

유도결합형 플라즈마에서의 아르곤 가스의 광 효율

이영환, 백광현, 최용성, 박대희
원광대학교 전기전자 및 정보공학부

Luminance Efficacy of Inductively Coupled Argon Plasma

Young-Hwan Lee, Kwang-Hyeon Paek, Yong-Sung Choi and Dae-Hee Park
WonKwang University

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 luminous efficacy 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 100 [mTorr] and the RF power was varied from 10 [W] to 120 [W]. It was found that the luminous flux tends to be decreased when argon pressure is increased, and the luminous flux is increased as RF power is increased. It was also found that the luminance efficacy is high when the argon pressure is low and when the RF power is low.

을 분석하였다. RF 전력과 봉입 가스로 많이 사용되는 아르곤 가스의 압력을 변화시키며 광속을 측정하여 효율적인 가스의 압력과 RF 출력을 찾고자 하였다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용한 유도 결합형 플라즈마의 발생 장치는 그림 1에 나타내었다. 먼저 로터리 펌프를 동작시키고 가이슬러관에 전원을 인가하여 방전관 내부에 존재하는 공기와 가스를 외부로 배출하여 방전관 내부의 진공도를 1 [mTorr] 이하가 되도록 한 후 실험하였다. 사용된 아르곤 가스의 순도는 99.99%이고, Mass Flow Controller를 통하여 방전관 내부로 10 [mTorr]에서 100 [mTorr]의 범위가 되도록 아르곤 가스를 공급하였다.

1. 서 론

최근에 원유가 인상에 따라 에너지 절약에 대한 관심이 더욱 커지고 있는 가운데 조금 더 효율적인 램프를 개발하기 위하여 많은 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 무전극 램프는 램프 내부에 전극이나 필라멘트가 없어서 수명이 길기 때문에 유지 보수가 어려운 장소를 비롯하여 광범위하게 사용되고 있으며, 광속 유지율과 스펙트럼 특성이 좋아서 앞으로도 더욱 다양한 장소에 사용할 것으로 예상된다.

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 10 [W]에서 최대 120 [W]까지 인가하였고, reverse power가 1 [W] 이하가 되도록 matching 회로를 조정하면서 측정하였다.

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

방전관은 내경은 90 [mm]이고, 길이가 130 [mm]인 파이렉스 (pyrex)를 사용하였다.

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].

광속과 광 효율은 Spectrum Analyzer인 PSI사의 DARSA-2000을 사용하여 방전관 전면부에서 측정하였다.

방전이 일어나기 위해서는 기체 내부에 존재하는 전자들이 인가된 전원에 의해 가속되어 중성 기체 입자의 퍼텐셜 에너지보다 큰 에너지를 가져야 하며 동시에 이온화가 연속적으로 일어날 수 있어야 한다[4].

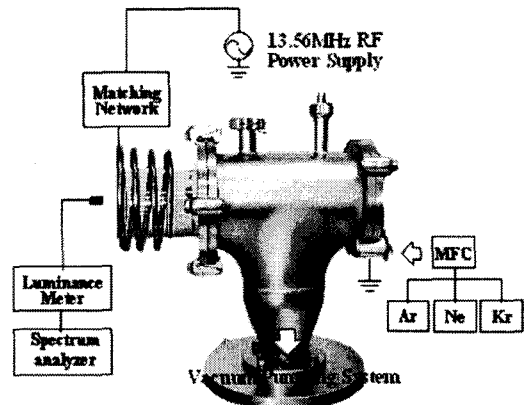


그림 1 실험 장치도
Fig 1. Experimental apparatus

광속은 단위 시간에 전달되는 복사 에너지를 시각적으로 측정하는 것으로, 눈의 감도는 빛의 파장에 따라 크게 변하므로 일정한 밝음의 감각을 자아내는 단색광 에너지의 역수로 감도를 표시하고 이것을 시각도 (luminosity factor)라고 한다. 광속의 측정에는 1926년에 국제조명위원회에서 결정된 표준관측자가 지닌 시각도를 기준으로 사용한다. 시각도가 존재하는 파장 범위는 대략 400-700 [nm]로서, 감도의 최대는 파장 555 [nm]인 곳에 위치한다. 광속의 단위는 SI단위계로는 루멘 [lm]을 사용한다. 때로는 광속을 광선속의 의미로 사용하는 경우도 있다.

본 논문에서는 유도 결합형 플라즈마를 이용하여 광학적 특성의 중요한 요소인 광속을 측정하여 광 효율 특성

3. 결과 및 고찰

3.1 RF 전력에 의한 광속 특성

먼저 방전관 내부의 압력을 1 [mTorr] 이하로 떨어지면 것을 확인하였다. 방전관 내부의 가스를 계속 배출하면서 아르곤 가스를 적절하게 공급하여 실험하고자 하는 압력이 일정하게 되도록 하여 RF 전력을 인가하여 실험을 실시하였다. RF 전력을 10 [W]에서 120 [W]까지 10 [W] 단위로 증가시키며 광속 측정 결과는 그림 2와 같이 나타났다. RF 출력이 낮을 때는 안테나 부근에만 방전이 일어났으나, RF 출력이 증가함에 따라 방전관 전체에서 발광 현상이 나타났다[5].

가스 압력을 10 [mTorr]로 유지한 후 RF 출력을 변화시켜 출력이 10 [W]일 때는 광속이 94.22 [lm]로 낮았지만 100 [W]로 증가하게 되면 398.12 [lm]으로 광속도 함께 증가하였다. RF 전력이 작을 때는 전력이 증가하면 더 많은 방전이 일어나서 광속이 빠르게 증가하였지만 RF 전력이 증가함에 따라 광속은 선형적으로 증가하지 못하고 포화하는 현상이 나타났다. 광속 특성은 RF 전력과 가스 압력의 변화에 대한 전자 밀도 특성 [6]과 유사하게 나타났다. 광속은 RF 출력이 증가함에 따라 방전관 내부의 플라즈마 밀도 증가로 인해 방전이 쉽게 발생하고 또한 에너지의 변환을 통하여 빛으로 발생되었음을 알 수 있다.

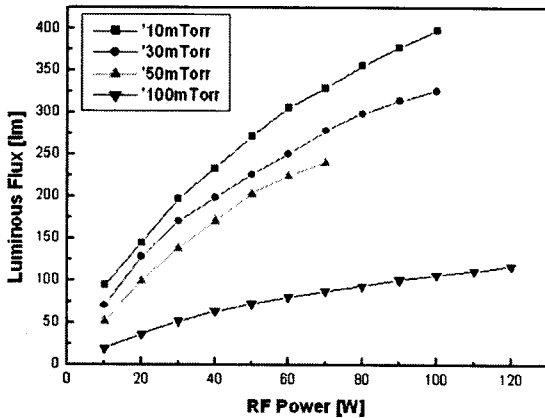


그림 2 RF 출력에 의한 광속 특성
Fig 2. Luminous flux as a function of RF power

3.2 가스 압력에 의한 광속 특성

RF 전력을 일정하게 유지한 후 가스 압력 변화에 따른 광속 특성은 그림 3과 같이 나타났다. 그림 3에서 보는 것과 같이 가스의 압력이 10 [mTorr]에서 100 [mTorr]로 증가함에 따라 광속은 감소하였다. 특히, RF 전력이 크고 가스 압력이 증가할 때에 광속은 더욱 급격하게 감소하였는데 이것은 광속특성이 RF 전력 보다 가스의 압력에 의한 영향이 더 커서 가스의 압력이 더 중요한 변수임을 알 수 있었다. 이 현상은 가스 압력이 증가함에 따라 방전관 내부의 가스 농도 증가로 인해 플라즈마의 발생이 어렵고 방전이 되더라도 플라즈마의 운동이 활발하지 못하여 효율적인 방전이 되지 않은 것으로 사료된다.

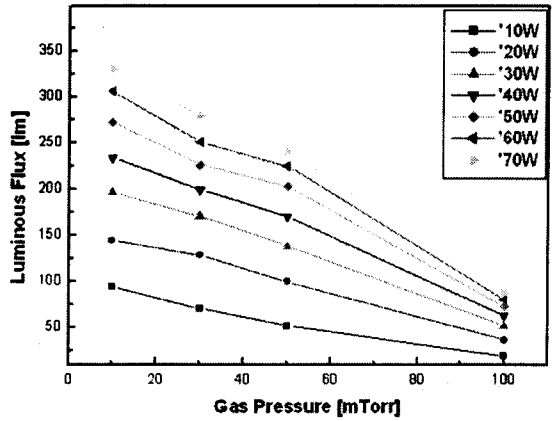


그림 3 가스 압력에 의한 광속 특성
Fig 3. Luminous flux as a function of Argon gas pressure

3.3 RF 출력별 광 효율

측정한 광속을 RF 전력으로 나누어서 광 효율을 나타낸 결과가 그림 4이다. 가스의 압력이 낮을 때는 광 효율이 높게 나타났으며, 가스의 압력이 증가함에 따라 감소하는 경향이 있었다. 또한, 압력이 변화하더라도 RF 전력이 10 [W]일 때 각 압력에서의 최대 값이 얻어졌다.

그리고, 가스 압력 10 [mTorr], RF 전력이 10 [W]인 경우에 9.4 [lm/W]로 최대 값이 나타났으며, 가스의 압력이 30, 50, 100 [mTorr]로 증가함에 따라 최대치는 7.1, 5.2, 2.0 [lm/W]로 급격히 감소하였다. 이는 가스 압력이 낮을 때 광 효율이 좋아짐을 나타내고 있는 것이다.

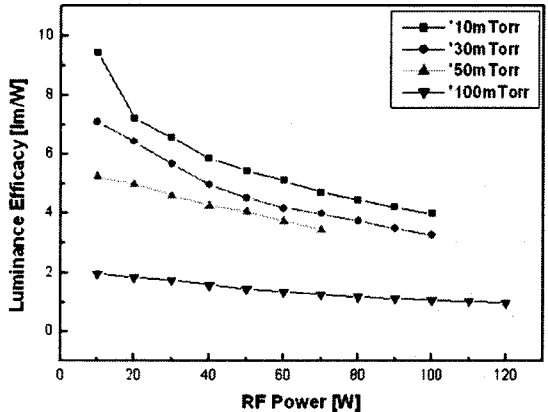


그림 4 RF 출력에 의한 광 효율 특성
Fig 4. Luminance efficacy as a function of RF power

4. 결론

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

- 1) RF 전력이 증가하면 방전관 내부의 플라즈마 밀도 증가에 따라 방전이 용이하여 광속은 증가하는 경향이 나타났다. 그러나, 광속은 RF 전력 증가에 비례하여 선형적으로 증가하지 않았다.

2) 아르곤 가스의 압력이 증가하면 광속은 급격히 감소 하였으며 RF 출력이 클 때 더 큰 영향이 나타났다.

3) 단위 RF 전력에 대한 광속인 광 효율은 가스의 압력이 낮을수록 높게 나타났으며, RF 전력도 낮을 때 가장 높게 나타났다.

상기의 내용으로 볼 때 램프의 봉입 가스 압력과 RF 전력을 낮게 설정하는 것이 가장 효율적인 광속과 광 효율을 얻을 수 있음을 알았다.

감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력 연구센터 육성 · 지원사업(I-2004-0-074-0-00)에 의해 작성되었습니다.

[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] 이영환, 허인성, 황명근, 최용성, 박대회, "유도결합형 플라즈마를 이용한 아르곤 가스의 휘도특성", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집 2004년 C권, pp. 1915-1917, 2004.
- [6] 이영환, 조주용, 김광수, 박대회, "Ar 가스 압력에 따른 유도결합형 플라즈마의 전자 밀도 측정", 대한전기학회 논문지, 52C권 11호, pp. 508-511, 2003.