

원편광 초고주파를 이용한 무전극 플라즈마 광원 응용 연구

원동호, 김경신, 윤현성, 백진수, 김진중
태원전기산업(주)

**Applications of the Electrodeless Plasma Light
Excited by Circularly Polarized Microwave Discharges**

Dong-Ho Won, Kyoung-Shin Kim, Hyun-Sung Yoon, Jin-Soo Baek, Jin-Joong Kim
Taewon Lighting Co., Inc.. Seoul. Korea

Abstract - 본 논문에서는 원편광 초고주파를 이용한 무전극 플라즈마 광원 기술과 광원의 특성을 논의한다. 특히 비회전 무전극 플라즈마 광원을 Solar Simulator용 광원으로 적용하여 그 특성을 설명한다.

1. 서 론

최근의 신 광원의 동향은 광원재료의 개선, 새로운 재료의 도입, 광원의 형상의 개선, 발광 색의 제어, 더욱이 전극을 사용하지 않는 새로운 점등방식의 램프에 관한 연구 등이 있다. 특히 새로운 점등 방식은 열방사 방전이 아닌 무전극 방전 램프로써 주목이 되고 있다. 마이크로파를 이용한 고압 방전은 welding이나 재료 처리 분야에서 연구 개발되어 왔으나 조명용 광원을 위한 응용은 무전극 방전등이 그 효시이다. 1990년 대 초에 출현한 고압 증기를 마이크로파와 같은 초고주파로 방전하여 광대역의 집적된 가시광선을 발광시키는 기술은 조명용 광원 시스템을 위하여 획기적인 기술로 인식되어 왔다[1,2,3,4].

제레적인 고압방전 램프는 전극 사이에 걸리는 고압으로 인해 전극 산화가 진행되면서 광속이 점점 감소하게 되고, 램프수명에 영향을 준다. 또한 수은(Hg) 사용으로 환경 문제를 야기 시키는 단점을 가지고 있다.

무전극 플라즈마 광원은 전극 없이 방전하는 조명용 광원 시스템으로 혁신적인 기술로 인식되어 왔으며, 전극이 없어 제레적인 방전램프에 비해 많은 장점을 갖고 있다. 예를 들면 전극이 없어 램프 자체 수명이 50,000시간 이상으로 장수명이며, 수은, 납, 등 RoHS 규제 물질을 사용하지 않아 친환경적이다.

제 1세대 무전극 플라즈마 램프 시스템은 주변 기기의 열처리 문제, 선편광 마이크로파에 의한 램프의 국부적인 가열로 인한 램프의 파손을 막기 위해 램프 자체를 회전시키는 모터 사용으로 몇 가지 문제점을 가지고 있다[5].

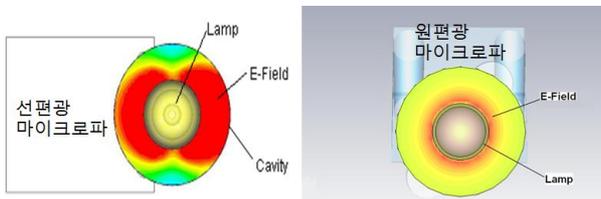
본 논문에서는 선편광 마이크로파에 의한 방전 램프의 국부적 파손을 해결하는 방법으로 원편광 마이크로파(Circularly Polarized Microwaves; CPMs) 방전을 도입하였으며[6]. 비회전 무전극 플라즈마 광원을 이용한 Solar Simulator에 대하여 논한다.

2. 본 론

2.1 원편광 초고주파 발진 도파관 구현

CPMs 도파관을 설계하기 위해서는 램프의 플라즈마 전도율을 수차례 반복 측정하여 시뮬레이션 결과 값과 실험 측정값이 같은 전도율을 찾는다.

램프의 플라즈마 전도율을 사용하여 전자파 해석 시뮬레이션 프로그램 MWS(MicroWave Studio)를 이용하여 특수한 도파관의 구조, 길이, 각도 등을 조정하여, 원편광 마이크로파 발생 조건이 되도록 설계하였다.

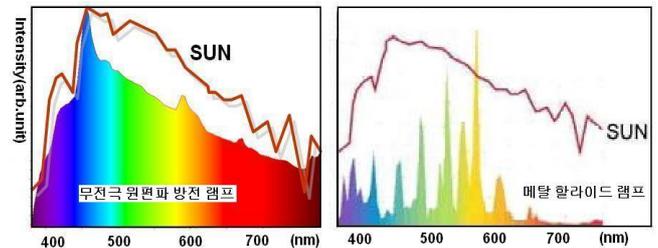


<그림 1> Cavity 내 E-Field 분포

원편광 마이크로파 도파관을 적용한 무전극 플라즈마 방전 램프의 전계 분포는 그림 1과 같은 기존의 무전극 플라즈마 램프와는 다르게 램프 주위의 전계 분포가 균일하게 형성됨을 알 수 있다.

2.1.1 비회전 무전극 플라즈마 광원의 특성

원편광 초고주파 발진 도파관을 이용한 비회전 무전극 플라즈마 광원의 광특성(스펙트럼, 색온도, 연색성, 등)을 측정하여 제레적인 HID 램프와 비교해 보았다. 그림 2와 같이 메탈-할라이드 램프는 스펙트럼이 불연속적이며, 무전극 플라즈마 광원은 태양광과 흡사한 연속 스펙트럼을 보인다.



<그림 2> 무전극 플라즈마 광원과 메탈-할라이드 램프의 스펙트럼

무전극 원편광 마이크로파 방전 램프는 그림 2의 스펙트럼에서 예측할 수 있듯이 가시광선 모든 대역의 광을 포함하고 있어 표 1과 같이 매우 높은 연색성을 가진다는 것을 알 수 있다.

<표 1> 비회전 무전극 플라즈마 광원 특성

Input RF Power (W_{RF})	700
색온도 (K)	6,500
연색성 (Ra)	98
광 속 (lm)	65,000

2.2 Solar Simulator용 광원

태양광 인공조사장치에 사용되는 인공광원으로는 표 2와 같이 제논-아크램프와 메탈할라이드 램프가 주종이었다. 그러나 짧은 수명과 유효 조사면의 광속저하로 인하여 유지보수에 어려움이 있다.

<표 2> 태양광 인공조사장치에 사용되는 인공광원 비교

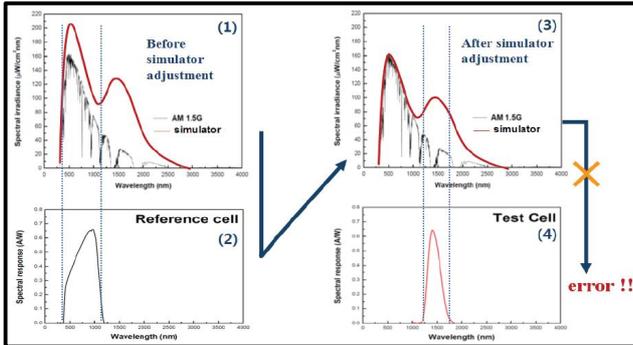
Lamp type Spec.	제논-아크 램프	MH 램프	무전극 플라즈마 램프
Lamp Power	1 kW	1 kW	1 kW
Spectrum	Ultraviolet, Visible	Ultraviolet, Visible	Full spectrum
Lifetime(h) (평균수명)	2,000	2,000	20,000
Filter	유	유	무
Cooling system	유(공냉식, 수냉식)	유(공랭식)	유(공랭식)

무전극 플라즈마 램프는 가시광선 영역 전파장대에서 연속적인 스펙트럼이며, 필터를 사용하지 않아도 태양광과 흡사한 스펙트럼을 보이기 때문에 Solar Simulator 광원으로 가장 적합한 광원이다. 또한 램프 수명 내에 광속유지율(90 % 이상)이 높기 때문에 유효조사면의 광속저하로

인한 램프 교체를 할 필요가 없는 장점을 가지고 있다.

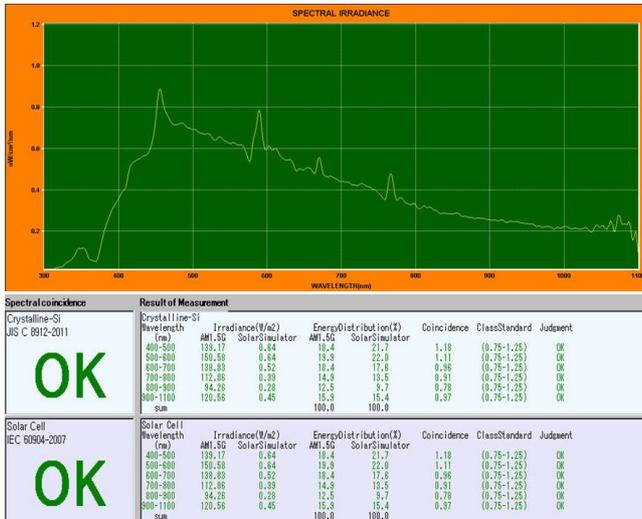
2.2.1 Solar Simulator 광원 성능 평가

태양전지 성능평가 시 Solar Simulator 조사광과 AM 1.5 G 기준 스펙트럼 사이의 일치도가 충분한 수준이 아니고, 사용한 기준 태양전지와 측정대상 태양전지의 분광응답 특성 또한 유사성이 떨어진다면, 측정된 결과를 신뢰성 있는 데이터로 받아들일 수 없다. 이것의 원인은 그림 3과 같이 스펙트럼 불일치에 의한 측정결과 왜곡 때문이다[7].



〈그림 3〉 태양전지 성능평가 기술

태양전지 성능평가 시 광원으로 사용되는 Solar Simulator의 스펙트럼이 AM 1.5 G 기준 스펙트럼과 유사할수록, 그리고 사용된 기준 태양전지와 측정대상 태양전지의 분광응답 특성이 유사할수록 정확한 결과를 얻을 수 있다. 따라서 가장 자연광에 유사한 인공광원을 사용하면 이런 에러를 줄일 수 있다.



〈그림 4〉 무전극 플라즈마 램프와 태양광 스펙트럼 일치도

그림 4는 비회전 무전극 플라즈마 램프의 스펙트럼이 태양광 스펙트럼과 일치성을 측정된 결과이며, 태양광과 거의 유사한 스펙트럼을 보이는 것을 알 수 있다. 일반적으로 제논-아크 램프는 적외선 파장대에 여러 개의 Peak 파장으로 인하여 Filter를 사용하는데 그림 4에서와 같이 무전극 플라즈마 램프의 적외선 파장대의 스펙트럼이 깨끗하기 때문에 Filter를 사용하지 않아도 되는 장점이 있다.

3. 결 론

비회전 무전극 플라즈마 램프의 특성을 활용하여 Solar Simulator에 적용하였다. 그 결과 Solar Simulator용 광원으로 AM 1.5 G 기준을 만족시키며, Class AAA 광원임을 증명하였다.

유효조사범위	2,000 [mm] × 1,400 [mm]	
조사합치도	25 % 이내	Class A
조사불균일도	2 % 이내	Class A
시안정	2 % 이내	Class A

비회전 무전극 플라즈마 광원은 높은 연색성, 태양광과 유사한 색 재현

이 필요한 영화촬영, 무대조명, 스포츠 조명, 향만 조명, 농업조명, 등 응용범위가 광범위하다. 본 논문에서는 Solar Simulator 광원으로 적용하여 대체적인 제논-아크램프와 메탈할라이드 램프 대체 가능성을 보였다.

향후 연구에서는 다른 이원자분자의 혼합물과 여러 발광체의 연구를 진행하여 광원 효율의 최적화와 주변 장치의 개선 및 개발이 필요하며, 응용분야에 적합한 Light Source 개발이 필요하다.



〈그림 5〉 무전극 플라즈마 램프를 적용한 Solar Simulator

[참 고 문 헌]

- [1] Jin J. Kim, J. T. Ko, and D. H. Won, "High-intensity light sources using high-pressure molecular radiators discharged by circularly polarized microwaves", 10th Int. Symp. on Light Sources, Toulouse, France(2004)
- [2] Wharmby, D. O.: "Electrodeless lamps for lighting: a review." IEE Proceedings 140A, pp465~473, 1993.
- [3] J. J. Kim, D. H. Won, J. T. Ko, J. W. Kim, S. S. Kim, H. Y. Chang, "Rotating plasma discharges of high-pressure molecular vapor using circularly polarized microwaves", Appl. Phys. Lett., VOL. 84, No. 15, 12 April 2004.
- [4] Jin J. Kim, J. T. Ko, D. H. Won, S. S. Kim, and H-Y Chang, Appl. Phys. Lett. 84(2004)2769.
- [5] J.T. Dolan, M.G. Ury, and C.H. Wood, sixth International Symposium in the Science and Technology of Light Sources, Budapest, Sept. 1992, L Bartha and F.J. Kdves
- [6] J.J. Kim, K.S. Kim, D.H. Won, and H.S. Yoon, "Electrodeless HID Lamps Excited by Circularly Polarized Microwave Discharges," Proc. the 12th Int. Symposium on the Science and Technology of Light Sources, July11-16, 2010.
- [7] 태양전지 성능평가 기술(측정과 보정), Polymer Science and Technology, 22,6, 2011)