

LED 교통 표지판용 독립형 태양광 발전 시스템의 구현

이성룡, 전철환, 신영찬, 이강명*

군산대학교, 전북인력개발원*

Implementation of the Stand-Alone PV Generation System for the LED Road Sign

S.R. Lee, C.H. Jeon, Y.C. Shin, and K.M. Lee*

Kunsan National University, Jeonbuk Human Resources Development Institute*

ABSTRACT

This paper deals with stand-alone PV power generation system with charge and discharge controller for the LED road sign. Main power source of PV system are generally solar cell and battery. Therefore PV system can be classified into variable types in accordance with connection type between battery and solar cell. Mainly used on of them is direct connection type which has advantage such as simple structure and simple controller. To verify the proposed PV generation system for the LED road sign, the detail simulation and experiment results indicate that operating characteristics are verified by experiment with a laboratory prototype in this paper.

1. 서 론

산업문명이 고도로 발달한 현대 사회에서 자동차는 없어서는 안될 운송수단으로서 역할을 하고 있지만 도로망의 발달과 자동차의 성능이 향상된 것과 비례하여 교통사고율은 매년 증가하는 추세이다. 또한, 야간운전이나 초행길에 교통사고율이 높는데 이러한 문제를 해결하기 위해서 야광물질로 만들어진 도로교통 표지판을 조명장치로 교체하고 있다.

일반적으로 도로교통 표지판용 조명장치에 사용하는 발광 다이오드(LED)는 충분히 밝아야 하기 때문에 고휘도 발광 다이오드를 사용한다. 고휘도 발광 다이오드는 일반 발광 다이오드에 비해 약 2 배 이상의 전력을 소비하며 시각적인 효율성을 높이기 위해서는 LED 숫자를 증가시켜야 하므로 높

은 소비전력을 요구하게 된다. 또한, 도로교통 표지판용 조명장치는 가로등이 없는 고속도로나 한적한 시골길 같은 원격지에 주로 사용하게 된다. 따라서 전력선을 연결하기 위한 초기 설치비용이 증가하고 유지보수비용 또한 증가하게 되는 단점을 가진다. 최근에 이러한 단점을 보완하기 위하여 대체에너지를 이용하여 독립적으로 운영 가능한 도로교통표지판용 조명장치에 대한 요구가 증대하고 있으며 그에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 대체에너지 중에서도 설치가 용이하고 보급이 빠른 태양광발전 시스템을 주로 사용하게 되는데 고휘도 발광 다이오드의 소비전력이 크기 때문에 태양전지의 용량 및 배터리의 용량 증가로 인한 설치비용 증대는 해결해야 할 가장 큰 문제점으로 지적되고 있다^[1-3].

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 광섬유를 활용한 도로교통 표지판 조명용 독립형 태양광 발전시스템에 논의하고자 한다. 광섬유를 이용할 경우 소비전력이 획기적으로 저감되기 때문에 시스템의 소형화가 가능하며, 이로 인해 전력선 없이 단독으로 태양광 발전만으로 운영하는데 큰 장점을 가진다. 또한, 독립적으로 시스템을 운영하기 위해서는 태양전지 용량 및 배터리 용량을 적절히 설계해야 하는데 그 이유는 태양전지의 특성상 날씨에 따른 출력 변동이 심하고 비 오는 날일 경우 발전을 할 수 없는 부조일이 생기기 때문에 여러 가지 조건을 고려하여 설계를 해야 한다. 또한, 입력 전압변동이 발생해도 배터리에 충전 할 수 있는 DC-DC 컨버터의 설계 및 제어가 중요하고, 밤과 낮을 구분하여 조명장치를 제어할 수 있어야 한다. 그러므로, 본 연구에서는 제안된 도로교통 표지판 조명용 독립형 태양광 발전시스템을 이론적으로 해석하고 부하용량에 따른 태양전지 및 배터리 용량의 최적 설계방법에 대하여 논하였으며, 기후 및 온

도 변화에 따른 태양전지의 출력 변동에도 배터리 충전을 할 수 있도록 DC-DC 컨버터의 설계방법과 충전방법에 대하여 제시하였다. 또한, 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 제시된 시스템의 유용성을 입증하였다.

2. 시스템 설계 및 시뮬레이션

태양전지는 빛 에너지를 흡수하여 전기 미립자(정공,전자)를 생성분리 및 수거하여 외부에 전기 에너지를 공급하는 것을 말한다. 태양전지 중에서 단결정 실리콘 태양전지는 순도가 높고 성능 면에서 높은 효율을 낼 수 있기 때문에 제조가격은 비싸지만 산업사회의 85%이상 사용하고 있다. 또한, 태양광 축전지에는 저렴한 가격으로 제조가 가능하고 넓은 온도 조건에서 높은 출력을 낼 수 있으며 비교적 균형 잡힌 성능을 가지고 있는 납축전지를 주로 사용한다.

충전방법으로는 정전압 및 정전류 충전방법과 빠른 충전을 위한 정전압·정전류 충전방법이 있다. 정전압 충전방법은 충전기간동안 항상 전압을 일정하게 유지하는 방법으로 가스발생이 적고 충전효율이 좋은 장점을 가진다. 본 연구에서는 태양전지에서 발생된 전력을 배터리에 충전하기 위해 정전압 충전방법을 사용하기로 한다. 태양전지 발전출력은 시간과 기후에 따라 변동이 된다. 따라서, 정전압 충전방법으로 충전하기 위해서는 입력변동에 상관없이 전압을 일정하게 유지시켜주는 DC-DC 컨버터가 필요하다.

본 연구에서는 정전압 충전방법으로 배터리를 충전하기 위해 충전제어기로 벅-부스트 컨버터를 사용하기로 했다. 태양광 발전은 특성상 태양전지 발전출력의 변동이 심하기 때문에 입력전압변동에도 안정하게 출력을 얻을 수 있는 컨버터가 필요하다. 벅-부스트 컨버터는 출력전압을 입력전압보다 높거나 낮게 출력할 수 있는 승·강압형 컨버터로 입력의 변동이 심할 때 주로 사용함으로 본 시스템에 적합하다.

2.1 시스템 부하용량 산출 및 설계

도로교통표지판 조명용 독립형 태양광 발전 시스템은 특성상 낮에 충전을 하고 밤에 배터리를 이용하여 전력을 소비한다. 따라서, 낮에 발전된 전력을 충전 할 수 있는 배터리와 충전기 그리고 낮과 밤을 구분하여 LED를 온-오프 할 수 있는 제어기가 필요하다. 그림 2.1은 본 연구에서 제안한 LED 교통표지판용 독립형 태양광 발전 시스템의 블록도이다.

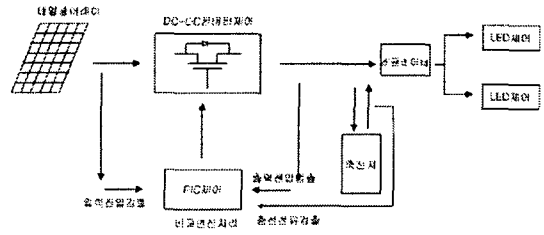


그림 2.1 제안된 독립형 태양광 발전 시스템의 블록선도

제안된 시스템은 낮에 충전을 하고 밤에 소비하기 때문에 부하용량에 따라 배터리의 용량을 결정해야 한다. 또한, 태양광 발전은 비가 오거나 아주 흐린 날에는 발전할 수 없는 부조일이 발생하기 때문에 이 점도 고려하여 배터리의 용량을 결정해야 한다.

부하용량은 일일 사용 부하량으로 식 (2.1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{일일 사용 부하량} : \text{부하량}(W) \times 12\text{hr} = \text{Wh/day} \quad (2.1)$$

태양전지용량과 배터리부하량은 부하사용량에 따라 식 (2.2)와 (2.3)으로 구할 수 있다. 여기서 부조일이란 태양전지가 발전할 수 없는 경우로 일반적으로 3일을 사용한다.

$$\text{태양전지용량}(wp) =$$

$$\frac{\text{부하사용량}(Wh/day)}{\text{경사면} \times \text{일사량}(kwh/m, day/kw) \times \text{시스템효율}(0.5)} \quad (2.2)$$

$$\text{배터리부하량}(wh) =$$

$$\frac{\text{일일사용부하량}(Wh/day) \times \text{부조일}(3일)}{\text{배터리충방전효율}(0.85) \times \text{방전심도}(0.6)} \quad (2.3)$$

본 연구에서 적용한 광섬유를 활용한 교통표지판용 조명장치는 LED 숫자를 최소로 할 수 있으며, 대략, LED 20개 정도이면 모든 표지판 사용이 가능하리라고 판단된다. 따라서, 시스템 손실을 감안하여 일일부하사용량을 3[W]로 선정하여 표 2.1에 태양전지 및 배터리 용량을 나타내었다.

표 2.1 시스템 설계 사양

일일 사용부하량	36Wh/day
태양전지 용량	24wp
축전지 부하량	424wh
배터리 용량	12V, 35.3AH

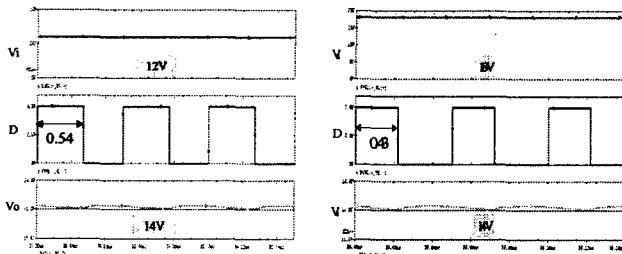
2.2 시뮬레이션

제안된 시스템에서 태양전지 출력변동에 따른 충전제어기의 동작을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 프로그램은 Pspice 시뮬레이션 프로그램을 사용하였다. 시뮬레이션 조건은 표 2.2와 같으며 태양전지 출력은 DC 가변 전압원으로 대체하였고 실험에 의한 태양전지 출력 변동에 대하여도 안정된 출력을 낼 수 있도록 인덕터와 캐패시터 값을 선정하였으며 제어기는 시뮬레이션 틀에서 제공하는 오차보상기와 비교기로 구성하였다.

표 2.2 시뮬레이션 조건

Parameter	Value	Parameter	Value
V_i	12-18V	스위칭 주파수	20KHz
L	56.5uH	출력전압리플	1%
C	380uF	R_o	7.Ω

그림 2.2는 입력전압이 12V와 18V일 때 스위칭 듀티비와 출력전압을 나타내며, 위에서부터 순서대로 입력전압, 스위칭 듀티비 그리고 출력 전압이다. 입력전압의 변동으로 듀티비가 0.54에서 0.43으로 바뀌는 것을 알 수 있다.



(a) 입력전압(12V)

(b) 입력전압(18V)

그림 2.3 입출력 전압 및 스위칭 듀티비 시뮬레이션 파형

그림 2.3에서 입력 전압 12, 18[V] 값을 대입하여 출력파형을 관찰하여 본 결과 입력전압에 따라 스위칭 듀티비를 제어함으로써 배터리의 충전입력전압을 일정하게 유지할 수 있음을 알 수 있다.

3. 회로 구성 및 제어

그림 3.1은 제안된 시스템의 제어 블록도이다. 시스템의 구성은 태양광 발전전력을 배터리에 충전하는 충전부와 LED를 구동하기 위한 출력부 그리고 충전 및 LED 온-오프를 제어 하는 제어부로 구성된다. 충전부와 출력부의 각 소자의 정격용량은 표 2.1과 2.2에 의해 최대전압과 최대전류를 고려하여 구할 수 있다. 제어부는 원칩 마이크로프로세서인

PIC16C74를 사용하여 태양전지 입력전압 및 충전기의 출력전압을 센싱하여 주전력 스위치와 LED 온-오프를 제어한다.

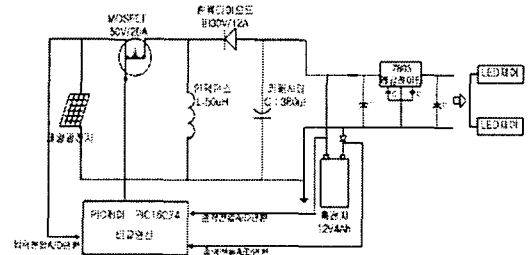


그림 3.1 제안된 시스템의 제어 블록도

시스템 제어 알고리즘은 충전부의 스위칭 제어 알고리즘과 LED 온-오프 제어 알고리즘으로 구분할 수 있다.

스위칭 제어 알고리즘은 태양전지의 입력전압의 변동에도 배터리의 충전입력전압을 일정하게 유지하기 위한 알고리즘으로 순서도는 그림 3.2와 같다.

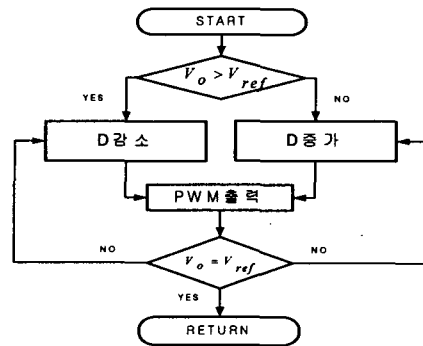


그림 3.2 스위칭 제어 알고리즘

그림 3.2에서처럼 컨버터의 출력전압을 센싱받아 오차보상을 통하여 스위칭 듀티비를 결정한다. 또한, 배터리의 충전전압을 센싱하여 부족충전 및 과충전으로부터 배터리를 보호하게 된다.

LED 온-오프 제어 알고리즘은 낮과 밤을 구별하여 밤에만 LED가 온이 될 수 있도록 하는 제어 알고리즘이다. 태양광 발전특성을 실험하여 얻은 결과 밤인 경우 출력전압이 5[V]미만으로 떨어짐을 알 수 있었다. 따라서, LED 온-오프 제어 알고리즘은 태양전지의 출력전압을 측정하여 5[V] 미만으로 떨어졌을 경우에만 LED를 동작 시키며 5[V] 이상일 경우 LED를 오프 시킨다.

4. 실험 및 고찰

본 연구에서 제안한 시스템의 유용성을 확인하고자 부하용량 3[W]급의 시스템을 제작 실험하였고 실험조건은 표 4.1과 같다.

표 4.1 실험 조건

품명	규격	품명	규격
태양전지용량	24[WP]	출력전압리플	1%
축전지 용량	35[Ah]	출력 전압	14V
입력전압	12V-18V	스위칭주파수	20[kHz]
L	56.5[μH]	주스위치	MOSFET 50V/20A
C	380[μF]	환류다이오드	DSEI 30-12A

태양전지의 출력변동에 따른 충전기의 출력특성을 확인하기 위하여 입력전압 12, 16[V]일 때 컨버터의 출력전압 및 듀티비 변화에 대한 실험을 수행하였다.

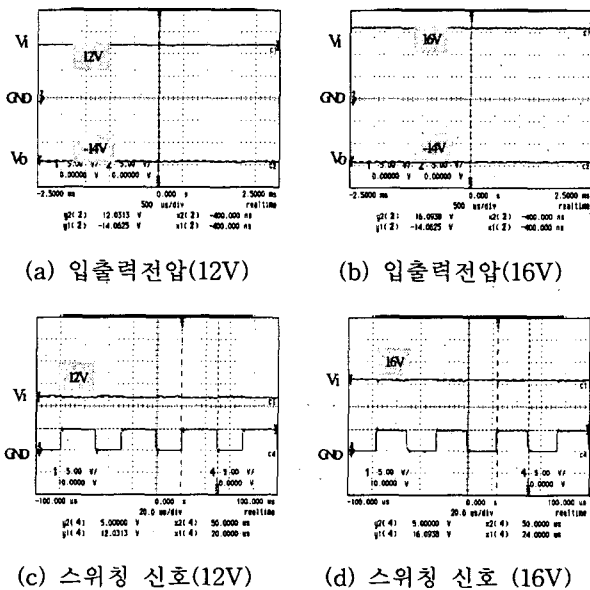
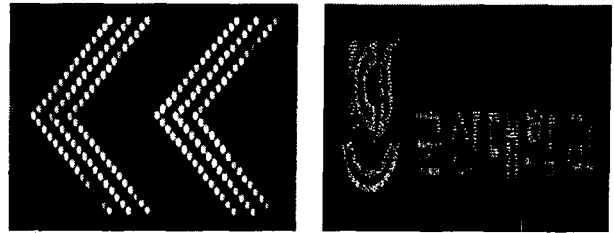


그림 4.1 입출력 전압 및 입력에 따른 스위칭 듀티비 실험 파형

그림 4.1은 태양전지의 출력변동에 따른 충전기의 출력전압의 실험파형이다. 그림 4.1 (a),(b)에서처럼 입력전압이 12V와 16V로 변동했을때도 출력전압은 14V로 일정한 출력을 내는 것을 알 수 있다. 그림 4.1 (c),(d)는 입력전압이 각각 12V와 16V일 때 스위칭 듀티비를 나타내고 있는데 입력전압에 따라 듀티비를 가변하여 14V의 일정한 출력을 보내고 있음을 알 수 있다.

그림 5.2는 제안된 시스템을 사용하여 도로교통 표지판 조명장치를 동작시킨 실험사진이다. 그림 5.2(a)는 일반적으로 갈매기시선 유도기라고 하는 표지판으로 광섬유를 활용하여 LED 하나만을 사용하였으며, 그림 5.2(b)는 제안된 시스템의 응용성을 알아보는 실험으로 글자와 색상으로 표현되는 이정표의 한 예로 LED 9개를 사용하였다.



(a) 갈매기 표지판 (b) 도로 이정표의 한 예

그림 5.2 제안된 PV 시스템의 적용사례 실험사진

5 결론

본 논문에서는 전력선이 필요하지 않은 원격지에서도 운영 가능한 도로교통 표지판 조명용 독립형 태양광 발전시스템을 제안하였으며, 부하용량에 따른 태양전지 및 배터리 용량의 최적 설계방법에 대하여 논의하였다. 또한 입력변동에도 강인하게 안정한 출력전압을 얻을수 있는 컨버터의 설계방법 및 제어 알고리즘에 대하여 논의하였으며 PSpice 프로그램 사용하여 제안된 시스템의 유용성을 확인하였고, 3[W]급의 시작품을 제작 실험하였다. 실험 결과 광섬유를 이용하면 소비전력을 최소화 할 수 있었으며, 부하용량에 따른 태양전지 및 배터리의 설계방법을 제시함으로써 태양광 발전 시스템과 연계하여 독립적으로 운영이 가능함을 알 수 있었다.

이상의 결과로 본 연구에서 제안한 도로교통 표지판 조명용 독립형 태양광 발전 시스템은 저전력 및 고효율 장치로 획기적으로 에너지를 절약할수 있으며, 전력선이 필요하지 않기 때문에 고속도로나 한적한 시골길 같은 원격지에서도 독립적으로 운영할 수 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 한석우, 최규하, 장도현, " 태양광발전 시스템을 이용한 전력품질 보상시스템", 2001' 전력전자 학술대회 논문집, pp. 76-79
- [2] R Redl, P Tenti, J Daan van Wyk, "Combatting the Pollution of the Power Distribution System by Electronic Equipment" PP.42-48, IEEE, Intelec'97
- [3] Lloyd Dixon, " Average Current of Switching Power Supplies", Unitrode Switching Regulated Power Supply Design Seminar manual, Unitrode Corporation, Watertown, MA, 1990, pp. 5-1 to 5-14.