



도시형태와 건축물 특성이 원도심 에너지 효율에 미치는 영향 - 대전 및 제천 원도심의 비교 분석을 중심으로 -

*The Impacts of Urban Forms and Building Character on the Energy Consumption of Old Downtowns
- Based on a Comparative Analysis of the Old Downtowns of Daejeon City and Jaecheon City -*

이건원* · 서민호**

Gunwon Lee* · Minho Seo**

* Associate Professor, Dept. of Architecture, Hoseo Univ., South Korea (gwlee@hoseo.edu)

** Corresponding Author, Research Fellow, Urban Research Division, Korea Research Institute for Human Settlements, South Korea (mhseo@krihs.re.kr)

ABSTRACT

Purpose: This study aims to identify the impacts of urban and building forms on the energy consumption of buildings. It applies microscopic elements such as urban forms, urban tissues, building forms, and building character as factors affecting the energy consumption of buildings. To this end, the 2018 energy consumption of the Old Downtowns of Daejeon City and Jaecheon City were analyzed. **Methods:** This study performs a log transformation of dependent variables in order to apply ordinary least squares (OLS), a method utilized in many studies focusing on the energy consumption of buildings. **Results:** The analysis results show that most but not all elements related to urban forms and tissues demonstrate a meaningful relationship to the energy consumption of buildings. As for urban form-related elements, buildings with high density and that are divided into numerous blocks show high energy consumption efficiency. Among the building-related elements, time-worn masonry buildings generally demonstrate a low energy consumption efficiency. It is also found that a difference in urban forms has an effect on the energy consumption of buildings, which confirms the fact that improvements in urban form should be accompanied with an endeavor to boost the energy efficiency of building units. These results are expected to contribute to the establishment of a foundation for more sustainable and resilient cities through the reduction of the energy consumption of buildings.

KEYWORD

도시설계
OLS
건물에너지 소비량
도시형태 및 도시조직
건물형태 및 건물특성

Urban Design
OLS(Ordinary Least Square)
Buildings Energy Consumption
Urban Form and Urban Tissue
Building Form and Building Character

ACCEPTANCE INFO

Received Mar. 11, 2021
Final revision received Apr. 15, 2021
Accepted Apr. 20, 2021

© 2021. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

2017년부터 도시재생 뉴딜 추진이 국책사업으로 본격 전개되고, 전국적인 도시 쇠퇴율도 약 70%에 육박하면서 원도심의 물리적 정비에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한 최근 정부는 코로나 상황을 극복하고 선도형 및 저탄소 경제로의 도약을 위해 한국판 뉴딜을 추진 중인데, 그 양대 축 중 하나로 그린 뉴딜이 채택되면서 기존의 제로에너지 건축을 넘어선 도시적 차원의 에너지 개선에 대한 논의도 활발하다. 이러한 최근의 정책 방향과 주요 현안들은 그간의 쇠퇴 원도심의 물리적 정비에 에너지 절약형 도시 구현의 방식을 어떻게 결합할 것인가라는 논의로 귀결되고 있다.

사실 도시의 건물 및 시설과 공간구조를 에너지 절약형으로 전환하고 탄소저감을 통해 기후변화에 대응해야 한다는 논의는 어제 오늘 일은 아니다. 1970년대 지속가능한 개발(ESSD, Environment Sound and Sustained Development)의 개념이 등장한 이후, 건축과 도시의 다양한 분야에서 에너지의 한계를 인정하고, 이에 대비하는 노력을 해왔다. 우리 역시 선진국과 비교할 때는 다소 늦은 감은 있으나, 2000년대 이후부터 에너지 절약형 도시형태에 대한 탐구에서

부터 저에너지 건축 모형, 에너지 저감형 요소기술에 이르기까지 다양한 연구와 기술개발 노력들이 전개되어 왔다.

도시적 차원에서는 주로 압축적 도시공간구조가 에너지 소비에 효과적이라는 Newman & Kenworthy(1999)의 연구 이후 고밀도 및 혼합적 토지이용, 대중교통 장려, 녹지공간의 확보, 자립적 도시 공간 창출 등의 우리 도시에 효과적 실현수단이라는 결과가 확인되고 있다[1]. 건축물군이나 단지적 관점에서는 건물의 노후도와 토지 특성, 밀도 및 주변 기반시설 여건이 에너지 효율에 영향을 미친다는 사실이 밝혀졌다[2]. 또한, 건축물 자체의 에너지 소비는 거주 및 이용자의 행태나 열에너지 사용과 관련한 시스템 효율, 도시 미기후 등에 주로 영향받는다라는 그간의 연구결과들이[3], 국내의 경우에도 유사하게 확인되다는 검증결과들도 많으며 제로 에너지 건축에 있어서는 상당한 수준의 기술이 확보되고 있다.

그러나 그간의 연구와 기술적 논의에서 상당 부분 배제되어 있었던 지점이 바로 원도심의 노후한 물리적 건축환경을 에너지 측면에서 어떻게 개선할 것인가에 대한 이슈이다. 그간 우리의 제로에너지형 건축 및 단지는 주로 신규 택지개발 지구나 신축되는 공공건축물 또는 공동주택에 집중되어 있었다. 물론 현재도 개별 노후건축물에 대한 그린 리모델링이나 집수리 사업은 전개되고 있지만, 도시나 지구적 차원에서 원도심의 에너지 효율 환경이 얼마나 취약하고 건축

및 도시적 차원에서 에너지 개선에 유효한 요인이 무엇인가에 대한 연구는 부족한 실정이다.

서울시의 경우만 해도 총 온실가스 배출의 약 68%를 건물이 차지하고 있고[4], 노후한 건물의 상당수가 원도심에 있다는 점을 고려하면, 도시의 에너지 환경 개선은 원도심의 도시공간과 건축물을 얼마나 효과적으로 개선할 것인가에 달려있다고 보아도 과언이 아닐 것이다. 특히 도시재생 뉴딜의 본격화로 인해 전국적으로 원도심의 물리적 정비가 활발한 현 상황에서, 이들 정책 및 사업과 결합한 에너지 개선 노력은 그 어느때보다 시급하다 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 원도심의 에너지 소비 실태가 어떠한지, 도시 형태 및 건축물의 에너지 관련 요인들이 어떤 영향을 미치고 있는지를 분석하고자 하였다. 이를 위해 상대적으로 도시적 차원의 에너지 대응이 부족하다고 판단되는 지방 도시들 중 대도시의 사례지역으로 대전 원도심, 중소도시 사례지역으로는 제천 원도심을 선정하여 실제 개별 필지단위의 건축물 에너지 소비 실태와 도시형태 및 건축물 에너지 소비관련 요소들간 영향관계를 분석하였다. 그리고 도출된 결과를 통해 원도심의 에너지 소비 효율 개선을 위해서 효과적인 요인을 판별하고, 해당 요인 개선을 통한 기대효과를 추정하여 향후 정책 및 사업 전개에 있어 시사점을 얻고자 하였다.

2. 문헌검토

2.1. 문헌검토

본 연구에서 원도심 건축물군의 에너지 사용량에 영향을 미치는 요소로 주목하는 부분은 먼저 도시형태적 차원에서는 밀도(Density), 다양성(Diversity), 디자인(Design)의 요소와 건축물군을 둘러싼 미시기후이다. 도시형태를 상기의 3Ds 요소들로 해석하는 방법은 도시의 형태와 관련한 영향관계 분석에서 널리 활용되는 방식으로, Cervero & Kockelman(1997)의 연구 이후 도시조직 관련 해석에 있어 가장 보편적 접근이라 할 수 있다[5]. 미시기후의 경우 도시형태나 도시조직, 건축물군의 배치 등에 영향을 받고 다시 건축물군의 에너지 사용량에 영향을 미친다. 또한 건축물 단위에서는 건물의 용도와 단열기준, 구조 및 지붕구조 등 요소에 주목하였다.

Ko(2013)에 따르면 건축물 에너지에 영향을 미치는 주요 요인은 도시형태와 건물디자인 등의 계획적 요소와 거주자 행태나 설비 효율 등 비계획적 요소로 나눌 수 있는데, 도시형태의 경우 도시 미기후에 영향을 미치고 건축물의 설비요소는 내부온도에 영향을 미쳐 결국 건축물 에너지 사용에 영향을 주는 구조가 성립한다고 보고 있다[3]. 도시형태적 차원에서 세부적 요인으로 구분될 수 있는 밀도의 경우, Baruch Givoni(1998)는 고밀, 고층건물이 다수 위치하고 있는 지역에 부는 바람의 속도가 저밀, 저층건물이 다수 위치하고 있는 지역에 비해서 느림을 도출해냈고, 결론적으로 도시의 밀도가 도시 미시적인 온도에 영향을 미침을 밝혀냈다[6]. 또한 Gideon S. Golany(1996)는 도시의 가로패턴이 격자형인 도시는 도시 내부 깊은 곳까지 바람이 충분히 불어들어오는 것을 알아냈다[7]. Aleksandar N. R. et al.(2015)는 건축물 형상이 건축물 에너지 소비량에 미치는 영향을 분석한 바 있다[8].

좀 더 미시적 차원에서 Yasushi Sakakibara(1996)는 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하여 도시 가로로의 폭(D)에 대비하여 도시 가로변에 위치한 건축물의 높이(H)의 비 즉, H/D비가 커질수록 해당 지점에서 열저장이 더 이루어진다는 것을 도출했다[9]. 그리고 Roger G. Barry, & Richard J. Chorley(2009)는 도시가 갖는 높은 열용량과 도시 내 건축물들의 재료, 높고 낮은 건축물들이 이루는 도시의 입체적 형태가 도시 내 공기가 흐르는 방향, 속도 등을 변화시키는 것을 밝혀냈다. 또한, 이러한 공기 통로 사이에 도시 협곡이 형성된다는 사실을 도출했다[10]. Mohammad F. et al.(2018)은 이집트 지역을 대상으로 동일한 도시조직에서 녹지 피복이 미기후에 미치는 영향을 실측을 바탕으로 한 시뮬레이션을 통해 분석했다[11]. Salim F. et al.(2018)은 도시협곡으로서 도로와 그 주변부의 건축물들이 만들어내는 공간에 대해서 온도변화를 연구함으로써 도시기후와 도시형태 간의 관계를 밝혀내기도 했다[12]. 이러한 도시설계에서 주로 다루는 도시의 형태와 건축물군의 형태 등이 도시 미시기후 또는 국지적인 지점의 미시기후에 미치는 영향관계를 밝히는 데 주력한 Dana Raydan & Koen Steemers(2006)는 이러한 일련의 매커니즘 및 분야를 환경적 도시설계(Environmental Urban Design)로 정의하였다[13].

다음으로, 이러한 도시의 미시기후와 건축물 에너지 사용량과의 관계를 탐구한 연구들이 있다. 먼저, J.R. Simpson, & E.G. McPherson(1997)은 1990년 여름 기간에 지표면 온도와 건축물의 냉방에너지 소비량에 해당 지역의 건물들의 지붕 재질이 미치는 영향에 대해 탐구했다[14]. Danny S. Parker, & Stephen F. Barkaszi Jr.(1997)는 1991~1994년까지 3년의 기간 동안 미국 플로리다(Florida) 주에 위치하고 있는 9개 정주지들에서 알베도의 변화가 해당 지역에 위치하고 있는 건축물들의 냉방에너지 소비량에 미치는 영향 관계를 분석했다. 이러한 연구를 통해서 실제로 도시의 전반적인 알베도와 건축물의 개별적인 알베도 변화가 건축물 에너지 소비량의 절감에 도움을 줄 수 있음을 도출해내 도시 및 건축물의 알베도 관리가 에너지 소비량 관리에 중요한 요소임을 밝혀낸 바 있다[15]. 또한, Kuo-Tsang H., & Yi-Jhen L.(2017)은 도시협곡의 형태와 방향 등에 따라 인접한 건축물에 미치는 열부하와 냉방을 위한 건축물에너지 사용량에 대해 시뮬레이션을 이용하여 분석을 실시하였다[16]. Morgane Colombert et al.(2011)은 수리적 모형을 이용하여 도시형태에 따른 피복 온도를 분석하고, 더 나아가 에너지 소비량의 균형 지점에 대한 도출을 실시하였다[17].

이상의 다양한 연구들은 기존의 연구들과는 달리, 도시 공간 내에서의 미시기후와 도시 및 건축물 형태와 특성 간의 연구가 중요한 의미를 갖음을 밝히고 있다는 점에서 의미가 있다.

하지만 이 연구들은 다음과 같은 세 가지 한계를 노정하고 있다. 첫째, 이 연구들은 활용가능한 통계자료의 부족으로 인해서 주로 국지적인 공간범위를 대상으로 한 관찰연구 또는 소수의 대상지만을 중심으로 한 측정연구를 수행했기 때문에 연구결과의 일반화에서는 한계를 나타내고 있다. 둘째, 기존 연구들은 도시형태 및 도시조직, 건축물 형태와 특성, 미시기후, 건축물 에너지 소비량 등 관련 변수들 간의 관계를 분석하고 정의함에 있어서 통합적인 모형을 도출하기 보다는 통제가능한 데이터와 대상지의 범위에 한정하여 연구를

수행했다. 이러한 점은 물론, 초기연구들의 한계로 볼 수 있다. 하지만 이제는 이러한 기초연구 결과들을 종합하여 도시설계, 도시재생 시 계획 수립을 위한 시사점이 도출될 필요가 있다는 점에서 해당 연구들의 결과는 참고는 될 수 있지만 복잡한 요소들을 다루어야함에 있어서는 한계를 노정할 수 밖에 없는 것이다. 세 번째로, 건축물 에너지 소비량을 설명하는데 있어서 해당 건축물의 형태나 특성 등과 관련된 변수들은 고려되어 왔다. 하지만 해당 건축물이 위치한 도시나 지구(District)가 갖는 도시형태, 도시조직, 도시특성 등은 심도있게 다루어지지 못했다. 기존 연구들에서 도시형태와 도시조직 등의 도시적인 변수들은 그것들이 건축물군의 에너지 소비량에 미치는 영향 보다는 해당 지역의 미기후에 미치는 영향 정도를 분석하는데 머물거나 더 소극적으로는 건축물 에너지 소비량을 설명하는 모형에서 통제수단으로만 활용되었을 뿐이었다.

하지만 J.R. Simpson & E.G. McPherson(1997)의 연구결과에 따르면, 도시의 미기후를 구성하는 요소 중의 하나인 표면온도는 건축물 에너지 소비량에 상당한 영향을 미치는 것을 알 수 있다[15]. 또한 Ingegård Eliasson(1994)의 연구에 따르면, 도시 미기후는 해당 도시의 도시형태, 도시조직, 도시특성 등에 영향을 받음을 알 수 있다[18]. Gunwon L. & Yunnam J.(2017, 2019)에 따르면, 도시형태로부터 결정되는 건축물의 형태, 향, 건축물 간의 간격 등은 건축물 에너지에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 도시형태는 미시기후에 영향을 미쳐 건축물형태와 건축물에너지 사이를 매개하는 것으로 나타났다[19,20]. 또한, David Hsu et al.(2019)는 2014년 뉴욕시의 데이터를 이용하여 건축물의 특성과 그것을 둘러싼 환경이 건축물 에너지에 미치는 영향에 대한 연구를 수행한 바 있다[21]. 앞서 일부 방법론상, 데이터상에서 한계를 갖는 기존의 연구들이 건축물 에너지 또는 미기후에 미치는 단순한 건축물 단일의 특성 또는 도시의 단일 형태 등에 초점을 맞춰 분석했다고 언급한 바 있다. 이와는 달리, 최근의 연구들은 건축물 형태 및 특성과 그것을 둘러싼 도시의 특성, 도시형태, 도시조직의 특징 등 보다 넓은 영역에 대해 보다 복잡한 변수들 간의 관계에 보다 관심을 갖고 있는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 기존의 연구들의 한계점을 보완하되, 최근 연구들에서 초점을 맞추는 바와 궤를 같이 하여, 건축물 에너지 소비량에 미치는 건축물 특성 이외에 해당 건축물을 둘러싸고 있는 도시형태 또는 도시조직의 특성이 건축물 에너지 소비량에 미치는 영향을 동시에 고려하여 연구하고자 한다. 이를 위해서 건축물 형태, 건축물 특성 변수 이외에 도시특성 및 도시형태를 대변할 수 있는 변수들을 포함하여 연구를 수행했다. 이를 위해서 다수의 통계 자료를 활용하되, 보다 정확한 통계적 방법을 활용하여 통합적인 모델을 구축하고자 연구를 수행했다.

2.2. 연구문제 및 가설

본 연구에서 기존의 연구들이 제기한 이슈와 한계점을 바탕으로 연구문제를 도출하면 다음과 같다.

먼저 기존 연구들에서는 건축물 자체의 에너지 성능과 더불어 도시형태 및 조직에 대한 많은 관심을 기울이고 있다. 그러나 이들에 대한 해석은 도시와 건축이라는 개별적 단위에서 접근되고 있다. 최

근 도시재생의 본격화와 그린 뉴딜 등 추진으로 그린 리모델링 사업이 확대되고 있기 때문에, 건축물의 에너지 성능과 도시형태 및 조직이 종합적 차원에서 각기 에너지 효율에 어느 정도의 영향을 미치고 건축물의 에너지 사용량에 있어 도시형태나 조직이 어떤 영향을 갖고 있는지를 확인하는 것이 중요하다. 그리고 기존의 연구들에서는 단일 도시 또는 전역적 건축물의 에너지 관련 검토가 일반적이었다. 그러나 최근 대도시의 광역화나 중소도시의 쇠퇴 심화 양상을 고려하면 도시 규모나 맥락적 특성에 따라서도 에너지 효율에 어떤 차이가 발생하는지를 검토하는 것도 필요하다. 이러한 배경에서 본 연구에서 제기하고자 하는 가설은 다음과 같다.

1. 도시형태 및 도시조직 등 광역적인 도시의 특성은 해당 지역 내 위치하고 있는 건축물 에너지 사용량과 유의미한 관계를 갖을 것이다.
2. 서로 다른 도시형태 패턴과 도시적 맥락을 갖춘 도시공간은 도시적 요소들이 건축물 에너지 소비량에 미치는 영향관계가 서로 다를 것이다.

3. 분석체계

3.1. 분석모델: OLS(Ordinary Least Square)

본 연구에서는 전통적인 선형모형인 OLS(Ordinary Least Square)를 중심으로 분석을 실시하였다. 이는 준거변수의 관찰자료와 예측변수와의 직접적인 관계에 착안하는 것으로, $E(Y|X) = X\beta$ 의 관계에 중점을 두어서 분석을 실시한다.

건축물 에너지 소비량과 같은 종속변수의 특성을 갖는 경우, 감마 모델을 사용할 수 있다[19]. 이는 반응변수가 0 또는 양의 값을 가질 때만 적용 가능한 모델로, 연결함수로 감마분포함수를 사용한다. 주로 반응변수가 연속 변수일 때 이용되지만 다양한 범위의 값을 가지는 건수(Count) 변수에도 적용 가능하다는 특징을 갖는다. 다만, 이 방법은 종속변수에 변형을 가하지 않기 때문에 그 해석의 용이성을 확보할 수 있다는 장점이 있지만 일반적인 OLS 모형에 비해서 모형의 검증에 있어서 다소 한계가 나타나는 단점이 있다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 전통적인 방식의 OLS를 활용하되, 종속변수에 변형을 가해 정규분포를 띄도록 조정하는 방법을 활용했다.

3.2. 분석 변수

위에서 도출한 가설들을 확인하기 위해서 본 연구의 독립변수는 크게 건축물의 기본정보(통제변수), 건축물 에너지 소비 관련 요소, 도시형태 요소로 구성했다.

먼저, 도시형태 및 도시조직과 관련된 변수들로 기존 연구들에서 이 요소들은 미시기후에 영향을 미치는 것으로 나타난 바 있다 [6-7]. 본 연구에서는 이 변수들이 건축물 에너지 사용량에도 직접적으로 영향을 미칠 것으로 예상하고 이들 변수를 선정하였다. 세부 변수들로 도시형태 및 도시조직의 특성을 설명하는 대표변수인 밀도, 다양성, 디자인을 변수로 투입했다.

다음으로 건축물 에너지 소비량에 영향을 미치는 것으로 알려진 건축물 형태 변수들을 선정하였다[7,14]. 건축물 용도, 건축물 구조

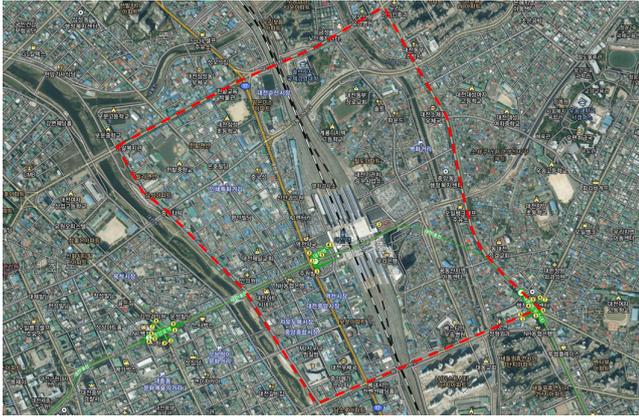


Fig. 1. Analysis Area in Old Downtown of Daejeon



Fig. 2. Analysis Area in Old Downtown of Jecheon

Table 1. Descriptive Statistics for Continuous Variable

Variables		Min.	Max.	AVE.	S.D.
Basic Information	Site Area	0	683,766.2	766.124	8,145.976
	Height	0	160.7	8.396	9.091
Urban Form Elements	Residential/Commercial Density	10.976	138.132	86.534	22.527
	Residential Density	2.864	138.132	65.201	29.470
	Commercial Density	0	71.063	12.703	18.039
	Land Use Diversity	0	137.192	24.057	36.717
	Total Area Diversity	0	391.086	34.228	79.371
	Design	12.011	51,976.22	1,263.98	6,739.451
Dependant Variables		-9.115	13.559	1.916	1.733

는 물론, 건축물의 외피 성능과 관련이 깊은 단열기준, 지붕구조 등의 세부변수들을 선정했다. 단, 건축물의 단열기준에 대해서는 그 단열성능을 직접적으로 알기 위해 해당 건축물들의 도면을 구하기도 어렵고, 단열성능을 하나하나 측정하기에도 불가능하므로 단열기준이 변화된 시점을 기준으로 변수를 정의했다. 이를 위해서 해당 건축물의 허가승인 연도를 기준으로 변수를 재코딩하였다.

이외에 통제변수로는 건축물의 에너지 사용량과 연관이 있는 것으로 알려진 기본적인 조건들인 대지면적, 높이를 선정하였다. 또한, 건축물 연면적도 변수 목록에 포함이 가능하나 연면적은 건축물

에너지 소비량과 함께 종속변수 계산에 활용되었으므로 이 변수는 통제가 되었다고 상정하여 별도로 투입하지는 않았다.

3.3 분석대상 및 데이터

본 연구의 공간적 범위는 대전시 원도심과 제천시 원도심으로 선정했다. 먼저 분석대상을 대도시와 중소도시로 구분한 것은 도시규모나 맥락적인 차이가 발생하는 원도심들에서 도시형태 및 조직과 건축물 특성에 차이가 발생하는지, 그리고 이들이 에너지 효율에 어떠한 영향을 미치는지를 비교 분석하기 위함이었다. 또한 최근 원도심을 중심으로 노후 건축물 비율이 50% 이상으로 쇠퇴하여 도시재생사업이 전개되고 있고 비교적 소규모 건축물이 많아 그린리모델링 사업의 병행이 용이한 지역을 고려하였다.

분석대상으로 선정된 대전시는 최근 원도심 쇠퇴가 93.3%에 달하는 수준으로 가속화되고 있고 주변에 쪽방촌 정비와 복합개발 등 여건으로 본격적인 재정비가 예정된 지역이다[4]. 또한 도시공간구조적 대규모 개선이 그간 거의 없던 지역이다. 따라서 도시재생 및 유관 사업 추진으로 도시형태 및 조직이 개선되고 그린리모델링 등 사업 결함으로 건축물 에너지 효율 개선이 이루어 질 경우 원도심 전체의 에너지 효율에 많은 영향이 미칠 것으로 예상되는 지역이다. 다른 분석대상인 제천시의 경우 지방 중소도시 중 원도심 전체에 영향을 미치는 도시재생 사업이 다수 진행 중이나, 원도심에 상당한 유휴공간 및 빈집이 방치되고 있어 건축물의 물리적 정비도 시급하여 향후 건축물 에너지 효율 개선 노력이 병행된다면 많은 잠재력을 갖는 지역이다[4]. 제천시 역시 원도심의 도시공간구조적 개선이 그간 진행되지 않았기 때문에 지방 중소도시 원도심의 공간구조적인 특성을 확인하고 향후 도시형태 및 조직 측면의 개선방향을 도출하는데 적합한 분석 대상지역으로 판단되었다.

대전시와 제천시 원도심 중 분석대상 영역을 공간적으로 매핑하면 <Fig. 1.> 및 <Fig. 2.>과 같은데, 이는 건축물 노후 자료와 도시재생 사업 연계의 관점에서 원도심 전체에 영향을 줄 수 있는 중심지가 지형 및 경제기반형 도시재생 사업의 영역을 준용하였다. 두 지역 모두 역세권을 중심으로 원도심이 형성되어 있고 전면부에 전통시장 등 상업공간과 도시제조업 집적지, 일부 노후 주거가 혼합되어 있는 등 맥락적 여건은 유사하다. 또한 저층의 중소형 노후 건축물이 다수 집적되어 있다는 특징도 유사하다. 그러나 대전시 원도심은 역세권 전역에서 도시개발이 진행되었으나 제천시 원도심은 역세권 전면부 편향적인 도시개발 양상을 보이고 있어 대도시와 지방 중소도시 역세권의 유형적 차이를 보이고 있다[4]. 이러한 여건이 건축물의 노후나 주 용도 활용 측면에서는 유사한 여건을 갖고 있지만, 역세권을 중심으로 형성된 대도시와 중소도시 원도심의 도시공간구조 및 맥락적 차이가 발생하는 지점과 관련하여 시사점을 줄 수 있는 대표적 사례지역이라고 판단하였다.

이들 지역에 대한 변수별 데이터 확보는 공식적인 자료를 활용하였다. 종속변수인 건축물 에너지 사용량 데이터는 국토교통부에서 2013년부터 전국에 대해서 건축물 에너지 사용량을 수집하여 공개한 데이터 중 2018년 자료를 이용하였다.

건축물 데이터는 국토교통부에서 제공하는 건축행정시스템 세움터(e-AIS)의 2018년 기준 전국 건축물 행정정보자료를 이용했고 건

Table 2. Descriptive Statistics for Dummy Variable

Variables		Proportion(%)
Elements Related to the Energy Consumption of Buildings	Building Use	Single Living Facilities: 1.01%, Communal Living Facilities: 5.13%, Commercial: 71.9%, Business: 1.62%, Public: 11.12%, Factory: 9.49%, others: 0.73%
	Insulation Standard	1970~1981: 8.9%, 1982~1990: 10.04%, 1990~2000: 34.56%, 2001~2009: 21.74%, 2010~present: 24.75%
	Structure	Brick: 17.2%, Reinforced Concrete: 38.71%, Steel: 26.65%, Steel Reinforced Concrete: 14.71%, Wood: 1.07%, others: 0.02%
	Structure of Roofs	Reinforced Concrete: 68.47%, Tile: 2.52%, Slate: 2.61%, others: 26.41%

축물의 용도 및 건축연도, 구조 등의 세부 자료를 DB화 하였다. 또한 도시형태 및 특성 자료는 상기에서 구득된 건축데이터를 도시공간 구조 데이터와 결합하는 방식을 활용하여 ArcGIS를 통해 추가로 분석하였다. 도시형태 및 조직과 관련해서는 수치지형도(1:5,000)을 기준으로 국가교통데이터베이스(KTDB)에서 제공하는 도로망 데이터를 GIS로 병합하여 분석하였고, 분석 작업들은 ArcGIS 10.3을 활용하였다. 본 연구에서 활용한 해당 변수들의 기술통계는 위의 표와 같다.

건축물의 에너지 효율에 영향을 미치는 설명변수는 <Table 1.>의 도시형태 및 조직과 관련된 변수와 <Table 2.>의 건축물 관련 변수로 구분된다. 먼저 도시형태 및 조직의 특성은 많은 연구들에서 3Ds(Density, Diversity, Density)를 통해 일반적으로 측정하고 있으며[6, 22], 본 연구에서는 이를 준용하여 밀도(Density)는 전체 면적 대비 건축물 연면적, 다양성(Diversity)은 주거와 상업 비율, 디자인(Design)은 단위면적당 교차로의 수로 변수화하였다. 그리고 건축물의 설명변수는 기존 연구들에서 에너지 사용과 관계가 있다고 판단된 용도와 단열기준, 구조 유형과 도시적 관점에서 알베도와 관계되는 건축물의 에너지 영향을 확인하기 위하여 지붕구조를 추가하여 구성하고 분석을 실시하였다[14, 15].

4. 분석결과

4.1 OLS Regression

본 연구의 종속변수는 2018년 1월부터 12월까지 대전시 및 제천시 원도심의 가스 및 전력 에너지 소비량을 kwh로 전환한 후, 그 값을 합산하고 월평균을 계산하고 건축물 연면적으로 나눈 값이다. 단, 해당 값을 히스토그램으로 나타냈을 때, <Fig. 3.>과 같은 패턴을 나타내어 회귀분석에 적합하지 않은 것으로 판단되었다. 이에 해당 값을 Log로 변환하여 보정하였다. 최종적으로 Log를 취해 조정된 본 연구에서 다루는 종속변수인 건축물 에너지 사용량의 히스토그램 형태를 살펴봤을 때, <Fig. 4.>와 같다.

히스토그램은 정규분포에 가까운 형태를 띠고 있었다. 이는 위의 히스토그램을 이용한 분석 외에 보다 정교하게 검토하기 위해서 히스토그램의 한쪽으로 치우침을 의미하는 왜도(skewness) 테스트 및 히스토그램의 위로 뾰족한 수준을 의미하는 첨도(kurtosis) 테스트

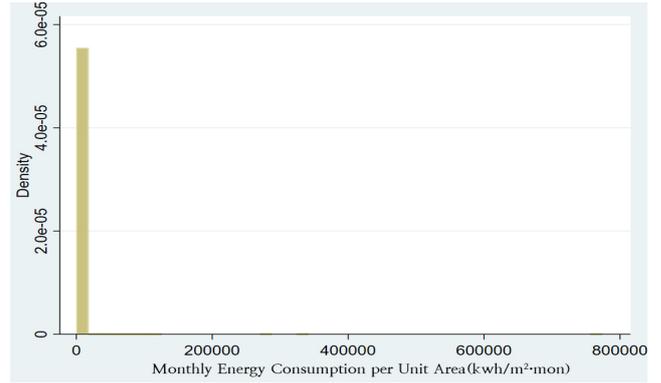


Fig. 3. Histogram of Monthly Energy Consumption per Unit Area

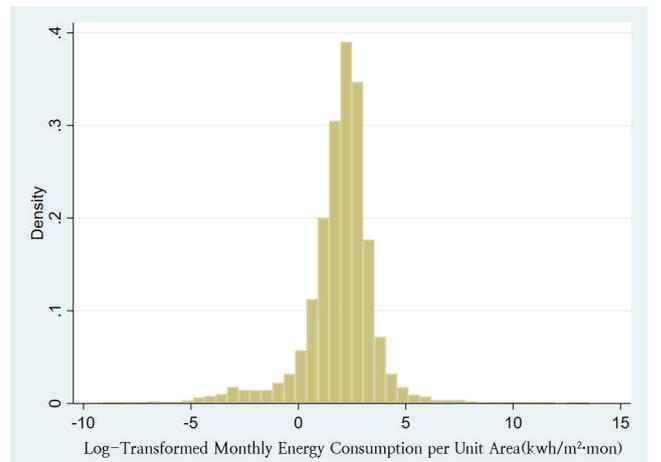


Fig. 4. Histogram of Log-Transformed Dependent Variables of Monthly Energy Consumption per Unit Area

를 수행했다. 그 결과는 각각 1.14와 1.39로 모두 절대값이 2보다 작은 값으로 정규분포임을 알 수 있었다. 보다 엄밀한 분석을 위해서 Shapiro-Wilk 테스트를 수행했다. 이것은 히스토그램의 분포가 정규분포와의 일치 여부를 평가하는 테스트이다. 그 결과는 p-value 값이 0.11(> 0.05)로 영가설을 기각하지 못하여 정규분포임을 나타냈다. 이를 통해서 본 연구에서 조정된 종속변수는 정규분포를 따른다고 결론내릴 수 있다. 이러한 종속변수를 이용해서 OLS 모델을 수행할 수 있음을 확인하였다.

4.2 모델 검증

본 연구 모델의 다중공선성(Multicollinearity) 검증 결과, 초기에 선정된 독립변수 중 인구밀도 변수의 VIF 지수가 10을 초과하였으므로 이를 제외하여 모델을 구축하였다. VIF(Variance Inflation Factor)는 분산팽창계수로 공선성으로 인해 추정된 회귀 계수의 분산이 얼마나 많이 증가하는지 측정하는 지수이다. OLS는 중요한 전제 조건이 있는데 앞서 검토한 종속변수의 분포가 정규분포를 따라야 한다는 점과 독립변수들 간의 상호배타성이 확보되어야 한다. VIF는 독립변수들 간의 상호배타성 전제 조건의 일치여부를 확인하는 테스트로 널리 사용된다. 대체로 VIF 지수가 10이 넘으면 다중공선성 문제가 있다고 알려져있다. 이에 본 연구 모델의 평균 VIF 지수는 2.81로 나타났다. 각 지수를 정리하면 <Table 3.>와 같다.

본 연구 모델의 분석결과 얻어진 잔차(Residual)와 예측값을 이용

Table 3. Result of VIF test

Variables		VIF
Basic Information	Site Area	1.02
	Height	1.56
Elements Related to the Energy Consumption of Buildings	Building Use(standard:Single Living Facilities)	
	Communal Living Facilities	3.18
	Commercial facilities	5.22
	Business facilities	1.4
	Public Facilities	3.21
	Factory	3.28
	others	1.2
	Insulation Standard(standard: 1970~1981)	
	1982~1990	1.97
	1990~2000	3.83
	2001~2009	3.62
	2010~present	3.45
	Structure(standard: Brick)	
	Reinforced Concrete	2.66
	Steel	4.14
	Steel Reinforced Concrete	1.17
	Wood	1.38
	others	1
	Structure of Roofs(standard: Reinforced Concrete)	
	Tile	1.36
Slate	1.13	
others	3.03	
Urban Form Elements	Residential Density	2.67
	Commercial Density	4.01
	Land Use Diversity	8.11
	Total Area Diversity	6.09
	Design	1.2
Mean VIF		2.81

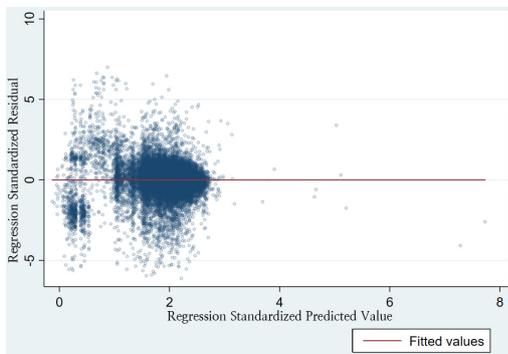


Fig. 5. Scatter Plot of Residuals

하여 모델에 대한 사후 검증을 수행하였다. 모델의 잔차는 특정 패턴을 보이면 안되는데, 만약 잔차가 특정한 패턴을 갖는다는 것은 변수의 추가 투입으로 해당 잔차를 설명해야 함을 의미한다. 이는 앞서 설명한 OLS의 전제 중 독립변수들 간의 상호배타성과 관련이 있다. 잔차의 산점도는 <Fig. 5.>와 같으며, 상관 그래프와 상관 계수는 0에 수렴하고 특별한 패턴을 보이지 않고 있으므로 적절한 모델로 평가할 수 있어, 추가적인 변수 투입은 불필요한 것으로 사료된다.

4.3. 결과분석

앞선 분석모델을 중심으로 결과를 해석하면 대전시와 제천시 원도심에서의 에너지 소비량에 미치는 건축 특징 및 도시형태 특징요

소와의 관계를 정리하면 다음의 <Table 4.>와 같다.

유의미한 결과를 나타낸 변수들을 기준으로 해석하면, 먼저 대전시 원도심의 경우, 에너지 소비량에 있어 대지면적 및 높이가 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 건축물 에너지 소비량과 관련 요소들 중 먼저 건축물 용도는 주거시설을 기준으로 상업시설, 업무시설, 공공시설, 공장 등 타용도가 모두 에너지 소비량이 높은 것으로 나타났다.

단열기준은 1970년대를 기준으로 할 때, 2010년부터 현재 시점을 제외하고는 시기가 최근으로 다가올수록 에너지 소비량이 적어지는 것으로 관찰되며, 이는 시기에 따라 건축물의 단열기준이 높아졌기 때문으로 사료된다.

구조의 경우에는 조적조(Brick)에 비해 철근콘크리트 구조(Reinforced Concrete), 철골 구조(Steel), 철골 철근콘크리트 구조(Steel Reinforced Concrete)는 모두 에너지 소비량이 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 기타 구조의 경우에는 에너지 소비량이 증가하는 것으로 나타났다.

지붕구조는 철근콘크리트 구조 지붕에 비해서 슬레이트 지붕이 에너지 소비량이 높은 것으로 나타났다. 이외의 재료 및 구조들은 기준 재료인 철근콘크리트와의 유의미한 차이가 관찰되지 않았다.

도시형태 요소들은 대부분 에너지 소비량과 관련이 있는 것으로 나타났다. 다만, 그 영향의 크기는 건축물 변수들에 비해서는 미미한 것으로 나타났다. 특히, 모든 밀도가 높아질수록, 에너지 소비량을 근소하게 증가시키는 것으로 나타났다. 다만, 다양성의 경우에는 서로 상이했는데, 토지이용의 다양성은 에너지 소비량을 근소하게 감소시키는 것으로 나타났으나 연면적 다양성은 에너지 소비량을 근소하게 증가시키는 것으로 나타났다. 디자인 요소의 경우에는 단위면적당 교차로의 수가 증가할수록 에너지 소비량이 근소하게 감소되는 것으로 나타났다. 이는 교차로 수가 증가할수록 바람의 유동이 높아져 건축물 에너지 소비를 촉진하는 부하가 감소한 것이 그 이유로 풀이된다.

제천시 원도심에 대한 분석 결과 역시 대체로 대전시 원도심과 유사한 결과를 나타냈다. 반면 특징적 결과도 몇 가지 확인되었다. 주거밀도의 경우 대전시 원도심에서는 건축물 에너지 사용량과 무관한 것으로 나타났으나 제천시 원도심에서는 유의미한 것으로 나타났다. 이는 대전시 원도심보다 제천시 원도심에 상대적으로 많은 주거용도 건축물이 집적되어 있는 상황에 기인하는 것으로 추정된다.

또한, 토지이용의 다양성의 경우 상대적 수준이 높은 대전시 원도심과 상대적 수준이 낮은 제천시 원도심에서 매우 약한 수준의 에너지 소비량과 관련성이 확인되었다. 이러한 결과는 도시형태를 설명하는 변수들 중에서 토지이용 패턴이 건축물 에너지 소비량과 맺는 관계를 더 구체적으로 살펴보아야 하는 가능성을 암시한다.

두 도시의 분석결과에서 차이를 보이는 변수들을 중심으로 보다 심도있게 살펴보자면 다음과 같다.

먼저 ①대지 면적이 건축물 에너지 소비량에 미치는 영향에서 차이를 보인다. 대전시의 경우, 대지 면적이 단위면적당 건축물 에너지 소비량에 미치는 영향은 유의미하지 않은데 반해, 제천시는 유의미한 것으로 나타났다. 이는 대전시와 달리 제천시는 대지면적이 증가함에 따라서 단위면적당 에너지 소비량 역시 증가한다는 것이다.

Table 4. Analysis Result of Daejeon & Jecheon City

Variables		Daejeon	Jecheon	
		Coef. (S.E.)	Coef. (S.E.)	
Basic Information	Site Area	<0.01† (<0.01)	<0.01** (<0.01)	①
	Height	0.02* (<0.01)	0.15** (0.04)	
Elements Related to the Energy Consumption of Buildings	Building Use(standard: Single Living Facilities)			
	Communal Living Facilities	-24.19* (9.98)	-31.00† (17.56)	②
	Commercial facilities	28.24** (3.20)	28.07** (3.85)	
	Business facilities	74.64** (5.79)	55.68** (5.21)	
	Public Facilities	-6.14 (5.34)	5.50 (8.03)	
	Factory	70.92** (5.27)	90.80** (5.36)	
	Insulation Standard(standard: 1970~1981)			
	1982~1990	-8.89* (3.58)	-5.08 (4.53)	③
	1991~2000	-11.62** (3.41)	-5.48 (3.93)	
	2001~2009	-14.93** (4.13)	-13.03** (4.67)	④
	2010-present	-15.19** (4.09)	-17.84** (4.11)	
	Structure(standard: Brick)			
	Reinforced Concrete	-0.38** (0.04)	-0.33** (0.03)	
	Steel	-0.55** (0.05)	-0.51** (0.04)	
	Steel Reinforced Concrete	-0.42** (0.11)	-0.42** (0.11)	
	Wood	0.17* (0.05)	0.16* (0.05)	
	others	2.61** (0.84)	2.57** (0.80)	
	Structure of Roofs(standard: Reinforced Concrete)			
	Tile	0.13* (0.03)	0.12* (0.02)	
	Slate	0.25** (0.07)	0.13** (0.03)	
others	0.06 (0.04)	0.05 (0.05)		
Urban Form Elements	Residential Density	-0.01 (0.02)	-0.15** (0.03)	⑤
	Commercial Density	-0.03** (<0.01)	-0.04** (0.01)	
	Population Density	-0.36† (0.19)	-0.15 (0.73)	⑥
	Land Use Diversity	-0.05** (<0.01)	-0.02† (0.01)	
	Total Area Diversity	<-1.56† (0.71)	-7.27† (4.17)	
	Design	<-0.01* (<0.01)	<-0.01* (<0.01)	
Constant		29.58** (3.83)	57.47** (4.11)	

< 0.1: †, < 0.05: *, < 0.01: **

이를 해석하기 위해서 대전시와 제천시의 건축물별 단위 에너지 소비량 분포를 주목할 필요가 있는데, 제천시의 경우에는 에너지 소비량이 높은 건물과 낮은 건물의 차이가 명확하게 관찰된다. 이와달리 대전시는 그 차이가 명확하지 않은 것을 관찰할 수 있다. 전반적으로 에너지 소비량의 차이가 크지 않다는 점에서 타요소 모두가 통제된 상태에서 에너지 소비량의 차이가 사실상 크지 않다는 것을 의미하는 것이다.

다음으로 ②공동주택이 단독주택에 비해서 단위 면적당 에너지 소비량에 미치는 효과가 대전시는 유의미한데 반해 제천시는 그렇지 못했다. 대체로 알려진 결과에 따르면 단독주택에 비해 공동주택의 단위면적당 에너지 소비량은 낮은 것으로 알려져있다. 그럼에도 이러한 결과가 나타난 이유는 제천시의 공동주택의 수와 과소하기 때문에 차이를 명확하게 검증하지 못하기 때문으로 풀이된다. 특히, 대전시의 공동주택이 밀집된 지역인 둔산동과 태평동 일부의 단위 에너지 소비량이 다른 지역에 비해서 특히 낮은 것이 이를 잘 설명할 수 있다.

세 번째(③)와 네 번째(④)로, 대전시의 1970년대 건축물에 비해서 1987년 이전과 2000년 이전의 건축물의 단위면적당 에너지 소비량은 유의미하게 낮았다. 하지만 제천시는 큰 차이가 없었으며, 단열기준 변화에 따른 에너지 변화는 2001년 이후 건축물부터 유의미했다. 이는 대전시의 경우에는 단열기준에 대한 제한이 에너지 소비량 감소에 효과적이었으나 제천시의 경우에는 그 효과가 미비했다는 것을 의미한다.

다섯 번째(⑤)로, 주거밀도 증가에 따라 제천시는 적절히 에너지 소비량이 감소했으나 대전시는 그렇지 못했다. 이는 제천시의 주거지의 도시조직이 블록에 따라 보다 명확한 밀도 차이를 가지고 있고 그 밀도 차이가 바로 단위 에너지 소비량의 차이로 연결되었기 때문으로 풀이된다.

여섯 번째(⑥)로, 대전시의 경우 토지이용의 다양성이 높을수록 단위 에너지 소비량이 감소하는데 제천시는 그렇지 못했다. 이는 제천시의 토지이용 다양성이 대전시보다 높지 않고 명확하게 차이가 드러나지 않음을 의미한다.

4.4 에너지 소비량 분포패턴 분석

단위 에너지 소비량 분포패턴을 보다 구체적으로 살펴보자면 <Fig. 6.>~<Fig. 7.> 및 <Fig. 10.>~<Fig. 11.>과 같은 결과를 확인할 수 있다. 먼저 상대적으로 대전시 원도심의 에너지 소비량이 다소 높게 확인되었다. 대전시 원도심에는 대학교 등의 에너지 다소비 시설 등의 에너지 소비량과 관측되고 있는데, 이러한 대규모 시설에 대한 관리가 전체 에너지 소비량 조절에 중요함을 보여주는 결과로 판단된다.

또한 중앙로역에서 대전역으로 이어지는 중앙로 남단의 상업건축물들의 에너지 소비량 역시 다소 높은 것으로 나타났다. 실제로 상업건축물들의 에너지 소비량은 높은 것은 이미 알려진 사실이다. 이 지역의 경우 해당 가로에 분포하는 상업건축물 노후도가 높은 것으로 확인되기 때문에 에너지 소비량에 큰 영향을 주는 것으로 추정할 수 있다. 실제로 신시가지로 갈수록, 공동주택 지구로 갈수록 에너지 소비 효율이 높아지는 것을 볼 수 있는 대목으로 노후한 상업건축

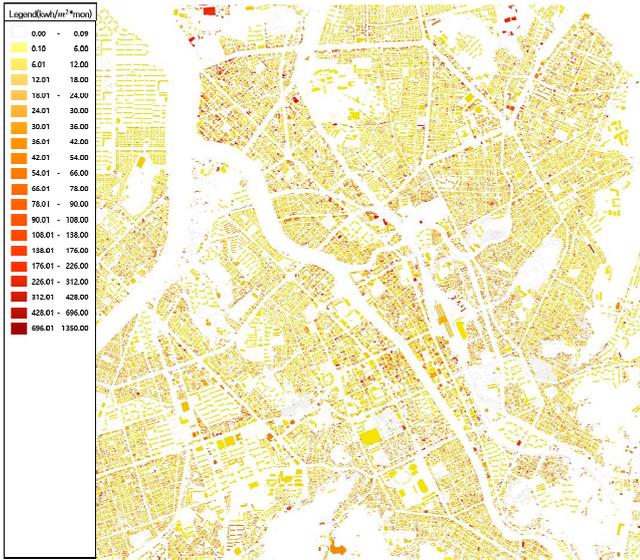


Fig. 6. Distribution Pattern of Energy Consumption in Daejeon

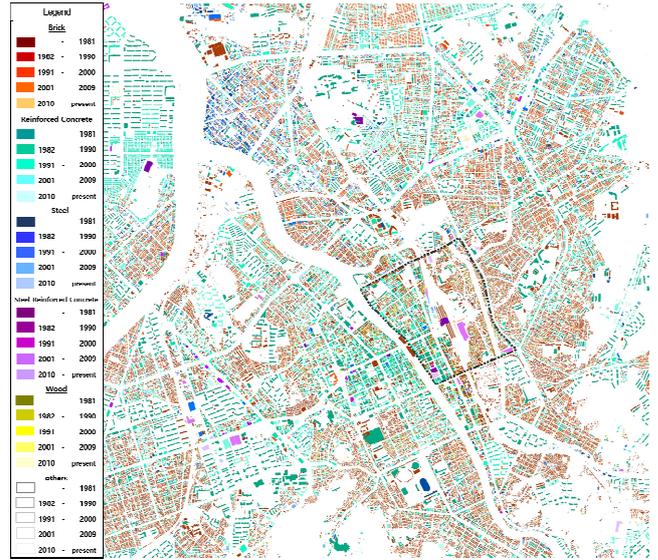


Fig. 8. Distribution Pattern of Building Structure and Insulation Standard in Daejeon



Fig. 7. Distribution Pattern of Energy Consumption in Old Downtown of Daejeon

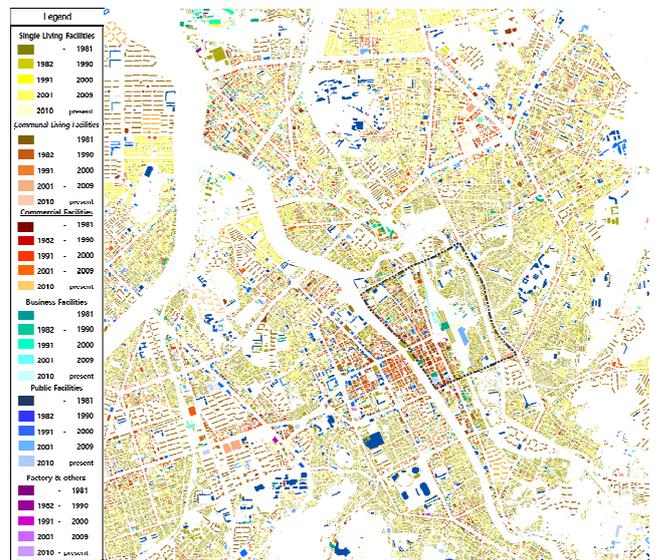


Fig. 9. Distribution Pattern of Building Usage and Insulation Standard in Daejeon

물 중심으로 구성된 대전시 원도심에 에너지 소비 효율화 노력이 긴요하다는 점을 잘 보여주는 대목이라고 할 수 있다.

〈Fig. 8.〉을 보면, 대전시는 조적조와 철근콘크리트조가 주를 이루고 있는데, 대전역의 동측은 조적조가 우세하며 서측은 철근콘크리트조가 우세하다. 오정동의 에너지 소비량이 높은 것으로 나타났는데 이 지역은 대체로 오래된 철골 또는 철근콘크리트조가 다수인 것으로 나타났다. 대전시의 단위면적당 에너지 소비량은 높은 지역은 대전역 주변과 오정동 주변으로 두 지역 모두 대전시에서 건축물 연한이 대체로 높은 지역으로 나타났다.

또한 〈Fig. 9.〉를 보면, 오정동은 공장 또는 창고 등의 용도가 주를 이루고 있으며, 대전역 주변은 상업용도가 주를 이루어 대체로 단위면적당 에너지 소비량이 높은 것을 알 수 있었다. 또한, 대전역 북측의 동구의 대가로변의 대형건축물들에서 단위면적당 에너지 소비량이 높은 것으로 관찰되었는데 이들은 건축연한 보다는 용도적인 이유가 더 큰 것으로 풀이된다.

실제로 둔산동 지역의 아파트 단지들은 그 연한이 낮은 것으로 관찰된다. 하지만 단위 면적당 에너지 소비량은 다른 지역에 비해서 상당히 낮은 것이 관찰된다는 점에서 역시 건축연한 보다는 용도적인 이유가 에너지 소비량 분포의 차이를 정의하고 있음을 해당 지도들을 비교분석할 때 결론지을 수 있었다.

제천시는 전반적으로 대전시에 비해서 에너지 소비 효율이 더욱 낮은 상황임을 확인할 수 있다. 제천시 원도심은 대전시와 달리 대체로 에너지 소비가 많은 건축물들의 광범위하게 분포해 있다. 대전과 달리 에너지 소비가 극단적으로 많은 건축물이 존재하지는 않지만 전체적으로 에너지 소비효율이 나쁘거나 에너지 소비효율이 높은 건축물이 많이 분포하는 것으로 확인된다. 이러한 결과는 제천시 원도심의 경우 에너지 효율이 낮은 건축물들이 원도심에 광범위한 영역에 형성되어 있는 지리적 특성을 갖기 때문에, 건축물 단위의 에너지 효율 개선보다는 원도심 전체에 대한 건축물 정비가 보다 필요할 수



Fig. 10. Distribution Pattern of Energy Consumption in Jecheon

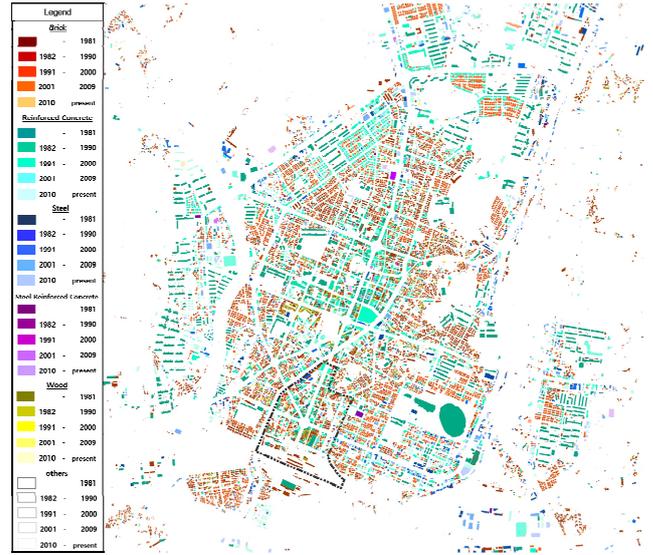


Fig. 12. Distribution Pattern of Building Structure and Insulation Standard in Jecheon



Fig. 11. Distribution Pattern of Energy Consumption in Old Downtown of Jecheon

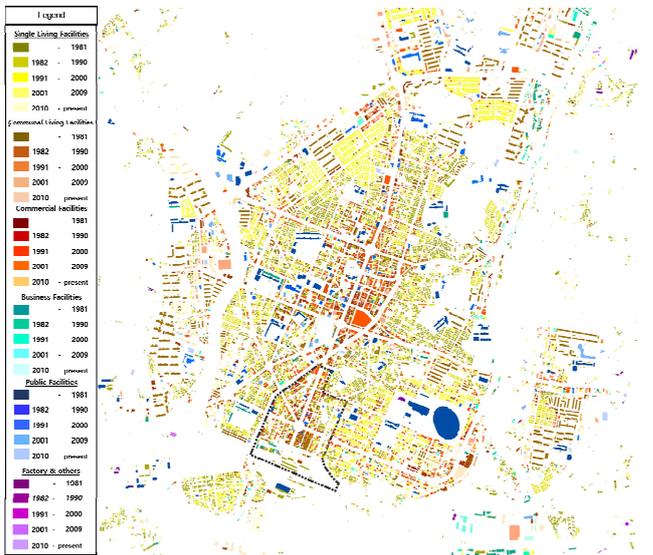


Fig. 13. Distribution Pattern of Building Usage and Insulation Standard in Jecheon

있다는 시사점을 제공한다.

《Fig. 12.》를 보면, 제천시는 소형건축물을 중심으로 조적조가 다수 분포되어있는 것을 알 수 있는데 대체로 단위 에너지 소비량이 높은 지역들과 일치한다. 특히, 제천역 주변인 화산동과 중앙동 주변도 에너지 소비량이 높은 것으로 관찰되나 그 분포가 고르지 않고 건물별로 차이가 있는데 반해 천정동 일대는 상당히 고르고 넓게 에너지 소비량이 높은 것으로 관찰되는 것으로 나타났다. 실제로 건축물 연한은 제천역 주변의 화산동과 중앙동이 천정동보다 더 높은 것으로 관찰됨에도 천정동이 에너지 소비량이 높은 것으로 나타나는 것은 흥미롭다고 할 수 있다. 이러한 점에서 통계분석을 통해서 건축연한의 에너지 소비량 차이가 유의미하지 않은 이유를 간접적으로 확인할 수 있었다.

《Fig. 13.》을 보면, 용도분포에서도 중앙동과 제천역 주변의 화산동은 상업이 주로 분포하고 있고 청전동 주변은 주거지로 나타나고 있었다. 다만, 천정동은 건축물 연한이 오래된 주거지가 밀집되어 있고 그 지역들을 중심으로 에너지 소비량이 높고, 중앙동과 제천역

주변의 화산동은 건축물 노후도가 높은 편이나 상업용도의 건축물들은 노후도가 아주 높지 않고 주거용도의 건축물들의 노후도가 높았다. 다만, 그 밀집도는 천정동에 비해서 낮은 것으로 나타났는데 이러한 점이 위의 통계분석결과와 종합적으로 해석할 때, 설명이 가능하다. 즉, 천정동의 주거지밀도는 높고, 건축물 연한이 높으며 이 지역이 건축물 에너지 소비량이 높은 것으로 나타났다. 건축물 연한이 유사하게 높았던 중앙동과 제천역 주변인 화산동은 주거지 중심으로 건축물 연한이 높았으나 그 밀집도는 높지 않았다. 이러한 점은 제천시의 주거지 밀도가 에너지 소비량과 연결되는 점, 건축물 연한이 매우 높은 것이 직접적으로 에너지 소비량과 연결되지 않는 점을 지지하고 있다고 판단된다.

4.5 가설검증

상기 분석결과를 바탕으로 본 연구의 2장에서 설정한 연구가설을

검증하면 다음과 같다.

첫째, 도시형태 및 도시조직과 관련된 변수들은 모두는 아니지만 대체로 건축물 에너지 사용량과 관련을 맺고 있었다. 도시형태 및 도시조직과 관련된 건축물군의 향, 전면 공공공지 폭 등은 건축물 에너지 사용량과 관련이 있는 것으로 나타났다. 하지만 가로변의 건축물군의 웨딩케익과 같은 형태의 도로 사선제한은 건축물 에너지 사용량에 영향을 미치지 못했다.

둘째, 서로 다른 도시형태 패턴과 도시적 맥락을 갖춘 도시는 에너지 소비량에 미치는 영향관계가 다소 상이한 것으로 나타났다. 그 결과는 대전역세권과 제천역세권의 OLS 분석결과가 상이하게 나타난 것으로부터 결론내릴 수 있다. 특히, 두 역세권은 건축물 특성 요소는 대체로 비슷한 양상을 보였으나 주거 밀도, 토지이용다양성 등 도시맥락 또는 도시형태특성과 관련이 있는 요소들이 건축물 에너지 소비량과 상이한 것으로 나타났기 때문이다.

4.6 모델을 활용한 에너지 효율 개선 잠재력 검토

전술한 모델 및 분석결과들은 각각 대전시와 제천시 원도심의 에너지 소비에 있어 도시형태 및 건축물 특성이 어떤 영향관계를 갖고 있는지를 설명하고 있다. 이에 본 연구는 연구결과로 도출된 에너지 소비량 분석모델을 중심으로 건축 관련 요인들의 개선이 있을 경우 원도심의 에너지 저감과 탄소배출량 감소에 어느 정도 효과를 발휘할 수 있는지에 대한 잠재력을 시나리오를 활용하여 검토해보고자 하였다. 이는 최근 도시재생과 그린 뉴딜 차원에서 전개되고 있는 물리적 정비와 그린 리모델링 사업을 일부 가정하는 것이다.

이를 위해서 먼저 전기의 석유환산톤(TOE)의 산정식은 1kwh의 0.213(10⁻³ toe)을 활용(에너지법 시행규칙(2017.12.28 개정) 내 에너지열량 환산기준 참조)하였으며, 원유의 탄소배출계수는 IPCC에서 제시하는 0.829 톤C/toe 기준 활용하였다. 물리적 정비의 대상은 40년 이상 건축물로 가정하였다. 최근의 그린리모델링 사업은 30년 이상 노후 건축물을 대상으로 추진되는 경우가 많은데, 대전시와 제천시 원도심에는 거의 대부분 건축물들이 20년 이상 노후 건축물이며 30년 이상 건축물도 절반에 육박하고 있는 것으로 파악된다. 상기의 건축물을 모두 정비하기란 사실상 어렵기 때문에, 본 연구에서는 정비가 가장 시급한 대상을 우선 40년 이상 건축물로 제한하였다. 최종적으로 시나리오는 40년 이상 건축물을 100% 정비할 경우와, 50% 정비할 경우, 30% 정비할 경우로 구분하여 비교하였다.

다음은 각 시나리오에 대한 에너지 효율 개선 잠재력 검토 결과이다. 대전시 원도심에는 40년 이상 건축물이 2,334동(연면적: 379,127m²)이 분포한다. 연면적 및 용도의 변화 없이 그린 리모델링을 통해서 현재 건축물 보다 다소 낮은 수준인 2000년대 건축물 수준의 단열성능을 획득할 경우, 14,931 kwh/mon·m²의 에너지 절감효과를 기대할 수 있다. 먼저 첫 번째 시나리오로 40년 이상 건축물을 100% 그린리모델링 시행이라는 가장 적극적 정비가 추진되었을 경우 67,928,943 kwh/year의 에너지 절감효과가 있을 것으로 추정되었다. 이를 환산하면 14,469 toe 수준이며, 43,980톤의 CO₂ 저감효과로 추정된다. 40년 이상 건축물을 50% 그린리모델링 할 경우 얻을 수 있는 효과는 33,964,471 kwh/year 에너지 절감을 기대할 수 있었으며, 7,234 toe 수준으로 21,990톤 CO₂ 저감을 기대할 수

Table 5. Effects of Green Remodeling by Scenarios

Scenario	Daejeon	Jaecheon
No. of 40 years over Bldg.	2,334 (379,127m ²)	276 (32,553m ²)
Scenario 1 (100% Green Remodeling)	67,928,943 kwh/year 43,980 tonCO ₂ /year	5,088,425 kwh/year 3,294 tonCO ₂
Scenario 2 (50% Green Remodeling)	33,964,471 kwh/year 21,990 tonCO ₂ /year	2,544,212 kwh/year 1,647 tonCO ₂
Scenario 3 (30% Green Remodeling)	20,378,683 kwh/year 13,194 tonCO ₂ /year	1,526,528 kwh/year 988 tonCO ₂

있다. 마지막으로 40년 이상 건축물 30%를 그린리모델링 사업 시행 시 20,378,683 kwh/year 에너지 절감과 4,341 toe 수준의 13,194톤 CO₂ 저감을 기대할 수 있을 것으로 추정되었다.

제천시 원도심에 대한 그린 리모델링 시행으로 얻어질 수 있는 효과는 다음과 같다. 제천시에는 40년 이상 건축물이 276동(연면적: 32,553m²) 존재한다. 그린리모델링을 통해서 현재 건축물 보다 다소 낮은 수준인 2000년대 건축물 수준의 단열성능을 획득할 경우, 13,026 kwh/mon·m²의 에너지 절감효과를 기대할 수 있다. 분석은 대전과 마찬가지로 연면적 및 용도의 변화가 없는 경우로 상정한다.

검토결과 가장 적극적인 시나리오인 40년 이상 건축물을 100% 그린리모델링할 경우, 그 효과는 5,088,425 kwh/year 에너지 절감효과로, 10,834 toe 수준으로, 3,294톤 CO₂ 저감효과로 나타났다. 40년 이상 건축물의 50%에 대해서 그린 리모델링을 시행하는 시나리오에서는 2,544,212 kwh/year 에너지 절감효과와 542 toe 수준의 1,647톤 CO₂ 저감효과가 나타났다. 가장 소극적인 시나리오인 40년 이상 건축물의 30% 그린 리모델링 효과는 1,526,528 kwh/year 에너지 절감으로 325 toe 수준으로 988톤 CO₂ 저감효과가 추정되었다. 이를 정리하면 <Table 5.>와 같다.

5. 결론 및 토론

본 연구에서 대전과 제천이라는 대도시와 중소도시의 원도심을 대상으로 도시형태 및 건축물 특성의 에너지 소비 효율을 분석한 결과 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있었다. 기존에 알려진 건축물 형태 및 특성, 열관류 특성 외에 도시형태 및 도시조직과 관련된 변수들은 미약하나마 직접적으로 건축물 에너지 사용량에 영향을 미치고 있었다. 이는 기존 연구들에서 검토하지 못한 점으로 그 가치가 있다. 다만, 도시형태 및 도시조직이 건축물 에너지 사용량에 미치는 영향에 대한 직접적인 효과 외에 간접적인 효과에 대한 분석이 추후 진행될 필요가 있다. 또한, 도시형태 및 도시조직이 어떠한 매개 변수를 통해서 건축물 에너지 사용량에 영향을 미치는지에 대해서도 보다 심도 있는 고찰이 필요하다고 사료된다.

특히, 대전시와 제천시라는 원도심 지역들간 비교 연구 결과로부터 도시적 특성 역시 건축물의 에너지 소비량과 관련이 있고 그 양상이 다르게 나타날 수 있었다는 점을 밝혀낼 수 있었다. 실제로, 건축물 에너지 소비에 있어 도시형태적 특성의 영향과 양상이 다르다는

사실은 집단적 건축군을 형성하고 있는 지역을 대상으로 하는 에너지 관련 후속 연구들이 건축물 단위의 분석 외에 여러 가지 도시적 요인들까지를 함께 고려해야 한다는 필요성을 제기하는 의미가 있다. 무엇보다 원도심지역에 방치된 40년 이상 건축물을 그린리모델링하는 효과가 단순한 물리적 정비 외에도 탄소저감에 있어 유의미한 성과를 기대할 수 있기 때문에, 최근 논의되고 있는 도시재생과 그린리모델링 사업의 결합 추진 정책의 필요성을 시사한다 할 수 있다.

본 연구는 다음과 같은 한계와 의의를 지닌다. 먼저, 다양하고, 공식적인 데이터를 종합적으로 사용했다는 점에서 강점을 지니지만 변수 간의 보다 복잡한 관계를 다루지 않고 단순하고 직접적인 관계만을 고려했다는 점에서 한계를 지닌다. 이 점은 본 연구를 바탕으로 후속연구들을 통해서 풀어 나갈 필요가 있다.

특히, 연구의 후속에서 제기된 도시형태로 대비되는 도시적 특성 역시 보다 심도있게 다루어질 필요가 있다. 이러한 점은 후속연구로 도시형태에 따른 일상성에 의한 열에너지 취득 및 신재생에너지 생산량, 풍속에 의한 온도 저감효과, 녹지에 의한 잠열로 온도 저감 효과 등 도시형태 및 도시 피복과 관련된 사항까지 추가된다면 더욱 의미를 가질 것으로 사료된다.

전술한 한계에도 불구하고, 본 연구결과는 건축물 에너지 분야를 관리하는 기초연구가 된다는 점에서 의미가 있다. 건축물 에너지 분야는 교통분야와 함께 지속가능한 도시의 중요한 축을 이룬다는 점에서 본 연구결과가 확장된다면 지속가능한 도시 조성 모델을 개발하는 데 도움이 될 것으로 기대된다. 특히, 건축물 에너지 사용량을 기존의 연구들처럼 건축물 자체의 형태나 특성에서만 찾는 것이 아니라 보다 거시적인 도시형태 및 도시조직과 같은 외부적인 요소들을 고려하여 설명하고자 했다는 점에서 본 연구가 갖는 중요한 가치가 있다. 본 연구의 결과를 활용하여 보다 세밀한 건축물 에너지 관리가 가능할 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 2019년 수행된 국토연구원 기본 19-35 “에너지 절약형 도시 구현을 위한 역세권 도시재생 활성화 방안”의 연구결과를 바탕으로 수정 및 보완되었습니다.

Reference

- [1] 송기욱, 남진, 압축형 도시특성요소가 교통에너지 소비에 미치는 영향에 관한 실증분석. 한국: 국토계획, 제44권 제5호, 2009. pp.193-206. // (K.W. Song, J. Nam, An Analysis on the Effects of Compact City Characteristics on Transportation Energy Consumption, Korea: Journal of Korea Planning Association 44(5), 2009, pp.193-206.)
- [2] 강창덕, 공간계량모형에 의한 서울시 에너지 소비 분석과 정책과제 - 전력과 도시가스 소비를 중심으로. 한국: 서울도시연구 제12권 제4호, 2011. pp.1-22. // (C.D. Kang, Analysis on Energy Consumption and Its Policy Implication in Seoul with Spatial Econometrics - Focusing on Electricity and Gas Consumption, Korea: Seoul Studies 12(4), 2011, pp.1-22.)
- [3] Y. Ko, Urban Form and Residential Energy Use: A Review of Design Principles and Research Findings, Journal of Planning Literature 28(4), 2013, pp.327-351.
- [4] 서민호 외 8인, 에너지 절약형 도시 구현을 위한 역세권 도시재생 활성화 방안. 한국: 국토연구원, 2019. // (M.H. Seo et al., A Study on Facilitation of Urban Regeneration in Station Areas towards Energy Efficient Cities, Korea: Korea Research Institute for Human Settlements, 2019.)
- [5] 서울시, 2050 온실가스 감축 전략, <https://news.seoul.go.kr/env/environment/climate-energy/2050-ggrs>, 2021.02.03. // (Seoul, 2050 Greenhouse Gas Reduction Strategies, <https://news.seoul.go.kr/env/environment/climate-energy/2050-ggrs>, 2021.02.03)
- [6] R. Cervero & K. Kockelman, Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. Transportation Research Part D: Transport and Environment 2(3). 1997, pp.199-219.
- [7] B. Givoni, Urban Design Effects on the Urban Climate. In Climate Considerations in Building and Urban Design, John Wiley & Sons, Inc.: Denver, USA, 1998, pp.32-58.
- [8] Aleksandar N. Rajcic, Ana P. Radivojevic, & Martin Z. Elezovic, Correlation Between the Morphology of Unheated Staircase and Energy Performance of Residential Buildings, Thermal Science, 19(3), 2015, pp.845-856.
- [9] G. S. Golany, Urban Design Morphology and Thermal Performance. Atmospheric Environment, 30(3), 1996, pp.455-465.
- [10] Y. Sakakibara, A Numerical Study of the Effect of Urban Geometry Upon the Surface Energy Budget, Atmospheric Environment, 30(3), 1996, pp.487-496.
- [11] Mohammad Fahmy, Yasser Ibrahim, Ehab Hanafi, & Mohamed Barakat, Would LEED-UHI greenery and high albedo strategies mitigate climate change at neighborhood scale in Cairo, Egypt?, Building Simulation, 11(6), 2018, pp.1273-1288.
- [12] Salim Ferwati, Cynthia Skelhorn, Vivek Shandas, Jackson Voelkel, Ayla Shawish, & Mohammad Ghanim, Analysis of urban heat in a corridor environment - The case of Doha, Qatar, Urban Climate, 24, 2018, pp.692-702.
- [13] R. G. Barry, & R. J. Chorley, Atmosphere, Weather and Climate (9th Edition), Routledge, 2009.
- [14] D. Raydan et al., Environmental Design of Urban Buildings: An Integrated Approach. Mat Santamouris ed. Earthscan: London, UK, 2006.
- [15] J. R. Simpson, & E. G. McPherson, The Effects of Roof Albedo Modification on Cooling Loads of Scale Model residence in Tuscon, Arizona, Energy and Buildings, 25(2), 1997, pp.127-137.
- [16] Kuo-Tsang Huang, & Yi-Jhen Li, Impact of street canyon typology on building's peak cooling energy demand: A parametric analysis using orthogonal experiment, Energy and Buildings, 154, 2017, pp.448-464.
- [17] Morgane Colombari, Youssef Diab, Jean-Luc Salagnac, & Denis Morand, Sensitivity study of the energy balance to urban characteristics, Sustainable Cities and Society, 1, 2011, pp.125-134.
- [18] Ingegård Eliasson, Urban-suburban-rural air temperature differences, related to street geometry. Physical Geography, 15(1), 1994, pp.1-22.
- [19] Gunwon Lee & Yunnam Jeong, Impact of Urban and Building Form and Microclimate on the Energy Consumption of Buildings: Based on Statistical Analysis, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 16(3), 2017, pp.565-572.
- [20] Gunwon Lee & Yunnam Jeong, The Relation between Urban and Building Form, Microclimate, and the Energy Consumption of Buildings: A Structural Equation Modeling (SEM) Analysis, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8(7), 2019, pp.2696-2707.
- [21] David Hsu, Ting Meng, Albert Han, & Daniel Suh, Further Opportunities to Reduce the Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Buildings, Journal of Planning Education and Research, 39(3), 2019, pp.315-331.
- [22] 서민호, 김세용. 도시형태 계획요소와 통행행태 특성요소간 연관성 분석 - 도시 규모·입지에 따른 녹색도시 계획 정책을 중심으로. 한국: 국토계획, 제46권 제4호, 2011. pp.223-244. // (M.H. Seo, S.Y. Kim. An Analysis on the Relationship between Planning Elements of Urban Form and Travel behavior Characteristics, Korea: Journal of Korea Planning Association 46(4), 2011, pp.233-244.)