

# 신재생에너지원 통합 설비 설계 및 건물자동제어 연구방향

■ 신 영 기 / 세종대학교 기계공학과, ygshin@sejong.ac.kr

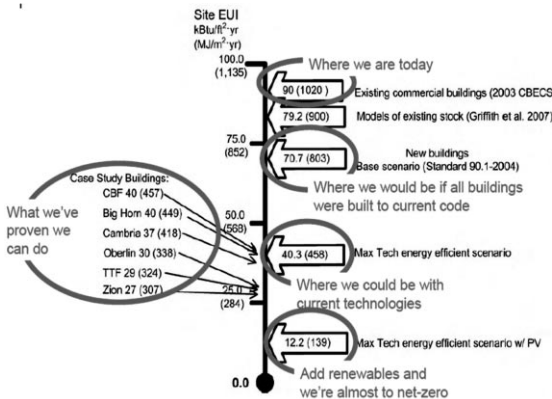
신재생 에너지를 활용하는 그린빌딩의 설비 설계 및 최적운전을 위한 건물 자동제어의 연구 방향에 관해 서술한다.

화석연료 남용과 고갈은 환경과 에너지 수급 위기를 동시에 유발하고 있다. 이에 지속가능한 에너지 수급구조를 갖추기 위하여 각국은 신재생 에너지를 개발하고 활용하는 녹색기술에 많은 관심을 기울이고 있고 선진국을 중심으로 지속적인 기술투자가 이루어지고 있다.

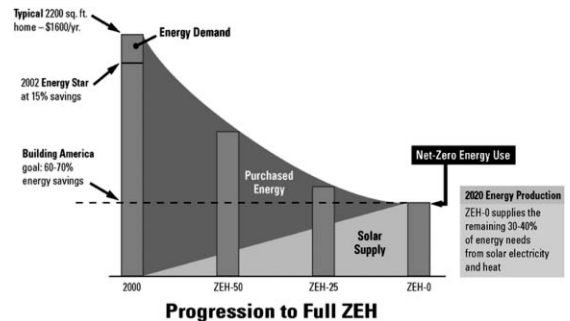
본고에서는 신재생에너지와 관련된 그린빌딩의 개발동향과 신재생에너지 활용에 필수적인 BEMS (Building Energy Management System)의 연구방향에 대하여 논의하고자 한다.

## ZEB(Zero Energy Building)을 추구하는 해외 그린빌딩 개발 동향

ZEB 구현에 필요한 기반기술 연구는 미국 DOE (Department of Energy, 에너지성)가 활발히 추진하고 있다. 그림 1은 전형적인 상업용 건물의 에너지 소비 원단위를 적용기술 단계별로 정량적으로 표현하고 있다. 2003년과 2007년에 조사된 전형적인 기존 상업용 건물의 원단위는 대략  $900 \sim 1,135 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{yr}$  이다. 그리고 DOE Building Energy Codes Program인 ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004 기준에 따라 신축되는 건물은  $800 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{yr}$  수준이다. 그리고 이용가능하고 에너지 효율적인 모든 건축 및 설비기술을 적용한



[그림 1] 적용기술에 따른 건물 원단위 수준 (미국 상업용 건물)



Source - IEA Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings

[그림 2] Zero Energy Building 구현 로드맵 (IEA)



시범건물 사례들을 분석해 보면  $458 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{yr}$  수준에 도달할 수 있다. 그리고 여기에 태양광 전지 모듈(PV; Photovoltaics)이 추가 된다면  $139 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{yr}$  수준까지 내려갈 수 있다. 즉, 현재의 기존 건물대비 1/10수준까지 건물 에너지 소비가 감소할 수 있다는 것이다. 따라서 미래의 기술 개발 잠재력도 고려한다면 ZEB를 구현하는 것이 가능할 수도 있다.

그림 2는 세계 에너지 기구인 IEA의 ZEB 구현 road map을 나타낸다. 2000년 에너지 사용을 기준으로 하여 60 ~ 70%의 에너지 소비를 감소시키는 것을 Building America의 목표로 설정하고 나머지 에너지 수요는 태양에너지를 이용하여 공급하므로써 2020년에는 에너지 자립을 목표로 하고 있다.

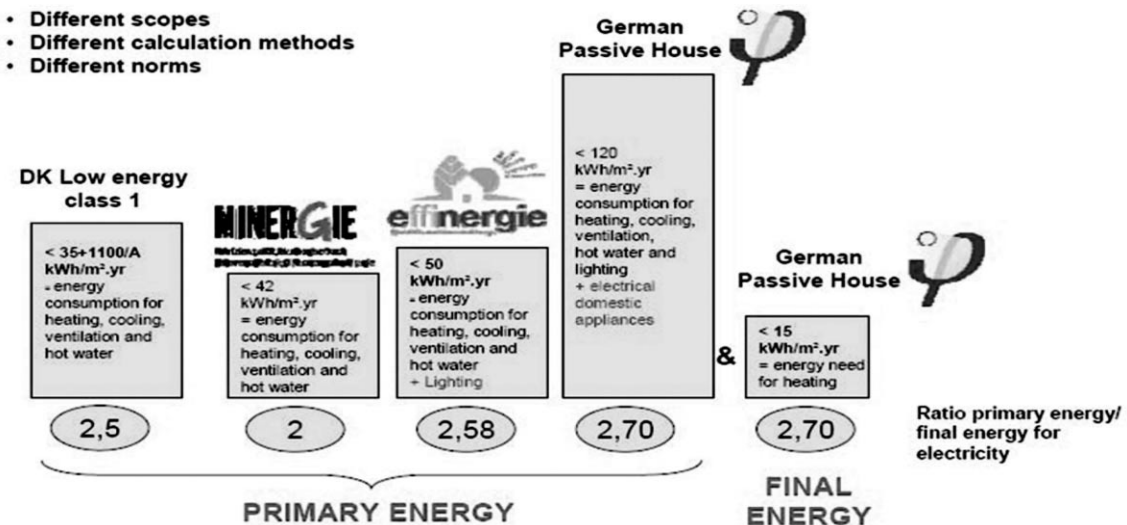
그림 3은 대표적인 유럽국가의 Low Energy Building 개발 목표를 나타낸다. 국가별로 적용 건물, 에너지 계산법 등이 다르기 때문에 보편적인 비교는 어려우나 대략적인 수준을 살펴볼 수 있다. 그림 3에서 아래의 숫자는 일차에너지 소비 계산을 위해 2차 에너지인 전력생산에 필요한 일차에너지 소비비율을 나타낸다.  $1 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr} = 3.6 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{yr}$ 이므로 단위환산하여 그림 1의

수준과 비교하면 Minergie 프로그램(스위스)은  $151 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{yr}$ 이고, effnergie 프로그램(프랑스)은  $180 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{yr}$ , German Passive House 프로그램은  $432 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{yr}$ 이다. 독일의 경우가 높은 이유는 냉난방과 조명 이외에 주택에서 사용하는 가전제품들의 실질적 수요까지 감안하였기 때문이다.

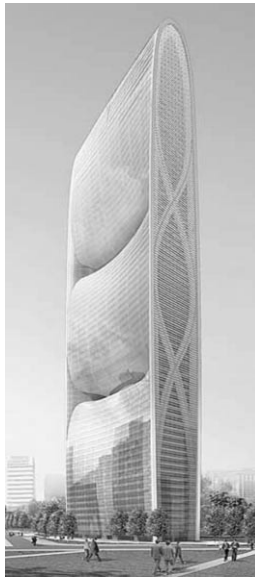
그림 1 ~ 그림 3의 내용을 종합해보면 일반 건물의 원단위는 현재까지 구현가능한 건축 및 설비 기술을 모두 적용하는 경우 300~400 범위로 추정되며 이를 공급할 수 있도록 태양에너지를 효율적으로 활용할 수 있는 기술이 개발되어야 한다.

### Zero Energy Building 시공사례

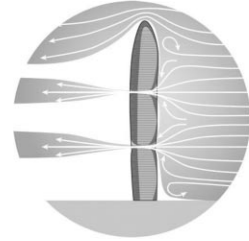
중국 광저우에 건설 중인 Pearl River Tower는 지상 71층 (310 m) 규모의 사무용 건물로서 2011년 11월 완공 예정이다. 그림 4는 조감도를 나타낸다. 건물 외벽은 BIPV (Building Integrated Photo voltaics)로 마감되고 건물 중간에는 기류 통로를 만들어 풍력발전도 하고 있다. 건물 에너지 절약을 위하여 창의적인 건물 외피 및 설비 기술들이 적용되었다. 건물 설계회사와 건물발주처



[그림 3] 유럽 주요국가의 건물 저에너지 소비 목표량



외피에 BIPV 적용



풍력발전용 건물구조

[그림 4] Pearl River Tower 조감도

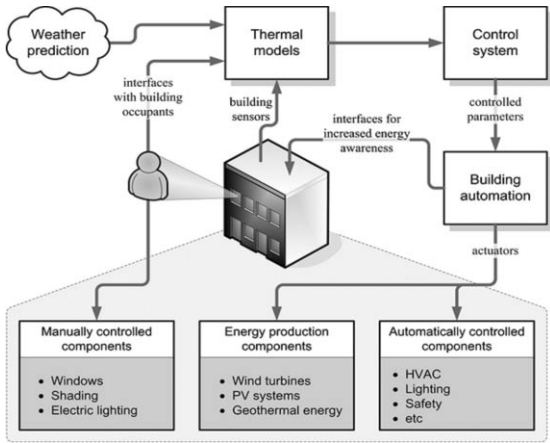
는 Zero Energy Building 구현을 위한 설계라고 주장하고 있으나 이는 건물의 선전효과를 노린 전략으로 판단되며, 여러 가지 정황상 ZEB는 불가능한 것으로 알려지고 있다. 그러나 새로운 기술들이 많이 시도되고 있기 때문에 Zero Energy Building과 관련하여 가장 많은 주목을 받고 있는 건물이다.

### 신재생 에너지원이 통합된 BEMS 기술

신재생에너지 활용과 접목된 고효율 공조설비 및 건축기술, 그리고 기후의 영향을 받는 신재생 에너지원의 변동성 등에 대응하면서 건물 내 에너지 수요를 맞추기 위해서는 건물통합 제어 및 운용 시스템의 개발이 매우 중요하다. 종래의 BEMS는 공급 및 제어가 가능한 화석연료와 전기 에너지를 이용하여 건물 에너지 수요에 맞게 공급하는 제어 및 관리 시스템이었으므로 기후 변동에서 비롯되는 심한 변동성을 갖는 에너지 공급과 종래의 수요를 대응시키는 것으로 전혀 다른 차원의 제어 기술을 요한다. 따라서 신재생 에너지를 통합한 건물을 구현하기 위해서는 새로운 BEMS 기술 개

발이 필요하다.

그림 5는 신재생 에너지원이 통합된 BEMS 구조를 나타낸다. 그림에서 Thermal model은 빌딩 동적 모델을 의미한다. 모델에 연결된 'weather prediction'에서 추측할 수 있는 바와 같이 신재생 에너지원인 태양과 바람은 기후와 밀접한 연관이 있다. 건물은 큰 열용량 때문에 기후 변화에 따른 온도변화가 나타나는데 최소 30분에서 2시간정도 소요된다. 이러한 긴 시간지연은 자동제어를 불안정하게 하는 요소이므로 불안정성을 해소하려면 외란에 해당하는 기후를 30분 또는 한 시간 후의 기후를 예측하여 자동제어에 미리 반영하는 것이다. 이를 feed-forward 제어라고 한다. 그리고 feed-forward 제어는 미래의 사건에 대하여 제어하는 것이므로 제어대상인 건물도 미래의 시점에 가상으로 존재해야 한다. 그 가상의 존재가 그림 5의 thermal mass에 해당한다. 즉, 건물의 동적 모델을 구성하여 미래의 시점에 나타날 외란에 대응하여 제어를 수행하게 되는데 기후 예측 및 건물 동적 모델의 오차에 따라 제어성능이 악화될 수 있으므로 이를 보정할 또 다른 고급제어 방안도 모색해야 한다.



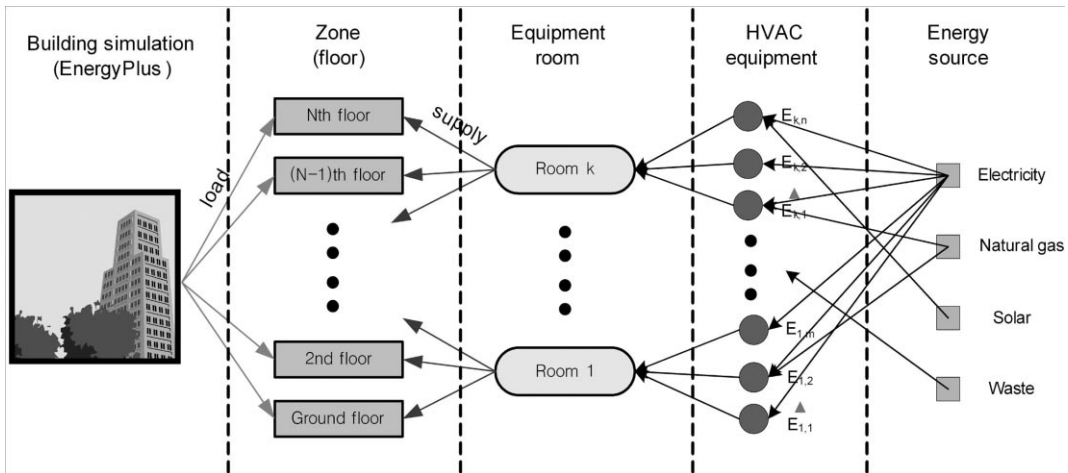
[그림 5] 신재생에너지 통합 건물제어 개념

이와 같이 신재생에너지를 포함한 BEMS는 기 후 예측모델과 건물 동적 모델을 필요로 하는데 이들 모델은 그리 간단하지 않다. 또한 태양 에너지를 최대 활용하기 위해 전동식 차양을 제어하는 것이 필수적이다. 차양제어는 눈부심을 방지하면서 자연채광을 공급하되 실내로의 복사에너지 공급 또는 차단과 조명에너지 소비와의 경제성을 비교하면서 실시간으로 제어해야 한다.

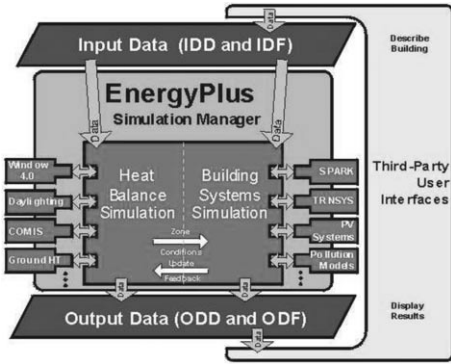
## 신재생 에너지원 통합 설비 설계 및 제어 로직 개발환경

그림 6은 신재생에너지원 통합 설비설계를 위한 건물, 공조구역, 설비 및 에너지원 간의 상관관계를 나타낸다. 태양과 관련된 에너지원은 수시로 변하므로 이를 보조하기 위한 비재생열원 설비를 구비해야 하고 작동유체 반송동력이 최소화되도록 기계실 내 공조설비 용량 및 종류 등을 복합적으로 설계해야 한다. 이러한 최적설계 과정은 매우 복잡하고 비선형적이라 최적 알고리즘을 찾기 어렵다. 앞으로 많은 연구가 필요한 분야이다.

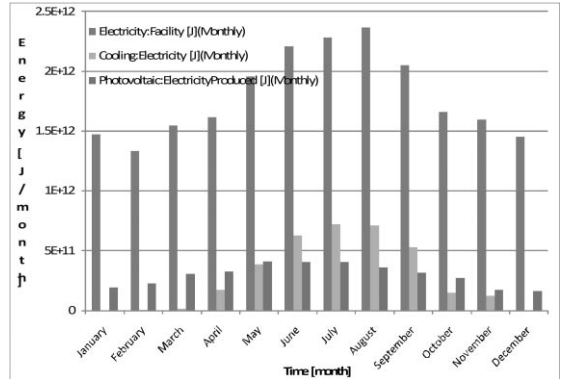
비선형 시스템의 경우 이론적으로 최적해를 구할 수 없으므로 유전 알고리즘 등과 같이 많은 횟수의 반복연산이 필요한데 이 경우 건물 및 설비의 동적 모델이 통합된 프로그램이 필요하다. 건물의 부하계산 모델은 실제 결과와의 타당성 검증을 거친 신뢰성 있는 프로그램이어야 한다. 이러한 관점에서 대표적인 프로그램은 미국 DOE가 배포하는 EnergyPlus와 유럽 EU에서 공식 프로그램으로 사용하는 ESP-r이 있다. 본고에서는 문서화가 비교적 잘 되어 있는 EnergyPlus를 소개하고자 한다. 그림 7은 EnergyPlus의 구조를 나타낸다.



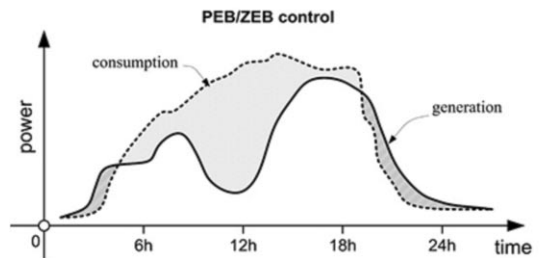
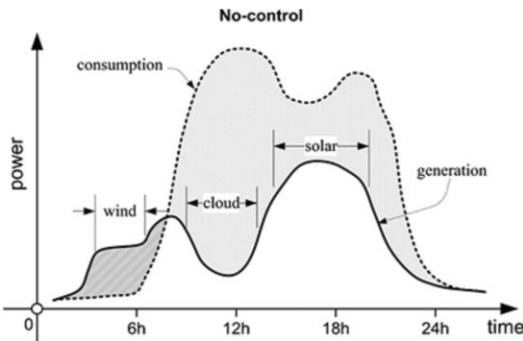
[그림 6] 신재생에너지 통합 설비설계 최적화 개념



[그림 7] EnergyPlus와 외부 인터페이스



[그림 8] 12층 사무용 건물 전력수요와 태양광 발전



[그림 9] 수요 Reshaping

다양한 외부프로그램들과의 run-time 인터페이스가 가능하며 특히 Matlab과의 인터페이스가 용이하여 신재생에너지 통합 제어알고리즘 개발을 위한 개발환경을 구성할 수 있다.

그림 8은 미국 시카고 지역에서 12층 사무용 건물을 대상으로 월별 전력소비를 시뮬레이션 한 예이다. 가용한 신재생에너지를 평가해 보기 위하여 건물의 동, 서, 남측 외벽 및 지붕을 태양전지판으로 마감한 경우 발전량을 함께 표시하였다. 연간으로 합산한 결과 건물의 전력수요 대비 대략 15% 정도를 공급할 수 있었다. 이 경우에는 월별 전력수요에 비해 건물 수요가 항상 크기 때문에 전력수급 불균형을 고려할 필요가 없으나 그림 9와 같이 신재생 에너지 일간 전력 공급과 수요가 역전되는 현상이 발생하는 경우에는 전력 저장장치가 필수적으로 필요하며 가장 합리적인 제어전

략은 수요와 공급을 가능한 한 일치하도록 조정하는 것이다. 이와 같은 기술을 수요와 공급의 Reshaping이라고 하는데 그림에서 전력수요가 적은 새벽에 수요를 늘리기 위해 가령 빙축열 가동을 고려할 수 있다.

### 맺음말

신재생에너지를 활용하는 그린빌딩의 신재생 에너지 설비와 비재생 에너지 설비를 통합하여 설계하고 기후 변동을 예측하여 실시간 최적제어를 수행하는 새로운 개념의 BEMS는 앞으로 많은 연구가 필요하다. 화석연료 고갈에 대응하여 신재생 에너지원의 건물 활용은 앞으로 비중이 높아질 것이며 그 실용화를 위한 건물 자동제어 기술의 새로운 발전이 기대된다. (40)