

유도결합형 플라즈마에서의 아르곤 가스의 스펙트럼 특성

이영환, 백광현, 최용성, 박대희
원광대학교 전기전자 및 정보공학부

Spectrum Properties 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 spectrum 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 intensity of wavelength tends to be decreased when argon pressure is increased, and the intensity of wavelength is increased as RF power is increased.

1. 서 론

19세기에 직류 아크 방전의 발견으로부터 시작된 플라즈마는 산업의 발달과 함께 발전하여 현재는 광원 및 디스플레이 소자, 신물질의 합성, 기능성 박막, 환경 산업 등의 분야에서 광범위하게 수행되고 있다.

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, 앞으로도 더욱 다양한 장소에 사용이 예상된다.

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

무전극 램프는 유도결합형 플라즈마를 많이 사용하는 데 낮은 가스 압력에서도 고밀도의 플라즈마의 생성이 용이하고[2, 3], 방전을 유지하는데 효율적이고, 이온화율이 높기 때문이다.

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].

광속은 단위 시간에 전달되는 복사 에너지를 시간적으로 측정할 것으로, 눈의 감도는 빛의 파장에 따라 크게 변하므로 일정한 밝음의 감각을 자아내는 단색광 에너지의 역수로 감도를 표시하고 이것을 시감도 (luminosity factor)라고 한다. 광속의 측정에는 1926년에 국제조명위원회에서 결정된 표준관측자가 지닌 시감도를 기준으로 사용한다. 시감도가 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 스펙트럼을 측정하여 분석하였

다. RF 전력과 봉입 가스로 많이 사용되는 아르곤 가스의 압력을 변화시키며 스펙트럼을 측정하여 스펙트럼 변화를 통하여 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.

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.

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

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

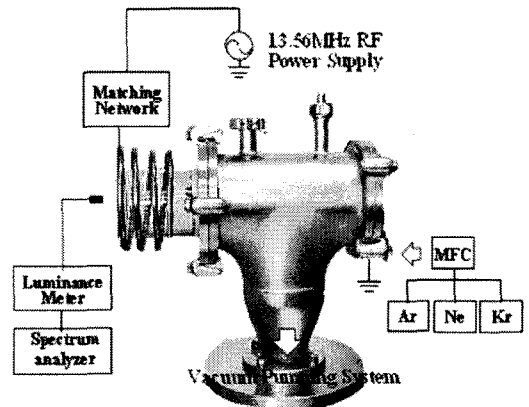


그림 1. 실험 장치도
Fig 1. Experimental apparatus

3. 결과 및 고찰

3.1 RF 전력에 의한 스펙트럼 특성

먼저 방전관 내부의 압력을 1 [mTorr] 이하로 떨어 진 것을 확인하였다. 방전관 내부의 가스를 계속 배출하 면서 아르곤 가스를 적절하게 공급하여 실험하고자 하는 압력이 일정하게 되도록 하여 RF 전력을 인가하여 실험 을 실시하였다. RF 전력을 10 [W]에서 120 [W]까지 10 [W] 단위로 증가시키며 스펙트럼을 측정한 결과는 그림 2, 그림 3과 같이 나타났다. RF 출력이 낮을 때 는 안테나 부근에만 방전이 일어났으나, RF 출력이 증 가함에 따라 방전관 전체에서 발광 현상이 나타났다[5].

가장 강하게 나타나는 660 [nm]에서의 스펙트럼 강 도 변화를 그림 4에 나타났다. 가스 압력 30 [mTorr] 에서 RF 출력이 10 [W]일 때는 스펙트럼의 강도가 6,496로 나타났으나 RF 출력이 20 [W]로 증가하면 서 강도가 15,218로 나타났고, RF 출력이 60[W], 100[W]로 더욱 증가하면서 강도는 44,200, 66,911로 함께 증가하였다. RF 전력이 증가함에 따라 스펙트럼의 강도도 강하게 증가함을 알 수 있었다. 스펙트럼 강도는 RF 출력이 증가함에 따라 방전관 내부의 플라즈마 밀도 증가로 인해 방전이 쉽게 발생하고 또한 에너지의 변환 을 통하여 빛으로 발생되어 강도가 증가하는 것으로 판 단된다.

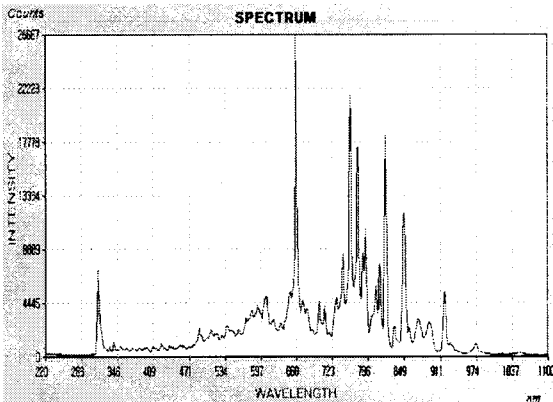


그림 2. 30 [mTorr] 60 [W]에서의 스펙트럼 특성
Fig 2. Spectrum of Argon gas at gas pressure 30 [mTorr] and RF power 60 [W]

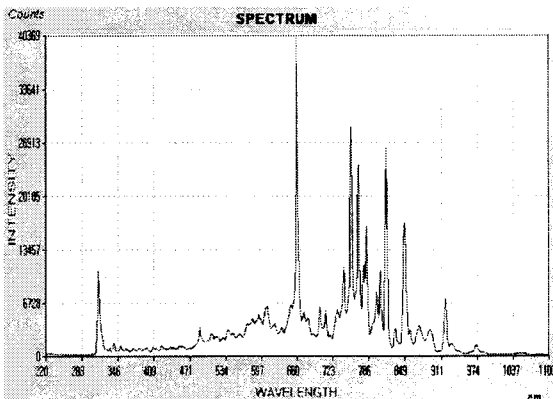


그림 3. 30 [mTorr] 100 [W]에서의 스펙트럼 특성
Fig 3. Spectrum of Argon gas at gas pressure 30 [mTorr] and RF power 100 [W]

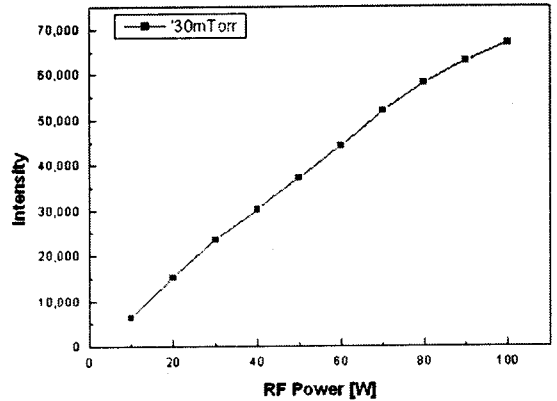


그림 4. 아르곤 가스 압력 30 [mTorr]에서의 RF 출력에 따른 스펙트럼
Fig 4. Spectrum as a function of RF power at Argon gas pressure 30 [mTorr]

3.2 가스 압력에 의한 스펙트럼 특성

RF 전력을 60 [W]로 일정하게 유지한 후 가스 압력 변화에 따른 각각의 스펙트럼 특성은 그림 2, 그림 5 및 그림 6과 같이 나타났다. 그리고 가스 압력 변화에 의한 강도를 그림 7에 나타냈다. 그림 7에서 보는 것과 같이 가스의 압력이 10 [mTorr]에서 100 [mTorr]로 증가함에 따라 스펙트럼의 강도는 55,663에서 8,042로 급격하게 감소하였다. 이 현상은 가스 압력이 증가함에 따라 방전관 내부의 가스 농도 증가로 인해 플라즈마의 발생이 어렵고 방전이 되더라도 플라즈마의 운동이 활발 하지 못하여 효율적인 방전이 되지 않음을 알 수 있었 다.

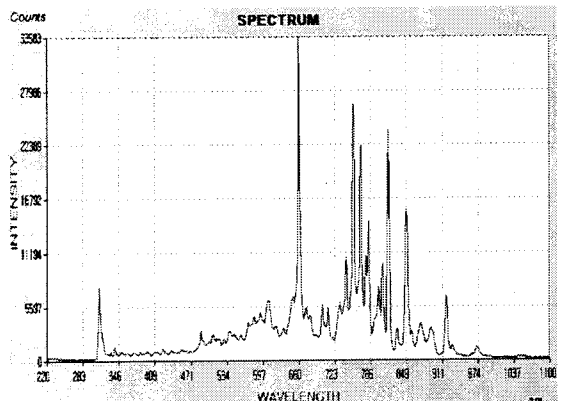


그림 5. 10 [mTorr] 60 [W]에서의 스펙트럼 특성
Fig 5. Spectrum of Argon gas at gas pressure 10 [mTorr] and RF power 60 [W]

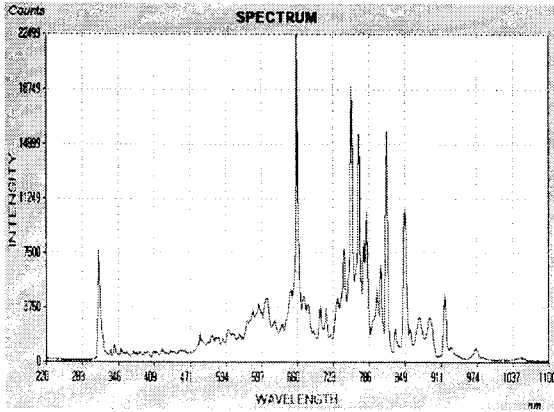


그림 6. 50 [mTorr] 60 [W]에서의 스펙트럼 특성
 Fig 6. Spectrum of Argon gas at gas pressure 50 [mTorr] and RF power 60 [W]

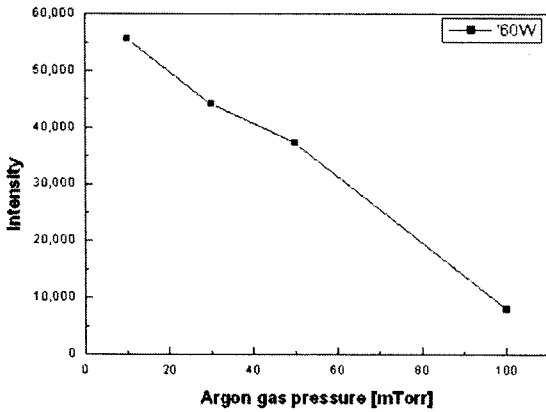


그림 7. RF 출력 60 [W]에서의 가스 압력에 따른 스펙트럼
 Fig 7. Spectrum as a function of Argon gas pressure at RF power 60 [W]

4. 결 론

본 논문에서는 무전극 램프의 봉입가스 압력과 RF 전력을 변화시키면서 스펙트럼을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

- 1) RF 전력이 10 [W]에서 100 [W]로 증가하면 방전관 내부의 플라즈마 밀도 증가에 따라 방전이 용이하여 스펙트럼의 강도는 증가하는 경향이 나타났다.
- 2) 아르곤 가스의 압력이 10 [mTorr]에서 100 [mTorr]로 증가하면 스펙트럼의 강도는 감소하였다.

상기의 내용으로 볼 때 램프의 봉입 가스 압력이 낮고 RF 전력을 높을 때 스펙트럼 강도가 강하였으며 이 때가 가장 효율적인 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 하계학술대회 논문집 2004년 C권, pp. 1915-1917, 2004.