

## ICT를 활용한 병원건물의 에너지 절감방안 연구

### Empirical Research on Application of ICT for Reduction of Energy Consumption of Hospital Buildings

이정환\*, 한영도\*\*, 김동욱\*\*\*

충북대학교 경영정보학과\*, 상명대학교 국제통상학과\*\*, 한국과학기술원 기술경영전문대학원\*\*\*

Junghwan Lee(junghwan@cbnu.ac.kr)\*, Youngdo Han(yeongdo.han@smu.ac.kr)\*\*,  
Dongwook Kim(yooksonbaekon@gmail.com)\*\*\*

#### 요약

최근 유가 상승과 건물 에너지 소비 증가는 에너지 자원 해외 의존도가 높은 우리나라에 큰 부담이 되고 있다. 이런 상황에서 에너지 소비량의 40% 수준을 차지하는 빌딩건물의 에너지절감은 매우 중요한 이슈가 되는데, 본 연구는 ICT를 활용하여 건물에너지 소비량 및 전력사용요금 절감을 하는 최적제어방법을 구현한 실증 분석을 병원을 대상으로 수행하였다. 먼저 기존의 냉난방용 흡수식 냉온수기와 급탕용 보일러 시설 일부를 수축열 히트펌프로 대체하고 사용하는 요금제의 조정을 통해 에너지소비량을 줄이고 요금을 절감하였다. 여기에 환경(외기온도, 사용량 증감 등) 변화를 고려한 ICT 기반 최적제어 기능을 추가적으로 적용함으로써 기존 설비 대체 중심의 에너지절감 방법과 ICT 기반의 최적제어방법까지 고려한 효과를 분석하였다. 그 결과 본 연구에서 병원 대상의 최적제어방법은 에너지효율화 설비 적용으로 인한 절감량(53.6%)에 최적자동제어 효과(18.2%)까지 추가적으로 절감할 수 있는 것을 확인하였다. 본 연구 결과를 바탕으로 건물 에너지 절감 성과를 높이는 다양한 방안을 검토해 볼 수 있을 것이다.

■ 중심어 : | 에너지절감 | ICT 기반 최적제어 | 빌딩에너지 효율화 | 병원 건물 | 냉난방 시스템 |

#### Abstract

Increase in oil prices and building energy consumption has been a great burden for Korea which has significant energy dependence on foreign energy sources. In this context, reduction of building energy consumption, which comprises 40% of total energy consumption, is a very important issue. This research therefore empirically analyzed a hospital "P" that implemented ICT-based energy consumption and cost reduction initiative. The hospital first replaced existing water absorber for heating/cooling air and boiler for heating water with water heat storage heat pump system. This was accompanied by subscribing to different electricity price plans to maximize cost reduction. Secondly, the hospital additionally applied ICT-based optimized control algorithm that considers surrounding factors (external temperature, changes in energy demand). The analysis of these mechanisms indicate that the ICT-based energy consumption and cost reduction initiative for hospitals can reduce energy consumption by 53.6% with replacement of low-efficiency equipment and additionally by 18.2% with optimized control algorithm. The mechanisms will provide energy consumption reduction opportunities for other hospitals and buildings with high energy consumption.

■ keyword : | Energy Reduction | ICT-based Optimized Control | Building Energy Efficiency | Hospital | Heating and Cooling System |

## I. 서론

최근 지구 온난화에 따른 기후 변화, 에너지 고갈 문제 등이 글로벌 이슈로 부각되고 있다. 뿐만 아니라 세계적으로 발생하는 폭염, 폭설 등의 이상 기후 변화로 인한 재난 재해는 자연 생태계는 물론 인류 사회 전반에 심각한 문제가 되고 있다. 이에 따라 화석 연료 기반의 에너지소비를 탈탄소에 기반한 새로운 방식으로 전환하기 위해, 다양한 에너지 저감 정책, 신재생 에너지 도입, 탄소배출 규제 등의 방안들과 함께 논의되고 있다. 이러한 추세에 따라, 건물에서도 보다 효율적으로 에너지를 절감할 수 있는 방안으로 ICT(Information & Communication Technology)를 활용하는데 관심이 높아지고 있다[1].

일반적으로 건물의 에너지 절약방법에는 건물의 형상, 방위, 창, 문, 단열 등을 고려한 건축계획적 접근방법[2]과 건물 내 주요 설비 및 시스템 효율 개선, 신재생 에너지 이용 등의 설비적 접근방법이 있다[3]. 특히 설비적 접근방법은 단기간의 기술 개발과 적용으로 에너지의 상당부분을 절감 할 수 있는 특성이 있는데 이는 시스템의 효율을 극대화할 수 있도록 건물 에너지 운영 관리 및 최적화된 제어기술까지 포함한다[4][5].

이외에도 건물 에너지 절감 방안은 여러 가지가 적용되고 있는데 대표적으로 시스템적 제어방식은 한국전력공사에서 사용 요금을 부하의 집중 정도에 따라 시간대별로 달리하여 전력사용량을 줄이는 방법이다[6].

본 연구에서 고려하는 에너지절감 방안은 기존 건물 에너지 절감 방법뿐만 아니라 외부 환경적 특성을 고려한 ICT 활용 최적제어 효과를 병원 건물 대상으로 실증적으로 분석하고 최소의 비용으로 최대의 효과를 낼 수 있는 솔루션을 마련하고자 한다. 여기에 더 나아가 향후에는 건물에너지 절감을 통해서 보다 새로운 가치를 만들 수 있는 방안들까지 함께 검토한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 건물 에너지효율화에 대한 기존 연구들을 소개한다. 그리고 다음 3장부터는 국내 A병원을 대상으로 건물에너지 효율화 방안을 실제 적용하는 과정을 설명한다. 구체적으로 4장에서는 병원 건물에 에너지를 절감을 위해 설비교

체와 최적제어를 적용한 분석결과를 실증 분석한다. 그리고 마지막 5장에서는 실증분석에서 얻은 건물에너지 절감방안에 대한 방안들과 미래지향적인 건물에너지 절감 방안에 대해서 제언하고 결론을 맺는다.

## II. 기존 문헌 연구

빌딩 효율화와 관련한 기존 연구는 크게 세 가지로 구분할 수 있다.

첫 번째는 ICT의 활용으로 인한 에너지 효율 개선 효과를 분석하는 연구이다. Ropke et al. [7]은 ICT의 활용이 반드시 에너지 효율 개선으로 이어지지는 않으며 경제적 및 정치적 상황 또한 함께 고려되어야 한다고 주장하기도 하였다.

두 번째는 건물의 에너지관리시스템(EMS: Building Energy Management System)의 도입을 통해 빌딩 에너지를 절감하는 방안을 연구한다. Piazza et al. [8]은 신경망을 활용한 최적화 알고리즘을 통해 사용자의 행태를 유지하면서 에너지 소비량을 줄일 수 있는 시스템을 개발하였다. Shakeri et al. [9]은 에너지 저장 시스템과 제어 알고리즘을 통해 사용자의 편의를 저해하지 않으면서 전기요금을 줄일 수 있는 HEMS (Home Energy Management System)를 제안하였다. Escrivá-Escrivá et al. [10]은 HVAC (Heating, Ventilation, Air-Conditioning) 시스템의 제어를 변화 시킴으로써 달라지는 빌딩 에너지 절감 효과를 대학 캠퍼스를 대상으로 실증 분석하였다. Ippolito et al. [11]은 빌딩의 기존 에너지 효율 성능에 따라서 자동 제어 및 에너지 시스템의 편익이 달라질 수 있다는 것을 분석하였다. Rocha et al. [12]은 일정한 조절 온도를 활용하는 것보다 동적인 조절 온도를 활용하는 것이 BEMS(BEMS: Building Energy Management System)의 에너지 효율 절감 효과를 더욱 개선시킬 수 있는 것을 발견하였다. Soudari et al. [13]은 Hidden Markov Model과 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System 을 장착한 맞춤형 BEMS를 주거용 빌딩에 적용함으로써 에너지 소비량을 줄이는 한편 온도 변화를

거주자들이 불편을 느끼지 않는 구간(comfort range) 내로 유지할 수 있다는 것을 제시하였다.

세 번째는 이전의 2가지 관점 연구를 확장한 부분으로 빌딩 에너지 효율 증진을 위한 잠재적인 솔루션으로서의 ICT의 가능성을 분석하였다. 대표적으로 Kim et al. [14]은 2.4GHz 비면허대역과 400MHz 대역의 조합으로 BEMS에 필요한 데이터를 센서로부터 시스템으로 안정적으로 전송하기 위한 무선 시스템의 구축을 제안하였다. Granderson and Lin [15]은 Building Energy Information System을 통해 20% 정도의 빌딩 에너지 절감 효과가 있다는 것을 분석하였다.

관련하여 빌딩 에너지효율 가운데 병원과 같은 특정 건물의 에너지관리시스템의 적용 효과를 분석하는 연구[16], 병원의 에너지 소비패턴과 특성을 분석하여 절감요소를 도출하고 최적화된 시스템을 구현하는 연구[17], 신재생 에너지 관련 시스템의 경제성을 평가하는 연구[18], 호텔, 업무용 건물 등과의 에너지 부하 특성을 비교 분석하는 연구[19] 등 다양한 방면에서 활발히 진행되고 있다.

이상과 같은 기존 연구에서 볼 때 에너지 효율을 개선시키는 데에 있어서 ICT의 활용은 중요한 부분이 되고 있다는 것을 알 수 있으며, 더 나아가서, BEMS의 활용을 통해 빌딩의 에너지 사용량을 최소화하고 학습모델, 알고리즘, 센서 연결 등 빌딩의 에너지 효율을 더욱 높이는 가능성을 볼 수 있다.

### III. 실증사례분석: 병원 에너지 절감성과 향상 방안

#### 1. 조사방법

일반적으로 병원건물의 연간 에너지 사용량은 일반 빌딩의 약 1.5배에 이르는 것으로 조사되고 있다. 이는 병원이 환자의 치료를 위해 연중 365일, 24시간 운영하기 때문에 빌딩 부문에서 매우 높은 에너지 소비를 차지하고 있는 것이다[20][21].

또한 병원 내 수술실, 중환자실, 클리닉 등의 청정도 유지 및 감염방지를 위한 명확한 환기기준(외기도입량)

은 에너지 소비량 증가에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이와 같이, 환자를 위한 높은 온열쾌적감, 실내공기질 수준을 유지하기 위해 병원은 냉난방 에너지, 전기(조명 및 의료기기) 에너지의 소비량이 다른 용도의 건물에 비해 현저하게 증가하게 된다. 이에 따라 병원의 에너지 절감을 위해서는 건축적 성능뿐만 아니라 건물 내 주요 설비 및 시스템 효율 개선, 자동제어 등과 같은 설비적 에너지 성능 확보가 더욱 필요하다[22].

본 연구에서는 5층 규모, 440 병상의 국내 지방소재 A병원을 대상으로 기존의 냉난방용 흡수식 냉온수기와 급탕용 보일러 시설의 일부를 수축열 히트펌프 시설로 대체하여 냉난방 및 급탕에너지(비용)를 절감하기 위한 방안을 마련하였다. 추가적으로 여기에 냉난방 히트펌프 시스템을 대상으로 ICT기반의 최적제어시스템을 구축하여 운영상의 효율화를 통한 에너지 절감 방안을 마련하였다. 냉난방 및 급탕 히트펌프의 신규 설치는 2015년 5월 완료되었으며, 이후 최적제어시스템 구축을 위한 초기 운영 기간을 거쳐 최적제어방안은 2016년 10월 적용하였다. 본 연구에서는 2015년 6월부터 2017년 12월까지 24개월을 대상으로 설비 교체에 따른 에너지 절감 효과 분석을 수행하였으며 2016년 10월, 2016년 11월, 2017년 4월, 2017년 5월의 4개월을 대상으로 ICT기반의 최적제어시스템 적용을 통한 추가적인 에너지 절감 효과 분석을 수행하였다. 설비 교체에 따른 에너지 절감 효과 분석은 시스템의 교체 전후 에너지 소비량을 비교 분석하여 수행하였으며, 최적제어시스템 적용에 따른 추가적인 에너지 절감 효과 분석은 성과 분석(M&V, Measurement & Verification)의 국제 표준 프로토콜인 IPMVP(International Performance Measurement and Verification Protocol)를 기반으로 수행하였다[23].

#### 2. P병원 에너지절감 방안

P병원의 설비 교체를 통한 에너지 절감의 주안점은, 기존 가스를 에너지원으로 사용하던 냉난방용 흡수식 냉온수기와 급탕용 보일러를 심야 전기를 에너지원으로 사용하는 냉난방용 및 급탕용 히트펌프로 교체하여 에너지 생산 효율을 높이는 것이다. 실제로 국내 심야

전기 요금제도를 활용할 경우 오전/오후의 전기 요금과 비교하여 적게는 2배 이상, 많게는 3배 이상의 낮은 전기 요금 단가를 적용 받을 수 있다[24].

여기에 본 연구에서는 ICT기반의 최적제어 적용을 통한 에너지 성과 극대화를 위하여 제조사에서 제공하는 단위 장비의 제한적인 자동제어 알고리즘을 적용하지 않고 병원 환경의 특성을 고려한 시스템적 최적제어가 될 수 있도록 축열 최적 자동제어 알고리즘을 개발하고 실제 적용을 통해 그 성능을 검증하였다. 일반적으로 축열 최적 자동제어 방법은 수요를 고려하여 축열조의 축열 용량을 최적화하는 기법으로 냉동기, 보일러 등의 열원기기에 적용하여 큰 효과를 기대할 수 있다. 또한 열원기기는 사용 전력이 크기 때문에 열원 장비의 최적화 운전은 대상 건물의 수요제어에도 효과적일 수 있다.

다음[표 1]은 일반적인 냉난방 히트펌프의 자동 제어 방법과 본 연구에서 제안한 축열최적제어 방법을 비교하였다.

기존 자동 제어 방법의 경우 수요를 고려하지 않고 축열량을 항상 일정하게 유지하도록 냉난방 히트펌프를 제어하여 저수요 구간 내 과다 운전되는 단점을 가지고 있다.

표 1. 축열량과 최적자동제어 특성

기존 자동 제어	축열 최적 자동제어
축열량과 수요예측 열량 고려 없이 냉난방 운전온도(축열량) 고정 제어 => 저수요 구간 내 과다운전 및 축열 발생	축열량과 수요예측 열량을 비교하여 냉난방 운전 온도(축열량) 변동 제어 => 수요를 고려한 축열량 조절을 통해 에너지 절감 가능
일일 시간대 구분 없이 냉난방 운전온도(축열량) 고정제어 => 비효율적인 심야전기 활용발생	심야, 주간, 야간 시대대로 구분하여 냉난방 운전온도(축열량) 변동제어 => 시간대별 적용을 통해 심야 전기의 효과적인 활용 및 집중활용 시간대 수요예측 Risk 저감

또한 일정하게 축열량을 유지하도록 제어되고 있어 심야전기의 활용이 주목적인 시스템임에도 불구하고 심야전기 활용이 미미한 단점을 가지고 있다.

이에 반에 본 연구에서 제안하는 축열최적 자동제어는 수요 예측을 수행하고 이를 기반으로 최적의 축열량을 도출하여 낭비되는 에너지를 절감할 수 있으며 심야, 주간, 야간 시간대로 분리하여 최적제어를 수행함으로써 심야전기 활용을 극대화 할 수 있다.

이전의 [그림 1]은 보다 세부적인 냉방 운전 시의 축열 최적 자동 제어 알고리즘을 도식화 하여 나타내고 있다.

시스템의 축열 최적 자동 제어 간격은 30분이며 심야 시간(24 ~ 09시)에는 냉난방 히트펌프의 운전 설정 온도를 7°C로 고정하여 심야전기의 활용을 극대화 한다.

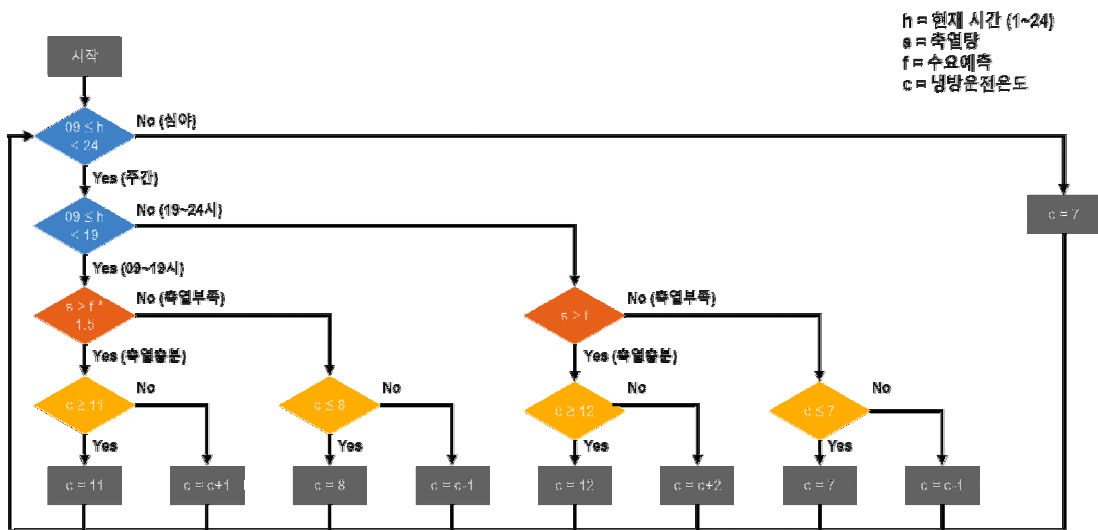


그림 1. 축열 최적제어 알고리즘 (냉방모드)

이후 병원의 주사용 시간대인 주간 시간(09 ~ 19시)에는 예측된 냉방 수요 값의 1.5배와 축열조가 보유한 축열량을 비교한 후 냉난방 히트펌프의 운전 설정 온도를 변동 제어하여 낭비되는 열이 없도록 하였다. 이후 야간 시간(19 ~ 24)에는 예측된 냉방 수요 값과 현재 축열조가 보유한 축열량을 비교한 후 냉난방 히트펌프의 운전 설정 온도를 변동 제어하여 낭비되는 열이 없도록 하였다. 이때 병원의 주사용 시간의 경우, 사용자의 온열쾌적감과 수요예측 결과의 불확실성을 고려하기 위하여 수요예측 값에 1.5배의 가중치를 적용한다.

다음의 [그림 2]은 보다 세부적인 난방 운전 시의 축열 최적 자동 제어 알고리즘을 도식화 하여 나타내고 있다. 난방 운전 시와 동일하게 시스템의 축열 최적 자

동 제어 간격은 30분이며 심야 시간(24 ~ 09시)에는 냉난방 히트펌프의 운전 설정 온도를 52℃로 고정하여 심야전기의 활용을 극대화 한다. 이후 병원의 주사용 시간대인 주간 시간(09 ~ 19시)에는 예측된 난방 수요 값의 1.5배와 현재 축열조가 보유한 축열량을 비교한 후 냉난방 히트펌프의 운전 설정 온도를 변동 제어하여 낭비되는 열이 없도록 한다. 이후 야간 시간(19 ~ 24)에는 예측된 난방 수요 값과 현재 축열조가 보유한 축열량을 비교한 후 냉난방 히트펌프의 운전 설정 온도를 변동 제어하여 낭비되는 열이 없도록 한다. 이때 병원의 주사용 시간의 경우, 난방 운전 시와 동일하게 사용자의 온열쾌적감과 수요 예측 결과의 불확실성을 고려하기 위하여 수요 예측 값에 1.5배의 가중치를 적용하였다.

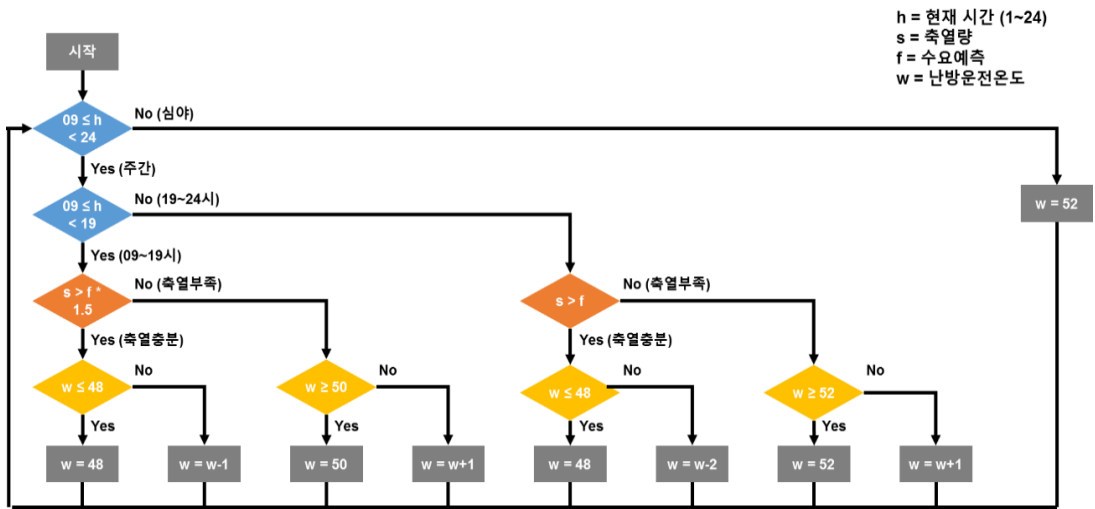


그림 2. 축열 최적제어 알고리즘 (난방모드)

#### IV. 분석결과

##### 1. 냉난방 및 급탕설비 교체에 따른 절감성과 분석

냉난방 및 급탕 설비 교체에 따른 에너지 절감 성과 분석은 설비 교체 전 12개월(2014년 6월 ~ 2015년 5월)의 에너지 소비량과 설비 교체 후 24개월(2015년 6월 ~ 2017년 5월)의 에너지 소비량을 비교하여 수행하였다.

평가 결과, 냉난방 및 급탕 에너지 소비 비용은 시스

템 교체 이후 연 평균 약 178.4 백만원 절감 된 것으로 나타났다. 이는 설비 교체 전 도출하였던 연간 절감 목표 금액인 187.1 백만원의 95.3% 수준으로 설비 교체를 통해 기대했던 에너지 절감 효과가 성공적으로 구현된 것으로 판단된다. 또한 분석 결과 여름철 절감 효과가 겨울철에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타나 겨울철의 추가적인 에너지 절감 방안 도출이 필요할 것으로 판단된다.

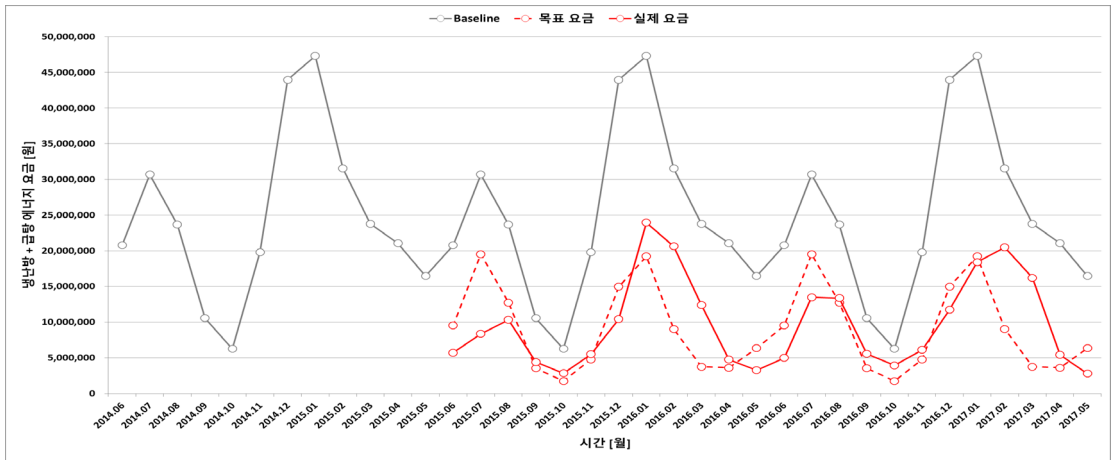


그림 3. 평가 기간 동안의 에너지 소비 요금

2. ICT기반 최적제어를 통한 절감성과 분석

ICT기반의 최적제어 적용을 통한 에너지 절감 성과 분석은 축열 최적 자동제어 알고리즘이 적용된 4개월(2016년 10월 ~ 2016년 11월, 2017년 4월 ~ 2017년 5월)의 에너지 생산량과 소비량, 운전시간 등을 전년도 동

기간(2015년 10월 ~ 2015년 11월, 2017년 4월 ~ 2017년 5월)과 비교 분석하여 수행하였다. 다음 [그림 4]는 축열 최적 자동 제어 적용의 정량적인 비용 절감 효과를 분석하기 위하여 수행한 IVMVP 기반 M&V 분석 결과이다.

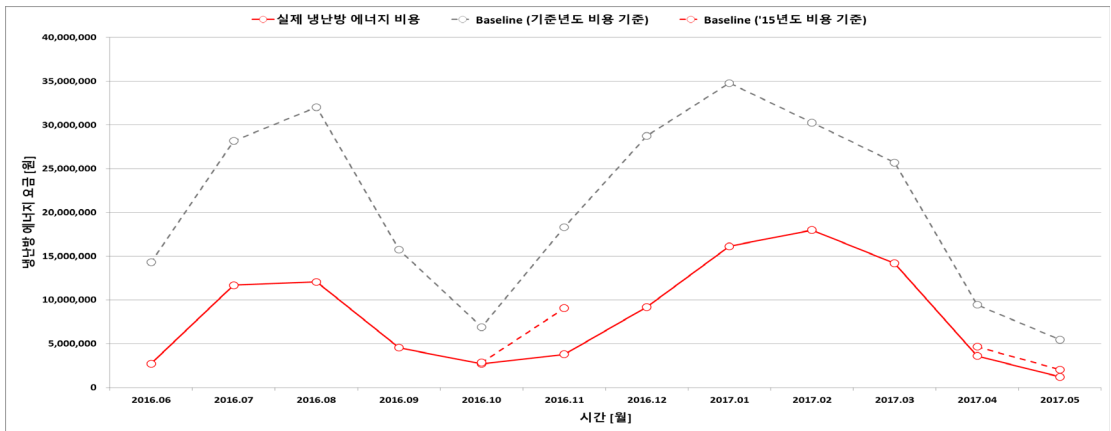


그림 4. IVMVP 기반 M&V 분석 결과

앞의 그림에서 빨간색 실선은 실제 수집된 냉난방 에너지 소비 비용을 나타내며, 회색 점선은 시스템 교체 전 1년(2014년 6월 ~ 2015년 5월)간의 데이터를 기반으로 도출된 Baseline model을 통해 예측된 에너지 소비

비용, 빨간색 점선은 시스템이 교체되었으나 축열 최적 자동제어가 적용되지 않은 1년(2015년 6월 ~ 2016년 5월) 간의 데이터를 기반으로 도출된 Baseline model을 통해 예측된 에너지 소비 비용을 나타낸다. 즉 회색 점

선과 빨간색 점선과의 차이는 시스템 교체에 따른 절감 비용을 나타내며, 빨간색 점선과 빨간색 실선과의 차이는 축열 최적 자동제어 적용에 따른 추가적인 절감 비용을 나타낸다. 분석 결과 축열 최적 자동제어 적용 시 축열 최적 자동제어 전과 비교하여 월 평균 약 1.8 백만원(약 18.2%)의 추가적인 비용 절감이 가능한 것으로 나타났다.

## V. 결론

### 1. 연구요약

본 연구는 빌딩에너지 효율화 관점에서 비교적 에너지사용량이 많은 병원을 대상으로 기존의 냉난방용 시설 일부를 히트펌프로 대체하고 ICT(Information & Communication Technology) 기반의 최적제어시스템을 적용하여 그 절감효과를 분석하였다. 여기서 ICT는 에너지 사용의 측정, 모니터링, 통제를 지속 가능하도록 함으로 낭비 요소를 감지하고, 효과를 극대화 하는데 활용되었다. 구체적으로 시간, 요일, 기상 등의 변수에 따라 달라지는 건물의 에너지 소비패턴을 분석해 절감요소를 도출하고, 수집된 데이터를 분석해 전력사용량 예측은 물론 최고점에 달하는 피크 예상 시간까지 고려한 에너지 비용절감방안을 마련하였다.

이는 기존의 일반적인 설비교체 중심의 에너지 효율화에서 ICT를 활용한 낭비 상황 관리까지 함께 실행함으로써 실질적이고 지속적인 에너지 절감 효과를 달성 가능하도록 한 것이다. 이를 통해 본 연구에서는 에너지 효율화 설비 적용으로 인한 절감량(53.6%)에 최적자동제어 효과(18.2%)까지 추가적으로 절감되어 목표 대비 총 71.8%가 절감되는 성과로 확인되었다.

### 2. 시사점

단순한 경제성장이 아니라 후속세대에서도 지속가능한 글로벌 경제성장을 이루기 위해서는 매일 이루어지는 경제활동에서 에너지와 관련한 환경적 영향을 최소화 할 필요가 있다. 이를 위해서 일반적으로 제시되는 대안 중 하나는 에너지 생산을 친환경적으로 바꾸는 것

이다. 하지만 비화석연료 에너지원은 다른 환경적 영향을 야기하는데 예를 들어 풍력 발전기는 근처의 생태계를 와해시킬 수 있으며, 원자력 발전은 방사성 폐기물의 처리라는 문제점을 보유하고 있어 에너지 문제를 근본적으로 해결하지는 못하는 한계가 있다.

그래서 대안으로 제시되는 것들이 에너지 효율을 증진시켜 매일 쓰이는 에너지량 자체를 줄이는데 관심이 증가하고 있으며, 이러한 맥락에서 에너지 효율은 “The sixth fuel”로 불리기도 한다. 다시 말해 주거용 및 상업용 빌딩의 에너지 효율을 개선하는 것이 지속가능한 경제성장이라는 퍼즐을 맞추는데 필수적인 조각이 될 수 있는 것이다.

이는 세계에너지 기구(International Energy Agency, IEA)가 최근 20년간 에너지 소비량은 약 49%, 탄소배출량은 43% 증가했다고 발표한 가운데 빌딩이 차지하는 소비량 비중이 36%를 차지할 만큼 높은 수준을 유지하고 있기 때문에 간과할 수 없는 부분이 되는 것이다.

### 3. 한계점 및 향후 연구과제

본 연구를 통해 건물 에너지 절감 성과를 높일 수 있는 구체적인 방안을 실증적으로 분석하고 제시하는 성과가 있었지만 보다 종합적인 관점에서 건물 전체의 에너지 최적화를 논하기에는 아직 해결되지 못한 부분들이 있다. 따라서 향후에는 본 연구와 같은 분석방법이 에너지절감 가운데 건물의 특성, 에너지절감 목표, 투자 예산 등의 요소까지 고려하고, ICT 적용이 냉난방, 조명, 환기 등 다양한 설비들을 서로 연결하여 빌딩 내외부 환경을 모니터링 하는 센서값 수집/분석까지 확대될 필요가 있겠다. 특히 수집된 데이터가 클라우드 기반의 대규모 빅데이터 분석을 통해 에너지 최적절감 제어방안을 마련하고 각각의 현장설비에 운영가이드까지 제공하는 수준까지도 확대 될 필요가 있으며, 궁극적으로는 건물에서 남은 전기를 거래하거나 ESS, 태양광까지 연계한 최적 에너지 효율화 방법과 분석으로 구체화되어 학문적으로나 실무적으로 의미 있는 결과를 제시할 필요가 있겠다.

## 참고 문헌

- [1] O. Barrack, "The irreversible momentum of clean energy," *Science*, Vol.355, No.6321, pp.126-129, 2017.
- [2] 우세진, "시간변수를 가진 건물에너지 절약 설계 요소의 디자인 결정을 위한 확률분포 결정모델," *한국콘텐츠학회논문지*, 제10권, 제3호, pp.21-31, 2010.
- [3] 조진균, 문정환, 강호석, "병원건물의 에너지 저감을 위한 에너지성능 평가에 관한 사례연구," *설비공학논문집*, 제29권, 제1호, pp.29-37, 2013.
- [4] 강상원, "최적 설비 자동제어를 통한 에너지 절감 스마트 빌딩," *한국정보 기술학회지*, 제9권, 제2호, pp.25-30, 2011.
- [5] 황성일, 박태준, 손영근, 전근표, "M2M기반 스마트 그리드 적용 사례 및 서비스 요구사항에 관한 연구," *한국통신학회논문지*, 제38권, 제7호, pp.612-620, 2013.
- [6] 이나은, 한혜심, 안병립, 정학금, 장철용, "기존건물의 시뮬레이션 및 실측 데이터를 활용한 냉방 에너지 절감방안 연구," *대한건축학회 논문집 - 계획계*, 제29권, 제4호, pp.235-242, 2013.
- [7] I. Røpke and T. Haunstrup, "Energy impacts of ICT - Insights from an everyday life perspective," *Telematics and Informatics*, Vol.29, pp.348-361, 2012.  
<http://doi.org/10.1016/j.tele.2012.02.001>
- [8] M. C. Di. Piazza, G. La, Tona, M. Luna, and A. Di. Piazza, "A two-stage Energy Management System for smart buildings reducing the impact of demand uncertainty," *Energy & Buildings*, Vol.139, pp.1-9, 2017.  
<http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.003>
- [9] M. Shakeri, M. Shayestegan, H. Abunima, S. M. S. Reza, M. Akhtaruzzaman, A. R. M. Alamoud, and N. Amin, "An intelligent system architecture in home energy management systems(HEMS) for efficient demand response in smart grid," *Energy & Buildings*, Vol.138, pp.154-164, 2017.  
<http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.026>
- [10] G. Escrivá-escrivá, I. Segura-heras, and M. Alcázar-ortega, "Application of an energy management and control system to assess the potential of different control strategies in HVAC systems," Vol.42, pp.2258-2267, 2010.  
<http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.07.023>
- [11] M. G. Ippolito, E. R. Sanseverino, and G. Zizzo, "Impact of building automation control systems and technical building management systems on the energy performance class of residential buildings: An Italian case study," *Energy & Buildings*, Vol.69, pp.33-40, 2014.  
<http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.025>
- [12] P. Rocha, A. Siddiqui, and M. Stadler, "Improving energy efficiency via smart building energy management systems: A comparison with policy measures," *Energy & Buildings*, Vol.88, pp.203-213, 2015.  
<http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.077>
- [13] M. Soudari, S. Srinivasan, S. Balasubramanian, and J. Vain, "Learning based personalized energy management systems for residential buildings," *Energy & Buildings*, Vol.127, pp.953-968, 2016.  
<http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.059>
- [14] A. Kim, J. Han, T. Yu, and D. Sik, "Hybrid wireless sensor network for building energy management systems based on the 2.4 GHz and 400 MHz bands," *Information Systems*, Vol.48, pp.320-326, 2016.  
<http://doi.org/10.1016/j.is.2014.06.005>
- [15] J. Granderson and G. Lin, "Building energy information systems : synthesis of costs, savings, and best-practice uses," *Energy*



Efficiency, pp.1369-1384, 2016.

<http://doi.org/10.1007/s12053-016-9428-9>

- [16] 김민휘, 김진호, 권오현, 석윤진, 정재원, “외기전담시스템의 병원건물에 대한 적용성 및 냉난방 에너지 절감 효과에 관한 연구,” 한국건축친환경설비학회 논문집, 제3권, 제4호, pp.184-191, 2009.
- [17] 조진균, 문정환, 강호석, “병원건물의 에너지 저감을 위한 에너지성능 평가에 관한 사례연구,” 설비공학논문집, 제29권, 제1호, pp.29-37, 2013.
- [18] 홍원표, “병원건물의 스마트그리드시스템의 에너지절약평가 및 경제성분석,” 조명전기설비학회논문지, 제24권, 제4호, pp.129-139, 2010.
- [19] 박화춘, 정모, “호텔, 병원, 업무용 건물의 에너지 부하 특성 비교,” 대한설비공학회 설비 공학논문집, 제21권, 제10호, pp.553-558, 2009.
- [20] J. Cho, J. Moon, K. Rhee, and H. Kang, “Energy consumption characteristics of patient room HVAC systems for large hospital buildings in worldwide climate zones,” Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol.31, No.3, pp.171-180, 2015.
- [21] 조진균, 문정환, 강호석, “병원건물의 에너지 저감을 위한 에너지성능 평가에 관한 사례연구,” 설비공학논문집, 제29권, 제1호, pp.29-37, 2013.
- [22] V. Čongradac, B. Prebiračević, N. Jorgovanović, and D. Stanišić, “Assessing the energy consumption for heating and cooling in hospitals,” Energy and Buildings, Vol.48, pp.146-154, 2012.  
<http://doi.org/http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.002>
- [23] Efficiency Valuation Organization. “International Performance Measurement and Verification Protocol: Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings,” 2012.
- [24] Korea Energy Economics Institute, “2014 Energy Consumption Survey,” 2015.

저 자 소 개

이 정 환(Junghwan Lee)

증신회원



- 2015년 8월 : KAIST 기술경영 (공학박사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 충북대 경영정보학과 교수

<관심분야> : 모바일, 계량분석, 에너지정책 등

한 영 도(Yeongdo Han)

정회원



- 2012년 2월 : 상명대 경영학과 (경영학박사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 상명대 국제경영학과 교수

<관심분야> : 마케팅조사, 경영혁신, 통신서비스 등

김 동 욱(Dongwook Kim)

정회원



- 2014년 2월 : KAIST 경영과학 (경영공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : KAIST 기술경영학과 박사과정 재학

<관심분야> : 기술혁신, 5G 표준화, 기술정책 등