

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 24, No. 2, 2004

Battery SOC(State of Charge)측정을 통한 태양광발전 시스템 운영 방안 연구

송정용*, 서유진*, 권오상*, 정관철*, 허창수*

*인하대학교 전기공학과(jung-yong@daum.net)

A study on the operating method for Photovoltaic system through the SOC measurement of batteies.

Song, Jung-Yong*, Seo, Yu-Jin*, Kwon, Oh-Sang*,
Jeoung, Kwan-Chul*, Huh, Chang-Su*

*Dept. of Electrical Engineering, Inha University(jung-yong@daum.net)

Abstract

In this paper, the new improved method for photovoltaic system was studied available for a lighting load by measuring the state of charge of lead-acid batteries. Photovoltaic systems has been evaluated as one of the most new and renewable energy and especially, the Stand-Alone Photovoltaic system has been used to a street light, a road sign light, an air caution light, an emergency call. Many Stand-Alone PV system are installed by a group. Although the pre-installation cost of PV system is high and it has not been operated due to the absence of optimal management standards. In this paper, it is proposed a new operating method by the measurement of lead-acid battery's SOC with a Ah balancing.

Keywords : SOC(State of Charge, 잔존용량), Lead-Acid Battery(납축전지), Stand-Alone Photovoltaic System(독립형 태양광발전 시스템), Ah balancing(Ah 측정법)

1. 서 론

현재, 태양광에너지는 일반소비자의 평가를 객관적으로 받지 못하고 있는 상태이며 절대수요량이

부족하고 공급 및 설치비용이 지나치게 높다는 것이 가장 큰 문제점으로 지적된다. 또한 설치된 시스템들은 적절한 유지 관리에 대한 규정과 장기간적인 특성에 대한 보고가 없어 이를 해결하기 위한 연구가 필요한 상황이다.

실제 운용되는 독립형 태양광발전 시스템은 납축 전지가 그 시스템의 안정성을 유지하는데 가장 중요한 요인이 된다. 그러나, 독립형 태양광발전 시스템의 경우 전기적인 충격이나 외부의 기계적인 충격이 없는 한 태양전지 모듈이나 charge controller는 장기간 사용이 가능한 반면에 납축전지는 수명의 문제가 도출된다. 따라서, 납축전지에 얼마만큼의 에너지가 저장되어 있으며, 잔존 용량 상태를 정확히 추측하여 시스템의 운영상태를 고찰하는 연구가 필요하다.

본 연구는 납축전지의 잔존용량을 측정하기 위하여 조명 부하를 응용한 태양광발전 시스템을 구현하여 모니터링하면서 여러 가지 요인으로 인한 시스템의 변화 상태와 이에 대한 대처 방법을 제안하고자 하였으며, 이를 위하여 공원이나, 건물에서 군집 단위로 운영되는 독립형 태양광발전 시스템의 총체적인 관리 프로그램 구축과 안정적인 시스템의 운영 방안을 제안하고자 하였다.

실험을 위하여 시스템 모니터링에 널리 사용되면서, 사용자가 쉽게 알아 볼 수 있는 LabVIEW Program을 사용하여 전압, 전류, 일사량, 온도등의 인자들을 실시간으로 모니터링하고, 얻어지는 데이터를 분석·저장함으로써 운영 관리에 관한 연구를 진행하였다. 또한, 시스템에 응용된 납축전지의 잔존용량을 산술하기 위하여 Ah측정법을 사용하였다.

2. 태양광 발전용 납축전지의 잔존용량 측정 방법

태양광 발전 시스템에 일반적으로 사용되는 납축 전지 잔존용량 산출 방법은 전압측정법, 비중측정법, Ah측정법의 세 가지가 있다. 먼저 전압 측정법은 태양광 발전 시스템에 응용되는 납축전지의 단자 전압을 측정함으로써, 납축전지의 잔존용량을 측정하는 방법으로 직렬 셀수로 측정 전압을 나누고 단위셀로 환산하므로 잔존용량을 산출하는 방법이다. 비중 측정법은 납축전지 내의 황산 전해액 비

중을 측정하므로 잔존용량을 측정하는 방법이다. 또한 Ah 측정법은 납축전지의 충전 전류와 방전 전류의 적산치를 산술하여 잔존용량을 측정하는 방법이다.¹⁾

납축전지의 잔존용량을 산출하기 위하여 본 논문에서는 Q식을 사용하여 데이터를 분석하였고, 나아가서는 변형식(Q')을 사용하여 납축전지의 정확한 잔존용량을 산출하였다.

$$Q = \left(1 + \frac{\eta}{100} \frac{\int I_C dt - \int I_D dt}{C_0}\right) \times 100$$

η : 충전 효율(%) = 95%

I_C : 충전 전류(A)

I_D : 방전 전류(A)

C_0 : 정격 용량(Ah)

$$Q' = \left(1 + \frac{\int I_{BAT} dt - \int (I_D - I_{D'}) dt}{C_0}\right) \times 100$$

I_{BAT} : 배터리 충전 전류(A)

$I_{D'}$: 잉여 방전 전류(A)

$$SOC_{t+1} = SOC_t + \frac{\sum I_{BAT}(t) \times \Delta t}{C_0}$$

SOC_t : 처음 시작점의 SOC

SOC_{t+1} : 처음 시작하는 날의 SOC

I_{BAT} : 배터리 충전 전류(A)

Δt : 산출 시간 간격

1) 한국산업규격 KS C8532

3. 시스템 구현

3.1 시스템 설계 및 구현

조명 부하를 응용한 독립형 태양광발전 시스템을 구성하기 위하여 태양전지 모듈과 컨트롤러, 인버터, 납축전지, QL-lamp를 사용하여 인천 지역(위도 $37^{\circ} 28'$, 경도 $126^{\circ} 38'$)에 시스템을 구현하였다. 태양전지 모듈은 독립형 태양광발전 시스템에 일반적으로 응용되는 고정형 어레이를 선택하였고, 최적 경사각은 Sam Coleman의 식과 태양전지 모듈에서 연간 고른 전력을 발전할 수 있도록 겨울철을 고려하여 전력을 생산할 수 있도록 50° 로 결정하였다. 다음은 최적 경사각을 위하여 사용한 Sam Coleman의 식이다.²⁾

$$D = 23.5^{\circ} \sin[(T/365.25) \times 360^{\circ}]$$

$$A = L - D$$

- A : 최적의 태양전지 모듈 경사각
- L : 설치지역의 위도
- D : 태양의 경사도
- T : 춘분점이나 추분점으로부터 측정하고자 하는 날일 수

그림 1은 전반적인 시스템 구성도를 나타낸 그림이다. 태양전지 모듈에서 발전되는 전력은 Charge Controller를 거쳐서 납축전지에 저장되고 조명 부하를 점등시키기 위하여 DC Power를 AC Power로 바꾸어주는 Inverter가 부하와 납축전지 사이에 있도록 설치하였다. 또한 모니터링을 위하여 태양전지 모듈, 납축전지, 부하의 각 단자 전압을 측정하고, shunt 저항을 이용하여 측정되는 전압값을 이용하여 전류를 구하여, 누적 환산하였다.

측정값들은 1분단위로 하루에 1440개의 데이터를 취득하였고 측정값의 오차를 검출하기 위하여 전압, 전류 신호를 주기적으로 측정함으로써 모니터링 하는 것과 비교하여 오차를 줄였으며 누적오차를 감소시켰다. 또한, 외부 환경 변화 요인을 측정하기 위하여 일사량계와 온도를 측정하였다. 일사량은 시간별 일사량을 두 시간 단위로 측정하였으며, 하루 동안의 일사량을 누적시켜서 데이터로 저장하였다. 온도는 외부온도와 납축전지를 넣어두고 있는 함의 온도를 측정하였다.

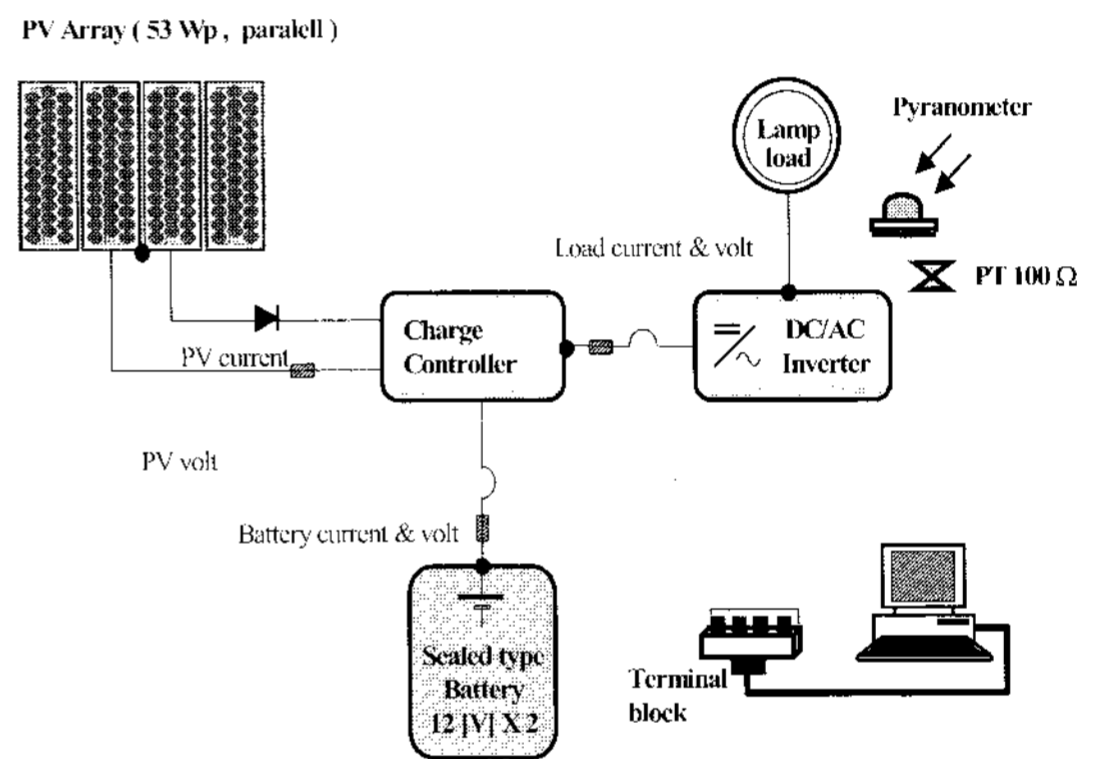


그림 1. 시스템 구성도

3.2 System Monitoring

설치된 태양광발전 시스템의 동작특성을 알아보기 위하여 컴퓨터 기반의 랩뷰(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 그래픽 프로그램 언어를 응용해 전기적인 요소들과 환경인자들을 측정하였다. 시스템에서 측정된 신호는 트랜스듀서를 거쳐서 ISA방식의 데이터 취득 카드에 의하여 A/D 변환기의 변환과정을 통하여 디지털 신호로 바뀌어 컴퓨터에서 인식할 수 있도록 구성하였다. 또한, 취득된 데이터는 랩뷰 연산 프로그래밍에 의하여 모니터를 통해 가상도구(Virtual Instrument : VIs)를 이용하여 시스템의 동작상태를 실시간으로 확인 할 수 있도록 구현하였으며, 하드디스크에 저장된다.

2) Richard Perez and Sam Coleman, "Home Power Magazine : PV Module Angles" Home Power Magazine, Vol. 36, August/September 1993

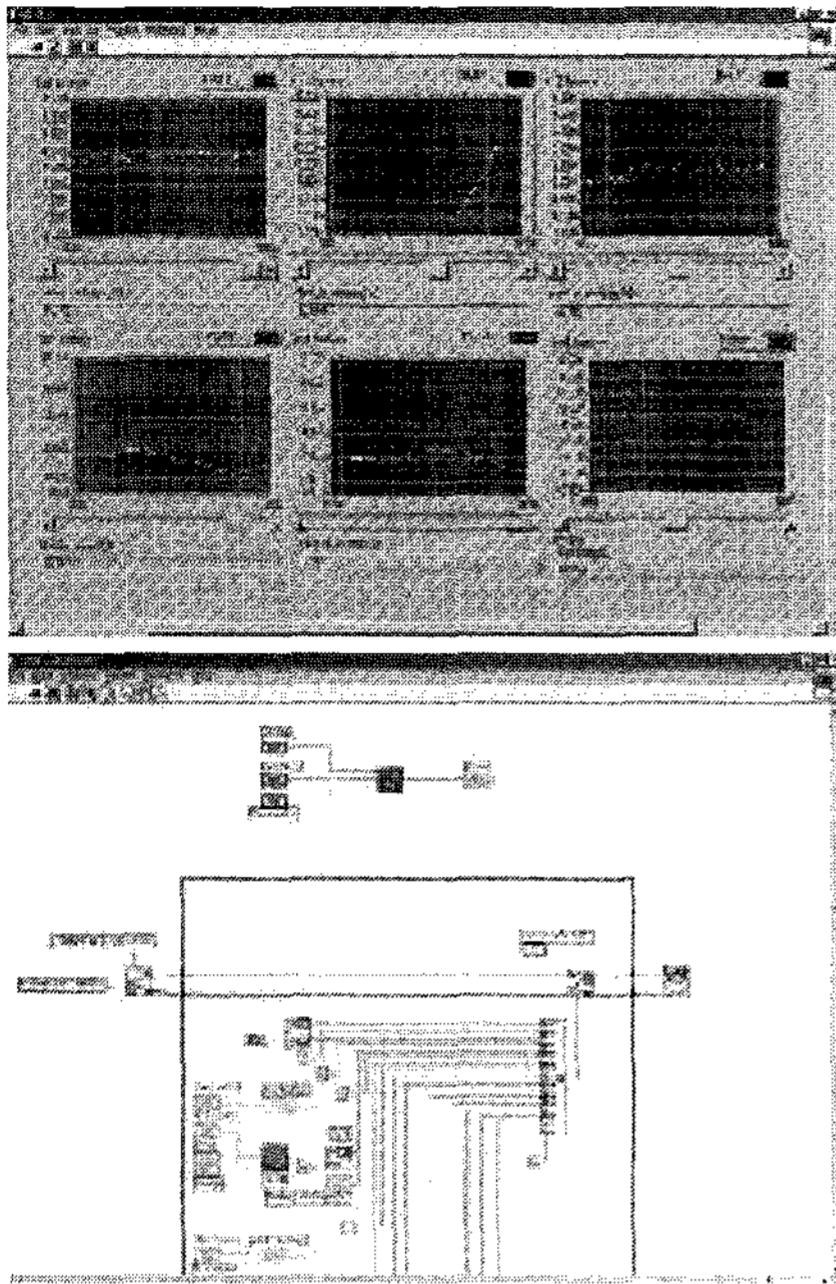


그림 2 Front Panel & Block Diagram

그림 2는 프로그램에 작성한 VI의 Front Panel과 Block Diagram을 도시하여 나타낸 것이다.

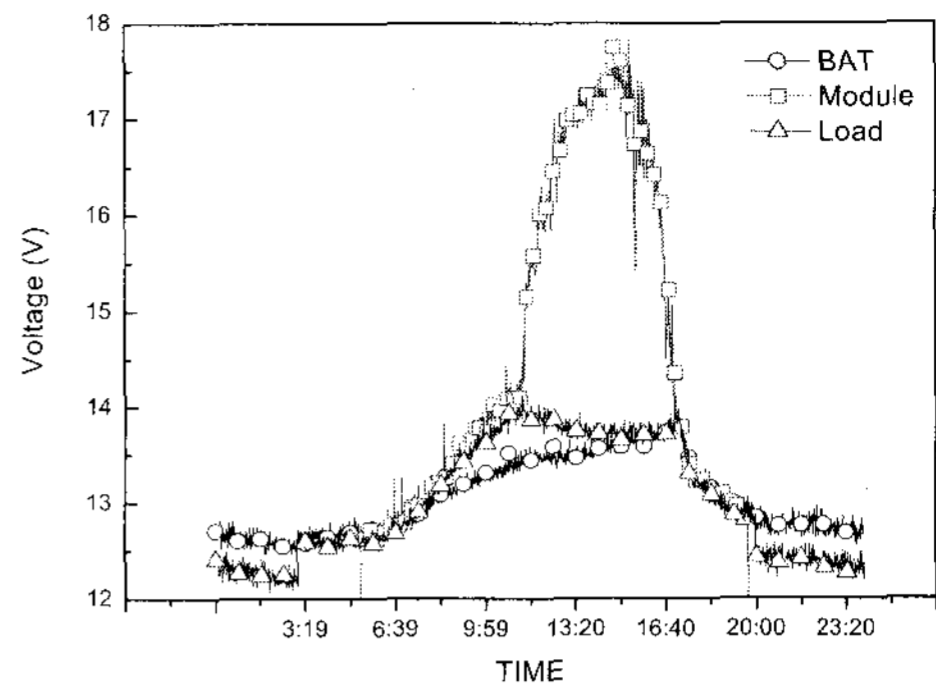


그림 3 맑은 날의 전압측정값

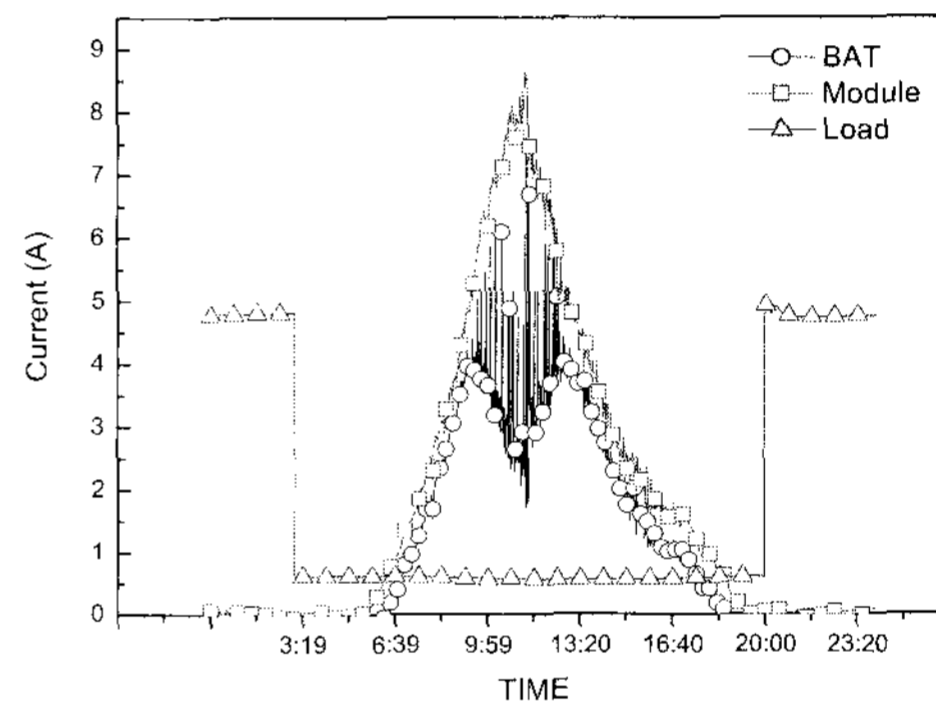


그림 4 맑은 날의 전류측정값

4. 실험 결과 및 고찰

그림 3은 대표적인 맑은 날($17.29\text{MJ}/\text{m}^2$) 하루 동안의 전압 측정값들을 도시한 그래프이다. 대부분 맑은 날의 일사량은 $15(\text{MJ}/\text{m}^2)$ 정도이다. 해 뜨는 시각에 점점 태양전지 모듈의 전압 값이 상승함을 알 수 있고 전날 부하로 소비된 배터리의 전압이 낮아졌다가 해가 뜨면서 태양전지 모듈에서 발전되는 전력으로 인하여 다시 충전됨을 알 수 있다. 또한, 조명 부하가 점등되는 시점에서는 부하 전압이 낮아지는데 이는 부하의 점등으로 인한 전류 값의 증가 때문이다.

그림 4는 대표적인 맑은 날($17.29\text{MJ}/\text{m}^2$) 하루 동안의 전류 측정값들을 도시한 그래프이다. 태양전지 모듈에서 발전되는 전류량이 점점 증가하면서

납축전지에 충전 전류가 증가함을 알 수 있다. 또한, 한낮에 많은 전류가 태양전지 모듈에서 발생되지만, 충전기의 납축전지 과충전 보호와 모듈 표면의 온도 상승으로 인하여 태양전지 모듈에서 발생되는 모든 전류가 납축전지에 충전되지 않음을 알 수 있다.

그림 5, 6은 각각 대표적인 흐린 날($4.4\text{MJ}/\text{m}^2$)의 전압과 전류를 그래프로 도시한 것이다. 흐린 날의 대부분 일사량은 $5(\text{MJ}/\text{m}^2)$ 정도의 낮은 일사량을 나타낸다. 맑은 날에 비하여 낮은 충전율을 나타내지만, 태양전지 모듈에서 $12\text{V}, 1\text{A}$ 이상의 전력이 발생하면 충전 할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 전압 자체만을 가지고는 납축전지의 잔존용량이 얼마만큼 남아있는지 판별하기가 쉽지 않았다.

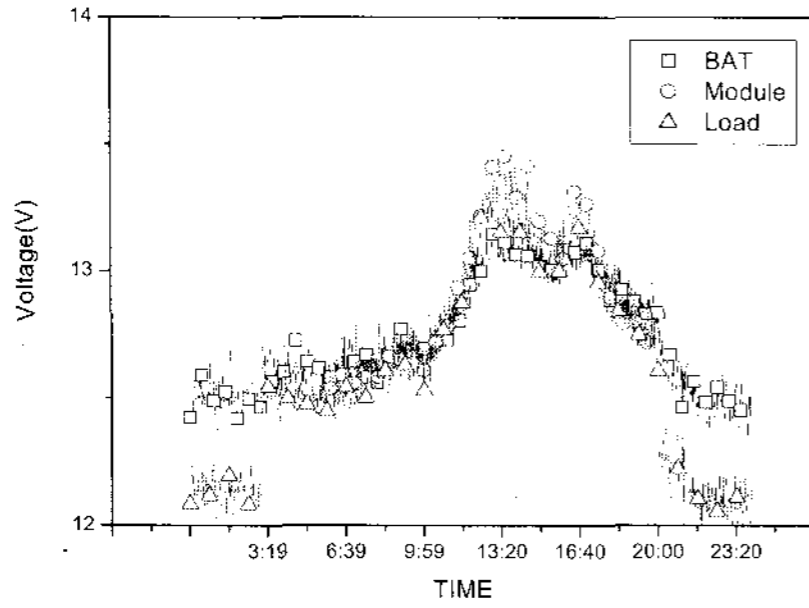


그림 5 흐린 날의 전압측정값

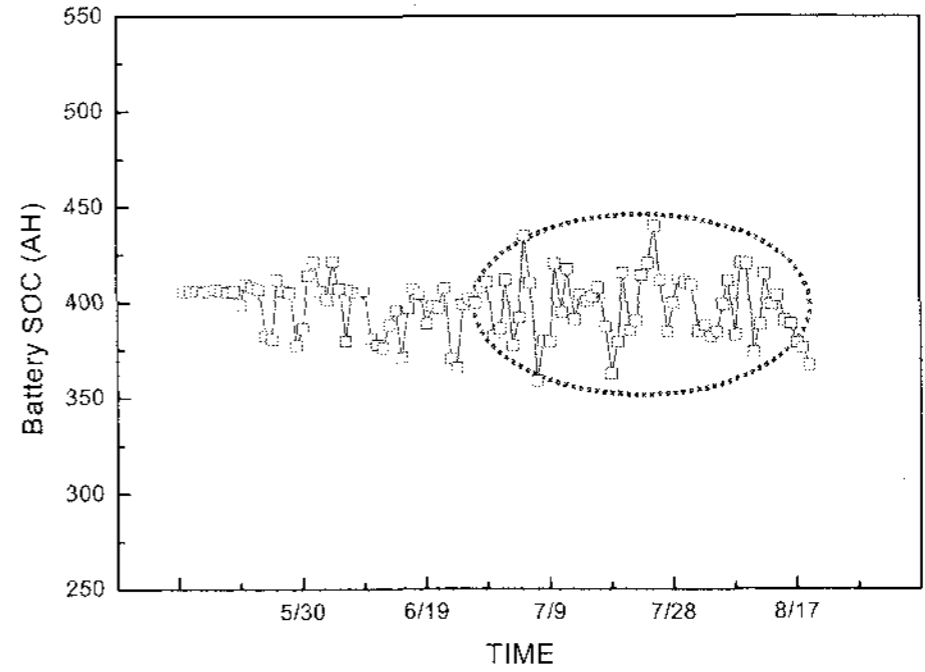


그림 7 납축전지 잔존용량

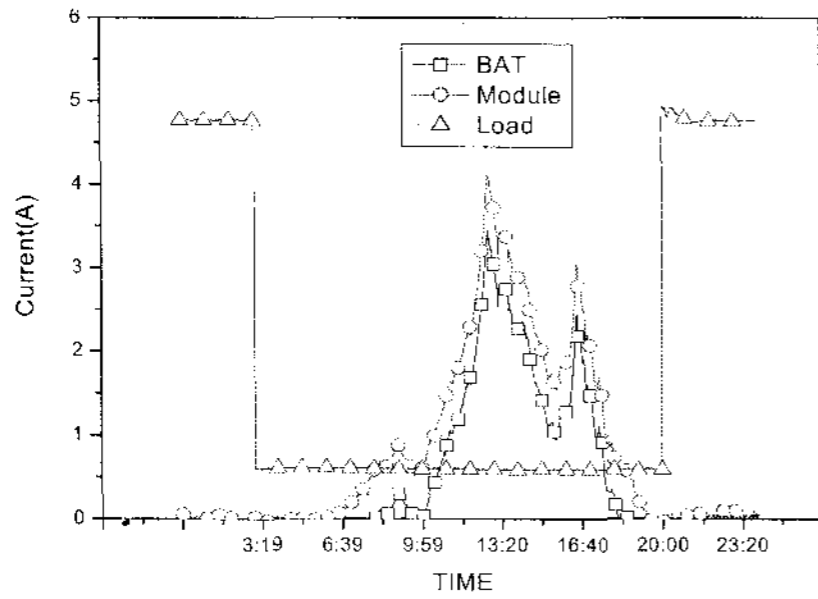


그림 6 흐린 날의 전류측정값

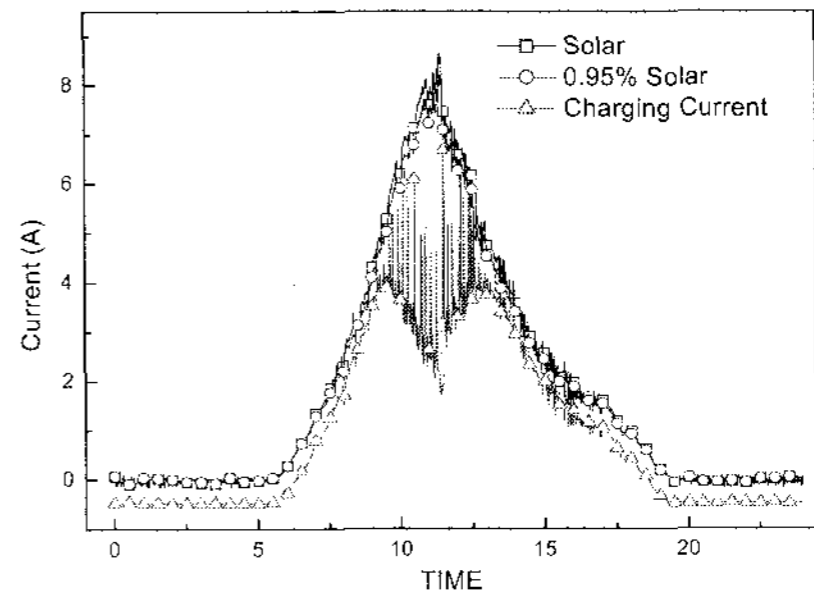


그림 8 충전 전류(맑은 날)

그림 7은 장기간적인 납축전지 잔존용량을 규격의 Q식으로 산출하여 이를 도시한 것이다. 이 기간은 2003년 초여름과 여름철에 측정한 잔존용량이다. 특히, 2003년은 장마기간이 매우 길었으며 충전 시간이 간헐적이었다. 또한, 설계시 예상했던 부조일 3일을 고려하여 시스템을 설계하였지만, 일기 특성으로 인하여 부조일이 더 길어진 경우가 7월과 8월에 자주 일어났었다.

그러나, 납축전지의 잔존용량에는 변화가 거의 없었다. 즉, 빗금친 부분의 기간에는 장기간적인 부조일과 불충분한 일사량으로 인하여 납축전지의 충전량이 매우 부족하였다. 그럼에도 불구하고 시스템의 잔존용량을 산출하는 Q식에서는 340~440Ah로 정상적인 운영을 나타냈다, 그러나, 실제 모자라는 잔존용량을 파악할 수 없었고 과방전을 막기 위한 Controller의 부하 전류 차단 현상도 발견할 수 없었다.

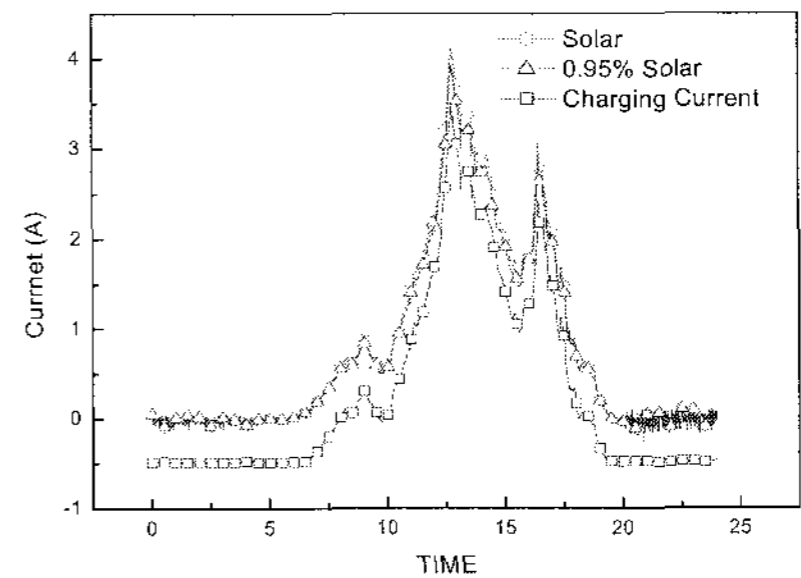


그림 9 충전 전류(흐린 날)

Q식은 그림 8과 9에서 보는 것과 같이 잔존용량 산출법에 정해져 있는 충전기의 충전 효율이 항상 95%가 되지 않음을 증명한다. 즉, 납축전지의 상태에 따라 충전 효율이 달라짐을 알 수 있었으며, 이에 더하여 일기의 변화에 따른 충전 효율이 달라짐을 알 수 있었다.

이러한 결과는 규격에서 정한 Ah측정법에서 초기에 설치한 납축전지의 잔존용량을 기준으로 하였기 때문에 장기간적인 시스템에서는 정확한 산술이 되지 않음을 알 수 있었다. 즉, 잔존용량 Q식의 C_0 는 설치한 시스템의 납축전지 정격용량으로 변화하지 않는 값이다. 따라서 하루하루 단위로 변화하는 시스템에서는 납축전지가 초기에 설치한대로 C_0 가 되지 않음을 고려하여 납축전지의 잔존용량을 산술함이 필요하다.

이에 따른 해결을 위하여 시스템의 운영상태에 따라 납축전지의 잔존용량의 변화량을 고려하여 Q' 식을 일기변화와 시스템의 상태에 따라 비교 분석하여 고찰하였다.

그림 10은 시스템을 장기간 운영하면서 처음으로 다운현상이 나타난 날을 빗금친 부분으로 표시하였다. 시스템 다운 현상은 납축전지의 과방전 보호를 위하여 충전기가 부하측 타이머에서 소비하는 전력을 차단시켜서 시스템 운영이 불규칙적인 현상으로 이루어지는 것을 말한다. 즉, Q'는 7월 6일 이후에 300Ah이하로 떨어져서 납축전지의 보호를 위하여 충전기의 과방전 동작을 예측할 수 있지만, Q는 그렇지 못함을 알 수 있다. 또한, 6월 23일경의 일사량 데이터에서 확인할 수 있듯이 부조일이 길어짐에 따라 납축전지의 잔량이 340Ah 정도로 줄어든 상태에서 부하 사용시간은 계속적으로 일정하게 유지함으로써 잔존용량 300Ah까지 떨어짐을 알 수 있다.

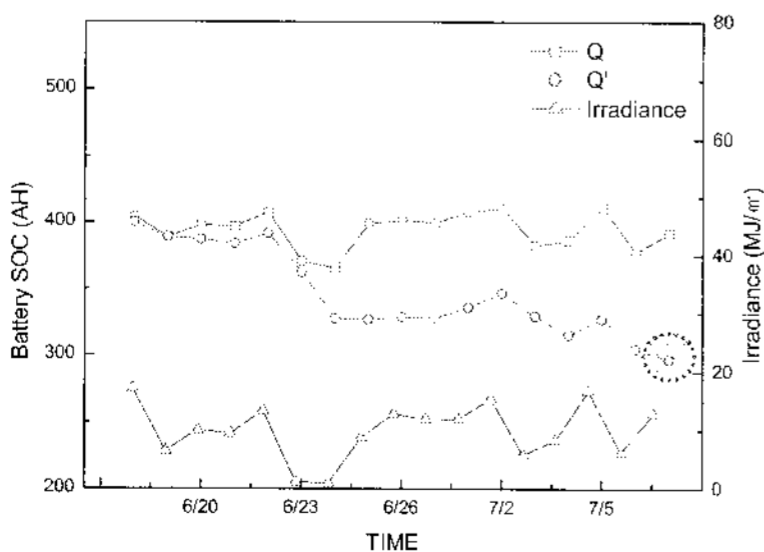


그림 10 시스템 다운

그림 11은 7월 3일 이후, 시스템 운영 중에 나타났던 잦은 시스템 다운 현상을 표현한 그래프이다. 특히, 2003년의 경우 긴 장마기간으로 인하여 부하 점등시 사용했던 전력에 비하여, 충분한 전력이 저장 되지 않았고, 처음에 설계하였던 부조일을 초과한 날이 많았으므로 납축전지에 남아 있는 잔존용량이 부족하여 잦은 시스템 다운 현상이 나타남을 알 수 있었다. 4번의 다운 현상은 모두 300Ah 근처에서 나타났는데, 이는 납축전지의 전압을 측정하고 있는 Controller의 내부 고정값에 따른 것으로 판단된다. 또한 시스템을 모니터링하면서 납축전지의 잔존용량을 미리 예측하므로 시스템 다운 현상을 방지하여 보다 안정적으로 운영하는 관리가 필요함을 알 수 있었다.

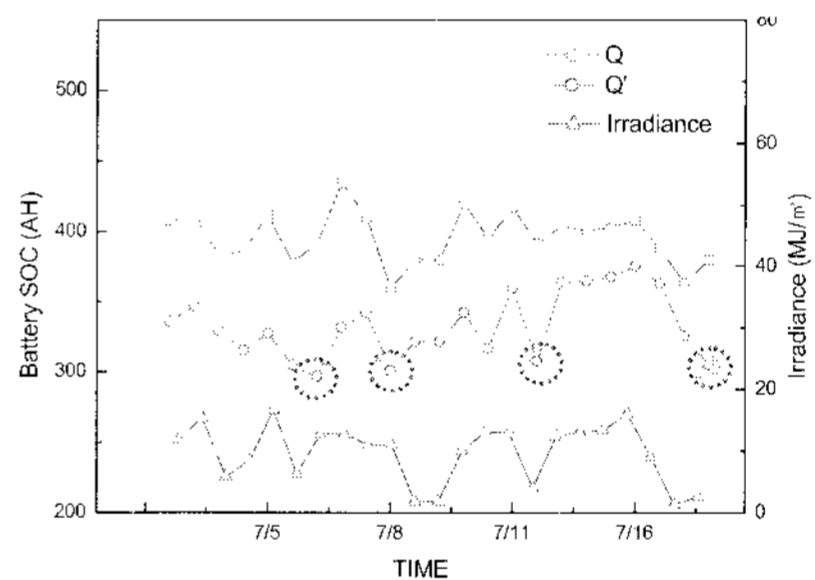


그림 11 빈번한 시스템 다운

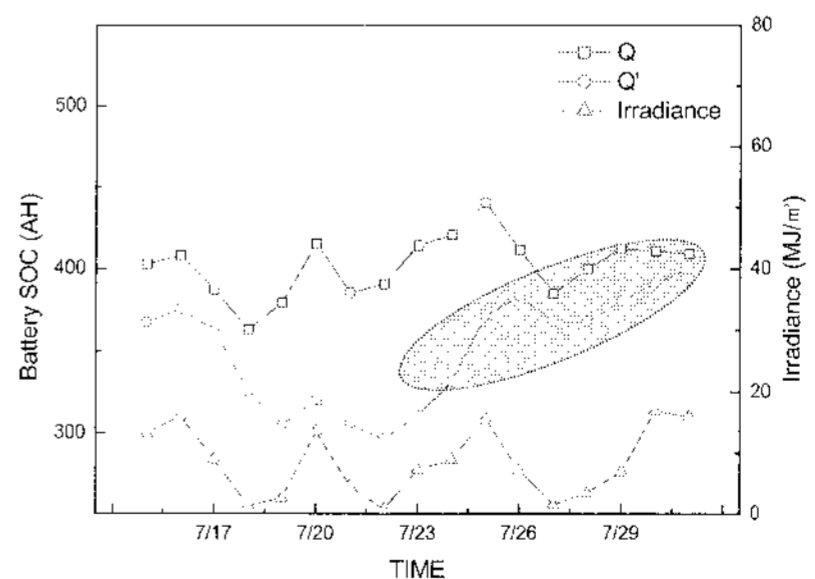


그림 12 부하 운영 패턴에 따른 잔존용량 변화

그림 12은 잦은 시스템 다운 현상을 방지하기 위하여 납축전지의 잔존용량을 파악하여 부하 운영

패턴을 바꾸어 잔존용량을 측정하는 그래프이다. 즉, 7월 21일쯤 불충분한 납축전지의 잔존용량을 예상하여 7월 22일부터 부하 사용 시간을 4시간으로 줄임으로써 납축전지에 충분한 전력을 저장할 수 있도록 시스템을 운영하였다.

빛금 친 부분에서 알 수 있듯이 납축전지의 잔존용량은 점점 증가함을 알 수 있었고 초기 설치 용량인 400Ah 근처에서 다시 정상적인 시스템을 운영하였고, 이를 바탕으로 안정적인 시스템을 운영할 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 군집적으로 운영되어지고 있는 독립형 태양광발전 시스템의 낮은 신뢰도를 개선시킬 수 있는 방안을 제안하고자, 조명 부하를 응용한 가로등용 태양광발전 시스템을 구현하여 시스템의 운영 상태를 모니터링하고 시스템에 적용한 납축전지의 잔존용량을 정확히 측정하였다. 본 연구에서 제안한 시스템의 모니터링의 방법은 그래픽 프로그램 언어를 사용함으로써 어떤 관리자라도 쉽게 이해할 수 있고, 적용할 수 있다고 판단된다.

또한, 실제 필드에서 설치되어 운영되어지고 있는 독립형 태양광발전 시스템은 에너지 저장 장치의 수명 신뢰성을 확보하는 것이 곧 시스템 전체의 운영 신뢰성을 확보할 수 있고 보다 장기적인 운용이 가능하다고 판단된다. 이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 납축전지에 들어오고 나가는 전류와 잉여 전류를 누적 환산한 잔존용량 Q' 가, 실제 시스템에서 납축전지의 불규칙한 충·방전 상태를 정확히 파악하여 납축전지의 잔존용량을 측정할 수 있었고, 실시간으로 잔존용량을 파악함으로써 시스템 다운 현상을 예측할 수 있었다. 또한, 이러한 시스템 다운 현상을 막기 위하여 부하 운영 패턴을 조절

함으로써, 납축전지의 충전 상태를 충분히 확보하여 시스템을 장기적이며 안정적으로 운영할 수 방안을 제안하였다.

후 기

본 연구는 IMT-2000 전통신사업의 IT접목기술개발사업의 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 한국산업규격 KS C8532
2. Richard Perez and Sam Coleman, "Home Power Magazine : PV Module Angles" Home Power Magazine, Vol. 36, August/September 1993
3. Benghanem M, Maafi A, "Data Acquisition System for Photovoltaic Systems Performance Monitoring" IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.47, No. 1, 1998
4. Duryea S, Islam S, Lawrance W, "A Battery Management System for Stand-Alone Photovoltaic Energy Systems", IEEE Industry Application Conference, Vol.4, pp2649-2654, 1999
5. Shinya Sato, Atsuo Kawamura, "A New Estimation Method of State of Charge using Terminal Voltage and Internal Resistance for Lead-Acid Battery", IEEE Transactions, PCC-Osaka 2002, pp565-570.
6. Margaret A. Cadacca, Ziyad M. Salameh, "Determination of Lead-Acid Battery Capacity Via Mathematical Modeling Techniques.", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 7, No. 4, September 1992