

배전급 마이크로그리드 기술개발 및 사업화 동향

윤상윤 (한전 전력연구원 에너지밸리연구센터 책임연구원)

1 서론

전력계통의 구조는 일반적으로 발전, 송전, 배전 및 수용가로 구분하며 각각의 대상에 따라 각기 관심을 가지는 요소의 차이가 있다. 공통적으로 고장(fault)의 발생, 전압 및 전류에 관심을 가지며 발전 및 송전의 경우 발전량과 부하량간의 수급의 균형을, 배전의 경우 정전발생 및 그 지속시간과 전압을, 수용가의 경우는 전압과 요금에 관심이 있다. 이러한 전통적인 전력계통의 구조는 최근들어 수요 지역에 다수의 발전기와 부하로 구성된 형태로 변경되고 있

으며 이러한 변화의 중심에는 소규모 망(microgrid)이 있다.

2. 마이크로그리드의 정의

IEEE에서는 마이크로그리드의 정의를 “A Localized grouping of electricity generation, energy storage, and loads that normally operate connected to a traditional centralized grid”로 하고 있다. 또한 마이크로그리드를 다음과 같이 구분하고 있다. 표에서 보는바와 같이 마이크로그

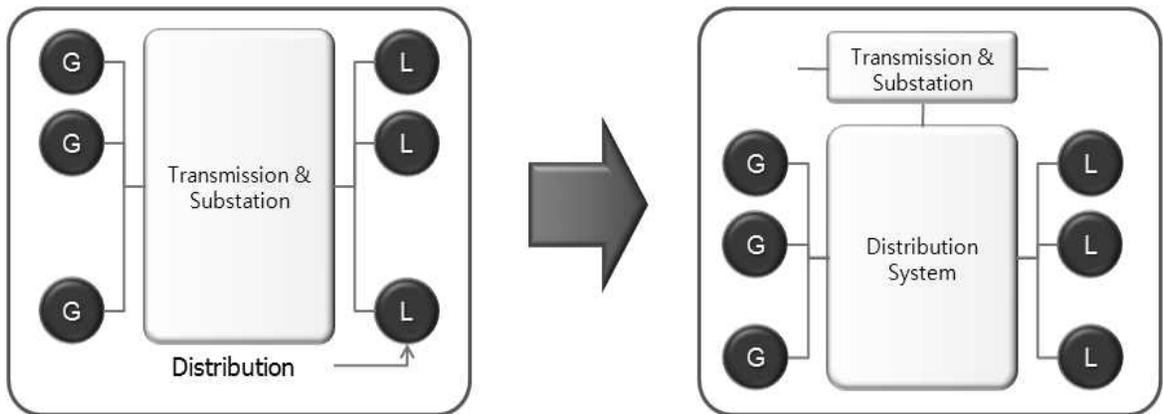


그림 1. 국내 전력계통 운영구조의 변화

표 1. 마이크로그리드의 구분(IEEE, 2008)

구분	운영	범위	운영 목적	필요 기술
Utility MG	상시 운전시 Power Grid와 연계 (비상시 독립운전)	배전 피더 또는 변전소	배전 운영향상 +신뢰도 증대	배전운영, 연계/독립 운전 전환, 수요관리 기술
Commercial MG		수용가 또는 수용가 그룹	DER 보급확대, 에너지 자급자족 +신뢰도/품질 증대	계통안정화, 연계/독립 운전 전환 기술
Isolated MG	상시 독립운전	분리 지역 (도서/산간 지역)	연료비 감소	연료비 절감, 계통 주파수 유지 기술

리드는 크게 계통(power grid)과의 상시 연계운전을 하는 연계형(grid connected type)과 상시 분리 운전을 수행하는 독립형(isolated type)으로 구분한다. 대부분의 독립형은 섬(도서) 지역등의 물리적으로 고립된 지역에 설치하며 일부 육지의 산간이나 오지(사막, 정글 등)에 설치한다. 연계형의 경우 배전피더 또는 변전소 단위의 배전급 마이크로그리드(utility microgrid)와 수용가 등에 설치하는 수용가 마이크로그리드(commercial microgrid)로 구분한다.

배전급 MG와 수용가 MG간의 역할 분담을 다음 그림에 도시하였다. 그림에 보는바와 같이 빌딩이나 일반 수용가에 설치되는 수용가 MG는 구내에 신재생에너지 및 ESS 등이 설치되고 에너지 자급자족 및 Power Grid의 비상상황에 독립운전을 통한 신뢰도 및 전력품질 증대를 도모한다. 배전급 MG와 수용가

MG간에는 계통운영상의 제어 협조(유/무효 전력), 비상시 독립운전을 통한 신뢰도 증대 및 수요자원 거래등을 협조한다.

한전 전력연구원에서는 이와 같은 마이크로그리드의 정의를 다음 표와 같이 좀더 세분화하여 구분하였다. 앞서의 IEEE의 예와 다른점은 표에서 보는 바와 같이, 독립형 마이크로그리드를 에너지 자립형과 하이브리드(hybrid) 형 MG로 구분한다는 점이다. 에너지자립형의 경우 중소규모 도서 및 오지에 설치되며 인버터가 전압 및 주파수를 제어하며 높은 신재생에너지 도입이 가능한 모델이다. 하이브리드형의 경우 대규모 도서 및 오지에 설치되며 디젤발전기가 전압 및 주파수를 제어하며 상대적으로 낮은(50% 미만) 신재생에너지 도입이 가능한 모델이다.

각 종류별로 마이크로그리드의 기술이슈를 요약하면 다음 표와 같다.

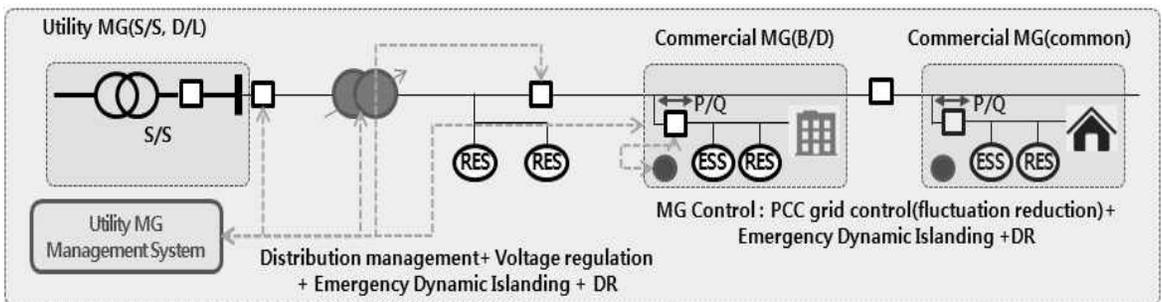


그림 2. Utility MG와 Commercial MG간 역할 분담

표 2. 마이크로그리드의 구분(한전 전력연구원, 2015)

구분		적용대상	특징
연계형 MG	고객용 MG	고객 소유설비	- 전력거래+자체발전 → 전기요금 ↓, 신뢰도 ↑ - 상시 배전계통과 연계운전 - 비상시 단독운전 전환에 의한 무정전 공급 - 캠퍼스, 병원, 빌딩, 군부대 등에 1개 또는 복수개의 MG로 구성 예) 캠퍼스 마이크로그리드
	배전용 MG	전력회사 (D/L, 구간 단위)	- 신재생E+배터리 연계, 배전계통의 전체 또는 일부 구간을 MG로 운영 - 선로운영 효율화(전압제어, 신뢰도 향상) 및 신재생 에너지 연계용량 증대 예) 연계형MG(신안), 캐나다배전급MG 사업
독립형 MG	에너지자립형 MG	중소규모 도서, 오지(電化 사업)	- 인버터가 전압/주파수 제어: 전력품질 향상 - 높은 신재생에너지도입율(50%이상) 예) 가사도 에너지자립섬
	하이브리드형 MG	대규모 도서, 오지(電化 사업)	- 디젤발전기가 전압/주파수 제어 - 디젤발전기 + 신재생에너지(50% 미만) 예) 거차도, 울릉도, 덕적도 등

표 3. 마이크로그리드의 기술 이슈

구분	기술이슈	세부 이슈
독립형	적절한 설계 및 엔지니어링 (경제성)	<ol style="list-style-type: none"> 1) 망내의 수급(dispatch) : 발전량과 부하량의 match → 모자랄때 보다는 남을때의 문제 2) 신재생에너지원별 배치 및 용량 설계 → 순시치 출력에 대응하는 PCS의 용량 및 대수 설계 3) 상시 ESS의 용량 설계 및 비상시 대응을 위한 디젤 설계 4) 돌입전류(Inrush current)에 대응하는 방식 → Black Start 5) 경제성, 운전방식(EMS 및 EMS-less) 및 운영자의 Margin 고려에 따른 설계 6) 보호(비접지) 및 보호협조 7) 운영시스템 : 예측 기반의 운영 최적화, 운전원의 여부 및 유지보수 문제 → EMS/EMS-less Type 및 유지보수(R&D 차원을 넘어서면 매우 중요한 문제) 8) 발전량/부하량 (kW 예측, kWh 예측) 예측 ESS SOC 예측 발전/부하 기동/정지
연계형	독립/연계운전의 전환	<ol style="list-style-type: none"> 1) 독립/연계운전 전환을 위한 연계 포인트의 지정(Re-Synch를 위한 위상 계측) 및 방식 2) 돌입전류(Inrush current)에 대응하는 방식 → Black Start 3) 장시간 독립운전시의 보호문제 : 전원이 ESS 및 신재생 밖에 없는 경우 4) 무효전력 공급, Reserve 용도로의 활용, 신뢰도 증대 등에 대한 경제성, RTP 등의 도입 5) 운영시스템 : MG의 자원화 활용, 개별/통합 운전 6) 운영원이 별도로 필요한가, 기존 배전/변전에서 통합 관리할 것인가? 7) 배전운영의 자원(전력품질, 신뢰도 증대)으로 활용

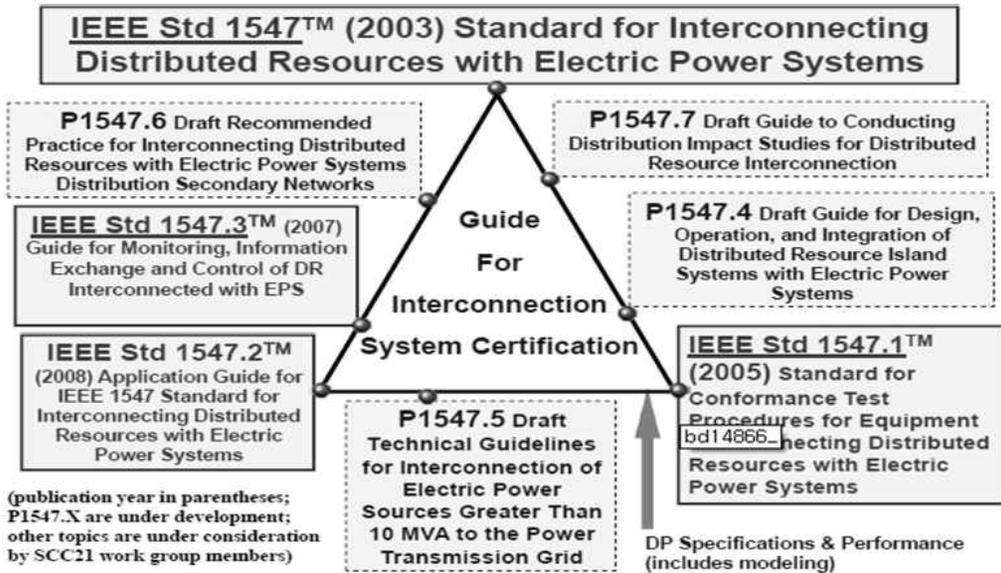


그림 3. 마이크로그리드 기술기준(IEEE P1547)

마이크로그리드의 기술기준 중 대표적인 것은 IEEE P1547이며, 계통연계 및 독립운전에 대한 가이드라인을 제시하고 있다. 그러나, 마이크로그리드는 각종 설비, 설계 및 운영시스템의 기술적 결합이므로 특정 표준으로 전체를 정의한다는 것은 어렵고 각각의 세부기술의 기준도 검토해 보아야한다.

3. 한전의 마이크로그리드 기술개발 및 사업 추진

한전의 마이크로그리드 기술개발 및 사업전략을 요

약하면 다음과 같다. 기술개발의 전략은 한전 고유의 마이크로그리드 운영시스템 개발 및 기술 확보에 집중된다. 이를 위해 각종 계통해석 및 제어 응용프로그램과 마이크로그리드 공통 플랫폼의 개발을 진행하고 있다. 또한 설계, 시험 및 운영을 위한 마이크로그리드 엔지니어링 기술 확보를 병행하고 있다. 마이크로그리드 사업전략은 다음 표와 같이 요약된다. 표에서 볼 수 있는 것처럼 마이크로그리드 사업 모델은 크게 세가지로 구분된다. 첫째는, 아프리카 동남아 등의 미전화 지역 대상의 지원사업 형태로 진행되는 기본형이며, 둘째는, 자체개발한 MG 운영시스템을 활용하

표 4. 한전의 마이크로그리드 사업전략

구분	추진방향	사업전략
기본형 (Type A)	MG 모델을 이용한 전회사업 추진	- 아프리카, 동남아, 남미 등 미전화지역 대상 국제기금 지원사업 참여 - 개도국내 전회사업 확장시장 교두보 확보
기술집약형 (Type B)	자체개발한 MG EMS를 활용한 MG 사업 추진	- MG를 이용한 전력 및 물 등의 생산 및 판매 - AC-DC Hybrid type MG를 이용한 효율 증대
미래대응형 (Type C)	선진국 시장 창출형 사업모델 개발	- DMS (Active Distribution Network) 기반의 다양한 운영모델 창출 - 배전급 MG의 모델의 해외 실증을 통한 신시장 대응

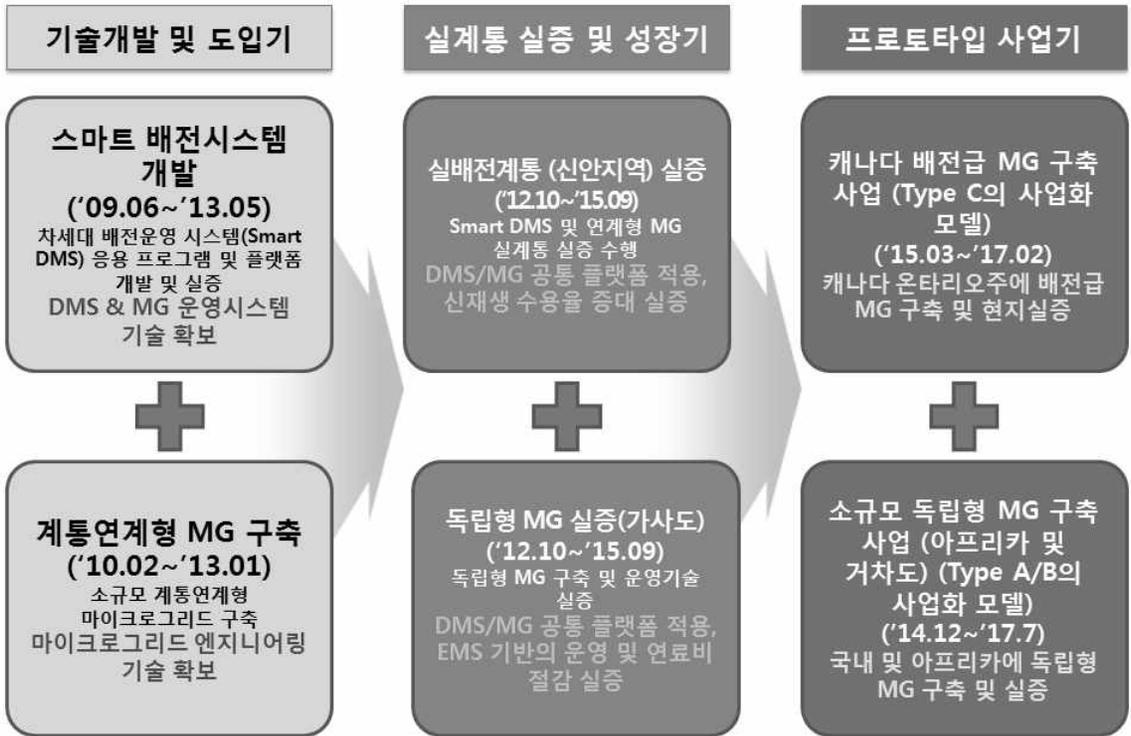


그림 4. 한전의 마이크로그리드 분야 기술개발 추진 이력

는 기술집약형 사업이고, 셋째는, 배전운영 단위의 DMS 기반의 배전급 MG 모델인 미래대응형이다.

한전의 MG 분야 연구개발 추진이력을 다음 그림에 요약하였다. 그림에서 보는 바와 같이 2009년부터 2013년까지의 기술개발 및 도입기에서는 차세대 배전운영시스템인 스마트배전 시스템 개발과 소규모 계통연계형 마이크로그리드 구축 과제를 수행하였다. 이를 통해, DMS 및 MG 운영시스템 기술을 확보하였으며 마이크로그리드 엔지니어링 기술을 확보하였다. 2012년부터 2015년까지는 개발 기술의 실계통 실증 및 성장기로서 신안 및 가사도 지역의 실계통에 대한 DMS 및 MG 기술 실증을 수행하였다. 이를 통해 DMS/MG 공통 플랫폼 기술 적용, EMS 기반의 운영 및 연료비 절감 실증 등을 수행하였다. 2015년부터 2017년까지 진행될 프로토타입 사업기에서는 캐나다 배전급 MG 구축 사업 및 소규모 독립형 마이크

로그리드 구축 사업등이 진행될 예정이다.

스마트배전 운영시스템의 경우 다음과 같은 능동적 배전운영(active distribution network operation)의 필요성에 의해 개발되었다. 1)분산에너지자원(DG, EV, ESS 등)의 다수 연계에 따른 직관적 배전운영 어려움, 2)배전망 상태 파악 및 운영을 위한 능동적 배전망 운영시스템 필요, 3)RPS 도입('12) 및 제 2차 지능형 전력망 기본계획 등으로 신재생에너지 증가 예상. 스마트배전 운영시스템의 구조 및 개발 결과물을 요약하면 다음 그림과 같다. 한전에서는 이 과제를 통해 차세대 배전운영 및 마이크로그리드 운영시스템을 위한 SCADA 플랫폼, 계통 해석 및 제어를 위한 응용프로그램 11종, 각종 국제 표준에 근거한 단말 장치 기술등을 확보하였다.

계통연계형 MG과제는 2010년부터 2013년까지 3년동안 수행되었으며 한전, LS산전, 세니온 등의

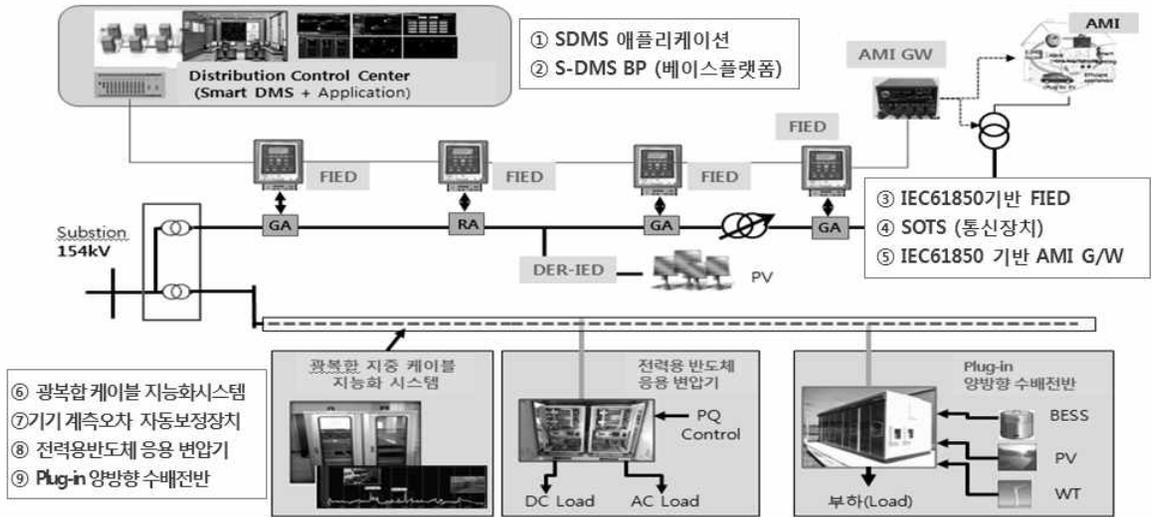


그림 5. 스마트배전 시스템 개발 결과물

기관이 참여하였다. 한전은 이 과제를 통해, 1) 마이크로그리드를 위한 핵심 장치(PCS 등) 개발, 2) 마이크로그리드 운영시스템(EMS) 개발, 3)태양광 및 배터리용 PCS(전력변환장치), 4)UPQC(unified power quality compensator) 및 STS(static transfer switch) 개발 등을 수행하였다.

신안 및 가사도에 대한 DMS 및 독립형 마이크로그리드 실계통 실증 과제는 2012년부터 2015년까지 총 3년동안 수행되고 있으며 한전, 전남TP, 한국전기연구원 및 기초연 등의 기관이 참여하였다. 이 과제의 목표는 독립형 MG 실증사이트 구축 및 사업화 Track Record 확보, 능동배전망(배전급 MG+수용가 MG) 실증사이트 구축 및 사업화 Track Record 확보, 마이크로그리드 통합 플랫폼 및 응용 프로그램 개발/실증, 마이크로그리드 보급 확대 정책 개발 등이다. 본 과제는 신안지역에 구축된 연계형 마이크로그리드에 대해 DMS 제어센터, 태양광 및 풍력기반 마이크로그리드, 수용가 마이크로그리드 등을 구축하였다. 또한 진도군 가사도지역에 구축된 독립형 마이크로그리드에 대해 MG 운영센터, ESS, 풍력, 태양

광, 모의부하 등을 설치하였다. 각 사이트의 구축내역을 다음 그림에 나타내었다.

최근 들어, 한전에서는 다양한 마이크로그리드 해외사업을 계획하고 있으며 이미 가시적인 성과를 창출하고 있다. 그 대표적인 해외사업 추진 사례가 캐나다 지역의 배전급 마이크로그리드 사업과 아프리카 지역의 소규모 마이크로그리드 구축 사업이다.

캐나다 배전급 마이크로그리드 구축사업은 캐나다 온타리오주의 Penetanguishene 지역에 배전 피더단위의 마이크로그리드를 구축하는 사업이다. 이곳은 온타리오주 배전회사인 파워스트림(PowerStream)사의 관할구역으로 본 사업은 한전과 파워스트림사간의 공동 추진사업이다. 파워스트림사에서는 캐나다 연방정부 차원에서 신재생 및 배터리 보급 확대 요구 증가, 관할지역은 넓고(300km), 부하밀도가 적어 연계 선로 확충 곤란 등의 이유로 신재생 및 배터리 등을 이용한 마이크로그리드 구축을 증대하려 한다.

본 과제에서는 4가지 컨셉에 대한 실증을 추진하려고 있다. 1) ESS(500kW, 750kWh)를

이용한 피더 단위의 무정전 독립운전 실증, 2)KEPCO 배전급 MG 운영시스템의 복미 현지화 개발/실증, 3)능동배전 운영 기술(전압 안정화 제어, CVR 및 고장 처리 등) 실증, 4)ESS를 활용한 Peak-Shaving/Valley Filling 기술 실증 등이다. 또한 VPP, 수요 자원거래 및 장시간 독립 운전 기술 등의 실증은 추후 별도 사업으로 수행할 예정이다.

또 하나의 가시적인 마이크로그리드 해외사업은 아프리카 전력사업 진출을 위한 소규모 마이크로그리드 구축 사업이다. 본 과제의 최종목표는 아프리카 전회사업용 독립형 마이크로그리드 구축 및 확산사업 모델개발로 2014년부터 2015년까지 1년간 아프리카 모잠비크 지역에서 미전화 지역에 대한 전력 및 식수 공급을 목적으로 마이크로그리드 구축을 진행하고 있다.

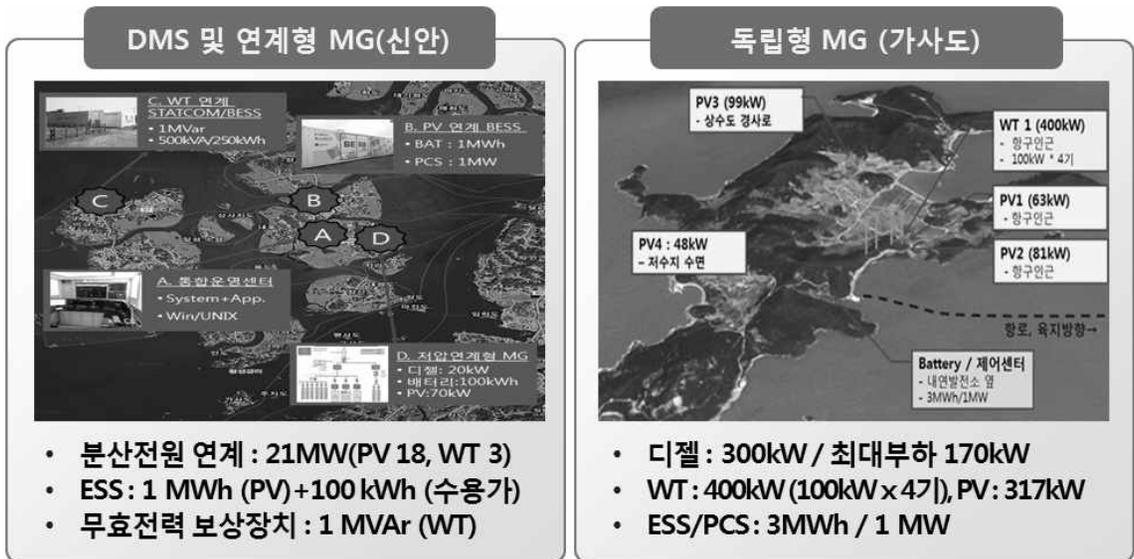


그림 6. 신안 및 가사도 지역 마이크로그리드 실증 사이트 구축

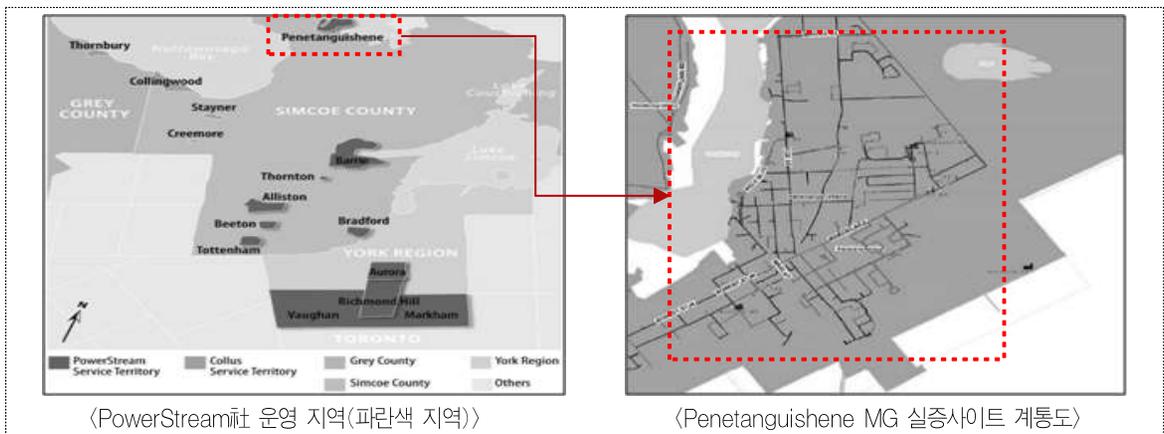


그림 7. 실증사이트 구성

Navigant Research(2014)에서는 배전급 마이크로그리드 시장이 전체 마이크로그리드 시장의 30% 이상이 될 것으로 전망한다.

위에 언급한 바와 같이 마이크로그리드 분야는 막대한 시장규모가 예상되며 진행단계로 보면 기술개발 및 기술실증을 넘어 활발한 사업 추진 단계로 진입하고 있다. 또한 한전의 경우 다양한 국내외사업 추진을 통해 앞서 설명한 3가지 타입의 사업 모델을 구체화하고 있다. 그러나 다음의 몇 가지 사항들에 대한 고려가 추가로 필요하다. 첫째, 관련 인력의 부족 문제이다. 핵심기술인 운영시스템(플랫폼 및 응용프로그램 개발) 및 시각화(HMI) 기술의 전문인력이 부족하며 특단의 조치없이 이 문제는 점점 심각해 질 것으로 예상된다. 이 문제는 핵심기술의 자체 확보 문제와도 밀접한 관련이 있다. 둘째, 연구개발품과 판매용 제품을 구분하는 기준인 유지보수 대책의 문제이다. 국내의 사업을 통한 설치품에 체계적 유지보수 계획이 부족하며 특히 해외 사업진출을 걸림돌이 되고 있다. 셋째, 구축 비용의 문제이다. 신재생에너지 및 에너지저장장치(ESS)에 기반하여 구축되는 마이크로그리드의 경우 초기 구축비 과다에 따른 경제성 문제에 직면하며 이를 극복하기 위해서는 전원의 다각화, 공급에너지 다변화(열/가스+전기), 전력 및 수요자원 거래 등의 대책이 필요하다. 이러한 여러 가지 문제의 극복을 위해 연구계, 산업계 학계의 전략적 제휴 및 공동 노력이 필요하다 할 수 있다.

◇ 저 자 소 개 ◇



윤상운 (尹尙濶)

2002년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2002~2009년 LS산전 전력연구소 책임연구원. 2009~2015년 현재 한국전력공사 전력연구원 책임연구원 근무. 주요 연구분야는 EMS(energy management system)용 계통해석 응용프로그램 개발, DMS(distribution management system)용 계통해석 및 제어 응용프로그램 개발, 운영시스템용 데이터베이스 설계 분야 등임.