

환형 무전극 형광램프의 자계분포 해석과 광학적 특성에 관한 연구

論 文

54C-6-4

The Magnetic Field Distribution Analysis and Optical Characteristics for the Ring-Shaped Electrodeless Fluorescent Lamp

趙 靑 雄[†] · 李 鐘 燦^{*} · 崔 龍 成^{**} · 金 鎔 甲^{**} · 朴 大 熙^{**}

(Ju-Ung Jo · Jong-Chan Lee · Yong-Sung Choi · Yong-Kap Kim · Dae-Hee Park)

Abstract - Recently, the RF inductive discharge or inductively coupled plasma continues to attract growing attention as an effective plasma source in many industrial applications, the best known of which are plasma processing and lighting technology. To the point of lighting sources, the ring-shaped electrodeless fluorescent lamps utilizing an inductively coupled plasma have been objects of interest and research during the last decades, mainly because of their potential for extremely long life, high lamp efficacies, rapid power switching response. 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 : Ring-Shaped Electrodeless Fluorescent Lamp, Maxwell 3D Finite Element, Ferrite Coil

1. 서 론

1879년 조명의 근원으로 사용되었던 에디슨의 카본 필라멘트 전구를 시작으로 수은등, 나트륨등, 메탈할라이드 등과 같은 전구는 작은 크기, 순시 점등,싼 가격 등 많은 장점을 가지고 있으나 수명이 짧은 단점이 있다. 현재의 조명 광원으로 각광을 받고 있는 콤팩트 형광램프 및 전자식 형광등은 방전을 일으키는데 필라멘트나 전극을 사용하기 때문에 특히 수명 등의 측면에서 개선의 여지가 남아 있으며, 램프 구조에도 많은 문제점을 가지고 있다. 이러한 전구나 형광램프의 단점을 보완하기 위하여 수년전부터 미국이나 일본에서 무전극 램프를 실용화하기 위하여 활발이 진행 중이다[1-4].

무전극 램프의 방전현상은 1884년 히트로프에 의해서 처음으로 발견되고, 1891년 테슬라는 비교적 낮은 용량 결합형 RF 주파수에 의한 방전 램프를 소개하였다. 1907년 헤비트에 의해 오늘날의 플라즈마 반응로의 원리인 ICP (Inductively

Coupled Plasma)를 발견하였고, 클라우드에 의하여 페라이트 코일을 적용한 ICP가 소개되었다. 1970년대 앤더슨에 의해서 유도결합형 램프의 원리가 비로소 정착 되었다[5,6].

일반적인 무전극 붕입 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 붕입된 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[7-9].

이러한 변압기모델에 의해 해석되어지는 환형 무전극 형광램프는 페라이트 코어 재질, 형상과 인가전력 및 주파수가 안테나 구조에 의해 구분되어진다. 오스람의 Endura 150W 램프의 안테나 구조는 totoidal(close magnetic circuit) 페라이트

† 교신저자, 學生會員 : 圓光大 電子材料工學科 碩士課程
E-mail : joju@seplasma.com

* 正 會 員 : 金 浩 進 機 器 (株) 新 任 研 究 員 · 工 博

** 正 會 員 : 圓 光 大 電 氣 電 子 情 報 工 學 部 教 授 · 工 博

接受日字 : 2004年 12月 6日

最終完了 : 2005年 5月 10日

트 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 홈이 있는 틈에 감고(open magnetic circuit), 2.65 [MHz]의 동작주파수를 페라이트 코일에 인가시킨다. 형광체를 위한 아말감의 온도는 80°C를 필요로 한다. 이러한 무전극 발광 램프의 발광특징은 점등을 위한 예열 지연이 없고, 100,000 시간 이상의 수명 및 넓은 전력 대역에서의 상대적으로 간편한 배선을 갖추고 있다[10].

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. 실험장치 및 방법

2.1 환형무전극 램프의 등가회로

그림 1은 이러한 조건에 의한 환형 무전극 램프의 등가회로를 나타내는 것으로서, 환형 무전극 램프의 점등회로는 유도결합형 플라즈마의 원리에 의해, 안테나 역할을 하는 페라이트 코일의 인덕턴스와 플라즈마가 결합하는 변압기 원리를 적용하여 설명 할 수 있다. 유도코일에 RF 고전압을 인가하는 1차측은 환형 무전극 램프 내부의 안테나에 해당되고, 유도 결합되는 2차측은 플라즈마 여기를 위한 방전관을 의미한다. 1차측 유도코일 안테나부와 2차측 플라즈마 영역의 상호 관계를 변압기의 모델로 해석하기 위해, 플라즈마 영역을 단순화 시킬 필요가 있다. 단순화를 위한 플라즈마 영역의 조건은 페라이트 안테나의 자계 분포에 의한 플라즈마 존재와 2차측의 플라즈마 영역을 권선수가 1회인 유도코일 및 투자율, 전도도, 유전율 값의 선형성이다. 이러한 조건은 방전관의 형태와 크기에 의한 상호인덕턴스(Mutual Inductance), 결합계수(Coupling Coefficient) 및 부하의 임피던스 값을 구할 수 있는 구할 수 있는 근거가 된다[11-13].

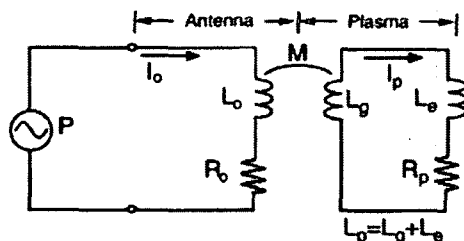


그림 1. 환형 무전극 형광램프의 등가회로

Fig 1. Equivalent circuit of Ring-shaped electrodeless fluorescent lamp

환형 무전극 램프의 경우 2차측 램프의 플라즈마 특성으로 인해, 플라즈마 저항과 인덕턴스 성분이 시간에 의해 변화한다. 이러한 변화는 1차측에 유도성을 발생하여 실제 흡수하는 전력과 공급하는 전력에 변화를 주게 된다. L_0 와 반응하는 플라즈마 인덕턴스는 램프 체적의 기하학적 모양에 의한 L_g 와 플라즈마 진동에 의한 L_e 로 구분되어 질 수 있고, 이들의 합으로써 플라즈마 인덕턴스가 L_p 로 정의 된다. R_0 는 도선의 저항과 손실성분을 표시한 것이고, R_p 는 플라즈마 저항성을 나타낸 것이다. I_p 는 상호인덕턴스 M에 의한 유도전류를 나타낸 것으로서, 플라즈마의 선형성을 조건으로 하여, 1차측과 2차측의 등가회로를 키르히호프의 법칙 KVL과 KCL로 적용하면 식 (1) 및 (2)

$$V_0 = I_0 R_0 + j\omega L_0 I_0 + j\omega M I_p \quad (1)$$

$$0 = I_p R_p + j\omega L_p I_p + j\omega M I_0 \quad (2)$$

를 얻는다. 이것은 인버터에서 출력된 전압, 전류에 대한 임피던스를 나타내는 것으로서, 환형 무전극 램프는 일반적인 형광등 안정기의 스위칭 주파수보다 100배 이상으로 높고, 방전 전후의 플라즈마 특성에 의한 임피던스 값의 변화가 크므로, 1차측과 2차측을 정합하는 임피던스 정합회로 필터의 구현이 중요하다는 것을 알 수 있다 [14].

식 (1)과 (2)의 환형 무전극 램프의 등가회로는 플라즈마의 선형성을 조건으로 하였으나, 근본적으로 외부 전력에 대해 플라즈마는 불안정한 특성을 보이고 있다. 그러므로 환형 무전극 램프는 변압기 이론을 통한 1차측 유도코일부와 2차측 플라즈마 영역의 결합효율을 높이는 것이 중요하다. 환형 무전극 램프의 결합효율을 높이는 방법에는 1) 결합계수 k를 증가, 2) 상호인덕턴스 M을 증가, 3) 무부하 상태에서 1차측 유도코일의 Q-factor 증가, 4) Arc-factor가 최대가 되는 주파수를 사용하는 방법이 있다 [15].

2.2 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 가스 및 유리에 대해서는 고려하지 않고 시뮬레이션을 시행하였다.

2.3 광학적 특성

환형 무전극 형광램프의 기하학적 정보는 다음과 같다. 길

이는 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.

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°C, 250kHz, 10 m/T)						
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

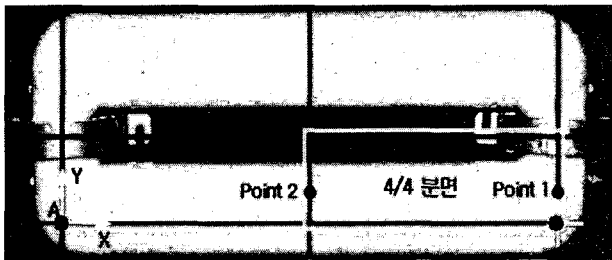


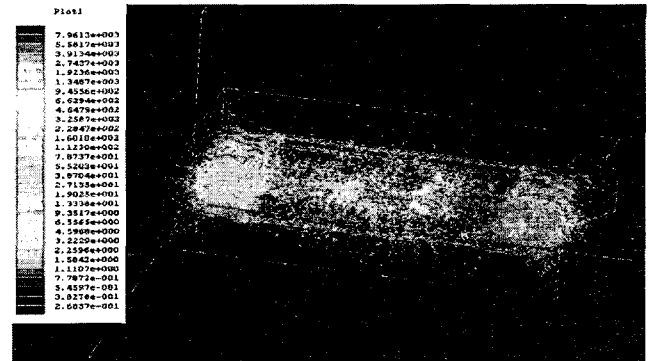
그림 2. 광학적 특성 측정을 위한 환형 무전극 형광램프 그림
Fig 2. An outline Ring-shaped electrodeless fluorescent lamp for Optical Characteristics measurement

3. 결과 및 고찰

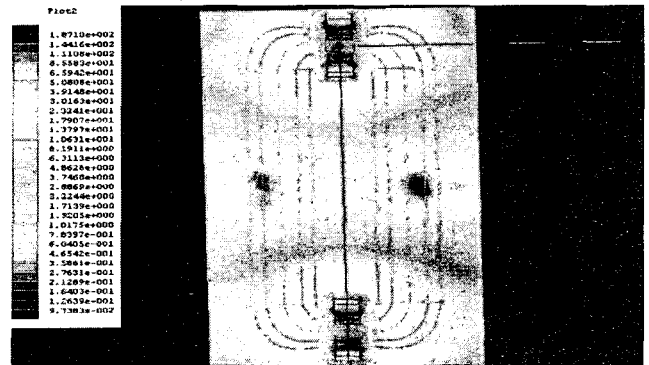
3.1 자계 분포 해석

그림 3(a)는 OSRAM ENDURA 150 W 환형 무전극 램프를 기준으로 설계한 램프의 자계 분포를 나타내고 있다. 코일은 페라이트 코어에 권선되었으며, 전류가 흐르면 Mn-Zn 페라이트 자성체 주위에 자계가 형성된다. 형성된 자속의 변화는 방위방향의 자계를 코일 주위에 형성하게 하고, 벌브 안에 있는 여러 가지 혼합가스에 영향을 주어 플라즈마가 형성되어 발광하게 만든다. 그림 3(b)는 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 페라

이트 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.



(a) 3-D 전체 자속밀도 분포
(a) 3-D Total magnetic flux density



(b) 2-D 전체 자속밀도 분포
(b) 2-D Total magnetic flux density

그림 3. 환형 무전극 형광램프의 자속밀도
Fig. 3. Flux density of Ring-shaped electrodeless fluorescent lamp

그림 4는 입력된 재질을 바탕으로 Mn-Zn 페라이트와 코일 주위를 세밀히 관찰하기 위하여 보다 측면에서 요소 분할한 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 최소 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 [16].

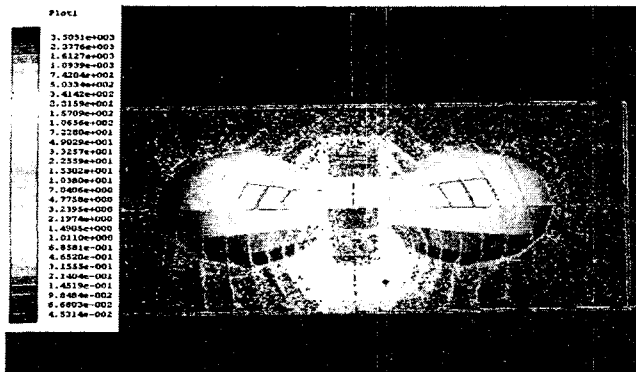


그림 4. 페라이트 코어 주변의 자속밀도 분포
 Fig. 4. Distribution of magnetic flux density around ferrite core.

그림 5는 페라이트 코어 코일에 흐르는 0.7A의 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 6은 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, 결정구조와 조성입자에 미치는 영향이 자로 길이에 따라 반비례 관계라 사료된다. 전체코일의 권선에 의한 자속밀도변화는 코일 굵기 변화에 대해 미미하나, 단일코일은 굵기에 의한 코일표면에 위치한 자속밀도변화가 민감하므로, 시뮬레이션 과정에서 실제 코일 굵기 0.8 [mm]을 기준으로 시뮬레이션 하여, 그림 5의 페라이트 코일의 자속밀도와 페라이트 표면의 자속밀도 최대값의 수치를 비교한 결과, 페라이트 코일에서의 값이 더 크다는 것을 알 수 있었다.

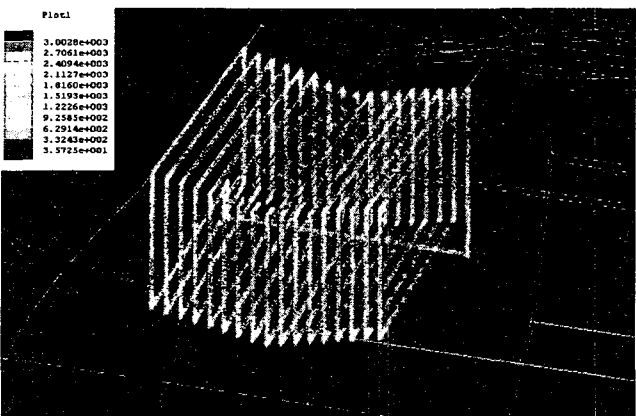


그림 5. 페라이트 코일에 형성된 자속 밀도
 Fig. 5. Distribution of electromagnetic field formed ferrite core.

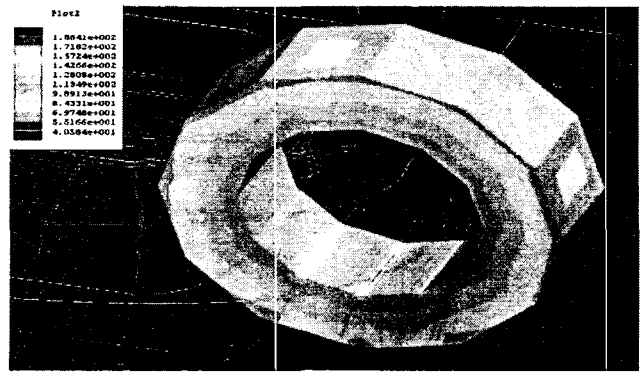


그림 6. 페라이트에 형성된 자속 밀도
 Fig. 6. Distribution of electromagnetic field formed ferrite core.

그림 7은 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 관찰하였다. 0 [mm]와 20 [mm] 근처에서는 자계강도가 68 [AT/m] 정도로 약하게 분포하고, 페라이트 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 입력 전류의 변화에 따라 30 [AT/m] 정도로 균일하게 증가함을 알 수 있다.

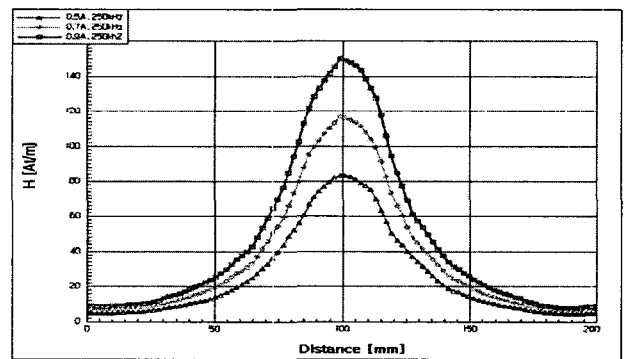
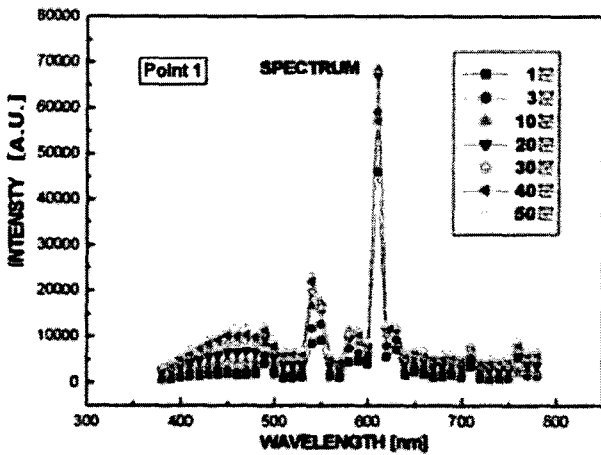


그림 7. 입력전류에 따른 자계의 세기
 Fig 7. Magnetic field strength by input current

3.2 환형 무전극 형광램프의 광학적 특성

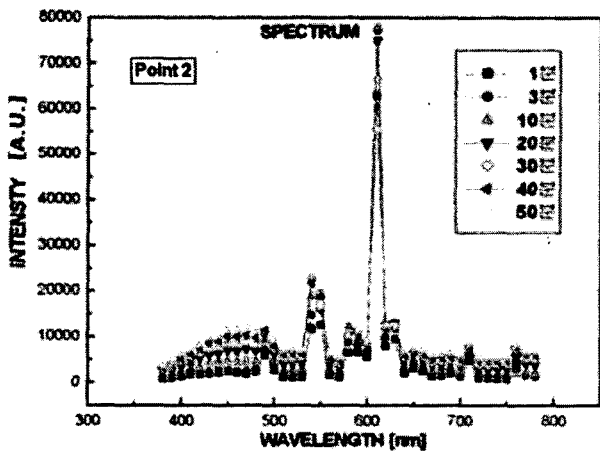
그림 8은 페라이트 코어 부근인 Point 1과 벌브 중앙인 Point 2에서 시간 변화에 의한 스펙트럼 세기분포를 비교한 것이다. 파장의 스펙트럼 분포 모양은 측정 위치에 관계없이 480 [nm], 540 [nm], 610 [nm]에서 피크를 보이고, 최대 세기를 나타내는 파장은 610 [nm]이다. 610 [nm]인 최대 파장의 세기를 기준으로, 시간변화에 의한 파장의 세기 분포를 비교하면, 시간이 10분 경과한 후에 최대 파장의 피크를 나타내고 있으며, 시간경과에 따라 파장의 세기는 점점 감소하다가 50

분일 때 Point 1, Point 2 위치에 관계없이 55000 [A.U.]의 파장의 세기를 나타내고 있다. 최대 파장의 피크 점을 제외한 파장의 세기분포는 시간변화에 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 그림 3의 플라즈마 유도결합을 위한 자계 분포는 벌브 중앙에서 6.0×10^{-1} [AT/m] 값을 나타내면서 페라이트 코어 부근 보다 약한 값을 나타내었지만, 그림 8의 벌브 중앙인 Point 2에서 파장의 세기분포가 페라이트 코어 부근인 Point 1보다 더 높은 파장의 세기를 나타내었다. 이와 같은 결과는 발광의 메커니즘이 유도결합에 필요한 자계강도의 영향보다는 전자생성을 위한 공간에 더 영향을 받기 때문이라 사료된다 [16].



(a) Point 1 에서 스펙트럼 세기분포

(a) Distribution of spectrum intensity at point 1



(b) Point 2 에서 스펙트럼 세기분포

(b) Distribution of spectrum intensity at point 2

그림 8. Point 1, Point 2 위치에서 시간 변화에 의한 스펙트럼 세기분포

Fig. 8. Distribution of spectrum intensity according to time at Point 1, Point 2

그림 9와 10은 시간 변화에 의한 휘도 특성과 온도 특성을

나타내는 것이다. 그림 8의 결과와 같이 벌브 중앙인 Point 2에서 온도특성과 휘도특성이 우수함을 알 수 있고, 휘도특성과 온도특성은 20분 이상 경과한 후부터 포화특성을 보이고 있다. 온도특성과 휘도특성의 관계는 발광특성을 위한 아말감 온도가 $65^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ 이기 때문에, Point 2의 경우 발광을 위한 온도 특성이 더 우수하여, 휘도특성과 파장의 분포세기가 더 우수함을 알 수 있다 [10]

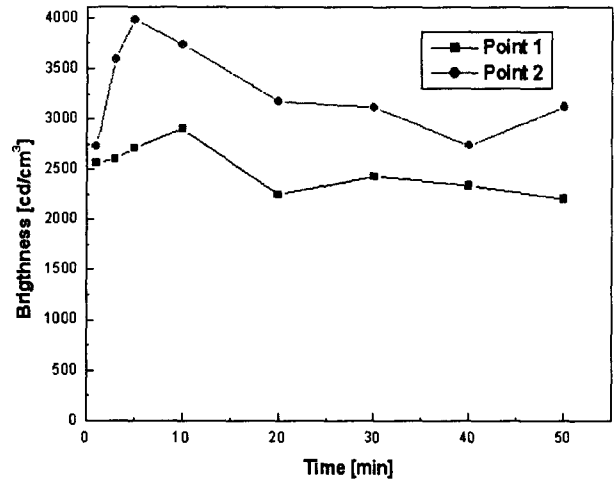


그림 9. Point 1, Point 2 위치에서 시간 변화에 의한 휘도 분포
Fig. 9. Distribution of brightness at position Point 1, Point 2

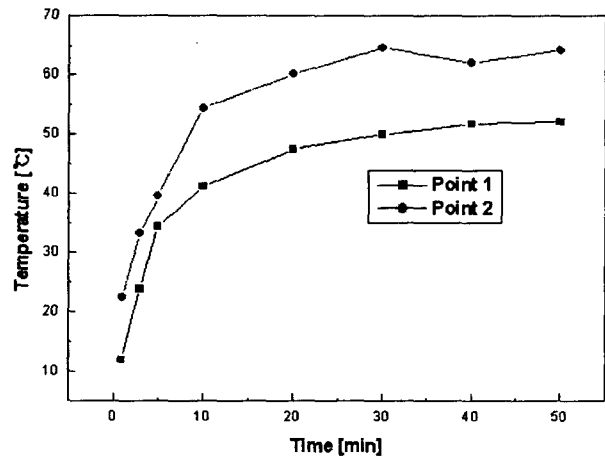


그림 10. Point 1, Point 2에서 시간 변화에 의한 온도 분포
Fig. 10. Distribution of temperature according to time at position Point 1, Point 2

4. 결 론

본 연구의 목적은 환경 무전극 형광램프를 최적으로 설계하기 위해서, 페라이트 코일의 자계 분포와 램프의 광학적 특성의 관계를 연구한 것이다. 전자성 페라이트 시료 A를 벌브

에 장착하여, 자계 분포와 램프 위치에 따라 변하는 광학적 특성을 비교 연구한 것이다. 실험 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 페라이트 코일 주위에 균일하게 자계가 형성되고, 자속밀도 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 부근 보다 약한 값을 나타내었지만, 휘도특성과 온도특성의 광학적 특성이 우수하였다.
- 4) 벌브 중앙인 Point 2가 Point 1보다 광학적 특성이 우수한 이유는 아말감 여기를 위한 온도와 전자생성을 위한 공간 특성이라 사료된다.
- 5) 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.
- 6) 파장의 스펙트럼 분포 모양은 측정 위치에 관계없이 480 [nm], 540 [nm], 610 [nm]에서 피크를 보이고, 최대 세기를 나타내는 파장은 610 [nm]이며, 파장의 세기는 Point 1과 Point 2에서 동일하게 55000 [A.U.]이다.
- 7) 파장의 스펙트럼 분포는 시간이 10분 경과한 후에 최대 파장의 피크를 나타내고 있으며, 시간경과에 따라 파장의 세기는 점점 감소하나, 최대 파장의 피크 점을 제외한 파장의 세기분포는 시간변화에 선형적으로 증가한다.
- 8) 환형 무전극 형광램프는 강한 자계가 방사되어 나오는 페라이트 코일 부근에서 광학적 특성이 클 것으로 생각되지만, 위치에 따른 온도와 휘도 및 파장의 분포세기를 비교한 결과, Point 1의 벌브 굴곡의 협소한 공간과 강한 전자기파로 인한 과잉에너지로 인해 전자생성이 원활하지 않아, 벌브의 중앙 부근에서 광학적 특성이 높다는 것을 확인하였고, 자계 분포특성과 광학적 특성은 비선형 관계임을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성지원사업(I-2004-0-074-0-00)에 의해 작성되었습니다.

참 고 문 헌

[1] Brian cook, "New developments and future trends in high-efficiency lighting", The International Journal of

Engineering Education, Vol. 9, pp. 207-217, 2000.

[2] V.A. Godyak, "Bright idea : Radio-Frequency Light Sources", IEEE Industry Appl. Magazine, pp42-49, 2002.

[3] G. G Lister, J. J Curry, J. E Lawler, "Power balance in highly loaded fluorescent lamps", J. Phys. D Appl. Phys. Vol. 37, pp. 3099 - 3106, 2004

[4] Y. Aiura, J. E Lawler, "A study of radial cataphoresis and ion densities in high power density Hg - Ar discharges", J. Phys. D Appl. Phys. Vol. 37, pp. 3093 - 3098, 2004.

[5] Wharmby, D. O., "Electrodeless lamps for lighting: a review", Science Measurement and Technology, IEE Proceedings A, Vol. 140, pp.465-473, 1993.

[6] V. A Godyak, K. Ohata., "Radio Frequency Light Sources", Industry Applications Conference, Conference Record of the 2002 IEEE, Vol. 5, pp. 3281-3288, 2000.

[7] 구선근, 박기준, 추장희, "전구내 NaI 첨가에 의한 무전극 황전등의 특성 변화", KIEE, Vol.48C, n.11, pp. 724-729, 1999

[8] 추장희, 구선근, 박기준, 이영우, "무전극 황망전등에서 고압 이원자 황(S₂)의 자체 역전 효과", KIEE11, Vol.49C, n.11, pp. 609-615, 2000

[9] 정수현, 이종섭, 홍종국, 채홍인, 윤만순, 임기조, "CCFL 구동용 압전 변압기의 특성", KIEE, Vol.49C, n.5, pp. 259-264, 2000

[10] 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

[11] R. B. Piejak, V. A. Godyak, B. M. Alexandrovich, "A simple analysis of an inductive RF discharge", Plasma Sources Science Technology, Vol. 1, pp.179-186, 1992.

[12] J. T. Gudmundsson, M. A. Lieberman, "Magnetic induction and plasma impedance in a cylindrical inductive discharge", Plasma Sources Science Technology, Vol. 6, pp.540-550, 1997.

[13] I. M. El-Fayoumi, I. R. Jones, "The electromagnetic basis of the transformer model for an inductively coupled RF plasma source", Plasma Sources Science Technology, Vol. 7, pp.179-185, 1998.

[14] Eugen Statnic and Valentin Tanach, "A new approach to the evaluation of the discharge parameters of the electrodeless fluorescent lamps", Plasma Sources Science and Technolgy. 13, pp. 515-521, 2004.

[15] J. R. Coaton and A.M. Marsden, "Lamp and Lighting", New York: John Wiley & Sons, pp216-226, 1997.

[16] 이진우, "低壓放電램프의 電氣的 特性 모델링", 서울대 박사학위 논문, 1990.

저 자 소 개



조 주 응(趙 胄 雄)

1975년 5월 27일생. 2002년 원광대학교 자연대 물리학과 졸업. 2005년 원광대학교 대학원 전자재료공학과 졸업 (석사). 2005년~현재 (주)에스이플라즈마 부설연구소.

Tel : 031-420-4777, Fax : 031-420-4779
E-mail : joju@seplasma.com



김 용 갑(金 鎬 甲)

1988년 아주대학교 전자공학과 공학사 졸업. 1993년 알라버머 주립대학교 공학석사 졸업. 2001년 노스캐롤라이나 주립대학교 공학박사 졸업. 2003년~현재 원광대학교 전기전자및정보공학부 교수.

Tel : 063-850-6695, Fax : 063-000-000
E-mail : ykim@wonkwang.ac.kr



이 중 찬(李 鐘 爻)

1972년 8월 13일생. 1997년 원광대학교 공대 전자재료공학과 졸업 (학사). 1997년 동 대학원 전자재료공학과 졸업 (석사). 2003년 동 대학원 전자재료공학과 졸업 (박사). 2003년~2004년 UTD Post-Doc.. 2004년~2005년 Ehime Univ. Post-Doc.. 2005년~현재 금호전기(주) 부설연구소 선임연구원.

Tel : 031-329-7740, Fax : 031-329-7705
E-mail : chaos@kumho.khe.co.kr



박 대 희(朴 大 熙)

1954년 11월 10일생. 1979년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 오사카대학 대학원 졸업(공학박사). 1979년~1991년 LG전선연구소 선임연구원. 1999년~2000년 미국 미시시피 주립대학교 교환교수. 1992년~현재 원광대학교 전기전자및정보공학부 교수. 2004년~현재 원광대학교 전기응용신기술연구센터장.

Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890
E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr



최 용 성(崔 龍 成)

1967년 11월 14일생. 1991년 동아대학교 전기공학과 졸업 (학사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업 (공학박사). 1999년~2001년 JAIST Post-Doc.. 2001년~2003년 Osaka Univ. Post-Doc.. 2002년~현재 원광대학교 교수.

Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890
E-mail : biochips@wonkwang.ac.kr