공동주택 발코니 PV 연계 가정용 BESS의 HOMER를 이용한 경제성 분석

엄지영* · 김용기***

*한국건설기술연구원 녹색건축연구센터, 전임연구원

**한국건설기술연구원 녹색건축연구센터, 연구위원

Economic Analysis of Residential BESS Connected to Balcony-PV in Apartment Houses Using HOMER

Eum Ji-Young* · Kim Yong-Ki***

*Research Specialist, Green Building Research Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**Research Fellow, Green Building Research Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

†Corresponding author: kimyk@kict.re.kr

Abstract

The Seoul metropolitan area and many local governments are supporting a project that involves installing and using PV (Photovoltaic) modules on the balconies of apartment houses in Korea. The power capacity of the installed PV is generally 300 W (a single PV module) per household. If the power capacity of the PV module is larger than the peak load of the household during the PV generation time, the surplus power cannot be utilized. Therefore, the necessity of a battery energy storage system (BESS) that can utilize the PV surplus power is being increasingly felt. In this study, we analyzed the economic efficiency of the residential BESS connected to a balcony-PV using HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) software in Korea. The simulation was conducted for five cases in which the price of each component of BESS with balcony-PV and the limit installation capacity of the PV module were variable. As a result, when the balcony-PV and residential BESS were 50% (915,000 won) lower than the current price (1,830,000 won) and a PV with a power capacity of 1.2 kW was installed, the electric power charge was reduced by 34.2% (NPC 10,207,600 won) and the payback period required 4.09 years compared with the pre-installation times (NPC 15,519,570 won).

Keywords: 배터리 에너지저장시스템(Battery energy storage system, BESS), 경제성 분석(Economic analysis), 공동주택(Apartment house), 태양광(Photovoltaic; PV), 제로에너지건축물(Zero energy building)

기호설명

$C_{ann,tot}$: 연간 총 시스템 비용(won/year)

E_{served} : 총 전기 부하량(kWh/year)

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.40, No.6, pp.161-173, December 2020
<https://doi.org/10.7836/kjes.2020.40.6.161>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 13 November 2020

Revised: 08 December 2020

Accepted: 10 December 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.

$CRF(i, R_{proj})$: 자본회수율

i : 연간 실제 할인율(%)

R_{proj} : 프로젝트 기간(year)

$C_{NPC,tot}$: 총 순 현재 비용(won)

1. 서론

정부는 2017년 12월에 2030년까지 재생에너지 비중을 20%까지 높이겠다는 “재생에너지 3020 이행계획”을 발표하였다. 그리고 정부의 이러한 계획과 함께 서울시는 2022년까지 태양광 설비용량 1 GW를 구축하고, 소용량의 미니 태양광을 100만 가구에 보급하겠다는 “태양의 도시, 서울” 계획을 발표하였다¹⁾. 특히, 공동주택(아파트 등)의 발코니 난간에 설치되는 미니 태양광발전시스템 보급사업은 서울시뿐만 아니라 다수 지자체에서 추진하고 있으며, 일반 설치 용량은 세대 단위 300 W 규모(태양광 모듈 1장)이다.

현재 발코니형 미니 태양광은 발전시간대의 세대 피크부하를 고려하여 1 kW 미만의 용량으로 설치가 권장되고 있다. 공동주택에서는 단독주택과는 달리 태양광모듈(Photovoltaic module; 이하 PV 모듈) 설치 용량이 발전시간대의 세대 피크부하보다 크면 부하에 공급되고 남은 잉여 전력을 상계 처리할 수 없기 때문에 투자비 손실이 발생한다. 최근 이러한 PV 잉여전력의 활용과 관련하여 배터리 에너지저장시스템(Battery Energy Storage System; 이하 BESS)의 필요성이 주목받고 있다. 가정용 BESS는 잔여 태양광 발전량을 저장하였다가 필요할 때 부하에 공급하는 시스템으로 세대 내 발전량 손실을 방지하고 효율적인 활용으로 전기사용량을 절감한다. 북미와 유럽 등 국외에서는 가정용 BESS가 보급되고 있으나 단독주택을 대상으로 제작된 3 ~ 10 kWh 용량의 것이다. 그리고 국내에는 아직 가정용 BESS를 설치하여 활용하는 사례가 없는 것으로 파악된다²⁾.

본 연구에서는 국내 공동주택 세대를 대상으로 발코니 PV 연계 BESS 보급을 위한 경제성 분석을 진행하였다. 경제성 분석은 HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) 소프트웨어를 사용하였다. HOMER는 NREL (National Renewable Energy Laboratory)에서 개발되었으며, TRNSYS, RETScreen 등과 함께 대표적인 신재생에너지 설비의 해석 및 경제성 평가 프로그램으로 사용되고 있다. HOMER의 가장 큰 특징은 부하에 대한 신재생에너지 설비(태양광, 풍력, 수력, 수소, 연료전지 등)와 일반 설비(발전기, 보일러 등)의 단독 또는 복합 설계가 가능하고, 최적 설비 조합 및 용량, 경제성 분석 결과를 제공한다는 점이다. 입력 항목은 프로젝트 정보(위치, 경제지표 등)와 용도별(주거용, 산업용, 산업용, 커뮤니티) 부하 정보, 계통전기 및 각 설비 정보가 있고, 설비는 특정 모델 또는 용량, 효율 등의 세부 사양 정보와 가격정보(투자비, 유지보수비 등)를 입력할 수 있다. 시뮬레이션은 PV 연계 BESS의 구성요소별 가격과 PV 모듈의 한계 설치용량을 변수화하고, 이를 정리한 총 5가지의 사례를 대상으로 실시되었다.

2. 분석 방법

2.1 시스템 개요

PV 연계 BESS는 PV 모듈과 하이브리드 인버터, 배터리로 구성되며, 이 중 BESS는 하이브리드 인버터와 배터리팩을 의미한다. 하이브리드 인버터는 PV 인버터와 배터리 인버터의 기능을 갖춘 DC/DC와 DC/AC 변환이 가능한 PCS (Power Conditioning System)이다. BMS (Battery Management System)는 배터리팩 내부에 탑재되어 배터리를 보호 및 제어하고, PMS (Power Management System)은 인버터와 BMS를 관리한다. 기본 운전모드는 부하우선공급 모드로 태양광 발전량을 부하에 우선적으로 공급하고 남은 발전량을 배터리에 저장하였다가 태양광 발전이 없는 시간대에 부하에 공급하는 것이다. 이러한 PV 연계 BESS의 운전은 일간 전기사용량을 절감하여 부하절감(Load Cut)의 효과를 볼 수 있다.

HOMER 시뮬레이션을 수행하기 위한 기본 고정데이터로 경제지표와 프로젝트 기간, 일사량 자료, 위치, 부하 정보를 입력하였다. 경제지표인 이자율과 물가상승률은 2020년 한국은행 기준금리 정보를 활용하여 0.5%, 1.0%로 설정하였다³⁾. 프로젝트 기간은 PV 모듈의 내구연한을 고려하여 25년으로 설정하였고, 일사량 데이터는 설정한 위치에 따라 HOMER에서 제공하는 National Renewable Energy Lab의 자료를 활용하였다. 위치는 부하로 활용된 세대의 위치 정보인 서울시 노원구 월계동으로 설정하였다. 공동주택 세대의 전력부하는 수도권 소재 중규모 아파트 단지를 선정하여 서울시 노원구와 성동구, 경기도 용인시 수지구에 위치한 특정 3세대를 대상으로 별도 수집한 1분 단위 소비전력의 1시간 단위 평균값을 활용하였다⁴⁾. 국내 주택용 전기요금제는 시간대별 요금제가 아니기 때문에 세대 일간 전기사용량이 BESS 용량 산정에 주요 영향을 미친다. 본 논문에서 대상으로 한 중규모 아파트 3세대는 주택용 누진요금제 2단계(월간 전기사용량 201 ~ 400 kWh)에 해당되는 월 평균 전기사용량 약 320.67 kWh와 281.14 kWh, 371.81 kWh인 세대이다. Fig. 1은 전력부하로 활용한 공동주택 각 3세대와 평균 일간 시간대별 전기사용량을 표현한 것으로 세대 평균 전기사용량은 10.82 kWh이고, 피크전력은 0.59 kW이다.

Fig. 1 Time variations of average electric power consumption per day in households

BESS용 배터리(Battery; BT)는 대부분 리튬이온(Lithium-ion; Li-Ion) 방식을 사용하고 있으나, 본 연구에서는 가정용 BESS의 화재의 위험성 등을 고려하여 안전성이 우수하고 수명이 긴 리튬인산철(lithium iron phosphate, LiFePO₄; LFP) 배터리를 사용하였다. Fig. 2는 PV 연계 BESS의 구성요소별 용량에 따른 가격 정보를 그래프로 표현한 것이다. Fig. 2의 (a)는 국내 8개 업체를 대상으로 시중에 판매되고 있는 용량별 리튬이온과 리튬인산철 배터리팩의 가격을 조사한 것으로 종류구분 없이 전체 선형 추세결과 약 69만원/kWh이었다. Fig. 2의 (b)는 BloombergNEF (BNEF), Guidehouse Insights (Navigant Research) 등의 전문 에너지시장조사기관에서 보고서와 기사를 통해 발표한 국외 배터리팩 가격 정보를 연도별로 정리 및 예측한 것이다⁵⁻⁸⁾. 배터리팩 가격은 2008년부터 큰 폭으로 하락되었고, 최근 5년 사이에는 15 ~ 25만원/kWh을 유지하고 있다. 국내에서 판매되고 있는 배터리팩은 국내 자체제작이 아닌 수입제품으로 관세, 운송비 등의 수수료가 적용되어 실제 현지 판매가격보다 높게 가격이 책정된 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 HOMER 시뮬레이션에서는 이 정보들을 고려하여 배터리팩 가격을 20만원/kWh으로 설정하였고, Table 1의 Enphase 사 리튬인산철 배터리 정보를

Fig. 2 Power capacity variations of cost for components of PV and BESS

활용하였다. 수명과 관련하여 사용기간과 충·방전 처리량은 25년과 40,000 kWh로 설정하였고, SOC (Stage of Charge)는 상·하 10%의 여유(SOC 10 ~ 90%)를 두었다.

하이브리드 인버터(Hybrid Inverter; Inv)의 가격 정보는 시중에 판매되고 있는 가격 정보를 조사하여 Fig. 2의 (c)와 같이 추세 곡선 결과를 입력하였다. Fig. 2의 (d)는 소용량 PV 시스템 설치에 사용하는 PV 인버터의 가격 정보이다. 인버터는 용량 대비 가격의 관계가 선형이 아니기 때문에 kW당 가격을 특정하기 어렵다. 인버터 판매업체에서 제공하는 정보에 따르면 인버터는 일반적으로 10년까지는 효율을 95% 이상으로 유지하지만 보증기간 이후로는 효율이 연간 1%씩 감소한다. 이를 고려하여 수명은 25년, 효율은 90%로 설정하였고, 하이브리드 인버터의 기본 정보는 Table 2에서 제시한 SolaX 사의 제품 정보를 활용하였다.

Table 1 Specification of LiFePO4 battery

Enphase 1.2 kWh 0.27 kW	
Nominal Voltage (V)	240
Nominal Capacity (kWh)	1.2
Nominal Capacity (Ah)	5
Roundtrip efficiency (%)	93.4
Maximum Charge Current (A)	1.13
Maximum Discharge Current (A)	1.13

Table 2 Specification of hybrid inverter

SolaX X3-hybrid5		
Input DC	Max.recommended DC power (kW)	6
	Normal DC operating voltage (V)	720
Output AC	Normal AC power (VA)	5,000
	Nominal AC current (A)	7.6
Output DC	Recommended battery voltage (V)	200
Efficiency	Max. efficiency (%)	97.6

공동주택 세대에서 BESS와 연계된 PV는 PV 모듈과 인버터 등이 포함된 태양광발전시스템(PV power system)이 아닌 PV 모듈만을 말하며, 아파트 세대의 발코니 난간에 설치된다. Fig. 3은 서울시에서 제공하는 베란다형 미니 태양광발전시스템의 일반 설치가격⁹⁾으로 PV 모듈과 PV 인버터, 설치자재 및 인건비를 포함한다. HOMER 시뮬레이션에서는 해당 미니 태양광발전시스템의 설치가격에서 PV 인버터 가격을 제외하고, 선형 추세로 도출된 용량 대비 가격을 PV 가격 정보로 활용하였다. 앞서 설정한 배터리팩과 하이브리드 인버터의 가격은 설치자재 및 인건비를 포함하지 않고 있기 때문에 PV 가격에서 PV 연계 BESS인 통합 시스템의 개념으로 이를 반영하고자 하였다. PV 모듈의 수명과 효율은 25년과 90%로 설정하였다. 일반적으로 제조업체들은 PV

모듈의 수명을 최소 25년까지 보장하고 있으며, 효율은 연간 0.8% 감소하는 것을 고려하여 프로젝트 기간 동안의 평균값인 90%를 적용하였다.

Fig. 3 Power capacity variations of balcony-PV power system installation cost

계통 전기요금은 한국전력공사에서 2019년 7월 1일부터 적용하고 있는 요금체계¹⁰⁾를 반영하였으며, 단일계약방법을 채택한 아파트에서 적용되고 있는 주택용전력(고압) 요금을 적용하였다. 아파트의 전기요금 부과방법은 공급전압에 따라 다음의 3가지로 구분된다. 호별계약방법은 일반용(갑) 저압요금이 적용되며, 아파트의 독립된 각 호에 대해 저압(220 ~ 380 V)으로 공급하는 방식이다. 단일계약방법은 고압(22,900 V)으로 공급하고, 메인전력량계만 검침하여 한전에 송부하며, 아파트 전체 전력사용량을 적용대상 호수로 나눈 평균 사용량을 요금으로 부과하는 방식이다. 종합계약방법은 고압(22,900 V)으로 공급하고, 메인전력량계와 세대별 전력량계를 검침 후 한전에 송부하며, 한전에서는 아파트에 메인전력량으로 전체 요금을 부과하는 방식이다. 또한, 단일계약방법은 세대별 사용량과 공용부 사용량을 주택용전력(고압) 요금을 적용하고, 종합계약방법을 선택한 아파트에서는 세대별 사용량은 주택용 전력(저압) 요금으로, 공용설비 사용량은 일반용(갑) 고압요금으로 적용한다. 일반적으로 아파트에서는 호별계약방법은 거의 채택하지 않고 있으며, 대부분 단일계약방법과 종합계약방법을 아파트 특성(공용설비 전기사용량의 정도 등)에 따라 선택적으로 채택하고 있다.

HOMER에서는 기능상 국내 주택용 전기요금체계인 누진체계를 적용하는 것이 불가능하기 때문에 적용 부하의 월간 전기사용량 약 324.54 kWh에 해당되는 구간인 2단계의 전력량 요금을 단가 개념으로 147.3원/kWh를 적용하였다.

2.2 시뮬레이션 변수

경제성 분석을 위한 시뮬레이션 변수는 PV 모듈 가격과 BESS 가격, PV 모듈의 한계 설치용량으로 선정하였고, Table 3과 같이 사례를 구분하여 정리하였다. PV 모듈 가격과 함께 설치용량을 변수로 준 이유는 BESS 용량

산정에 영향을 주는 공동주택의 특성을 반영하기 위함이다. 시뮬레이션 Case A는 현재 PV 및 BESS의 가격 조건에 공동주택 특성을 반영하여 PV 모듈 한계 설치용량을 1.2 kW로 제한한 것이다. 시뮬레이션 Case B는 PV 모듈만 가격이 하락하는(정부 보조금이 있는) 경우로 BESS 가격은 현재 가격으로 고정하고, PV 모듈 한계 설치 용량은 1.2 kW로 설정한 것이다. 시뮬레이션 Case C는 PV 모듈 및 BESS 가격이 동일하게 하락하는(정부 보조금이 있는) 경우로 PV 모듈 한계 설치용량은 1.2 kW이다. 시뮬레이션 Case D는 PV 모듈 한계 용량이 600 W와 1.2 kW, 1.8 kW로 변하는 경우이고, PV 및 BESS 가격이 현재 가격인 시뮬레이션 Case D-1과 50% 가격이 하락한 시뮬레이션 Case D-2로 상세 구분하였다. 시뮬레이션 Case E는 PV 모듈 가격이 75% 하락한다는 가정 하에 BESS의 가격이 하락하는 경우로 PV 모듈 한계 설치용량은 1.2 kW이다. PV 모듈의 75% 하락은 현재 시행되고 있는 서울시 베란다형 미니태양광의 최대 보조금 지원을 75%를 반영한 것이다. 참고로, 시뮬레이션 Case D-1-2는 시뮬레이션 Case A와 같은 조건이고, 시뮬레이션 Case D-2-2와 시뮬레이션 Case C-2, 그리고 시뮬레이션 Case E-3과 시뮬레이션 Case C-3도 각각 같은 조건이다.

Table 3 Simulation cases with PV and BESS cost decline rate and PV installation limit capacity as parameters

Category		Government subsidy support rate (%)		PV installation limit capacity (kW)	Remark
		PV	BESS		
Case A		-	-	1.2	Current condition
Case B	1	25	-	1.2	
	2	50	-		
	3	75	-		
Case C	1	25	25	1.2	
	2	50	50		
	3	75	75		
Case D	1	-	-	0.6	Same as Case A
	2	-	-	1.2	
	3	-	-	1.8	
	1			0.6	Same as Case C-2
	2	50	50	1.2	
	3			1.8	
Case E	1		25	1.2	Same as Case C-3
	2	75	50		
	3		75		

HOMER에서는 경제성 분석 지표로 NPC (Net Present Cost; 순 현재 비용)와 COE (Cost of Energy; 에너지 비용), Payback period (투자회수기간)를 활용한다. NPC는 프로젝트 기간 동안 시스템을 설치하고 운영하는 데 소요되는 모든 비용에서 수익을 뺀 값이다. 본 시뮬레이션에서는 수익이 없기 때문에 프로젝트 기간 동안 부하를 중심으로 한 계통전기의 사용 비용과 PV와 BESS의 설치 및 운영 비용을 의미한다. COE는 시스템에서

사용 가능한 전기에너지의 kWh당 평균 비용을 말하며, 아래의 수식과 같이 연간 총 시스템 비용을 총 전기 부하량으로 나눈 것이다. 투자회수기간은 시스템 투자비용의 단순투자 회수기간을 말한다. COE와 NPC는 낮고, 투자회수기간은 짧을수록 경제성이 우수하다.

$$COE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{served}} = \frac{CRF(i, R_{proj}) \times C_{NPC,tot}}{E_{served}} [won/kWh]$$

3. 분석 결과 및 고찰

공동주택 세대를 대상으로 Table 3의 사례별 경제성 분석을 진행하였다. 우선 시뮬레이션 Case A인 현재 가격 조건과 PV 모듈 설치용량의 제한을 통한 시뮬레이션의 상세 결과를 Table 4와 같이 경제성 순위와 구성요소, 용량, 경제성 분석자료로 정리하였다. PV와 BESS의 설치 없이 계통 전기만을 사용하는 경우는 COE 147.30원/kWh와 NPC 15,519,570원의 결과를 보였다. 경제성이 높은 순위는 순차적으로 PV 및 BESS의 공동 사용과 PV 시스템의 단독 사용, 시스템 미설치(계통전기 단독 사용)였다. PV와 BESS를 함께 사용할 때, PV와 BESS의 용량은 각 1.2 kW와 2.4 kWh가 적정하다는 결과를 보였고, 경제성 분석 지표로 COE 105.18원/kWh와 NPC 11,096,590원, 회수기간 7.46년이 계산되었다. PV와 BESS를 전혀 설치하지 않은 경우, 세대에서 지출해야 하는 월간 평균 전기요금은 약 51,732원이지만, PV와 BESS 설치 시 36,989원으로 약 28.5% 전기요금이 절감된

Table 4 Simulation results by architecture based on Case A

Rank	Architecture			Capacity		Economic analysis indicators		
	Grid	PV	BESS	PV (kW)	BESS (kWh)	COE (won/kWh)	NPC (won)	Payback period (yr)
1	☉	☉	☉	1.2	2.4	105.18	11,096,590	7.46
2	☉	☉		1.2		109.57	11,796,300	6.90
3	☉					147.30	15,519,570	-

Fig. 4 Time variations of average electric power purchased from grid per day in Case A

다. 반면, PV 시스템을 단독으로 설치할 경우에는 전기요금을 약 24%(39,321원) 절감할 수 있다. PV 및 BESS의 투자회수기간은 7.46년으로 단독 PV 시스템의 사용과 비교하여 0.56년 더 소요된다. Fig. 4는 시뮬레이션 Case A에서 시스템 사용에 따라 세대 내 연간 평균 시간대별 계통전기 사용량을 그래프로 표현한 것이다. PV 사용으로 인해 평균적으로 오전 8시부터 오후 3시까지의 PV 발전시간대에는 계통전기의 사용이 없으며, BESS를 연계하여 추가로 사용할 경우에는 평균적으로 오후 3시부터 오후 11시까지의 저녁시간대의 계통전기의 사용이 없음을 확인할 수 있다.

Table 5는 각 사례에서 PV 연계 BESS의 경제성 분석 결과만을 대상으로 용량, 경제성 분석지표 그리고 해당 사례 내 PV 및 BESS 경제성 순위로 정리한 것이다. 시뮬레이션 Case B는 PV 가격에 변화를 준 사례로 PV 모듈만 가격이 25%, 50%, 75% 단계별 하락하는 경우는 설치비가 그만큼 줄기 때문에 COE 99.28 ~ 103.21원/kWh와 NPC 10,474,090 ~ 10,889,090원으로 낮았고, 투자회수기간도 4.76 ~ 6.56년으로 짧았다. 그리고 PV 가격과 무관하게 PV 모듈 설치용량의 제한으로 최대 용량인 1.2 kW의 설치가 권장되었다.

Table 5 Simulation Results of Table 3's cases

Category		Capacity		Economic analysis indicators			PV+BESS ranking
		PV (kW)	BESS (kWh)	COE (won/kWh)	NPC (won)	Payback period (yr)	
Case A		1.2	2.4	105.18	11,096,590	7.46	1
Case B	1	1.2	2.4	103.21	10,889,090	6.56	1
	2	1.2	2.4	101.24	10,681,590	5.66	1
	3	1.2	2.4	99.28	10,474,090	4.76	1
Case C	1	1.2	2.4	101.05	10,665,630	5.64	1
	2	1.2	3.6	96.87	10,207,600	4.09	1
	3	1.2	3.6	92.28	9,723,589	2.07	1
Case D	1	0.6	1.2	126.27	13,304,230	7.66	2
		1.2	2.4	105.18	11,096,590	7.46	1
		1.8	6.0	87.46	9,223,502	8.27	1
	2	0.6	1.2	121.45	12,795,540	3.27	2
		1.2	3.6	96.87	10,207,600	4.09	1
		1.8	7.2	73.62	7,758,486	4.41	1
Case E	1	1.2	2.4	97.12	10,250,630	3.84	1
	2	1.2	3.6	94.91	10,000,100	3.21	1
	3	1.2	3.6	92.28	9,723,589	2.07	1

시뮬레이션 Case C는 PV 및 BESS 가격이 동일 비율로 변화하는 사례로 BESS의 가격이 하락됨에 따라 현재 가격 조건인 시뮬레이션 Case A와 비교하여 BESS의 용량이 2.4 kWh에서 3.6 kWh로 증가하였고, COE와 NPC는 8원/kWh와 888,990원이 줄었으며, 투자회수기간 또한 3년이 짧아졌다. 시뮬레이션 Case C-3은 대상 사례들 중 PV 및 BESS 가격이 75%인 가장 큰 폭으로 하락된 사례로 투자회수기간이 2.07년으로 가장 짧았다.

그리고 시뮬레이션 Case B와 시뮬레이션 Case C의 비교를 통해 BESS의 가격이 크게 하락하여도 PV 용량 1.2 kW에는 BESS 용량 3.6 kWh를 연결하여 사용하는 것이 해당 세대에 적정함을 알 수 있다. PV 설치 용량 1.2 kW 하에 PV와 BESS의 합계 가격이 현재 가격(PV+BESS 1,830,000원)에서 50% 하락될 경우(PV+BESS 915,000원), 설치 전(NPC 15,519,570원)과 비교하여 약 34.2%의 전기요금이 절감(NPC 10,207,600원)되고, 4.09년 내에 투자비를 회수할 수 있다.

PV 모듈 한계 용량이 0.6 kW, 1.2 kW, 1.8 kW로 변하는 경우인 시뮬레이션 Case D는 PV 및 BESS 가격이 현재 가격인 조건(시뮬레이션 Case D-1)과 50% 가격 하락한 조건(시뮬레이션 Case D-2)으로 상세 구분하여 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 Case D-1은 300 W의 PV 모듈 2장을 연결한 600 W일 때는 해당 용량이 PV가 발전시간대의 세대 부하에만 공급되고 BESS에 저장할 만큼은 아니기 때문에 COE와 NPC가 시스템을 설치하기 전보다 하락하기는 했으나, 투자회수기간이 7.66년이였다. 또한 해당 조건에서는 초기 투자비에 비해 BESS의 연간 충·방전 처리량이 79.3 kWh로 활용이 저조하기 때문에 PV 및 BESS의 공동 사용보다는 PV의 단독이 권장되었다. 시뮬레이션 Case D-1-3은 PV 용량이 커지면서 BESS의 용량도 6 kWh로 증가하였고, PV 및 BESS의 활용도가 높아져 세대가 부담하는 전기요금(NPC 9,223,502원)이 약 40.6%로 줄었으나 시스템의 투자 회수기간은 8.27년으로 대상 사례들 중 가장 길었다.

시뮬레이션 Case D-2-1 (COE 121.45원/kWh)은 시뮬레이션 Case D-1-1 (COE 126.27원/kWh)과 마찬가지로 PV 모듈 설치 용량의 제한으로 PV 단독 사용이 권장되었으나, PV 및 BESS 가격의 하락으로 경제성은 시뮬레이션 Case D-1-1보다 우수하였다. PV의 설치용량이 단계별로 증가할수록 BESS의 설치용량도 1.2 kWh와 3.6 kWh, 7.2 kWh로 증가하였다. 시뮬레이션 Case D-2-3은 PV 용량이 최대 용량인 PV 모듈 한계 설치용량 1.8 kW로 설치가 되고, PV 및 BESS 가격도 동일하게 50% 인하되었기 때문에 가장 낮은 COE 73.62원/kWh와 NPC 7,758,486원을 보였다. 그러나 투자회수기간은 설치되는 PV 용량이 증가하여 4.41년이였다.

시뮬레이션 Case E는 PV 용량을 1.2 kW로 고정한 상태에서 PV 가격에 서울시 베란다형 미니태양광의 최대 보조금 지원율 75%를 적용(175,000원/kW)하여 BESS의 가격 변화에 따른 경제성 결과를 살펴본 것이다. 25% 하락한 BESS 가격(약 850,000원/kWh)을 기준으로 시스템을 설치하지 않았을 때와 비교하여 NPC 10,250,630 원으로 약 34%의 전기요금을 절감하였고, 현재 조건(시뮬레이션 Case A)과 비교하여 약 7.6%의 전기요금 절감 효과를 보였다. BESS의 가격이 75% 하락하면서 BESS 용량은 PV 용량에 맞춰 3.6 kWh로 변했고, 경제성도 COE 92.28원/kWh와 NPC 9,723,589원, 투자회수기간 2.07년으로 높아졌다.

Fig. 5는 시스템 미설치를 기준으로 각 사례의 월 평균 절감 전기요금 및 절감율, 투자회수기간을 표현한 그래프이다. 세로 막대그래프는 월 평균 절감 전기요금이고, 별모양 분산그래프는 투자회수기간을 의미한다. 월 전기요금 절감율은 세로 막대그래프의 하단에 텍스트로 별도 표시하였다. 세로 막대그래프는 크기가 클수록, 별모양 분산그래프는 높이가 낮을수록 경제성이 우수한 결과이다. PV 및 BESS 구성요소의 가격 하락과 PV 모듈 설치 용량의 확대에 따라 절감되는 전기요금은 증가한다. 투자회수기간은 PV 및 BESS 구성요소의 가격 하락과

함께 줄어들지만, PV 모듈의 설치 용량에 따라 길어지기도 한다. 참고로 현재 조건에서 PV 연계 BESS를 설치하는 시뮬레이션 Case A와 비교하여 시뮬레이션 Case D-1의 모든 사례와 시뮬레이션 Case D-2-1은 절감된 전기요금이 많지 않거나 투자회수기간이 더 긴 결과를 보였다.

Fig. 5 Saving electric power charge and payback period by simulation cases

Fig. 6은 시뮬레이션 Case C-2의 일간 시간대별 전기부하량과 계통전기사용량, BESS의 배터리 충·방전량을 연간 평균으로 정리하여 표현한 그래프이다. 일간 전기부하량은 10.8 kWh였으나 PV와 BESS의 활용으로 5.9 kWh가 절감되어 실제 계통에서 공급받아 사용한 전기사용량은 약 4.9 kWh였다. 이는 PV와 BESS의 활용으로 약 54.3%의 일간 전기사용량을 절감한 것이다. 연간 평균 일간 PV발전량은 6.4 kWh로 부하에 공급되고 남은 PV발전량은 BESS의 배터리에 충전되어 필요시 활용되었다. BESS의 배터리는 연평균 하루 동안 1.11 kWh가 충전되었고, 1.04 kWh가 방전되어 절감된 전기사용량의 약 18.9%를 차지하였다.

(a) Electric power demand (load) & supply (grid) and PV power

(b) BESS charging and discharging

Fig. 6 Time variations of average electric power per day in Case C-2

4. 결론

본 연구에서는 HOMER 소프트웨어를 이용하여 국내 공동주택 세대 부하를 대상으로 발코니 PV 연계 BESS의 보급을 위한 경제성 분석을 진행하였다. 경제성 분석은 PV 연계 BESS의 구성요소별 가격과 PV 모듈의 설치 용량을 변수로 한 5가지의 사례에 대해 프로젝트 기간인 25년 동안의 NPC와 COE, 투자회수기간을 결과로 제시하였다.

- (1) PV와 BESS의 현재 가격 조건과 PV 모듈 설치용량을 1.2 kW로 제한한 조건(시뮬레이션 Case A)에서 PV와 BESS의 설치 COE 105.18원/kWh와 NPC 11,096,590원, 회수기간 7.46년의 시뮬레이션 결과를 보였다. 이는 PV 또는 BESS를 설치하지 않고 계통전기만 사용하는 경우(NPC 15,519,570원)와 비교하여 약 28.5%의 전기요금이 절감된 것이다.
- (2) PV 모듈 및 BESS 가격이 현재 가격 조건(1,830,000원)에서 동일 비율로 50% 이상 하락하는(915,000원) 경우(시뮬레이션 Case C-2)는 설치 전과 비교하여 약 34.2%의 전기요금(NPC 10,207,600원)이 절감되고, 약 4.09년의 기간 내에 투자비를 회수할 수 있는 것으로 계산되었다.
- (3) PV 모듈 한계 용량이 변하는 경우(시뮬레이션 Case D)는 PV의 설치용량이 증가할수록 BESS의 설치용량도 증가하였고, COE와 NPC도 낮게 계산되었으나 투자회수기간은 더 길었다. 단, PV 용량이 0.6 kW 일 때는 BESS의 활용이 저조하여 PV와 BESS의 사용보다는 PV의 단독 사용이 권장되었다.

향후 BESS의 가격인하 및 정부 보조금 지원이 이루어지고 PV 모듈의 설치 용량이 증가한다면 세대 단위 발코니 PV 연계 BESS는 공동주택 세대 전기에너지를 절약함으로써 공동주택 에너지자립률 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

후기

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

REFERENCES

1. Seoul Metropolitan Government, Solar City Seoul 2020, Report No. Department of GreenEnergy-22744, 2017.11.
2. 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.
3. Bank of Korea, Base Rate, Monetary Policy Report, 2020.06.
4. Kim, C. N., Eum, J. Y., and Kim, Y. K., Analysis of Energy Saving Effect of the Residential BESS Connected

- to the Balcony-PV in Apartment Houses, Journal of the Korea Solar Energy Society, Vol. 40, No. 3, pp.21-31, 2020.
5. BloombergNEF, Battery Pack Prices Fall As Market Ramps Up With Market Average At \$156 kWh In 2019, <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-as-market-ramps-up-with-market-average-at-156-kwh-in-2019/>, Accessed 2019.12.03.
 6. Guidehouse Insights, Guidehouse: Lithium Battery Cell Prices to Almost Halve By 2029, <https://www.energy-storage.news/news/guidehouse-lithium-battery-cell-prices-to-almost-halve-by-2029>, Accessed 2020.06.09.
 7. McKinsey&Company, Infrastructure for the Evolution of Urban Mobility, <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/infrastructure-for-the-evolution-of-urban-mobility>, Accessed 2017.10.27.
 8. HSBC, Cheaper Batteries Will Drive Electric Cars, <https://www.gbm.hsbc.com/insights/global-research/cheaper-batteries-will-drive-electric-cars>, Accessed 2020.05.01.
 9. Seoul Metropolitan Government, Mini Photovoltaic Power Plant Application/supplier, <http://solarmap.seoul.go.kr/mini/minisolarRequest15.do>, Accessed 2020.06.30.
 10. Korea Electric Power Corporation (KEPCO), Electric Rates Table, 2019.07.01.