

포스텍 캠퍼스의 전력 사용 데이터 수집 및 분석

류도현* · 김광재**† · 고영명* · 김영진** · 송민석*

* 포항공과대학교 산업경영공학과

** 포항공과대학교 전자전기공학과

Collection and Analysis of Electricity Consumption Data in POSTECH Campus

Do-Hyeon Ryu* · Kwang-Jae Kim**† · YoungMyoung Ko* · Young-Jin Kim** · Minseok Song*

* Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology

** Department of Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology

ABSTRACT

Purpose: This paper introduces Pohang University of Science Technology (POSTECH) advanced metering infrastructure (AMI) and Open Innovation Big Data Center (OIBC) platform and analysis results of electricity consumption data collected via the AMI in POSTECH campus.

Methods: We installed 248 sensors in seven buildings at POSTECH for the AMI and collected electricity consumption data from the buildings. To identify the amounts and trends of electricity consumption of the seven buildings, electricity consumption data collected from March to June 2019 were analyzed. In addition, this study compared the differences between the amounts and trends of electricity consumption of the seven buildings before and after the COVID-19 outbreak by using electricity consumption data collected from March to June 2019 and 2020.

Results: Users can monitor, visualize, and download electricity consumption data collected via the AMI on the OIBC platform. The analysis results show that the seven buildings consume different amounts of electricity and have different consumption trends. In addition, the amounts of most buildings were significantly reduced after the COVID-19 outbreak.

Conclusion: POSTECH AMI and OIBC platform can be a good reference for other universities that prepare their own microgrid. The analysis results provides a proof that POSTECH needs to establish customized strategies on reducing electricity for each building. Such results would be useful for energy-efficient operation and preparation of unusual energy consumptions due to unexpected situations like the COVID-19 pandemic.

Key Words: Advanced Metering Infrastructure, Open Innovation Big Data Center, Electricity Consumption Data, University Campus

● Received 27 July 2022, 1st revised 5 August 2022, accepted 16 August 2022

† Corresponding Author(kjk@postech.ac.kr)

© 2022, Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

지능형 전력 계량인프라(Advanced metering infrastructure; 이하 AMI)란 스마트 미터, 네트워크, 데이터 관리 시스템을 포괄하는 인프라를 의미한다(Bian et al., 2014). 우리나라는 2010년 초부터 다양한 건물에 AMI를 보급하고 있다(Lee, 2015). AMI를 통해 건물에서 소비되는 전기, 가스, 물 등 에너지 사용 데이터를 실시간으로 수집할 수 있다. 수집된 에너지 사용 데이터는 가구별 에너지 사용 패턴, 피크 시간 등 건물의 에너지 사용 특징을 이해하기 위해 필요한 정보들을 포함하고 있다(Niyato and Wang, 2012). 이러한 정보는 에너지 소비자가 에너지 절약과 비용을 절감하는 데 도움을 줄 수 있으며, 공급자가 효율적인 에너지 생산 및 공급을 위해 플랜트 운영하는 데 도움을 줄 수 있다(Littman et al., 2012).

AMI는 아파트, 공장, 상가, 대학 캠퍼스 등 다양한 건물에 설치되고 있다. 그 중 대학 캠퍼스는 연구 기기, 식당, 기숙사 등 업무와 거주가 공존하는 특이성을 가지고 있으며, 이로 인해 안정적인 에너지 공급이 필수적인 곳이다(Park et al., 2016). 이에, 세계 대학들은 안정적인 에너지 생산, 공급, 소비를 위해 AMI를 기반으로 한 독립적인 스마트그리드를 구축하고 있다. 캘리포니아 샌디에고 대학교, 웨슬리언 대학교, 프린스턴 대학교가 대표적이다. 해당 대학은 스마트그리드를 통해 에너지 사용 데이터(AMI 데이터)를 수집 및 분석한다(An et al., 2016). 수집된 AMI 데이터는 건물별 에너지 사용을 이해하고 에너지 절약 방안을 수립하는 데 사용될 수 있으며, 나아가 새로운 연구와 사업 아이디어 및 기술 개발에 사용되기도 한다(An et al., 2017).

에너지 관리공단에서 발표한 통계에 따르면 국내 190개 에너지 다소비 기관의 총 전력 소비량 중 약 15%를 대학이 소비하고 있다(한국에너지공단, 2021). 따라서, 대학은 사회의 중요한 구성원이자 교육기관으로 기후 변화 문제에 적극적으로 나서야 할 의무가 있다(Jung et al., 2010). 또한, 대학 자체적으로도 캠퍼스의 전력 소비저감은 저탄소 녹색성장을 위한 참여, 대학의 운영비 절감 등 여러 방면에서 이익을 가져올 수 있다. 우리나라 면적 대비 대학수가 많은 점을 감안한다면, 대학 캠퍼스의 전력 소비저감이 사회에 미치는 파급효과가 굉장할 것으로 예상된다(Jung et al., 2017).

효과적인 전력 소비저감을 위해서는 전력소비 특성이 다른 대학 캠퍼스 건물의 전력 사용량을 효율적으로 절감할 필요가 있다. 효율적인 절감을 위해서는 여러 개 건물을 묶어서 전력 사용을 측정하고 있는 현행 방식에서 벗어나 개별 건물의 전력 소비량을 측정해야 한다(Park, 2016). 대학은 개별 건물의 전력 소비량 측정을 통해 건물별 세부적인 전력 사용 현황과 요인을 이해하고 이러한 특성이 반영된 중장기적 절감 계획을 수립할 수 있다. 이를 위해 대학 캠퍼스에 AMI를 구축하고 건물별 전력 사용 데이터를 수집 및 분석하는 것이 중요해지고 있다(Hwang et al., 2020).

포스텍은 강의실, 사무실, 연구실, 공장, 기숙사 등 건물의 이용자 유형과 목적 등이 상이한 건물들로 이루어져 있다. 이로 인해 건물별 전력 소비량과 패턴이 다르기 때문에 개별 건물의 전력 사용량 분석이 필수적이다. 이러한 필요성에 부합하기 위해 포스텍은 AMI를 설치하여 건물별 전력 사용 데이터를 수집할 수 있는 환경을 구축하였다. 또한, 수집된 전력 사용 데이터를 관리, 분석, 공유하기 위한 플랫폼인 Open Innovation Big Data Center (OIBC)를 구축하였다. 구축된 AMI와 OIBC 플랫폼을 기반으로, 포스텍은 자체 전력 사용 관리뿐만 아니라 내/외부 교수 및 연구자들에게 수집된 전력 사용 데이터를 교육, 연구, 신사업 개발 등의 목적으로 공유할 수 있다.

최근 전력 사용 데이터를 활용한 서비스가 개발되고 있다. 대학 캠퍼스 건물에서 수집된 전력 사용 데이터 역시 서비스 개발을 위해 활용될 수 있다. 개발된 서비스의 품질을 확보하기 위해서는 개발의 초기 단계인 서비스 디자인 단계가 충실히 수행되어야 한다(Gaojie et al., 2016; Cho and Pyun, 2022). 이를 위해 최근에는 객관적이고 정량적

인 분석 방법을 통해 빅데이터로부터 서비스 기회를 발굴하고 고객의 니즈를 파악하고 있다(Ha and Lim, 2022; Park et al., 2021). 본 연구는 대학 캠퍼스 건물에서 수집된 전력 사용 데이터를 분석하여 건물, 층, 월, 시간 등 다양한 측면에서 전력 사용량과 트렌드 정보를 도출한다. 해당 정보는 캠퍼스 전력 사용 데이터 기반 서비스 개발 시 디자인 단계에서 서비스 기회 및 고객 니즈 파악하는 데 활용될 수 있다. 이러한 정보를 활용했을 때 더욱 현실적이며 매력적인 서비스가 개발될 수 있을 것이다. 따라서, 본 연구는 캠퍼스 전력 사용 데이터 기반 서비스 개발 시 품질 제고를 위한 기초사례로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 포스텍 AMI 및 OIBC 플랫폼을 소개하고, AMI를 통해 수집된 전력 사용 데이터 분석 결과를 제시한다. 분석 결과를 통해 건물별 전력 사용량과 패턴이 다름을 확인할 수 있었으며, 코로나19 발생 전후 건물별 전력 사용량에도 차이가 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 대학 캠퍼스 단위의 일괄적인 전력 소비저감 방안보다는 건물의 특성을 고려한 전력 절감 대책이 필요함을 시사한다. 본 논문의 구조는 다음과 같다. 2절에서는 포스텍 AMI와 OIBC 플랫폼에 대해 설명한다. 3절에서는 전력 사용 데이터 분석 결과를 보여준다. 4절에서는 분석 결과를 기반으로 얻은 새로운 시사점 및 캠퍼스 전력 소비저감 방안에 대해 논의한다. 마지막으로 5절에서는 본 연구의 의의를 설명하고 향후 연구를 제안하면서 논문을 마무리한다.

2. 포스텍 AMI 및 OIBC 플랫폼

2.1. 포스텍 AMI

포스텍 캠퍼스는 다양한 특성을 가진 건물들로 구성되어 있으며, 건물에 따라 크기, 이용 목적, 이용자 유형 등이 다르다. 이러한 차이는 건물의 전력 소비량 및 패턴의 차이를 야기할 수 있다. 따라서, 건물별로 AMI를 구축함으로써 이러한 차이를 확인할 수 있다. 본 연구에서는 환경공학동(a), 인공지능연구원(b), 공학4동(c), 박태준디지털도서관(d), 바이오테크센터(e), C5(f), 대학원생아파트(g), 총 7개 건물에 AMI를 구축했다(그림 1). 환경공학동과 공학4동은 주로 교육 및 연구 목적으로 사용되는 건물이며 교직원, 학생, 대학원생이 상주한다. 인공지능연구원과 바이오테크센터는 주로 연구 목적으로 사용되는 건물이며 연구원이 상주한다. C5는 다학제적 교육 및 연구가 이루어지는 시설과 벤처 기업 사무실이 존재하는 건물이다. 박태준디지털도서관은 대부분 독서, 자습을 위한 공간으로 구성되어 있으며, 소규모의 스터디룸, 강의실, 휴식공간으로 구성되어 있다. 마지막으로, 대학원생아파트는 대학원생이 거주하는 공간으로 2인 1실로 사용되고 있으며 75개의 호실이 존재한다.

AMI 구축을 위해 총 3가지 종류의 스마트 미터를 설치했다. 첫 번째로, 3채널 스마트 미터는 건물 전체 혹은 층과 같이 넓은 구역에서 전력 사용 데이터를 수집할 수 있는 센서이다. 두 번째로, 24채널 스마트 미터는 건물의 특정 구역 또는 방과 같이 좁은 구역에서 전력 사용 데이터를 수집할 수 있는 센서이다. 마지막으로, 고속 샘플링 센서는 많은 양의 전력을 소비하는 특수 기기 또는 장비의 전력 사용 데이터를 수집할 수 있는 센서이다. 3가지 종류의 스마트 미터를 설치함으로써 건물 전체, 층, 구역 단위로 전력 사용 데이터를 수집할 수 있으며, 특정 기기의 전력 사용 데이터 수집도 가능하다. 7개 건물에 총 248개의 센서가 설치되었으며, 건물별로 설치된 센서 종류와 개수는 표 1과 같다. 센서 설치 후 실제 전력 사용량과 센서로부터 측정된 전력 사용량에 대한 일관성(Data consistency) 검증을 수행하였으며, 모든 센서가 95% 이상의 일관성을 보였다.

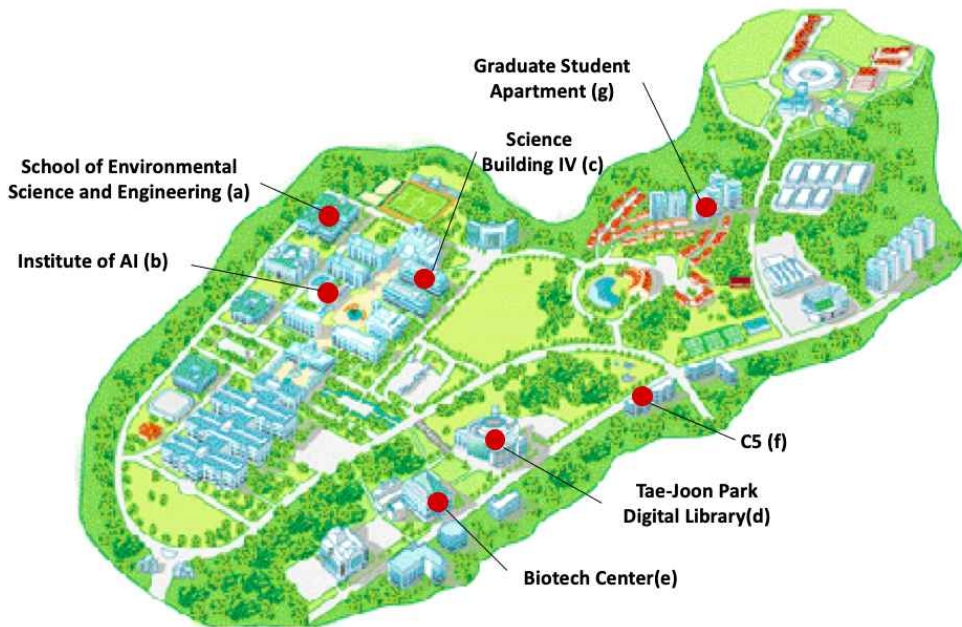


Figure 1. POSTECH campus buildings where AMIs were established

Table 1. Sensors installed at the seven buildings

Building	Sensor	3ch smart meter	24ch smart meter	High sampling sensor	No. of sensors
School of Envi. Sci. and Engineering (a)		26	-	4	30
Institute of AI (b)		-	15	4	19
Sci. Building (c)		27	-	2	29
Tae-Joon Park Digital Library (d)		54	-	23	77
Biotech Center (e)		19	-	15	34
C5 (f)		43	-	12	55
Graduate Student Apartment (g)		-	4	-	4

포스텍에 구축된 AMI는 그림 2와 같다. 내부 데이터는 7개 건물에 구축된 AMI로부터 수집된 전력 사용 데이터를 의미한다. 내부 데이터는 매초 수집되며, 수집된 직후 IoT 기반 데이터 수집 시스템으로 전달된다. 외부 데이터는 날씨, 전기 요금 등 정부 기관이나 기업으로부터 API를 통해 제공받는 데이터를 의미한다. 외부 데이터는 1시간 마다 데이터 수집 시스템으로 전달된다. IoT 기반 데이터 수집 시스템은 내/외부 데이터를 에너지 빅데이터 저장소와 IoT 기반 데이터 모니터링 시스템으로 전달한다. OIBC 플랫폼의 데이터 공유 기능이 에너지 빅데이터 저장소와 연결되어 있다. 에너지 빅데이터 저장소는 데이터 관리 및 수정 역할을 담당하며, OIBC 플랫폼에 양질의 데이터를 제공할 수 있도록 한다.

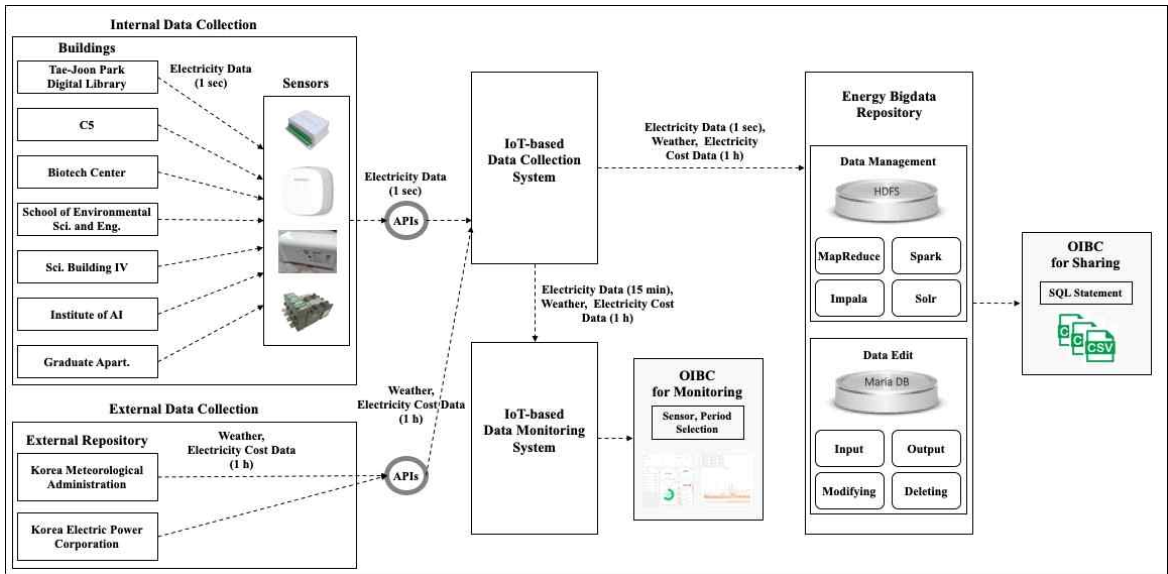


Figure 2. POSTECH AMI

2.2. OIBC 플랫폼

OIBC 플랫폼은 데이터 모니터링 기능과 데이터 공유 기능을 갖추고 있다. 데이터 모니터링 기능은 건물, 센서, 기간을 설정하여 원하는 데이터를 시각화해준다(그림 3). 편리한 모니터링을 위해 다양한 종류의 표, 차트 등을 활용하여 데이터를 시각화할 수 있다. 사용자는 해당 기능을 통해 데이터를 다운로드 하지 않고 원하는 공간의 전력 사용량을 쉽고 빠르게 모니터링 할 수 있다.

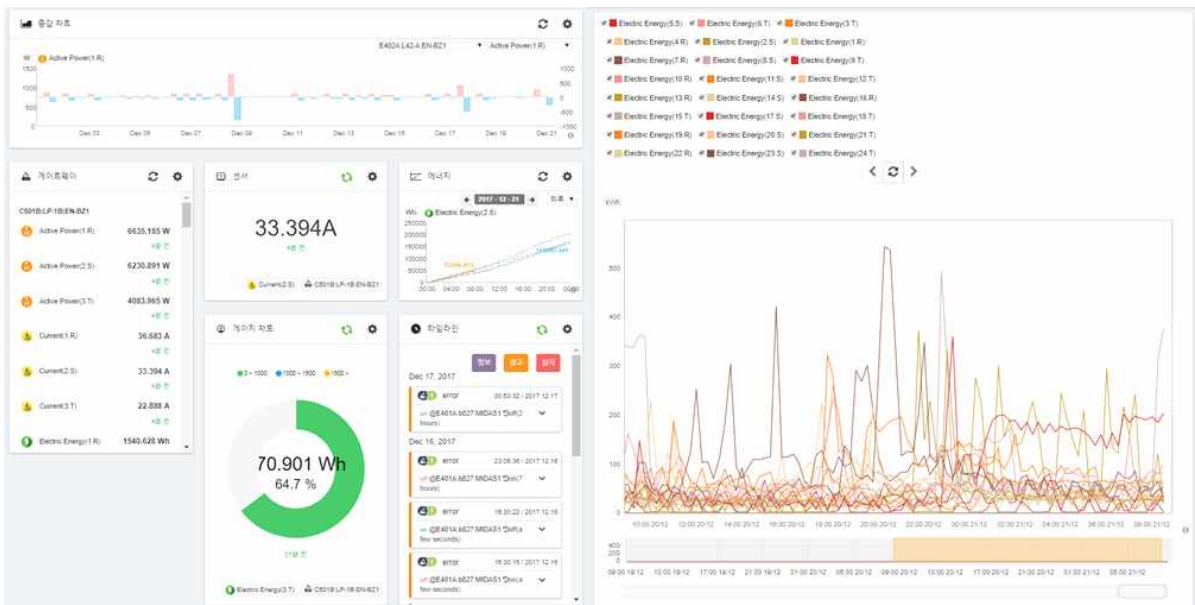


Figure 3. Data monitoring function of OIBC platform

OIBC 플랫폼의 데이터 공유 기능은 수집된 데이터를 사용자에게 공유해주는 기능이다. 사용자는 원하는 데이터를 SQL 명령어를 통해 불러올 수 있으며, CSV 파일 형태로 다운로드 할 수 있다(그림 4). 이때, 건물, 층, 특정 구역 등 원하는 구역, 기간, 센서를 설정할 수 있다. 해당 기능은 SQL에 익숙하지 않은 사용자를 위해 명령어 샘플을 제공하고 있다. 다운로드한 파일에 포함된 데이터 항목은 그림 4의 우측과 같다.

OIBC 플랫폼은 문제 인지 및 알림 기능을 갖추고 있으며, 관리자 역시 양질의 데이터를 수집 및 공유하기 위해 AMI 플랫폼을 규칙적으로 점검하고 있다. 또한, 지속적인 플랫폼 업데이트를 통해 사용자 친화적이고 안정적인 플랫폼을 구축하고자 노력하고 있다.

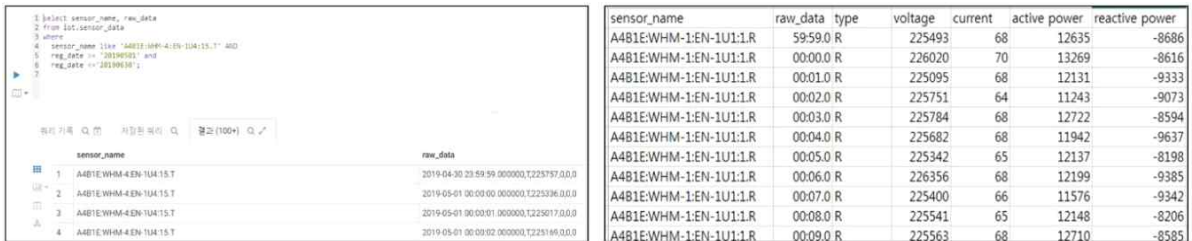


Figure 4. Data sharing function of OIBC platform

3. 포스텍 캠퍼스의 전력 사용 데이터 분석

포스텍 캠퍼스에는 약 3,500명의 학생, 650명의 연구원, 280명의 교직원들이 생활하고 있다. 해마다 포스텍의 전력 사용량은 증가하고 있으며, 교내 홈페이지를 통해 캠퍼스 구성원에게 전력 사용량 증가에 대한 심각성을 알리고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 포스텍 AMI를 통해 수집된 전력 사용 데이터를 분석하여 전력 사용량 및 트렌드를 파악해보고자 한다. 첫 번째로는 건물별 전력 사용량 및 트렌드를 분석한다. 이는 건물에 따라 전력 사용량 및 트렌드가 상이한지를 확인하고, 건물별 사용량 및 트렌드의 특징을 파악하기 위함이다. 두 번째로는 코로나19 발생 전후 건물별 전력 사용량을 분석한다. 이는 코로나19로 인해 캠퍼스 이용자 수가 줄어들고 운영 정책이 변함에 따라 전력 사용량 및 트렌드가 달라지는지 확인하기 위함이다.

3.1. 건물별 전력 사용량 및 트렌드 분석

첫 번째 분석은 건물별 전력 사용 데이터를 분석하여 한 학기 동안의 전력 사용량과 트렌드를 확인하는 것이다. 해당 분석을 위해 2019년 3월부터 6월까지 수집된 전력 사용 데이터를 활용하였다. 2019년 3월부터 6월까지는 코로나19가 발생하기 전이며, 정상적으로 대면 수업을 진행했다. 그림 5는 7개 건물이 3-6월(111일) 동안 사용한 일별 전력 사용량 트렌드를 보여준다. 5월 3일-13일 동안은 센서 오류로 인해 데이터 수집이 이루어지지 않았다. 해당 그림을 통해 건물별로 전력 사용량과 트렌드가 다를 수 있다. C5는 가장 많은 전력을 사용하는 건물이다. C5는 8층으로 이루어진 대형 건물이며, 크기가 다른 건물에 비해 약 2개 정도 크다. 또한, C5에 있는 카페, 이벤트홀, 벤처 기업은 상업용 냉장고, 빅데이터 분석 서버 등 소비 전력이 높고 24시간 가동되어야 하는 장비를 주로 사용한다. 박태준디지털도서관(Library), 환경공학동(ESE), 대학원생아파트(APT)는 다른 건물 대비 중간 정도의 전력 사용량을 보인다. 해당 건물은 C5 보다는 작은 크기이며, 더 적은 수의 구성원이 상주하면서 컴퓨터, 거주용 전기 기기 등을

사용한다. 바이오테크센터(Bio), 인공지능연구원(IAI), 공학4동(E4)은 전력 소비가 적은 건물이다. 해당 건물은 다른 건물들에 비해 상대적으로 크기가 작다. 그림 5를 통해 건물 크기, 사용하는 전기 기기 종류 등에 따라 전력 사용량이 다를 수 있음을 유추할 수 있다.

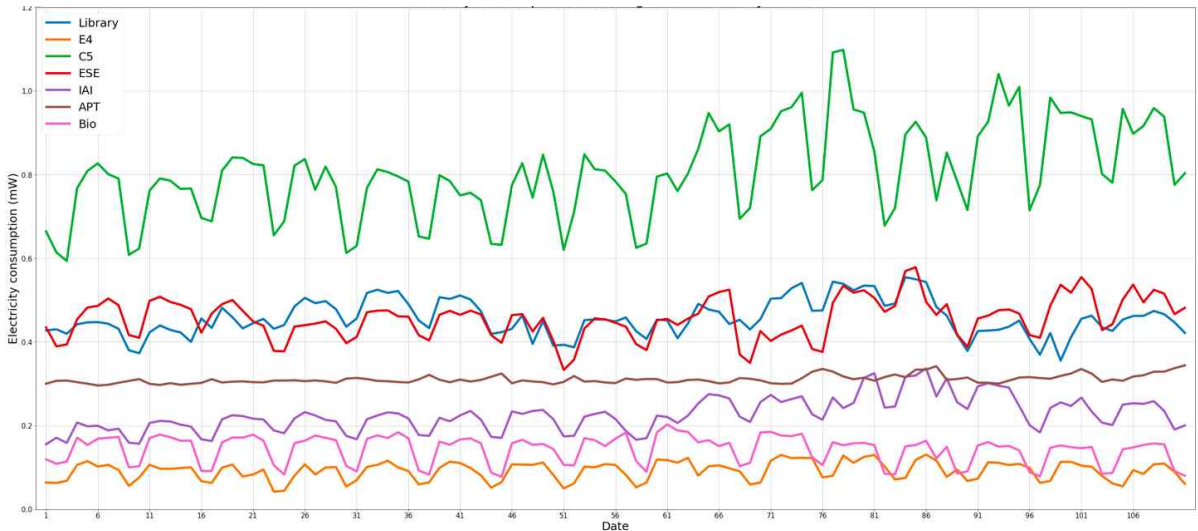


Figure 5. Electricity consumption of buildings from March to June 2019

그림 5를 살펴보면, 일정 주기로 동일한 날짜에 7개 건물의 전력 사용량이 증감하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 증감은 평일과 주말 및 공휴일에 따라 발생한다. 그림 5의 앞부분을 살펴보면 3월 1일, 2일, 3일에 전력 사용량이 적다가 4일부터 상승하여 9일, 10일에 다시 감소한다. 3월 1일은 공휴일이며, 2일, 3일, 9일, 10일은 주말이다. 캠퍼스 특성상 주말 및 공휴일에는 이용자의 유입이 줄어들고, 이는 전기 기기 사용 감소로 이어져 결국 전력 사용량이 줄어든다고 유추할 수 있다. 표 2는 3월부터 6월까지 평일(working days)과 주말 및 공휴일(days off) 간 전력 사용량을 통계적으로 비교한 결과이다. 박태준디지털도서관, 환경공학동, 바이오테크센터에서 수집된 전력 사용량 데이터는 정규분포를 보여 t-test(test A)를 수행하였고, 나머지 건물에서 수집된 데이터는 정규분포를 따르지 않고 비교하는 샘플의 수가 다르기 때문에 Mann Whitney U test(test B)를 수행하였다. 부록1은 건물별 평일과 주말 및 공휴일의 히스토그램을 보여준다. 7개 모든 건물에서 평일과 주말 및 공휴일 간 전력 사용량에 유의한 차이가 있음을 확인할 수 있다. 전력 사용량이 가장 많은 C5가 가장 큰 차이를 보였고, 전력 사용량 변동이 가장 작은 대학원생아파트에서 가장 작은 차이를 보였다(그림 6).

그림 7은 7개 건물의 3월부터 6월까지 월별 전력 사용량을 상자그림(Box plot)으로 표현한 것이다. 그림 7을 기반으로 각 건물별 전력 사용량의 특징을 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 박태준디지털도서관(Library)의 전력 사용량을 살펴보면 3월부터 5월까지 증가했다가 6월에 감소하는 경향을 보인다. 이는 학기 시작 후 중간고사, 기말고사를 거쳐 종강했을 때까지의 경향을 보여준다. 4월과 5월에 전력 사용량 변동이 큰 것을 확인할 수 있다. 4월의 변동은 중간고사 기간과 중간고사 전후의 전력 사용량 증감 때문이라고 유추할 수 있다. 5월에는 기말고사 준비로 인한 전력 사용량 증가와 기온 상승으로 인한 냉방 기기 사용으로 인해 전력 사용량과 변동이 함께 커졌음을 유추할 수 있다. 6월에는 종강으로 인해 이용자의 출입이 감소함에 따라 전력 사용량이 줄어든 것이라 유추할 수 있다.

Table 2. Statistical comparison of electricity consumption amounts of the seven buildings between working days and days off

test A	Library*	ESE*	Bio*	test B	E4*	C5*	IAI*	APT*
t	4.9621	12.4017	24.8512	v	230	148	314	721
p-value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	p-value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0001

*: Buildings that show a significant difference at $\alpha = 0.05$

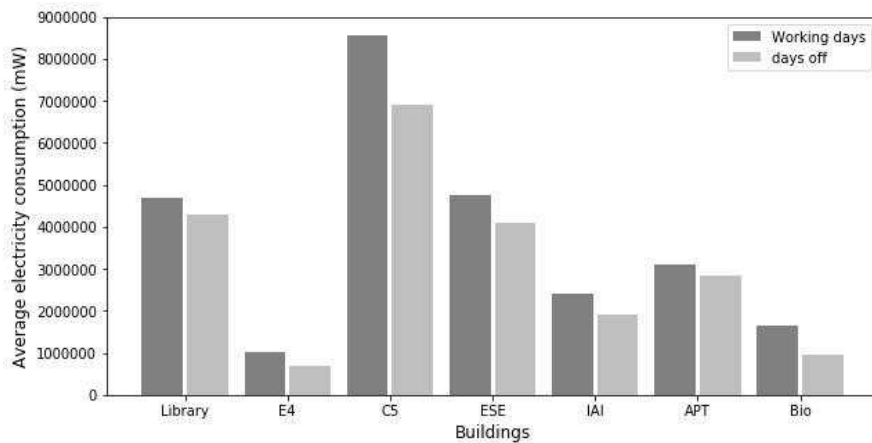


Figure 6. Average electricity consumptions of seven buildings on working days and days off

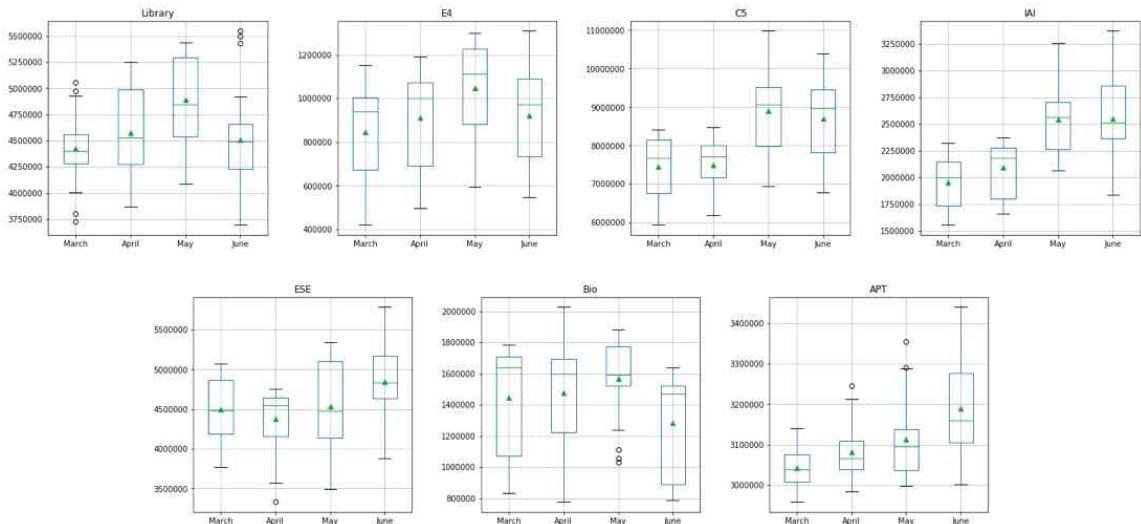


Figure 7. Box plots of seven buildings for electricity consumptions from March to June

공학4동(E4)의 경우 4월부터 5월까지 전력 사용량이 조금씩 증가했다가 6월에 다시 감소하는 트렌드를 확인할 수 있다. 하지만, 다른 건물에 비해 월 간 전력 사용량 및 변동의 변화가 크지 않다. 이처럼 변화가 적은 이유는 공학 4동의 공간 구성과 이용 목적에서 유추해볼 수 있다. 공학4동은 강의실, 연구실, 교수 및 교직원 사무실로 구성된

건물이다. 따라서, 일부 공간에서 학기 중 강의가 이루어지긴 하나, 구성원 대부분이 교직원, 교수, 대학원생이기 때문에 학사 일정에 따른 건물 이용 변화가 적다. 이러한 특징으로 인해 건물 전력 사용량 패턴이 규칙적이고 유사한 것이라 유추해볼 수 있다. 이는 학사 일정에 따라 전력 사용량 및 변동이 달라지는 박태준디지털도서관과는 다른 특징이다.

C5의 경우 3월, 4월에 전력 사용량이 적지만, 5월 6월에 전력 사용량이 늘어난다. 또한, 4월 대비 3월에 전력 사용량 변동이 크다. 3월에 발생한 변동은 난방 기구 사용의 변화로 인해 발생했을 수 있다. 3월 초는 기온이 낮다가 중순 이후로 상승하여 난방 기구 사용이 줄어든다. 특히, C5는 벤처 기업, 카페, 컨퍼런스홀 등 직장인과 외부인 출입이 많기 때문에 난방 기구 사용이 불가피했을 것이다. 5월의 전력 사용량 변동도 3월과 유사하게 유추해볼 수 있다. 5월 중순 이후부터 기온이 상승하고, 이로 인해 난방 기구 사용으로 인한 전력 사용량이 증가했을 것이다. 이렇게 증가한 전력 사용량과 변동은 6월까지 유지되는 모습을 보인다. 인공지능연구원(IAI)은 C5와 유사한 전력 사용량 트렌드를 보인다. IAI 역시 연구원이 주로 상주하고 있는 건물이며, 교육/인재양성, 아카데미 프로그램 등 외부인을 대상으로 한 이벤트가 자주 발생하는 곳이다. 이처럼 건물의 이용자와 사용 목적의 유사성으로 인해 C5와 유사한 전력 사용량 트렌드가 나타났음을 유추할 수 있다.

환경공학동(ESE)과 바이오테크센터(Bio)의 전력 사용량 트렌드는 다른 건물들과 차이를 보인다. 다른 건물 대비 두 건물이 가지는 특징은 연구 장비 및 시설이 많다는 것이다. 해당 건물의 약 70% 이상이 연구 장비 및 시설이 갖춰진 연구실로 구성되어 있다. 따라서, 해당 건물의 전력은 대부분 연구 장비 및 시설 사용에 의해 소비될 것이다. 모든 월에서 전력 사용량의 변동도 크다는 것을 확인할 수 있다. 해당 건물에서 이루어지는 실험과 실험 일정을 참고했을 때 규칙적으로 이루어지기 힘든 실험이 대부분이었다. 즉, 연구 장비 및 시설 사용이 고르게 분포되지 못하고 사용/미사용이 특정 일자에 몰리는 현상이 발생하는 것이다. 따라서, 불규칙한 장비 및 시설의 사용으로 인해 큰 전력 사용량 변동이 발생했음을 유추할 수 있다.

대학원생아파트(APT)는 3월부터 6월까지 전력 사용량이 점진적으로 증가한다. 특히 5월부터 전력 사용량과 변동이 커짐을 확인할 수 있다. 이는 기온 상승으로 인한 난방 기기 사용의 증가가 원인일 수 있다. C5와 IAI의 경우 3월부터 냉난방 기기 사용으로 인해 전력 사용량 변동이 크지만, 대학원생아파트의 경우 3월에는 전력 사용량 변동이 크지 않다. 이러한 차이는 건물별 냉난방 기기 유형이 다르기 때문일 수 있다. 대학원생아파트를 제외한 다른 건물에는 전기를 사용하는 냉난방 기기가 설치되어 있다. 바닥상치형 FCU와 천장형 에어컨이 대표적이다. 하지만, 아파트의 경우 보일러가 설치되어 있으며 난방을 위해 가스를 사용한다. 이러한 이유로 3월의 전력 사용량이 높지 않음을 유추할 수 있다. 이후 기온 상승으로 인해 전기를 사용하는 난방 기기의 사용이 증가하면서 전력 사용량 및 변동이 증가했음을 유추할 수 있다.

2학기에도 1학기(3월부터 6월)와 유사한 전력 사용량 및 트렌드가 발생하는지를 확인하기 위해 2019년 10월 동안의 전력 사용량 데이터를 확인해보았다. 그림 8을 살펴보면, 10월 동안의 전력 사용량 및 트렌드가 1학기 동안 사용된 전력 사용량 및 트렌드(그림 5)와 유사하다. 건물별 전력 사용량 크기 순서도 동일하며, 일정 주기로 전력 사용량이 증감하는 것을 확인할 수 있다. 공통적으로 사용량이 감소하는 일자를 살펴보면 3일, 5일, 6일, 9일, 12일, 13일, 19일, 20일, 26일, 27일이다. 이 중 3일과 9일은 개천절과 한글날이며, 나머지는 주말이다. 즉, 공휴일과 주말에는 모든 건물의 전력 사용량이 감소한다. 대학원생아파트의 전력 사용량은 큰 변동을 보이지 않는데, 이 역시 3월부터 6월까지의 전력 사용량 패턴과 유사하다.

박태준디지털도서관(Library)의 전력 사용량 트렌드를 살펴보면 다른 건물과는 다른 트렌드를 보이는 기간이 있다. 10월 15일부터 전력 사용량이 증가하기 시작하고, 21일부터 25일까지 가장 높은 전력 사용량을 보이다가 이후부터 전력 사용량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 특이한 전력 사용 트렌드는 시험 기간과 관련이 있을 수

있다. 10월 21일부터 25일까지는 중간고사 기간이었다. 따라서, 많은 학생들이 15일부터 시험 준비를 위해 도서관을 이용했을 것이다. 21일부터 25일 동안에는 도서관 운영 시간을 연장하였으며 평소보다 더 많은 학생들이 오랜 시간 도서관을 이용했을 것이다. 유사한 패턴은 그림 5에서도 찾아볼 수 있다. 중간고사 기간인 3월 말부터 4월 초(x축 26-40), 기말고사 기간인 5월 말부터 6월 초(x축 76-90) 동안 박태준디지털도서관의 전력 사용 트렌드를 보면 해당 기간 이전, 이후에 비해 전력 사용량이 증가하며 약 2주 정도 유지되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 점은 학사 일정에 따라 이용자 수와 운영 정책이 달라지는 도서관의 특별한 전력 사용량과 트렌드라 할 수 있다. 이처럼 그림 5와 그림 8을 비교해봄으로써 1학기과 2학기 간 유사한 전력 사용량과 트렌드를 보인다는 것을 확인해보았다.

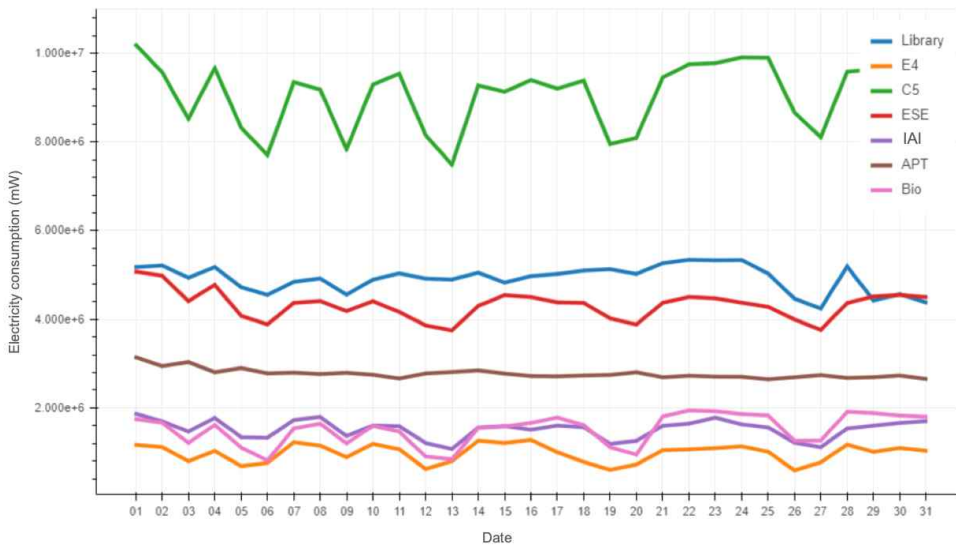


Figure 8. Daily electricity consumption of the seven buildings in October 2019

다음으로는 시간 및 건물 층별 전력 사용량과 트렌드를 살펴보고자 한다. 그림 9는 건물별 1시간 단위 평균 전력 사용량과 트렌드를 보여준다. 대부분의 건물은 오전 6시부터 전력 사용량이 증가하기 시작하며, 오후 5시부터 다시 감소하는 경향을 보인다. 또한, 점심시간인 오후 12시에 전력 사용량이 소폭 감소하는 경향을 보인다. 하지만, 박태준디지털도서관(Library)과 대학원생아파트(APT)의 전력 사용량은 다른 건물들과 다른 모습을 보인다. 두 건물의 전력 사용량은 오후 4시를 기점으로 증가하는 모습을 보이는데, 이는 건물의 이용 목적에 따른 학생들의 이동과 관련이 있을 수 있다. 학생들이 오전과 이른 오후 동안에는 공학4동(E4), C5와 같이 강의실이 있는 건물에서 수업을 듣고, 이후에는 자습 및 휴식을 위해 도서관과 아파트로 이동하는 것이다. 도서관과 아파트의 전력 사용량 또한 이러한 예상을 뒷받침한다. 대부분 건물에서 전력 사용량이 감소하는 이른 오후부터 도서관과 아파트의 전력 사용량은 증가하기 시작하고 자정까지 이어지다 감소하는 경향을 보인다. 이처럼 그림 9를 통해 건물 이용 목적에 따른 이용자 이동이 전력 사용량에 영향을 미칠 수 있음을 유추할 수 있다.

AMI를 설치함으로써 건물 내 층별 전력 사용량과 트렌드도 확인할 수 있다. 전형적인 캠퍼스 건물이라고 할 수 있는 공학4동(E4)의 1시간 단위 평균 전력 사용량 트렌드는 그림 10과 같다. 3층이 가장 많은 전력을 사용하고, 2층이 가장 적은 전력을 사용한다. 3층은 강의실, 회의실, 전산실, 연구실, 교수 오피스로 구성되어 있다. 컴퓨터의 수가 가장 많으며, 빔 프로젝터, 서버 등 많은 전력을 필요로 하는 기기가 가장 많이 사용되는 곳이다. 2층은 회의실, 학과

사무실, 연구실, 교수 오피스로 구성되어 있다. 3층 대비 일반적인 사무 공간의 비율이 높고, 상주하는 인원의 수가 적다. 또한, 층별로 최저, 최고 전력 사용량의 차이도 다를 수 있다. 3층의 최저, 최고 전력 사용량 차이는 약 10,000mW(최고: 약 16,000mW-최저: 약 6,000mW)이며, 2층의 최저, 최고 전력 사용량 차이는 약 5,000mW(최고: 약 7,500mW-최저: 약 2,500mW)로 약 2배 차이가 난다. 즉, 건물에 이용자가 유입되고 전기 기기를 사용하기 시작 하면서 2층 보다 3층의 전력 사용량이 더 큰 폭으로 증가하는 것이다. 이를 통해 동일한 면적을 가진 층이지만 층을 구성하는 요소에 따라 전력 사용량이 달라질 수 있음을 알 수 있다.

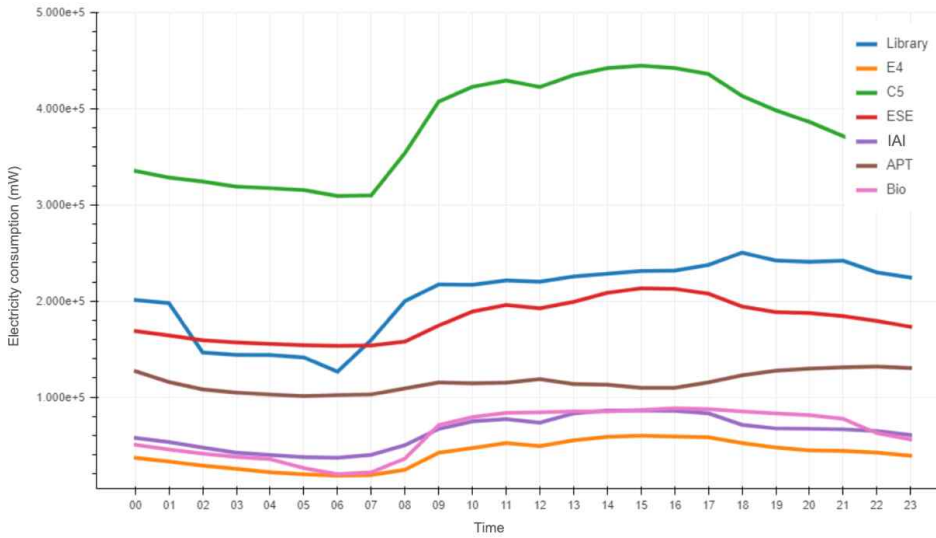


Figure 9. Hourly average electricity consumption of the seven buildings

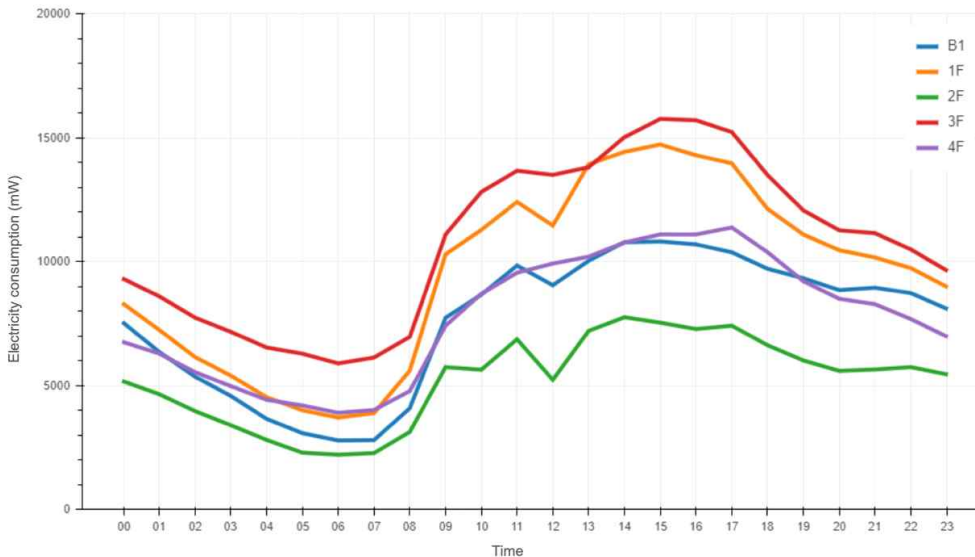


Figure 10. Hourly average electricity consumption of each floor of E4

본 절에서는 건물별 전력 사용량 및 트렌드를 살펴보았다. 건물별로 이용자, 이용 목적, 학사 일정, 냉난방 기기 유형 등 다양한 요인으로 인해 건물별 전력 사용량과 트렌드가 다름을 확인하였다. 또한, 이러한 사용량과 트렌드는 학기 간 유사함을 확인하였다. 추가로, 건물, 층별 시간 단위 사용량과 트렌드를 살펴보았다. 이를 통해 전력 사용의 변화가 이용자로 인해 달라짐을 유추할 수 있었고, 이로 인해 건물, 층별 전력 사용량과 트렌드가 다름을 확인하였다. 건물, 층과 같이 전력 사용의 대상과 월, 일, 시간과 같이 전력 사용 기간을 다양하게 살펴봄으로써 각 측면에서 얻을 수 있는 정보가 다름을 확인할 수 있었다. 이는 AMI 데이터를 통해서 얻을 수 있는 결과이며, 캠퍼스 전력 사용 이해와 관리가 다각적 관점에서 이루어져야 함을 시사한다.

3.2. 코로나19 발생에 따른 전력 사용량 및 트렌드 변화 분석

코로나19는 비대면 수업과 재택근무 등 대학 캠퍼스에 많은 변화를 가지고 왔다. 가장 큰 변화는 캠퍼스에 상주하는 교직원 및 학생 수이다. 코로나19로 인해 전면 비대면으로 전환된 2020년엔 방학이면 학교를 떠났다가 개강 시기에 맞춰 돌아왔던 교직원 및 학생들이 캠퍼스로 돌아오지 않았다. 이러한 변화가 캠퍼스 전력 사용량 및 트렌드에도 변화를 불러왔는지 확인해보고자 한다.

2019년(코로나19 발생 전), 2020년(코로나19 발생 후) 3월부터 6월까지의 전력 사용량 데이터를 활용하여 코로나19 발생에 따른 전력 사용량 및 트렌드 차이를 확인해보았다. 3월부터 6월까지는 포스텍 봄 학기 기간이다. 그림 11은 2019년, 2020년 3월부터 6월 동안 7개 건물의 일별 총 전력 사용량과 트렌드를 보여준다. 2019년 5월 3일-13일 동안은 센서 오류로 인해 데이터 수집이 이루어지지 않았기 때문에 동일한 기간 동안의 2020년 데이터를 제거하여 비교하였다. 그림 5와 같이 평일과 주말 및 공휴일에 따라 증감하는 패턴을 확인할 수 있다. 비록 19년, 20년 간 전력 사용량 패턴은 유사하나, 코로나19 발생 이후 전력 사용량이 대략 절반으로 줄어든 것을 확인할 수 있다.

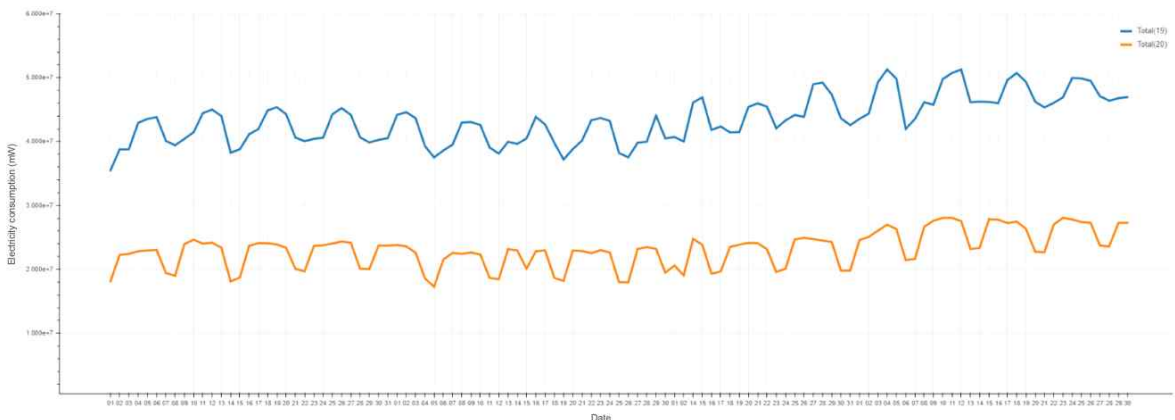


Figure 11. Daily electricity consumption of the seven buildings during the four months in 2019 and 2020

표 3은 코로나19 발생 전후 전력 사용량 간 통계적으로 유의한 차이가 있는지를 확인한 결과이다. 데이터가 정규분포를 따르는 건물은 t-test(test A)를, 정규분포를 따르지 않는 건물은 Wilcoxon signed-rank test(test B)를 사용하여 분석하였다. 부록2는 건물별 코로나19 발생 전과 후의 히스토그램을 보여준다. 공학4동(E4), C5, 바이오테크센터(Bio)를 제외한 나머지 건물에서 전력 사용량에 차이가 있음을 확인할 수 있다. 그림 12는 2019년, 2020년 3월

에서 6월 동안의 7개 건물별 평균 전력 사용량을 보여준다. 모든 건물의 전력 사용량이 코로나19 발생 이후 감소한 것을 확인할 수 있다.

Table 3. Statistical comparison of electricity consumption amounts of the seven buildings before and after the COVID-19 outbreak

test A	Library*	ESE*	test B	E4	C5	IAI*	APT*	Bio
t	14.5607	7.2458	v	2597	2669	267	565	5828
p-value	< 0.0001	< 0.0001	p-value	0.1327	0.1965	< 0.0001	< 0.0001	0.2439

*: Buildings that show a significant difference at $\alpha = 0.05$

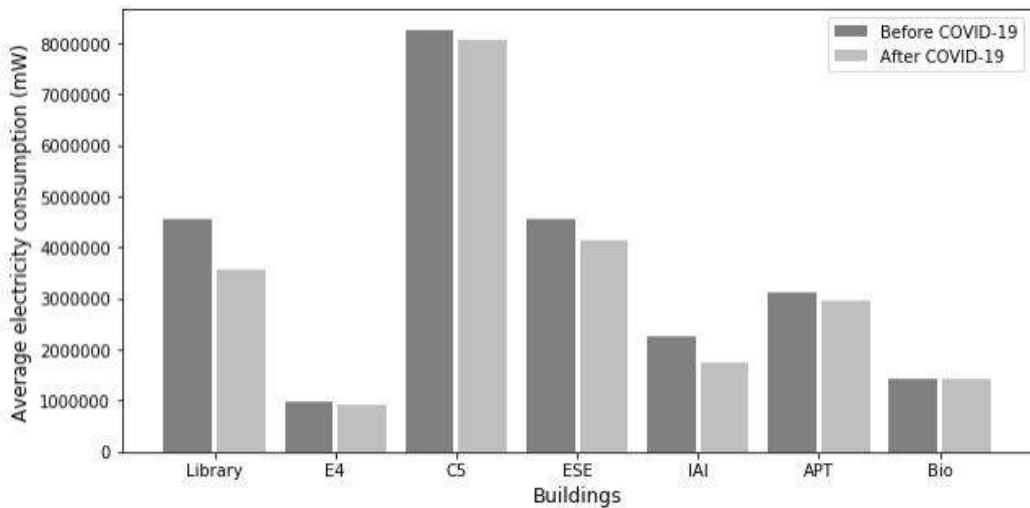


Figure 12. Average electricity consumptions of seven buildings before and after COVID-19

코로나19 발생 전후 간 가장 큰 전력 사용량 차이를 보이는 건물은 박태준디지털도서관(Library)이며, 바이오테크 센터에서 가장 적은 차이가 발생한다. 박태준디지털도서관은 코로나19 발생 이후 가장 폐쇄적인 운영 정책을 적용했다. 입구와 연결된 층을 제외한 나머지 층의 출입을 금지시켰고, 운영 시간도 24시간에서 오후 6시까지로 단축했다. 즉, 최소한의 운영만 가능하도록 인력과 장비를 운영한 것이다. 바이오테크센터는 주로 연구원들이 상주하는 건물로써, 연구를 위해 센터에 마련되어 있는 연구 시설 및 장비를 사용해야 하기 때문에 재택근무 시에도 상주 인원이 많았던 곳이다. 이처럼 코로나19 발생으로 인한 캠퍼스 운영 정책에 따라 전력 사용량이 달라질 수 있음을 유추할 수 있다.

4. 토의

본 연구에서는 포스텍 AMI와 OIBC 플랫폼, 그리고 캠퍼스 내 7개 건물에서 수집된 전력 사용 데이터 분석 결과를 다루었다. 포스텍 AMI와 OIBC 플랫폼은 하드웨어, 소프트웨어, 기술의 집합체이다. 데이터 수집, 관리, 공유, 그

리고 사용에 이르기까지 다양한 분야의 전문가가 협력하여 포스텍 AMI와 OIBC 플랫폼을 지속가능한 시스템으로 발전시키는 것이 중요하다. 이를 위해서 내부적으로는 AMI와 OIBC 플랫폼 홍보와 활성화를 위한 프로그램을 개최하여 교직원과 학생들이 함께 참여하는 환경을 조성할 필요가 있다. 예컨대, 홈페이지 개설, 설명회 등을 통해 홍보가 가능할 것이다. 또한, 수집된 에너지를 여러 방향으로 활용함으로써 참여를 확산시킬 수 있을 것이다. 교내 전력 사용 데이터 분석 대회, 교과목 팀 프로젝트 등을 통해 양질의 전력 사용 데이터를 활용할 수 있음을 홍보할 수 있다. 마지막으로, OIBC 플랫폼을 앱으로 개발하여 건물별로 실시간 전력 사용량 현황을 확인할 수 있도록 함으로써 플랫폼 사용자 수를 늘리고, 캠퍼스 전력 사용에 대한 관심을 증가시킬 수 있을 것이다.

외부적으로는 포스텍 AMI와 OIBC 플랫폼이 인큐베이터 또는 테스트베드로 활용될 수 있을 것이다. 전력 도메인에서 활동하는 정부 기관과 기업은 자신들의 제품 및 서비스를 개발하고 시장에 출시하기 전에 그것들을 검증하기 위한 환경이 필요하다. 포스텍 AMI에서 수집된 전력 사용 데이터는 다양한 신서비스 개발을 위해 활용될 수 있을 것이다. 또한, 포스텍 OIBC 플랫폼은 이종의 센서를 쉽게 결합할 수 있도록 설계되었다. 따라서, 그들의 센서를 결합하여 시장 출시 전 신뢰성과 안정성을 검증해볼 수 있을 것이다. 마지막으로, 포스텍 AMI와 OIBC 플랫폼은 이미 개발된 서비스를 검증하는 데 활용될 수 있을 것이다. 예컨대, 전력 모니터링 서비스 또는 절약 캠페인에 대한 효과를 검증해볼 수 있다. 다양한 연령층으로 구성된 교직원과 학생을 대상으로 관련 서비스 시나리오를 수행하면서 서비스의 유용성 또는 절약의 효과성을 검증하기 위해 AMI와 OIBC 플랫폼을 활용하는 것이다. 위와 같은 내/외부적 협력을 통해 포스텍 AMI와 OIBC 플랫폼을 향상 및 확장시킬 수 있을 것이다.

대학 캠퍼스 전력 사용에 대한 이해 및 소비자감 방안에 대한 연구가 수행되고 있지만, 대부분의 연구는 대학 캠퍼스 전체 전력 사용량 데이터를 활용한다(Kim et al., 2020; Jung and Kim, 2018). 이러한 분석은 서로 다른 건물의 전력 사용 특성을 상쇄시키며, 분석 결과를 정확히 해석하기 어렵게 만든다. 또한, 6개월 또는 1년 등 오랜 기간의 전력 사용량과 트렌드를 분석하고 있다(Choi et al., 2017). 이러한 분석은 대학 캠퍼스가 가지는 특성인 학사 일정(예. 중간고사, 기말고사 등), 시간대에 따른 건물별 전력 사용량 및 트렌드 확인을 어렵게 만든다. 마지막으로, 아직까지 코로나19 발생에 따른 전력 사용을 비교한 연구는 희소하다. 따라서, 코로나19와 같이 대학 캠퍼스 사용자가 현저히 감소하고 건물의 운영 정책이 변경되는 특이한 상황에 대한 전력 사용량과 트렌드 연구가 부족하다. 본 연구에서는 이러한 한계점을 극복하기 위해 건물별 전력 사용 데이터를 활용하여 건물별, 층별, 월별, 시간대별 등 다양한 측면에서의 전력 사용량과 트렌드를 분석해보았다.

분석 결과 7개 건물별로 전력 사용량과 트렌드가 다음을 확인하였으며, 이는 건물 크기, 이용자 수 및 유형, 운영 정책, 냉난방 기기 유형 등 건물별 특성으로 인해 발생하는 차이임을 유추해보았다. 이러한 결과는 캠퍼스 단위의 일괄적인 전력 소비자감 방안이 아닌 건물 특성을 고려한 건물별 전력 소비자감 방안이 수립되어야 함을 시사한다. 먼저, 전기 사용량에 따라 우선적으로 전력 사용 관리가 필요한 건물과 층을 타겟할 수 있겠다. 평균 전력 사용량이 높고 최저와 최고 전력 사용량 간 차이가 크다는 것은 절약할 수 있는 전기량이 많다는 것을 의미한다. 대표적으로 C5가 이에 해당되며, 한 건물 내 층으로 본다면 공학4동 중 3층을 우선 타겟하는 것이 적절하겠다. 또한, 건물 사용 목적과 설치된 기기 등에 따라 전력 사용량 감소 방안을 달리 해야 할 것이다. 예컨대, C5의 경우 카페, 벤처 기업이 사용하는 냉장고, 서버 등은 24시간 가동되어야 하며 전력을 절약하기 위해 가동을 멈출 수 없는 기기들이다. 따라서, 이를 제외하고 전력 사용량을 많이 차지하는 요소를 파악하여 제거해야 한다. 예컨대, 센서를 부착하여 공간에 이용자가 없을 경우 조명이 자동으로 꺼질 수 있도록 하여 전력 낭비를 줄일 수 있을 것이다. 대학원생아파트의 경우 하루 동안의 전력 사용량 변화가 가장 적는데, 이는 수업 및 연구를 위해 아파트에 있지 않는 동안에도 불필요한 전력이 소비되고 있음을 의미한다. 아파트의 전력 사용량은 거주자의 행위에 따라 변할 수 있다. 따라서, 거주자의 행위를 변화시킬 수 있는 제도가 필요하겠다. 예컨대, 호실별 평균 전력 사용량과 자신이 살고 있는 호실의 전력 사용

량을 함께 제공하여, 전기를 많이 사용하는 거주자에게 절약해야겠다는 의지를 심어줄 수 있을 것이다. 또는, 전력 사용량 감소에 따라 교내 편의점 쿠폰 등의 보상을 제공할 수도 있겠다.

본 연구에서는 코로나19 발생에 따른 건물별 전력 사용량 차이도 확인해보았다. 해당 분석을 통해 코로나19 발생 전에 비해 발생 후에 건물의 전력 사용량이 감소한 것을 확인할 수 있었다. 기존 연구에서는 코로나19 발생 후 전력 사용량 감소의 원인으로 건물 이용자의 생활방식 변화를 꼽고 있다(김수일, 2021; 이서진, 2021). 유사하게, 본 분석에서 코로나19 발생 이후 전력 사용량이 감소한 이유도 건물을 이용하는 교직원 및 학생 수가 감소했기 때문일 수 있다. 전반적으로 건물의 이용자 수가 감소했음에도 불구하고, 건물별 전력 사용량 감소에는 차이가 있다. 박태준 디지털도서관의 경우 전력 사용량이 크게 감소하였지만, C5의 경우 감소량이 적다. 이는 건물 이용자 수가 모든 건물의 전력 사용량에 영향을 미치는 것은 아님을 의미한다. 따라서, 건물 이용자 수가 전력 사용량에 영향을 미치는 건물과 미치지 않는 건물을 구분지어 서로 다른 전력 소비저감 방안을 마련해야 할 것이다. 이용자 감소로 인해 전력 사용량이 감소하는 건물에 대해서는 지속적인 모니터링을 통해 건물 이용이 제한되는 동안 보이지 않는 곳에서 전력 낭비가 발생하지 않도록 해야 할 것이다. 이용자 감소로 인해 전력 사용량이 감소하지 않는 건물에 대해서는 이용자의 전력 사용에 영향을 미치는 요인이 무엇인지 파악하고, 해당 요인을 고려하여 적절한 관리 방안이 수립되어야 할 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 포스텍 AMI와 OIBC 플랫폼, 건물별 전력 사용 데이터 분석 결과에 대해 다루었다. 본 연구는 에너지 절감에 대한 대학 캠퍼스의 사회적 책임이 증가하고 체계적인 대책이 필요한 시점에서, 이를 위한 기반 인프라와 플랫폼을 구축하고 실제로 건물별 전력 사용 현황을 파악해봤다는 것에 의의가 있다. 특히, 본 연구에서는 건물, 층, 월, 일, 시간, 코로나19 발생 전후와 같이 기존 연구에서 다루지 않은 다양한 측면에서 건물의 전력 사용량 및 트렌드를 분석함으로써 결과에 대한 의미와 시사점을 제시하였다. 본 연구에서 소개한 포스텍 AMI와 OIBC 플랫폼은 대학 캠퍼스의 스마트그리드 구축 시 좋은 참고 자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한, 대학 간 또는 여러 전력 도메인에서 활동 중인 기관 및 기업과 협력하고, 전력 절감을 위한 전략 및 제도를 함께 마련해나가기 위한 발판이 될 것이다. 전력 사용 데이터 분석 결과는 건물별 전력 소비저감 방안을 마련하고, 코로나19처럼 예상치 못한 상황으로 인한 전력 소비 변화의 대비책을 마련하는 데 기여할 것이다. 마지막으로, 본 연구의 연구 방법 및 결과는 전력 사용 데이터 기반 캠퍼스 서비스 개발 시 건물별 전력 사용량 및 트렌드 분석과 이해를 돕기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이며, 궁극적으로는 개발된 서비스의 품질을 제고하는 데 기여할 수 있을 것이다.

비록 본 연구에서 수행한 분석을 통해 지금까지는 발견하지 못했던 건물별 전력 사용량 및 트렌드를 확인할 수 있지만, 정확한 원인을 파악하여 효율적인 전력 소비저감 방안을 수립하기 위해서는 여러 종류의 데이터를 결합하는 것이 필수적이다. 예컨대, 건물별 이용자 출입 데이터, 날씨 데이터, 교직원 및 학생 코로나 확진자 수 데이터 등이 전력 사용 데이터와 결합된다면 전력 사용량 및 트렌드 변화에 대한 원인을 더욱 정확하게 파악할 수 있을 것이다. 또한, 다양한 종류의 데이터를 오랜 기간 누적할 수 있다면 다양한 상황에 대한 전력 사용량을 예측할 수 있을 것이며, 이를 통해 선제적인 전력 사용 관리 방안이 수립될 수 있을 것이다.

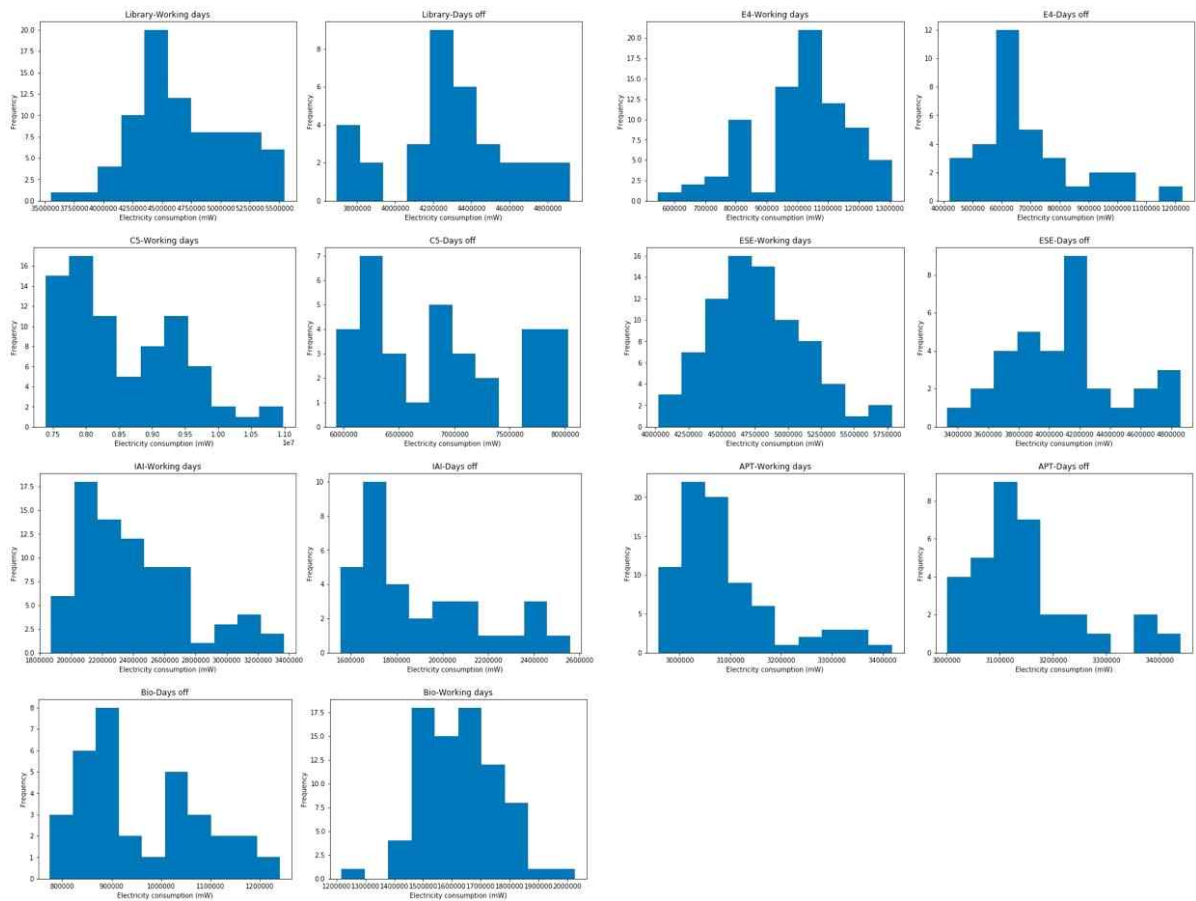
REFERENCES

- 2020 Annual end-use energy statistics. 2021. Korea Energy Agency.
- Bian, D., Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., and Rahman, S. 2014. Analysis of communication schemes for advanced metering infrastructure (AMI). In 2014 IEEE PES General Meeting Conference & Exposition. p 1–5.
- Dong-Ho Lee. 2015. Current status of domestic energy industry and technologies of cyber security. *The magazine of the IEIE* 42(8):26–30.
- Gaojie, Kyungsoo Park, and Jaehee Kim. 2016. A study on railway services improvement using quality function development incorporating SERVPERF. *Journal of Korean Society for Quality Management* 44(2):451–466.
- Gyu-Bon Hwang, Sung-Chan Park, Myung-Hwan Lee, and Seong-Hyun Kim. 2020. A study on regulation of power industry for enforcement of on-grid microgrid. In 2020 KIEE conference. p. 369–370.
- Hye-Jin Jung and In-Chol Kim. 2017. Research on changes and characteristics of GHG emissions by major energy-consuming universities in Korea—Focused on the variation since the implementation of GHG emission regulation by government. *Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management* 18(1):74–82.
- Hye-Jin Jung and Jina Kim. 2018. A study on the energy consumption characteristics in university buildings based on the analysis of power consumption indicators – Focused on load profiling of S-university -. *Journal of Energy and Climate Change Education* 8(2):99–111.
- Hyun-Ho Choi, Ye-Ji Son, and Sung-Guk Yoon. 2017. Pattern analysis of campus electric load for scale. *Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers; 2017 July 12–14; Busan.*
- Jaehun Park, Ye-Rim Kim, and Su-Bin Kang. 2021. Customer satisfaction analysis for global cosmetic brands: Text-mining based online review analysis. *Journal of Korean Society for Quality Management* 49(4):595–607.
- Jae-Woon Jung, Dong-Woo Kim, Jong-Min Lee, Jeong-Hoon Yang, and Ho-Tae Seok. 2010. The survey and analysis of electric power consumption in university building by analyzing case study. *Journal of The Korean Society of Living Environmental System* 17(1):1–9.
- Ji Young Ha and Se Hwa Lim. 2022. Analysis of salad purchaser types and purchasing behaviors through social network analysis. *Journal of Korean Society for Quality Management* 50(2):287–304.
- Jihoon Cho and Jebum Pyun. 2022. A study on the implementation plan for public service quality management applying the ISO 18091 framework. *Journal of Korean Society for Quality Management* 50(1):1–19.
- Ki-Hyeon Park, Jae-Ywan Park, and Jin-Soon Park. 2016. A study of improvement methods of energy efficiency for university campus. Korea Energy Economics Institute.
- Littman, A., Lyon, G., Shah, A., and Vogler, J. 2012. Exploring advanced metering infrastructure deployments for commercial and industrial sites. In *Energy Sustainability* 44816:979–989.
- Niyato, D. and Wang, P. 2012. Cooperative transmission for meter data collection in smart grid. *IEEE Communications Magazine* 50(4):90–97.
- Seon-Jin Lee. 2021. The impact of COVID-19 on the electricity demand of Korea. *Korean Energy Economic Review* 20(2):183–206.
- Seon-Ju An, Gwan-Sik Sim, and Jun-Ho Choe. 2017. Current status of domestic and foreign universities' microgrids. *KIPE Magazine* 22(4):30–35.
- Seon-Ju An, Gwan-Sik Sim, Jun-Ho Choe, and Dong-Jun Won. 2016. Current status of foreign universities' microgrids. *KEPCO Journal of Electric Power and Energy* 2(1):9–16.

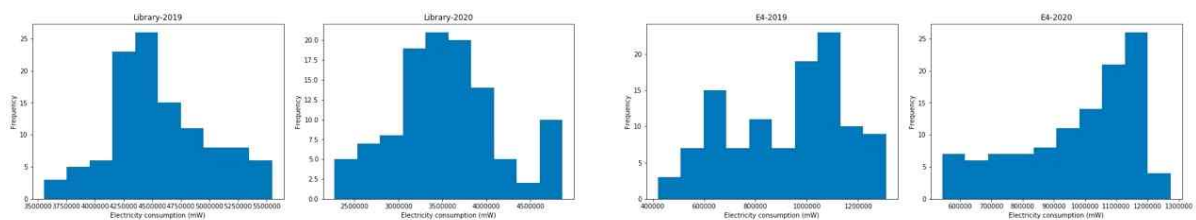
Su-II Kim. 2021. Changes in electricity demand and generation pattern in Korea during COVID-19 pandemic. Korea Energy Economics Institute.

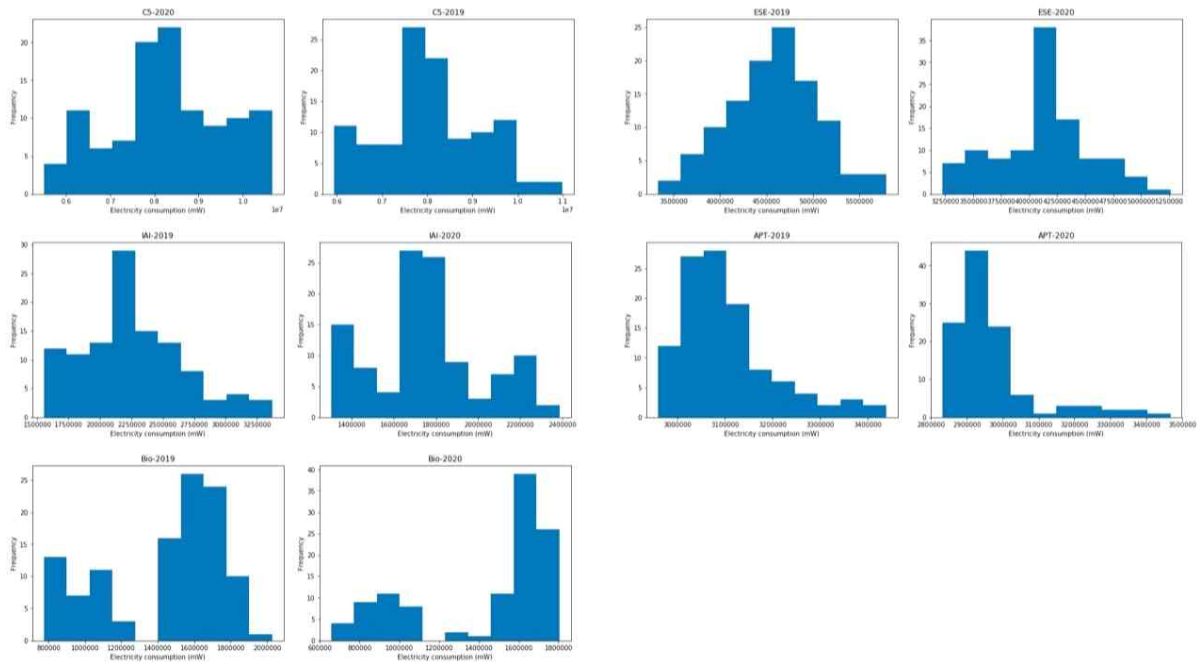
Yein Kim, Seun Lee, and Youngsung Kwon. 2020. Proposal of a step-by-step optimized campus power forecast model using CNN-LSTM deep learning. Journal of the Korean Academia-Industrial cooperation Society 21(10):8-15.

APPENDICE



Appendix 1. Histograms of seven buildings for electricity consumptions on working days and days off





Appendix 2. Histograms of seven buildings for electricity consumptions on before and after COVID-19

저자소개

류도현 울산대학교 산업경영공학과 학사, 포항공과대학교 산업공학과 박사 학위를 취득하였다. 현재 삼성전자 디자인 경영센터에서 시니어 디자이너로 재직중이다. 주요 관심 분야는 데이터 기반의 제품 및 서비스 설계, 품질 평가 등이다.

김광재 서울대학교 산업공학과 학사, 한국과학기술원 산업공학과 석사, Purdue University 경영과학 박사 학위를 취득하였다. 현재 포항공과대학교 산업경영공학과 교수로 재직중이다. 주요 관심분야는 품질공학, 서비스공학 등이다.

고영명 서울대학교 산업공학 학/석사, Texas A&M University 산업공학 박사 학위를 취득하였다. 현재 포항공과대학교 산업경영공학과 부교수로 재직중이다. 주요 관심분야는 대기이론, 확률과정, 신뢰성 및 데이터 기반 품질관리 등이다.

김영진 서울대학교 공과대학 전기정보공학부 학/석사, Massachusetts Institute of Technology 전기공학 및 컴퓨터공학부 박사 학위를 취득하였다. 현재 포항공과대학교 전자전기공학과 부교수로 재직중이다. 주요 관심분야는 분산 전원, 스마트 빌딩, 신재생 에너지 자원 등이다.

송민석 포항공과대학교 산업경영공학과 학/석/박사 학위를 취득하였다. 현재 포항공과대학교 산업경영공학과 교수로 재직중이다. 주요 관심분야는 프로세스 마이닝, 블록체인 등이다.