

신재생에너지 연계형 에너지관리장치의 운영 사례 연구

(A Case Study on Operation of Energy Management System Connected with Renewable Energy)

조재영*, 나인호**

(Jai Young Cho, In-Ho Ra)

요약

본 논문에서는 신재생에너지 발전과 연계한 에너지저장시스템(ESS)의 최적 운영을 위한 에너지관리시스템(EMS)의 구성요소 설계 시 고려할 기능, 운영 효과 분석과 전력요금 절감 방안을 제안한다. 이를 위해 태양광 발전 시스템에 리튬이온전지 기반의 배터리 시스템과 에너지관리시스템 연계 및 구축방안을 제시하고, 1년 동안 운영 데이터에 대한 분석한 결과를 기술한다. 또한 시스템 운영 효과를 높이기 위한 방안으로 EMS를 이용하여 최대수요 발생시간대의 피크전력을 경부하 시간대 충전전력으로 대체하여 ESS 전용 요금제에 따른 요금편익과 부하 평준화에 기여하는 효과를 제안한다.

■ 중심어 : 에너지관리장치 ; 피크전력저감 ; 에너지저장장치 ; 태양광 연계형

Abstract

This paper proposes the components of the energy management system (EMS) for optimum operation of renewable energy and associated energy storage system (ESS), the functions to be considered in designing, the analysis of operational effects, and finally the reduction of electricity costs. To accomplish the objectives, a lithium-ion battery system and an energy management system have installed in a PV system, and it presents the results analyzed with operation data for a year. To increase the system operation efficiency, we propose the effect that EMS is used to replace the demand power at the peak time with the charge power at the light load time, which suggests the influence of contributing to the charge benefit and load leveling according to the ESS tariff.

■ keywords : Energy management system ; Energy storage System ; Load leveling

I. 서론

최근 급증하는 태양광발전 시스템의 간헐적인 출력변동 및 전력 품질 저하 문제를 보완하기 위한 방안으로 에너지저장장치 연계 운영에 대한 다양한 연구 및 실증이 이루어지고 있다.

본 논문에서는 태양광발전장치 및 이에 연계된 에너지저장시스템(Energy Storage System)의 최적 운영을 위한 EMS(Energy Management System)에 대하여 고찰한다. 이를 위해 연계 시스템 구축 시 고려해야 하는 EMS의 필수 기능을 분석하고 운영 결과에 대한 분석을 통하여 경제성 및 운영 효과에 대해 연구한다. 그 결과로 충방전 편익, 최대수요 전력 관리를 통한 전력요금 절감 방안을 제안한다. 이를 위해 본 논문에서는 0.6MWh급 ESS의 1년간의 실 운영 데이터를 바탕으로 경제성 분석을 실시하였고 최대 절감방안을 고찰한다.

II. 본론

1. PV-ESS-EMS 연계 사례 분석

가. 태양광 연계형 ESS-EMS 설계

본 논문에서 사례 분석한 EMS의 운영 주체는 지방자치단체로써 태양광 발전 설비에 대해 다음과 같은 사양의 ESS 연계를 통하여 전력요금 절감과 피크전력 저감을 목표로 2017년 1월부터 운영 중이다.

주요 구성품으로 에너지관리장치, 전력변환장치, 리튬이온배터리시스템, 최대수요전력관리장치, 역전력 계전기를 사용하고 있으며, 20피트 컨테이너를 2구역으로 분할하여 1구역에는 배터리시스템을 2구역에는 전력변환장치가 내부에 설치되어 있

* 학생회원, 군산대학교 전자정보공학부, 원광전력

** 정회원, 군산대학교 컴퓨터정보통신공학부

이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2018-0-00508, 마이크로그리드 보안 및 운영 효율성을 위한 블록체인 기반 임베디드 기기 및 플랫폼 개발)

접수일자 : 2018년 06월 29일

수정일자 : 2018년 06월 30일

게재확정일 : 2018년 06월 30일

교신저자 : 나인호, e-mail : ihra@kunsan.ac.kr

표 1. ESS 구성품 제원

구성 부품	사 양	통신프로토콜
전력변환장치 (PCS)	250kw	Modbus
리튬이온전지 (Battery)	560kwh급	Modbus
에너지관리장치 (EMS)	서버	Modbus
최대수요전력관리장치	KCD-4	RS485
역전력 계전기	GPAM-2200	RS485

다. 구성품의 주요 제원은 다음과 같다.

리튬이온전지 에너지저장장치 용량은 한 개의 랙당 70kWh이며, 총 8개 랙을 직병렬 연결하여 560kWh ESS를 구축하고 있다. BESS 구성에는 94Ah 급 리튬이온 단전지가 이용되고 있으며 각 모듈, 랙,뱅크, 시스템의 구성은 아래와 같다.

표 2. 배터리 시스템 제원

명칭	전압	용량	System 구성
단전지	3.68V	94AH	-
모듈	74.4V	94AH	20cell, 직렬
랙	744V	94AH	10module, 직렬
뱅크	744V	188AH	2rack, 병렬
시스템	744V	752AH	4뱅크, 병렬

태양광 발전전력을 배터리에 충전하고 배터리 전력을 부하에 공급하기 위한 전력변환장치의 운영을 위하여 에너지관리장치(EMS)를 구축하였으며, 운영 데이터는 운영 현장의 EMS 서버와 클라우드 환경에 이중화되어 저장되도록 설계되어 있다.

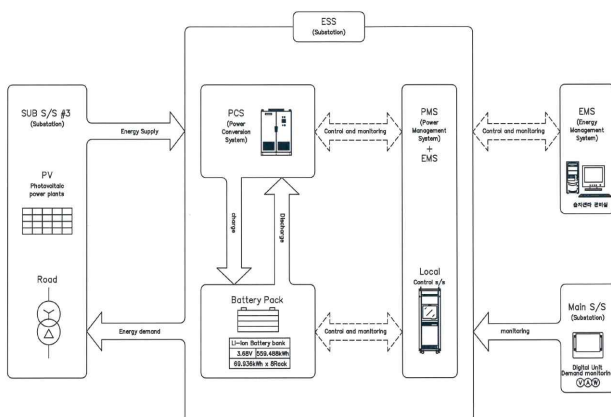


그림 1. 에너지 저장장치 Block diagram

ESS는 냉온방열비와 자동소화설비가 구비된 ESS 전용 20ft컨테이너에 탑재되었으며 소화설비로는 고체애어로졸 소화기를 적용하고 있다.

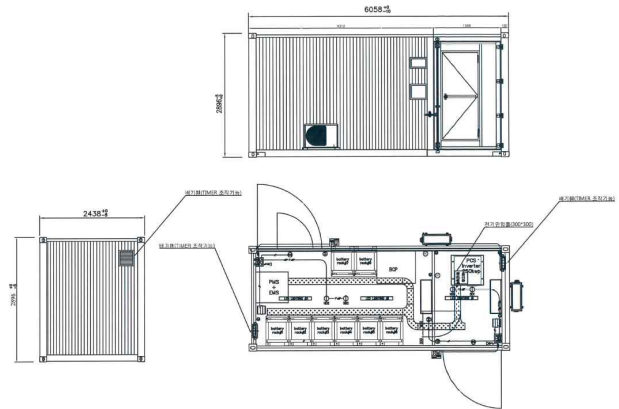


그림 2. 에너지 저장장치 레이아웃

나. 에너지 관리 장치(EMS) 설계

EMS(Energy Management System)는 BMS, PCS(Power Control System)와 통신으로 연결되어야 하며, BMS 및 PCS의 운전/제어 및 원격감시 기능을 수행할 수 있어야 한다. 또한 서버에 데이터를 저장하고 PCS 및 BMS를 제어할 수 있어야 한다. 그 외에도 EMS와 PMS를 연동하여 피크제어 기능을 제공하여야 하고, 최대전력과 태양광발전 현황을 모니터링하여 PCS를 제어하여야 한다.

EMS 는 PCS로부터 다음과 같은 정보를 수집한다.

- PCS 운용정보 : DC Link 전압, PCS 입출력 전압/전류
- PCS 상태정보 : PCS 동작상태(정상/이상, 운전/정지 등)
- PCS 운전정보 : 충방전 상태, 충방전 출력, 계통측 상향 전압/전류/주파수
- 운용 값 표시 : 운용 값, 계측 값, 운전 이력, 운전 설정 값 및 시간 표시
- Mimic 표시 : 차단기 등의 기기 동작 상태 및 전원 입출력 상태 표시 기능
- 데이터 입력 기능 : 운용 값을 설정하는 기능 보유
- 경보 표시 : 경보 확인 및 복귀 기능, 경보 내역 저장 기능

EMS는 배터리시스템의 BMS로부터 다음과 같은 정보를 수집한다.

- 배터리 Rack/모듈별 전압
- SOC(State of Charge) 정보
- 충방전 상태, 내부온도

PMS는 제어지령과 설정정보를 확인하여 개별 PCS를 설정하거나, 제어할 수 있어야 하고, 제어지령과 설정정보는 다음의 항목을 포함한다.

- 설정정보 : 운전모드 설정, 제어모드 설정
- 제어지령 : 운전모드 전환, 배터리 충·방전 수동제어, 정전류 제어, 정전력 제어, 정전압 제어

다. 에너지 관리 장치(EMS) 기능 분석

(1) 모니터링

EMS의 가장 중요한 기능은 구성설비의 모니터링 기능이며 전체시스템의 통합현황과 PCS, 배터리 등의 개별 설비 상태를 체크하는 기능을 한다. 아래 표는 세부 기능설명이다.

표 3. 모니터링 기능설명

소분류	기능설명
운전 모드	현재 운영중인 모드(수동,자동)를 확인할 수 있다.
이벤트 알림	내부 알람이 발생하면 경고등을 주기적으로 표시한다. 알람이 수동 및 자동으로 복구되면 복구가 완료되었음을 사용자가 화면으로 확인할 수 있다.
운영 현황	수용가와 시스템 구성도, 태양광발전량의 간략한 운영 상황을 실시간으로 확인할 수 있다.
현재 요금	가입한 요금제의 현재 적용부하, 요금단가 등 실시간 정보를 확인할 수 있다.
절감량 및 요금	일자를 선택하여 당일, 당월, 설치 후 충·방전량/ 절감요금을 확인할 수 있다.
충·방전량	목표전력, 사용량, 충·방전량을 차트 형태로 확인할 수 있다.
통합 현황	PCS의 운전상태, 유효전력, 전압, 전류, 역률 등 Battery의 SOC, SOH, 전압, 전류 등과 수용가의 계량 정보, 태양광 발전량 등 현황을 확인할 수 있다.
Battery 세부 현황	Battery의 Rack 단위의 세부 정보를 화면에서 확인할 수 있다.
보호 Limit	PCS, BMS를 보호하기 위한 전압, 주파수, SOC 등 Limit 정보를 확인할 수 있다.
장애 정보	PCS, BMS의 Warning, Fault 정보 전체와 현재 활성화된 Warning, Fault 정보를 확인할 수 있다.

(2) 제어기능

구성설비의 운전과 보호기능을 제어 기능으로 구분하여 아래 표와 같이 세부 기능설명을 부여하였다. 제어기능에는 자동운전, 수동운전, 스케줄운전, 특수목적 운전기능을 설계하였다.

표 4. 제어 기능 설명

소분류	기능설명
운전	PCS 또는 Battery Fault가 발생한 경우, 충·방전 명령을 실행하지 않는다.
PCS 보호	시스템이 수동, 자동으로 충·방전이 진행 중일 때 PCS의 주파수, 전류 등 범위 오버가 발생하면 자동으로 충·방전을 종료한다.
Battery 보호	시스템이 수동, 자동으로 충·방전이 진행 중일 때 Battery의 충전 상한 SOC, 전압 범위 오버가 발생하면 자동으로 충·방전을 종료한다.
지령 한계	시스템이 수동, 자동으로 충·방전 명령을 실행할 때, 설정된 command Limit 범위를 벗어나면, 해당 명령을 실행하지 않는다.
출력값 제약	설치된 전체 PCS 출력값 이상으로 설정하여 충·방전 명령을 실행하면 해당 명령을 수행하지 않는다.
장애 초기화	PCS가 Fault 상태 인 경우, 주기적으로 PCS 초기화를 실행한다.
통합 현황	PCS의 운전상태, 유효전력, 전압, 전류, 역률 등 Battery의 SOC, SOH, 전압, 전류 등과 수용가의 계량 정보, 태양광 발전량 등 현황을 확인할 수 있다.
Battery 세부 현황	Battery의 Rack 단위의 세부 정보를 화면에서 확인할 수 있다.
긴급 정지	권한이 있는 사용자가 긴급정지를 실행하면 현재 운영 모드를 수동으로 전환하고 긴급정지 명령을 수행한다.
운전 모드 변경	권한이 있는 사용자가 운전 모드 변경을 실행하면 제어압호를 확인 및 확인 여부를 물어보고 운전모드를 변경하여 운전한다.
자동 운전 제약	시스템이 자동으로 동작 중일 때 수동으로 충·방전 제어를 진행하면 제어할 수 없음을 알리고 해당 명령을 실행하지 않는다.
관리	권한이 있는 사용자가 요일별, 충·방전, 출력값 등을 설정하여 운영 스케줄을 등록하고 삭제할 수 있다.
운전	스케줄 모드가 동작 중일 때, 해당 모드를 정지하면 PCS는 충·방전 명령을 취소하고 대기상태로 전환한다.
휴일 관리	사용자가 전력 사용 계획 등의 사유로 ESS 운영 중지를 설정하고자 할 경우, 날짜를 선택하여 해당일을 휴일로 지정 및 해제할 수 있다.
휴일 운전	시스템이 자동으로 동작 중일 때 휴일로 설정된 기간은 충·방전을 실행하지 않는다.
운전 모드 변경	스케줄 모드가 동작 중일 때, 해당 모드를 정지하면 PCS는 충·방전 명령을 취소하고 대기상태로 전환한다.
알고리즘 운전	해당 모드로 운전이 진행 중일 때, 사용자가 설정한 목표 전력을 초과하지 않도록 등록된 알고리즘을 기반으로 자동으로 운전한다.

(3) 조회기능

EMS의 이벤트 항목, 운영효과 등의 데이터를 제공하는 기능을 조회기능으로 부여하였으며 세부 기능은 아래 표와 같다.

표 5. 조회기능 설명

소분류	기능설명
이벤트	조회 기간을 설정하여 조회하면 PCS, BMS 이벤트 항목을 조회할 수 있고 파일로 출력할 수 있다.
운영	조회 기간을 설정하여 조회하면 충·방전량, 시간, SOC, 절감비용 등의 데이터가 제공되고 파일로 출력할 수 있다.

(4) 통계기능

EMS의 운영 성과분석을 위하여 PCS의 충방전량, 운영 전후 최대 피크전력치의 비교, 총 소비전력을 기간별로 제공이 가능한 통계기능을 부여하였다. 아래 표는 세부 기능설명이다.

표 6. 통계 기능 설명

소분류	기능설명
충·방전량	조회 기간을 설정하여 조회하면 PCS 충·방전량을 차트로 표현하고 해당 내용을 파일로 출력할 수 있다.
최대 피크	조회 기간을 설정하여 조회하면 시스템 운영전 최대 피크와 운영 후 최대피크를 표시하고 해당 내용을 파일로 출력할 수 있다.
소비 전력	조회 기간을 설정하여 조회하면 수용가의 소비전력량을 차트로 표현하고 해당 내용을 파일로 출력할 수 있다.

(5) 설정기능

관리자 모드에서는 피크컷 운전시 목표전력, 계약전력에 따른 요금제 단가 변경 등 주요 기준 값이 변경 가능하도록 하였다.

표 7. 설정 기능 설명

소분류	기능설명
목표 전력	사용자가 Peak-Cut 운전을 위한 목표전력을 변경할 때 제어 암호를 물어보고 목표전력을 변경한다.
계약 전력	사용자가 가입한 요금제의 계약전력이 변경되었을 경우 제어 암호를 물어보고 계약전력을 변경한다.
요금제	사용자가 가입한 요금제의 요금 정보가 변경되었을 경우 제어 암호를 물어보고 해당 내용을 변경한다.
전기 요금	사용자가 가입한 요금제의 정부하, 중간부하, 최대부하의 요금정보가 변경되었을 경우, 제어 암호를 물어보고 해당 내용을 변경한다.

라. 에너지 관리 장치(EMS) 하드웨어 구성표

EMS 서버는 20피트 컨테이너 내부에 하프랙 형태로 설치하였으며 기계적, 열적 안전정과 점검 및 유지보수가 용이하도록 구성하였다.

표 8. 하드웨어 구성표

순 번	품 명 (모델명)	기 능
1	EMS Server (C5102)	산업용 PC
2	PMS Server (CX5010)	Embedded PC
3	네트워크 스위치 (SRW2016)	네트워크 허브
4	KVM 스위치 (CS-1764)	KVM
5	사용자 모니터 (29UM57)	서버 모니터
6	Server Rack (19" standard)	서버용 하프랙
7	UPS (SMC-2000I)	서버용 UPS
8	모니터링 PC	사용자 PC

2. ESS 도입 경제성 분석

2016년 9월 한국에너지공단에서 공표한 REC 가중치 부여 제도는 태양광 에너지 설비와 ESS 설비의 연계 시 '18년 상반기까지 한 해 REC 가중치를 5.0으로 적용하고 있으나 이는 발전전력을 판매하는 발전사업자에 한하는 제도이고 태양광 발전전력을 자가 소비하는 수용가의 경우는 ESS 연계를 하더라도 자가 전력요금을 절감하는 방식으로 운영되고 있다.

ESS 연계를 통해 REC 가중치를 받기 위해서는 10시부터 16시 사이에 충전 그 이후 시간에 방전이 이루어져야 하지만 ESS 전용요금제 및 피크전력 절감을 위한 운영은 주로 정부하 시간대에 충전하고 최대부하 시간대에 방전하여 충방전에 따른 전력요금 편익을 극대화하는 방식으로 운영된다.

가. ESS 전용요금제

ESS 도입의 가장 기본적인 효과인 전력요금 절감효과는 기본요금 절감금액, 전력량 절감금액, 전력기금 절감, 역율 요금 절감을 고려할 수 있다. 전력기금과 역율 요금은 소액으로 무시하고 기본요금과 전력량 요금 효과를 산출하였다. 전력요금을 청구하는 한국전력공사 전기공급 약관시행세칙에 따라 종래보다 추가적인 할인이 발생하며 그 기준은 아래와 같다.

(1) 기본요금 할인

에너지저장장치(ESS)의 평균 최대수요전력 감축량에 대하여 대표고객의 기본 요금 단가를 곱한 금액을 감액한다. 이 때 평균 최대수요전력 감축량은 다음과 같이 산정한다.

$$\text{평균 최대수요전력 감축량(kW)} = \frac{\text{해당월 평일 최대부하시간 대 방전량 합계}}{\text{해당월 평일일수} \times 3\text{시간}} \times \text{해당월 평일 최대부하시간 대 충전량 합계}$$

- 또한, 평균 최대수요전력 감축량은 에너지저장장치(ESS)의 배터리 용량 이내로 한다.
- 상기의 기본요금 할인금액은 대표고객의 해당월 기본요금을 한도로 하여 대표고객의 기본요금에서 감액하여 청구한다.

(2) 전력량요금 할인

경부하시간대 에너지저장장치(ESS)의 충전을 위하여 사용한 전력량에 대하여 전력량 요금의 50%를 할인한다.

(3) ESS 배터리용량 비율에 따른 할인금액 차등 적용

상기 “(1) 기본요금 할인 및 (2) 전력량요금 할인”에 따라 산정된 할인금액을 계약전력 대비 ESS 배터리 용량비율에 따라 다음과 같이 각각 조정한다.

표 9. ESS 용량에 따른 차등 적용 비율

계약전력 대비 ESS 배터리용량 비율	차등 적용
10% 이상	할인금액의 1.2배
5% ~ 10% 미만	할인금액의 1.0배
5% 미만	할인금액의 0.8배

(4) 적용기간

기본요금 할인은 2016년 4월 1일부터 2026년 3월 31일까지 적용한다. 다만, 2017년 1월 1일부터 2020년 12월 31일까지 평균 최대수요전력 감축량은 상기 “기본요금 및 전력량요금 할인”의 평균 최대수요전력 감축량의 3배로 하며 배터리 용량을 한도로 적용한다. 그리고 전력량요금 할인은 2017년 1월 1일부터 2020년 12월 31일까지 적용하고 ESS 배터리용량 비율에 따른 할인금액 차등 적용은 2017년 1월 1일부터 2020년 12월 31일까지 적용한다.

나. 전력요금 절감 효과 산출

ESS 전용요금제 할인 효과(한시적)는 다음과 같다.

- 해당월 평일 최대부하시간대 방전량 합계
(일일 방전량 420kW * 평일22일) = 9.24Mw
- 평균최대수요전력감축량
9.24MW / 66 (해당 월 평일일수(22일) * 3시간)
= 140KW
- 기본 요금 할인액(년)
140kW * 기본요금단가 * 12개월 * 3배
= 36,388,800원
- 사용량할인요금(년)
ESS충전을 위한 사용전력(113MW) * 충전 단가
(61.6원) * 0.5 = 3,480,000원

이에 따라 연간 ESS 전용요금제를 이용한 한시적 절감효과는 약 39,868,800원/년으로 산출된다.

다. 충방전 편익에 따른 효과

최초 시뮬레이션에 의한 충방전 편익은 봄/가을철(3,4,5,9,10월) 2,457천원, 여름철(6,7,8월) 3,742천원, 겨울철(1,2,11,12월) 3,828천원으로 산출되었으나 1년이 경과 후 실측된 경감요금은 이에 미치지 못하였다. 그 이유로는 배터리의 수명향상을 위하여 방전심도(DOD)를 20% 수준으로 유지하여 총 설계용량보다 충방전량이 줄어든 이유와 일일 충전량 407kWh인 경우 방전량 389kWh이므로 충방전 효율이 95.5%로 측정된 결과에 기인하는 것으로 분석되었다. 또한 설비 가동률이 100%에 달하지 못한 점도 요인으로 분석되었다.

표 10. 한국전력 일반용(울) 요금제 (계절별, 시간별)

구분		기본 요금 (원/kW)	전력량요금 (원/kWh)			
			시간대	여름철 (6~8월)	봄·가을철 (3~5,9~10월)	겨울철 (11~2월)
고압 A	선택 I	7,220	경부하	61.6	61.6	68.6
			중간부하	114.5	84.1	114.7
			최대부하	196.6	114.8	172.2
	선택 II	8,320	경부하	56.1	56.1	63.1
			중간부하	109.0	78.6	109.2
			최대부하	191.1	109.3	166.7
	선택 III	9,810	경부하	55.2	55.2	62.5
			중간부하	108.4	77.3	108.6
			최대부하	178.7	101.0	155.5

실제 충방전 편익은 전력요금에 저렴한 경부하 시간대 충전량 요금과 전력요금에 비싼 최대부하 시간대 방전량 요금 차액을 통하여 계산되었으며 전력요금 절감효과는 연간 6,670,000 원으로 측정되었다.

표 11. 월별 전력요금 절감효과 산출

날짜	충전량 (kWh)	충전 요금(원)	방전량 (kWh)	방전 요금(원)	충방전 편익(원)
2017 01	9,822	673,788	9,687	1,601,175	927,387
2017 02	7,759	532,257	7,560	1,247,216	714,959
2017 03	11,217	690,955	10,941	922,264	231,309
2017 04	10,543	649,425	9,668	891,848	242,423
2017 05	10,808	665,856	10,498	959,350	293,494
2017 06	9,015	555,386	8,683	1,329,656	774,270
2017 07	7,551	465,149	7,143	1,173,285	708,136
2017 08	9,418	580,175	8,723	1,438,985	858,810
2017 09	10,929	673,257	10,392	1,067,531	394,274
2017 10	7,823	481,921	7,599	784,732	302,811
2017 11	9,878	677,625	9,588	1,319,730	642,105
2017 12	9,031	619,558	8,829	1,299,782	680,224
Total	113,794	7,265,352	109,311	14,035,554	6,770,202

라. 최대수요전력 관리

수용가는 계약전력 2,250kW의 박람회장으로 계약전력의 30%에 해당하는 전력 675kW가 피크요금 적용전력으로 산정되어 있으나, ESS 설치 전에도 연간 최대 피크전력은 이에 미치지 못하였으므로 최대수요전력 관리를 통한 요금이익은 없었다.

다만 최대수요 발생시간대 전력(파란색 표시, 13시~16시) 부분을 경부하 시간대 충전전력(빨간색 표시, 01시~06시)으로 대체함으로써 최대부하를 절감하는 부하관리 기능을 확인했으며 이는 광역의 부하 평준화에 기여하는 효과를 기대할 수 있었다.

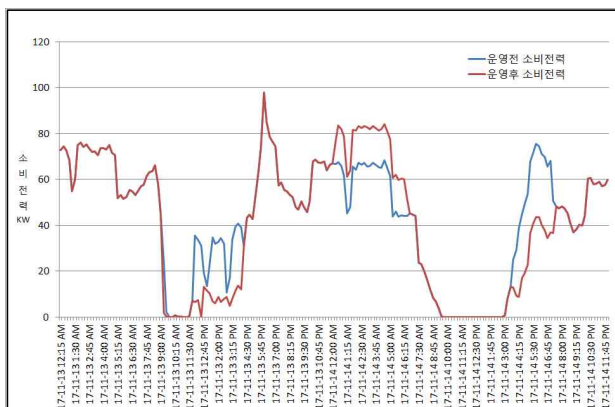


그림 3. 수요관리 EMS 통계화면

III. 결 론

에너지관리장치의 설계시 필수적으로 고려해야하는 사항과 실제 그 운영의 예로 태양광발전시스템에 에너지저장장치를 연계하여 피크부하를 경감하고 전력요금 절감이 발생한 사례를 고찰하였다. 또한 계절별 최대수요 발생시간대 피크전력을 경부하 시간대 충전전력으로 대체하여 ESS 요금제에 따른 요금편익과 부하 평준화에 기여하는 효과를 제안하였다. 다만 ESS 전용 요금제 중 가장 경감금액이 큰 최대수요전력 감축량에 대한 3배 가중치 할인이 2020년 12월 종료되는 한시적인 제도이기 때문에 그 이후 운영되는 설비에 대해서는 효과가 절감될 것으로 예상된다.

REFERENCES

- [1] 한국전력공사 전기공급 약관시행세칙 (별표4, 기본공급약관특례), 2018. 2. 13
- [2] 김도현 외 3명, “산업용 수용가의 ESS 충방전 패턴 분석에 따른 적정 운영 연구,” *대한전기학회 하계학술대회*, 대한민국, 2017.
- [3] 백민규 외 4명, “태양광 연계형 배터리 에너지 저장장치의 최적 용량 산정,” *대한전기학회*, vol. 67, 38쪽, 2018.
- [4] 신준현 외 4명, “배터리 수명비용을 고려한 Multiple ESS 운영에 관한 연구,” *대한전기학회 제46회 하계학술대회*, 627-628쪽, 대한민국, 2015.
- [5] 조경희 외 2명, “수용가 수요관리용 전지전력저장시스템의 최적용량 산정방법,” *전기학회논문지*, 제 62권, 제1호, 21-28쪽, 2013
- [6] D. K. Maly, K. S. Kwan, “Optimal battery energy storage system (BESS) charge scheduling with dynamic programming,” *IEE Proc.-Sci. Meas. Technol.*, vol. 142, no. 6, Nov. 1995.
- [7] Yan Zhang, Baolong Liu, Tao Zhang and Bo Guo, “An Intelligent Control Strategy of Battery Energy Storage System for Microgrid Energy Management under Forecast Uncertainties,” *International Journal of Electrochemical Science*, vol 9, pp. 4190-4201, 2014.
- [8] 이원준, 이문수, 강병오, 정재성, “e단기 및 단기 다변수 시계열 결합모델을 이용한 24시간 부하예측,” *전기학회논문지*, 제66권, 제3호, 493-499쪽, 2017년 3월
- [9] 이문수, 이원준, Fauzan Hanif Jufri, 정재성, “ASHRAE Clear-Sky 모델을 이용한 24시간 태양광발전량 예측,” *한국신재생에너지학회 학술대회는문집*, 81-81쪽, 대한민국, 2016, 11.

- [10] R. Arghandeh, J. Woyak, A. Onen, J. Jung, and R. P. Broadwater, "Economic optimal operation of Community Energy Storage systems in competitive energy markets," *Appl. Energy*, vol. 135, pp. 71 - 80, Dec. 2014.
- [11] Mohammad Rastegar, "Investigating the Impacts of Different Price-Based Demand Response Programs on Home Load Management", *JEET*, vol. 9, no. 3, pp. 1125-1131, 2014.
- [12] Jamshid Aghaei, Mohammad-Iman Alizadeh, "Demand response in smart electricity grids equipped with renewable energy sources: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 18, pp. 64-72, Feb. 2013.
- [13] Ruggero Sschleicher-Tappeser, "How renewables will change electricity markets in next five years," *Energy Policy*, vol. 48, pp. 64-75, 2012.
- [14] Phillip Oliver Kriett and Matteo Salani, "Optimal control of a residential micogrid," *Energy*, vol. 42, no. 1, pp. 321-330, 2012.
- [15] Pourya Shamsi, Huaiqi Xie, Ayonide Longe and Jhi-Young Joo, "Economic Dispatch for an Agent-based Community Microgird", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, no. 5, pp. 2317-2324, 2016.

 저 자 소 개

조재영(학생회원)



2000년 전남대학교 공업화학과 학사 졸업.
 2013년 전남대학교 산업대학원 전기 전자컴퓨터공학과 석사 졸업.
 現 원광전력(주) 기술연구소장

<주관심분야 : 태양광발전시스템, 스마트그리드, 에너지 관리장치, 에너지 자립섬>

나인호(정회원)



1988년 울산대학교 전자계산학과 학사 졸업.
 1991년 중앙대학교 전자계산학과 석사 졸업.
 1995년 중앙대학교 전자계산학과 박사 졸업.

現 군산대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수

<주관심분야 : 마이크로그리드, 무선 애드혹 및 센서 네트워크, 블록체인, BEMS, 드론>