

# 빌딩 마이크로그리드시스템 현황과 제어·운영기술

홍원표 (한밭대학교 건축설비공학과 교수)

## 1 서론

마이크로그리드(Microgrid)는 소규모분산에너지원(Microsource or Distributed Energy Resource: DER)들이 수요지에서 하나의 작은 그리드를 형성하여 전력 및 잉여 열에너지를 생산하여 수요자에게 직접 공급하는 새로운 개념의 소규모 전력시스템으로서 유틸리티 그리드(grid-connected)에 연계 혹은 분리되어 독립운전(islanding operation)이 가능한 시스템이다[1-3].

마이크로그리드를 구성하는 전력원은 기존의 교류 발전기 이외에도 태양광, 연료전지, 가스터빈, 마이크로터빈(microturbine: MT), 바이오매스시스템 및 풍력 등이 있으며 이들은 지역을 중심으로 하는 지역 냉난방 열병합시스템과 빌딩과 빌딩 군을 중심으로 에너지를 공급하는 빌딩 마이크로그리드로 구분되어 새로운 에너지공급 시스템이 구축 되어가고 있다[1-4].

현재 흔히 사용되고 있는 분산전원(DG: Distributed Generation(Power))은 그 취지나 목적에 따라 다양하게 정의되어 사용되고 있다. 최근에 IEA(International Energy Agency)에서는 분산전원을 최종 수요지 부근(On-site) 또는 배전선로 지원용으로 설치되는 엔진, 소규모 가스터빈, 연료전

지, 태양광, 및 풍력을 포함하는 발전시설로 정의하고 있으며 이는 전력계통과 연계 또는 독립전원으로 사용되는 모든 발전설비를 총칭한다. 따라서 전력저장 설비도 포함한다. 수요관리(DSM: Demand Side Management), 에너지 효율, 최종수요지의 전력부하, 열부하의 특성 및 수요처에 적합한 에너지시스템의 조합 등을 포함하여 분산에너지원(DER: Distributed Energy Resource)이라고 정의하고 있다. 따라서 본 논문에서 정의한 소규모 분산에너지 시스템은 DER의 범주에 포함되며 빌딩을 단위로 구성되는 DER은 특히 열병합(CHP: Cooling, Heating and Power)시스템이 에너지이용률향상과 에너지자원의 유효이용 및 환경부하감축과 열오염방지를 위하여 선택이 불가피하며 이러한 관점에서 빌딩의 CHP를 BCHP(building cooling heating and power) 시스템으로 정의하였으며 신재생에너지시스템으로 건물에 도입되고 있는 태양광, 태양열, 지열 및 풍력발전 시스템을 포함한 마이크로그리드의 새로운 에너지시스템을 빌딩용 마이크로그리드로 정의 할 수 있다[5-6].

이러한 DE시스템의 계통적용으로 전력시스템에 다양한 분산에너지시스템이 보급됨에 따라서 전력품질 및 신뢰도에 미치는 영향 등을 무시할 수 없게 되었으며 또한 소규모 빌딩단위로 도입된 분산에너지시

스텝(BCHP 시스템+신재생에너지시스템)은 빌딩 내의 열수요와 통합된 제어 및 관리가 병행되어야 하는 어려운 과제를 가지고 있다. 현재 거주건물의 수용가도 수동(passive)네트워크에서 능동(active)네트워크로 크게 변모하고 있다. 종래의 소규모 분산전원을 가지는 수용가의 전력·에너지시스템의 제어 및 관리는 계층적 분산제어 혹은 집중제어관리방식에서 현재의 능동네트워크에 걸 맞는 분산화된 지능 제어 관리시스템을 요구하고 있다. 즉, 종래에 중앙집중 방식으로 관리하는 기능들인 부하관리, 네트워크 복구 결정, 발전기최적구성과 급전, 에너지의 합리적 이용 및 통합적 관리 등이 분산화된 지능형 협조관리방법으로 전환되어야 한다[7-10].

이에 새로운 복합 전력에너지시스템서의 ICT(Information communication technology) 적용기술과 개방된 통신기능이 부가된 고속 마이크로프로세서기술 팔목할만한 진보 및 실시간 지능형알고리즘의 구현으로 인하여 유력한 대안기술로 검토되고 있는 것이 협조와 자율을 기반으로 하는 지능형 다중 에이전트를 이용한 제어·관리방법이다. 그러나 시장기반 제어·관리(market-based control and management), 현장의 기기제어 및 모니터링을 위하여 개방 프로토콜이 임베디드된 강력한 지능형 제어기 및 IED(intelligent electronic devices)의 활용, ICT 기반 인프라를 활용한 환경의 다양한 변화에 능동적으로 응동하기 위하여 협력(cooperation), 조정(coordination) 및 협상(negotiation)기능을 가진 새로운 개념의 에이전트를 분산 및 계층분산화한 다중에이전트를 이용한 복합 전력에너지시스템에서의 활용에 주목을 받게 되었다[11]. DE시스템제어 및 운영에 현재 적용이 검토되고 있으며 유럽과 미국을 중심으로 활발한 연구개발이 진행되고 있다[12-13].

필드의 제어 및 운전관점에서 DG시스템은 DC 또는 고주파교류로 계통연계를 위하여 파워컨디셔닝(power conditioning system: PCS)적용이 불가

피하고 전력소자의 빠른 응답특성과 제어방식의 다양성과 함께 기계적관성이 거의 없어 빠른 출력변화를 나타내게 된다. 이를 위하여 여러 마이크로소스의 선정 및 전기저장장치와 통합하여 제어전략과 운영방식을 결정하는 것이 매우 중요하며 이에 대한 연구는 시작단계에 있다. 마이크로그리드를 구성하는 마이크로소스는 무효전력과 유효전력이 독립적으로 제어가 가능하며 전압제어 등 전력품질 등을 유지할 수 있는 전압형인버터(voltage source converter: VSC)를 채용하여 마이크로그리드 운전이 광범위하게 이루어질 것으로 예상된다. 마이크로그리드는 광의에서 전자적인 인터페이스(electronically interface)를 가진 분산에너지(EI-DE)시스템이라 볼 수 있다[14]. PCS는 마이크로소오스를 계통에 연계시키는 장치로 유효전력과 무효전력의 흐름을 신속하게 제어하게 된다. 또한 각 마이크로소스의 응답속도는 수초-수십초 정도로 느린 응답특성을 가지고 있어 부하변동에 따른 응답특성을 개선하고 계통외란을 일시적으로 보상하기 위하여 에너지 저장장치의 채용이 보편적으로 권장된다. 독립운전모드에서는 부하의 전압과 주파수를 일정값으로 유지하기 위한 V-f특성의 제어모드를 가지며, 계통연계(grid-connected)모드에서는 P-Q 제어방식을 기반으로 계통과 부하에 적정주파수, 전압 및 전력품질측면에서의 다양한 제어방식 및 PE토폴리지를 채용하고 있다[15-17]. 따라서 본고에서는 빌딩을 중심으로 하는 소형 마이크로그리드의 현황과 그 운영·제어기술에 대하여 기술하고자 한다. 본 연구는 빌딩의 새로운 에너지시스템의 구축 및 운영기술을 파악하는 데 도움을 제공하고자 한다.

## 2. 빌딩마이크로그리드 운영 네트워크

### 2.1 운영·제어기술의 개요

우리는 디지털 컨버전스의 시대에 살고 있다. 이에

의하여 전력산업은 이제 전력이란 말 자체의 수정이 불가피할 만큼 새로운 환경에 적응해야할 시점에 와 있다. 전력 에너지 분야의 기술 및 서비스 모든 영역에서도 이제 집중적 사고에서 분산적 사고로의 패러다임 전환이 절실히 요구되고 있다. 이 현상은 전력에너지 산업 분야에서 에너지의 규제가 완화되고 시장 자유화가 진행되고 있는 가운데 새로운 에너지 이용 기술이나 재생에너지 이용기술 및 2차 전지와 같은 분산형에너지시스템이 수용가와 수용가 인접에 설치할 수 있다는 점과 범지구적 규모의 환경문제의 심각성에 기인한다. 이는 전력도 에너지라는 사고 틀에서 기술, 자본, 서비스 및 제도의 혁신이 필요하다. 즉, 전력에너지는 비동기화 된 운영과 관리방식, 마이크로그리드 방식의 분산된 지능형 아키텍처설계와 개발, 양방향 자유로운 디지털 통신을 기반으로 하는 패킷 기반의 에너지 거래체계 확립, 다양한 품질과 소비의 자유 형식을 제공하는 멀티포달 서비스제공 등 해결해야 할 과제를 안고 있다. 이에 미국을 중심으로 하는 선진국에서는 이러한 환경의 전력에너지 유통의 새로운 전환틀을 만들기 위한 노력을 경주하고 있다. 미국은 연방정부 주도 하에 민간기업과 국책연구소 등의 전 역량을 결집하는 인텔리그리드(Intelli-Grid) 프로젝트를 추진하여 21세기 디지털 시대를 지원하는 에너지 정보 결합 인프라를 구축함으로써 지식기반 산업 경쟁력과 국가 에너지 기반 인프라의 안정성을 확보하려는 노력 중에 있으며 2020년까지 Advanced Distribution Automation 개발 관련 유연한 배전계통, 개방형표준통신 시스템 및 전력거래시스템을 목표로 하는 연구를 진행 중에 있다 [27-28]. 일본은 ECONET이라는 전력시스템 관련 기술개발 전략도 국가경쟁력 창출을 위한 전 산업부문의 기본 전략인 “유비쿼터스”라는 국가비전의 틀 아래 통합적으로 추진하고 있다. 국내에서도 전력 IT 사업을 국가적 주도로 추진하고 있어 전력에너지 양방향 유통시스템에 대비한 통신 네트워크인프라를 효

과적으로 활용할 수 있는 기술개발을 2005년도부터 추진되고 있다.

전력시스템에 다양한 분산에너지시스템이 보급됨에 따라서 전력품질 및 신뢰도에 미치는 영향 등을 무시할 수 없게 되었으며 또한 소규모 빌딩단위로 도입된 분산에너지시스템(BCHP 시스템)은 빌딩내의 열 수요와 통합된 제어 및 관리가 병행되어야 하는 어려운 과제를 가지고 있다. 현재 거주건물의 수용가도 수동(passive)네트워크에서 능동(active)네트워크로 크게 변모하고 있다. 종래의 소규모 분산전원을 가지는 수용가의 전력·에너지시스템의 제어 및 관리는 계층적 분산제어 혹은 집중제어관리방식에서 현재의 능동네트워크에 걸맞는 분산화된 지능 제어관리시스템을 요구하고 있다. 즉, 종래에 중앙집중 방식으로 관리하는 기능들인 부하관리, 네트워크 복구 결정, 발전기최적구성과 급전, 에너지의 합리적 이용 및 통합적 관리 등이 분산화된 지능형 협조관리방법으로 전환되어야 한다. 또한 전력시장의 자유화가 진전되어 DER의 비중이 확대됨에 따라 현재의 제어 및 관리 방식으로는 기술적 문제의 해결의 어려움을 초래함은 물론이고 다양한 품질과 서비스 제공이 불가능하게 된다[18-20].

현재 능동시스템이 당면하고 있는 문제점은 상위계통의 신배전시스템과 분산에너지시스템이 긴밀히 협조 운전하는 자율분산 운용체제 확립, 소규모 마이크로그리드 방식의 지능형 운용 아키텍처설계와 개발, 양방향 자유로운 디지털 통신을 기반으로 하는 패킷 기반의 에너지 거래체계 확립, 다양한 전력품질과 소비의 자유 형식을 제공하는 멀티포달 서비스제공 등으로 요약할 수 있다. 이는 수많은 컴포넌트와 시스템들이 시공간을 제약을 뛰어넘는 상호 밀접한 협력에 의한 제어관리 및 고품질 서비스 창출을 해야만 자유로운 에너지 유통 상품을 요구하는 에너지시스템 환경변화에 적응이 가능하다. 이에 새로운 복합 전력에너지시스템서의 ICT(Information communica-

tion technology) 적용기술과 개방된 통신기능이 부가된 고속 마이크로프로세서기술 괄목할만한 진보 및 실시간 지능형알고리즘의 구현, 신재생 및 BHP시스템의 전력전자기술의 접목을 통한 제어 운영기술의 향상을 종합화한 유력한 운영·제어기술로 검토되고 있는 것이 협조와 자율을 기반으로 하는 지능형 다중 에이전트를 이용한 제어·관리방법이다. 그러나 시장 기반 제어·관리(market-based control and management), 현장의 기기제어 및 모니터링을 위하여 개방 프로토콜이 임베디드된 강력한 지능형 제어기 및 IED (intelligent electronic devices)의 활용, ICT기반 인프라를 활용한 환경의 다양한 변화에 능동적으로 대응하기 위하여 협력(cooperation), 조정(coordination) 및 협상(negotiation)기능을 가진 새로운 개념의 에이전트를 분산 및 계층분산화한 다중에이전트를 이용한 복합 전력에너지시스템에서의 활용에 주목을 받게 되었다.

## 2.2 다중에이전트 기반 빌딩 에너지 네트워크 시스템 구축

BHP시스템과 신재생에너지 및 빌딩 설비제어기 위해서는 지금까지 BAS위주로 생성된 Data와 정보보다 수십 배의 정보를 가지고 있기 때문에 현재의 제어 및 모니터링 시스템 구조로는 불가능하다. 따라서 그림 3-1에서와 같이 Data 네트워크에서 역할을 분담하고 FIPA 프레임워크를 기반으로 하는 다중에이전트를 활용한 제어, 모니터링 및 데이터 및 에이전트 간 상호 협력을 통하여 최적의사결정을 수행하도록 한다. 이 계통도는 제일 하부 소규모 마이크로그리드는 빌딩 마이크로그리드이며 배전계통관점에서 보면 변전소 단위의 수용가포탈기기레벨까지 확대시킬 수 있다. 여기서 IED는 지능형 노트로 빌딩 네트워크 관점에서 개방형프로토콜을 가진 LonWorks나 CAN 프로토콜을 가진 상호동작성(interoperability)이 확

보된 프로세서를 가진 제어기의 일종이다. 이 노드는 신호처리 및 데이터 프로세싱을 필드에서 수행하고 통신을 네트워크 통하여 주어진 이벤트를 수행하게 된다. IED에이전트는 빌딩 마이크로 그리드 관점에서 보면 그림 2-2에서 Local 제어기(에이전트)라고 볼 수 있으며 이 로컬 IDE 에이전트는 크게 마이크로전원에 이전트와 부하에이전트로 크게 나눌 수 있다. 또한 그림 2-1의 제어 에이전트는 IED로부터 얻은 정보와 데이터를 처리하고 이를 저장과 MMI을 위한 디스플레이를 위하여 역할을 수행하게 된다. 제어 에이전트로부터 전달된 데이터는 상태모니터링과 이벤트로깅데이터 처리를 위한 실시간 데이터 에이전트와 비 실시간 데이터 에이전트로 나누어 업무를 수행하게 된다. 에너지매니저 에이전트는 그림 2-2의 MGCC (Microgrid control center)과 같은 역할을 하며 마이크로소스에 의하여 빌딩의 전기부하와 열부하수요에 부합하도록 하며 빌딩 마이크로그리드의 효율을 최대화하고 탄소배출 및 손실을 최소화하여 빌딩의 마이크로그리드의 토탈에너지시스템 이용율을 극대화하도록 한다. MGCC는 로컬제어기와 협조하여 시스템의 운영의 최적화를 도모한다. 그림 2-1의 IED 에이

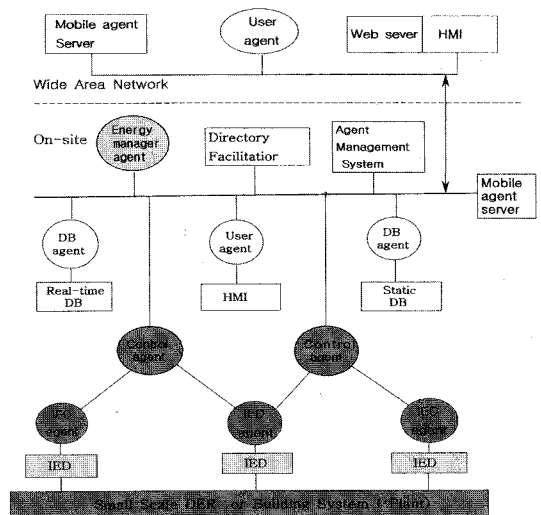


그림 2-1. 빌딩그리드 다중 에이전트 계통도

전트 레벨로 데이터와 정보를 수집(Data acquisition) 하는 역할을 담당하며 로컬에서 제어기능을 수행한다.

그림 2-2는 빌딩마이크로그리드 환경에서의 제어 레벨을 나타낸 것이다. DNO(distribution Network Operator)는 배전시스템의 변전소나 구역전기사업단 위의 영대의 마이크로그리드를 가지고 운영할 때에 기술적 운영을 담당하는 디바이스다. MO (Market Operator) 여러 사이트의 마이크로그리드의 마켓운영 역할을 담당한다. 이 두 디바이스는 빌딩 마이크그리드 범위에 속하지 않지만 MGCC와 관리레벨의 데이터를 교환하며 다수의 마이크그리드가 상호 협력하여 각각의 마이크그리드가 최적 운영조건을 가지도록 한다. 에이전트간의 통신을 위한 가장 큰 걸림돌은 각 에이전트가 가지고 있는 이질성(heterogeneity)이다. 이러한 이질성을 극복하고 통신하기 위해서는 상호 이해 가능한 언어와 프로토콜이 필요하다. 에이전트 프레임은 FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agent)이다. 모드 에이전트 통신은 메시지 전달을 기반으로 하며 이 메시지 표현은 ACL(Agent Communication Language)이다. 대표적인 예는 KQML(Knowledge Query and Manipulation Language)과 FIPA-ACL이 있다. IED에이전트, 제어에이전트, 에너지매니저에이전트 및 빌딩관리 에이전트가 BCHP시스템 및 신재생에너지시스템를 최적으로 운영하기 위하여 DATA 네트워크에서 FIPA 프레임워크를 가진 에이전트기반에서 상호 협조와 협동을 통하여 최적 빌딩그리드 운영을 수행하게 된다. 물론이 네트워크 개념도는 대형마이크로 그리드에도 그대로 적용될 수 있는 개념적인 역할과 정보교환 등을 나타내었다.

그림 2-3은 MAS모듈 구조를 나타낸 것으로 IEDs를 중심으로 Data acquisition and control system 모듈은 IED agent-Data acquisition과 Control(plant) agent(TR, CB, RES, BCHP) 및 services Modules-ontology DB로 구성되며 필

드의 모든 데이터를 수집하고 기본적인 제어 및 감시 기능을 협조적으로 수행하게 된다.

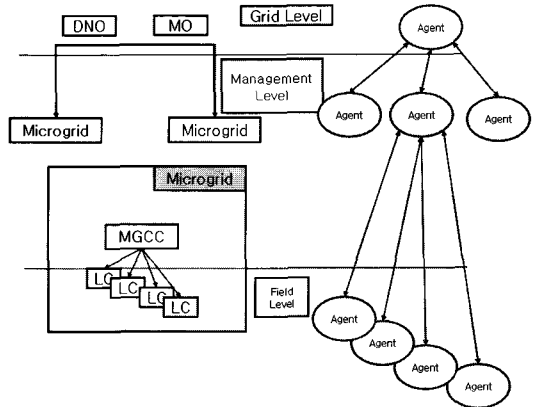


그림 2-2. 빌딩 Microgrid의 에이전트기반 제어 개념도

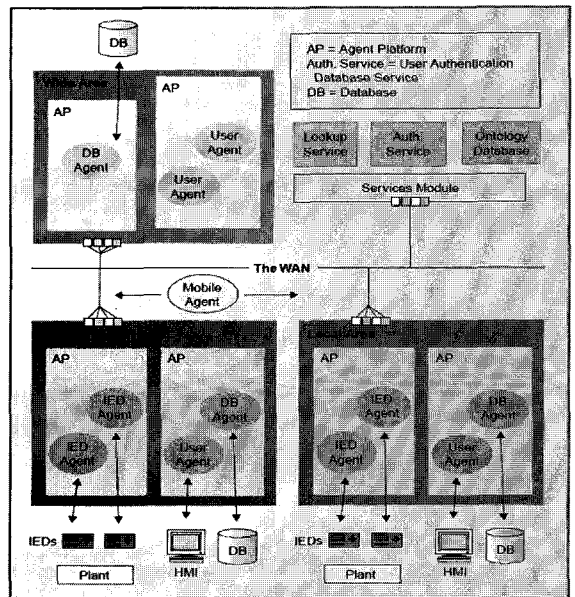


그림 2-3. Multi-Agent 시스템의 모듈 구조

Local area modules(LAN)은 Database agent와 Document Agent를 중심으로 실시간 데이터 DB(logging event, alarms & condition monitoring data)와 static DB(configuration data)기능을 수행하게 된다. Global modues

(WAN)는 user agent를 중심으로 제어센터 구실을 하며 서비스모듈과 매우 긴밀히 협조하여 통합적 협조 관리 기능을 수행하게 된다.

## 2.3 빌딩 DE시스템 필드제어 네트워크 구성

### 2.3.1 개요

DE시스템의 클러스터(cluster)인 빌딩 마이크로그리드는 DE시스템에서 전기와 열부하에 에너지를 공급하며 마이크로그리드내의 다른 DE시스템들과 통신하지 않는 독립적으로 제어가능한 기능을 가지도록 제안되었다. DE시스템은 전력원으로서 전력을 생산하고 DC/AC전압형인버터를 사용하여 계통에 연계된다. 이는 DC입력을 일정한 주파수, 크기, 위상각을 가지는 AC전압 혹은 전류형태로 변환하여 출력하게 된다. 최근 신재생에너지 발전 등에 의한 기존의 분산전원용 전력변환장치는 일반적으로 전압형인버터를 사용한 전류제어방식을 채택하여 부하측 전압은 계통측전압에 의해 종속적으로 제어되는 형태였다. 그러나 최근 수용가들이 컴퓨터 등의 민감한 부하에 의한 고품질전력을 요구함에 따라 전압문제(voltage sag, swell)등 전력품질을 유지할 수 있는 제어방식으로 전압형인버터를 이용한 전압제어방식의 DE시스템 채택이 검토되고 있다. 다수의 DE시스템이 마이크로그리드를 형성하면서 계통에 연계되었을 경우 전력시스템 및 부하에 유효 및 무효전력을 원활히 공급할 수 있어야 한다. DE시스템의 제어시스템에서는 여러 가지 제어 파라메타가 존재하며 마이크로시스템의 효율적이고 안정적인 운전을 위해서는 다수의 DE시스템 개개의 제어파라메타에 의한 유효 및 무효전력 등의 변동 및 상호작용에 대한 연구가 필요하다.

그림 2-4는 DE시스템과 연계된 전력전자(power electronics: PE)인터페이스 기반의 통합 블럭 다이어그램이다. PE인터페이스는 DE시스템에서 전력을 받아서 요구되는 전압과 주파수를 가진 교류 전력으

로 변환시킨다. 저장시스템은 계통과 에너지시스템과의 양방향 전력흐름이 가능하도록 하는 제어스킴을 설계해야 한다. PE인터페이스모듈은 그림 3-4에서와 같이 크게 4종류의 모듈로 구성되어 있다(31). 즉, DE입력컨버터, 인버터모듈, 출력인터페이스 모듈 및 제어모듈이다. 파란 단방향 표시는 DE소오스의 에너지 흐름을 표시한 것이고 빨간 화살표는 DE 저장장치 양방향에너지 흐름을 표시한 것이다. AC출력을 발생시키는 DE시스템인 풍력터빈, 마이크로터빈(microturbine: MT), IC엔진, 프라이어릴 저장장치는 AC-DC 컨버터를 필요로 한다. DC출력을 발생시키는 연료전지, PV, 배터리시스템은 DC-DC컨버터를 필요로 하며 DC전압을 제어할 수 있게 된다. DC-AC컨버터는 모듈에서 가장 중요하며 DC소오스를 계통과 연계된 AC전력을 발생시킬 수 있는 능력을 가져야 한다. 출력인터페이스모듈인 필터와 제어모듈은 DE의 보호 및 계통과의 연계점(point-of-common-coupling: PCC)에서의 인터페이스로 동작하게 된다. 이 제어모듈은 DE시스템의 보호 및 계통으로부터의 분리 및 연계운전을 지령을 포함한다. 이러한 기능은 IEEE 1547-2003계통연계 요구조건을 만족하도록 구성하여야 한다. 그림 2-5과 2-6은 그림 2-4의 축약된 그림을 PE시스템의 DE시스템 적용되는 PET오폴로지 종류를 구체적으로 나타낸 것이다. 이 제어모듈은 역시 HMI, 통신인터페이스 및 전력관리기능도 포함되어야 한다. 모니터링기능은 PCC에서의 유효, 무효전력 및 전압 모니터링이 있으며 DE시스템을 계통과 동기화를 위하여 DE 시스템의 전압, 주파수의 크기, 위상각, 전압전류의 위상차는 계통과 같은 값을 가져야 한다. AC-AC컨버터는 AC소오스 전압 크기와 주파수를 계통의 전압과 주파수의 고정값으로 변환하기 위하여 사용된다. 이 컨버터는 그 차체의 고유한 단점으로 DE응용에는 사용하는 예가 적다. 표 2-1은 DE시스템 전력변환을 위한 PC시스템 명칭을 나타낸 것이다.

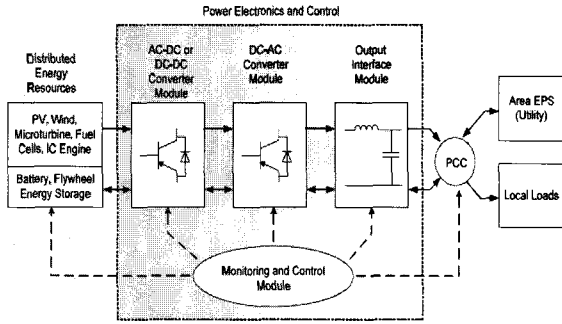


그림 2-4. DE power electronics interface의 구조

표 2-1. Power electronics system

Power Conversion	Common Module
AC-DC	Rectifier
DC-AC	Inverter
DC-DC	Boost, Buck, Buck-Boost, Chopper
AC-AC	Cycloconverter, Matrix Converter
AC-DC-AC	Back-toBack Converter, Rectifier-Inverter

### 2.3.2 DC-DC 컨버터제어

DC-DC컨버터는 직류전원으로부터 직류출력전압의 크기를 제어하는 컨버터를 총칭한다. DC-DC컨버터에서 반도체스위치는 입력측에서 출력측으로 전달되는 에너지를 제어하는 기능을 하며 인덕터와 캐패시터는 에너지를 전달하는 매개역할을 하거나 불필요한 리플성분을 제거하기 위한 필터역할을 한다. DC-DC컨버터는 제어스위치의 오-오프를 조절하여 주기 T에 대해 전원을 부하에 연결하는 시간 즉, 스위치의 온시간  $t_{ON}$ 의 비를 가변시켜 평균적으로 크기를 제어하는 데 이를 시비율제어하며 DC-DC컨버터의 기본원리이다.

이 컨버터 종류로는 Boost, Buck 및 Buck-boost 3종류가 있으며 DE 소오스종류 및 하이브리드 구성 등에 따라 선택하여 사용할 수 있다. 복합발전시스템에서는 DC단의 전압이 높아 태양전지 출력 단전압을 승압할 필요가 있으므로 그림 2-7과 같은

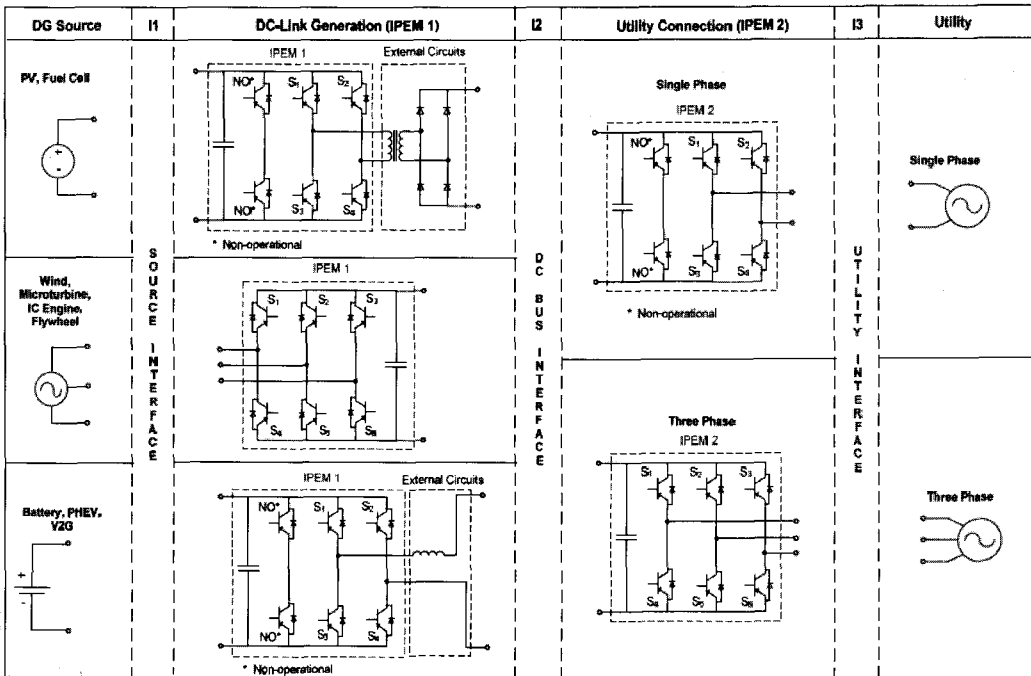


그림 2-5. DES를 위한 IPEM(intelligent power electronics modules)기반 PE

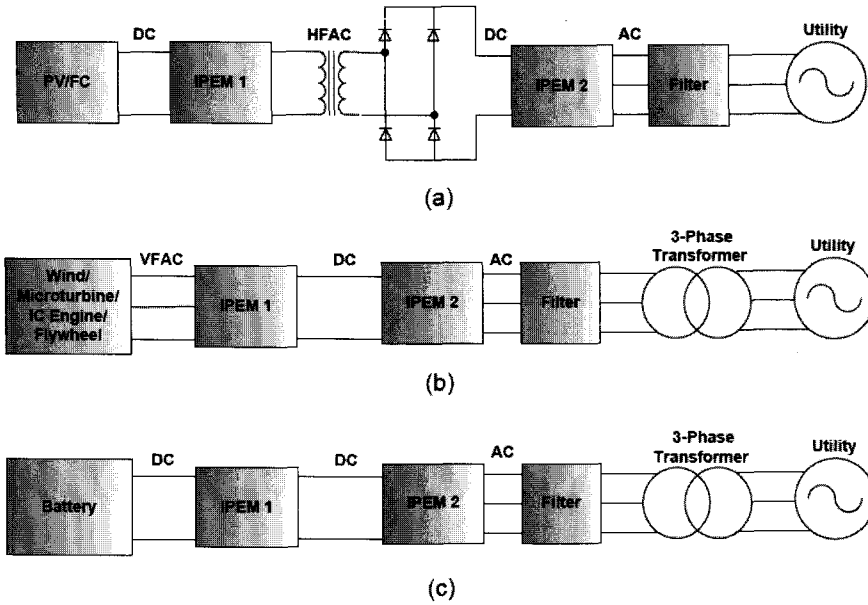


그림 2-6. PE 블럭다이어그램 (a) DC 소스 (b) AC 소스 및 저장장치(Flywheel), (c) DC 저장장치 (battery)

Boost 컨버터를 사용하여야 한다. 그림에서와 같이 태양광발전시스템의 적용하는 DC-DC컨버터의 특징은 보통 태양광발전시스템에 적용하는 DC-DC컨버터의 경우는  $V_{dc}$ 의 제어인 반면 태양광발전시스템에 적용하는 DC-DC 컨버터의 경우는 태양전지에서 최대 출력을 끌어내기 위한 MPPT알고리즘을 사용하므로 컨버터 입력단 전압인  $V_s$ 가 관심사이다. 따라서 일사량이나 온도의 변화에 따라서 태양전지의 최대 출력점이 바뀌는데 태양전지로부터 최대출력을 얻어내기 위해서는 태양전지의 출력단 전압  $V_s$ 를 가변제어하

게 되며, 이는 DC-DC 컨버터에서 인덕터에 흐르는 전류를 제어함으로써 가능하다. 전압을 높여야 할 경우 인덕터에 흐르는 전류를 감소시키고 전압을 낮추어야 할 경우는 인덕터에 흐르는 전류를 증가시키는 방식으로 제어한다.

### 2.3.3 독립운전을 위한 DE시스템 제어구조

원하는 전압의 위상각과 주파수는 PLL(Phase Locked Loop)에 의하여 측정되며 인버터제어에 중요한 구성요소이다. 위상측정회로에서 측정된 위상각과 주파수는 회전좌표계로 변환된다. 부하전압은 부하부스에서 검출한 3상전압은 회전좌표계로 변환된  $V_d, V_q$ 를 각각 기준 전압  $V_{dref}$ 와  $V_{qref}$ 와 비교되어 PI제어기의 입력으로 들어가 PI 전압제어기에 의하여 조정되며 이 제어기의 출력은 게이트펄스를 발생하기 위한 PWM발생기에 의하여 사용된 3조정 신호를 포함하는 벡터이다. PLL에서 얻어진 전압위상을 사용하여 게이트신호벡터를 발생시킨다.

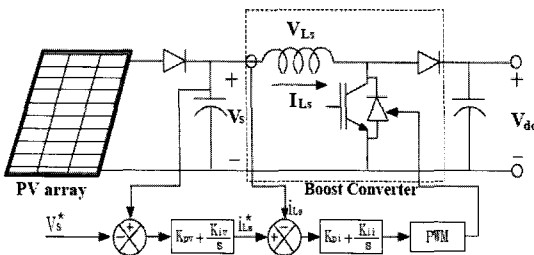


그림 2-7. Boost 컨버터 (DC-DC 컨버터)



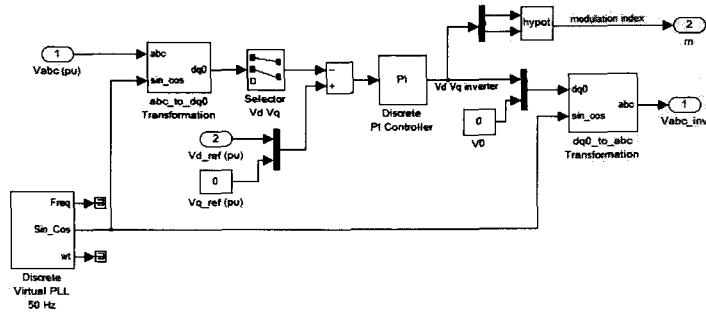


그림 2-8. DE시스템 독립제어를 위한 V-f제어시스템블럭(Matlab/Simulink기반)

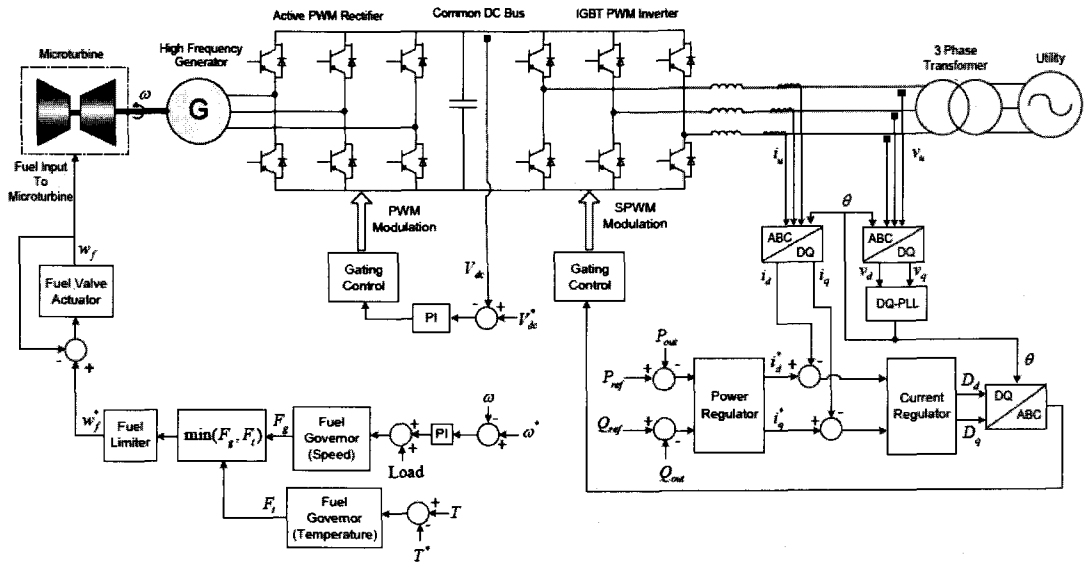


그림 2-9. DE시스템(MT, WT, IC engine, Flywheel)의 전력변환토폴로지 및 제어시스템

주파수 조정은 가상 PLL에서 행하여지며 이는 SimPowerSystems에서 주어진 모델을 사용한다. 그림 2-8은 DE시스템 독립제어를 위한 V-f제어시스템블럭(Matlab/Simulink기반)을 나타낸 것이다.

### 2.3.4 계통에 연계된 마이크로소우스의 제어 구조

#### (1) DE시스템(MT, WT, IC engine, Flywheel)의 전력변환토폴로지 및 제어시스템

DE시스템은 전압원으로 작동하므로 계통에 연결하기 위해서는 계통에 연계되는 인덕터가 필요하다. 계통연계용인덕터는 DE시스템으로부터 계통으로 전달되는 유·무효전력을 적정하게 제어할 수 있도록 해준다. DE시스템 측 단자전압 크기와 위상은 제어시스템의 PWM제어를 통해 제어되며 인버터 시스템은 인버터측전압  $V_d$ ,  $\delta$  및 계통측 전압과 위상  $E$ ,  $\delta_E$ 를 측정하여 위하고자하는 유·무효전력 및 전압을 제어하는 피드백시스템으로 구성되어 있으며 수 [ms] 응답특성을 가진다. MT와 연료전지 등이 채용

된 시스템에서는 순간적인 부하변화에 효과적으로 응답하고 전압을 유지하기 위해 통상 DC링크가 배터리와 함께 연결된다. 충전된 배터리에 의해 과도 응답을 보상하고 DC링크전압은 상대적으로 경직된 직류전압으로 볼 수 있으므로 인버터에 배터리가 연결된 시스템은 전력전자시스템을 설계하고 해석하는 데 용이하게 해준다.

그림 2-9는 WT, MT, IC 엔진 및 flywheel DG시스템의 계통연계형 AC-DC-AC 전력변환시스템 및 제어시스템을 나타낸 것이다. 이 그림에서는 MT로 나타냈지만 그림 2-6 (b) 나타낸 DE시스템 일반적으로 적용되는 계통연계 PE 토폴로지 및 제어 시스템의 전형적인 예이다.

MT의 경우 PCS의 토폴로지는 컨버터와 계통사이 에 양방향 전력조류가 흐를 수 있도록 back-to-back VSC를 사용하면 별도의 터빈기동장치를 필요 없는 매우 컴팩트한 시스템을 구성할 수 있다. 즉, 기동시 그리드에서 전력을 공급받아 계통측 컨버터는 정류기 역할을 하고 기기측 정류기는 인버터역할을 하여 어느 일정속도까지 전력을 공급받아 PMSM은 모타로 작용하게 된다. 터빈이 일정속도를 초과하면 PMSM은 발전모드로 전환하여 컨버터의 역할이 정상적으로 변경되어 계통측 컨버터는 인버터로 동작하여 계통에 전력을 공급하게 된다. 두 운전모드에서 계통측 컨버터는 DC링크전압을 조정하며 반면 기기측 컨버터는 PMSM의 속도를 제어하게 된다. 이 제어 구조는 두 개의 컨버터를 효과적으로 분리 제어할 수 있도록 할 수 있다[23].

(2) 연료전지(또는 PV) 계통연계형 제어시스템

가장 일반적인 PV와 연료전지의 PE 토폴로지 형태는 컨버터시스템의 캐스캐이드(Cascaded)의 종류와 그 수에 따라 변한다. 일반적으로 2종류가 사용되며 그 하나는 DC-링크인 캐스캐이드 DC-DC와 DC-AC 컨버터와 다른 하나는 캐스캐이드 DC-DC

와 AC-AC컨버터(고주파 링크)로 대별된다.

1) Cascade DC-DC and DC-AC 컨버터 (DC-link)

이 많은 PE 토폴로지가 하드스위칭과 소프트스위칭을 가지고 DC-link로 사용되고 있다. 고전적인 종류는 H-bridge 형태로 기술적으로 개발되어 많이 활용되었다. 스위칭손실과 소프트스위칭을 위하여 직렬 공진 컨버터가 사용되지만 이 방식은 더나가 고장회로방지 및 변압기의 포화문제를 제거할 수 있는 장점을 가지고 있다.

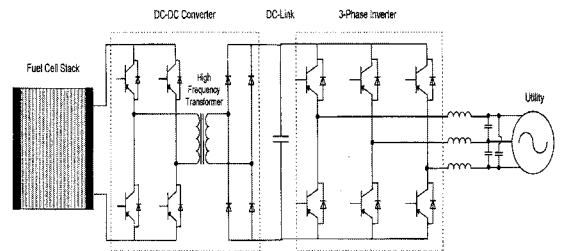


그림 2-10. Cascaded DC-DC and DC-AC 컨버터 토폴로지(DC-link)

계통사이드 인버터도 하드스위칭형과 소프트스위칭형을 사용할 수 있으며 연료전지의 3상계통과 연계를 위한 하드스위칭 DC-link형은 그림 3-10과 같이 나타낼 수 있다.

2) Cascaded DC-AC and AC-AC 컨버터(고주파 Link)

비교적 소용량인 주거용 연료전지는 컴팩트하고 비교적 간단한 PE가 요구된다. 이의 방안의 하나로 DC-link가 필요없는 고주파 DC-AC컨버터와 고주파 변압기 그리고 고주파 AC-AC컨버터인 사이클로 컨버터로 구성되어 진다. 이 중요한 장점은 시스템의 간략화로 인하여 고효율에너지 변환이 가능하다는 점

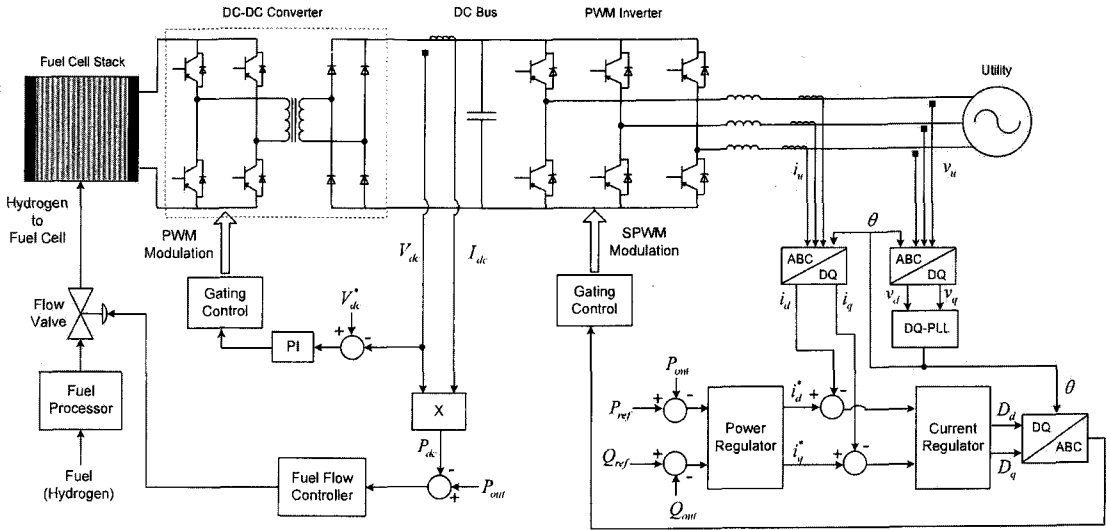


그림 2-11. 연료전지(PEMFC)을 위한 PE 및 제어블럭

이다. 이 PE토폴로지는 주로 소용량 단상회로에 사용하면 매우 큰 장점을 발휘할 수 있다. 그림 2-11은 DC-Link형의 연료전지(PEMFC)을 위한 PE and 제어블럭을 나타낸 것으로 그림 2-10의 P-Q제어블럭은 동일한 것을 보여주고 있다. 그림 2-12의 왼쪽블럭의 하단은 연료전지의 제어블럭으로 연료전지의 스택의 성능은 스택단자전압과 부하전류관계성을 나타내는 분극화커브(polarization curve)에 의하여 표현되어진다. 여기서 셀전압은 부하전류에 선형적으로 감소하기 때문에 출력전압은 요구되는 값을 유지하도록 제어되어야 한다. 분극화 특성을 일정 레벨로 유지하기 위하여 셀온도, 공기압력, 산소부압력 멤브레인 습

도 등이 제어될 필요가 있다. 이 PE 및 제어블럭은 PV 시스템에 동일하게 적용될 수 있다.

### (3) Battery 저장시스템 PE 토폴로지 및 제어

배터리저장시스템은 전력계통에 다양한 용도로 사용되고 있지만 여기서는 DE시스템에서 사용되고 있는 것인 제한하여 기술한다. DE 시스템의 효율적인 운전과 계통에 연계되어 운전되는 DE시스템에 의하여 야기될 수 있는 계통의 동요 및 전기품질의 신뢰성을 높이기 위하여 필수불가결한 설비이다. EPRI-DOE(2003)주도로 대규모 배터리저장장치인 레독스(Redox)와 NaS배터리가 전력계통연계운전을 위하여 설치 운전되고 있다. 그러나 소규모 레벨에서는 니켈전극형인 NiCd, NiMH 및 리튬이온전지가 저전압용으로 개발되어 사용되고 있으며 DE시스템과의 하이브리드시스템과 운전을 위하여 성능개선을 위한 개발이 진행되고 있다. 배터리시스템의 PE는 양방향 DC-DC컨버터로 인버터에 충분한 전압을 공급하기 위하여 사용하며 사용된다. 또한 고주파 변압기를 갖는 DC-DC컨버터가 DC계통과 AC 계통의 분리를 위하여 사용되는 경우도 있다. 일반적으로 많이

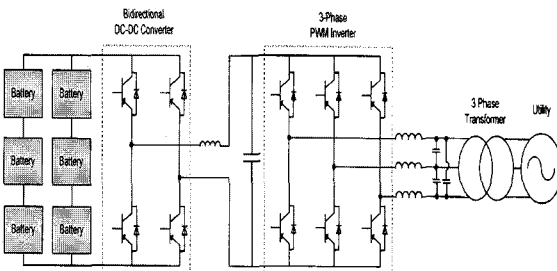


그림 2-12. 배터리시스템을 위한 캐스캐이드 PE 토폴로지

사용되는 PE 토폴로지는 PV 및 풍력 시스템과 같이 사용되는 하이브리드시스템은 매우 중요한 용도를 담당한다. 즉, 주 에너지 공급시스템의 일일 또는 계절 간헐 부하의 담당, 부하변동의 응동, 계통과도시의 완화 및 독립운전시의 시스템안정화 등이다. 풍력시스템과 BESS시스템의 하이브리드 마이크로 소스구성할 수 있으며 풍력시스템의 DC 버스에 양방향 DC-DC컨버터에 의하여 접속되어 운전하고 있다. 이 하이브리드시스템은 DE시스템 원과 BESS 통합형태에 따라 다양한 구성을 할 수 있다. 이 그림의 시스템은 PV시스템에서도 DC버스에 연결하여 사용하는 경우에도 같은 방법으로 적용할 수 있다. 그림 3-12는 3상배전선로에 연계하기 위한 배터리시스템에 사용되는 캐스캐이드 PE 토폴로지를 나타낸 것으로 양방향 DC-DC컨버터와 PWM VSI로 구성되었다. 이 토폴로

지를 제어하기 위한 블럭은 그림 2-13에 나타났다. 이 그림의 제어모드의 '0'은 충방전이 없는 경우이고 '1'은 방전모드이고 '2'는 충전모드이다. 배터리시스템은 충전모드에서는 계통과 DE시스템의 잉여전력을 받아 드리는 부하의 역할을 하며 방전모드에서는 전력을 발생하는 발전기 역할을 수행한다. 이 제어는  $SW_1$ 과  $SW_2$ 를 동시에 실행해야 한다. 충전모드에서는 DC-DC컨버터는 충전되는 기준이 되는 배터리의 단자전압  $v_b$ 를 결정한다. 배터리전압제어기는  $v_b$ 가 배터리 기준전압  $v_b^*$ 를 따르도록 PWM 패턴을 발생시킨다. DC-AC컨버터는 정류기로 동작하여 DC버스 전압  $v_{dc}$ 를 기준  $v_{dc}^*$ 에 추종하도록 제어한다. 이 경우에 DC 버스 제어기의 출력은 유효전력에 비례한다. 방전모드제어는 DC-DC컨버터의 DC버스전압을 일정하게 제어하도록한다. 그리드에 연결된 인버터는

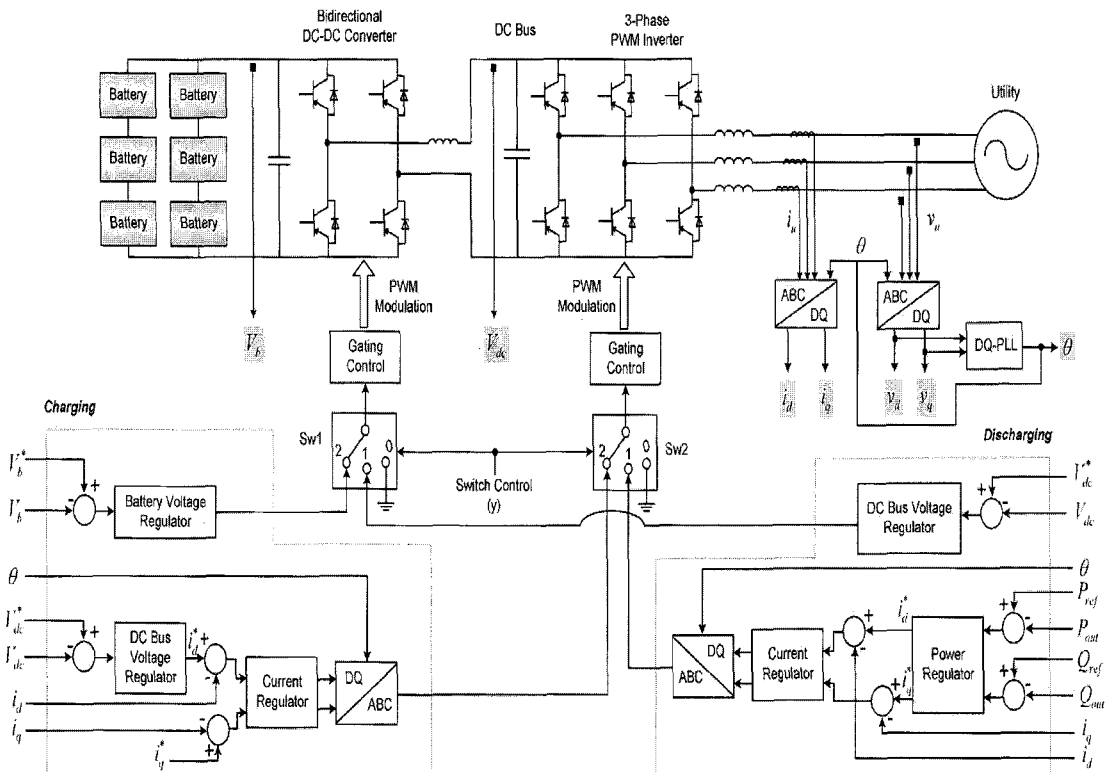


그림 2-13. BESS을 위한 PE와 제어모드

유무효전력을 제어하게 된다. 다양한 제어 방법이 가능하도록 알고리즘을 달리할 수 있으며 무효전력을 제어함으로써 역율을 일정하게 유지할 수 있고 유효전력이 증가되면 인버터는 DC버스로부터 전력을 더 유입하게 되며 이로 인하여 DC 버스전압은 줄어들게 된다. DC-버스 전압제어기는 PWM VSI의 스위칭 패턴을 변화시켜 일정 DC버스전압을 유지시킨다. 이 제어기는 내부 전류제어루프와 외부의 P-Q제어루프의 2 제어루프를 가지고 있다.

#### 4. 결 론

현재 빌딩의 에너지 시스템의 구축은 DE시스템의 도입으로 매우 중요한 과제가 되었다. 그 이유는 건물에 소비는 1차 에너지가 선진국에서는 40(%)에 달하고 CO<sub>2</sub>방출량도 전체의 50(%)에 이르기 때문이다. 토머스 프리드먼의 'code green'에서 에너지기후시대의 녹색혁명은 이제 '선택이 아니고 운명'이라고 선언했다. 일본, 유럽 및 미국을 중심으로 하는 선진국에서는 이미 건물을 중심으로 그린빌딩을 실현하기 위한 국가적인 과제를 10년전부터 수행하고 있다. 다양한 건물에 BHP시스템과 신재생에너지 도입하여 앞으로 도래할 빌딩의 새로운 에너지 시스템의 개발, 도입 및 평가를 위한 연구가 매우 심도 있고 광범위하게 진행되고 있다. 우리나라의 경우 신축 건물의 신재생에너지시스템의 도입이 진행되고 있지만 지열과 태양광 시스템 위주로 법적인 구색을 맞추기 위한 방편으로 도입되고 있는 실정이다. 본고에서 제시한 BHP시스템을 기반으로 신재생에너지 시스템과 2차 열발생기 및 열과 전기 저장시스템을 통합한 새로운 빌딩 에너지 시스템 구축과 이를 효과적으로 운영하기 위한 상부 데이터네트워크에서의 각각 DE 시스템의 협조와 보호 및 통합관리를 위한 기술은 매우 중요하며 개발되어야 한다. 빌딩도 에너지의 시장기반 변화 및 BHP 시스템과 신재생에너지의 도입으

로 이제 소비중심에서 에너지를 생산하고 소비하며 그리드와 연계된 에너지와 데이터통신이 상호 양방향으로 유통하는 새로운 에너지시스템이 실현되고 있다. 또한 2차 열 발생시스템인 흡수식냉동기 및 히트 펌프시스템의 도입으로 통합된 에너지시스템 운영관리가 매우 중요한 시점이다. 따라서 이러한 복합화된 분산에너지원으로서의 빌딩은 상시 최상의 에너지 효율로 건물을 운영할 수 있고 건물에너지 네트워크 기술개발을 통하여 통합적에너지 관리를 수행하여야 한다. 따라서 본 고에서는 빌딩의 개방프로토콜을 사용한 다중에이전트 기반 빌딩에너지네트워크 운영을 위하여 빌딩의 필드네트워크와 전력변환 토폴로지 및 독립과 계통연계 운전을 위한 DE시스템별 제어스킴과 전형화된 PE토폴로지 제시는 소형 DE시스템에 기술적 특성이해에 기여할 것으로 생각된다. 추후 FIPA 플랫폼기반제어 및 협조운영 알고리즘을 개발하여 빌딩에너지 네트워크의 새로운 기반을 조성하고자 한다.

#### 참고문헌

- [1] N. Hatzigiorgiou, "Microgrid", IEEE power & energy magazine, pp. 78-94, Jul/Aug. 2007.
- [2] R.H. Lasseter, "Providing Premium Power through Distributed Resource", Proceeding of the 33th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, PP. 1437-1445, Jan. 4-7 2000.
- [3] R.H. Lasseter, "White Paper on Integration of Distributed Energy Resources, The CERTS Microgrid Concept," in consortium for electric Reliability Technology Solution, pp. 1-27, April.
- [4] R.H. Lasseter, "Microgrid", IEEE Power Engineering Society Winter meeting, 2002, Vol. 1, pp.305-308, Jan., 27-31 2002.
- [5] F.A.Farret, "Integration of Alternative Source of Energy", Wiley interscience, 2006.
- [6] C. Mamay & et al., "Optimal technology Selection and Operation of Commercial-Building Microgrids", LBNL-6231, Jan. 2007.
- [7] M. WooldRidge, "MultiAgent Systems", John Wiley & Sons Ltd, 2002.
- [8] S.W. Hadley, et al., "Quantitative Assessment of Distributed Energy Resource Benefits", ORNL/TM-2003/20 Report, May 2003.
- [9] A. D. Little, "Opportunities for Micropower and Fuel Cell/ Gas Turbine Hybrid System in Industrial Applications", Final report to Lockheed Martin Energy Research Cooperation and

the DOE Office of Industrial Technologies, Jan. 2000.

[10] C. Mamay & et al., "Microgrid for commercial building CHP and Power Heterogeneous Power Quality and Reliability", LBNL-635520, Oct. 2007.

[11] 홍원표, "Multi-Agent 기반 분산에너지시스템 연구", 산업자원부 (기초전력연구원)보고서, 2008.7.

[12] D.P. Buse, "IP Network-based Multi-agent Systems for Industrial Automation", Springer, 2007.

[13] C. Rehtanz, "Automation Systems and Intelligent Agents in Power System control and Operation", Springer, 2003.

[14] H. Karimi, "Control of an Electronically-Coupled Distributed Resource Unit Subsequent to an Islanding Event", IEEE Trans. on Power delivery, Vol. 23, No. 1, pp. 493-501, Jan. 2008.

[15] 정일엽, "다중분산전원으로 구성된 마이크로그리드의 유무효전력제어원리", KIEE journal, 제 57권, 4호, pp. 582-588, April 2008.

[16] 손광명, " Modeling and Analysis of the Microgrid with SVPWM Micro-source", KIEE Journal, Vol. 20, No. 3, pp. 12-19, March 2006.

[17] O. Fethi, "Modeling and Simulation of the Electric Part of a grid Connected Micro Turbine", HNU download from IEEE Xplore.

[18] F.A.Farret, "Integration of Alternative Source of Energy", Wiley interscience, 2006.

[19] C. Mamay & et al., "Optimal technology Selection and Operation of Commercial-Building Microgrids", LBNL-6231, Jan. 2007.

[20] A. D. Little, "Opportunities for Micropower and Fuel Cell/ Gas Turbine Hybrid System in Industrial Applications", Final report to Lockheed Martin Energy Research Cooperation and the DOE Office of Industrial Technologies, Jan. 2000.

[21] C. Mamay & et al., "Microgrid for commercial building CHP and Power Heterogeneous Power Quality and Reliability", LBNL-635520, Oct. 2007.

[22] W. Kramer, S. Chakraborty, "Advanced Power Electronic Interfaces for Distributed Energy Systems Part 1: Systems and Topologies", Technical Report NREL/TP-581-42672 March 2008.

[23] D. N. Gaonkar, R. N. Patel, "Dynamic Model of Microturbine Generation System for Grid Connected/Islanding Operation", HANBAT UNIVERSITY. Downloaded on March 7, 2009 at 02:57 from IEEE Xplore.

[24] P. Mancarella & et al., "Distributed multi-generation: A comprehensive view", Renewable & Sustainable Energy Review(RSER-514), 2007

◇ 저 자 소 개 ◇



홍원표(洪元杓)

1956년 5월 15일생. 1978년 숭실대 전기공학과 졸업. 1989년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1979~1993년 한전 전력연구원 선임연구원. 2007~2008년 UBC 방문교수, 현재 한밭대학교 건축설비공학과 교수. 본 학회 편수위원. 대한설비공학회 에너지전문위원. 주요 연구분야는 펄드버스제어네트워크 적용. Green Building과 에너지, 및 Smart space 구축기술임.