

공동주택 발코니 PV 연계 가정용 BESS의 에너지 절감 효과 분석

김차년* · 엄지영** · 김용기****

*한국건설기술연구원 국민생활연구본부, 박사후연구원

**한국건설기술연구원 국민생활연구본부, 전임연구원

***한국건설기술연구원 국민생활연구본부, 연구위원

Analysis of Energy Saving Effect of the Residential BESS Connected to the Balcony-PV in Apartment Houses

Kim Cha-Nyeon* · Eum Ji-Young** · Kim Yong-Ki****

*Post-doc, Department of Living and Built Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**Research Specialist, Department of Living and Built Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

***Research Fellow, Department of Living and Built Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

†Corresponding author: kimyk@kict.re.kr

Abstract

The government mandates gradually zero energy building and Photovoltaic power generation systems installed in buildings are emerging as the most realistic alternative to increase the independence rate of building energy. In this study, we propose a method to reduce the power consumption of households by increasing the PV capacity of balconies and applying the method used the charged electric power stored in batteries after sunset. In order to evaluate the electric power energy savings of the residential BESS, a balcony PV 1.2 kW and a battery pack 2 kWh were installed for 9 houses in 4 apartments in Seoul and Gyeonggi-do. The BESS is charged when the balcony PV is generated electric power, and when solar power generation is finished, it supplies power to the electric appliances connected to the load. As a result of installing the solar PV module 1.2 kW and 2 kWh class BESS for 3 households located in Seoul and Gyeonggi-do, the average electric power consumption saving rate was 40%. The reduction in electricity consumption in the case of zero generation surplus power by maximizing the utilization rate of BESS has been improved to about 53%. Therefore, in order to increase the self-sufficiency rate of electric energy in apartment houses, it is effective to increase the solar photovoltaic capacity of the balcony and apply the residential BESS. In the future, it is believed that the balcony PV and home BESS will play a key role in achieving mandatory zero-energy housing.

Keywords: 발코니 태양광발전시스템(Balcony photovoltaic power system), 배터리 에너지저장시스템(Battery energy storage system, BESS), 잉여전력(Surplus power), 리튬인산철 배터리(LiFePO4 battery), 제로에너지건축(Zero energy building)



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.40, No.3, pp.21-31, June 2020
<https://doi.org/10.7836/kses.2020.40.3.021>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 27 May 2020

Accepted: 26 June 2020

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

정부에서는 제로에너지건축을 점진적으로 의무화하고 있으며 건물에 설치되는 태양광발전시스템은 건물에너지 자립율을 높이기 위한 가장 현실적인 대안으로 부상하고 있다. 유럽 및 미국의 많은 단독주택에서는 주간 태양광 발전시스템에서 자가 발전한 전력을 가정용 배터리 에너지저장시스템(BESS)에 저장했다가 야간에 사용하는 기술이 보급되고 있다. 국내의 단독주택에서는 옥상에 설치되는 태양광 발전설비가 많이 보급되고 있으나, BESS는 거의 보급되지 않고 있다. 단독주택의 태양광 발전설비에서 주간에 생산되는 전기는 먼저 주간 부하 공급용으로 사용되고, 잉여 전력은 전력량계에서 상계처리가 되고 있다. 한편, 서울시에서는 공동주택 발코니 태양광 발전설비를 주도적으로 보급하고 있으나 공동주택의 경우에는 세대부하를 초과하는 태양광 생산 잉여전력의 상계처리가 불가능하다. 따라서 공동주택 세대 전기요금을 절감하고, 세대당 에너지 자립율을 높이기 위해서는 세대 당 태양광 발전량을 높일 필요가 있으며 아파트에서는 상계처리가 안 되기 때문에 초과 발전량을 BESS에 저장하여 야간에 이용하는 방안이 필요하다.

건물에 적용되는 BESS와 관련하여 태양광 발전 설비 및 BESS를 최적으로 운용할 수 있도록 동적상태를 고려한 프로그램을 개발하고 이를 통해서 적정 설비용량 및 운용방안을 검토한 연구¹⁾가 진행되었으나 이는 공동주택 단위 세대용이 아닌 건물 전체에 대한 연구이다. BESS가 탑재된 3 kW급 가정용 하이브리드 인버터(Hybrid inverter)를 이용하여 충-방전 시뮬레이션에 따른 가능성에 대한 연구²⁾도 진행 되었으나 실험결과가 아닌 시뮬레이션으로 결과^{3,4)}를 제시하였다. 실제 공동주택에 태양광 발전설비 연계 BESS를 설치하여 진행된 연구결과는 없으며 본 연구에서는 발코니 태양광 발전설비 용량을 증대시키고 맑은 날 주간 태양광 발전에 따른 잉여 전력을 BESS에 저장하여 일몰 후 사용하는 방식을 세대에 적용함으로써 세대의 전력소비량을 절감시키는 방안을 제안하고 에너지 절감 효과를 분석하고자 한다.

2. 실증 방법

2.1 실증 공동주택 개요, 태양광 발전설비 및 BESS의 제원

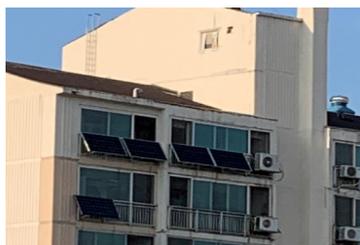
실증 대상 세대는 태양광 발전이 가능한 수도권 소재의 중규모 아파트로 선정하였다. 실증 규모는 총 9세대를 대상으로 태양광 발전 설비(PV)와 BESS를 설치하였으나, 본 연구에서는 현재 데이터를 받고 있는 3세대(서울시 노원구 J 아파트, 성동구 D 아파트, 경기도 용인시 수지구 R 아파트)만을 대상으로 분석하였으며, 각 세대의 정보는 Table 1과 같다.

발코니 태양광 발전설비는 단결정 실리콘 재질의 H사 Q.PEAK BFR-G4.4 300 W 모듈(단락전류 9.97 A, 개방전압 40.22 V, 최대 출력 전류 9.46 A, 최대 출력 전압 32.75 V)을 사용하였고, 4장을 직렬로 연결하여 발코니 난간 바깥쪽에 70°경사로 설치하였다. Fig. 1은 발코니 난간에 설치된 태양광 발전설비의 현장 사진이다. BESS는 배터리팩과 하이브리드 인버터로 구성되어 있으며 실증세대에는 3 kW급 인버터(모델 : Infinisolar V II)와

2 kWh 용량의 배터리(모델 : Lithium valley)팩을 설치하였다. 하이브리드 인버터는 120 × 295 × 468 mm 크기이며 안전사항으로는 과충전, 과방전, 과전류, 단락, 과열에 의한 사고를 방지하기 위해 각 사항 발생 시 자동적으로 전력을 차단하는 기능을 가지고 있다. 배터리팩은 525 × 240 × 215 mm 크기이다.

Table 1 Information of apartments installed the BESS linked balcony PV

Classification	Category	Floor plan	
J apartment	Location	Wolgye-dong, Nowon-gu, Seoul	
	Direction	Southeast	
	Floor	19 th	
	Area (m ²)	81.87	
	PV panel capacity	1.2 kW (300 W × 4 EA)	
	Connection load	Electric heating matt	
	Battery operation mode	PV fist & PV → Battery → Load-Grid	
D apartment	Location	Haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul	
	Direction	Southeast	
	Floor	5th	
	Area (m ²)	114.94	
	PV panel capacity	1.2 kW (300 W × 4 EA)	
	Connection load	TV	
Battery operation mode	PV fist & PV → Battery → Load-Grid		
R apartment	Location	Suji-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do	
	Direction	Southeast	
	Floor	20 th	
	Area (m ²)	84.88	
	PV panel capacity	1.2 kW (300 W × 4 EA)	
	Connection load	Electric heating matt	
Battery operation mode	PV fist & PV → Battery → Load-Grid		



(J apartment)



(D apartment)



(R apartment)

Fig. 1 Pictures of PV panels installed on the balcony

BESS에 사용된 배터리는 리튬이온(Li-ion)배터리 보다 안전성이 높다고 알려진 리튬인산철(LiFePO4) 배터리를 사용하였다. 배터리 자체 BMS (Battery Management System)에서 과전압, 저전압, 과전류, 과방전, 과충전 발생 시 배터리에 공급되는 전력을 차단하는 기능을 가지고 있다. 실제 사람이 거주하는 아파트 세대에 설치하기 때문에 안전성에 중점을 두어 발코니 내부에 비가 들어 치거나 물청소를 할 경우 감전 및 기기 손상을 보호하기 하이브리드 인버터와 배터리팩을 1300 × 400 × 410 mm 철제 케이스에 넣어 바닥에서 약 70 mm 여유 공간을 두어 설치하였다. Table 2는 하이브리드 인버터와 배터리팩의 제원을 나타내고 있다.

Table 2 Specification of a hybrid inverter and battery pack

		Category						
LiFePO4 battery pack	Nominal voltage	Nominal capacity	Discharge cut-off	Charge cut-off	Charge current	Continuous discharge current	Peak discharge	Weight
	48 V	42 Ah	32 V	58.4 V	30 A	30 A	60 A	
Hybrid inverter	Capacity	MPPT range	Power factor	Conversion efficiency	Out waveform	Battery output efficiency (DC→AC)	Max. charging current	Weight
	3 kW	120 ~ 430 V	> 0.99	95%	sin	93%	60 A	

2.2 실증 방법

PV 발전 전력과 배터리에 저장된 전력을 사용 시 세대 전력량 절감 분석을 위해 Fig. 2와 같이 세대 분전반에 디지털 전력량계를 설치하였다. 실시간 전력량계는 D사의 PM-P110-WE 제품(통신방식 WiFi, 최대허용용량 50 A, 동작전력 1 W 이하)을 사용하였으며 세대 전력량 데이터가 1분 단위로 클라우드 방식 메인서버에 저장되며 웹사이트에서 엑셀파일로 다운받을 수 있다. BESS는 Table 3과 같이 4가지 운전 모드가 있으며 실증세대에는 Fig. 3의 (a)와 같이 PV가 발전을 시작함과 동시에 배터리를 우선적으로 충전하여 SOC (State of Charge) 100%가 되면 잉여전력을 계통에 공급하고 PV 발전량이 충분하지 않을 때에는 계통전력으로 배터리를 충전하는 PV first & PV → Battery → Load-Grid 모드를 설정하였다. 배터리팩의 안전성을 높이기 위하여 SOC는 30 ~ 100%로 운영하였다.

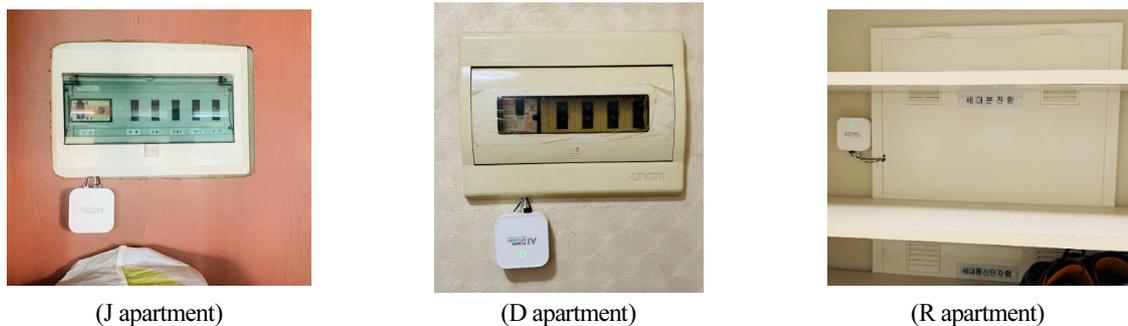


Fig. 2 Pictures of realtime electric power meters

Table 3 Hybrid inverter operating mode

Category	Operation mode	Operation description
PV first	PV → Load → Battery-Grid	PV preferentially supplies power to the load, Battery is charged with PV and grid power
	PV → Battery → Load-Grid	PV charges the battery preferentially, Battery is charged with PV and grid power
PV only	PV → Load → Battery-Grid	PV preferentially supplies power to the load, Battery is only charged with PV power
	PV → Battery → Load-Grid	PV charges the battery preferentially, Battery is only charged with PV

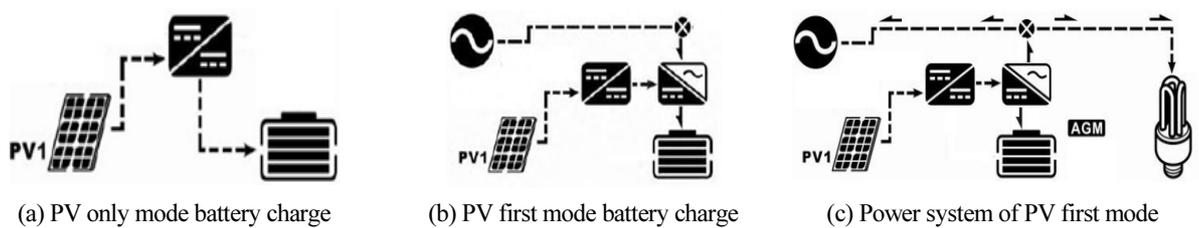
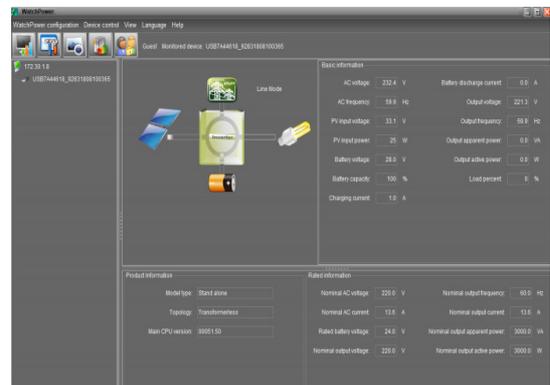


Fig. 3 Operation mode conceptual diagram of the BESS linked balcony PV

실시간 모니터링과 데이터 저장을 위해 BESS용 자체 소프트웨어가 있으며 USB 통신케이블과 RS232를 통해 노트북에 연결이 가능하며 Fig. 4와 같이 노트북에 소프트웨어를 설치 후 하이브리드 인버터의 USB 통신포트와 노트북을 연결하여 실시간으로 계통전압, 주파수, PV 전압, PV 발전전력, 배터리 전압, 배터리 용량, 배터리 충방전 전류 및 계통으로 흐르는 전압 및 부하 사용전력을 모니터링 할 수 있으며 설정 시간에 따라 데이터를 저장할 수 있다. 본 연구에서는 1분 단위로 데이터를 저장하여 분석에 사용하였다. Fig. 5는 현장에 설치된 BESS의 설치 모습이다.



(a) Software operation picture in BESS



(b) Software screen

Fig. 4 Monitoring system of the BESS linked balcony PV



Fig. 5 Pictures of BESS installed on the balcony

3. 실증 결과

3.1 세대별 발코니 태양광 발전량 분석

발전량 분석을 위한 3개 세대의 경우 모두 남동향이며, Fig. 6과 같이 일조시간부터 PV발전이 시작되어 태양이 최고고도에 이른 정오에 최대 발전이 이루어지고, 정오가 지나 약 14시 이후부터 PV 모듈에 입사하는 태양광이 줄어들어 발전량이 감소하게 된다. 시간별 발전 전력 부분은 Fig. 7의 세대별 일간 태양광 발전전력에서 확인 할 수 있다. 기상조건 및 PV 설치 위치에 따라 오차는 있으나 대상 세대의 발전량을 보면 J 아파트, D 아파트, R 아파트의 일간 평균발전량은 5.2 kWh이며 순간 최고 발전전력은 0.85 ~ 1.04 kW로 측정 되었다. 따라서 순간 발전전력은 세대 방향 및 모듈 설치 각도의 영향으로 정격 용량(1.2 kW) 대비 13 ~ 30%의 손실이 발생하였다. 공동주택에서 단독 주택의 경우처럼 세대 잉여 태양광 발전전력에 대한 상계거래가 된다면, 1.2 kW의 발코니 태양광 발전 설비를 설치함으로써 한 달 동안 102 kWh를 발전(20%의 발전 손실 적용, 등가가동시간 3.4시간 적용) 할 수 있고, 이를 주택용 요금제 누진 2구간 전력량 요금인 187.9원/kWh를 적용하면, 한 달 동안 19,166원을 절감할 수 있다.

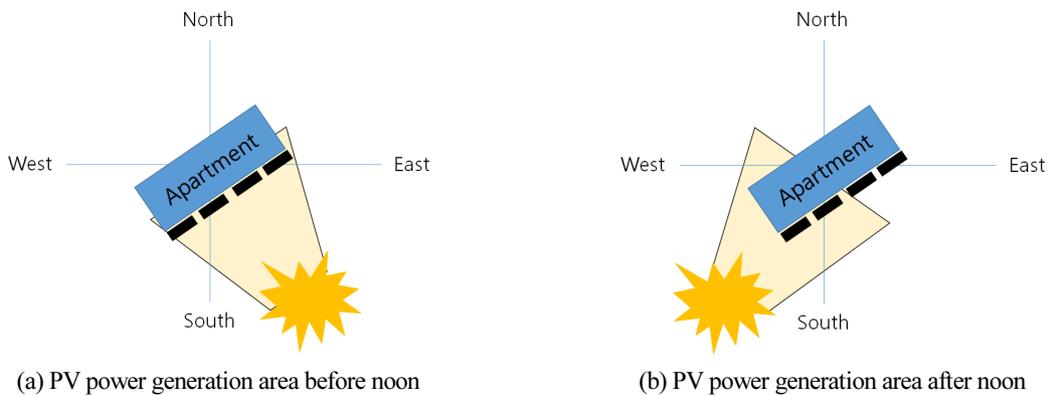


Fig. 6 Variations of PV module generation area according to the direction of the sun

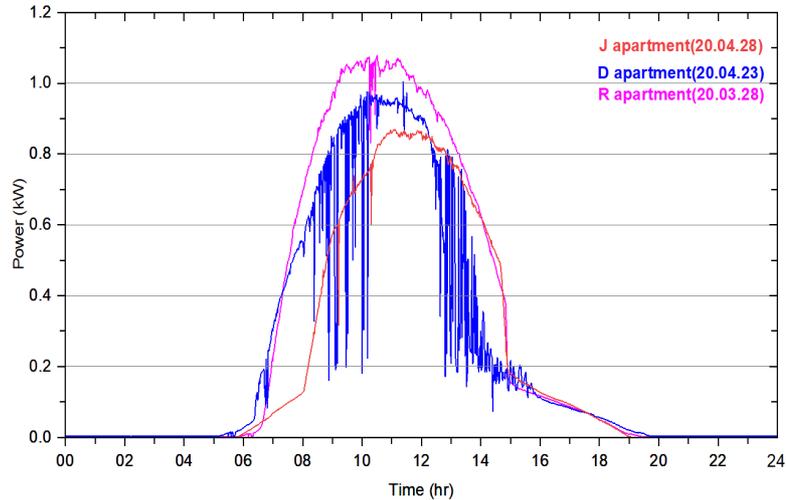


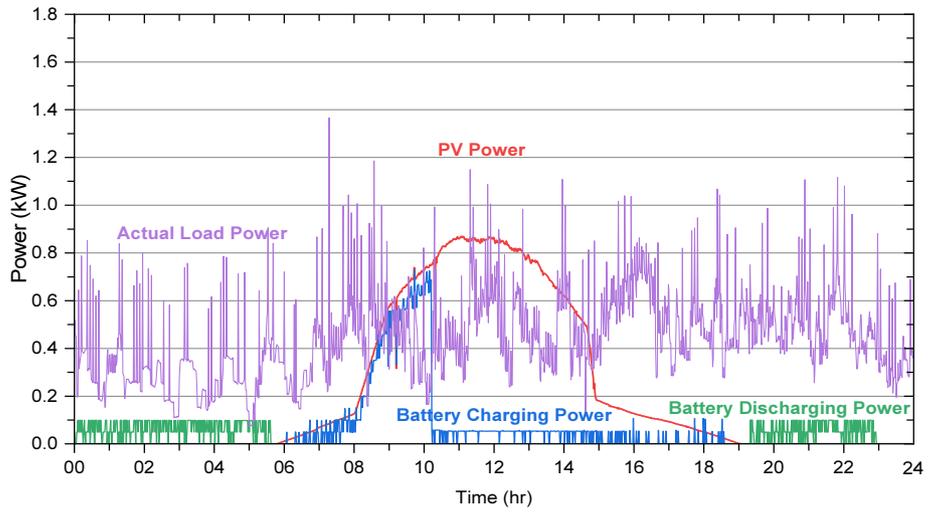
Fig. 7 Time variations of the instantaneous PV power of each household per day

3.2 발코니 태양광 발전 연계 BESS의 운전특성 분석

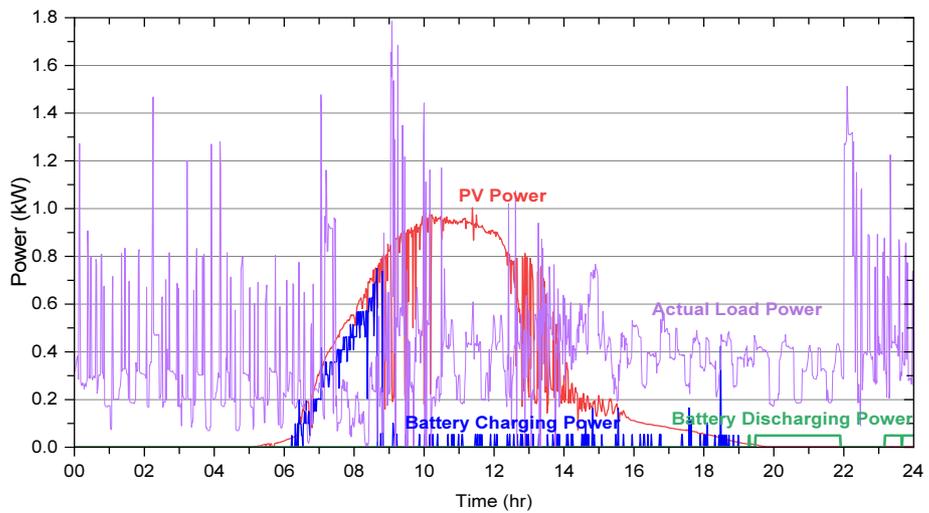
대상 세대들의 3일 동안의 PV 발전량, 배터리 충·방전량, 부하사용량과 세대 분전반에 설치된 전력량계를 통해 전체 전력사용량 및 잉여전력을 비교하였다. Fig. 8은 각 세대의 대표 하루 동안의 순시전력그래프고 J 아파트, D 아파트, R 아파트 순서이다. 기상조건 및 설치 위치에 따라 차이는 있지만 PV발전이 시작되는 오전 6시부터 배터리 충전전력이 상승하기 시작하여 오전 9시부터 10시경에 급격히 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 이는 배터리가 100% 충전이 되어 잉여전력이 계통으로 공급되고, BESS에 연결된 부하는 배터리 방전 전력의 사용 시간을 보면 PV발전이 없는 시간에 사용됨을 볼 수 있다.

먼저, Fig. 8(a)의 서울시 노원구 J 아파트 사례를 보면, 세대 전기부하(Actual Load Power)는 1분 데이터로 변동이 심한 것을 볼 수 있고, 하루 중 새벽시간의 부하가 적음을 볼 수 있다. 일간 최대부하는 1,366 W, 최소부하는 74 W, 평균부하는 445 W이다. 일간 세대 전기부하량은 6.9 kWh이며, 이를 한 달 사용량으로 환산하면, 207 kWh이다. 발코니 PV에 의한 일간 발전량 및 순간 최대발전전력의 경우 5.2 kWh와 0.869 kW로 측정되었다. 이 날은 운량이 0인 맑은 날 이었고, PV 설치 용량 1.2 kW의 72.4%까지 발전을 수행하였다. 오후 3시경에 태양이 서쪽으로 기울면서 남동쪽에 설치된 PV 모듈에서 발전량이 급격하게 저하되는 것을 볼 수 있다. PV 발전이 있을 경우 배터리 충전 우선 모드에 의하여 오전 6부터 충전을 시작하여 오전 10시까지 충전을 수행하는 것을 볼 수 있다. 일간 배터리 충·방전 전력은 1.4 kWh와 0.6 kWh를 기록하였다. BESS에 연결된 부하는 전기장판이다.

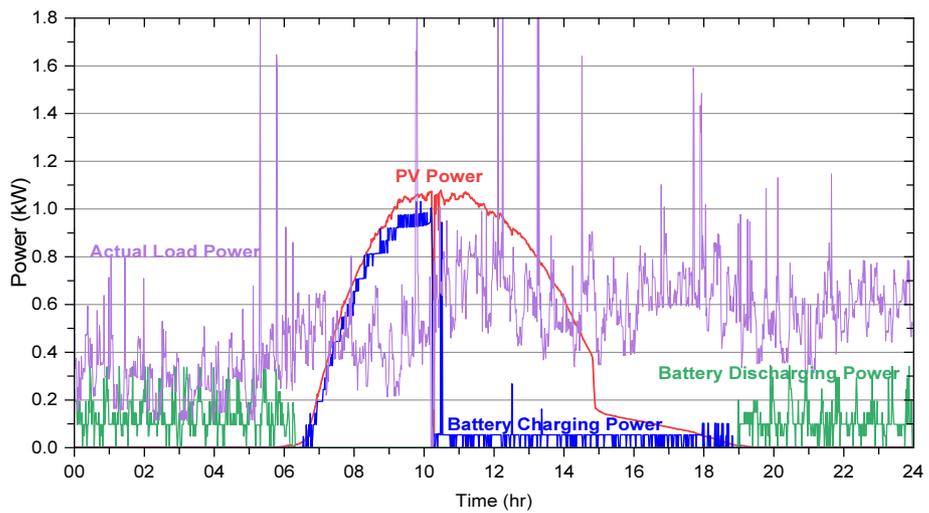
Fig. 8(b)의 서울시 성동구 D 아파트 사례를 보면, 세대 전기부하는 1분 데이터로 변동이 심한 것을 볼 수 있다. 일간 최대부하는 1,780 W, 최소부하는 50 W 미만이며, 평균부하는 390 W이다. 일간 세대 전기부하량은 3.4 kWh이며, 이를 한 달 사용량으로 환산하면, 102 kWh이다. 발코니 PV에 의한 일간 발전량 및 순간 최대발전전력의 경우 5.5 kWh와 1.0 kW로 측정되었다. 일간 배터리 충·방전 전력은 0.9 kWh와 0.2 kWh, 연결부하(TV) 사용량은 0.4 kWh로 측정되었다.



(a) J apartment (2020.04.28)



(b) D apartment (2020.04.23)



(c) R apartment (2020.03.30)

Fig. 8 Daily operation characteristics of the BESS linked balcony PV

Fig. 8(c)의 용인시 수지구 R 아파트 사례를 보면, 일간 최대부하는 3,110 W, 최소부하는 100 W 미만이며, 평균부하는 516 W이다. 일간 세대 전기부하량은 8.2 kWh이며, 이를 한 달 사용량으로 환산하면, 246 kWh이다. 발코니 PV에 의한 일간 발전량 및 순간 최대발전전력의 경우 6.9 kWh와 1.1 kW로 측정되었다. 일간 배터리 충전 전력은 2.8 kWh와 1.4 kWh, 연결부하(전기장판) 사용량은 5 kWh로 측정되었다. Table 4는 Fig. 8의 일간 운전 특성에 대한 데이터를 정리한 것이다.

Table 4 Daily operation characteristics data of the BESS linked balcony PV

Classification	Weather (cloud amount)	PV generation (kWh/d)	Battery Charging (kWh/d)	Battery Discharging (kWh/d)	Load of electrical appliances (kWh/d)	Total load (kWh/d)	Surplus power (kWh/d)
J apartment	0.0	5.2	1.4	0.6	0.7	6.9	-0.8
D apartment	1.6	5.5	0.9	0.2	0.4	3.4	-2.5
R apartment	2.1	6.9	2.8	1.4	5	8.2	-1.0

3.3 발코니 태양광 발전 연계 BESS의 전기소비량 절감을 분석

Table 5는 발코니 태양광 발전 연계 BESS의 세대별 3일간 운전 데이터를 평균하여 정리한 것이다. 3일간 평균 운량은 1.4~2.5로 맑은 날씨의 운전 데이터를 분석하였다. 세대별 발코니 태양광 1.2 kW를 설치하여 맑은 날 일간 4.7 ~ 6.3 kWh의 발전량을 기록하였다. 배터리 충전량은 전날의 방전량에 따라 다르며, 3세대 평균 충전량은 하루에 1.7 kWh이며, 방전량은 연결된 부하에 따라 다르며, 3세대 평균 방전량은 0.73 kWh로 BESS 이용율은 43%로 저조한 편이다. 3세대 3일간 평균 측정 부하는 6.16 kWh이며, 실제 부하는 11.4 kWh이고, 이를 한 달 사용량으로 환산하면 342 kWh이다. 잉여 전력은 발코니 태양광 발전으로부터 내부 소비전력과 배터리 충전량을 제외하고, 세대 밖으로 송전되는 발전량으로 음의 값으로 표현하였다. BESS의 이용율이 저조한 이유는 BESS가 발코니에 설치됨에 따라 별도의 콘센트를 설치할 수밖에 없었고, 여기에 전기부하를 연결해야만, 배터리를 사용할 수 있는 구조이기 때문이다. 전 세계적으로 보급되고 있는 가정용 BESS는 단독주택용으로 주택 분전반 전단에 BESS를 연결하여 부하로 분전반, 즉 세대 부하 전체를 사용하는 구조이다. 아파트에서 이러한 방

Table 5 Average data of daily operation characteristics for the BESS linked balcony PV

Classification	Date	Weather (cloud amount/d)	PV generation (kWh/d)	Battery Charging (kWh/d)	Battery Discharging (kWh/d)	Load of electrical appliances (kWh/d)	Measured load (kWh/d)	Surplus power (kWh/d)
J apartment	2020.04.26 ~ 04.28	1.4	4.7	1.2	0.4	0.5	7.0	-1.3
D apartment	2020.04.23 ~ 04.25	2.3	5.1	1.0	0.2	0.7	4.7	-2.1
R apartment	2020.03.28 ~ 03.30	2.5	6.3	2.4	1.2	5.0	9.1	-0.7

식을 사용하기 위해서는 발코니에 설치되는 태양광 연계 BESS와 세대 분전반을 연결하는 전기공사가 필요하나 현실적으로 거실 등을 거치는 배선공사를 거주자가 받아들이기에는 쉽지 않다.

Fig. 9는 발코니 태양광 발전 연계 BESS 설치에 따른 세대별 3일간 평균 전기소비량 절감율을 도시한 것이다. J 아파트에서는 35.6%를 절감하였고, D 아파트에서는 47.7%, R 아파트에서는 36%를 절감하였다. 3세대 평균은 40%이다. Table 5에 보인 바와 같이 BESS를 사용함에도 불구하고, 잉여 전력이 발생하므로 BESS의 이용율을 높일 필요가 있으며, BESS의 이용율이 정상적으로 90% 이상 활용하게 된다면, 아파트 발코니 1.2 kW 급 태양광 발전 연계 2 kWh급 BESS의 전기소비량 절감율은 50% 정도일 것으로 예상된다. 전기소비량 절감율은 세대에서 재생에너지 발전을 수행한다는 의미에서 전기에너지 자립율로도 표현할 수 있다. Table 5에서 잉여 전력을 제로로 만들 경우 3세대 평균 전기소비량 절감율은 53%에 달한다.

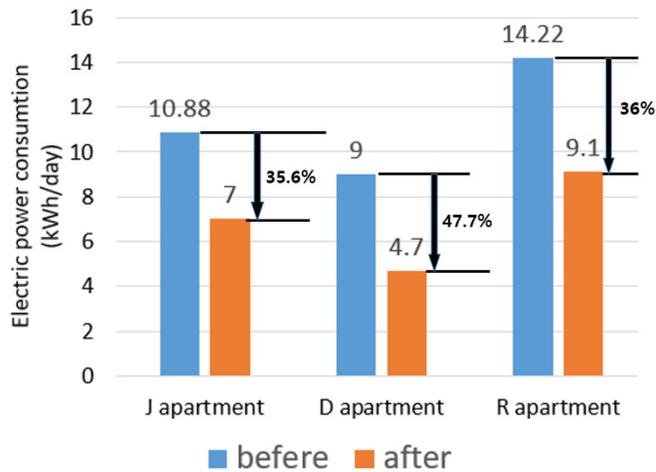


Fig. 9 Electric power consumption saving rate by a household according to using the BESS linked balcony PV

4. 결론

본 연구에서는 공동주택 세대별 전기에너지 자립율을 높이기 위하여 기존 서울시 미니 태양광 발전 사업용 300 W급 태양광 모듈 대비 용량을 증대시켜 1.2 kW급 태양광 모듈을 발코니 난간에 설치하고, 주간의 태양광 발전에 따른 잉여전력을 배터리 에너지저장시스템(BESS)에 저장하여 일몰 후 사용하는 방식을 적용하여 세대의 전력소비량을 감소시키는 방안에 대한 실증결과를 검토하였다.

- (1) 세대별 발코니 태양광 발전 설비의 순간 발전전력은 세대 방향 및 모듈 설치 각도의 영향으로 정격 용량 대비 13~30%의 손실이 발생하였다. 공동주택에서 단독주택의 경우처럼 세대 잉여 태양광 발전전력에 대한 상계거래가 된다면, 1.2 kW의 발코니 태양광 발전 설비를 설치함으로써 한 달 동안 약 100 kWh를 발전할 수 있고, 이를 주택용 요금제 누진 2구간 전력량 요금을 적용하면, 한 달 동안 2만 원 정도를 절감할 수 있다. 그러나 상계거래가 안 될 경우에는 태양광 잉여 전력을 배터리에 저장하여 야간에 사용함으

로써 전기요금을 더욱 절감할 수 있고, 세대 전기에너지 자립율도 높일 수 있다.

- (2) 서울과 경기도에 위치한 아파트 3세대에 대하여 발코니 태양광 모듈 1.2 kW와 2 kWh급 BESS를 설치한 결과, 전기에너지 절감율은 평균 40%를 기록하였다. 실증결과에서의 BESS 이용율은 43% 수준으로 연결부하를 세대 분전반으로 확대할 경우, 즉 BESS의 이용율을 최대로 활용하여 세대 잉여 전력을 제로로 만들 경우의 전기소비량 절감율은 53% 정도로 향상되었다. 따라서 공동주택 세대 전기에너지 자립율을 높이기 위해서는 발코니 태양광 발전 용량을 늘리고, 가정용 BESS를 적용하는 것이 효과적인 방법이다. 향후 발코니 태양광과 가정용 BESS는 제로에너지주택 의무화 달성을 위한 핵심적인 역할을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20172410104720).

REFERENCES

1. Woo, S. M., Moon, J. C., Ahn, J. W., and Kim, Y. H., The Study of Optimal Operation Development of PV+ESS Active System for Zero Energy Building, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 39, No. 5, pp. 53-63, 2019.
2. Kim, H. S., Kang, S. K., Bae, J. W., Lee, J. W., and Nho, E. C., 3 kW Residential PV Hybrid Inverter with ESS, Power Electronics Conference, pp. 42-43, 2016.
3. Eum, J. Y. and Kim, Y. K., Economical Analysis of the PV-linked Residential ESS using HOMER in Korea, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 20, No. 2, pp. 36-42, 2019.
4. Kim, B. J., Lim, H. W., Kim, D. S., and Shin, U. C., A Study of Load Matching on the Net-zero Energy House, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 38, No. 4, pp. 55-66, 2018.