

무전극 형광램프의 주파수 변화에 따른 온도 및 광속 특성

이주호, 최기승, 김남군, 박노준, 박대희
원광대학교

Properties of Temperature and Brightness Applied on Frequency
in Electrodeless Fluorescent Lamp

Lee Joo Ho, Choi Gi Seung, Kim Nam Goon, Park Noh Joon, Park Dae Hee
Wonkwang University

Abstract - In recent, it became necessary to develop the technology about electrodeless fluorescent lamp according to demand of the electrodeless fluorescent lamp system that used higher efficiency and advantage of long lifetime. Inductively coupled plasma is commonly used for electrodeless lamp due to its ease of plasma generation. An electric power efficiency of electrodeless fluorescent lamp has big relative property of gas in lamp, gas pressure, lamp formation, ingredients of magnetic substance and shape and action frequency etc. We used magnetic substance that open self-examination material of electrodeless fluorescent lamp antenna. Ferrite that is used in this experiment was Mn-Zn type. We have examined temperature and flux characteristic by frequency. Considering using frequency 2.65[MHz], Frequency was changed from 2.05[MHz] to 3.05[MHz] to recognize flux and temperature change of lamp. I used LMS(Lighting Measurement System) to measure flux and IR Camera to measure temperature of lamp.

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

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

$$0 = I_p R_p + iwL_p I_p + iwMI_0 \quad (2)$$

식 (2)로부터

$$0 = (R_p + iwL_p)I_p + iwMI_0$$

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

따라서 전류 I_0 는 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$V_0 = (R_0 + iwL_0 + \frac{w^2 M^2}{R_p + iwL_p}) I_0$$

$$\therefore I_0 = \frac{1}{(R_0 + iwL_0 + \frac{w^2 M^2}{R_p + iwL_p})} V_0 \quad (3)$$

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

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

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

1. 서 론

일반적으로 널리 사용되고 있는 램프는 발광관 내부에 필라멘트나 전극이 있어서 전극의 산화나 증발로 인해 수명을 단축시키게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위한 무전극 램프가 1884년 Hittorf에 개발된 이후, 1891년 Nikola Tesla는 비교적 낮은 용량 결합형 RF주파수에 의한 방전 램프를 소개하였다. 1907년 P. C. Hewitt에 의해 오늘날의 플라즈마 반응으로의 원리인 ICP(Inductively Coupled Plasma)를 발견하였고, Bethenod와 Claude에 의하여 페라이트 코어를 적용한 ICP가 소개 되었다. 그 후, 1970년대 Anderson에 의해서 유도결합형 램프의 원리가 비로소 정착되었다. 무전극 형광램프는 1978년도에 개발되었으며 상용화는 필립스사의 QL Lamp의 시작으로 GE사의 General lamp 및 오스람사의 Endura lamp등 여러 선진국의 업체들에 의해서 점차 고출력 및 고효율이 이루어지고 있다. 이러한 무전극 형광램프의 우수성이 알려지면서 많은 국가들이 무전극 형광램프에 효율 및 성능 개선에도 많은 연구를 하고 있다. [1][2]

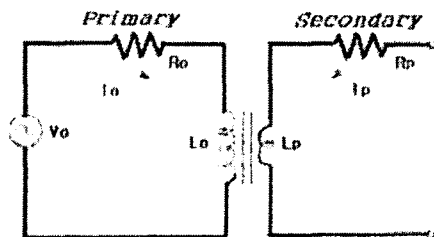
무전극 형광램프의 전력 효율은 램프 내의 가스 종류, 가스 압력, 램프 형성, 자성체 재료 및 형성 그리고 동작 주파수 등에 큰 의존성을 가진다.[1] 특히, 제한된 주파수에 서의 효율 향상을 위해서는 램프의 구조설계 분야도 큰 비중을 차지한다. 또 고주파 에너지를 공급하는 장치는 중앙부에 발생하는 공진 주파수를 전자기장을 이용하여 에너지를 공급하는데, 이때의 전기적인 변환 결합은 대단히 중요하며, 지금까지 이를 위한 많은 특허와 기술보고가 있으나 실용적으로 많은 해결해야 할 문제점들이 많다.

본 논문은 이러한 무전극 형광램프의 성능 및 효율을 향상시키기 위하여, 무전극 형광램프의 광속 및 온도의 주파수 변화에 대한 특성을 실험하였다.

2. 실험 방법

2.1 무전극 램프의 등가회로

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



<그림 1> 무전극 램프의 등가회로
Fig.1 Equivalent circuit of electrodeless lamp

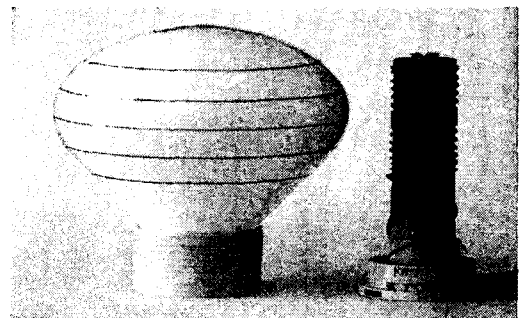
2.2 실험 방법

그림 2는 Philips의 QL Lamp 165[W] 840이며, 이것을 기준으로 기존 데이터의 확인과 더불어 다른 특성을 보이는지 확인하기 위하여 온도 및 광속 특성을 평가하였다.

자성체 페라이트의 재질은 투자율이 2000인 Mn-Zn을 사용하였다. Mn-Zn 주위를 14회 감겨 있는 코일의 재질은 구리로 하였다.[7]

상은 25℃에서 실험하였으며, 주파수 변화에 의한 특성을 알아보기 위하여 입력 주파수는 0.1[MHz] 간격으로 2.05~3.05[MHz]사이의 주파수를 입력 시켜 주었다.

램프의 특성은 시간이 지남에 따라 변화하기 때문에 램프를 동작 시킨 후 30여분 정도의 안정화 시간을 갖은 다음 열화상 카메라(IRI 1001E)를 사용하여 5번의 측정타임을 갖고 평균 온도를 측정하였다. 또한 적분구안도 실온과 맞춰 주기 위하여 온도계를 설치하여 밖의 온도와 맞춰주고, 적분구 시스템(LMS)를 이용하여 광속을 측정하였다.



<그림 2> QL Lamp 165W 840
Fig.2 QL Lamp 165W 840

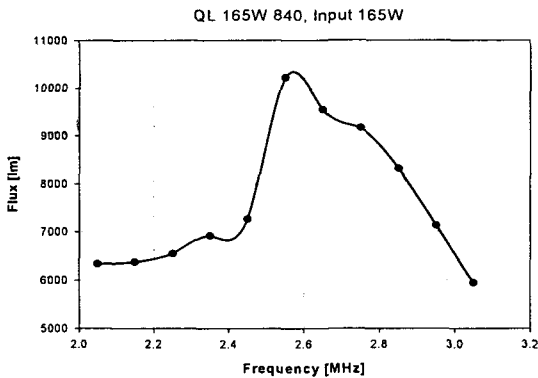
3. 결과 및 고찰

3.1 주파수변화에 따른 광속 특성

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 성분 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 부성저항 특성인 플라즈마 임피던스와 플라즈마 인덕턴스 특성의 분석은 매우 중요하다. 또한 램프의 점등이 이루어지면서 램프 내부의 온도가 상승하게 되고 내부 코어재의 온도 특성이 변하면서 자성특성 역시 변화하게 되고, 결국 1차측 유도코일 특성이 변하게 되므로 이러한 특성을 직접 측정을 통하여 분석하기는 매우 어려운 실정이다.[5][6]

하지만 본 논문에서 언급한 무전극 형광램프의 플라즈마 특성은 유도결합회로를 이용하여 등가회로로 나타낼 수가 있었고, 계산을 통해 대략적인 수치를 알 수가 있었다.

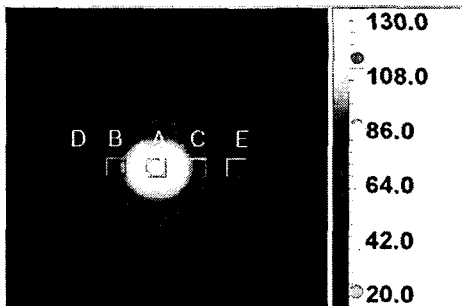
<그림 3>은 주파수 변화에 의한 광속의 특성을 살펴본 그래프이다. 그림에서와 같이 주파수를 0.1[MHz] 간격으로 변화 시켜 올려 줌에 따라 Flux가 상승함을 알 수 있었다. 하지만 사용주파수인 2.65[MHz]에서의 광속보다 그래프에서 보면 알 수 있듯이 2.55[MHz]에서의 광속이 더 높게 나왔다. 진구형 램프의 특성은 페라이트의 재질과 코일의 재질에 따라 공진 주파수가 달라 질 수 있기 때문에 이 실험에서 결과가 이렇게 나온 것도 코일의 재질이 달라졌기 때문에 이런 결과가 나왔다고 판단된다.



〈그림 3〉 주파수변화에 의한 광속의 변화
Fig.3 Comparison of Brightness by Frequency

3.2 주파수변화에 따른 온도 특성

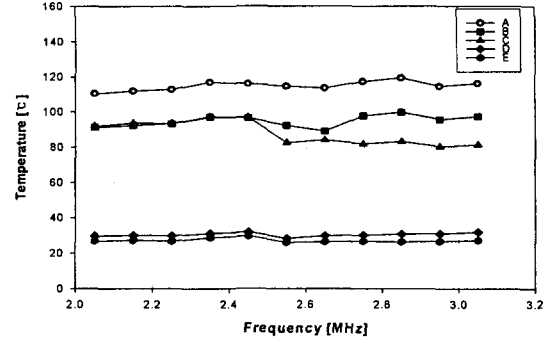
<그림 4>는 2.65[MHz]일 때 열화상 카메라(IR Camera)로 찍은 Snapshot이다. 포인트는 그림에서와 같이 5곳으로 가운데 부분이 Bulb 중앙으로 A~E이다. 각 포인트는 색에 따라 다르므로 대략적인 온도 값을 알 수 있다.



〈그림 4〉 열화상 카메라로 찍은 스냅 샷
Fig.4 Snapshot that be taken by IR Camera

<그림 5>는 주파수와 온도의 관계를 나타내는 그래프이다. 포인트에 따라 온도차이가 약 100°C정도 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 밸브 중앙의 온도는 110~120°C사이에서 변화를 하는데 주파수를 높여줌에 따라 크게 차이를 보이지는 않았다. 2.55[MHz]에서 약 114°C 정도의 온도 값을 보였지만 평균적인 온도 범위에 속하는 값으로 이 실험에서 주파수 변화에 의한 온도 특성은 크게 차이를 보이지 않는다는 것을 알 수 있었다.

QL 165W 840, Input 165W



〈그림 5〉 주파수변화에 의한 온도의 변화
Fig.5 Comparison of Temperature by Frequency

4. 결 론

본 논문은 무전극 형광램프의 주파수를 변화 시킴에 따라 광속 특성과 온도 특성을 측정 한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 주파수를 계속 높여준다고 광속 특성도 계속 높아지는 것이 아님을 알 수 있었다.
- 2) 사용 주파수인 2.65[MHz]에서 보다 2.55[MHz]에서 가장 높은 광속을 얻었다. 이는 사용한 코일의 재질과 가스 혼합비에 따라 공진 주파수가 변하였기 때문이라고 판단된다.
- 3) 주파수를 변화 시켜 줌에 따라 밸브 각 부분의 온도 변화는 크게 차이가 없으므로 온도 특성은 크게 차이가 없음을 알 수 있었다.

[감사의 글]

이 논문은 산업자문부에서 시행하는 대학 전력 연구센터 육성, 지원 사업(I-2004-0-074-0-00)에 의해 작성되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] V. A. Godyak, Ohate, "Radio Frequency Light Sources", Industry Application Conference, Conference Record of the 2002 IEEE, Vol. 5, pp3281-3288, 2000.
- [2] D. O. Wharmby, "Electrodeless lamps for lighting: a review", Science Measurement and Technology, IEE Proceedings A, Vol. 140, pp.465-473, 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] 김광수, "무전극 형광램프용 RF Plasma Source를 위한 안테나 설계와 구동특성", 원광대 석사학위논문, 2004.
- [6] 조주용, "완형 무전극 형광램프의 전자계분포 해석과 광학적 특성에 관한 연구", 원광대 석사학위논문, 2005.
- [7] H. Y. Lee, H. S. Kim, J. S. Huh, Y. W. Oh, "The Electromagnetic and Thermal Properties of the Mn-Zn Ferrite for the Power Line Communication", KIEE International Transactions on EA, Vol.2-C, pp.220-224, 2002.