

마이크로웨이브 방전 PLS 연구

어연수 · 배영진 <LG전자 MGT사업부>

1 서론

근래의 광원기술은 생활기반의 향상과 더불어 좀더 쾌적하고 고급적인 광품질을 요구하는 부분과 함께 필수적인 요소로서의 에너지 절감차원, 그리고 또 하나는 유해물질을 최소화하고 환경친화적인 광원의 개발에 주력하고 있다 말할 수 있겠다.

이러한 광원기술 분야 중 2450(MHz)의 마이크로웨이브에 의해 가스나 금속증기를 방전시켜 발광케 하는 PLS(Plasma Lighting System)은 1991년 미국의 퓨전라이팅사에 의해 최초 상용화의 가능성을 알린 후 지속적인 기술개발 과정을 거쳐 최근에는 초기의 고출력(1.4kW~2kW급) 수준에서 벗어나 범용적인 조명이라 할 수 있는 300(W)급 및 100(W)급의 저출력 구현에 이르게 되었으며 이러한 기술개발은 초기의 고출력 모델에서 오는 응용조명 구현의 어려움 때문에 광분산 및 전송기술에 제약적인 요소가 발생되어 프리즘 필름등을 이용한 광도관등의 특수한 응용조명이 불가피 하였던 것에서부터 좀더 자유로운 응용조명 개발이 가능하게 된 이유로 작용하여 초기 고출력 모델의 단축(Short Shaft)의 발광 벌브외에 산업용 조명기기 및 투광형 조명기기, 가로등 조명기기 등의 단독조명에 어울리는 배광특성 설계가 가능한 장축(Long Shaft)의 발광 벌브가 필요하게 되었다.

이러한 요구조건에 맞추어 LG전자에서는 최근 장축형 발광 벌브를 적용한 300(W)의 개발을 진행하고 있으며 본고에서는 이러한 최근의 개발현황에 대하여 간략히 기술하고 시스템 기술개발에 있어서 핵심적인 부품설계에 필요한 사항들에 대하여 언급하고자 한다.

2 본론

2.1 PLS의 구조

PLS는 조명기기로서 전자레인지에 사용되는 고주파 발진기(마그네트론)를 이용하여 발생된 ISM (Industry, Science, medical)밴드인 마이크로웨이브(2.45GHz)를 웨이브가이드(도파관)를 사용하여 전송하여 공진기내의 무전극 램프에 방사시켜 내부의 불활성 가스 및 금속증기의 방전에 의한 플라즈마 상태로 되면서 빛을 연속적으로 발산하게 되는 시스템이다. 이러한 원리로 전극없이 뛰어난 광량을 제공하게 된다.

그림1은 이러한 PLS의 구조를 보여주는 것으로 핵심부품이라 볼 수 있는 마그네트론과 마이크로웨이브를 전송하는 도파관 및 공진기서 발생된 마이크로웨이브를 전송하기 위한 도파관과 공진기, 플라즈마 발광체인 발브로 구성되어 있으며 한편 최근 개발이 되고 있는 300(W)급의 저출력 및 장축형 벌브 PLS는 아래와 같은 몇가지의 특징적 기술 개발로 이

루어진다.

- 고효율 저출력 마그네트론
- 장축광원용 공진기 설계
- 저출력 마이크로웨이브 방전 화합물
- 응용조명 및 기구의 개발

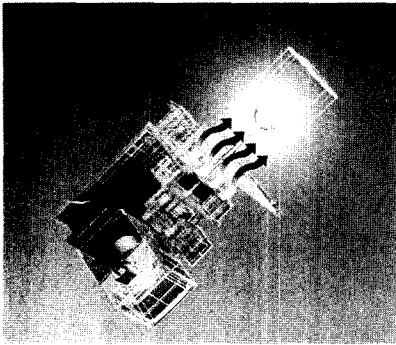


그림 1. PLS 구조(마그네트론, 공진기, Bulb)

2.2 고효율 저출력 마그네트론

저출력 마그네트론의 경우 정격출력 170(W) 동작주파수 2460(MHz) 효율 70% 수준으로 특히 동작수명의 연장 및 자연냉각 구조설계가 핵심이라 할 수 있다.

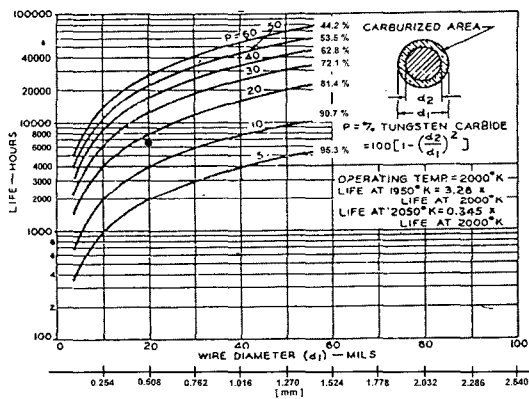


그림 2. Magnetron Cathode의 수명

그림2에서 보듯이 현재의 전자레인지용 상용 마그네트론의 경우 동작수명은 약 7,000 시간 내외로 조명용으로 사용하기에는 수명이 불충분하다. 따라서

마그네트론 Cathode의 착탄율의 조정 및 동작온도를 그림 3과 같이 내림으로써 동작수명을 약 40,000 시간 이상으로 올릴 수 있게 되었다.

선경 [mm]	착탄율 [%]	착탄 두께 [mm]	동작 온도 [°K]		
			1,950	2,000	2,050
0.50	8.3	0.024	21,000	6,500	2,200
	7.1	0.041	39,000	12,000	4,100
	5.7	0.067	66,000	20,000	6,900

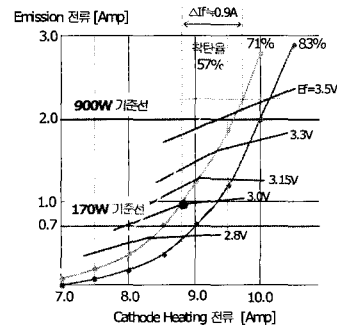


그림 3. Cathode의 착탄 및 동작온도 설계

한편 저출력용 마그네트론의 경우 양극손실의 저감에 따른 자연냉각구조가 가능해 졌으며 이의 방열판 설계는 아래의 조건에 따라 방열관계가 이루어 짐을 알 수 있었다.

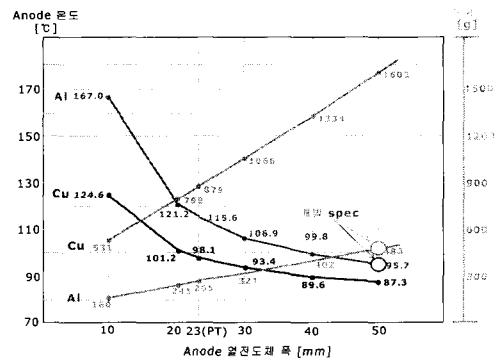


그림 4. Anode 열전도체 및 온도/ 무게

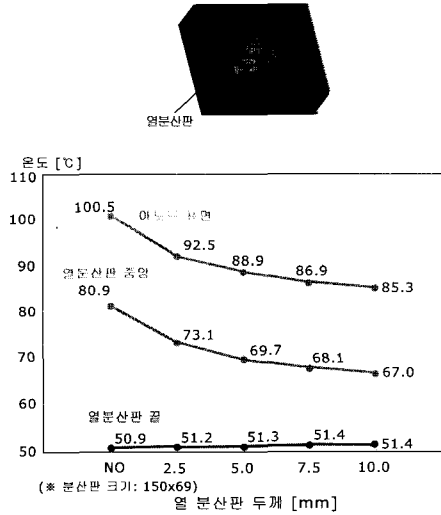
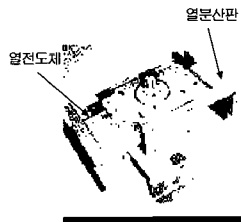


그림 5. 열분산판 두께/ 크기에 따른 방열

위와 같은 결과에 따라 저출력 마그네트론의 착탄율은 70% 수준 음극전압은 3.0 V ac 이하 수준, Anode 열전도체는 50[mm] 폭의 Aluminum 전도체에 150 × 70[mm] 폭의 7.5[mm]의 두께를 기준으로 개발이 진행 되었다.



구분	단위	측정치
음극전압(Ef)	V	3.0
양극전류	mA	65
출력	W	177
동작전압	kV	3.84
주파수	MHz	2457
효율	%	71
음극전류	A	8.7
Moding Ef	V	2.11

그림 6. 저출력 PLS용 마그네트론

2.3 장축광원용 공진기

300[W]급 이하의 광원으로 PLS가 개발이 되면

서 다양한 응용조명 개발의 요구와 더불어 배광설계가 용이한 장축의 벌브가 필요하게 되었으며 이와함께 저출력에서의 초기시동 용이성과 또한 발광효율이 우수한 공진기의 설계가 대단히 중요하게 되었다.

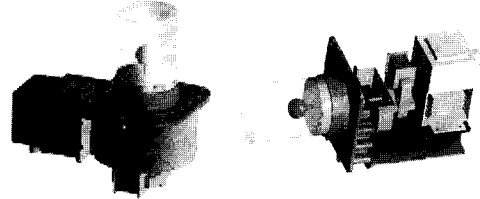
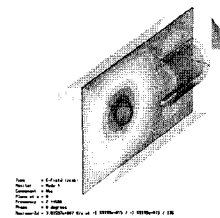
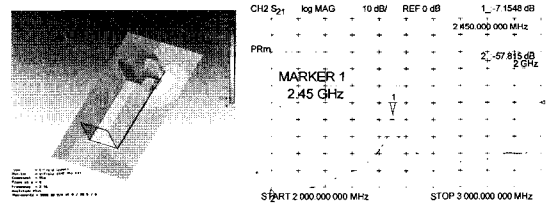


그림 7. 1250[W] 및 900[W]급 PLS용 공진기

이러한 요구에 맞추어 TE Mode를 기본으로 하는 공진기 내부에 전자계 집속용의 Tuner를 적용하여 초기시동의 개선 및 공진효율의 상승을 기할 수 있게 되었다.



Items 1	Item 2	공진 주파수	기준 치수
Resonator	Length ↑	↓	180
	Inner Dia. ↑	↓	78
Tuner	Outer Dia. ↑	↓	36
	Height ↑	↓	55
Bulb Shaft	Length ↑	-	65
Slot	Width ↑	-	12

그림 8.1. 300[W]용 장축 공진기 및 Tuner

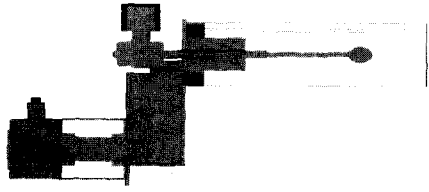


그림 8.2. 300(W)용 장축 공진기 및 Tuner

그림8 에서와 같은 Simulation 및 시험을 통하여 고효율 장축벌브 적용이 가능해 졌다. 한편 그림 8-2.는 장축 벌브의 적용에 따른 회전구동에서 오는 신뢰성 저하를 막기위한 도파관 구조를 나타내고 있다. 즉 고출력과 유사한 광원축 길이를 가지면서도 유효길이만 키운 형태가 되는 것이다.

2.4 저출력 마이크로웨이브 방전 화합물

저출력 PLS에서도 황은 유력한 발광물질중의 하나로 볼수 있으며 그 외에 광효율 개선 및 저출력 시동, 연색성 개선을 위한 여러 가지의 시도들로 인하여 최근에 이르러는 광효율은 최고 90(lm/W) 연색성은 85 Ra 수준의 고성능 발광물질의 개발을 앞두고 있는 실정이다. 그 외에 응용조명의 활용방법에 따라 일부 광효율 및 연색성의 저하를 감수하는 선에서 색온도를 조정하는 작업들이 추가로 진행되어 좀더 상용화 준비에 대응하는 경향을 보이고 있다. 그림 9는 300(W) 소비전력시의 23(mm) Bulb의 함유량에 따른 광속변화를 보여준다.

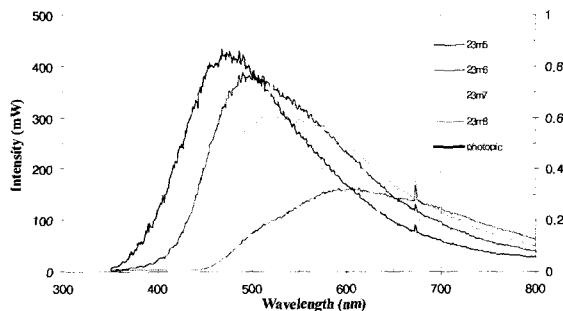


그림 9. 300(W) 황 Bulb 광속변화(23mm,5~8mg)

2.5 응용조명 및 기구의 개발

이러한 300(W)급 또는 그이하의 마이크로웨이브 방전광원의 응용조명은 일체화된 시스템등 기존 조명용 광원과의 차이로 응용조명 또한 기구설계 과정에서 차별화된 개발과정을 필요로 하여 광원과 동시에 개발이 진행되는 경향이며 현재 가로등기구 및 투광기, 산업용 등기구 및 경관조명용 Image Pole등의 조명기구들이 개발 진행중에 있다.

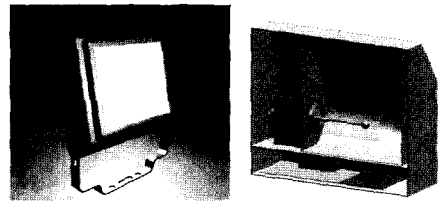


그림 10.1. 300(W) PLS 투광등기구용

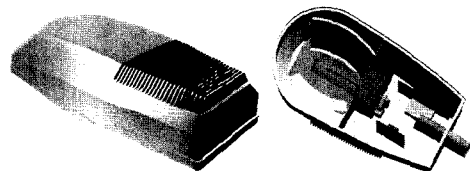


그림 10.2. 300(W) PLS 가로등기구용

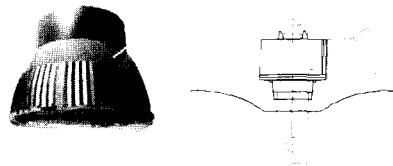


그림 10.3. 300(W) PLS 산업등기구용

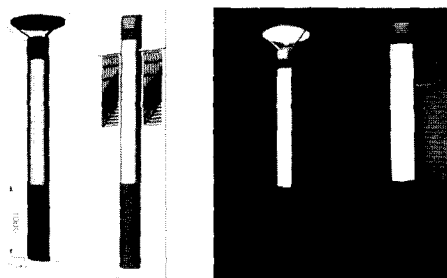


그림 10.4. 300(W) PLS Image Pole 조명기구

3. 결 론

이상의 내용으로 300[W]급의 저출력 PLS의 기술개발 동향에 대하여 살펴보며 동시에 향후의 응용 조명 개발방향도 살펴볼 수 있었다. 아직 새로운 광원이 주위의 조명환경을 확 바꾸는 계기는 없었다 할지라도 현재의 개발과정을 거치고 점차의 개선과정을 거치는 동안 광원분야의 한가지 새로운 흐름을 만들어 나갈 수 있으리라는 예상을 해본다.

◇ 저 자 소개 ◇



허현수(許賢洙)
1965년 4월생. 1991년 경북대학교 물리학과 졸업(학사). 1991년~(주)LG 전자 근무, 현재 LG전자 MGT사업부 연구실 책임연구원.



배영진(裴永珍)
1958년 4월생. 1984년 경북대학교 공업화학과 졸업(학사). 1994년~(주)LG전자 근무, 현재 LG전자 MGT사업부 연구실장.