



BEMS데이터를 활용한 국립공원 관리소의 에너지소비 특성 및 에너지 자립화 분석

최성환¹ · 김경학² · 원안나^{3*}

¹(주) 케빈랩 상무이사, ²(주) 케빈랩 대표이사, ³경북대학교 건설환경에너지융합기술원 연구교수

An Analysis of Energy Consumption Characteristics and Energy Self-sufficiency Rate of National Park Management Offices Using BEMS Data

Choi, Sung-Hwan¹ · Kim, Kyung-Hak² · Won, An-Na^{3*}

¹Vice President, KevinLAB INC., Gyeonggi-do, Korea

²CEO, KevinLAB INC., Gyeonggi-do, Korea

³Research Professor, Convergence Institute of Construction, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea

*Corresponding author: Won, An-Na, Tel: +82-53-950-7654, E-mail: woan749@knu.ac.kr

ABSTRACT

This study aimed to consider the appropriate use of new & renewable energy sources for energy self-sufficiency of national park offices, by identifying the energy consumption pattern and the operation status of new & renewable energy of the national park office. The main results of this study are as follows. The national park office has a higher demand for hot water supply compared to general offices due to its geographical characteristics, and the demand for air conditioning in summer is relatively small due to the large daily temperature difference. And there was a large difference in the amount of power generation per unit area of solar power facilities depending on the region. The annual energy self-sufficiency rate was about 30% for A-building and about 37% for B-building. Therefore, it is very important to understand the energy demand according to the characteristic of the national park office in order to introduce an appropriate solar power generation facility. In particular, in the case of photovoltaic power generation, which has a time limit for power generation, it is considered that the active use of energy storage devices is necessary. Through the results of this study, it was possible to obtain implications for the introduction rate and efficient operation of new and renewable energy sources.

주요어 : 국립공원 관리소, BEMS, 신재생에너지, 에너지 자립

Keywords: National park management office, BEMS, New & renewable energy, Energy self-sufficiency

서론

국립공원이란 우리나라의 자연생태계나 자연 및 문화경관(이하 “경관”)을 대표할 만한 지역

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2022 December, 16(6): 509-518
<https://doi.org/10.22696/jkiaeb.20220043>

pISSN : 1976-6483
eISSN : 2586-0666

Received: November 8, 2022

Revised: December 7, 2022

Accepted: December 7, 2022

© 2022 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

으로 제4조 및 제4조의 2에 따라 지정된 공원을 말한다(자연공원법 [시행 2022.9.11.] (Korean Law Information Center, 2022). 국립공원은 67년도에 처음 지정된 지리산 국립공원을 시작으로, 무등산, 태백산에 이르기 까지 22개소가 지정되어져 있으며, 2020년 기준 총 면적은 6,726 km²에 달한다(KNPS, 2021). 국립공원의 전체 면적(6,726 km²)은 국토면적(100,401 km²)의 6.7% (육지면적 대비 3.96%)로 매우 광범위 하며, 자연보존지역 및 자연환경지역으로 탄소저감을 위한 노력이 매우 필요하다. 또한 매년 약 320만톤의 이산화탄소를 흡수하고 국가 전체 탄소 저장량의 10%에 달하는 56억톤의 탄소를 수용하는 중요한 역할을 한다. 그러나 국립공원 내 고지대에 위치한 일부 시설은 전력공급등이 원활하지 않아, 경유 등의 화석연료 기반 에너지원의 의존도가 높은 상황이다. 이에 국립공원공단은 2025년까지 국립공원 내 유희부지를 활용하여 태양광, 풍력 등의 신재생에너지 시설설치 사업을 설치하고 2030년까지 국립공원 탄소중립 달성 계획을 수립하였다(Choi, 2021).

국립공원에 설치된 사무소의 경우, 냉방, 난방, 급탕, 조명, 환기 등에 사용되는 에너지원을 전력으로 충당하는 비율을 확대하고, 이 전력을 태양광 등의 신재생에너지 공급원을 확대하면, 탄소저감은 물론 대기 오염으로부터 공원 생태계를 보호하는 효과를 기대할 수 있다. 또한 국립공원의 상징적인 청정자연 보호에 대한 노력과 방문자들에게 탄소중립 실천 유도를 위한 홍보효과와 더불어, 화석연료 사용으로 우려되는 화재를 예방할 수 있다. 국립공원의 운용 특성 상 주차장을 겸비하고 있어, 에너지 자립도를 높이기 위한 태양광 등의 신재생에너지원을 추가 설치할 수 있는 여지가 있다.

에너지 자립에 대한 연구는 학교 건물에서의 에너지 자립(Lee, 2019) 및 제로에너지시티 계획을 위한 에너지자립률 분석(Mun, 2020), 아파트 단지 에너지 자립률 분석(Lee, 2021) 등을 확인 할 수 있으나, 현재 국립공원에 대한 에너지 관련 연구는 대피 시설물에 대한 설비시스템에 관한 연구 Cha (2012) 등에 한정되어 있고, 관련 데이터의 축적 및 분석에 대한 연구는 전무한 상태이다. 국립공원 관리사무소는 일반 사무소와 유사할 것으로 판단할 수도 있으나, 일교차가 큰 산악지대 등에 위치 하는 등 지역적 차이를 가지고 있으며, 또한 운용 특성상 일반 사무소와는 에너지 소비량 및 소비패턴에는 차이가 있다.

이에 본 연구에서는 건물운용실태 및 BEMS 데이터를 활용하여 에너지 소비형태 및 설비 운용 패턴을 분석하고, 국립공원 관리 사무소의 에너지 자립을 위한 적절한 신재생에너지 활용가능성을 살펴보고자 한다.

측정개요

조사대상

국립공원은 해안 및 산악지역으로 크게 분류할 수 있으며, 본 연구에서는 산악지대에 위치한 국립공원 사무소 2곳에 대하여 계절별 건물소비 실태 및 신재생에너지 이용실태를 조사하였다. 국립공원 사무소는 국립공원을 관리하는 직원의 기본적인 업무공간과 숙박이 가능하도록 마련된 관사로만 구성되어 있고, 관광객들을 위한 숙박시설은 제공되지 않는다. 민원 및 팸플렛 수령 등과 같은 간헐적인 외부인의 방문 이외에는 국립공원 사무소 직원들만이 주로

상주하기 때문에 계절별로 변화하는 관광객 수가 국립공원 사무소 에너지 사용량에 미치는 영향은 극히 미비하다. 이에 각 계절별 국립공원 사무소의 이용패턴이 거의 동일한 특징을 가지고 있어, 에너지 소비량을 예측이 비교적 용의하다.

건물 A 및 B의 기본 정보는 Table 1과 같다. 건물 A 는 연면적 2,079 m²의 2층 건물로서 사무공간 219.96 m², 숙박공간 186.2 m², 기타 회의실, 주방식당, 창고 등으로 구성되어 있다. 2020년에 건축물에너지효율등급 1+++로 인증된 2층 건물로서, 창호의 열관류율이 1.39 W/m²K으로 법적 열관류기준(1.8 W/m²K)을 만족시키는 등, 건물 전반적으로 고단열 및 고효율 설비의 액티브 기술이 반영되어있다. 건물 B는 1층은 차고(車庫) 및 물탱크, 창고로 주로 이용되며, 2층은 사무실(95.78 m²) 및 탈의실, 3층은 주방 식당 및 관사(62 m²)로 구성된 연면적 약 840 m²의 고단열 고기밀 3층 건축물로서, EHP 성능(난방 4.12, 냉방 3.77이 양호한 고효율 설비를 보유하고 있다. 상주인원은 건물 A는 10명, 건물 B는 5명이다.

Table 1. Survey target

(Measurement :m ²)	Total area	Building area	Office area (residence)	Other (non-residence)
A -building	2079.21	1057.55	219.96	837.59
B -building	840.98	413.35	95.78	317.56

분석대상지는 2곳 모두 EHP를 이용한 난방 및 냉방을 행하고 있으며, 급탕설비로 전기온수기가 설치되어져 있다. 환기설비는 건물 A, B의 경우 배기팬에 의존하고 있으며, 신재생 발전설비로는 태양광을 활용하고 있었다(Table 2). 단, 태양광 발전 설비용량을 건축면적으로 나누면 건물 A는 0.094 kW/m², 건물 B는 0.396 kW/m²으로, 건축면적 및 에너지 요구량에 비하여 건물 A의 태양광 발전 설비 용량은 건물 B에 비하여 다소 작은 것으로 나타났다.

Table 2. Facility status

Index	Equipment	A-building		B-building	
		Capacity	Efficiency	Capacity	Efficiency
Hot water	Electric water heater	35.00 (kW)	100%	9.90 (kW)	100%
Air-conditioner	EHP	400.12 (kW)	3.91	90.20 (kW)	4.12
	EHP	357.45 (kW)	3.45	78.10 (kW)	3.77
Lighting	LED	6.84 (W/m ²)		3.71 (W/m ²)	
Ventilator	Fan	11 (kW)	-	2.5 (kW)	-
New & renewable energy	Solar photovoltaic	99.54 (kW)	-	163.8 (kW)	-

관제점은 각 건물의 전기실 및 배전반을 중심으로 각 층 및 구획별 전체전력, 급탕, 냉난방, 조명, 신재생에너지로 구분하여 GEMS3500전력량계를 활용하여 유효전력을 5분 간격으로 측정하였다. 환기는 Fan을 활용한 단순 배기장치로서 콘센트 전력에 포함되어 전체전력량에 합산되어 있다.

측정결과

연간 에너지 소비량 분석

두 건물의 2020년 연간 에너지 사용량은 Table 3과 같다. 국립공원 관리사무소는 소규모 인원이 상주하여 국립공원을 관리하는 역할을 담당하므로, 코로나의 영향으로 인한 연도별 에너지 사용량은 변동은 크지 않다.

건물 A는 116,227 kWh를 소비하여 건물의 단위면적당 에너지 소비량은 109.9 kWh/m², 건물 B는 70,526 kWh로서 55.9 kWh/m²이며, 콘센트 전력이 포함된 수치이다. 건물 A은 연간 급탕 및 냉난방의 소비 비중이 약 17%, 29%인 반면, 건물 B의 경우는 급탕에 소요되는 에너지가 전체 소요에너지의 약 29%, 냉난방 약 20%를 차지하여 건물 A에 비하여 비중이 다소 상이한 특징을 가지고 있다. 전체 에너지의 소요량 중 전기의 비율은 각각 약 43%, 40%, 조명은 각각 약 10%로 유사하였다.

Table 3. Total energy use in 2020 (kWh : yearly)

	Hot water (kWh)	Air-conditioner (kWh)	Electirc (kWh)	Lighting (kWh)	Total (kWh)
A-building	20,178 (17.4%)	33,802 (29.1%)	50,396 (43.4%)	11,851 (10.2%)	116,227 (100%)
B-building	20,599 (29.2%)	13,996 (19.8%)	7,528 (40.3%)	28,403 (10.7%)	70,526 (100%)

계절별 에너지 소비량 분석

건물의 에너지자립도의 분석하기 위해서는 연간 에너지량의 측정량을 바탕으로 한 분석이 필요하나, 데이터 누락 등의 현실적인 어려움을 고려하여, 계절별 대표적인 주간을 선정하여 에너지 자립률을 살펴보았다. 계절별 에너지 소비특성을 분석하기 위하여, 동절기(2022년 1월 10~14일), 간절기(2022년 4월 18~22일), 하절기(2022년 7월 25~29일) 데이터를 활용하였다. 해당일은 강우 및 강설과 같은 기상변화가 없는 날로서, 측정기간 별 온도 및 습도 정보는 Table 4와 같다.

Table 4. Weather information

		Winter season (220110~220114)	Swing season (220418~220114)	Summer season (220725~220729)
A-building	Temperature (%)	-12.6±7.1	7.4±3.8	18.8±6.15
	Relative humidity (%)	59.1±30.8	51.6±28.01	78.2±16.81
B-building	Temperature (%)	-9.6±6.4	9.2±4.3	21.3±7.88
	Relative humidity (%)	49.8±27.6	53.7±24.26	77.4±21.52

건물 A 및 건물 B의 계절별 주요 에너지 소비량의 비율은 Figure 1과 같다. 동절기, 하절기

의 경우, 냉난방용 에너지 소비비율이 다소 높아 계절별 다소 차이는 있으나, 전체의 가상적인 평균값은 상기의 Table 4에서와 같은 유사한 에너지 소비 비율을 보임을 알 수 있다.

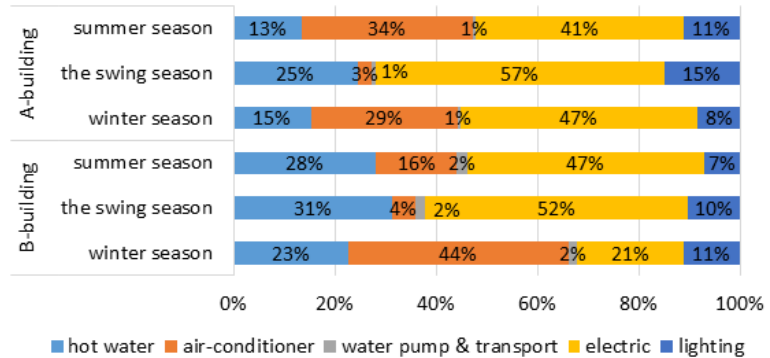


Figure 1. Energy use ratio by season characteristic

각 계절별 5일간 수집된 데이터의 평균값으로 도출한 시계열별 에너지 소비량은 Figure 2와 같다. 각 계절별 에너지 소비량의 비교를 용이하게 하기 위하여 시간당 에너지 사용량(Y축 - 좌측) 및 시간당 태양광 발전량(Y축 - 우측)의 단위(Wh)를 동일하게 표기하였다. 건물 A 및 건물 B 모두 산지에 위치하고 있는 특성상, 겨울철 난방에너지 요구량이 많은 특성을 보인다. 이에 건물 A의 경우, 동절기 에너지 소비량이 높은 편이며, 간절기의 에너지 소비량이 비교적 낮은 경향을 보였다. 건물 B의 경우도 마찬가지로 동절기 에너지 소비량이 높은 편이며, 간절기 및 하절기의 에너지 소비량은 유사하게 나타났다.

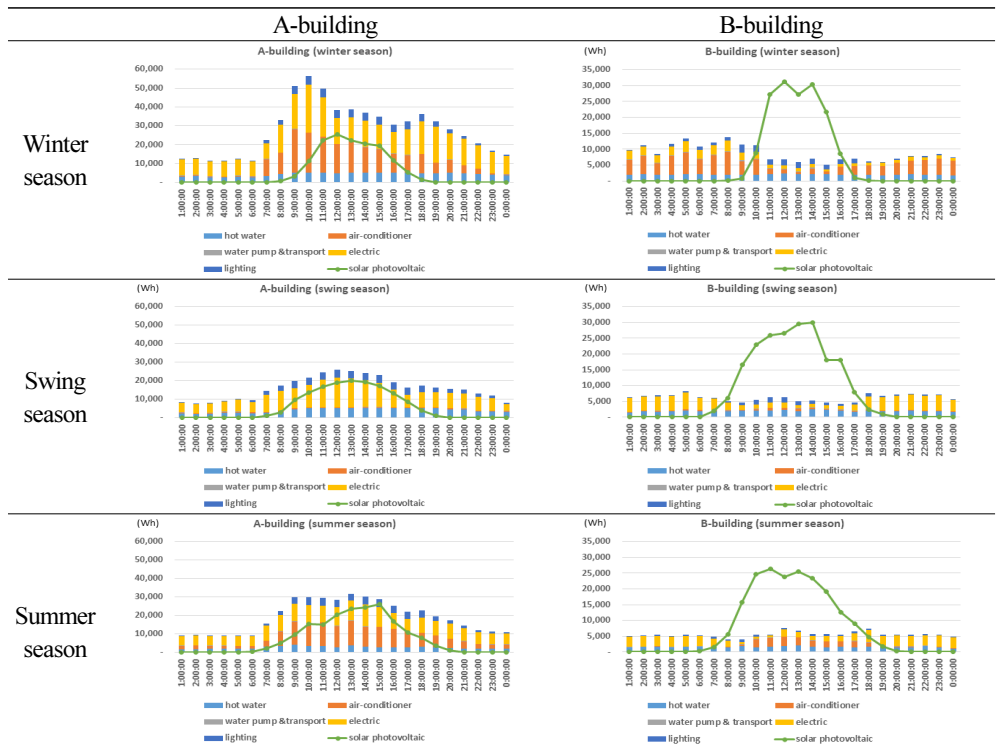


Figure 2. Time series analysis of energy consumption

또한 실선으로 표시된 태양광 발전량을 비교하면, 상기에서 서술한 바와 같이 단위 면적당 신재생에너지 비율이 낮은 건물 A에서는 계절 및 시간별 에너지 최대 소비량보다 발전량이 모두 낮았다. 반면 건물 B에서는 각 계절 및 시간대 에너지 소비량의 피크치보다 발전량이 3배 이상으로 측정되었으며, 에너지 발전량을 소비량으로 나눈 단순 산술적 에너지 자립도는 Table 5와 같다. 건물 A의 경우 약 21~40%의 자립도를 보이고 있으며, 발전 후 버려지는 에너지는 없으나, 건물 B의 경우, 과도한 발전설비로 간절기 및 하절기의 경우에는 140%에 육박하는 것으로 분석되었다.

현재 건물 B는 발전 초과량에 대해 역송하고 있지 않으며, 설치된 용량 및 실제 시간 별 운용되는 태양광 발전 비율에 따라 신재생에너지의 초과 생산량을 추정할 수치이다.

Table 5. Energy independence ratio

		Total energy consumption (kWh)	Solar power production (kWh)	Energy self-sufficiency rate (arithmetical :%)
A-building	Winter season	668.3	142.9	21.4%
	Swing season	381.6	146.8	38.5%
	Summer season	454.8	182.0	40.0%
B-building	Winter season	210.1	157.2	74.8%
	Swing season	148.4	207.0	139.5%
	Summer season	132.9	194.4	146.2%

이에 건물 B의 경우, 신재생에너지 발전량을 효율적으로 이용하기 위해서는 에너지 저장 시스템 (ESS)의 설치 및 운용이 필요한 것으로 사료된다. 현재 에너지 저장 시스템이 운용되고 있지 않아, 발전 후 남은 에너지는 버려지고 있는 현실이다. Figure 3에서 확인할 수 있듯이 생산되는 태양광 발전량과 실제 사용되는 태양광 발전량에는 큰 차이를 보이고 있다. 이에 실질적인 에너지 자립률은 동절기 24%, 간절기 38%, 하절기 49%로 크게 낮아졌다.

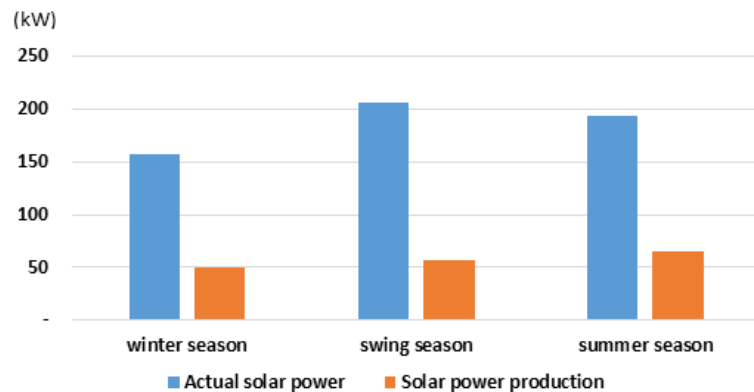


Figure 3. Actual solar power consumption (B-building)

개선 방안 및 자립률 분석

개선안 제시

건물 A의 경우 허비되는 태양광 발전량은 없으나 계절별 에너지 자립도가 20~40%내외로 낮고, 건물 B의 경우는 과대설비에서 생산된 태양광 발전량이 저장되지 않고 허비되는 형태를 보이고 있어, 매우 상반된 형태를 보이고 있었다. 이에 각 건물 별 케이스 스터디를 진행하여 현 상태에서 에너지 자립률을 높이는 방안을 고찰하였다(Table 6).

각 건물별 분석 케이스는 각 3가지이며, 건물 A의 경우는 건물 B의 경우는 현재 태양광 설비용량은 충분하기 때문에 에너지 저장장치의 용량만을 고려하였다. ESS장치는(충전효율*방전효율*배터리 효율)로 손실이 표시되며, 이에 평균 약 80%의 전기를 재사용 할 수 있는 것으로 알려져 있으며, 평균 효율을 반영하였다.

Table 6. Case study

		Solar power production	Energy storage system
A-building	A-case 1	Expantion (100%)	According to the remaining energy
	A-case 2	Expantion (120%)	
	A-case 3	Expantion (150%)	
B-building	B-case 1	Unchanged	150 kW class
	B-case 2	Unchanged	100 kW class

건물 A에서는 태양광 발전 설비의 증설 및 ESS 활용 비율에 따른 에너지 자립 비율을 산출하였다. 3개의 케이스 별, ESS설비의 용량은 1일 최대 잉여 에너지에 대한 저장치를 기준으로 하여, 태양광 발전 설비의 증설 크기에 따라 다르게 설정되었다. 현재 설비에서 100%~150%로 시뮬레이션을 산출한 결과는 Figure 4와 같다.

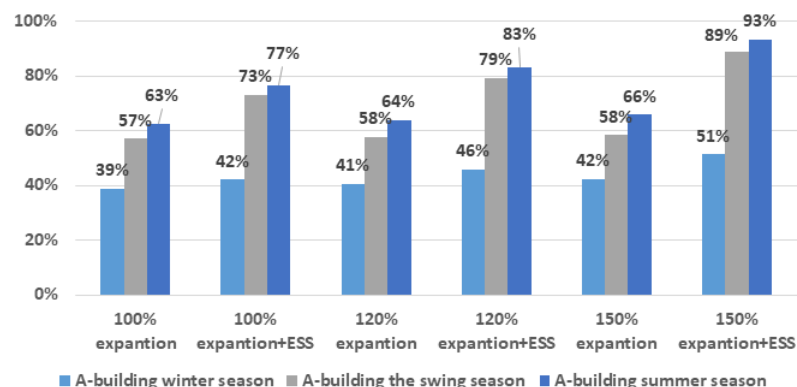


Figure 4. Simulation for solar power generation expansion and ESS utilization (A-building)

건물 A에서는 태양광 발전 설비의 증설 및 ESS 활용 비율에 따른 에너지 자립 비율을 산출하였다. 3개의 케이스 별, ESS설비의 용량은 1일 최대 잉여 에너지에 대한 저장치를 기준으로

로 하여, 태양광 발전 설비의 증설 크기에 따라 다르게 설정되었다. 현재 설비에서 100%~150%로 시뮬레이션을 산출한 결과는 Figure 5와 같다.

태양광 발전설비의 증축만으로는 에너지 자립도를 높이기에는 한계가 있었으며, 낮시간 동안의 잉여에너지를 효율적으로 저장, 사용하기 위해서는 ESS장치의 활용이 매우 필요한 것으로 나타났다.

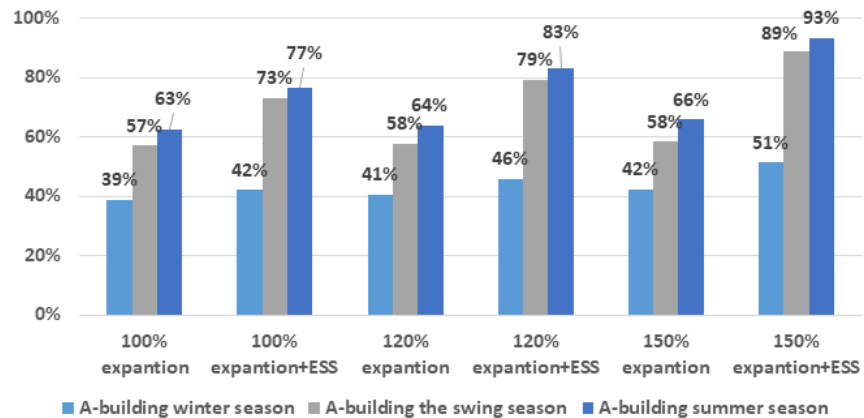


Figure 5. Simulation for solar power generation expansion and ESS utilization (A-building)

건물 B에 있어서 태양광 발전 설비의 용량이 충분하기 때문에, ESS시스템의 용량을 150 kW급, 100 kW급으로 설정하여 실시간 태양광 발전에너지를 사용한 후, ESS에 저장하여 태양광 발전이 불가능한 시간대에 사용하는 것으로 시뮬레이션을 행하였다. 150 kW급은 간절기 및 하절기의 에너지 요구량에 100% 대응할 수 있는 용량이며, 100 kW급은 하절기 에너지 요구량에 100%로 대응할 수 있는 용량이다. 그럼에도 태양광 발전설비의 용량이 과다하여 손실분이 발생한 것을 알 수 있다(Figure 6).

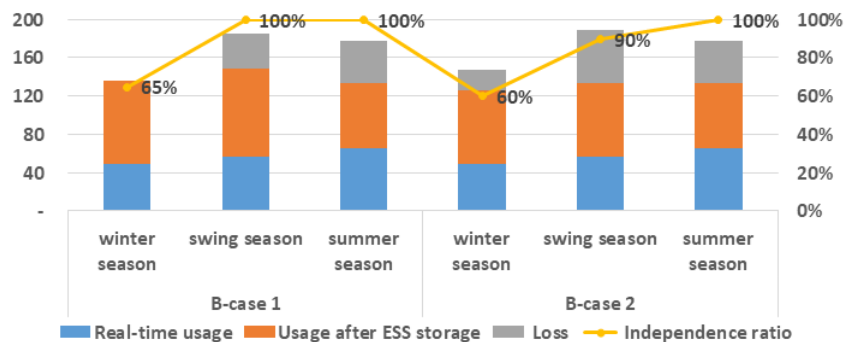


Figure 6. Solar power usage simulation by using ESS (B-building)

본 연구에서는 PV확충 및 ESS의 활용에 대하여 고찰하였으나, 관리사무소의 위치에 따라 신재생에너지를 설치할 여유의 공간이 없는 경우도 있다. 또한 국립공원 관리사무소가 외

진 곳에 위치하기는 하나 계통전력과 연결되어 있으므로, 신재생 초과 생산량을 한전으로 역송하고, 신재생에너지를 활용하지 못하는 야간 시간에는 계통전류를 활용하는 기본적인 방법도 활용할 수 있을 것이다.

결론

본 연구는 자연생태계를 대표하는 국립공원을 중심으로 에너지 소비 패턴 및 신재생에너지 운용실태를 파악하여, 국립공원 사무소의 에너지 자립을 위한 적절한 신재생에너지원의 활용 방안에 대하여 고찰하였다. 두 지역의 건물을 대상으로 수집한 데이터를 분석하고, 에너지 사용 특성을 분석하여, 일반 사무소의 에너지 사용 패턴과의 차이점을 파악할 수 있었다. 본 연구를 통하여 얻은 주요 결과는 다음과 같다.

- (1) 국립공원 사무소는 지리적인 특성상 일반적인 사무소에 비하여 급탕의 수요가 큰 편이며, 일교차가 큰 점에서 하절기 냉방 수요가 비교적 작은 편으로 나타났다.
- (2) 또한 숙박 등으로 인하여 하루 평균 에너지 요구량의 베이스라인이 형성되어 있으며, 낮 시간 동안의 태양광 발전량의 야간 이용이 적극적으로 요구되어 진다.
- (3) 지역에 따라 태양광 설비의 시설 단위 면적 당 발전 면적의 차이가 큰 것으로 나타났으며, 적절한 태양광 발전 설비를 도입하기 위해서는 국립공원 사무소의 재실인원 및 사용 형태에 따른 에너지 요구량의 파악이 매우 중요함을 알 수 있었다.
- (4) 과다설비에 의한 태양광 발전량의 잉여가 발생한 지역에서도, 에너지저장장치의 미활용으로 실제 에너지 자립도는 높지 않은 것으로 분석되었다. 에너지 자립도를 높이기 위해서는 신재생에너지 설비의 증설 뿐만 아니라, 보조 설비에 대한 관심이 확대되고 적극적인 활용이 요구되어 진다.
- (5) ESS의 설치 공간의 여유가 없는 지역에서는 신재생 초과 생산량을 계통전류로 역송하고, 신재생에너지발전량이 없는 야간시간에는 계통전류를 활용하는 기본적인 방법도 활용될 수 있다.

본 연구 결과를 통하여 신재생에너지원의 도입 비율 및 효율적 운용에 대한 시사점을 얻을 수 있었으며, 향후 본 연구대상 이외의 다양한 국립공원 사무소에 대한 축적된 데이터가 반영된다면, 비용대비 효과 분석을 기반으로 국립공원의 에너지 자립화를 위한 최적의 설비용량 산출을 도모할 수 있을 것으로 사료된다.

단, 본 연구에서는 자료에서 누락이 없는 표본인 각 계절별 5일간의 에너지 사용량과 신재생에너지 발전량을 분석 대상으로 활용하였기에, 날씨 변화에 따른 연간 실제 발전량의 차이 등을 고려하지 못한 한계점이 있다. 이에 향후 지속적으로 운영 될 BEMS의 축적된 데이터를 활용하여 기상 변화 및 일사량의 차이, 다양한 실의 활용 패턴에 따른 에너지 자립에 대한 추가 고찰이 필요할 것으로 사료된다.

후기

이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(20212020900380, 건물에너지관리시스템(BEMS) 공공 데이터 구축·공유 연구).

References

1. Lee, H.S. (2019). Evaluation of Energy self-sufficiency rate through case analysis of building energy efficiency rating in educational facilities. *Korea Institute of Sustainable Design and Educational Environment*, 18(4), 53-60.
2. Lee, S.U. (2021). Potential impact of BIPV installation capacity on energy self-sufficiency rate in Apartment complex. *Journal of KSES*, 41(3), 25-37.
3. Mun, J.C. (2020). Energy independence rate calculation analysis and case study for zero energy city planning. *Journal of JIEIE*, 34(8), 47-52.
4. Choi, U.H. (2021). 2030 National Park Carbon Neutral Policy Direction for Realizing a Carbon Neutral Society (C-19).
5. Cha, G. (2012). Study of the Korea national park high mountains shelter energy facility system. Master's Thesis, Pusan National University.
6. Korea National Park Service (KNPS). (2021). *Natural Parks Basic Statistics*.
7. Korean Law Information Center. (2022). *Natural Parks Act*. [Enforcement 2022.9.11.].