

소규모 독립형 태양광 발전 시스템의 특성 개선

강신영*, 이양규, 김광현
*KISTI, 전남대학교 전기공학과

The improved characteristics of the Stand-alone PV system

Sin Young Kang*, Yang Guy Lee, Kwang Heon Kim
*KISTI, Dept. of Electrical Engineering & SERI, Chonnam National University

ABSTRACT

The MPPT methods is used to get the maximum energy from the limited size of a photovoltaic array.

This study deals with the suitable MPPT method of solar lighting lamp and the improved charge and discharge characteristics. So we proposed the control algorithm for stand-alone photovoltaic array(SPVS).

The result of experiment is presented the improved charge characteristics and the charge and discharge times reduction, the depth of discharge control. so, the system stabilization goes up. It is possible economical effect to apply for solar lighting lamp used photovoltaic array.

1. 서 론

1.1 태양광 발전의 특징

태양은 내부에서 일어나는 핵융합 반응 과정에서 발생하는 막대한 에너지를 우주로 방사하고 있으며 이 중에, 맑은 날 지구 표면에 도달하는 에너지량도 1,000W/m²에 이른다. 최근 환경문제에 대한 관심 증가와 유가 상승을 개기로 태양광 및 풍력등에 대한 연구가 활발하게 진행중이다. 특히 태양광 발전은 차량, 장난감, 주거용 발전, 및 가로등과 같은 다양한 분야에 적용이 가능하여 여러 분야에서 적용한 예가 보고되고 있다.

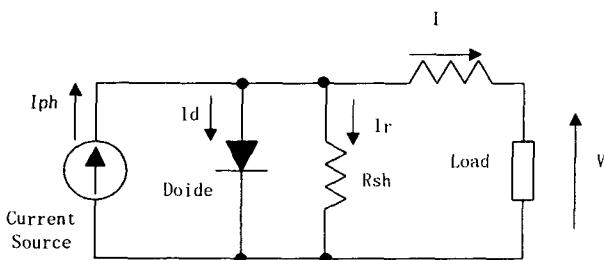


Fig. 1 One-Diode Solar Cell Model

태양광 발전의 원리는 P-N 접합된 반도체에 광 에너지를 가하면 전기가 발생하는 광기전력효과(Photovoltaic Effect)를 이용하며, 전류원과 다이오드 및 저항으로 구성된 One-Diode 태양전지 모델을^{[1][2]} 그림 1.에 나타내었다.

1.2 태양광 발전 연구동향

태양광 발전은 태양전지의 전기적 특성과 부하조건 및 환경조건(일사량, 온도, 습도)등에 따라 효율이 달라지게 되는데, 태양전지의 발전 효율을 높이기 위한 방법이 많이 연구되어지고 있다. 주로 사용되는 방법은, 태양전지의 I-V 곡선으로부터 전력이 최대가 되는 점을 추적할 수 있도록 부하의 조건에 따라 전류 및 전압 값을 조정해주는 방법을 사용하고 있다 그림 2에 I-V 곡선 및 발전전력 특성곡선을 나타내었다. 그림 2에서 MPP는 최대 전력 점이고, Isc는 태양전지 단락전류, Voc는 태양전지 오픈전압, Vop는 태양전지 동작 전압을 나타낸다^[3].

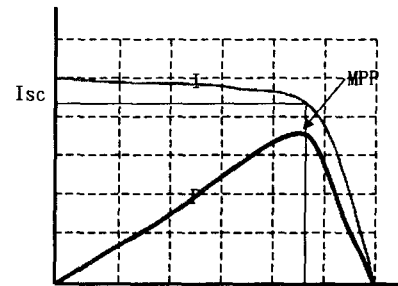


Fig. 2 Power, Current-Voltage curve

최근에는 태양광 발전을 독립형과, 연계형으로 구분하며 계통연계형은 중대규모의 발전시스템에서 연구목적으로 주로 적용되고 있으며, 독립형의 경우는 등대, 가로등 및 인공위성 등에 주로 적용되고 있다.

본 연구에서는 소규모 독립형 태양광 발전 시스템을 대상으로 최대전력 추종(이하의 MPPT)을 연구하여 충

· 방전 특성개선, 충전장치 및 적합한 충전 알고리즘 개발 등을 연구하였다.

2. 이 론

2.1 태양광 발전 특성

태양전지의 출력특성은 일사량과 온도에 의해서 변화하기 때문에 태양전지 특성이 변화하지 않아도 동작점은 변해서 최대출력점 달라지게 된다. 직렬 병렬 저항을 고려한 태양전지 특성방정식은 식 (1)로 나타낸다.

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

여기서, 전류원 I_{ph} 는 광기전류, I_{sat} 는 역포화전류, I_r 은 누설전류, q 는 전하량, A 는 다이오드 성능 지수, K 는 볼츠만 상수, T 는 절대온도, R_{sh} 는 병렬저항, R_s 는 직렬저항, I 는 부하전류이고 V 는 부하전압을 나타낸다.^{[1][4]}

2.2 태양광 MPPT 제어 세 가지 방법

한정된 면적의 태양전지로부터 최대의 전력을 발전하기 위해 사용하는 기술이 MPPT이다. MPPT는 그림 2와 같이 동일 광량에서 발생하는 전력이 발전전압에 따라 변하기 때문에 MPPT 제어를 하지 않을 경우 태양전지는 최대전력점에서 발전하지 못하게되어 태양전지 발전 효율이 저하된다. 따라서 기상 조건과 부하 조건의 변화에 따라 동작전압을 최적으로 하는 MPPT 제어가 필요하다. MPPT방법으로는 P&O법, IncCond법, 일정전압 제어법 등 3가지가 주로 이용된다.

◆ P&O 법은 전압의 증감에 따른 전력의 변화를 측정하여 항상 최대 전력점에서 동작하게하는 제어하는 방법으로 전단계의 전압 전류와 현재의 전압 전류를 비교하여 다음 단계의 제어를 결정함으로써 최대 전력점에서 동작하게 한다. 이 방법은 광량이 낮은 경우 제어특성이 나빠지고, 광량 변화가 심한 경우 MPPT 추종을 실패하는 경우가 있다.

◆ IncCond 법은 임피던스 매칭법으로 부하의 임피던스와 태양전지의 임피던스가 같아지는 지점에서 태양전지 출력이 최대가 되는 것을 이용하는 방법이다. 최대 전력점에서는 전압변동에 대하여 전력의 변화가 zero가 되므로 식 (2)같이 되고 발전전력 $P = I \cdot V$ 이므로 식 (2)은 식 (3)로 나타낸다.^{[5][6][7]} 따라서 식 (4) 만족하면 최대 전력점이 됨을 알 수 있다.

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{I}{dV} - \frac{V}{dI} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{V}{I} \quad (4)$$

즉 시간당 전압 전류의 비와 이때의 전압 전류의 기울기가 동일한 지점이 최대 출력점이 되는 것이다. 추종 성능이 우수하나 많은 연산을 필요로하여 프로세서에 상당한 부담을 주는 단점이있다.

◆ 일정전압 제어법 : 최대전력 점이 일정 전압점에서 크게 벗어나지 않는 지점에서 나타나므로 전압을 일정하게 유지하여 제어하는 방법이다. 효율이 약간 떨어지고 정확한 MPP 추정이 안되는 단점이 있으나 제어기 구성이 간단하여 소규모 시스템에 적합하다.

본 연구에서는 소규모 독립형 태양광 발전의 한가지 예인 태양광 가로등을 대상으로 MPPT 특성 및 충전전 시스템 특성 개선등을 연구 실험하였다.

2.3 배터리 충·방전특성

배터리는 충전하면 충전용량의(SoC: State of Charge) 증가와 함께 전압이 상승하고 방전시에는 반대로 전압이 감소하는 특성을 갖는다. 배터리의 이러한 특성은 태양광 발전에서 MPPT 특성을 결정하는 한 요인이 된다. 그리고 태양광 가로등 설계시 배터리 충전 특성 고려하여 과방전, 과충전 방지 회로가 필요하다. 그림 3에 배터리 충전방전 특성을 나타내었다. $-\nabla V$ 점은 충전 과정에서 전압이 감소하는 지점으로 배터리 과충전으로 인해 전지 내부에서 역반응이 발생하여 생기는 현상으로 즉시 충전을 정지시켜야하는 지점이다. 실선은 충전특성 곡선이고 점선은 방전 특성 곡선을 표시하고 있다.

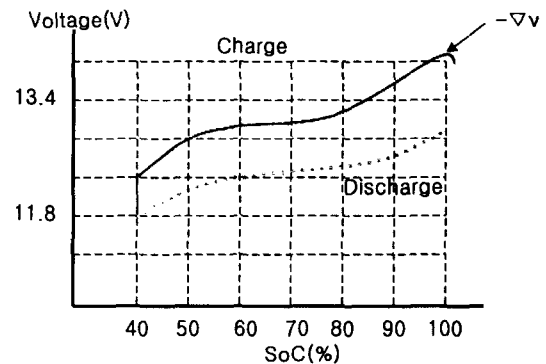


Fig. 3 Battery Charge Discharge curve

2.4 소규모 태양광 발전시스템(태양광 가로등)의 특성

일반적인 태양광 발전 시스템에서는 MPPT특성이 일정전압 제어법 보다는 P&O법이나 incCond법이 보다 우수한 특성을 갖는 것이 일반적이나 태양광 가로등의 경우는 P&O법이나, IncCond법 보다 전지 충전 상태에 따라 제어 전압을 약간씩 변화시켜 주는 일정전압 제어법을 사용하는 것이 유리한 것으로 나타났다. 이는 배터리

의 충전량은 전류의 누적치로 나타고, 태양전지의 전류 특성은 그림 2와 같이 전압에 대하여 단조 감소특성이 있어 배터리 전압이 낮을수록 충전량이 증가하는 특성을 나타내게된다. 따라서 동일한 외부 조건에서 배터리 단자전압이 낮을수록 충전량이 증가하게 된다.

배터리를 사용하는 소규모 태양광 발전 시스템인 태양광 가로등의 특성을 다음과 같이 정리할 수 있다.

- ◆ 충전과 방전이 각기 다른 시간에 수행
- ◆ 충전량은 전적으로 전류 누적량에 의존한다. 단 충전이 진행되면서 전압이 상승하게 되고 Charger의 동작 특성이 약간씩 변화하게 된다.
- ◆ 태양전지의 I-V 곡선에서 전류는 단조 감소함수를 갖게 되므로 전압이 낮을수록 전류가 증가하는 특성이 있다.

본 연구에서는 태양광 가로등의 동작특성을 감안하여 충방전 특성을 개선하기 위해 배터리의 충방전 횟수를 줄이고, 배터리에 방전종료전압 내에서 방전심도를 깊게 하여 메모리 효과를 줄일 수 있는 방법을 연구하였다. 그리고 병렬로 연결하여 사용되는 배터리를 개별적으로 관리할 수 있는 방법들에 대하여 연구하여 방전 및 충전을 배터리 별로 제어할 수 있는 구조의 태양광 충전 시스템을 제안한다.

2.5 제안된 시스템 구조 및 제어알고리즘

2.5.1 제안된 충전 시스템 구조

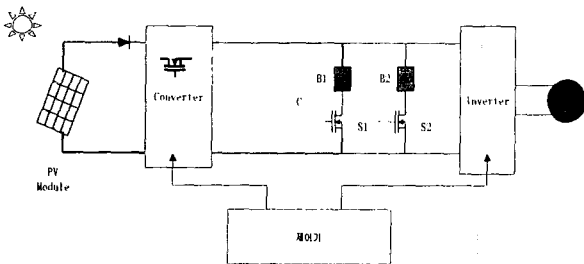


Fig. 4 Architecture Proposed Charge System

제어기는 충전할 배터리와 방전할 배터리를 선택하여 각각 제어할 수 있도록 S1, S2가 추가되었으며, B1 배터리가 충전 상태이면 B2는 방전용 전지로 선택된다. 또 B1 배터리가 충전 중에 충전종료 전압에 이르면 제어기에서는 B2를 충전, B1을 방전용으로 전환하게된다.

2.5.2 제안된 태양광 가로등 충방전 제어알고리즘

태양광 가로등에서 사용하는 배터리는 12V 100Ah 2개를 병렬로 연결하여 사용한다. 이 경우 초기치를 모두 100% 상태에서 방전을 개시하고 방전량이 60Ah라면 배터리 2개를 병렬로 연결한 경우는 각각 30Ah씩 방전하여 70%의 잔존용량을 갖게되고 이때의 전압은 12.6V 정

도가 된다. 그리고 배터리 1개로 방전하는 경우는 60Ah 방전하여 40%의 잔존용량을 갖게되고 전압은 11.8V정도를 나타낸다. 용량이 40%인 배터리의 전압을 V1, 70%인 배터리를 전압을 V12라 하면 $V12 > V1$ 이 되고 이때의 태양광 발전 충전전류는 동일 광량에서 전압 V1일 때 I1, V12일 때 I12 가되고 $V12 \geq V1$ 이면 $I12 \leq I1$ 이된다. 따라서 제안된 방식으로 충방전을 관리할 경우 태양전지에 의한 발전량은 일반적인 경우보다 증가하게 된다. 또한 일반적인 태양광 가로등이 충전 및 방전이 각각 1회 씩 반복되지만 제안된 시스템은 충전용 배터리와 방전용 배터리가 별개로 관리되므로 각 배터리는 하루동안 충전 혹은 방전중 한가지만 1회씩 이루어지게 되어 충방전 횟수를 50% 정도 감소시킬 수 있게된다.

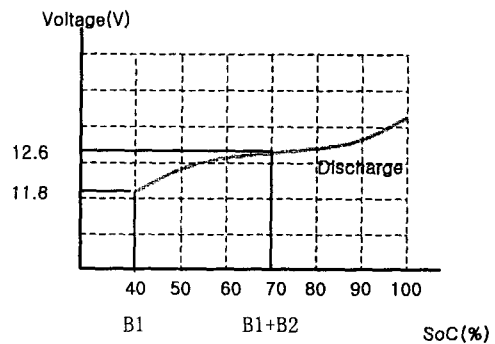


Fig. 5 Comparison Discharge curve

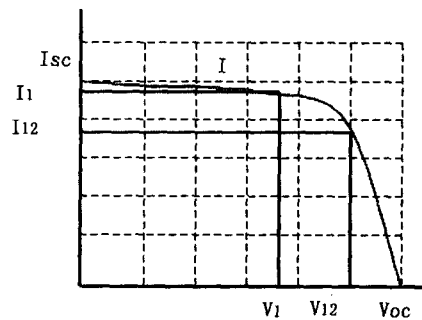


Fig. 6 Comparison Current-voltage curve

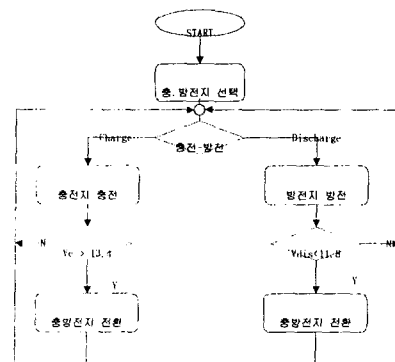


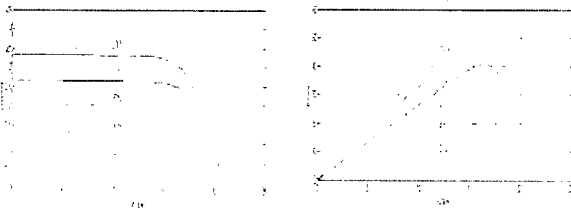
Fig. 7 Flow Chart of Proposed Photovoltaic Charger

그림 7은 제안된 충방전 방법의 순서도이며, 방전종료 전압은 11.8V 충전종료 전압은 13.4V로 설정하였다. 순서도에서 V_c 는 충전상태의 배터리 전압, V_{dis} 는 방전상태의 배터리 전압이다. 본 연구에서는 제안된 충전 시스템을 태양광 가로등에 적용하여 실험하였다.

3. 시뮬레이션 및 실험

3.1 태양전지 시뮬레이션

태양전지 특성 시뮬레이션은 one-diode 모델을 적용하여 matlab을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 동작전압은 17V, 전류는 3A, 출력은 53W용 전지를 모델로 사용하였다. 시뮬레이션 온도는 25 °C이며 1000W/m²을 기준으로 200W/m² 까지 5단계로 하여 실험하였다.



(a) Current_Voltage (b) Power -voltage
Fig. 8 Simulation Solar Cell by Matlab

3.2 소규모 태양광 발전(태양광 가로등) 실험 세트

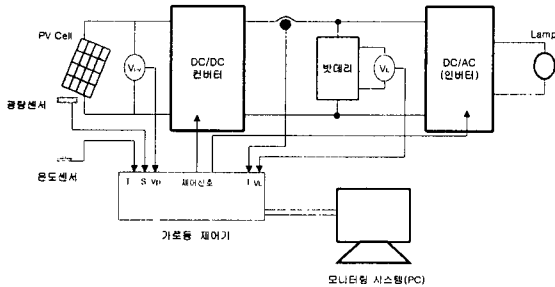


Fig. 9 Solar Lighting Lamp System Test Set

태양광 가로등은 PV모듈, 충전기, 배터리, 인버터, 등기구 및 모니터링 시스템으로 구성되어 있다. 제어기는 Micro Chip의 16F877 칩을 사용하여 구성하였다. 실험에 사용된 태양전지 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 태양전지 파라미터

모델명	GMG01530
발전량	53Wp
개방전압	21.7V
단락전류	3.35A
최대 동작전압	17.4V
최대 동작전류	3.05A

3.3 실험 방법

동작전압이 17V인 태양전지 2개를 1세트로 구성하고 에너지 저장용 배터리는 100Ah용 2개를 1세트로 설정으며, 방전용 부하는 실제 가로등에서 사용한 전등부하를 이용하였다. 비교 실험을 위해 제안된 시스템과 일반적인 태양광 가로등을 각각 구성하여 실험하였다. 전압 전류, 광량, 온도등을 각기 센싱하여 데이터를 비교 분석하였다. 데이터 수집 장치로는 Labview 및 NI A/D 카드를 사용하여 구성하였다.



(a) Controller and Sensor (b) Photovoltaic Module

Fig. 10 Picture of Experiment Set

3.4 실험결과

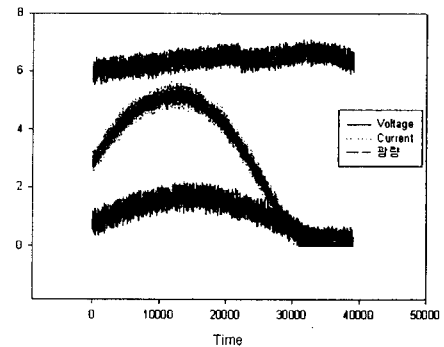


Fig. 11 Characteristics of PV Generation Curves

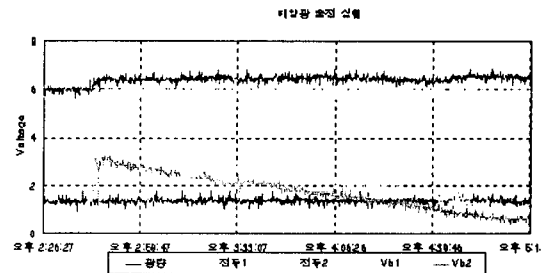


Fig. 12 Battery Charge Current Curve

그림 11은 하루동안의 PV Module 발전특성이다. 구름이 없이 맑은날의 실험결과로 하루 동안의 광량 변화와 충전전류의 변화가 동일함을 알 수 있다.

표 2 충전 특성 분석

비 고	B1	B2
초기 전압	12.1	12.6
총 충전량	4.38Ah	5.74Ah
백 분 율	100%	131%

그림 12는 배터리 초기 상태가 B1 약 50%, B2는 70% 정도에서 동일 광량에서 충전을 시작한 결과 초기 방전 심도가 깊은 배터리 b2가 약 30% 정도의 충전 효율 개선 이있었다. 3시간 정도 측정할 결과이므로 일일기준으로 할 경우는 효율이 떨어질것으로 예측되지만 충전 효율 향상 및 배터리 충전 횟수 저감을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

배터리를 사용하는 소규모 태양광 발전 시스템(태양광 가로등)에는 일정전압 MPPT제어가 적합한 것으로 나타났고 배터리 용량에 따라 단자 전압이 변하므로 이를 감안하여 제어가 필요하였다. 그리고 배터리 및 태양전지의 특성을 고려하여 배터리 별로 충방전을 제어하는 방법을 제안 실험하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

◆ 제안된 태양광 충전 시스템 실험 결과

- 충전 효율증가(날씨 및 충방전 정도에 따라 개선 정도가 차이가 있음)
- 충방전 횟수를 줄이고 방전 심도의 제어가 가능하여 메모리 효과 예방 기대
- 시스템 유지 보수비용 절감

본 연구는 다음과 같은 연구가 추가로 필요하며, 계속적인 관련 실험 및 연구를 진행할 계획이다.

◆ 향후 연구 방향

- 시스템 안정성 검토
- 효율 개선 정량적 측정
- 날씨 및 기후 변화에 따른 특성 변화 검토

참 고 문 헌

[1] M. Abouzeid, "Use of a reluctance stepper motor for solar tracking based on a programmable logic array(PLA) controller", *Renewable Energy* 23, pp. 551-560, 2001.

[2] D.M Mosher, R.E. Boese, and R.J. Soukupt, "The advantage of suntracking for planar silicon solar cells", *Solar Energy* vol. 19, pp. 91-97, 1977.

[3] 김홍성, 유권중, 송진수, 이병구, 정영석, 강기환, 최규하, "충방전 제어기기를 이용한 독립형 태양광 발전

시스템의 설계", *전력전자학술대회 논문집*, pp. 103-108, July 1998.

[4] Moustafa M. Elsayed, "Measurements of solar density distribution on a plane receiver due to a flat heliostat" *Solar energy*, Vol. 54, No. 6, pp. 403-211, 1995.

[5] Zhao Zhengming Chen Kunlun, Yuan Liquing, "Implementation of a Stand-alone Photovoltaic Pumping System with Maximum Power Point Tracking" *Proceeding ICPE '01*, pp. 635-638, 2001.

[6] V. Poulek, M. Libra, "A new low-cost tracking ridge concentrator", *Solar Energy Materials & Solar Cells* 61 pp. 199-201, 2000.

[7] Tai-Fu Wu, Chien-Hsuan Chang, Yong-Jing Wu, "Single-stage converters for PV Lighting systems with MPPT and Energy Backup", *IEEE Trans. on Aero. and Electro. systems*. Vol 35. No. 4. pp. 1306-1317, October 1999.