

## 무전극 형광램프의 전자계 방사 특성

### Electromagnetic Radiation Properties of Electrodeless Fluorescent Lamps

이종찬, 박대희, 김광수, 함 훈, 박성목

(Jong-Chan Lee, Dae-Hee Park, Kwang-Soo Kim, Hum Ham, Sung-Mok Park)

#### Abstract

In recent year 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 Electrodeless fluorescent lamp is the removal of internal electrodes and heating filaments that are a light-limiting factor of conventional fluorescent lamps. Therefore, the life of Electrodeless fluorescent lamps is substantially higher than that of conventional fluorescent lamps and last up to 100,000 hours. In this paper, the Electromagnetic emitting properties were presented by simulation software operated at 2.65MHz and some specific conditions.

**Key Words :** Electrodeless fluorescent lamp, Electromagnetic

#### 1. 서 론

현재까지 상용화된 대부분의 램프는 필라멘트나 전극에 의해 발광되는데 이들은 일정 시간이 경과하면 열화되어 수명이 되고, 램프 교체를 해야하는 불편함이 있는데 반해, 전극이 없는 무전극 램프는 전자유도법칙의 원리를 이용하여 가스를 방전한다. 1884년 Hittorf에 의해 처음으로 방전원리가 발견되고, 얼마후에 J.J Tomson에 의해 좀더 심도있는 관측이 있는 후 약 100년 이상이 지난 후 상업용 제품이 오스람과 필립스, GE에서 독자적인 제품이 출시되었다[1]. 무전극 형광 램프의 장점은 6만 시간 정도(연속 8년 동작)수명과, 80이상의 CRI(Color Rending Index), 넓은 동작온도(-30~80 °C), 그리고 잦은 스위칭에 영향을 받지 않는 것이 큰 특징이다.[2] 응용측면에서 보면 램프 광의 출력 특성이 긴 수명 동안 안정될 뿐 아니라 광의 출력을 조절 할 수 있는 조광(dimming)이 용이해지고, 수명이 크게

늘어남에 따라 터널이나 타워, 다리, 가로등, 역, 공장 등 유지나 보수비용이 비싸고 오랜 수명이 요구되는 곳으로 적용분야의 확대가 기대된다.

무전극 형광램프의 단점은 높은 주파수에서 RF 플라즈마를 유지하기가 쉽지만, 높은 주파수의 제품을 생산하기 위해서는 몇 가지 제약이 따른다. RF주파수를 발생시키기 위한 회로의 복잡성과 임피던스 매칭에 따른 가격문제다. 그리고 여기에 더해 많은 의료장비 및 통신기기, 계측기 와 인체에 유해성 유무에 논란의 여지를 가지고 있는 EMI(Electromagnetic interference)가 큰 문제로 남아 있다.

무전극 형광램프의 전력효율은 램프내의 가스 종류, 가스압력, 램프 형상, 자성체 재료 및 형상, 동작 주파수 등에 큰 의존성을 가진다. 따라서 본 연구는 전구형 무전극 형광램프의 방전 원리를 바탕으로 전자계 시뮬레이션을 통하여 자성체 내부의 전자계 형성을 해석하고 특성을 고찰하였다.

#### 2. 실험

RF 방전 플라즈마를 발생하는 방법 중 조명에 사용되는 것은 주로 Capacitive RF 방전, Inductive RF 방전, Wave Sustained 방전 3가지 방법이 실용화 되어있다[3]. Capacitive RF 방전은 전구 외벽에

원광대학교 전기전자 및 정보공학부  
(전북 익산시 신용동 344-2)  
Fax: 063-850-6349  
E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr

(전극에 상당하는) 전극을 박막으로 입히고, 교류를 인가하면 외면 전극과의 사이에서 전기용량을 통하여 내부에서 방전이 일어난다. 가스압력이 대기압력보다 훨씬 낮은 압력에서 동작하며 1GHz 이하의 주파수에서 RF 전계에 의해서 동작하고, 전류통로가 RF 전극차폐막 안의 변위 전류에 의해서 차폐된다. 그러므로 램프에 공급되는 전압은 차폐면에서 주로 감소하고, 차폐면의 임피던스가 방전전류를 제어하고 이러한 특성 때문에 방전 전력이 증가함에 따라 플라즈마를 위한 RF 전력이 감소한다.

Wave Sustained RF 방전은 일시적으로 플라즈마 표면이나, 경계면을 따라서 발생하는 전자계파에 의해서 RF 방전이 이루어지며, 파장은 플라즈마에 상응하며, 동작주파수가 다소 높은 특징이 있다.

Inductive RF 방전은 Induction 코일에 RF 전류가 흐르면서 주위의 전자계의 형성에 의해 전구내에서 플라즈마 방전을 일으키며, 폭넓은 가스 방전과 주파수 범위를 가져 무전극 형광램프에 주로 이용된다. 그리고, Capacitive RF 방전과 반대로 전력이 증가함에 따라 전력이 효율이 증가한다.

이러한 특징으로 현재는 Inductive RF 방전이 주로 이용된다. 이에 본 연구에서는 Inductive RF 방전의 전자계 특성을 실험하였다..

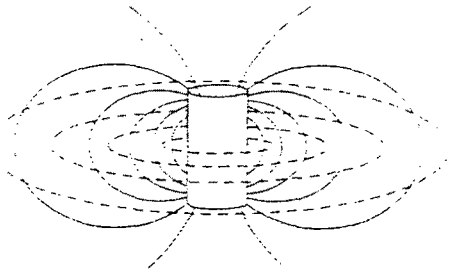
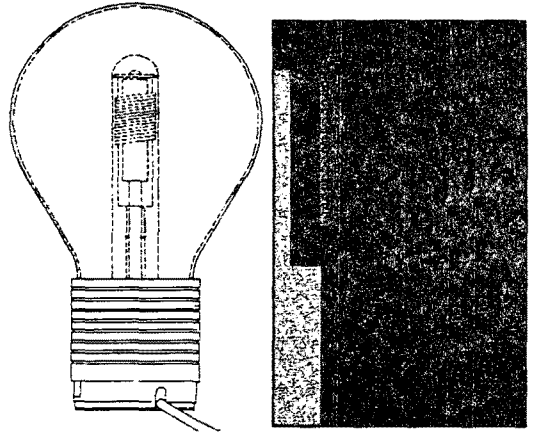


그림 1. 페라이트 코어 주위에 형성되는 전형적인 자계(실선)와 전계(점선)

그림 1은 Inductive RF 방전 전자계 분포 형성을 보여준다. 코일은 자성체 코어 안쪽, 바깥쪽 혹은 코어 내부에 위치하며, 전류가 흐르면 그림 1에서와 같이 자성체 주위에 전자계 형성된다. 이것은 전구 내부의 방전영역으로 자속의 변화는 방위 방향의 전계  $E_z$ 가 코일 주위에 형성되고 벌브안에 있는 여러 가지 혼합가스에 영향을 주어 플라즈마가 형성되고 나타난다.

실험에 사용한 조건은 그림 2의 Fitting Based Induction lamp인 필립스 QL램프를 기준으로 전자계특성을 평가하였다. 전자계 평가용 소프트웨어는



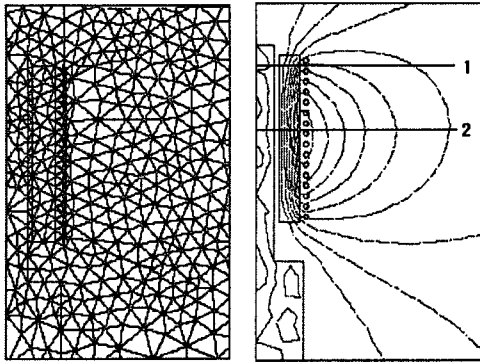
(a) QL램프 내부도 (b) 내부 단면도

그림 2. Fitting Based Induction Lamp (QL램프)의 내부도

전자장 해석나라(재우전자)를 사용하였다. 그림2. (a)는 QL램프의 내부도를 나타내며, 코어에 와이어가 감겨 있는 열전도 파이프가 램프내부에 위치하고 있는 형상을 하고 있다. (b)는 이 같은 QL램프내부에서 전자계 형성과정을 보기 위해 r축과 z축의 3차원 교류자장으로 시뮬레이션하기 위한 단면도이다. 왼쪽부터 열전도 파이프의 재질은 구리로 하였고, 페라이트 재질은 임의의 비 투자율값이 2,000인 Mn-Zn 을 사용했다. 자성체 Mn-Zn 주위를 16회 감겨 있는 코일의 재질은 구리로 하였고, 입력 주파수는 2.65MHz를 입력하였다. 이외의 영역에서는 비투자율이 1이고, 도전율이 0인 공기로 입력하여 실행하였다. 추가적으로 전구 내부의 가스와 유리에 대한 고려는 하지 않고 시뮬레이션을 시행하였다.

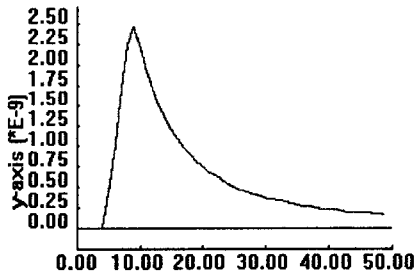
### 3. 결과 및 고찰

그림 3 (a)는 입력된 재질을 바탕으로 세분하게 요소 분할된 그림으로 페라이트와 코일 주위를 세밀히 관찰하기 위하여 보다 세분하게 분할하였다. 그림(b)는 이에 대한 해석결과를 나타내며, 페라이트 내부와 코일주위에 균일하게 전자계가 형성됨을 보여준다. 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 내부로만 등전위선 분포가 형성되어 램프의 중심부에서 전자계가 상쇄되는 역할과 역할적 지지대로서 효율적 열 방사 및 전달하는 것으로 사료된다.

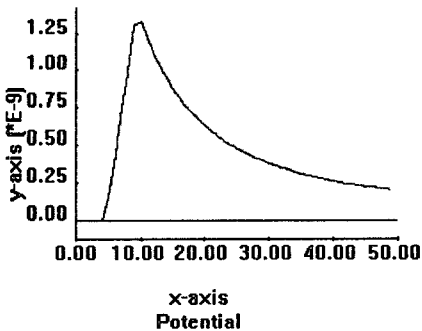


(a) 요소분할 (b) 등전위선

그림 3. 전자계 시뮬레이션의 요소분할과 등전위선의 형성도



(a) 선 1을 기준으로 해석한 전위 분포도

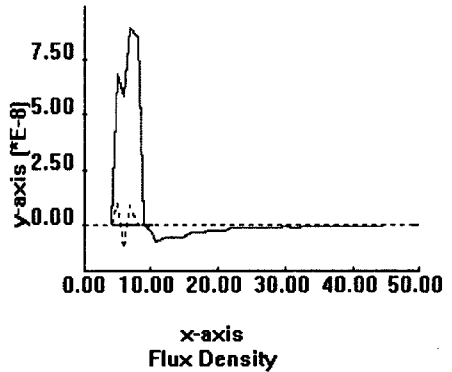


(b) 선 2를 기준으로 해석한 전위 분포도

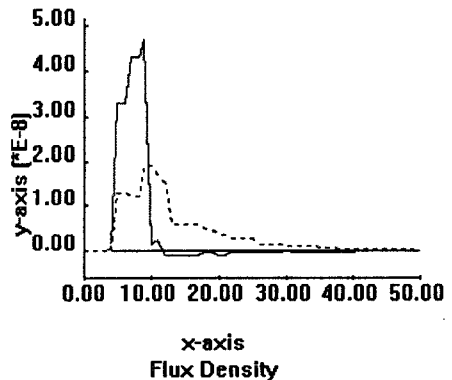
그림 4. 전자계 시뮬레이션의 전위분포

그림 4는 그림 3(b)의 선 1과 2를 자성체 코어 중

심에서 r방향으로 나누어서 해석한 전위 분포도이다. x축은 열전도 파이프에서 r방향으로의 거리를 나타내고 Y축은 전위의 크기는 나타낸다. 그림 4 (a)는 2번선을 따라 나타난 전위 분포도이고 (b)는 1번선을 따라서 나타난 전위분포도이다. 약 5cm까지는 (열 전도 파이프) 전위가 0을 유지하다가 자성체 코어와 코일이 감겨있는 부근에서 급격히 증가한 후 자성체에서 r 방향 멀어질수록 감소한다. 그림 4 (a)와 (b)를 비교해 볼 때 그래프 형태는 유사하지만 중심에서의 단면 분포도의 (a)그림이 위쪽의 (b)의 값 보다 전위값이 높은 것을 알 수 있다.



(a) 선 1을 기준으로 해석한 전속밀도 분포도

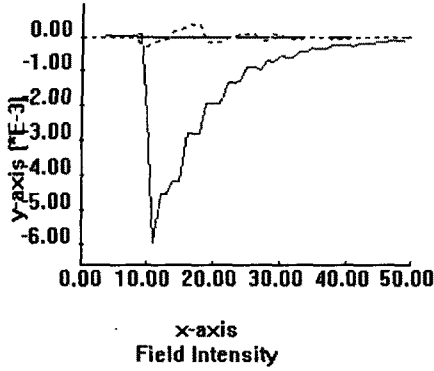


(b) 선 2를 기준으로 해석한 전속밀도 분포도

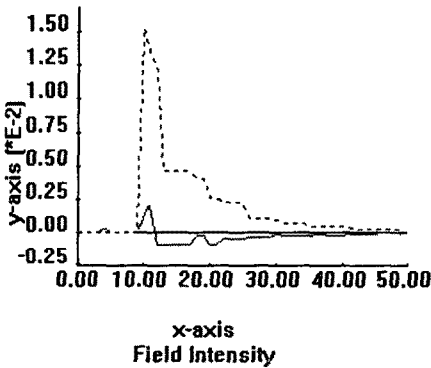
그림 5. 전자계 시뮬레이션의 전속 밀도

그림 5는 전속 밀도 분포도를 나타낸다. 여기서 X축은 r방향거리, Y축은 z축방향울 의미한다. 그림 5 (a)와 (b)에서 자성체 중앙과 끝부분에서 나는 전속 밀도(실선)의 형태는 유사하며 자성체 중앙에서 최

고값 8.5정도를 가지며 끝부분에서는 4.5정도의 값을 갖았다.



(a) 선 1을 기준으로 해석한 전자계 분포도



(b) 선 2를 기준으로 해석한 전자계 분포도

그림 6. 전립 자계 시뮬레이션에서 전자계분포

그림 6은 선 2와 1에서 각각의 전자계 강도분포를 보여준다. 여기서 실선은 전자계강도(법선방향)을 나타내고 자성체 표면에서 최대치가 되어가다 급격히 감소함을 보이고 자계강도(접선방향)는 거의 0준위에서 머무르며, 이와 반대로 자성체 끝부분의 해석 결과인 그림(b)에서는 자계강도가 자성체 표면부근에서 최대치에 머무르며, 자계강도는 조금씩 변하여 0준위에서 머무름을 확인 할 수 있었다. 즉 전계강도와 자계강도는 중심축과 양 끝단에서 반대의 형상을 보여줌이 확인되었다.

#### 4. 결론

본 연구는 전구형 무전극 형광 램프내에서 전자계가 형성되는 과정을 시뮬레이션을 통하여 살펴보았

으며, 자성체는 Mn-Zn 페라이트(투자율값 2000), 열전도 파이프는 구리, 그리고 페라이트 주위에 감겨있는(16회)는 코일의 재질 또한 구리선으로 임의로 선택하여 입력값을 주어 시뮬레이션을 하였다.

- 1) 전자계 해석결과 페라이트 내부와 코일주위에 균일하게 전자계가 형성됨을 확인하였고 열전도 파이프를 중심에서 램프의 외곽으로 등전위선이 원통 표면으로 방사함을 알 수 있었다.
- 2) 전자계 시뮬레이션의 전위분포는 약 5cm까지는 (열 전도 파이프) 전위가 0을 유지하다가 자성체 코어와 코일이 감겨있는 부근에서 급격히 증가한 후 자성체에서 r 방향 멀어질수록 감소함을 알 수 있었다. 위치에 따라 전위분포형태는 유사하지만 중심에서의 단면 분포도가 상단부분에 비하여 전위값이 낮은 것을 알 수 있었다.
- 3) 전속 밀도 분포는 자성체 중앙과 끝부분에서 나는 전속밀도(실선)의 형태는 유사하며 자성체 중앙에서 최고값 8.5정도를 가지며 끝부분에서는 4.5정도의 값을 갖았다.
- 4) 전계강도와 자계강도는 중심축과 양 끝단에서 반대의 형상을 보여줌이 확인되었다.

본 연구는 2002년 에너지 절약기술개발사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [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] V. A. Godyak, Fellow, IEEE "Radio Frequency Light Sources"
- [4] European Patent Application H01J 65/04 92201213.3
- [5] European Patent Application H01J 65/04 92200130.0
- [6] H.Chandra, IEEE " Mitigation of Electromagnetic Interference in Low Power Compact Electrodeless Lamps"