

무전극 형광램프 안테나 설계를 위한 페라이트 유도코일의 전자계 분포 특성 분석

조주웅, 김광수, 최용성, 박대희
원광대학교

Properties of Electromagnetic Field Distribution of Inductive Ferrite Coil for the Antenna Design of the Electrodeless Fluorescent Lamp

Ju-Ung Jo, Kwang-Soo Kim, Yong-Sung Choi and Dae-Hee Park
Wonkwang University

Abstract - In this paper, maxwell 3D finite element analysis program was used to obtain electromagnetic properties associated with the coil and nearby structures. The electromagnetic emitting properties were presented by 3D simulation software operated at 2.56[MHz] and some specific conditions.

도 및 에너지 분포를 해석하였다.

2. 실험 방법

그림 1은 Maxwell 전자계 시뮬레이션을 위한 실제 램프 형상과 해석을 위한 메쉬(mesh)를 보여주고 있다.

1. 서 론

기존의 램프들은 발광관 내부에 전극을 가지고 있어 전극의 산화 휘발로 전자방출 능력 상실과 에너지 손실로 램프의 수명을 단축시킨다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여, 유도결합 원리를 이용한 무전극 램프는 발광관 내부에 전극이 존재하지 않으므로, 장수명을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 고효율, 고연색성의 장점을 가지고 있다 [1-2].

일반적으로 무전극 램프의 방전 원리는 2가지 형태를 이루고 있다. 첫 번째 형태는 E방전을 하는 전계 결합형으로써, 방전관의 외벽에 대전극은 박막으로 설치하고, 교류를 인가하면 관 내부에서 방전이 형성된다. 이것은 외면의 전극과의 사이에 전기용량을 통하여 전류가 흐른다고 생각할 수 있다. 두 번째 형태는 H방전으로써, 방전관의 외주나 소프트 페라이트에 권선을 감고 교류를 통과시키면, 전자유도에 의해 자계가 발생하고, 관 내부에서 방전이 형성된다. 이러한 방전의 해석은 외부의 권선을 1차 권선으로 하고, 관 내부의 기체를 2차 권선으로 하는 변압기모델로 생각할 수 있다 [3-4].

이러한 H방전의 경우에, 전자계를 발생시키는 전원장치와 자성체의 결합방식에 의한 자성체의 선택이 중요하다. 무전극 램프의 경우에는 저손실 Ni-Zn Ferrite 페라이트를 자성체로 사용하는데, 고주파영역에서 수십 [W]의 전력으로 사용할 수 있는 자성체 특성과, 고온에서의 포화자속밀도가 높으며, 자기적 열화 및 코어 손실이 적고, 자기적 안정성이 뛰어난 소프트 페라이트의 특성이 요구되어 진다 [5-6]. 그러므로, 전자계를 발생시키는 1차측 유도코일부와 빛을 발광하는 2차측 플라즈마부의 결합효율이 램프전원인 고주파 인버터의 제작 시 중요한 역할을 한다.

본 논문은 효율적이고 최적의 무전극 형광 램프를 설계하기 위하여, 변압기 모델을 사용하여 유도코일 영역에서 발생하는 자계 분포를 Maxwell 전자계 시뮬레이션을 통하여 전자계 해석하고, 페라이트의 권선 모양과 보조코일의 유무에 따라 1차측 유도코일부의 자속, 자속밀

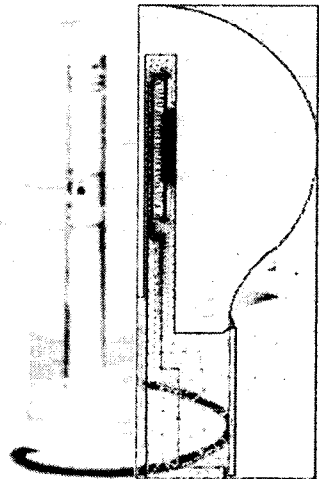


그림 1. 시뮬레이션을 위한 무전극 형광램프와 메쉬.
Fig. 1. Diagram of electrodeless lamp and mesh for simulation.

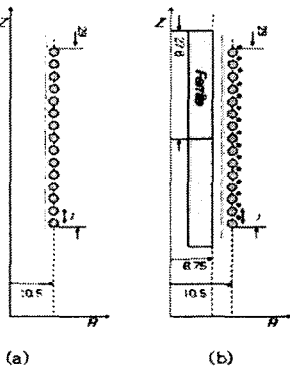
표 1은 Maxwell 전자계 시뮬레이션의 입력재료의 특성을 나타내고 있다. Maxwell 전자계 시뮬레이션 구동을 위해 가능한 각각의 입력재질을 실제와 같이 구현하려고 하였으며, Ni-Zn 페라이트의 경우 상온 (25 ℃)에서의 자성특성으로 복소 투자율값을 기준으로 입력하였다. 코일은 일반적인 구리 재질로 하였고, 열전도 파이프는 황동 (bronze)으로 입력하였으며, 램프 밸브에서 전도도 변화에 대한 시뮬레이션을 제외한 유전율 값은 5.5를 인가하였고, 전도도 시뮬레이션에서는 램프 내부에 전도성 물질로 대체하기 위해서 유전율 1.006, 투자율 1을 인가한 후 50~1200 [S/m]의 전도도를 변화시켰다. 그리고 열전도도는 일반적인 아르곤 가스의 열전도도 0.01806 [W/mK]으로 입력하였고, 이외의 시뮬레이션에서는 입력값을 0으로 하였다.

표 1. Maxwell 전자계 시뮬레이션을 위한 구성요소의 재질특성.

Table 1. Material properties of each parts for simulation.

	Ferrite	Coil	Heatpipe	Bulb
Permittivity	1000	1	1	1.006-5.5
Rel. Permeability	830	0.9999	1	1
Imag. Permeability	45	0	0	0
Mag. Coercivity [A/m]	60	0	0	0
Conductivity [S/m]	0.1	5.8×10^7	1×10^7	50-1200
Thermal conductivity [W/mK]	5.5	0	0	0.01806
Input Current [A]	0.7			

그림 2는 Ni-Zn Ferrite에 코일이 감긴 형태, 권선수 및 보조코일의 모양을 나타낸 것이다. 그림 1 (a)는 권선수가 15회 코일감은 길이가 29 [mm]인 공심 코일이다. 코일 안쪽에 코어길이와 같은 sleeve의 단면을 보여 주고 있다. 그림 1 (b)는 그림 1 (a)의 공심코일에 길이 27.6 [mm]인 Ni-Zn Ferrite 두개를 맞붙여서 코일내부에 적용된 것이다.



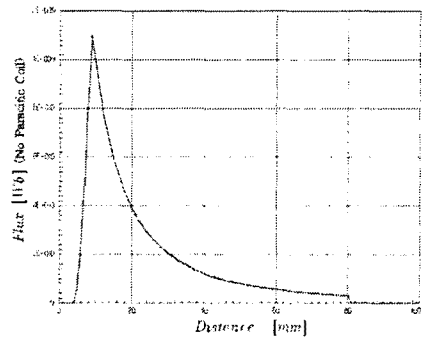
Solenoidal Coil Applying Ferrite core
그림 2. 시뮬레이션을 위한 안테나 코어 개략도.
Fig. 2. Diagram of Antenna for simulation.

3. 결과 및 검토

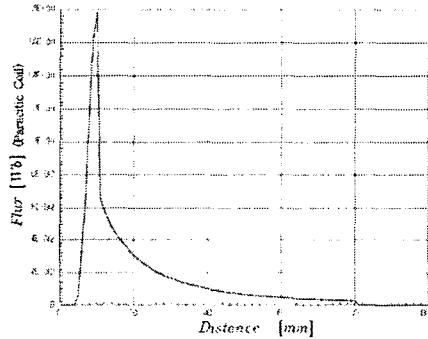
그림 3 (a)는 Ni-Zn Ferrite를 코어재로 적용한 후 보조코일을 사용하지 않았을 때와 보조코일을 사용했을 때의 1차측 유도코일 영역의 Maxwell 전자계 시뮬레이션을 나타내고 있다. 여기서 임의의 선은 R이 0인 중심부에서 맞붙어있는 두개의 페라이트 사이와 코일을 지나 R이 100인 곳까지 그어진 선이고, 자유공간을 경계면으로 설정하였다. 또한 주 유도코일과 보조코일 모두 권선수가 15회이고, 입력전류와 주파수는 각각 0.7[A]와 2.65[MHz]에서 시뮬레이션하였다.

Ni-Zn Ferrite 영역에서부터 코일영역까지 급격히 증가하여 코일에서 가장 강한 자속밀도 $1.06 \times 10^{-9} [Wb]$ 과 $1.8 \times 10^{-11} [Wb]$ 값을 나타내고 있다. 이러한 이유는 고

투자율 재료인 Ni-Zn Ferrite의 매질의 성질과 유도코일의 Inductance 증가 때문이다. Ni-Zn Ferrite에 유도코일과 보조코일을 함께 사용한 그림 3 (b)의 경우 자속밀도가 감소함을 볼 수 있다. 이런 현상은 보조코일의 방향과 권선형태에 의해 capacitance와 inductance 변화로 인해 전자계를 발생시키는 Ni-Zn Ferrite의 전자계분포 변화 제어, 램프 내부의 열전도 효과 및 2차측 플라즈마 영역의 결합효율을 위한 최적 설계가 존재할 수 있음을 알 수 있다.



(a) No adapting



(b) Adapting

그림 3. 보조코일 사용 여부에 대한 Flux.
Fig. 3 Flux as applying paracitic coil.

그림 4는 코일 형상에 따른 전자계 분포를 살펴본 결과이다. Ni-Zn Ferrite를 사용한 코일에서 코일의 감는 형상과 보조코일의 위치에 대한 자속밀도와 에너지 분포를 나타내고 있는데, 이때의 유도 코일에 입력전류는 0.7 [A]이고, 램프내부의 입력조건은 유전율 1.006, 열전도도 0.01806 [W/mK], 전도도는 900 [S/m]으로 시뮬레이션 구동하였다. 그림 4과 5의 자속밀도를 비교해 보면, 그림 4에서는 위쪽 보조코일과 아래쪽 열전도파이프에 의해서 외부로 방사되는 자속이 상당히 제한되고 있음을 볼 수 있다. 그리고 페라이트 상에 코일이 감긴 부분에만 강한 자속이 밀집되어지는 것을 볼 수가 있다. 또한 유도코일 부가 두 부분으로 나뉘어서 감겨진 것을 볼 수 있는데, 이것은 램프의 형상에 맞게 램프내부에서 균일하게 플라즈마 방전이 일어나도록 하기 위한 방법이라고 사료된다.

그림 5의 코일 형상 B는 페라이트 길이와 비슷한 코일 길이를 갖는 안테나 형상을 하고 있으며, 자속 분포는 그림 4와 많은 차이를 보이며, 전체적으로 균일하게

분포되어 있다. 이러한 자속 밀도는 유도코일이 인덕턴스값에 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실로부터 그림 4에서 기존램프의 형상에 사용되어진 보조코일의 역할은 같은 방향으로 감을 경우 보조코일에는 거의 같은 크기의 (-) 기전력이 유기되고, 주어진 램프형상에서 초기 램프 점등을 위한 적절한 용량방전 (capacitive discharge)이 필요하므로, 유도 코일로부터 유기되는 기전력을 적절히 조절하는 동시에 전자계 분포를 제어하기위한 것으로 사료된다.

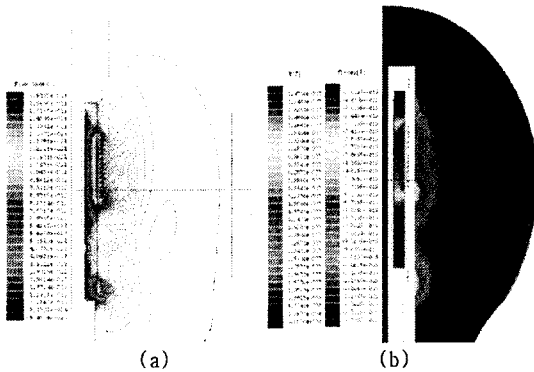


그림 4. 코일형상 A에 의한 (a)자속밀도와 (b)에너지 분포.

Fig. 4 (a) Mag B and (b)Energy Distribution as configuration of winding.

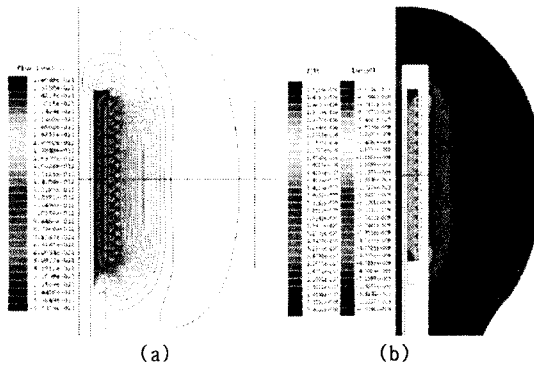


그림 5. 코일형상 B에 의한 (a)자속밀도와 (b)에너지 분포.

Fig. 5 (a) Mag B and (b)Energy Distribution as configuration of winding.

4. 결 론

본 논문은 무전극 형광램프의 자계 분포를 Maxwell 3D Field Simulator을 통하여 살펴보았다. 자성체는 Ni-Zn Ferrite를 사용하였으며, 권선수 형태와 보조코일 유무에 의한 자속밀도의 변화와 에너지 분포변화를 살펴 보았다.

- 1) Ni-Zn 페라이트를 이용한 유도코일의 권선형태는 자속밀도와 에너지 분포에 영향을 주어 2차 플라즈마 영역의 결합효율에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.
- 2) 유도코일의 권선형태와 보조코일 사용 유무는 자속밀도와 에너지 분포의 제어 변수가 될 수 있음을 알 수 있다.
- 3) 보조코일의 유무와 극성의 방향성에 의해 방전전압, 방전전류에 변화를 줄 수 있음을 알 수 있다.

감사의 글

본 논문은 에너지 관리 공단에서 시행한 “직관 및 환형 무전극 형광램프의 구조 설계기술” 사업의 지원을 받아 이루어진 논문입니다. 이번 연구를 지원해 주신 분들께 감사의 말씀을 드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] U. Chittka, "Electrodes for gas discharge", *Applied Surface Science*, Vol.111, P.302, 1997.
- [2] D.O Wharmby, "Electrodeless lamps for lighting", *IEE Proceeding A*, Vol.140 Issue:6 Nov., p.465, 1993.
- [3] 황명근, 이종찬, 박대희, "무전극 램프의 기술동향과 전망", 한국조명·전기설비학회 학술대회 논문집, p.23, 2001.
- [4] IM El-Fayoumi, IR Jones, "The electromagnetic basis of the transformer model for an inductively coupled RF plasma source", *Plasma Sources Sci. Technol.*, Vol.7, p.179, 1998.
- [5] 이시다시게토시, 와타나베 마사히코, 야스하라가쓰시, "페라이트코어 및 그 제조방법", 특2003-0016171.
- [6] 야스하라가쓰시, 다카가와겐야, "Mn Zn계 페라이트의 제조방법, Mn Zn계 페라이트 및전원용 페라이트코어", 특2001-0094979.