

원편파 마이크로파 방전에 의한 InBr방전등 발광 특성 연구

*원동호¹ · 고정태¹ · 김정영¹ · 김진중¹ · 김정원²
¹세종대학교 광공학과, ²태원전기산업(주) 부설연구소

A Study on Electrodeless InBr Lamps Using Circularly Polarized Microwaves

*Dong Ho Won¹ · Jung Tae Ko¹ · Jung Young Kim¹ · Jin Joong Kim¹ · Jeong Won Kim²
¹Department of Optical Engineering, Sejong University, ²Taewon Lighting Company R&D Laboratory

Abstract - 최근 마이크로파 방전에 의한 고압 2-원자 분자인 InBr증기는 고연색성(high color rendering index, CRI)의 백색광 발광원으로 주목 받고 있다. 잘 알려진 무전극 황전등은 최고 효율이 173 lm/W까지 시연되어 알려진 모든 인조 광원 중에서 가장 높은 효율을 보인 혁신적인 광원이다. 이에 비해 InBr방전등은 무전극 황전등에 비해 효율은 떨어지지만 거의 완벽한 CRI(95이상)를 보이기 때문에 차세대 projection display의 발광원으로 대두되고 있다. 본 논문에서는 원편파 마이크로파 이용하여 무전극 InBr방전등의 입력전력의 변화와 InBr의 양 변화에 대한 특성(휘도, 상관색온도, 스펙트럼, 등)에 관한 실험결과를 보고한다.

1. 서 론

마이크로파를 이용하여 2-원자 분자인 InBr를 여기시켜 플라즈마 상태로 만들어 발광하는 InBr방전등은 가시광선의 전 파장영역에서 거의 균일한 연속광을 방출, 자연광에 가장 근사한 스펙트럼을 보이는 고부가가치의 차세대방전램프이다. 지난 1990년대 초에 출현한 가스나 금속 증기를 마이크로파와 같은 초고주파로 방전(very high frequency discharges, VHF)하여 광대역(broadband)의 집적된 가시광선을 발광시키는 기술은 조명용 광원 시스템을 위하여 획기적인 기술로 인식되어 왔다[1]. 초고주파를 이용한 방전은 방전구(quartz bulb) 안에 전극이 없이 방전이 이루어지기 때문에 램프의 수명이 길고, 제작이 간편하다. 또한 수명 기간 동안 광속 유지율(lumen maintenance)이 거의 일정하고, 높은 연색성을 갖고, 이러한 고효율, 고풍속, 자연색광과의 유사성에 기인하여 체육관, 터널, 수영장, 공항, 박물관 등에 사용될 수 있으며, 저출력화·소형화가 이루어질 경우 조명을 물론, 프로젝션 디스플레이, HDTV, 의료 조명기기, 등등 첨단 기기에 사용될 수 있는 최상의 고휘도 광원으로 실용화 단계에 와 있다[2]. 그리고 비형광 광원을 사용하는 초고주파 방전 램프는 무전극 황전등이 시조인데, 이 기술이 InBr, CsBr, 등과 같은 다른 2-원자 메탈 할라이드(metal halide)에도 적용될 수 있다는 것이 시연되었으며, 연색성지수 98을 갖는 거의 완벽한 백색광원이 개발되고 있다[3].

제 1세대 무전극 황전등은 램프를 포함하는 전자파 공동의 열에 의한 산화에 따른 전도성 저하, 램프 회전의 불편함, 주변 기기의 열 처리 문제 등등, 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점들은 제 2세대 초고주파 방전등 개발에서 필히 다루어야 할 사항들이다. 원리적으로는 해결되지 못할 것이 없으나 일부는 실용화면에서 도전적인 문제들이다. 새로운 기술이기 때문에 기존의 광원을 대체하기에는 많은 주변 기술이 병행하여 개발되어야 할 것이다[4].

본 논문에서는 고휘도를 필요로 하는 정보표시 첨단 광원에서부터 일반 조명에까지 광범위하게 응용 가능한 무전극 InBr램프의 InBr의 양과 출력에 따른 발광 특성(스펙트럼, 색온도, 연색성지수, 등)에 관한 실험 결과를 보

일 것이다.

2. 본 론

2.1 실험 장치

실험에 사용된 램프는 지름이 약 3.6[cm]인 석영(quartz)으로 만들어진 구형이다. 내부에 순도 99.999%의 InBr 수십 mg과 buffer gas로서 99.999%의 Ar을 수 torr 채운 후 밀봉하였다. 램프는 그림 1의 WR340 도파관 연결형 방전장치의 공동(cavity) 중심부에 장착하였다. 방전공동(discharge cavity)으로 원통형 도체망을 사용하여 입력되는 마이크로파 에너지를 램프에 집중시키고, 고주파 발생장치로 2.45[GHz]대의 마이크로파를 발생시키는 마그네트론을 사용하였으며 전원장치를 제작하였다. 입력된 마이크로파 전력은 directional coupler의 진행과 측정용 단자를 통해 전력계에서 측정한다. 반사된 마이크로파 전력은 directional coupler의 반사파 측정용 단자를 통해 전력계에서 측정하며 방전램프에 흡수된 마이크로파 전력은 측정된 입사전력과 반사전력의 차이이다. 기존의 장착된 방전 램프는 InBr을 균일하게 방전시키고 열에 의한 램프의 파손을 방지하기 위해 일정한 속도로 회전할 수 있는 구조를 갖추었지만[5], 본 연구팀은 원편파시스템을 이용하여 E-field를 회전시켜 램프 자체의 회전 없이 InBr을 균일하게 방전시키고 열에 의한 파손을 방지하였다. 원편파시스템의 원리는 이후에 다른 곳에서 발표될 것이다. 그림 1은 원편파 시스템을 이용한 InBr방전램프의 시스템 구성도이다.

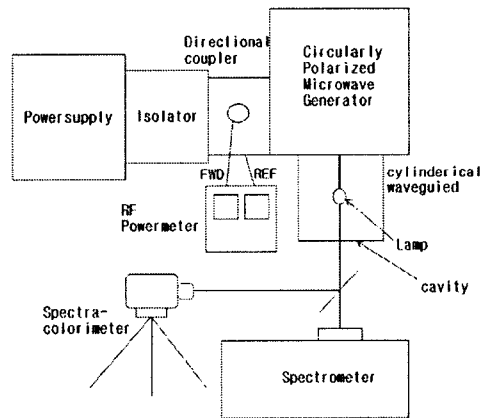


그림1. 원편파 마이크로파 전체 실험 장치

램프에서 방출되는 방전광 분광분포는 Spectrometer (Acton Spectrapro 500i)로 측정하였으며, 휘도, 상관색

온도, 및 평균 연색성 평가수는 colorimeter(PR-650, Photo Research)로 측정하였다.

2.2 InBr의 양의 변화에 대한 InBr방전등의 분광분포, 휘도, 상관색온도, 연색성지수

마이크로파로 여기된 무전극 InBr방전등의 마이크로파 입력전력에 대한 분광광도 변화를 그림 1과 같이 측정하였다. 분광분포는 그림2와 같이 마이크로파 입력전력이 1[kW]일때 455[nm] 근처에서 최대 값을 갖는 백색이다.

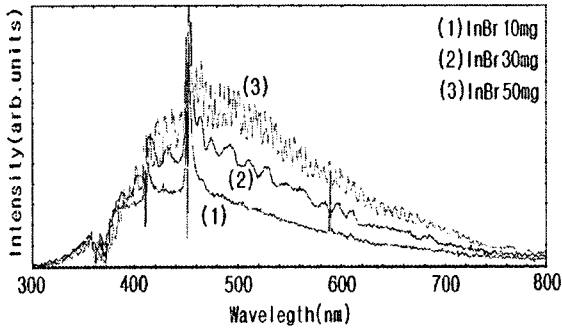


그림 2. 무전극 InBr방전등의 마이크로파 입력 전력이 1 kW일 때 InBr의 양 변화에 대한 방전광의 분광 분포.

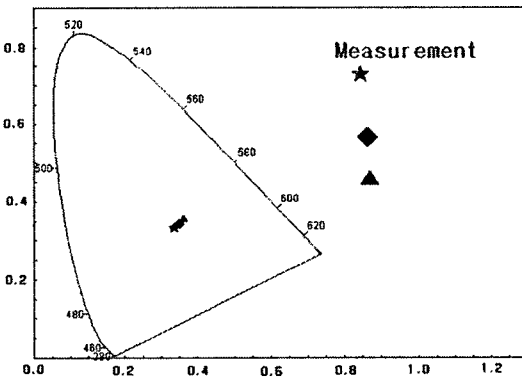


그림 3. 마이크로파 입력전력이 1 kW일 때 InBr의 양 변화에 대한 CIE1931 Chromaticity Diagram

표 1. 무전극 InBr방전등의 입력 전력이 1 kW일 때 InBr의 양 변화에 대한 방전광의 휘도, 상관색온도, 연색성지수.

	InBr(10mg) +Ar(10torr)	InBr(30mg) +Ar(10torr)	InBr(50mg) +Ar(10torr)
휘도(cd/m ²)	9.223e+006	1.286e+007	1.445e+007
상관색온도(k)	6882	6262	5602
연색성지수(Ra)	97	97	96

황의 경우 입력전력과 황의 양이 증가할수록 최대 peak 파장은 장파장쪽에 존재한다. 즉 황의 분광분포는 황의 양이 변하면 분광분포가 장파장쪽으로 shift한다.[5] 그러나 InBr방전등의 경우 그림 2를 보면 들어있는 InBr의 양이 증가하여도 분광분포가 shift하는 것은 볼 수 없고, 전체적으로 intensity만 커지는 흥미로운 실험결과를 얻

었다.

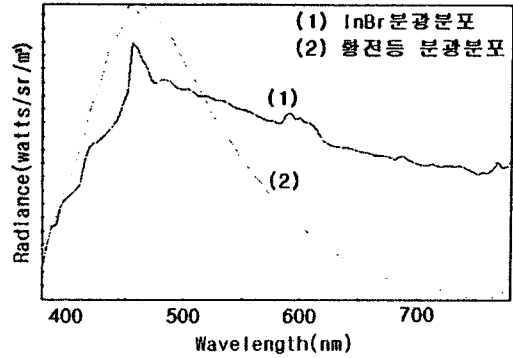


그림 4. 형전등과 InBr방전등의 분광분포 비교

표 1에서와 같이 휘도는 InBr의 양이 증가할수록 좋아졌으며, 상관 색온도는 5300일 경우 광색감이 차갑게 느껴지는데, InBr의 양이 증가할수록 차가운 느낌이 없어진다. 이것은 그림 2에서와 같이 InBr의 양이 증가할수록 붉은색 파장대를 많이 방출하기 때문에 전체 방전광의 분광분포가 장파장 영역으로 이동하지 않아도 상관색온도가 낮아진다. 연색성 지수는 InBr의 양 변화와 거의 무관하게 96이상을 보였다. 그림 4는 형전등의 분광분포와 InBr방전등의 분광분포를 비교한 그림인데, InBr방전등이 형전등보다 붉은색 파장대가 확연하게 많이 나오는 것을 볼 수 있다. 이 때문에 형전등보다 InBr방전등의 연색성지수가 더 좋다는 것을 알 수 있다.

2.3 입력 전력의 변화에 대한 InBr방전등의 분광분포, 휘도, 상관색온도, 연색성지수

원편과 마이크로파로 여기된 무전극 InBr방전등의 마이크로파 입력전력에 대한 분광광도 변화를 그림5와 같이 측정하였다. 마이크로파 입력전력이 0.4 kW 일 때 그림과 같이 파장 455 nm 근처에서 최대 값을 가지며, 마이크로파 입력전력을 1.0 kW까지 변화 시켜도 455 nm 근처에서 최대 peak를 가진다. 무전극 형전등의 경우 자체역전효과 때문에 분광분포가 장파장으로 이동하는데[4], InBr방전등의 분광분포에서는 장파장으로 shift하는 것이 아니라 붉은색의 파장대의 Intensity가 커지는 것을 그림 5를 보면 알 수 있다.

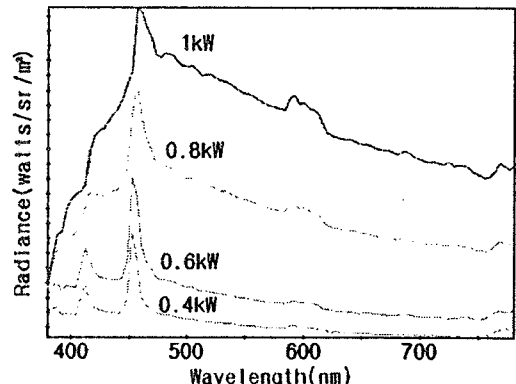


그림 5. InBr 30 mg일 때 입력전력의 변화에 대한 방전광의 분광분포

표 2. InBr 30 mg일 때 입력전력의 변화에 대한 방전광의 휘도, 상관색온도, 연색성지수

	휘도(cd/m ²)	상관색온도(K)	연색성지수(Ra)
0.4 [kW]	1.760e+006	9716	95
0.6 [kW]	3.242e+006	7813	95
0.8 [kW]	8.508e+006	7293	97
1.0 [kW]	1.286e+007	6262	97

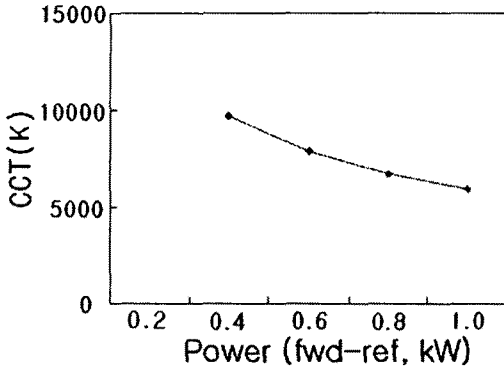


그림 6. InBr 30 mg일 때 입력전력 변화에 대한 상관색온도의 변화

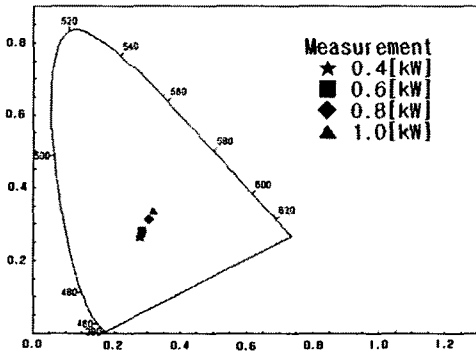


그림 7. InBr 30 mg일 때 입력전력 변화에 대한 CIE1931 Chromaticity Diagram

휘도는 표 2와 같이 입력전력이 증가 할수록 향상됨을 알 수 있고, 상관색온도는 그림 6과 표 2를 보면 0.4 kW 일 때 9716 K → 푸른색 계통의 백광이 나오기 때문에 차가운 느낌이 들고, 1.0 kW에서는 6262 K로 낮아지는 효과가 있다. 연색성지수는 저출력에서도 90이상 나오는 백광이 나오기 때문에 저출력 VHF드 램프로써 가장 적합한 램프라 할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 원편파 마이크로파 무전극 InBr방전등의 특성을 보였다. InBr방전등의 상관색온도는 출력과 InBr의 양을 조정하여 6262 ~ 9716 K 범위 까지 조절할 수 있음을 보였다. 또한 입력전력에 따라 Intensity

pattern이 변하지 않는다는 것과 저출력에서도 연색성지수가 90이상이며, 가시광선 영역 파장대가 거의 다 나오는 것을 알 수 있었다. 그리고 InBr방전등은 저출력 고휘도 램프로 일반 조명 뿐만 아니라 정보표시 광원으로 가장 이상적인 스펙트럼을 가져 프로젝션 디스플레이, 의료용 내시경, HDTV, 등등, 첨단 전자 장비의 광원으로 광범위한 응용 가능성을 가지고 있다. 향후 무전극 InBr의 보급 및 사용의 확대를 위해서는 적절한 조도 유지를 위한 반사경과 높은 휘도의 분배를 위한 광파이프(light pipe)와 같은 주변 장치에 관한 적용연구가 뒤따라야 할 것이다.

본 연구를 위한 산업자원부 주관 "IMT-2000/전통산업의 IT접목기술개발사업"의 지원을 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Wharmby, D. O. 1993: "Electrodeless lamps for lighting: a review," IEEE proceedings 140A, pp.465~473.
- [2] Kirkpatrick, D. A. 2001: "Aperture Lamps," Proc. the 9th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources, Ithaca, N.Y. 12~16 August 2001 (Cornell University Press, Ithaca, N.Y.) p. 309.
- [3] Donald, A. M., Turner, B. P., Dolan, J. T., Kirkpatrick, D. A. and Leng, Y., 1999: "High frequency inductive lamp and power oscillator," U.S. Patent, 6,137,237.
- [4] 김진중, 이진희, 홍성호, 김정원, 김경신 2002: "초고주파 방전을 이용한 신광원 연구개발의 현황," 초고주파 방전 신광원 시스템 전문 Session 논문집, 세종대학교, 태원전기산업(주), 2002. 7., pp. 16-19.
- [5] 김진중, 박기준, 구선근, "무전극 황전등 연구개발 - 2차년도 중간보고서," TM95YS27M1998.76, 한국전력공사 전력연구원, 1998.
- [6] 박기준, 구선근, 추장희, 이영우, "무전극 황전등 연구개발 - 최종보고서," TR95YS27.S1999.341, 한국전력공사 전력연구원, 1999.