

환형 무전극 형광램프의 전자계특성

조주웅, 이성진, 최용성, 김용갑, 박대희
원광대학교

Electromagnetic Properties of Ring-Shaped 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 250kHz and some specific conditions.

Key Words : Ring-shaped electrodeless fluorescent lamp, Maxwell 3D finite element

1. 서론

현재 사용되는 대부분의 램프는 필라멘트나 전극에 의해 발광되는데, 이들은 일정 시간이 경과하면 열화되어 수명이 단축되고, 램프 교체를 해야 하는 불편함이 있는데 반해, 전극이 없는 환형 무전극 형광램프는 전자유도법칙의 원리를 이용하여 가스를 방전한다. 1884년 Hittorf가 처음으로 전자유도법칙의 원리에 의한 무전극 방전을 발명한 이후, 약 100년 이상이 지나 오스람, 필립스 및 GE에 의해 독자적인 무전극 방전램프가 출시되었다[1].

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 최소화

높은 환경 친화성 등 많은 장점을 갖고 있다. 그러나 전자파 발진기 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[2].

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 외면 전극형이라고 한다. 두 번째 형태는 H방전이다. 전

형적으로 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 [3].

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

2. 실험

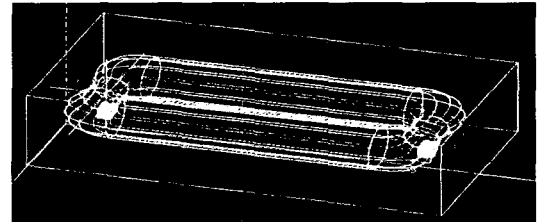
고주파를 이용하여 플라즈마를 방전시키는 방법에는 용량성 RF 방전 (capacitive RF discharge), 유도 RF 방전 (inductive RF discharge), 그리고 RF파 방전 (RF wave discharge)의 3가지가 있다. 용량성 RF 방전은 전극 sheath 내 변위전류 (displacement current)에 의해 플라즈마가 발생한다. 이때 파장은 방전크기 보다 큰 정전 RF E-field에 의해 여기된다. 유도 RF 방전은 H-field 와 플라즈마의 방전 경로를 따라 생성된다. 이때에도 역시 가해주는 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[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 1 (a)의 OSRAM ENDURA 150W이며, 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 직교 좌표의 교류자장으로 시뮬레이션하기 위한 단면도이다.



(a) OSRAM ENDURA 150W lamp



(b) Maxwell 3D Field Simulator을 위한 단면도
그림 1. ENDURA 150W 환형 무전극 형광램프 및 단면도

자성체 페라이트의 재질은 투자율이 2,000인 Mn-Zn을 사용하였고, Mn-Zn 주위를 16회 감겨 있는 코일의 재질은 구리로 하였다. 입력 주파수는 250kHz를 입력하였다. 이외의 영역에서는 비투자율이 1이고, 도전율이 0인 공기로 입력하여 실행하였다. 또한, 램프 내부의 가스와 유리에 대해서는 고려하지 않고 시뮬레이션을 시행하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 유도 RF 방전 전자계 분포 형성을 나타내고 있다. 코일은 자성체 코어 안쪽, 바깥쪽 혹은 코어 내부에 위치하며, 전류가 흐르면 그림 2와 같이 자성체 주위에 전자계가 형성된다.

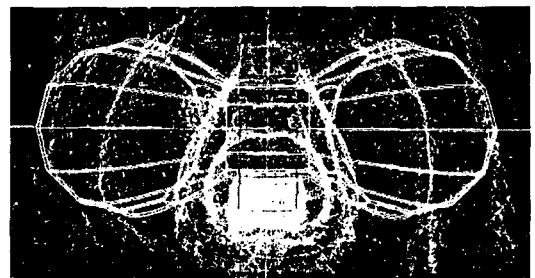


그림 2. 페라이트 코어 주위에 형성된 자계와 전계

이것은 전구 내부의 방전영역으로서 자속의 변화는 방위 방향의 전계가 코일 주위에 형성되고

벨브안에 있는 여러 가지 혼합가스에 영향을 주어 플라즈마가 형성되어 나타난다.

그림 3은 입력된 재질을 바탕으로 페라이트와 코일 주위를 세밀히 관찰하기 위하여 보다 세분하게 요소분할한 단면도이며, 이것을 통해 페라이트 내부와 코일 주위에 균일하게 전자계가 형성됨을 나타낸다. 페라이트코일 중심에서 외곽으로 자속밀도 분포가 발생하지 않고, 환형 페라이트 주위에 자속밀도가 $2.5 \times 10^{-4} [\text{Wb}/\text{m}^2]$ 이하로 분포함을 알 수 있다. 이것을 통하여 전계분포는 페라이트 코어 주변에서 강하게 발생함을 알 수 있고, 두개의 페라이트 코어에 의해 전계 분포가 유체와 같은 유동성을 갖고, 변압기의 모델에 의해 에너지가 교환됨을 알 수 있다.

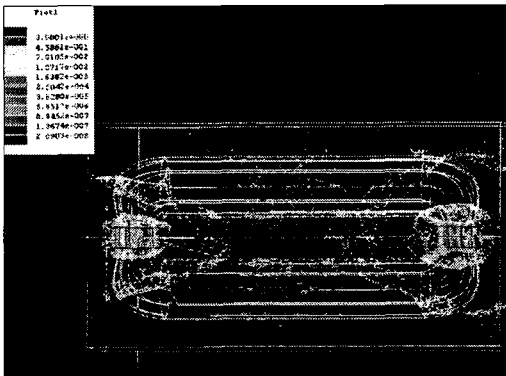


그림 3. 전체 자속밀도 분포

그림 4는 페라이트 코어 중심에서 x방향으로 해석한 자속밀도 분포도이다. x축은 페라이트 코어 중심에서 유리판까지 200[mm]의 직경을 나타내고, y축은 자속밀도의 크기를 나타낸다. 0[mm]와 20[mm] 근처에서는 자속밀도가 $7 \times 10^{-6} [\text{Wb}/\text{m}^2]$ 정도로 약하게 분포하고, 페라이트 코어 코일이 감겨 있는 부근에서 지수 함수적으로 증가하여 $5 \times 10^{-4} [\text{Wb}/\text{m}^2]$ 이 되며, 다시 감소함을 알 수 있다.

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 $4 \times 10^{-2} [\text{Wb}/\text{m}^2]$ 로 급격히 증가하다가, $1 \times 10^{-2} [\text{Wb}/\text{m}^2]$ 로 감소를 보이고 있다. y축과 z축에서는 페라이트 코어의 자속밀도 방향과 다르기 때문에 $3 \times 10^{-3} [\text{Wb}/\text{m}^2]$ 정도로 커다란 변화를 나타내고 있지 않는다.

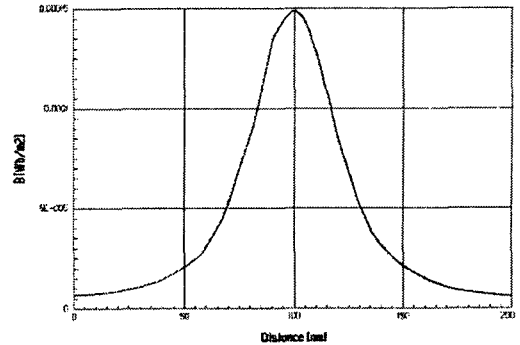


그림 4. 전자계 시뮬레이션의 자속밀도분포

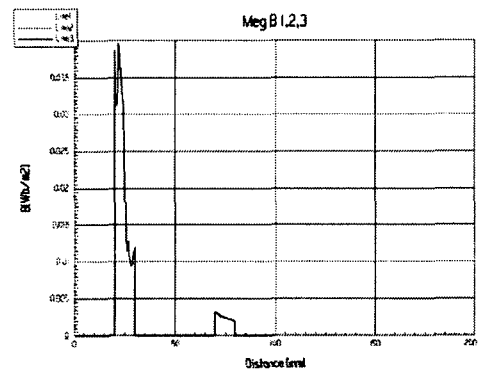


그림 5. 직교좌표 각각의 축에 의한 자속밀도분포

그림 6은 직교좌표 축에 따른 자계세기의 분포를 나타내고 있다. 이것은 그림 5의 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 유리판 벽으로 자계강도를 통한 전계강도만큼의 에너지를 주입할 때, 시스템에 영향 정도를 살펴 볼 수 있는 변인요소로 확인될 수 있다.

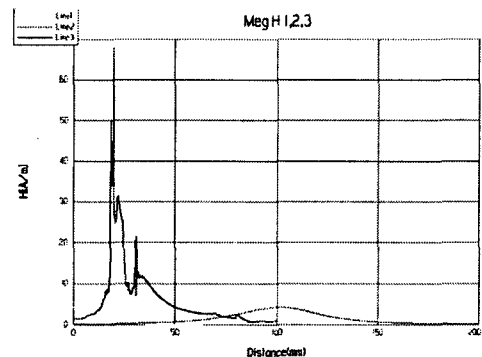


그림 6. 직교좌표 각각의 축에 의한 자계세기의 분포

4. 결 론

본 연구는 환형 무전극 형광램프의 자계가 형성되는 과정을 Ansoft의 Maxwell 3D Field Simulator을 통하여 살펴보았다. 자성체는 Mn-Zn 페라이트 (투자율 2000)를 사용하였으며, 페라이트 주위에 감겨있는 코일의 재질 (16회)은 구리선으로 임의로 선택하여 입력값을 주어 시뮬레이션 하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 페라이트 코일 주위에 균일하게 전자계가 형성됨을 확인하였고, 페라이트 코일 중심에서 램프의 외곽으로 자계가 분포하는 것이 아니라 전계가 분포함을 알 수 있었다.
- 2) 자계 분포는 0[mm]에서 페라이트 코어가 감겨있는 중심 부근까지 지수함수적으로 증가하고, 다시 감소함을 알 수 있었다.
- 3) 자속밀도와 자계강도는 코어길이 y 및 z 축방향의 중심과 양 끝단에서 동일한 형상의 변화가 나타남을 알 수 있었다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] Wharmby, D. O. " Electrodeless lamps for lighting: a review", IEE Proceedings 140A, pp.465~473, 1993.
- [2] Turner, B. P., Ury, M. G. and McLennan, D. A. " Microwave excited sulfurlamp," Paper QA2. 47th Annual Gaseous Electronics Conference(Gaithersburg, MD, USA), 1994.
- [3] 황명근, 이종찬, 박대회, "무전극 램프의 기술 동향과 전망", 한국조명·전기설비학회 학술대회 논문집, pp.23~26, 2001.
- [4] G. I. Babat, "Electrodeless Discharge and some applied problems", J.IEE, Vol.94, pt3, pp.27~37, 1947.