

# Building Smart Microgrid Test-Bed를 이용한 전력사용량 패턴 최적화방안 연구

## A Study on the Optimization of Power Consumption Pattern using Building Smart Microgrid Test-Bed

이상우\*† · 강진규\*\* · 이동하\*

Lee Sang-Woo\*†, Kang Jin-Kyu\*\* and Lee Dong-Ha\*

(Submit date : 2014. 5. 9., Judgment date : 2014. 5. 16., Publication decide date : 2014. 8. 6.)

**Abstract :** The microgrid system is the combination of photovoltaic(PV) array, load, and battery energy storage system. The control strategies were defined as multi-modes of operation, including rest operation without use of battery, power charging, and power discharging, which enables grid connected mode or islanded mode. Photovoltaic power is a problem of the uniformity of power quality because the power generated from solar light is very sensitive to variation of insolation and duration of sunshine. As a solution to the above problem, energy storage system(ESS) is considered generally. There fore, in this study, we did basic research activities about optimization method of the amount of energy used, using a smart microgrid test-bed constructed in building. First, we analyzed the daily, monthly and period energy pattern amount of power energy used, and analyzed PV power generation level which is built on the roof. Utilizing building energy pattern analysis data, we was studied an efficient method of employing the ESS about building power consumption pattern and PV generation.

**Key Words :** 에너지저장장치(Energy storage system), 스마트 마이크로그리드(Smart microgrid), 신재생에너지(Renewable energy), 태양광발전(Photovoltaic)

### 1. 서 론

우리나라는 여름철기간과 겨울철기간에 최

대전력으로 인한 전력수급 문제를 겪고 있다.  
이들 최대전력 억제를 위한 방안으로 마이크  
로그리드 구역내 에너지저장장치를 활용하여

\*† 이상우(교신저자) : DGIST 웰니스융합연구센터  
E-mail : swlee77@dgist.ac.kr, Tel : 053-785-4782  
\*이동하 : 대구경북과학기술원 웰니스융합연구센터  
\*\*강진규 : 대구경북과학기술원 차세대융복합연구센터

\*† Lee Sang-Woo(corresponding author) : Wellness Convergence  
Research, DGIST  
E-mail : swlee77@dgist.ac.kr, Tel : 053-785-4782  
\*Lee Dong-Ha : Wellness Convergence Research, DGIST  
\*\*Kang Jin-Kyu : Advanced Convergence Research, DGIST

전력패턴을 평준화시켜 전력수요와 공급의 차이를 완화시키려는 방안에 대한 연구가 수행되고 있다.[1] 개별 마이크로그리드 군으로 이루어진 스마트그리드는 기존 전력망에 IT기술을 접목시켜 실시간 전력정보를 모니터링하고 전력흐름을 제어는 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 개별 마이크로그리드는 에너지저장장치(ESS)와 신재생에너지(RE)원으로 구성되어 있다. 개별 마이크로그리드내 ESS는 전력수요와 공급에 따라 충방전 동작을 통해 과잉 공급된 전력은 충전하고, 피크시간대에 방전하여 전력패턴 평준화에 활용되고 있다. 그리고 심야시간의 저렴한 요금시간대에 충전하고, 피크시간대인 비싼 요금시간대에 방전하여 전력거래를 통한 차익을 실현하고 있다. 대규모 ESS는 전력계통과 연계하여 유효전력 변화에 따른 주파수 변화를 방지하기 위해 주파수 안정화 목적으로 사용되고 있다. 그리고 ESS는 분산발전원 구축에 따른 전력품질보상과 비상발전원 활용 등으로 그 역할이 확대되고 있는 실정이다.[2][6] 태양광발전은 일사량 및 기온 등의 자연환경에 의존하기 때문에 출력의 제어가 불가능하고 예측이 쉽지 않는 현실이다.[4] 이러한 간헐적인 출력특성을 가진 태양광발전을 구축한 건물에 발전전력을 최적화하기 위해 태양광발전과 ESS를 병렬 활용하는 방안이 필요하다. 또한, 분산발전원 및 ESS와 ICT 활용을 통해, 기후변화 대응과 제로에너지 빌딩 구현 및 잉여 에너지 판매를 위해서도 스마트 마이크로그리드의 기술개발 및 운영방안에 대한 연구가 필요하다.[3][5]

본 연구에서는 건물단위 스마트 마이크로그리드 TEST BED를 이용하여, 구역내 제3연구동 건물 전력사용량 패턴을 분석하고, 건물

전력 평준화 및 최적화 방안에 대한 기초연구를 하였다. 먼저 기본적인 특성을 조사하기 위하여, 대상 일자별로 사용한 건물 전등전열 전력사용량을 모니터링하고 패턴을 분석하였다. 다음으로 대상 일자별로 태양광발전의 발전량에 대한 패턴을 분석하였다. 마지막으로 건물 전력사용량 패턴과 태양광발전 패턴에 따른 건물 전기에너지 패턴 평준화 및 최적화를 위하여, ESS 활용방안에 대한 기초적인 연구를 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

태양광발전은 건물옥상 태양광패널 55EA로 구내선로 연계형 인버터를 사용하여 3상4선식, 380/220[V], 15[kW]를 건물 스마트 마이크로그리드 Test Bed와 연계하였다. 또한, 건물옥상 태양광패널 11EA로 구내선로 연계형 인버터를 사용하여 1상 2선식 220[V], 3[kW]를 건물 스마트 마이크로그리드 Test Bed에 연계하였다. 그림 1은 스마트 마이크로그리드 TEST BED 시스템 구성을 나타내었다. 시스템 구성은 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)로 태양광발전의 일사량 변화에 따른 정보를 수집하고 분석하였다. SCADA시스템과 MCCB Panel의 디지털미터간에는 Modbus TCP Gateway를 사용하여 이터넷통신으로 구성하였다. MCCB Panel에는 태양광발전 3[kW], 태양광발전 15[kW], 모의 태양광발전이 각각 연계되어 있다. 부하설비로 10.8[kW] 전자부하장치 2대가 각각 연계되어 있다.

그림 2는 제3연구동 건물 전체 전등전열 사용량 등을 모니터링 할 수 있도록 실시간 전력사용량 UI를 구현하였으며, Lab단위 Test Bed내에서는 태양광발전 3대, 부하설비 2대가

원격 및 자동제어가 가능하도록 하였다. Test Bed 배전반 인입전압, 전류, 전력량 등을 모니터링 할 수 있도록 하였으며, 건물 전등전열 인입선로에 디지털미터를 설치하고 일부층(1-4층)을 Test Bed 인입선으로 구성하여 실험하였다.

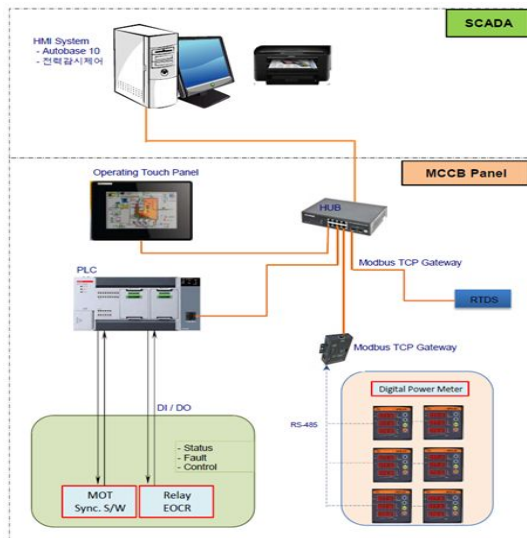


Fig. 1 Smart microgrid test-bed system configuration

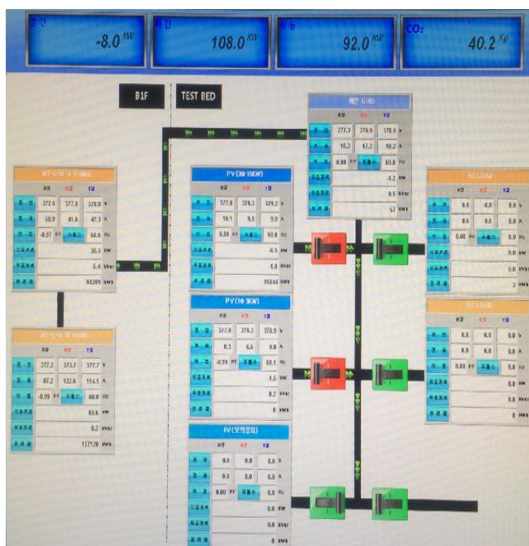


Fig. 2 Monitoring UI with amount of electricity used

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 건물내 전력사용량 패턴분석

그림 3은 대표적인 일자별 건물 전력사용량 패턴을 나타내었다. 그림 3(a)는 2013년9월4일자, 그림 3(b)는 2013년9월5일자, 그림 3(c)는 2014년3월3일자, 그림 3(d)는 2014년3월5일자 제3연구동 건물 전력사용량 패턴을 각각 나타내었다. 그림 3(a) 및 그림 3(b)에서 나타난 바와 같이, 2013년9월4일, 5일의 경우 대략 오후 2시부터 오후 6시까지 시간당 전력사용량이 가장 많았으며, 오후에 제3연구동 건물 피크전력이 발생하였다. 그리고 그림 3(c) 및 그림 3(d)에서 나타난 바와 같이, 2014년3월3일, 5일의 경우 대략 오전 9시부터 오전 12시까지 시간당 전력사용량이 가장 많았으며, 오전에 제3연구동 건물 피크전력이 발생하였다. 대략 오후에 비해 조금 더 높은 것으로 나타났다. 이들 제3연구동 건물 전력사용량 패턴을 보면 오전(대략 9h-12h)과 오후(2h-6h)를 제외한 시간대 전력사용량은 급격히 줄어드는 것으로 분석되었으며, 업무시간에 전력사용량이 집중적으로 많이 발생하였고, 퇴근시간에는 전력사용량이 급격히 줄어드는 것으로 나타났다. 또한, 대략적으로 여름철은 건물 전력사용량 패턴에서 나타난 바와 같이 오전보다 오후에 피크전력이 발생하였으며, 겨울철은 오후에 비해 오전에 피크전력이 발생하였다.

건물 전력사용량 패턴을 분석한 결과, 건물 수요관리를 위해 피크전력억제 및 대응방안으로 피크전력 시간대에 ESS를 활용하는 것이 건물 전력사용량 평준화를 위해 필요한 것으로 나타났으며, ESS를 활용하여 심야시간에 싼 전기료로 에너지를 충전하였다가 전기료가 비싼 피크전력 시간대에 방전하는 것이 필요하다고 사료된다.



(a) 2013.9.4. Building power consumption pattern



(b) 2013.9.5. Building power consumption pattern



(c) 2014.3.3. Building power consumption pattern



(d) 2014.3.5. Building power consumption pattern

Fig. 3 Typical daily building power consumption pattern

### 3.2 건물옥상 태양광발전 패턴분석

그림 4는 대표적인 일자별 건물옥상 태양광 발전에 대한 발전패턴을 나타내었다. 그림 4(a)는 2013년9월4일자, 그림 4(b)는 2013년9월5일자, 그림 4(c)는 2014년3월3일자, 그림 4(d)는 2014년3월5일자 제3연구동 건물옥상 태양광 발전에 대한 발전패턴을 각각 나타내었다. 그림 4(a)에서 나타난 바와 같이, 2013년9월4일의 경우 날씨의 구름조금 이였으며, 일출과 일몰까지 건물 옥상 PV 발전량은 태양광 조사량에 따라 발전전력 패턴이 대략 V형태로 나타났다. 그림 4(b)에서 나타난 바와 같이, 2013년9월5일의 경우 날씨의 구름많음 이였으며, 일출과 일몰까지 건물옥상 태양광발전은 구름의 영향으로 인하여 태양광 조사량에 따라 발전전력 패턴이 불규칙한 것으로 나타났다. 그림 4(c) 및 그림 4(d)에서 나타난 바와 같이, 2014년3월3일과 2014년3월5일의 경우 구름조금 이였으며, 일출과 일몰까지 건물 옥상 태양광발전은 태양 일사량에 따라 발전 전력 패턴이 대략 V형태로 나타났다. 그림 4(a) 및 그림 4(b)인 여름철에 비해 그림 4(c) 및 그림 4(d)인 봄철이 주의온도가 낮아 태양광 발전에 의한 발전전력이 대략 높아지는 것으로 분석되었다. 그리고 그림 4에서 나타난 바와 같이 여름철은 낮이 길어서 일사량에 의한 태양광발전의 패턴은 시간대 폭이 넓은 것으로 나타났다. 봄철의 경우, 여름철에 비해 낮시간이 짧아 일사량에 의한 태양광발전의 패턴은 시간대 폭이 줄어드는 것으로 나타났다.

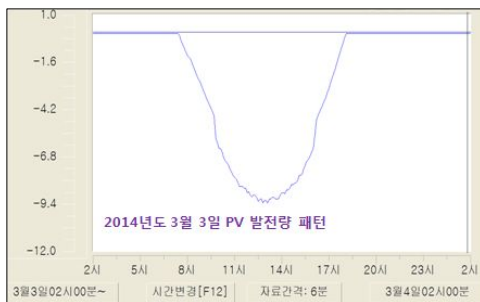
건물옥상 태양광발전은 날씨에 따라 불규칙한 특성이 있으므로, 건물 전력 사용패턴 평준화 및 피크전력억제를 위해 에너지저장장치와 연계하여 운용할 필요가 있는 것으로 나타났다.



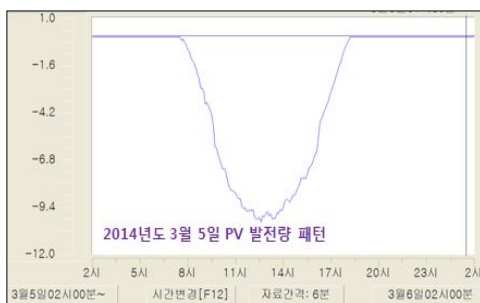
(a) 2013.9.4. Building PV pattern



(b) 2013.9.5. Building PV pattern



(c) 2014.3.3. Building PV pattern



(d) 2014.3.5. Building PV pattern

Fig. 4 Typical daily building PV pattern

### 3.3 건물내 전력사용량 패턴 평준화 방안

그림 5는 2014년4월15일자 건물옥상 태양광발전의 패턴을 나타내었다. 그림 5에서 나타난 바와 같이, 2014년4월15일자의 날씨는 구름조금 이었으며, 건물옥상 태양광발전의 패턴은 대략적으로 V자 형태로 나타났다. 건물 옥상 태양광발전은 분전반과 직결하여 일사량에 따른 발전전력을 실시간 피크전력 및 전력 사용량에 대응되도록 하였다.

그림 6은 2014년4월15일자 건물 전력사용량 패턴과 건물옥상 태양광발전이 피크전력 및 전력사용량에 대응한 전력패턴을 각각 나타내었다. 그림 6에서 나타난 바와 같이, 실선(-)의 전력패턴은 건물 전력사용량 패턴이고, 점선(·)의 전력패턴은 건물옥상 태양광발전이 건물 전력사용량에 대응하여 발전전력을 제외한 순수 한전 전력사용량을 나타내었다. 그림 6에서 나타난 바와 같이 건물옥상 태양광발전은 오전 피크전력에 대응은 가능하였으나, 오후의 경우에는 일몰시간과 날씨의 영향으로 인하여 피크전력이 발생하여도 태양광발전은 피크전력억제를 할 수 없는 것으로 나타났다. 그러므로 전력 평준화 및 최적화를 위해 적정 용량의 ESS 활용이 필요한 것으로 나타났다.

그림 7은 2014년4월15일 건물 전력사용량에 대한 패턴을 기준으로 건물옥상 태양광발전과 ESS 15kW/105kWh 전력을 연계하여 건물 전력사용량 평준화 및 최적화에 대한 방안을 나타내었다. 그림 7에서 나타난 바와 같이, 실선(-)의 전력패턴은 건물 전력사용량 패턴이고, 점선(·)의 전력패턴은 건물옥상 태양광발전과 ESS를 연계한 것을 나타내었다.

그림 7의 건물옥상 태양광발전과 ESS를 연계하여 활용하면 전력 평준화는 물론이고 전력 사용량 최적화가 가능한 것으로 나타났다. 건물 옥상 태양광발전은 실시간 발전전력을 건물

피크전력과 전력사용량에 대응하도록 하였다.

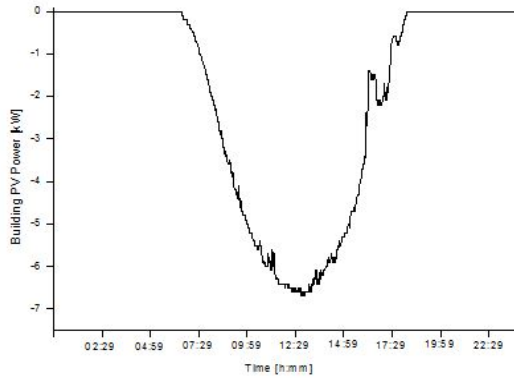


Fig. 5 Typical building PV pattern

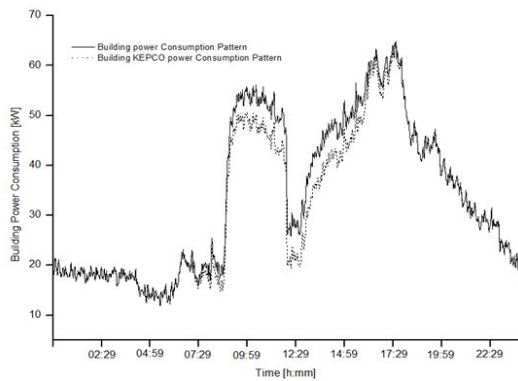


Fig. 6 Building power consumption pattern and building pure KEPCO power consumption pattern

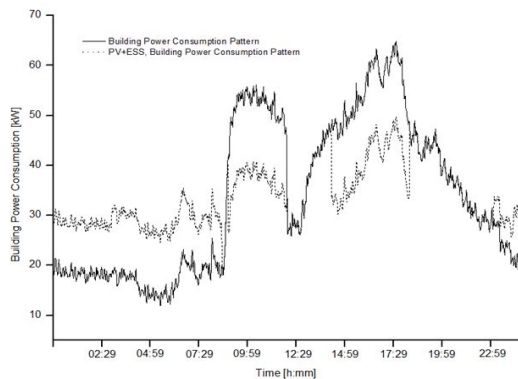


Fig. 7 Building power consumption pattern and building load leveling pattern

그리고 ESS는 건물 전력사용량에 대한 패턴을 분석하고, 또 일사량에 따른 건물옥상 태양광발전의 패턴을 분석한 후, 심야시간대에 에너지를 저장하였다가 전력사용량이 많은 시간대에 방전하여 피크전력 및 전력사용량에 대응하도록 하였다. 건물 전력사용량에 대한 패턴분석을 기준으로 ESS는 전력사용량이 많은 시간대인 오전 3시간과 오후 4시간 총 7시간 동안 매시간 15kW를 방전하여 총 105kWh를 건물 전력설비에 공급하도록 하였다. 그리고 ESS 충전시간은 00:00-03:00 매시간 10kW, 03:00-07:00 매시간 12.5kW, 07:00-08:00 1시간 동안 10kW, 08:00-08:40, 23:40-24:00 1시간 동안 10kW, 22:40-23:40 1시간 동안 5kW로 총 충전용량은 105kWh가 되도록 하여, 전력사용량이 줄어들고 전기료가 싼 심야시간대에 저장하고, 전력사용량이 많은 시간이나 피크전력에 방전하면 부하평준화가 가능한 것으로 나타났다. 따라서 고압 수전설비의 경우, 피크전력 15kW 억제에 따른 연중 기본요금 절감은 물론이고 경부하 시간대에 저장한 에너지를 피크시간대에 방전함으로써 이에 따른 전기사용에 따른 차익실현이 가능하다. 향후 실시시간 요금이 적용되면 전기료 추가 차익실현이 가능하다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 건물 스마트 마이크로그리드 TEST BED를 이용하여 대상 일자별로 건물 전력사용량과 태양광발전을 모니터링하고 패턴을 분석하였으며, 건물 전력사용량 패턴 평준화 및 최적화를 위해, ESS 활용방안에 대한 기초연구를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다. (1) 대표적인 일자별 건물 전력사용량 패턴을 분석한 결과, 일반적으로 여름철은 오전 시간

- 대에 비해 오후 시간대에서 피크전력이 발생하였으며, 겨울철은 오후 시간대에 비해 오전 시간대에 건물 피크전력이 발생하였다.
- (2) 대표적인 일자별 건물옥상 태양광발전 패턴을 분석한 결과, 일사량에 따라 불규칙한 발전특성을 보였고, 여름철은 발전 시간대 폭이 넓었으며, 봄철은 여름철에 비해 발전 시간대 폭이 줄어들었다. 이에 사용패턴 평준화 및 피크전력억제를 위해 에너지저장장치와 연계하여 운용할 필요가 있다.
- (3) 건물내 전력사용량 패턴 평준화 및 최적화 방안을 위해, 건물옥상 태양광발전은 일사량에 따른 실시간 발전전력을 전력사용량에 대응하고, ESS는 태양광발전과 연계하여 전력사용량이 줄어들고 전기료가 싼 시간대에 전력을 저장하고, 전력사용량이 많은 시간이나 피크전력에 방전함으로써 건물 전력사용량 평준화 및 최적화가 가능한 것으로 나타났다.
- 따라서 건물 전력사용량 패턴 평준화 방안으로 건물옥상 태양광발전은 인버터를 통해 실시간 구배설비에 발전전력을 공급하고, 이와 연계하여 에너지저장장치 15kW/105kWh를 사용하여 주간 시간대에 7시간 방전하고, 잉여 시간대에 10시간 충전하여 운용함으로써 최적화가 가능한 것으로 나타났다. 피크전력 억제에 따른 연중 기본요금 절감은 물론이고 전력사용 시간대 변경에 따른 전기료 차익실현이 가능하며, 실시간 요금이 적용되면 추가로 차익실현이 가능한 것으로 나타났다.

## 후 기

본 연구는 대구경북과학기술원 일반사업에 의해 수행되었음(과제번호 : 14-BD-01)

## Reference

1. Keunhye Choi, Hyojoon Bae, Sangwoo Lee, Taejoon Park, Yongsoon Eun and A Smartgrid, Comprehensive Control Scheme for Power Efficiency, UKC, pp. 7~11, 2013
2. HakJu Lee, Wookyu Chae, Wonwook Jung and Juyong Kim, The Economic Evaluation based Design Program for the Off-Grid Microgrid, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 23, No.12, pp. 106~114, 2009
3. Wookwon Kim, Sunghun Lee, Hyeongcheol CHoi, Jongseok Yi and Jino Kim, A Study on Optimal Operation of Energy Storage System in Microgrids, KIEE Summer Conference, pp. 20~22, 2011
4. Jungsik Choi, Jaesub Ko, Donghwa Chung, Development of Improved P&O Algorithm of PV System Considering Insolation variation, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 24, No. 4, pp.166~176, 2010
5. Wonpyo Hong, The Intelligent Zero Energy Buildings, The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, pp. 279~281, 2011
6. Kyebung Lee, Kwangmyoung Son, A Conceptual Model for Effective Utilization of Building Distributed Hybrid Energy System, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 27, No.5, pp.46~53, 2013