

건물에너지 절감을 위한 BIM과 Smart BEMS 기술



글 문현준 \ 단국대학교 건축공학과 교수 \ 전화 031-8005-3733 \ E-mail hmoon@dankook.ac.kr



1. 시작하며

건축 분야의 '지속가능성', '에너지 절감' 등에 관한 이슈는 지난 십 수 년 간 끊임없이 대두 되고 있으며, 이를 위해 정부 및 여러 민간 기관에서는 관련 법규 및 규정, 가이드라인을 제정하는 등 다양한 노력을 기울이고 있다. 그러나 이러한 현재까지의 많은 노력은 주로 설계단계에 초점이 맞춰져 있으며, 실제 대부분의 에너지를 사용하는 운영단계의 건물들에 대한 대책이 필요한 실정이다. 최신 기술이 적용된 건물이라 하더라도 운영단계에서 건물 사용자가 효율적인 에너지 소비 관리를 하지 않는다면 에너지 절감에 대한 효과를 기대하기는 어려울 것이다.

우리나라에서는 지난 2011년 9월 전국적인 대규모 정전사태가 발생하여 많은 경제적 손실을 가져왔다. 그러나 그 다음날에도 가정, 백화점, 마트 등에서 전기를 대량 소비하고 전력피크가 높아져서 다시 비상상황에 돌입하였다. 이러한 예는 운영단계에서 건물에너지의 효율적인 소비 및 관리가 얼마나 중요한지 보여주는 단적인 예이다. 또한 에너지 절감을 건물 사용자에게만 호소해서는 성과를 거두기 어렵다는 것을 알려주기도 한다.

건물분야에서의 에너지 절감을 이루기 위하여 설계단계에서 에너지 성능을 예측 및 평가하고 설계에 반영하기 위해 Building Information Modeling(BIM) 기술을 활용하려는 연구가 미국과 유럽을 중심으로 활발히 진행되고 있다. McGraw Hill Construction(2010)에 의하면 Green BIM의 시장 점유는 1~3년 이내의 61%를 차지할 것으로 예상되고 있으며, 특히 Green BIM 업계 종사자들의 50% 이상이 에너지 성능 분석을 위해 BIM 기술을 활용할 것으로 전망하고 있다. 또한 건물 운영단계에서는 'BEMS 시범 사업^①'등을 통해 건물

에너지관리시스템(BEMS : Building Energy Management System)의 적용이 활발히 진행 중이다. BEMS로부터 모니터링된 건물에너지 관련 데이터들을 분석하여 건물 내 시스템과 연동하여 컨트롤하고, 건물에너지 소비를 최적화할 수 있는 시스템적인 접근이 시도되고 있는 것이다. 따라서 BIM 또는 BEMS와 같은 IT 기반의 기술 융합이 제로에너지 건물 설계 및 운영을 위한 대안으로 제시되고 있다.

따라서 본고에서는 설계, 시공, 운영 및 유지관리 단계에서 에너지를 절감할 수 있는 방안으로 BIM과 BEMS의 국내외 연구 동향 및 기술개발 현황에 대해 소개하고, 향후 나아가야 할 방향에 대해 제언하고자 한다.

2. BIM을 활용한 건물에너지 분석

2-1. BIM 기반 설계 지원 프로그램

최근 BIM 표준 프로토콜로 국제 표준 포맷인 IFC와 건물에너지 분야의 산업규격인 gbXML 파일이 많이 활용되고 있다. 설계, 시공, 구조 및 유지관리 전 분야에서 데이터 호환을 목적으로 개발된 IFC 보다는, 건물에너지 성능 분야의 BIM 데이터 표준으로 gbXML 파일이 더 광범위하게 활용되고 있다. Autodesk사의 Green Building Studio(GBS)는 사용자가 Web을 통해 gbXML 파일을 업로드하면 DOE-2 시뮬레이션 엔진을 이용하여 에너지 분석을 수행하는 등

① <http://www.kemco.or.kr> 에너지관리공단 건물에너지관리시스템(BEMS) 시범 보급사업 공고, 국토교통부와 에너지관리공단에서 추진하는 건물에너지관리시스템(BEMS)시범 보급사업, 건축물의 운영단계에서 에너지 절약 대책으로 건물에너지관리시스템(BEMS)을 도입함으로써 에너지 소비동향의 정확한 파악분석과 적정 관리를 위해 BEMS 도입 사업장에 보조금을 지원하는 사업. BEMS 도입 기능별 에너지 절감의 효과가 우수한 사업을 위주로 공모 및 평가를 통해 지원

시에 eQUEST와 EnergyPlus 프로그램의 입력파일(IDF)로 변환해 준다.

eQUEST와 EnergyPlus는 직접 gbXML을 Import 할 수 없기 때문에 GBS와 같이 gbXML 파일을 변환해주는 인터페이스가 필요하다. 특히 EnergyPlus는 현재까지 가장 정확하고 플렉서블한 건물 에너지 분석 프로그램으로써 활용도가 높아서, GBS뿐만 아니라, Ecotect와 DesignBuilder에서도 EnergyPlus의 입력파일로 변환을 가능케 하는 기능을 제공하고 있다.

2-2. EDI(Energy Design Interface) 개발

아직까지 GBS, Ecotect, Design Builder의 인터페이스는 gbXML의 일부 데이터만 호환하고 있으며, 변환 과정에서도 일부 Elements에서 임의의 값이 입력되는 등의 문제점이 있다. 이러한 문제점을 보완하고 BIM 모델과 EnergyPlus와의 상호 운용성을 향상시키기 위해 본 연구실에서는 gbXML의 BIM 모델과 EnergyPlus와의 상호운용성을 향상시키기 위한 인터페이스(EDI : Energy Design Interface)를 개발했다.

Energy Design Interface(EDI)는 BIM 모델을 이용하여 빠르고 정확한 에너지 분석을 수행할 수 있도록 개발된 인터페이스로, gbXML 포맷을 사용하고, 시뮬레이션 엔진으로 EnergyPlus를 활용한다. EDI는 gbXML과 EnergyPlus와의 상호운용성을 향상시켜 임의로 입력되는 정보들을 최소화하고, Revit Architecture/MEP, AutoCAD Architecture/MEP 등 많은 BIM 기반 설계지원 프로그램을 통하여 생성한 gbXML포맷의 BIM 모델을 이용하여 건물성능을 해석할 수 있도록 구현했다. 또한 gbXML을 IDF 파일로 변환해 주는 기능 외에 EnergyPlus와 직접적으로 연동하여 자동으로 시뮬레이션을 수행하여 결과값으로 각 존별 냉난방 부하값을 제공한다.

EDI뿐만 아니라, 국내·외 연구기관에서는 BIM을 활용한 저에너지 건축물 구현을 위해 인터페이스를 개발하고, 이를 검증하기 위한 다양한 연구를 수행 중에 있다. 또한, 에너지 분야에서의 BIM 기술 보급 및 활성화를 위해서 BIM과 성능분석 프로그램과의 상호운용성 향상 기술 및 BIM 기반의 건물에너지 분석 가이드라인 정립 등의 다양한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

3. 국내 Smart BEMS 관련 연구동향

국내에 적용되고 있는 BEMS는 아직까지 정부주도 하에 설치 및 보급되고 있는 실정으로, BEMS를 통한 실질적인 에너지 절감을 위한 연구는 시작단계라고 할 수 있다. 건물 운영자 및 관리자의

경험 및 능력에 의존하던 기존의 건물관리 방식에서 벗어나, 정량적인 데이터들을 근거로 건물운영을 최적화할 수 있다는 장점을 가지고 있어 지속적인 연구 및 개발이 수행될 것이다.

3-1. 건물에너지관리시스템 KS 규격

현재, 국내에서는 '건물에너지관리시스템'에 대한 KS 규정을 마련하는 등 BMES 기능 및 범주에 대해 규정함으로써 이용자들로 하여금 명확한 개념을 갖고 시스템을 적용할 수 있도록 기준을 제시해주고 있다. 현재 제정이 진행되고 있는 KS 표준에서는 에너지 소비 정보를 가시화하는 것을 BEMS의 가장 기본기능으로 명시하고 있으며, 분석 및 관리 기능을 선택기능으로 규정하고 있다(〈표 1〉 참고).

표 1 건물에너지관리시스템의 기능 구분

구분	분류	내용
기본기능	가시화기능	에너지 소비 정보를 실시간으로 화면에 표시 및 감시하고 소비량에 대한 트렌드 제공
	분석기능	에너지 정보를 이용하여 원별, 종류별, 장비별, 수요처별 에너지 소비량 분석, COP 분석, 수요처별 온습도, CO ₂ 발생량, 조도 분석, 기기 운전상황 등 제공
선택기능	관리기능	에너지 소비량 예측, 에너지 소비 비용 분석, 정책 결정, 제어시스템 연동 정보 제공

국내 BEMS의 경우 대부분 연간 및 월별 에너지 사용량 등과 같은 단순 통계처리 및 리포트 기능에 한정되어 사용되는 경우가 많다. 분석 및 관리 기능이 강화되어 에너지원별, 개별 설비시스템별, 환경 데이터 등에 대한 심도있는 분석이 진행 중에 있으며, 이를 위한 분석방법에 대한 연구도 진행되고 있다. 이를 통해 얻어진 연구 및 개발 결과물은 건물에너지 관리를 위한 정책에 반영되고 있으며, 실질적인 건물에너지 절감효과로 연계될 것으로 기대해 본다.

3-2. 고효율 건물에너지 감응형 EMM 플랫폼 기술 개발

국내에서 연구가 진행 중인 고효율 건물에너지 감응형 EMM 플랫폼 기술이 있다. 이는 원격 EMM(Energy Monitoring & Management) 관제센터에서 각 빌딩의 에너지 사용량 추이, 자동제어 운전상태 및 환경요소 등에 대한 모니터링 데이터를 활용하여 건물별 에너지 낭비 요소를 찾아내어 최적화된 에너지 절감 대책을 제공하는 관리기술을 의미한다. 기존 세대별 에너지 소비 정보 등에 대한 단순 데이터를 제공하던 수준을 벗어나 온도, 습도 등 환경센서 정보 및

에너지소비 패턴, 기상정보 등까지 종합적으로 분석하여 최적화된 에너지 관리 서비스 제공이 가능하다.

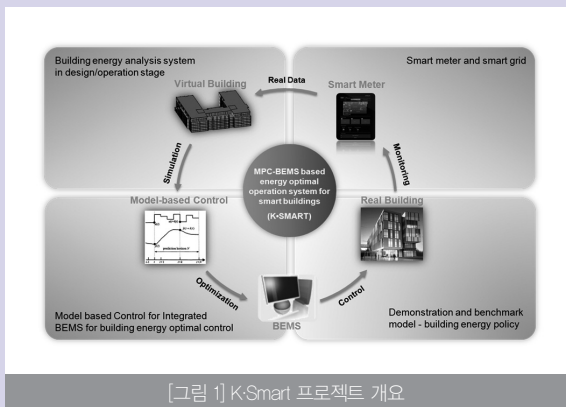
3-3. Micro Energy Grid

한국형 마이크로 에너지 그리드(K-MEG : Korea Micro Energy Grid)는 IT와 스마트그리드 건물에너지 기술을 융합하여 에너지 사용량의 30%를 절감할 수 있도록 하는 토달에너지 솔루션이다. 본 연구에서는 BEMS와 EMS 기술을 융합하여 알고리즘을 개발하고, 신재생에너지와 소규모 분산전원의 활용을 통해 지역적 에너지를 공급하는 새로운 개념의 전력 네트워크를 구현한다.

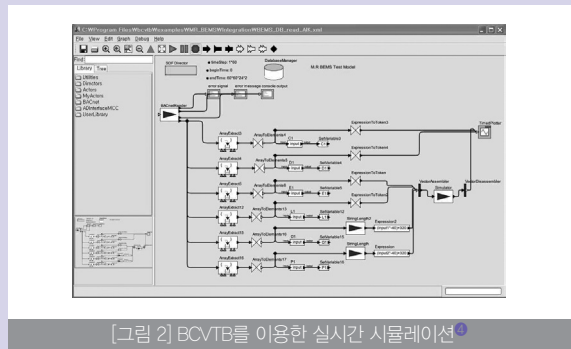
건축물과 분산된 에너지원, 에너지 공급망을 연계하여 건물에서 소비되는 에너지를 최적화함으로써 친환경건축을 구축 및 관리하는 신기술로, 2000년 중반부터 미국, 유럽 등 전 세계적으로 약 10여 개의 R&D 프로젝트가 추진 중에 있다. 국내 및 해외 건물 또는 단지를 대상으로 실증사업이 진행 중에 있다.

3-4. 실시간 시뮬레이션 기반 Smart BEMS

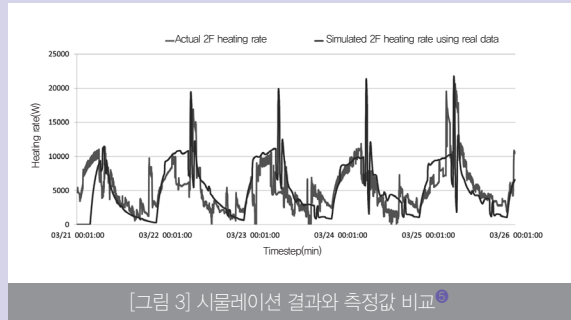
K-Smart 프로젝트는 산업자원통상부 지원으로 수행중인 Smart BEMS 사업으로, BCVTB^②를 활용하여 실시간 시뮬레이션 기반 BEMS 및 MPC^③ 기반 최적제어 시스템의 구현을 목적으로 하는 연구이다. BEMS가 설치되어 운영 중인 실제 건물을 대상으로, 실시간 시뮬레이션 결과와 실제 모니터링 데이터와의 비교 및 분석을 통해 난방부하 절감방안을 도출하고 그 효과를 정량적으로 평가할 수 있다. 난방시스템의 오작동 및 설계의도와 맞지 않는 제어 전략 등 건물의 운영 및 관리 측면에서의 오류를 찾아냄으로써 건물 에너지 절감방안을 도출할 수 있다. 이처럼 EnergyPlus, Simulink, MATLAB 등의 프로그램과 BCVTB를 이용한 BEMS와의 통합 연계시스템은 국내 몇몇 상업용 건물을 대상으로 실증이 이루어지고 있다.



[그림 1] K-Smart 프로젝트 개요



[그림 2] BCVTB를 이용한 실시간 시뮬레이션^④



[그림 3] 시뮬레이션 결과와 측정값 비교^⑤

4. 국외 Smart BEMS 관련 연구동향

국외에서는 건물 운영 및 관리에 대한 리소스(Resource) 수준과 기능(Capabilities)을 세밀한 수준까지 확장시키려는 SBMS(Smart Building Managed Services)에 대한 연구 및 개발을 활발히 진행 중이다. Pike Research 보고서에 의하면, 이러한 SBMS 관련 시장 규모는 지속적으로 증가하여 2020년에는 10억달러를 초과할 것으로 전망하고 있다.^⑥

또한, 시뮬레이션 기반 실시간 성능분석, 모델기반 예측최적제어, 수요반응(Demand Response) 연계 제어 등을 포함한 다양한 BEMS 관련 기술이 개발되고 있다. 본절에서는 이러한 기술들에 대해 간략히 소개하고자 한다.

4-1. 실시간 시뮬레이션 연동 기술

미국 DOE 산하 로렌스 버클리 국립연구소(LBNL : Lawrence

② BCVTB(Building Controls Virtual Test Bed) 건물제어 가상테스트베드. 하드웨어 뿐 아니라 시뮬레이션 프로그램(Energy Plus, Simulink, TRNSYS 등)과 같은 소프트웨어들과 실시간 데이터 교환이 가능하게 하는 프로그램

③ MPC(model Predictive Control) 모델 기반 예측제어

④ 실시간 시뮬레이션 기반 Smart BEMS를 위한 데이터 모델, 2013 대한설비공학회 문헌준외

⑤ H.J. Moon and M.S. Choi, The effect of weather data in an integrated real-time building simulation connected to a monitoring system, Proceedings of ISOEN, Daegu, Korea

⑥ www.naigantresearch.com Smart building managed Services: Software as a service plus energy management/NOO Services and on-site installation & maintenance services for commercial Buildings: Global Market Analysis and Forecasts, 3Q, 2012(Pike Research/Navgant)

Berkeley National Laboratory)에서는 시뮬레이션을 기반으로 한 실시간 건물 성능 평가 및 컨트롤 시스템 개발 연구를 진행하고 있다. LBN에서 자체 개발한 BCVTB(Building Control Virtual Test Bed)를 이용하여 건물 모니터링 및 제어시스템과 시뮬레이션 프로그램 간에 실시간 데이터 전송이 가능하도록 구성하였다. 이러한 시스템은 BACnet^⑦과 같은 개방형 프로토콜을 기반으로 건물 에너지 관리 및 제어 시스템(EMCS : Energy Management Control Systems)을 통해 실시간 데이터를 받아 EnergyPlus와 연동시켜, 실시간 시뮬레이션을 구축한다.

[그림 4]의 Energy Plus, HVAC & controls, Modlica, MATLAB 등 실선으로 나타난 부분은 현재 개발이 완료된 프로그램 및 하드웨어를 나타내며, 점선으로 표시된 부분은 현재 개발 및 논의가 진행 중인 것을 의미한다.



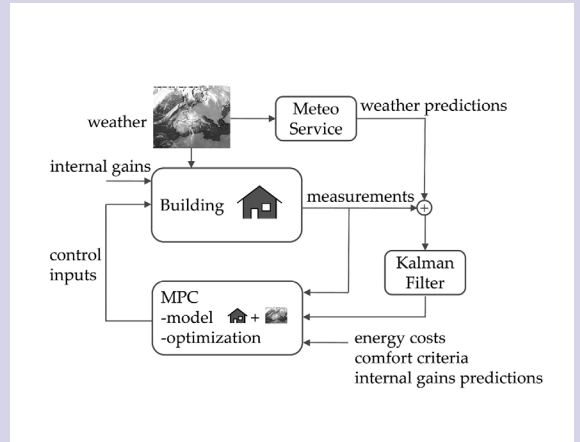
[그림 4] BCVTB를 통해 활용 가능한 프로그램 및 시스템(LBNL)

이러한 실시간 시뮬레이션은 건물에너지 성능결과와 실제 건물에서의 에너지 모니터링 결과를 실시간으로 비교할 수 있어 Continuous Commissioning 및 FDD(Fault Detection and Diagnosis)에 활용할 수 있다. 또한 건물의 HVAC, 조명, 그리고 설비 장비들의 성능 측정 데이터와 설계의도를 반영한 Reference 모델(EnergyPlus)을 실시간으로 비교 및 분석함으로써 건물시스템의 성능을 지속적으로 평가하고 개선할 수 있다.

4-2. 모델 기반 예측 제어

건물의 운영을 최적화하고 에너지 소비를 최소화하기 위한 건물운영방안(예를 들면 HVAC 장비의 예열 및 예냉 운전, Night Purge 수행 등)을 정확히 도출하기 위해서는 기상 및 재실률 포함한 건

물운영 스케줄에 대한 정확한 예측이 필요하다. 건물관리시스템(BEMS)에 이러한 최적제어 알고리즘을 적용하는 다양한 연구가 수행되고 있으며, 그 중의 하나가 모델 기반의 예측제어 또는 MPC(Model Predictive Control)를 적용하는 것이다.



[그림 5] 건물 실시간 시뮬레이션 시스템 구조^⑧

이러한 기술은 건물상태와 기상정보 모니터링 데이터, 에너지 비용, 그리고 쾌적도 기준과 같은 정보와 함께 MPC Controller를 통하여 건물시스템 성능을 최적화하는 시스템을 의미한다. 유럽의 OptiControl 프로젝트에서는 기존의 Rule-Based Control(RBC)와 비교했을 때 MPC를 활용한 제어방법이 약 20% 정도 에너지 절감에 유리한 것으로 보고하고 있다.

또한 미국의 연합기술연구소(UTRC : United Technologies Research Center)에서는 재실자의 거주형태 패턴 예측과 기상정보 예측을 바탕으로 건물의 냉난방 제어에 MPC를 적용하여 기존 건물 운영과 비교하였을 때 난방 30.1%, 냉방 17.8%의 저감효과를 확인하였다.

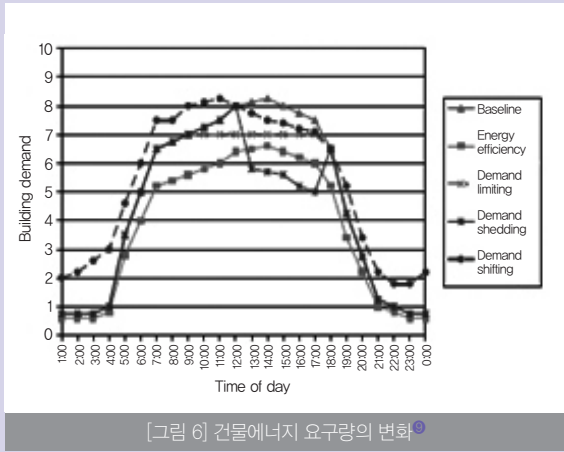
4-3. 수요반응(Demand Response) 관련 기술

건물에서 수요반응이란 건물 내에서의 에너지 요구량(부하)을 줄이거나 프로파일을 변화시켜 최종적으로 에너지 소비량을 줄이도록 유도하는 에너지 절약 전략의 하나이다. 에너지원간의 수급 불균형 해소 및 최대 부하를 줄이기 위해 에너지 수요반응(DR : Demand Response)의 최적화 모듈을 결합한 건물에너지 운용 시스템 개발을 위한 연구가 활발히 진행 중이다.

^⑦ Building Automation and Control Networks ANSI/ASHRAE 표준135-1995로 미국표준협회(ANSI)와 ASHRAE에 의해 채택된 빌딩 자동화용 통신 프로토콜

^⑧ The OptiControl Team, Final Report: Use of weather and occupancy forecasts for optimal building climate control, Swisselectric research, 2010

특히 북미 지역과 유럽 일부 지역에서 각 지역의 전력 상황에 맞는 다양한 모듈이 개발되고 있으며, 이러한 DR 전략에 따른 사전평가를 통해 최대 피크 부하 저감 및 재실 쾌적도를 만족시키는 최적 제어 방법을 도출할 수 있다(그림 6 참조).



5. BEMS 운영현황 분석방법

위에서 기술한대로 학계 및 연구기관은 BEMS와 IT기술을 접목하여 에너지 소비 및 비용 절감을 극대화하고, 재실자의 만족을 높일 수 있는 최적화된 시스템을 구현하기 위해 다양한 노력을 기울이고 있다. 다만, 건물에 적용된 이러한 기술 및 운영 방법은 정량적인 성과 검증이 필수적이다. 적용된 기술 및 운영 단계에서의 제어 방법에 대한 명확한 평가기법 및 분석방법이 제시되어야만, BEMS를 통해 얻어지는 수 많은 데이터들을 객관적으로 평가하고 이에 대한 성능을 규명할 수 있기 때문이다.

국외에서는 건물의 에너지 성능을 평가 및 검증하기 위한 M&V 프로토콜을 제시하고 있다. 본절에서는 IPMVP, FEMP, ASHRAE Guideline 14 등에 대해 간략하게 소개하고자 한다.

5-1. IPMVP

IPMVP는 에너지 효율과 재생에너지의 투자 증진을 위해 EVO(Efficiency Valuation Organization)에서 개발한 국제성과 측정 및 검증 의정서로, 설비에서 에너지 또는 물의 효율을 개선한 프로젝트에 주로 적용된다. 에너지 절감량의 측정, 계산 및 보고하는데 필요한 개념적이면서 포괄적인 프레임워크를 제공하고 있으며, 에너지 성과 계약에 대한 방법들을 규정하고 있다. 모든 건물(주거, 업무 및 산업용 건물)을 대상으로 하고 있으나, 구체적인 측정방법 및 세부기술에 대한 내용은 제시하지 않고 있다.

표 2 해외 M&V 프로토콜

구분	프로토콜	기관
IPMVP		International Performance Measurement & Verification Protocol EVO : Efficiency Valuation Organization
FEMP		Federal Energy Management Program : M&V Guidelines DOE : Department of Energy
ASHRAE		Measurement of Energy and Demand Savings ASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating & Air conditioning Engineers

5-2. FEMP

FEMP는 Federal Energy Management Program의 M&V Guidelines(Measurement and Verification for Federal Energy Projects)으로 DOE(Department of Energy)에서 미국 연방지역의 에너지절약 프로젝트에 활용할 목적으로 개발되었다. IPMVP를 토대로 성과 측정 및 검증을 위한 세부 지침 및 방법을 제시하고 있다. 또한 건물의 에너지 절감량을 정량화하는 내용을 담고 있다.

5-3. ASHRAE Guideline 14

ASHRAE Guideline 14는 미국냉난방공조기술자협회(ASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating & Air conditioning Engineers)에서 제공하는 가이드라인으로, 에너지 절약에 대한 요구사항 및 요소, 세부 측정방법 및 기기장비의 데이터 측정방법 등에 대해 기술하고 있다. 또한 모델링 과정의 불확실성을 설명하기 위한 방법론을 제시하고 있으며, IPMVP나 FEMP 보다는 좀 더 세부적인 사항까지 서술하고 있는 특징이 있다.

국내의 BESM의 적용현황을 보면, 현재까지는 정부 주도의 설치와 보급에 초점이 맞춰져, 모니터링 기능 위주의 단순 통계처리 및

④ Motegi N., Piette M.A., Watson D.S., Kiliccote S., Xu P., Introduction to commercial building control strategies and techniques for demand response, LBNL-59975, 2007

리포트 기능에 한정되어 있다. 하지만 설치 후의 건물 운영현황 및 BESM 데이터의 활용방안 등에 대한 기준은 미흡한 실정이다. 국내에도 IPMVP를 기반으로 한 'M&V 실제적용 평가' 등의 가이드라인이 있으나, Baseline에 대한 기준, 측정 데이터의 Calibration, 기후 및 재실 데이터의 Normalization 등 건물의 에너지 성능평가에 영향을 미칠 수 있는 다양한 요인에 대한 고려가 부족하다. 또한 BEMS 모니터링, 에너지 관리, 성능 관리 등 BEMS 운영 및 관리에 관한 매뉴얼도 없는 실정이다.

정부 및 관련 산하 연구기관에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 현재 BEMS 성과분석 및 운영방법에 대한 매뉴얼 개발 연구가 수행 중에 있다. 국내 환경에 맞는 BEMS 운영현황 분석 기준을 마련하고 이에 대한 평가 및 검증 보완을 통해 건물에너지 정책과 연계하여 활용할 수 있는 전략적 평가방안이 마련될 수 있을 것으로 기대된다.

6. 결론

본고에서는 BIM의 활용방안과 BEMS를 활용한 건물시스템의 최적 제어, 건물 실시간 시뮬레이션 기반의 운영 최적화, 수요반응(DR : Demand Response)과의 연계 등 건물에너지를 절감할 수 있는 다양한 기술들을 소개했다. 또한, 이러한 기술의 성과를 정량적으로 평가할 수 있는 관련 기준 및 분석방법 구축이 필요함을 강조하였다.

관련 국내기술은 아직 많은 연구와 지원이 필요하다. 그러나 건물 에너지에 대한 효율적인 관리의 필요성을 인식하고, BIM과 BEMS의 설치 및 보급과 함께 이를 통해서 얻어지는 건물에너지 관련 Big Data의 활용방법에 대한 연구가 지속적으로 이루어진다면, 그 효과가 극대화될 것으로 판단된다.

건축기술과 IT기술의 융합은 이러한 효과를 극대화할 것이며, 실질적으로 건물의 에너지 절감을 위해 노력하고 있는 국가의 에너지 절감에도 큰 기여를 할 수 있을 것이다. **S**

참고문헌

- ① 문현준 외2, 2013, BCVTB를 활용한 시뮬레이션 기반 BEMS 제어 방법 및 환기 시스템 적용, 대학건축학회 제 29권 제 6호, pp.255-262
- ② 문현준 외2, 2013, 실시간 시뮬레이션 기반 Smart BEMS를 위한 데이터 모델, 대한설비공학회 하계학술발표대회논문집, pp.371-374
- ③ 문현준 외1, 2012, M&V 표준안 고찰을 통한 건물 운영에 대한 분석 방법 고찰, 한국건축친환경설비학회 학술발표대회논문집.
- ④ X. Pang, M. Wetter, P. Bhattacharya, P. Haves, A framework for simulation-based real-time whole building performance assessment, Building and Environment 54 (2012), pp. 100-108.
- ⑤ Z. O'Neill, M. Shashanka, X. Pang, P. Bhattacharya, T. Bailey, P. Haves, Real-time model based energy diagnostics in buildings, Proceedings of Building Simulation, Sydney, Australia, 2011.
- ⑥ The OptiControl Team, Final Report: Use of weather and occupancy forecasts for optimal building climate control, Swisselectric research, 2010.
- ⑦ Motegi N., Piette M.A., Watson D.S., Kiliccote S., Xu P., Introduction to commercial building control strategies and techniques for demand response, LBNL-59975, 2007.
- ⑧ H.J. Moon, K.A. An, and M.S. Choi, A simulation-based control approach in a mechanical ventilation system, Proceedings of ASim, Shanghai, China (2012).
- ⑨ H.J. Moon and M.S. Choi, The effect of weather data in an integrated real-time building simulation connected to a monitoring system, Proceedings of ISOEN, Daegu, Korea (2013).