

외부코일형 전자유도결합방전을 이용한 무전극 램프의 광출력 특성

김현관^o, 박재영, 송상빈, 여인선
전남대학교 공과대학 전기공학과

Light Output Characteristics of an Electrodeless Discharge Lamp Using H-Discharge of External Coil Configuration

Hyun-Gwan Kim^o, Jae-Young Gwark, Sang-Bin Song, In-Seon Yeo
Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University

<Abstract>

This paper investigates the light output characteristics of an electrodeless H-discharge lamp. The existing cylindrical fluorescent lamps were wound around with an induction coil of varying size, and were driven by RF power. The light output and the luminous efficacy were measured according to variations of the induction coil gap and the lamp power, respectively.

The experimental results show that the luminous efficacy of the lamp is as much as existing electrodeless lamps and the luminous efficacy of lamps are high between 10W and 20W. Theoretical analyses using computer simulation show that the circuit matching is easier in the external coil configuration than in the internal one, and that the current and the power distributions near the coil are slower in t

1. 서론

최근 기체방전을 이용한 방전램프의 연구 개발 동향은 에너지 소비 절감을 목표로 하는 에너지 절약형 램프의 개발에 있다. 저압 무전극 형광램프는 장수명, 고효율, 기존의 형광램프보다 램프의 크기를 줄일 수 있다는 점에서 최근 몇십년동안 많은 연구가 이루어졌다.

본 논문에서는 효율, 수명측면에서 다른 고주파 방전에 비해 우수한 특성을 가지는 전자유도결합방전(HI-방전)을 사용하여 직경 26mm와 28.3mm인 상용 형광램프에 유도회 결합방전을 적용했을 때의 광출력특성을 연구하였고, 특히 유도코일의 권선수 및 코일간격과 램프 출력이 따른 발광효율의 변화를 검토하고자 하였다.

2. 전자유도형 무전극 방전 램프의 방전 특성

2.1 전자밀도 분포

일단계 전리만을 가정한 전자화산 방정식은

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (rD_a \frac{dn_e}{dr}) + \nu_i n_e = 0 \tag{2-1}$$

전자 온도가 일정할때, ν_i 는 일정하고 윗식은 아래와 같은 해를 갖게 된다.

$$n_e(\bar{r}) = C_1 J_0(\beta \bar{r}) + C_2 Y_0(\beta \bar{r}) \tag{2-2}$$

$$\text{where } \bar{r} = r/R, \beta^2 = R^2 D_a / \nu_i$$

β 의 값은 아래의 식(2-3)에 의해 구해진다.

$$Y_0(\beta \bar{R}_1) J_0(\beta) - J_0(\beta \bar{R}_1) Y_0(\beta) = 0 \tag{2-3}$$

외부코일형에서의 경계조건은 아래의 식(2-4)와 같으며,

$$C_2 = 0, n_e(1) = 0 \text{ 이라면,}$$

$$J_0(\beta) = 0, \beta = 2.405 \tag{2-4}$$

내부코일형에서의 경계조건은 아래의 식과 같다.

$$n_e(\bar{R}_1) = n_e(1) = 0 \tag{2-5}$$

2.2 전류 및 전력밀도

반경 r인 곳에서 전류밀도(j(r))와 전력밀도(W(r))는 식(2-6), 식(2-7)과 같다.

$$j(r) = \text{mod}(\sigma(r)) E_0(r) \tag{2-6}$$

$$w(r) = \frac{1}{2} \text{Re}(\sigma(r)) E_0(r)^2 \tag{2-7}$$

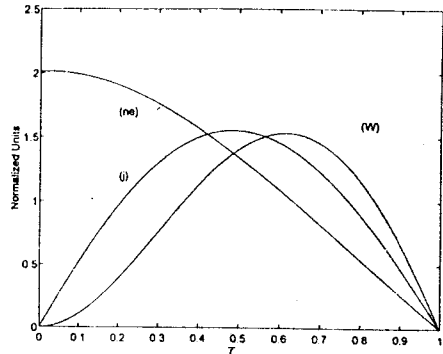


그림 2.1 내부코일형에서의 \bar{r} 에 따른 전류밀도, 전자밀도, 전력밀도

Fig. 2.1 Radial variation of electron density n_e , power density W and current density j versus \bar{r} , in a configuration internal coil.

여기서, $E_{\theta}(r) = |E_{\theta}(r)|$ (2-8)

방전관에서 총 전류밀도(J_{tot})와 전력밀도(W_{tot})는 아래의 식과 같다.

$$J_{tot} = L \text{ mod } \left(\int_{R_1}^{R_2} \sigma(r) E_{\theta}(r) dr \right) \quad (2-9)$$

$$W_{tot} = 2\pi L \int_{R_1}^{R_2} w(r)r dr \quad (2-10)$$

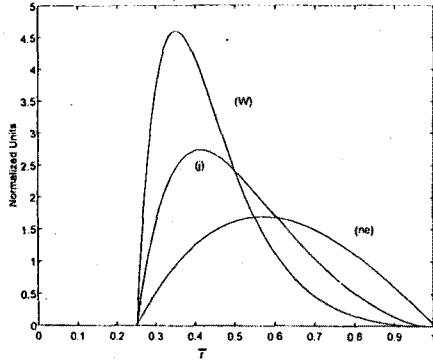


그림 2.2 외부코일형에서의 \bar{r} 에 따른 전류밀도, 전자밀도, 전력밀도

Fig. 2.2 Radial variation of electron density n_e , power density W and current density j versus \bar{r} , in a configuration external coil.

3. 실험방법

무전극 방전 실험을 위해 사용된 램프는 직경 26mm, 길이 305mm와 직경 28.3mm와 길이 560mm인 상용 형광램프이며, 외부 유도코일에 RF전류를 인가시켜 이때 발생된 H-방전을 이용하여 점등시켰다. 사용된 RF 주파수는 13.95MHz이다.

그림 3.1과 같이 형광램프에 감겨진 코일의 간격(G)를 각각 1.1~1.8cm로 변화시키고 각각의 경우에 대해 램프출력을 변화시켜 발산광속을 측정하였다. 램프출력과 발산광속의 관계로부터 발광효율을 계산·분석하였다.

한편, 본 실험에 사용된 실험장치는 아래와 같다.

- Power Supply : PS-55
- Transceiver : HF Transceiver IC-735
- Power Meter : SX-600

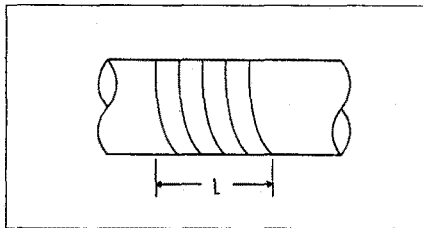


그림 3.1 외부 유도코일 형상

Fig. 3.1 An induction coil wound around a fluorescent lamp.

실험장치의 Block Diagram은 그림 3.2와 같으며 정합회로는 그림 3.3과 같이 두개의 가변 커패시터와 인덕터로 구성된 T형 회로망을 사용하였다.

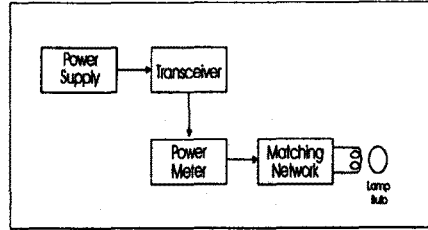


그림 3.2 회로의 블록선도

Fig. 3.2 Circuit Block Diagram

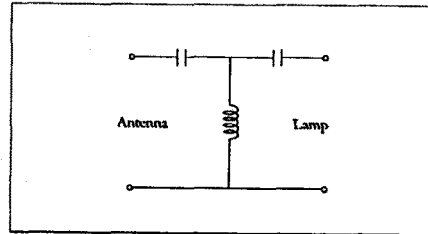


그림 3.3 정합회로

Fig. 3.3 Impedance matching circuit for the given electrodeless lamp

4.1 코일간격에 따른 광출력특성

표1은 각 방전관에 대해서 코일의 권수와 코일간격을 변화시킬 경우, 최대 광출력시와 최소 광출력시의 코일간격(G)와 코일길이(L)를 나타내고 있다.

방전관 크기	코일 권선수	최대 광출력시		최소 광출력시	
		코일간격	코일길이	코일간격	코일길이
$\phi=260\text{mm}$ $L=300\text{mm}$	15회	1.6cm	24cm	1.5cm	22.5cm
	17회	1.5cm	25.5cm	1.1cm	18.7cm
	18회	1.3cm	23.4cm	1.4cm	25.2cm
$\phi=28.3\text{mm}$ $L=560\text{mm}$	27회	1.7cm	45.9cm	1.3cm	35.1cm
	31회	1.2cm	37.2cm	1.5cm	46.5cm
	33회	1.5cm	49.5cm	1.1cm	36.3cm

표 1. 코일간격에 따른 광출력 특성

Table 1. Light output according to coil length of the external coil

그림 4.1은 방전관의 직경이 26mm, 길이 300mm인 경우에서 있어서 코일의 권수와 코일간격을 변화시킬때의 광출력 특성을 나타내고 있다. 여기서는 코일권수에 대해서 코일간격이 15회인 경우 1.6cm, 17회인 경우 1.5cm, 18회인 경우 1.3cm까지는 코일간격이 커질수록 광출력 특성이 증가하다가 이 코일간격에서 높은 광출력 특성을 보인 후 차츰 감소하고 있음을 알 수 있다.

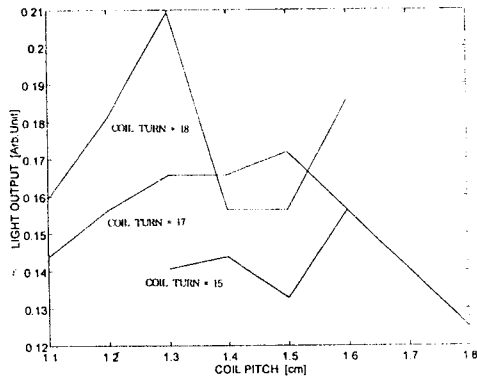


그림 4.1 램프출력이 10W일 경우의 광출력
Fig. 4.1 Light output at lamp output of 10W

4.2 램프출력에 따른 발광효율특성

발광효율도 표1과 같은 최대·최소의 발광시의 코일 간격을 보이고 있으며, 그 한 예로서 그림 4.2은 방전관의 직경이 26mm, 길이가 300mm인 경우에 있어서 코일의 권수가 18회일때, 코일간격을 변화시킬 경우의 발광효율 특성을 나타내고 있다. 코일의 권수가 18회인 경우에 있어서는 코일의 간격이

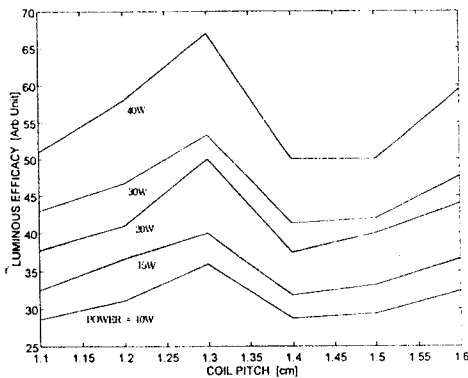


그림 4.2 코일의 권수가 18회일 경우의 발광효율
Fig. 4.2 Luminous efficacy according to 18 coil turns of the external coil at $\phi=26\text{mm}$, $L=300\text{mm}$,

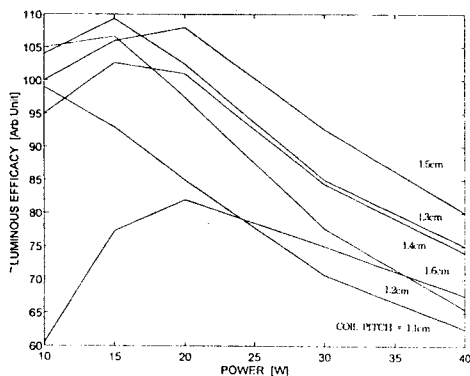


그림 4.3 코일의 권수가 33회일 경우의 발광효율
Fig. 4.3 Luminous efficacy according to 33 coil turns of the external coil at $\phi=28.3\text{mm}$, $L=560\text{mm}$

1.3cm인 경우에서 가장 높은 발광효율을 나타내고 있으며 이 중에서 램프출력이 10W인 경우에 가장 높은 발광효율을 나타내고 있다.

그림 4.3는 방전관의 직경이 28.3mm, 길이가 560mm인 경우에 있어서 코일권수를 33회로 하고 코일의 간격(G)에 따른 램프출력 변화시의 발광효율특성을 나타내고 있다. 코일의 권수가 33회인 경우에는 15~20W에서 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 무전극 방전 램프의 실용화를 위한 기초 연구로서 무전극 방전 램프에 감긴 코일의 권수와 코일의 간격에 따른 램프의 발광효율과 램프출력에 따른 발광효율을 비교하였다.

이론적 고찰을 통하여 외부코일형의 경우 내부코일형에 비해 코일 부근에서 전류 및 전력분포가 완만하므로 방전이 내부코일형에 비해 안정적으로 유지되며 외부코일형의 경우 내부코일형에 비해 플라즈마 임피던스 변화가 심해 최조정합이 용이함을 확인하였다.

또한 실험을 통해 직경이 28.3mm, 길이가 560mm인 방전관과 직경이 26mm, 길이가 300mm인 방전관에서의 광출력 특성을 알아보았고, 그 결과 코일권수를 일정하게 하였을 경우 특정한 코일간격에서 광출력이 높음을 알 수 있었다. 또한, 직경이 26mm, 길이가 300mm인 경우 발광효율은 10W에서 가장 높게 나타났으며 방전관의 직경이 28.3mm, 길이가 560mm에서는 15~20W에서 가장 높게 나타났는데 이는 사용된 방전관의 정격때문이다.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 수행되었음.
(관리번호:93-070)

6. 참고문헌

- 1) 이 인선, "무전극 방전의 원리와 방전등에의 응용", 조명·전기설비 학회지, Vol.6, No.3, 1992, pp. 176-182
- 2) F.Okamoto, S.Tokoro, M.Shinomiya, K.Tanigawa, and M.Myojyo, "Development of the electrodeless fluorescent lamp lighting system," 일본조명학회 동경지부대회 강연논문집, 1992, pp.1-4
- 3) J.W.Denneman, "Determination of electromagnetic properties of low-pressure electrodeless inductive discharges," J. Phys. D: Appl. Phys., Vol.23, pp.293-298, 1990
- 4) G.G.Lister and M.Cox, "Modelling of inductively coupled discharges with internal and external coils," Plasma Sources Sci. Tech., Vol.1, No.3, 1992, pp.67-73
- 5) 四宮雅樹, "電磁誘導結合形無電極ランプの整合回路," J. of the Illum. Enngng. Inst. of Japan., Vol.78, No.2, 1994, pp.59-63