

2007年度 2月  
碩士學位論文

# 주택지붕형상에 따른 PV시스템의 출력특성에 관한 연구

2007年度 2月 碩士學位論文

주택지붕형상에 따른 PV시스템의 출력특성에 관한 연구  
金智勳

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

金智勳

2007年度 2月  
碩士學位論文

주택지붕형상에 따른 PV시스템의  
출력특성에 관한 연구

2007年 2月 日

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

金智勳

주택지붕형상에 따른 PV시스템의  
출력특성에 관한 연구

A Study on the Output Characteristics of PV  
System on the Type of Roof Shape

2007年 2月 日

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

金智勳

주택지붕형상에 따른 PV시스템의  
출력특성에 관한 연구

指導教授 曹錦培

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出함.

2006年 10月 日

朝鮮大學校 大學院

電氣工學科

金智勳

金智勳의 碩士學位 論文을 認准함.

委員長 朝鮮大學校 教授 \_\_\_\_\_ 印

委 員 朝鮮大學校 教授 \_\_\_\_\_ 印

委 員 朝鮮大學校 教授 \_\_\_\_\_ 印

2006 年 11 月 日

朝鮮大學校 大學院

# 목 차

## ABSTRACT

I. 서 론 .....	1
II. 이론적 배경 .....	3
A. PV 시스템 .....	3
B. 태양전지 .....	5
1. 태양전지 발전원리 및 구조 .....	6
2. 태양전지의 특성 .....	9
3. 태양전지의 종류 .....	9
III. BIPV 시스템	
A. BIPV 설계를 위한 고려요소 .....	12
1. 일반적인 고려요소 .....	12
2. 기술적 고려요소 .....	14
B. BIPV시스템 적용 유형 .....	18
1. 파사드(facade) 시스템 .....	18
2. 루핑(roofing)시스템 .....	19
3. 차양(shield)시스템 .....	19
IV. 지붕형 PV시스템 .....	20
A. PV 태양전지 모듈 .....	20
B. 계통연계형 인버터 .....	24
C. 시스템 구성 .....	25
V. 실험 및 결과고찰 .....	26
VI. 결 론 .....	35
참고문헌	

## *List of tables*

Table 2-1 Each components elements of PV system .....	4
Table 2-2 The efficiency and characteristics of solar cell .....	11
Table 3-1 Detail consideration of PV module design .....	14
Table 4-1 Roof type module standards and array organization ...	20
Table 4-2 Grid-connected inverter system .....	24

## *List of figures*

Fig. 2-1	Generating principle of PV Cell .....	5
Fig. 2-2	Equivalent of PV cell using photovoltaic effect .....	6
Fig. 2-3	Voltage-Circuit characteristics curve of PV cell .....	8
Fig. 4-1	Detail chart of Vertical joints .....	21
Fig. 4-2	Picture of Vertical joints .....	22
Fig. 4-3	Detail chart of horizontal joints .....	22
Fig. 4-4	Picture of horizontal joints .....	23
Fig. 4-5	Roof-integrated PV system .....	25
Fig. 4-6	Roof-integrated PV system model house .....	25
Fig. 5-1	The output distribution map of daily solar radiation .....	28
Fig. 5-2	The output distribution map of daily roof-integrated PV system power output .....	28
Fig. 5-3	The output distribution map of daily PV system power output .....	29
Fig. 5-4	Distribution map of monthly solar radiation .....	31
Fig. 5-5	Distribution map of monthly roof-integrated PV system power output .....	31
Fig. 5-6	Distribution map of monthly PV system power output ..	32
Fig. 5-7	Distribution map of monthly PV array conversion efficiency ·	32



Fig. 5-8 Distribution map of monthly inverter efficiency .....	33
Fig. 5-9 Distribution map of monthly system utilization .....	33
Fig. 5-10 Distribution map of monthly system generating efficiency .....	34
Fig. 5-11 Distribution map of monthly system performance rate	34

# ABSTRACT

## A Study on the Output Characteristics of PV System on the Type of Roof shape

Ji-Hoon Kim

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

Department of Electrical Engineering

Graduate School, Chosun University

Exhaustion of oil, coal and environmental problems are more important and global community take special note. Finally, the many countries come to an arrangement Kyoto protocol in Japan, Tokyo on December, 1997. By the Kyoto protocol, Korea must reduce greenhouse gas as CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub> the standard of Emission Trading System. But Korea has no natural resources and imports 97% of the energy consumed domestically and Korea's industry and economy depend many fossil fuel.

Photovoltaic system adopted the latest technology that changes the unlimited natural resources and fossil fuel. However, solar energy will not be fully available during night time and even in the daytime if it is cloudy. Moreover, the generation cost is relatively high due to the low conversion efficiency of PV system. Therefore, it is necessary that high efficiency equipments and cost-effective system must be develop for wider use of the system. We should also seek to develop complex appliation systems for better efficiency of the generated electricity rather

than sticking only to the PV system.

PV System on the type of roof shape can expect dual effects that reduce expenses for establishment of PV system by adding new function as outer covering material of building expect producing the electricity.

In case of PV there are many generation differences according to the exterior environmental facts. In this paper, we compared constitute factors of 3kW PV, operating characteristic and total system characteristic (utilization, generation efficiency, loss fact) and found out long time operating data using a watch instrumentations. By use of long time operating result, compare a totally operating characteristics, and we proposed a next building application of roof-integrated PV. Roof-integrated PV system that is proposed in this paper, was established in Solar Energy research center of Chosun University, composed with system. The objective of this paper, is to provide a efficient roor-integrated PV system through the considerations for the integration of PV system.

# I. 서 론

인류의 급속한 산업화와 인구증가에 따른 석탄, 석유와 같은 기존 화석 연료의 사용으로 인해 오존층 파괴와 지구 온난화와 같은 환경오염을 야기 시키고 있으며, 전 세계의 인류의 미래마저 위협받고 있는 실정이다.

이에 대한 전 세계적인 대응방식으로 1997년 12월 일본의 교토에서 교토의정서라는 국제적인 합의를 도출하기에 이르렀다.

교토의정서 규정에 의하면 산업화의 발전을 위해 필요한 석탄, 석유, 가스의 사용을 제한하여 하는데, 중화학 공업 및 조선, 철강산업과 같이 에너지소비가 많은 우리나라 경제구조상 큰 타격이 아닐 수 없다.

비록 교토의정서 협약상에서는 우리나라가 개발도상국으로 분류되어 의무감축 대상에서는 안심하지 않을 수 없다. 선진국은 2010년까지, 개발도상국가는 2020년까지 1990년 온실가스 배출수준에서 5% 이상을 감축해야 하기 때문이다.

에너지소비의 대부분인 97%를 해외에서 수입하고 있는 우리나라의 실정에선 태양에너지와 같은 대체에너지의 개발과 전국으로의 보급의 필요성은 더욱 요구되고 있다. 그 중 태양광발전은 풍력, 지열 같은 다른 대체에너지보다 실용화단계가 가장 많이 이루어지고 있다.

태양광발전(PV : Photovoltaic)은 자연의 태양빛을 이용해 전력을 발생시키므로 이산화탄소 배출 같은 대기오염이 없을 뿐만 아니라 소음, 발열, 진동 같은 기존의 발전 위해요소들을 발생시키지 않는다. 게다가 현지에서 생산과 소비가 가능하므로 연료의 수송에 의한 손실이 발생하지 않는다. 그리고 발전설비의 유지가 거의 필요 없고, 선정과 설치가 쉽다는 것이 큰 장점이다.

비·구름·눈과 같이 흐리거나 캄캄한 밤의 경우 충분한 발전을 할 수 없다는 점과 넓은 설치면적에 비해 PV시스템의 변환효율이 낮다는 점 그리고 발전단가가 높다는 여러 문제점도 있다. 그러므로 앞으로 태양광발전의 실용화와 보급을 위해서는 무엇보다도 고효율기기의 개발과 보다 저렴한 시스템의 개발이 필요할 것이다. 또 PV시스템에서 발생된 전력을

더욱더 효율적으로 적용이 가능한 기술개발 역시 필요할 것이다.

본 논문에서는 지붕형상에 따른 PV시스템의 출력특성에 관한 내용을 연구하였다. 지붕형상에 따른 PV시스템을 이용하면 건물재료비, 비용의 절감을 할 수 있을 뿐 아니라 그 자체가 디자인요소로서의 기능을 할 수 있어 별도의 설치면적이 필요 없이 설치 및 적용이 쉽다는 특징이 있어 미국과 독일을 비롯한 유럽 선진국에서 연구가 되고 있는 태양광발전시스템의 하나이기도 한다.

특히 우리나라와 같이 좁은 국토면적에 높은 도시의 건물밀도와 주거면적이 좁은 상황에서, 본 시스템을 적용하기에 매우 유리한 상황임에는 틀림이 없다. 효율적으로 이 시스템을 적용하기 위해서는 시스템의 성능에 영향을 미치는 요인을 분석하여 설계시 고려하여야 한다.

따라서 본 논문에서는 지붕형상에 따른 3kW PV시스템을 구성하여 구성요소기기의 운전특성(태양전지 모듈, 인버터) 및 통합시스템의 운전특성(이용율, 발전효율, 손실요인) 등을 비교 분석하기 위하여 태양에너지 실증연구단지에 설치된 감시계측시스템을 통하여 실시간으로 모니터링 하고 장기간의 운전데이터를 취득하여 데이터베이스를 구축하였다. 장시간 운전결과를 토대로 종합적인 운전특성을 평가 분석하여 향후 태양광발전시스템의 건물 적용에 활용할 수 있도록 하고자 한다.

## II. 이론적 배경

### A. PV 시스템

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, PV 시스템의 발전효율은 규모에 관계없이 일정한 효율로 발전하므로, 소규모 분산전력 시스템으로서의 적용이 가능하다.

또한, 대부분의 발전설비가 전력생산을 위해서는 소음 또는 진동을 유발하지만 PV 시스템은 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 PV 모듈은 수명이 30~40년 이상 되어 유지관리에 의한 비용을 줄일 수 있다. PV 모듈은 다양한 색상과 형상으로 제작이 가능하며, 전기에너지 생산이라는 본래의 기능 외에 외벽, 지붕, 창호, 차양 등의 건축외장재로 사용하여 경제성 향상과 다기능적 역할을 수행한다.

태양광발전 시스템은 여러 개의 PV 모듈을 연결한 어레이(Array)를 전기 배선으로 연결하여 전기를 생산한다. 이 때 생산되는 전기는 직류(DC)이다. 이러한 직류전기가 그대로 사용되는 경우도 있으나 우리가 보통 쓰는 전기는 교류(AC)이기 때문에 직류(DC)를 교류(AC)로 바꾸는 인버터가 필요하다. 그리고 태양전지는 주로 낮에 전기를 만들어 내지만

사람들이 전기를 쓰는 시간이 이와 다를 수 있으므로 전기를 저장했다가 필요할 때 꺼내 쓸 수 있도록 축전지(Battery)가 필요하다. 또 장마철이나 태풍 등의 영향으로 비교적 장기간 태양전지가 작동할 수 없는 경우를 대비하여 보조 발전기도 필요하다. 태양전지는 비, 눈 또는 구름에 의해 태양광이 비치지 않는 날과 밤에는 전기를 발생하지 않을 뿐만 아니라 일사량의 강도에 따라 불균일한 직류전기가 발생한다.<sup>[1]</sup>

따라서 PV 시스템은 모듈을 직, 병렬로 연결한 태양전지 어레이(solar array)와 안정된 전기를 공급하고 주어진 조건에서 최대의 전력을 낼 수 있도록 하는 전력조절장치(charge controller) 또는 직, 교류 변환장치(inverter)와 전력저장용 축전지(storage battery)등의 주변장치로 구성된다. 각 구성요소들의 개념은 아래 표 2.1로 정리하였다.

Table 2-1 Each components elements of PV system

구성요소	개 념
태양전지	태양빛에 노출되면 전기발생 하는 얇은 정방형의 반도체 필름/디스크
모 들	solar cell을 여러 장 모아서 규격화 시키고 프레임으로 틀을 만든 것
어레이	한 개 혹은 여러 개의 모듈을 특정 전력량에 맞게 전기적 배선을 연결한 것
전력조절장치	축전지에 일정한 전압이 흘러 들어가도록 조절하는 장치
축전지(배터리)	직류전기 에너지를 저장하는 장치
인버터	solar cell로 발생한 직류전기를 가정용 교류로 변환
배 선	PV System을 연결하는 전기선

## B. 태양전지

### 1. 태양전지의 발전원리 및 구조

태양광발전은 태양광 에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 태양전지를 사용한 발전방식이다. 태양전지는 실리콘 등의 반도체 소자가 광 에너지를 받아서 전기에너지로 변환되는 특성인 광기전력 효과(Photovoltaic Effect)와 광전류 효과(Photo Current Effect)를 이용하는 다이오드접합(Diode Junction) 구조를 갖는 반도체 소자이다.

그림 2-1은 태양전지의 단면을 나타내며, 일반적으로 태양전지는 4가 원소인 실리콘(Si)에 5가 원소인 (P, As, Sb) 등을 첨가시킨 n형 반도체와 3가 원소(B, K) 등을 첨가시켜 만든 p형 반도체를 접합시켜 다이오드 형태의 pn접합 태양전지가 얻어진다. 금지대폭(Energy Gap) 이상의 에너지를 갖는 광자가 태양전지 내에 인입되어 가전자대의 전자를 여기시켜 전도대로 이동시켜 광기전력을 생성시킨다. 그리고 pn접합 양단 전극에 외부의 도선을 연결시키면 n형에서는 전자가 외부도선으로 이동하고 반면에 p형 반도체에서는 정공이 외부도선으로 흐르게 된다.<sup>[2]</sup>

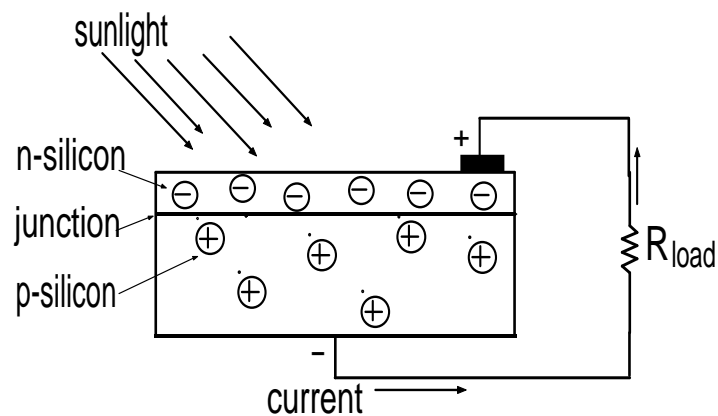


Fig. 2-1 Generating principle of PV Cell



## 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 광자수는 지수 함수적으로 감소한다. 그림 2는 빛이 조사될 때 광기전력의 효과(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.<sup>[3]</sup>

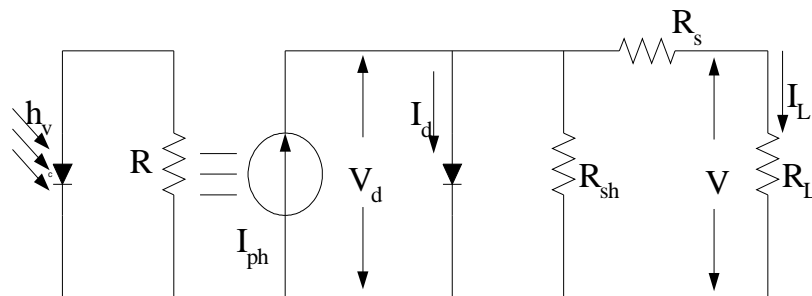


Fig. 2-2 Equivalent of PV cell using photovoltaic effect

광 투사시  $R_s=0$ ,  $R_{sh}=\infty$ 인 이상적인 P-N접합 다이오드인 경우 부하에 흐르는 전류  $I_L$ 은 식 (2-1)과 같이 나타낼 수 있다.<sup>[4]</sup>

$$I_L = I_{ph} - I_d \left[ \exp\left(\frac{-qV}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (2-1)$$

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 (2-1)로부터 태양전지의 출력전류를 구하면 식 (2-2)와 같이 나타낼 수 있다.

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

일정온도와 일정 일사조건에서 태양전지의 전류-전압 특성 곡선은 그림 2-3과 같이 된다. 여기서 개방 전압  $V_{oc}$ , 단락전류  $I_{sc}$ , 충전율 FF (Fill Factor) 등 3개의 변수는 에너지 변환효율과 관련되는 파라미터로서, 먼저 식(2-1)로부터  $I_L=0$ 인 조건에서 개방전압  $V_{oc}$ 는 식 (2-3)과 같다.

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_d} + 1\right) \quad (2-3)$$

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

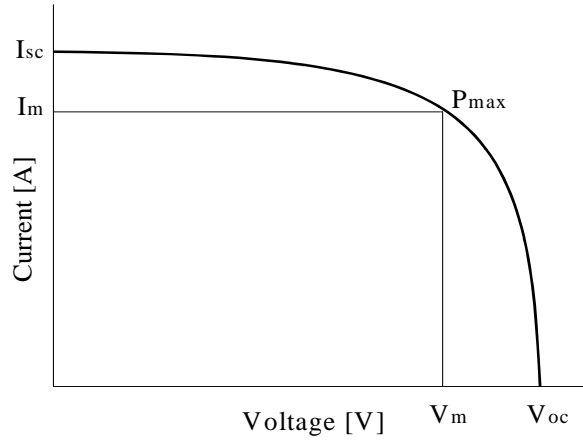


Fig. 2-3 Voltage-Circuit characteristic  
Curve of PV cell

전지에 연결된 부하저항의 크기를 조정함으로써 어떤 최적 동작점에서 최대의 출력  $P_{\max}$  를 식 (2-4)과 같이 나타낼 수 있다.<sup>[5]</sup>

$$P_{\max} = V_m \cdot I_m \quad (2-4)$$

부하저항에서 소비되는 에너지를  $P_{\text{out}}$  라 하면 식 (2-5)과 같다.

$$P_{\text{out}} = V \cdot I = V \cdot I_{ph} - I_d \left[ \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2-5)$$

최적부하조건에서  $\frac{dP_{\text{out}}}{dV} = 0$  이므로 최적동작전압  $V_m$ 은 식 (2-6)과 같다.

$$V_m = \exp\left(\frac{qV_m}{nkT}\right) \left(1 + \frac{qV_m}{nkT}\right) = \left(\frac{I_{ph}}{I_d}\right) + 1 \quad (2-6)$$

또한 이때의 최적동작전류  $I_m$  은 식 (2-7)과 같다.

$$I_m = \frac{(I_{ph} + I_d) \cdot (qV_m/nkT)}{1 + (qV_m/nkT)} \quad (2-7)$$

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

태양전지의 특성을 평가하는데 있어서 단락전류, 개방전압과 더불어 가장 중요한 요소 중의 하나는 충전율 이며 식 (2-8)과 같이 정의된다.

$$FF = \frac{(V_m \times I_m)}{(V_{oc} \times I_{sc})} \quad (2-8)$$

태양전지의 에너지 변환효율은 태양전지에서 얻을 수 있는 최대의 전기 에너지를 입사광에너지로 나눈 값으로 다음 식(2-9)과 같다.

$$\eta = \frac{V_m \times I_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \times FF \quad (2-9)$$

여기서,  $P_{in}$ 은 입사된 태양광 에너지이다.

따라서 태양전지의 효율을 높이기 위해서는 단락전류  $I_{sc}$ , 개방전압  $V_{oc}$ , 그리고 충전율  $FF$ 를 높여야 한다.

지금까지 태양전지의 특성을 고찰한 결과 태양전지의 전기적 특성을 결정하는 요소를 보면 내부적인 변수로서 내부직렬저항  $R_s$ , 내부병렬저항  $R_{sh}$  그리고 다이오드의 역포화전류  $I_d$  이고, 외부적인 변수로서는 일사량과 온도의 변화 등이 있다.<sup>[6]</sup>

### 3. 태양전지의 종류

태양전지의 효율은 입사되는 태양복사광 에너지와 태양전지의 단자에서 나오는 전기 출력에너지의 비를 퍼센트로 표시한 것으로 국제 전기규격 표준위원회에서는 지상용 태양전지에 관해 태양복사의 공기질량 통과조건이 통과질량(AM : Air Mass) 1.5, 100mW/cm<sup>2</sup>의 입력광 파워에 대해 부

하조건을 바꿀 경우의 최대 출력과 비율을 백분율로 표시한 것을 공칭 효율이라고 정의하고 있다.<sup>[7]</sup>

### 1) 단결정 실리콘 태양전지

단결정 실리콘 태양전지는 순도가 높고 결정결함이 낮으며, 원자가 배열된 방향이 균일한 물질로 구성되어 있다. 대부분 반도체 IC용으로 생산된 것 중 결함이 있는 실리콘 결정을 재 용융하여, 그 품질이 반도체 IC용으로는 부적합하지만 태양전지로 사용하기에는 충분한 기판으로 생산한다. 단결정 실리콘 태양전지의 효율은 이론상으로 최대 35%정도이나, 고순도기판은 값이 비싸 대규모로 적용할 경우 초기 투자비의 상승으로 경제성이 떨어질 수 있다.

### 2) 다결정 실리콘 태양전지

다결정 실리콘 태양전지는 원자가 규칙적으로 배열되어 있으나 배열방향이 서로 다르며, 원리든 단결정계와 거의 동일하지만, 코스트를 저감시키기 위해 복잡한 프로세스의 일부를 생략한 것이라 할 수 있다. 현재 상용 PV용 실리콘은 단결정보다 다결정 실리콘의 사용량이 점차로 증가하는 추세이다. 다결정 실리콘 태양전지의 효율은 최대 19% 정도이다.

### 3) 비결정 실리콘 태양전지

비결정 실리콘 태양전지는 결정이 없는 구조로 분자가 무작위로 배열되어 규칙이 없고 모듈의 변환효율이 낮으며, 제조 프로세서는 반응온도가 낮기 때문에 결정계 태양전지보다 수백분의 1의 제조원가로 생산이 가능하다. 재질이 얇고 구부러지기 쉬워 곡면의 형상에 적용이 용이하며, 형광등과 같은 산란광 아래에서도 발전이 가능하며, 주로 전자계산기와 같은 제품에 활용된다. 그러나 옥외에서 사용할 경우 자외선에 의한 열화가 발생하게 되며, 변환효율이 낮아 결정계 태양전지와 동등한 출력을 얻기 위해서는 부지 이상의 설치면적이 필요하게 된다. 변환효율은 최대 12% 정도이다.

#### 4) 박막 다결정 실리콘 태양전지

박막 다결정 실리콘은 보통의 다결정 실리콘보다 약 1/10 이하의 두께로 되어 수십 마이크로미터 수백 마이크로미터 정도 이므로, 필요한 실리콘 원료의 양이 상대적으로 줄어들어 비용을 절감하고 제조에 필요한 에너지 또한 큰 폭으로 낮출 수 있다. 또한 변환효율은 비결정 실리콘 태양전지보다 뛰어나 보통 다결정 실리콘 태양전지의 효율을 얻을 수 있는 것이 특징이다. 그러나 실리콘을 박막으로 제조하는 기술은 간단치 않으며, 너무 얇을 경우 빛이 그대로 관통해 버려 전기를 변환할 수 없기 때문에 태양전지 후면에 반사면을 두고, 태양전지 안으로 들어온 태양광이 쉽게 밖으로 나가지 못하도록 표면을 적절히 설계해야 한다.

지금까지도 주로 상용화된 PV는 아래 표와 같이 단결정형, 다결정형 그리고 비결정형의 3종류인데 각각의 독특한 색깔과 질감 및 변환효율이 건축물 적용에 있어 선택의 폭을 넓혀주고 있다.<sup>[8]</sup>

Table 2-2 The efficiency and characteristics of solar cell

태양전지의 효율	이론상전력 변환효율	상용화 변환효율	색 상	특 징
단결정 (mono crystalline)	약 24%	약 14~17%	검 정	수명이 길다. 고가
다결정 (poly crystalline)	약 18%	약 13~15%	감청, 연초록, 황금, 회색 등가능	단결정보다 수명이 짧고 싸다
비결정 (amorphous)	약 13%	약 6~8%	고등색	수명이 짧다. 저가

### III. BIPV 시스템

#### A. BIPV 설계를 위한 고려요소

건물에 PV 시스템을 적용한 것은 1970년대 미국에서 처음 시작되었는데, 일반적으로 전력생산업체와 멀리 떨어진 건물에 알루미늄 프레임의 PV모듈을 고정시켜 사용하면서 발전되었다. 그 후 점차 발전해 1990년대부터 PV모듈이 건물외피 내에 일체화 되어 디자인되면서 BIPV 시스템이 상업적으로 널리 이용되기 시작되었으며 현재까지 주거용, 상업용, 산업용 그리고 공공기관 건물에 다양하게 적용되고 있다.<sup>[9]</sup>

BIPV시스템은 PV 시스템이 건물에 통합되어 일체화 된다는 의미로, 기존의 PV 시스템이 건축물의 지붕이 벽면에 가대 등을 세워 덧붙여 설치하는 방식과는 달리 PV 모듈을 건물 외피재료로 대체하여 적용하는 개념이다. 이러한 PV 시스템은 전기를 생산하는 동시에 지붕이나 벽면, 차양, 채광창 등과 같은 건물외피의 기능을 부여함으로써 시스템의 경제성을 확보할 수 있는 다기능 건물재료로 PV를 좀 더 효율적으로 적용할 수 있다.

#### 1. 일반적인 고려요소

##### 가) PV모듈의 의장성

PV 모듈 또는 PV 모듈이 적용될 건물 또는 조형물이 의장적으로 아름답게 구성되어야 한다.

##### 나) 건축물 또는 환경 조형물과의 통합성

기존건물 형태에 PV 모듈을 단순히 부착 형태가 아니라 계획 초기 초기단계부터 의도한 설계개념이 체계적으로 최종 대상물의 조화롭게 통합되어야 한다.

##### 다) 기능성

PV를 통해 발전된 전기를 효과적으로 활용할 수 있는 수요처에

대한 배려와 PV 발전 모듈의 역할과 함께 건축 마감 재료로의 기능을 잘 충족해야 한다. 또한 BIPV의 기본개념과 요구기능을 잘 이해하고 설계에 반영해야 한다.

라) 실현가능성

설계안의 실현가능성 및 실용화 가능성을 고려해야 한다.

마) 혁신성

PV 모듈 또는 이를 적용한 설계안이 참신하고 혁신적인 요소를 포함 하고 있어야 하며, 태양전지와 PV 모듈, PV array 등 구성 요소 및 구성요소간의 결합방법 등에 아이디어가 있어야 하고, 다른 에너지 요소와 복합하여 시스템을 구성해야 한다.

바) 성능과 효율

PV의 발전성능 및 효율에 대한 고려, PV 모듈의 온도상승을 방지하기 위한 별도의 고려, 그리고 태양광의 최대 유입을 위해 PV 모듈의 방위 및 경사도에 대한 고려가 필요하다. 또한 PV 모듈 간에 자체 차양효과 및 주변 차폐물에 의한 차양이 되어야 하며 PV 모듈의 면적 및 총발전량에 대한 고려가 적절히 계획되어야 한다.

사) 경제성

제작방법이 실용적이고 비용측면에서 경제적이어야 한다.

아) 환경문제

환경문제에 대한 고려가 설계에 반영되어야 하고 시스템의 에너지 측면 투자회수기간이 적절하여야 한다. 더불어 PV 모듈 또는 적용 대상 건물 및 환경조형물에 환경 친화적 재료에 대한 고려가 필요하다.

자) 설계의 유연성 및 다양성

계획된 PV 모듈 및 BIPV건물, 환경조형물 등의 설계안이 다양한 기후조건이나 지역 및 방위 등에 범용적으로 확대 적용될 수 있는지, 상용화할 경우 세계시장을 대상으로 할 수 있는지 여부를 고려해야 한다.



## 2. 기술적 고려요소

### 가) BIPV 모듈 제반 관련요소

전기를 생산하는 PV 모듈을 건물 일체화하여 건물외피에 부착하기 위해 수반되는 제반고려사항은 기술적 측면에서 경제성 문제까지 수많은 검토요소가 존재한다. 이러한 고려요소를 큰 주제별로 분해 본다면 건축 계획적 요소와 발전성능의 상호관계, 건물 외장성 문제, 배선 등과 같은 기술적 요소, 안전성 문제, 시공성, 재료 및 구조적 문제, 유지 보수성 등을 대표적으로 들 수 있을 것이며, 이 외에도 법규적 검토방법, 경제성 평가방법, 성능평가 방법 등도 직접적으로 관련되는 요소이다. 이들 제반 고려요소에 대한 세부적 관련 항목은 표 3-1과 같다.<sup>[10]</sup>

Table. 3-1 Detail consideration of PV module design

구 분	고 려 사 항
설계요소 및 발전성능	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 태양접근성(건물배치)</li> <li>◦ 음영(인접건물, 식생)</li> <li>◦ 설치각도(방위 및 경사)</li> <li>◦ 온도</li> </ul>
건축과의 조화성	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 형상과 색상</li> <li>◦ 건축척도와 모듈크기</li> <li>◦ PV와 건물 통합수준</li> </ul>
배 선	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 의장적 처리기술</li> <li>◦ DC와 AC의 문제</li> <li>◦ 외피 관통문제</li> </ul>
안 전	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 파손, 도난</li> <li>◦ 번 개</li> </ul>
시공성	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 외피시공방법</li> <li>◦ 적설하중, 풍압, 내압성</li> <li>◦ 방 화</li> <li>◦ 시공순서</li> </ul>
접근성 및 유지성	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 세척, 유지</li> <li>◦ 도난 반달리즘</li> <li>◦ 수리교체</li> </ul>
법규적 문제	
경제성 및 부가가치	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 환경적, 건축적 영향</li> <li>◦ 사회적, 경제적 영향</li> </ul>
평가도구	

#### 나) 태양접근성 및 최적 설치조건

태양 복사량은 위도에 따라 변화하며, 최대 일사량은 설치위치 즉, 경사각 및 방위각에 의해 결정된다. 일반적으로 가장 바람직한 방위는 정남향이며 수평면으로부터 경사각은 그 지역의 위도에 의해 결정된다. 또한 연중 일수에 의해서도 변화되는데 태양고도가 낮은 동절기의 경우 수평면보다는 수직 파사드에 설치된 시스템이 보다 많은 일사량을 기대할 수 있다.

최대 효율을 위한 시스템의 설치위치 결정을 위해서 국내 지역별 방위 및 경사각에 대한 연중 적산일사 획득량에 대한 상대적 성능 비교 데이터의 수립을 통해 효율적인 성능데이터를 제공할 수 있다.

#### 다) 음영과 발전성능

발전성능과 관련된 또 다른 중요사항으로 음영에 따른 발전성능의 저하문제이다. PV 모듈에 음영이 질 경우 도달 일사량 자체가 줄어들기 때문에 발전량이 감소하는 것은 당연한 원리지만, 부분 음영에 의한 전체 시스템의 발전량 감소도 매우 큰 영향 요소이다. 직렬로 연결된 태양전지의 일부분에 음영이 지면 마치 배관 내 일부분에 병목현상이 발생하는 것과 같은 원리이기 때문에 전체 시스템의 발전효율도 크게 감소하게 된다. 따라서 PV 모듈에 음영이 생기지 않도록 설계하는 것이 무엇보다도 중요한 고려요소가 된다.

음영은 크게 인접건물 또는 인근의 나무 등 장애물에 의한 음영과, 건물 자체에 있는 매스요소 또는 PV 모듈 구조체 상호관에 의해 생성되는 음영으로 구분할 수 있다.

인접건물에 의한 음영은 우선적으로 배제해야 할 설계요소로, 저층 주거건물만 배치된 경우는 비교적 손쉽게 해결될 수 있는 반면, 고층 아파트 건물 내에 위치하는 저층 주거의 경우 음영문제가 큰 영향을 미치게 된다. 설치 위치와 관련해서는 지붕과 같은 수평면보다는 파사드(facade)와 같은 수직면이 음영에 의한 영향을 크게 받음으로 보다 큰 인동간격이 필요하다.

건물주변의 녹화는 시각적 쾌적감 증대는 물론 기온 조절측면에서

효과적인 설계수단이다. 그러나 나무에 의한 음영의 발생으로 인해 BIPV의 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다. 식생의 밀도가 높은 하절기의 경우 영향이 가장 크며, 잎이 떨어지는 하절기의 경우도 가지에 의해 큰 영향을 받을 수 있다. 나무의 성장속도를 고려하는 것도 매우 중요하다. 일년 단위의 변화를 기준할 때 나무의 성장속도는 미미하지만, PV의 수명을 고려할 때 수년 후 나무의 성장결과는 큰 영향을 미칠 수 있다. 이에 대한 해결책은 가능한 건물의 북측에 나무를 심고, 2층 높이를 넘지 않는 나무를 선택하고, 지속적 관리를 통해 일정 규모 이상 증가하지 않도록 해준다.

#### 라) 온도와 발전성능

PV 모듈은 태양복사를 받아 전기를 생산하지만, 전기로 변환되지 못한 태양복사에너지는 열로 변환되어 PV 모듈의 온도를 상승시킨다. PV 모듈의 온도가 상승하면 발전효율은 감소하는 특성을 가지고 있으며, 특히 결정계 태양전지의 경우 효율 감소폭이 더 크다. 기존의 독립형 PV시스템에서는 후면 배기가 자유롭기 때문에 온도에 따른 발전효율 저하의 문제가 큰 관심사항이 아니었으나, 건축자재화 되는 BIPV의 경우 설계 방법에 따라 큰 온도 차이를 보일 수 있기 때문에 온도에 따른 발전성능의 문제는 매우 중요한 설계 고려요소이다. 건물 외피에 부착된 PV 모듈의 온도는 높은 일사조건에서 주변온도보다 20~40℃ 이상 상승한다. 일반적으로 태양전지의 온도가 1℃씩 상승할 때마다 발전량은 0.4~0.5%씩 감소한다.<sup>[11]</sup>

따라서 PV 모듈을 건축외장재로 결합시키는 경우 필히 효율적으로 열을 분산시킬 수 있는 방법에 대한 상세 설계기술 개발이 필요하다. 건축물 외피에 결합된 PV 모듈의 온도상승에 따른 배열문제는 동절기 난방성능 및 하절기 냉방성능과도 연계됨에 따라 열적인 문제와 전기적 문제를 복합적으로 고려해야 하는 매우 복잡한 고려요소이다.

##### 5) 건축과의 조화성

일반적인 태양전지의 색상은 청색 또는 진한청색 및 흑색이 대부분이지만, 필요에 따라 다양한 색상의 태양전지도 제작 가능하다. 태양전지의 효율은 청색계열에서 최대의 효율을 나타내며, 그 외의 색상에서는 kW당 비용이 급속히 증가한다. 현재 가능한 색상종류는 회색, 녹색, 적황색 및 황색 계열이다.

모듈의 형태 또한 색상에 의해 큰 영향을 받으며, 프레임이 없는 모듈의 경우 매우 균일한 이미지 효과를 연출할 수 있다. 한편 프레임의 색상 및 형태를 효과적으로 활용할 경우 또 다른 강조 이미지를 제공할 수 있는 건축적 언어로 활용될 수 있다.<sup>[12]</sup>

## B. BIPV시스템 적용 유형

### 1. 파사드(facade) 시스템

건물의 외벽은 물의 유입을 차단해야 하고 열 손실을 조절해야 할 뿐만 아니라 빛의 유입을 조절하고 차음의 역할을 해야 하며 기술적으로 유지 관리가 용이해야 한다. 일반적으로 수직 벽은 지붕에 비해 태양광에 대한 최적의 방향과 경사각을 이루기 어렵고 음영의 영향을 받을 수 있는 가능성이 크다. 따라서 건물 외벽에서 PV 시스템의 성능을 최적화하는 것은 지붕에 비해 복잡적이고 세부적인 고려사항이 필요하다.

외벽에 사용되는 PV 패널은 태양전지가 삽입된 몇 겹의 유리재로 만들어지며 다양한 색상과 빛 투과율이 가능함으로 일반 외장재처럼 건물의 외벽에 광범위하게 적용할 수 있다. PV 모듈은 빗물방지용 건물 외피 마감재로 쉽게 사용될 수 있는데 이것은 건물 벽에 물이 스며드는 것을 방지하고 환기를 목적으로 건물 벽과 외피막 사이를 띄우는 형식이다. 한편 외벽체를 이중으로 구성하면 커튼월 공법에서 구조체와 외장재의 결합부에서 발생하는 문제를 줄일 수 있는 장점이 있으며 PV 모듈이 생성하는 열을 이용하는 방법도 고려할 수 있다.<sup>[13]</sup>

BIPV 파사드 시스템은 시공방식에 따라 라미넷 글래스, 패턴글래스, 스펀드럴 글래스, 그리고 커튼월 글레이징 시스템으로 시공되며, 일반적으로 건물 구조재로서 활용된다.

라미넷 글래스(laminate glass)는 대표적인 BIPV 시스템으로 건물입면에 일체화시켜 PV모듈을 덧붙이는 형태이다. 스펀드럴 글래스 패널은 일반적으로 상업용 유리건물 층에 사용되는 불투명한 유리로 된 PV 모듈을 건물의 구조재로 적용하는 것이다. 또한 패턴 글래스는 특유의 기하학적 또는 선형 디자인의 반투명한 유리로 사용된다. 이러한 BIPV 글레이징 시스템은 PV 셀 사이의 간격을 두어 자연광의 유입을 위해 적용되며 다양한 색상을 넣어 응용되기도 한다.

## 2. 루핑(Roofing)시스템

루핑시스템은 PV 패널이 지붕의 마감재로 사용되도록 지붕의 구조시스템에 결합되는 것으로 PV 모듈의 우수한 성능을 얻는데 유리하며 건물의 다른 부분에 비해 미학적, 기능적으로 일체화가 수월하다. 그러나 구조적인 문제나 기후변화요인, 먼지나 오물의 축적, 눈이나 비, 바람에 대한 하중을 견딜 수 있어야 한다. 경사지붕에 PV 패널을 일체화 시킨 가장 일반적인 유형이다.

BIPV 루핑시스템은 시공방식에 따라 일반적으로 BIPV 셉글(shingle), 메탈 루핑, 내부 단열 지붕 시스템으로 시공 된다.

유연한 비정질 실리콘 BIPV 셉글(shingle)은 아스팔트 셉글을 대체하여 사용 될 수 있으며 화이버시멘트 PV 루핑셉글은 결정질 실리콘 셀이 화이버 시멘트 루핑셉글에 라미넷 형태로 시공되는 것이다. 또한 최근에는 금속이나 합성수지 등으로 만들어진 유연하고 가벼운 불투명 PV모듈이 개발되어 기와지붕 또는 곡면지붕과 같은 다양한 디자인을 가능하게 한다.<sup>[7]~[8]</sup>

## 3. 차양(shield)시스템

불투명한 PV 모듈은 창문의 차양으로 설치 될 수 있다. 또한 PV 모듈은 창문에 빛 선반(light shelves)으로 설치될 수 있는데 이것은 실내에 직접광이 유입되는 것을 차단하고 실내로 빛을 반사시켜 산란된 간접광을 유입시킨다. 태양빛을 받는 빛 선반의 윗 부분을 PV 모듈로 제작하고 그늘이 지는 아래 부분은 반사재를 사용하면 자연채광 효과를 증대시킬 수 있다. 이때 PV 모듈의 표면은 빛을 실내의 천장으로 반사하게 된다. 반투명 PV를 만드는 방법은 반투명한 특정한 태양전지를 적용하여 PV 패널이 반투명이 되게 만든다. 반투명 PV 모듈을 단열유리나 고성능 다층막 창호유닛과 결합시키는 것이 가능하다. 전력 생산이라는 관점에서 보면 실제로 전기를 생산하는 PV 면적이 줄게 됨으로 이 형태의 PV 시스템은 일반적인 PV 패널보다 효율이 떨어진다.<sup>[14]</sup>

## IV. 지붕형 PV시스템

### A. PV 태양전지 모듈

국내에 일반적으로 적용되는 PV 시스템은 별도의 지지대를 설치하여 모듈을 결합하는 독립형 PV 시스템 방식으로 설치비용이 추가되어 전체적으로 비용이 증대되며 외관상 불리한 면이 있다. 이와 달리 지붕일체형 PV 시스템은 PV 모듈을 건물의 최종마감재를 대체하여 적용하는 건물일체형으로 별도의 지지대에 들어가는 설치비용 및 건물 마감재 비용을 절감할 수 있어 경제적이고 건물의 외관을 수려하게 조성할 수 있다.

지붕일체형 PV 시스템은 경사지붕방식으로 75Wp급 지붕형 태양전지 모듈 40장을 직병렬 연결하여 설치하였다. 어레이 설치조건은 국내에 널리 보급되어 있는 일반 주택들의 지붕 경사각을 고려하여 18°로 하였고, 방위각은 발전효율이 가장 우수한 정남향으로 하였다. 지붕형 태양전지 모듈의 전기적 특성과 어레이 구성은 표 4-1에서 나타내고 있다.

Table 4-1 Roof type module standards and array organization

구 분	규 격	구 분	규 격
최대출력( $P_{max}$ )	75Wp	Cell Type	다결정 실리콘
정격전압( $V_{mp}$ )	17.3V	모듈 Size(mm)	1204×539×8.8
정격전류( $I_{mp}$ )	4.35A	모듈무게 (kg)	7.7
개방전압( $V_{oc}$ )	21.8V	설치모듈수량	40
단락전류( $I_{sc}$ )	4.75A	어레이 구성	10직렬×4병렬
Cell Size(mm)	125×125	어레이 면적( $m^2$ )	26.0

지붕형 태양전지 모듈은 태양전지 모듈을 주택의 건축자재화를 이루기 위한 설비로서 장기적 측면뿐만 아니라 구조적 측면에서 지붕마감재로서의 우수침투 방지를 위한 기밀성을 확보하여야 한다.

상하부의 결합을 하부의 지지구조에 결합하는 데는 큰 문제가 없지만 결합의 정밀도가 떨어질 경우 상하부 부재의 결합에 어려움이 있거나 이격된 모습이 노출될 염려가 있다. 따라서 상하부재의 결합부에 상하부재에 대한 완충이 수용될 수 있도록 부재를 첨부하거나 구조의 개조가 필요하다. 또한 시공이나 유지 보수시 지붕구조물 위로 이동시 결합부의 파손 우려가 있어 상부 모듈이 지붕의 지지구조 위에 직접 걸리도록 하였다. 그림 4-1은 수직접합부 상세도를 나타내며, 그림 4-2는 적용된 태양전지 모듈의 수직접합부 사진을 보여주고 있다.

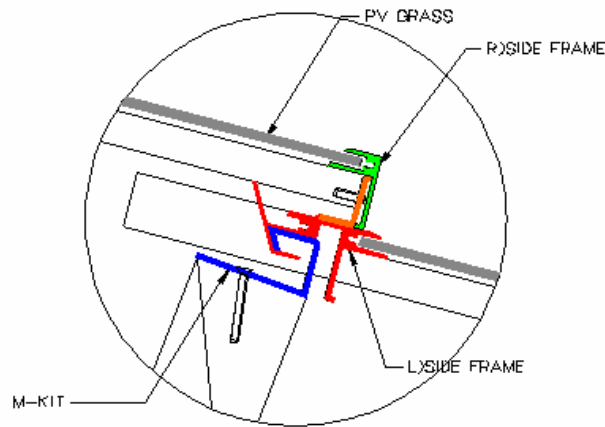


Fig. 4-1 Detail chart of vertical joints

좌우로 접하는 수평방향의 모듈 결합부 하부에 스며드는 물을 유출할 수 있는 구조로 되어 방수에는 문제가 없을 것으로 여겨지나 접합부의 유격이 적어 정밀 시공이 이루어지지 않을 경우 접합이 이루어지지 않을 수 있다. 따라서 시공의 융통성을 위해 접합부의 유격 범위를 확대할 필요가 있다. 그림 4-3은 수평접합부 상세도를 나타내고 있다.



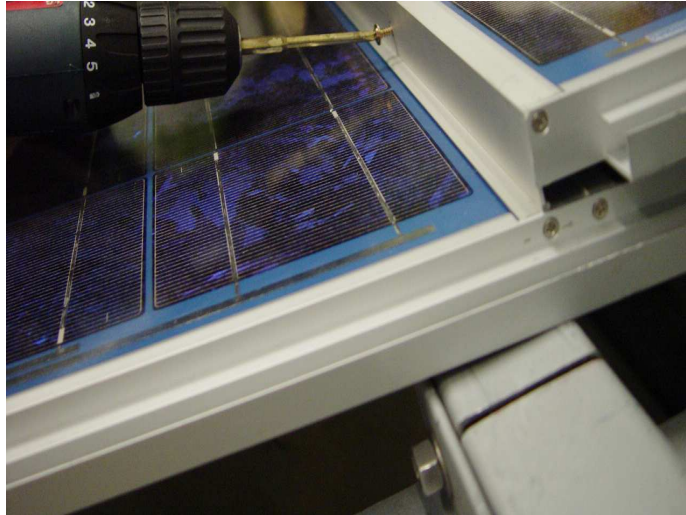


Fig. 4-2 Picture of vertical joints

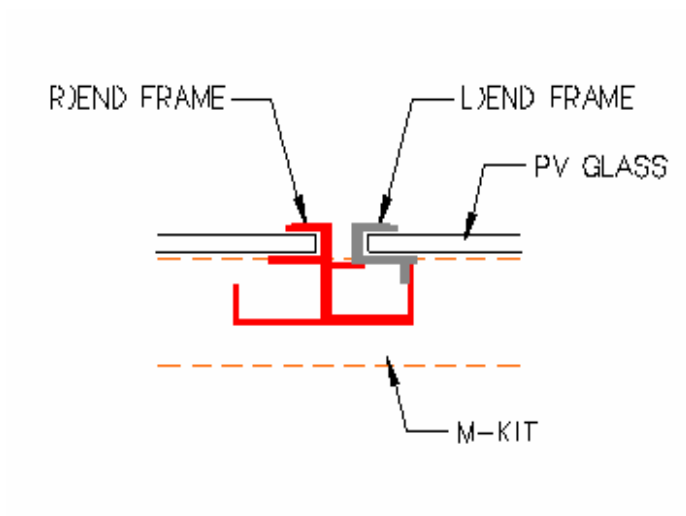


Fig. 4-3 Detail chart of horizontal joints

그림 4-4는 지붕형 태양전지 모듈의 수평접합부 사진을 보여주고 있다.



Fig. 4-4 Picture of horizontal joints

## B. 계통연계형 인버터

계통연계형 인버터는 태양전지의 직류전력을 상용 교류전력으로 변환하여 전력을 공급하는 기능을 한다. 인버터에 포함되는 기능은 태양광 발전 시스템의 감기제어장치의 일부, 직류 컨디셔너, 인버터, 직류-직류 인터페이스, 교류-교류 인터페이스 및 계통연계장치이다. 지붕일체형 PV 시스템에는 계통연계형 3kW급 인버터를 지붕형 태양전지 모듈의 신뢰성 확립을 목적으로 적용하였다. 표 4-2에서는 시스템에 적용된 계통연계형 인버터의 정격시 규격을 나타낸다.<sup>[15]</sup>

Table. 4-2 Grid-connected inverter system

항 목		규 격
인버터 제 어	PCS방식	전압형전류제어
	스위칭 방식	정현파 PWM방식
	절 연 방 식	절연변압기 없음
	상 식	1상 2선식
	단독운전방지	수동적, 능동적
인버터 입 력	정 격 전 압	DC 173V
	운전전압범위	DC 100 ~ 220V
인버터 출 력	정격주파수	60Hz
	정 격 용 량	3kW
	변 환 효 율	93.5%이상
	출 력 역 륜	95%이상
	총합전류 왜율	5%이하
	각차전류 왜율	3%이하

## C. 시스템 구성

그림 4-5에서는 지붕일체형 PV 시스템의 전체 구성도를 나타내며, 그림 4-6은 설치된 지붕일체형 모델하우스이다.

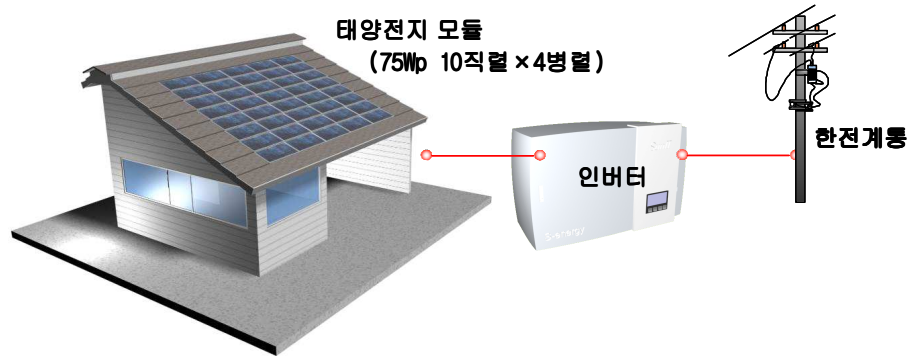


Fig. 4-5 Roof-integrated PV system



Fig. 4-6 Roof-integrated PV system model-house

## V. 실험 및 결과고찰

3kW 지붕일체형 PV 시스템을 설치하여 2005년 1년 동안의 모니터링을 통한 PV 시스템의 종합적인 운전특성을 분석하였다. 지붕일체형 PV 시스템의 종합적인 운전특성을 분석평가하기 위하여 분석기간 동안 수집된 실증연구단지에서 설치된 실증연구용 PV 시스템의 운전데이터를 토대로 비교 분석하였다. 종합운전특성을 나타내는 PV 어레이 변환효율, 인버터 효율, 시스템 성능비, 시스템 이용율, 시스템 발전효율의 계산식은 아래와 같다.

[16]

$$\text{어레이변환효율} = \frac{PV\text{출력량}}{\text{일사량} \times PV\text{어레이면적}} \times 100\%$$

$$\text{인버터효율} = \frac{\text{인버터출력량}}{PV\text{출력량}} \times 100\%$$

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

$$\text{시스템발전효율} = \frac{\text{인버터출력량}}{\text{일사량} \times PV\text{어레이면적}} \times 100\%$$

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

실험에 의한 특성분석을 위해서 기상측정기기를 설치하여 태양광발전시스템들의 운전특성분석에 있어서 중요한 분석항목인 수평면 및 경사면일사량, 외기온도를 측정하였다. 이들 측정데이터는 태양광발전시스템의 운전특성분석에 중요한 분석항목으로 측정오차가 크다면 전체 태양광발전시스템의 운전특성분석에 있어서의 신뢰성, 정확성 등의 문제가 발생함으로 시스템의 특성분석에 큰 영향을 준다. 따라서 이러한 기상조건 측정데이

터의 정확성, 안정성 등의 검토가 필요하다.

따라서, 분석기간 동안 측정데이터의 오차를 최소화하여 태양광발전시스템의 운전특성분석 결과에 대한 신뢰성, 정확성을 확보하기 위해서 기상조건 계측기기 및 센서들에 대한 보정을 하였다. Eppley사의 보정용 일사량계를 사용하여 경사면 및 수평면 일사량을 측정하여 일사량계에서 측정된 값과 비교하여 보정계수를 사용하여 측정오차를 최소화 한 후 기상데이터를 측정하여 운전특성분석에 사용하였다.

그림 5-1은 일별 수평면 및 경사면 일사량 등의 변화분포를 보여주고 있다. 3월 중순에서 4월 중순까지 실증연구단지의 공사의 원인으로 한개월 정도 데이터 취득이 안 되었다. 그림 5-1에서 분석기간 동안 최대 수평면 및 경사면 일사량은 2005년 5월 10일인  $6.3\text{kWh/m}^2$ ,  $7.6\text{kWh/m}^2$ 라는 것을 알 수 있다. 그림 5-2는 일별 지붕일체형 PV시스템의 PV어레이 출력량 및 인버터 출력량 분포도를 보여주고 있고 그림 5-3은 일별 PV시스템의 출력량 분포도를 보여주고 있다. 그림 5-2에서 분석기간 동안 지붕일체형 PV시스템의 PV어레이 및 인버터 일일 최대 출력전력량은 일사량이 최대인 2005년 5월 10일에 나타났고 그 출력량은 각각  $19.8\text{kWh}$ ,  $18.1\text{kWh}$ 라는 것을 알 수 있다. 그림 5-3에서는 실증용 PV시스템의 PV어레이 및 인버터 일일 최대 출력전력량도 같은 날 비슷한 값으로 각각  $19.8\text{kWh}$ ,  $17.4\text{kWh}$ 라는 것을 알 수 있다.

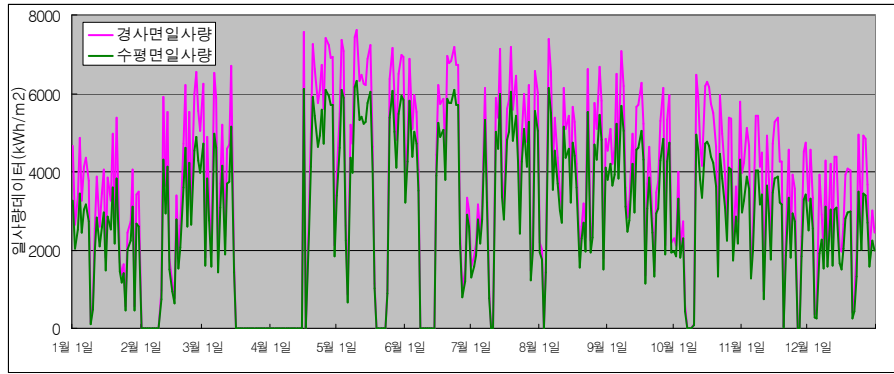


Fig.5-1 The output distribution map of daily solar radiation

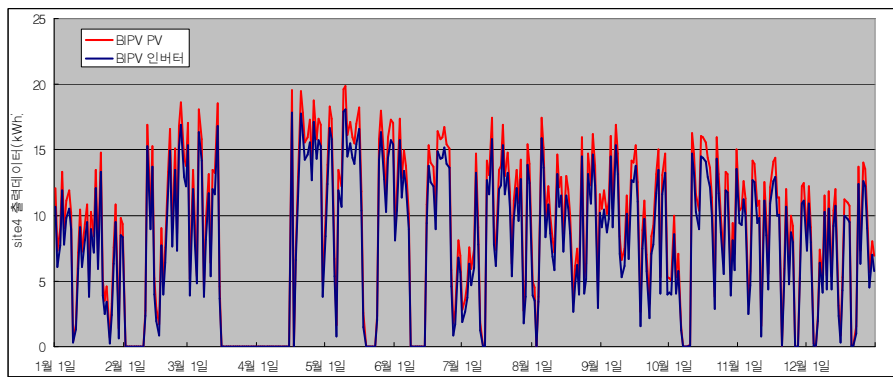


Fig. 5-2 The output distribution map of daily roof-integrated PV system power output

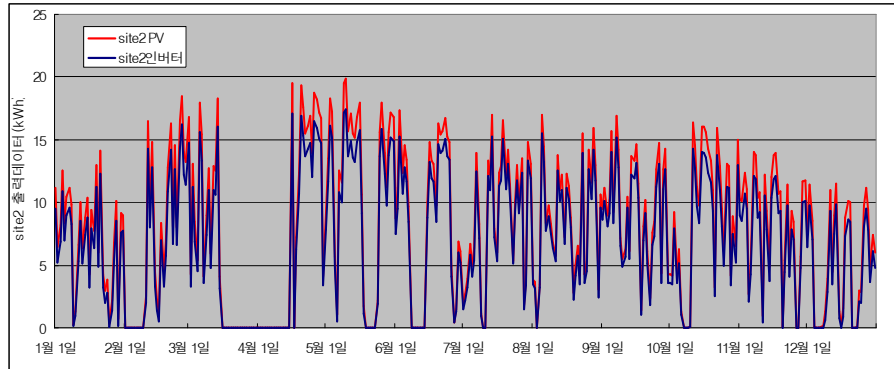


Fig. 5-3 The output distribution map of daily PV system power output

그림 5-4~그림 5-11은 월별 일사량 분포도 및 시스템 종합운전특성을 보여주고 있다. 그림 5-4는 월별 일사량 분포도를 보여주고 있다. 그림 5-4에서 5월에 최다 일사량  $143.2\text{kWh}/\text{m}^2$ 을 나타내고 있고 여름철에는 장마의 원인으로 일사량이 떨어짐을 알 수 있다. 그림 5-5는 지붕일체형 PV 시스템의 월별 PV어레이 출력전력량 및 인버터 출력전력량 분포도를 보여주고 있다. 그림 5-5에서 일사량의 분포와 비슷하며 역시 5월의 출력전력량이 제일 많으며  $359.7\text{kWh}$ ,  $321.5\text{kWh}$ 라는 것을 알 수 있다. 그림 5-6은 실증용 PV 시스템의 월별 PV어레이 출력전력량 및 인버터 출력전력량 분포도를 보여주고 있다. 그림 5-6에서 출력량 분포는 역시 일사량 분포와 비슷하면 5월의 출력 전력량이 제일 많으며  $349.5\text{kWh}$ ,  $304.8\text{kWh}$ 라는 것을 알 수 있다. 그림 5-7은 월별 및 연간 평균 PV 어레이 변환효율 분포도를 보여주고 있다. 그림 5-7에서 PV어레이 두 시스템의 변환효율은 비슷하게 나타나고 있고 여름철에 온도 상승으로 어레이변환효율이 떨어짐을 알 수 있다. 또한 12월에 어레이변환효율이 현저히 떨어지는 것은 폭설로 인한 적설이 원인으로 판단된다. 그림 5-8은 월별 및 연간 평균 인버터효율 분포도를 보여주고 있는데 85%에서 90%사이로 안정적으로 운전함을 알 수 있다. 그림 5-9~그림 5-10



은 월별 및 연간 평균 시스템 이용율, 시스템 발전효율, 시스템 성능비 분포도를 보여주고 있다. 그림에서 평균 시스템 이용율은 각각 10.54%, 9.67%이고 평균 시스템 발전효율은 각각 8.44%, 7.89%이며, 평균 시스템 성능비는 각각 76.01%, 71.09%라는 것을 알 수 있다. 시스템 성능비는 표준상태(STC)에서 손실요인을 고려하지 않은 PV시스템의 이상적인 발전성능과 실제 발전성능에 대한 비로 정의한다. 표 5-1은 분석기간 동안 지붕일체형 BIPV시스템과 실증용 PV 시스템의 연간 출력량 및 종합적인 운전특성을 나타내고 있다.

Table. 5-1 Yearly power output and overall operating characteristics

		출력량	어레이 변환효율	인버터 효율	시스템 성능비	시스템 이용율	시스템 발전효율
일사량	수평면	1,041kWh/m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-
	경사면	1,297kWh/m <sup>2</sup>					
BIPV	PV	3,103kWh	9.6%	87.6%	76.0%	10.5%	8.44%
	인버터	2,699kWh					
Site2	PV	2,852kWh	9.1%	86.8%	71.1%	9.7%	7.89%
	인버터	2,472kWh					

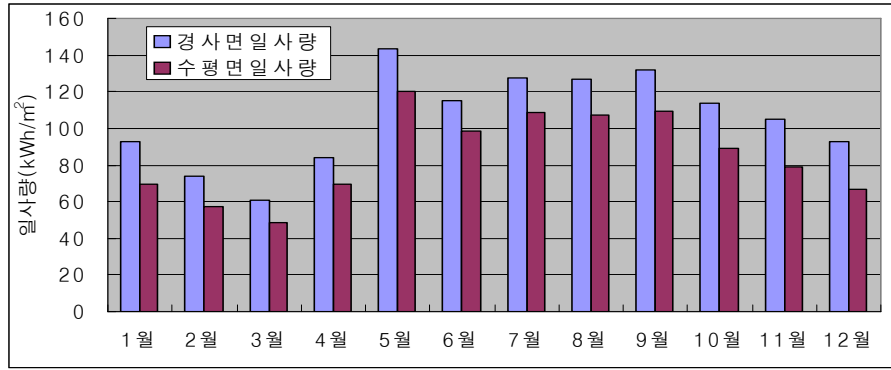


Fig. 5-4 Distribution map of monthly solar radiation

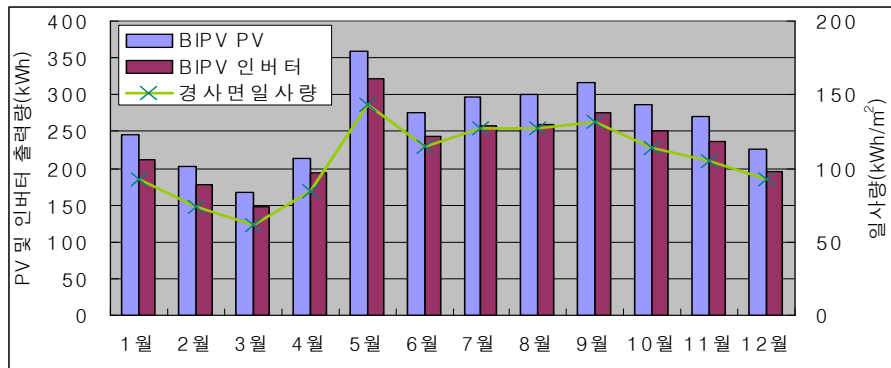


Fig. 5-5 Distribution map of monthly roof-integrated PV system power output

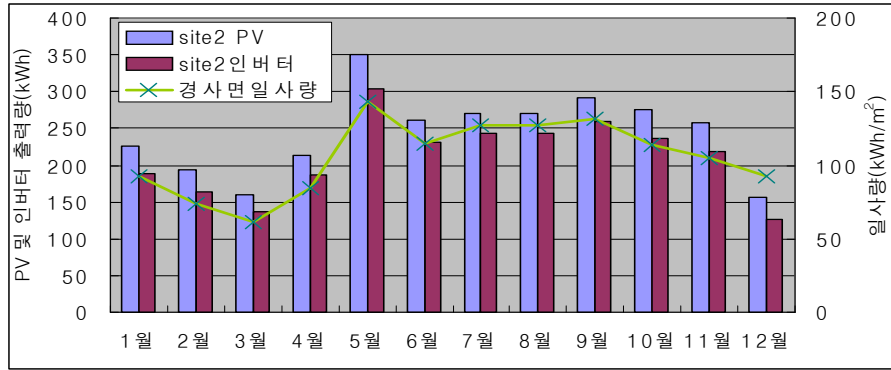


Fig. 5-6 Distribution map of monthly PV system power output

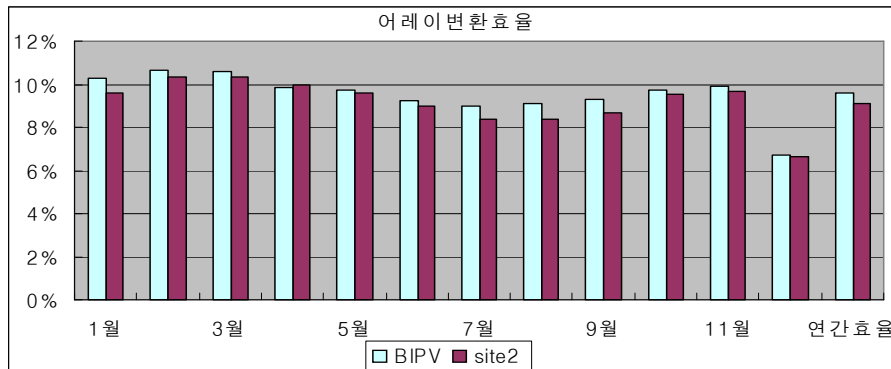


Fig. 5-7 Distribution map of monthly PV array conversion efficiency

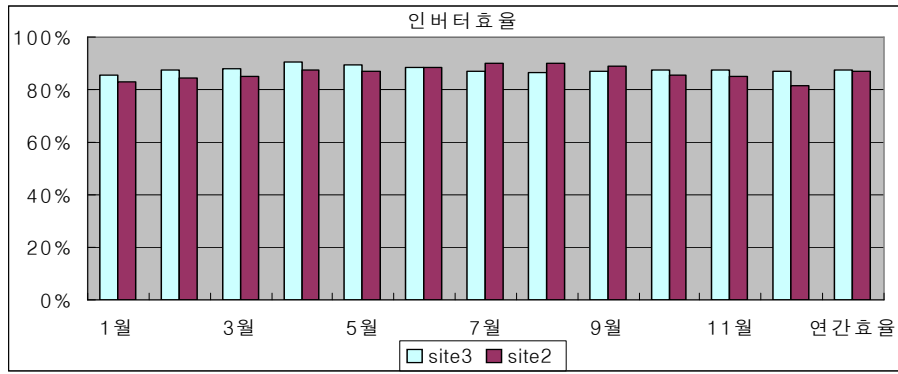


Fig. 5-8 Distribution map of monthly inverter efficiency

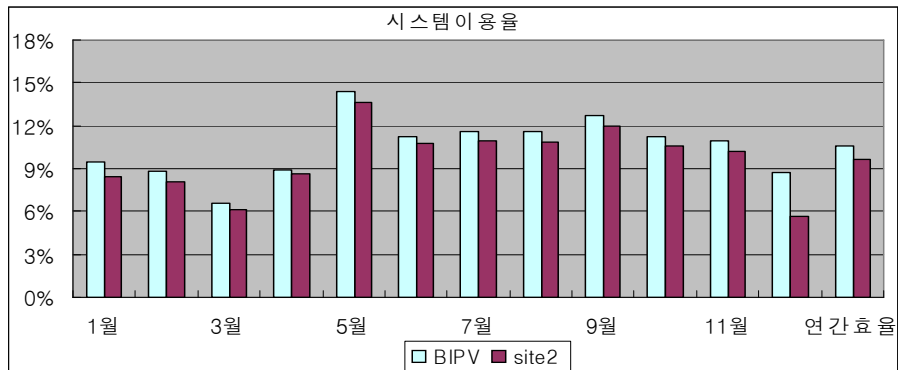


Fig. 5-9 Distribution map of monthly system utilization

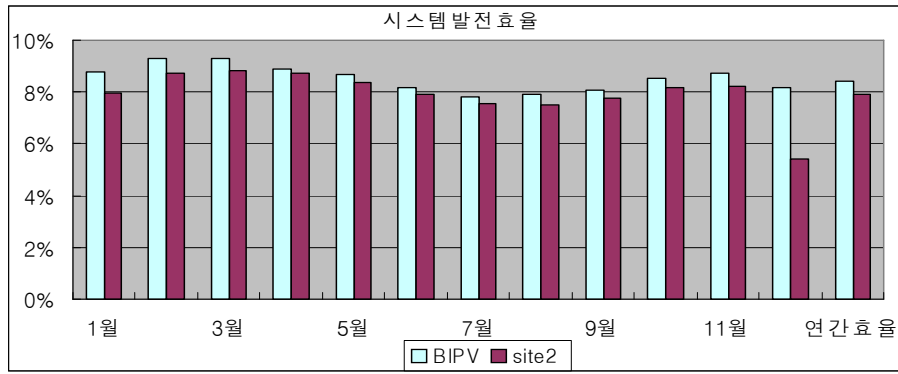


Fig. 5-10 Distribution map of monthly system generating efficiency

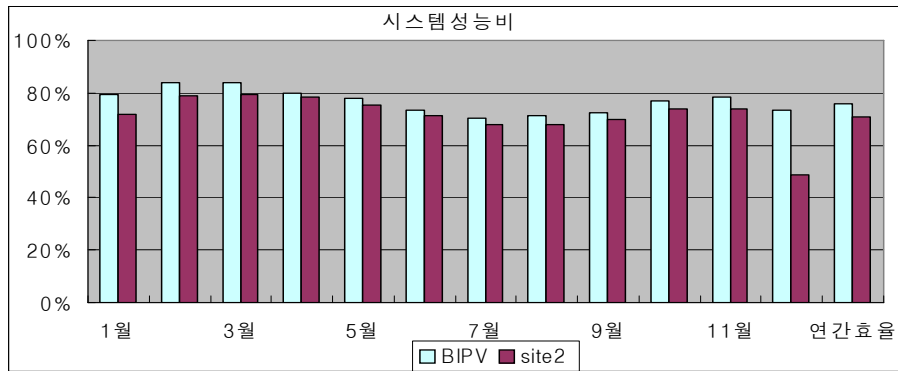


Fig. 5-11 Distribution map of monthly system performance rate

## VI. 결 론

본 논문에서는 지붕형상에 따른 3kW PV 시스템을 구성하여 경사지붕 방식으로 75Wp급 지붕형 태양전지 모듈 40장을 직병렬 연결된 시스템을 2005년 1년 동안의 모니터링을 통한 PV 시스템의 종합적인 운전특성을 분석하였다. 지붕형상에 따른 PV 시스템의 종합적인 운전특성을 분석평가하기 위하여 분석기간 동안 수집된 실증연구단지에 설치된 실증연구용 PV시스템의 운전데이터를 토대로 비교 분석하였다. 어레이 설치조건은 국내에 널리 보급되어 있는 일반 주택들의 지붕 경사각을 고려하여 18°로 하였고, 방위각은 발전효율이 가장 우수한 정남향으로 하였다

구성요소기기의 운전특성(태양전지 모듈, 인버터) 및 통합시스템의 운전특성(이용율, 발전효율, 손실요인) 등을 비교 분석하였으며 분석기간 동안 측정데이터의 오차를 최소화하여 태양광발전 시스템의 운전특성 분석 결과에 대한 신뢰성, 정확성을 확보하기 위해서 기상조건 계측기기 및 센서들에 대한 보정을 통해 측정오차를 최소화한 후 경사면일사량과, 수평면 일사량데이터를 측정하여 운전특성분석에 사용하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

2005년도 1년간의 발전성능을 분석한 결과 PV 어레이 총 발전전력량은 3.10MWh, 인버터 총 발전전력량은 2.70MWh이고 어레이변환효율은 9%~11% 이며 인버터 효율은 85%~90%에서 안정적으로 운전함을 알 수 있었다. 연간 시스템 이용율은 10.5%이며 발전효율은 8.44%이며 시스템 성능비는 76.0%임을 알 수 있었다.

아직까지 우리나라에서 적용되고 있는 태양전지의 어레이변환효율은 12%미만이고 인버터의 연간효율은 안정적이지만 81%로 80%대에 지나지 않으며 따라서 시스템 이용율은 11%미만이다.

태양전지의 효율을 높이기 위한 연구는 지금까지 많이 진행되어 왔으며, 그 연구의 일환으로 본 논문의 기본 자료로 제시하여 향후 지붕형태에 따른 태양광발전시스템의 효율과 특성분석에 대한 연구를 계속하고자 한다.

아울러 앞으로도 지속적으로 기술진전의 시대에 적합하게 설비보완이 유지되어야 할 것이라고 생각하고 있다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 구와노 유키노리 저, “태양전지란 무엇인가?” 아카데미서적, 1997
  
- [2] 산업자원부, “주택보급형 태양전지 양산기술 및 계통연계 3kW 태양광시스템 상용화 기술개발”, 2004
  
- [3] 유권종 외 1인, “태양광발전시스템의 보급기술 현황과 전망”, 한국태양에너지학회지, v.2 n.4, 2003.11
  
- [4] 소정훈 외 2인, “시뮬레이션에 의한 PV시스템 설치방식의 최적설계에 관한 연구”, 한국태양에너지학회논문집, v.23 n.3 2003.09
  
- [5] 이충국 외 2인, “태양광발전 시스템의 건물적용에 대한 인식조사 연구”, 한국태양에너지학회 논문집, v.23 n.1, 2003.3
  
- [6] Sick, F. and Erge, T., Eds, (1996), Photovoltaic in Buildings. Jame
  
- [7] A. L. Fahrenbruch and R. H. Bube, "Fundamental of Solar Cells", Academic Press, New York, 1983.
  
- [8] Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), May 20-24, 2002, New Orleans, LA, 2002
  
- [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] Max Fordham & Partners, "Photovoltaic in Buildings; A Design Guide", Report No ETSU S/P2/00282/REP, 1999
- [12] Geoff Walker "Evaluating MPPT converter Topologies using a Matlab PV Model", IEAust, Vol. 21, 2001, pp.49-56
- [13] The National Photovoltaic Program for 1996~200
- [14] Gwonjong Yu, Jinsoo Song, "Development of Power Converter for Photovoltaic System", Japan-Korea Joint Seminar on TECHNICAL DIGEST PHOTOVOLTAIC, pp. 247 ~ 254, 1995.
- [15] Maycock, "Photovoltaic Technology, Performance, Cost and Market forecast" ; 1975~2010
- [16] Trends in Photovoltaic Application, PVPS T1-10, 2001



## 감사의 글

부족한 저를 사랑해 주시고, 주의 자녀 삼아주신 하나님께 제일 먼저 감사와 영광을 드립니다.

먼저 이 논문이 완성되기까지 세심한 배려와 열정으로 지도해 주시고, 석사 학위과정동안 항상 모든 면에 있어서 부족한 저에게 지도를 해주신 지도교수님이신 조금배교수님과 백형래교수님께 감사의 마음을 전합니다. 그리고 바쁘신 와중에도 많은 도움과 격려를 아끼지 않으신 이상일, 정수복, 오금곤, 이우선, 최효상 전기공학과 교수님 모든 분들에게 감사드립니다.

그리고 만든 조연과 격려를 해 주신 전력전자회 연구회 선배님 모든 분들께 감사드리며, 실험실에서 2년여 동안 동고동락을 같이 한 최연욱, 이강연, 정병호, 박정민, 박정국 선배님과 변문걸, 정남인 후배님에게도 고마움을 전합니다.

물성실험실의 최권우, 고필수 선배와 전영길, 정판검 후배님과 전력계통실험실의 박형민 선배님과 석사동기이기도 한 조용선, 남궁현, 이나영에게도 고마움을 전합니다.

항상 신앙적으로 지도해 주시고, 기도해 주신 광주성일교회 김광혁 목사님과 부목사님이신 온재곤목사님께도 진심으로 고마움을 전합니다. 아울러 고등부 지도하신 홍영희전도사님과 윤신이 부장 집사님과 여러 교사 집사님들께도 감사의 마음을 전합니다.

그리고, 올해 11월 11일 결혼식을 한 고교, 대학교 선배이기도 한 임석일 간사님께도 늦었지만 결혼을 축하하며, 늘 변함없는 관심과 기도에 감사함을 표합니다. 또 청년부에서 항상 부족한 나를 친형처럼 잘 따라준 민철, 진강, 항진, 태진이와 능통한 대한민국 육군 중위로 수고하는 상현이 그리고 늘 격려와 여러 도움을 준 미선, 수희, 승희, 성희, 세연 그리고 청년부 3반 담임선생님이신 강정님 원사님과 새싹반이신 김서경집사님과 엘더로 늘 수고하는 영심이에게도 말은 못했지만 고마움을 전합니다.

또, 저에게 소중한 대학교 동기이자 친구인 성진이, 현일이에게도 늘 미안함과 동시에 고마움을 느낍니다.

마지막으로 저를 낳아주시고 뒷바라지 해 주신 사랑하는 부모님과 여동생 지인이에게 은혜를 이 작은 결실로나마 보답하고자 하며 항상 건강하길 주님의 이름으로 기도합니다.

여러분 모두 사랑합니다.

2006년 겨울,

김 지 훈 올림