

## DC-Link 전압가변에 의한 무전극 램프 조광제어 특성 분석

박종연, 신동석\*, 임병노  
강원대학교 전기전자

### Analysis of Dimming Characteristics for Electrodeless Fluorescent Lamps by controlling the DC-Link Voltage

Chong-Yeun Park, Dong-Seok Sin\*, Byoung-noh Lim  
Department of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon University

**Abstract** - 본 논문은 DC-Link 전압가변에 의한 전구형 무전극 램프의 조광제어 특성을 분석한 결과 전력이 20%~100% 제어 가능함을 실험적으로 밝혔다. DC-Link 전압가변은 벽 컨버터의 듀티를 제어하였으며, 전구형 무전극 램프의 조광제어 특성을 분석하였다.

#### 1. 서 론

무전극 램프는 기존의 형광등과 같은 광원의 안정기와 가장 다른 점은 높은 구동 주파수에 따른 설계에 있다. 기존의 형광등의 경우 전자식안정기의 경우 20kHz~50kHz의 주파수로 램프를 점등하는데 무전극 램프의 경우는 Endura Type 램프 250kHz, QL Type 램프 2.5MHz, sulfur 램프 2.5GHz, 기타 램프 13.56MHz, 200MHz~800MHz에서의 점등하고 있다. 이런 높은 구동 주파수에서는 반도체소자의 과열에 의한 파괴와 효율이 심각하게 저하되는 단점이 있다. [1]

기존에 알려진 조광제어 기술은 주파수 가변 조광제어와 DC-Link 전압 가변 조광제어 기술이 있다. 주파수 가변 조광제어는 부스터 컨버터로부터 고정 DC-Link 전압을 얻어서 스위칭 주파수를 가변 하여 램프의 전력을 제어한다. 이 기술은 간단하지만 높은 주파수로 동작하는 무전극 램프 안정기의 반도체소자에 스트레스를 주게 되는 단점이 있다. 반면 DC-Link 전압 가변 조광제어는 스위칭 주파수를 가변하는 대신 DC-Link 전압을 가변하여 램프의 전력을 조절한다. 이 기술은 스위칭 소자에 대한 스트레스는 작으나 DC-Link 전압을 가변하기 위해 벽 컨버터가 추가됨으로 회로가 복잡하고 단가가 상승한다는 단점이 있다.

환형 무전극 램프를 주파수 가변 조광제어와 DC-Link 전압 가변 조광제어 방법으로 조광제어를 하여 특성을 분석한 결과 DC-Link 전압 가변 조광제어 방법이 우수하다고 알려져 있다. [2] 전구형 무전극 램프는 구동 주파수가 높을 뿐만 아니라 주파수에 민감하여 주파수 제어 조광제어가 안된다고 알려져 있다.

본 논문에서는 (주)마쓰시다정공의 'Ever Light 50W' 전구형 무전극 램프를 DC-Link 전압가변에 의한 조광제어를 하여 램프의 특성을 분석하였다.

#### 2. 본 론

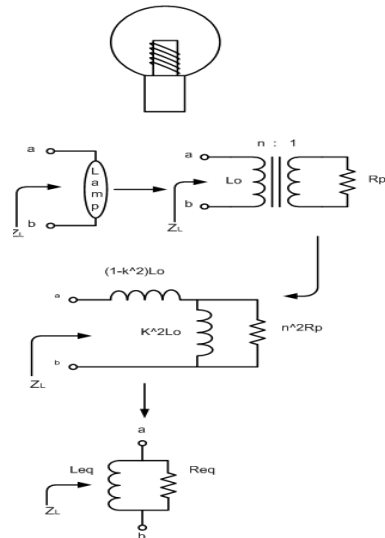
본 논문에서는 DC-Link 전압 제어의 원리를 설명하고, DC-Link 전압가변으로 무전극 램프의 전력을 제어했을 때 무전극 램프의 조광제어 특성을 분석하였다.

##### 2.1. 무전극 램프의 등가 모델링

무전극 램프는 정상점등 시에는 전력을 소비하는 저항성분과 페라이트 코어에 의한 인덕턴스 성분으로 등가화 할 수 있다. [2],[3] 이러한 무전극 램프의 공급전력에 변화를 줄 경우 램프의 등가저항과 인덕턴스의 성분도 변하게 되며, 무전극 램프의 정확한 모델링을 하기 위해서는 등가저항과 인덕턴스 값을 결정하는 결합계수(k), 플라즈마저항(Rp)의 변화를 고려해야 한다.

##### 2.1.1 무전극 램프의 등가 저항 및 인덕터

무전극 램프의 모델링은 그림 1과 같으며, 3단계에 걸쳐서 모델링 하였다. 전력변화에 따른 모델링 시 유도코일과 방전관과의 결합계수를 k, 방전관의 플라즈마저항은 Rp, 유도코일의 권선수의 비를 n:1로 하였다.



<그림 1> 무전극 램프의 등가모델

그림 1에서 전체 임피던스인  $Z_L$ 은 다음과 같이 표현할 수 있으며,

$$Z_L = R_1 + j\omega L_1$$

여기서

$$R_1 = \frac{(kn)^2 R_p k^4 \omega^2 L_o^2}{n^4 R_p^2 + k^4 \omega^2 L_o^2} \quad \text{-----(1)}$$

$$L_1 = \frac{n^4 R_p^2 k^2 L_o}{n^4 R_p^2 + k^4 \omega^2 L_o^2} + (1-k^2)L_o \quad \text{-----(2)}$$

$R_{eq}$ 와  $L_{eq}$ 을 구하기 위해서 변화하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{1}{Z_L} = \frac{1}{R_{eq}} + \frac{1}{j\omega L_{eq}}$$

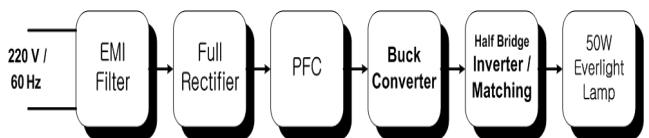
$$= \frac{1}{R_1 + j\omega L_1}$$

$$R_{eq} = R_1 + \frac{\omega^2 L_1^2}{R_1}, \quad L_{eq} = L_1 + \frac{R_1^2}{\omega^2 L_1} \quad \text{-----(3)}$$

식(1),식(2)의 값을 식(3)에 대입하여 등가화 된 저항과 인덕턴스의 관계식을 구할 수 있다. [4]

##### 2.2 무전극 램프 조광제어 안정기 구조

무전극 램프의 조광제어 특성을 분석하기 위해 사용한 안정기의 구조는 그림 2와 같다.



<그림 2> 안정기 구조 블록다이어그램

EMI Filter는 60Hz의 전원에서 Surge나, 전원으로 인가되는 안정기의 스위칭 노이즈를 제거하며, 전과 정류기는 입력 교류를 직류로 변환한다. 또 능동역률 보상회로를 사용하여 역률을 0.99로 향상시킨다. 능동역률 보상회로는 부스트 컨버터 구조이며 출력은 DC 400V이다. 벽 컨버터는 DC 400V ~ DC 50V까지 가변하여 인버터에 인가한다. 가변된 DC-Link 전압은 직류를 교류를 만들기 위한 하프브리지 인버터와 유도코일이 효과적으로 동작하기 위한 임피던스 정합회로를 통해 램프에 AC전원을 공급한다.

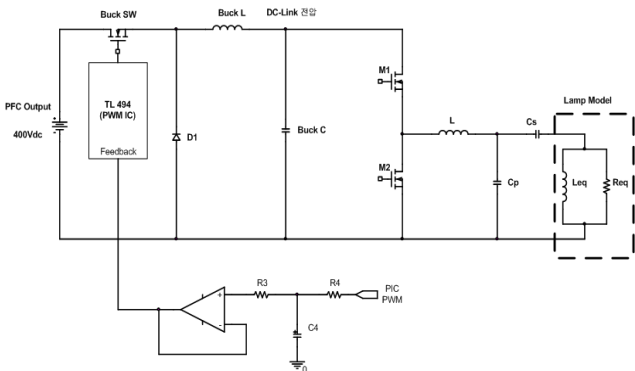
### 2.3 DC-Link 전압가변 원리

램프의 전력을 제어하는 방법으로 DC-Link 전압가변 방법을 사용하였으며 전압가변을 위해 벽 컨버터를 사용하였다. DC-Link 전압은 그림 3과 같은 원리로 가변된다.



〈그림 3〉 DC-Link 가변원리 블록다이아그램

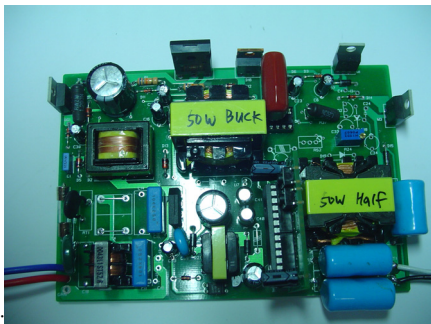
벽 컨버터는 스위칭 듀티에 비해 출력 전압이 결정된다. 벽 컨버터의 스위칭 듀티는 PWM IC인 TL494를 사용하여 제어하였다. TL494 내부에서 발생하는 삼각파와 Feedback 전압이 비교되어 Feedback 전압이 삼각파 전압보다 클 때는 High를 출력하고 Feedback 전압이 삼각파 전압보다 작을 때는 Low를 출력하는 원리로 듀티가 제어된다. Feedback 전압은 PIC에 PWM을 이용하여 가변하였다. 그림 4는 제작한 벽 컨버터의 제어 회로도이다.



〈그림 4〉 벽 컨버터 제어 회로도

### 2.4. 실험 결과 및 고찰

그림 2의 구조로 제작한 안정기가 그림 6과 같다.



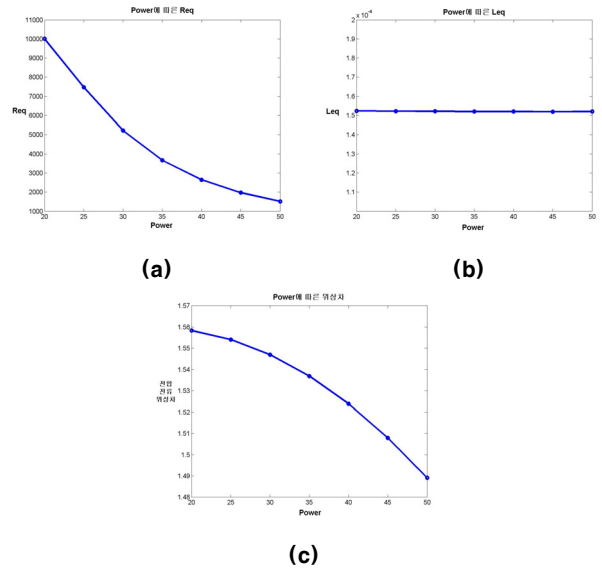
〈그림 6〉 실제 제작한 안정기

표 1은 램프의 전력에 따른 램프의 특성을 측정된 것이다. DC-Link 전압을 가변 하여 램프의 전력을 제어한 결과 조도가 100%~20%까지 변함을 확인할 수 있다. 램프의 전압과 전류의 위상차가 85° 정도인데 이것은 무전극 램프가 저항뿐만 아니라 인덕턴스 성분이 나타나기 때문임을 알 수 있다.

〈표 1〉 램프 특성 실험 결과

램프 전력[W]	램프 전압[V]	램프 전류[A]	위상 [radian]	임피던스 [ohm]	조도 백분율
50W	278	2.239	1.49	124.2	100
45W	295.6	2.385	1.51	123.9	83
40W	319.4	2.587	1.52	123.4	64
35W	355.5	2.872	1.53	123.8	46
30W	421.6	3.387	1.55	124.5	38
20W	432.8	3.473	1.56	124.6	20

위 실험 결과를 이용하여 램프를 등가모델링하면 그림 5의 (a) 등가저항(Req), (b) 등가 인덕턴스(Leq)의 값을 갖는다.



〈그림 5〉 램프의 전력에 따른 (a)등가 저항 (b)등가 인덕턴스 (c)램프 전압·전류 위상차

## 3. 결 론

본 논문에서는 DC-Link 전압 가변방법으로 마쯔시다 정공의 'Ever Light 50W' 전구형 무전극 램프의 전력을 제어하여 조도가 100%~20%까지 제어됨으로 전구형 무전극 램프도 조광제어가 될 수 있음을 확인하였다. 또 실험에 사용한 램프는 전력에 따라 등가 저항 값이 크게 변하는 특성을 분석하였다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 한수빈, "무전극 램프의 전원장치 기술 현황", 조명·전기설비학회지, 제17권 제1호, pp22-23, 2003
- [2] 장태은, "무전극 램프용 전자식 안정기에 관한 연구", 한양대학교 석사학위 논문, pp24-32, 2006
- [3] Ben-Yaakov, S. Shvartsas, M., "A Behavioral SPICE Compatible Model of and Electrodeless Fluorescent Lamp", IEEE APEC2002, March, pp.948-954
- [4] Lousi R. Nerone, A. Haq Qureshi, "Mathematical modeling and optimization of the electrodeless, low-pressure, discharge system" in 24th Annu. IEEE Power Elec. Specialist Conf., Univ. Washington, Seattle, 1993, pp. 509-514
- [5] Kyu-Min Cho, Won-Seok Oh, Jae-Eul Yeon, Hee-Jun Kim, "A Novel Average Burst-Duty Control Method for the Dimming of Induction Lamps", Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2006. SPEEDAM 2006. International Symposium on May, 23rd-26th, 2006 Page(s), 897-902