

특집 : 마이크로그리드

마이크로그리드 운영기술과 국내 연구 동향

안 종 보

(전기연구원 스마트그리드연구본부 신재생에너지시스템연구센터 책임연구원)

마이크로그리드(Micro Grid)는 현재의 집중적인 전력공급 시스템의 대안으로 부각되고 있는 지역적 에너지공급체로서 신재생에너지(Renewable Energy)와 분산전원(Distributed Generation) 및 정보통신기술의 발전에 따라 전력공급에서의 에너지손실 최소화, 분산자원의 효율적이고 효과적인 이용, 전력품질의 제고, 분산자원의 전력망 수용성 제고 등 다양한 목적으로 실증적인 연구가 진행되고 있는 기술이다. 본고에서는 마이크로그리드의 핵심기술인 운영기술을 그 목적별로 자세히 소개하고 국내에서의 마이크로그리드에 관련된 연구 동향을 살펴보고자 한다.

1. 서론

마이크로그리드는 “다수의 소규모 분산전원과 부하의 집합체로서 기존의 전력망과 연계 혹은 분리 운전될 수 있는 소규모 전력망”으로 정의할 수 있으며 분산전원기술, 에너지저장 기술, 전력망 운용기술, 통신기술, 제어기술이 통합된 미래형 신적인 전력공급기술로 받아들여지고 있으며 마이크로그리드 기술이 주목을 받는 이유는 이 기술이 가진 환경적, 경제적, 사회적 가치에 기인한다.⁽¹⁻²⁾

현재의 집중식 전력공급시스템은 발전원과 수요지가 멀리 떨어져 있어 발전 시 발생하는 폐열을 유효하게 이용하는 것

이 어렵다. 그러나 마이크로그리드는 에너지공급 측면에서 열과 전기를 동시에 공급하는 분산형 지역적 에너지공급기술이다. 마이크로그리드는 수요지 근처에 신재생에너지전원과 가스 기반의 소형열병합발전 및 전기와 열 저장시스템을 결합하여 열과 전기를 동시에 수용가에 공급함으로써 송배전 손실저감, 에너지 효율향상, 증가하는 부하에 대응하는 설비 투자의 지연 등의 이익을 수용가와 전력회사에 제공할 수 있다.

환경적인 측면에서 사회의 고도화에 따른 에너지 수요증가는 전기 에너지의 사용 증가로 나타나고 있으며 발전에너지원으로서 화석연료의 사용은 지구온난화가스 발생을 증가시키고 있다. 대안으로서 태양광, 풍력 같은 신재생에너지를 이용한 청정발전의 기술개발 및 보급이 확산되고 있으며 경제성의 확보가 현재로서는 최대의 이슈이긴 하지만 기술개발의 진전으로 보급이 확대될 것이다. 그러나 기술적인 측면에서 이러한 신재생에너지 전원은 간헐적이고 예측불가하며 제어할 수 없는 출력특성을 가지기 때문에 전력망에 임의로 대량 보급되는 경우에는 기존의 전력 인프라로서는 계통의 보호와 전력품질의 유지가 어렵게 된다. 마이크로그리드 기술은 이러한 분산전원의 계통연계 문제를 단순화하여 계통운용을 용이하게 하며, 간헐적인 출력 특성에 기인하는 전압변동 같은 전력품질문제를 해결하여 분산전원과 기존 전력망의 조화로

은 공존을 가능하게 하는 기술이다.^[3]

이와 같이 마이크로그리드는 친환경적인 신재생에너지 및 분산전원을 기존의 전력망에 안정적으로 접속하고 또 그 이익을 수용가와 전력사업자에게 공통으로 제공할 수 있는 기반이 되는 기술이라고 할 수 있다. 본고에서는 마이크로그리드의 핵심기술인 운영기술에 대해서 기술하고 현재 국내의 마이크로그리드 관련 연구동향을 살펴보고자 한다.

2. 마이크로그리드 운영기술

본 장에서는 마이크로그리드의 간략한 개념과 구성요소 등 핵심적인 내용들을 정리하고 마이크로그리드의 운영기술을 운영 목적의 관점에서 해외의 실증적 연구사례를 중심으로 기술하고자 한다.

2.1 마이크로그리드 시스템 구성

아래 그림 1은 전형적인 마이크로그리드 시스템의 구성을 보여주고 있다.^[4] 시스템 구성상 마이크로그리드의 핵심적인 필수 구성요소는 분산자원(Distributed Energy Resources, DER), 부하 그리고 통신망 및 통합제어장치 혹은 에너지관리시스템(Energy Management System, EMS)이다. 분산 자원은 발전원인 분산전원과 열 혹은 전기저장장치인 분산저장장치(Distributed Energy Storage)를 의미한다. 분산발전원으로는 태양광, 풍력, 소수력, 같은 신재생에너지 발전원과 마이크로가스터빈과 연료전지를 포함한 청정가스기반의 열병합발전이 있으며, 분산저장장치는 축전지(Battery Energy Storage System, BESS), 플라이휠(Flywheel Energy Storage System, FESS), 초전도(Superconducting Magnetic Energy Storage, SMES) 등 전력저장장치와 열을 저장할 수 있는 열저장장치가 사용될 수 있다. 다른 한편 전력품질 보상기들도 분산자원의 한 종류로 볼 수 있는데 때로는 에너지저장장치와 결합된 형태로 나타나

도 한다. 부하 혹은 분산전원의 운전 특성에 의한 전압변동을 보상할 수 있는 UPQC(Unified Power Quality Conditioner), DVR(Dynamic Voltage Restorer), SVC(Static Var Compensator), APF(Active Power Filter) 등이 여기에 속한다.

마이크로그리드 내의 부하는 열부하와 전력부하로 나눌 수 있으며 전력부하는 다시 전력의 품질이 중요한 민감(Sensitive Load) 혹은 중요부하(Critical Load), 조절이 가능한 조정부하(Adjustable Load) 및 필요에 따라서 차단이 가능한 부하(Shedable Load)로 구분된다. 중요부하는 정지형스위치(Static (Transfer) Switch)로 정전이나 전압강하 등 계통의 외란으로부터 분리하여 독립운전으로 전환함으로써 부하를 보호할 수 있으며 독립된 그리드 내부에 전력저장장치와 분산전원을 이용하여 지속적이고 안정적인 전력의 공급이 가능하도록 설계된다. 조정부하와 차단이 가능한 부하는 전력요금 절감을 위한 Peak-Shaving 운전이나 독립운전시의 발전과 부하의 밸런스를 위하여 부하삭감 혹은 차단하는 등으로 사용될 수 있는 부하이다. 특히 직접부하제어(Direct Load Control, DLC)는 전력사와의 계약에 의해 피크부하 시에 원격에서 부하를 직접제어함으로써 전력사는 예비율의 확보로 소비자는 전력요금 절감의 목적을 달성할 수 있다.

마이크로그리드 내의 모든 구성요소들은 통신망에 의해 통합적으로 감시제어되며 그 중심에 마이크로그리드용 EMS가 있다. 분산자원, 정지형 스위치 등 보호기기, 부하 등 마이크로그리드 내의 거의 모든 구성요소들이 통신망으로 연계되어 있으며 계층적인 구조와 기능의 분담에 의해 효과적으로 마이크로그리드의 기능을 구현하게 된다. 보다 자세한 내용은 이하의 절에서 기술된다.

2.2 마이크로그리드 운영 기술

마이크로그리드의 운영기술은 전력망으로서의 감시제어 관점과 에너지공급시스템으로서의 에너지관리 관점이 있다. 전력계통의 감시제어 관점은 분산자원의 계통연계운전에 관련된 보호기능, 전력품질 및 안정성의 유지 등 분산전원의 계통 수용확대를 위한 기술로서 비교적 짧은 주기에서 이루어지는 감시 및 제어이고, 에너지관리 관점은 비교적 긴 시간 동안에 이루어지는 에너지 공급 최적화에 목표를 둔 제어 및 감시이다.

또 다른 한편 마이크로그리드의 감시, 제어는 제어 구조의 측면에서 집중적인 제어와 분산자율제어의 계층적인 구조를 가지게 된다. 집중제어는 통신망에 의한 정보의 수집과 최적화 알고리즘에 의해 구현되는 것으로서 비교적 긴 시간 동안에 이루어지는 제어이며, 자율분산제어는 마이크로그리드에 연계되어 운영되는 기기 수준에서 국지적인 정보를 이용하여

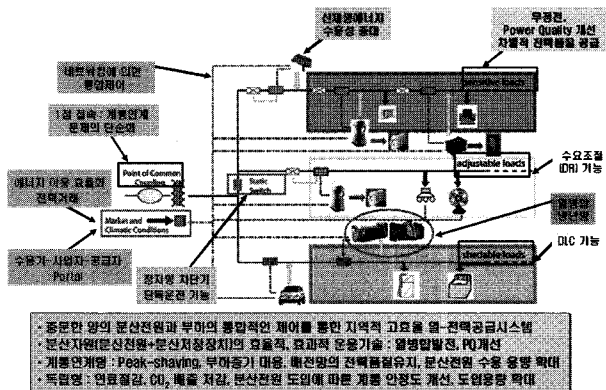


그림 1 마이크로그리드의 개념(미국 CERTS)

제어하는 짧은 주기의 제어이다.

아래에 제어 구조와 제어 목적에 따른 마이크로그리드의 운영 기술을 설명하기로 한다.

2.2.1 마이크로그리드의 제어 구조

전술한 것처럼 마이크로그리드의 제어 구조는 아래의 그림 2와 같이 제어의 목적에 따라 집중적인 제어와 국지적 제어로 나누어지며 일반적으로 집중제어는 EMS 혹은 MGCC(Micro Grid Central Controller) 혹은 MMS(Microgrid Management System) 등으로 불리며(이하 EMS로 표기) 분산자원 및 부하제어기기, 보호기기 등과는 통신으로 연계되어 있다. 중앙제어기는 수집된 정보와 과거 운전 데이터 등을 기초로 최적 운전을 위한 각 발전기의 출력 설정치 결정, 부하의 차단 여부 등을 결정하여 각 해당 기기로 전송하게 된다.

국지적 제어는 각 해당 기기 차원에서 수행되는 제어로서 제어 가능한 분산전원의 경우는 유효 및 무효전력의 제어를 수행하게 되고 태양광이나 풍력 같은 제어 불가능한 신재생 에너지전원의 경우는 출력의 제한이나 출력 증감속도의 제한 등 매우 한정적인 제어를 수행하게 된다. 부하제어기와 정지형 스위치-연계보호계전기기는 중앙제어기와의 협조에 의해 부하의 차단, 독립운전으로의 전환, 재동기, 전력품질의 감시 등을 수행하게 된다.

2.2.2 EMS, STS/IED의 제어 기능

여기서는 마이크로그리드의 운영 관점에서 핵심적인 기기인 EMS와 STS/IED(Intelligent Electronic Device)의 제어 기능에 대해서만 설명하기로 한다.

EMS는 마이크로그리드의 운영에 있어서 가장 중요한 역할을 하는 기기로서 마이크로그리드를 운영 목적에 맞게 운전 되도록 하는 일련의 최적화 과정 및 운전 지령을 담당하는 기기라 할 수 있다. EMS의 기능은 아래 그림 3에서와 같이 발전과 부하 예측을 기본으로 하여 시간대별 요금제도(Time of Use, TOU)나 실시간요금제(Real Time Pricing, RTP) 하에서의 요금정보를 입력으로 하고 전력 및 에너지의 관리차

원에서 최적화를 수행한 결과를 이용하여 분산자원 및 부하를 제어하게 된다. 제어 대상은 연계점에서 계통으로의 전력 송출 혹은 유입제어(Export/Import Power Control), 제어 가능한 분산전원의 출력제어, 직접부하제어 등이 포함된다. 그림 4에는 EMS에서 수행되는 기능의 흐름이 보다 자세히 나타나 있다. 내용을 요약하면 사전 정보를 이용한 발전계획, 발전계획평가, 운전계획, 실시간 정보 수집과 실시간 보상으로 구성된다.

정지형 스위치인 STS와 통합보호계전기인 IED는 각각이 연계점의 전압, 전류 등 전력정보를 이용하여 동작하기 때문에 기능이 통합되어 있다. 즉, IED가 검출한 사고 혹은 전력

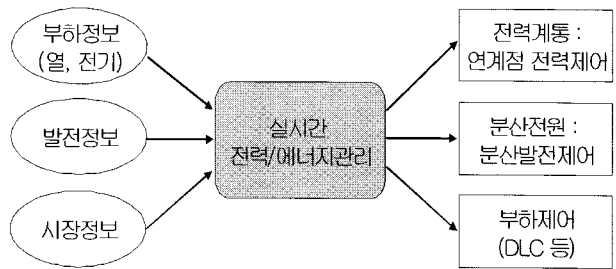


그림 3 마이크로그리드 EMS의 기능

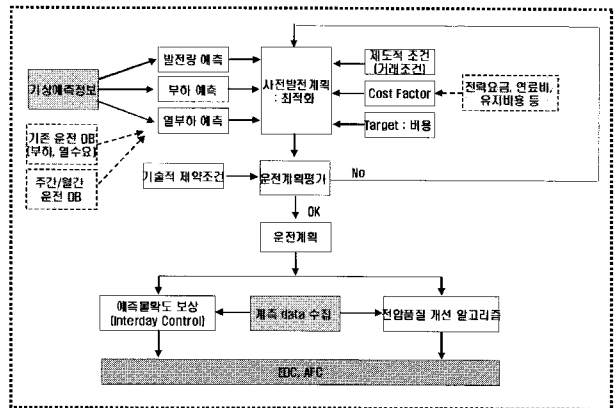


그림 4 EMS의 기능 흐름도

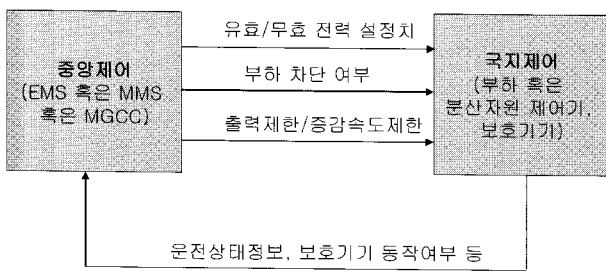


그림 2 마이크로그리드의 계층적 제어 구조

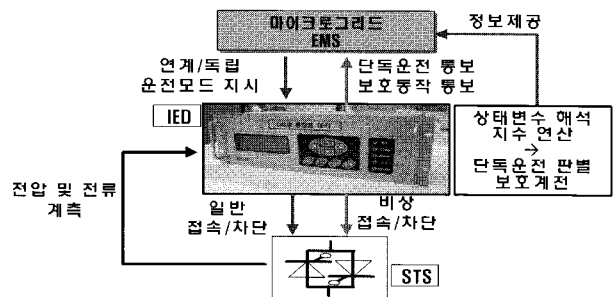


그림 5 STS/IED의 구성도

품질 저하 등에 따라서 STS가 동작하는 구조로 설계되기 때문에 STS/IED로 통합적으로 구현된다. 아래 그림 5에 STS/IED의 구성이 나타나 있다.

2.3 마이크로그리드의 실증 연구사례

EU, 일본, 미국 등은 다양한 목적의 마이크로그리드 실증 단지를 구축, 운영하고 있으며 이를 통하여 이 기술의 실용화와 상용화를 도모하고 있다. 전술한 마이크로그리드의 운영 기술을 해외에서의 실증적 연구 결과를 사례로 구체적으로 설명하기로 한다.⁽⁴⁻⁶⁾

2.3.1 에너지공급시스템으로서의 마이크로그리드

일본의 시미즈(Shimizu) 프로젝트는 건물 단위의 열병합 발전이 가능한 마이크로그리드의 가능성을 실증한 연구이다. 아래 그림 6과 같이 건물을 대상으로 가스엔진, 축전지 및 슈퍼캐패시터, 태양광발전을 결합하여 전기와 열을 동시에 공급할 수 있도록 구성하였다. 연구의 목적은 분산전원이 계통에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 수단으로서 마이크로그리드의 기능에 대한 시험이었으며 이는 연계점에서의 전력 유입/유출을 일정하게 제어함으로써 구현되었다. 그림 7에 나타나 있는 것처럼 축전지와 슈퍼캐패시터를 이용하여 부하

변동이나 신재생전원의 간헐적인 출력을 내부적으로 흡수하여 연계점에서의 전력을 일정하게 제어하는 것이다. 이와 같은 제어를 통하여 건물에서의 합리적인 에너지 비용을 구현할 수 있으며 가스엔진의 제한된 출력응답속도를 축전지와 캐패시터를 결합하여 해결하였다. 마이크로그리드 EMS는 열수요와 전력요금 등의 정보로부터 전력을 구입할 것인지 자체 열병합발전기를 통해 발전할 것인지를 결정하는 것에 의해 에너지 비용의 최적화가 가능하게 된다.

2.3.2 다품질전력공급으로서의 마이크로그리드

2004년부터 2008년까지 일본 정부지원으로 진행된 센다이(Sendai) 프로젝트는 대학 구내에 설치된 1MW 규모의 분산발전원과 에너지저장장치 및 전력품질보상장치를 이용한 다품질 전력공급시스템에 대한 실증적 연구이다. 가스엔진, 연료전지, 태양광 등의 분산전원을 이용하고 BESS와 DVR를 이용하여 다양한 등급의 전력품질을 제공하고 있으며 일부는 직류전원을 공급하는 것도 시험하였다. 이와 같이 마이크로그리드는 내부에 보유한 분산자원을 이용하여 부하가 요구하는 특성의 전력품질을 효과적으로 제공할 수 있는 기술이다.

3. 마이크로그리드 국내 연구 동향

본 장에서는 국내에서의 마이크로그리드에 관련된 연구 동향을 살펴보고자 한다. 2000년 초반부터 실증적인 연구를 진행한 유럽이나 미국, 일본보다는 다소 늦게 마이크로그리드에 대한 연구를 시작하였지만 국책 프로젝트 및 대학의 연구센터 등 최근의 연구동향을 소개한다.

3.1 전력IT 마이크로그리드 과제

정부주도 전력IT 10대과제의 하나로 2007년부터 시작한 마이크로그리드 과제는 1단계('07. 9. - '09. 8.)에서는 마이

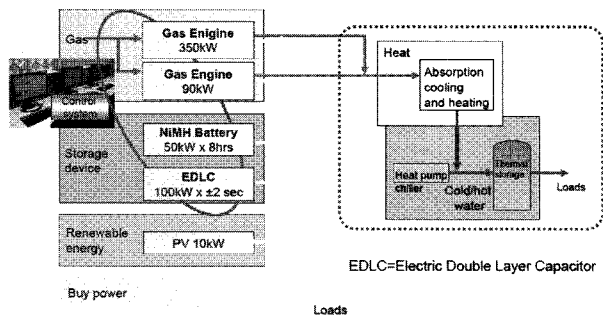


그림 6 시미즈 마이크로그리드 시스템 구성

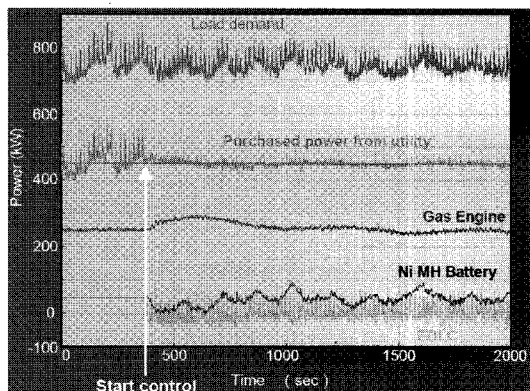


그림 7 계통에의 유입/유출 전력제어

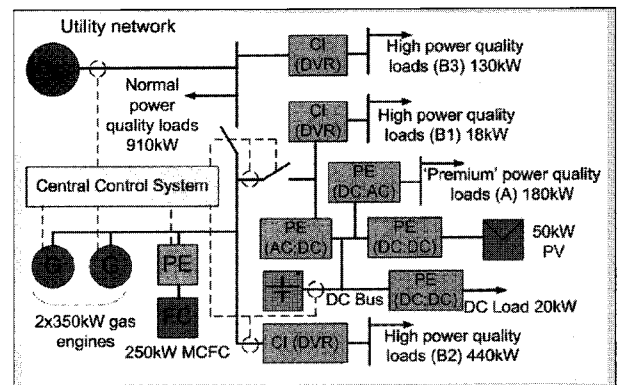


그림 8 센다이 마이크로그리드 시스템 구성

크로그리드용 요소기기개발, 통합에너지관리시스템 및 축소형 파일럿 플랜트 구축 등 3개의 소과제로 진행되었다. 요소기기는 마이크로그리드용 전력변환장치인 PCS(Power Conditioning System), STS/IED 및 게이트웨이장치가 개발되었으며, 통합에너지관리시스템은 EMS와 마이크로그리드 설계해석도구를 개발 완료하였다. 축소형 플랜트는 한국전기연구원 구내에 120kW급으로 구축되었으며 개발된 기기 단위의 검증과 마이크로그리드 시스템에 대한 성능이 검증되었다. 전원은 디젤발전, 태양광발전, 풍력발전, BESS가 사용되었으며 디젤과 태양광, 축전지는 실전원이고 풍력발전은 시뮬레이터를 사용하였으며 실부하가 아닌 모의부하를 사용하였다.

시스템 성능평가에 있어서는 계통연계모드에서의 전력제어 성능, 독립운전모드에서의 전압 및 주파수 유지 등이 시험되었으며, 독립운전으로의 전환과 시스템 재동기운전 등의 성능이 검증되었다. 특히 열병합발전의 경우는 실제의 열병합발전 및 열부하를 사용하지 않고 시뮬레이터 및 모의 열부하 데이터를 이용하여 열추중운전 특성 등을 시험하였다.

2010년부터 시작되는 2단계 실증 연구는 3년 동안 진행될 예정이며 수백 kW 규모의 실증단지를 실부하를 대상으로 계통연계형과 독립형(도서형)을 각각 1개씩 구축할 예정이다.

3.2 대학, 연구소의 연구활동

한국전기연구원은 2004년부터 미래형 전력공급시스템기술로서의 마이크로그리드 기술에 대한 선행적인 연구를 시작하였으며 구축된 인프라는 전력IT 마이크로그리드 과제에서도 활용되었다. 신재생발전원의 전력망 수용성 증대와 청정 고효율 전력-에너지공급시스템으로서의 마이크로그리드기술 활용성의 실제적 구현과 그 실용화에 초점이 맞추어져 있으며 EMS 기능의 확장, 에너지저장장치 및 전력품질보상장치의 활용 등에 관한 연구에 주력하고 있다.

2007년부터는 대학을 중심으로 연구센터가 만들어지기 시작했는데 명지대학교의 분산전원복합융용연구센터와 경북대학교의 마이크로그리드연구센터가 마이크로그리드에 대한 기초연구 및 인력양성 등을 목적으로 설립되어 활발한 연구 활동을 벌이고 있다. 특히 명지대학교는 직류 마이크로그리드에 대한 연구가 특징적이다.

4. 결론

본고에서는 미래형 전력-에너지 공급망으로서의 마이크로그리드의 개념과 그 효용성을 기술하였으며, 마이크로그리드의 핵심적인 운용기술을 제어 목적과 제어 구조 관점에서 설명하였다. 또한 해외의 실증적인 연구 사례를 통하여 마이크로그리드의 실용화 및 상용화 가능성을 보였으며 국내에서의 연구 동향을 간략히 정리하였다.

참고문헌

- (1) R. Lasseter, et. al., "White Paper on Integration of Distributed Energy Resources - The CERTS MicroGrid Concept". Office of Power Technologies of the US Department of Energy, April 2002.
- (2) IEEE Power & Energy Magazine, may/june 2008, Microgrid 특집
- (3) <http://www.microgrids.eu/index.php> : EU Microgrids project
- (4) Microgrid Research at Mitsubishi, 2005, 6, Tadahiro Goda, Mitsubishi Electric Corporation
- (5) Microgrids Market Potential, <http://www.researchandmarkets.com/reports/655544/>
- (6) <http://www.nextenergy.org/facilities/platforms/microgrid.aspx>

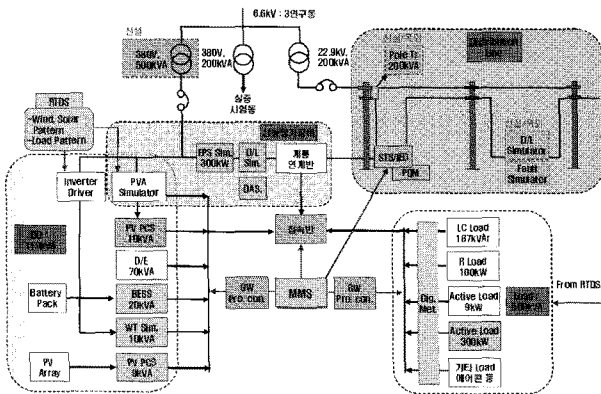


그림 9 축소형 마이크로그리드 시스템 구성

〈 필 자 소 개 〉



안중보(安鍾普)

1961년 8월 16일생, 1986년 서울대 전기공학과 졸업. 1995년 한국과학기술원 제어 및 자동화설계공학과 졸업(석사), 2005년 부산대 전기공학과 졸업(공학박). 1986년~1996년 이천전기공업(주) 중앙연구소 근무, 1996년~현재 한국전기연구원 근무, 신재생에너지시스템연구센터 책임연구원, 신재생에너지성능평가

팀장.