

환형 무전극 램프의 전자계 분포특성

*조주웅, 이성진, 최용성, 김용갑, 박대희
원광대학교

Electromagnetic distribution looped Electrodeless Fluorescent Lamps

*Ju-Ung Jo, Seong-Jin Lee, Yong-Sung Choi, Yong-Kab Kim, Dae-Hee Park
Wonkwang University

Abstract - In recent, there have been several developments in lamp technology that promise savings in electrical power consumption and improved quality of the lighting space. Above all, the advantage of ring-shaped electrodeless fluorescent lamp is the removal of internal electrodes and heating filaments that are a light-limiting factor of conventional fluorescent lamps. The ring-shaped electrodeless lamp is intended as a high efficacy replacement for the incandescent reflector lamp in many applications. Therefore, the life time of ring-shaped electrodeless fluorescent lamps is substantially higher than that of conventional fluorescent lamps and last up to 60,000 hours.

In this paper, maxwell 3D finite element analysis program (Ansoft) 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 250[kHz] and some specific conditions.

Key Words : Magnetic field, Magnetic flux density, Ring-shaped electrodeless fluorescent lamp, Maxwell 3D finite element

1. 서 론

기존에 사용되는 일반램프는 필라멘트나 전극에 의해 발광되는데, 이들은 일정 시간이 경과하면 열화되어 수명이 단축되고, 램프 교체를 해야 하는 불편함이 있는 반면에, 전극이 없는 환형 무전극 형광램프는 전자유도 법칙의 원리를 이용하여 가스를 방전하므로 위와 같은 불편함이 없다. 1884년 Hittorf가 처음으로 전자유도법칙의 원리에 의한 무전극 방전을 발견한 이후, 1978년도에 무전극 형광 램프가 개발되었으며, 상용화는 필립스사의 QL lamp 55[w] (1993)를 시작으로 GE사의 Genura lamp 23[w] (1993) 및 오스람사의 Endura lamp 65[w] (1993) 등 선진업체들에 의하여 상용화되었다[1,2].

환형 무전극 형광램프의 장점은 광원 램프 자체의 수명이 길고, 수명 기간 동안 광속유지율 (lumen maintenance)이 거의 일정하고, 광변환 효율의 변화가 적으며, 무수는 및 폐기물의 최소화로 높은 환경 친화성 등 많은 장점을 갖고 있다.

그러나, 전자파 발전기 자체의 효율, 전자파의 방전 플라즈마 결합 효율, 발광 가스의 부적합성, 그리고, 재래식 전극 광원의 단기적이지만 더 좋은 경제성 때문에 전자파 방전을 이용한 광원의 실용화는 쉽게 일어나지 않았다[3].

일반적인 무전극 형광램프의 봉입 가스의 방전은 2가지 형태를 이루고 있는데, 첫 번째 형태는 Babat라 하는 E방전으로 전계 결합형이라고 부른다. 방전관의 외벽에 대전극은 박막으로 설치하고, 교류를 인가하면 관 내부에서 방전이 형성된다. 이것은 외면의 전극과의 사이에 전기용량을 통하여 전류가 흐른다고 생각할 수 있다. 이 방식은 외면전극형이라고 한다. 두 번째 형태는 H방전이다. 전형적으로 구형 방전관의 외주에 권선을 감고, 교류를 통과시키면 전자유도에 의한 자계가 발생하고, 관 내부에 방전이 형성된다. 관 내부의 방전형식은 환형으로 되며, 외부의 권선과는 전자결합에 의한 전력이 공급되어 진다. 외부의 권선을 1차 권선으로 하고, 관 내부의 환형 방전을 2차권선이라 하는 변압기모델로 생각할 수 있다 [4,5].

본 논문은 효율적이고 최적의 무전극 환형 유도결합형 램프를 설계하기 위하여, 변압기 모델을 사용하여 유도 코일부에서 발생하는 축방향의 교번자계 분포를 maxwell 시뮬레이션을 통하여 전자계 해석하고, 전자기적 특성을 고찰하였다.

2. 실험방법

고주파를 이용하여 플라즈마를 방전시키는 방법에는 용량성 RF 방전 (capacitive RF discharge), 유도 RF 방전 (inductive RF discharge), 그리고 RF파 방전 (RF wave discharge)의 3가지가 있다. 용량성 RF 방전은 전극 sheath 내 변위전류 (displacement current)에 의해 플라즈마가 발생한다. 이때 파장은 방전크기 보다 큰 정전 RF E-field에 의해 여기된다. 유도 RF 방전은 H-field와 플라즈마의 방전 경로를 따라 생성된다. 이때에도 역시 가해주는 주파수의 파장은 방전크기보다 커야되고, RF파 방전은 전자기파 (electromagnetic wave)에 의해 유지된다.

웨이브 방전은 일반적으로 1 [GHz]보다 더 크거나 비슷한 마이크로 전력에 의해 유지된다[6].

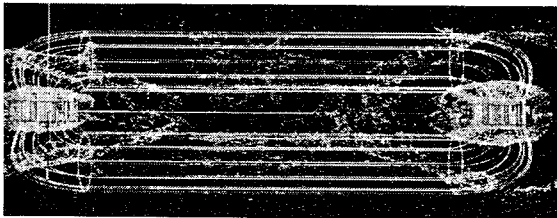
유도 RF 방전이 본 실험에서 선택된 이유는 용량성 RF 방전과는 반대로 전력이 증가함에 따라 전력효율이 증가하고, RF와 방전 보다 낮은 대역의 주파수를 사용하기 때문에 시스템의 안정성과 열손실을 줄일 수 있기 때문이다. 본 실험에서는 유도 RF 방전의 전자계 특성을 실험하였다.

전자계 시뮬레이션에 사용한 환형 무전극 형광램프는 그림 1 (a)의 OSRAM ENDURA 150[W]이며, 이것을 기준으로 전자계 특성을 평가하였다. 전자계 평가용 소프트웨어로는 Ansoft의 Maxwell 3D Field Simulator를 사용하였다.

그림 1 (b)는 OSRAM ENDURA 150W 환형 무전극 형광램프의 전자계 형성과정을 알아 보기 위하여 3차원 직교좌표의 교류자장으로 시뮬레이션하기 위한 단면도이다. 자성체 페라이트의 재질은 투자율이 2,000인 Mn-Zn을 사용하였고, Mn-Zn 주위를 16회 감겨 있는 코일의 재질은 구리로 하였다. 입력 주파수는 250[kHz]를 입력하였다. 이외의 영역에서는 비투자율이 1이고, 도전율이 0인 공기로 입력하여 실행하였다. 또한, 램프 내부의 가스와 유리에 대해서는 고려하지 않고 시뮬레이션을 시행하였다.



(a) OSRAM ENDURA 150[W] lamp



(b) Maxwell 3D Field Simulator을 위한 단면도

그림 1. ENDURA 150[W] 환형 무전극 형광램프 및 단면도

3. 결과 및 고찰

그림 2는 OSRAM ENDURA 150[W] 램프의 전자계 분포를 나타내고 있다. 코일은 자성체 코어 안쪽, 바깥쪽 혹은 코어 내부에 위치하며, 전류가 흐르면 그림 2와 같이 자성체 주위에 전자계가 형성된다.

이것은 전구 내부의 방전영역으로서 자속의 변화는 방위 방향의 전계가 코일 주위에 형성되고 벌브안에 있는 여러 가지 혼합가스에 영향을 주어 플라즈마가 형성되어 나타난다.

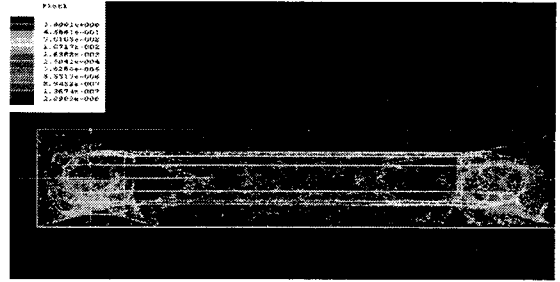


그림 2. 페라이트 코어 주위에 형성된 자계와 전계

그림 3은 페라이트 코어 중심에서 x방향으로 해석한 자계강도 분포도이다. x축은 페라이트 코어 중심에서 유리관 끝까지 100[mm]의 반경을 나타내고, y축은 자계강도의 크기를 나타낸다. 입력 전류를 0.5[A], 0.7[A] 및 0.9[A]로 변화시켰을 때, 자계강도 분포를 관찰하였다. 0[mm]와 20[mm] 근처에서는 자계강도가 6~8[AT/m] 정도로 약하게 분포하고, 페라이트 코어 코일이 감겨있는 부근에서 지수 함수적으로 증가하여 입력전류에 따라 83[AT/m], 118[AT/m] 및 150[AT/m]이 되며, 다시 감소함을 알 수 있다. 자계강도는 입력전류의 변화에 따라 30[AT/m] 정도로 균일하게 증가함을 알 수 있다.

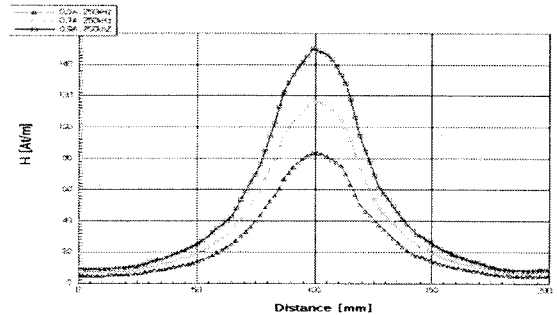


그림 3. 입력전류의 변화에 따른 자계강도분포

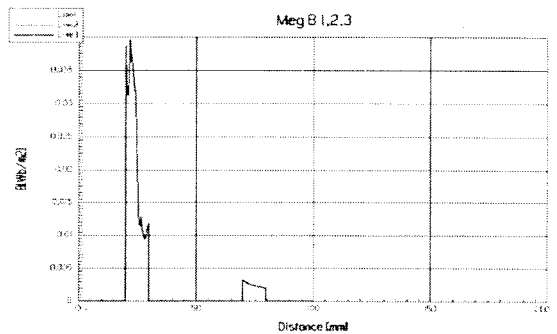


그림 4. 직교좌표 각각의 축에 의한 자속밀도분포

그림 4는 페라이트 코어의 직교좌표를 중심으로 하여, 직교좌표의 각 축에 따라 자속밀도 분포를 나타낸 것이다. x축은 환형 페라이트 코어를 관통하지 않고, 내부를 지나는 축으로서, 자속밀도가 거리에 따라 4×10^{-2}

[Wb/m²]로 급격히 증가하다가, 1×10^{-2} [Wb/m²]로 감소하였다. y축과 z축에서는 페라이트 코어의 자속밀도 방향과 다르기 때문에 3×10^{-3} [Wb/m²] 정도로 커다란 변화를 나타내고 있지 않는다.

그림 5는 직교좌표 축에 따른 자계세기의 분포를 나타내고 있다. 이것은 그림 4의 자속밀도 분포와 유사하지만, x, y 및 z축에서의 자계세기의 기울기는 더 완만함을 나타내고 있다. 이와 같은 기울기를 나타내는 것은 페라이트 코어 재질의 투자율에 의한 것이다. 환형 무전극 형광램프의 설계에서 유리관 벽으로 자계강도를 통한 전계강도만큼의 에너지를 주입할 때, 시스템에 영향 정도를 살펴 볼 수 있는 변인요소로 확인될 수 있다.

그림 6은 입력된 재질을 바탕으로 페라이트와 코일 주위를 세밀히 관찰하기 위하여 보다 세분하게 요소분할한 단면도이며, 이것을 통해 페라이트 코일 주위의 자계강도가 균일하게 형성됨을 나타낸다. 페라이트코일 중심 부근에서는 최고 1.1×10^2 [AT/m]로 분포하며, 유리관 중앙으로 갈수록 점점 자계강도가 줄어들어 6.0×10^{-1} [AT/m]로 분포하게 된다. 이것을 통하여 자계강도 분포는 페라이트 코어 주변에서 강하게 발생함을 알 수 있고, 두개의 페라이트 코어에 의해 자계강도 분포가 유체와 같은 유동성을 갖고, 변압기의 모델에 의해 에너지가 교환됨을 알 수 있다.

그림 7은 페라이트 코어의 직교좌표를 중심으로 하여, 자계강도 분포를 x, y 평면에 나타낸 것이다. 그림 7의 자계강도 분포는 페라이트코어 주변에서 9.7×10^2 [AT/m]로 분포하고, 거리가 멀어짐에 따라 9.7×10^{-2} [AT/m]로 감소하고 있다.

그림 8은 페라이트코어를 중심으로 한 3차원 직교좌표에서 xy 평면을 기준으로 하고, 우측하단의 모서리를 시작점으로 하여, 페라이트 코어의 상하좌우변 각각에서의 자계강도 분포를 나타낸 것이다. 페라이트 코어 윗부분인 자계강도 분포가 900[AT/m]으로 균일하고, 그 밖의 다른 부분은 불균일한 자계강도 분포를 나타내고 있다. 이들 각각의 기울기의 변곡점은 페라이트 코어의 모서리를 나타내는 것으로서, 페라이트 코어 모서리에서 자계강도 분포가 급격히 변화함을 알 수 있다.

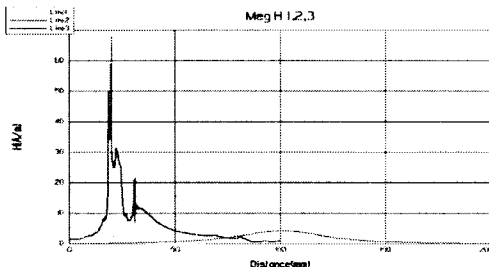


그림 5. 직교좌표 각각의 축에 의한 자계세기의 분포

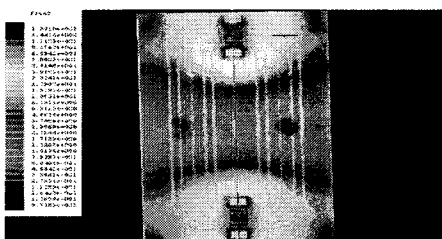


그림 6. 전체 자계강도 분포

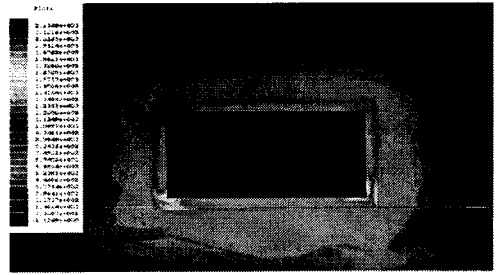


그림 7. 페라이트코어의 자계강도 분포

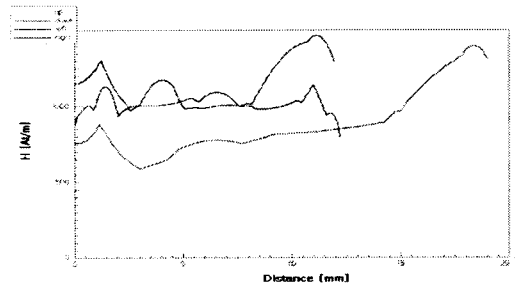


그림 8. 직교좌표 각각의 축에 의한 자계강도의 분포

3. 결 론

본 연구에서는 자계가 형성되는 과정을 Ansoft의 Maxwell 3D Field Simulator를 통하여 조사하였다. 자성체는 Mn-Zn 페라이트 (투자율 2000)를 사용하였으며, 페라이트 주위에 감겨있는 코일의 재질 (16회)은 구리선으로 선택하여 입력 전류를 0.5[A], 0.7[A] 및 0.9[A]로 변화시켜 시뮬레이션 하였다. 페라이트 코어 코일의 길이에 따른 페라이트코어 주변에서의 자계강도 분포를 조사하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 페라이트코어 주위에 균일하게 전자계가 형성됨을 확인하였고, 페라이트 코일 중심에서 램프의 외곽으로 자계강도 분포가 두개의 페라이트코어에 대하여 대칭적으로 분포함을 알 수 있었다.
- 2) 자계 분포는 0[mm]에서 페라이트 코어가 감겨있는 중심 부근까지 지수 함수적으로 증가하고, 다시 감소함을 알 수 있었다.
- 3) 페라이트코어 코일의 x, y평면 단면도를 통하여, 자계강도가 급격히 증감함을 알 수 있었다. 이것은 페라이트코어 코일의 형상을 설계할 때, 자계강도의 분포를 일정하게 하기 위해서는, 모서리 부분을 지양해야 함을 알 수 있었다.
- 4) 자속밀도와 자계강도는 코어길이 y 및 z 축방향의 중심과 양 끝단에서 동일한 형상의 변화가 나타남을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 에너지 관리 공단의 주관 하에 시행되고 있는 “직관 및 환경 무전극 형광램프의 구조 설계기술” 사업의 지원을 받은 논문입니다. 이번 연구를 지원해 주신 분들에게 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] D.O. Wharmby, " Electrodeless lamps for lighting: a review", IEE Proceedings 140A, pp.465~473, 1993.
- [2] 함중걸, 권진상, "고효율 무전극 형광등 시스템" 한국조명·전기설비학회 Vol.17, pp3~8, 2003.
- [3] B.P. Turner, M.G. Ury and D.A. McLennan, "Microwave excited sulfurlamp," Paper QA2. 47th Annual Gaseous Electronics Conference (Gaithersburg, MD, USA), 1994.
- [4] 황명근, 이종찬, 박대회, "무전극 램프의 기술동향과 전망", 한국조명·전기설비학회 학술대회 논문집, pp.23~26, 2001.
- [5] Siwen Xue, Pierre Proulx and Maher I Boulos, "Extended-field electromagnetic model for inductively coupled plasma" J.Phys. D: Appl. Phys.34, pp.1897~1906, 2001.
- [6] G.I. Babat, "Electrodeless Discharge and some applied problems", J. IEE, Vol.94, pt3, pp.27~37, 1947.