

난방비 변화 시기의 공동주택 난방에너지 사용량 영향요인 분석: 서울시 아파트 단지를 대상으로*

A Study on the Impact Factors of Heating Energy Consumption
During Heating Energy Price Change: Focusing on the Apartment in Seoul

김교민** · 김동준*** · 이승일****

Kim, Kyo Min · Kim, Dong Jun · Lee, Seung il

Abstract

The purpose of this research is to analyze the impact of various characteristics on energy consumption when heating price change. Previous research has not investigated the impact of changing energy price change, and the analysis of heating energy consumption has primarily relied on physical and sociological characteristic data. This approach fails to reveal the factors influencing energy consumption in response to changes in heating energy price. Consequently, the purpose of this study is to analyze the effect of various characteristics on heating energy consumption when heating energy price change. As a result, first, it was found that the spatial characteristics of the water system ratio, the green area ratio, and the average altitude affect the probability of increasing and decreasing the use of heating energy. Second, physical characteristics were found to have an effect on both the increase and decrease in heating energy use as heating price rise. Third, among the demographic and sociological characteristics, the average aging index and the average elderly support ratio only affect the probability of a decrease in heating energy use per household compared to apartments that do not change heating energy use per household. The results of this study can be used as basic data for establishing energy support policies due to rising energy prices in the future by presenting the physical and spatial characteristics of urban space to be considered in urban regeneration and maintenance projects.

주 제 어: 난방비 가격 변화, 난방에너지, 에너지 사용량, 공동주택, 다항로지스틱 회귀모형

Keyword: Heating Energy Price Change, Heating Energy, Energy Consumption, Apartment, Multinomial Logistic Regression

* 이 연구는 국토교통부 빅데이터 기반 인공지능 도시계획 기술 개발(RS-2022-00143404)과 한국연구재단 중견연구자지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2021R1A2C1012039)

** 서울시립대학교 도시공학과(주저자: kyomin0102@gmail.com)

*** 서울시립대학교 도시공학과(공동저자: kimdj@uos.ac.kr)

**** 서울시립대학교 도시공학과 교수(교신저자: silee@uos.ac.kr)

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

2021년 기준 우리나라의 에너지 수입의존도 94.8%로 수입에 상당히 의존하고 있는 것으로 나타났으며(에너지경제연구원, 2022), 1차 에너지에 속하는 석유, 원자력 등 천연자원 상태에서 공급하는 에너지의 소비량은 세계 9위 수준으로 특히 석유소비 7위, 전력소비 7위에 순위하고 있다(한국에너지공단, 2020). 이와 관련하여, 에너지 사용을 줄이려는 다양한 정책을 추진중이며, 이는 전세계적으로 탄소중립이 중요해짐에 따라 에너지 사용시 배출되는 온실가스 저감과도 관련 있다. 따라서 국가적으로 기후변화 대응과 탄소중립을 실현하기 위해 에너지 사용을 줄이는 것은 필수 조건이며, 에너지 효율을 높이고 에너지 소비를 저감할 수 있는 방안을 다방면으로 모색해야 한다. 특히 에너지 소비가 높은 부문은 건물부문이며, 건물에서도 가정용 주택에 해당하는 아파트의 비중이 높기 때문에, 이를 중심으로 에너지 저감을 할 수 있는 방안을 마련하는 것이 시급하다.

이에 기존 연구에서는 특정 시점의 에너지 사용량에 영향을 미치는 요인을 밝히는 연구가 주로 수행되었다. 공동주택의 전기, 가스, 난방에너지 사용량을 대상으로 물리적 특성, 인구학적 특성 등을 설명변수로 설정하여 에너지 사용량에 영향을 미치는 요인을 도출하고 해당 요인의 영향력을 밝힘으로써 에너지 저감에 대한 방안을 제시하는 연구가 수행되었다(조성희 외, 2011; 김용인 외, 2014; 윤태연 외, 2015; 임재빈 외, 2020). 한편 에너지 소비를 저감하기 위한 방안으로 에너지 가격 조정도 중요한 역할을 한다. 경제학의 수요법칙에 따라 가격이 올라가면 수요가 낮아지기 때문이다. 이런 측면에서 2022년 12월 정부의 에너지 분야 주요 현안 관련 브리핑에서 단계적인 요금 현실화 계획을 발표함에 따라 에너지 가격 인상이 예견되며, 후속 대책을 수립하기 위해 에너지 가격 변화에 따른 에너지 소비에 영향을 미치는 실증분석을 수행한 연구가 필요하다. 하지만 실제 에너지 가격 상승은 가계 부담 가중으로 이어지기 때문에 정부의 에너지 가격 상승 정책 추진은 미온적이며, 이에 따라 실증분석을 수행한 연구는 부족한 실정이다. 특히, 이러한 가계 부담 가중은 인구사회학적 특성에 따라 다를 수 있으며, 에너지 가격 변화에 각 지역의 물리적 특성과 함께 인구사회학적 특성을 고려한 도시공간 정비와 관리가 수행되어야 한다.

이와 같은 사회적 요구와 함께, 지난해 국제 천연가스 가격 상승으로 우리나라의 에너지 가격이 큰 폭으로 상승함에 따라 실제 에너지 가격 상승과 에너지 소비간의 관계를 실증분석 할 수 있는 조건이 되었다. 난방비 변화가 이루어진 시점을 중심으로, 실제 난방비 인상 전·후의 사용량 특성에 따른 집단 구분과 이들과 관련한 도시공간과 건축물 성능, 인구사회학 특성 등을 확인한다면 난방비 변화에 따른 에너지 사용 저감 정책 수립 지원이 가능할 것이다.

이러한 배경에 따라, 이 연구는 서울시 아파트 단지를 대상으로 난방비의 급격한 인상이 있었던

2023년 1월을 기준으로, 난방비 인상 이전의 2022년 1월의 난방에너지 사용량 변화를 파악하고, 아파트 단지 입지에 따른 다양한 특성이 난방에너지 사용량 변화에 미치는 영향을 실증 분석하는데 목적이 있다. 이 연구의 결과는 에너지 가격 정책을 통한 에너지 소비 절감과 탄소 감축 정책 수립 등에 기초자료로 활용 될 수 있다.

2. 연구의 범위

이 연구의 목적은 난방비 변화에 따른 난방에너지 사용량 변화이기 때문에 난방비 가격 인상 전후인 2022년 1월과 2023년 1월을 연구의 시간적 범위로 설정하였다. 공간적 범위는 에너지 사용량이 많은 서울시이며, 공동주택관리시스템에 등록된 서울시 아파트 단지 2,645개 중 난방에너지 사용량을 공동주택관리시스템에 입력하지 않거나 누락된 2,110개 아파트 단지를 제외하고 난방에너지 사용량 추적이 가능한 535개 아파트 단지로 설정하였다. 연구의 구성은 제2장에서 선행연구 고찰을 통해 이 연구의 차별성을 설명하였고, 제3장에서 난방비 변화에 따라 다양한 특성이 에너지 소비량에 미치는 영향을 분석을 위해 분석 자료 구축과 분석 모형을 설계하였다. 제4장에서 분석결과를 해석하였고, 제5장 결론에서는 연구요약 및 정책적 시사점과 연구의 한계를 논하였다.

II. 이론 및 선행연구 고찰

1. 에너지 가격 변화와 에너지 수요

에너지 가격 변화가 에너지 수요에 미치는 영향에 관한 연구는 수요법칙 이론과 매우 밀접한 관계가 있다. 수요법칙 이론이란 다른 조건이 동일함을 가정할 때 재화의 가격이 상승하면 수요량은 감소하고, 가격이 하락하면 수요량이 증가하는 가격과 수요량 사이의 반비례 관계를 설명하는 이론이다. 이 연구의 대상인 난방은 우리 생활에 꼭 필요한 필수재로 정상재보다 비탄력적이긴 하나 난방비 상승은 소득대비 난방비 지출액 비중을 증가시켜 가구 및 개인이 난방비 변화에 민감하게 반응할 수 있으므로 수요법칙 이론을 따른다고 가정할 수 있다. 이와 관련된 주요 연구로는 수요법칙 이론에 근거하여 가격 상승에 따른 에너지 사용에 대한 상관관계를 밝히는 연구가 해당된다.

최충식(2012)은 대체관계에 있는 천연가스와 전기의 상대가격 변동이 전기와 천연가스 수요에 미치는 영향을 분석하기 위해 회귀분석을 하였다. 전기 가격은 전기 사용량과 음의 상관관계로 나타났으며, 전기 가격이 1% 상승할 때 최종 에너지 소비부문에서 차지하는 전기 사용량은 0.22% 줄어든다는

1) 한국가스공사(민수용_주택용)의 도매요금은 MJ당 12.9284원(2021.1) → 12.9284원(2022.1) → 18.3951원(2023.1)으로 21년-22년에는 가격 변화가 없었고 22년-23년에 가격이 약 42.3% 인상됨에 따라 난방비 변화가 급격히 인상된 시기인 2022년 1월과 2023년 1월을 연구의 시간적 범위로 설정하였다.

것을 모형을 통해 확인했다.

이명현(2014)은 국내 제조업 가운데 전력 사용량이 상대적으로 많은 산업을 대상으로 투입요소 간 효율적 배분 여부를 검증하고 전력의 적정수준 대비 과잉 투입규모를 측정하기 위해 전기요금 10% 상승 시 각 요소수요 및 공급가격에 미치는 파급효과에 대한 모의실험을 실시하였다. 그 결과 다른 요인들이 불변하다면 전력요금 상승 시 전력수요는 감소하는 것으로 나타났다.

이 외에도 이승재 외(2013)는 시계열 자료를 이용한 도시가스의 수요함수 추정을 통해 도시가스 수요의 장단기 가격탄력성이 음수로 나타나 수요법칙을 따르는 결과를 확인하였으며, 정동원 외(2013), 임슬예 외(2013), 김혜민 외(2015) 등 다수의 연구에서 에너지 가격과 수요는 음의 관계로 분석됨으로써 가격이 인상되면 에너지 수요가 감소하는 수요법칙에 부합하는 결과로 나타났다.

도시가스, 전력 등의 에너지 뿐만 아니라 수송부문 에너지에서도 가격 변동에 따른 수요 변화를 확인 할 수 있었는데, 에너지경제연구원(2008)은 2차 에너지세제 개편이 에너지 시장에 미치는 영향을 분석하기 위해 승용차 연료인 휘발유, 경유, LPG 간의 상대가격 변화가 각 연료별 승용차 선택확률의 가격탄력성에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과 휘발유·경유·LPG가 가격이 각 10% 상승할 경우, 휘발유 승용차를 선택할 확률은 6.7%, 경유차를 선택할 확률은 13.7%, LPG 차를 선택할 확률은 31.3%씩 하락할 것으로 추정되어 가격과 이용확률은 음의 관계인 것을 확인하였다.

신동현 외(2016)는 휘발유·경유 소비함수를 추정하고 가격탄력성의 비대칭성 유무와 구조변화를 실증분석하기 위해 내생적 구조변화 분석방법과 모형평균방법을 이용하였으며, 그 결과 휘발유 소비에 대한 가격상승 효과가 커지고, 가격하락 효과가 감소하면서 가격효과의 비대칭성이 약해짐에 따라 휘발유 판매 가격 상승을 유도하는 정책은 휘발유 소비를 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

2. 물리적·사회적 특성과 에너지 소비

물리적·사회적 특성과 에너지 소비에 관한 연구는 건물이나 주택의 특성을 설명변수로 설정하여 에너지 소비에 어떤 영향을 얼마나 미치는지에 대한 연구가 주로 진행되었는데, 김창덕(2011)은 서울시 522개 동별 전력과 도시가스 소비에 영향을 주는 요인을 분석하기 위해 일반회귀 모형과 공간계량모형을 활용했으며, 인구와 가구 밀도증가는 전력과 도시가스 소비를 낮추는 것으로, 고용과 기업 밀도 증가는 전력과 도시가스 증가시키는 것으로 나타났다.

김기중 외(2017)는 소득의 격차를 고려하여 건물에너지소비에 영향을 미치는 요소를 건축물 단위와 도시계획단위로 구분하여 실증분석 하였다. 건물-도시계획요소와 건물에너지소비 간의 영향관계 분석 결과, 지가, 온도, 수계율, 도로율, 고도가 높을수록 단위면적당 전기에너지 소비량에 양의 미치는 것으로 나타났으며, 소득격차에 따른 영향요인 분석 결과로는 고소득그룹에서 도로율이 높고 건물 수가 많을수록 저소득그룹에서는 온도가 높고 공원으로부터 거리가 멀고, 수계면적이 클수록 에너지 소비량이 많은 것으로 나타났다. 즉 소득수준이 높은 지역은 건물의 물리적인 개선, 소득이 낮은 지역은 물리적 개선뿐만 아니라 쾌적한 주거환경을 조성해야 에너지 저감을 할 수 있음을 시사하고 있다.

정이레 외(2018)는 물리적 특성이 난방에너지 소비에 미치는 영향을 통합적이고 구조적으로 분석함으로써 소득수준에 따라 난방에너지 소비 격차가 확대될 수 있는 역진성을 실증적으로 분석하였다. 다중회귀모형과 경로모형을 통해 가구소득이 많을수록, 주택의 경과년수가 오래되고 균열상태가 불량한 경우, 주택면적이 작을수록 평당 난방비는 유의하게 증가할 뿐만 아니라 상대적으로 양호한 신규주택, 넓은 면적의 주택에 거주함으로써 평당 난방비가 감소하는 간접효과가 모두 통계적으로 유의함을 확인하였다. 즉, 동일한 도시공간일지라도, 건물의 노후도와 같은 성능적 차이에 의해 에너지 사용량 행태가 다름을 의미한다.

정재원 외(2015)는 서울시 행정동을 대상으로 가구의 건물에너지와 교통에너지에 영향을 미치는 요인을 도출하고 도심과 비도심으로 소비요인을 분류하여 다중회귀분석을 통해 영향력을 분석하였다. 주택 실거래가격은 도심 및 비도심 지역, 건물 및 교통에너지에 상관없이 에너지를 증가시키는 것으로 나타났으며, 1인가구비율, 평균연령은 건물에너지를 감소시키는 반면 교통에너지는 증가시키는 것으로 분석되었다.

임재빈 외(2020)는 서울 공동주택단지의 전기 소비 결정인자를 단지의 인구와 공간특성 요인들로 분석하기 위해 서울시 1,122개 공동주택을 대상으로 STIRPAT 모형으로 단지별 전기사용량을 분석하였다. 그 결과 전기사용량은 단지 인구와 정비례하였으며, 인구밀도가 높을수록, 건폐율이 작을수록, 건물 높이가 낮을수록, 대형주택위주로 구성되어 있을수록, 단지 준공이 최근일수록 전기소비량이 낮게 나타남을 확인하였다.

3. 선행연구 한계 및 연구의 차별성

이상의 선행연구 검토를 통해 에너지 가격 변동이 수요에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었으며, 대부분의 연구에서 가격과 수요는 음의 관계임을 확인하였다. 그러나 수요 및 소비 함수 추정값을 통해 탄력성과 상관관계를 밝히는 연구가 주로 진행되었다. 한편, 다수의 에너지 소비와 관련한 선행연구에서 주택 면적 및 노후도, 건물 건폐율 및 높이 등 물리적 요인과 가구소득, 1인가구 비율, 평균 연령 등 인구사회학적 특성이 에너지 사용량에 영향을 미치는 것으로 확인하였으나, 도시의 공간적 특성까지 고려는 부족하였다. 또한, 특정 시점의 건물 및 주택 에너지 사용량을 대상으로 연구를 진행하였기 때문에, 실제 시간경과 또는 에너지 가격 변동에 따른 에너지 소비 특성을 파악한 연구는 초기단계이다.

최근의 에너지 가격 변동은 도시공간 내 도시활동자의 에너지 소비에 다양한 영향을 미쳤을 것으로 예상된다. 특히 도시공간적 특성, 인구사회학적 특성 등 기존 선행연구에서 확인한 다양한 요인에 따라 다르게 나타날 것으로 예상되며, 에너지가 소비되는 건축물의 노후도와 성능적인 측면에서도 다르게 나타날 것이다.

이에 이 연구에서는 2022년~2023년의 난방비가 변동한 시점의 난방에너지 사용량 증감을 분석하여 에너지 가격 변동에 따른 에너지 소비 특성을 분석하였다. 에너지 사용량이 가장 많은 아파트 단지를 연구 대상으로 선정하여, 도시공간에서 에너지를 소비하는 소비자의 특성을 최대한 반영하고자 하였고

이들의 소비 특성에 따라 에너지 가격 변동 이후 에너지 소비가 증가한 집단과 감소한 집단으로 구분하였다. 이를 통해, 에너지 가격 변동에 따른 에너지 소비의 특성을 다양한 측면에서 고려할 수 있으며, 향후 가격 변동시 에너지 소비 효율을 높이기 위한 정책적 시사점을 도출할 수 있음에 연구의 차별성이 존재한다.

Ⅲ. 분석방법론

1. 분석자료 구축

이 연구의 목적은 난방비 변화에 따라 아파트의 난방에너지 사용량 변화를 분석하는 것이다. 이에 난방에너지 사용량의 변화를 기준으로, 난방비 인상 이전 대비 인상 이후의 사용량이 증감을 비교하고자 하였다. 이를 위해, 2022년 1월과 2023년 1월의 아파트 에너지 사용 정보 중 난방에너지 사용량을 기준으로, 세대별 난방에너지 사용량(Mcal)을 구축하였다. 세대당 난방에너지 사용량을 기준으로 3개의 집단으로 구분하고 에너지 사용량의 변화량이 $-5\text{Mcal} \sim 5\text{Mcal}$ 인 경우 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트, 5Mcal 초과일 경우 증가한 아파트, -5Mcal 미만일 경우는 감소한 아파트 사용량 집단을 구분하였다. 이러한 집단 구분은 변화량을 대상으로 분석할 경우와 달리, 각 집단의 유사성과 이질성에 따라 집단별 특성과 시사점 도출이 가능하다.

설명변수로는 아파트의 다양한 특성이 난방에너지 사용량에 미치는 영향을 분석하기 위해 이 연구에서는 선행연구들을 참고하여 공간적 특성, 물리적 특성, 인구사회학적 특성으로 구분하여 변수를 선정했고 <표 1>에 요약하여 정리하였다. 이 연구의 대상지는 서울시 전체이나 아파트 단지가 입지한 공간적 특성 중 생활권 특성을 고려하고자, 노원·도봉·강북구에 입지한 아파트 단지와 강남·송파·서초구에 입지한 아파트 단지의 경우를 변수로써 선정하였다. 이는 서울시 도시공간구조 특성상, 주거용 건축물이 밀집해 있는 지역중심의 노원·도봉·강서구 특성과 상업·업무 중심지와 도심으로써 강남·송파·서초구의 지역적 특성을 반영하기 위함이다(서울특별시, 2023). 주거·상업 연면적 밀도는 아파트 단지가 입지한 행정동의 바닥면적 대비 용도별 개발용량을 측정하기 위한 변수이며, 행정동 녹지·수계 비율은 아파트 단지가 입지한 행정동 바닥면적 대비 녹지·수계가 차지하는 면적비로, 자연환경 특성이 난방에너지 사용에 영향을 미치는지 확인하기 위해 변수로 구축하였다. 평균고도의 경우, 아파트 단지가 입지한 지역적 특성을 고려하기 위한 변수로, 지리정보시스템을 활용하여 아파트 단지별 표고의 평균값을 산정하였다.

2) 2022년과 2023년 아파트 단지의 환경이 동일하다는 가정하에 535개 아파트 단지의 난방에너지 사용량 분포를 확인한 결과, 난방에너지 사용량의 증가와 감소를 구분할 수 있는 집단 기준을 5Mcal 초과와 -5Mcal 미만으로 판단하였다.

표 1. 분석 변수 설정

구분		설명		출처
종속변수	세대당 난방에너지 사용량	- '22년 대비 '23년 세대당 난방에너지 사용량 증감에 따른 집단 구분		- 국토교통부 공동주택 에너지 사용 정보(2022, 2023)
		기준	구분	
		사용량 변화가 없는 집단	0	
		사용량이 증가한 집단	1	
		사용량이 감소한 집단	2	
설명 변수	생활권	노도강	노원·도봉·강북 1 그 외 지역 0	- 연구자 구축
		강릉서	강남·송파·서초 1 그 외 지역 0	
	공간적 특성	녹지까지 거리	아파트 단지로부터 녹지까지 최단거리	- 행정안전부 새주소사업 전자지도 DB (2023)
		수계까지 거리	아파트 단지로부터 수계까지 최단거리	
		주거 연면적 비율	아파트 단지가 위치한 행정동의 주거용 건축물 연면적 밀도	
		상업 연면적 비율	아파트 단지가 위치한 행정동의 상업용 건축물 연면적 밀도	
		녹지 비율	아파트 단지가 위치한 행정동의 녹지 비율(바닥면적)	
		수계 비율	아파트 단지가 위치한 행정동의 수계 비율(바닥면적)	
	평균고도	아파트 단지의 평균고도, m(미터)	- 국토지리정보원(2023)	
	인구 사회학적 특성	평균 연령	-	- 통계청 통계지리서비스 (2019)
		평균 유년부양비	$(0\sim 14\text{세 인구} / 15\sim 64\text{세 인구}) * 100$	
		평균 노령화지수	$(65\text{세 이상 인구} / 0\sim 14\text{세 인구}) * 100$	
		평균 노년부양비	$(65\text{세 이상 인구} / 15\sim 64\text{세 인구}) * 100$	
		공시지가	개별 공시지가, 원	
물리적 특성	노후도	2023-준공년도	- 국토교통부 공동주택 관리정보시스템(2023)	
	총 층수	지상+지하, 층		
	주거전용면적	주거전용면적 / 세대수		
	분양형태	분양 0, 임대 1		

인구사회학적 특성은 SGIS(통계지리정보서비스)에서 제공하는 데이터 중 평균 연령·인구밀도·유년부양비·노령화지수·노년부양비를 선정하였다. 기존 연구에서는 에너지 절약의식이 높은 고령층에서 에너지 소비량이 적은 것과 집에 거주하는 시간이 길어 에너지 소비량에 상대적으로 많다는 상반된 주장이 존재한다. 이에 이 연구에서는 인구사회학적 특성에 따른 에너지 소비 변화 집단 특성을 분석하고

자 변수로 선정하였다. 공시지가는 소득수준을 대리하는 변수로 거주자의 자산 등과 밀접한 관련이 있으며, 공시지가가 높을수록 에너지 소비에 대한 경제적 부담이 상대적으로 적기 때문에 소비량이 많은 것으로 알려져 있다. 이에 소득수준을 대리하는 공시지가를 활용하여, 에너지 가격 변동 시 가계 부담 증가와 공시지가 간 관계를 확인하기 위해 변수로 선정하였다.

물리적 특성은 아파트의 물리적 현황을 알 수 있는 변수로 공동주택 기본 정보를 활용하였다. 다수의 선행연구 분석에서 주택의 노후도와 층수가 높고 주택규모가 클수록 에너지 소비가 많은 것으로 나타남에 따라 이 연구의 설명변수인 난방에너지 사용량 증감에도 미치는 영향을 분석하기 위해 노후도, 총 층수, 주거전용면적을 변수로 구축하였다. 이를 통해 향후 에너지 가격 변동에 따라 에너지 소비 효율을 높이기 위해 고려되어야 할 사항을 제시할 수 있다. 분양형태의 경우 분양아파트와 임대아파트에 따른 차이를 확인하기 위해 변수를 선정하였다.

2. 분석모형

이 연구에서는 서울시 아파트 단지를 대상으로 난방비 변화시 난방에너지 사용량 증가와 감소에 집단별 분석을 위해 다항 로지스틱 회귀모형을 사용하였다. 명목척도와 등간척도로 측정된 여러 개의 설명변수와 명목척도로 측정된 한 개의 종속변수 간의 인과관계를 분석하는 방법이며, 종속변수가 명목척도로 측정되기 때문에 어떤 사건(event)이 발생하는지 안하는지를 직접 예측하는 것이 아니라 그 사건이 발생할 확률을 예측하는 통계방법이다(최현철, 2013; 황종규, 2021). 종속변수의 범주가 2가지(이항형)일 때는 이항 로지스틱 회귀분석(logistic regression)을 사용하며, 3가지 이상(다항형)일 때는 다항 로지스틱 회귀분석(multinomial logistic regression)을 사용한다. 다항 로지스틱 회귀분석을 사용하기 위해서는 종속변수는 범주형 데이터로 비연속적 변수이어야 하며, 설명변수는 연속적 변수와 비연속적 변수 모두 사용할 수 있다. 다항 로지스틱 회귀분석식의 구조는 (1)과 같다.

$$E(Y | X) = P(X) = \frac{\exp(a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k)}{1 + \exp(a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k)} \dots\dots\dots (1)^3$$

$$\ln\left(\frac{P_A}{P_C}\right) = a_{A0} + b_{A1}X_{A1} + \dots + b_{Ak}X_{Ak} \dots\dots\dots (2) \text{ 특정 사건(C) 대비 A사건이 발생할 확률}$$

$$\ln\left(\frac{P_B}{P_C}\right) = a_{B0} + b_{B1}X_{B1} + b_{B2}X_{B2} + \dots + b_{Bk}X_{Bk} \dots\dots\dots (3) \text{ 특정 사건(C) 대비 B사건이 발생할 확률}$$

3) 로지스틱 함수의 종속변수는 확률을 나타내므로 $0 \leq p \leq 1$ 이나, 승산($\frac{p}{1-p}$)으로 변환하여 상한계의 문제를 해결하여 $0 \leq \text{승산} \leq \infty$ 값을 갖게 된다. 또한, 로짓($\log(\frac{p}{1-p})$) 변환을 통하여 변인 간의 비선형적 관계를 선형적인 관계로 바꾸어 선형성의 전제를 충족시키며, $-\infty \leq \text{로짓} \leq \infty$ 의 값을 갖도록 한다(채구덕, 2011).

이 연구에서는 종속변수를 세대당 난방에너지 사용량 변화가 없는 집단(0), 세대당 난방에너지 사용량이 증가한 집단(1), 세대당 난방에너지 사용량이 감소한 집단(2)으로 구분하여 3가지 집단으로 설정하였다. 세대당 난방에너지 사용량 구분을 변화가 없는 집단(0) 대비 난방에너지 사용량이 증가한 집단(1)과 감소한 집단(2)에서 일어날 확률과 유의미한 설명변수를 도출함으로써 난방비 변화시 난방에너지 사용량 증가와 감소 집단에 영향을 미치는 아파트의 특성을 확인할 수 있기 때문에 다항 로지스틱 회귀모형을 활용하는 것이 적합하다고 판단하였다. 산출되는 결과물 해석을 위한 기초 정보는 다음과 같다.

$$V_i(X) = \ln\left(\frac{P_i}{P_r}\right) = \alpha_i + \sum_a \beta_{ia} X_a + \sum_l \gamma_{il} X_l + \delta X_t P_i = \frac{\exp(V_i(X))}{\sum_i^n \exp(V_i(X))} \dots\dots\dots (4)$$

단, P_i : 대안범주 세대당 난방에너지 사용량 증감 유형 i 의 확률 (i : 1, 2, 3, 4)

P_r : 기준범주 세대당 난방에너지 사용량 변화가 없는 유형 r 의 확률

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$: 세대당 난방에너지 증감 유형 i 에 대한 설명변수별 회귀계수

X_a, X_l, X_t : 설명변수(공간적 특성, 물리적 특성, 인구사회학적 특성)

IV. 분석결과와 해석

1. 기초 통계

<표 2>는 이 연구에서 활용한 변수의 기술 통계량을 요약한 것이다. 2023년에서 2022년의 난방에너지 사용량의 차이를 세대수로 나눈 최솟값은 -392.85, 최댓값은 118.15, 평균은 -9.16이고, 이를 범주형인 집단으로 보면 평균이 0.73, 표준 편차가 0.91로 난방비 상승 후 대체적으로 난방에너지 사용이 줄어든 것으로 나타났다.

공간적 특성에서 생활권(노도강, 강송서)은 더미변수로 지역이 해당되면 1 해당되지 않으면 0이다. 녹지까지의 거리는 최솟값 0.43, 최댓값 1,054.39, 평균 142.23이고 수계까지의 거리는 최솟값 12.84, 최댓값 1,759.25, 평균 468.35로 나타났다. 녹지와 수계 비율에서 최솟값이 0인 것은 아파트 단지가 입지한 행정동에 녹지와 수계가 존재하지 않을 경우다.

물리적 특성에서 노후도는 최솟값 2.00, 최댓값 49.00, 평균 21.60으로 나타났고 총 층수는 최솟값 5.00, 최댓값 59.00, 평균 20.18, 주거전용면적은 최솟값 25.89, 최댓값 189.76, 평균 81.30으로 비교적

적정하게 분포하는 것으로 확인되었다. 분양형태의 경우 더미변수로 분양 0, 임대 1, 평균 0.09로 분양 비율이 높은 것으로 나타났다. 인구사회학적 특성중 평균 노년부양비가 100.00은 65세 이상 인구나 15~64세 인구가 같다는 의미이며, 공시지가는 평당 공시지가로 최솟값 165,600, 최댓값 43,870,000, 평균 7,081,828로 나타났다.

표 2. 기초통계량

구분		최솟값	최댓값	평균	표준 편차	공차	VIF		
종속변수	세대당 난방에너지 사용량	집단 0 증감량 -392.85	2 118.15	0.73 -9.16	0.91 41.44	- -	- -		
	생활권 (더미)	노도강 0 강송서 0	1 1	0.15 0.36	0.36 0.48	.577 .610	1.734 1.638		
설명 변수	공간적 특성	녹지까지 거리 / 제곱근 변환	0.43 / 0.66	1,054.39 / 32.47	142.23 / 10.88	136.98 / 4.90	.804	1.244	
		수계까지 거리 / 제곱근 변환	12.84 / 3.58	1,759.25 / 41.94	468.35 / 20.17	352.98 / 7.84	.708	1.412	
		주거 연면적 비율	0.00	22.76	0.68	1.08	.801	1.248	
		상업 연면적 비율	0.00	0.63	0.12	0.12	.485	2.060	
		녹지 비율	0.00	0.85	0.17	0.22	.497	2.013	
		수계 비율	0.00	0.61	0.07	0.13	.660	1.515	
		평균고도	5.00	96.77	25.94	13.34	.603	1.658	
		물리적 특성	노후도 / 제곱근 변환	2.00 / 1.41	49.00 / 7.00	21.60 / 4.44	11.23 / 1.36	.456	2.193
			총 층수	5.00	59.00	20.18	7.71	.472	2.118
	주거전용면적		25.89	189.76	81.30	27.42	.629	1.590	
	분양형태(더미)		0	1	0.09	0.28	.778	1.285	
	인구 사회학적 특성	평균 연령	13.03	69.25	41.36	5.00	.436	2.294	
		평균 유년부양비	0.60	68.88	16.70	6.82	.717	1.394	
		평균 노령화지수	19.13	2,348.78	207.53	232.76	.518	1.929	
		평균 노년부양비	3.20	100.00	21.62	9.55	.357	2.802	
공시지가 / 로그변환		165,600 / 17.34	43,870,000 / 25.39	7,081,828 / 22.47	5,485,548 / 0.86	.709	1.411		
관측값		535							

자료의 정규분포화를 위해 녹지·수계까지 거리, 노후도는 제공급 변환을 하였으며, 공시지가는 데이터 간 편차를 줄여 왜도와 첨도를 줄여 정규성을 높이기 위해 로그 변환하여 분석에 활용하였다. 구축된 설명변수 간의 선형적 상관관계를 검토하기 위해 다중공선성을 검정하였다. 일반적으로 분산팽창 계수인 VIF는 10이상, 공차가 0.1이하 일 때 다중공선성이 존재한다고 판단하며, 이 연구의 변수들에 대한 VIF의 경우, 최댓값은 2.802으로 10을 초과하지 않고, 공차(1/VIF) 값이 모두 0.1 이상이므로 다중공선성에 문제가 없음을 확인하였다.

2. 공간분포 현황

세대당 난방에너지 사용량에 대한 변화에 대한 각 집단의 공간적 분포를 확인하기 위해 세대당 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 단지, 사용량이 증가한 아파트 단지, 사용량이 감소한 아파트 단지에 대한 공간분포 분석을 실시하였다. 종속변수의 대상인 535개 아파트 단지중 세대당 난방에너지 사용량에 대한 변화가 없는 아파트 단지수는 314개, 사용량이 증가한 아파트 단지는 50개, 사용량이 감소한 아파트 단지는 171개로 난방비 상승으로 22년에 비해 23년에 난방에너지 사용량이 감소한 아파트 단지가 많은 것으로 나타났다. 세대당 난방에너지 사용량이 증가한 아파트 단지는 신내5단지대림 두산(중랑구 목동), 고척동센츄리(구로구 고척동), 한가람아파트(용산구 이촌동), 세대당 난방에너지 사용량이 감소한 아파트 단지는 올림픽훼밀리타운(송파구 문정동) 압구정한양아파트제2단지(강남구 압구정동), 유원목동(양천구 신정동) 순으로 나타났다.

표 3. 아파트별 세대당 난방에너지 사용량 변화량

구분	아파트 단지수 (종속변수 구분)	아파트명(자치구, 증감량)
변화없음 (-5Mcal ~5Mcal)	314 (0)	-
증가 (5Mcal 초과)	50 (1)	1순위. 신내5단지대림두산(중랑구 목동, 118.15Mcal) 2순위. 고척동센츄리(구로구 고척동, 108.12Mcal) 3순위. 한가람아파트(용산구 이촌동, 94.80Mcal) 4순위. 현대한강(용산구 이촌동, 89.98Mcal) 5순위. 여의도자이(영등포구 여의도동, 83.1155Mcal)
감소 (5Mcal 미만)	171 (2)	1순위. 올림픽훼밀리타운(송파구 문정동, -392.85Mcal) 2순위. 압구정한양아파트제2단지(강남구 압구정동, -294.55Mcal) 3순위. 유원목동(양천구 신정동, -276.14Mcal) 4순위. 대치포스코더샵(강남구 대치동 -256.40Mcal) 5순위. 압구정한양3단지(강남구 압구정동, -237.11Mcal)

비고: 난방에너지 사용량 변화량 증가와 감소를 각 5순위까지 표기

난방에너지 사용량을 확인할 수 없는 종로구, 성북구, 강북구, 중구, 동대문구를 제외하고 535개 아파트 단지는 강남구, 송파구, 강서구 등 20개 기초지자체에 분포하고 있다. 세대당 난방에너지 사용량이 증가한 아파트 단지는 강남구, 노원구, 용산구 등에서 나타난 반면, 세대당 난방에너지 사용량이 감소한 아파트 단지 강서구, 양천구, 강남구, 노원구, 송파구 등으로 분포되었다. 강남구, 노원구의 경우 세대당 난방에너지 사용량 증가와 감소한 아파트 단지가 혼재되어서 나타났다.

세대당 난방에너지 사용량이 감소한 아파트 단지는 서울시 아파트 분포와 유사하게 나타났으나 세대당 난방에너지 사용량이 증가한 아파트 단지는 한강이나 수계에 따라 분포하고 있다.

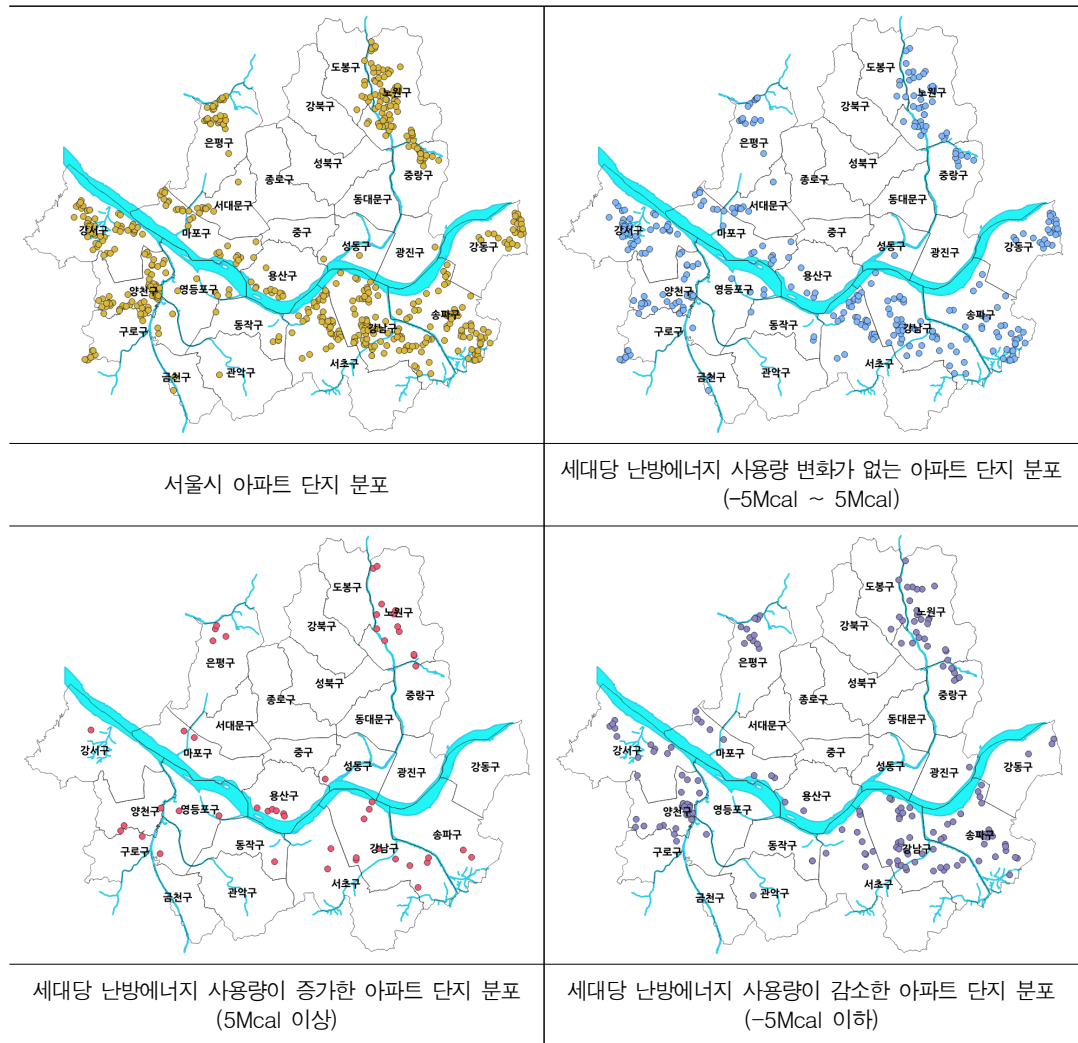


그림 1. 세대당 난방에너지 사용량 변화에 대한 공간적 분포

3. 분석결과

<표 4>는 모형의 적합도이다. 설명변수가 투입되지 않은 기저모형(Intercept Only)과 설명변수가 사용된 최종모형(Final)을 비교한 결과, 최종모형의 카이제곱 값(961.755-813.345=148.41)이 자유도 36에서 유의미(p=0.000)한데, 이는 기저모형에 비해 분석모형의 적합도가 유의미하게 개선되었음을 의미한다. <표 5>는 분석모형의 적합도이며, 본 분석모형의 경우 Pearson 카이제곱 값이 1,024.273이며 자유도 1,032에서 유의하지 않고, 편차의 카이제곱 값 813.345, 자유도 1,032에서 유의하지 않아 예측값과 관측값이 다르지 않다는 영가설을 기각할 수 없으므로 분석모형의 적용이 적합하다고 할 수 있다. <표 6>은 분석의 유사 R-제곱으로 Cox 및 Snell이 0.242, Nagelkerke=0.290, McFadden=0.154로 나타났다. 로지스틱 회귀분석의 유사 결정계수는 일반적으로 OLS에 비해 상대적으로 낮기 때문에 모형 적합도 평가지표로써 활용도가 낮다(Hosmer and Lemeshow, 1980; 김순귀 외, 2012; 김동준 외, 2018).

표 4. 모형 적합 정도

모형	모형 적합 기준 -2로그 우드	우도비 검정		
		카이제곱	자유도	유의확률
절편만	961.755	-	-	-
최종	813.345	148.410	36	0.000

표 5. 적합도

구분	카이제곱	자유도	유의확률
Pearson	1024.273	1032	0.562
편차	813.345	1032	1.000

표 6. 모형 적합 정도

Cox 및 Snell	Nagelkerke	McFadden
0.242	0.290	0.154

<표 7>은 다항 로지스틱 회귀모형 결과이다. 우선 세대당 난방에너지 사용량 증가 모형은 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 집단 대비 난방에너지 사용량 증가 집단의 분석결과이다. 공간적 특성에서 수계 비율, 평균고도가 유의미하게 분석되었다. 수계 비율이 높을수록 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량 증가 확률은 42.549배(Wald=7.622, Exp(B)=42.549), 평균고도가 높을수록 1.034배(Wald=4.575, Exp(B)=1.034) 높은 것으로 나타났다. 공간분포 분석 결과, 세대당 난방에너지 사용량이 증가한 아파트 단지는 한강변과 같이 수계와 인접하여 분포하는 것으로 나타났으며, 수계와의 인접은 주택이나 건물이 밀집한 지역에 비해 상대적 온도가 낮을 가능성이 크며, 이에 따라 가격

변동 이후에도 난방에너지 사용량이 증가한 것으로 볼 수 있다. 또한 평균고도의 경우 일반적으로 높은 곳은 기압이 낮아지는 현상으로 온도가 내려감에 따라 난방에너지 사용량 증가 확률이 높은 것으로 볼 수 있다.

표 7. 다항 로지스틱 회귀모형 분석결과

모형	변수		B	표준화 오류	Wald	유의확률	Exp(B)	
세대당 난방 에너지 사용량 증가	-	절편	-16.904	5.989	7.968	.005		
	공간적 특성	생활권	노도강	.612	.556	1.212	.271	1.845
			강송서	.322	.457	.496	.481	1.380
		녹지까지 거리	-.026	.037	.492	.483	.974	
		수계까지 거리	.003	.026	.011	.915	1.003	
		주거 연면적 비율	.301	.298	1.021	.312	1.352	
		상업 연면적 비율	-.844	2.177	1.150	.698	.430	
		녹지 비율	1.658	1.067	2.413	.120	5.248	
		수계 비율	3.751	1.359	7.622	.006***	42.549	
	물리적 특성	평균고도	.034	.016	4.575	.032**	1.034	
		노후도	.782	.215	13.162	.000***	2.185	
		총 층수	.061	.030	4.049	.044**	1.063	
		주거전용면적	.001	.007	.033	.855	1.001	
	인구 사회학적 특성	분양형태	.917	.539	2.889	.089*	2.501	
		평균 연령	.053	.052	1.010	.315	1.054	
		평균 유년부양비	.004	.031	.017	.897	1.004	
		평균 노령화지수	.000	.001	.001	.982	1.000	
		평균 노년부양비	-.012	.027	.205	.651	.988	
		공시지가	.284	.222	1.633	.201	1.328	
	세대당 난방 에너지 사용량 감소	-	절편	-3.734	3.810	.961	.327	
공간적 특성		생활권	노도강	-.298	.376	.628	.428	.742
			강송서	-.080	.285	.078	.780	.923
		녹지까지 거리	.011	.026	.185	.667	1.011	
		수계까지 거리	.009	.016	.332	.564	1.009	
		주거 연면적 비율	.270	.266	1.032	.310	1.310	
		상업 연면적 비율	.973	1.288	.571	.450	2.647	
		녹지 비율	1.575	.725	4.719	.030**	4.829	
		수계 비율	.466	1.045	.199	.656	1.593	
물리적 특성		평균고도	.008	.011	.489	.484	1.008	
		노후도	.672	.134	25.105	.000***	1.959	
		총 층수	-.010	.022	.194	.659	.990	
		주거전용면적	.011	.005	5.339	.021**	1.011	
인구 사회학적 특성		분양형태	-1.164	.589	3.908	.048**	.312	
		평균 연령	.005	.033	.020	.888	1.005	
		평균 유년부양비	.006	.019	.106	.745	1.006	
		평균 노령화지수	-.003	.001	5.429	.020**	.997	
		평균 노년부양비	.033	.020	2.734	.098*	1.034	
		공시지가	-.098	.146	.446	.504	.907	

주: p-value: * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

물리적 특성에서는 노후도와 층 층수, 분양형태가 유의미하게 분석되었다. 노후도가 높을수록 세대당 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량이 증가 확률이 2.185배(Wald=13.162, Exp(B)=2.185) 높은 것으로 나타났는데 이는 노후도가 심해질수록 최근에 건설된 아파트에 비해 기능적으로 에너지 효율이 떨어짐에 따라 에너지 사용을 증가시키는 요인으로 작용하며, 기존 연구와도 일치하는 결과이다(김기중 외, 2017; 정이래 외, 2018). 또한 층 층수가 높을수록 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량이 증가 확률이 1.063배(Wald=4.049, Exp(B)=1.063) 높은 것으로 나타났으며, 고층일수록 바람 등의 영향으로 온도가 낮아질 수 있고 적정온도를 유지하기 위해 난방에너지 사용량이 증가하는 것으로 판단된다. 분양형태에서 임대아파트는 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량 증가 확률이 2.501배(Wald=2.889, Exp(B)=2.501) 높은 것으로 나타났다. 임대아파트는 일정한 소득수준 이하의 주거 취약계층에게 주거 안정의 목적으로 정부가 제공하고 있기 때문에 상대적으로 에너지 취약계층이 거주할 가능성이 크다. 정부는 에너지 취약계층을 대상으로 에너지 바우처 등을 통해 난방비를 지원하고 있기 때문에 난방비의 경제적 부담이 상대적으로 완화되어 적정한 난방을 유지하기 위해 난방에너지 사용량이 증가할 가능성이 있다.

다음으로 세대당 난방에너지 사용량 감소 모형은 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량 감소 집단의 분석결과이다. 세대당 난방에너지 사용량 증가 모형에서 유의미하게 영향을 미쳤던 노후도, 분양형태를 포함하여 녹지 비율, 주거전용면적, 평균 노령화지수 및 노년부양비가 유의미하게 나타났다.

공간적 특성에서 녹지 비율이 높을수록 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량이 감소할 확률은 4.829배(Wald=4.719, Exp(B)=4.829) 높은 것으로 나타났다. 녹지는 도시건조화 완화, 자연적 기후조절로 냉·난방에너지 소비감소에 영향을 주며, 녹지의 일환인 옥상녹화 및 도시공원 등은 에너지 효율을 높여 건물의 난방에너지를 절감하는 효과가 있다(권기욱 외, 2014). 즉 녹지를 통한 풍속감소, 방풍 등이 난방에너지 사용량 감소에 영향을 준 것으로 판단된다.

물리적 특성에서는 노후도와 주거전용면적, 분양형태가 유의미하게 분석되었다. 노후도가 심할수록 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량이 감소할 확률은 1.959배(Wald=25.105, Exp(B)=1.959) 높다. 기존 연구와는 상반된 결과이며 이 연구의 난방에너지 증가 집단 분석결과와 동일한 결과이다. 이는 노후도가 높아 에너지 효율이 낮은 것은 동일하지만 수계에 인접하거나 임대아파트가 아닌 경우 등 상대적으로 에너지 취약계층이 아닌 경우, 즉, 난방에너지 사용량 증가 집단의 경우와 달리, 서울시 전역에 걸쳐 분포하고 있는 난방에너지 사용량 감소 집단의 경우는 노후도가 높은 주거시설 내 에너지 취약계층으로써 사용량이 감소한 것으로 판단된다.

주거전용면적의 경우 면적이 클수록 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량이 감소할 확률은 1.011배(Wald=5.339, Exp(B)=1.011) 높다. 이는 주거전용면적이 크다는 것은 상대적으로 가구 구성원 수가 많고 넓은 면적을 대상으로 난방에너지 소비가 발생함을 의미한다. 이에 난방비 상승으로 인해 오히려 중대형 단위에서의 난방비 변화에 더욱 큰 부담이 가중되기 때문에 난방에너지

사용량이 감소한 것으로 판단된다. 분양형태에서 임대아파트는 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량 감소 확률이 0.312배(Wald=3.908, Exp(B)=0.312) 낮은 것으로 분석되었는데 앞서 난방에너지 사용량 증가 모형에서 분석된 분양형태에서 제시한 것과 같이 임대아파트는 거주하면 정부가 제공하는 난방비 지원을 받을 수 있는 가능성이 크고 이로 인해 난방에너지 사용량 감소 확률이 낮은 것으로 볼 수 있다.

인구사회학적 특성에서는 평균 노령화지수와 평균 노년부양비가 유의미하게 분석되었다. 평균 노령화지수가 높아질수록 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량이 감소할 확률은 0.997배(Wald=5.429, Exp(B)=0.997) 낮으며, 평균 노년부양비가 높아질수록 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량이 감소할 확률은 1.034배(Wald=2.734, Exp(B)=1.034) 높다. 이는 만 65세 이상 인구는 비교적 사회활동이 높지 않아 집에 거주하는 시간이 늘어나고 건강 및 적정온도 유지를 위해 난방에너지 사용량 증가에 영향을 미치는 것을 의미한다. 노년부양비는 65세 이상 인구가 증가하거나 15~64세의 경제활동인구가 감소할 때 증가하는 것으로 최근 인구감소와 고령화가 관련이 있다. 고령화 사회가 될수록 경제적 소득 감소로 이어지며, 이는 에너지 사용에 대한 경제적 부담이 상대적으로 커져 세대당 난방에너지 사용량이 감소할 확률이 높아진 것으로 가정할 수 있다.

4. 소결

난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량은 감소 확률은 높고 평균 노령화지수가 클수록 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량 감소 확률은 낮은 것으로 나타났다. 주거전용면적이 큰 것은 에너지절약설계기준 등을 적용한 비교적 최근에 건설된 아파트일 가능성이 있고 녹지 비율은 녹지의 풍속감소, 방풍 등이 난방에너지 사용 절감에 영향을 줌으로써 녹지 비율이 높을수록 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량 감소 확률이 높아진 것으로 판단된다.

노후도는 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량 증가 확률과 감소 확률 모두 높다고 분석되었으며, 이는 단순히 노후도만을 대상으로 한 에너지 사용량 분석에 그치는 것이 아니라, 아파트 단지의 공간적 입지 특성과 입주형태, 난방비 민감도 등 각 집단별 특성을 함께 고려하여야 함을 의미한다.

더미변수로 투입한 분양형태에서 임대아파트의 경우 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량 증가 확률과 감소 확률이 반대로 분석되어 임대아파트에서 난방에너지 사용량 확률이 높다고 해석 할 수 있다. 이는 분양아파트보다 임대아파트에서 에너지 취약계층이 거주할 가능성이 높고 정부에서는 에너지 취약계층에게 난방비를 지원하고 있기 때문에 난방에 대한 경제적 비용 부담이 줄어들어 난방비가 상승했지만 난방에너지 사용을 줄이지 않고 사용했다고 볼 수 있다.

특히 평균 노령화지수와 평균 노년부양비를 포함하고 있는 인구사회학적 특성은 난방에너지 사용량

증가 확률에 영향을 미치는 요인으로 작용하지 않았지만 난방에너지 사용량 감소 확률에는 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 인구사회학적 특성이 난방비 변화시 난방에너지 사용량 증가보다 감소에 더 민감한 것을 의미한다.

V. 결론

국제 천연가스 가격 상승 등으로 23년 12월 난방비는 22년에 12월에 비해 큰 폭으로 상승했다. 향후 정부는 요금 현실화를 위해 난방비 상승이 불가피한 상황이다. 이에 난방비 상승에 따라 세대의 난방에너지 사용 특성을 분석하고 이를 고려한 에너지 저감 방안을 수립해야 한다. 하지만 기존 연구들은 에너지 소비에 영향을 주는 요인을 밝히기 위해 단일 시점의 에너지 사용량 데이터를 활용하고 있어 에너지 가격 상승에 따른 에너지 사용 특성에 관한 논의는 이루어지지 않았다. 이 연구는 실제 난방비 변화시 다양한 특성이 에너지 사용량에 미치는 영향을 실증분석하는 것이 초점을 맞추었으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 수계 비율, 녹지 비율, 평균고도의 공간적 특성이 난방에너지 사용량 증가와 감소할 확률에 영향을 주는 것으로 나타났다. 수계 비율과 평균고도는 세대별 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량이 증가할 확률은 높은 것으로, 녹지 비율은 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 난방에너지 사용량이 감소할 확률이 높은 것으로 나타났다. 세대당 난방에너지 사용량이 증가한 아파트 단지의 공간분포 결과 한강변과 같이 수계에 인접하고 있다. 이로 인해, 온도가 낮아 난방비 상승과 관계 없이 난방에너지를 사용한다는 것을 시사하며, 난방에너지 사용 감소를 위해서는 신규 주택 건설과 도시관리 및 정비 시 녹지를 충분히 확보해야 함을 시사한다.

둘째, 물리적 특성은 난방비 상승에 따라 난방에너지 사용량 증가와 감소에 모두 영향을 주는 확률로 나타났다. 임대아파트는 난방비 상승시 난방에너지 사용량이 증가할 확률이 높았는데 이는 정부의 난방비 지원으로 경제적 부담이 상대적으로 줄어들어 난방에너지를 사용한 것으로 볼 수 있다. 에너지 취약계층의 에너지 복지 차원에서 난방비 지원에 대한 정책적 타당성을 뒷받침 해주고 있으나 에너지 소비 절감 측면에서는 적합하지 않은 정책으로 볼 수 있다. 또한 노후도는 세대당 난방에너지 사용량 증가감소 확률에 영향을 주는 것으로 나타나 궁극적인 에너지 저감을 위해서는 장기적 관점에서 노후와 관련된 개선이 필수로 선행되어야 하며, 향후 주택정비사업, 도시재생사업 등 도시공간 재정비 사업시 에너지 효율증가와 탄소중립 도시공간 실현을 위해 고려되어야 하는 요소임을 시사한다.

셋째, 인구사회학적 특성 중 평균 노령화지수와 평균 노년부양비는 세대당 난방에너지 사용량 변화가 없는 아파트 대비 세대당 난방에너지 사용량이 감소할 확률에만 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 주거지에 거주하는 시간이 늘어남에 따라 난방에너지 사용량이 증가하나 고령화에 따른 경제적 소득 감소로 인해 에너지 사용에 대한 경제적 부담이 상대적으로 커져 세대당 난방에너지 사용량이

감소할 확률이 높아진 것으로 가정할 수 있다. 따라서 향후 에너지 가격 변동에 따른 에너지 소비 효율성 증진을 위해서는 지역별 고령화 정도에 따른 차별적 접근이 필요함을 의미하며, 특히 고령화에 따른 소득 감소를 고려할 수 있는 에너지 지원 정책이 필요함을 시사한다.

기존 연구들은 에너지 사용에 영향을 주는 요인을 밝히기 위해 단일 시점의 에너지 사용량 데이터를 활용하고 있으며, 이는 에너지 가격 변화에 따른 다양한 특성이 에너지 소비량에 영향을 미치는 요인을 밝히는 데는 한계가 있다. 이 연구에서는 서울시 공동주택 중 아파트 단지를 연구 대상으로 2022년과 2023년 난방비 상승에 따른 난방에너지 사용량의 실제 변화량을 활용하여, 에너지 가격 상승에 따른 특성을 분석하였다는 점에 차별성이 존재한다. 또한 물리적 특성 및 인구사회학적 특성과 함께 공간적 특성을 활용하여 에너지 가격 변화가 에너지 소비량에 영향을 미치는 요인을 확인한다. 이를 통해 탄소중립 도시공간 실현을 위한 도시재생사업, 정비사업 등에서 고려하여야 할 도시공간의 물리적, 공간적 특성과 고령화 사회로의 진입에 따른 에너지 복지 사각지대 해결을 위한 시사점을 제시함으로써, 향후 에너지 가격 상승에 따른 에너지 지원 정책 수립을 위한 기초자료를 제공하였다.

그럼에도 이 연구의 한계는 우선 데이터 구득의 한계로 난방방식에 대한 구분과 서울시 전체 아파트 단지에 대해 분석을 하지 못하였다. 개별난방, 중앙난방, 지역난방을 구분하지 않고 통합분석을 하였으며, 공동주택관리시스템에 등록된 2,645개 공동주택중 2022년과 2023년 동시에 난방에너지 사용량 추적이 가능한 535개 아파트 단지를 대상으로만 분석하였다. 종속변수로 활용한 세대당 난방에너지 사용량을 3개 집단(난방에너지 사용량 변화가 없는 집단·증가한 집단·감소한 집단)으로 구분하는 기준에 있어 난방에너지 사용량 분포를 통해 사용량 증감의 차이를 보기 위한 기준으로 분류하였기 때문에 연구결과의 일반화가 어렵다. 또한 기존 선행연구에서 고려하지 못했던 공간적 특성을 설명변수로 함으로써 차별성이 존재하나 인구사회학적 특성에 대한 고려가 충분하게 이루어지지 못하였다. 후속 연구에서 이러한 한계점을 보완하고 에너지 가격 변화시 에너지 사용에 대한 다양한 요인을 실증적으로 연구하고 에너지 저감 방안을 보다 구체적으로 제시한다면 에너지 가격 상승에 대한 정부 정책 수립과 국가 및 지자체에서 수립해야 하는 탄소중립 녹색성장 기본계획 등에 기초 자료로 활용이 가능할 것으로 기대한다.

인용문헌

- 김기중·안영수·이승일, 2017. “소득격차를 고려한 조건에서 건물과 도시계획 요소가 건물에너지 소비에 미치는 영향요인 분석”, 「국토계획」, 52(5): 253-267.
- 김동준·김기중·안영수, 2018. “장기생존 상업 입지의 공간적 특성 연구 : 서울시 강남구 일대 일반음식점을 대상으로”, 「국토계획」, 53(2): 161-181.
- 김순귀·정동빈·박영, 2012. 로지스틱 회귀모형의 이해와 응용, 서울: 한나래아카데미.
- 김용인·송승영, 2014. “공동주택의 에너지사용량 실태 분석 및 각종 인자가 에너지사용량에 미치는 영향 분석”, 「한국태양에너지학회 논문집」, 34(6): 93-102.
- 김정호·권기욱·주창훈·윤용한, 2014. “도심 오피스건물의 옥상녹화 조성 유형별 건물에너지 절감 비교 연구”, 「한국환경과학회지」, 23(8): 1437-1446.
- 김창덕, 2011. “공간계량모형에 의한 서울시 에너지 소비 분석과 정책과제 : 전력과 도시가스 소비를 중심으로”, 「서울도시연구」, 12(4): 1-22.
- 김혜민·김인겸·박기준·유승훈, 2015. “기온이 전력수요에 미치는 영향 분석”, 「에너지공학」, 24(2): 167-173.
- 서울특별시, 2023. 「2040서울도시기본계획」, 서울.
- 신동현·조하현, 2016. “국내 휘발유·경유 소비의 비대칭적 가격탄력성 구조변화에 관한 실증연구”, 「한국경제연구」, 34(2): 5-42.
- 에너지경제연구원, 2008. 「KEEI ISSUE PAPER」, 울산.
- 에너지경제연구원, 2022. 「2022 에너지통계연보」, 울산.
- 윤태연·강재성, 2015. “난방방식이 가구의 겨울철 난방비 지출에 미치는 영향 분석-도시가스 개별난방과 지역난방 방식을 중심으로”, 「에너지경제연구」, 14(2): 243-272.
- 이명현, 2014. “산업 전력요금 인상의 공급가격 및 전력수요 절감 효과 분석:국내 제조업 부문을 대상으로”, 「자원·환경경제연구」, 23(1): 43-65.
- 이승재·유승훈·어승섭, 2013. “시계열 자료를 이용한 도시가스의 수요함수 추정”, 「에너지공학」, 22(4): 370-375.
- 임슬예·송태호·유승훈, 2013. “에너지원별 가격조정의 물가과급효과 분석”, 「에너지공학」, 22(4): 376-385.
- 임재빈·허익수·강명규, 2020. “공동주택 단지의 공간 특성이 단지 내 전기소비량에 미치는 영향”, 「서울도시연구」, 20(3): 19-37.
- 정동원·유승훈·황병소, 2013. “시계열 자료를 이용한 등유수요함수 추정”, 「에너지공학」, 22(3): 245-249.
- 정이레·최막중, 2018. “소득수준과 주택특성에 따른 난방에너지 소비의 역진적 인과구조”, 「국토계획」, 53(6): 101-116.
- 정재원·이창효·이승일, 2015. “서울시 행정동별 가구의 에너지 소비량에 영향을 미치는 요인의 통합적 분석”, 「국토계획」, 50(8): 75-94.
- 조성희·정수진, 2011. “공동주택 거주가구의 에너지라이프스타일 유형에 관한 연구”, 「생태환경건축학회지」, 11(3): 19-30.
- 최충식, 2012. “네트워크 에너지요금 규제가 수요에 미치는 영향 분석”, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 최현철, 2013. 사회과학통계분석, 경기: 나남.
- 한국에너지공단, 2020. 「2020 신·재생에너지 백서」, 울산.
- 황종규, 2021. “이항로짓모형을 활용한 자율주택정비사업 활성화 방안에 관한 연구”, 「도시재생」, 7(1): 64-78.
- Hosmer, D. W., and Lemeshow, S., 1980, “Goodness of fit test for the Multiple Logistic Regression Model”, *Communication in Statistics-Theory and Methods*, 9(10): 1043-1069.