

영구자석에 따른 자심 재료의 자기 포화 특성 변화

김현식*, 허정섭*, 안용운**, 김종령**, 오영우**, 박혜영***

(주) 매트론 기술연구소*, 경남대학교**, 경성대학교***

Magnetic saturation property of magnetic core materials as a function of permanent magnet

Hyun-Sik Kim*, Jeong-Seob Huh*, Yong-Woon An**, Jong-Ryung Kim**, Young-Woo Oh**, Hye-Young Park***

Matron's R&D center*, Kyungnam Uni.**., Kyungsung Uni***

Abstract

Bias magnet에 의한 평면자심재료의 전자기적 특성 변화를 분석하기 위해 E형 코어 사이에서 영구자석의 유무 및 위치 등의 gap 형성 조건에 따른 측정변화를 관찰하였다. 영구자석과 air Gap이 평면코어에 삽입 될 경우 높은 포화 전류값을 가지는데 이는 자기저항이 자성체에 비해서 상당히 높은 에어 갭의 존재로 인해 외부 인가 전류가 증가되어도 자성체에서 생성되는 자속이 대부분 에어갭 내에서 소비되기 때문이다. 그리고 Bias magnet 역할을 하는 영구자석을 자심재료에 가하게 되면 Bias에 의한 역자장과 자성체에서 발생하는 자장이 서로 상쇄되어 포화 전류는 증가하게 된다. 또한, Bias magnet로 영구자석을 삽입하면 공진주파수는 고주파 대역으로 이동하므로 대전류 고주파 특성이 요구되는 응용장치에 적용가능하다.

Key Words : 대전류, 고주파, 영구자석, 포화자장

1. 서 론

공장 자동화용 산업기기 및 전자·정보·통신 기기 등에서 스위치 모드 파워 서플라이와 같이 직류 안정화 전원으로 폭넓게 이용되고 있는 전원장치는 시스템에 안정된 전력을 공급하는 아주 중요한 역할을 하는 부품이다. 반도체 설계와 시스템 기술의 급속한 발달은 1 V ~ 10 V 정도의 낮은 전압으로 전원장치의 구동을 가능하게 하였고, 이에 따라 CPU power 같은 초소형 집적회로는 저전압 · 대전류 특성이 요구된다. 따라서, 본 연구에서는 코어의 포화 용량 변화를 분석 · 평가하기 위해 평면코어에 영구자석과 air gap를 삽입시켜 포화 특성 변화를 고찰하였고 또한, bias magnet에 의한 트랜스포머의 전자기적 특성을 분석하였다.

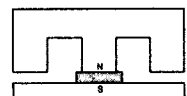
2. 실험

2.1 실험방법

영구자석에 의한 평면코어의 전자기 특성 변화를 분석하기 위해 필립스社의 3F3 재질의 EE 22, EI 32 코어를 선택하여 최대자속밀도가 150 mT, 210 mT인 영구자석의 위치와 자극을 변화시켰다. 1차, 2차 코일을 각각 5회 권선하여 B-H analyzer (IWATSU/SY-8232)를 이용하여 포화자속밀도를 측정하였고, 인덕턴스 및 트랜스포머의 결합계수는 Impedance Analyzer (HP, model 4294A, USA)를 이용하여 측정, 계산하였다.



(a)



(b)

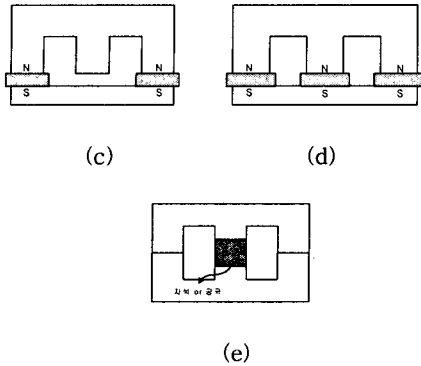


그림 1. 영구자석과 Gap의 위치

(a) No Gap, (b) Mag 1, (c) Mag 2, (d) Mag 3

그림 1은 본 실험에서 구현한 EI 코어에서의 영구자석의 위치관계를 나타낸 것이다. 영구자석의 자속량(150 mT, 210 mT)에 따라 S(small), B(big)로 표기하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 air gap이 없는 EI 32 코어의 1차, 2차 권선수를 3회로 고정시키고 3F3의 포화자속밀도를 측정한 B-H loop이다. 10 kHz의 인가 주파수와 420 A/m의 자장(H)에 대하여 422.88 mT의 자속밀도로 포화되었다.

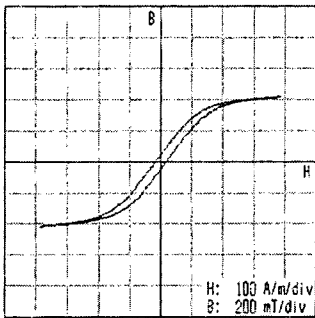


그림 2. Air gap이 없는 EI 32 코어의 B-H loop

그림 3은 2mm의 air gap과 최대자속밀도가 각각 150 mT, 210 mT이고, 2mm 두께의 영구자석을 그림 1의 형태로 E32 코어에 삽입하여 포화자속밀도를 측정된 B-H loop이다. Air gap이 없을

때, 420 A/m까지의 포화자장에서 B-H curve는 직선적인 거동을 하는데 이는 코어에 갭이 존재하면 누설자속이 생성되어 포화되는 자장 값이 증가함으로써, 본 연구에서 이용한 B-H analyzer의 측정 한계 내에서는 코어를 포화시키지 못한다는 것을 나타낸다. 여기서 B_m 은 식 (1)과 같이 M(Magnetization)의 함수이고 M은 재료 상수이기 때문에 동일 조건하에서 단위부피당 자기모멘트의 양은 동일하므로, 코어에 air gap이나 영구자석을 삽입하였을 경우, 포화되는 자장이 달라도 단위부피당 자기모멘트의 양은 같다. 즉 포화자속밀도는 동일하지만 포화자속밀도에 이르게 하는 포화자장 값이 다르고, 공극 또는 영구자석 등의 gap 형성조건에 따라 그 값은 변하게 된다. 그림 3에서는 air gap보다 영구자석이 삽입되었을 때 더 높은 포화자장을 나타낼 것이라 예상할 수 있다.

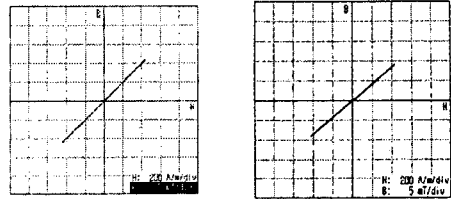


그림 3. Air gap과 영구자석(2mm)에 따른 EI 32 코어의 B-H loop

$$B_m = H_m + 4\pi M \quad (1)$$

표 1은 영구자석과 air gap에 따른 포화자장값을 나타낸 것이다. 코어에 영구자석과 에어갭이 삽입될 경우 포화자장은 B-H analyzer의 측정범위를 벗어나기 때문에 측정한계 내에서 측정된 H, B값을 변수로 하여 $B=aH+b$ 형식의 방정식을 유도하였다. 이 방정식에 이미 알고 있는 포화자속밀도값(B_m)을 대입하여 통계적으로 포화자장값을 얻었다. Air gap이나 영구자석이 삽입될 경우 높은 포화 전류값을 가지는데 이는 자성체에 비해 자기저항이 훨씬 높은 air gap의 존재로 인해 외부 인가 전류가 증가되어도 자성체에서 생성되는 자속이 대부분 air gap 내에서 소비되기 때문이다. 그리고 영구자석을 자심재료에 가하게 되면 Bias에 의한 역자장과 자성체에서 발생하는 자장이 서로 상쇄되어 포

화 전류는 증가하게 된다. 자속량이 큰 영구자석을 사용할수록 air gap에 의한 효과보다 영구자석에 의한 효과가 용량 증대에 지배적으로 작용하는 것을 표 1에서 확인할 수 있으며, 영구자석이 Mag B3의 위치에 놓여졌을 경우에는 Mag B1의 포화 용량과 큰 차이를 보이지 않았다, Mag B2의 위치에서는 포화전류가 Mag B1의 포화전류에 비해 작으며 air gap에 의한 효과와 비슷하게 나타났다. 이는 포화전류가 E형 코어의 전자기적 특성에 영향을 미치는 코어 가운데 다리(유효 면적, A_e)의 자속 변화에 직접적으로 영향을 받은 것으로 판단된다.

표 1. EI 32 코어의 포화 자장값

구조	Condition	Hm (A/m)	상대값
(a)	No Gap	420	1
	Air gap - 2mm	16983	40.44
(b)	MagS1(S=150mT)	19948	47.49
(c)	MagS2	17843	42.48
(d)	MagS3	20831	49.60
(a)	MagB1(B=210mT)	36456	86.80
(b)	MagB2	24730	58.88
(c)	MagB3	35838	85.33

그림 5는 air gap에 따른 투자율과 포화자장비를 나타낸 것이다. air gap이 증가함에 따라 포화자장비는 증가하였고 투자율은 감소하였다. 하지만 임계점의 air gap 이상에서는 일정하였다. 이는 air gap이 증가할수록 자속누설량은 증가하여 코어의 포화를 위해서는 더 높은 자장이 필요하게 되어 포화자장비가 증가하게 되는 것이며 이로 인해 투자율은 감소하게 된 것이다.

따라서 가운데 다리가 코어의 전자기적 특성에 주된 영향을 미치므로 외곽다리에는 air gap을 가지지 않고 가운데 다리에만 에어갭과 영구자석을 삽입하여 트랜스포머의 특성을 측정하였다.

그림 6은 그림1-(e)의 형태로 air gap과 영구자석을 삽입한 EE 22 코어의 1차 코일 자기 인덕턴스(L_p) 변화를 나타낸 것이다. 앞의 결과에서 알 수 있듯이 air gap과 영구자석에 의해 자기 인덕턴스는 감소하였다. 또한, bias magnet 역할을 하는 영구자석이 삽입될 경우 air gap보다 더 낮은 인덕턴스를 가지는데 이는 air gap에 의한 자속 누설량

보다 영구자석에 의한 자속 상쇄분이 훨씬 크기 때문이다. 본 연구에서 제작된 트랜스포머는 1차 코일 권선수와 2차코일 권선수가 1 : 1로 설계되었으므로 2차 코일 자기 인덕턴스(L_s)도 L_p 와 거의 일치하게 측정되어졌다.

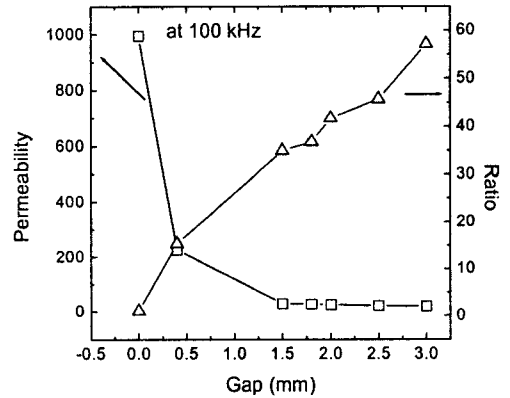


그림 5. Gap에 따른 투자율과 포화자장비 변화

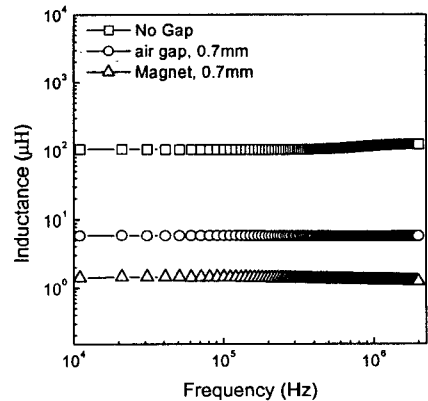


그림 6. Gap 조건에 따른 자기 인덕턴스 변화

그림 7은 식 (2)과 식 (3)를 이용하여 산출된 트랜스포머의 결합계수(coupling factor, k)변화를 나타낸 것이다. 식 (3)에서 $L_{p,s}$ 는 극성이 같은 방향으로 1차 코일을 2차 코일과 연결하여 측정된 인덕턴스를 나타내고, $L_{p,s}$ 는 극성이 서로 반대 방향으로 1차 코일을 2차 코일과 연결하여 측정된 인

덕턴스를 나타낸다. 그리고 M 은 상호 인덕턴스를 나타낸 것이다.

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_p L_s}} \quad (2)$$

$$M = \frac{L_{P+S} - L_{P-S}}{4} \quad (3)$$

영구자석을 삽입할 경우 결합계수는 가장 낮은 값을 가지는데, 이는 bias magnet이 적용되면 누설 인덕턴스의 증가에 의한 상호 인덕턴스의 저하되기 때문이다. 따라서 전기기기의 성능을 저하시킬 수 있는 영구자석의 특성을 고려하여 권선의 자계, 공극의 길이 등을 설계함으로써 보정 가능할 것으로 여겨진다.

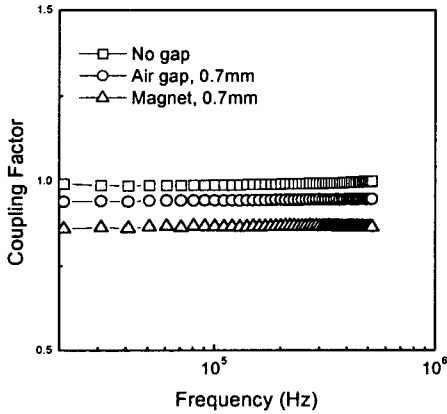


그림 7. Gap 조건에 따른 결합계수(k) 변화

그림 8은 영구자석과 air gap에 의한 공진주파수 변화를 나타낸 것으로서, 영구자석이 삽입되면 air gap이 삽입된 경우보다 2배 이상의 고주파 대역에서 공진주파수가 형성되는 것을 확인할 수 있다. 이는 코일에 의해 생성되는 자계가 영구자석에 의해 상쇄되어 인덕턴스는 감소하게 되며 이로 인해 공진주파수는 고주파 대역으로 이동하게 된 것이다. 결국 영구자석을 gap으로 사용할 경우, 그림 5와 그림 8의 결과를 비추어 볼 때, 코어의 사이즈나 재질을 변화시키지 않고 대전류 및 초고주파용

자심재료를 응용이 가능함을 알 수 있다.

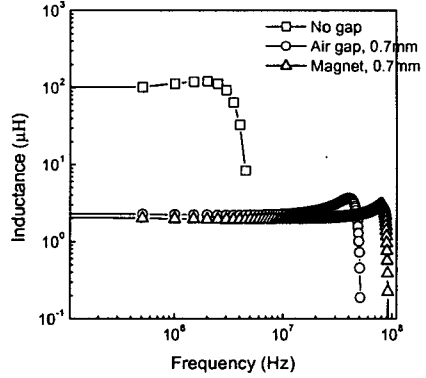


그림 8. Gap 조건에 따른 공진주파수 변화

4. 결론

Bias magnet에 의한 평면자심재료의 전자기적 특성 변화를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 자기저항이 자성체에 비해서 상당히 높은 에어 갭의 존재로 인해 외부 인가 전류가 증가되어도 자성체에서 생성되는 자속이 대부분 air gap 내에서 소비되어 포화 전류는 증가하게 된다.
2. 영구자석을 자심재료에 가하게 되면 Bias에 의한 여자장과 자성체에서 발생하는 자장이 서로 상쇄되어 포화 전류는 증가하게 된다.
3. 영구자석의 삽입에 의한 gap의 형성은 대전류·고주파 특성이 요구되는 응용장치에 적용가능할 것으로 보인다.

참고 문헌

- [1] David K. Cheng, Fundamentals of Engineering Electromagnetics, Addison Wesley.
- [2] Jacel F. Gieras, Mitchell Wing, Permanent Magnet Motor Technology, Marcel Dekker, Inc..