

## 태양광발전 시스템 설계를 위한 시뮬레이터 개발

강신영, 김광현\*

(주)엘시스텍, 전남대학교 전기공학과\*

### Simulator Development for Stand Alone PV System Design

S.Y. Kang and K.H. Kim\*

Lsys Tech Co., Ltd, Chonnam National University\*

#### ABSTRACT

The stand alone PV system's stability and cost is influenced by a design method, as its application products are various.

In order to systematize the the stand alone PV system's design method based on experience, this research settled the capacity computation method of PV module and battery and developed a simulator. And its characteristic is confirmed by applying to PV street lamp design.

#### 1. 서 론

최근 환경문제와 화석 에너지의 고갈, 원자력발전 설비에 대한 주민들의 반대로 신.재생 에너지에 대한 관심이 고조되고 있다. 그 중에서도 태양광발전은 반도체 소자인 태양전지를 이용하여 태양광을 전기로 변환할 수 있어 국내외적으로 연구가 활발하게 전개되고 있다.

태양광발전 분야의 연구는 대부분 PV셀의 효율 향상을 위한 재료 분야에 집중되고 있어 제품 개발이나 응용 분야에 적용하기 위한 실용화 기술 분야의 연구가 부족하였다. 소규모 독립형 태양광발전 시스템에 대한 관련 연구가 부족하여 시스템의 설계시 경험에 의존함으로써 제품의 원가 상승 및 시스템 불안정의 요인이 되었다. 독립형 태양광발전 시스템은 응용 분야가 다양하기 때문에 설계 방법을 확립하여 원가를 절감하고 시스템의 안정성을 향상시키는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 독립형 태양광발전 시스템의 설계에서 중요한 PV모듈과 배터리 용량산정 방법을 제안하였고, 설계에 활용할 수 있는 태양광발전 시뮬레이터를 개발하여 설계에 활용할 수 있도록 하였다.

#### 2. 독립형 태양광발전 시스템 설계

소규모 독립형 태양광발전 시스템은 응용 분야가 다양하지만 관련 분야 연구가 부족하여 설계시 대체로 경험에 의존하는 경향이 많았다.

따라서 본 연구에서는 소규모 독립형 태양광발전 시스템의 설계를 체계화할 수 있는 방법을 연구하였다. 그림 1에 응용 제품의 설계 방법을 나타내었다. 태양광발전 응용 제품의 특성상 시험 어렵다. 따라서 본 연구에서는 시뮬레이터를 개발하여 시스템 설계에 활용할 수 있도록 하였으며 설계방법을 확립하고자 연구하였다.

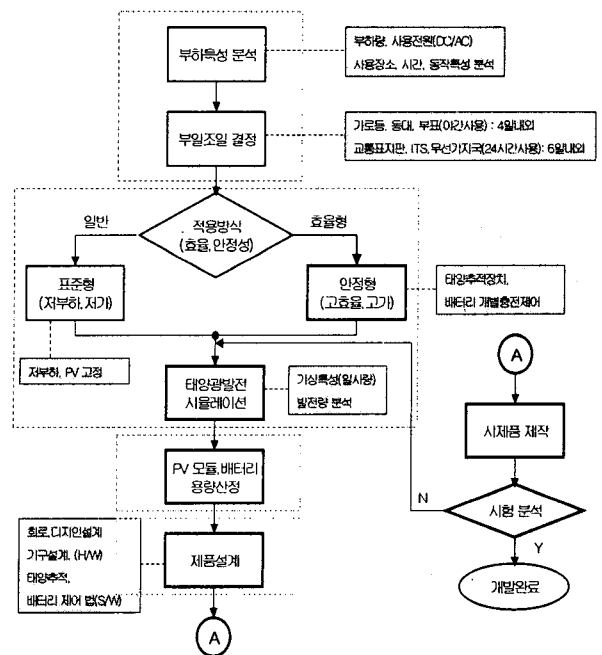


Fig. 1. Stand alone PV system design

## 2.1 태양전지 One-Diode 등가 모델

태양전지의 모델링 방법으로는 소수의 실측 데이터로부터 모델을 구할 수 있는 보간법과 광기전력 효과를 수학적으로 모델링하는 매개 변수법이 있다<sup>[1]-[3]</sup>. 본 연구에서는 매개 변수법을 이용하여 One-Diode 모델 구현하여 태양전지의 특성을 확인하였다. 출력 전류  $I$  는 식 1과 같이 나타낼 수 있다<sup>[3][4]</sup>. 본 연구에서는 이 모델을 시뮬레이터에 적용하여 PV모듈 특성과 일사량의 변화에 따른 발전 특성을 모의 실험할 수 있도록 하였다.

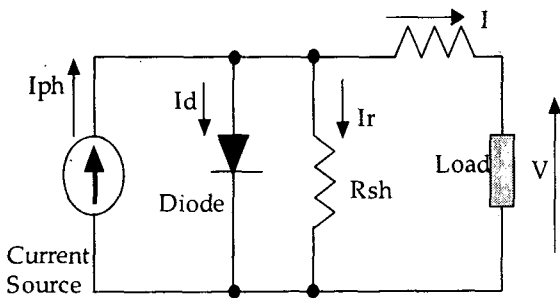


Fig. 2. One-Diode Model of solar cell

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

여기서,  $I_{ph}$  : 광기전류,  $I_{sat}$  : 역포화전류,

$I_r$  : 누설전류,  $A$  : 다이오드 성능 지수,

$K$  : 볼츠만 상수,  $S$  : 일사량

## 2.2 태양광 일사량 특성

태양전지 설치각을 태양전지면이 향하는 방향으로 정의할 때 설치 방위각  $\phi_1$ 은 보통  $180^\circ$  인 정남방향이 되도록 한다. 그림 3에서 점선부분은 태양의 궤적이다.

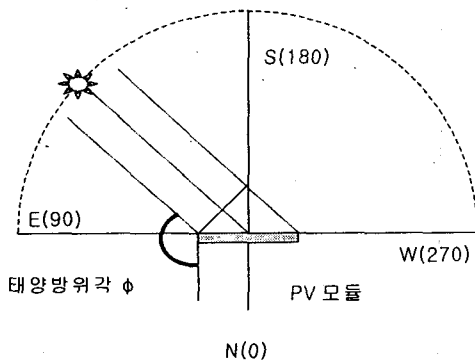


Fig. 3. Solar azimuth and PV module solar radiation

PV모듈은 정북에서  $180^\circ$  방향으로 설치된 경우를 가정한다. 이때 태양과 PV모듈은  $\Phi - 90^\circ$ 의 각을 이룬다. 그리고 PV모듈과 태양이  $90^\circ$  즉 법선 방향이 된 경우 일사량이 가장 커지게 되는데 이때의 값을  $r_{max}$ 라 할 수 있고 이 값은 보통  $1kW/m^2$  정도의 광량이 된다. 태양의 위치에 따른 일사량은 식 2와 같이 나타낼 수 있다.

$$r_{\phi_1} = r_{max} \sin(\Phi_1 - 90) \quad (2)$$

여기서,  $r_{\phi_1}$  : 일사량,  $\Phi_1$  : 태양의 방위각

태양 방위각이  $90^\circ$  이하에서는 PV모듈과 태양의 각이  $0^\circ$  이하가 되어 PV모듈은 반사 및 산란광을 무시할 경우 발전할 수 없는 상태가 된다. 실제 태양광발전의 경우 1년중 태양 일조시간은 여름철이 가장 많지만 발전량을 비교해 보면 봄과 가을에 높게 나타난다. 이는 여름철 장마의 영향이기도 하지만 PV모듈이 고정되어 있으므로 태양 방위각이  $90^\circ$  이하에서는 발전량이 적어 일조 시간 보다는 날씨 변화의 영향을 많이 받기 때문인 것으로 판단된다.

$$r_{lon} = r_{max} \cos(90 - (a_2 + a_1)) \quad (3)$$

여기서,  $a_1$  : 태양 고도각,  $a_2$  : PV모듈 고도각

그리고 태양이 고도각에 대하여 그림 4의 점선 방향으로 움직이고 PV모듈이 지표면에 대하여  $a_2$ 일 때 PV모듈과 태양의 각은  $90 - a_2 - a_1$  되므로 이때의 일사량은 식 3과 같이 나타낼 수 있다.

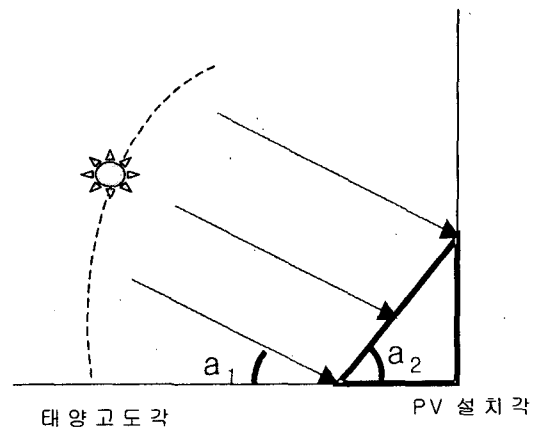


Fig. 4. Solar elevation and PV module solar radiation

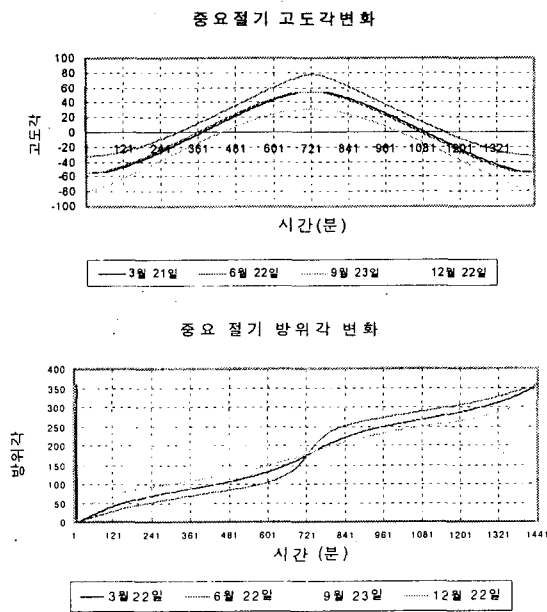


Fig. 5. Variation of elevation and azimuth in each season

태양은 시간에 따라 고도각과 방위각이 동시에 변하기 때문에 식 2, 3을 만족해야 하므로 고정된 PV모듈의 일사량은 식 4와 같이 정의된다. 그림 5는 춘·추분과 동지, 하지의 태양 위치 변화를 나타낸 것이다.

$$R_n = r_{\max} \times \sin(\phi_1 - 90) \times \cos(90 - (a_2 + a_1)) \quad (4)$$

### 2.3 PV모듈 용량산정

독립형 태양광발전 시스템의 PV모듈 용량은 부하의 소요 전력량을 계산하고 태양전지에서 발생하는 전력량이 부하의 필요 전력량을 공급하고 추가로 여유 전력량을 더한 값을 태양전지 용량으로 선정하여야 한다.<sup>[3]-[6]</sup>

$$Q_A \times A \times \eta_{ps} \times K = E_L \times D \times R \quad (5)$$

여기서,  $Q_A$ : PV면 일사량,  $A$ : PV 면적

$\eta_{ps}$ : 광전변환 효율

계통연계형에서는 발전 과부족량을 상용 전원에서 흡수 혹은 보충한다. 그러나 독립형에서는 발전 과부족량을 배터리에 저장 혹은 사용하게 된다. 독립형의 경우 태양광발전 의존율  $D$  값이 1이고 태양전지 변환 효율  $\eta_{ps}$  는 약 14 %의 값을 갖는다. 또한 설계 계수  $K$ 는 부하가 일정하므로 1로 가정한다. 그리고 부하 전력량은 전등의 용량과 사용 시간의 곱으로 나타난다. 이러한 특성을 고려하여 태양광 가로등 용량 산정식을 다시 정리하면 식 6과 같다.

$$Q_A \times A \times \eta_{ps} = E_L \times R \quad (6)$$

식 6에서 독립형의 경우 경사면 일사량이 시간과 날짜에 따라 변하므로 년중 평균 발전 효율을 고려하여 태양전지 용량을 계산하면 식 7과 같이 정리할 수 있다.

$$Q_A \times A \times \eta_{ps} = Sw \times A_f \quad (7)$$

여기서,  $Sw$ : 태양전지 용량,  $A_f$ : 년중 평균 발전율

그런데 태양전지의 용량을 연중 평균치로 계산하였으나 태양광발전 변화를 보면 계절별로 겨울 발전량이 가장 낮다. 따라서 겨울철에 정상적인 동작이 가능하기 위해서는 발전 효율을 년중 평균치에 겨울철 변동분을 고려하여 계산하면 식 8과 같다.

$$S_w = \frac{R \times L_w}{A_f \times W_{af}} \quad (8)$$

여기서,  $W_{af}$ : 겨울철 효율 변동분

### 2.4 배터리 용량산정

독립형 태양광발전 시스템의 배터리 용량산정에서 중요한 요소는 부하의 크기와 태양광발전 없이 사용 가능한 기간인 부일조일을 이다. 독립형 태양광발전 시스템에서 배터리의 용량은 장마철이나 태풍과 같이 기상 조건이 좋지 않은 날씨가 연속되는 경우에도 점등이 가능하도록 한다. 국내 기상 조건은 장마철의 경우도 3일 이상 발전이 불가능한 경우가 거의 없기 때문에 일반적으로는 부일조일을 4일로 계산하여 용량을 산정 하는 것이 타당하다. 또한 배터리는 100% 방전할 경우 방전할 경우 배터리에 손상이 발생하여 고장의 원인이 되므로 방전시에는 전체 용량의 60~70% 방전량을 갖도록 설계하여야 한다. 배터리 용량을 조건에 맞추기 위해 배터리를 병렬로 연결하여 사용한다. 배터리 용량산정은 부일조일과 배터리의 효율, 1일 소비 전류량, 방전심도, 및 배터리 여유도의 곱인 식 9와 같이 나타낼 수 있다.

$$B_w \times \eta_b \times B_{DOD} = Nd \times La \quad (9)$$

여기서,  $Nd$ : 부일조일 (4일),  $\eta_b$ : 배터리 효율,

$B_{DOD}$ : 배터리 방전 심도 (0.6~0.7)

식 9에서 부하량과 사용시간을 고려하여 정리하면 식 10과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_w = \frac{N_d \times L_w \times H_a}{V_b \times n_i \times n_b \times B_{DOD}} \quad (10)$$

여기서,  $H_a$  부하 사용시간,  $n_i$ : 시스템 효율

### 3. 태양광 가로등 설계

소규모 독립형 태양발전 시스템에 대한 연구가 부족하여 태양광 가로등의 설계시 지금까지는 일반 가로등에서 전원 부분만 태양광으로 대체하여 사용하는 단순한 방식이 사용되었다. 그리고 태양광 가로등에서 배터리의 특성이 PV모듈의 발전 전류에 영향을 주지만 배터리 및 PV모듈의 특성을 고려한 제어 방법이 연구되지 못한 실정이다.



(a) In the night (b) The daytime

Fig 6. Solar Street Lamp

Table 2. Quality Table of Solar street lamp

부하(W)	구분	고정식	추적식(30%개선)
25	PV	125W	96W
	배터리	150Ah	150Ah
35	PV	175W	134W
	배터리	210Ah	210Ah
45	PV	225W	173W
	배터리	270Ah	270Ah
55	PV	275W	211W
	배터리	330Ah	330Ah

본 연구에서는 태양광 가로등의 원가 절감 및 시스템 안정성 향상시킬 수 있도록 하기 위해 기존에 태양광 가로등에 거의 적용되지 않은 태양추적 장치를 적용하여 태양광 가로등을 설계할 수 있도록 용량을 계산하였다. 태양광 추적장치를 사용할 경우 발전량이 증가하여 PV모듈 용량을 감소시킬 있어 경제적인 것으로 나타났다. 그림 6은 설계하여 시공한 태양광발전 시스템의 그림이고 표 2는 태양광 가로등의 부하에 따른 용량 산정표를 나타내었다.

### 4. 태양광발전 시뮬레이터

태양의 방위각과 고도각은 관측자의 위치와 시간에 따라 변하게 되며, PV모듈에서 발생하는 전류는 태양의 일사량과 PV모듈의 설치된 각도 및 방위에 따라 변하게 된다. 본 연구에서는 태양의 위치와 PV모듈의

설치 각도를 변화 시켜가면서 일사량 및 PV모듈의 발생 전류를 모의 실험 할 수 있도록 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터는 PV모듈의 설치 각도를 0~90° 사이에서 변화시킬 수 있고 설치 방위각도 90~-90° 까지 변화시켜 실험할 수 있다. 또한 본 연구에 필요로 하는 고정식과 태양추적 방식을 동시에 비교 관측할 수 있도록 구성하였다.

Table 3. PV module parameter

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

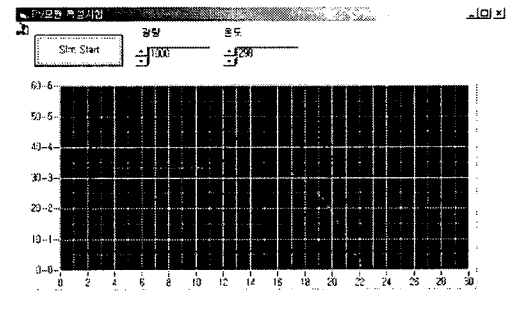


Fig. 7. Simulation of PV module characteristics

시뮬레이션은 0시부터 24시까지 하루 동안의 데이터를 대상으로 하고 사용자가 원하는 날짜를 입력하여 데이터를 구할 수 있다. 본 시뮬레이터는 태양광 가로등의 연구를 위해 개발되었으나 계통 연계형 태양광발전 시스템의 설계에도 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

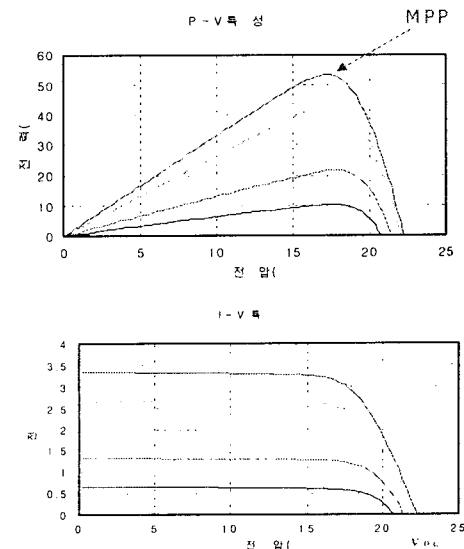


Fig. 8. Result of PV module characteristics

계통 연계형 태양광발전 시스템을 시공할 경우 주변 여건에 따라 정남 방향으로 설치할 수 없는 경우가 많이 발생한다. 또한 부하의 조건과 계절적 변화를 감안하여 최대의 발전량을 갖는 시기를 조정해야 하는 경우도 발생할 수 있다. 이 경우 본 시뮬레이터를 활용하여 년 중 일사량의 변화와 설치 각도 및 방위에 따른 발전 특성을 손쉽게 비교할 수 있어 PV 모듈 설치에 유용한 정보를 얻을 수 있다.

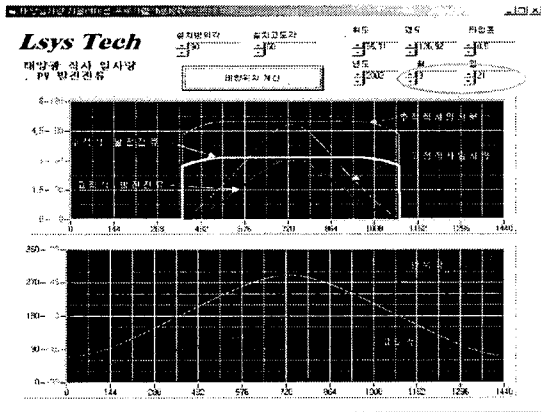


Fig. 9. PV generation simulation of the spring

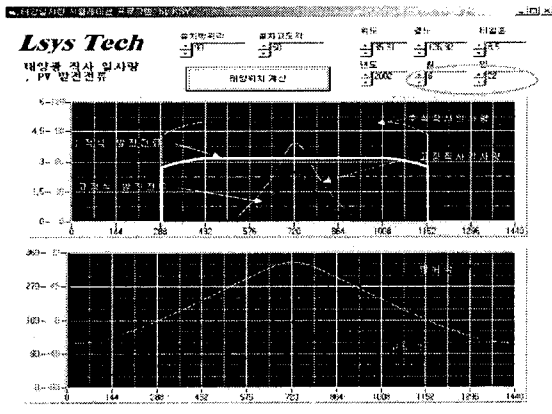


Fig. 10. PV generation simulation of the summer

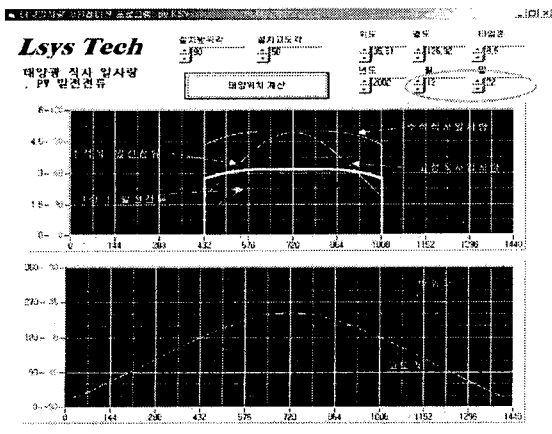


Fig. 11. PV generation simulation of the winter

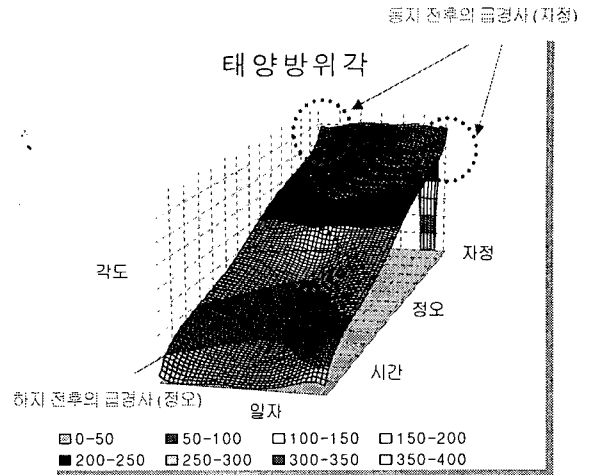


Fig. 12. Variation of azimuth and elevation in each division of the year

시뮬레이터는 PV 발전시스템에서 태양 고도각과 방위각의 시간에 따른 변화를 확인할 수 있고 PV모듈을 임의로 각도로 설치하여 광량 및 그때의 발전전류를 확인할 수 있도록 하였다. 태양광 가로등의 특성을 비교 실험할 수 있도록 동일 평면상에 나타내었다. 그림 9~11은 춘분과 동지 하지의 시뮬레이션 결과를 나타내었다. PV모듈의 설치각은 정남 방향에 고도각은 50도로 하였다. 하단의 그래프는 고도각과 방위각 데이터이며 상단 그래프는 추적식과 고정식의 일사량 및 발전 전류에 대한 데이터이다. 일사량을 비교해보면 고정식과 추적식이 차이를 보임을 알 수 있다.

## 5. 결론

독립형 태양광발전 시스템은 등대, 가로등뿐만 아니라 소형의 교육용 제품까지 다양한 분야에 응용되고 있으나 관련 분야의 연구가 부족하여 연구 개발 및 시스템 설계 방법이 확립되지 못한 상태이다.

본 연구에서는 소규모 독립형 태양광발전 시스템을 연구하여 체계적으로 시스템을 설계하고 시스템의 효율 및 안정성을 향상시킬 수 있는 방법들을 연구하였다. 소규모 독립형 태양광발전 시스템의 설계를 위해 부하의 특성을 고찰하여 시스템 안정과 원가 절감에 중요한 PV모듈 및 배터리 용량산정 방법을 확립하였다. 또한 태양전지 특성과 일사량에 따른 PV모듈의 발전특성을 모의 실험할 수 있는 시뮬레이터를 개발하여 설계에 활용할 수 있도록 하였다. 또한 기존 시스템 설계에서 적용되지 못한 태양추적 장치를 연구하여 소규모 독립형 태양광발전 시스템을 고효율형으로 설계할 수 있도록 하였다.

태양광발전 시뮬레이터는 반사광 및 산란광을 고려하지 못하고 있으며 안개나 구름과 같은 기상 변화

특성을 충분히 고려하지 못하고 있는 상태이다. 따라서 향후에 실제 기상 특성을 고려한 시뮬레이터에 대해 연구할 예정이다.

이 논문은 한국과학재단 지정 전남대학교 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

### 참 고 문 헌

- [1] Moustafa M. Elsayed, "Measurements of solar density distribution on a plane receiver due to a flat heliostat", Solar energy, Vol 54, No. 6, 403-211 1995.
- [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] Meena Aggarwal, A. Kapoor, K.N. Tripathi, "Solar cell array parameters", Solar Energy Material & Solar Cells, pp. 377-384, 1997
- [4] Zhao Zhengming Chen Kunlun, Yuan Liquing. "Implementation of a Stand-alone Photovoltaic Pumping System with Maximum Power Point Tracking", Proceeding ICPE' 01 635-638p, 2001.
- [5] 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.
- [6] 김홍성, 유권종, 송진수, 이병구, 정영석, 강기환, 최규하, "충방전 제어기기를 이용한 독립형 태양광발전시스템의 설계", 전력전자학술대회 논문집 pp. 103-108, July 1998.