

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.2.277>

JIIBC 2020-2-36

캠퍼스 마이크로그리드의 상호운용성 및 신뢰성 확보를 위한 표준화

Standardization to ensure Interoperability and Reliability of Campus Microgrid

윤용호*

Yongho Yoon*

요약 전 세계적으로 추진 중인 단위영역별 중대형 마이크로그리드(Microgrid) 시스템 구축은 전력망의 효율적 운영 및 전력 비상사태에 대비한 독립적인 운전이 가능한 형태로 점차 발전, 확대되고 있으며, 다양한 형태의 새로운 형태의 민간 주도형 전력산업을 발전시키고 있다. 따라서 국내 전력산업의 발전을 위해서는 관련 국제 표준화의 진행 현황 및 기술을 분석하고, 국내 실정에 맞는 표준제정과 새롭게 제정의 필요성이 있는 사항에 대해 국내 표준(안)의 국제표준화가 시급한 실정이다. 캠퍼스 마이크로그리드는 통합 에너지 관리 시스템(EMS), 분산전원(DG), 에너지저장 장치(ESS), 수요 반응(DR), 전기자동차(EV) 등 스마트그리드 요소기술들을 대학 캠퍼스에 통합된 형태로 구현하여 에너지 사용을 저감하고 에너지 사용효율과 에너지자립도를 향상하는 시스템으로 이러한 시스템의 상호운용성 및 신뢰성 확보를 위한 표준화 정립에 대해 살펴본다.

Abstract The construction of medium-and large-sized microgrid systems by unit area, which is being promoted worldwide, is being developed and expanded in the form of efficient operation of electric grids and independent operation in preparation for power emergencies. Therefore, for the development of the domestic electricity industry, it is urgent to analyze the current status and technology of relevant international standardization, and to make international standardization of domestic standard (draft) on the matters that need to be enacted and newly established. Campus microgrid implements smart grid element technologies such as Integrated Energy Management System(EMS), Distributed Power(DG), Energy Storage System(ESS), Demand Response(DR), and Electric Vehicle(EV) in a university campus. As a system that reduces energy use and improves energy use efficiency and energy independence, standardization is established to secure interoperability and reliability of such systems.

Key Words : Campus Microgrid, International Standardization, Interoperability and Reliability

*정회원, 광주대학교 전기전자공학부
접수일자 2020년 1월 4일, 수정완료 2020년 3월 4일
게재확정일자 2020년 4월 3일

Received: 4 January, 2020 / Revised: 4 March, 2020 /
Accepted: 3 April, 2020

*Corresponding Author: yhyoon@gwangju.ac.kr
School of Electrical and Electronic Engineering,
Gwangju University, Gwangju, Korea

I. 서론

현대 문명의 전기에너지 의존도가 심화함에 따라 전력 공급의 여부는 생존과 직결되는 중요한 사회적 문제가 되고 있다. 이에 따라 외란에 강인한 전력 시스템의 필요성이 높아지고 있고 2011년 일본 원전 사고 및 2012년 허리케인 샌디로 인한 정전 사태 등에서 높은 Resiliency를 가진 마이크로 그리드가 사회적 안전망을 확보하는 중요한 역할을 수행하고 있다.

마이크로그리드 (Microgrid)는 전원과 부하의 특성에 따라 여러 운영 형태가 존재할 수 있으며 각 특성에 따른 연구개발이 필요하며 기존 연구는 주로 고립된 지역의 소규모 계통을 대상으로 진행했으나 최근 추세 및 해외 동향에 따르면 캠퍼스를 대상으로 하는 캠퍼스 마이크로 그리드 시장이 확대되고 있으며 이에 대응하기 위한 연구개발이 진행되고 있다.

캠퍼스 마이크로그리드는 통합 에너지관리시스템 (EMS), 분산전원 (DG), 에너지저장장치 (ESS), 수요반응 (DR), 전기자동차 (EV) 등 스마트그리드 요소기술들을 대학 캠퍼스에 통합된 형태로 구현하여 에너지 사용을 저감하고 에너지 사용효율과 에너지자립도를 향상시키는 시스템을 의미한다 (그림 1)^[1].

캠퍼스를 대상으로 하는 마이크로그리드 시스템의 특징은 “1. 중·대규모 계통”, “2. 단일 운영 주체”, “3. 다양한 부하 형태” 등으로 규정할 수 있다. 중·대규모 수용가의 마이크로그리드 구축은 단일한 마이크로그리드 구축보다는 여러 마이크로그리드를 단계적으로 구축해 나가는 것이 현실적이며 다수의 마이크로그리드를 유기적 형태로 운영해 나가는 통합적 관점의 솔루션이 필요하다.

II. 마이크로그리드 국내외 동향^[2,3]

1. 해외 캠퍼스 마이크로그리드 현황

- UCSD(UC San Diego) 캠퍼스 마이크로그리드
 - 전기 부하 중 92%, 난방 및 냉방 부하 중 95% 자체충당
 - 효율 향상을 통한 경제성 확보 및 시스템 안정도와 신뢰도 확보
 - 마이크로그리드 환경에서 다양한 실증연구 수행
 - 매달 약 80만 달러 에너지 절감
- IIT(Illinois Institute of Technology) 캠퍼스 마이크로그리드
 - DOE 자금 \$7,000,000, 산업자금 \$5,000,000의 5년 마이크로그리드 프로젝트 진행
 - IIT의 피크 부하는 10MW, 설치되는 DER 설비용량은 9MW로 대부분의 시간 동안 독립운전 가능
 - 변전소의 업그레이드 및 신규설치 억제 효과에 따른 비용 약 \$7,000,000 절감
 - 계통에 보조서비스 제공으로 연간 약 \$500,000 ~ 1,500,000의 이익 가능
- NYU 캠퍼스 마이크로그리드
 - 13.4MW CHP 시스템(5.5MW 가스터빈 2기, 2.4 MW 스팀 터빈)
 - 허리케인 Sandy 때 마이크로그리드의 독립운전



그림 1. 캠퍼스 마이크로그리드 구성도
Fig. 1. Campus microgrid diagram

표 1. 캠퍼스 마이크로그리드 필요성/문제점
Table 1. Campus microgrid needs/problems

- 캠퍼스 마이크로그리드 시장 확대 움직임에 대한 대응이 필요한 시점
- 단일 운영 주체의 중·대규모 계통에 대한 마이크로그리드 운영 모델 필요
- 향후 확산을 위한 지속 가능한 생태계 구축 및 랜드마크 구성이 필요
- 다양한 형태의 개별 마이크로그리드 및 유기적 결합 운영 방안 필요
- 정확한 수요 예측을 위한 높은 해상도의 대용량 데이터 구축 및 운영 요구
- 전력계통의 최적화 운영을 통한 에너지 절감 및 안정성 확보

테스트를 성공적으로 진행

- 에너지 절약 비용은 연간 5~8백만 달러
- EPA 기준 오염물질(NO_x, SO₂, and CO) 68% 감소, 온실가스 23% 감소 효과

□ **추부대학 캠퍼스 마이크로그리드**

- 캠퍼스 전체를 대상으로 하는 에너지관리시스템 구축
- 전력사용량 15% 감소 및 피크전력 25% 절감
- 학부별로 스마트 BEMS로 전력수요 제어 및 이들을 통합하는 중앙 에너지 관리 시스템(CEMS)을 통해 BEMS 사이의 수요 제어
- 절전 및 에너지 절약 효과에 의해 8~10년에 투자 회수 가능

2. 국내 마이크로그리드 현황

□ **제주 스마트그리드 실증단지**

- EMS, DG, ESS, DR 등의 스마트 그리드 요소기술 개발 및 실증

□ **K-MEG 사업**

- IT와 스마트그리드 건물에너지기술을 융합해 에너지사용량을 운영알고리즘만으로 절감

□ **계통연계형 마이크로그리드 실증사이트 구축 및 운영기술 개발**

- 마이크로그리드 구축에 필요한 요소기기 및 운영 시스템 개발
- 요소기기 및 운영시스템 고도화를 통한 계통연계형 마이크로그리드 실증사이트
- 구축 및 실증운전 진행

□ **가파도 Carbon Free Island(SG 기술을 활용한 독립형전력공급시스템 구축)**

- 제주 가파도에 마이크로그리드 인프라 구축 및 실증사업 착수

□ **신재생에너지 기반 융·복합 에너지시스템 및 계통연계 기술개발**

- 전남 가사도에 독립형 마이크로그리드 에너지 자립 섬실증사업 착수
- 전남 신안군에 배전급 마이크로그리드 구축

III. 마이크로그리드 표준화 개요

전 세계적으로 추진 중인 단위영역별 중대형 마이크로그리드 시스템 구축은 전력망의 효율적 운영 및 전력비상사태에 대비한 독립적인 운전이 가능한 형태로 점차 발전, 확대되고 있으며, 다양한 형태의 새로운 형태의 민간 주도형 전력산업을 발전시키고 있다. 표 2는 캠퍼스 마이크로그리드 표준화 필요성/문제점을 정리한 내용으로 국내 전력산업의 발전을 위해서는 관련 국제 표준화의 진행 현황 및 기술을 분석하고, 국내 실정에 맞는 표준제정과 새롭게 제정의 필요성이 있는 사항에 대해 국내 표준(안)의 국제 표준화가 시급한 실정이다.

이를 위해 본 논문에서는 그림 2 캠퍼스 마이크로그리드 신뢰성 확보 및 표준화 대상 개념도를 바탕으로 현장 실증을 통해 단위 발전 플랜트 간의 상호운용성 및 운영 안정성 확보를 위한 시스템 인프라 기술을 개발하고, 실증평가의 결과를 바탕으로 국제표준화에 적극적으로 대응하는데 목적을 두고 있다.

표 2. 캠퍼스 마이크로그리드 표준화 필요성/문제점
 Table 2. Campus microgrid standardization needs/problems

- 현장 실증을 통해 단위 시스템 간의 상호운용성 및 운영 안정성 확보 필요
- 단위 시스템 간의 성능평가 인프라 기술 개발 및 실증평가의 결과를 바탕으로 국내 표준(안)의 국제 표준화 부합 필요

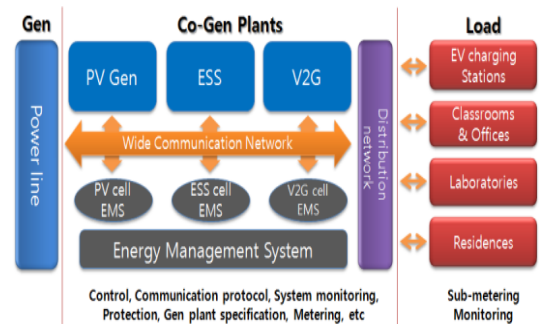


그림 2. 캠퍼스 마이크로그리드 신뢰성 확보 및 표준화 대상 개념도
 Fig. 2. Conceptual drawing of campus microgrid reliability and standardization target

- 국내 전력산업의 발전을 위해서는 관련 국제 표준화의 진행 현황 및 기술 분석 필요
- 국내 실정에 맞는 표준제정 필요
- 제정의 필요성이 있는 사항에 대해 국내 표준(안)의 국제표준화 부합 필요

마이크로그리드 표준화는 주요 구성요소는 발전 인프라 표준화, 운영제어 표준화, 정보 표준화로 구분되며, 세계적인 국제적 표준 동향은 다음과 같다.

- 스마트그리드 표준제정 현황 (시스템)
 - IEEE Std 2030 (2011) Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System(EPS), and End-Use Application and Loads
 - IEEE Std P2030.1 Guide for Electric-Sourced Transportation Infrastructure IEEE Std P2030.2 Guide for the Interoperability of Energy Storage Systems integrated with the Electric Power Infrastructure
 - IEEE Std P2030.3 Standard for Test Procedures for Electric Energy Storage Equipment and Systems for Electric Power Systems for Electric Power Systems Application
 - IEC 61850 ser. Communication networks and systems in substations
- 마이크로그리드 표준제정 현황 (시스템)
 - IEEE Std 1547.4-2011 Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island System with Electric Power Systems
 - IEEE Std P1547.8 Recommended Practice for Establishing Methods and Procedures that Provide Supplemental Support for Implementation Strategies for Expanded Use of IEEE 1547
- 마이크로그리드 단위 시스템별 표준제정 현황
 - KS C 8565, 중대형 태양광발전용 인버터 (독립형, 계통연계형)
 - IEC 62109-1, Safety of power converters for use in photovoltaic power systems-Part 1: General requirements
 - IEC 62109-2 Safety of power converters for use in photovoltaic power systems-Part 2: Particular requirements for inverters
 - SGSF-04-2012-07, 에너지저장 시스템용 전력변

환장치의 성능 요구사항

- KBIA-10104-01, 배터리에너지저장장치용 리튬이차전지-단전지 및 전지 시스템 - 제1부 : 안전성 시험방법
- KBIA-10104-02, 배터리에너지저장장치용 리튬이차전지-단전지 및 전지 시스템-제2 부:성능 시험방법
- IEC61427 Secondary cells and batteries for photovoltaic energy systems-General requirements and methods of test
- IEC 62093 Balance-of-system components for photovoltaic systems-Design qualification natural environments
- IEC62477-1, Safety requirements for power electronic converter systems and equipment-Part 1 : General

III. 캠퍼스 마이크로그리드 표준화

평가방법^[4,5,6]

그림 3과 4는 캠퍼스 마이크로그리드 관련 표준화 분석 및 표준화 기반 계측시스템을 이용한 성능평가 분석 내용으로 본 논문에서는 캠퍼스 마이크로그리드 표준화 평가방법에 대해 다음과 같이 제안한다 (표 3).

1. 상호운용성 및 신뢰성 확보를 위한 표준화 기술개발

- 캠퍼스 마이크로그리드 기술기준 및 표준화 연계
 - 요구 성능에 따른 성능평가 및 실증 시험평가
 - 성능 및 실증시험을 통한 시험규격 및 절차 최종 표준화(안)
- 캠퍼스 마이크로그리드 통합관리 시스템 KS 규격 제정 제안
 - 시험규격 및 절차에 대한 최종 표준화(안)
- 용도별 에너지 소비 측정을 통해 소비를 최적화할 수 있는 관리 시스템 실증 및 평가
- 단위별 제품 연계에 따른 성능 및 실증평가
- 성능 및 실증시험을 통한 시험규격 및 표준화(안)

2. 실증을 통한 세계 최고 수준의 Best Practice 실현 및 단계적 확산

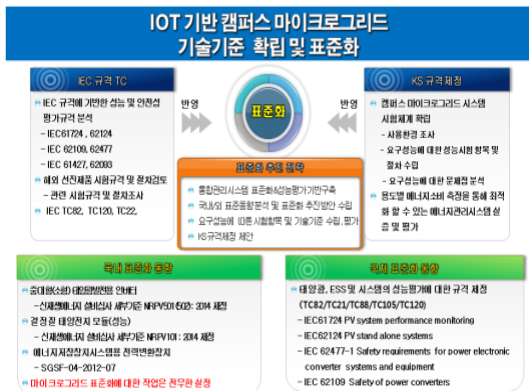


그림 3. 캠퍼스 마이크로그리드 관련 표준화 분석
 Fig. 3. Standardization analysis of campus microgrid

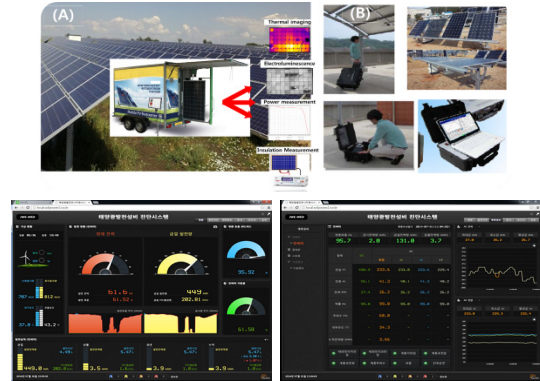


그림 4. 표준화 기반 계측시스템을 이용한 성능평가 분석
 Fig. 4. Performance evaluation analysis using standardized measurement system

- 실증을 통해 캠퍼스 마이크로그리드 시스템을 세계 최고 수준의 Best Practice로 실현하고 이를 기반으로 마이크로그리드의 지속적인 확산을 진행할 수 있는 기술력을 확보하는 것이 필요하다.
- Best Practice 실현을 위한 실증 및 사이트 구축을 위한 연구범위는 아래와 같다.
 - 에너지 진단 및 분산전원 용량 산정 등을 통한 설계 최적화
 - CBL(Customer Base Load) 분석으로 에너지 저감기술 상세 설계 및 실증운영 방안
 - 단위/연동 시험으로 기능/성능평가 진행 및 보안을 통한 신뢰성 강화
 - 연동 시험 및 단위 기기별 접속 시험을 통한 표준화 연구 수행

- 단체표준 및 KS표준 제안
 - 평가 기준 : KS, SG 표준화 포럼 등 표준제안
 - 표준화 내용(예정) : 상호운용성, 신뢰성 기준, 시험방법 등
 - 국제 표준화 활동
 - IEC TC82 Solar photovoltaic energy systems
 - IEC TC120 Electrical Energy Storage (EES) Systems
 - IEC TC22 Power electronic systems and equipment
- 에너지관리시스템 (EMS) 성능평가 및 국제표준 반영
- 시스템 검증을 위한 실증평가 데이터 결과 분석
 - 제품성능평가 및 진단, 분석
 - 환경 센서와 측정기의 Metering, sub-metering을 시스템의 고장 유무, 상태정보, 모니터링 분석

표 3. 캠퍼스 마이크로그리드 표준화 제안

Table 3. Campus microgrid standardization proposal

- 마이크로그리드의 개별 발전 플랜트 간의 신뢰성 확보를 위한 운영기술, 체계에 대한 표준화 제안
- 부하에 따른 전력에너지의 최적 운영을 위한 에너지관리시스템(EMS) 세부기술 표준화 제안
- 플랜트와 부하의 metering, sub-metering 기술의 표준모델 제시

- [5] IEEE Std 1547.4-2011, Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island System with Electric Power Systems
- [6] Y. H. Yoon, "A Study on the Technical Standard of Micro-Inverter for Domestic Photovoltaic Power Generation", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 19, No. 2, pp. 175-180, 2019.
DOI: <http://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.2.175>

IV. 결 론

현재 스마트그리드는 요소기술개발 수준을 넘어 제한된 지역에 이를 통합하여 마이크로그리드를 구축하고 실증 및 운영을 통해 시장 진출 전략을 세우는 단계로 캠퍼스 마이크로그리드의 시장규모가 가장 크고 성장 가능성이 높아 이에 따른 전략 수립 필요하다. 우리나라의 경우 요소기술들은 세계적 수준이나 이를 통합하여 구현하고 운영한 경험과 Track Record가 부족하여 세계시장진출에 어려움이 있으므로 이를 극복하고 국가 경쟁력을 높이기 위한 캠퍼스 마이크로그리드의 상호운용성 및 신뢰성 확보를 위한 표준화 정립이 필요하며 이에 필요한 내용들을 분석 및 제안하였다.

저 자 소 개

윤 용 호(정회원)



- 성균관대학교 메카트로닉스공학과(공학박사)
- 삼성탈레스 종합연구소 전문연구원
- 현재 : 광주대학교 전기전자공학부 교수
- 주관심분야 : 전동기 제어 및 신재생 에너지

References

- [1] Terry Mohn, "Campus microgrids: Opportunities and challenges", IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1109/PESGM.2012.6344610>
- [2] Fahad Iqbal, Anwar Shahzad Siddiqui, "Optimal configuration analysis for a campus microgrid—a case study", Protection and Control of Modern Power Systems, Vol. 2, No. 23, 2017.
DOI: 10.1186/s41601-017-0055-z
- [3] Munir Husein, Il-Yop Chung, "Optimal design and financial feasibility of a university campus microgrid considering renewable energy incentives", Applied Energy, Vol. 225, No. 1, pp. 273-289, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.036>
- [4] IEEE Std 2030, Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System(EPS), and End-Use Application and Loads

※ 이 연구는 2020년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.