

# Ar 가스압력과 RF 전력변화 (13.56MHz)에 따른 유도결합형 플라즈마의 광학적 특성

허인성, 김광수, 최용성, 이종찬, 박대희  
원광대학교

## Optical Properties of Inductively Coupled Plasma with Ar Gas Pressure and RF Power (13.56MHz)

In-Sung Her, Kwang-Soo Kim, Yong-Sung Choi, Jong-Chan Lee, Dea-Hee Park  
Wonkwang University

### Abstract

In this paper, the emission properties of electrodeless fluorescent lamp were discussed using the inductively coupled plasma. To transmit the electromagnetic energy into the chamber, a RF power of 13.56MHz was applied to the antenna and considering the Ar gas pressure and the RF electric power change, the emission spectrum, Ar- I line, luminance were investigated. At this time the input parameter for ICP RF plasma, Ar gas pressure and RF power were applied in the range of 10~60m Torr, 10~300W respectively.

**Key Words** : 무전극 램프, 플라즈마, 유도결합형, RF

### 1. 서론

기존의 일반적인 램프들은 발광관 내부에 전극을 가지고 있어 전극의 산화·휘발로 전자방출 능력 상실과 점등 실패의 원인, 에너지 손실로 램프의 수명을 단축시킨다.[1] 이러한 문제점을 개선하기 위하여, 유도결합 원리를 이용한 무전극 램프는 발광관 내부에 전극이 존재하지 않으므로, 장수명을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 고효율, 고연색성의 장점을 가지고 있다.[2] 이러한 추세에 맞추어 국내에서도 유도결합형 무전극 형광등 램프에 대한 기술개발의 필요성 및 중요성이 인식되어 무전극 형광램프의 가스, 형광체, 구조, 인버터 등에 대한 많은 연구들이 이루어지고 있다.

무전극 형광등의 방전 메커니즘은 마이크로파를 이용한 마이크로파 방전과 고주파 전원을 이용한 RF 방전이 있다. RF방전은 용량결합형 E-방전과 유도결합형 H-방전의 2가지 종류가 있다, E-방전은 RF전원을 방전관의 외벽 평행판 대전극에 RF 전원을 인가하여 전극사이에 형성된 전장에 의해서 평행판 사이에 위치한 방전관에 방전을 유지하

는 방전으로써 글로우 방전에 가까운 특성을 갖는다. H-방전은 방전관에 설치된 코일에 RF전원을 인가하여 축방향의 교번자계에 의해 유도된 환형의 유도 전계에 의해서 방전을 유지한다. H-방전은 고밀도의 아크에 가까운 성질을 보이므로 E-방전에 비해 효율이 높아 광원으로서 이용하기에 알맞은 특성을 보인다.[3]

H-방전에서는 외부로부터 인가되는 RF전력에 의해 방전이 일어나면 유도결합 플라즈마는 일단 E-방전의 특징을 가지는 낮은 플라즈마 밀도 상태에 이르는 E-모드를 갖는다. RF 전력의 크기를 증가 시켜주면 특정한 RF 전력에서 방전 체적 내부의 플라즈마 밀도가 갑자기 커지는 정상 상태에 이르게 되어 H-방전인 H-모드로 방전이 발생한다.[4]

본 연구는 유도결합형 방전인 H-방전 중 Ar 가스가 E-모드에서 H-모드로 모드전환 할 때의 광특성에 대하여 살펴보았다. Ar 가스 압력이 증가할수록 모드 전환 RF 전력이 증가하는 것을 관측하였다.

## 2. 실험

본 실험에 사용한 유도결합형 플라즈마 발생 장치의 개략도는 그림 1에 나타내었다. 유도결합형 플라즈마 발생 장치의 기본구성은 네 가지로 나뉘어진다. 첫 번째는 고주파를 발생시키는 고주파 전원과 플라즈마 및 부하 임피던스와의 매칭을 위한 매칭 네트워크, RF안테나이며, 두 번째는 RF 방전을 일으켜 플라즈마를 생성하는 진공용기와 파이렉스 방전관이다. 그리고, 세 번째는 실험에 사용되는 Ar 가스와 가스의 양을 조절하는 유량 조절기(Mass Flow Controller), 네 번째는 진공을 유지하는 진공 펌프로 구성된다.

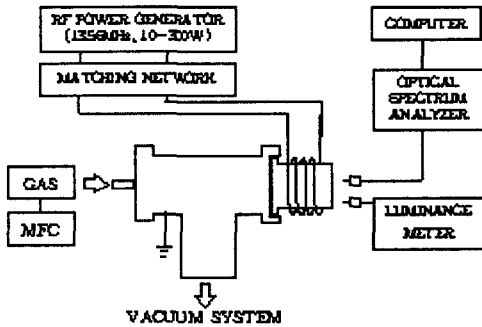


그림 1. 실험장치 개략도

Fig 1. Schematic diagram of Experimental equipments

원통형 스테인레스 챔버에 연결된 파이렉스 방전관은 길이가 120mm, 외경이 120mm이다. 파이렉스 방전관 외부에 RF전원을 공급받는 안테나 코일은 고주파 전원과 플라즈마를 전자기적으로 결합시키는 유도결합소자로서, 외경 95mm의 동관을 7mm간격으로 4회 나선형(helical)으로 감아서 사용하였다. 그리고 고주파 전원에서 발생되는 13.56MHz의 고주파는 매칭박스를 통해 안테나 코일의 한쪽 끝으로 보내어지고 안테나의 다른 반대쪽은 접지되어 있다. 챔버 내의 초기 진공도는  $10^{-4}$  Torr이며, Ar (순도 99.999%) 가스의 압력은 피라니게이지로 측정하였다. 플라즈마를 발생시키기 위하여 초기 진공도를  $1.0 \times 10^{-4}$  Torr까지 배기시킨 후, 유량 조절기를 이용하여 일정량의 Ar가스를 스테인레스 진공용기 안에 유입하였다. 그 후, 13.56MHz 고주파 전원을 매칭 박스를 통해 받

사전력을 0이 되도록 조정하여 안테나 코일에 인가해 플라즈마를 발생시켰다. 유도결합형 플라즈마에서 방출되는 광학적 특성을 측정하기 위하여 방전관 중심축상 안테나 끝쪽 50mm에 광섬유를 통하여 OPTICAL SPECTRUMANALYZER (DAR-SA-2000)에 의해 분광된 데이터를 컴퓨터로 받아들여 스펙트럼을 분석하였고, 방전관에서 1m 거리에서 휘도계 (LS-100)를 통하여 휘도를 측정하였다. 또한 주변에 다른 피크치들이 없어 측정하기 용이한 750과 760nm의 두 Ar- I 라인을 선택하여 측정하였다.[5]

## 3. 결과 및 고찰

유도결합 플라즈마의 방전에서 방전 모드의 전환 현상을 알기 위해 광방출법을 이용하여 모드전환점을 측정하였다.

그림 2는 20mTorr의 Ar 가스 압력에서 RF 전력을 10~300W로 변화시켰을 때, 가시광선 스펙트럼의 변화율을 측정한 결과이다. 스펙트럼은 380nm~680nm에서 큰 변화가 없었으나 680nm 이상에서는 전력의 증가에 따라 4배 정도 발광세기의 변화가 측정되었다. 특히 750nm와 760nm에서는 스펙트럼의 세기가 상대적으로 크며 주변에 다른 피크들이 없으므로 두 라인을 선택하여 모드 전환점을 측정하였다.

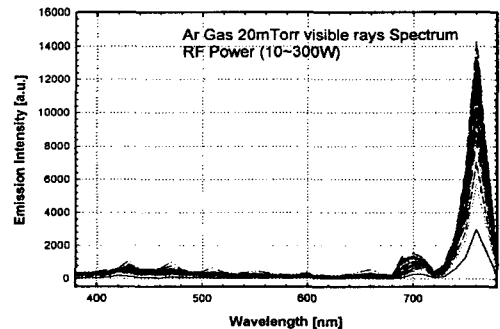


그림 2. Ar Gas의 Spectrum

Fig 2. Spectrum Data of Ar Gas

방전 모드의 전환 현상을 알아보기 전에, 일정한 RF 전력에서 Ar 가스 압력 변화에 따른 스펙트럼의 특성에 대하여 살펴보았다.

그림 3은 안테나에 100, 200W의 RF 전력을 인

가하였을 때, 5~60mTorr의 Ar 가스 압력을 변화시켰을 때, Ar- I 라인인 750nm의 emission intensity를 측정된 결과이다. 40mTorr 이하의 Ar 가스 압력에서는 200W의 RF 전력이 더 높은 emission intensity를 나타내며, 45mTorr에서 교차하였다. 그리고, 45mTorr 이상에서 200W 보다 100W의 RF 전력에서 높은 emission intensity가 측정되었다.

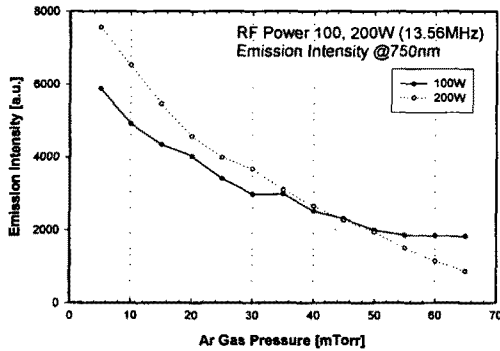


그림 3. Ar Gas의 750nm에서 emission intensity  
Fig 3. Emission intensity of Ar Gas at 750nm

그림 4는 760의 emission intensity를 측정된 결과를 나타낸다. 760nm로 하였을 때 emission intensity 750nm와 같이 Ar 가스의 압력이 증가할수록 emission intensity는 감소되는 결과를 나타내었다.

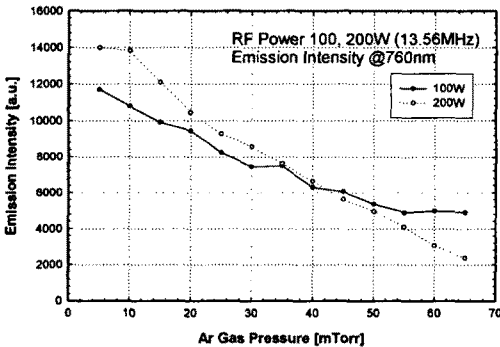


그림 4. Ar Gas의 760nm에서 emission intensity  
Fig 4. Emission intensity of Ar Gas at 760nm

유도결합 플라즈마의 방전 모드가 E-모드에서 H-모드로 전환되는 현상을 알아보기 위하여 일정량의 Ar 가스 압력에서 Ar- I 라인 (750, 760nm)

의 스펙트럼 세기의 변화를 광방출 분광법과 휘도계로 측정하였다. 챔버의 바깥, 원통형 RF 안테나의 중심축 바깥쪽 50mm 지점에서 측정하였으며, 그때의 세기는 방전관 중심축상의 원자들이 방출하는 빛을 적분한 값이다. 휘도는 방전관으로부터 1m 거리에서 휘도계를 사용하여 측정하였다.

그림 5는 20, 40, 60 mTorr의 Ar 가스압력과 13.56MHz의 RF 전력을 10~300W로 점차적으로 증가시켜 인가하였을 때의 750nm에서의 광세기를 나타낸다. 일정량의 Ar 가스 압력에서 RF 전력을 점차적으로 증가시키면 광세기가 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 방전이 E-모드에서 H-모드로 전환되었음을 보여준다. 모드전환이 이루어진 후 RF 파워를 증가시키면 큰 변화없이 완만하게 emission intensity값이 증가한다. 모드 전환이 일어난 RF 전력의 크기는 Ar 가스의 압력이 20, 40, 60mTorr일 때, 각각 15, 25, 40W로 Ar 가스의 압력이 낮을수록 모드전환 RF 전력도 낮게 관측되었다. Ar- I 라인의 세기는 전자 밀도에 1차적으로 비례하므로, 빛의 세기의 급격한 증가는 플라즈마 밀도의 급격한 증가를 의미한다.

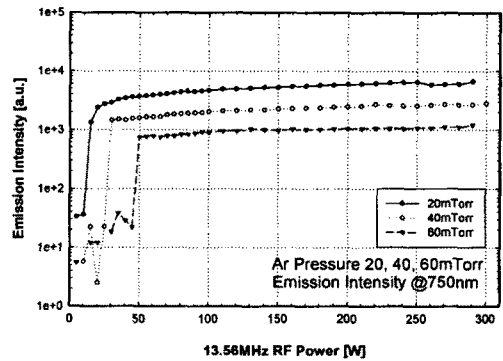


그림 5. Ar Gas 압력과 RF 전력 변화에 따른 Ar- I 라인인 750nm의 emission intensity  
Fig 5. Emission intensity (Ar- I 750) as a function of RF power variation for each gas pressure

그림 6에서는 그림 5와 같이 760nm에서도 E-모드에서 H-모드로의 전환점이 관측되었다. 모드 전환이 일어난 RF 전력의 크기도 15, 25, 40W로 750nm와 같이 Ar 가스의 압력이 낮을수록 모드전

환 RF 전력도 낮게 관측되었다.

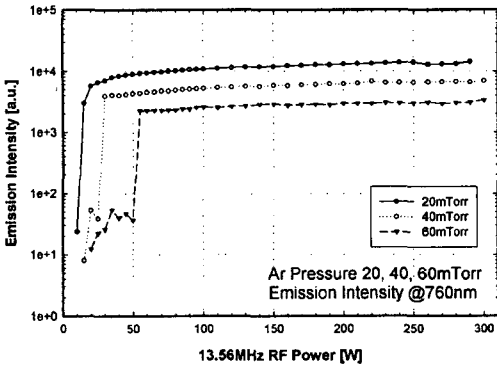


그림 6. Ar Gas 압력에서 RF 전력 변화에 따른 Ar-I 라인인 760nm의 emission intensity  
Fig 6. Emission intensity (Ar-I 760) as a function of RF power variation for each gas pressure

그림 7은 휘도의 변화를 측정하는 것으로서 Ar-I의 변화와 같이 E-모드에서 H-모드로 전환되는 모드 변환 점에서 휘도가 증가하였다. 20mTorr에서는 Ar-I과 같이 급격하게 휘도가 증가하였으나 40, 60mTorr에서는 급격하지는 않지만 많은 변화율이 측정되었다.

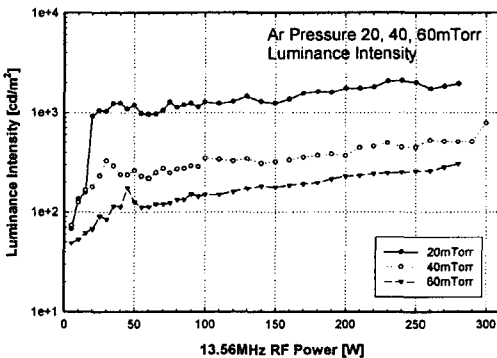


그림 7. Ar Gas 압력에서 RF 전력 변화에 따른 Ar-I 라인인 750nm의 휘도 측정  
Fig 7. Luminance (Ar-I 750) as a function of power variation

#### 4. 결론

본 연구는 유도결합형 방전인 H-방전 중 Ar가스의 E-모드에서 H-모드로 모드전환에 대하여 살펴보았다. Ar 가스 압력과 RF 전력 변화에 따른 유도결합형 플라즈마의 광방출 분광과 휘도를 측정하였다. 플라즈마가 생성된 후 RF 전력을 증가시키면 Ar-I 라인의 세기는 Ar 가스 압력에 따라 각기 다른 RF 전력에서 빛이 갑자기 증가하는 E-모드에서 H-모드로의 모드 전환을 관측할 수 있었으며, 휘도 측정에서도 모드전환점에서 휘도가 증가하였다. 스펙트럼, 휘도 측정에서 모드전환점이 일치하였다. 또한, Ar 가스 압력이 증가할수록 모드 전환 RF 전력이 증가하는 것을 관찰하였다.

#### 감사의 글

“본 연구는 에너지관리공단에서 시행한 고효율 무전극 형광등 광원기술 개발의 지원을 받아 수행된 과제입니다. 도와주신 분들에게 감사드립니다.”

#### 참고 문헌

- [1] Chittka, U. "Electrodes for gas discharge lamps", Applied Surface Science, Vol.111, p.302, 1997.
- [2] D.O. Wharmby, "Electrodeless lamps for lighting", IEE Proceedings A, Vol.140 Issue: 6, Nov, p.465, 1993.
- [3] 林泉, "플라즈마工学", 朝倉書店, p.19, 1987.
- [4] F. Whitney, "Measurements of Inductively-Coupled RF Fluorescent Lamp Lumen Properties", Conference Record of the 1994 IEEE, Vol.3, p.1998, 1994.
- [5] J. Amorim, H.S. Maciel, and J.P. Sudano "High-density plasma mode of an inductively coupled radio frequency discharge", J. Vac. Sci. Tech. B9, p.362, 1991.