기술해설

도시 그린화를 위한 스마트그리드 구축기술

홍원표〈한밭대학교 건축설비공학과 교수〉

1. 서 론

지난 20년은 IT로 급성장한 시대였다면 향후 20년은 에너지와 그린(green)이라는 기술로 새로운 세상을 열 것으로 판단된다. 이는 이제 에너지를 "저 탄소 생산하고" "저 손실 전송해야 하며" "고 효율 활용" 할 수 있는 기술과 사회 구조로 가야만하기 때문이다[1]. 이는 세계가 작금의 기후변화시대를 맞아 탄소배출의 최소화를 국가경쟁력의 원천으로 삼기 위한 Green race에 모든 노력을 경주하고 있는 이유이기도 하다[1-2]. 나아가 세계선진 도시들은 Green race에서 보다 앞서가기 위하여 생태환경도시를 거쳐 저탄소 도시로의 전환 움직임을 더욱 가시화하고 있는 추세이다. 도시(건물이 중요한 역할)는 세계에너지 소비와 온실가스의 배출의 주된 주체이며 도시성장에 따라 지구 온난화 물질의 80(%)를 배출하여 기후 변화에 더 큰 영향을 줄 것으로 지적되고 있다.

현재와 같은 탄소배출이 지속될 경우 기후변화로 인한 경제적 손실은 매년 세계 GDP의 5~20(%)에 달한 전망이 이를 뒷받침하고 있다(Srern Review, 2006). 이에 미국, 일본, 영국 및 독일 등 선진국들은 기후변화에 대응하기 위한 녹색산업, 녹색기술을 새로운 국가 성장엔진으로 인식하고 Green race에 버금가는 Low carbon society(economy), Low carbon growth, carbon-free Prosperity 개념을 보편적 화두로 언급하고 있다[3]. 최근 유엔 통계자료에 의하면 2008년도 전 세계 인구 절반 이상이(33억명) 도시에 거주하며 2030년에는 50억 명이 도시에 거주할 것으로 예상되며 향후 기후 변화 대응을 실질적으로 선도하는 도시의 역할이 절실한 실정이다.

이를 위하여 기후변화의 대응은 국가 차원뿐만 아니라 지방단체도 온실가스 감축주체로서 심혈을 기우리고 있으며 이는 저탄소사회실현 또는 저탄소배출도시 조성운동으로 정착되고 있다. 도시의 적극적인 기후 변화 대응을 위한 정책개발과 추진은 지역대기환경 개선, 에너지이용 효율화를 통한 재정절감, 효율적인 신재생 및 열병합시스템을 포함하는 에너지 시스템 구축으로 새로운 일자리 창출[4]과 지역경제 발전 등 저탄소 도시의 구축과 환경개선 및 경제적 편익 등을 유발할 수 있기 때문이다. 한편 정부는 저탄소녹색성장 국가비전수립, 기후변화 대응 종합계획 수립 및 국가 기후변화 적응 종합계획 발표(2008.12), 저탄소 녹색성장기본법 공표(2010.1.13), 시행(2010.4.14), 7월부터 대형 건축물(1만(m^2) 이상 업무시설) 등을 대상으로 건축물 에너지 사용량 표시를 의무화하는 '에너지 소비 총량제'가 도입(2020년 모든 건축물도입) 및 서울형 저탄소 녹색성장 마스터 프랜(2009.7.2)등 저탄소 녹색성장 정책을 본격적으로 추진하고 있다. 특히 건물의 에너

지관리는 도시의 그린화 관점에서 핵심적인 요소라 판단된다. 이것은 이미 에너지 네트워크의 중심으로 G(green)-IT의 총합이며 이제 에너지와 통신이 일체와 되어 양방향에너지 흐름이 이루어지는 빌딩마이크로그리드(Prosumer라고도 함) 집합체이다. 따라서 이제 건물은 모든 기술과 서비스가 집중되는 공간이며 허브라 할 수 있다[5]. 따라서 저탄소사회의 지속적인 추진을 위하여 그린빌딩 및 제로에너지하우스의 구축이 관건이라 할 수 있다.

기후변화에 능동적으로 대응하여 저탄소사회의 진입을 위하여 선진도시의 2가지 핵심 추진 전략에 초점을 맞추고 있다. 선진도시의 탄소배출 감축 추진 전략은 첫째로 탄소배출원 관리, 정보시스템의 구축 및 활용, 온실가스 감축목표의 단계적 설정 등 체계적이고 전략적인 환경정책을 추진하는 것이다. 둘째, 저탄소 사회를 실현하기 위해 환경부하를 줄이는 에너지 정책-에너지 소비 저감, 효율 증대, 신재생에너지 비중 확대 등 탄소배출을 최소화하는 것이다.

본 고는 후자에 초점을 맞추어 스마트그리드기술과 그린빌딩시스템 관계, 소형풍력(BIWT포함) 및 하이브리드 에너지시스템 기반인 제로에너지빌딩기술, 전기자동차 도입에 따른 전력설비의의 변화와 새로운 기술의 요구 등 관련기술의 개발현황과 신기술 동향 및 저탄소사회 구축을 위한 정책 기술적 관점에서 기술하고자 한다.

2. 녹색도시란?

도시에 따라 다소차이가 있지만 에너지소비의 75(%)는 도시지역에서 이루어지고 있어 온실가스 배출량 감축을 위해서는 지역 도시 분야의 역할이 중요하다. 도시에서 어떤 노력과 처방이 이루어지느냐에 따라 온실가스 배출량을 최소화할 수 있으며 미래 도시 공간도 변화 될 수 있을 것이다. 특히 저탄소사회로 전환해 가기 위해서는 도시공간 구조뿐만 아니라 주거 및 교통시스템, 에너지시스템, 생활 방식 등을 근본적으로 재구조화해야 한다. 저탄소 녹색도시는 기존의 친환경도시, 지속가능도시에 탄소저감과 흡수 및 신재생에너지가 결합된 도시라 할 수 있다. 생태계 및 환경보전, 에너지자립과 자원순환 지속가능 발전을 토대로 화석연료 대신 신재생에너지를 활용하는 등 이산화 탄소저감과 흡수를 내부화하는 도시시스템을 구축해야 한다. 도시분야에서 탄소배출량을 감축하는 방법은 도시별 여건과 특성, 기술 및 인프라 수준, 시민의 참여와 의식 수준 등에 따라 적극적인 방법에서부터 소극적인 방법까지 다양해질 수 있다. 기술개발이 아닌 에너지 절약에 대한 인식과 생활양식, 그리고 교육과 홍보 혹은 공간 계획이나 배치 등 비 기술적인 구조 개선을 통해 에너지를 근본적으로 줄이는 방법 등 도시 분야의 탄소배출량 감축방법은 다양하고 복잡하다. 그림 1은 우리나라의 저탄소 녹색도시 개념도이다. 현재 전 세계 주요도시 중 녹색도시로 부각되고 있는 사례를 보아도 알 수 있다. 석유정점을 대비하여 에너지 자급자족형 생태공동체를 지향하는 영국의 토드네스(Totness)사례도 있는 반면 기술과 자본으로 도시 자체를 탄소제로 도시로 만들고 있는 UAE의 마스타르(Masdar) 사례도 있다. 태양열과 바이오가스 등 신재생에너지의 이용 확대를 통해 자원순환형 녹색도시를 조성하는 독일 프라이브르크(Freibrug)와 네덜란드의 아메르스포르트

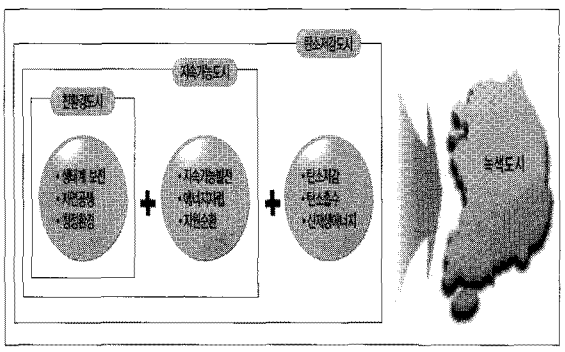


그림 1. 저탄소 녹색도시 개념도

(Amersfoort), 스웨덴의 하마비허스타드(Hammarby Sjostad) 사례도 있다[6]. 자전거와 보행자 중심의 도시 정비를 통해 에너지 소비를 근본적으로 줄이는 독일의 보방(Bauban)과 브라질의 쿠리티바(Curii Tiba)사례도 있다. 또한 녹색 성장관리 프로그램을 통해 도시 자체를 녹색성장도시로 재구조화한 텍사스 오스틴(Austin)시 사례도 있다. 기존 도시에서 신도시, 마을 및 단지 단위에서 대도시 까지 다양하다. 결국 도시분야에서 탄소배출량을 감축하기 위해서는 도시의 자연 경제, 사회적 특성을 토대로 저탄소 녹색도시에서 요구하는 요소 등을 융복합해서 고유의 감축방안을 모색할 필요가 있다. 앞의 주요 녹색도시 사례에서 볼 수 있듯이 저탄소 녹색 도시는 기본적으로 녹색에너지(Green energy), 녹색교통(Green Commuting), 물순환(green Oasis), 자원재활용(Green Recycle), 녹색산업(Green industry), 녹색회랑(green Corridor) 및 녹색시민운동(Green Humanism) 등 7가지 요소를 구비하여야 한다. 또한 대중교통 중심의 토지이용계획 수립, 바람길 고려, 직주근접건축물, 남향배치 등 친환경 도시 계획과 IT 기반의 도시 관리가 기본적으로 이루어 져야 한다. 정부에서는 국토계획 및 이용에 관한법률을 개정(2009.12)하여 대중교통중심의 도시개발을 추진하는 등 교통수요를 최소화할 수 있는 공간구조를 조성할 계획이다. 또한 2010년부터 각종 개발계획의 수립단계부터 온실가스에 의한 환경영향평가를 실시하도록 환경영향평가서 작성 등에 관한규정을 개정 고시한 바 있다(2009.12.7). 환경영향평가 초기단계에서 에너지 개발사업 도시개발사업 산업단지조성사업 등 온실가스를 다량 배출하는 사업에 대하여 계획수립단계부터 온실가스 저감대책을 평가하도록 하여 온실가스 감축을 위한 최초의 법적이행수단을 마련하고 있다[4]. 녹색도시·건축물 활성화방안의 주요내용은 표 1과 같으며 상세한 내용은 국토부의 신규건축물에너지 기준강화, 기존건축물의 에너지효율개선, 건축물가용자의 절약유도 및 녹색건축기술개발 및 인프라 구축 등이 있다[7].

표 1. 녹색도시 건축물 활성화방안의 주요내용

주요내용	추진 일정(년)	주요내용	추진 일정(년)
건물단열기준강화	2010	신재생에너지의무 대상 및 비율강화	2010~2012
냉난방에너지소비 저감을 위한 기준마련	2010	에너지소비증명서 발급 의무화	2012
대기전력차단장치 의무화	2010	신재생에너지이용 건축물 인증제 도입	2010
에너지소비 총량제도입확대	2010	기존주택100만 가구그린홈화	2010~2018
공공건물 환경인증 의무화	2010		

또한 교통, 환경, 복지 등 다양한 정보를 제공하는 IT기술과 생태기술 등이 융·복합된 미래형 첨단도시 U-Eco City 조성과 Passive House와 신재생에너지를 도입하여 화석연료를 사용하지 않는 국내 최초의 "탄소배출 Zero 단지(타운)" 조성사업 및 그린빌딩의 광범위한 보급 등을 국가적인 핵심 아젠다로 추진하고 있다[4]. 그림 2는 U-Eco city 개념도를 나타낸 것이다[8].

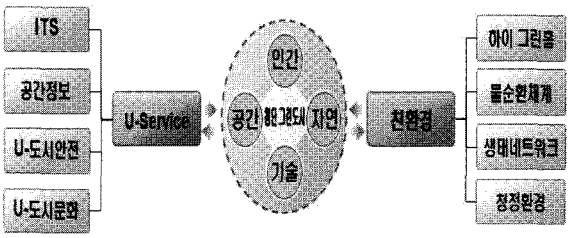


그림 2. U-Eco City 개념도

3. 녹색도시 구현을 위한 에너지관련 기술

3.1 스마트그리드와 그린시티와의 관련성

3.1.1 스마트그리드와 마이크로그리드

수용가와 다수의 분산전원을 하나의 계통으로 Network화하는 수요지 에너지 공급체계 즉『마이크로그리드(Microgrid)』 기술이 부각되고 있다[9]. 마이크로그리드는 신·재생에너지와 소규모 분산전원을 이용하여 현재의 집중적인 전력공급 시스템의 대안으로 부각되고 있는 지역적 에너지 공급을 위한 새로운 개념의 전력 네트워크이다. 이러한 마이크로그리드가 주목을 받는 가장 큰 이유는 풍력, 태양광, 연료전지 등의 환경 친화적인 에너지원을 효율적으로 이용할 수 있다는 장점이 있으며, 또한 이산화탄소 저감 등의 환경문제와 새로운 지열, 태양열, 바이오매스 발전 등 복합적인 에너지원의 관점에서 광범위하게 이해되어야 한다. 이 기술은 분산전원, 배전계통 해석 및 운영, 신재생에너지 기술, 통신 및 제어기술이 통합된 미래혁신적인 전력공급 기술로 녹색성장의 대표 기술이다. 표 2는 마이크로그리드 규모에 따른 구축 목적과 운영방안의 분류이다. 이러한 마이크로그리드 기술에 대하여 전 세계적으로 요소 기기, 시스템운영 기술, 에너지관리기술 등의 제반기술에 대한 활발한 연구가 진행되고 있으며 특히, 유럽연합, 미국, 일본 등은 마이크로그리드의 상용화하기 위하여 다양한 실증 프로젝트를 진행하고 있다. 최근 녹색기술의 핵심으로 스마트그리드는 에너지와 IT의 융합 사례로서 고품질, 고신뢰 및 고효율의 전력공급이 가능한 배전계통으로 분산전원을 통합 운영하고, 신재생에너지의 확대 또한 전력망을 디지털화 하여 양방향 통신 기술을 통해 전력망 운영자, 발전업체, 전력소비자, 에너지관리서비스업체, 장비제공업체 모두에 새로운 가치를 제공하고 나가 국가 경제성장 및 기후 변화 대응에도 큰 기여를 할 것으로 기대되고 있다.

그림 3은 우리나라 그린에너지 전략로드맵 중에서 스마트그리드 구성요소를 나타낸 것이며, 이는 신재생에너지 통합, 전기자동차와 전력저장 및 마이크로그리드 분야가 큰 비중을 차지하고 있음을 알 수 있다[10].

표 2. 마이크로그리드 분류와 구축 목표

	Utility Microgrid	Industrial/ Commercial Microgrid			Remote/ Special Microgrid
	도시형	전원형	Feed level(多設備)	Lateral Level	
대상	도심지	휴양지, 농어촌	산업단지, 대학캠퍼스, 대형쇼핑몰	빌딩, 아파트	도서지역, 함정, 우주선
목표	공급신뢰도향상 RES효율향상 전력품질 향상 보조서비스	정전방지 RES확대 전력손실감소 설비투지회피	전력서비스차별화 전력품질, 신뢰도향상, 손실저감 수요관리 열병합발전	다품질전력제어 열병합 수요관리	RES모급확대 CO_2저감 특수목적
운영	전력연계제어 고립운전, 단독운전 계통사고, 유지보수시 단독운전		계통연계제어 고립운전, 단독운전 전력계통사고, 전력품질 관련제어 수요관리, 에너지비용고려 경제운전		고립운전

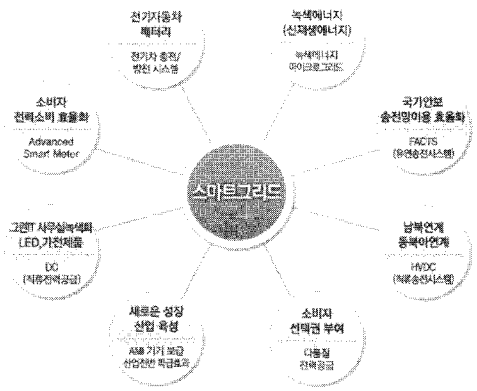


그림 3. 스마트그리드 구성요소

3.1.2 스마트그리드의 계층구조

스마트그리드는 전력산업과 IT산업의 융합체로 그림 2와 같이 전력레이어 통신 레이어 애플리케이션레이어로 구분할 수 있다. 스마트그리드는 주로 송변전 배전망 그리드 업그레이드를 논하고 있지만 도시를 중심으로 진행되고 있는 빌딩마이크로그리드와 소규모 발전시스템을 포괄하는 진일보된 스마트그리드 구축에 관심을 가져야 한다. 통신레이어는 통신 수급 주체간 전력장치들 간 정보를 교환할 수 있게 하는 인프라를 의미하며 LAN/WAN/FAN(Field Area Network)/AMI(Advanced Metering Infrastructure)/HAN(Home Area Network) 등이 존재한다. 현재 스마트그리드 플랫폼, 빌딩네트워크, 홈네트워크 및 U-city 등 다양한 플랫폼 논의가 진행되고 있다. 건물부분의 그린화와 새로운 업종 출연을 위한 가장 중요한 기술적 수단은 IT기술이라고 할 수 있다. IT기술의 가장 중요한 역할은 각종 정보를 막힘없이 손쉽게 저비용으로 처리해야 하며 다양한 새로운 거래와 서비스를 비용효과적으로 처리할 수 있는 역할을 한다. IT 기술은 자가치유(self-healing), 수요반응(demand-response), 보안(security), 전력품질 보장(power quality), 그리고 전력거래(power trading)를 실현시키는 필수 도구로 자리매김 되며, 양방향 유·무선 통합 통신 네트워크, 센서네트크, 알고리듬 기반 관리, 프레임워크 소프트웨어, 보안 등의 최신 IT 기술이 전력네트워크의 지능화를

표 3. 애플리케이션별 향후전망

애플리케이션	2010	2015	2020
AMI	대규모 보급 프로젝트 진행	상당부분 시장에 보급	광범위하게 실행
수용반응(DR)	대수용가 중심	가정과 상업, 산업부분 수용가로 확산	다양한 최종 소비자 단에 서비스되는 단계
전력망 최적화	일부전력사업자 위주 배전자동화프로젝트 시작	배전망에 센서기술 내재 : 배전자동화 보편화	모든 영역에 센서기술 내재 : 지능형 유틸리티 네트워크
분산발전 통합 (도시 및 빌딩마이크로그리드)	초기단계(시장 미성숙)	성숙단계 (여전히 전체발전에서 작은 비중 차지)	확산 단계
전력저장장치	선도적 전력사업자 위주 시범사업 진행	기술진보와 분산발전 확산에 힘입어 저장장치 수요 증대	분산발전 지원에 있어 핵심역할을 수행하는 단계
PHEV	해당사한 없음	지능형 충전	V2G(Vehicle to Grid) V2B(Vehicle to Building)
에너지관리시스템	성공적 시범사어 사례	사용 용이하고 비용 효과적인 EMS기술이 개발되는 단계	일상화 되는 단계(웹기반)

위한 원동력으로 보여진다[11]. 건물부문의 에너지 관리는 BAS내의 BACnet와 LonWorks 제어네트워크 내에서 에너지관리장치(BEMS)가 수행하고 있다. 건물의 에너지 관리를 효과적으로 수행하기 위해서는 데이터 네트워크내에서 빌딩의 모든 에너지 정보를 처리 관리할 수 있는 BMS을 두고 통합적인 에너지 관리가 이루어지도록 해야 한다. 이는 빌딩 내에서의 마이크로그리가 구축되는 경우 빌딩의 신재생에너지와 건물의 에너지효율화 역할을 수행하도록 빌딩 마이크로그리드에너지관리장치(BMEMS)가 개발이 선행되어야 한다. 스마트그리드 출현으로 가격기반 시장거래가 형성되는 경우에는 스마트그리드관리시스템과 BMS가 에너지와 부가서비스 통신정보를 양방향으로 소통하여 스마트그리드와 완전한 통합관리가 이루어지도록 해야 한다. 현재 논의되고 있는 전력부분 스마트그리드 표준화, 홈네트워크, U-city, 그린홈, 건물 IT 등 다양한 다양한 프랫폼과 막힘없는 정보 및 에너지 유통이 이루어지도록 개방화 및 표준화 노력을 지속적으로 추진해야 한다. 이러한 통합적인 IT 프랫폼은 상기 논의된 New ESCO의 운영을 위한 기본적인 시스템 기반이며 국가적인 제도 및 규제(기업별 CO_2 인벤토리 등)과 연계시킬 수 있는 인프라라 볼 수 있다. 애플리케이션 레이어는 스마트그리드 상에서 구동될 수 있는 서비스 영역의 단계를 의미한다. 애플리케이션 레이어에는 전력망 최적화, 수요반응, AMI, 분산전원(빌딩마이크로그리드 포함) 전력저장, 전기자동차, 에너지관리시스템과 같은 대양한 애플리케이션이 존재한다. 표 2는 애플리케이션별 향후 전망을 나타낸 것이다. 기술의 발전과 사회적 수요에 따라서 이러한 수요의 애플리케이션은 향후 더욱 증가할 것으로 예상되고 있다. 이는 애플의 iPhone을 위한 다양한 애플리케이션이 존재하는 것과 마찬가지로 스마트그리드라는 새로운 기술/플랫폼 위에 얼마든지 새로운 애플리케이션이 개발되어 확산될 수 있게 될 것이다.

3.1.3 스마트그리드의 주요 애플리케이션과 그린시티와의 관련성

앞으로 애플리케이션은 수요자의 서비스와 스마트그리드 관리를 위하여 다양하게 개발될 것으로 예상되며 여기서는 아래 4분야에 대하여 그린시티와의 관련성을 기술하였다.

1) 도시형 마이크로그리드

재생에너지가 아무리 친 환경적인 에너지원이라 하더라도 분산발전 자원들을 용이하게 통합해주는 스마트그리드가 없이는 그 효과를 기대하기 힘들다. 빌딩 마이크로그드와 도심지에 설치될 도시형 마이크로그리드는 분산에너지 및 분산저장과 부하가 공존하는 시스템으로서 이들 분산자원을 통합적으로 제어·관리하는 새로운 기술이 절실히 필요하다. 분산발전으로서는 자연조건에 의존하는 풍력, 태양광(BIPV와 BIWT(건물일체형풍력발전) 등이 있으며 순수 열원으로는 태양열, 지열이 있으며 제어가능한 연료전지 및 마이크로터빈 등이 있고, 에너지 저장 수단으로는 축전지, 슈퍼캐패시터, 프라이 휠의 전기저장과 축열조, 빙축열 등의 열에너지 저장장치가 있다. 이 마이크로그리드는 기존의 분산전원이나 열병합시스템과 다른점은 전력-열에너지-통신망(IT 네트워크)을 포함하는 3개의 네트워크를 구축하여 하이브리드에너지시스템을 통합적으로 관리 제어한다는 점이다.

도시 및 빌딩마이크로그리드는 스마트그리드의 자체의 고도화된 제어기술과 통신 기술을 통해 분산에너지 정보를 실시간으로 확인할 수 있어 이 마이크로그리들과의 통합관리를 실현함으로서 전력계통의 경제성과 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 이는 하이브리드에너지시스템의 분산에너지 애플리케이션을 통하여 매우 효과적으로 달성할 수 있다. 이는 향후 도시형 및 빌딩 마이크로그리드의 비용경쟁력이 강화되고 발전 불규칙성을 통제하는 스마트그리드 기술이 발

전하면서 분산에너지의 확산이 빠르게 이루어질 수 있다. 빌딩마이크로그리드에서는 건물 특정용도에 맞추어 냉동시스템 등의 빌딩의 부하를 에너지관리 시스템을 통하여 기대이용수준, 기후, 기타 부하결정 요인 등을 고려하여 특화시키는 일연의 과정을 통해 에너지효율을 극대화시킬 수 있다. 이 마이크로그리드는 스마트그리드와 고도화된 통신 인프라를 통해 전력망 부하를 지속적으로 모니터링할 수 있게 하고 전력 소비자들에게 가격변화를 정확하게 나타내는 가격기반 제어 및 관리를 실현할 수 있다. 전력수용가 급증할 때에 소비자 자발적으로 또는 전력사업자가 직접 부하를 관리할 수 있게 된다. 이는 수용반응(demand response)의 활성화로 귀결되며 이는 요금 및 인센티브를 통하여 소비자의 전력소비패턴을 합리적으로 변화시켜 비용효과적인 결과를 유발시킬 수 있다.

2) 전기자동차

스마트그리드에 가장 많이 논의되고 기대되는 애플리케이션 중 하나가 전기자동차이다. 전기자동차 배터리는 스마트그리드를 통해 신재생에너지 발전의 잉여전력을 저장하여 전력수요가 높아질 때 전력망으로 배터리에 저장된 전력을 공급하는 V2G(Vehicle to Grid)와 빌딩에 전력에너지를 공급하는 V2B (Vehicle to Building)로 활용에 주목할 필요가 있다[12].

전기자동차확대에 있어서의 두 가지 도전과제는 수백 만대의 전기자동차를 첨두부하 시간을 피하면서 충전할 수 있는 지능형 충전과 배터리 충방전사이클 확대 및 배터리 수명 연장 등 이다. 또한 도시전력설비 인프라 및 건물 전력설비인프라에 큰 변화를 몰고 올 전망이다. 이는 빌딩의 DC 전력공급 시스템 확대 및 충전 인프라 구축에 따른 도시형 마이크로그리드와의 지능형 전기설비의 구축 등으로 요약할 수 있다. 이 전기자동자는 그린도시뿐만 아니라 기술적 사회적 파급효과가 지대하기 때문에 지속적인 관심이 필요하다.

3) 에너지저장장치

에너지 저장장치는 도시 그린화를 위한 스마트그리드의 필수 요소로 인식되고 있다. 수용가 가까이에 있는 소형분산에너지 저장장치들은 스마트그리드의 안정적인 운용을 위하여 전력을 안정적으로 공급하고 신재생에너지의 간헐적 발전문제를 해결하는데 도움을 주며 분산전원의 구성에 따라 배터리시스템 또는 슈퍼캐패시터 등의 도입을 검토해야 한다.

최근 스마트그리드가 지속적으로 성장하면서 에너지 저장장치가 주목을 받기 시작하였으며 전기 자동차의 보급확대와 함께 따라서 저장장치 부분의 애플리케이션은 비약적인 발전이 필요한 상황이다.

4) 지능형 에너지관리시스템

스마트그리드의 에너지관리시스템은 전력사업자의 전력망모니터링 제어, 최적화를 위해 다양한 핵심 시스템, 애플리케이션, 백엔드기술 인프라를 엎그래이드하고 지속적으로 통합하는 기능을 갖추어야 한다. 앞으로 구축될 AMI 또는 다른 빌딩마이크로그리관리시스템(BMMS : Building Microgrid Management System) 등을 최대한 활용하기 위해 전력사업자는 애플리케이션과 시스템들이 상호 데이터를 공유할 수 있는 시스템을 전사적으로 구축할 필요가 있다. 스마트그리드의 성공적인 실현은 도시형마이크로그리드와 빌딩마이크로그리드에 대한 실시간 현황 파악과 DR과 전기요금기반 관리를 위한 의사결정을 효과적으로 할 수 있는 통합시스템 구축 여부에 달려있다[4].

3.2 도시형 통합 그린빌딩에너지시스템

도시의 그린화를 위하여 전체에너지소비의 36(%)

를 차지하는 건물부분을 제외하고 논하는 것은 무의미하다. 이는 외부에너지를 의존하지 않는 제로에너지 빌딩이다. 제로에너지 빌딩은 에너지 효율성을 극대화하고 건물자체에 신재생에너지설비를 갖춤으로서 외부로부터 추가적인 에너지 공급없이 생활을 영위할 수 있는 공간이다.

첫째, 고효율 저에너지 시스템의 실현이다. 우선 건축적인 관점에서 단열, 이중외피, 자연채광, 3중유리 및 고효율기기 사용으로 난방, 조명 등의 에너지 소비를 최소화하는 것이 가장 중요하다. 이는 독일을 중심으로 난방에너지를 제로화하는 패시스하우스 개념과 관련이 있다.

둘째, 건물에 자체적인 에너지 생산설비를 구축해야 한다. 태양광, 풍력, 연료전지, 지열, 태양열의 에너지 원과 에너지 저장장치를 설치하여 에너지를 자체적으로 생산하여야 한다. 현재 태양광과 풍력이 매우 중요하게 적용하고 있지만 이 에너지원의 간헐적 발전의 한계로 인하여 다양한 분산전원을 복합적으로 운용하는 하이브리드 에너지시스템을 검토해야 한다.

셋째, 스마트그리드와의 연계이다. 이는 제로에너지를 전력저장시스템을 갖추고 있는 독립운전 하이브리드에너지 시스템에 의한 완전 제로에너지빌딩의 실현과 다각적인 검토가 필요하지만 현 단계에서는 전력망과 연계하여 연간으로 제로(net zero)를 달성하는 것이 유리하다. 또한 이는 전기자동차가 보편화되는 경우에는 전력저장시스템의 V2G와 V2B운영 등과 검토하여 통합적 빌딩 제로에너지시스템을 실현하는 것이 중요하다. 본 고에서는 설치부지의 한계 및 건물에 에너지원을 일체화함으로써 얻어지는 장점 때문에 매우 활성화되고 있는 건물통합형 중심의 도시형 소형풍력발전시스템에 대하여 간략히 기술한다. 그림 4는 제로에너지빌딩의 발전도를 나타낸 것이다.

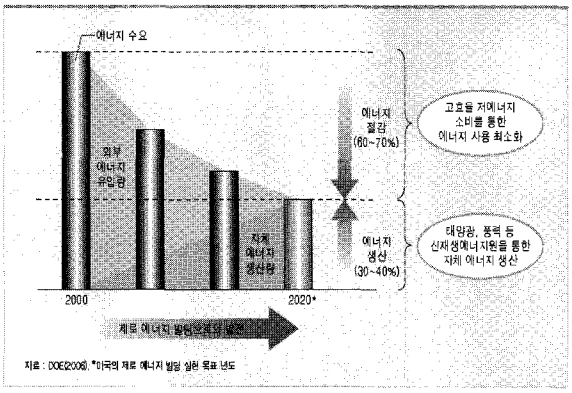
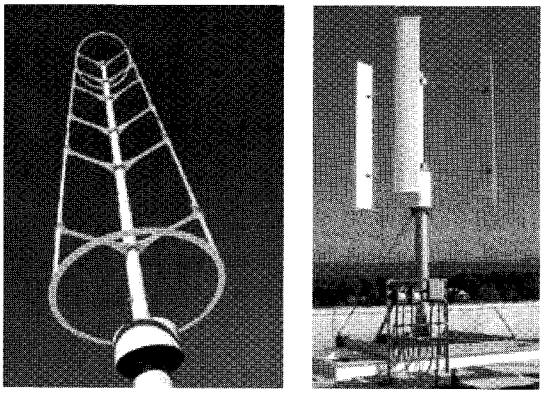


그림 4. 제로에너지빌딩의 발전

3.2.1 도시형 풍력발전시스템

풍력발전시스템은 다른 신재생에너지에 비하여 가장 큰 잠재력을 가지고 있는 가장 성숙된 기술이다. 풍력발전기의 종류는 크게 지면에 대한 회전축의 방향에 따라 수직형(Vertical Axis Wind Turbine, VAWT) 및 수평형(Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT)으로 분류된다. 도심지에 적용될 수 있는 풍력은 VAWT와 HAWT을 전부 적용할 수 있으며 현재 도심지의 건물일체형으로 검토되고 있는 것은 소형 수평축과 수직형이다. 수직형은 약 수백 100(W)급부터 수십 (KW) 급의 다양한 형태의 터빈이 적용되고 있다. 현재 건물에 적용되는 풍력발전시장은 영국, 미국, 독일 등에서 수십만 기의 시장이 형성되고 있으며 브레이드유형, 설치방식, 형태 등 매우 다양한 제품이 선보이고 있다[13]. 우리나라는 도심지의 풍속이 2~4(m/s)로 높지 않아 풍력발전에 효율적이지 못하나 수직형은 저속에서도 발전이 가능하기 때문에 공동주택, 고층 건물 및 특수 개소에서는 VAWT의 개발여부에 따라 광범위하게 설치할 수 있다. 현재 도시의 빌딩에 사용될 수 있는 수직형은 BUWT(Building integrated/augmented wind turbine)와 빌딩설치형풍력(BAWT : Building mounted wind turbine)으

로 2 또는 3가지로 분류된다[14]. BUWT는 빌딩 구조나 모양이 풍력을 향상시키고 안내하도록 정교하게 설계한 형태이다. BAWT는 빌딩 지붕에 설치하는 것이라 할 수 있다. 수직형 WT은 저속에서 발전이 가능하고 비교적 소음이 적어 현재의 제로에너지 빌딩을 구축하기 위한 유력한 대안이 될 수 있다. 특히 BIPV의 발전 패턴을 어느 정도 보완할 수 있는 측면에서 제로에너지 빌딩을 구축하기 위한 하이브리드에너지시스템의 중요한 신재생에너지원이라 할 수 있다. 그림 5는 수직형풍력의 모양을 나타낸 것이며, 그림 6은 지붕에 설치된 소형풍력 HAWT, 또한 그림 7은 바레인 세계무역센타의 BUWT을 보여주고 있다.



(a) V3.5 wind turbine (b) Windspire turbine

그림 5. VAWT의 형태

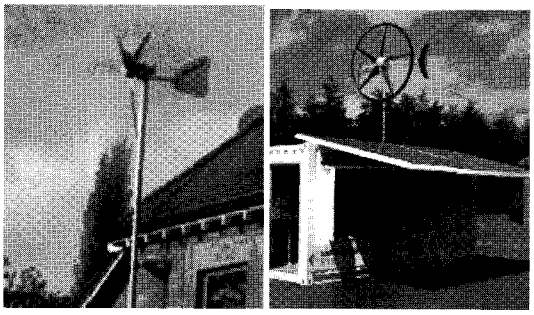


그림 6. 지붕에 설치된 수평형 풍력 발전

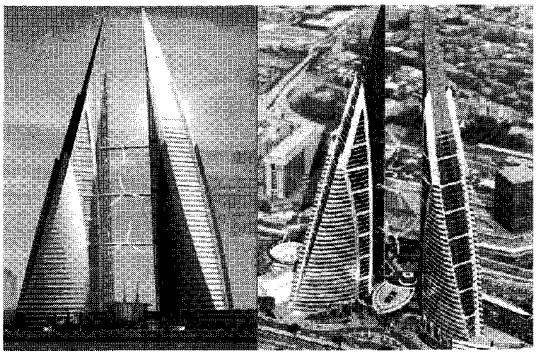


그림 7. 바레인 세계 무역센터의 BUWT

3.2.2 도시형 및 빌딩 하이브리드에너지시스템 토폴로지

BIPV, BIWT 및 연료전지 및 전기분해장치, 배터리와 슈퍼커패시터는 빌딩제로에너지시스템 구축하기 위한 매유 유익한 방법이 될 수 있다. 이 시스템은 간헐적인 발전시스템인 풍력과 PV로부터 남은 전력을 통하여 물의 전기분해하여 수소를 생산하고 이 수소는 저장탱크에 저장하고, 또한 연료전지를 발전하는 연료로 사용할 수 있어 전력수요에 효과적으로 대처할 수 있다. 특히 저장기술의 발달로 수소에너지저장은 새로운 에너지 저장기술로 활용할 수 있기 때문에 시스템의 전체 활용도를 높일 수 있다[15]. 이 수소저장기술은 장기적인 에너지 저장장치로 역할이 가능하고 단기적인 저장 장치인 슈퍼커패시터와 배터리 저장장치 및 V2B 역할을 위한 전기자동차 저장장치를 통합적으로 활용하기 위한 연구개발이 필요하다.

일반적으로 하이브리드에너지시스템은 제로에너지를 구축하기 위하여 3가지 공급시스템으로 구성될 수 있다.

1) DC coupled hybrid system

이 시스템은 여러종류의 에너지원과 저장장치가 DD/DC 컨버터로 DC bus 시스템을 구성하는 방식으로 AC 부하에 전력을 공급하기 위해서는 대형

DC/AC 인버터를 통하여 공급한다. 이 시스템의 장점은 DC bus 전압을 일정하게 유지하기 위한 제어시스템 구성이 핵심이 되며 비교적 제어시스템이 간편하다. 일반적으로 용량이 비교적 작은 시스템에서 채용될 수 있다. 만약 마이크로그리드에서 AC grid에서 배터리전기자동차를 충전을 하지만 V2B인 경우 DC bus에 전력을 공급하기 위한 방안으로도 검토가 필요하다. 그림 8은 DC coupled 하이브리드시스템을 나타낸 것이다.

2) AC coupled 하이브리드시스템

이 하이브리드시스템은 여러 신재생에너지원과 저장장치들이 공동 AC bus에 각가의 에너지원에 DC/DC 컨버터와 DC/AC 인버터를 접속하여 AC 그리드에 AC 부하가 접속하여 운전하는 방식으로 용량이 비교적 큰 하이브리드시스템에 사용 하면 유리한 점이 있어 도시그린화를 위한 소규모 지역 에너지 공급시스템으로 활용할 수 있다. 그러나 전력변환시스템이 여러 에너지원을 위해 각각 사용되기 때문에 제어시스템이 복잡하나 각각의 모듈화를 기할 수 있어 부분적으로 제어의 어려운 점을 극복할 수 있다. 그림 9는 AC coupled 하이브리드시스템을 나타낸 것이다.

3) Combined DC/AC 하이브리드시스템

DC/AC coupled 하이브리드시스템에서는 신재생에너지소오스 및 저장장치(전기분해장치 포함)들이 DC bus에 접속되어 있고 다른 에너지원(풍력 및 연료전지 등)과 AC grid 및 AC부하는 AC bus에 접속하여 운전하는 방식이다. 양방향 인버터를 통하여 DC bus의 전력을 AC bus에 공급할 수 있으며 또한 AC bus의 전력을 양방향 컨버터를 통하여 DC-bus에 공급하여 안정한 DC bus 운전이 가능하게 된다. DC bus방식과 AC bus 방식의 2 시스템을 가지고 있으며 대용량 에너지시스템 구축에 용이하지만 전력전자인터페이스 및 제어시스템의 복잡화를 초래할 수 있다. 그림 10은 DC/AC coupled 하이브리드시스템을 나타낸 것이다.

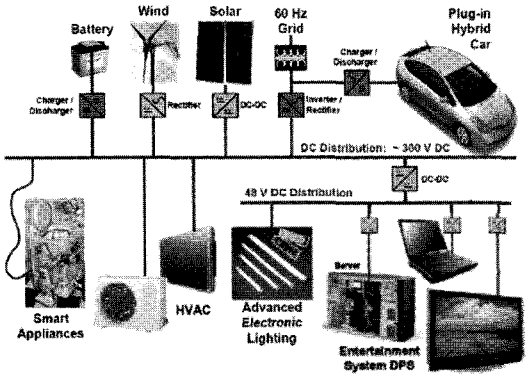


그림 8. DC coupled 하이브리드시스템

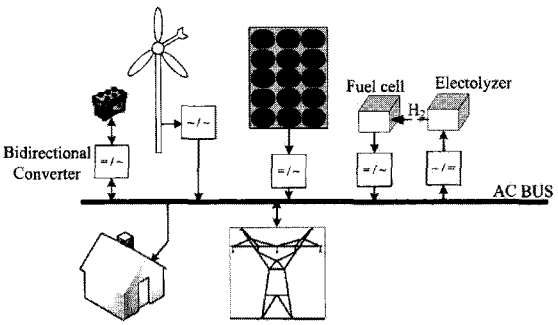


그림 9. AC coupled 하이브리드시스템

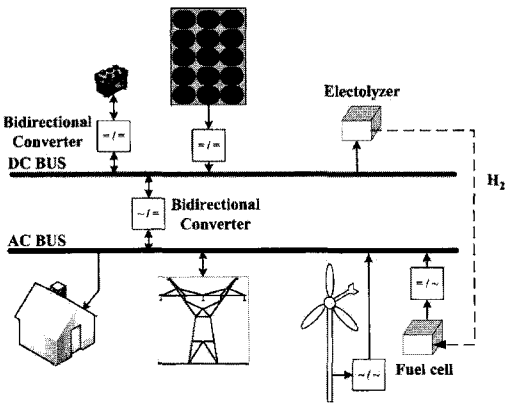


그림 10. DC/AC coupled 하이브리드시스템

4. 결 론

저탄소 사회는 도시의 그린화라해도 과언이 아니다. 이를 구현하기 위하여 에너지, 건물 및 도시관리, 교통공원녹지 등 다양한 분야의 그린화를 추구해야 한다. 선진국 주요 도시들은 이미 그린 레이스에 적극적으로 참여하고 있으며 지자제 및 국가 주도적인 도시 그림화의 성과가 가시적으로 나타나고 있다 우리나라도 서울시를 중심으로 적극적인 대응 방안을 수립하여 추진하고 있는 것은 다행스런 일이다. 본 고에서는 도시그린화의 핵심인 스마트그리드와 도시형 및 빌딩마이크로그리드와의 관련성과 핵심기술 등에 대하여 기술하였다. 제로에너지빌딩구축을 위한 에너지 시스템과 관리기술, 전기자동차에 의하여 파급될 빌딩(V2B) 및 도시형 에너지시스템(V2G)을 중심으로 기술하였다. 특히 전기자동차의 보급과 제로에너지빌딩 구축은 저탄소사회 실현의 핵심이 되며 이는 빌딩 단위의 DC공급시스템 전기충전소의 보편화에 따라서 스마트그리드 서비스기술과 제로에너지빌딩기술과 보급이 한 단계 도약하는 전기가 마련될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 홍원표,"소형분산에너지시스템 특집: "빌딩 마이크로그리드 시스템 현황과 제어·운영기술", KIIEE Magazine, Vol.23, No.2, pp.1-2, 2009. 4.

[2] 홍원표, "Multi-Agent 기반 분산에너지시스템 연구", 1, 2, 3차년도 산업자원부 (기초전력연구원)보고서, 2008.7.-2010.7

[3] 김운수, " 저탄소사회실현을 위한 서울시 기후변화 대응 정책 방향", Energy focus 2010 봄호(Korea Energy Economics Institute), pp. 124-144, 2010.

[4] 홍원표, "빌딩의 그린화를 위한 새로운 에너지시스템구축 기술", KIIEE magazine, 제24권, 제3호, pp. 33-47, 2011. 3.

[5] 김창섭, " 건물부분의 기후변화 대응을 위한 새로운 제안", 설비, 제 26권, 제 5호, pp. 69-73, 2009.

[6] 김선희,"온실가스감축과 국토정책방향 특집-도시 건축물 온실가스감축방향", 국토 2010 1월호(통 399호), pp. 24~31, 2010.

[7] 국무총리실기후변화대책기획단(presentation자료),"기후변화 대응종합기본계획,"2008.9.20.

[8] 기상청, "기후변화의 이해와 기후변화 시나리오 활용," 2008.10.

[9] Benjamin Kroposki "A Look at Microgrid Technologies and Testing Projects from Around the World", IEEE power & energy magazine, may/june, 2008.

[10] 이학주, ' 마이크로그리드 구축사례와 그린빌딩 적용 방안", KIIEE mazagine, Vol. 25, No. 2, pp. 14-23, 2011.

[11] 박찬국, 스마트그리드계층구조와 시장참여자", www.nipa.kr(IT 기획시리즈), 주간기술동향 통권, 1425호, 2009.

[12] C. Pang, " PHEVs as Dynamically Configurable Dispersed Energy Storage for V2B Uses in the Smart Grid", 7th Mediterranean Conference and Exhibition on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion 7-10 November 2010, Agia Napa, Cyprus.

[13] Siraki, A.G, " Power electronics intensive solutions for integrated urban building renewable energy systems", Industrial Electronics, 2009. IECON '09. 35th Annual Conference of IEEE, pp. 3998 - 4006, 2009.

[14] A. G. Dutton, J. A. Halliday, and M. J. Blanch, "The feasibility of building-mounted/integrated wind turbines (BUWTs): achieving their potential for carbon emission reduction,"" Final report, May 2005.

[15] Won-Pyo Hong, " Power control strategies of a DC-coupled hybrid power system for a building microgrid", Journal of KIIEE, Vol. 25, No.3, pp.60~64, 2011.

◇ 저 자 소 개 ◇

홍원표(洪元杓)

1956년 5월 15일생. 1978년 숭실대 전기공학과 졸업. 1989년 서울대학교 대학교 전기공학과 졸업(박사). 1979~1993년 한전전력연구원 선임연구원. 2007~2008년 UBC 방문교수. 현재 한밭대학교 건축설비공학과 교수. 본 학회 이사 및 편수위원. 주요 연구분야는 필드버스제어네트워크 적용. Green Building과 에너지 및 Smart space 구축기술임.

Tel : (042)821-1179

E-mail : wphong@hanbat.ac.kr