

100 kHz 대역의 자계 환경내(內)에서의 페라이트 코어의 계(界) 해석

Field Analysis in the Ferrite Core at 100 kHz Band Magnetic Field

구본철 · 유재성 · 김미자* · 김윤명**

Bon-Chul Koo · Jae-Sung Yoo · Mi-Ja Kim* · Yoon-Myoung Gimm**

요 약

최근 근거리에서 수신 모듈에 무선으로 전력을 전달하는 시스템이 많아지고 있다. 무선으로 전력을 공급할 때, 수신 공간의 효율적인 사용을 위하여 ferrite core 주변에 코일을 감아 유도기 전력을 얻는다. 본 논문에서는 100 kHz 균일한 단방향의 자계 환경 내에 위치한 페라이트 코어 내부의 자계 분포를 분석한다. 수치 분석을 위한 시뮬레이터는 유한요소 기법을 적용한 Ansoft사의 Maxwell Tool을 사용하였다. 페라이트 코어의 비투자율의 변화에 따라 집중되는 자속 밀도의 변화를 알아보고, 코일의 권선을 위해 코어의 일부를 잘라내었을 시 총 자속의 변화량을 알아보았다. 계산 결과, 100 kHz 자계 환경 내에서 작은 페라이트 코어를 이용하면 코어 내에 약 3.5~4배의 자속 밀도가 증강됨을 확인하였다. 비투자율이 800이면서 반지름의 길이가 4.75 mm인 페라이트 코어의 가장자리에 0.5 mm를 도려내었을 때 총 자속은 23 % 감소함을 확인하였다.

Abstract

Recently, the number of systems which utilize wireless power transmission to a receiving module in a short distance is increasing. For efficient use of receiving space, coils are wound around the ferrite core to produce electromotive force(emf) in supplying power by wireless transmission. This paper analyzed the magnetic flux density distribution in the ferrite core in magnetic field environment which is uniformly oriented along to a single axis at 125 kHz. For numerical analysis, Ansoft Maxwell which is applying the FEM(Finite Element Method) method was used. We studied the variations of the gathered magnetic fluxes to the changes of the relative permeabilities of the ferrite cores. Also we calculated the magnetic flux variation by shaving the ferrite core off for the groove of coil winding. Results showed that using a small ferrite core in magnetic field at 100 kHz band can increase the amount of magnetic flux 3~4 times than without the core. The magnetic flux decreased 23 % by shaving the core 0.5 mm on the periphery of 4.75 mm radius core with the relative permeability 800.

Key words : Ferrite Core, Magnetic Field Analysis, Emf Induction, Wireless Energy Transmission

I. 서 론

페라이트 코어는 비(比)투자율이 크고 광대역의

주파수 특성을 가지고 있어 넓은 분야에 응용된다. 예를 들어 일정한 크기의 인덕턴스를 얻으려 할 때 비(比)투자율이 큰 페라이트 코어를 사용하면 적은

「본 연구는 산업자원부 21세기 프론티어 기술개발 사업인 지능형 마이크로 시스템 개발사업(<http://www.microsystem.re.kr>)의 연구비 지원을 받아 수행되었음.

단국대학교 대학원 전자컴퓨터공학과(Graduate School of Electronics and Computer Engineering, Dankook University)

*단국대학교 정보통신대학원 정보통신학과(Graduate School of Information and Communication, Dankook University)

**단국대학교 전자컴퓨터공학과(School of Electronics and Computer Engineering, Dankook University)

· 논문 번호 : 20070518-18S

· 수정완료일자 : 2007년 8월 6일

권선으로도 가능하다. 따라서 인덕터를 만들 경우, 페라이트 코어를 사용하면 회로의 공간을 적게 차지하게 되므로 회로 설계에 많은 도움을 준다^[1]. 작은 페라이트 코어를 사용하여 페라이트 코어에 유기되는 유도기 전력(electromotive force: emf)을 크게 하기 위해서는 주파수를 크게 하면 된다. 하지만 페라이트 코어가 인체와 같은 손실 매질 내에 있다면 주파수가 클수록 손실되는 양도 커진다. 따라서 emf를 크게 하면서 손실은 적은 주파수를 선택하는 것이 중요하다. 인체 속에서는 100 kHz의 주파수까지는 손실되는 양(量)이 매우 적다.

자계 발생 장치에 125 kHz의 고주파 전류를 인가시킬 때 우선 그 때의 자계 발생 장치 속의 자계 분포를 알아보고, 자계 발생 장치 내부에 페라이트 코어가 있을 때 공간 내(內)에서의 자계 분포를 알아보고, 페라이트의 비(比)투자율에 따른 자계 세기 분포의 특성에 대해 알아본 후, 마지막으로 페라이트의 허리 부분을 도려내었을 때 자속 밀도의 변화를 알아보기로 한다.

교류 자속이 분포된 공간 내에 페라이트 코어에 감겨진 코일에서 발생하는 유도기 전력은 다음과 같다.

$$|V| = |-\partial \Phi / \partial t| = |-j\omega BSN| = \omega BSN$$

여기서 자속 $\Phi = BSN$ 이다. B 는 코어 內의 자속 밀도 (Wb/m^2), S 는 코어의 면적(m^2), N 은 코어에 감겨진 코일의 권선 수를 나타낸다.

II. 자계 발생 장치의 설계

2-1 자계 계산 이론

도선을 통해 전류가 흐를 때 주변에 생기는 자계는 Biot-Savart 법칙을 이용하여 구할 수 있다.

$$|d\vec{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I |d\vec{l} \times \vec{r}|}{r^2} \quad (1)$$

그림 1에서 보면 사각 코일에서의 $d\vec{l}$ 은 각 변에 따라 달라진다. 즉,

$$d\vec{l}_A, d\vec{l}_C = \vec{x} dx \quad (2)$$

$$d\vec{l}_B, d\vec{l}_D = \vec{y} dy \quad (3)$$

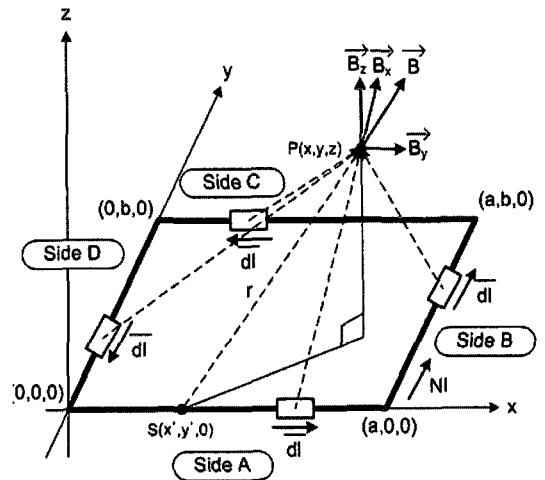


그림 1. 직사각형 전류 루프에 의한 자계
Fig. 1. Magnetic field by rectangular current loop.

$$\begin{aligned} \vec{r} &= \frac{\vec{r}_{sp}}{|\vec{r}_{sp}|} = \frac{\vec{r}_{sp}}{r} \\ &= \frac{(x-x')\vec{x} + (y-y')\vec{y} + (z-z')\vec{z}}{\sqrt{2} \text{of } (x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2} \end{aligned} \quad (4)$$

가 된다. 따라서, 코일상의 임의의 선소 $I d\vec{l}$ 에 의해 P점에 발생하는 자기장 B 는 아래의 식을 이용해 구할 수 있다^[2].

$$\begin{aligned} B &= \oint dB = \oint \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{NI d\vec{l} \times \vec{r}}{r^2} = \frac{\mu_0 NI}{4\pi} \oint \frac{d\vec{l} \times [(x-x')\vec{x} + (y-y')\vec{y} + (z-z')\vec{z}]}{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2]^{3/2}} \end{aligned} \quad (5)$$

직사각형 중심에서 x축, y축 성분의 자계는 서로 상쇄되고 z축 성분만 남는다. 직사각형의 중심에서 z값이 변해도 B_x 와 B_y 성분의 값은 서로 상쇄되므로 0이 되고 B_z 의 값만 남게 된다. B_z 에 관한 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} B_z &= \frac{\mu_0 NI}{4\pi} \left[\int_{S(0,0,0)}^{S(a,0,0)} \frac{1}{r^3} (y-y') dx \right. \\ &\quad + \int_{S(a,0,0)}^{S(a,b,0)} \frac{1}{r^3} (x'-x) dy \\ &\quad + \int_{S(a,b,0)}^{S(0,b,0)} \frac{1}{r^3} (y-y') dx \\ &\quad \left. + \int_{S(0,b,0)}^{S(0,0,0)} \frac{1}{r^3} (x'-x) dy \right] \end{aligned} \quad (6)$$

2-2 자계 발생 장치의 제작

일정 주파수의 전류를 코일에 인가하였을 때 코일에 흐르는 전류에 의해 코일 내부에 자계가 발생한다. 사각 틀을 모의 제작해서 8턴(turns)을 감은 후 125 kHz의 1A의 전류를 인가하였다.

그림 2와 같은 시뮬레이팅 모델에서 가로, 세로, 높이가 각각 330 mm, 330 mm, 300 mm인 자계 발생 장치에 굵기 1.2 mm의 코일을 8턴(turns)을 감았다. 코일의 구조에 관한 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} -165 \text{ mm} < x < 165 \text{ mm} \\ -165 \text{ mm} < y < 165 \text{ mm} \\ -150 \text{ mm} < z < 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

이 코일에 1 A_{peak}(125 kHz)의 전류를 흘렸을 때 발생한 자계의 흐름을 Ansoft Maxwell 3D로 계산한 결과는 그림 3과 같다. 자계 발생 장치의 중심을 기준으로 했을 때 y축과 z축에 따른 자계의 크기를 앞의 software tool(Ansoft Maxwell)로 계산한 결과는 각각 그림 4, 5와 같다.

그림 4를 살펴보면 자계 발생 장치의 가운데에서 가장 작은 자계가 발생하고 중심에서 멀어져 코일 권선에 가까이 갈수록 자계 값이 증가함을 알 수 있다. 그림 4, 5의 세로축은 자계 H의 peak 치(值)이다.

그림 5를 살펴보면 코어가 위치될 중심부 지점에서 가장 많은 자계의 값(약 16.8 A/m)이 발생하고 중심에서 멀어질수록 점점 감소하는 것을 확인할 수 있다. 식 (6)을 이용해 손으로 코일 중심점에서의 자계세기를 계산하면 16.9 A/m으로 그림 4와 그림 5의

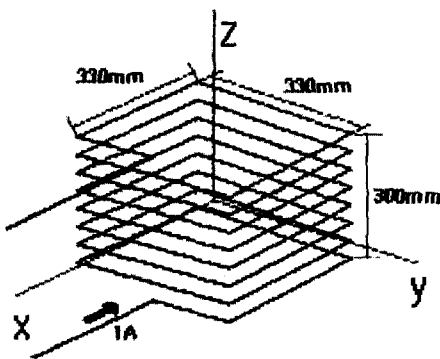


그림 2. 자계 발생 장치
Fig. 2. Magnetic field generator.

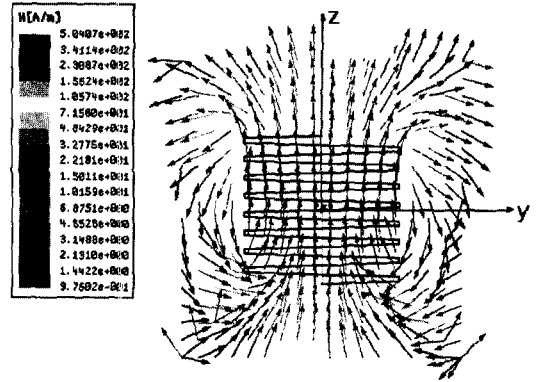


그림 3. 그림 2의 육면체 모양의 자계 발생 장치 주변의 자계 분포

Fig. 3. Magnetic field distribution around magnetic field generator(Fig. 2).

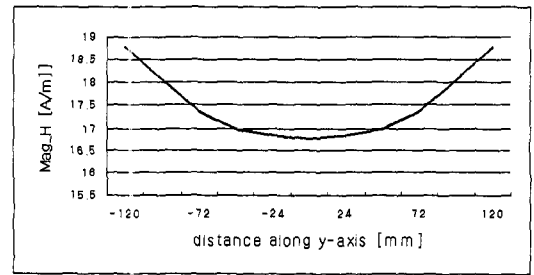


그림 4. y축을 따라가면서의 자계의 세기 변화(x=0, z=0)

Fig. 4. Variance of magnetic field strength along y-axis(x=0, z=0).

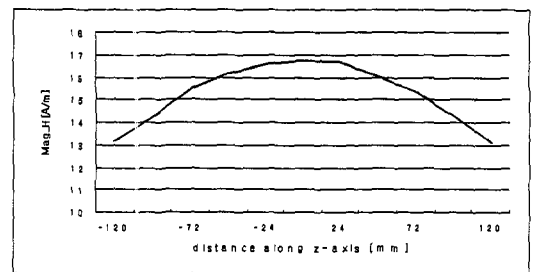


그림 5. z축을 따라가면서의 자계의 세기 변화(x=0, y=0)

Fig. 5. Variance of magnetic field strength along z-axis(x=0, y=0).

중심부 위치에서의 값과 비슷한 값을 얻어낼 수 있다. 그림 6의 작은 ferrite 구조가 그림 2의 자계 발생

장치 속에 있을 때, ferrite는 균일 자계에 노출된다고 할 수 있다.

Ⅲ. 페라이트 코어의 자계 해석

제작된 코어의 외형은 그림 6과 같다. 코어 上下面의 fin(지느러미)은 감은 권선이 밖으로 빠져나가지 못하게 한다.

그림 7은 자계 발생 장치의 중심부에 比透磁率이 800인 페라이트 코어를 위치시켰을 때 코어 주변의 자속(磁束)의 흐름을 나타내었다. 계산 및 simulation은 그림 3과 마찬가지로 Maxwell 3D를 사용하였다. 결과에서처럼 자속의 흐름이 코어 쪽으로 모여들음을 알 수 있다. 그림 7의 환경에서 y, z 축에 따른 자계 크기에 대한 그래프를 그림 8과 그림 9에 각각 나타내었다.

그림 8과 그림 9를 통하여 알 수 있듯이, 코어 내

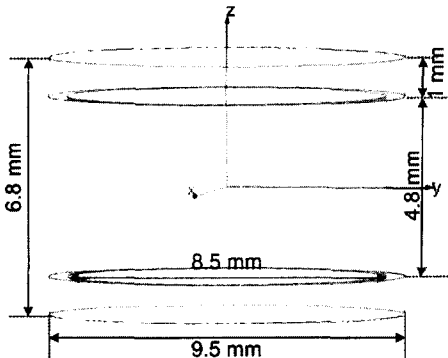


그림 6. 권선을 위하여 제작된 페라이트 코어
Fig. 6. Manufactured ferrite core for coil winding.

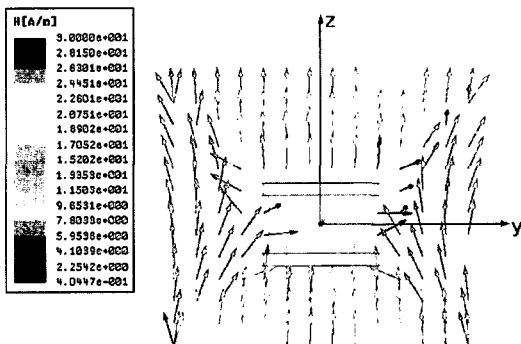


그림 7. 코어 주변의 자계 흐름
Fig. 7. The flow of magnetic field around ferrite core.

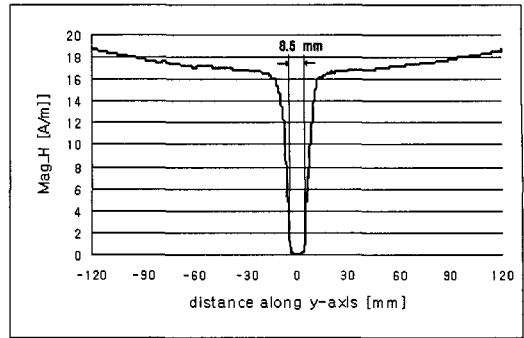


그림 8. y축을 따라가면서 자계의 세기 변화(x=0, z=0)
Fig. 8. Variance of magnetic field strength along y-axis(x=0, z=0).

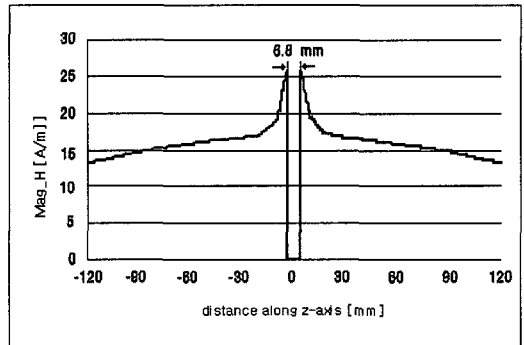


그림 9. z축을 따라가면서 자계의 세기 변화(x=0, y=0)
Fig. 9. Variance of magnetic field strength along z-axis(x=0, y=0).

부에서는 비투자율 값이 아주 크므로 자계 세기의 값이 매우 작았다. 반면, 그림 9에서 보면 코어의 上下面 경계 부분에는 자계 세기가 25.8 A/m 정도로 페라이트 코어가 없을 경우 16.8 A/m의 자계에 비해 약 54% 증가시켜 자속이 코어의 중심부 쪽으로 집중하는 것을 확인할 수 있다.

Ⅳ. 비투자율에 따른 페라이트 코어의 자속 밀도

그림 10은 비투자율이 800인 페라이트 코어가 자계 발생 장치의 중심에 있을 때와 없을 때($\mu_r=1$)를 비교한 그래프이다. 비투자율이 800인 페라이트 코어를 사용하면 코어의 중심에서 자속 밀도(磁束密

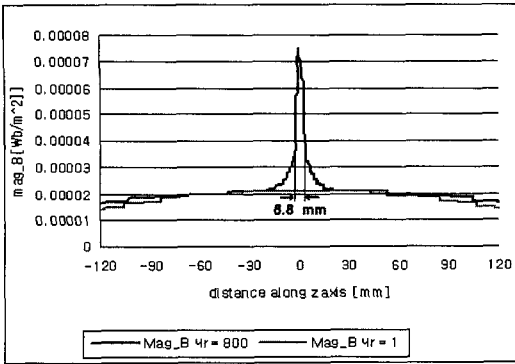


그림 10. z축을 따라가면서 페라이트 코어의 비투자율에 따른 자속 밀도 변화(x=0, y=0)
 Fig. 10. Variance of magnetic flux density along z-axis with relative permeability of ferrite core.

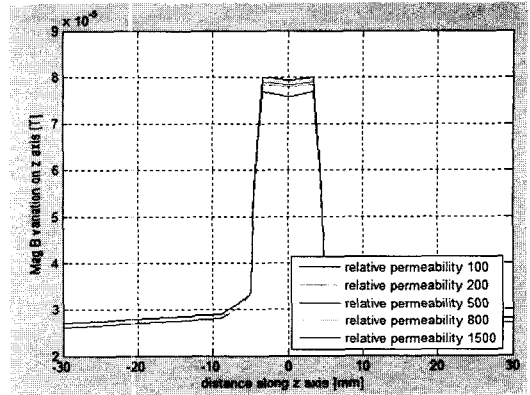
도, magnetic flux density)가 약 $76 \mu\text{T}$ 로 유지되어 코어가 없을 때의 자속 밀도의 값 약 $21 \mu\text{T}$ 에 비해 약 3.5배 정도 자속 밀도가 증강됨을 알 수 있다.

그림 11은 비투자율에 따른 자속 밀도의 변화를 나타낸다. 그림 11(a)에서 확인할 수 있듯이 비투자율이 200 이상이면 코어 內에서의 자속 밀도는 거의 동일함을 확인할 수 있다. 하지만 그림 11(b)에서 볼 수 있듯이, 비투자율이 50 이하인 경우에는 비투자율이 감소함에 따라 자속 밀도의 값이 많이 줄어드는 것을 확인할 수 있다

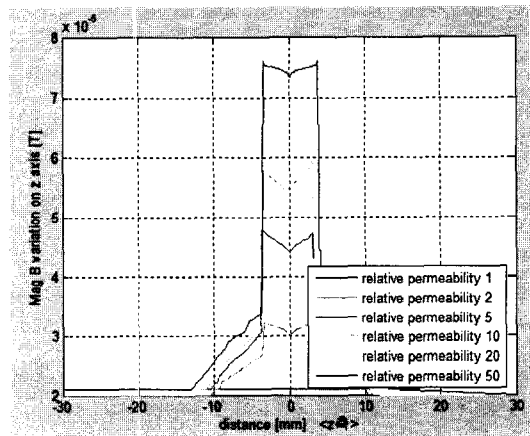
V. 코어 기둥을 도려냄에 따른 자속 밀도의 변화

지금까지는 그림 6과 같이 페라이트 코어에 코일을 감기 위해서 허리 부분을 도려내었을 때의 자속 밀도를 알아보았다. 페라이트 코어가 그림 12(b)와 같이 허리部를 도려내지 않을 경우, 페라이트 코어 내부의 자속의 변화에 대해 알아보기로 한다.

그림 13(a)의 결과처럼, 그림 12(a)의 코어 1의 중심에서의 자속 밀도 값은 약 $79 \mu\text{T}$ 로 코어 2의 $77 \mu\text{T}$ 보다 크게 나왔다. 그림 13(b)의 결과처럼 코어 1의 표면에서의 자속 밀도 역시 코어 2의 표면에서보다 조금 크게 나왔다. 반면에 코어 1의 중심에서의 원통 단면적은 56.7 mm^2 로 코어 2의 중심에서의 원통 단면적 70.9 mm^2 보다 적으므로 코어의 내부를 통과하는 총 자속은 약간의 차이가 있음을 알 수 있다.

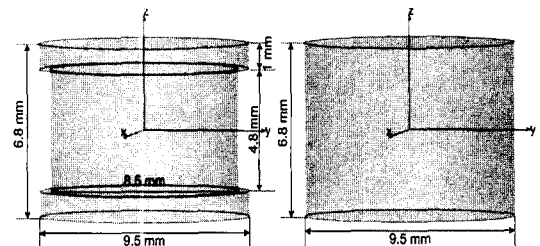


(a) 비투자율 200 이상에서의 자속 밀도
 (a) Magnetic flux density of relative permeability of 200 or more



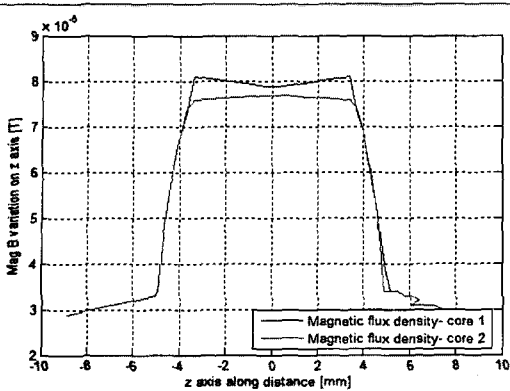
(b) 비투자율 50 이하에서의 자속 밀도
 (b) Magnetic flux density of relative permeability of 50 or less

그림 11. z축에서의 자속 밀도 변화
 Fig. 11. Variance of magnetic flux density along z-axis.

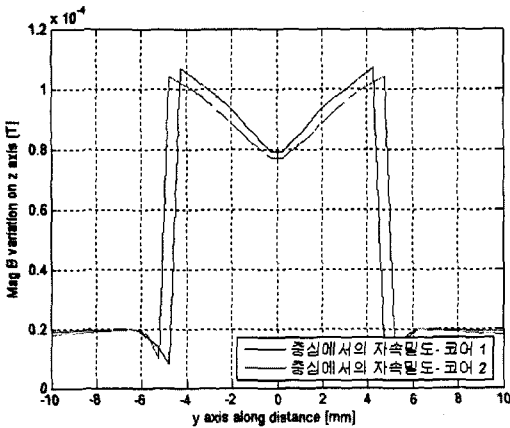


(a) 코어 1 (a) Core 1
 (b) 코어 2 (b) Core 2

그림 12. Fin 효과를 위한 두 가지 코어 제작
 Fig. 12. Manufactured two kinds of cores for fin effect.



(a) z축에서의 자속 밀도
(a) Magnetic flux density along z axis



(b) y축에서의 자속 밀도
(b) Magnetic flux density along y-axis

그림 13. 코어 기둥을 도려냄에 따른 자속 밀도의 변화

Fig. 13. Variance of magnetic flux density with shaving off the pillar of a core for a groove.

실제로 그림 13(a), 그림 13(b)에서 원통 단면적을 감안해서 총 자속을 구해 보면 코어 1이 약 23% 적은 것을 확인할 수 있다.

VI. 결 론

지금까지 100 kHz 대역에서 페라이트 코어 내부의 자계 분포를 살펴보았다. 본 연구를 통하여 낮은 주파수 대역의 자계 환경 내에서 작은 페라이트 코어를 사용하여 공간 효율 면에서 보다 효과적으로 유도기 전력을 발생시킬 수 있음을 알 수 있다.

그림 11의 결과와 같이 중앙에 페라이트 코어($\mu_r = 200$ 이상)가 있으면 자속 밀도는 21 μT 에서 약 75~80 μT 으로 증가한다. 즉 125 kHz, 16.8 A/m의 자계 환경에서 페라이트 코어를 사용하면 페라이트 코어(비투자율 200 이상) 주변의 자속을 페라이트 내부로 끌어들이 자속 밀도를 3.5~4배 정도 높일 수 있다. 또한 비투자율이 200 이상의 페라이트의 코어에서는 그 내부로 집중되는 자속의 양이 코어의 비투자율에 무관하게 거의 동일함을 알 수 있었다.

이것으로부터 비투자율이 200 이상의 페라이트 코어를 사용할 경우 코어 없는 권선보다 3.5~4배 정도의 유도기 전력을 얻어낼 수 있으나, 비투자율이 200 이상이면 유도기 전력은 사실상 같은 수준을 유지할 것이다.

하지만 비투자율이 50 이하의 페라이트의 경우에는 그 내부로 집중시키는 양이 현저하게 줄어들음을 확인할 수 있었다.

코어의 허리 부분을 0.5 mm 두께로 도려내었을 때 코어 내부의 자속 밀도는 2.8% 증가하였다. 그러나 원통 코어의 단면적이 25% 감소하므로 자속의 양($= \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$)을 약 23% 감소시킨다.

참 고 문 헌

- [1] Chris Bowick, *RF Circuit Design*, Newnes, 1997.
- [2] 성기연, "생체실험용 단축/2축 극저주파 자기장 발생장치의 설계 및 제작", 단국대학교 대학원 석사학위논문, 2001.
- [3] Simulation tool - Maxwell 3D, Ansoft Korea.

구 본 철



2004년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
2007년 3월~현재: 단국대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정
[주 관심분야] 전자파 환경, EMI/EMC

김 미 자



2003년 3월~현재: (주)EMF Safety
2005년 2월: 한국대한교육개발원 전자공학 (공학사)
2006년 9월~현재: 단국대학교 정보통신대학원 정보통신학과 석사과정
[주 관심분야] EMI/EMC, 전자계의 인체 영향 측정

유 재 성



2006년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
2007년 3월~현재: 단국대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정
[주 관심분야] 전자파환경, EMI/EMC

김 윤 명



1975년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1977년 2월: 한국과학원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1990년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1977년 2월~1980년 2월: 금성정밀공업주식회사 (現 LIG 넥스원) 중앙연구소 연구원
1980년 3월~현재: 단국대학교 전자 및 컴퓨터공학과 교수
2000년 6월~현재: (주)EMF Safety 대표이사
[주 관심분야] 전자파환경, EMI/EMC, 전자계의 인체 영향 측정