

A Study on the Impedance Model and Driving Performance for the Electrical Discharge Type External Electrode Fluorescent Lamp

金 澈 珍[†] · 兪 炳 圭*
(Cherl-Jin Kim · Byeong-Kyu Yoo)

Abstract - A impedance model simulating the electrical characteristics of the External Electrode fluorescent lamp operated at high frequency is proposed. The model is constructed from a two parameter equation which is derived based on a set of two measurements. This is a readily constructed and computer simulator oriented model which is suitable for a preliminary design of electronic ballasts. Simulated and experimental results are used to verify the analytical discussions, and moreover, an electronic ballast design example using the proposed model is presented to further demonstrate its application.

Key Words : EEFL, Impedance Model, PSpice Simulation, Half-Bridge Inverter

1. 서 론

고효율, 고연색성, 장수명의 장점을 갖는 외부전극 형광램프(EEFL, External Electrode Fluorescent Lamp)는 기존의 내부전극으로 열전자를 방출하여 형광체를 발광하는 형광램프와는 다르게 방전관 양끝 외부에 결합된 용량성(전계방전) 메탈 캡(Cap)에 고주파의 강한 전계를 발생시켜 방전하는 원리를 갖는다. 내부에 전극이 없으므로 흑화현상으로 인한 수명단축을 배제할 수 있으며, 전극의 예열이 필요 없기 때문에 즉각적인 구동 및 재구동의 특성을 갖으며, 빠른 응답성을 갖는다. 또한, 램프의 변형이 용이하여 직관형, 전구형, 환형 등 다양한 형상의 램프가 개발되고 있다. 진공봉합(Sealing)의 신뢰성이 높기 때문에 램프간의 전압편차가 적고 휘도유지 특성이 우수하여 단일 인버터로 다수개의 병렬 구동이 가능하다.

외부전극 형광램프를 점등하기 위해서는 고주파의 안정기가 필요하며, 최적의 안정기 설계를 위해서는 램프의 임피던스 특성이 정확히 이해되어야 한다. 기존의 안정기 회로의 개발에 있어서 안정기 회로의 시뮬레이션은 램프를 하나의 고정된 저항으로 간주하였다. 그러나 램프전류의 증가와 함께 저항은 감소하기 때문에 고정된 저항 모델은 단지 하나의 동작 점에 대해서만 타당하다. 따라서, 램프전력 변화에 따른 램프의 평균전력에 대한 램프의 임피던스 모델이 필요하다. 평균램프전력은 램프의 실효치 전류 및 전압의 함수이므로 가변임피던스 모델로 등가 할 수 있다.

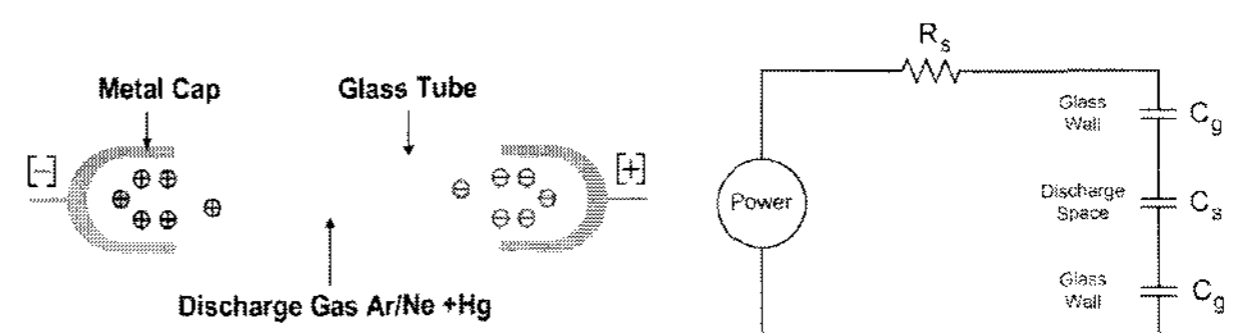
본 연구에서는 회로의 시뮬레이션에 적용 가능한 전계 방

전특성을 갖는 외부전극 형광램프의 임피던스 모델에 대한 연구를 진행하였다. 또한 전자식 안정기를 사용하여 고주파에서 일정전력으로 구동되는 램프 부하의 특성으로부터 물리적인 이론에 근거하여 외부전극형광램프의 전기적 응답을 예측할 수 있는 동작모델을 제시하였다. 확립한 임피던스 모델로부터 고효율 동작이 가능한 비대칭 Half-bridge 인버터를 적용하였으며, 구동실험을 통하여 제시한 모델의 타당성을 입증하였다.

2. 외부전극 형광램프의 임피던스 모델

2.1 외부전극 형광램프의 방전특성

그림 1의 (a)는 본 연구에서 적용한 외부전극 형광램프의 구조를 나타내고 있다. 램프의 형태는 일반 용량성 램프와 동일하다. 직관형 램프의 방전과 외부 양단에 Cu, Ni, Fe 등의 도전성 물질을 입혀 전극을 형성하고 수십[kHz]의 고주파의 전압을 인가하여 점등되며, 인가한 전압에 의한 전하발생과 더불어 전극 안쪽에 위치한 유리가 유전층으로 작용하여 유리관에 쌓인 전하 즉, 변위전류(Displacement Current)가 방전에 도움을 주어 전류이득을 꾀하는 효과가 있다. 램프 내부에서 일어나는 가스방전 현상은 일반 형광램프와 동일하다.



(a) 외부전극 형광램프의 구조 (b) 등가회로

그림 1 외부전극 형광램프의 구조 및 등가회로
Fig. 1 Structure and equivalent circuit of the EEFL

* 正 會 員 : 漢 拏 大 學 校 制 御 計 測 工 學 科 碩 士 課 程 · 卒 業

† 教 師 職 任, 正 會 員 : 漢 拏 大 學 校 教 授 · 工 博

E-mail : cjkim@halla.ac.kr

接 受 日 字 : 2007 年 5 月 27 日

最 終 完 了 : 2008 年 6 月 18 日

그림 1의 (b)는 용량성 교류방전 램프의 유리관에 의한 전하축적과 관련된 전기적 등가회로이다. C_g 는 유리관과 전극 사이에 생긴 커패시턴스이고, C_s 는 방전공간에 생긴 커패시턴스이다. C_g 와 C_s 의 커패시턴스 성분은 일반적으로 전극이 내부에 있는 방전형태와 다르게 유리관에 전하가 축적되고 다른 극이 인가되면 축적된 전하가 다른 극의 방전시 발생하는 전자와 합쳐 높은 효율을 나타내게 된다.

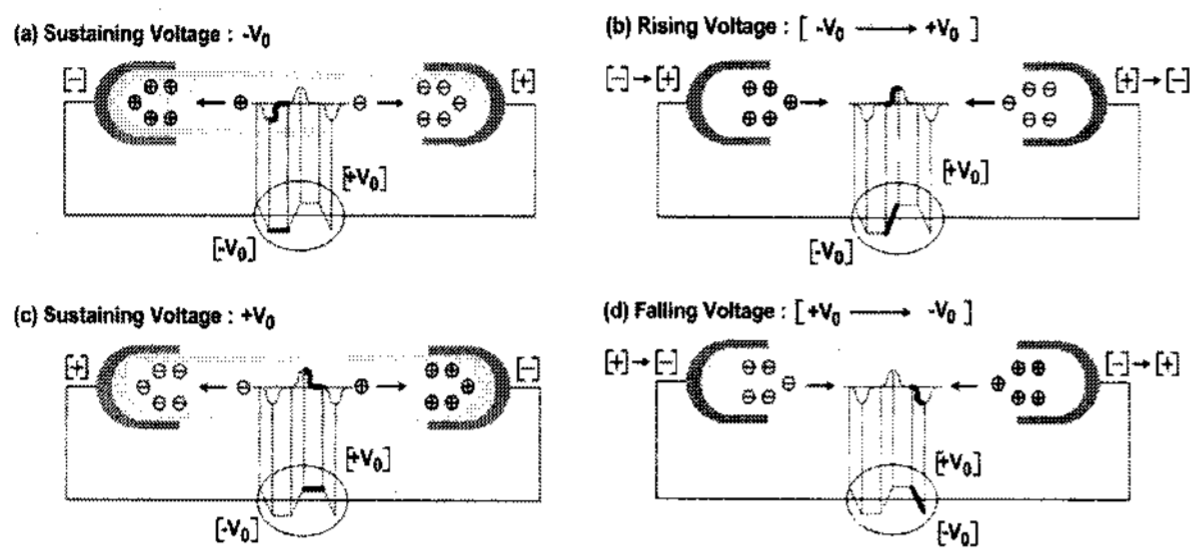


그림 2 외부전극 형광램프의 방전원리
Fig. 2 Capacitive discharge principle of the EEFL

그림 2는 외부전극 형광램프의 용량성 교류방전의 원리를 나타내고 있다. 방전관 양 끝 전극 (Metal Cap) 표면이 유리관에 덮여 있어서 고주파의 교류전압을 인가하면 방전관에 플라즈마가 형성되고 이온과 전자가 각각 양 끝 전극 부분의 방전관 내벽에 벽전하로 쌓이게 된다. 벽전하는 전원의 극이 바뀌면 상호 반대방향으로 작용하여 방전관에 전류가 흐르고 벽전하가 양 끝 전극에 교체되어 쌓인다. 이와 같은 원리는 전극이 방전공간에 노출되어 전류를 증식시키는 것이 아니므로 단일 인버터로 램프의 병렬구동이 가능하다.

2.2 외부전극 형광램프의 임피던스 모델 가정

형광램프 모델은 가스방전이 부 온도계수(NTC)를 갖는 저항과 유사한 작용을 하는 것으로 간주할 수 있다. 즉, 램프전력이 높을 때는 램프 가스가 높게 이온화되기 때문에 방전램프의 저항은 낮아진다. 또한, 램프전력이 높을 때는 램프의 가스가 적게 이온화되어 방전램프의 저항이 높아진다. 형광램프는 NTC저항과 같이 온도가 열적평형을 이룰 때 램프의 양단에는 일정한 전압 강하를 갖는 경향이 있다.

형광램프의 광생산 메카니즘은 램프를 통해 흐르는 전력 P_L 에 의해 방전램프는 여기되고, 수은 원자는 이온화된다. 다음으로 수은 원자의 여기에 의해 자외선이 방사되며, 보다 낮은 에너지 상태로 되돌아간다. 자외선의 양은 램프 내의 수은 원자의 이온화 정도에 따라 거의 비례하며, 자외선 방사에서 형광체에 의한 가시광선으로의 변환은 매우 빠르게 진행된다. 이온화의 정도가 광 출력과 거의 비례관계를 갖는 것은 용이하게 확인할 수 있다. 모델에서 이온화 밀도 ρ 는 순시 램프전력 P_L 과 관련된 것으로 가정하면 라플라스 변환 조건에서 1개 저역통과 필터를 이용하여 실현할 수 있다.

$$\rho(s) = C \frac{1}{1 + \tau s} P_L(s) \tag{1}$$

여기서, C : 비례계수
 τ : 이온화/재결합을 위한 시정수

이온화 밀도 ρ 와 상수 C 가 평균램프전력 $\overline{P_L}$ 로 치환된다면 해석은 간소화되며, $\overline{P_L}$ 은 램프가스의 이온화 정도에 비례하게 된다.

$$\overline{P_L}(s) = \frac{1}{1 + \tau s} P_L(s) \tag{2}$$

$\overline{P_L}$ 이 순시 램프전력 P_L 의 저역통과 필터의 형태를 가지며, 일정한 이온화에 대한 램프의 $V_{rms} - I_{rms}$ 특성은 고주파 동작에서 조도조절이 가능한 고주파 안정기를 사용함으로써 쉽게 측정할 수 있다.

본 연구에서 확립한 임피던스 모델은 외부전극 형광램프가 열전극을 갖는 형광램프와 유사한 특성을 갖는다는 기본적인 가정을 둔다. 두 램프간의 유일한 차이점은 전극을 갖는 형광램프는 전기 에너지가 도체를 통하여 전달되지만, 외부전극 형광램프는 전기적 에너지가 플라즈마와 결합된다는 사실이다. 따라서, 이러한 가정은 타당하다.

2.3 외부전극 형광램프의 임피던스 모델 유도

고주파에서 동작되는 형광램프의 임피던스는 1차 근사로 저항성이라 할 수 있다.[2] 즉, 임의의 동작점에서 램프 아크튜브의 전류는 다음식 (3)으로 표현될 수 있다.

$$I_{Lamp} = \frac{V_{Lamp}}{R_{eq}} \tag{3}$$

여기서, I_{Lamp} : 램프전류
 V_{Lamp} : 램프전압
 R_{eq} : 고주파 구동시 램프의 등가저항

그러나, 여기서 등가저항 R_{eq} 는 램프의 실효치 전류를 적용한 동작점의 함수로 표현된다. 이 의존성은 전 동작영역에서 램프에 대한 실효치 전류와 전압을 측정함으로써 쉽게 구할 수 있다.

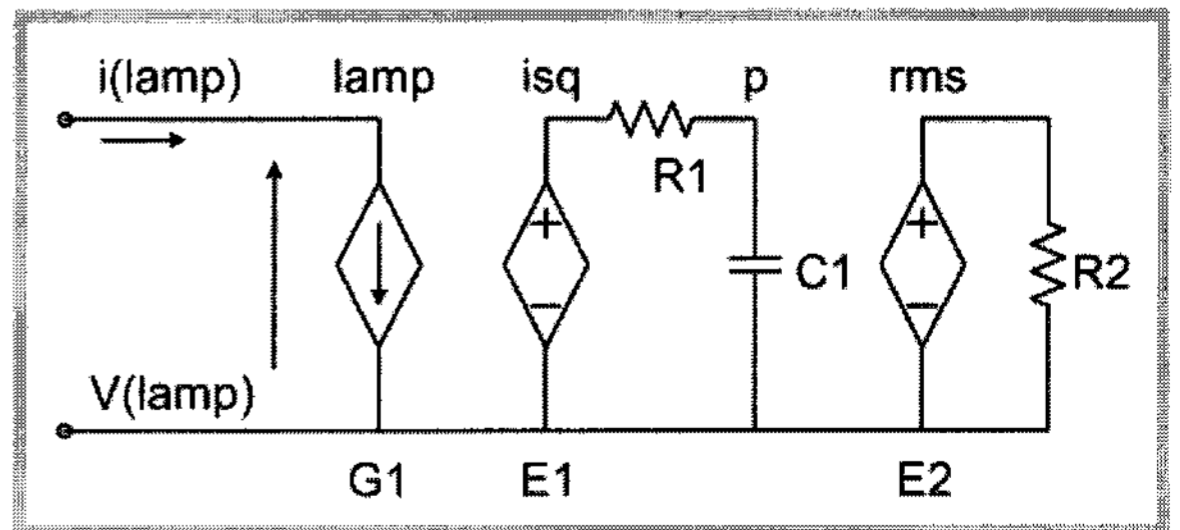


그림 3 형광램프의 저항성모델
Fig. 3 Resistance model of the fluorescent Lamp

그림 3은 형광램프의 저항성 모델을 나타낸 그림이다. 그림에서 G_1 함수는 임의의 동작점에서 램프양단의 전압을 램프등가저항 R_{eq} 로 나눈 값으로 램프의 실효치 전류의 함수로 표현한 것이다. 여기서, 종속전압원 E_1 의 출력은 램프 전류 $i_{(lamp)}$ 의 제곱에 비례한다.

$$G_1 = \frac{V_{Lamp}}{R_{eq}(i_{(lamp)})^2} \quad (4)$$

$$E_1 = \{i_{(lamp)}\}^2 \quad (5)$$

노드 i_{sq} 에서의 전압신호 V_{sq} 는 저주파 성분을 구하기 위해 저역통과 필터 R_1, C_1 을 경유하게 된다. R_1-C_1 으로 이루어진 필터의 차단 주파수 $f=1/2\pi R_1 C_1$ 와 시간 $t > R_1 C_1$ 에서 C_1 (노드(p))의 평균전압은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{(P)} = \frac{1}{T} \int_0^T V(i_{sq}) dt \equiv \frac{1}{T} \int_0^T [i_{(lamp)}]^2 dt \quad (6)$$

여과된 실효전류 I_s 는 커패시터 C_1 (노드(p)) 양단의 평균전압의 제곱근으로 표현되는 E_2 에 의해서 구할 수 있다.

$$E_2 = \sqrt{V(P)} \quad (7)$$

따라서, 노드 rms에서의 전압, V_{rms} 는 램프의 실효치 전류와 같은 값이 되며, 이 전압은 식 (3)에서 램프전류를 계산하기 위한 $R_{eq}(V_{(rms)})$ 로 사용된다.

그림 4는 본 연구에서 램프의 $V_{rms}-I_{rms}$ 특성을 측정하기 위해 구성된 측정회로를 나타내고 있다. 파형발생기는 고주파의 구형파 신호를 발생하기 위해서 조절되고, 발생된 신호는 전력증폭기에 의해서 증폭된다. 증폭된 신호는 임피던스매칭 회로를 경유하여 램프에 공급되게 된다. 파형의 증폭조절은 램프의 전압과 전류를 조절하게 된다.

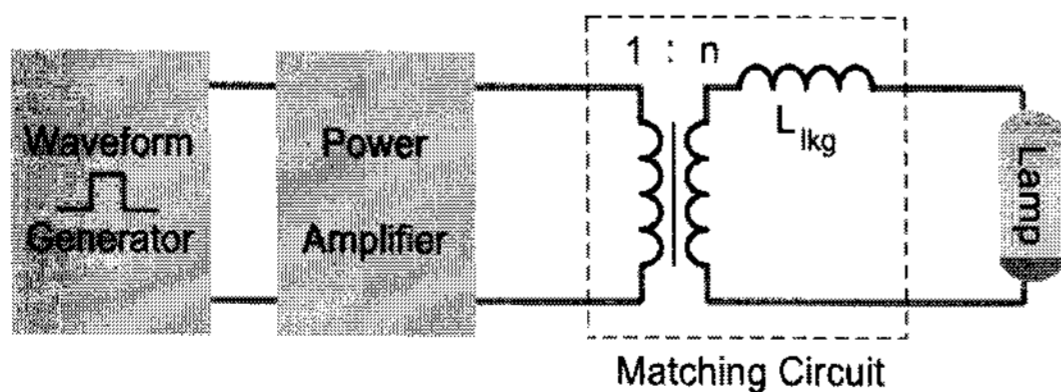


그림 4 외부전극 형광램프의 측정회로
Fig. 4 Test circuit of the EEFL

본 연구에서 적용한 직관형 60[W] 램프에 대한 모델의 파라미터는 그림 4의 측정회로를 구성하여 실험하여 구하였으며 실험을 통해서 램프의 등가저항 R_{eq} 는 램프의 실효치 전류 20[mA]에서 55[mA]까지의 범위에서 전압과 전류를 측정하여 구하였다. 실험결과를 표 1에 제시하였다.

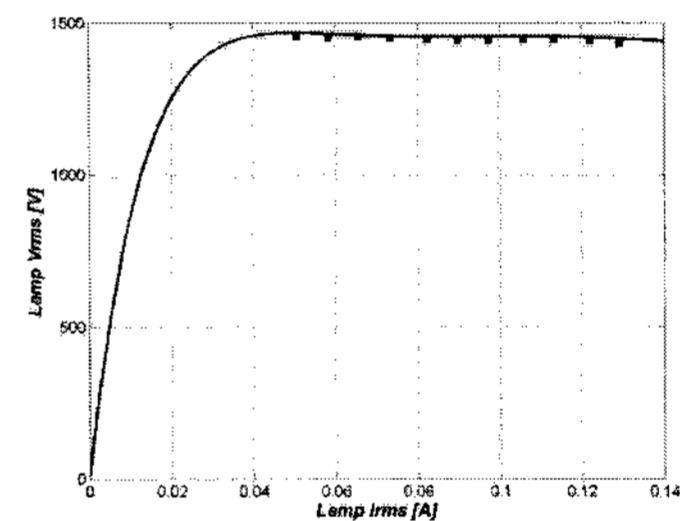
표 1 외부전극 형광램프의 측정데이터

Table 1 Experimental data of the EEFL

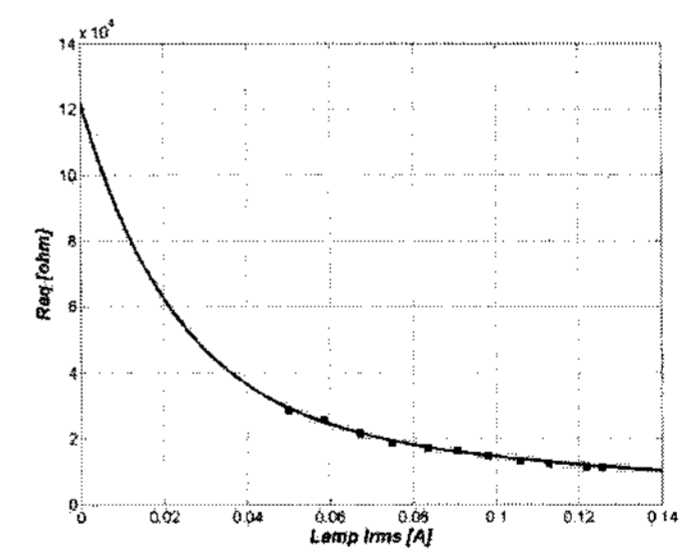
램프 수	$V_{rms}[kV]$	$I_{rms}[mA]$	Power[W]	P.F
10	1.2496	104.5	59.02	0.452
8	1.2647	100.77	55.06	0.432
6	1.2830	97.24	51.03	0.409
4	1.2978	93.47	46.58	0.384
2	1.3140	89.92	42.77	0.362

표 1의 측정 데이터로부터 $V_{rms}-I_{rms}$ 특성곡선을 구하기 위해 Matlab 시뮬레이션 툴을 적용하였으며, 결과를 그림 5에 제시하였다. 함수 $R_{eq}(V_{(rms)})$ 는 램프전류의 함수로 표현되는 R_{eq} 로 대체할 수 있다. 이와 같은 다양한 관계는 고차다항식의 선형화 등 이전의 연구결과에서도 적용된 바 있다.[3][4][5]

본 연구에서는 지수근사 방법을 적용하였으며, 그림 5로부터 실험결과와 비교적 양호한 일치성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.



(a) $V_{rms}-I_{rms}$ 특성곡선



(b) $R_{eq}-I_{rms}$ 특성곡선

그림 5 측정을 통한 외부전극 형광램프의 특성곡선
Fig. 5 Experimental result of the EEFL

R_{eq} 램프의 등가저항에 대한 수식적 표현은 식(8)과 같다.

$$R_{eq} = A_0 + A_1 \times \text{EXP}(A_2 \times I_{rms}) + A_3 \times \text{EXP}(A_4 \times I_{rms}) \quad (8)$$

식(8)의 파라미터 A_0-A_4 는 표 2에 제시하였다.

본 연구에서는 직관형 60[W] 외부전극 형광램프의 PSpice 시뮬레이션을 설정하기 위해 종속 전류원 G_1 및

그림 3의 모델 당 추가전원 $H_1 - E_1$ 으로 대체하였으며, 그림 6에 제시하였다.

표 2 방정식 (8)의 모델 파라미터

Table 2 Model parameter of the Equation (8)

Parameter	Value
A_0	100
A_1	27800
A_2	7.3
A_3	94000
A_4	45

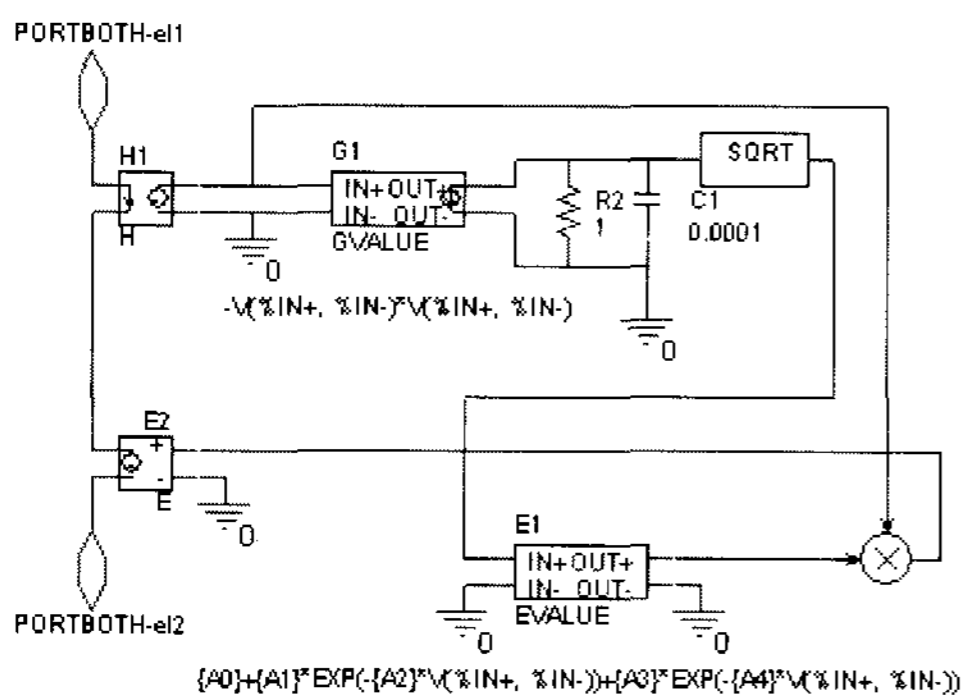


그림 6 외부전극 형광램프의 임피던스 모델

Fig. 6 Impedance model of the EEFL

그림 6의 외부전극 형광램프의 PSpice 모델 회로에서, H_1 은 램프순시전류를 검출하기 위한 이득 1을 갖는 전류 제어 전압원이며, G_1 은 제곱함수 전압제어 전류원이다. E_1 은 식(8)을 나타낸 전압제어 전압원이며, E_2 는 램프순시전압을 발생하기 위한 이득 1을 갖는 전압제어 전압원이다.

2.4 외부전극 형광램프의 구동 인버터

용량성 전계방전특성을 갖는 외부전극 형광램프의 구동은 정현파 구동방식과 구형파 구동방식으로 분류할 수 있다. 그림 7은 외부전극 형광램프의 구동을 위해서 적용한 비대칭 Half-bridge 인버터의 구형파 구동 및 정현파구동 방식의 회로구조를 나타내고 있다.

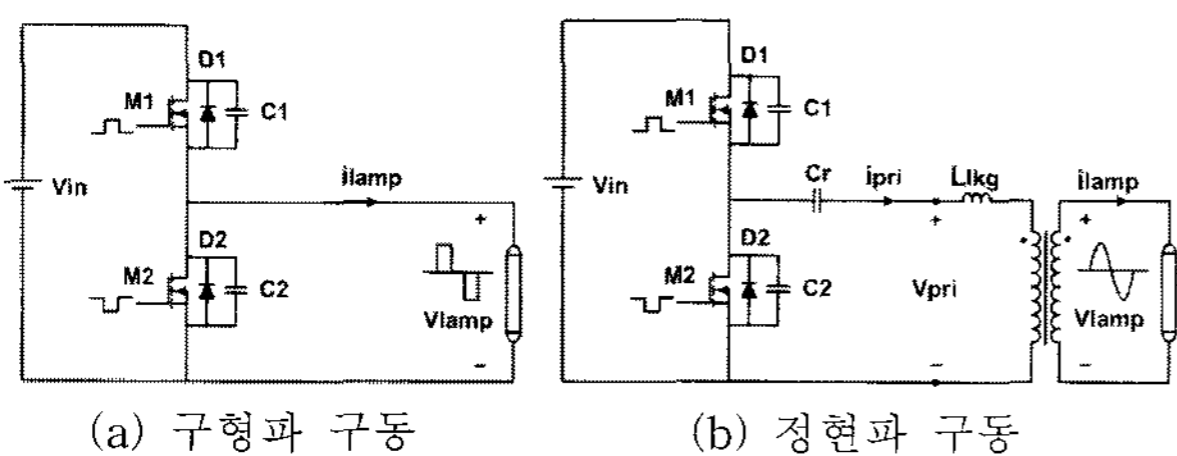


그림 7 외부전극 형광램프의 구동방식

Fig. 7 Driving method of the EEFL

구형파 구동방식은 스위치 M1, M2의 교번 동작으로 인하여 전원의 전력이 구형파 형태로 램프에 공급되게 된다. 램프 앞단에 트랜스포머를 사용하지 않기 때문에 트랜스포머에서 발생하는 전력손실을 제거할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 램프를 구동하기 위해 구형파의 고전압이 램프 양단에 직접적으로 가해지므로 펄스형태의 전류에 의한 스트레스로 인하여 전력손실이 발생하게 된다.

정현파 구동방식은 트랜스포머를 사용하여, 고전압이 트랜스의 턴-비에 의해서 트랜스의 2차측에 공급된다. 소프트 스위칭 특성으로 인버터의 스위치 전압스트레스가 감소하여 고효율 특성을 얻을 수 있다. 그러나 트랜스포머의 사용으로 정현파구동방식의 주요 전력손실은 트랜스포머에서 발생하게 된다. 따라서, 최대전력이 램프에 전달 될 수 있도록 트랜스포머의 입출력 간에 임피던스매칭 요소가 적용되어야 한다.

본 연구에서는 정현파 구동방식을 채택하였다. 유도한 임피던스 모델은 광출력과 전력소비를 조절하기 위한 조광 제어에 적합하며, 비대칭 Half-bridge 인버터 설계에 적용하였다.

2.5 외부전극 형광램프의 구동 인버터 해석

그림 8의 (a)는 실험에 사용된 정현파 구동방식 비대칭 Half-bridge 인버터의 기본회로를 나타내고 있다. 적절한 출력전력을 얻기 위해 두개의 동일한 트랜스포머를 직렬로 연결하였다.

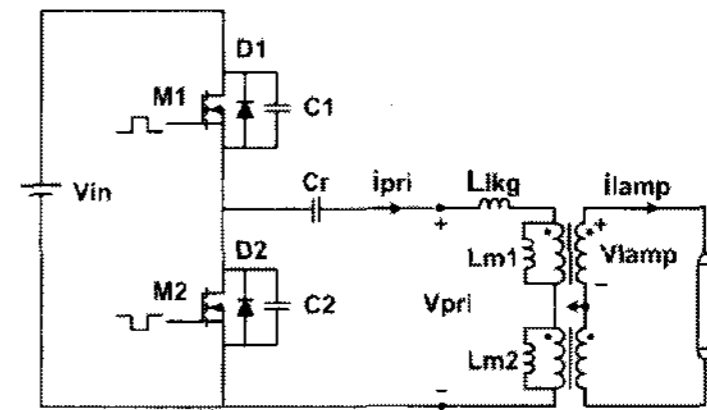


그림 8 비대칭 Half-bridge 인버터 기본회로

Fig. 8 Asymmetric Half-bridge inverter basic circuit

그림 8 비대칭 Half-bridge 인버터의 C_2 의 값이 작아서 입력임피던스에 영향을 미치지 않는다고 가정하면 그림 9의 간략화된 모델로 나타낼 수 있다. 임피던스 매칭회로와 램프의 전기적 모델이 결합된 형태로 트랜스의 누설인덕턴스와 램프의 커패시턴스 성분이 직렬공진을 일으켜 램프에 정현파의 고전압을 공급하게 된다. 따라서, 임피던스 매칭특성과 직렬공진특성의 해석이 각각 이루어져야 한다.

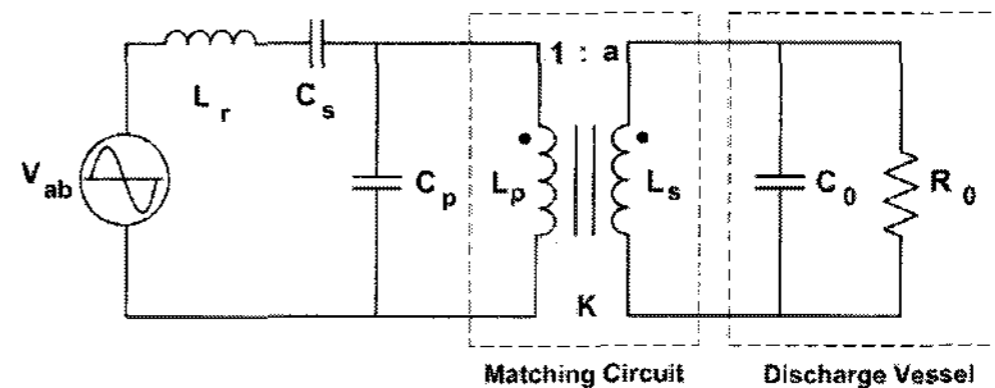


그림 9 비대칭 Half-bridge 인버터의 간략화된 모델

Fig. 9 A simple model of the Asymmetric Half-bridge inverter

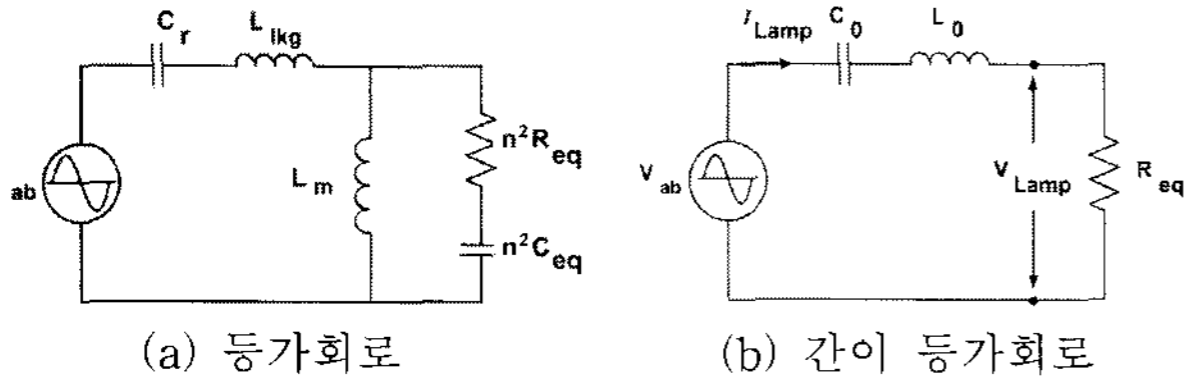


그림 10 비대칭 Half-bridge 인버터 해석 위한 등가회로
 Fig. 10 Equivalent circuit for the Asymmetric Half-bridge inverter analysis

그림 10은 임피던스 매칭회로 및 직렬공진특성을 해석하기 위한 비대칭 Half-bridge 인버터의 등가회로이다.[7],[8] 그림 10의 (a)에서 상호인덕턴스(M), 트랜스포머 결합계수(k), 누설인덕턴스(L_{lkg}), 권선비(a)는 다음 수식과 같다.

$$M = \frac{L_0^+ - L_0^-}{4} \quad (9)$$

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_p L_s}} \quad (10)$$

$$L_{lkg} = L_p (1 - k^2) \quad (11)$$

$$a = \frac{L_s}{M} \quad (12)$$

그림 10의 (b)에서 $R_{eq} - L_0 - C_0$ 공진탱크는 저전압원으로 높은 양호도를 갖는 것으로 가정할 수 있다. 외부전극 형광램프의 임피던스 모델은 램프전력의 변화에 따라서, 즉, 실효치 전압 및 전류의 변화에 의하여 계산되는 저항성분으로 간주되고 $L_0 - C_0$ 성분 값은 다음 분석으로부터 결정될 수 있다.[9],[10] 정상상태에서 그림 10의 (b)에 나타난 간이 등가회로의 출력전압함수로 변환된 입력은 식(13), (14)로 나타낼 수 있다.

$$G(j\omega) = \frac{V_0(j\omega)}{V_{ab}(j\omega)} = \frac{1}{1 + j\omega L_0 - j/\omega C_0 R_{eq}} = \frac{1}{1 + jQ_0(\omega/\omega_r - \omega_r/\omega)} \quad (13)$$

$$G(\omega) = \left| \frac{V_0(j\omega)}{V_{ab}(j\omega)} \right| = \frac{1}{\sqrt{Q_0^2 \left(\frac{\omega}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega} \right)^2}} \quad (14)$$

정상상태해석을 위한 회로 파라미터는 다음 식과 같다.

공진 주파수 :

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} \quad (15)$$

부하 첨예도 :

$$Q_0 = \frac{\omega_r L_0}{R_{Lamp}} = \frac{1}{\omega_r R_{Lamp} C_0} = \frac{\sqrt{L_0/C_0}}{R_{Lamp}} \quad (16)$$

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서 확립한 외부전극 형광램프의 임피던스모델로부터 인버터의 구동특성을 확인하기 위해 표 3의 파라미터의 설계조건을 통하여 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다.

표 3 회로 파라미터

Table 3 Circuit Parameter

$V_{rms} = 1.25 [kV]$	$V_{in} = 200 V$
$I_{rms} = 104.5 [mA]$	$f_r = 47 [kHz]$
$R_{Lamp} = 11.96 [k\Omega]$	$P_{out} = 60 [W]$

표 2의 회로 파라미터로부터 L, C 는 각각 $L = 12.8mH, C = 17.637\mu F$, 누설인덕턴스는 L_{lkg} 는 $L_{lkg} = 192\mu H$ 이며, 시뮬레이션에 적용된 모델을 그림 11에 제시하였다.

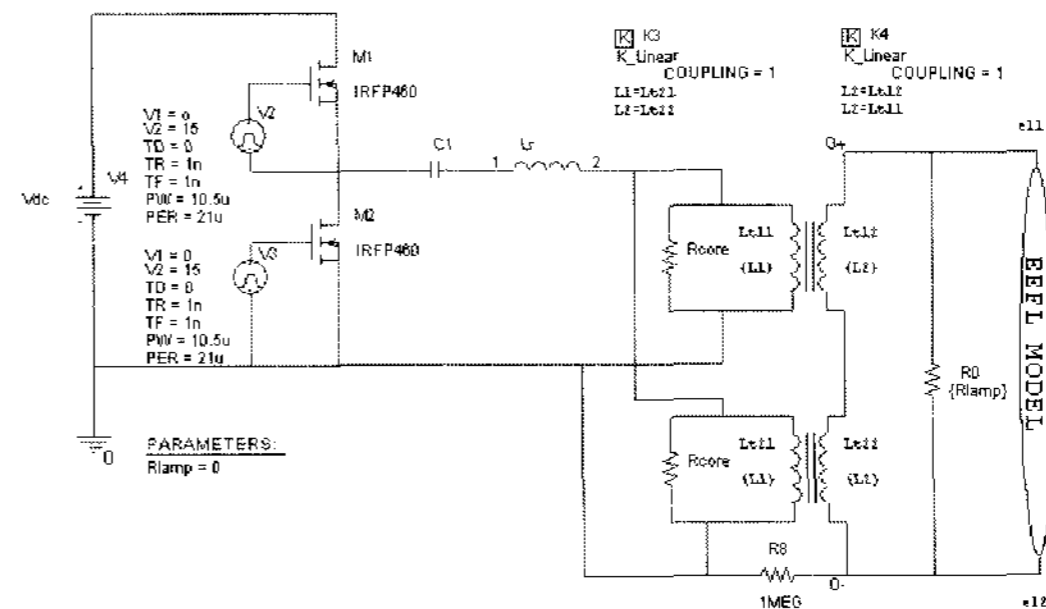
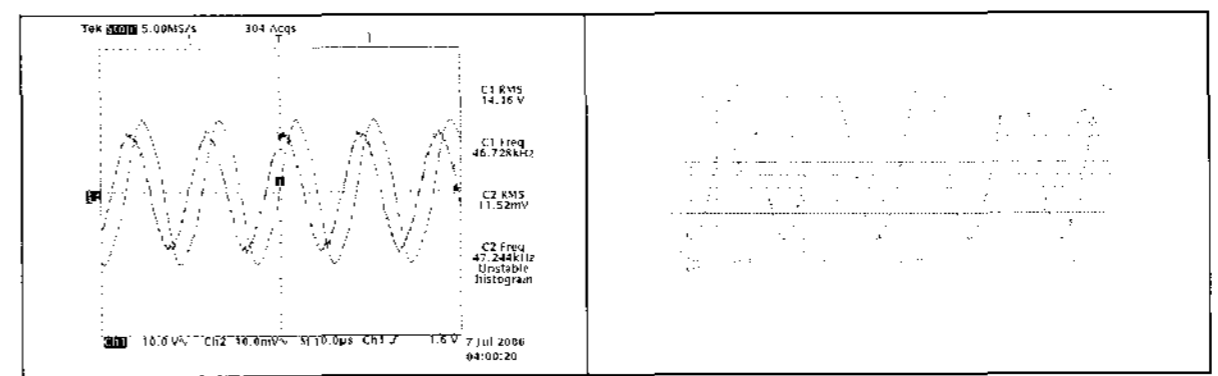


그림 11 임피던스모델을 적용한 비대칭 Half-bridge 인버터 시뮬레이션 모델

Fig. 11 Asymmetrical half-bridge inverter simulation circuit for EEFL impedance model

표 3에 제시한 설계조건을 기준으로 공진회로를 설계, 제작하였으며, 인버터의 입력단에는 220Vrms/60Hz의 상용 단상전원을 공급하도록 실험용 인버터회로를 구성하였다. 그림 12, 13, 14는 인버터의 출력단에 각각 52[W], 34[W], 12[W]의 서로 다른 부하조건을 설정하고 정상상태시 램프의 전압, 전류의 실험파형과 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 실험에서 온도의 영향 등으로 인하여 약 46.7-47.3kHz 범위의 공진점의 미소변동이 관측되었으며, 실험결과는 등가 모델을 적용한 시뮬레이션 결과와 비교적 잘 일치함을 확인할 수 있다.

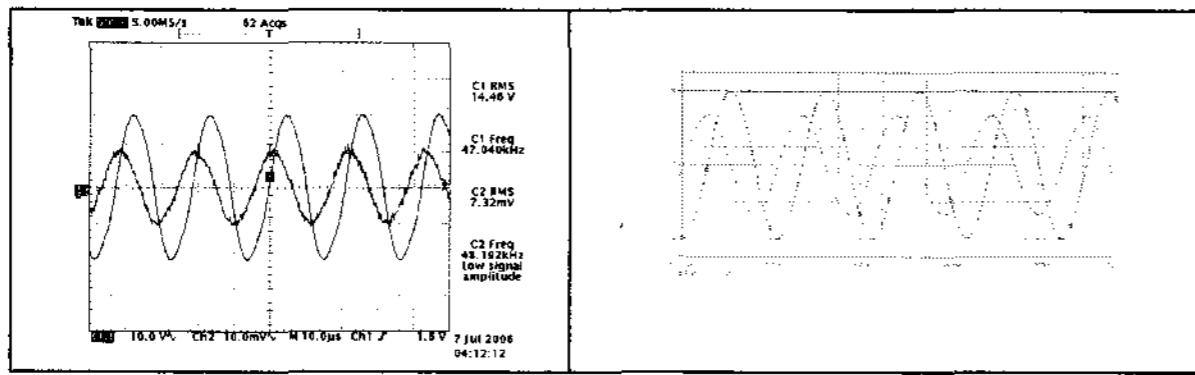


(a) 실험 파형

(b) 시뮬레이션 파형

그림 12 외부전극 형광램프의 전압 및 전류파형[52W]

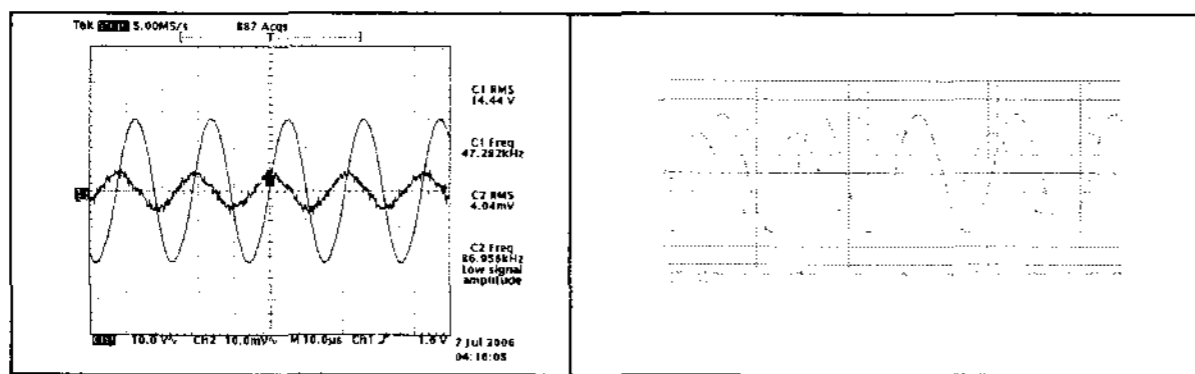
Fig. 12 Rms voltage and current waveform [lamp power 52W]



(a) 실험 파형 (b) 시뮬레이션 파형

그림 13 외부전극 형광램프의 전압 및 전류파형[34W]

Fig. 13 Rms voltage and current waveform [lamp power 34W]



(a) 측정파형 (b) 시뮬레이션 파형

그림 14 외부전극 형광램프의 전압 및 전류파형[12W]

Fig. 14 Rms voltage and current waveform [lamp power 12W]

4. 결 론

회로의 시뮬레이션이 회로설계의 예비단계에서 중요한 역할을 차지하고 있다. 최적화된 회로설계를 위해서는 부하 특성의 이해와 적용 가능한 적합한 임피던스모델이 필요하다. 본 연구에서는 외부전극 형광램프의 임피던스 모델을 제안하였다. 전계방전 특성을 갖는 60[W] 직관형 10등 외부전극 형광램프를 대상으로 전기적 응답을 예측할 수 있는 임피던스모델을 제시하였으며, 모델에 대한 특성으로부터 이를 구동할 수 있는 비대칭 Half-bridge 인버터의 구동특성에 대하여 연구를 진행하였다. 실험 및 시뮬레이션결과가 상호 일치함을 확인할 수 있으며, 제안한 임피던스 모델은 인버터 설계의 전 단계에서 외부전극 형광램프의 정상상태특성을 파악하는데 적합한 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] S. Ben-Yaakov, M. Sbvartsas, and S. Glozman, "Static and dynamic of fluorescent lamps operating at high frequency Modeling and simulation", IEEE Applied Power Electronics Conference, APEC-99, pp. 467-472, 1999

[2] D. O. Wharmby, "Electrodeless lamps for lighting : review", IEEE PROCEEDINGS-A, vol .6, pp. 465-473, Nov. 1993

[3] J. W. Shaffer and V. A. Godyak, "The development of low frequency, high output electrodeless fluorescent lamps", Journal of the IES, vol. 28, no. 1, p142, Winter 1999

[4] M. C. Cosby Jr and R. M. Nelms, "A resonant inverter for electronic ballast and application", IEEE

Trans. Ind. Electron, vol. 41, pp. 418-425, Aug. 1994

[5] M. Gulco and S. Ben-Yaakov, "Current-sourcing parallel-resonance inverter (CS-PPRI) : Theory and application as a fluorescent lamp driver", IEEE Applied Power Electronics Conference, APEC-93, pp. 4111-4117, San-Diego, 1993

[6] S. Glozman and S. Ben-Yaakov, "Dynamic interaction of high frequency electronic ballasts and fluorescent", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 37, pp. 1531-1536, 2001.

[7] B.D. Singer and G.R. Walker, "A Class E Resonant Inverter for Use as Electronic Fluorescent Lamp Ballast", AUPEC 2004

[8] J.Correa, M.Ponce et al. "A Comparison of LCC and LC Filters for its Application in Electronic Ballast for Metal Halide Lamps" PESC, 2001.pp114-119

[9] Yeon et al, "A New Dimming Algorithm for the Electro de l ess Fluorescent Lamps". IEICE Trans Fundamentals. 2006, 1540-1546

[10] C.J. Kim et al "A study on the design and performance of electronic ballast for ccfl dimming control with frequency modulation", Proc. 6th Inter. Conf. on Electrical Machines and Systems, 2003, pp. 453 -456.

저 자 소 개



김철진 (金澈珍)

1980년 한양대 공대 전기공학과 졸업
 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사)
 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박)
 1991-1995년 생산기술연구원, KETI 제어
 기기 연구실장, 1995-현재, 한라대학교
 제어계측공학과 교수, 당학회 평의원
 Tel : 033) 760-1245
 E-mail : cjkim@halla.ac.kr



유병규 (俞炳圭)

1977년 5월 9일생. 2004년 한라대학교 전
 기·전자·제어 공학과 졸업. 2006년 동 대
 학원 제어계측 공학과 졸업(석사).
 2006-2007년 디지아이(주), 2007-현재 해
 외연수
 Tel : 033) 760-1454
 E-mail : bbanggi77@hanmail.net