

석사학위논문

지능형 건물에너지관리시스템의
에너지 절감 성과 분석 연구

Energy Performance Evaluation
for Intelligent Building Energy Management System(BEMS)

2017년 8월

세종대학교 대학원
기후변화협동과정
이희승

지능형 건물에너지관리시스템의
에너지 절감 성과 분석 연구

Energy Performance Evaluation
for Intelligent Building Energy Management System(BEMS)

지도교수 전 의 찬

이 논문을 정책학 석사학위논문으로 제출함

2018년 8월

세종대학교 대학원
기후변화협동과정
이 희 승

이희승의 석사학위논문을 인준함

2018년 8월

심사위원장 차재형 (인)

심사위원 김하나 (인)

심사위원 전의찬 (인)

국 문 초 록

『2030 국가온실가스감축 기본로드맵』에서 제시한 건물부문의 국가온실가스감축 목표는 2030년까지 BAU(Business As Usual) 대비 35.8백만 톤으로 발전, 산업 부문에 이어 3번째로 큰 목표이다. 정부는 건물부문 국가온실가스감축 목표를 달성하기 위해 다양한 정책을 수립하여 실행하고 있으며, BEMS (Building Energy Management System)는 그 중 하나이다.

BEMS는 건물의 에너지사용을 모니터링하여 최적화된 에너지 관리방안을 제공하는 시스템으로, 정부에서 공공기관을 대상으로 BEMS 설치를 의무화하는 등 보급 확대에 노력을 기울이고 있다. 그러나 BEMS에 대한 낮은 인식, 관련 인력 부재, 기대 이하의 에너지 절감 효과 등으로 예상보다 활성화되지 못하고 있다. 최근에는 에너지 절감 효과를 향상시키기 위한 방안의 하나로 인공지능 기술을 적용하여 건물의 에너지 사용량을 관리하는 지능형 BEMS에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

본 연구에서는 관리자가 경험에 의해 수동으로 제어하는 일반 BEMS와 모든 제어가 알고리즘에 의해 작동으로 가동되는 지능형 BEMS의 에너지 절감 성과를 비교 분석하였다. 본 연구를 위해 4층 규모의 단일건물을 대상으로 일반 BEMS와 지능형 BEMS의 운전 관련 기초 데이터를 수집하였다. 지능형 BEMS의 알고리즘은 냉난방에만 적용되기 때문에 냉난방에너지 사용량 데이터를 수집하여 냉방에너지와 난방에너지로 구분하였고, 냉·난방도일을 활용하여 에너지 절감 성과 분석을 진행하였다. 에너지 절감량은 IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) 등 해외 문헌에서 공통적으로 제시하고 있는 방법에 따라 조정된 베이스라인 에너지 사용량과 실제 사용량의 차이로 산정하였다. 조정된 베이스라인 에너지 사용량 산정은 회귀모델과 에너지원단위를 이용하여 산정하였다.

에너지 절감 성과를 분석한 결과, 회귀모델에 의한 지능형 BEMS의 냉난방 에너지 절감 성과는 30.74%이며, 에너지원단위에 의한 절감 성과는 29.67%로 분석되었다. 회귀모델과 에너지원단위에 의한 에너지 절감 성과가 유사하게 도출된 것은 ISO 50006에서 제시한 바와 같이 대상건물의 냉난방에너지에 포함된 기저사용량이 미미하고, 단일변수를 포함하고 있기 때문인 것으로 분석된다.

에너지총조사 보고서(2015)에 따르면 2,000 toe 이상 건물 기준 전체 에너지 사용량에서 냉난방에너지의 비중은 58.70%이다. 본 연구 결과를 2,000 toe 이상 건물의 전체 에너지 사용량에 적용하면 18.04%(회귀모델 이용 기준)의 에너지 소비 절감 효과를 거둘 수 있는 것으로 추정된다.

본 연구 결과를 바탕으로 건물 타입 별로 특화된 지능형 BEMS를 개발하고 보급할 수 있는 정책을 마련한다면, 국가 온실가스감축 목표 달성에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 지능형 BEMS, 에너지 절감, 에너지원단위, 회귀모델,
건물에너지관리시스템

<목 차>

제1장 서 론

제1절 연구 배경 및 목적	1
제2절 연구 내용 및 범위	3

제2장 이론적 고찰

제1절 건물에너지관리시스템(BEMS)	5
제2절 에너지 절감 성과 분석 지침	9
제3절 선행연구 분석	19

제3장 연구 방법

제1절 대상건물 에너지사용 현황	21
제2절 에너지 절감 성과 분석 방법	27

제4장 에너지 절감 성과 분석

제1절 난방에너지 절감 성과 분석	39
제2절 냉방에너지 절감 성과 분석	45
제3절 냉난방에너지 절감 성과 분석	51

제5장 결 론

제1절 연구 요약	54
제2절 연구의 한계 및 시사점	56

참 고 문 헌	58
---------------	----

Abstract	62
----------------	----

〈표 목차〉

〈표 2-1〉 기술요소별 대표 국내 기업	6
〈표 2-2〉 건물관리시스템과 BEMS의 기술별 주요 기능	7
〈표 2-3〉 BEMS의 기술별 구분	7
〈표 2-4〉 ISO 50001 및 연계 표준	10
〈표 2-5〉 IPMVP 옵션별 대상 프로젝트	14
〈표 2-6〉 IPMVP와 ASHREA Guideline 14 비교	15
〈표 2-7〉 회귀모델의 변동계수(CV) 허용 범위	16
〈표 2-8〉 SEP에서 제시하는 회귀모델의 통계적 유의성 기준	17
〈표 2-9〉 에너지 절감 성과 분석 문헌의 성과지표 및 통계적 기준	18
〈표 2-10〉 BEMS 및 에너지 성과 분석 선행연구	20
〈표 3-1〉 건축물의 에너지이용 용도별 사용량 비중	22
〈표 3-2〉 우리나라 건축물의 업종별 사용량 비중	22
〈표 3-3〉 대상건물의 지능형 BEMS 구축 전후 비교	25
〈표 3-4〉 지능형 BEMS에 적용된 기술	26
〈표 3-5〉 에너지 절감 성과 분석 범위에 포함된 에너지	31
〈표 3-6〉 에너지 절감 성과 분석을 위한 영향인자 수집	33
〈표 3-7〉 에너지 절감 성과 분석 기간	38
〈표 4-1〉 베이스라인 난방에너지 소요량 추정을 위한 회귀모델	39
〈표 4-2〉 회귀모델에 의한 에너지 절감 성과(난방에너지)	41
〈표 4-3〉 베이스라인 난방에너지 소요량 추정을 위한 에너지원단위	42
〈표 4-4〉 에너지원단위에 의한 에너지 절감 성과(난방에너지)	44
〈표 4-5〉 베이스라인 냉방에너지 소요량 추정을 위한 회귀모델	45
〈표 4-6〉 회귀모델에 의한 에너지 절감 성과(냉방에너지)	47

<표 4-7> 베이스라인 냉방에너지 소요량 추정을 위한 에너지원단위	48
<표 4-8> 에너지원단위에 의한 에너지 절감 성과(냉방에너지)	50
<표 4-9> 회귀모델에 의한 냉난방에너지 절감 성과	51
<표 4-10> 에너지원단위에 의한 냉난방에너지 절감 성과	52
<표 4-11> 회귀모델과 에너지원단위에 의한 냉난방에너지 절감 성과	53

〈그림 목차〉

〈그림 1-1〉 연구흐름도	4
〈그림 2-1〉 에너지경영시스템 모델	9
〈그림 2-2〉 에너지 절감 성과 측정	11
〈그림 2-3〉 회귀모델을 이용한 에너지 절감 성과 측정	12
〈그림 3-1〉 ISO 12655에서 최종 에너지소비 구분	21
〈그림 3-2〉 대상건물의 에너지흐름	23
〈그림 3-3〉 대상건물 에너지 사용량	24
〈그림 3-4〉 대상건물 냉온수에너지 사용량	24
〈그림 3-5〉 에너지 절감량 산정	27
〈그림 3-6〉 대상건물의 에너지맵	30
〈그림 3-7〉 냉온수 열량과 외기온도의 관계	33
〈그림 3-8〉 이상치 확인 프로세스	34
〈그림 3-9〉 2층 및 3층 에너지 사용량 Box-plot	35
〈그림 3-10〉 냉·난방도일 Box-plot	36
〈그림 3-11〉 공급수와 환수의 온도차	37
〈그림 4-1〉 회귀모델에 의해 조정된 베이스라인 및 실제 사용량(난방에너지) ..	40
〈그림 4-2〉 에너지원단위에 의해 조정된 베이스라인 및 실제 사용량(난방에너지) ..	43
〈그림 4-3〉 회귀모델에 의해 조정된 베이스라인 및 실제 사용량(냉방에너지) ..	46
〈그림 4-4〉 에너지원단위에 의해 조정된 베이스라인 및 실제 사용량(냉방에너지) ..	49

제1장 서론

제1절 연구 배경 및 목적

신기후체제 관련하여 우리나라는 2030년까지 BAU(Business As Usual) 대비 37% 온실가스감축 목표를 2015년 6월 발표하였다. 국가온실가스감축 목표 달성을 위해 2016년 12월 발전, 산업, 건물 등 8개 부문에 대해 감축 목표와 달성 계획을 포함하고 있는 『2030 국가온실가스감축 기본로드맵』을 발표 하였다. 우리나라 전체 에너지 사용량의 약 24%로 상당한 비율을 차지하고 있는(통계청, 2016), 건물부문 온실가스감축 목표는 35.8백만 톤(BAU 대비 18.1%)으로 발전, 산업 부문에 이어 3번째로 큰 목표를 수립하였다. 건물부문 감축 목표 달성을 위해 건축물 에너지효율등급 인증제도 등 다양한 인증제도와 건축물 에너지 소비 총량제, 공공기관 건물에너지관리시스템(BEMS, Building Energy Management System) 의무화 등의 의무화 정책을 수립하여 시행하고 있다.

BEMS는 건물의 에너지사용을 모니터링하여 최적화된 에너지 관리방안을 제공하는 시스템으로 건물부문 온실가스·에너지 절감의 핵심기술로 주목 받고 있다. 그러나 개념 파악 부족, 낮은 인식, 관련 인력 부재, 기대 이하의 에너지 절감 효과, BEMS 표준 운영가이드 부족 등으로 BEMS가 예상보다 활성화 되지 못하고 있다(한국건설기술연구원, 2015; 중앙대학교 산학협력단, 2017).

최근 4차산업혁명이라는 세계적인 흐름과 이에 대응하기 위한 정부 정책 기조에 따라 BEMS에 인공지능 기술을 적용하여 BEMS에 적용된 문제점을 해결하려는 노력을 진행하고 있다. 대표적으로 건물에너지수요 예측 및 측정기술과 열원 및 설비 시스템을 최적화하여 제어 하고 운영할 수 있는

기술을 의미하는 지능형 BEMS가 있다(중소기업청, 2013).

미국, 독일 등 선진국의 다국적 기업이 BEMS 세계시장을 형성하여 주도하고 있으나, 자동제어 기능과 에너지성능 최적화 프로그램을 모두 갖춘 지능형 BEMS는 선진국도 아직 초기 단계에 있다. 세계 BEMS 시장은 2020년에는 59.2억 달러, 국내 시장은 3,790억 원 규모로 성장할 것으로 예상하고 있어(정보통신산업진흥원, 2014; Navigant Research, 2015), 지능형 BEMS의 시장 선점을 위한 다양한 기술개발 유도 및 시장형성을 위한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 지능형 BEMS를 도입한 건물을 대상으로 에너지 절감 성과를 분석하여 지능형 BEMS의 활용 가능성을 확인한다.

제2절 연구 내용 및 범위

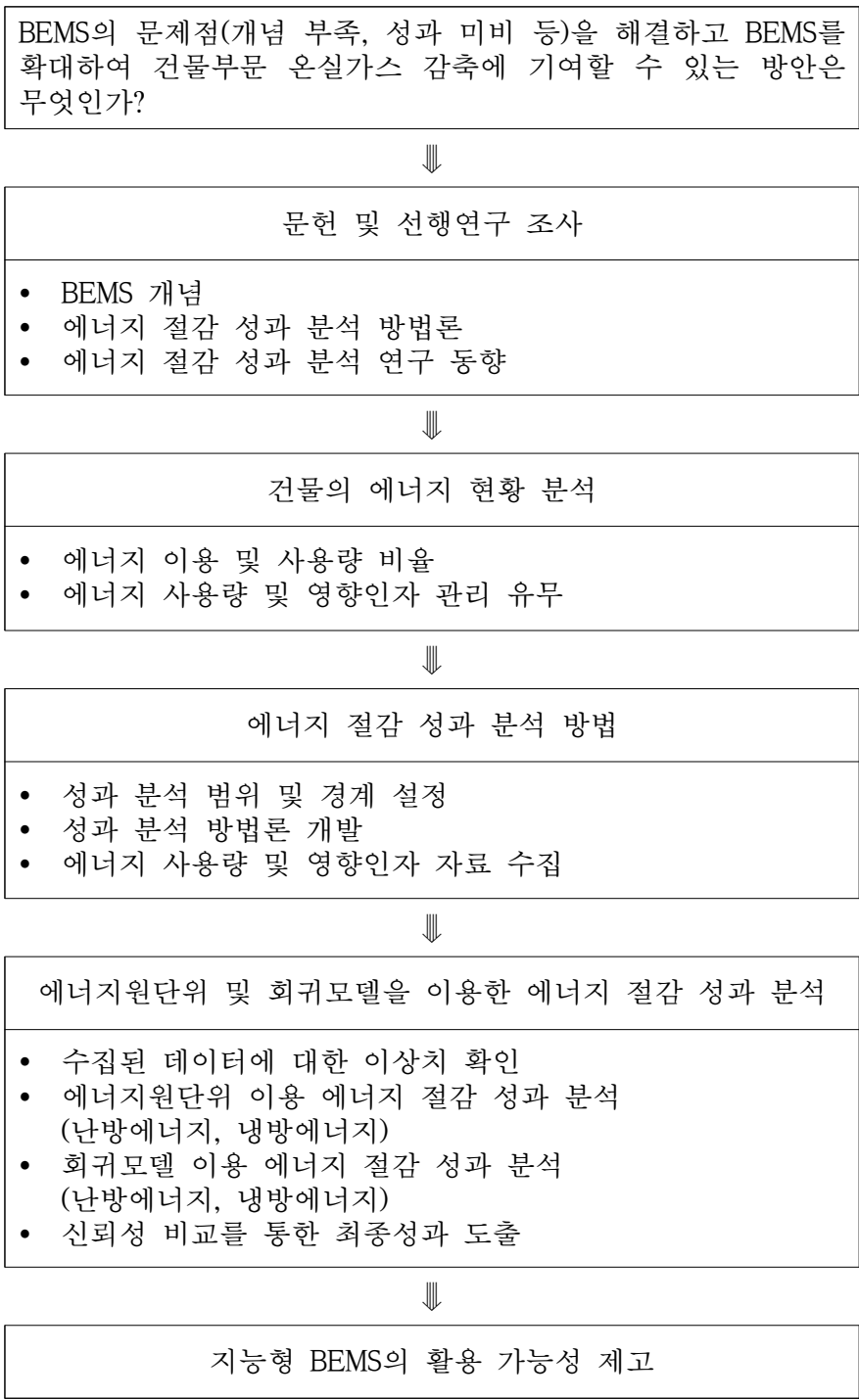
정부는 공공건물에 BEMS 설치를 의무화하는 등 BEMS 보급 및 확대에 노력을 가하고 있으나, 개념 부족 및 기대 이하의 에너지 절감 성과 등으로 예상보다 활성화되지 못하고 있다. 최근 BEMS에 제기된 문제점을 개선하기 위해 자동제어 기능과 에너지성능 최적화 프로그램을 모두 갖춘 지능형 BEMS가 주목받고 있다.

본 연구는 지능형 BEMS를 도입한 H사 4층 규모 사무실 건물을 대상으로 운전 기초 데이터를 수집하여 에너지 절감 성과를 분석한다. 이를 통해 에너지 절감 성과를 도출할 수 있는 BEMS 모델을 확인하여 개념을 확산시키고, 건물부문 온실가스 감축 목표 달성을 위한 지능형 BEMS의 정책적 방향 수립 및 시장 활성화에 기여한다. 전체적인 연구의 진행체계는 <그림 1-1>과 같다.

2장에서는 이론적 고찰을 통해 BEMS 개념, 에너지 절감 성과 분석 관련 지침, 지능형 BEMS 개발 및 에너지 절감 성과 분석에 대한 선행연구를 확인하고 연구 방향을 확립한다.

3장에서 건축물의 에너지 이용, 사용, 계측 현황 등을 확인하여 운영에 대한 기초자료를 수집하고 영향인자, 절감량 산정 방법, 에너지 사용량 조정, 분석 기간 등의 방법을 정의 한다.

4장에서는 정의된 방법에 따라 회귀모델과 에너지원단위를 이용하여 냉난방에너지 절감 성과를 분석하고, 결과에 대한 논의를 바탕으로 지능형 BEMS의 실효성을 확인한다. 이를 통해 정부의 건물부문 온실가스·에너지 감축 정책방향 수립 및 BEMS 개선에 기여한다.



<그림 1-1> 연구흐름도

제2장 이론적 고찰

제1절 건물에너지관리시스템(BEMS)

본 절에서는 각 기관 및 문헌들에서 제시하고 있는 BEMS의 다양한 개념을 확인하고, BEMS의 문제점으로 제시되고 있는 개념정립이 미비한 사유를 논의한다.

「녹색건축물 조성지원법」 제6조의2 제2항 및 KS F 1800-1에서는 “건축물의 쾌적한 실내 환경 유지와 효율적인 에너지 관리를 위하여 에너지 사용 내역을 모니터링하여 최적화된 건축물에너지 관리방안을 제공하는 계획·제어·관리·운영 등이 통합된 시스템”으로 정의하고 있다.

IEA(International Energy Agency)에서는 BEMS를 “컴퓨터를 사용하여 건물관리자가 합리적인 에너지이용이 가능하게 하고 쾌적하고 기능적인 업무 환경을 효율적으로 유지·보전하기 위한 제어·관리·경영시스템”으로 정의하고 있다.

한국에너지공단(2017)에서는 “다양한 계측장비로부터 수집된 데이터를 분석하여 에너지사용 및 설비 성능에 대한 정보를 제공하고 이를 이용하여 최적제어 및 설비 개선을 실시하여 에너지사용을 절감하는 것”으로 개념을 제시하고 있다.

BEMS의 구성요소는 계획, 통신 및 제어, 가시화(모니터링)를 위한 H/W와 분석 및 관리를 위한 S/W로 구성되며 사용자의 요구에 따라 적용 범위 및 기술을 선택 적용할 수 있다. BEMS의 구성요소 별 국내 대표 기업을 정리하면 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 기술요소별 대표 국내 기업

주요 기술요소		대표 기업체
계측	전력량계	- LS산전, 루텍, 음니시스템, 삼성전기, 누리텔레콤, 피에스텍, 미텍, 위지트
	유량계	- 제인테크놀로지, 세창, 우진
	온습도, 조도센서	- 세엽, 한나, 대광계기, 뉴텍, 코넥스
	산업용 특수센서 (압력, 고온, 가스탐지)	- LS산전, 우진계기공업
통신(PLC, Wi-Fi, Zigbee, Serial통신)		- 누리텔레콤, 플레넷, 젤라인, 맥스포, 레이디오펀스, 옥타컴, 맥스포, TSC 시스템
에너지관리 및 분석 SW		- KT, 대우정보시스템, 금호ENG, 오토에버, SKT
제어	건물, 가정용	- LS산전, 삼성전자, LG전자
	산업용	- LS산전, 오토밸브

출처: 국토교통부(2014)

기존 건물관리시스템과 BEMS의 주요 기능을 비교하면 <표 2-2>와 같다. 건물관리시스템은 설비에 대한 상태감시나 단순 제어중심이다. 그러나 BEMS는 에너지 사용 정보를 수집·분석하여 최적화된 관리 및 개선 방안을 제시하고, 이에 따라 사용자가 제어하여 건물이 상시 최적가동상태를 유지되도록 하는 시스템으로 차이가 있다. 또한 건축·기계·전기·신재생 등 건물 에너지와 관련된 고도의 전문지식에 정보통신기술을 접목한다는 점에서 기존 시스템과 차별화된다.

<표 2-2> 건물관리시스템과 BEMS의 기술별 주요 기능

BEMS의 종류	주요기능
BAS (Building Automation System)	- 기계/전기설비, 조명, 방재 등 각종 설비의 상태감시, 운전관리
IBS (Intelligent Building System)	- 설비, 조명, 방재, 승강기 등 건물 내 시스템의 통합관리
BMS (Building Management System)	- 상태감시 및 제어, 주차관제 등 각 설비별 독자 관리, 수선 및 보전 스케줄 관리, 설비대장 및 요금 관리
BEMS (Building Energy Management System)	- 에너지 및 환경의 관리, 건물 에너지 설비 관리 분석, 시설운영 분석, BAS 중앙 시스템 연계 통합 관리

출처: 한국BEMS협회 홈페이지

BEMS는 세부적으로 Active BEMS, Passive BEMS로 구분할 수 있으며, 정의는 <표 2-3>과 같다.

<표 2-3> BEMS의 기술별 구분

종류	주요기능
Active BEMS	- 측정 데이터를 통해 건물에너지를 BEMS 제어 알고리즘에 따라 건축, 열원, 공조, 환기, 조명, 전력 등의 부문을 운영하여 능동적으로 에너지 절감을 유도하는 시스템
Passive BEMS	- 에너지 사용량 및 설비 운영 상태 분석을 통해 설비 운전의 개선 및 절약의식을 고취시키는 방안으로 에너지 절감 방안을 제시하는 시스템

출처: 이태원(2012)

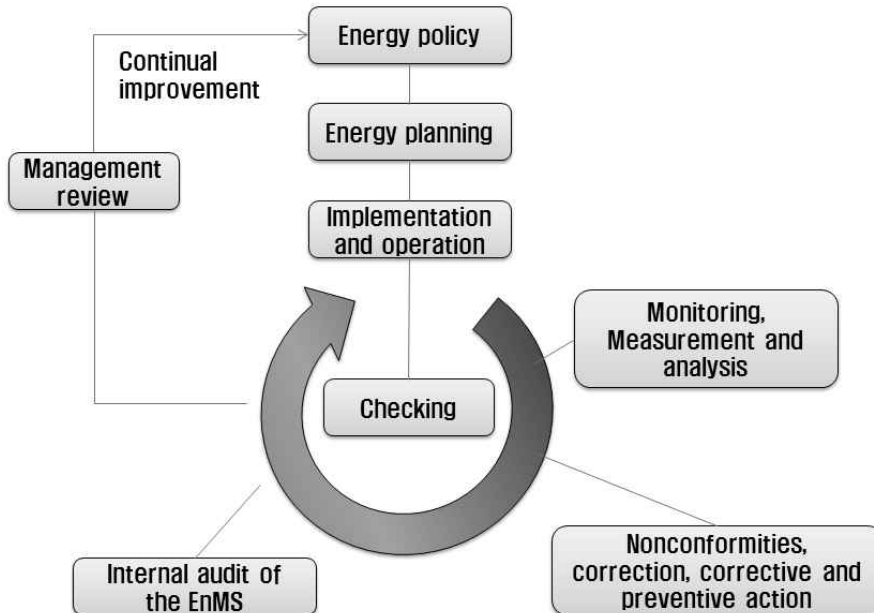
BEMS 개념은 단순 모니터링에서부터 최적운전 정보 제공, 관리자 제어 및 자동 제어까지 개념이 범위가 방대하며, 건물관리시스템과도 겹치는 부분이 있어 그 정의가 모호한 부분이 있다. <표 2-3>에서 제시된 정의에 따르면 본 연구 대상건물에 적용된 지능형 BEMS는 Active BEMS이며, 지능형 BEMS 도입 이전은 Passive BEMS로 정의할 수 있다.

제2절 에너지 절감 성과 분석 지침

본 절에서는 에너지 절감 성과 분석 내용을 포함하고 있는 ISO표준, 지침 등 관련 문헌을 확인한다. 이를 통해 본 연구에 적용될 수 있는 에너지 절감 성과 분석 방법론을 정의 한다.

1. 에너지경영시스템 ISO 표준

에너지경영시스템(ISO 50001) 표준은 <그림 2-1>에 묘사되어 있듯이 계획 - 실시 - 점검 - 조치의 선순환 프로세스에 기초하여 에너지경영을 조직의 일상 활동에 포함하도록 요구하고 있다.



<그림 2-1> 에너지경영시스템 모델

출처: ISO(2011)

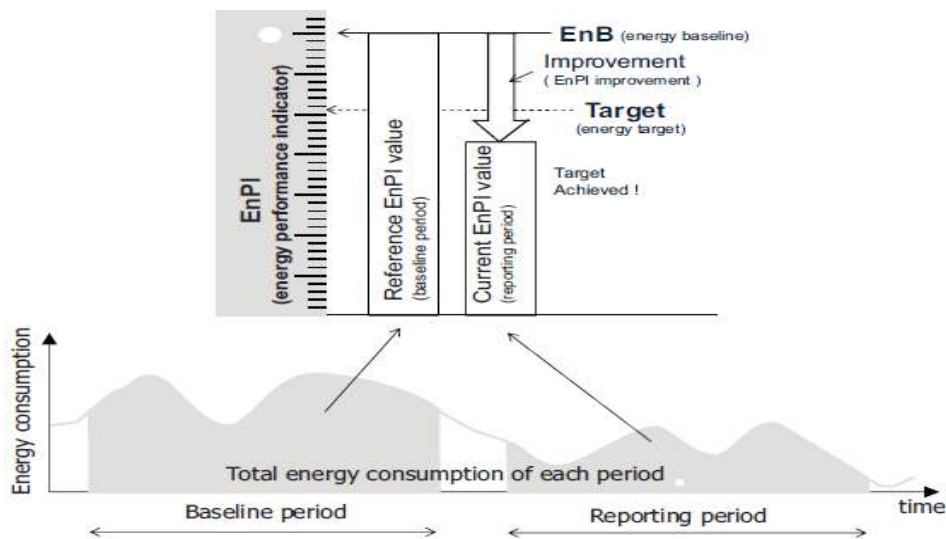
ISO 50001 표준에서 현재 사업장에서 사용되는 에너지 현황을 파악한 후 목표 및 세부목표를 수립하고, 에너지 절감 성과를 평가하는 에너지기획 활동을 가장 중요하게 강조하고 있다. ISO 50001 표준에서 에너지기획을 모두 수용하기 어려워 <표 2-4>와 같이 ISO 50004, ISO 50006, ISO 50015 연계 표준을 개발하여 자세한 가이드를 제시하고 있다.

<표 2-4> ISO 50001 및 연계 표준

연계 표준	주요 내용
ISO 50001 (에너지경영시스템)	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지경영시스템(EnMS)의 요구사항 실행에 대한 지침을 제공 - 에너지경영과 에너지 절감 성과에 있어서 지속적 개선을 달성하기 위하여 그 조직이 체계적 접근 방법을 채택하도록 가이드를 제공
ISO 50004 (에너지경영시스템의 실행, 유지보수 및 개선을 위한 지침)	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지경영시스템(EnMS)의 요구사항을 실행할 때 세부 지침을 제공 - 에너지경영과 에너지 절감 성과에 있어서 지속적 개선을 달성하기 위하여 그 조직이 체계적 접근 방법을 채택하도록 가이드 제공
ISO 50006 (에너지베이스라인 /에너지 성과지표를 이용한 에너지 성과 측정)	<ul style="list-style-type: none"> - 조직에게 에너지 절감 성과 및 에너지 절감 성과 변화를 측정하는데 있어서 에너지 성과지표(EnPIs)와 에너지베이스라인(EnBs)의 수립, 이용 및 유지보수와 관련된 지침을 제공
ISO 50015 (에너지 성과 측정 및 검증의 일반원칙과 지침)	<ul style="list-style-type: none"> - 조직의 에너지 절감 성과 측정, 검증과 개선하는데 사용되는 일련의 공통적 원칙과 가이드 제공

출처: ISO홈페이지 내용 재구성

ISO 50001 연계표준인 ISO 50006에서 조직의 에너지 절감 성과를 측정 및 검증하기 위해 사용되는 베이스라인 및 보고기간에 대한 에너지 성과지표(EnPI, Energy Performance Indicator)¹⁾를 정의하고 있다. <그림 2-2>와 같이 에너지베이스라인(EnB, Energy Baseline) 성과지표와 현재 성과지표의 차이를 개선으로 설명하고 있다.



<그림 2-2> 에너지 절감 성과 측정

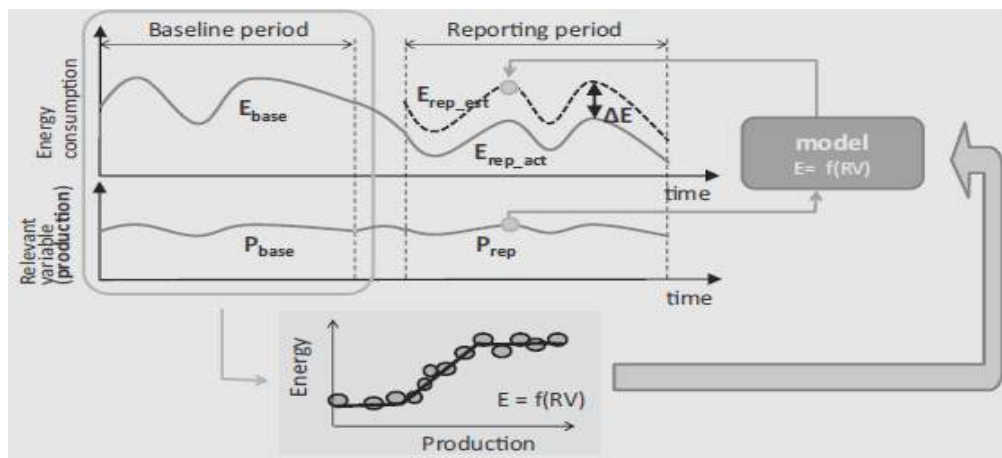
출처: ISO(2014)

ISO 50006에서 에너지 성과지표는 측정된 에너지 값, 에너지원단위, 통계적 모델, 공학적 기반 모델로 유형을 정의하고 있다. 동등한 조건 하에서 두 기간 사이에 에너지 절감 성과를 비교하기 위해서는 EnPI 및 그에 상응하는 EnB는 관련변수를 이용하여 정규화 되어야 한다고 설명하고 있다. 에너지원단위는 유의미한 관련변수가 하나이고 기저사용량이 작은 경우 에너지 사용량을 관련변수로 나눈 원단위가 적용될 수 있다. 다수의 관련변수

1) 에너지 성과의 정략적 수치 또는 측정값으로 정의

또는 기저사용량이 큰 경우 관련변수 사이에 관계를 설명하는 모델이 사용된다(ISO 2014).

에너지 절감 성과는 <그림 2-3>과 같이 정규화된 식을 이용하여 에너지 사용량을 예측하고 예측된 사용량과 실제 사용량의 차이를 비교하여 산정한다(ISO 2014). 사업장에서 아무런 활동이 없을 경우 예측된 사용량과 실제 사용량이 유사하나 에너지절감 활동을 수행하였기 때문에 예측된 사용량보다 실제 사용량이 줄어들고 그 차이를 에너지 절감 성과로 고려하는 것이다.



<그림 2-3> 회귀모델을 이용한 에너지 절감 성과 측정

출처: ISO(2014)

2. 에너지 절감 성과 측정 및 검증 지침

가. 국제적인 에너지 절감 성과 측정 및 검증 지침

IPMVP(International Performance Measurement and Verification Protocol)는 EVO(Efficiency Valuation Organization)에서 발간한 에너지 절감 성과 측정 및 검증 관련 가장 오래된 기준이다²⁾. 에너지, 건물, 신증설로 구분된 측정 및 검증 가이드라인을 발간하였고, IPMVP Volume I(2012)에서는 산업 부문 에너지 절감 성과 측정 및 검증에 관련한 내용을 제시하고 있다. 2016년 10월 International Performance Measurement and Verification Protocol - Core Concepts을 발간하여 핵심 개념들을 요약 설명하고 있으며, 에너지 절감 성과 측정 및 검증에서 통계적 기법을 이전보다 더 강조하고 있다.

IPMVP는 에너지 절감 성과 측정 및 검증 프로세스를 개발하고 실행하기 위하여 여러 옵션을 제시한다. 이러한 옵션들은 측정 경계의 개념과 관련이 있으며, 절감량 산출을 위해 서로 다른 방법을 적용할 수 있다. 각 방법은 에너지 소비량, 수요 및 기타 파라미터에 대한 데이터가 필요하며, 이를 위해 <표2-5>와 같이 4가지 옵션(A, B, C, D)을 제시하고 있다. 옵션 A와 B는 독립된 경계, 옵션 C, D³⁾는 사업장 전체 경계에서 에너지 절감 성과를 측정 및 검증하는 방법을 설명한다.

2) 1993년에 초판이 발행

3) 옵션 D는 독립된 경계와 전체 경계 모두 적용이 가능함

<표 2-5> IPMVP 옵션별 대상 프로젝트

구 분	적용 가능 사업 유형
Option A: Retrofit Isolation, 주요변수 측정	<ul style="list-style-type: none"> - 절감량이 작고, 독립변수 및 미지수가 제한된 프로젝트 - 에너지저감 불가능에 대한 위험도가 낮은 프로젝트 - 상호영향효과를 무시하거나 약정하는 프로젝트
Option B: Retrofit Isolation, 전체변수 측정	<ul style="list-style-type: none"> - 단순 기기 대체 프로젝트 - 개별 방안별 에너지 절감량 산정이 필요한 프로젝트 - 상호영향효과를 무시하거나 약정하는 프로젝트 - 독립변수들이 복합적이지 않은 프로젝트
Option C: 전체시설	<ul style="list-style-type: none"> - 복합프로젝트 - 개별 방안별 에너지 절감량 산정이 필요 없는 프로젝트 - 기대 절감량이 실제 절감량보다 큰 프로젝트 - 상호영향효과를 포함하는 프로젝트 - 변수가 복합적이지 않고 모니터링하기 용이한 프로젝트
Option D: Calibrated 시물레이션	<ul style="list-style-type: none"> - 신규건물, 활동별 에너지 절감량이 요구되는 프로젝트 - Option C 로 비용효과적인 평가가 어려운 방안 - 복합적인 베이스라인 조정이 예상되는 프로젝트 - 베이스라인 측정자료 부재 또는 자료수집 비용이 높은 프로젝트

출처: EVO(2016)

IPMVP 옵션C에서 ISO 50006에서 설명했던 회귀모델을 활용하여 예측된 에너지 사용량을 이용한 에너지 절감량 산정 개념이 동일하게 설명되고 있다.

나. 공조냉동공학회 가이드

ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating & Air Conditioning Engineers) Guideline 14는 미국 냉난방공조 기술자학회에서 제공하는 M&V 가이드라인이다.

ASHRAE Guideline 14는 에너지절약성능 계약시 에너지 절감 성과 측정을 통해 에너지 및 수요 절감을 계산하기 위한 참고 자료다. 이 가이드는 기기장비 및 데이터 관리 방법과 측정 및 모델링의 불확실성을 설명하기 위한 방법론을 설명하고 있다. 이 가이드에서는 <표 2-6>과 같이 M&V를 위한 3가지 접근법을 제시하고 있으며, 이는 IPMVP에서 제공하는 Option들과 관련이 있다.

<표 2-6> IPMVP와 ASHREA Guideline 14 비교

IPMVP	ASHRAE 14	내 용
Option C ↔	Whole Building	- 예상 절감량이 10% 이상 - 완벽한 데이터 요구
Option A&B ↔	Retrofit Isolation	- 개별/서브시스템들의 Retrofit 전후의 에너지 사용 및 수요 파악 시 사용 - Retrofit 전후 특정한 시설의 에너지 사용을 지속적으로 측정해야 함
Option D ↔	Whole Building Calibrated	- 시뮬레이션 프로그램으로 Retrofit 후, 건물에너지 사용 및 수요 예측 시 사용 - Retrofit 전 상태의 Whole-building을 모델링 → 실제 측정한 에너지 소비/수요 데이터를 반영하여 모델링 수정 → Retrofit 후의 건물 에너지 사용/수요예측

출처: ASHRAE(2002)

불확도는 측정 불확도와 모델 불확도로 구분할 수 있으며, 항상은 아니지만 일반적으로 모델 불확도가 더 중요하다. 모델 불확도에 대한 기준으로 가장 일반적으로 사용되는 기준은 Reynolds and Fels (1988)가 제시한 기준이다. 이 기준에서는 회귀모델의 R^2 가 0.7이상인 모델을 고려하고 있으며, <표 2-7>과 같이 모델의 변동계수(CV⁴)의 허용 범위를 제시하고 있다.

<표 2-7> 회귀모델의 변동계수(CV) 허용 범위

데이터 수집 주기	변동계수(CV) 기준
월주기	15%
시간주기	30%

출처: ASHRE(2002)

4) Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error

다. 미국의 에너지 절감 성과 측정 및 검증 지침

SEP(Superior Energy Performance) 에너지 절감 성과 측정 및 검증 지침은 에너지 절감 성과가 우수한 사업장에게 인증서를 발급해주는 제도 시행을 위해 마련된 규정이다. 이 규정에서는 회귀모델을 이용하여 에너지 절감 성과를 평가하는 구체적인 방법론 및 Tool⁵⁾을 제시하고 있다.

SEP M&V Protocol은 IPMVP의 옵션 C를 매우 구체화한 M&V 기준이다. IPMVP, FEMP, ASHRAE Guideline 14 등이 데이터를 이용하여 에너지 절감 성과를 평가하는 이론과 개념적인 방법만을 제시했다고 한다면, SEP M&V Protocol은 에너지 절감 성과를 평가하는 구체적인 지침 및 Tool을 제시하고 있다.

SEP M&V Protocol에서 제시하고 있는 회귀모델의 통계적인 유의성 기준은 <표 2-8>과 같다.

<표 2-8> SEP에서 제시하는 회귀모델의 통계적 유의성 기준

지표	회귀모델의 통계적 유의성 기준
R ²	> 0.5
P-value (T-test)	< 0.2 (적어도 하나의 변수는 <0.1)

출처: U.S. Department of ENERGY(2012)

5) LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory)에 의뢰하여 Measurement and Verification Protocol for Industry 및 EnPI(Energy Performance Indicator) Tool을 개발

라. 에너지 절감 성과 측정 및 검증 문헌 비교

성과 측정 및 검증 문헌을 <표 2-9>에서 비교하였다. 성과지표는 에너지 원단위, 회귀모델 등 다양한 성과지표의 사용을 제시하고 있으며, 회귀모델 이용시 R²에 대한 통계적 유의성 기준을 다양하게 제시하고 있다. 에너지 절감 성과 분석 방법은 서로 다른 환경조건을 동등하게 맞추기 위해 조정된 베이스라인 에너지 사용량을 산정하고 이를 보고기간 실제 사용량과 비교하여 에너지 절감량을 산정하는 방법을 제시하고 있다.

<표 2-9> 에너지 절감 성과 분석 문헌의 성과지표 및 통계적 기준

문헌	에너지성과지표	회귀모델의 R ² 기준	데이터 수집 주기
ISO 50006	에너지원단위, 회귀모델	0.75 ⁶⁾	12개월
IPMVP	회귀모델	0.75	적절한 주기
ASHRAE	에너지원단위, 회귀모델	0.7	월, 일 주기
SEP	회귀모델	0.5	12개월

6) R²기준을 직접적으로 제시하고 있지는 않으나, 참고 페이지에서 0.75 이상일 때 상관성이 높은 것으로 설명

제3절 선행연구 분석

본 절에서는 BEMS와 에너지 절감 성과 분석에 대한 연구를 살펴보고 연구 동향 및 시사점을 확인 한다.

문기영(2016)은 BEMS 운용에 따라 23.5%의 에너지 절감 성과를 도출한 것으로 확인하였으나, 실제 사용량 데이터를 분석한 것이 아니라 이론적으로 산정한 결과를 제시하여 한계점이 있다. 이용수(2014) 에너지이용 특성 별로 공간을 나누고 에너지관리시스템을 설치하여 에너지 사용량을 예측하고 제어하여 기존환경 대비 7~8%의 에너지 절감 성과를 도출하였다. 그러나 이 연구에서도 에너지 절감 성과 도출 과정 및 근거는 명확히 제시되지 않고 있다.

천세환(2012)은 다양한 제어기술에 대해서 시뮬레이션 값을 이용하여 에너지 절감 성과를 도출하였으며, 임인혁·이용신·이명주(2014) 역시 시뮬레이션 값과 실제 값을 비교하여 절감량을 도출 하였다. 시뮬레이션 값을 이용하면 다양한 환경에서 에너지 사용량을 반영할 수 있으나 과대 설계 등의 이유로 실제 운영을 반영하지 못할 수 있어 한계가 있다.

곽노열(2013)은 AHP방법을 활용하여 각 기술별 가중치를 고려한 건물 전체의 절감 지표를 도출하였다. 이는 정량적인 에너지 절감 성과 측면 보다는 비교 지표로 에너지 절감 성과를 대변하기에는 한계가 있다.

한국건설기술연구원(2015)은 5개년 동안 수행 예정인 에너지 절약 30% 이상인 지능형 건물관리시스템 개발 R&D과제를 수행하고 있다. 이 연구에서는 IPMVP에서 제시하고 있는 다양한 성과분석 방법론을 고려하고 있으나, 실증이 수행되지 않아 세부적인 에너지 절감 성과 분석 방법론은 제시되지 않았다.

송재형(2012)는 난방도일(HDD, Heating Degree Day)와 냉방도일(CDD, Cooling Degree Day)를 활용하여 건물성능지표를 도출하였으며, 냉·난방도일은 부하 변화가 크지 않은 건물에서는 적용이 용이함을 확인하였다.

BEMS와 에너지 절감 성과 분석 선행연구를 확인할 결과 <표 2-10>과 같이 연구의 초점이 기술 개발에 맞춰져 있어 에너지 절감 성과 분석 내용이 빈약하거나, 이론 혹은 시뮬레이션을 이용하여 분석을 진행하고 있다.

<표 2-10> BEMS 및 에너지 성과 분석 선행연구

연구자	내용	비고
송재형(2012)	- 냉·난방도일을 활용하여 건물 성능지표를 도출	- 냉·난방도일의 활용가능성 확인
천세환(2012)	- 제어기술에 대해서 시뮬레이션을 이용하여 에너지 성과를 도출	- 운영 단계 실제 성과확인에 한계 존재
곽노열(2013)	- AHP를 활용 기술별 가중치를 고려한 건물의 절감 지표 도출	- 성과지표가 아닌 비교 지표 도출
이용수(2014)	- 사용량을 예측하고 제어하여 7~8%의 에너지 성과를 도출	- 절감량 산정 과정과 근거 미제시
임인혁 등 (2014)	- 시뮬레이션 값과 실제 값을 비교하여 절감량을 도출	- 운영 단계 실제 성과확인에 한계 존재
한국건설기술연구원(2015)	- 에너지 절약 30% 이상인 지능형 건물 관리 시스템 개발	- 기술개발 단계로 성과 미제시
문기영(2016)	- BEMS 운용에 따라 23.5% 에너지 성과를 도출	- 이론식으로 에너지 절감량을 도출하여 한계 존재

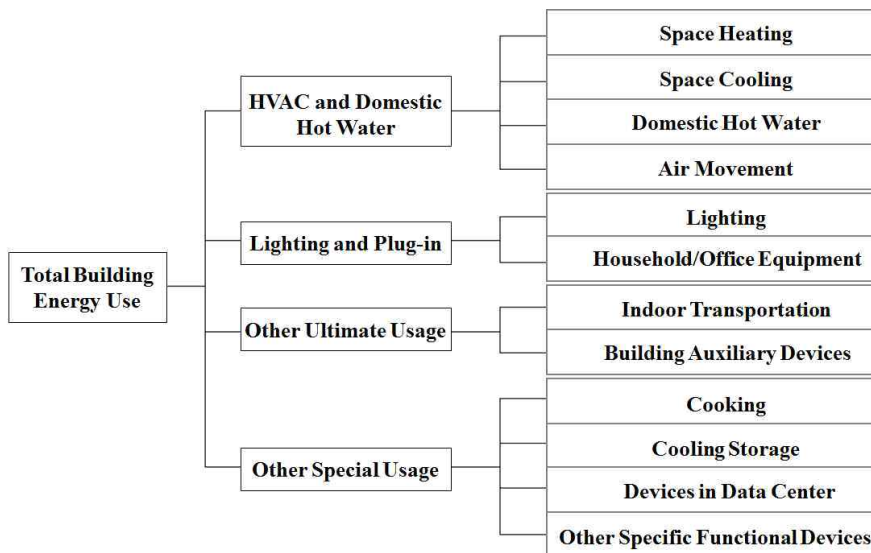
미국은 EVO에서 1993년 성과 측정 및 평가의 대표적인 문헌인 IPMVP를 발간한 이래 지속적으로 실제 운전 데이터를 이용한 에너지 절감 성과 분석 연구가 이루어지고 있는 반면 국내의 연구는 아직 미미한 실정이다. BEMS의 확산, 건물부문 온실가스 감축 정책 수립 및 목표 달성 기여를 위해서는 실제 운영 데이터를 활용하여 타당한 방법론에 따라 에너지 절감 성과 분석 연구를 실시할 필요가 있다.

제3장 연구 방법

제1절 대상건물 에너지사용 현황

1. 건축물 에너지사용 현황

국내의 건축물 에너지효율등급 인증제와 건축물 에너지소비총량 제도에
서는 에너지효율등급 부여와 에너지소비 총량 산출을 위한 건축물의 에너
지소요량을 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기로 분류하고 있다. ISO 12655⁷⁾에서
는 <그림 3-1>과 같이 건축물의 에너지 사용량을 난방, 냉방, 급탕, 환기(Air
movement), 조명, 가전/사무기기, 승강, 보조설비, 취사 등으로 분류하고 있다.



<그림 3-1> ISO 12655에서 최종 에너지소비 구분

출처: ISO(2013)

7) 건축물 에너지 사용량 계측과 처리 및 표시에 관한 국제 표준

건축물 에너지이용 용도별 사용량 비중은 <표 3-1>과 같으며, 냉난방 및 온수가 건축물 전체 에너지 사용량의 58.70%를 사용하고 있다. 동력 에너지 사용 역시 냉온수 이송 펌프에서 상당한 에너지가 사용되는 것으로 감안하면 냉난방 및 온수와 관련된 에너지 사용량의 비중은 더 증가할 것이다.

<표 3-1> 건축물의 에너지이용 용도별 사용량 비중

건축물 에너지이용 용도	에너지이용 용도별 에너지사용 비중(%)
난방·온수	34.50
냉방	24.20
동력	10.30
조명	11.90
취사·기타	19.20

출처: 산업통상자원부(2015) 재정리

우리나라 전체 업종별 소비구조를 보면 <표 3-2>와 같이 숙박 및 음식점업의 에너지 소비 비중이 가장 높은 것으로 나타났다. 다음으로는 공공서비스(22.5%), 도매 및 소매업(22.2%)의 순이다.

<표 3-2> 우리나라 건축물의 업종별 사용량 비중

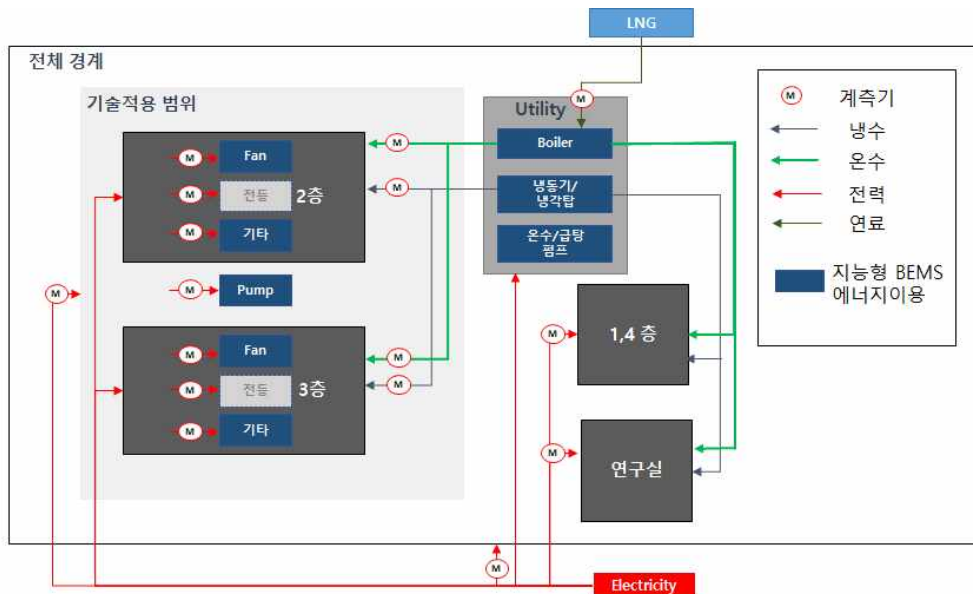
구분	에너지 사용량(toe)	에너지 사용 비중(%)
도매 및 소매업	4,211	22.20
숙박 및 음식점업	5,232	27.60
사회서비스	2,657	14.00
공공서비스	4,273	22.50
예술 및 기타	2,592	13.70

출처: 산업통상자원부(2015) 재정리

2. 대상건물 에너지사용 현황

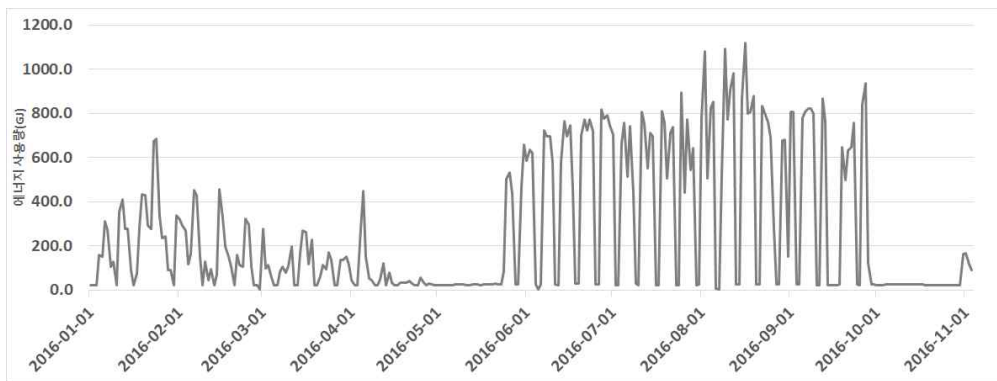
대상건물은 4층으로 이루어진 사무용 단일 건물이며, 외벽이 유리로 되어 있다. 각 층별 용도를 살펴보면 1층은 로비, 4층은 회의실 및 강당, 2층과 3층은 업무용 사무실로 사용되고 있다. 에너지이용은 <그림 3-2>와 같이 크게 공조, 전등, 기타로 구분된다. 건물의 공조를 위해 기계실에서 전력과 LNG를 이용하여 냉수 및 온수를 생산하여 각 층에 공급함으로써 냉방 및 난방을 실시한다. 각 층에 공급되는 냉수 및 온수는 계측이 되며, 각 층의 전력은 용도별로 구분이 된다.

지능형 BEMS는 2,3층 사무실에 적용되었으며, 기술적용 범위에 사용되는 에너지는 공조 Fan, 펌프에 사용되는 전력과 냉/온수이다. 그 외 2,3층 전등에서 사용되는 전력이 있으나, 지능형 BEMS에서 공조가 자동 제어에서 직접 관리 되지 않기 때문에 지능형 BEMS와는 관련이 없다.



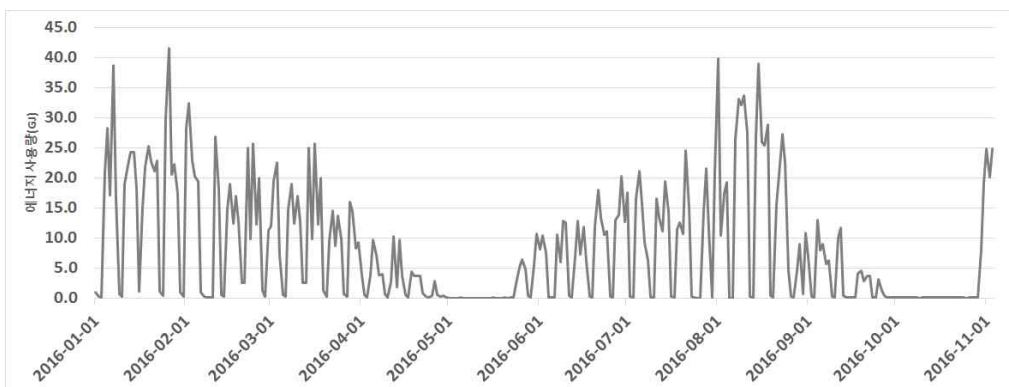
<그림 3-2> 대상건물의 에너지흐름

대상건물 전체의 에너지 사용량은 <그림 3-3>과 같이 겨울철과 여름철 난방과 냉방에 에너지 사용량이 많으며, 5월 및 10월 환절기 때는 에너지 사용량이 급감하고 있다.



<그림 3-3> 대상건물 에너지 사용량

대상건물의 냉난방을 위해 생산하는 냉온수에너지 사용량은 동하절기 기준 전체 에너지 사용량의 약 20%를 차지하고 있다. 전체 에너지 사용량 패턴과 동일하게 <그림 3-4>와 같이 5월 및 10월 환절기 때는 에너지 사용량이 급감하고 있다.



<그림 3-4> 대상건물 냉온수에너지 사용량

3. 지능형 BEMS 적용기술

에너지 절감 성과분석 대상 범위인 2,3층 사무공간은 <표 3-3>과 같이 지능형 BEMS 구축이전 BEMS에서 수집된 데이터를 이용하여 관리자가 경험에 의해 수동으로 제어를 실시하고 있었다. 지능형 BEMS 구축 이후 모든 제어가 설정된 조건에 따라 알고리즘에 의해 자동으로 가동된다. 유사한 조건에서 에너지 절감 성과 분석을 진행하기 위해 기존 운영과 지능형 BEMS 운영을 번갈아가며 실행하다 2016년 9월 4일부터 지능형 BEMS운전을 계속하고 있다.

<표 3-3> 대상건물의 지능형 BEMS 구축 전후 비교

구분	기존 운영(일반 BEMS)	지능형 BEMS
제어 종류	- 절전제어, CO ₂ 제어, 가동정지, 기동시작	- 스케줄제어, 절전 제어, 엔탈피제어, CO ₂ 제어, 최적기동제어, 최적정지 제어, 나이트 퍼지제어
운영 방법	- 스케줄에 의한 제어 설정 - 관리자 경험에 의한 제어	- 설정값(기준온도, CO ₂ 농도, 운전시간)에 따라 제어 알고리즘의 자동 선택
기간	- 2016.01.01. ~ 2016.08.21. 중 화요일, 목요일 - 2016.08.22.~2016.09.03. 전 기간	- 2016.01.01. ~ 2016.08.21. 중 월요일, 수요일, 금요일 - 2016.09.04. 이후 계속 운영
대상	- 2층, 3층	

지능형 BEMS에서 적용된 제어의 세부 내용은 <표 3-4>와 같다. 스케줄 제어부터 최적정지제어까지 모든 제어가 알고리즘에 따라 우선순위에 의해 자동으로 가동된다. 최적기동 및 정지는 외기조건에 따라 학습을 통해 최적시간을 산출하여 자동으로 구현된다.

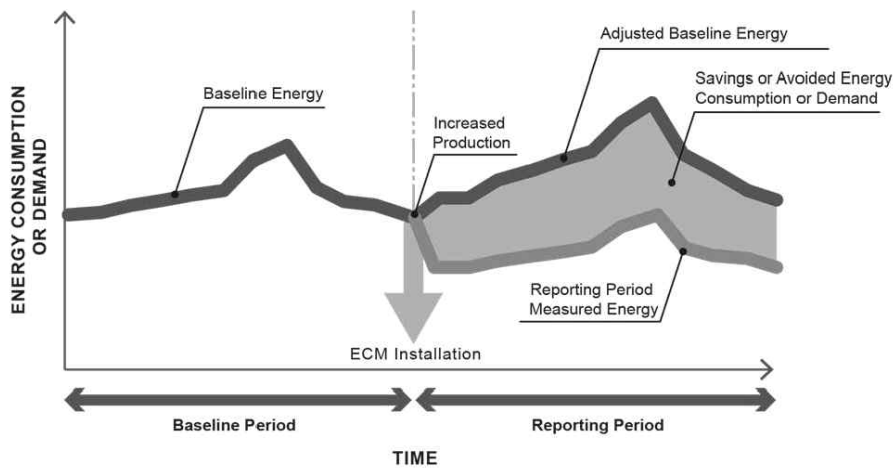
<표 3-4> 지능형 BEMS에 적용된 기술

기 술	개 요
스케줄제어	- 미리 설정해둔 스케줄에 따라 공조기의 가동여부를 결정하는 제어
절전 제어	- 건물의 축열 효과를 이용하여 실내 쾌적성을 악화시키지 않은 상태에서 공조기를 일정시간단위로 강제 정지시키는 제어
엔탈피제어	- 실내외 공기의 엔탈피를 비교하여 외기 엔탈피가 유리할 때 최대한 많은 양의 외기를 도입하여 실내 냉방을 함으로써 냉방부하를 절감하는 제어
CO ₂ 제어	- 실내의 CO ₂ 농도를 검출하여 적정 CO ₂ 농도(1000 ppm이하 유지)로 유지할 수 있도록 적절한 환기를 시켜주는 제어
최적기동제어	- 출근시간에 실내온도가 목표온도에 도달하도록 공조기를 미리 작동시키는 제어
최적정지제어	- 건물의 축열 효과를 활용하여 퇴근 시간 전 미리 난방을 정지시키는 제어

제2절 에너지 절감 성과 분석 방법

1. 에너지 절감량 산정

2장 이론적 고찰에서 에너지 절감 성과 분석 문헌 및 제도를 살펴본 결과 에너지 절감 성과 분석에 대부분 원단위, 회귀모델의 방법론을 사용하고 있다. ISO(2014), EVO(2016), ASHRE(2002), DOE(2012)에서 공통적으로 에너지 절감량은 조정된 베이스라인 에너지 사용량에서 실제 에너지 사용량의 차이로 설명하고 있다. 이를 그림으로 표현하면 <그림 3-5>와 같으며, 식으로 표현하면 식 (1)과 같다.



<그림 3-5> 에너지 절감량 산정

출처: EVO(2016)

$$ES = AJ_{BL} - MS_{RE} \pm Non_R \quad (1)$$

여기서,

ES : 에너지 절감량

AJ_{BL} : 조정된 베이스라인 에너지 사용량 (원단위 혹은 회귀모델로 추정된 에너지 사용량)

MS_{RE} : 측정된 보고기간 에너지 사용량

Non_R : 비일상적인 조정 (ISO 50015에서 제품, 교대조, 건물 연면적 변화 등 성과분석 기간 동안 에너지이용에 특별한 변화를 설명하기 위하여 에너지베이스라인에 취해지는 조정)

본 연구에서 에너지원단위와 회귀모델을 이용하여 조정된 베이스라인 에너지 사용량을 산정한다. 조정된 베이스라인 에너지 사용량을 지능형 BEMS 구축 이후 실제 사용량과 비교하여 에너지 절감량을 산정한다. 오차의 크기를 비교하기 위해 식 (2)와 식 (3)을 적용하여 변동계수(CV, Coefficient of variation of the root mean squared error)를 산정한다. 식 (3)의 표준 오차(SE, Standard Error)와 t-table을 이용해 식 (4), 식 (5)와 같이 절대 및 상대 정밀도를 산정한다(EVO 2014).

$$\text{변동계수(CV)} = \frac{SE}{\hat{Y}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{표준오차(SE)} = \sqrt{\frac{\sum(\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n-p-1}} \quad (3)$$

$$\text{절대정밀도(GJ)} = \pm t \times SE \quad (4)$$

$$\text{상대정밀도(\%)} = \pm \frac{t \times SE}{\hat{Y}} \times 100 \quad (5)$$

여기서,

Y_i : 실제 측정된 에너지 사용량

\bar{Y} : 실제 측정된 에너지 사용량의 평균값

\hat{Y}_i : 선형회귀모형으로 추정된 에너지 사용량

n : 샘플의 개수

ρ : 선형회귀모델의 독립변수의 개수. 즉, 독립변수의 개수

t : t-table로부터 얻은 임계값 (본 연구에서는 신뢰수준 95%를 적용)

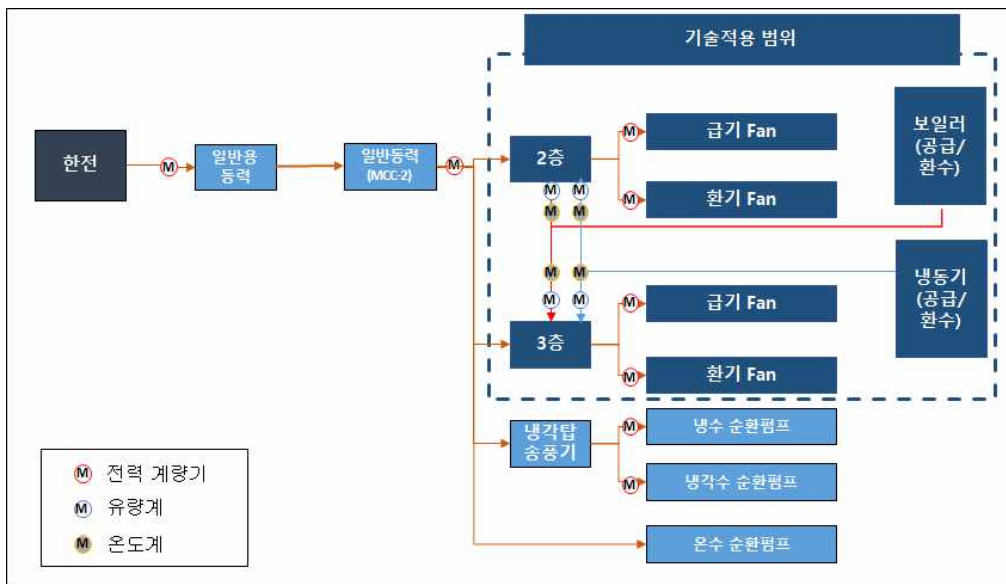
권순필·김서영(2009)은 변동계수(CV)는 25% 이하를 사용하는 것으로 알려져 있으며, 분야 전문가들의 의견을 빌리면 경우에 따라 30%까지도 사용 가능하다고 설명하고 있다. 본 연구에서도 확인된 논문을 참고하여 CV 25% 이하를 기준으로 설정하였다.

ISO 50006에서 회귀모델의 타당성은 P-Value, R^2 를 사용하여 결정할 수 있다고 제시하고 있어 본 연구에서도 회귀모델의 타당성을 P-Value, R^2 를 사용하여 확인한다. 통계적 기준은 가장 구체적인 기준이 제시되어 있는 SEP M&V 프로토콜⁸⁾에 따라 R^2 0.5 이상, P-value 0.1이하로 기준을 설정하였다.

8) SEP(Superior Energy Performance) Measurement and Verification 프로토콜은 에너지 절감 성과가 우수한 사업장에게 인증서를 발급해주는 제도의 시행을 위해 마련된 규정으로 회귀모델을 이용하여 에너지 절감 성과를 분석하는 구체적인 방법론을 제시

2. 에너지 절감 성과 분석을 위한 에너지 사용량 자료수집

가용한 데이터 확인을 위해 대상건물의 에너지 흐름을 맵 형태로 조금 더 자세히 그려보면 <그림 3-6>과 같다.



<그림 3-6> 대상건물의 에너지맵

지능형 BEMS의 적용범위는 2층, 3층 냉방 및 난방에 해당하기 때문에 해당 범위에 투입되는 에너지는 전력, 냉수, 온수가 있다.

급기 및 환기 Fan에 이용되는 전력은 2층과 3층이 분리계측 되며, 보일러 및 냉동기에서 생산되어 공급되고 환수되는 냉수 및 온수의 온도 및 유량이 측정된다. 유량 및 공급 환수 온도 차를 이용하여 2층, 3층에서 사용되는 열량을 계산한다. 기술적용 범위에 투입되는 모든 에너지를 정리하면 <표 3-5>와 같으며, 해당 에너지 사용량 자료를 2016년 1월 1일부터 9월 30일까지 273일 간의 일 데이터를 수집하였다.

<표 3-5> 에너지 절감 성과 분석 범위에 포함된 에너지

구분	내용	비고	주기	수집 기간
분석 에너지원	전력	Fan(급기/환기)	일	- 2016.01.01.~2016.09.30.
	온수	온도 및 유량 (공급/환수)	일	
	냉수			

전력 및 냉온수 모두 2,3층 사무실의 냉난방을 위해 사용되기 때문에 전력과 냉온수를 열량(GJ)단위⁹⁾로 합산한 에너지에 대해서 절감 성과 분석 연구를 진행한다.

9) 전력은 에너지법시행규칙 별표에 제시된 전기(소비기준) 0.0096GJ/kWh 적용
 온수 열량(GJ) 산정은 공급온도[°C]-환수온도[°C]×유량[m³/h] × 환산계수(4.1868×10⁶)
 냉수 열량(GJ) 산정은 환수온도[°C]-공급온도[°C]×유량[m³/h] × 환산계수(4.1868×10⁶)

3. 에너지 절감 성과 분석을 위한 영향인자 자료수집

노병일(2015)은 ASHRAE에서 정의하고 있는 일별 도일법(Daily degree-days method)을 적용하여 공동주택단지의 난방에너지 사용량을 예측하였다. 송재형(2012)은 건물에너지 성능지표를 도일법을 이용하여 제시하고 있다.

도일법은 기준온도 이상 및 이하에서 냉난방이 가동되는 것을 고려하여 계산하는 방법으로 일평균 외기온도와 기준온도의 차를 적산하여 계산한다. 일별 도일법을 활용한 난방도일의 계산은 식 (6)을 활용하며, 냉방도일은 식 (7)을 활용한다.

$$\text{난방도일} = (1\text{day}) \sum_{\text{days}} (\theta_b - \bar{\theta}_{o,d})^+ \quad (6)$$

$$\text{냉방도일} = (1\text{day}) \sum_{\text{days}} (\bar{\theta}_{o,d} - \theta_b)^+ \quad (7)$$

여기서,

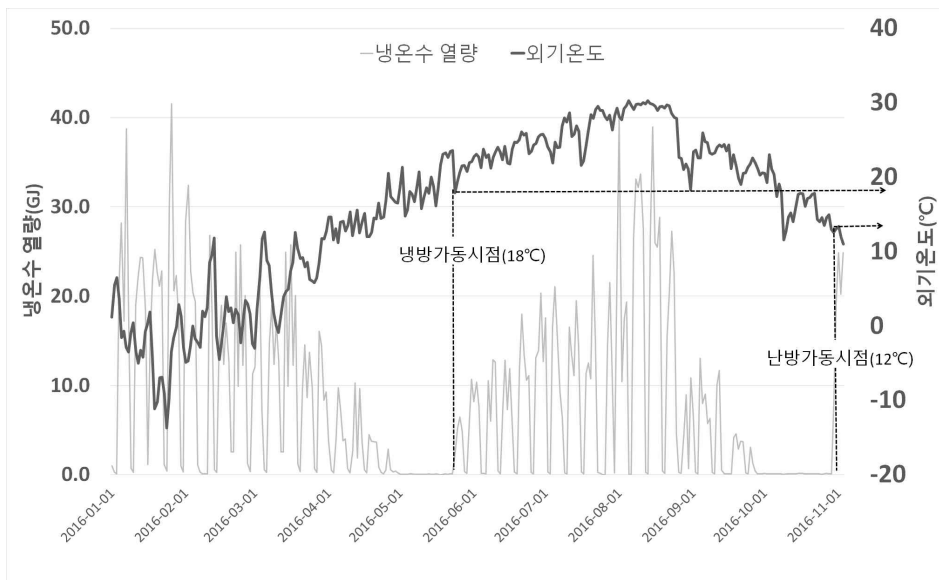
θ_b : 기준온도(°C)

$\bar{\theta}_{o,d}$: 일평균 외기온도(°C)

본 연구에서 지능형 BEMS 적용 범위는 냉난방에너지로 사용량은 외기온도에 영향을 많이 받아 냉·난방도일을 주요 영향인자로 고려한다.

냉·난방도일을 산정하기 위해 사용되는 외기온도는 대상 건물 백업상에서 측정되어 시스템으로 관리되고 있는 데이터로 2016년 1월 1일부터 9월 30일까지 데이터를 수집하였다. 냉·난방도일의 기준온도 설정을 위해 <그림 3-7>과 같이 냉온수 공급 열량과 외기온도의 사용 패턴을 분석하였다. 냉수는 외기온도가 18°C 이상 되는 시점에서 공급되며, 온수는 12°C 이하 되

는 시점에서 공급되고 있어 해당온도를 기준온도로 설정하였다. 해당기준온도는 건물의 실내 관리온도인 겨울철 22℃, 여름철 26℃와는 약 10℃의 차이가 있었다.



<그림 3-7> 냉각수 열량과 외기온도의 관계

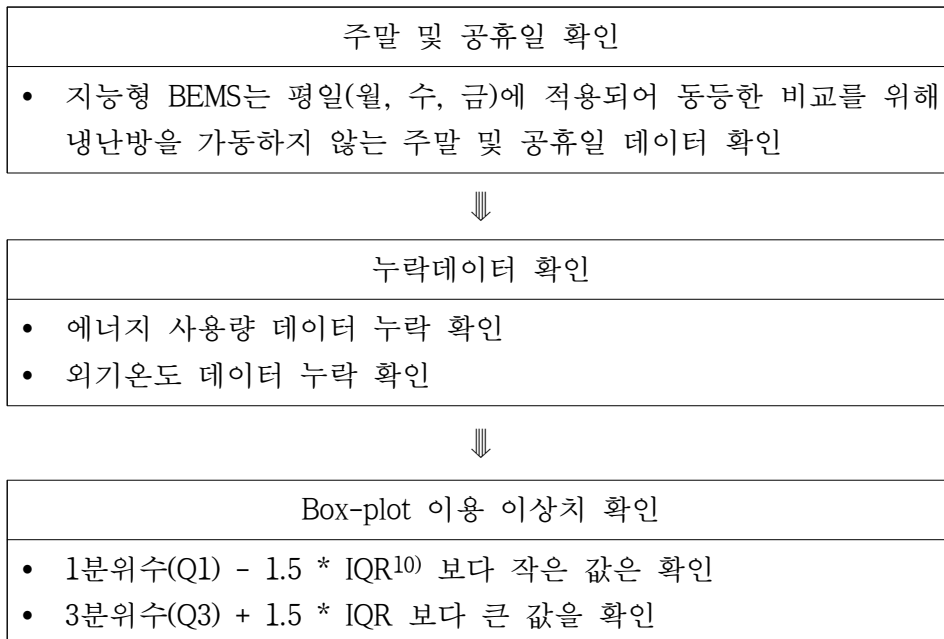
분석된 결과를 바탕으로 <표 3-6>과 같이 영향인자 자료를 수집하였다.

<표 3-6> 에너지 절감 성과 분석을 위한 영향인자 수집

구분	내용	비고	주기	수집 기간
영향인자	평균기온	자체 관리 데이터	시간	2016.01.01.~ 2016.09.30
	냉방도일	18℃를 기준으로 산정	일	
	난방도일	12℃를 기준으로 산정	일	

4. 에너지 사용량과 영향인자 자료의 신뢰성 확인 및 처리

수집된 에너지 사용량 및 영향인자 자료의 신뢰성 확인을 위해 <그림 3-8>과 같은 과정을 수행하였다. 냉난방이 가동되지 않는 주말 및 공휴일 데이터를 확인한다. 다음 단계로 누락된 데이터가 있는지 확인한 후 Box-plot을 이용하여 전체적으로 이상치가 있는지 확인한다.



<그림 3-8> 이상치 확인 프로세스

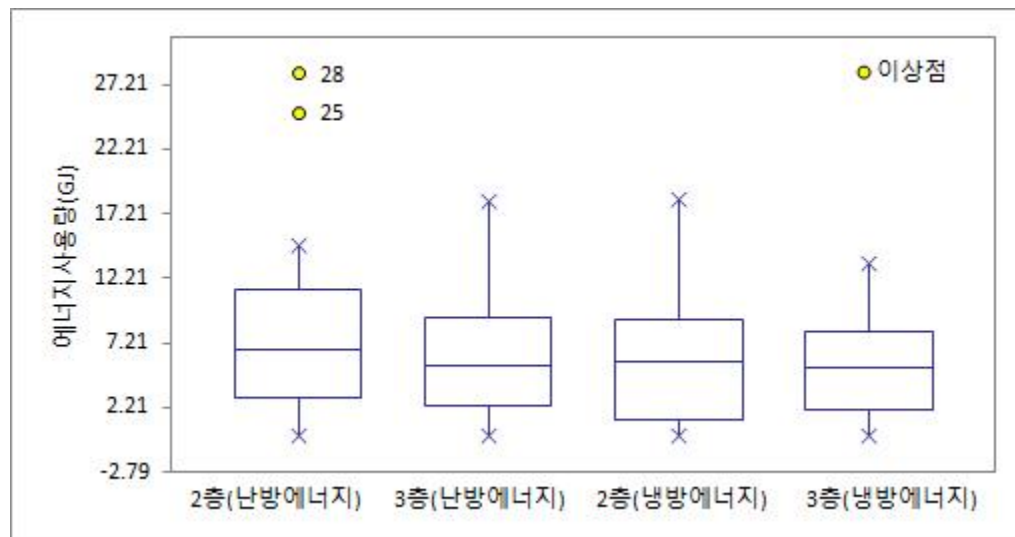
주말 및 공휴일에는 사무실 근무자가 없어 냉난방이 가동되지 않는다. 냉난방이 가동되는 상황에서 일반 BEMS과 지능형 BEMS의 비교를 위해서 냉난방이 가동되지 않는 주말 및 공휴일은 분석에서 제외하였다.

에너지 사용량에 대한 누락데이터 확인 결과 시스템 통신 불량으로 7월

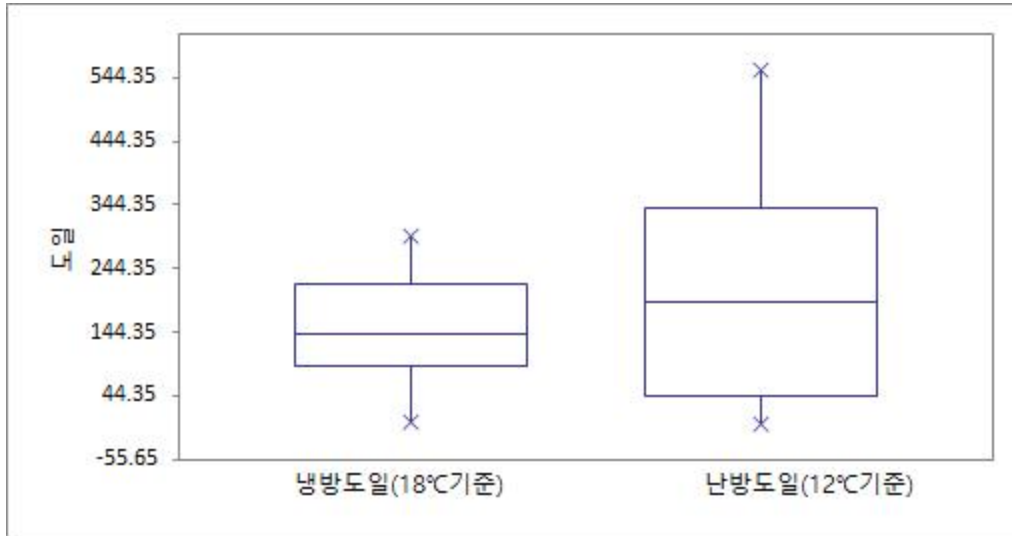
10) Inter Quartile Range로 Q3에서 Q1을 뺀 값을 의미

25일(지능형 BEMS 적용 전)과 26일(지능형 BEMS 적용 후) 에너지 사용량 데이터가 저장되지 않은 것을 확인하여 해당기간 데이터를 분석에서 제외하였다. 외기온도에 대해 누락데이터 확인 결과 6월 8일(지능형 BEMS 적용 후)과 9일(지능형 BEMS 적용 전) 통신 불량으로 데이터가 누락된 것을 확인하였다. 누락된 외기온도 데이터는 분석 대상건물 인근 관측소인 수원 관측소 평균기온 데이터로 대체 적용하였다.

마지막으로 <그림 3-9>와 <그림 3-10>과 같이 Box-plot를 이용하여 이상치를 확인한 결과 2층 동절기 에너지 사용량에 대해 1월 7일(지능형 BEMS 적용 전)과 8일(지능형 BEMS 적용 후) 이상치를 확인 하였다. Box-plot를 이용하여 확인된 이상치는 시스템 보수과정에서 오류가 발생하여 이상치를 생성한 것으로 확인되어 해당기간 데이터를 분석에서 제외하였다.



<그림 3-9> 2층 및 3층 에너지 사용량 Box-plot



<그림 3-10> 냉 · 난방도일 Box-plot

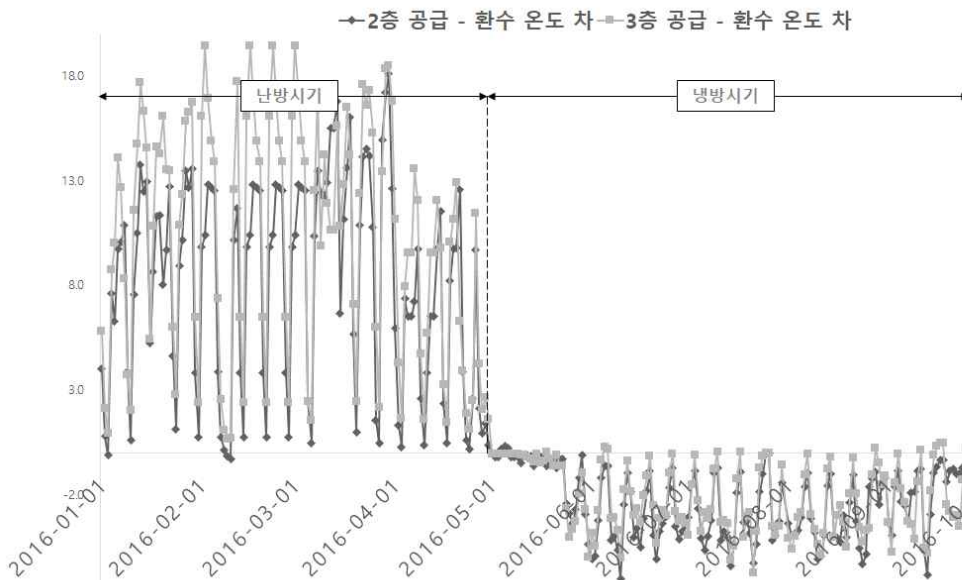
이상치 확인 결과 총 6일의 이상치가 발견되었다. 누락된 이틀간의 외기 온도 데이터는 기상청 자료로 대체하였으며, 누락 및 오류로 확인된 사흘간의 데이터는 분석기간에서 제외하였다.

5. 에너지 절감 성과 분석 기간 설정

2016년 9월 4일 이전 기존 운영(화, 목요일)과 기술적용 운영(월, 수, 금요일)을 반복하다 2016년 9월 4일 이후는 계속 기술적용으로 운영되고 있다.

지능형 BEMS가 적용되지 않는 베이스라인기간은 동절기(1~4월), 환절기(5월), 하절기(6~9월) 일간 데이터를 포함하고 있다. 동일한 조건에서 분석을 진행하기 위해 지능형 BEMS 기술적용 이후 보고기간 역시 2016년 9월까지 일간 데이터를 이용한다. 2016년 1월부터 9월까지 수집된 273일간의 데이터 중 공휴일 및 주말, 누락 및 오류 데이터를 제외한 181일간의 데이터를 이용하여 에너지 절감 성과 분석을 진행한다.

냉난방에너지 사용 패턴을 보기 위해 공급수와 환수의 온도 차이를 <그림 3-11>과 같이 그래프로 나타내었다. 여기서 플러스 값은 난방을 마이너스 값은 냉방을 의미한다.



<그림 3-11> 공급수와 환수의 온도차

1월부터 4월까지는 난방이 공급되었으며 5월부터 9월까지는 냉방이 공급되었다. 영향인자와의 상관성을 높이기 위해 본 연구에서는 난방도일에 영향을 받는 난방에너지와 냉방도일에 영향을 받는 냉방에너지로 구분하여 지능형 BEMS 적용 후의 에너지 절감 성과 분석 연구를 진행한다. 위에서 설명한 내용을 종합하여 베이스라인(일반 BEMS)과 보고 기간(지능형 BEMS)을 정리하면 <표 3-7>과 같다.

<표 3-7> 에너지 절감 성과 분석 기간

구분		기간
난방 에너지	베이스라인기간 ¹¹⁾ (31일)	- 2016.01.01.~ 2016.04.30. 중 화,목요일 * 주말 및 공휴일, 오류(1월7일) 데이터 제외
	보고기간 ¹²⁾ (48일)	- 2016.01.01.~ 2016.04.30. 중 월,수,금요일 * 주말 및 공휴일, 오류(1월8일) 데이터 제외
냉방 에너지	베이스라인기간 (40일)	- 2016.05.01.~ 2016.08.21. 중 화,목요일 - 2016.08.22.~ 2016.09.03. 전 기간 * 주말 및 공휴일, 누락(7월25일) 데이터 제외
	보고기간 (62일)	- 2016.05.01.~ 2016.08.21. 중 월,수,금요일 - 2016.09.04.~ 2016.09.30. 전 기간 * 주말 및 공휴일, 누락(7월26일) 데이터 제외

베이스라인기간 난방 및 냉방에너지를 이용하여 에너지원단위 및 회귀식을 개발한다. 여기에 보고기간 영향인자를 대입하여 보고기간에 상응하는 조정된 베이스라인 에너지 사용량을 산정한다.

11) 관리자의 경험에 의해 수동으로 에너지 관리 및 제어를 실시하는 일반 BEMS 운영 기간

12) 자동으로 에너지관리 및 제어가 실시되는 지능형 BEMS 운영 기간

제4장 에너지 절감 성과 분석

제1절 난방에너지 절감 성과 분석

본 절에서는 대상건물 2,3층에 대해 회귀모델과 에너지원단위를 이용하여 지능형 BEMS의 난방에너지 절감 성과를 분석한다.

1. 회귀모델에 의한 난방에너지 절감 성과 분석

베이스라인기간 난방에너지 사용량과 난방도일을 이용하여 회귀모델을 개발하고 보고기간 난방도일 조건에서 에너지 소요량을 추정한다. 추정된 에너지 소요량은 조정된 베이스라인 에너지 사용량으로 표현되며, 이를 보고기간의 실제 에너지 사용량과 비교하여 에너지 절감 성과를 도출한다.

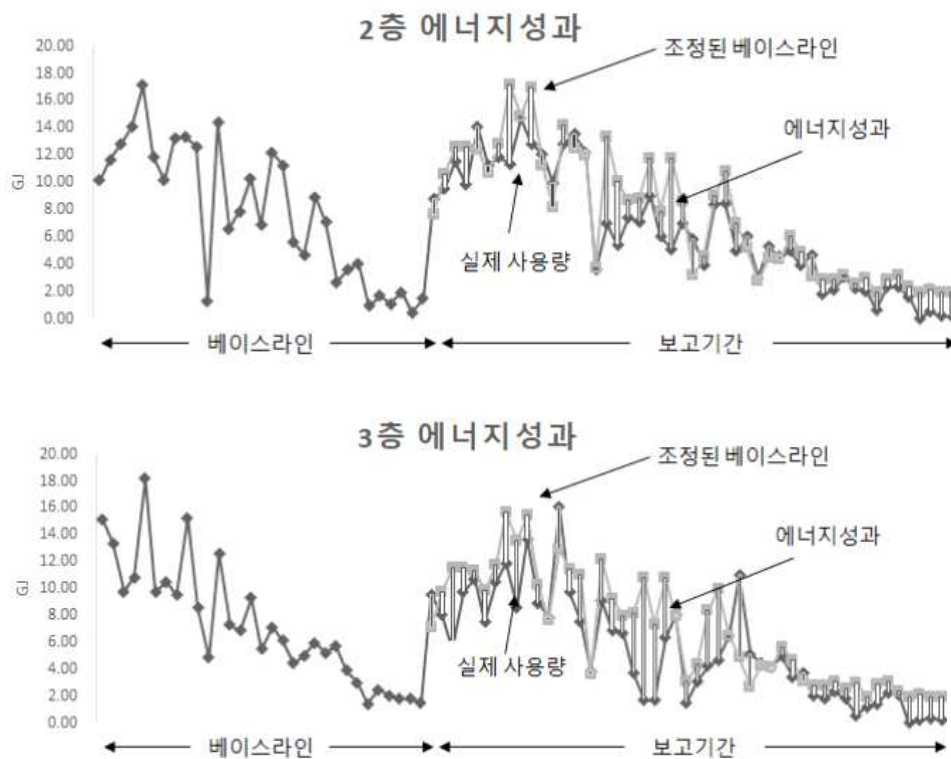
난방에너지 소요량 추정을 위한 회귀모델은 <표 4-1>과 같다. 난방에너지는 난방도일과 상관성이 매우 높을 것을 확인할 수 있었으며 R^2 가 0.5이상, P-value가 0.1이하로 통계적인 기준을 만족하고 있다. 변동계수(CV)도 25% 이하로 타당한 것으로 분석되었다.

<표 4-1> 베이스라인 난방에너지 소요량 추정을 위한 회귀모델

구분	난방에너지 소요량 추정 회귀계수	P-value	R^2	변동계수 (CV)
		난방도일 (기준온도 12°C)		
2층	$Y^* = 0.028 \times \text{난방도일} + 1.93$	1.92E-13	0.84	24.92%
3층	$Y^* = 0.026 \times \text{난방도일} + 1.97$	3.75E-14	0.84	24.78%

주: * Y: 난방에너지 에너지사용량(GJ)

베이스라인 난방에너지 소요량 추정 회귀모델을 이용하여 도출한 조정된 베이스라인 에너지 사용량 및 보고기간의 실제 사용량은 <그림 4-1>과 같다.



<그림 4-1> 회귀모델에 의해 조정된 베이스라인 및 실제 사용량(난방에너지)

<표 4-1>에서 제시한 2,3층 베이스라인 난방에너지 소요량 추정 회귀모델을 이용하여 보고기간 난방도일 조건에서 총 48일의 조정된 베이스라인 에너지 사용량(A_{BL})을 각각 산정하였다. 산정된 2,3층 조정된 베이스라인 에너지 사용량(A_{BL})을 합산하여 전체 난방에너지 사용량에 대한 조정된 베이스라인 에너지를 도출하였다. 이를 보고기간의 2,3층 전체 실제 에너지

지 사용량(MS_{RE})과 비교하여 2,3층 전체 난방에너지 절감 성과(ES)를 도출하였다. 또한 앞에서 설명한 식 (4)와 식 (5)를 이용하여 도출된 에너지 절감 성과에 대한 절대 및 상대 정밀도를 산정하였다. 도출된 결과를 표로 정리하면 <표 4-2>와 같다. 회귀모델을 이용하여 난방에너지 절감 성과를 분석한 결과 관리자의 경험에 의해 운전하는 일반 BEMS에 비해 지능형 BEMS가 2층은 14.01%, 3층은 22.05%, 전체적으로 17.88% 에너지 절감 효과가 있는 것으로 확인되었다. 에너지 절감량으로 보면 2,3층 전체 난방에너지 사용량은 총 48일 동안 123.79GJ이 절감된 것으로 분석 되었다.

<표 4-2> 회귀모델에 의한 에너지 절감 성과(난방에너지)

구분	조정된 베이스라인 에너지 사용량	보고기간 실제 에너지 사용량	에너지 절감량* (절대정밀도)	에너지 절감율 (상대정밀도)
2층	358.77GJ	308.49GJ	50.28GJ (±4.00)	14.01% (±1.11)
3층	333.41GJ	259.90GJ	73.51GJ (±3.69)	22.05% (±1.11)
2,3층 전체	692.18GJ	568.39GJ	123.79GJ (±7.69)	17.88% (±1.11)

주: * 일간 데이터를 바탕으로 산정된 48일 간의 난방에너지 절감량

2. 에너지원단위에 의한 난방에너지 절감 성과 분석

베이스라인기간 난방에너지 사용량과 난방도일을 이용하여 평균 에너지원단위를 도출하고 보고기간의 난방도일 조건에서 에너지 소요량을 추정한다. 추정된 에너지 소요량은 조정된 베이스라인 에너지 사용량으로 표현되며, 이를 보고기간의 실제 에너지 사용량과 비교하여 에너지 절감 성과를 도출한다.

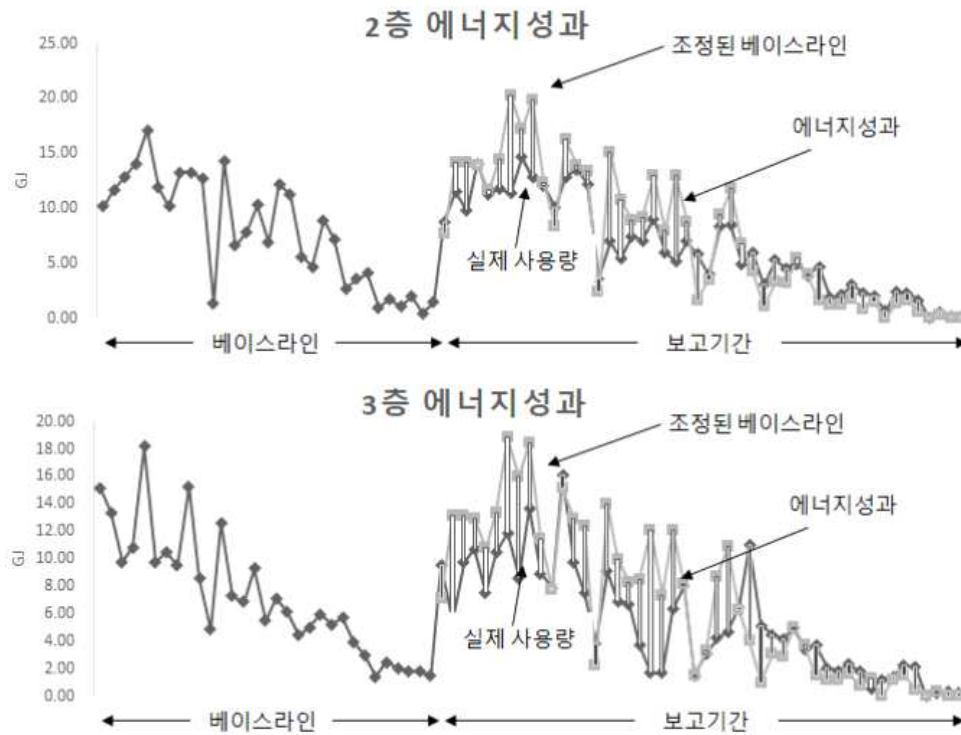
회귀모델에서 난방에너지 사용량과 난방도일의 상관성이 높아 <표 4-3>과 같이 난방도일을 이용하여 평균 난방에너지원단위를 도출하였다. 에너지원단위의 경우 변동계수(CV)가 25%를 다소 상회하는 수준으로 분석되었다.

ISO 50006에서 상당한 기저사용량을 포함하고 있을 경우 에너지원단위보다는 회귀모델의 적용이 유용하다는 내용을 설명하고 있다. 대상건물 난방에너지의 경우 <표 4-1>에서 볼 수 있듯이 기저사용량을 포함하고 있다. 기저사용량은 난방을 위한 온수이외에 세면 등을 위한 온수 사용량을 분석된다. 이에 따라 에너지원단위로는 정확한 난방에너지 소요량 예측이 어려워 변동계수가 다소 높은 것을 볼 수 있다.

<표 4-3> 베이스라인 난방에너지 소요량 추정을 위한 에너지원단위

구분	베이스라인 난방에너지 소요량 추정 에너지원단위	변동계수(CV)
2층	0.038 GJ/난방도일	31.59%
3층	0.035 GJ/난방도일	32.68%

베이스라인 난방에너지 소요량 추정 에너지원단위를 이용하여 도출한 조정된 베이스라인 에너지 사용량 및 보고기간의 실제 사용량은 <그림 4-2>와 같다.



<그림 4-2> 에너지원단위에 의해 조정된 베이스라인 및 실제 사용량(난방에너지)

<표 4-3>에서 제시한 2,3층 베이스라인 난방에너지 소요량 추정 에너지원 단위를 이용하여 보고기간 난방도일 조건에서 총 48일의 조정된 베이스라인 에너지 사용량(AJ_{BL})을 각각 산정하였다. 산정된 2,3층의 조정된 베이스라인 에너지 사용량(AJ_{BL})을 합산하여 전체 난방에너지 사용량에 대한 조정된 베이스라인 에너지 사용량을 도출하였다. 이를 보고기간의 2,3층 합산 실제 에너지 사용량(MS_{RE})과 비교하여 2,3층 전체 난방에너지 절감 성과(ES)를 도출하였다. 또한 앞에서 설명한 식 (4)와 식 (5)를 이용하여 도출된 에너지 절감 성과에 대한 절대 및 상대 정밀도를 산정하였다. 도출된 결과를 표로 정리하면 <표 4-4>와 같다. 에너지원단위를 이용하여 난방에너지 절감 성과를 분석한 결과 관리자의 경험에 의해 운전하는 일반 BEMS에 비해 지능형

BEMS가 2층은 12.66%, 3층은 20.70%, 전체적으로 16.53% 에너지 절감 효과가 있는 것으로 확인되었다. 에너지 절감량으로 보면 2,3층 전체 난방에너지 사용량은 총 48일 동안 112.55GJ이 절감된 것으로 분석 되었다.

<표 4-4> 에너지원단위에 의한 에너지 절감 성과(난방에너지)

구분	조정된 베이스라인 에너지 사용량	보고기간 실제 에너지 사용량	에너지 절감량* (절대정밀도)	에너지 절감율 (상대정밀도)
2층	353.20GJ	308.49GJ	44.71GJ (±5.07)	12.66% (±1.44)
3층	327.74GJ	259.90GJ	67.84GJ (±4.87)	20.70% (±1.48)
2,3층 전체	680.94GJ	568.39GJ	112.55GJ (±9.94)	16.53% (±1.46)

주: * 일간 데이터를 바탕으로 산정된 48일 간의 난방에너지 절감량

제2절 냉방에너지 절감 성과 분석

본 절에서는 대상건물 2,3층에 대해 회귀모델과 에너지원단위를 이용하여 지능형 BEMS의 냉방에너지 절감 성과를 분석한다.

1. 회귀모델에 의한 냉방에너지 절감 성과 분석

베이스라인기간 냉방에너지 사용량과 냉방도일을 이용하여 회귀모델을 개발하고 보고기간 냉방도일 조건에서 에너지소요량을 추정한다. 추정된 에너지 소요량은 조정된 베이스라인 에너지 사용량으로 표현되며, 이를 보고기간의 실제 에너지 사용량과 비교하여 에너지 절감 성과를 도출한다.

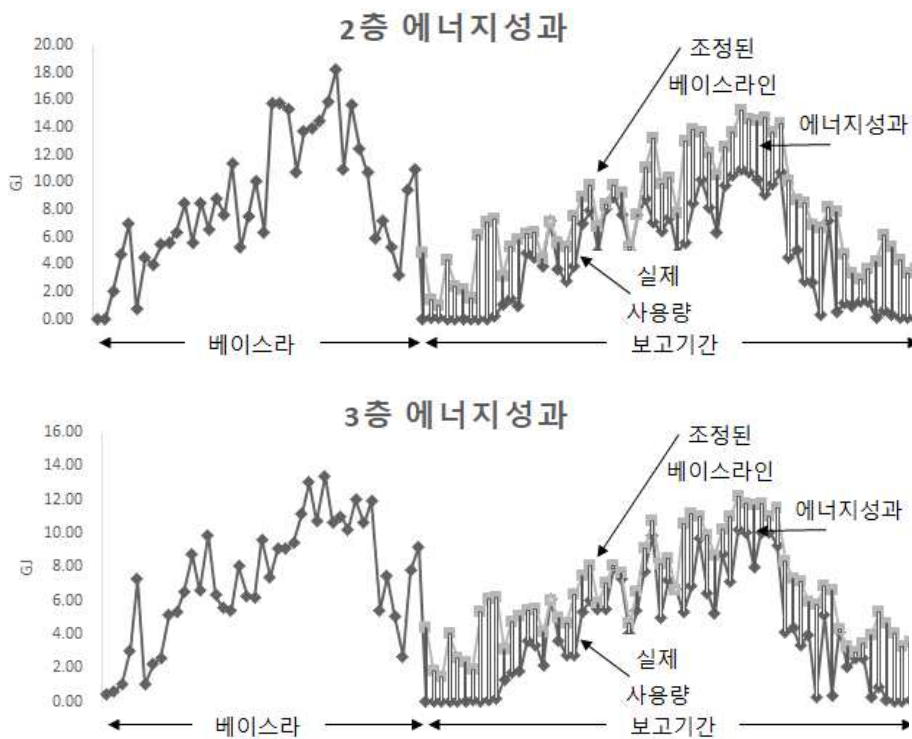
냉방에너지 소요량 추정을 위한 회귀모델은 <표 4-5>와 같다. 냉방에너지는 냉방도일과 상관성이 매우 높을 것을 확인할 수 있었으며 R²가 0.5이상, P-value가 0.1이하로 통계적인 기준을 만족하고 있다. 변동계수(CV)도 25% 이하로 타당한 것으로 분석되었다.

<표 4-5> 베이스라인 냉방에너지 소요량 추정을 위한 회귀모델

구분	냉방에너지 소요량 추정 회귀계수	p-value	R ²	변동계수 (CV)
		냉방도일 (기준온도 18℃)		
2층	$Y = 0.049 \times \text{냉방도일} + 0.68$	1.34E-15	0.82	23.87%
3층	$Y = 0.038 \times \text{냉방도일} + 1.18$	6.59E-16	0.82	21.19%

주: * Y: 냉방에너지 사용량(GJ)

베이스라인 냉방에너지 소요량 추정 회귀모델을 이용하여 도출한 조정된 베이스라인 에너지 사용량 및 보고기간의 실제 사용량은 <그림 4-3>과 같다.



<그림 4-3> 회귀모델에 의해 조정된 베이스라인 및 실제 사용량(냉방에너지)

<표 4-5>에서 제시한 2,3층 베이스라인 냉방에너지 소요량 추정 회귀모델을 이용하여 보고기간 냉방도일 조건에서 총 62일의 조정된 베이스라인 에너지 사용량(A_{JBL})을 각각 산정하였다. 산정된 2,3층 조정된 베이스라인 에너지 사용량(A_{JBL})을 합산하여 전체 냉방에너지 사용량에 대한 조정된 베이스라인 에너지 사용량을 도출하였다. 이를 보고기간의 2,3층 전체 실제 에너지 사용량(MS_{RE})과 비교하여 2,3층 전체 냉방에너지 절감 성과(ES)를 도출하였다. 또한 앞에서 설명한 식 (4)와 식 (5)를 이용하여 도출된 절감 성과에 대한 절대 및 상대 정밀도를 산정하였다. 도출된 결과를 표로 정리하면 <표 4-6>과 같다.

회귀모델을 이용하여 냉방에너지 절감 성과를 분석한 결과 관리자의 경험에 의해 운전하는 일반 BEMS에 비해 지능형 BEMS가 2층은 42.91%, 3층은 38.66%, 전체적으로 40.95% 에너지 절감 효과가 있는 것으로 확인되었다. 에너지 절감량으로 보면 2,3층 전체 냉방에너지 사용량은 총 62일 동안 357.32GJ이 절감된 것으로 분석 되었다.

<표 4-6> 회귀모델에 의한 에너지 절감 성과(냉방에너지)

구분	조정된 베이스라인 에너지 사용량	보고기간 실제 에너지 사용량	에너지 절감량* (절대정밀도)	에너지 절감율 (상대정밀도)
2층	469.15GJ	267.83GJ	201.33GJ (±4.07)	42.91% (±0.87)
3층	403.50GJ	247.51GJ	155.99GJ (±3.08)	38.66% (±0.76)
2,3층 전체	872.65GJ	515.33GJ	357.32GJ (±7.15)	40.95% (±0.81)

주: * 일간 데이터를 바탕으로 산정된 62일 간의 냉방에너지 절감량

2. 에너지원단위에 의한 냉방에너지 절감 성과 분석

베이스라인기간 냉방에너지 사용량과 냉방도일을 이용하여 평균 에너지원단위를 도출하고 보고기간의 냉방도일 조건에서 에너지 소요량을 추정한다. 추정된 에너지 소요량은 조정된 베이스라인 에너지 사용량으로 표현되며, 이를 보고기간의 실제 에너지 사용량과 비교하여 에너지 절감 성과를 도출한다.

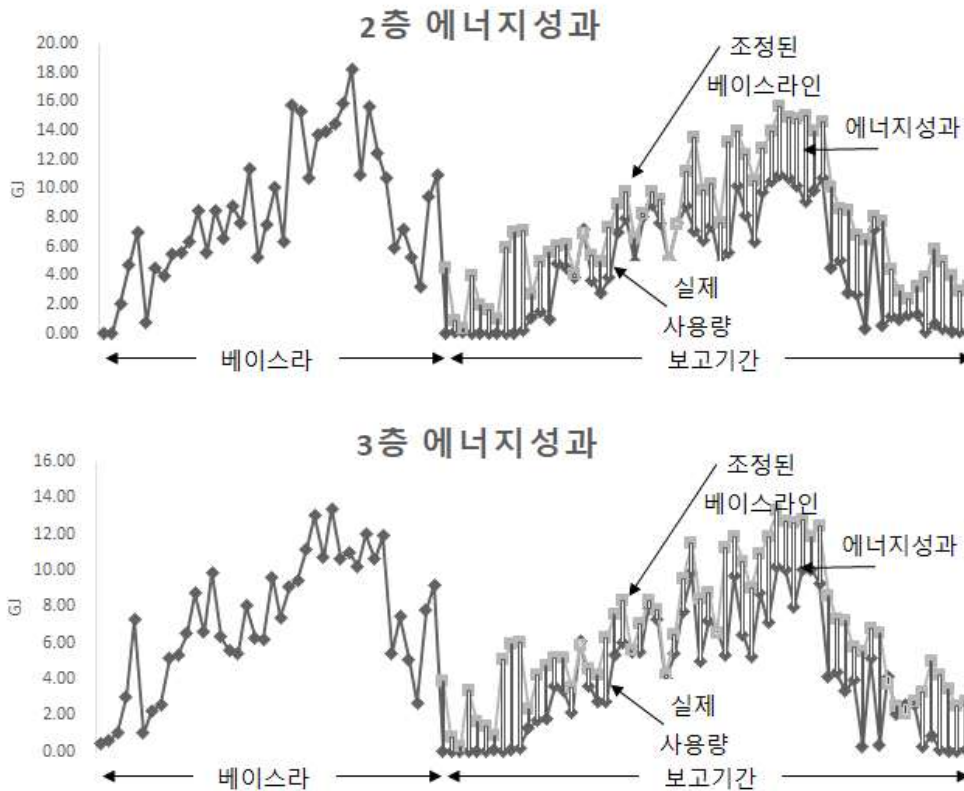
회귀모델에서 냉방에너지 사용량과 냉방도일의 상관성이 높아 <표 4-7>과 같이 냉방도일을 이용하여 평균 냉방에너지원단위를 도출하였다. 변동계수(CV)도 25% 이하로 타당한 것으로 분석되었다.

에너지원단위를 이용한 난방에너지 절감 성과 분석 결과와 달리 대상건물의 냉방에너지의 경우 <표 4-5>에서 볼 수 있듯이 기저사용량이 난방에너지에 비해 미미하다. 이에 따라 ISO50006에서 제시하고 있는바와 동일하게 에너지원단위로 회귀모델과 비슷한 수준으로 냉방에너지 소요량 추정이 가능하여 변동계수(CV)가 기준을 충족하고 있다.

<표 4-7> 베이스라인 냉방에너지 소요량 추정을 위한 에너지원단위

구분	베이스라인 냉방에너지 소요량 추정 에너지원단위	변동계수(CV)
2층	0.053 GJ/냉방도일	24.28%
3층	0.045 GJ/냉방도일	23.05%

베이스라인 냉방에너지 소요량 추정 에너지원단위를 이용하여 도출한 조정된 베이스라인 에너지 사용량 및 보고기간의 실제 사용량은 <그림 4-4>와 같다.



<그림 4-4> 에너지원단위에 의해 조정된 베이스라인 및 실제 사용량(냉방에너지)

<표 4-7>에서 제시한 2,3층 베이스라인 냉방에너지 소요량 추정 에너지원 단위를 이용하여 보고기간 냉방도일 조건에서 총 62일의 조정된 베이스라인 에너지 사용량(A_{BL})을 각각 산정하였다. 산정된 2,3층의 조정된 베이스라인 에너지 사용량(A_{BL})을 합산하여 전체 냉방에너지 사용량에 대한 조정된 베이스라인 에너지 사용량을 도출하였다. 이를 보고기간의 2,3층 합산 실제 에너지 사용량(MS_{RE})과 비교하여 2,3층 전체 냉방에너지 절감 성과(ES)를 도출하였다. 또한 앞에서 설명한 식 (4)와 식 (5)를 이용하여 도출된 에너지 절감 성과에 대한 절대 및 상대 정밀도를 산정하였다. 도출된 결과를 표로 정리하면 <표 4-8>과 같다.

에너지원단위를 이용하여 냉방에너지 절감 성과를 분석한 결과 관리자의 경험에 의해 운전하는 일반 BEMS에 비해 지능형 BEMS가 2층은 42.35%, 3층은 37.42%, 전체적으로 40.08% 에너지 절감 효과가 있는 것으로 확인되었다. 에너지 절감량으로 보면 2,3층 전체 냉방에너지 사용량은 총 62일 동안 344.74GJ이 절감된 것으로 분석 되었다.

<표 4-8> 에너지원단위에 의한 에너지 절감 성과(냉방에너지)

구분	조정된 베이스라인 에너지 사용량	보고기간 실제 에너지 사용량	에너지 절감량* (절대정밀도)	에너지 절감율 (상대정밀도)
2층	464.56GJ	267.83GJ	196.74GJ (±4.14)	42.35% (±0.89)
3층	395.51GJ	247.51GJ	148.00GJ (±3.35)	37.42% (±0.85)
2,3층 전체	860.07GJ	515.33GJ	344.74GJ (±7.49)	40.08% (±0.87)

주: * 일간 데이터를 바탕으로 산정된 62일 간의 냉방에너지 절감량

제3절 냉난방에너지 절감 성과 분석

본 절에서는 회귀모델과 에너지원단위에 의한 냉난방에너지 절감 성과를 종합하여 제시하며 두 결과를 비교분석 한다.

1. 회귀모델과 에너지원단위에 의한 냉난방에너지 절감 성과

난방에너지 사용량 48일, 냉방에너지 사용량 62일 총 110일 기간에 대해 회귀모델에 의해 조정된 베이스라인 에너지 사용량(AJ_{BL})과 보고기간 실제 에너지 사용량 (MS_{RE})을 이용하여 에너지 절감 성과(ES) 분석하였다.

분석 결과 <표 4-9>와 같이 알고리즘에 의해 자동으로 에너지 사용량을 관리 제어되는 지능형 BEMS가 관리자의 경험에 의해 에너지 사용량을 관리 제어하는 일반 BEMS에 비해 30.74% 에너지가 절감되는 것을 확인하였다.

<표 4-9> 회귀모델에 의한 냉난방에너지 절감 성과

구분	조정된 베이스라인 에너지 사용량	보고기간 실제 에너지 사용량	에너지 절감량 (절대정밀도)	에너지 절감율 (상대정밀도)
난방 에너지*	692.18GJ	568.39GJ	123.79GJ (±7.69)	17.88% (±1.11)
냉방 에너지**	872.65GJ	515.33GJ	357.32GJ (±7.15)	40.95% (±0.81)
냉난방 에너지***	1,564.83GJ	1,083.72GJ	481.11GJ (±14.84)	30.74% (±0.94)

주: * 일간 데이터를 바탕으로 산정된 48일 간의 난방에너지 절감량

** 일간 데이터를 바탕으로 산정된 62일 간의 냉방에너지 절감량

*** 일간 데이터를 바탕으로 산정된 110일 간의 난방 및 냉방 에너지 절감량

난방에너지 사용량 48일, 냉방에너지 사용량 62일 총 110일 기간에 대해 에너지원단위에 의해 조정된 베이스라인기간 에너지 사용량(AJ_{BL})과 보고기간 실제 사용량 (MS_{RE})을 이용하여 에너지 절감 성과(ES) 분석하였다.

분석 결과 <표 4-10>과 같이 알고리즘에 의해 자동으로 에너지 사용량을 관리 제어되는 지능형 BEMS가 관리자의 경험에 의해 에너지 사용량을 관리 제어하는 일반 BEMS에 비해 29.67% 에너지가 절감되는 것을 확인하였다.

<표 4-10> 에너지원단위에 의한 냉난방에너지 절감 성과

구분	조정된 베이스라인 에너지 사용량	보고기간 실제 에너지 사용량	에너지 절감량 (절대정밀도)	에너지 절감율 (상대정밀도)
난방 에너지*	680.94GJ	568.39GJ	112.55GJ (±9.94)	16.53% (±1.46)
냉방 에너지**	860.07GJ	515.33GJ	344.74GJ (±7.49)	40.08% (±0.87)
냉난방 에너지***	1,541.01GJ	1,083.72GJ	457.29GJ (±17.43)	29.67% (±1.47)

주: * 일간 데이터를 바탕으로 산정된 48일 간의 난방에너지 절감량

** 일간 데이터를 바탕으로 산정된 62일 간의 냉방에너지 절감량

*** 일간 데이터를 바탕으로 산정된 110일 간의 난방 및 냉방 에너지 절감량

2. 회귀모델과 에너지원단위의 냉난방 에너지 절감 성과 분석

도출된 에너지 절감 성과를 종합해보면 <표 4-11>과 같다. 대상건물에 적용된 지능형 BEMS 냉난방에너지 절감 성과는 회귀모델을 이용할 경우 30.74%이며, 에너지원단위를 이용할 경우 29.67%로 유사한 에너지 절감 성과를 보였다.

회귀모델과 에너지원단위에 의한 에너지 절감 성과가 유사하게 도출된 것은 ISO 50006에서 제시한 바와 같이 대상건물의 냉난방에너지에 포함된 기저사용량이 미미하고, 단일변수를 포함하고 있기 때문인 것으로 분석된다.

<표 4-11> 회귀모델과 에너지원단위에 의한 냉난방에너지 절감 성과

성과지표	구분	에너지 절감량 (절대정밀도)	에너지 절감율 (상대정밀도)
회귀 모델	난방에너지*	123.79GJ (±7.69)	17.75% (±1.11)
	냉방에너지**	357.32GJ (±7.15)	40.95% (±0.81)
	냉난방에너지***	481.11GJ (±14.84)	30.74% (±0.94)
에너지 원단위	난방에너지*	112.55GJ (±9.94)	16.53% (±1.46)
	냉방에너지**	344.74GJ (±7.49)	40.08% (±0.87)
	냉난방에너지***	457.29GJ (±17.43)	29.67% (±1.47)

주: * 일간 데이터를 바탕으로 산정된 48일 간의 난방에너지 절감량

** 일간 데이터를 바탕으로 산정된 62일 간의 냉방에너지 절감량

*** 일간 데이터를 바탕으로 산정된 110일 간의 난방 및 냉방 에너지 절감량

제5장 결 론

제1절 연구 요약

신기후체제 관련하여 우리나라는 온실가스 및 에너지를 줄이기 위해 다양한 규제 및 지원 정책을 수립하여 실시하고 있다. 우리나라 전체 에너지 사용량의 약 24% 비중을 차지하고 있는 건물부문은 산업 부문에 비해 비교적 온실가스 및 에너지 절감활동 수행이 용이하여 공공 및 상업 건물 중심으로 다양한 정책이 실행되고 있다. 고효율 건축물 보급 확대, 노후 건축물 에너지 성능 개선, BEMS 보급 확대 등이 대표적인 정책이다.

BEMS는 KS표준을 개발하여 확대 노력을 하고 있으나 인식 부족, 기대 이하의 에너지 절감 효과 등이 확대 저해 요소로 분석된다. 최근 4차 산업혁명이 대두되면서 BEMS에 제기되는 문제점을 해결하기 위해 BEMS에 인공지능을 적용하여 효율적으로 에너지를 절감하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다.

본 연구는 관리자의 경험에 의해 에너지 사용량을 직접 관리 및 제어하는 일반 BEMS가 적용된 건물에 자동적으로 에너지 사용량을 관리 및 제어하는 지능형 BEMS를 도입하여 에너지 절감 성과를 비교 분석한다.

에너지 절감 성과 분석을 위해 일반 BEMS와 지능형 BEMS의 운전 관련 기초 데이터를 수집하여 난방에너지와 냉방에너지로 구분하였다. 에너지 사용량에 영향을 주는 영향인자로 냉·난방도일을 활용하였으며 난방은 외기 온도가 12°C 이하, 냉방은 18°C 이상일 때 운전되어 냉·난방도일 산정의 기준온도로 활용하였다. 에너지 절감량은 IPMVP 등 해외 문헌에서 공통적으로 제시하고 있는 조정된 베이스라인 에너지 사용량과 실제 사용량의 차이로 산정하였다. 조정된 베이스라인 에너지 사용량은 에너지원단위와 회귀모델을

이용하였으며, 두 지표에 대한 에너지 절감 성과를 비교하였다.

난방에너지의 경우 회귀모델에 의한 에너지 절감 성과는 17.75%이며, 에너지원단위에 의한 절감성과는 16.53%로 분석되었다. 냉방에너지의 경우 회귀모델에 의한 에너지 절감 성과는 40.95%이며, 에너지원단위에 의한 절감 성과는 40.08%로 분석되었다. 난방과 냉방 에너지성과를 합산하면 회귀모델에 의한 에너지 절감 성과는 30.74%이며, 에너지원단위에 의한 절감 성과는 29.67%로 분석되었다.

ISO 50006에서 제시한 바와 같이 대상건물의 냉난방에너지의 경우 기저사용량이 미미하고 단일변수를 포함하고 있어 회귀모델과 에너지원단위에 의한 에너지 절감 성과가 유사하게 도출된 것으로 분석된다.

회귀모델과 에너지원단위를 이용한 에너지 절감 성과 모두 지능형 BEMS가 일반 BEMS에 비해 약 30% 에너지 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다. 본 연구 결과를 바탕으로 건물부문 온실가스감축 목표 달성을 위해서는 지능형 BEMS에 대한 기술연구 및 보급 정책 마련이 필요한 것으로 확인되었다.

제2절 연구의 한계 및 시사점

본 연구에서 회귀모델과 에너지원단위를 이용하여 관리자가 경험에 의해 에너지를 관리 및 제어하는 일반 BEMS와 알고리즘에 의해 자동으로 에너지를 관리 및 제어하는 지능형 BEMS의 에너지 절감 성과를 비교 분석하였다. 건물 에너지이용은 냉난방뿐만 아니라 동력, 조명, 사무장비 등이 있으나 본 연구에서는 지능형 BEMS에서 직접 제어하는 냉난방에너지 절감 성과 분석에 한정되어 있어 건물 전체 에너지 절감 성과를 제시하기에는 한계가 있다. 향후 냉난방뿐만 아니라 동력, 조명, 사무장비 등 각 에너지이용에 대해 자동제어가 가능한 모듈을 개발하여 건물 전체 에너지이용을 관리 및 제어하는 지능형 BEMS의 연구 및 에너지 절감 성과 분석이 필요하다.

본 연구는 9개월 데이터를 이용하여 에너지 절감 성과 분석을 진행하여 한계점이 있으나, 에너지사용이 많은 동하절기 난방 및 냉방 에너지를 모두 포함하고 있어 결과는 큰 변화가 없을 것으로 사료된다.

위에서 언급한 한계점들에도 불구하고 본 연구 결과는 정부의 건물부분 온실가스감축 목표 달성을 위한 정책을 고려하였을 때 지능형 BEMS 도입의 실질적인 에너지 절감 성과를 분석했다는 점에서 다음과 같은 의미가 있다.

첫째, 냉·난방도일의 기준온도를 설정하기 위해 냉난방 공급 시점과 외기온도를 분석한 결과 외기온도 12℃ 이하에서 난방이 공급되었으며, 외기온도 18℃ 이상에서 냉방이 공급된 것으로 조사되었다. 해당 온도는 실내 기준온도인 겨울철 22℃, 여름철 26℃와는 8~10℃ 차이를 보이고 있다. 대상건물의 경우 외벽이 유리로 되어 있어 외기온도와 실내온도의 차이가 상당한 것으로 분석된다. 본 연구에서 도출된 냉·난방도일 기준온도는 외벽이 유리로 되어 있는 건물에서 냉·난방도일 기준온도 설정시 기초 자료로

활용이 가능하다.

둘째, ISO 50006에서 제시한 내용과 동일하게 대상건물의 냉난방에너지는 기저사용량이 미미하고, 단일 변수를 포함하고 있어 에너지원단위와 회귀모델을 이용한 에너지 절감 성과 분석 결과가 유사하게 도출되었다. 에너지원단위와 회귀모델 성과지표를 검토함으로써 향후 BEMS 에너지 절감 성과 분석에 기초자료로 활용될 수 있다.

마지막으로, 일반 BEMS와 지능형 BEMS의 에너지 절감 성과를 비교 분석한 결과를 제시하였다. 경험에 의해 에너지 사용량을 관리 및 제어하는 일반 BEMS에 비해 지능형 BEMS가 회귀모델을 이용한 결과는 30.74%, 에너지원단위를 이용한 결과는 29.67% 에너지를 절감할 수 있는 것으로 확인되었다.

에너지총조사 보고서(2015)에 따르면 2,000 toe 이상 건물 기준 전체 에너지사용량에서 냉난방에너지의 비중은 58.70%이다. 본 연구 결과를 2,000 toe 이상 건물 전체 에너지 사용량에 적용하면 18.04%(회귀모델 이용 기준)의 에너지 소비 절감 효과를 거둘 수 있는 것으로 추정된다.

다양한 건물 타입 별로 특화된 지능형 BEMS 모델의 개발 및 보급정책을 마련한다면 국가 온실가스감축 목표 달성에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- 김광훈, 2016, “건물에너지관리시스템 BEMS : 지능화된 알고리즘으로 에너지 효율 최적화”, KISTI 마켓리포트, pp. 3.
- 관계부처합동 보도자료, “모두가 참여하고 모두가 누리는 사람 중심의 4차 산업혁명 구현으로 사회문제 해결·경제성장 동시에 잡는다!”, 과학기술정보통신부 정책총괄과 등(2017.11.29.), pp. 2.
- 곽노열, 2013, “사무소 건물의 에너지관리시스템에 대한 에너지절감수준”, 대한건축학회 논문집 - 계획계, 29(1), pp. 263-270.
- 권순필, 김서영, 2009, “소지역 추정량의 경험적 비교 연구”, 통계연구, 제 14 권 2 호, pp. 69-83.
- 국토교통부, 2014, “건물에너지관리시스템 산업 기술동향 조사 및 활성화 방안 연구”, 세종: 국토교통부.
- 노병일, 2015, “상세 난방도일법을 이용한 공동주택단지의 난방에너지 사용량 예측”, 석사학위논문, 충북대학교, 청주.
- 문기영, 2016, “건물에너지관리시스템(BEMS)운용에 의한 건물에너지절감 분석”, 석사학위논문, 한양대학교, 서울.
- 박재성, 2017.12.08., “건물에너지관리시스템 KS 표준화 속도낸다,” 에너지신문.
- 송재형, 2012, “친환경 녹색건축물 조성 촉진을 위한 건물에너지 성능지표 실증 분석 연구”, 박사학위논문, 서울벤처대학교, 서울.
- 산업통상자원부, 2015, “2014 년도 에너지총조사 보고서”, 세종: 산업통상자원부.
- 이태원, 2012 “건물에너지관리시스템의 기능 및 역할과 발전방향”, Energy Focus 2012 가을호, pp. 56-58.

- 이용수, 2014, “데이터 분석을 이용한 공간분할 지능형 BEMS 의 에너지 절감에 관한 연구” , 박사학위논문, 광운대학교, 서울.
- 임인혁, 이용신, 이명주 ,2014, “노원에코센터(제로에너지건물) 연간 에너지 모니터링 결과 분석 연구” , 대한건축학회 논문집 - 계획계, 30(10), pp. 179-188.
- 중소기업청, 2013, “2013 중소기업 기술로드맵” 서울: 중소기업청.
- 중앙대학교 산학협력단, 2017, “건물에너지관리시스템(BEMS)기반 에너지 운영관리 모델 개발” , 용인: 한국에너지공단.
- 지식경제부, 2009, “ESCO 기술력 향상방안 및 역량강화 방안 연구” , 세종: 지식경제부, pp.15.
- 정보통신산업진흥원, 2014, “2013 년 EMS 도입현황 실태조사 보고서” ,진천: 정보통신산업진흥원, pp. 29-30.
- _____, 2015, “2014 년 ICT 기반 ESCO 기반조성 연구” ,진천: 정보통신산업진흥원, pp. 29-30.
- 천세환, 2012, “자동제어 전략별 에너지 절감효과 비교 분석” , 석사학위논문, 서울시립대학교, 서울.
- 한국에너지공단, 2017, “건물에너지관리시스템 설치 가이드라인” , 용인: 한국에너지공단.
- 한국건설기술연구원, 2015, “에너지 절약 30% 이상인 지능형 건물 관리 시스템 개발” , 서울, 한국건설기술연구원.
- ASHRAE, 2002, Measurement of Energy and Demand Savings, 106-109p
- EVO, 2012, “International Performance Measurement and Verification Protocol - Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings Volume 1” , 73p, 95p

- EVO, 2014, Statistics and Uncertainty for IPMVP
- EVO, 2016, “International Performance Measurement and Verification Protocol – Core Concepts” , 9p
- U.S. Department of ENERGY, 2015, Measurement and Verification for Performance-Based Contract Version4.0, 4-12, 4-20
- ISO, 2011, “ISO 50001 Energy Management Systems – Requirements with guidance for use”
- ISO, 2013, “Energy performance of buildings – Presentation of measured energy use of buildings”
- ISO, 2014, “ISO 50006, Energy Management Systems – Measuring energy performance using energy baselines(EnB) and energy performance indicators(EnPI) – General principles and guidance”
- Navigant Research, 2015, Building Energy Management Systems(Software, Services and Hardware for Energy Efficiency and Systems Optimization: Global Market Analysis and Forecasts)
- Rowe, G., & Wright, G., 1999, The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis, International Journal of Forecasting, 15(4), 353-375.
- U.S. Department of ENERGY, 2012, Measurement and Verification Protocol for Industry
- 통계청, http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=339&tblId=DT_F_M170&conn_path=I3
- 한국 BEMS 협회, http://www.bems.or.kr/inc.php?id=sub04_ct01
- Better Plants, <https://betterbuildingsolutioncenter.energy.gov/better-plants>
- Energy star, <https://www.energystar.gov/>

ISO, <https://www.iso.org/home.html>

SEP, <https://www.energy.gov/eere/amo/superior-energy-performance>

Abstract

Energy Performance Evaluation for Intelligent Building Energy Management System

Lee, Heesung

Cooperate Course for Climate Change

The Graduate School

Sejong University

The National Greenhouse Gas Emission Reduction Targets for the building sector proposed in the "2030 National Greenhouse Gas Reduction Basic Roadmap" is 35.8 million tons compared to BAU (Business As Usual) by 2030, the third largest target after the power generation and industrial sector. Various policies are established and implemented by the government to achieve the national greenhouse gas reduction goals of the building sector, including Building Energy Management System(BEMS).

BEMS is a system that provides optimized energy management measures by monitoring the energy use of buildings. The government makes efforts to expand distribution by requiring public institutions to install BEMS. However, it is not as active as expected due to low awareness of BEMS, lack of relevant personnel, and lower than expected energy savings. Recently, research into intelligent BEMS, which manages building energy use by applying artificial intelligence technology, has been actively conducted as a way to improve energy savings.

In this study, we compared the energy savings performance of the BEMS, which is manually controlled by the administrator based on experience, and the intelligent BEMS, which is automatically operated by algorithms. For the

purpose of this study, basic data related to operation of general BEMS and intelligent BEMS are collected for a single building with four floors. Since the algorithms of intelligent BEMS are applied only to heating and cooling, data on the use of heating and cooling energy were collected and classified into cooling and heating energy, and energy saving performance analysis was conducted using cooling and heating degree days. The amount of energy savings was calculated as the difference between the measured energy and adjusted baseline energy according to the methods commonly presented in the international literature, such as the International Performance Measurement and Verification Protocol(IPMVP). Adjusted baseline energy was estimated using a regression model and energy intensity.

As a result of analysis of energy saving performance, 30.74% of energy saving performance of intelligent BEMS by regression model and 29.67% of saving energy by energy intensity were analyzed. The energy saving performance by the regression model and energy intensity are similar because the target building contains small the base load and single variable for cooling and heating energy, as shown in ISO 50006.

According to the Total Energy Research Report (2015), the share of heating and cooling energy in total energy use for buildings over 2,000 toe is 58.70%. It is estimated that applying this result to total energy consumption of buildings over 2,000 toe can save energy consumption of 18.04% (based on regression model).

Based on the results of this study, developing and distributing intelligent BEMS specialized to each building type will contribute to achieving the national goal of reducing greenhouse gases.

**Keywords : Intelligent BEMS, Energy Saving Performance, Energy Intensity,
Regression Model, Building Energy Management System**

감사의 글

학문뿐만 아니라 배움에 대한 자세와 지혜를 가르쳐 주신 전의찬 교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 세종대학교 대학원 기후변화 협동과정을 알차게 이끌어 주시는 차채형 박사님 외 모든 교수님께 감사드립니다. 모든 과정이 하나 같이 저에게는 큰 자산이 되고 또한 한없이 제가 부족하여 더 열심히 정진할 수 있는 기회가 되었습니다.

짧다면 짧고 길다면 긴 석사과정 동안 열정적인 모습으로 모든 수업에 임하며, 사회생활을 하면서 잊고 지냈던 배움에 대한 열정과 학교생활에 대한 설렘을 느끼게 해준 모든 학우들과 졸업할 수 있도록 아낌없는 지원을 해주신 우리 직장 동료들에게도 감사드립니다. 좋은 인연 오래 지속하였으면 좋겠습니다.

마지막으로 마음속 깊이 감사의 마음을 전할 사람은 가족과 아내 그리고 우리 딸들입니다. 바쁘다는 핑계로 자주 찾아뵙지도 못하고 연락도 못 드렸지만 항상 응원을 아끼지 않는 우리 양가 부모님, 아이가 어렵고 둘째로 몸까지 무거워 한창 힘든 시기 시간을 내어준 윤지, 날이 갈수록 예뻐지고 애교가 늘어가는 우리 유빈이와 뱃속에 있는 행복이를 생각하면서 배움의 시간을 더 알차게 보낼 수 있어 감사하고 사랑합니다.

지면으로 언급하지 못했지만, 저를 아끼고 사랑해주셨던 모든 분들에게 이 시간을 내어 감사의 인사를 드립니다.