

유도 결합형 플라즈마를 이용한 아르곤 가스의 휘도 특성

이영환, 허인성, 황명근\*, 최용성, 박대희  
원광대학교, 한국조명기술연구소\*

Luminance Properties of Argon Gas Using Inductively Coupled Plasma

Young-Hwan Lee, In-Sung her, Myung-Keun Hwang\*, Yong-Sung Choi and Dae-Hee Park  
Wonkwang University, KILT\*

**Abstract** - Inductively coupled plasma is commonly used for electrodeless lamp due to its ease of plasma generation. Optical characteristics significantly depend on the RF power and gas pressure of the plasma. This paper describes the measurement of luminance as a function of RF power and gas pressure with a goal of finding optimal operating conditions of the electrodeless lamp. The gas pressure was varied from 10 [mTorr] to 500 [mTorr] and the RF power was varied from 10 [W] to 200 [W]. It was found that the luminance tends to be decreased when argon pressure is increased, and the luminance is increased as RF power is increased. It was also found that the luminance per unit RF power is high when the argon pressure is low and when the RF power is in the range of 30 [W]~40 [W].

[mTorr] 이하가 되도록 한 후 실험하였다. 사용된 아르곤 가스의 순도는 99.99%이고, Mass Flow Controller을 통하여 방전관 내부로 10 [mTorr]에서 500 [mTorr]까지 공급하였다. 고주파 출력이 플라즈마 영역으로 효과적인 흡수가 되도록 원통모양으로 4회 감은 동관 안테나를 방전관 외부에 설치하였다. 출력 주파수는 범용으로 사용하는 13.56 [MHz]를 사용하였으며, 주파수 발전기의 출력은 최대 200 [W]까지 인가하였고, reverse power가 1 [W] 이하가 되도록 matching 회로를 조정하였다. 방전관은 내경은 90mm이고, 길이가 130mm인 파이렉스(pyrex)를 사용하였다. 휘도는 Luminance Meter인 LS-100을 사용하여 방전관에서 20cm 떨어진 거리에서 측정하였다.

1. 서 론

무전극 램프는 램프 내부에 전극이나 필라멘트가 없어서 수명이 길기 때문에 유지 보수에 애로점이 있는 장소를 비롯하여 광범위하게 사용되고 있으며, 앞으로도 더욱 다양한 장소에 사용이 예상된다. 최근에는 원유가 인상에 따라 에너지 절약에 대한 관심이 더욱 커지고 있는 가운데 조금 더 효율적인 램프를 개발하기 위하여 많은 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

효율에 직접적인 영향을 미치는 광학적인 특성은 봉입 가스에 따라 크게 변화하게 된다. 저온 플라즈마는 가스에 직류 전류, 무선 주파수 (radio frequency), 마이크로파 등을 인가하여 생성한다 [1].

무전극 램프는 무선 주파수를 이용한 유도결합형 플라즈마를 많이 사용한다. 이것은 낮은 가스 압력에서도 고밀도의 플라즈마의 생성이 용이하고 [2, 3], 방전을 유지하는데 효율적이고, 이온화율이 높으며, 내부 전극이 없이 외부 전극으로도 플라즈마의 발생이 가능하기 때문이다 [1].

방전이 일어나기 위해서는 기체 내부에 존재하는 전자들이 인가된 전원에 의해 가속되어 중성 기체 입자의 퍼텐셜 에너지보다 큰 에너지를 가져야 하며 동시에 이온화가 눈사태처럼 연속적으로 일어날 수 있어야 한다 [1].

본 논문에서는 유도 결합형 플라즈마를 이용하여 광학적 특성의 중요한 요소인 휘도의 특성을 측정하였다 [5]. RF 전력과 봉입 가스로 많이 사용되는 아르곤 가스의 압력을 변화시키며 휘도를 측정하여 효율적인 가스의 압력을 찾고자 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

본 실험에 사용한 유도 결합형 플라즈마의 발생 장치는 그림 1에 나타내었다. 먼저 로타리 펌프를 동작시키고 가이슬러관을 방전시켜서 방전관 내부에 존재하는 공기와 가스를 외부로 배출하여 방전관 내부의 진공도를 1

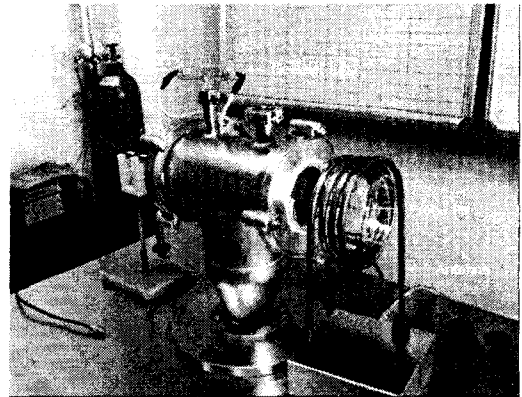


그림 1 실험 장치도  
Fig 1. Experimental apparatus

3. 결과 및 고찰

3.1 RF 전력 변화에 따른 휘도특성

가스의 압력을 일정하게 유지한 후 RF 전력을 10 [W]에서 200 [W]까지 10 [W] 단위로 증가시키며 휘도 측정 결과는 그림 2와 같이 나타났다. RF 전력이 낮을 때는 안테나 부근에만 방전이 일어났으나, RF 전력이 증가함에 따라 방전관 전체에서 발광 현상이 나타났다.

가스 압력과 RF 출력 변화에 따른 발광 현상을 그림 3에 나타내었다. 측정 결과 RF 전력이 증가하면 휘도도 같이 증가하였으며, 아르곤 가스의 압력이 증가하면 휘도는 감소하는 경향이 있었다.

RF 전력이 작을 때는 전력이 증가하면 더 많은 방전이 일어나서 휘도가 증가하지만 RF 전력의 증가에 따라 선형적으로 증가하지 못하고 포화하는 현상이 나타났다. 휘도 특성은 RF 전력과 가스 압력의 변화에 대한 전자

밀도 특성 [6]과 유사하게 나타났다. 휘도는 RF 출력이 증가함에 따라 방전관 내부의 플라즈마 밀도 증가로 인해 방전이 쉽게 일어나고 또한 에너지의 변환을 통하여 빛으로 발생되었음을 알 수 있다.

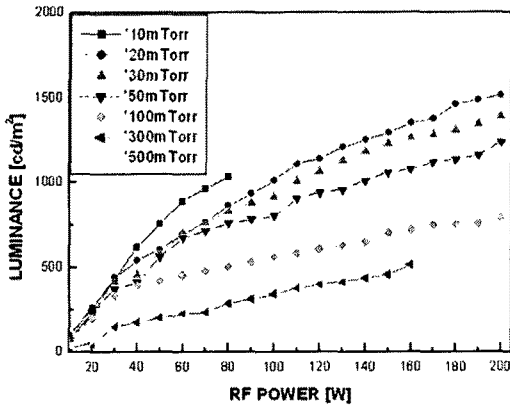
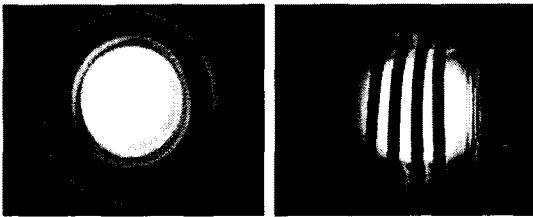


그림 2. RF 전력 변화에 따른 휘도 특성  
Fig 2. Luminance properties as a function of RF power



(a) Front view (b) Side view  
그림 3 RF 전력과 가스 압력에 따른 방전 모습  
Fig 3. Views of the Ar discharge for different RF power and gas pressure

### 3.2 가스 압력 변화에 따른 휘도 특성

RF 전력을 일정하게 유지한 후 가스 압력 변화에 따른 휘도 특성은 그림 4와 같이 나타났다. 휘도는 그림 4에서 보는 것과 같이 가스의 압력이 증가함에 따라 감소하였다. 특히, RF 전력이 크고 가스 압력이 증가할 때 휘도는 급격하게 감소함을 알 수 있었다. 휘도특성은 RF 전력 보다 가스의 압력이 더 중요한 변수임을 알 수 있었다. 이것은 가스 압력이 증가함에 따라 방전이 쉽게 일어나지 않음을 알 수 있다.

### 3.3 단위 RF 전력에 대한 휘도 특성

측정한 휘도를 RF 전력으로 나누어서 단위 RF 전력에 대한 휘도로 나타낸 결과가 그림 5이다. 가스의 압력이 낮을 때 단위 RF 전력에 대한 휘도가 높게 나타났으며, 가스의 압력이 증가함에 따라 감소하는 경향이 있었다. 또한, 압력이 변화하더라도 RF 전력이 30 [W]나 40 [W]일 때 각 압력에서의 최대값이 얻어졌다.

그리고, 가스 압력 10 [mTorr], RF 전력이 40 [W]인 경우에 15.5로 최대값이 나타났으며, 가스의 압력이 증가함에 따라 최대치는 14.7, 13.83, 12.43, 11.10으로 서서히 감소하였다. 이는 가스 압력이 낮을 때 단위 전력당 효율이 좋아짐을 나타내는 결과이다.

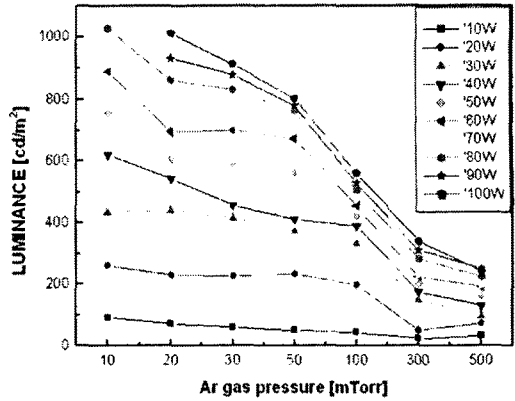


그림 4 가스 압력 변화에 따른 휘도 특성  
Fig 4. Luminance properties as a function of Ar gas pressure

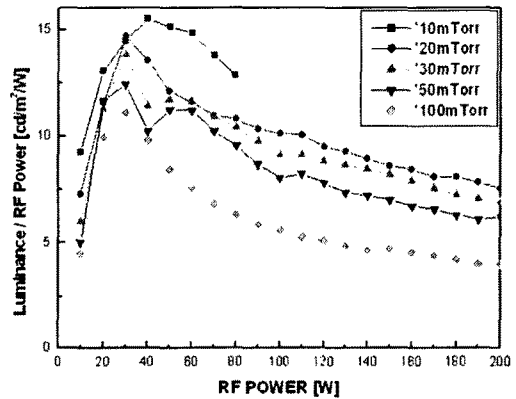


그림 5 단위 RF 전력에 대한 휘도 특성  
Fig 5. Luminance per unit RF power as a function of RF power

## 4. 결 론

본 논문에서는 무전극 램프의 봉입가스 압력과 RF 전력을 변화시키면서 휘도를 측정하고 분석하여 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

- 1) 아르곤 가스의 압력이 증가하면 휘도는 감소하는 경향이 나타났다.
- 2) RF 전력이 증가하면 방전관 내부의 플라즈마 밀도 증가에 따라 방전이 용이하여 휘도는 증가하는 경향이 나타났다. 그러나, 휘도는 RF 전력 증가에 비례하여 선형적으로 증가하지 않았다.
- 3) 단위 RF 전력에 대한 휘도는 가스의 압력이 낮을수록 높게 나타났으며, RF 전력이 30 [W]와 40 [W]일 때 가장 높게 나타났다.

상기의 내용으로 볼 때 램프의 봉입 가스 압력은 낮추고, RF 전력은 30 [W]~40[W]로 설정하는 것이 가장 효율적인 휘도를 얻을 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Alfred Grill, "Cold Plasma in Materials Fabrication", IEEE, 1994.
- [2] J.H. Keller et al., "Novel radio-frequency induction plasma processing technics", J. Vac. Sci. Tech. A11, pp.2487-2491, 1993.
- [3] Mutumi Tuda et al., "Large diameter microwave plasma source excited by azimuthally symmetric surface waves", J. Vac. Sci. Technol. A 18(3), pp.840-848, 2000.
- [4] 김영철, 이정우, 조영석, "Argon 유도결합 플라즈마의 광학적, 전기적 특성에 관한 연구", 한국물리학회지, Vol. 39, No. 3, pp. 157-165, 1999.
- [5] 황명근, "조명공학 개론", 도서출판 성우, pp. 175-183, 2003.
- [6] 이영환, 조주웅, 김광수, 박대회, "Ar 가스 압력에 따른 유도결합형 플라즈마의 전자 밀도 측정", 대한전기학회 논문지, 52C권 11호, pp. 508-511, 2003.