

태양광 발전용 밀폐형 연축전지(VRLA)의 최적 운용에 대한 연구

김희중, 혁덕수, 이래철
세방전지(주) 중앙전지 기술 연구소

A Study of The Optimum Operating Condition in Photovoltaic System

Hee-Jung Kim, Deok-Su Hyun, Nae-Chel Lee
Central Institute of Battery Technology Global & Yuasa Battery Co., Ltd.

Abstract - 본 연구에서는 태양광 발전 시스템용 밀폐형 연축전지(VRLA Valve Regulated Lead Acid battery)의 특성을 고려한 최적 충전 기법을 적용하여 축전지 수명과 충전 현상 및 부작질한 충전에 의한 조기 수명 저하의 요인을 해결할 수 있는 방안을 모색함으로써, 태양광 발전 시스템의 활성화 및 Lift-Cycle 단자를 감소시킬 수 있는 기초 자료로 활용하고자 한다. 또한 원격 감시 시스템을 통한 시스템의 운용 상태 결과를 정확하게 실시간 수집 분석하여 대체에너지용 밀폐형 축전지 최적 충전 시스템 상용화를 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

1. 서 론

태양광 발전 시스템 구성 방식은 일사량 및 기후 조건에 따라 크게 변동하기 때문에 전원과 부하사이의 전력을 조화시킬 필요가 있으며 도서 및 특수 전원용으로 사용하는 독립형 태양광 발전 시스템과 상용 전력 전원과 연계하여 사용하는 계통 연계형 태양광 발전 시스템으로 구분한다.

본 연구에서는 국내 설치된 태양광 발전 시스템 중에 대부분을 차지하고 있으며, 향후에도 점차 시장이 확대될 것으로 기대되는 독립형 태양광 발전 시스템에 대하여 연구 수행하였다.

현재 세계적으로 대체에너지용 축전지는 무인(無人) 운전과 원격지 컨트롤이 가능하도록 밀폐형 축전지를 적용하고 있는 추세이다. 이와 같은 밀폐형 연축전지(VRLA)를 태양광 축전지에 적용할 경우에는 기존의 액식(Flooded Type) 전지의 경우와는 다른 밀폐형 축전지 특성에 적합한 최적의 충전 기법을 적용하여야만 한다. 기존의 태양광 시스템의 충전 조건은 낮은 연결 전압을 가진 단순한 ON/OFF 충전 조건을 가지고 있다. 이와 같은 단순한 ON/OFF 충전 조건의 주요한 문제점은 매우 비효율적이며, 이는 조기에 충전이 종결되는 경향을 나타낸다. VRLA 전지는 규정 충전 전압에 매우 민감하며, 액식 전지에 비하여 전압 차이에 따라 수명 및 성능에 큰 제약을 받는다. 따라서 이러한 VRLA 전지의 특성을 이해후 시스템이 제작되어야 하거나 현대 국내 실정은 시스템과 축전지간 정확한 이해부족으로 축전지는 고급형 밀폐형 전지를 사용하며 충전 시스템은 과거의 단순 충전 방식을 고집하고 있는 실정이다.

현재 대부분의 태양광 시스템의 충전 방식은 단순한 ON/OFF 충전 방식을 사용함으로서, VRLA 전자는 과충전되거나 만충전 되지 못하는 결과를 초래하게 된다. 만일 VRLA 전자가 설정 전압이 높은 상태에서 충전되어지면, 전해액이 분해되어 Gas 발생이 증가하고 이로 인해 전해액 감소 또는 Dry-out이 발생되어 축전지 조기 수명 감소로 이어진다. 이로 인해 전체적인 태양광 발전 시스템의 수명이 다른 대체에너지 원에 비해 열악해지는 한 원인으로도 작용한다. 여기서 말하는 조기 용량 감소 현상이란 축전지가 만충전되지 못한 경우에 극판이 비가역적인 황산염(Sulfation)으로 변화 되는 것을 말한다.

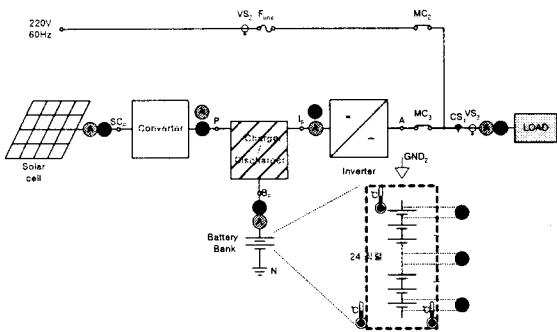
본 연구에서는 태양광 발전 시스템에 적합한 VRLA 전지의 특성을 고려한 최적 충전 기법을 적용하여 축전지 수명 연장을 물론 안정된 시스템을 구축하여 태양광 발전 시스템의 lift-cycle 단자를 감소시킬 수 있는 기초 자료로 활용하고자 한다. 또한 원격 감시 시스템을 구축함으로서 시스템의 운용상태 결과를 정확하게 수집 분석함으로 태양광용 축전지 개발 및 최적 시스템 상용화의 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 태양광 발전 시스템 Model 및 축전지 특성

2.1. 1KW 태양광 발전 시스템의 구성

당사에 설치한 1KW급 독립형 태양광 발전 시스템을 이용하여 연구를 수행하였으며, 시스템 구성도는 그림 1에 나타내었다. 1KW급 독립형 태양광 발전 시스템에서 태양 전지는 LG 산전의 GMG01530 (최대 출력 : 53W) 20장으로 구성되었으며, 축전전자는 세방전지(주)의 태양광 발전용 밀폐형 연축전지 (2V, 200Ah) 24대를 직렬로 연결하였다.

시스템 구성은 태양 전지에서 발생한 전력을 IGBT 고주파를 이용한 직류 변환 장치를 통하여 축전전지에 전력을 공급하는 DC-DC 컨버터와 부하에 전력을 공급할 수 있도록 전압을 DC전력을 AC 전력으로 변환하는 인버터 구성되며, 구성된 시스템의 운용 상태를 파악하기 위하여 각 부분에 실측값을 측정할 수 있도록 Data Acquisition을 구성하였다. 또한 Visual Basic으로 개발된 프로그램을 통하여 시스템을 제어하고, 축전 Data를 저장 및 분석할 수 있도록 설계하였다. 이를 통하여 시스템 각 지점에서의 전압 및 전류를 측정함으로서 시스템의 운용 상태를 효율적으로 파악할 수 있도록 하였다. 본 시스템은 CDS(광 감지 센서)를 이용하여 자동으로 주야간을 인식하여 시스템이 동작하고 동시에 LAN 선을 통한 원격 시스템을 구축함으로써 실시간으로 시스템 상황을 감시할 수 있도록 설계 제작하였다.



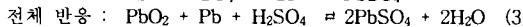
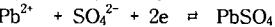
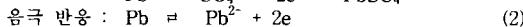
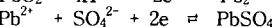
<그림1. 1KW 독립형 태양광 발전 시스템 개략도>

2.2. 밀폐형 연축전지의 기본 이론

여러 가지 밀폐형 전지 중에서 본 연구에서는 10년 이상의 전지 수명을 가진 Gel Type 밀폐형 연축전지를 적용하여 연구를 진행하였다. Gel Type 밀폐형 연축전자는 기존의 개방형 연축전지(Flooded type)의 구조와는 달리 전해액을 겉상의 고형화 형태로 만들어 전해액이 누액 되는 현상을 방지하고 산소 재결합(Oxygen recombination)원리를 이용하여 충전시 양극에서 발생되는 산소를 음극에서 발생하는 수소와 재결합시켜 다시 물로 환원시킴으로서 전해액의 손실을 최소화 시켜 사용 중 전제수의 보충이 필요 없는 무보수(Maintenance free)Gel Type 전지를 말한다.

연축전지를 밀폐화하기 위해서는 내부에서 발생되는 기체를

전지 내부에서 다시 소모시킴으로서 내부 압력의 상승 및 이로 인한 전해액 고갈을 막을 수 있어야 한다. 연축전지는 충전 시 양극에서 황산납이 이산화납(PbO_2)으로 산화되고, 음극에서는 황산납이 해면상의 납(Pb)으로 환원된다. 또한 방전기 양극에서는 이산화납이 환원되고 음극에서는 금속납이 산화되어 두 전극 모두 황산납($PbSO_4$)을 생성하게 된다. 이를 일반적인 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



또한, 양극에서는 충전이 상당히 진행됨에 따라 산소가 발생되며, 충전이 완료될 시점에서는 산소만이 발생하게 된다. 이렇게 발생되는 산소와 수소는 전지 내부 압력이 증가를 야기하며, 이 기체를 외부로 내보내야 하는데 이는 전해액 감소의 원인이 된다. 따라서 밀폐전자는 산소 재결합(Oxygen recombination) 원리를 이용해 수소와 산소의 재결합 반응을 전지내에서 일으킴으로 전해액 감소를 억제시키며 결국 수명을 증대시킬 수 있다.

3 실험 결과 및 토의

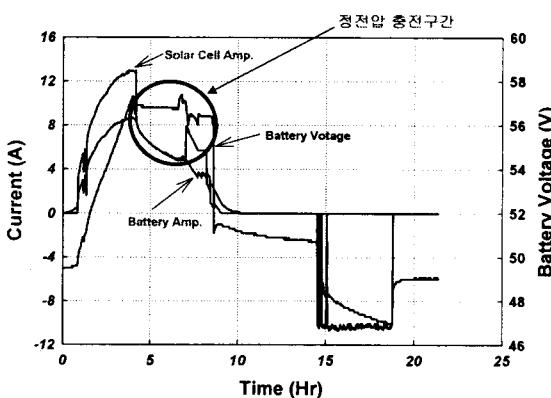
3.1 정전압 충전 방식 적용

일반적인 태양광 발전 시스템의 충전 방식은 설정 전압의 조절에 의하여 작동되어지는 ON/OFF 충전 방식을 채택하고 있다. 이와 같은 ON/OFF 충전 방식은 매우 비효율적이며, 초기에 충전이 종결되는 큰 문제점을 가지고 있다. 또한 ON/OFF 충전 방식은 낮은 전압으로 설정할 경우에 축전지가 만충전 되지 못하며, 이로 인하여 축전지의 비가역적인 Sulfation을 초래하게 되며, 높은 전압으로 설정할 경우에 축전지는 과충전 되는데 이는 충전 말기에 과다한 gas 발생 및 전해액 감소를 유발하여 Gel Dry-out에 의한 초기 용량 감소의 주요인으로 작용한다.

본 연구에서는 ON/OFF 충전 방식으로 인한 축전지의 초기 용량 감소를 해결하기 위한 방안으로 밀폐형 축전지의 충전 방식으로 일반적으로 제조업체에서 권장하는 정전압 충전 방식을 선택하였다. 정전압 충전 방식을 적용한 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림 2는 2003년 1월 24일 오전 7시부터 익일 7시 까지 태양 전지의 출력 전류, 축전지의 충전 전류 및 전압에 대한 결과를 보여주는 것이다. 결과를 보면 충전이 시작되어 4시간동안은 최대 충전 전류로 충전이 진행되지만, 전압이 57.6V(2.4V/Cell)에 도달하면 전압은 일정하게 유지되지만 전류는 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 충전 경향을 보이는 충전 기법을 정전압 충전 방식이라고 한다.

이와 같은 정전압 충전 방식은 설정 전압을 일정하게 유지하면서 충전되어야 하므로, 전압 상승으로 인한 과다한 gas 발생을 억제할 수 있을 뿐만 아니라 ON/OFF 충전 방식과 같이 설정 전압에서 종결됨으로써 축전지가 만충전되지 못하는 문제점을 해결할 수 있다. 따라서 정전압 충전 방식을 적용함으로서 태양광 발전 시스템의 유지 관리에서 축전지가 초기에 용량 감소로 인한 교체 비용을 절감할 수 있을 것으로 사료 되어진다.

030124

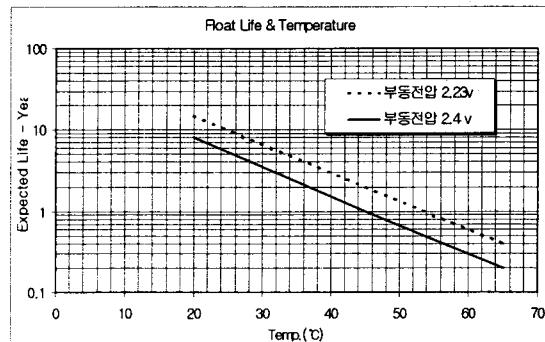


<그림 2. 정전압 충전 방식 적용 결과>

3.2 사용 온도에 따른 수명 특성 시험

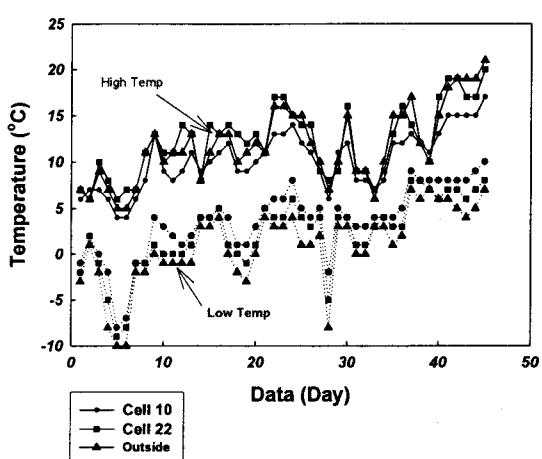
Gel Type 밀폐형 연축전지는 사용 온도 및 충전 설정 전압에 따라서 사용 수명이 좌우되어진다. 이는 밀폐형 연축전지가 전해액 분해율에 의존되며, 제품 운용시 주위 온도가 높을수록 전해액인 Gel의 Dry-out(전해액 증발) 현상이 촉진되므로 수명이 단축되어지기 때문이다. 따라서 일반적으로 운전 적정 온도를 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 로 유지하면서 사용하고 있다.

그러나 태양광 발전 시스템이 옥외에 설치되는 경우가 많으며 최적의 운용 시스템 설계를 위해서는 온도를 고려한 충전 말기 전압의 설정이 필요할 것으로 사료되어진다. 그럼 3은 온도에 따른 축전지의 사용 수명을 나타낸 결과이다. 그럼에서 보여주는 바와 같이 20°C 을 유지하면서 설정 전압을 2.23V 로 충전되는 것이 가장 유리한 것을 확인할 수 있다.



<그림 3. 사용 온도에 따른 수명 특성>

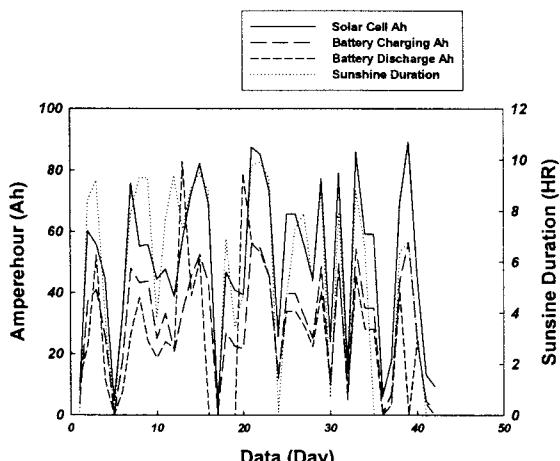
그림 4는 태양광 발전 시스템의 운용에 따른 온도 측정 결과를 나타낸 것이다. 온도 측정은 축전지의 위치별 온도 변화를 확인하기 위하여 중앙에 위치한 cell 10과 축면에 위치한 cell 22 및 외부의 온도를 측정하였으며, 일일 측정치 중 최고 온도 및 최저 온도를 나타냄으로서 온도에 의한 영향성을 파악하기 위한 실험을 진행하였다. 결과를 보면 cell 온도는 중앙에 위치한 cell 10인 경우가 일교차가 적게 나타나면 cell 22인 경우는 외부의 온도의 영향에 크게 받는 것을 확인할 수 있었다. 계절이 변화에 따라서 축정 온도가 상승함을 확인할 수 있다. 이 결과를 통해서는 아직 축전지의 온도에 따른 충전 설정 전압을 설정하기에는 미비함으로 향후 지속적인 연구를 수행하고 있다.



<그림 4. 태양광 발전 시스템 운용에 따른 온도 측정 결과>

3.3 태양광 발전 시스템의 운용 결과 분석

태양광 발전 시스템에 대한 운용 상태를 파악하기 위하여 일조량에 따른 태양광 발전 시스템의 발생 출력 및 축전지에 저장되거나 사용되는 충방전량을 그림 5에 나타내었다. 그럼에서 보여주는 바와 같이 일조 시간에 따라서 축전지에 충전량 및 방전량이 비례적으로 나타남을 확인할 수 있으며, 연구에 사용된 태양광 발전 시스템은 축전지의 충전량의 88%정도를 부하의 전력 사용용으로 공급됨을 확인 할 수 있었으며, 나머지 부분은 시스템의 손실로 추정되어지며, 이에 대한 연구를 차후 시스템 구성 부품의 효율에서 자세히 연구할 예정이다. 또한 지속적인 연구를 수행함으로서 1년 동안의 태양광 발전 시스템의 변화를 확인함으로서 우리나라에서의 태양광 발전 운용상의 문제점 분석을 통한 최적 운용 시스템 제작의 중요한 자료를 확보할 수 있을 것으로 사료되어진다.



<그림 5. 태양광 발전 시스템 운용 결과 >

4. 결 론

각종 대체에너지가 절실히 요구되는 현 시대에서 태양광 발전 시스템의 연구는 중요한 몫을 차지하며 특히 태양광 발전 시스템에서의 축전지의 역할은 아무리 강조해도 지나치지 않는다. 현재 남축전지의 개량과 발전 노력은 밀폐형 연축전지(VRLA Valve Regulated Lead Acid battery)를 개발 하였고 편리성, 높은 수명 그리고 안정성 덕분에 보급이 확산 되고 있는 추세이다.

그러나 이러한 축전지 개발의 노력에도 불구하고 시스템은 과거 액식(Flooded Type) 전지에만 국한되어 개발되다보니 최근 개발된 축전지와 서로 호환되지 않는 시스템 부조화를 나타내고 있다. 이에 본 연구에서는 밀폐형 축전지에 적합한 충전 시스템을 개발하여 최적의 에너지를 저장하고 또한 공급하는 데 그 목적을 두고 있다.

대체에너지 개발이라는 범국가적 사업을 진행하며 축전지 및 충전 시스템에 대한 부정확한 정보를 본 연구를 통하여 바로잡아주고 더불어 주변 장치와 축전지와의 효율 개선을 통해 대체에너지 사업 중 태양광 발전사업에 필요한 연구를 지속적으로 진행하고자 한다.

(참 고 문 헌)

- [1] E. Voss and A. Winsel, ILZRO Project LE-277, Progress Rep. No. 8, International Lead-Zinc Research Organization, Research Triangle park, NC (DEC. 31, 1981)
- [2] D. Pavlov, Journal of Power Sources, 48 (1994) 179
- [3] L. Albert, A. Goguelin, E. Jullian, Journal of Power Sources, 78 (1999) 23
- [4] D. Bernt. "Maintenance free battery", 2nd edn., Research S

tudies Press Ltd.(1997) 104~105

- [5] R. David Pregaman. The Battery Man, September (1997)
- [6] L. T. Lam, 4th Asian Battery Conference, (1991)
- [7] John E Manders, "Lead Acid Batteries for Remote Area Power Supply" Australian Lead Development Association, May, 1987
- [8] Y. Nagai, Y. Tomokuni and T. Matsui, "Proceedings of the 9th Int'l Telecom Energy Conference," IEEE, pp.640~647, 1987.
- [9] D. J. Spirers and A. D. Rasinkoski, "Gelled electrolyte lead/acid batteries for stationary and traction application," Journal of Power source, Vol. 40, pp.187~193, 1992.
- [10] Matthew A Keyser, "Charging Algorithms for Increasing Lead Acid Battery Cycle Life for Electric Vehicles", in 17th Electric Vehicle Symposium, 2000.
- [11] 고석철, 이재, 임성훈, 강형곤, 한병성, "풍력발전의 전력저장을 위한 배터리 충전회로에 관한 수학적인 모델링", 대한전기학회 주계학술대회, pp. 301~304, 2001.