

독립형 태양광 발전 시스템의 제어 알고리즘에 관한 연구

김태엽, 정맹화, 고권성  
주식회사 STX

The Study of Control Algorithm for Stand alone PV System

Tae-Yeop KIM, Maeng-Hwa Jung, Gweon-Seong Goh  
STX Corporation

**Abstract** - The flooded type battery is used for solar lighting system. Because the characteristic of flooded type battery is the short life time, the maintenance cost is high. So the using flooded type battery in this system is inappropriate. The valve regulated lead acid batter(VRLA) is the maintenance free and cycle service purpose. This paper presents the development of control system and monitoring system to applied VRLA battery for maintenance free and long life time in system.

1. 서 론

경제성장과 산업·사회생활의 고도화에 따라 증대하는 에너지 수요와 화석 에너지 보유량의 감소, 지구환경 문제를 둘러싼 화석연료 사용의 각종 규제 및 제약, 에너지 자원의 지역적 편중성 및 최근 석유자원의 가격의 불안정한 현실에 직면하고 있다. 이러한 원인으로 각국은 경쟁적으로 대체에너지 개발에 투자를 아끼지 않고 있으며, 태양광 및 풍력 발전 등의 대체에너지원에 대한 기대가 증가하고 있다.

태양광 발전의 장점으로 소용량 시설이 편리하며, 설치용량의 선택이 자유롭고, 일사량 데이터를 이용하여 쉽게 부존 자원량을 산정할 수 있으며, 지역에 따른 자원의 편중성이 적고, 계절 및 시간에 따른 출력변화가 적으며, 설치기간이 짧은 장점을 가지고 있다. 특히 유지보수, 연료 및 수송비용이 필요 없는 장점으로 인하여 태양광 발전은 독립형 시스템으로 가로등, 통신시설, 등대, 양수펌프, 도서지역 등의 상용전원의 접근이 어려우며 소규모 전원시설 및 디젤발전이 용의하지 않은 시설에 높은 경제성을 가지고 있다.

독립형 태양광 시스템은 도서, 산간 오지, 통신시설 고속도로 등의 상용전원 설비가 용이하지 않은 장소에 시설되고 있다. 독립형 태양광 발전시스템은 설치되는 장소에 따라서는 설치비용은 물론 유지보수 비용이 상용전원설비에 비하여 저렴하여 시장이 급속히 확장되고 있다. 독립형 태양광 발전시설의 설치 및 유지비용을 최소화 하기 위해서는 설치장소의 정확한 일사량 데이터 및 온도 등의 기후자료를 통하여 시설용량을 최적화하여야 하며, 설치된 태양전지 및 배터리의 이용효율을 최대화 하며 시스템 수명을 최대화 할 수 있는 제어 알고리즘을 필요로 한다.

연계형 시스템의 경우 다른 대체에너지 자원에 비하여 높은 발전단가를 가지고 있으나, 박막태양전지 개발 및 대량생산 등의 요인에 따른 태양전지 가격이 낮아지고 있어 미래에 경쟁력 높은 발전수단이 될 것으로 전망된다.

태양광 가로등 시스템과 같은 소규모 독립형 태양광 발전 시스템은 Flooded type의 축전지를 많이 사용하

고 있다. 하지만, 이러한 축전지는 전지의 수명이 짧으며, 방전심도가 큰 경우 급격하게 성능감소가 발생하게 되어 사이클 서비스 용도로 부적합하다. 특히 산간 및 오지에 많이 설치되는 특성상 유지보수 비용의 증가 및 시스템 운용상에 많은 어려움이 발생하고 있으며, 제품의 신뢰성을 떨어뜨리고 있다. 밀폐형 축전지의 경우 유지보수가 거의 필요 없으며, 수명이 길어 사이클 서비스 용도로 적합하며, 소형의 독립형 태양광 발전시스템에도 밀폐형 축전지를 적용하는 것이 타당하다.

따라서 본 논문에서는 태양전지 최대 출력점 추종 제어 알고리즘과 배터리 충방전 제어 알고리즘을 결합하여 독립형 태양광 발전 시스템의 운영효율을 최적화 할 수 있는 제어알고리즘을 제시하고, 시뮬레이션과 실험을 통하여 이의 타당성을 검증하도록 하겠다.

2. 태양광 가로등 제어장치

2.1 태양전지 제어

태양전지는 광기전력 효과를 이용하여 빛에너지를 직접 전기로 변화하게 되며, 일사량 및 태양전지 표면온도 등에 따라 출력량이 변화하게 된다. 태양전지의 출력특성은 동일한 일사량 및 표면온도에서도 출력전압 및 전류에 의하여 다르게 결정되어지며 태양전지 특성방정식은 식(1)과 같으며, 출력 특성곡선은 그림 1과 같다.

$$I = I_{ph} - I_{sat} \left\{ \exp \left[ \frac{q}{AKT} (V + IR_s) \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

태양전지의 특성 및 최대 출력점을 설명하기 위해 태양전지의 I-V 및 P-V 특성곡선을 그림 1에 나타내었다 [6]. I-V 특성곡선은 일사량과 온도변화에 대해 일사량이 증가하면 출력전류가 증가하여 ①선에서 ②선으로 변화하며, 온도가 증가하면 출력전압이 감소하여 ①선에서 ③선으로 변화하게 된다.

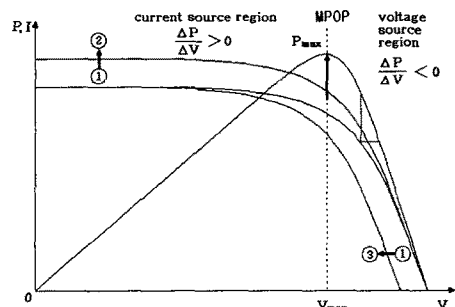


그림 1 태양전지의 특성곡선  
Fig. 1 Characteristic curve of solar cell

즉, 일사량 및 온도의 변화에 의해 태양전지의 특성곡선이 변하게 되며 이에 따라 최대 출력점도 계속 변하게 된다. 따라서 최대 출력점 추종제어의 목적은 이러한 외부 조건에 영향을 받지 않고 태양전지의 동작점을 항상 최대 출력점에 위치시키는 것이다.

태양전지의 출력특성은 전압 변동에 따른 출력의 변화율이 영이 되는 최대 출력점 전압 ( $V_{max}$ )을 기준으로 전류원 영역(current source region), 최대출력점, 전압원 영역(voltage source region)으로 나누며, 식(2)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} &> 0 && \text{current source region} \\ \frac{\Delta P}{\Delta V} &= 0 && \text{maximum power point} \\ &< 0 && \text{voltage source region} \end{aligned} \quad (2)$$

따라서 최대 출력점 추종제어의 목적은 식(2)의 변화율을 영으로 만드는 것이다.

최대출력점 추종제어기법은 대표적으로 전력비교법 및 도체증분법이 있으며, 본 논문에서는 알고리즘이 간단한 전력비교법을 사용하였다. 전력비교법 알고리즘은 그림 2로 나타내었다.

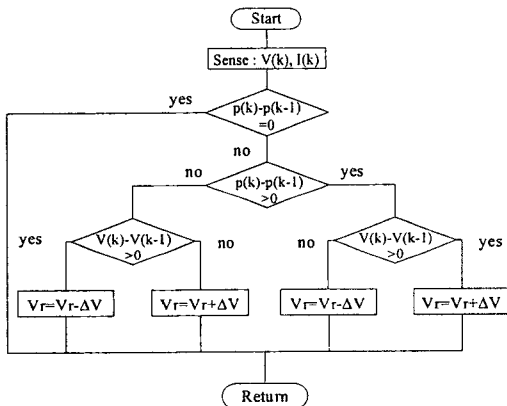


그림 2 전력비교법 알고리즘 순서도  
Fig. 2 Flow chart of the 'Perturb and Observe' MPPT algorithm

## 2.2 배터리 제어

배터리의 충전제어방식으로는 Two-step voltage, Two-step current 및 Pulsed current 방식이 있다. 이러한 방식중 태양전지를 에너지원으로 사용하는 가로등 시스템에서는 Two-step voltage 방식이 적합하다. Two-step voltage 방식의 충전 알고리즘은 그림 3과 같다.

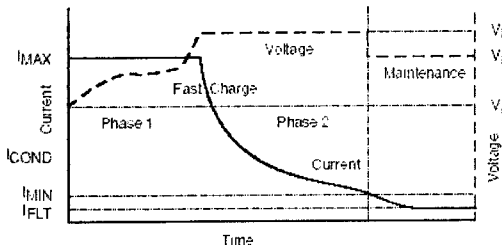


그림 3 정전압 충전 알고리즘  
Fig. 3 Two-step voltage algorithm

Two-step voltage 방식의 충전알고리즘은 다음과 같다.

A. Phase1  
배터리를 충전속도를 향상시키기 위하여 충전율을 고려한 최대전류 ( $I_{MAX}$ )로 최대충전 전압 ( $V_{BLK}$ )에 도달하기까지 고속 충전한다.

B. Phase2  
최대충전전압에 도달하게 되면 충전전압을 최대충전전압으로 유지하기 위하여 배터리 충전전류를 감소시키게 된다.

C. Maintenance  
배터리 만충조건을 충전최소 전류로 검사하게 되며, 이후 충전방식을 부동충전으로 수행하게 된다.

하지만 태양전지의 출력이 환경조건에 대하여 변화하게 되며 앞에서 설명한 최대출력점 추종제어에 의하여 출력이 결정되게 된다. 따라서 배터리 충전제어 알고리즘은 Phase1 구간에서는 최대출력점 추종제어를 우선하여 수행하게 되며 상기 설명한 최대충전 전압을 초과하지 않아야 한다. Phase2 구간에서는 배터리 충전알고리즘을 수행하여야 하며, 태양전지 출력이 배터리 충전 전류량을 초과하지 않는 경우 최대출력점 추종제어를 수행하게 되며, 초과하는 경우 최대출력점 추종제어를 수행하지 않고 충전제어 알고리즘을 우선적으로 수행하게 된다.

## 3. 시스템 구성

### 3.1 모니터링 시스템

모니터링 시스템은 LabView를 사용하여 GUI(Graphic User Interface)로 구성하여 시스템의 데이터 분석을 용이하도록 설계하였다. 제어장치로부터 수평 일사량, 태양전지 표면온도, 제어판넬 내부의 배터리 온도, 태양전지 전압 및 전류와 배터리 전압 및 전류를 검출하여 컴퓨터로 전송하도록 구성하였다. 입력받은 데이터를 초단위로 평균하여 화면에 출력한다. 태양전지, 배터리, 제어동작 상태로 분류 가공하여 30분 단위로 데이터베이스로 변환하여 저장한다. 과거에 저장된 데이터를 별도의 화면으로 구성하여 해석이 용이하도록 하였다.

### 3.2 가로등 시스템 구성

태양광 가로등 시스템의 구성은 그림 4와 같다.

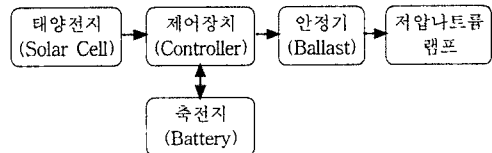


그림 4 태양광 가로등 구성도  
Fig. 4 Block diagram of solar lighting system

구성한 가로등 시스템 사양은 표 1로 나타내었다.

표 1 태양광 가로등 시스템 사양

Table 1 Specification of solar lighting system

항목	사양
태양전지	53W, 4개
저압나트륨등	36W, 4800[lumens]
Ballast	공진형 Push-pull Type
배터리	6V, 300Ah, 방전율 50%
부조일수	4일

## 3. 실험 및 결과

본 논문에서 제시한 태양전지 출력 및 배터리 충전제어 알고리즘을 사용하여 태양광 가로등 시스템에 적용하

여 타당성을 검증하였으며, 설계시 제시한 사항에 부합하는 결과를 얻을 수 있었다.

표 2는 2001년 10월 3일에 획득한 1일 데이터 결과이다.

표 2 획득한 데이터 결과 (2001/10/3)  
Table 2 Result of acquisition data

항목	데이터	항목	데이터
일출시간	6:00	태양전지 최대온도	55.9
일몰시간	18:30	태양전지 최저온도	13.4
총일사량[W/m <sup>2</sup> ]	4004	배터리 최대온도	28.1
총발전량[W]	613	배터리 최저온도	18.5
충전량[Ah]	39.07	방전량[Ah]	35.54

그림 5는 태양전지 출력전압의 일일 곡선으로 최대 출력점 추종제어가 약 30V 부근영역에서 수행되고 있음을 보여주고 있다. 약 12시 이후 배터리 만충상태에 의하여 최대출력점 제어를 수행하지 않는다.

그림 6는 태양전지의 출력전류이며 주어진 일사량 조건 및 배터리 충전정도에 따라서 출력전류가 제어되고 있음을 보여주고 있다.

그림 7은 일사량 데이터로 최대 일사량은 990(W/m<sup>2</sup>)이며 총 일사량은 4004(W/m<sup>2</sup>)이다.

그림 8은 배터리 전압으로 1:40분에 만충전압인 14.4V에 도달하였으며 이후 배터리 충전제어 모드중 Phase2 모드로 동작하였으며, 13:50분 이후 부동충전 모드로 동작하였다.

그림 9는 배터리 전류로 Phase2 모드에서 충전전류가 급속히 감소하고 있음을 보여주고 있다.

태양전지 최대출력제어와 배터리 충전제어를 복합하여 알고리즘을 구성함으로써 총일사량에 대하여 발전 가능한 총발전량은 약 800(W)이며, 배터리 충전 상태에 의하여 약 200(W)가 버려졌음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 밀폐형 축전지를 태양광 가로등 시스템에 적용하기 위한 제어장치 및 모니터링 시스템을 구축하고, 운용 데이터를 획득하였다.

앞에서 제시한 태양전지 최대출력점 추종제어 및 배터리 충전제어 알고리즘을 복합하여 제어알고리즘을 구성함으로써 배터리 충전전력량을 극대화하였다. 이러한 결과로 배터리의 과방전을 방지하고 방전정도를 낮게 가져갈 수 있어 배터리의 수명 향상이 높을것으로 예상되어 지며 정확한 충전제어로 밀폐형 축전지의 과충전되지 않도록 제어하여 시스템의 안정성을 향상시켰다. 향후 연구방향으로 배터리 온도에 따른 최적충전제어 알고리즘의 개발하고 획득한 운영데이터를 지속적으로 활용하여 독립형 태양광 발전시스템의 최적설계에 응용할 계획을 가지고 있다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Zweibel K. "Harnessing solar power", Plenum Press. 1990. pp109-111
- [2] Vachtsevanos G. Kalaitzakis K. "A hybrid photovoltaic simulator for utility interactive studies", IEEE Transactions.1987, EC-2.(2), pp.227-231
- [3] K.H. Hussein, "Maximum photovoltaic power tracking : an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions", IEE Proc. vol 142. 1995
- [4] Gottschalg R, Rommel M, Infield DG, Kearney MJ. "The influence of the measurement environment on the accuracy of the extraction of the physical parameters of solar cells", Measurement Science & Technology ,V.10 N.9 .1999-09-01

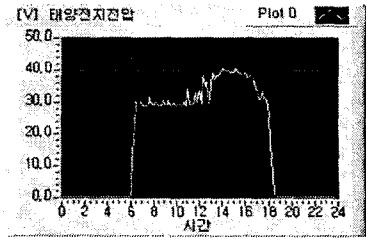


그림 5 태양전지 전압 데이터  
Fig. 5 Acquisition data of Solar Module Voltage

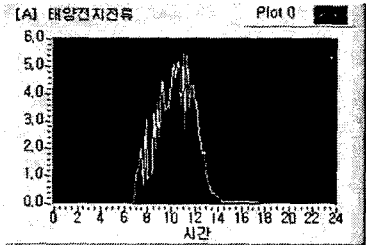


그림 6 태양전지 전류 데이터  
Fig. 6 Acquisition data of Solar Module Current

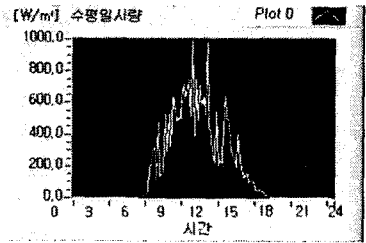


그림 7 수평 일사량 데이터  
Fig. 7 Acquisition data of horizontal irradiation

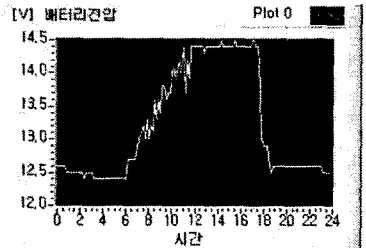


그림 8 획득한 배터리 전압 데이터  
Fig. 8 Acquisition data of battery voltage

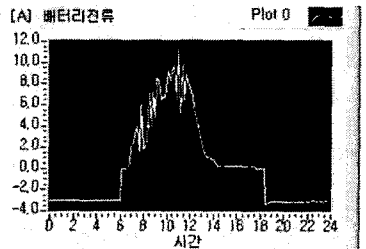


그림 9 획득한 배터리 전류 데이터  
Fig. 9 Acquisition data of battery current