

건자재형 BIPV 모듈 및 ESS를 연계한 효율적 전력 운영기술 연구

박정민*, 이강준**, 박종안***

Research of Efficient Power Operation Technology Linked by Construction Meterial Type BIPV Module and ESS

Jeong-Min Park*, Kang-Jun Lee**, and Jong-An Park***

이 논문은 2019~20년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임.
(20173010013420, 건자재형 BIPV 모듈·시스템 개발과 실증을 통한 옥외 성능평가 기술 개발)

요 약

2004년부터 국내 신재생에너지 정책으로 공공기관 신재생에너지 이용 의무화를 진행하고 있으며 이에 해당 하는 건물면적의 규모를 조정하며 꾸준히 진행하고 있다. 이러한 법규에 따라 건축물의 심미성과 제로에너지를 모두 충족하기 위해 건물의 창호나 벽면, 발코니 등 건물의 외관에 태양광 발전 모듈을 장착하여 자체적으로 전기를 생산하고, 건축물에서 바로 활용할 수 있는 BIPV가 정책의 대안으로 떠오르고 있다. 하지만 국내 BIPV 기술의 효율은 해외 제품 대비 다소 떨어짐에 따라 경제성이 떨어져 크게 각광 받지 못하는 실정이다. 본 연구에서는 이러한 BIPV 환경에서 ESS를 연계한 전력 운영 기법으로 기존 단점을 보완할 수 있는 운영 방안을 제시하고자 한다. 1kW급 BIPV와 부하환경에서 운영 시뮬레이션 결과 사용량 대비 발전 전력을 충/방전함으로써 최대 270W피크전력 절감과 소비전력 운영이 가능함을 확인하였다.

Abstract

Since 2004, domestic renewable energy policy has made mandatory use of renewable energy in public institutions, and the building area has been adjusted continuously. In accordance with these regulations, in order to satisfy both the aesthetics and zero energy of buildings, solar power modules are installed on the exterior of buildings, such as windows, walls, and balconies, to produce electricity on their own. BIPV is emerging as an alternative to this policy. However, the efficiency of domestic BIPV technology has fallen somewhat compared to overseas products, so it is not very popular because of its low economic efficiency. In this study we propose an operation plan that can compensate for the existing shortcomings with the power operation technique linked with ESS in such BIPV environment. Operational simulation results in the 1kW BIPV and load environment confirmed that up to 270W peak power reduction and power consumption operation were possible by charging / discharging the generated power to the usage.

Keywords

BIPV, ESS, peak power, EMS, analysis

* 조선이공대학교 자동차시스템과 조교수
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5884-6725>

** (주)비온시이노베이터 기업부설연구소 연구원
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7542-0531>

*** 조선대학교 정보통신공학과 명예교수(교신저자)
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2768-6378>

· Received: Jan. 16, 2020, Revised: Feb. 14, 2020, Accepted: Feb. 17, 2020
· Corresponding Author: Jong-An Park
Dept. of Information Communication, Chosun University, Pilmundaero,
Donggu Gwangju, 501-759, Korea
Tel.: +82-62-230-7064, Email: japark@chosun.ac.kr

1. 서 론

국내 신재생에너지 기술의 적용 사례는 이미 오래전부터 진행되어 왔으며, 보급을 위해 태양광 10만호 보급사업, 태양열 난방지원사업, 그린빌리지사업, 지역에너지사업 등 다양한 지원이 지속적으로 이루어져 왔다. 최근의 경우 신재생에너지 보급을 위해 가정용 태양광 시공 보조금 지원과 발전사업을 위한 저금리 대출, 배터리를 연동하여 ESS구축 및 REC 5.0지원 등 국민 참여형 지원제도 또한 활발히 이루어지고 있다. 이와 같이 환경오염에 대한 우려를 해결함과 동시에 에너지 수요량의 많은 비중을 화석연료를 대체하여 공급하기 위한 신재생에너지의 도입 방안에 대하여 국가적, 세계적인 노력이 지속되고 있다[1]-[5].

이러한 노력은 단순히 에너지 발전 및 반도체 생산에 대한 공학적 산업분야 뿐만이 아닌 건축 산업 또한 지속적인 제도적, 행정적 지원사업이 이루어지고 있으며, 건축산업 시장에 가장 큰 영향을 미친 계기는 공공기관 신재생 의무화제도의 시행을 대표적인 예로 들 수 있다. 2004년부터 시행된 공공기관 신재생에너지 이용 의무화 법규는 연면적 3,000㎡ 이상의 신축 공공건물에 대해 건축 공사비의 5% 이상을 신재생에너지설비에 설치토록 의무화 한 법안으로, 정부는 해가 지날수록 의무화 법규에 해당하는 건물 연면적의 규모를 줄이면서 건물의 신재생에너지 의무설치 범위를 점차적으로 넓히고 있다[6]. 건축물에 대한 신재생에너지 발전설비를 적용하

는 방법으로는 기존 태양광패널을 건물의 옥상 또는 주차장, 공터와 같은 옥외에 시공하는 일반적인 방법과 건물의 유리창 자체를 태양광발전 설비로 제작하여 설치하는 BIPV(Building Integrated PhotoVoltaic system) 방법이 있다.

BIPV, 건물 일체형 태양광 발전시스템이란 태양광 전지판을 건축 외장재화 하여 건물의 외피를 구성하는 건물 일체형 태양광 발전시스템이다. 건물 일체형 태양광 발전 시스템은 주로 창호나 벽면, 발코니 등 건물의 외관에 태양광 발전 모듈을 장착하여 자체적으로 전기를 생산하고, 건축물에서 바로 활용할 수 있는 시스템이다. 태양광 발전 에너지로 생산된 전기는 건물 내에서 소비하는 것 외에도 건물 외장재로 사용하여 건물의 가치를 높이는 디자인 요소로도 쓰이고 있다. 건축물의 요소 자재로 활용될 수 있다는 점에서 기존에 넓은 면적의 별도 설치 부지가 요구되던 태양광 발전방식과 달리 도심 건축물에 적용이 가능한 BIPV는 건축물의 친환경화를 위한 기술적인 대안으로 태양광 발전의 미래 에너지 산업분야에서 주목받고 있다. BIPV 시스템은 단순한 태양광 패널의 건물 적용뿐만 아니라 발전 효율을 개선하기 위한 소재 또는 부품, 다양한 전기/전력의 활용을 위한 전력변환기술, 생산 전기 제어를 위한 정보/통신, BIPV 적용을 위한 건축 자재 등 다양한 기술이 융합되어 이에 따른 기술 개발과 연관 산업의 파급효과가 큰 분야가 되어가고 있으며 그림 1~2와 같이 급격한 속도로 관련 시장은 성장하고 있다[7]-[9].

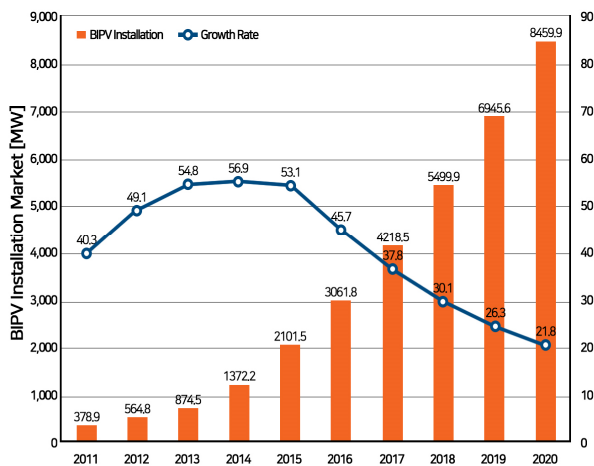


그림 1. BIPV 시장 동향
Fig. 1. BIPV market trend

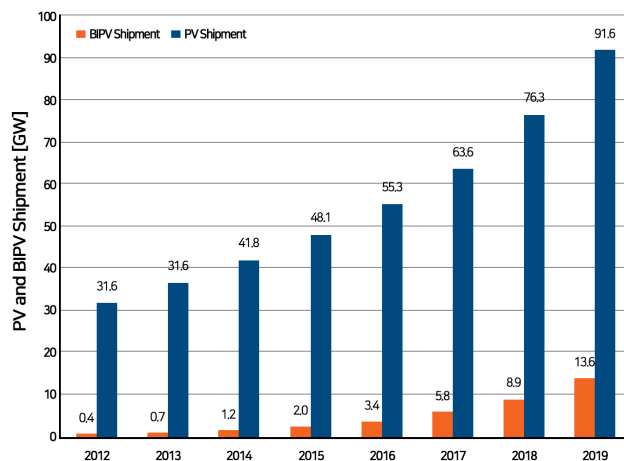


그림 2. PV 및 BIPV 설치량
Fig. 2. Shipment of PV and BIPV

그림 1과 같이 BIPV의 설치는 2011년 378.9MW 규모에서 2020년 8459.9MW 규모로 급격한 성장세를 보여주고 있으며 2019년 기준 2018년 대비 26.3%의 성장률을 보여주고 있으며 2020년은 2019년 대비 21.8%의 성장을 예상하고 있다.

그림 2의 경우 일반 태양광인 PV와 BIPV의 설치량 비교 통계를 분석해보면 2012년 PV 31.6GW, BIPV 0.4GW로 상대적으로 미비한 수치의 시스템 설치가 이루어졌으나, 2019년 PV 91.6GW, BIPV 13.6GW의 설치량을 보면 PV대비 BIPV의 설치량은 상대적으로 많은 발전을 이루었다.

하지만 세계적으로 BIPV의 건축 적용사례들이 증가하며 시장의 활성화가 이루어지는 반면, 국내의 경우 크게 각광 받지 못하는 실정이다. 가장 큰 이유는 국내 BIPV의 저조한 전기효율을 예로 들 수 있다.

태양광발전은 15% 이상의 발전효율을 나타낼 때 사업성과 경제성을 가질 수 있으나, 국내 제품의 경우 평균 10% 초반으로 해외시장에서 BIPV 개발이 꾸준히 이루어져 온 미국의 미아솔, 글로벌솔라, 알타디바이시스, 독일의 솔리브로와 같은 태양광 전문 기업들의 17~18% 효율을 나타내는 데에 비해 효율이 크게 낮은편이다. 최근 국내 기업의 지속적인 연구 및 개발을 통해 최대 17% 이상의 제품의 효율을 구현하였으나 국내의 경우 시장의 초기로 판단되며 적용의 사례가 미비한 실정이다.

BIPV의 활성화와 기술력 확보를 위해 발전효율을 증대시킬 수 있는 연구가 지속적으로 요구되지만, 국내에서 시행되고 있는 신재생에너지 의무화를 비롯한 다양한 에너지 정책에 대응을 위해 건면적에 대한 효율적인 건물 구축이 요구되고, 이를 위한 BIPV의 적용은 필수적인 요소가 될 것으로 판단된다.

이러한 환경에서 본 연구에서는 BIPV를 통한 신재생에너지 발전과 ESS 연계를 통해 효율적인 전력운동을 위한 연구를 진행하고자 한다. BIPV를 통한 전력운동 환경에서 최대의 효율을 구현하기 위해 발전량 분석, 사무공간에서 사용되는 일반용 전력운영 요금제, 소비패턴 분석을 기반으로 하는 BIPV 연계 전력운동 기법을 제시한다.

II. PV 및 BIPV 현황

2.1 국내 전기요금체계

국내 용도별 전기요금체계는 표 1과 같이 주택용, 교육용, 산업용 등 다양한 사용 용도에 따른 요금체제로 구성되어 있다.

계약종별 용도는 표 1과 같이 정의되어 있으며 기관, 사무실, 빌딩 등 국가 신재생에너지 의무화에 해당할 수 있는 계약종은 교육용, 산업용, 일반용이 이에 해당하게 된다. 일반용은 사무실, 빌딩을 포함하며 본 연구를 적용할 대상은 일반 사무실로 정의하였다.

표 1. 국내 전기요금체계

Table 1. Korea electricity bill

Contract species	Usage of electricity
Residential	<ul style="list-style-type: none"> - Client of residential - Client of contract electric on below 3kWh - Single camp(dormitory) or Social welfare facility of Group residential - Residential Officetel
Educational	<ul style="list-style-type: none"> - School according to Childhood education Act, elementary/ secondary/higher education Act - Library according to library act - Museum according to the art museum promodtion act
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> - Client of minning industry and manufacturing industry on Korean Standard Industry Classification
Farming	<ul style="list-style-type: none"> - water, drainage pump and Hydrologic manipulation for grain production - farming electric to raising seedling or light culture - client of the cultivation of crops, livestock and fisheries
Street lamp	<ul style="list-style-type: none"> - light of road/bridge/park for public benefit - Signal lights, road lights, airways, and other
General purpose	<ul style="list-style-type: none"> - Customers other than the above

2.2 PV 대비 BIPV의 효율

태양광셀의 전기효율 η_{el} 을 산출하는 방법은 식 (1)과 같다.

$$N_{el} = \frac{I \times V}{A_{pv} \times G} \quad (1)$$

태양광 셀의 전기효율은 집열면적(A_{pv})과 일사량(G) 대비 생산되는 전력($I \times V$)으로 계산된다. BIPV 셀의 전력생산 효율은 일반적인 태양광 발전 셀 대비 65~70% 정도로 전력생산 효율이 낮다. 일반 태양광 발전설비는 30° 각도로 기울어 설비가 시공되고 전력을 생산하는 반면 BIPV의 경우 외벽수직형 즉, 90°로 세워져 전력을 생산하기 때문에 태양광의 흡수율이 상대적으로 적기 때문이다[10].

본 연구에서는 저효율의 태양광 발전설비에서 생산되는 전력뿐만 아니라 전력계통의 전기를 포함하여 ESS에 저장하고 피크 전력에 대응할 수 있는 ESS 운영 기법을 제안한다.

III. 본 론

3.1 날씨별 BIPV 발전량 분석

태양광 발전설비는 날씨에 따라 크고 작게 발전량의 차이가 존재한다. 날씨란 다양한 변수가 존재하며 매일, 시간대 별 서로 다른 발전량을 나타내지만 본 연구를 위해 맑은 날씨, 조금 흐린 날씨, 흐린 날씨에 대한 태양광 발전량 분석을 진행하였으며 1kWh의 일반 태양광 설비를 통해 수집된 태양광 발전량에 BIPV 발전효율 65%를 적용한 결과를 통해 BIPV 발전량으로 가정하였다. 발전량 분석 결과는 그림 3~5와 같다.

그림 3의 분석 데이터는 맑은 날씨의 발전량 분석 데이터로 10시를 기준으로 발전량이 급격히 증가하고 15시까지 발전량을 유지한 후 서서히 감소함을 보였다.

그림 4의 분석데이터는 조금 흐린 날씨의 발전량 분석 데이터로 12시 이전에 미비했던 발전량이 12시 이후 조금씩 증가하며 15시까지 증가했던 발전량을 유지한 후 조금씩 감소함을 보였다.

그림 5의 분석 데이터는 흐린 날씨와 함께 비가 내리는 날의 분석 데이터로 0Wh에 가까운 발전량을 나타냈다.

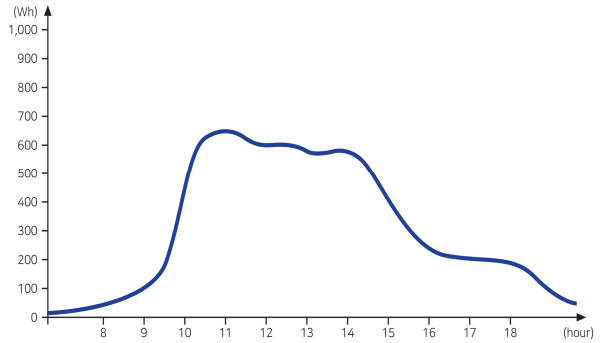


그림 3. BIPV 발전량 분석(맑은 날씨)
Fig. 3. Analysis of BIPV generation(fine weather)

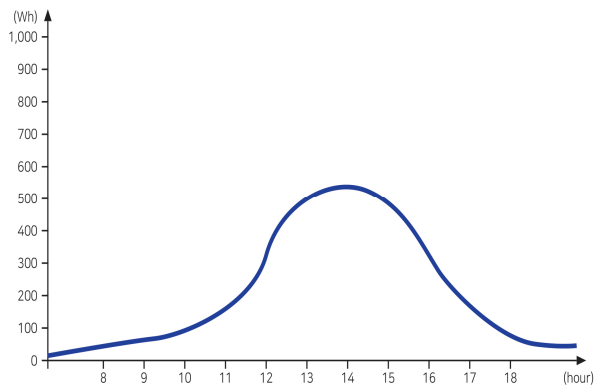


그림 4. BIPV 발전량 분석(조금 흐린 날씨)
Fig. 4. Analysis of BIPV generation(little cloudy)

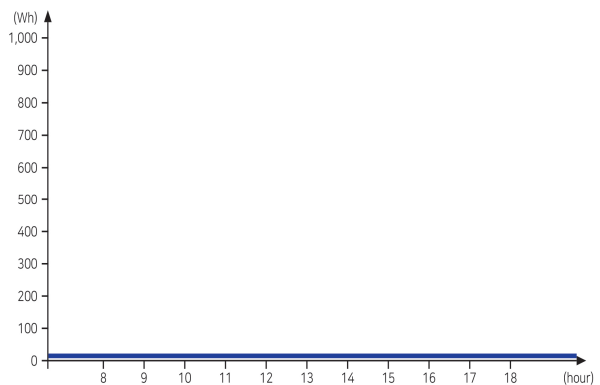


그림 5. BIPV 발전량 분석(흐린날씨)
Fig. 5. Analysis of BIPV generation(bad weather)

3.2 환경에 따른 소비전력 및 피크 분석

국내 전기 요금제는 특수한 업무를 진행하거나 높은 순간전력이 요구되는 환경에 대한 전기 요금 체계는 별도로 존재하고 있다. 일반적인 사무환경 내에서 사용할 수 있는 전기 소비량의 추이를 파악하기 위해 표 2와 같은 테스트 환경을 조성하였다.

테스트 환경을 통하여 사무실 내 실생활에 대한

전기 사용량을 측정하여 그림 3과 같이 소비전력을 분석하고, 800Wh의 전력을 피크 기준으로 설정하여 피크전력을 분석하였다.

표 2. 소비전력 분석을 위한 테스트 환경
Table 2. Test environment for analysis of use power

Item	Contents
Air conditioner (heater)	500Wh
Computer	300Wh
Monitor	200Wh
Refrigerator	20Wh
Light	20Wh
Electric Fan	30Wh

그림 6과 같이 소비전력 및 피크분석 결과에 따르면 결과 9시 30분부터 전기 사용량이 급격하게 증가하고 11시 30분에서 12시 사이 전기 사용량이 급격하게 낮아짐을 확인할 수 있고, 점심 이후 13시 30분부터 전기 사용량이 급격하게 증가하여 17시에서 18시 사이 전기 사용량의 감소와 18시 이후 전기 사용량이 급격하게 줄어드는 결과를 나타내었다.

테스트 환경 내에서 가장 많은 부하를 차지하는 부분은 에어컨(히터)로 파악되었으며, 운영 여부에 따라 피크 이상의 부하 여부가 판단된다.

3.3 ESS 충/방전 알고리즘

BIPV 연계 ESS를 통하여 전력계통의 전기를 피크 기준 이하로 사용할 수 있도록 최적의 운영을 위한 ESS 충/방전 알고리즘을 그림 7과 같이 제작

하였다. 알고리즘의 PV Power는 태양광 발전량, Peak value는 peak 전력 설정값, Use Power는 사용 전력을 나타낸다. 시뮬레이션을 위한 Peak 전력값은 800Wh로 설정하였다. 사무실을 사용하기 이전 시간인 9시 이전과 18시 이후 시간대에 배터리가 완충되지 않은 상황이라면 배터리를 충전한다.

9시 이후 18시 이전인 근무 시간은 실시간으로 태양광 발전량과 소비 전력을 측정하여 배터리 충/방전을 결정하게 되는데, PV 발전량이 소비전력보다 높을 경우 남은 발전량은 배터리로 충전하거나 배터리가 완충 상태일 경우 전력계통으로 송전하게 된다. 또 다른 경우로 소비전력이 태양광 발전량보다 클 경우 태양광 발전 전력은 소비전력으로 모두 사용되고, 소비전력이 피크기준 이상이 된다면 소비 전력에서 피크기준인 800Wh를 뺀만큼 배터리를 방전하여 피크 전력을 완화하도록 한다.

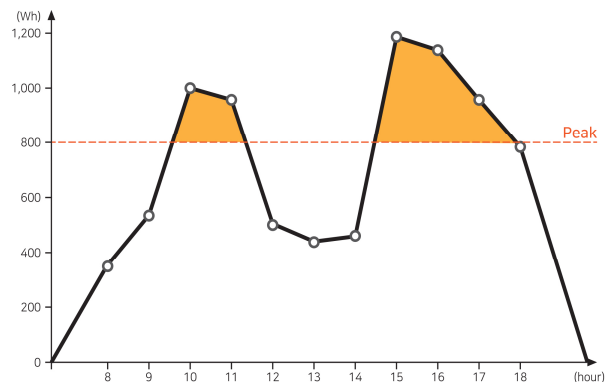


그림 6. 소비전력 및 피크 분석
Fig. 6. Analysis of use power and peak

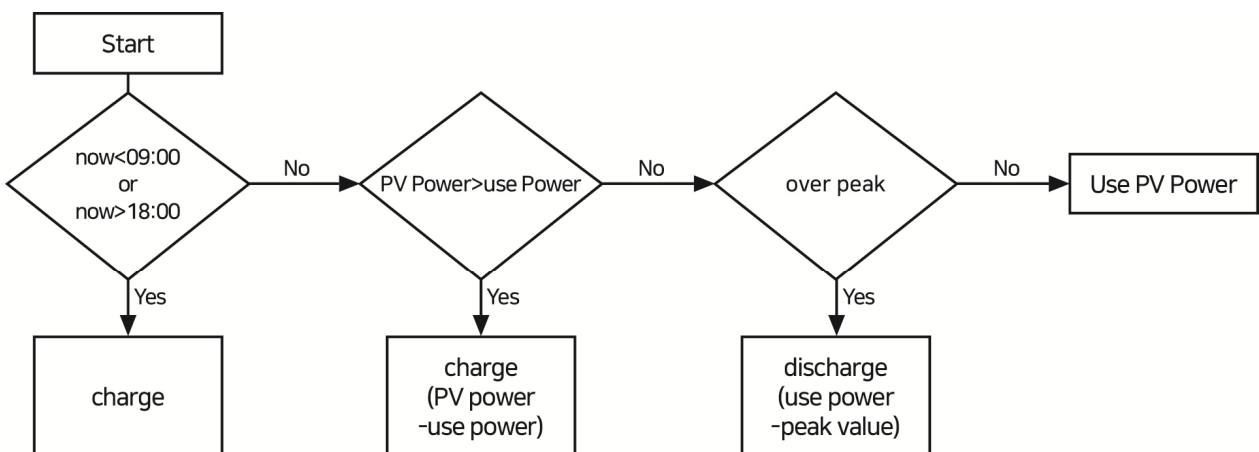


그림 7. ESS 충/방전 알고리즘
Fig. 7. Algorithm of ESS charge and discharge

소비전력이 PV 발전량보다 크고 피크기준보다 낮을 경우 ESS 배터리는 대기상태로 운영되며 소비 전력에서 PV 발전량을 뺀 나머지 전기는 계통 전력을 통해 소비한다.

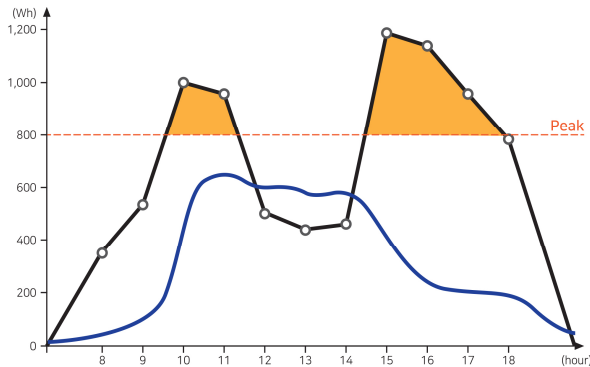


그림 8. PV발전량 및 소비전력 데이터 매칭(맑은 날씨)
Fig. 8. Data matching of PV power and use power(fine weather)

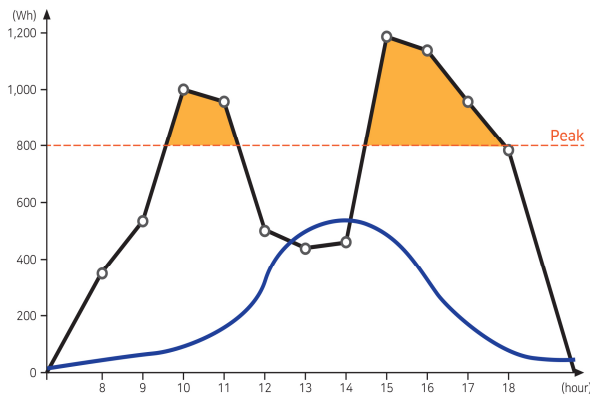


그림 9. PV발전량 및 소비전력 데이터 매칭(조금 흐린날씨)
Fig. 9. Data matching of PV power and use power(little cloudy)

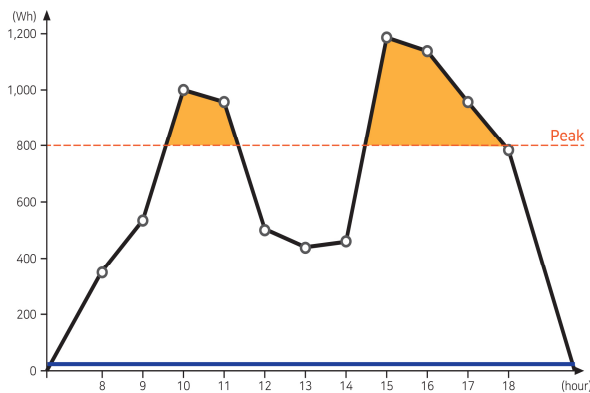


그림 10. PV발전량 및 소비전력 데이터 매칭(흐린날씨)
Fig. 10. Data matching of PV power and use power(bad weather)

IV. 시뮬레이션

BIPV 발전량 분석 데이터와 전력 소비패턴 분석 데이터를 기반으로 운영 알고리즘에 적용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 시간대 별 발전량 데이터와 부하패턴 데이터를 매칭한 결과는 그림 8~10과 같다.

그림 8~10은 소비패턴 데이터와 날씨별 태양광 발전량 데이터를 각각 매칭하여 도식화 한 결과이다. 이러한 결과와 ESS 충/방전 알고리즘을 적용한 시뮬레이션 결과는 그림 11~12와 같다.

그림 11~12와 같이 알고리즘이 적용된 시뮬레이션 결과는 노란색으로 표시된 피크전력은 배터리로 완화하였고, 하얀색으로 표시된 BIPV 발전 전력은 충/방전을 정지하여 대기상태로 전환되며 소비전력으로 사용됨을 확인할 수 있다. 발전 전력으로 부족한 빨간색 표시 전기는 계통전력의 전기를 이용하였음을 표시한다.

피크 전력 절감과 동시에 부하 전력대비 상당한 양의 계통전력의 전기를 절감함을 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있다.

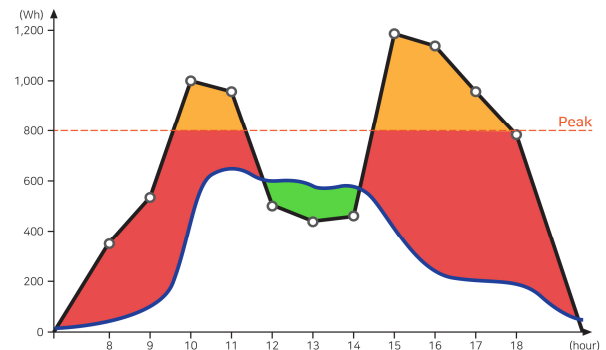


그림 11. 시뮬레이션 결과(맑은 날씨)
Fig. 11. Result of simulation(fine weather)

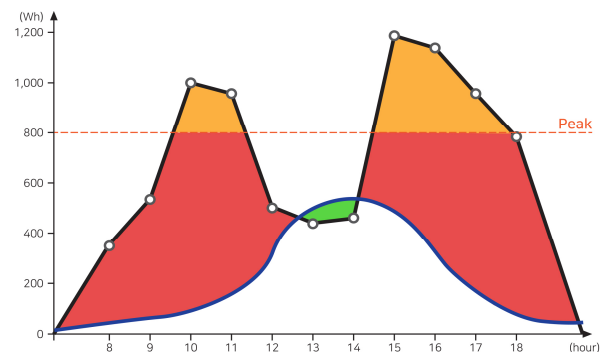


그림 12. 시뮬레이션 결과(조금 흐린날씨)
Fig. 12. Result of simulation(little cloudy)

V. 결론 및 향후 과제

국내를 비롯하여 전 세계적으로 친환경에너지의 이슈와 함께 제로 에너지빌딩 적용의 관심이 대두 되면서 건축, 전기, 전자, IT 등 다양한 산업 분야에서 지속적인 연구와 개발이 진행되고 있다.

본 논문에서 제안된 기술은 국내 전기운영 현황에 따라 피크전력과 이를 절감할 수 있는 시스템을 전력발전 효율이 다소 낮은 BIPV와 ESS를 연계하여 최적의 전력 소비를 이룰 수 있는 방안을 마련하기 위한 운영 기법을 제안하였다.

구축된 태양광 및 ESS설비, 부하설비들을 통해 도출된 데이터를 기반으로 진행한 1kWh급 BIPV ESS와 1,070W의 부하 환경의 시뮬레이션 결과 발전 전력대비 사용전력에 대한 충전과 피크전력 기준으로 설정된 800Wh에 대해 최대 270Wh를 초과하는 부하전력을 배터리 방전을 통하여 피크전력을 절감할 수 있는 결과를 확인하였다.

하지만 제안하는 전력 운영기법에 활용된 데이터는 실제 BIPV를 적용한 것이 아닌 이론적이고 제안적인 환경에서 도출한 데이터로써 실제 운영 환경에서 환경적 요인에 따른 발전 전력효율 변동과 발전 전기 손실을 대입에 따라 기타 변수가 존재할 수 있다. 따라서 이들 한계점을 극복하기 위한 실증과 결과에 대한 연구를 본 논문의 향후 과제로 한다.

References

[1] T. J. Ha, J. A. Park, and J. M. Park, "Independent PMS • EMS Integration System and Facility Operation for Photovoltaic Power Stability", Journal of KIIT, Vol. 17, No. 3, pp. 23-30, Mar. 2019.

[2] Jung-Hoon Yeo and Woo-Young Lee, "Solar Power Generation Connected ESS Design and Application", The Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Jeongseon South Korea, Vol. 31, No. 4, pp. 25-35, Jun. 2017.

[3] Sung-In Lee, "Development of Energy Management System (EMS) industry", Korea Energy Economics Institute, Research Report:13-18, pp. 24-26, Nov. 2013.

[4] K. J. Lee, J. A. Park, and J. M. Park, "Active Monitoring and Control System of EMS Based on the Environment Factors of Solar Power Generation", Journal of KIIT, Vol. 17, No. 2, pp. 53-62, Feb. 2019.

[5] Il-Young Kim, Hong-Sop Kim, Dea-He Kim, and Chan Park, "Design and Implements of EMS Application managed 3kW Smart-Grid Home Energy System", Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference, Jeju, South Korea, Vol. 23, No. 2, pp. 103-106, Jul. 2015.

[6] K. S. Lee, J. W. Lim, M. K. Kang, K. H. Kim, and H. J. Ryu, "Self-powered Smart Window Technologies using Photovoltaics", Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 34, No. 5, pp. 36-47, Dec. 2019.

[7] <https://blog.naver.com/csc1208/70106312565>, [accessed: 18 12, 2019]

[8] M. E. Beck and S. Wiedeman, et al., "Advancements in Flexible CIGS Module Manufacturing", Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Lake Buena Vista, FL, USA, pp. 211-214, Jan. 2005.

[9] S. Wiedeman and M. E. Beck, et al., "CIGS Module Development on Flexible Substrates", Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, New Orleans, LA, USA, pp. 575-578, May 2002.

[10] S. M. Kim, J. H. Kim, and J. T. Kim, "Comparison of Performance Analysis of the Ventilated and Non-ventilated CIGS BIPV Units", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 37, No. 2, pp. 47-57, Apr. 2017.

저자소개

박 정 민 (Min-Jeong Park)



2004년 2월 : 조선대학교
전기공학과(공학석사)
2009년 2월 : 조선대학교
전기공학과(공학박사)
2015년 4월 ~ 현재 : 조선이공
대학교 자동화시스템과 조교수
관심분야 : power electronics,

Smart Sensor & System

이 강 준 (Kang-Jun Lee)



2014년 12월 : (주) 대문정보
기업부설 연구소 연구원
2015년 3월 ~ 2017년 2월 :
조선대학교 소프트웨어융합공학과
(공학석사)
2017년 3월 ~ 현재 : (주)비온시
이노베이터 기술연구소

관심분야 : IT융합, 소프트웨어 개발, 무선통신기술, ESS

박 종 안 (Jong-An Park)



1975년 2월 : 조선대학교
전자공학과(공학사)
1978년 2월 : 조선대학교
전기공학과(공학석사)
1986년 2월 : 조선대학교
전기공학과(공학박사)
1983년 ~ 1984년 : 미국 Massachus

sette 주립대학 전기&전자공학과 객원교수
1990년 ~ 1991년 : 영국 Surrey 주립 대학 전기&
전자공학과 객원교수
1975년 ~ 2017년 8월 : 조선대학교 정보통신공학과 교수
2017년 9월 ~ 현재 : 조선대학교 정보통신공학과
명예교수
관심분야 : 디지털신호처리, 멀티미디어 영상처리, NFC