

동근형 무전극 형광램프의 자계 분포 특성

최 용성¹, 조 재철², 이 경섭¹

¹동신대학교, ²초당대학교

Magnetic Field Distribution Characteristics of Ring-Shaped Electrodeless Fluorescent Lamp

Yong-Sung Choi¹, Jae-Cheol Cho², Kyung-Sup Lee¹

¹Dongshin University, ²Chodang University

Abstract : 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 electromagnetic field in the ferrite core was shown to be high and symmetric. An LS-100 luminance meter and a Darsa-2000 spectrum analyzer were used in the experiment. According to data on the lamp tested using high magnetic field ferrite, the optical and thermal wave fields were shown to be high around the ring-shaped electrodeless fluorescent lamp. The optical or light field was high at the center of the bulb rather than around the ferrite core. The light conditions of the bulb were assumed to be complex, depending on the condition of the filler gas, the volume of the bulb, and the frequency of the inverter. Our results have shown coupling between the gas plasma and the field of the light emitted to be nonlinear.

Key Words : Finite element analysis, Electromagnetic properties, Ring-shaped electrodeless fluorescent lamp, Ferrite core

1. 서 론

무전극 봉입 가스의 방전은 3가지 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 번째는 마그네트론에 의한 황의 여기로 인한 방전이다. 무전극 황전등은 고전압 전원에 의해 구동되는 마그네트론에서 발생한 2.45 [GHz]의 마이크로파 출력으로 전구에 봉입된 이원자 황을 방전시키는 것이다. 세 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[1-3].

이러한 변압기모델에 의해 해석되어지는 환형 무전극 형광램프는 페라이트 코어 재질, 형상과 인가전력 및 주파수 이 안테나 구조에 의해 구분되어진다. 오스람의 Endura 150W 램프의 안테나 구조는 totoidal(close magnetic circuit) 페라이트 코어에 인덕션 코일을 감아, 램프 양쪽에 대칭으로 된 구조를 이루고 있으며, 동작주파수는 250

[kHz]이고, 형광체를 발광시키기 위한 아말감 온도는 65 [°C] ~125 [°C] 요구한다. 필립스의 오리지널 QL 165W 램프의 안테나 구조는 인덕션 코일에 페라이트 rod 코어를 흡이 있는 틈에 강고(open magnetic circuit), 2.65 [MHz]의 동작주파수를 페라이트 코일에 인가시킨다. 형광체를 위한 아말감의 온도는 80°C를 필요로 한다. 이러한 무전극 발광램프의 발광특징은 점등을 위한 예열 지연이 없고, 100,000 시간 이상의 수명 및 넓은 전력 대역에서의 상대적으로 간편한 배선을 갖추고 있다[4].

따라서 본 논문의 목적은 최적의 환형 무전극 램프 안테나 설계를 위하여 페라이트 코일의 자계분포와 벌브의 광학적 특성 관계를 해석하는 것이다. 자계분포는 Ansoft의 Maxwell 3D Field Simulator를 사용하여 유도코일부에 발생하는 축방향의 자계 분포를 시뮬레이션 하였고, 변압기 원리에 의해 결합되는 광학적인 특성은 LS-100 휘도계와 Darsa-2000 스펙트럼 분석기를 사용하여 휘도, 온도 및 파장의 분포 세기를 측정하였다. 이러한 자계분포 특성과 광학적 특성을 벌브 위치에 따라 Point 1과 Point 2에서 비교한 결과 발광을 위한 유도결합은 비선형임을 확인하였다.

2. 실험 방법

2.1 자계 분포 특성

자계 분포 해석에 사용된 소프트웨어는 Ansoft의

Maxwell 3D Field Simulator를 사용하였고, 환형 무전극 램프의 구조는 벌브, 코일, 페라이트 고정대, 2개의 페라이트로 단순하며, 양쪽의 페라이트 코어 2개와 18회의 권선수가 동일한 방향으로 감겨져서 병렬 구조로 되어 있다. 150 W 환형 무전극 형광램프의 자계 분포 형성과정을 알아보기 위해서, 표 1의 재질특성을 나타내는 연자성 페라이트 시료 A를 사용하였고, Mn-Zn 페라이트 주위를 18회 감겨 있는 코일의 재질은 구리로 하였다. 입력 주파수는 250 [kHz]로 하였고, 이외의 영역에서는 비투자율이 1이고, 도전율이 0인 공기로 입력하여 실행하였다. 또한, 램프 내부의 가스와 유리에 대해서는 고려하지 않고 시뮬레이션을 시행하였다.

표 1. 환형 무전극 램프용 페라이트 시료의 재질 특성
Table 1. Physical properties of experimental sample for Ring-shaped electrodeless fluorescent lamp

Mn-Zn type (25℃, 250kHz, 10 mT)						
Symbol	Le	Ae	Ve	W	μ_a	Pcv
시료 A	167.29	211.5	35382	0.1716	1724.5	0.920
Unit	mm	mm ²	mm ³	g		kW/m ³

2.2 광학적 특성

환형 무전극 형광램프의 기하학적 정보는 다음과 같다. 길이는 18.2 [cm]이고, 너비는 10.1 [cm]이며, 관경은 3.8 [cm]이다. 광학적 특성을 위한 LS-100 적외선 휘도계와 TA-0510 방사 온도계의 측정위치는 그림 2와 같이 A(0, 0, 0) [cm]을 적외선 휘도계와 방사 온도계의 직교좌표 원점으로 하여, A를 기준으로 C(39, 28, 44) [cm]의 위치에 있는 방사 온도계와 D(81, 50, 88) [cm]의 위치에 있는 휘도계가 45° 하향으로 측정하였다. Point 1의 위치는 (17, 2.5, 0) [cm]이고, Point 2의 위치는 (9, 2.5, 0) [cm]이다. 측정위치가 4/4분면으로 선택된 이유는 환형 무전극 램프의 기하학적 대칭과 광원의 방사특성 때문이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 자계 분포 특성

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

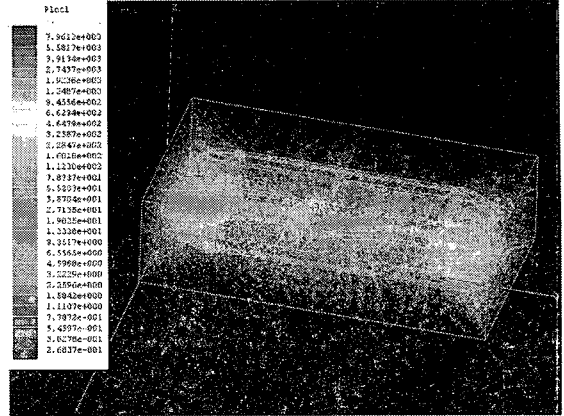


그림 1. 환형 무전극 형광램프의 자속밀도

Fig. 1. Flux density of Ring-shaped electrodeless fluorescent lamp

그림 2는 입력된 재질을 바탕으로 Mn-Zn 페라이트와 코일 주위를 세밀히 관찰하기 위하여 보다 측면에서 요소분할한 것이며, 이것을 통해 페라이트 내부와 코일 주위에 균일한 방사 형태로 자계가 형성됨을 알 수 있다. Mn-Zn 페라이트 코일 중심에서 외곽으로 자계 분포가 방사되며, Mn-Zn 페라이트 주위에 최대 자속밀도는 2.3×10^2 [Wb/m²]이며, 코일이 감겨 있는 페라이트 주변에서 멀어질수록 1.5×10 [Wb/m²] 정도로 균일하게 분포함을 알 수 있다. 이것을 통하여 자계분포는 Mn-Zn 페라이트 코일 주변에서 강하게 발생함을 알 수 있고, 이러한 자계 분포와 플라즈마의 유도결합으로 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 가시광선을 만들게 된다 [5].

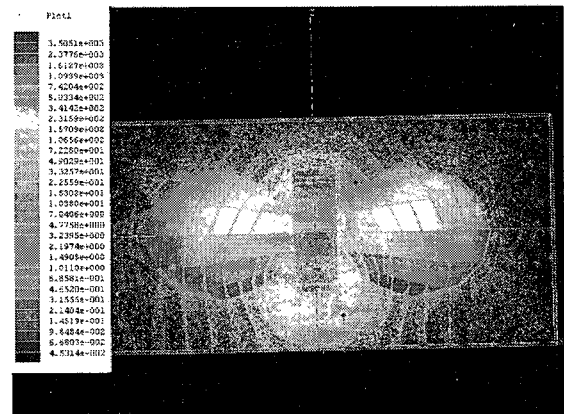


그림 2. 페라이트 코어 주변의 자속밀도 분포

Fig. 2. Distribution of magnetic flux density around ferrite core.

그림 3은 페라이트 코어 코일에 흐르는 0.7[A]의 전류에 의해 발생하는 자속밀도를 나타내고 있다. 코일의 자속밀도는 모서리 부근에서 1.2×10^3 [Wb/m²]으로 최대값을 나타내며, 페라이트에 권선된 수평면의 코일에서는 $3.5 \times 10^2 \sim 6.2 \times 10^2$ 의 값이 분포됨을 알 수 있다.

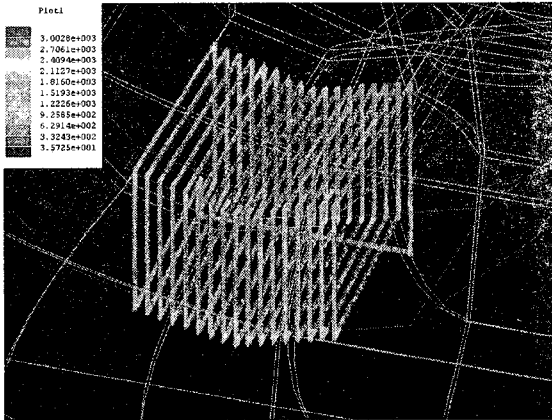


그림 3. 페라이트 코일에 형성된 자속 밀도
Fig. 3. Distribution of electromagnetic field formed ferrite core.

그림 4는 페라이트의 코어 표면에서의 자계분포이다. 내부의 자계분포는 최대 1.2×10^2 [Wb/m²]이며, 페라이트 외부로 갈수록 6.9×10 [Wb/m²]으로 분포한다. 페라이트 내부에서 외부로 갈수록 자계분포 값이 감소하는 이유는 권선의 형태가 페라이트 일부분에 권선됨으로 인해, 결정 구조와 조성임자에 미치는 영향이 자로 길이에 따라 반비례 관계라 사료된다. 전체코일의 권선에 의한 자속밀도 변화는 코일 굽기 변화에 대해 미미하나, 단일코일은 굽기에 의한 코일표면에 위치한 자속밀도변화가 민감하므로, 시뮬레이션 과정에서 실제 코일 굽기 0.8 [mm]을 기준으로 시뮬레이션 하여, 그림 4의 페라이트 코일의 자속밀도와 페라이트 표면의 자속밀도 최대값의 수치를 비교한 결과, 페라이트 코일에서의 값이 더 크다는 것을 알 수 있었다.

3.2 광학적 특성

그림 5 및 6은 시간 변화에 의한 휘도 특성과 온도 특성을 나타내는 것이다. 그림 5의 결과와 같이 벌브 중앙에서 온도특성과 휘도특성이 우수함을 알 수 있고, 휘도특성과 온도특성은 20분 이상 경과한 후부터 포화특성을 보이고 있다. 온도특성과 휘도특성의 관계는 발광특성을 위한 아말감 온도가 65℃ ~ 125℃ 이기 때문에, 벌브 중앙에서의 경우 발광을 위한 온도 특성이 더 우수하여, 휘도특성과 파장의 분포세기가 더 우수함을 알 수 있다 [4].

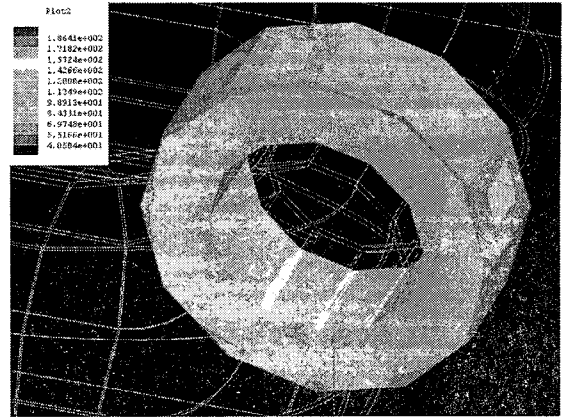


그림 4. 페라이트에 형성된 자속 밀도
Fig. 4. Distribution of electromagnetic field formed ferrite core.

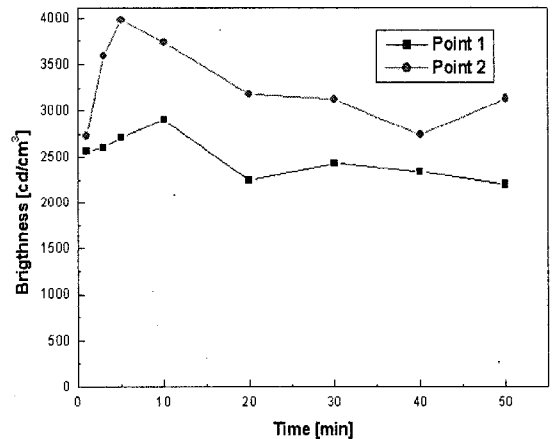


그림 5. 시간 변화에 의한 휘도 분포
Fig. 5. Distribution of brightness.

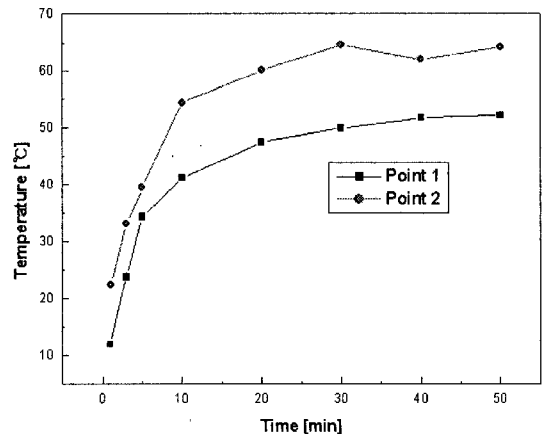


그림 6. 시간 변화에 의한 온도 분포
Fig. 6. Distribution of temperature according to time.

그림 7은 Mn-Zn 페라이트의 주파수 변화에 의한 코어 손실을 측정된 것이다. 상온에서 코어손실은 주파수증가에 따라 지수함수로 증가하고 있다. 환형유도결합형 플라즈마 램프의 입력 주파수 250 [kHz]가 코어손실을 고려한 것임을 그림 7의 실험을 통해 알 수 있다.

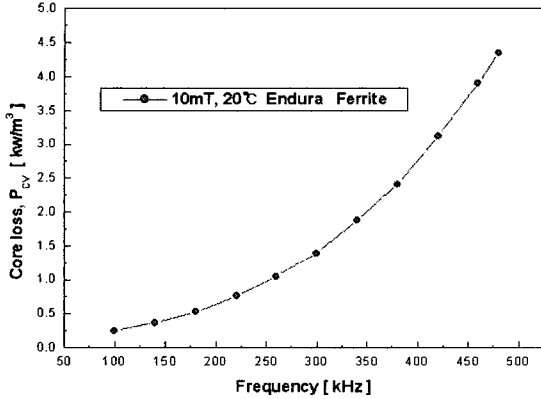


그림 7. 주파수 변화에 의한 코어 손실의 변화
Fig. 7. Comparison of core loss by frequency

그림 8은 주파수 변화에 의한 투자율의 변화를 온도에 따라 측정된 것이다. 투자율 값이 상온에서와는 달리 100 배 차이가 나는 것은 B-H Analyzer 측정 시 권선에 입력된 신호가 온도에 의해 왜곡되어 나타났기 때문이다. 그러므로 그림 8의 투자율 값은 경향성만 의미가 있다. 그림 8은 그림 6과는 달리 주파수에 따른 투자율의 변화가 감소하는 경향을 보이고 있다. 투자율 변화의 감소는 온도에 기인한다고 생각한다. 환형 유도결합형 플라즈마 램프의 경우 램프 외부에 배광기구를 설치하므로, 조명 기구의 온도는 상승하게 된다. 이러한 온도 상승이 그림 8과 같이 투자율에 영향을 미치면, 유리관 내부의 플라즈마와의 결합이 불안해지고, 그로인해 광속유지율과 광원의 수명이 저하되게 된다. 그러므로 온도 변화 폭이 좀 더 좁은 Mn-Zn 페라이트가 사용되어져야 된다고 생각한다.

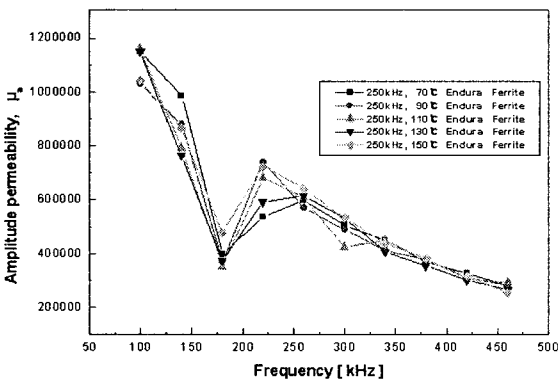


그림 8. 주파수 변화에 의한 투자율의 변화 (온도)
Fig. 8. Comparison of amplitude permeability by frequency (Temperature)

4. 결론

본 연구의 목적은 환형 무전극 형광램프를 최적으로 설계하기 위해서, 페라이트 코일의 자계 분포와 램프의 광학적 특성의 관계를 연구한 것이다. 연자성 페라이트 시료 A를 벌브에 장착하여, 자계 분포와 램프 위치에 따라 변하는 광학적 특성을 비교 연구한 것이다. 실험 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 페라이트 코일 주위에 균일하게 자계가 형성되고, 자속 밀도 분포가 두개의 페라이트 코어에 대하여 대칭적으로 분포한다.
- 2) 페라이트 코일 부근에서 자속밀도 분포가 1.1×10^2 [AT/m]로 최대값을 보이고 있으며, 벌브 중앙에서는 6.0×10^{-1} [AT/m]로 최소값을 보인다.
- 3) 유도결합을 위한 자계 분포는 벌브 중앙인 Point 2에서 6.0×10^{-1} [AT/m] 값을 나타내면서 페라이트 코어 부근보다 약한 값을 나타내었지만, 휘도특성과 온도특성의 광학적 특성이 우수하였다.
- 4) 벌브 중앙이 광학적 특성이 우수한 이유는 아말감 여기를 위한 온도와 전자생성을 위한 공간 특성이라 사료된다.
- 5) 환형 무전극 형광램프는 강한 자계가 방사되어 나오는 페라이트 코일 부근에서 광학적 특성이 클 것으로 생각되지만, 위치에 따른 온도와 휘도 및 파장의 분포세기를 비교한 결과, 벌브 굴곡의 협소한 공간과 강한 전자기파로 인한 과잉 에너지로 인해 전자생성이 원활하지 않아, 벌브의 중앙 부근에서 광학적 특성이 높다는 것을 확인하였고, 자계 분포특성과 광학적 특성은 비선형 관계임을 확인하였다.
- 6) 페라이트 코어에 전류를 0.7 [A] ~ 0.9 [A]로 증가시키면, 자계강도는 가우시안분포를 보이면서 83 [A/m] ~ 150 [A/m]로 증가하고, 입력 전류의 변화에 따라 30 [AT/m] 정도로 균일하게 증가한다.
- 7) 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.

감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 전력산업 기초인력양성사업 (I-2006-0-092-01)에 의해 작성되었습니다.

참고 문헌

- [1] 구선근, 박기준, 추장희, "전구내 NaI 첨가에 의한 무전극 황전등의 특성 변화", KIEE, Vol.48C, n.11,

- pp. 724-729, 1999.
- [2] 추장희, 구선근, 박기준, 이영우, "무전극 황망전등에서 고압 이원자 황(S_2)의 자체 역전 효과", KIEE11, Vol.49C, n.11, pp. 609-615, 2000.
- [3] 정수현, 이종섭, 홍종국, 채홍인, 윤만순, 임기조, "CCFL 구동용 압전 변압기의 특성", KIEE, Vol.49C, n.5, pp. 259-264, 2000.
- [4] Eugen Statnic, "Engineering Limits for Inductively Coupled Fluorescent Electrodeless Lamps", Proceeding of the 10th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources, pp. 334-336, 2004.
- [5] 이진우, "低壓放電램프의 電氣的 特性 모델링", 서울대 박사학위 논문, 1990.