

# 레이저 무선전력전송 시스템의 MPPT 제어를 위한 배터리 충전 컨버터 개발

이성준<sup>1†</sup>, 임남규<sup>1</sup>, 최원선<sup>2</sup>, 이용탁<sup>2</sup>  
 조선대학교 기계시스템미래자동차공학부<sup>1†</sup>, 광주과학기술원<sup>2</sup>

## Development of Battery Charging Converter for MPPT Control of Laser Wireless Power Transmission System

Seongjun Lee<sup>1†</sup>, Namgyu Lim<sup>1</sup>, Wonseon Choi<sup>2</sup>, Yongtak Lee<sup>2</sup>  
 Chosun University<sup>1</sup>, Gwangju Institute of Science and Technology<sup>2</sup>

### ABSTRACT

본 논문에서는 레이저 광원을 적용한 무선전력전송 시스템에 적용되는 PV 모듈의 출력 특성을 분석하고, PV 모듈로부터 최대 전력을 발생시키면서 배터리를 충전시킬 수 있는 컨버터 개발 결과를 제시한다. 먼저, 특정 파장에서 최대전력이 발생되도록 개발된 PV 수신모듈에 레이저 빔을 조사하였고, 레이저에 공급되는 전력 크기에 따른 PV 모듈의 전압-전류의 특성 데이터를 확보하였다. 전압/전류 특성 데이터로부터 PV 수신모듈의 소신호 저항을 분석하였고, 이를 컨버터 회로 모델에 적용함으로써 제어기 설계를 위한 시스템의 전달함수를 유도하였다. 이로부터 레이저 일사량에 따른 전류원/전압원 전영역에서 PV 모듈의 입력전압을 안정적으로 제어할 수 있는 제어기를 설계함으로써 레이저 수신용 PV 모듈이 최대 전력을 발생시킬 수 있도록 하였다. 본 논문에서 제안된 방법은 MCU 제어기반 25W급 배터리 충전용 부스트 컨버터의 프로토타입 제품을 통해 실험 검증되었다.

### 1. 서 론

최근 전기자동차, 각종 IoT 디바이스 및 무인 이동체에 전력을 공급하기 위한 무선충전 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재까지의 무선 충전 기술은 자기유도 방식, 자기공진 방식 등이 주를 이루어 연구되고 있다. 자기유도 방식은 송신코일과 수신코일의 거리가 단거리 (전자제품 1~2cm 또는 전차차 0.15m 이내)인 경우에 주로 사용되고 있고, 자기공진 방식은 자기유도 방식에 비해 전송거리가 긴 경우에 적용하나 이 경우도 10m 이내의 거리를 주 대상으로 하고 있다 [1].

본 논문에서는 그림 1과 같이 무인 항공기에 장거리 무선전력전송을 위한 방식 중에서 레이저 빔의 광에너지를 전기에너지로 변환할 수 있는 PV 수신 모듈을 입력전원으로 한 배터리 충전용 컨버터의 MPPT 제어기 설계 방법에 대해 제시한다. 논문 [2]에서는 본 연구의 입력전원인 레이저 광원용 PV 셀의 material의 종류 및 레이저의 파장에 따른 전압, 전류, 효율에 대한 연구 결과를 제시하였다. 하지만 제시된 연구 결과 외에 PV 모듈이 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)에 적용되었

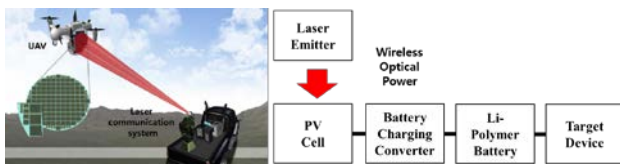


그림 1. UAV의 레이저 무선충전시스템 구성도 [2]

을 때 최대전력을 발생시키면서 배터리를 충전시킬 수 있는 컨버터의 제어 방법에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 레이저 광원 수신용 PV 모듈의 소신호 특성이 반영된 배터리 충전장치의 제어기 설계방법을 제시하고, 설계된 제어회로로부터 PV 모듈이 최대 전력을 발생시키면서 배터리를 충전시킬 수 있음을 보인다. 제안된 방법은 MCU 제어기반 25W급 배터리 충전용 부스트 컨버터의 프로토타입 제품을 통해 실험 검증되었다.

### 2. 레이저 충전시스템

#### 2.1 PV 모듈 특성 곡선

그림 2는 레이저 광원의 일사량에 대한 전압-전류, 전압-전력 특성 데이터를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 레이저 광원을 적용한 PV 모듈도 태양전지 모듈과 유사하게 비선형적인 출력 특성을 가지고 있고, 주어진 레이저 광원의 일사량(레이저 출력)과 온도에 따라 단락 전류와 개방 전압 크기, 최대전력 발생 지점이 변동된다. 따라서 배터리 충전시스템은 MPPT 알고리즘을 통해 PV 모듈이 최대전력을 발생시킬 수 있도록 해야 하고, 온도와 일사량 변동시에도 안정적으로 동작점을 제어할 수 있어야 한다. 따라서 부스트 컨버터는 대신호적으로 안정적인 동작점을 형성할 수 있도록 PV 모듈의 입력 전압을 제어하도록 하였다.

#### 2.2 부스트 컨버터 제어기 설계

부스트 컨버터의 제어기 설계 및 안정도 분석을 위해서 동적 평형상태에서의 동작점을 기준으로 시스템을 선형화하여 시스템의 입력에 대한 출력의 전달함수를 구하는 방법인 State-space averaging 방법을 이용한 소신호 모델링 기법을 적용한다.

그림 3은 PV 모듈을 전류원으로 모델링한 부스트 컨버터의 전력회로도를 나타낸다. 부스트 컨버터의 On, Off 시퀀스에

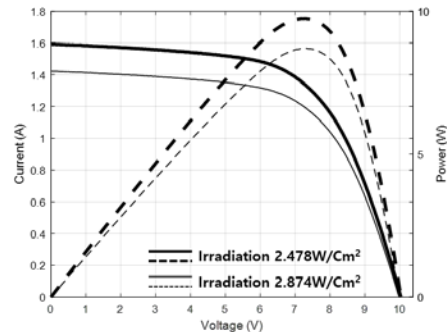


그림 2. 레이저셀용 PV 모듈 특성 곡선

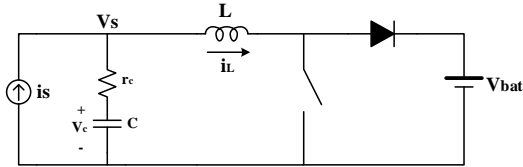


그림 3. 레이저 셀 PV 모듈을 unterminate시킨 부스트 컨버터

따른 상태방정식을 평균화하면 소신호모델 전달함수를 식 (1)과 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 G_1 = \frac{\hat{i}_L}{\hat{i}_s} &= \frac{(1 + s r_c C)}{\Delta} & G_2 = \frac{\hat{i}_L}{\hat{v}_{bat}} &= -\frac{s C D'}{\Delta} \\
 G_3 = \frac{\hat{v}_s}{\hat{i}_s} &= \frac{s L (1 + s r_c C)}{\Delta} & G_4 = \frac{\hat{v}_s}{\hat{v}_{bat}} &= D' \frac{(1 + s r_c C)}{\Delta} \\
 G_5 = \frac{\hat{i}_L}{\hat{d}} &= \frac{s C V_{dc}}{\Delta} & G_6 = \frac{\hat{v}_s}{\hat{d}} &= -V_{bat} \frac{(1 + s r_c C)}{\Delta}
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\Delta = 1 + \frac{s}{Q \omega_o} + \frac{s^2}{\omega_o^2}, \quad Q = \frac{1}{r_c} \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad \omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

이때 PV 모듈은 비선형 소스원이므로 동작점에 대한 Taylor series를 통해 소신호모델을 위한 저항을 구할 수 있다. 입력 전류와 전압을 고려하면 그림 4와 같이 PV 모듈의 소신호 저항  $r_s$ 가 포함된 소신호 모델 블록선도를 구할 수 있다. 따라서 최대 전력점 추적제어를 위한 PV 모듈의 입력 전압제어를 위해 필요한 듀티에 대한 인덕터 전류와 듀티에 대한 입력전압의 전달함수를 식 (2)-(3)과 같이 구할 수 있다. 따라서 유도된 시스템의 전달함수부터 MCU에서 구현이 용이한 PI 제어기를 적용하여 내부 전류제어 루프와 외부 전압루프를 설계하였다.

$$\frac{\hat{i}_L}{\hat{d}} = G_{id} = -\frac{V_{bat}}{r_s} \frac{(1 - s r_s C)}{1 + s \left( r_c C - \frac{L}{r_s} \right) + s^2 \left( LC - \frac{r_c LC}{r_s} \right)} \quad (2)$$

$$\frac{\hat{v}_s}{\hat{d}} = G_{vd} = -V_{bat} \frac{(1 + s r_c C)}{1 + s \left( r_c C - \frac{L}{r_s} \right) + s^2 \left( LC - \frac{r_c LC}{r_s} \right)} \quad (3)$$

### 3. 실험 결과

그림 5는 레이저 셀 광원을 이용한 배터리 충전시스템의 지상조건의 실험구성 및 제작된 프로토타입 충전장치(컨버터)의 주요 보드구성을 나타낸다. 충전장치 모듈에는 UAV의 상위 제어기와의 CAN 통신 기능요구를 만족시키고, MPPT 연산, 컨버터의 디지털 제어 및 시스템의 보호로직 동작을 위해 TMS320f28069 MCU가 적용되어 있다.

레이저 광원을 적용한 배터리 충전장치의 기동순서 및 MPPT 제어 실험 결과를 그림 6에 나타낸다. 컨버터 출력부에 배터리가 연결된 상태('Battery ON')에서 레이저 빛이 PV 모듈에 조사('Laser illumination ON') 되는 경우 배터리 충전장치의 제어기가 활성화된다. 자체 진단을 수행한 후 이상이 없는 경우 5초 후 동작을 수행('BCR On') 한다. 본 실험 파형은 리튬

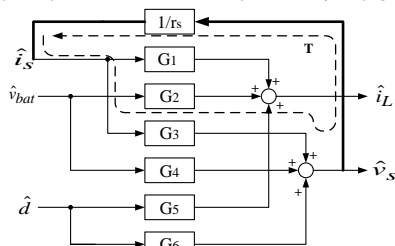


그림 4. PV 모듈을 terminate시킨 소신호 블록 다이어그램

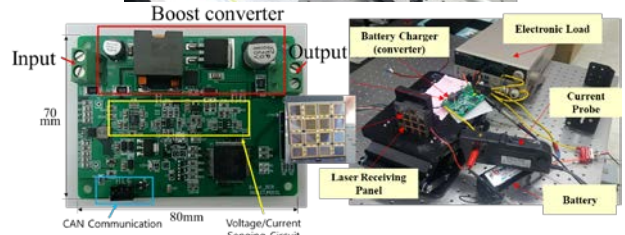
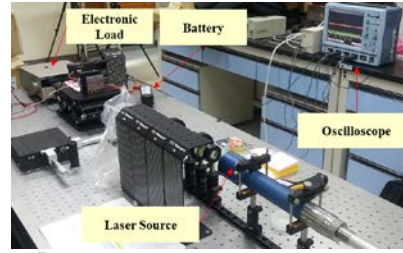


그림 5. 실험구성 및 프로토타입 충전기 보드구성

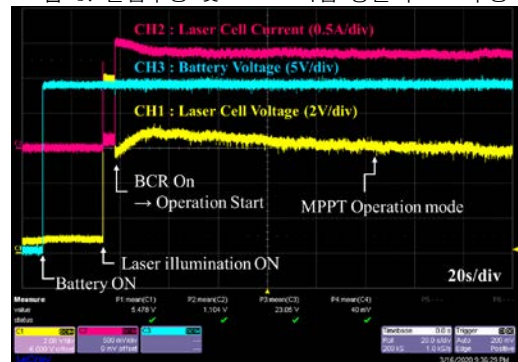


그림 6. 레이저 광원을 적용한 배터리 충전장치의 MPPT

추적성능 및 배터리 충전제어 결과  
배터리가 24.5V로 설정된 만충 전압에 도달하지 않았기 때문에 MPPT 제어 모드로 동작하는 결과를 나타낸다. 부스트 컨버터는 6~8V 사이의 PV 모듈의 최대전력 동작점을 추적 제어하는 것을 확인할 수 있고, 이때 발생된 전력으로 배터리가 충전되고 있음을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 레이저 광원을 적용한 무선전력전송 시스템에 적용되는 부스트 컨버터의 제어시스템 설계 방법과 제작된 프로토타입 제품을 이용한 실험방법, 결과를 제시하였다. 본 연구 결과는 레이저 무선전력시스템에 대한 연구개발 및 제품활성화에 기여할 수 있는 것으로 판단된다.

### 감사

이 논문은 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (P0002092, 2020년 산업전문인력역량강화사업)  
본 연구는 한국연구재단의 사회맞춤형 산학협력 선도대학 (LINK+)육성사업의 재원으로 지원을 받아 수행된 연구결과임.

### 참고 문헌

[1] Rhee, Dong-Hun and Kim, Sung-Man, "레이저 무선충전 기술 연구," 한국전자통신학회논문지, vol. 11, no. 12, pp. 1219-1224, Dec. 2016.  
[2] Youngjo Kim, Hyun-Beom Shin, Won-Hee Lee, Sang Hyun Jung, Chang Zoo Kim, Hyunsung Kim, Yong Tak Lee, Ho Kwan Kang, "1080nm InGaAs laser power converters grown by MOCVD using InAlGaAs metamorphic buffer layers," Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 200, 2019, 109984.