

## A Study on the Dimming Control of Electrodeless Fluorescent Lamps

張 泰 銀\* · 金 熙 峻†  
(Tae-Eun Jang · Hee-Jun Kim)

**Abstract** - This paper presents a study on the dimming control of electrodeless fluorescent lamp. To do this the equivalent model of electrodeless fluorescent lamp (ENDURA 100W Type) was first established. The resulted model of the lamp was applied to the two kinds of dimming control method, one is the variable switching frequency method and the other is the variable dc link voltage method. And the comparison results of the dimming characteristics between the two methods was presented. Theoretical predictions were verified by the experimental results on the ENDURA 100W type electrodeless fluorescent lamp.

**Key Words** : Dimming, Electrodeless Lamps, Modeling Fluorescent Lamps

### 1. 서 론

무전극 형광램프는 램프 외부에서 유도코일에 고주파의 고전압을 가해주면 전자유도 법칙에 의해 내부가스가 방전되면서 발광하기 때문에 램프 내부에 전극을 필요로 하지 않으므로써 약 60,000시간 이상의 장수명을 특징으로 하는 형광램프이다[1]. 또한 무전극 형광램프는 현재 선진 각국에서 실용화 되어 일반 조명용 램프로서의 이용이 점점 확대 되고 있는 추세이다. 한편 대형건물, 시설 및 공장등 대규모 조명설비가 시설된 장소에 있어서 자연조도 등의 주변 조건에 따라 램프의 광출력을 제어함으로써 전력소비를 절감하는 조광제어에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

무전극 형광램프를 조광제어의 대상으로서 이용하는 경우, 램프의 유도 코일에 의한 인덕턴스 성분과 램프관 자체의 등가 저항성분이 램프에 공급되는 전력에 대하여 비선형 특성을 나타내는데 이는 원활한 조광제어를 저해하는 요인으로 지적되고 있다[2].

본 논문에서는 무전극 형광램프의 원활한 조광제어를 위한 토대를 확립하기 위하여 우선 무전극 형광램프의 가장 대표적인 한 예인 ENDURA 100W형의 램프에 대한 자세한 등가모델을 완성하였고 조광제어의 대표적인 두 방법인 주파수 가변 조광제어와 DC 링크전압 가변 조광제어에 완성된 램프모델을 적용하여 이들 두 제어법의 특성을 비교 분석함으로써 본 논문에서 제시한 모델의 타당성을 입증하였다.

### 2. 무전극 램프 형광램프의 모델링 및 구동특성

#### 2.1 램프의 모델링

그림 1은 ENDURA 100W 형의 무전극 형광램프의 구조 및 발광원리를 나타낸다. 무전극 램프는 유도코일에 고주파의 고전압이 인가되어 자기장이 형성된다. 형성된 자기장으로 인하여 램프내의 전자가 운동에너지를 얻어 수은 원자와 충돌함으로써 자외선을 방출한다. 방출된 자외선은 램프 벽 내부의 도포된 형광체와 반응해 가시광선을 발산하여 발광한다. 방전이 개시될 때까지 방전관은 유도코일 때문에 인덕턴스 부하로 취급되는 한편, 방전 후에는 램프전력에 따라서 변화하는 저항과 인덕터로 등가화 할 수 있다. 램프 전력이 큰 경우 램프는 저항이 주요 성분이 되고 램프전력이 작은 경우 램프는 인덕터가 주요 성분이 된다. 따라서 조광제어시 정확한 램프의 제어와 해석을 위해서는 저항과 인덕턴스 성분을 고려한 램프모델이 필요하게 된다.

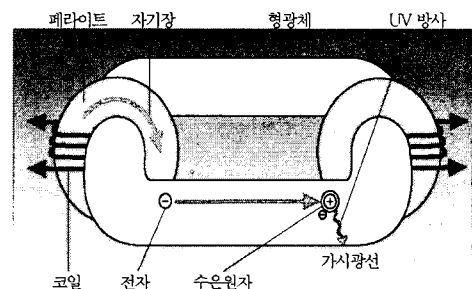


그림 1 무전극 형광램프의 구조

Fig. 1 Structure of the electrodeless fluorescent lamp

† 교신저자, 終身會員 : 漢陽大學校 電子·컴퓨터工學部教授·工博  
E-mail : hjkim@hanyang.ac.kr

\* 正 會 員 : 漢陽大學校 電子電氣制御計測工學科 碩士課程  
接受日字 : 2005年 8月 12日  
最終完了 : 2005年 9月 16日

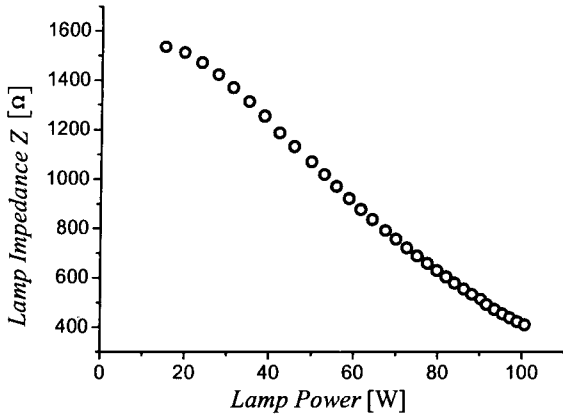


그림 2 램프전력 변화에 대한 램프 임피던스의 실험값  
 Fig. 2 Experimental values of lamp impedance for the lamp power variation

그림 2는 무전극 형광램프의 대표적인 한 예인 ENDURA 100W형 램프의 전력 변화에 대한 램프 임피던스의 실험 결과를 나타낸다. 그림 2의 결과로부터, 램프전력과 램프 임피던스의 관계를 다음과 같이 1차식으로 근사화 할 수 있다.

$$Z = aP + b \quad (1)$$

여기서 a와 b는 회로정수, P는 램프전력을 의미한다. 식(1)에 램프의 최대전력  $P_{max}$ 와 최대전력 램프 임피던스  $Z_{Pmax}$ , 그리고 최소 전력  $P_{min}$ 과 최소전력 램프 임피던스  $Z_{Pmin}$ 을 적용하면 식(1)의 계수인 a, b를 구할 수 있는데 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{max} & 1 \\ P_{min} & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Z_{Pmax} \\ Z_{Pmin} \end{bmatrix} \quad (2)$$

또한 그림의 결과로부터 최대전력  $P_{max}=100.79[W]$ , 최소 전력  $P_{min}=15.18[W]$ , 최대 전력 임피던스  $Z_{Pmax}=407.40[\Omega]$ , 최소전력 임피던스  $Z_{Pmin}=1532.87[\Omega]$  임을 알 수 있으며, 이 결과를 식(2)에 적용하면

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 100.79 & 1 \\ 15.18 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 407.40 \\ 1532.87 \end{bmatrix} \quad (3)$$

이 된다. 따라서 식(3)으로부터 a와 b를 구하면  $a=-13.14$ ,  $b=1732.43$ 이 됨을 알 수 있다.

그림 3은 램프전력 P의 변화에 대한 램프전압  $V_L$ 과 램프 전류  $i_L$ 의 위상차에 대한 실험 결과이며, 이 결과로부터 다음 식과 같은 2차식으로 근사화 할 수 있다.

$$(\theta_v - \theta_i) = c \cdot P^2 + d \cdot P + e \quad (4)$$

회로정수 c, d, e을 구하기 위해 이식에 최대, 중간, 최소

전력과 각 경우의 위상차를 적용하면 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} c \\ d \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{max}^2 & P_{max} & 1 \\ P_{mid}^2 & P_{mid} & 1 \\ P_{min}^2 & P_{min} & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} (\theta_v - \theta_i)_{P_{max}} \\ (\theta_v - \theta_i)_{P_{mid}} \\ (\theta_v - \theta_i)_{P_{min}} \end{bmatrix} \quad (5)$$

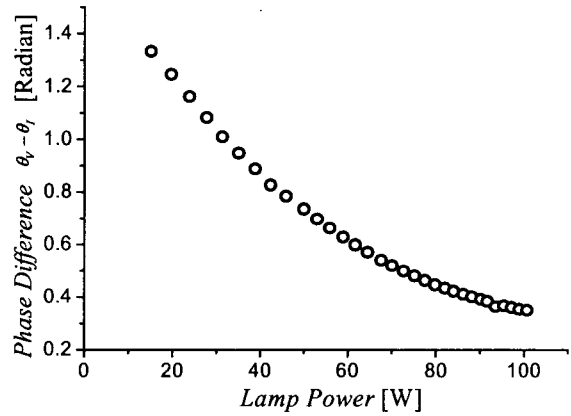


그림 3 램프전력 변화에 대한 램프 전압, 전류 위상차의 실험값

Fig. 3 Experimental values of phase difference between the lamp voltage and the lamp current for the lamp power variation

그림 3의 결과로부터  $P_{max}=100.79[W]$ ,  $P_{mid}=67.68[W]$ ,  $P_{min}=15.18[W]$ , 최대전력 위상차=0.34[radian], 중간전력 위상차=0.53[radian], 최소전력 위상차=1.33[radian]을 얻을 수 있으며, 이를 식(5)에 대입하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} c \\ d \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 100.79^2 & 100.79 & 1 \\ 67.68^2 & 67.68 & 1 \\ 15.18^2 & 15.18 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0.34 \\ 0.53 \\ 1.33 \end{bmatrix} \quad (6)$$

이 식으로부터 회로정수 c, d, e 는  $c=0.0001$ ,  $d=-0.024$ ,  $e=1.6705$ 로 구해진다.

한편 임피던스의 실수부  $Z_R$ 과 허수부  $Z_I$ 는 삼각함수 공식을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Z_R &= Z \cdot \cos(\theta_v - \theta_i) = (a \cdot P + b) \cdot \cos(c \cdot P^2 + d \cdot P + e) \\ Z_I &= Z \cdot \sin(\theta_v - \theta_i) = (a \cdot P + b) \cdot \sin(c \cdot P^2 + d \cdot P + e) \end{aligned} \quad (7)$$

한편 무전극 형광램프는 램프를 구동시키기 위한 유도코일로부터 기인하는 인덕턴스와 램프방전관을 등가화한 저항의 병렬회로로 모델링 할 수 있으며 그 모델링의 과정을 그림 4에 나타내었다[3].

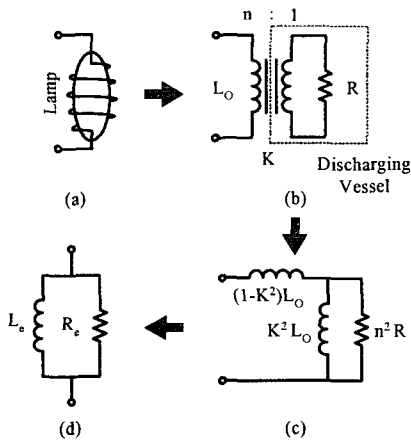


그림 4 무전극 형광램프의 등가 모델링 과정  
 Fig. 4 Process of equivalent modeling for electrodeless fluorescent lamp

식(7)과 그림 4(d)의 모델로부터 램프의 임피던스는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_R + j \cdot Z_I = R_e // j \omega L_e \quad (8)$$

식(8)을 전개하여 등가저항  $R_e$ 와 등가 인덕턴스  $L_e$ 을 구하면 다음과 같다.

$$R_e = \left[ \left( \frac{Z_I}{Z_R} \right)^2 + 1 \right] \times Z_R, \quad L_e = \frac{Z_R^2}{\omega \times Z_I} \times \left[ \left( \frac{Z_I}{Z_R} \right)^2 + 1 \right] \quad (9)$$

그림 5는 램프전력의 변화에 대한 램프임피던스  $Z$ 와 램프 임피던스 실수부  $Z_R$ , 램프임피던스 허수부  $Z_I$ 의 실험값과 이론값을 비교해서 나타낸 것이다. 이 결과로부터 이론값과 실험값이 좋은 일치를 보이고 있음을 알 수 있다.

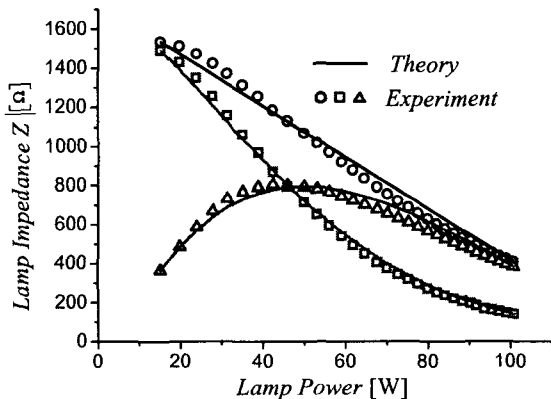


그림 5 램프전력의 변화에 대한 램프 임피던스( $Z$ ), 임피던스 실수부 ( $Z_R$ ), 임피던스 허수부( $Z_I$ )의 실험값 및 이론값

Fig. 5 Theoretical and experimental values of lamp impedance  $Z$ , real part of  $Z$ , and imaginary part of  $Z$  for the variation of lamp power

그림 6은 램프전력의 변화에 대한 등가 임피던스  $Z$ , 등가저항  $R_e$ , 등가 인덕턴스  $L_e$ 의 값을 나타낸 것이다. 이 결과로부터 약 60W를 경계로 해서 램프전력이 큰 경우 램프는 저항이 주요성분이 되고 램프전력이 작은 경우 램프는 인덕턴스가 주요 성분이 되고 있음을 알 수 있다.

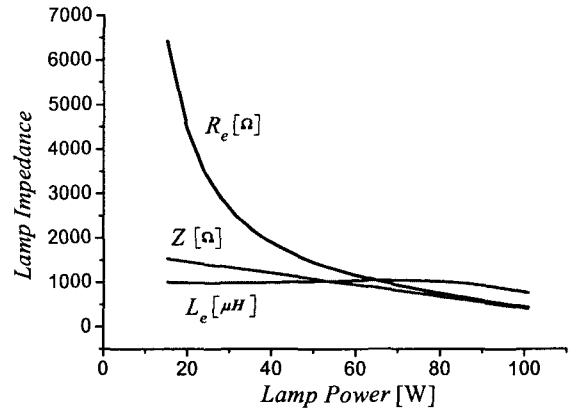


그림 6 램프전력 변화에 대한 등가 임피던스, 등가저항, 등가 인덕턴스

Fig. 6 Lamp power and equivalent impedance  $Z$ , equivalent resistor  $R_e$ , equivalent inductance  $L_e$

## 2.2 형광램프 구동용 공진형 인버터

그림 7은 무전극 형광램프 구동용 공진형 인버터의 기본 회로도를 나타낸다. 스위치  $S_1$ 과  $S_2$ 는 상호 교번으로 동작하고  $C_1$ 이  $V_{DC}/2$ 을 유지할 만큼 충분히 큰 값 이라면 노드 X와 노드 Y 사이에 구형파 전압  $V_{XY}$ 가 인가된다. 스위칭 주파수가 공진주파수에 근접하게 되면 램프양단에는 약 1000V 이상의 고전압이 인가되어 램프가 점등된다[4][5].

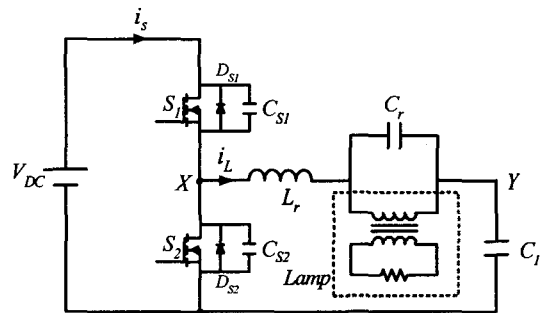


그림 7 무전극 형광램프용 공진형 인버터 회로  
 Fig. 7 Circuit diagram of a resonant type inverter for electrodeless fluorescent lamp

그림 8은 인덕터 전류  $i_L$ , 입력 전류  $i_s$ 을 나타낸다. 이 그림에서  $\phi$ 는  $i_L$ 과  $V_{XY}$  사이의 위상차를 나타내고 있다. 그림 9는 그림 7의 회로도의 등가 회로를 나타낸다. 그림 7에서 스위칭 주파수가 공진 주파수에 근접했다고 가정하여  $V_{XY}$ 를 정현파 전압원  $V_{in}$ 으로 근사화 하였고 램프는 앞서 모델링한  $R_e$ 와  $L_e$ 의 병렬회로로 등가화 하였다.

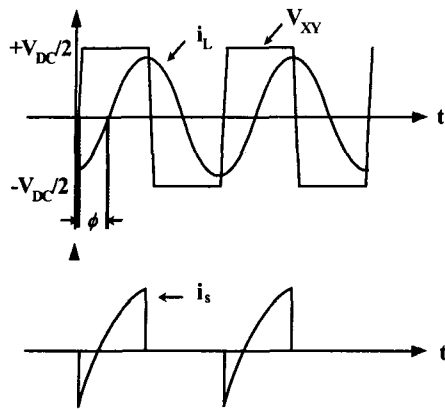


그림 8 인덕터 전류  $i_L$  및 입력전류  $i_s$ 의 파형  
Fig. 8 Waveforms of inductor current  $i_L$  and input  $i_s$

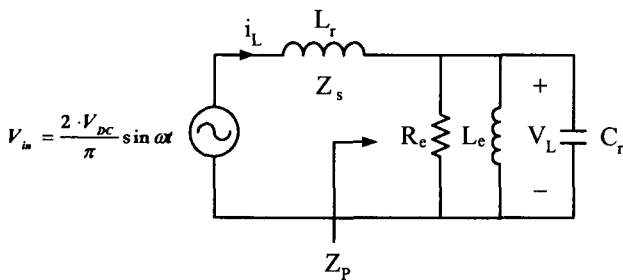


그림 9 공진형 인버터의 등가 회로  
Fig. 9 Equivalent circuit of the resonant inverter

그림 8의 파형에서 인덕터의 전류가 정현파임을 가정한다면, 인덕터 전류는 그림 9의 회로로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_L(t) \cong I_L \sin(\alpha t - \Phi) \tag{10}$$

여기서

$$I_L = \frac{2V_{DC}}{\pi} \left| \frac{1}{Z_s(s) + Z_p(s)} \right| \tag{11}$$

$$\Phi = \arg [Z_s(s) + Z_p(s)]$$

이다.

무전극 램프와 공진 커패시터  $C_r$ 의 임피던스  $Z_p(s)$ 는 다음과 같다.

$$Z_p(s) = \frac{j\omega L_e \cdot R_e}{-\omega^2 L_e C_r R_e + j\omega L_e + R_e} \tag{12}$$

공진 인덕터  $L_r$ 의 임피던스  $Z_s(s)$ 는 다음과 같다.

$$Z_s(s) = j\omega L_r \tag{13}$$

그림 8의 스위치 전류  $i_s$  평균값  $I_{dc}$ 는 식(10)을 적분함으로써 얻을 수 있고 이는 다음과 같다.

$$I_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} i_L(t) dt = \frac{I_L}{\pi} \cos \Phi \tag{14}$$

식(14)에 식(11), 식(12) 및 식(13)을 대입하여 정리하면 입력전류의 평균값  $I_{dc}$ 는 최종적으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I_{dc} = \frac{I_L}{\pi} \cos \Phi = \frac{2V_{DC}}{\pi^2} \times \frac{L_r \cdot R_e L_e}{[-\omega L_r]^2 + [-\omega^2 L_r L_e C_r R_e + L_e \cdot R_e + L_r R_e]^2} \tag{15}$$

또한 램프전압의 실효값  $V_L$ 은 그림 9로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_L = \frac{\sqrt{2}V_{DC}}{\pi} \times \frac{1}{\sqrt{\left(-\omega^2 L_r C_r + 1 + \frac{L_r}{L_e}\right)^2 + \left(\omega \frac{L_r}{R_e}\right)^2}} \tag{16}$$

### 3. 무전극 형광램프의 조광제어

#### 3.1 주파수 가변 조광제어

램프의 조광제어의 한 방법인 주파수 가변제어는 인버터의 스위칭 주파수를 가변하여 램프의 전력을 가변시킴으로써 램프의 조광을 달성하는 방법이다.

스위칭 주파수  $\omega$ 를 구하기 위해 식(16)을  $\omega$ 에 대하여 정리하여 전개하면 다음과 같다.

$$\omega = \sqrt{\frac{(-A) \pm \sqrt{(A)^2 - (4 \times L_r^2 C_r^2) \times \left(1 + \left(\frac{L_r}{L_e}\right)^2 + 2 \frac{L_r}{L_e} - \left(\frac{\sqrt{2}V_{DC}}{\pi \cdot V_L}\right)^2\right)}}{2 \times L_r^2 C_r^2}} \tag{17}$$

여기서,

$$A = -2 \times L_r C_r - 2L_r C_r \frac{L_r}{L_e} + \left(\frac{L_r}{R_e}\right)^2 \tag{18}$$

이다.

식(17)은 앞서 램프를 모델링하여 구한 등가저항  $R_e$  및 등가 인덕터  $L_e$ 의 함수로 주어지고 있으며 또한  $R_e$ ,  $L_e$ 는 식(9)로부터 램프전력  $P$ 의 함수로 주어지고 있으므로 스위칭 주파수와 램프전력의 관계를 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 10은  $L_r=236[\mu\text{H}]$ ,  $C_r=2.2[\text{nF}]$ ,  $V_{DC}=200[\text{V}]$ ,  $300[\text{V}]$ ,

400[V], 600[V] 인 경우 스위칭 주파수와 램프전력 P의 관계를 나타낸 결과이다. 램프 전력이 큰 경우 주파수의 변화에 대하여 전력의 변화가 작은 반면 램프전력이 작은 경우 주파수의 변화에 대하여 램프전력의 변화가 크다. 이는 주파수 가변 제어 방법이 선형적인 조광제어가 어렵다는 것을 보여주고 있다. 또한 V<sub>DC</sub>의 값이 큰 경우 주파수 변화에 대한 램프전력의 변화가 커서 주파수 가변 조광제어가 더욱 어렵다는 점을 알 수 있다. 한편 V<sub>DC</sub>값이 작아서 V<sub>DC</sub>=400 [V] 미만인 경우 램프의 정격전력 이하로 동작하고 있음을 알 수 있다. 그림 10의 결과로부터 주파수 가변 조광제어의 경우 입력전압 V<sub>DC</sub>는 400[V]가 최적값임을 알 수 있게 된다.

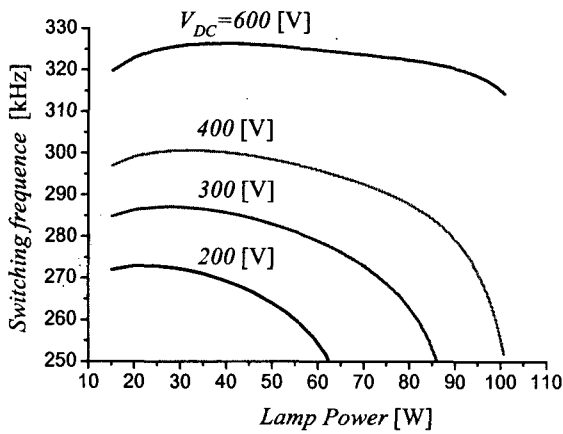


그림 10 램프전력과 스위칭 주파수의 관계  
Fig. 10 Relationship of lamp power and switching frequency

주파수 가변 조광제어의 민감도는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\xi_{\omega} = \frac{\partial P}{\partial \omega} \quad (19)$$

그림 11은 L<sub>r</sub>=236μ[H], C<sub>r</sub>=2.2[nF], V<sub>DC</sub>=400[V]의 조건에서 주파수 가변제어 민감도 ξ<sub>ω</sub>와 램프전력 P의 관계를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 램프전력이 100[W]인 경우 민감도가 0에 근접하고 있으며 램프전력이 감소할수록 민감도는 급격히 음의 값으로 증가를 한다. 즉 램프전력이 작을 경우 주파수를 조금만 증가 시켜도 램프전력이 급격히 감소함을 의미한다. 한편 램프전력을 더욱더 감소시켰을 경우 민감도가 양의 값을 가지는 구간이 있으나 이는 실제 인버터의 동작에서는 존재하지 않는 구간이다. 왜냐하면 인버터는 영전압 스위칭(Zero-Voltage-Switching)동작을 위해 스위칭 주파수를 공진주파수 높게 보다 설정하는데 인버터의 주파수 이득(램프전력/입력전력)은 공진주파수를 지나서 스위칭 주파수가 증가할수록 점점 감소하기 때문에 민감도는 항상 음의 값을 가지기 때문이다.

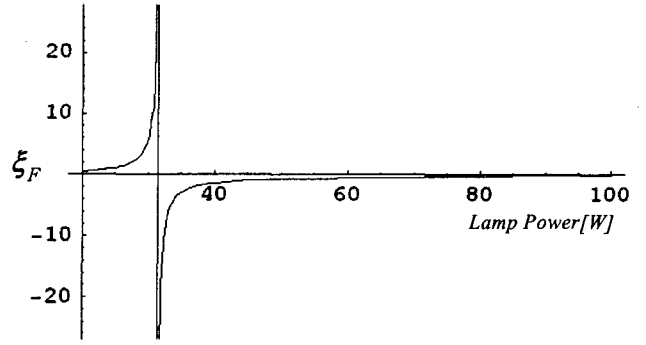


그림 11 램프전력에 대한 주파수 가변제어 민감도  
Fig. 11 Sensitivity of variable frequency control for lamp power

### 3.2 DC 링크전압 가변 제어

램프 조광제어의 다른 한 방법은 DC 링크전압 V<sub>DC</sub>의 가변에 의해 램프의 조광을 달성하는 방법이다.

식(16)을 V<sub>DC</sub>에 관해 정리하여 식(15)에 대입하면 다음과 같이 입력전류의 평균치와 램프 전압의 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{dc} = \frac{\sqrt{2}V_L}{\pi} \times \frac{1}{R_e} \times \frac{1}{\sqrt{\left(-\omega^2 L_r C_r + 1 + \frac{L_r}{L_e}\right)^2 + \left(\omega \frac{L_r}{R_e}\right)^2}} \quad (20)$$

근사 해석을 위해 인버터의 효율을 100%로 가정하고 식(20)를 P=V<sub>DC</sub>×I<sub>dc</sub>의 식에 대입하여 인버터 DC 링크전압 V<sub>DC</sub>을 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{DC} = P \times \frac{\pi}{\sqrt{2} \times V_L} \times R_e \times \sqrt{\left(-\omega^2 L_r C_r + 1 + \frac{L_r}{L_e}\right)^2 + \left(\omega \frac{L_r}{R_e}\right)^2} \quad (21)$$

그림 12는 L<sub>r</sub>=236μ[H], C<sub>r</sub>=2.2[nF], 스위칭 주파수=240[kHz], 250[kHz], 260[kHz]인 경우 인버터 DC 링크 전압 V<sub>DC</sub>와 램프전력 P의 관계를 나타낸다. 그림에 나타나 있듯이 인버터 DC 링크 전압 V<sub>DC</sub>와 램프전력 P는 거의 선형의 관계를 유지한다. 이는 DC 링크 전압 가변 조광제어가 무전극 형광램프의 선형적인 조광제어에 매우 적합하다는 것을 보여주고 있다.

DC 링크 전압 V<sub>DC</sub> 가변 조광제어의 민감도 ξ<sub>V<sub>DC</sub></sub>는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\xi_{V_{DC}} = \frac{\partial P}{\partial V_{DC}} \quad (22)$$

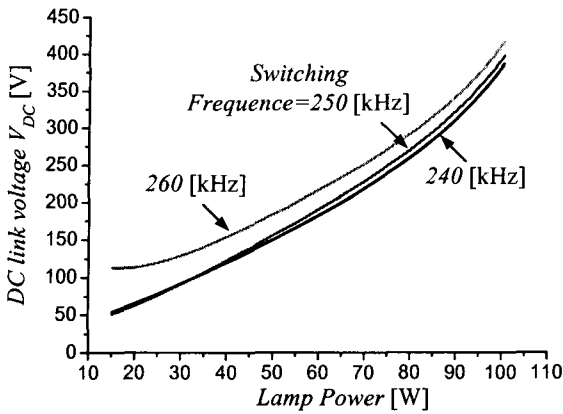


그림 12 램프전력과 DC 링크전압  $V_{DC}$  관계  
Fig. 12 Relationship of lamp power and DC link voltage

그림 13은  $L_r=236[\mu\text{H}]$ ,  $C_r=2.2[\text{nF}]$ , 스위칭 주파수=250 [kHz]의 조건에서 민감도  $\xi_{V_{DC}}$ 와 램프전력 P의 관계를 나타낸다. 그림에 나타나 있듯이 램프전력이 20[W] 이상인 경우 램프 민감도는 거의 일정하다. 이는 DC 링크전압 가변 조광 제어의 방법이, 선형적인 조광제어에 매우 적합함을 의미한다.

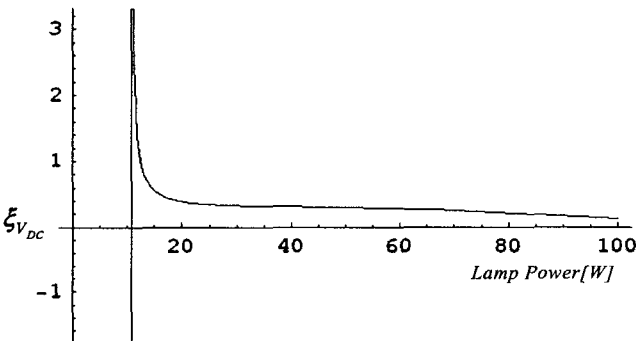


그림 13 램프전력에 대한 DC 링크전압 가변 민감도  
Fig. 13 Sensitivity of variable DC link voltage control for lamp power

4. 실험 결과

제안된 모델링 해석을 근거로 무전극 형광램프용 공진형 인버터를 제작, 실험을 실시하였다. 인버터에 적용된 주요 회로정수 값은 표1과 같다.

그림 14는  $V_{DC}=400[\text{V}]$ 일 경우 주파수 가변 조광제어의 실험결과를 이론값과 비교하여 나타내었다. 이 결과를 보면 앞서 논의한 바와 같이 이 방법은 선형적 조광제어에 부적합한 제어법임을 알 수 있다. 실험값과 이론값 사이에 다소 편차를 보이고 있으나 이는 인버터의 손실분을 무시한 것에서 기인하는 것으로 사료된다.

표 1 무전극 램프용 인버터의 회로정수

Table 1 Circuit parameters in the resonant inverter for electrodeless fluorescent lamp

	주파수 가변	DC 링크 전압 가변
$L_r$	236[ $\mu\text{H}$ ]	236[ $\mu\text{H}$ ]
$C_r$	2.2[nF]/1[kV]	2.2[nF]/1[kV]
$C_1$	10[ $\mu\text{F}$ ]/400[V]	10[ $\mu\text{F}$ ]/400[V]
$V_{DC}$	400[V]	80~400[V]
스위칭 주파수	250~330[kHz]	250[kHz]
공진주파수	220[kHz]	220[kHz]
실험 램프	오스람사의 ENDURA 100[W]	

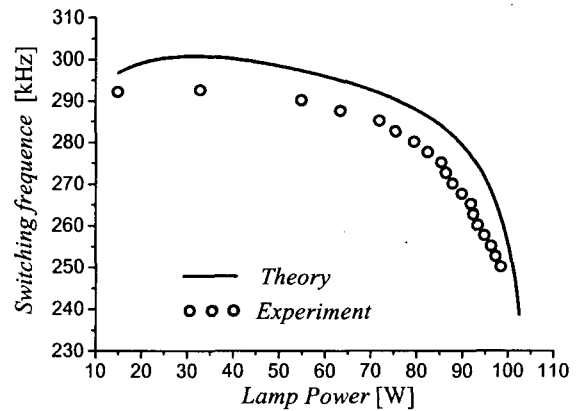


그림 14 주파수 가변조광 제어 실험값과 이론값 비교  
Fig. 14 Theory and experimental values of switching frequency control

그림 15는 스위칭 주파수 250[kHz]에서 DC 링크전압 가변 조광제어의 실험 결과를 이론값과 비교하여 나타내었다. 이 결과로부터 램프의 전력과 DC 링크전압의 관계는 거의 선형의 관계에 있음을 알 수 있고 이는 이 제어 방법이 선형적인 조광제어에 매우 적합한 방법임을 나타낸다.

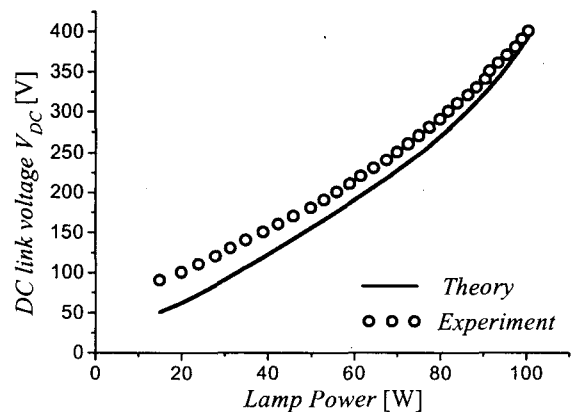
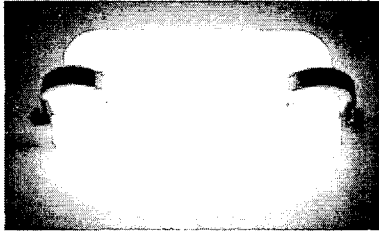
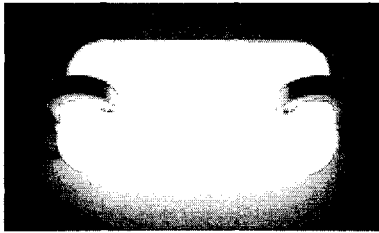


그림 15 DC 링크전압 가변 조광제어 실험과 이론 비교  
Fig. 15 Theory and experimental values of DC link voltage control at frequency=250[kHz]

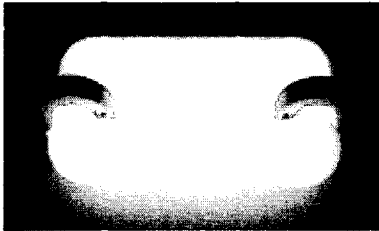
그림 16은 DC 링크전압 가변 제어에 의하여 조광되는 무전극 램프의 사진을 나타내고 있으며 이 결과로부터도 램프의 조광이 잘 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.



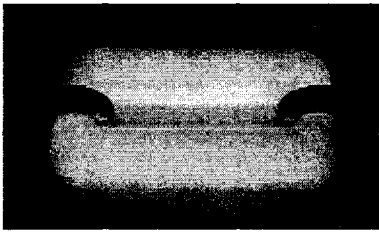
$V_{DC}=400[V]$ ,  $P=100[W]$



$V_{DC}=300[V]$ ,  $P=82[W]$



$V_{DC}=200[V]$ ,  $P=56[W]$



$V_{DC}=100[V]$ ,  $P=20[W]$

그림 16 DC 링크 가변제어에 의해 조광되는 램프의 사진  
Fig. 16 Photographs of the dimming lamp by variable DC link voltage control

그림 17은 DC 링크전압 가변 제어 실험에서  $V_{DC}=400[V]$  일때 램프 전압과 전류의 실험 파형을 나타낸다. 이때 램프 전력은 100[W]이고 전압과 전류의 위상차는  $19.9^\circ$ 이다. 그림 18은 DC 링크전압 가변 제어 실험에서  $V_{DC}=100[V]$ 일때 램프 전압과 전류의 실험 파형을 나타낸다. 이때 램프 전력은 20[W]이고 전압과 전류의 위상차는  $76.2^\circ$ 이다. 이상의 결과로부터 램프는 부저항의 특성을 갖고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 램프전력이 큰 경우에는 전압과 전류의 위상차가 작아서 램프는 거의 저항성임을 알 수 있고 램프전력이 작은 경우 램프의 전압과 전류의 위상차가 커서 램프는 유도성이 된다는 점을 알 수 있다.

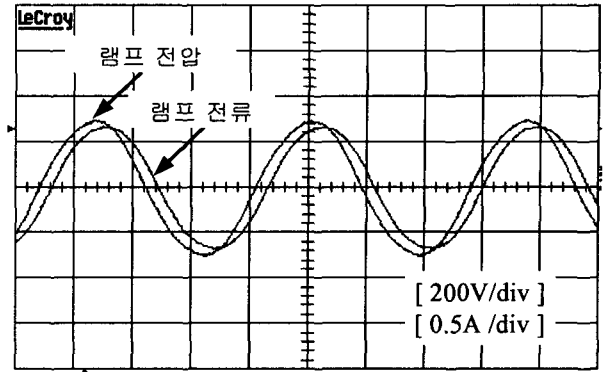


그림 17. DC 링크전압 400[V]인 경우 램프전압 및 램프 전류의 파형

Fig. 17 Waveforms of lamp voltage and current at DC link voltage of 400[V]

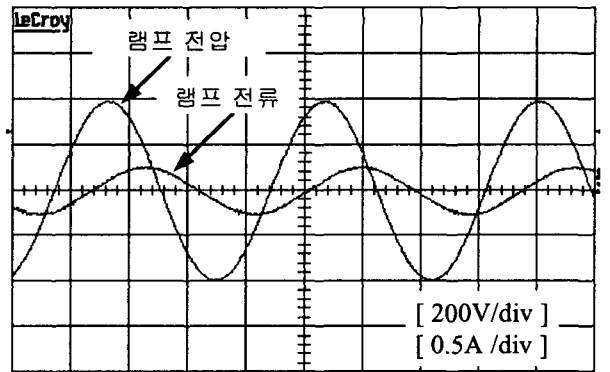


그림 18 DC 링크전압 100[V]인 경우 램프전압 및 램프 전류의 파형

Fig. 18 Waveforms of lamp voltage and lamp current at DC link voltage of 100[V]

### 5. 결 론

조광제어를 위한 무전극 형광램프의 모델을 제안하고 완성하였다. 또한 이 모델을 적용하여 주파수 가변 조광제어와 DC 링크전압 가변 조광제어에 대한 비교 연구결과를 제시하였다. 조광제어에 있어서 주파수 가변제어의 경우 램프전력이 낮아질수록 주파수의 변화에 대하여 램프전력이 급격히 변화함으로써 쉽지 않은 제어 메카니즘을 요구한다. 뿐만 아니라 스위칭 주파수의 가변은 EMI필터 설계를 어렵게 한다. 반면 DC 링크전압 가변 제어의 경우 DC전압에 대한 램프전력의 변화가 거의 선형에 근접하여 제어도가 우수하다. 하지만 조광제어를 위한 DC 링크 전압의 가변 범위가 넓다는 단점을 가지고 있음을 밝혔다.

### 참 고 문 헌

[1] Nerone, L.R, "A novel ballast for electrodeless fluorescent lamps" Industry Applications Conference, 2000 IEEE pp. 3330-3337 vol.5

- [2] Hiroshi Kido, Shinji Makimura, Shingo Masumoto "A Study of Electronic Ballast for Electrodeless Fluorescent Lamps with Dimming Capabilities" IEEE, pp.889-894, 2001
- [3] Dong Hyun Park; Hee Jun Kim; Kee Yun Joe; Mun Ho Kye, "Zero-voltage-switching high frequency inverter for electrodeless fluorescent lamp" Power Electronics Specialists Conference, May 1998 pp.2035-2040 vol.2
- [4] T. F. Wu, J. C. Hung, and T. H. Yu, "A PSPICE circuit model for low pressure gaseous discharge lamps operating at high frequency," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 44, pp. 428-431, May 1997.
- [5] S. Y. R. Hui and H. Chung, "Dimming control of electronic ballasts with low EMI and low switching stress by varying DC converter voltage," U.S. patent pending, May 1998.

## 저 자 소 개



### 장 태 은 (張 泰 銀)

1978년 09월 15일생. 2004년 한양대 전자 컴퓨터 공학부 졸업(학사). 2004년~현재 동 대학원 전자전기제어계측공학과 석사 과정

Tel : 031-406-2325

Fax : 031-406-3799

E-mail : jtemms@ihanyang.ac.kr



### 김 희 준 (金 熙 峻)

1976년 한양대 공대 전자 공학과 졸업. 1978년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1986년 3월 일본 규슈대 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1987~현재 한양대학교전자 컴퓨터 공학부 교수. 199~1992년 미국 버지니아 공대 방문교수.

Tel : 031-400-5164

Fax : 031-407-9930

E-mail : hjkim@hanyang.ac.kr