

## 등근형 무전극 램프의 페라이트 코어와 냉점의 온도 의존성

### Dependence of Round Type Electrodeless Lamp according to Ferrite Core and Cold Spot Temperature

장혁진<sup>1</sup>, 양종경<sup>1,a</sup>, 김남군<sup>2</sup>, 정영일<sup>2</sup>, 박대희<sup>1</sup>

(Jang-Hyeok Jin<sup>1</sup>, Jong-Kyung Yang<sup>1,a</sup>, Nam-Goon Kim<sup>2</sup>, Young-il Jung<sup>2</sup>, and Dae-Hee Park<sup>1</sup>)

#### Abstract

Generally Lighting system consists of lamp and luminaire. When a fluorescent lamp is installed in luminaire, power and light output is changed by ambient temperature. Particularly electrodeless lamp depends on the changes that are mercury pressure with amalgam temperature and magnetic properties with ferrite temperature. It has finally influence on optical efficiency. In this study, the temperature change of ferrite and cold spot, vessel are measured at transitional state and then same characteristics are measured with increase of ambient temperature. At transitional state, luminous flux is related to temperature change of cold spot that compare with behavior of mercury pressure and light output. At increase of ambient temperature, we analyzed change that efficiency and electrical, optical characteristics of electrodeless lamp are related to ferrite core and cold spot temperature.

**Key Words** : ICP, Electrodeless lamp, Ferrite core, Amalgam

#### 1. 서론

무전극 램프의 방전현상은 1884년 Hittrof에 의하여 처음으로 발견되었으며 1891년 Nikola Tesla는 RF에 의한 방전램프를 소개하였다. RF제너레이터에 의하여 동작되는 ICP(Inductively Coupled Plasma)원리를 이용한 램프가 1907 Hewitt에 의하여 최초로 특허로 등록되었고, Bethenod와 Claude에 의하여 페라이트코어를 적용한 ICP원리의 무전극 램프가 소개되었다. 그 후, 저주파(100-500 kHz)의 유도결합형 무전극 램프가 Anderson에 의해서 1970년에 성공적으로 시도되었고, 반도체 소자 및 파워스위칭 기술의 발달로 효율적이고 소형화된 RF 전원장치의 개발로 1991년 최초로 마쯔시다와 필립스에서 미래형 광원으로써 상용화하게

이른다. 이후 오스람에서도 무전극 램프를 개발하게 되었다[1,2].

무전극 방전의 가장 큰 이점은 램프의 수명, 형상, 효율, 전력을 크게 좌우하는 전극이 없다는 것이다. 일반적으로 전극에 의한 방전은 음극과 양극의 전압강하에 의하여 인가전력에 대한 광 변환 효율이 저하된다. 그래서 방전관은 방전전압이 양광주를 발생시키는 지점을 지나 전압강하영역을 초과하지 않도록 하기 위해 길고 얇아야한다. 하지만 무전극 램프는 전극 없이 플라즈마의 폐회로를 따라 방전전류가 흐르기 때문에 실제 램프의 모양, 사이즈, 가스량, 인가전력의 제한이 거의 없다[3]. 일반적인 실외용 램프는 등기구와 결합된 시스템을 갖추게 된다. 이때 밀폐된 등기구내부의 온도증가에 의해서 전력 및 광출력이 변화한다. 특히 등근형 무전극 램프에서 페라이트 코어의 자성특성과 아말감의 수은 증기압은 등기구 내부의 온도에 의하여 좌우되며 최종적인 램프의 광효율에 영향을 미친다[4-7].

따라서 본 논문에서는 유도결합형 등근형 무전극 형광램프의 안정화 전의 과도상태와 안정화 후

1. 원광대학교 정보통신공학과

(전북 익산시 신용동 344-2)

2. (주)이텍 기업부설연구소

a. Corresponding Author : duck2214@wonkwang.ac.kr

접수일자 : 2009. 8. 21

심사완료 : 2009. 10. 27

챔버 안의 주변온도 증가에 의한 페라이트 코어와 아말감이 팁 부분인 냉점의 온도변화에 의존하는 전기적, 광학적 특성을 비교 분석하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시료 및 실험방법

등근형 무전극 램프는 그림 1에 보는바와 같이 두개의 코일이 감긴 페라이트 코어와 벌브로 구성되어 있으며, 벌브의 외각 부분에 배기와 아말감을 고정하기 위한 냉점 부분 팁을 형성하였다. 시료로 사용된 150 W급 등근형 무전극 램프의 페라이트 코어와 코일 및 벌브 각각의 파라미터는 표 1과 같다.

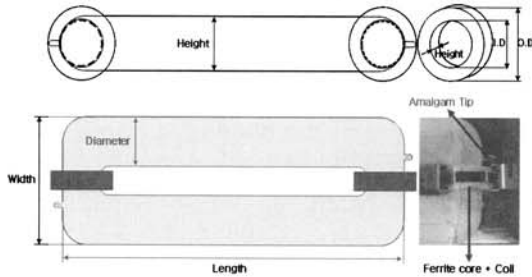


그림 1. 등근형 무전극 램프.  
Fig. 1. Cylinder type electrodeless lamp.

표 1. 등근형 무전극 램프의 파라미터.  
Table 1. Parameter of cylinder type electrodeless lamp.

Parameter		
Ferrite	outside[mm]	65
	inside[turn]	41.5
	height[mm]	18
	initial permeability( $\mu$ i)	2400
Coil	thickness[mm]	1.2
	turns	17
Bulb	length[mm]	350
	width[mm]	135
	height[mm]	52
	diameter( $\phi$ )	52

본 실험에서는 첫 번째로 안정화 전의 과도상태 인 등근형 무전극 램프의 특성을 분석하기 위하여 온도 25℃에서 시간에 따라 코일이 감긴 페라이트 코어와 아말감 팁 부분인 냉점, 방전관의 온도와 광학적 특성변화를 측정하였다. 실험 장치는 그림 2(a)와 같이 구성 하였으며, 부위별로 온도센서 (Tektronix사 thermal detector)를 부착 하여 온도를 측정하였다. 광학적 특성은 Everfine사의 지름이 1.75 M인 광속구로 광속을 측정하였다.

두 번째로 등기구 내부의 온도의 증가에 따른 등근형 무전극 램프의 특성을 비교하기 위하여 챔버 안의 주변온도를 증가시키면서 코일이 감긴 페라이트 코어와 아말감 팁 부분인 냉점, 방전관의 온도 및 전기적, 광학적 특성변화를 비교 분석하였다. 실험 장치는 그림 2(b)와 같이 사이즈(가로\*

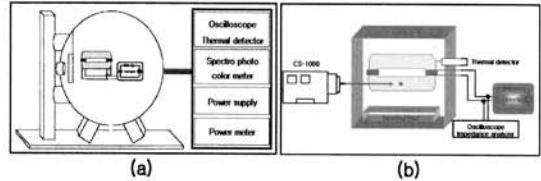


그림 2. 실험 개략도.  
Fig. 2. Experimental setup.

세로\*높이) 40\*40\*30인 Heat챔버를 이용하여 초기 25℃에서 2시간 안정화 후 주변온도를 25℃~80℃까지 증가 시켜가며 측정하였다. 부위별 온도측정은 첫 번째 실험과 동일하며, Tektronix社 Oscilloscope의 전력분석을 통한 전기적 특성과 Minolta社 Spectroradiometer CS-1000A를 이용하여 광학적 특성을 측정하였다. 또한 코일이 감긴 페라이트 코어의 온도에 따른 인덕턴스 변화를 비교하기 위하여 Agilent社의 Impedance analyzer를 통하여 온도와 주파수에 따른 인덕턴스( $L_0$ )의 특성을 확인하였다.

### 2.2 등근형 무전극 램프의 등가회로

유도결합형 무전극 램프는 수MHz~수백kHz의 범위의 주파수를 가지는 전자식 안정기에 의해서 동작된다. 유도결합형 무전극 램프를 동작시키기 위해 고주파가 인가되었을 시 외부코일과 플라즈마 성분에 의하여 공진주파수가 결정된다. 무전극 형광램프는 페라이트코어에 감긴 코일의 인덕턴스

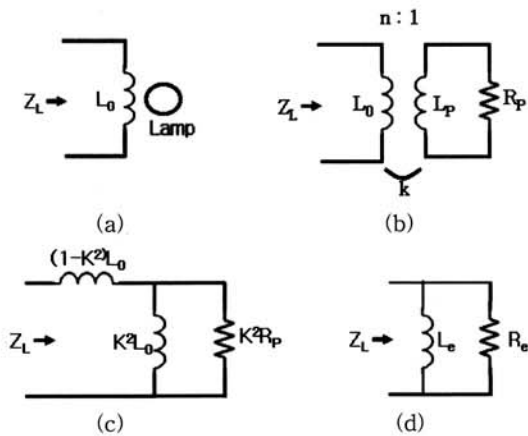


그림 3. 등근형 무전극 램프의 등가회로.  
 Fig. 3. Equivalent circuit of cylinder type electrodeless lamp.

( $L_0$ )와 환형의 플라즈마가 결합계수  $k$ 를 가지는 변압기 원리를 적용하여 설명할 수 있다[8]. 기본적으로 등근형 무전극 램프는 그림 3(a)와 같이 페라이트코어에 감긴 코일에 고주파 전력을 인가하는 부분을 변압기의 1차 측으로 보고 환형의 플라즈마가 형성되는 방전관을 1턴을 가지는 트랜스포머의 2차 측으로 해석하여 모델화 하였으며 그림 3(b)에서와 같이 플라즈마 저항( $R_p$ )은 결합계수  $k$ 에 의해  $n:1$ 의 트랜스포머에 연결된 구조이다. 그림 3(b)는 그림 3(c)와 같이 변환되고 여기서 페라이트코어에 감긴 코일을 거친 임피던스( $Z_L$ )는 동작 주파수  $\omega$ 의해 식 (1)과 같이 나타낼 수 있고, 각각의  $R_1$ 과  $L_1$ 은 식 (2), (3)으로 나타낼 수 있다. 다음으로 그림 3(d)와 같이 병렬로 변환 되고 저항  $R_e$ 과 인덕턴스  $L_e$ 를 식 (4), (5)로 나타낼 수 있다[9].

$$Z_L = R_1 + j\omega L_1 \quad (1)$$

$$R_1 = \frac{(kn)^2 R_p k^4 \omega^2 L_0^2}{(kn)^4 R_p^2 + k^4 \omega^2 L_0^2} \quad (2)$$

$$L_1 = \frac{(kn)^4 R_p^2 k^4 L_0^2}{(kn)^4 R_p^2 + k^4 \omega^2 L_0^2} + (1 - k^2) L_0 \quad (3)$$

$$R_e = R_1 + \frac{\omega^2 L_1^2}{R_1} \quad (4)$$

$$L_e = L_1 + \frac{R_1^2}{\omega^2 L_1} \quad (5)$$

유도결합형 등근형 무전극 형광램프 등가회로 3(b)에서의 페라이트 코어에 감긴 코일의 인덕턴스 ( $L_0$ )와 방전관에 형성되는 플라즈마 인덕턴스( $L_p$ )와 저항( $R_p$ )경우 코일이 감긴 페라이트 코어와 아말감 팁 부분인 냉점의 온도특성에 의해 영향을 받으며 최종적으로 임피던스( $Z_L$ )을 변화시켜 램프의 전기적특성과 광학적 특성에 영향을 미친다[6].

### 2.3 페라이트코어 온도에 따른 특성변화 와 코일의 인덕턴스 특성

고주파 영역에서 많이 사용되고 있는 연자성 페라이트는 스피넬구조를 가진 Mn-Zn 페라이트, Ni-Zn 페라이트와 육방정 페라이트가 있다. 대체로 주파수 10 kHz 에서 1 MHz 사이에서는 Mn-Zn 페라이트가 사용되고, 1 MHz에서 15 MHz까지는 Ni-Zn 페라이트, 그리고 그 이상의 주파수에서는 육방정 페라이트가 주로 쓰이고 있다. 실제로 MHz에서 동작하는 전구식 무전극 램프에서는 Ni-Cu-Zn, Ni-Zn, Mn-Mg-Zu 및 Mg-Cu-Zn 등의 소재로 사용하고 있으며 등근형 무전극 램프의 구동 주파수는 250 kHz이므로 수100 kHz에서 비저항이 10~100  $\Omega \cdot \text{cm}$  정도의 도전성을 가지고 손실이 적으며, 높은 투자율을 얻을 수 있는 Mn-Zn페라이트를 적용하였다[13].

토로이드 형태 페라이트는 다음 식 (6)에 의하여 인덕턴스를 계산할 수 있다. 여기서  $\mu$ 는 투자율이고,  $N$ 은 권선수,  $H$ ,  $a$ ,  $b$ 는 각각 페라이트의 높이, 내경과 외경이다.

$$L_o = \frac{\mu N^2 H}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \quad (6)$$

등근형 무전극 램프에 적용된 페라이트코어의 형상과 재질, 코일의 권선수와 동작주파수(250 kHz)는 고정이고, 투자율은 온도에 의하여 변화한다[6,14]. 즉 페라이트코어에 감긴 코일의 인덕턴스 ( $L_0$ )는 온도에 의하여 변화하는 것을 알 수 있다. 이러한 코일이 감긴 페라이트 코어의 인덕턴스( $L_0$ )의 변화는 등가회로에서 보는 바와 같이 등근형 무전극 램프 2차 측의 플라즈마의 인덕턴스( $L_p$ ) 성분 에 영향을 주게 된다.

### 2.4 아말감의 온도에 따른 특성변화 및 광학적 특성

유도결합형 무전극 램프는 플라즈마 방전에서 일반 튜브 타입의 형광램프로보다 높은 에너지 밀도와 관벽 부하를 가지기 때문에 높은 온도에서 동작한다. 그래서 금속과 결합된 아말감형태로 램프 안에 수은을 봉입한다.

일반적으로 아말감은 In, Bi, Sn과 수은의 합금으로써 고유특성 곡선을 가지며, 아말감온도에 따른 수은증기압과 광출력 특성은 합금의 혼합비율에 따라 달라진다. 또한 수은 증기압의 특성은 초기 액상수은의 특성곡선에 따라 움직이나 온도가 상승함에 따라 수은의 증발과 아말감과의 재결합을 통하여 아말감 고유의 특성 곡선 내에서 컨트롤이 가능하게 된다. 아말감의 온도증가에 따른 수은증기압의 변화는 등가회로상의 방전관에 형성되는 플라즈마 인덕턴스( $L_p$ )와 저항( $R_p$ )의 변화요인이 되며, 등근형 무전극 램프에서 이러한 변화 요인은 아말감을 램프의 팁 부분인 냉점의 온도와 전압, 광출력 특성을 비교하여 설명할 수 있다[7].

### 3. 결과 및 고찰

일반적으로 유도결합형 무전극 램프는 기존 형광램프로보다는 전체적으로 높은 온도에서 동작한다. 실제 적용된 150 W급 등근형 무전극 램프에 구동 주파수 250 kHz인 150 W의 전력을 인가한 후 시간에 따른 방전관과 페라이트 코어, 냉점의 온도를 측정된 결과 그림 4에 보는바와 같이 점등 후 급격히 증가한 이후에 안정화됨을 볼 수 있다. 이 때 방전관 부분은 80.6°C에서, 페라이트는 코일에 인가된 전력으로 인한 열과 방전관의 온도가 증가함에 따라 100.7°C에서 온도가 안정화 되었고, 냉점은 빛의 반사와 페라이트 코어주변에 위치하기 때문에 열이 집중되어 72.8°C로 높은 온도특성을 보였다.

그림 5에서 보는바와 같이 안정화 전 과도상태에서 등근형 무전극 램프는 냉점의 온도가 증가함에 따라 아말감내 수은의 증발과 재결합을 통해 증기압이 변화하고 이에 따라 광출력이 변화된다. 최종적으로 50분 후에 냉점의 온도안정화로 인하여 수은의 증발과 재결합 속도가 평형상태를 유지하였으며 이때 10765 lm의 광속을 나타내었다.

등기구 내부의 온도의 증가에 따른 등근형 무전극램프의 특성과 비교하기 위하여 안정화된 후 챔버

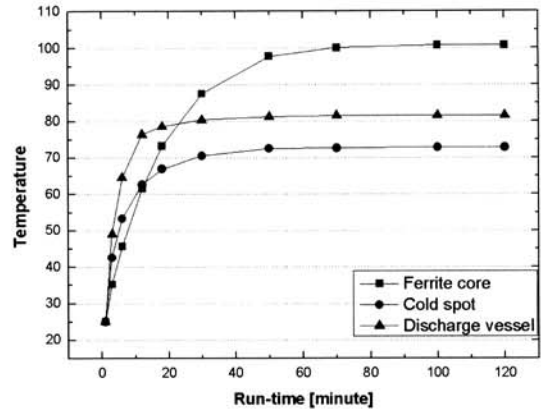


그림 4. 페라이트 코어와 방전관, 냉점의 온도변화.  
Fig. 4. Change of temperature in ferrite core and discharge tube and cold spot.

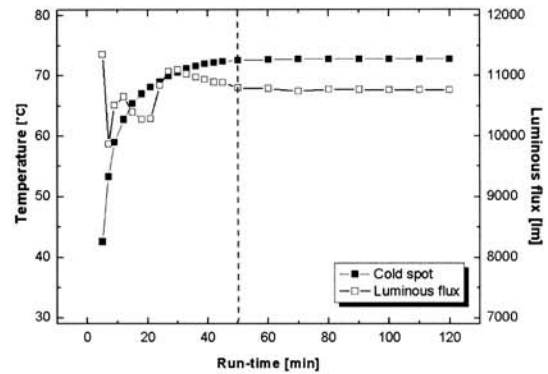


그림 5. 냉점의 온도와 광속변화 특성.  
Fig. 5. Change of temperature in cold spot and luminous flux.

안의 주변온도를 25°C~80°C까지 증가시키면서 방전관과 페라이트 코어, 냉점의 온도 및 광출력, 광효율을 측정하였다. 그림 6에 보는바와 같이 방전관, 페라이트 코어, 냉점의 온도는 각각 104°C, 125°C, 95°C까지 상승하는 것을 확인하였다.

등근형 무전극 형광램프에서 코일이 감긴 페라이트 코어의 온도에 따른 인덕턴스( $L_0$ )와 냉점의 온도변화에 의한 광출력 특성을 확인한 결과 주변 온도 25°C~80°C까지 증가 시켰을 때 코일이 감긴 페라이트 코어의 측정된 온도범위(100°C에서125°C)에서 인덕턴스( $L_0$ )는 그림 7에서 보는 바와 같이 약 955 uH까지 상승한 것을 확인하였다.

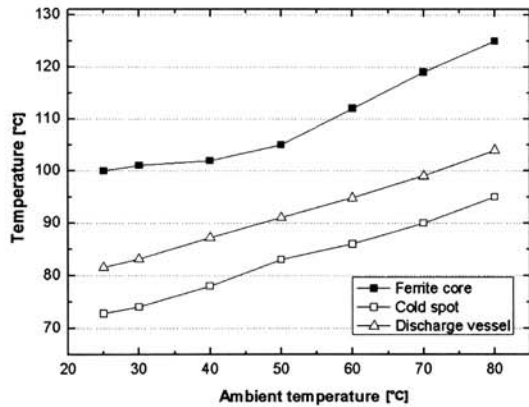


그림 6. 주변온도증가에 따른 페라이트 코어와 냉점, 방전관의 온도 변화특성.

Fig. 6. Change of temperature in ferrite core, cold spot and discharge tube by increasing the ambient temperature.

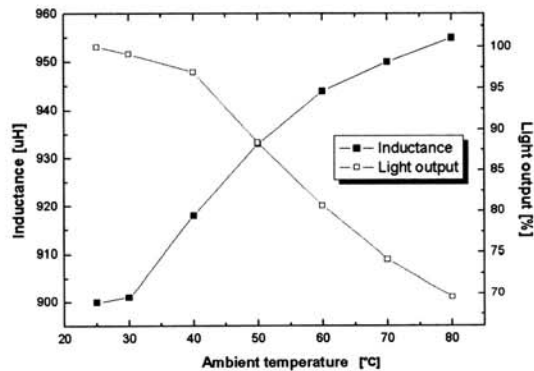


그림 7. 주변온도 증가에 따른 인덕턴스와 광출력 특성.

Fig. 7. Inductance and light output by increasing the ambient temperature.

따라서 이런 인덕턴스 증가에 의해 공진주파수가 변화하며 최종적으로 안정기와의 임피던스 매칭특성이 변화된다. 또한 주변온도에 따라 냉점의 온도가 변화함에 따라 플라스마 인덕턴스( $L_p$ )와 저항( $R_p$ )이 변화하여 최종적으로 광출력 초기 25°C의 70%수준으로 감소하였다.

최종적으로 코일이 감긴 페라이트 코어와 아말감 팁 부분인 냉점의 온도증가에 의존하여 램프의 인가전력과 광학적 특성이 저하되어 그림 8에 보는

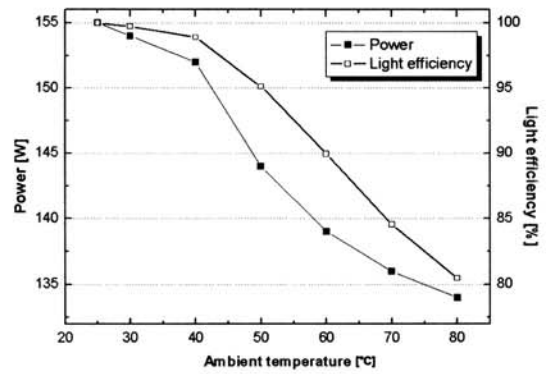


그림 8. 주변온도 증가에 따른 전력과 광효율.

Fig. 8. Electric power and luminous efficiency by increasing the ambient temperature.

바와 같이 입력 유효전력은 155 W에서 134 W로 감소하였고, 광효율은 주변온도 80°C일 때 25°C의 80%수준으로 감소하는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 논문 유도결합형 등근형 무전극 형광램프의 안정화 전의 과도상태와 안정화 후 챔버 안의 주변온도 증가에 의한 코일이 감긴 페라이트 코어와 냉점의 온도 의존성을 알아보기 위하여 전기적 광학적 특성을 비교 분석하였다.

1) 안정화 전의 과도상태의 코일이 감긴 페라이트 코어 및 방전관, 냉점의 온도와 광속 변화의 관계를 비교한 결과 냉점의 온도가 증가함에 따라 아말감 내 수은의 증발과 재결합을 통해 증기압이 변화하고 이에 따라 광출력이 변화된다. 최종적으로 50분 후에 냉점 온도의 안정화에 의존하여 50분 후 광속이 안정되었다.

2) 등기구 내부의 온도에 의한 무전극 램프의 특성과 비교하기 위해 챔버 안의 주변온도를 25°C ~ 80°C까지 증가 시키면서 코일이 감긴 페라이트 코어, 냉점의 온도와 전기적 광학적 특성변화를 비교하였다. 그 결과 코일이 감긴 페라이트 코어의 온도에 따른 인덕턴스( $L_0$ )는 약 955 uH까지 상승하였고, 냉점의 온도변화에 의한 광출력 특성은 초기 25°C의 70%수준으로 감소하였다. 최종적으로 코일이 감긴 페라이트 코어와 아말감 팁 부분인

냉점의 온도증가에 의존하여 램프의 인가전력과 광학적 특성이 저하되어 입력 유효전력은 155 W에서 134 W로 감소하였고, 광효율은 주변온도 80℃일 때 초기 25℃의 80%수준으로 감소하는 것을 알 수 있었다.

따라서 조명시스템 구성시 등기구 내부의 온도에 의한 코일이 감긴 페라이트 코어와 냉점의 온도변화에 의존하는 전기적 광학적 특성을 고려하여 등기구와 등근형 무전극 램프의 설계가 이루어져야한다.

### 감사의 글

본 논문은 중소기업청 “산학협력 기업부설연구소 설치 지원사업”에 의해 지원되었습니다.

### 참고 문헌

[1] J. J. de Groot and J. A. J. M. van Vliet, “The high - pressure sodium discharge lamp”, Philips Technical Library, p. 1, 1986.  
[2] Mucklejohn S. A. and Preston B., “Developments in Low Wattage High Intensity Discharge Lamps”, IEEE Industry Applications Conference, p. 3326, 2000.

[3] Mucklejohn. S. A. and Preston B., “Low Wattage metal halide lamps with ceramic arctubes 1980 to 2000”, Electrical Discharges for Lighting, Seminar, p. 1, 1999.  
[4] U. S. Department of Energy, “High Intensity Discharge Lighting Technology”, High Intensity Discharge Lighting Technology Workshop Report, p. 1, 2005.  
[5] Redl R. and Paul J. D., “A new high-frequency and high-efficiency electronic ballast for HID lamps: topology, analysis, design, and experimental results”, Applied Power Electronics Conference, p. 486, 1999.  
[6] 진기호, “메탈 할라이드 램프용 공진형 전자식 안정기의 설계에 관한 연구”, 금오공과대학교 대학원, 석사학위논문, 2003.  
[7] Van Erk. W., “Transport processes in metal halide gas discharge lamps”, Pure and Applied Chemistry, Vol. 72, No. 11, p. 2159, 2000.  
[8] Chen J. H., Ng K. S., Moo C. S., Tang S. Y., and Lee C. R., “Accelerating start-up of metal halide lamps”, Industrial Electronics, 2006 IEEE International Symposium, Vol. 2, p. 1317, 2006.  
[9] 김기정, HID 램프용 전자식 안정기 회로 및 특성 이해, 전력기술인, 10월호, p. 30, 2001.