



태양광전력 안정성을 위한 독립형 PMS·EMS 통합시스템 및 설비 운영

하태진*, 박종안**, 박정민***

Independent PMS·EMS Integration System and Facility Operation for Photovoltaic Power Stability

Tae-Jin Ha*, Jong-An Park**, and Jeong-Min Park***

이 논문은 2019년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임
 (20188550000480, BIPVT 히트펌프 시스템이 연계된 스마트 그리드 기술 개발)

요 약

PV 시스템으로부터 전력을 공급 받아 에너지 저장장치에 저장하여 부하 상황에 따라 전력을 안정적으로 제공하는 ESS·EMS에 많은 연구가 발표되고 있다. 본 연구에서는 태양광발전 출력전력의 불안정성을 개선하기 위한 독립형 PMS·EMS 통합시스템 및 설비 운영시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 실시간 태양광발전 전력 및 계통전력의 상태정보를 기반으로 배터리 운전 및 송전 전력을 제어함으로써, 태양광발전 전력을 전력 계통으로 일정하게 송전하여 선로의 안정성을 확보한다. 또한 양질의 전력을 부하로 사용함으로써 사용자로서는 안정적으로 전력 운영이 가능하다. 시뮬레이션 결과는 개발된 ESS 통합시스템이 출력변동률을 1%이하로 나타내어 고품질의 안정화 출력전력을 제공하게 됨을 입증한다.

Abstract

Many researches have been published on the independent PMS·EMS, which receives power from the PV system and stores it in the energy storage system to reliably provide power according to load conditions. In this study, we propose an independent PMS·EMS integration system and a facility operating system to improve the instability of PV power. The proposed system controls the battery operation and transmission power based on the status information of real-time PV power and grid power, and ensures the stability of the line by constantly transmitting PV power to the power system. Also by using high-quality power as a load, stable power operation is possible for users. The simulation results demonstrate that the developed ESS integrated system achieves the output fluctuation rate of less than 1%. Therefore it proves that it provides the stable output power of high quality.

Keywords

independent PMS·EMS, PCS control, PV power stability, facility operation, grid power

* (주)비온시이노베이터 기업부설연구소
 - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3161-6281>
 ** 조선대학교 IT융합대학 정보통신공학부
 - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2768-6378>
 *** 조선이공대학교 자동화시스템과(교신저자)
 - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5884-6725>

· Received: Feb. 28, 2019, Revised: Mar. 20, 2019, Accepted: Mar. 23, 2019
 · Corresponding Author: Jeong-Min Park
 Dept. of automated system, Chosun University College of Science & Technology, Pilmundaero, Donggu, Gwangju, 61453, Korea.
 Tel.: +82-62-230-7064, Email: netpius@nate.com

1. 서 론

태양광전력 시스템으로부터 전력을 공급 받아 에너지 저장장치에 저장하면서 부하 상·하왕에 따라 안정적으로 전력을 제공하는 ESS·EMS의 구성요소 설계 및 운영에 대한 많은 연구결과가 발표되고 있다[1]-[3]. 또한 인터넷을 통해 전력정보를 수집/가공하여 효율적으로 사용하기 위한 모니터링과 스케줄러 관리방법에 대한 연구결과가 발표되었으며 상업용 건축물의 ESS 활용방안으로서 건축물에 대한 전력데이터 분석과 ESS의 용량 산정 및 운영방안과 경제성 시뮬레이션 등에 대한 연구 결과도 발표되었다[4]. 그리고 본 저자 등도 태양광발전량과 전력 수요 패턴 기반 적응적 EMS 시스템을 구현하였다[5][6].

이와 같은 태양광 ESS 시스템이 개발되면서 여러 문제점이 발생하고 있다. 첫째, 전력 계통의 특성과 운용에서의 문제다. 전기는 항상 소비(수요)에 맞춰 생산(발전)해야 하는데, 소비와 생산의 균형이 무너지면 계통 전체의 주파수 변동이 발생한다. 전력 수요는 기상 조건이나 사회 활동에 의해 크게 변화할 뿐만 아니라 짧은 시간에도 시시각각 변화한다. 하루 동안의 큰 변화에 대해서는 발전기를 병렬 또는 해열(예를 들면 아침에는 병렬하고 야간에는 해열하는 등)해 조정하고, 단시간 변동에 대해서는 병렬하는 수력, 화력발전 등 조정용 전원의 출력을 조정함으로써 수급 균형을 유지, 주파수가 일정해지도록 제어하고 있다. 둘째, 자연 변동 전원은 일사량이나 풍향에 따라 출력이 결정되기 때문에 안정적인 일정 출력을 기대할 수 없다. 또한 단시간에 예측 곤란한 출력 변동이 발생하기 때문에 주파수 제어 면에서의 문제와 함께 수급 균형상의 문제가 발생한다. 일사량이나 풍향의 변화로 인해 자연 변동 전원의 출력이 변동되기 때문에 전력 수요의 변동을 포함한 변동에 대해 조정용 전원을 이용한 주파수 조정이 필요하다. 주파수를 적정 수준으로 제어하기 위해서는 이 변동에 대해 충분한 조정용 전원을 확보하는 것이 필요하다. 셋째, 운용 면에서의 대책으로는 ‘해열 프레임’이란, 휴일 심야 등 수급상의 문제가 발생할 것으로 예상될 경우에 미리 해열하는 것을 조건으로 연계 가능하도록 하는 것

이다[7]. 그리고 발전소의 DC 버스 안정화를 위한 선형 비례 적분 (PI) 및 비선형 평탄도 기반 컨트롤러를 비교한 결과도 발표되었고[8], 전력 품질 향상 요구에 따라 마이크로 그리드(Micro Grid)의 전력 변동을 신속하게 안정화시키는 제어 전략이 제시된다[9].

또한, 최근 신재생에너지 발전 ESS들의 화재/폭발 사고가 잇따라 발생하고 있으며 화재/폭발 사고의 원인으로서는 BMS(Battery Management System)의 오작동이라는 분석 결과들이 도출되고 있다. 그러므로 BMS는 열에 약한 배터리를 균등하게 냉각해 동일한 성능이 구현되도록 설비를 관리/제어하는 기능을 하고, 이상상황 발생 시 문제 확대를 차단하는 역할을 하게 된다. 그러나 BMS는 이상 고온 시 고전압 차단이나 열감지, 배터리 체크 등의 감시기능을 제대로 수행하지 못하는 것으로 나타나 배터리 화재/폭발 사고는 현재도 진행 중이며, 정부 및 배터리 제조사에서는 ESS 운영 중단 권고를 발표하는 실정이다. 기존 EMS의 경우 PMS를 포함한 일체형 EMS로 구성되어 있어 현장에 설치되어 요소 설비 간 직접적인 통신을 수행하는 PMS와 WAS 및 DB 서버를 통한 EMS 그리고 EMS와 PMS간 통신을 하나의 하드웨어 플랫폼에서 진행 중이므로 능동적 대처가 미흡한 상태에서 원인을 찾을 수 있다. 대용량 태양광발전 시스템을 위한 전력 제어 전략으로 100kW급 태양광 인버터의 시뮬레이션과 실험결과가 발표되었고 기존 전류 제어기와 비교하여 필요성을 입증하고 있다[10].

그러므로 본 연구에서는 태양광발전 출력전력의 불안정성을 개선하기 위한 독립형 PMS·EMS 통합 시스템 및 운영 시스템을 제안하고자 한다. 개발 시스템은 기존 상용 EMS에 부재한 출력 변동율에 대해 1% 이하의 결과를 도출함으로써 양질의 전력공급을 입증하였다.

II. 제안 통합시스템 구성 및 개발

2.1 통합시스템 구성 설계

태양광발전 상용화 제품은 현장에 EMS를 구축하여 EMS가 PMS를 포함하도록 설계/개발 되어 있다.

그러나 이같은 상용화 EMS는 데이터 스토리지 및 WAS를 포함하기 때문에 이들의 오류 발생 시, ESS 운전이 정지되거나 각종 문제 및 화재 등의 사고가 발생할 시, 데이터 보존이 불가능하여 사고의 원인 파악이 어렵다는 단점이 있다. 이러한 단점을 개선하기 위해 제안 통합시스템은 PMS와 EMS를 독립형으로 설계하였다. 통합 시스템을 운영하기 위한 ESS 요소 설비로는 PCS, 배터리, PV인버터, 전력계측기로 구성되어 있으며 이를 운영하기 위한 통합 시스템은 PMS 및 EMS로 구성되어 있다. 현장에 설치되는 ESS 운영은 PMS를 통하여 진행하고, PMS에서 계측/제어 하는 모든 운영데이터는 실시간으로 외부 데이터스토리지로 전송한다. WAS 또한 외부 데이터센터에 구축하여 EMS를 운영하도록 개발하여 EMS를 외부에서 접근할 수 있도록 설계하였다. EMS와 PMS 간 데이터 수집 및 명령은 소켓 서버/클라이언트를 각각 구축하여 원격 ESS 제어가 가능하다.

그림 1은 제안한 통합시스템 구성에 대한 전체적인 설계 내용이며 개발 시스템과 기존 시스템의 EMS 구성의 차별성을 설명한다. 개발 시스템은 태양광설비에서 생산되는 DC전력을 인버터를 통해 AC전력으로 변환되어 전력계통으로 송전되거나 PCS를 통해 DC-DC 전력변환을 통해 배터리로 충

전된다. 또한 DC-AC전력 변환을 통해 부하 전력으로 사용이 가능하다.

PMS는 각 요소설비들과 직접적으로 연결하여 데이터 수집을 진행한다. PV 인버터, 전력계, PCS, BMS와 통신으로 데이터 통신을 진행하며, 데이터 수집 명령과 제어명령을 수행할 수 있다. PV 인버터는 RS232/485 프로토콜을 지원하며 전력계, PCS, BMS는 모드버스 프로토콜을 지원한다. 각 통신은 TCP 통신 변환을 통해 네트워크를 구축하고, RS 및 모드버스 통신을 수행한다.

PMS의 수집 데이터 및 제어 데이터는 소켓통신을 통해 외부 WAS로 전송된다. 외부 WAS는 PMS에 대한 소켓 리스너를 통해 데이터 수신을 감지하고 소켓 패킷 분석 과정을 통해 데이터 스토리지로 실시간 운영 데이터를 저장한다. WAS에서 전송하는 제어 신호는 PMS 측의 소켓 리스너를 통해 데이터 수신을 감지하고 소켓 패킷 분석 과정을 통해 제어 명령 분석 및 적용을 진행하게 된다. WAS는 EMS를 포함하고 있으며 EMS는 실시간 데이터 스토리지 간 데이터 수신을 통하여 ESS 운영상태 모니터링 및 통계 데이터, 설비 별 세부 데이터 등을 모니터링이 가능하며, ESS 운전 설정 및 운전제어를 실시간으로 수행한다.

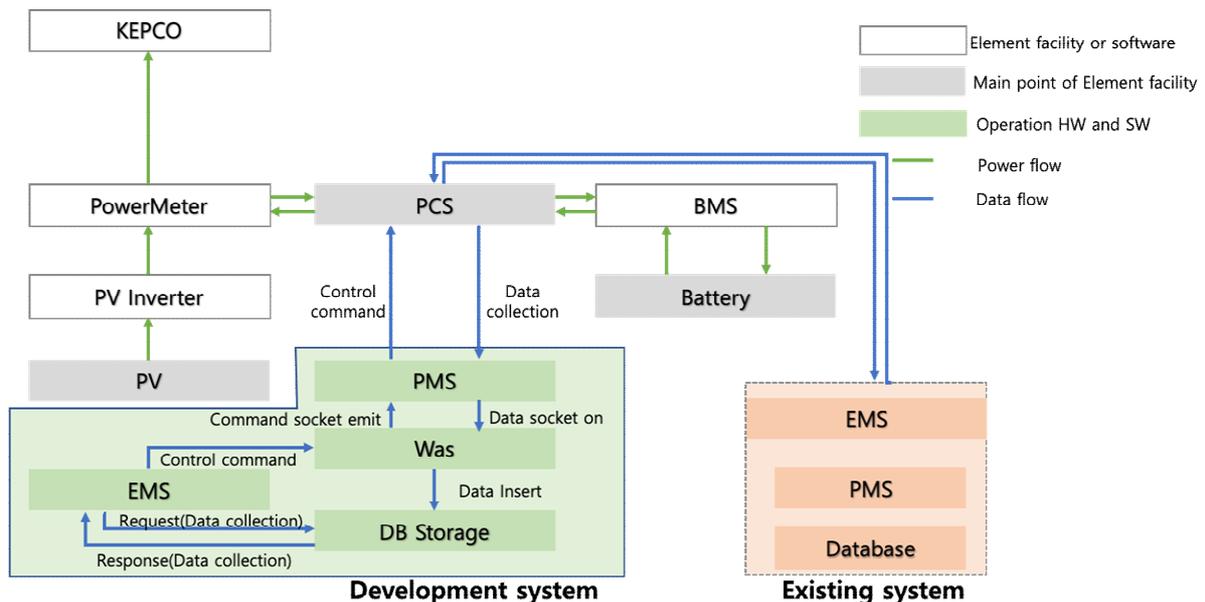


그림 1. 통합시스템 구성 설계
Fig. 1. Configuration design of a integrated system

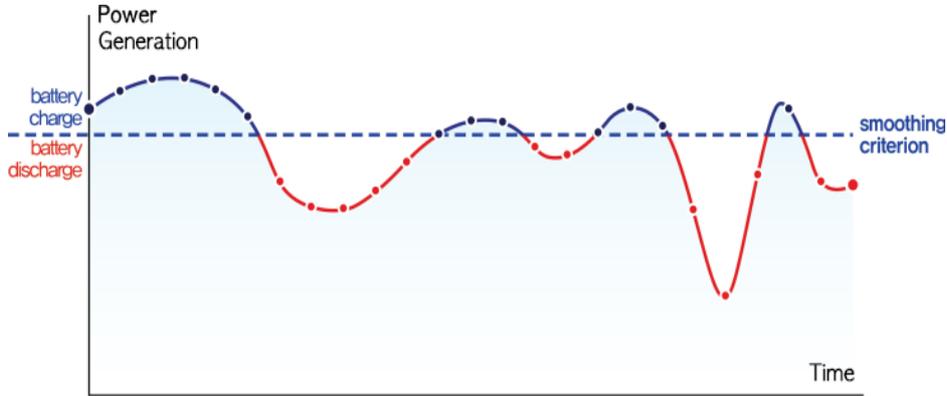


그림 2. 전력 안정화 방안
Fig. 2. Power stabilization plan

2.2 전력출력 안정화 설계

신재생에너지 정책으로 인하여 발전소의 급격한 증가와 발전 전력의 최대치에 해당하는 전력을 충/방전함에 따라 전력 선로 불안정화 및 전력품질 저하 문제가 꾸준히 대두됨에 따라 이를 개선하기 위한 출력 안정화 방안을 제안한다. 제안하는 출력 안정화 방법에 대한 설명은 그림 2와 같다.

그림 2와 같이 시간에 따른 태양광발전량은 환경 요인에 따라 전력 출력의 변동이 심하게 일어나게 된다. 보통 짧은 시간의 주기로 발전 전력이 급격하게 변동되지 않지만, 날씨에 따라 출력 변동의 폭은 크게 일어날 수 있다. 기존 ESS 제품들의 경우 발전량대비 충전 및 송전량을 진행하기 때문에 계통 선로의 경우 출력변동이 그대로 적용되며, 저품질의 전력을 송전하게 된다. 이를 개선하기 위한 제안시스템은 태양광발전 시간에 평활화(안정화) 기준점에 따른 ESS 운영방법을 채택하였다.

제시한 운영방법은 그림 3과 같이 전력 송전에 대한 평활화 기준점을 가리키며, 태양광발전 시간대에 송전전력을 일정하게 유지시킴으로써 선로 안정화를 통해 양질의 전력을 생산하는데 목적이 있다. PMS에서 평활화 메뉴를 통해 평활화 기준전력을 설정하고, 실시간 태양광발전 전력을 계측하여 기준점보다 높을 경우 기준점을 제외한 나머지 전력은 배터리로 충전을 진행하고, 기준점보다 낮을 경우 배터리 전력을 방전하여 평활화 기준 전력을 만족시킴으로써 계통으로 전력을 송전하도록 하였다.

2.3 통합시스템 운영 설계 및 구현

통합시스템을 구현하기 위해 그림 4와 같이 ESS 통신운영 패턴을 설계하고 개발하였다.

개발한 통신 운영 패턴은 1초 주기로 진행되어 데이터 수집 및 저장과 ESS 운영을 진행하게 되는데 개발된 통신 라이브러리를 통해 요소 설비들 간 통신을 순차적으로 진행한다. 통신 프로토콜이 다른 설비들과 서로 상이한 PV 인버터를 시작으로 PCS, BMS, 전력계와 데이터 수집 요청을 진행하며, 수집시 오류발생 경우의 수를 가정하여 수집 명령어마다 예외처리를 적용하였다.

예외발생 시, 예외 이벤트를 발생시키며, 사이클의 시발점으로 이동하여 다시 PV 인버터부터 데이터 수집을 시작한다. 설비 별 데이터 수집이 모두 완료된 후, 각 프로토콜에 맞는 데이터 가공을 진행한다. 설비 출력데이터로 실제데이터를 출력하기 위해 수집 데이터 항목별 연산과정과 데이터 변환 과정이 요구된다.

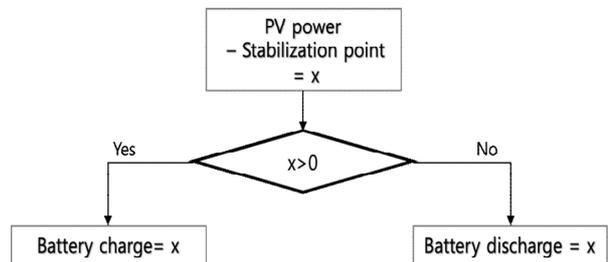


그림 3. 평활화 알고리즘
Fig. 3. Algorithm of stabilization

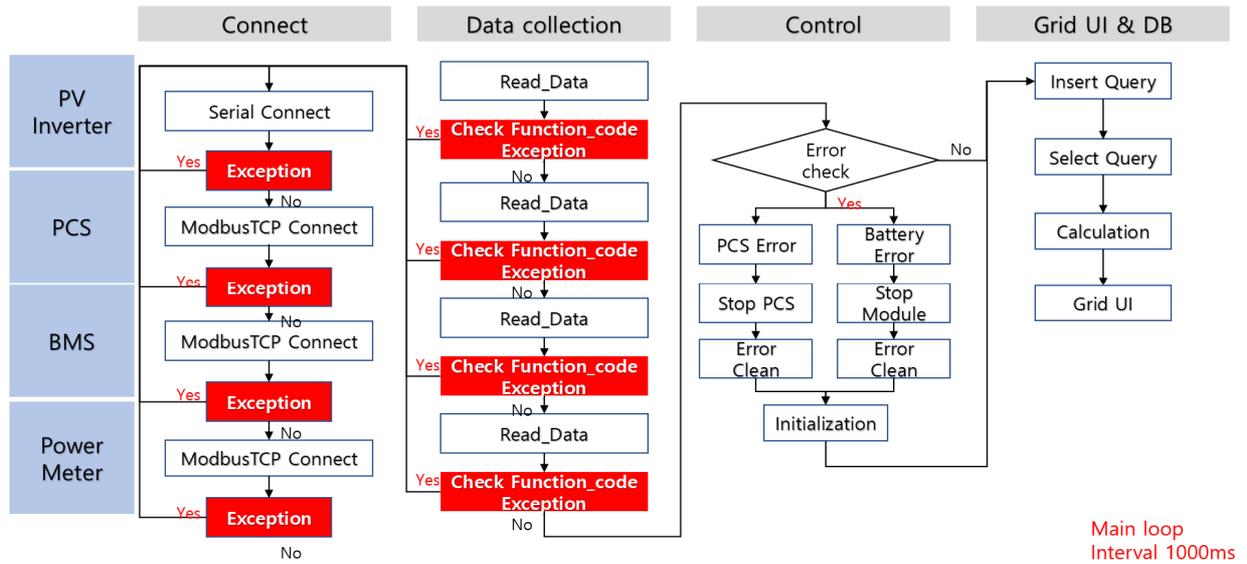


그림 4. 통합시스템 운영 설계 및 구현

Fig. 4. Operation design and implementation of the integrated system

특히, 전력계의 경우 출력데이터 형태가 이중어 형태로 출력되기 때문에 실제 데이터가 정상적으로 출력되지 않게 된다. 이를 해결하기 위해 데이터가 공처리가 필수적으로 적용된다. 데이터 수집 과정은, 제어신호 수집과 제어현황이 포함된 데이터이며, 데이터 수집 후 설비 별 장애분석을 진행한다. 장애 발생 시 해당 장비에 오류 초기화를 진행하게 되며, 장애가 감지되지 않으면, 데이터 전송을 통한 스토리지 저장과 실시간 PMS 및 EMS UI를 구성하였다.

III. 시뮬레이션

제안한 통합시스템의 PMS 및 EMS의 시뮬레이션 및 성능테스트를 위해 공인 인증기관(광기술원)의 시험 테스트를 진행하였다. 진행한 시험 테스트의 항목은 개발한 PMS 및 EMS에 대한 테스트와 태양광발전 전력의 전력계통으로 송전되는 출력 변동에 대한 테스트를 진행하였다.

3.1 PMS 및 EMS 시뮬레이션

시뮬레이션 결과는 그림 5와 같이 ESS가 운영하고 있는 상태정보가 현장의 PMS와 외부 시스템에 의해 운영되는 EMS가 동일한 상태정보를 나타냄을

나타낸다. 이에 대한 세부 시험항목은 표 1~6과 같다.

표 1. 시스템 시험 항목 및 조건

Table 1. Test items and condition of the system

Item	Contents
PMS average response time	within 0.2sec
PCS scheduling test	100 count
System operating rate	100%

ESS 운영중 PMS의 평균 응답속도와 PCS 스케줄 운전시험, 시스템 가동율에 대한 시험을 진행하였다.

PMS 평균응답속도의 시험결과 표 2와 같이 PMS 최대응답속도 0.078초, 최소 응답시간 평균 응답속도 0.016초의 시험결과를 도출함으로써 시험 항목을 만족하였다.

표 2. PMS 평균 응답시간

Table 2. Average response time of PMS

Item	Result
Maximum response time	0.078 sec
Minimum response time	0.016 sec

PCS 스케줄링 운전시험의 결과 표 3과 같이 운전시험 데이터 120개를 시도하여 120건 모두 정상 운전하는 결과를 도출함으로써 시험 항목을 만족하였다.

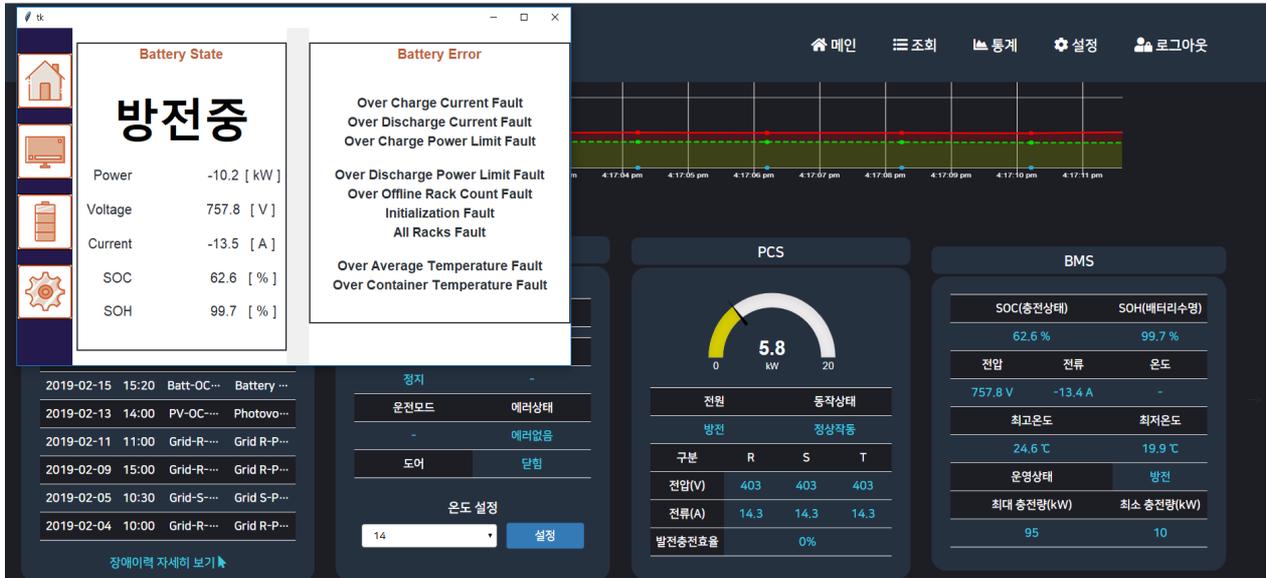


그림 5. PMS 및 EMS 시뮬레이션
 Fig. 5. Simulation of PMS and EMS

표 3. PCS 스케줄링 운전시험
 Table 3. Operation test of PCS scheduling

Item	Result
Standard operation test data	120 count
Normal operation test data	120 count

시스템 가동을 운전시험의 결과 표 4와 같이 기능오류, 시스템에러, 시스템 정지 등 이상 현상 발생 없이 정상작동 유지를 진행함으로써 100% 가동율의 결과를 도출하였다.

표 4. 시스템 가동율
 Table 4. System operating rate

Item	Result
Start time	15:00:00
Normal operation test data	16:10:00

3.2 출력 안정화 시뮬레이션

출력 안정화 시뮬레이션의 시험 항목은 표 5와 같다.

표 5. 시스템 시험 항목 및 조건
 Table 5. Test item and condition of the system

Item	Contents
PV power output fluctuation rate	within 1.5 percent

전력 평활화 기능을 수행하여 태양광발전 출력 변동율의 시험 결과는 표 6과 같다.

표 6. 태양광발전 출력 변동율
 Table 6. Test items of the system

Item	Result
Reference output power	10.0 kWh
Maximum output power	10.1 kWh
Minimum output power	9.8 kWh
System power output fluctuation rate(%)	1.0 percent

개발한 EMS의 출력 평활 기능을 통해 발전 전력이 전력계통으로 송전되는 전력출력 변동률 1.5% 이내의 기준으로 시험을 진행하였고, 시험 결과 1% 이내의 출력 변동율을 나타내는 결과를 도출하였다.

IV. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 전력계통의 특성변동과 자연환경 변동으로 인한 출력 불안정성 그리고 시스템 운용 불안정성으로 야기되는 태양광전력 불안정성을 개선하기 위한 독립형 PMS-EMS 통합시스템 및 설비 운영 시스템을 개발하였다. 제안하는 시스템은 실시간 태양광발전 전력 및 계통전력의 상태정보를 기

반으로 배터리 운전 및 송전 전력을 제어함으로써, 태양광발전 전력을 전력계통으로 일정하게 송전하여 선로의 안정성을 확보하고, 양질의 전력을 부하로 사용함으로써 수요자에게 안정적 전력을 공급하도록 개발하였다.

시뮬레이션 결과는 제안된 ESS 통합시스템이 출력변동률을 1%이하로 나타냄으로써 고품질의 안정화 출력전력을 제공하게 됨을 입증하였다. 그러나 제안 시스템에서 적용된 전력 평활화는 사용자 설정에 의한 기준점을 마련하여 이에 따른 전력 송전 평활화가 이루어지는 것으로 수동적인 시스템의 한계점이 존재한다. 차후 능동적인 전력 평활화 기준점 도출 및 운영을 위한 전력 평활화 자동시스템 개발이 요구되어 진다.

References

- [1] Jung-Hoon Yeo and Woo-Young Lee, "Solar Power Generation Connected ESS Design and Application", The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, The Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 31, No. 4, pp. 25-35, Jun. 2017.
- [2] Jai-Young Cho and In-Ho Ra, "A Case Study on Operation of Energy Management System Connected with Renewable Energy", Smart Media Journal, Vol. 7, No. 2, pp. 71-77, Jun. 2018.
- [3] Young-Sik Cheon, "The Study on PCS Control System for Hybrid ESS", Ph.D. Thesis, Mokpo National University Graduate School, Feb. 2018.
- [4] Il-Young Kim, Hong-Sop Kim, Dea-He Kim, and Chan Park, "Design and Implements of EMS Application managed 3kW Smart-Grid Home Energy System", Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference, Vol. 23, No. 2, pp. 103-106, Jul. 2015.
- [5] Kang-Jun Lee, Jeong-Min Park, and Jong-An Park, "Implementation of an adaptive EMS system based on solar power generation and power demand pattern", Journal of KIIT, Vol. 17, No. 1, pp. 53-62, Jan. 2019
- [6] Kang-Jun Lee, Jong-An Park, and Jeong-Min Park, "Active Monitoring and Control System of EMS Based on the Environment Factors of Solar Power Generation", Journal of KIIT, Vol. 17, No. 2, pp. 53-62, Feb. 2019
- [7] TAJIMI SUIJI, "[adoption expansion of renewable energy and Smart Grid] The effect of renewable energy on power system", i-magazine-hellot, http://magazine.hellot.net/magz/article/articleDetail.do?jsessionid=D02C4A0269186E0B0974B318A6369009?flag=all&showType=showType1&articleId=ARTI_00000000030305&page=1&articleAllListSortType=sort_1&selectYearMonth=201605&subCtgId=. [accessed : Jan. 07, 2019]
- [8] P. Thounthong, S. Sikkabut, P. Mungporn, L. Piegari, B. Nahid-Mobarakeh, S. Pierfederici, and B. Davat, "DC Bus Stabilization of Li-Ion Battery Based Energy Storage for a Hydrogen/Solar Power Plant for Autonomous Network Applications", IEEE transactions on industry applications, Vol. 1, No. 4, pp. 2717-2725, July-Aug. 2015.
- [9] Ziyi, Wang, Wei, Ma, Ruonan, and Hu, "Power fluctuation stabilization control strategy of micro grid", ACTA ENERGIAE SOLARIS SINICA, Vol. 38, No. 9, pp. 2348-2356, Sept. 2017.
- [10] Young-Sang Bae and Rae-Young Kim, "Control Strategy for a Grid Stabilization of a Large Scale PV Generation System based on German Grid Code", The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 19, No. 1, pp. 41-50, Feb. 2014.

저자소개

하 태 진 (Tae-Jin Ha)



2003년 3월 ~ 2005년 2월 :
조선대학교 정보통신공학과
(공학석사)
2005년 3월 ~ 2012년 8월 :
조선대학교 정보통신공학과
(공학박사)
2011년 4월 ~ 현재 :

(주)비온사이노베이터 대표

관심분야 : 정보보호, IT융합

박 종 안 (Jong-An Park)



1975년 2월 : 조선대학교
전자공학과(공학사)
1978년 2월 : 조선대학교
전기공학과(공학석사)
1986년 2월 : 조선대학교
전기공학과(공학박사)
1983년 ~ 1984년 : 미국 Massachus-

sette 주립대학 전기&전자공학과 객원교수

1990년 ~ 1991년 : 영국 Surrey 주립 대학 전기&
전자공학과 객원교수

1975년 ~ 2017년 8월 : 조선대학교 정보통신공학과 교수

2017년 9월 ~ 현재 : 조선대학교 정보통신공학과
명예교수

관심분야 : 디지털신호처리, 멀티미디어 영상처리, NFC

박 정 민 (Jeong-Min Park)



2004년 2월 : 조선대학교
전기공학과(공학석사)

2009년 2월 : 조선대학교
전기공학과(공학박사)

2015년 4월 ~ 현재 : 조선이공
대학교 자동화시스템과 교수

관심분야 : IT융합, 신재생에너지,

전력전자