

## 건물용도별 냉방에너지 소비량 차이에 관한 연구\*

김기중\*\*·이창호\*\*\*

### A Study on the Difference of Cooling Energy Consumption by Building Use\*

Kijung Kim\*\*·Changhyo Yi\*\*\*

**요약** : 이 연구의 목적은 건물용도별 단위면적당 냉방에너지소비량 차이와 영향요인의 차이를 실증 분석하는 것이다. 연구의 공간적인 범위는 서울시내 필지 65,729개이며, 시간적 범위는 2015년 8월로 설정하였다. 크리스칼-왈리스 검증을 이용하여 건물용도별 냉방에너지 소비량 차이를 분석하고, 감마회귀분석을 활용해 건물용도별 냉방에너지 소비량 영향력 차이를 분석하였다. 분석 결과, 공동주택과 근린생활시설, 판매업무시설의 냉방에너지소비량은 통계적으로 차이가 있는 것으로 밝혀졌다. 건물에너지 소비 영향요인 측면에서 볼 때, 모든 건물용도에서 공시지가는 냉방에너지 소비를 늘리는 요인으로 분석됐다. 공동주택의 냉방에너지는 주변환경 특성보다 물리적 요인에 영향을 크게 받는 반면, 근린생활시설의 냉방에너지는 물리적 요인보다 주변환경 특성의 영향을 많이 받았다.

**주제어** : 건물용도, 냉방에너지, 크리스칼-왈리스 검증, 감마회귀분석

**ABSTRACT** : The purpose of this study is to analyze the difference of cooling energy consumption according to building use. The spatial scope of the study was 65,729 parcels in Seoul, and the time range was August 2015. We analyzed the difference of cooling energy consumption by building use by using Kruskal-Wallis test. Furthermore, this study found the difference in factors affecting cooling energy consumption by building use using gamma regression. As a result of analysis, cooling energy consumption of apartment, neighborhood facility, and sales/work facility is statistically different. Regarding influencing factors of building energy consumption, the factor that increases the cooling energy consumption for all buildings is the land price. The cooling energy of the apartment is more affected by the physical factors than the characteristics of the surrounding environment. In contrast, cooling energy of neighborhood facilities is more influenced by environmental characteristics than physical factors.

**KeyWords** : Building Use, Cooling Energy, Kruskal-Wallis Test, Gamma Regression

\* 이 논문은 국토교통부 도시건축연구개발사업(19AUDP-B102406-05)과 한국연구재단 기초연구사업(2016R1D1A1B03930624)의 지원을 받아 수행된 연구임.

\*\* 서울시립대학교 도시공학과 박사과정(Ph.D Candidate, Urban Planning&Design, University of Seoul, E-mail: kimkj87@uos.ac.kr)

\*\*\* 한밭대학교 도시공학과 조교수(Professor, Urban Planning&Design, University of Seoul),  
교신저자(E-Mail: yich@hanbat.ac.kr Tel: 042-821-1194)

# 1. 서론

## 1. 연구배경과 목적

에너지전환 시대를 맞이하여 에너지 수요관리를 강화하고 에너지소비를 절약하는 것이 주요 국정과제 중 하나가 되었다. 현 정부는 화석연료와 원자력 위주의 에너지 생산방식을 신재생에너지 전환으로 유도하고, 에너지의 효율적 이용과 소비량 저감 차원에서 탈원전 정책을 제시하였다. 이에 따라 다양한 분야에서 에너지 소비량 저감에 관한 관심이 높아지고 있다. 이 중 도시에서 소비되는 에너지 소비량은 전 세계 에너지 소비량의 약 80%를 차지하기 때문에, 에너지 저감 측면에서 도시계획 분야의 역할이 더욱 강조되고 있다(World Bank, 2010).

도시에서 소비되는 에너지는 건물과 교통부문으로 크게 구분할 수 있는데, 건물부문의 에너지소비가 지속 증가하고 있어 건물부문 에너지 수요관리정책의 중요성이 강조되고 있다(에너지경제연구원, 2015). 서울시는 총에너지 소비량의 60%를 차지하는(김민경·조항문, 2012) 건물에너지 소비량을 줄이려고 햇빛발전지원제도, 기후·에너지지도 제작, 에너지복지기금 설치, 에너지소비 증명제 등 다양한 제도를 마련하고 관련 연구사업을 추진 중이다. 특히 건물의 에너지 효율을 개선하기 위해 건물용도별 에너지 사용실태를 진단하고 맞춤형 건물에너지 저감 모델을 개발하여 보급할 예정이다(서울특별시, 2015).

지금까지 건물에너지 관련 실증분석과 소비량

추정과 관련된 연구는 주로 단일용도 건물에 국한하여 이루어졌을 뿐 건물용도 간 비교연구는 부재하다. 건물이 사용되는 용도에 따라 에너지 소비행태가 다를 수 있다. 국내는 건물용도에 따라 전기 사용에 부과되는 비용체계가 다를 뿐만 아니라,<sup>1)</sup> 주택용 전기는 누진제를 적용하여 사용량에 따라 요금의 차등 부과되고 있다. 또한 건축물 에너지효율등급 인증제도, 친환경주택 성능평가제도, 녹색건축물설계기준 같은 건축 성능 인증기준은 비주거용 건물보다 주거용 건물용도에 엄격한 규제를 적용하고 있다.

에너지 사용 비용과 규제의 차이는 건물용도별 에너지 소비행태를 다르게 할 수 있으며, 이는 결국 건물용도에 따라 에너지 소비 저감 방안이 차별적이어야 한다고 시사한다. 한편, 최근 연구에 따르면, 건물 자체의 물리적 특성뿐 아니라 건물 주변환경도 에너지 소비에 중요한 영향요인이라고 확인되고 있으며, 건물 주변의 도시계획적 요소를 고려한 연구가 필요하다(Kim et al., 2019; 김기중 외, 2017).

따라서 이 연구의 목적은 건축물 주 용도별 건물에너지 소비량의 차이를 분석하고, 에너지소비량에 영향을 미치는 요인을 건물 자체의 물리적 특성과 주변환경 특성으로 구분하여 실증분석하는 것이다. 이 연구의 결과는 향후 건물용도별 에너지 소비 저감 정책 수립에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

연구의 공간적 범위는 서울시로 한정하였다. 국내에서 건물부문 전기 사용량이 가장 많은 도시이며, 건물부문 에너지 소비량 저감을 위해 시 정부 차원의 다양한 노력이 이루어지고 있기에 적절한

1) 전기요금체계는 주택용·일반용·교육용·산업용·농사용·가로등 6가지로 나뉘며, 용도별 판매단가는 주택용: 123.69(원/kWh), 일반용: 130.46(원/kWh), 교육용: 113.22(원/kWh), 산업용: 107.41(원/kWh), 농사용: 47.31(원/kWh), 가로등: 113.37(원/kWh)이다.

사례지역으로 판단하였다. 시간적 범위는 가정용 월별 전력 소비량이 가장 많은 8월로 하였다(서울 열린데이터광장). 연구의 내용적 범위는 정량적 통계분석 방법을 활용해 건물 주 용도별 전기에너지 소비량 차이를 실증하고, 전기에너지 소비량에 영향을 미치는 요인의 차이를 비교분석하는 것이다.

연구의 구성은 다음과 같다. II장은 건물용도별 에너지소비 영향요인을 분석한 선행연구를 검토하였다. III장은 실증분석 수행을 위한 데이터 구축 방법과 실증분석 방법론을 설정하였다. IV장은 건물용도별 냉방에너지 소비의 차이를 분석하고 나아가 에너지 소비의 영향요인을 분석하였다. 마지막으로, 분석결과를 기초로 건물에너지 소비 저감을 위한 시사점을 제시하였다.

## II. 선행연구 검토

건물에너지 관련 연구는 건물단위에서 설계지침과 시뮬레이션을 추구하는 건축분야와 지역과 도시규모의 실증분석을 하는 도시계획적 접근방식으로 구분된다(Ko, 2013). 건축분야에서는 건물 물리적 요인과 관련된 연구가 대다수를 차지한다(Santin et al., 2009; Steemers, 2009; Baker and Rylatt, 2008; Theodoridou et al., 2011). 이 연구는 건물형태, 건물노후도, 단열수준, 층수, 창문이 건물에너지 소비와 연관이 있다고 실증하였다. 하지만 건물의 물리적 요인만으로 건물에너지 소비를 설명하는 것은 한계가 있을 뿐만 아니라(Huebner et al., 2015), 기술 발달로 건물성능이 향상되었는데도 건물에너지 소비는 지속 증가하는 추세이다(Ewing and Rong, 2008). 이는 건물에너지 소비에 물리적 요인 외 다른 요인도 영향을

미친다는 것을 의미한다. 주택규모·주택유형·밀도·토지피복·녹지 같은 도시계획 요소도 중요하다(Wong et al., 2011; Ewing and Rong, 2008; Ko, 2013; Wilson, 2013; 김기중 외, 2017).

도시계획요소와 관련하여 도시공간 내 녹지와 수계공간은 인공구조물에서 방출되는 열을 흡수하고 도시온도를 낮춰 냉방에너지 소비를 줄일 수 있다(Ng et al., 2012; Millward and Sabir, 2011; Ca et al., 1998; Kong et al., 2016). 이와 반대로 불투수성 토지피복은 도시 온도를 올리는 요인이며, 냉방에너지 소비에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 도시계획 차원에서 온도와 에너지소비 저감을 목적으로 적절한 공원녹지시설과 수변공간 공급이 필요하다(김기중 외, 2018). 이밖에도 가구소득·대기온도·일사량·에너지 정책 등이 건물에너지 소비에 영향을 준다고 밝혀졌다(Santamouris, 2016).

국내 관련 연구로 강창덕(2011)은 서울시를 대상으로 전력과 도시가스소비에 영향을 주는 요인을 분석하였다. 지역 인구나 가구밀도가 증가할수록 전력 소비는 감소하는 반면, 고용과 기업밀도가 증가할수록 전력 소비는 상승하였다. 토지가격이 높아질수록 전력소비는 줄어들었고, 도시가스 소비는 늘어났다고 보고했다. 김인현 외(2011)는 도시계획과 관리의 관점에서 도시 에너지 소비를 저감할 수 있는 방안을 마련하고자 하였다. 이를 위해 도시 공간과 에너지소비량과의 관계를 분석하였다. 도시개발 관련 인구밀도, 건폐율, 용적률, 주거지, 상업업무지역, 공업지역, 교통시설지, 연면적 등이 전기에너지소비량과 양의 상관관계를 보인 반면, 자연 요소인 공원과 녹지, 경사, 표고 하천면적 같은 요소는 음의 상관관계를 나타냈다. 또한 서울시는 생활권별 차이가 있어 지역특성에 맞는 에너지소비 저감이 필요하다고 조언했다. 하지만 건물·필지단위가 아닌 행정동·셀(500m×500m)

단위의 집계된 자료를 활용한 한계를 갖는다.

김민경·조향문(2012)은 개별건물과 필지단위에서 주거용 건물의 에너지소비 영향요인을 밝혀 에너지소비량 표준모델을 구축하고자 하였다. 이 연구는 미시적 단위에서 건물에너지 소비를 분석했다는 데 의의가 있지만, 건물의 물리적 조건(주거 형태, 건물연도, 층수, 구조 등)을 고려하였을 뿐 토지피복과 관련된 도시계획요소를 고려하지 못했다는 한계점이 있다. 김기중 외(2017)는 주거용 건물에너지 소비를 줄이기 위해 건물 자체의 물리적 개선뿐만 아니라 건물 주변의 열 환경을 개선할 수 있는 토지피복과 밀도 조정 같은 도시계획적 접근이 필요하다고 주장하였다.

한편, 건물이 사용되는 용도에 따라 에너지소비 결정요인이 다르기 때문에 차등적인 건물에너지 저감방안이 요구된다(Santamouris, 2016; Heiple et al., 2008; Howard et al., 2012). 에너지경제연구원(2017)은 소득과 주거면적 증가에 따른 에너지소비 증가는 정부가 직접 통제하기 어렵다고 지적하였다. 따라서 고효율 제품 보급, 주택개보수, 가정용태양광 설치 같은 소비자의 자발적 에너지 절약을 유도하기 위해 정부의 강한 의지를 나타내는 정책과 교육·홍보이 중요하다고 언급하였다.

선행연구 검토 결과, 냉방에너지 소비를 결정짓는 요인은 건물의 물리적 특성과 주변환경 특성으로 구분할 수 있다. 물리적 특성은 건물규모, 노후도, 층수, 구조, 형태, 유형, 단열수준, 창문 등이 있고, 주변환경 특성은 열 쾌적성과 관련된 요소로 공원녹지, 수계, 토지피복, 경사, 표고, 용도지역이 포함되며, 도시계획 차원에서 논의되는 요소이다. 국내도시를 대상으로 한 연구 중 필지단위의 미시적 공간단위 연구, 건물의 물리적 특성과 주변환경 특성을 동시에 고려한 연구는 많지 않다. 또한, 건물용도별 냉방에너지 소비 차이를 실증분석한 연구는 없는 실정이다. 이 연구의 차별성은 필지단위

에서 건물용도별 냉방에너지 소비 차이를 규명하고, 용도별 건물의 물리적 특성과 주변환경특성이 냉방에너지 소비에 미치는 영향력 차이를 확인하는 것이다.

### III. 분석자료 구축과 분석방법 설정

#### 1. 변수 설정과 자료 구축

이 연구에서 활용한 변수는 <표 1>과 같다. 종속변수는 단위면적당 냉방에너지 소비량이며, 독립변수는 선행연구에서 논의된 변수 중 건축물대장, UPIS, 수치지형도, 도로명주소기본도에서 구축 가능한 정보를 대상으로 하였다. 건물의 물리적 특성은 구조, 건축면적, 연면적, 노후도, 평균층수이다. 주변환경 특성은 용도지역상 주거지역, 고도, 수계까지 거리, 공원까지 거리, 수계유, 공원을, 도로율로 구성하였다. 또한 통제변수는 월평균 대기온도와 필지단위로 소득수준을 반영할 수 있는 대체변수인 공시지가를 이용하였다(김기중 외, 2017).

변수별 자료 출처와 구축방법은 다음과 같다. 냉방에너지 소비량 자료는 건축데이터 민간개방시스템에서 제공하는 필지단위 전기사용량을 이용하였다. 단위면적당 냉방에너지 사용량 자료를 구축하기 위하여, 여름철 전기 소비량이 가장 많은 8월과 여름철에 근접한 시점 중 전기에너지 소비량이 가장 적은 5월(서울특별시, 2016)의 차이를 총연면적으로 나눈 값을 활용하였다. 한편, 에너지소비 관련 자료는 전국의 필지단위 전기가스 소비량이 제공되지만, 단독주택과 500세대 미만의 공동주택 자료는 제외된다. 필지별 대표용도 도출은 건축물

〈표 1〉 변수구성

구분	변수명	내용 및 단위	출처	
종속변수	단위면적당 냉방에너지 소비량	Kwh/m <sup>2</sup>	건축데이터 민간개방시스템(2015)	
독립변수	건물 물리적 특성	구조	철근콘크리트: 더미	
		건축면적	Ln(m <sup>2</sup> )	
		연면적	Ln(m <sup>2</sup> )	
		노후도	2015년 - 사용승인년도	
		평균층수	-	
	주변환경 특성	주거지역*	주거지역: 더미	UPIS(2014)
		고도	m	연속수치지형도(2016)
		수계까지 거리	m	도로명주소기본도(2015)
		공원까지 거리	m	
		수계율	%	
		공원율	%	
	도로율	%		
	통제변수	대기온도	°C	SK Planet(2015)
공시지가		백만원/m <sup>2</sup>	서울열린데이터광장(2015)	

\* 분석자료로 활용된 필지 중 약 83%가 주거지역에 위치하고 12%가 상업지역에 위치함. 주거지역을 기준으로 더미화하여 구축함.

대장의 정보를 활용하였다. 필지별로 용도별 연면적을 합산하여 최대 연면적 용도를 대표 용도로 설정하였으며, 대표용도는 공동주택, 근린생활시설(제1종 근린생활시설, 제2종 근린생활시설), 업무시설(판매시설 포함<sup>2)</sup>), 기타시설로 구분하였다. 이는 공공시설이 아니며 냉방에너지 소비 수요에 차이가 있을 것으로 판단되는 용도를 구분하였다.

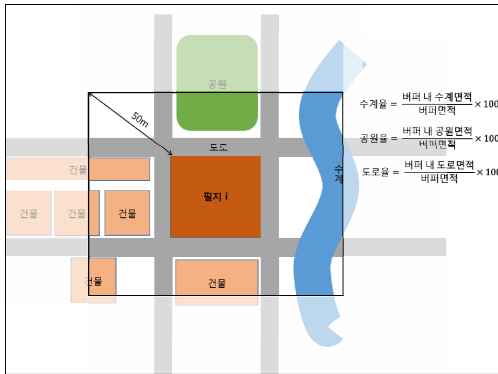
건물의 물리적 특성을 나타내는 구조, 건축면적, 연면적, 노후도, 평균층수는 건축물대장과 국가공간정보포털에서 제공하는 GIS건물통합정보를 이용하였으며, 필지단위로 총건축면적, 총연면적, 평균 노후도, 평균 층수를 도출하였다.

필지 주변환경을 반영하기 위해 고도 정보는 국토정보플랫폼의 연속수치지형도를 활용하였

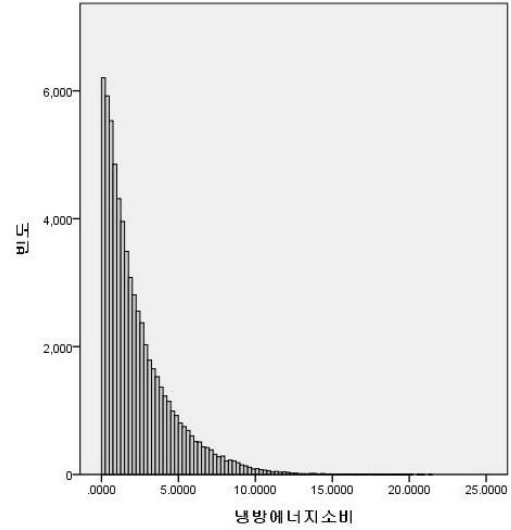
고, 필지별 수계까지 최단거리, 공원까지 최단거리, 필지 반경 50m 안에 포함된 수계, 공원, 도로면적 비율을 구축하였다. 수계율, 공원율, 도로율을 산정하기 위한 건물 주변의 범위는 명확한 기준이 없지만, Wong et al.(2011)과 김기중 외(2017)연구에서 적용한 기준인 50m를 적용하였다. 구축방법은 〈그림 1〉과 같으며, 필지의 수계율, 공원율, 도로율은 필지의 50m 버퍼면적과 해당버퍼 내 포함된 수계, 공원, 도로면적 비율로 산정하였다. 또한, 대기온도는 SK Planet이 제공하는 서울시 266개 기상관측장비 정보를 활용하였으며, 공간보간기법 중 크리깅 기법을 이용하여 서울시 전체의 온도분포를 추정하였다. 필지별 공시지가는 서울열린데이터광장의 개별공시지가를 토대로 하였다.

2) 「건축법」상 용도별 건축물 종류는 단독주택, 공동주택, 제1종·2종 근린생활시설, 문화 및 집회시설, 판매시설, 운수시설, 의료시설, 교육연구시설, 노유자시설, 수련시설, 운동시설, 업무시설, 숙박시설, 위락시설, 공장, 창고시설, 위험물 저장 및 처리 시설, 자동차 관련시설, 동물 및 식물 관련시설, 자원순환 관련시설, 교정 및 군사 시설, 방송통신시설, 발전시설, 묘지 관련 시설, 관광 휴게시설, 장례시설, 야영장 시설로 구분된다. 여기서 판매시설은 도매시장, 소매시장, 제1종·2종 근린생활시설에 해당하지 않는 대규모 판매시설을 말한다. 이 논문에서는 근린생활시설과의 혼동을 방지하고자 업무시설에 판매시설을 포함하였다.

〈그림 1〉 수계울·공원울·도로울 구축 예시



〈그림 2〉 단위면적당 에너지 소비량 분포



## 2. 분석방법

이 연구의 분석은 두 가지로 구성된다. 첫째, 건물용도별 단위면적당 냉방에너지 소비량 차이 유무를 분석한다. 둘째, 건물용도별 냉방에너지 소비량에 미치는 영향요인을 분석한다. 분석에 활용되는 종속변수인 단위면적당 에너지 소비량의 분포는 〈그림 2〉와 같다. 자료가 왼쪽으로 치우쳐져있으며 오른쪽으로 꼬리가 긴(right-skewed) 분포를 갖는다. 따라서 자료의 분포를 정규분포로 가정하고, 세 개 이상의 집단의 평균을 비교하는 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)과 영향요인을 도출하는 선형회귀분석은 이 연구의 분석방법으로 적합하지 않다.

이 연구는 변수의 분포가 비정규분포일 때, 셋 이상 집단 간 차이를 분석할 수 있는 크루스칼-왈리스(Kruskal-Wallis) 검증을 사용하였다. 이 방법은 각 집단에 포함된 자료의 순위를 비교하여 집단 간 차이를 규명하는 통계적 기법이다(채구묵, 2011). 편차제곱 합 형태의 통계량 H값으로 유의미한 차이를 검증하게 되며, H값이 클수록 집단 간 유의미한 차이가 있다는 사실을 나타낸다(허명회, 2016). H는 다음의 수식과 같이 정의된다.

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k R_i^2 / n_i - 3(N+1)$$

$k$ : 표본수,  $n_i$ : 표본  $i$ 의 자료 수

$R_i$ : 표본  $i$ 가 확보한 순위의 합

또한 건물용도별 에너지 소비량에 미치는 영향요인을 분석하기 위하여 일반화선형모형(Generalized Linear Model)을 이용하였다. 일반화선형모형은 종속변수의 분포가 정규분포가 아닌 지수, 포아송, 이항, 음이항, 감마분포 등을 나타낼 경우에 이용할 수 있다(허명회, 2016). 단위면적당 에너지소비량은 지수 또는 감마분포와 유사하며, 해당분포를 분석할 수 있는 감마회귀모형을 이용하였다. 감마분포 함수식은 다음과 같다.

$$f(y) = \frac{1}{\Gamma(1/\Phi)\Phi\mu} \left(\frac{y}{\Phi\mu}\right)^{1/\Phi-1} \exp\left(-\frac{y}{\Phi\mu}\right), y > 0$$

$\mu$ : 평균,  $\Phi\mu^2$ : 분산

감마분포는 양의 값만을 취하는 연속형 분포이므로 에너지 소비량을 설명하는 분포로 적합하다. 이를 로그함수로 연결하여 감마회귀모형을 설정하

면, 설명변수가 한 단위 변화할 때 종속변수 변화량을  $\exp(\beta)$ 로 추정할 수 있다(최양호 외, 2014). 이러한 특성 이외에도, 자료의 분포 특성뿐만 아니라 전기에너지 소비는 인구·사회경제학적 변수와 비선형적인 관계라는 것이 다수의 국외연구(Fan and Hyndman, 2012; Henley and Peirson, 1997; De Cian et al., 2007; Pao, 2006)에서 밝혀진 바 있기에 단순회귀모형이 아닌 일반화선형모형이 분석모형으로 더 적합하다.

철근콘크리트 구조 건물이 전체 표본의 약 82%를 차지하고, 평균 건물 노후도는 23.488년으로 확인됐다. 단위면적당 공시지가의 최솟값은 0.024백만원, 최댓값은 80.7백만원이다. 주변환경을 대표하는 특성 중 수계와 공원까지의 평균거리는 각각 0.548km, 0.151km으로 분석됐고, 필지 50m 반경 내 평균 수계율과 공원율은 각각 0.16%와 1.42%로 밝혀졌다. 8월 평균 대기온도는 25.211~27.03℃ 사이에 분포하며, 평균값은 26.61℃이다. 각 변수의 기술통계량을 살펴본 결과, 이상치와 과분산된 자료가 없었으므로 적절한 분석자료인 것으로 판단하였다(〈표 2〉 참조).

## IV. 실증분석결과

### 1. 기술통계량

분석의 활용된 변수의 기술통계량은 〈표 2〉와 같다. 서울시내 65,729개 필지가 분석대상이며, 종속변수인 단위면적당 냉방에너지 소비량의 최솟값은 0.01Kwh/m<sup>2</sup>, 평균값은 2.352Kwh/m<sup>2</sup>이다.

### 2. 용도별 냉방에너지 소비량 차이

건물용도별 단위면적당 냉방에너지 소비량의 차이를 분석하기 위해 크러스칼-왈리스 검정을 적용한 결과는 〈표 3〉과 같다. 검정통계량의 카이제곱 값은 2,431.206이며, 근사 유의확률은 0.000으로 유의한 결과이다. 건물용도별 단위면적당 에너

〈표 2〉 기술통계량

구분	변수	단위	최솟값	최댓값	평균	표준편차	
종속변수	단위면적당 냉방에너지 소비량	Kwh/m <sup>2</sup>	.001	21.384	2.352	2.270	
독립 변수	건물 물리적 특성	구조	-	.000	1.000	.821	.384
		건축면적	Ln(m <sup>2</sup> )	1.099	13.200	5.305	.846
		연면적	Ln(m <sup>2</sup> )	2.552	14.674	6.822	1.110
		노후도	년	.000	102.000	23.488	12.335
		평균층수	층	1.000	49.000	4.402	2.567
	주변환경 특성	주거지역	-	.000	1.000	.831	.375
		고도	m	5.000	235.000	25.628	14.015
		수계까지 거리	m	.000	1.847	.548	.354
		공원까지 거리	m	.000	.893	.151	.122
		수계율	%	.000	61.381	.163	1.707
		공원율	%	.000	100.000	1.428	5.645
	통제변수	도로율	%	.000	85.154	28.348	10.190
		대기온도	℃	25.211	27.030	26.610	.285
		공시지가	백만원/m <sup>2</sup>	.024	80.700	5.379	4.214

〈표 3〉 Kruskal-Wallis 검정결과

검정 통계량	
-	단위면적당 냉방에너지 소비량 (kwh/m <sup>2</sup> )
카이제곱	2,431.206
자유도	3
근사 유의확률	.000
집단변수: 건물용도	

지 소비량의 중앙값이 통계적으로 차이가 있다는 것을 의미한다.

분석에 활용된 총 65,729개 필지 중, 근린생활 시설이 위치한 필지가 56,212개로 가장 많았고, 판매업무시설이 5,411개, 공동주택이 2,673개로 조사됐다. 냉방에너지 소비량의 평균 순위는 공동주택(15,425)이 가장 낮았고 판매업무시설(35,767)이 가장 높았다(〈표 4〉 참조). 즉, 공동주택은 다른 용도 건물보다 단위면적당 냉방에너지 소비량이 적고, 비주거용 건물 중 판매업무시설은 근린생활 시설보다 냉방에너지 소비량이 많다는 사실을 의미한다.

〈표 4〉 순위결과표

단위면적당 냉방에너지 소비량 순위			
구분	건물용도	N	평균순위
		공동주택	2,673
	근린생활시설	56,212	33,392.60
	판매업무시설	5,411	35,767.49
	기타시설	1,433	33,739.71
	합계	65,729	

### 3. 용도별 냉방에너지 소비 영향요인 분석

건물용도별 냉방에너지 소비량에 미치는 영향 요인을 분석하고자 감마회귀분석을 수행한 결과는 〈표 5〉와 같다. 감마회귀모형의 적합도는 총이탈, 총이탈/자유도, 그리고 AIC 값으로 판별한다. 총

이탈과 AIC값이 작을수록 적합도가 높다. 총이탈/자유도 값은 4 이하를 충족하면 적합하고, 1에 근사하면 적합도가 높다고 판단한다(Olsson, 2002; 강만수 외, 2015; 주효찬이향석, 2013).

건물용도 구분 없이 모든 건물을 대상으로 분석 모형을 적용한 결과, 총이탈은 68,019, 총이탈/자유도는 1.035, AIC는 238,571이다. 공동주택을 대상으로 분석한 결과, 총이탈은 3,335, 총이탈/자유도는 1.093, AIC값은 3,711로 도출됐다. 근린생활시설을 분석한 결과는 총이탈 57,868, 총이탈/자유도 0.876, AIC값 207,924로 확인됐다. 판매업무시설 분석 결과, 총이탈은 3,651, 총이탈/자유도는 0.562, AIC값이 19,420 조사됐다. 각 모형의 결과는 수용가능한 수준이다.

건물용도별 냉방에너지 소비의 영향요인은 다음과 같다. 공동주택은 철근콘크리트 구조, 층수, 대기온도, 공시지가가 단위면적당 냉방에너지 소비량에 양(+)의 영향을 미친다. 건축면적, 연면적, 노후도, 주거지역, 공원까지 거리, 공원은 음(-)의 영향을 미친다. 근린생활시설은 단위면적당 냉방에너지 소비에 건축면적, 평균층수, 주거지역, 수계까지 거리, 도로율, 공시지가가 양(+)의 영향을 미치는 반면, 연면적, 고도, 공원을, 대기온도는 음(-)의 영향을 미친다. 판매업무시설은 건물연면적, 노후도, 주거지역, 수계까지 거리, 도로율, 대기온도, 공시지가가 냉방에너지 소비에 양(+)의 영향을 미치며, 철근콘크리트 구조, 고도는 음(-)의 영향을 미친다. 기타시설은 교육시설, 종교시설, 의료시설 등 다양한 특성을 가진 시설이 포함되어 있기에 분석결과를 자세히 서술하지 않았고, 다른 용도 건물과 비교하기 위해 결과표에 제시하였다.

공동주택은 건물규모(연면적)가 클수록 냉방에너지 소비에 효율적이었다. 동일한 건물규모라면 건축면적이 크고 저층인 건물이 에너지 소비 측면에서 유리하였다. 주변환경 특성에서는 공원까지



거리와 공원이 냉방에너지 소비를 줄이는 요인으로 밝혀졌다.

한편, 철근콘크리트건물과 신식건물의 에너지 소비량이 많았다. 2010년 이후 「건축물의 에너지 절약 설계기준」이 강화되면서 에너지 효율이 개선되어 신규건물일수록 에너지소비량이 낮을 것으로 예상되지만 상반되는 분석결과이다. 이는 최근 지어진 공동주택은 대부분 철근콘크리트이며, 건물의 스마트화 혹은 에어컨 보급률이 높아 나타난 결과로 판단된다.

근린생활시설도 건물규모가 클수록 냉방에너지 소비에 효율적이었다. 하지만 공동주택과 달리 동일한 건물규모라면 건축면적이 작은 건물이 에너지 소비에 효율적인 것으로 확인되었다. 또한 공동주택은 주변환경 관련 요인 중 공원까지 거리<sup>3)</sup>와 공원을만 유의미하게 도출되었는데, 근린생활시설은 주거지역, 고도, 수계까지 거리, 공원을, 도로율이 유의미한 영향요인으로 분석됐다. 근린생활시설은 다양한 주변환경 특성을 개선해 냉방에너지 소비를 줄일 수 있는 것으로 해석할 수 있다.

판매업무시설에서는 철근콘크리트 구조, 소규모 건물, 그리고 신축 건물이 냉방에너지 소비 측면에서 효율적이라는 결과가 나왔다. 주변환경 관련 요소 중에서는 비주거지역, 고도가 높은 지역, 수계에 가까운 지역, 건물 주변에 불투수성 피복률이 낮은 지역에 위치한 건물의 냉방에너지 소비량이 적었다.

건물용도별 냉방에너지 소비에 미치는 영향요인을 정리하면 <표 5>와 같다. 공시지가는 모든 건물용도에서 냉방에너지 소비를 늘리는 요인이었는데, 이는 소득수준이 높을수록 에너지소비를 많이

하는 것으로 해석할 수 있다. 공동주택과 근린생활시설은 냉방에너지 소비에 대기온도의 영향력이 서로 상반된다. 건물의 용도 특성상 공동주택의 에너지소비는 외부온도에 민감하게 반응하지만 근린생활시설은 외부온도보다 다른 요인이 더 크게 작용하는 것으로 해석할 수 있다.

분석 결과를 종합하면, 건물용도별 단위면적당 냉방에너지 소비량은 통계적으로 유의미한 차이가 있고, 영향요인에도 차이가 있었다. 건물에너지 효율성은 근린생활시설, 공동주택 순으로 높은 효율성을 나타냈고, 판매업무시설이 가장 비효율적이었다. 모든 건물용도에서 경제적 여건이 양호할수록 에너지 소비량이 많은 것으로 추정되었으며, 용도지역상 주거지역에 다른 용도 건물이 위치했을 때 냉방에너지 소비량이 많았다.

공동주택은 주변환경 특성보다 건물의 물리적 특성이 에너지소비량에 크게 영향을 미치는 반면, 근린생활시설과 판매업무시설은 건물의 물리적 특성뿐 아니라 건물이 위치한 주변환경 관련 요인도 에너지 소비에 크게 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

## V. 결론

건물에너지 소비는 도시가 소비하는 전체 에너지 중 많은 비중을 차지한다. 따라서 에너지 저소비형 도시공간구조로 개편하려면 다각적 저감 노력이 요구된다. 건물은 다양한 용도로 사용되기 때

3) 한편, 공원까지 거리가 멀어질수록 에너지소비량이 감소한다는 결과는 김기중 외(2018) 연구로 설명이 가능하다. 공원녹지까지 거리와 온도, 에너지소비량 간 관계는 선형관계가 아닌 3차함수 형태이다. 이 연구의 분석대상으로 삼은 필지에는 공원 영향범위 외곽의 필지도 존재하기 때문에 음(-)의 영향관계가 도출될 수 있다.

〈표 5〉 감미화귀분석결과

구분	전체건물		공동주택		근린생활시설		판매업무시설		기타시설		
	B	Sig.	B	Sig.	B	Sig.	B	Sig.	B	Sig.	
우도버카이제금	5,304		348		3,753		516		206		
자유도	14		14		14		14		14		
유의확률	.000		.000		.000		.000		.000		
총이탈	68,019		3,335		57,868		3,651		1,407		
피어슨카이제금	57,744		2,906		49,256		3,033		1,108		
Akaike 정보 기준(AIC)	238,571		3,711		207,924		19,420		5,178		
자유도	65,714		2,658		56,197		5,396		1,418		
총이탈/자유도	1.035		1.255		1.030		.677		.992		
구분	B	Sig.	B	Sig.	B	Sig.	B	Sig.	B	Sig.	
(절편)	2.526	.000	-3.919	.028	3.984	.000	-1.793	.168	-6.069	.016	
건물 물리적 특성	건물구조	-0.001	0.944	0.416	0.000	0.001	0.922	-0.154	0.000	0.047	0.570
	건축면적	0.100	0.000	-0.070	0.061	0.188	0.000	-0.016	0.620	-0.298	0.002
	건물연면적	-0.295	0.000	-0.133	0.000	-0.383	0.000	0.069	0.023	0.144	0.108
	노후도	0.000	0.577	-0.007	0.001	0.000	0.511	0.005	0.000	-0.012	0.000
	평균층수	0.031	0.000	0.031	0.000	0.063	0.000	-0.005	0.220	0.014	0.400
주변환경 특성	주거지역	0.056	0.000	-0.116	0.063	0.076	0.000	0.067	0.008	0.182	0.014
	고도	-0.004	0.000	-0.001	0.532	-0.004	0.000	-0.003	0.007	-0.006	0.000
	수계까지거리	0.044	0.000	0.058	0.356	0.052	0.000	0.053	0.064	-0.129	0.077
	공원까지거리	-0.036	0.253	-0.447	0.011	-0.050	0.141	0.107	0.173	-0.159	0.450
	수계울	-0.004	0.041	0.008	0.375	-0.003	0.313	-0.004	0.430	-0.010	0.473
통계변수	공원울	-0.005	0.000	-0.009	0.000	-0.004	0.000	-0.003	0.307	0.003	0.400
	도로울	0.005	0.000	0.001	0.688	0.003	0.000	0.003	0.005	0.002	0.374
	대기온도	-0.030	0.030	0.170	0.011	-0.085	0.000	0.071	0.143	0.276	0.003
	공시지가	0.064	0.000	0.096	0.000	0.070	0.000	0.025	0.000	0.054	0.000
	최도	.906		1.072		.902		.614		.864	

문에 동일한 물리적·주변환경 특성을 갖더라도 사용용도에 따라 에너지 소비행태가 다를 수 있다. 따라서 건물에너지 소비저감 방안은 건물용도에 따라 차별적으로 마련되어야 한다. 이러한 필요성에 따라 이 연구는 건물용도별 냉방에너지 소비량과 영향요인 차이를 분석하였다.

주요 분석결과와 시사점을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 단위면적당 냉방에너지 소비는 건물용도에 따라 통계적으로 유의미한 차이가 있다. 판매업무시설의 에너지 소비량이 가장 많았고, 그다음은 근린생활시설, 공동주택 순이었다. 특히 판매업무시설과 근린생활시설의 에너지 소비량 평균순위는 공동주택보다 2배 이상 높다. 이는 건물이 사용되는 용도에 따라 에너지 소비행태가 다르다는 것을 실증적으로 보여주는 결과이다.

건물 사용용도 특성상 공동주택보다 상업·업무용 건물이 에너지를 많이 소비하는 것이 일반적일 수 있다. 그러나 에너지 요금정책, 건축성능인증기준 같은 규제가 다른 용도 건물보다 주거용 건물을 대상으로 엄격하게 적용되었기 때문에, 주거용 에너지 소비량을 줄이는 효과가 있었을 것으로 판단된다. 도시 전체에서 사용되는 건물에너지 총량을 줄이기 위하여 주거용 건물뿐만 아니라 주거용 건물보다 비효율적인 다른 건물용도를 대상으로 하는 제도 마련이 필요하다.

둘째, 건물용도에 따라 냉방에너지 소비에 미치는 영향요인 차이가 있다. 공동주택은 물리적 측면에서 동일한 개발용량이라고 할지라도 건폐율, 용적률, 층수 등 건물의 입체적 형태에 따라 에너지소비량이 다를 수 있기 때문에 입체적 규제사항을 적절히 조절해 냉방에너지 소비를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

주변환경 측면에서는 공동주택 주변에 공원·녹지시설을 공급해 냉방에너지 소비를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 근린생활시설은 건물의 입체적

규모 제어뿐만 아니라 건물 주변의 공원, 수계, 투수성 피복면적 확보 등 주변환경을 개선하는 것이 냉방에너지 소비 저감에 유리할 수 있다. 판매업무시설은 근린생활시설과 매우 유사하지만, 건물의 입체적 규모보다 건물구조와 노후도를 개선해 건물에너지 소비량을 저감할 수 있다.

셋째, 공시지가는 모든 건물유형에서 에너지 소비를 늘리는 요인이다. 이는 경제적 여건이 상대적으로 좋은 지역에서 소비되는 에너지양이 많다는 것을 의미한다. 또한 주거지역에 위치한 공동주택은 냉방에너지를 적게 소비하는 반면, 주거지역에 위치한 다른 용도 건물은 냉방에너지 소비량이 많았다. 도시차원에서 건물에너지 소비량을 줄이기 위해 경제적 여건을 고려한 차별적 정책마련이 필요하지만, 현실적으로 불가능하다. 따라서 정부의 강한 정책 의지로 개별적 에너지소비를 줄일 수 있고 국가차원에서도 시행할 수 있는 고효율 제품을 보급하고, 태양광 설치 사업을 확대하려는 노력이 필요하다. 더불어 주거지역 내 공동주택 외 다른 용도 건물을 대상으로 에너지소비를 낮추는 정책적 대응책이 필요한 것으로 판단된다.

이 연구는 건물용도에 따른 에너지 소비량 차이와 영향요인의 차이를 실증 분석하였다는 데 의의가 있다. 연구결과는 건물용도별 맞춤형 건물에너지 저감 모델 개발과 건물부문 에너지수요관리 정책 마련을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

한편, 연구의 한계점은 필지단위로 구축된 에너지소비량 데이터를 활용한 점과 건물사용자 개인 특성을 고려하지 못한 점이다. 향후 건물단위의 에너지소비량에 기반을 두고 개인특성 관련 자료를 반영한다면, 더욱 신뢰할 수 있는 연구결과를 도출할 수 있을 것으로 기대한다.

## 참고문헌

- 강만수박상규이병학최승빈, 2015, “일반화선형모형을 이용한 소상공인 신용보증 특성 비교분석”, 『예술인 문화융합멀티미디어논문지』, 5: 359~367.
- 강창덕, 2011, “공간계량모형에 의한 서울시 에너지소비 분석과 정책과제: 전력과 도시가스 소비를 중심으로”, 『서울도시연구』, 12(4): 1~22.
- 김기중김동준이창호이승일, 2018, “도시공원의 규모와 형태별 주변지역의 지표온도-건물에너지 소비저감 영향범위 분석 연구”, 『한국지역개발학회지』, 30(2): 155~176.
- 김기중안영수이승일, 2017, “소득격차를 고려한 조건에서 건물과 도시계획 요소가 건물에너지 소비에 미치는 영향요인 분석”, 『국토계획』, 52(5): 253~267.
- 김민경조항문, 2012, “서울시 주거용건물의 에너지 소비량 추정모델”, 『서울시정개발연구원』, 연구보고서.
- 김인한오규식정승현, 2011, “공간정보 구축 및 응용:도시 공간 계획요소를 이용한 이산화탄소 배출량 산정모델 개발”, 『한국공간정보학회지』, 19(6): 11~18.
- 서울특별시, 2015, 『원전하나줄이기 2 에너지살림도시 서울』, 서울특별시.
- 서울특별시, 2016, 『서울시 기후환경에너지 지도 제작 (4차년도)』, 서울특별시.
- 에너지경제연구원, 2015, 2014년도 에너지 총조사 보고서.
- 에너지경제연구원, 2017, 주거용 건물에너지 소비 요인 분석을 통한 건물에너지 정책 방안 연구.
- 주효찬·이항석, 2013, “일반화 선형모형을 이용한 수출보험의 지급비율 추정”, 『한국통계학회』, 26(6): 857~871.
- 채구목, 2011, “사회과학 통계분석”, 『양서원』.
- 최양호·이우주·오승철·이동환, 2014, “일반화선형모형을 이용한 생명보험 지급금 분석: 암 발생 사고자료를 중심으로”, 『한국자료분석학회』, 16(6): 3093~3106.
- 허명희, 2016, “SPSS Statistics 일반화선형모형과 생존분석”, 『데이터솔루션』.
- Baker, K. J. and Rylatt, R. M., 2008, “Improving the prediction of UK domestic energy-demand using annual consumption-data”, *Applied Energy*, 85(6): 475~482.
- Ca, V. T., Asaeda, T., and Abu, E. M., 1998, “Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park”, *Energy and buildings*, 29(1): 83~92.
- De Cian, E., Lanzi, E., and Roson, R., 2007, “The impact of temperature change on energy demand: a dynamic panel analysis”.
- Ewing, R. and Rong, F., 2008, “The impact of urban form on US residential energy use”, *Housing policy debate*, 19(1): 1~30.
- Fan, S. and Hyndman, R. J., 2012, “Short-term load forecasting based on a semi-parametric additive model”, *IEEE Transactions on Power Systems*, 27(1): 134~141.
- Henley, A. and Peirson, J., 1997, “Non-linearities in electricity demand and temperature: parametric versus non-parametric methods”, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 59(1): 149~162.
- Heiple, S. and Sailor, D. J., 2008, “Using building energy simulation and geospatial modeling techniques to determine high resolution building sector energy consumption profiles”, *Energy and buildings*, 40(8): 1426~1436.
- Howard, B., Parshall, L., Thompson, J., Hammer, S., Dickinson, J., and Modi, V., 2012, “Spatial distribution of urban building energy consumption by end use”, *Energy and Buildings*, 45: 141~151.
- Huebner, G. M., Hamilton, I., Chalabi, Z., Shipworth, D., and Oreszczyn, T., 2015, “Explaining domestic energy consumption—the comparative contribution of building factors, socio-demographics, behaviours and attitudes”, *Applied energy*, 159: 589~600.
- Kim, K., Yi, C., and Lee, S., 2019, “Impact of urban characteristics on cooling energy consumption before and after construction of an urban park: The case of Gyeongui line forest in

- Seoul”, *Energy and Buildings*, 191: 42~51.
- Ko, Y., 2013, “Urban form and residential energy use: A review of design principles and reserch findings”, *Journal of Planning Literature*, 28(4): 327~351.
- Kong, F., Sun, C., Liu, F., Yin, H., Jiang, F., Pu, Y., Cavan, G., Skelhorn, C., Middel, Ariane., and Dronova, I., 2016, “Energy saving potential of fragmented green spaces due to their temperature regulating ecosystem services in the summer”, *Applied energy*, 183: 1428~1440.
- Millward, A. A. and Sabir, S., 2011, “Benefits of a forested urban park: What is the value of Allan Gardens to the city of Toronto, Canada?”, *Landscape and urban planning*, 100(3): 177~188.
- Ng, E., Chen, L., Wang, Y., and Yuan, C., 2012, “A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong”, *Building and Environment*, 47: 256~271.
- Olsson, U., 2002, *Generalized linear models. An applied approach*, Studentlitteratur, Lund, 18.
- Pao, H. T., 2006, “Comparing linear and nonlinear forecasts for Taiwan’s electricity consumption”, *Energy*, 31(12): 2129~2141.
- Santamouris, M., 2016, “Cooling the buildings—past, present and future”, *Energy and Buildings*, 128: 617~638.
- Santin, O. G., Itard, L., and Visscher, H., 2009, “The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock”, *Energy and buildings*, 41(11): 1223~1232.
- Steemers, K. and Yun, G. Y., 2009, “Household energy consumption: a study of the role of occupants” *Building Research & Information*, 37(5-6): 625~637.
- Theodoridou, I., Papadopoulos, A. M., and Hegger, M., 2011, “Statistical analysis of the Greek residential building stock”, *Energy and Buildings*, 43(9): 2422~2428.
- Wilson, B., 2013, “Urban form and residential electricity consumption: Evidence from Illinois, USA”, *Landscape and Urban Planning*, 115: 62~71.
- Wong, N. H., Jusuf, S. K., Syafii, N. I., Chen, Y., Hajadi, N., Sathyanarayanan, H., and Manickavasagam, Y. V., 2011, “Evaluation of the impact of the surrounding urban morphology on building energy consumption”, *Solar Energy*, 85(1): 57~71.
- World Bank, 2010, “Cities and climate change: an urgent agenda”.
- <http://data.seoul.go.kr>(서울열린데이터광장)
- <http://open.eais.go.kr>(건축데이터 민간개방 시스템)
- 원 고 접 수 일 : 2018년 8월 16일**
- 1 차 심 사 완 료 일 : 2019년 4월 25일**
- 최 종 원 고 채 택 일 : 2019년 6월 28일**

