
펄스형 방전플라스마에서 발생하는 가시광선의 분광(Ⅱ)

최운상 · 정수자 · 김용훈 · 장준규 · 정정복 · 신장철
부산여자대학 안경광학과

펄스형 방전플라스마 발생장치인 플라스마 포커스장치에서 발생하는 가시광선영역의 빛을 시간적분 분석법으로 분광 분석하였다. 플라스마 포커스장치는 펄스방전에 의해 전기에너지를 빛에너지로 발생시킬 수 있는 장치이다. 분광분석기는 초점거리가 0.5 m인 모노크로메터를 사용하였다. 시간적분 분석법은 분광된 일정한 범위의 가시광선영역의 과장대를 필름에 현상하여 densitometer로 분석하는 방법이다. 가시광선 발생은 방전전압 과 기체압력의 최적조건에서 발생되었는데 방전전압은 13 kV이고 아르곤과 헬륨기체가 가시광선영역의 빛을 발생시키는데 사용되었다.

Spectroscopy of visible light emitted from plasma occurred by pulse discharge(Ⅱ)

Woon Sang Choi · Soo Ja Jung · Yong Hun Kim
Jun Kyu Jang · Jung Bok Jung · Jang Cheol Shin
Department of Ocular Optics, Pusan Women's College

We investigated visible light radiated from Plasma Focus device by time-integrated analyzed method. Plasma focus is a device that translated from electric energy into visible light by electric discharge. Spectral analysis is using Monochromator(focal length = 0.5 m). Time-integrated spectrum is analyzed with densitometer the film which developed a constant range of wavelength. The condition of visible emission was that the discharging voltage was 13 kV and the working gas were Argon and Helium.

I 서 론

플라스마 상태에서 방사하는 가시광선은 가시광선 모든 파장영역(400 nm~700 nm)에 걸쳐 연속 스펙트럼과 특정 선스펙트럼으로 방출되며 광선의 세기(Intensity) 또한 플라스마 상태유지를 위한 외부 변수로서 조절할 수 있어 광원의 원천으로서 응용되고 있다.

플라스마 상태는 에너지가 높은 이온화 된 물질의 상태로서 형광등과 같이 연속으로 빛을 방사할 수 있는 낮은 에너지의 상태와 번개처럼 순간적(pulse : millisecond

이하의 시간)으로 빛을 방사하는 높은 에너지의 상태로 나눌 수 있다. 플라스마에서 방출(emission)하는 빛은 마이크로 파에서부터 X-선 영역까지 전자기파의 전 파장 영역에 걸쳐서 방사하며 이러한 플라스마원천은 광의 원천으로서 의학용이나 산업용으로 널리 이용되고 있다.^[1, 2]

펄스형 고온플라스마장치는 플라스마의 발생방법이 대부분 전기에너지를 이용한다. 전기에너지를 축전기에 저장시켰다가 이것을 펄스형 방전스위치로서 방전관내의 기체에 방전시키는 것으로 이 때 순간적으로 플라스마가 발생하며 발생된 플라스마 입자의 상호작용에 의해 전자기파의 방사가 있게 된다. 높은 세기의 빛을 얻기 위한

방법으로 고전압의 사용이 우선 이지만 이외에도 방전관 내의 기체 종류 및 기체 압력 또한 높은 세기의 빛과 필요로 하는 파장대의 빛 방사에 변수가 되기 때문에 적절한 기체사용과 방전전압의 변화에 따른 방사광의 특성 연구가 필요로 한다.

본 연구는 펄스형 플라즈마 포커스(Plasma Focus) 장치에서 아르곤 과 헬륨 기체를 각각 방전시켰을 때 방출되는 광방사 현상을 근자외선 영역과 가시광선 영역에 대해 분광분석장치를 사용하여 분석하였다. 분광분석법은 시간적분 스펙트럼 분석법(time-integrated spectrum method)을 사용하였다.

II 실험장치 및 방법

플라즈마 포커스장치의 전압은 최대 40 kV까지 공급할 수 있다. 이 장치는 두 개의 구리전극이 있으며 전극 사이에 세라믹 절연체로 절연되어 있다. 포커스장치의 방전시 방전기체로는 불활성기체로서 파장대가 알려져 있어 파장의 추적이 쉬운 아르곤(Ar) 기체와 헬륨(He)기체를 각각 사용했다. 기체는 진공용기의 압력을 기본진공영역(10^{-6} torr)까지 진공펌프(Varian VHS-4)로 낮춘 후 실험 압력까지 충전시켰다.

플라즈마 포커스장치의 진공용기는 옆면에 창이 있어 이곳을 주름판으로 모노크로메터(monochromator)와 연결하여 방출되는 광선을 모노크로메터로 보냈으며 이 방법은 또한 외부의 노이즈를 감소시킬 수 있었다. 모노크로메터는 Czerny-Turner mounting spectrometer ($f = 0.5$ m)를 사용하여 1200 g/mm의 grating으로 분광시켰다.

측정을 위한 구성은 그림 1과 같다. 본 연구에서 사용된 시간적분 스펙트럼 분석법은 측정될 수 있는 파장범위 내에서 스펙트럼세기의 파장의존성을 측정하는 방법으로 본 측정에서는 충전기체종류, 기압 및 방전전압 등의 의존성을 조사하여 고감도 film에 감광시킨 후 optical densitometer(Toyo, DMU 33-C)로 분석하였다. 사용한 필름은 T-max 3200(Kodak Co.)이고 수은 스펙트럼을 이용하여 파장을 보정하였으나 파장의 함수로 film의 감광도는 보정할 수 없었다.^[3]

장치의 방전전압은 13 kV 근처의 전압이 장치의 수명과 안전을 고려했을 때 적절한 것으로 예비 실험을 통해 알 수 있었으며, 기체압력은 두 기체에 대해 0.5 torr에서 실험되었다.

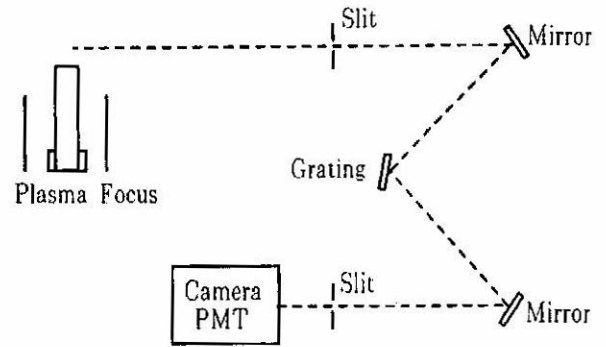


Fig. 1. Schematic diagram of Plasma Focus Device and Monochromator using as detector of light pulse.

III 결과 및 고찰

스펙트럼의 특성을 충전기체(Ar, He)를 변수로 하여 측정하였다. Near UV-visible-near IR 스펙트럼의 전반적인 세기를 알기 위해서 파장의 범위를 1200 Å에서 12000 Å까지 그리고 Ar, He 기체에 대해 스펙트럼을 관찰하였으나 감광필름의 sensitivity가 6000 Å 이상에서 현저히 감소하는 특성을 감안하여 1200 Å ~ 5800 Å 파장범위에서 스펙트럼을 분석하였다.^[3]

그림 2는 1200 Å ~ 5800 Å 범위에서 Ar과 He 기체를 충전시켰을 때 이 장치에서 방출하는 빛의 스펙트럼에 대한 densitometry 분석이다. 각각은 기압이 0.5 torr, 방전전압 13 kV에서의 분광특성결과로 두 기체가 모두 2000 Å ~ 4000 Å 파장범위에서 연속스펙트럼의 세기가 강하게 나타나고 있으며 다른 범위에서는 선스펙트럼들만이 뚜렷하게 나타나고 있다. 이것은 플라즈마포커스 장치에서의 광방사가 UV-visible-IR의 전영역에 걸쳐 있으며 특히 near UV 영역의 빛의 방사가 강하다는 것을 알 수 있다. 그림 2에서는 각 기체의 특성 선스펙트럼인 Ar(3765 Å, 4190 Å, 4200 Å, 4426 Å, 4579 Å), He(1640 Å, 2577 Å, 3889 Å, 4471 Å)의 스펙트럼을 관찰할 수 있다. 또한 전극의 재질인 Cu선 스펙트럼(2961 Å, 3248 Å, 3274 Å, 4023 Å, 4063 Å) 과 여러 불순물 선 스펙트럼도 공통적으로 관찰되는데 Cu선들은 전극인 구리에서 증발되어 나온 것으로 볼 수 있고 Si선 스펙트럼(5041 Å, 5056 Å)은 절연체로 사용된 세라믹에 함유된 것으로 플라즈마 포커스의 방전초기 단계에서 방출된 것으로 볼 수 있다.

스펙트럼에서 두 기체는 2800 Å 과 3700 Å에서 최대 세기를 가지는 연속스펙트럼이 형성되어 있다. 연속스펙트

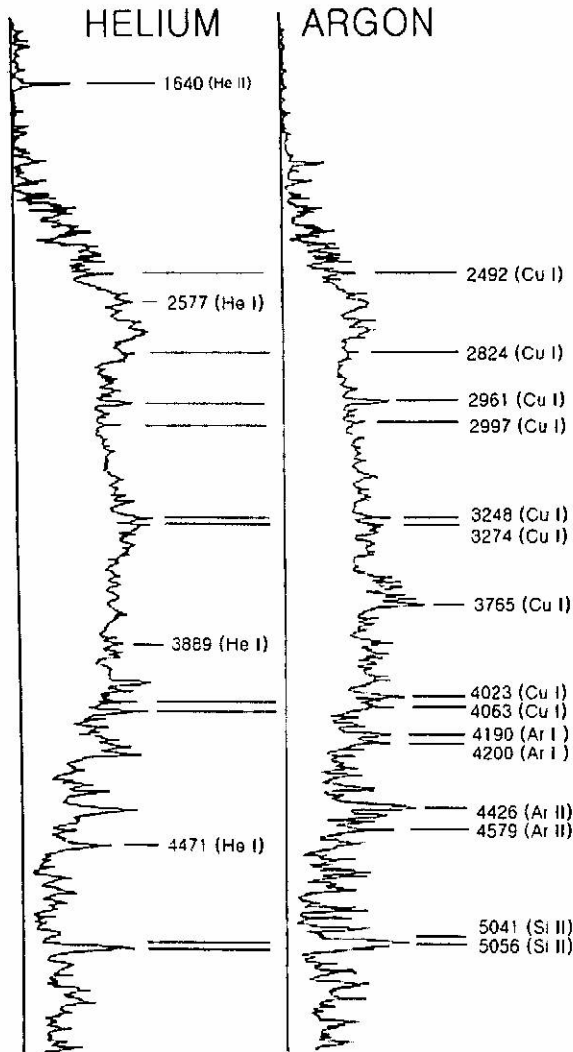


Fig. 2. Spectral characteristics of Ar and He gas in the Plasma Focus.

럼은 흑체복사 곡선(Black body radiation curve)으로 볼 수 있으며 다음과 같은 Wien의 변위법칙(Wien's displacement law)으로 복사체의 온도를 계산할 수 있다.^[4]

$$\lambda_{\max} T = 2.8970 \times 10^3 mK \dots\dots\dots (1)$$

여기서 λ 는 미터단위의 파장을 나타내며 λ_{\max} 는 연속스펙트럼에서 최대의 세기를 가지는 위치의 파장이다. T는 온도이며 단위는 켈빈이다. 최대세기를 가지는 2800 Å과 3700 Å 파장에서 (1) 식을 이용하여 온도를 계산하면 10346 K와 7830 K를 얻을 수 있다. 즉, 이러한 고온에서 플라즈마 입자들의 반응에 의해 가시광선영역의 빛이 방출되었다.

IV | 결 론

펄스형 방전장치인 플라즈마 포커스장치에서 방출되는 가시광선의 분광특성을 조사하였다. 이 장치에서는 연속스펙트럼과 선스펙트럼이 각 파장영역에서 나타났다. 선스펙트럼은 반응하는 기체와 구리전극 및 절연체에서 각각 방출된 광선에 의해 나타났다. 연속스펙트럼은 2000~4000 Å 사이에서 강한 스펙트럼이 나왔으며 최대 세기를 가지는 파장대로부터 온도를 크기를 환산하면 스펙트럼의 방출온도는 10000 K가 된다.

참고문헌

- [1] F. F. Chen. Introduction to plasma physics and controlled fusion. Plenum press, New York. (1984).
- [2] 박덕규. 플라즈마 및 핵융합물리학. 형설출판사. (1985).
- [3] Kodak T-Max Professional Films Information. Eastman Kodak Co. Rochester. (1989).
- [4] "Fundamentals of Optics. 4th ed." McGraw-Hill. F. A. Jenkins and H. E. White. 1976