

교육시설물의 전기에너지 사용량에 따른 운영예산 관리방안

왕지환¹ · 김승권² · 이상훈³ · 현창택^{4*}

¹서울시립대학교 도시과학연구원 · ²서울시립대학교 일반대학원 건축공학과 박사과정 · ³서울시립대학교 도시과학대학 건축학부 부교수 ·
⁴서울시립대학교 도시과학대학 건축학부 교수

Operating Budget Management Plan on Electric Energy Consumption of Educational Facilities

Wang, Ji-Hwan¹, Jin, Chengquan², Lee, Sanghoon³, Hyun, Chang-Taek^{4*}

¹Researcher, Institute of Urban Science, University of Seoul

²PhD Candidate, Department of Architectural Engineering, University of Seoul

³Associate Professor, Department of Architectural Engineering, University of Seoul

⁴Professor, Department of Architectural Engineering, University of Seoul

Abstract : The 7th education reform in 1997 has led changes in the way buildings were constructed and such changes drove educational facilities to steadily consume more energy every year. Also, these facilities take several years' estimated expenditure as well as the increased unit price of electricity into account when planning their annual operating budget. Such circumstances may adversely affect the establishment of their budget plan since improper allocation of operating costs could take place. To propose educational facilities' operating budget management plan on electrical energy consumption, this study developed a model that help oversee the facilities' consumption of electrical energy. For the model development, the primary core variables related to electrical energy factors from the aspects of surroundings, physics, policy, etc. were derived from taking both literature research and the characteristics of these facilities into account. The secondary core variables were then derived using the correlation analysis. Lastly, the electric energy use prediction model was developed by performing regression analysis based on the derived secondary core variables.

Keywords : Operational Budget Management, Correlation Analysis, Multiple Regression Analysis, Electric Energy Consumption, Educational Facilities

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

1997년 제7차 교육과정 개정 이후 교육시설물은 평면, 입면, 지붕 등의 형태 변화를 통해 다양한 교육활동을 제공하고 있으며, 교육서비스의 질 향상을 위한 TV, 컴퓨터, 고가의 실험기구와 같은 정보화 기기의 보급이 확대되었다(Kim, 2018). 이러한 변화는 매년 교육시설물의 꾸준한 에너지 사용량 증가로 이어지고 있으며, 이러한 에너지 사용량 증

가 현상과 함께 에너지 소비구조 또한 변화하고 있다(Kim, 2012).

교육시설물의 특성상 학기 중 건물의 개방 및 활용은 불가피하고, 계절학기 유무에 따라 전기에너지 사용량에 차이가 발생한다. 기존의 교육시설은 운영예산 산출 시에 명확한 예산 산출기준이 미비하고, 전기에너지 사용량에 따른 운영예산을 과거 수년간 지출실적, 전기요금 단가 인상 등을 고려하여 예산을 산정한다(MOE, 2020).

매년 교육시설에서 운영예산 편성 시에는 시설 운영을 위한 지출금액이 부족하지 않게 하고, 적절한 수준으로 편성되어야 한다. 시설물 운영 중에 예산이 부족하여도 이미 산정된 예산에 대한 증액 요청이 쉽지 않기 때문에 비교적 여유롭게 예산을 산출한다. 이와 같은 예산산출 방식은 한정된 예산 안에서 적절하지 않은 운영비의 배분이 이루어져 국가적 차원의 예산계획 수립에 부정적인 영향을 줄 수 있다.

이에 본 연구에서는 교육시설물의 전기에너지 사용량에

* **Corresponding author:** Hyun, Chang-Taek, Department of Architectural Engineering, University of Seoul, 163, Seoulsiripdae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, Korea

E-mail: cthyun@uos.ac.kr

Received March 16, 2022; **revised** April 25, 2022

accepted May 12, 2022

다른 운영예산 관리를 위한 정보 제공과 운영예산에 대한 수립근거를 마련하기 위해, 교육시설물의 전기에너지 사용량 관리모형을 개발하고 이를 활용하여 요인별 운영예산 관리방안을 제안하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 교육시설물의 운영관리비 항목 중에서 교체, 수선을 제외하고 공공요금 및 제세금 중, 전체 에너지 사용량에 있어서 가장 높은 비중을 가진 전기에너지 사용량으로 범위를 한정하였다.

본 연구의 방법은 다음과 같다.

첫째, 교육시설 운영관리 정의와 기능에 관하여 고찰하고, 선행연구 및 문헌고찰을 통하여 교육시설물의 전기에너지 사용량에 따른 운영예산 산출근거의 필요성을 도출한다.

둘째, 기존 교육시설 운영비 현황을 분석하고, 전기에너지 사용에 따른 운영예산 산출과 관련한 문제점을 도출하여, 이에 대한 개선방향을 설정한다.

셋째, 다중회귀분석을 위한 입력변수 도출을 위해, 문헌고찰과 교육시설물의 특성을 고려한 전기에너지 사용량 관련 1차 핵심변수를 도출하고, 이를 기반으로 상관분석을 실시하여 2차 핵심변수를 도출한다.

넷째, 2차로 도출된 핵심변수를 기반으로 입력, 전진, 후진 제거, 단계선택을 통한 다중회귀분석을 실시하여, 전기에너지 사용량 관리모형 개발을 개발하고, 환경적, 물리적, 정책적 요인에 따른 운영예산 산출근거를 도출한다.

다섯째, 개발된 모형을 활용한 교육시설의 운영비 산출 방법론을 제안하고, 요인별 운영예산 관리방안을 제시한다.

여섯째, 본 연구에서 개발한 모형을 검증하기 위해 실제 사용된 전기요금과 회귀모형을 통한 전기요금 사이의 오차를 확인하고, 전문가 면담을 통해 본 연구에서 제안한 관리방안의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 예비적 고찰

2.1 운영관리비 정의 및 기능

교육시설의 운영관리비는 시설을 운영함에 있어서 교육 활동을 원활히 수행하기 위해 지원되는 교육비이며, 시설물의 유지는 물론이고 교육서비스를 가능하게 하며, 이와 동시에 교육시설이 추구하는 교육목표를 달성할 수 있게 한다. 또한, 교육환경을 학생과 교수에게 원활히 제공하기 위해 직접적으로 소요되는 수선비, 교체비 등과 같은 비용뿐만 아니라, 수도료, 가스료, 전기료 등과 같이 간접적으로 소요되는 비용도 포함한다. 교육서비스 제공에 있어서 직접 소요되는 비용과 간접적으로 소요되는 모든 비용을 교육시설의 운영

관리비에 포함된다(Oh, 2012).

교육시설의 운영관리비와 유사한 의미를 갖는 용어로, 학교기본운영비, 경상운영비, 학교회계전출금, 학교운영지원비, 표준교육비 등이 있다(Choi, 2003).

교육시설의 운영비는 어떻게 사용되느냐에 따라 교육서비스의 질이 좌우되며, 교육시설의 자율성과 책임성의 정도가 달라질 수 있다. 따라서 운영비 항목별 명확한 산출근거에 입각한 예산계획 수립은 매우 중요하며 교육시설의 재정배분 과정에서 운영비의 적절한 예산산출 근거를 마련할 필요가 있다.

2.2 선행연구 고찰

전기에너지 사용량 관리와 관련한 연구동향 파악을 위해 국내외 선행연구들을 고찰하였다.

Lee (2000)는 건물의 에너지 사용량과 일평균 외기온의 변화에 따른 상관계수를 통계적으로 분석하여, 에너지 사용량을 예측할 수 있는 단순회귀분석 모델을 제시하였다. Cho (2001)의 연구에서는 5개월간 하나의 빌딩을 대상으로 회귀분석을 실시하였으며, 난방에너지 사용량을 측정기간에 따른 예측치의 정확성에 대해 검토 및 분석하였다. Kim (2013)은 서울시 주거용 건물의 물리적 특성과 연간 전력소비량에 대하여 관계를 규명하고 각 변수의 특성과의 영향력과 크기를 분석하였다. Kim (2017)은 기상청의 기후요소별 정보 및 건축물대장 정보와 월간 에너지 소비량 데이터를 매칭하여, 업무용 건물의 에너지사용 패턴 분석결과 및 활용방안을 제안하였다. Kim (2017)은 월별 에너지 사용량 데이터를 활용하여, 기후요소에 따른 계절별 냉·난방 에너지 소비량의 상관분석 및 에너지 소비 패턴을 분석하고 에너지 소비량 저감을 위한 알고리즘을 개발하였다. Ku (2018)의 연구에서는 월별 온도, 습도, 풍속 등 기상요소만으로 Kriging 방법을 사용하여, 전기에너지 관리모형을 개발하였다. Kim (2020)은 다중회귀분석과 상관분석을 기반으로 '가구 에너지 상설 표본조사'에 따른 12개 주택의 특성 변수들을 독립변수에 넣어 에너지 사용량 관리모형을 개발하였다.

앞서 선행된 연구들을 살펴보았을 때, 전기에너지 사용량 뿐만 아니라 가스 및 수도 에너지 관련하여 에너지 사용량의 효과적인 관리를 위해, 다수의 영향요인을 고려한 에너지 사용량 예측과 이에 따른 에너지 소비 패턴 분석에 관한 연구가 수행되어져 왔다. 하지만 대부분의 연구에서는 온도, 습도 등 월별 평균값과 같은 환경적인 요소 및 연면적, 높이, 창문의 종류 등과 같은 물리적 요소를 사용하였다. 이러한 요인들은 시설물 운영에 있어서 다소 변화가 적은 요인이다. 회귀분석을 기반으로 수행된 일부 연구에서는 전력소비량의 월별 평균값을 사용하였으며, 교육시설물의 특성을 고려

한 수업 유무에 따른 강의실 사용량과 같은 정책적인 요인에 대한 고려는 미비하였다.

따라서 본 연구에서는 에너지 사용량 관리 관련 문헌고찰 및 상관분석을 통하여 교육시설의 특성을 고려한 핵심변수를 도출하고, 이를 환경적, 물리적 요인과 교육시설의 특성에 맞춘 정책적 요인으로 분류한다. 그리고 이러한 요인들을 바탕으로, 회귀분석을 활용한 교육시설의 전기에너지 사용량에 따른 관리모형을 개발하여, 운영예산 산출근거와 운영예산 관리에 대한 유용한 정보를 제공하고자 한다.

3. 전기에너지 사용량 관련 핵심변수

3.1 교육시설물 운영비 산출 문제점 및 개선방향

3.1.1 운영비 산출 문제점

일반적으로 기존 교육시설의 운영예산 편성 시에 요금의 단가 인상과 전년도 예산액 그리고 건축물의 연면적을 기준으로 산정하며, 예산산정 시에 한정된 요인을 고려하고 있어(MOE, 2020) 실제 사용량과의 차이가 있음에도 불구하고 적절한 예산산정이 이루어지지 않고 있다. 또한, 순환 근무제로 인하여 시설관리자가 주기적으로 바뀌며, 이로 인해 예산편성 시에 명확한 근거에 따른 객관적 산출이 이루어지지 않고 주관적으로 예산이 산출된다.

연구의 타당성을 뒷받침하기 위해 00대학교 시설과 직원과 면담을 실시하였으며, 예산편성 기본지침에서 기술한 바와 같이 시설 운영에 있어서 부족한 금액이 발생하지 않도록 적정수준으로 예산을 편성해야 하기 때문에 매년 운영비 산정 시에 여유롭게 산정하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 여유로운 운영비 산정은 불필요하게 과다한 예산편성으로 이루어질 수 있으며, 운영비 증가 요청이 어려운 이유 중 하나로 운영비 예산편성에 대한 구체적인 산출근거가 없다는 점을 꼽을 수 있다. 운영예산의 경우 시설물 운영 중에 예기치 못한 지출로 인해 예산이 부족한 상황이 발생한다면, 재정위원회를 통하여 운영비 증가를 요청해야 하지만 쉽지 않은 실정이다.

3.1.2 교육시설물 운영비 산출 개선방향

앞서 도출된 문제점을 기반으로 운영예산 산출 현황분석 및 전문가 면담을 실시하여, 개선방향을 다음과 같이 설정하였다.

교육시설물은 다른 일반시설물과는 달리 학생과 교수에게 교육서비스와 생활공간을 제공한다. 교육시설의 특성상 학기 중 수업, 계절학기 수업, 기타 학교행사로 인한 강의실 사용과 방학에 따라 실별 사용 유무와 시설물 이용자의 변동이 크다. 일부 교육시설은 교육서비스뿐만 아니라, 커뮤니티시설을 겸비한 복합시설로의 용도로도 사용되며, 고급 전

력을 요구하는 실험장비 사용이나 일정 온도를 지속적으로 유지해줘야 하는 실험실 유무에 따라 에너지 사용량에 큰 차이를 준다. 이외에도 날씨나 습도와 같은 환경적인 요인도 운영비 산출활동에서 고려되어야 한다. 기존 교육시설은 단기적으로 운영예산을 산출하고 있는데, 에너지 사용량에 영향을 주는 요인들을 산정하여 운영비 산출 시에 산정한 요인들을 기반으로 운영예산 산출 시에 고려될 필요가 있다. 또한, 시설관리자는 순환 근무제임을 고려하여, 운영비 산출 과정에 있어서 명확한 근거가 제시되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 교육시설에서 사용되는 에너지 중 전기에너지 사용량에 영향을 주는 요인을 기반으로 핵심변수들을 도출하고 상관관계를 분석하여 전기에너지 사용량에 따른 운영비 산출근거를 마련하고 효율적인 운영예산 관리를 위한 방안을 제안하고자 한다.

3.2 1차 핵심변수 도출

건물 자체적인 물리적인 요소와 사회적 환경 요소 등이 복잡하게 작용하여 건축물의 에너지 사용량에 영향을 미치고 있으며, 물리적 요소란 실제 건축물의 환경, 인공환경, 자연환경 등을 포함한다. 사회적 환경적 요소는 정책 요인과 사회·경제 요인으로 분류할 수 있다. 앞서 설명한 물리적, 사회적 환경요인들은 상호작용을 하며, 건축물 에너지 사용에 영향을 미치고 있다(Lee, 2007).

따라서 본 절에서는 문헌고찰과 교육시설의 특성을 고려하고, 교육시설물의 전기에너지 사용량에 영향을 주는 요인들을 환경적, 물리적, 정책적 요인으로 분류하여, 1차 핵심변수를 도출하고자 한다.

3.2.1 환경적 변수

환경적 요인은 실시간으로 변화하는 변수로서, 완벽한 예측값을 산출하는 것이 불가능한 변수이다. 여러 연구를 통해 환경적 요인의 개략적인 증감 예측을 통해 대응이 가능한 요인이다.

앞선 선행연구들에서도 에너지 사용량 예측을 위해 외기 온도, 습도 등과 같은 환경적 변수들을 수행한 연구들이 다수 수행되어왔다. 일반적으로 교육시설물에서 환경적인 요인은 전기에너지 수요에 민감하게 반응한다. 전기에너지 소비량에 일반적으로 영향을 많이 미치는 요인 중 하나로 실외기온을 꼽을 수 있으며, 이러한 실외기온은 강수량, 습도, 풍속에 따라 변화한다. Lee (2015)의 연구결과에 따르면 기후변화에 따른 온난화로 인해 여름철 기온 상승과 겨울철 기온하락을 유발할 것이라고 전망하였다. 또한, 기온의 영향을 가장 많이 받는 냉난방 설비의 경우에 여름철과 겨울철 더위와 추위의 증가로 전기에너지 수요가 증가함과 동시에 기온변화에 민감하게 반응할 것으로 예상하였다.

Table 1. Appropriate indoor temperature and humidity by season

Season	Temperature(°C)	Humidity(%)
Spring-Autumn	19~23	50
Summer	24~27	60
Winter	18~21	30

따라서 본 연구에서는 기상청(KMA, 2020)에서 제공하는 일별 평균온도, 상대습도, 강수량, 평균풍속 데이터를 활용하여 환경적 변수를 선정하고자 한다. 일별 쾌적온도차는 <Table 1>과 같이 한국에너지공단(KEA, 2020)에서 제공하는 계절별로 사람이 쾌적하다고 느끼게 하는 계절별 실내 적정온도 및 습도를 기준으로 하였다.

기온은 계산의 편리함을 위해 일별 평균온도와 계절별 적정온도의 중간값과의 차이를 계산하여, 일별 실내·외 온도차로 설정하였으며, 기상청 데이터를 기반으로 선정한 실내·외 온도차, 상대습도, 강수량, 평균풍속을 환경적 변수로 선정하였다.

3.2.2 물리적 변수

물리적 변수는 건축물의 전 생애(Life Cycle) 동안 이용자의 시설 사용습관과 건축물의 요소별 재료의 성질에 따라 변화한다. 하지만 일정주기 또는 긴급한 상황이 아닌 이상 건축물 요소에 대한 유지보수 활동이 행해지지 않기 때문에 변화량이 큰 변수는 아니다. 하나의 시설물에 대하여 유지보수로 인한 물리적 요인이 크게 변화하지 않는 이상, 전기에너지 사용량에는 큰 변화가 없을 것으로 사료된다.

시설물 안의 각 실에는 환기와 이용자의 쾌적함을 위해서 창문이 설치되어 있으며, 창문의 개수에 따라 외부의 열이 실 내부로 유입되어 사용자가 느끼는 온도의 차이가 나게 된다. 특히, 이러한 온도의 차이는 여름과 겨울철 이용자의 냉난방기 사용을 증대시키는 요인 중 하나이다.

교육시설의 각 실에는 일부를 제외하고, 냉난방 설비가 되어 있다. 겨울철 난방에너지 사용으로 수도와 도시가스를 활용하는 라디에이터를 활용하지만, 시간이 지남에 따라 점점 냉난방 기능을 동시에 보유한 시스템 에어컨으로 변화하고 있는 추세이다(Kim, 2012). 또한, 교육시설은 학생들에게 교육서비스를 제공하는 강의동과 행정업무를 처리하는 행정동으로 구분되어, 이에 따라 컴퓨터, 실험장비와 같은 각종 전산장비의 개수에도 차이를 보인다.

앞서 기술한 내용을 바탕으로 물리적 요소에 따른 에너지 사용량 변화를 확인하기 위해 연면적, 높이, 실(개소), 창문(개소), 층수, 냉난방기(개소), 전산장비(개소)를 물리적 변수로 선정하였다.

3.2.3 정책적 변수

정책적 요인은 환경적 요인과 물리적 요인보다 변화에 따

른 예측이 가능하며, 이와 동시에 국가정책과 사회적 상황을 고려하여 시설물별 전기에너지 사용량 예측에 따른 관리방안 제시가 가능하다.

최근 국내 교육시설에는 교육서비스의 질 향상을 위한 TV, 컴퓨터, 고가의 실험기구 등과 같은 정보화 기기의 보급이 확대되었다. 또한, 냉난방 시설, 전산장비, 실험장비의 현대화를 추진함에 따라 전기에너지 사용량에 있어서 차이를 보이며, 이는 전기에너지 사용량 영향요인으로 활용될 수 있다. 건축물의 경과일수의 증가는 건축물의 노후화를 말한다. 건축물의 경과일수는 노후화의 관점에서 볼 때 물리적인 요인으로 보일 수도 있으나, 본 논문에서는 시간이 지남에 따라 정책적인 측면의 전기에너지 사용량 예측을 위한 변수로서 활용하였다.

교육시설의 강의동에서 강의시간 중에 실의 사용이 이루어지면, 냉난방 시설, 전산장비, 실험기구가 사용될 수 있으며, 이는 전기에너지 사용에 영향을 미친다. 반대로 방학 중에는 수업동의 강의실을 사용하는 경우가 계절학기를 제외하고는 없기 때문에, 전기에너지 사용량이 급격히 줄어든 것으로 예상된다.

교육시설의 행정동은 학기의 유무와 관계없이 시설물이 운영되고, 수업동과는 다르게 컴퓨터, 프린터와 같은 많은 전산 장비를 보유하고 있으며, 전기에너지의 사용 시간대가 일정한 것을 알 수 있다.

위 내용을 기반으로 본 연구에서는 강의동과 행정동의 강의 유무에 따른 전기에너지 사용량 차이를 확인하기 위해 정책적 변수로서 강의실 사용시간, 건축물 경과일수를 선정하였다.

이와 같은 분석을 통하여 선정한 각 요인별(환경적, 물리적, 정책적) 1차 핵심변수는 다음 <Table 2>과 같다.

Table 2. Primary core variables

Environmental variables	Physical variables	Policy variables
Temperature difference, Humidity, Precipitation, Average wind speed	Gross floor area, Height, Windows, Number of floors, Air conditioner, computer equipment	Room hours, Elapsed days

3.3 2차 핵심변수 도출

3.3.1 데이터 수집

3.2에서 도출한 1차 핵심변수를 기반으로 2차 핵심변수 도출을 위한 상관분석과 회귀모델 구축을 위해, SPSS프로그램을 활용하였다. SPSS 프로그램은 각종 자료를 통계학적으로 분석하기 위하여 만들어진 통계분석 전용 소프트웨어이다(Nam, 2019).

본 연구에서는 00대학교의 2019년부터 2020년까지의 7

Table 3. Correlation analysis result

	Electric usage	temperature difference	Humidity	Precipitation	Wind Speed	Room hours	Elapsed days	Total floor area	Height	Room	Window	Number of floors	Air conditioner	Computer equipment
Electric usage	1													
temperature difference	0.154	1												
Humidity	-0.051	-0.453	1											
Precipitation	-0.005	-0.194	0.499	1										
Wind Speed	-0.041	0.051	0.040	0.169	1									
Room hours	0.291	-0.011	-0.080	-0.031	-0.040	1								
Elapsed days	-0.036	-0.045**	0.052*	0.020	0.047	-0.021	1							
Total floor area	0.680	-0.017	0.008	0.004	0.005	0.343	0.021	1						
Height	0.747	-0.021	0.009	0.007	0.013	0.194	0.050	0.783	1					
Room	0.694	-0.022	0.008	0.004	0.003	0.341	0.069	0.964	0.762	1				
Window	0.584	-0.021	0.004	0.002	-0.004	0.355	0.045	0.963	0.671	0.949	1			
Number of floors	0.619	-0.025	0.002	0.003	-0.004	0.292	0.034	0.892	0.832	0.865	0.918	1		
Air conditioner	0.661	-0.019	0.006	0.002	-0.002	0.335	-0.087	0.936	0.681	0.980	0.940	0.829	1	
Computer equipment	0.746	-0.022	0.012	0.007	0.012	0.146	-0.074	0.666	0.890	0.736	0.571	0.691	0.712	1

개 건물의 일별 데이터를 대상으로 환경적, 물리적, 정책적 특성에 따라 총 4,923개의 데이터를 수집하였다. 강의 및 연구의 용도로 사용되는 건물은 총 5개이며, 행정업무 용도로 사용되는 건물은 2개이다.

통계적인 추론에서 이용되는 특성들을 일반화하는 중심극한정리에 의하면, 표본 수가 증가할수록 표본 평균의 분포는 근사적으로 정규분포에 접근한다(Park, 2007). 비록 본 연구에는 7개 건물을 대상으로 하여 이에 대한 한계점이 존재한다. 하지만 대다수의 기존 연구들이 하나의 건축물을 대상으로 데이터를 수집하여 연구를 진행하였다는 점을 고려하였을 때, 본 연구는 건물 데이터 수집의 다양성을 부여한 연구로서 의의가 있다.

3.3.2 상관분석을 통한 2차 핵심변수

00대학교의 7개 건물의 2019~2020년 일별 데이터를 기반으로 환경적, 물리적, 정책적 변수를 활용하여, 건축물 전기에너지 사용량에 영향을 미치는 변수들에 대한 상관분석을 실시하였다(Table 3).

상관계수 평가기준을 근거로 상관관계가 있는 변수들을 분석하였다. 유의확률 0.01 이상인 변수는 통계적 변수로서 유의하지 않다고 판단하여 2차 핵심변수 선정에서 제외하였다. 유의확률 0.01 이하의 통계적으로 유의한 변수를 선정하였다. 하지만, 유의확률 0.01 미만의 변수 중에서 서로의 상관계수가 0.9 이상인 경우에는 매우 높은 상관관계가 있다고 해석되며, 이로 인해 회귀분석에서 다중공선성에 의거하여 분석결과를 왜곡시키는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 분석 시에 반드시 제외시켜야 한다. 상관계수가 0.9 이상인 변수들은 물리적 변수의 연면적-실(개소), 연면적-창문

(개소), 연면적-냉난방기(개소), 실(개소)-창문(개소), 실(개소)-냉난방기(개소), 창문(개소)-냉난방기(개소), 창문(개소)-층수가 도출되었다.

물리적 변수의 연면적은 실(개소), 창문(개소), 냉난방기(개소)와 공통적으로 상관계수가 0.9 이상인 변수이며, 이외에도 환경적 변수와 정책적 변수들과의 상관도가 높은 것으로 나타나므로 변수에서 제외하였다. 또한, 실(개소), 창문(개소), 냉난방기(개소)는 서로 높은 상관관계를 보이며, 이 중에서 전기에너지 사용량과 가장 높은 상관계수를 가진 냉난방기(개소)를 핵심변수로 선정하였다.

환경적 변수 중 강수량과 평균풍속을 제외한 변수들과 정책적 변수는 변수 간 상관계수가 0.9 이하로 회귀분석에 유의미한 변수로서 활용이 가능하다. 물리적 변수 중 상관계수가 0.9 이상인 변수 중 전기에너지 사용량과 높은 상관계수를 가진 변수들을 2차 핵심변수로 선정하였다. 높기와 층수도 서로 높은 상관계수를 보였으며, 이 중 전기에너지 사용량과 상관계수가 높은 높이 변수를 선정하였다.

다중회귀분석 결과를 기반으로 선정한 각 요인별 2차 핵심변수는 다음 (Table 4)와 같다.

Table 4. 2nd core variables

Environmental variables	Physical variables	Policy variables
temperature difference, Humidity	Height, Air conditioner, computer equipment	Room hours, Elapsed days

4. 전기에너지 사용량 관리방안

4.1 다중회귀분석 기반 전기에너지 사용량 관리모델

기존에 선행된 연구에서는 환경적 요인과 물리적 요인을 고려하였으며, 본 연구에서는 선행연구들과의 차별성을 위해 정책적 요인을 추가로 고려하였다. 따라서 본 절에서는 환경적, 물리적 변수만을 활용하여 개발한 모델과 정책적 변수를 추가한 모델과의 설명력을 비교하여, 전기에너지 사용량에 따른 운영예산 관리에 적절한 모델을 선정하고자 한다.

환경적, 물리적 변수만을 활용하여 4가지 입력방법으로 다중회귀분석을 실시한 결과, 수정된 결정계수(R_{adj}^2) 값과 F값에 대한 유의확률과 각 변수의 t값에 대한 유의확률도 동일하게 도출되었다. <Table 5>는 환경적, 물리적 변수를 활용한 다중회귀분석 입력변수 선택방법 중 후진제거법의 분석결과이다.

Table 5. Multiple regression analysis results (environmental and physical variables)

Division	R	R ²	R ² _{adj.}
Model summary	0.803	0.646	0.645
Regression model	$Y = -1330.892 + 42.019X_1 + 2.540X_2 + 70.861X_3 + 5.564X_4 + 4.179X_5$ <p>$X_1 = \text{Temperature differenc, } X_2 = \text{Humidity, } X_3 = \text{Height,}$ $X_4 = \text{Air conditioner, } X_5 = \text{Computer equipment}$</p>		

환경적, 물리적 변수만을 고려한 다중회귀분석 결과에 의하면 <Table 5>에서 수정된 결정계수(R_{adj}^2)은 0.645이고, 이는 모형의 성공정도에 대해 독립변수가 64.5%의 영향을 미치고 있다는 것을 의미한다. F값의 유의확률(p-value)은 0.000(유의수준 0.01 이하)으로 도출된 회귀식이 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

Table 6. Multiple regression analysis results (Add policy variables)

Division	R	R ²	R ² _{adj.}
Model summary	0.812	0.659	0.659
Regression model	$Y = -1188.082 + 43.633X_1 + 3.950X_2 + 65.569X_3 + 4.183X_4 + 4.863X_5 + 7.252X_6 - 0.035X_7$ <p>$X_1 = \text{Temperature differenc, } X_2 = \text{Humidity, } X_3 = \text{Height,}$ $X_4 = \text{Air conditioner, } X_5 = \text{Computer equipment}$ $X_6 = \text{Room hours, } X_7 = \text{Elapseddays}$</p>		

<Table 6>과 같이 정책적 변수를 추가한 다중회귀분석 결과에서 수정된 결정계수(R_{adj}^2)은 0.659이고, F값의 유의확률과 t값에 대한 유의확률 모두 0.000인 것으로 나타났으며, 도출된 회귀식이 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

환경적, 물리적 변수만을 고려한 모델의 수정된 결정계

수(0.645)와 정책적 변수를 추가한 모델 수정된 결정계수(0.659)를 비교하였을 때, 정책적 변수를 추가한 모델의 설명력이 다소 높게 나타났다. 따라서 정책적 변수를 추가한 전기에너지 사용량 관리모델이 운영예산 산출을 위한 모델로서 적절하다고 판단하였다.

4.2 전기에너지 사용량에 따른 운영예산 산출 방법론

4.2.1 전기요금 단가 및 차등요금제

한국전력공사(KEPCO, 2021)에서는 건축물의 용도에 따라 부과되는 전기요금이 상이하다. 일반주거용으로 사용되는 주택용(107.89원/kWh)과 일반용(131.6원/kWh) 그리고 공장 등에 사용되는 산업용(107.35원/kWh)에 비해 교육용(103.99원/kWh) 전력은 비교적 저렴한 가격에 제공이 되고 있다.

계절별·시간대별 차등요금제란 전력소비가 급증하는 계절(여름철, 겨울철)과 시간대(최대부하)에는 높은 요금을 적용하고, 상대적으로 전력소비가 적은 계절(봄·가을철)과 시간대(경부하, 중간부하)에는 낮은 요금을 적용하는 제도이다(KEPCO, 2021). 차등요금제로 인해 전기에너지 사용량은 사용이 가장 많은 시간을 기준으로 심야(경부하), 주간(중간부하), 저녁(최대부하)으로 나누어져 측정된다. 본 연구에서는 전체 전기에너지 사용량에 대한 시간대별 사용량을 비율로 분배한 평균값을 사용하고자 한다.

4.2.2 운영비 산출 방법론

본 절에서는 4.1에서 개발한 전기에너지 사용량 관리모델을 활용하여, 수집된 건물별 데이터를 기반으로 2022년의 전기에너지 사용량을 예측함과 동시에 운영비를 산출하는 방법론을 제시하고자 한다.

운영비 산출과정에 있어서 전기에너지 요금단가는 제8차 전력수급기본계획(MOTIE, 2017)을 참고하여 2022년까지 요금단가인상이 없는 것으로 가정하였다. 또한, 차등요금제는 경, 중간, 최대부하별 전기에너지 사용량 평균값을 고려하였다. 전산장비 변수는 2022년의 주중과 주말을 구분하였으며, 평균적으로 교육시설에서 냉난방기 사용이 이루어지지 않는 4~5월과 10월은 냉난방기(개소)를 적용하지 않았다.

2022년 전기에너지 사용량에 따른 운영비 산출 시에 2차 핵심변수 중, 환경적 요소인 실내·외 온도차와 상대습도의 경우, 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~10월), 겨울(11~2월) 10년 동안의 평균의 증가율을 고려하여 적용하였다. 또한, 환경적 요인의 경우 지역에 따라 상이하지만 00대학교 내 건물별 환경적 요인은 전부 동일한 것으로 가정하였다.

물리적 요소인 높이는 증축예정인 없으므로 이전의 값을 사용하였다. 냉난방기(개소)와 전산장비(개소)는 건축물의

실별 평균적인 개소가 증가하지 않는다고 가정하였으며, 냉난방기의 개별 에너지효율등급에 대한 시간당 전기에너지 사용량은 고려하지 않았다.

정책적 요소인 강의실 사용시간은 봄/가을 학기와 여름/겨울 방학 계절학기 강의실 사용시간의 평균값을 적용하였다.

이와 같이 각 요인별 변수를 기반으로 다중회귀모델에 적용하여, 예측된 전기에너지 사용량에 계절별·시간별 차등요금을 고려한 계수를 곱하여 건물별 전기에너지 사용량에 따른 개략적인 운영예산 산출이 가능하다. 보다 정확한 운영예산 산출을 위해서는 건물별 계약 기본요금과 요금계약 종류, 부가가치세, 역률요금 등과 같이 전기요금 고지서에 기재된 각종 요소에 대한 고려가 필요하다.

4.3 운영예산 관리방안

4.3.1 환경적 요인 측면

다중회귀분석 결과에서 실내·외 온도차와 상대습도는 각각 전기에너지 사용량에 정(+)/적 영향을 미친다. 상대습도는 전기에너지 사용량에 상대적으로 미미한 영향을 미침과 동시에 상관분석 결과에서 실내·외 온도차와 음(-)의 상관계수를 보인다.

국립기상과학원의 전 지구 기후변화 전망보고서(NIMS, 2020)에 따르면 21세기 동안 평균기온은 지속적으로 상승할 것으로 전망되며, 온실가스 배출정도에 따라 현재 대비 +2.0~5.3°C 상승할 것으로 예상하였다. 또한, 기상청의 한국 기후변화 평가보고서 2020(KMA, 2020)에 의하면, 2020년대(2011~2017년)의 연평균기온이 13.0°C로 이전(1980년대: 12.2°C, 1990년대: 12.6°C, 2000년대: 12.8°C)과 비교하여 가장 높은 수치를 기록하며 온난화가 여전히 지속되고 있는 것으로 나타났다.

기존 전기에너지 사용량에 따른 운영예산 산정 시에 환경적 요인은 고려하고 있지 않으며, 앞선 내용으로 보았을 때 지구온난화로 인해 앞으로의 지속적인 평균온도 증가는 불가피할 것으로 예상된다. 특히, 실내·외 온도차의 영향으로 인한 냉난방기 사용이 잦은 하절기와 동절기의 전기에너지 사용량에 큰 영향을 줄 것으로 판단되며, 이에 대한 관리가 필요하다. 하절기의 경우 동절기보다 극한기후 증가일이 크며, 하절기 냉난방기 사용량이 증대될 것으로 예상되어, 철저한 에너지 사용계획이 요구된다.

4.3.2 물리적 요인 측면

교육시설은 크게 행정업무를 처리하는 행정동과 교육서비스를 제공하는 강의동으로 구성되어 있으며, 건물마다 전산장비의 개소에 따라 전기에너지 사용량에 차이를 보인다. 행정동은 각 실마다 행정업무를 처리하기 위해 컴퓨터, 프린

트 등과 같은 전산장비가 구비되어 있다. 강의동에서는 연구실과 실험실을 제외하고 강의실마다 평균적으로 1대의 컴퓨터와 1대의 프로젝터가 설치되어 있으며, 강의시간 또는 회의 등이 아닌 경우에는 사용되지 않는다.

교육시설에서 일부 실을 제외하고 냉난방 설비가 되어 있다. 냉난방 설비는 시설물의 주된 전기에너지 사용량 영향요인 중 하나이며, 냉난방 설비는 하절기와 동절기에 많은 사용량을 보인다.

시설이 현대화됨에 따라 점점 기존 라디에이터에서 냉난방 기능을 동시에 보유한 시스템 에어컨으로 변화하고 있다. 본 연구에서 데이터 수집 대상으로 한 시설물 중 일부는 난방 시설로 라디에이터를 사용하고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 차후에는 라디에이터 사용이 줄어들고 냉난방 기능을 보유한 시스템에어컨 설비가 증가할 것으로 예상되며 운영예산 산정 시에 고려되어야 한다.

4.3.3 정책적 요인 측면

건축물의 경과일수는 전기에너지 사용량에 대해 부(-)적 영향을 미치며, 이러한 이유로 정부의 에너지 절감 정책을 꼽을 수 있다. 2020년 산업통상자원부에서는 제6차 에너지이용 합리화 기본계획(2020~2024) (MOTIE, 2020)을 발표하였으며, 공공기관에서 전기료가 가장 비싼 피크시기의 전력수요저감 목표제를 도입하여 에너지 수요관리에 힘을 쓰는 모습을 보였다. 이러한 정책이 시행됨에 따라 시설물의 경과일수가 증가할수록 시설물의 전기에너지 사용량이 감소하는 형태를 보여준다. 또한, 설비의 노후화로 인한 교체 시에 에너지효율등급이 높은 설비를 지향하여 전기에너지 절감을 촉진하였다.

강의실을 사용하게 되면, 실 내부의 냉난방시설과 전산장비의 사용이 이루어진다. 또한, 강의실 사용시간은 교육시설 내의 시설물 중 행정동을 제외한 강의동에만 해당되는 변수이다.

정책적 요인 측면에서는 교육시설 내의 건물의 용도, 사회적인 이슈 등에 따라 전기에너지 사용량에 변화를 보인다. 또한, 환경적, 물리적 요인과는 다르게 이러한 변화를 충분히 고려한다면, 각 시설물의 특징에 따른 전기에너지 사용량을 예측하여 운영예산 관리가 가능하다.

4.4 검증

4.4.1 오차율 검증

전기에너지 사용량 관리모델의 효용성을 검증하기 위해서 00대학교 강의동 건물인 H건물을 선정하였다. 2019~2020년 기준 실제 전기에너지 사용량과 예측된 전기에너지 사용량과의 오차율 비교를 통하여 전기에너지 사용량 관리모델의 유용성을 검증하였다.

OO대학교 2020년 사례적용 H건물의 730개의 데이터를 활용하였으며, 실제 전기에너지 사용량과 예측값 사이에 오차율은 다음 <Table 7>과 같다.

Table 7. Error rate according to actual electric energy consumption of building H in 2019-2020 Unit: kwH

2019			2020		
Actual usage	Predicted value	Error rate	Actual usage	Predicted value	Error rate
839,358	771,368	8.81%	749,632	621,032	20.7%

<Table 7>과 같이 실제 전기에너지 사용량과 본 연구에서 개발한 모델을 활용한 예측값에 대한 오차율을 산출하였다. H건물은 실제 전기에너지 사용량과 예측값 사이에 2019년 8.81%의 오차율을 보였으며, 2020년 20.7%의 오차율을 나타내었다.

H건물은 강의동으로서, 2019년에는 정상적으로 학기가 운영되어 대면강의가 진행되었다. 오차율은 10% 이하로, 전 환경적, 물리적 변수와 정책적 변수인 강의실 사용시간이 포함되었다.

반면에, 2020년에는 오차율이 20% 이상으로 산출되었으며, 주된 이유로 정책적 요인인 강의실 사용시간을 포함하지 않는다는 점을 꼽을 수 있다. 2020년 3월 이후 코로나19에 대하여 정부에서는 강도 높은 사회적 거리두기를 추진하였다. 이로 인해 비대면 강의가 주를 이루어짐에 따라 강의실 사용시간을 포함하지 않았다.

따라서, 본 연구에서 개발한 전기에너지 사용량 관리모델은 환경적, 물리적 요인을 활용하였을 때보다 정책적 변수를 추가한 모델의 예측성능이 우수함을 확인하였다.

4.4.2 전문가 면담을 통한 검증

본 연구에서 개발한 교육시설의 전기에너지 사용량 관리 모델의 활용가능성을 검증하기 위해 OO대학교 시설과 전기 예산담당 주무관과 사무관, 건축환경설비 전문가 그리고 에너지 관련 국가 R&D 실무자와 면담을 진행하였다.

변수 선정의 적절성 측면에서 환경적, 물리적, 정책적 요인들은 기존 방법에서 세분화한 요인으로서, 적절한 것으로 평가하였다. 하지만, 물리적 요인의 경우, 건물의 특성을 고려하였을 때 높이 변수로 일반화하기에는 무리가 있다고 판단되며, 본 연구의 상관분석에서 제외되었던 연면적, 실(개소), 층수, 창문(개소) 또한 전기에너지 사용량에 유의미한 영향을 미치는 변수로 활용될 수 있다고 평가하였다. 또한, 계절에 관계없이 상시 사용되는 조명에너지에 대한 고려도 필요하다는 의견이 있었다.

모델 평가방법의 적절성 측면에서는 개발된 모델에 대하여 각 요인의 변화에 따라 값이 변화하기 때문에, 유동적인

전기에너지 사용량 예측과 산출근거로서 활용이 될 수 있다고 평가하였다. 또한, 모든 건물에 적용이 가능한 모델개발을 위해 추후 다양한 형상의 건물 데이터를 수집 및 적용이 필요하다고 판단하였다. 그리고 최근 지어지는 건물과 설비들은 단열성과 에너지 효율이 높다는 점도 고려될 필요가 있다는 의견이 있었다.

실무적용 가능성 측면에서 모델 개발을 위해 활용되어진 변수들은 시설과에서 쉽게 수집할 수 있는 데이터로 구성되어 있으며, 정량적인 수치로 분류가 가능하여, 기존 방법보다 체계적으로 운영예산을 산정할 수 있을 것이라는 의견이 있었다. 또한, 향후 환경적, 물리적, 정책적 요인에 대한 대표 변수를 도출하는 것도 실무적용성 측면에서 유의미한 연구가 될 것으로 평가하였다.

5. 결론

기존 교육시설에서는 운영예산 집행 시에 명확한 예산 산출기준이 없어서 연면적과 같은 일반적인 요인과 전년도 전기에너지 사용량에 따른 비용을 참고하여 예산을 산정한다.

이에 본 연구에서는 교육시설물의 전기에너지 사용량에 따른 운영예산 관리를 위한 정보의 제공과 수집근거 마련을 위해, 전기에너지 사용량에 영향을 미치는 요인별 변수에 대한 상관분석과 회귀분석을 실시하여, 전기에너지 사용량 관리모델을 개발하였다. 또한, 이를 활용하여 교육시설물의 전기에너지 사용량에 따른 운영예산 관리방안을 제안하였다.

본 연구에서 제안하는 전기에너지 사용량에 따른 운영예산 관리모델의 개발 및 관리방안 제안 과정은 다음과 같다.

첫째, 기존 선행연구에서 전기에너지 사용량 예측을 위해 고려한 영향요인들을 분석하고, 1차 핵심변수 도출을 위해 교육시설만의 특수성이 있는 변수들을 도출하고 환경적, 물리적, 정책적 요인으로 분류하였다.

둘째, 상관분석과 회귀분석을 기반으로 전기에너지 사용량 관리모델을 개발하였으며, 모델 간 설명력을 비교하여 전기에너지 사용량에 따른 운영예산 관리에 적합한 모델을 선정하였다.

셋째, 개발된 전기에너지 사용량 관리모델의 각 요인별 관리방안을 제안하였으며, 상기 연구결과를 토대로 교육시설 전기에너지 사용량 관리모델에 의한 예측값과 실제 전기에너지 사용량과의 오차율 비교를 통하여 모델의 신뢰성을 검증하였다.

본 연구에서는 기존에 사용되었던 환경적, 물리적 변수뿐만 아니라 정책적 변수를 추가하여, 운영예산 관리모델을 개발하였다. 또한, 해당 모델을 기반으로 제안된 요인별 운영예산 관리방안을 활용하여, 기존 방법보다 체계적으로 운영

예산을 산정할 수 있을 것으로 판단되며, 객관적인 운영예산 산출 활동이 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 전기에너지 사용량 관리모델의 적용성 향상을 위해, 물리적 변수에서 냉난방기의 에너지효율등급에 따른 전기 에너지 사용량과 건축물 구성요소에 따른 전기에너지 사용량의 차이, 조명 에너지, 건물의 단열성 등과 같은 변수를 고려한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 정책적 변수의 경우 강의실의 최대정원, 수업인원, 실별 규모 등의 고려가 필요하다.

향후 다양한 건축물의 데이터를 축적하고 관리모델의 일반화를 위해 요인별 대표변수들을 추가하여 운영예산 산출 근거에 대한 실용성을 더욱 높일 필요가 있다.

감사의 글

본 논문은 2021년 국토교통부 혁신성장동력프로젝트(과제번호: 1615012359)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

References

Cho, S.H., Tae, C.S., So, J.H., Park, K.Y., and Bang, K.Y. (2001). "A Study on Measuring Period to Predict the Heating Energy Consumption by Regression Analysis." The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, pp. 312-317.

Choi, J.Y., and Yang, B.K. (2003). "Research on School Operational Cost Allocation in Chonbuk Province," The Journal of Economics and Finance of Education, pp. 130-158.

Hwang, B.K. (2007). "A Study on the Central Limit Theorem." MS Thesis, Pusan University of Foreign Studies.

Kim, D.I., and Lee, B.H. (2017). "Data based Correlation Analysis of Building Energy Consumption with Climatic Elements - In Case of Office Buildings." Architectural Institute of Korea, 37(2), pp. 507-508.

Kim, D.I., Lee, B.H., and Yoon, J.D. (2017). "Analysis of the Consumption of Building Energy using Big-Data and its Application Plan." The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, pp. 50-60.

Kim, K.H. (2018). "Effective Maintenance Improvement of University Facilities." MS Thesis, Chonnam National University.

Kim, M.K. (2013). "An Estimation Model of Residential Building Electricity Consumption in Seoul." The Seoul Institute, 14(2), pp. 179-192.

Kim, T.W. (2012). "A Study on the Alternative for enhancing Energy Reduction and Enviroment Performance in Education Facility." Ph.D Thesis, Kyungpook National University.

Ku, K.B., and Jeong, S.K. (2018). "Building Electric Energy Prediction Modeling for BEMS using easily Obtainable Weather Factors with Kriging Model and Data Mining." Building Simulation, 11(1), pp. 739-751.

Lee, K.H. (2007). "Building Environment Plan." Munundang, pp. 37-40.

Lee, S.B. (2000). "A Study for Predicting Building Energy Use with Regression Analysis." The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, 12(12), pp. 1090-1098.

Lee, Y.J. (2015). "On the Effect of Changes in Temperature on Heating and Cooling Energy Consmption." MS Thesis, Kyunghee University.

Ministry of Education, (2020). "Basic Guidelines for Budgeting for National University Accounting in 2021." pp. 9-10.

Ministry of Trade, Industry and Energy, (2017). "8th Basic Electricity Supply and Demand Plan." pp. 4-12.

Ministry of Trade, Industry and Energy, (2020). The 6th Energy Use Rationalization Basic Plan (2020-2024), pp. 7-10.

National Institute of Meteorological Sciences, (2020). Global Climate Change Prospect Report, pp. 3-18.

Oh, K.Y. (2012). "A Study on the Distribution of Operation Cost to Schools." MS Thesis, National Univ. of Education.

www.kepco.co.kr [Website]. (2021). Retrieved from url.

요약 : 1997년 제7차 교육과정이 개정됨에 따라, 건축물의 형태 변화를 통해 매년 교육시설물의 꾸준한 에너지 사용량 증가로 이어지고 있다. 교육시설에서는 운영예산 산출 시에 수년간 지출실적, 전기요금 단가 인상 등을 고려하여 예산을 산정한다. 이러한 예산산출 방식을 통해 적절하지 않은 운영비의 배분이 이루어져 예산계획 수립에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 교육시설물의 전기에너지 사용량에 따른 운영예산 관리방안 제안을 위해 교육시설물의 전기에너지 사용량 관리모델을 개발하였다. 모델 개발을 위해 문헌고찰과 교육시설물의 특성을 고려하여 전기에너지 관련 환경, 물리, 정책 요인별 1차 핵심변수를 도출하였으며, 상관분석을 통해 2차 핵심변수를 도출하였다. 도출된 2차 핵심변수를 기반으로 회귀분석을 실시하여 전기에너지 사용량 관리모델을 개발하고, 이를 활용한 관리방안을 제안하였다. 본 연구에서 개발한 관리모델은 각 요인의 변화에 따른 유동적인 운영예산 산출근거로서 활용될 수 있다.

키워드 : 운영예산관리, 상관분석, 다중회귀분석, 전기에너지 사용량, 교육시설물
