

# LED 조명용 정전류 SMPS 개발

신현용\*

Development of constant current SMPS for LED Lighting

Hyun-Yong Shin\*

요 약

본 연구에서는 실내조명을 위한 LED 조명용 정전류 컨버터를 설계하고 제작된 SMPS의 전기적 특성을 측정하였다. 출력전류가 300mA 일 때 최대 85%의 효율을 나타내었으며 100~400mA의 범위에서는 70% 이상의 효율을 나타내었다. 또한 0~250mV의 제어신호를 이용하여 디밍레벨 0~100%의 범위를 모두 제어할 수 있었다.

ABSTRACT

In this study, the constant current converter for LED lighting was designed and the electrical characteristics of the fabricated SMPS was measured. When the output current is 300mA the maximum efficiency of 85% was shown and the output current is in the range of 100~400mA efficiency over 70% were exhibited. Also the dimming levels control over the range of 0 to 100% was possible by using a control signal of 0~250mV

키워드

LED Light, SMPS, Constant Current Driver, Power Efficiency, Dimming  
LED 조명, 전원공급장치, 정전류 드라이버, 전력효율, 디밍

## 1. 서 론

현재 세계 조명시장은 연간 100조원으로 매우 클 뿐만 아니라 새로운 발광다이오드(Light Emitting Diode, LED) 광원이라는 호재를 만나 세계적인 다국적기업을 비롯하여 국내 대기업에서조차 사업에 신규 진입하고 있으며, 정부에서도 신규 건물의 조명은 경제성과 긴 수명을 고려하여 LED 조명기구로 교체하고 있다[1-5]. 그러나 LED 조명기구는 기존 전통조명에 비해 가격이 월등히 비싼 단점을 안고 있을 뿐만 아니라 조명기구 디자인 및 수입에 의존하고 있는 LED 소자에만 초점이 맞춰져 있어 실제로 LED를 효

과적으로 구동시킬 수 있는 전원공급장치에 대한 관심이 비교적 낮은 편이다. 이러한 이유로 대부분의 LED 조명회사들은 일반적으로 시중에서 쉽게 구입할 수 있는 범용 직류전원 공급장치를 사용하고 있어 LED 수명 및 고 효율화에 대한 취약점을 안고 있는 실정이다. 따라서 조명기구의 안전성을 높일 수 있으며, 큰 전기절감 효과가 있을 수 있을 뿐만 아니라 반영구적 수명을 갖는 LED를 최적 상태로 구동시킴으로써 유지보수에 따른 경제적 손실을 최소화한 LED 전용 전원공급 장치의 개발이 요구되고 있다.

현재 실내조명기구의 90% 이상을 차지하고 있는 형광등 조명기구는 세부적으로 형광등, 등기구, 안장

\* 교신저자(corresponding author) : 남서울대학교 전자공학과(eeshin@nsu.ac.kr)  
접수일자 : 2014. 11. 13

심사(수정)일자 : 2014. 12. 15

게재 확정일자 : 2015. 01. 12

기로 구성되어 있으며, 이를 LED 조명으로 대체하기 위해서는 형광등을 대체하기 위한 LED 모듈, 이를 기구화하기 위한 등기구, 그리고 LED의 구동을 위한 컨버터가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 LED 조명용 LED 모듈을 구동하기 위한 전용 전원공급 장치 개발을 목표로 하였다. 기존 조명기구에 적용받고 있는 전기적 요구사항을 모두 만족시킬 뿐만 아니라 새로 제정되고 있는 LED 조명기구에 대한 KS 규격에 적합한 LED 조명용 SMPS를 개발하고자 한다.

LED 조명기구는 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 광원인 LED가 배열된 LED 모듈, 이를 지지하기 위해 디자인 요소가 가미되고 LED용 등기구와 LED 구동을 위한 컨버터로 구성된다. LED용 등기구는 과도한 열 발생으로 인한 수명 단축의 취약점을 보완하기 위한 연구가 진행되고 있다[6]. 특히 LED는 흐르는 전류의 크기에 대한 의존성이 커서 정전류를 갖는 전원공급 장치의 사용이 필수적이다. 따라서 다양한 LED 배열에 따라 공통의 전원공급 장치를 사용하기 어렵고 모든 상이한 LED 배열에 따라 다른 전원의 사용해야하기 때문에 일반 조명기구와 같은 전력별 안정기 혹은 컨버터를 사용하기 어려운 단점을 가지고 있다. 본 연구개발의 핵심은 비교적 폭넓은 LED 배열( $V_F$ 의 차이)에 대해서 안정적으로 정전류를 공급할 수 있는 LED 조명용 전용 전원공급 장치(SMPS; Switching Mode Power Supply)를 개발하여 적용하고자 하였다.

## II. 회로설계

LED 조명 전용 컨버터 회로의 기본적인 구성도를 그림 1에 나타내었다. LED 조명용 컨버터는 입력 교류전원에 의한 외부기기를 보호하고 가청대역 이상의 고주파 노이즈를 제거하며 전력선에 있는 노이즈를 제거해주기 위한 EMI(Electro Magnetic Interference) 필터로 구성된 입력단과 교류신호를 직류신호로 변환하기 위한 정류회로, 직류전압을 적절히 제어하고 고 역률을 유지하기 위한 역률보상회로 및 LED와 연결되는 출력단으로 이루어진다. LED에 전력을 공급하기 위한 출력회로는 forward 방식 혹은 fly-back 방식 등 다양한 구동방식을 사용할 수 있

며, 최종적으로는 향후 사용할 LED 부하 및 가격경쟁력, 공정의 단순화 등을 고려하여 결정하게 된다. 본 연구에서는 구동방식은 타러방식을 적용하고 있으며 제어방식은 PWM 제어, 그리고 출력(DC-DC Converter)은 Buck-boost 방식을 채택하였다. 또한 조도 조절을 위해 별도로 직류전원을 공급하게 되고, 이 신호를 통해 LED의 밝기를 0~100% 사이에서 손쉽게 제어할 수 있도록 설계하였다.

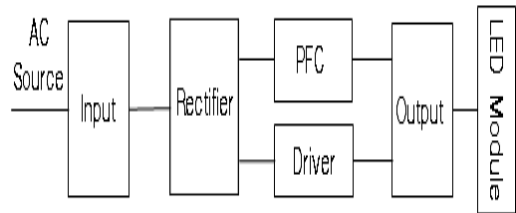


그림 1. LED 조명 전용 컨버터의 회로 구성도  
Fig. 1 Schematic diagram of converter for LED lighting

3 Chip LED 또는 Power LED를 적정전류로 점등시키기 위해서는 정전류 driver 회로를 사용하여야 한다. 이러한 정전류 driver 회로는 PWM(Pulse Width Modulation) 신호를 응용한 컨버터 회로를 적용하여 제작할 수 있다. 최근 PWM 신호를 이용한 전력용 converter IC로서 UC3842A, UC3843A, A704 등과 같은 제품들이 출시되어 있다.

제어 IC로는 산업체에서 RGB back-lighting LED driver, 평판 디스플레이의 back lighting driver, 범용 정전류원(constant current source), 도로표지와 장식용 LED lighting 등에 많이 사용되며 전력용 반도체 스위치의 동작을 제어하는 IC로는 LED 전류제어 기능을 제공하고 조광도 가능한 장점 때문에 산업체에서 많이 사용되고 있는 Supertex사의 HV9910B IC를 선택하였다[7].

HV 9910B는 별도의 외부 저전압 전원이 없이도 8~450V의 광범위한 입력전압의 범위에서 동작할 수 있는 선형 전압조정기를 포함하고 있는 개방루프 피크전류 controller이다. HV9910B control IC를 사용한 정전류 driver 회로의 기본적인 구조를 그림 2에 제시하였으며 이는 PWM 신호를 이용한 컨버터 회로이다. 출력 전력이 대용량이 아니라면 controller에 FET

가 내장된 power switch를 사용하는 것이 일반적이지만 본 연구에서는 대용량의 출력 전력을 요하기 때문에 전력용 FET와 함께 HV9910B controller IC를 사용하여 회로를 구성하였다. 이 회로는 power LED(1W~3W급 사용) 9개를 보호저항과 직렬로 연결하여 300mA를 흘려 최대 약 27W의 소비전력을 낼 수 있도록 설계되어 있다.

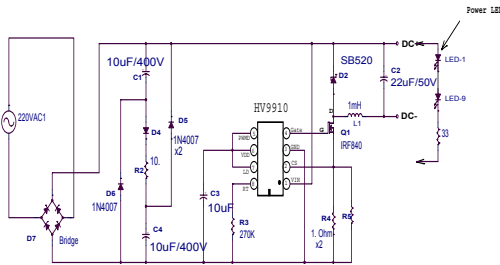


그림 2. HV9910B IC를 사용한 정 전류 driver  
Fig. 2 Constant current driver using HV9910B IC

개발된 LED 조명용 SMPS의 입력부의 회로도들 그림 3에 나타내었으며 이 입력부는 출력 모듈 4개까지 구동이 가능하며 최대 60W의 전력을 공급할 수 있도록 설계하였으며 필요에 따라서는 사용된 부품의 용량을 바꾸어 100W 이상의 출력도 가능하도록 설계하였다. 입력부 회로에는 그림 3에 나타낸 것과 같이 과전류 보호를 위하여 fuse를 삽입하였다. SMPS 회로는 용량성 부하로 스위칭 동작회로를 구성하고 있어 단순한 전자회로에 비하여 noise 성분을 많이 포함하고 있는 것으로 알려져 있다. 외부 surge차단 및 내부에서 발생하는 EMI 제거를 위한 line filter 등을 삽입하였다. 과전류 보호장치는 varistor(RV1)과 fuse(F1)으로 구성하였으며 내부 회로에 이상이 생겨 과전류가 발생되면 F1이 단절되도록 설계하였다. 또한 EMI noise를 감소시키기 위하여 line filter(LF)와 커패시터 C2로 noise filter 회로를 구성하여 노이즈에 대한 대비를 제고하였다. 이는 LF 용량과 C2의 값을 조정함으로써 EMI의 잡음단자전압(conducted emission)을 설정된 기준에 적절한 값으로 조절할 수 있도록 설계하였다. 또한 브리지다이오드 정류기와 출력 단 사이에 역할 개선을 위한 회로를 삽입하였다.

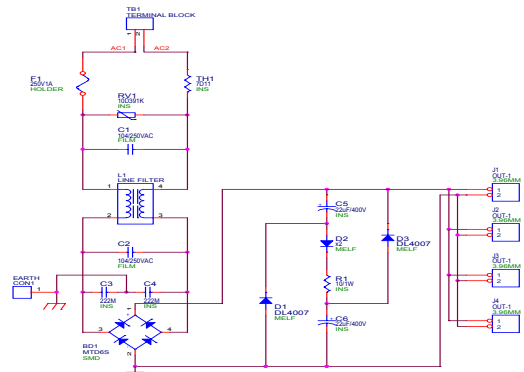


그림 3. 개발된 LED 조명용 SMPS의 입력부 회로도  
Fig. 3 Input circuit of the developed SMPS for LED lighting

그림 3의 입력부 회로도에서 D1, D2, D3의 전류 전환 다이오드와 C5, C6의 커패시터로 구성된 역할 개선을 위한 valley-fill 회로를 볼 수 있다. 이 회로는 기존의 회로에 대한 영향을 최소화 하면서 전류의 고조파 왜곡을 개선하여 일정 이상의 역할을 구현할 수 있도록 한다. 정류 회로로부터 들어오는 전압이 첨두치의 50% 이상일 경우 D2 다이오드가 단락되어 커패시터 C5, C6이 직렬 연결되고 충전이 이루어진다. 상용전원의 첨두치가 약 311V이므로 약 115V에서 충전이 시작된다. 입력전압이 기준치 이하로 떨어지면 커패시터 C5, C6은 다이오드 D1과 D3에 의하여 병렬로 연결되어 Buck-boost converter의 전압을 유지하는 역할을 수행하게 된다. 따라서 valley-fill 회로에 사용되는 커패시터의 용량은 전압의 유지에 필요한 최소 용량보다 큰 값을 사용하여야만 한다[8].

LED 조명용 SMPS의 출력부를 그림 4에 나타내었으며 출력부는 부하인 LED에 직류의 정전류를 공급하는 회로로서 그림 2의 H9910B IC를 사용한 정전류 driver 회로를 기본으로 설계되었다. 상용 교류 전원을 사용한 일반 LED 조명용 SMPS에 적합한 LED driver를 제공하기 위해 전압강하가 필요한 Buck-boost형 컨버터[9]를 선택하였다.

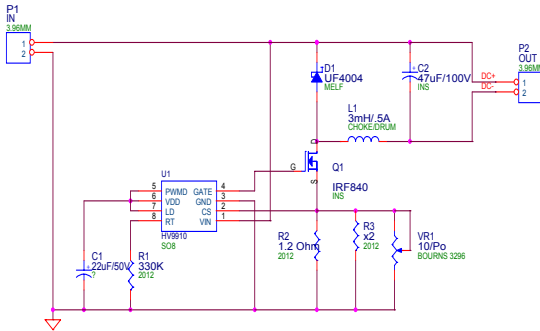


그림 4. 개발된 LED 조명용 SMPS의 출력부 회로도  
Fig. 4 Output circuit of the development SMPS for LED lighting

다. 그리고 현재는 간이적 형태로 제작되었으나 향후 기업에서 상용화 제품으로 출시하고자 할 때에는 필요에 따라 그 형상을 바꾸어 제작하게 될 것이다.

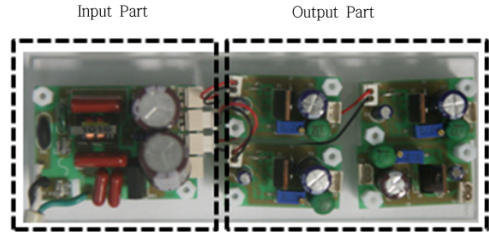


그림 5. 제작된 LED조명 전용 SMPS  
Fig. 5 Assembled SMPS for LED lighting

Fly Back 방식은 FET가 ON일 때 코일에 energy를 축적하고 OFF일 때 코일에 축적되었던 energy를 출력 측으로 이송하기 때문에 ON-OFF 방식이라고 한다. Buck-boost converter는 Fly-back converter와 기본 동작이 동일하다. 입력전압  $V_1$ 이 부하에 인가되는 시간을  $T_{on}$ , 0V의 전압이 부하에 인가되는 시간을  $T_{off}$ 라 하면 이 스위칭 시간  $T_{on}$ 과  $T_{off}$ 의 비를 조절하여 부하에 인가되는 출력전압  $V_o$ 의 평균값의 제어가 가능하다. 이 출력전압의 평균값은 다음의 식과 같으며 여기서  $D$ 는 듀티비이다.

$$V_o = V_1 \cdot \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = V_1 \cdot D$$

결과적으로 듀티비를 조절함으로써 출력전압의 크기를 선형적으로 조절할 수 있다. 이는 Fly-back converter의 관계식과 비교할 때 단지 트랜스의 권선비만 제거된 형태임을 알 수 있다. 회로에서 코일 L1은 스위칭에 의하여 발생하는 출력전압의 교류성분을 제거하여 직류성분 만을 부하에 공급하기 위하여 삽입되었다.

특히 출력부는 모듈화를 통하여 총 4개까지 전원부와 연결하여 사용가능하며 각 모듈은 약 15W까지 사용가능하다. 부하에 따른 전류 조정은 전력용 FET IRF840의 Source 저항을 가감하여 해결하였다.

PCB 기판에 제작한 개발된 LED 조명용 정전류 전원 공급장치를 그림 5에 나타내었다. 입력부, 출력부(조절용 회로부 포함)를 각각 분리된 모듈로 제작하여 추후 필요에 따라 요구되는 부분만을 변경이 용이하도록 하였

### III. 결과 및 고찰

고 휘도 LED를 사용하여 제작된 LED조명용 SMPS의 전기 특성 및 광 특성을 조사하였다. 시험에 사용된 LED는 3 chip형 고 휘도 LED로 정격전류가 20mA이며, 직병렬 조합을 통해 100~450mA의 출력 전류를 갖도록 조정하여 측정하였다. 컨버터의 효율을 시험한 결과는 그림 6과 같다. 효율은 출력전류가 300mA 일 때 최대 85%의 효율을 나타내었으며 통상적으로 많이 사용하는 범위인 100~400mA 범위에서는 70% 이상의 효율을 얻을 수 있었다.

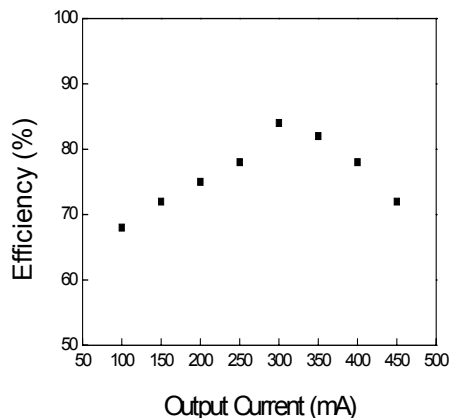


그림 6. 개발된 컨버터의 효율  
Fig. 6 Characteristics of efficiency of the developed converter

개발된 LED 조명용 정전류 전원공급장치에 PWM 방식을 이용한 디밍회로를 연결하여 조광제어 실험을 한 결과를 그림 7에 나타내었다. 결과와 같이 0~250mV의 제어신호를 이용하여 디밍레벨 0~100%의 범위를 모두 제어할 수 있었다.

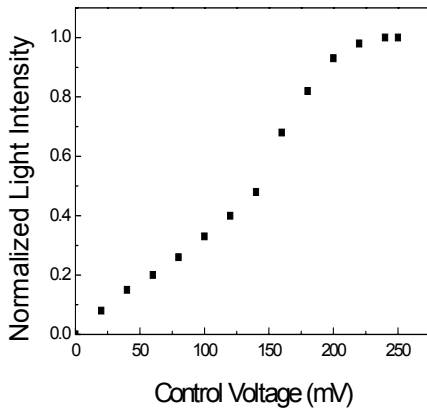


그림 7. 광출력 제어 특성  
Fig. 7 Characteristics of optical output control

#### IV. 결론

본 연구에서는 구동방식은 타려 발진방식, 제어방식은 PWM 제어, 그리고 DC-DC converter(출력회로)는 현재 많이 사용되는 Fly-back 방식과 동작원리가 동일한 Buck-booster 방식을 적용하여 LED 조명용 정전류 SMPS를 설계하고 확장성을 위하여 입력부와 출력부를 각각 모듈의 형태로 제작하고 그 특성을 조사하였다.

다양한 형태의 직병렬 조합으로 연결한 3-chip 고효도 LED를 사용한 실험을 통하여 출력전류가 300mA일 때 85%의 최대효율을 얻었으며 출력전류 100~400mA 범위에서는 70% 이상의 효율을 얻었다. 또한 에너지 절약을 위하여 PWM 방식의 0~250mV의 제어신호를 사용하여 0~100%의 조광제어가 가능함을 확인하였다.

향후 양산 제품생산에 본 연구 결과를 응용하기 위해서는 EMI(전자파 장애)와 EMS(Electro Magnetic Susceptibility, 전자파 내성)으로 분류되는 전자파의 양립성(EMC, Electro Magnetic Compatibility) 실험을

통하여 국내외 전자파장애에 대한 시험규정에 주어진 주파수 대역에서 전기용품 안전인증 기준에 적합 여부를 확인할 필요가 있다.

#### 감사의 글

본 논문은 2014년도 남서울대학교 학술연구비지원에 의해 연구되었음.

#### References

- [1] M. G. Craford, "LED's challenge the incandescents," *IEEE Circuits Device Mag.*, vol. 8, no. 1, Aug. 1992, pp. 24-29.
- [2] S. Muthu, F. J. P. Schuurmans, and M. D. Pashley, "Red, green, and blue LEDs for white light illumination," *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.*, vol. 8, no. 2, Mar. 2002, pp. 333-338.
- [3] B. Jeong and H. Jeong, "LED Lighting Technology Status and Prospects," *The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 20, no. 1, 2006, pp. 31-37.
- [4] L. Gu, X. Ruan, M. Xu, and K. Yao, "Means of eliminating electrolytic Capacitor in AC/DC power supplies for LED lightings," *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 24, no. 5, May 2009, pp. 1399-1408.
- [5] D. A. Steigerwald, J. C. Bhat, D. Collins, R. M. Fletcher, M. O. Holcomb, M. J. Ludowese, P. S. Martin, and S. L. Rudas, "Illumination with soldi state lighting technology," *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.*, vol. 8, no. 2, Mar. 2002, pp. 310-320.
- [6] J. Kwon, H. Kim, K. Park, Y. Kim, and G. Hoang, "Thermal Characteristics of Designed Heat Sink for 13.5W COB LED Down Light," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 5, 2014, pp. 561-566.
- [7] S. Han, S. Park, H. Jeong, S. Chae, E. Song, and B. Jung, "A Study on the Modeling and

Simulation of LED Driver Using HV9910 IC," *J. of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 26, no. 4, 2012, pp. 14-21.

- [8] J. Song, J. Park, and B. Yoon, "Design and Implementation of Transformerless 40W LED Light Driver Circuit for Ships," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 3, 2012, pp. 485-490.
- [9] R. Erickson and D. Maksimovic, *Fundamentals of Power Electronics*. New York: Springer, 2001.

### 저자 소개



#### **신현용(Hyun-Yong Shin)**

1979년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1981년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1987년 루이지애나 주립대학교 대학원 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

1994년~현재 남서울대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 전자재료, 반도체 공정, 반도체소자