

무전극 형광램프를 위한 유도코일의 전자계 해석

(Electromagnetic Analysis of Induction Coil for Electrodeless Fluorescent lamps)

김광수*, 이종찬, 박대회, 박성목**

(Kwang-Soo Kim, Sung-Mok Park, Chong-Chan Lee, Dae-Hee Park)
Wonkwang University, Kumho Electric Inc.**

Abstract

The Electrodeless lamp is intended as a high efficacy replacement for the incandescent reflector lamp in many applications. but Increasing awareness of electromagnetic compatibility(EMC) issues in lighting application, the problems of interference generation by electrodeless fluorescent lighting system have been highlighted. In this paper, Maxwell 2D finite element analysis program(Ansoft) is used to obtain electromagnetic properties associated with the coil and nearby structures. and also evaluated Flux, B, H, by changing the input current.

1. 서론

고주파 전력에 의해서 점등되어지는 방전 용기 내에 전극을 갖지 않고, 방전에 의한 여기방사한 자외선에 의해서 형광체가 발광하는 무전극 형광램프에 있어서 전력을 공급하는 필요한 부분을 제외한 전면이 발광하는 구조로 되어 있다. 그러나, 무전극 형광램프의 단점은 은 주파수에서 RF 플라즈마를 유지하기가 쉽지만, 높은 주파수의 제품을 생산하기 위해서는 몇 가지 제약이 따른다. RF주파수를 발생시키기 위한 회로의 복잡성과 임피던스 매칭에 따른 가격 문제와 함께 의료장비 및 통신기기, 계측기와 인체에 유해성 유무에 논란의 여지를 가지고 있는 EMI(Electromagnetic Interference)에 대한 해결이 필요하다. 무전극 형광램프의 전력 효율은 램프 내의 가스 종류, 가스 압력, 램프 형상, 자성체 재료 및 형상, 동작 주파수 등에 큰 의존성을 가진다. 특히 제한된 주파수에서의 효율 향상을 위해서는 램프의 구조설계 분야도 큰 비중을 차지한다. 특히, 고주파 에너지를 공급하는 장치는 중앙부에 발생하는 공진 주파수를 전자기장을 이용하여 에너지를 공급하는데 이때의 전기적인 변환 결합은 대단히 중요하다. 지금까지 이를 위한 많은 특허와 기술 보고가 있으나 실용적으로는 많은 해결해야 하는 문제점들이 많다.

무전극 방전램프는 전극을 갖는 아크 방전 램프에 비해 전자기 에너지를 충전물에 결합하기 쉽고, 방전 발광을 위한 충전물로부터 수은을 제거할 수 있으며, 또한 전극의 손실이 없기 때문에 고발광 효율화도 기대가 된다.

본 연구는 무전극 형광램프의 방전을 시키기 위한 유도 코일의 전자계 형성을 해석하고 특성을 고찰하였다.

2. 본론

2.1. 전자계 방사 및 시뮬레이션

그림 1은 전구형 무전극 형광램프의 전자계 분포를 나타냈다. 그림 1의 (a)는 유도코일 형태의 방전, 전자계 분포를 일반적으로 나타냈다. 코일은 자성체 코어 안쪽, 바깥쪽 혹은 코어 내부에 위치하여, 전류가 흐르면 자성체 주위에 전자계 형성된다. 이것은 전구 내부의 방전 영역으로 자속의 변화는 방위 방향의 전기 E_{θ} 가 코일 주위에 형성되고 방전 용기 내에 있는 여러 가지 혼합가스에 영향을 주어 플라즈마가 형성되고 이때 발생한 UV가 Bulb 내부에 코팅되어진 형광 막을 통과하면서 가시광선이 발생된다.[1]

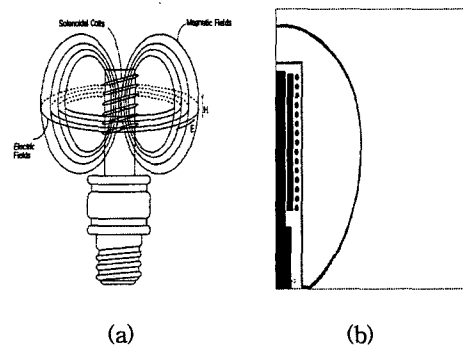


그림 1. 유도 코일 부의 자계(실선)와 전기(점선)와(a) 시뮬레이션을 위한 내부 단면도(b)

전구형 램프 형상(QL-85)의 각각의 Part는 디자인과 구조적인 측면에서 EMI를 최소화하기 위해 독특하게 설계되었다.[3] 램프 내부에는 약간의 수은과 희소 가스가 봉입되었고, 코일을 수용하기 위한 요각 구조(Re-entrant)로 되어있다. 구리 코일은 페라이트 주위를 수직 축으로 약 15회 정도 감겨 있으며, 고주파 발생 회로와 연결 되어있고, 빛의 분배 장애나 램프 밖으로의 전자계 방출을 막기 위해 램프 중심에 위치 형상을 하고 있다. 또한 코일이 감겨있는 페라이트를 지지하고 있는 Heat Pipe는 전자계 방사에 의한 플라즈마 방사시에 발생하는 고온의 열을 아래 축의 플랜지로 원활하게 전달하기 위하여 열전도율이 높은 재질을 사용한다.[4] 그밖에, EMI(Electromagnetic Interference)를 최소로 줄이기 위해서 Parasite coil을 전류 코일과 나란히 감는 방법을 사용하여 자계에는 영향을 주지 않고 전계를 부분적으로 상쇄시키는 메카니즘을 적용되었다.[5]

그림 1(b)는 이 같은 전구형 램프 내부에서 전자계 형성 과정을 보기 위해 r축과 z축의 3차원 교류 자장으로 시뮬레이션하기 위한 Layout이다. 왼쪽부터 열전도 파이프, 페라이트, 코일, Bulb로 배치 되어있다.

2.2 시뮬레이션 조건

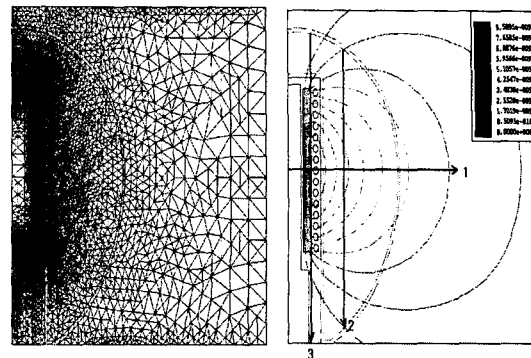
그림 1 (b)의 단면에서 왼쪽에 있는 열전도 파이프의 재질은 구리로 하였고, 페라이트 재질은 임의의 비 투자율 값이 1000인 Mn-Zn을 사용했다. 자성체 Mn-Zn 주위를 15회 감겨 있는 코일의 재질은 구리로 하였고, 전구 유리는 비 투자율과 비 유전율이 각각 5.5, 1인 재질을 입력하였다. 고주파 발진 회로에서 램프로 흘러가는 입력 주파수는 2.65MHz, 그리고 입력 전류는 0.01A, 0.05A, 0.1A 변화해가며 자속, 자계강도, 자속밀도의 특성을 관찰하였다. 추가적으로 Parasite Coil을 적용한 전자계 특성과, 이와 관련된 EMI 문제, 그리고 전구 내부의 가스와 유리에 대한 고려는 계속 진행 중이며, 본 시뮬레이션에서는 적용하지 않았다.

2.3 코일의 요소분할 및 등전위선 분포

그림 2 (a)는 입력된 재질을 바탕으로 세분하게 요소분할된 그림으로, 페라이트와 코일 주위를 세밀히 관찰하기 위하여 보다 세분하게 분할하였다. 그림 (b)는 이에 대한 해석 결과로 등전위선을 나타내며, 페라이트 내부와 코일 주위에 균일하게 전자계가 형성됨을 보여준다.

이를 통해 열전도 파이프를 중심에서 램프의 외곽으로 등전위선이 원통 표면으로 방사함을 알 수 있고, 전기력선 및 전자계 밀도는 페라이트 중심에서 바깥으로 감소 방사함을 확인할 수 있다. 특히 열전도 파이프는 역학적 지지대로서 뿐만 아니라 내부로만 등전위선 분

포가 형성되어 램프의 중심부에서 전자계가 상쇄되는 역할을 하는 것으로 사료된다.



(a) 요소분할

(b) 등전위선

그림 2. 전자계 시뮬레이션의 요소 분할과 등전위선의 형성도 (0.05A)

3. 결과 및 고찰

다음에는 코일을 중심으로 하는 Flux 분포, 페라이트의 자속밀도와 자계강도를 각각 해석하고 입력 전류의 의존성을 평가하였다.

3.1 Flux 분포

그림 3은 그림 2 (b)의 선 1, 2, 3 을 자성체 코어 중심에서 r방향으로 나누어서 해석한 자속 분포도이다. x 축은 열전도 파이프에서 r방향으로의 거리 (mm)를 나타내고 y축은 자속의 크기 (Wb)를 나타낸다.

선 1을 기준으로 해석한 Flux 1의 곡선은 약 6mm까지는(열전도 파이프) 자속이 0을 유지하다가 자성체 코어와 코일이 감겨있는 부근에서 급격히 증가한 후 자성체에서 r 방향으로 멀어질수록 감소한다.

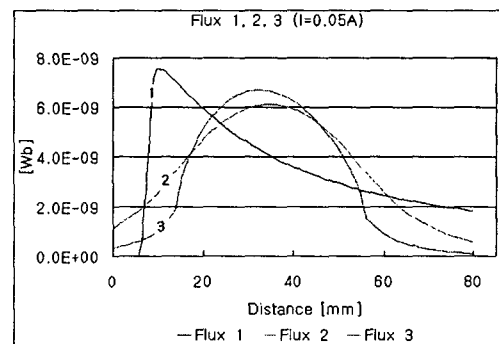


그림 3. 전자계 시뮬레이션의 자속 분포 (0.05A)

또 선 2와 3을 기준으로 해석한 Flux 2, Flux 3의 곡선에서 자속의 세기가 코어의 한 중심에서 가장 높고 x축(거리)과 y축으로 멀어질수록 감소함을 알 수 있다.

3.2 페라이트의 자속 밀도 분포와 자계 강도

그림 4(a)는 각각의 선 1, 2, 3을 기준으로 해석한 페라이트 코어의 자속밀도 B [Wb/m²]의 크기를 나타낸다. 그래프 Mag B 1(선 1을 기준)을 통해 입력 전류, 주파수, 페라이트 비 투자율 값이 각각 0.05A, 2.65 MHz, 1000의 조건에서 발생하는 페라이트 코어의 자속 밀도가 약 3.3×10^{-4} [Wb/m²] 정도임을 알 수 있고, Mag B 3(선 3을 기준)에서는 그림 3의 Flux 곡선과 유사한 모양으로 중심에서 가장 높은 값 3.3×10^{-4} [Wb/m²] 정도를 나타내고, 가장자리로 갈수록 값이 급격히 감소함을 알 수 있다.

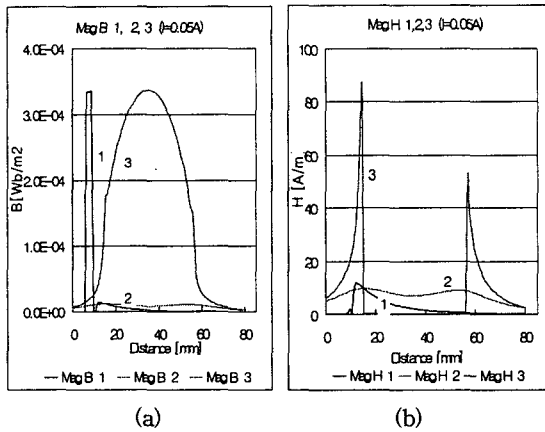


그림 4. 페라이트 코어의 자속밀도 B[Wb/m²](a)와 자계강도 H[A/m](b) (0.05A)

(b)는 페라이트 코어의 자계강도 H [A/m]의 크기를 나타낸다. Mag H 3 그래프를 통해 같은 조건 (입력 전류, 주파수, 페라이트 비투자율 값이 각각 2.65MHz 와 0.05A, 1000)에서 자계 H의 세기는 가장자리에서 가장 큰 값을 가지고, 코어 중심에서는 0의 값을 가지는 자속 밀도 B와 반대 경향을 띠고 있음을 보여준다.

3.3 입력 전류에 따른 Flux, Mag B, Mag H

그림 5는 입력 전류를 0.01A, 0.05A, 0.1A로 변화시켰을 때의 Flux와 페라이트 코어의 자속 밀도 B, 자계강도 H의 분포를 나타낸 그림이다. 위의 그림에서 전류가 0.05A씩 증가함에 따라, Flux 와 자속밀도 B 그리

고 자계강도 H가 비례적으로 증가함을 볼 수 있고, 모두 다 코어의 중심 부근에서 입력 전류가 0.1A일 때 각각, 1.5×10^{-12} [Wb], 6.7[Wb/m²], 4 [A/m]의 최고 값을 보여준다.

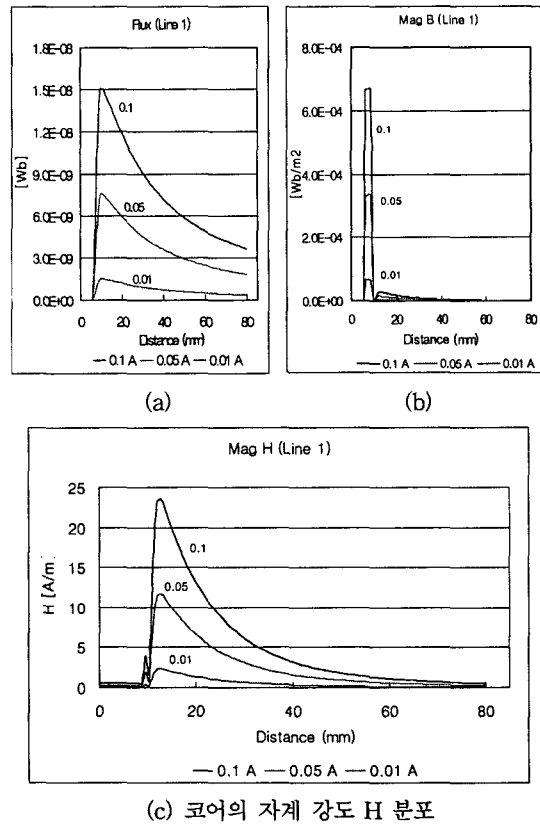


그림 5. 전류 변화에 따른 Flux(a), 페라이트 코어의 자속밀도 B(b), 자계강도 H(c)의 분포

4. 결론

본 연구는 전구형 무전극 형광 램프 내에서 전자계가 형성되는 과정을 시뮬레이션을 통하여 살펴보았으며, 자성체는 Mn-Zn 페라이트(비 투자율값 1000), 입력 주파수와 입력 전류는 각각 2.65MHz 와 0.01A, 0.05A, 0.1A로 하였으며, 열전도 파이프는 Bronze, 그리고 페라이트 주위에 감겨있는(15회)는 코일은 구리선으로 임의로 선택하여 입력 값을 주어 시뮬레이션을 하였다.

1) 전자계 시뮬레이션 해석 결과 페라이트 내부와 코일 주위에 균일하게 전자계가 형성됨을 확인하였고 열전도 파이프를 중심에서 램프의 외곽으로 등전위선이 원통 표면으로 방사함을 알 수 있었다.

2) 전자계 시뮬레이션의 Flux 분포는 약 6mm까지는 (열전도 파이프) 전위가 0을 유지하다가 자성체 코어와 코일이 감겨있는 부근에서 급격히 증가한 후 자성체에서 r 방향 멀어질수록 감소함을 알 수 있었다.

3) 페라이트 코어의 자계 강도 H는 가장자리에서 가장 큰 값을 갖고, 코어 중심에서는 0의 값을 가지는 반면, 자속밀도 B는 이와 반대로 중심에서 가장 큰 값을 나타낸다.

4) 전계강도와 자계강도는 코어 길이 방향의 중심축과 양 끝단에서 반대의 형상을 보여줌이 확인되었다.

5) 입력 전류가 0.01A, 0.05A, 0.1A로 증가 할 때 Flux, 페라이트 코어 자계강도 H, 페라이트 코어 자속밀도 B,는 입력 전류와 비례하여 세기가 증가하였으며, 모두 다 코어의 중심 부근에서 입력 전류가 0.1A일 때 각각 1.5×10^{-12} [Wb], 6.7[Wb/m], 24 [A/m]의 최고 값을 가짐이 확인되었다.

본 연구는 2002년 에너지 절약기술개발사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] D.O Wharmby "Electrodeless Lamps", "Electrodeless lamps for lighting: a review"
- [2] B. Cook New developments and future trends in high-efficiency lighting.
- [3] European Patent Application H01J 65/04 92201213.3
- [4] European Patent Application H01J 65/04 92200130.0
- [5] H.Chandra, IEEE " Mitigation of Electromagnetic-Intergerence in Low Power Compact Electrodeless Lamps"
- [6] V. A. Godyak, Fellow, IEEE "Radio Frequency Light Sources"
- [7] International Application Published Under The Patents Cooperation Treaty H01F 65/04, 61/48
- [8] QL Induction Lighting, Philips Lighting Ltd., brochure, 1991
- [9] James T. Dakin, "Nonequilibrium Lighting Plasmas" IEEE Transaction On Plasma Science, Vol. 19, No. 6 December 1991
- [11] Postma, P., and Van Veghel, A.C.: "Electrodeless Low Pressure Discharge Lamps" UK Patent Application GB2162982A
- [12] 이종찬, 박대회, 김광수, 함 훈, 박성목, "무전극 형광램프의 전자계 방사 특성" 전기학회 2002 하계 학술대회 논문
- [13] 박대회, 아오노, "신광원 기술개발 동향", 한국 조명·전기설비 학회지 Vol. 10, No.5, pp23~30 1225~1235, 1996
- [14] 여인선, "무전극 방전의 원리와 방전등에의 응용", 한국 조명·전기설비 학회지 Vol. 06, No. 3, pp176~182, 1992
- [15] Masaharu AONO, Hideki MOTOMURA, Yohichi TACHI and Dea-Hee PARK "Emission Characteristics of Mercury-Xenon Discharge Tubes" 2001 Japan-Korea Joint Symposium on ED and HVE, pp85~88, 2001
- [16] Stephan Offemanns, "Resonance Characteristics of a Cavity-Operated Electrodeless High-Pressure Microwave