



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 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](#) 

2008年度 2月
碩士學位論文

2008年度 2月 碩士學位論文

태양전지모듈의
경년변화
특성에
관한
연구

태양광발전시스템의 경년변화특성

朝鮮大學校 産業大學院

에너지工學科

郭允燮

郭允燮

2008年度 2月
碩士學位論文

태양광발전시스템의 경년변화특성

朝鮮大學校 産業大學院

에너지공학과

郭允燮

태양광발전시스템의 경년변화특성

The Characteristics of Secular Variation
for Photovoltaic System

2008年 2月 日

朝鮮大學校 産業大學院

에너지공학과

郭允燮

태양광발전시스템의 경년변화특성

指導教授 曹錦培

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2007年 10月 日

朝鮮大學校 産業大學院

에너지工學科

郭允燮

郭允燮의 碩士學位 論文을 認准함.

審査委員長 朝鮮大學校 教授 _____ 印

審査委員 朝鮮大學校 教授 _____ 印

審査委員 朝鮮大學校 教授 _____ 印

2007年 11月 日

朝鮮大學校 産業大學院

목 차

ABSTRACT

I. 서 론	1
II. 이론적 고찰	3
A. 태양전지의 원리	3
1. 태양전지의 발전원리 및 구조	3
2. 태양전지의 특성	5
3. 태양전지의 전기적 특성	8
B. 태양광발전시스템	12
1. 태양전지 어레이 구성	14
2. 태양전지 어레이 지지대	18
3. 접속함	19
4. 인버터	23
III. 실 험	26
A. 3kW 태양광발전시스템	26
1. 태양전지	28
2. 계통연계형 인버터	29
B. 실험결과 검토	30
IV. 결 론	39

참 고 문 헌

Tables

Table 1 Comparison of structure lifetime	18
Table 2 PV module and array specifications	28
Table 3 Inverter specifications	29
Table 4 Performance results of PV system	32
Table 5 Performance results of PV system by days	37

Figures

Fig. 1 The basic principle of photovoltaic	4
Fig. 2 The photovoltaic effect in P-N junction	4
Fig. 3 The equivalent circuit of PV cell	5
Fig. 4 The voltage and current curve of PV cell	6
Fig. 5 I-V characteristics at different irradiation	9
Fig. 6 Maximum output voltage and MPP of PV cell	10
Fig. 7 MPPT at different irradiance	10
Fig. 8 I-V characteristics at different temperature	11
Fig. 9 Output power by irradiation and temperature change	11
Fig. 10 Block diagram of grid connected PV system	13
Fig. 11 PV system of grid connected	13
Fig. 12 String configuration	15
Fig. 13 PV plants design inverter position with string interval ..	15
Fig. 14 Distance length of PV array	16
Fig. 15 Circuit diagram of junction box	20
Fig. 16 Bypass diode configuration	21
Fig. 17 Electric characteristics curve of bypass diode operation ..	22

Fig. 18 Inverter circuit of current controlled method	23
Fig. 19 Vector diagram of voltage and current	24
Fig. 20 Maximum power point control	25
Fig. 21 Block diagram of PV system	27
Fig. 22 PV Connection	27
Fig. 23 The irradiation by months	30
Fig. 24 PV array output power level by months	32
Fig. 25 Inverter output power level by months	33
Fig. 26 PV array conversion efficiency by months	33
Fig. 27 Inverter efficiency by months	34
Fig. 28 Utilization ratio by months	34
Fig. 29 Generation Efficiency by months	35
Fig. 30 Performance ratio by months	35
Fig. 31 The irradiation by days	36
Fig. 32 PV array output power level by days	37
Fig. 33 Inverter output power level by days	38
Fig. 34 Inverter efficiency by days	38

ABSTRACT

The Characteristics of Secular Variation for Photovoltaic System

By Yoon-Seop Kwak

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

Department of Electrical Engineering,

Graduate School of Industry, Chosun University

The research for a substitute for fossil energy sources and the worldwide improving environmental awareness have increased the interest in Photovoltaic(PV) system as inexhaustible, environmentally friendly energy technology.

PV system is using the clean and infinite energy source, there is no air pollution, noise and vibration. PV system operate without fuel convoy, rotation surface, high temperature and high pressure, So it is easy to maintenance, long life cycle, simple installation. Respectively international and domestic PV market growth over 30% and 40% every year.

Photovoltaic power systems convert sunlight directly into electricity. A residential PV power system enables a homeowner to generate some or all of their daily electrical energy demand on their own roof, exchanging daytime excess power for future energy needs.

While compare preexisted generation of electric power method

with PV system, PV system is more expensive, lower solar energy density, convert efficiency and depend on the weather and natural environment.

This paper presents the performance results of a 3kW grid-connected Photovoltaic system at the Field Demonstration Test Center(FDTC) in Korea. The system have been installed and monitored at The FDTC in Korea since October 2002. The 3kW grid-connected PV system installed in the FDTC to analyze performance characteristics. The normal power of PV arrays 3kW. PV arrays are set in a fixed tilt of 18° with azimuth of 0°.

To study the performance of The 3kW PV system, data monitored during the period from 2003 to 2006 was used. From these performance monitoring results, the PV system performance has been evaluated and analyzed for component perspective (PV array conversion efficiency, inverter efficiency) and global perspective (system efficiency, performance ratio). These result will indicate that it is highly imperative to developed evaluation, analysis and application technology for PV system.

I. 서 론

인류의 경제활동과 에너지 소비활동은 밀접한 관계에 있는 것으로서 일정한 경제성장을 하기 위해서는 에너지 소비가 필수적이다. 현재 1차 에너지의 대부분은 석탄과 석유와 같은 화석에너지에 의존하고 있기 때문에 화석연료의 연소 등에 의하여 발생하는 환경오염 및 에너지 자원의 한계성으로 인하여 신재생에너지 개발이 세계적으로 큰 관심의 초점이 되고 있다. 그 중 각광받고 있는 태양광발전(PV : Photovoltaics)은 기존의 화력발전방식과는 달리 자연의 태양빛을 이용해 전력을 발생시키므로 이산화탄소 배출과 같은 대기오염이 없을 뿐만 아니라 현지에서 생산이 가능하므로 에너지의 수송에 의한 손실이 적고 유지보수가 거의 필요 없으며 설치가 쉽다는 것이 큰 장점이다. 하지만 구름, 비, 눈과 같이 흐리거나 어두운 밤의 경우 발전을 할 수 없고 에너지 변환효율이 낮아 설치용량에 비해 큰 면적이 필요하며 또한 발전단가가 높은 단점이 있다.

근년에 이르러 전력용 반도체 등의 발전으로 태양전지 및 모듈의 배열 기술의 진보가 급속히 이루어지고 태양전지 가격의 저가화가 실현되면서 태양광발전 산업분야의 규모는 매년 30% 이상의 증가율을 보이고 있다.

에너지 부존자원이 절대적으로 부족하여 총 소비에너지의 97%를 수입하고 있는 국내에서도 신·재생에너지에 대한 대책을 수립 추진 중에 있으며 세계 기후협약에 대응하기 위하여 2012년 까지 3kW 태양광주택 10만호 보급사업 계획을 수립하여 추진하고 있다.^[1,2] 따라서 태양광발전시스템의 설계 및 설치조건에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 태양전지에서 생산된 직류전력을 상용 교류전력으로 변환시켜 주는 태양광인버터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 설치조건에 따른 태양광발전시스템의 운전특성에 대한 연구도 많이 진행되고 있지만 경년변화에 따른 태양광발전시스템의 효율변화 및 운전 특성에 대한 분석은 이루어 지

지 않고 있다.

본 논문은 2002년 11월 태양에너지 실증연구단지에 설치된 3kW 계통 연계형 태양광발전시스템의 실증운전에 의한 특성분석을 위하여 모니터링 시스템에 실시간 PC에 저장된 운전데이터를 이용하였다.

본 논문에서는 태양에너지 실증연구단지에 설치되어 있는 태양광발전시스템의 설치조건 즉 시스템 구성, 태양전지 어레이 및 인버터에 대하여 알아보고 또한 모니터링을 통하여 취득한 DB자료를 활용하여 태양광발전시스템 구성요소의 경년변화특성을 분석하고자 한다.

II. 이론적 고찰

A. 태양전지의 원리

1. 태양전지의 발전원리 및 구조

태양전지는 화학반응을 이용한 화학 전지와 다른 반도체를 이용한 고체 물리전지이며, 광기전력 효과(Photovoltaic Effect)를 이용하여 직접 전기 에너지로 변환시키는 반도체 소자로서 태양전지 구조는 단결정 규소 태양전지의 경우 Si에 5가 원소(P, As, Sb) 등을 침투시켜 만든 N형 반도체와 3가 원소(B, Ga) 등을 침투시켜 만든 P형 반도체로 이루어진 P-N 접합 구조로 되어 있다.

P형 반도체와 N형 반도체가 하나의 단결정으로 접합되면 불순물의 농도차에 의해서 N형 반도체가 P형 반도체로 확산해 가고 정공은 P형에서 N형으로 확산됨에 따라 P형 반도체의 전도대 내부에 있는 전자에너지 레벨인 페르미준위는 N형 반도체보다 높아지고 N형 반도체의 가전자대 내부에 있는 정공이 갖는 에너지는 P형 반도체보다 높아지게 되어 내부에 전위차가 발생한다.

그림 1과 같이 P-N접합 반도체에 태양광이 입사되면 가전자대의 전자는 광에너지를 흡수하여 전도대에 유기되어 자유전자로 되고 전자가 여기된 후의 가전자대에는 정공이 생겨 전자는 N형 반도체에 정공은 P형 반도체로 이동하여 N층과 P층을 각각 음극과 양극으로 대전시키는 광기전력 효과에 의해 기전력을 발생한다.^[3,4]

광기전력 효과란 금지대영역이 E_g 인 P-N접합에 빛을 조사시킬 때 E_g 보다 큰 에너지를 가진 입사광자에 의해서 전자 정공쌍이 생성되어 접합 양단에 광기전력이 발생하는 현상이다.

그림 2(a)에서 외부회로를 단락하면 입사광량에 비례한 광전류가 외부

회로에 흐르게 되는데 이때 이 전류를 단락전류(Short-circuit Current, I_{SC})라 한다. 또한 그림 2(b)에서와 같이 P-N 접합의 양단을 개방하면 전자와 정공이 각각 N, P 층으로 유입됨으로서 N 층의 페르미 레벨이 P 층의 페르미 레벨에 비해 약간 올라가 양쪽의 페르미 준위에는 V_{OC} 만큼의 전압차가 생긴다. 이 값은 외부로부터 관측될 수 있으며 이를 개방전압(Open-circuit voltage, V_{OC})이라 한다.^[5,6]

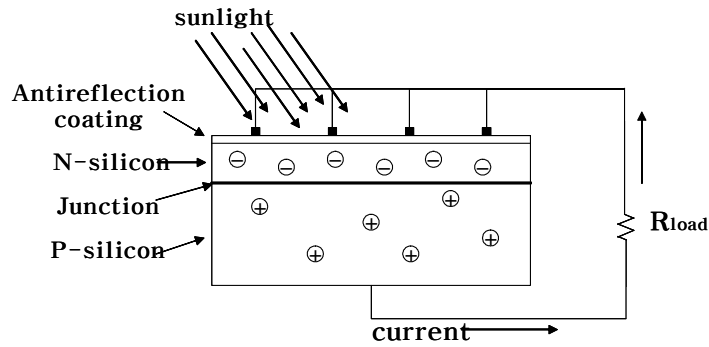


Fig. 1 The basic principle of photovoltaic

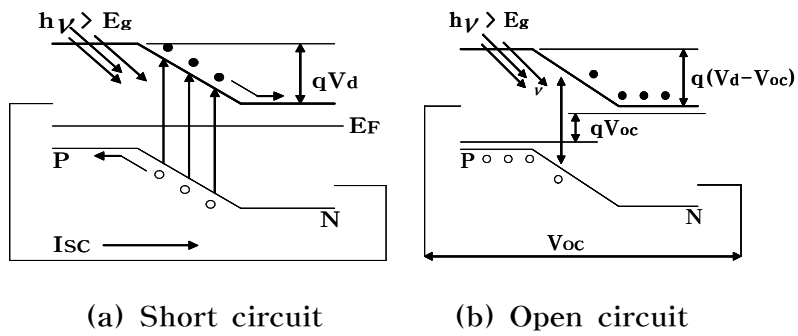


Fig. 2 The photovoltaic effect in P-N junction

2. 태양전지의 특성

태양전지는 한 개의 이상적인 다이오드와 I_{ph} 의 크기를 갖는 정전류원으로 구성되어 있지만 이상적인 다이오드를 제작하는 것이 불가능하므로 접촉저항 및 표면층의 시트(sheet)저항 등을 표시하는 직렬저항 R_s 와 병렬저항 R_{sh} 를 고려해야 한다. 태양전지 표면에 입사하는 빛의 일부는 표면에서 반사되며, 표면을 투과한 빛은 태양전지 내에서 흡수되어 광자 수는 지수 함수적으로 감소한다.

그림 3은 빛이 조사될 때 광기전력효과(photovoltaic effect)를 이용한 태양전지의 등가회로를 보여주고 있다.

여기서 I_{ph} 는 입사된 빛에 의해 생성된 캐리어(carrier)가 외부로부터 방해받지 않을 때 폐회로를 통해 흐르는 광기전류이고, I_d 는 암전류로서 I_{ph} 와는 반대 방향이다. 병렬저항 R_{sh} 는 이상적인 다이오드 특성에서 벗어나 일정한 상수 저항으로 표시되는 누설저항을 나타내며, R_s 와 R_L 은 각각 전지 내부에 존재하는 직렬저항과 외부에서 걸어주는 부하저항을 나타낸다.^[7,8]

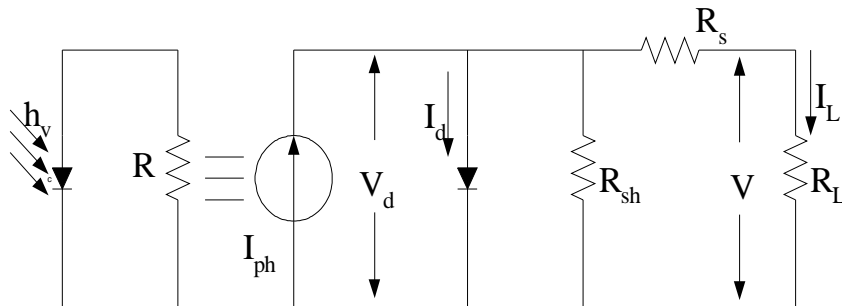


Fig. 3 The equivalent circuit of PV cell

광 투사시 $R_s=0$, $R_{sh}=\infty$ 인 이상적인 P-N접합 다이오드인 경우 부하에 흐르는 전류 I_L 은 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서, I_L 은 부하전류, I_{Ph} 는 광전류, I_d 는 다이오드의 역포화전류, n 은 다이오드 상수, K 는 볼츠만 상수이고 q 는 전자의 전하량이다.

그러나, 실제회로에서 직렬저항 R_s 와 병렬저항 R_{sh} 을 고려하여 식 1로부터 태양전지의 출력전류를 구하면 식 2와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_L = I_{Ph} - I_d \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_s)}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{V + I_L R_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

일정온도와 일정 일사조건에서 태양전지의 전압-전류 특성 곡선은 그림 4와 같이 된다. 여기서 개방 전압 V_{oc} , 단락전류 I_{sc} , 충전율 FF (fill factor) 등 3개의 변수는 에너지 변환효율과 관련되는 파라미터로서, 먼저 식(1)로부터 $I_L = 0$ 인 조건에서 개방전압 V_{oc} 는 식 3과 같다.

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_{Ph}}{I_d} + 1\right) \quad (3)$$

단락전류 I_{sc} 는 $V=0$ 인 조건으로부터 $I_{sc} = I_{ph}$ 가 된다.

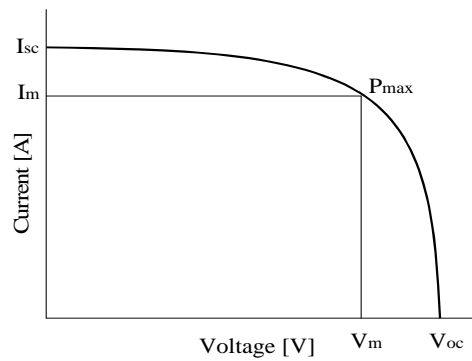


Fig. 4 The voltage and current curve of PV cell

전지에 연결된 부하저항의 크기를 조정함으로써 어떤 최적 동작점에서 최대의 출력 P_{max} 를 식 4와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{max} = V_m \cdot I_m \quad (4)$$

부하저항에서 소비되는 에너지를 P_{out} 라 하면 식 5와 같다.

$$P_{out} = V \cdot I = V \cdot I_{ph} - I_0 [\exp(\frac{qV}{nkT}) - 1] \quad (5)$$

최적부하조건에서 $\frac{dP_{out}}{dV} = 0$ 이므로 최적동작전압 V_m 은 식 6과 같다.

$$V_m = \exp(\frac{qV_m}{nkT}) (1 + \frac{qV_m}{nkT}) = (\frac{I_{ph}}{I_0}) + 1 \quad (6)$$

또한 이때의 최적동작전류 I_m 은 식 7과 같다.

$$I_m = \frac{(I_{ph} + I_0) \cdot (qV_m/nkT)}{1 + (qV_m/nkT)} \quad (7)$$

P_{max} 이 커지기 위해서는 특성곡선에서 I_m 과 V_m 이 I_{sc} 와 V_{OC} 에 근접하여야 함을 알 수 있다.

태양전지의 특성을 평가하는데 있어서 단락전류, 개방전압과 더불어 가장 중요한 요소 중의 하나는 충전율이며 식 8과 같이 정의된다.

$$FF = \frac{(V_m \times I_m)}{(V_{OC} \times I_{SC})} \quad (8)$$

태양전지의 에너지 변환효율은 태양전지에서 얻을 수 있는 최대의 전기 에너지를 입사광에너지로 나눈 값으로 다음 식 9와 같다.

$$\eta = \frac{V_m \times I_m}{P_{in}} = \frac{V_{OC} \times I_{SC}}{P_{in}} \times FF \quad (9)$$

여기서, P_{in} 은 입사된 태양광 에너지이다.

따라서 태양전지의 효율을 높이기 위해서는 단락전류, 개방전압, 그리고 충전율을 높여야 한다.

3. 태양전지의 전기적 특성

태양전지는 일반적으로 STC(Standard Test Conditions) 상태인 AM 1.5, 일사강도 $1,000(\text{W}/\text{m}^2)$, 온도 25°C 을 표준상태로 측정하여 각종 파라미터를(V_{OC} , I_{SC} , V_m , I_m , P_{\max}) 표시한다. 특히 전력을 표시하는 단위는 일반 전력을 표시하는 방법과 달리 태양전지에서는 P [Wp]로 표기하고 “Peak Power”라 한다.^[9,10]

일반적인 태양전지는 일사량변화에 대하여 그림 5와 같은 전류-전압특성을 갖고 있다. 일사량 변화에 따라 출력전압의 변화는 미소하지만 단락전류는 크게 변화되는 것을 알 수 있다.

그림 6은 태양전지의 출력전력을 나타내며 포물선 형태를 갖는다. 태양전지에는 출력전력이 최대가 되는 점이 존재하고 이를 최대전력점(MPP : maximum power point)이라 하며 최대전력점은 그림 7에서 나타낸 바와 같이 일사량 변화에 따라 변화한다.

그림 8은 온도변화에 따른 태양전지의 전류-전압특성을 나타내고 있으며, 온도변화에 따라 전류는 미소하게 변하고 있지만 출력전압은 큰 영향을 받음을 알 수 있다.^[11]

온도와 일사량에 따른 최대출력전력의 관계는 식 10과 같다.

$$P_m(t) = P_m \times Q(t) \times [1 + \alpha(t - 25)] \quad (10)$$

여기서, $P_m(t)$: 동작조건에서 최대출력전력

P_m : 정격출력전력(온도 25°C , 일사강도 $1 \text{ kW}/\text{m}^2$)

$Q(t)$: 동작조건에서 일사량 [kW/m^2]

t : 동작조건에서 태양전지 표면온도($^\circ\text{C}$)

α : 온도 계수 $-0.005/^\circ\text{C}$

식 10을 적용하여 일사강도를 4가지로 구분하여 모듈 표면온도를 -20°C 에서 80°C 까지 변화 시켜 시뮬레이션 하면 그림 9와 같이 같은 일사 조건에서 온도에 따라 출력이 감소함을 알 수 있다.

태양전지의 출력특성은 일사량, 동작전압 및 온도 등에 따라 동작특성이 변하고 최대전력점도 항상 변하고 있다.^[12,13]

여기서 태양전지의 출력특성은 일사량 변화에 따른 태양전지의 최적동작점인 최대전력점을 각각 가지고 있는데 이 점이 각 일사량 값에서 태양전지 에너지효율이 가장 높은 점이라 할 수 있다.

이러한 최대전력 발생 동작점은 일사량이나 주위온도에 따라 변하고 태양전지 제조업체마다 다르게 나타나며 동일한 제조업체의 경우에도 각각 다르게 나타나므로 항상 최대전력점에서 동작할 수 있도록 태양전지의 동작점을 제어하는 것이 필요하며 이것을 MPPT(maximum power point tracking)이라고 한다.

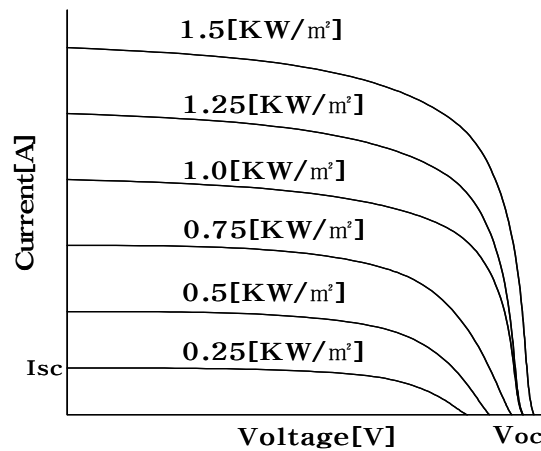


Fig. 5 I-V characteristics at different irradiation

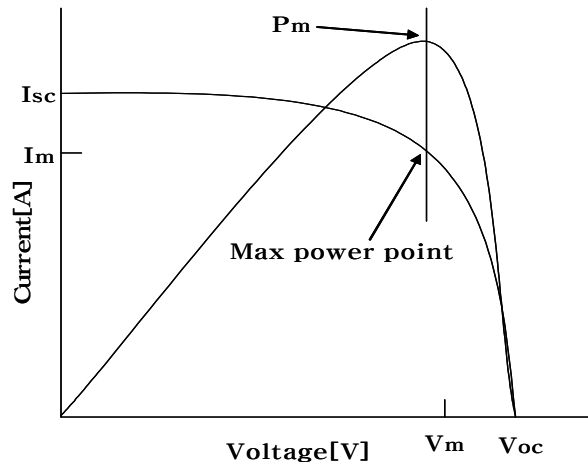


Fig. 6 Maximum output voltage and MPP of PV cell

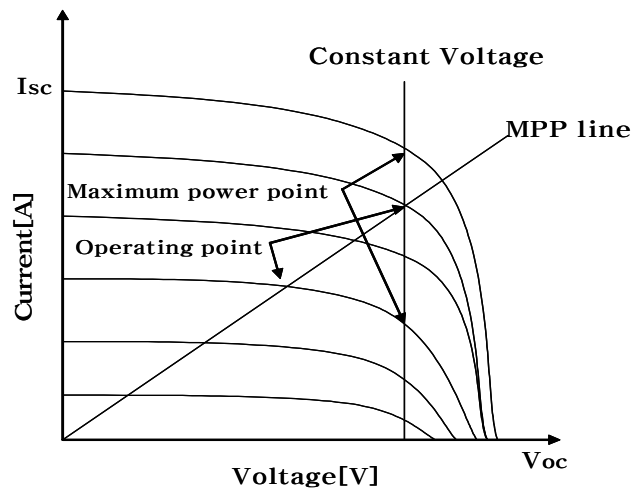


Fig. 7 MPPT at different irradiances

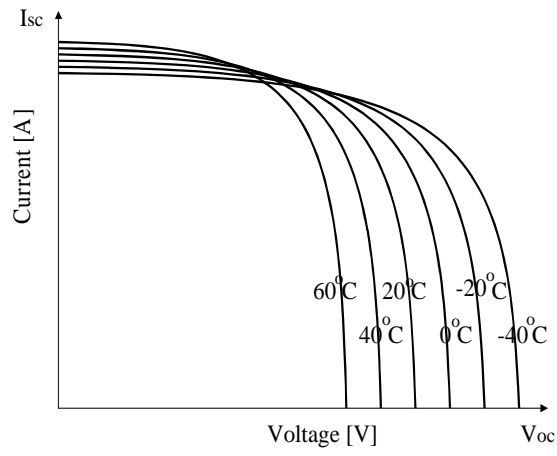


Fig. 8 I-V characteristics at different temperature

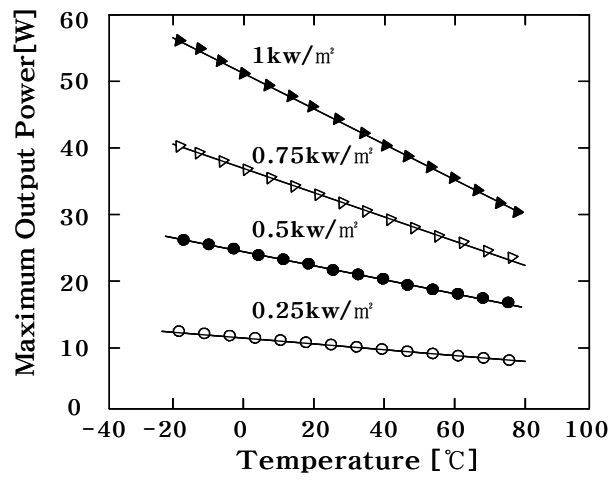


Fig. 9 Output power by irradiation and temperature change

B. 태양광발전시스템

태양광발전은 태양빛을 이용하여 태양전지에서 전기를 생산하는 기술이다. 전기를 생산하는데 있어서 깨끗하고 공해를 일으키지 않으며 햇빛만 있으면 발전이 가능한 기술이다. 입지조건도 그다지 까다롭지 않고, 유지도 쉽다는 장점도 있다. 그리고 화석연료 소비의 증가로 인해 환경문제와 대체에너지수단으로 주목을 받고 있다.

태양광발전시스템은 지구 온난화 등의 환경적 문제를 일으키는 이산화탄소와 같은 유해물질을 배출하지 않는, 환경 친화적인 무공해 발전방식이다. 대부분의 화석연료를 사용한 발전시스템은 소규모로 발전할 경우 발전효율이 떨어지는데, PV시스템의 발전효율은 규모에 관계없이 일정한 효율로 발전하므로, 소규모 분산전력 시스템으로서의 적용이 가능하다. 또한, 대부분의 발전설비가 전력생산을 위해서는 소음 또는 진동을 유발하지만 PV시스템은 구동부가 없어 매우 조용하게 운전되므로, 주거시설 가까이에 설치가 가능하며, 한 번 설치해 놓으면 특별한 문제가 발생되지 않으므로 무인운전이 가능하다. 인공위성이나 무인 등대에서도 특별한 유지관리 없이 지속적인 발전이 가능하며, 특히 PV모듈은 수명이 30~40년 이상 되어 유지관리에 의한 비용을 줄일 수 있다. PV모듈은 다양한 색상과 형상으로 제작이 가능하며, 전기에너지 생산이라는 본래의 기능 외에 외벽, 지붕, 창호, 차양 등의 건축외장재로 사용하여 경제성 향상과 다기능적 역할을 수행한다.^[14,15]

태양광발전을 위해서는 태양전지로부터 생성되는 직류를 교류로 변환시키는 인버터, 비 또는 눈이 며칠간 계속되는 경우를 대비한 전력 저장장치인 축전지 등의 주변장치(Balance of System : BOS)가 필수적이다. 일반적으로 태양광발전시스템은 태양전지 어레이, 전력변환장치인 인버터, 구성요소기기를 연결하는 배선 및 중계단자함, 교류측 사용계통에 연결하는 전력량계 등으로 구성된다. 태양전지 어레이에서 발전된 전력이 직류이

기 때문에 이것들을 인버터에서 교류로 변환하여 전력회사로부터 공급되는 교류전력과 병행하여 사용할 수 있도록 하고 있는 방식을 계통연계형 태양광발전시스템이라고 한다. 태양광발전기술은 핵심소자인 태양전지 기술과 주변장치기술로 나뉘어 지는데, 주변장치는 직류를 교류로 변환시키는 인버터, 축전지, 지지대 등을 포함한다. 그림 10은 태양광발전시스템의 기본적인 블록다이어그램을 나타내고 있고 그림 11은 태양광발전시스템의 기본구성을 나타내고 있다.

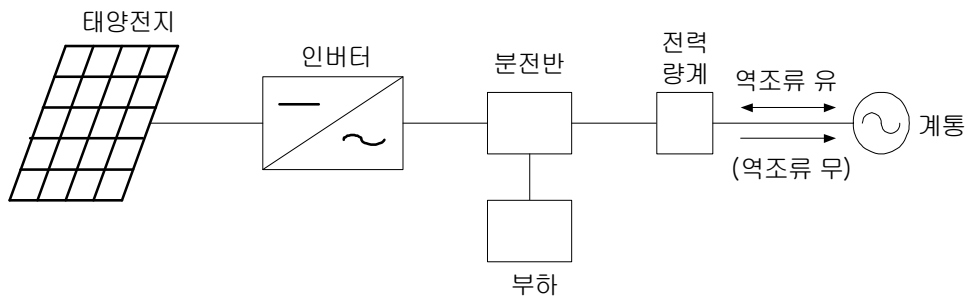


Fig. 10 Block diagram of grid connected PV system

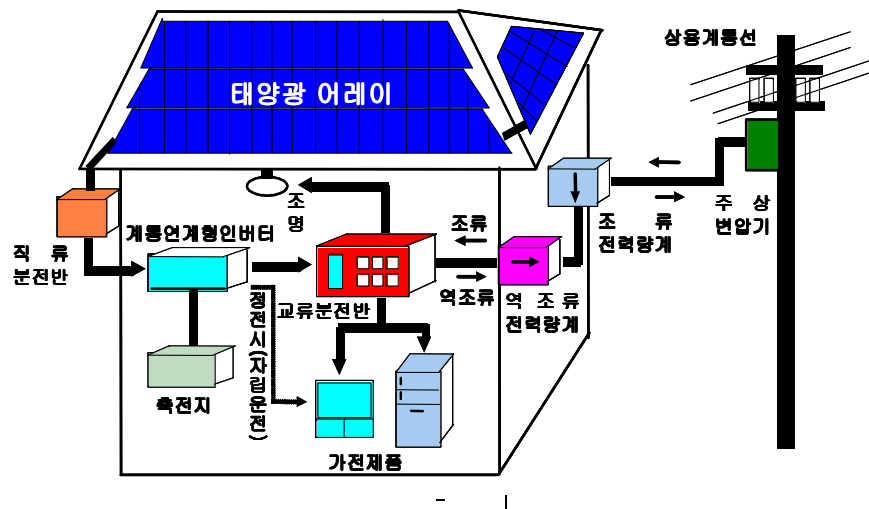


Fig. 11 PV system of grid connected

1. 태양전지 어레이 구성

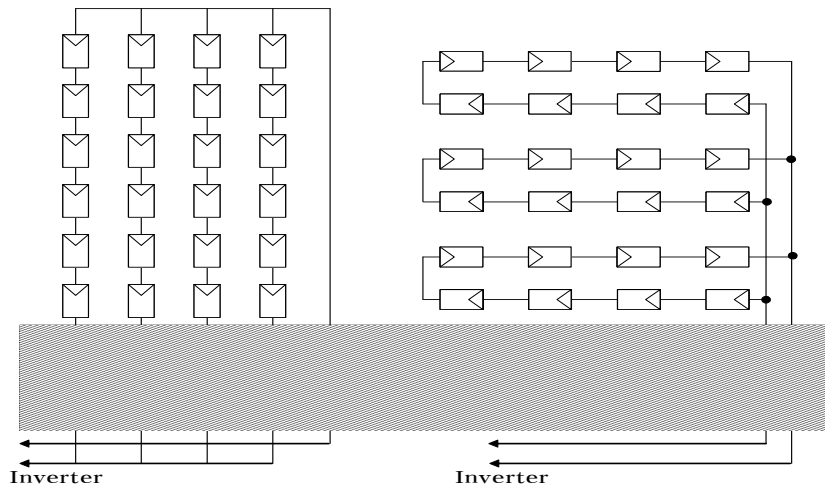
태양전지 어레이는 모듈을 필요매수에 따라 직렬 및 병렬접속으로 조합하여 필요한 발전전력을 얻기 위해 태양전지 모듈을 대형화 한 것이다.

직렬접속 매수는 인버터 정격입력전압에 10%를 추가하여 최대출력동작전압으로 나누어 산출된 값을 직렬매수로 하는 것이 일반적이다. 이는 태양전지의 온도특성 결과로 고온에서 감소하여 인버터의 동작전압을 벗어나는 것을 고려한 것이다. 따라서 인버터의 정격입력전압에 의하여 직렬접속수를 산출하고 설비용량에 따라 병렬접속수를 정한다.

어레이 구성시 나무, 빌딩 및 구름에 의한 차폐 등으로 그림자가 부분적으로 발생한다며 그림자 영향을 받는 부분은 발전량이 저하되므로 그림자 영향을 고려하여야 한다. 결국 어레이의 구성은 직·병렬접속 방법을 검토해 발전효율이 향상되는 방향으로 한다.

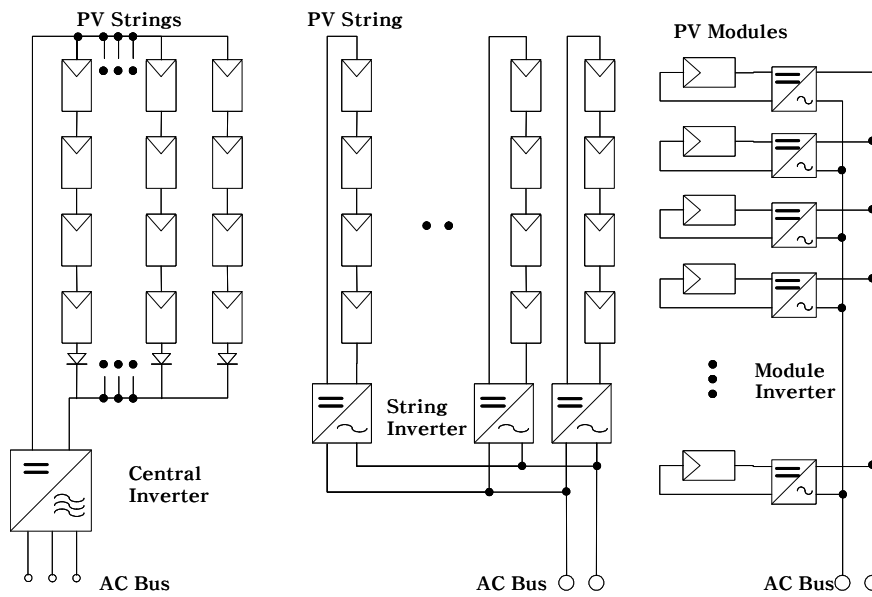
그림 12는 스트링 배선방법을 나타낸 것이다. 그림 12 (a)는 각 스트링에 그림자가 발생하는 경우 전체 스트링에서 전압발생에 영향을 미치는 것을 나타내며 (b)와 비교하면 출력저하가 크게 나타난다. (b)는 1개의 스트링에 그림자 영향이 발생해서 전체의 전류가 감소되지만 전압은 유지되어 (a)와 비교해서 출력 저하가 작다. 따라서 그림자가 나타나는 방향으로 직렬접속 하는 방법이 효율 향상에 좋으나, 그림자 방향이 변동하므로 접속방법을 종합적으로 검토하여야 한다.^[16,17]

그림 13은 인버터와 스트링의 접속관계를 나타낸 것이다. 대부분 스트링 접속이 그림 13 (a)방식으로 설치하고 있으나 직병렬 접속시 불균형, 그림자나 적설 등 환경의 영향에 의해 스트링마다 발전량이 차이가 발생하여 발전량이 저하된다. (b)방식으로 병렬군마다 설치하는 것이 발전효율 면에서 (a)방식보다 유리하고 각 셀마다 인버터를 설치하는 (c)방식이 발전량이 가장 좋다.^[18]



(a) Overall effected by shadow (b) Partial effected by shadow

Fig. 12 String configuration



(a) Central inverter (b) String inverter (c) Module inverter

Fig. 13 PV plants design inverter position with string interval

a) 그림자 영향

대부분의 태양광발전시스템은 낮 시간동안 일정시간이나 부분적으로 그림자 영향이 미친다. 이것은 특히 도시지역에 설치된 태양전지 어레이에서 자주 나타나는데 특히, 겨울에 일출의 시간에서 매우 높게 나타난다. 이것은 태양의 고도에 기인하여 나타나고 또한 이웃한 빌딩의 크기, 형태, 위치 그리고 나무와 같은 장애물에 기인하여 나타나기도 한다.

일반적으로 여름에는 태양고도가 높기 때문에 그림자 영향이 적게 나타나고 겨울철 일출 직전시간에 증가한다. 이러한 손실범위는 대략 5%에서 많게는 20%까지 나타나고 이는 어레이의 구조에 의존한다.

어레이의 최적의 경사각은 정남향에서 설치위도의 90% 이다. 그림 14는 어레이간의 이격거리를 계산하기 위한 각도를 정의한 것이다.

어레이간 그림자의 영향을 피하기 위한 이격거리 계산은 동지 12:00시 일 때 방위각을 기준으로 하며 식 11과 같다.

$$d/a = \cos \beta + \frac{\sin \beta}{\tan \varepsilon} \quad (11)$$

단, 여기서 $\varepsilon = 90^\circ - \delta - \phi$

a : 모듈길이

d : 이격거리

β : 모듈경사각

ϕ : 위도

δ : 23.5°

ε : 양각

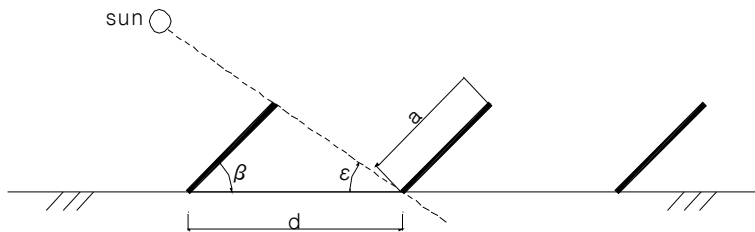


Fig. 14 Distance length of PV array

b) 어레이의 방위각과 경사각

태양전지 어레이의 방위각은 일반적으로 태양전지의 단위용량당 발전전력량이 최대인 정남쪽, 즉 '0°'도로 한다. 여기서 설치장소의 제약이 있는 경우에는 지붕이나 토지의 방위각, 산이나 건물의 그림자를 피할 수 있는 각도로 하여 일일발전량이 최대가 되거나 부하측이 최고가 되는 시각에 최대 발전량을 얻도록 한다. 지붕을 이용하여 설치하는 경우에는 일반적으로 지붕이 경사져 있거나, 수평면인 지붕을 효율적으로 이용할 수 있도록 지붕의 방위각에 맞춘다. 국내 기와지붕의 경사각은 18°~20°정도이다. 또한 지상에 설치하는 경우에는 효율적으로 이용할 수 있도록 토지의 방위각으로 한다. 그리고 지붕이나 토지의 제약은 없으나 산이나 건물의 그림자가 있으면 그림자를 피할 수 있는 각도로 한다. 또한 방위각을 조정해서 하루 중 부하가 피크인 시각에 발전량도 피크를 일치시키는 경우에는 방위각 선택은 식 12와 같다.

$$\text{방위각} = (\text{일중최대부하시각} - 12) \times 15 + (\text{설치지역경도} - \text{표준시경도}) \quad (12)$$

여기서 최대부하 시각은 24시간 표현방식을 취한다. 또한 어레이 경사각은 통상 태양전지 어레이의 발전전력량이 연간 최대가 될 수 있도록 한다. 이때 경사면이 이미 존재하는 지붕을 이용할 경우에는 지붕의 경사각으로 한다. 그밖에 눈이 많이 쌓이는 지역에서는 자연적으로 눈이 흘러내릴 수 있는 경사각 약 50°~60°로 한다.

연계형인 경우에는 연간 최적 경사각으로 어레이 경사각을 선택하면 적설기간에는 발전을 할 수 없게 되는 경우가 있으나, 전체적으로 연간 발전전력량이 최대인 경우가 있기 때문에 반드시 눈이 흘러내리게 경사각을 선택할 필요는 없다.

2. 태양전지 어레이 지지대

지지대를 세로로 설치하는 것 보다 가로로 설치하는 것이 모듈을 고정하는 부재점수가 약간 적기 때문에 가로로 설치하는 것이 많지만 단차가 약 2배 정도가 발생한다. 이는 자연강우에 의한 모듈 유리면의 세정효과가 떨어지고 눈이 많은 지대에서는 눈이 쌓이기 쉬운 단점이 있다. 따라서 효율이 저하되기 때문에 먼지 및 염분, 눈이 많은 지역에서는 세로로 설치하는 것이 유리하다. 태양전지의 지지대는 철의 10~25배 내식성을 지닌 용융아연도금으로 한다. 재료에 따른 지지대의 수명을 표 1에서 보여준다.

Table 1 Comparition of structure lifetime

구 분	년 수	비 고
강제 + 도장	5 ~ 10년	채도장
강제+용융아연도금	20 ~ 30년	
스테인레스	30년 이상	

위의 내용 년 수를 고려하여 태양전지의 예측수명인 20~30년과 비슷한 강제+용융아연도금이 많이 사용되고 있다. 아울러 염분 및 부식성 가스가 많은 지역에서는 부식방지를 위하여서는 특히 스테인레스를 사용한 지지대를 설치함으로써 내구성을 높일 수 있다.

지지대의 예상하중은 태양전지 어레이의 자체하중과 지지대 하중으로 이루어진 고정하중과 바람 및 눈으로 발생하는 풍압하중 및 적설하중으로 이루어진 동하중으로 이루어진다.^[19]

3. 접속함

접속함은 복수의 태양전지 모듈의 접속을 정연하게 하고, 보수·점검시에 회로를 분리해서 점검 작업을 용이하게 하며 태양전지 어레이에 고장이 발생시 정지범위를 최소화 하는 목적으로 보수·점검이 용이한 장소에 설치한다. 접속함에는 직류출력개폐기, 피뢰소자, 역류방지소자, 단자대로 구성되어 있다. 절연저항측정과 정기점검시 단락전류 확인 때문에 출력단락용 개폐기를 설치하는 경우도 있다.

그림 15는 일반적인 중·대형 시스템 설계상의 접속함의 회로도를 표시한 것이다.

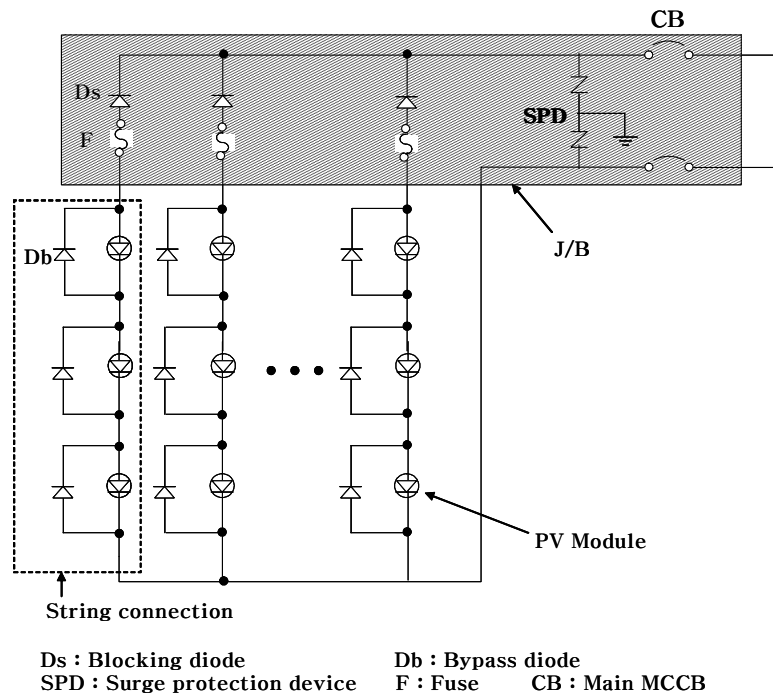


Fig. 15 Circuit diagram of junction box

a) 바이패스 다이오드

태양전지를 직렬접속(스트링)한 모듈에서 그림자 또는 파손 등 사고가 발생시 해당 전지에 회로의 전압이 역방향으로 집중해서 저항이 급격히 증가 하므로 일정한 전류에 의한 Hotspot 현상이 발생되고 시간이 지속 될 때에는 과열에 의해서 주변의 충전재 변색 등 모듈이 소손되거나 파손 되는 경우가 발생하여 출력전력은 급격하게 감소하게 된다. 따라서 이에 대한 대책으로 종합출력의 저하를 억제하고 모듈의 소손과 파괴를 방지하기 위해 블록분할과 블록단위에 모듈마다 다이오드를 설치하여 해당 모듈을 우회 운전할 수 있도록 회로를 구성한다. 이 다이오드를 바이패스 다이오드(Bypass Diode)라 하며 보통 모듈의 표면에 설치된 접속 단자대에 설치된다. 바이패스 다이오드는 보호하고자 하는 스트링의 공칭 최대 출력 동작전압의 1.5배 이상 역내전압을 갖고 스트링의 단락전류를 충분히 바이패스 시킬 수 있는 정격전류를 지녀야 한다. 그림 16은 바이패스 다이오드를 표시한 것이다.

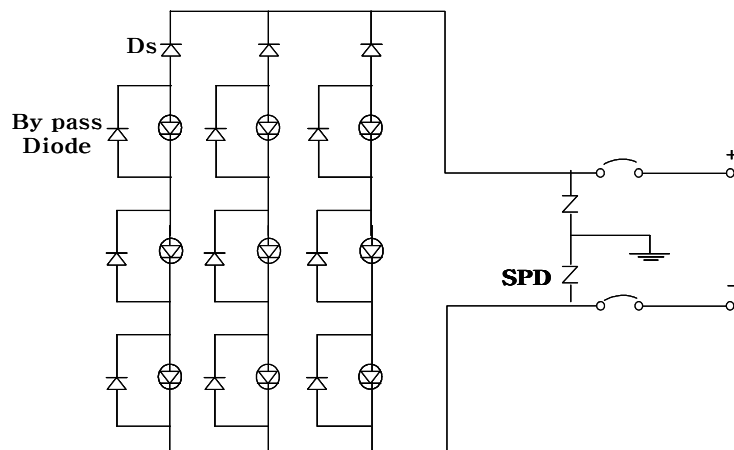


Fig. 16 Bypass diode configuration

또한 표면에 바이패스 다이오드를 설치할 경우 온도는 주변의 온도보다 20~40℃ 정도 높은 경우가 있다. 이 때문에 다이오드 온도도 높아서 정격전류 용량보다 적은 전류에서 사용된다. 다이오드의 사용온도를 예상해서 여유를 두고 정격전류의 다이오드를 선정할 필요가 있다.

그림 17은 태양전지모듈의 직렬연결시 부분적인 고장이 발생했을 경우 바이패스 다이오드가 설치되지 않은 상태와 설치된 상태의 동작특성을 각각 나타낸다.

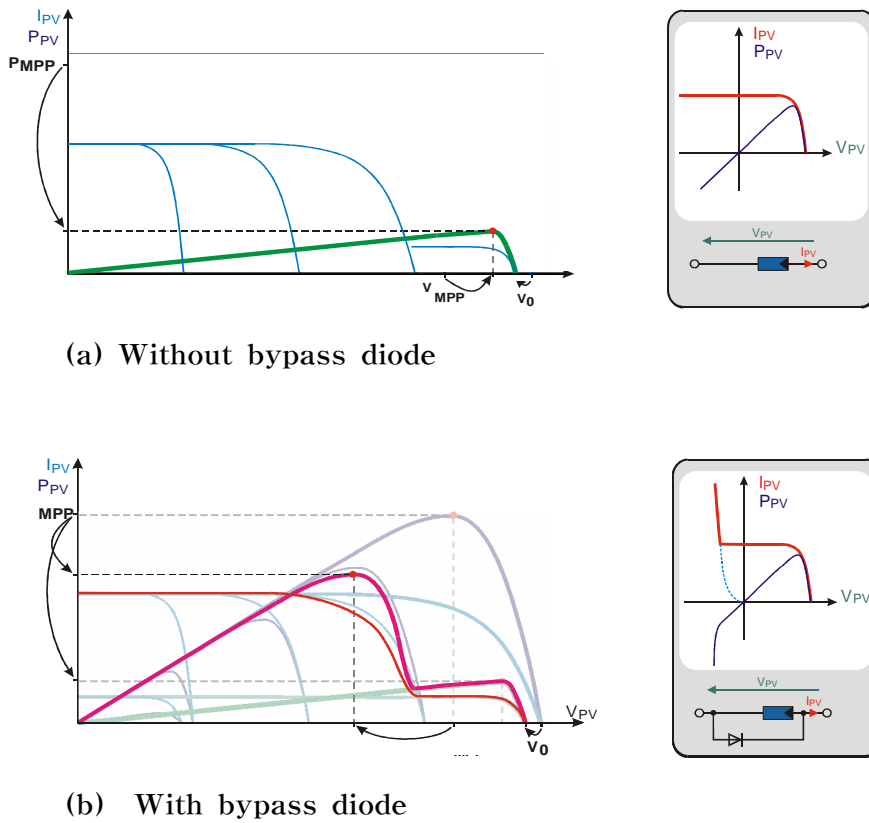


Fig. 17 Electric characteristics curve of bypass diode operation

b) 역류방지소자

태양전지모듈에 다른 태양전지의 병렬회로와 축전지 또는 계통 연계시스템인 경우 전류가 다른 회로에 역으로 유입 되는 것을 저지하기 위해 역저지용다이오드가 사용된다. 이를 역류방지다이오드(Blocking Diode)라 하며 보통 접속상자내에 설치된다.

태양전지모듈은 나뭇잎, 건물 등에 의해 그림자가 발생된 상태에서 발전되는 경우가 있다. 이때 태양전지 직·병렬회로를 구성하여 동작하는 경우 어레이의 스트링 사이에 출력전압의 불평형이 발생해서 출력전류의 분담이 변화한다. 이 불평형전압이 일정값 이상인 경우 다른 스트링에서 전류를 공급 받아 역방향으로 전류가 흐른다. 이 역전류 때문에 각 스트링에 역류방지소자를 설치한다.

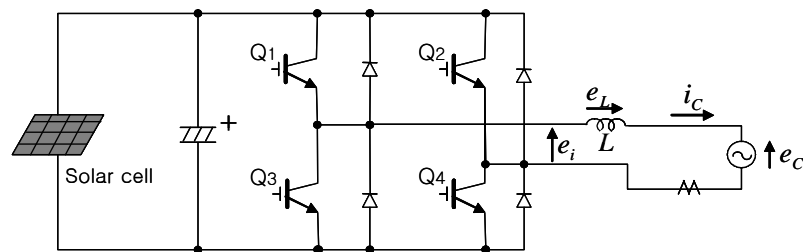
또한 태양전지 어레이의 직류출력회로에 축전지가 설치되는 경우 야간에 태양전지가 발전하지 않는 시간대에는 태양전지는 축전지에 의해 부하상태로 된다. 이때 축전지에서 방전은 일사강도가 회복 될 때까지 축전지 용량은 계속해서 방전되어 전력을 소비하는데 이것을 방지하기 위해 설치하는 것이 역류방지소자이다. 역류방지소자는 설치된 회로의 최대전류와 최대역전압에 충분히 견딜 수 있어야 한다.

그리고 설치장소에 따라 온도가 높은 경우 바이패스 다이오드와 같은 방식으로 여유율 1.5 이상을 선정 하여야 한다.

4. 인버터

a) 인버터 기본동작

계통연계형 인버터는 태양전지에 의해 발전된 전력을 계통측에 보내는 역할을 한다. 계통전원과 인버터 출력전원의 동기화를 이루어 계통측 전압과 필터를 통하기 전 인버터의 출력전압의 위상차를 조정하고 전력량과 전류 흐름 방향을 조정한다. 전압제어형 인버터측의 전압 위상을 계통측보다 앞서게 한다면 계통측에 전력을 전송 할 수 있다. 역으로 계통측보다 늦게하면 직류측에 부하가 있는 경우에는 계통측에서 인버터측에 전력이 전달된다. 그림 18은 전류제어전압형 인버터를 나타낸다.



e_i : Output Voltage e_L : Reactor Voltage e_c : Grid voltage i_c : Output current

Fig. 18 Inverter circuit of current controlled method

인버터는 계통전압을 항상 감시해서 출력이 증가된 경우에는 종전보다도 게이트 점호시간을 조금 짧게 하여 인버터 출력전압의 위상을 계통전압보다 앞선 위상으로 동작하게 한다. 구체적으로는 오차신호의 위상을 앞서게 그림 19에 나타낸 것과 같이 계통전압과 인버터 출력전압의 위상각 θ 를 크게 하는 것이 출력전력을 증대시킨다.

그림 19의 벡터도는 인버터 출력전압 및 출력전류와 계통전압과의 관계를 표시한 것이다.

리액터 L은 연계용 리액터로 PWM 파형 출력의 평활 리액터를 겸하고 있다. 벡터도에서 보는 바와 같이 인버터의 출력전류 i_c 는 계통전압 e_c 와

항상 동상이 되도록 제어되고, 리액터의 전압강하 e_L 은 출력전류 i_c 에 대해 항상 90° 위상이 앞서도록 제어 한다.

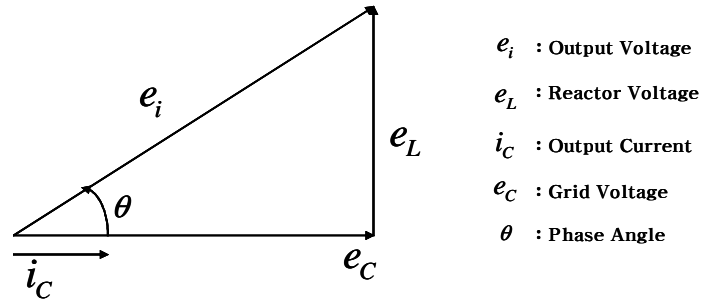


Fig. 19 Vector diagram of voltage and current

인버터의 출력전력 P 를 구하면 식 13과 같다.

$$P = e_c \times i_c \quad (13)$$

리액터 L 의 임피던스 ωL 을 대입하면 전류와 기전력은 각각 식 14, 15와 같다.

$$i_c = \frac{e_L}{\omega L} \quad (14)$$

$$e_L = e_i \times \sin\theta \quad (15)$$

식 13에 식 14, 15을 대입하면 전력은 식 16과 같다.

$$P = \frac{e_c \times e_i \times \sin\theta}{\omega L} \quad (16)$$

여기서 e_c , e_i 위상각 θ 를 제어하면 출력전력이 제어됨을 알 수 있다. 최대전력추종제어에서도 최대전력점을 감지한 위치에서 위상각 θ 를 변화시켜 항상 태양전지가 최대전력점에 위치하도록 제어한다.

태양전지의 출력은 일사강도나 태양전지의 표면온도에 의해 변동된다. 이러한 변동을 최적값으로 제어하고 태양전지의 동작점을 변화에 추종시켜 태양전지에서 항상 최대전력을 낼 필요가 있다. 이것을 최대전력점 추종제어라 한다.

그림 20에서 MPPT제어를 나타낸바와 같이 직류전압을 일정한 시간 간격을 두고 서서히 변화시켜 이때의 태양전지출력전력을 계측해서 변화전과 비교하여 항상 전력이 큰 방향으로 인버터의 직류전압을 변화시킨다. 이러한 동작으로 인해 태양전지에서 최대전력을 얻을 수 있다.

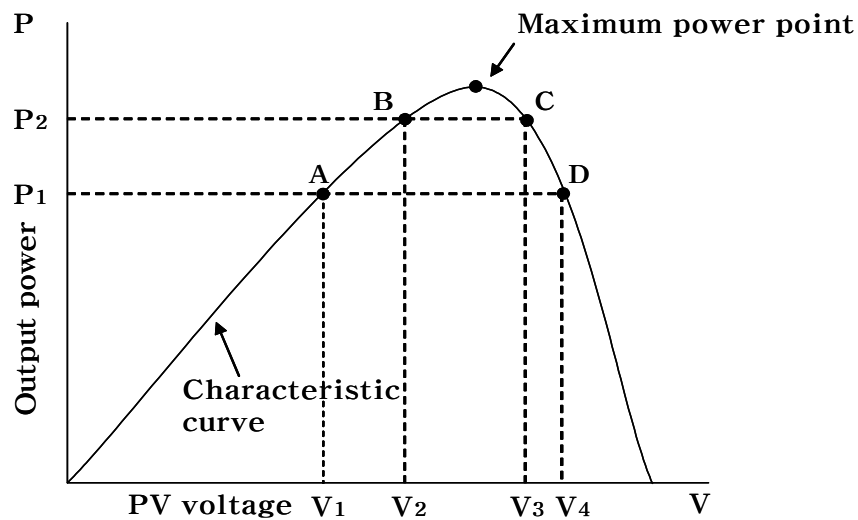


Fig. 20 Maximum power point control

III. 실 험

A. 3kW 태양광발전시스템

태양에너지 실증연구단지는 실증연구를 위하여 2002년 11월에 3kW 계통연계형 태양광발전시스템을 설치하였고 실증운전에 의한 특성분석을 위하여 모니터링시스템이 구축되어 있어 운전데이터는 실시간으로 PC에 저장되도록 되어 있다. 또한 기상계측기기를 설치하여 태양광발전시스템의 운전특성분석에 있어서 중요한 분석항목인 수평면 및 경사면일사량을 측정하도록 되어 있다. 측정데이터의 오차를 최소화하여 태양광발전시스템의 운전특성분석 결과에 대한 신뢰성, 정확성을 확보하기 위해 Eppley사의 보정용 일사량계를 사용하여 경사면 및 수평면 일사량을 측정하여 실증연구단지에 설치된 일사량계에서 측정된 값과 비교하여 보정계수를 사용하여 측정오차를 최소화 하였다.

태양광발전시스템은 경도 126.92°, 위도 35.1° 위치하고 있으며, 시스템의 설치 조건은 국내에 보급된 일반 주택들의 지붕경사각을 고려하여 계산한 결과를 토대로 경사각을 약 18°로 설치되었다. 설치 방위각은 일사량 분포를 고려할 경우, 발전효율이 가장 양호한 정남향(0°)으로 되었다. 그림 21은 본 태양광발전시스템의 구성도를 나타내고 그림 22는 시스템의 기본결선도를 보여주고 있다.

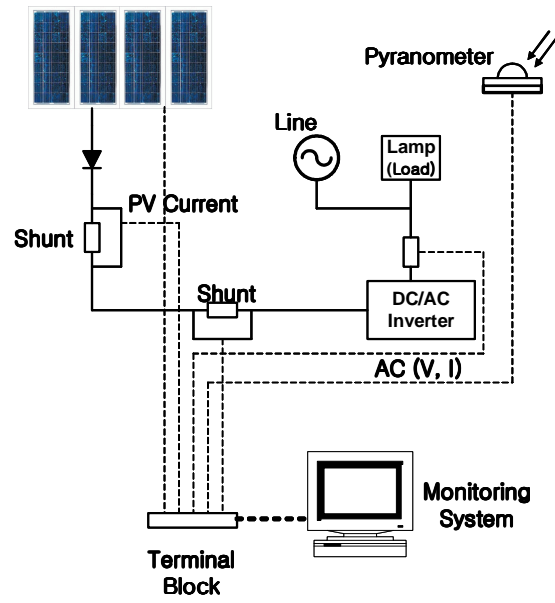


Fig. 21 Block diagram of PV system

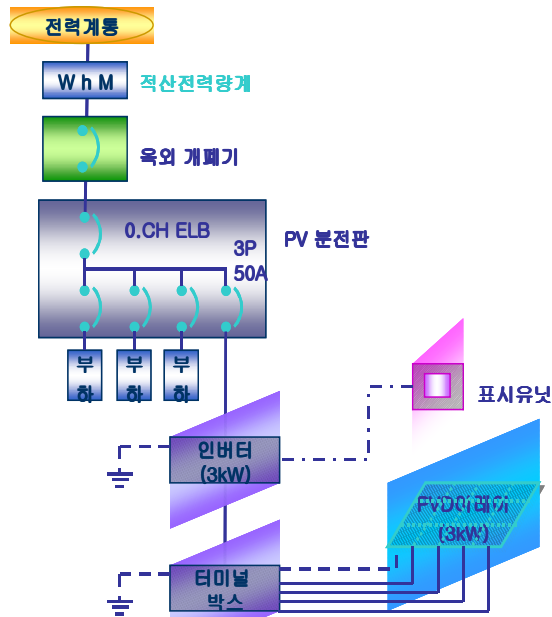


Fig. 22 PV Connection

1. 태양전지

본 태양광발전시스템은 정격변환효율이 11.1%이고 정격전압 17.4V, 정격전류 3.05A로 정격출력 53Wp인 단결정 실리콘 태양전지 60장을 20직렬 3병렬로 3kW 태양전지 어레이를 구성 하였다. 태양전지 전체 어레이 면적은 25.41m² 이고 설치조건은 국내에 널리 보급되어 있는 일반 주택들의 지붕 경사각을 고려하여 18°로 하였고 방위각은 발전효율이 가장 우수한 정남향으로 하였다. 태양전지 모듈의 정격규격 및 어레이 구성은 표 2에서 나타내고 있다.

Table 2 PV module and array specifications

구 분	규 격	구 분	규 격
최대출력(P_{max})	53Wp	Cell Type	단결정 실리콘
정격전압(V_{mp})	17.4V	모듈 Size(mm)	1291×328×60
정격전류(I_{mp})	3.05A	모듈무게 (kg)	6.2
개방전압(V_{oc})	21.7V	설치모듈수량	60
단락전류(I_{sc})	3.35A	어레이 구성	20직렬×3병렬
Cell Size(mm)	103×103	어레이 면적(m ²)	25.41

2. 계통연계형 인버터

계통연계형 인버터는 태양전지의 직류전력을 상용 교류전력으로 변환하여 전력을 공급하는 기능을 한다. 인버터에 포함되는 기능은 태양광발전시스템의 감시제어장치의 일부, 직류 컨디셔너, 인버터, 직류-직류 인터페이스, 교류-교류 인터페이스 및 계통연계장치이다. 본 태양광발전시스템에 적용된 계통연계형 3kW급 인버터의 정격규격을 표 3에서 나타낸다.

Table 3 Inverter specifications

항 목		규 격
인버터 제 어	PCS방식	전압형전류제어
	스위칭 방식	정현파 PWM방식
	절연방식	저주파 절연변압기 내장
	상 식	1상 2선식
	단독운전방지	수동적, 능동적
인버터 입 력	정격전압	DC 340V
	운전전압범위	DC 280 ~ 430V
인버터 출 력	정격주파수	60Hz
	정격용량	3kW
	효 율	91%
	출력역률	98%
	총합전류 왜율	3%
	각차전류 왜율	3%

B. 실험결과 검토

3kW 계통연계형 태양광발전시스템은 2002년 11월에 설치되어 2006년까지 4년간의 모니터링을 통한 DB자료를 이용하여 태양광발전시스템의 종합적인 운전특성을 분석하였다. 분석기간 동안 2003년 7월 중 15일간, 2004년 5월 중 12일간, 2005년 3월 중순부터 4월 중순까지 약 한달간 시스템 점검 및 기타 원인으로 모니터링이 중단되었으며 2006년 9월부터 10월까지 2개월간은 태양에너지 실증연구단지 기반구축사업으로 부득이 태양광발전시스템 및 모니터링이 중단되어 DB를 구성하지 못하였다.

그림 23은 2003년부터 2006년까지 월별 일사량 변화분포를 보여주고 있는데 일사량의 분포는 전반적으로 봄과 가을이 비교적 높고 여름에는 장마의 원인으로 일사량이 저하됨을 알 수 있다.

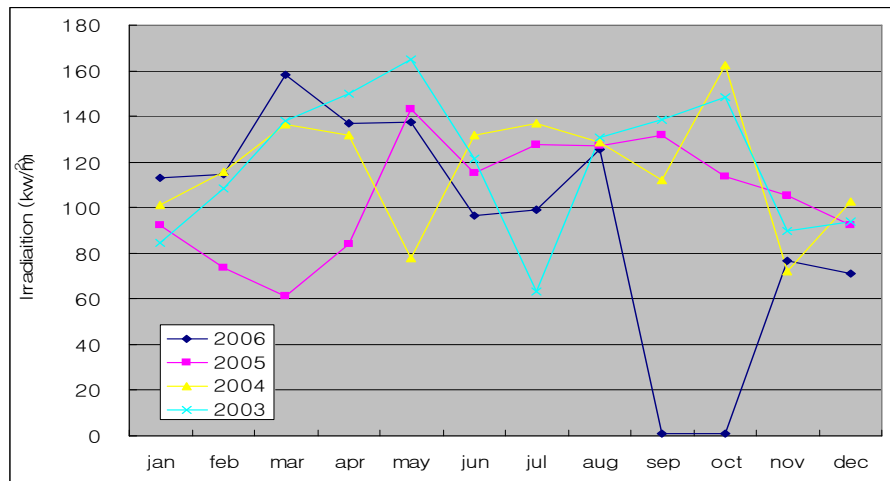


Fig. 23 The irradiation by months

표 4는 분석기간 동안 태양광발전시스템의 종합운전특성을 보여 주고 있고 그림 24와 그림 25는 분석기간 동안 태양전지어레이 및 인버터 출력 분포도를 보여주고 있으며 그림 26에서 그림 30은 태양광발전시스템의 어레이변환효율, 인버터효율, 시스템이용율, 시스템발전효율 및 시스템 성능비 변화특성분포도를 나타내며 그 계산식은 식 13 ~ 17과 같다.

$$\text{어레이변환효율} = \frac{PV\text{출력량}}{\text{일사량} \times PV\text{어레이면적}} \times 100\% \quad (13)$$

$$\text{인버터효율} = \frac{\text{인버터출력량}}{PV\text{출력량}} \times 100\% \quad (14)$$

$$\text{시스템이용율} = \frac{\text{인버터출력량}}{\text{설치용량} \times 24\text{시간} \times \text{일간}} \times 100\% \quad (15)$$

$$\text{시스템발전효율} = \frac{\text{인버터출력량}}{\text{일사량} \times PV\text{어레이면적}} \times 100\% \quad (16)$$

$$\text{시스템성능비} = \frac{\text{인버터출력}}{\text{어레이변환효율(정격)} \times \text{일사량} \times \text{어레이면적}} \times 100\% \quad (17)$$

태양광발전시스템은 설치 초기에 운전 정지 등 원인으로 전체효율이 일정하게 떨어지나 이후 안정적으로 운전하였으며 2005년에 이르러 시스템의 인버터 효율은 86.8%에서 82.4%로 저하 되었으며 2006년에는 79.3%까지 저하됨을 나타내고 있다.

Table 4 Performance results of PV system

	Irradiation (kWh/m ²)	PV output (kWh)	Inverter output (kWh)	PV array conversion efficiency
2003	1130	3241	2811	8.9%
2004	1267	3359	2916	9.4%
2005	1409	3348	2759	10.4%
2006	1432	3090	2451	10.8%
	Inverter efficiency	Generation Efficiency	Utilization ratio	Performance ratio
2003	86.8%	7.7%	11.4%	69.6%
2004	86.8%	8.1%	12.2%	73.3%
2005	82.4%	8.6%	11.5%	77.2%
2006	79.3%	8.5%	12.1%	76.9%

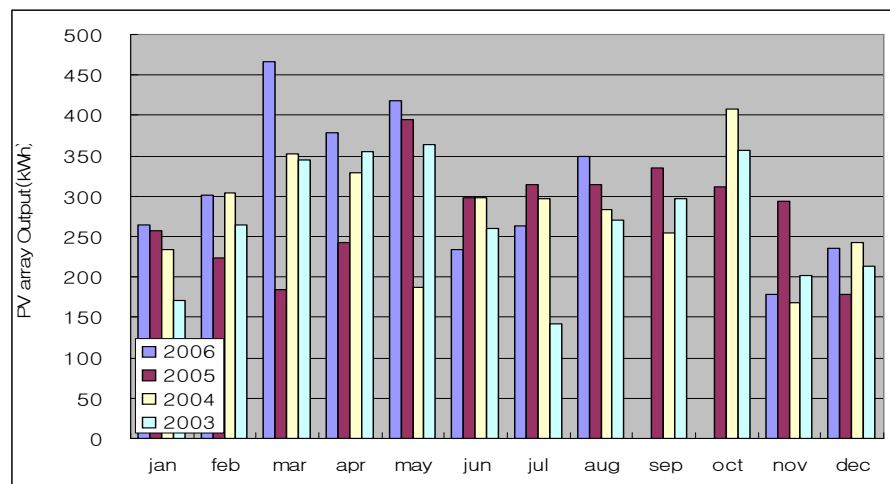


Fig. 24 PV array output power level by months

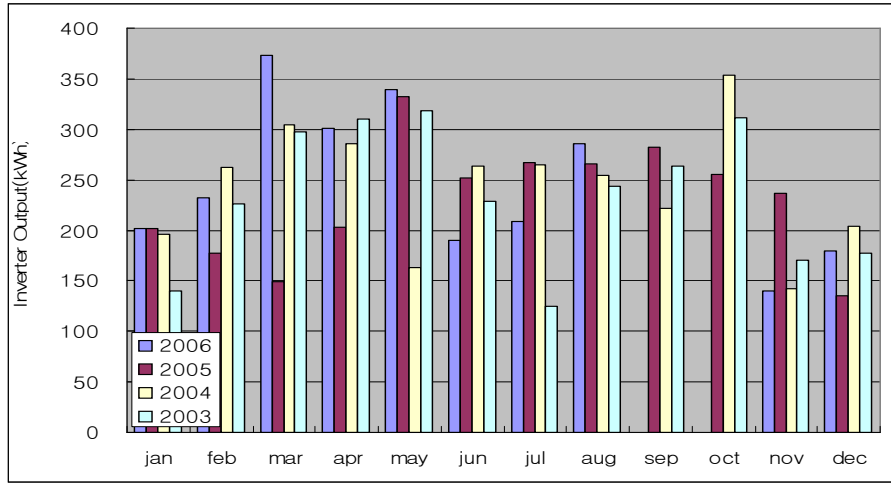


Fig. 25 Inverter output power level by months

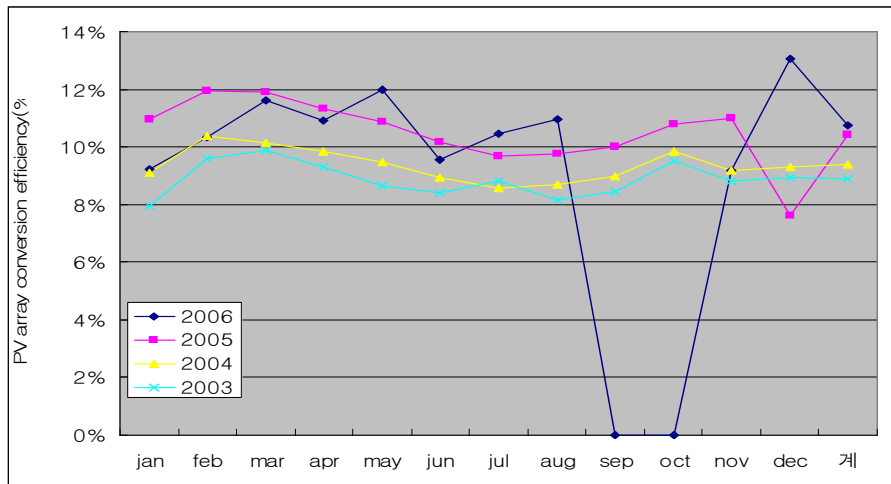


Fig. 26 PV array conversion efficiency by months

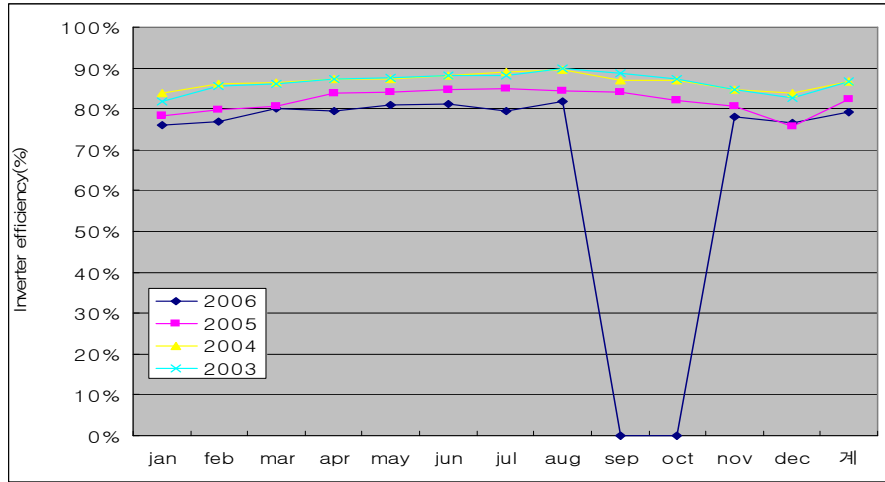


Fig. 27 Inverter efficiency by months

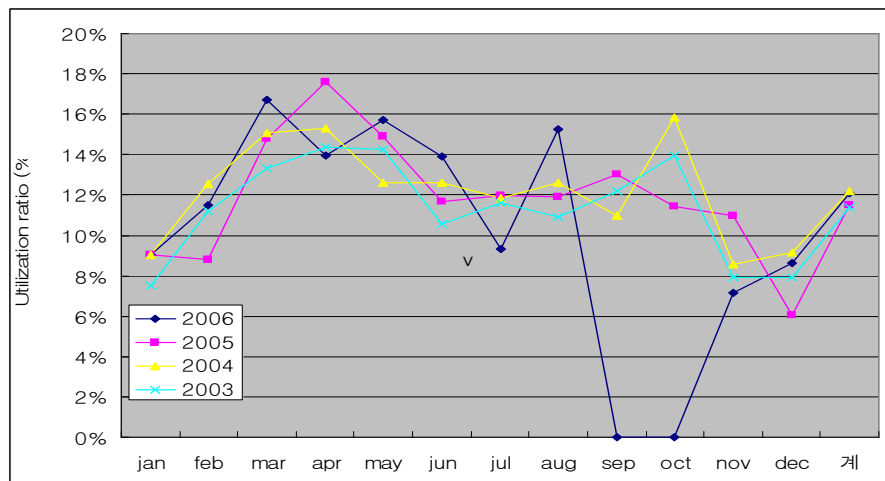


Fig. 28 Utilization ratio by months

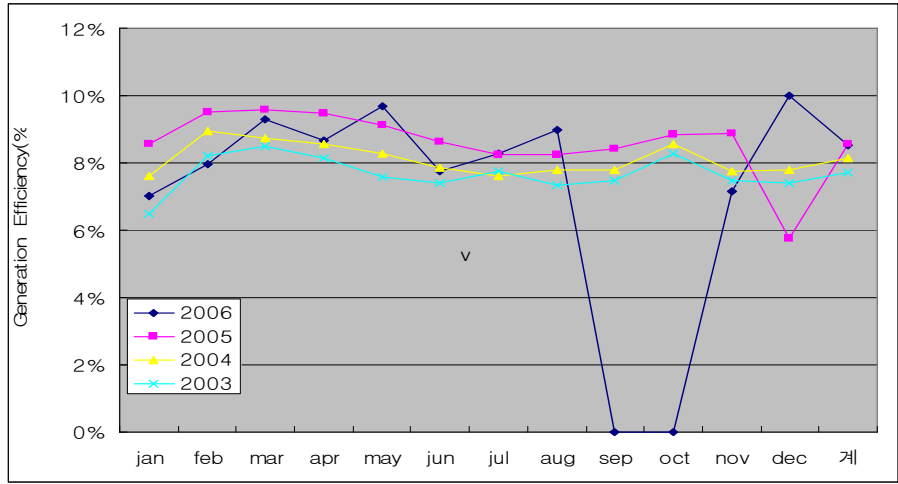


Fig. 29 Generation Efficiency by months

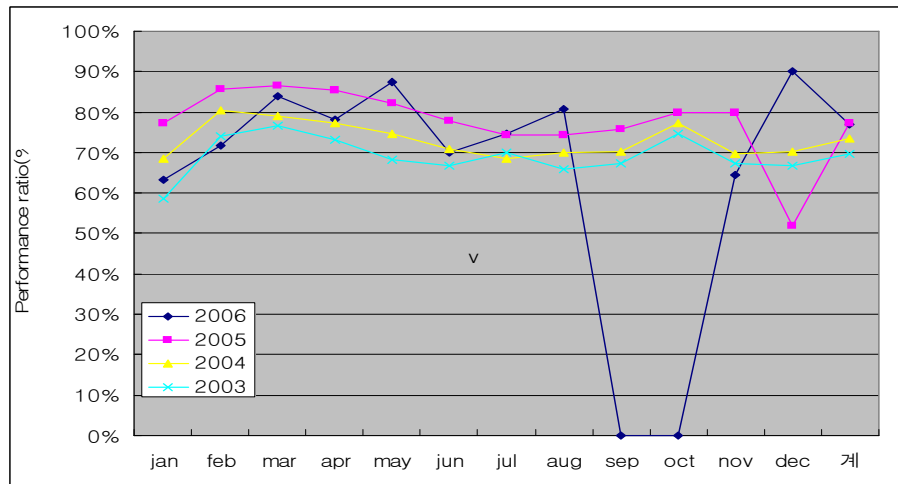


Fig. 30 Performance ratio by months

본 3kW 계통연계형 태양광발전시스템에 적용된 인버터의 경년변화에 따른 효율저하를 분석하기 위하여 분석기간 중 일사 조건이 좋고 비슷한 년 중 4월의 한 화창한 날을 선택하여 비교분석하였다. 그림 31은 선정된 화창한 날의 일사조건을 나타내고 있으며 인버터의 효율 특성을 정확히 분석하기 위하여 일사량이 $200\text{W}/\text{m}^2$ 이상인 오전 6시부터 오후 16시까지만 분석하였다.

표 5는 일간 일사량 및 태양전지 출력, 인버터 출력, 인버터효율을 나타내고 있다. 평균 인버터효율 및 최대 일사량시 인버터효율은 약 0.2% 씩 저하됨을 알 수 있다.

그림 32와 그림 33은 일간 시간별 태양전지 출력 및 인버터 출력 분포도를 보여주고 있고 그림 34는 일간 시간별 및 평균 인버터 효율 분포도를 보여주고 있다.

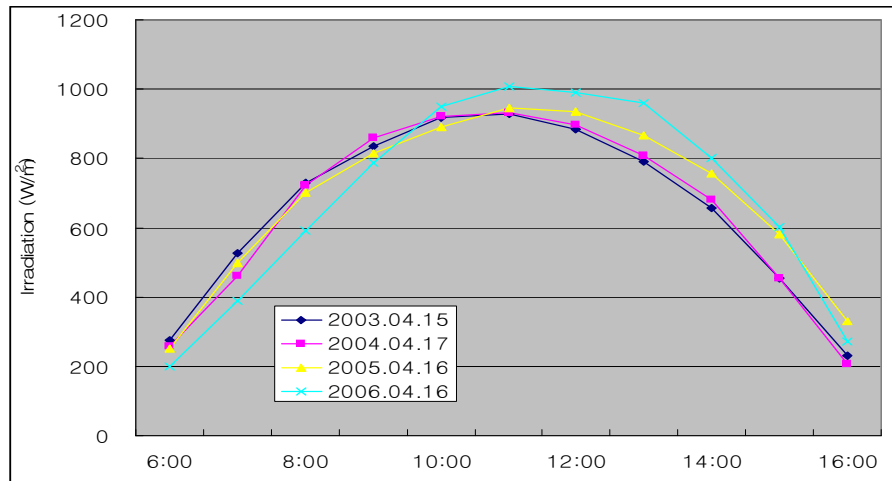


Fig. 31 The irradiation by days

Table 5 Performance results of PV system by days

		Irradiation (Wh/m ²)	PV output (Wh)	Inverter output (Wh)	Inverter efficiency
2003. 04.15	Total	7227	18670	16410	87.89%
	Max.	929	2558	2288	89.44%
2004. 04.17	Total	7203	17574	15473	88.04%
	Max.	932	2424	2164	89.26%
2005. 04.16	Total	7572	19485	17104	87.78%
	Max.	945	2612	2331	89.27%
2006. 04.16	Total	7548	21536	18881	87.67%
	Max.	1007	2887	2569	88.98%

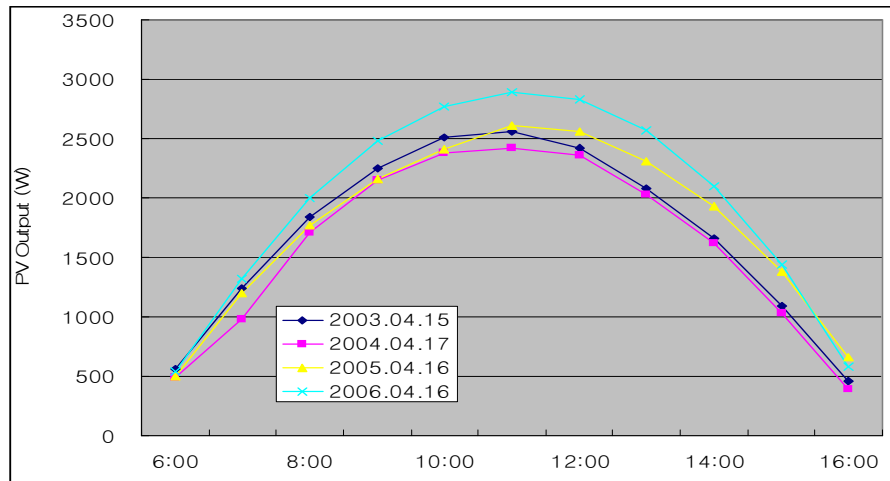


Fig. 32 PV array output power level by days

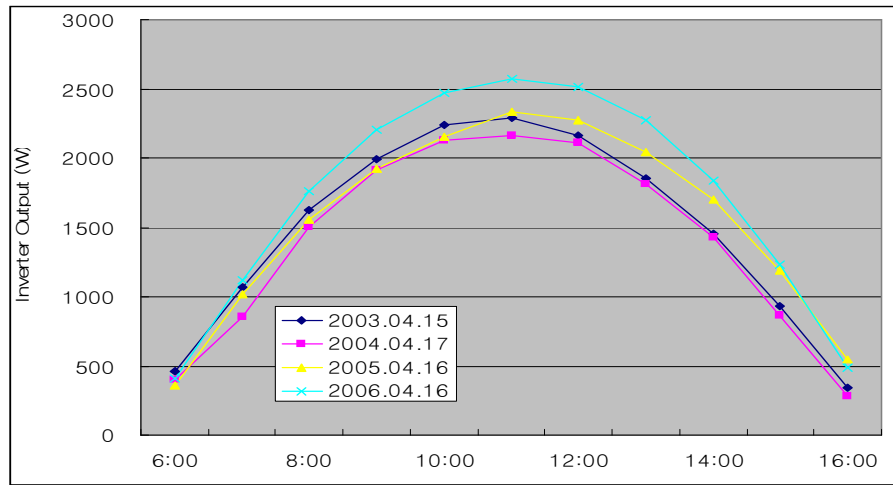


Fig. 33 Inverter output power level by days

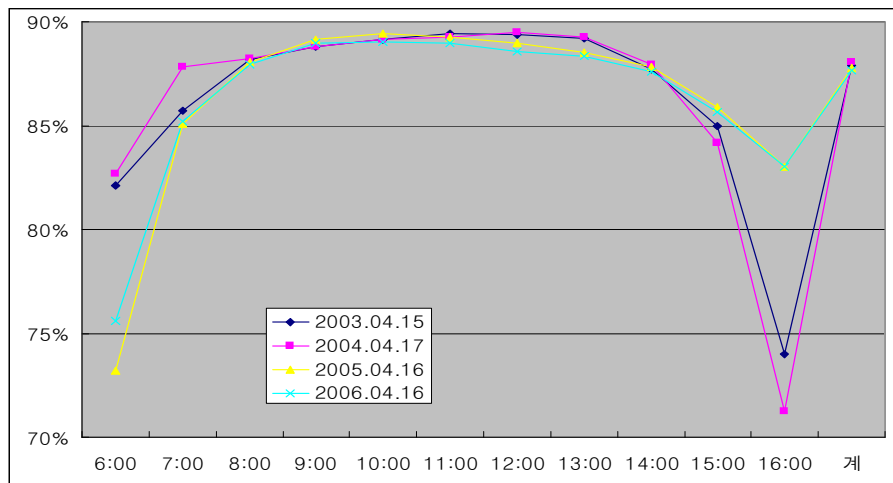


Fig. 34 Inverter efficiency by days

IV. 결 론

본 논문에서는 3kW 계통연계형 태양광발전시스템을 구성하고 2003년부터 2006년까지 4년간의 모니터링을 통한 DB자료를 이용하여 시스템의 구성요소인 태양전지와 인버터 및 시스템의 경년변화 특성에 대하여 분석하였다.

태양광발전시스템의 운전특성 분석결과에 대한 신뢰성, 정확성을 확보하기 위하여 기상조건 계측기기 및 센서들에 대한 보정을 통해 측정오차를 최소화 하였다. 분석기간 중 시스템 점검, 태양에너지 실증연구단지 확장공사 및 기타 원인 등으로 모니터링이 중단되어 일부 DB를 구성하지 못하여 분석결과에 미흡 하였으나 경년변화 특성 분석에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 사료되며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 3kW 태양광발전시스템의 연간 발전량 및 운전효율을 분석한 결과 태양전지의 연간 평균변환효율은 10% 정도로 효율저하가 거의 나타나지 않았으나 인버터의 연간 평균효율은 2005년에 이르러 2003년 및 2004년의 86.8%에서 82.4%로 전년대비 4.4% 저하 되었으며 2006년에는 전년대비 2.9%가 저하된 79.3%로 운전됨을 알 수 있었다.
- 2) 인버터의 효율저하를 분석하기 위하여 분석기간 중 일사조건이 좋은 4월의 일사량이 비슷한 화창한 날을 선택하여 분석한 결과 일간 평균 인버터효율 및 일중 최대 일사량시 인버터효율은 약 0.2%씩 저하됨을 알 수 있었다.

향후 태양광발전시스템의 원활한 보급과 신뢰성 확보 및 최적 성능을 발휘할 수 있도록 시스템을 설계하기 위한 기초 자료로 활용하는데 기여하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 태양기술개발실, "태양기술개발특집", NEDO NEWS, 1988.
- [2] 兵川圭弘, "太陽光發展入門", オ - ム 社, 1981.
- [3] 강인구, 김우열, "실리콘 태양전지의 현황과 전망", 전기학회지, Vol. 39, No.10, 1990.
- [4] Tomas Markvart "Solar Electricity", John Wiley & Sons, October 2000, LTD
- [5] Dr.F.Lasnier, Tony Gan Ang, "Solar Photovoltaic Handbook", Energy Technology Division Asian Institute of Technology, 1988.
- [6] Fumio Harashima and seiji Kondo, "Optimal Power Flow Control of Photovoltaic Solar Energy System", Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 7-22-1, Roppong, Minato-ku, Tokyo 106, JAPAN
- [7] A. L. Fahrenbruch and R. H. Bube, "Fundamental of Solar Cells", Academic Press, New York, 1983.
- [8] Kazuyoshi Tsukamoto, "Photovoltaic Power System Interconnected with Utility", Proceedings of the American Power Conference, pp.276 ~ 281,
- [9] Masato Hoshino, Gunji Kimula, Mitsuo Shioya, "DC-DC Converter and Inverter for Photovoltaic Modules", IECON. pp. 569-574, 1988.

- [10] J. A. Gow, C. D. Manning "Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies." IEE Proceedings on Electric Power Applications, vol. 146, no.2, pp.199-200, March 1999
- [11] Victorio Arcidiacono, Sando Corsi, Luciano Lambri, "Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Power Plants", IEEE. pp. 507-512, 1982.
- [12] Geoff Walker "Evaluating MPPT converter Topologies using a Matlab PV Model", IEAust, Vol. 21, pp.49-56, 2001
- [13] 유권종, 정영석, 최주엽 "새로운 고효율 MPPT 제어 알고리즘 고찰" 한국태양에너지학회 Vol. 22. No3. pp.11-20. 2002.
- [14] Gwonjong Yu, Jinsoo Song, "Development of Power Converter for Photovoltaic System", Japan-Korea Joint Seminar on Technical Digest Photovoltaics, pp. 247 ~ 254, 1995.
- [15] 강승욱외, "태양광 발전시스템을 위한 단상 PWM 전압형 인버터", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 443 ~ 449, 1995.
- [16] 率木和俊, "太陽光發電計劃 マニコア", オーム社, pp.60 ~ 90, 2002.
- [17] 日本建築板金協會 "屋根にやさしい設置のポイント", オーム社, pp.53 ~ 55, 2003.
- [18] SMA "PV-System Technology", 2005.
- [19] 太陽光發電協會, "太陽光發電システムの設計と施工", オーム社, pp.38 ~ 113, 2000.

저작물 이용 허락서

본인이 저작한 학위논문에 대하여 다음과 같은 방법 및 조건하에 대학교에 저작권을 위임 할 것을 서약합니다.

1. 인터넷 및 온라인 서비스와 아카이빙을 위하여 저작물의 내용을 변경하지 않는 편집상 혹은 포맷상의 변경을 통한 복제를 허락함
2. 저작물의 DB 구축과 인터넷을 포함한 정보통신망에 공개하여 논문 일부 또는 전부의 복제·배포 및 전송을 허락함
3. 저작물에 대한 이용 기간은 3년으로 하고 계약 종료 2개월 이내에 별도의 의사표시가 없는 경우 기간을 계속 연장함
4. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판 허락을 하였을 경우 1개월 이내에 소속 대학에 통보함
5. 배포, 전송된 학위논문은 이용자가 다시 복제 및 전송할 수 없으며 이용자가 연구 목적이 아닌 상업적 용도로 사용하는 것을 금함
6. 소속대학은 학위논문 위임 서약 이후 해당 저작물로 인한 타인의 권리 침해에 관하여 일체의 법적 책임을 지지 않을 것을 확인함
7. 소속대학의 협약기관 및 한국교육학술정보원에 논문 제공을 허락함

동의여부 : 동의(○) 조건부 동의() 반대()

※ 조건부 동의 및 반대인 경우 사유 및 조건을 기재하여 주시기 바랍니다.

사유 :

조건 :

저작자 성명 : 곽 윤 섭

주소 : 광주시 봉선동 포스코아파트 106동 1803호 (연락처:062-6520142)

2007년 12월 일

이름 : 곽 윤 섭 (인)

조선대학교 총장 귀하