



소득격차를 고려한 조건에서 건물과 도시계획 요소가 건물에너지 소비에 미치는 영향요인 분석*

- 서울시 8월 전기사용량을 중심으로 -

Analysis of Influencing Factors of Building and Urban Planning on Building Energy Consumption Considering Income Gap

- Focused on electricity consumption on August in Seoul -

김기중** · 안영수*** · 이승일****

Kim, Kijung · An, Youngsoo · Lee, Seungil

Abstract

The purpose of this study is to analyze the influencing factors on building energy consumption after dividing them into building and urban planning factors in consideration of income gap. The amount of energy consumed for buildings are the largest part of the total energy consumption in a city. Therefore, it is necessary to encourage the efforts for reducing energy consumption in building more than anything else. One of the potential ways to reduce energy consumption is to enhance building technology and/or to improve the surrounding environment. Furthermore, energy consumption can be also influenced by the income level of building users. Therefore, our regression analysis to identify the factors affecting energy consumption was conducted separately by income group -high and low, categorized based on land price. From the analysis, it was found that the factors affecting energy consumption by the income gap are different. In the high income group, building structure, house size, ratio of road, and number of building were affecting the energy consumption of building, whereas the factors influencing the low income group were identified as temperature, roof structure, distance to green space, ratio of water, and area of plot in addition to the variables identified also in high income group.

키 워 드 ■ 건물에너지소비, 건물요소, 도시계획요소, 소득격차

Keywords ■ Building Energy Consumption, Building Factors, Urban Planning Factors, Income Gap

I. 서론

1. 연구의 배경과 목적

2013년 기준 우리나라의 에너지소비량은 264백만TOE로 세계 8위로서 국가 경제규모에 비해 높은 수준이다. 반면, 에너지 공급량의 95.2%를 해외 수입에 의존하고 있으며 비용은 국가 전체 수입액의

* 이 논문은 한국연구재단 중견연구지원사업 핵심공동연구(2015R1A2A2A04005886)와 국토교통부 도시건축연구개발사업(17AUDP-B102406-03)의 지원을 받아 수행된 연구임.

** The University of Seoul

*** The University of Seoul

**** The University of Seoul (Corresponding author, silee@uos.ac.kr)

23.5%를 차지한다(대한민국 에너지 편람, 2016). 정부에서는 그간 증가하는 에너지 수요에 맞춰 에너지 공급능력을 구비해 왔으나, 최근에는 공급량 증대에서 수요를 관리하는 방향으로 정책이 변화하고 있으며 특히, 에너지 절약정책에 초점이 맞춰져 있다(에너지백서, 2014).

한편 도시에서는 인구가 밀집하고 경제활동이 활발하기 때문에 에너지소비가 많다. 특히, 가정·상업 부문의 건물에서 소비되는 에너지가 많은 비중을 차지하며, 이중 전기사용량이 66.4%로 절반이상이고 지속적으로 증가하는 추세이다(한국에너지공단, 2016). 도시에서 소비되는 에너지를 줄이기 위하여 지속적으로 증가하고 있는 건물부문의 전기에너지 소비량을 감축시키기 위한 노력이 필요하다. 서울시의 경우, 가정·상업부문에서 소비되는 전기가 37,735GWh로 총 전기 에너지소비량의 약 83%를 차지한다(KESIS: 국가에너지통계종합정보시스템, 2015). 이에 따라 가정·상업부문 건물에서 소비되는 전기에너지를 절약하고 신재생에너지 생산을 확대하여 전력자립률을 높이는 것이 에너지정책의 우선순위로 부상하게 되었다. 또한 건물에너지 사용을 줄이기 위해 건물단위에서는 에너지 절약형 공간계획 및 고효율 설비를 도입하고, 도시차원에서는 토지이용 및 밀도계획을 유도하고 있다(서울시, 2007).

지금까지 건물 에너지소비를 줄이기 위한 주요방안은 수요맞춤형 에너지 공급, 고효율 건축자재 이용 등 공급기술과 건물의 물리적 개선에 초점이 맞춰져 있으며(Sokol et al., 2017), 국내에서도 ‘건축물 에너지절약 설계기준’, ‘건축물 에너지 효율등급 인증’, ‘친환경주택 건설기준 및 성능 평가’, 녹색 건축물 설계기준 및 에너지 소비 총량제’ 등의 건물단위 규제·제도를 통해 건축물의 에너지소비를 저감하기 위해 노력하고 있다(안영수 외, 2014). 그러나 건물의 기술적 개선을 통하여 건물에너지효율

성이 상승했음에도 불구하고 건물부문의 에너지소비량은 지속적으로 증가하는 추세이다(Ewing & Rong, 2008). 이는 에너지 공급 및 효율성 개선과 건물의 물리적 개선을 통한 에너지소비를 줄이는 것은 한계가 있으며, 다른 접근방법이 필요함을 의미한다. 즉, 건물에 대한 직접적인 대책보다 건물주변의 환경을 쾌적하게 함으로써 간접적으로 에너지 소비를 줄여나갈 필요가 있다. 하지만 지금까지 건물의 개별적 특성과 주변환경을 동시에 고려하여 에너지소비량의 영향관계를 분석한 연구는 없다. 나아가 에너지소비에 있어 소득은 매우 영향력 있는 요소(Filippini & Pachauri, 2004; Azevedo et al., 2016; Santamouris, 2016; 서현철 외, 2012)임에도 불구하고, 기존연구는 소득격차를 구분하여 에너지 소비영향요인을 분석하지 못하였다.

따라서 본 연구의 목적은 소득의 격차를 고려하여 건물에너지소비에 영향을 미치는 요소를 건축물 단위와 도시계획단위로 구분하여 실증분석 하는 것이다. 이는 건물에너지소비를 효율적으로 줄일 수 있는 방안을 마련하는데 기초자료로 활용될 수 있다.

2. 연구의 범위와 내용

연구의 공간적 범위는 데이터 구득이 용이하며, 전력소비량이 가장 많은 서울시¹⁾이고, 시간적 범위는 2015년을 기준으로 가정용 월별 전력소비량이 가장 많은 8월²⁾이다. 연구의 구성과 내용으로 다음장에서 선행연구 검토를 통하여 건물에너지소비에 영향을 주는 요인을 건물차원, 도시차원으로 구분하여 살펴보았다. 검토한 선행연구를 기반으로 분석자료 구축과 실증분석모형을 설정하고, 실증분석결과 제시 및 해석을 하였다. 마지막으로, 결론에서 연구의 요약과 주요결과 및 시사점을 제시하였다.

II. 이론과 선행연구 고찰

건물에너지소비에 영향을 주는 요인은 경제적, 기후적, 인구학적, 기술적 요인 등 다양하다(Santamouris, 2016). 특히, 건물의 점유하고 있는 가구의 특성(가구원 수, 직업종류, 교육정도)이 에너지소비에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 그러나 국내에서는 가구와 관련된 자료는 동 단위로 집계된 자료만 구득이 가능하며, 도시계획 차원에서 정책적으로 다루기 어렵다. 이 연구는 건물단위와 건물 주변환경 특성이 건물에너지소비량에 미치는 영향을 분석하기에 가구특성과 관련된 선행연구는 제외하고 건물자체와 건물 주변환경에 대한 선행연구를 중점적으로 검토하였다.

건물에너지소비의 영향요인을 분석한 연구 중 대다수의 연구가 건물단위에서 이루어졌으며, 주로 건물의 구조, 노후도와 같은 물리적 특성에 초점을 맞춘 연구(Ewing & Rong, 2008; IPART, 2007; Mastrucci et al., 2014)가 있다. 또한, 도시차원에서 건물 주변환경, 밀도, 경제적 여건 등을 고려한 연구(Ko, 2013; Khalil & Khalil, 2015; 김기중 외, 2016)도 있다.

Ewing and Rong(2008)는 건물의 크기가 클수록 에너지소비량이 많고, 공동주택은 다른 유형의 주택보다 에너지소비량이 적음을 밝혔다. 냉방에너지의 경우 건물 노후도에 따라 에너지소비량 차이가 없으며, 도시의 밀도가 높을수록 냉방에너지소비 수요가 높음을 확인하였다. 건물 및 지붕 구조물이 에너지소비량에 미치는 영향을 분석한 연구로 Chen et al.,(2001), Tommerup and Svendsen(2006), Uihlein and Eder(2010)가 있으며, 주요 연구결과로써 강구조, 알루미늄 건물구조는 콘크리트 건물구조보다 에너지소비에 있어 비효율적임을 도출하였다. 또한, 지붕의 경사, 구조물,

단열성능이 건물의 에너지소비량에 영향을 미치고, 에너지 효율성이 높은 지붕 및 창문으로 건물을 개선한다면 30%이상의 에너지저감 효과가 있음을 제시하였다. 상위 연구는 에너지효율적인 건물구조로 전환함으로써 에너지소비절감을 실현할 수 있음을 언급하고 있다.

국내의 대표적인 연구로 김민경 외(2012)는 건물이 지니고 있는 물리적 특성을 고려하여 에너지사용량의 원인을 분석하였다. 공동주택이 단독주택보다 에너지사용량이 많고, 노후한 건물일수록 에너지소비량이 많다. 또한 건물의 규모가 클수록 단위면적당 에너지소비량이 적고, 건물의 구조가 철근콘크리트 구조일 경우 기타구조에 비해 에너지를 덜 사용하는 것으로 나타났다. 안영수 외(2014)는 주택의 물리적 특성(주택의 규모, 종류, 건축연도)에 따라 에너지소비량에 차이가 있음을 밝혔다. 주요 연구결과로, 주택의 규모가 클수록 에너지소비량이 많으며, 노후된 건물일수록 전기소비량이 많은 것을 확인하였다.

지금까지 살펴 본 바와 같이 건물의 물리적 개선이 에너지소비를 줄이는데 큰 역할을 한다. 하지만 다른 한편으로 냉방에너지소비를 줄이기 위하여 건물 주변환경에 대한 열 쾌적성을 확보하는 것이 중요하다는 주장도 있다(Lombard et al., 2008). 이는 건물자체의 에너지 효율성만으로 에너지소비를 줄이는 것은 충분하지 않고, 에너지효율을 높이는 기술도 한계가 있기 때문이다(Abrahamse & Steg, 2011).

이와 관련된 연구로써, Ko(2013)는 미국의 단독주택은 일반적으로 공동주택보다 규모가 크며, 단독주택에서 소비되는 에너지소비량이 공동주택에 비하여 많음을 확인하였다. 또한 에너지소비량을 줄이기 위하여 건물주변지역의 불투수성 토지피복을 제거하고, 녹지공간을 공급함으로써 건물주변의 온도를 낮추고 냉방에너지소비를 저감시킬 수 있음을

주장하였다. Khalil and Khalil (2015)는 도시계획 차원에서 고려할 수 있는 건물의 층수, 종횡비, 방향 및 배치의 도시의 통풍, 온도, 주변환경에 영향을 주어 건물에너지소비량에 영향을 줄 수 있음을 확인하였다.

김기중 외(2016)는 도시구성요소가 건물에너지소비량에 미치는 영향을 실증분석 하였다. 환경적 여건이 양호하며, 경제수준, 개발밀도가 높을수록 건물에너지소비량이 많았다. 또한, 여름철 건물에너지 소비에 있어 온도가 중요한 역할을 함을 밝혔으며, 건물에너지소비를 저감시키기 위하여 도시온도를 낮출 수 있는 방안에 대한 필요성을 제기하였다.

한편, 건물에너지소비는 사회·인구학적 요소에 의해 크게 영향을 받으며, 특히, 가구의 소득이 높을수록 에너지소비량이 많은 경향이 있다(Huebner et al., 2015; Filippini & Pachauri, 2004; Azevedo et al., 2016; Santamouris, 2016; 서현철 외, 2012, 안영수 외, 2014). Abrahamse and Steg(2009)는 고소득 가구의 경우, 단열재, 고효율 기기 등 에너지소비를 줄일 수 있는 다양한 조치를 취할 수 있음에도 불구하고, 에너지소비에 있어 충분한 경제적 지불능력이 있기에 에너지소비량이 많음을 주장하였다. 이는 도시의 에너지소비를 효율적으로 줄이기 위하여, 소득계층에 따라 차별적인 대안마련이 필요함을 의미한다.

이상의 선행연구를 검토한 결과, 건물의 유형과 물리적 특성이 건물에너지소비량에 영향을 미치며, 건물밀도, 건물의 주변환경, 소득과 같은 경제적 요인이 에너지소비량에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 하지만 기존의 연구들은 건물의 물리적 특성과, 건물 주변환경을 동시에 고려하지 못하였으며, 경제적 계층을 구분하여 분석한 실증연구는 없다. 또한, 대부분의 국내의 연구는 동 단위로 분석하였기 때문에 건물단위의 미시적 공간단위의 영향관계를 분석하지 못하였다. 선행연구와의 차별성은 미시

적 공간단위에서 건물의 물리적 특성과 건물 주변환경을 고려하여, 건물에너지소비의 영향요인을 실증분석하는 것이며, 둘째, 소득격차를 구분하여 에너지소비에 미치는 영향요인 차이를 분석하는 것이다.

III. 자료와 분석방법

1. 활용변수와 산출방법

도시의 건물의 유형은 주거, 상업, 업무 등 다양한 용도가 있으나, 건물의 용도에 따라 건물에너지 소비에 영향을 미치는 요인이 다르기 때문에 (Santamouris, 2016), 이 연구에서는 주거용 건물에 국한하여 자료를 구축하였다. 분석에 활용된 종속변수는 주거용 건물의 단위면적당 전기에너지소비량이다. 전기에너지는 건축데이터 민간개방 시스템(open.eais.go.kr)에서 제공되며, 필지단위로 구축되어 있다. 해당 필지 에너지소비량에 필지 내 건물의 총 연면적을 계산하여 단위면적당 전기에너지 소비량을 산출한다.

독립변수는 건물자체의 물리적 특성을 반영하는 건물요소, 건물의 주변환경을 반영하는 도시계획요소와 통제변수로 구성하였다. 건물요소는 지붕구조, 건물구조, 건물에너지효율 지표, 기타 변수로 구성하였다. 건물의 지붕구조는 철근콘크리트, 기와, 슬레이트, 기타지붕으로 구분되나, 전체의 약 82%가 철근콘크리트 지붕이다. 또한, 건물구조는 총 18³⁾개로 구분되나 52%의 건물구조가 철근콘크리트 구조물이다. 철근콘크리트 지붕과 철근콘크리트 건물구조를 더미변수화 하여 자료를 구축하였다. 건물의 에너지 효율성과 관련된 지표 중 에너지성능지표(EPI)를 변수로 구축⁴⁾하였으며, 추가적으로 선행연구에서 제시된 영향요인 중 주택유형, 주거규모(연

Table 1. The variables for the analysis

Division		Variable		Unit	Source		
Dependent variable		Electricity consumption	E	Kwh/m	Building data open system (MOLIT)		
Independent variables	Control variables	Land price	LP	Won/m ³	Seoul open data plaza (Seoul)		
		Temperature	T	°C	SK Planet		
	Building factors	Roof structure	Ferroconcrete roof	FR	Dummy	Building data open system (MOLIT)	
		Building structure	Ferroconcrete building	FB			
		Energy efficiency index	Energy performance index (EPI)	EPI			
		Others	Housing Type (multi-family=1)	HT			
			Floor space	FS			m ²
			Interaction (HT*FS)	Inter			-
			Average constructed year	CY			year
	Urban planning factors	Surrounding environment	Distance to water	DW	m	The road name address map (MOI)	
			Distance to green	DG	m		
			Ratio of water	RW	%		
			Ratio of green	RG	%		
			Ratio of Road	RR	%		
		Altitude	AL	m	Digital map (MOLIT)		
Number of building		NB	-	Building integration information (MOLIT)			
Area of plot		AP	m ²	Digital cadastral map (MOLIT)			
Land use		Residential area	RA	Dummy	Urban planning information service (MOLIT)		
		Commercial area	CA				

MOLIT: Ministry of Land, Infrastructure and Transport
 MOI: Ministry of the Interior

면적), 상호작용항⁵⁾ (주택유형*연면적), 건축년도를 변수로 활용하였다.

도시차원에서 고려 가능한 변수는 건물 주변환경 및 건물이 위치한 토지의 특성이 있다. 주변환경과 관련된 변수는 필지 주변의 수계·공원면적, 수계·공원까지의 최단거리, 고도, 건물 수와 필지면적이 있다. 건물주변의 토지피복을 반영할 수 있는 수계율, 공원율, 도로율은 필지로부터 50m 반경 안에

포함된 면적의 비율로 구축하였다. 건물주변의 토지 피복은 열환경에 영향을 주며, 이는 건물에너지소비에 있어 중요한 변수이다(Ko, 2013; Bernatzky, 1982). 또한 같은 주거용 건물일지라도 용도지역에 따라 건물주변 기반여건과 제도적용의 차이가 있으며, 이로 인한 에너지소비 행태가 다를 것으로 판단하여 용도지역을 변수로 추가하였다. 분석의 시간적 범위가 8월이기에 여름철 전기에너지소비와 관

련된 통제변수로써 온도와 경제적 요인(지가)를 추가하였다. 자세한 변수의 구성 및 출처는 <표 1>과 같다.

2. 분석방법

이 연구에서는 건물에너지소비에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위하여 다중회귀모형을 이용하였다. 다중회귀모형은 경제학 및 사회과학의 실증분석에서 가장 널리 사용되는 방법이며(Wooldridge, 2013), 등간·비율척도로 측정된 두 개 이상의 여러 개의 독립변인과 등간·비율척도로 측정된 한 개의 종속변인 간의 인과관계를 분석하는 통계방법이다(최현철, 2013). 에너지소비 영향요인을 규명하는 연구방법론은 다양하게 존재하지만, 다중회귀모형은 기존연구에서 많이 활용되었으며 유효한 방법론이다(Howard et al., 2012). 회귀식의 형태는 수식(1)과 같다.

$$\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (1)$$

\hat{Y} 는 종속변인이며, X_n 은 독립변인, b_n 은 각 독립변인의 회귀계수이다. 다중회귀모형을 활용하여 설정한 이 연구의 분석모형은 다음 수식 (2)와 같다.

$$E = \beta_0 + \sum \beta_1 X_{x1} + \sum \beta_2 X_{x2} + \sum \beta_3 X_{x3} \quad (2)$$

E : 단위면적당 전기에너지소비량
 X_{x1} : 통제변수
 X_{x2} : 건물요소

X_{x3} : 도시계획요소

β_0 : 상수항, β_i : i 각 요소 독립변수의 회귀계수

β_i 를 통하여 건물요소 및 도시계획요소가 단위면적당 전기에너지소비량에 미치는 영향을 분석할 수 있다.

IV. 분석결과와 해석

1. 기초통계량

전기에너지소비량은 서울시의 217,531개 지적에 대한 정보를 제공하며, 건물의 주용도가 주거인 필지는 총 17,560개 이다⁶⁾. 이 중 월 전기에너지소비량이 기초생활수급자 월평균 전력소비량인 197kWh(에너지경제연구원, 2007)보다 작은 값을 제외하였다. 이는 건물은 존재하지만 사람이 거주하지 않을 경우를 분석데이터로 포함시키게 되면 편향(bias)된 결과가 도출될 수 있기 때문이다. 또한, IQR검사⁷⁾를 통하여 단위면적당 에너지소비량의 이탈치(outlier)를 분석대상에서 제외하였다. 서울시 내 각 필지에 위치한 건물의 주용도가 단독·공동주택이며, 자료구득이 가능한 필지는 총 9,434개이다.

구축된 자료의 평균 단위면적당 에너지소비량은 0.00256Kwh/m², 최대값은 12.68Kwh/m²이다. 지가의 최소값은 440,000원/m², 최대값은 34,100,000원/m²이다. 분석대상이 되는 건물 중 철근콘크리트 지붕구조는 약 82%를 차지하며, 철근콘크리트 구조물은 약 52%를 차지한다. 에너지성능지표를 적용하고 있는 건물은 약 2.1%이다. 건물의 최소 연면적은 16.43m², 최대 연면적은 16,418,651m²이며, 평균 건축년도는 1990.67년이다. 건물의 주변환경을 반영하는 변수 중 수계까지 최단거리는 최소 0m, 최대 2,058m, 평균 539m이고 공원까지의 최단거리는 평

평균 131.73m의 값을 갖는다. 한 필지 내 최소 건물 계획요소는 5개의 변수가 유의미하다.

Table 2. Descriptive statistics

Division	N	Min value	Max value	Mean	SD
Electricity consumption (kWh/m ²)	9,434	0.00256	12.32	3.51	2.71
Land price (Won/m ²)	9,434	440,000	34,100,000	2,899,739	1,509,439
Temperature (°C)	9,434	25.27	27.03	26.55	0.31
Ferroconcrete roof	9,434	0.00	1.00	0.82	0.38
Ferroconcrete building	9,434	0.00	1.00	0.52	0.50
Energy performance index (EPI)	9,434	0.00	1.00	0.021	0.14
Housing Type (multi-family=1)	9,434	0.00	1.00	0.37	0.48
Floor space (m ²)	9,434	16.43	16,418,651	7,937.0	170,894.30
Average constructed year	9,434	1670.00	2015.00	1990.67	15.90
Distance to water (m)	9,434	0.00	2,058.20	539.88	346.92
Distance to green (m)	9,434	0.00	854.14	131.73	109.16
Ratio of water (%)	9,434	0.00	41.25	0.19	1.83
Ratio of green (%)	9,434	0.00	87.18	3.53	9.77
Ratio of Road (%)	9,434	0.00	60.44	21.02	7.52
Altitude (m)	9,434	5.00	240.00	32.92	21.99
Number of building	9,434	1.00	162.00	3.67	5.46
Area of plot (m ²)	9,434	2.44	296,846.25	2,170.19	8,904.45
Residential area	9,434	0.00	1.00	0.92	0.27
Commercial area	9,434	0.00	1.00	0.02	0.15

수는 1개, 최대 건물 수는 162개, 평균 건물 수는 3.67개 이다. 이외의 변수에 대한 기초통계량은 <표 2>와 같다.

2. 건물-도시계획요소와 건물에너지소비 간의 영향관계 분석결과

건물요소와 도시계획 요소가 건물에너지소비량에 미치는 영향을 분석한 결과는 <표 3>과 같다. 분석 모형의 적합도를 나타내는 F값은 169.783이고 유의수준 내에서 유의미하다. R-Squared는 .255로 약 26%의 설명력을 갖는다. 10% 유의수준 내에서 건물 단위면적당 전기에너지소비량에 영향을 주는 변수는 지가, 온도, 철근콘크리트 지붕, 철근콘크리트 건물구조, 수계율 등 총 11개 변수이다(<표 3> 참조). 건물요소 중 4개의 변수가 유의미하였고, 도시

지가와 온도는 단위면적당 전기에너지소비량에 양의 영향을 미친다. 이는 경제적 여건이 양호할수록 전기에너지소비를 많은 것으로 해석할 수 있으며, 온도와 에너지소비가 양의 관계를 갖는 것은 분석시점이 여름철이기에 상대적으로 온도가 높은 지역에 냉방에너지소비가 많은 것으로 해석된다.

건물요소 중 철근콘크리트 지붕과 철근콘크리트 건물구조는 에너지소비량과 음의 영향관계가 있다. 철근콘크리트 구조가 타 지붕 및 건물 구조보다 전기에너지소비량에 효율적이라 할 수 있다. 한편, 건물의 에너지효율성을 나타내는 에너지성능지표와 주택유형은 에너지소비량에 유의미하지 않다. 한편, 주택유형에 따라 건물연면적이 단위면적당 에너지소비량에 미치는 효과를 나타내는 상호작용항은 유의미한 변수이다. 이를 해석하기 위하여, 기타요인을 통제하고 주택유형, 건물연면적, 상호작용항이

에너지소비량에 미치는 효과를 식으로 표현하면 다 소비에 미치는 효과는 -1.76으로 단독주택의 연면

Table 3. The result of the regression analysis

Division			β	Std. β	Sig.	VIF	
Control variables		LP	.237	.033	.003	***	1.577
		T	.168	.019	.054	**	1.255
Building factors	Roof structure	FR	-.372	-.052	.000	***	1.409
	Building structure	FB	-.120	-.022	.073	*	1.905
	Energy efficiency index	EPI	-.034	-.002	.841		1.033
	Others	HT	.021	.004	.802		2.705
		FS	-1.760	-1.190	.000	***	15.566 ^③
		Inter	3.292	.942	.000	***	11.629
	CY	-.001	-.008	.504		1.754	
Urban planning factors	Surrounding environment	DW	.000	.000	.975		1.078
		DG	.000	.004	.704		1.252
		RW	.042	.028	.002	***	1.034
		RG	.002	.007	.512		1.351
		RR	.014	.039	.000	***	1.161
		AL	.003	.024	.019	**	1.307
		NB	.057	.115	.000	***	2.393
	AP	.000	.002	.890		2.684	
	Land use	RA	-.209	-.021	.054	*	1.471
		CA	.099	.005	.622		1.449
Constant			7.970		.085		
Model fit	R					.505	
	R-squared					.255	
	F					169.783	
	Sig.					.000	

*p<.10, **p<.05, ***p<.01

음과 같다.

$$E = -1.76FS + 3.292HT \cdot FS \quad (3)$$

E : 단위면적당 전기에너지소비량

FS: 연면적

HT: 주택유형(공동주택=1)

공동주택에서 연면적이 에너지소비에 미치는 총 효과는 1.532이다. 공동주택의 경우 연면적 1%의 상승은 에너지소비량을 1.532% 증가시키는 것으로 해석할 수 있다. 단독주택의 경우 연면적이 에너지

적 1% 상승은 에너지소비량을 -1.76%감소시킨다. 즉, 건물에너지소비에 있어 연면적의 크기는 주택유형에 따라 효과가 다르다는 것을 보여준다.

도시계획요소 중 수계율, 도로율, 고도, 건물수, 주거지역이 에너지소비량에 유의미한 영향을 미쳤다. 수계율, 도로율, 고도가 높을수록 에너지소비량이 높으며, 필지 내 건물수가 많을수록 에너지소비량이 많다. 반면, 용도지역 상 주거지역에 위치한 주거용 건물이 타 용도지역상에 위치한 건물보다 에너지소비량이 낮다. 도로율이 높을수록, 필지 내

건물 수가 많을수록 에너지소비가 많은 것은 건물 주변에 불투성 토지피복이 많고 필지 내 건물밀도가 높음을 의미한다. 이러한 조건은 열환경에 취약하여 여름철에 온도가 타 지역보다 높을 수 있고, 이로 인한 전기(냉방)에너지소비가 많은 것으로 해석된다.

3. 소득격차에 따른 영향요인 차이분석

앞 절에서 건물요소와 도시계획요소가 건물에너지 소비에 미치는 영향을 서울시 전체차원에서 확인하였다. 하지만 가구의 소득은 에너지소비에 큰 영향을 미치며, 이에 따라 에너지소비의 영향요인이다를 것으로 판단된다. 따라서 소득을 구분하여 에너지소비 영향요인의 차이를 분석하였다. 소득은 에너지소비에 있어 매우 관련성이 높은 변수이지만(노승철 외, 2013) 국내에서는 가구단위의 소득자료를 구득하기 어렵다. 대안적인 방법으로 소득의 대

로 공시지가가 낮은 그룹의 샘플 수는 3,604개, 중간은 4,322개, 높은 그룹의 샘플 수는 1,508개의 필지로 각각 구분된다. 각 군집간 평균값이 통계적으로 차이가 있는지 검증하기 위하여 일원배치분산분석(ANOVA)을 수행하였으며, 분석결과 유의미한 차이가 있다(<표 5> 참조).

서울시 필지별 공시지가를 기준으로 구분된 고소득과 저소득의 건물에너지소비 영향요인을 분석한 결과는 <표 6>과 같다. 고소득을 대상으로 분석한

Table 4. The number of cases by each cluster

Cluster	Low	Mid	High
Sample size	3,604	4,322	1,508
Valid sample	9,434		
Missing	0.000		

모형의 설명력은 약 25%로 서울 전체를 대상으로 한 분석모형을 설명력과 유사하다. 반면, 저소득을

Table 5. The result of ANOVA

Division		Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Land price	Between Groups	1,068.65	2	534.32	17,242	.000
	Within Gropus	292.253	9,431	.031		
	Total	1,360.90	9,433			

리변수를 활용하는데 기존연구에서 활용된 대리변수는 공시지가, 주택매매가, 1인당 지방세, GRDP, 고용 및 소비지출 등을 활용한다. 대부분의 소득 대리변수는 시도 및 시군구 수준에서 관찰된다(손재영, 2005).

이 연구에서는 필지단위로 소득수준을 반영할 수 있는 공시지가자료를 활용하였으며, 소득수준을 구분하기 위하여 K-평균 군집분석을 수행하였다. 군집분석을 수행한 결과는 <표 4>와 같다. 최종적으

대상으로 한 분석한 모형의 설명력은 약 31%로 서울 전체를 대상으로 한 모형의 설명력 보다 약 6% 높다.

소득분위에 단위면적당 에너지소비량에 영향을 주는 공통요인은 주택유형별 연면적 규모, 도로율, 건물 수이다. 공동주택의 경우 연면적이 증가할수록 단위면적당 에너지소비량이 높은 반면, 단독주택은 연면적이 증가할수록 단위면적당 에너지소비량이 낮다. 건물주변으로 도로율이 높고 건물 수가 많을

Table 6. The analysis result by high/low groups

Division	High LP			Low LP		
	β	Std. β	Sig.	β	Std. β	Sig.
LP	.197	.022	.401	-.003	.000	.992
T	-.161	-.012	.602	.241	.030	.055
FR	-.194	-.024	.347	-.548	-.082	.000
FB	-.578	-.099	.001	.264	.047	.016
EPI	-.257	-.011	.623	-.155	-.008	.567
HT	-.730	-.134	.001	.390	.064	.004
FS	-1.543	-1.274	.000	-1.908	-.799	.000
Inter	3.360	1.290	.000	1.949	.267	.000
CY	-.008	-.043	.177	-.004	-.020	.268
DW	.000	-.022	.389	.000	.011	.440
DG	.000	.009	.728	.001	.031	.049
RW	-.058	-.027	.230	.042	.035	.013
RG	-.003	-.008	.757	.004	.015	.385
RR	.017	.056	.020	.011	.026	.081
AL	.005	.026	.296	.001	.013	.423
NB	.040	.134	.000	.038	.044	.007
AP	.000	-.032	.389	.000	.150	.000
RA	-.292	-.036	.359	-.307	-.027	.072
CA	-.023	-.002	.952	1.393	.025	.077
Constant	29.288		.044	14.824		.070
R			0.504	0.558		
R-squared			0.254	0.312		
F			26.672	85.481		
Sig.			0.000	0.000		

수록 에너지소비량이 높다. 이는 서울시 전체를 대상으로 분석한 결과와 동일하다.

공시지가가 높은 고소득그룹과 저소득그룹 간 차이가 있는 영향요인을 살펴보면, 고소득그룹에서 철근콘크리트 건물구조는 타 유형의 건물구조에 비하여 에너지소비에 효율적인 반면, 저소득그룹에서는 에너지소비를 증가시키는 요인이다. 또한 고소득 그룹의 공동주택은 단독주택에 비하여 에너지소비량이 낮지만, 저소득그룹에서의 공동주택은 단독주택보다 에너지소비가 높다. 이는 고소득그룹에 속하는 단독주택은 전원주택과 같은 고급주택이 반영되고, 저소득그룹에 속하는 단독주택은 소규모 단독주

택 및 다가구주택이 반영되어 나타난 결과로 판단된다.

고소득그룹에서는 유의하지 않으나 저소득그룹에서 유의한 변수는 온도, 철근콘크리트 지붕구조, 공원까지 거리, 수계율, 필지면적, 주거지역, 상업지역이다. 온도가 높을수록 에너지소비량이 높고, 철근콘크리트 지붕이 타 지붕구조물의 건물보다 에너지소비량이 낮다. 또한 공원으로부터 거리가 멀수록, 건물주변에 수계면적과 필지면적이 클수록 에너지소비량이 많다. 상업지역에 위치한 주거용 건물의 경우 주거지역에 위치한 건물보다 에너지소비량이 많다. 저소득그룹에서는 건물의 물리적인 조건뿐만

아니라 온도, 공원, 수계와 같은 건물주변환경이 에너지소비를 결정짓는 요인이라 할 수 있다.

분석의 결과를 정리하면, 지가가 높은 곳은 상대적으로 고소득가구가 입주하여 에너지소비를 많이 하는 것으로 해석된다. 건물의 물리적 구조물 측면에서 철근콘크리트 구조는 다른 유형의 구조물에 비하여 에너지소비에 효율적인 건물구조라 할 수 있다. 연면적규모는 주택유형에 따라 에너지소비에 기여하는 바가 다르다. 또한 건물주변의 높은 도로면적과 건물밀도는 열환경을 악화시켜 건물에너지 소비를 증가시킨다. 한편, 저소득층은 고소득층에 비하여 건물에너지소비에 있어 주변조건에 영향을 많이 받는다.

V. 결론과 시사점

도시 내 건물에너지의 소비를 줄이기 위한 방안이 요구되고 있지만 지금까지는 주로 건물의 물리적 개선을 하거나 에너지공급의 효율성을 증대시키는 등 기술적인 측면에 초점이 맞춰져 있었다. 본 연구는 건물자체의 조건 뿐 만 아니라 건물 주변환경을 고려하여 건물에너지소비에 미치는 영향요인을 실증분석 하였고, 소득격차에 따른 에너지소비 영향요인의 차이를 분석하였다.

연구의 주요결과 및 시사점을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 건물요소(지붕·건물구조, 건물유형, 규모)는 에너지소비에 영향을 미친다. 철근콘크리트 지붕구조가 타 구조에 비하여 에너지소비에 있어 효율적이다. 공동주택의 경우 연면적 규모가 클수록 단위면적당 에너지소비가 높지만, 단독주택은 연면적 규모가 클수록 단위면적당 에너지소비가 낮다. 이는 향후 주거용 건물의 에너지 효율 개선을 위하여 주택유형 및 규모별 차별적인 대책이 필요함을 의미한다. 이 결과는 에너지절약형 리모델링 사업을

통해 에너지효율 개선사업을 시행하는 서울시의 중요한 참고자료로 활용될 수 있을 것이다

둘째, 건물 주변의 온도, 도로면적, 건물 밀도, 수계면적, 공원까지의 거리 등 건물의 주변조건이 에너지소비에 영향을 미친다. 이는 건물의 에너지소비 측면에서 건물의 물리적 구조 뿐만 아니라 건물의 주변환경을 고려해야함을 시사한다. 특히, 건물 주변의 과도한 도로면적의 확보와 건물밀도의 증가는 주변의 열환경을 악화시킴으로써 전기에너지소비를 증가시킬 수 있다. 따라서 건물에너지 저감을 위해 건물자체의 직접적인 개선 뿐 만 아니라 건물 주변의 토지피복 개선 및 지구단위계획 차원에서 건물 밀도조정을 통한 주변 열환경을 개선할 수 있는 방안마련이 필요하다.

셋째, 소득격차에 따른 에너지소비 영향요인은 차이가 있다. 공시지가 높은, 고소득그룹은 건물구조와 건물유형, 건물규모, 도로율, 필지 내 건물 수에 영향을 받는다. 저소득그룹은 지붕과 건물구조물, 건물유형 및 규모와 더불어 온도, 주변환경에 영향을 받는다. 이는 지역별 소득격차에 따라 건물에너지소비저감 방안이 차별적으로 적용되어야 함을 의미한다. 에너지소비를 줄이기 위하여 소득수준이 높은 지역은 건물의 물리적인 개선이 효율적이며, 소득이 낮은 지역은 물리적 개선뿐만 아니라 쾌적한 주거환경을 조성함으로써 에너지 저감을 보다 효율적으로 실현할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 실증분석 모형의 설명력 측면에서 서울시 전체를 대상으로 하였을 경우와 소득을 구분하였을 경우, 각 분석모형의 설명력 차이가 있다. 향후 건물에너지소비의 영향요인을 분석하는 연구에서 다양한 조건을 차별적으로 고려하여 분석모형의 설명력을 향상시킬 필요가 있다.

이 연구의 한계점으로 첫째, 건축데이터 민간 개방시스템에서 제공하는 전기에너지 소비량 자료는 단독주택이 포함되지 않는다고 명시되어있다. 그

러나 에너지자료와 건축물대장을 매칭한 결과 일부 단독주택이 포함되어 이를 활용하였다. 또한 주거용 단독주택의 경우 상업용도가 포함될 가능성이 있지만 이 연구에서는 건물의 주용도만 고려하였다. 둘째, 건물의 다양한 에너지효율지표가 존재함에도 불구하고 자료구득의 한계로 에너지성능지표만을 고려하였다. 마지막으로, 건물 주변환경을 50m에 제한하여 분석하였다. 향후 건물의 주변환경을 적절하게 설명해 줄 수 있는 범위에 대한 연구와 주택유형별 건물에너지소비 영향요인 차이에 관한 연구가 필요하다.

- 주1. 2015년 기준 서울시의 전력소비량은 8,139,198(Mwh)로 전국 총 전력소비량의 약 42%를 차지한다(국가통계포털).
- 주2. 2015년 기준 서울시 월별 전기에너지소비량 중 8월의 전기에너지소비량이 4,471,860MWh로 가장 높다(서울열린데이터광장).
- 주3. 건축물 구조는 철근콘크리트구조, 철골철근콘크리트구조, 기타콘크리트구조, 목구조, 통나무구조, 일반목구조, 블록구조, 석구조, 일반철골구조, 경량철골구조, 조적구조, 기타조적구조, 강구조, 기타강구조, 강파이프구조, 프리캐스트콘크리트구조, 기타구조로 구분된다.
- 주4. 건물의 에너지 효율성과 관련된 지표는 에너지성능지표(EPI), 에너지효율등급, 에너지절감율, 친환경건축등급, 친환경건물인증점수가 있으나 건축물대장 자료에서 에너지성능지표를 제외한 나머지 지표는 대부분 누락되어있다. 여기서 에너지성능지표는 건축물의 에너지절약과 관계되는 요소를 점수화 시킨 지표이다.
- 주5. 일반적으로 공동주택의 연면적이 단독주택보다 크기 때문에 분석모형에서 활용된 주택유형 더미 변수가 건물연면적의 크기를 내포하고 있다. 이로 인하여 편향된 분석결과가 도출될 가능성이 있다. 또한 건물연면적의 효과가 주택유형별로 다를 것으로 판단되기에 상호작용항을 도입하였다. 상호작용항을 이용하면 집단 간 기울기 계수의 차이를 분석할 수 있다(Wooldridge, 2013). 이 방법은 최성호·이창무(2013), 이창무·임미화(2013)의 연구에서 활용되었다.
- 주6. 서울시의 필지 수는 총 975,217개이며, 건물 주용도가 단독주택인 필지는 314,486개, 공동주택인 필지는 89,356개이다. 이를 전기에너지소비량 자료와 매칭 시킨 결과, 단독주택이고 에너지소비량 자료가 존재하는 지적은 12,678개, 공동주택이고

에너지소비량 자료가 존재하는 지적은 4,882개이다. 한편, 주용도가 단독주택인 건축물은 단독주택, 다가구 또는 점포주택이 포함된다. 일반적으로 단독주택보다 다가구 또는 점포주택의 연면적 규모가 크다. 하지만 본 연구에서 활용된 단독주택 자료 중 약 85%가 350㎡규모 이하이므로 단독주택을 대표할 수 있을 것으로 판단된다(<그림 1> 참조).

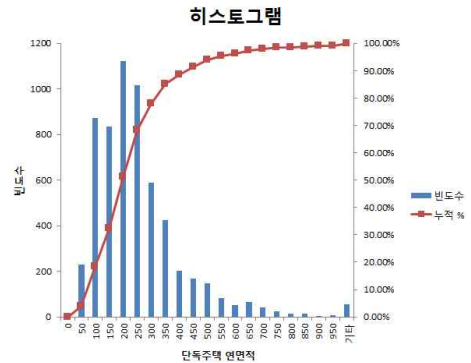


Fig. 1 Histogram of detached house FS

- 주7. 관찰값이 제3의 4분위수 위로 1.5×IQR을 초과하여 위치하거나 제1의 4분위수 아래로 1.5×IQR을 초과하여 위치할 경우 해당 관찰값을 의심쩍은 이탈값이라고 본다. 여기서 IQR은 3분위수와 1분위수의 차이이다(Moore, 2007).
- 주8. 다중공선성을 진단하는 대표적인 통계량은 분산증대계수(Variation Inflation Factor, VIF)이다. 일반적으로 VIF값이 10이상이면, 변수 간 다중공선성이 있다고 한다. 하지만 상호작용항이 포함된 분석모형에서 상호작용변수의 다중공선성은 문제가 되지 않는다(Jaccard & Turrisi, 2003; Wooldridge, 2013; Brambor et al., 2006). 분석모형에서는 발생한 공선성은 연면적과 상호작용항과의 공선성이기에 문제가 되지 않는다.

인용문헌

References

1. 김기중·안영수·이승일, 2016. “도시구성요소가 도시열과 에너지소비에 미치는 직·간접적인 영향관계 규명 연구”, 『서울도시연구』, 17(1): 125-145.
- Kim, K., An, Y. and Lee, S., 2016. “A Study on Direct and Indirect Effect of the Urban Compositional Elements on Urban

- Heat or Energy Consumption”, *Seoul Studies*, 17(1): 125-145.
2. 김민경·조항문·신동훈·박한, 2012. 「서울시 주거용건물의 에너지소비량 추정모델」, 서울: 서울연구원.
Kim, M., Cho, H., Shin, D. and Park, H., 2012. *An Estimation Model of Residential Building Energy Consumption in Seoul*, Seoul: *Seoul Development Institute*.
 3. 노승철·이희연, 2013. “가구 부문의 에너지 소비량에 영향을 미치는 요인 분석”, 「국토계획」, 48(2): 295-312.
Noh, S. and Lee, H., 2013. “An Analysis of the Factors Affecting the Energy Consumption of the Household in Korea”, *Journal of Korea Planners Association*, 48(2): 295-312.
 4. 서울특별시, 2007. 「서울시 도시관리계획 환경성검토 업무지침」, 서울.
Seoul Metropolitan Government, 2007. *Seoul City Urban Management Plan Environmental Guidelines*. Seoul
 5. 서울특별시, 2015. 「2014 에너지백서」, 서울.
Seoul Metropolitan Government, 2015. *2014 Energy White Paper*. Seoul.
 6. 서현철·홍원화·남경목, 2012. “거주자 구성유형 및 소득수준에 따른 주거용 건물 내 전력소비성향”, 「한국주거학회」, 23(6): 31-38.
Seo, H., Hong, W. and Nam, G., 2012. “Characteristics of Electric-Power Use in Residential Building by Family Composition and Their Income Level”, *Journal of the Korean housing association*, 23(6): 31-38.
 7. 손재영, 2005. “아파트 청약경쟁률 결정모형과 그 응용”, 「국토연구」, 47: 201-214.
Son., J., 2005. “A Model for Apartment Pre-sales and its Application”, *The Korea Spatial Planning Review*, 47: 201-214.
 8. 안영수·김기중·이승일, 2014. “서울시 주택의 규모와 종류, 건축연도별 특성이 에너지 소비량의 차이에 미치는 영향 실증연구”, 「국토계획」, 49(3): 175-194.
An, Y., Kim, K. and Lee, S., 2014. “An Empirical Research on the Difference of Energy Consumption According to the Housing and Regional Characteristics of Seoul”, *Journal of Korea Planner Association*, 49(3): 175-194.
 9. 에너지경제연구원, 2007. 「기초에너지 사용량 정립에 관한 연구」, 서울.
Korea Energy Economics Institute, 2007. *A Study on the Establishment of Basic Energy Usage*, Seoul.
 10. 이창무·임미화, 2013. “주택가격 및 거래량 변동에 따른 가구소득효과 분석”, 「주택연구」, 22(3): 5-23.
Lee, C. and Lim, M., 2013. “An Analysis of Household Income Effect according to the Changes in Housing Price and Transaction Volume”, *Housing Studies Review*, 22(3): 5-23.
 11. 채구목, 2011. 「사회과학 통계분석」, 서울: 양서원.
Chai, G., 2011. *Statistics in Social Sciences*, Seoul: YSWPUB
 12. 최성호·이창무, 2013. “연령대별 지역간 인구 이동 특성의 시계열적 변화”, 「부동산학연구」, 19(2): 87-102.
Choi, S. and Lee, C., 2013. “Inter-Temporal Change of Migration Characteristics by Age Bracket”, *Journal of the Korea Real Estate Analysts Association*, 19(2): 87-102.
 13. 최현철, 2013. 「사회과학 통계분석」, 서울: 나남.
Choi, H., 2013. *Statistics in Social Sciences*, Seoul: NANAM.
 14. 한국에너지공단, 2016. 「2015년도 에너지사용량 통계」, 서울.
Korea Energy Agency, 2016. *2015 Annual End-Use Energy Statistics*, Seoul.
 15. 한국에너지공단, 2016. 「2016 대한민국 에너지

- 지편람」, 서울.
Korea Energy Agency, 2016. *2016 Korea Energy Handbook*, Seoul.
16. Abrahamse, W., & Steg, L., 2009. "How do socio-demographic and psychological factors relate to households' direct and indirect energy use and savings?", *Journal of economic psychology*, 30(5): 711-720.
 17. Abrahamse, W., & Steg, L., 2011. "Factors related to household energy use and intention to reduce it: The role of psychological and socio-demographic variables", *Human Ecology Review*, 18(1): 30-40.
 18. Azevedo, J. A., Chapman, L., & Muller, C. L., 2016. "Urban heat and residential electricity consumption: A preliminary study" *Applied Geography*, 70: 59-67.
 1. Bernatzky, A., 1982. "The contribution of trees and green spaces to a town climate." *Energy and buildings*, 5(1): 1-10.
 19. Brambor, T., Clark, W. R. and Golder, M. 2005. "Understanding Interaction Models: Improving Empirical Analysis", *Political analysis*, 14(1): 63-82.
 20. Chen, T. Y., Burnett, J., & Chau, C. K., 2001. "Analysis of embodied energy use in the residential building of Hong Kong", *Energy*, 26(4): 323-340.
 21. Ewing, R., & Rong, F., 2008. "The impact of urban form on US residential energy use" *Housing policy debate*, 19(1): 1-30.
 22. Filippini, M., & Pachauri, S., 2004. "Elasticities of electricity demand in urban Indian households" *Energy policy*, 32(3): 429-436.
 23. Howard, B., Parshall, L., Thompson, J., Hammer, S., Dickinson, J., & Modi, V., 2012. "Spatial distribution of urban building energy consumption by end use", *Energy and Buildings*, 45: 141-151.
 24. Huebner, G. M., Hamilton, I., Chalabi, Z., Shipworth, D., & Oreszczyn, T., 2015. "Explaining domestic energy consumption—the comparative contribution of building factors, socio-demographics, behaviours and attitudes", *Applied energy*, 159: 589-600.
 25. IPART, 2007. *Residential energy use in Sydney, the Blue Mountains and Illawarra*. New South Wales.
 26. Jaccard, J., & Turrissi, R. 2003. *Interaction effects in multiple regression*. London: SAGE publications
 27. Khalil, H. A. E. E., & Khalil, E. E., 2015. *Energy efficiency in the urban environment*. Boca Raton: CRC Press.
 28. Ko, T., 2013. "Urban form and residential energy use: A review of design principles and research findings", *CPL bibliography*, 28(4): 327-351.
 29. Mastrucci, A., Baume, O., Stazi, F., & Leopold, U., 2014. "Estimating energy savings for the residential building stock of an entire city: A GIS-based statistical downscaling approach applied to Rotterdam" *Energy and Buildings*, 75: 358-367.
 30. Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C., 2008. "A review on buildings energy consumption information", *Energy and buildings*, 40(3): 394-398.
 31. Santamouris, M., 2016. "Cooling the buildings—past, present and future", *Energy and Buildings*, 128: 617-638.
 32. Sokol, J., Davila, C. C., & Reinhart, C. F., 2017. "Validation of a Bayesian-based method for defining residential archetypes in urban building energy models", *Energy and Buildings*, 134: 11-24.
 33. Tommerup, H., & Svendsen, S., 2006. "Energy savings in Danish residential building stock" *Energy and buildings*,

- 38(6): 618–626.
34. Uihlein, A., & Eder, P., 2010. “Policy options towards an energy efficient residential building stock in the EU-27”, *Energy and Buildings*, 42(6): 791–798.
35. Wooldridge, J. M., 2015. *Introductory econometrics: A modern approach*, Mason: Nelson Education.
36. <http://www.kesis.net>
37. <http://www.open.eais.go.kr>

Date Received 2017-06-26
Reviewed(1st) 2017-07-25
Date Revised 2017-08-08
Reviewed(2nd) 2017-08-21
Date Accepted 2017-08-21
Final Received 2017-08-29