

논문 2015-52-1-18

EES 제어를 위한 Micro-EMS 구현 및 실증 분석

(Implementation and Verification Analysis of Micro-EMS for Controlling EES)

김 광 호*, 김 규 식*

(Kwang-Ho Kim and Gyu-Sik Kim[©])

요 약

스마트 그리드 확산사업으로 에너지 저장시스템의 보급이 활발히 이루어지고 있다. 대규모 EES(Electric Energy Storage system)의 경우 수용가에 설치된 BEMS(Building Energy Management System) 또는 BAS(Building Automation System)등과 연동하여 효율적인 제어가 가능하나 일반 주택에 설치되는 EES는 운전 및 제어를 위한 전문 인력이 없어 이를 원격에서 통합 관리할 수 있는 시스템이 필요하다. 또한, 태양광 발전과 EES가 동시에 설치된 경우 태양광 발전이나 전력부하에 따라 효율적인 제어를 할 수 있는 소규모의 EMS(Energy Management System)가 필요하게 된다. 본 논문에서는 주택에 설치된 태양광 발전과 EES를 효율적으로 제어하기 위한 EMS를 구현하고 그 유용성을 실험을 통해 확인하였다.

Abstract

The energy storage system is actively used as the widespread of smart grid. In the case of large scale EES, it can be efficiently controlled linked with BEMS or BAS. But, in the case of EES installed in a small sized household, it needs the help of the remote control system because it lacks the expert for controlling and operating of EES. In addition, in the case when the solar energy generation and EES are installed at the same time, a small sized EMS which can be efficiently controlled depending on the solar energy generation or electric power load is needed. In this paper, the EMS which can efficiently control the solar power generation as well as EES installed in a small sized household is implemented and its usefulness is verified through some experimental studies.

Keywords : 스마트 그리드, 에너지 저장시스템, 통합관리, 태양광 발전, 전력부하

I. 서 론

스마트 그리드란 기존의 전력망에 정보통신 기술을 결합하여 전기에너지 공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 공유하여 에너지를 효율적으로 사용하고

최적화하는 차세대 전력망이다.^[1~3] 우리나라 스마트 그리드 구축은 제주도 실증단지를 통해 얻은 경험과 기술을 바탕으로 전력재판매, 지능형 수요반응, 수용가 발전 자원 전력거래, 전기자동차기반 가상발전, 전기자동차 충전, 에너지소비 컨설팅, 신재생에너지 출력안정화 및 품질개선서비스 등의 사업모델을 가지고 전국적인 확산 사업을 추진하고 있다.^[4]

전력의 효율적인 사용을 위해 전기에너지를 저장하는 방법에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있으며 기존에는 양수발전을 이용하여 잉여전력으로 물을 위치에너지로 변환하고 피크시간대에 발전을 통해 전력을 공급하였으나 최근에는 축전지에 직접 전기에너지를 저장하

* 정회원, 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부
(Dept. of Electrical and Computer Engineering,
University of Seoul)

© Corresponding Author (E-mail: gskim318@uos.ac.kr)

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2011-0023587)

접수일자: 2014년10월15일, 수정일자: 2014년12월01일
게재확정: 2014년12월23일

는 기술이 발전하고 있다^[5~6].

최근 분산전원을 활용한 수요관리 정책에 따라 EES의 보급 사업이 활발히 추진 중에 있으며 IEA (International Energy Agency)전망에 따르면 신재생에너지 확산 및 글로벌 전력수요의 증가에 따라 세계 EES시장은 꾸준한 증가세를 이어갈 것으로 보이며 2020년에는 47.4조원 규모로 2010년 대비 약 24배로 성장할 것으로 예측되며 2030년에는 120조원 규모로 세계 시장이 확대될 것으로 업계는 예측하고 있다^[7].

수용가에 분산 설치된 EES를 효율적으로 운전하고 모니터링하기 위해서는 인버터의 운전상태, PV(Photo Voltaic)의 발전량 계측, 일사량 및 온도, 수용가의 부하사용량 계측 등을 위한 EMS의 기능이 중요하다^[8]. 주택에 소규모의 EES를 설치할 경우 시간 스케줄에 따라 충방전을 실시하고 있는데 이는 태양광 발전량 또는 전력계통이 고려되지 않아 태양광에서 발전된 전력이 계통으로 역송전되거나 전력예비율이 부족한 시간대에 EES에 저장된 전기에너지를 활용하지 못하게 되는 경우도 있다.

본 논문에서는 주택에 설치된 3kW급의 태양광 발전과 전력계통에 연계되어 운전되는 10kWh 용량의 EES를 통합운전하기 위해 이를 관리할 수 있는 Micro-EMS 시스템의 구현과 실증을 분석하였다. 각 수용가의 전력부하와 태양광 발전량에 따라 배터리를 효율적으로 충방전하기 위한 Micro-EMS를 구현하여 주택 19가구에 설치하고 전체 시스템을 원격에서 통합 제어하여 설치 전후의 데이터 분석을 통해 EES 제어를 위한 Micro-EMS의 유용성을 검증하였다.

II. 본 론

2.1 에너지저장 시스템 개요

에너지저장 시스템은 전력계통으로부터 발전된 전력 또는 태양광 발전등과 같은 신재생 에너지에서 생산된 전력을 운동에너지나 전기에너지로 축전지에 저장하였다가 필요한 시기에 방전하여 전력계통의 에너지 이용 효율을 향상시킬 수 있다.

그림 1과 같이 전력을 발전소부터 수용가까지 단계적으로 저장하여 주파수 조정용으로 사용하거나 전력이 부족한 시간에 예비전력으로 사용할 수 있으며 대규모 정전사고에 대해 일정시간 전력공급이 가능하다. 수용

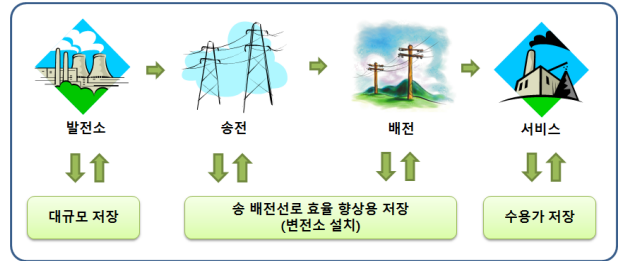


그림 1. 에너지저장 시스템 개념도
Fig. 1. Schematic diagram of the energy storage system.

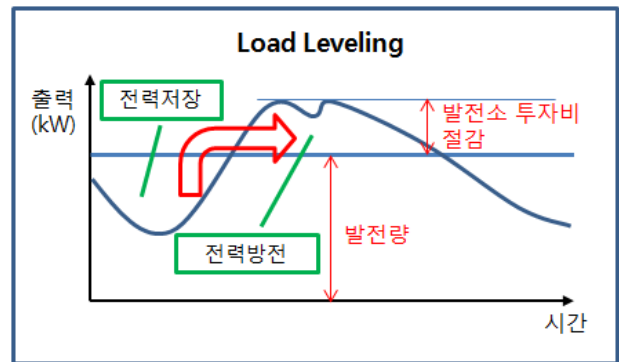


그림 2. 에너지저장 시스템의 필요성
Fig. 2. Necessity for energy storage system.

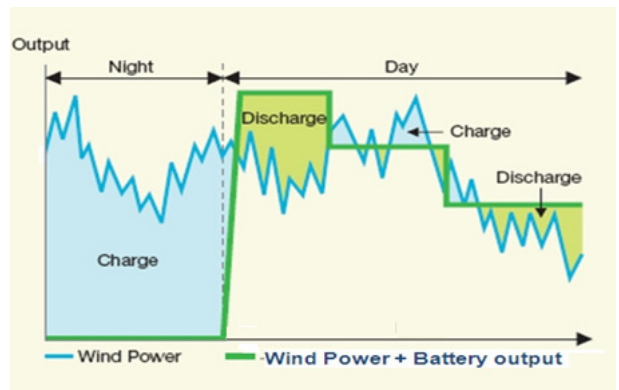


그림 3. 신재생 에너지의 출력 개선
Fig. 3. Improved output of new renewable energy.

가에서는 전력 피크치를 줄이거나 수요관리를 통해 설비를 효율적으로 사용할 수 있다^[9~10].

전력계통은 주간시간대에 최대전력 수요가 발생하고 심야시간에는 수요가 줄어들어 잉여전력이 발생하는데 발전소 및 송배전선로 등은 안정적인 운용을 위해 최대 수요보다 많은 전력을 공급할 수 있는 설비를 구축할 필요가 있어 전체적인 전력설비의 이용효율은 저하된다. 따라서, 그림 2와 같이 경부하시간대에 유휴전력을 EES에 저장하였다가 피크시간대에 방전하면 부하의 평

준화를 통해 전력설비의 운용효율을 향상시킬 수 있으므로 발전소 건설비, 송전선 설치비등 설비투자를 절감할 수 있으며 이로 인한 환경파괴를 줄일 수 있다^[7, 10].

신재생에너지의 보급이 늘어나면서 전력계통에서 차지하는 비중도 높아지고 있다. 태양광, 풍력발전은 일사량이나 바람에 따라 발전출력이 변동되는데 심한 경우 전압변동을 유발한다. 그림 3은 EES를 통해 풍력발전의 출력을 개선한 것으로 심야시간에 풍력발전에서 발생된 전력을 EES에 충전하고 전력수요가 발생하는 주간시간에 풍력발전과 EES가 동시에 부하에 대한 전력공급을 담당하는데 EES의 방전량을 제어하여 출력을 일정하게 유지할 수 있다^[11, 14].

EES를 통한 신재생에너지의 출력개선은 스마트그리드 핵심 기술로서 전력공급자와 소비자가 양방향 정보교환을 통해 에너지비용이 저렴한 시간대에 충전하고 비용이 비싼 시간대에 방전하여 에너지 비용을 절감하거나 전력회사에 공급하여 전력계통의 안정도를 향상시킬 수 있다^[7, 12, 15].

2.2 에너지저장 시스템 구성도

에너지저장 시스템은 그림 4와 같이 전력계통에 연계하기 위한 인버터와 에너지를 저장하기 위한 배터리로 구성된다. 최근에는 다양한 종류의 배터리가 사용되고 있으나 본 논문에서는 주택용으로 사용하기 위해 10kWh 용량의 리튬이온 배터리로 구성하였다. 인버터는 태양광 발전에서 생산된 전력을 교류로 변환하여 부하에 공급하고 남은 잉여전력은 DC/DC 컨버터를 통해 배터리에 충전하기 위해 3kW급 인버터를 선정하였으며 정전발생시 주택에 비상전원을 공급하기 위해 축전지 용량의 40%를 비상용으로 배정하였다. Micro-EMS는 태양광 발전에서 생산된 전력량과 부하에서 소비하

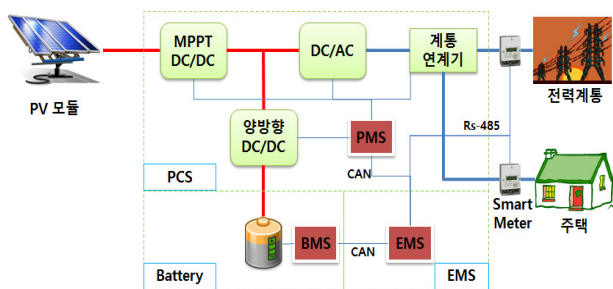


그림 4. 에너지저장 시스템의 구성도
Fig. 4. Configuration of the energy storage system.

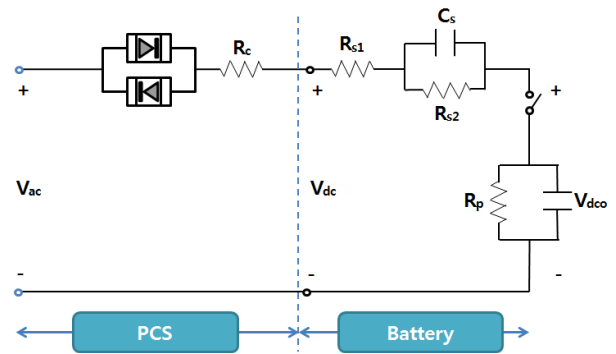


그림 5. 에너지저장 시스템의 등가모델
Fig. 5. Equivalent model of the energy storage system.

는 전력에 따라 PCS(Power Conditioning System)를 제어하며 스마트 미터를 통해서 전력소비량을 수집한다. 또한 통합관제센터와 실시간 통신을 통해 운전모드를 변경하거나 이벤트발생시 관리자에게 통보하는 기능을 담당한다.

한편, 리튬이온 배터리를 이용한 에너지저장 시스템의 등가 모델은 그림 5와 같이 표현할 수 있다.

그림 5에서 R_c 는 EES 운전시 양방향 컨버터에서 나타나는 저항성분의 손실이며 R_{s1}, R_{s2} 는 부하운전시 배터리의 손실을 나타낸다. C_s 는 직렬커패시터, R_p 는 배터리의 자체 방전손실, V_{dco} 는 배터리 개방시 DC전압을 나타낸다^[10].

2.3 Micro-EMS 시스템 구현

Micro-EMS는 태양광 발전에 따른 충방전 운영 알고리즘이 적용된 임베디드 시스템으로 EES의 PCS, BMS와 연계하여 200ms의 주기로 CAN 통신을 통해서 데이터를 교환한다. Micro-EMS의 시제품 구현은 NI

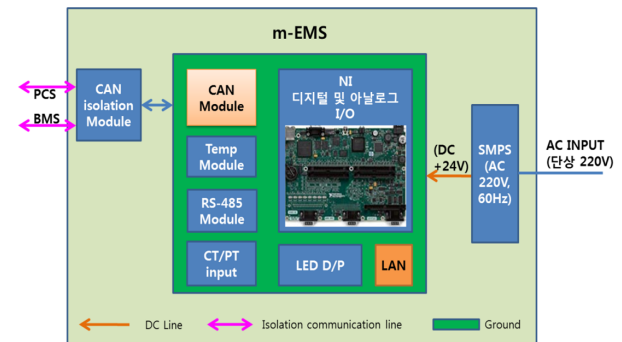


그림 6. Micro-EMS 블록 구성도
Fig. 6. Block diagram of Micro-EMS.

LabVIEW 그래픽 프로그램 사용이 가능한 디지털 및 아날로그 I/O보드를 사용하여 구성하였으며 그림 6은 NI sbRIO-961을 사용한 Micro-EMS 블록 구성도를 보여준다. 디지털 I/O 보드를 중심으로 TOC(Total Operation Center)와 통신을 위한 LAN모듈, PCS 및 BMS와 통신을 위한 CAN 통신모듈, 온도측정을 위한 모듈 및 스마트 미터와 연동을 위한 RS-485 통신모듈, 전압/전류 입력모듈, 전원모듈 등으로 구성되어 있다.

NI sbRIO-961 보드의 구성요소에서 전원입력부는 리플 전압 20mV 미만의 고품질 DC 24V 전원공급이 필요하며 보드에서 소비되는 총전력 P_{total} 은 다음 식 (1)과 같다.

$$P_{total} = P_{ip} + P_{DIO} + P_{5V} + P_{CSer} \quad (1)$$

식 (1)에서 P_{ip} 는 전체 I/O 포트를 포함하여 sbRIO 보드 내부동작에 필요한 소비전력이며, P_{DIO} 는 3.3V DIO (Digital I/O)가 소비하는 전력, P_{5V} 는 5V 전압출력이 소비하는 전력, P_{CSer} 는 모듈이 사용하는 전력을 나타낸다.

I/O채널 보호를 위해 그림 7과 같이 33Ω 전류 리미터 저항 R1 및 보호용 다이오드 D1, D2는 외부로부터 입력되는 과전압과 이상 현상으로 부터 각 DIO 채널을 보호한다. 과전압 보호는 R1과 D1이 보호하고 과도한 저전압은 R1과 D2가 함께 채널을 보호한다. R1의 저항 값은 온도가 상승함에 따라 빠르게 증가하므로 과전압 상태에서는 높은 전류가 R1을 통해 입력되면 높은 전류로 인해 저항의 내부가 가열되고 이 때문에 저항이 증가하여 전류가 제한되는 특징이 있다^[17].

그림 8은 Micro-EMS 시스템 외부구성 및 입출력 단자를 나타낸 것으로 ①번은 DC 24V 전원단자로 3A 이상의 전류가 흐를 경우 시스템 보호를 위해 보호퓨즈로 과전류를 차단되게 된다. ②는 센서 0번으로 스마트 미

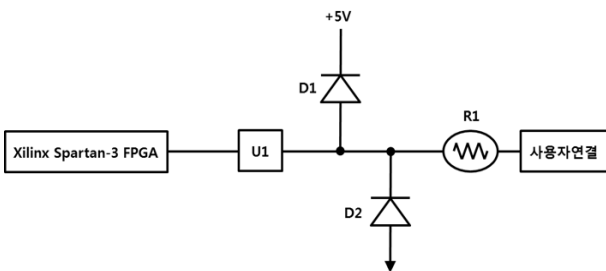


그림 7. 3.3V DIO 채널의 보호회로
Fig. 7. Protection circuit of 3.3V DIO channel.



그림 8. Micro-EMS 외함 및 입출력 단자
Fig. 8. Micro-EMS housing and output terminals.

터와 RS-485 통신을 이용하여 EES에 입력되는 전력을 계측한다. ③은 센서 1번으로 EES로부터 부하측으로 출력되는 전력을 측정하는 스마트미터 입력단자이다. ④는 시스템 상태를 표시하는 LED 램프로 전체 4개로 구성되어 있다. LED 0은 사용자의 어플리케이션 버그를 수정하거나 상태를 복구할 때 사용하며 LED 1은 어플리케이션의 필수사항을 충족하도록 LED 램프를 정의할 수 있다. 전원 LED 2는 보드에 전원이 들어오면 표시되는 램프이며 상태 LED 3은 정상적으로 동작하는 동안 꺼져 있으며 NI sbRIO-961에 문제가 발생한 경우 LED를 깜박거리며 해당 에러 상태를 표시한다. ⑤는 리셋 버튼으로 누르면 프로세서가 다시 시작된다. ⑥번 DIP S/W는 아래와 같이 6개로 구성되어 있다. 안전모드 스위치는 평상시 OFF상태로 되어 있으면 LabVIEW Real-Time 엔진이 동작되며 ON상태로 변경하면 NI sbRIO 디바이스의 소프트웨어를 설치하기 위해 필요한 필수 기능만 시작한다. 콘솔 OUT 스위치는 IP

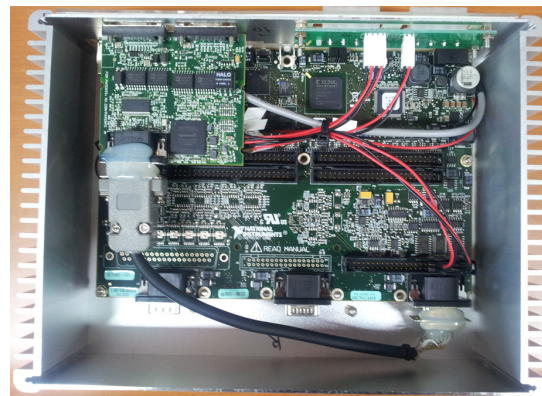


그림 9. Micro-EMS 내부 구성요소
Fig. 9. Internal components of Micro-EMS.

주소와 펌웨어 버전을 읽을 수 있으며 평상시에 OFF 상태를 유지하고 ON상태가 되면 시리얼 포트와 통신이 차단된다. IP 리셋스위치는 ON상태에서 디바이스를 부팅하면 IP 주소가 0. 0. 0. 0 으로 초기화 된다. ⑦은 CAN 0번 통신단자로 PCS와 연결되며 ⑧은 RS-232 통신 포트이며 ⑨는 CAN 1번 단자로 BMS와 연결된다. ⑩은 LAN 통신을 위한 RJ-45 이더넷 포트이다. 그림 9는 NI sbRIO-961를 사용하여 제작한 Micro-EMS 내부 구성요소를 보여준다.

한편, 주택에 설치된 태양광 발전시스템은 3kW급으로 설치되어 낮 시간대에 발전된 전력을 주택 내에서 소비하고 남은 잉여전력이 전기사업자 측으로 역송전된다. 따라서 EMS는 태양광 발전량 예측을 위해 계절별

로 날씨, 운량, 온도 등을 기준으로 하여 계절별 발전 패턴을 분석하고 부하의 소비전력과의 관계를 고려하여 EES 운전모드를 결정한다.

EES의 운전모드는 크게 6가지로 구분하며, 그림 10(a)의 PV (Photo Voltaic)운전모드는 태양광 발전시스템이 발전을 시작하면 부하에 대한 전력을 공급하고 남은 잉여전력은 전력계통으로 역 송전한다. 이때 배터리는 충전하지 않으며 PV운전모드에 진입하기 위해서는 인버터의 알람상태를 확인하여 PV가 발전상태에 있어야 진입이 가능하다. 그림 10(b)의 방전모드는 EES에 저장된 에너지를 이용하여 부하에 전력을 공급하는데 배터리에 저장된 충전량과 부하에서 소비하는 전력량을 분석하여 방전 전력량을 결정한다. 방전모드는 배터리에서 단독으로 부하에 전력을 공급하거나 PV발전량과 병렬로 공급이 가능하다. 그림 10(c)의 충전모드는 태양광 발전과 전력계통으로 부터 동시에 전력을 공급받아 축전지를 충전한다. 날씨가 흐린 경우 태양광에서 발전된 전력이 배터리 충전에 부족한 경우 전력계통과 병렬로 배터리를 충전하며 태양광발전량에 따라 전력계통으로부터 공급되는 전력량이 달라진다. 그림 10(d)의 충전모드는 태양광발전에서 생산된 전력은 축전지를 충전하고 부하에 대한 전력공급은 전력계통이 담당한다. 한편, 비상전원공급은 정전발생시 EES에 저장된 에너지로 주택에 전력을 공급하고, 마지막으로 정지모드는 긴급사항 발생시 시스템을 정지한다.

주택용 EES의 충방전은 태양광발전에서 생산된 전력을 부하에서 소비하고 남은 잉여전력을 이용하여 EES를 충전한 후 저녁시간대 EES에 저장된 전기에너지를 방전하여 부하에 대한 전력을 공급한다. 배터리 충방전은 하루를 기준으로 한 사이클로 운전되며 오전 5시에 시작한다. 충방전 운영 변수조회를 통해서 EES 운전모드 결정을 위한 배터리 충방전에 관한 정보를 수집한 후 낮 시간대와 저녁 시간대를 구분한다. 저녁시간대에 진입하면 방전 모드에 진입하게 되며, 낮 시간대가 되면 PV 발전량 조회를 통해서 PV가 발전 상태인지 판정하게 된다. 발전량이 존재하지 않으면 EES는 운전 대기상태로 진입하게 되며 발전량이 존재할 경우 EES 충방전 가능한 레벨 값을 조회한다. 방전모드는 방전을 시작하기 전에 내일의 날씨정보를 조회하여 비가 올 예정이면 방전을 시작하지 않고 대기상태에 진입한다. 내일의 날씨가 맑은 상태로 예상되면 배터리가

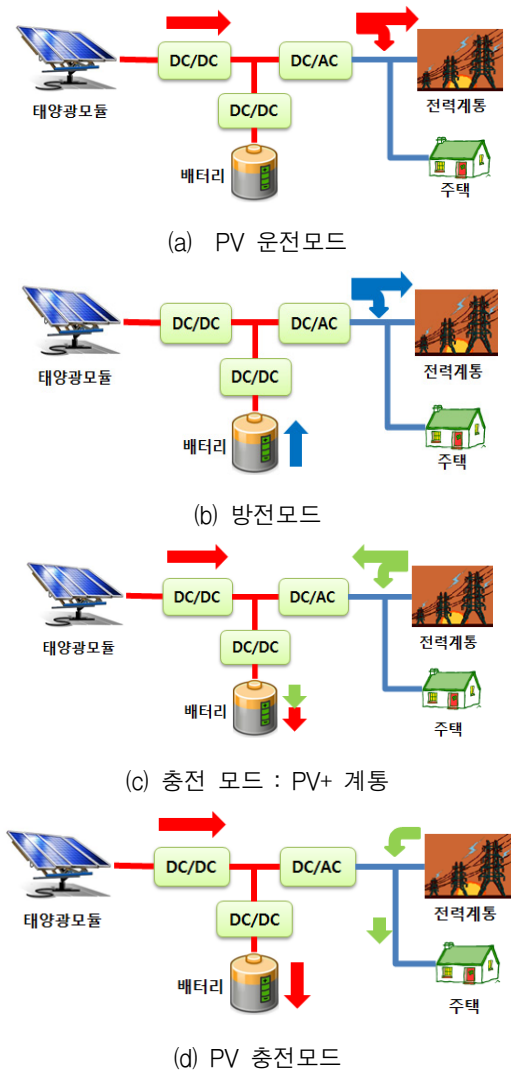


그림 10. EES 운전모드
Fig. 10. Operation mode of EES.

방전 가능한 상태인지 확인하고 방전가능한 상태가 되면 방전 설정 값을 조회한다.

2.4 EMS 실증효과 분석

실증효과 분석은 수용가에 설치된 EES의 운전상태 감시 및 제어를 위해 EMS를 설치하고 그림 11과 같이 통합관제 시스템을 통해 EES의 운전 상태를 모니터링 하였다. 실증설비는 3kW급의 태양광발전 모듈에서 DC 전력을 공급받아 인버터를 통해서 부하에 대한 전력공급 및 축전지를 충전하도록 하였으며 TOC의 운전지시에 따라 운전모드와 충방전량을 변경하였다.

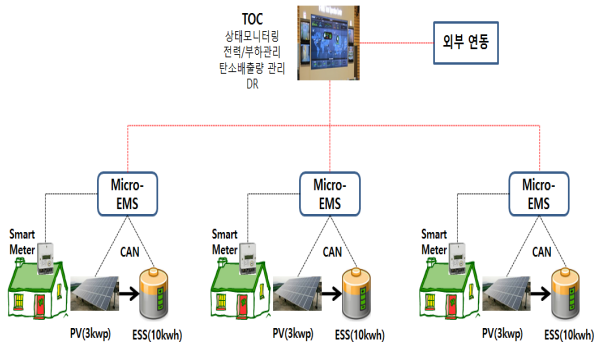


그림 11. EES 통합관제 시스템
Fig. 11. Integrated control system of EES.

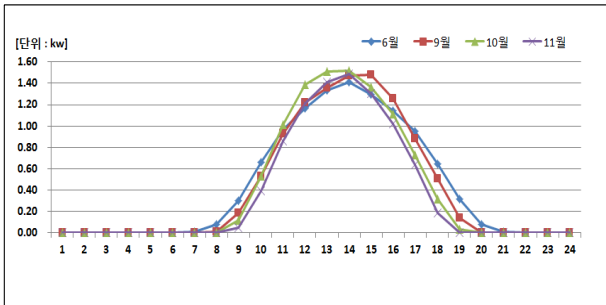


그림 12. PV 발전량 모니터링
Fig. 12. PV power generation monitoring.

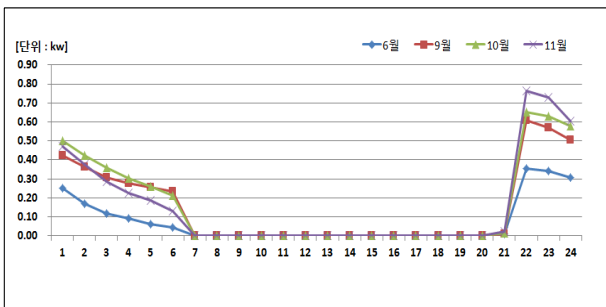


그림 13. EES 방전전력
Fig. 13. Discharge power of the EES.

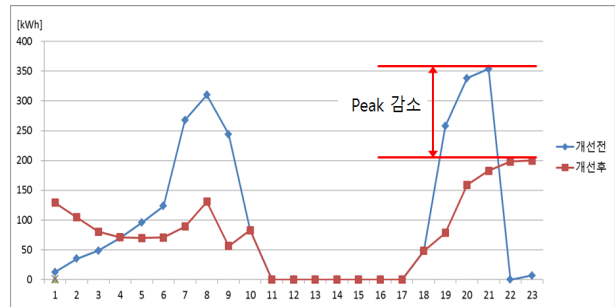


그림 14. 전체 전력소모의 피크치 감소
Fig. 14. Reduction of peak value of total power consumption.

그림 12는 Micro-EMS를 통해서 수용가에 설치된 태양광 발전량을 통합 모니터링한 것으로 19가구 전체의 한달 발전전력을 평균하여 시간대별로 표시하였으며 4개월의 발전전력량은 비슷하였다.

그림 13은 태양광 발전에서 생산된 전력을 배터리에 충전한 후 주택에서 전력소비가 많은 22시에 방전을 시작하여 다음날 오전 6시까지 방전을 완료하여 부하에 대한 전력을 공급하는 것을 보여준다.

통합제어를 통해 전력소모의 피크치를 줄이는 개선 전후의 효과분석은 2013년 10월 한달동안 실험결과를 분석하여 정리하였으며 그림 14는 전체 19가구의 한달 수전전력을 시간대별 합계로 표시하였다. 개선 전의 피크전력은 353kW였으나 통합제어를 통해서 태양광 발전량 및 주택에서 소비하는 전력량에 따라 운전방법을 개선한 후에는 200kW로 낮아졌다. 개선전의 부하율은 28.2%에서 개선후에는 35.4%로 높아져 전력설비가 효율적으로 사용되고 있음을 알 수 있다.

III. 결 론

EES는 전력설비의 효율적인 사용을 위해 전력계통 또는 수용가에 단계별로 적용이 가능하며 심야시간 잉여전력을 배터리에 저장하였다가 전력수요가 발생하는 피크시간대에 방전하여 부하에 전력공급을 분담하는데 제어방법에 따라 효과가 달라지며 충방전모드 제어가 잘못된 경우 역효과가 발생하기도 한다.

본 논문에서는 수용가에 설치된 에너지 저장장치를 태양광 발전과 부하전력에 따라 효율적으로 제어하기 위한 Micro-EMS를 구현하였으며 태양광 발전량을 예측하여 소비전력에 따라 운전모드와 충방전량을 변경하

면 기존의 제어방법 보다 수전전력의 피크치가 줄어드는 것을 확인하였다.

본 연구의 결과는 수용가에 신재생에너지와 에너지 저장장치 및 연료전지 등 분산형전원이 다수 존재할 때 최적의 효율을 얻을 수 있도록 각각의 에너지 비용이나 경제성, 분산형전원의 특성 등을 고려하여 가장 합리적인 에너지원을 선택하여 필요한 에너지를 저장하거나 공급할 수 있도록 선정하는데 사용 할 수 있다. 또한 마이크로 그리드 환경에서 경제성을 고려하여 에너지 비용을 절감할 수 있으며 TOC와 연계하여 지능형 수요 반응 등 가상발전시장에 참여할 수 있다.

REFERENCES

- [1] Ministry of Knowledge Economy, "National Roadmap for Smart Grid," 2010. 1.
- [2] Ministry of Knowledge Economy, "First Smart Grid Master Plan(2012~2016)," 2012. 6.
- [3] Korea Smart Grid Association, "2013 Smart Grid Annual Report," Part 2, 2013.
- [4] Ministry of Trade, Industry & Energy, "Smart Grids Spread Business Plans," First Smart Grid Master Plan Follow-up, 2013. 8.
- [5] Man-Dong Park, "Technical and Financial Benefits of Electrical Energy Storage," *Journal of the Electrical World*, Vol, No.433, 2013
- [6] Jong-Bok Back, "Control and Stability Analysis of the DC Distribution System including Renewable Energy Sources and Energy Storage Systems," Ph. D. Dissertation, Seoul National University, 2014. 2.
- [7] Ministry of Knowledge Economy, "Energy Storage Technology Development and Industrialization Strategy(K-ESS 2020)," 2011. 5.
- [8] Kwang-Ho Kim, "Development of Diagnosis Modules for Energy Storage Devices," *2011 International Conference on Mechatronics and Information Technology*, Aug.16-19, 2011
- [9] Korea Institute Energy Technology Evaluation and Planning, "Green Energy Strategy Roadmap 2011 Smart Grid," 2011.
- [10] Sung-Min Ohn, "Operation Scheduling Algorithms of Peak Shaving for MW-Scale Battery Energy Storage Systems," Master Degree Dissertation, Seoul National University of Science and Technology, 2013.
- [11] Ho-San Myun, "Analysis on Effect of the Operational Limit of Wind Power in Jeju by the Large Scale ESS," Master Degree Dissertation, Jeju National University, 2013.
- [12] Wook-Wo Kim, "A Study on Optimal Capacity of Energy Storage System in Renewable Energy Based Microgrids," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 32, No.1, 2012
- [13] Seung-Hyun Kim, "Determination of the Hybrid Energy Storage Capacity for Wind Farm Output Compensation," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 33, No.4, 2013
- [14] Cheon-Heon An, "A Study on Effects of Energy Saving by Applying Energy Storage System," *Journal of the Korea Railway Society* Vol.12 No4, 2009
- [15] In-Sung Cho, "Business Model Formation Within the Energy Storage System," Master Degree Dissertation, Korea University, 2013.
- [16] So-Yeong Seol, "Strategic Management of Building Customers Using Energy Storage Device," Master Degree Dissertation, Kyungwon University, 2011.
- [17] Ni sbRIO-961x User Manual.

저 자 소 개



김 광 호(정회원)

2009년 연세 대학원 전기공학과 석사 졸업.

2014년 서울시립대학교 전자전기 컴퓨터공학부 박사과정.

1995년~2014년 kt 융합기술원 미래개발그룹

<주관심분야 : 센서네트워크, 제어, 에너지 변환>



김 규 식(정회원)

1981년 서울대학교

전자공학과 졸업

1983년 서울대학교 제어계측 공학과 석사 졸업

1990년 서울대학교 제어계측 공학과 박사 졸업

1988년~1992년 대우중공업 중앙연구소 선임 연구원

1993년~현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터 공학부 교수

2003년~2005년 Univ. of Wisconsin-Madison 방문교수(Visiting Scholar)

<주관심분야 : 센서네트워크, 비선형제어, 에너지 변환>