

업무용 건물의 용도 및 운전 기간별 에너지 소비 특성 연구

A Study on the Energy Consumption Characteristics for Use and Operation Period in Office Buildings

박병훈(Byung Hun Park)^{1†}, 김시현(Si Heon Kim)²

¹(사)한국BEMS협회, ²(주)센도리

¹Korea Building Energy Management System Association, 543-1 Gasan-dong, Geumcheon-gu, Seoul, 08504, Korea

²CENDORI Co. Ltd., 371-28, Gasan-dong, Geumcheon-gu, Seoul, 08507, Korea

(Received August 30, 2017; revision received September 18, 2017; Accepted: September 25, 2017)

Abstract The purpose of this study is to calculate the energy consumption rate based on data regarding energy use in office buildings, and to confirm the general characteristics of energy consumption.

The energy consumption rate of the building is calculated by dividing the energy consumption by the floor area. The energy consumption rate of small-sized office buildings was calculated as 101.48~201.55 kWh/m² · year and in the case of medium-sized buildings, the range was 92.77~177.89 kWh/m² · year. In the case of small buildings, it was found that the energy consumption was 73.24 kWh/m² · year in electronic device, 34.31 kWh/m² · year in hot water supply, and 18.37 kWh/m² · year in heating. In the case of medium-sized buildings, electronic devices was 73.08 kWh/m² · year, lighting was 18.35 kWh/m² · year and heating, 15.37 kWh/m² · year. In all of the study buildings, the peak heating energy use was observed from 8:00 a.m. to 10:00 a.m during the winter, and the peak power management was required. Energy use at and around the midnight hour is confirmed to be 40~60% of weekly working hours, so it is necessary to manage power use at night time as well as during the day.

In order to improve the accuracy of future studies, it is necessary to make efforts to secure the data with standardized energy measuring units for the various type of buildings.

Key words Energy consumption(에너지 소비), Energy consumption rate(에너지 원단위), Office Building(업무용 건물), Building energy(건물에너지), Medium-sized buildings(중형건물), Small-sized buildings(소형건물)

† Corresponding author, E-mail: rajanka@naver.com

1. 서 론

2016년 한국에너지공단의 조사결과에 따르면 우리나라의 최종에너지 소비량은 2014년 기준으로 213.9×10^6 TOE이며 일인당 소비량은 5.61 TOE/인으로 조사되었다. 이중 건물에 해당하는 가정상업부문의 에너지 소비량은 35.5×10^6 TOE로 나타났다. 최근 정부에서는 기존의 원자력 발전을 종료하고 신재생에너지를 중심으로 발전 산업의 전환을 모색하는 등 에너지 소비 전 분야에서 국가차원의 에너지 절감 및 수요관리의 필요성이 점차 증가하고 있다. 이에 따라 국내 에너지 소비량의 16.6%를 차지하는 건물부분의 에너지 절감의 중요성도 점차 부각되고 있고 실제로 정부에서도 에너지 다소비 건물을 중심으로 에너지 소비 효율을 향상하기 위한 다양한 형태의 지원정책을 추진하는 등 건물의 에너지 소비량 절감을 위한 노력을 지속하고 있다. 그러나 국내 건축물의 상당수를 차지하는 연면적 1,000~10,000 m² 규모의 중소형건물에 대한 에너지 절감에 대한 관심과 에너지 소비현황에 대한 연구는 여전히 미흡한 실정으로 국가 전체 건물부문 에너지 소비량 관리를 위해서는 중소형건물의 정확한 에너지 소비 현황 파악의 중요성이 점차 증가될 것으로 예상된다.

본 연구에서는 중소형 업무용 건물을 대상으로 에너지 용도별 소비특성을 파악하기 위하여 각 건물에서 계측된 상세 에너지 계측자료를 활용하여 에너지 소비 용도별로 구분하여 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기, 전기기기, 승강, 급수 부문의 에너지 소비량을 산출하였다. 연구대상 건물별로 외형, 연면적, 재실인원 등 건물의 에너지 소비량 변화에 영향을 줄 수 있는 특성이 각기 다르기 때문에 에너지 용도별 소비량을 단위 면적당 원단위 형태로 산출하고 에너지 소비 특성 분석을 실시하였다. 본 연구의 목적은 에너지 원단위를 활용하여 중소형건물의 에너지 소비특성을 확인하고 정부의 중소형건물 맞춤형 에너지 절감 정책 수립에 활용이 가능한 정책 기초자료를 제공 하는 데 있다.

2. 연구방법

연구대상 건물은 업무용빌딩 8개소를 대상으로, 연면적 3,000 m² 이하의 4개 건물(W, Y, A, C)을 소형으로 분류하고 연면적 3,000~10,000 m²의 건물(D, H, S1, S2)을 중형으로 분류하여 Table 1에 나타내었다. 연구대상인 중소형건물의 주요 에너지원은 전력이며 일부건물에서 냉난방에 도시가스를 이용하는 것으로 조사되었다.

본 연구에 사용된 데이터는 각 건물의 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기, 전기기기, 승강, 급수 등 용도에 따라 1시간 간격으로 1년 동안 계측된 결과를 이용하였으며, 에너지 소비량은 열에너지와 전기에너지 모두를 포함한 결과로 냉난방 및 급탕 등 열에너지로 산출된 결과는 “에너지 열량 환산기준”에 의한 전기에너지로 환산(전기 에너지의 소비기준 총발열량 9.6 MJ/kWh)하여 계산하였다. 연구대상 건물의 건축 구조체, 재실인원, 창문 면적 등의 특성이 각각 다르기 때문에 정확한 비교를 위하여 각 용도별 소비량을 해당 단위면적으로 나누어 에너지 소비 원단위(energy consumption rate; MJ/m², kWh/m²)를 산출하였다. Jeong et al.,⁽¹⁾ Jeong⁽²⁾에 따르면 에너지 원단위는 일반적으로 알려진 바와 같이 분자가 되는 에너지 소비량을 물리적 단위로 산출된 활동데이터로 나누어 그 비율을 산정하는 것으로 단위 활동 또는 유닛 당 에너지 소비량으로 정의된다. 본 연구에서 단위활동 또는 유닛은 Table 2에 나타난 바와 같이 에너지 소비 용도에 해당되는 바닥 면적 또는 건축 연면적을 적용하였으며 본 연구의 에너지 원단위 산출식은 식(1)에 나타내었다.

$$\text{Energy consumption rate(kWh/m}^2\text{)} = \frac{\text{Energy consumption(kWh)}}{\text{Floor area(m}^2\text{)}} \quad (1)$$

Table 1 Status of buildings in this study

Classification	Small-sized buildings(~3,000 m ²)				Medium-sized buildings(3,000~10,000 m ²)			
	W	Y	A	C	D	H	S1	S2
Completion year	1989	2008	1989	1998	1993	1971	2009	2005
Gross area(m ²)	899.42	1,633.08	1,545.63	2,544.3	3,172.69	4,033.72	3,100.9	8,243.76
Heat source	EHP	EHP	EHP	Chiller	EHP	EHP	EHP	GHP
Number of floors	B1/4F	B1/5F	B2/6F	B2/9F	B2/7F	B1/4F	B2/5F	B4/10F

Table 2 Definition of floor area for calculation of energy consumption rate

Classification of energy use	Definition of floor area(m ²)
Heating	Total floor area of heating space
Cooling	Total floor area of cooling space
Hot water supply	Total floor area
Ventilation	Total floor area of ventilation
Electronic device	Total floor area of Electronic equipment use
Elevator	Total floor area
Cold water supply	Total floor area

3. 에너지 소비특성 비교

3.1 에너지 용도별 소비특성 비교

연구대상 건물의 에너지 원단위 산출결과는 Table 3, Table 4, Fig. 1에 나타내었다. 소형건물의 에너지 원단위는 101.48~201.55 kWh/m² · year범위로 산출되었고 중형건물의 경우 92.77~177.89 kWh/m² · year범위로 나타났다. 연구대상 건물 전체에서 전기기기 사용에 의한 에너지 소비량이 가장 많은 것으로 조사되었다. 그 다음으로는 소형건물에서는 급탕 > 난방 > 조명 > 냉방순으로 에너지 소비량이 크게 나타났으며 중형건물의 경우 조명 > 난방 > 냉방 순으로 에너지 소비량이 많은 것으로 나타났다. 업무용 건물의 경우 근무시간동안 업무공간의 개인용 PC 등 사무기기의 전력 이용이 집중되어 전기기기 에너지 소비량이 높게 나타나는 것으로 판단된다. 소형 및 중형건물의 평균 에너지 소비량은 소형 161.30 kWh/m² · year, 중형 126.78 kWh/m² · year로 나타났다. 소형건물의 경우 급탕의 에너지 소비량이 많게 조사되는데 주로 급탕용 전기온수기 사용에 의한 영향으로 판단된다. 급탕 부문을 제외한 나머지 에너지 소비원별 원단위는 소형과 중형건물의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

소형 및 중형건물의 에너지 소비량은 평균 143.21 kWh/m² · year로 산출되었다. Jeong et al.⁽¹⁾은 국내 상용 건물의 에너지 소비량을 131.10 kWh/m² · year로 산출 한 바 있으며 같은 연구에서 비교한 에너지총조사 보고서(KEEL, 2015)의 에너지 원단위는 208.20 kWh/m² · year로 확인되어 본 연구의 원단위 산출결과가 Jeong et al.⁽¹⁾과 에너지총조사 보고서(KEEL, 2015)의 범위에 포함되는 것으로 나타났다. 비교에 활용된 선행연구결과는 대형건물 위주의 에너지 소비현황 설문조사에 근거하여 작성되었고 대상건물의 규모와 원단위 산출시 적용된 단위면적의 기준이 다르기 때문에 직접적인 비교에는 한계가 있다. 하지만 본 연구에서 산출된 중소형건물의 에너지 소비량이 기존 연구 결과의 원단위 산출 범위에 포함되는 것으로 나타나 중소형건물도 단위면적당 에너지 소비량은 대형건물 유사하며 에너지 소비량 관리의 필요성이 충분한 근거로 볼 수 있다.

Table 3 Calculation result of energy consumption rate of buildings

Type of building	Building name	energy consumption rate	
		MJ/m ² · year	kWh/m ² · year
Small-sized buildings	W	974.20	101.48
	Y	1,626.21	169.40
	A	1,934.85	201.55
	C	1,626.28	169.40
Medium-sized buildings	D	1,133.42	118.06
	H	890.59	92.77
	S1	1,104.99	115.10
	S2	1,707.75	177.89

Table 4 Calculation results of annual energy consumption rate by energy use

Classification	Small-sized buildings		Medium-sized buildings	
	Unit : MJ/m ² · year	Unit : kWh/m ² · year	Unit : MJ/m ² · year	Unit : kWh/m ² · year
Heating	195.96	20.41	147.52	15.37
Cooling	123.93	12.91	120.72	12.58
Hot Water	329.41	34.31	26.34	2.74
Ventilation	-	-	19.66	2.05
Lighting	170.89	17.80	176.15	18.35
Electronic device	703.08	73.24	701.52	73.08
Elevator	18.05	1.41	13.25	1.38
Water supply	7.15	0.74	11.91	1.24
Total	1,548.47	161.30	1,217.08	126.78

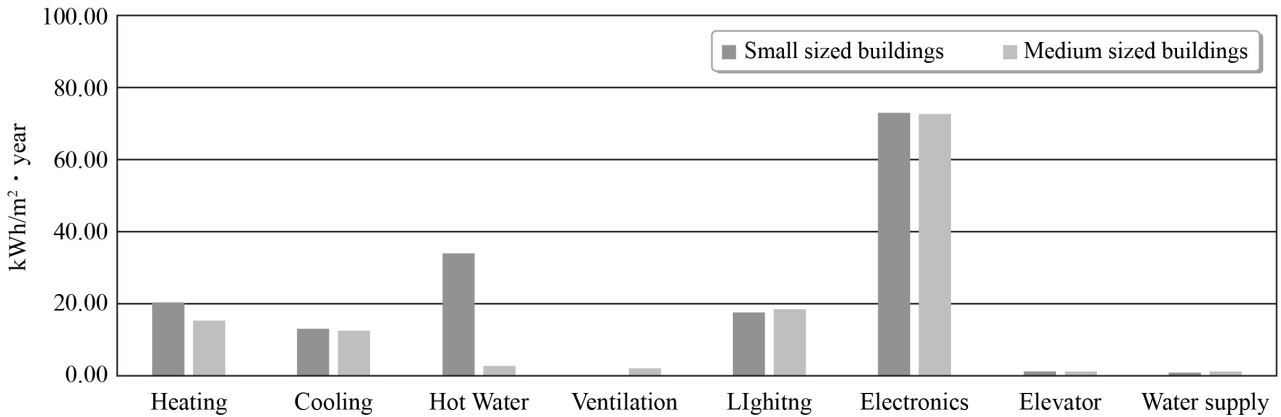


Fig. 1 Characteristic of energy use in small and medium sized buildings.

3.2 계절별 소비특성 비교

소형 및 중형건물의 계절별 에너지 소비 원단위 산출결과는 Table 5, Fig. 2에 각각 나타내었다. 봄과 가을에 비해 여름과 겨울이 냉난방 에너지 사용으로 소비량이 증가하는 경향을 보이고 있다. 봄의 경우 소형과 중형의 에너지 소비량은 각각 7.55 kWh/m²·month, 7.31 kWh/m²·month로 거의 차이가 없는 것으로 나타나는데 비하여 여름철의 경우 소형은 14.74 kWh/m²·month, 중형은 12.75 kWh/m²·month로 나타났으며 가을에는 소형 10.65, kWh/m²·month, 중형 8.89 kWh/m²·month로 산출되어 소형건물이 중형건물에 비해 약간 높은 수준으로 나타났으며 겨울의 경우는 소형의 경우 24.48 kWh/m²·month, 중형 14.82 kWh/m²·month로 가장 차이가 많이 나는 것으로 나타났다.

대부분 사무공간으로 구성된 업무용 건물은 재실인원의 근무시간에 따라 에너지 소비량이 달라지며 재실인원이 많은 주중 일과시간대 에너지 소비가 집중되고 재실인원이 거의 없는 주말과 심야시간대에는 에너지 소비량이 작은 경향을 나타낸다. 실제 세부 계측 데이터 분석 결과에서도 유사한 경향을 확인할 수 있다. 연구대상 건물인 소형과 중형건물의 주중 요일별 에너지 소비패턴과 하루 중 시간대별 에너지 소비패턴을 Fig. 3, Fig. 4에 각각 나타내었다. 에너지 소비 패턴 확인 결과 화요일에 에너지 소비량이 가장 많고 주 후반으로 갈수록 에너지 소비량이 줄어드는 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다. 하루 중 시간대별 에너지 소비패턴은 업무시작 시간대인 오전 7시~9시 사이에 급격하게 증가하여 근무시간대 에너지 소비량이 일정하게 유지되며 퇴근시간 이후에 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다. 전기기기의 에너지 소비패턴의 경우 업무시간 중 고르게 분포하다가 점심시간인 12시~13시 사이에 업무휴식의 영향으로 에너지 소비량이 일시적으로 감소되는 경향이 확인된다.

Table 5 Seasonal energy consumption rate

Season	Small sized buildings	Medium sized buildings
	kWh/m ² ·month	
Spring	7.55	7.31
Summer	14.74	12.75
Autumn	10.65	8.89
Winter	24.48	14.82

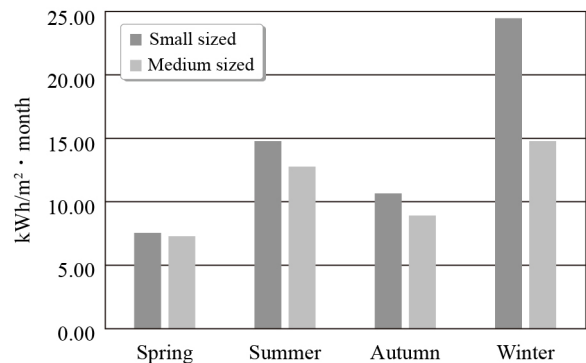


Fig. 2 Comparison of seasonal energy consumption rate.

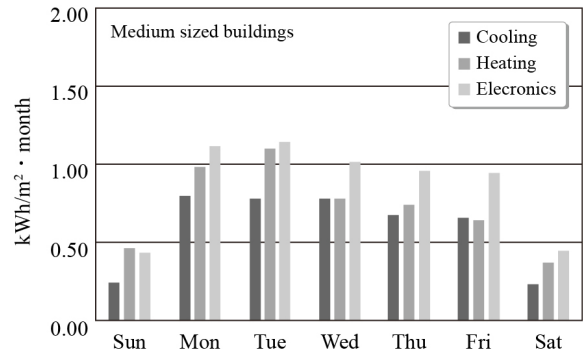
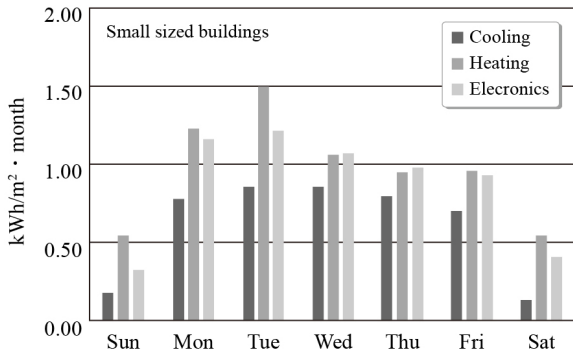


Fig. 3 Comparison of weekly energy consumption of small and medium-sized buildings.

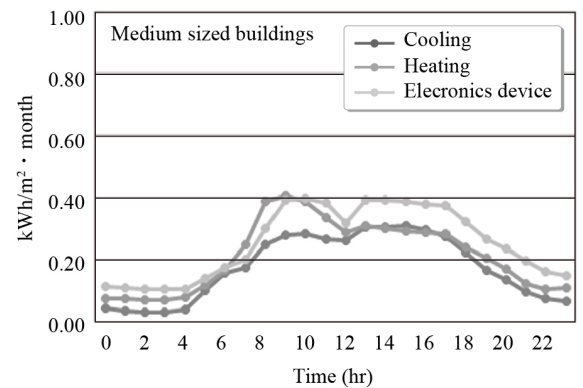
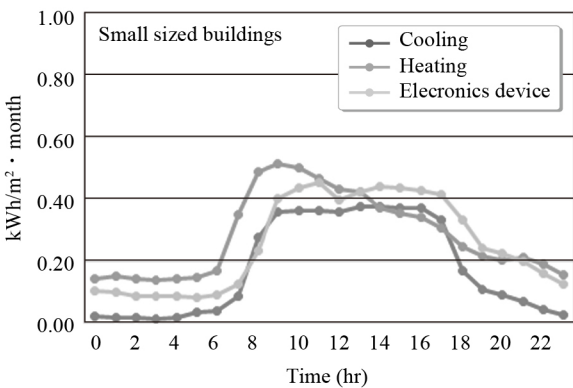


Fig. 4 Daily energy consumption of small and medium-sized buildings.

3.3 주간, 일간 소비특성 비교

냉난방의 경우는 전기기기와 약간 다른 패턴을 보이고 있는데 냉방의 경우 근무시간대 일정한 에너지 소비량을 보이는 반면 난방의 경우는 근무 시작 시간대인 오전 8시~10시 사이에 소비량이 집중되는 특징을 보이고 있다. 이는 계절별 특성이 반영된 결과로 판단되며 동절기의 경우 사무실 예열 등 난방 피크시간대 관리를 통하여 에너지 소비량 관리가 필요할 것으로 판단된다. 재실 인원이 거의 없고 에너지 소비량이 하루 중 가장 적을 것으로 판단되는 0시~4시 사이의 심야시간대 에너지 소비현황을 분석한 결과는 Table 6, Fig. 5에 나타내었다. 주간 근무시간대인 8시~18시 사이의 에너지 소비량과 심야시간대인 0시~4시의 평균 에너지 소비량을 비교한 결과 소형건물에서는 난방부문에서 심야시간에 주간시간 대비 36% 수준으로 가장 많이 소비하는 것으로 나타났으며 중형건물의 경우 전기기기에서 30%로 가장 많이 소비하는 것으로 나타났다. 건물별 심야시간대 에너지 소비 비율은 소형인 W 건물의 심야시간 난방용 에너지가 주간시간 대비 59%를 차지하여 가장 높게 나타났으며 중형건물에서는 D 건물의 심야시간 전기기기 에너지 소비량이 주간 시간대비 41%로 가장 높게 나타났다.

연구대상 건물 모두에서 심야시간대 냉방보다 난방 에너지 소비량이 높은 것으로 조사되었는데 이는 심야 시간대 하루 중 온도가 낮게 유지되는 건물 외기 온도의 영향으로 하절기에는 실내 냉방 수요가 감소되는 반면 동절기에는 난방 수요가 증가하는 영향으로 판단된다. 소형건물의 경우 주로 업무용 건물로 24시간 가동되는 에너지 소비시설은 없을 것으로 보이나 냉난방의 경우 야간 근무자의 냉난방 에너지 수요에 의한 소비량으로 추측되며 전기기기의 경우 사무용 기기의 대기전력에 의한 에너지 소비로 추측할 수 있다. 따라서 야간시간대 에너지 소비량이 계측되는 원인 파악을 통하여 대기전력 차단 등의 활동을 통하여 심야시간대 에너지 절감이 가능할 것으로 판단된다.

Table 6 Ratio of energy consumption in night hours

Type of buildings		Cooling	Heating	Electronics
Small-sized buildings	W	3%	59%	24%
	Y	6%	24%	19%
	A	24%	35%	21%
	C	3%	26%	26%
	Ave.	9%	36%	22%
Medium-sized buildings	D	16%	27%	41%
	H	10%	14%	38%
	S1	16%	37%	21%
	S2	11%	27%	21%
	Ave.	14%	26%	30%

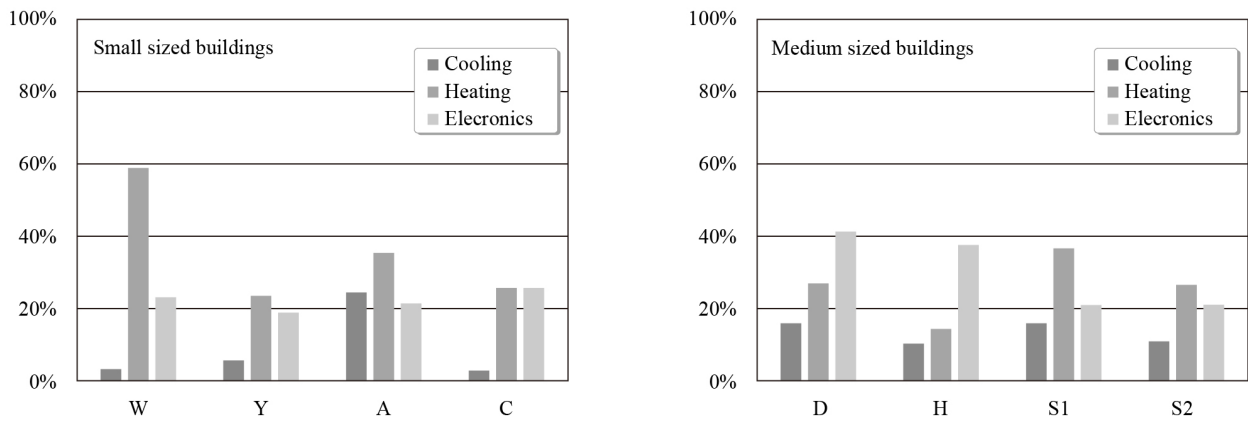


Fig. 5 Ratio of energy consumption in night hours.

4. 결 론

본 연구에서는 소형건물 4개소와 중형건물 4개소를 대상으로 업무용 건물의 에너지 용도와 운전기간별 소비량을 각 에너지 이용원별 해당 바닥면적을 활용하여 원단위화 하고 그에 따른 에너지 용도별 에너지 소비특성을 확인해 보고자 하였다. 에너지 소비량 원단위 산출 및 에너지 소비특성 분석 결과는 다음과 같다.

- (1) 연구대상인 업무용 소형건물 4개소의 에너지 용도별 원단위는 101.48~201.55 kWh/m² · year범위로 나타났으며 중형건물 4개소는 92.77~177.89 kWh/m² · year범위로 산출되었다.
- (2) 소형건물의 용도별 에너지 소비는 전기기기 73.24 kWh/m² · year, 급탕 34.31 kWh/m² · year, 난방 20.41 kWh/m² · year순으로 높게 나타났으며 중형건물에서는 전기기기 73.08 kWh/m² · year, 조명 18.35 kWh/m² · year, 난방 15.37 kWh/m² · year순으로 높게 나타났다.
- (3) 모든 건물에서 업무시작 시간대인 오전 8시~10시 사이에 난방용 에너지 소비가 급증하는 추세가 확인되어 전력 피크관리를 통한 에너지 절감이 필요한 것으로 나타났다.
- (4) 심야시간(0시~4시)의 에너지 소비특성 분석결과 주간 업무시간대비 40~60%가량이 소비되는 것으로 나타나 에너지 절감을 위하여 심야시간대 전력이용 관리가 필요할 것으로 판단된다.

연면적 10,000 m² 이하 중소형건물의 에너지 소비 원단위를 산출하고 에너지 용도별 소비특성을 분석한 결과 Jeong et al.,⁽¹⁾ Jeong,⁽²⁾ Park et al.,⁽³⁾ Park et al.⁽⁴⁾ 등이 수행한 기존의 연구에서 확인된 대형건물의 에너지

원단위 산출 범위에 해당되는 것으로 나타나 대형건물 뿐만 아니라 중소형건물의 에너지 소비량 관리의 필요성을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 제한된 건물의 에너지 계측 데이터로 연구를 수행하여 좀 더 정확한 업무용 중소형건물의 에너지 소비현황 파악을 위해서는 많은 자료의 축적이 필요하다. 또한 표준화된 건물에너지 계측 기준이 마련되어야 일정한 품질의 데이터 확보가 가능할 것으로 판단된다. 향후 국가차원의 건물에너지 현황 파악 및 에너지 소비 관리를 위하여 에너지 다소비형 대형건물 외에도 다양한 형태의 중소형건물의 계측 데이터 확보를 위한 노력이 지속되어야 할 필요가 있다.

후 기

본 연구는 2016년도 산업통상자원부 에너지기술 수용성 제고 및 사업화 촉진사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(과제번호 : 20169210100690).

References

1. Jeong, Y. S. and Jung, H. K., 2016, Analysis and Long-term Change of Energy Intensity of Buildings, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Section, Vol. 32, No. 6(Serial No. 332), pp. 97-104.
2. Jeong, Y. S., 2015, Trends in Energy Efficiency of buildings from Energy Intensity, Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, Vol. 35, No. 2(Serial No. 64), pp. 309-310.
3. Park, H. C. and Chung, M., 2009, Comparison of Energy Demand Characteristics for Hotel, Hospital and Office Buildings in Korea, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 21, No. 10, pp. 553-558.
4. Park, H. C. and Chung, M., 2009, Building Energy Demand Models for Offices in Korea, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 29, No. 5, pp. 1-7.
5. Lim, S. H., Jin, H. S., Kim, S. I., Lim, J. H., and Song, S. Y., 2017, Preliminary Derivation of EUI and Reference EUI of End-use Energy Consumption in Office Building, Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, Vol. 37, No. 1, pp. 441-442.
6. Kim, H. J., Park, B. H., Song, I. B., Pyo, J. G., and Kim, Y. H., 2017, A Study on the Energy Saving Measures of Midium Sized Buildings by Energy Consumption Analysis, Proceeding of Summer Conference of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, pp. 853-856.
7. Ministry of Trade, Industry & Energy, the 12th Edition 2015, Energy Consumption Survey, 2015-652.
8. Ministry of Trade, Industry & Energy, Energy Statistics Handbook, 2016-121.