

螢光램프 陽光柱 內的 電子移動度 計算

論 文
2-2-2

Electron Mobility Calculations for the Positive Column of a Fluorescent Lamp

池 哲 根* · 張 禹 鎭** · 李 鎭 雨***
 (Chol-Kon Chee · Woo-Jin Jang · Chin-Woo Yi)

요 약

관벽온도에 따른 형광램프 양광주 내의 전자이동도 변화를 계산하였다. 전자분포 함수는 2 Electron Group Model을 사용하였다. 또한 이를 검증하기 위하여, 38mm 20W 형광램프 양광주 내의 전자이동도를 관벽온도를 변화 시키면서 측정하였다. 측정방법으로는 양광주 내의 전계를 구하기 위하여 양극 및 음극 강하전압의 합을 15V로 가정하였으며 2중 슬릿을 사용하여 양광주의 길이를 측정하였다. 관벽온도를 10-18°C로 변화시키며 계산하고 측정한 결과를 표시하였다.

Abstract

Electron mobility which is a basic parameter to represent gas state, is calculated for 38mm 20W fluorescent lamp. 2 Electron Group Model is used for electron distribution function. To prove this result electron mobility in 38mm 20W fluorescent lamp is measured at various wall temperatures. In order to obtain electric field strength of positive column, the sum of anode and cathode fall voltages is assumed to be 15[V] and dual slit is used to measure positive column length. The measured and calculated result is plotted under 10-80°C wall temperature.

*正會員 : 서울대 工大電氣工學科 教授 · 工博

**正會員 : 서울産業大學 電氣工學科 助教授

***正會員 : 서울대 大學院 電氣工學科 博士課程

1. 서 론

기체 중의 전자이동도는 각 기체의 상태를 특징 짓는 중요한 요소로서, 이로부터 여러가지 값들을 유도할 수 있다.

전자이동도는 전자의 충돌단면적에서 계산하는 방법과 전자밀도와 양광주 내의 전계로부터 계산하는 방법이 있다.^{1), 2)} 이 중에서 전자의 충돌단면적을 이용하는 방법은 전자의 분포함수를 정확히 표시하는 것이 어렵고, 수은과 아르곤 가스가 섞여 있는 경우 충돌단면적은 수은과 아르곤의 비율에 따라 달라지므로 각각의 경우에 대하여 구하는 것은 대단히 힘들다. 양광주 내의 전계로부터 계산하는 방법은 양광주 내의 전계를 구하기 위하여 푸르브를 삽입하여 측정하여야 하는 어려움이 있다.²⁾ 푸르브를 삽입하여 측정하는 방법은 1961년 W Verweij가 사용하였으며 전자의 충돌단면적으로부터 계산하는 방법은 1984년 Z. F. Chen과 H. G. Johns가 사용하였다.¹⁾ 이 외에도 전자이동도에 관한 논문으로는 Waymouth and Bitter(1956), Cayless(1961), Polman et al(1972), Vriens(1973), Verbeek and Drop(1974)등이 있다.³⁾⁻⁷⁾

그러나 형광램프와 같은 저압 방전램프에서는 전자분포함수로 Maxwellian보다는 2-Electron Group Model(2-EGM)이 정확한 것으로 알려져 있다.⁸⁾

본 논문에서는 전자의 충돌단면적과 전자의 분포함수를 사용하여 형광램프 양광주내의 전자이동도를 계산하였다. 그리고 이를 검증하기 위하여 전자 이동도를 간단히 측정할 수 있는 방법을 제안하였다. 측정방법은 램프 전압을 측정하고 여기에 음극 및 양극 전압의 합을 15V로 가정하고, 2중 슬릿을 사용하는 간접적인 방법으로 양광주내의 전계를 구하여 60Hz에서 관벽온도를 변화시키며 지름이 38mm인 20W 형광램프 양광주 내에서의 전자 이동도를 구하였다.

2. 기본이론

2.1 전자이동도의 계산

형광램프 내의 기체를 로렌즈가스로 가정하면 전자이동도는 다음의 식으로 표시된다. [8]

$$\mu_e = \frac{e}{m (\nu_m + j\omega)} \tag{1}$$

이 식에서 μ_e 는 전자이동도, e 는 전자전하, m 은 전자질량, ν_m 은 충돌주파수, ω 는 전원의 각주파수이다.

식 (1)에서 주파수 60Hz의 경우, $\nu_m \gg \omega$ 이므로 다음의 식이 성립한다.

$$\mu_e = \frac{e}{m \nu_m} \tag{2}$$

식 (2)에서 ν_m 다음과 같이 나타내어 진다

$$\nu_m = N \sigma(\nu) \nu \tag{3}$$

이 식에서 N 은 기체의 밀도, σ 는 전자의 충돌단면적, ν 는 전자의 속도이다. 식 (3)을 식 (2)에 대입하면 전자 이동도는 다음의 식으로 나타내어진다.

$$\mu_e = \frac{e}{m N \sigma(\nu) \nu} \tag{4}$$

2.2 전자이동도의 측정

한편 전자의 이동도는 일반적으로 다음의 식으로 표시할 수 있다.

$$\mu_e = \frac{J}{n e E} \tag{5}$$

이 식에서 μ_e 는 전자 이동도, J 는 전류밀도, n 은 전자밀도, e 는전자 전하, E 는 전계의 세기이다.

3. 전자이동도 계산

3.1 아르곤 중의 전자이동도

아르곤 중의 전자이동도를 구하기 위하여 전자의 충돌단면적은 S. C. Brown의 데이터를 사용하였다.⁹⁾ 아르곤의 경우 전자의 충돌주파수를 구하는 과정에서 전자의 분포를 Maxwellian으로 가정하는 것과 2-EGM으로 가정하는 것과는 큰 차이가 없었다. 식 (4)를 사용하여 전자이동도를 계산하였는데, 계산은 구간을 유한 개로 나누어 계산하는

해석적인 방법을 사용하였다.¹⁰⁾

본 논문에서 계산하여 회귀시킨 결과는 다음과 같다.

$$\mu_{Ar} = (4.25 \times 10^3 - 6.56 \times 10^{-1} \times Te + 3.82 \times 10^{-5} \times Te^2 - 7.78 \times 10^{-10} \times Te^3) / P_{Ar} \quad (6)$$

이 식에서 μ_{Ar} 은 아르곤 중의 전자 이동도, Te 는 전자온도, P_{Ar} 은 아르곤기체의 실효압력(단위 Torr)이다.

3.2 수은 중의 전자이동도

수은 중의 전자 이동도를 계산하기 위하여 전자의 충돌단면적은 Y. Nakamura와 J. Lucas의 데이터를 사용하였으며, 전자의 분포함수는 2-EGM을 사용하였다.^{9) 6)} 식 (4)를 사용하여 구간을 유한개로 나누어 계산하였다.

본 논문에서 계산하여 회귀시킨 결과는 다음과 같다.

$$\mu_{Hg} = (8.93 + 3.64 \times 10^{-4} \times Te - 6.36 \times 10^{-9} \times Te^2) / P_{Hg} \quad (7)$$

이 식에서 μ_{Hg} 는 수은 중의 전자이동도, Te 는 전자온도, P_{Hg} 는 수은증기의 실효압력(단위 Torr)이다.

3.3 수은과 아르곤 혼합기체 중의 전자이동도

수은과 아르곤 혼합기체 중에서의 충돌주파수는 단순히 충돌단면적의 산술적인 합으로는 표현할 수 없다. 그러므로 본 논문에서는 일반적으로 사용되는 38mm 20W 형광램프(아르곤 3torr, 전류 0.4A)의 경우 (6) (7)에서 각각 구한 전자이동도를 Blanc의 법칙을 사용하여 계산하였다.⁶⁾

본 논문에서 계산한 결과를 그림 3에 나타내었다. 결과를 회귀 시킨 식은 다음과 같다.

$$\mu = 1.05 \times 10^2 + 6.51 \times 10^{-1} \times Tw + 3.84 \times 10^{-2} \times Tw^2 - 5.70 \times 10^{-4} \times Tw^3 \quad (8)$$

이 식에서 μ 는 수은과 아르곤 혼합기체 중의 전자이동도, Tw 는 관벽온도이다.

4. 전자이동도 측정

4.1 측정방법

식 (5)에서 전류밀도는 양광주 내에 흐르는 전류

가 공간적으로 균일하다고 가정하고 측정하는 형광램프에 흐르는 전류로부터 구한다.

전자밀도는 관벽온도를 변화시키며 측정된 평균 데이터를 이용한다.¹⁰⁾

전계는 일반 형광램프에서는 직접 측정하기가 불가능하다. 그러나 램프전압은 다음과 같이 나타낼 수 있다. ¹¹⁾

$$\mu_e l = \mu_c + \mu_a + E \times l \quad (9)$$

이 식에서 μ_e 은 램프전압, μ_c 는 음극강하, μ_a 는 양극강하, E 는 전계, l 은 양광주의 길이이다.

식 (2)에서 양극강하와 음극강하전압의 합은 일반 형광램프의 경우 15V이며, 그 길이는 온도에 따라 변하지 않는다.¹¹⁾

관벽온도에 따른 램프전압을 측정하기 위하여 형광램프를 수조 속에 넣어 관벽 온도를 변화시키며 일정전류 0.4A에서 램프전압을 측정한다.¹⁰⁾

양광주의 길이는 형광물질을 도포하지 않은 램프에서 이중슬릿을 사용하여 광속을 측정하여 변화가 없는 구간으로 한다. (그림 1)

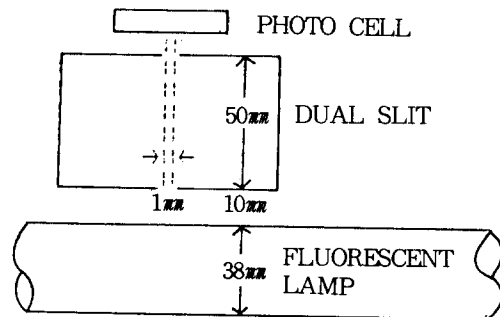


그림 1. 광속 측정에 사용한 이중 슬릿

Fig. 1. Dual slit for light output measurement

4.2 측정결과

측정한 양광주의 길이는 0.467m이었다. 이 결과를 대입하여 식(9)에서 구한 양광주 내의 전계를 그림 2에 나타내었다.

전자 밀도와 식(9)에서 계산한 양광주 내의 전계를 식 (5)에 대입하여 관벽온도에 따른 전자이동도 측정 결과를 그림 3에 표시하였다.¹⁰⁾

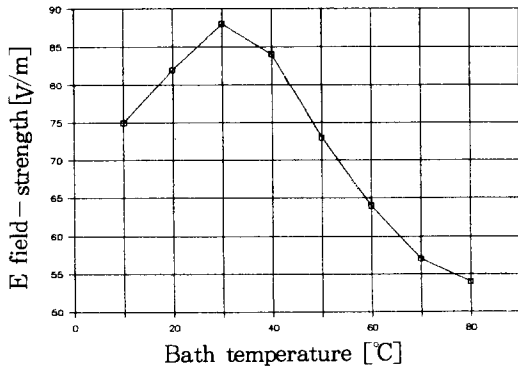
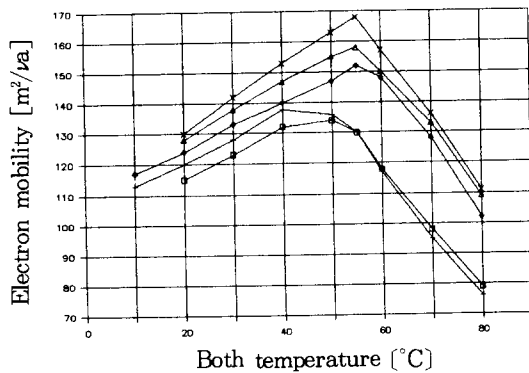


그림 2. 관벽온도에 따른 양광주 내의 전기
Fig. 2. Electric field strength on positive column as a function of wall temperature



- ✕ 본 논문의 계산(calculation of this paper)
- ◇ 본 논문의 측정(measurement of this paper)
- Chen과 Jones의 계산(calcurstions of Chen and Jones)
- △ Verweij의 실험(experiments of Verweij)
- ⊕ Verweij의 계산(calcurations of Verweij)

그림 3. 관벽온도에 따른 양광주 내에서의 전자이동도
Fig. 3. Electron mobility in positive column as a function of wall temperature

5. 결 론

본 논문에서는 형광램프 양광주 내에서의 전자

이동도를 2-EGM과 '유한구간으로 나누어 계산하는 방법을 사용하여 이전의 논문들 계산보다 정확한 값을 얻을 수 있었다. 특히 본 논문의 결과는 Langmuir푸르브를 사용하여 측정한 Verweij의 실험결과와 잘 맞는 것을 볼수 있어 위에서 사용한 가정들과 실험방법이 타당함을 알 수 있다.

본 논문에서 구한 전하이동도에 관한 실험식은 매우 간편하여 아르곤이나 수은을 사용하는 경우에 복잡한 계산이나 번거로운 실험을 하지 않아도 간단하게 값을 구할 수 있도록 하였다.

컴팩트 형광램프 중에는 전자의 이동도를 줄이는 방법을 사용하여 단위 길이당의 광출력을 높이는 방법이 있는데, 이러한 경우 내부의 메카니즘을 밝히는데 본 논문에서 제시하고 사용한 방법들이 유용할 것이다.

모든 기체방전에서 양극과 음극강화전압을 알 수 있으면 본 논문에서 사용한 방법으로 간편하게 전하이동도를 측정하는 것도 가능하다.

참 고 문 헌

- 1) Z. F. Chen, H. G. Jones, "Electron mobility calculations for mercury-argon low pressure gas discharge", J. Phys. D, Vol. 17, 1984, pp. 337-342.
- 2) W. Verweij, Philips Res. Rep. Suppl. no. 2, 1961.
- 3) J. F. Waymouth and F. Bitter, J. Appl. Phys. vol. 27, p. 122.
- 4) M. A. Cayless, Proc. 5th Int. Conf. Ionization Phenomena in Gases, Munich vol. 1 (Amsterdam : North, Holland), p. 262.
- 5) J. Polman, van der Werfland J E and P. C. Drop, J. Phys. D : Appl. Phys. vol. 5, 1972, p. 266.
- 6) L. Veriens, J. Appl. Phys. vol. 44, 1973, p. 3980
- 7) T. G. Verbeek and P. C. Drop, J. Phys. D : Appl. Phys. vol. 7, 1974, p. 1677.
- 8) B. E. Cherrington, "Gaseous Electronics And Gas Lasers", Pergamon press, 1979, p. 13.
- 9) S. C. Brown, "Basic Data of Plasma Physics 1966", M. I. T. Press, 1967.
- 10) 지철근, 장우진, 이진우, "주위온도에 따른 형광램프 광속변화의 수식모델에 관한 연구", 전기학회논문지, Vol. 35, 1986, pp. 346-352.
- 11) W. Elenbaas, "Light Sources", Macmillan, 1972, p. 105.