

상관계수와 민감도 분석을 이용한 계절과 기온에 따른 캠퍼스 건물유형별 전력사용량 분석

박모선, 차종성, 윤성국
 송실대학교

Analysis of Electrical Energy Consumption according to Seasonal Temperature for Campus Buildings using Correlation Coefficient and Sensitivity Analysis

Mo-Sun Park, Jong-Sung Cha, Sung-Guk Yoon
 Soongsil University

Abstract - 현대사회에서는 지속적인 도시화로 인하여 건물에서의 에너지소비는 지속적으로 증가하고 있다. 이에 따라 전세계적인 CO2 저감 운동의 여파로 빌딩 에너지 관리시스템(Building Energy Management System)의 수요가 커지고 있다. 본 논문에서는 캠퍼스 건물을 유형별로 나누어 각 건물의 기온에 따른 전기 에너지 사용량을 분석하였다. 본 연구에서는 체감온도와 하루 전력 사용량에 대한 상관계수 분석과 체감온도에 대한 민감도 분석을 진행하였다. 사례 연구를 통하여 건물의 사용 용도별 전력 에너지 소비 형태가 다른 상관계수 및 민감도 특성을 가지는 것을 확인하였다.

1. 서 론

2015년 12월 12일 채택된 파리협정에서 우리나라는 CO2 배출량을 2030년까지 배출전망치(Business As Usual, BAU) 대비 37%의 감축을 발표하였다. 따라서 CO2 배출의 큰 비중을 차지하는 발전 분야에서 전기 에너지 사용 감축이 중요하다. 전 세계적으로 건물에서의 에너지 소비는 약 36%를 차지하며, 지속적인 도시화로 인하여 건물 에너지 소비량은 2035년까지 약 30% 증가할 것으로 예상된다[1]. 통계에 의하면 건물 에너지의 50%는 공조시스템에서 소비하고 있으며[2], 공조시스템은 기온과 밀접한 관련이 있다. 건물 에너지 절감을 위해 기온에 따른 건물 에너지 소비 형태의 변화를 분석할 필요가 있다.

기온과 전력 사용량에 관한 많은 선행 연구가 진행되었다. 기온변수를 추가한 전력 수요 함수를 사용하여 기온이 전력수요에 미치는 영향을 분석한 선행 연구가 존재한다[3]. 최기원 외(2015)는 건물 전력 소비량과 기온을 이용하여 건물의 연간 에너지 소비량을 예측하는 연구를 진행하였다[4]. 위 연구의 결과는 빌딩 에너지 관리시스템(Building Energy Management System) 구축에 도움을 줄 수 있다. 실제로 기온과 건물 전력수요와 건물 공조시스템을 분석하여 캠퍼스의 에너지 절감 효과를 보인 선행 연구가 있다[5].

본 논문에서는 송실대학교 캠퍼스 건물을 사용용도별로 나누어 기온과 전력사용량 상관관계를 분석하였다. 분석방법에는 상관계수 분석과 민감도 분석법을 사용하였으며, 정확성을 높이기 위해서 평균기온과 평균풍속을 이용한 체감온도를 산출해 사용하였다.

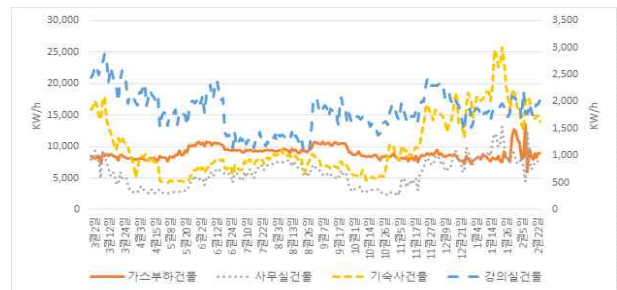
2. 본 론

2.1 사용 데이터

본 연구에서는 송실대학교 내의 8개 건물(형남공학관, 베어드홀, 레지던스 홀, 전산관, 경상관, 학생회관, 글로벌브레인 홀, 문화관)의 2015년 3월부터 2016년 2월까지 하루 전력사용량을 사용하였다. 위 데이터는 각각의 건물에 스마트미터기를 설치하여 측정하였다. 기상청에서 제공하는 기온 데이터는 송실대학교가 소재한 서울시의 하루 평균 기온과 평균 풍속 데이터를 이용하였다. 캠퍼스의 특성 상 주말과 공휴일에는 전력 사용량이 매우 적기 때문에 주말과 공휴일 데이터를 제외한 평일 데이터를 사용하였다.

2.2 건물 특성별 전력 사용

캠퍼스의 건물마다 용도와 특성이 상이하므로 8개의 건물 데이터를 가스냉난방동, 사무실동, 기숙사, 강의실동의 4가지 건물 유형으로 분류하였다. 그림 1은 4가지 유형의 건물의 1년 간 전력 소비량을 보여준다. 가스냉난방동의 경우 냉난방을 전력이 아닌 가스로 공조시스템을 구동시키기에 1월 말의 예외를 제외하고는 일 년 내내 부하가 일정한 패턴을 보인다. 사무실동과 기숙사의 경우 봄과 가을에는 상대적으로 전력사용량이 적고 여름인 8월과 겨울인 1월에 전력사용량이 높은 경향을 보였다. 이는 여름과 겨울에 공조시스템을 전력으로 사용하기 때문으로 보인다. 사무실동과 기숙사는 대학교의 방학과는 무관하므로 방학에 따른 부하의 변동이 크지 않음을 확인하였다. 강의실건물의 경우에는 여름 방학과 겨울 방학에는 건물 이용수가 학기 중과 비교하면 현저히 작으므로 여름의 시작인 6월부터 8월 말까지 전력사용량이 적어지고, 겨울 방학의 시작인 12월 말부터 전력사용량이 적어지는 것을 확인하였다. 또한 다른 부하 특성들과는 다르게 3월에 전력사용량이 가장 많았다. 이는 3월 새학기에 강의실을 사용하는 다수의 행사가 있었을 것으로 추정된다.



〈그림 1〉 2015년 3월~2016년 2월 까지의 건물별 부하패턴 - (강의실건물 보조축 사용)

2.3 체감온도

체감온도란 온도, 습도, 바람 등에 사람이 느끼는 온도이고 실제 전력 사용량에 기온보다 더 큰 영향력을 미친다[6]. 본 연구에서는 체감온도를 이용하여 건물 전력소비량의 변화를 분석하였다. 기온 데이터는 기상청의 서울 평균기온과 평균풍속 데이터를 이용해 다음의 체감온도 식을 이용해 체감온도를 산출하였다. 체감온도 산출식은 Joint Action Group for Temperature Indices(JAG/TI) 회의에서 발표된 것을 사용하였다.

$$\text{체감온도} = 13.12 + T - 11.37 V^{0.16} + 0.3965 V^{0.16} T^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

$$T = \text{기온 } [^{\circ}\text{C}] \quad V = \text{풍속 } [km/h]$$

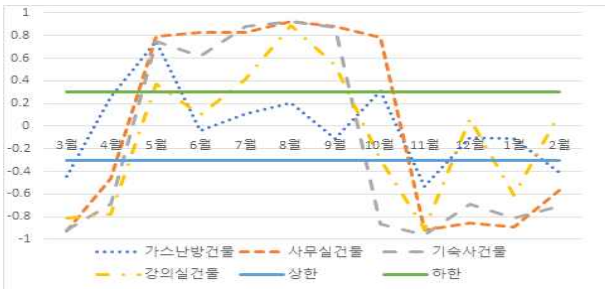
2.4 상관계수 분석

피어슨 상관계수[7]는 2개의 변수간의 관련성을 구하기 위해 보편적으로 사용하는 지표이고 다음과 같은 수식으로 구할 수

있다.

$$r = \frac{\sum_{x_i, y_i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{x_i, y_i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

상관계수 r 의 값은 $-1 \leq r \leq 1$ 의 범위를 가진다. 일반적으로 $|r|$ 이 0.7보다 크면 강한 상관관계, $|r|$ 이 0.3보다 작으면 낮은 상관관계를 가진다고 평가한다. 본 연구에서는 x 와 y 를 각각 하루 전력사용량과 하루 평균 체감기온으로 설정하였다.



<그림 2> 하루 전력사용량과 하루평균 체감온도의 상관계수 그래프

그림 2는 건물 별 하루 전력사용량과 하루 평균 체감기온의 상관계수를 보여준다. 가스냉난방동의 경우 몇 개의 월을 제외하면 1년 내내 낮은 상관도를 가졌고, 사무실의 경우 5월부터 10월은 강한 양의 상관관계, 11월부터 3월은 강한 음의 상관관계를 보이는 것을 확인하였다. 기숙사의 경우도 사무실과 마찬가지로 여름과 겨울 모두 전력사용량과 기온의 뚜렷한 상관성이 있는 것을 확인하였다. 강의실의 경우에는 불규칙한 패턴을 보이는데, 전반적으로 사무실과 기숙사에 비하여 낮은 상관계수를 보였다.

2.5 민감도 분석

상관계수 분석을 통하여 체감온도와 전력사용량이 밀접한 관계가 있는 것을 확인하였다. 체감온도와 전력사용량의 관계를 더 자세히 알아보기 위해 본 장에서는 민감도 분석을 실시한다. 민감도란 가정변수가 예측변수에 미치는 영향력에 대한 % 수치이다. 본 연구에서는 가정변수는 기온을 사용하고 예측변수는 전력사용량으로 설정하였다. 다음의 수식을 통하여 민감도를 구할 수 있다.

$$I_r = \frac{\Delta L}{L_{real}} \quad (3)$$

$$R_{pm} = \frac{I_r}{\Delta T}$$

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n R_{pm,i}$$

ΔT : 전일대비기온[$^{\circ}C$]

ΔL : 전일대비부하[KW]

I_r : 부하증감률

R_{pm} : 단위온도 변화당 부하의 증감률

S : 기온 증감에 따른 민감도

체감기온의 변화를 전력사용량의 변화로 나뉘므로써 체감기온의 변화량에 대한 전력사용량의 변화량을 알 수 있으며, S 는 민감도에 대한 총합을 평균한 값이다. 예를 들어, 민감도가 1%이면 기온이 $1^{\circ}C$ 오를 때 부하는 전일 대비 부하의 1%가 증가한다는 의미이다.



<그림 3> 하루 전력사용량과 하루평균 체감온도의 민감도

그림 3은 건물 별 민감도 보여준다. 가스냉난방 건물의 경우 전반적으로 낮은 민감도를 보였다. 그래도 7월이 2.7%, 2월이 -1.8%로 유의미한 민감도를 보였는데, 이는 개별 사무실에 전기로 사용되는 냉난방기기가 존재한다는 것을 추측할 수 있다. 사무실의 경우 7월에 5.7%로 연중 가장 높은 민감도를 보였고 11월에는 -4.2%로 연중 가장 낮은 민감도를 보였다. 여름에는 양의 민감도를 겨울에는 음의 민감도가 나타난다. 기숙사의 경우 6월에 2.5%로 연중 가장 높은 민감도를 보였고, 10월에 -3.1% 연중 가장 낮은 민감도를 보였다. 여름인 8월에는 -1.2%의 민감도를 보인다. 8월 기숙사에는 가장 적은 사생들이 거주하기에 수치적 예러로 보인다. 강의실의 경우 강의가 진행되는 6월에 3.5%로 연중 가장 높은 민감도를 보였고, 10월에는 -3.1%로 가장 낮은 민감도를 보였다.

3. 결 론

본 논문에서 기온과 캠퍼스 건물 전력 사용량의 변화에 따른 상관계수와 민감도를 분석하였다. 상관계수와 민감도는 온도 변화에 대한 전력사용의 변화를 수치적으로 보여주는 지표이다. 두 지표 모두 온도가 오르기 시작하는 시점인 봄과 기온이 점차 내려가는 가을에 변화가 시작되어 여름과 겨울에 가장 큰 값을 가진다. 이는 냉난방기기에 대한 영향으로 기존에 진행되었던 연구들과 동일한 결과를 보여준다. 또한 건물의 사용용도별로 상관계수와 민감도가 상이한 것을 확인하였다. 후속 연구로 건물 별 전력 사용량 절감 기법에 대한 연구를 진행할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 2016년 선정 기초연구개발과제 연구비에 의해 지원되었음 (과제번호: R17XA05-61)

[참 고 문 헌]

- [1] 강민영, 김광석 “제로에너지빌딩, 미래 건설산업의 신패러다임”, 건설경제 2016년 봄호·통권 제83권 pp67-83 2016.05
- [2] 홍지표, 조가영, 이선우, 여명식, 김광우 “국내_건물에너지 관리 시스템 적용 현황 및 개선 방향에 관한 연구”, 한국건축친환경설비학회 학술발표대회 논문집 pp194-197 2008.10
- [3] 김혜민, 김인경, 박기준, 유승훈, “기온이 전력수요에 미치는 영향 분석”, 에너지공학- 24(2) ,pp.167-173. 2015.06
- [4] 최기원, 우혜지, 정성혁, 이하니, 이승복, “건물에너지 소비량과 외기온의 단순선형회귀분석을 통한 연간 에너지 소비량 예측에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 pp13-14, 2015.10
- [5] 송두삼, “BEMS를 통한 그린 캠퍼스의 구현”, 대한설비공학회 학술발표대회논문집, pp66-68, 2015.11
- [6] 임혜미, 김세림, 정희원, 차준민, “기온과 풍속에 따른 민감도를 고려한 동절기 제주계통 수요예측” 대한전기학회 하계학술대회 논문집-15 pp.116-117 2016.07.13.
- [7] 김석우, “기초통계학”, pp.96-97, 2007년