2002년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2002.7.10-12

고효율 신광원 시스템의 특성에 관한 연구

김현숙*, 이세현, 신상욱, 임종민, 허성국, 황명근
한국조명기술연구소

A Study of High Efficiency Electrodeless lamp Properties

H.S.KIM, S.H.LEE, S.W.SHIN, J.M.LIM, S.K.HUH, M.K.HWANG
Korea Institute of Lighting Technology

Abstract - Electrodeless discharge lamps have been objects of interest and research for several decades, mainly because of their potential for extremely long life, high lamp efficacies and smaller than standard fluorescent lamps size. A series of measurements and observations concerning variables has yielded optical and electrical characteristics for electrodeless discharge lamp like incandescent lamp and circular lamp feature. Last experiment were carried out to determine the lamp temperature at several surface points during operation. Light output levels in excess over 60,000 cd/m^2 have been measured in electrodeless discharge lamp for a general of conditions. At lamp surface temperatures have been measured over 80 ℃, and starting current have been measured over ~A.

1. 서 론

무전극 방전램프란 일반적으로 램프 내부에 전극없는 램프로서 고주파 유도에 의해 플라즈마를 생성하여 고휘도의 광출력을 내는 램프를 말한다. 기존의 형광 램프는 램프 양단에 전계를 가해주면 내부에 존재한 hot cathode 나, cold cathode 에서 전자나 이온이 방출되어 내부 희가스들을 여기시켜 발광하게 되는데 이때 전계에 의해 발생한 전자나 이온은 전극 주변의 형광체나 전극과 스퍼터링을 일으킨다. 이에 봉입된 가스외에 불순가스를 생성하여 수명이 단축된다.[1] 그러나 무전극 형광램프의 경우 전원인가시, 전극에 의한 내부 스퍼터링이 발생되지 않아 램프안에 봉입된 가스외에 불순물이 생성되지 않아 장수명을 보장받을 수 있고 오랜 시간동안 광속을 유지시킬 수 있다.[2],[3],[4] 또한 비슷한 전력을 사용하는 고압방전램프와 비교했을 때 매우 안정적인 광출력과 연색성을 도출해 낼 수 있기 때문에 저와트급 고압방전등의 대체용으로 이용할 수 있는 등, 실내외적으로 조명의 응용과 각종 디스플레이에 응용이 무한하다.[5],[6],[7],[8]

무전극 방전램프는 크게 용량성 RF 방전(Capacitive RF Discharge), 유도 RF 방전(Inductive RF Discharge), 그리고 RF파 방전(RF wave discharge) 이렇게 3가지 방전형태로 나눌 수 있다. 용량성 RF 방전은 전극 sheath 내 변위전류(displacement current)에 의해 플라즈마가 발생한다. 이때 파장(λ)은 방전크기(d) 보다 큰 정전(electrostatic) RF E-field 에 의해 여기된다. 유도 RF 방전은 H-field와 플라즈마의 방전 경로를 따라 생성된다. 이때에도 역시 가해주는 주파수의 파장(λ)은 방전크기(d)보다 커야한다. RF파 방전은 전자기파(electromagnetic wave)에 의해 유지된다. 이때 파장(λ)과 방전크기(d)는 거의 비슷해야 된다.

웨이브 방전은 일반적으로 1 GHz보다 더 크거나 거의 비슷한 마이크로전력에 의해 유지된다.[9]

이번 실험은 위의 RF 방전중에 유도 방전에 관한 것으로 현재 시판되고 있는 전구형 무전극 램프 55 W, 85 W와 환형 무전극 램프 100 W, 150 W 각각에 대한 휘도, 스펙트럼 및 연색성을 측정하였다. 또한 초기 방전부터 안정화 될 때까지 램프 부위별 온도를 측정하였고 구동시 초기 방전에 사용된 전류파형을 측정하였다.

2. 본 론

2.1 램프 구조 및 발광 원리

그림 1은 환형 무전극 램프와 전구형 무전극 램프의 구조이다. 램프 벌브와 자계를 발생시키기 위한 페라이트 코아에 자기 유도 코일이 감겨있고, 내부에는 방전을 하기 위한 Ar, Ne, Kr 등의 희가스와 수은, 그리고 아말감이 봉입되어 있다. 벌브 내부에는 고온에도 열화가 되지 않는 삼파장 백색 형광체가 도포되어 있다.[10]

이러한 코일에 의해 유도된 전류를 이용해 자기 방전(magnetic discharge)을 일으키기 때문에 유도 RF 방전(Inductive RF Discharge), ICD(Inductivity Coupled Discharge), SEF (Solenoidal Electric Field) discharge 또는 H-Discharge 라고도 하기도 한다. 이러한 램프는 일반적으로 내부의 희가스가 수은과 버퍼가스로 채워져 있으며 수은 자외선 파장(254nm)을 이용하여 방전을 한다. 램프의 방전은 초기에 높은 전기장(electric field)을 인가하여 초기 전자(seed electron)를 생성하여 방전을 진행할 수 있는 기반을 생성하고 이후 교대로 발생되는 자기장에 의해 방전을 유지한다. 자계를 발생시키는 코일은 램프 구성의 외부, 내부, 또는 방전공간내에 있기도 하다. 기타 페라이트 코아에 전류를 흘려보낼 때 발생되는 열을 충분히 내 보내주기 위해 코아 부근에 열전도봉을 구성하기도 한다.[11],[12],[13]

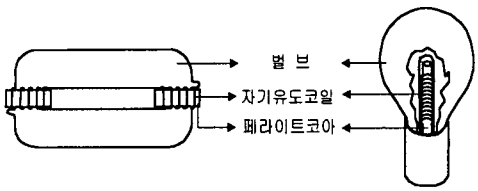


그림 1. 무전극램프의 구조

2.2 실험측정 및 결과

구동 주파수 2.65 MHz의 전구형 무전극 형광램프 55 W, 85 W와 주파수 270 kHz의 환형 무전극 형광램프 100 W, 150 W를 측정하여 각각의 휘도, 색좌표, 색온도 및 스펙트럼 분포와 전원 인가후 램프의 표면온도, 그리고 방전 개시 전류파형을 측정하였다.

2.2.1 휘도, 색좌표, 색온도 및 스펙트럼

일반적으로 램프를 측정할 때는 바로 출시된 램프를 측정하는 것이 아닌 램프를 충분히 에이징 한 다음 램프의 내부의 플라즈마 상태가 충분히 안정화 된 후에 측정한다. 이 실험에서는 휘도 및 스펙트럼 등의 광학적 특성을 보기 위해 측정하고자 하는 모든 램프를 100시간 동안 에이징 한 후 측정하였다. 램프의 크기가 클수록 주변의 환경과 관련하여 변화가 많이 감지되기 때문에 측정시 주변온도는 상온 24±1도를 유지하였다.

표 1은 각각의 휘도값과 색좌표, 색온도의 측정치이다. 휘도값은 전구형 55 W 무전극 램프의 경우 65,350 cd/m^2, 85 W는 65,750 cd/m^2의 값이 측정되었다. 환형 100 W 무전극 램프의 경우 43,920 cd/m^2, 150 W는 51,000 cd/m^2가 측정되었다. 실제 램프 크기와 전력의 차이에 의해 시각적으로 광출력의 차이가 존재하지만 휘도는 단위면적에 대한 광도값으로 휘도계 1도로 전구형 무전극 램프의 경우 정 중앙을 측정하였고 환형 무전극 램프의 경우 가장 부피면적이 큰 부위를 측정했기에 램프마다 휘도값의 큰 차이는 발견하기 힘들었다.

구 분	구동 주파수	휘도[cd/m^2]	색좌표		색온도 [K]
			x	y	
전구형 55W	2.65 MHz	65,350	0.391	0.383	3,742
전구형 85W	2.65 MHz	65,750	0.388	0.380	3,817
환형 100W	270 kHz	43,920	0.3807	0.3781	4,051
환형 150W	270 kHz	51,020	0.3914	0.3893	4,020

표 1. 무전극 램프의 휘도, 색좌표, 색온도

그림 2에서 실선은 환형 무전극 램프의 상대 스펙트럼 분포이며 점선은 전구형 무전극 램프의 상대 스펙트럼 분포이다. 실제 환형의 경우 100 W, 150 W 모두 측정하였고, 전구형의 경우도 55 W, 100 W 모두 측정하였으나 같은 제조사의 경우 스펙트럼 분포도는 거의 같게 나와 비교치를 위해 환형과 전구형의 상대스펙트랄 분포도를 확인하였다.

그림 2의 경우 상대 스펙트랄 분포도이기에 크게 구분이 없어 보이지만 실제 방사 강도 값은 전구형 무전극 램프의 경우 환형 무전극 램프보다 약 1.5배 이상 큰 값이 나왔다.

전구형 무전극 램프의 경우 55 W, 85 W 는 Green 색깔의 파장대인 546 nm 파장에서 가장 높은 방사 강도가 검출되었으며 그 에너지 값은 약 6.423 W/(sr · m^2 · nm)으로 측정되었으며, 환형 무전극 램프의 경우 램프 형태에 따라 약간씩 차이가 발생되었는데 양광주 부분이 가장 뚜렷한 부위에서 150 W의 경우 4.713 W/(sr · m^2 · nm), 100 W는 3.900 W/(sr · m^2 · nm) 값이 나타났다. 대신 페라이트 코아가 감겨있는 구부러진 부위의 경우, Red 와 Green 파장대인 612 nm에서 150 W는 3.525 W/(sr · m^2 · nm), 100 W는 3.092 W/(sr · m^2 · nm)의 방사 에너지가 나타났다.

전체적인 RGB의 분포도는 약간씩 어긋나 있지만 파장대는 3파장으로 분포됨을 알 수 있었다.

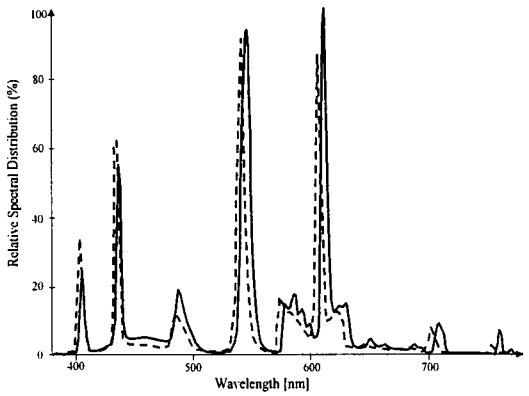


그림 2. 전구형, 환형 무전극 램프의 스펙트럼 분포

2.2.3. 램프의 표면온도

램프 형태에 따른 램프의 표면온도를 측정하였다. 그림 3과 4는 각각 전구형 85 W와 환형 100 W 무전극 램프의 표면 온도 측정을 위해 지정한 점을 표시한 부분과 그 결과치이다. 특히 램프 표면의 온도를 측정하기 때문에 환경 변화가 최소가 되도록 상온 24±1 ℃를 유지하였다. 측정지점은 램프 구조와 자기 유도발생을 하는 코아의 위치 등을 참고하여 선택하였다. 램프의 경우 수직방전, 수평방전에 따라 약간씩 틀린 결과치가 나올 수 있기 때문에 결과 분석시 참고해야 한다. 이 실험의 경우 전구형 무전극 램프는 그림 3과 같이 램프를 수직으로 놓아 측정하였고, 환형 무전극 램프는 그림 4와 같이 수평으로 놓고 측정하였다.

그림 3의 결과를 보면 2.65 MHz로 구동하는 전구형 무전극 램프의 경우 초기 방전 개시 이후 매우 빠른 속도로 온도가 상승되어 30분내로 온도가 안정화된 것을 볼 수 있다. 페라이트코어에 발생된 열을 방출하기 위해 있는 열전도봉이 위치해 있는 밑면(P7)의 경우 방전 개시 이후 최고 140 ℃까지 상승하였다. 램프 벌브는 4구획을 설정하여 5점을 선택하여 측정하였다. 온도는 P3 〉 P2 〉 P4 〉 P1 〉 P5 순으로 측정되었다.

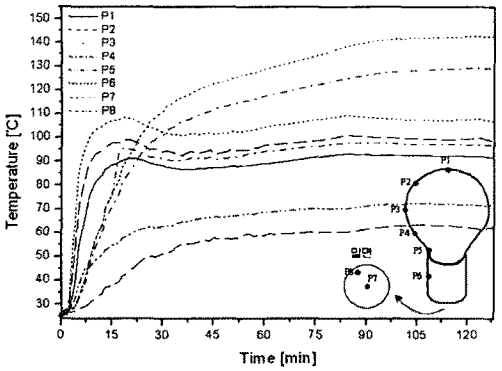


그림 3. 전구형 무전극 램프의 부위별 온도 측정 결과

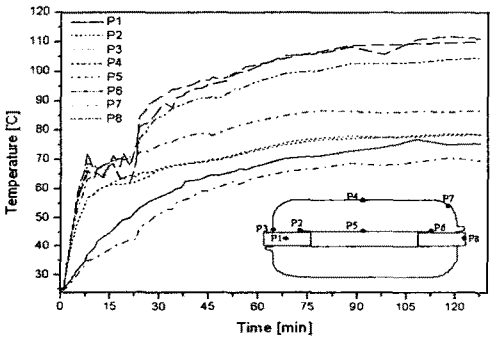


그림 4. 환형 무전극램프의 부위별 온도 측정 결과

그림 4에 보여준 270 kHz 구동의 환형 무전극 램프의 경우 꾸준한 속도로 온도 상승이 이루어졌다. 가장 높은 부위는 P2, P6의 램프 환형 내측 부분이 110 ℃로 가장 높게 나타났고 다음으로 P5 〉 P4 〉 P7 ≈ P3 〉 P1 〉 P8의 순으로 나타났다. 전력의 차이는 램프의 형태에 따라 있지만 전반적으로 전구형이든 환형이든 램프의 표면온도는 전체적으로 약 110 ℃ 정도 임을 확인하였다. 실험한 무전극 방전램프의 경우 수은을 이용한 형광체 발광이기 때문에 수은의 최적포화온도인 40 ℃와 무전극 램프의 표면온도의 불일치는 최적의 포화 수은증기압을 이루기 위해 아말감을 함유하여 높은 온도가 되어도 수은 증기압을 낮게 하는 것을 추정할 수 있다. [14]

2.2.4. 램프의 초기 방전시 전류치

그림 5는 전구형 55 W 무전극 램프의 출력 파형이다. 2.65 MHz의 전구형과 270 kHz의 환형 무전극 램프 두 가지 램프 모두 안정된 사인 파형을 갖고 있다.

일반적인 램프의 방전은 초기 방전전압을 유지 방전전압보다 높게 준다. 이는 초기 램프에 전자를 많이 발생시켜 적은 유지전압으로도 방전을 계속 진행할 수 있기 때문이다. [15] 그림 6은 85 W 전구형 무전극 램프의 방전개시 전류 파형이다. 전구형 무전극 램프의 경우 구분된 출력단자가 2개 존재한다. 이는 Black Line과 Red Line으로 구분하였다. 두 개의 초기 방전 개시 전류 파형은 거의 같은 형태를 이루고 있다.

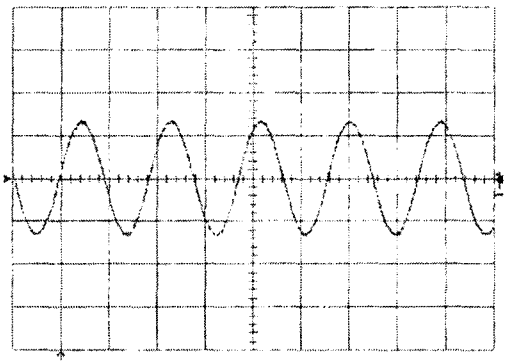
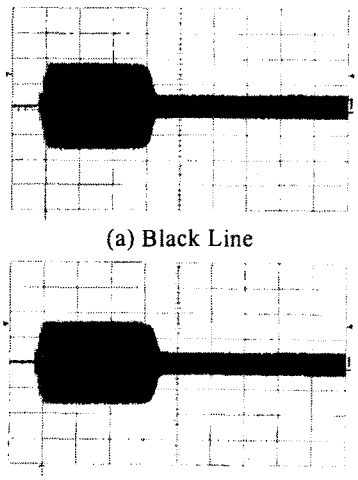


그림 5. 전구형 무전극 램프의 출력 전압 파형



(a) Black Line

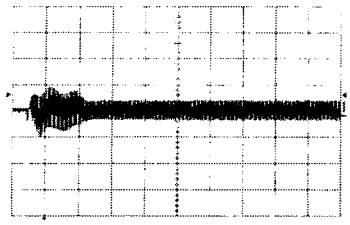
(b) Red Line

그림 6. 85 W 전구형 무전극램프의 방전개시 전류파형 (20 ㎲/2.0 A)

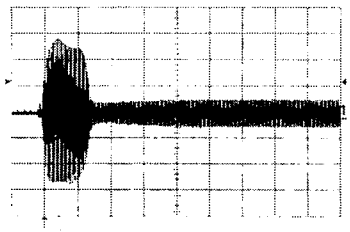
다음의 그림 7은 100 W 환형 무전극 램프의 방전개시 전류 파형이다. 환형 무전극 램프의 경우 출력단자가 3선으로 나오는데 이는 Blue Line, Yellow Line, Red Line으로 구분하였다.

전구형의 경우 55 W나, 85 W의 방전 개시 전류 파형이 초기에 수십 ㎲에서 수백 ㎲로 양 출력단자의 값이 크게 차이가 나지 않았으나, 환형 100 W의 경우 각각의 출력단자의 방전개시 전류 파형의 형태의 차이가 나타났다. 이는 램프내의 희가스를 여기시키기 위해 유도하는 전류를 생성하기 위한 방식의 차이로 볼 수 있다. [16]

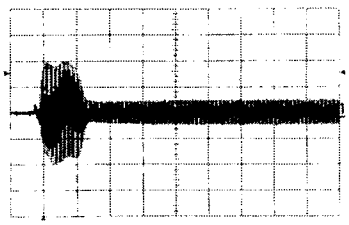
방전개시 전류값은 환형 무전극 램프의 경우 와트급에 따라 전류값이 차가 큰데 150 W의 경우 그래프로 표기하진 않았지만, 전류 최고치가 순간적으로 수십 암페어까지 나오는 등 초기 방전 개시 전류를 매우 높은 값을 갖는 것을 발견할 수 있었다.



(a) Blue Line



(b) Yellow Line



(c) Red Line

그림 7. 100 W 환형 무전극 램프의 방전개시 전류파형 (0.1 ms/2.0 A)

3. 결 론

무전극 램프와 관련하여 광출력과 방전개시 전류, 그리고 램프 구조에 따른 구동시 온도 분포를 확인해 보았다.

광출력과 관련하여 같은 전력급 램프들과 비교하여 높은 휘도값과 연색성 확인하였으며 또한 시각적으로도 안정된 효과를 확인할 수 있었다. 램프의 표면온도를 측정하여 램프 형태와 관련하여 부위별 온도를 확인하였으며, 출력시 방전 개시를 위한 수십에서 수백 μs동안 가해지는 고전류를 확인하였다.

안정되고 높은 광출력과 연색성, 그리고 더 나아가 전자파 차단기술의 결합은 앞으로 많은 전력을 소비하는 광원이나 디스플레이 등 현재 사용되는 광원을 대처할 수 있을 것이며 에너지 절감의 효과도 가져 올 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 IMT-2000 전통산업의 IT접목 기술개발 사업 중 "초고주파 방전 신광원 시스템 개발" 과제 지원에 의해 수행 되었습니다.

〔참 고 문 헌〕

[1] J. F. Waymouth, "Electric Discharge Lamps" MIT Press, pp. 11-46, 1971.

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

[3] 황명근, 박대희, "무전극 램프의 기술동향과 전망" 한국조명전기설비학회 학술대회 논문집, pp. 23-26, 2001. 11.

[4] 황명근, "고효율 무전극 신광원 시스템 기술", 월간 등, pp. 56-65, 2002. 2.

[5] 이세현, "무전극 신광원 램프의 기술동향", 월간 등, pp. 56-59, 2002. 4.

[6] Randall Blanchard, "Optimized LCD Backlight for Outdoor and High Brightness Applications", SID 01 Digest, pp. 295-297, 2001.

[7] Hyun-Sook Kim, Dai-Geun Joh, Young-Guon Kim, Jae-Jun Ko, Dae-Ill Kim, Chun-Soo Lee, Eun-Ha Choi, and Guangsup Cho, " LCD Planar Backlight Employing the External Electrode Fluorescent Lamps Driven by Square Pulses from Switching Inverter", SID 01 Digest, pp. 687-689, 2001.

[8] Y. Baba, M, Izuka, T. Shiga, S. Mikoshiba, " A 100,000-cd/m^2, Capacity coupled Electrodeless Discharge Backlight with High Efficacy for LC TVs", SID 01 Digest, pp. 290-293, 2001.

[9] G. I. Babat, "Electrodeless Discharge and some applied problems", J.IEE, vol.94, pt3, pp.27-37, 1947.

[10] Stanley Lyons, "Lighting for Industry and Security -A handbook for providers and users of lighting-", pp. 93-95, 1992.

[11] M. N. Hirsh, H. J. Oskam, "Gaseous electronics", pp. 173-215, 1978.

[12] OSRAM Endura, Product Information.

[13] Philips QL lamp systems, Product Information, 2001.

[14] Fred Whitney, "Measurements of Inductively-Coupled RF Fluorescent Lamp Lumen Properties", IEEE, pp. 1988-2002, 1994.

[15] Brian Chapman, "Glow Discharge Processes", pp. 77-138, 1980.

[16] J. R. Coaton and A. M. Marsden, " Lamps and Lighting", Fourth Edition, pp. 216-226, 1997.