

에너지소비량 벤치마킹을 위한 대학건물의 전력사용량 비교

대학건물은 설계 및 운영방식, 입주된 학과의 특성 등에 따라 에너지 소비패턴이 달라진다. 건물별 에너지 사용량을 비교한다면 현재 수준에서 에너지 사용량이 낮은 건물의 특징을 파악할 수 있을 것이며 이를 벤치마킹하여 에너지 소비가 높은 건물을 개선하기 위한 기초연구를 소개하고자 한다.

서론

녹색연합에 따르면 2010년 건물부문에서 연간 2,000 TOE 이상을 사용하는 에너지 다소비 기관을 조사한 결과, 전체 886개 기관 중 대학건물이 83개를 차지하였으며¹⁾ 업종별 사용량에서는 2008년 4위에서 2010년 2위를 기록하였다.²⁾ 이와 같이 대학건물의 에너지 사용량에 대한 절감이 매우 중요한 시점이 되었으며 서울시립대를 포함한 여러 대학교에서 그린캠퍼스 사업을 진행하고 있는 것으로 알려졌다.

대학 건물의 에너지 관련한 연구들도 최근 들어 많이 증가하고 있는 추세이다. 이왕제 등²⁾은 대학건물의 전체 에너지 사용량 및 에너지 원별 추이를 알아보았고 대학의 전력사용량이 증가하고 있고 전기식 히트펌프(Electric Heat Pump, 이하 EHP) 증가가 그 원인으로 지목되었다. 박강현 등³⁾은 서울 소재 한 대학교에서 에너지 소비현황을 검토

노광철

서울시립대학교
대도시에너지연구센터 연구교수
e-mail : draco@uos.ac.kr

오명도

서울시립대학교
기계정보공학과 교수
e-mail : mdoh@uos.ac.kr

하였는데 매년 전력의 사용량은 증가하고 있으며 그 원인으로 EHP 냉난방기 설치 및 사용의 증가를 지목하였다. 정재웅 등⁴⁾은 1개의 대학건물에 대하여 에너지 성능개선에 대한 연구를 수행하였으며 건축 관점과 설비적인 관점에서 분석한 결과, 전공기방식인 변풍량을 채용하고 열회수 장치와 외기냉방시스템을 적용하는 것이 에너지 성능개선에 큰 효과를 낼 수 있다고 보고하였다. 이와 같이 이전의 연구들은 주로 대학건물의 에너지를 모니터링하여 분석하고 건축 및 설비적인 관점에서 개선을 위한 방안을 제시하였다.

대학건물에서 점차 증가하고 있는 에너지 소비량을 효과적으로 제어하고 감소시키기 위한 방법으로 적절한 평가지표를 개발하고 이를 활용하여 건물별 에너지 사용량을 비교하는 것이 필요하다. 건물별 에너지 사용량을 비교한다면 현 수준에서 에너지 사용량이 낮은 건물의 특징을 파악할 수 있을 것이며 이를 벤치마킹하여 에너지 소비가 높은 건물을 개선할 수 있는 방안을 제시할 수 있다. 이와 같은 방법을 사용하면 현 수준에서 에너지 다소비 건물의 효율화를 추구할 수 있으며 필요에 따라 신재생에너지를 추가하여 에너지 소비를 최소화할 수 있다. 이를 통하여 궁극적으로는 에너지소비가 최적화된 대학건물의 설계방안을 제안할 수도 있을 것이다.

앞서 설명한 바와 같은 목적을 가지고 서울시립대학교에 있는 건물 중 강의실과 연구실이 대부분인 건물을 대상으로 전력사용량을 분석하였고 향후 연구될 내용의 선행연구로 소개하고자 한다.

에너지 벤치마킹

건축물에서 에너지 벤치마킹이란, 건물로의 투입에너지, 즉 전력, 가스, 유류 등의 소비량에

대한 데이터 비교를 통하여 건물에서 에너지 소비량 감소에 대한 효과적 기회를 인식하는 것을 의미한다. 이러한 에너지소비량 벤치마킹은 설계 시에 에너지효율적인 건물을 설계하였다는 믿음과 에너지는 쉽게 제어할 수 있는 비용이 아니라는 인식을 넘어서 건물에너지를 개선하기 위해 실제 건물의 운영 측면에서 타 건물과 비교하여 어떤 차이가 있는지, 대상 건물의 설계 및 운영상의 단점은 무엇인지를 알기 위한 작업이라고 볼 수 있다. 이러한 벤치마킹은 현재 운영되는 모범 사례를 근거로 미래 건물의 설계 및 운영에 반영할 수 있고 새로운 시각과 기술에 대한 연구를 가능하게 만든다. 벤치마킹은 단순하게 계획을 수립하고 이를 근거로 자료를 수집한 후, 적절한 평가지표를 선정 또는 개발하여 대상을 비교하는 순서로 진행된다. 대상의 비교가 완료되면 벤치마킹 포인트를 선정하여 목적에 맞게 벤치마킹을 효과적으로 사용하면 된다.

연구대상 대학건물 특성

본 연구의 대상 건축물들은 서울시립대에서 운영하고 있는 건축물들의 현황이다(그림 1). 1930년대 지어진 건물에서부터 2000년대 완공된 건물까지 다양하게 있으며 절반 이상이 1990년대 이후에 완공되었다. 거의 모든 건물의 구조는 철근콘크리트로 되어 있으며 외장재료는 2000년 이전에는 적벽돌이 주로 사용되었고 2000년 이후에 준공된 건물은 유리와 금속패널, 콘크리트가 많이 사용되었고 일부 커튼월이 적용된 경우도 있다.

대학 건물의 전력사용량 비교

서울시립대에서는 2011년 이후부터 그린캠

현황개요

대지위치	서울시 동대문구 전동동 90번지
지역지구	제1,2종 일반주거지역, 자연경관지구
용도	교육연구 및 복지시설
대지면적	426,799㎡
건축면적	49,596㎡
연면적	201,239㎡(지상층연면적 164,470㎡)
건폐율	11.62%
용적률	38.54%
주최대수	778대

시설현황

외부공간	
A	하늘돛
B	테니스장
C	대운동장
D	자주터
E	사대동산
F	정문동산

건물명

1	전농관	16	21세기관	29	빅블관
2	제1공학관	16	조형관	30	정문수위실
3	건설공학관	17	체육관	31	후문수위실
4	경상관	18	지각미루	32	벨니스센터
5	인문학관	19	정보기술관	33	종합교육연구동
6	배봉관	20	법학관	34	국제학사
7	대학본부	21	중앙도서관	36	암반모형실험실
8	자연과학관	22	생활관	37	암석표본실
9	음악관	23	건축구조실험동	38	변전소
10	경농관	24	토목구조 실험동	39	자원재활용센터
11	제2공학관	26	캠퍼스관리센터	40	온실
12	학생회관	28	자율학습실	41	이오관-니스정관리동
13	언무관	27	대강당		
14	과학기술관	28	운동장		

현황배치도



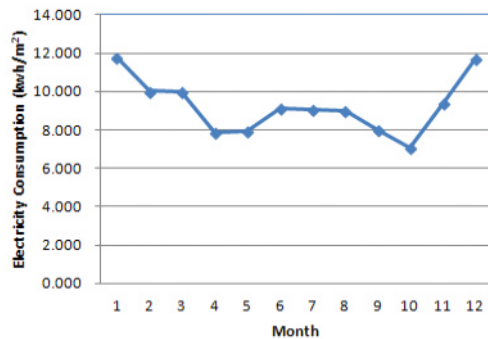
[그림 1] 연구대상 건물들의 현황(서울시립대 캠퍼스 시설현황)

퍼스 사업의 일환으로 건물별로 조닝을 하여 전력량, 가스 및 수도 사용량 등을 모니터링하고 있었으며 모니터링 데이터 중 일부를 본고 작성에 활용하였다. 에너지 사용량 중 총량의 80% 이상이 전력이기 때문에 전력사용량만을 이용하여 분석하였다.

표 1은 서울시립대가 보유한 건물 중에서 강의실과 연구실만 있는 11개 이상의 건물에 대한 연면적, 연간 전력사용량, 단위면적당 전력사용량, 건축연도에 대한 정보를 보여준다. 대상 건물 개수가 11개 이상이라고 한 이유는 표 1에 표시된 전력량 데이터가 2개 이상의 건물에 대한 값을 표기하는 경우가 있기 때문이다. 조사된 건물들의 데이터 중 2개 건물을 제외하고 나머지 건물들은 에너지 총 조사보고서³⁾에서 제시된 대학 전력량 평균(71 kWh/m²)보다 높게 나타났다. 특히, 4개의 대상 건물을 제외하고는 모든 건물의 단위면적당 전력량이 100 kWh/m²을 초과하였다. 이

는 서울시립대학교의 에너지 사용량의 80% 이상을 전력이 차지하고 있으며 전력사용량이 해가 지날수록 점차 증가하고 있음을 보여준다.

그림 2는 표 1에서 보여준 모든 건물들에 대한 2012년도 전력사용량의 월별 평균값을 보여준다. 학부생들이 수업을 듣는 봄학기나 가을학기 기간보다 그 외의 기간에서 더 높은 에너지 사용량을 보이고 있다. 계절별로는 여름철과 겨울철

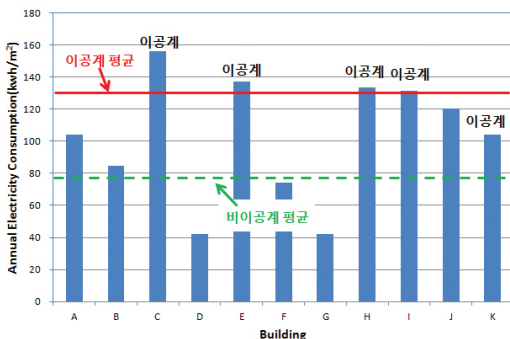


[그림 2] 대학건물의 연간 전력소비패턴 (2012년 자료)

〈표 1〉대상 건물의 연면적 및 전력소비량 비교

건물명	연면적(m ²)	연간 전력소비량(MWh)	단위면적당 전력소비량(kWh/m ²)	건축연도
A	20,719	2,153	104	2008/09
B	7,622	645	85	2004/04
C	12,693	1,984	156	2008/04
D	3,952	167	42	1974/01
E	7,297	1,002	137	1997/12
F	6,521	483	74	1984/12
G	8,103	342	42	1982/05
H	9,677	1,293	134	1999/12
I	16,008	2,109	132	1994/03
J	15,522	1,873	121	2001/09
K	8,078	839	104	1978/12

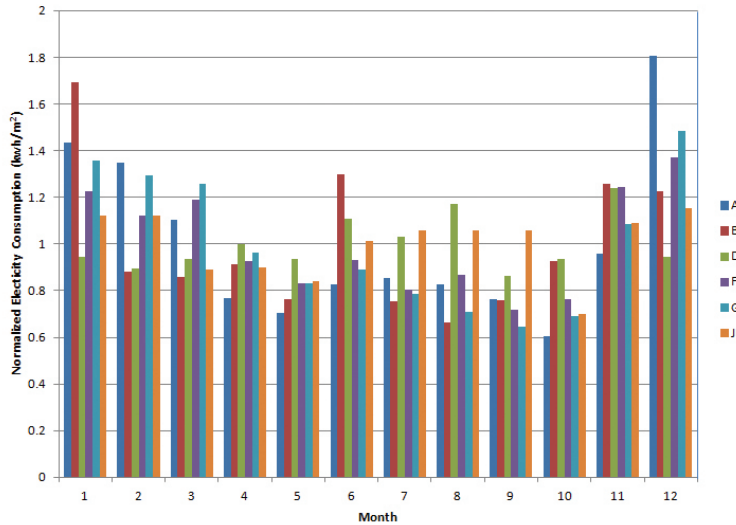
에 높은 전력소비량을 보이고 있으며 특히 겨울철에 전력사용량이 높은 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 이전의 연구결과들²⁻⁴⁾과 비슷한 패턴을 보이고 있다. 대학건물에서의 전력소비량 패턴은 학생 수의 변화량에 큰 영향을 받지 않고 상시 거주자(주로 교수와 대학원생)가 사용하는 개별 난방기로 인해 전력이 증가하는 것으로 판단된다. 특히 최근 들어 여름철보다 겨울철에 전력소비량이 눈에 띄게 증가하는 것을 볼 수 있는데 이의 원인은 개별적으로 사용되는 전기난방기에 의한 영향도 있지만 최근 사용이 증가되고 있는 공기열원 히트펌프의 특성상 5℃ 이하에서는 성능이 떨어지기 때문으로 판단된다.



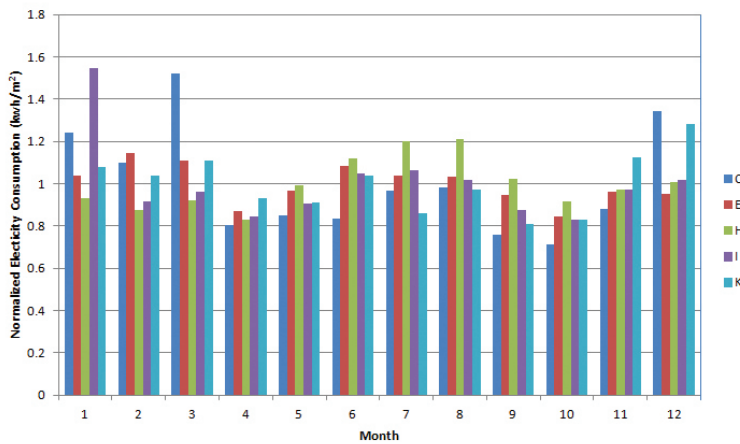
〔그림 3〕 건물별 전력소비량 (2012년)

그림 3은 건물별로 측정된 단위면적당 연간 전력소비량이다. 건물별로 편차가 크게 나타나고 있으며 대부분의 건물이 100 kWh/m²를 초과하고 있다. 본 연구에서 측정된 건물들의 전력소비량의 평균값은 101 kWh/m²이었고 5개의 건물이 평균값을 초과하였다. 그리고 비이공계 건물과 이공계 건물의 연간 전력소비량은 각각 78.5 kWh/m², 132.6 kWh/m²로 나타났고 약 54.1 kWh/m²의 차이를 보였다. 이러한 차이의 주된 원인은 이공계 학과의 상시 거주자의 수가 많고 연구 특성상 많은 전력을 소비하고 24시간 운영되는 실험장비들이 많으므로 전력소비가 큰 것으로 판단된다. 그리고 같은 계열의 건물만을 비교한다면 건축연도가 오래된 D와 G 건물, K 건물(이공계)의 전력소비량이 낮게 나타났다. 건축연도가 오래된 건물일수록 건축비보다는 실용성 관점에서 설계했던 것으로 보이며 최근 건축된 건물들은 창호면적이 상대적으로 넓은 편이기 때문에 단열 측면에서 취약할 것으로 판단된다.

그림 4는 건물들의 정규화된 전력소비량 분포를 보여준다. 여기서 정규화는 각 건물의 월별 전력소비량을 연평균 값으로 나눈 것을 의미한다. 전력소비량 비교평가지표로서의 정규화는 건물



(a) 비이공계 건물



(b) 이공계 건물

[그림 4] 연간 평균값으로 정규화된 전력 소비량

별로 월별 전력소비량 패턴을 분석할 수 있기 때문에 각 건물이 갖고 있는 전력소비량을 보다 근본적으로 분석하고 전력소비량이 큰 원인이 무엇인지를 찾는 데 도움이 된다. 정규화된 데이터를 분석해 보면 월별 전력사용량 편차는 비이공계 건물에서 0.4~1.2, 이공계 건물에서 0.3~0.8 값을 나타냈으며 비이공계 건물들이 이공계 건물

들에 비해 큰 것을 확인할 수 있었다. 다양한 원인으로 인해 이러한 결과가 도출되었겠지만 우리가 쉽게 생각해 볼 수 있는 이유는 이공계 건물에서 운영하는 실험장비들이 겨울철에 난방부하를 상쇄하기 때문으로 판단된다.

그림 3에서 비이공계 건물에서 전력소비량이 큰 A, B, J 건물과 이공계 건물에서 전력소비량이

큰 C 건물은 2000년 이후에 준공된 것으로 외장 재료로 유리 또는 금속패널이 많이 사용된 특징을 가지고 있다. 또한 그림 4를 이용하여 분석해보면 동일한 건물들에서 연간 전력소비량 편차가 큰 것으로 나타난다. A, B, C 건물은 급탕과 보조용 난방 설비는 있으나 중앙에서 난방을 제어하는 시스템이 갖추어져 있지 않으며 모두 개별 냉난방이 적용된 특성이 있다.

현재까지 분석된 결과들을 토대로 연구 대상 건물에서 벤치마킹을 통한 전력에너지 소비량을 줄이고자 한다면 현재 상태에서 외단열의 성능을 높일 수 있는 방안을 찾을 필요가 있다고 보인다. 아이러니하게도 최근에 지어진 건물일수록 건축물의 미적 요소를 강조하면서 외단열 성능이 감소하게 되었는데 이러한 경향들이 연간 전력소비량을 증가시킨 것은 아닌지 의심해 볼 수 있겠다. 향후 더욱 깊이 있는 연구결과를 바탕으로 벤치마킹을 시도해 볼 필요가 있겠지만, 현재까지의 결과로 학교 건물들에서 나타내는 특징을 본다면 학교 건축물에서는 개별 냉난방보다 중앙 냉난방이 효율적인 방식이라고 여겨진다.

결론

학교 건물에서 에너지소비량을 줄이기 위하여 강의실과 연구실로만 구성된 건물을 대상으로 전력소비량에 대한 벤치마킹 연구를 수행하였고 다음과 같은 정보를 얻을 수 있었다.

(1) 학교 건물에서 전력소비량이 적은 건물들은 비이공계건물로서 준공연도가 오래된 특징을 갖고 있다. 이는 최근에 지어진 건물일수록 건축물의 심미적 요소를 중요시하는 경향으로 외단열 성능이 감소하기 때문으로 판단된다.

(2) 여름철보다 겨울철에 전력사용량이 많은

것으로 나타났고 이러한 경향은 이전의 연구결과들과 유사하며 원인 중의 하나는 공랭식 히트펌프의 사용이 증가했기 때문으로 판단된다.

(3) 학교 건물에서 월별 전력소비량의 편차를 증가시키는 요인은 외단열의 감소와 개별 냉난방 방식의 적용에 기인한다. 따라서 현재 전력소비량이 높은 건물에서 외단열을 증가시키는 방안에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

(4) 향후 정확한 저에너지 소비형 학교건물에 대한 벤치마킹을 수행하기 위하여 평가지표(metrics), 열원 및 공간활용 현황, 건축적인 요소 및 기계설비적 특징 등에 대한 연구를 추가하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. <http://www.greenkorea.org>
2. Lee, W.J., Lee, D.W., Lee, J.B., Yoon, J.H. and Shin, U.C., 2012, A Case Study of Electric Power Consumption Characteristics in University Building, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 32, No. 4, pp. 90-95.
3. Park, K.H., and Kim, S., 2011, Analysis of Energy Consumption of Buildings in the University, Journal of SAREK, Vol. 23, No. 9, pp. 633-638.
4. Jung, J.W., Kim, D.W., Seok, H.T., and Yang, J.H., 2010, A Study on the Improvement of Plans of Energy Performance in University Building through the Analysis of Energy, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 30, No. 1, pp. 50-60.
5. Energy Consumption Survey, Korea Energy Economics Institute, 2009. 