



## 아파트 단지의 계절별 에너지 비용에 영향을 미치는 건축물 특성 및 도시환경 요인 분석

*Analysis of Building Characteristics and Urban Environmental Factors Affecting Seasonal Energy Costs in Apartment Complexes*

최규진\* · 이다니엘\*\* · 김서영\*\*\* · 오경호\*\*\*\* · 손동욱\*\*\*\*\*

Kyu jin Choi\* · Daniel Lee\*\* · Seoyoung Kim\*\*\* · Kyungho Oh\*\*\*\* · Dong-Wook Sohn\*\*\*\*\*

\* Ph.D. Student, Dept. of Architecture &amp; Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (choikj331@yonsei.ac.kr)

\*\* Coauthor, M.S. Student, Dept. of Architecture &amp; Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (daniel@yonsei.ac.kr)

\*\*\* Coauthor, Ph.D. Student, Dept. of Architecture &amp; Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (seoyoungkim0124@yonsei.ac.kr)

\*\*\*\* Coauthor, Ph.D. Student, Dept. of Architecture &amp; Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (khoh1101@yonsei.ac.kr)

\*\*\*\*\* Corresponding author, Professor, Dept. of Architecture &amp; Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (sohndw@yonsei.ac.kr)

## ABSTRACT

**Purpose:** In recent years, the increasing frequency of heat waves and cold waves driven by climate change has led to a sharp rise in household energy consumption for heating and cooling, resulting in higher management costs and an increased financial burden on households. **Method:** This study empirically investigates the effects of building characteristics and urban environmental factors on seasonal household energy costs in apartment complexes in Seoul, employing multiple regression analysis. **Result:** The results indicate that as the number of households increases, per-household energy costs decrease, demonstrating the presence of economies of scale. Conversely, energy costs tend to increase in apartment complexes that consist of more buildings and have greater building heights. Among heating systems, individual heating proved more effective in reducing energy costs. During winter, apartment complexes operating under outsourced management exhibited greater efficiency in lowering management costs compared to those operating under self-management. Furthermore, surrounding green spaces contributed to reducing cooling costs during summer, whereas nearby water features were found to increase heating costs in winter. These findings provide valuable insights and fundamental data for the design and planning of energy-efficient apartment complexes in the future.

## KEYWORD

에너지 비용  
관리비  
건축계획  
아파트단지Energy Cost  
Management Fee  
Architectural Planning  
Apartment Complex

## ACCEPTANCE INFO

Received Nov. 3, 2025

Final revision received Dec. 15, 2025

Accepted Dec. 19, 2025

© 2025. KIEAE all rights reserved.

## 1. 서론

## 1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 기후변화로 인한 폭염과 한파의 빈발은 전 세계적으로 도시의 에너지 수요를 크게 변화시키고 있다[1]. 특히 우리나라와 같이 사계절이 뚜렷해 여름철 폭염과 겨울철 한파가 빈번해지는 지역에서는 냉난방에 소요되는 에너지 사용량이 급격히 증가하면서 가계의 부담이 크게 가중되고 있다[2,3]. 에너지 사용량 증가는 단순히 환경 문제를 넘어 가계경제와 직결되는 관리비 상승으로 이어지며, 이는 주거비용 부담이라는 사회적 문제로 확산되고 있다[4]. 실제로 최근 에너지 절감형 아파트 단지가 청약 단계에서 조기 마감되는 현상은 에너지 효율성과 관리비 절감에 대한 사회적 관심이 급격히 확대되고 있음을 보여준다.

그러나 이러한 사회적 수요와 관심에도 불구하고, 실제로 아파트를 어떻게 계획하는 것이 에너지 비용을 효과적으로 낮추는지, 그리고 단지 외부의 도시환경 요소가 단지의 에너지 절감에 어떤 영향을 미치는지는 충분히 규명되지 않았다. 아파트 단지는 단독주택과 달리 단지 단위라는 독특한 관리 및 운영 구조를 지니고 있다는 점에서

에너지 비용 분석에 있어 타 건축물 유형과는 차별화된 연구가 필요하다. 예를 들면, 세대수가 많을수록 공용 설비 유지비와 관리비가 세대 전체에 분산되면서 규모의 경제가 발생할 수 있으며[4,5], 이로 인해, 세대당 관리비가 낮아지는 효과가 나타날 수 있다. 또한 에너지비용 구조는 단순한 사용량 기반이 아니라 누진세 체계, 공용관리비 분담 방식, 공용 설비 운영 방식이 결합되면서 여러요인이 복합적으로 작용한다. 따라서, 실제 에너지 사용량과 비용 간의 단순한 일대일 관계가 성립하지 않는다는 특성이 있다.

뿐만 아니라, 단지 외부의 도시환경 요인 또한 에너지 비용에 영향을 줄 수 있다. 단지 주변의 녹지 공간은 여름철 열섬현상을 완화하여 냉방비 절감에 기여할 수 있고, 반대로 수공간은 한랭 환경을 조성하여 겨울철 난방비를 높일 가능성이 있다[6]. 또한 단지의 입지 고도, 주변 건물의 높이와 밀도 등 도시적 입지 특성은 단지 내부의 열 환경과 미기후에 영향을 주어 에너지 사용 양상에 변화를 가져올 수 있다[6]. 그러나 이러한 외부 환경 요인이 아파트 단지의 세대당 에너지 비용에 구체적으로 어떤 영향을 미치는지에 대해서는 아직 체계적으로 검증된 연구가 부족한 실정이다.

이러한 맥락에서 본 연구는 아파트 단지를 대상으로 세대당 연간 및 계절별 에너지 비용에 영향을 미치는 건축물 특성과 도시환경 요인을 실증적으로 규명하는 것을 목표로 한다. 이는 주거단지의 에너지

지 효율화 방안을 모색하고, 향후 지속가능한 도시계획 및 주거정책의 방향을 설정하는데 기여할 수 있을 것이다. 나아가 주거비용 부담 완화라는 생활밀착형 정책 효과까지 함께 도모할 수 있을 것으로 기대된다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 서울시 내 아파트 단지를 대상으로(Fig. 1), 단지의 에너지비용에 영향을 미치는 요인을 다중회귀분석을 통해 실증적으로 분석하는 것을 목적으로 한다. 특히, 계절별 에너지비용의 영향요인 차이를 규명하기 위해 여름철(6~8월)과 겨울철(12~2월)로 구분하여 분석을 수행하였다.

본 연구에 사용된 서울특별시 내 아파트 단지의 관련 데이터들은 2024년 시점을 기준으로 수집되었다. 통계청의 자료에 따르면, 서



Fig. 1. Study area

Table 1. Composition of apartment complex management fees

Category	Description	
General management fees	Personal expenses	Salaries, wages bonuses, retirement benefits, industrial accident insurance, employment insurance, national pension and health insurance, and welfare benefits paid to management staff
	General office expenses	Administrative and office supply expenses used directly in the management office (e.g., stationery, office supplies, transportation and communication costs)
	Taxes & public charges	Taxes and public charges incurred for the use of management facilities, telecommunication, postal services, and general management equipment
	Uniforms & work-wear costs	Costs for uniforms and laundry services for management employees
	Training and education expenses	Expenses for education and training related to apartment management operations and staff competency improvement
Common area maintenance costs	Vehicle operating & maintenance expenses	Fuel, insurance, and maintenance costs for vehicles used for apartment management
	Cleaning costs	Wages and supplies for cleaning staff, and expenses for general cleaning of common areas
	Security costs	Personal and equipment expenses for security services in the complex
	Disinfection costs	Expenses for pest control, disinfection, and related services in the complex
	Elevator maintenance costs	Regular inspection, repair, and maintenance expenses for elevators
	Smart home network system maintenance costs	Maintenance and management costs for the home network systems installed in the apartment complex
	Repair/maintenance costs	Repair costs
Individual utility and service charges	Facility maintenance costs	Inspection and testing fees for facility management and safety checks
	Safety inspection costs	Expenses for regular safety inspections of the building and facilities
	Disaster prevention costs	Expenses for measures and preparations to prevent natural disasters or accidents
	Outsourced management fees	Fees paid to external management companies based on contracts between the residents' representative meeting and the management firm
	Heating usage fee	Costs for heating energy consumption by each unit
	Hot water supply fee	Costs for domestic hot water usage by residents
	Gas usage fee	Charges for gas consumption for individual or centralized systems
	Electricity fee	Charges for household electric power usage
	Water supply fee	Charges for individual or household water consumption
	TV reception fee	Fees for TV antenna, cable TV, and other reception services
Miscellaneous income	Sewage treatment fee	Charges for sewage and septic tank cleaning and disposal
	Waste collection fee	Fees for collection and disposal of household waste
	Residents' council operating expenses	Expenses for the operation of the residents' representative meeting
	Building insurance premiums	Premium for fire, disaster, and property insurance for the building
	Election committee operating expenses	Expenses for the operation of the election committee of the complex
Long-term repair reserve fund	Legally mandated fund accumulated monthly by each household for the long-term maintenance and repair of buildings and facilities	
Miscellaneous income	Resident contribution revenues	Income generated from payments, contributions, or service-related revenues attributed directly to residents
	Common facility contribution / advertising & rental revenue	Income generated from the use, rental, or operation of common/shared facilities

울시 내 주거형태 중 아파트의 비중은 약 53.1%로, 아파트는 서울시의 보편적인 주거 유형으로 자리 잡고 있다(통계청, 2024). 따라서, 본 연구는 아파트 단지를 분석대상으로 설정함으로써, 주거비용 부담 완화와 에너지 효율성 향상을 위한 실질적 근거를 제시하고자 하였다.

## 2. 이론 및 선행연구 고찰

### 2.1. 관리비의 구성

「공동주택관리법」에 따르면, 아파트 단지의 입주자 또는 사용자는 단지의 유지와 관리에 필요한 관리비를 관리주체에 반드시 납부할 의무를 가지며(Multi Family Housing Management Act, 2025), 법령에서 규정한 의무관리대상 아파트는 납부 의무를 가진다. 의무관리대상 아파트는 첫째, 300세대 이상 규모의 아파트 단지, 둘째, 150세대 이상이면서 승강기가 설치된 아파트, 셋째, 150세대 이상이면서 중앙집중식 또는 지역난방 방식을 채택한 아파트, 넷째, 「건축법」상 주택 외 시설과 동일 건축물로 지어져 150세대 이상이 되는 경우가 이에 해당한다. 이와 더불어, 위의 조건에 해당하지 않더라도 전체 입주자 등의 3분의 2 이상이 서면으로 동의하는 경우 의무관리대상 아파트로 지정될 수 있다.

아파트 단지의 관리비는 Table 1.과 같이 구성된다. 관리비는 크게 공용 관리비, 개별사용료, 장기수선충당금, 그리고 잡수입으로 구분된다. 먼저 공용 관리비는 단지의 공용 부분을 유지·운영하는데 필요한 비용으로, 세부적으로는 일반관리비, 인건비, 제사무비, 제세공과금, 피복비, 청소비, 경비비, 승강기 유지비, 지능형 네트워크 유지비, 수선유지비, 위탁관리수수료 등이 포함된다. 다음으로, 개별 사용료는 각 세대에서 직접 사용하는 항목으로, 난방비, 급탕비, 가스 사용료, 전기료, 수도료와 같은 에너지 관련 요금도 포함된다. 그 외에도, TV 방송수신료, 정화조 오물 처리 수수료, 생활폐기물 처리 비용, 입주자대표회의 운영비, 건물보험료, 선거관리위원회 운영비 등이 포함된다. 이와 더불어, 장기수선충당금은 건물의 노후화에 대비하여 주요 시설의 교체 및 보수를 위해 법적으로 적립하는 항목으로, 매월 세대별로 부과된다. 잡수입은 입주자 또는 단지가 개별 혹은 공동의 기여로 발생하는 수익 등 부수적으로 얻는 수익을 의미한다.

이처럼 아파트 관리비는 다양한 항목으로 구성되며, 그중 에너지 비용은 가구의 생활양식, 주거 특성뿐 아니라 요금체계의 구조적 특성에 의해 결정되기 때문에, 단순히 사용량만으로는 가구의 경제적 부담을 충분히 설명하기 어렵다. 국내의 에너지 요금체계는 누진세 구조를 채택하고 있어, 동일한 사용량 증가라 하더라도, 비용 증가율이 비선형적으로 나타난다. 예를 들어, 전력요금의 경우 일정 사용량 구간을 초과할 때마다 단가가 상승하는 구간별 누진요금제가 적용되어, 사용량이 많을수록 단위당 비용이 급격히 증가한다. 이러한 요금체계에서는 단순한 에너지 사용량만으로는 가구의 경제적 부담을 평가하기 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 에너지 소비수준을 직접적으로 나타내는 에너지 사용량이 아닌, 가구가 실제로 지출하는 에너지비용을 중심으로 분석함으로써, 누진세 구조 및 단지 특성으로 인한 효과를 함께 고려할 수 있도록 하였다.

### 2.2. 아파트 에너지 관련 선행연구 고찰

최근 기후변화 대응 및 에너지 위기 심화에 따라 건축물의 온실가스 감축 필요성이 강조되면서, 아파트의 에너지 소비 특성을 체계적으로 규명하고 절감 방안을 모색하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 국가에너지통계종합정보시스템(Korea Energy Statistics Information System, KESIS)에 따르면, 2024년 국내 에너지 소비에서 건물 부문은 전체의 21.8%를 차지하고 있으며 세부적으로 가정(10.3%), 상업(9.0%), 공공(2.6%) 순으로 나타난다. 또한, 2024년 인구주택총조사 등록센서스 결과에 의하면, 국내 일반가구의 53.9%가 아파트에 거주하고 있는 것으로 조사되었다(통계청, 2024). 이러한 맥락에서 아파트는 국가적 차원의 에너지 절감 전략에서 핵심적인 대상으로 주목받아 왔으며, 이에 따라 아파트 에너지 소비량 분석, 에너지 소비 특성 비교, 에너지 사용 행태 평가 등 다양한 연구들이 축적되어 왔다[6~8]. 특히, 건축물 노후화로 인한 단열 성능 저하, 세대 규모와 동 배치에 따른 에너지 사용 편차, 난방 방식 및 관리 주체에 따른 에너지 소비 패턴의 차이 등이 주요 연구 주제로 제기되어 왔다.

아파트의 에너지 소비에는 복합적인 요인이 작용하며, 데이터 기반의 실증 분석 연구들을 통해 이러한 요인들이 보다 구체적으로 규명되고 있다. 건축물의 물리적 특성을 다룬 연구에서는 층수, 연면적과 같은 규모 요인이 클수록 여름철 냉방 에너지 소비량이 증가하는 것으로 나타났다[9]. 건축물의 설계·운영 요소가 에너지 소비에 미치는 영향을 규명한 연구도 축적되어 왔다. 최재원 & 최영오(2017)는 평면 배치 유형에 따른 소비량 차이를 분석하였으며, 특히 난방방식의 경우 지역난방이 에너지 절감에 유리하다는 점을 강조하였다[10]. 이러한 연구 흐름은 아파트 에너지 소비가 단순히 건축적 요인에 의해 결정되지 않음을 보여주며, 사회·경제적 요인 또한 중요한 설명 변수로 부각되고 있다. Park & Yun (2022)은 1인 가구 증가, 고령 인구 비중 확대, 혼인율 및 소득 증가 등이 1인당 전력 소비량 증가와 유의한 상관관계를 갖는다고 보고하였다[11]. 이처럼 실증분석 연구들은 건축적 요인뿐 아니라 사회·경제적 특성이 건축물의 에너지 소비에 미치는 영향을 규명함으로써, 아파트 에너지 관리의 정책적·실무적 시사점을 제공하고 있다.

한편, 최근 연구들은 아파트 에너지 소비가 단지 내부의 물리적 특성에 국한되지 않고, 주변의 도시환경적 맥락과도 밀접한 관련성을 지닌다는 점을 강조한다. 도시환경적 요인에는 인근 건축물의 밀도와 평균 높이, 주변 녹지 및 수공간, 입지의 고도와 지형적 조건 등이 포함된다. 이러한 요소들은 미기후 조절, 바람길 형성, 열섬현상 등에 영향을 미치며, 결과적으로 아파트 단지의 에너지 소비에 직접적 변화를 초래한다[12~15]. 인근 건물의 높이와 밀도는 일사량과 바람길 형성에 영향을 미쳐 열적 축적량에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며[12], 주변 녹지는 미기후 조절을 통해 도시 열섬 현상(Urban heat island, UHI)을 완화하여 여름철 냉방부하를 감소시키는 효과가 있다[13]. 수공간의 존재 또한 열환경 완화를 통해 도시 공간의 에너지 부하 감소에 기여하는 것으로 보고되었다[14]. 더불어, 아파트 단지가 입지하는 지역의 고도와 경사 조건은 외기 조건 및 태양 복사량 확보에 차이를 발생시켜 연간 에너지 부하에 영향을

주는 요인으로 확인되었다[15]. 이러한 연구들은 건축물의 물리적 특성과 더불어 도시적 맥락을 통합적으로 고려할 때 에너지 소비 패턴을 보다 정밀하게 규명할 수 있음을 보여주며, 도시환경 요인이 단순한 배경 변수가 아니라 아파트 에너지 소비 특성을 설명하는 핵심 외생 변수로 작동함을 시사한다.

### 2.3. 연구의 차별성

본 연구는 기존 선행연구와 다음과 같은 세 가지 차별성을 가진다. 첫째, 기존 연구가 주로 전력·가스 등 에너지 사용량 자체에 대한 분석에 집중해 온 반면[2,16,17], 본 연구는 에너지 비용을 분석의 중심에 두었다는 점에서 차별성을 갖는다. 에너지 비용은 에너지 사용량과 선형적으로 대응하지 않으며, 누진세 구조나 단지 규모에 따른 경제성, 공용관리비 체계 등에 의해 크게 달라질 수 있다. 특히, 에너지 비용은 에너지 사용량과 달리 실제 거주민이 체감하는 부담이라는 점에서 정책적·실무적 의미가 더욱 크다. 따라서, 단순히 에너지 사용량이 아닌 실제 거주민이 부담하는 에너지 관련 관리비 중심의 분석이 이루어져야 실제 가구의 에너지 비용 부담을 보다 정밀하게 분석할 수 있다.

둘째, 본 연구는 아파트 단지 단위에서 건축적 특성과 더불어 단지 주변 도시환경 요인을 동시에 고려한다. 기존 연구가 주로 행정동 또는 시군구 수준의 집계자료에 의존하여 도시환경과 에너지 사용의 관계를 탐구한 것과 달리[17,18], 본 연구는 아파트 단지 반경 250m 내 건물 밀도, 평균 높이, 녹지 및 수공간 면적 및 평균고도 등 정밀한 도시환경 지표를 활용한다. 이는 서울의 보편적 주거형태인 아파트 단지를 분석 단위로 삼아 현실적, 정책적 함의를 높이는 동시에, 도시환경 요인이 단지의 에너지 비용에 미치는 영향을 실증적으로 검증할 수 있다는 점에서 차별성이 있다.

셋째, 본 연구는 한국의 뚜렷한 사계절과 기후적 특성을 반영하여, 여름철(6~8월)과 겨울철(12~2월)의 에너지 관련 관리비를 계절별로 구분해 분석했다는 점에서 차별성이 있다. 해당 기간은 각각 난방과 난방 수요가 집중되는 시기로, 계절별 비용 구조를 구분함으로써 건축·환경적 요인이 계절에 따라 어떻게 다르게 작동하는지를 보다 정밀하게 파악할 수 있으며, 이는 에너지의 연간 사용량 중심으로 이루어졌던 기존 연구들과 뚜렷한 차별성을 갖는다[18,19]. 최근 기후변화로 인해 여름철 폭염과 겨울철 한파가 심화되면서 냉난방 수요가 급격히 증가하는 상황에서, 이러한 계절별 비용 구조의 세분화 분석은 실제 열원별 비용 부담 요인을 규명하는 데 필수적이며, 나아가 기후적 요인을 고려한 에너지 정책 및 단지 관리 전략 수립에 중요한 기초자료를 제공할 수 있다.

## 3. 분석방법

### 3.1. 분석 방법 및 자료

본 연구는 아파트 단지의 건축적 특성과 도시환경 요인이 세대당 에너지비용에 미치는 영향을 규명하기 위하여 다중회귀분석을 활용하였다. 분석모형에서 종속변수는 세대당 연간 및 계절별(여름, 겨울) 에너지비용으로 설정하였으며, 독립변수는 아파트 단지의 건축

적 특성, 그리고 단지 주변의 도시환경 요인으로 구성하였다.

분석 자료는 국토교통부 공동주택관리시스템(K-apt)에서 제공하는 아파트 단지별 관리비 자료를 기반으로 구축하였다. 2024년 기준 서울시 내 등록된 총 2,680개 아파트 단지를 초기 표본으로 설정하였으며, 이 중 관리비 자료가 12개월 모두 확보되지 않은 단지과 관리비 자체가 부재한 단지 282개를 제외한 2,398개의 단지의 데이터를 1차 분석대상으로 선정하였다. 이후 국토교통부 실거래가 공개시스템에서 아파트 단지별 평당 매매가 자료를 연계하였으며, 실거래가 정보가 존재하지 않는 단지를 제외하는 과정을 거쳐 최종적으로 총 1,315개 아파트 단지를 대상으로 본 연구를 수행하였다.

### 3.2. 변수

#### 1) 세대당 에너지비용

본 연구에 사용된 변수는 Table 2와 같으며, 종속변수는 세대당 에너지비용이다. 특히, 계절별 차이를 살펴보기 위해 세대당 연간 에너지비용 외에도 세대당 여름철(6~8월) 에너지비용, 세대당 겨울철(12~2월) 에너지비용으로 구분하여 총 세 개의 종속변수에 대해 분석하였다. 여름철 비용은 폭염에 따른 난방 수요를, 겨울철 비용은 한파에 따른 난방 수요를 반영함으로써 건축·환경 요인이 계절별 에너지 수요에 어떻게 작용하는지를 규명할 수 있다.

에너지비용은 아파트 단지의 개별관리비와 공용관리비에서 난방비, 급탕비, 가스 사용료, 전기료, 수도료 항목을 합산한 뒤 총 세대수로 나누어 산출하였다. 이러한 산출 방식은 개별 가구의 생활 습관뿐 아니라 공용 설비 운영 및 관리 구조가 비용 구조에 미치는 영향을 함께 반영하며, 세대당 단위로 표준화함으로써 단지 규모에 따른 절대적 차이를 제거하여 단지 특성과 도시환경 요인의 상대적 영향을 비교할 수 있게 한다. 이러한 표준화 접근은 기존 선행연구에서도 단지 규모 차이를 보정하기 위한 방법론적 절차로 활용된 바 있다[20,21]. 김지형 외(2024)는 세대당 단위로[20], 이범훈&장동민(2019)은 단위면적당으로 에너지 사용량을 표준화하여 단지별 규모 차이를 조정하였다[21]. 본 연구는 이와 같은 ‘규모 보정’이라는 공통된 방법론적 취지를 참조하되, 분석 대상이 에너지 비용이라는 점을 고려하여 가구 단위로 부과되는 관리비 성격에 가장 부합하는 세대당 표준화 방식을 채택하였다. 관리비는 원칙적으로 세대 단위로 부과·운영되기 때문에, 세대당 비용은 실제 단지 운영 구조를 가장 충실히 반영하는 대표 지표이다. 또한 본 연구는 개별 세대의 미시적 소비 차이가 아니라 단지의 건축·환경 요인이 비용에 미치는 구조적 영향을 분석하는데 목적이 있어 세대당 평균값을 사용하는 방식이 적합하다. 단지 규모가 다르더라도 세대당 비용은 관리비 부과 체계상 대표성을 유지하며 단지 간 비교의 객관적 기준으로 기능할 수 있다.

#### 2) 건축물 특성

본 연구의 독립변수인 건축물 특성 변수들은 모두 종속변수인 세대당 에너지 비용에 영향을 미칠 수 있는 변수들로 구성하였다. 건물 노후도는 아파트 단지의 사용승인일로부터 분석 기준연도(2024년)까지의 경과 연수를 계산하여 산출하였다. 특히 해당 변수는 경과연수가 지남에 따라 단열 성능과 설비 효율이 저하되면서 냉난방 비용

Table 2. Summary of variables

Variables	Unit	Description	Data source	
<i>Dependent Variable</i>				
Annual energy cost per household	KRW/unit	Total annual energy cost divided by the number of households	Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2024), Korea Real Estate Board (2024)	
Summer energy cost per household <sup>1)</sup>	KRW/unit	Total energy cost from June to August divided by the number of households		
Winter energy cost per household	KRW/unit	Total energy cost from December to February divided by the number of households		
<i>Independent Variables</i>				
Building Characteristics	Building age	years	Number of months since occupancy approval	Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2024), Korea Real Estate Board (2024)
	Number of households <sup>1)</sup>	units	Total number of households in the complex	
	Number of buildings <sup>1)</sup>	buildings	Number of apartment buildings within the complex	
	Maximum floors	Floors	Highest building height in the complex	
	Management type	dummy	Outsourced management=1, Self-management=0	
	Heating type	dummy	Individual heating=1, Others (central, district heating)=0	
	Corridor type	dummy	Staircase type=1, Others (corridor, mixed, tower type)=0	
	Housing price per 3.3m <sup>2</sup>	10,000 KRW/3.3m <sup>2</sup>	Average actual transaction price per 3.3m <sup>2</sup> of each apartment unit	Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2025)
Urban Environmental Factors	Average building height of surrounding area	Floors	Average number of floors of buildings within a 250m buffer	Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2024)
	Building density of surrounding area	%	Total building floor area within a 250m buffer divided by the total buffer area	Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2024)
	Surrounding green area	%	Total green area within a 250m buffer divided by the total buffer area	Korea Forest Service (2024)
	Surrounding water area	%	Total water surface area within a 250m buffer divided by the total buffer area	Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2025)
	Elevation	m	Average elevation of the apartment complex	National Geographic Information Institute (2023)

<sup>1)</sup> Variables transformed using Square Root transformation

이 상승됨이 노후 아파트의 온실가스 감축에 대한 연구를 한 백시우 외(2023)의 연구에서 밝혀졌다[22]. 이에 따라 건물의 노후도는 세대당 에너지 비용을 증가시키는 주요 요인으로 작용할 수 있다.

또한, 세대수, 아파트 동 수, 그리고 최고 층수는 단지 규모와 형태를 나타내며, 규모의 경제와 관련된 효과를 통해 세대당 비용 구조를 변화시킬 수 있다. 세대수가 많을수록 공용 관리비가 분산되어 세대당 비용이 감소하는 반면, 동 수와 층수는 건물 배치, 환기, 채광 조건과 관련되어 에너지 사용량의 차이를 만들어낼 수 있기에 변수로 설정하였다. 이는 단지의 공간적 구성 요소가 세대별 비용 수준에 간접적으로 영향을 줄 수 있음을 의미한다.

마지막으로, 관리방식, 난방방식, 그리고 복도유형은 운영 및 설계 방식의 차이를 반영하는 변수이다. 또한 복도 유형은 단열과 환기 효율성을 결정하는 설계 요소로서 냉난방비에 큰 영향을 줄 수 있다. 해당 변수들은 명확한 이분법적인 특징을 가지기에 본 연구에서 더미변수로 설정하였다. 이와 함께, 평당 매매가는 주택의 시장 가치를 나타내는 사회경제적 변수이기에 변수로 설정하였다.

### 3) 도시환경 특성

본 연구에서는 아파트 단지의 특성을 설명하기 위해 도시환경 특성에 대한 독립변수를 추가적으로 설정하였다. 도시환경 특성 분석을 위해 단지 경계로부터 250m 반경 버퍼(buffer)를 설정하여 주요 공간적 변수를 산출하였다. 반경 기준인 250m는 주거단지와 인접 생활환경 등 소규모 공간 규모 접근성 및 열환경 완화 효과를 동시에

고려한 적절한 공간 단위로 다수의 선행연구에서 활용되고 있다 [23~25]. 분석은 ArcGIS Pro를 활용하였으며, 이를 통해 단지 경계로부터 250m 반경 내 건축물, 녹지, 수공간 등의 면적 및 평균값을 추출하고, 해당 데이터를 단지별 속성값으로 정리하였다.

먼저, 주변 건물 평균 높이는 단지 외부 250m 버퍼 내에 위치한 건축물의 평균 층수를 계산하여 산출하였다. 또한 주변 건물 밀도는 동일한 버퍼 내 건축물들의 바닥면적 합계를 전체 버퍼 면적으로 나누어 산출하였다. 고도는 디지털고도모형(DEM)을 활용해 산출하였으며, 아파트 단지 내 평균 고도를 의미한다. 인근 녹지 면적은 250m 버퍼 내에 위치한 공원이나 녹지대 등에 해당하는 면적의 합을 버퍼 면적으로 나누어 산출하였다. 마지막으로, 인근 수공간 면적은 동일 버퍼 내 하천, 호수, 저수지 등 수공간의 총 면적을 버퍼 면적으로 나누어 산출하였다.

## 4. 분석결과

### 4.1. 기초통계량

본 연구에서 사용된 변수들의 기초 통계량은 Table 3.에 제시하였다. 먼저, 세대당 연간 에너지비용은 평균 1,256,944원으로 나타났으며, 표준편차는 656,215원으로 상당한 변동성을 보였다. 이를 계절별로 구분하여 살펴보면, 여름철(6~8월) 세대당 에너지비용은 평균 310,345원, 겨울철(12~2월) 비용은 평균 386,753원으로 겨울철 비용이 여름철보다 더 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 한파에

Table 3. Descriptive statistics

Variables	Unit	Mean	SD (standard deviation)
Annual energy cost per household	KRW(₩)/unit	1,256,944.53	656,215.42
Summer energy cost per household	KRW(₩)/unit	310,344.96	158,391.58
Winter energy cost per household	KRW(₩)/unit	386,752.54	272,970.16
Building age	year	23.28	10.33
Number of households	unit	622.01	580.52
Number of buildings	building	7.23	6.93
Maximum floors	floor	18.64	5.78
Management type	dummy	0.91	0.29
Heating type	dummy	0.68	0.47
Corridor type	dummy	0.47	0.50
Housing price per 3.3m <sup>2</sup>	10,000KRW(₩)/3.3m <sup>2</sup>	1,395.07	672.68
Average building height of surrounding area	floor	7.18	2.81
Building density of surrounding area	%	0.03	0.07
Surrounding green area	%	0.23	0.36
Surrounding water area	%	0.17	0.35
Elevation	m	30.82	20.12

따른 난방 수요가 폭염에 따른 냉방 수요보다 가계의 에너지 부담을 더 크게 만든다는 점을 보여준다.

건축물 특성 변수의 경우, 건물 노후도는 평균 23.3년으로, 표본 단지들이 전반적으로 20년 이상 경과한 준공 연한을 가지고 있음을 알 수 있다. 세대수는 평균 622세대이며, 표준편차가 커 단지 규모 간 격차가 크다는 점이 드러난다. 아파트 동 수와 최고 층수도 각각 평균 7.2동, 18.6층으로 나타났으며, 규모와 고층화 수준이 단지별로 크게 차이를 확인할 수 있다. 관리방식, 난방방식, 복도유형은 더미 변수로 측정되었으며, 평균값을 통해 표본 분포를 간접적으로 파악할 수 있다. 즉, 관리방식(0.91)은 대부분 단지가 위탁관리를 선택하고 있음을 의미하며, 난방방식(0.68)은 개별난방의 비중이 더 높음을 보여준다. 또한, 복도유형(0.47)은 계단식과 복도식 단지가 비교적 고르게 분포되어 있음을 시사한다. 한편, 평당 매매가는 평균 1,395만 원으로 나타났으며, 표준편차가 672만 원에 달해 단지별 주거 시장가치의 차이가 매우 크다는 점을 확인할 수 있다.

도시환경 특성 변수에서는 주변 건물 평균 높이가 평균 7.2층으로 나타났고, 주변 건물 밀도는 평균 0.03으로 매우 낮아 대체로 저밀도의 주거환경이 형성되어 있음을 알 수 있다. 인근 녹지 면적(0.23)과 인근 수공간 면적(0.17)은 모두 버퍼 면적 대비 비율로 산출된 값으로, 녹지와 수공간이 단지 주변 환경에 일정 부분 기여하고 있음을 보여준다. 마지막으로, 평균 고도는 30.8m로 나타났다.

#### 4.2. 다중회귀모형 분석결과

본 연구에서 세대당 연간 에너지비용, 세대당 여름철 에너지 비용, 세대당 겨울철 에너지비용을 종속변수로 설정하여 다중회귀분

석을 실시한 결과는 Table 4.와 같다.

##### 1) 세대당 연간 에너지비용 모형

우선, 연간 에너지비용 모형의 R<sup>2</sup>은 0.647로 나타났다. 변수별 결과를 살펴보면, 세대수는 통계적으로 유의하게 음의 영향을 미쳐, 세대수가 많을수록 세대당 에너지비용이 낮아지는 경향이 확인되었다. 반면 건물 동 수와 최고 층수, 평균 고도는 모두 유의하게 양의 영향을 주어, 동 수가 많고 층수가 높으며 고도가 높을수록 에너지비용이 증가하는 양상을 보였다. 난방방식은 개별난방 여부에 따라 유의한 차이를 보였으며, 개별난방일수록 비용이 낮게 나타났다. 복도유형은 계단식 구조일 때 유의하게 비용이 높아지는 결과를 보였다. 주변 녹지 면적은 유의하게 음의 영향을 주어, 녹지 면적이 넓을수록 에너지 비용이 줄어드는 것으로 나타났으며, 평당 매매가는 양의 영향을 보여 가격이 높은 단지일수록 에너지 비용도 증가하는 경향을 보였다. 한편 건물 노후도, 관리방식, 주변 건물 높이와 밀도, 수공간 면적은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다.

##### 2) 세대당 여름철 에너지비용 모형

다음으로, 여름철 에너지비용 모형의 R<sup>2</sup>은 0.486으로 나타났다. 변수별 결과를 살펴보면, 건물 노후도가 유의하게 음의 영향을 미쳐, 노후도가 높을수록 여름철 에너지 비용이 낮아지는 경향이 나타났다. 세대수는 가장 중요한 영향요인으로 나타났으며, 유의한 음의 영향을 보여 세대수가 많을수록 세대당 여름철 에너지비용이 낮아지는 경향이 확인되었다. 건물 동 수와 최고 층수, 평균 고도는 모두 양의 영향을 보여 건물 동 수가 많을수록, 층수가 높을수록, 평균고도가 높아질수록 여름철 에너지 비용이 증가하는 양상을 보였다. 난방방식은 개별난방일 경우 여름철 비용이 낮게 나타났으며, 복도유형은 계단식 구조일 때 비용이 높아지는 경향이 확인되었다. 주변 녹지 면적은 유의한 음의 영향을 미쳐, 반경 내 녹지가 많을수록 여름철 에너지 비용이 낮아졌다. 또한 평당 매매가는 여름철 에너지 비용의 주요 영향요인으로 나타났으며, 유의하게 양의 영향을 보여 단지 가격이 높을수록 비용이 증가하는 경향이 나타났다. 반면 관리방식, 주변 건물 높이와 밀도, 수공간 면적은 통계적으로 유의하지 않았다.

##### 3) 세대당 겨울철 에너지비용 모형

다음으로, 겨울철 에너지비용 모형의 R<sup>2</sup>은 0.784로 가장 높게 나타났다. 변수별 결과를 살펴보면, 건물 노후도는 유의하게 양의 영향을 보여, 노후도가 높을수록 겨울철 비용이 증가하는 경향이 나타났다. 세대수는 겨울철 에너지비용에 주요 영향요인으로 나타났으며, 유의한 음의 영향을 보여 세대수가 많을수록 비용이 낮아지는 경향이 확인되었다. 건물 동 수와 최고 층수, 평균 고도는 모두 양의 영향을 주어 비용이 증가하는 결과가 나타났다. 관리방식은 자치관리보다 위탁관리에서 비용이 낮아지는 경향을 보여 유의한 음의 영향을 보였다. 난방방식은 겨울철 에너지비용에 있어 가장 중요한 영향요인으로 나타났으며, 개별난방일수록 겨울철 비용이 낮게 나타났다. 복도유형은 계단식 구조에서 비용이 높아지는 유의한 결과가 확인되었고, 주변 수공간 면적은 유의미한 양의 영향을 주어 반경 내 수공간이 많을수록 겨울철 에너지 비용이 증가하는 경향이 나타났다. 평당 매매가 또한 양의 영향을 보여 매매가가 높을수록 겨울철

Table 4. Result of regression analysis

Model		Model 1		Model 2		Model 3	
		Annual energy cost per household		Summer energy cost per household		Winter energy cost per household	
N		1315		1315		1315	
Adjusted R <sup>2</sup>		0.647		0.486		0.784	
Durbin-Watson		1.831		1.782		1.762	
F		186.253		96.708		367.231	
Sig		<.001 <sup>b</sup>		<.001 <sup>b</sup>		.000 <sup>b</sup>	
		Std.B	P-value	Std.B	P-value	Std.B	P-value
Building Characteristics	Building age	-0.036	0.111	-0.208	0.000**	0.084	0.000**
	Number of households	-0.506	0.000**	-0.547	0.000**	-0.395	0.000**
	Number of buildings	0.413	0.000**	0.474	0.000**	0.330	0.000**
	Maximum floors	0.212	0.000**	0.264	0.000**	0.146	0.000**
	Management type	-0.033	0.060	-0.020	0.348	-0.043	0.002*
	Heating type	-0.636	0.000**	-0.208	0.000**	-0.820	0.000**
	Corridor type	0.167	0.000**	0.196	0.000**	0.120	0.000**
	Housing price per 3.3m <sup>2</sup>	0.289	0.000**	0.304	0.000**	0.187	0.000**
Urban Environmental Factors	Average building height of surrounding area	0.004	0.846	0.020	0.379	0.001	0.965
	Building density of surrounding area	0.006	0.734	0.012	0.562	0.004	0.751
	Surrounding green area	-0.040	0.040*	-0.066	0.005*	-0.026	0.088
	Surrounding water area	0.033	0.058	0.025	0.237	0.031	0.026*
	Elevation	0.072	0.000**	0.069	0.004*	0.062	0.000**

\*p<0.05, \*\*p<0.01

비용이 증가하였다. 반면 주변 건물 높이와 밀도, 주변 녹지 면적은 유의하지 않은 것으로 나타났다.

## 5. 결론

본 연구는 2024년 서울시 아파트 단지를 대상으로 세대당 연간 및 계절별(여름, 겨울) 에너지비용에 영향을 미치는 건축적 특성과 도시환경 요인을 다중회귀분석을 통해 실증적으로 분석하였다. 분석결과는 다음과 같은 시사점을 제공한다.

첫째, 건축물 특성 중 물리적 특성과 관련된 요인에서 세대수는 모든 모형에서 음의 영향을 보이며 중요한 변수로 확인되었다. 이는 세대수가 많을수록 세대당 에너지비용이 낮아지는 결과로, 공동주택 관리에서 규모의 경제가 작동한다는 점을 보여준다. 즉, 공용 설비 유지비나 관리비가 세대 전체에 분산되면서 개별 가구의 부담이 줄어드는 현상을 의미한다. 반면, 건물 동 수와 최고 층수는 연간, 여름철, 겨울철 모두에서 에너지 비용을 높이는 요인으로 작용하였다. 이는 동 수가 많을수록 단지 내 에너지 공급관리망이 복잡해져 효율이 떨어지고, 층수가 높을수록 승강기, 급수난방 펌프와 같은 설비의 가동 부담이 커져 에너지 소모가 증가하기 때문으로 해석된다. 이는 설계적 요인이 에너지 효율과 직접적으로 연결될 수 있음을 보여주며, 향후 아파트 단지 설계 시 동 수를 과도하게 늘리기보다는 일정 규모 내에서 세대수를 확보하는 방식이 바람직한 것으로 파악된다. 한편, 복도유형은 계단식 구조일 때 일관되게 비용이 높게 나타

났다. 이는 일반적으로 복도식 아파트가 맞바람이 잘 통하는 구조로 인해 환기 효율성이 높아 여름철 냉방부하를 상대적으로 줄일 수 있기 때문으로 해석된다. 또한, 복도식 아파트는 주로 소형 평형이나 임대주택 등 상대적으로 오래된 단지에서 많이 볼 수 있기에, 비교적 신축 위주로 공급된 계단식 아파트가 주민들의 생활패턴이 쾌적성을 중시하며 냉난방 설비 사용에 적극적인 경향이 반영된 결과로 해석할 수 있다. 이는 건축적 설계 요인뿐만 아니라 주거 유형과 사회·경제적 특성이 결합되어 에너지비용에 영향을 미친 결과로 이해할 수 있다.

둘째, 평당 매매가가 높은 고가 아파트일수록 세대당 에너지비용이 높게 나타나는 경향이 나타났다. 이는 고가 아파트 단지일수록 냉·난방 설비를 적극적으로 사용하는 생활 패턴이 반영된 결과일 수 있다. 또한 고급 단지에서는 단열재, 창호 성능 등이 우수할 수 있으나, 주민의 소비 성향이 절약보다 쾌적성을 중시하기 때문에 비용 절감 효과가 상쇄되는 것으로 해석된다. 특히 여름철에는 평당 매매가 변수가 주요 영향요인으로 나타나, 주거 수준이 높을수록 쾌적성 추구에 따른 냉방비 지출이 확대됨을 잘 보여준다.

셋째, 건축물 특성 중 운영 및 관리 특성과 관련된 요인에서 난방 방식은 모든 모형에서 개별난방 아파트가 비용이 낮게 나타났다. 특히, 겨울철에는 그 영향이 가장 크게 나타나, 중앙난방이나 지역난방 대비 개별난방 방식이 세대별 효율적 소비를 유도하는 것으로 나타났다. 이는 개별 세대별로 필요에 따라 난방을 선택적으로 가동하거나 조절할 수 있어 불필요한 에너지 사용을 줄일 수 있기 때문으로

해석된다. 관리방식은 여름철에는 차이가 없었으나, 겨울철에는 위탁관리 단지가 자치관리 단지보다 비용이 낮게 나타났다. 이는 난방이 대규모 설비 운영과 밀접히 연결되어 있어, 전문 업체가 효율적인 운전·유지관리를 수행할 때 비용 절감 효과가 나타난 것으로 볼 수 있다. 즉, 관리 주체의 전문성이 특히 난방부하가 큰 계절에 영향을 미친다는 점을 보여준다. 건물 노후도는 여름철과 겨울철 에너지비용에 각각 상반된 영향을 미치는 것으로 나타났다. 여름철에는 신축 아파트일수록 관리비가 더 높은 경향을 보였으며, 겨울철에는 노후된 아파트일수록 관리비가 더 높은 경향이 분석되었다. 이는 최근 신축 단지에 사용되는 고기밀성·고단열 자재가 외부 열을 차단하는 데는 효과적이지만, 내부 열 축적을 가중시켜 여름철 실내 온도를 높이는 역효과를 발생시킬 수 있기 때문이다. 특히 대형 유리창, 커튼월, 고성능 창호 등은 겨울철에는 단열 효과를 제공하나, 여름철에는 일사 유입을 증가시켜 냉방 수요를 확대하는 요인으로 작용할 수 있다. 반면, 노후된 건물은 건물의 단열 성능이 저하되고 외기 침투가 심화되어 난방비 부담으로 이어지는 결과로 이어져 겨울철 관리비를 높이는 것으로 해석되며, 이는 기존 선행연구의 결과와도 일치하는 결과이다[16]. 건물 노후도가 연간 에너지비용에는 유의하지 않게 나타났다는데, 이는 계절별 소비 특성이 서로 상쇄되어 건물 노후도의 계절적 영향이 연간 단위에서는 통계적으로 희석된 것으로 해석된다.

넷째, 도시환경 요인에서는 변수별 차이가 뚜렷했다. 주변 건물 높이와 밀도는 모든 모형에서 유의하지 않았는데, 이는 단지 반경 250m의 건축적 밀도가 세대당 에너지비용에 직접적인 영향을 주기에는 제한적이기 때문으로 보인다. 그러나, 주변 녹지 면적은 여름철에 유의한 음의 영향을 주어, 녹지 공간이 여름철 냉방비 절감에 기여할 수 있음을 보여주었다. 이는 녹지의 그늘 형성, 증산작용에 따른 기온 저감 효과가 냉방부하를 완화했기 때문으로, 이는 도시 열섬 완화와도 연관될 수 있는 결과다. 반면 수공간 면적은 겨울철 비용 증가와 연관되어, 단지 주변의 수공간이 오히려 한랭 환경을 조성하여 난방비를 높일 가능성을 시사한다. 반면 주변 수공간 면적은 겨울철 비용 증가와 관련있는 것으로 나타났다. 이는 물의 높은 비열과 증발 과정이 주변 기온을 낮추고, 특히 강이나 저수지와 같이 개방된 수공간이 찬 바람의 흐름을 가속화하여 단지 주변의 기온 하강을 유도함으로써 건물의 난방 부하를 높였기 때문으로 해석된다. 평균 고도 역시 일관되게 양의 영향을 보였는데, 이는 지형적 위치가 단열 효율이나 기후 조건에 영향을 주기 때문으로 해석된다. 예를 들어, 고도가 높은 지역은 상대적으로 기온이 낮아 난방부하가 증가하며, 반대로 저지대는 바람의 흐름과 습도가 비용 구조에 영향을 줄 수 있기 때문이다.

본 연구 결과, 아파트 단지의 에너지비용은 단지의 물리적 특성과 운영·관리 방식, 그리고 주변 환경적 조건이 복합적으로 작용하여 결정된다는 점을 확인할 수 있었다. 본 연구는 기존 연구에서 간과했던 비용 중심의 접근을 통해 정책적·학문적 기초자료를 제공하고, 아파트 단지 설계와 관리, 도시환경 계획에서 실질적인 시사점을 제시한다는 점에서 의미가 크다. 특히 규모의 경제 효과를 고려한 단지 설계, 효율적인 관리방식, 그리고 도시 녹지 확대 등은 향후 에너지 비용 절감형 아파트 단지 설계에 직접적으로 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 본 연구는 다음과 같은 한계점을 가진다. 첫째, 도시환경 요인을 단지 반경 250m로 분석하여 인접 환경의 영향을 포착하고자 하였으나, 실제로는 단지의 입지 특성과 주변 맥락에 따라 영향 범위가 달라질 수 있다. 다만 버퍼 반경을 무조건 확대할 경우, 단지와 무관한 외부 요인이 포함되어 오히려 변수 간 관련성이 약화될 가능성도 존재한다는 점에서 신중한 접근이 필요하다. 따라서 향후 연구에서는 250m 이외의 반경을 일률적으로 확장하기보다는, 100m, 200m, 500m, 1km 등과 같은 다양한 반경을 비교·검증하여 단지 특성별로 영향 범위가 어떻게 달라지는지 탐색하는 방식이 보다 타당할 것이다. 이러한 절차를 통해 도시환경 요인이 에너지 비용에 미치는 공간적 범위와 영향 강도를 보다 정밀하고 체계적으로 규명할 수 있을 것이다. 둘째, 분석 자료가 2024년 단일 연도에 국한되어 있어 장기적인 변화 추이나 계절 간 변동성의 누적 효과를 반영하지 못했다는 한계가 있다. 기후변화가 점차 심화되고 있는 상황에서, 다년간의 데이터를 축적하여 시계열적 분석을 수행한다면 계절별 에너지 비용 구조의 변화 양상을 보다 종합적으로 파악할 수 있을 것이다.

## References

- [1] 여관현, 공간 빅데이터를 활용한 인천광역시 건물부문 에너지 사용량의 공간분포 특성: 2013년과 2023년 변화를 중심으로, 도시연구, 제26호, 2024, pp.11-41. // (K.H. Yeo, Spatial distribution characteristics of energy consumption in building sector of Incheon metropolitan city using spatial big data: Focusing on changes in 2013 and 2023, Korean Journal of Urban Studies, 26, 2024, pp.11-41.)
- [2] 조항훈 외 5인, 계절적 요인을 고려한 건물 전기에너지 사용에 영향을 미치는 요인 분석 - 서울특별시를 대상으로, 국토지리학회지, 제56권 제2호, 2022, pp.113-124. // (H.H. Jo et al., Analyzing determinants of the electricity consumption of buildings considering seasonal factors - The case of Seoul, Korea -, The Geographical Journal of Korea, 56(2), 2022, pp.113-124.)
- [3] 고은비, 정국식, 공동주택 전력 AMI 데이터 플랫폼 서비스 동향 및 표준화 방안, 한국통신학회지 (정보와통신), 제41권 제9호, 2024, pp.3-10. // (E.B. Ko, G.S. Jung, Trends in service platforms and standardization strategies for electricity AMI data in multi-family housing, The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, 41(9), 2024, pp.3-10.)
- [4] 박정아, 정주영, 윤희진, 서울시 공동주택 공용관리비 영향요인 분석, 대한부동산학회지, 제42권 제1호, 2024, pp.49-69. // (J.A. Park, J.Y. Jung, H.J. Yoon, A study on the factors affecting common management fees of apartment complexes, Korea Real Estate Society, 42(1), 2024, pp.49-69.)
- [5] 김창현, 김갑열, 공동주택 관리비 구성요인별 영향에 관한 연구, 대한부동산학회지, 제44호, 2017, pp.335-357. // (C.H. Kim, K.Y. Kim, A study on the influence of the constituent factors of apartment housing management expenses - Focused on the compulsory managed apartment housing in Gyeonggi area -, Korea Real Estate Society, 44, 2017, pp.335-357.)
- [6] Y. Ahn, D.W. Sohn, The effect of neighbourhood-level urban form on residential building energy use: A GIS-based model using building energy benchmarking data in Seattle, Energy and Buildings, 196, 2019, pp.124-133.
- [7] H. Jang, L. Jones, J. Kang, Prioritisation of old apartment buildings for energy-efficient refurbishment based on the effects of building features on energy consumption in South Korea, Energy and Buildings, 96, 2015, pp.319-328.
- [8] R. Lee et al., Development and calibration of apartment building energy model based on architectural and energy consumption characteristics, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 206, 2024, 114874.
- [9] 조규민, 손동욱, 건축물 에너지 소비량에 영향을 미치는 건축물 특성 및 도시환경 요소 분석, 한국: 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제39권 제2호, 2019, pp.292-295. // (G.M. Cho, D.W. Sohn, An analysis of the

- effects of building characteristics and urban environmental factors on building energy consumption, Korea: Conference of Architectural Institute of Korea, 39(2), 2019, pp.292-295.)
- [10] 최재원, 최영오, 한국형 사회주택 개발을 위한 공공임대주택의 배치유형 및 에너지 현황분석: 배치유형 및 방위, 난방방식, 난방비를 중심으로, 대한건축학회 논문집-계획계, 제33권 제9호, 2017, pp.23-32. // (J.W. Choi, Y.O. Choi, An analysis of layout type and heating cost of the public rental housing for Korean social housing- Focusing on the layout type of housing, orientation, heating system, heating cost, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 33(9), 2017, pp.23-32.)
- [11] J. Park, S.J. Yun, Social determinants of residential electricity consumption in Korea: Findings from a spatial panel model, *Energy*, 239, 2022, 122272.
- [12] E. Ng, Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities-air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong, *Building and environment*, 44(7), 2009, pp.1478-1488.
- [13] F. Aram et al., Urban green space cooling effect in cities, *Heliyon*, 5(4), 2019.
- [14] Z. Yu et al., Critical review on the cooling effect of urban blue-green space: A threshold-size perspective, *Urban Forestry & Urban Greening*, 49, 2020, 126630.
- [15] J. Crétat, et al., Impact of topography and land cover on air temperature space-time variability in an urban environment with contrasted topography (Dijon, France, 2014-2021), *Theoretical and Applied Climatology*, 155(3), 2024, pp.1941-1958.
- [16] 음미령, 홍원화, 이지애, 공동주택 에너지 사용량 평가 개선을 위한 에너지 사용량 영향 요인 도출, 대한건축학회 논문집 - 구조계, 제34권 제7호, 2018, pp.27-34. // (M.R. Eum, W.H. Hong, J.A. Lee, Deriving factors affecting energy usage for improving apartment energy consumption evaluation, *Journal of the Architectural Institute of Korea: Structure & Construction*, 34(7), 2018, pp.27-34.)
- [17] 정재원, 이창호, 이승일, 서울시 행정동별 가구의 에너지 소비량에 영향을 미치는 요인의 통합적 분석, 국토계획, 제50권 제8호, 2015, pp.75-94. // (J.W. Jung, C.H. Yi, S.I. Lee, An integrative analysis of the factors affecting the household energy consumption in Seoul, *Journal of Korea Planning Association*, 50(8), 2015, pp.75-94.)
- [18] 조하훈, 김홍순, 도시특성이 건축물의 탄소배출에 미치는 영향에 관한 연구: 서울시 424개 행정동에 대한 공간회귀분석의 적용, 토지주택연구, 제14권 제3호, 2023, pp.77-92. // (H.H. Jo, H.S. Kim, The impact of urban characteristics on carbon emissions of buildings in Seoul: Application of spatial regression analysis, *Land and Housing Review*, 14(3), 2023, pp.77-92.)
- [19] 김승훈 외 3인, 가구 에너지소비량 결정요인 분석: 에너지절약특성을 중심으로, 토지주택연구, 제15권 제3호, 2024, pp.97-111. // (S.H. Kim et al., Analysis of determinants of household energy consumption: Focusing on energy-saving characteristics, *Land and Housing Review*, 15(3), 2024, pp.97-111.)
- [20] 김지형 외 4인, 공동주택 비에너지 공공데이터와 용도별 연간 에너지 사용량 상관성 분석, 설비공학 논문집, 제36권 제12호, 2024, pp.606-618. <https://doi.org/10.6110/KJACR.2024.36.12.606> // (J.H. Kim et al., Correlation analysis between non-energy public data of residential buildings and annual energy consumption by usage, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 36(12), 2024, pp.606-618. <https://doi.org/10.6110/KJACR.2024.36.12.606>)
- [21] 이범훈, 장동민, 초고층과 일반 아파트 단지의 에너지 소비 특성과 정책 방향 연구, 한국산학기술학회논문지, 제20권 제3호, 2019, pp.285-290. // (B.H. Rhee, D.M. Chang, Energy consumption characteristics and policy directions according to apartment complex type in Incheon metropolitan city, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 20(3), 2019, pp.285-290.)
- [22] 백시우 외 4인, 기축 건물의 온실가스 감축 잠재량 추정: 지역난방 공급 노후 아파트 단지를 중심으로, 한국기후변화학회지, 제14권 제6-1호, 2023, pp.881-901. <https://doi.org/10.15531/KSCCR.2023.14.6.881> // (S.W. Baek et al., Estimation of greenhouse gas reduction potential in existing buildings: An aging apartment complexes with district heating supply, *Journal of Climate Change Research*, 14(6-1), 2023, pp. 881-901. <https://doi.org/10.15531/KSCCR.2023.14.6.881>)
- [23] R. Ji et al., Green space compactness and configuration to reduce carbon emissions from energy use in buildings, *Remote Sensing*, 15(6), 2023, 1502.
- [24] 제민희, 정승현, 도시공원녹지 분포의 정밀 평가 방법론 개발 - 도로명 주소지도와 GIS 네트워크 분석을 이용하여 -. *KIEAE Journal*, 제20권 제5호, 2020, pp.73-80. <https://doi.org/10.12813/kieae.2020.20.5.073> // (M.H. Je, S.H. Jung, Development of methodology to precisely evaluate the distribution of urban parks - Using the map of road name address system and GIS network analysis -. *KIEAE Journal*, 20(5), 2020, pp. 73-80. <https://doi.org/10.12813/kieae.2020.20.5.073>)
- [25] M. Browning, K.J Lee, Within what distance does “greenness” best predict physical health? A systematic review of articles with GIS buffer analyses across the lifespans, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(7), 2017, 675.