

분광 분석법에 의한 고압 수은등의 온도분포 측정

論 文

3-4-1

Temperature Distribution Measurement of
High-pressure Mercury Lamp using Spectroscopic Method

金 相 蓉* · 金 昌 燮** · 池 哲 根***
(Sang-Yong Kim · Chang-Seob Kim · Chol-Kon Chee)

요 약

두 분광선의 상대휘도를 이용하는 분광 분석법에 의하여 고압 수은등의 온도분포를 측정하였다. 관경 방향의 휘도분포를 구하기 위해 측정된 분광휘도를 Abel변환을 수행하여 관경방향의 분광휘도로 변환하였다. 사용된 온도결정법은 LTE가 성립한다는 가정하에 같은 종류의 원자로부터 방사되는 두 분광선의 상대휘도 비교에 의한 절대온도 결정법이고 가시광선 영역에 존재하는 수은의 분광선들 중 두가지 조합이 사용되었다.

250W 고압 수은등으로 실험한 결과 6300[K]까지의 축 중심부 온도가 측정되었으며 아아크의 수축현상이 잘 관찰되었고 중심에서 5[mm]까지의 영역에서 LTE가 성립함을 실험적으로 확인하였다.

본 논문에서 사용한 실험방법이 타당하게 적용될 수 있는 중심 부근에서의 온도분포는 이단계(two-step) 온도분포에 근사함을 알 수 있었다.

Abstract

Temperature distribution of high-pressure mercury lamp has been measured by the spectroscopic method using relative intensities of spectral lines. To obtain radial temperature distribution, the measured intensity integrated along the line of sight was transformed into radial intensity by Abel's inversion. Temperature was determined from relative intensities of spectral lines of the same atomic species under the assumption of LTE. Two combinations of spectral lines in visible region radiated from mercury atom was used.

Temperature up to 6300[K] was measured on the axis of the 250[W] high-pressure mercury lamp and the contraction of discharge was well observed. It was shown that LTE assumption was valid in the region within 5[mm] from the discharge axis.

We found that temperature distribution in the LTE region was similar to the two-step distribution model.

1. 서 론

인류의 생활수준의 향상에 따라 높은 조도 수준이 요구되고 이 때문에 고광도 방전등(High Intensity Discharge Lamp)의 사용비중이 점차 증가하고 있다.^{1),2)} 고압 수은등, 고압 나트륨 등, 메탈할라이드 등을 포함하는 고광도 방전등은 백열전구나 형광등에 비해 발광효율이 높고 수명이 길며 소형의 광원에서 많은 광속을 얻을 수 있는 장점이 있다.²⁾ 고광도 방전등은 3[W/cm²] 이상의 wall loading을 갖는 방전관에서 wall stabilized 아아크방전으로 발광하는 고압 방전등이다.²⁾ 방전관 내의 플라즈마는 4000~9000 [K]의 고온 열플라즈마(thermal plasma)이므로^{3),4),5)}국부적 열평형(LTE) 상태가 성립한다.^{6),7)} 따라서 방전관 내의 입자의 위치에서 플라즈마의 온도를 알면 그 위치의 방전의 모든 상태를 기술할 수 있으므로 방전관 내의 온도분포를 구하는 것이 고광도 방전등 방전 해석의 기본이다.

플라즈마의 온도를 측정하는 방법은 크게 나누면 프루브(probe)법과 분광분석법이 있다⁸⁾ 프루브법은 측정위치의 온도를 직접 측정할 수 있는 장점이 있으나 프루브의 삽입으로 플라즈마가 교란받을 가능성이 있다는 단점이 있고 주로 저압 방전의 경우에 사용된다.⁶⁾ 고압 방전등의 경우는 방전관 내의 온도가 매우 높아 프루브 삽입이 불가능하므로 분광분석법에 의해 온도를 측정해야 한다. 분광분석법은 비접촉 측정이므로 플라즈마에 교란을 일으킬 가능성이 없다는 장점이 있으나, 일반적으로는 측정되는 물리량이 측정 위치에서만 기원하는 것이 아니므로 Abel 변환을 수행하여야 하므로 측정과 결과분석에 시간이 많이 걸리는 단점이 있다.

분광분석법에 의한 온도분포의 측정에는 다양한 방법이 있다. 본 논문에서 대상으로 하는 고압 수은등은 가시광선 영역에서 존재하는 수은 원자의 뚜렷한 선스펙트럼을 이용한 광원이며 이들은 optically thin한 분광선들이므로 두 분광선의 상대적인 휘도비교에 의한 플라즈마의 온도결정법⁸⁾을 사용하여 250W 고압수은등 내관의 온도분포를 측

정하였다.

2. 이 론

광원으로 사용되는 고광도 방전등 내의 고압아아크 방전은 부분전리 플라즈마(partially ionized plasma)상태이며 이러한 플라즈마는 중성의 기체 원자 또는 분자들이 구성입자의 대부분을 차지하고 같은 수의 전자와 이온이 포함되어 있는 플라즈마이다.^{6),9)}

방전등에 전압을 인가하여 방전을 일으키면 방전관 길이의 대부분을 차지하는 양광주(positive column)는 플라즈마 상태로 되며, 이 플라즈마 내에서 중성입자 또는 이온에 비해 무게가 훨씬 가벼운 전자는 전계 내에서 빠른 속도로 이동하므로 많은 에너지를 얻게되고 이 전자가 다른 입자와의 충돌하여 전계로부터 얻은 에너지를 전달한다. 전자와 다른 입자간의 충돌은 탄성충돌과 비탄성충돌로 나눌 수 있으며 빠른 전자와의 탄성충돌에 의하여 중성의 기체원자는 에너지를 얻어 온도가 상승하게 되고 비탄성충돌에 의하여 중성의 기체원자의 전리, 여기가 일어나 방전의 지속과 발광현상이 일어나게 된다.

저압 아아크 방전의 경우 중성기체입자들의 밀도가 낮으므로 전자와 중성입자간의 탄성충돌 횟수도 적어서 전자온도가 매우 높은 반면 중성입자의 온도는 낮다. 그러나 가스 압력이 점차 높아져서 고

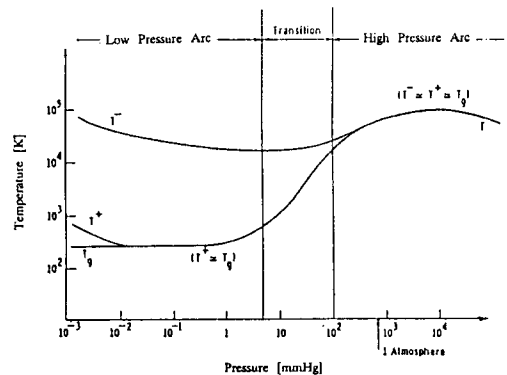


그림 1 아아크내의 가스압력 변화에 따른 구성입자들의 온도변화

Fig. 1 Particle temperature variation as a function of the gas pressure in arc plasma

*正會員: 서울大 工大 大學院 電氣工學科 碩士課程
 **正會員: 서울大 工大 大學院 電氣工學科 博士課程
 ***正會員: 서울大 工大 電氣工學科 教授·工博

압 아아크 방전으로 이행되면 중성기체원자의 밀도가 높아지므로 입자의 평균자유행정(mean free path)이 짧아져서 탄성충돌 횟수도 점차 많아지게 된다. 따라서 전자와 다른 입자간의 에너지 교환이 충분히 일어나므로 전자의 평균에너지는 낮아지고 중성원자의 평균에너지는 높아지게 되며 고압 아아크 방전에서는 이들 입자의 온도가 거의 같아지게 된다.

아아크 내의 가스 압력 변화에 따른 구성입자들의 일반적인 온도변화를 (그림 1)에 나타내었다.¹⁰⁾

이상에서 알 수 있는 바와 같이 충돌지배 플라즈마(collision dominated plasma)인 고압 아아크 방전에서는 각 입자의 자체 내에서만 열역학적 평형이 성립하는 것이 아니라 단위체적 내에 있는 모든 입자들의 에너지가 동일한 국부적 열역학적평형(LTE: local thermodynamic equilibrium)이 성립하게 된다. 이러한 국부적 열평형이 성립하게 되면 아아크 내부에서 어느 위치의 온도를 아는 경우 그 위치에서 일어나는 모든 물리적 현상의 계수와 각 입자들의 밀도를 알 수 있게 된다.

2.1 국부적 열평형의 성립

고압 아아크 방전의 반경방향의 온도분포를 측정하는 기본적인 방법은 아아크의 모든 단위체적 요소에서 LTE가 성립한다는 가정에 기초한다. LTE 상태는 압력이 충분히 높아서 전자밀도가 어떤 한 계치 이상인 충돌지배 플라즈마에 적용될 수 있으며 H. Griem에 의하면 LTE상태에 필요한 전자밀도는 다음식으로 표현된다.¹¹⁾

$$N_e \geq 9 \times 10^{17} \left[\frac{E_2}{E_n} \right]^3 \left[\frac{kT}{E_n} \right]^2 \quad (1)$$

여기서

E_2 : 첫 공진선의 에너지

E_n : 이온화 에너지

고압 수은등의 경우 W. Elenbaas에 의하면 $E_2=4.67[eV]$, $E_n=10.43[eV]$ 이며 수직점등시 방전관 중심의 온도는 대략 6000[K] 정도 라고 한다.⁶⁾ 이 값들을 식(1)에 대입하면

$$N_e \geq 1.8 \times 10^{17} \quad (1)$$

이라는 LTE상태의 성립에 필요한 전자밀도의 요구 조건이 얻어진다. J.J. de Groot의 연구에 의

하면 고압 수은등 중심에서의 전자밀도는 $10^{21} \sim 10^{22} [m^{-3}]$ 이므로¹²⁾ 고압 수은등의 방전관 중심 부근에서는 LTE가 성립한다는 가정이 타당하다. 그러나 방전관의 벽 부근에서는 온도보다 전자밀도가 급격히 감소하므로 LTE가 성립하지 않을 것이라 예상할 수 있다.

2.2 분광분석법에 의한 플라즈마의 온도 결정⁹⁾

플라즈마에서 방출되는 빛을 해석하여 플라즈마의 상태를 분석하는 것이 분광분석법이다. 원자, 이온 또는 분자들의 분광휘도는 전이되는 에너지 준위의 윗쪽 준위 밀도와 양자 에너지에 비례하므로 그 분광선의 휘도를 측정하면 주어진 플라즈마 내의 원소들의 양자상태의 밀도를 계산할 수 있다. 뿐만아니라 LTE의 경우 플라즈마내의 화학적 조성비를 알고 볼츠만 관계식을 이용하면 각기 다른 양자상태의 밀도를 온도로 환산할 수 있다.

에너지 준위 E_k 에 존재하는 원자 밀도 n_k 는 다음의 볼츠만 식으로 표현된다.

$$\frac{n_k}{n} = \frac{g_k}{U(T)} \exp\left[-\frac{E_k}{kT}\right] \quad (2)$$

여기서,

g_k : statical weight of k^{th} level

n : concentration of atoms

$U(T)$: partition function

그리고 분광선에 의해 단위체적의 플라즈마에서 단위시간, 단위파장당 단위입체각으로 방사되는 에너지는 다음식으로 표현된다.

$$\epsilon_v = \frac{hc}{4\pi\lambda} A_{ki} n_k P_\nu \quad (3)$$

여기서,

h : 플랑크 상수

c : 광속

A_{ki} : Einstein's spontaneous transition probability

P_ν : normalized line profile

만일 플라즈마가 optically thin 하며 균일(homogeneous)하다고 가정하고, 식 (3)의 n_k 를 식 (2)에 의해 표현하면 분광선의 휘도는 다음과 같다.

$$I_\nu = \epsilon_{\nu, l} \cdot l$$

$$= \frac{hc}{4\pi\lambda} (g_k A_{ki}) \frac{nl}{U} \exp\left[-\frac{E_k}{kT}\right] P_\nu \quad (4)$$

여기서

l : optical length of the plasma

여기서 플라즈마가 LTE조건을 만족한다면 전이 확률 등의 원자상수들을 알고, 분광도가 좋은 monochromator를 이용하여 분광선의 휘도를 측정함으로써 플라즈마의 온도를 구할 수 있음을 알 수 있다.

같은 종류의 원자에 의한 분광선들의 휘도는 식 (4)를 만족하며 2개의 분광선 휘도의 상대적인 비는 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{A_1 g_1 \lambda_2 U_2 n_1}{A_2 g_2 \lambda_1 U_1 n_2} \exp\left[-\frac{E_1 - E_2}{kT}\right] \quad (5)$$

만일 두 분광선이 같은 이온화 단계에 속한다면 partition function U_1 과 U_2 , 기저상태의 원자 밀도 n_1 ,과 n_2 는 같은 값을 갖는다. 따라서 식 (5)는 아래와 같게된다.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{A_1 g_1 \lambda_2}{A_2 g_2 \lambda_1} \exp\left[-\frac{E_1 - E_2}{kT}\right] \quad (6)$$

본 연구에서는 식 (6)을 이용하여 플라즈마의 온도를 구하였다.

2.3 Abel's inversion⁸⁾⁽¹¹⁾⁽¹³⁾

플라즈마의 관경 방향의 온도 분포를 실제적인 측정으로부터 직접 구해내는 것은 불가능하다. 그 이유는 <그림 2>에서 알수있는 바와같이 monochromator와 같은 관측장비가 받아들이는 정보는 어느 특정 반경에서의 단위 체적 요소에서 방사되는 빛의 휘도가 아니라 다른 방사계수(emmissivity)을 갖는 여러층의 체적요소에서 방사되는 빛의 관측방향을 따라 적분된 양이기 때문이다.

Cylindrical 또는 spherical symmetry가 존재하는 플라즈마의 경우는 관측되는 투사된 분광휘도를 플라즈마 내의 관경 방향의 휘도분포로 변환하는 것이 가능하다. <그림 2>와 같이 z 축을 따라 cylindrical symmetry가 존재한다고 하면 x 축과 평행한 방향으로 관측되는 휘도는 플라즈마의 관경 방향의 방사계수 $\epsilon(r)$ 을 x 축을 따라 적분하여 다음과 같이 구할 수있다.

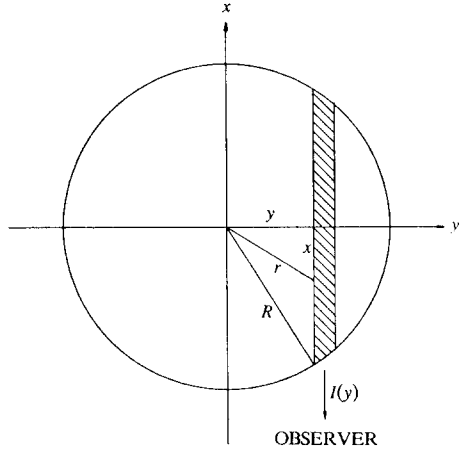


그림 2 z 축을 따라 cylindrical symmetry가 존재하는 플라즈마의 단면도

Fig. 2 A disk of plasma cylindrically symmetric with respect to the z axis

$$I(y) = 2 \int_y^R \frac{\epsilon(r) r dr}{\sqrt{r^2 - y^2}} \quad (7)$$

여기서 R 은 $\epsilon(r)$ 이 제로가 되는 반경이다. 이식은 Abel type의 식이므로 이 식을 역변환하면¹¹⁾

$$\epsilon(r) = -\frac{1}{\pi} \int_r^R \frac{dI(y)}{dy} \frac{dy}{\sqrt{y^2 - r^2}} \quad (8)$$

와 같은 Abel inversion 식이 얻어진다.

따라서 관경방향의 온도 분포를 구하려면 먼저 관경방향의 방사계수 $\epsilon(r)$ 을 알아야 하고 이를 위해서는 $I(y)$ 를 알아야 하므로 미소한 Δy 간격으로 분광휘도를 측정해야 한다.

3. 실험방법

본 연구에 사용된 실험장치의 구성도를 <그림 3>에 나타내었다.

Monochromator는 일본 미조지리 광학사의 Ebert-type monochromator SG-12D-10B로서 격자 정수 1200[lines/mm], 분산역수 8[Å/mm], collimator mirror의 초점거리 1000[mm], f 수 17.0이며 측정 파장범위는 2000~7000 Å이다. 방전동은 micro-meter의 나사를 이용하여 제작되어 1/100[mm] 간격으로 정밀한 이동이 가능한 $y-z$

transducer위에 설치하여 y방향으로 scanning이 행해진다. 고압수은등의 반경은 10[mm]정도이므로 0.58[mm]씩 scanning하여 20개 정도의 점에서의 분광회도를 구한다. 광원과 monochromator 사이에 collimating aperture로 두 개의 aperture를 설치하는데 광원 앞에는 직경 0.3[mm]의 원형 aperture를 사용하며 Metrologic Neon Laser를 이용하여 aperture를 정렬시킨다. 방전관의 중심부에서 분광회도는 충분한 세기이므로 측정에 문제가 없으나 중심부에서 멀어질수록 분광회도가 점차 약해져서 스펙트럼의 판독이 힘들어진다. 따라서 두 aperture 사이를 암실로 만들어 반사에 의한 빛의 잡음을 차단하여 신호 대 잡음비(S/N ratio)를 증가시킨다. 본 실험에서 측정되는 빛의 파장범위는 400[nm]~600[nm]의 가시부이므로 UV컷트 필터를 사용, 350[nm]이하의 분광선을 차단하여 고조파의 영향을 배제한다. PMT(photo-multiplier tube)에는 -500[V]의 고압을 인가하며 PMT로부터의 출력신호는 협대역 증폭기를 통해 증폭된 후 X-Y기록계에 의해 기록되고 한편으로는 Nicolet Digital Storascope로 보내진다. 필요한 파장의 분광회도를 Digital Storascope를 통해서 읽으므로 약한 분광선의 회도를 정확히 판독할 수있다. 이 데이터를 IBM-PC에 의해 Abel inversion을 행하고 온도를 결정한다.

4. 실험 결과 및 분석

3장에 기술한 온도분포 측정방법을 수직점등한 Philips 제 250W 고압 수은등의 양광주(positive column)에 적용하여 보았다. 고압 수은등에서는 침모양의 두 주전극외에 기동시에 방전 개시전압을 낮추기 위해 보조전극이 존재하므로 이 때문에 내관의 측과 두 주전극의 축이 약간의 각도를 가진다.⁷⁾ 그러나 고압수은등에서는 방전의 수축(contraction of discharge)이 크게 일어나므로 양광주의 축인 전극의 축을 따라 cylindrical symmetry가 존재한다고 가정하였다.

3장에 기술한 방법으로 y-z transducer를 이용하여 0.5[mm] 간격으로 20여 개의 점에 대해 스펙트럼을 측정하였다. 축 중심에서의 고압 수은등의 스펙트럼은 (그림 4)와 같다.

현재까지 wall-stabilized 아아크 방전의 온도분포에 대한 모델은 크게 포물선분포 모델(parabolic profile model)과 이단계분포 모델(two-step profile model)의 두가지로 제안되어 왔다. 포물선분포 모델은 온도분포가 (그림 5)와 같은 형태이며 온도분포의 식이 다음 식으로 주어진다 가정하는 것이다.

$$T = T_0 - (T_0 - T_w) \left[\frac{r}{R} \right]^2 \quad (9)$$

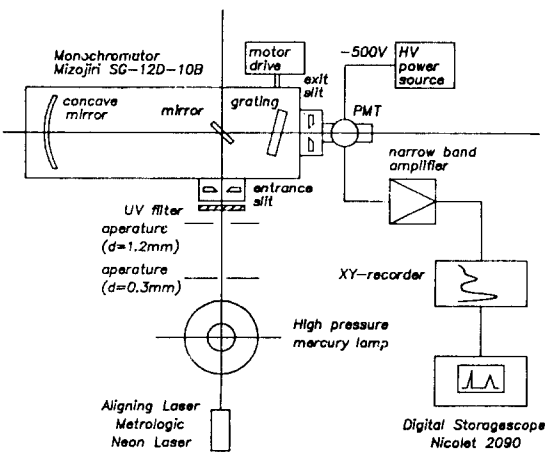


그림 3 실험장치의 구성도
Fig. 3 Schematic diagram of experimental arrangement

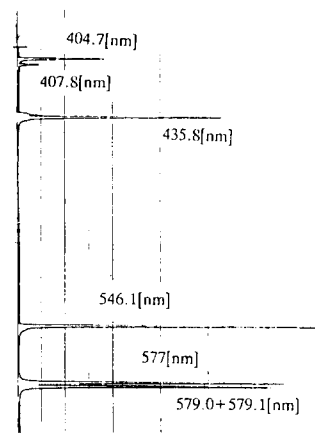


그림 4 고압 수은등의 스펙트럼
Fig. 4 The spectrum of the high pressure mercury lamp

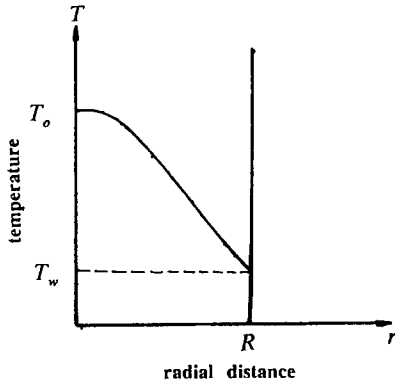


그림 5 포물선 온도분포 모델
Fig. 5 Parabolic temperature profile model

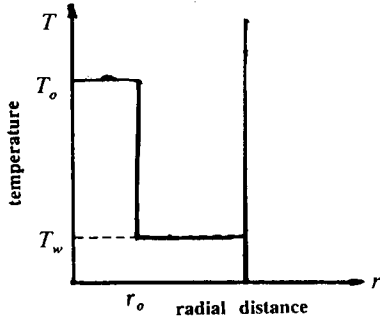


그림 6 이단계 온도분포 모델
Fig. 6 Two-step temperature profile model

여기서

T_0 : 방전관의 중심온도

T_w : 방전관의 관벽온도

R : 방전관의 반경

이 모델은 가장 일반적으로 사용되는 온도분포 모델로 많은 wall stabilized 아아크 방전의 시뮬레이션에 사용되어 왔다.⁶⁾⁷⁾¹⁴⁾¹⁵⁾

한편 이단계분포 모델은 (그림 6)과 같은 온도분포로 다음식으로 표현한다.

$$T = \begin{cases} T_0 & \text{for } 0 \leq r \leq r_0 \\ T_w & \text{for } r_0 \leq r \leq R \end{cases} \quad (10)$$

여기서 r_0 는 단위 길이당의 입력 에너지와 방전관의 반경 등에 의하여 결정되는 값이다.¹⁵⁾ 이 모델은 이론적 근거가 명확하지 않은 인위적인 모델

表 1 수은 분광선의 원자상수

Table 1 Atomic constants of the upper level for mercury lines

wavelength [nm]	[sec ⁻¹]		[sec ⁻¹]	energy level [eV]
407.8	0.7×10^7	1	0.7×10^7	7.92
577	2.8×10^7	5	1.4×10^8	8.845
579.0+579.1		5 and 3	$\Sigma = 1.3 \times 10^8$	8.837

Temperature Distribution

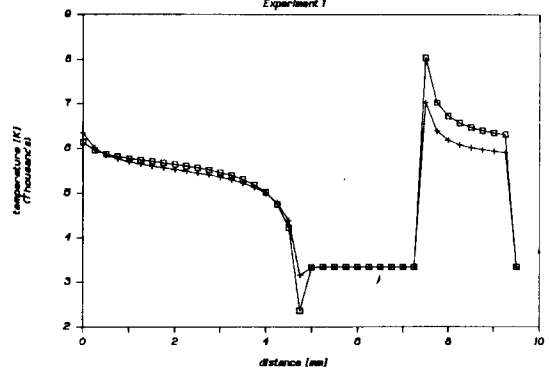


그림 7 계산된 온도분포
Fig. 7 Calculated temperature distribution
+407.8[nm]&577[nm]
□ 407.8[nm] & 579+579.1[nm]

Shift of Zero

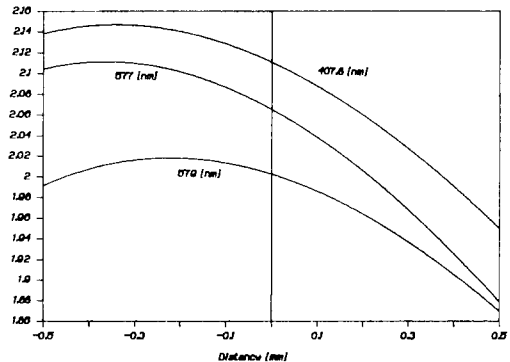


그림 8 방전관 중심 부근의 방사계수의 상세도
Fig. 8 Detailed diagram of emissivity near the discharge axis

이나 많은 연구들이 이 모델을 사용하여 유용한 결

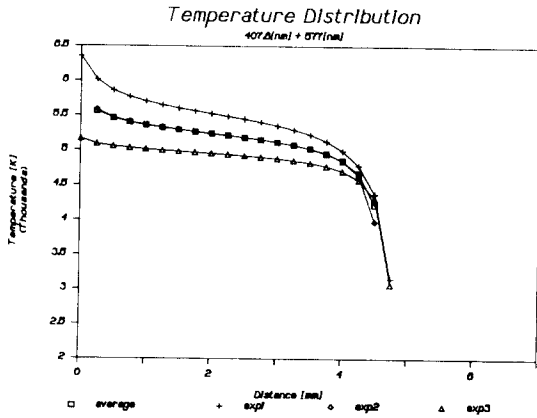


그림 9 LTE 영역에서 407.8[nm]와 577[nm]의 분광휘도 비교에 의해 계산된 온도분포

Fig. 9 Calculated temperature distribution by comparing relative intensity of the two lines 407.8[nm] & 577[nm] in the LTE region

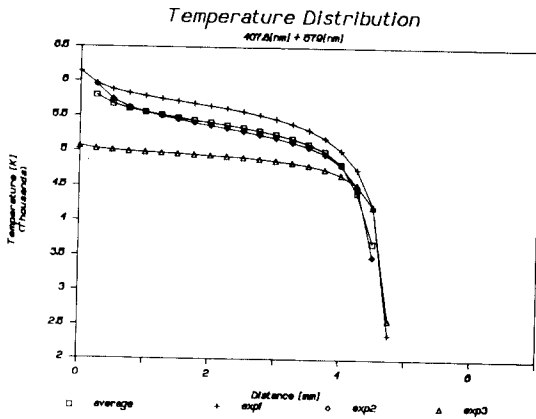


그림 10 LTE 영역에서 407.8[nm]와 579.0+579.1[nm]의 분광휘도 비교에 의해 계산된 온도분포

Fig. 10 Calculated temperature distribution by comparing relative intensity of the two lines 407.8[nm] & 579.0+579.1[nm] in the LTE region

과를 얻어왔다.¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾

이 두 모델은 wall stabilized 아아크 방전에서 관찰할 수 있는 방전의 수축을 잘 설명하고 있으므로 이 모델들을 사용하여 얻어진 시뮬레이션 결과

들은 실험결과와 잘 일치하고 있는 것으로 알려져 있다.

본 논문에서는 보다 일반적인 형태의 온도분포를 구하고 또한 측정결과 해석의 정확성을 기하기 위해 관경 방향의 분광휘도 $I(y)$ 를 4차의 다항식으로 가정하였으며 최소자승법에 의해 4차식의 계수들을 구하였다. 식 (8)에서 $I(y)$ 가 4차식이면 적분이 해석적으로 가능하므로 관경방향의 방사계수 $\epsilon(r)$ 이 쉽게 계산된다.

계산된 $\epsilon(r)$ 로부터 식 (6)에 의해 수은의 비공진선인 407.8[nm]와 577[nm], 407.8[nm]와 579.0+579.1[nm] 두 분광선의 조합에 대해 온도를 각각 계산하였다. 식 (6)으로부터 온도를 결정하려면 각 분광선에 대해 전이확률계수(atomic transition probability), 고위측의 통계학적 가중치(statistical weight), 고위측의 에너지 준위를 알아야하며 본 논문에서는 <표 1>과 같은 W Elenbaas의 데이터를 사용하였다.⁶⁾

<그림 7>에 계산된 온도분포를 도시하였다. 방전관 중심에서 거리 $r=5$ [mm] 이후 영역에서의 온도는 불규칙한 값이 계산되었는 바 이 영역에서는 LTE상태가 성립하지 않기 때문이라 사료된다. 그리고 방전관 중심 부근에는 온도가 갑자기 증가하여 이상치를 보이는데 이는 식(8)의 적분에서 분광휘도 $I(y)$ 의 미분치가 피적함수에 포함되므로 실험상에 발생하는 $I(y)$ 의 작은 오차도 방사계수 $\epsilon(r)$ 에 큰 영향을 미치기 때문이며⁷⁾ <그림 8>에서 보듯이 각 파장의 분광휘도 $I(y)$ 들의 원점이 일치하지 않는 실험결과가 얻어지고 있다.

세번의 실험을 통해 얻어진 LTE 성립 영역에서의 온도분포를 <그림 9>, <그림 10>에 도시하였다. <그림 9>는 407.8[nm]와 577[nm] 두 분광선의 분광휘도 비교에 의해 계산된 결과이고 <그림 10>는 407.8[nm]와 579.0+579.1[nm] 두 분광선의 분광휘도 비교에 의해 계산된 결과이다. 본 논문에서 얻어진 온도분포는 이단계분포에 근사한 결과를 보이고 있다. 그러나 관벽 부근에서는 LTE가 성립하지 않고, 방사되는 빛이 방전관의 내관과 외관에 의해 굴절되는 정도가 관 중심보다 심하므로 측정에 상당한 오차가 예상되며 실제로 음의 방사계수가 계산되는 실험 가정에 위배되는 경우도 발생하였다. 세번의 실험 모두 방전관 중심으로부터 $r=$

5[mm] 이후에서는 LTE상태가 성립하지 않음을 보여주고 있으며 이 결과는 목측에 의하여 $r=4.5$ [mm] 정도까지 수축된 아아크가 관측된 사실과 일치한다.

결론적으로 본 논문의 실험 대상인 Philips제250 W 고압 수은등의 경우 분광분석법에 의해 온도분포를 구한 결과 방전의 수축현상을 잘 보여주고 있으며 실험방법이 타당하게 적용될 수 있는 관 중심 부근에서의 온도분포는 이단계분포에 근사함을 알 수 있다. 아아크 중심부의 온도는 5100~6300[K]로 측정되었으며 Minaev에 의하면 400W 고압 수은등의 중심부의 온도는 6300 ± 150 [K]이라 한다.¹⁴⁾

고압 방전등의 경우 60[Hz] 교류 전원으로 점등하면 시간에 따른 온도의 변화가 존재하나¹⁴⁾ 이의 측정은 매우 어렵다. 본 실험에서도 고압 수은등을 60[Hz]로 점등하였으므로 시간에 따른 온도변화가 존재하나 본 논문에서는 온도변화가 시간에 대해서 평균된 값을 측정하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 고압 수은등에 LTE모델을 적용하여 방전과 중심부의 온도분포를 측정하였고 LTE 성립 영역을 구하여 고광도 방전등의 이론적 해석을 실험적으로 검증할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한, 본 논문에서 사용한 방법은 고압 수은 등 이외의 다른 고압방전등에도 적용이 가능하다.

금후의 개선 과제로는 정확한 온도의 값을 구하기 위해서는 보다 정밀한 실험을 수행하여야 하므로 방전관 내관의 지름이 더욱 큰 400W 수은등으로 실험을 행하여 더욱 자세한 온도 분포를 구해야 하는 것이다. 그리고 LTE 상태가 성립하지 않는 영역을 포함한 방전관의 모든 영역에 대한 온도 분포를 측정할 수 있는 방법 및, 시간에 따른 온도의 변화를 구해낼 수 있는 방법이 연구개발되어야 할 것이다.

참고문헌

- 1) 지철근, 전기응답, 문운당, 1987
- 2) Kaufman, J. E. ed., IES Lighting Handbook

-Reference Volume, IES, 1984

- 3) Ozaki, N., "Temperature distribution of the high pressure sodium vapour discharge plasma", JQSRT, Vol.11, 1971, pp.1111~1123
- 4) Minaev P.V., "Effect of charge density on spectral line strength in high pressure mercury plasma", Opt. Spectrosc.(USSR), Vol.45, 1978, pp.625~627
- 5) Rothwell, H. L. Jr. and Keeffe, W. M., "A direct reading polychromator for real time diagnostics of HID lamp", J. of IES, Oct., 1980, pp.40~46
- 6) Elenbass, W., Light Sources, MacMilian, London, 1972
- 7) Waymouth, J. F., Electric discharge lamps, M. I.T. press, Cambridge, 1971
- 8) Holtgreven, W.L. ed., plasma diagnostic techniques, North-Holland, Amsterdam, 1968
- 9) Cherrington, B. E., Gaseous Electronics and Gas Lasers, Pegamon, Oxford, 1979
- 10) Hoyaux, M. F., Arc physics, Springer-Verlag, New York, 1968
- 11) Griem, H. R., Plasma spectroscopy, McGraw-Hill, New York, 1964
- 12) de Groot, J. J., The high pressure sodium lamp, Philips technical library, Deventer, 1986
- 13) Bockasten, K., "Transform of observed radiances into radial distribution of the emission of a plasma", J. Opt. Soc. Am., Vol.51, 1961, pp.943~947
- 14) 김훈, 에너지평형식을 이용한 고광도 방전등의 교류특성해석에 관한 연구, 박사 학위 논문, 서울대, 1988.
- 15) Waymouth, J. F., "An elementary arc model of the high pressure sodium lamp", J. of IES, Vol. 6, 1977, pp.131~140
- 16) Chien, Yu-Min, "On the shifts of self-reversed maxima of the sodium resonance radiation", J. Appl. Phys., Vol.51, 1980, pp.2965~2968
- 17) Elenbaas, W., The high pressure mercury vapor discharge, North Holland Publishing co., Amsterdam, 1951