

전류제한 기능을 갖는 72[W]급 파워 LED 태양광 보안등

박효식¹, 한우용^{1*}

¹전주비전대학 신재생에너지과

72[W] Power LED Photovoltaic Lighting System including the Current Limiting Function

Hyo-Sik Park¹ and Woo-Yong Han^{1*}

¹Dept. of New & Renewable Energy, Vision University of Jeonju

요 약 LED는 다른 광원에 비해 동작수명이 길고, 친환경적이며, 에너지 효율이 높은 장점을 가지고 있다. 최근 LED 기술의 발전으로 인해 고휘도, 고용량의 LED가 개발됨에 따라, 표시장치에만 적용되던 LED를 조명장치에도 적용하는 기술이 확산되고 있다. 조명장치에 적용되는 파워 LED는 발열문제로 인한 소손을 막기 위해 구동전류를 일정한 전류값 이하로 제어할 필요성이 있다. 본 논문은 파워 LED의 구동전류를 설정된 값 이하로 제어하는 전류제한 기능을 갖는 파워 LED 태양광 보안등 개발에 관한 연구이다. 태양광 발전에 의해 생산된 전력을 DC12[V] 축전지에 저장한 후, 야간에 승압형 DC-DC 컨버터를 통해 DC24[V]로 승압시켜 파워 LED로 공급한다. 태양광 보안등 제어기, 승압형 DC-DC 컨버터, 72[W]급 파워 LED 램프를 개발하여 동작을 확인하고 관련 데이터를 도출함으로써 제안된 시스템의 타당성을 입증하였다.

Abstract In comparison with some other light sources, LED has merits such as long lifetime, pollution free, and high energy efficiency. Lately, due to development of LED with high brightness and capacity, LED, which has been applied in display system only, has applied in the field of lighting system. As power LED for lighting system can be burned out by heat problem, the driving current of power LED has to be controlled below the designed value. In this paper, power LED photovoltaic lighting system, which has the current limiting function, has been described. After photovoltaic power is generated from PV panel, it is charged into a battery. And then, after the charged power is converted to DC24[V] through a boost DC-DC converter, it is supplied to power LED at night.

It has been validated by designing and testing of 72[W] power LED lighting system, which includes a PV charger, a boost DC-DC converter and a current limiter for driving power LED.

Key Words : Photovoltaic lighting system, Power LED, Current limiting function

1. 서론

태양광 보안등이란 태양광발전으로 인해 생성된 전력을 이용하여 이면도로, 골목, 학교, 공원 등지에 설치되어 일정한 구역에 대해 조도를 확보하는 역할의 조명장치로서, 현재 적용되고 있는 태양광 보안등은 3파장 램프나 백열전구를 광원으로 적용하고 있다. 그러나 기존 시스템의 광원인 3파장 램프나 백열전구는 방전가스를 내부에 포

함하고 있기 때문에 램프 폐기 시 유해가스를 방출하여 환경오염의 문제를 유발하고, 램프의 수명이 2~3년으로 짧기 때문에 주기적으로 교체할 필요성이 발생하여 유지 보수 비용이 많이 발생하는 단점을 안고 있다[1-3].

반도체 기술의 발전과 더불어 최근에는 LED를 조명장치에 적용하는 기술개발이 활발히 이어지고 있는데, 그 중에서도 파워 LED의 등장으로 인해 휘도가 높고, 에너지 효율이 높은 파워 LED 보안등에 대한 관심이 고조되

*교신저자 : 한우용(wyhan@jvision.ac.kr)

접수일 10년 06월 16일

수정일 10년 08월 05일

계재확정일 10년 08월 10일

고 있다.

파워 LED는 반도체 기술을 이용한 조명소자이기 때문에 동작수명이 반영구적인 특징을 안고 있다. 따라서 기존 보안등에서는 3파장 램프나 백열전구를 주기적으로 교체해 주어야 하기 때문에 유지보수 비용이 많이 발생하는 문제점이 있었으나, 본 논문의 파워 LED를 이용한 보안등은 유지보수 비용을 현저히 절감할 수 있는 장점이 있으며, 내부에 방전가스를 포함하고 있지 않기 때문에 유해가스 배출에 따른 환경오염문제도 해결할 수 있다.

그러나 파워 LED는 구동전류가 흘러 점등되면 내부 PN 접합면의 온도가 상승하여 내부 저항값이 감소함으로써 구동전류가 상승하는 현상이 발생한다. 구동전류가 상승하게 되면 온도가 다시 상승하여 결국에는 파워 LED가 소손되는 특성을 가지고 있다.

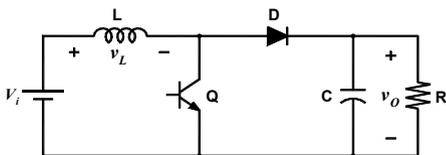
본 논문에서는 파워 LED의 특성을 고려하여 파워 LED 구동전류를 정격전류 이내로 제한하기 위한 전류제한기능을 포함한 태양광 보안등용 파워 LED 구동 전용 전원공급장치를 제안한다. 제안된 파워 LED 전용 전원공급장치는 승압형 DC-DC 컨버터 구조이며, 전류제한기능을 포함함으로써 태양광 발전 파워 LED 보안등의 안정성을 확보한다.

본 논문의 타당성을 입증하기 위하여 제안한 전류제한기능을 포함하고 있는 승압형 DC-DC 컨버터를 제작하고, 72[W]급의 태양광 발전 파워 LED 보안등에 적용하여 실험데이터를 도출하여 안정적으로 동작됨을 확인하였다.

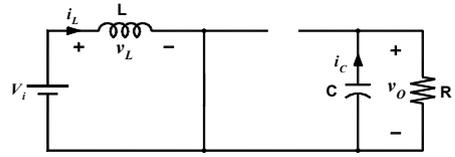
2. 승압형 DC-DC 컨버터 원리

승압형 PWM DC-DC 컨버터는 입력전압 보다 높은 출력전압을 얻을 수 있는 컨버터로서, 그림 1은 승압형 PWM DC-DC 컨버터의 회로도를 나타낸다. 스위치 Q 와 환류 다이오드 D 로 스위치부가 구성되어 있으며, 인덕터 L 과 커패시터 C 로 이루어진 LC 필터부가 있다[4~10].

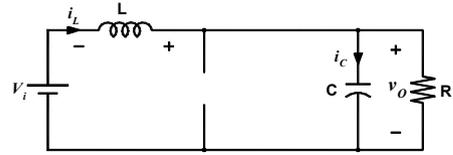
스위치 Q 가 한 주기내의 도통시간이 DT_s 이면서 스위칭 주기 T_s 로 on, off를 반복한다고 했을 때, 그림 2(a)는 스위치 도통시의 등가회로를, 그림 2(b)는 스위치 차단시의 등가회로를 각각 나타낸다.



[그림 1] 승압형 DC-DC 컨버터



(a) ON 시 등가회로



(b) OFF 시 등가회로

[그림 2] ON/OFF시 등가회로

태양광 발전 파워 LED 보안등의 적용 시에는 주간에 태양광 발전을 통해 생산된 전력을 축전지에 저장한 후, 야간에 저장된 전력을 이용하여 파워 LED를 구동하는 방식인데, 일반적인 축전지의 경우 출력전압의 변동이 2~3[V] 정도로 매우 크다[11,12]. 이와 같이 출력전압의 변동이 크면 파워 LED 구동전압의 변동이 큰 결과를 낳게 되어 파워 LED의 소비전력 변동의 폭도 증가하는 문제점을 야기시킨다. 따라서 축전지 출력전압의 변동폭을 감소시키기 위해 축전지 출력전압을 입력으로 한 DC-DC 컨버터를 개발하여 파워 LED의 공급전원으로 사용함으로써 축전지 출력전압의 변동폭이 큰 경우에도 파워 LED로 공급되는 구동전압은 일정하게 유지할 수 있도록 한다.

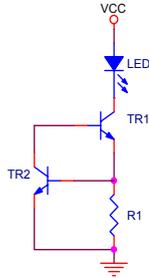
본 논문의 DC-DC 컨버터는 축전지 출력전압 DC12[V]를 입력전압으로 하며, 출력전압은 파워 LED 구동을 위한 DC24[V]로 설계한다.

3. 리니어 방식 전류제한회로

파워 LED는 고휘량, 고풍출력의 소자로서, 점등이 되면 P-N 접합면 내부에 발생하는 열로 인해 구동전류가 상승하게 되어 파워 LED에 과전류가 흐르는 특성을 나타내는데, 과전류가 흐르게 되면 LED가 소손될 위험이 있기 때문에 안정적인 동작을 위해 구동전류를 일정값 이하로 제한해 주는 전류제한회로가 필요하다.

가장 간단한 전류제한회로는 그림 3의 회로와 같이 NPN 트랜지스터 2개를 역병렬로 조합한 구조이다. 이것은 TR_1 에 흐르는 전류를 제한하는 회로로 TR_2 가 없으면 보통의 에미터 접지 증폭 회로와 동일한 구조이다. 이

회로의 동작원리를 살펴보면, TR_1 의 컬렉터에 흐르는 전류는 TR_1 의 베이스에 흐르는 전류의 H_{fe} 배의 전류가 TR_1 의 컬렉터에 흐르게 된다. 이때 TR_2 를 추가하면 TR_1 의 에미터에 흐른 전류가 R_1 에 의한 전압강하를 일으켜 TR_2 의 베이스에 공급되며, 이 전압은 TR_1 에 흐르는 전류에 비례하지만 충분히 작기 때문에 TR_1 에는 아무런 영향을 미치지 않는다.



[그림 3] 리니어 방식 전류제한회로

그러나 R_1 의 전압이 약 $0.6[V]$ 를 넘으면 TR_2 의 컬렉터에 미터간이 ON 되어 TR_1 의 베이스에 흘러야 할 전류가 TR_2 로 흐르게 된다. 이러한 현상이 일어날 조건은 식 (1)과 같다.

$$I \times R_1 > 0.6 [V] \tag{1}$$

이 회로에서 TR_1 에 흐르는 전류는 $0.6 / R_1 [A]$ 를 넘을 수 없기 때문에 결과적으로 TR_1 에 흐르는 전류를 $0.6[V]$ 이하로 제한하는 역할을 한다.

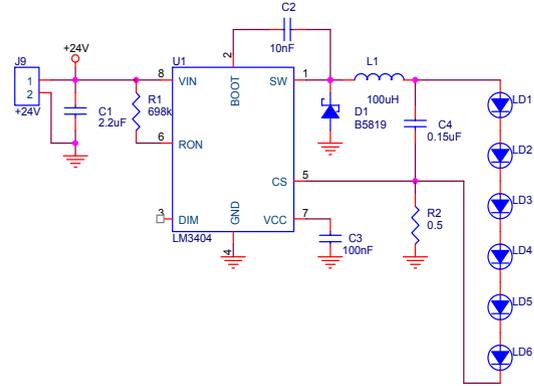
파워 LED의 구동전류를 TR_1 을 통해 흐르도록 하기 때문에 TR_1 에는 $700[mA]$ 의 비교적 높은 전류가 흐르게 된다. 따라서 TR_1 은 파워 트랜지스터를 사용하며, R_1 에는 $10[\Omega]$ 미만의 저저항을 사용한다.

4. DC-DC 컨버터 방식 전류제한회로

리니어 방식 전류제한회로는 회로가 간단하고, 가격이 저렴한 장점이 있지만, 트랜지스터의 동작 손실이 크기 때문에 많은 열이 발생하게 된다. 따라서 회로에 적용하는 트랜지스터의 전력용량을 키워야 하기 때문에 원가가 높은 트랜지스터를 적용하고, 방열판의 크기도 크게 설계해야 하는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 리니어 방식 전류제한회로의 문제점을 해결하기 위해 PWM 스위칭 제어기법에 의해 입력전압

을 낮추어 안정적인 출력전압으로 변환시키는 강압형 DC-DC 컨버터를 파워 LED의 전류제한회로로 적용하는 새로운 방식을 제안한다.



[그림 4] 파워 LED 전류제한회로

제안된 회로는 그림 4와 같은 강압형 DC-DC 컨버터 구조로서, 파워 LED 구동전류와 저장 $R_2(0.5[\Omega])$ 에 흐르는 전류값이 같기 때문에 이를 이용하여 파워 LED의 구동전류를 검출한다. 제어 IC LM3404는 검출된 전류값이 일정값 이상으로 상승하면 PWM 제어를 실시하여 DC-DC 컨버터의 출력전류를 일정한 값으로 유지한다. 파워 LED 하나의 구동전압은 $DC3.5[V]$ 이기 때문에 6개의 파워 LED를 직렬로 연결하여 하나의 스트링을 제작하는 경우 스트링당 파워 LED의 구동전압은 $DC21[V]$ 가 된다.

본 논문에서 설계한 태양광 보안등은 축전지전압 $DC12[V]$ 를 승압형 DC-DC 컨버터를 통해 $DC24[V]$ 로 승압시킨 후, 강압형 DC-DC 컨버터를 통해 $DC21[V]$ 로 강압시켜 파워 LED로 공급하는 구조로 설계한다.

5. 실험결과

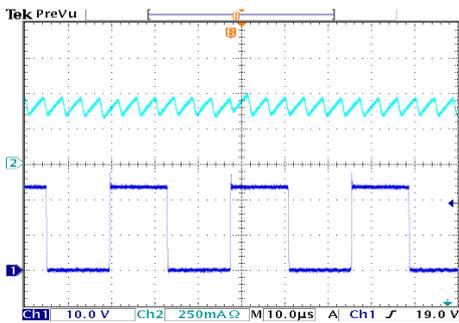
본 논문에서 제안한 파워 LED 보안등의 타당성을 입증하기 위해 태양광 보안등 제어기 및 승압형 DC-DC 컨버터를 포함한 72[W]급 태양광 파워 LED 보안등 시제품을 개발하여 실험하였다.

태양광 보안등 제어기는 마이크로컨트롤러를 탑재하여 태양광 전지판에서 발전되는 입력전압 및 입력전류, 축전지 전압 등을 검출한 후, 검출된 각종 파라미터를 이용하여 축전지의 충전동작 제어, 태양광 보안등 동작모드 결정 및 제어와 같이 전체 시스템을 제어하는 기능을 수행한다.

표 1은 태양광 보안등 제어기의 모드별 동작형태를 나타내는 표이다. 전체 동작을 6개의 모드로 구분하여 각 모드에 적합한 동작이 이루어지도록 프로그램을 개발하였다.

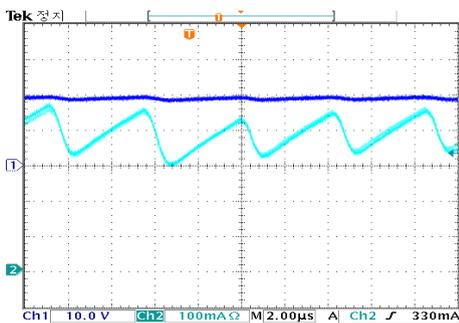
[표 1] 태양광 보안등 동작모드

| 모드 | 태양전지(V_{sol}) 축전지(V_{bat}) 전압 | 충전 보호 | LED등 | 비고 |
|----|--|----------|------|-------|
| 1 | $V_{sol} \geq 7$ $V_{bat} \geq 13$ | 차단 | 소등 | 주간과충전 |
| 2 | $V_{sol} \geq 7$ $11.8 \leq V_{bat} < 13$ | 충전 | 소등 | 주간정상 |
| 3 | $V_{sol} \geq 7$ $V_{bat} < 11.8$ | 충전 | 소등 | 주간과방전 |
| 4 | $V_{sol} < 7$ $V_{bat} \geq 13$ | - | 점등 | 야간과충전 |
| 5 | $V_{sol} < 7$ $11.8 \leq V_{bat} < 13$ | - | 점등 | 야간정상 |
| 6 | $V_{sol} < 7$ $V_{bat} < 11.8$ | - | 점등 | 야간과방전 |



ch 1 : 승압형 컨버터 주스위치 (V_{DS})
ch 2 : LED 스트링 구동전류

[그림 5] 승압형 컨버터 동작 및 전류제한기능



ch 1 : 강압형 컨버터 출력전압
ch 2 : LED 스트링 구동전류

[그림 6] 강압형 컨버터 동작 및 전류제한기능

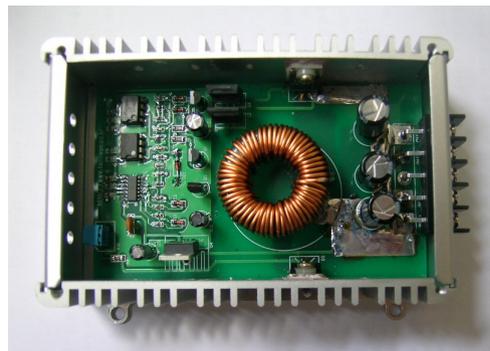
그림 5와 6은 승압형 컨버터 및 강압형 컨버터의 동작과 전류제한동작을 동시에 나타낸 파형으로서, 각 컨버터가 정상적으로 동작되면서 파워 LED 스트링에 공급되는 전류값이 일정한 값 이하로 제어되고 있는 모습을 확인할 수 있다.

또한 축전지 전압 DC12[V]를 파워 LED 구동전압 DC24[V]로 승압시키는 승압형 DC-DC 컨버터를 제작하였으며, 설계사양 및 시제품 사진은 표 2 및 그림 7에 각각 나타나 있다.

그림 8은 72[W]급 파워 LED 보안등의 시제품 사진으로 사진의 오른쪽에 2[W] 파워 LED 36개가 설치되어 있는 모습을 확인할 수 있으며, 사진의 왼쪽 케이스 내부에 승압형 DC-DC 컨버터 및 전류제한기가 설치되어 있다. 시제품은 전류제한기능 및 방열기능을 포함하고 있기 때문에 장시간 점등 시에도 파워 LED의 열이 일정온도 이하로 제어됨을 확인할 수 있다.

[표 2] 승압형 DC-DC 컨버터의 사양

| 항목 | 설계값 | 단위 |
|---------|-------|---------|
| 입력전압 | 10~14 | V |
| 출력전압 | 24 | V |
| 출력전류 | 10 | A |
| 스위칭 주파수 | 30 | kHz |
| 인덕터 | 213 | μH |
| 출력커패시터 | 470 | μF |
| 출력전압 리플 | 100 | mV |

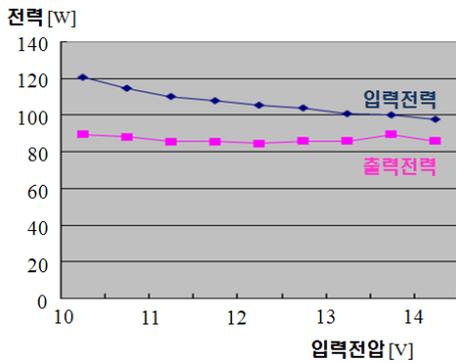


[그림 7] 승압형 DC-DC 컨버터 시제품

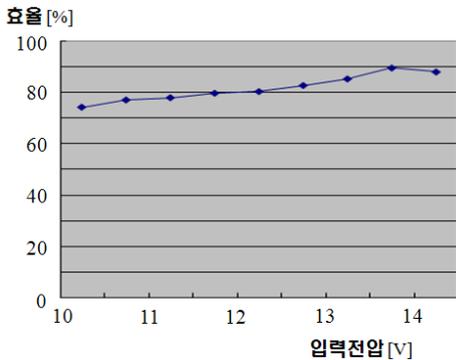


[그림 8] 72[W]급 파워 LED 보안등

그림 9는 태양광 발전에 의해 충전된 축전지 전압을 파워 LED 구동용 승압형 DC-DC 컨버터의 입력전압으로 공급할 때 축전지 입력전압이 10[V]에서 14[V]까지 변동되는 것으로 가정하여 DC-DC 컨버터의 입력전압을 10~14[V]로 변화시키면서 입력 및 출력전력의 변화를 관찰한 그래프이다. 그래프에서 확인할 수 있는 바와 같이 DC-DC 컨버터의 입력전압이 상승하게 됨에 따라 입력전력은 감소하지만 출력전력은 일정하게 유지됨을 알 수 있다.



[그림 9] 입력전압변동에 따른 입력 및 출력전력

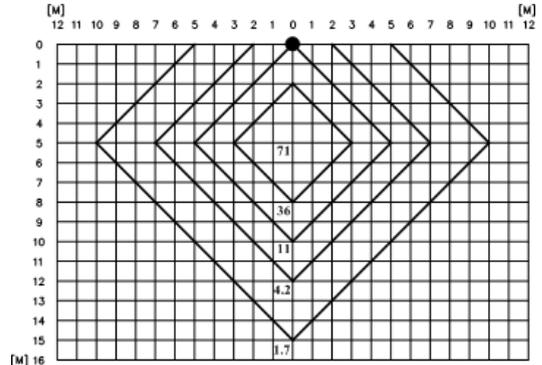


[그림 10] 입력전압변동에 따른 효율

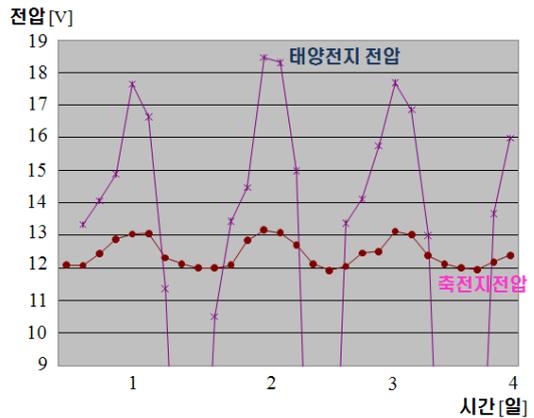
그림 10은 DC-DC 컨버터의 입력전압을 변동시켰을 때 동작 효율을 나타내는 그래프로써, 입력전압이 상승함에 따라 효율이 상승하게 되며, 전체 효율이 75[%] 이상으로 제어되고 있음을 확인할 수 있다.

그림 11은 72[W]급 태양광 발전 파워 LED 보안등을 지상 7[m] 지점에 설치하여 보안등 주위의 조도를 측정 한 표이다. 표를 통해 보안등으로부터 반경 3[m] 이내 영역의 조도는 60[lux], 반경 5[m] 이내는 71[lux]로 가장 높게 측정되었으며, 반경 11[m] 이내는 4.2[lux]를 나타내고 있음을 확인하였다. 보안등의 갓머리를 지면에 비해 20°

의 경사각을 주었기 때문에 보안등의 바로 밑인 직하조도는 11[lux]로 작으며, 보안등으로부터 반경 5~6[m] 떨어진 지점의 조도가 가장 높게 측정되었다.



[그림 11] 72[W]급 파워 LED등 조도표 (7[m])



[그림 12] 파워 LED등 충전 상태(72[W]급)

그림 12는 본 논문의 태양광 보안등의 태양전지 전압 및 축전지 전압 데이터를 4일 동안 측정하여 나타낸 그래프이다. 오후 1시경에 태양광 전지판의 전압이 최대 18[V] 이상까지 상승하여 발전이 가장 크게 이루어지게 되는데, 태양광 보안등 제어기의 제어에 의해 최대 발전 순간에도 축전지 전압은 13[V]로 유지되고 있음을 확인할 수 있다. 또한 야간에는 충전된 전압을 소비하기 때문에 축전지 전압이 감소하게 되고, 주간에 다시 충전되는 동작을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 기존 광원에 비해 에너지 효율이 높고,

동작수명이 길며, 친환경적인 LED를 광원으로 적용하는 태양광 파워 LED 보안등 개발에 관하여 기술하였다.

파워 LED는 기존 LED에 비해 휘도가 높은 반면, 구동 중 PN 접합면에서 발생하는 열로 인해 구동전류가 상승하여 소손되는 문제점을 안고 있기 때문에 파워 LED의 구동전류를 정격전류 이내로 제한하기 위한 전류제한 기능을 포함한 태양광 보안등용 파워 LED 전원공급장치를 개발하였다. 개발된 파워 LED 전원공급장치는 승압형 DC-DC 컨버터 구조로서, DC12[V]의 축전지 전압을 DC24[V]로 변환하여 전류제한회로를 통해 파워 LED로 공급한다.

또한 태양광 보안등의 안정적인 동작을 위해 마이크로 컨트롤러를 이용하여 외부의 각종 파라미터값을 검출하고, 검출된 값에 따라 태양광 보안등의 동작을 디지털 제어하도록 함으로써, 설치현장의 요구에 유연하게 대처할 수 있는 구조로 개발하였다.

파워 LED 36개로 이루어진 72[W]급의 태양광파워 LED 보안등 시제품을 개발하여, 전원공급장치의 효율, 보안등의 조도 실험, 축전지 충전 데이터 도출 등을 통해 본 논문의 태양광 파워 LED 보안등의 동작신뢰성을 확보하였다.

참고문헌

[1] Yuequan Hu, Milman M. Jovanovic, "LED Driver With Self-Adaptive Drive Voltage", *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol.23, No.6, November 2008.

[2] N. Narendran, Y. Gu, "Life of LED-based white light sources", *J. Display Technol.*, vol.1, no.1, pp.167-171, Sep. 2005.

[3] H. Broeck, G. Sauerlander, M. Vendt, "Power driver topologies and control schemes for LEDs", in *Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf.(APEC)*, 2007, pp.1319-1325.

[4] M. Goldman, A. F. Witulski, "Predicting regulation for a multiple output current-mode controlled DC-to-DC converter", *IEEE PESC*, pp.617-623, 1993.

[5] K. H. Liu, F. C. Lee, "Topological constraints basic PWM converters", *IEEE PESC*, pp.164- 172, 1988.

[6] V. Vorperian, "Simplified analysis of PWM converters using the model of the PWM switch, Part I: continuous conduction mode, Part II: discontinuous conduction mode", *VPEC Seminar*, September 1989.

[7] Harada K, Ninomiya T, Gu B., "The fundamentals of switched-mode converters", *Corona Publishing*, 1992.

[8] Chi K. Tse, Keith M. Adams, "Quasi-linear modeling and control of DC-DC converters", *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol.7, No.2, April 1992.

[9] Y. F. Liu, Paresh C. Sen, "New class-E DC-DC converter topologies with constant switching frequency", *IEEE Trans. on Industrial Applications*, Vol.32, No.4, July/August 1996.

[10] Zweibel K. "Harnessing solar power", *Plenum Press*, 1990, pp109-111.

[11] P. Huynh and B. H. Cho, "Design and analysis of microprocessor controlled peak power tracking system", in *Proc. 27th, IECEC*, 1992, Vol.45, No.1, February 1998.

[12] J. M. Kwon, K. H. Nam, B. H. Kwon, "Photovoltaic Power Conditioning System With Line Connection", *IEEE Trans. on Industrial Applications*, Vol.53, No.4, August 2006.

박 효 식(Hyo-Sik Park)

[정회원]



- 1989년 2월 : 한양대학교 전기공학 학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 한양대학교 전기공학 학과 (공학석사)
- 2001년 8월 : 한양대학교 전기공학 학과 (공학박사)
- 1991년 1월 ~ 2001년 2월 : 현대엘리베이터 기술연구소 선임연구원
- 2002년 3월 ~ 현재 : 전주비전대학 신재생에너지과 조교수

<관심분야>

전력전자, 신재생에너지 전력변환

한 우 용(Woo-Yong Han)

[정회원]



- 1986년 2월 : 전북대학교 전기공학 학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 전북대학교 전기공학 학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 전북대학교 전기공학 학과 (공학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 전주비전대학 신재생에너지과 교수

<관심분야>

전력전자, 신재생에너지 전력변환