

전기차 급속충전소의 입지 결정요인과 정책적 함의

김 현 중* / 김 경 석**

이 연구는 전기차 충전소의 부족 문제 및 공간적 편중 특성에 주목하여 수요, 공급, 지역 특성이 급속충전소 입지에 끼친 영향을 분석하였으며, 개별 독립변인의 영향력 차이를 탐색하였다. 회귀모형은 이산적인 급속충전소의 입지를 고려하기 위해 이항로짓모형을 활용하였다. 집계자료가 갖는 구조적인 문제인 생태학적 오류와 가변적 공간 단위의 문제를 완화하기 위해 모든 변인은 100m×100m의 미시적인 공간 단위에서 구축하였다. 분석 결과, 급속충전소 입지는 교통량을 반영하지 못하였다. 간선도로와의 거리가 짧을수록 급속충전소의 입지 확률은 높았는데, 이는 전기차의 짧은 이동가능 거리를 고려할 때, 긍정적으로 받아들여질 수 있다. 급속충전소 밀도가 높은 지역일수록 급속충전소의 입지 확률이 높았다. 급속충전소에 입지와 토지이용 간의 연관성은 선행연구와 동일하게 매우 밀접한 것으로 확인되었으며, 지역별로 급속충전소 차별적인 입지 확률도 증명되었다. 상기의 분석 결과를 토대로 전기차 급속충전소의 입지를 결정하는 데에 필요한 정책적 시사점을 제시하였다.

주제어 _ 전기차 급속충전소, 입지 확률, 이항로짓모형, 한계효과

* (주) 빅랩 소장(제1저자)

** 국립공주대학교 도시융합시스템공학과 교수(교신저자)

Determinants of Electric Vehicle Fast Charging Station Location and Policy Implications

Kim, Hyun-joong* / Kim, Gyeong-Seok**

This study analyzed the impact of demand, supply, and regional characteristics on the location of electric vehicle fast charging stations (EVFCS) and explored differences in the influence of independent variables in Korea, focusing on the shortage issue and spatial distribution of EVFCS. We utilized a binomial logit model to consider discrete location patterns of the electric vehicle fast charging station location (EVFCSL). All variables were constructed at a microscopic spatial unit of 100m x 100m to mitigate the structural problems of aggregated data, such as ecological fallacy and modifiable areal unit problem. As a result, EVFCSL needs to take traffic volume into account. The shorter the distance to the main road, the higher the probability that EVFCSL can be regarded positively, considering the short travel distance of electric vehicles. The probability of EVFCSL was high in areas with a high density of EVFCS. The relationship between EVFCSL and land use was confirmed in the same way as in previous studies, and differential EVFCSL by regional characteristics was also proven. The study proposed policy implications for determining EVFCSL in light of the analysis results.

Key words _ electric vehicle fast charging station, location probability, binomial logit model, marginal Effect

* CEO, Big Lab Corporation, Korea(First Author)

** Professor, Dept. of Urban Systems Engineering, Kongju National University, Korea(Corresponding Author)

I. 서론

전 세계 주요 국가에서 전기차의 공급 확대가 가시적인 성과로 나타나고 있다. 중국, 미국, 유럽, 캐나다, 인도 등 주요 국가의 최근 3년(2020~2022년)간 전기차 판매 성장률은 25~374%까지 성장하였다(한국자동차연구원, 2023). 최근 3년간 성장률이 높은 기간을 중심으로 언급하면, 인도가 373.6%로 가장 높은 가운데, 미국 94.3%, 캐나다 85.6% 등도 성장률이 가파르다. 같은 자료에서 우리나라의 전기차 판매량도 큰 폭으로 증가하였으며, 2020년 4.6만 대에 불과하던 판매량이 2022년에는 16.3만 대로 3배 이상 증가하였다. 우리나라 전기차 판매의 성장세에 발맞추어, 전기차에 대한 사회적 관심은 꾸준히 증가할 것으로 예상된다.

단언컨대, 2023년 현재 전기차와 관련하여 가장 큰 화두는 전기차 충전소의 양적 부족이다. 비록 전기차 충전소가 지속적으로 증가하고 있지만¹⁾, 충전소의 부족 문제는 한층 더 심화되고 있다. 2022년 현재, 전기차 충전소는 약 20.5만기지만, 전기차 보급 수인 39만 대의 절반 수준에 그치고 있다(환경부, 2023). 전기차 충전소의 질적 측면을 고려하면, 공급부족 문제는 한층 더 심각한데, 20.5만기 중 급속충전 인프라는 약 2.1만 대 수준에 불과하다. 급속충전기 인프라는 전기차 10대당 1기가 적당하나(강철구 외, 2021), 현실은 기준치의 절반 수준에 머무르고 있다. 급속충전기 인프라의 지역 간 격차는 우리나라가 깊어지고 있는 또 다른 구조적인 문제이다. 2022년 현재, 급속충전기 인프라의 적정 대수 기준인 1기당 10대를 초과하는 지역은 인구밀집 지역인 대도시, 즉 부산(34.05대), 인천(31.02대), 서울(26.02대), 대구(24.93대), 대전(24.49대), 경기(20.87대)에 집중적으로 분포하고 있다(전기신문, 2023. 2. 18). 전기차의 수요가 많은 대도시에서 급속충전 인프라가 부족한 현실은 전기차 공급에 커다란 걸림돌로 작용할 수밖에 없다. 따라서 전기차의 성장세를 고려한 급속충전소의 공급은 우리 사회가 해결해야 할 중요한 과제로 인식하는 것이 타당하다.

전기차의 급속충전소의 공급정책은 입지전략과 연계되어야 한다. 제한된 예산으로 급속충전소의 공급 효과를 극대화하기 위해서는 적정입지를 사전에 탐색하고 입지 우위를 바탕으로 점진적으로 공급하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 먼저 전기차 급속충전소의 입지 요인에 대한 이해가 필요하다. 전기차 급속충전소의 입지 요인은 무엇이며, 어떠한 요인들이 상대적으로 중요하게 고려되었는지 등에 관한 기초정보가 필요하다. 하지만 전기차 급속충전소에 대한 논의가 급물살을 타고 있는 현재까지도

1) 환경부(2023.2)에 따르면, 2022년 12월 31일 기준 전기차 충전기는 약 20.5만기이며, 2018년까지 27,252기, 2019년 17,440기, 2020년 19,396기, 2021년 42,513기, 2022년 98,504기가 공급되었다.

입지 요인을 설명하려는 연구는 미흡한 편이다. 특히 전국을 대상으로 급속충전소의 종합적인 입지 특성을 규명한 연구는 찾아보기 힘들어 관련 논의가 진전되지 못하는 하나의 원인으로 지목받고 있다.

이 연구의 목적은 전기차 충전소 중 중요도가 높은 공공 급속충전소의 입지 요인을 탐색하고 충전 인프라 확대를 위한 정책 방향을 제시하는 것이다. 세부적으로, 첫째, 이 연구는 전국을 대상으로 전기차 급속충전소의 입지 결정요인을 탐색한다. 둘째, 전기차 급속충전소에 영향을 끼치는 다양한 요인 중 중요도가 높은 요인을 식별한다. 셋째, 전기차의 공급 확대라는 시대적 과제에 대응하는 급속충전소 확대 방안을 제언한다. 급속충전소는 공공에서 공급하는 시설로 한정하였다. 공공의 효용(utility)을 높이기 위해 공공에서 제공하는 급속충전소는 불특정 다수의 이용을 전제로 공급하기 때문에 입지 요인에 대한 정보가 상대적으로 중요하다. 급속충전소 공급의 지역 간 격차가 심화된 우리나라에서는 특히 공공 전기충전소의 입지 결정요인에 대한 정보가 유용하게 활용될 수 있다.

이 연구는 미시적인 공간 단위에 주안점을 둔다. 특정 시설의 입지 결정요인을 분석하는 데 있어 공간 단위는 분석 결과에 많은 영향을 끼치게 마련이다. 미시적인 공간자료는 집계자료(aggregate data)가 갖는 구조적인 문제, 즉 생태학적 오류(ecological fallacy; Robinson, 1950)와 가변적 공간단위의 문제(modifiable areal unit problem; Openshaw, 1984)로부터 자유로울 수 있는 장점이 있다. 이 연구에서는 분석에 적용되는 모든 변인을 100m×100m 격자에서 구축하는데, 이는 자료 구득 여부와 분석의 공간적 범위, 즉 전국적인 분석이라는 점을 고려할 때, 우리나라에서 적용할 수 있는 가장 미시적인 공간 단위이다. 공간적 분석단위의 미시성으로 인해, 이 연구는 집계자료의 근본적인 한계를 극복할 수 있으며, 이를 통해 분석 결과의 신뢰성 향상을 꾀할 수 있다.

연구의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 지금까지 전기차 충전소 입지에 영향을 미치는 요인을 중심으로 선행연구를 검토하고, 제3장에서 분석 방법 및 변인 등에 관해 설명한다. 다음으로 제4장에서 전기차 급속충전소의 입지 결정요인을 해석하며, 마지막으로 결론에서는 연구를 요약하고 주요 정책 방향을 제시한다.

II. 선행연구

합리적인 의사결정과정을 거쳐 선정된 전기차 충전소의 입지는 전기차 운전자의 편의성을 높이는 동시에, 주행가능거리에 대한 불안감을 감소시켜 전기차의 사용 빈도를 높일 수 있다(Philipsen, et al., 2015; 엄익진, 2012). 또한 충전소에 대한 제한된 접근성은 전기차의 대중적 확대와 시장 수용을 크게

제한하는 연유로(He, et al., 2016), 전기차 충전소의 공급 확대는 전기차의 개발만큼이나 중요한 과제로 인식되고 있다. 전기차의 충전소에 대한 전 세계적 관심 증대는 관련 연구로 이어져, 광범위한 연구 주제가 수행되고 있다. 이 연구는 다양한 선행연구 중 전기차 충전소의 입지 결정요인과 입지선정에 초점을 맞춘다. 아울러 전기차 충전소의 입지 요인에 대해서는 세부 변인이 갖는 의미와 함께 중요성도 검토한다.

전기차 충전소는 개별 시설이 아닌, 일종의 인프라(infrastructure)로 인식하는 경향이 강하다. 급격하게 증가하고 있는 전기차 수요에 대응하기 위해서는 적재적소에 배치된 충전 인프라가 일종의 네트워크 형식으로 연계되어야 하기 때문이다(Metais et al., 2022). 이는 전기차 충전소의 최적 입지선정을 위해 노드, 경로, 활동 기반 등의 요인이 복합적으로 고려되고 있는 것과 무관하지 않다(Metais et al., 2022). 전기차 충전소의 네트워크화와 최적 입지선정 문제는 충전소의 양적 수준과 직결된다(Levinson & West, 2018). 충전소의 구축 비용, 환경오염 감소, 그리고 소비자에게 부과되는 요금 간의 연관성을 고려하여 충전소의 양이 결정되는데, 이는 물론 충전소의 입지에 종속적이다. 선행연구에서 전기차 충전소의 입지 중요성에 대해서는 이견을 찾아보기 힘든 반면, 최적 입지 요인에 관해서는 차이를 드러내고 있다.

전기차 충전소도 하나의 시설이므로 시설입지를 결정함에 있어 가장 중요한 요인은 수요, 즉 교통량이다(김경현·구윤모, 2020; 김장영, 2017; Giménez-Gaydou, et al., 2016). 차량의 교통량과 전기차 충전소의 입지는 불가분의 관계임은 주지의 사실이다. 교통량과 함께 추가적으로 고려하고 있는 입지 요인은 연구자별로 조금씩 다르다. 김장영(2017)은 차량의 이동 경로상에 위치하고, 접근성이 전기차 충전소의 입지선정에 중요한 기준이라고 언급하였다. 유성춘(2020)은 교통량 외에도 다양한 충전소 입지 현황, 주차장 시설, 유동인구, 부동산 정보, 배후지 유형 등을 주요 변인으로 활용하였다. 장홍석(2019)도 전기차 충전소의 입지선정을 위해 다양한 요인을 고려하였는데, 전기차 충전 내역, 충전소 위치 등과 같은 직접적인 자료 외에도 공시지가, 부동산 소유, 기온, 배후지 유형, 비보행 유동인구 지수, 주유소 카드 매출 자료를 복합적으로 활용하였다. Tang, et al.,(2017)은 잠재적(potential) 수요인 교통량이 아닌, 실현된(realized) 수요인 전기차의 주행거리를 직접 모형에 통제하여 분석 결과의 정확성을 높였다. 자료 구득이 가능하다면, 실현된 수요를 대상으로 분석하는 것이 바람직하다.

전기차 충전소의 입지 결정요인을 탐색한 연구는 더욱 방대하다. 이 연구에서는 주요 선행연구에서 통제된 변인을 중심으로 관련 논의를 전개한다. Wu & Niu(2017)는 전기차 충전소의 영향요인으로 충전수요, 운영 경제성, 교통 편의성, 전력망 보안성, 구축 타당성 등의 요인으로 구분하여 총 20개에 이르는 변인을 선정하였는데, 전문가 설문조사를 바탕으로 종합적인 요인을 선정한 점이 특기할 만하다. Vansola & Shukla(2022)는 투자 비용, 기대 수익, 토지 이용도, 항력 거리, 대기 시간, 충전수요, 가

용 전력 공급량이 전기차 충전소 입지에 종합적이고 다층적인 구조로 영향을 미치고 있음을 규명하였다. Roy & Law(2022)는 전기차 충전소의 지역 불균형 문제가 전기차 수요를 줄이는 역효과를 야기한다고 주장하는데, 전기차 충전소의 지역 간 격차가 심화된 우리나라에도 시사하는 바가 크다. Zhang & Iman(2018), Bian et al.,(2019)은 다양한 요인과 함께 토지이용 특성이 전기차 충전소에 미치는 영향에 주목하였다. 이들의 연구에 따르면, 인간 활동의 결과인 토지이용의 차이는 전기차 충전소의 입지에 직접적인 영향을 끼친다. 국내에서는 석인(2019)의 연구가 대표적이다. 석인(2019)은 전기차 사용자의 충전소 이용에 미치는 영향을 지리환경적, 사회경제적 요인으로 탐색하였다. 구체적으로 전기차 충전소 월평균 이용실적과 전기차 등록 대수, 최인접 특정 시설과의 거리, 단위 인구당 전체 자동차 등록 대수뿐 아니라, 주유소, 쇼핑시설, 관광시설 등의 시설도 변인으로 통제하였다. 다만, 이 연구는 시군을 대상으로 구축한 집계자료를 활용하여 전기차 충전소의 원인을 지역적 특성 수준에서 언급한 한계가 있다.

이 연구는 전기차 충전소 입지의 결정요인을 탐색하는 점에서 선행연구의 문제의식과 궤를 함께하나, 세 가지 측면에서 차별성을 지닌다. 첫째, 충전소의 대상이 차별적이다. 전기차 충전소의 입지 요인을 탐색한 대부분의 선행연구는 전체 전기차 충전소를 대상으로 분석하였다. 서론에서 논의한 바와 같이, 전기차의 공급 확대를 위해서는 급속충전 인프라의 확대가 시급히 이뤄져야 한다. 따라서 이 연구는 공공에서 공급한 급속충전소를 대상으로 연구를 수행함으로써, 정책적 시급성을 반영한다. 둘째, 분석의 공간적 범위는 포괄적이되, 분석의 단위는 미시적이다. 앞서 언급한 선행연구에서는 특정 지역을 사례로 분석하여 연구 결과를 일반화하는 데에 제약이 따랐다. 이에 반해 이 연구에서는 전국을 대상으로 분석하여 우리나라의 일반적인 특성을 도출할 수 있다. 또한 미시적인 공간 단위에서 전기차 급속충전소의 입지 결정요인을 분석한 사례연구도 찾아보기 힘든데, 이 연구는 선행연구의 한계를 보완할 수 있다. 셋째, 전기차 급속충전소의 입지 중요도를 실증한다. 미래 급속충전소의 입지는 상대적 중요도가 높은 영향요인을 우선적으로 고려해야 한다. 이 연구는 확률선택모형(Probabilistic Choice Model)을 활용하여 회귀분석을 수행함으로써, 공공 급속충전소의 입지 요인 간의 상대적 중요성을 파악할 수 있다.

III. 분석 방법

1. 회귀분석 : 이항로짓모형

이 연구는 전기차를 위한 공공 급속충전소의 입지 결정요인을 탐색하는 만큼 적합한 회귀분석모형의 선택이 중요하다. 급속충전소의 입지는 이산적인 형태 즉, 입지와 비입지로 존재하기 때문에 이산적인 종속변인의 특성을 반영할 수 있는 회귀분석을 적용해야 한다. 본 분석에서는 이산적(discrete)인 종속변인에 가장 널리 적용되는 이항로짓모형(Binomial Logit Model)을 적용하였다. 급속충전소로 입지와 비입지로 정의된 종속변인은 이항 분포로 설명할 수 있고, 이때, 독립변인과 종속변인의 관계는 식 (1)의 회귀식으로 정의된다.

$$y_i^* = \beta' x_i + u_i \quad (1)$$

여기서, y_i^* 는 이항 선택성을 가진 더미변인이고, $\beta' x_i$ 는 종속변인과 선형 관계가 아니며, 이는 $E(y_i|x_i)$ 가 만족되지 않고, $E(y_i^*|x_i)$ 가 성립됨을 보여준다.

$$\begin{aligned} y &= 1 \text{ if } y_i^* > 0 \\ y &= 0 \text{ otherwise} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)를 통해 식 (3)을 도출할 수 있는데, 여기서 F 교란항 u_i 의 누적분포함수(cumulative distribution function)로 정의된다. 식 (3)에서의 우도함수(L)는 식 (4)로 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{Prob}(y_i = 1) &= \text{Prob}(u_i > -\beta' x_i) \\ &= 1 - F(-\beta' x_i) \\ &= F(\beta' x_i) \end{aligned} \quad (3)$$

$$L = \left[\prod_{y_i=0} F(x_i \beta') \right] \left[\prod_{y_i=1} 1 - F(x_i \beta') \right] \quad (4)$$

식 (4)는 종속변인의 관찰된 값들이 이항 선택의 확률로서 실현됨을 보여준다. 즉, 종속변인이 이항 선택성을 가진 불연속적인 변인이었으나 확률의 도입으로 연속성을 확보함과 동시에 선형회귀식으로 설명할 수 없던 부분은 대칭성을 가정하고 있는 누적분포함수의 특성을 이용함으로써, 앞서 언급한 종속변인과 독립변인 간의 비선형 관계에 대해 분석할 수 있게 된다(Liao, T. F, 1994). 교란항 u_i 에 대한

누적분포함수 F 가 로지스틱함수일 때, 앞서 언급한 이항선택모형은 이 연구에서 사용될 이항로짓모형이 되며, 이는 식 (5)와 같이 정의된다. 식 (5)를 이 연구의 분석모형에 적용하면, 종속변인에서 참조집단인 급속충전소의 비입지($y = 0$)에 대하여, 입지의 특성은 $y = 1$ 로 파악할 수 있다.

$$F(-\beta'x_i) = \frac{\exp(-\beta'x_i)}{1 + \exp(-\beta'x_i)} = \frac{1}{1 + \exp(\beta'x_i)} \quad (5)$$

한편, 전기차 급속충전소 입지에 영향을 미치는 독립변인 간의 중요도는 한계효과(marginal effect)를 분석함으로써, 식별이 가능하다. 한계효과는 관찰하고자 하는 독립변인의 변화에 따른 급속충전소의 입지 확률을 의미한다. 급속충전소 입지 변화에 미친 영향을 모의실험(simulation)함으로써, 독립변인별 영향력의 차이를 실증할 수 있다. 이항로짓모형의 한계효과를 산출하는 일반적인 방법인 식 (6)을 분석에 적용한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \text{Prob}(y = \text{급속충전소 입지})}{\partial x_k} &= \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\frac{e^{\sum_{k=1}^K \beta_k x_k}}{1 + e^{\sum_{k=1}^K \beta_k x_k}} \right) = \frac{e^{\sum_{k=1}^K \beta_k x_k}}{(1 + e^{\sum_{k=1}^K \beta_k x_k})^2} \beta_k \\ &= \frac{e^{\sum_{k=1}^K \beta_k x_k}}{(1 + e^{\sum_{k=1}^K \beta_k x_k})} \times \frac{1}{(1 + e^{\sum_{k=1}^K \beta_k x_k})} \beta_k \\ &= P(1 - P)\beta_k \\ &\quad \text{단, } P = \text{Prob}(y = 1) \end{aligned} \quad (6)$$

2. 변인 및 자료

〈표 1〉은 전기차 공공 급속충전소의 입지 결정요인에 적용되는 변인에 대한 설명이다. 모든 변인은 100m×100m 격자에서 구축하였다. 교통량 자료(2022년)를 제외한 모든 변인의 기준연도는 2023년이다. 종속변인은 급속충전소의 입지 여부로 입지와 미입지로 구분하였다. 공공에서 공급한 급속충전소의 정보는 전기자동차 공공충전시설 운영현황(환경부, 2023년 6월 기준)을 이용하였으며, 미입지는 입지를 제외한 격자에서 임의(random)로 추출하였다.

전기차 공공 급속충전소에 영향을 미치는 유의미한 독립변인 중 자료 구득의 한계로 인해 공간자료로 구축이 어려운 변인들이 적지 않다. 가령, 전기차는 출발지와 도착지를 중심으로 충전될 확률이 높는데, 읍면동 단위에서의 전기차등록대수, 급속충전소의 이용행태 등의 자료는 구득이 불가능하다. 이

러한 한계로 인해 이 연구에서는 활용이 가능한 변인을 대상으로 수요 특성, 공급 특성, 지역 특성으로 독립변인을 구성하였다. 수요 특성의 세부 변인은 자료의 구득 여부와 선행연구를 참조하여 선택하였다. 교통량은 한국교통연구원에서 제공하는 View T 자료를 활용하였다. 교통량이 많은 지역에 급속충전소의 입지가 많을 것으로 예상된다. 유동인구의 증가는 공공 급속충전소의 수요 증가로 이어질 수 있기 때문에 관련 변인을 통제하였다. 일평균 유동인구 자료(2023년 2월 19~25일)를 활용하였으며, 자료의 출처는 LG유플러스의 Mobile Phone Signaling Data이다. 한편, 전기차를 선호하는 연령의 차별적인 특성을 수요에 포함시켰다. 입지 효율성 측면에서 전기차를 보유한 연령이 많은 지역일수록 공공 급속충전소가 많이 보급되어야 하는데, 이와 같은 연관성이 현실에 반영되고 있는지를 분석하였다. 2023년 1분기에 등록된 전기차 11,136대 가운데 40~50대의 등록 대수는 6,156대로 전체의 55%를 차지하였다(카이즈유데이터연구소, 2023). 연령별 전기차 선호도를 반영하기 위해 40~50대의 상주인구를 변인으로 통제하였으며, 국토지리정보원의 격자인구 자료를 활용하였다. 급속충전소의 접근성 수준을 고려하기 위해 고속도로 IC와의 거리와 간선도로와의 거리를 변인에 포함시켰다. 국가교통DB에서 필요한 레이어를 추출한 후, ArcGIS 10.8의 near 도구를 이용하여 급속충전소까지의 최단 거리를 측정하였다.

〈표 1〉 전기차 급속충전소 입지 결정요인 변인 설명

변인		설명	
종속변인	급속충전소 입지	입지=1, 미입지=0	
독립변인	수요 특성	교통량	반경 5km 이내 교통량(백만 대)
		유동인구	반경 5km 이내 유동인구(만 명)
		40~50대 상주인구	반경 5km 이내 40~50대 인구(만 명)
		고속도로 IC와의 거리	직선거리(100km)
		간선도로와의 거리	직선거리(km)
	공급 특성	급속충전소 밀도	반경 5km 이내 급속충전소 밀도(개소/1km ²)
	지역 특성	용도지역	주거, 상업, 공업, 기타(참조집단)
행정구역		동 지역, 읍 지역, 면 지역(참조집단)	

공급 특성은 급속충전소의 밀도만을 고려하였다. 급속충전소의 밀도가 높은 지역은 시설공급의 경쟁 구도가 형성되어 신규 입지의 매력이 떨어질 수 있다. 반대로, 급속충전소의 공급이 충분치 않아 급속충전소의 밀도가 낮은 지역이 신규 입지 확률이 높을 수도 있다. 급속충전소의 밀도를 측정하기 위해 개별 시설의 위치에서 반경 5km 내의 시설 수를 산출(ArcGIS 10.8의 Neighborhood Analysis 도구

활용)한 후, 단위 면적당 시설 수로 변환하였다. 지역 특성으로는 용도지역(주거, 상업, 공업, 기타)과 행정구역을 통제하였다. 선행연구에서 확인하였듯이, 용도지역의 차이는 급속충전소의 입지에 직접적인 영향을 끼칠 수 있다. 이와 같은 특성을 확인하기 위해 토지특성 조사 자료(국토교통부)를 활용, 필지 단위에서 주거, 상업, 공업, 기타 지역의 용도를 추출하였다. 읍면동 간의 차이는 공공 급속충전소의 공급과 수요에 복합적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 지역 특성과 공공 급속충전소의 입지 간의 일반적인 연관성을 살펴보기 위해 지역 변인을 통제하였다.

독립변인을 설정함에 있어 가장 논쟁적인 이슈는 급속충전소의 공간적 수요영역 혹은 서비스 영역이다. 급속충전소의 공간적 수요영역의 차이는 수요와 공급의 규모 차이를 의미하므로, 급속충전소의 입지 요인을 탐색하는 데에 있어 가장 중요한 기준 중 하나이다. 이 연구에서는 급속충전소의 반경 5km를 직접적인 공간적 수요영역으로 고려하였는데, 이에 대한 객관적인 기준을 제시할 수 없는 것이 선행연구와 함께 이 연구가 갖는 구조적인 한계이다. 우리나라에서 급속충전소를 실제 이용한 사용자의 정보는 구축된 사례가 없다. 학술적인 목표에서도 관련 기준은 찾아보기 어렵다. 거의 유일한 자료는 한국에너지 공단이 2018년에 '전기차 충전서비스산업육성사업'의 평가 기준으로 적용한 반경 10km이다. 2018년에 비해 급속충전소의 공급이 확대되었기 때문에 반경 10km를 적용하기는 어렵다고 판단하여 10km의 절반인 5km를 적용하였다.

IV. 분석 결과

1. 기초통계

회귀분석에 활용되는 변인의 주요 특성을 살펴보면 다음과 같다(〈표 2〉 참조). 종속변인의 평균은 0.43으로 급속충전소의 입지가 43%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 독립변인 중 교통량은 평균 약 240만 대로 분석되었으며, 독립변인 중 표준편차가 가장 컸다. 이는 지역 간 교통량의 심한 편차에 의한 결과이다. 유동인구의 평균은 6.8만 명이었으며, 표준편차도 큰 편이었다. 40~50대의 상주인구의 평균은 7천 명 수준이었으며, 상주인구가 존재하지 않은 격자도 있었다. 이는 참조집단, 즉 급속충전소가 입지하지 않은 격자를 임의로 추출한 데에 따른 결과이다. 고속도로 IC와의 거리, 간선도로와의 거리의 평균은 각각 3.85km, 2km로 나타났다.

급속충전소의 평균 밀도는 약 0.13으로 나타났다. 이 정보는 급속충전소 반경 5km 내 1km²당의 밀도

를 드러내므로, 평균적인 밀도 수준은 높지 않음을 확인할 수 있다. 용도지역은 주거, 상업, 공업, 기타의 비율이 각각 19%, 6%, 2%, 72%로 나타났다. 마지막으로 지역의 비율은 면 지역이 49%로 가장 높았으며, 뒤를 이어 동 지역 37%, 읍 지역 14%로 분석되었다.

〈표 2〉 변인의 기초통계량

변인		평균	표준편차	최솟값	최댓값	
종속변인	충전소 입지	0.43	0.50	0	1	
수요 특성	교통량	23.98	53.28	0.00	335.48	
	유동인구	6.80	11.21	0.00	47.79	
	40-50대 상주인구	0.71	1.24	0	5.93	
	IC와의 거리	3.85	1.03	1.11	6.04	
	간선도로와의 거리	2.00	2.29	0.01	18.66	
공급 특성	급속충전소 밀도	0.13	0.22	0.00	1.10	
지역 특성	용도지역	주거	0.19	0.39	0	1
		상업	0.06	0.25	0	1
		공업	0.02	0.15	0	1
		기타	0.72	0.45	0	1
	행정구역	읍	0.14	0.34	0	1
		면	0.49	0.50	0	1
		동	0.37	0.48	0	1

N = 5,054

2. 회귀분석

〈표 3〉은 전기차 급속충전소 입지의 결정요인 결과이다. 이항로짓모형의 적합도를 검증하기 위해 우도비검정(Likelihood Ratio test)을 실시한 결과, LR χ^2 은 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하여 모형의 우수한 설명력을 드러냈다. 개별 독립변인이 전기차 급속충전소의 입지에 미친 영향을 살펴보면 다음과 같다.

교통량은 급속충전소 입지에 부(-)의 영향력을 미쳤으며, 통계적 유의수준도 높았다. 이 결과는 우리나라에서 급속충전소의 입지가 교통량을 고려하지 못하고 있음을 보여주는 것이다. 공공에서 공급되는 급속충전소의 입지는 가용토지의 확보 등의 문제로 인해 기존의 공공시설, 가령 공용주차장 등에 입지하는 경우가 많다. 문제는 이들 시설의 입지가 교통량이 많지 않은 지역이라는 데에 있다. 따라서 앞으로 공공 급속충전소의 입지 결정 시에는 교통량의 조사가 선행되어야 하며, 교통량이 많은 기존의 공공시설에 급속충전소의 공급을 점진적으로 늘려가는 정책도 펼쳐야 한다. 또한 전기차의 원활한 공급

을 위해 교통량이 많은 지역에 공공 급속충전소의 신규 입지를 결정하는 노력도 중요하다.

유동인구의 규모는 급속충전소의 입지에 영향을 미치지 못하는 것으로 분석되었다. 유동인구 또한 교통량과 동일한 관점에서 해석이 가능하다. 즉, 인구의 활동이 빈번하게 나타나는 지역에서 적정 수준 이상의 급속충전소의 공급 지점을 찾기가 어려운 문제를 확인할 수 있다. 40~50대 상주인구는 급속충전소 입지에 유의미한 영향을 끼치지 못하였다. 변인 설명에서 언급하였듯이, 우리나라 전기차 소비의 50% 이상은 40~50대가 차지하는데, 이들 연령층이 거주지역 주변에서 이용할 수 있는 공공 급속충전소가 충분히 많은 문제는 전기차의 확대 공급을 저해할 수 있다. 고속도로 IC와의 거리는 통계적 유의성이 낮았지만, 간선도로와의 거리가 짧을수록 급속충전소의 입지 확률은 높았다. 전기차는 상대적으로 짧은 이동가능 거리로 인해 충전의 기회가 많이 보장되어야 하는데, 공공 급속충전소가 간선도로로부터 접근성이 우수한 지역이 입지하고 있는 경향은 전기차 이용에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다.

〈표 3〉 전기차 급속충전소 입지 결정요인 결과

변인		β	p-value		
절편		-0.67	0.00	***	
수요 특성	교통량	-0.02	0.00	***	
	유동인구	-0.01	0.65		
	40~50대 상주인구	-1.20	0.37		
	고속도로 IC와의 거리	-0.06	0.14		
	간선도로와의 거리	-0.05	0.04	**	
공급 특성	급속충전소 밀도	14.78	0.00	***	
지역 특성	용도지역	주거	2.32	0.00	***
		상업	4.97	0.00	***
		공업	1.75	0.00	***
	행정구역	읍	-0.37	0.01	***
		면	-1.26	0.00	***

N = 5054, LR $\chi^2=3540.19^{***}$, *** p<0.01, ** p<0.05

공공 급속충전소 밀도는 급속충전소 입지에 정(+)의 영향을 미쳤다. 급속충전소 밀도가 높은 지역일수록 급속충전소의 입지 확률이 높은 결과는 상반되는 두 가지의 관점에서 해석이 가능하다. 급속충전소의 입지 형평성의 관점에서 보면, 이 결과는 부정적으로 해석될 수 있다. 즉, 공공 급속충전소의 밀도가 높은 지역에 신규 시설을 선호하는 경향은 시설의 분산 배치에 부정적이다. 반면, 우리나라의 지역 간 인구 규모의 격차를 고려하면, 이 결과는 현실을 반영하였다고 평가할 수 있다. 다시 말하면, 인구가 밀집한 지역에 급속충전소가 많이 분포하고, 인구 밀집 지역은 여전히 급속충전소가 부족해 신규

시설의 입지 확률이 높은 경향을 드러냈다고 풀이할 수 있기 때문이다. 따라서 급속충전소의 밀도는 가치중립적으로 해석하는 것이 타당하다. 다만, 이와 같은 해석은 전국단위의 분석에서만 적용할 수 있다. 개별 지방자치단체에서는 지역 여건을 반영하여 급속충전소의 영향력을 차별적으로 해석하는 것이 바람직하다.

급속충전소에 입지와 토지이용 간의 연관성은 Bian et al.,(2019) 등의 선행연구와 동일하였다. 급속충전소의 입지는 높은 통계적 유의성을 확보한 채, 기타 지역에 비해 주거, 상업, 공업지역에서 높았다. 지역의 특성 또한 예상과 일치하였다. 참조집단인 동 지역에 비해 읍면 지역에서 급속충전소의 입지 확률은 현저히 떨어졌다. 도시 지역에 높은 인구밀도와 도시적 토지이용은 급속충전소의 입지에 긍정적인 영향을 미치고 있는 현상을 확인할 수 있다.

3. 한계효과

회귀분석모형에 투입된 각각의 독립변인 평균 조건일 때의 한계효과를 추정하였다. 분석 결과, 급속충전소 밀도의 한계효과는 3.67로 나타나, 다른 독립변인을 압도하였다. 이 결과에 비추어볼 때, 공공에서는 급속충전소의 밀도를 집중적으로 검토하여 신규 시설의 입지를 결정할 필요가 있다. 급속충전소 밀도를 제외하면 용도지역과 행정구역 등의 순으로 영향력이 높았다. 특기할 만한 사항으로 교통량, 유동인구의 한계효과는 매우 낮았는데, 이는 급속충전소의 입지가 이들 변인을 적극적으로 고려하지 못한 결과이다. 교통량과 유동인구가 많은 지역은 전기차 급속충전소의 수요가 높은 지역이므로, 향후 두 가지 변인을 보다 적극적으로 고려하는 것이 타당하다.

〈표 3〉 전기차 급속충전소 입지 요인의 한계효과 비교

변인		한계효과	순위
수요 특성	교통량	0.00	10
	유동인구	0.00	10
	40-50대 상주인구	0.15	6
	고속도로 IC와의 거리	0.02	8
	간선도로와의 거리	0.01	9
공급 특성	급속충전소 밀도	3.67	1

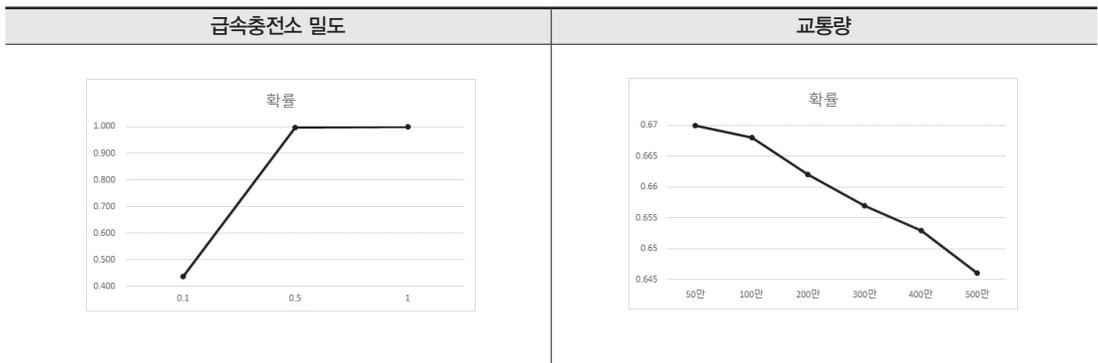
변인		한계효과	순위	
지역 특성	용도지역	주거	0.46	3
		상업	0.53	2
		공업	0.34	4
	행정구역	읍	0.09	7
		면	0.30	5

주) 모형에서 통제된 독립변인이 모두 평균 조건임을 가정하고 분석

급속충전소 수요와 공급의 핵심 변인인 급속충전소의 밀도와 교통량에 대해서는 한계효과의 변화를 시뮬레이션하였다. 다른 독립변인의 평균 조건은 그대로 적용한 채, 급속충전소의 밀도와 교통량의 평균을 다양한 조건으로 바꿈으로써, 한계효과의 변화를 측정할 수 있다. 먼저 급속충전소 밀도 평균을 0.1→0.5→1.0로 변화시키면, 급속충전소의 입지 확률은 0.438→0.997→0.999로 크게 증가하였다. 이는 급속충전소 밀도가 신규 입지 확률에 매우 큰 영향을 미치고 있음을 보여주는 것이다. 따라서 향후 전기자동차 급속충전소 입지 결정 시에는 급속충전소 밀도를 중요하게 고려하는 것이 타당하다.

교통량이 50→100→200→300→400→500만 대로 증가하게 되면, 급속충전소의 입지 확률은 0.670→0.668→0.662→0.657→0.6527→0.646으로 감소하였다. 규범적인 관점에서 교통량과 급속충전소 입지의 관련성은 분석 결과처럼 우하향하는 그래프가 아닌, 우상향하는 그래프로 형성되는 것이 바람직하다. 교통량의 밀도와 급속충전소가 양의 상관관계를 형성할 때, 급속충전소의 입지 효율성이 높아지고, 이는 시설공급의 효과성을 제고하기 때문이다. 2023년 현재, 교통량과 급속충전소의 입지 간에는 부(-)의 상관관계를 맺고 있지만, 빠른 시일 내에 정(+)의 상관관계를 맺을 수 있도록 관련 정책의 추진이 필요하다 하겠다.

〈그림 1〉 급속충전소 밀도 및 교통량의 한계효과 변화



V. 결론

이 연구는 전기차 충전소의 부족 문제 및 공간적 편중 특성에 주목하여 전국을 대상으로 공공에서 공급하는 급속충전소의 입지 특성을 종합적으로 분석하였다. 수요, 공급, 그리고 지역 특성이 급속충전소 입지에 끼친 영향을 분석하였으며, 개별 독립변인의 영향력 차이를 탐색하였다. 주요 분석을 결과를 요약하고, 정책적 주안점 등을 언급하면 다음과 같다.

급속충전소의 입지 결정요인 탐색 결과, 교통량은 급속충전소 입지에 부(-)의 연관성을 맺는 것으로 드러났다. 이는 교통량이 많을수록 전기차 충전소가 많아져야 한다는 경험적인 인식과 다르며, 급속충전소 입지가 교통량을 고려하지 못한 부정적인 현실을 여실히 드러내는 결과이다. 추후에는 교통량을 적극적으로 고려하여 급속충전소의 입지가 결정될 필요가 있다. 유동인구와 전기차 주요 고객층의 상주인구는 급속충전소 입지에 영향을 끼치지 못하였다. 유동인구 결과는 인구 활동이 빈번하게 나타나는 지역에서 급속충전소의 공급 지점을 찾기 어려운 현 실태를 보여주고 있다는 점에서 관련 정책적 대응이 요구된다. 간선도로와의 접근성은 급속충전소 입지에 긍정적인 영향을 미쳤는데, 이는 전기차의 짧은 주행거리를 고려할 때, 긍정적인 결과로 수용 가능하다. 급속충전소의 밀도가 높은 지역에 급속충전소가 입지하는 경향이 확인되었으며, 이 결과에 대해서는 가치중립적 해석의 필요성을 언급하였다. 급속충전소 밀도의 영향력은 지방자치단체마다 차별적일 것으로 예견되므로, 지역단위의 분석에서는 지역 특수성을 한층 더 고려해야 한다. 토지이용과 지역 특성은 모두 전기차 급속충전소 입지에 직접적인 영향을 끼쳤다. 이러한 결과는 시설 결정을 다루는 공간계획에서 급속충전소의 입지를 보다 적극적으로 고려해야 함을 시사하는 바이다. 따라서 종합적인 공간계획 차원에서 급속충전소의 입지 문제를 다루는 후속 연구가 활발히 이뤄져야 한다.

회귀모형에서 통제된 독립변인 중에는 급속충전소의 밀도가 급속충전소 입지 결정에 가장 큰 영향력을 보였다. 이 결과에 비추어 보면, 신규 급속충전소의 입지는 기존 시설의 입지를 적극적으로 고려하는 것이 바람직하다. 교통량이 증가할수록 급속충전소의 입지 확률이 떨어지는 경향을 확인한 것은 이 연구의 성과 중 하나이다. 급속충전소는 교통량이 많은 지역에 입지할 때, 입지의 효율성을 높일 수 있다. 하지만 현실은 정반대의 결과를 보였는데, 이 결과에 대해서는 심각하게 받아들여야 한다. 시설의 수요와 공급 간의 부조화는 중복투자와 예산 낭비로 귀결될 수밖에 없다. 따라서 교통량이 많은 지역에 급속충전소를 입지시키는 노력이 시급하게 이뤄져야 한다.

이 연구의 차별성인 공공 전기차 급속충전소의 일반적인 입지 영향요인 확인 및 요인별 영향력 시뮬레이션은 기존 연구의 한계를 일정 부분 보완하였다는 점에서 평가받을 수 있지만, 자료 문제 등으로

인한 한계도 있다. 이 연구의 한계를 극복하기 위해서는 관련 자료가 구축이 선행되어야 한다. 무엇보다도 전기차 사용자들의 급속충전소 사용현황 자료가 필요하다. 전기차 사용자의 개인 특성뿐 아니라, 공공 급속충전소의 방문 이유 등에 관한 정보가 공간패널자료(spatial panel data)로 구축될 때, 입지 요인을 심층적으로 실증할 수 있을 것이다. 이 연구의 한계인 공공 급속충전소의 잠재적 수요영역도 관련 자료가 구축되면 쉽게 해결될 수 있다. 분석 방법과 관련해서도 새로운 관점이 요구된다. 이 연구는 공간적 의존성(dependency) 및 이질성(heterogeneity)을 고려하지 못하였는데, 후속 연구에서는 다양한 공간계량경제모형(Spatial Econometric Models)을 활용하여 급속충전소의 공간 효과를 추정해야 한다. 지리 가중 회귀모형(Geographically Weighted Regression Models)을 활용한 급속충전소의 국지적 계수(local parameter)를 추정하는 것도 흥미로운 접근일 것이다.

공공 전기차 급속충전소의 입지 문제는 지방자치단체를 중심으로 치밀하게 대응하여야 한다. 전기차 급속충전소의 입지 특성, 교통량, 재정 여건 등을 고려하여 지역마다 지역맞춤형 전략이 필요하다. 이를 위해서는 먼저 공공 전기차 급속충전소의 공급과 관련된 종합적인 계획이 시급히 마련되어야 한다. 도시기본계획 등의 법정계획에서 교통계획의 세부 내용 중 하나로 전기차 급속충전소 공급방안을 다루는 것이 효과적인 대안일 수 있다. 도시기본계획을 활용하는 전략은 관련 법령의 개정 없이도 가능하므로, 현재의 제도를 최대한 활용하는 지혜가 필요하다. 한 걸음 더 나아가, 전기차 충전소의 공급은 공공과 민간의 협동이 중요하다. 공공은 민간의 참여를 적극적으로 독려하고, 적정 수준의 이윤을 달성할 수 있도록 지원해야 한다. 민간의 공공에서 수립한 계획에 참여하고 시설의 중복 입지를 사전에 조율하는 등의 노력에 협조해야 한다. 전기차 충전소 사업은 이제 막 태동한 전도유망한 사업이므로, 민관의 협동이 원활히 이뤄지길 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 지원사업(탄소중립 수송부문 감축전략 고도화 기술개발)으로 수행되었음 (과제번호 RS-2023-0024587130782064780101).

■ 참고문헌 ■

- 강철구·고재경·전소영·예민지(2021). 『경기도 전기차충전기의 효율적 설치 및 운영 방안』, 경기연구원.
- 김경현·구윤모(2020). “교통량 데이터를 활용한 전기차 충전소 위치 최적화 방안 연구”, 『한국혁신학회지』, 15(4), 61-91.
- 김장영(2017). “서울시 최적의 전기자동차 충전소 위치 선정”, 『한국정보통신학회논문지』, 21(8): 1575-1580.
- 석인(2019). “전기차 사용자의 충전소 이용에 영향을 주는 지리 환경적, 사회 경제적 요인에 대한 연구”, 한국자동차공학회 춘계학술대회, 1197-1206.
- 엄익진(2012). 『전기자동차 충전소의 위치설계』, 한양대학교 석사학위논문.
- 유성춘(2020). 『지리공간정보 연관성 분석을 활용한 최적의 전기자동차 충전소 위치 선정』, 조선대학교 산업기술창업대학원 석사학위논문.
- 카이즈유테이터연구소(2023) 2022년 기준 자동차관리정보시스템 (VMIS) 자동차등록통계자료집.
- 한국자동차연구원(2023.2.20.). “2022년 글로벌 전기차 판매 실적 분석”, 『산업동향』, 122.
- 환경부(2023). 『무공해차 보급 및 충전인프라 구축 현황』.
- Bian, C., Li, H., Wallin, F., Avelin, A., Lin, L., & Yu, Z.(2019). “Finding the optimal location for public charging stations—a GIS-based MILP approach”. *Energy Procedia*, 158: 6582-6588.
- Giménez-Gaydou, D. A., Ribeiro, A. S., Gutiérrez, J., & Antunes, A. P. (2016). “Optimal location of battery electric vehicle charging stations in urban areas: A new approach”. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(5): 393-405.
- He, S. Y., Kuo, Y. H., & Wu, D.(2016). “Incorporating institutional and spatial factors in the selection of the optimal locations of public electric vehicle charging facilities: A case study of Beijing, China”. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 67: 131-148.
- Levinson, R. S., & West, T. H.(2018). “Impact of public electric vehicle charging infrastructure”. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 64: 158-177.
- Liao, T. F.(1994). *Interpreting probability models: Logit, probit, and other generalized linear models* (No. 101). Sage.
- Metais, M. O., Jouini, O., Perez, Y., Berrada, J., & Suomalainen, E. (2022). “Too much or

- not enough? Planning electric vehicle charging infrastructure: A review of modeling options”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153: 111719.
- Openshaw, S.(1984). “Ecological fallacies and the analysis of areal census data”. *Environment and planning A*, 16(1): 17–31.
- Philipsen, R., Schmidt, T., & Ziefle, M.(2015). “A charging place to be–users’ evaluation criteria for the positioning of fast–charging infrastructure for electro mobility”. *Procedia Manufacturing*, 3: 2792–2799.
- Robinson, W. S.(1950). “Ecological correlations and the behavior of individuals”. *American Sociological Review*, 15: 351–357.
- Roy, A., & Law, M.(2022). “Examining spatial disparities in electric vehicle charging station placements using machine learning”. *Sustainable cities and society*, 83: 103978.
- Tang, M., Gong, D., Liu, S., & Lu, X.(2017). “Finding Key Factors Affecting the Locations of Electric Vehicle Charging Stations: A Simulation and ANOVA Approach”. *International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM)*, 16(3): 541–554.
- Vansola, B., Minal, & Shukla, R. N. (2022). “GIS–Based Model for Optimum Location of Electric Vehicle Charging Stations”. In *Recent Advances in Transportation Systems Engineering and Management: Select Proceedings of CTSEM 2021* (pp. 113–126). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Wu, H., & Niu, D.(2017). “Study on influence factors of electric vehicles charging station location based on ISM and FMICMAC”. *Sustainability*, 9(4): 484.
- Zhang, Y., & Iman, K.(2018, May). “A multi–factor GIS method to identify optimal geographic locations for electric vehicle (EV) charging stations”. In *Proceedings of the ICA* (Vol. 1, pp. 1–6). Copernicus GmbH.

전기신문(2023. 2. 18). 허영 의원, “전기차 충전 인프라 태부족...국토부가 앞장서야”.

원 고 접 수 일 | 2023년 10월 10일

심 사 완 료 일 | 2023년 10월 30일

최종원고채택일 | 2023년 11월 6일

김현중 khj1122452@gmail.com

미국 루이지애나주립대 지리 및 인류학과에서 박사수료 후 (주) 빅랩을 설립하여 대표이사로 재직 중이다. 주요 논문으로는 “Disparity in Spatial Access to Public Daycare and Kindergarten across GIS-Constructed Regions in Seoul, South Korea”(2019), “생활SOC의 지역 간 격차와 최적입지: 생활거점 시설을 중심으로”(2022), “Built Environment and Crime in a South Korea Context”(2022) 등이 있다. 최근까지도 다양한 학술 활동을 펼치고 있으며, 주요 관심 분야는 GIS 공간분석, 도시 시뮬레이션 모형, 그리고 공간 빅데이터이다.

김경석 gskim23@kongju.ac.kr

독일 Karlsruhe대학교에서 공간 및 교통계획 공학박사학위 취득 후 국토연구원에서 다년간 연구를 수행하였으며, 현재 국립공주대학교 공과대학 도시융합시스템공학과에 재직 중이다. 주요 논문으로는 “불법주차 문제점과 드론 주차단속 필요성의 관계: 기존 단속장비의 매개효과”(2022), “노출지표 특성에 따른 광역시·도별 교통안전도 비교 연구”(2022), “구조방정식모형을 활용한 주차공유플랫폼 중요도-만족도 분석: 대구시를 중심으로”(2021) 등이 있다. 주요 관심 분야는 시설입지분석, 교통접근도분석, 스마트안전관리 그리고 도시-교통융합시스템 구축 등이다.