

태양광 전원과 리튬 에너지 저장장치의 연계운전시 특성 해석

(Analysis of Connected Operations of PV Source and Li Energy Storage Equipment to Power System)

김덕영*

(Deok Young Kim)

Abstract

This paper presents the analysis of connected operation of photo voltaic source and Li energy storage system. The micro-grid has been installed and operated for several years at the campus of USF and has been a role of test bed. Photo voltaic source has been strongly influenced by the location, weather and climate of a installed area and Li battery is connected directly to the photo voltaic source to compensate for the limitations. The Li battery is operated to supply power output to the grid by the charging or discharging mode based on the average power output of the PV source which is calculated from monitored data for several years. The load of the PV and Li battery system is operated as a severe loading condition and the operating characteristics of PV source and Li battery are analyzed in detail. In connected operations of PV and Li battery to power system, the PV and Li battery is operated to supply constant power during only day time or peak time to increase load shedding ratio and efficient usage of generation sources in power system.

Key Words : PV Source, Li Energy Storage Equipment, Power System, Connected Operation

1. 서 론

신재생 에너지의 대표적 에너지원인 태양광 전원은 전원으로서의 사용시간의 제한과 출력의 불확실성이라는 제한요소를 갖고 있지만, 환경 친화적이면서도

에너지원의 무한 지속성이라는 특성과 태양광 소자기술의 발전에 기인한 발전효율의 향상 그리고 에너지 저장장치와의 연계운전을 통한 출력 불확실성의 감소 등으로 그 활용도가 점점 증가할 것으로 예상된다.

태양광 전원의 출력특성은 일반적으로 설치장소의 위치에 따른 일조량과 기후 그리고 날씨 특성에 크게 영향을 받는다. 본 논문에서는 태양광전원을 포함하는 마이크로그리드가 설치된 지역의 위치 및 기후특성에 의해서 나타나는 태양광 전원의 출력특성을 오랜 기간동안 관찰하여 그 특성을 파악하도록 하였다. 또한 태양광 전원의 출력 변동성과 사용시간 제한을

* 주저자 : 군산대학교 전기공학과 교수
* Main author : Professor, Dept. of Electrical Eng.
Kunsan National University
Tel : 063-469-4746, Fax : 063-469-7431
E-mail : dykim@kunsan.ac.kr
접수일자 : 2014년 5월 26일
1차심사 : 2014년 5월 28일
심사완료 : 2014년 7월 11일

보완하기 위해 리튬 배터리를 직렬로 연결하여 그리드에 전력을 공급하도록 하였으며, 그리드 부하의 과부하 약조건에서 리튬 배터리의 동작특성을 해석하였다. 이때 에너지 저장장치로는 메모리 효과가 거의 없고 안정성과 내구성이 높은 리튬 배터리를 사용하였다. 태양광 전원과 리튬 배터리의 계통연계 운전시에는 계통부하가 증가하는 낮 시간동안에만 계통에 일정한 전력을 공급하도록 하였다. 이러한 방법은 계통의 기존 대용량 발전원이 효율적으로 계통부하를 담당하면서 태양광 전원과 리튬 배터리의 출력은 계통부하가 증가하는 낮 시간동안 또는 보다 짧은 시간구간인 피크시간 동안에만 계통에 일정 전력을 공급하도록 함으로써 계통발전원의 특성을 고려한 효율적인 부하분담이 이루어질 수 있도록 하였다[1-2].

본 논문은 University of South Florida(USF)의 대학 캠퍼스내에 설치된 마이크로 그리드 테스트베드의 운용사례와 측정 데이터에 기반으로 한다. 본 저자는 2008년부터 USF의 스마트그리드 연구실의 태양광 전원과 리튬 에너지 저장장치가 연계운전되고 있는 마이크로 그리드의 운용에 대한 실험에 주기적으로 참여하였으며, 논문에서 사용한 사진과 측정 데이터는 USF 스마트그리드 연구실의 허가에 의해 사용되었다.

2. 태양광 전원의 출력특성 해석

USF의 스마트그리드 연구실은 태양광 전원과 리튬 에너지 저장장치를 포함하는 마이크로그리드의 운용사례에 대한 실험을 진행하기 위해 2006년부터 태양광 패널과 리튬 에너지 저장장치를 포함하는 테스트 베드를 2개의 장소에 설치하여 운영하고 있다. 그 중 하나는 캠퍼스 안에 설치되었고, 나머지 하나는 인근의 공원지역에 설치되어 운용되고 있다. 두 개의 장소에 설치된 설비는 동일한 것이며 태양광 패널은 최대 2kW의 용량을, 리튬 배터리는 최대 20kWh (5kW×4hr)의 설비용량을 갖고 있다. 그림 1은 캠퍼스내에 설치된 태양광 패널을 보인 것으로, 200W의 출력을 내는 10개의 패널이 직렬로 연결되어 있다[3].



그림 1. USF 캠퍼스에 설치된 PV 패널
Fig. 1. PV panels installed in USF campus

2.1 태양광 전원의 출력 특성

태양광 전원의 효율을 최대로 하기 위해서는 태양광 패널과 태양광이 이루는 입사각이 매우 중요하며, 태양광 패널과 태양광이 90°를 이루는 경우에 최대의 출력전압이 발생한다. 일반적으로 태양광과 태양광 패널이 이루는 각도가 40°보다 작게 되면 전기에너지로 변환되는 양이 매우 크게 감소하게 되며, 5° 이하가 되면 출력이 거의 없는 것으로 알려져 있다. 따라서 PV 패널의 발전효율을 최대화하기 위해서는 태양광 추적기를 설치하여 패널의 각도를 조정하는 것이 필요하지만, 가격적인 면에서 설치비용이 크게 증가하며 패널 각도의 이동에 에너지의 일부가 사용되는 문제점이 있다[1]. 따라서 본 마이크로 그리드 테스트베드에서는 고정된 형태의 태양광 패널을 사용하였으며, 패널의 설치는 두 지역의 위도(27°46'N))를 고려하여 태양광 패널의 각도를 25° 남쪽 방향으로 고정하였다.

그림 2는 계절적으로 태양광 패널과 입사 태양광이 90°에 가까운 최적조건인 봄철의 태양광 출력을 나타낸 것으로, 그래프의 특성상 구름에 의해 출력값이 순간적으로 변하는 부분들이 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 이 때 전기적 출력이 지속된 시간은 11시간 40분이며 태양광 출력의 특성상 그래프의 오른쪽에 석양시에 나타나는 특성인 약 0.3W의 작은 출력이 2시간 정도 지속되는 구간이 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 2에서 태양광 패널의 최대 출력은 1.92kW로 패널의 최대 출력값인 2kW에 가까운 출력을 내고 있다.



그림 2. 최적에 가까운 조건에서의 PV 출력전력 예
Fig. 2. Example of PV source output real power in nearly optimal condition

그림 2의 태양광 출력 그래프는 구름 등의 날씨조건에 의해 불규칙한 특성을 가지므로 태양광 패널에서 발생되는 하루 동안의 전체 전력량을 계산하기 위해 리만 적분식을 사용하였다.

$$\int_a^b f(x)dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n f(x_i) \left(\frac{b-a}{n} \right) \quad (1)$$

식 (1)에서 a, b는 적분구간으로 그림 2의 경우 태양광 전원이 비교적 큰 값의 출력을 내는 시간구간 뿐만 아니라 아주 작은 값의 출력을 내는 시간구간까지 모두 포함하였으며, 이때 시간간격은 모니터링 시간간격인 10분으로 하였다. 따라서 하루 24시간에 대해서 10분 간격으로 전체 144개의 적분구간에 대해서 식 (1)의 리만 적분식을 사용하여 태양광 패널의 전체 출력전력을 구하였고, 이때의 태양광 패널의 전체 출력전력값은 11.94kWh으로 계산되었다.

3. 리튬 에너지 저장장치의 특성 해석

태양광 전원은 또 다른 신재생에너지원인 풍력발전에 비해서 상대적으로 변동성이 더 크며, 발전원리상 낮 시간에만 출력이 가능한 특징을 갖는다. 즉 하루를 기준으로 약 반 정도의 시간동안 출력을 낼 수 없는 발전원이 되며, 이를 보완하기 위해서는 에너지 저장장치와의 연계운전이 반드시 필요하다. 본 연구에서는 LiFePO₄ 에너지 저장장치를 사용하였으며, 충전과 방전시에 메모리 효과가 거의 없고, 배터리의 부피와

중량이 작아서 설치가 용이하며 사용시 안정성이 높고 수명이 긴 장점을 갖는다[4].

3.1 태양광 패널과 리튬 배터리의 연계

그림 3은 태양광 패널과 리튬 에너지 저장장치의 연계상태를 나타낸 것으로 태양광 패널의 전기적 출력이 리튬 배터리에 직렬 연결되어 리튬 배터리를 통해서 그리드에 전력이 공급되며, 리튬 배터리의 출력은 인버터를 거쳐서 그리드에 공급된다[5].

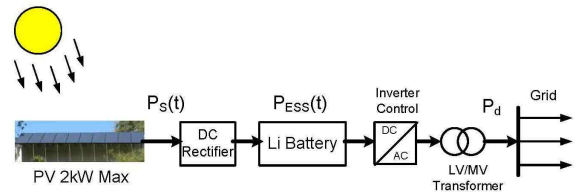


그림 3. PV 패널과 리튬 배터리의 연계
Fig. 3. Connections of PV panel and Li battery

그림 3에서 P_s(t)는 태양광 패널의 출력전력을 나타내며 P_d는 리튬 배터리에 저장된 전력이 그리드로 직접 공급되는 전력을 나타내며, 태양광 패널과 리튬 에너지 저장장치를 통해서 그리드에 공급되는 전력 P_d가 일정한 값이 되도록 하면 태양광 전원이 이상적인 발전원으로서의 역할을 하게 된다. 이 때 배터리에 공급 또는 저장되는 전력 P_{ESS}(t)는 다음과 같이 태양광 전원의 출력과 그리드 공급전력의 차에 해당된다.

$$P_{ESS}(t) = P_s(t) - P_d \quad (2)$$

그리드에 공급되는 전력 P_d는 일정한 값을 유지하는 것이 이상적이므로, 태양광 전원의 출력값 P_s(t)이 그리드 공급전력 P_d보다 큰 경우 그림 3의 리튬 배터리는 충전모드가 되어 식 (2)의 태양광 전원의 출력과 그리드 공급전력의 차에 해당하는 전력량이 충전되게 되며, 태양광 전원의 출력값 P_s(t)가 그리드 공급전력 P_d보다 작은 경우는 리튬 배터리는 방전모드가 되어 태양광 전원의 출력으로 모자라는 만큼의 전력을 그리드에 공급하게 된다.

3.2 리튬 배터리의 운용특성 해석

태양광 패널과 리튬 배터리의 연계운전시 임의로 3일 동안의 시간구간을 선정하였으며, 리튬 배터리에 연결된 그리드 부하가 짧은 시간동안 과부하로 운용되는 악조건에서 리튬 배터리의 동작특성을 해석하였다. 이때 그리드 부하는 4kW의 용량을 갖는 부하가 24시 56분부터 29시 21분까지 4시간 25분 동안 동작하도록 하였다. 그림 4는 그림 3에 보인 마이크로 그리드 운용데이터 중에서 임의로 선정한 3일 동안의 시간구간에서 태양광 전원의 출력특성을 나타낸 것이다. 그림 4의 태양광 전원의 출력특성은 관찰구간인 3일 동안의 날씨조건에 차이가 많이 발생하여 태양광 전원의 출력전력 특성이 차이가 많이 나는 것을 알 수 있다.

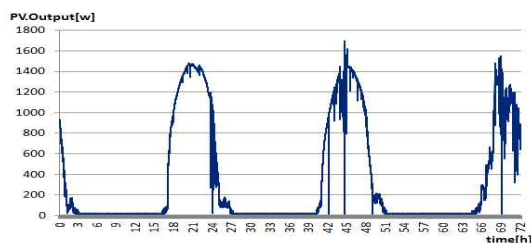


그림 4. 3일 동안의 PV 출력
Fig. 4. Output of PV source during 3 days

그림 5는 리튬 배터리의 15개 셀 전체의 출력전압과 전류를 나타낸 것으로 그리드에 큰 값의 부하가 동작되는 시간구간에서 배터리의 전압이 최대 55.85V에서 48.84V로 감소하는 것을 알 수 있다. 리튬 배터리의 전류는 배터리에 유입되는 전류와 유출되는 전류의 차를 나타낸다. 태양광 전원이 출력을 내는 시간구간에서 배터리로 유입되는 전류는 최대 29.3A이며, 그리드 부하 동작시 배터리에서 그리드로 공급되는 전류는 최대 87.6A로 관측되었다. 그리드 부하가 동작하는 전체 시간구간동안 배터리에서 그리드로 공급되는 전류는 최소 80A 이상의 전류값이 관측되어 태양광 전원의 출력에 의해 배터리에 유입되는 전류값에 비해 배터리의 방전이 매우 급격하게 이루어지고 있음을 나타낸다.



그림 5. 리튬 배터리의 DC 전압과 전류
Fig. 5. DC voltage and current of Li battery

그림 3의 태양광 패널과 리튬 배터리가 연계된 시스템에서 리튬 배터리의 충전율은 그림 6과 같으며, 태양광 전원이 출력을 내는 시간구간에서는 리튬 배터리의 충전율이 상승하고 이 때 상승 기울기는 태양광 전원의 출력량에 따라서 달라지는 것을 알 수 있다. 그림 6에서 부하동작시간인 4시간 25분 동안에 리튬 배터리의 충전률이 100%에서 10%로 크게 낮아진 것을 알 수 있으며, 이는 그리드에서 예상되는 과부하 조건에 대해 배터리가 단기간의 급속한 방전모드로 동작하게 되어 리튬 배터리의 동작조건이 악조건에 해당되는 운용조건이다.

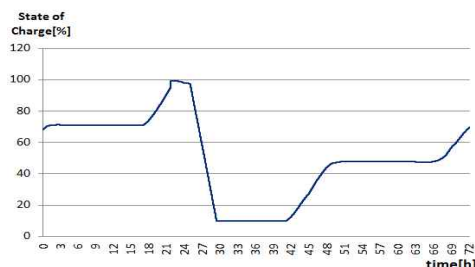


그림 6. 리튬 배터리의 충전율
Fig. 6. State of charge ratio for Li battery

그림 7은 그리드의 최대 부하가 동작하는 시간구간에서 리튬 에너지 저장장치의 15개 셀 각각의 출력전압의 최대값과 최소값을 관측한 결과를 나타낸 것이다. 그림 7에서 리튬 배터리의 충전율이 최대인 순간에 리튬 셀의 출력전압이 최대 3.6V에서 최소 3.45V의 값을 가지며, 그리드 부하가 동작하여 리튬 에너지 저장장치의 충전율이 10%까지 감소한 시간구간에서 리

튬 배터리 셀의 출력전압이 최대 3.1V에서 최소 3.02V 사이의 값을 갖는 것을 나타낸다. 이때 리튬 배터리 셀의 최대 출력전압을 기준으로 충전율이 100%에 가까운 경우에서 충전율이 10%로 감소한 경우 리튬 배터리 셀의 출력전압은 16.13% 감소하였고, 리튬 배터리 최소 출력전압을 기준으로 같은 조건에서 12.58%의 전압변동율을 갖는 것을 알 수 있다.

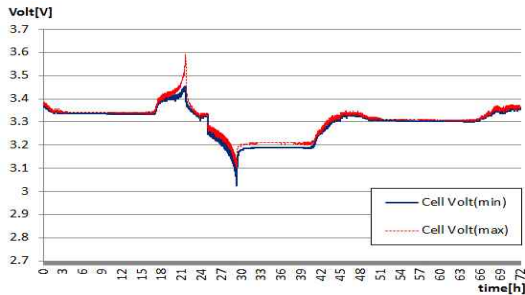


그림 7. 리튬 배터리 셀 전압의 최대 최소값
Fig. 7. Max and min of Li battery cell voltage

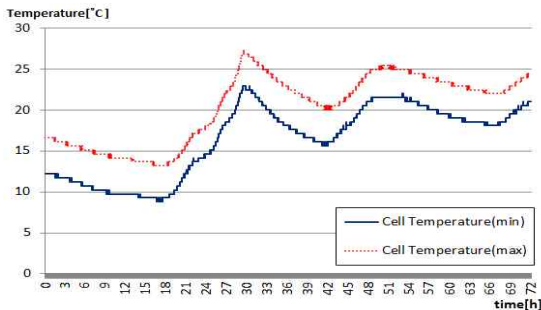


그림 8. 리튬 배터리 셀 온도의 최대 최소값
Fig. 8. Max and min of Li battery cell temperature

그림 8은 이 때의 리튬 에너지 저장장치 셀 각각의 측정온도의 최대값과 최소값을 나타낸 것이다. 그림 8에서 리튬 에너지 저장장치의 셀 온도는 그리드 부하가 동작하여 배터리의 충전율이 10%까지 감소하였을 때 리튬 배터리 셀의 온도가 최대로 상승하게 되며 이는 4시간 25분 동안 그리드 부하의 동작에 의해 배터리가 급격한 방전운전을 한 것에 기인한다. 리튬 배터리 15개 셀 중에서 최대 온도값을 기준으로 그리드 부하 동작이전의 13.2°C에서 리튬 배터리의 충전율이 10%에 도달할 때까지 26.8°C로 셀 온도가 상승하였으

며, 리튬 배터리 셀 중에서 최소 온도값을 기준으로 같은 조건에서 8.8°C에서 22.9°C로 셀 온도가 상승한 것을 알 수 있었다. 부하동작에 의한 리튬 배터리의 온도상승은 리튬 배터리의 허용온도범위인 40°C보다 작은 값이며, 본 실험에서와 같은 배터리의 급격한 방전에 대해서도 리튬 배터리 셀 온도가 허용온도 범위 안에서 유지되는 것을 알 수 있다.

4. 계통연계 특성해석

4.1 태양광 전원 출력 평균값 계산

태양광 전원을 에너지 저장장치와 연계하여 태양광 전원의 출력 불확실성을 개선하기 위해서는 태양광 전원의 평균 출력에 대한 실험 데이터가 필요하다. 태양광 전원의 출력평균을 구하기 위한 데이터 해석시 날씨에 따라서 태양광 출력이 극단적으로 나타나는 경우를 최소화하고 보다 정확한 해석결과를 위해서는 보다 오랜 기간과 많은 시간구간에 대해서 데이터의 평균을 구할 필요가 있다. 그림 9는 일반적인 조건에서 37일 동안의 태양광 패널의 전기적 출력을 10분 간격으로 데이터를 모니터링하여 시간구간별로 평균값을 구한 결과이며, 평균값을 구하기 위해 사용된 시간구간은 전체 5328개이다.



그림 9. PV 패널 출력전력의 평균값
Fig. 9. Average value of PV panel output power

그림 9의 태양광 전원의 출력 평균값으로 나타낸 출력곡선은 그림 2의 출력곡선에 비해서 훨씬 완만한 출력값의 변화를 보이며, 최대 출력값은 1.504kW이다. 식 (1)의 적분으로 구한 하루 평균 전체 출력에너지는

11.95kWh로 계산되었으며, 따라서 태양광 패널이 발전을 하지 않는 밤 시간을 포함하여 37일 동안의 전기적 출력의 평균값은 0.49kW이다.

4.2 계통연계 운전특성 해석

태양광 전원과 리튬 배터리 연계 시스템이 계통에 연결되어 운전하는 경우의 동작특성을 해석하였다. 이때 태양광 전원과 직렬연결된 리튬 배터리는 계통에 연결된 여러 발전원 중의 하나로서 동작하게 되며, 계통에 일정시간동안 일정값의 전력을 공급하는 것을 목적으로 운용되게 된다.

태양광 전원과 직렬연결된 리튬 배터리는 계통의 전체 부하변동 패턴 중에서 산업용 부하가 증가하는 낮 시간동안에만 부하의 일부를 담당하는 것이, 하루 전체 시간동안 일정한 출력을 공급하는 것보다 시스템의 운용측면에서 효과적이라고 판단하였다. 즉 부하가 작은 밤 시간에는 비용이 저렴한 대용량 발전기가 부하를 담당하고, 하루 부하중에서 전력량이 증가하는 낮 시간의 부하는 태양광 전원과 리튬 배터리가 연계운전하여 일정한 전력을 시스템에 공급하는 것이 발전원의 효율적 활용측면에서 보다 효과적이라고 볼 수 있다.

태양광 전원과 리튬 배터리가 24시간동안 평균적으로 계통에 공급할 수 있는 전력은 0.49kW인 것에 비해, 낮 시간동안에만 일정전력을 공급하는 경우는 오전 6시부터 오후 7시 10분까지 13시간 10분 동안에 0.92kW의 전력을 계통에 공급할 수 있게 되어 태양광 전원과 리튬 배터리의 부하분담율은 더 크게 증가하게 된다. 태양광 전원과 리튬 배터리를 하루 중 피크 시간인 오후 12시부터 4시까지 계통에 일정한 전력을 공급하도록 운용하는 경우 3kW의 일정한 전력을 공급할 수 있으며, 이러한 운용방식은 전력수요가 큰 피크시에 매우 효과적으로 부하를 분담하는 역할을 하게 된다.

본 연구에서는 태양광 전원과 리튬 배터리가 태양광 패널이 출력을 내는 시간동안에 계통에 일정한 전력을 공급하는 것을 목적으로 운용하였으며, 이때 태양광 패널의 전기적 출력의 불확실성을 고려하여 태양광 전원이 출력을 내는 13시간 10분에 대한 평균값인

0.92kW의 약 80%에 해당하는 0.75kW로 정하였다.

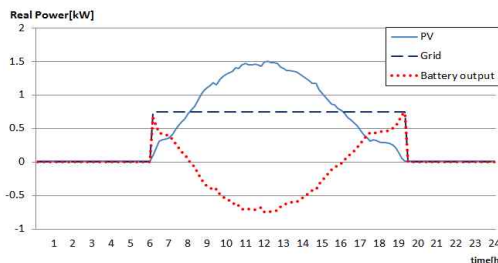


그림 10. 계통연계시 출력특성
Fig. 10. output power of connected operation

그림 10은 하루 동안의 태양광 전원 전력의 변화에 따른 리튬 에너지 저장장치의 충방전 전력값과 계통에 공급되는 유효전력과의 관계를 나타낸다. 그림 10에서 실선으로 나타낸 그래프는 태양광 전원의 평균 출력전력을 나타내며, 태양광 패널이 출력을 내는 13시간 10분 중에서 오전 8시부터 오후 3시 50분까지 7시간 50분 동안은 태양광 전원의 출력전력이 계통에 공급하는 유효전력보다 큰 값을 갖는다. 따라서 이 시간동안에 리튬 배터리는 충전모드가 되며, 나머지 시간구간에서는 태양광 출력이 계통 공급전력보다 작아서 리튬 배터리가 방전모드로 동작하게 된다.

그림 10에서 PV출력이 계통공급전력 P_d 보다 큰 시간구간에서는 리튬 배터리가 충전을 하는 구간이고, PV출력이 P_d 보다 작은 값을 갖는 시간구간에서는 방전을 하게 되며, 이 때 계통에 공급되는 전력 P_d 는 0.75kW의 일정한 값을 갖는다.

Date	Point	Time	PV[kw]	$P_d=0.75$ [kw]	Pess[kw]	Abs(Pess)[kw]
4/17/2009	37	6:00	0.09364865	0.75	0.65635	0.656351
	38	6:10	0.20445946	0.75	0.54554	0.545541
	39	6:20	0.30940541	0.75	0.44059	0.440595
	40	6:30	0.33202703	0.75	0.41797	0.417973
	41	6:40	0.3412973	0.75	0.40870	0.408703
	42	6:50	0.35348649	0.75	0.39651	0.396514
	43	7:00	0.40789189	0.75	0.34211	0.342108
	44	7:10	0.47662162	0.75	0.27338	0.273378
	45	7:20	0.54002703	0.75	0.20997	0.209973
	46	7:30	0.60135135	0.75	0.14865	0.148649
	47	7:40	0.63567568	0.75	0.11432	0.114324
	48	7:50	0.71072973	0.75	0.03927	0.03927
	49	8:00	0.77118919	0.75	-0.02119	0.021189
	50	8:10	0.82802703	0.75	-0.07803	0.078027
	51	8:20	0.91597297	0.75	-0.16597	0.165973
	52	8:30	0.99632432	0.75	-0.24632	0.246324
	53	8:40	1.06572973	0.75	-0.31573	0.31573
	54	8:50	1.10597297	0.75	-0.35597	0.355973
	55	9:00	1.13735135	0.75	-0.38735	0.387351

그림 11. 계통연계 운전시 모니터링 데이터 예
Fig. 11. Data example of connected operation

그림 11은 태양광 전원과 리튬 배터리의 계통연계 운전시 모니터링 된 데이터의 일부를 나타낸 것으로, PV는 태양광 전원의 출력, P_d 는 계통에 공급하는 일정 전력, P_{ESS} 는 배터리의 출력전력을 나타내며, 이때 시간구간은 태양광 패널이 출력을 내기 시작하는 오전 6시부터 오전 9시까지의 모니터링 데이터이다. 이때 태양광 패널이 출력을 내기 시작하는 6시부터 오전 7시 50분까지 리튬 배터리는 방전모드로 동작하게 되어 계통에 0.75kW의 전력을 공급하게 되고, 오전 8시부터는 태양광 패널의 출력이 계통 공급전력보다 크게 되어 리튬 배터리가 충전모드로 동작하고 있으며 계통에는 동일한 0.75kW의 전력을 공급하고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 태양광 전원과 리튬 에너지 저장장치를 포함하는 마이크로 그리드의 운용특성 및 계통연계에 대한 것으로, 논문에서 사용한 마이크로 그리드 실험장치는 USF의 대학 캠퍼스내에 설치되어 수년간 운용되면서 테스트 베드의 역할을 하고 있다.

태양광 전원은 태양광 패널이 설치된 지역의 위치와 날씨 그리고 기후 등에 매우 큰 영향을 받으며, 전원으로로서의 사용시간의 제한과 출력의 불확실성이라는 특성을 갖는다. 이러한 태양광 전원의 불확실성을 줄이기 위해, 태양광 전원의 출력에 대한 오랜 기간 동안의 데이터를 분석하여 출력의 평균값을 산출해 내었다.

태양광 전원과 리튬 배터리를 포함하는 시스템이 악조건의 그리드 운전상태에서 동작특성을 관찰하기 위해 리튬 배터리의 충전율이 100%에서 10%로 감소되는 과부하 상태에서 태양광 전원과 리튬 배터리의 운용특성을 분석하고 리튬 배터리 셀 단위의 출력 및 온도특성을 해석하였다.

태양광 전원과 리튬 배터리의 계통연계 운전시에는 계통의 기존 대용량 발전원과 역할을 분담하여 태양광 전원과 리튬 배터리가 계통부하가 증가하는 낮 시간 동안 또는 피크시간 동안에만 계통에 일정한 전력을 공급하도록 하여, 부하분담율을 높이고 발전원별 특성에 따른 효율적인 전력공급이 이루어질 수 있도록 하였다.

이 논문은 2011년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임.
(NRF-2011-0012638)

References

- [1] Ali Keyhani, Smart power grid renewable energy systems, Wiley, 2010.
- [2] M. Hashem Nehrir, Caisheng Wang, Modeling and control of fuel cells, Wiley, 2009.
- [3] Islam M., Omole A. Islam A. Domijan A, "Dynamic capacity estimation for a typical grid-tied event programmable LiFePO₄ battery", Energy Conference and Exhibition, 2010 IEEE International, pp.594-599, Dec. 2010.
- [4] X. Yuan, H. Liu, J. Zhang, Lithium-ion batteries, CRC press, 2011.
- [5] Amimaser Yazdani, Reza Iravani, Voltage-sourced converters in power systems, Wiley, 2009.

◇ 저자소개 ◇



김덕영 (金德泳)

1964년 11월 22일생. 1988년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001년 7월~2002년 8월 미국 Georgia Institute of Technology Post-doc. Fellow. 2008년 7월~2010년 1월 미국 University of South Florida 교환교수. 1996년~현재 군산대학교 전기공학과 교수.