ISSN 1229-800X(Print) / ISSN 2586-7792(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 67P, No. 3, pp. 125~130, 2018
http://doi.org/10.5370/KIEEP.2018.67.3.125

# 아크램프를 위한 전원공급 시스템의 연구

## A Study on the Power Supply System for the Arc Lamp

나 재 두†
(Jae Du La)

**Abstract** - Arc lamps are now widely utilized as illumination sources for a large number of investigations in wide-field fluorescence microscopy. Among many power converters for the lamp, the PSFB (Phase-Shift Full-Bridge) converter with the ZVS (Zero Voltage Switching) is the most widely used soft switched circuit in high-power applications. Also, in the most luminaries, the power factor has to be more and more important. Thus, the power factor correction(PFC) must be included in the power system. A new igniter module using the switching power device and the transformer is proposed instead of the conventional igniter using the mechanical contactor. The proposed converter with the high power factor and high efficiency is verified through the experimental works.

**Key Words** : Power factor correction, Phase shift full bridge converter, Zero voltage switching, Zenon arc lamp.

### 1. 서 론

현대 사회에서 에너지 소비를 절약하고 효율적으로 에너지를 사용하려는 흐름 아래에서 에너지 절감에 대한 요구 증가 및 고효율 조명, 지능형 조명기기 제어시스템의 개발요구가 급증하고 있다[1, 2]. 전 세계 조명시장은 2015년 기준으로 약 1,460억불로 추정되며 연평균 5.4%의 성장률 보이며 Philips, Osram, GE Lighting이 전체시장의 43%를 점유하고 있음. 또한 광원별로 보면 백열전구의 비율은 점차로 줄어들고 LED 및 제논램프와 같은 특수조명용 램프의 비중은 꾸준히 상승하고 있다[3].

제논(또는 크세논) 아크램프(Xenon Arc Lamp)는 두 개의 텅스텐 봉을 고압으로 처리된 크세논 가스 벌브(bulb)안에서 방전시키는 방식으로 벌브(bulb)안에 크세논가스(xenon gas)를 주입하여 사용하는 것으로 매우 밝고 높은 색온도의 빛을 발산한다. 가격이 비싼 편이지만 장기간 동안 사용이 가능하며 고휘도의 광원이 되는 장점이 있다. 쇼트아크램프(Shot-arc lamp)는 둥근 모양의 석영유리 중심에 전극 간격을 작게 위치시켜 봉착되어 있다[13].

아크램프 전원공급장치는 반도체, LCD, PCB, 터치패널 등의 노광에 사용되는 아크 램프를 점등하기 위한 전력변환장치로서 고효율, 고역률, 소형화, 경량화, 사용자측면의 인터페이스, 보호기능 등이 요구된다[4]. 종래의 아크램프 전원공급장치는 대부분 해외제품에 의존하고 있는 실정이며, 고기능·고성능 및 신뢰성을 확보한 제품은 고가의 가격대를 형성하고 있다. 국내에서 개발되어 실제 생산 공정에 적용되고 있는 아크램프 전원공급장치는 그 수가 매우 제한적으로 해외제품의 단순 복사 제품 이거나 SCR 전력스위칭소자를 적용한 제품이 대부분이다. 또한 아크램프를 점호하기 위한 점호장치를 기계적 점호장치(Igniter)를 사용하여 전원공급장치의 저역률, 저효율의 특성뿐 아니라 구동전력의 스위칭 동작시에 발생하는 노이즈 등에 취약하여 연속운전 신뢰성 측면에서 많은 약점을 보이고 있으며, 유지·보수성 역시 개선이 필요하다. 또한 점차로 국내 및 국제적으로도 고조파와 역률에 대한 규격이 강화되고 있다[5, 6]. 그러므로 전력 고품질화 추세와 다양한 규격을 만족하기 위하여 역률을 보상하여 주는 역률보상(PFC, Power Factor Correction)과 효율을 향상시킬 수 있는 회로의 적용이 필요하다.

제논 아크램프는 직류전원을 이용하여 동작되므로 직류에서 교류의 변환이 필요하다. 3상 전원 입력으로 안정된 DC 전원으로 변환되어야 하며 역률개선 기능이 필요하다. 기존의 아크램프 전원공급장치는 SCR 전력스위칭소자를 적용한 위상제어정류기로서 요구되어지는 고역률을 얻기가 어렵다. 따라서 AC-DC PWM 컨버터형태로 구성으로 고역률을 이루는 것이 적절하다. 또한 기존의 아크램프 컨버터는 하드스위칭 풀브리지 컨버터의 적용으로 스위칭 소자에 의한 손실과 노이즈로 인한 효율의 저하를 가져왔다. 영전압 스위칭을 사용한 위상변위 풀브리지 컨버터는 영전압 스위칭을 사용 하므로 스위칭 소자의 발열과 노이즈가 감소되어 넓은 부하범위와 고출력을 요구하는 컨버터로 사용하기에 적절하다[7-10]. 또한, 램프용 전원공급장치의 출력으로부터 점호장치모듈(igniter module)이 외부 또는 내부에서 연결되어

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Information, Inha Techincal College, Korea.
E-mail : jdna@inhatc.ac.kr
접수일자 : 2018년 8월 5일
최종완료 : 2018년 8월 13일

아크램프를 점호하기 위하여 고전압의 펄스를 발생시킨다. 그 이후에 램프의 임피던스 감소되고 대전류가 흘러 램프가 동작하게 된다[11, 12].

본 논문에서는 3상 AC/DC PWM 컨버터와 위상변이 풀브리지 컨버터로 고역률·고효율의 아크램프용 전원공급장치를 제안하였다. 또한 램프의 기계식 점호장치를 스위칭 전력소자와 변압기로 구성하여 램프의 점호의 신뢰성을 구현하여 최적설계를 하여 시스템의 성능을 실험을 통하여 분석하여 제안한 시스템의 타당성을 입증하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 제안하는 아크램프를 위한 전원공급장치 시스템

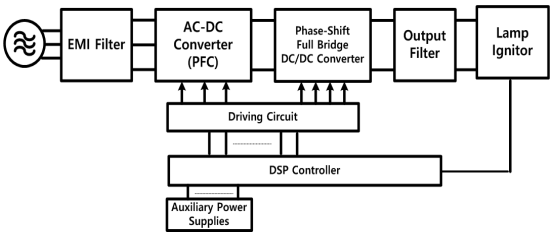


**그림 1** 제안하는 아크램프 전원공급장치
**Fig. 1** The proposed power supply for the arc lamp

그림 1은 제안하는 아크램프 구동을 위한 전원공급도이다. 전력부는 EMI필터, 3상 AC-DC 컨버터와 위상변이 풀브리지 DC/DC 컨버터, 다이오드 브리지 정류기와 램프를 점호하기 위한 점호장치로 구성하였다.

### 2.2 역률개선용 3상 AC-DC 컨버터

그림 1은 역률개선용 3상의 AC/DC PWM 컨버터로서 역률 0.98이상을 만족하기 위한 3상 PWM 컨버터를 구현하고자 전원의 전압과 전류를 동위상으로 유지하는 역률 1의 운전 상태를 목표로 하였다. 또한 컨버터 자체로도 변환용량에 대하여 각 소자에 흐르는 전류가 가장 적은 상태가 되도록 전력용 반도체 소자를 가장 유효하게 사용하도록 설계하였다.

전원측은 유도성이기 때문에 스위칭의 역병렬 다이오드를 통해 전류는 순간적으로 환류하여 도통하던 스위치를 소호시킨다. 스위칭 소자는 PWM 변조방식으로 전류의 크기와 위상을 제어하고, 전원전류를 정현파에 가깝게 하여 고조파성분으로 제거하여 고역률 운전이 되도록 하여 부하측 전압 $V_{dc}$가 일정하게 유지되도록 전원전류 $i_s$를 제어하도록 하였다.

정상상태시에 3상 PWM 컨버터의 구동운전과 회생운전시 전원과 컨버터 사이에 있는 교류리액터의 전압강하를 전원과 90도의 위상차를 유지한다. 따라서 전원전압 $e_s$, 컨버터의 교류측 입력전압을 $V_c$라고 했을 때 교류측 컨버터 입력전압 $V_c$와 리액터 전압 $V_L$을 제어할 수 있다. 그러므로 전

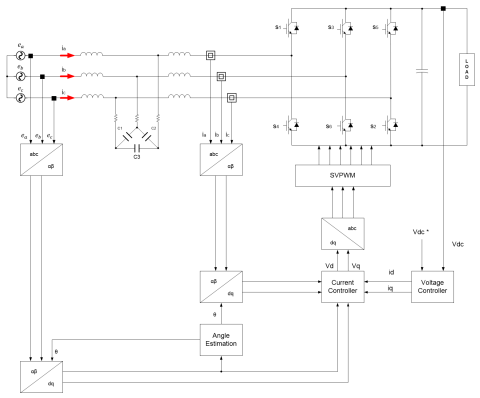


**그림 2** 역률개선용 3상 AC/DC 컨버터 블럭도
**Fig. 2** The block diagram of 3-phase AC/DC converter

원전압 $e_s$와 전원전류$i_s$는 동상이 되어 고역률 운전이 이루어진다. $V_c$가 $e_s$보다 지상이면 전원측에서 컨버터로 전력이 전달되어 순변환특성을 갖게 되며, $V_c$가 $e_s$보다 진상이면 반대로 컨버터에서 전원으로 전력이 공급되는 회생운전이 이루어진다. 컨버터의 교류측 입력전압 $V_c$는 전원전압에서 리액터 전압을 뺀 전압 벡터를 유지하여야 한다. 즉 벡터도를 항상 직각 3각형을 유지하도록 하여야 한다. 교류전류는 리액터와 리액터 양단전압에 의하여 결정되며 리액터전압을 전원전압과 컨버터의 교류측 입력전압의 차가되므로 컨버터의 PWM 변조율과 변조파의 위상 및 직류전압에 의하여 교류전류의 제어가 가능하여 진다.

### 2.3 효율개선을 위한 위상변위 풀브리지 컨버터

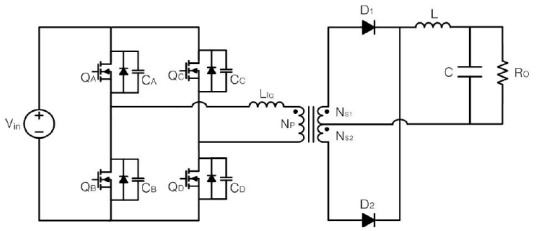


**그림 3** 위상변위 풀브리지 DC-DC 컨버터의 기본회로
**Fig. 3** The basic circuit of phase-shift full-bridge DC/DC converter

그림 3은 위상변위의 풀브리지 DC/DC 컨버터의 기본 회로이다. 위상변위 풀브리지 DC/DC 컨버터는 스위치들의 게이트 신호에 시간 지연을 두는 것만으로도 별도의 추가 회로 없이 능동 소자들을 소프트 스위칭 할 수 있으므로, 스위칭 손실을 줄여 효율을 높일 수 있는 장점을 가지고 있어 대용량 토폴로지로 많이 사용된다. 기존의 풀브리지 DC/DC 컨버터는 스위치쌍 QA-QD, 그리고 스위치쌍 QB-QC의 시비율(Duty ratio)에 따라 출력 전압의 결정되는 반면 위상변위

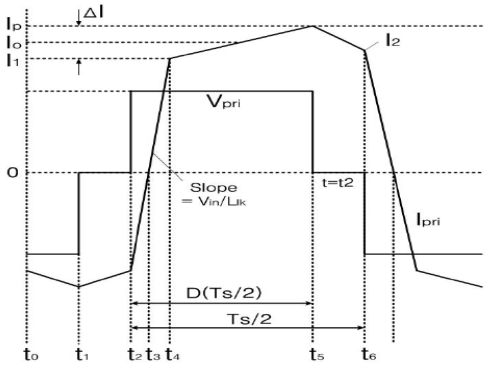


**그림 4** 정상상태에서의 트랜스포머 1차 측 전압-전류 파형
**Fig. 4** The steady state voltage-current waveforms of the primary transformer

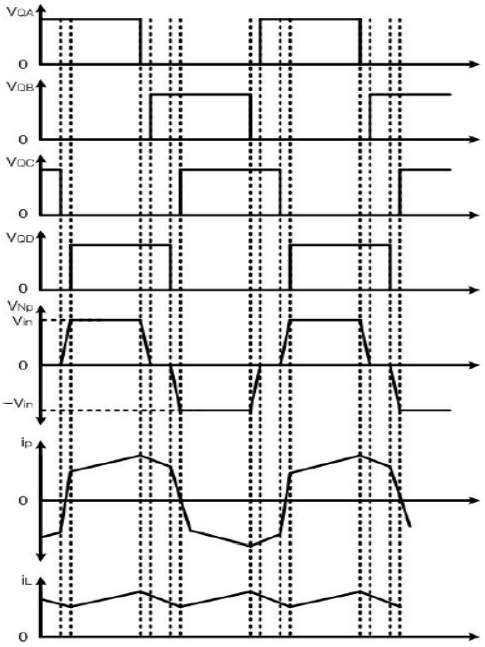


**그림 5** 위상변위 풀브리지 DC/DC 컨버터 정상 상태 파형
**Fig. 5** The steady state waveforms of the phase-shift full-bridge converter

풀브리지 DC/DC 컨버터는 각각의 네 개의 스위치의 시비율은 0.5로 고정되어 있으며 스위치쌍 QA-QD, 스위치쌍 QB-QC의 위상을 변화시키면서 두 스위치쌍의 중첩 구간에 따라 출력 전압이 결정되는 차이이다. 그림 4는 정상 상태에서의 트랜스포머 1차 측 전압-전류 파형이며 그림 5는 로의 동작 구간별 모드 파형를 나타낸다.

### 2.4 램프점호를 위한 점호장치

램프의 가스 방전을 일으키기 위한 에너지를 공급하는 점호(ignition)단계가 있다. 이 단계에서는 점호장치에서 고전압이 공급되게 제어되어야 하며 한 번의 점호로 점화가 되지 않았을 때에는 연속적인 점호가 일어날 수 있도록 하는 회로가 필요하다. 일단 점등이 되면 전류의 연속적인 도통이 일어날 수 있게 길이 열리며 이 때 램프는 부저항 특성을 가지게 되고 전류가 급속하게 증가할 수 있으므로 이 단계에서 중요한 제어 요소는 과전류를 막아주는 것이 된다.

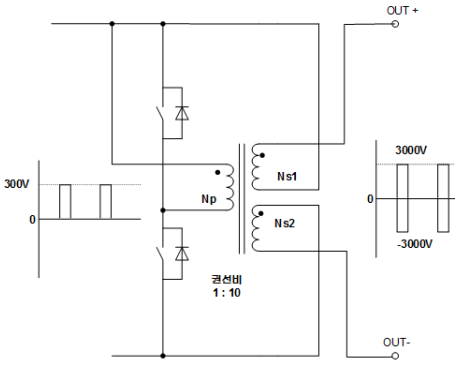


**그림 6** 점호장치의 블록도
**Fig. 6** The block diagram of ignitor

쇼아크램프 특성 수 kV의 점등 전압이 필요하며 평상시 출력단 직류의 저전압이다. 점호장치 동작시 IGBT 스위치를 ON/OFF 하여 6[kV] 첨두전압을 출력한다. 이그나이터 미동작시 일반 출력 패스로 80[A] 전류를 흘리게 된다.

## 3. 시스템 구성 및 실험결과

제안한 시스템의 실효성 및 타당성을 실험적으로 입증하기 위하여 아크램프 전원공급장치 시스템을 제작하여 실험을 하였다. 실제의 적용에 맞추어 5[kW]급의 전원장치에 맞추어 컨버터 시스템을 제작하였다.

표 1은 제안한 시스템의 파라미터를 나타내며 그림 7은 제안한 시스템의 시제품 사진이다. 주제어보드에는 시스템이 동작하기 위하여 필수적인 제어 프로그램이 장착되어 제어 알고리즘의 수행을 위하여 메인 프로세서에는 연산능력

**표 1** 아크램프 전원공급장치의 파라미터
**Table 1** Parameters of the power supply for the arc lamp

| Parameter | Value |
|---|---|
| Rated Input Voltage[V] | 3상 380[V]±10[%] |
| Rated Input Frequency[Hz] | 60[Hz] |
| Maximum Output Voltage[$V_{dc}$] | 100[$V_{max}$] |
| Maximum Output Current[$A_{dc}$] | 80[$A_{max}$] |
| Rated Power | 5[kW] |
| Efficiency[%] | 87[%] |
| Power Factor | 0.99 |

및 하드웨어 구성요건 등을 고려하여 TI 사의 TMS320F335 DSP를 사용하였다.

**그림 7** 제안한 아크램프 전원공급장치의 사진

**Fig. 7** The photo of the proposed power supply for arc lamp

시험은 부하 100[%]에서 초기 3상 전원 선간380V 전압을 입력하고 초기충전저항을 통한 DC LINK CAP 급충전과 돌입전류를 방지하며, 직류 링크 전압이 500[V] 이상 시 메인 콘택터를 동작시켜 정상적인 전압과 전류를 공급할 수 있도록 하였다. 그림 8은 3상 AC/DC 컨버터의 부하 100[%]에서의 입·출력 전압 및 전류의 파형으로 교류 380[V]의 입력에서 직류 출력 700[V]를 확인하였으며 3상 입력전압 및 전류 역률이 0.98이상임을 확인하였다.

그림 9는 위상변위 풀브리지 컨버터의 1차 및 2차 전압과 전류 파형이며, 그림 10은 다이오드의 출력파형이다. 기존의 하드스위칭 풀브리지 DC/DC 컨버터와 달리 네 개의 스위치의 위상을 변화시키면서 두 스위치쌍의 중첩 구간에 따라 출력 전압이 결정되는 것을 볼 수 있다. 부하 100[%]에서의 3상 AC/DC 컨버터의 입력 380[V] 입력시 위상변위 풀브리지 컨버터는 직류 700[V]의 입력으로 직류 출력 62[V], 80[A]전류가 측정됨을 관찰하였다. 또한 그림 4의 정상상태

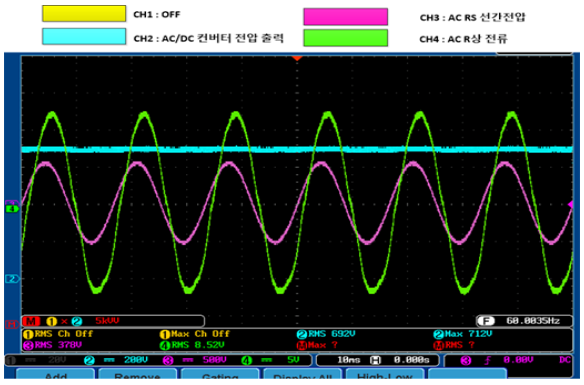


**그림 8** 3상 AC/DC 컨버터의 입출력 파형

**Fig. 8** The input and output waveforms of 3 phase AC/DC converter

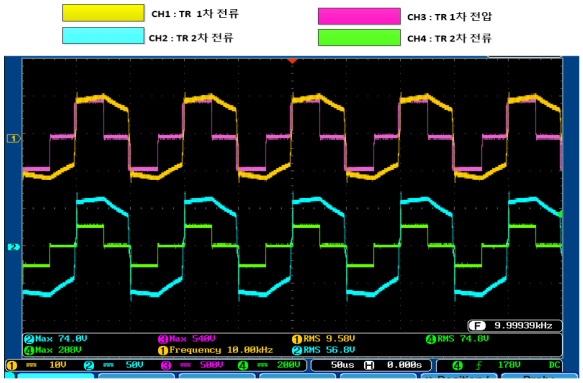


**그림 9** 위상변위 풀브리지 컨버터의 트랜스포머 1차/2차 전압, 전류 파형

**Fig. 9** The primary and secondary voltage/current of transformer for the phase shift full-bridge converter.

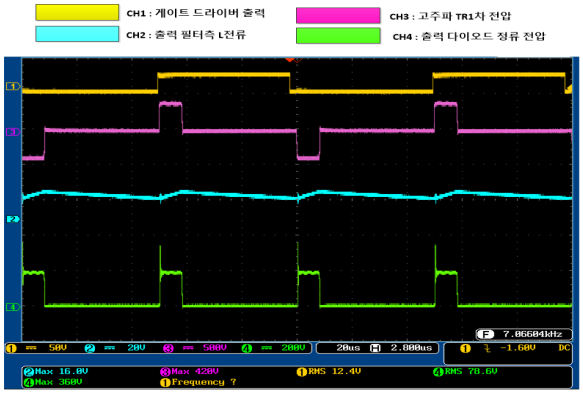


**그림 10** 위상변위 풀브리지 컨버터의 다이오드 정류기 파형

**Fig. 10** The waveforms of diode rectifier of the phase shift full-bridge converter.

의 변압기 1차측의 파형과 일치함을 볼 수 있다.

또한 그림 11은 3상 380V 입력/전류 및 DC 출력을 20[%] → 50[%] → 100[%] → 50[%] → 20[%]의 부하별 입력전류의 변동에서도 출력 5[kW]까지 변동없이 안정되게 제어됨을 확인하였다. 점호장치의 경우 PWM 듀티 10[%], 30[%] 일 때의 파형을 확인 하였으며 듀티 10% 일 때 전압 3[kV], 30[%]일 때 6[kV]까지 전압이 출력됨을 관찰하였다.

전체 아크램프 전원공급장치의 시험결과 정상사태의 전원 교류 380[V]와 5[kW]의 부하조건하에서 측정시에 최대 출력전압은 101.5[V], 출력전류는 49.6[A]였고 효율과 역률은 각각 87.5[%], 역률 99.1[%]로 측정되어 제안한 전원공급장치의 성능과 타당성이 입증되었다.

## 4. 결 론

본 논문에서 아크램프 구동을 위한 전원공급장치를 고역

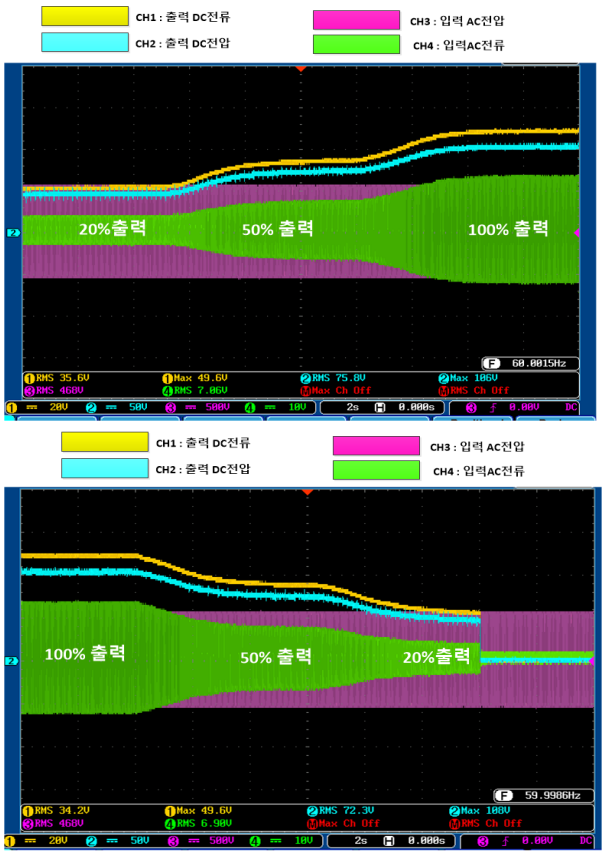


**그림 11** 부하변동에 따른 위상변위 풀브리지 컨버터의 직류 출력 파형

**Fig. 11** The DC output waveforms of the phase-shift full-bridge converter for the load variation

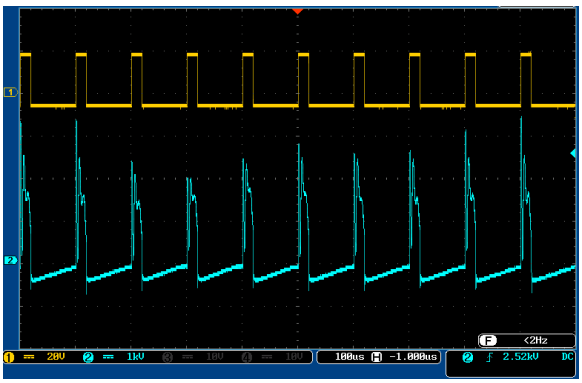

**그림 12** PWM 듀티 10[%]에서의 점호장치의 파형

**Fig. 12** The waveform of ignitor in the PWM duty 10[%]

률·고효율의 컨버터 시스템을 제안하였다. 기존의 아크램프 전원공급장치의 단점인 SCR 정류기의 저역률, 하드스위칭 풀브리지 컨버터의 저효율 그리고 기계적 점호장치를 대체하여 정상상태의 전원 및 부하조건하에서 3상 AC/DC

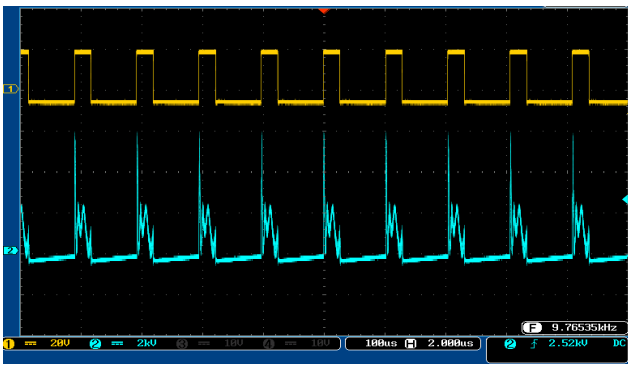

**그림 13** PWM 듀티 30%에서의 점호장치의 파형

**Fig. 13** The waveform of ignitor in the PWM duty 30[%]

PWM 컨버터를 적용하여 99[%]의 역률과 또한 위상변위 풀브리지 컨버터를 적용하여 87[%]의 효율의 양호한 성능을 보여주었다. 또한 램프를 점호하기 위한 기존의 기계적 점호장치를 단순한 스위칭 전력소자와 변압기로써 구성하여 신뢰성 및 유지·보수성을 향상시켰다.

제안한 아크램프 전원공급장치의 시작품 제작과 실험을 통하여 컨버터의 성능과 타당성을 입증하였으며 다양한 장치의 역률과 효율 향상을 위한 컨버터로 전력품질향상에 기여할 수 있다.

## References

[1] Y. Zhongming, F. Greenfeld, L. Zhixiang, "A topology study of single-phase offline AC/DC converters for high brightness white LED lighting with power factor pre-regulation and brightness dimmable," *Industrial Electronics, 2008. IECON 20087. 34th Annual Conference of IEEE*, pp. 1961-1967, Nov. 2008.

[2] X. Xie, J. Wang, C. Zhao, Q. Lu, "A Novel Output Current Estimation and Regulation Circuit for Primary Side Controlled High Power Factor Single-Stage Flyback LED Driver," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 27, no. 11, pp. 4602-4612, Nov. 2012.

[3] Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning, "Green Energy Strategy Road Map 2011".

[4] Kang Ryul Ryu, Wang Moon Kim, Jae Du La, "Study of single-stage PFC DCM flyback converter for a short arc lamp," *2016 19th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, 13-16, Nov. 2016.

[5] D. L. Jin, J. D. La, Y. S. Kim, "Single-stage Dimmable PFC DCM Flyback Converter without Electrolytic Capacitor," *The Transactions of the*

*Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 62, no. 11, pp. 1550-1559, Nov. 2013.

[6] Y. S. Jeon, D. L. Jin, J. D. La, Y. S. Kim, "Study of the Elimination of the Electrolytic Capacitors and Reduction of the Ripple Current on the Output Node in the One-Stage PFC Flyback Converter for the LED Lighting," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 61, no. 11, pp. 1625-1633, Apr. 2012.

[7] Dunisha Wijeratne, Gerry Moschopoulos, "A Three-Phase Single-Stage AC-DC Full Bridge Converter with High Power Factor and Phase-Shift PWM," *2009 Twenty-Fourth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 15-19 Feb. 2009.

[8] A. R. Prasad, P. D. Ziogas, and S. Manias, "An active power factor correction technique for three-phase diode rectifiers," *in IEEE PESC Conf. Rec.* 1989, pp. 58-66.

[9] L. H. mweene, C. A. Wright & M. F. Schlecht, "A 1kW 500kHz Front-End Converter for a Distributed Power Supply System," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 6, no. 3, July 1991.

[10] C. D. Davidson, "Zero voltage switching full-bridge converter topology," *in Proc. IEEE INTELEC'10*, pp. 1-7, 2010.

[11] Wei Yan, F. P. Dawson, "Power supply design considerations for maintaining a minimum sustaining current in a vortex water wall high pressure argon arc lamp," *IAS '96. Conference Record of the 1996 IEEE Industry Applications Conference Thirty-First IAS Annual Meeting*, 6-10, Oct. 1996.

[12] Yong N. Chang, Tzu H. Yang, Shun Y. Chan, "Design of electronic ballast for short-arc xenon lamps," *2012 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 28-31, May 2012.

[13] M. Rehmet, "Xenon lamps," *IEE Proceedings A - Physical Science, Measurement and Instrumentation, Management and Education - Reviews*, vol. 127, no. 3, pp. 190 - 195, April 1980.

## 저 자 소 개

**나 재 두 (Jae Du La)**

1970년 10월 10일생. 1994년 인천대학교 전기공학과 졸업. 1996년 인하대학교 전기공학 졸업(석사). 2008년 영국 The University of Birmingham EECE 졸업(공박), 2008. 3.- 현재 인하공업전문대학 전기정보과 부교수

E-mail : jdna@inhatc.ac



Copyright ⓒ The Korean Institute of Electrical Engineers

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.