

## 소규모 제로에너지빌딩의 피크 수요관리용 EMS 운용 알고리즘에 관한 연구

박동명, 최성문, 신건, 한병길 노대석\*  
한국기술교육대학교 전기공학과

### A Study on EMS Operation Algorithm for Peak Demand Management of Small Zero Energy Building

Dong-Myoung Park, Sung-Moon Choi, Shen Jian, Byeong-Gill Han, Dae-Seok Rho\*  
Korea University of Technology and Education

**요약** 최근, 정부의 2030년 온실가스 배출 전망치 대비 37%의 감축방안에 의하여, 제로에너지빌딩이 에너지산업분야로 선정되어 EMS(energy management system)의 필요성이 증가하고 있다. 신축 건물에서는 BEMS(building energy management system)의 요구조건에 따라 설비시공이 가능하지만, 기존 건물의 경우 HMI 또는 SCADA를 BEMS로 전환하거나 새로운 EMS를 설치할 필요성이 있다. 또한, 상용화 EMS Tools의 경우 타사 장비와 통신 호환성이 원활하지 않아, 자사의 전용 통신 프로토콜을 적용한 제품을 사용하거나, 아니면 제한된 서비스만으로 운용하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 범용 SCADA를 사용한 제로에너지빌딩의 피크 수요관리용 EMS의 운용 알고리즘을 제안하고, 통신장치, 데이터베이스, user interface로 구성된 피크 수요관리용 EMS를 구현한다. 이를 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과, 범용 SCADA 환경에서 제안한 알고리즘을 적용하면 기존의 운용방식에 비해 ESS의 방전용량을 효과적으로 감소시킬 수 있어, 본 논문의 유용성을 확인하였다.

**Abstract** Recently, the necessity of an EMS (energy management system) has increased since zero-energy buildings have been selected as the new energy industry according to the plan of the Korean government, which aims to reduce 37% of the estimated emissions of greenhouse gases in 2030. Although it is possible to install the BEMS (building energy management system) in new buildings according to the requirement of facility construction, in the case of the existing buildings, it is necessary to convert HMI or SCADA to BEMS or install a new EMS. Moreover, commercialized EMS tools adopt exclusive communication protocols of their own company or are operated with limited services because of poor communication compatibility with the equipment from other companies. This paper proposes the EMS operation algorithm for peak demand management in a zero energy building and implements the EMS for peak demand management, which is composed of communication devices, databases, and user interfaces. The simulation results confirmed that the proposed algorithm is a valuable tool because the discharge capacity of ESS can be reduced effectively in the SCADA system by comparing it with the existing operation method.

**Keywords** : BEMS, Peak Management Algorithm, Zero Energy Building, SCADA System, Communication Diagram

본 논문은 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.20214910100010 & 20213030160080)로서, 관계 부처에게 감사드립니다.

\*Corresponding Author : Dae-Seok Rho(Korea University of Technology and Education)  
email: dsrho@koreatech.ac.kr

Received March 4, 2022

Revised April 7, 2022

Accepted May 6, 2022

Published May 31, 2022

## 1. 서론

최근, 정부의 석탄발전소 감축 및 탈원전 정책에 따른 전력수급 문제를 해결하고자 그린 에너지원의 전환정책이 급속도로 추진되고 있으며, 산업분야 및 빌딩의 에너지 사용을 고효율·저소비 에너지 구조로 변경하는 BEMS가 도입되고 있다[1]. 여기서, BEMS는 건물에서 소비되는 사용전력을 분석하고 에너지를 최적화하며, AMI(advanced metering infrastructure)에 의하여 저렴한 전력요금 시간대에 부하를 사용하도록 관리하는 시스템이다. 여기서 BEMS는 전력설비의 사용 정보를 실시간으로 수집하고, 에너지의 사용 패턴을 분석하며, 전력설비의 운전 이력을 관리하는 등, 다양한 기능을 요구하고 있다[2]. 하지만, 신축 건물에서는 BEMS(building energy management system)의 요구조건에 따라 설비시공이 가능하지만, 기존 건물의 경우 HMI(human machine interface) 또는 SCADA(supervisory control and data acquisition)를 BEMS로 전환하거나 새로운 EMS를 설치할 필요성이 있다. 또한, 상용화 EMS Tools의 경우 타사 장비와 통신 호환성이 원활하지 않아, 자사의 전용 통신 프로토콜을 적용한 제품을 사용하거나, 아니면 제한된 서비스 및 기능만으로 운용하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 기존 건물에 EMS를 도입하는 경우, 범용 SCADA S/W에 태양광 모듈의 측정데이터와 기후조건을 고려한 태양광 발전량 예측 알고리즘과 경제성을 근거로 한 ESS 운용 알고리즘을 적용한 소규모 제로에너지빌딩의 피크 수요관리용 EMS 운용 알고리즘을 제안한다. 또한, 이 운용 알고리즘을 기반으로 한 소규모 제로에너지빌딩의 피크 수요관리용 EMS의 하드웨어 장치를 구현한다. 여기서, 통신장치는 수배전설비 및 전력장치에 통신 변환장치를 사용하여 사내 인트라넷을 활용하고, 데이터베이스는 범용 SCADA에서 지원하는 텍스트기반과 사내 SQL기반을 이용하며, user interface는 SCADA S/W와 Web을 적용한다. 상기에서 제시한 제로에너지빌딩의 수요관리용 EMS 운용 알고리즘과 하드웨어 장치를 바탕으로 시뮬레이션을 수행한 결과, 기존의 EMS 운용방식에 비해 제한한 알고리즘이 ESS의 방전용량을 효과적으로 저감 할 수 있어, 본 논문의 유용성을 확인하였다.

## 2. 기존의 EMS 운용 방식 특성분석

### 2.1 계통연계형 K-BEMS 운용 방식

한국전력공사의 일반 사옥에 구축된 중앙 건물에너지 관리시스템(K-BEMS)은 Fig. 1과 같이 신재생에너지부, 스마트 전력설비부, BAS(building automatic system) 부로 구성된다. 여기서, 신재생에너지부는 태양광발전량을 건물 부하에 공급하고, 휴일에는 배터리에 충전하여 피크 부하 및 전기요금을 절감시킨다. 또한, 스마트 전력설비부는 조명, 콘센트, 가전기기 등에 IoT(internet of things)를 결합하여, 수집된 전력데이터를 바탕으로 건물 에너지의 낭비를 최소화한다. 한편, BAS부는 에너지 통합관리를 수행하며, 온도센서, IHD(In Home Display), FCU(Fan Coil Unit) 제어를 통해 건물 전체 에너지 사용량의 30% 이상 절감을 목표로 하고 있으며, 소비되는 에너지와 신재생에너지를 비교 분석하여 최적 제어를 통해  $CO_2$ 를 감축한다. 즉, 한국전력공사에서 구축한 K-BEMS는 각각의 시스템을 BEMS로 통합하기 어려워, K-BEMS에 운영시스템을 추가로 구축하여 관리하고 있다[3].

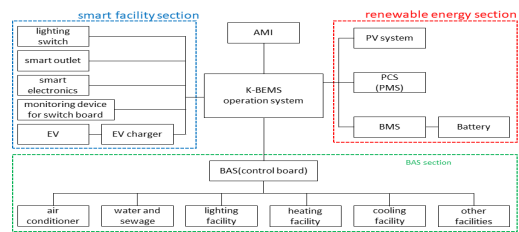


Fig. 1. Configuration of K-BEMS system

### 2.2 상용화 EMS Tools의 특성

기존의 EMS는 각종 에너지 정보를 수집하기 위하여, 전문 측정 장비, 감시 및 제어 데이터를 전달하기 위한 통신 인프라, 데이터베이스 시스템 및 운영시스템 등이 요구되어, 기존 건물에 적용하기에는 상당한 비용과 오랜 시간이 소요된다. 또한, 상용화 EMS Tools의 경우, 시스템의 구축 시에 타사 장비와 통신 호환성이 원활하지 않아, 자사의 전용 통신 프로토콜을 적용하거나, 아니면 제한된 기능 및 서비스를 사용하고 있다. 즉, 상용화 EMS Tools를 사용할 경우, 통신호환이 원활하지 않은 제품은 Tools에서 요구하는 장비로 교체하거나, 전용 통신망으로 구축해야 한다[4]. 한편, C 또는 C++과 같은 프로그래밍 언어로 구축할 경우, Tools에 비하여 다양한 기능을 유연하게 추가할 수 있지만, 설비의 증/감 및 보수 등의 업그레이드 시에 많은 시간이 소요된다. 따라서, 본 논문에서는 상기의 문제점을 극복하기 위한 소규모

제로에너지빌딩의 피크 수요관리용 EMS 운용 알고리즘을 제안하며, 이를 바탕으로 이더넷 컨버터와 범용 SCADA 통해 수요관리용 EMS를 구현한다.

### 3. 제로에너지빌딩의 피크 수요관리용 EMS 운용 알고리즘

#### 3.1 태양광 발전량 예측 알고리즘

기존의 태양광 발전량 예측 방법은 AMPP, FFv, Osterwald's 등이 있지만, 표준시험 조건의 모듈 특성데이터를 사용하기 때문에 오차가 크게 발생할 가능성이 있다. 이러한 오차를 감소시키기 위하여, 본 논문에서는 실제 출력되고 있는 태양광 모듈의 측정데이터와 기후조건을 통계적인 선형회귀분석법을 사용하여 예측 알고리즘을 제시한다[5]. 또한, 예측치의 정확도를 향상하기 위하여 시간에서 측정된 온도( $T_t$ )와 온도효율계수  $\gamma$ 를 고려하여 온도에 따른 발전량 예측치( $P_t^*$ )를 구하면 Eq. (1)과 같다.

$$P_t^* = P_t + \gamma(T_t - 25) \quad (1)$$

Where,  $P_t^*$ : estimated power output with temperature compensation,  $P_t$ : power output of PV modules  $\gamma$ : power coefficient of PV modules according to temperature,  $T_t$ : rear temperature of PV modules

Eq. (1)에서 산정한 예측치와 각 시점(t)에서 측정된 일사량을 이차선형 회귀분석법으로 나타내면 Eq. (2)와 같다.

$$P_t^* = \alpha X_t^2 + \beta X_t + e_t \quad (2)$$

Where,  $X_t$ : solar radiation,  $\alpha, \beta$ : linear coefficient,  $e_t$ : error

Eq. (2)에서 발전량 예측치의 정확도를 보정하기 위하여 최소자승법 개념을 이용해 오차가 최소가 되도록 양변을 제곱하여 나타내면 Eq. (3)과 같다.

$$S = \sum (P_t^* - \alpha X_t^2 - \beta X_t)^2 = \sum e_t^2 \quad (3)$$

상기 Eq. (3)에서 선형계수  $\alpha, \beta$ 를 구하기 위해,  $\alpha, \beta$ 에 대하여 각각 편미분하면 Eq. (4)와 Eq. (5)를 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha} = \sum (\alpha X_t^4 + \beta X_t^3 - P_t^* X_t^2) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \beta} = \sum (\alpha X_t^3 + \beta X_t^2 - P_t^* X_t) = 0 \quad (5)$$

따라서, Eq. (4)와 Eq. (5)를 이용하여 선형계수  $\alpha, \beta$ 를 구하면 Eq. (6)과 Eq. (7)과 같다.

$$\alpha = \frac{\sum P_t^* X_t^2 \sum X_t^2 + \sum (P_t^* X_t \sum X_t^3)}{(\sum X_t^3)^2 - \sum X_t^4 \sum X_t^2} \quad (6)$$

$$\beta = \frac{\sum X_t^4 (\sum P_t^* X_t^2 \sum X_t^2 + \sum P_t^* X_t \sum X_t^3) - \sum P_t^* X_t^2 \sum X_t^3}{\sum X_t^3 ((\sum X_t^3)^2 - \sum X_t^4 \sum X_t^2)} \quad (7)$$

#### 3.2 ESS 운용 알고리즘

본 논문에는 ESS의 운용방안을 경제성에 근거하여, 전기요금의 저렴한 경우하 요금 시간대에 ESS를 충전하고, 부하의 급격한 사용으로 피크 전력이 발생하는 시간대에 5분 단위로 방전을 수행한다[6]. 또한, 부하의 피크 전력 발생을 예측하기 위하여, 과거 5분간 사용된 전력량의 기울기를 사용한다. 따라서, 과거 5분간 전력량은 Eq. (8)과 같이 나타낼 수 있으며, 이 식에 의하여 전력량의 기울기를 구하면 Eq. (9)와 같다. Eq. (9)에서 구한 기울기에 시간대(T, 5분)를 고려하여 전력량 예측값은 Eq. (10)과 같이 산정된다.

$$load_{5min} = \int_0^T P(t)dt \quad (8)$$

$$\theta_{fore} = \tan^{-1} \left( \frac{load_{5min}}{T} \right) \quad (9)$$

$$slope_{peak} = \tan \theta_{fore} \cdot T \quad (10)$$

Where,  $load_{5min}$ : consumed energy in the past 5 minutes,  $\theta_{fore}$ : forecast standard slope,  $slope_{peak}$ : estimated energy at the time of T

한편, 피크 수요관리 동작은 Eq. (11)과 같이, 사용 전력( $P_W$ )이 피크 전력( $P_{peak}$ )보다 크거나, 사용전력량( $P_{now}$ )이 예측전력량( $slope_{peak}$ )보다 크면 냉/난방기 온도제어에 의하여 수행된다.

$$\delta(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } P_{peak} > P_W \text{ or } P_{now} > slope_{peak} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

Where,  $P_W$ : current power,  $P_{peak}$ : peak power,  $P_{now}$ : estimated energy of current

그러나 온도제어 범위가 설정온도를 초과하면 ESS를 운용하게 되는데, 적정한 ESS의 방전량은 Eq. (12)와 같이 나타낼 수 있다. 즉, 현재 사용량( $\theta_{now}$ )에서 예측 전력량( $\theta_{slope}$ )의 차를 구하여, 일정시간(T)을 곱하여 산정한다.

$$ESS_P(t) = \tan(\theta_{now} - \theta_{slope}) \cdot T \quad \text{if } \delta(t) = 1 \quad (12)$$

Where,  $\theta_{now}$ : slope of current energy,  $\theta_{slope}$ : slope of forecast energy

### 3.3 ESS를 이용한 피크 수요관리 알고리즘

상기의 태양광 발전량 예측 알고리즘과 ESS 운용 알고리즘을 바탕으로 ESS를 이용한 피크 수요관리 알고리즘을 나타내면 다음과 같다.

[Step 1] 피크 용량( $P_{peak}$ ), 5분 예측 용량( $slope_{peak}$ ), 예측 증가 기울기( $\theta_{slope}$ ), 온도 상한 제한( $temp_{hi}$ ), 온도 하한 제한( $temp_{low}$ ), 기준 온도( $temp_{stan}$ )을 상정한다.

[Step 2] 현재 사용전력을 5분 주기로 누적하여 현재 전력량( $P_{now}$ )과 현재 전력량 기울기( $\theta_{now}$ )를 산정한다.

[Step 3] 현재 사용전력( $P_W$ )이 피크 전력( $P_{peak}$ )보다 크거나, 사용전력량( $P_{now}$ )이 예측 전력량( $slope_{peak}$ )보다 크면 [Step 4]로 이동하고, 아니면 [Step 5]로 이동한다.

[Step 4] 온도제한보다 낮은 경우에는 냉/난방기의 적정값을 올리고, 높은 경우에는 냉/난방기의 적정값을 내리며, 피크 전력이 감소하지 않으면 ESS의 방전을 수행한다.

[Step 5] 시물레이션 대상 시간(24h)동안 [Step 2]에서 [Step 4]까지 반복한다.

상기의 알고리즘을 플로우차트로 나타내면 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

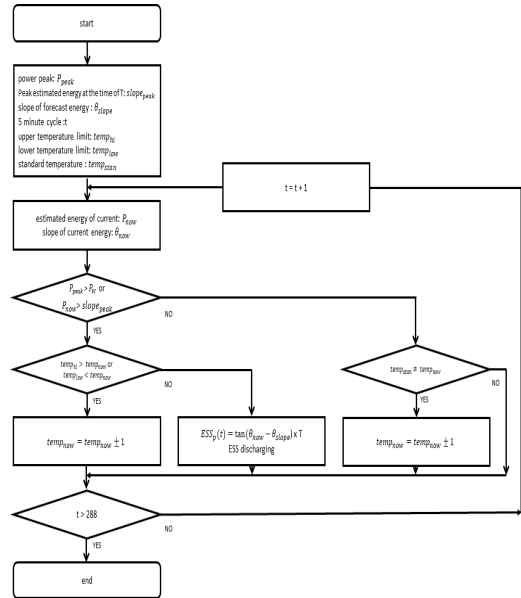


Fig. 2. Peak demand management algorithm using ESS

## 4. 소규모 제로에너지빌딩의 피크 수요관리용 EMS 구현

### 4.1 EMS용 통신장치 구현

소규모 제로에너지빌딩의 EMS용 통신장치는 Fig. 3과 같이 수배전설비, 태양광전원, ESS, 스마트 부하 등으로 구성된다. 여기서, 수배전설비는 원격제어 기능과 전력 계측을 위하여 디지털 다기능보호계전기 또는 디지털 계측기가 설치되며, 태양광전원의 경우 발전량을 감시하기 위하여 인버터에 통신포트가 내장되어 있다[7,8]. 여기서, 통신포트는 시리얼 포트(RS-232C, RS-422, RS-485)와 Ethernet을 사용하며, 통신변환장치(RS-232C to Ethernet, RS-422 to Ethernet, RS-485 to Ethernet)에 의하여, 사내 인트라넷에 연결하여 통신망 구축 및 시간을 절감시킬 수 있다. 또한, ESS에서는 PCS부에 감시/제어용 이더넷 포트를 사용하고, 스마트 부하는 IoT 센서를 인트라넷 방식으로 피크 수요관리용 EMS 서버와 연결시킨다.

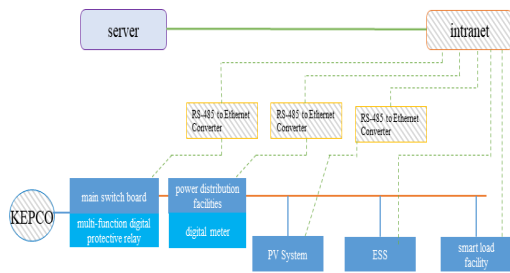


Fig. 3. Configuration of EMS communication device in small scaled zero-energy building

### 4.2 EMS용 데이터베이스 구성

EMS용 데이터베이스는 Fig. 4와 같이 텍스트 기반과 SQL 기반으로 구성된다. 여기서, Fig. 4(a)의 텍스트 기반은 데이터베이스 구축에 별도의 소프트웨어를 필요 없지만, 데이터가 텍스트 기반으로 저장되어 자료 검색 및 분류 기능에 제약이 있다. 그러나 Fig. 4(b)의 SQL 기반은 MS-SQL, My-SQL, Oracle등 전문 소프트웨어가 필수적이지만, 자료의 검색 및 분류, 자동(조건) 처리가 가능하다는 장점이 있다[9]. 따라서, 원시 데이터는 SCADA 기반의 텍스트 데이터를 분 단위의 평균값으로 저장되고, SQL 기반 데이터는 실시간 및 15분 단위로 테이블에 저장할 수 있도록 구성한다.

<p>(a) text based database</p>	<p>(b) SQL-based database</p>
--------------------------------	-------------------------------

Fig. 4. Configuration of EMS database for a small scaled zero-energy building

### 4.3 EMS용 User Interface 구성

User Interface는 Fig. 5와 같이 범용 SCADA S/W인 AutoBase를 사용하여 스마트 부하 데이터, ESS 데이터, PV 데이터를 감시 및 제어하며, ESS의 충/방전 용량도 설정할 수 있도록 구성한다. 여기서, 사용전력에 따라 ESS의 충/방전 조건을 설정할 수 있도록 구성한다.

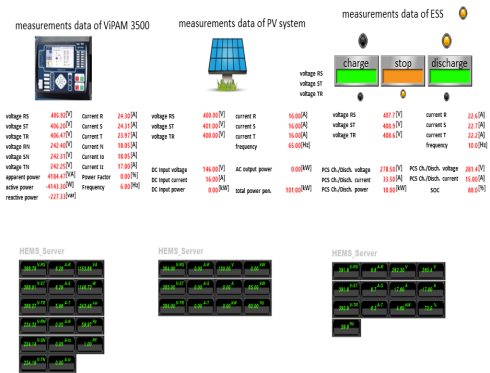


Fig. 5. Configuration of EMS user interface in small scaled zero-energy building

### 4.4 EMS의 전체 시스템 구현

상기에서 제시한 EMS 구성 장치를 바탕으로 소규모 제로에너지빌딩의 피크 수요관리용 EMS의 전체 시스템을 나타내면 Fig. 6과 같다. 여기서, 수배전설비의 통신장치는 이더넷 컨버터를 통해 인트라넷에 연결하며, 범용 SCADA 프로그램을 사용하여 통신을 수행한다. 또한, SQL 기반으로 저장된 데이터의 경우, 사용자가 웹브라우저에서 모니터링을 할 수 있도록 구성한다.

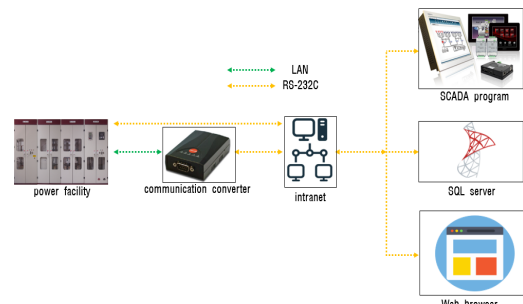


Fig. 6. Implementation of entire system in small scaled zero-energy building

## 5. 시뮬레이션 결과 및 분석

### 5.1 시뮬레이션 조건

본 연구에서 제시한 ESS를 이용한 피크 수요관리용 알고리즘의 유용성을 검증하기 위하여, 52 kW급 소규모 제로에너지빌딩에 대하여 24시간 부하 데이터를 사용한다. 또한, Table 1과 같이 태양광전원의 발전용량은 10 kW, ESS의 용량은 40kWh으로 구성된다. 여기서, ESS

의 종합(충전 및 방전) 효율은 92%, 최대 충전용량은 SOC 90%로 상정한다. 한편, 태양광 발전량 예측에 대한 시뮬레이션 조건은 Table 2와 같이, 2021년 10월 5일에 측정된 일사량과 발전량을 사용한다. 그리고, 피크 수요관리의 조건은 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정에 따라 Table 3과 같이 최대 온도는 28℃, 최저 온도는 18℃, 기준 온도는 24℃로 상정한다[10,11].

Table 1. Characteristics of PV system and ESS

items	components	contents
PV	power generation capacity	10kW
ESS	storage capacity	40kWh
	efficiency of charging/discharging	92%
	maximum charging capacity	90%

Table 2. Measurement data of solar radiation and power generation rate

time [hh:mm]	insolation [ $W/m^2$ ]	mearsued Power [W]	Time [hh:mm]	insolation [ $W/m^2$ ]	mearsued Power [W]
10:20	476	1,995	11:00	565	2,439
10:25	460	2,070	11:05	637	2,681
10:30	484	2,074	11:10	677	2,959
10:35	484	2,182	11:15	694	2,994
10:40	480	2,229	11:20	694	3,002
10:45	528	2,263	11:25	698	3,037
10:50	520	2,271	11:30	681	3,093
10:55	548	2,297	11:35	730	3,190

Table 3. temperature reference for peak demand management

classification	summer	winter	reference
maximum temperature	28℃	-	statute
reference temperature	24℃	24℃	-
minimum temperature	-	18℃	statute

### 5.2 태양광 발전량 예측 알고리즘 특성

상기의 시뮬레이션 조건을 바탕으로 제한한 태양광 발전량 예측 알고리즘 및 AMPP, FFv, Osterwald's 방법을 사용하여 5분 단위의 태양광 발전량 예측값과 실제 측정값을 나타내면 Fig. 7과 같다. 이 그림에서와 같이, 기존의 방법은 측정값과 예측값의 오차가 크게 나타나지만, 본 논문에서 제한한 태양광 예측 알고리즘을 사용하면 측정값과 예측값이 거의 동일하여 기존의 방법보다 더 유효함을 알 수 있다.

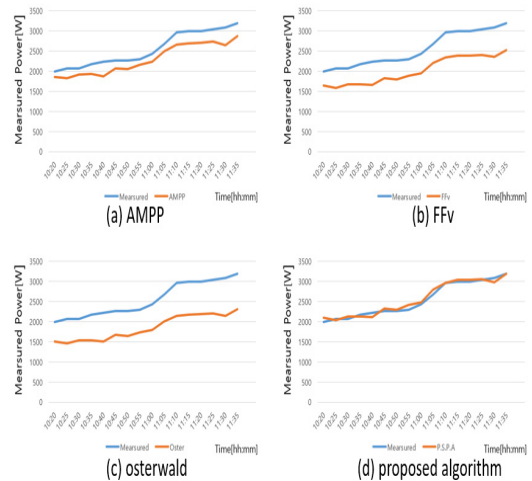


Fig. 7. Characteristics of each estimation algorithm

### 5.3 기존 EMS의 운용특성 분석

Fig. 8은 기존 방식의 운용특성을 나타낸 것으로, Fig. 8(a)는 전등제어를 수행한 것이고, Fig. 8(b)는 태양광 발전량이 0%인 경우 피크 저감에 필요한 ESS의 용량, Fig. 8(c)는 태양광 발전량이 100%인 경우 피크 저감에 필요한 ESS의 용량을 나타낸 것이다. 여기서, 피크 관리 목표치를 40 kW로 설정하고 피크제어를 수행하는 경우, Fig. 8(a)와 같이 A구간의 피크 저감에 필요한 용량은 9.1 kWh이고, B구간은 56.8 kWh임을 알 수 있다. 또한, 태양광 발전량이 0%이면 Fig. 8(b)와 같이 C구간에서 피크 저감에 필요한 ESS의 용량은 10 kWh이고, D구간은 56.8 kWh이므로 총 70.5 kWh의 용량이 산정된다. 한편, Fig. 8(c)와 같이 태양광 발전이 100%인 경우, E구간의 피크부하 저감에 필요한 ESS의 용량은 12.5kWh임을 알 수 있다.

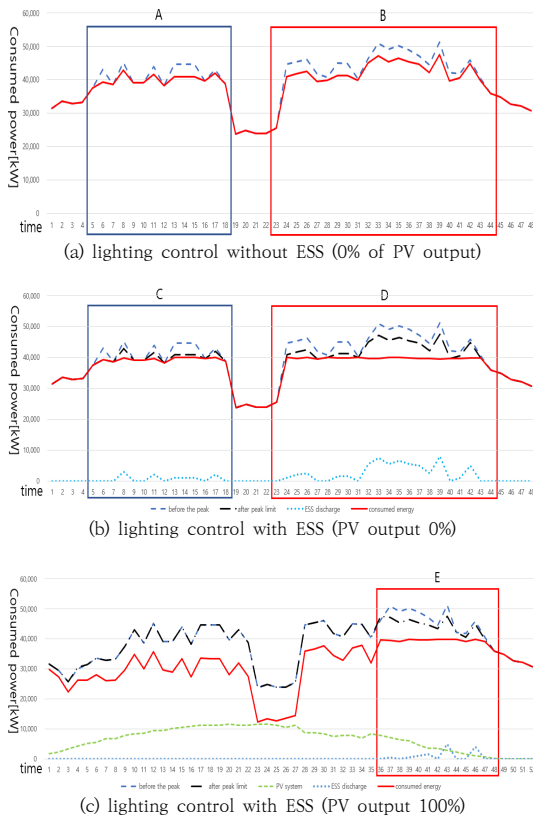


Fig. 8. Operating characteristics of existing method

### 5.4 ESS 운용 알고리즘에 의한 EMS 운용특성

Fig. 9는 제안한 방식의 운용특성을 나타낸 것으로, Fig. 9(a)는 냉/난방제어를 수행한 것이고, Fig. 9(b)는 태양광 발전량이 0%인 경우 피크 저감에 필요한 ESS의 용량, Fig. 9(c)는 태양광 발전량이 100%인 경우 피크 저감에 필요한 ESS의 용량을 나타낸 것이다. 여기서, 피크 관리 목표치를 40 kW로 설정하고 피크제어를 수행하는 경우, Fig. 9(a)와 같이 A구간의 피크 저감에 필요한 용량은 0 kWh이고, B구간의 피크 저감에 필요한 용량은 30 kWh임을 알 수 있다. 또한, 태양광 발전량이 0%이면 Fig. 9(b)와 같이 D구간에서 피크부하 저감에 필요한 ESS의 용량은 33 kWh가 필요함을 알 수 있다. 한편, Fig. 9(c)와 같이 태양광 발전이 100%일 경우, E구간의 피크부하 저감에 필요한 ESS의 용량은 6kWh가 산정됨을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안한 알고리즘에 의하여 각 구간(A~E section)별 피크 수요관리용 ESS의 방전용량은 Table 4와 같이 나타낼 수 있다.

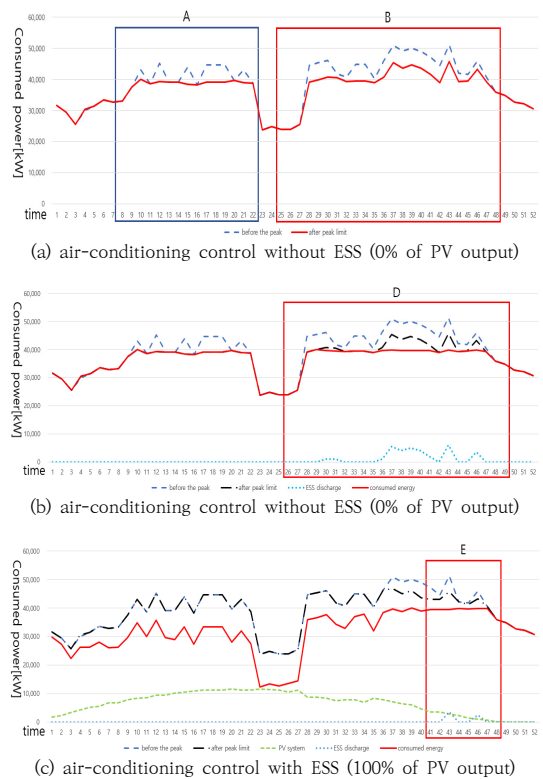


Fig. 9. Operating characteristics of proposed method

Table 4. Discharge capacity of ESS for demand management

sections	existing method	proposed method	reduced capacity
A	9.1[kWh]	0[kWh]	9.1[kWh]
B	56.8[kWh]	30[kWh]	26.8[kWh]
C	10[kWh]	0[kWh]	10[kWh]
D	60.5[kWh]	33[kWh]	27.5[kWh]
E	12.5[kWh]	6[kWh]	6[kWh]

그러나, 장시간의 냉난방 제어는 건물 내 쾌적한 환경 조건이 어려우므로 냉난방 제어를 10분 이하로 수행하면 Fig. 10(a)와 같이 A구간에서 피크 저감에 필요한 용량은 4.6 kWh 이고, B구간은 44.9 kWh임을 알 수 있다. 따라서, 제안한 운용 알고리즘에 쾌적한 환경조건을 고려해도, Table 5와 같이 ESS의 방전용량을 효과적으로 저감할 수 있음을 알 수 있다.



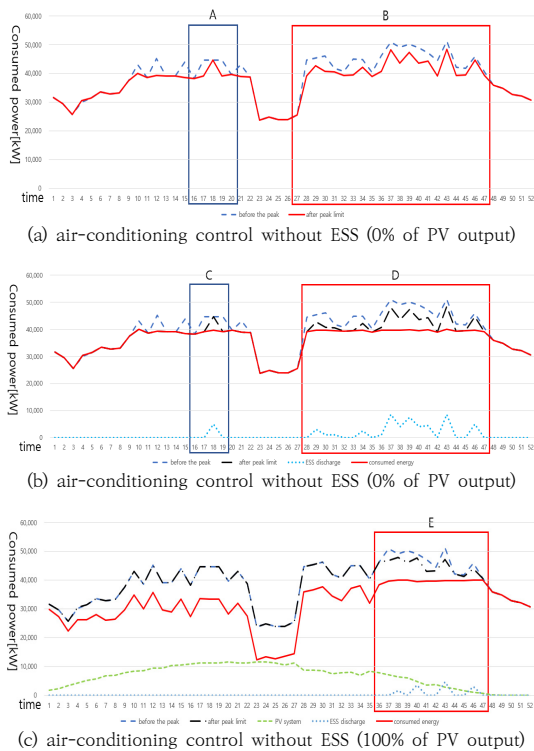


Fig. 10. Operating characteristics of proposed method by considering environmental conditions

Table 5. Discharge capacity of ESS by considering environmental conditions

sections	existing method	proposed method	reduced capacity
A	9.1[kWh]	4.6[kWh]	4.5[kWh]
B	56.8[kWh]	44.9[kWh]	11.9[kWh]
C	10[kWh]	5[kWh]	5[kWh]
D	60.5[kWh]	50.5[kWh]	10[kWh]
E	12.5[kWh]	12.5[kWh]	0[kWh]

## 6. 결론

본 논문에서는 기존 건물에서 BEMS로 전환하는 경우, 상당한 비용과 오랜 시간이 소요되는 문제를 해결하기 위하여, 태양광 발전량 예측 알고리즘과 ESS의 운용 알고리즘을 이용한 제로에너지빌딩의 피크 수요관리용 EMS 운용 알고리즘을 제안하고, 이를 바탕으로 EMS 하드웨어 장치를 구현하였다. 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 상용화 EMS Tools의 경우 타사 장비와 통신의 호환성이 원활하지 않아, 자사의 전용 통신 프로토콜을 적용한 제품을 사용하거나, 서비스 사용에 제약이 있어 본 논문에서는 기존의 전력설비에서 지원하는 Modbus TCP 프로토콜과 통신변환장치를 인터넷에 연결하여 범용 SCADA 환경에서 EMS를 구축할 수 있음을 알 수 있다.
- (2) 기존의 EMS 운용방식에서 피크제어를 수행하는 경우, ESS의 방전용량이 65.9 kWh임을 알 수 있고, 태양광 발전량이 0%이면 피크 저감에 필요한 ESS의 방전용량이 총 70.5 kWh로 산정되며, 태양광 발전이 100%인 경우 ESS의 방전용량은 12.5 kWh임을 알 수 있다.
- (3) 제안한 운용방식에서 피크제어를 수행하면, ESS의 방전용량이 30 kWh임을 알 수 있으며, 태양광 발전량이 0%이면 피크 저감에 필요한 ESS의 방전용량은 총 33 kWh로 산정되며, 태양광 발전이 100%인 경우 ESS의 방전용량은 6 kWh임을 알 수 있다. 따라서, 제안한 EMS 운용방식이 기존의 운용방식에 비하여 ESS의 방전용량을 효과적으로 저감 할 수 있음을 알 수 있다.
- (4) 제안한 운용방식에 쾌적한 환경조건을 고려하여 피크제어를 수행하면, ESS의 방전용량은 49.5 kWh이고, 태양광 발전량이 0%이면 피크 저감에 필요한 ESS의 방전용량은 총 55.5 kWh로 산정되며, 태양광 발전이 100%인 경우 ESS의 방전용량은 12.5 kWh임을 알 수 있다. 즉, 쾌적한 환경 조건에서도 제안한 운용 알고리즘이 기존의 운용 방식에 비하여 ESS의 방전용량을 효과적으로 저감 시킬 수 있음을 알 수 있다.

## References

- [1] "Amendments to the Basic Roadmap to Achieve the National GHG Reduction Goals in 2030", Environment ministries of Korea, 2018.7 [https://www.gihoo.or.kr/portal/kr/images/download/2030gas\\_loadmap.pdf](https://www.gihoo.or.kr/portal/kr/images/download/2030gas_loadmap.pdf)
- [2] "Installation Guidelines of Building Energy Management System", Korea Energy Agency, KEA-2017-Building-01, 2017.3 [http://www.kemco.or.kr/web/kem\\_home\\_new/info/ata/open/kem\\_view.asp?q=20633](http://www.kemco.or.kr/web/kem_home_new/info/ata/open/kem_view.asp?q=20633)
- [3] K.S Park, Y.J Sim, K.H kim, "The Study for Algorithm



of Town Type Energy Management System Based on K-BEMS”, Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers, pp.68-69, 2017.7

<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07232010>

[4] J.J kim, H.J kim, G.S Park, B.K Kwon, “EMS Construction Method for Small Industrial Estate”, Proceedings of the Institute of Electronics and Information Engineers of Conference, pp.1393-1396, 2016.6

<http://www.riss.kr/link?id=A101996375>

[5] S.S. Choi, J.B Park, B.K Kim, T.Y. Kim, D.S Rho, “Development of State Diagnosis Algorithm for Performance Improvement of PV System”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, pp.1036-1043, 2014.2  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.2.1036>

[6] H.D Lee, S.S Choi, Y.H, Nam, B.K kim, D.S Rho, “A Study on the Operation Method of Independent Microgrid for Carbon Free Island”, Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 509-510, 2017.7

<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07232228>

[7] H.D Lee, S.S Choi, M. Ferreira, J.H Park, D.S Rho, “A Study on Transient Operation Characteristics of 30kW Scale CVCF Inverter based Micro-grid”, Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 18-25, 2019.10

DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.10.18>

[8] J.H Park, B.M Kim, H.D Lee, Y.H Num, D.S Rho, “A Study on Control Algorithms of Efficiency Improvement Device for PV System Operation using Li-ion Battery”, Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 18-25, 2018.10

DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.10.590>

[9] B.K Kim, K.S Ryu, D.J Kim, M.S Jang, H.S Ko, D.S Rho, “Optimal Operation Method and Capacity of Energy Storage System(ESS) in Primary Feeders with Step Voltage Regulator(SVR)”, Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 18-25, 2018.06

DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.6.9>

[10] Administrative Rules, “Regulations on Promotion of Rationalization of Energy Use by Public Institutions”, Ministry of Trade, Industry and Energy No. 2020-197, 2020.

[http://www.motie.go.kr/motie/ms/nt/gosi/bbs/bbsView.do?bbs\\_cd\\_n=5&bbs\\_seq\\_n=63675](http://www.motie.go.kr/motie/ms/nt/gosi/bbs/bbsView.do?bbs_cd_n=5&bbs_seq_n=63675)

[11] J.S Yoon, Y.J Choi, S.H Lee, “An Experimental Study on Establishing the Comfort zone of thermal environment in summer”, Journal of the Architectural Institute of Korea vol. 8, no, 4, pp.73-79, 1992.

<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE00359033>

**박 동 명(Dong-Myoung Park)**

[정회원]



- 2017년 8월 : 고려사이버대학교 소프트웨어공학과 (공학사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 전기공학과 석사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, EMS, 마이크로그리드

**최 성 문(Sung Moon Choi)**

[정회원]



- 2022년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2022년 3월~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, ESS, 마이크로그리드, 신재생에너지

**신 건 (Jian Shen)**

[정회원]



- 2011년 2월 : 한국기술교육대학교 기계공학과 (공학사)
- 2017년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2021년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, MVDC, 신재생 에너지, 마이크로그리드, ESS

---

한 병 길(Byeong-Gil Han)

[정회원]



- 2016년 2월 : 한밭대학교 전자제어공학과 (공학사)
- 2018년 8월 : 서울과학기술대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2018년 8월 ~ 2020년 4월 : 한국화학융합시험연구원 연구원
- 2020년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

전력변환기, ESS, 신재생에너지, 마이크로그리드

---

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[중신회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국 전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석