



신재생 에너지 및 에너지 공유 활성화를 위한 잉여 에너지 활용 효과 분석

Analysis of Surplus Energy Utilization for the Promoting of Renewable Energy and Energy Sharing

심찬형* · 성남철** · 홍구표*** · 이한솔**** · 엄지영***** · 최경석*****

Chanhyung Shim* · Nam-Chul Seong** · Goopyo Hong*** · Han sol Lee**** · Ji-Young Eum***** · Gyeong-Seok Choi*****

* Master's Student, Dept. of Architectural Engineering, Kangwon National Univ., South Korea (sim9710@kangwon.ac.kr)

** Coauthor, Researcher, Dept. of Architectural Engineering, Kangwon National Univ., South Korea (inamchul@kangwon.ac.kr)

*** Corresponding author, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Kangwon National Univ., South Korea (goopyoh@kangwon.ac.kr)

**** Coauthor, UST Student, Department of Building Energy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (leehansol@kict.re.kr)

***** Coauthor, Research Specialist, Department of Building Energy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (eumjiyoung@kict.re.kr)

***** Coauthor, Senior Research Fellow, Department of Building Energy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (bear717@kict.re.kr)

ABSTRACT

Purpose: Energy use is expected to increase globally, and the use of renewable energy is growing as a solution. Increased use of renewable energy transforms building users into prosumers, and prosumers can form communities to share energy between buildings. In this study, propose methods to utilize the surplus energy generated between energy generation and energy consumption through renewable energy to promote renewable energy and energy sharing. **Method:** For analyzing the effectiveness of utilizing surplus energy, a virtual community was formed and charged for electricity using simulation. Based on the analysis results, methods for utilizing surplus energy were proposed through the features of KEPCO's electricity tariff system. The utilization methods include the reverse transmission system that sells surplus energy back to KEPCO, the use of the peak load of surplus energy using the hourly tariff system, sharing and using surplus energy with apartment buildings, and sharing surplus energy with buildings with the highest rates. **Result:** The study compared the rates of each method of utilizing surplus energy to the electricity tariff system. The results of the study showed that sharing and using surplus energy in apartment buildings was the most effective, followed by selling surplus energy back to KEPCO.

KEYWORD

신재생에너지
잉여 에너지
에너지 공유
전기요금

Renewable Energy
Surplus Energy
Energy Sharing
Electricity Rate

ACCEPTANCE INFO

Received Aug. 8, 2023

Final revision received Aug. 18, 2023

Accepted Aug. 23, 2023

© 2023. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

현재 인류의 발전단계에서 전기는 핵심적인 자원이며, 모든 소비 및 생산 활동에는 에너지가 사용된다[1, 2]. 전 세계의 에너지 사용량은 2018년에 비해 2040년까지 19%~24% 상승할 것으로 예상되며[3], 전기 에너지 사용량은 2040년까지 매년 2.1% 증가할 것이다[4]. 동시에 기존의 에너지원은 빠르게 고갈되고 있어[5], 환경 및 기후 문제에 대한 해결책으로 재생 에너지의 사용이 주목받고 있다[6, 7]. 재생 에너지는 지속 가능한 에너지 사용을 개발할 수 있는 가능성을 제공하기 때문에[8], 지난 10 년 동안 태양광 발전 설비의 사용이 확대되어 2019년에는 약 623.2GW까지 증가하였다[9]. 이러한 신재생 에너지의 도입으로 인해 기존의 건물 사용자는 에너지 소비자에서 에너지 소비, 생산 및 저장을 가능하게 하는 프로슈머(Prosumer)로 변화되고 있다[10-12]. 프로슈머가 모여 커뮤니티(Community)를 구성하고 구성된 커뮤니티 내부의 커뮤니티 에너지 시스템(Community Energy System)은 미래 에너지 시스템의 도전 과제를 해결하는데 중요한 역할을 한다[11]. 건물의 수요와 에너

지 발전 시스템의 다양성을 고려할 때, 지역 사회에 존재하는 다양한 유형의 건물 간 에너지 공유는 가능성이 풍부하다[13]. 따라서 최근 몇 년 동안 여러 건물간의 공유 및 거래로 인한 시너지 효과와 건물 커뮤니티 내의 에너지 상호 작용이 관심을 받고 있다[14-16]. 이와 관련된 선행연구로 Zhang et al.[17, 18]에서는 에너지 거래 플랫폼을 개발하여 소비자 간 에너지 거래를 통해 지역 수요와 발전간의 균형을 조성하고 사용되는 전력량을 감소시킬 수 있음을 보였다. Neves et al.[19]은 경매 기반 에너지 시장을 제안하고, 에너지 시장을 통해 프로슈머와 소비자가 모두 경제적 이윤을 보장받을 수 있음을 확인했다. 또한 Cintuglu et al.[20]에서는 지역 시장을 생성하고, 프로슈머간의 경쟁적 행동을 유도하여 에너지가 낮은 가격으로 공급되도록 하였다. 이외에도 에너지 공유 플랫폼 개발[21, 22], 마이크로 그리드(Micro-grid) 운영 제안[23-25]에 관한 연구가 수행되었다. 선행연구에서는 대체로 그리드 혹은 커뮤니티를 조성한 후 거래 방식 혹은 소비자의 행동에 대한 연구에 초점이 맞춰져 있으며, 공유에 필요한 잉여 에너지를 효과적으로 활용하는 방법에 대한 연구는 미비하다. 효과적인 에너지 공유를 위해서는 신재생 에너지의 설치를 통한 에너지 생산이 필수적이며, 에너지 소비와 생산 사이에서 발생하는 잉여 에너지를 효과적으로 활용하는 것이 필요하다. 국내에서는 공공기관 설치 의무화 제도를 통해 공공 건축물의 신재생

에너지 사용을 독려하고 있으나, 민간 건축물에 대해서는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 신재생 에너지 설치 및 에너지 공유 활성화를 위한 기초 연구로 신재생 에너지원 중 하나인 태양광을 통해 에너지를 생산하고, 소비와 생산 사이에서 발생하는 잉여 에너지를 활용하는 방법을 제시하고자 한다. 제시한 방법을 통한 잉여 에너지 활용 효과를 국내 전기요금 체계에 대입하여 각 활용 방법에 따른 청구요금 비교를 통해 효과를 분석하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 대상건물 개요

잉여 에너지 활용 방법과 방법에 따른 효과를 분석하기 위해 에너지 시뮬레이션 프로그램인 IESVE 2022를 통해 건물을 모델링하고, 가상의 커뮤니티를 구성하였다. 대상 건물은 공동주택(아파트), 중규모 사무소, 병원 건물로, Reference 건물을 사용하였다. 가상의 커뮤니티 내에는 용도가 서로 다른 3개의 건물이 존재하며 개요는 Table 1.과 같다.

대상 건물의 용도는 A, B, C가 각각 공동주택, 중규모 사무소, 의료관련 시설이다. Building A는 공동주택 건물로, 10층으로 구성되어 있으며 연면적은 12815.0 m²이다. 이외의 Building B와 Building C는 Table 1.과 같다.

대상 건물을 구성하는 구조체의 열관류율은 2022년 7월 시행된 건축물 에너지 절약 설계 기준[26]을 참고하여 서울시를 기준으로 중부 2지역의 열관류율을 입력하였다. 또한 Weather data는 서울시의 TMY(Typical Meteorological Year, 2007~2021) data를 사용하였다.

각 건물에 설치된 PV(Photovoltaic)은 모두 단결정 태양의 20.1% 효율을 가진 것으로 세 개의 대상건물에 동일하게 사용하였다.

2.2. 전기요금 체계

건물에서 발생하는 잉여 에너지 활용 효과를 나타내고 비교하기 위해 본 연구에서는 전기요금 체계를 활용하였다. 전기요금은 전기 에너지 사용에 따른 요금을 의미하며, 한국전력에서 발행하는 청구서를 통해 지불된다. 따라서 건물별 에너지 사용량에 따라 요금이 달라지기 때문에 전기요금의 특징을 활용하여 잉여 에너지 활용 효과를 분석할 수 있다. 잉여 에너지의 활용 효과를 분석하기 위해 가상의 커뮤니티에 존재하는 3개의 대상 건물에서 적용될 수 있는 요금제 중 부하율별 선택요금제, 주택용전력 요금 누진제를 적용하여 잉여 에너지 활용 효과를 분석하였다. 주택용 전력 요금제가 적용되는 Building A는 주택용 전력(고압) 요금을, 일반용 건물의 전기요금이 부과되는 대상 Building B와 Building C는 일반용 전력(압) II, 고압 A 선택 II 요금을 적용하였다.

Building A에 적용되는 주택용전력 요금 누진제는 사용량이 증가함에 따라 순차적으로 높은 단가가 적용되는 요금으로, 현재 200 kWh 단위로 3단계, 최저와 최고간의 누진률은 2.7배로 운영되고 있다. 전기요금은 기타계절과 여름철로 나누어져 있어 여름철 에너지 사용량이 높은 경우 더 많은 요금이 청구될 수 있다. Table 2.는

Table 1. Building description

Building	A	B	C
Use	Residential	Office	Hospital
Total floor area [m ²]	12815.0	4985.3	3791.0
Number of floors	10	3	3
PV pannel area [m ²]	500	750	600

Table 2. Residential service

Demand charge (KRW/household)	Energy charge (KRW/kWh)
1 - 200kWh	730
201 - 400kWh	1,260
401kWh -	6,060

Table 3. Season & time-period classification

Classification	Summer / Spring / Fall	Winter
off-peak	23:00~09:00	23:00~09:00
mid-peak	09:00~10:00	09:00~10:00
	12:00~13:00 17:00~23:00	12:00~13:00 17:00~23:00
on-peak	10:00~12:00	10:00~12:00
	13:00~17:00	13:00~17:00

2023년 5월 16일부터 시행 중인 주택용 전력(고압, 기타계절(여름 제외))의 요금표를 나타낸 것이다[27].

Building B와 Building C에 적용되는 부하율별 선택요금제는 고객이 사용하는 부하율의 크기에 따라 기본요금 및 전력량 요금의 상대적 크기가 달라지는데, 이때 시간대별 계측기가 설치된 건물에 대해 시간대별 요금이 적용된다. 시간대는 Table 3.과 같이 경부하, 중간부하, 최대부하로 분류되며, 경부하 시간대 요금이 가장 낮고, 최대부하 시간대 요금이 가장 높기 때문에 최대부하 시간대에 잉여 에너지를 활용함으로써 청구요금을 절감시킬 수 있다.

또한 신재생 에너지를 설치하여 사용하는 이용자 중 발전사업 허가를 받은 이용자에 한해 건물에서 사용하고 남은 잉여 에너지를 한전으로 역송하여 '전기 판매대금'의 이윤을 얻는 역송 전력체계를 활용하였다. 역송전력체계는 시간대별 SMP(System Marginal Price) 단가에 역송 전력량, 즉 잉여 에너지량을 곱하는 것으로 계산되며, 시간대별 SMP 단가는 EPSIS 전력통계정보 시스템에서 확인할 수 있다. 위와 같은 전기요금 체계와 특징들을 이용하여 건물에서 발생하는 잉여 에너지를 효과적으로 사용하는 방법을 제시하고 이에 따른 절감액을 확인하고자 한다.

3. 잉여 에너지 활용 방법

잉여 에너지를 효과적으로 활용하고자 하여 잉여 에너지 활용 방법을 크게 두 가지 분류로 나타내었다. 첫째로는 개별 건물에서 발생하는 잉여 에너지를 개별적으로 사용하는 방법으로, 앞서 설명한 부하율별 선택요금제를 통한 잉여 에너지 최대부하 사용과 역송전력 체계를 활용한 잉여 에너지 역송 방법이다. 또한 건물간 에너지 공유를 통해 잉여 에너지를 활용하는 방법으로는 주택용 전력 요금 누진제 경감을 목적으로 한 공동주택으로의 잉여 에너지 공유와 청구요금이 가장 높은 이웃 건물에 공유하고 대상 건물은 최대부하 시간대

Table 4. Surplus energy utilization method description

Method	Contents
Method 1	Use surplus energy during peak load times
Method 2	Surplus energy sell back to the KEPCO
Method 3	Sharing surplus energy to Residential building
Method 4	Sharing surplus energy to the highest charge building

에 잉여 에너지를 활용하는 방법이다. 단, 효과를 분석함에 있어 대상 건물에서 에너지를 공유하거나, ESS(Energy Storage System)을 통해 저장하는 경우 손실은 고려되지 않았다. 잉여 에너지 활용 방법은 Table 4.와 같다.

Method 1과 Method 2는 자가 건물에서 발생하는 잉여 에너지를 개별적으로 사용하는 방법이다. Method 1은 부하율별 선택요금제를 고려한 방법으로, 잉여 에너지를 ESS(Energy Storage System)에 저장하였다가 시간대별 요금이 가장 높은 최대부하 시간에 사용함으로써 절감시킬 수 있다. 하지만 본 연구의 범위 내에서 시간대별 계측기가 설치되지 않은 공동주택의 경우 부하율별 선택요금제를 활용할 수 없다. Method 2는 역송 전력 체계를 고려한 방법으로, 발생하는 잉여 에너지를 한전에 되파는 방법이다. Method 1과 다르게 잉여 에너지를 저장하는 ESS의 설치가 필요하지 않고, 잉여 에너지가 발생하는 시간대에 판매할 수 있다. 또한 시간대별 계측기의 설치 유무에 관계 없이 모든 건물군에서 사용할 수 있다. 하지만 역송 전력 체계는 한전 측에 발전사업을 신청하여 허가를 받은 경우 이용할 수 있다.

Method 3와 Method 4는 건물간 에너지 공유를 통해 잉여 에너지를 활용하는 방법으로, 다른 건물에서 발생한 잉여 에너지는 모두 CESS(Central Energy Storage System)에 저장하여 공유 및 사용하는 것으로 설정하였다. Method 3는 잉여 전력을 모두 공동주택에 공유하여 주택용전력 요금 누진제를 절감시키는 방법이다. 공동주택의 경우 사용량이 증가할수록 기본요금 및 전력량 요금이 증가하기 때문에 에너지를 공유받아 사용함으로써 누진제와 사용량에 따라 달라지는 사용량 요금을 절감시킬 수 있다. Method 4는 일반용 건물 중 청구요금이 가장 높은 건물에 잉여 에너지를 공유하여 요금이 가장 높은 최대부하 시간대에 사용하는 방법이다. 이때 다른 건물로부터 공유받은 잉여 에너지는 Method 1과 같이 최대부하 시간대에 사용함으로써 청구요금을 절감시킬 수 있다.

3.1. 부하 시간대 활용 방법

잉여 에너지를 저장하였다가 최대부하 시간대에 사용하는 Method 1은 건물 에너지 소비와 생산 사이에 잉여 에너지가 발생하면 ESS에 저장하고, 시간대가 최대부하일 때 에너지 생산량과 함께 사용하여 전기요금을 절감시키는 방법이다. 이때, 시간대가 경부하 혹은 중간부하 시간대이거나 생산량이 소비량보다 높더라도 ESS에 저장된 전력을 사용하지 않으며, 최대부하 시간대에 태양광 생산량이 에너지 소비량보다 높은 경우에는 ESS에 저장된 에너지를 사용하지 않고 에너지 소비량을 생산량에서 먼저 충당한 후 초과된 잉여 에너지를 ESS에 저장한다. Method 1의 알고리즘은 Fig. 1. 과 같다.

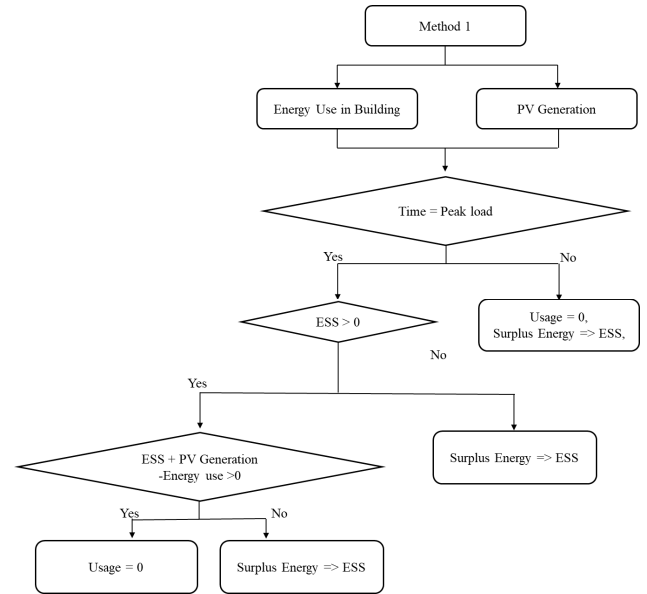


Fig. 1. Utilizing surplus energy Method 1

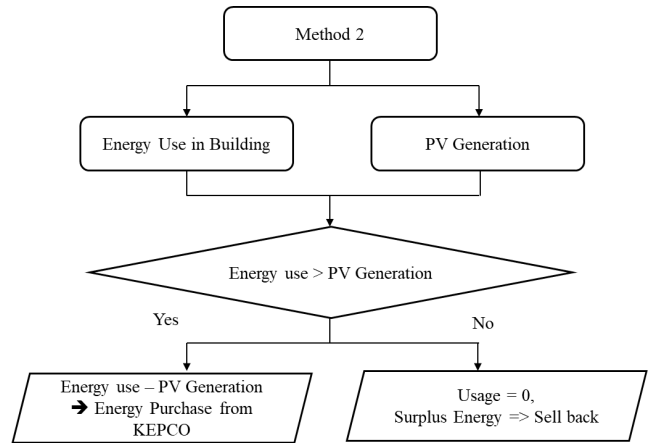


Fig. 2. Utilizing surplus energy Method 2

3.2. 역송전력체계 활용 방법

Method 2는 건물 에너지 소비와 생산 사이에 잉여 에너지가 발생하면 발생한 잉여 전력을 한전으로 역송한다. 에너지 소비량이 생산량보다 높은 경우에는 한전에서 전력을 구매하여 사용하며, 생산량이 소비량보다 높은 경우 발생하는 잉여 에너지를 한전으로 되파는 형식이다. 이때 한전으로 되파는 역송 전력량에 시간대별 SMP 단가에 잉여 에너지량을 곱하여 그 금액만큼을 한전으로부터 환수 혹은 경감받는 것으로 설정하였다. 이때 요금은 월별 청구요금에서 역송 전력량에 SMP 단가를 곱한 총액을 감하는 것으로 설정하였다. Method 2의 알고리즘은 Fig. 2. 와 같다.

3.3. 건물간 에너지 공유 활용 방법

건물간 에너지 공유를 통한 잉여 에너지 활용 방법인 Method 3과 Method 4는 이웃 건물에서 발생한 잉여 에너지를 모두 CESS (Central Energy Storage System)에 저장하여 사용한다. Method 3의 경우에는 이웃 건물에서 발생한 잉여 에너지를 공동주택에서 사용하며, 시간대는 고려하지 않는 것으로 설정하였다. 에너지 소비량

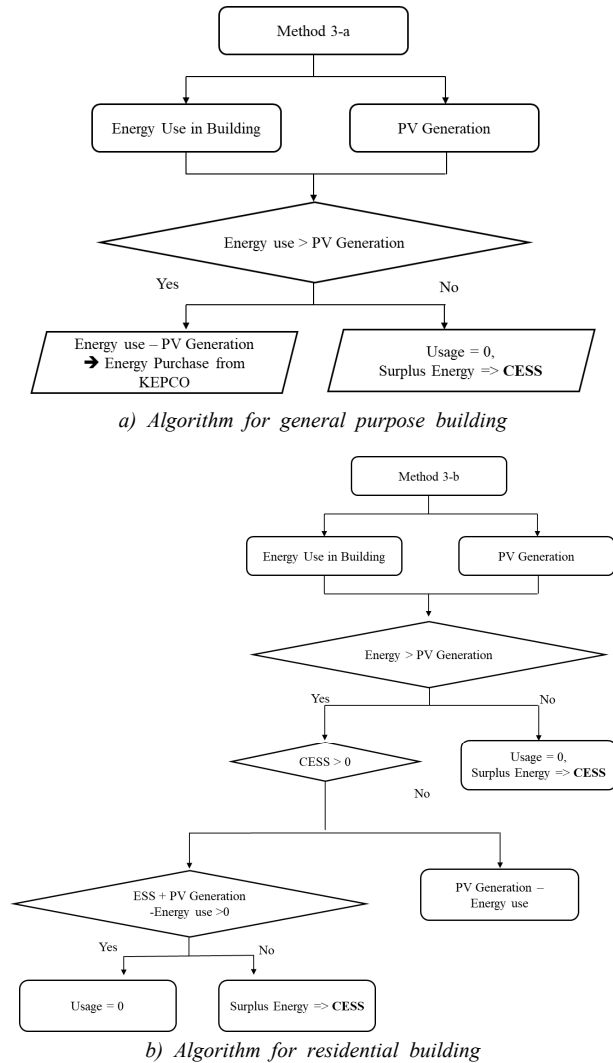


Fig. 3. Utilizing surplus energy Method 3

이 생산량보다 높은 경우 CESS에 있는 전력을 생산량에 합산하여 소비량을 절감시키고, 생산량과 CESS에 저장되어 있는 전력의 합산보다 에너지 소비량이 높은 경우 한전에서 에너지를 구매한다. 한편 에너지 소비량보다 생산량이 큰 경우에는 생산량에서 소비량을 감한 후 남은 전력을 다른 건물과 마찬가지로 CESS에 저장하는 것으로 설정하였다. Fig. 3.은 Method 3의 알고리즘을 나타낸 것이며, Fig. 3. a)는 공동주택으로 잉여 에너지를 공유하는 일반용 건물에서의 알고리즘을, Fig. 3. b)는 다른 건물로부터 잉여 에너지를 공유받아 사용하는 공동주택에서의 알고리즘을 나타낸 것이다.

Method 4는 일반용 건물 중 청구요금이 가장 높게 나타난 건물에 다른 건물에서 발생하는 잉여 에너지를 공유하여 최대부하 시간대에 사용한다. 이때 일반용 건물은 시간대별 부하를 고려하기 때문에 Method 1과 같이 경부하와 중간부하 시간대에는 에너지 소비량이 생산량보다 높더라도 CESS에 저장되어 있는 에너지를 사용하지 않는다. 또한 경부하 및 중간부하 시간대에 에너지 소비량보다 생산량이 높은 경우 발생하는 잉여 에너지는 모두 CESS로 공유하여 저장된다. 반면, 최대부하 시간대에는 에너지 소비량이 생산량보다 높은 경우 CESS에 저장되어 있는 에너지를 사용하는 것으로 설정하였으

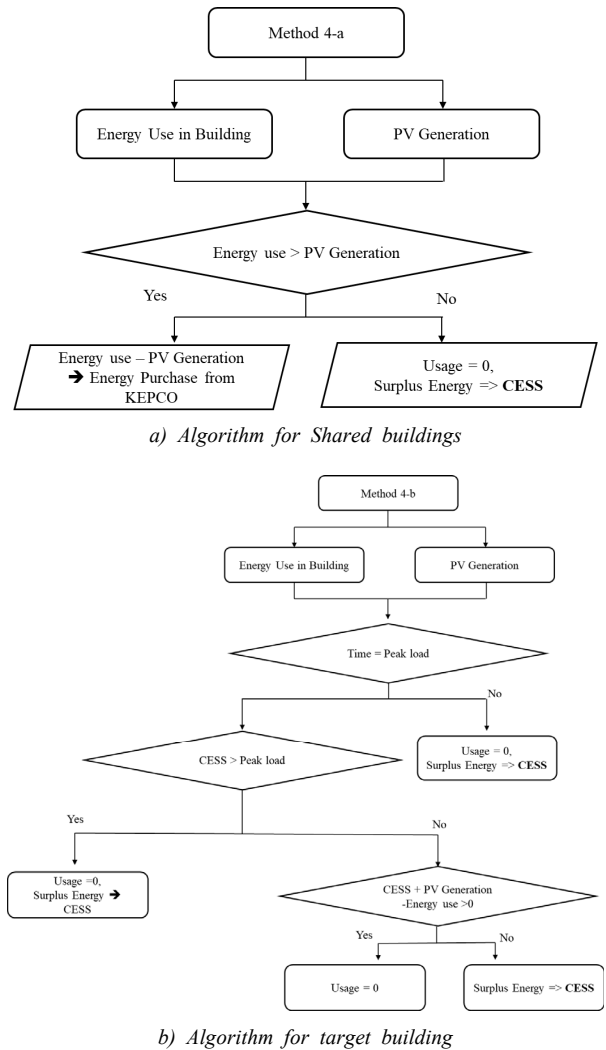


Fig. 4. Utilizing surplus energy Method 4

며, 생산량과 CESS에 저장되어 있는 전력의 합산보다 에너지 소비량이 높은 경우 한전에서 에너지를 구매하는 것으로 설정하였다. Fig. 4. 는 Method 4의 알고리즘을 나타낸 것이며, Fig. 4. a)는 청구요금이 가장 높은 건물에 에너지를 공유하는 건물의 알고리즘을, Fig. 4. b)는 다른 건물로부터 잉여 에너지를 공유받아 사용하는 청구요금이 가장 높은 건물의 알고리즘을 나타낸 것이다.

4. 잉여 에너지 활용 효과

건물별 잉여 에너지 활용 방법을 분석하고자 수행한 시뮬레이션에서 3개 건물 모두 같은 Weather data와 Location이 입력되었기 때문에 에너지 생산량의 분포는 설치한 PV의 크기에 따라 달라지며 그 양의 패턴은 같다. 따라서 에너지 생산량 분포는 Fig. 5.와 같다.

Fig. 5.에서 Building A와 Building C의 생산량은 유사한 것으로 나타났으며, Building B의 에너지 생산량이 가장 높은 것으로 나타났다. 월별로 비교했을 때, 5월과 3월의 에너지 생산량이 각각 26,043kWh와 25,724kWh로 높게 나타났으며, 11월과 12월에 각각 13,504kWh, 12,871kWh로 낮게 나타났다.

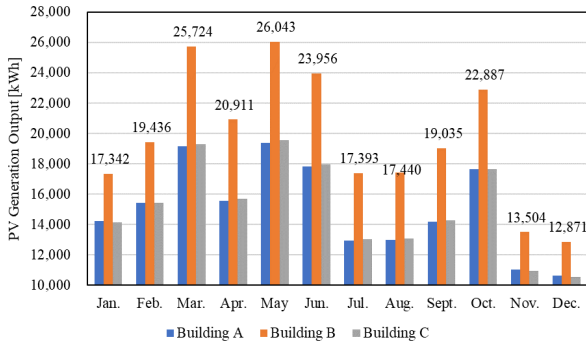


Fig. 5. PV-generation output by building

4.1. 건물별 잉여 에너지 분포

건물은 건물을 사용하는 빈도, 재실 스케줄, 부하 등의 여러 이유로 소비 패턴이 달라진다. 따라서 잉여 에너지의 분포도 건물의 용도에 따라 달라질 수 있다. 각 건물에 따라 발생하는 에너지 소비량, 생산량 및 잉여 에너지 흐름을 파악하는 것이 중요하다. 가상의 커뮤니티 내에 존재하는 공동주택, 사무소, 의료 관련 시설의 에너지 소비량 및 잉여 에너지 분포는 다음과 같다.

Fig. 6.은 Building A의 연간 에너지 소비량, 에너지 생산량 및 잉여 에너지 현황을 나타낸 것이다. 1~3월, 11~12월은 낮은 실외 기온으로 인해 난방 에너지를 사용하고, 6~9월은 높아진 실외 기온으로 냉방 에너지를 사용하기 때문에 에너지 소비량이 높게 나타났다. 3월과 5월, 10월에는 냉난방을 사용하지 않는 동시에 에너지 생산량이 높기 때문에 잉여 에너지가 비교적 크게 나타난 것으로 보인다. 반면 여름철에는 에너지 소비량이 높고 생산량이 낮기 때문에 잉여 에너지가 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다. 공동주택의 경우에는 청구요금 기준에서 여름철의 전기요금이 따로 구분되어 있고, 사용량 요금이 기타 계절에 비해 높기 때문에 여름철 에너지 공유를 통한 요금 절감 효과를 기대할 수 있을 것으로 보인다.

Fig. 7.은 Building B의 연간 에너지 소비량, 에너지 생산량 및 잉여 에너지 현황을 나타낸 것이다. 사무소 건물인 Building B의 경우 점심 시간대 건물의 이용이 적을 것이며, 주말에는 건물 이용이 대체적으로 적다. 따라서 주말에는 에너지가 생산되지만, 건물 이용이 적기 때문에 잉여 에너지가 대체로 모든 월에 발생하는 것으로 나타났다. 사무소 건물의 경우에는 주말에 저장된 잉여 에너지를 자가 건물의 최대부하 시간대 사용하거나 다른 건물로 공유하여 사용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

Fig. 8.은 Building C의 연간 에너지 소비량, 에너지 생산량 및 잉여 에너지 현황을 나타낸 것이다. 의료관련 시설인 Building C의 경우에는 의료관련 시설의 특성상 장비부하가 높기 때문에 여름철 냉방으로 인한 에너지 소비량이 증가한 것으로 보이며, Building A와 Building B와 비교했을 때 에너지 소비량이 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 진료부와 병동부 운영으로 재실자가 상시 존재하고, 에너지를 계속해서 사용하기 때문에 잉여 에너지가 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 의료관련 시설의 경우 다른 건물로부터 에너지를 공유받아 사용하여 자가 건물 최대부하 시간대 부과되는 요금을 절감시키는 것이 효과적일 것으로 보인다.

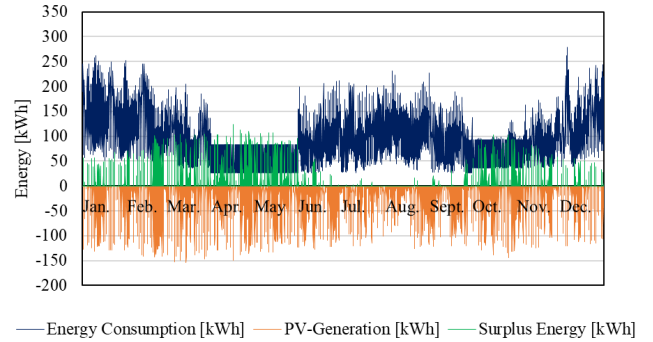


Fig. 6. Energy flow in Building A

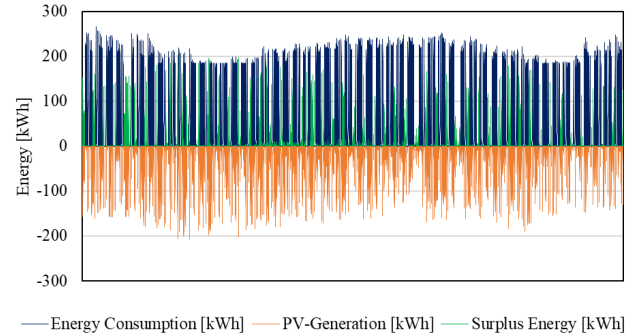


Fig. 7. Energy flow in Building B

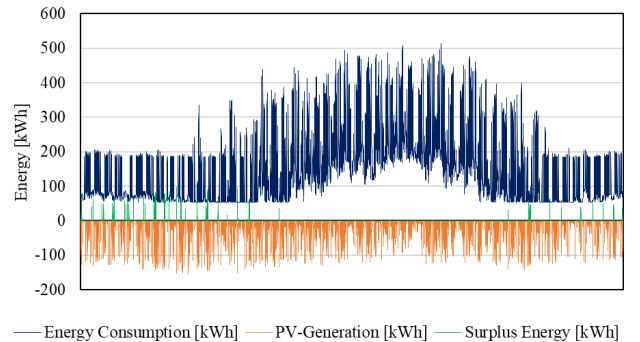


Fig. 8. Energy flow in Building C

4.2. 적용 효과 분석

1) 자가 건물 적용 효과분석

발생하는 잉여 에너지를 개별 건물에서 활용하는 Method 1과 Method 2의 적용 결과는 Fig. 9.와 같고, 건물별 청구요금은 Table 5.에 나타내었다. Method 1에서 Building A의 경우에는 시간대별 요금이 적용되지 않기 때문에 효과 분석 시 PV만을 통해 에너지 소비량을 절감시키는 것으로 가정하였다.

Fig. 9.와 Table 5.의 결과를 통해 모든 건물에서 Method 1에 비해 Method 2의 청구요금이 더 낮은 것을 확인할 수 있다. Building A의 Method 1에서는 시간대별 계측이 수행되지 않기 때문에 발생하는 잉여 에너지를 고려하지 않고, Method 2에서는 발생하는 잉여 에너지를 모두 한전에 되팔아 이윤을 얻기 때문에 Method 2의 효과가 더 큰 것으로 나타났다. Method 1과 Method 2의 연간 청구요금의 차이는 7,031천원으로 Method 2에 적용된 활용 방법이 더 효과가 뛰어난 것으로 나타났다. 한편 Building B에서는 6월, 8월, 11월

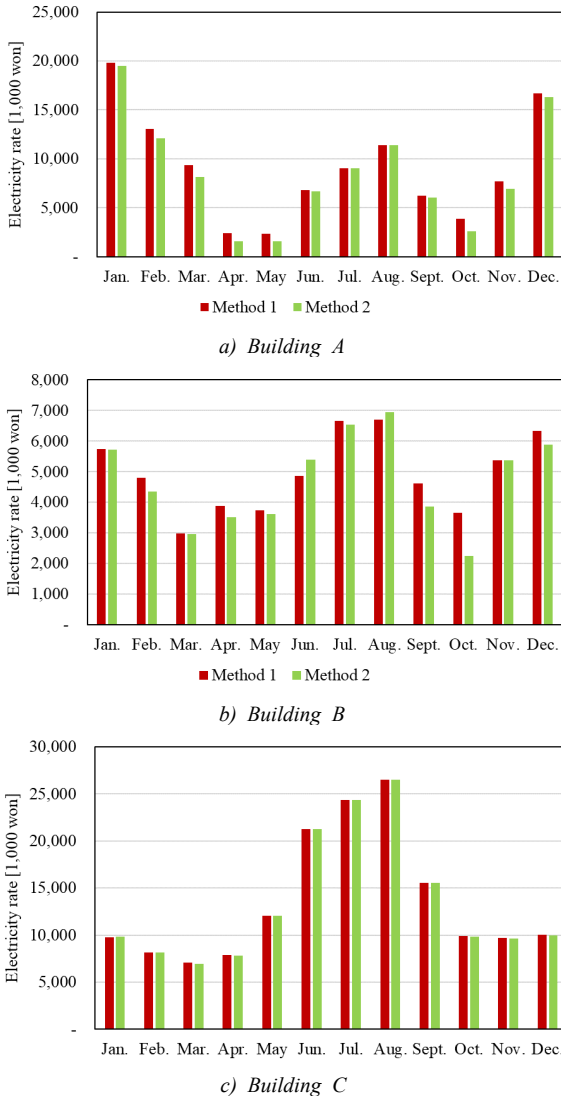


Fig. 9. Compare the results of applying Method 1 and Method 2

을 제외한 모든 월에서 Method 2의 청구요금이 더 낮은 것으로 나타났으며, 총액은 Method 1과 Method 2가 각각 59,301천원과 56,393천원으로 나타나 Method 2의 청구요금이 약 2,928 천원 적은 것으로 확인되었다. Building C에서는 1월과 2월을 제외한 모든 월에 Method 2의 청구요금이 더 낮은 것으로 나타났으며, 총액은 Method 1에 비해 Method 2가 308 천원 더 적은 것으로 나타났다. 특히 Building C에서는 6월부터 9월까지 Method 1과 Method 2의 청구요금이 같게 나타났는데, 이는 해당 월에 잉여 에너지가 발생하지 않기 때문에 잉여 에너지 활용 효과가 적용되지 않은 결과로 판단된다.

결과 분석을 위해 Method 1과 Method 2에 적용된 SMP와 최대부하 시간대의 단가를 확인하고자 한다. Building C에서는 잉여 에너지가 거의 발생하지 않아 효과가 미비하게 나타났다. 따라서 Building B에서의 결과를 통해 Method 1과 Method 2의 청구요금 차이가 크게 나타난 6월과 10월의 단가를 비교하였다.

Fig. 10.은 6월과 10월의 최대부하 요금과 SMP 단가를 비교한 결과이다. Building B에서 Method 1의 청구요금이 더 낮게 나타난 6

Table 5. Compare of electricity rate for Method 1 and Method 2

	Building A		Building B		Building C	
	Method 1	Method 2	Method 1	Method 2	Method 1	Method 2
Jan.	19,845	19,482	5,732	5,727	9,746	9,808
Feb.	13,062	12,106	4,795	4,353	8,142	8,160
Mar.	9,383	8,128	2,983	2,954	7,091	6,938
Apr.	2,381	1,537	3,891	3,505	7,878	7,812
May	2,348	1,549	3,728	3,622	12,078	12,076
Jun.	6,796	6,663	4,864	5,393	21,243	21,243
Jul.	9,063	9,054	6,659	6,539	24,322	24,322
Aug.	11,396	11,385	6,693	6,934	26,533	26,533
Sept.	6,208	6,013	4,606	3,865	15,522	15,522
Oct.	3,890	2,612	3,653	2,242	9,904	9,835
Nov.	7,718	6,933	5,364	5,365	9,670	9,642
Dec.	16,698	16,292	6,332	5,874	10,018	9,950
Total	108,786	101,755	59,301	56,373	162,147	161,839

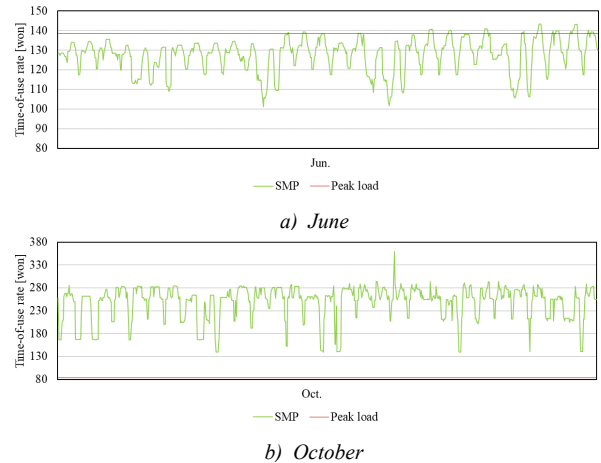
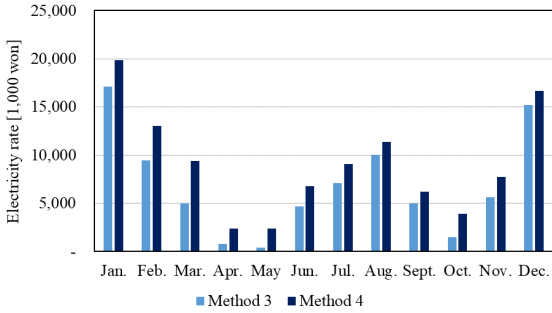


Fig. 10. SMP and peak load rates distribution

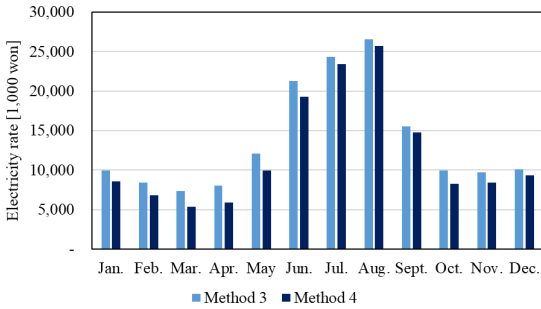
월의 두 단가를 비교한 Fig. 10. a)에서는 일부 시간대를 제외하고, 최대부하의 단가가 SMP의 단가보다 높은 것으로 나타났다. 따라서 이 기간 내에 잉여 에너지를 사용함으로써 Method 1이 Method 2보다 청구요금이 낮게 나타난 것이다. 또한 Method 2의 청구요금이 더 낮게 나타난 10월의 두 단가를 비교한 Fig. 10. b)에서는 최대부하의 단가는 83.4원인 반면, SMP 단가는 10월 중 최소 139.5원으로 SMP의 단가가 크게 높기 때문에 Method 2의 청구요금이 더 낮게 나타난 것으로 보인다.

2) 에너지 공유 활용 효과분석

건물에서 발생하는 잉여 에너지를 이웃 건물로 공유하는 방법인 Method 3과 Method 4에 대한 결과는 다음과 같다. Method 3과 Method 4에서 Building B는 잉여 에너지를 공유하는 건물로 설정했기 때문에 시간대별로 발생하는 잉여 에너지를 CESS로 저장한다. 따라서 Building B의 청구요금은 Method 3과 Method 4에서 동일하게 나타났다. Method 3과 Method 4의 적용 결과는 Fig. 11.과 같고, 건물별 청구요금은 Table 6.에 나타내었다.



a) Building A



b) Building C

Fig. 11. Compare the results of applying Method 3 and Method 4

Table 6. Compare of electricity rate for Method 3 and Method 4

	Building A		Building B		Building C	
	Method 3	Method 4	Method 3	Method 4	Method 3	Method 4
Jan.	17,104	19,845	6,427	9,955	8,566	
Feb.	9,428	13,062	5,328	8,434	6,797	
Mar.	4,987	9,383	4,301	7,309	5,377	
Apr.	771	2,381	4,526	7,995	5,848	
May	370	2,348	4,659	12,091	9,965	
Jun.	4,677	6,796	6,628	21,243	19,291	
Jul.	7,097	9,063	7,318	24,322	23,392	
Aug.	10,060	11,396	7,801	26,533	25,677	
Sept.	5,008	6,208	5,244	15,522	14,801	
Oct.	1,491	3,890	4,523	9,964	8,255	
Nov.	5,620	7,718	5,968	9,722	8,381	
Dec.	15,196	16,698	6,766	10,123	9,334	
Total	81,810	108,786	69,490	163,214	145,685	

Method 3과 4에서 Building A와 Building C의는 각각 공유를 받는 대상건물로, 공유를 받는 건물의 에너지 소비량이 감소하여 청구요금이 낮게 나타났다. Building B를 포함한 연간 청구요금을 비교할 경우에는 Method 3이 314,507천원, Method 4가 323,961천원으로 공동주택으로 잉여 에너지를 공유하는 Method 3의 청구금액이 9,454천원 적은 것으로 나타났다.

3) 잉여 에너지 활용 방법 분석

본 연구에서 제시한 모든 잉여 에너지 활용 방법을 분석하기 위해 잉여 에너지를 자가 건물에서 활용하는 방법인 Method 1, Method 2와 에너지 공유를 통해 이웃 건물에 공유하여 활용하는 방법인 Method 3, Method 4의 결과를 비교하였다. Fig. 12.는 앞서 제시한 Method 1~Method 4의 결과를 종합적으로 분석한 것이다.

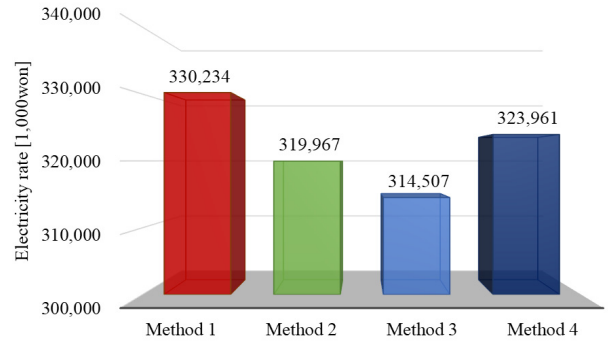


Fig. 12. Distribution of electricity rates by method

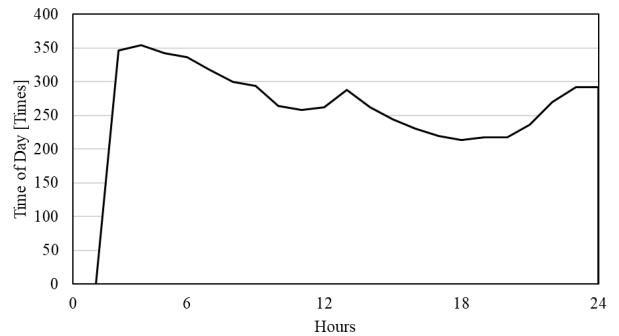


Fig. 13. Comparison of SMP and residential metered rates by time of day

앞선 분석에서 자가 건물의 잉여 에너지 활용 방법 중 가장 효과가 뛰어난 것으로 나타난 Method 2의 연간 청구요금은 319,967 천원으로 나타났다. 또한 에너지 공유를 통해 잉여 에너지를 활용하는 방법 중 효과가 가장 뛰어난 것으로 나타난 Method 3의 청구요금은 314,507천원으로 모든 잉여 에너지 활용 방법 중 공동주택으로 잉여 에너지를 공유하는 것이 가장 효과가 뛰어난 것으로 나타났다. 한편 에너지 소비량이 가장 높은 Building C에 에너지를 공유하여 사용하는 Method 4 보다는 한전에 되파는 Method 2의 청구요금이 더 낮은 것으로 나타났는데, 이는 앞서 설명한 바와 같이 각 활용 방법에 적용되는 적용요금의 단가 차이로 인한 것으로 판단된다. 나아가 효과가 가장 뛰어난 것으로 나타난 공동주택에 적용되는 요금과 다음으로 효과가 뛰어난 것으로 나타난 SMP의 단가를 비교하고자 한다. Fig. 13.은 Building A에 적용된 사용량 요금의 단가와 시간대별 SMP 단가를 비교한 결과를 나타낸 것이다. 공동주택에 적용된 요금의 단가가 SMP 단가보다 높은 경우를 1로 가정하여 2022년 1년 동안의 빈도를 계산하였으며, 24시간으로 나누어 그 분포를 나타내었다. Fig. 13. 에서 00시와 01시를 제외한 모든 시간대에 시간대별 SMP 단가보다 공동주택에 적용되는 요금의 단가가 더 높은 것으로 나타났다. 하지만 00시와 01시에는 공동주택에 적용되는 단가보다 시간대별 SMP 단가가 더 높은 것으로 나타났는데, 잉여 에너지는 주로 에너지가 생산되는 시간대에 발생하지만, 00시와 01시에는 저장된 잉여 에너지를 모두 사용하여 소진하고 남아있지 않기 때문에 공동주택에서의 단가가 더 효과적인 것으로 판단된다.

Fig. 10.과 Fig. 13.에서 분석한 결과를 통해 공동주택의 사용량에 따라 달라지는 단가가 시간대별 SMP 단가보다 비교적 높고, SMP

단가보다는 일반용 건물의 부하 시간대별 요금이 더 낮은 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구의 범위 내에서는 건물에서 발생하는 잉여 에너지를 공동주택에서 사용하는 것이 가장 효과적으로 나타났다.

하지만, 일반용 건물의 부하 시간대별 요금이 SMP 단가보다 높은 경우가 있고, SMP 단가가 낮게 책정될 경우에는 일반용 건물의 부하 시간대별 요금을 통해 에너지를 최대부하 시간대에 사용하는 것이 효과적인 것이다.

또한 현재 전기요금이 계속해서 상승하고 있는 추세이기 때문에 에너지 공유를 통한 청구요금 절감효과를 더욱 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 신재생 에너지 및 에너지 공유 활성화를 위한 기초 연구로 잉여 에너지 활용 방법을 제시하고, 활용 방법에 따른 효과를 분석하였다. 잉여 에너지 활용 방법을 분석하기 위해 용도와 스케줄이 서로 다른 3개의 건물로 가상의 커뮤니티를 구성하고, 각각의 활용 방법에 전기요금을 부과하여 효과를 비교하였다.

비교 결과 발생하는 잉여 에너지를 자가 건물에서 활용하는 경우, 발생한 잉여 에너지를 한전에 되파는 것이 가장 효과가 뛰어난 것으로 나타났다. 잉여 에너지를 공유하여 사용하는 경우에는 공동주택으로 공유하여 에너지를 사용하는 것이 가장 뛰어난 것으로 나타났으며, 모든 활용 방법 중 잉여 에너지를 공동주택에 공유하여 사용하는 것이 가장 효과가 뛰어난 것으로 나타났다. 이는 각각의 활용 방법에 적용되는 요금제를 비교하였을 때, SMP, 시간대별 적용요금, 공동주택 사용량 요금 중 공동주택에 사용되는 사용량 요금이 가장 높고 이후 SMP, 시간대별 적용요금 순서로 나타나 공동주택으로 잉여 에너지를 공유하는 것이 가장 뛰어난 것으로 확인되었다. 하지만 SMP 단가의 변동에 따라 이러한 효과는 상이할 수 있을 것으로 판단된다.

추후 한전 전기요금 체계에 따른 요금 상승 추이 및 에너지 공유 효과와 다양한 건물군을 통해 구성된 커뮤니티에서의 에너지 공유 효과 분석에 관한 연구를 수행할 예정이다. 또한 에너지 거래 시 적정 적용 요금 단가에 관한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

Acknowledgement

이 연구는 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020R1C1C1010801).

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2019-KA153277).

References

[1] R.V. Klyuev et al., Methods of forecasting electric energy consumption: A literature review, *Energies*, 15(23), 2022.11, 8919.
 [2] M. Cellura et al., The role of the building sector for reducing energy consumption and greenhouse gases: An Italian case study, *Renewable Energy*, 2013.12, pp.586-597.
 [3] IEA(International Energy Agency), World energy outlook 2019, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>, 2019.11.

[4] M.M. Alam, Y.M. Jang, Deep learning based optimal energy management framework for community energy storage system, *ICT Express*, 9(3), 2023.06, pp.333-340.
 [5] M.H. Huesemann, The limits of technological solutions to sustainable development, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 5(1), 2003.03, pp.21-34.
 [6] A. Guterres, Carbon neutrality by 2050: The world's most urgent mission, <https://www.un.org/sg/en/content/sg/articles/2020-12-11/carbon-neutrality-2050-the-world%E2%80%99s-most-urgent-mission>, 2020.12.
 [7] European Commission, 2050 long-term strategy, https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en.
 [8] M. Pacesila, S.G. Burcea, S.E. Colesca, Analysis of renewable energies in European Union, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 2016.04, pp.156-170.
 [9] J. Ryu, J. Kim, Virtual power plant operation strategy under uncertainty with demand response resources in electricity markets, *IEEE Access*, 10, 2022.06, pp.62763-62771.
 [10] F. Zhao et al., Peer-to-peer energy sharing with demand-side management for fair revenue distribution and stable grid interaction in the photovoltaic community, *Journal of Cleaner Production*, 383, 2023.01, 135271.
 [11] C. Long et al., Peer-to-peer energy sharing through a two-stage aggregated battery control in a community Microgrid, *Applied Energy*, 226, 2018.09, pp.261-276.
 [12] Y. Parag, B.K. Sovacool, Electricity market design for the prosumer era, *Nature Energy*, 1, 2016.03, 16032.
 [13] S. Zheng, G. Huang, A.C.K. Lai, Techno-economic performance analysis of synergistic energy sharing strategies for grid-connected prosumers with distributed battery storages, *Renewable Energy*, 178, 2021.11, pp.1261-1278.
 [14] B.P. Koirala et al., Energetic communities for community energy: A review of key issues and trends shaping integrated community energy systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 2016.04, pp.722-744.
 [15] Y. Zhou et al., Energy integration and interaction between buildings and vehicles: A state-of-the-art review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 2019.10, 109337.
 [16] V.Z. Gjorgievski, S. Cundeva, G.E. Georghiou, Social arrangements, technical designs and impacts of energy communities: A review, *Renewable Energy*, 169, 2021.05, pp.1138-1156.
 [17] C. Zhang et al., A bidding system for peer-to-peer energy trading in a grid-connected microgrid, *Energy Procedia*, 103, 2016.12, pp.147-152.
 [18] C. Zhang et al., Peer-to-peer energy trading in a microgrid, *Applied Energy*, 220, 2018.06, pp.1-12.
 [19] C. Long et al., Peer-to-peer energy sharing through a two-stage aggregated battery control in a community microgrid, *Applied Energy*, 226, 2018.09, pp.261-276.
 [20] M.H. Cintuglu, H. Martin, O.A. Mohammed, Real-time implementation of multiagent-based game theory reverse auction model for microgrid market operation, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6(2), 2015.01, pp.1064-1072.
 [21] L. Sun et al., Energy sharing strategy based on call auction trading: Energy bank system, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 123, 2020.12, 106320.
 [22] L. Sun et al., Energy sharing platform based on call auction method with the maximum transaction volume, *Energy*, 225, 2021.06, 120237.
 [23] M. MansourLakouraj et al., Optimal market-based operation of microgrid with the integration of wind turbines, energy storage system and demand response resources, *Energy*, 239(Part B), 2021.12, 122156.
 [24] T. Chen et al., Multi-energy microgrid robust energy management with a novel decision-making strategy, *Energy*, 239(Part A), 2022.01, 121840.
 [25] J.J. Chen et al., Multi-energy coordinated microgrid scheduling with integrated demand response for flexibility improvement, *Energy*, 217, 2021.02, 119387.
 [26] 국토교통부, 건축물 에너지절약설계기준, 국토교통부고시 제2023-104호, 2023. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy saving design criteria for buildings, Ministry of Land, Infrastructure and Transport Notification No. 2023-104, 2023.)
 [27] 한국전력공사, 전기요금표, 2023.05.06. // (Korea Electric Power Corporation, Electricity tariff table, 2023.05.06.)