

## 환형 무전극 형광램프의 최적 설계를 위한 특성조건 분석

조주웅, 이성진, 남중희\*, 최용성, 김용갑, 박대희  
원광대학교, 요업기술원\*

### A study on Properties Condition for the most suitable design of the Ring-shaped electrodeless fluorescent lamp

Ju-Ung Jo, Seong-Jin Lee, Joong-Hee Nam\*, Yong-Sung Choi, Yong-Kab Kim, Dae-Hee Park  
Wonkwang University, Korea Institute of Ceramic ENG. & TECH\*

#### Abstract

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. 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 and 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

**Key Words** : Maxwell 3D Finite, Mn-Zn Ferrite Core, Core Loss

#### 1. 서론

환형 무전극 램프의 장점은 광원 램프 자체의 수명이 길고, 수명 기간 동안 광속유지율이 거의 일정하고, 광변환 효율의 변화가 적으며, 무수은 및 폐기물의 최소화로 높은 환경 친화성 등 많은 장점을 갖고 있다. 그러나, 전자파 발전기 자체의 효율, 전자파의 방진 플라즈마 결합 효율, 발광 가스의 부적합성, 그리고, 재래식 전극 광원의 단기적이지만 더 좋은 경제성 때문에 전자파 방전을 이용한 광원의 실용화는 쉽게 일어나지 않았다[1].

일반적인 무전극 램프의 봉입 가스의 방전은 2가지 형태를 이루고 있는데, 첫 번째 형태는 E방

전으로 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. 두 번째 형태는 H방전이다. 전형적으로 구형 방전관의 외주에 권선을 감고, 교류를 통과시키면 전자유도에 의한 자계가 발생하고, 관 내부에 방전이 형성된다. 관 내부의 방전형식은 환형이며, 외부의 권선과는 유도결합에 의한 전력이 공급되어 진다. 외부의 권선을 1차 권선으로 하고, 관 내부의 환형 방전을 2차권선이라 하는 변압기 모델로 생각할 수 있다 [2-3].

이러한 H방전의 경우에, 전자계를 발생시키는

전원장치와 자성체의 결합방식에 의한 자성체의 선택이 중요하다. 환형 유도결합 플라즈마 램프의 경우에는 Mn-Zn 페라이트를 자성체로 사용하는데, 고주파영역에서 수십 [W]의 전력으로 사용할 수 있는 자성체 특성과, 고온 하에서의 포화자속밀도가 높으며, 자기적 열화 및 코어 손실이 적고, 자기적 안정성이 뛰어난 소프트 페라이트의 특성이 요구되어 진다. [4-5]

본 논문은 효율적이고 최적의 무전극 환형 유도결합형 램프를 설계하기 위하여, 변압기 모델을 사용하여 유도코일부에서 발생하는 축방향의 교번자계 분포를 Maxwell 시뮬레이션을 통하여 전자계 해석하고, 전자기적 특성을 고찰하였다. 그리고 B-H Analyzer (IWATSU SY-8232)을 사용하여 주파수와 자속밀도를 변화시키면서 투자율, 코어손실의 변화를 측정하였다.

## 2. 실험

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 알아보기 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 gas와 유리에 대해서는 고려하지 않고 시뮬레이션을 시행하였다.

연자성재료의 고주파 자기특성을 측정하는 장비인 B-H Analyzer (IWATSU SY-8232)를 사용하여, 고주파 전원에 의해 구동되는 Mn-Zn 페라이트의 투자율과 코어손실 측정하였다. 여자조건에 최대자속밀도 (18mT)와 주파수 (460KHz)를 지정하여 시료의 B-H 곡선에 의한 자성체 특성을 측정하였다. 그리고 코어손실도 여자조건에 최대자속밀도 (18mT)와 주파수 (460KHz)를 지정하여 측정하였으며, hysteresis 손실과 와전류손 그리고 잔류손실을 총 손실로 표현하였다.

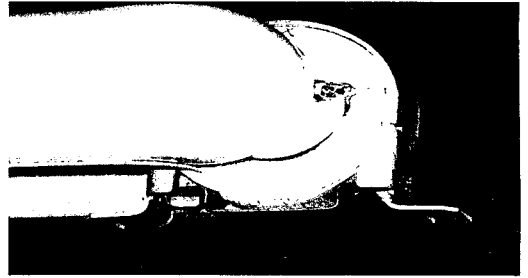


그림 1. ENDURA 150 W 환형 무전극 램프  
Fig. 1. ENDURA 150 W Ring-shaped electrodeless fluorescent lamp.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2는 OSRAM ENDURA 150 W 환형 무전극 램프를 기준으로 설계한 램프의 전자계 분포를 나타내고 있다. 코일은 자성체 코어 안쪽, 바깥쪽에 위치하며, 전류가 흐르면 그림 2와 같이 Mn-Zn 페라이트 자성체 주위에 전자계가 형성된다. 형성된 자속의 변화는 방위방향의 전계를 코일 주위에 형성하게 하고, 별브 안에 있는 여러 가지 혼합가스에 영향을 주어 플라즈마가 형성되어 발광하게 만든다.

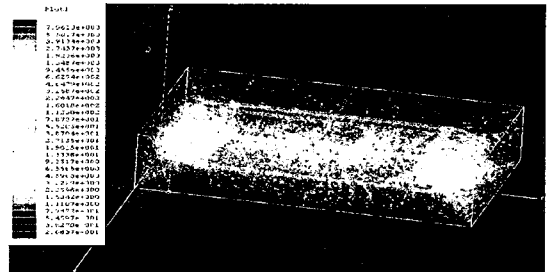


그림 2. 페라이트 주위의 자계 분포.  
Fig. 2. Distribution of magnetic flux density around ferrite core.

그림 3은 입력된 재질을 바탕으로 Mn-Zn 페라이트와 코일 주위를 세밀히 관찰하기 위하여 보다 세분하게 요소 분할한 것이며, 이것을 통해 페라이트 내부와 코일 주위에 균일한 방사형태로 전자계가 형성됨을 알 수 있다. Mn-Zn 페라이트 코일 중심에서 외곽으로 자계 분포가 방사되며, Mn-Zn 페라이트 주위에 최대 자계분포는  $2.3 \times 10^2$  [Wb/m<sup>2</sup>]이며, 코일이 감겨 있는 페라이트 주변에서 멀어질수록  $1.5 \times 10$  [Wb/m<sup>2</sup>] 정도로 균일하게

분포함을 알 수 있다. 이것을 통하여 자계분포는 Mn-Zn 페라이트 코일 주변에서 강하게 발생함을 알 수 있고, 램프 내부에 있는 수은 (Hg), 아르곤 (Ar) 그리고 크립톤 (Kr) 등의 희소 가스와의 에너지 교환에 의해 전자가 주변 입자와 충돌을 하여, 더 많은 전자를 방출한다. 방출된 전자는 수은 가스를 여기시켜, 자외선을 방출하고, 램프 내부에 도포된 형광막을 지나면서 눈으로 볼 수 있는 가시광선을 만들게 된다. 이러한 발광 메커니즘에서, 전자를 발생시키기 위한 전자계 분포를 Mn-Zn 페라이트 주변에서 형상화한 것이다.

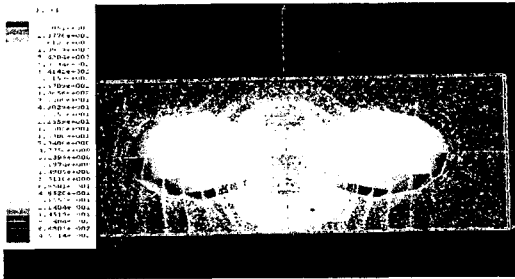


그림 3. 페라이트 코어 주변에 형성된 전기와 자계의 분포.

Fig. 3. Distribution of electrical and magnetic field formed around ferrite core.

그림 4는 Mn-Zn 페라이트의 표면에서의 자계분포이다. 내부의 자계분포는 최대  $1.2 \times 10^2$  [Wb/m<sup>2</sup>]이며, 페라이트 외부로 갈수록  $6.9 \times 10$  [Wb/m<sup>2</sup>]으로 분포한다. Mn-Zn 페라이트 내부에서 외부로 갈수록 자계분포 값이 감소하는 이유는 권선의 형태가 페라이트 일부분에 권선됨으로 인해, 결정구조와 조성입자에 미치는 영향이 자로 길이에 따라 반비례함을 알 수 있다.



그림 4. 페라이트에 형성된 자계 분포.

Fig. 4. Distribution of electromagnetic field formed ferrite core.

그림 5는 페라이트 코어 중심에서 x방향으로 해

석한 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.

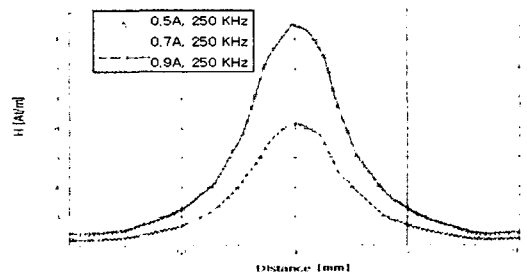


그림 5. 입력 전류에 의한 자계강도 세기분포.

Fig. 5. Distribution of magnetic field strength by input current.

그림 6은 주파수 변화에 의한 투자율의 변화를 온도에 따라 측정한 것이다. 투자율 값이 상온에서와는 달리 100배 차이가 나는 것은 B-H Analyzer 측정 시 권선에 입력된 신호가 온도에 의해 왜곡되어 나타났기 때문이다. 투자율 변화의 감소는 온도에 기인한다고 생각한다. 환형 유도결합형 플라즈마 램프의 경우 램프 외부에 배광기구를 설치하므로, 조명 기구의 온도는 상승하게 된다. 이러한 온도 상승이 투자율에 영향을 미치면, 유리관 내부의 플라즈마와의 결합이 불안해지고, 그로인해 광속유지율과 광원의 수명이 저하되게 된다. 그러므로 온도 변화 폭이 좀 더 좁은 Mn-Zn 페라이트가 사용되어야 된다고 생각한다.

그림 7은 주파수 변화에 의한 코어손실의 값이다. 코어손실 값이 상온에서의 값보다 100배 차이가 나고 있다. 이러한 온도변화에 의한 코어손실의 값이 상온과 100배 차이가 난다는 것은 온도에 대한 의존성이 크다는 것이다. 온도 변화에 의해 코어손실은 증가하는 경향성을 보이고 있고, 주파수

에 의한 코어손실은 지수함수 적으로 증가하는 경향성을 보이고 있다.

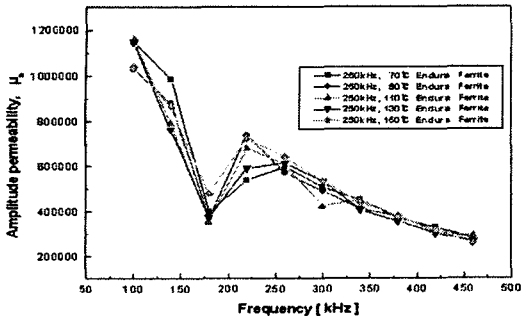


그림 6. 주파수 변화에 의한 투자율의 변화 (온도)  
Fig. 6. Comparison of amplitude permeability by frequency (Temperature)

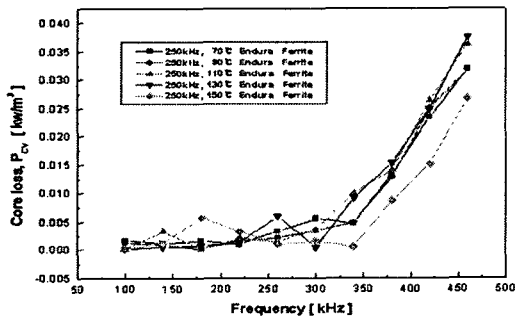


그림 7. 주파수 변화에 의한 코어 손실의 변화  
Fig. 7. Comparison of core loss by frequency

#### 4. 결론

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 하였다. 그리고 Mn-Zn 페라이트의 자성체 특성은 B-H Analyzer (IWATSU SY-8232)를 사용하여, 여자조건을 최대 자계 (18mT)와 주파수 (460KHz)로 지정하여, 주파수 변화에 의한 투자율과 코어손실의 변화를 측정하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 페라이트 코어 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) 주파수 변화에 의한 Mn-Zn 페라이트 투자율의 변화는 상온과 구동온도가 서로 반비례 관계임을 알 수 있고, 코어 손실의 변화는 유사한 경향성을 갖고 있음을 알 수 있다.
- 4) B-H Analyzer에 의한 페라이트 특성 실험은 측정신호 왜곡현상이 투자율 값과 코어손실 값에 영향을 줄 가능성이 있다.

#### 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] B.P. Turner, M.G. Ury and D.A. McLennan, "Microwave excited sulfurlamp", Paper QA2. 47th Annual Gaseous Electronics Conference (Gaithersburg, MD, USA), 1994.
- [2] IM El-Fayoumi, IR Jones, "The electromagnetic basis of the transformer model for an inductively coupled RF plasma source", Plasma Sources Sci. Technol., Vol.7, p.179, 1998
- [3] R B Piejak et al., "A simple analysis of an inductive RF discharge", Plasma Sources Sci. Tech. 1, pp. 179-186, 1992.
- [4] 이시다시게토시, 와타나베 마사히코, 야스하라 가즈시, "페라이트코어 및 그 제조방법", 특 2003-0016171
- [5] E. Otsuki, S. Yamada, T. Otsuka, K. Shoji, and T. Sato, "Microstructure and physical properties of Mn-Zn ferrites for high-frequency power supplies", J. Appl. Phys. Vol. 69, No. 8, 15April, 1991