

독립형 태양광 발전소의 연 축전지 모니터링장치 개발

문채주*, 김태곤**, 장영학***, 김의선****, 임정민*

*목포대학교 공과대학 전기공학과(cjmoon@mokpo.ac.kr),
**목포대학교 신재생에너지기술연구센터(aicode@naver.com),
***목포대학교 공과대학 제어시스템공학과(yhchang@mokpo.ac.kr),
****신경대학교 인터넷정보통신학과(eskim@sgu.ac.kr),

A Monitoring Unit for Lead Storage Batteries in Stand Alone PV Generation Systems

Moon, Chae-Joo* Kim, Tae-Gon** Chang, Young-Hag*** Kim, Eui-sun**** *Lim, Jung-Min

*Dept. of Electrical Engineering, Mokpo National University(cjmoon@mokpo.ac.kr),
**Research Center for New & Renewable Energy Technology, Mokpo National University(aicode@naver.com)
***Dept. of Control System Engineering, Mokpo National University(yhchang@mokpo.ac.kr)
****Dept. of Information & communication Engineering, Shin-Gyeong University(eskim@sgu.ac.kr)

Abstract

Use of the PV(photovoltaic) generation system is increased in such areas as remote mountain places or islands at which electrical energy is not serviced. The stand alone PV system is required the power storage products such as battery, fly wheel and super capacitor. Several lead storage batteries are connected in series to get high voltages. The life of lead storage battery is shortened when over charge or over discharge takes place. So, it is needed to control batteries not to be overcharged or be discharged deeply. Voltage of each battery was ignored in former control methods in which overall voltage was used to control charge or discharge battery.

In this study, the charging and discharging voltage variations of sealed lead storage batteries with 12V/1.2A were investigated step by step experiments. The results of the test show that one should consider and specify the state of each battery to prevent overcharge or deep discharge. With the basis of the experiments, we designed a monitoring unit to monitor battery voltages simultaneously using micro-controller. The unit measures voltage of 20 batteries simultaneously and displays data on the color LCD monitor with curved line graph. It also sends data to PC using the RS232C communication port.

The designed unit was adapted to stand alone PV system with 1kW capacity and lead storage batteries are connected to the PV generation system. The number of lead storage batteries was 10 in series and 12V/250Ah each. Resistive load with 3kW was used for discharging.

Keywords : 연 축전지(Lead Storage Battery), 충전(Charging), 방전(Discharging), 모니터링(Monitoring)

투고일자 : 2008년 9월 24일, 심사일자 : 2008년 10월 6일, 게재확정일자 : 2009년 4월 1일
교신저자 : 문채주(cjmoon@mokpo.ac.kr)

1. 서 론

태양광 발전 시스템은 태양에너지를 반도체로 구성된 태양전지를 이용해 전기에너지로 변환하는 시스템이다. 상용 전원과 연결 유무에 따라 계통연계형시스템(Grid Connected System)과 독립형시스템(Stand Alone System)으로 구분된다. 계통연계형은 태양광으로 발전된 직류 전기 에너지를 인버터에 공급하여 상용 전력으로 변환하고 전력 계통에 전송하는 시스템이다. 계통연계형은 발생한 전력을 저장하지 않고 바로 송전을 하는 태양광 발전소에 주로 사용되며, 독립형은 산간 지역이나 도서 지역의 소규모 발전소, 해양기지 전원, 등대 전원 및 원거리 통신기지 등의 전원으로 사용하는 방식이다. 독립형은 주간에 태양광으로 발생된 잉여 직류 전력을 배터리에 저장한 후 야간이나 태양광이 적을 때 전력을 공급한다. 따라서 독립형 시스템은 배터리가 시스템의 중요 구성요소이다. 독립형 태양광 발전 설비는 주로 일반 주거 시설에서 멀리 떨어진 곳에 설치되며 위치 특성 상 전문 인력에 의한 관리가 어려워 축전지의 과도한 충방전이 발생할 경우 수명이 단축된다. 특히 직렬 연결된 경우 과도한 충방전을 방지하기 위해 축전지 전압을 측정하여 충방전 전압 제어를 하고 있다.

연축전지는 안정된 특성과 다른 전지에 비해 상대적으로 저렴한 가격으로 가장 널리 사용되는 2차 전지이다. 최근 신재생에너지의 개발과 함께 전력 저장 장치로 많이 사용되고 있는 연축전지는 독립형 태양광 발전 시스템의 경우 주간에 생산된 전력의 일부분을 저장하여 야간에 사용될 수 있게 한다[1].

따라서 본 연구에서는 중소규모의 독립형 태양광 발전 시스템에서 전력 저장을 위해 직렬연결로 사용되는 연축전지 각각의 상태를 실시간으로 모니터링하는 장치를 개발하여 개별 연축전지의 상태에 따른 충전 제어와 과방전이 되지 않도록 함으로써 발전 시스템의 안정적인 운전을 도울 수 있도록 한다.

이를 위해 개별 축전지의 전압과 전류를 측정하기 위한 측정 회로부를 설계하고, 전압을 감시하고 제어하기 위해 단일 칩 마이크로컨트롤러를 사용한 제어회로와 제어 프로그램을 개발하였다. 제안된 장치를 1kW의 태양광 발전 설비에 적용하여 시험한 결과 배터리의 안정적으로 충 방전이 제어됨을 확인하였다.

2. 독립형 태양광발전시스템

그림 1은 독립형 태양광 발전 시스템의 일반적인 구성이다. 태양광을 직류 전기로 변환하는 태양전지모듈은 광기전력효과(Photovoltaic Effect)를 이용한 것으로, 그림 2는 전류원과 P-N접합 다이오드 그리고 저항으로 구성된 태양전지 모델이다.

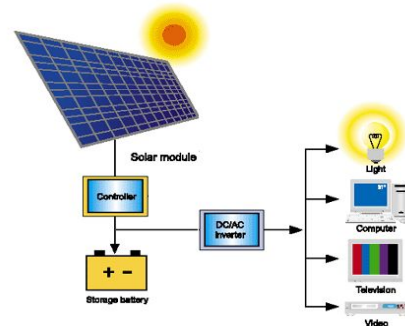


그림 1. 독립형 태양광 발전 시스템의 구성

그림 2에서 출력 전류 I 는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.[2]

$$I = I_{ph} - I_{sat} \left(\exp \left[\frac{q(V + IR_s)}{AKT} \right] - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

I_{ph} 는 광기전류, I_{sat} 는 역포화전류, q 는 전하량, A 는 다이오드 성능지수, K 볼츠만 상수, T 절대온도, R_s 직렬저항, R_{sh} 병렬저항, I 는 부하 전류 그리고 V 는 부하 전압이다. Controller는 태양전지의 출력 전류 I 가 일사량과 온도 그리고 부하에 따라 변하기 때문에 발전 효율을 높이기 위해 태양 전지의 $I-V$ 곡선으로부터

최대 출력점(MPP)을 추적 할 수 있도록 부하의 조건에 따라 전류 및 전압 값을 조정한다.

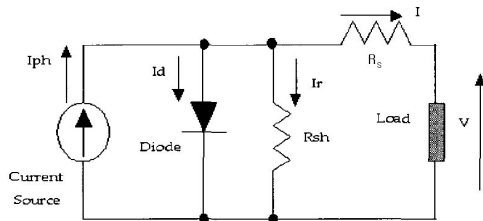


그림 2. 태양전지 모델

배터리는 태양전지에서 발생된 전력을 저장하여 부하에 공급한다. 독립형 태양광 발전 시스템의 부하는 사용 시간과 동작 특성에 따라 구분할 수 있으며 24시간 연속 사용하는 상시부하, 야간에 사용하는 야간 부하 그리고 순간적으로 사용하는 단속 부하로 구분될 수 있다. 상시 부하나 야간 부하의 전력은 주간에 생산되어 배터리에 저장된 것으로 안정적인 전력 공급을 위해서 충방전 관리가 요구된다. 과도한 충전이나 방전은 배터리의 수명을 단축시킬 뿐만 아니라 시스템의 안정적인 전력 수급에 지장을 초래하게 된다. 따라서 배터리의 충방전을 제어하는 장치들이 설치되어 과도한 충방전을 방지하고 있다. 기존의 방법에서는 직렬로 연결된 배터리의 전체 전압을 측정하여 제어하고 있으며 이 경우 하나의 배터리가 성능이 떨어질 경우 전체 배터리를 교체하게 될 뿐만 아니라 문제가 발생된 후에 조치를 취하게 되어 시스템 운용을 어렵게 한다. 따라서 본 논문에서는 직렬로 연결된 개별 배터리의 충방전을 실시간으로 모니터링 하여 과도한 충방전을 방지할 뿐만 아니라 배터리의 성능을 지속적으로 관리할 수 있는 장치에 대하여 기술하고자 한다.

3. 연축전지의 충방전 특성 실험

배터리가 충전되면 잔존용량이 증가하면서 전압이 상승하고 방전 시에는 전압이 감소한다.

다. 이러한 특성은 태양광발전에서 MPPT 특성을 결정하는 요인이 된다.

그림 3은 배터리의 충방전 특성이다. $-\nabla V$ 지점은 만 충전 상태에서 전지의 역 반응이 나타나는 것으로 충전이 지속되면 배터리의 극판이 손상되어 수명을 단축시키게 된다.

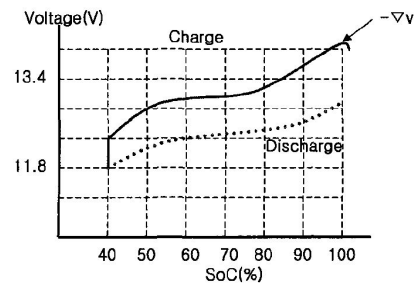


그림 3. 배터리의 충전 및 방전 곡선

그림 3의 실선은 충전 특성을 나타낸 것이고, 점선은 방전 특성이다. 동일 잔존 용량에서 방전의 경우 전압이 낮게 나타나는 것은 배터리의 내부저항으로 인한 것으로, 충방전 시 배터리를 보호하기 위해서는 차단 전압을 설정하여 과 충전이나 과 방전을 방지해야 한다. 배터리의 방전은 보통 60~70%의 방전 심도를 갖도록 설계한다.[3]

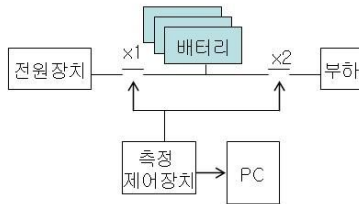
3.1 실험 장치와 방법

직렬 연결된 연축전지에서 개별 축전지의 충방전 특성을 알아보기 위해 연축전지를 직렬로 연결하여 충방전 실험을 실시하였다. 실험에 사용한 축전지는 새로 구입한 밀폐형의 용량 12V/1.2Ah 3개이다. 충전에 사용된 충전기는 전압과 전류가 조정되는 트랜스 방식의 최대 전압 60V, 최대 전류 10A의 직류 전원 장치를 사용하였다. 부하는 50Ω/100W 가변저항을 사용하였다. 축전지의 충방전 특성은 온도에 영향을 받는다. 본 연구는 실온에서 실시하였다. 충전 시 초기 충전 전류는 0.6A, 충전 종료 전압은 14.3V로 설정 하였

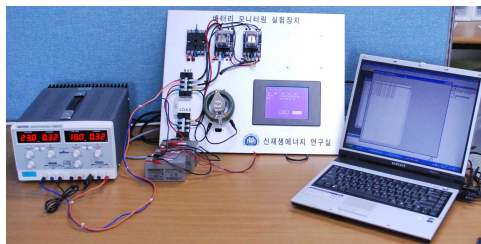
고, 방전 시 방전 종료 전압은 10.7V로 설정하였다. 전압 측정 및 충방전 제어기는 터치스크린이 포함된 제어기를 사용하여 제작하였고, 측정 데이터는 10초 간격으로 샘플링하여 RS232 통신으로 PC에서 저장하였다.

본 실험의 목적은 특성이 다른 축전지가 직렬 연결될 경우 충방전 시 개별 축전지의 전압 특성을 알아보기 위한 것으로 이를 위해 하나의 축전지를 대상으로 48시간 동안 설정된 전압까지 충방전을 실시한 후 다른 두 개와 직렬로 연결하고 충방전 실험을 실시하였다. 충전 제어는 세 개의 축전지 중 하나라도 충전 종료 전압인 14.3V에 도달하면 종료하도록 하였고 방전 제어는 세 개의 축전지 중 하나라도 10.7V에 이르면 종료하도록 하였다.

그림 4는 실험 장치 구성으로 왼쪽이 충전용 직류 전원 장치이고, 중앙이 제작된 축전지 충방전 제어 및 전압 측정 장치이며, 오른쪽이 측정 데이터를 저장하는 노트북PC이다.



(a) 블록도



(b) 장치 사진

그림 4. 실험 장치 블록도 와 사진

3.2 전압 측정

그림 5는 하나의 축전지 전압을 측정하기 위해 저항으로 구성된 분압 회로이고, 분압 저항은 전원 전압이 15V일 때 5V가 출력 되도록 선택하여 5V를 최대 입력으로 사용할 수 있는 마이크로컨트롤러에서 처리할 수 있도록 설정하였다. 측정 값의 교정은 10V와 15V의 전압을 표준 전압으로 연결하여 2점 보정을 하였고 측정 오차는 최대 0.05V를 나타냈다. 마이크로컨트롤러의 A/D 변환기는 10비트이다.

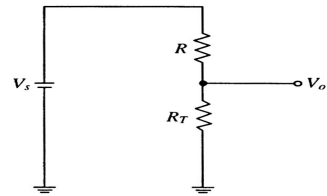


그림 5. 전압 측정 회로

3.3 실험

다음의 그림들에서 BAT1은 48시간 충방전을 실시한 축전지이고 BAT2와 3은 양호한 축전지이다.

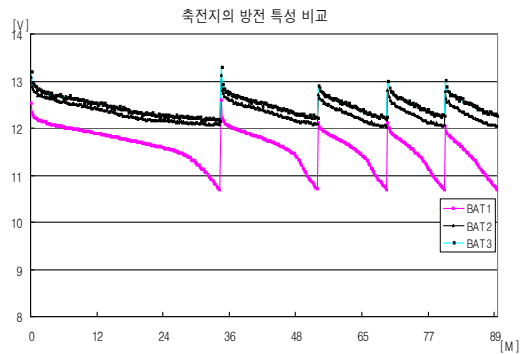


그림 6. 방전에 따른 개별 축전지 전압변화

그림 6은 직렬 연결된 세 개의 축전지를 24시간 동안 충방전을 실시한 결과에서 방전 경우만 추출한 것이다. 방전 누적 시간은 약 89분 동안이었으며 사용하지 않은 BAT2와 BAT3은

전체 실험 시간 동안 완만한 방전 특성을 보인 반면 BAT1은 다른 두 개의 축전지 보다 낮은 전압을 나타내면서 방전 시간이 지남에 따라 급격한 방전 전압 변화를 나타냈다.

이는 상태가 서로 다른 축전지가 직렬연결로 사용될 때 특성이 상대적으로 나쁜 축전지의 전력이 먼저 소진됨을 의미하고 전체 전압을 기준으로 방전 제어를 할 경우 그 축전지는 심방전에 장시간 노출되어 충전 불능 상태로 될 수 있으며 축전지 전체 효율이 떨어질 수 있음을 의미한다.

그림 7은 BAT1의 시간에 따른 방전 전압 변화이며 처음 방전을 시작했을 때는 방전 종료 전압까지 34분 정도가 소요되었으나 충전방전이 반복됨에 따라 방전 종료 전압에 도달하는 시간이 짧아짐을 알 수 있었다. 그림 7의 데이터로 볼 때 배터리가 노후되면 사용 가능 시간이 줄어든다는 것을 의미하며 기존의 연구 결과와 일치하였다[4].

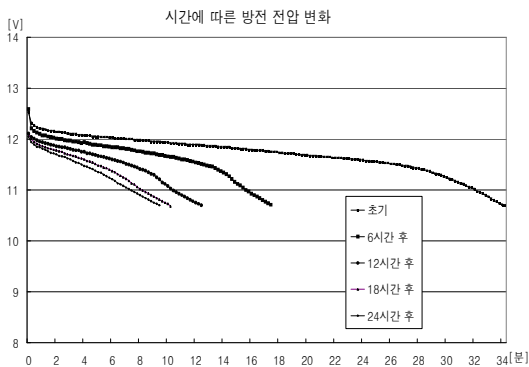


그림 7. BAT1의 시간에 따른 방전 전압 변화

4. 연 축전지 모니터링 장치 제작 및 실험

이상의 실험 결과를 고려할 때 직렬 연결된 연축전지의 충전 방전 제어는 개별 전지의 상태를 고려하여 이루어져야 함을 알 수 있다. 따라서 독립형 태양광 발전시스템의 연 축전지 모니터링 및 충전방전 제어기는 개별

배터리의 상태를 모니터링 할 수 있는 기능이 필요하며 본 논문에서는 최대 20개의 배터리를 동시에 모니터링 할 수 있는 장치를 개발하였다. 최대 측정 가능 전압은 300V이며, 터치스크린을 사용하여 조작이 편리하도록 하였다. 20개의 배터리 상태를 실시간 그래프로 표시할 수 있게 하여 배터리의 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있으며 설정된 제어 전압으로 충전방전 제어가 이루어지도록 하였다. 측정 결과는 RS232C 통신 포트를 이용하여 PC로 전송된다.

그림 8은 제작된 장치의 회로도이다. 사용된 프로세서는 15개의 10비트 AD 입력과 2개의 RS232C 직렬통신포트를 구비한 것을 사용하였다. 회로는 20개의 배터리 전압을 선택하기위한 아날로그 멀티플렉서, 배터리 전압의 상한과 하한 설정 값을 검출하기위한 윈도우 컴퍼레이터 회로 그리고 포토커플러로 절연되어 최대 8개의 릴레이를 구동할 수 있는 다링톤 트랜지스터 회로로 구성하였다.

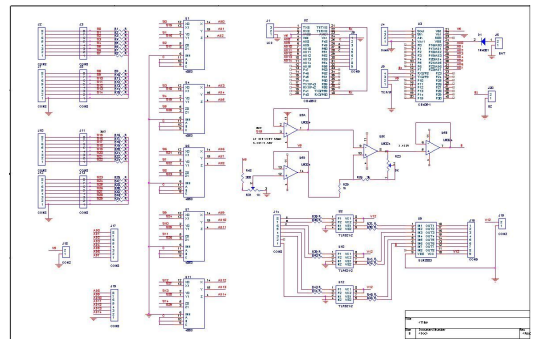


그림 8. 측정 및 제어 회로도

그림 9는 목포대학교 공과대학 옥상에 설치된 1kW 태양광 발전설비에 연결된 배터리의 충전 및 방전 실험 모니터링 및 제어 결과이다. 배터리는 12V/250Ah의 연축전지 10개가 직렬로 연결되어 있고 3kW의 저항부하를 연결하여 방전을 하였으며 충전 종료 전압은 13.7V로 설정하고 방전 종료 전압은

11V로 설정 하였다. 측정 시간은 2009년 1월 20일 오전 5시부터 오후 7시까지이다. 충전 전 배터리 전압은 bat7이 최대 12.9V이고 bat8이 최소 12.1V를 나타냈다. 오전 8시경에 방전이 시작되어 12시에 충전 종료 전압에 이르러 부하를 켜서 방전을 개시하였고, 오후 2시 12분에 방전 종료 전압에서 부하가 꺼져 과도한 방전이 제한되는 것을 볼 수 있다. 그림 9에서 충전 구간의 배터리 전압을 보면 bat1과 bat6, bat2와 bat7의 순위가 달라진 것을 볼 수 있다. 이것은 배터리의 상태를 진단하는 정보로 활용될 수 있다.

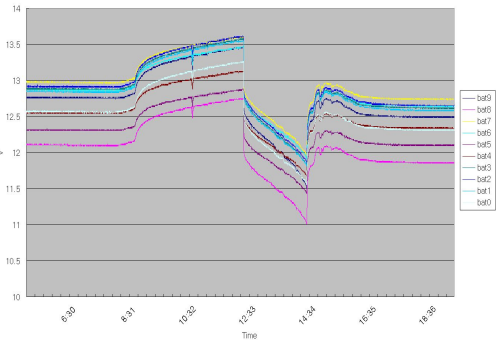


그림 9. 배터리의 충전 및 방전 실험 데이터

그림 10의 막대그래프는 각 배터리의 전압 변화를 나타낸 것으로 방전이 시작된 12시 7분과 방전 종료 직전인 14시10분에 측정된 전압의 차이이다.

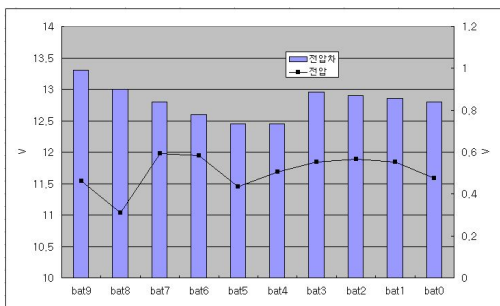


그림 10. 방전에 따른 배터리 전압 변화

그림 10의 꺾은 선은 방전 종료 직전의 전압이다. bat9의 전압 변화는 약 1V로 10개의 배터리 중 가장 많은 변화를 나타냈으며 bat8은 0.9V의 전압 변화와 방전 종료 시점의 전압이 11V로 10개의 배터리 중 최저 전압을 나타내 배터리의 상태가 가장 나쁠 것으로 추정 된다.

그림 11은 제작된 장치 사진이다.



그림 11. 장치 사진

5. 결 론

연축전지 충방전 실험 및 독립형 태양광 발전 시스템의 모니터링 장치 개발에 관한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 터치스크린 컨트롤러를 포함한 배터리 전압 측정 장치를 제작하여 20개의 축전지 전압을 동시에 측정하고 저장할 수 있는 장치와 프로그램을 개발하였다.
- (2) 본 연구에서 개발한 장치와 프로그램을 독립형 태양광 발전 시스템의 배터리 모니터링에 적용한 결과 과충전 및 과방전을 방지하여 배터리가 보호됨을 확인하였다.
- (3) 양호한 상태의 배터리와 노후된 배터리를 직렬연결하고 방전 시간을 측정할 결

- 과 노후된 배터리의 방전 시간이 상대적으로 짧음을 실험으로 확인하였다.
- (4) 노후된 배터리를 미리 충전하고 양호한 축전지와 직렬연결 하여 충방전 시킨 결과 충전 전압은 양호한 배터리의 전압보다 먼저 상승하였지만 방전은 더 빨리 진행되어 충전 전압이 먼저 상승한 것이 전력이 충분히 저장된 것은 아님을 알 수 있었다.
- (5) 실험 결과로 볼 때 배터리를 직렬로 연결하여 사용하는 경우 배터리의 충방전 제어는 개별 배터리의 전압을 모니터링하여 수행되어야 하며 그렇지 않을 경우 일부 배터리에서 과충전 또는 과방전을 야기하여 전체 충전 효율을 저하시킬 수 있음을 알 수 있었다.
4. 박윤희, 전순영, 서보혁, 산업용 연축전지의 충전특성 실험에 근거한 충전효율 개선 알고리즘, 전기학회 논문지, 49D권 8호, 2000.8

본 장치는 원격 통신 및 제어 프로그램이 추가되고 데이터 자동 분석 프로그램이 추가 되면 무인 독립형 태양광 발전 시설에서 배터리 상태에 따른 전력 자동 관리 장치로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 목포대학교 교내학술 연구비 지원 사업으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 장태익 외, 신·재생에너지공학, (주)북스힐, 2007
2. 윤연섭, 김규태, 태양광 발전용 무보수 밀폐형 연축전지 개발, 한국태양에너지학회 학술대회논문집, pp. 115-118. 1997
3. 이우희, 이미영, 이준하, 이홍주, 안정적인 태양광발전시스템의 설계를 위한 태양전지와 배터리 용량산정 방안, 한국산학기술학회논문지, vol6, No. 5, pp. 396-400, 2005