

제로에너지타운 구축 및 운영을 위한 융합기술

정연쾌*, 남홍순*, 이석진*, 김태형*, 신철호*

Convergence Technology for Construction and Operation of Zero Energy Town

Youn-Kwae Jeong*, Hong-Soon Nam*, Seok-Jin Lee*, Tae-Hyung Kim*, Cheol-Ho Shin*

요약

다양한 유형의 에너지 소비 패턴을 가진 건물들로 구성된 제로에너지타운(ZET: Zero Energy Town)을 구축 및 운영하기 위해서는 효과적인 에너지 소비 절감 및 에너지 비용 절감 기술들이 요구된다. 본 논문에서는 제로에너지타운의 설계, 구축, 운영 및 관리 단계에서 요구되는 에너지클라우드(ZTEC: Zero Energy Town Energy Cloud) 융합 기술을 제안하였다. 첫째,타운의 에너지 소비 절감을 위해서는 타운 내의 건물 에너지 소요량을 줄이기 위한 제로에너지빌딩(ZEB: Zero Energy Building)화 기술, 건물 에너지 다소비 설비들에 대한 운전 최적제어를 통한 에너지 설비 효율개선 기술 및 타운 에너지 부하를 줄이기 위한 신재생 에너지 최적 설계 기술 등 에너지 효율화 기술을 개발하였다. 둘째,타운의 에너지 비용 절감을 위해서는 타운 내 건물의 에너지 밸런싱을 위한 AI 기반 에너지 소비/생산 예측, 에너지 수요관리 기술 및 에너지 거래 환경 구축 기술 등을 개발하였다. 셋째, 제로에너지타운 에너지 공유 환경 구축, 운영 및 성과검증 등을 위한 에너지클라우드 네트워크 구축 및 운영 기술을 개발하였다.

Key Words : Zero Energy Town, Energy Cloud, Zero Energy Building, Energy reduction, Energy cost reduction, Energy Demand Management, IT Convergence Technology

ABSTRACT

In order to implement and operate a Zero Energy Town (ZET) composed of buildings with various types of energy consumption patterns, effective energy consumption reduction and energy cost reduction technologies are required. In this paper, we proposed the ZTEC (Zero Energy Town Energy Cloud) convergence technology required in the design, construction, operation, and management stages of Zero Energy Town. First, in order to reduce the energy consumption of the town, energy efficiency technology has been developed such as Zero Energy Building (ZEB) technology, energy facility efficiency improvement technology, optimal design technology for renewable energy, and so on. Zero Energy Building (ZEB) technology is to reduce the energy consumption of the building. The technology that improves energy efficiency of energy facilities in a building is to optimally control the operation of facilities consuming large amounts of energy. Optimal design technology for renewable energy is to design for reduction of town energy load economically. Second, in order to reduce the energy cost of the town, AI-based energy consumption/production prediction, energy demand management technology and energy transaction interface technology has been developed for energy balancing between buildings in town. Third, energy cloud network construction and operation technology has been developed for the establishment of energy sharing environment, operation and performance verification of the Zero Energy Town.

* 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20172010105610)

* First and Corresponding Author : Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI), ykjeong@etri.re.kr, 정희원

* ETRI, 정희원

논문번호 : 202103-060-C-RE, Received February 28, 2021; Revised May 28, 2021; Accepted June 2, 2021

I. 서 론

우리나라는 파리 신기후협약(COP21)에 따라 온실 가스배출을 자발적으로 2030년까지 BAU 대비 37% 감축을 목표로 제시하였으며¹⁾, 특히 이러한 목표를 달성하기 위하여 정부는 국내 에너지소비의 24%를 차지하는 건물분야에 대한 다양한 에너지 소비 절감 정책을 수립하여 시행하고 있다. 건물의 창호, 외피 등 패시브 소재, 에너지 다소비 설비들에 대한 효율화 및 태양광, 풍력, 지열, 바이오매스 등 신재생에너지를 기반으로 한 제로에너지빌딩 (Zero Energy Building : ZEB)^{2,3)} 보급 및 확산사업을 활발히 추진 중에 있다. 정부는 2020년 신축 공공건물, 2025년 신축 민간건물에 대한 제로에너지빌딩 의무화 정책을 추진하고 있으며, 일부 시범사업이 진행되고 있다^{4,5)}. 현재 제로에너지빌딩은 패시브 및 액티브 건축 요소에 대한 고효율화 추진 및 신재생에너지를 기반으로 구현되고 있는 실정이다. 그러나 제로에너지빌딩의 초기 구축비용이 일반 빌딩 구축비용 대비 160% 가량 비싼 초기 구축비용으로 인하여 보급 활성화에 어려움이 많다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 타운의 건물 간 에너지 공유 및 수요 공급 최적제어 통한 에너지비용을 최소화할 수 있는 제로에너지타운 (Zero Energy Town: ZET)^{7,8)} 기술 개발이 필요하다.

제로에너지타운은 주거용 건물과 상업용 건물, 제로에너지빌딩과 제로에너지빌딩이 아닌 빌딩으로 구성되어 제로에너지빌딩에 비하여 관리하기 복잡하다. 제로에너지타운은 다양한 건물들로 구성될 뿐만 아니라 에너지자원이 분산되어 있어 이들 자원을 효율적으로 공유 및 관리하기 위한 제로에너지타운 에너지클라우드 (Zero Energy Town Energy Cloud : ZTEC) 솔루션 기술 개발이 필요하다⁹⁻¹¹⁾. 제로에너지타운 에너지클라우드 기술은 제로에너지타운을 효율적으로 개발하기 위하여 타운의 에너지 생산과 소비에 대한 밸런스를 예측하고, 예측된 결과에 따라 효과적으로 제어하는 기술이다. 에너지 데이터는 시계열 데이터이므로 시계열 데이터 예측에 적합한 장단기 기억 (long short term memory: LSTM) 네트워크를 사용하여 예측하고 강화 학습을 통하여 분산자원을 제어하는 기술이 개발되고 있다^{12,13)}. 본 논문에서는 제로에너지타운의 효율적인 에너지 관리를 위한 제로에너지타운 에너지클라우드 기술을 제시한 것으로 타운의 에너지 소비량을 절감하고, 또한 에너지 비용을 최소화하기 위한 제로에너지타운 설계, 구축 및 운영을 위하여 필요한 융합기술을 개발하였다.

II. 본 론

제로에너지타운은 타운 레벨에서 에너지자립을 위하여 개별건물에 대한 에너지 효율화 및 건물 간 에너지 수요관리를 통한 타운 단위의 에너지 소비 및 비용을 제로화 또는 플러스 에너지화를 목적으로 한다. 그림 1에서와 같이 개별 건물에 대한 에너지 절감을 위해서는 고효율 건축자재, BEMS (Building Energy Management System) 도입을 통한 최적화 운전 및 신재생에너지 도입을 통하여 에너지를 절감하는 제로에너지빌딩 기술 개발 및 국내 다수의 실증사업이 진행되었다, 이러한 제로에너지빌딩을 구현하기 위해서는 기존 건물 대비 매우 큰 초기 투자비용으로 보급에 어려움을 가지고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 그림 2에서와 같이 4차 산업혁명의 핵심 기술인 사물인터넷(IoT), 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing), 빅데이터(Big Data), 모바일 (Mobile)과 인공지능(AI) 등 IT 융합기술을 타운 내 건물들을 대상으로 에너지 수요공급 관리, 분산자원 제어, 에너지 수요공급 예측, 에너지 중개거래, 에너지

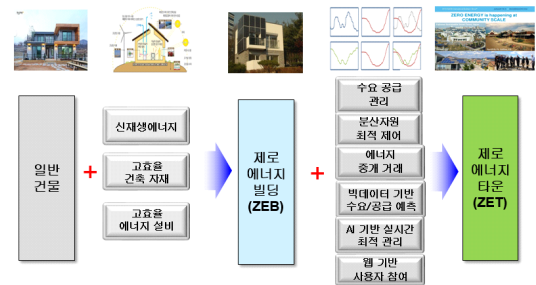


그림 1. 건물 분야 에너지 절감 기술 개발 동향
Fig. 1. Technology development trends for building energy saving

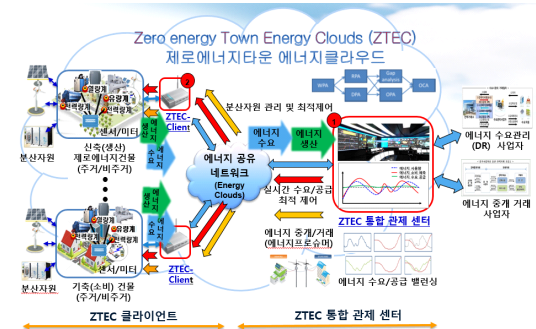


그림 2. 에너지공유 및 에너지밸런싱을 통한 제로에너지타운
Fig. 2. ZTEC with energy cloud and energy balancing technology

수요반응, 에너지설비 최적제어에 활용하여 다운레벨에서의 에너지 공유를 통한 에너지 소비 및 비용을 절감하는 제로에너지타운 에너지클라우드(ZTEC) 구축을 위한 융합기술을 개발하였다. 제로에너지타운 구현을 위한 에너지 효율화 기법으로는 그림 3에서와 같이 건물 에너지 소비를 절감하기 위한 제로에너지빌딩화, 건물/타운 단위의 신재생에너지 설비 구축, 타운 내 에너지 공유를 통한 에너지 비용을 절감하기 위한 에너지 수요관리 기법이 필요하다.

그림 4는 제로에너지타운 구축을 위한 개별 건물에 대한 제로에너지화 및 제로에너지타운 에너지클라우드 구현을 통한 에너지 공유와 세부 요소기술 및 그 효과를 나타낸다. 그리고 제로에너지타운을 경제적으로 구축 및 운영하기 위한 융합기술은 크게 3가지로 구성되며, 첫째 건물 및 타운 설계시 다양한 제로에너지빌딩화를 통한 에너지 소비를 절감하는 기술, 둘째 타운 내 건물을 대상으로 에너지 수요공급 예측, 에너지 수요관리,

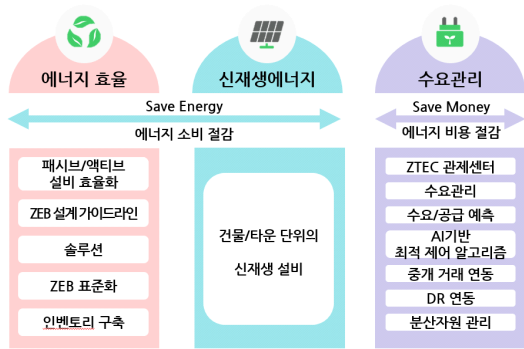


그림 3. 제로에너지타운(ZET) 구현을 위한 에너지 효율화 기법
Fig. 3. Energy efficiency technique for zero energy town(ZET)

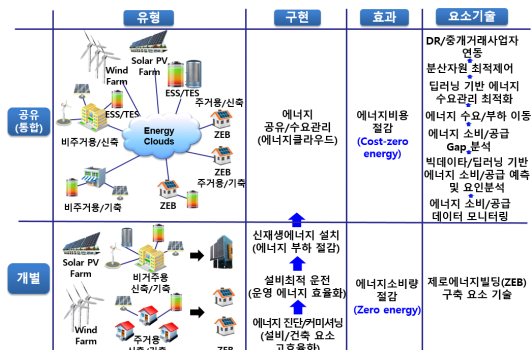


그림 4. 제로에너지타운 구현을 위한 요소 기술 및 효과
Fig. 4. Technology and effect for implementing a zero energy town(ZET)

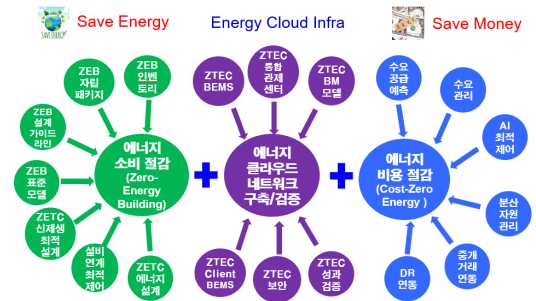


그림 5. 제로에너지타운 구축 및 운영을 위한 융합기술
Fig. 5. Convergence technology for construction and operation of zero energy town(ZET)

AI 기반 분산자원 최적제어, 에너지거래, 수요반응 (DR) 등을 통한 에너지 비용을 절감하는 기술, 셋째 타운 내 건물 간 에너지 공유 환경을 제공하기 위한 에너지클라우드 인프라 구축 및 빌딩에너지관리시스템 (BEMS), 통합관제센터, 보안, 성과검증 등을 통한 제로 에너지타운 통합 관제 기술로 나누어지며, 해당 분야별 세부 기술은 그림 5에서와 같다.

2.1 에너지 소비를 절감하는 설계 및 운영기술

2.1.1 제로에너지빌딩화

타운 내 신축/기축 건물에 대한 에너지 소비 절감을 위하여 건축주(설계자)가 제로에너지빌딩용 창호, 벽체, 지붕 등에 대하여 패시브/액티브 요소의 에너지 요구 성능과 비용에 따라 선택적으로 적용 기술 및 시공 방안을 도출하는 제로에너지빌딩 패시브/액티브 기술을 패키지화하는 기술이다. 제로에너지타운에서 건축물 신축 및 리모델링 시 개선하고자 하는 목표 성능에 따라 기술수준을 선택 및 설계하는데 활용할 수 있다. 그림 6에서와 같이 건물 에너지 절감 목표성능에 따라 요소 기술과 패키지 기술을 선택하여 최종 성능 및 비용을

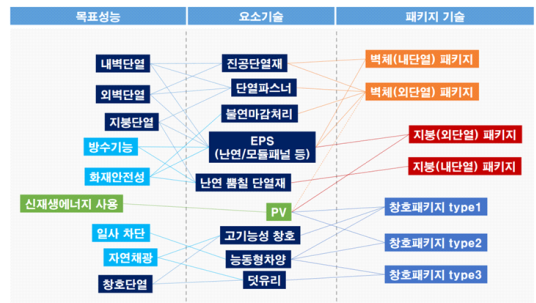


그림 6. 제로에너지빌딩 패시브 액티브 패키징화 기술
Fig. 6. Zero energy building passive/active packaging technology

확인할 수 있도록 한다.

2.1.2 제로에너지빌딩 구축용 설계 가이드라인

에너지클라우드 기반의 제로에너지타운을 효율적으로 구현하기 위해서는 개별 건축물에서 소요되는 에너지를 최소화하는 것이 필수적이다. 건축물에서 소요되는 에너지를 최소화하기 위해서는 타운 내 건축물의 생애주기 중 설계 및 시공단계는 건축물의 에너지 효율성을 크게 좌우하는 단계이므로, 초기단계에서부터 에너지 효율적 관점에서 접근이 필요하다. 따라서 그림 7은 제로에너지타운을 위한 제로에너지빌딩 구축을 위하여 건물에너지 소비요인 및 생애주기 단계별 설계 가이드라인 체계를 제시한다.

일반적인 설계-시공 절차에서 에너지 효율화를 위해 고려해야 하는 항목들을 제시하여 보다 보편적으로 에너지 효율적인 건축물 설계를 수행할 수 있는 지침을 제시하여 설계자가 에너지 관련 전문지식이 충분하지 않는 경우에도 활용 가능한 설계 단계별 제로에너지타운 환경의 제로에너지빌딩 구축용 설계를 용이하게 한다.

설계단계에 따른 ZTEC 기반, ZEB 설계 가이드라인 체계				
요인	부지분석/기획 단계	기본설계 단계	실시설계 단계	시공 단계
①위치	거시기후(도시) / 미시기후(부지) 검토 법적 기준 검토	미시기후에 맞춘 공간특성 분석		
②용도	건축물 용도 검토	실용 용도 결정		
③배치	주방 검토	실용 배치/방 결정		
	원형(Mass) 검토	원형(Mass) 결정		
	환승/관입 공간 검토 신재생에너지 검토 (타운/부지)	환승/관입 공간 결정 신재생에너지 결정		
④차량	차량	차량 크기/배치 결정	차량 결정	신재생에너지 시공 및 타운 개통 연계
	차량	차량 밀사자단 요구사항 검토	차량 밀집/구조의 차량 가능 결정	차량장식/서티 검토
구조/재료	구조/재료	중공 결정	단열재 결정	
	구조/재료	패시브 시스템 도입	패시브 시스템 설계	
	구조/재료	건축구조방식 검토	마감재 결정	단열/방고방지 시공
⑤난방설비	난방에너지 열원검토	난방설비 결정	난방설비 설계	
⑥냉방설비	냉방에너지 열원검토	냉방설비 결정	냉방설비 설계	
⑦급탕설비	급탕에너지 열원검토	급탕설비 결정	급탕설비 설계	
⑧조명설비		실용 조명시간 도출	조명설비 설계	
⑨환기설비		실용 환기방식 결정	환기설비 설계	
⑩전력설비	타운 에너지계통 검토		수변전설비최적화설계	수변전설비최적화시공
⑪제어설비	타운 제어시스템 검토	제어시스템 결정	제어시스템 설계	제어시스템 시공 및 타운시스템 연동

그림 7. 제로에너지빌딩 설계 가이드라인
Fig. 7. Zero energy building(ZEB) design guideline

2.1.3 제로에너지빌딩 표준모델

제로에너지타운 내의 다양한 건물에서 에너지 수요/공급에 대한 밸런스를 분석하고, 타운 내 신재생에너지 생산량의 적정수준을 도출하는 의사결정 방법 및 절차를 통해 제로에너지타운을 구현하는 방법론인 제로에너지빌딩 표준모델은 그림 8과 같다. 이러한 표준모델을 활용하여 타운 내 건물 에너지 소요량을 예측

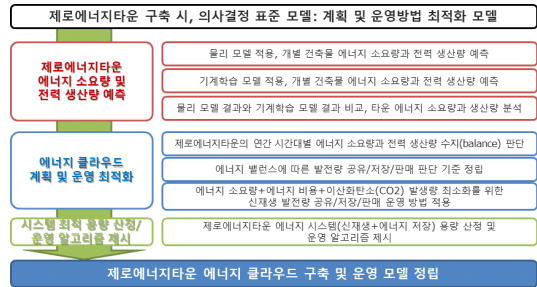


그림 8. 제로에너지빌딩 표준모델
Fig. 8. Zero energy building(ZEB) standard model

(신축)하거나 소비량 데이터를 기계학습 모델로 분석(기측)할 수 있기 때문에 에너지 절감 유도한다. 그림 8과 같이 건물 에너지 소요량과 신재생(전력) 발생량 차이를 계산한 후, 잉여 전력을 타운 내에서 거래하거나 국가 전력망에 판매한다. 따라서 전체 타운 관점에서 에너지 절감 달성할 수 있게 한다.

2.1.4 에너지 성능요인 인벤토리

에너지클라우드 기반의 타운은 다양한 용도의 건축물로 구성되므로, 타운을 기획하는 단계(구체적 건축물 성능이 확인되거나 결정되지 않은 단계)에서 용도별 건축물의 에너지성능 수준과 에너지수요에 대한 참고자료가 필요하다. 따라서 그림 9에서와 같이 제로에너지타운 구축을 위한 제로에너지빌딩에 대한 건축물 용도, 등급, 부위별 건축물의 최적 에너지성능 및 수요 기술을 설계하기 위한 건축물 용도/에너지효율등급별 연간 에너지 수요 요인 및 부위별 에너지 성능요인 인벤토리 데이터베이스를 구축한다. 이를 통하여 제로에너지타운 내 건축물 용도별(단독주택, 공동주택, 비주거건축물) 에너지효율등급 수준에 따른 연간 에너지 수요와 건축물 부위별 성능 요인의 에너지 차이를 제공하며, 제로에너지타운 신축 기획 단계와 기측 타운에서 일부 신축/리모델링이 발생하는 경우, 각 용도별

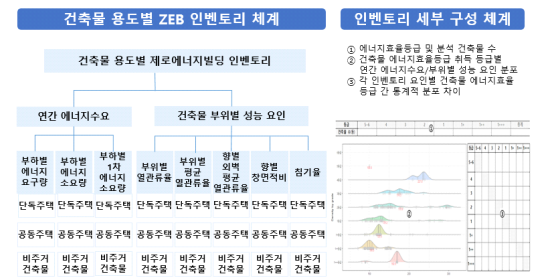


그림 9. 제로에너지빌딩 인벤토리 데이터베이스
Fig. 9. Zero energy building inventory database

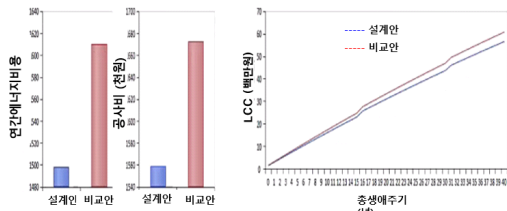
건축물의 최적 에너지능 및 수요 기술을 설계하기 위한 건축물 설계 요인의 성능 수준 및 에너지수요를 통합 분석할 수 있도록 한다. 또한 제로에너지타운 내 건축물의 신축/리모델링시 에너지 효율화를 위한 요인의 우선순위를 결정하기 위한 자료로 활용할 수 있다.

2.1.5 신재생에너지 최적설계 및 경제성분석 시스템 기술

제로에너지타운 기반의 타운/건물 신재생에너지 최적 설계 및 경제성분석 시스템 기술로서 그림 10에서와 같이 건물 또는 타운규모를 대상으로 에너지 소요량 목표에 적합한 신재생에너지시스템의 설계용량, 에너지 생산량, 공사비를 경제성 분석기능과 함께 제공한다. 최적설계는 건물/타운의 연간 에너지 소요량을 직접 연산하여 산출하고, 이를 기준으로 분석 대상의 설치 면적과 기후조건을 반영한 가장 경제적인 신재생에너지 시스템 조합을 제시한다. 경제성분석은 설계안의 총 생애주기비용과 초기투자비 회수기간에 대한 비교안을 기준으로 산출하며, CDM(Clean Development Mechanism) 사업대응 온실가스 배출량 저감효과를 평가하는 기능을 제공한다.

설계안에 대한 경제성 비교

연간에너지비용 증감	-7.0%	40년 총생애주기 비용	설계안 56.71백만원	비교안 60.91백만원
초기투자비 증감	-7.0%	초기투자비 회수기간	1년	



CDM 사업대응 국제회환형 온실가스배출량 저감 효과

	설계안	비교안
배출량(tCO2)	362.2	580.2
저감량(tCO2)	46.3	79.7
순배출량(tCO2)	315.9	500.3

그림 10. 신재생에너지 최적설계 및 경제성분석 시스템 기술 Fig. 10. Renewable energy optimal design and economic analysis system technology

2.1.6 실시간 설비 최적제어 시스템 기술

제로에너지타운에서 건물의 운영단계에서 건물 /ZONE의 부하변동에 대한 설비시스템의 성능을 반영한 설비운전 최적값을 도출하고, 실제 운영 중인 BEMS 시스템에서 모니터링 되는 설비의 운전값들과 비교하여 이를 통한 에너지 절감효과를 실시간 BEMS

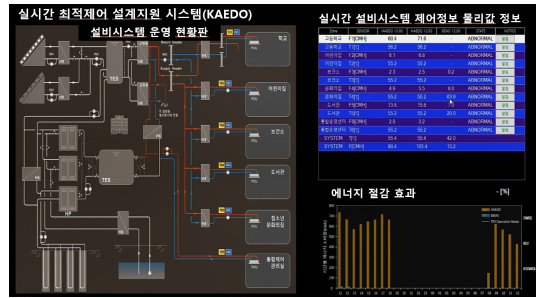


그림 11. 실시간 에너지 설비 시스템 최적제어 기술 Fig. 11. Real-time energy facility optimal control system technology

시스템 및 운영자에게 제공하는 실시간 설비 최적제어 시스템 기술이다. 그림 11에서와 같이 건물의 에너지 설비에 대한 모델을 기반으로 실제 운영열 평형 부하 계산법과 BEMS 데이터 연계 부하보정 방법을 활용하여 건물/ZONE의 부하변동과 설비 운영상태 물리값에 대한 신뢰성 있는 해석을 수행한다. 현재 운영되고 있는 설비시스템의 제어 상태를 모니터링하고 동시에 실시간으로 분석된 정상운영상태 물리값을 비교 제공하여 시스템의 에너지낭비 최소화에 기여한다. 설비시스템의 실시간 정상운영상태 물리값과 함께 이를 통한 정량적 에너지 절감효과를 제공하여 건물 운영관리자의 의사결정을 지원함으로써 효율적인 설비시스템 운영을 유도한다.

2.2 에너지를 절감하는 설계 및 운영기술

제로에너지타운에서 에너지 비용을 절감하기 위한 세부 기능 구조 및 요소 기술은 그림 12에서와 같다. 타운 내 건물 및 에너지 설비별로 에너지 소비 및 생산 데이터가 수집된 BEMS 데이터베이스를 기반으로 타운 내 건물의 에너지 수요 공급 상태를 효과적으로 예측

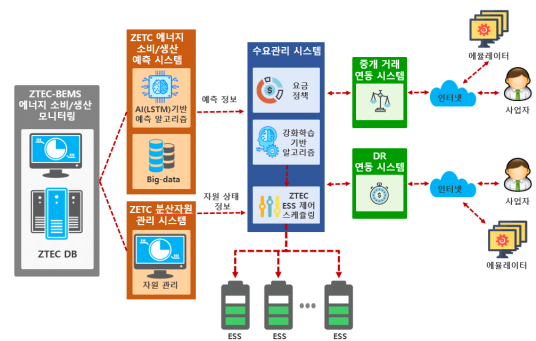


그림 12. 제로에너지타운 에너지 비용 절감 기술 Fig. 12. Energy cost reduction technology for zero energy town(ZET)

하고, 에너지 요금정책을 기반으로 효과적인 에너지 밸런싱을 통한 수요관리 기능을 수행하며, 타운 외부와 에너지 거래 및 수요반응 연동기술을 통하여 제로 에너지타운 전체의 에너지 비용을 최소화한다.

2.2.1 AI 기반 실시간 에너지 수요/공급 요인 분석 및 예측시스템 기술

그림 13에서와 같이 제로에너지타운 내 에너지 수요/공급 관련 실측 데이터를 기반으로 에너지 및 환경 데이터 관리를 위한 하둡 기반 분산 클러스터인 빅데이터 플랫폼을 구축 관리하고, 인공지능경망(LSTM) 모델을 기반으로 실시간 에너지 수요/공급 예측, 에너지 소비 요인 분석, 에너지 소비 패턴분석 및 에너지 소비 진단/관리 서비스 기능을 제공한다. 이러한 서비스를 통하여 타운의 에너지 소비현황을 파악하고 타운 내 효과적인 에너지 밸런싱을 위한 에너지 수요관리 및 에너지 중개거래 등에 활용한다.

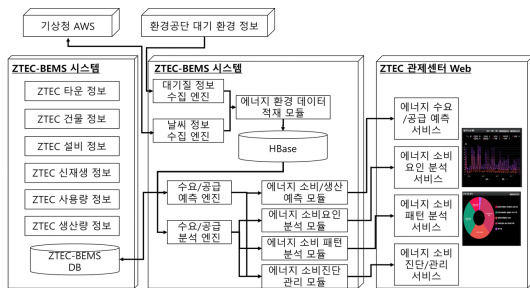


그림 13. 실시간 에너지 수요/공급 예측시스템 기술
Fig. 13. Real-time energy demand/supply prediction system technology

2.2.2 에너지 수요관리 시스템

제로에너지타운 내 에너지 수요/공급 밸런싱을 통한 경제적 수익향상을 위해 에너지 저장장치(ESS)의 에너지 저장시간과 방전시간을 AI(강화학습)기반으로 최적 스케줄링을 수행하는 수요관리 시스템 기술이다. 그림 14에서와 같이 에너지 저장장치 제어방법은 계시 별 요금 체계에 따른 스케줄링 방안 또는 에너지 수요 패턴과 경제적 수익, 자립성 등을 고려한 AI 알고리즘에 의한 스케줄링 방안을 선택 적용한다. AI 기반 ESS 제어 알고리즘은 다양한 목적(경제성, 피크저감, 일일변동성 최소화 등)에 따라 운영될 수 있다. 따라서 사람의 개입 없이 운전환경 변화(수요패턴/ESS용량변화 등)에 대응하며, 또한 다양한 형태의 에너지 수요 패턴을 갖는 건물들로 구성된 가상의 타운들의 에너지 수요관리 효과를 미리 분석함으로써

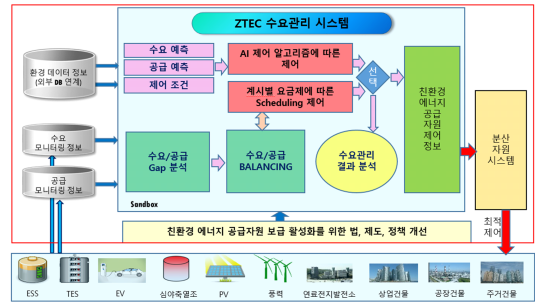


그림 14. 제로에너지타운 에너지 수요관리 시스템 기술
Fig. 14. Zero energy town(ZET) energy demand management system technology

제로에너지타운 설계에 활용할 수 있다.

2.2.3 ZTEC 분산에너지자원 관리 시스템

제로에너지타운 내에 존재하는 에너지 소비/생산/저장하는 다양한 분산자원들을 효과적으로 관리하기 위하여 타운/건물/자원 단위의 자원 모니터링, 형상관리, 이력관리, 이상상태감지 등의 기능을 제공하는 시스템 기술로서 세부 기능은 그림 15에서와 같다.



그림 15. ZET 분산에너지자원 관리 시스템 기술
Fig. 15. ZET distributed energy resource management system technology

2.2.4 에너지 중개거래사업자 연동 시스템 기술

제로에너지타운 내에서 실시간 수요와 공급 예측 정보를 기반으로 생산하여 소비하고 남은 잉여 에너지에 대하여 에너지 판매수익을 확대를 통한 타운의 에너지 비용 최소화를 위하여 외부 에너지 중개거래 사업자와 연동기능을 제공하며, 세부 기능 구조는 그림 16과 같다. 제로에너지타운 관제센터에서는 중개사업자와 에너지거래를 위하여 회원등록, 중개계약, 관제, 주문, 정산내역 기능을 처리하며 에너지 수요 관리의 결과에 따라 자동으로 처리된다.

2.2.5 전력 수요반응(DR) 사업자 연동 시스템 기술

제로에너지타운 내에서 실시간 수요와 공급 예측 정보를 기반으로 외부 전력 DR사업자와 신뢰성 DR 및 경제성 DR 수요관리 거래 시장에 참여하여 수요자원

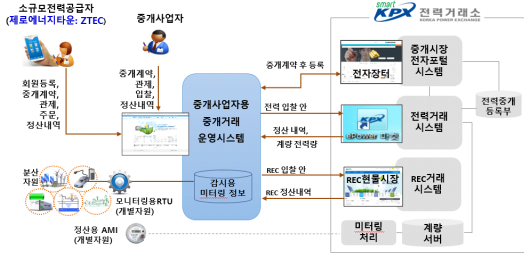


그림 16. 제로에너지타운 에너지 중개거래사업자 연동기술
Fig. 16. ZET energy brokage business operator interface technology

판매에 따른 수익을 실현하여 타운 에너지 비용을 최소화 할 수 있는 전력 DR 사업자 연동 기능을 제공하며, 세부 기능 구조는 그림 17과 같으며 타운의 수요 자원 운용을 통한 타운 에너지 비용 최소화 수단으로 활용된다.

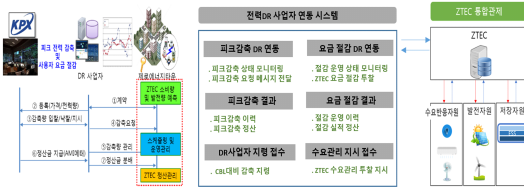


그림 17. 전력 수요반응(DR) 사업자 연동기술
Fig. 17. Power demand response operator interface technology

2.3 에너지클라우드 네트워크 구축 및 운영 기술

제로에너지타운에서 에너지 공유를 위해서는 각 건물의 에너지 소비 및 생산 정보를 통합 관리할 수 있는 플랫폼 기술이 요구되며, 이를 위해서는 ZTEC 통합 관제센터, 제로에너지타운의 건물별 에너지 관리 시스템(ZTEC Client BEMS), 이들 통합 관리할 수 있는 제로에너지타운 에너지관리시스템(ZTEC BEMS), 관리자 및 데이터 보안을 위한 에너지 통합 관리를 위한 보안시스템 및 에너지 소비 및 비용 절감 효과를 실시간 검증할 수 있는 성과검증시스템 기술이 필요하다.

2.3.1 ZTEC 통합관제센터 기술

제로에너지타운 전체의 통합 에너지 수요관리를 위한 에너지 모니터링 및 운영 관리 기능을 수행하는 웹 기반 통합관제센터로서 그림 18에서와 같이 제로 에너지타운의 실시간 운영 현황(에너지 생산/소비/저장, 소비요인, 예측, 수요관리, 에너지 및 비용 절감 효과 등)을 관리자에게 제공한다. 특히, 제로에너지



그림 18. 제로에너지타운 에너지클라우드 통합관제센터 기술
Fig. 18. ZTEC integrated control center technology

타운 내의 에너지 밸런싱 현황 정보가 매우 중요하며, 설정된 목표치를 벗어나게 되면 그 발생요인을 관리자에게 제공하여 조치를 할 수 있게 한다.

2.3.2 클라우드 기반 통합 플랫폼(ZTEC BEMS) 기술

제로에너지타운 차원에서 전체 건물에 대한 효율적인 에너지 관리를 위한 클라우드 기반 통합 플랫폼(ZTEC BEMS)의 전체 기능은 그림 19에서와 같다. 단위 건물 모니터링(설비별 전기/열량/가스 사용량, 전기 생산량, ESS 충방전 등), 타운 모니터링(타운/건물 에너지 생산/소비량, 건물 통신상태, 에너지단가, DR 현황, 에너지 중개현황, 실시간 에너지 생산/소비 밸런싱, 건물별 에너지 사용 통계 등), 에너지 중개거래 및 DR 연동, 성과검증, 빅데이터 플랫폼 및 관리자 설계 툴 등의 기능을 제공한다.

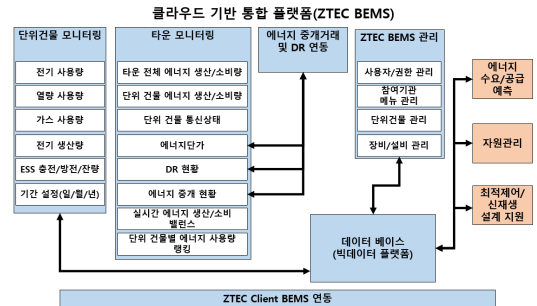


그림 19. 클라우드 기반 통합 플랫폼(ZTEC BEMS) 기술
Fig. 19. Zero energy town energy cloud based integrated platform(ZTEC BEMS) technology

2.3.3 ZTEC-Client BEMS 시스템 기술

제로에너지타운 내의 개별 건물에서 BAS, 전기, 가스, 열(온수), 에너지저장장치(ESS), 태양광 발전(PV) 등 다양한 에너지 설비에 대한 데이터 수집 관리 및 ZTEC BEMS와 연동기능을 수행하는 건물 단위의 에너지 관리시스템(ZTEC-Client BEMS)으로 세부기능은 그림 20에서와 같이 Client BEMS 관리자 기능, 단위건물 모니터링 기능, 설비 관리 기능, 데이터

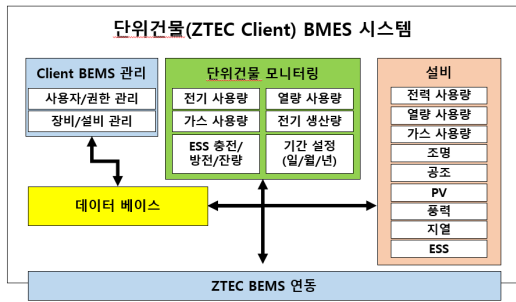


그림 20. ZTEC-Client BEMS 시스템 기술
Fig. 20. ZTEC-Client BEMS system technology

베이스 기능 및 타운 ZTEC BEMS 연동기능 등을 제공한다.

2.3.4 제로에너지타운 에너지클라우드 보안 인프라 기술

다수의 건물에 대한 통합 에너지 관리를 위해서는 관리자 및 데이터에 대한 효과적인 보안기술이 요구된다. 제로에너지타운 관제센터 운영자 및 관리자의 권한 특성에 맞게 접근하도록 인증서버, 인증 클라이언트, 인증서버 관리, VPN 보안 기능이 필요하다. 제로에너지타운 관제서비스 이용의 편리성과 안정성을 동시에 만족시키기 위해서는 사용자인증, 내외부의 불법접근을 차단하고 불필요한 서비스 접근을 막기 위한 실시간 상황인지 접근제어 기능 및 과도한 트래픽 탐지하는 침입탐지 기능 등 서버/클라이언트 기반의 보안 인프라 기술이 요구되며, 세부기능 구조는 그림 21에서와 같다.

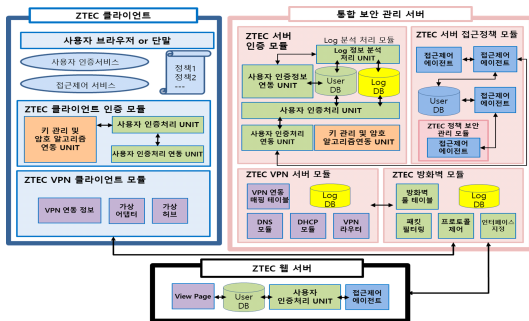


그림 21. 제로에너지타운 에너지클라우드 보안 인프라 기술
Fig. 21. Zero energy town energy cloud(ZTEC) security infra technology

2.3.5 ZTEC 성과검증 시스템 기술

제로에너지타운 단위의 에너지 밸런싱, 절약성 분석, 절감 비용, 절감량 등을 분석 및 평가를 위한 국제

표준(M&V) 기반 실시간 성과검증을 통하여 제로 에너지타운 사업의 수행성과 모니터링 및 검증수단을 제공함으로써 에너지 절감 사업에 대한 객관적인 검증을 통한 사회 경제적 신뢰 구축할 수 있는 성과검증 시스템 기술로서 세부 기능 구조는 그림 22에서와 같다. 에너지 성과검증 절차 및 기준에 의하여 성과 혹은 검증 결과를 주거 및 비주거 기준으로 정량적으로 산출하고 운영비용의 절감정도와 절감률을 실시간으로 확인하고, 타운 기준 혹은 주거 및 비주거 기준으로 에너지 효율화에 대한 타당성과 투자대비 효과를 검토에 활용한다.

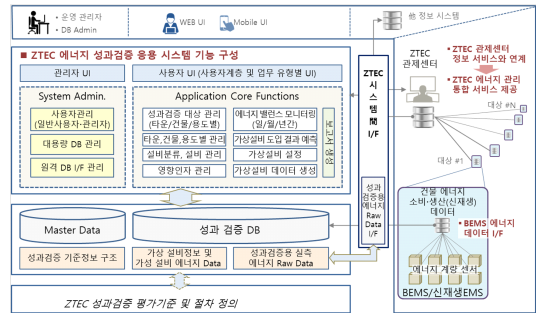


그림 22. 제로에너지타운 에너지클라우드 에너지 성과검증 기술
Fig. 22. Zero energy town energy cloud(ZTEC) energy performance M&V technology

2.3.6 에너지 저감 사업모델

제로에너지타운 운영관리 기술 및 에너지클라우드 수요관리 기술 기반의 기축, 신축 건물의 에너지 저감 사업모델은 그림 23에서와 같다. 기존의 ESCO사업, 그린리모델링, BEMS 사업 등을 에너지 고도화사업으로 확장하거나 친환경에너지타운, ZEB사업, 스마트시티 에너지 통합관리 사업 등 신사업과 연계한 사업모델로 활용할 수 있다.



그림 23. 제로에너지타운 에너지 저감사업 모델
Fig. 23. Zero energy town (ZET) energy reduction business model

2.4 제로에너지타운 구축 및 운영 융합기술 적용 단계

제로에너지타운의 효과적인 구축 및 운영을 위한 융합기술의 활용 단계는 그림 24에서와 같다. 타운 건물에 대하여 빌딩 성능분석, 설계, 구축, 운영관리, 성과검증, 인증 및 표준화, 사업화 단계까지 전체 라이프 사이클에서 활용되어 초기 기획 단계에서 사업화 단계까지 제로에너지타운을 위한 에너지 및 비용 절감 솔루션을 제공한다.

활용 단계	ZTEC 빌딩에너지 성능평가	ZTEC 제로에너지 빌딩 설계	ZTEC 테스트베드 구축	ZTEC 테스트베드 운영 및 관리	ZTEC 에너지수요 관리 성과검증	ZTEC 기반 표준인증 인증 및 표준화	ZTEC 사업화
개발 시스템	<ul style="list-style-type: none"> 통합 (BEMS) 에너지 성능 평가 및 최적 시뮬레이션 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> 건물에너지 성능 분석 및 최적 설계/경제성 분석 시스템 제로에너지타운 설계기이드라인 도구 	<ul style="list-style-type: none"> 제로에너지타운 에너지 리우드 구축 	<ul style="list-style-type: none"> ZTEC-Client BEMS 시스템 ZTEC-BEMS 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> 제로에너지타운 에너지 수요 관리 성과검증 및 성과검증 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> ZTEC 기반 국제 인증 및 표준기초제안 	<ul style="list-style-type: none"> ZTEC 기반 제로에너지빌딩 설계 가이드 라인 타운형 제로에너지빌딩 운영 기술 및 가이드 라인 ZTEC 기반 제로에너지빌딩 인증 도시형 표준 모델 ZTEC 기반 신축-기후 건물 방향의 BEM 모델 ZTEC 제로에너지빌딩 지원툴키트

그림 24. ZET 구축 및 운영을 위한 융합기술 활용 단계
Fig. 24. Stages of using convergence technology to construct and operate a zero energy town

III. 결론

현재 건물에너지 절감을 위하여 제로에너지빌딩 및 BEMS 기술이 개별 건물 단위로 적용되어 운영되고 있으나, 과도한 초기 투자비용으로 인하여 보급에 문제점이 많다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존의 제로에너지빌딩 기술을 포함하여 다양한 에너지 소비/생산 유형을 갖는 건물로 구성되는 타운에 대하여 건물 간 에너지 공유를 위한 에너지 클라우드 환경을 구축하고, 타운 단위의 에너지 수요 관리 및 에너지 거래를 통하여 타운 내 에너지 소비를 절감하고, 에너지 비용을 최소화 할 수 있는 제로에너지타운 에너지클라우드 융합기술을 제안하였다. 개발한 융합기술을 통하여 에너지 자립화, 에너지 제로 및 비용 제로를 지향하는 제로에너지타운을 효과적으로 구축 및 운영할 수 있다. 또한, 향후 효과적인 제로에너지타운 구축 및 운영을 위하여 제로에너지타운의 기획, 설계, 구축, 운영, 성과검증, 사업화 단계를 포함하는 전체 건물 라이프 사이클에서 각 단계별로 필요한 세부 융합기술을 제시하였다.

본 기술개발을 통하여 최근 정부에서 추진하는 제로

에너지타운, 스마트시티, 스마트산단, 그린뉴딜 등을 대상으로 하는 건물 에너지 절감사업에 매우 효과적인 핵심기반 기술로 활용될 수 있을 것이다.

References

- [1] M. Lee and S.-K. Park, "Assessment of Korea's GHG reduction targets through comparative analysis of OECD Countries' Nationally Determined Contributions (NDCs)," *J. Climate Change Res.* 2017, vol. 8, no. 4, pp. 313-327, 2017.
- [2] P. Torcellini, S. Pless, and M. Deru, "Zero energy buildings: A critical look at the definition," *NREL/CP-550-39833*, Jun. 2006.
- [3] S. E. Lee, "Technology to minimize building energy consumption(Zero Energy Building)," *AIK, Rev. Architecture and Building Sci.*, vol. 60, no. 5, pp. 22-26, Apr. 2016.
- [4] J. Cho and Y. Lee, "A study on the institutionalization of energy efficient operation and maintenance program for existing buildings," *J. Korean Solar Energy Soc.*, vol. 40, no. 3, pp. 33-42, 2020.
- [5] U. J. Sung, "A review of domestic zero energy building technology and prospect," *AIK, Rev. Architecture and Building Sci.*, vol. 61, no. 4, pp. 13-16, Mar. 2017.
- [6] G.-S. Choi and M.-J. Bae, "Zero energy building policies and trends in Korea," in *Proc. SAREK Summer Conf.*, pp. 290-293, Jun. 2017.
- [7] N. Carlisle and O. V. Geet, "Definition of a "Zero Net Energy" Community," Technical Report NREL/TP-7A2-46065, Nov. 2009.
- [8] M. A. Rosen, "Net-zero energy buildings and communities: Potential and the role of energy storage," *J. Power and Energy Eng.*, vol. 3, pp. 470-474, 2015.
- [9] H. S. Nam, S. J. Lee, T. H. Kim, Y. G. Hong, and Y. K. Jeong, "Optimization mechanism of energy cluster for zero energy town," *2017 Int. Conf. ICTC*, pp. 1122-1124, Oct. 2017.
- [10] X. Gao and A. Malkawi, "A new methodology for building energy performance

benchmarking: An approach base on intelligent clustering algorithm,” *Energy and Buildings*, vol. 84, pp. 607-616, 2014.

- [11] M. Lawrence and J. Vrinds, “ENERGY CLOUD 4.0: Capturing Business Value through Disruptive Energy Platforms,” Guidehouse, White Paper, 1Q, 2018.
- [12] C. H. Shin, et al., “A study on the effects of economic zero energy town according to the Korea’s renewable energy support polices,” *2019 Int. Conf. ICTC*, pp. 1204-1207, Oct. 2019.
- [13] C. H. Shin, et al., “A study on the automatic control of energy storage system (ESS) for reducing peak load using AI,” in *Proc. Symp. KICS*, pp. 837-838, Aug. 2020.

정 연 쾌 (Youn-Kwae Jeong)



1982년 2월: 경북대학교 전자공학(전자계산기) 졸업
 1984년 2월: 경북대학교 전자공학(전산공학) 석사
 1996년 8월: 경북대학교 컴퓨터공학과 박사
 1983년~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원, 에너지ICT연구실

<관심분야> 에너지 ICT 융합기술, AI기반 에너지 수요관리, 제로에너지빌딩, 제로에너지타운, 스마트시티 에너지관리 플랫폼, 에너지클라우드, BEMS

[ORCID:0000-0002-7780-9030]

남 흥 순 (Hong-Soon Nam)



1987년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 졸업
 2001년 2월: 충남대학교 정보통신공학과 석사
 1987년~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원, 에너지ICT연구실

<관심분야> 정보통신, 인공지능 근거리무선통신, 에너지ICT

[ORCID:0000-0001-8356-1134]

이 석 진 (Seok-Jin Lee)



1986년 2월: 경북대학교 전기공학과 졸업
 1996년 2월: 한국과학기술원 정보통신공학과 석사
 2006년 8월: 충북대학교 정보통신공학과 박사
 현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> 스마트 그리드, 전력 수요관리, IoT 디바이스, 무선제어

[ORCID:0000-0002-9327-5024]

김 태 형 (Tae-Hyung Kim)



2011년 2월: 순천대학교 정보통신공학과 졸업
 2013년 2월: 순천대학교 정보통신공학과 석사
 2013년~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원, 에너지ICT연구실

<관심분야> 인공지능, 빅데이터, 클라우드, IoT

[ORCID:0000-0002-7238-9858]

신 철 호 (Cheol-Ho Shin)



1994년 2월 : 전남대학교 전자
공학과 졸업

1996년 2월 : 전남대학교 전자
공학과 석사

2007년 2월 : 충남대학교 전파공
학과 박사

1996년~현재 : 한국전자통신연구원

책임연구원, 에너지ICT연구실

<관심분야> 정보통신, 에너지수요관리, AI 제어

[ORCID:0000-0002-6243-9276]