https://doi.org/10.15682/jkiha.2020.26.1.63

Study on the elements affecting energy consumption of general hospitals in Korea

국내 종합병원의 에너지 사용량에 영향을 미치는 요인 도출

Jeong, Dawoon* 정다운 | Kim, Sunsook** 김선숙 | Kim, Hyegi*** 김혜기 | Kwon, Soonjung**** 권순정

Abstract

Purpose : The purpose of this study is to analyze the elements that affect the energy consumption of general hospitals in Korea. **Methods** : Factors affecting energy consumption in general hospitals include facility elements and operating elements. The effects of these elements on energy consumption of general hospitals were analyzed by statistical methods such as t-test, anova, correlation analysis, and regression analysis. **Results :** Total floor area, number of operating rooms, number of MRI, number of staffs, and number of outpatients can be said as useful variables that can explain energy consumption in general hospitals. **Implication :** It is possible to save energy consumption in general hospitals by adjusting major variables that affect the energy consumption of general hospitals.

Keywords: General Hospital, Energy Consumption, Facility elements of general hospital, Operational elements of general hospital

주 제 어: 종합병원, 에너지 사용량, 병원의 운영요소, 병원의 시설요소

1. Introduction

1.1 Research backgrounds & objectives

2018년 7월 환경부는 국제사회에 약속한 국가 온실가스 감축 목표 이행력을 높이기 위해 '온실가스 감축 로드맵'의 건물 부문 목표인 '2030년 온실가스 배출전망치(BAU) 대비 감축률'을 18.1%에서 32.7%로 상향 조정하였다(환경부, 2018)[1]. 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 건물 부문 온실가스 감축 수단으로서 건물에너지 효율 관리의 중요성이 부각되고 있다(Yi, 2013:7).

국토교통부는 신축 및 기존 건물의 에너지성능 향상 및 효율 개선을 유도하기 위해 건물의 물리적 성능 기준을 제한하거나 에너지성능을 평가하여 관리하는 다양한 정책을 시행하고 있으며,[2] 신축 건물은 점진적으로 강화된 법적 기준을 적용하여 설계단계에서부터 효율적인 에너지 사용을 유도하고 있다. 반면, 기준 강화 이전에 건축된 기존 건물은 효율적인 에너지 사용을 유도하는 것이 신규 건물보다 상대적으로 어렵다. 또한, 기존 건물의 에너지 사용은 물리적 조건인 기후나 건물의 성능뿐만 아니라 재실 특성과 운영 등에 의해 크게 영향을 받는다.

의료시설은 건물의 규모와 용도, 설비의 구성에 따라 다양한 기능이 포함되어 있으며, 병원의 종류와 운영 특성에 따라 에너지 사용량에 큰 편차를 보인다. 의료시설의 시설당 평균 에너지 사용량은 3,497toe로 건축물을 용도에 따라 분류했을 때 평균적으로 에너지를 가장 많이 소비하고 있으며, 단위 면적당 에너지 사용량(344Mcal/㎡)과 전력 사용량(194kWh/㎡)도 통신업종에 이어 두 번째로 높다(Korea Energy Economics Institute et al., 2017).

* Member, M.S.Student Department of Architecture, Ajou University (Primary author : wjdekgb@ajou.ac.kr)
** Member, Professor, Ph.D, Department of Architecture, Ajou University (kss@ajou.ac.kr)
*** Member, Ph.D.Candidate, Department of Architecture, Ajou University (kimhyegi@ajou.ac.kr)
**** Honorary president, Professor, Ph.D, Department of Architecture, Ajou University (Corresponding author : sjkwoon@ajou.ac.kr)

1) 건물 부문의 예상 온실가스 배출량은 온실가스 배출전망은 197.2백만 톤으로 2030년 국가 전체 예상 배출량의 23.2%이다.

2) 국토교통부는 녹색건축기본계획을 통해 그린리모델링사업, 에너지총량제, 제로에너지빌딩(ZEB, Zero Energy Building) 활성화를 도모하고 있으며 국내에서는 「녹색건축인증」, 「건축물 에너지효율등급 인증」, 「제로에너지건축물인증」 등의 제도를 통해 온실가스 감축을 유도하고 있다.

본 연구에서는 국내 의료기관 중 종합병원을 연구대상으로 설정하여 에너지 사용 특성에 대한 분석을 실시한다[3]. 의료시설에서 에너지 사용에 영향을 주는 요소로 건물 단열 성능, 냉·난방 설비, 의료장비 등의 시설 특성에 대한 요소들과 환자 수, 직원 수, 운영방식 등의 운영 특성에 대한 요소들이 있다. 이러한 요소들을 기반으로 종합병원의 에너지 사용에 영향을 주는 주요 변수들을 찾고, 의료시설의 에너지 사용량 감축 및 효율적 에너지 사용을 위한 기초자료를 구축한다.

1.2 Research Method

1) 연구 진행 절차

본 연구에서는 국내 종합병원의 에너지 사용 현황 및 특성을 분석하기 위해 국내·외에서 운영 중인 종합병원 에너지 사용 조사 관련 제도들을 분석하여 조사항목과 조사서 초안을 도출하였다. 이를 바탕으로 종합병원 4개소를 대상으로 예비조사를 진행하였으며, 결과 검토를 통해 조사항목을 선정하고 조사서를 작성하였다. 전체 종합병원을 모집단으로 하고, 비례층화표본추출법을 활용하여 조사대상을 선정하였다. 조사는 2018년 8월부터 10월까지 3개월에 걸쳐 진행되었으며, R statistics를 활용하여 수집된 자료의 통계 분석을 실시하였다.

2) 조사 방법

자료 수집은 사전 조사와 현장 조사로 나누어 진행하였다. 사전 조사는 의료시설 방문 전 조사 관련 자료를 요청 및 수집하는 단계이다. 조사에 응답하는 병원 담당자에게 건물의 도면, 장비 일람표 등의 설계도서 준비와 조사항목에 대한 설문(조사서) 작성을 요청하였다. 현장 조사를 진행하기 전 건축물대장, 관련 법규 등의 자료와 병원 사이트 및 포털 사이트의 지도를 활용하여 조사대상 병원 관련 자료를 수집하였다.

현장 조사는 조사원이 의료시설에 방문하여 조사를 완료하는 단계이다. 사전에 요청한 자료를 확인하고, 병원 담당자와 함께 설문 작성을 완료하였다. 병원 담당자 인터뷰 및 시설 현장 확인을 통해 해당 의료시설의 시설 특성과 운영 특성을 파악하였다.

2. Selection of survey items and target

2.1 Selection of survey items through case analysis

국내 종합병원의 에너지 사용 특성 조사를 위한 조사항목 구성에 앞서 위해 [Table 1]과 같이 4개 국가의 에너지 운영실태조사 및 에너지 평가 관련 제도 분석을 진행하였다.

조사항목의 체계 및 용도별 차이를 분석하고 각 제도에서 사용된 빈도를 파악하여 조사항목의 유형을 도출하였다. 조사항목의 활용목적 및 조사 방법 (단순 조사/제도 반영 등)을 고려하여 조사항목의 국내 반영 가능성을 검토하였다. 8개의 사례조사를 통해 도출된 조사항목의 유형은 [Table 2]와 같다.

[Table 1] Cases of investigation (survey) or systems

Country	Survey or system name	Type
U.S.	Commercial Building Energy Consumption Survey (CBECS)	1*
	Energy Star Portfolio Management system (ESPM)	2**
	American Hospital Association (AHA) survey	1
	American Society for Healthcare Engineering (ASHE)	1
Germany	Verbrauchsausweis	2
India	Building Energy Efficiency Star rating (BEES)	2
Korea	Energy consumption survey	1
	National integrated energy consumption database	1

* Case of building operation survey (including data collection)
** Cases in which operation survey results were used in the system

[Table 2] Type of survey item

Type	Details
General information	- Building name, address - Building type (public, private) - Survey respondents' information - Total floor area / Area for business activity - Wall/Roof/Windows thermal performance, etc.
Operation and occupancy	- Type of service for business activity (e.g. surgery, emergency center, etc.) - Number of staffs, visitors, etc.
Equipments for business activity	- Equipment type for business activity (MRI, CT, etc.) - Number of equipments for business activity
Equipment and energy use	- Heating and cooling production (system, source, control) - HVAC, Hot water, Lighting system - Monthly and Annual energy consumption data, Automatic control, etc.

조사항목은 병원의 기본 정보와 건축, 설비, 의료장비, 운영 및 재실 특성, 에너지 사용량과 에너지 사용량 기반 성능평가를 위한 모델 도출을 위해 조사 되는 항목, 의료시설 에너지 운영 특성 DB 구축을 목적으로 조사되는 항목을 포함한다.

의료시설에서의 에너지 사용과 관련한 특화된 항목은

3) 종합병원은 병·의원에 비해 시설의 규모가 크고 복잡하며, 병원 건물을 독립적으로 사용할 가능성이 크기에 다양한 측면에서의 복합적인 분석에 유리하다. 본 연구에서는 국내 의료시설 중 종합병원을 우선하여 연구를 진행한다.

[Table 3]과 같으며, 의료 공간에 대한 정보, 병원의 규모를 나타내는 병상 수, 전기 에너지 사용량이 집적된 의료기기에 대한 항목을 포함한다.

[Table 3] Specialized survey item of hospital

Space information	Equipments for business activity
Ratio of medical area (%)	Number of medical equipments (e.g. MRI, CT, etc.)
Space ratio for medical service (%)	
Number of beds (licensed, operating)	
Pool operating for rehabilitation [Y/N]	

2.2 Preliminary survey

본 조사 진행에 앞서 조사항목 및 조사 방법에 대한 검토를 위해 예비조사를 실시하였다. 예비조사를 통해 종합병원 조사에서 수집 가능한 정보를 파악하고, 조사 가능성을 검토하였으며, 조사항목 및 조사 방법을 조정하였다. 예비조사는 종합병원 4개소를 대상으로 진행되었다. 예비조사는 2018년 5월에서 6월까지 2개월간 진행하였으며, 조사대상의 개요는 [Table 4]와 같다.

[Table 4] Preliminary survey target

Hospital name	Number of beds	Hospital type	Opening year
S	580	University	1983
I	300	Public	1997
B	200	Private	2011
M	300	Private	2017

각 병원을 방문한 후 매번 조사항목과 조사서를 수정해나가는 방식으로 조사를 진행하였다. 예비조사 과정을 통해 건물의 형상, 건물의 향(배치), 취사용 도시가스 사용량, 8시간/24시간 운영구역별 면적, 기숙사/강의동 면적 등이 조사항목에서 제외되었다. FTE(Full Time Equivalent)는 총 직원 수로 변경되었으며, 응급실 주간/주말 방문자 수는 연간 방문자 수로 변경되었고, 창호/지붕/벽체의 단열기준은 단열재 정보가 없을 때는 법규 기준을 따르는 것으로 조정하였다.

2.3 Selection of survey target by stratified sampling

본 연구의 조사대상은 100병상 이상 종합병원[4]이다. 1000병상 이상의 대형 종합병원은 조사대상에서 제외하였다[5]. '2016전국병원명부'[6]를 참조하여 323개의 표본[7]을 확보하였다.

조사대상 선정은 비례층화추출법[8]을 이용하였다. 병상을 층화 변수로 두고 100병상에서 1000병상까지 100병상 단위에 따라 후보군을 선정하였다. 표본 추출 절차에 따른 병상 구간별 표본 분포는 [Table 5]와 같다.

[Table 5] Results of sampling by number of beds

Class	100 ~ 200	200 ~ 300	300 ~ 400	400 ~ 500	500 ~ 600	600 ~ 700	700 ~ 800	800 ~ 900	900 ~ 1000	Total
Population	40	133	33	36	24	16	13	20	8	323
Planned sample	12	42	10	12	8	4	4	6	2	100
Surveyed sample	7	23	4	5	2	3	0	2	2	48

조사목표인 종합병원 50개소 선정에 앞서 100개의 조사 후보군을 선정하였다. 조사는 연구진의 현장방문 접근성, 조사의 효율성과 병원의 협조 가능성을 고려하여 조사 후보군 내에서 우선순위를 정하여 진행하였다. 54개소를 대상으로 조사를 진행하였으며, 최종적으로 종합병원 48개소[9]의 자료를 확보하였다.

조사 후보군과 최종 결과군의 병상별 표본 분포가 정비례하지 않는데, 이는 조사대상 선정에 참조한 자료와 실제 조사시기의 시간 차이에 기인한 것이다. 조사 후보군 선정에 참조한 2017년 발행된 '2016 전국병원명부'에 기재된 병상 수와 설문조사에서 2017년 12월 기준으로 조사한 실제 운영 중인 병상 수 간의 차이가 발생했고, 층화구간별 표본 수의 차이가 발생하였다.

2.4 Selection of final survey items and preparation of survey forms

국내외 제도 분석과 예비조사를 통해 도출한 최종조사항목은 [Table 6]과 같다.

1) 기본정보에는 병원의 일반사항에 대한 변수인, 병원명, 주소, 응답자(병원 담당자)에 대한 정보와 개원 시기, 시설관리 방식과 연면적, 병상 수 등의 항목이 포함된다.

2) 건축정보에는 병원의 시설과 건축적 특성에 대한 변수인 용도별 면적, 건물의 단열 성능 등의 항목이 포함된다.

3) 에너지 정보에는 에너지 원별 월별 사용량과 비용 등의 항목이 포함된다.

4) 「의료법」 제3조의3

5) 병원의 동 수가 많고, 의과대학이나 기숙사, 연구시설과 같이 의료공간 외 공간의 비율이 높을 가능성이 크기에 제외하였다.

6) 대한병원협회, 2017, 2016 전국병원명부

7) 전체 338개소 종합병원 중 1000병상 이상 15개소를 제외하였다.

8) 모집단에 대한 사전지식이 필요하고, 긴 시간이 소요되지만, 동질적인 집단에 대해 무작위 추출이 가능하며, 표본 추출의 오차를 낮추고 대표성을 높일 수 있는 방법론이다.

9) 조사대상 종합병원 54개소 중 에너지 데이터 부족(2개소), 중도 포기(2개소), 데이터 오류(2개소)로 6개 병원이 최종 표본에서 제외되었다.

[Table 6] Survey items table

Category	Survey item	Category	Survey item
1) General information	Hospital name	4) Mechanical & Electronic (M&E) information	Main heating & cooling system
	Address of hospital		Main heating & cooling energy source
	Survey respondents' information		Hot water system & source
	Built year, Opening year		Type of HVAC system (central / individual)
	Hospital type (public / private)		Electrical power system (contract demand, transformer)
	Building management method		
	Number of beds (licensed, operating), Hospital bed operation rate		Emergency power system (UPS capacity, emergency generator)
	Total floor area, Total floor area above the ground, Floors above the ground & basement, Total floors		Lighting (application rate of LED in buildings, lighting control methods)
2) Architectural information	Ratio of medical area		Transport (elevator, escalator etc)
	Parking area in building		BAS(Building Automation System) and EMCS (Energy Management Control System)
	Ratio of cooking area		
	Exterior wall/roof/windows thermal performance	5) Heating & Cooling operating	Operating days and time of heating & cooling system
	Number of buildings in hospital		
	Laundry room in medical facility [Y/N]		Heating & cooling set temperature
	Retrofit history	6) Operating information	Total number of staffs, inpatients, outpatients
3) Energy consumption	Monthly energy consumption		Number of medical equipments (MRI, CT, fixed X-ray, PET)
	Annual energy consumption		Number of operating rooms

4) 설비정보에는 병원의 설비 시설에 대한 변수인 냉난방 열원 및 연료, 공조 방식, 전력 설비, 조명 설비, 운송 설비 등의 항목이 포함된다.

5) 냉·난방 정보에는 의료시설 내 구역별 냉난방 시간, 온도, 기간 등에 대한 항목이 포함된다. 6)운영정보에는 병원의 의료행위 규모를 나타내는 변수인 병상 수, 직원 수, 환자 수, 의료기기 수, 수술실 수 등의 항목이 포함된다.

3. Characteristics of energy consumption in general hospitals

종합병원 48개소에서 총 100여 개의 변수를 수집하였으며, 통계적 분석을 통해 도출한 유의미한 분석 내용을 [Table 7]과 [Table 8]에 정리하였다. '총 에너지 사용량'에 대해 높은 설명력을 가진 주요 변수들의 분포는 [Table 9]와 [Figure 1]에 나타내었다.

[Table 7]에는 연속형 변수들의 평균값과 병상 구간별 평균값을 나타내었으며, 각 변수를 독립변수로 하고, '총 에너지 사용량', '연면적당 에너지 사용량' 각각을 종속변수로 하는 단일 회귀분석 통계치를 함께 나타내었다. [Table 8]은 이산형 변수들의 항목별 비율과 '연면적당 에너지 사용량'에 대한 평균값을 함께 나타내었다.

에너지 사용에 대한 분석은 병원의 '총 에너지 사용량'과 단위 면적당 에너지 사용량인 EUI(Energy use intensity)[10] 변수가 다른 변수들과 어떤 관계가 있는지 분석한다. 총 에너지 사용량은 각 병원에서 사용 중인 전기, 도시가스, 지역난방 등의 2017년 월별 에너지 사용량을 최종 에너지를 기준으로 환산하여 합산하였다.[11] EUI 변수는 규모를 나타내는 변수 중 '총 에너지 사용량'에 대한 설명력이 가장 높은 연면적을 반영한, 단위 면적당 에너지 사용량을 사용하였다.

3.1 Analysis of general information

조사에 참여한 48개 종합병원은 평균적으로 건물을 사용한 지 21.1년이 지났고[12], 연면적은 28,569m²이며, '허가병상당 연면적'은 74m²/병상이다. '허가 병상 수'와 '가동 병상 수'는 각각 360병상, 349병상으로 '가동 병상 수'가 '허가 병상 수'에 비해 11병상 적으며, '병상가동률'은 83.3%이다.

'연면적, 허가 병상 수, 가동 병상 수' 등 의료시설의 규모를 나타내는 변수들은 '총 에너지 사용량'과 높은 관계성을 나타

10) EUI(Energy Use Intensity) 변수는 '단위 면적당 에너지 사용량(kWh/m²)'과 같이 에너지 사용량을 면적으로 나눈 것으로, 규모에 대한 영향력이 배제된 변수이다. 개별 의료시설의 에너지 성능을 나타내는 변수로 볼 수 있다.

11) 탄소배출량 등 환경에 미치는 영향을 고려한다면 1차 에너지로 환산하여 분석하는 것이 유리할 수 있지만, 본 연구에서는 병원 관계자 및 실무진들이 직관적으로 이해하기 편리한 최종 에너지를 사용 하였다.

12) 건물 사용 년수는 건물이 여러 동일 경우 가장 비중이 큰 본관을 기준으로 하였으며, 시기는 2018년 기준이다. 16년 7월 개설이라면 1.5년 경과 된 것으로 보았다.

낸다. 세 변수 중 가장 설명력이 높은 변수는 '연면적'이며, '총 에너지 사용량'에 대해 85%의 설명력이 있다. 연면적이 1000m² 증가할 때마다 에너지 사용량이 343MWh 증가하는 것으로 볼 수 있다.

각 변수를 독립변수로, '연면적당 에너지 사용량'을 종속변수로 단일회귀 분석을 실시한 결과 '연면적당 에너지 사용량'에 대한 각 변수의 결정계수는 낮고, 유의미하지 않았다. 이는 '총 에너지 사용량'에 대해 높은 설명력을 나타내는 '연면적'에 대한 영향력을 배제할 경우 다른 변수의 설명력이 낮음을 나타낸다.

'허가병상당 연면적'은 '총 에너지 사용량'에 대해 28%의 설명력이 있다. '허가병상당 연면적' 값은 '100~300병상' 구간 평균 66.6m²/병상, '300~500병상' 구간 평균 78.5m²/병상, '500병상 이상' 구간 평균 93.9m²/병상으로 병상 규모가 커짐에 따라 값이 증가하는 것으로 나타난다.

'병상가동률'은 병상 구간별 평균에서, 병상 규모가 커질수록 가동률이 높은 것으로 나타났으며, 에너지 사용량을 비롯해 다른 주요 변수들과 유의미한 관계가 나타나지 않았다.

1) 운영 주체에 따른 에너지성능 비교

운영 주체에 따른 에너지성능의 차이를 비교하기 위해 민간 병원과 공공병원의 '연면적당 에너지 사용량' 값을 비교해 보았다. 참여한 병원의 83%(40개소)는 민간 병원이며, 17%(8개소)는 공공병원이다. 민간 병원과 공공병원의 '연면적당 에너지 사용량' 값의 평균은 각각 343.1kWh/㎡, 441.0kWh/㎡으로 97.9kWh/㎡ 만큼 차이가 있으나, 유의수준 95%에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

[Table 7] Descriptive statistics & linear regression result _ continuous variable (N=48)

Category	Variables	freq	Average	Average by number of bed			Dependent variable			
				100~300 be	300~500 bed	Over 500 bed	Total energy consumption per year (MWh)		Total energy consumption per total floor area (kWh/m²)	
				N=30	N=9	N=9	Coeff.	R²	Coeff.	R²
General information	Building use period (year)	48	21.1	20.8	25.4	17.7	-98.8	0.016	2.37	0.040
	Total floor area (m²)	48	28,569	14,783	32,789	70,301	0.343***	0.850***	-0.001	0.018
	Total floor area per licensed bed (m²/bed)	48	74.0	66.6	78.5	93.9	180.6***	0.284***	-0.968	0.036
	Number of licensed beds (bed)	48	360.2	225.8	421.3	747.0	36.0***	0.699***	-0.074	0.013
	Number of staffed beds (bed)	47	349.0	210.6	408.0	735.9	35.9***	0.716***	-0.061	0.009
	Bed operation rate (%)	48	83.3	82.7	83.1	85.8	78.5	0.006	-3.11	0.041
M&E information	Application rate of LED in buildings (%)	48	52.4	53.8	53.2	47.1	-5,801	0.031	-16.4	0.001
	Number of elevator (Unit)	48	8.2	5.2	10.2	16.3	1,377***	0.782***	-1.02	0.002
Architectural information	Number of buildings in hospital	48	2.4	1.8	3.4	3.6	2500***	0.249***	-0.000	0.005
	Roof thermal performance (W/m²K)	48	0.4	0.3	0.4	0.3	-3,120	0.001	343.5	0.064
	Exterior wall thermal performance (W/m²K)	48	0.5	0.5	0.5	0.5	2,870	0.000	97.1	0.003
	Windows thermal performance (W/m²K)	48	2.8	2.6	2.4	3.8	8,610	0.288	1.8	0.000
Operating information	Total number of staffs	48	660.9	358.2	794.7	1,536	14.7***	0.670***	-0.004	0.000
	Total number of emergency room patients per year	48	21,945	15,183	25,741	40,687	0.350***	0.347***	0.000	0.000
	Total number of outpatients per year	48	342,016	198,733	366,074	795,566	0.026***	0.645***	-0.000	0.013
	Total number of inpatients per year	48	86,552	42,786	88,468	230,521	0.061***	0.398***	-0.000	0.001
	Number of operating rooms	48	6.5	4.3	6.4	14	1,649***	0.624***	1.92	0.004
	Number of MRI	48	1.6	1.2	1.7	2.7	8,125***	0.504***	22.6	0.017
	Number of CT	48	1.8	1.2	2.6	3.2	4,586***	0.347***	-11.6	0.010
	Number of X-ray	48	7.6	4.7	11.9	13.1	585**	0.191**	0.377	0.000
Energy consumption	Total energy consumption per year (MWh)	48	9,800	4,912	11,714	24,178	-		0.003	0.035
	Total energy consumption per total floor area (kWh/m²)	48	359.4	365.3	356.4	343.0	12.4	0.035	-	
	Total energy consumption per licensed bed (kWh/bed)	48	25,851	32,834	28,382	31,998	0.437***	0.333***		
	Total energy consumption per staffed bed (kWh/bed)	47	27,506	23,407	27,852	32,484	0.370***	0.257***		

* p<0.5, ** p<0.01, *** p<0.001

[Table 8] Descriptive statistics _ discrete variable

Category	Variable	Type	freq	ratio	Average of EUI*
General information	Hospital type	Private	40	83%	343.1
		Public	8	17%	441.0
		Total	48	100%	-
	Hospital size	Under 300 beds	30	63%	356.5
		Over 300 beds	18	38%	364.3
		Total	48	100%	-
M&E information	Main heating system	Absorption chiller-heater	18	38%	368.4
		Steam boiler	11	23%	370.3
		EHP	8	17%	342.7
		District heating	5	10%	316.7
		Others[13]	6	13%	370.3
		Total	48	100%	-
	Main cooling system	Absorption chiller-heater	19	40%	373.5
		Absorption chiller	11	23%	352.7
		EHP	11	23%	340.3
		Others[14]	7	15%	361.8
		Total	48	100%	-
	HVAC	Central	26	54%	370.3
		Individual	13	27%	345.9
		Mixed	5	10%	337.0
		No AHU	4	8%	361.0
		Total	48	100%	-
	Main heating source	Gas (LNG)	29	60%	363.5
		Electricity	13	27%	369.1
		District heating	5	10%	316.7
		LPG	1	2%	329.4
		Total	48	100%	-
	Main cooling source	Gas (LNG)	25	52%	357.3
		Electricity	22	46%	369.1
		District heating	1	2%	200.1
		Total	48	100%	-
	Hot water source	Gas (LNG)	38	79%	365.0
		Electricity	5	10%	364.1
		District heating	4	8%	308.3
		LPG	1	2%	329.4
		Total	48	100%	-

* Average of EUI is Average Total Energy Consumption per Total floor Area (kWh/㎡)

13) [Table 8] 주 난방열원의 기타 항목은 '지열원 히트펌프(2)', '공기열 히트펌프(2)', '히트펌프(1)', '축열시스템(1) 이다.

14) [Table 8] 주 냉방열원의 기타 항목은 '공기열 히트펌프(2)', '빙축열 시스템(2), '지열원 히트펌프(1)', '히트펌프(1)', '스크류식 히트펌프(1)' 이다.

2) 병상 수에 따른 에너지성능 비교

병상 수에 따른 에너지성능을 차이를 비교하기 위해 300병상을 기준으로 '연면적당 에너지 사용량' 값을 비교해보았다[15]. 참여한 병원의 63%(30개소)는 300병상 미만이며, 38%(18개소)는 300병상 이상이다. 300병상 미만 병원과 300병상 이상 병원의 '연면적당 에너지 사용량' 값의 평균은 각각 356.5kWh/㎡, 364.3kWh/㎡으로 8.8kWh/㎡ 만큼 차이가 있으나, 유의수준 95%에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

3.2 Analysis of M&E information

'승강기 대수'는 '총 에너지 사용량'에 대해 78.2%의 설명력이 있다. 승강기 대수가 1대 증가할 때마다 '총 에너지 사용량'이 1,377MWh 증가하는 것으로 나타난다.

'LED 조명 비율'은 병원 전체 조명 중 LED 조명의 비율이다. 평균적으로 병원 내 조명의 52% 정도는 LED 조명을 사용하는 것으로 나타난다. 'LED 조명 비율'은 에너지 관련 변수와 통계적으로 유의미한 관계가 나타나지 않았다.

1) 공조 방식에 따른 에너지성능 비교

공조 방식은 '주 냉·난방 열원' 및 '공조기'를 기준으로 '중앙식'과 '개별식'으로 구분하였으며, 냉·난방에 따라 '개별식'과 '중앙식'을 나누어 운영하는 경우 '혼용방식'으로 분류하였다.

'중앙식'은 26개소(54%), '개별식'은 13개소(27%), '혼용방식'은 5개소(10%), 공조기를 운영하지 않는 병원은 4개소(8%)이다. 공조 방식이 '중앙식'인 병원과 '개별식'인 병원의 '평균 연면적당 에너지 사용량'은 각각 370.3kWh/㎡, 345.9kWh/㎡로 24.4kWh/㎡ 만큼 차이가 있으나, 유의수준 95%에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

공조 방식에 따른 병원들의 평균 '건물 사용 년수'를 비교해보았을 때 '중앙식(20.5년)', '개별식(18.8년)', '혼용방식(15.3년)', '공조 없음(39.5년)'으로 공조기를 운영하지 않는 병원은 지어진 지 40년가량 지난 오래된 병원임을 알 수 있다.

2) 주 냉·난방 열원에 따른 에너지성능 비교

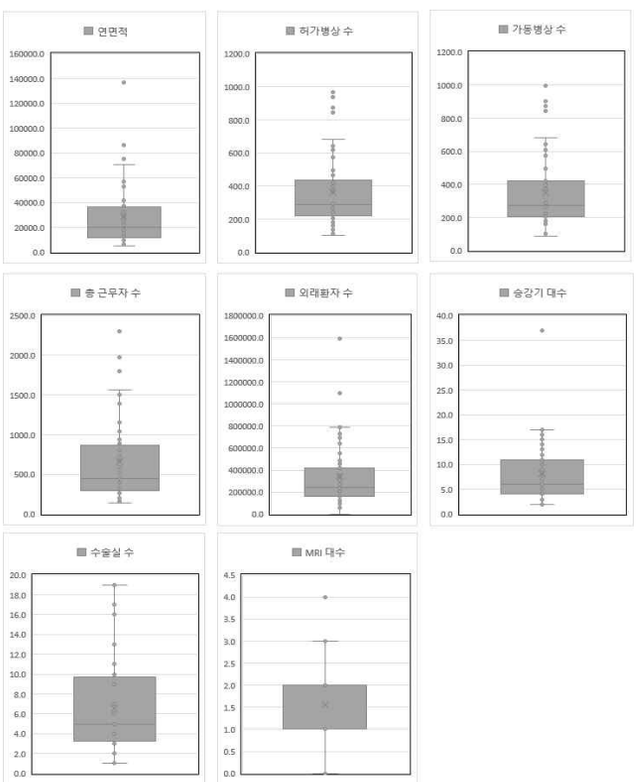
각 병원에서는 설비 구성 및 동별 특성에 따라 하나, 또는 여러 가지 냉·난방 열원을 사용하고 있다. 주 냉·난방 열원에 대한 분석은 병원의 본관에서 사용 중이거나 가장 큰 비중으로 사용하고 있는 열원을 기준으로 하였다.

'주 난방 열원'과 '주 냉방 열원'으로 가장 많이 사용하는 것은 냉온수기다. '주 난방 열원' 중 '평균 연면적당 에너지 사용량'이 가장 높은 것은 증기보일러(370.3kWh/㎡)이며, 가장

15) 의료법에 따라 종합병원은 300병상을 기준으로 진료 과목이 늘어나며, 중환자실 설치가 가능하고 의료행위의 중증도가 높아진다.

낮은 것은 지역난방(316.7kWh/㎡)이다. '주 냉방 열원' 중 '평균 연면적당 에너지 사용량'이 가장 높은 것은 냉온수기(373.5kWh/㎡)이며, 가장 낮은 것은 EHP(340.3kWh/㎡)이다.

'주 냉·난방 열원'으로 EHP를 사용하는 병원들의 '평균 연면적당 에너지 사용량'이 냉온수기를 사용하는 병원들의 '평균 연면적당 에너지 사용량'에 비해 낮으나 유의수준 95%에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다. '주 냉·난방 열원'의 다른 항목들에서도 열원 종류에 따른 '평균 연면적당 에너지 사용량'이 유의수준 95%에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다.



[Figure 1] Box plot_quartile of primary variables

[Table 9] Quartile of primary variables

Variable	freq	Minimum (0%)	1st Q (25%)	Median (50%)	3rd Q (75%)	Maximum (100%)
Total floor area	48	4,951	11,830	20,067	34,752	136,674
Licensed beds	48	100	222	290	428	965
Staffed beds	47	85	207	272	414	996
Outpatients	48	1,752	162,214	245,677	419,184	1,591,851
Workers	48	140	292	444	826	2,300
Elevators	48	2	4	6	11	37
Operating rooms	48	1	3.75	5	9.25	19
MRIs	48	0	1	1	2	4

3) 주 냉·난방 및 급탕 연료에 따른 에너지성능 비교

주 냉방 연료'와 '급탕 연료' 세 변수 모두 도시가스, 전기, 지역난방 순서로 높은 사용률을 보인다. '주 난방 연료'는 도시가스(60%), 전기(27%), 지역난방(10%)의 사용률을 나타낸다. '주 냉방 연료'는 도시가스(52%), 전기(46%), 지역난방(2%)로 상대적으로 전기 사용률이 높고, 지역난방 사용률이 낮다. '급탕 연료'는 도시가스(79%), 전기(10%), 지역난방(8%)로 도시가스 사용률이 높고, 전기 사용률이 낮다.

지역난방을 사용하는 경우 다른 연료에 비교해 '평균 연면적당 에너지 사용량' 값이 낮으나, 유의수준 95%에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

3.3 Analysis of architectural information

'건물 수'는 종합병원에서 사용 중인 건물 수이다. '총 에너지 사용량'에 대해 24.9%의 설명력이 있다. 건물 수가 1동 증가할 때마다 '총 에너지 사용량'이 2,500MWh 증가하는 것으로 나타난다.

건물의 단열 성능은 외벽·지붕·창호 세 가지 항목을 조사하였다. 48개 병원 중 8개 병원에서 외벽과 지붕의 단면 및 창호에 대한 정보를 포함한 도면을 확보하였으나, 열관류율 계산을 위한 충분한 정보 부족으로[16] 외벽·지붕·창호의 열관류율은 해당 건물이 지어지던 때의 법적 단열기준[17]을 활용하였다. 창호에 대한 단열기준은 2001년 생겨났으며, 본 연구에서는 2001년 이후에 해당하는 11개소만 창호의 단열기준을 적용하였다.

위와 같은 제약 조건으로 인해 외벽·지붕·창호의 열관류율은 '총 에너지 사용량'과 통계적으로 유의미한 관계가 나타나지 않는다.

3.4 Analysis of operating information

병원의 운영 규모를 나타내는 '총 근무자 수'는 '총 에너지 사용량'에 대해 67%의 설명력이 있다. 근무자가 1명 증가할 때마다 '총 에너지 사용량'이 14.7MWh 증가하는 것으로 나타난다.

'환자 수'에 대한 세 가지 항목인 '연간 입원환자 수', '연간 외래환자 수', '연간 응급실 환자 수' 중 '에너지 사용량'에 대해 가장 높은 설명력을 나타내는 변수는 '연간 외래환자 수(65%)'이다.

'연간 외래환자 수'가 1명 증가할 때 '총 에너지 사용량'이

16) 단면 및 창호 관련 도면을 제공한 8개소 중 6개소에서 제공한 도면은 외벽·지붕·창호의 열관류율 계산에 필요한 충분한 정보를 포함하고 있지 않았으며, 2개소에서 제공한 도면은 창호의 열관류율 계산에 필요한 충분한 정보를 포함하고 있지 않았다.

17) '건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 건축물의에너지절약설계기준' 등을 참조하였다.

26kWh 증가하는 데 반해 '연간 입원환자 수'가 1명 증가할 때 '총 에너지 사용량'이 61kWh 증가하고, '연간 응급실 환자 수'가 1명 증가할 때 '총 에너지 사용량'이 350kWh 증가하는 것으로 나타난다. 환자 수 증가에 따른 '총 에너지 사용량' 증가분의 차이는 환자의 특성에 따른 것으로, 일반 외래환자에 비해 입원환자는 긴 시간 병원에 머무르고 다양한 검사를 진행하며 더 많은 에너지를 소비하고, 응급실 환자는 고도화된 의료행위와 에너지 사용량이 집적된 의료장비의 사용으로 더 많은 에너지를 소비하는데 기인한 것으로 보인다.

의료시설에 관한 변수인 '수술실 수'는 '총 에너지 사용량'에 대해 62.4%의 설명력이 있다. 의료장비인 'MRI 대수'와, 'CT 대수' 중 '총 에너지 사용량에 대해 높은 설명력이 보이는 변수는 'MRI 대수(50%)'이다. 수술실과 MRI 등의 변수는 '총 에너지 사용량'에 직접적인 영향을 끼치는 변수라기보다 수술실과 MRI를 사용하며 함께 발생하는 의료행위에 관한 내용을 함축적으로 포괄하는 변수라고 볼 수 있다.

4. Conclusion

본 연구에서는 국내 종합병원의 에너지 사용 특성을 분석하기 위해 제도 분석 및 예비조사를 통해 조사항목을 선정하였다. 현장방문을 통해 48개 종합병원을 대상으로 자료 수집을 완료했으며, 통계 분석을 하여 에너지 사용량에 영향을 주는 주요 변수들을 파악하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 에너지 사용량에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 종합병원의 규모를 나타내는 '연면적(R^2=0.85)'이다. 그 외에 '허가병상 수(R^2=0.70), '승강기 수(R^2=0.78), '총 근무자 수(R^2=0.67), '외래환자 수(R^2=0.65)', '수술실 수(R^2=0.62)', 'MRI 대수(R^2=0.50)' 등의 변수들이 에너지 사용량에 유의미한 영향을 주는 것으로 나타났다. '수술실 수', 'MRI 대수' 등의 변수가 '수술 건수', 'MRI 촬영 건수' 등 의료결과에 대한 변수로 대체 된다면, 더욱 정확한 설명력을 도출할 수 있을 것이다.

2) '수술실 수', 'MRI 대수' 등의 변수들은 그 자체로 에너지를 많이 쓴다기보다는 다른 의료행위들과 연계되어, 추가적인 에너지 사용을 유발함으로써 의료시설의 에너지 사용량에 영향을 미치는 변수이다.

3) '주 냉·난방 열원'으로 EHP를 사용하는 경우 냉온수기, 증기보일러, 냉동기를 사용하는 방식에 비해 통계적으로 유의미하지는 않지만 '연면적당 에너지 사용량'이 낮게 나타났다. 이는 '중앙공조방식'과 '개별공조방식'의 외기 인입 부하 차이에 기인한 것으로 보인다. '냉온수기 등을 열원으로 운영할 경우 공조는 주로 '중앙공조 방식'으로 운영하며, 원내 교차 감염을 피하고자 전배기 방식을 택하기 때문에 외기 인입 부하가 높다. 반면, EHP와 같이 '개별 공조 방식'으로 운영할 경우 원내 공기를 재순환하는 방식이기 때문에 에너지 효율이 높게 나타나지만, 원내 교차 감염에 대한 우려가 있어서 채택하지 않는 것이 바람직하다'(Korea Institute of Healthcare Architecture, 2018:149).

4) '운영 주체', '주 냉·난방 열원', '주 냉·난방 연료', '공조 방식' 등의 항목에서는 각 항목 내 변수 간 '평균 연면적당 에너지 사용량' 값의 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 각 항목을 구성하는 표본 수가 많지 않은 한계가 있으며, 추후 추가적인 표본 확보를 통해 명확하게 확인할 필요가 있다.

5) 건물의 단열 성능인 외벽·지붕·창호의 열관류율은 에너지 사용량과 통계적으로 유의미한 관계가 없었다. 분석 단계에서 병원의 실제 도면 자료가 아니라 최소한의 기준인 법적 기준을 사용하여 분석을 진행한 한계가 있다.

6) 현장 조사 단계에서 최신의 면적정보, 에너지 사용량, 설비정보 등의 자료가 구비 되어 있지 않은 경우가 많았으며, 각 종합병원이 보유하고 있는 자료 유무의 편차로 조사 및 분석에서 제외된 변수도 있다. 예를 들어 냉·난방 운영정보(온도, 일일 운영 시간, 년 운영 일수)에 대한 항목은 시설관리자의 주관으로 응답하는 경우가 많았다. 의료시설의 에너지 효율 특성 분석의 신뢰도를 높이기 위해서는 최신의 정확한 기초자료 구축이 필요하다. 나아가, 정확하고 적절한 의료시설 에너지 절감 방안 도출을 위해서는 향후 의료시설 시설관리자들이 자유롭게 입력하고, 관리할 수 있는 의료시설 빅데이터 시스템의 구축이 필요하다.

7) 건물이 여러 동으로 구성된 대부분의 종합병원에서 냉·난방, 급탕 설비에 따라서, 또는 에너지원에 따라 통합적으로 에너지 계측을 하고 있었다. 에너지 사용 수준이 다른 다양한 기능이 복합되어 있는 의료시설에서 보다 상세한 에너지 사용량 분석을 위해서는 건물별, 용도별, 구역별 개별 에너지 계측이 필요하다.

본 연구의 결과는 종합병원의 에너지 사용특성에 대한 기초자료로써 종합병원의 에너지 사용 절감을 위한 전략 수립 및 다양한 연구에 활용할 수 있다. '총 에너지 사용량'에 대해 높은 설명력을 나타내는 주요 변수들을 활용하여, 종합병원의 에너지 사용량 예측도 가능하다. 향후, 더 많은 종합병원을 대상으로 지속적이고 정확한 조사를 진행함으로써 종합병원의 적정 에너지 사용량을 산출해내거나, 종합병원의 구체적인 에너지 사용 패턴을 분석할 수 있을 것이다.

Acknowledgments: This research was funded by the Korea Energy Agency (2019060F618-00) and supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning(NRF-2017R1A2B4012057).

References

Korea Energy Economics Institute; Korea Energy Agency, 2017, Energy Consumption Survey, Ministry of Trade, Industry and Energy

Korea Institute of Healthcare Architecture, 2018, Architectural Guidelines for the Design of Healthcare Facilities, Ministry of Health and Welfare

Ministry of Land, Infrastructure and Transport; Korea Energy Agency, 2019, Hospital Energy Saving Operation and Maintenace(O&M) Guide, Korea Energy Agency

Yi, Jong-Yeong, 2013, Building Energy Efficiency Enhancing System, Korea Legislation Research Institute

국토교통부. 2017. 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙

국토교통부. 2018. 건축물의에너지절약설계기준

김은희, 2014, 그린리모델링시범사업의 설계품질관리시스템 활용과 향후 과제, 건축도시공간연구소, 건축과도시공간, vol.12 winter 2013

대한병원협회, 2017, 2016 전국병원명부, 대한병원협회

보건복지부. 2019. 의료법

아주대학교, 2018, 건물 에너지사용량 기반 성능평가 방법론 개발, 한국에너지공단

환경부, 2018, 2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정안, 환경부

접수 : 2020년 01월 29일
1차 심사완료 : 2020년 02월 09일
게재확정일자 : 2020년 02월 10일
3인 익명 심사 필