

무전극 형광램프의 페라이트 특성변화에 따른 전자계 분포

김광수, 조주웅, 허인성, 최용성, 박대희

원광대학교

The Study on Electromagnetic Distribution of Electrodeless Fluorescent Lamp

kwang-Soo Kim, In-Sung Her, Ju-Ung Jo, Yong-Sung Choi, Dae-Hee Park

School of Electrical and Electronic Engineering, Wonkwang Univ.

Abstract

The RF inductive discharge or inductively coupled plasma (ICP) continues to attract growing attention as an effective plasma source in many industrial applications, the best known of which are plasma processing and lighting technology. Although most practical ICPs operate at 13.56 [MHz] and 2.65 [MHz], the trend to reduce the operating frequency is clearly recognizable from recent ICP developments. In an electrodeless fluorescent lamp, the use of a lower operating frequency simplifies and reduces cost of rf matching systems and rf generators and can eliminate capacitive coupling between the inductor coil and plasma, which could be a strong factor in wall erosion and plasma contamination. In this study, the configuration of ferrite and fixture which operates at the frequency of 2.65 [MHz] will be discussed, by using the electromagnetic simulation (Maxwell 2D).

Key Words : ICP(Inductively Coupled Plasma), Electrodeless

1. 서 론

일반 조명용 광원에 있어서 그동안의 기술동향이 고효율, 장수명, 고연색성을 목표로 하였다면, 이제는 에너지절약을 위한 고효율화와 더불어 안전성, 쾌적성, 친환경성이 조명용 광원의 이슈가 되고 있고 있으며, 이러한 동향에 맞추어 형광램프에 비해 많은 장점들을 가지고 있는 무전극 램프에 대한 연구와 관심이 증가하였다.

일반적으로 방전램프의 경우 초기 전자를 방출하기 위해서 전극 방전로 내에 위치하게 되고, 시간이 지남에 따라 전자 방출능력 상실과 함께 램프의 수명이 감소 감소한다. 하지만 무전극 램프의 경우 차별화된 형상으로 외부에서 교번자계가 평행판 전극에 간접적으로 고주파의 에너지 전달에 의해서 램프내부에 플라즈마를 발생시킬 수 있어 전극을 갖는 일반 아크 방전램프에 비해 전자기 에너지를 램프 내부로 전달하기 쉽고, 방전 발광을

위한 충전물로부터 수은을 제거 할 수 있어 장수명은 물론 고발광 효율화를 이룰 수 있다.[1]

유도형 결합방전의 대표적인 예인 Re-entrant type인 QL-lamp는 장수명 특성은 물론, 높은 연색성 (86Ra), 넓은 동작 범위를 가지고, 점등후 빠른 광속 안정과 EMI/EMC에 관해서 국제적인 표준규격을 만족하고 있으며, 현재 가로등, 터널, 주차장, 등 여러분야로 적용범위가 점점 확대되어가고 있다. 무전극 형광램프 내부의 가스를 여기시키기 위해서는 자계와 전계가 필요하고, 램프에서 방전에 필요한 전압은 램프 형상, 수은증기 및 가스 압력 등 여러 가지 변수에 의해 달라질 수 있다.[2][3]

$$V_{\in} = V_p = \pi \cdot R_p^2 \cdot w \cdot B_p \quad (1)$$

식 (1)에서, V_{in} 은 램프내부에 유도전압이고, V_p 는 플라즈마 방전 전압, R_p 는 플라즈마 방전 반경이며, B_p 는 코일전류 I에 의해 플라즈마를 일으키

는 자계를 나타낸다. 즉 플라즈마 방전전압은 유도 전압과 같고 각속도($\omega = 2\pi f$), 자계, 그리고 플라즈마 방전 반경의 제곱에 비례하고, 램프가 커질수록 방전을 위한 전압이 증가한다.

$$Bp \approx \mu_0 \cdot \mu_r \cdot I_{coil} \cdot (N/L_{coil}) \quad (2)$$

$$P_{loss} = I_{coil}^2 \cdot R_{coil} + P_{ferr} \quad (3)$$

코일에 흐르는 전류와 플라즈마 방전자계와의 관계는 식 (2)에 보여주고 있다. 여기서 μ_0 , μ_r 은 진공중의 투자율과 비투자율이고, I_{coil} 은 코일에 흐르는 전류, 그리고 N , L_{coil} 은 각각 코일의 권선수와 코어에 감은 길이이다. 결국 식 (1)에서 보여진 바와 같이 제한된 주파수 범위에서 플라즈마 방전을 위한 변수는 Bp 이고, $Bp \approx I_{coil}$ 이므로 코일의 전류값의 증가로 쉽게 방전전압을 증가시킬 수 있으나, 식 (3)에서와 같이 전력손실 P_{loss} 는 전류 I_{coil} 의 제곱에 비례하므로 코일의 전류 증가는 그다지 바람직하지 않으므로 페라이트의 특성변화를 통해서 램프전력손실 및 효율을 증가시킬 수 있다.[4]

본 논문에서는 램프전력손실 및 효율을 고려하여 보다 효율적인 광원설계를 위한 시작단계로서 방전관 내부의 페라이트의 전자계 특성을 살펴 보고자한다. 먼저, 1990년대 초에 Philips사에서 개발된 유도결합방전을 이용한 Re-entrant형 QL-85 lamp를 기준으로 하여 FEM (Finite Element Method)을 이용한 Maxwell 2D software를 사용하여 무전극 형광램프 안테나로서 사용되는 페라이트 크기 변화에 따른 자속 및 자계의 특성을 조사하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

무전극 램프의 형상 (QL-85W) 및 시뮬레이션을 위해 서 그림 1에서와 같이 요소분할을 하였다. 그리고 RF 전원이 코일에 인가되었을 때 발생하는 축 방향 자계의 형성과, 데이터 분석을 위하여 나누어 놓은 각각의 선들을 그림 1에서 보여주고 있다. 먼저 3차원 교류 자장 시뮬레이션을 위하여

RZ축으로 램프중심에서부터 r 방향으로 열전도파이프, 페라이트, 코일, 방전관 순으로 모델링을 하였다. Q type은 QL 85W를 기준으로 한 모델이며, EMI/EMC 억제를 위한 parasitic 코일을 제외하고 가능한 실물과 같게 모델링하였다. K type은 Q type의 페라이트에 두께를 변화시킨 것이고, 페라이트 표면에서 유리면까지의 간격과 그 사이에 감겨져 있는 코일의 위치가 모두 같으며, 두께 변화 이외의 모든 입력 파라미터는 서로 같은 조건에서 시뮬레이션을 하였다.

그림 1에서 선 1은 두께 증가에 따른 자속 밀도를 분석을 위한 것이고, 선 2는 페라이트 표면에서부터 r축으로 거리가 증가함에 따라 변하는 자속과 자계 강도, 그리고 선 3과 4는 Q type, K type 각각에 대해서 램프 외구에 도달하는 자속과 자속 밀도 측정을 위한 것이다.

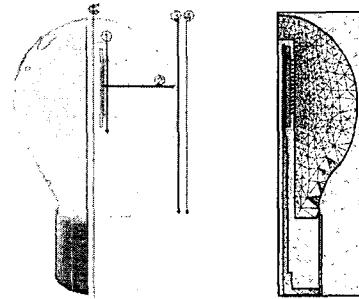


그림 1. 무전극 램프 형상과 내부도 및 요소분할.

Fig. 1. Schematic diagram & Mesh Configuration of Electrodeless Fluorescent Lamp.

2.2 시뮬레이션 조건

그림 1의 단면에서 페라이트를 지지하고 램프 방전시 발생되는 높은 온도의 열을 아래측의 플랜지로 열을 전달하고 일정하게 온도를 유지시켜 주는 열전도파이프의 재질은 구리로 하였고, 램프 내부에 봉입되어있는 약간의 수은과 희소가스들은 고려하지 않고 램프 내부를 진공으로 설정하였다. 그리고 무전극 형광램프의 방전을 위한 중요한 입력 파라미터인 페라이트 재질은 Mn-Zn type으로 1kHz주파수를 가지고 측정된 기본적인 페라이트 특성값 H_c (67.967 [A/m]), B_r (0.275 [T])을 입력하여 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션을 위한 입력 파라미터는 표 1과 같다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 자속 및 자계 강도

그림 2 (a)는 페라이트 외경이 12.4 [mm], 내경이 8.6 [mm]인 QL-type의 안테나에 주파수가 2.65 [MHz]이고 입력전류가 0.05 [A]인 RF전원을 인가했을 때 램프와 페라이트 영역에서 형성되는 자속 분포를 보여주고 있다.

표 1. 시뮬레이션을 위한 입력 파라미터.

Table 1. Input Parameter for Simulation.

Parameter	Q type [mm]	K type [mm]
페라이트 외경-내경-길이	12.4-8.6-50	18-10.4-50
투자율 μ	3219	3219
유전율 permittivity	12	12
전도도 conductivity	0.01	0.01
Hc	67.967 [A/m]	67.967 [A/m]
Br	0.275 [T]	0.275 [T]
입력전류	0.05 [A]	0.05 [A]
코일 두께	0.5	0.5
코일과의 간격	1.9	1.9
코일 감은길이, 턴수	33, 14회	33, 14회
Bulb 외경	110	120

그림 2 (b)는 Q type 램프 내부에서 방사형으로 퍼지며 플라즈마를 일으키는 자속과 자계강도를 분석하기 위해 중심페라이트 표면에서 램프 외구 (55 [mm])까지 그림 2 (a)의 선 2를 중심으로 거리에 따른 자속과 자계강도를 보여주고 있다. 중심부분인 페라이트의 표면에서 램프내부 유리면까지 확대하여 살펴보면 페라이트 표면에서 코일까지 자속이 급격히 증가하여 페라이트 표면으로부터의 거리가 2.44 [mm]일 때 가장 강한 4.6×10^{-10} [wb]의 자속을 보였다.

그리고 자계의 경우는 페라이트 표면에서 가장 높은 18.2 [A/m]를 보였으며, 유리면까지 급격히 감소하였고 램프 내부로의 자계는 페라이트 표면에 비해 상대적으로 작은 감소율을 보였다.

Q type의 경우 코일을 약 1 [mm] 두께의 sleeve 위에 감았으며, 이것은 비교적 높은 주파수 (2.65 [MHz])에서 Mn-Zn 페라이트는 표면저항이 Ni-Zn에 비해 상당히 작아지기 때문이며, 절연성이 우수하고 열적특성이 좋은 재질이 요구될 것으로 사료된다.

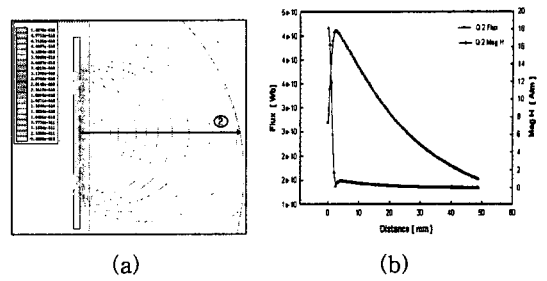


그림 2. (a) 자속 분포 & (b) 선 2에서의 자속과 자계 강도 (Q type)

Fig. 2. (a) Flux Distribution & (b) Flux and Mag H on Line 2

3.2 두께 증가에 대한 자속과 자계강도

그림 3은 선 3 (Q type), 선 4 (K type)에서의 자속과 자계강도를 비교한 그래프이다. 즉 Q type 과 K type의 각각의 램프 외면에서 전자계 특성을 보여주며, 두께가 3.8 [mm]로 두 배 증가된 K type에서 자속의 경우 중심부에서 2.903×10^{-10} [Wb]로 Q type의 1.526×10^{-10} [Wb]에 비해 1.377×10^{-10} [Wb]만큼 증가하였고, 자계강도는 0.059 [A/m]로 0.022 [A/m]만큼 증가함을 보여준다.

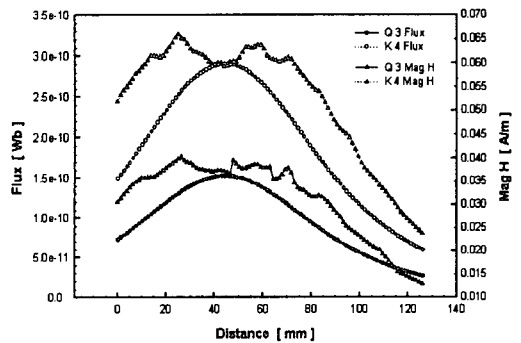


그림 3. 두께 변화에 따른 자속과 자계강도

Fig. 3. Flux & Mag H as a function of distance on Line 3, 4

3.3 주파수 변화에 따른 전력손실과 에너지

그림 4는 250 [kHz]~2.65 [MHz]까지 주파수의 변화에 따른 전력손실 및 에너지를 보여준다. 주파수가 증가함에 따라 전력손실은 점점 증가하고, 이와 반대로 에너지는 주파수증가와 반비례 특성을

보였으며, 2.65 [MHz]에서 각각 0.55 [mW]의 전력 손실과, $5.2e-10$ [J] 에너지를 보였다. 본 시뮬레이션에서 선택한 Mn-Zn type의 페라이트 코어에 0.05 [A]의 전류를 코일에 인가시에는 입력주파수가 약 900 [kHz]일 때 전력손실과 에너지가 양호한 값을 가짐을 확인하였다.

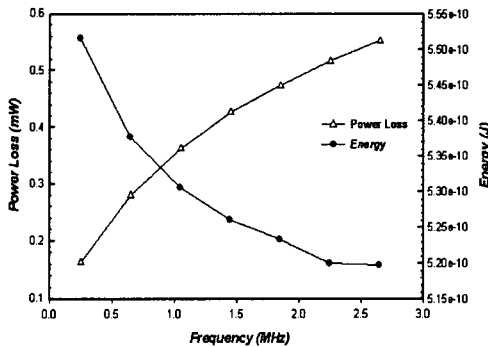


그림 4. 주파수변화에 대한 전력손실과 에너지 (Q-type)

Fig. 4. Power loss vs. Energy as a function of frequency

4. 결 론

본 논문에서는 무전극 형광램프에서 전자계 방사 특성을 살펴보고, 램프 내부에서 가스를 여기시켜 플라즈마 방전을 일으키는 전자계 형성은 페라이트 크기 증가와 비례함을 확인하였다.

1. Q type의 경우 자계강도는 페라이트 표면에서 가장 강한 18.2 [A/m]이고, 자속의 밀도는 페라이트 쪽의 코일 표면에서 가장 크게 나타났다.
2. 두께 증가에 따라 자속밀도가 증가함이 확인되었다.
3. 입력전류의 증가시에 전력손실이 크게 증가하므로 제한된 사용주파수에서의 램프 내부로의 전자계 방사는 페라이트의 투자율값에 의존하게 되는데, 두께 변화에 따라서 램프내부로 방사되는 전자계 세기도 변화함을 확인하였다.
4. 페라이트에서 전자계 방사는 코어 예지부분에 집중되지 않고, 감긴 코일의 끝부분에서 집중되었으며, 감은 길이를 변화시켜 램프내부로의 전자계 전달의 가능성을 확인하였다.

5. 주파수변화에 비례하여 전력손실이 증가하였고, 반대로 에너지는 감소하는 특성을 보였으며, 약 900 [kHz]대의 입력주파수일 때가 2.65 [MHz]보다 전력손실과 에너지가 양호한 값을 가짐을 확인하였다.

본 연구는 2003년 에너지관리공단에서 시행하는 에너지 절약 기술개발사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] B. Cook, "New developments and future trends in high-efficiency lighting", Engineering Science and Education Journal, Vol. 9, Iss. 5, Oct. pp. 207~217, 2000.
- [2] V. A. Godyak, "Radio Frequency Light Sources", Industry Application Conference, 2000. Conference Record of the 2000 IEEE, Vol. 5, pp. 3281~3288, 2000.
- [3] H. Chandra, "Mitigation of Electromagnetic Interference in Low Power Compact Electrodeless Lamps", Industry Application Conference, 1996. Thirty-First IAS Annual Meeting, IAS'96. Conference Record of the 1996 IEEE, Vol. 4, pp. 2194~2200, 1996.
- [4] European Patent Application, "Electrodeless Discharge Lamp", No. EP 1050897A2, 2000.
- [5] Philips Components "Application Guide to Lamp Control Gear", Dec. 23, 1999.
- [6] James T. Dakin, "Nonequilibrium Lighting Plasmas", IEEE Transaction On Plasma Science, Vol. 19, No. 6, Dec. 1991.
- [7] International Application Published Under The Patents Cooperation Treaty H01F 65/04, 61/48
- [8] Masaharu Aono, Hideki Motomura, Yohichi Tachi and Dae-Hee Park, "Emission Characteristics of Mercury-Xenon Discharge Tubes", 2001 Japan-Korea Joint Symposium on ED and HVE, pp. 85~88, 2001.