

Research Paper

에너지 소비특성 및 영향요인에 따른 지역 유형화와 특성분석

오상원* · 정주철**

부산대학교 도시공학과*, 부산대학교 도시공학과**

Regional Classification and Characteristic Analysis Based on Energy Consumption Patterns and Influencing Factors

SangWon Oh* · JuChul Jung**

Department of Urban Engineering, Pusan National University*
Department of Urban Engineering, Pusan National University**

요약: 본 연구는 한국의 지역별 에너지 소비 특성을 분석하고, 이에 영향을 미치는 요인을 기반으로 지역을 유형화하는 데 목적이 있다. 한국은 에너지 소비의 상당 부분을 수입에 의존하는 국가로, 효과적인 에너지 소비 감축 정책이 시급한 상황이다. 기초지자체별 에너지 소비 특성을 명확히 파악하고, 이를 기반으로 지역별 정책적 대응 방안을 모색하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 일반 시도의 시군구를 대상으로 요인분석과 군집분석을 수행하여 지역별 에너지 소비 특성과 영향 요인을 도출하고, 이를 기반으로 지역 유형을 구분하였다. 분석 결과, 주요 요인은 대도시 요인, 도시 밀도 요인, 비도시 요인, 공업도시 요인, 산업도시 요인의 5가지로 분류되었으며, 이를 바탕으로 9개의 군집을 도출하였다. 각 군집의 에너지 소비 특성과 주요 특징을 분석한 결과, 대도시 중심의 군집에서는 가정, 상업, 수송, 공공 부문의 에너지 소비가 상대적으로 높은 경향을 보였으며, 공업도시 유형에서는 산업 부문의 에너지 소비 비중이 두드러졌다. 이러한 차이는 도시 구조 및 산업 분포에 따라 지역별 에너지 소비 패턴이 달라질 수 있음을 시사한다

본 연구는 지역별 에너지 소비 패턴을 세분화하여 분석하고, 지역 유형별 특성을 고려한 정책적 시사점을 제공하는 데 의의가 있다. 다만, 군집 내 지역 간 세부적인 차이가 존재할 가능성이 있으며, 보다 정교한 정책적 시사점을 도출하기 위해 향후 연구에서는 다년간의 데이터를 활용한 정량적 분석이 수행될 필요가 있다. 추가적인 연구와 데이터 확보를 통해 연구 결과의 신뢰성을 더욱 강화하고, 정책적 활용 가능성을 확대할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 에너지소비특성, 지역유형화, 요인분석, 군집분석

Abstract: This study aims to analyze regional energy consumption characteristics in South Korea and classify regions based on key influencing factors. South Korea relies heavily on imported energy, making the implementation of effective energy consumption reduction policies an urgent necessity. Understanding energy consumption characteristics at the municipal level and exploring region-specific

policy response strategies are crucial for achieving sustainable energy management.

In this study, factor analysis and cluster analysis were conducted for municipalities in general provinces to identify key regional energy consumption characteristics and influencing factors, leading to the classification of distinct regional types. The analysis identified five major factors: metropolitan factor, urban density factor, non-urban factor, industrial city factor, and manufacturing city factor. Based on these factors, nine clusters were derived. The examination of energy consumption characteristics within each cluster revealed that metropolitan-centered clusters exhibited relatively higher energy consumption in the residential, commercial, transportation, and public sectors, whereas industrial city clusters showed a notably higher proportion of energy consumption in the industrial sector. These findings suggest that regional energy consumption patterns vary depending on urban structure and industrial distribution.

This study contributes to the detailed classification of regional energy consumption patterns and provides insights into policy directions that consider the unique characteristics of each region. However, there may be subtle variations among regions within the same cluster, which should be taken into account in further analyses. To refine policy implications, future research should incorporate multi-year data for quantitative analysis. Additional research and expanded data collection will help enhance the reliability of the findings and broaden the applicability of the results in policy development.

Keywords: Energy consumption characteristics, regional categorization, factor analysis, cluster analysis

I. 서론

한국의 경제 성장은 화석 에너지를 기반으로 지속되어 왔으며, 이는 현재까지도 주요 동력원으로 작용하고 있다(Kim & Son, 2018). 또한, 전 세계적으로 온실가스 배출의 가장 큰 비중을 차지하는 부문은 에너지 산업으로, 이 부문에서 발생하는 온실가스는 전체 배출량의 약 87%에 달한다(Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, 2022).

특히 한국은 세계 8위의 에너지 소비국으로, 에너지·자원 소비량의 약 92.8%를 수입에 의존하는 국가이다. 2022년 국가 온실가스 인벤토리에 따르면, 한국의 에너지 부문 온실가스 배출량은 1990년 대비 137% 증가하였다(Korea Energy Economics Institute, 2022). 이에 따라 에너지 감축의 중요성이 지속적으로 강조되고 있으며, 효과적인 온실가스 저감 정책을 수립하고 이행하기 위해 에너지 부문에 대한 면밀한 고려가 필수적이다.

현재 한국의 지역에너지계획은 기존의 중앙 주도적 에너지 정책의 한계를 극복하기 위해 추진되고 있다.

기존 정책은 각 지역별 지정학적 특성을 충분히 고려하지 않았으며, 이에 따라 지역별로 수립되는 조례의 중요성이 부각되고 있다. 이 과정에서 기존 공급 중심 에너지 정책이 수요 중심(지역 위주)의 분권적 체제로 변화하는 패러다임 전환이 이루어지고 있다(Park & Kim, 2016). 국가에너지기본계획의 효율적 달성을 위해 지역별 에너지계획이 수립되고 있으며, 각 지자체별 지역 에너지계획의 목적은 지역 특성을 고려한 정책을 통해 지역 경제 발전에 기여하고 국가 에너지기본계획의 목표를 달성하는 것이다(Park et al., 2024).

에너지 감축 목표를 달성하기 위해서는 기초지자체가 중요한 역할을 수행해야 한다. 이는 국가의 에너지 소비 감축이 실질적으로 실현되는 곳이 기초지자체이기 때문이다(Yang & Song, 2017). 따라서 기초지자체 중심의 상향식 에너지 계획 수립이 요구되고 있다(Cho, 2022; Lee, 2021). 이에 에너지법 제7조에서는 각 지방자치단체가 지역적 특성을 반영한 지역에너지시책을 수립 및 시행하도록 명시하고 있으며, 따라서 지역의 에너지 소비 특성을 면밀히 파악하는 것이 중요하다.

그러나 지역에너지 정책 추진 과정에서 다음과 같은 문제점이 지적되고 있다. 첫째, 지역의 역량 부족, 둘째, 사업 추진에 대한 동기 결여, 셋째, 타 지역 사업과의 통합 및 연계성 부족 등의 문제가 있다(Park & Kim, 2016). 이에 따라, 지역의 에너지 소비 특성 및 영향 요인이 유사한 지역들을 유형화하고, 지역 간 연계 협력을 강화함으로써 중복 투자와 불필요한 경쟁을 줄이며, 각 지역의 비교우위를 활용한 상생 발전이 필요하다(Song et al., 2013; Oh et al., 2023).

기존 에너지 소비 특성과 관련된 선행연구들은 다수의 실증 분석을 수행했으나, 대부분 각종 에너지원의 부문별 소비 데이터가 기초지자체 차원에서 구축되지 않아 주로 광역시도를 중심으로 연구가 이루어졌다. 이에 따라 지역별 에너지 소비 구조의 특성을 충분히 반영하기 어려운 한계가 있었다. 이 같은 연구 결과는 각 지자체의 특성을 반영한 효과적인 저감 계획 수립에 적용하기 어려운 문제를 야기했다. 이러한 데이터 부족 문제를 해결하기 위해 산업통상자원부와 에너지경제 연구원은 2020년부터 전국 기초지자체별 에너지원 및 부문별 소비 데이터를 시범적으로 생산하고 있다. 이에 따라 기초지자체의 에너지원별 소비 특성을 더욱 정확하게 분석할 수 있는 환경이 조성되었다. 따라서 본 연구는 기존 연구에서 검토하지 못했던 세분화된 데이터를 활용하여 연구를 수행하고자 한다.

한편, 최근 도시 특성을 고려한 에너지 소비 관련 연구가 활발히 진행되고 있으나, 대부분의 연구가 도시 산업, 경제 특성 등 일부 요소에만 초점을 맞추고 있다. 또한, 기존 연구들은 개별 지역을 대상으로 하거나 일부 에너지원에 한정된 연구가 주를 이루어 지자체 에너지 소비에 실질적으로 영향을 미치는 다양한 요소를 포괄적으로 고려하지 못했다. 그러나 지역의 에너지 소비량은 경제적, 사회적, 기술적 요인을 포함한 다양한 지역적 특성에 의해 영향을 받기 때문에, 지역 인구, 토지 이용, 산업 입지 여건, 경제 활동 등의 요소를 종합적으로 분석할 필요가 있다(Yang & Song, 2017; Oh et al., 2023).

에너지 소비 감축을 위해서는 지역의 에너지 소비 특성과 영향 요인을 유형화하고, 이를 바탕으로 종합적인 분석을 수행하여 유형별 맞춤형 정책을 제시할 필

요가 있다. 이에 따라 본 연구는 세분화된 시·군·구 단위의 에너지 소비 특성 데이터 및 에너지 소비 영향 요인 데이터를 기반으로 지역 유형을 도출하고, 유형별 특성을 파악하여 맞춤형 정책 방안을 제시하고자 한다.

II. 선행연구 및 이론적고찰

1. 지역의 에너지 소비특성

기존의 중앙 주도적 에너지 정책은 각 지역의 지정학적 특성을 충분히 고려하지 못한다는 한계가 있으며, 이에 따라 지역별로 수립되는 조례의 중요성이 부각되었다. 특히, 지역의 에너지 소비 특성과 영향 요인이 유사한 지역들을 유형화하고 이를 바탕으로 지역 간 연계 협력을 강화하면 중복 투자와 불필요한 경쟁을 줄이는 동시에 각 지역의 비교우위를 활용한 상생 발전을 도모할 수 있어 정책 및 관리의 효율성이 높아질 수 있다(Song et al., 2013; Oh et al., 2023).

이러한 배경에서 2014년 제2차 에너지기본계획을 통해 지역 분권형 에너지 정책 추진이 시작되었으며, 기존의 공급 중심 에너지 정책에서 수요 중심(지역 위주)의 분권적 체제로 변화하는 패러다임 전환이 이루어지고 있다(Park & Kim, 2016). 또한, 2014년 에너지법 제7조 개정을 통해 지역적 특성을 반영한 에너지기본계획 수립이 강조되었으며, 이는 에너지 소비 특성 및 영향 요인에 대한 충분한 고려와 함께 지역 경제 발전을 위한 지역 에너지 계획 수립을 목표로 하고 있다.

지역 에너지 소비량은 경제적, 사회적, 기술적 요인을 포함한 다양한 지역적 특성에 영향을 받기 때문에, 지역 차원에서 인구 규모, 토지 이용, 산업 부문의 입지 여건, 경제 활동 등 도시 지역 내 구성 요소를 포괄하는 지역 특성 분석이 요구된다(NamKoong et al., 2010; Yang & Song, 2017).

한편, 지역 에너지 정책 추진 과정에서 지역의 역량 부족, 사업 추진에 대한 동기 결여, 타 지역 사업과의 통합 및 연계성 미흡 등의 문제로 인해 실질적인 성과를 거두지 못하는 한계점이 지적되고 있다(Park & Kim, 2016). 따라서 지역 간 협력을 기반으로 한 에너지 정책 수립이 더욱 강조되며, 지역별 특성을 고려한 전략적 접근이 필요하다.

Table 1. Variables derived from previous studies as significant variables

Classification by sector	Variables	Authors
The social demographic sector	The total population (person)	NamKoong et al, 2010; Yang & Song, 2017; Dong & Kang 2020; OH, 2023
	Population density (person/km ²)	Ahn, 2000; Song & Nam, 2009; NamKoong et al., 2010; Yang & Song, 2017; Dong & Kang, 2020; Lee & Yoon, 2013; Oh, 2023
The economic sector	GRDP per person (person/million KRW)	Kim & Ryu, 2021; Jin, 2024; Ko, 2024
The transportation sector	The number of vehicles (units)	Choi et al., 2008; Kim, 2011; Jang, 2012; Yoo et al., 2012; Noh et al.; Lee, 2017; Oh, 2023
The land-use sector	Forest rate (%)	Choi et al., 2008; Jang et al., 2012
	Forest area per person (person/ha)	Jang et al., 2012; Ryu et al., 2012; Noh et al., 2013; Lee, 2017
	Residential area rate (%)	Choi et al., 2008; Noh et al., 2013; Lee, 2017
	Commercial area rate (%)	NamKoong, 2010; No et al, 2013
	Industrial area rate (%)	Choi et al., 2008; Noh et al., 2013; Lee, 2017
	Green area rate (%)	Choi et al., 2008; Noh et al., 2013; Lee, 2017
Industrial sector	Agricultural and forestry area (%)	Miranowski, 2004; Manaloor, 2006; Kim & Lee, 2009; Martin-Gorritz et al., 2014; Kim et al., 2018
	Number of primary industries (units)	Yoo & Hwang, 2015; Lee, 2017
	Number of manufacturing businesses (units)	Lin et al., 2010; Li et al., 2013; Xu et al., 2022

2. 에너지 소비 특성 및 영향요인

에너지소비 영향요인에 관련된 선행연구를 다음 Table 1과 같이 인구사회부문, 경제부문, 교통부문, 토지이용부문, 산업부문으로 구분하여 유의미한 변수들을 살펴보았다. 먼저, 인구·사회적 부문의 특성에서는 다수의 연구가 인구수와 인구밀도 변수가 에너지소비와 높은 상관관계를 가진다는 결과를 보였으며, Ahn (2000)연구에서는 인구수가 많은 경우 교통부문에서 에너지소비가 많아진다는 결과가 나타났으며, Wang et al.(2023) 연구에서는 인구수 및 인구밀도가 높을수록 에너지 소비가 증가한다는 결과를 보였다.

경제적 부문으로는 GRDP가 높은 상관관계를 보였으며, Choi and Ko(2010)의 연구에 따르면 GRDP가 높을수록 온실가스 배출량이 높게 나타났는데 이는 가구소득이 증가함에 따라 에너지소비를 통한 배출량도 증가한다는 결과를 보였다.

또한, 토지이용부문에서는 다수의 연구가 주거 지역, 상업 지역, 1인당 산림면적, 산림율 변수가 유의미한 변수로 나타났다. Lee & Choi(2019)의 연구에서 주거면적, 상업면적, 공업면적이 전기사용량에 정(+)의 영향력 변수로 도출되었으며, Gao et al.(2019)연구에 따

르면 주거면적이 넓을수록 전력, 냉난방, 조명등의 에너지소비가 증가가 높게 나타났다.

산림면적의 경우 Ponce et al.(2021)의 연구에서 재생가능 에너지 소비가 산림 면적 증가와 관련이 있다는 연구결과가 있었다.

Hitaj and Suttles(2016) 보고서에 따르면 농림지역은 에너지를 농업에너지 사용량이 높으며, 감축을 위해 에너지 비효율성을 줄여야 환경에 긍정적인 영향을 줄 수 있다고 하였다.

교통 부문의 경우 Yin(2024)은 차량보유는 주로 가솔린, 디젤 등 연료의 소비가 증가하기 때문에 연료 소비를 증가시키며, 간접적으로 난방 및 전기 소비도 증가시킨다는 연구 결과가 나타났다.

산업 부문의 경우 Kim et al.(2010)의 보고서에 따르면 1차 산업, 즉 농업과 임업은 산업 활동이 증가하면 에너지 소비가 증가할 수 있으며, 에너지 효율성 제고가 필요하다는 주장을 하였다. 또한, Lee(2009)의 연구에서는 제조업 중심 산업단지의 밀도가 높을수록 지역 단위의 에너지 소비량이 증가한다는 연구 결과를 보였다. 이에 본 연구에서는 선행연구에서 제시한 유의미한 변수를 지역 에너지 소비 특성 및 영향요인 변

수로 설정하여 분석을 진행하였다.

3. 지역유형화 방법에 관한 고찰

지역은 다면적인 요소를 가지고 있으므로 지역 특성을 단면적인 하나의 변수로 파악하기는 어렵기 때문에 지역에 대한 체계적이고 효율적 관리 및 분석을 위해서 각 지역의 유사성을 통한 지역구분이 필요하며 (Song & Jang, 2010), 다수의 선행연구에서는 지역 유형화(Regional Classification) 기법을 활용하여 이를 수행해 왔다. 지역을 유형화하는 통계적 방법에 대한 선행 연구에서는 다지표 분석 접근 방식이 주로 이용되고 있으며, 대표적인 다변량 분석 기법으로 요인분석을 수행한 후 고유치가 큰 소수 요인의 점수를 활용하는 방법(Dai et al., 2014), 변수 고유치를 직접 군집분석에 적용하는 방법(Ko et al., 2015; Baek, 2020), 요인분석을 통해 도출된 요인점수를 활용하여 지역 간 상대 비교를 수행하는 방법(Lee, 2008; Park et al., 2021), 요인분석을 수행한 후 도출된 요인점수를 기반으로 군집분석을 수행하는 방법(Lee, J. S., 2002) 등이 있다.

요인분석을 통해 고유치가 큰 소수 요인의 점수를 사용하는 방법은 차원 축소의 효율성을 가지지만, 변수 고유치를 직접 군집분석에 활용하는 방식은 계산적으로 간단하다는 장점이 있는 반면 변수 간 상호작용을 충분히 반영하지 못하거나 해석이 어렵다는 단점을 가지고 있다(Lee, 2002). 또한, 단순히 변수의 고유치를 군집분석에 활용하는 방법(Yang & Song, 2017)은 변수 간의 상관관계를 무시하는 문제점이 존재한다.

이에 반해, 요인분석을 통해 도출된 요인점수를 기반으로 군집분석을 수행하는 방법은 변수 간 상관관계를 반영하여 상호작용을 고려한 변수 축약이 가능하며 (Dai et al., 2014), 요인점수는 직관적인 해석이 가능하며 분석 결과의 이해도를 높일 수 있다. 또한, 데이터 내 실제 패턴을 반영하는 요인점수를 활용하여 군집분석을 수행하면, 군집 간 차이를 보다 명확히 구분할 수 있으며, 군집분석 결과의 신뢰도를 향상시킬 수 있다 (Zhang & Li, 2022). 즉, 차원 축소, 해석 가능성, 상관구조 반영, 정책적 활용 가능성 등의 측면에서 요인분석 기반 군집분석 방법은 지역 유형화 연구에 적합하며, 지역 특성 데이터를 활용하여 지역 간 유사성을 평가

하고 상대적으로 유사한 지역을 동일 유형으로 분류하는 방식과 일치한다(Lee, 2002).

따라서 본 연구에서는 선행연구에서 제시된 변수들을 기반으로 요인분석을 수행하여 요인점수를 도출한 후, 이를 활용하여 군집분석을 수행함으로써 지역의 에너지 소비 특성과 영향 요인에 따른 지역 유형화를 실시하였다. 이를 통해 각 군집별 특성을 분석하고, 유형별 특성을 구분 및 파악하려고 한다.

III. 연구방법

본 연구의 공간적 범위는 일반시도인 경기도, 강원도, 충청남도, 충청북도, 경상남도, 경상북도, 전라남도, 전라북도의 8개 일반시도에 속한 151개 시군구 단위로 설정하였다. 이는 특·광역시와 일반시도에 소속된 기초지자체 간 경제, 인구, 산업, 교통 여건에서 극명한 차이가 존재하며, 부존적 특성이 상이하기 때문이다 (Chang et al., 2020). 특·광역시는 대부분 도시화가 진행된 지역으로(Kang, 2021), 일반시도와의 유형 구분이 명확하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 도시·비도시 유형을 보다 세분화하여 구분하는 것이 연구 목적과 부합하므로 연구 대상 지역을 위와 같이 설정하였다.

시간적 범위는 단일 연도로 2019년을 기준으로 설정하였다. 이는 에너지 소비 데이터가 2019년부터 조사되었으며, 2020년 이후 COVID-19 팬데믹으로 인해 산업, 교통, 상업 부문의 에너지 소비 패턴이 비정상적으로 변화하였기 때문이다(Jiang et al., 2021; Lee & Han, 2022). 따라서 본 연구에서는 팬데믹으로 인한 데이터 왜곡을 방지하고자 2019년 데이터를 기준으로 분석을 진행하였다.

변수 설정은 지역의 에너지 소비에 영향을 미치는 요인에 대한 선행연구에서 유의미하다고 도출된 변수들을 기반으로 선정하였으며, Table 2와 같이 나타났다. 인구·사회 부문의 변수로는 기존 연구 결과를 반영하여 인구수와 인구밀도를 포함하였으며, 경제 부문에서는 GRDP, 교통 부문에서는 차량 보유 대수를 변수로 설정하였다.

토지이용 부문에서는 산림율, 1인당 산림면적, 주거·

Table 2. Descriptive statistics

Variables	Count	Mean	Std	Min	25%	50%	75%	Max
The total population (person)	151	186829.9	241840.1	16993.0	43723.0	81105.0	228120.0	1194465.0
Population density (person/km ²)	151	907.2	2149.6	19.3	63.6	139.9	573.7	15528.5
GRDP per person (person/million KRW)	151	36.7	16.7	16.4	25.9	33.5	40.9	103.8
The number of vehicles (units)	151	90406.4	108321.4	9641.0	24501.5	45489.0	106658.5	563279.0
Forest rate (%)	151	59.0	17.6	16.6	46.7	63.5	71.9	96.6
Forest area per person (person/ha)	151	0.7	0.9	0.0	0.1	0.4	1.0	5.0
Residential area rate (%)	151	15.7	6.9	4.8	10.7	14.5	19.6	43.9
Commercial area rate (%)	151	2.0	1.1	0.2	1.3	1.8	2.5	6.4
Industrial area rate (%)	151	6.9	7.6	0.0	1.6	4.8	9.1	48.2
Green area rate (%)	151	72.9	13.0	26.5	65.7	74.6	83.2	92.8
Agricultural and forestry area (%)	151	49.4	21.9	0.0	45.3	54.8	64.3	83.4
Number of primary industries (units)	151	30.6	20.0	0.0	18.0	27.0	43.5	95.0
Number of manufacturing businesses (units)	151	295.0	256.8	0.0	142.0	218.0	399.5	1818.0
Industrial sector energy (ktoe)	151	501.2	2442.7	1.2	27.9	63.1	225.5	21230.2
Transport sector energy (ktoe)	151	164.6	180.3	8.9	41.9	94.9	239.3	861.9
Energy in the Home Sector (ktoe)	151	81.1	103.8	6.4	17.0	37.0	100.3	509.4
Commercial energy (ktoe)	151	62.6	77.4	6.0	14.8	31.5	79.2	409.4
Public sector energy (ktoe)	151	20.9	25.2	2.1	5.6	11.7	27.1	160.3

상업·공업·녹지 면적 비율, 농림지역 비율을 변수로 설정하였다. 이 중 산림율과 1인당 산림면적은 모두 지역 내 산림 보유 정도를 나타내지만, 본 연구에서는 지역의 특성을 보다 정교하게 반영하기 위해 인구를 고려한 산림면적과 지역의 산림면적 비율을 구분하였다.

산림율이 높더라도 인구가 많으면 1인당 산림면적이 낮아질 수 있다. 예를 들어, 경기도 과천시와 산림율이 높은 지역이지만 인구 밀도가 높아 1인당 산림면적이 상대적으로 낮을 수 있다. 반면, 연천군은 산림율이 높고 인구 밀도가 낮아 1인당 산림면적이 높은 경향을 보일 수 있다. 이러한 사례는 산림율과 1인당 산림면적을 함께 고려해야 지역별 특성을 보다 정확하게 반영할 수 있음을 시사한다.

산업 부문에서는 1차 산업체 수와 제조업 사업체 수를 변수로 설정하여 분석을 진행하였다. 에너지 소비 부문에서는 지역의 에너지 소비 특성을 보다 세부적으로 파악하기 위해 주거, 상업, 공업, 공공 부문별로 구분하여 변수를 설정하였다.

시군구별 에너지 소비량 데이터는 에너지경제연구

원의 시군구 에너지수급통계 자료를 활용하였으며, 사회경제 및 토지 이용 관련 데이터는 KOSIS(국가통계포털) 데이터를 기반으로 수집하였다.

분석 대상 변수들의 기술통계량을 검토한 결과, 일부 변수(Pop den(명/km²), total car(H), E_Industrial 등)의 표준편차가 평균보다 상당히 큰 것으로 나타났다. 이는 특정 값이 전체 분포에서 극단적으로 크거나 작은 이상치일 가능성을 시사한다.

주성분분석과 요인분석에서는 변수 간 단위 차이로 인해 특정 변수가 분석 결과에 과도한 영향을 미칠 수 있으므로, 표준화(평균=0, 표준편차=1) 후 분석을 수행하는 것이 일반적이다. 본 연구에서도 변수들의 스케일 차이가 크므로 Z-score 변환을 적용한 후 분석을 진행하였다.

또한, 요인분석을 통해 변수의 적절성인 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin측도)검정과 Bartlett의 구형성 검정, 공통성(변수의 설명력)에 따른 요인분석의 변수들의 적합성 검토를 하여 추출하였다. 추출한 변수들을 탐색적 요인분석을 통해 변수들 간의 구조를 발견하여 사회과

Table 3. KMO and Bartlett test results and commonality results

KMO and Bartlett test results	Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) Measures of Sample Appropriateness		0.786
	Bartlett's Sphericity Test	Approximate chi-square	3248.677
		Degree of freedom	153
		Probability of significance	0.000
Commonality Results	The total population (person)	0.978	
	Population density (person/km ²)	0.763	
	GRDP per person (person/million KRW)	0.686	
	The number of vehicles (units)	0.964	
	Forest rate (%)	0.797	
	Forest area per person (person/ha)	0.816	
	Residential area rate (%)	0.821	
	Commercial area rate (%)	0.833	
	Industrial area rate (%)	0.712	
	Green area rate (%)	0.852	
	Agricultural and forestry area (%)	0.783	
	Number of primary industries (units)	0.844	
	Number of manufacturing businesses (units)	0.782	
	Industrial sector energy (ktoe)	0.613	
	Transport sector energy (ktoe)	0.929	
	Energy in the Home Sector (ktoe)	0.980	
Commercial energy (ktoe)	0.954		
Public sector energy (ktoe)	0.774		

학에서 많이 사용되는 방식인 주성분분석 요인추출 방법으로 선택하였다. 또한, 직각회전을 사용하게 되면 회귀분석이나 판별분석, 상관관계분석시 요인들의 다중공선성에 의한 문제점을 해결할 수 있기 때문에 요인회전 방식은 직각회전 방식인 베리맥스를 사용하여 연구를 진행하였다.

군집분석의 경우 계층적군집과 K-means군집으로 크게 나뉘는데 계층적군집의 경우 군집모양이 긴 경우 단순히 객체들 사이의 거리만을 사용하면 잘못된 군집 결과가 될 수 있으므로(Wisein Company. 2018) K-means 군집분석을 진행하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. KMO(Kaiser-meyer-Olkin측도)검정과 Bartlett의 구형성 검정 결과

에너지 소비에 영향을 줄 수 있는 지역특성 유형화와 관련된 선행연구에서 제시된 지역의 특성 및 지역 에너지소비 특성에 대한 변수들을 추출하여 추출된 변

수들을 요인분석을 통해 변수 간의 상관성 및 적절성인 KMO(Kaiser-meyer-Olkin측도)검정과 Bartlett의 구형성 검정, 공통성(변수의 설명력)에 따른 요인분석의 변수들의 적합성 검토를 하여 추출하는 방식으로 분석을 진행하였다. KMO(Kaiser-meyer-Olkin측도)는 기본 요인으로 인해 발생할 수 있는 변수의 분산 비율을 표시하는 통계이며, 변수들 간의 상관성을 나타내는 척도이며(IBM, 2009), 1.0에 가까울 수록 요인분석이 데이터에 유용할 수 있음을 나타내므로 값이 0.5 미만인 경우 요인분석 결과가 유용하지 않다(Field, 2009). 이에 따라 Bartlett의 구형성 검증 값은 유의확률이 $p < 0.05$ 미만인 경우 요인분석에 적합하므로(IBM, 2009) 요인분석의 결과로는 Table 3과 같이 요인분석의 변수 적합성을 만족하는 유의한 변수들을 도출하였다.

2. 요인분석결과

본 연구에서는 다변량 분석 기법 중 요인 분석을 활용하여 변수들을 공통 요인으로 축소하고, 각 요인의 의미를 해석하였다.

Table 4. Variable component results by factor

Variable	Factor Components				
	Metropolis factor 1	Urban density factor 2	Non City factor 3	manufacture factor 4	Industrial factor 5
Number of Vehicles	0.960	0.063	-0.196	0.020	0.023
Household Energy	0.959	0.090	-0.221	0.013	-0.048
Commercial Energy	0.957	0.082	-0.176	0.034	0.007
Population	0.956	0.109	-0.221	-0.033	-0.053
Energy in the transport sector	0.922	-0.070	-0.160	0.200	0.094
Public Sector Energy	0.872	0.056	-0.070	0.074	0.018
Population density	0.375	0.442	-0.467	-0.187	-0.419
Commercial Area	0.067	0.899	0.049	-0.078	-0.110
Residential areas	0.128	0.888	-0.031	-0.089	-0.086
Green Area	-0.022	-0.689	0.207	-0.577	-0.019
Forest area per capita	-0.321	0.175	0.812	-0.124	-0.087
Forest Rate	-0.306	-0.147	0.795	-0.150	-0.166
Agriculture and Forestry	-0.203	-0.101	0.721	0.067	0.455
GRDP per person	0.112	-0.068	0.031	0.810	0.105
Industrial Areas	-0.117	0.216	-0.231	0.746	0.205
Industrial Energy	0.172	-0.241	0.040	0.699	-0.189
Number of Primary Industries	0.016	-0.122	-0.055	0.032	0.908
Number of Manufacturing Businesses	0.085	-0.029	0.037	0.041	0.878

요인분석 결과, Table 4와 같이 5가지 요인으로 도출되었으며, 요인의 특성을 고려하여 각각 제1요인을 대도시요인, 제2요인을 도시밀도요인, 제3요인을 비도시요인, 제4요인을 공업도시요인, 제5요인을 산업도시요인으로 명명하였다.

대도시 요인은 'Number of Vehicles'(0.960), 'Household Energy'(0.959), 'Commercial Energy'(0.957), 'Population'(0.956), 'Energy in the transport sector'(0.922) 등의 변수들로 구성되어 있다. 이러한 변수들은 대도시의 대표적인 특성으로, 인구 밀집과 이에 따른 차량 이용, 에너지 소비의 증가를 반영한다. 따라서 본 요인은 대도시의 규모와 경제활동의 집중성을 나타내므로 '대도시 요인'으로 명명하였다. 도시밀도 요인은 'Population density'(0.442), 'Commercial Area'(0.899), 'Residential areas'(0.888) 등의 변수들이 포함되어 있다. 이는 주거 및 상업지역이 밀집한 도시 환경에서 나타나는 특성으로, 고밀도의 도시구조를 반영한다. 또한 'Green Area'(-0.689)가 음(-)의 값을 보이는데, 이는 도시밀도가 높을수록 녹지 공간이 적다는 점을 시사한다.

비도시 요인은 'Forest area per capita'(0.812), 'Forest Rate'(0.795), 'Agriculture and Forestry'(0.721) 등의 변수들로 구성되어 있다. 이는 주로 농림업 지역이나 자연환경이 풍부한 지역의 특성을 나타내며, 대도시 및 도시밀도 요인과는 반대의 성격을 가진다.

공업도시 요인은 'GRDP per person'(0.810), 'Industrial Areas'(0.740), 'Industrial Energy'(0.699) 등의 변수들이 포함되어 있다. 이는 공업 활동이 활발한 도시에서 나타나는 특징으로, 높은 산업 부가가치와 공업지역의 확장, 그리고 산업 에너지 소비가 주요 특성이다.

산업도시 요인은 'Number of Primary Industries'(0.908), 'Number of Manufacturing Businesses'(0.878) 등의 변수들로 구성되어 있다. 이는 특정 산업 부문이 집중된 도시의 특징을 반영하며, 제조업 및 1차 산업 중심의 경제구조를 나타낸다.

에너지소비는 산업부문 에너지를 제외한 에너지는 대도시요인(요인1)의 성분에 속해있으며, 도시밀도가 높은 요인2의 도시특성의 경우 압축도시가 에너지소비에 효율적이라는 것을 간주할 수 있다. 에너지 사용

량의 가장 많은 부분을 차지하는 산업부문 에너지 사용변수는 공업도시요인(요인4)에 포함되었다. 이와 같은 현상은 산업요인인 요인 5에 포함되는 변수에서 제조업체 수가 많은 것보다 공업면적이 넓은 공업단지가 많은 산업부문에서 에너지소비가 높은 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 요인점수 고유치가 1이상인 경우를 특성으로 분류하였으며, 이는 고유치가 1 이상인 요인은 데이터의 분산을 최소한 1만큼 설명하는 요인으로, 전체 데이터에서 실질적인 기여도가 높은 정보를 대표한다(Kaiser, H. F. 1960; Harman, H. H. 1976). 이를 기준으로 특성을 도출하면 노이즈가 포함된 비본질적인 요인을 제외하고, 데이터의 중요한 구조를 명확히 반영할 수 있다. 이와 같은 접근은 리커트 척도 기반 방법이나 고유치 순위 기반 방법에서 발생할 수 있는 지나치게 세분화된 정보의 혼란을 줄이고, 실질적으로 해석 가능한 특성을 제공한다(Lee JS, 2002) 따라서 요인이 중복되어 비슷한 유형의 구분을 파악하기 위하여 총 군집에 대한 요인 고유치 평균으로 비교하여 군집 간의 차이를 해석하는 방법으로 연구를 수행하였다.

3. 군집분석결과

군집분석수행한 결과로 군집별 요인에 따른 요인점수는 Table 5와 같으며, 군집1의 경우 대도시 요인(요인 1), 도시밀도요인(요인2)이 높은 특성을 보였으며, 군집3의 경우 도시밀도요인(요인2), 비도시요인(요인3)이 높은 특성을 보였다. 군집4의 경우 대도시 요인(요인1)에 대한 높은 특성을 보였으며, 군집7의 경우 산업도시(요인5)의 특성을 보였다. 군집8, 군집9의 경우 요인4에 대하여 높은 특성을 보였다. 각 군집에 따라 뚜렷한 특성을 보이지 않은 군집 및 요인들이 중복된 특성을 가지는 비슷한 유형의 구분을 파악하기 위해 총 군집에 대한 요인 고유치 평균으로 비교하여 군집에 포함된 지역들과의 관계를 통해 군집 간의 차이를 해석하였다.

군집1은 5가지 요인점수의 평균값에 비하여 요인1과 요인2의 특성을 보였으며, 비도시 요인(요인3), 공업도시요인(요인4), 산업도시(요인5) 요인점수가 전체 군집에 비하여 낮게 나타났다. 군집에 포함된 지역으로 수원시, 성남시, 부천시 특성상 인구규모가 크고 밀도가 높은 지역으로써 수송, 가정, 상업, 공공부문의

Table 5. Factor score by cluster

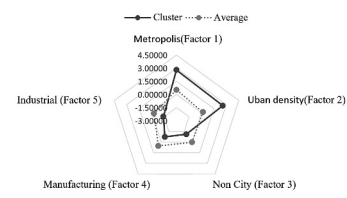
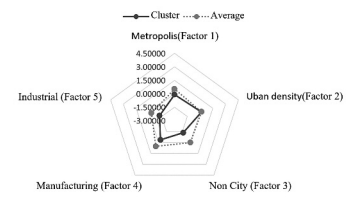
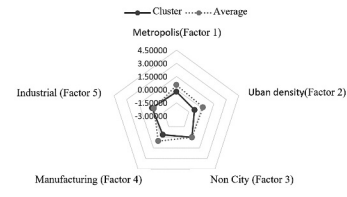
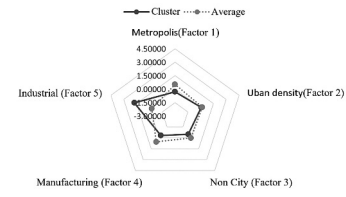
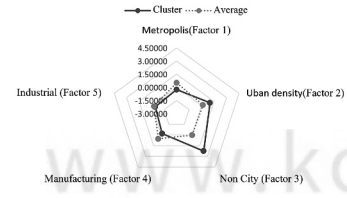
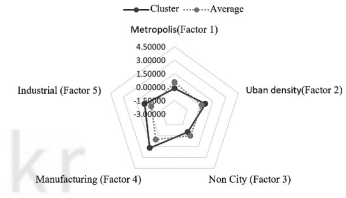
No.	Factor score by cluster			
Cluster 1		Cluster 6		
Cluster 2		Cluster 7		
Cluster 3		Cluster 8		

Table 5. Continued

No.	Factor score by cluster	
Cluster 4		
Cluster 5		

에너지 소비가 큰 군집으로 나타났다.

군집2는 5가지 요인점수의 평균값에 비하여 전체적으로 낮은 값을 보였으나 비도시요인(요인3), 산업도시요인(요인5)이 평균보다 높은 편에 속한 특징을 보였다. 산림 및 녹지의 자연여건을 보유하고 1차산업과 제조업 공장 등의 단지가 형성되어 있는 지역이라 볼 수 있다. 군집3의 경우 도시밀도요인(요인2), 비도시요인(요인3)이 높은 특성을 가지고 있으며, 군집평균에 비해 비도시요인이 월등히 높았다. 요인 특성과 같이 대부분 강원도와 경상북도의 산림지역에 해당하는 지역들이 속해있다. 이에 따라 에너지 소비량도 낮을 것으로 판단된다. 군집4의 경우 대도시요인(요인1)의 특성에 따라 인구규모가 큰 지역으로 평균에 비해 산업도시요인(요인5)도 발달해 있는 지역적 특성을 가지고

있다. 포함된 지역들을 보면 포함된 지역들을 살펴보면 발전이 거듭해가고 있는 지역들로 잠재적 발전가능성이 높은 지역으로 판단된다. 이에 따른 수송, 가정, 상업, 공공부문의 에너지 소비가 큰 군집으로 많은 에너지 소비가 이루어 지는 군집이다. 군집5의 경우 전반적으로 고유치 기준에 못미치는 특성을 가지고 있으나 군집들의 평균보다 도시밀도요인(요인2), 비도시요인(요인3), 산업도시요인(요인5)이 높은 편으로 나타났다. 군집6의 경우 고유치 기준 및 평균에 비해 전체적으로 낮은 특성을 보였다. 군집7의 경우 산업도시요인(요인5)이 높은 특성을 보이고 있으며, 나머지 요인들은 군집들의 평균보다 낮게 나타났다. 포함된 지역들의 경우 외곽지역 특성으로 판단된다. 군집8은 공업도시요인(요인4)이 높은 특성을 보이며, 군집 평균에 비해 도

Table 6. Areas classified by cluster according to cluster analysis

Cluster no.	Classified area by cluster	
	City name (Sido)	Name of city and county (Sigungu)
Cluster 1	Gyeonggi-do	Suwon-si, Seongnam-si, Bucheon-si
Cluster 2	Gyeonggi-do	Icheon, Gwangju, Yangju, Yeosu, Yeoncheon, Gapyeong, Yangpyeong
	Gangwon-do	Chuncheon, Donghae, Taebaek
	Chungcheongbuk-do	Jecheon, Okcheon, Yeongdong, Danyang
	Chungcheongnam-do	Gongju, Geumsan, Yesan
	Jeollabuk-do	Wanju, Imsil, Sunchang, Buan
	Jeollanam-do	Suncheon, Damyang, Goheung, Boseong, Hwasun, Jangseong, Wando, Jindo, Sinan
	Gyeongsangbuk-do	Gyeongju, Yeongju, Jingshan, Uiseong, Goryeong, Chilgok
	Gyeongsangnam-do	Jinju, Sacheon, Miryang, Yangsan, Changnyeong, Namhae, Hamyang, Geochang, Hapcheon

Table 6. Continued

Cluster no.	Classified area by cluster	
	City name (Sido)	Name of city and county (Sigungu)
Cluster 3	Gangwon-do	Pyeongchang, Jeongseon, Hwacheon, Yanggu, Inje, Yangyang
	Gyeongsangbuk-do	Cheongsong, yeongyang, Bonghwa
Cluster 4	Gyeonggi-do	Goyang, Namyangju, Yongin, Hwaseong
	Chungcheongbuk-do	Cheongju
	Chungcheongnam-do	Cheonan
	Jeollabuk-do	Jeonju
	Gyeongsangbuk-do	Pohang
	Gyeongsangnam-do	Gimhae, Changwon
Cluster 5	Gyeonggi-do	Dongducheon
	Gangwon-do	Gangneung, Hongcheon, Hoengseong, Yeongwol, Cheorwon, Goseong
	Chungcheongbuk-do	Boeun, Goesan
	Chungcheongnam-do	Cheongyang
	Jeollabuk-do	Namwon, Jinan, Muju, Jangsoo
	Jeollanam-do	Gokseong, Gurye, Gangjin
	Gyeongsangbuk-do	Gimcheon, Andong, Yeongcheon, Sangju, Mungyeong, Gunwi, Yeongdeok, Seongju, Yecheon, Uljin
Gyeongsangnam-do	Geoje, Uiryeong, Sancheong	
Cluster 6	Gyeonggi-do	Uijeongbu, Anyang, Gwangmyeong, Ansan, Gwacheon, Guri, Osan, Siheung, Gunpo, Uiwang, Hanam, Gimpo
	Gangwon-do	Sokcho
	Chungcheongbuk-do	Jeungpyeong
	Chungcheongnam-do	Gyeryong, Taean
	Jeollanam-do	Mokpo, Muan
	Gyeongsangnam-do	Tongyeong
Cluster 7	Gyeonggi-do	Anseong
	Gyeonggi-do	Pocheon
	Gangwon-do	Wonju
	Gangwon-do	Samcheok
	Chungcheongbuk-do	Chungju
	Chungcheongnam-do	Nonsan, Buyeo, Hongseong
	Jeollabuk-do	Iksan, Jeongeup, Kimjae, Gochang, Naju, Jangheung, Haenam, Hampyeong, Yeonggwang
	Gyeongsangbuk-do	Chungdo
Cluster 8	Gyeonggi-do	Pyeongtaek, Paju
	Chungcheongbuk-do	Jincheon, Emsung
	Chungcheongnam-do	Boryeong, Asan, Dangjin, Seocheon
	Jeollabuk-do	Gunsan
	Jeollanam-do	Gwangyang, Yeongam
	Gyeongsangbuk-do	Gumi
	Gyeongsangnam-do	Haman, Goseong, Hadong
Cluster 9	Chungcheongnam-do	Seosan
	Jeollanam-do	Yeosu

시밀도요인(요인2), 산업도시요인(요인5)가 높게 나타났다. 공업도시요인(요인4)가 높음에 따라 산업 부문 에너지 소비가 높은 특성을 보인다. 군집9의 경우 공업도시요인(요인4)이 월등히 높은 특성을 보이고 있으며, 군집별 평균에 비해 도시밀도요인(요인2), 산업도시요인(요인5)에 월등히 낮은 특성을 보인다. 공업도시요인(요인4)이 월등히 높음에 따라 산업 부문 에너지 소비가 가장 높은 지역으로 판단된다. 이에 따른 군집별 군집에 포함된 지역들은 Table 6과 같다.

V. 결론

한국은 높은 에너지 소비에 비해 소비의 대부분이 수입에 의존하는 국가로서 효과적인 에너지 소비 감축을 위한 정책이 필요하다. 또한, 이러한 효과적인 정책 적용을 위해서는 기초지자체가 국가의 에너지 소비 감축이 실질적으로 실현되는 곳이다. 그러므로 각 기초지자체에 맞는 정책들이 필요하며, 이에 따라 지역의 특성이 파악되어야 한다.

이에 본 연구에서는 시도의 기초지자체 151개의 시군구로 범위를 설정하여 선행연구고찰 및 요인분석을 통해 기초지자체의 에너지 소비에 영향을 주는 지역 특성 및 에너지 소비의 지역 특성을 도출하고 군집분석을 통해 유형화하고자 하였다.

본 연구에서는 먼저, 요인 분석을 활용하여 변수들을 공통 요인으로 축소하고, 다섯 개의 주요 요인을 도출하였다. 각 요인의 변수 구성에 따라 '대도시 요인', '도시밀도 요인', '비도시 요인', '공업도시 요인', '산업도시 요인'으로 명명하였다. 대도시 요인은 차량수, 가정 및 상업 에너지 소비, 인구 등의 변수와 관련이 있으며, 도시밀도 요인은 인구밀도, 상업지역 및 주거지역과 연관된다. 비도시 요인은 산림면적, 농림업 등의 변수를 포함하며, 공업도시 요인은 1인당 GRDP, 산업지역 및 산업 에너지와 관련된다. 마지막으로 산업도시 요인은 제조업과 1차 산업 비중이 높은 지역을 반영한다.

부문별 에너지 소비에 대해서는 산업부문 에너지를 제외한 에너지는 대도시요인(요인1)의 성분에 속해 있으며, 에너지 사용량의 가장 많은 부분을 차지하는 산

업부문 에너지 사용변수는 공업도시요인(요인4)에 포함되어 있으므로 대도시요인(요인1)과 공업도시요인(요인4)이 특성으로 포함된 군집은 재생에너지 확대 및 에너지 효율성 개선에 집중적인 정책이 필요할 것이라고 판단된다.

군집분석 결과로는 대도시 중심 군집(군집1, 군집2)은 가정, 상업, 수송, 공공부문의 에너지 소비가 상대적으로 높은 반면, 공업도시 유형(군집8, 군집9)은 산업 부문의 에너지 소비 비중이 매우 높은 특성을 보였다. 이러한 결과는 지역의 도시 구조와 산업 분포에 따라 에너지 소비 패턴이 달라진다는 점을 시사한다(NamKoong et al., 2010; Kim et al., 2011).

본 연구의 군집분석 결과를 바탕으로, 지역별 특성을 고려한 차별화된 에너지 소비 감축 정책을 필요함을 알 수 있으며, 군집별 정책적 시사점은 다음과 같다.

군집1 (대도시 중심, 고밀도 지역: 수원시, 성남시, 부천시 등)은 대도시 요인(요인1)과 도시밀도 요인(요인2)이 높은 특성을 가지고 있기 때문에 교통혼잡으로 인한 교통에너지 소비가 높고 (Kim et al., 2024), 주거 및 상업, 공공시설의 높은 건물에너지 소비가 높음(Cho et al., 2023) 등에 대한 정책이 필요하다. 그러므로 건물 에너지 효율 개선정책, 친환경 교통시스템 도입 및 대중교통 강화정책, 상업 및 공공부문의 에너지 절감정책 등의 정책적 전략이 필요하다(Cho et al., 2023)

군집2는 비도시요인(요인3), 산업도시요인(요인5)가 평균보다 높은 편에 속한 특징을 보였다. 산림 및 녹지의 자연여건을 보유하고 1차산업과 제조업 공장 등의 단지가 형성되어 있는 지역이라 볼 수 있다. 제조업의 전력 소비는 한국의 산업 구조상 지속적으로 증가하고 있으며, (Jeong et al., 2009; Jeon, 2010). 또한, 농업 및 임업 지역에서는 난방용 화석연료 사용(경유, LPG 등)이 많아 탄소 배출량이 증가하고 농업 부문의 화석연료 소비는 1차 산업의 에너지 소비 중 60% 이상을 차지하며, 신재생에너지 전환율이 낮다(Schmidt & Wirth 2020). 또한, 산림 및 농촌 지역에서는 전력망 구축이 미흡하고, 도시보다 신재생에너지 활용률이 낮아 송전 손실이 크며, 대체 에너지원 도입이 제한적이다(Woo, et al., 2014; Korea Energy Agency, 2024). 이에 따라 산업 및 농업 부문의 에너지 효율화 및 분산형 에너지 시스

템 구축 및 신재생에너지 확대, 쇠외지역은 신재생에너지 인프라 확대 등의 에너지 접근성 개선 및 스마트 에너지 기술 도입이 필요하다(UNEP, 2021).

군집3의 경우 도시밀도요인(요인2), 비도시요인(요인3)이 높은 특성을 가지고 있으며, 군집평균에 비해 비도시요인이 월등히 높았다. 요인 특성과 같이 대부분 강원도와 경상북도의 산림지역에 해당하는 지역들이 속해있다. 이에 따라 에너지 소비량이 높은 편은 아니지만 지역의 특성상 에너지 인프라가 부족하여 재생에너지 보급에 어려움을 겪고 있으며, 이는 화석연료 의존도를 높이고 에너지 비용 상승을 초래할 수 있으므로(Woo et al., 2014)에너지 효율화 및 분산형 에너지 시스템 구축, 인프라 개선이 필요하다(Lee et al., 2015). 또한, 지역재생에너지 원 발굴 및 보급 등을 통한 지역 에너지 자립도를 높일 필요가 있다(Lee et al., 2020).

군집4의 경우 대도시요인(요인1)의 특성에 따라 인구규모가 큰 지역으로 평균에 비해 산업도시요인(요인5)도 발달해 있는 지역적 특성을 가지고 있다. 이에 따른 대도시요인의 경우 수송, 가정, 상업, 공공부문의 에너지 소비가 큰 군집으로 많은 에너지 소비가 이루어지는 군집이다. 그러므로 군집1과 같이 친환경 교통시스템 도입 및 대중교통 강화정책, 상업 및 공공부문의 에너지 절감정책, 건물에너지의 효율화 정책 등의 전략이 필요하다고 판단된다.

군집5의 경우 전반적으로 고유치 기준에 못미치는 특성을 가지고 있으나 군집들의 평균보다 도시밀도요인(요인2), 비도시요인(요인3), 산업도시요인(요인5)가 높은 편으로 군집3과 비슷한 특성을 보이고 있다.

군집6의 경우 고유치 기준 및 평균에 비해 전체적으로 낮은 특성을 보였다.

군집7의 경우 산업도시요인(요인5)이 높은 특성을 보이고 있으며, 나머지 요인들은 군집들의 평균보다 낮게 나타났다. 포함된 지역들의 경우 외곽지역이며, 산업단지들이 위치해 있는 지역의 특성으로 판단된다. 1차산업 및 제조업 수의 특성이 높으므로 에너지 효율성 개선 및 재생에너지 사용 확대, 에너지 관리시스템 등이 고려될 필요가 있다.

군집8은 공업도시요인(요인4)가 높은 특성과 군집 평균에 비해 도시밀도요인(요인2), 산업도시요인(요인5)이 높게 나타났다. 공업도시요인(요인4)이 높으며, 산업 부문 에너지 소비가 높은 특성을 보인다. 공업 및 산업 부문의 집중은 에너지 소비량 증가가 발생하기 때문에 산업 부문의 에너지 효율성을 개선하기 위한 기술 도입과 설비 현대화가 필요하며(Bu et al., 2017), 태양광, 풍력 등 재생에너지의 활용을 확대하여 화석연료 의존도를 낮추고, 에너지 비용을 절감하며, 환경 친화적인 생산 구조로 전환하는 것이 필요하다(Kim & Kim, 2021).

군집9의 경우 공업도시요인(요인4)이 월등히 높은 특성을 보이고 있으며, 군집별 평균에 비해 도시밀도요인(요인2), 산업도시요인(요인5)에 월등히 낮은 특성을 보인다.

여수시는 한국의 최대 석유화학단지를 보유하고 있으며, 서산시도 석유화학단지를 중심으로 한 산업 활동이 활발하다. 이들 지역은 석유를 주로 사용하는 산업 구조로 인해 석유 의존도가 높고 전력 사용량이 지속적으로 증가하고 있으며, 전력 공급 부족 문제(Invest Korea, 2022; 2025)를 겪고 있으므로 재생에너지 확대 및 에너지 효율성 개선이 필요하다.

본 연구는 한국의 지역별 에너지 소비 특성을 체계적으로 분석하고, 이를 기반으로 에너지 소비에 영향을 미치는 요인에 따라 지역을 유형화하였다는 점에서 의의를 가진다. 이를 통해 지역별 에너지 소비 패턴의 차이를 파악하고, 정책 수립에 필요한 기초 자료를 제공하고자 하였다. 특히, 에너지 소비의 영향 요인을 정량적으로 분석하여 지역별 차이를 반영한 유형화를 수행함으로써, 기존 연구에서 다루지 않았던 세부적인 지역 에너지 소비 특성 및 영향요인을 고려하는 데 중점을 두었다.

그러나 본 연구는 요인분석 및 군집분석을 활용하여 지역을 유형화하였음에도 불구하고, 군집 내 지역 간 세부적인 특성이 혼재되어 있어 해석의 한계가 존재한다. 즉, 동일한 군집에 속한 지역들 간에도 미시적인 에너지 소비 특성이 다를 수 있으며, 이러한 차이를 충분히 반영하지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 군집 내 지역 간 차이를 보다 정밀하게 분석하기 위해 추가적인 정량적 방법론을 도입하고, 지역별 세부 특성을 고려한 보완 연구가 필요하다. 또한,

시간에 따른 에너지 소비 변화 양상을 반영하여 다년간의 데이터를 활용한 분석을 수행함으로써 보다 신뢰성 높은 정책적 시사점을 도출하는 것도 중요할 것이다. 향후 추가적인 연구와 데이터 확보를 통해 정책적 적용 가능성을 더욱 높이는 노력이 필요할 것이다. 특히, 지역별 에너지 소비 특성에 기반한 맞춤형 정책을 수립하고, 도시 및 비도시 지역의 차이를 반영한 지속가능한 에너지 관리 전략을 마련하는 데 본 연구가 기여할 수 있기를 기대한다.

사사

“본 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022 R1A2C10077131162182065300101).”

본 성과는 환경부의 재원을 지원받아 한국환경산업기술원 “신기후체제 대응 환경기술개발사업”의 연구개발을 통해 창출되었습니다(RS-2022-KE002124).

References

- 안건혁. (2000). 도시형태와 에너지이용과의 관계 연구. *국토계획*, 35(2), 9-17.
- Ahn, K. H. (2000). A study on the correlation between variables of urban form and energy consumption. *Journal of Korea Planning Association*, 35(2), 9-17.
- 백종현. (2020). 지역 특성 변수를 활용한 미국 남동부 지역 노동혼재 유형화 연구 - 지역 특성 변수를 중심으로 -. *농촌계획*, 26(4), 107-116.
- Baek, J. H. (2020). A study on the classification of rural-urban mixed areas in the southeastern United States using regional characteristic variables. *Journal of Rural Planning*, 26(4), 107-116. <https://doi.org/10.7851/ksrp.2020.26.4.107>
- 부경진, 임양훈, Byrne, J., 서정석, Taminau, J., Nyangon, J., Zhu, C. (2017). 주요국의 에너지정책 사례 및 시사점 연구. *자원경제학회*.
- Bu, K. J., Lim, Y. H., Byrne, J., Seo, J. S., Taminau, J., Nyangon, J., & Zhu, C. (2017). A study on energy policy cases and implications of major countries. Foundation for Renewable Energy and Environment.
- 장인수, 음희철, 임지혜. (2020). 지역 인구 변화에 따른 정책 과제와 대응 방안. *한국보건사회연구원*.
- Chang, I. S., Woo, H. B., & Lim, J. h. (2020). Regional demographic changes and policy responses in Korea. Korea Institute for Health and Social Affairs.
- 조항문. (2022). 기초자치단체 지역에너지계획 수립방안. *서울연구원*.
- Cho, H. M. (2022). Strategies for establishing local government energy plans. Seoul Institute.
- 조성진, 김수일, 이상재. (2023). 탄소세 도입의 상업-공공용 건물에너지소비 영향 분석 연구(이슈페이퍼 23-11). *에너지경제연구원*.
- Cho, S. J., Kim, S. I., & Lee, S. J. (2023). Analysis of the impact of carbon tax introduction on commercial and public building energy consumption (Issue Paper 23-11). Korea Energy Economics Institute.
- 조용준, 김영화. (2007). 요인분석과 군집분석을 통한 세분화 및 전략방향 제시: 특수법인 사례를 중심으로. *응용통계연구*, 20(1), 23-38.
- Cho, Y. J., & Kim, Y. H. (2007). A strategy through segmentation using factor and cluster analysis: Focusing on corporations having a special status. *Korean Journal of Applied Statistics*, 20(1), 23-38.
- 최충익, 고재경. (2010). 지방자치단체의 온실가스 배출 특성과 기후변화대응 정책적 함의: 경기도를 사례로. *국토계획*, 45(2), 261-274.
- Choi, C., & Koh, J. (2010). Greenhouse gas emission characteristics of local governments and its implications in climate change policy: The case of Gyeonggi-Do. *Journal of Korea Planning Association*, 45(2), 261-274.
- 최영국, 정진규, 심우배, 이문원, 임은선, 김명수, 황광익, 서연미, 박정은. (2008). 기후변화에 대응한 지속가능한 국토관리 전략 (I): 지역별 온실가스

- 인벤토리 구축 및 지역특성 분석. 국토연구원.
- Choi, Y. G., Jung, J. G., Sim, W. B., Lee, M. W., Im, E. S., Kim, M. S., Hwang, K. I., Seo, Y. M., & Park, J. E. (2008). Climate change and sustainable land management strategies in Korea (I): Regional greenhouse gas inventory construction and regional characteristics analysis. Korea Research Institute for Human Settlements (KRIHS).
- Dai, Y. H., Xie, W. J., Jiang, Z. Q., Jiang, G. J., & Zhou, W. X. (2014). Correlation structure and principal components in global crude oil market. arXiv Preprint, arXiv:1405.5000. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1405.5000>
- 동아현, 강정은. (2020). 효율성 분석을 활용한 지자체 에너지 소비에 영향을 미치는 도시특성 분석. 국토계획, 55(4), 131-145.
- Dong, A. H., & Kang, J. E. (2020). Analysis of the urban characteristics affecting local energy consumption using efficiency analysis. Journal of Korea Planning Association, 55(4), 131-145. <https://doi.org/10.17208/jkpa.2020.08.55.4.131>
- Field, A. (2009). Discovering statistics using SPSS: Introducing statistical method (3rd ed.). Sage.
- Gao, J., Zhong, X., Cai, W., & et al. (2019). Dilution effect of the building area on energy intensity in urban residential buildings. Nature Communications, 10, 4944. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12852-9>
- 한인영, 오은주. (2014). 미군기지 주변지역의 유형별 특성에 따른 발전방안 연구. 지방행정연구, 28(4), 473-496.
- Han, I. Y., & Oh, E. J. (2014). A study on development plans according to the characteristics of areas around U.S. military bases. Journal of Local Administration Research, 28(4), 473-496. <https://doi.org/10.22783/krila.2014.28.4.473>
- 한만섭, 오홍운. (2012). 군집분석을 이용한 서울시 행정구역별 교통유형 분류. 한국도로학회논문집, 14(4), 133-140.
- Han, M. S., & Oh, H. (2012). Categorization of traffic type according to Seoul-City administrative district using cluster analysis. Journal of the Korean Society of Road Engineers, 14(4), 133-140.
- Harman, H. H. (1976). Modern factor analysis (3rd ed.). University of Chicago Press.
- Hitaj, C., & Suttles, S. (2016). Trends in U.S. agriculture's consumption and production of energy: Renewable power, shale energy, and cellulosic biomass (EIB-159). U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.
- 장명준, 신예철, 최형선, 김태호. (2012). 도시규모를 고려한 탄소배출량과 도시특성요소와의 관계 연구. 도시행정학보, 25(1), 57-87.
- Jang, M. J., Shin, Y. C., Choi, H. S., & Kim, T. H. (2012). The analysis of relationship between urban size and CO₂ emissions considering urban characteristics. Journal of Urban Administration, 25(1), 57-87.
- 전수영. (2010). 우리나라 산업부문 에너지 및 온실가스 저감 잠재량 분석(석사학위논문). 연세대학교 대학원, 서울, 대한민국. [Korean Literature]
- Jeon, S. Y. (2010). Analysis of energy and greenhouse gas reduction potential in Korea's industrial sector (Master's thesis). Yonsei University Graduate School, Seoul, South Korea.
- 정은미, 광대중, 황윤진. (2009). 철강·석유화학산업의 친환경 및 고효율 구조전환 전략(KIET 연구보고서 552호). 산업연구원.
- Jeong, E. M., Kwak, D. J., & Hwang, Y. J. (2009). Strategies for eco-friendly and high-efficiency structural transformation in the steel and petrochemical industries (KIET Research Report No. 552). Korea Institute for Industrial Economics and Trade.
- Jiang, P., Fan, Y. V., & Klemeš, J. J. (2021). Impacts of COVID-19 on energy demand and consumption: Challenges, lessons and emerging opportunities. Applied Energy, 285, 116441. <https://doi.org/>

- 10.1016/j.apenergy.2021.116441
- 진태영. (2024). 우리나라 온실가스 배출량 결정요인 분석: 16개 광역지자체 자료를 바탕으로. *자원환경경제연구*, 33(3), 241-261.
- Jin, T. Y. (2024). Determinants of Korean greenhouse gas emissions revisited: Based on 16 metropolitan city data. *Journal of Environmental and Resource Economics*, 33(3), 241-261. <https://doi.org/10.15266/KEREA.2024.33.3.241>
- Kaiser, H. F. (1960). The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 141-151. <https://doi.org/10.1177/001316446002000116>
- 강창덕. (2011). 공간계량모형에 의한 서울시 에너지 소비 분석과 정책과제: 전력과 도시가스 소비를 중심으로. *서울도시연구*, 12(4), 1-22.
- Kang, C. D. (2011). Analysis on energy consumption and its policy implication in Seoul with spatial econometrics: Focusing on electricity and gas consumption. *Seoul Studies*, 12(4), 1-22. <https://doi.org/10.23129/seouls.12.4.201112.1>
- 김충실, 이현근. (2009). 농업부문 에너지 소비의 CO₂ 배출량 분석. *농촌경제*, 32(1), 41-61.
- Kim, C. S., & Lee, H. K. (2009). CO₂ emission analysis of energy consumption in the agricultural sector. *Journal of Rural Economics*, 32(1), 41-61. <https://doi.org/10.36464/jrd.2009.32.1.003>
- 김동구, 손인성. (2018). 우리나라 온실가스 배출 정점 도달 시점 분석(기본연구보고서 18-13). *에너지경제연구원*.
- Kim, D. G., & Son, I. S. (2018). Analysis of the peak timing of greenhouse gas emissions in Korea (Basic Research Report 18-13). Korea Energy Economics Institute.
- 김인현, 오규식, 정승현. (2011). 도시패턴과 탄소배출량의 관계 분석. *Spatial Information Research*, 19(1), 61-72.
- Kim, I. H., Oh, K. S., & Jung, S. H. (2011). An analysis of relationship between carbon emission and urban spatial patterns. *Spatial Information Research*, 19(1), 61-72.
- 김지효, 김현재. (2021). 에너지전환 정책의 성과 및 향후 추진방향 연구(기본연구보고서 2021-01). *에너지경제연구원*.
- Kim, J. H., & Kim, H. J. (2021). Analysis on the outcome of energy transition policy and further direction (Basic Research Report 2021-01). Korea Energy Economics Institute.
- 김수이. (2022). 국내 제조업부문에 대한 에너지소비 요인 분해 분석. *자원환경경제연구*, 31(4), 825-848.
- Kim, S. Y. (2022). Decomposition analysis on energy consumption of manufacturing industry. *Journal of Environmental and Resource Economics*, 31(4), 825-848.
- 김연중, 이용엽. (2010). 농업부문 에너지 이용 실태(연구차보고서). *한국농촌경제연구원*.
- Kim, Y. J., & Lee, Y. O. (2010). A study on energy use of the farmers (Annual Report). Korea Rural Economic Institute.
- 김연중, 박지연, 박형구, 최진용, 송성찬, 문지혜. (2018). 농업분야 에너지소비량 및 이산화탄소 배출량 조사 연구(최종보고서). *한국농촌경제연구원*.
- Kim, Y. J., Park, J. Y., Park, H. G., Choi, J. Y., Song, S. C., & Moon, J. H. (2018). A study on energy consumption and carbon dioxide emission in agricultural sector (Final Report). Korea Rural Economic Institute. <https://doi.org/10.23000/TRKO201900016008>
- 김병석, 문태훈. (2011). 압축도시의 토지이용 특성이 이산화탄소 배출에 미치는 영향. *환경정책*, 19(2), 101-116.
- Kim, B. S., & Moon, T. H. (2011). A study on the effects of land use characteristics of compact city on CO₂ emission. *Environmental Policy*, 19(2), 101-116.
- 김소연, 류수열. (2021). 우리나라 이산화탄소 배출량 결정요인 분석: 횡단면 의존성과 계수 이질성을 고려하여. *한국경제지리학회지*, 24(4), 400-410.

- Kim, S. Y., & Ryu, S. Y. (2021). Analysis of determinants of carbon dioxide emissions in Korea: Considering cross-sectional dependence and heterogeneous coefficient. *Journal of the Korean Economic Geography Society*, 24(4), 400-410. <https://doi.org/10.23841/egsk.2021.24.4.400>
- 고재경, 한진이, 김동구, 이보람, 최이령, 박익현, 최동수, 김남수. (2024). 경기도 기후격차 실태조사 연구 (정책연구 2024-55). *경기연구원*.
- Ko, J. K., Han, J. I., Kim, D. G., Lee, B. R., Choi, I. R., Park, I. H., Choi, D. S., & Kim, N. S. (2024). Study on the climate gap in Gyeonggi-Do (Policy Research 2024-55). *Gyeonggi Research Institute*.
- 고재경, 김성욱, 주정현. (2015). 기초지자체 에너지 소비 변화 요인 및 특성 분석: 경기도 지역을 중심으로. *지방행정연구*, 29(2), 127-152.
- Ko, J. K., Kim, S. W., & Joo, J. H. (2015). An analysis on characteristics of changing energy consumption pattern of municipalities in Gyeonggi-Do. *Journal of Local Administration Research*, 29(2), 127-152.
- 이성인. (2009). 국가 에너지절약 및 효율향상 추진 체계 개선방안 연구: 수송부문의 에너지효율 평가(기본연구보고서 09-12). *에너지경제연구원*.
- Lee, S. I. (2009). Study on the improvement of national energy saving and efficiency promotion system: Evaluation of energy efficiency in the transportation sector (Basic Research Report 09-12). *Korea Energy Economics Institute*.
- 이수일, 노재형, 백철우. (2015). 신재생에너지 보급정책의 효율화 방안 연구. *한국개발연구원*.
- Lee, S. I., Noh, J. H., & Baek, C. W. (2015). A study on the efficiency improvement of renewable energy supply policies. *KDI Research Report*. <https://doi.org/10.22740/kdi.ps.2015.17>
- Laher, S. (2010). Using exploratory factor analysis in personality research: Best-practice recommendations. *SA Journal of Industrial Psychology*, 36(1), Article 873. <https://doi.org/10.4102/sajip.v36i1.873>
- 873
- 이보혜. (2019). 2019년 기초지자체 에너지밸런스 작성 결과. *에너지경제연구원*.
- Lee, B. H. (2019). 2019 energy balance report for local governments in Korea. *Korea Energy Economics Institute*.
- 이갑정, 윤갑식. (2013). 도시공간구조와 교통에너지 소비의 상관성 분석. *도시행정학보*, 26(3), 121-142.
- Lee, G. J., & Yun, K. S. (2013). An analysis of the interrelationship between urban spatial structure and transportation energy consumption. *Korean Review of Urban Administration*, 26(3), 121-142.
- 이건원. (2017). 도시 유형별 도시특성요소와 온실가스 배출량 간의 관계 분석. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 18(11), 62-71.
- Lee, G. W. (2017). Analysis of the relationship between urban characteristic elements by type of city and GHG emissions. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 18(11), 62-71. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.11.62>
- 이종상. (2002). 지역유형구분을 위한 요인점수의 군집 분석. *국토계획*, 37(4), 191-199.
- Lee, J. S. (2002). A study on the classification of regional patterns by cluster analysis utilizing factor scores. *Journal of Korea Planning Association*, 37(4), 191-199.
- 이상호. (2008). 삶의 질 지표에 기반한 농어촌 지역별 유형분류 및 요인분석. *농촌경제*, 31(4), 33-48.
- Lee, S. H. (2008). Classification and factor analysis of rural areas based on quality of life indicators. *Journal of Rural Economics*, 31(4), 33-48. <https://doi.org/10.36464/jrd.2008.31.4.003>
- 이상준, 안동환, 김현석, 신승환, 이원석. (2020). 농어촌 지역 재생에너지 보급사업의 갈등요인 분석과 해결방안 연구(기본연구보고서 20-09). *에너지경제연구원*.
- Lee, S. J., Ahn, D. H., Kim, H. S., Shin, S. H., & Lee, W. S.

- (2020). Analysis of conflict factors and solutions for renewable energy supply projects in rural areas (Basic Research Report 20-09). Korea Energy Economics Institute.
- 이수진, 한다혜. (2022). COVID-19 전후 소비지출패턴의 변화에 대한 연구: 소비지출증감에 따른 가계유형화를 중심으로. *소비문화연구*, 25(4), 67-91.
- Lee, S. J., & Han, D. H. (2022). A study on changes in consumption expenditure patterns before and after COVID-19: Focusing on household classification based on changes in consumption expenditure. *Journal of Consumer Culture*, 25(4), 67-91. <https://doi.org/10.17053/jcc.2022.25.4.004>
- 이윤주, 최열. (2019). 토지이용 및 제조업 특성에 따른 에너지 사용량과의 상관성 분석 - 부산광역시도시권 사례를 중심으로. *대한토목학회논문집*, 39(5), 637-645.
- Lee, Y. J., & Choi, Y. (2019). Correlates between urban land use and manufacturing industries characteristics and energy consumption - A case of Busan metropolitan area. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 39(5), 637-645.
- Li, Z., et al. (2013). Decoupling analysis of electricity consumption from economic growth in China. *Journal of Cleaner Production*, 53, 278-287. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.024>
- Lin, W., Su, J., & Shi, F. (2010). Economic growth, energy consumption intensity and power consumption: Analysis of the reasons for the deviation between power consumption and GDP growth rate. *Economic Science*, 5, 15-22.
- Manaloor, V. (2006, August 12-18). CO₂ emissions from central Canadian agriculture: Meeting Kyoto targets and its implications [Conference presentation]. International Association of Agricultural Economists Conference, Gold Coast, Australia.
- Martin-Gorriz, B., Soto-Garcia, M., & Martinez-Alvarez, V. (2014). Energy and greenhouse-gas emissions in irrigated agriculture of southeast Spain: Effects of alternative water supply scenarios. *Energy*, 77, 478-488. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.031>
- Miranowski, J. A. (2004). Energy consumption in US agriculture. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 29(1), 85-106.
- 남궁근, 최병선, 원미연. (2010). 에너지 소비특성에 따른 도시유형별 정책방향 연구. *국토계획*, 45(1), 237-250. <https://doi.org/10.000338.2010.45.1.004>
- NamKoong, K., Choe, B. S., & Won, M. Y. (2010). A study on the energy policy guidelines for Korean cities based on energy consumption characteristics. *Journal of Korea Planning Association*, 45(1), 237-250. <https://doi.org/10.000338.2010.45.1.004>
- 노경식, 왕광익, 유선철, 민경주, 이진원, 김세용, & 권용우. (2013). 탄소저감 도시계획 수립을 위한 모델구상 및 적용방안 연구. *국토지리학회지*, 47(1), 1-10.
- Noh, K. S., Wang, K. I., Yoo, S. C., Min, K. J., Lee, G. W., Kim, S. Y., & Kwon, Y. W. (2013). A Case Study on Carbon Reduction Plan for Urban Initiative and Application Model. *Journal of the Korean Geographical Society*, 47(1), 1-10.
- 오형나. (2011). 제조업부문 에너지 수요에 대한 연구. 한국개발연구원.
- Oh, H. N. (2011). A study on energy demand in the manufacturing sector. Korea Development Institute. https://www.kdi.re.kr/research/reportView?pub_no=12728
- 오상원, 박지용, 정주철. (2023). 지역별 온실가스 배출량에 따른 지역유형화 및 특성분석 연구. *환경정책과 행정학회지*, 31(1), 1-30.
- Oh, S. W., Park, J. Y., & Jung, J. C. (2023). A study on regional classification and characteristic analysis based on greenhouse gas emissions. *Journal of Environmental Policy and Administration*, 31(1), 1-30. <https://doi.org/10.15301/jepa.2023.31.1.1>
- 박보현, 이경희, 최숙자, 서숙경, & 최선임. (2021). 지역

- 의 건강결정요인 취약성 유형화 및 유형별 건강수준의 차이. *지역사회간호학회지*, 32(3), 281-291.
- Park, B., Yi, K., Choi, S., Seo, S., & Choi, S. (2021). Typology of community health vulnerabilities and their effects on health status by type-using community health survey. *Journal of Korean Academy of Community Health Nursing*, 32(3), 281-291. <https://doi.org/10.12799/jkachn.2021.32.3.281>
- 박기현, 김창훈. (2016). 지역에너지사업 실태분석을 통한 중앙-지방정부 간 에너지부문 협력증진 방안 연구. *에너지경제연구원*.
- Park, K. H., & Kim, C. H. (2016). A study on measures to promote cooperation between central and local governments in the energy sector through an analysis of regional energy projects. *Korea Energy Economics Institute*.
- 박상현, 이천환, 정민경, 염성찬. (2024). 지역에너지계획 및 온실가스 배출량 분석을 통한 2030 국가 온실가스 감축목표 이행 현황 진단. *한국기후변화학회지*, 15(3), 327-341.
- Park, S. H., Lee, C. H., Jung, M. K., & Yeom, S. C. (2024). Diagnostic study on the status of implementation of 2030 National Determined Contribution through analysis of a local energy master plan and greenhouse gas emissions. *Journal of Climate Change Research*, 15(3), 327-341. <https://doi.org/10.15531/KSCCR.2024.15.3.327>
- Ponce, P., Del Rio-Rama, M. de la C., Alvarez-Garcia, J., & Oliveira, C. (2021). Forest conservation and renewable energy consumption: An ARDL approach. *Forests*, 12(2), 255. <https://doi.org/10.3390/f12020255>
- 유윤진, 손세형, & 김도년. (2012). 도시공간구조와 탄소배출량간 상관관계 실증 분석. *한국대기환경학회지*, 28(3), 273-281.
- Ryu, Y.J., Sohn, S.H., & Kim, D.N. (2012). An empirical analysis on correlation between carbon emission and urban spatial structure. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 28(3), 273-281. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2012.28.3.273>
- Schmidt, H., & Wirth, M. (2020). Microgrid technology and rural electrification: Lessons from Germany. *Energy Policy*, 140, 111427. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111427>
- 송기욱, 남진. (2009). 압축형 도시특성요소가 교통에너지 소비에 미치는 영향에 관한 실증분석. *국토계획*, 44(5), 193-206.
- Song, K. W., & Nam, J. (2009). An analysis on the effects of compact city characteristics on transportation energy consumption. *Journal of Korea Planning Association*, 44(5), 193-206.
- 송민경, 장훈. (2010). 군집분석을 이용한 수도권 도시의 유형화에 관한 연구. *대한공간정보학회지*, 18(1), 83-88.
- Song, M. K., & Jang, H. (2010). A study on the classification of cities in the Seoul metropolitan area using cluster analysis. *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, 18(1), 83-88.
- 송우경, 장만태, 최준석. (2013). 광역경제권 연계협력사업의 실태와 활성화 방안 연구. *산업연구원*.
- Song, W. K., Jang, M. T., & Choi, J. S. (2013). The progress status of regional cooperation projects and ways to promote them. *Korea Institute for Industrial Economics and Trade*. <https://doi.org/10.23000/TRKO201400001852>
- United Nations Environment Programme(UNEP). (2021). Achieving energy access in rural areas through renewable energy solutions. *United Nations Environment Programme*.
- Wang, C., Song, J., Shi, D., et al. (2023). Impacts of climate change, population growth, and power sector decarbonization on urban building energy use. *Nature Communications*, 14, 6434. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-46434-4>

- org/10.1038/s41467-023-41458-5
- Wisein Company. (2018). Advanced statistical analysis using SPSS (pp. 104-166). [Korean literature].
- 우중춘. (2014). 산림자원을 활용한 지역개발 정책방안 연구. 한국산림경제학회.
- Woo, J. (2014). A study of policies for regional development using forest resources. Korea Forest Economic Society.[Korean literature].
- Xu, G., Huang, D., Chen, X., & Chen, M. (2022). Study on energy rebound effects of China's industries. PLOS ONE, 17(10), e0282242. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282242>
- 양혜미, 송재민. (2017). 에너지 소비특성에 따른 도시 유형화 및 유형별 특성 분석. 한국지역개발학회지, 29(3), 113-134.
- Yang, H. M., & Song, J. M. (2017). Classification of cities based on energy consumption characteristics and analysis of type-specific characteristics. Journal of Korean Regional Development Association, 29(3), 113-134.
- Yin, S. (2024). Popularization of cars, penetration of electric vehicles, and energy consumption of Chinese households. Frontiers in Energy Research, 11. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1272185>
- 유지영, 최민하, 김태웅. (2010). 군집분석을 이용한 우리나라 가뭄특성의 공간적 분석. 한국수자원학회논문집, 43(1), 15-24.
- Yoo, J. Y., Choi, M. H., & Kim, T. W. (2010). Spatial analysis of drought characteristics in South Korea using cluster analysis. Journal of Korea Water Resources Association, 43(1), 15-24.
- 유성필, 황지욱. (2015). 지역별 도시특성이 이산화탄소 배출에 미치는 영향. 국토계획, 50(2), 197-211. <https://doi.org/10.17208/jkpa.2015.02.50.2.197>
- Yoo, S. P., & Hwang, J. W. (2015). Effects of urban characteristics on CO₂ emission by region. Journal of Korea Planning Association, 50(2), 197-211. <https://doi.org/10.17208/jkpa.2015.02.50.2.197>
- 유선철, 왕광익, 민경주, 노경식, 김세용. (2013). 도시통합모형을 활용한 도시계획부문 온실가스 배출량 산정에 관한 연구: 서울시를 대상으로. 국토지리학회지, 47(2), 217-228.
- Yu, S. C., Wang, K. I., Min, K. J., Noh, K. S., & Kim, S. Y. (2013). Estimating greenhouse gas emissions in urban planning using an integrated urban model: A case study of Seoul. Journal of the Korean Geographical Society, 47(2), 217-228.
- Zhang, W., & Li, M. (2022). Application of factor analysis and cluster analysis in regional economics: A case study. EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems. <https://doi.org/10.4108/eai.9-12-2022.2327702>
- 에너지경제연구원. (2022). 에너지 통계월보 2022-09. KESIS 국가에너지통계 종합정보시스템.
- Korea Energy Economics Institute. (2022). Energy statistics monthly report 2022-09. KESIS National Energy Statistics Comprehensive Information System.
- IBM. (2023, March 3). KMO and Bartlett's test [Internet]. Retrieved December 26, 2024, from <https://www.ibm.com/docs/ko/spss-statistics/29.0.0?topic=detection-kmo-bartletts-te>
- Invest Korea. (2022). Yeosu National Industrial Complex - Korea's largest petrochemical complex. Retrieved from https://www.investkorea.org/ik-en/bbs/i-2486/detail.do?ntt_sn=49076
- Invest Korea. (2025). Yeosu National Industrial Complex, the heart of Korea's petrochemical industry moving towards a sustainable future. Retrieved from https://www.investkorea.org/ik-en/bbs/i-5045/detail.do?ntt_sn=4908052
- 온실가스종합정보센터. (2022). 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서(National Inventory Report 2022). 환경부. <https://www.gir.go.kr/home/index.do?menuId=36>
- Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea. (2022). National Inventory Report 2022. Ministry

- of Environment. <https://www.gir.go.kr/home/index.do?menuId=36>
- 국가통계포털. (2022). 온실가스 배출 현황. e-나라지표. https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1464
- National Statistics Portal. (2022). Greenhouse gas emissions statistics. e-Nara Indicator. https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1464
- 한국에너지공단. (2024). 2024 KEA 에너지 편람. 한국에너지공단.
- Korea Energy Agency. (2024). 2024 KEA energy handbook. Korea Energy Agency.