

# 마이크로그리드 기술 동향

안종보 <한국전기연구원 책임연구원/공학박사>

## 1 개요

마이크로그리드(Microgrid)라는 용어는 신재생에너지 및 분산전원의 보급 확대에 따라 2000년 이후 일반화된 용어이기는 하지만 정의하는 주체나 응용분야에 따라 약간은 다르게 표현되고 있다. 일반적으로 받아들여지는 정의는 다음과 같다[1].

“소규모, 모듈화된 분산발전시스템이 저압배전망에 연결되어 새로운 형태의 전력시스템을 구성하며 이를 마이크로그리드라 한다. 마이크로그리드는 기존의 전력망에 연계 운전될 수도 있으며 자율적으로 독립 운전될 수도 있다.”(Nikos Hatziaargyriou, EU Cluster : Integration of RES+DG)

“소규모 분산전원의 도입 확대와 더불어, 계획적인 제어를 통하여 주 전력망으로부터 분리되어 운전될 수 있는 충분한 발전량으로 구성되는 전력망의 일부가 가능하며 이러한 능력을 보유한 전력망의 일부를 마이크로그리드라 부른다.”(Lasseter, The CERTS MicroGrid Concept)

“분산전원의 장점을 최대한 이용할 수 있는 수단으로서 높은 미래 전망을 보여주는 상업적, 기술적인 구조가 마이크로그리드이다. 마이크로그리드는 광의로 다수의 분산전원과 부하로 구성된 소규모 전력시스템으로 정의할 수 있다. 마이크로그리드는 2개의 카테고리 분류될 수 있다 : 대규모 전력망과 상시 분리

되어 운전되는 시스템과 통상적으로 전력망과 연계 운전되는 시스템”(General Electric Research and Development Center, 2001).

이와 같이 마이크로그리드는 “다수의 소규모 분산전원과 부하의 집합체로서 기존의 전력망과 연계 혹은 분리 운전될 수 있는 소규모 전력망”으로 정의할 수 있으며 분산발전기술, 배전 전력망기술, 통신기술, 제어기술이 통합된 미래혁신적인 전력공급 분야의 기술로 받아들여지고 있으며 마이크로그리드가 주목을 받는 이유는 이 기술이 가진 환경적, 경제적, 사회적 가치에 기인한다.

먼저, 마이크로그리드는 에너지 측면에서 열과 전기를 동시에 공급하는 분산형 에너지공급기술이다. 마이크로그리드는 수요지 근처에 신재생에너지전원과 가스 기반의 소형열병합발전 및 전기와 열 저장시스템을 결합하여 열과 전기를 동시에 수용가에 공급함으로써 송배전 손실저감과 에너지 효율향상이라는 이익을 수용가와 전력회사에 제공할 수 있다. 현재의 집중식 전력공급시스템은 발전원과 수요지가 멀리 떨어져 있어 발전 시 발생하는 폐열을 유효하게 이용하는 것이 어렵다.

환경적인 측면에서 사회의 고도화에 따른 에너지 수요증가는 특히 전기 에너지의 증가로 나타나고 있으며 발전에너지원으로서 화석연료의 사용은 지구온난화가스 발생을 증가시키고 있다. 대안으로서 태양

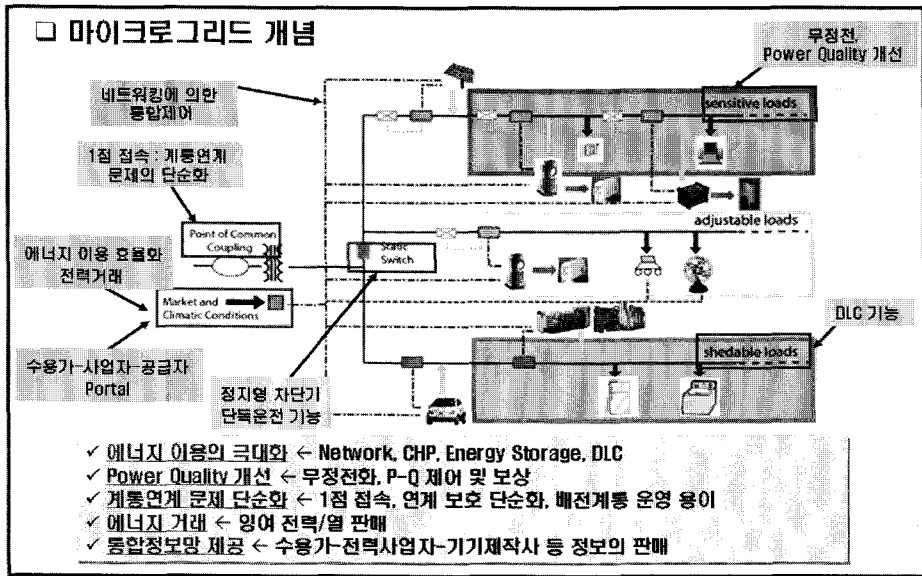


그림 1. 마이크로그리드의 개념(미국 CERTS)

광, 풍력 같은 신재생에너지를 이용한 청정발전의 기술개발 및 보급이 확산되고 있다. 경제성의 확보가 현재로서는 최대의 이슈이긴 하지만 기술개발의 진전으로 보급이 확대될 것이다. 그러나 기술적인 측면에서 이러한 신재생에너지 전원은 간헐적 출력특성을 가지며 소용량으로서 다수가 배전망에 임의로 설치되는 경우가 많기 때문에 기존의 전력 인프라로서는 계통의 보호와 전력품질의 유지가 어렵게 된다. 마이크로그리드 기술은 계통연계의 복잡한 기술적인 문제를 단순화하여 계통운동을 용이하게 하며, 간헐적인 출력 특성에 기인하는 전압변동 같은 전력품질문제를 해결하여 분산전원과 기존 전력망의 조화로운 공존을 가능하게 하는 기술이다.

사회적인 측면에서 마이크로그리드를 중심으로 한 지역에너지공급방식은 현재의 집중적인 전력공급방식을 통한 전력공급에서 발생하는 전력송전 손실, 송배전 선로의 경유지 문제, 전자파 장애, NIMBY에 의한 변전소 등 전력설비의 입지난 등의 문제를 해결함과 동시에 열병합발전과의 결합을 통해 에너지 이용 효율성을 제고할 수 있는 새로운 에너지공급시스

템기술이다. 뿐만 아니라 전력공급 면에서는 피크부하에의 대처 능력, 전력품질의 향상, 분산전원의 계통연계에 의한 계통운영의 문제 해결 등 전력사용자와 전력사업자 모두에게 이익을 줄 수 있기 때문이다.

이와 같이 마이크로그리드는 친환경적인 신재생에너지 및 분산전원을 기존의 전력망에 안정적으로 접속하고 또 그 이익을 수용가와 전력사업자에게 공동으로 제공할 수 있는 기반이 되는 기술이라고 할 수 있다. 본고에서는 현재 국내외의 마이크로그리드 관련 연구동향을 살펴보고 마이크로그리드의 핵심요소 기기들의 기능에 대해서 기술하고자 한다.

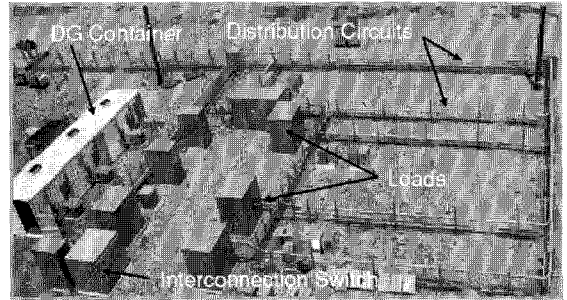
## 2. 국내외 연구 동향

### 2.1 해외 연구 동향

2000년 초반부터 미국, EU, 일본 등의 선진국들은 정부, 대학, 기업이 컨소시엄을 형성하여 마이크로그리드 연구 및 실증단지 구축을 시작하였다. 미국은 1999년 에너지부(DOE)와 CEC(California Energy Commission)가 지원하는 CERTS(Consortium

for Electric Reliability Technology Solutions)를 설립하여 분산자원과 전력계통의 통합 프로그램의 일부로서 마이크로그리드 기술을 연구하기 시작했다. CERTS의 마이크로그리드는 계통사고시의 고립 운전, 계통으로의 역송전 금지, 통신에 기반한 집중적 제어의 최소화를 위한 자율적 제어, 각 분산전원의 Plug-and-Play 기능을 주요 특징으로 하고 있으며, 오하이오주에 CERTS/AEP 실증시험장을 운영하고 있다. 또 CEIDS(Consortium for Electric Infrastructure to Support a Digital Society)는 EPRI(Electric Power Research Institute)와 EEI(Edison Electrical Institute)가 공동으로 2001년에 결성한 컨소시엄으로서 디지털 사회에 필요한 고품질의 전기에너지의 확보를 위한 장기전략 수립이 목표이며, 전력품질향상 프로그램의 일부로 직류 마이크로그리드를 제안하고 있으며 직류선로서 초전도 선재의 활용을 제안하고 있다. 이 외에도 미국은 전력회사인 Northern Power System이 버몬트주의 매드리버파크에 가스엔진, 풍력, 태양광, 연료전지를 결합한 350(kW) 규모의 실증단지를 2003년부터 운용하고 있으며 상업용 및 주거용 건물에 전력을 공급하고 있다.

미국은 2008년에도 DOE가 마이크로그리드 혹은 진보된 마이크로그리드 기술에 대한 9개의 신규 프로젝트를 시작하였으며 이들 프로젝트는 피크부하 동안에 분산자원을 활용하여 15[%] 정도의 부하감소를 목표로 하고 있다. 5년 동안 55백만\$ 정도의 투자 계획을 가지고 있으며 City of Fort Collins, ATK Launch Systems, Chevron USA, Illinois Institute of Technology, Allegheny Power/Monongahela Power Co, Consolidated Edison of NY, San Diego Gas & Electric, University of Hawaii, University of Nevada 등의 기업과 대학들이 프로젝트를 주관하고 있다.



(a) CERTS/AEP 실증시험장(Ohio주)

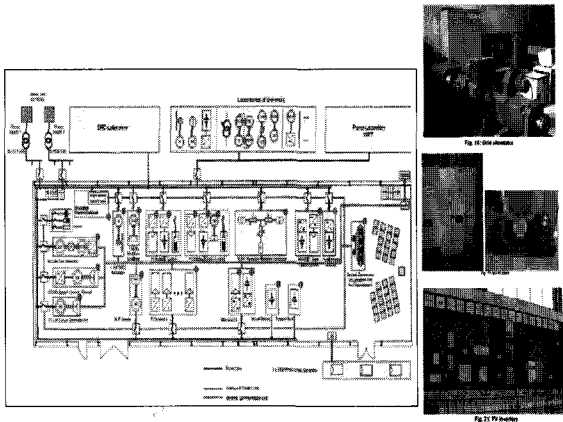


(b) Mad River Park 마이크로그리드

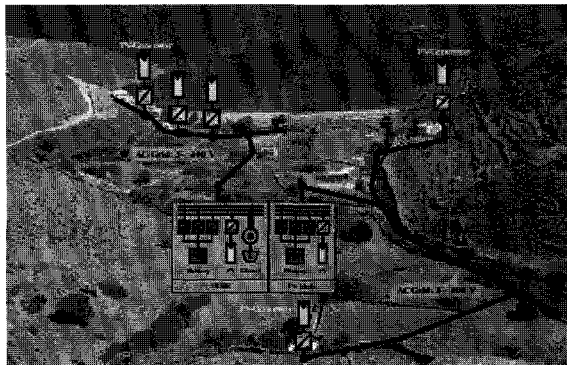
**그림 2. 미국의 마이크로그리드 실증단지**

유럽은 EU의 국제공동연구프로그램인 프레임워크 프로그램의 일부로서 “마이크로그리드 : 마이크로 발전의 저압계통 대규모 통합”이라는 컨소시엄을 결성하고 EU 14개국에 참여하고 있으며, ISET이 주도하는 실증시험장을 운영하고 있다. 다른 컨소시엄으로는 More-Microgrids가 있는데 2006년에 EU 11개국, 22개 회원가가 결성한 것으로서 마이크로그리드의 효과적 전력공급을 위한 네트워크 디자인과 제어 전략의 대안 개발을 목표로 하고 있으며, 그리스 키스노스섬과 독일 만하임시티센터 등 유럽 각지에 7개의 실증시험장을 운영하고 있다.

일본은 NEDO의 지원으로 기업들이 직접 실증단지를 운영하고 있는데 하치노헤시 마이크로그리드(2005~2008), 센다이 실증프로젝트(2004~2008), 시미즈 건설프로젝트(2004~2006) 등을 수행 중이다. 센다이



(a) ISET 연구 설비(The 5th Framework Programme)



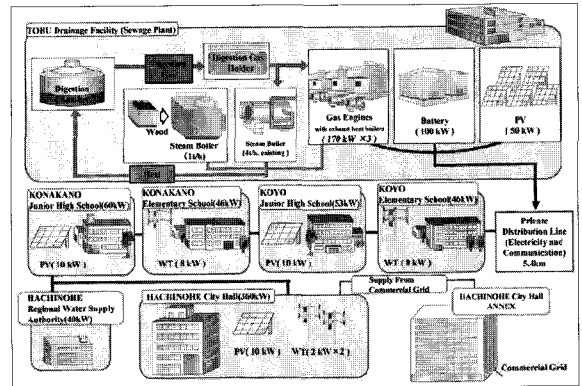
(b) Kythnos Island/Greece MicroGrids

### 그림 3. EU의 마이크로그리드 실증 및 연구단지

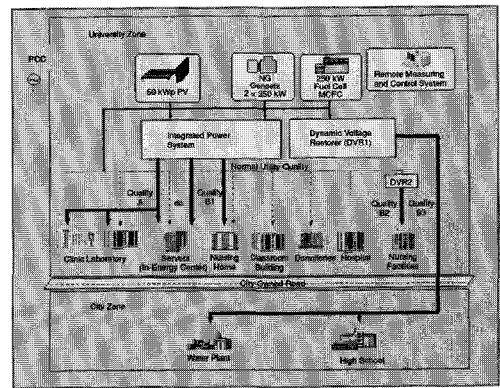
프로젝트의 경우 직류를 포함한 다중 전력품질 공급 시스템을 구축하여 기존 무정전전원장치(UPS)와의 경제성 비교, 검토를 목적으로 하고 있으며, 시미즈 프로젝트는 대용량 전지 및 슈퍼 커패시터를 적용한 에너지저장시스템으로 부하평준화 및 전력품질의 개선 등을 실제 부하를 대상으로 실증적 연구를 하고 있다.

## 2.2 국내 연구 동향

우리나라는 2007년 전력IT 분야 국가주도사업으로 “마이크로그리드용 통합에너지관리시스템 개발 및 실 사이트 적용기술 개발” 과제를 2012년까지 진행할 예정이며, 1단계가 종료된 현 시점에서 핵심기



(a) 하치노헤시 마이크로그리드



(b) 센다이 실증시험 프로젝트

### 그림 4. 일본의 마이크로그리드 실증시험단지

가 참여기업인 LS산전, 세니온, 비츠로테크 등 기업을 중심으로 개발되었으며 전력연구원, 기초전력연구원, 효성은 공동으로 마이크로그리드 설계, 해석 및 경제성 분석 도구를 개발하였고 120(kW)급 축소형 프로토타입 마이크로그리드가 전기연구원 내에 구축, 운영 중이다. 특히, 2단계에는 수백 (kW)급 독립형(도서형) 및 계통연계형 마이크로그리드 시스템을 실 사이트에 적용, 구축할 예정으로 되어 있다. 실증 사이트 선정을 위해서 신도시개발지구 등 지방자치단체와 협의를 진행 중에 있으며, 현재 진행되고 있는 제주도의 스마트그리드 통합실증시험장 프로젝트의 2단계에도 마이크로그리드가 포함되어 있다. 경북대, 명지대, 전남대, 서울대 등 인력양성센터 혹은 연구센터를 중심

으로 마이크로그리드에 대한 기초연구 및 인력양성사업을 2007년부터 진행하고 있다.

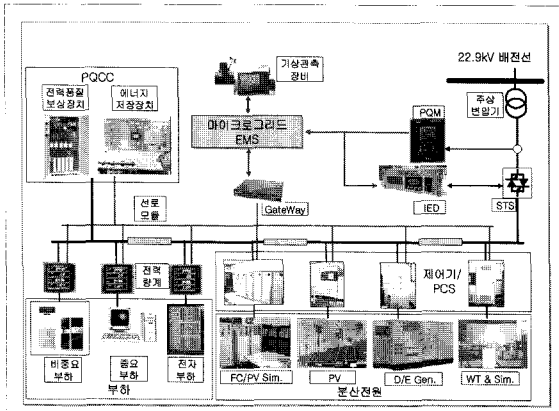


그림 5. 축소형 마이크로그리드 프로토타입(전기연구원)

### 3. 마이크로그리드의 구성과 요소 기기

#### 3.1 마이크로그리드의 구성

마이크로그리드는 배전망의 일부와 다양한 분산자원(distributed energy resource, DER), 열-전기 부하군으로 구성된다. 분산자원은 다양한 용량과 운전 특성을 가진 분산발전(distributed generation, DG)과 분산저장(distributed storage, DS)으로 구성된다. 마이크로그리드의 계통연계점(point of common coupling, PCC)은 통상 배전변압기의 출력측이 되며 주거용, 상업용, 산업용 수용가를 대상으로 한다. 전형적인 마이크로그리드의 구조 및 일반적인 구성이 그림 6에 나타나 있다.

마이크로그리드는 통상 계통연계모드로 운전되지만 충분한 발전량과 적절한 제어 및 운전전략에 따라서 계통과 분리되어 부하의 일정부분에 전력을 공급하는 독립운전을 할 수 있다. 기존의 전력망 운용에 있어서는 이러한 독립운전을 사람과 장비의 안전성 측면에서 금지하고 있지만, 다량으로 보급된 분

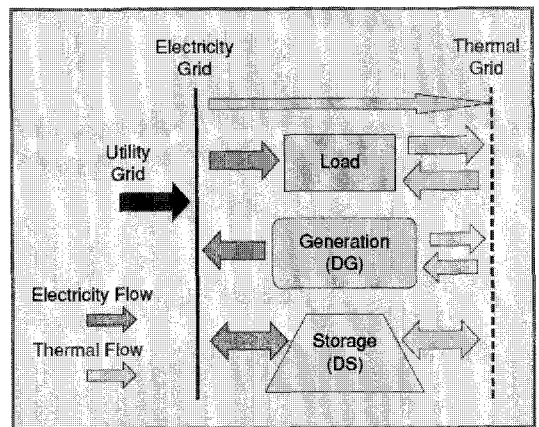
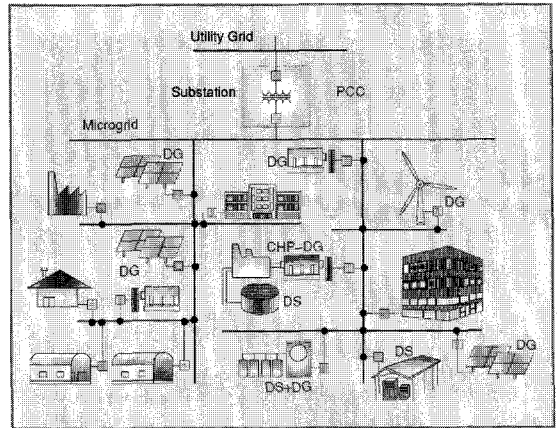


그림 6. 전형적인 마이크로그리드의 구조와 일반적인 구성

산자원의 활용성 측면에서 연계모드와 독립모드 및 이의 원활한 절체에 대한 잠정적인 필요성을 인식하고 있다.

분산자원의 마이크로그리드 연계는 두 종류로 대별할 수 있는데 하나는 기존의 회전기 기반 분산자원이고 다른 하나는 전력전자 기반의 기기들이다. 대부분의 분산자원들이 채용하고 있는 전력전자 기반의 기기들의 제어 개념, 전략 및 운전 특성은 기존의 회전기기와는 매우 다르다. 따라서 마이크로그리드의 제어 전략 및 운전 특성은 특히, 자율적인 제어 모드에서는 기존 전력시스템과는 매우 다르게 된다.

특히, 마이크로그리드가 지향하는 제어형태 및 전력-에너지 관리전략은 채용되는 분산자원기술, 부하

의 요구사항 및 기대되는 운전 시나리오에 의해 결정된다. 그림 6은 부하, 발전/저장 및 열 부하로 구성된 마이크로그리드의 구성을 보여주고 있으며 2개 수준의 제어 즉, 기기와 시스템 수준의 제어가 필요함을 보여주고 있다[2].

### 3.2 마이크로그리드의 요소 기기

마이크로그리드는 분산발전 및 분산저장과 부하가 공존하는 시스템으로서 이들 분산자원을 통합적으로 제어, 관리하기 위해서는 다음과 같은 요소기기들이 필요하게 된다. 먼저, 분산발전으로서는 자연조건에 의존하는 풍력, 태양광 등이 있으며, 제어 가능한 연료전지, 가스엔진 등이 있고, 에너지저장수단으로는 축전지, 슈퍼 커패시터, 플라이휠, 초전도저장장치 등이 있으며 특히, 연료전지 및 가스엔진은 열병합발전용으로 사용될 수 있다. 분산자원들은 계통연계를 위하여 전력변환장치인 PCS(power conditioning system)을 사용하는 경우가 많은데 이를 마이크로그리드용으로 적용하기 위해서는 아래의 표 1과 같은 기능의 보완이 필요하다.

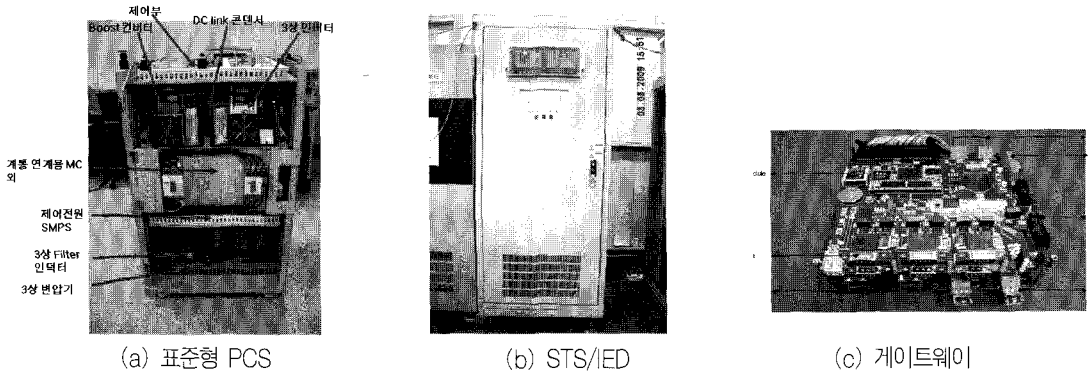
마이크로그리드가 기존의 분산전원이나 열병합발전과 다른 점은 전력-열에너지-통신망을 포함하는 3개의 네트워크를 구축하여 구성 기기들을 통합적으로 관리하고 제어한다는 점이다. 마이크로그리드는 아직 표준화가 정착되지 않았기 때문에 범용의 분산자원 기기들을 통합적으로 관리, 제어하기 위한 연계수단으로 게이트웨이(gateway)를 사용하고 있다. 게이트웨이는 각 기기가 제공하는 직렬통신, 필드버스 등 다양한 통신방식을 IEC-61850의 표준통신으로 변환하여 MMS와 연결하는 역할을 한다. MMS의 통신 표준이 IEC-61850으로 결정된 바는 없으나 향후 배전자동화 등 상위 시스템과의 연계를 고려하여 이 통신 표준을 적용하였다.

표 1. 마이크로그리드의 요소 기기와 그 기능

기술	주요기능
PCS(power conditioning system)	- 연계/단독운전 겸용 PCS - 전력품질보상형 PCS : 유효/무효전력 드롭 운전 가능 - 출력제한기능 등 원격제어 및 감시기능
STS/IED(static transfer switch/intelligent electronic device)	- 단독운전방지 등 계통연계 보호기능 - 배전계통 고장시 독립운전 절체 및 재동기 투입기능 - 전력품질 모니터링 기능
Gateway	- 범용 통신(직렬통신, 필드버스, 이더넷 등) 과 IEC-61850 변환기능
MMS(microgrid management system)	- 부하/발전량 예측, 경제급전, 발전계획 - 전력품질보상 기능 - 저장장치, 부하 및 분산전원 관리 - 전력거래, 재구성 기능, 단독운전 절체 등

보호계전기 및 정지형스위치( STS / IED, static transfer switch / intelligent electronic device )는 마이크로그리드의 계통연계점에 설치하여 전력계통 및 마이크로그리드 내부를 보호하는 계전기의 기능과 이상 검출시 마이크로그리드를 전력계통으로부터 빠르게 분리하는 역할을 하는 정지형스위치가 결합된 기기이다. 계통사고시나 전력품질 저하시 이를 검출하여 마이크로그리드를 독립운전으로 절환하게 하며 정상 시 마이크로그리드를 계통에 재동기(re-synchronization) 하는 기능을 하게 된다.

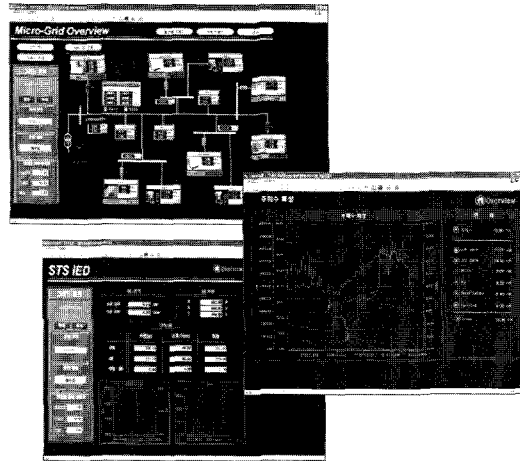
마이크로그리드 에너지관리시스템(microgrid management system, MMS)은 마이크로그리드의 운용 목적에 따라 에너지원, 저장장치들을 제어하게 되며 필요에 따라서는 부하까지도 제어함으로써 운용 목적을 달성하게 된다. 운용 목적은 에너지 비용의 최소화, 전력구입량의 일정화, 피크 컷, 무정전화 등이 될 수 있으며, 이러한 목적을 달성하기 위해 전기 및 가스요금, 신재생에너지원의 발전 예측, 전기-열 부하예측, 기기들의 가동성 등의 제약 조건들을 고려한 발전 계획과 이를 실시간으로 보정하는 기능을 할 수



(a) 표준형 PCS

(b) STS/IED

(c) 게이트웨이



(d) MMS의 화면 구성

그림 7. 마이크로그리드용 요소기기

있어야 한다.

아래 그림 7은 전력IT 분야 국가주도사업으로 진행된 “마이크로그리드용 통합에너지관리시스템 개발 및 실 사이트 적용기술 개발” 과제의 1단계 결과물인 마이크로그리드용 표준형 PCS, IED/STS, 게이트웨이 및 MMS의 주화면이다. 본 시제품은 기능의 보완을 거쳐 2단계 실증 사이트에 설치, 운용될 예정이다.

#### 4. 맺음말

마이크로그리드는 현재 미국, 일본, EU 등 선진국

을 중심으로 실증적인 연구가 진행 중에 있지만 명확한 비즈니스 모델은 없는 상태로 이는 에너지원 설비에 대한 초기투자 과다, 전력거래 등 제도적 미비, 전력품질의 차등화에 따른 요금제도 불비 등의 문제점들에 기인한다. 다른 한편, 마이크로그리드는 개발도상국이나 저개발국의 독립적, 지역적 전력공급수단이 될 수 있으며, 대규모 풍력발전단지나 고밀도로 연계된 태양광발전의 안정적인 운용 및 전력계통의 연계 문제를 해결하는 기술적인 수단으로도 적용될 수 있다.

중장기적으로 마이크로그리드는 신재생에너지를 중심으로 한 분산전원의 보급 확대, 에너지저장장치

의 경제성 확보, 전력 신뢰도에 대한 수용가의 요구 증가, 에너지비용의 절감, 전력 효율의 향상 등 사회적 요구와 더불어 지역형 에너지공급시스템이나 고품질 전력공급시스템 등 수요자와 전력시스템의 요구에 대응할 수 있는 기술로 상용화될 것이며, 현재 계획 중인 배전지능화, 스마트그리드 등 차세대 전력망에서 중요한 역할을 담당하게 될 것이다.

### 참 고 문 헌

[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>

[7] Microgrids Research Assessment - Phase 2, Final Report, May 2006, Navigant Consulting.

[8] Micro Grid 도입에 따른 전력시스템의 변화 및 기업의 대처 방안, 2007. 3, LS산전, 서장철.

[9] Microgrid Energy Management System, January 29, 2003, OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, Oak Ridge, Tennessee 37831.

[10] Draft Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems, IEEE Standard P1547.4, 2008.

### ◇ 저 자 소 개 ◇



#### 안중보(安鍾普)

1961년 8월 16일생. 1986년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1995년 한국과학기술원 제어 및 자동화설계공학과 졸업(석사). 2005년 부산대학교 전기공학과 졸업(박사). 1986~1996년 이천전기공업(주) 중앙연구소 근무. 1996년~현재 한국전기연구원 근무. 신재생에너지시스템연구센터(책임연구원).  
관심분야 : 분산전원용 전력변환장치 설계, 제어, 보호와 MicroGrid의 제어 및 운용, 보호 등임.