

고주파 구동 네온구 현광방전램프의 시뮬레이션 모델

김철진\*, 유병규\*, 윤신용\*\*, 백수현\*\*

한국대학교\* 동국대학교\*

## A Simulation Model of Cold Cathode fluorescent Lamp for High Frequency operation

Cherl-Jin Kim\*, Byeong-Kyu Yoo\*, Shin-Yong Yoon\*\*, Soo-Hyun Baek\*\*  
Halla Univ\*, Dongguk Univ\*\*

**Abstract** - The Cold cathode fluorescent lamp (CCFL) are widely used to illuminate the liquid crystal display(LCD). Ballasts are required for CCFL because the lamp need high starting voltage and behave negative dynamic resistant characteristics in the desired region of operation. Dimming methods of CCFL are used to pulse frequency modulation(PFM) or pulse width modulation(PWM). In this paper, CCFL driving and control circuit is designed by half-bridge type series and parallel resonant inverter that variable frequency modulation method to control the output voltage current. The validity of this study is confirmed from the simulation and experimental results.

1. 서 롤

표시장치(Display)의 백라이트 유닛(BLU)에 적용되는 광원인 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp)은 소형, 고효율 및 장수명의 특징을 가지며, 최근 표시장치의 산업적 발전과 더불어 조명시스템에서 중요한 역할을 차지하고 있다.

CCFL과 같은 가스 방전램프는 초기 기동시 높은 점등전압과 방전이 일어나기 전까지의 영역에서 부저 항특성을 가지며 방전판이 이온화되는 전압이상의 큰 전압이 인가되는 경우 불안정한 상태가 나타나므로 이러한 부저항 특성을 갖는 램프의 안정기에서는 안정화가 요구된다.

안정화를 위한 전 단계에서 가스방전 램프는 일반적으로 컴퓨터 시뮬레이션을 용이하게 하기 위한 모델 또는 등가회로가 사용되어야 한다. 그러므로 가스방전램프의 특성을 기술 할 수 있는 모델을 개발하는 것이 필요하며, 설계의 다양화와 시뮬레이션을 용이하게 하기 위해서 적합한 모델이 필요하다. 특히 CCFL의 전압 및 전류의 상호 관계에 있어서 충분한 조건을 갖는 모델이 필요하다.

본 연구에서는 CCFL의 전기적 특성을 정확히 기술하기 위해서 MATLAB 툴로부터 얻어진 CCFL의 V-I 특성을 이용하여 PSpice 모델을 수립하였다. 제안된 모델의 전기적 안정화를 위해 설계·제작한 하프 브릿지 탑재 LCC 직병렬공진형 인버터를 구성한 회로의 시뮬레이션 및 실험결과를 통하여 CCFL에 대한

三月三

8.1.2021 목록 제81

그림 1과 2는 조도조절에 따른 CCFL의  $V_{rms} - I_{rms}$  특성을 나타내고 있다. 높은 조도조절 범위에서는 부저 항특성을 가지며, 낮은 조도조절에서 범위에서는 정저항 특성을 갖는다.

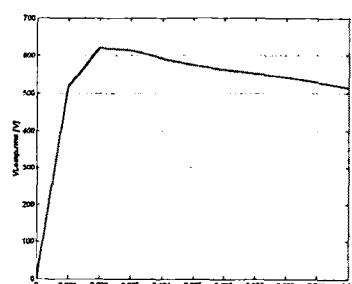
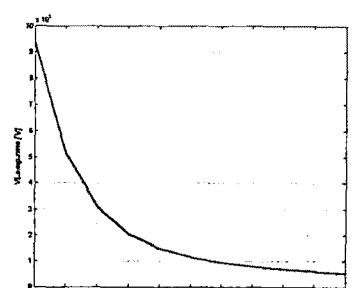


그림 1. CGEL의 V<sub>1</sub> ~ V<sub>4</sub> 틀 셋



- 73 - 2020-03-15

이러한 두가지 다른 특성으로부터 CCFL의  $V_{rms} - I_{rms}$  곡선에 대한 방정식은 식(1)과 같이 표현 할 수 있다.

$$K_{\text{min}} = 4 + 4 \times \text{EXP}(-4 \times t_{\text{min}}/\lambda) = 4 \times \text{EXP}(-4 \times t_{\text{min}}/\lambda) \quad (1)$$

방정식 (1)은 곡선과 일치하며 실험식으로부터 유도되었으며, 그림 3과 같이 각 세 부분의 영역으로 구분될 수 있다. 첫 번째 구간은 곡선의 기본 값들 나타내고 있으며, 두 번째 구간은 높은 조도조절 범위에서의 부저항 특성을 나타낸다. 그리고 세 번째 구간은 낮은 조도조절 범위에 서의 저저항 특성을 나타내는 확인할 수 있다. 반점식과

라미터 ( $A_0 - A_4$ )는 가장 적은 제곱의 방법에 의해서 쉽게 유도되었다.

고주파 동작에서 램프의 저항을 고려한다면 등가 램프 임피던스  $R_{la}$ 는 식(2)로부터 쉽게 나타낼 수 있다.

$$R_{la} = V_{rms}/I_{rms} \quad (2)$$

식(1)과 (2)로부터  $I_{rms}$ 의 함수로 표현된  $R_{la}$ 대한 방정식은 식(3)과 같이 표현될 수 있다.

$$R_{la} = [A_0 + A_1 \times \text{EXP}(-A_2 \times I_s) - A_3 \times \text{EXP}(-A_4 \times I_{rms})]/I_{rms} \quad (3)$$

그 후에 순간적인 램프전압  $V_{(t)}$  및 순간적인 램프전류  $I_{(t)}$ 에 대한 특성은 식(4)와 같다.

$$V_{(t)} = R_{la} \times I_{(t)} = [A_0 + A_1 \times \text{EXP}(-A_2 \times I_{rms}) - A_3 \times \text{EXP}(-A_4 \times I_{rms})]/I_{rms} \times I_{(t)} \quad (4)$$

개발된 램프모델의 기초개념은 방정식(4)로부터 표현될 수 있다. 여기서, 순간적인 램프전압  $V_{(t)}$ 는 순간적인 램프전류  $I_{(t)}$ 와 실효치 램프전류  $I_{rms}$ 의 함수로부터 구해진다.

## 2.2 CCFL의 PSpice모델 유도

PSpice 모델에서 CCFL의 실효치 전류는 그림 3의 RC적분회로로부터 표현될 수 있으며 전류원  $I_S$ 는 순간적인 전류  $I_{(t)}$ 의 제곱으로 결정된다. 그리고 전압  $V_A$ 는 식(5)로부터 시뮬레이션 시간  $T$ 의 함수로 계산되었다.

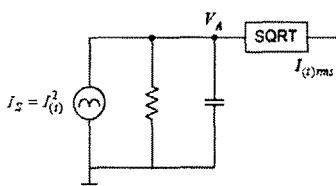


그림 3. 실효치 계산을 위한 적분회로

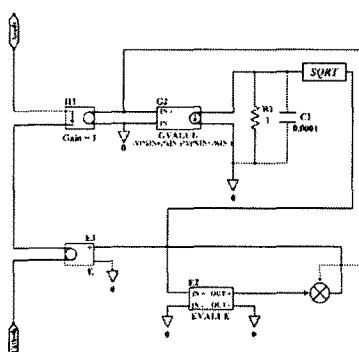


그림 4. CCFL의 PSpice 램프모델

$$V_A = \int_0^T I_{(t)}^2 dt / T = I_{rms}^2 \quad (5)$$

여기서,  $R = 1$ ,  $T \gg C$ 이다.

따라서, 전압  $V_A$ 의 제곱평방근은 전류  $I_{(t)}$ 의 실효치 값이어야 한다. 실효치 램프전류를 계산하기 위한 RC적분회로에 의해서 램프모델 방정식(4)은 그림 4에 나타낸 PSpice 모델회로에 공급될 수 있다.

모델회로에서,  $H1$ 은 순간적인 전류를 검출하기 위한 전류제어 전압원,  $C2$ 는 제곱함수 전압제어 전류원,  $E1$ 은 방정식 (3)을 나타낸 전압제어 전압원,  $E2$ 는 순간적인 전압을 발생하기 위한 전압제어 전압원이다.

## 2.3 공진회로의 동작특성

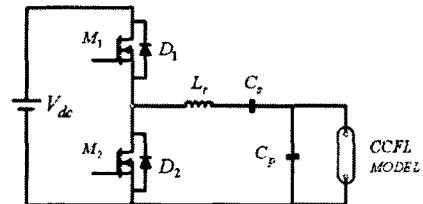


그림 5. LCC 직병렬공진형 인버터

본 연구에서는 직렬공진특성과 병렬공진특성의 장점을 갖는 비대칭 Half-Bridge형 LCC직병렬 공진 인버터회로를 적용하였으며, CCFL등가모델을 고려한 회로는 그림 5와 같다.

그림 6은 제시한 회로의 MODE별 동작을 나타낸다.

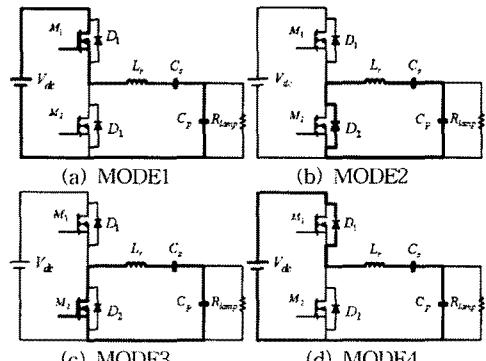


그림 6. 모드별 해석

### MODE1

$M_1$ 이 on되면  $V_d$ 에 의해 공진회로에 전원이 공급되고 전원 에너지는  $L_r$ 에 축적된다. 인덕터에 흐르는 전류  $i_L$ 은 인더턴스와 입력전압의 비에 비례하는 기울기로 증가한다.

### MODE2

$M_1$ 이 off시 위상지연전류에 의해  $D_2$ 를 통해 전류루프를 형성하게 된다.

### MODE3

MODE2가 끝나고  $M_2$ 가 on되면 공진회로에 축적된 에너지는 MODE3와 같은 루프로 방출된다.

### MODE4

$M_2$ 의 개방으로 인해 인덕터를 통해 흐르던 전류는  $D_1$ 을 거쳐서  $V_d$ 로 회생된다.

$M_1$ ,  $M_2$ 의 주기적인 교대 동작을 통하여 구형파교류가

발생되며, 공진탱크의 필터 작용으로 정현적인 교류출력이 램프에 인가된다.

## 2.4 시뮬레이션 및 실험 결과

표 1과 2는 설계 및 시뮬레이션을 위해 사용된 회로정수 및 CCFL 사양이며, 그림 7에 LCC 직병렬 공진인버터의 PSpice 시뮬레이션 모델을 나타내었다.

표 1. 회로정수

항 목	값
스위칭주파수 [kHz]	51.75
입력전압[V]	310
$L_s$ [mH]	9
$C_s$ [pF]	5000
$C_d$ [pF]	1650

표 2. CCFL사양

항 목	값
관경[mm]	1.8
관장[mm]	135
램프전압 [Vrms]	410
램프전[mA]	6
램프전력[W]	2.46

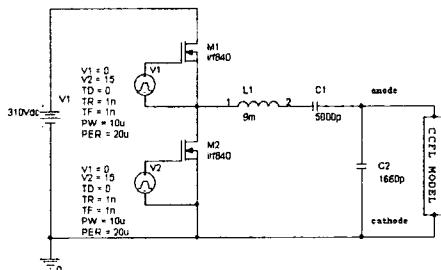
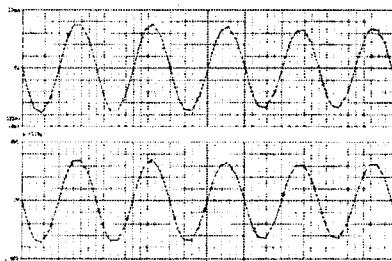
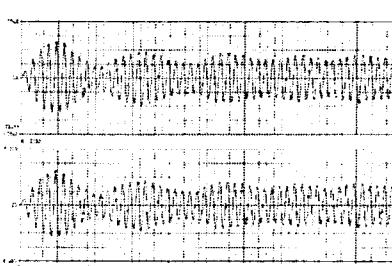


그림 7. PSpice 시뮬레이션 회로도

본 연구에서 선정된 소자 값을 적용한 시뮬레이션 및 실험결과를 각각 그림 7과 8에 나타내었다.

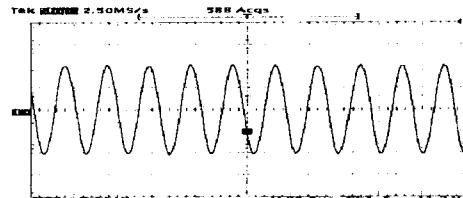


(a) 정상상태 전압 및 전류파형

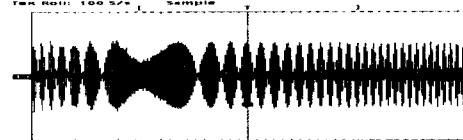


(b) 기동시 전압및전류파형

그림 8. PSpice 시뮬레이션 파형



(a) 정상상태 전압파형



(b) 기동시 전압파형

그림 9. 실험측정파형[200V/div]

그림 8에 (a)는 정상상태의 전압파형이며, (b)는 기동시 전압파형을 나타낸 것이다. 공진주파수와 스위칭 주파수의 비는 약 1.08이며, 점등전압은 412[V]로 이론적인 수치와 유사함을 확인할 수 있었다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 CCFL의 전기적 특성을 정확히 기술하기 위해서 MATLAB 툴로부터 얻어진 CCFL의 V-I 특성을 이용한 PSpice 모델을 유도하였다. 유도된 모델을 이용하여 회로구성이 간단한 하프브릿지 타입 CCFL 구동용 전원원회로인 LCC 직병렬공진형 인버터를 대상으로 모드별 분석 및 시뮬레이션을 수행하였으며, 제안된 모델의 전기적 안정화를 위해 설계·제작한 하프브릿지 타입 LCC 직병렬공진형 인버터를 구성한 회로의 실험결과를 통하여 CCFL에 대한 PSpice 모델의 타당성을 입증하였다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 대학전력연구센터 융성지원사업(I-2004-0-074-0-00)에 의하여 수행된 과제입니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] J.A.Donahue and M.M.Jovanovic, "The LCC inverter as a cold cathode fluorescent lamp driver," in proc. IEEE APEC'94, 1994, pp.427-433
- [2] U. Mader and Dr. P. Horn, "A Dynamic Model for the Electrical Characteristics of Fluorescent Lamps" IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, pp. 1928-1934, 1992.
- [3] Joel A. Donahue, P.E and Milan M. Jovanovic, "The LCC Inverter as a Cold Cathode Fluorescent Lamp Driver", APEC 1994, pp.427-433
- [4] Louis Robert Nerone, "Design of a 2.5-MHz, Soft Switching, Class-D Converter for Electrodeless Lighting", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol 12, No3, May 1997
- [5] L. R. Nerone, "A mathematical model of the class D converter for compact fluorescent ballast", IEE Trans., power electron. vol. 10, PP 708-715, Nov 1995.
- [6] T. Liu, K. J. Tseng, and D. M. Vilathgamuwa, "A PSPICE model for the electrical characteristic of fluorescent lamps" in Proc. IEEE PESC'98, 1998, pp. 1749-1754.