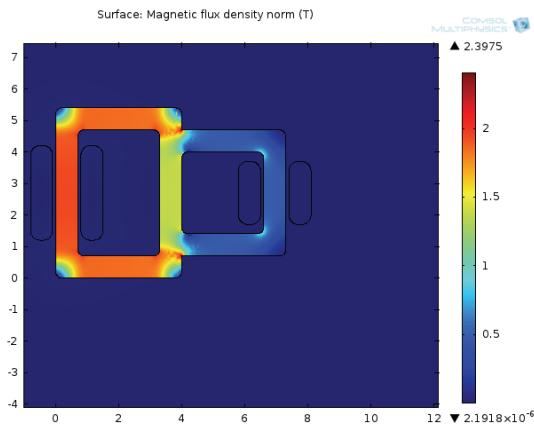


Fig. 5. COMSOL Simulation(Auxiliary Windings :0[A])

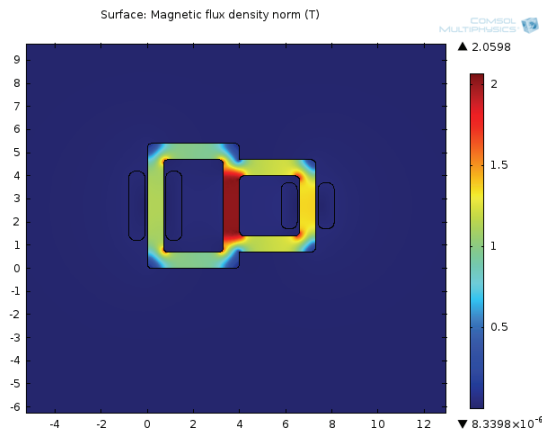


Fig. 6. COMSOL Simulation(Auxiliary Windings :2[A])

주 코어에서의 자기저항이 늘어나게 되므로서 강력한 감자력에 의해 자성체의 실효투자율이 감소하게 된다.

이는 곧 인덕턴스의 감소를 의미하게 되고 마치 공극이 설치된 것과 마찬가지로의 효과를 갖게 되는 것이다. 이로 인해 주권선의 포화전류 정격을 증가시키는 효과를 가지게 된다.

5 실험

제한된 공극 모델의 성능을 확인하기 위하여 실험을 하였다. 본 논문 실험을 위하여 코어는 여러 PCS에서 범용으로 많이 쓰이는 TDK PC40 재질로 실험하였다. 이에 대한 개략적인 데이터 시트는 다음과 같다.

실제 코어의 형상과 사이즈는 그림 8과 같다. 코어에 감길 권선은 에나멜 코팅된 동선을 사용하도록 하였는데 각각 단면 사이즈는 0.9 mm²와 0.37 mm² 인데 이중 후자는 단순히 바이어스 전류만 흘리게 되는 보조권선에서만 사용하도록 하였다.

제작된 인덕터의 성능을 확인하기 위해 실제 설계된 DC/DC 컨버터를 사용하였다. 컨버터의 컨트롤 보드는 TI사의 28027 칩을 사용하여 컨버터의 스위치 드라이버에 사용될 PWM 신호를 출

MATERIAL CHARACTERISTICS (Typical)					
Material		PE22	PC40	PE90	
Initial permeability	μ [23°C]	1800	2300	2200	
Curie temperature	T_c °C	>200	>200	>250	
Saturation magnetic flux density	B_s [23°C] mT	510	600	530	
$H=1194A/m$	[100°C]	410	380	430	
Remanent flux density	B_r [23°C] mT	140	125	170	
Coercive force	H_c [23°C] A/m	16	15	13	
	[90°C]	79	64	60	
Core loss	25kHz, 200mT	P_{ov} kW/m ³	80	70	68
	100kHz, 200mT	[100°C]	520	420	400
Electrical resistivity	ρ $\Omega \cdot m$	3.0	6.5	6.0	
Approximate density	d_{app} kg/m ³	4.8x10 ³	4.5x10 ³	4.9x10 ³	
Thermal expansion coefficient	α 1/K	12x10 ⁻⁶	12x10 ⁻⁶	12x10 ⁻⁶	
Thermal conductivity	κ W/mK	5	5	5	
Specific heat	C_p J/kg·K	600	600	600	
Bending strength	σ_{ba} N/m ²	9x10 ⁷	9x10 ⁷	9x10 ⁷	
Young's modulus	E N/m ²	1.2x10 ¹¹	1.2x10 ¹¹	1.2x10 ¹¹	
Magnetostriction	λ_s	-0.6x10 ⁻⁶	-0.6x10 ⁻⁶	-0.6x10 ⁻⁶	

Fig. 7. DK PC40 Datasheet Contents

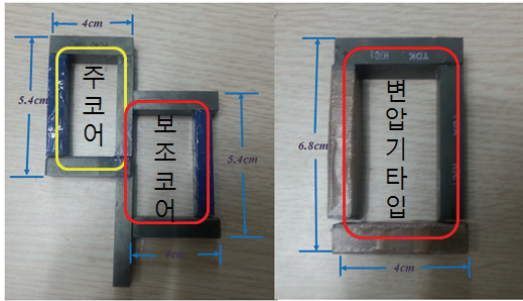


Fig. 8 The Actual Shape and Size of the Core

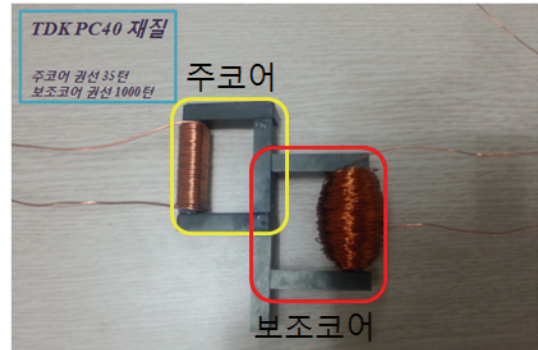


Fig. 10. The Core used in the Experiment

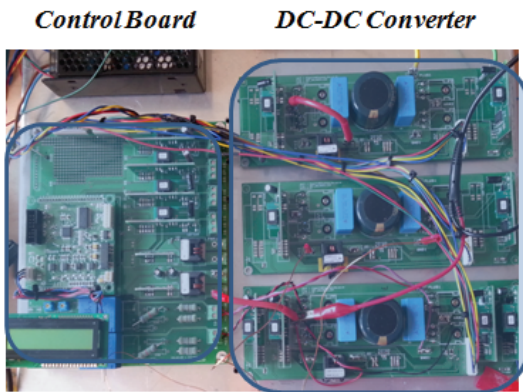


Fig. 9 Power Stack Used in the Experiment

력하였는데 이 실험이 정밀하면서도 많은 제어를 필요로 하는 것이 아닌 관계상 듀티비와 주파수만 가변 할 수 있도록 오픈 루프 제어만 선택되도록 하였다. 이 PWM 신호를 컨버터에서 받아 스위칭을 하도록 하였고 그 양단에 주코어에 감긴 주권선을 연결하도록 하였다. 이 실험에 전원을 공급하는 것은 일반적인 5V 용 SMPS 이외에 상용화되어 있는 DC 파워 서플라이(100V, 28A)를 사용하여 전압 및 전류를 입력하도록 하였다.

그림 10은 본 논문에서 제안하는 보조코어를 부착한 리액터를 나타내고 있다. 그림 7의 데이터 시트처럼 초기 투자율은 2300이다. 코어 권선은 동선으로 75턴을 감았고 보조코어는 적은 전류로도 국부포화 현상을 달성할 수 있도록 많은 턴수(1000N)의 동선을 감도록 하였다. 주코어 부분의 자로

길이는 0.16 m, 단면적은 $7 \times 10^{-5} m^2$ 이다.

실험에 의해 구해진 인덕턴스 값을 공극값으로 환산하는 작업이 필요한데 앞으로의 계산작업을 간편하게 하기 위해 미리 계산식을 아래와 같이 전개하기로 한다.

$$R_f = \frac{l}{\mu A} = \frac{N^2}{L} \quad (6)$$

여기에서 구하고자 하는 공극길이를 x라고 할 때 다음과 같이 전개할 수 있고 앞으로 실험에서의 공극 길이를 구할 때 식 (7)을 사용한다.

$$x = \frac{N^2 \cdot \mu_r \mu_0 \cdot A - L \cdot l}{L \cdot (1 - \mu_r)} \quad (7)$$

그림 11은 주코어가 포화되기 전 전류파형을 나타내고 있다.

이때 식 (6),(7)을 이용하여 인덕턴스의 값과 그에 따른 초기 공극길이를 계산하면 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned} L &= V \cdot \frac{dt}{di} = V \cdot \frac{\Delta t}{\Delta i} \\ &= 30 \cdot \frac{52 \times 10^{-6}}{6.9} \approx 226 \mu H \\ x &= \frac{35^2 \times 2300 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 7 \times 10^{-5} - 226 \times 10^{-6} \times 0.16}{226 \times 10^{-6} \times 2299} \\ &= 0.41 mm \end{aligned} \quad (8)$$

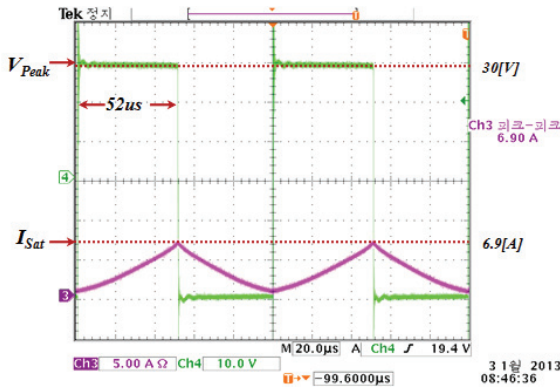


Fig. 11. Current and Voltage of the Primary Winding Before Saturation

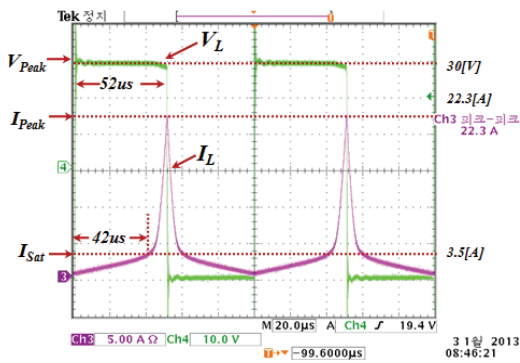


Fig. 12. Simulation Current and Voltage of the Primary Winding After Saturation

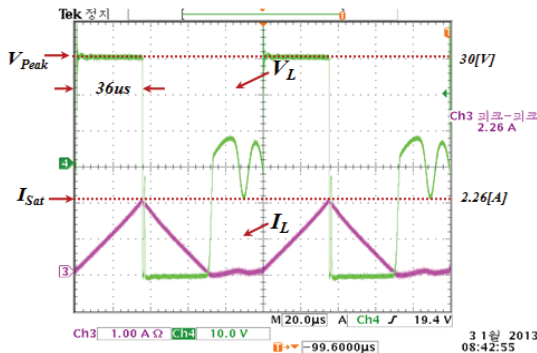


Fig. 13. Current and Voltage of the Primary Winding Before Auxiliary Windings Excitation

그림 12는 주코어가 포화되었을 때 전류파형을 나타내고 있다. 주 코어 포화 시 권선의 인덕턴스 값과 그에 따른 공극길이를 구해보면 그 값은 위의 포화직전보다 인덕턴스 값은 증가되었고 공극 길이는 상당히 줄어들었다. 이를 통해 본 자성체의 대략적인 특성파악이 가능하다.

이때의 인덕턴스 값과 등가 공극 길이를 계산해 보면 다음과 같다. 이 값을 기준으로 옴셋 전류에 의한 결과를 해석해야 한다.

$$L = V \cdot \frac{dt}{di} = V \cdot \frac{\Delta t}{\Delta i} = 30 \cdot \frac{36 \times 10^{-6}}{2.26} \approx 478 \mu H$$

$$x = \frac{35^2 \times 2300 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 7 \times 10^{-5} - 478 \times 10^{-6} \times 0.16}{478 \times 10^{-6} \times 2299} = 0.156 mm$$

(9)

이때 보조코어 권선에 여자 전류를 입력하지 않은 상태에서 주코어의 권선에 PWM 주파수를 가변하고 입력 전류를 조정하여 포화 상태를 만들었다. 그림 14는 보조권선 여자 전의 주 권선 전류파형을 나타내며 이 때의 인덕턴스와 그에 등가 되는 공극길이를 계산하면 식 (10)과 같다.

$$L = V \cdot \frac{dt}{di} = V \cdot \frac{\Delta t}{\Delta i} = 30 \cdot \frac{47 \times 10^{-6}}{3.24} \approx 435 \mu H$$

$$x = \frac{35^2 \times 2300 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 7 \times 10^{-5} - 435 \times 10^{-6} \times 0.16}{435 \times 10^{-6} \times 2299} = 0.178 mm$$

(10)

이는 자속곡선이 BH곡선의 비선형 영역을 진입하게 되어 일어나는 현상으로서 실효투자율이 낮아지거나 혹은 자기저항이 늘어난 것을 의미한다. 이로써 인덕턴스의 값이 낮아지며 반대로 공극 길이는 늘어난 것과 마찬가지로의 효과를 가지게 되는 것이다.

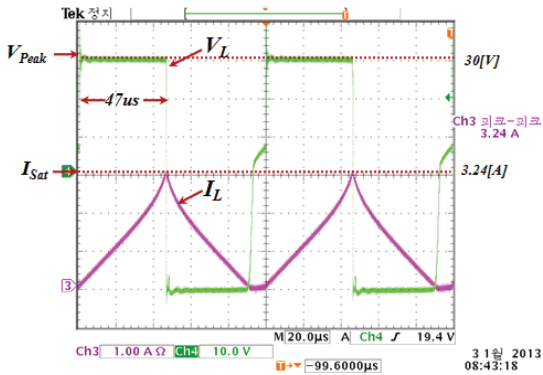


Fig. 14. Current and Voltage of the Primary Winding Saturation Before Auxiliary Windings Excitation

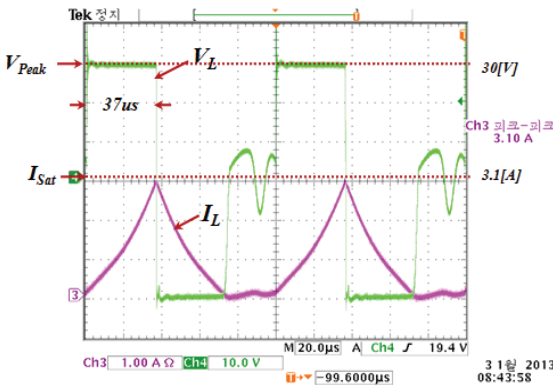


Fig. 15. Current and Voltage of the Primary Winding After Auxiliary Windings Excitation

그림 15는 보조코어의 권선에 여자 전류를 흘렸을 때 주권선의 전압과 전류를 나타내고 있다. 이때의 인덕턴스 값과 등가 공극길이를 구해보면 다음과 같다.

$$L = V \cdot \frac{dt}{di} = V \cdot \frac{\Delta t}{\Delta i} = 30 \cdot \frac{37 \times 10^{-6}}{3.1} \approx 358 \mu H$$

$$x = \frac{35^2 \times 2300 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 7 \times 10^{-5} - 358 \times 10^{-6} \times 0.16}{358 \times 10^{-6} \times 2299} = 0.232 mm$$

(11)

여자전류 투입 없을때의 포화현상에서의 인덕턴스 값의 감소와는 달리 이때의 인덕턴스 값의 감소는 보조코어에 흘린 여자전류의 효과로서 주코어의 일부가 보조권선의 전류에 의해 포화 됨에 따라 발생한 것으로 해석된다. 이러한 국부적 포화현상은 주코어에 흐르는 자속의 입장에서는 자기저항으로 작용하여 증가하게 되고 이는 인덕턴스의 값을 감소시키게 되며 그에 따른 등가 공극 길이는 늘어난 값을 출력해주고 있다.

이러한 여자전류의 효과는 본디 코어 재질이 가지고 있는 포화 전류 한계치를 극적으로 상승시키게 된다.

그림 16은 여자전류의 양을 증가시키지 않고 PWM 신호의 주파수와 입력 전류를 증가시켜 주코어의 전류가 포화되기 직전 상태를 나타내고 있다.

이때의 인덕턴스의 값과 등가 공극길이는 식 12와 같다. 위와 같은 조건에서의 인덕턴스값의 변화는 주코어의 입력 전류가 커지게 됨에 따라 실효투자율이 낮아지게 됨에 따라 나타난 현상이다.

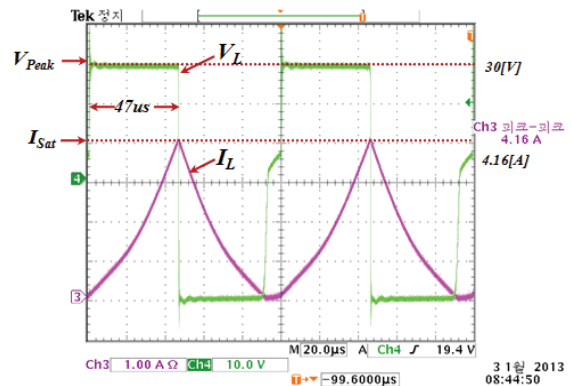


Fig. 16. Current and Voltage of the Primary Winding Before Auxiliary Windings Excitation

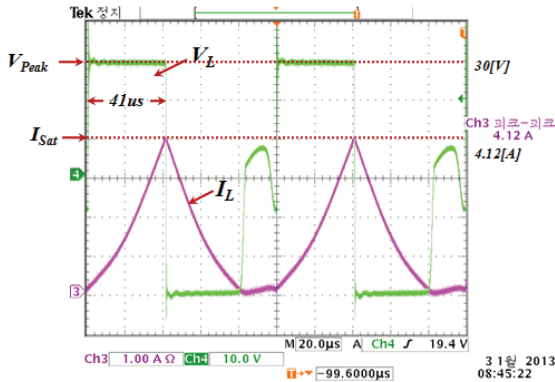


Fig 17. Current and Voltage of the Primary Winding After Auxiliary Windings Excitation

$$L = V \cdot \frac{dt}{di} = V \cdot \frac{\Delta t}{\Delta i} = 30 \cdot \frac{47 \times 10^{-6}}{4.16} \approx 339 \mu H$$

$$x = \frac{35^2 \times 2300 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 7 \times 10^{-5} - 339 \times 10^{-6} \times 0.16}{339 \times 10^{-6} \times 2299} = 0.248 mm$$

(12)

그림 17은 그림 16의 조건에서 보조코어의 입력 전류를 높였을 때 주코어 권선의 전압과 전류 파형을 관찰하도록 하였다.

이때의 인덕턴스의 값과 등가 공극길이는 다음과 같이 변화하였다. 식 13에서 알 수 있듯이 인덕턴스 값은 감소하였고 공극길이는 증가하였음을 확인 할 수 있다.

$$L = V \cdot \frac{dt}{di} = V \cdot \frac{\Delta t}{\Delta i} = 30 \cdot \frac{41 \times 10^{-6}}{4.12} \approx 299 \mu H$$

$$x = \frac{35^2 \times 2300 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 7 \times 10^{-5} - 299 \times 10^{-6} \times 0.16}{299 \times 10^{-6} \times 2299} = 0.29 mm$$

(13)

위의 실험에서 알 수 있듯이 인덕턴스 값이 478 μH에서 299 μH까지의 변화하였는데 이는 약 37.4%의 변화이고 등가 공극길이는 0.156mm에서 0.29mm로 변화하였는데 이는 초기 길이에서

약 186%에 해당하는 길이가 된 것이다. 주의할 점은 ‘등가’ 공극길이를 구한 것이지 실제 그만큼 공극이 추가설치 된 것은 아니라는 점이다. 보조 코어에의 여자전류에 의해 등가 공극 설치된 것과 동등한 효과가 있음을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 국부적 자속 포화 현상을 이용하여 좀 더 새로우면서 쉬운 가변 공극 설계 기법을 제안하였다. 주코어에 부속하는 코어를 부착하고 이에 여자 전류를 흘림으로써 주코어의 자속량을 조절할 수 있게 되었고 이에 따라 주코어 권선의 인덕턴스 값이 가변 되어 등가 공극이 설치된 것과 같은 효과를 가지도록 하였다. 이는 곧 코어의 태생적인 재질과 형상에 따른 포화되는 전류의 한계치를 극적으로 증가시키는 요인이 되며 이를 통해 기존의 포화되는 전류의 한계치는 그대로 유지하면서 리액터 및 변압기의 사이즈와 무게를 줄일 수도 있음을 의미하는 것이다. 본 논문의 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션과 실험을 통해 확인하였다.

참고문헌

- 1) J. P. A Bastos, N, Sadowski, "Electromagnetic Modeling by Finite Element Methods", Marcel Decker 2003, ISBN : 8247-4269 9
- 2) D. C. Jiles, D. L. Atherton, " Theory of Ferromagnetic Hysteresis", J. Magnetism and Magnetic Materials, Vol 61, pp, 48-50 (1986)
- 3) A. Bergqvist, "A Simple vector generalization of the Jiles-Atherton model of hysteresis", IEEE Trans, Magn, Vol 32 No.5, pp. 4213-5(1996)
- 4) 김왕래 외 5인, “ 동적전압보상기를 구성하기 위한 정합변압기의 자속포화현상 모델링”, 2006 전력전자학술대회