

환형 무전극 램프의 광학적, 전자계적 특성

Optical and Electromagnetic Distribution of Ring-shaped Electrodeless Fluorescent Lamps

조주웅*, 이성진*, 최용성, 김용갑, 박대희

(Ju-Ung Jo, Seong-Jin Lee, Yong-Sung Choi, Yong-Kab Kim, Dae-Hee Park)

Abstract

Ring-shaped electrodeless fluorescent lamp is removed the 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.

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. The optical measurement measured luminance and a temperature and an optical spectrum distribution for 10 minutes in a one minute interval at the same time.

1. 서론

환형 무전극 형광램프의 장점은 광원 램프 자체의 수명이 길고, 수명 기간 동안 광속유지율 (lumen maintenance)이 거의 일정하고, 광변환 효율의 변화가 적으며, 무수은 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[1].

본 논문은 효율적이고 최적의 무전극 환형 유도결합형 램프를 설계하기 위하여, 변압기 모델을 사용하여 유도코일부에서 발생하는 축방향의 교번자기 분포를 maxwell 시뮬레이션을 통하여 전자계 해석하고, 전자기적 특성을 고찰하였다. 그리고 휘도, 온도, 그리고 스펙트럼의 세기분포를 측정하여, 전자계분포와 비교하여 발광영역의 자계의 세기를 고찰하였다.

2. 본론

2.1. 측정방법

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 커야 되고, RF파 방전은 전자기파 (electromagnetic wave)에 의해 유지된다. 웨이브 방전은 일반적으로 1 [GHz]보다 더 크거나 비슷한 마이크로 전력에 의해 유지된다[2-4].

유도 RF 방전이 본 실험에서 선택된 이유는 용량성 RF 방전과는 반대로 전력이 증가함에 따라 전력효율이 증가하고, RF파 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 1은 OSRAM ENDURA 150[W]이며, 이것을 기준으로 전자계 특성을 평가하였다. 전자계 평가용 소프트웨어로는 Ansoft의 Maxwell 3D Field Simulator를 사용하였다. OSRAM ENDURA 150W 환형 무전극 형광램프의 전자계 형성과정을 알아 보기 위하여 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.

그림 2의 LS-100 휘도계와 TA-0510 방사온도계의 측정위치는 A(0,0,0) [cm]과 B(0,0,0) [cm]을 휘도계와 방

사온도계의 직교좌표 원점으로 하여 지면으로부터 A를 기준으로 C(39,28,44) [cm]의 위치에 있는 온도계와 B로부터 D(42,22,44) [cm]의 위치에 있는 휘도계가 45° 하향에서 측정하였다. B로부터 Point 1의 위치는 (0,-7,0) [cm]이고, Point 2의 위치는 (0,-16,0) [cm]이다. 측정 위치가 4/4분면으로 선택된 이유는 환형 무전극 램프의 기하학적 대칭과 광원의 방사특성 때문이다.



그림 1. ENDURA 150[W] 환형 무전극 형광램프

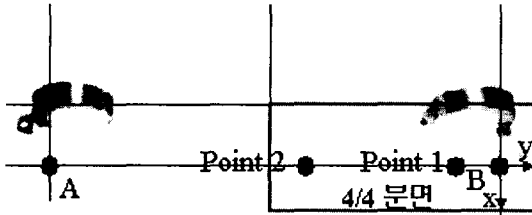


그림 2. ENDURA 150[W] 환형 무전극 형광램프의 휘도, 온도, 광스펙트럼 세기분포 측정 위치

2.2. 측정결과

그림 3은 OSRAM ENDURA 150[W] 램프의 전자계 분포를 나타내고 있다. 코일은 자성체 코어 안쪽, 바깥쪽 혹은 코어 내부에 위치하며, 전류가 흐르면 그림 3과 같이 자성체 주위에 전자계가 형성된다. 이것은 전구 내부의 방전영역으로서 자속의 변화는 방위 방향의 전계가 코일 주위에 형성되고 별브안에 있는 여러 가지 혼합가스에 영향을 주어 플라즈마가 형성되어 나타난다.



그림 3. 페라이트 코어 주위에 형성된 전자계분포

그림 4은 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 관찰

하였다. 0 [mm]와 20 [mm] 근처에서는 자계강도가 6~8[AT/m] 정도로 약하게 분포하고, 페라이트 코어 코일이 감겨있는 부근에서 지수 함수적으로 증가하여 입력 전류에 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.

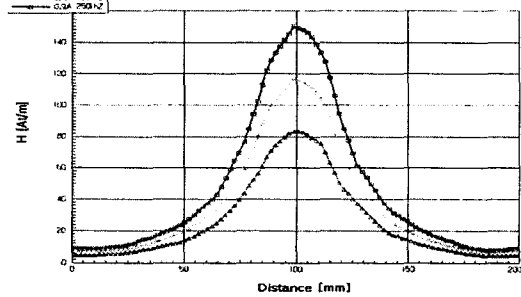


그림 4. 입력전류의 변화에 따른 자계강도분포

그림 5는 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.

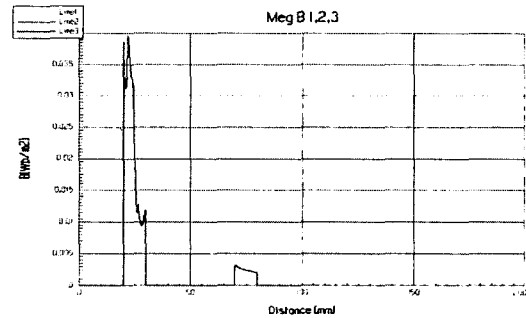
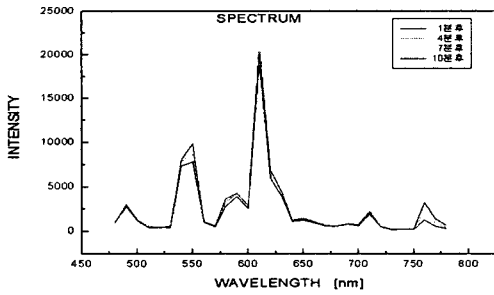
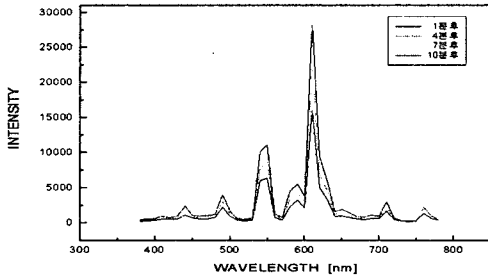


그림 5. 직교좌표 각각의 축에 의한 자속밀도분포

그림 6 (a)는 Point 1에서 시간에 따른 광 스펙트럼 분포의 세기를 나타내며, 620[nm]에서 22000이고, 그림 6 (b)와 같이 Point 2에서는 28000을 나타내며, 625[nm]을 기준으로 동일한 분포형태이다. 시간에 의한 광 스펙트럼 분포의 변화는 Point 2가 Point 1 보다 더 뚜렷한 변화를 보이고 있다. 이러한 이유로 유리관의 발광 영역이 페라이트코어 주위보다 유리관 중앙에서 관측되었기 때문이다.

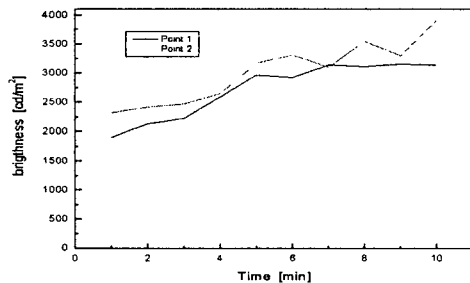


(a) Point 1에서의 광 스펙트럼 세기분포

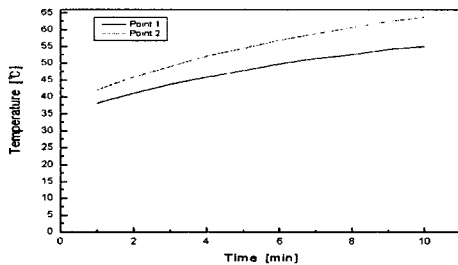


(b) Point 2에서의 광 스펙트럼 세기분포
그림 6. 위치에 따른 광 스펙트럼 세기분포

그림 7은 시간에 의한 온도분포와 휘도 분포를 측정 한 것이다. 시간에 따라 온도와 휘도분포는 증가하고 있으며, 휘도는 1800[cd/m²]~3600[cd/m²]에서 증가와 감소들 보이며, 온도의 경우 37[°C]~65[°C]에서 일정한 형태로 증가함을 알 수 있다.



(a) 시간에 의해 변화하는 휘도분포



(b) 시간에 의해 변화하는 온도분포

그림 7. 위치에 따른 온도와 휘도분포

3. 결론

본 연구에서는 무전극 형광램프의 자계 형성을 Ansoft의 Maxwell 3D Field Simulator을 통하여 조사 하였다. 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 시뮬레이션하였다. 또한, 광학적인 측정은 휘도와 온도 그리고 광 스펙트럼 분포를 동시에 1분 간격으로, 10분 동안 측정하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 페라이트코어 주위에 균일하게 전자계가 형성됨을 확인하였고, 페라이트 코일 중심에서 램프의 외곽으로 자계강도 분포가 두개의 페라이트 코어에 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) 무전극 형광램프의 발광영역의 세기는 강한 자계가 방사되어 나오는 페라이트 코어 부근에서 가장 클 것으로 생각되지만, 위치에 따른 온도와 휘도 그리고 광 스펙트럼을 비교한 결과, 유리관의 중앙 부근에서 발광영역의 세기가 높다는 것을 알 수 있다.
- 4) 플라즈마와 반응하는 자계의 세기는 유리관의 발광영역이 가장 큰 중앙부근에서 2.091×10^{-2} [Wb/m²] 나타나며, 이것을 통해 최대 발광을 위한 자계의 값을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] B.P. Turner, M.G. Ury and D.A. McLennan, "Microwave excited sulfurlamp," Paper QA2. 47th Annual Caseous Electronics Conference (Caithersburg, MD, USA), 1994.
- [2] G.I. Babat, "Electrodeless Discharge and some applied problems", J. IEE, Vol.94, pt3, pp.27~37, 1947.
- [3] 김영철, 이정우, 조영석 " Argon 유도결합 플라즈마의 광학적, 전기적 특성에 대한 연구" New Physics, Vol.39, Number 3, pp.157~165, 1999.
- [4] 이경순, 이우동, 백순철, 조영석 " Ar,CF₄ 및 혼합개스의 RF 글로우방전 플라즈마에 대한 CES를 통한 진단" New Physics, Vol.33, Number 1, pp.50~55, 1993.