

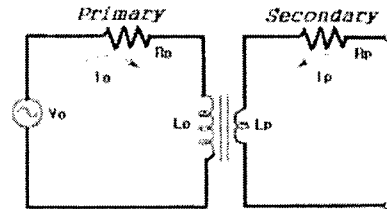
무전극 형광램프의 페라이트 위치변화에 따른 전기적, 광학적 특성

이주호, 양종경, 이종찬\*, 박대희  
원광대학교, 금호전기(주)\*

Electric & Optical Characteristics of Electrodeless Fluorescent Lamp  
by Changing Ferrite Position

Lee Joo Ho, Yang Jong Kyung, Lee Jong Chan\*, Park Dae Hee  
Wonkwang University, Kumho Electric, Inc.\*

**Abstract** - The RF inductive discharge of inductively couples plasma (ICP) 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. Although most practical ICPs operate at 13.56 [MHz] and 2.65 [MHz], the trend to reduce the operating frequency is clearly recognizable from recent ICP developments. In and electrodeless fluorescent lamp, the use of a lower operating frequency simplifies and reduces cost of RF matching systems and RF generators and can eliminate capacitive coupling between the inductor coil and plasma, which could be a strong factor in wall erosion and plasma contamination. In this study, electric and optical characteristics of electrodeless fluorescent lamp by changing ferrite position is discussed.



<그림 1> 무전극 램프의 등가회로

1. 서 론

최근 고도의 경제성장과 함께 삶의 질이 향상되면서 에너지 효율이 좋고, 양질의 빛을 내는 새로운 광원기술들이 계속해서 발전하고 있다. 또한, 세계적으로 환경문제에 대한 관심이 부각되면서 친환경의 요구와 신뢰성을 갖춘 고효율 램프들이 선보이고 있다. 이러한 추세에 따라 장수명, 고효율의 특징을 갖는 무전극 램프에 대한 관심이 증가하고 있고, 많은 연구가 진행되고 있다.[1]

유도 결합형 플라즈마는 고주파 발생원과 플라즈마가 안테나 코일을 통해 전자적으로 결합하여 발생한다. 즉, 유도 회로에 고주파 전류를 흐르게 하면, 이 전류에 의해 발생하는 자기장이 플라즈마 발생 영역에 침입하고 패러데이의 법칙에 의해 전기장이 발생하고, 이 전기장에 의해 자유 전자가 가속되어 플라즈마가 발생하게 된다. 그리고, 유도 결합형 플라즈마는 (inductively couples plasma, ICP)로서 수[m Torr]의 낮은 기체 압력에서도 높은 밀도의 플라즈마를 얻을 수 있는 특징을 가지고 있어 무전극 램프에 많이 적용되고 있다.

유도결합의 원리에 의해서 에너지 전달이 이루어지는 무전극 형광램프에서 1차측 유도코일의 무부하 특성이 매우 중요하다. 램프가 발광이 된 후에는 램프내부의 부하 특성이 다시 1차측 유도코일에 영향을 주어 코일의 임피던스 및 인덕턴스 성분을 변화시키고 전원장치에서 공급되는 전력의 변화를 야기한다. 결국 최대 전력전송을 위한 임피던스 매칭이 변화하게 되어 램프의 점등이 어렵게 된다. 따라서 주어진 램프의 형상과 봉입가스의 종류 및 압력에 대한 2차측의 부성저항특성인, 플라즈마 임피던스와 플라즈마 인덕턴스 특성의 분석은 매우 중요하다. 또한 램프의 점등이 이루어지면서 램프 내부의 온도가 상승하게 되고 내부 코어재의 온도 특성이 변하면서 자성특성 역시 변화되게 되고, 결국 1차측 유도코일 특성이 변하게 되므로 이러한 특성을 직접 측정을 통하여 분석하기는 매우 어려운 실정이다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

본 실험에서 무전극 램프의 광학적, 전기적 특성을 알아보기 위하여 <그림 2>과 같이 안테나에서 페라이트의 위치를 변화시켜가며 실험을 하였다. 페라이트를 가장 낮추었을 때부터 1cm씩 높이를 증가시켜 가며 측정하였다. 페라이트는 Mn-Zn를 사용하였으며, 코일은 가운데 집중형으로 감았다. 실험에 사용된 벌브는 Ar : Kr = 75 : 25의 비율로 가스를 0.4 Torr 주입하였고, 수은을 직접 사용하기보다는 아말감을 사용하여 수은의 양을 최소한으로 하여 환경문제에 대비를 하였다. RF Power는 RF Generator와 Amplifier로 구성되고, Matching network 는 2개의 가변 캐패시터로 구성된다. 전압 프로브와 전류 프로브를 사용하여 V 와 I를 측정하고 오실로스코프로 기록한다. 적분기를 사용하여 전광속 및 광속 유지율을 측정하였다.

변압기원리를 이용한 무전극 램프의 등가회로는 램프 벌브의 가스는 저항성분, 코일은 인덕턴스 그리고 플라즈마 상태를 저항성분으로 생각했을 때 <그림 1>과 같이 1차측과 2차측 으로 나누어 해석 할 수 있다.

1차측과 2차측의 등가회로를 키르히호프의 법칙 KVL과 KCL로 적용하면, 그림 1의 등가회로 방정식은 식 (1), 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$V_0 = I_0 R_0 + iwL_0 I_0 + iwM I_p \quad (1)$$

$$0 = I_p R_p + iwL_p I_p + iwM I_0 \quad (2)$$

식 (2)로부터

$$0 = (R_p + jwL_p) I_p + jwM I_0$$

$$\therefore I_p = -\frac{iwM}{R_p + iwL_p} I_0$$

따라서 전류  $I_0$ 는 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

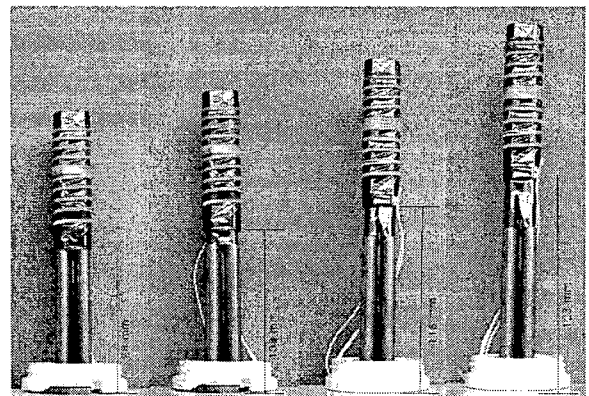
$$V_0 = (R_0 + jwL_0 + \frac{w^2 M^2}{R_p + jwL_p}) I_0$$

$$\therefore I_0 = \frac{1}{(R_0 + jwL_0 + \frac{w^2 M^2}{R_p + jwL_p})} V_0 \quad (3)$$

$(wL_p)^2 \gg R_p^2$  을 사용하여 식 (3)에서 1차측의 임피던스 성분을 전개하면, 식 (4)와 같이 된다.

$$\therefore Z_0 = (R_0 + \frac{M^2 R_p}{L_p^2}) + jw(L_0 - \frac{M^2}{L_p}) \quad (4)$$

위 식으로 1차측과 2차측 코일의 주파수 특성을 계산할 수 있다.[2][3][4]



<그림 2> 안테나에서의 페라이트의 위치 변화

## 2.2 실험 결과

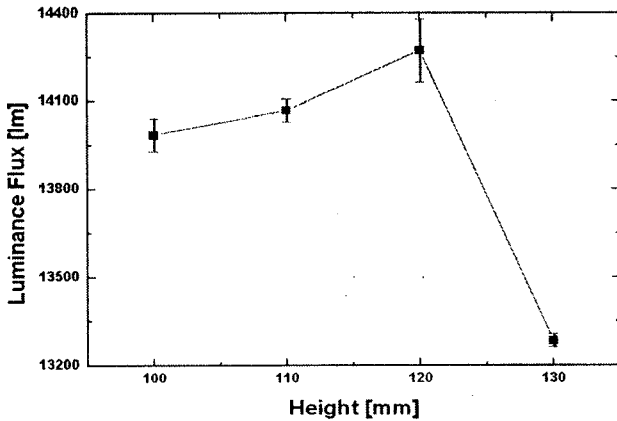
페라이트의 위치를 변화시켜 가며 측정 한 값들을 <표 1.>에 나타내었다. 각각의 측정값들은 램프를 점등한 후 1 시간의 Asing 을 거친 후 안정화 되었을 때 측정 한 값 들이다. 임피던스, R, X, L 값들은 다음의 식을 이용하여 계산한 값 이다. 램프의 효율은 측정된 유효전력의 값으로 나눈 효율이다.

$$\begin{aligned} \text{임피던스, } |Z| &= \sqrt{R^2 + X^2} \\ \text{레지스턴스, } R &= Z \cdot \cos\theta \\ \text{리액턴스, } X &= Z \cdot \sin\theta \\ \text{인덕턴스, } L &= \frac{X}{2\pi f} \end{aligned}$$

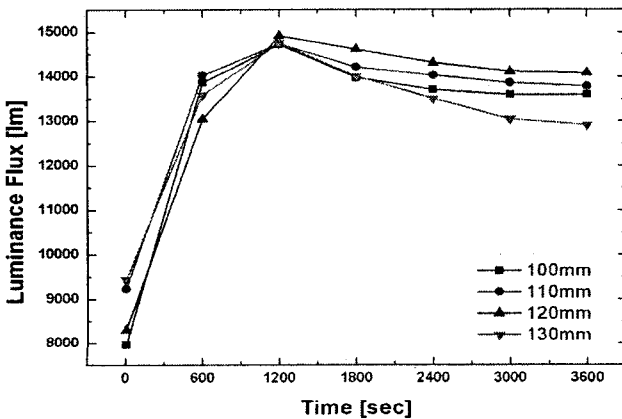
	100mm	110mm	120mm	130mm
출력전압(Vrms)	202	201	204	205
출력전류(Irms)	1.82	1.81	1.82	2.14
피상전력(Prms)	298	296	301	337
출력주파수(MHz)	2.651	2.648	2.651	2.651
유효전력(W)	201	201	202	201
무효전력(VAR)	310	305	311	391
위상각(θ)	56.98	56.61	56.99	62.80
광속(lm)	11114.7	11060.3	11322.3	9883.8
효율(lm/W)	55.29	55.03	56.05	49.17
임피던스 Z	110.99	111.05	112.09	95.79
R(Resistance)	60.48	61.11	61.06	43.78
X(Reactance)	93.06	92.72	93.99	85.19
L[uH]	5.59	5.57	5.64	5.11

<표 1> 페라이트 위치 변화에 따른 측정값

<그림 3, 4>는 안테나에서 페라이트의 위치를 변화 시켰을 때의 전광속과 광속 유지율을 측정 한 것 이다. 실험의 정확성을 높이기 위해서 여러 차례 측정 한 후에 그 평균값을 대입하였다. 그래프에서 보면 알 수 있듯이 페라이트의 위치가 높아질수록 전광속도 증가하여 높이 120 [mm]에서 11322.3 [lm]의 광속을 나타내었다. 하지만 가장 높이 올렸을 때 높이 130 [mm]에서의 전광속은 9883.8 [lm]을 나타내어 오히려 전광속이 떨어지는 결과가 나타났다. 광속 유지율도 페라이트의 위치가 120 [mm]일 때 가장 높았고, 가장 높이 위치한 130 [mm]에서 가장 낮은 유지율을 보였다.

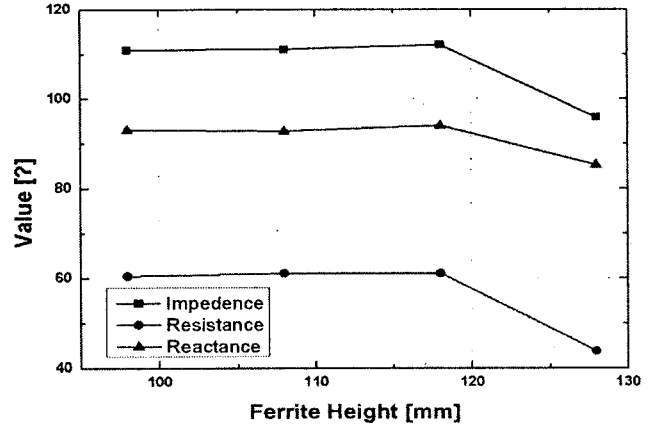


<그림 3> 페라이트 위치 변화에 따른 전광속



<그림 4> 페라이트 위치 변화에 따른 광속 유지율

전기적인 특성을 살펴보면 페라이트의 위치변화에 따른 임피던스, R, X의 그래프를 <그림 5>에 나타내었다. 위치를 100[mm]에서 120[mm]로 변화 시켰을 때는 값에서 큰 차이를 보이지 않았다. 가장 높은 값이 임피던스 [112.09 Ω], R [61.11 Ω], X [93.99 Ω] 으로 나머지 값들도 오차범위 안에 들어오는 값 들이었다. 하지만, 페라이트를 가장 높이 올렸을 때의 값을 살펴보면 기존의 계산치와는 달리 많이 감소한 것을 그래프로 확인 할 수 있다.



<그림 5> 페라이트 위치변화에 따른 임피던스, R, X

## 3. 결 론

본 논문은 안테나에서 페라이트의 위치를 변화 시켰을 때의 전기적 및 광학적 특성을 살펴보았다.

먼저 광학적인 특성을 살펴보면, 페라이트의 위치가 120[mm]에 위치할 때 가장 높은 전광속 11322.3 [lm]을 얻었고, 광속 유지율도 가장 좋았다. 하지만 위치를 더 높였을 때는 전광속 9883.8[lm]을 얻어 가장 낮은 값을 얻었고, 광속 유지율도 가장 안 좋았다. 전기적인 특징으로는 120[mm]이하에서는 임피던스, X, R의 값들이 큰 차이를 보이지 않았지만 130[mm]에서는 눈에 띄게 줄어든 것을 확인 할 수 있었다.

이것은 페라이트의 위치가 높아질수록 그만큼 페라이트 안쪽에 빈 공간이 많이 생겨 열 방출이 어려워 내부의 온도도 상승하고, 본 논문에는 언급하지 않았지만 페라이트 주위로 자계의 생성이 페라이트가 가장 높이 위치했을 때 가장 나쁜 것을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 이러한 열 방출의 어려움과 자계의 생성으로 인하여 램프 내부에 플라즈마의 특성이 달라져 이러한 결과가 나온 것으로 사료된다.

## 감사의 글

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

이 논문은 에너지 관리 공단에서 시행한 "200W급 전구형 무전극 형광램프의 가스방전/안테나 구조설계 기술" 사업의 지원을 받아 이루어진 논문입니다.

## [참 고 문 헌]

- [1] F. C. Snelling, "Soft Ferrites Properties and Applications", Butterworth & Co. Ltd. 1988
- [2] D. O. Wharmby, "Electrodeless lamps for lighting: a review", Science Measurement and Technology, IEE Proceedings A, Vol. 140, pp.465-47 3, 1993
- [3] I. M. El-Fayoumi and 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.
- [4] Oleg A Popov, Robert Chandler, "Characteristics of Ferrite-free electrodeless fluorescent lamp operated at frequencies of 1-15MHz", Plasma Source Science Technology, Vol. 9, pp227-237, 2000.
- [5] Lieberman M.A. and Lichtenberg A.J. "Principles of Plasma Discharges and Material Processing", New York: Wiley, 1994
- [6] D.O. Wharmby, "Electrodeless lamps for lighting", IEE Proceedings A, Vol.140 Issue: 6, Nov, p.465, 1993.
- [7] Ostrikov K, Tsakadze E, Ning J, Tsakadze Z, Long J D, Storer R and Xu S Y, "Dynamics of Mode Transitions in Inductively Coupled Plasmas", IEEE Trans. Plasma Sci. 30, p128-129, 2002
- [8] Razzak M A, Takamura S and Uesugi Y, "Dynamics of E-H Mode Transition in High Pressure RF Inductively Coupled Plasmas", IEEE Trans. Plasma Sci. 33 p284-285, 2005