

# LED 가로등 구동용 하이브리드 태양광 전원장치 개발

박대수<sup>1</sup>, 오성철<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국기술교육대학교 전기전자통신공학부

## Development of Solar Power System of Driving a Hybrid LED Streetlight

Dae-Su Park<sup>1</sup> and Sung-Chul Oh<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Electrical, Electronics & Communication Engineering,  
Korea University of Technology and Education

**요 약** 태양광 가로등 시스템에 사용되는 전원 장치는 배터리 충전을 위한 충전기와 LED Lamp를 구동하기 위한 LED 드라이버로 구성되어 있는데 일반적인 시스템에서는 별도의 전원장치로 구성되어 있다. 본 연구에서는 충전기와 LED 드라이버를 한 개의 전원장치로 구성하였다. 특히 장치의 효율을 높이기 위하여 계통 연계형 태양광 발전 시스템에 적용하는 최대전력추적(Maximum Power Point Tracking: MPPT) 방식을 충전기에 적용하였다. LED 드라이버에 필수적인 정전류 방식은 충전기의 전류제어 루틴을 사용하여 구현하였다.

**Abstract** General solar street light system needs two separate power supply for charging the battery and driving LED Lamp. In this study, one power supply is used for both charging battery and driving LED lamp. In particular, in order to increase the efficiency of the equipment, (maximum power point tracking:MPPT) was applied which is widely adopted in grid-connected solar systems. LED driver embodied using current control routine of charger into Essential constant current system.

**Key Words** : MPPT, battery charger, LED driver

### 1. 서론

기존의 독립형 태양광 가로등 시스템은 태양전지에서 발전된 전력을 배터리에 축전한 후 야간에 가로등의 전원으로 이용하는 시스템으로 구성되어 있다. 이 시스템의 장점으로서 1) 신재생에너지 도입을 통한 에너지 저감 2) 전력 인프라가 갖춰지지 못한 지역에 저비용으로 신속한 대처가 가능 3) 에너지 절약과 환경 보호의 환경을 제공하고 이에 따른 제고 효과를 들 수 있다. 그러나 이 시스템의 단점으로서 1) 일조 조건에 의존한 안정적 동작에 대한 불확실성 2) 불확실한 기상조건에 대비한 시스템

의 거대화 3) 높은 초기 비용 4) 잦은 고장으로 인한 높은 유지 보수비용 5) AC 조명에 따른 전력 효율 저하를 들 수 있다.

본 논문에서는 독립형 태양광 가로등 시스템의 배터리 충전기와 LED 드라이버로 사용이 가능한 전원장치를 개발하였다. 특히 충전 효율 향상을 위해서 최대 동작점을 추종하도록 제어하여 최대 전력을 얻는 MPPT를 사용하였으며 그중에서도 계통 연계형 장치에서 사용되는 Two-mode MPPT 알고리즘을 이용하였다. 이 알고리즘을 Buck converter에 적용하였으며, 제어방식은 AVR인 ATmega128를 이용하여 구현하였다.

본 논문은 한국기술교육대학교 연구과제로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Sung-Chul Oh (Korea University of Technology and Education)

Tel: +82-41-560-1165 email: scoh@koreatech.ac.kr

Received July 9, 2012

Revised (1st November 7, 2012, 2nd December 4, 2012)

Accepted December 6, 2012

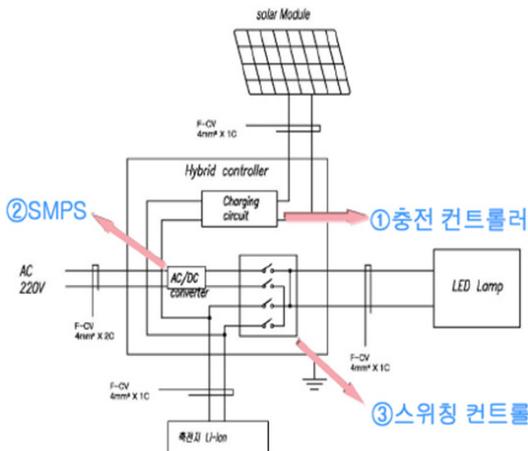
## 2. 본론

### 2.1 시스템의 구성

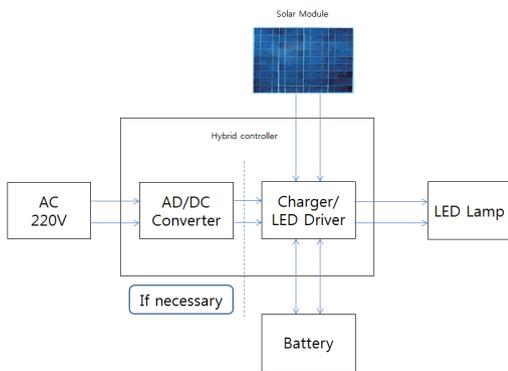
기존 시스템의 구성은 Fig. 1과 같으며, 기존 시스템의 각 장치의 기능은 다음과 같다.

- 1) 충전 컨트롤러 : 태양 전지에서 발생 된 전력을 축전지 충전에 알맞은 전압과 전류로 변환
- 2) AC/DC 컨버터 : AC 전원을 LED 가로등에서 사용하는 DC 전력으로 변환
- 3) 스위칭 컨트롤 : 축전지의 전압을 감시하여 축전지의 과충전 및 과방전을 방지하고 축전지 방전시 전원 소스를 축전지에서 AC 전압으로 전환

LED Lamp 구동을 위한 SMPS와 충전컨트롤러가 별도의 장치로 구성되어 있으며 AC 시스템을 백업으로 활용하고 있다.



[Fig. 1] Composition of existing system



[Fig. 2] Composition of proposed system

제안된 시스템의 구성은 Fig. 2에서와 같이 한 개의 전원장치로 배터리 충전기, LED 드라이버 기능을 동시에 수행하며 태양전지 모듈과 배터리의 용량을 충분히 크게 설계하여 AC 백업 시스템의 필요성을 작게 한다.

### 2.2 변수에 따른 MPPT제어 방법

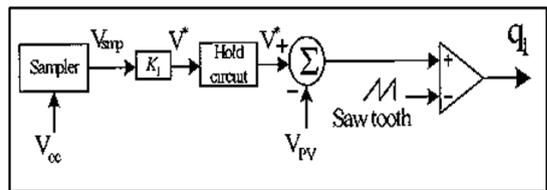
#### 2.2.1 개방회로 전압 방식

[Fig. 3]은 태양광 발전 시스템에서 최대전력점을 추적하는 회로를 블록도로 나타내었다.

개방회로 전압 방식에서는 전지의 최대 전력점에서의 동작 전압( $V_{op}$ )이 개방회로 전압( $V_{oc}$ )에 선형적으로 비례한다는 사실을 이용하여 식 (1)과 같이 나타냈었다.

$$V_{op} = K V_{oc} \quad (1)$$

개방회로 전압 방식은 태양전지의 개방회로 전압 ( $V_{oc}$ )를 샘플링 한 후 식 (1)을 이용하여 동작 전압( $V_{op}$ )을 구한 후 이를 전압 명령( $V^*$ )으로 사용한다. 이 전압 명령과 태양전지의 출력전압( $V_{op}$ )을 비교하여 스위치에 듀티신호를 인가하므로 최대전력점이 추종된다. 이 제어 방식은 매우 간단한 제어회로를 가지고서도 비교적 최대 전력점을 잘 추적한다. 그러나 이 방식은 샘플링이 이루어진 후 다음번 샘플링이 발생될 때 까지 전압 명령( $V^*$ )이 일정하게 유지되기 때문에 태양전지의 출력전압이 매 스위칭 주기마다 고정된 전압명령( $V^*$ )를 추종하게 되어 있어 항상 출력 전력에 상당한 오차를 갖는 문제점이 있다. Fig. 3은 이 방식을 설명하는 블록도이다.



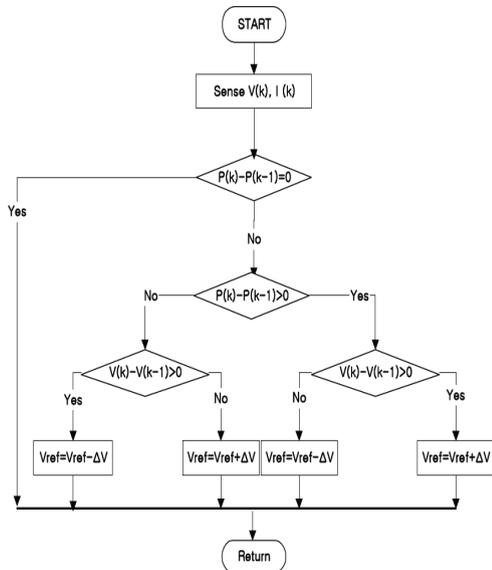
[Fig. 3] Block diagram of an open-circuit voltage system[1]

#### 2.2.2 P&O MPPT 알고리즘

P&O(Perturbation and Observation) 제어방법은 간단한 피드백 구조를 갖으며 소수의 측정 파라미터를 갖기 때문에 널리 사용된다. 이는 태양전지 전압을 주기적으로 증가, 감소시킴으로써 동작하며, 이전의 교란 주기 동안의 태양전지 어레이 출력 전력과 함께 현재 어레이 출력 전력 비교에 의해 최대전력의 상태를 연속적으로 추적하며 찾는다. 이 방법은 Fig. 4와 같은 순서도에 의해 동작한다.

전력이 증가하면 교란은 다음 주기 동안 계속해서 같은 방향으로 증가 할 것이며 그렇지 않으면 교란의 방향은 반대가 된다.

이것은 태양전지 단자전압이 모든 MPPT 주기 동안 교란된다는 것을 의미한다. 그러므로 MPP(Maximum Power Point)에 이르렀을 때 P&O 알고리즘은 일정 혹은 천천히 변하는 환경조건에서 자러 진동(Self-Oscillation) 할 것이며 그 결과 태양전지의 손실이 발생하게 된다. 이 문제는 MPP에 도달했을 때를 검출하기 위해 바로 앞의 주기 동안의 두 개의 파라미터 비교와 교란부를 바이패스하기 위한 P&O 알고리즘의 개선에 의해 해결할 수 있다. 전력손실을 줄이기 위한 다른 방법으로는 교란 스텝의 감소가 있다. 그러나 이 방법은 환경조건이 급하게 변할 경우 MPP 추적속도가 늦어지게 되므로 스텝의 결정이 중요하게 된다.[2]



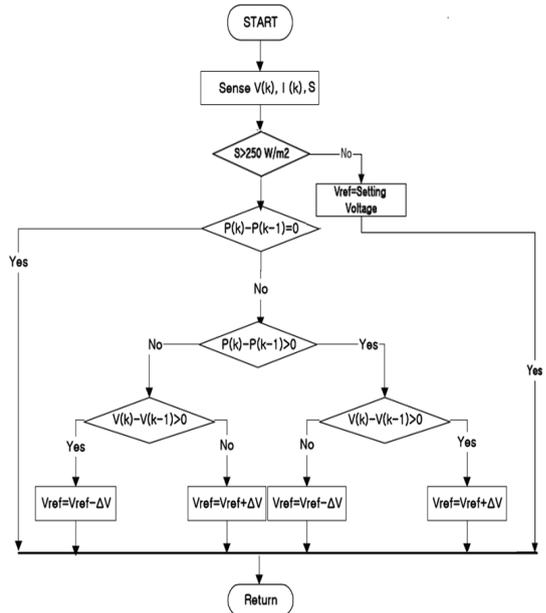
[Fig. 4] P&O MPPT Algorithm

### 2.2.3 Two-mode MPPT 알고리즘

Two-mode 제어방법은 태양전지 어레이의 출력전력의 효율을 극대화하기 위하여 제한한 방법이다. 실험상에서 P&O 방법이 낮은 일사량에서 일정전압제어보다 효율이 높지 않으므로, 특정의 낮은 일사량에서 일정전압제어 방법으로 제어 루틴을 변경하는 방법이다. 이 방법에 대한 순서도는 Fig. 5와 같다.

이 알고리즘은 일사량 센서를 이용하거나 전력량을 가지고 일사량 값으로 바꾸어 프로그램 상에서 제어루틴을 변경할 수도 있으며,[3] 이 방식은 낮은 일사량에 높은 일

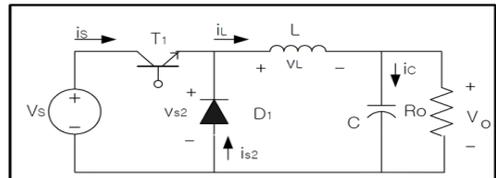
사량까지 MPPT 추종 및 효율 특성이 양호함을 입증한다.



[Fig. 5] Two-mode MPPT Algorithm

## 2.3 충전기 설계

### 2.3.1 전력회로 설계



[Fig. 6] Buck converter circuit

목표 사양은 다음과 같다.

- 입력전압  $V_s=17.5V$
- 출력전압  $V_o=14V$
- 출력전류  $I_o=6A$
- 스위칭 주파수  $F=10KHz$
- 출력전류 리플 : 정격의 10%,  $\Delta I_o=0.6A$
- 출력전압 리플 : 정격의 10%,  $\Delta V_o=1.4V$

옴은 법칙을 이용하여 식 (4)을 나타내었으며, 인덕터 전류  $i_L$ 은  $DT$  구간 동안 상승하고,  $(1-D)T$  구간 동안 하강한다. 정상상태에서 전류의 상승과 하강폭은 동일하므로 다음과 같이 출력전압의 평균값  $V_o$ 에 대한 관

계식을 얻을 수 있다.

$$\frac{V_i - V_o}{L} \cdot DT - \frac{V_o}{L} \cdot (1 - D)T \quad (2)$$

정리하면 출력전압  $V_o$ 는 다음과 같다.

$$V_o = DV_i \quad (3)$$

주어진 목표 사양을 만족하는 인덕터 L값과 캐패시터 C의 값은 정상상태에서 유도한 전류 리플과 전압 리플을 이용하여 식 (6)~식 (7)과 같이 나타내었다.

$$\text{출력저항} : R = V_o/I_o = 14/6 = 2.33\Omega \quad (4)$$

$$\text{듀티비} : D = V_o/V_s = 14/17.5 = 0.8 \quad (5)$$

$$\text{인덕터 전류} : I_L = I_o = 6A$$

인덕턴스 값 :

$$L = V_o(V_s - V_o) / \Delta I_o \times F \times V_s \quad (6)$$

$$= 14 \times (17.5 - 14) / 0.6 \times 10000 \times 17.5 = 466.66\mu H$$

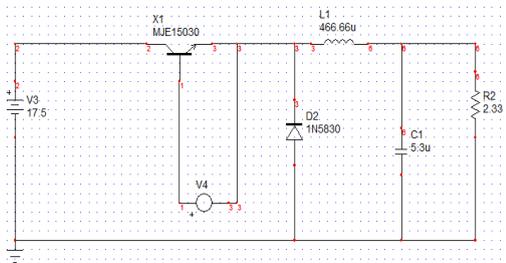
캐패시턴스 값 :

$$C = 1 - D / 8L \times (\Delta V_o / V_o) \times F^2 \quad (7)$$

$$= 1 - 0.8 / 8 \times 466.66 \times 10^{-6} \times (1.4/14) \times 10000^2 = 5.35\mu F$$

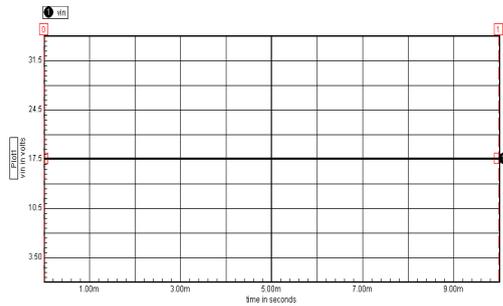
### 2.3.2 전력회로 시뮬레이션

Fig. 7은 전력회로로 사용된 Buck converter의 회로도이다. IsSpice에 실제 구현 되는 소자와 정격이 비슷한 소자들을 적용하여 시뮬레이션을 실행하였다. 전력회로의 스위칭 소자의 게이트 신호는 IsSpice의 pulse generator 기능을 통해 인가한다.

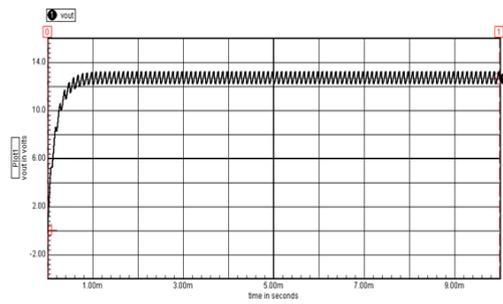


[Fig. 7] Circuit diagram of power used in the simulation

Fig. 8, Fig. 9는 각각 입력전압, 출력전압 파형이다. 목표 사양으로 제시된 정격의 10% 이내로 출력 전압 리플이 유지됨을 확인 할 수 있다.



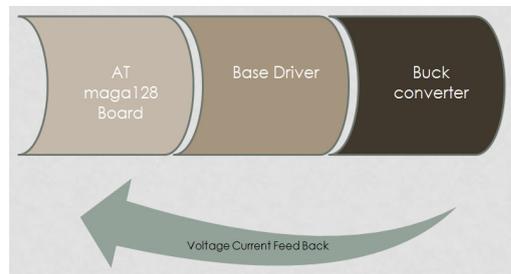
[Fig. 8] Input voltage waveform



[Fig. 9] Output voltage waveform

## 2.4 하드웨어의 구성

하드웨어의 구성은 Fig. 10과 같다. 제어기로서는 저가의 AVR인 ATmega128이 사용 되었으며 주 회로 방식은 Buck converter를 채용했다.



[Fig. 10] Composition of hardware

### 2.4.1 Buck converter의 상세 설계

#### (1) 주 스위칭 소자의 선정

주 스위칭 소자는 입력 전압이 상대적으로 낮으므로 내압 120V, 정격 전류 50A인 Fuji사의 MOSFET 2SK2833-R을 선정했다.

#### (2) 다이오드의 선정

사용되는 다이오드는 빠른 역회복 특성을 갖는

FRD(Fast Recovery Diode)인 C10P40F를 선정했다.

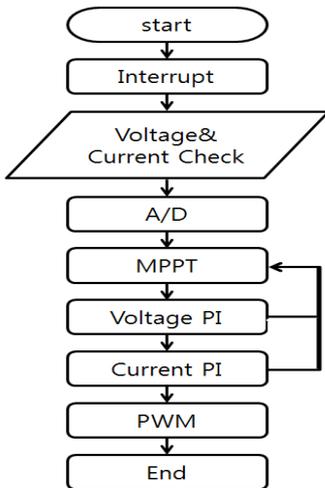
(3) 인덕터의 설계

인덕터는 정격 전력을 공급할 수 있는 코어를 선정하였으며 전기적 정격 nH/N2에서 턴수를 결정하였으며 인덕터에 사용된 코어는 TDK사의 PC30EI30-Z를 선정했다. 계산된 턴수는 9턴이다.

2.5 소프트웨어의 구성

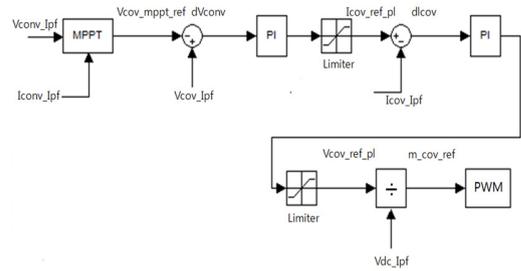
Fig. 11에서는 Interrupt를 걸어 센서를 통해 전압과 전류를 체크하고 그것을 A/D 변환을 통해 MCU에 값을 가져오며, 이때 A/D 변환은 포트 B 출력 설정을 하고 PF4-PF7 출력, PF0-PF3 입력을 사용한다. MCU에서는 A/D 변환한 값을 가지고 MPPT를 실행한다.

MPPT 루틴은 P&O 방식을 사용한 2모드 방식을 채택하였으며 전압, 전류 제어는 PI 제어기를 사용하여 오차와 잔류편차를 줄인다. 마지막으로 PWM은 PE3을 사용해서 안정적인 전력을 공급하도록 하였다.



[Fig. 11] Software flowchart

MPPT의 입력은 태양전지의 출력 전압과 전류로서 MPPT의 출력은 전압 명령 V\*이 된다. 전압 명령 V\*은 다시 출력 전압과 비교한 후 그 차이를 PI제어기와 제한기를 통하여 전류 명령 I\*로 변환된다. 전류 명령 I\*는 다시 출력 전류와 비교한 후 그 차이를 PI제어기와 제한기를 통하여 전압 명령 V\*로 다시 변환하며 이를 최대 전압과 비교해서 Buck conveter에 사용한 스위치의 듀티비를 출력하게 된다.



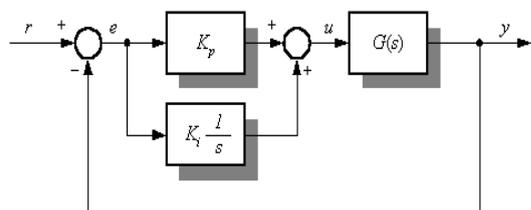
[Fig. 12] Software block diagram[4]

2.5.1 PI 제어

PI 제어란 오차신호를 적분(integral)하여 제어신호를 만들어내는 적분제어를 비례제어에 병렬로 연결하여 사용하는 제어 말한다. 이를 비례적분제어기(Proportional-Integral Controller)라고 하고, 영문약자를 써서 PI제어기라고 부른다.

Fig. 13의 토막선도는 플랜트에 비례적분 제어기를 연결해서 구성된 피드백 제어 시스템을 보여주고 있다. 오차신호와 제어신호 사이의 전달함수로 표시되는 PI제어기의 전달함수는 다음과 같이 나타낸다.

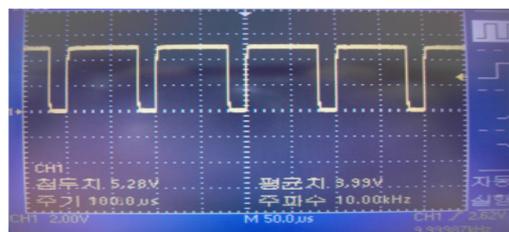
$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \tag{8}$$



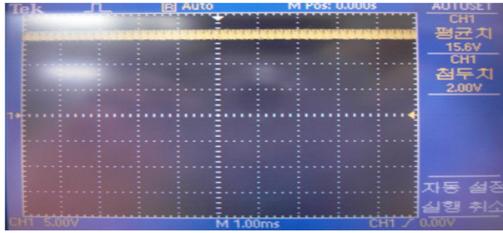
[Fig. 13] Feedback control system by pi control

2.6 실험 특성

제어기는 ATmega128로 전력회로는 Buck converter로 구성되어 있다.



[Fig. 14] Gate signal waveform



[Fig. 15] Output voltage waveform

Fig. 14는 제어기에서 출력된 게이트 신호를 나타내며 Fig. 15는 전력회로의 출력전압 파형이다. 1.6V의 리플이 관측되지만 정격 10% 정도의 리플을 관측할 수 있다.

## 2.7 LED 드라이버 설계

### 2.7.1 전력회로

앞에서 설명한바와 같이 전력회로, H/W는 충전기와 같은 장치를 사용하며 S/W는 MPPT에서 사용된 전류 제어 루틴을 사용하여 정전류 제어를 할 수 있다.

LED 드라이버의 목표 사양은 다음과 같다.

- 입력전압  $V_s=14V$
- 출력전압  $V_o=12V$
- 출력전류  $I_o=3.3A$
- 스위칭 주파수  $F=10KHz$
- 출력전류 리플 : 정격의 10%,  $\Delta I_o=0.33A$
- 출력전압 리플 : 정격의 10%,  $\Delta V_o=1.2V$

주어진 목표 사양을 만족하는 인덕터 L값과 캐패시터 C의 값은 정상상태에서 유도한 전류 리플과 전압 리플은 식 (11)과 (12)와 같으며, 이 식을 통하여 식 (13)과 식 (14)과 같이 나타내었다.

$$\text{출력저항} : R=V_o/I_o=12/3.3=3.63\Omega \quad (9)$$

$$\text{듀티비} : D=V_o/V_s=12/14=0.85 \quad (10)$$

충전기 회로를 LED 드라이버를 구성했을 때 예상되는 전류, 전압 리플은 식 (13)과 (14)와 같이 나타내었다.

$$\Delta I_o=V_o(V_s-V_o)/L \times F \times V_s=0.6A \quad (11)$$

$$\Delta V_o=V_o(1-D)/8L \times C \times F^2=1.5V \quad (12)$$

$$\text{인덕터 전류} : I_L=I_o=3.3A$$

인덕턴스 값 :

$$L = V_o(V_s - V_o) / \Delta I_o \times F \times V_s \quad (13)$$

$$= 12 \times (14 - 12) / 0.33 \times 10000 \times 14 = 519.48\mu H$$

캐패시턴스 값 :

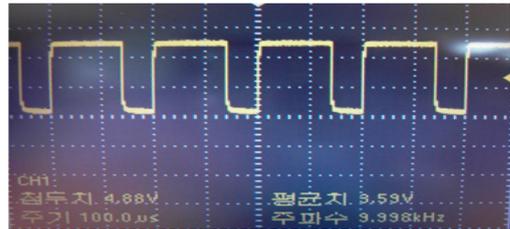
$$C = 1-D/8L \times (\Delta V_o/V_o) \times F^2 \quad (14)$$

$$= 1-0.85/8 \times 519.48 \times 10^{-6} \times (1.2/12) \times 10000^2 = 3.61\mu F$$

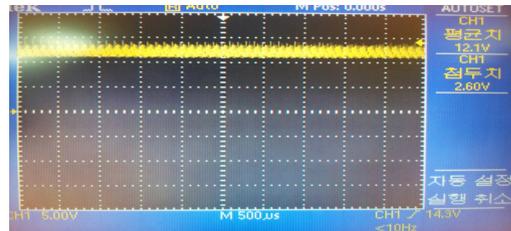
목표 사양을 조금 상회하지만 LED 드라이버로 사용하는데 큰 지장은 없다고 판단된다.

### 2.7.2 실험 파형

LED 드라이버의 특성을 알아보기 위하여 충전기에서 사용한 H/W를 이용하여 듀티비를 변화 시켰을 때의 출력을 측정하였다. Fig. 16은 변화된 듀티비 0.7을 나타내며 Fig. 17은 이때의 출력 전압을 나타낸다.



[Fig. 16] Duty ratio changes waveform



[Fig. 17] Duty ratio according to output voltage waveform

## 3. 결론

독립형 태양광 가로등 시스템은 태양전지에서 발전된 전력을 배터리에 축전한 후 야간에 가로등의 전원으로 이용하는 시스템으로 구성되어 있다. 이 시스템은 전력 인프라가 갖춰지지 못한 지역에 설치 시 장점이 있으나 높은 초기 비용 등의 단점이 있다.

기존의 태양광 가로등 시스템에 사용되는 전원 장치는 배터리 충전을 위한 충전기와 LED 등을 구동하기 위한 LED 드라이버로 구성되어 있으며, 장치의 특성상 별도의 전원 장치로 AC/DC 변환 장치가 구성 될 수 있다.

그러나 본 논문에서 제시한 태양광 가로등 시스템은 충전기는 낮시간에 구동하고 LED 드라이버는 야간에 구

동 것을 착안하여 충전기와 LED 드라이버를 한 개의 장치로 구동하는 방식을 제안 하였다. 즉, LED 드라이버는 정전류 방식을 이용하여 구동하고, 충전기는 전류제어 루틴방식을 이용하여 구동하였으며, 이 방식을 제어하기 위해 AVR을 이용하였다. 결과적으로 기존의 DSP를 이용한 시스템을 사용하지 않고 제안한 AVR 시스템을 사용함으로써 장치의 소형화 및 가격 저감 효과를 가져 올 수 있다. 특히 장치의 효율을 높이기 위하여 계통 연계형 태양광 발전 시스템에 적용하는 최대전력추적(Maximum Power Point Tracking : MPPT)을 충전기에 적용하여 충전기의 효율을 약 10% 향상 시킬 수 있었다.

## References

- [1] Dong-Yun Lee, Hyeong-Ju Noh, Dong-Seok Hyun, "An Improved MPPT Converter with Current Compensation Method for Small Scaled PV-Applications", THE KOREAN INSTITUTE OF POWER ELECTRONICS. 2003. 4.
- [2] Gyu-Yeong Choe, Jong-Soo Kim, Hyun-Soo Kang, Byoung-kuk Lee, "Design of Photovoltaic Generation System Using PLECS", THE KOREAN INSTITUTE OF POWER ELECTRONICS. pp. 16-18 2007. 7.
- [3] Gwon-Jong Yu, Ki-Hyun Kim, Young-Seok Jung, Young-Seok Kim, "A Study on the MPPT Control Algorithm and Efficiency Evaluation Method", THE KOREAN INSTITUTE OF POWER ELECTRONICS. 2001. 4.
- [4] Kyung-Soo Lee, Young-Seok Jung, Jung-Hun So, Gwon-Jong Yu, and Jaeho Choi, "A Suggestion of New MPPT Algorithm in the PV system", 2003.

## 오 성 철(Sung-Chul Oh)

[정회원]



- 1980년 2월 : 서울대학교 전기공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 서울대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1989년 5월 : Univ. of Florida 전기공학과 (공학박사)
- 1982년 ~ 1994년 : 한국전기연구원 선임연구원
- 1994년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신 공학부 교수

<관심분야>

전력변환장치 설계, 전원장치 설계, 전동기제어

## 박 대 수(Dae-Su Park)

[정회원]



- 2006년 2월 : 건양대학교 디지털 정보제어공학 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 석사과정 졸업예정

<관심분야>

전원장치 설계, 신재생에너지