

태양광 가로등 발전 효율개선 연구

강신영, 이양규, 김광현
전남대학교 전기공학과

The improved efficiency Study of PV system for the Solar lamp lighting

Sin Young Kang, Yang Guy Lee, and Kwang Heon Kim
Dept. of Electrical Engineering & HECS, Chonnam National University

Abstract - This paper studies stand-alone photovoltaic array for solar lighting lamp. The solar lighting lamp has PV modules, batteries, and charge & discharge system.

The charge efficiency is improved for the control of each battery which is divided the charge from the discharge to change the structure of existing solar lighting lamp charge & discharge system. so, the charge and discharge times are reduced of 50%. and the depth of discharge control can be controlled in the discharge cut off voltage. This can be effective of battery use.

If a battery is out of order, this system can be executed for a regular period. so we saved the repair cost and developed of system's stabilization. It is possible economical effect to apply for solar lighting lamp used photovoltaic array.

태양에너지는 저밀도이고 변환효율도 상용제품의 경우 14% 이하로 낮을 뿐 아니라 태양전지가 아직은 상당히 고가다. 따라서 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 P-V 특성곡선을 나타내었다.

그림 2에서 MPP는 최대 전력점이고, I_{sc} 는 태양전지 단락전류, V_{oc} 는 태양전지 오픈전압, V_{mp} 는 태양전지 최대전력 동작 전압을 나타낸다[3].

최근에는 태양광 발전을 독립형과, 연계형으로 구분하며, 계통연계형은 중대규모의 발전시스템에서 연구목적으로 주로 적용되고 있으며, 독립형의 경우는 등대,

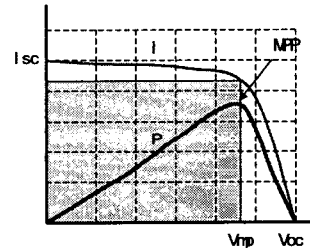


그림 2 전력, 전류-전압 곡선
Fig. 2 Power, Current-Voltage curve

가로등 및 인공위성 등과 같이 소규모의 독립된 설비에 주로 적용되고 있다.

본 연구에서는 소규모 독립형 태양광 발전 시스템을 대상으로 최대전력 추종(MPPT) 및 배터리 충·방전 특성을 개선 할 수 있는 제어방법 및 배터리의 효율적 관리하여 시스템의 유지보수비용을 절감할 수 있는 방법 등을 연구 실험하였다.

2. 태양광 발전 이론

2.1 태양광 발전 특성

태양전지의 출력특성은 일사량과 온도 및 부하에 따라 변화하기 때문에 최대 출력점(MPP)이 달라지게 된다.

그림 1에서 출력전류 I 는 식(1)과 같고 광기전류 I_{ph} 는 식(2)와 같이 나타낸다. 그리고 다이오드 전류 I_d 는 식(3)으로 나타낸다. 식(2)와(3)을 식(1)에 대입하여 정리하면, 태양전지 특성방정식은 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

1. 서 론

1.1 태양광 발전의 특징

최근 환경문제에 대한 관심 증가와 유가 상승을 계기로 태양광 및 풍력 등에 대한 연구가 활발하게 진행중이다. 특히 태양광 발전은 차량, 장난감, 주거용 발전, 및 가로등과 같은 다양한 분야에 적용이 가능하여 여러 분야에서 적용한 예가 보고되고 있다. 태양광 발전은 Photovoltaic Effect를 이용한 것으로 P-N 접합된 반도체에 광 에너지를 가하면 전기가 발생하는 원리이다. 그림 1에 전류원과 다이오드 및 저항으로 구성된 One-Diode 태양전지 모델을[1][2] 나타내었다. 이 모델은 본 연구의 시뮬레이션을 위한 기본 모델로 사용하였다.

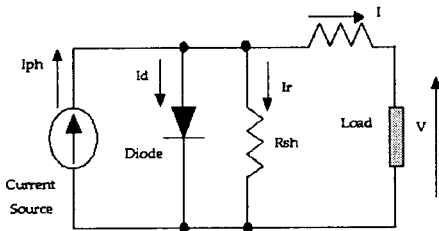


그림 1 원다이오드 태양전지 모델
Fig. 1 One-Diode Solar Cell Model

1.2 태양광 발전 연구동향

$$I = I_{ph} - I_d - I_r \quad (1)$$

$$I_{ph} = I_{sc} \left(\frac{s}{1000} \right) + J_0 (T - T_{ref}) \quad (2)$$

$$I_d = I_{sat} \left[\exp \left\{ \frac{q(V + R_s I)}{nkT} \right\} - 1 \right] \quad (3)$$

$$I = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \left\{ \frac{q(V + IR_s)}{AKT} \right\} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (4)$$

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, T_{ref} 는 기준온도, J_0 는 온도계수, R_{sh} 는 병렬저항, R_s 는 직렬저항, I 는 부하전류이고 V 는 부하전압, s 는 일사량을 나타낸다⁽¹⁾⁽⁴⁾.

2.2 배터리 충·방전특성

배터리는 충전하면 잔존용량(SoC: State of Charge)의 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 충·방전 특성을 고려하여 과충·방전 방지 회로가 필요하다.

그림 3에 배터리 충·방전 특성을 나타내었다. $-V$ 점은 충전 과정에서 전압이 상승하다 만충전 상태가 되면 전지 내부의 역반응으로 전압이 일시적으로 감소하는 지점으로 충전을 종료하지 않을 경우 많은 열이 발생하고 배터리에 손상을 주어 배터리 수명을 단축시키는 원인이 된다. 따라서 $-V$ 점에서 충전을 즉시 종료하여야 한다.

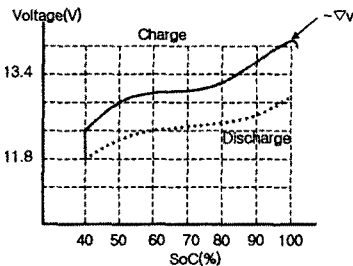


그림 3 배터리 충전 방전 곡선
Fig. 3 Battery Charge Discharge curve

그림 3에서 실선은 충전특성 곡선이고 점선은 방전 특성 곡선을 표시하고 있다. 방전시에는 배터리 내부저항으로 인해 동일 잔존용량일 때 충전시 전압보다 낮은 전압을 나타내게 된다. 배터리의 보호를 위해 충·방전시 Cut off 전압을 설정하여 배터리의 과충·방전을 예방해야 한다. Cut off 전압은 배터리 종류 및 충·방전 전류에 따라 달라지므로 태양전지와 함께 사용할 경우 이를 고려한 시스템 설계가 필요하다.

2.3 SPVS(태양광 가로등)의 특성

태양광 발전 시스템에서는 MPPT 특성이 일정전압 제어법 보다는 P&O법이나 IncCond법이 보다 우수한 특성을 갖는 것이 일반적이나 태양광 가로등의 경우에는 P&O 법이나,

IncCond법 보다 전지 충전 상태에 따라 제어 전압을 약간씩 변화시켜 주는 일정전압 제어법을 사용하는 것이 유리한 것으로 나타났다. 이는 배터리의 충전량은 전류의 누적치로 나타나고, 태양전지의 전류특성은 그림 2와 같이 전압에 대하여 단조 감소특성이 있어 배터리 전압이 낮을수록 충전량이 증가하는 특성을 나타내게 된다. 따라서 동일한 외부 조건에서 배터리 단자전압이 낮을수록 충전량이 증가하게 된다.

배터리를 사용하는 소규모 태양광 발전 시스템인 태양광 가로등은 충전과 방전이 각기 다른 시간에 수행되고, 충전량은 전적으로 전류 누적량으로 나타난다. 그리고 충전이 진행되면서 배터리 전압이 상승하면서 Charger의 동작 특성이 변하게 된다. 또한 태양전지의 I-V 곡선에서 전류는 단조 감소함수를 갖게 되므로 전압이 낮을수록 전류가 증가하는 특성이 있다.

본 연구에서는 태양광 가로등의 동작특성을 감안 태양광 발전효율을 높이고, 배터리의 충·방전 횟수를 줄일 수 있을 뿐 아니라 배터리에 방전종료 전압 내에서 방전심도를 제어하는 배터리 관리방법을 연구하여, 병렬 연결하여 사용되는 배터리를 개별적으로 제어함으로써 방전 및 충전을 배터리 별로 제어할 수 있는 구조의 태양광 가로등 충·방전 시스템을 제안하였다.

2.4 제안된 시스템 구조 및 제어알고리즘

2.4.1 제안된 충전 시스템 구조

태양광 가로등의 구조는 그림 4와 같이 PV셀, 충전장치, 배터리, 동기부 및 인버터를 포함한 방전장치와 시스템을 제어하는 제어기로 구성되어 있다. 배터리는 장마철과 같이 여러날 날씨가 흐린 경우에도 연속적인 점등이 가능할 정도의 용량을 선정한다. 보통은 4일간 충전없이 사용이 가능할 정도의 배터리 용량을 선정하게 된다. 본 연구에서는 12V 100Ah 배터리 2개를 병렬로 사용하였다.

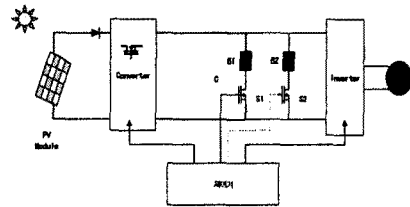


그림 4 제안한 충전시스템 구조
Fig. 4 Architecture Proposed Charge System

제안된 시스템에서는 병렬로 구성된 배터리를 각각 충전용과 방전용으로 설정하여 사용함으로써 충·방전 횟수를 줄이고 cut off 전압 안에서 방전심도를 조절할 수 있어 배터리 관리가 유리하고, 충전효율을 높일 수 있도록 하였다. 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 전환하여 연속사용이 가능하고 배터리 용량을 모두 활용할 수 있게 된다.

2.4.2 제안된 태양광 가로등 충·방전 제어알고리즘

태양광 가로등에서 사용하는 배터리는 12V 100Ah 2개를 병렬로 연결하여 사용한다. 이 경우 초기치를 모두 100% 상태에서 방전을 개시하고 하루동안 방전량이 60Ah라면 배터리

2개를 병렬로 연결한 경우는 각각 30Ah씩 방전하여 70%의 잔존용량을 갖게되고 이때의 전압은 12.6V 정도가 된다. 상대적으로 제안 방식에서는 방전전용 배터리 1개를 이용하는 경우 60Ah 방전하여 40%의 잔존용량을 갖게되고, 전압은 11.8V 정도를 나타낸다. 용량이 40%인 배터리의 전압을 V1, 70%인 배터리 전압을 V2라 하면 $V2 \geq V1$ 이 되고 이때의 태양광 발전 충전전류는 동일 광량에서 전압 V1일 때 I1, V2일 때 I2라 가정하면 그림 6과 같이 $I2 \leq I1$ 이 된다. 따라서 제안된 방식으로 충·방전을 관리할 경우 태양전지에 의한 발전량은 일반적인 경우보다 증가하게 된다. 또한 일반적인 태양광 가로등이 하루에 충전 및 방전이 각각 1회씩 반복되지만 제안된 시스템은 충전용 배터리와 방전용 배터리가 별개로 관리되므로 각 배터리는 하루동안 충전 혹은 방전중 한 가지만 1회씩 이루어지게 되어 충·방전 횟수를 50% 정도 감소시킬 수 있게 된다.

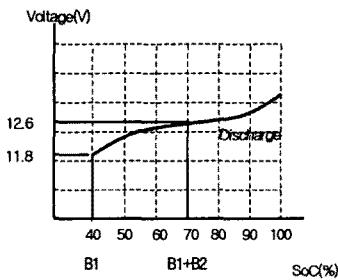


그림 5 방전곡선 비교
Fig. 5 Comparison Discharge curve

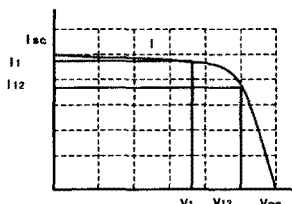


그림 6 전류-전압곡선 비교
Fig. 6 Comparison Current-voltage curve

그림 7은 제안된 태양광 가로등 제어 순서도이다. 태양광 가로등의 특성상 충전과 방전이 각각 다른 시간에 이루어지면서, 24시간 동작한다. 초기에 제어기는 배터리의 전압을 각각 검사하여 충전용 및 방전용 배터리를 설정한다. 선택 방법은 단지 전압이 낮은 배터리를 충전용 배터리, 나머지 배터리를 방전용 배터리로 설정한다. 이는 배터리가 안정된 상태에서 SoC는 전압에 단조증가 함수이므로 그림 6에서와 같이 태양광 발전에 의한 충전전류를 크게하여 발전효율을 향상시킬 수 있고, 방전에도 유리하기 때문이다.

전압이 동일한 경우는 배터리 B1을 우선적으로 충전지, B2를 방전지로 설정하도록 설계되었다. 그리고 방전종료 전압은 11.8V 충전종료 전압은 13.4V로 설정하여 배터리에 과충·방전이 발생하지 않도록 하였다. 순서도에서 Vc는 충전상태의 배터리 전압, Vdis는 방전상태의 배터리 전압이고, Bch는 충전, Bdch는 방전용 배터리를 나타낸다. 제안된 충전 시스템은 태양광 가로등과 동일한 실험 세트를 구성하여 실험하였다.

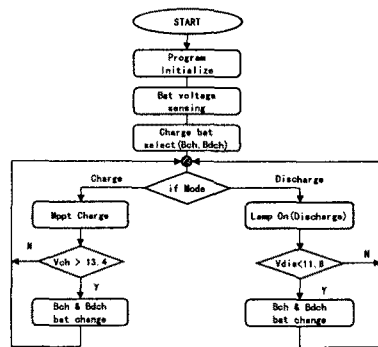
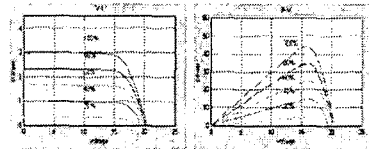


그림 7 제안된 태양광 충전 순서도
Fig. 7 Flow Chart of Proposed Photovoltaic Charger

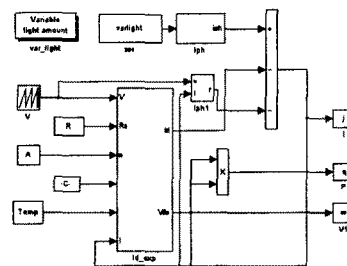
3. 시뮬레이션 및 실험

3.1 태양전지 시뮬레이션

태양전지의 모델링 방법으로는 소수의 실측 데이터로부터 모델을 구할 수 있는 보간법과 광기전력 효과를 수학적으로 모델링 하는 매개 변수법이 있다. 본 연구에서는 매개 변수법을 이용 그림 1과 같은 one-diode 모델을 matlab을 이용하여 시뮬레이션 하였다.



(a) 전류 - 전압 (b) 전력 - 전압



(C) Matlab Simulink 블록 다이어그램

그림 8 Matlab을 이용한 태양전지 시뮬레이션
Fig. 8 Simulation Solar Cell by Matlab

출력은 53W 동작전압은 17V, 전류는 3A의 태양전지를 모델로 사용하였다. 시뮬레이션 온도는 25 °C이며 1000W/m²을 기준으로 200W/m²까지 5단계로 하여 실험하여, 태양전지의 출력 특성을 확인하였다. 본 시뮬레이션에서는 온도 변화를 고려하지 않은 상태이다.

그림 8에서 (a)는 I-V 곡선, (b)는 P-V 곡선은 나타내었고 (c) 시뮬링크 모델 블록도이다.

3.2 SPVS 실험 세트

실험 세트는 53w PV모듈 2개, 충전기, 12V 100AHh bat

데리 2개(병렬사용), 인버터, 동기구 및 중요 지점의 데이터 값을 읽어들이고 표시해주는 모니터링 시스템으로 구성되어 있다. 모니터링 시스템을 제외하고는 실제 가로등과 동일하게 만들어졌다.

모니터링을 위해 전압 전류, 광량, 온도 등을 센싱하였고 신호 검출을 위해 16비트 8채널 A/D변환기와 Labview 프로그램을 사용하였다. 제어기는 Micro Chip의 16F877 칩을 사용하여 구성하였다. 실험에 사용된 태양전지 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 태양전지 파라미터
Table 1 PV parameter

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

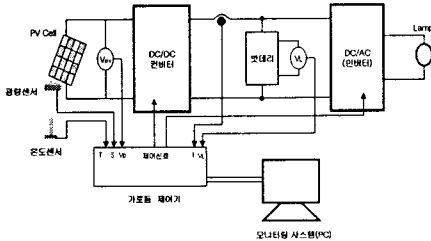
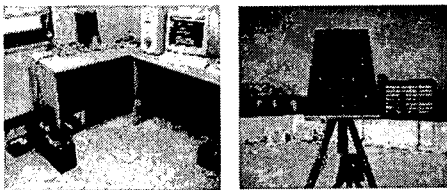
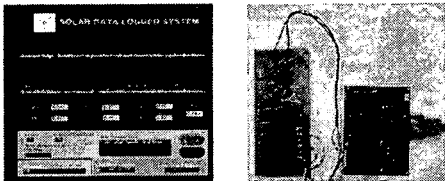


그림 9 가로등 시스템 테스트 세트
Fig. 9 Solar Lighting Lamp System Test Set



(a) 제어기와 센서 (b) 태양전지 모듈



(c) Labview 화면 (d) 제어기

그림 10 실험세트 사진
Fig. 10 Picture of Experiment Set

3.3 실험 방법

동작전압이 17V인 태양전지 2개를 1세트로 구성하고 에너지 저장용 배터리는 100Ah용 2개를 1세트로 구성하였으며, 방

전용 부하는 실제 가로등에서 사용한 전등부하를 이용하였다. 비교 실험을 위해 제안된 시스템과 일반적인 태양광 가로등을 각각 구성하여 실험하였다. 전압 전류, 광량, 온도 등을 각기 센싱하여 데이터를 비교 분석하였다. 동일한 실험조건을 만들기 위해 태양전지, 배터리, 설치 장소를 동일하게 하여 같은 시각에 두 개의 실험세트에서 데이터를 받아 결과를 분석하였다. 단 모니터링 시스템은 하나를 사용하여 데이터를 수집하였다

3.4 실험결과

그림 11은 하루동안의 PV Module 발전특성이다. 구름이 없이 맑은 날의 실험결과로 하루 동안의 광량 변화와 충전전류의 변화가 동일함을 알 수 있다. 그림 12와 13에서 제안된 방식에 의한 발전전류가 일반 방식보다 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 동일 광량에서 태양전지의 발전 전류량이 배터리 전압과 관련이 있음을 알 수 있다. 그림 12 실험은 오후 1시 30분부터 5시 경까지 실험한 결과로 약 14%정도의 효율개선이 있었다. 그림 13을 오전 10시 경부터 오후 5시 경까지 정상적인 태양광 발전이 가능한 시간 동안의 하루 데이터이다. 실험 결과 약 9% 정도의 효율 개선이 가능하였으며 오후 1시 경에 개별 충전 방식에서 전지가 컷오프 전압에 도달하여 배터리 절환이 일어났으며, 배터리 절환후 충전 전류가 개선되었음을 확인할수 있었다. 실험 결과 개별 충전 제어법은 날씨 배터리 상태등의 영향을 받아 효율 개선 정도가 차이가 났다. 따라서 일정치의 효율 개선효과를 예측하기는 어렵지만 10-5% 정도의 효율 개선이 가능하고 배터리의 충방전 횟수를 50%가량 줄일수 있는 것으로 확인되었다.

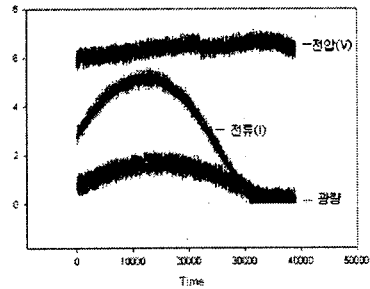


그림 11 PV 전력 곡선의 특성
Fig. 11 Characteristics of PV Generation Curves

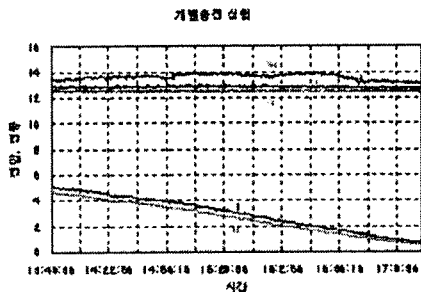


그림 12 배터리 충전 전류 곡선(9월 2일실험)
Fig. 12 Battery Charge Current Curve

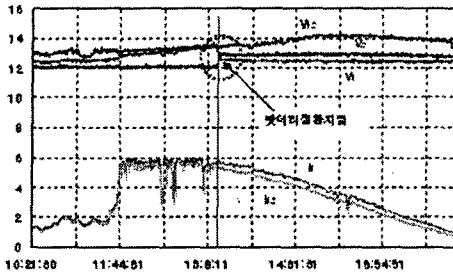


그림 13 배터리 충전 전류 곡선(9월3일실험)

Fig. 13 Battery Charge Current Curve

표 2 충전 특성 분석

Table 2 Charge characteristics analysis

	개별충전(AH)	일반충전(AH)	효율개선	비고
9월2일	24.3	22.2	109%	종일실험
9월3일	10.5	9.2	114%	오후실험

4. 결 론

배터리를 사용하는 소규모 태양광 발전 시스템(태양광 가로등)에서는 배터리 및 태양전지의 특성을 고려하여 배터리별로 충·방전을 제어하는 방법을 제안 실험하여 태양전지의 발전 전력 향상 및 배터리 충전 효율증가(날씨 및 충·방전 정도에 따라 개선 정도가 차이가 있음)를 확인하였으며, 배터리의 충·방전 횟수를 줄이고 배터리 일부 고장이 발생할 경우에도 무일조 사용일이 감소하지만 정상동작이 가능하다. 또한 배터리의 고장이 정상적인 배터리로 전이하는 것을 예방할 수 있어 시스템 유지 보수비용을 절감할 수 있다.

실험 결과 태양광 가로등에 적용할 경우 모듈의 감소시키는 어렵지만 배터리 용량을 감소 시킬수 있고 배터리 및 가로등 시스템을 관리하는데 효과적인것으로 판단된다.

[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 발전시스템의 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, and Yuan Liqing, "Implementation of a Stand-alone Photovoltaic Pumping System with Maximum Power Point

Tracking", Proceeding ICPE '01, pp. 635~638, 2001.

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

[7] Tai-Fu Wu, Chien-Hsuan Chang, and 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.