

컴퓨터기반의 DAS를 적용한 태양광 조명설비의 운용패턴 고찰

(Load Pattern Considerations of The Photovoltaic Lighting System by Using Computer-based Data Acquisition System)

황명근* · 허창수

(Myung - Keun Hwang · Chang - Su Huh)

요 약

옥외 조명 시스템의 응용으로 두 가지 태양광설비(PV) 조명방식에 저압나트륨 램프(low pressure sodium: LPS)와 무전극 램프(electrodeless lamp)를 부하로 한 조명설비 시스템을 설계·제작·설치하여, 전지 수명을 고려한 감시 목적으로 데이터 수집에 유효한 랩뷰(Labview) 프로그램을 사용하였다. 설치된 PV 시스템에서 태양전지 배열로부터 만들어진 전원 및 그것의 최대 출력에 비교된 에너지 손실을 실험하였고, PV 시스템 개체구성 요소들의 성능을 관찰하였으며, 설치된 PV 조명방식들의 성능을 분석한 후, 태양전지 배열 용량을 줄이는 가능성에 대한 태양광 조명설비 동작특성에 대해 고찰하였다.

Abstract

Comparing to the conventional power systems, PV(photovoltaic) outdoor lighting system applications are evaluated as the most economical application. In this paper, we installed two PV lighting systems, which uses LPS(low pressure sodium) and electrodeless lamp as their loads, and applied a computer-based data acquisition system using the Labview program for monitoring purpose and effective operations, considering battery life time. Also, we observed the generated power from the solar array, and energy losses comparing to its installed capacity. Because most PV system performance procedures have looked at the performance of the individual components and have deficiency of addressing how the integrated system works, we confirmed the decrease possibility of the solar array capacity after analyzing the performance of the installed PV lighting systems.

Key Words : PV(photovoltaic)lighting system, Electrodeless lamp, Lamp, Solar, Solar system

1. 서 론

본 연구에서 고찰하려는 독립형(Stand-alone) 태양광 발전설비는 크게 태양전지, 축전지, 충전조절기로 구성되어 태양전지 측에서 발전된 전력을 부하로 이용하며 축전지에 저장시키는 동작방식을 나타낸다. 태양광 발전설비는 설치비용이 타 발전설비에 비해 매우 높으므로 태양전지와 축전지의 용량을 부하 량에 따라 최적화시키는 과정이 필수적이며 이를

* 주저자 : 인하대학교 전기공학과 박사과정
Tel : 3141-6797, Fax : 3141-6556
E-mail : kilt@korea.com
접수일자 : 2003년 2월 4일
1차심사 : 2003년 2월24일
심사완료 : 2003년 4월 3일

위해서 태양광 발전설비가 설치될 장소의 온도 및 일사량 등의 환경데이터에 대한 세부적인 지식과 설치된 발전시스템의 동작특성 결과를 필요로 하게 된다[1], [2].

태양광 발전설비 변환기가 마이크로컨트롤러에 연결되어 센서의 신호로 기록하며, 취득된 데이터는 Local EPROM에 저장되어 RS-232 프로토콜을 사용하는 직렬 포트를 통해 컴퓨터로 전송시키는 시스템이다[3],[4]. 이와 유사한 형태의 데이터 취득 시스템은 다른 논문에서도 제안되었는데 공통적인 특성은 동작상태를 모니터링하고 수집된 데이터를 컴퓨터로 저장하기 위해서 윈도우나 MS-도스기반의 소프트웨어가 개발되었고 이러한 적용방법은 새로운 센서를 추가하는 등의 변화에 대해 유연하게 대처하지 못하는 단점을 나타낸다. 또 다른 형태의 상업용으로 적용되는 데이터 취득장치를 이용한 환경과라메터와 태양광-디젤 복합시스템의 동작에 관계된 파라메터를 측정하기 위해 적용된 방법도 제시되었다. 이러한 적용 형태는 위에 적용된 설계 방법의 공통적인 특성은 마이크로컨트롤러 기반의 데이터 취득 설비가 각각의 데이터를 측정하기 위해 사용되고 측정된 데이터는 RS-232 직렬 인터페이스를 통해서 컴퓨터로 연결시킴으로 직렬데이터 전송 적용방법은 고급화된 제어능력이 요구되어 적용성이 저하된다[3]. 설치된 태양광 발전설비의 동작에 관련된 전기적 파라메터와 환경파라메터를 측정하기 위해 센서가 사용하고 각각의 센서로부터의 신호는 필터링과 컨디셔닝과정을 거친 후 상업용으로 이용 가능한 데이터취득카드를 사용한 방법이 제안되어 PCI 버스를 통해 컴퓨터로 인터페이스 하여 랩뷰-소프트웨어를 사용, 연산과정을 거친 후 컴퓨터의 모니터에 디스플레이 시키게 되고 발전설비의 분석목적을 위해 하드디스크에 저장방법이 사용되기도 하였다[3].

본 데이터 취득 시스템은 대용량의 태양광 발전설비를 포함한 대체에너지설비의 동작상태를 모니터링하기 위한 목적과 시스템을 분석하기 위한 목적으로 적용시키는 경우에도 사용에 제한을 받지 않을 것으로 사료되며[4] 이러한 운용패턴 방법을 고찰하고, 본 논문에서 제안된 시스템의 형태를 그림 1에

나타내었으며 태양광 조명설비에 나트륨 램프와 차세대 조명램프인 무전극 램프를 부하로 선정하여 적용성을 고찰해 본다.

2. 본 론

2.1 부하선정 및 부하예측

옥외용 태양광 조명설비에서 부하로 사용되는 램프로는 저압나트륨램프 55 [W]급을 고속도로 가로등이나 공원용 등 부분적으로 사용하고 있으며, 파장대역은 589~589.6 [nm]의 주황색의 가시광선(visible rays)을 발산하는 단색 발광관 형태로서 램프전력에 대한 광속(luminous flux)의 효율(efficacy)이 인공 광원 중에서 가장 높은 특성을 나타내지만, 연색지수(CRI)가 낮고, 적용 장소가 한정적인 단점을 나타내었다. 또한 방전관내에서의 고장으로 인한 램프의 교체횟수가 증대되어 최소한의 보수를 필요로 하는 태양광 발전설비의 특징에는 부합하지 못하는 요소를 지니고 있었다[5]. 그 외 삼파장 형광램프의 경우에는 전력소모가 매우 미소하므로 전력사용 측면에서는 가장 유리한 조건이지만 단위 전력 당 광속출력이 적고 외부 온도에 발광특성이 많은 영향을 받기 때문에 역시 가로등용으로는 제한적이다. 표 1은 기존에 가로등용으로 사용되고 있는 각각의 조명램프의 특성을 비교한 것이다.

독립형 태양광 발전 설비가 설치되는 장소와 기존의 옥외용 태양광 조명설비에서의 램프 부의 동작상태가 다른 구성품의 수명에 부합하지 못하는 관점에서 태양광 발전 설비의 동작 특성 상 최소한의 보수가 유지되는 시설특성 및 시스템의 수명이 반영구적인 반면 일사량에 따른 한정된 전력을 이용하는 측면으로, 부하로써 사용되는 램프로는 자체 소비전력이 적어야 하며 광속이 증대 될수록 유리한 조건이어야 한다[6].

이러한 관점에서 본 논문에서는 램프의 수명 및 광속특성이 우수한 필립스(社)의 무전극 램프 55[W]를 옥외용 태양광 조명설비에 적용시키는 것으로 결정하였다. 무전극 램프는 기존의 백열등이나 다른 방전등과는 전혀 다른 개념의 발광 방식을 채용하는

램프로써 그림 2와 그림 3에 나타낸 바와 같이 전자 유도를 이용한 자계를 통해 에너지 전송을 가능케 하여 발광시키는 방식이며, 주요 동작 특성을 나타내면 다음과 같다[8][9].

- 무전극 구조로 인해 수명이 60,000 시간 동작 시 10 [%]이하 고장율의 고신뢰성
- 고주파(2.65MHz)동작으로 인한 고효율 (65~70) [lm/W]
- 기동특성이 우수하며 완전점등에 소요되는 시간은 0.5 [s]이내
- 연색지수 우수($R_a > 80$ 이상)
- 70℃이상의 온도범위에서 Amalgam에 의한 제어에 의한 85 [%]이상의 광 출력 특성 등이 있다.

국외에서 적용된 경우의 태양광 가로등시스템은 평균 8시간 이내로 운영하는 시스템이 대부분이지만 설치 지역에 따른 다양한 조건 하에서의 운전특성을 관찰하고자 하는 목적으로, 무전극 램프 적용의 경우 계절변화에 따라 일출 시 소등하여 일몰 시 점등하는 동작 방식을 고려한 시스템을 설계하였으며, 최근 10년간 기상청자료를 통해 조사한 해당 설치지역의 월별 일출 및 일몰시간에 따른 실제 조명시간을 조사한 결과 계절 변화에 따른 동작시간은 여름철인 경우에는 최소 8 시간 13분부터 겨울철에는 최장 13시간 27분까지 변화하게 되는 것으로 나타났다.

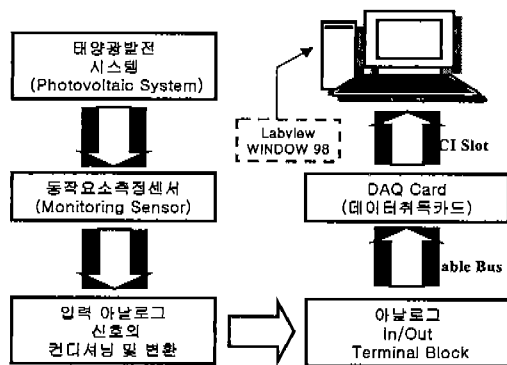


그림 1. 제안된 데이터 취득 시스템의 형태
Fig. 1. Proposed system of data acquisition system block diagram

표 1. 조명설비의 부하로 사용되는 램프특성
Table 1. Lamp characteristics as load of PV lighting system

종 류	전력소비량 [W]	광속 [lm]	비 고
저압나트륨램프 55 [W]	55	7,600	고휘도
저압나트륨램프 35 [W]	35	4,600	전력소모미소
삼파장형광램프 20 [W]	20	1,280	-
삼파장형광램프 40 [W]	40	3,250	-
기존백열전구 100 [W]	100	1,250	전력소모과다
무전극램프 55 [W]	55	3,500	QL형[9]

*자료출처 : 나트륨 램프(KSC 7610-1999), 형광램프 (일반조명용) (KSC 7601-2001), 백열전구(KSC 7501-1999)

산출 결과 예상된 무전극 램프의 부하소비량은 일조시간이 가장 긴 6월에 451 [Wh]로 최저수치를 나타내었고 일조시간이 가장 짧은 12월에는 742.5 [Wh]로 최대 수치를 나타내었다. 저압나트륨 램프 55 [W]를 적용하는 경우에는 일 평균 부하사용량을 일정하게 7시간씩 동작시키는 것으로 산정 하였으며, 자기식 안정기를 채용하는 동작 특성상 안정기에서의 전력사용량을 10%로 고려한 동작방식으로 이에 따라 일 평균 부하 량을 423.5 [Wh]로 예상하였다.

2.2 경사각 선정

태양광 조명설비 및 데이터 취득시스템의 설치 위치는 북위 37°26', 동경 126°39'이며, 태양전지 어레이의 배열방식은 폴(pole)의 상단 부에 고정형 어레이(fixed array)방식으로 하였으며 이 어레이 방식의 경우 어레이의 경사각에 따라 각 월별 일사량이 변화하기 때문에 최적 어레이 경사각을 결정하기 위해서는 경사각에 따른 일사량을 평가하여 일사량이 가장 적은 달을 기준으로 어레이 경사각을 결정하게 되었다.

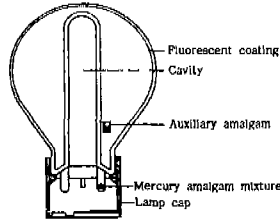


그림 2. 무전극 램프 구조
Fig. 2. The electrodeless lamp configuration[9]

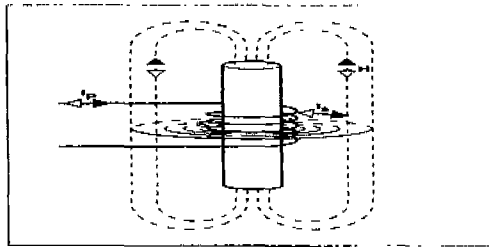


그림 3. 무전극 램프의 방전원리
Fig. 3. Discharge principle of the electrodeless lamp[9]

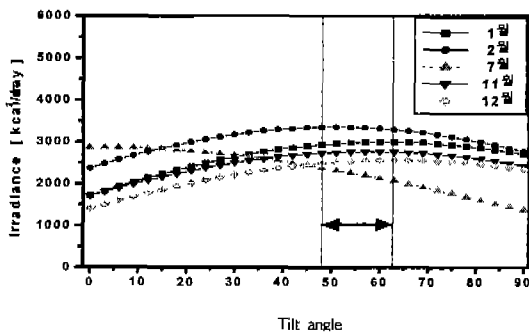


그림 4. 경사각변화에 따른 일사량의 변화
Fig. 4. Insolation variation according to the inclined angle change

그림 4는 해당 설치지역의 정남방향의 경사각의 변화에 따른 월 평균 일사량의 변동 상황을 나타낸 것으로 태양의 고도가 높아져 비교적 일사량이 풍부한 7월의 경우에는 경사면의 경사각(tilt angle)이 높아질수록 일사량은 감소하게 되고 태양의 고도가 낮아지는 동절기에는 경사각이 비교적 큰 50~70°부근에서 최대 일사량을 나타내게 된다. 위와 같은 특성

으로 인해 해당 설치 지역의 최적의 태양전지 어레이의 경사각은 일사량이 비교적 감소하는 동절기를 고려하여 50°로 하였다.

2.3 태양전지 및 축전지 용량 산정

요구되는 태양전지 및 축전지의 용량을 산정하기 위해 저압나트륨램프는 자기식 안정기를 채용하는 동작특성상 안정기에서의 전력손실을 10 %고려하여 디지털타이머를 스위치로 하여 연간 일정하게 7시간씩 야간에 점등시키는 것으로 가정하여(55+5.5) × 7 = 423.5 [Wh/day]로 일 평균 부하사용량을 산출하였으며, 무전극 램프의 경우 고효율안정기를 채용하므로 정격용량을 소비하는 것으로 가정하여 계절 변화에 따라 일몰 시에 점등하고 일출 시에 소등하는 방식으로 광 센서스위치를 점멸기로하여 동절기에 최대 13시간 27분에서 하절기에 최저 8시간 13분까지 동작시간이 변화하게 되며 일 평균 부하 사용량은 599.59 [Wh/day]로 산출하였다.

독립형 태양광 발전설비에 적용하기 위해 요구되는 태양전지 용량을 세부적으로 검토해보면 무전극 램프 55 [W]와 저압나트륨 램프 55 [W]의 일 평균 부하 사용량은 599.59 [Wh]와 423.5 [Wh]를 적용시켰으며, 경사면 일사량은 해당 설치지역의 연 평균 수치인 3.8 [kWh/m²], 시스템 효율은 일반적으로 적용되는 50 [%]로 예상하였다. 식 1을 적용시켜 산출된 무전극 램프와 저압나트륨램프를 일 평균 부하량으로 하는 태양전지의 용량은 각각 315 [W_p]와 222.89 [W_p]로 산출되므로 태양전지모듈은 최대출력전력이 53 [W_p], 전압 17.4 [V], 전류 3.05 [A]인 모델명 : GWG 01530인 단 결정으로 각각 6장, 4장을 병렬로 연결시킨 형태의 시스템으로 실험하였다.

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

날씨가 흐리거나 비가 오는 등의 기상조건이 악화되게 되면 태양전지 축에서 발전되는 전력은 매우 미소하기 때문에 안정적인 부하운용을 위해서는 축전지용량 결정 시 반드시 이를 고려해서 설계해야 한다. 즉, 부조일은 축전지의 용량 결정 시에 중요한 인자가 된다. 식 2를 적용하여 무전극 램프와 저압나

트륨 램프를 부하로 하는 축전지의 용량을 선정하였으며, 본 시스템 설계 시에는 부조일을 3일 적용시켰고, 일반적으로 적용되는 축전지의 충·방전 효율 및 방전심도는 각각 0.85와 0.5를 적용하였다. 각 시스템의 축전지 용량은 각각 3,997 [Wh]와 2,823로 산출되므로 각각 12[V]×200[AH]×2와 12[V]×100[AH]×2조를 병렬로 연결시키는 방식으로 시스템을 설계하였다.

$$\text{축전지용량[kWh]} = \frac{\text{일일부하사용량[kWh]} \times \text{부조일}}{\text{축전지충방전효율} \times \text{방전심도}}$$

2.4 데이터 취득 시스템

모든 센서의 출력은 컨디셔닝(Conditioning) 및 변환과정을 거친 후 터미널블록을 통해서 데이터 취득카드로 입력시켰다. 데이터 취득 카드는 국내에서 상용화된 제품(YC 2361)을 사용하였고, 컴퓨터로 인터페이스 시킬 목적으로 랩뷰 프로그램을 이용하였다. 사용된 데이터 취득카드의 사양은 다음과 같다.

- 16 Single-Ended 아날로그 입력채널
- A/D 16비트 Resolution 및 최대 샘플링 율 100 [ks/s]
- 아날로그 입력 PGA(Programmable Gain Select)가 1일 때 아날로그 입력범위 : ±10 [V]

데이터 취득카드는 컴퓨터에서 운용되는 랩뷰 소프트웨어를 사용하여 제어시켰다. 랩뷰 소프트웨어는 프로그램 내에서 블록 다이어그램 형식의 아날로그 채널 샘플링, 수학적 연산, 파일관리 기능 등을 수행하는 가상 도구(Virtual Instrument : VI)로 구성된 프로그램코드를 제공함으로써, 텍스트 기반의 프로그램을 사용하는 것에 비해 데이터 취득 시스템 구성과 센서 부가 등의 다 채널 적용성 및 정밀측정에 매우 용이하였다. 사용된 보정 방정식은 다음과 같이 일반적인 형태를 지닌다.

$$y_i = a_i x_i + b_i \quad \text{-----(식 3)}$$

는 해당 물리량으로 변환된 i번째 센서의 출력, x_i 는 i번째 샘플, a_i , b_i 는 보정 상수이다. 이러한 보정 절차를 마친 후 연산된 수치가 모니터 상에 실시간으로 디스플레이 되며, TDS 3052(Tektronix社) 기기로 디스플레이된 수치를 측정, 비교한 결과 2% 이내의 오차 범위를 나타냈다. 또한, 측정 주기는 2

분으로 설정하여 연속적으로 동작하게 하였으며, 시작 명령과 함께 해당 일의 날짜와 동일한 파일을 생성하여 모든 채널의 데이터를 시간별로 입력시켰고, 외부로부터 정지 명령이 주어지면 파일을 종료하도록 프로그래밍 시켰다.

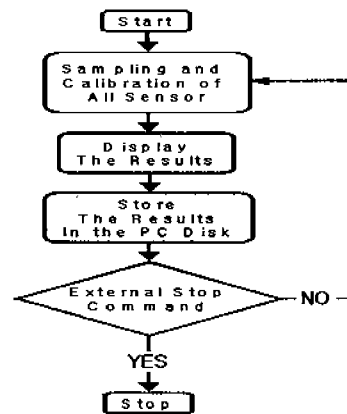


그림 5. 측정 시스템의 순서도
Fig. 5. The flowchart of the ogram

구현된 모니터링설비를 통해 옥외용 태양광 발전 시스템의 동작상태를 실시간으로 확인함으로써 적절한 관리를 수행할 수 있으며, 취득된 데이터를 이용한 분석과정을 통해 설치된 가로동용 태양전지 시스템의 유효전력량을 파악하여 최적화 된 시스템 구성 및 최적 효율을 낼 수 있는 운전방법을 제시하는 것이 가능하였다. 그림 5는 본 실험을 위해 사용된 랩뷰 프로그램을 이용한 측정프로그램의 순서도를 나타낸 것이다.

3. 성능 평가방법

설치된 태양전지 어레이로부터 발전되는 일별 최대에너지는 식 4, 5를 이용해서 산출하였으며, 일별 태양전지 어레이로부터 발전된 전력이 충전조절기를 거쳐 실제로 축전지에 입력되는 전력은 식 6을 적용하였다[13].

$$E_{pv,m} = \int_{\text{day}} \eta_{pv,m} A_c G_t dt \quad \text{-----(식 4)}$$

$$\eta_{pv,m} = \eta_r [1 - \beta(T_c - T_r)] \quad \text{-----(식 5)}$$

여기에서

컴퓨터기반의 DAS를 적용한 태양광 조명설비의 운용패턴 고찰

$E_{pv,m}$: 일별 태양전지 어레이로부터 발전된 전력 [Wh]
[Wh]

$\eta_{pv,m}$: 태양전지 어레이의 최대변환효율 [%]

A_c : 태양전지 패널의 면적 [m^2]

G_t : 경사면일사량 [W/m^2]

η_f : 표준상태조건(1000 [W/m^2], 25°C, AM 1.5)의 기준 셀 효율 [%]

β : 태양전지 효율에 따른 온도계수(0.0045)

T_c : 태양전지 패널의 온도 [°C]

T_r : 기준온도 (25 [°C]) 이며,

$$E_{ch} = \int_{day} V_{pv} I_{pv} dt \quad \text{----- (식 6)}$$

E_{ch} : 일별 축전지로 충전된 전력 [Wh]

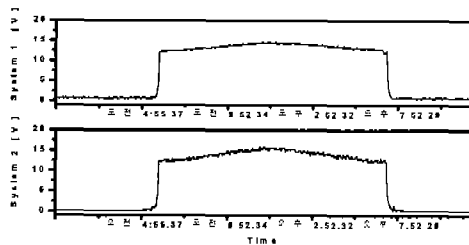
V_{pv} : 충전조절기로부터 축전지사이의 전압 [V]

I_{pv} : 충전조절기로부터 축전지사이의 전류 [A]이다.

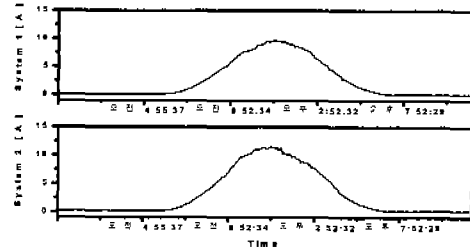
4. 실험결과 및 고찰

4.1. 측정 요소와 부하 전류의 변동상황

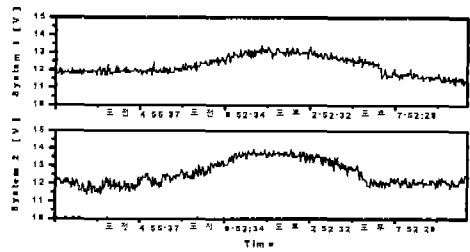
그림 6(a), (b)는 4월 8일의 시스템 1, 2의 각 부의 시간 변동상황에 따른 태양전지 어레이전압과 이로부터 발전되어 축전지로 인입되는 충전 전류 및 축전지 전압의 변동상황을 나타낸 것으로 4월 8일의 기상조건은 흐린 날이 2일 지속된 후 해당 일에 비로 소 맑은 날이 이어진 경우이며 경사면 일사량은 3.99 [kWh/m^2]으로 평균경사면 일사량보다 다소 높게 나타났다. 태양전지 설치용량에 따른 최대 입력전류 수치는 시스템 1과 2에서 각각 8.5 [A]와 10.65 [A]로



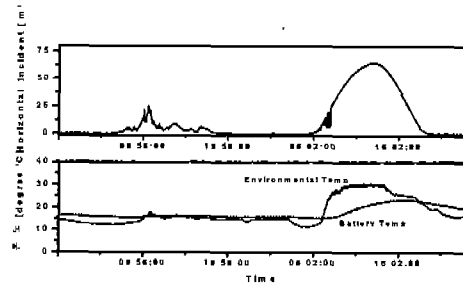
(a) 태양전지 어레이 전압
(a) PV array voltage



(b) 축전지 충전 전류
(b) Battery charge current



(c) 축전지 전압
(c) Battery voltage



(d) 수평면 일사량 및 외기 온도와 축전지 온도
(d) Horizontal irradiance and temperature

그림 6. 동작에 관계된 전기 및 환경 파라미터 측정
Fig. 6. Measurement of environmental and electrical parameters related operation

태양의 남중고도와 거의 일치하는 시각인 12시 33분에 측정되었으며, 축전지 전압은 충전시점부터 증가하여 과 충전 방지전압인 13.8 [V]이내로 유지하며 전력을 흡수하면서 부하동작 개시 시점에서 감소하는 상태를 그림 6(c)에 나타내었다. 또한 그림 6(d)는 흐린 날로부터 맑은 날로 이어진 4월 30일부터 5월 1일까지의 수평면 일사량, 대기온도 및 축전지 온도의 변동상황을 나타낸 것으로 일사량의 편차가 매

우 큰 것으로 나타났고, 해당 일의 경사면 일사량은 각각 0.558 [kWh/m²]와 5.34 [kWh/m²]으로 측정되었다. 축전지온도는 축전지 제어함을 단열재로 외부 를 차폐시킨 이유로 인해 외부온도 변화에 비해 비교적 일정하게 유지되는 것으로 측정되었다.

그림 7은 각 시스템에 부하로 사용된 램프의 점등 개시부터 완전점등상태로 유지되는 동안의 축전지로부터 DC/AC 인버터 입력 단으로 입력되는 전류 크기 및 변동상태를 나타낸 것으로 저압나트륨램프 55 [W]의 경우 방전초기에 최대 9.35 [A]까지 상승한 후 7.74 [A]부근에서 안정화되는 양상을 나타냈으며 완전 방전되어 안정화되기까지 평균 17분이 소요되는 것으로 측정되었다. 무전극 램프 55 [W]의 경우 방전초기에 전류가 최대 4.46 [A]까지 상승하여 4.25 [A]에서 안정상태로 유지되는 시간이 평균 10분으로 측정되었다. 이를 토대로 동일정격의 두 램프를 태양광발전시스템의 부하로 적용시킨 경우 불규칙한 일사 조건에 따른 한정된 에너지를 이용하는 측면에서 무전극 램프를 사용하는 것은 매우 유리한 조건인 것으로 나타났다.

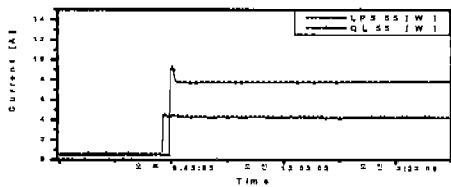
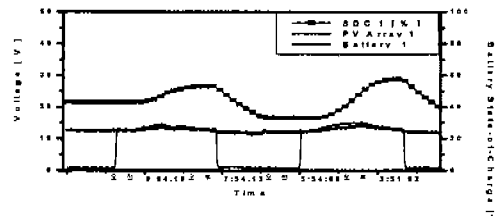


그림 7. 완전점등에 이르는 방전전류 특성(QL, LPS)
Fig. 7. Battery current performances until full discharge of each lamp(QL, LPS)

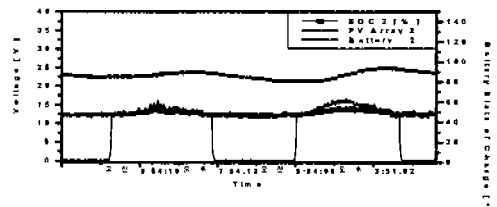
4.2 기상조건에 따른 동작 특성

그림 8은 측정 기간동안 전형적인 맑은 날이 지속되었던 3월 31에서 4월 1일까지의 시스템 1과 2의 태양전지 어레이 및 축전지 전압의 변동에 따른 축전지의 상태를 나타낸 것으로써 경사면 일사량은 각각 3.98 [kWh/m²]와 4.33 [kWh/m²]로 측정되었고 이에 따른 축전지의 상태는 시스템 1의 경우 일방전심도가 평균 26 [%]내외의 수치를 보이면서 시스템이 반복충전 되는 것으로 나타났다. 반면 시스템 2 축전지의 경우에는 11.25 [%]의 수치로 충 방전 특성을

나타냈다. 맑은 날이 지속된 경우에는 태양전지 측 으로부터 발전된 전력량이 이전에 축전지로부터 방 전된 전력량 이상을 재충전시켜서 축전지의 충전상 태를 높은 상태로 유지시키는 것으로 나타났다.



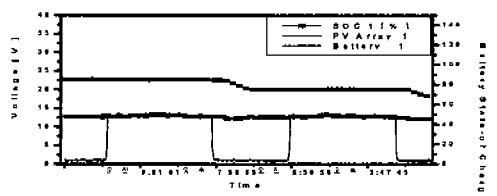
(a) 시스템 1



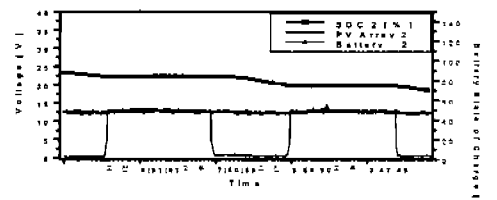
(b) 시스템 2

그림 8. 태양전지 어레이 전압과 축전지전압 변화 및 축전지의 충전 상태(맑은 날)

Fig. 8. PV array and battery voltage variations with battery state-of-charge(sunny days)



(a) 시스템 1



(b) 시스템 2

그림 9. 태양전지 어레이 전압과 축전지전압 변화 및 축전지의 충전 상태(흐린 날)

Fig. 9. PV array and battery voltage variation with battery state-of-charge(cloudy days)

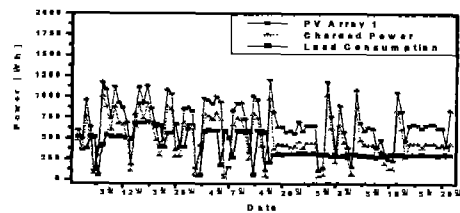
그림 9는 측정기간 내에 흐린 날이 지속된 4월 29일 과 4월 30일의 시스템 1과 시스템 2의 축전지의 충전상태 및 태양전지와 축전지의 전압변동상황을 나타낸 것으로써 해당 일의 경사면 일사량은 각각 0.283 [kWh/m²]과 0.558 [kWh/m²]로써 평균 경사면일사량에 비해 매우 적은 수치로서 측정되었다. 축전지로부터 일일 방전된 전력량만큼 태양전지 측에서 재충전시키지 못하고 방전상태로만 운전상태가 지속되고 있음을 나타내고 있다. 축전지는 부족 충전 또는 방전상태가 오래 지속되는 경우에 축전지의 특성상 Sulfation현상(납 축전지의 활 물질이 과 방전 또는 장기 방치 등으로 인해 재충전해도 원래 충전상태로 회복되지 못하는 현상) 및 전극에 부식이 발생하여 축전지의 성능을 저하시키기 때문에 안정적인 시스템운용상 반드시 고려해야 할 요소이다.

4.3 발전량 대비 부하량 분석

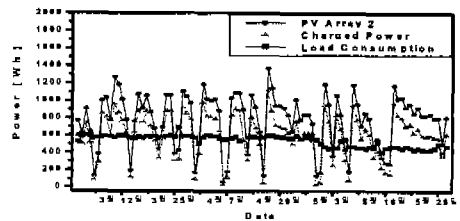
그림 10은 시스템 1과 시스템 2의 3월 1일부터 5월 30일까지의 태양전지 측의 발전량, 축전지로 입력된 전력량 및 부하사용 전력량 변화를 나타낸 것으로 저압나트륨 램프를 사용하는 시스템 1의 경우 4월 17일 이전에는 일 평균부하사용전력량이 예측한 수치보다 훨씬 높게 측정되어서 설계된 축전지 용량에 비해 일 방전심도가 평균 26 [%]에 이르는 이유로 설정시간에 램프가 운전되지 못하고 축전지가 과 방전되는 빈도가 잦은 것으로 나타났다. 이러한 부하의 운용형태로는 축전지의 수명을 감소시키는 직접적인 원인이 될 것으로 판단되어 4월 18일 이후에 일 평균 부하사용전력량을 307.6 [Wh], 축전지의 일 방전심도를 평균 11.85 [%]로 조정된 결과 안정적인 부하 운용형태로 과 방전되는 빈도가 나타나지 않는 형태를 나타내었다(그림 10(a)).

무전극 램프를 부하로 사용하는 시스템 2의 경우는 안정적으로 부하를 운용하여 전체적인 부하이용 측면에서의 시스템 신뢰성이 매우 높게 나타났으며 평균 축전지로부터의 일 방전심도는 10.8 [%]로 측정되었다(그림 10(b)). 또한 각 시스템의 태양전지 설치 량이 각각 212 [Wp], 318 [Wp]에 따른 발전량을 비교해 보면 평균 115 [Wh]의 차이를 나타내었으며, 부조일이 지속된 후 맑은 날이 이어진 경우 최대

342 [Wh]의 차이를 나타내기도 했다. 또한, 태양전지 발전량에 대한 일 부하사용량의 비(A/L)를 비교해 보면, 1.15~2.06의 범위를 나타냈으며, 발전된 전력이 사용되지 못하고 손실되는 율은 최소 24 %에서 최대 33.4 %에 이르는 것으로 나타났다. 이러한 일별 손실은 부조일을 감안하여 축전지를 재충전시키는 설비의 특성상 불가피한 것으로 판단된다.



(a) 시스템 1



(b) 시스템 2

그림 10. 일별 태양전지 발전량, 축전지 인입량 및 부하량의 변화

Fig. 10. Daily pv array power, charged power and load consumption

그림 11은 측정기간에 걸쳐 A/L과 Cs수치에 따른 설정 부하동작시간에 부하가 동작되는 신뢰성을 표시한 것으로 축전지 용량에 대한 일 부하사용량(Cs)의 비는 최소 5.6에서 최대 9.1에 이르는 것으로 측정되었다. Cs 수치가 5.6인 동작 조건에서는 태양전지 측의 발전량은 충분하지만 축전지의 용량이 부하 량에 비해 작은 경우이므로, 부하가 설정 동작 시간에 점등되는 비율이 74 %로 안정적인 부하를 운용하지는 못하는 상태(3월 1일~4월 17)를 나타낸 반면, Cs수치가 8.1이상인 상태에서는 안정적인 부하이용 특성을 나타내었다.

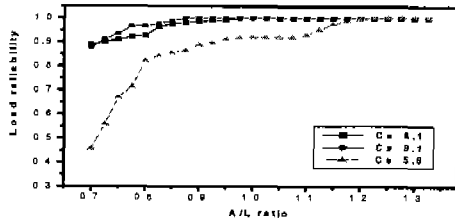


그림 11. A/L과 Cs수치에 따른 부하 이용성
Fig. 11. Load reliability according to A/L and Cs

5. 결론

독립형 태양광 발전설비 중 가장 경제성이 있는 분야로 평가되는 저압나트륨 램프와 무전극 램프를 부하로 적용한 옥외 조명용 태양광 조명설비를 설계·시작품을 제작하여 운전특성을 고찰하였다.

- 1) 동일정격의 55 [W]저압나트륨램프와 무전극 램프를 부하로 하는 독립형 태양광 발전설비에 적용시켰으며 각 램프가 완전점등에 이르기까지 축전지로부터의 방전전류특성을 비교해 본 결과 저압나트륨램프의 경우 평균 7.74 [A]에서 안정화되며 17분이 소요되었고 무전극 램프의 경우 4.25 [A]에서 안정화되는데 10분이 소요되었다. 이로써 적용성이 동일한 장소에서 사용하는 경우, 일사 조건에 따른 한정된 에너지를 이용하는 경제적 측면에서 무전극 램프를 독립형 PV 부하로써 유리한 조건으로 나타났다.
- 2) 본 실험에 사용된 ES형태의 납 축전지를 옥외용 PV 조명설비에 적용시키는 경우, 안정적인 부하이용 신뢰성을 고려하면, 일 부하사용량에 대한 정격 축전지용량의 비(Cs수치)는 8.1이상으로 나타났으며, Cs 수치가 5.6부근에서는 74%의 부하 이용성을 나타냈다. 이러한 근거를 토대로 측정기간 내에 최대 지속된 부조 일이 3일이며, 일별 부하사용량에 따른 태양전지 발전량의 손실 분이 24~34.4 %임을 감안하면, 설치 지역에서의 단 결정형의 53 [Wp] 태양전지 설치량 4장과 6장의 발전량을 비교한 결과를 토대로 일 부하량 대비 발전량 수치는 1.2이

상의 조건에서도 안정적인 것으로 판단된다.

- 3) 옥외용 태양광 조명설비의 동작 상태를 실시간 모니터링 하기 위한 목적과 취득된 데이터를 저장 및 연산하기 위해 개발된 랩뷰 프로그램을 사용한 데이터 취득 시스템을 통해서 설치된 시스템의 운용형태를 심층적으로 파악하는 것을 가능케 하였다.

본 연구를 통해 얻어진 결과를 토대로 하여 축전지는 부족충전 또는 방전상태가 오래 지속되는 경우에 축전지의 특성상 Sulfation현상 및 전극에 부식이 발생하여 축전지의 성능을 저하시키기 때문에 안정적인 시스템운용상 반드시 고려해야 할 요소이며, 동작특성이 유사하게 설치되는 무전극 램프나 LED 램프용 태양광 가로등기구의 설치·이용 시 중요한 참고자료가 될 것으로 본다.

References

- (1) Blaesser G, "PV System Measurement and Monitoring : the European Experience", Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 47, pp. 167-176, 1997.
- (2) Wilshaw A, Pearsall N, Hill R, "Installation and Operation of the First City Center PV Monitoring Station in the United Kingdom", Solar Energy, vol. 59, pp. 19-26, 1997.
- (3) Benghane M, Maafti A, "Data Acquisition System for Photo-voltaic Systems Performance Monitoring", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 47, No. 1, 1998.
- (4) Benghane M, Arab AH, Mukadam K, "Data Acquisition System for Photovoltaic Water Pumps", Renewable Energy, vol. 17, pp. 385-396, 1999.
- (5) Duryea S, Islam S, Lawrance W, "A Battery Management System for Stand-alone Photovoltaic Energy Systems", IEEE Industry Applications Conference, vol. 4, pp.2649-2654, 1999.
- (6) 한국에너지기술연구소, "독립형 PV 시스템 이용기술합리화방안연구(II)", 1995.
- (7) 산업자원부, "국내 일사량 분석·평가 및 데이터 표준화 연구", 1999.
- (8) M.K. Hwang, D.H. Park, "Technology Trend and Prospect of Electrodeless Lamp", Proceeding of KIEE Annual Conference, pp. 23~26, 2001. 11.
- (9) Philips QL lamp systems, Lamp system technology and Operation, 2001.
- (10) J. R. Coaton and A. M. Marsden, "Lamps and Lighting", Fourth Edition, pp. 216~226, 1997.
- (11) G.E. Ahmad, M. A. Mohamad, "Use of Systems in Remote Car filling Stations", Energy Conversion & Management, vol. 41, pp. 1293-1301, 2000.

- [12] G.E. Ahmad, "Photovoltaic-powered rural zone family house in Egypt", Renewable Energy, vol. 26, pp. 379-390, 2002.
- [13] Y. Sriuthaisiriwong, S. Kumar "Rural Electrification Using Photovoltaic Battery Charging Stations", Progress In Photovoltaics: Research and Applications, Appl. 9:223-234, 2001.

◇ 저자소개 ◇

황명근(黃明根)

1961년 4월 3일생. 91년 한양대학교 산업대학원 전자공학과 졸업(석사). 00년 인하대학교 대학원 전기공학과 박사수료. 98년~현재 (재)한국조명기술연구소 책임연구원. 대한전기학회, 전기전자재료학회, 한국전자파학회, 태양에너지학회 정회원, 당학회 정회원, 현재 IEEE member, IALD member.

허창수(許昌洙)

1955년 1월 27일생. 1981년 인하대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 83년~93년 한국전기연구원 기능재료연구소 실장. 97년~98년 미국 커네티컷 주립대학 교환교수. 93년~현재 인하대학교 전기공학과 교수. 당학회 정회원. IEEE member, 전기전자재료학회 이사.