



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

2015年 2月
碩士學位論文

Double Sensor를 이용한 3kW급
태양광발전시스템에 관한 연구

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

羅 鉉 竣

2015年2月

碩士學位論文

Double Sensor를 이용한 3kW급 태양광발전시스템에 관한 연구

羅鉉竣

Double Sensor를 이용한 3kW급 태양광발전시스템에 관한 연구

A Study on the 3kW
Photovoltaic System using Double Sensor

2015年 2月 25日

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

羅 鉉 竣

Double Sensor를 이용한 3kW급 태양광발전시스템에 관한 연구

指導教授 曹錦培

이 論文을 工學 碩士學位申請 論文으로 提出함.

2014年 10月

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

羅 鉉 竣

羅鉉竣의 碩士學位 論文을 認准함.

委員長 朝鮮大學校 教授 李愚宣 印

委員 朝鮮大學校 教授 崔然玉 印

委員 朝鮮大學校 教授 曹錦培 印

2014年 11月

朝鮮大學校 大學院

목 차

ABSTRACT

I. 서 론	1
II. 이론적 고찰	2
A. 태양전지 이론 및 특성	2
B. 태양광발전시스템	9
III. 시뮬레이션	18
A. 시뮬레이션	18
B. 시뮬레이션 검토	21
IV. 시스템 구성 및 설계	22
A. 시스템 구성	22
B. 실험결과 및 고찰	35
V. 결 론	38
참고문헌	

List of Tables

Table 1. The solar pro-simulation results according to time	19
Table 2. The output of fixed type simulation in April sunny day	20
Table 3. The output of one sensor type simulation in April sunny day	20
Table 4. The module parameter of solar cell	24
Table 5. The specifications of double sensor PV systems	25
Table 6. The parameter of PDS sensor	28
Table 7. The specifications of actuator	30
Table 8. The specifications of worm drive	30
Table 9. The specifications of inverter	33
Table 10. The date of outputs in May	36

List of Figures

Fig. 1 The basic principle of photovoltaic	3
Fig. 2 The photovoltaic effect in p-n junction	4
Fig. 3 The I-V characteristics of a solar cell compared to a diode	5
Fig. 4 The equivalent circuit of solar cell	6
Fig. 5 The consist of stand-alone type of PV	10
Fig. 6 The block diagram of the unidirectional utility interactive PV system	12
Fig. 7 The block diagram of the bi-directional utility interactive PV system	12
Fig. 8 The photo of fixed array	13
Fig. 9 The photo of semi-fixed array	14
Fig. 10 The photo of tracking array	15
Fig. 11 The daily average outputs analysis of PV system	21
Fig. 12 The block diagram of solar power plant	22
Fig. 13 The detail frame of solar module	23
Fig. 14 The arrangement of solar array	24
Fig. 15 The detail arrangement of solar array	24
Fig. 16 The PDS sensor	26
Fig. 17 The installation location of PDS sensor	26
Fig. 18 The block diagram of PV	27
Fig. 19 The photo of actuator	29
Fig. 20 The photo of worm drive	29
Fig. 21 The photo of controller	32
Fig. 22 The side view image and photo of solar power plant	32

Fig. 23 The initial mode of the side view image and photo of solar power plant 33

Fig. 24 The image and photo of the inverter exterior drawing 34

Fig. 25 The schematic diagram of inverter 34

Fig. 26 The installation of semi-fixed 3kW PV system 35

Fig. 27 The outputs analysis of proposed PV system & semi-fixed PV system ·· 37

ABSTRACT

A Study on the 3kW Photovoltaic System using Double Sensor

Hyun-Jun Na

Advisor : Prof. Geum-Bae Cho, Ph.D.

Department of Electrical Engineering

Graduate School of Chosun University

The fossil energy of existing main resources is exhausted globally. The renewable energy get the limelight and studies have been made actively to increase the efficiency. As renewable energy, wind power energy, solar power energy, and etc. are used to energy production in a number of ways. Among these, PV system is one of the unlimited energy source and it don't need transport of fuel, mechanical operation, and the local temperature. Also, advantage of PV system's are maintenance of PV equipment, and easy to equipment and installation. This study focused that PV system was enhanced by improving structural part because research of software part of PV system is already saturated ways to chases sun have such as PV system of fixed array, semi-fixed array, sensor, program, and hybrid. sensor PV system is ideal way among the different methods except the tracking error of part shading of sun light. In this paper, The 3kW double-sensor PV system was proposed. This is organized into two sensor at proposed system at upper side and right side. these are controlled each device of azimuth and elevation.

In result, precise tracking control was more efficiency than original sensor system. In addition, proposed way improved the disadvantage of the problem of partial shading of the sensor system. During a month, the proposed 3kW double-sensor tracking PV system and 3kW fixed type PV system gained 569.93507[kWh] and 408.5257[kWh], respectively. In addition, thorough out simulation. it was confirm that proposed system improve the efficiency of 28.85% than fixed system through generation outputs. In simulation, average efficiency gap between semi system of fixed array and sensor array was 17.56[%]. go through data, it was confirm that proposed system improve the efficiency of 11.28[%] more efficient than original sensor system. Thus, we confirmed that PV system of double-sensor type was more efficiency than existing PV system.

I. 서 론

지구환경문제 이외에도 화석에너지 고갈과 원자력발전소 증설로 인한 위치선정과 폐기물처리 관리에 문제가 발생되고 있다. 이러한 문제점으로 인하여 전 세계적으로 에너지절약 및 신재생에너지 기술개발에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.^{[1][2][3]}

태양광발전은 다른 발전방식과는 달리 자원이 반영구적이고 친환경 에너지로서 태양이 비추는 장소는 어디에서나 설치 및 보수가 가능하며 대기오염의 발생이 없고 시설 규모에 관계없이 발전효율이 일정하여 각광받고 있다. 하지만 태양광발전 출력특성은 그림자, 온도 등 외부적인 환경요인에 매우 민감하며 태양전지에 입사되는 일사광선의 양에 따라 출력특성 변화에 크게 영향을 미치며 다른 설비에 비해 설치면적에 따른 비용과 수명에 관한 초기투자비용이 큰 단점이 있어 이를 개선해야 하는 연구의 필요성이 요구 되어 진다.^[3] 이러한 태양광발전 시스템을 추적·설치방식의 관점에서 보면 고정식, 반고정식, 추적식 3가지로 분류할 수 있다. 그 중 고정식 태양광발전시스템은 다른 추적·설치방식에 비해 초기 투자비용이 적고 단순설비로 가정용으로 초기에 많이 보급되었다. 하지만 태양의 위치에 따른 발전 효율이 낮다는 단점이 있다.^{[1][2]}

반고정식 태양광발전시스템은 계절에 한번 상하 또는 좌우로 어레이의 고도각, 경사각을 조정하여 사용하는 방식으로 발전효율은 고정식과 추적식의 중간 정도이지만 어레이의 각도조정이 수동이며 비, 눈과 같은 수분으로 인한 부식 등 관리에 어려움이 있다. 추적식은 고정식과 반고정식 보다 초기 설치비용은 높지만 태양과 법선을 유지함으로서 향상된 출력량을 생산 할 수 있다. 그 중 sensor 방식은 지속적으로 태양의 위치를 추적해 어레이와 법선을 유지하여 최대출력을 생산 할 수 있다. 하지만 sensor에 부분음영이 생길경우 지속적인 정확한 추적이 어렵다.

따라서 현재 반고정식과 sensor 추적식 설비의 설치비용 차가 많이 감소되었다는 점을 고려하여, 본 논문에서는 PDS sensor를 이용한 double sensor형 태양광발전시스템을 제안하였으며 가장 보편적으로 사용되고 있는 반고정식 태양광발전시스템과 출력특성을 비교분석하여 우수성을 입증하고 노화로 인한 교체 필요성이 있는 태양광시스템 및 앞으로 신설할 태양광발전시스템의 설계에 기여하고자 한다.

II. 이론적 고찰

A. 태양전지 이론 및 특성

1. 태양전지 원리 및 구조

태양광발전에 사용되는 태양전지는 화학전지와 다른 반도체를 이용한 고체 물리전지이며 광기전력 효과(photovoltaic effect)(실리콘의 반도체 소자가 광 에너지를 수용한 후 전기에너지로 변환되는 특성)와 광전류 효과(photo-current effect)을 적용하는 다이오드접합(diode junction) 구조를 갖는 반도체 소자이다.^[4]

일반적 단결정 실리콘 태양전지는 주기율표 상 4가 원소(Si-실리콘)에 5가 원소(P-인, Sb-안티몬, As-비소)를 첨가시킨 n-형 반도체와 3가 원소(B-붕소, Ga-갈륨, In-인듐)를 첨가시킨 p-형 반도체를 접합시켜 p-n 접합 구조(다이오드 형태)로 되어 있다.^[5]

n-형 반도체와 p-형 반도체를 접합하게 되면 불순물의 농도차가 생기고 n-형 반도체의 잉여전자는 p-형 반도체로 확산되고 전공의 경우 p-형 반도체에서 n-형 반도체로 확산된다. n-형 반도체와 비교해 p-형 반도체 전도대 내부 전자에너지는 향상되고 n-형 반도체의 가전자대(balance band) 내부 정공의 에너지는 p-형 반도체보다 향상된다.

이에 따른 내부전위차가 형성시 금지대폭(energy gap)보다 높은 에너지를 갖는 광자가 태양전지 내부에 인입되어 광흡수 층인 n-형 반도체 또는 p-형 반도체에서 흡수와 동시에 가전자대의 전자를 여기 시켜 전도대로 이동시키고, 그때 가전자대에서는 정공이 생기며 이를 전자-정공 쌍(electron-hole pair)이라 한다.^[5]

아울러 광흡수를 통해 생성된 전하들은 새로운 확산력을 통하여 광기전력을 생성시킨다. 그리고 외부의 도선을 p-n접합의 양단 전극에 접속시키면 n-형에서는 외부도선으로 전자가 이용하고 p-형 반도체에서는 외부도선으로 정공이 흐르게 된다. 그림 1은 태양전지의 동작 원리를 나타내고 있다.^{[6][7]}

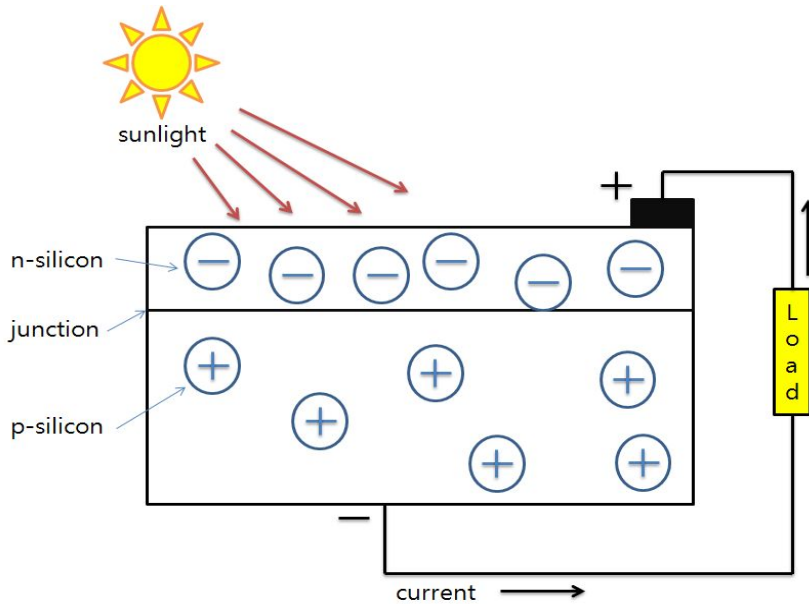
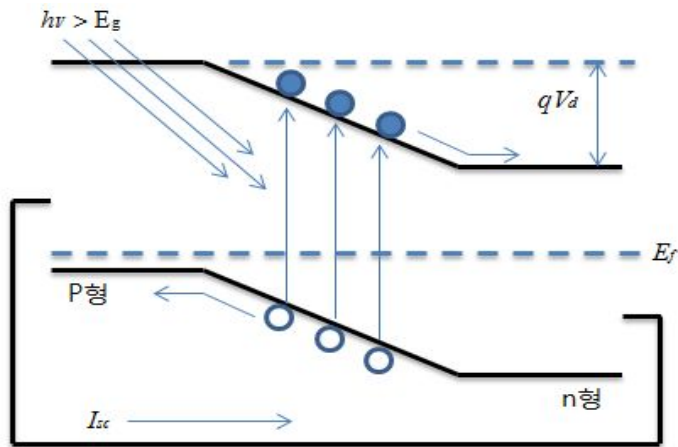


Fig. 1 The basic principle of photovoltaic

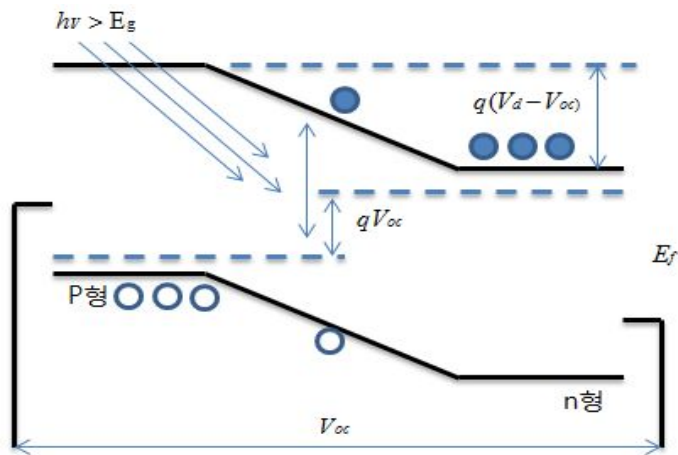
그림 2는 p-n접합에서 광기전력 효과를 나타낸 것으로, 그림 2(a)에서 외부회로를 단락시 입사광량에 비례하여 외부회로에 광전류가 흐르게 되는데 이 광전류를 단락전류(I_{sc})라 한다. 또한 그림 2(b)에서와 같이 p-n접합의 양단을 개방시 전자, 정공이 n층, p층으로 각각 유입됨에 따라 n층의 페르미 준위가 p층의 페르미 준위에 보다 상승하여 양쪽(n층, p층)의 페르미 준위에 전압 차이가 생기며 이를 개방전압(V_{oc})이라 한다.

태양전지는 넓은 면적의 다이오드로 볼 수 있으므로 태양전지의 전압(V)-전류(I) 특성 곡선은 암 상태시 다이오드 전류-전압 곡선에 광전류를 중첩시키면 된다.

즉, 암 상태시 다이오드 전압-전류 곡선을 광전류 I_{ph} 만큼 아래쪽으로 이동시키면 된다.^{[5][6][7]}



(a) The short circuit



(b) The open circuit

Fig. 2 The photovoltaic effect in p-n junction

그림 3은 태양전지의 I-V 특성곡선을 나타낸다. 다이오드 인가전류에 대한 해석은 식 (1)과 같다.

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

식 (1)에서 I_{ph} 는 광전류이고, I_D 는 다이오드 전류이다.

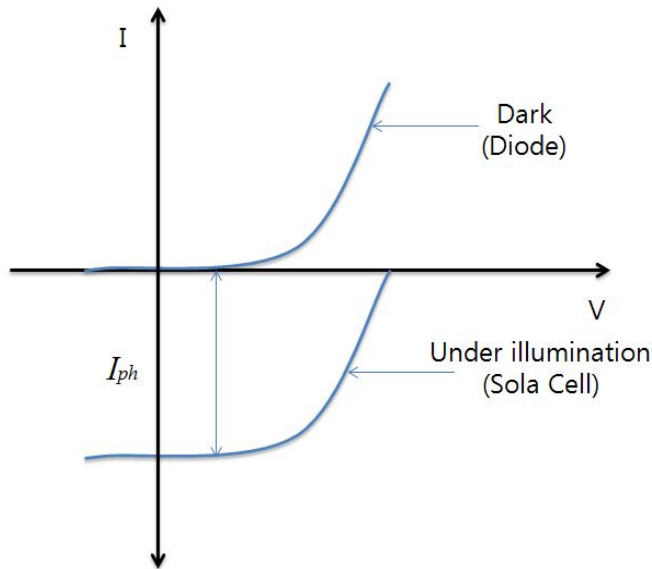


Fig. 3 The I-V characteristics of a solar cell compared to a diode

2. 태양전지의 전기적 특성

광 에너지가 태양전지 모듈에 입사시 전기에너지로 변환되어 발생하는 출력특성을 전압-전류 특성이라 한다.

태양전지의 모델링은 이상적인 다이오드 한 개와 정전류원 (전류원 크기= I_{ph})으로 모델링 할 수 있으나 이상적인 다이오드 제작이 불가능함에 따라 표면층의 시트(sheet) 저항 및 접촉저항 등을 표시하는 직렬저항 R_s , 병렬저항 R_{sh} 를 일반적으로 고려한다.

태양전지 표면에 입사되는 빛의 일부는 표면에서 반사되며, 표면을 투과한 빛은 태양전지 내부로 흡수되어 광자수는 지수 함수적으로 감소한다.

그림 4는 태양전지에 빛을 조사시 광기전력효과를 이용한 태양전지 등가회로를 나타낸 것이다.^{[8][9]}

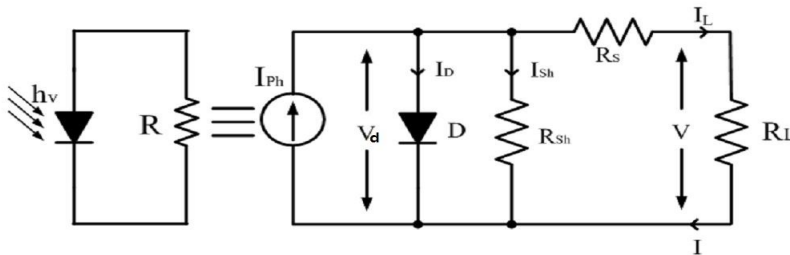


Fig. 4 The equivalent circuit of solar cell

그림 4의 I_{ph} 는 빛이 입사시 생성된 캐리어(carrier)가 외부의 영향을 받지 않을 때 폐회로로 흐르는 광전류이고, I_D 는 암전류이며 I_{ph} 와 방향이 반대이다. 병렬저항 R_{sh} 는 이상적인 다이오드 특성이 아닌 일정한 상수 저항으로 표시되는 누설저항을 나타내고, R_s 는 전지 내부에 존재하는 직렬저항을 R_L 는 외부에서 걸어주는 부하저항을 나타낸다. 등가회로에서의 태양전지의 출력전류는 식 (2), 출력전압은 식 (3)과 같다.

$$I_L = I_{ph} - I_d - \frac{V_d}{R_{sh}} = I_{ph} - I_0 \left(\exp \frac{qV}{nKT} - 1 \right) - \frac{V_d}{R_{sh}} \quad (2)$$

$$V_d = V + I_L R_s = \left[\frac{nKT}{q} \ln \left\{ \left(I_{ph} - \frac{I_L}{I_0} \right) + 1 \right\} \right] + I R_s \quad (3)$$

식 (2), (3)을 이용하여 출력전류를 식 (4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_L = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + I R_s)}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{V + I R_s}{R_{sh}} \quad (4)$$

그림 4에서 광 투사시 $R_s=0$, $R_{sh}=\infty$ 인 이상적인 p-n접합 다이오드 경우 I_L 은 식 (5)와 같다.

$$I_L = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{nKT} \right) - 1 \right] \quad (5)$$

식 (5)에서 I_L 은 출력전류, I_{ph} 는 광전류, I_0 는 다이오드 포화전류, n 은 다이오드 상수, K 는 볼츠만 상수이고 q 는 전자 한개 전하량이다. 개방 전압 V_{oc} , 단락전류 I_{sc} , 충전율 FF (Fill Factor) 등 이 변수는 에너지 변환효율과 관련된 파라미터로서 식 (5)로부터 $I_L=0$ 인 조건에서 개방전압 V_{oc} 는 식 (6)과 같다.

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \quad (6)$$

단락전류 I_{sc} 는 $V_L=0$ 인 조건으로 인해 $I_{sc}=I_{ph}$ 가 된다.

전지에 접속된 부하저항의 크기를 조정함에 어떤 최적 동작지점에서 최대의 출력 P_{max} 는 식 (7)과 같다.

$$P_{max} = V_{mpp} \cdot I_{mpp} = FF V_{oc} I_{sc} \quad (7)$$

부하저항에서 소비되는 에너지 P_{out} 은 식 (8)과 같다.

$$P_{out} = V \cdot I_L = V \cdot \left\{ I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qV_L}{nkT}\right) - 1 \right] \right\} \quad (8)$$

최적부하조건에서 $\frac{dP_{out}}{dV} = 0$ 이므로 최적동작전압 V_m 은 식 (9)과 같다.

$$V_m = \exp\left(\frac{qV_m}{nkT}\right) \left(1 + \frac{qV_m}{nkT}\right) = \left(\frac{I_{ph}}{I_0}\right) + 1 \quad (9)$$

또한 이때의 최적동작전류 I_m 은 식 (10)과 같다.

$$I_m = \frac{(I_{ph} + I_0) \cdot (qV_m/nkT)}{1 + (qV_m/nkT)} \quad (10)$$

P_{max} 가 최대값을 가지기 위해서는 특성곡선에서 I_m 과 V_m 이 I_{sc} 와 V_{oc} 에 근접해야 함을 알 수 있다. 태양전지의 특성을 평가할 경우 단락전류, 개방전압 뿐만 아니라 가장 중요한 부분 중의 하나는 충진율 FF 로 식 (11)과 같다.

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (11)$$

태양전지에서 출력된 최대의 전기에너지를 입사광에너지로 나눈 값은 태양전지의 에너지 변환효율이며 다음 식 (12)과 같다.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{V_m \times I_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \times FF \quad (12)$$

식 (12)에서 P_{in} 은 입사된 태양광 에너지이다. 즉, 단락전류(I_{sc}), 개방전압(V_{oc}), 그리고 충진율(FF)를 높이면 태양전지의 효율을 향상시킬 수 있다.^{[10][11][12]}

B. 태양광발전시스템

1. 태양광발전시스템 구성요소

태양광발전시스템은 태양전지(일사량에 의존하는 직류전력을 발전하는 부분)와 load matching(발전된 전력을 부하로 공급하기 위한 방법) 기본기능을 필요로 한다.

일사량에 의존되며 직류전력을 발전시키는 태양전지 어레이, 발전된 전기를 저장하는 전력저장 축전기능, 발전한 직류전기를 교류전기로 변환시키는 인버팅(Inverting)기능과 보호기능 및 전력 품질을 갖는 PCS(Power Conditioning System)기능, 전력계통 또는 다른 전원에 의한 back-up 기능, 발전된 전력을 공급하기 위한 대상 부하의 기능으로 구성되어 있다.

태양전지 어레이 구조장비와 그 외의 구성장치는 보통 주변장치(balance of system)라고 한다. 축전지와 태양전지 어레이 이외의 인버터 등의 전기적 전력변환 기기류와 보호·제어 장치를 일체 구조의 유닛으로 공급하는 경우는 PCS라고 부르고 있다. 태양광발전시스템의 구성요소는 일반적으로 태양전지 어레이, 축전지, 인버터, 계통연계 제어장치, 직류전력 조절장치로 분류하고 있다.^[13]

2. 계통연계 유무에 따른 분류

a. 독립형 태양광발전시스템

독립형 태양광발전시스템은 무인중계소, 무인등대, 낙도, 산간벽지 등 상용계통과 직접 연계되지 않아 전력을 공급받지 못하는 곳에서 태양광발전시스템의 발전전력만으로 부하에 전력을 공급하는 시스템이다.

과전압 안정회로를 부착시킨 축전지 저장방식으로 인버터 내부에 과전압 보호 장치가 설치되어 있어 상시 일정전원을 축전지에 공급하여 구동하는 시스템으로 구성되어 있다.

이와 같이 축전지 저장방식을 이용하여 축전지전력이 떨어질 때 back-up system으로 축전지를 충전해 운전하도록 설계하여 태양전지와 축전지를 최악조건에 고려하여 충분히 설치하지 않아도 되므로 직류 부하용 시스템으로 가장 효율적인 시스템이다.

따라서 신재생에너지로서 독립적인 전원설비로 구성하게 되면, 안정된 전원의 이용과 경제적 시스템 운영이 가능하다.^{[14][15]}

축전설비를 가지고 있는 독립형 태양광발전시스템은 계통선과 분리되어 있기 때문에 시스템에서 발생된 유효전력이나 무효전력 그리고 고조파는 전력계통선으로 영향이 미치지 않는다. 그러나 축전설비가 고가이고 넓은 설치공간을 필요로 하며 축전지의 액보충, 유출, 폭발과 같은 문제점이 있다. 또한 축전지를 태양전지에 직접 병렬 연결하여 사용시 축전지의 전압동요가 태양전지 동작점을 이동하게 하여 최대 전력을 얻는 것이 불가능하고, 축전지의 충·방전 손실이 발생하게 되어 효율이 떨어진다. 그림 5는 독립형 태양광발전시스템 구성을 나타내고 있다.

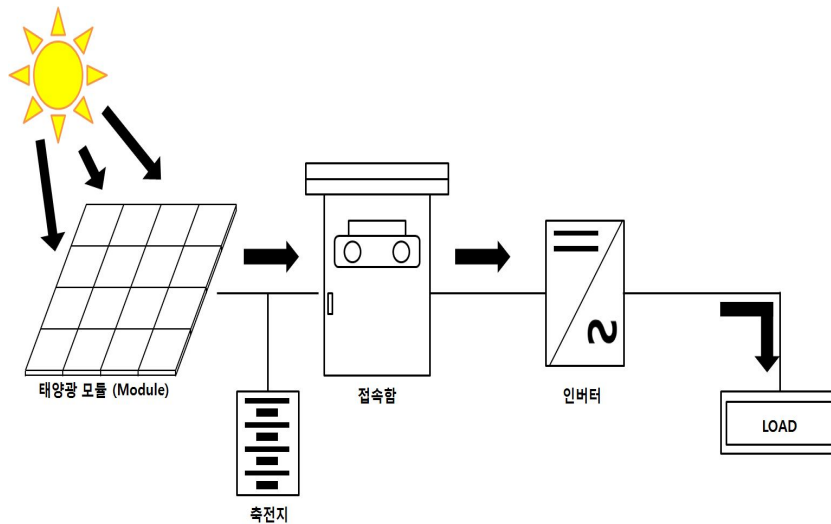


Fig. 5 The consist of stand-alone type of PV

b. 계통연계형 태양광발전시스템

계통연계형 태양광발전시스템은 공공산업용 및 주택용 태양광발전의 가장 보편적인 형태이며 상용계통과 직접적으로 연계되어 태양전지로부터 생산된 직류전원과 계통선의 교류 전원을 균형 있게 유지하여 AC부하에 전력을 공급하는 시스템이다.

계통연계형 태양광발전시스템은 단방향 계통 연결형과 양방향 계통 연결형으로 2가지로 분류하며, 단방향 계통선 연결방식은 주택용, 공장용전원 등에 많이 사용되는 시스템으로서 부하측에 단방향 계통선 연계형 인버터를 사용하여 전력을 공급하며 독립형과 달리 축전지를 사용하지 않고 운전한다. 그리고 계통선에서 태양전지에서 공급되는 전력이 부족할 경우 그 부족한 부분만 부하측으로 공급한다.

계통연계형 태양광발전시스템은 주택용이나 대용량 발전소 전원 등에 이용하는 시스템으로 부하가 필요한 전력을 초과된 계통선 연계형 인버터 출력된 잉여전력은 계통선으로 공급되며, PV 모듈로부터 발전된 인버터 출력전력이 부하에서 필요한 전력 미만일 경우 부족한 전력은 계통선에서 공급된다.

독립형 태양광발전시스템과 달리 고가의 축전설비가 필요 없기 때문에 축전지의 충·방전 손실이 없지만 PV 모듈의 발생전력은 인버터를 통해 계통선으로 직접 연결되어 인버터에 발생하는 유효전력과 무효전력의 동요는 전력계통선에 직접 영향을 미치게 된다. 계통선에는 많은 시스템들이 연결되어 있고 시스템의 발생전력과 수요전력이 균형 상태에 있다면 계통선 부분에서 문제를 찾기 어렵다. 즉, 효율이 높은 시스템이기 때문에 주택용 PV 시스템으로 사용하는데 있어서 가장 이상적인 시스템 형태라 할 수 있다. 그림 6은 단방향 계통연계 방식의 블록다이어그램을, 그림 7은 양방향 계통연계 방식의 블록다이어그램을 나타내고 있다. ^{[16][17]}

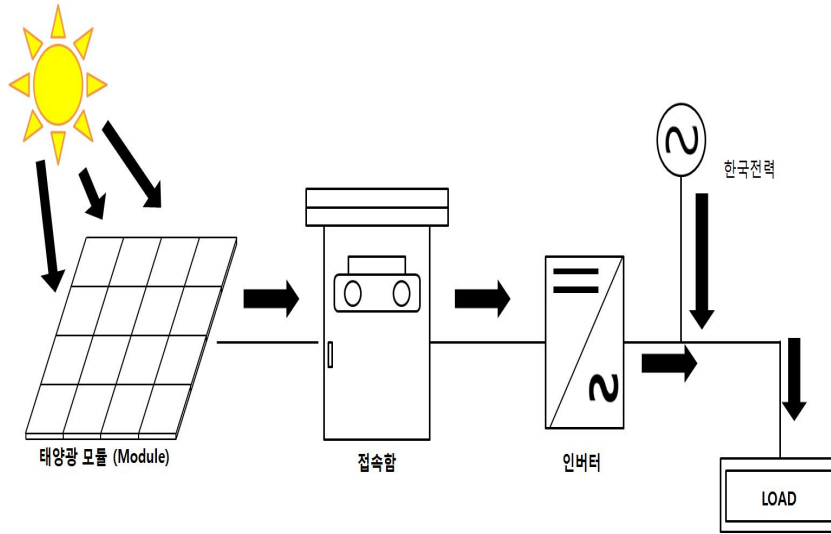


Fig. 6 The block diagram of the unidirectional utility interactive PV system

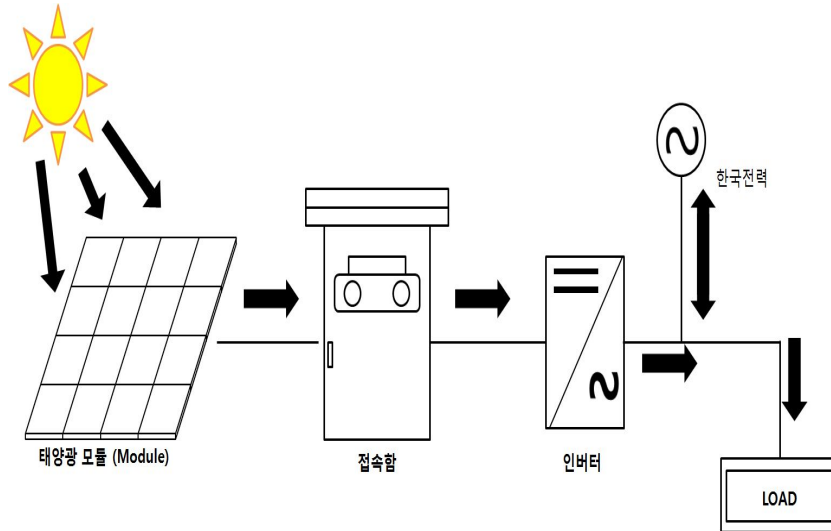


Fig. 7 The block diagram of the bi-directional utility interactive PV system

3. 어레이 설치방식에 따른 분류

a. 고정식, 반고정식 어레이

고정식 어레이의 경우 가장 경제적이고 안정된 어레이 지지형태 구조로써 설치면적의 제약이 적은 장소에 많이 이용되고 있으며, 특히 풍속이 강한 남해안이나 도서지역에 설치하는 것이 바람직하며 선호한다. 발전효율은 추적식, 반고정식에 비교하여 낮지만, 초기 투자비를 절약 할 수 있고, 유지보수 관리에 따른 위험을 감소시킬 수 있기 때문에 사용 목적에 맞게 종합적인 검토를 통하여 설치하는 것이 바람직하며, 전 세계적으로 가장 많이 선호되는 어레이 지지방법이다. 특히 대용량 태양광발전시스템에서 가장 많이 이용되며, 국내 태양광시스템 서적에서는 이와 같은 고정식시스템을 표준으로 하고 있다. 그림 8은 고정식 어레이의 실제모습이다.



Fig. 8 The photo of fixed array

반고정식 어레이는 태양전지 어레이 고도각 또는 경사각을 보통 계절 또는 월별에 따라서 상하, 좌우로 위치변화가 가능한 어레이 지지방식으로, 일반적으로 계절마다 한번 정도 수동으로 어레이 경사각을 변화시킨다. 이때 어레이 경사각은 설치 장소의 위도에 맞게 최대 경사면 일사량을 갖도록 조정한다. 반고정식 어레이의 발전량은 고정식과 추적식의 중간 정도로써 고정식과 비교했을 경우 평균 10% 정도 향상된 출력을 얻을 수 있다. 그림 9는 반고정식 방식의 실제모습이다.^{[1][18][19]}



Fig. 9 The photo of semi-fixed array

b. 추적식 어레이

태양광발전시스템의 극대화된 발전을 위한 방식으로 태양의 직사광선이 태양전지판의 전면에 지속적으로 수직 입사할 수 있도록 동력 또는 기기조작을 통하여 태양의 위치에 따라 어레이 각도를 변화시키며 추적하는 방식으로 추적 방향에 따라 단축형 추적식과 양축형 추적식으로 나누어진다. 또한 태양을 추적하는 방법에 따라서 sensor 방식, 프로그램 방식, 혼합형 추적방식으로 나눌 수 있으며 그 밖에 태양광선의 집광유무에 따라 평판형어레이, 집광형어레이를 생각할 수 있다. 그림 10은 추적식 태양광발전시스템 실제모습이다.^{[1][18][19]}



Fig. 10 The photo of tracking array

단축형 추적식 같은 경우 태양전지 어레이가 태양의 한축만을 추적하도록 설계되었으며 상·하 추적식(Y-axis tracking)과 좌·우 추적식(X-axis tracking)으로 나누어진 다. 고정식에 비하여 발전량이 증가하나 양축형 추적식에 비하여 발전량이 줄어든다. 양축형 추적식 같은 경우 태양전지가 항상 태양을 향하게 함으로써 일사량을 최대가 될 수 있도록 상·하, 좌·우를 추적하는 장치이다. 설치 단가가 높은 반면, 발전량이 고정식에 비하여 조건의 변경에 따라 연 평균 25%까지 증가한다. 하지만 초기 설치비나 장기간 유지보수비 등을 종합적으로 고려하여야 하며 대형 발전 사업이나 바람의 영향이 많은 지역 및 태풍이 자주 지나가는 지역을 피해 설치하는 것이 바람직하다. 따라서 주로 사용되는 장소로는 제약된 설치면적에서 발전을 최대화 하는데 유리하고, 기타 연구를 위해 설치하거나 장소에 제약이 따른 대도시 등 건물 옥상 등에 설치하여 이용하기 적합하다.^[19]

4. 태양위치 추적방식에 따른 분류

a. 프로그램 추적방식

설치된 어레이 위치에서 태양의 연중 이동궤도를 추적하는 프로그램을 내장한 마이크로프로세서 또는 컴퓨터를 이용하여 프로그램 데이터의 지시하는 년 월, 일의 태양의 위치를 추적하는 방식이다. 비교적 안정적으로 태양의 위치를 추적이 가능하나, 설치지역 위치 특징에 맞게 약간의 프로그램 수정이 필수적이다. 추적 프로그래밍 정밀도에 따라 초기설치 비용의 단가의 차이가 크다.

태양위치 계산은 현재 태양전지가 설치되어 있는 장소를 기준으로 태양까지의 고도와 방위각을 고려하여 일정한 시간간격으로 계산해 내는 방법이다. 추적시스템의 입력 신호로 사용되는 태양의 위치는 지구의 운동관계식을 사용하여 계산해 낼 수 있다. 하지만 태양위치 계산을 위한 방정식은 소수점 7번째 자리까지 사용되는 복잡한 계산이 사용됨에 따라 정확성을 충분히 검증해야 할 필요성이 있고, 정확한 위치정보를 세팅하지 않으면 오히려 저하된 발전량을 생산할 수 있다. 또한 유지보수를 위한 필요한 상당한 기술력을 보유한 관리자가 요구되어 진다.^{[20][21]}

b. sensor 추적방식

태양의 추적방식이 sensor를 이용하여 최대 일사량을 추적하는 방식으로 sensor의 종류 및 형태에 따라서 다소 오차가 발생한다. 특히 구름에 의해 태양이 가리거나 부분 음영이 발생시 감지부의 정확한 태양궤도 추적이 어렵다. 하지만 구성이 간단하고 특별한 연산 없이 사용이 용이하다.^[19]

one sensor 방식은 한 개의 sensor로 상하 좌우를 제어함으로서 초기에 설치 단가는 줄일 수 있다. 하지만 부분음영이 생길 경우 sensor의 동작이 원활하지 못해 제 기능을 하지 못한다. 따라서 부분음영의 피해를 줄이려면 double sensor방식을 사용하여 한쪽 sensor에서 부분음영이 생기더라도 다른 sensor에서 감지를 하여 부분음영의 피해를 줄여 원활한 동작을 할 수 있다.^{[20][21]}

c. 하이브리드 추적방식

프로그램 추적방식과 sensor 추적방식을 동시에 만족할 수 있도록 복합된 방식으로 평상시 프로그램 추적식을 중심으로 운영하도록 하되, 설치위치에 따라 발생하는 편차를 sensor를 이용하여 주기적으로 보정 및 수정해 추적하는 방식으로, 추적방식 중 일반적으로 가장 효율적인 추적방식으로 이용되고 있다. 프로그램 추적방식과 마찬가지로 프로그래밍에 따라 초기설치 비용이 발생하게 되고, sensor가 추가됨에 따라 마이크로 프로세서를 사용하여 프로그래밍이 복잡해 질 수 있고 유지보수의 어려움이 있다.^[19]

III. 시뮬레이션

A. 시뮬레이션

본 논문에서는 PDS sensor를 이용한 double sensor형 3kW 태양광발전시스템에 대하여 연구하였다. 제안한 태양광발전시스템은 각각의 sensor의 출력량에 의해 모터드라이브를 통하여 태양의 고도각에 따라 움직이는 액츄에이터와 태양의 방위각에 따라 움직이는 워드라이브를 사용하였다. 이러한 구동부 동작으로 인하여 태양광과 태양전지는 항상 법선이 될 수 있도록 양축형 추적식 태양광발전시스템을 제작하기 위하여 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

제안한 태양광발전시스템의 시제품 제작을 위해 solar pro-시뮬레이션 툴을 사용하여 적합성을 검증하였다. solar pro-시뮬레이션 툴은 태양광발전시스템에 관련된 모든 요소(설치장소, 태양전지의 설치상황, 성능, 햇빛의 영향 등)를 가지고 있는 프로그램으로서 태양광발전시스템을 설치하는데 있어 그림자의 영향을 태양광발전설비와 주변 건물을 입력하여 해석 할 수 있으며 태양전지의 고도각, 방위각, 일사량, 모듈온도, 태양전지의 특성, 모듈의 선 연결, 햇빛의 특성 등 여러 가지 요소를 고려하여 설계한 태양광발전시스템의 발전전력량을 계산 할 수 있다. 하지만 double sensor방식 설계가 아닌 one sensor방식으로 시뮬레이션 설계하여 그 출력량과 반고정식 태양광발전시스템 설비했을 경우 출력량을 비교분석한 후 실제 반고정식과 double sensor 태양광발전시스템을 설비하였을 경우 one sensor 태양광발전시스템의 출력량을 설치하지 않아도 예측 할 수 있으며 double sensor방식의 출력향상 정도를 비교분석 할 때 유용하게 쓰일 것으로 사료되어 one sensor 방식으로 시뮬레이션을 수행하였다.

광주지역에서의 4월 중 맑은 날 반고정식 태양광발전시스템과 one sensor방식 태양광발전시스템을 solar pro-시뮬레이션 툴을 사용하여 설계하였으며 표 1과 같이 시간에 따른 시스템 모습을 보여주고 있으며 표 2는 반고정식 태양광발전시스템 시뮬레이션 출력량, 표 3은 one sensor방식 시뮬레이션 태양광발전시스템 출력량을 측정한 데이터를 나타낸다.

Table 1. The solar pro-simulation results according to time

time	semi-fixed PV	one sensor PV
9(h)	<p>Area KWANGJU 4/ 4 09:00</p>	<p>Area KWANGJU 4/ 4 09:00</p>
12(h)	<p>Area KWANGJU 4/ 4 12:00</p>	<p>Area KWANGJU 4/ 4 12:00</p>
15(h)	<p>Area KWANGJU 4/ 4 15:00</p>	<p>Area KWANGJU 4/ 4 15:00</p>

Table 2. The output of fixed type simulation in April sunny day

No.	시간(h)	전압[V]	전류[A]	출력량[W]
1	06:00	265.21	0.72	190.95
2	07:00	283.43	2.5	708.58
3	08:00	281.46	4.51	1269.38
4	09:00	273.73	6.29	1721.76
5	10:00	264.57	7.57	2002.79
6	11:00	258.22	8.27	2135.48
7	12:00	254.77	8.42	2145.16
8	13:00	255.27	8.04	2052.37
9	14:00	260.39	7.13	1856.58
10	15:00	267.56	5.65	1511.71
11	16:00	274.59	3.74	1026.97
12	17:00	272.82	1.75	477.44
13	18:00	254.4	0.49	124.66

Table 3. The output of one sensor type simulation in April sunny day

No.	시간(h)	전압[V]	전류[A]	출력량[W]
1	06:00	278.51	1.68	467.90
2	07:00	283.53	4.46	1264.54
3	08:00	275.65	6.36	1753.13
4	09:00	267.51	7.54	2017.03
5	10:00	261.02	8.21	2142.97
6	11:00	256.61	8.53	2188.88
7	12:00	253.66	8.59	2178.94
8	13:00	252.53	8.43	2128.83
9	14:00	255.68	7.97	2037.77
10	15:00	260.85	7.14	1862.47
11	16:00	269.48	5.72	1541.43
12	17:00	276.68	3.49	965.61
13	18:00	270.87	1.26	341.30

B. 시뮬레이션 검토

가정용에 주로 사용하는 반고정식 태양광발전시스템의 시뮬레이션과 one sensor 방식의 태양광발전시스템의 시뮬레이션을 시간단위 하루 누적출력량을 비교분석해 보았다. 태양광발전이 가능한 06:00부터 18:00까지의 시간단위 누적출력량을 보면 반고정식 태양광발전시스템의 시뮬레이션 출력량은 17.22[kWh], one sensor 추적방식의 시뮬레이션 태양광발전시스템의 경우 20.89[kWh]으로 측정되었으며 비교분석결과 one sensor 추적방식이 반고정식보다 시뮬레이션 측정값이 약 3.67[kWh] 높게 나타났다. 그림 11은 시뮬레이션 분석 그래프이다.

시뮬레이션을 분석을 바탕으로 반고정식 태양광발전시스템과 double sensor형 태양광발전시스템을 실제로 제작하였을 경우 one sensor 추적방식보다 더 효율적인 출력량을 생산할 것이므로 출력량 차이가 최소 3.67[kWh]이상 나타낼 것으로 예상된다.

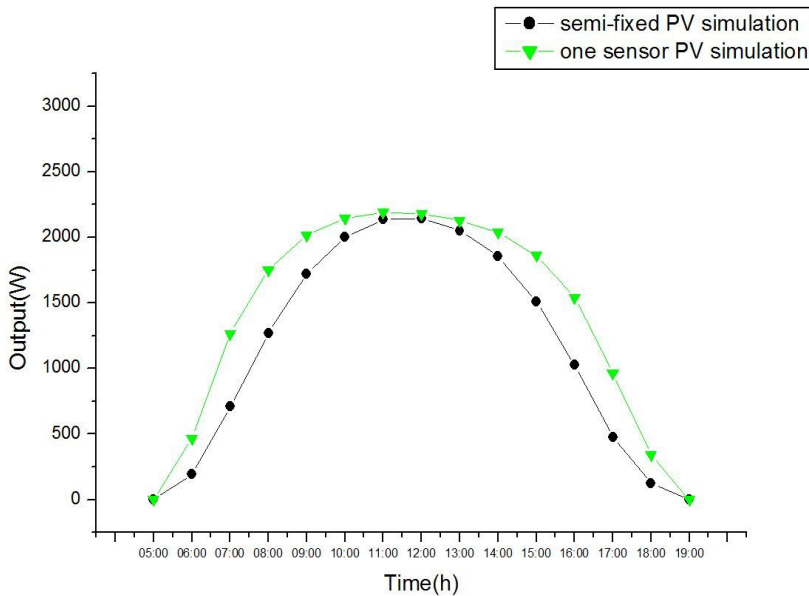


Fig. 11 The daily average outputs analysis of PV system

IV. 시스템 구성 및 설계

A. 시스템 구성

1. 태양전지 및 시스템 구성

시스템구성은 250W 태양전지 모듈 12개를 이용하여 3kW급 반고정식 태양광발전 시스템과 제안한 double sensor 태양광발전시스템을 직접 제작하여 제안한 시스템의 발전량이 향상됨을 확인하고자 하였다. 250W 태양전지 모듈의 파라미터값은 표 4와 같고 그림 12는 태양광발전 설비 계통도를 나타내고 있으며 표 5는 double sensor 태양광발전시스템의 전체사항을 나타내고 있다. 그림 13은 250W 태양전지 상세도이며 그림 14는 모듈 12개를 직렬 연결하여 배치한 3kW급 태양광발전시스템 배치도를, 그림 15는 구성된 태양광 태양전지 배치부분 상세도로 간단한 규격을 나타내고 있다.

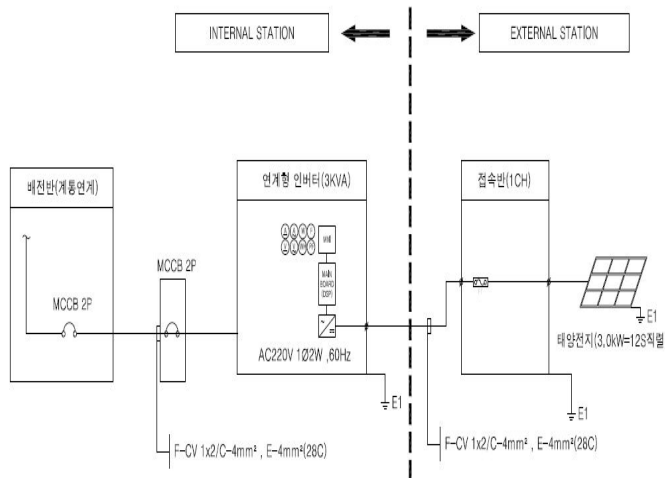


Fig. 12 The block diagram of solar power plant

Table 4. The module parameter of solar cell

PHOTOVOLTAIC MODULE LXP - 3J205V			
no	항 목	용량	단위
1	NOMINAL PEAK POWER(Pmax)	250	W
2	MAXIMUM POWER VOLTAGE(Vmp)	31.08	V
3	MAXIMUM POWER CURRENT(Imp)	8.08	A
4	OPEN-CIRCUIT VOLTAGE(Voc)	37.78	V
5	SHORT-CIRCUIT CURRENT(Isc)	8.74	A
6	MAX OPERATING VOLTAGE	1000	V
7	FUSE RATING	15	A
8	APPLICATION CLASS	CLASS	A
9	RADIANT FLUX DENSITY(STC)	1000	W/m ²
10	Air Mass (AM)	1.5	A
11	MODULE SURFACE TEMPERATURE	25	°C
12	WEIGHT	19	kg
13	Dimension (W * L * T) 1645 * 983 * 42		mm

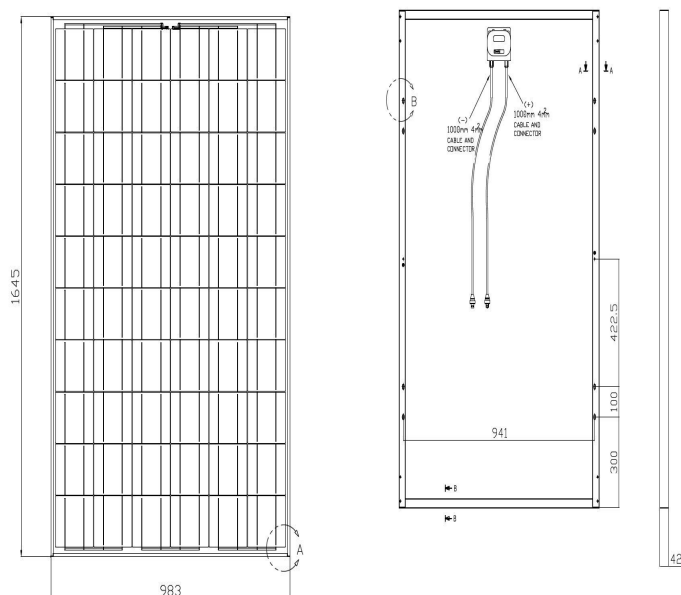


Fig. 13 The detail frame of solar module

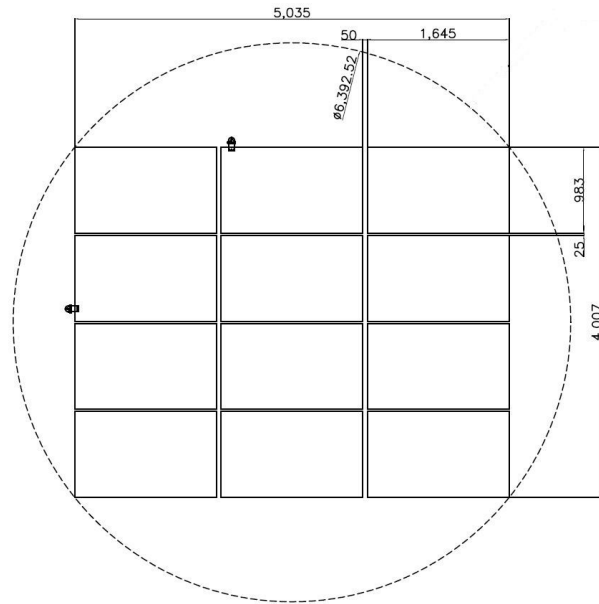


Fig. 14 The arrangement of solar array

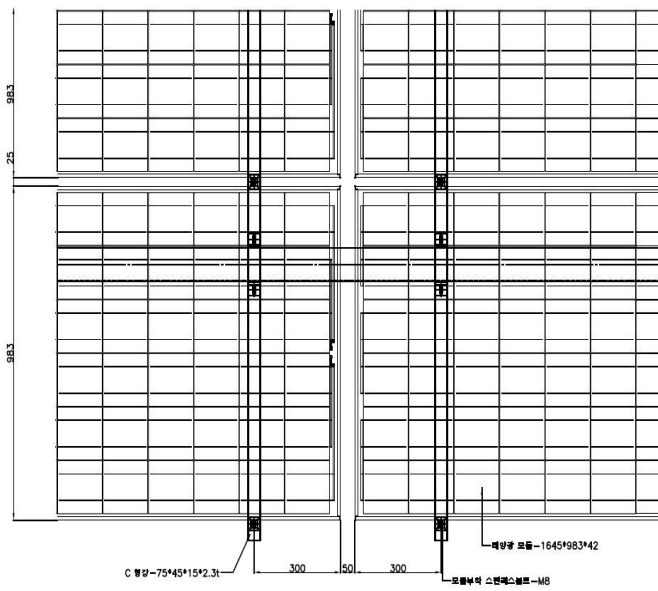


Fig. 15 The detail arrangement of solar array

시스템의 상부와 오른쪽에 부착된 태양광을 추적하는 PDS sensor가 각각 고도각 제어장치 액츄에이터와 방위각 제어장치 워드라이브를 제어함으로써 태양전지와 태양광이 최대한 법선상태를 유지하면서 발전한 출력을 PCS를 통해 전력계통에 연결하고, 또한 모니터링 시스템을 통하여 실시간 관찰뿐만 아니라 원하는 부분의 데이터를 저장시킬 수 있도록 설계하였다.

Table 5. The specifications of double sensor PV systems

사 양		비고
모듈 부착	(1EA=250W) (3 * 4) 12EA	-
모듈 면적	3kWp	-
설치소요면적	36m ²	수평상태
방위각 추적	구동방식	워드라이브
	추적각도	270°
	모터사양	3,000RPM(120W) / DC24V / Ration 62,694:1 → 0.047 RPM
고도각 추적	구동방식	액츄에이터
	추적각도	60°
	모터사양	3,000 RPM(120W) / DC24V / Ration 288 : 1 → 10.4 RPM
추적방식	PDS 광센서 더블 추적방식	
추적오차	±1°	
추적최소조도	3,000 Lux	
컨트롤러	자동 / 수동	
설계풍속	풍속: 기본 25m/s, 수평 20~35m/s 순간최대풍속 66.5m/s	
안전모드 동작	3,000 Lux 미만으로 2시간 이상 지속	
시스템 중량	모듈 제외 2,000 kg	

2. sensor부

double sensor를 이용한 3kW급 태양광발전시스템에 사용된 추적 sensor는 그림 16과 같이 PDS sensor를 사용하였다. PDS sensor의 정밀도는 $\pm 1^\circ$ 이내의 추적오차이며 최소조도 3000Lux 차이에서도 위치추적이 가능하다. 또한 신뢰성 및 내구성이 높으며 저 전력 설계로 소비전력이 낮다. 그림 17과 같이 설치위치는 설비를 기준으로 상부와 우측에 각 1개씩 총 2개의 sensor가 사용되었다.



Fig. 16 The PDS sensor

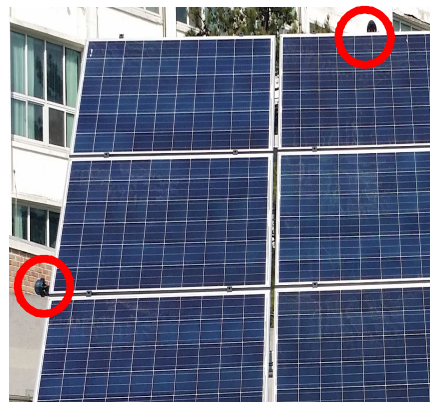


Fig. 17 The installation location of PDS sensor

상부에 있는 sensor는 액츄에이터와 연결되어 태양전지의 상, 하로 고도각을 제어하며 우측에 있는 sensor는 웹 드라이버와 연결되어 태양전지의 좌, 우로 방위각을 제어하여 태양광을 추적하게 구조되어 있다. PDS sensor의 성능은 표 6과 같다. 그림 18은 태양추적기의 블록도이며 기구부, 구동부, 조작부로 나누었다. 기존에 상부에 하나의 sensor로 추적하는 태양광발전시스템은 구름이나 외부음영으로 sensor부분에 영향을 주게 되면 동작에 영향을 받지만 double sensor형의 경우 구동부 상하, 좌우를 각각 나누어 제어하기 때문에 한쪽 sensor에 부분음영이 발생하더라도 나머지 sensor로 태양광 추적함에 있어서 크게 영향을 받지 않으므로 나머지 sensor동작으로 부분음영의 범위가 벗어나게 되면 다시 정상적인 태양광 추적이 이루어진다.

Table 6. The parameter of PDS sensor

Photo-diode array sensor			
no	항 목	용 량	단 위
1	WEIGHT	500	<i>g</i>
2	INPUT VOLTAGE(V)	12	V_{dc}
3	OUTPUT VOLTAGE(V)	11.6	V_{dc}
4	POWER CONSUMPTION(A)	55	<i>mA</i>
5	OPERATION TEMPERATURE	-20~70	$^{\circ}C$
6	STORAGE TEMPERATURE	-40~85	$^{\circ}C$
7	CERTIFICATES	IP65	-
SAFETY			
8	역방향 전원입력 보호 다이오드 부착		
CONTROL METHOD			
9	출력편차 0.3V 발생시 1 us 펄스출력방식, PWM 출력신호 지원 / S-232출력		
CONNECT METHOD			
10	와이어 인출 커넥터 접속방식 (0.5 m / 6 PIN)		

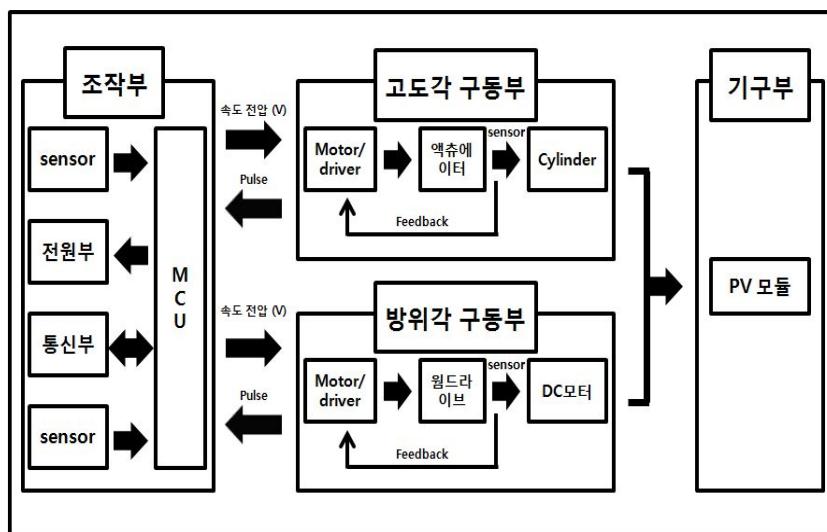


Fig. 18 The block diagram of PV

3. 구동부

a. 액츄에이터 (고도각 제어장치)

액츄에이터는 태양광 고도를 실시간 정밀 추적하는 제어장치로 기존의 제품보다 감속비가 20:1에서 288:1로 향상된 것이며 유성기어로 작동하여 증가된 감속비를 나타낸다. 방진, 방습기능 부여에 따른 내부 구성품 및 내구성이 좋으며 사막, 극한지역에 설치 가능하고 순간기동출력 향상으로 추적 반응속도가 좋다. 기존의 고도각 제어장치보다 부하 하중 140% Power 향상 되어 있으며 고도각은 지면과 수평을 기준으로 $0^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 까지 각도 변화가 가능 하지만 double sensor를 이용한 3kW급 태양광발전시스템에는 $0^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 로 각도 변화 되도록 제작하였다. 유지/보수 면에서 부품전체가 탈/부착이 가능하고 그리스 주입이 가능하여 유지/보수면에서도 다른 추적 장치보다 우수하다. 액츄에이터 실제모습은 그림 19, 제품 사양은 표 7과 같다.

b. 윈드라이버(방위각 제어장치)

윈드라이브는 태양광 방위를 실시간으로 정밀 추적하는 제어장치로 기존의 제품보다 감속비가 34,400:1에서 62,694:1로 향상된 것이며 유성기어로 작동하여 증가된 감속비를 나타낸다. 또한 기어 백러쉬 또한 기존 제품보다 감소하였다. 기존에 사용된 방위각 제어장치 보다 부하하중이 2.52톤 이상으로 2배 이상 개선되었으며 추적 반응속도를 나타내는 순간기동출력 향상으로 내구성 또한 증가되었다. 전 방위는 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 으로 기동이 가능제한은 없지만 double sensor를 이용한 3kW급 태양광발전시스템에는 $0^{\circ} \sim 270^{\circ}$ 로 각도변화 되도록 제작하였다. 윈드라이버 실제모습은 그림 20, 제품 사양은 표 8과 같다.



Fig. 19 The photo of actuator



Fig. 20 The photo of worm drive

Table 7. The specifications of actuator

액츄에이터		
- 전제 확대 전용가능: 양축, 단축, 경사단축, 고정식 등 - 부하하중 2배 이상 개선(내구성 증가) · 방진, 방습기능 부여에 따른 내부 구성품의 내구성 증가 · 사막 / 극한지역 설치 가능		
모 터	DC24V 120W	순간기동출력 향상(반응속도 증가), 내구성 증가
감 속 비	288:1	미세 정밀도 향상 : 상하방식(고도각) 추적각도 정밀화
적용용량	3kW~ 15kW	다양한 시스템 확대적용가능(양축, 단축, 고정식, 경사형 등)
유성기어		토크향상: Power 증가 (기존대비 약 140%)
구동범위		0°~75° : 설정에 따라 다양한 고도범위 설정 가능
재 질	AL	내구성강화 : 방청/ 방습/ 방진, EMC / VDC 안전성 확보

Table 8. The specifications of worm drive

웜드라이브		
- 전제 확대 전용가능: 양축, 단축, 경사단축 등 - 용량에 따라 다양하게 적용: 3kW~7kW - 유지관리 용이 - 부하하중 2배 이상 개선(내구성 증가)		
모 터	DC24V 120W	순간 기동 출력 향상(반응속도 증가), 내구성 증가
감 속 비	62,694:1	미세 정밀도 향상: 구동방식의 회전(방위각) 추적각도 정밀화
적용용량	3kW~ 7kW	다양한 시스템 확대 적용 가능
웬기어, 유성기어		감속비 향상, 미세 정밀 추적 가능
구동범위		0°~270° : 설정에 따라 0°~360° 적용 가능(설정 값에 따라 1회전가능) →지역에 국한 없음

c. 컨트롤러

그림 21은 컨트롤러 실제사진이며 풍속재해 및 적설시 수동으로 변경하여 상하, 좌우를 개별제어가 가능하다. 일출일 경우 동작모드(sun)상태에서 일몰이나 부분 sensor에 음영이 지면 초기모드(night)로 변경된다.

그림 22는 태양광 구조물의 측면도를 나타내고 있다. 실제 double sensor를 이용한 3kW급 태양광발전시스템 측면도와 실제 설비 후 사진으로 높이는 최대 $4125 \pm 50\text{cm}$ 이며 태양전지와 지면과 최소 높이는 $459 \pm 50\text{cm}$, 액츄에이터와 지면사이 최소높이는 $267 \pm 50\text{cm}$ 로 설계 되어있다. 태양전지 상부로부터 1/3 지점부터 연결된 막대모양이 액츄에이터가 되고, 기둥의 중간 지점이 웹 드라이브가 되며 상부에 달린 sensor를 통하여 액츄에이터가 길이를 변경하며 동작하여 고도각을 제어하고 오른쪽 sensor에 의해 웹드라이브가 동작하여 방위각을 제어함으로써 양축으로 태양광을 추적하는 방식이 적용이 된다.

그림 23은 초기모드(night) 모드로 일몰로 인해 태양이 진 경우나 부분음영에 의해 double sensor에 태양광이 감지되지 않을시 태양전지가 지면과 수평을 이루는 발전설비 동작형태를 나타내고 있다. one sensor형 태양광발전시스템을 보완한 부분 중 하나로 초기모드에 있을시 태풍 또는 이와 비슷한 풍력이 태양광발전설비에 지속적으로 가해질 경우 태양전지가 지면과 수직에 가까워질수록 태양광발전설비에 풍력에 의한 무리가 가해져 손상 및 파손의 우려가 있고 또한 부분음영이 생길 경우 보통 초기모드(night)는 동쪽으로 대기 되어있어 실제 태양광과 태양전지 각도가 법선과 크게 차이 나지만 지상과 수평인 상태로 유지됨으로서 태양의 위치에 따른 전체적인 평균생산량을 고려했을 경우 가장 효율적인 발전을 할 수 있는 구조이다. 즉, 기존의 초기모드 방식보다 파손에 의한 손실을 줄일 수 있으며 출력효율을 좀 더 높일 수 있다.

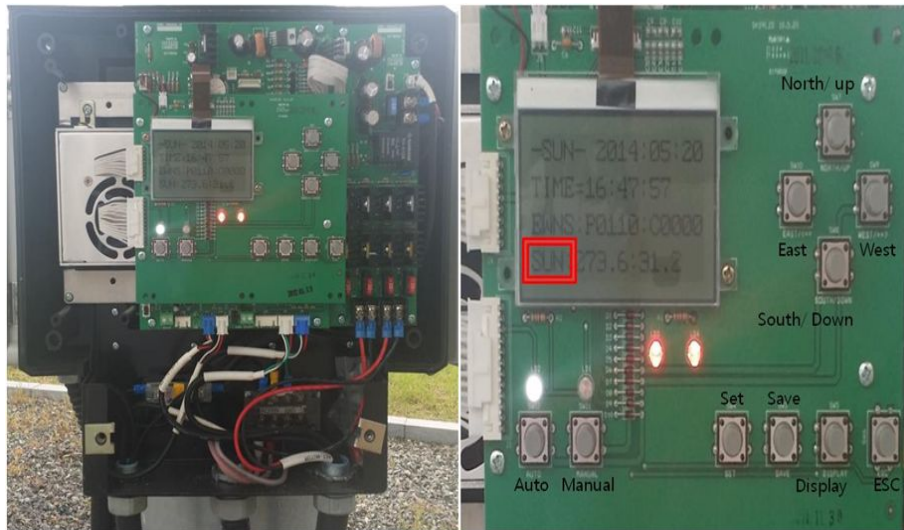


Fig. 21 The photo of controller

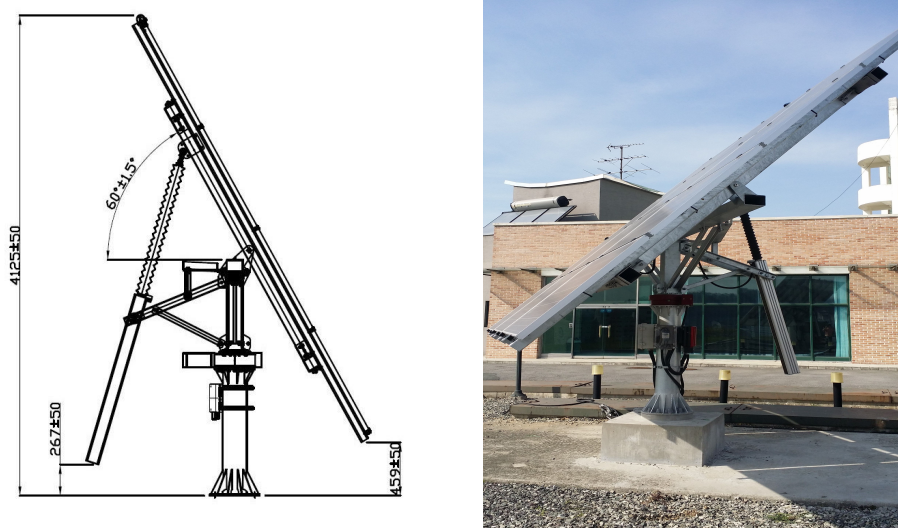


Fig. 22 The side view image and photo of solar power plant

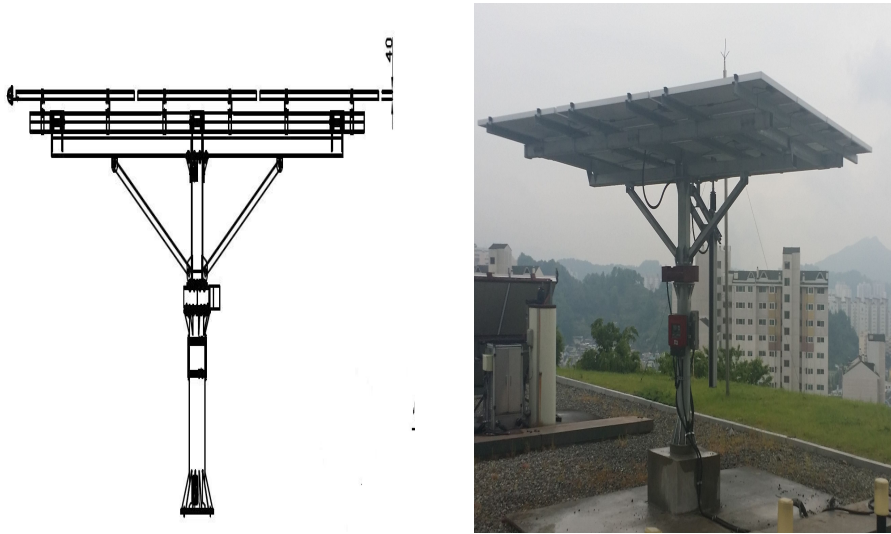


Fig. 23 The initial mode of the side view image and photo of solar power plant

4. 인버터

표 9는 인버터 사양을 나타내며 그림 24는 인버터 외관도면을 실제 설치한 사진으로 외부 LED와 디스플레이를 통하여 태양광발전설비와 동작여부 및 연결여부, 한국전력공사와 연결여부를 확인할 수 있으며 실시간 발전량과 당일 누적발전량을 확인 할 수 있다. 그림 25는 사용된 인버터 회로도를 나타낸다.

Table 9. The specifications of inverter

사양	크기(mm)	무게(kg)	정격용량(kW)	전압(V)	주파수(kW)
결과	302*430*183	19.1	3	220	60
사양	입력범위(Vdc)	계통연계여부	절연	인버터제어	정격운전시(%)
결과	100 ~ 550	계통연계형	무변압기형	PWM방식	94.70

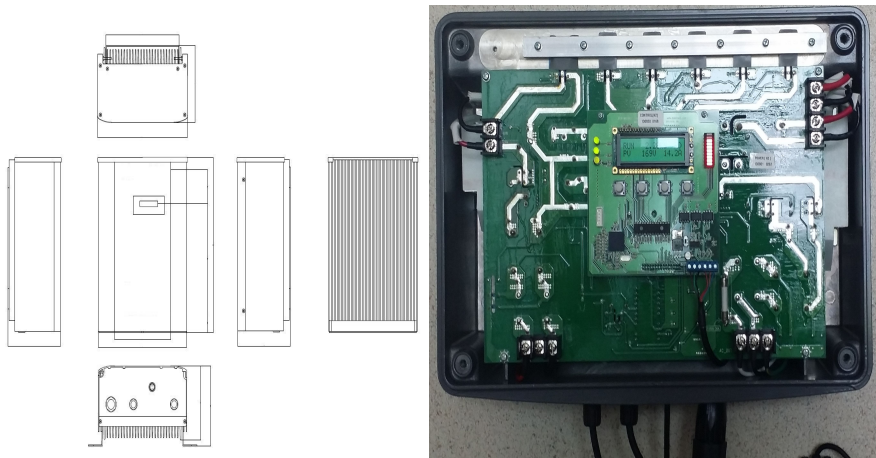


Fig. 24 The image and photo of the inverter exterior drawing

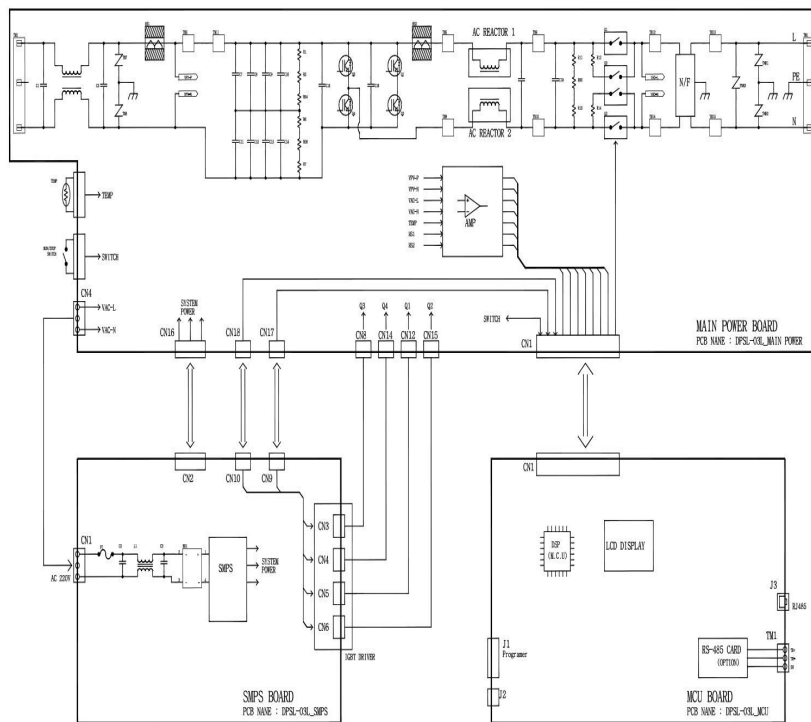


Fig. 25 The schematic diagram of inverter

B. 실험결과 및 고찰

제안한 double sensor를 이용한 3kW급 태양광발전시스템의 출력 향상정도를 비교분석 하기 위하여 그림 26과 같이 똑같은 사양의 3kW급 반고정식 태양광발전시스템을 광주지역에서 최적의 효율을 낼 수 있는 40도의 경사각으로 고정하고 다음과 같이 출력량을 비교분석하였다.

표 10은 2014년 5월 한 달 동안 태양광발전이 가능한 06:00부터 18:00까지의 시간단위 출력량 데이터를 한 달 동안 수집한 데이터이다.



Fig. 26 The installation of semi-fixed 3kW PV system

Table 10. The date of outputs in May

No.	날짜(day)	제안된 시스템[W]	반고정 시스템[W]	출력량차이[W]
01	05/01	24562.11	17949.47	6612.64
02	05/02	19737.03	17957.41	1779.62
03	05/03	27564.17	19514.23	8049.94
04	05/04	12441.68	10538.70	1902.98
05	05/05	27100.44	19908.88	7191.56
06	05/06	26272.77	19332.69	6940.08
07	05/07	26328.45	19380.30	6948.15
08	05/08	23440.88	16277.26	7163.62
09	05/09	24006.68	17679.94	6326.74
10	05/10	22967.02	18204.46	4762.56
11	05/11	11677.29	11000.29	677
12	05/12	23413.17	14217.34	9195.83
13	05/13	23987.18	17772.29	6214.89
14	05/14	6584.74	5095.92	1488.82
15	05/15	25792	0	25792
16	05/16	22882.84	654.00	22228.84
17	05/17	24689.91	17900.53	6789.38
18	05/18	23948.84	17795.69	6153.15
19	05/19	19449.06	16324.04	3125.02
20	05/20	4293.67	3211.80	1081.87
21	05/21	23304.15	13667.02	9637.13
22	05/22	20688.84	16938.28	3750.56
23	05/23	17560.23	12609.68	4950.55
24	05/24	14896.99	0	14896.99
25	05/25	7581.74	0	7581.74
26	05/26	26686.49	0	26686.49
27	05/27	22694.96	14803.71	7891.25
28	05/28	21763.02	16468.32	5294.7
29	05/29	24233.47	16621.73	7611.74
30	05/30	21698.08	17337.77	4360.31
31	05/31	22344.36	16363.98	5980.38

제안한 double sensor를 이용한 3kW급 태양광발전시스템과 같은 용량의 반고정식 3kW급 태양광발전시스템의 출력량을 비교해 보았다. 같은 조건에서 실험한 결과 그림 27과 같이 확연한 차이가 나는 전력량을 생산한 것을 확인할 수 있었다.

이를 통해, 반고정식 3kW급 태양광발전시스템의 1일 총 생산전력량은 405525.7[kWh]이고, double sensor를 이용한 3kW급 태양광발전시스템의 총생산전력량은 6444892.3[kWh]의 발전량을 나타내었다. 즉, 제안한 double sensor를 이용한 3kW급 태양광발전시스템이 반고정식 3kW급 태양광발전시스템과 비교할 경우 26.42[%]이상 높은 누적생산 전력량을 생산하였음을 확인할 수 있었다.

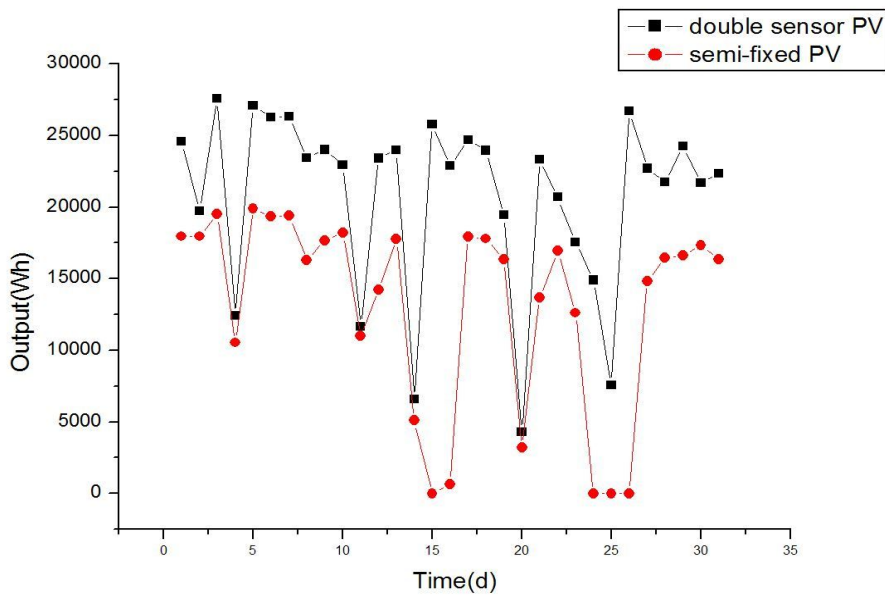


Fig. 27 The outputs analysis of proposed PV system & semi-fixed PV system

V. 결 론

본 논문에서는 시뮬레이션과 실험을 통하여 3kW급 반고정식 태양광발전시스템, one sensor형 태양광발전시스템, 제안한 double sensor형 태양광발전시스템의 출력량을 비교분석하였다.

태양광발전시스템의 발전량을 높이기 위해 여러 방법이 있다. 소프트웨어적인 부분에서는 연구가 이미 포화상태라 생각하여 구조적인 부분을 개선을 통하여 효율성을 높이는데 초점을 두고 연구를 하였다. 태양전지 모듈이 태양과 지속적으로 법선을 유도하는 방법으로 추적식 태양광발전시스템이 있다. 그 중 one sensor형 태양광발전시스템은 반고정식에 비해 발전량을 높일 수 있는 방법이긴 하지만 sensor에 부분적인 음영 발생시 효율적인 작동을 하지 못한다. 따라서 이러한 sensor형 태양광발전시스템의 단점을 보완하고자 시스템의 상부와 우측에 각각 1개씩 총 2개의 sensor를 부착하여 고도각과 방위각을 개별 제어하도록 제안하였다. 즉, 고도각과 방위각을 개별 제어함으로써 정밀제어가 가능하며 한쪽 sensor에 부분음영이 지더라도 나머지 sensor를 통하여 태양과 최대한 법선을 유지함에 따라 발전효율을 높일 수 있다.

시뮬레이션을 통하여 반고정식 태양광발전시스템과 one sensor형 태양광발전시스템의 출력 효율차를 비교한 결과는 17.56[%]이다. 실험을 통하여 반고정식 태양광발전시스템과 제안한 double sensor형 태양광발전시스템의 출력효율 차를 비교한 결과는 28.85[%]이다.

시뮬레이션과 실험을 통하여 제안한 double sensor형 태양광발전시스템은 반고정식 태양광발전시스템보다 28.85[%] 향상되었고 one sensor형 태양광발전시스템보다 11.28[%] 향상되었음을 확인할 수 있었다.

따라서, double sensor와 같이 소프트웨어 이외 구조적인 부분에서 효율을 개선 할 수 있는 방법들을 연구한다면 정제되었던 효율개선을 향상 시킬 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Lee, J.H., Bae, H.S., and Cho, B.H. "Resistive Control for a Photovoltaic Battery Charging System Using a Microcontroller", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, Issue 7, pp. 2713-2723, July. 2008
- [2] Roger, M.J.V. "Photovoltaic Systems Engineering", CRC, pp. 283, 2004
- [3] 권두언 "『태양광발전시스템의 기술동향』 특집을 내면서", 2013
- [4] Elshatter, T.F. "Fuzzy Modeling of Photovoltaic Panel Equivalent Circuit" . Proceedings of the 28th Photovoltaic Specialists Conference, Vol. 1 pp 1535-1538. 2000
- [5] 강인구 외 "실리콘 태양저지의 현황과 전망", 전기학회지, Vol.39, No10, 1990.
- [6] 이만근. "태양전지개요및이용실태", 광기술교육센터 2002
- [7] Keoleian, G.A., and Lewis. G.M. "Modeling the life cycle energy and environmental performance of amorphous silicon BIPV roofing in the US." Renewable Energy Vol. 28 iss. 1 pp. 271-293, 2003
- [8] Nagayoshi H., Orio S., Kono Y., Nakajima H. "Novel PV array/ module I-V curve simulator circuit", IEEE Photovoltaic Specialists Conference Vol. 1 pp. 491-496, 2002
- [9] Edwards, B.P. "Computer based sun folling system", Solar Energy, Vol. 21 pp 491-496, 1998
- [10] Roger, A.M, Jerry, V. "Photovoltaic Systems Engineering", CRC PRESS, 2004
- [11] Eicker, U. Solar Technologies for Buildings. Chichester, John Wiley & Sons

Ltd. 2003

- [12] Yano, A., K. Tsuchiya, et al. "Development of a Greenhouse Side-ventilation Controller driven by Photovoltaic Energy." *Biosystems Engineering* 96(4): 633-641. 2007
- [13] 임지혜, "MPPT에 의한 독립형 태양광발전시스템의 배터리 제어기 설계", 조선대학교 석사학위 논문, pp 3~8, 2012
- [14] Kotsopoulos A., Duarte J.L., Hendrix M.A.M., Heskes P.J.M., "Islanding behaviour of grid-connected PV inverters operating under different control schemes", *Proceedings of the 2002 IEEE 33rd Annual IEEE Poster electronics Specialists Conference*, Vol.3, pp.1506-1511, 2002
- [15] Lee P.W., Lee Y.S., David K.W. Cheng, Xiu-Cheng Liu, "Steady-State Analysis of an Interleaved Boost Converter with Coupled Inductors", *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, Vol.47, No.4, August 2000
- [16] Riley, Daniel M. Venayagamoorthy, Ganesh K. "Characterization and modeling of a grid - connected photovoltaic system using a Recurrent Neural Network", *Neural Networks (IJCNN)*, Aug. 2011
- [17] Seo, H.C., Kim, C.H., Yoon, Y.M., Jung, C.S. "Dynamics of grid-connected photovoltaic system at fault conditions", *Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific*, 2009, pp.1-4, Oct. 2009
- [18] 김용진, "최적 발전성능 도출을 위한 태양광모듈 추적방법에 관한 연구", 경희대학교 건축공학과 박사학위논문, pp14~18, 2012
- [19] 최연옥 외, "태양광발전시스템", MOTIE, KETEP 연구과제(No. 20124010100070)
- [20] 유석주, 이성수, 박활서, "태양광 센서에 의한 태양광 전지의 최대전력추적과 신

경희로망 제어알고리즘 적용”, 조명전기설비학회 논문지, Vol.24 No.2, pp 33~38, 2010

[21] Lee Kwon, “A Study on the 1kW Dual-Axis Tracking Photovoltaic System”, chosun uv, master’s degree , pp 6~11, 2014

감사의 글

학문뿐만 아니라 인생에 있어 여러 과정과 경험을 할 수 있었던 석사과정 대학원 생활을 마무리하며 졸업이라는 끝과 시작을 향해 갑니다. 길면서도 짧았던 대학원 생활 동안 무사히 시간을 보낼 수 있도록 도와주신 모든 분들께 감사드립니다.

우선 학위과정동안 학문의 폭과 깊이를 더하여 주시고 부족한 저를 다독여 주신 큰 마음과 아낌없는 지도와 가르침을 주신 조금배 지도교수님, 백형래 교수님께 감사드립니다. 항상 같이 고민해 주시고 격려해주신 최연옥 선배님 진심으로 감사드립니다.

그리고 학위과정 동안 많은 가르침을 주신 조선대학교 전력전자 실험실의 문은아, 이강연, 서강성, 오만석, 백승학, 장인혁, 임지혜, 이권, 김기현, 전범준 선배님 감사합니다. 항상 나태해질 때면 저를 자극해주시는 김남오 교수님 감사드리며, 또한 학위과정 동안 많은 힘이 되어주고 든직한 김청담, 항상 열심히 하며 믿음직한 김형지, 대학원 동기인 박의중, 유명한형, 강민상형 외에도 같이 대학원 재학했던 전기공학과 대학원생 선후배님께 감사하다는 말씀 전하고 싶습니다.

항상 힘이 되어준 나의 벗인 김기철, 정용우, 최지훈, 서민중, 최혁락, 박철성, 고병욱, 이제훈, 김종민, 염한웅, 유준영, 한현석, 김민규, 박진영, 박태영 이외에도 많은 친구들 고맙다는 말 새삼 전하고 싶습니다.

끝으로, 걱정하시면서 안하신 척 하시는 아버지, 항상 아들생각 해주신 어머니, 가깝지만 먼 여동생 나은지, 소중한 남동생 나현민 고맙고 사랑한다고 전하고 싶습니다.

졸업이 끝이 아닌 새로운 시작이라는 마음가짐으로 대학원 석사과정동안의 가르침 잊지 않고 앞으로 더욱더 배우고 노력하는 사람이 되도록 하겠습니다.

저와 인연을 닿은 모든 분들께 감사드리고 무궁한 발전과 안녕을 기원합니다.

2014년 12월

나 현 준