

무전극 램프의 기술동향과 전망

(Technology Trend and Prospect of Electrodeless Lamp)

황명근* · 이종찬** · 박대희**

*한국조명기술연구소, **원광대학교 전기전자 및 정보공학부

(Myung-Keun Hwang* · Jong-Chan Lee** · Dae-Hee Park**)

*Korea Institute of Lighting Technology

**School of Electrical, Electronic and Information Engineering, Wonkwang University

요 약

1879년 T. Edison이 백열전구(incandescent lamp)의 발명, 1920년대에는 형광램프(fluorescent lamp)의 개발에 이어 1990년대에는 무전극(electrodeless) 형광램프가 처음으로 실용화 되어진 비교적 새로운 광원(light source)으로 종래의 광원이 지니지 못하는 특징들이 있다. 본 보고는 그의 원리와 특징, 실용화, 제 문제점 등을 소개하고, 금후의 전망에 대하여 언급한다.

1. 서 론

현재의 조명시스템을 새로운 조명시스템으로 대체하고 최적운명을 할 경우 미국은 약 50%의 에너지절약이 가능할 것으로 판단하고 있으며, 우리나라도 에너지절약이 약 30% 가능한 것으로 전망된다. 이는 현재 어느 분야의 절약기술보다도 높은 에너지절약을 가능하게 하는 값이다.

등기구 분야 및 조명제어에서의 에너지 절약은 설계 및 적용측면에서 충분히 향상시킬 수 있는 일종의 엔지니어링 측면이 강한 방식으로 이미 많은 사례와 실용기술이 편제되어 있다. 그러나 정작 핵심기술이 되는 광원에서의 효율향상은 기술적인 어려움과 많은 개발기간 및 연구비 등이 필요한 관계로 우리 나라의 경우 기술적인 자립수준이 제일 낙후된 분야이다. 특히 기존의 형광램프와 고휘도 방전램프(HID)의 기술이 포화점에 근접하고 있기 때문에 조명시장에서는 보다 효율적이고 수명이 안정적인 광원을 필요로 하는 경우가 자주 대두되고 있다. 따라서 세계적으로 LED(light emitting diode)램프, 무전극램프 등 새로운 광원에 대해 여러 형태로 연구 개발이 진행되고 있고 점차 그 이용도 커지고 있는 형편이다.

특히 무전극 램프의 기술은 수십W에서 수kW급에까지 넓은 범위로 개발이 가능한데 당초 긴 수명으로서 주목받고 있음에도 현재 가격등의 문제로 보급이 지연되고 있으나 시간이 경과함에 따라

백열구, 할로겐램프는 물론이고 형광램프와 기존의 메탈할라이드(metalhalide)램프의 영역도 상당부분 대체하며 광원에서 하나의 주류를 형성할 것이기 때문에 절약가능성 및 시장에서의 잠재량은 막대한 가능성을 보이고 있다. 따라서 이에 대한 우리나라의 독자기술 및 제품의 개발에 대한 연구가 시급하며 향후 수년간의 연구를 통해서 100W~300W급, 또는 수 kW급까지 기술의 자립이 가능할 것으로 사료된다.

2. 무전극 방전의 원리

일반의 방전관은 관의 양단에서 전자를 방출시키고, 또한 전자가 도착하는 대전극을 지니고, 이 전극간에 전류를 흘린다. 그러나 관의 내부에 이와 같은 전극이 없어도 방전의 형성을 가능하게 하는 것을 무전극 방전이라 한다.

그의 첫 번째는 Babat라 하는 [E방전]으로 전계 결합형이라고 부른다. 방전관의 외벽에(전극에 상당하는) 대전극은 박막으로 설치하고, 교류를 인가하면 관 내부에서 방전이 형성되어 진다. 외면의 전극과의 사이에 전기용량을 통하여 전류가 흐른다고 생각하면 이해하기 쉽다. 이 방식은 [외면전극형]이라고 한다.

제 2의 것은 [E방전]에 대하여 [H방전]이라 불리워진다. 전형적으로 구형 방전관의 외주에 권선을 감고, 교류를 통과시키면 전자유도에 의한 자계

가 발생하고, 관 내부에 방전이 형성되어진다. 관 내부의 방전형식은 환형으로 되며, 외부의 권선과는 전자결합에 의한 전력이 공급되어 진다. 외부의 권선을 1차권선으로 하고, 관 내부의 환형방전을 2차권선이라 하는 변압기가 형성되어진 것을 생각하면 쉽다. [전자결합형](inductively coupled plasma)라 불리워지며, 이것을 무전극 방전이라고 한다. 제 1의 [E방전]과 대비하여 [E방전]에 있어서 방전전류는 관벽을 통하여 흐르는 것에 대하여, [H방전]에서는 관벽에 평행하게 전류가 흐르는 것이 중요하다.

3. 무전극 램프의 구성

무전극 형광램프 시스템은 그림 1과 같이 구성된다. 크게는 무전극 램프와 무전극 램프를 구동하기 위한 외부 고주파 전원부, 외부전원을 통해서 무전극 램프를 유도 방전할 수 있도록 하는 에너지 유도코일부, 유도코일이 효과적으로 동작하기 위한 임피던스 정합부 그리고 램프에서의 광이 원하는 공간에 적절한 조도분포를 제공할 수 있도록 하는 등기구로 구성된다. 그림 2와 3은 무전극 형광램프 및 PLS 시스템의 구성도이다.

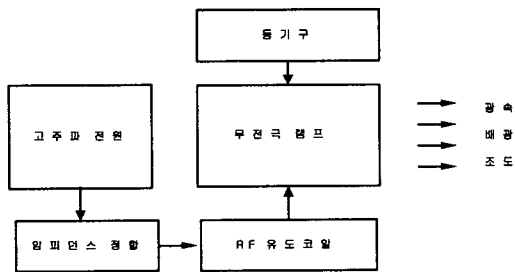


그림 1. 무전극 형광램프 시스템의 구성도

Figure 1. Structure of fluorescent electrodeless lamp system

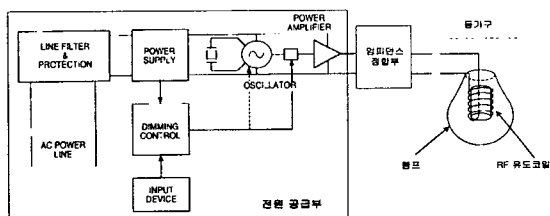


그림 2. 무전극 형광램프 시스템의 실제 구성

Figure 2. Real structure of electrodeless fluorescent lamp system

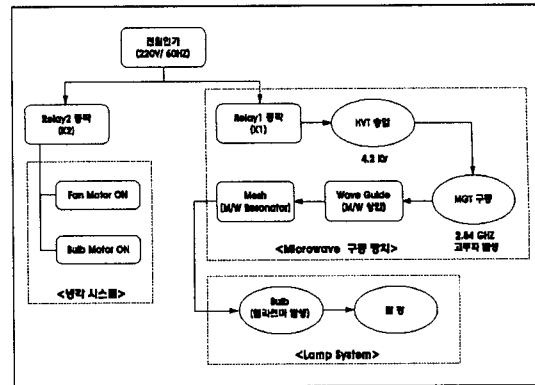


그림 3. 무전극 PLS 시스템의 블록도

Figure 3. Block diagram of electrodeless PLS

4. 무전극 램프의 특징

현재까지 상용화된 대부분의 램프는 필라멘트나 전극에 의해 발광되는데 이들은 일정 시간이 경과하면 열화되어 수명이 다 되고 램프를 교체해야 하는 불편함이 있는데 반해, 전극이 없는 무전극 램프는 전자유도법칙의 원리를 이용하여 가스를 방전시켜 발광한다. 무전극 형광램프는 CRI(Color Rendering Index)가 80이상의 고연색성이고, 고효율 90lm/W, 수명 10만시간 이상, 넓은 동작온도 (-30℃~80℃)에서 사용할 수 있는 기술이다. 표 1과 같이 고연색성과 고효율을 겸비한 광원중 최고의 수준에 속하는 성능이다.

무전극 광원 개발에 있어서 당면기술은 국내의 광원관련의 전반적인 기술이 매우 취약하다는 것이며 최근에는 광원의 효율을 85lm/W 이상으로 높여야 하는 등 보다 성능이 향상되는 추세이다. 그 외에 광원구동용 전원장치가 매우 콤팩트하고 장수명을 유지하여야 하고 250kHz~수백MHz의 주파수로 구동됨에도 고효율로 제작되어야 하는 것이 기술적으로 쉽지 않은 문제이다.

응용측면에서 보면 램프 광의 출력 특성이 긴 수명 동안 안정될 뿐 아니라 광의 출력을 조절할 수 있는 조광 (dimming)이 용이해지고 광원의 수명이 괄목하게 길어짐에 따라 램프 교체 비용 및 조명 설비 유지보수 비용이 절감된다. 또한 광 출력 유지능력이 뛰어나고 재점등이 빨라(기존의 HID등은 순시 재점등 불가능) 적용분야의 확대가 기대된다.

표 1. 방전램프의 효율 및 광특성 비교

Table 1. The comparison of efficiency and optical properties on discharge lamp

구 분	수명 (시간)	연색성	효율 (150W급기준)
무전극 형광램프	100,000	80이상	85lm/W
형광램프 (삼파장)	8,000-12,000	70-85	80lm/W
메탈 헬라이드램프	7,000-15,000	약 80	75lm/W
고압 나트륨램프	10,000-20,000	20-70	95lm/W

개발 동향은 표 2에 정리된 바와 같이 형광램프 형으로는 Philips사에서 1992년에 55W QL램프가 (2000년에는 165W급이 출시) 그 뒤로 Osram사에서 65W, 150W, 200W급 Endura와 GE사에서 23W Genura가 개발되어 현재까지 시판되고 있다. 그 밖에 Fusion lighting사에서 5kW, 1kW급과 복 단대학에서 1kW급 및 국내 LG전자에서 2000년도에 1.25kW급 PLS(plasma lighting system)가 이미 개발되었고, sulfur lamp는 앞의 RF로 동작되는 무전극 형광램프와는 달리 2.45GHz의 마이크로웨이브로 동작되는 방전램프이다. 그림 4는 현재 생산되는 무전극 램프의 종류를 보여주고 있다.

표 2. 선진국의 무전극 방전램프의 개발 동향
Table 2. Develop trends of electrodeless discharge lamp in advanced country

연구 기간	과 제 명	수행 기관
2000	무전극 형광램프 Endura 150W급, QL 165W급 개발	Osram, Philips
1997	Sulfur lamp system인 Power Drive 1000 개발하였으나 1998년에 시장에서 철수	Fusion Lighting(미)
1994	무전극 방전램프 Sulfur lamp 개발	Fusion Lighting(미)
1993	무전극 형광램프 Endura lamp 개발(65W)	Osram(독)
1993	무전극 형광램프 Genura lamp 개발 (23W)	GE(미)
1992	무전극 형광램프 QL lamp 개발 (55W)	Philips(네)

5. 무전극 램프의 문제점

5.1. 램프의 발광효율

전자 결합형의 무전극 형광램프에는 전극강하전압이나 음극압부에 상당하는 것이 존재하지 않으며, 발광효율이 높은 양광주만이 존재하므로 램프의 발광 효율이 유리하며, 소형에서도 유리하다. 한편 고출력에서는 플라즈마중의 전류밀도가 높기 때문에 발광효율은 저하한다. 회가스의 압력을 낮추면 전계강도가 높기 때문에 같은 전력에서도 전류밀도는 저하하고, 효율의 저하를 억제할 수 있다. 전자온도의 상승하면 발광효율의 향상에 기여한다. 전극이 있는 경우에 회가스의 압력을 낮추면 전극물질의 증발속도가 증가하고, 수명이 단축되는 것으로 회가스의 압력으로 조절 할 수 있다. 이와같은 이유로 전자결합형의 무전극 램프는 소형 고출력이 가능하다. 따라서, 무전극 형광램프에서도 회가스의 압력을 낮추면 광속 유지율이 저감되며 전자온도가 상승이 광속에 미치는 영향은 해명과 대책은 과제이다.

5.2. 회로의 효율

무전극 형광램프의 동작주파수는 수백kHz에서 수십MHz이며, 지금까지 전자회로식 형광램프 점등방식에 비교해서 대단히 높다. 일반적으로 주파수가 높아짐에 따라서 전력변환 효율은 낮으며, 이 주파수대에서 전력변환 회로의 효율향상도 과제이다. 동작 주파수를 낮게 선택하는 것은 회로효율을 높일 수 있으나, 종합효율은 램프와 결합부에서의 손실을 고려하지 않으면 안된다.

5.3. 램프에 전력결합

전자 결합형의 경우에 램프자신의 발광 효율은 주파수에 그다지 의존하지 않으며, 유도코일에서의 손실이 동작주파수 선정의 큰 이유로 된다. 전자 결합형의 무전극 방전은 플라즈마를 2차 권선으로하는 트랜스를 넣은 결합으로 생각되어지나, 이 트랜스는 누설이 큰 것이다. 여기에서 누설이라는 자속의 누설로 직접전력의 손실을 의미하지 않는다. 그러나 그 때문에 VA(무효전력)가 크게되며, 유도코일의 권선 등에서의 손실이 증가한다. 정합회로, 철심을 이용하는 경우는 그들의 손실도 가산되어진다. 동작주파수의 저하는 무효전력의 상승으로 되며 이들의 손실이 증가한다.

철심의 이용은 무효전력의 저하에 도움이 되고, 동작 주파수를 낮출수 있다. 철심을 이용하여 동작

주파수의 저감을 시도하는 경우, 자기포화를 고려하여 그의 크기를 선택하지 않으면 안된다. 따라서 형상의 크기와 동작 주파수의 한계와 관계가 있다. 공심 경우에도 효율을 생각 할 때, 형상 크기와 동작 주파수에는 같은 관계, 즉 형상이 크면 동작 주파수는 낮고, 형상이 작으면 동작 주파수는 높게되는 관계가 있다.

5.4. 전자환경

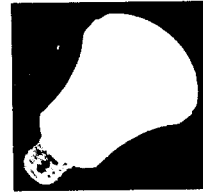
무전극 방전은 전력 전달과정에 있어서 주변에 불 필요한 복사가 문제가 된다. 금속망에 의하면 광은 85%이상 투과 하면서 전자 불요 복사를 충분히 차폐할 수 있다. 혹은 금속 반사판 등을 램프에 설치하여 조명기구의 부재에도 어느 정도의 억제는 가능하다. 금속망을 이용하지 않는 경우는 몇 가지의 전자 복사의 가능성이 남는 것으로 동작 주파수의 선정은 문제로 된다. 무전극 형광램프의 동작 주파수는 수백 kHz에서 수십MHz가 이용되어 있는데 이 범위의 대부분은 중파, 단파라디오나 다양한 통신에 이용되어져 이들의 방해를 준다. 고주파이용 설비기기의 전자불요 복사는 전파법이나 전기용품법에 의해서 규제 되어지고 있어서 문제가 된다.



(a) 오슬람사의 Endura



(b) 필립스사의 QL 램프



(c) GE사의 Genura



(d) LG전자사의 1kW급 PLS

그림 4. 조명회사에서 생산되는 무전극 램프의 종류
Figure 4. Electrodeless lamps produced by lighting companies

6. 결 언

무전극 램프는 새로운 광원이며, 그 방전 형식은 마이크로파 방전이나 유도 결합형 방전을 이용하여 실용화 되고 있으며, 광원기술, 전원장치 설계 기술, 재료기술, 평가기술 및 동작 주파수나 램프 형상 등이 계속적이고 지속적으로 연구가 진행, 개발되어 주택, 교실, 백화점 등의 옥내용과 가로등, 터널등, 빌딩이나 다리 등의 경관조명용으로 상품화의 가능성도 크게 기대 된다.

참 고 문 헌

- [1] 四宮雅樹, 「無電極螢光lamp」, 照明學會誌, 第82卷, 第6号, pp. 394~397, 1998
- [2] 井上昭浩, 「無電極lampとその應用」, 照明學會誌, 第81卷, 第7号, pp. 554~557, 1997
- [3] D. O. Wharmby, "Electrodeless lamps for lighting : a review" IEEE Proceeding-A40-6, pp. 465~473, 1993
- [4] W. P. Lapatovich, "Novel Microwave Powered high Intensity Discharge Lamps", The 7th International Symposium on the Science & Technology of Light Sources, No. 42, 1, pp. 139~148, 1995
- [5] 朴大熙, 靑野正明, "신광원의 기술개발동향", 한국조명·전기설비학회지 Vol.10, No.5, pp.23~30 1225-1135, 1996