

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 24, No. 4, 2004

독립형 태양광 조명 시스템의 설계 및 성능 평가 연구

권오상*, 서유진*, 허창수*

*인하대학교 대학원 전기공학과(ast111@korea.com)

A study on the design and performance of a stand-alone photovoltaic lighting system

Kwon, Oh-Sang*, Seo, Yu-Jin*, Huh, Chang-Su*

*Dept. of Electrical Engineering, Graduate School, Inha University(ast111@korea.com)

Abstract

In view of global environmental problems and resource exhaustion, we must develop new energy resources that are abundant and provide substitutes for fossil fuels. Renewable energies, such as solar, are ideal because they are clean, inexhaustible, and available everywhere in the world. Photovoltaic(PV) system, in general, are operated as a stand-alone, grid-tied, or hybrid system. Many of the stand-alone PV systems are installed. Although the pre-installation cost of PV system is high, it poorly has been operated due to the absence of optimal management standards. Therefore a study on the performance of PV system is important for the system design and maintenance. In this paper a photovoltaic lighting system was designed according to load consumption. Then a PV lighting system which used electrodeless lamp as a load was installed. In order to investigate the system operating characteristics we've added a monitoring system to the PV lighting system. The monitoring system using the LabVIEW program regularly checks the operation of the PV lighting system and records the system data. According to the system data, the stability and availability of the PV lighting system were evaluated.

Keywords : 독립형 태양광발전 시스템(Stand-alone photovoltaic system), 성능계수(Performance ratio), 시스템 발전효율(PV system efficiency), 부하 사용율

1. 서 론

최근 지구환경문제와 화석에너지의 고갈, 원자력 발전의 폐기물처리 및 신규 발전소 건설에 따른 위치선정 등의 문제로 인하여 신·재생에너지에 대한 관심이 고조되고 있다. 세계 10위 에너지 소비, 세계 6위 석유 소비국인 우리나라는 해외 에너지 의존도가 97%이상인 실정이므로 신·재생에너지에 대한 개발 및 보급에 노력을 경주해야 한다. 지구 온난화를 방지하기 위한 범세계적 핵심지표인 '기후 변화협약'에 따라 이산화탄소를 비롯한 온실가스의 무감축은 미래 경제 발전과 국가 이익에 커다란 장애요소로써 작용하게 될 것으로 판단된다. 이러한 여건 하에서 21세기 경쟁력을 갖춘 선진국으로 도약하기 위해서는 환경오염과 자원 한계성의 문제를 안고 있는 화석연료를 대체할 수 있는 신·재생에너지 이용 시스템으로의 전환이 가장 필수적인 요소이며, 이미 일부 선진국에서는 차세대 신·재생에너지원으로써 가장 유력시되는 태양광 발전에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

태양광발전시스템은 여러 가지 신·재생에너지 기술 중에서 가장 큰 관심을 끌고 있다. 현재까지 태양광 발전(Photovoltaic : PV)기술을 실용화하기에는 타 발전 설비에 비해 높은 발전단가가 가장 큰 단점으로 지적되어 왔으나, 지난 수십년간의 태양전지의 변환효율 향상과 PV시장의 고도성장에 따른 대량생산체제 및 각 국의 설치 보조금 제도에 의해 설치 단가가 큰 폭으로 하락하고 있는 추세이다. 하지만 국내의 경우 연구 인력과 시설이 부족하고 표준화 작업이 미흡하여 개발 기술의 보급 및 제품 상용화에 어려움을 겪고 있다. 따라서 미래 에너지안보 및 외부 환경변화에 맞추어 우리나라도 에너지 자립을 위해 태양광 발전 기술에 대한 연구와 보급 확대가 필요하다.

독립형 태양광 발전 설비는 태양전지 측에서 발전된 전력을 부하에 이용하며 축전지에 저장시키는 동작 방식을 나타낸다. 따라서 태양전지와 축

전지의 용량을 부하량에 따라 최적화 시키는 과정이 필수적이며 이를 위해서 태양광 발전 설비가 설치될 장소의 기상데이터에 대한 세부적인 지식이 필요하다. 또한 설치시스템에 대한 성능평가는 새로운 시스템 설계에 기초 자료로써 활용되어 신뢰성 향상에 기여하게 된다. 현재까지의 태양광 발전시스템 성능평가는 계통연계형 위주의 중대형 시스템에 대하여 발표되어지고 있고 평가 방법도 각 구성품의 효율에 초점이 맞추어져 있었다. 따라서 응용 범위가 폭넓은 소형 독립형 태양광 발전시스템을 연구대상으로 하여 발전효율, Performance ratio, 부하이용율을 이용하여 시스템의 성능을 종합적으로 검토하였다.

본 논문에서는 무전극 램프를 부하로 사용하는 독립형 태양광 조명 설비를 설계하여 인천지역에 설치하고 기상 조건에 따른 동작 특성을 분석하였다.

2. 태양광 시스템의 발전에 영향을 주는 요소들

2.1 태양광 모듈의 설치

일반적으로 PV(Photovoltaic)모듈의 설치법은 옥상설치법, 외벽설치법으로 나뉘어진다. 그 가운데 현재 가장 많이 설치된 경우는 옥상설치법이다. 옥상에 설치되는 PV시스템은 건물의 외형에 큰 영향을 미치지 않고 넓은 면적이 그림자의 방해도 받지 않는다. 하지만 모듈 사이 그림자에 의해 변환효율이 낮아지는 경우가 있으므로 주의하여 설치하여야 한다.⁽¹⁾

국내의 PV모듈 설치의 최적 조건은 수평면에 대한 30°의 설치각도로 정남 방향으로 설치하는 것이다. 설치각도는 지방 마다 조금씩 다른데 설치지역의 경사면 일사량을 참고하여 년 간 발전전력이 최대가 되는 각도를 선정한다. 독립형 태양광발전 시스템의 경우 배터리 충방전 특성으로 인해 겨울철의 일사량과 일조시간을 고려하여 설치각도를 선정해야 한다. 그렇지 않을 경우, 겨울철

저 일사량으로 인해 부족충전이 지속되고 결국 부하가 차단되어 제 기능을 발휘하지 못하게 된다.

2.2 일사량

태양광발전 시스템 설계에 있어서 일사량은 가장 중요한 요소이다. 발전전력은 일사량에 비례하므로 입지선정 및 시스템 규모에 많은 영향을 준다. 표 1은 한국에너지기술연구원에서 우리나라 주요 20개 지역에서 측정된 수평면 전일사량을 연 평균치로 계산한 값이다.⁽²⁾

우리나라의 계절별 수평면 일사량의 조건을 1년을 기준으로 분석하여 보면 표1에서 보는바와 같이 일사조건이 가장 좋은 계절은 봄과 여름철로 나타났으며, 연평균 일사량보다도 각각 24%, 21% 높게 나타났다. 반면에 가을철과 겨울철의 일사조건은 각각 13%, 33%정도 상대적으로 낮게 나타나 연 평균치에도 훨씬 못 미치는 낮은 수준인 것으로 밝혀졌다.

2.3 대기청명도

대기 청명도는 태양광 발전시스템 구축에 있어서 중요한 자료로서 발전효율이 높은 지역을 선정

하는 기준자료가 된다. 대기청명도란 햇빛의 양이 대기권을 통과하면서 얼마나 남아있는지를 측정하는 수치로 100에 가까울수록 대기상태가 깨끗하다는 것을 의미한다. 표 2는 한국에너지기술연구원에서 1999.1~ 2000.12 기간동안 측정된 2년간의 자료를 분석하여 전국 주요 15개 도시의 대기 청명도를 산출한 값이다.⁽³⁾

표 2. 전국 주요지역의 연평균 대기 청명도 (%)

도시	HP평균	전년	도시	HP평균	전년
춘천	71.1	72.3	대구	63.2	65.7
강릉	70.6	70.9	전주	67.1	67.4
서울	65.7	66.7	광주	68.6	70.0
원주	72.1	73.6	부산	62.0	63.6
서산	72.0	71.4	목포	76.1	76.4
청주	68.1	68.4	제주	67.4	68.3
대전	75.2	75.5	진주	75.0	74.5
포항	74.2	75.2	평균	69.9	70.6

* HP : 난방기간(Heating Period, 10월~3월)

표 1. 우리나라 주요지역의 월별 1일 평균 수평면

(1982~2001) (단위:kWh/m²·day)

지역	월 별												평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
춘천	2.04	2.8	3.59	4.56	4.93	4.84	4.05	4.25	3.74	2.88	1.99	1.71	3.45
강릉	2.33	2.95	3.6	4.59	4.98	4.44	4.08	3.83	3.61	3.1	2.31	2.08	3.49
서울	1.97	2.73	3.41	4.33	4.59	4.3	3.32	3.57	3.54	2.95	2.01	1.66	3.2
원주	2.07	2.81	3.5	4.51	4.88	4.72	3.97	4.21	3.78	3.1	2.13	1.8	3.46
서산	2.26	3.07	3.86	4.83	5.29	5.03	4.12	4.42	4.09	3.38	2.25	1.93	3.71
청주	2.17	2.95	3.59	4.61	5.04	4.72	4.14	4.21	3.84	3.22	2.21	1.87	3.55
대전	2.24	3.03	3.79	4.79	4.97	4.56	4.23	4.35	3.82	3.3	2.33	2	3.62
포항	2.41	3.01	3.63	4.66	5.51	4.58	4.11	4.12	3.55	3.19	2.5	2.25	3.59
대구	2.28	2.94	3.73	4.64	4.97	4.56	4.09	3.99	3.55	3.22	2.36	2.09	3.53
전주	2.06	2.72	3.43	4.48	4.77	4.41	3.94	4	3.65	3.18	2.16	1.81	3.39
광주	2.28	3.01	3.76	4.73	5.05	4.52	4.19	4.36	3.97	3.47	2.42	2.01	3.65
부산	2.5	3.15	3.68	4.52	4.92	4.47	4.26	4.37	3.6	3.38	2.63	2.31	3.65
목포	2.31	3.07	3.95	5	5.36	4.86	4.56	4.94	4.19	3.67	2.56	2.04	3.88
제주	1.42	2.24	3.18	4.41	4.99	4.58	4.92	4.51	3.71	3.24	2.18	1.51	3.41
진주	2.73	3.41	4.03	4.87	5.15	4.56	4.38	4.39	3.88	3.58	2.75	2.47	3.85
영주	2.33	3.02	3.85	4.86	5.28	4.82	4.21	4.27	3.96	3.3	2.38	2.09	3.7

해안지역에 가까운 도시와 산간지역 도시가 깨끗한 대기상태를 유지하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 대도시와 공업단지가 들어선 도시들은 오염이 심해 청명도가 매우 낮은 것으로 조사됐다.

2.4 일조시간

일조시간이란 해가 구름이나 안개 따위에 가리지 않고 햇빛을 지상에 비추는 시간을 의미한다. 일조시간으로 일사량도 추정할 수 있으며 낮 동안에 구름이 어느 정도 끼었는지도 나타낼 수 있다. 표 3은 기상청에서 발행한 “기상년·월보”로부터 태양광 조명설비의 설치지역인 인천지역의 월별 일평균 일조 시간을 나타낸 것이다.

계절에 따른 일조시간의 특성을 보면 봄과 가을의 일조시간이 연평균 이상이었으며, 겨울 및 여름의 경우는 강우와 강설의 영향으로 일조시간이 짧게 조사됐다.

표 3. 인천지역의 월별 일평균 일조시간 (1971~2000) (hours/day)

	일조시간		일조시간
1월	5.6	7월	5.3
2월	6.3	8월	6.2
3월	6.7	9월	6.8
4월	7.3	10월	6.7
5월	7.7	11월	5.5
6월	6.8	12월	5.3
연평균	6.4		

3. 태양광 조명 시스템의 설계 및 구현

3.1 환경조건 및 최적 경사각 선정

본 연구에서 설치를 고려하는 태양광 발전설비는 독립형(Stand-alone) 태양광 발전 설비이며, 태양전지 모듈의 설치 방식은 지지대에 태양전지 모듈을 고정시키는 고정형 어레이(Fixed Array) 방식으로 하였다. 따라서 고정형 어레이 방식의 경우 경사각에 따라 월별로 일사량이 변화하므로 연간 최대의 일사량을 받을 수 있는 어레이 경사각을 결정해야 한다. 또한 앞에서 언급했듯이 장마철이나 겨울철의 저일사량을 고려하여 경사각을 산출해야만 악화된 기상 조건하에서도 시스템의 기능을 유지할 수 있다. 태양고도가 높은 하절기에는 경사면의 경사각이 높아질수록 일사량은 감소하게 되고 태양고도가 낮아지는 동절기에는 경사각이 큰 50~70° 부근에서 최대 일사량을 나타낸다. 계통연계형 태양광 발전설비의 경우 연간 최대 일사량을 기준으로 하므로 일반적으로 독립형에 비해 경사각이 작다.

최적 경사각을 결정하기 위해서는 해당 설치지역의 경사각 변화에 따른 월별 및 연간 일사량 데이터가 있어야 한다. 수평면 일사량의 경우 30년 이상의 데이터를 기상청에서 제공하지만 경사면 일사량의 경우는 데이터를 제공하지 않는다. 관련 업체 및 연구소에서 측정한 몇몇 특정지역의 경사

면 일사량 데이터가 보고 되고 있는 실정이며 그 역시 단기간의 측정데이터이므로 경년변화등의 분석을 할 수 없다. 본 연구에서는 수평면 일사량을 이용하여 최적 경사각을 추정할 수 있는 Roberts의 방법⁽⁴⁾을 이용하였다. 각 경사각에 따른 tilt factor를 수평면 일사량에 적용하고 이로써 산출된 Peak-hour/day 수치를 비교하여 경사각을 산정한다. 그림 1은 위 방법을 이용하여 산출한 인천지역의 월별 Peak-hour/day 그래프이다.

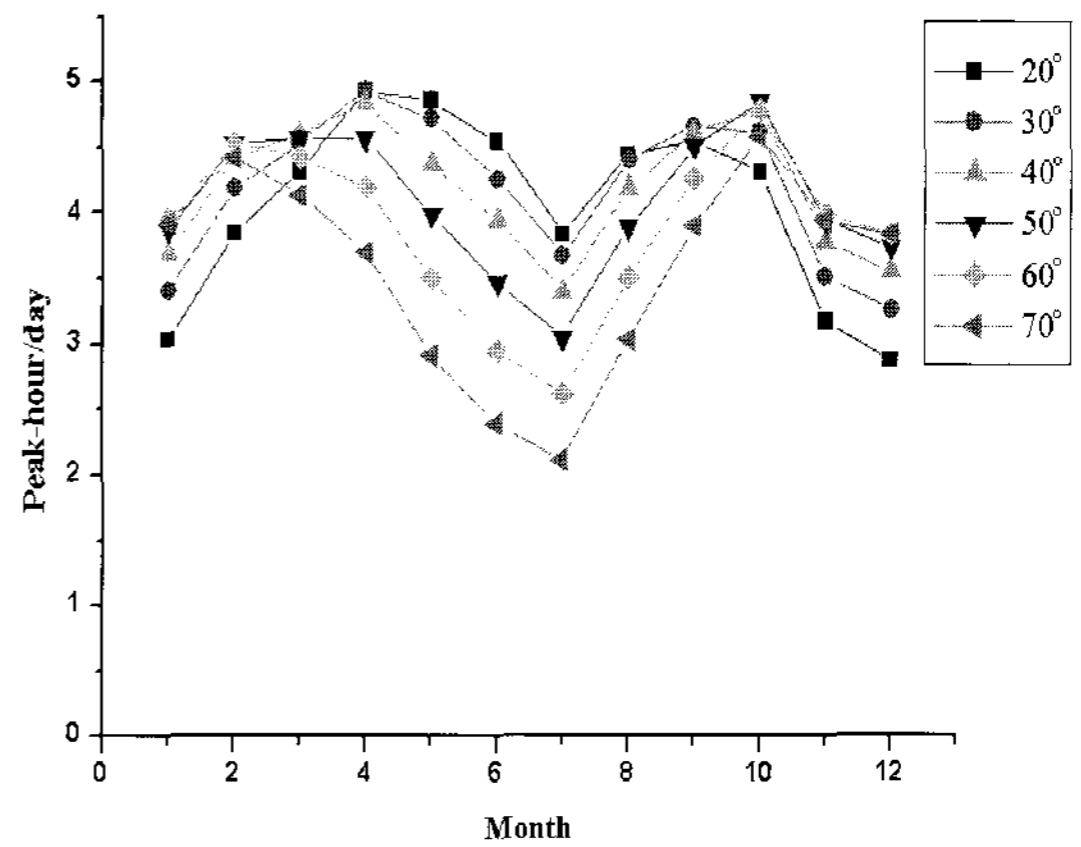


그림 1. 인천지역의 월별 Peak-hour/day

40°~50° 경사각일 때 연간 총 일사량이 많으며 장마철 및 겨울철 일사조건도 양호하게 나타났다. 겨울철 저일사량을 고려하여 경사각도를 50°로 결정하였다.

태양전지 용량산출을 위한 경사면 일사량은 평균 수치인 3.8(kWh/m²)을 적용하였다.

3.2 부하 선정 및 부하 예측

독립형 태양광 발전설비는 최소한의 유지 보수를 필요로 하며 시스템의 수명이 길고 반면에 일사량에 따른 한정된 전력을 이용해야하는 동작 특성을 가지고 있다. 따라서 부하로써 사용되는 램프는 자체 소비전력이 적은 에너지 절약형의 고효율이어야 하고 수명이 길어야 한다. 이러한 이유

로 인해 수명 및 광속 특성이 우수한 55[W] 무전극 램프를 옥외용 독립형 태양광 조명 설비에 적용하였다. 무전극 램프는 다른 방전등과는 달리 전극의 열화가 없어 수명이 60,000시간에 달하며 고주파동작으로 인해 고효율이다. 또한 기동특성이 우수하고 연색성 지수가 높아 신광원으로써 주목을 받고 있다.

옥외용 조명설비의 부하 운영 패턴은 시스템 설계 목적에 따라 고정형 혹은 가변형으로 나뉘어진다. 일정시간 동안만 램프가 동작하는 고정형의 경우 태양전지 모듈 및 납축전지의 용량 산정이 쉽지만, 조건에 따라 부하량이 변하는 가변형의 경우 시스템 설계자의 경험 및 지식이 없다면 과설계 및 부족설계에 의해 시스템의 효율저하 및 기능 마비를 초래할 수 있다.

본 설계 시스템에서는 규모의 증가를 방지하고 부하 제어의 편리성을 제고하여 고정부하 방식을 채택하고 부하동작 시간을 하루 7시간으로 산정하였다. 부하동작은 타이머를 이용하여 제어하였다.

3.3 태양전지 및 축전지의 용량 산정

독립형 태양광 발전설비에 적용하기 위해 요구되는 태양전지 용량은 식(1)을 이용하여 결정하였다.⁽⁵⁾

$$\text{태양전지용량 [Wp]} = \frac{\text{일부하사용량 [Wh/day]}}{\frac{\text{경사면일사량 [kWh/m}^2\text{]} \times \text{시스템효율}}{1\text{kW}}} \dots\dots\dots (1)$$

일부하사용량은 부하동작 시간이 7시간이므로 385[Wh/day]이고 시스템 효율은 일반적으로 적용되는 50%로 예상하였다. 식(1)을 적용시켜 산출한 태양전지 용량은 202.63[Wp]이므로 최대 출력이 53[Wp]인 단결정 태양전지모듈 4장을 사용하기로 하였다.

독립형 태양광 발전설비에서 주간에 발전된 전력은 축전지에 저장되고 부하의 요청이 있는 경우

축전지로부터 에너지가 방출된다. 따라서 부하를 구동하기 위한 실질적인 에너지원은 축전지이다. 축전지는 독립형 태양광 발전설비의 구성 요소 중 가장 취약한 구성품이다. 다른 요소들에 비해 수명이 짧고 관리가 어려워, 태양광발전 적용 축전지에 대한 최적 관리 및 동작 특성, 성능 향상에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.⁽⁶⁾⁽⁷⁾ 안정적인 부하운영을 위해서는 용량 산정시 반드시 부조일을 고려해서 설계해야 한다. 부조일을 많이 산정할수록 시스템 신뢰성은 높아지지만 설치비용이 증가하므로 신중히 고려해야한다. 본 설계에서는 부조일을 4일로 채택하고 축전지 충방전 효율 및 방전심도를 각각 0.85와 0.5로하여 식(2)를 이용하여 계산하였다. 축전지 용량은 3623.53[Wh]로 산출되므로 12[V]×200[Ah] 납축전지 2개를 병렬로 연결시키는 방식으로 시스템을 설계하였다.

$$\text{축전지용량 [Wh]} = \frac{\text{일일부하사용량 [Wh]} \times \text{부조일}}{\text{축전지충방전효율} \times \text{방전심도}} \dots\dots\dots (2)$$

3.4 전력 변환 장치

충전조절기(Charge controller)는 태양전지 어레이에서 축전지로 흐르는 전력과 축전지에서 부하로 흐르는 전력을 제어함으로써 전력의 역류를 방지하고 과충전과 과방전으로부터 축전지를 보호하는 역할을 한다. 또한 어레이 출력 전력의 최대 전력점(Maximum power point)을 추종하여 항상 최대 전력이 축전지에 충전될 수 있도록 해야 한다.

3.5 시스템 모니터링

태양광 조명 시스템의 동작특성을 알아보기 위해 컴퓨터 기반의 LabVIEW Graphic Program Language를 이용해 실시간으로 전기적인 요소들을 측정하였다.

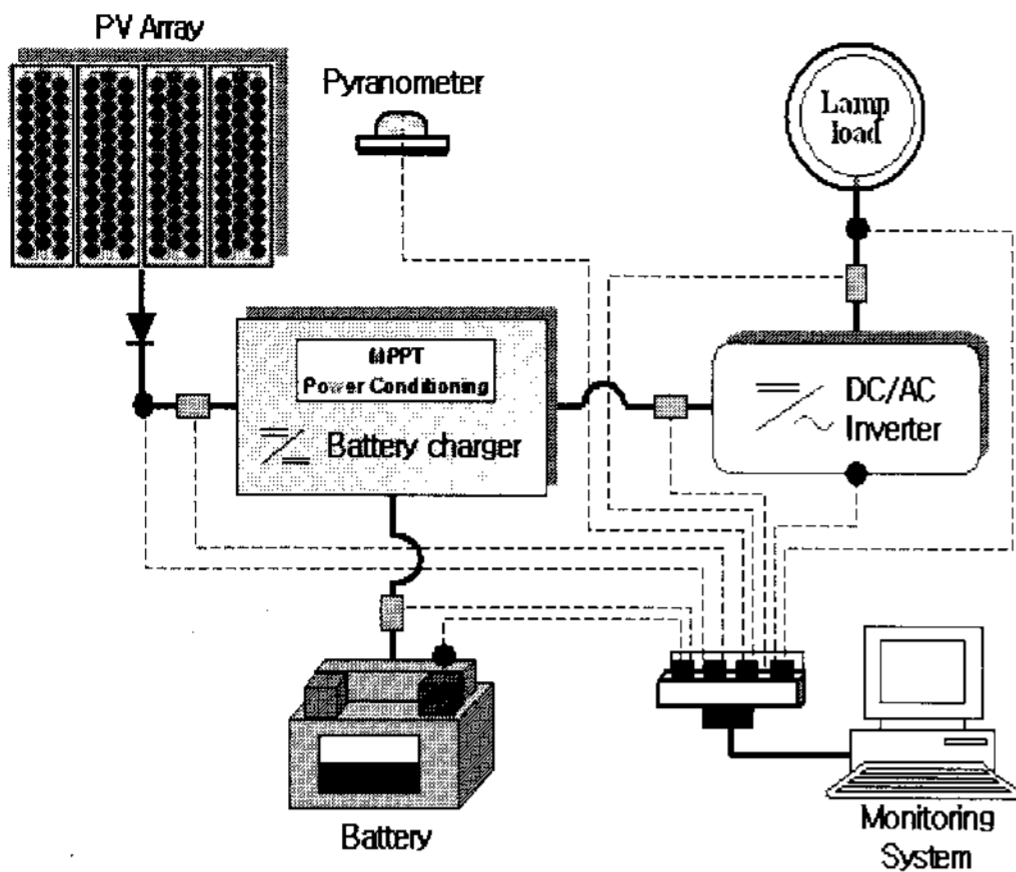


그림 2. 태양광 조명 시스템 구성

표 4. 구성요소 제원

구성요소	제 원
태양전지	정격최대출력 : 53[Wp] Vmax : 17.62[V] Imax : 3.07[A] Fill Factor : 0.73 변환효율 : 14.6%
컨트롤러	Rated PV current : 30[A] Rated Load current : 30[A] System Voltage : 12/24[V]
인버터	정격용량 : 300[W] 정격입력 : DC 12[V] 정격출력 : AC 220[V] 효율 : 12[V] 83%
납축전지	공칭전압 12[V] 용량 : 200[Ah] 특징 : 완전밀폐형의 가스 재결합식
무전극 램프	정격입력 전력 : 55[W] 정격입력 전압 : 220[V] 정격입력 주파수 : 60[Hz]

측정 아날로그 신호들은 Transducer를 통해 Data Aquisition Board에 연결되고 A/D 변환 과정을 거쳐 디지털 신호가 된다. 디지털 신호는 LabVIEW 연산 프로그래밍에 의해 시스템 Data가 된다. 또한 LabVIEW의 그래픽 인터페이스를 이용하여 측정 데이터를 실시간으로 모니터링하고

저장한다. 각 전기적 요소들의 측정 간격은 1분이며 주기적으로 모니터링 데이터와 실측값들을 비교하여 측정 오차를 $\pm 5\%$ 이하로 하였다.

4. 태양광 조명 시스템의 특성 분석

4.1 동작 특성

그림 3은 초여름 맑은 날(17.98MJ/m^2)과 흐린 날(4.391MJ/m^2)의 일반적인 모듈 출력전압의 변동양상을 나타낸 것이다. 오전5시부터 전압이 상승하기 시작하여 오후8시까지 출력전압을 내고 있다. 맑은 날의 한낮에는 모듈의 최대동작전압(17.62V)에 근접한 출력을 내고 있다.

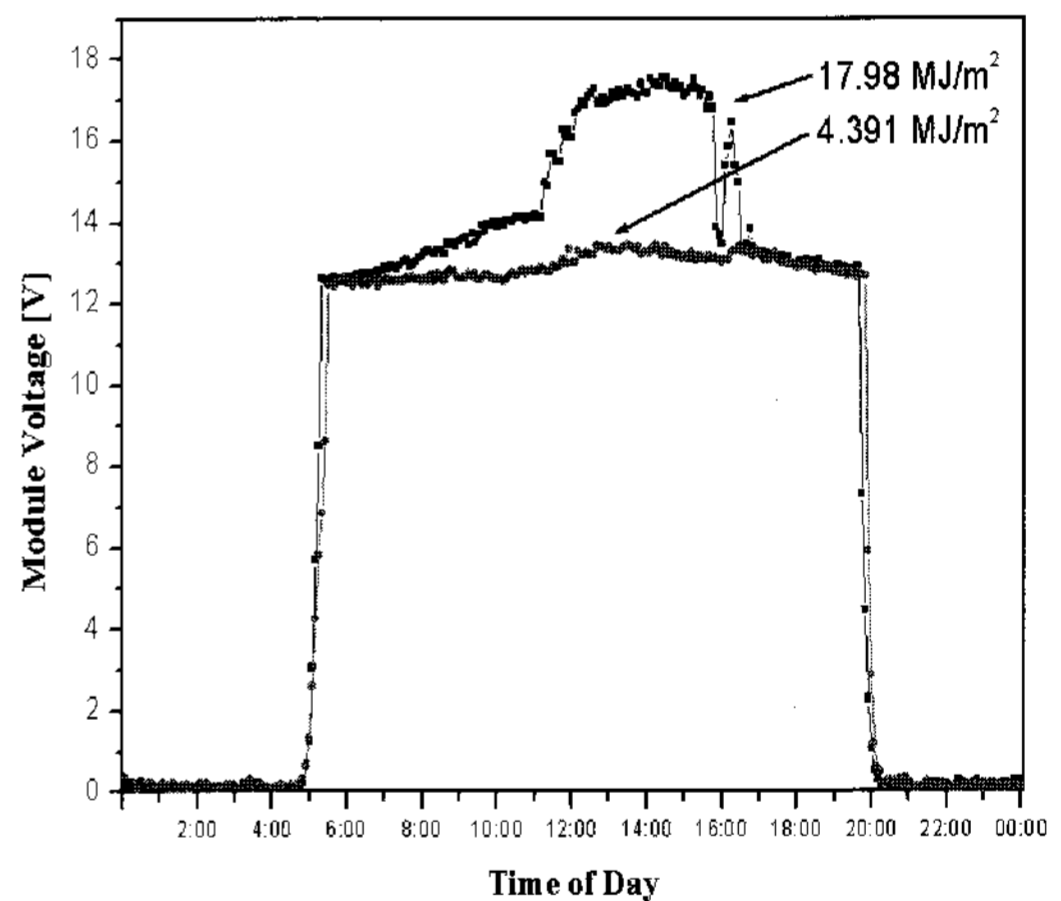


그림 3. 모듈 출력전압 변동

그림 4는 초여름 맑은 날(17.98MJ/m^2)과 흐린 날(4.391MJ/m^2)의 일반적인 모듈 출력전류의 변동을 나타내고 있다. 해가 뜬 후 일사량이 증가함에 따라 비례적으로 출력 전류가 증가함을 알 수 있다. 모듈 출력전류의 경우 변동폭이 출력 전압에 비해 큰 것을 알 수 있는데 이는 수시로 변동하는 일사량에 대해서 출력전류가 출력전압에 비해 영향을 더 많이 받기 때문이다.

그림 5는 오전 00:00부터 오후 11:59까지의

부하전류의 변동을 나타낸 것이다. 무전극 램프의 점등이 오후 8:00부터 시작되므로 그 때를 기준으로 부하전류가 증가하고 소등 시점인 오전 3:00에 부하전류가 다시 감소하였다. 점등 초기에 전류가 4.9A까지 상승한 후 4.7A에서 안정화 되었으며 안정 상태로 유지되는 시간은 평균 30분 정도로 측정되었다. 소등 후에도 약 0.5A 정도의 전류가 지속적으로 소비되고 있는데 이는 램프의 동작을 제어하는 타이머의 소비전력과 인버터 손실전력에 기인한 것이다.

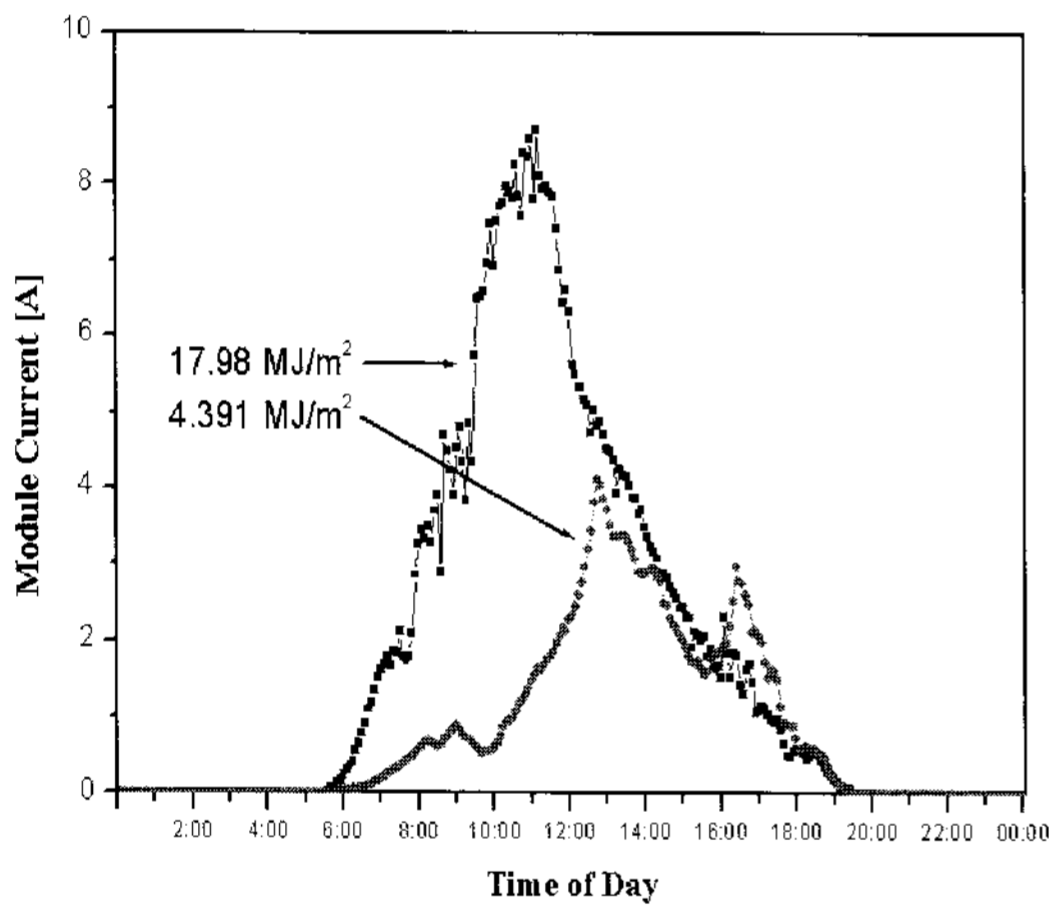


그림 4. 모듈 출력전류 변동

그림 6은 하루 동안의 배터리 전압의 변동을 나타낸 것이다. 조명 부하가 사용 중인 시간에는 배터리 전압이 다소 낮아지다가 충전이 시작되면서 다시 상승하기 시작했다. 컨트롤러에 의해 충방전이 조절되므로 배터리 전압이 정격 사용 전압 근처에서 잘 유지되고 있는 상태로 미루어 컨트롤러 역시 잘 작동되고 있음을 알 수 있다. 배터리의 경우 시스템에서 수명이 제일 짧고 장기적 관점에서 유지비의 비율이 가장 큰 품목이므로 최적의 관리가 시스템의 경제성을 위해서 가장 중요한 요소가 된다.

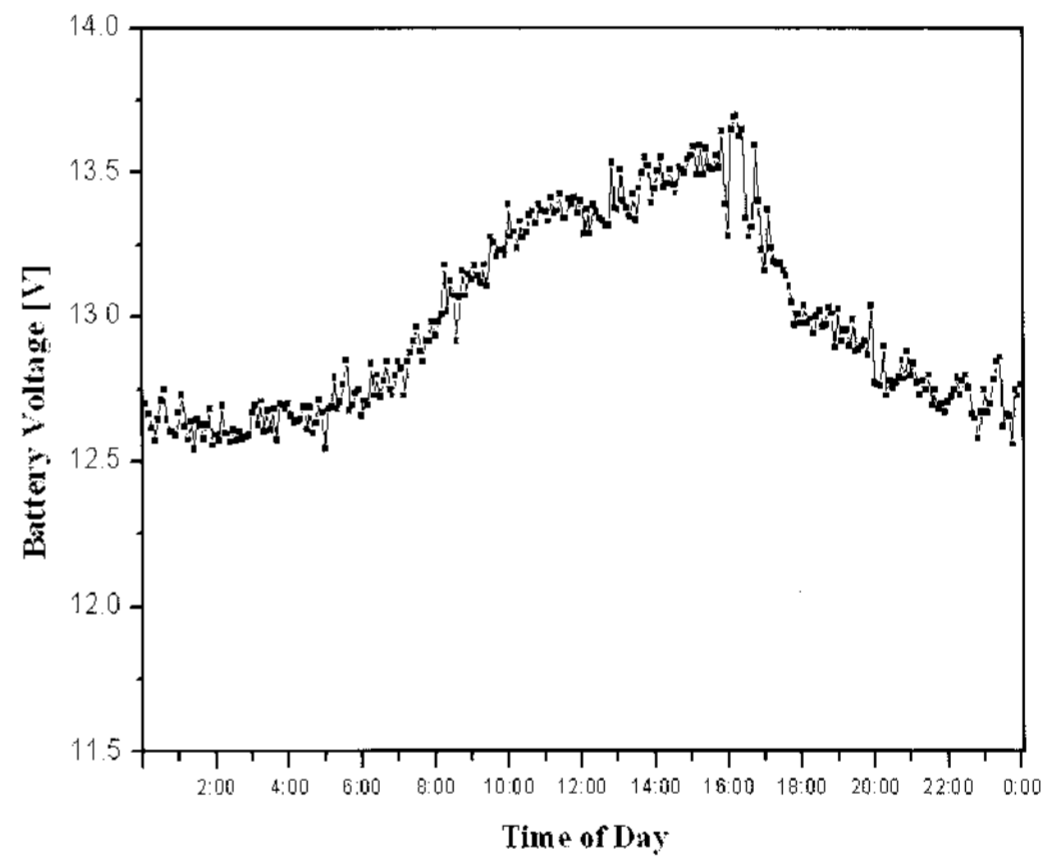


그림 6. 납축전지 전압

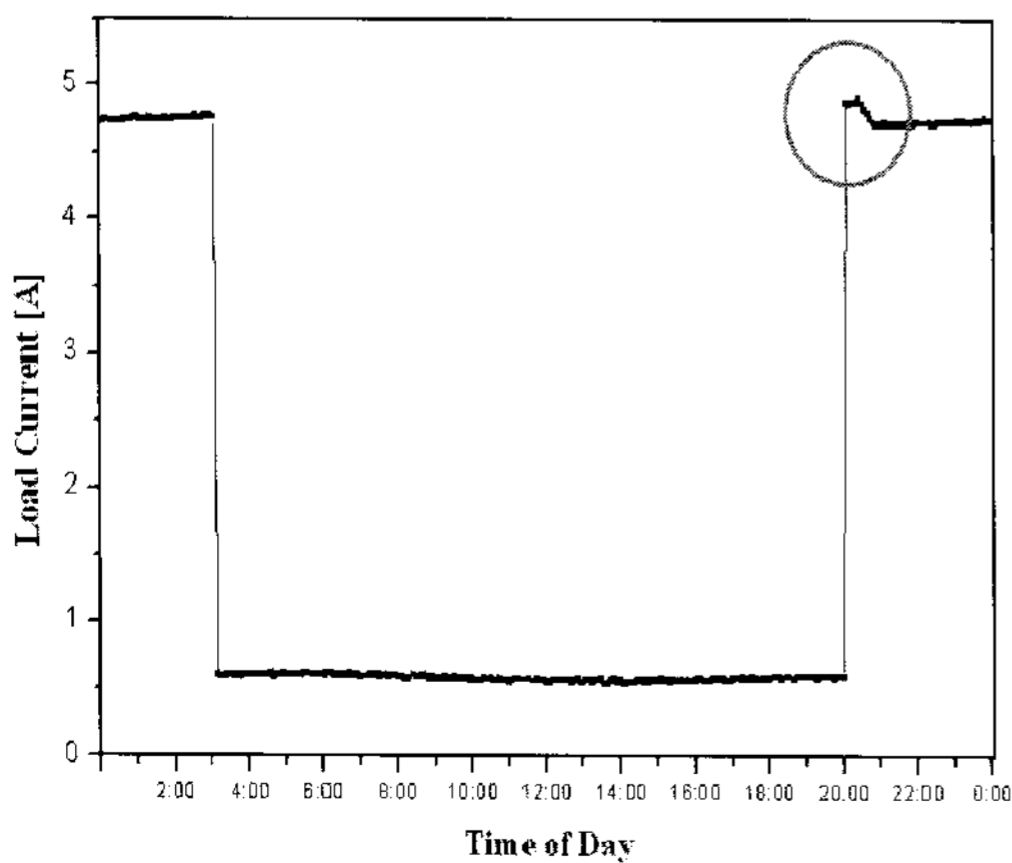


그림 5. 부하 전류

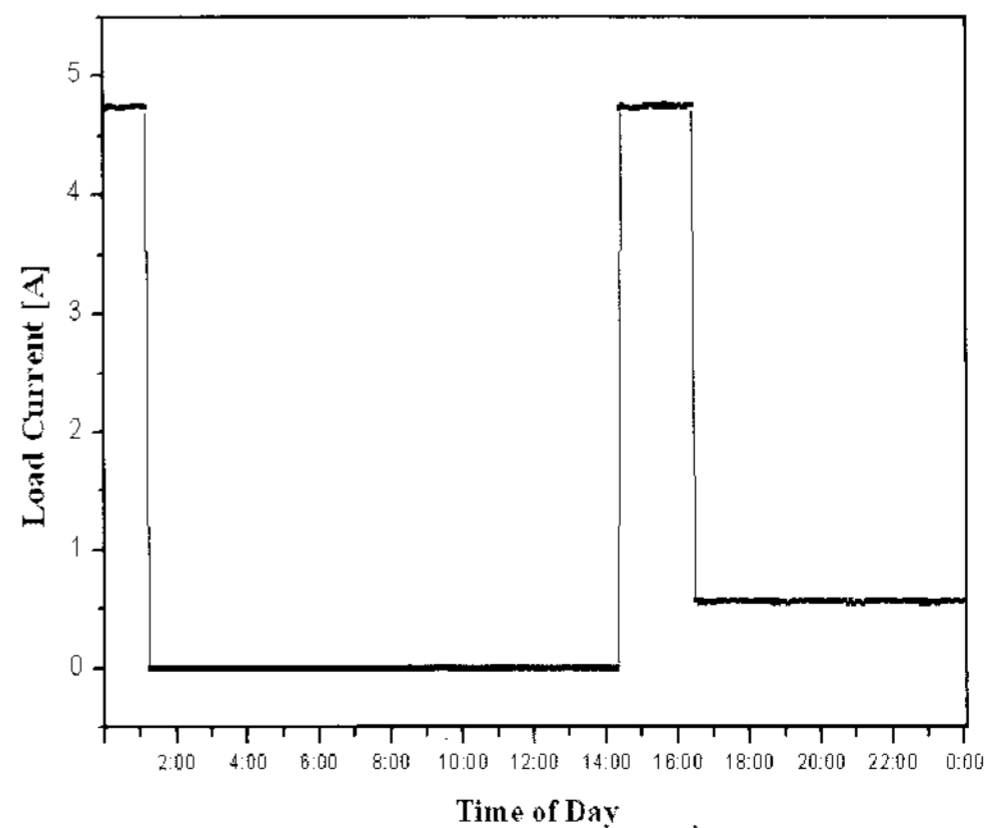


그림 7. 부하차단

그림 7은 흐린 날이 계속되어 컨트롤러가 부하를 차단한 경우의 부하전류 변동이다. 오후 8:00에 부하가 동작하기 시작하여 익일 1:05에 부하가 차단되었다. 부하 차단과 동시에 타이머가 동작을 멈췄다가 낮 동안 축전지가 충전되어 컨트롤러가 타이머에 전원을 공급하게 되면서 부하가 동작하였다. 이러한 경우 타이머를 리셋시켜 부하가 원하는 시간에 동작되도록 하여야 한다.

4.2 시스템 성능 평가

독립형 태양광 조명 시스템을 약 5개월간 운영하면서 얻은 데이터를 이용하여 시스템을 분석하였다. 대부분 기존의 태양광 발전 설비를 평가하는 방법은 각각의 구성품에만 초점이 맞추어져 있기 때문에 전체적인 시스템의 신뢰성을 평가하기에는 부족한 실정임을 감안하여, 일일 시스템 출력전력을 기초로한 시스템 발전 효율과 PR (Performance ratio) 그리고 부하 사용율을 이용하여 시스템의 성능 및 신뢰도를 평가하였다. 시스템 발전 효율은 식(3)에 의하여 계산되어진다.⁽⁸⁾

발전효율=

$$[\%] = \frac{E_{SYS} [kWh]}{Q_{IR} [kWh/m^2 \cdot day] \times A [m^2]} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

E_{SYS} 는 시스템 총 발전량, Q_{IR} 은 경사면 일사량, A 는 어레이 면적을 나타낸다.

분석 기간동안의 시스템 발전효율 평균은 10.8 [%]로써 양호한 발전효율 수치를 나타내고 있다. 이는 효율이 높은 단결정 실리콘 태양전지를 사용하고 시스템의 구성이 적절했기 때문으로 판단된다. 설계시 사용한 평균 일사량(3.8 [kWh/m²·day])을 기준으로 일일 전일사량을 저일사량과 고일사량으로 나누어 각 경우의 발전효율을 계산

한 결과 고일사량일때 9.28 [%], 저일사량일 때 11.79 [%]로 나타났다. 그림 8의 분산도를 보면 일일 총일사량이 증가할수록 시스템 효율이 감소하는 것을 알 수 있는데 이는 태양광 모듈 설치시 경사각 산출 근거를 연간 총일사량이 아닌 동절기 최대 일사량으로 하였기 때문이다. 독립형 시스템의 경우 계통연계형 시스템과 달리 하절기에 에너지 손실이 있지만 동절기에 안정적 부하운동을 위하여 경사각을 높이는 것이 일반적이다.

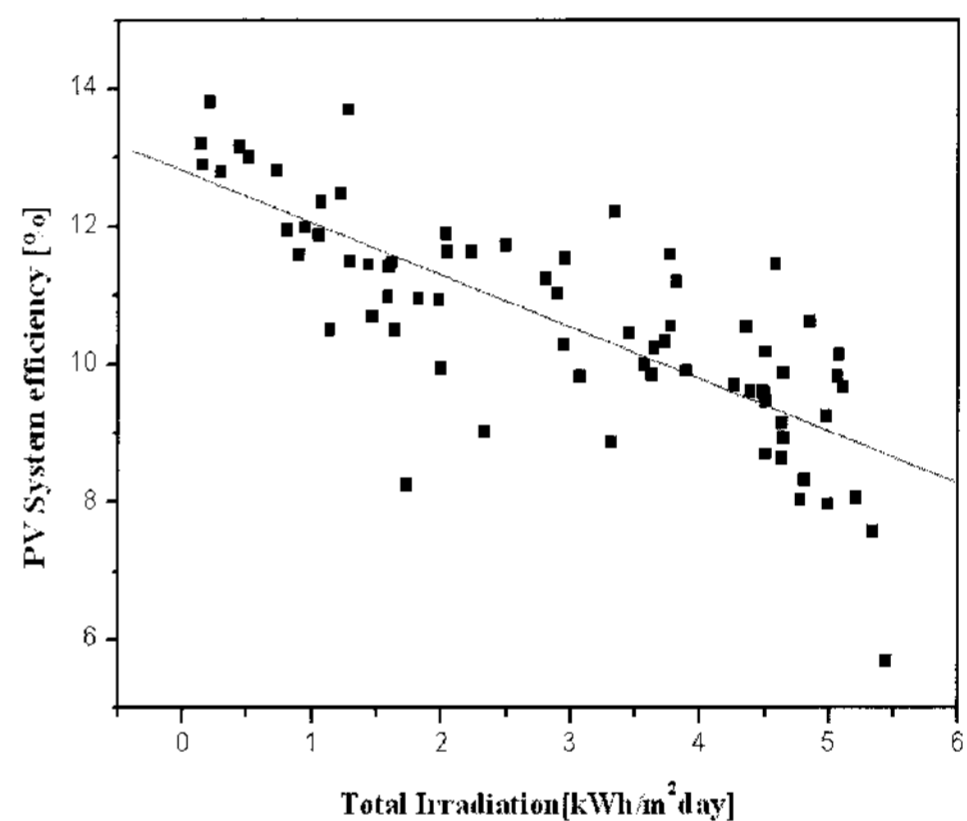


그림 8. 총일사량에 대한 시스템 효율의 분산

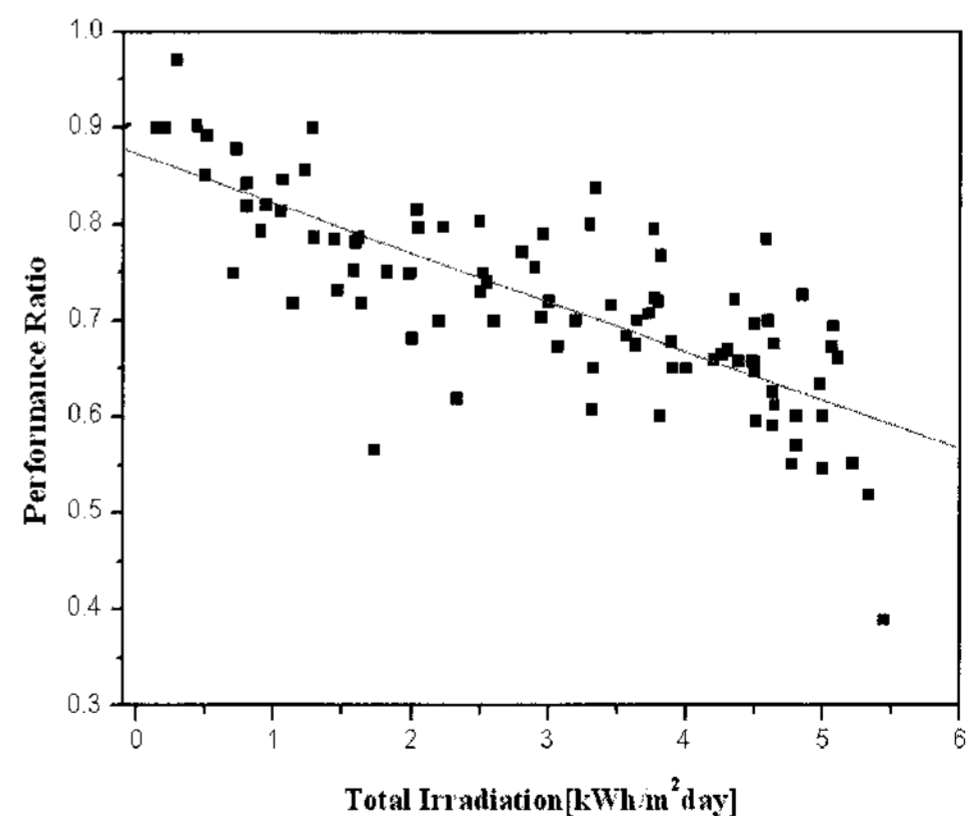


그림 9. 총일사량에 대한 시스템 성능비의 분산

PV 시스템은 그림자영향, PCS손실, MPPT 미스매칭, 어레이 온도상승 등의 손실요인에 따라

서 발전성능이 결정되므로 최적화 설계를 위해서 손실요인에 대한 정확한 평가분석이 필요하다. 하지만 이를 위해서는 많은 시간과 실측결과들이 필요하게 된다. PR(Performance ratio)은 PV 시스템의 특성을 분석하고 평가하는 데에 가장 중요한 지표이다. 따라서 신속하고 정확한 평가를 분석할 수 있는 PR을 사용하여 분석기간 동안 시스템의 성능을 평가 분석하였다.⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

PR은 표준상태(STC)에서 손실요인을 고려하지 않은 PV시스템의 이상적인 발전 성능과 실제 발전 성능에 대한 비로 식(4)와 같이 정의하였다.

$$PR = E_{PVUSE} / (\eta_{STC} \times E_{IRR}) \dots\dots\dots (4)$$

여기서 PR은 성능계수, E_{PVUSE} 는 시스템 출력 전력량, η_{STC} 는 표준조건(STC)에서 모듈 효율, E_{IRR} 은 전일사량을 나타내고 있다. 분석 기간 동안의 PR평균은 0.72로써 시스템이 잘 운영되고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 PR이 0.7보다 작을 경우 PV시스템이 고장 혹은 결함 등의 여러 문제점이 발생하여 발전 성능이 떨어진다는 것을 의미한다.

저일사량과 고일사량의 경우 각각 PR 평균은 0.77과 0.63이었다. 그림 9의 결과는 발전효율의 분산과 비슷한 결과를 나타내고 있다. PR의 경우도 총일사량이 증가할수록 감소하는 경향을 보이고 있는데, 이는 고일사량에서 온도 및 전기적 손실과 발전효율의 저하 때문인 것으로 판단된다.

그림 8 및 그림 9에서 동일 일사량에 대하여 발전효율은 약3%, PR은 0.3의 차이가 나는데, 이는 그림자나 모듈 표면의 이물질 등의 외부 환경적 요인에 의한 영향으로 판단된다. 구름이나 스모그 등에 의한 직달일사의 산란도 발전효율 및 PR 수치의 차이를 가져오는 요인이라 사료된다.

부하 사용율은 시스템 운영 기간동안의 계획된 부하 사용 시간에 대한 실제 부하 사용 시간에 대한 비로써 시스템의 안정적 운영과 신뢰성을 평가

하는 기초 자료로 사용된다.

$$\text{부하 사용율} [\%] = \frac{H_{LOAD}}{H_{PL}} \times 100 \dots (5)$$

H_{LOAD} 는 실제 부하사용 시간, H_{PL} 은 분석기간 내 부하사용 계획시간을 의미한다.

분석기간 동안 외부 써지(Surge) 유입으로 시스템 보호 차단기 작동에 의한 시스템 다운이 1번, 연속된 저일사량 및 부조일에 의한 과방전 방지회로의 부하 차단이 3번 나타났다. 써지 유입의 경우는 PV 시스템 근처 고전압 시험 설비에 의한 시스템 다운이므로 PV 시스템 자체의 문제라고 볼 수 없다. 과방전 방지 회로에 의한 부하차단의 경우 시스템 회복 시간은 일기상태에 따라 각 경우별로 차이가 있었으며, 1~3일 정도로 다양하게 나타났다. 부하 사용율은 96.08%로 다소 작게 계산되었다. 이러한 결과는 시스템 회복시간이 길었던 점으로 미루어 기상상태 및 배터리의 충방전 손실이 부하 사용율에 영향을 많이 미침을 알 수 있다.

독립형 PV 시스템의 신뢰성 향상을 위해서는 PV 모듈의 사이즈나 배터리 뱅크의 용량을 크게 하면 되지만 이러한 과설계의 경우 초기 설치비용이 증가하고 맑은 날 과충전 보호회로 동작에 의한 어레이 차단으로 인해 태양에너지를 효과적으로 이용하지 못하게 되므로 발전효율 및 PR 수치의 저하를 가져온다.

5. 결 론

본 연구에서는 조명 부하를 응용한 태양광발전 시스템의 운전데이터를 통해 시스템의 성능을 평가하고 운전특성에 대하여 고찰하였다. 소형 독립형 태양광 조명 시스템의 5개월간의 운전 특성을 분석하였으며 주요 결과로는 발전효율 $10.8 \pm 2\%$, PR 0.72 ± 0.2 정도로 양호한 시스템 성능을

나타냈으며 부하 사용율은 96.08 %인 것으로 분석되어 기상 조건이 시스템의 신뢰성에 영향을 많이 미침을 알 수 있었다. 시스템 성능에 영향을 미치는 요소로는 일사량, 운량, 온도등의 기상요소와 전력변환기 효율과 같은 전기적 요소등으로 나눌 수 있다.

본 시스템 평가는 단기간의 운전실적을 기초로 작성되었으며 장기운전의 연간 분석치는 다소 차이를 보일 것으로 사료된다.

국내의 경우 계통연계형 태양광 발전 시스템에 대한 지속적인 데이터 축적 및 운영 특성 연구가 이루어지고 있지만 독립형 시스템에 대한 신뢰성 평가 및 성능 특성 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 독립형 태양광 발전시스템의 성능평가에 대한 연구는 소형 태양광 응용 제품의 개발 및 평가에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 IMT-2000 전통사업의 IT접목기술 개발 사업의 지원으로 수행되었음

참 고 문 헌

1. 고강훈, 이현우, 서정태, 문성창, "10kW계통연계형 태양광발전시스템의 효율적 운용에 관한 연구", 한국태양에너지학회 창립25주년기념 학술발표회 논문집, pp.149-154, 2002. 11.
2. 조덕기, 강용혁, 이의준, 오정무, "태양광발전 단지 건설을 위한 태양광자원 정밀조사", 한국태양에너지학회 논문집, Vol.24, No.2, pp.83-88, 2004. 6.
3. 조덕기, 전일수, 강용혁, 전명석, 오정무, "의사결정지원 모형을 통한 우리나라 주요 도시의 대기청명도 평가", 한국태양에너지학회 논문집, Vol.22, No.1, pp.55-65, 2002. 3.
4. Simon Roberts, "Solar Electricity", Prentice Hall, 1991
5. 유형철, "컴퓨터 기반의 DAS를 적용한 태양광 조명설비의 운용패턴 고찰", 인하대학교 대학원 석사학위 논문, 2003. 2.
6. A. Cherif, M. Jraidi, A. Dhouib, "A battery ageing model used in stand alone PV systems", Journal of Power Sources, Vol.112, pp.49-53, 2002.
7. C. Armenta-Deu, "Prediction of battery behaviour in SAPV applications", Renewable Energy, Vol.28, pp.1671-1684, 2003.
8. 한국산업규격 KS C8524
9. 소정훈, 최주엽, 유권종, 정영석, 최재호, "3kW급 계통연계형 태양광발전시스템의 성능특성 비교분석에 관한 연구", 한국태양에너지학회 논문집, Vol.24, No.2, pp.9-15, 2004.
10. Tadatoshi Sugiura, Takao Yamada, Hiroyuki Nakamura, Mariko Umeya, Koichi Sakuta, Kosuke Kurokawa, "Measurements, analyses and evaluation of residential PV systems by Japanese monitoring program", Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol.75, pp.767-779, 2003.