

무전극 형광등의 광학적 평가 및 분석

김현숙 · 이세연 · 신상욱 · 왕명근 <한국조명기술연구소>

1 서론

전자공학의 눈부신 발전은 각종 구동회로의 발전과 더불어 최근에는 RF파 (Radio Frequency Wave)의 발달을 가져왔다. 이제 수 MHz에서 수 GHz의 주파수 발전은 일반화되었으며 특히 최근들어 기존 제품과의 융합관계를 어떻게 하느냐와 각종 나라마다 상이한 규격에 어떻게 부합할 것인가를 두고 지대한 관심을 가져왔다. 이러한 기술의 발달은 인간의 친환경적인 욕구와 함께 인간의 활동을 넓게 해준 램프에도 고주파 기술이 접목되기 시작했다.

이미 1890년대 고주파 방전에 대해 이론적이 정의되었고 1990년대 초반부터 각 램프회사들은 이러한 고주파 기술을 이용하여 고효율 램프 발광을 시도하기 시작했다.

기존의 일반 램프는 관내부에 위치한 양단의 전극 (hot cathode or cold cathode)에 전계를 가해주면 전극에서 방출되는 전자와 이온이 방출되어 내부에 봉입된 가스를 여기상태(excited state) 상태로 만들어 에너지 천이가 발생되어 발광하게 되는 원리이다. 이때 전극에서는 전자(electron) 및 이차전자(secondary electron)와 이온(ion)등에 의해 스퍼터링(sputtering)이 발생되어 전극과 주변에 도포된 형광체를 치기 시작한다. 이러한 현상으로 봉입된 가스외에 불순물이 생기는데 이러한 불순물의 증가로

램프 수명은 단축되게 된다.

무전극 방전램프의 경우 방전관 내부에 단지 발광을 위한 가스와 첨가물질만 존재하여 내부 전극에 의한 스퍼터링이 발생하지 않아 벌브안에 불순물이 생성되지 않아 장수명을 보장받을 수 있고 오랜시간동안 광속을 유지할 수 있다. 또한 일반 램프들보다 안정적인 광출력과 연색성의 도출이 가능하기 때문에 여러 장점이 있다고 할 수 있다.

그러나 방전공간내 전극의 부재는 일반적인 방전구동방식으로는 효율을 극대화 할 수 없기 때문에 예전부터 고전압이나 구형파, 또는 고주파를 인가하는 방법등이 제안이 되었다.

현재는 초기에 강한 고전압을 수 μ s동안 인가하여 방전을 위한 초기 전자(seed electron)를 생성한 뒤에 유도 회로를 이용하여 방전을 유지(a,v-process)하는 방식을 택하고 있다.

이미 1990년대 초반부터 이미 유럽과 미국의 램프 회사에서는 개발을 시작, 제품화하여 각 사용 목적에 맞게 시판하고 있다.

초기의 이러한 고주파로 인해 발생된 유도 방전의 발광 시스템은 기존의 백열전구, 형광등, 고압 방전등이 대부분이었던 조명시장을 대체 할 수 있을것인지 의문시 되었지만 현재는 국내에서도 다양한 장소에 설치가 진행중에 있으며 실제 그 응용기술의 가능성은 무한하다고 예측되고 있다.

이에 본 논문에서는 현재 국외에서 제품화되어 있는 무전극 램프를 전력과 형태별로 나누어 광속과 휘도를 측정하였고 더불어 온도와의 상관관계도 비교해 보았다.

2. 본 론

2.1 측정대상

본 측정 대상은 일반적으로 유도 RF방전을 이용한 것으로 이는 유리관 외부에 페라이트 코어의 환형 형태나 봉 형태로 구성되어 그 주위에 코일이 감겨있는 형태로 고주파를 인가하면 코일에 의해 자기장이 형성되어 유도전류가 발생하여 자기방전(magnetic discharge)을 일으키는 방식으로 유도 RF 방전(Inductive RF Discharge)라고 한다.

현재까지 개발된 유도 방전 램프는 수은(Hg)을 이용한 형광체 발광으로 램프 내부에는 크립톤(Kr) 등의 가스가 봉입되어 있고 아말감 방식에 의한 자외선(254nm)의 파장을 이용한 형광체 발광으로 알려져 있다. 이미 형광체 발광이라 함은 사용자가 원하는 대로 형광체를 제조하면 가능하다는 것으로 추후 연색성 및 색온도등을 원하는 사양으로 쉽게 맞출 수 있는 장점을 갖고 있다.

국내외에서 시판되는 무전극 형광등 시스템은 실제 다음 그림 1과 같다.

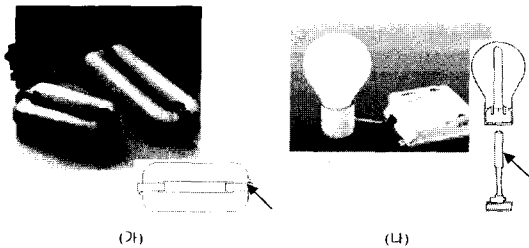


그림 1. 유도 RF 방전 무전극 램프

사진은 램프의 실제 형태이고 각 그림의 화살표는 유도회로를 발진시키는 페라이트의 형태 및 위치를 말한다. 각각의 램프(벌브)에는 형광체가 도포되어 있다.

각각 구동부와 램프 벌브는 따로 떨어져 있는 분리형(외장형)이다. (가)의 경우 환형 페라이트 코일에 코일이 감겨 있어 외부에서도 유도전극을 관찰할 수 있지만 (나)는 전구형으로 외관에서 관찰했을 때 페라이트 봉을 확인할 수 없다. 또한 (가)의 경우 대기 중 노출형태로 환형 양 끝단에 페라이트 코어가 존재하여 전류에 의해 발생된 열이 대기중으로 자연스럽게 방출된다. (나)는 단일 페라이트 봉에 유도코일이 감겨있는데 전류에 의해 발생된 열 방출 경로가 마땅치 않아 구리, 알루미늄 등의 금속재질로 방열판을 만들어 외부로 열을 이동시켜 준다.

2.2 광학적 특성

이 램프들의 광학적 특성을 보기 위하여 광속측정은 직경 2M 의 광속구로 측정하였으며, CCD 카메라를 이용하여 시간변화에 따른 휘도 변화와 더불어 온도지시기록계를 이용하여 안정화 시간으로 가는 동안의 벌브의 온도 변화를 확인하였다. 실험의 재현성 및 불확도를 낮추기 위해 모든 램프를 100 시간 에이징(aging) 한 램프를 상온 25(°C)±1실험을 진행하였다.

2.2.1 광속

광속을 측정하기 위해 광속구 시스템을 이용하였다. 그림 2는 측정한 광속구 시스템(2M)이다.



그림 2. 광속구 시스템

램프는 각기 매칭되는 안정기가 있는데 환형 무전극 램프의 경우 크게 문제시 되지 않으나 전구형 무전극 램프의 경우 출력측 라인의 길이가 40(cm) 이상으로 길어지면 회로의 임피던스값의 변화로 전류가 많이 흐르는 현상이 발견된다. 그러므로 광속구로 광속을 측정할 때는 램프의 외부 구동부를 적분구 내에 램프와 같이 넣어 보정한 뒤 측정을 해야 한다. 결국 고효율 램프란 고주파만 인가하면 해결되는 문제가 아닌 램프의 형태별, 전력별 그리고 각 제조사별에 따라 안정기와 램프가 최적으로 매칭되어야 하는 문제임을 알 수 있다. 특히, 전구형 무전극 램프 시스템처럼 약 40(cm)의 출력 전선의 길이 역시 최적 매칭에 의한 그 제조사의 결과라고 할 수 있다.

다음 표 1은 각 램프의 전력별 광속 측정값이다.

표 1. 광원의 광속 비교표

(단위 : lm)

구분	무전극형광램프 -측정치-	메탈 헬라이드램프	컴팩트 형광램프
150 W	12,900 (환형)	11,250	-
100 W	8,640 (환형)	6,500	-
85 W	5,900(전구형)	-	-
70 W	-	5,000	-
55 W	3,730(전구형)	-	4,200

무전극 형광램프는 고출력이라는 점에서 고압방전등과 비교되고, 형광체를 이용한 발광관으로 기존의 형광램프와 비교되는데 데이터 광출력은 참고하기 위해 표 1에서는 KS(Korea Standard : 한국 표준 규격)에 명시되어 있는 메탈헬라이드 램프 150(W), 100(W), 70(W)의 광속값과 형광램프 중 컴팩트 형광램프 55(W)의 광속값과 비교해 보았다.

표 1을 보면 같은 전력의 메탈헬라이드 램프보다 무전극 형광램프의 광출력이 더 많음을 알 수 있다. 또한 메탈헬라이드 램프의 아크 방전과는 달리 형광

체 발광으로 안정된 광출력으로 어느정도 눈으로 지시할 수 있어 눈부심(Glare)이 메탈헬라이드 램프보다는 더 낮음을 육안으로 확인할 수 있다.

형광램프는 직관을 여러번 구부린 형태인 컴팩트 형태의 램프 중 전력이 제일 높은 55(W)와 비교하였다. 컴팩트 형광램프 55(W)와 전구형 무전극 형광램프 55(W)는 컴팩트 형광램프의 광속값이 더 높게 나왔다. 이는 램프 자체의 물리적 형상에서 기인한 것으로 양광주를 최대한 살려 효율을 좋게 만든 형태로 광속의 효율을 최대한 한 램프로 무전극 램프와의 비교는 장수명을 내세워야 할 것 같다.

2.2.2 휘도분포

무전극 램프의 안정화될 때까지의 광학적 분포를 알아보기 위해 CCD(Charge-Coupled Device)를 이용하여 램프의 휘도 변화와 색온도 변화를 살펴보았다.

이는 유도 코일의 위치에 따라 그리고 전력별에 따라 안정화 시간과 안정화된 이후 버스의 휘도 분포도를 알아보고자 함이다. 측정 장비는 실시간으로 별브의 휘도 분포도와 색온도 분포를 알 수 있는 장비로 실제 램프의 권장 시간은 약 3분이라고 하지만 육안이 아닌 충분한 포화상태의 측정을 위해 약 1시간 정도 측정을 진행하였다.

그림 3은 CCD 카메라 장비로 측정하는 사진이다.

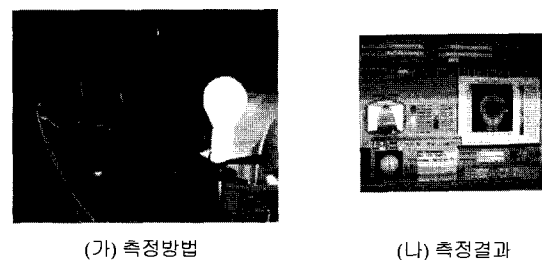


그림 3. 휘도분포도 측정

그림 3의 (가)는 시료의 측정 방법이고 (나)는 측정한 결과 데이터 출력 화면이다.

그림 4는 전구형 무전극 램프의 분해사진이다. 좌측은 벌브이고 우측이 페라이트 봉에 유도코일을 감싼 형태이다.

그림 5는 전구형 무전극 램프 55(W)의 안정화된 후의 휘도 분포이다. 가운데 부분이 휘도 71,104 [cd/m^2]의 휘도값이 나온다. 수직을 세웠을 때 보다 수평으로 누웠을 때 휘도값이 약 3,000 [cd/m^2] 더 높게 나왔다. 가장 높은 휘도값을 보이는 위치는 내부의 페라이트 봉에 유도코일이 가장 많이 감겨있는 부근으로 코일주위에 플라즈마가 가장 활발하여 높은 휘도값이 측정되었음을 확인할 수 있었다.



그림 4. 전구형 무전극 램프(55W) 분해도

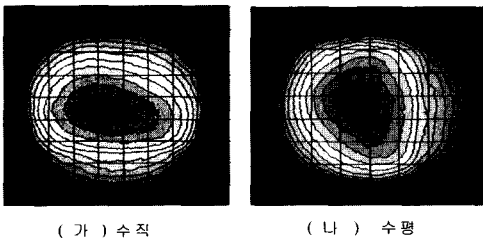


그림 5. 전구형 무전극 램프(55W)의 휘도 분포도

2.2.3 벌브외관 온도와 휘도분포의 상관관계

램프의 휘도 분포와 벌브의 외관 온도의 상관관계

를 알기 위해 온도지시기록계를 이용하여 각 부분별 온도를 측정하였다.

그림 6은 측정에 사용한 온도 지시 기록계이다.

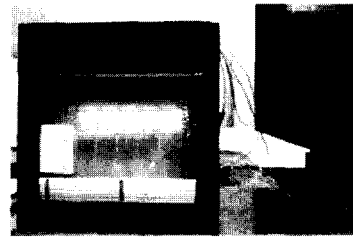


그림 6. 온도 지시 기록계

비교 대상은 무전극 램프중 전구형 85(W)와 환형 100(W)를 선정하였다. 실험은 외부 환경의 영향이 없는 상온 25($^{\circ}\text{C}$)의 무풍 지역에서 진행하였다.

전구형 85(W) 무전극 램프의 경우 최종 안정화 온도는 약 40분 후로 측정되었다. 환형 100(W) 무전극 램프는 약 60분 후 벌브 온도가 안정화되었다.

그림 7은 전구형 무전극 램프 85(W), 그림 9는 환형 무전극 램프 100(W)의 각각 임의 선정된 지점에서 방전 개시후 안정화 이후까지의 시간에 따른 벌브 외관 온도 변화도이다.

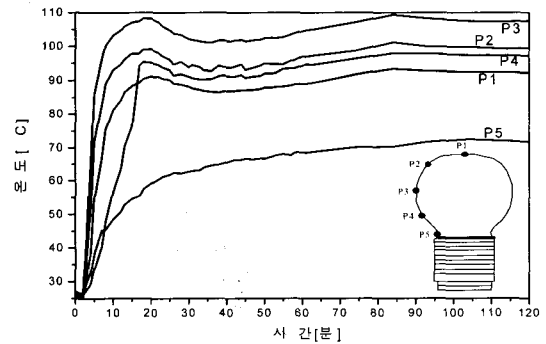


그림 7. 전구형 무전극 램프 85W의 온도 변화

이와 관련되어 그림 8과 그림 10은 같은 램프의 시

간에 따른 휘도 분포 변화도이다.

전구형 무전극 램프 85(W)의 벌브 외부온도는 약 15분까지 급상승하는 것이 뚜렷이 보이다가 약 40분 후에 온도 안정화 경향이 보인다. 이를 실제 측정된 휘도분포도(그림 8)와 비교해보면 실제 램프의 휘도분포도도 약 15분까지는 온도가 가장 높은 지점인 P3에서 77,300 [cd/m²]의 높은 휘도분포가 뚜렷이 보이다가 15분 후부터 약 40분 후에는 68,000 [cd/m²]의 휘도로 안정화됨을 확인할 수 있었다.

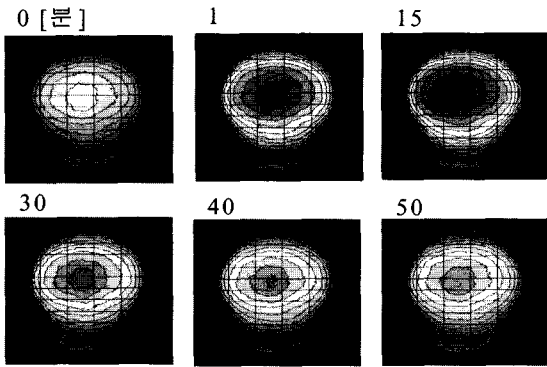


그림 8. 전구형 무전극 램프 85(W)의 시간에 따른 휘도 변화

그림 9는 환형 무전극 램프 100(W)의 온도 분포도이고 그림 10은 이와 관련된 무전극 램프의 휘도 분포도이다.

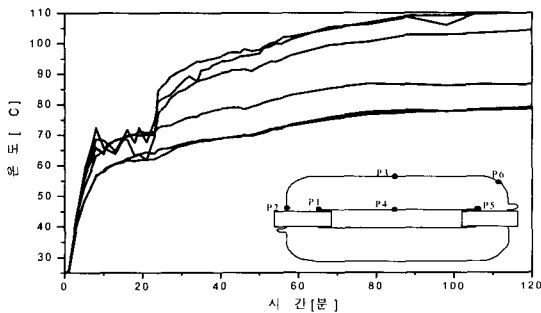


그림 9. 환형 무전극 램프 100(W) 온도 변화

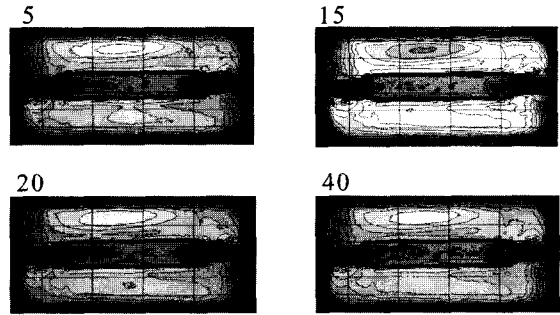


그림 10. 환형 무전극 램프 100(W)의 시간에 따른 휘도 변화

무전극 램프 환형 100(W)의 경우도 방전개시 후 5분까지 벌브 외관 온도는 약간의 불안정한 온도 곡선이 그려지는데 이는 실제 휘도분포 변화도를 보아도 나타난다. 5분에서 20분까지 급상승의 온도 분포가 보인다. 그림 10의 결과는 20분에 휘도가 안정화되는 결과를 보이는데 실제 실험의 진행이 온도지시기록계를 이용한 측정과 CCD 카메라를 이용한 휘도 분포도의 측정이 별도로 진행되어 생긴 오차라고 할 수 있다. CCD 카메라를 이용한 측정은 전면의 휘도 분포를 나타내 주기 때문에 온도 지시기록계의 센서로 인한 휘도 측정 오류를 줄이기 위해 별도로 측정했기 때문이다.

실제 15분에서 20분에 휘도 안정화를 위한 급상승은 온도 지시 기록계와 CCD 카메라를 이용한 휘도 분포 측정기를 통해 확인할 수 있었다. 환형의 경우 꾸준한 온도 상승이 있었고 약 40분 후부터는 안정화까지 약 5[°C] 안팎의 차이로 안정된 온도 분포와 휘도 분포를 확인하였다.

각각의 전구형과 환형 무전극 램프의 벌브 외관의 온도 변화 그래프와 실제 CCD 카메라를 이용한 벌브 전체의 시간에 따른 휘도 분포도를 통하여 휘도는 램프의 벌브 외관 온도와 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

무전극 형광등 시스템과 메탈헬라이드램프, 콤팩트 형광램프의 광속값과 비교해 보았고, 더불어 안정된 광출력이 나오는 것을 알 수 있었다. 전구형 55(W) 의 수직, 수평의 휘도 분포도와 전구형 85(W) 와 환형 100(W)의 시간에 따른 휘도 분포도를 측정하여 벌브 외관의 안정화 경향과 비교하여 광학적 안정화 특성을 보았다.

또한 벌브 외부의 온도 안정화 경향과 실제 안정화 되가는 휘도 분포의 상관관계가 명확히 존재함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Philips QL lamp system, Product Information, 2001.
- [2] OSRAM Endura, Product Information.
- [3] G.I. Babat, "Electrodeless Discharge and some applied problems", J.IEE, vol/94, pt3, pp.27-37, 1947.
- [4] 황명근, 박대회, "무전극 램프의 기술동향과 전망" 한국조명전기설비학회 학술대회 논문집, pp. 23~26. 2001. 11.
- [5] R B Piejak, V A Godyak and B M Alexandrovich, "A Simple Analysis of an Inductive RF discharge", Plasma Sources Sci. Technol. 1, 179-186, 1992.
- [6] Stanley Lyons, "Lighting for Industry and Security -A handbook for providers and users of lighting-", pp.93-95, 1992.
- [7] 김현숙, 이세현, 신상욱, 황명근, "무전극 형광등 시스템의 성능 평가 및 분석", 한국조명·전기설비학회 학술대회 논문집, pp3~8. 2002. 11.
- [8] 한국표준협회, KSC 7601 형광램프(일반조명용), 2001.
- [9] 한국표준협회, KSC 7607 메탈헬라이드램프, 1999.
- [10] Fred Whitney, "Measurements of Inductive ly-Coupled RF Fluorescent Lamp Lumen

Properties", IEEE, pp. 1988-2002, 1994.

- [11] D.O.Warmby, "Electrodeless lamps for lighting : a review", IEE Proceedings A, Vol 140, No 6, Nov.,1993.

◇ 저 자 소 개 ◇



김 현 숙(金賢淑)

1995. 3.~1999. 2. 광운대학교 물리학과 졸(학사). 1999. 8.~2001. 8. 광운대학교 전자물리학과 졸(석사). 2002. 1.~2003. 2. 현재 (재)한국조명기술연구소 연구개발부 연구원. 현재 SID member, 대한전기학회 정회원, 본 학회 정회원.



이 세 현(李世賢)

1992. 3.~1999. 2. 안양대학교 전기공학과 졸(학사). 2000. 3.~2002. 2. 인하대학교 대학원 전기공학과 졸(석사). 2002. 2.~2003. 2. 현재 (재)한국조명기술연구소 연구개발부 연구원. 현재 대한전기학회 정회원, 본 학회 정회원.



신 상 욱(申相旭)

1989. 3.~1996. 2. 호서대학교 전기공학과 졸(학사). 1996. 3.~1998. 2. 호서대학교 대학원 전기공학과 졸(석사). 1998. 5.~1997. 7. (주)SEC 연구개발팀장. 1999. 7.~2003. 2. 현재 (재)한국조명기술연구소 연구개발부 연구원. 현재 대한전기학회 정회원, 본 학회 정회원.



황 명 근(黃明根)

1988년 국립서울산업대학교 전자공학과 졸(학사). 1991년 한양대학교 전자공학과 졸(석사). 2000년 인하대학교 대학원 전기에너지 및 재료공학(박사수료). 전기전자설비 진단사. 1998. 11.~2003. 2. 현재 (재)한국조명기술연구소 책임연구원. 현재 IEEE member, IALD member, 대한전기학회 정회원, 전기전자재료학회 정회원, 태양에너지학회 정회원, 한국전자과학회 정회원, 본 학회 정회원.