

# LR 안정기 적용가능 형광램프 모델링

(A Fluorescent Modeling for LR Ballast)

이진우

(Chin-Woo Yi)

호서대학교 전기정보통신공학부

## Abstract

The fluorescent lamp has been successfully modeled by employing the radial variation of particle density and considering driving circuit effects on the characteristics of discharge process. The electron energy distribution is assumed to have a Maxwellian. The electron mobility and the ambipolar diffusion coefficients are considered to vary with an electron energy rather than a simple uniform value. Energy states of mercury atom in the discharge process are regarded as six levels rather than simple 4 or 5 levels. These discharge processes have been accurately solved by numerically employing mixed the FDM and the 2nd Runge-Kutta method. This model was applied to analyzing real circuit. Simulation and experimental results were presented to verify the feasibility of the modeling. Simulation and experimental results were presented to verify the feasibility of the modeling.

## 1. 서론

형광램프는 가장 많이 사용되는 광원으로 조명에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 이러한 형광램프는 그 특성이 부특성이므로 수동소자를 이용한 등가회로가 성립하지 않으며, 모델링 및 해석이 어렵다. 또한 형광램프는 기동과 방전유지를 위하여 안정기가 반드시 필요하다. 형광램프용 안정기 설계에서는 형광램프의 전기적 특성과 과압이 매우 중요하다.

그러므로 안정기회로 설계시 적용이 가능한 형광램프의 수식모델의 개발이 필요하며, 이러한 모델은 형광램프용 안정기 설계의 효율성을 제고할 수 있어, 설계에 필요한 시간과 자원의 절감이 가능할 것이다.

본 논문에는 형광램프용 자기식 안정기 설계에 필요한 형광램프의 전기적 특성 모델링을 수행하였다.

형광램프를 비롯한 방전램프의 모델링에 관한 연구들은 다음과 같이 분류할 수 있다.

㉑ 등가콘덕턴스 모델 : 방전램프의 전기적 특

성을 시뮬레이션하는 방법( V. J. Francis, 1948; S. C. Peek, 1968; H. Bo, 1973,1983 ).

㉒ 에너지평형식을 이용하여 회로방정식과 함께 시뮬레이션하는 방법( J. J. Lowke, 1975; C. L. Chalek, 1981 ).

㉓ 방전관 내부에서 일어나는 전기적, 열역학적 현상을 단순화시켜서 방전관 내의 기체온도에 대한 시간적 변화를 전기적 입력에너지와 방사 및 전도에 의한 손실에너지와의 차에 비례한다고 가정하여, 이를 방전관 전체에 대한 에너지퍼형 원리에 따라 결합시키는 방법(E. L. Laskowski, 1981).

㉔ 방전기체의 에너지레벨을 고려하여, 방전관 내의 전자, 기저상태 및 여기상태의 원자에 대한 입자평형식과 전자의 에너지평형식을 구성하고, 이로부터 방전관의 물리적, 전기적 특성을 구하는 방법( J. Polman and P. C. Drop, 1972, 1974; L. Vriens, 1973 ).

㉕ 방정식의 해를 수치해석을 이용하지 않고, 해석적인 방법을 사용하여 구하는 방법으로, 대체로 전리평형식, 여기원자에 대한 입자평형식

및 전자에너지평형식을 이용하고, 전하이동도를 간단한 형태로 표현하여, 방전변수 사이의 수식적인 관계를 구하는 방법( W. L. Lama, 1982 ).

## 2. 본 론

### 2.1 회로의 수학적 모델

본 논문에서는 다음과 같은 가정을 사용한다.

- (1) 방전 플라즈마는 약이온화되어 있다.
- (2) 축방향으로 균일하며, 축대칭이다.
- (3) 수은의 기저상태와 희유 가스 원자의 밀도는 축의 단면에 대하여 일정하다.

본 모델에서는 수은의 여기레벨  $Hg(6^1P_1)$ ,  $Hg(6^3P_0)$ ,  $Hg(6^3P_1)$ ,  $Hg(6^3P_2)$ 을 고려하였다.

#### 2.1.1 $n_q, n_r, n_s, n_e$ 에 대한 연속 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} n_q(r,t) = -D_f \nabla^2 n_q(r,t) + n_e(r,t) [K_{qr} n_r + K_{qs} n_s + K_{qe} n_e(r,t)] - (K_{qr} + K_{qs} + K_{qe} + K_{qf}) n_q(r,t) \dots (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} n_r(r,t) = -D_f \nabla^2 n_r(r,t) + n_e(r,t) [K_{pr} n_p + K_{qr} n_q + K_{rs} n_s + K_{re} n_e(r,t)] - (K_{pr} + K_{qr} + K_{rs} + K_{re}) n_r(r,t) - \frac{n_r(r,t)}{\tau_{nr}} \dots (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} n_s(r,t) = -D_f \nabla^2 n_s(r,t) + n_e(r,t) [K_{ps} n_p + K_{qs} n_q + K_{rs} n_r + K_{se} n_e(r,t)] - (K_{ps} + K_{qs} + K_{rs} + K_{se}) n_s(r,t) \dots (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} n_e(r,t) = -D_f \nabla^2 n_e(r,t) + n_e(r,t) [K_{pe} n_p + K_{qe} n_q + K_{re} n_r + K_{se} n_s + K_{ee} n_e(r,t)] \dots (4)$$

#### 2.1.2 전자에너지 보존 방정식

$$\frac{d}{dt} \{ n_e(0,t) U_e(t) \} = n_e(0,t) [-\chi v_{em} (U_e(t) - U_e) + \mu_e (F(t))^2 + \sum_{ij} K_{ij} n_i(0,t) \Delta U_{ij}] - \frac{n_e(r,t)}{\tau_{ef}} \Delta U_{ef} \times 1.1 \dots (5)$$

#### 2.1.3 회로 방정식

그림 1에 나타난 회로에 대하여 회로 방정식을 세우면 다음과 같다.

$$L_c \frac{dI(t)}{dt} + R_c I(t) + VI(t) = Vs(t) \dots (6)$$

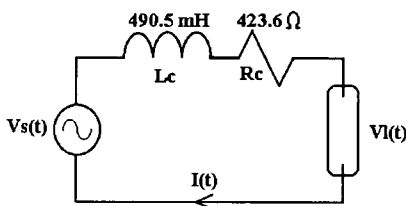


그림 1 모델링에 사용한 형광등 회로

## 2.2 수학적 해석

식(1)-(4)는 시간 변수(t)와 길이 변수(r)을 갖는

연립 편미분 방정식이다. 또한 식(5), (6)은 시간 변수(t)를 갖는 연립 상미분 방정식이다. 이들 방정식을 FDM과 2계 Runge-Kutta방법의 혼합법을 사용하여 수치적으로 풀어 해를 구하였다. 경계조건은 축에서는 Dirichlet condition을 관벽에서는 Neumann condition을 사용하였다.

### 2.3 방정식의 상수 및 계수

실효 방사수명 :  $t_{\text{eff}} = 1.175 \times 10^{-5}$  [sec].

273 [K], 1 [torr] 아르곤 중 수은 이온의 확산 계수 :  $D_a = 31.5$  [ $\text{cm}^2/\text{sec}$ ].

273 [K], 1 [torr] 아르곤 중 수은 여기원자의 확산계수 :  $D_f = 70.8$  [ $\text{cm}^2/\text{sec}$ ].

에너지 전달을 위한 전자의 충돌 주파수 :

$\nu_{\text{col}} = n_0 * p (k T_e / q)^{-3.3/2}$  [sec]. 여기에서  $n_0 = 15 \times 10^8$  [ $\text{s}^{-1} \text{V}^{-1.65} \text{torr}$ ], p는 희유가스의 압력 [torr].

1회의 탄성충돌시 전달되는 에너지 손실 :  $c = 2.8 \times 10^{-5}$ .

전자 이동도 :  $m_e = 2.05 \times 10^8 \times T_e^{-1.55}$  [ $\text{cm}^2/\text{V sec}$ ].

아르곤 압력 :  $P_{\text{Ar}} = 3$  [torr].

램프 전압 :  $VI(t) = 1.2 \times F(t)$  [V].

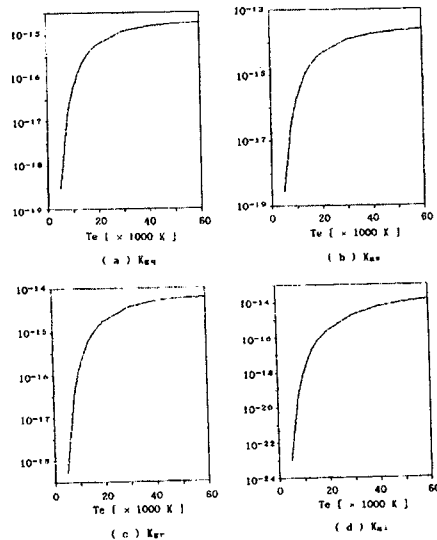
천이비율 계수 :

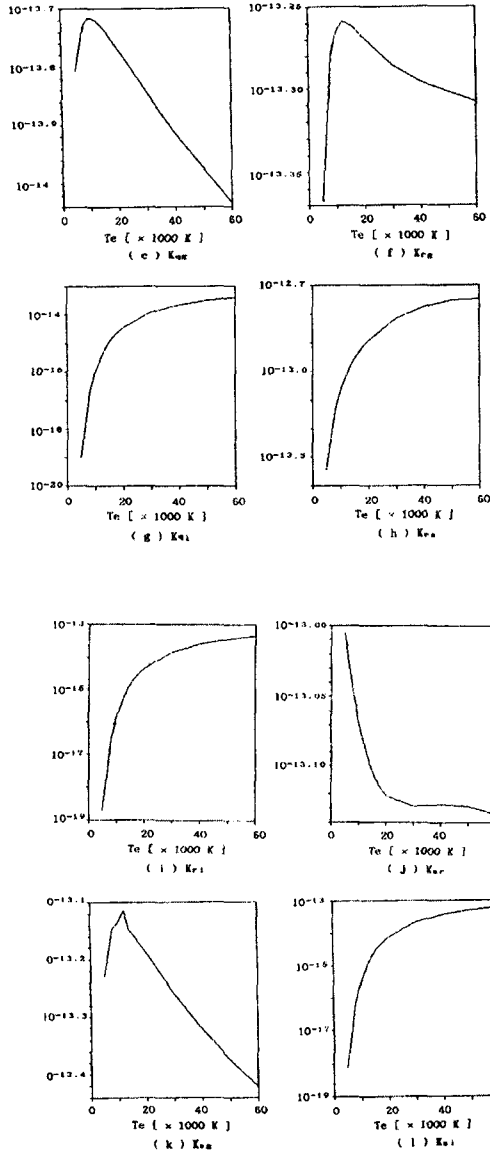
$$K_{rq} = 0.23 \times K_{sr}$$

$$K_{sq} = 0.7 \times K_{sr}$$

$$K_{qr} = 3.5 \times K_{qg}$$

$$K_{qs} = 2.5 \times K_{qg}$$





#### 2.4 실험 결과

본 모델의 타당성은 40[W] T-10 램프(관벽온도 40[ $^{\circ}$ C])에 대한 램프 전압과 전류의 파형과 전류-전압 특성 곡선을 이론치와 실험치를 비교하여 검증하였다.

그림 2에 램프 전압과 전류 파형의 시뮬레이션 결과를 그림 3에 이들의 실험 결과를 도시하였다. 또한 그림 5에 램프 전류-전압특성의 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

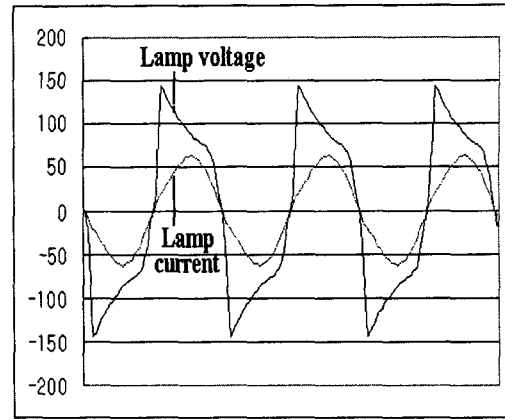


그림 2 램프 전압, 전류의 시뮬레이션 결과

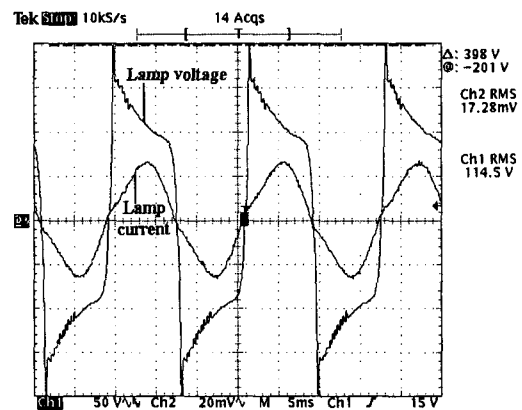


그림 3 램프 전압, 전류의 실험결과

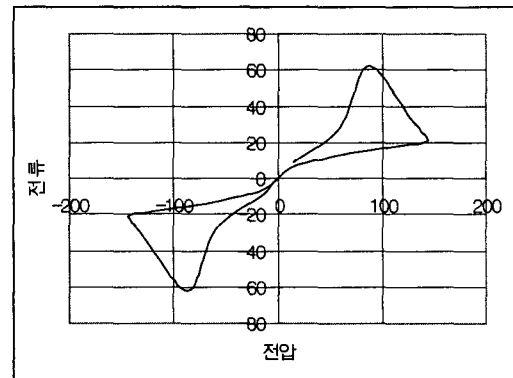


그림 4 램프 전류-전압 특성 시뮬레이션 결과

### 3. 결 론

본 논문에서는 자기식 안정기를 위한 광범위한 램프 전력에 적합한 형광램프 모델을 제안하였다. 이 모델은 형광램프의 동작 특성을 이해하는데 유용한 도구가 될 것이며, 형광램프용 자기식 안정기의 설계에 도움을 줄 것이다. 더욱 정확한 해를 얻기 위한 모델에는 정확한 전자분포함수, 공진방사 및 전극 전압 강하에 대한 문제가 해결되어야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] T. H. Yu, H. M. Huang, and T. F. Wu, "Self-Excited Half-Bridge Series Resonant Parallel Loaded Fluorescent Lamp Electronic Ballasts", IEEE APEC Conference Record 1995, pp. 657-664.
- [2] Sun, Yiyong, "Using PSpice to Determine Lamp Current Variations Due to Electronic Ballast Component Tolerance", IEEE IAS Conference Record 1994, pp.1974-1978
- [3] U. Mader and P. Horn, "A Dynamic Model for the Electrical Characteristics of Fluorescent Lamps", IEEE IAS 1992, pp. 1928-1934
- [4] Ning Sun and Bryce Hesterman, "PSpice High Frequency Dynamic Fluorescent Lamp Model", IEEE 1996, pp.641-647
- [5] Koichi Wani, "Simulation Model for Fluorescent Lamps", J. Illum. Engng. Inst. Jpn. Vol. 73, No. 9 1989, pp. 8-12
- [6] Cayless, M. A., "Theory of the Positive Column in Mercury - Rare Gas Discharge", Brit. J. Appl. Phys. Vol. 14, No. 12, 1963, pp. 863-869