

서울시 전기차 충전수요를 고려한 급속충전소의 최적입지 선정 연구

A Study to Determine the Optimized Location for Fast Electric Vehicle Charging Station Considering Charging Demand in Seoul

김 지 규* · 이 동 민** · 김 수 환***

* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학&스마트시티학과 석사

** 교신저자 : 서울시립대학교 교통공학&스마트시티학과 교수

*** 공저자 : 서울시립대학교 스마트시티학과 석사과정

Ji gyu Kim* · Dong min Lee** · Su hwan Kim**

* Dept. of Transportation Eng. & Smart City, Univ. of Seoul

** Professor, Dept. of Transportation Eng. & Smart City, Univ. of Seoul

*** Dept. of Smart City, Univ. of Seoul

† Corresponding author : Dong min Lee, dmlee@uos.ac.kr

Vol. 21 No.6(2022)
December, 2022
pp.57~69

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.6.57>

Received 2 September 2021
Revised 23 September 2021
Accepted 27 November 2022

© 2022. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

최근 다양한 전기차 판매와 향상된 서비스는 전기차 이용량을 급격히 증가시켰고, 이에 따라 전기차 충전수요가 증가하고 있다. 하지만 전기차 충전소는 부족하고 충전서비스가 필요한 위치와 설치·운영되고 있는 충전소의 위치에 차이가 있어 충전서비스의 효율성이 낮은 실정이다. 이에 본 연구에서는 이용자의 충전수요를 고려한 전기차 급속충전소의 최적입지를 선정하는 방법을 개발하였다. 충전수요를 고려할 수 있는 변수를 도출하고 데이터를 수집하였으며, AHP설문을 통해 각 변수의 가중치를 구하여 셀(cell)별로 가중평균된 입지잠재력점수를 산정하여 서울시 전역의 전기차 충전수요를 고려한 충전소의 최적입지를 도출하였다.

핵심어 : 전기차, 급속충전소, 입지선정, 가중평균점수

ABSTRACT

Even though demand to charge EV(electric vehicles) is increasing, there are some problems to construct EV charging stations and problems from deficient them. Typical problem of EV charging stations is discordance for EV charging station location with its demand. This study investigates methods to determine the optimized location for fast EV charging stations considering charging demand in Seoul. Firstly, variables influencing on determination of determine the optimized location for fast EV charging stations were decided, and then evaluation of weights of the variables and data collection were conducted. Using the weights, location potential scores for each area-cell were calculated and optimized locations for fast EV charging stations were resulted.

Key words : Electric vehicle, Fast charger, Location determination, Weighted average

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

자동차는 현대사회에서 필수 이동 수단이지만 자동차 운행에 의해 발생하는 탄소 산화물(COx)이나 질소 산화물(NOx) 등의 배기가스에 의한 환경오염은 지구온난화를 촉진하고 있다. 전 세계적으로 환경오염에 대한 대책을 시행하고 있으며 국내에서도 배출가스 규제를 포함한 미세먼지 관리 대책¹⁾과 '09년 10월에 전기 자동차산업 활성화 방안을 통해 친환경 이동 수단 보급 활성화 정책을 펼치고 있다. 이러한 정책에 힘입어 전기차 등록 대수가 2015년 5,712대²⁾에서 2019년 89,918대로 급격히 증가하였다.

국내 전기차 대수가 증가함에 따라 원활한 이용을 위해서는 충전소도 증가했지만, 전기차가 늘어나는 만큼 필요한 충전소가 확충되지 못했다. 서울시 통행자 설문결과에서도 나타나는데, 전기차 구매 장애요인 중 가장 큰 요인은 충전소 부족이라고 밝힌 바 있다.(Han, 2018) 가장 큰 문제점은 도심 내에 충전소를 단기간에 확충하는 것은 어렵기 때문이다. 특히 급속충전소(EV Fast Charger)의 경우 높은 전력부하에 따른 배전공사가 필요해 입지조건, 충전수요, 비용 등 여러 요인을 고려해야 한다.

전기차 충전소는 한정된 자원 내에 설치해야 함에 따라 입지 선정에 대한 문제는 접근성을 결정하는데 큰 요소가 되고 있다. 아무리 전기차충전소가 많아도 멀리 떨어져 있거나 이미 사용 중이면 이용자가 불편을 겪을 것이다. 그동안 전기차충전소 설치 시 입지 선정에 가장 크게 관여해왔던 것은 충전소 설치의 용이성이다.(kang and Jeon, 2017)

<Table 1>은 환경부 API를 통해 수집 및 분류한 결과로, 실제로 국내 전기차충전소는 공공시설 입지에 우선 설치되었는데 서울시 내 급속충전소가 가장 많이 설치되어 있는 곳은 공영주차장이다. 공공시설 입지는 민간소유 입지에 비해 전기차 충전을 설치하기 위해 필요한 공간확보, 전력 설비 시공 등 복잡한 의사결정이 수반되지 않아 초기 충전시설 확충에 큰 도움이 된다. 그러나 설치 용이성에 따른 입지 선정은 충전시설 이용자 측면에서는 최적의 위치와 거리가 멀 수 있다. 이는 충전소 설치나 충전수요를 예측하는 기준이 마련되지 않아 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 충전소의 입지를 수요에 따라 결정할 수 있다면 동일 규모의 충전소를 공급하여도 더 큰 효과를 누릴 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 충전수요에 대한 변수를 선별하여 데이터를 수집한 뒤, 이를 가중평균점수를 통해 입지잠재력(IP, Installation Potential)점수를 산정하였다. 산정 결과를 바탕으로 최적화 알고리즘을 통해 최적 입지를 선정하였다. 본 연구를 통해 충전소의 입지를 결정할 때 필요한 의사결정의 근거로 활용하여 충전소 보급을 효율적으로 추진할 수 있을 것으로 기대한다.

<Table 1> Number of Fast Charger in Seoul

Type of Place	Public Parking Lot	Commercial Facility	Public Facility	Tourist Attraction	neighbourhood living facility	etc.
Num. of Fast Charger (Unit)	78	48	35	8	6	13

1) 미세먼지 관리 특별대책(Ministry of Environment, 2021)은 미세먼지 농도를 낮추기 위하여 환경부에서 친환경 이동수단인 전기차 및 충전인프라의 보급을 지원하는 내용을 포함.

2) 국토교통부 통계누리에서 제공하는 연도별 전국 자동차등록 대수 통계

2. 연구의 범위 및 수행절차

1) 내용적 범위

본 연구는 서울시의 충전수요에 따른 급속충전소의 최적입지를 선정하고자 수행되었다. 전기차 충전소는 충전 방식에 따라 4~5시간 충전하는 완속충전과 1시간 이내로 충전하는 급속충전이 있다. 충전방식은 입지에 따라 적합한 유형이 다른데, 주로 주거지나 회사에서 완속충전기를, 경유지나 유동인구가 많은 상가 밀집 지역에서 급속충전소를 이용하는 것이 적절하다.(KOTI, 2009) 본 연구에서는 주거지나 근무지에서 발생하는 고정적인 충전수요보다 다양한 요인에 의해 충전수요의 변동이 큰 급속충전소의 적정위치를 선정하였고 데이터수집 및 구축이 원활한 서울시로 분석범위를 한정하였다.

2) 연구 수행 절차

본 연구에서는 첫째, 서울시 내 전기차 급속충전소의 입지를 선정하기 위해 입지 결정에 영향을 미치는 변수를 기존 문헌에서 검토하여 선정하였다. 둘째, 선정된 변수와 관련된 데이터를 수집하여 분석방법에 맞게 500*500m 격자 형태로 가공하였다. 셋째, 전문가를 통한 AHP 설문을 진행하여 가중치를 구한 뒤 격자별로 입지잠재력점수를 구하였다. 마지막으로, 기존충전소 및 신규충전소의 입지를 유전알고리즘으로 바꾸어 보면서 입지잠재력점수가 최소인 입지를 도출하여 비교하였다.

II. 관련 연구 고찰

1. 국내 외 연구 동향

1) 국내 충전소 입지선정방법 관련 연구

Kim and Hur(2019)는 장기적 관점에서 주행거리에 따른 서비스 반경을 고려하는 기법보다 후보지의 예상 충전수요와 공간적 특성을 고려하는 방법이 적절하다고 제시하였다. 주요지점의 충전수요를 예측하는 공간 모델링 기법을 사용하여 공간적 상관관계를 고려하여 위치를 선정하였다.

Kang and Jeon(2017)은 충전소 입지선정절차를 4단계로 분류하였다. 먼저 공공충전시설의 시·군별 설치수량을 배분하고자 전기차 보급대수, 교통량 등 충전수요요인의 비중을 곱한 점수에 따라 배분한다. 2단계는 앞서 배분한 수량을 행정동별로 배분하고 전기차 보급대수, 충전량 등의 비중을 곱하여 1단계와 같이 도출한다. 설치수량이 최종 도출되면 의사결정자의 판단에 따라 충전시설의 설치 용이성 등 접근성 기준을 고려해 가장 효율적인 설치지점을 선정하였다. 3, 4단계에서는 설치지점별 설치수량과 설치지점의 특성과 여건, 보급계획 등 정부의 공공충전소 확대 정책에 따라 입지를 결정하였다.

Kim and Koo(2020)은 공동주택이 지배적인 국내 환경에 급속충전소 보급이 필수라고 정의하고, 도심 속 급속충전소의 위치를 선정하였다. 연구결과를 통해 충전소 위치 선정 시, 목적에 따른 모델링 선정의 필요성을 제시하였다. Set Covering(형평성 위주), P-Median(접근성 향상), P-Center(이동거리 최소화) 모델링에 따른 14개의 급속충전소 후보지를 선정하였으며, 교통량 데이터를 활용하여 더 많은 사용자들이 접근하기 좋은 충전소 위치를 선정에 활용하였다.

충전소 입지선정방법에 대해 검토한 결과, 국내의 연구사례는 많지 않지만 모두 좌표를 이용해 분석하는 방법이 일반적이었다. (Kim and Hur, 2019; Kang and Jeon, 2017; Kim and Koo, 2020) 연구 사례에서는 충전수

요를 대변하는 변수를 고려하기 위해 각 지표에 가중치를 곱하는 방법을 사용하였다. 지표에 가중한 점수가 높을수록 그 지역의 잠재적인 충전수요가 높다고 볼 수 있으며(KOTI, 2009) 이에 따라 점수가 가장 높은 입지를 우선순위로 하여 충전소를 배치하였다.

2) 입지 최적화 관련 연구

Csiszar et al.(2019)은 전기차 충전소가 설치된 지 얼마 되지 않은 지역을 대상으로 하여 데이터의 가용성을 우선순위에 두어 분석방법을 수립한 연구이다. 분석에 사용한 데이터는 GIS로 가용할 수 있는 지점정보를 주로 분석하였다. 전기차충전소 입지선정에 영향을 미치는 요인을 선별하기 위해 기존문헌에서 사용된 변수들을 검토하였고 분석대상지의 범위에 따라 미시적·거시적으로 나누어 최적화하는 방법을 제시하였다. 미시적 분석은 정밀도를 높이기 위해 분석 최소단위인 셀의 크기를 500m로 설정하고 정사각형보다 원에 가까운 육각형 셀 모양을 사용하였으며, 기존충전소와 겹치지 않고 신규입지를 도출하는 분석방법을 제시하였다.

Ip et al.(2010)의 연구에서는 대도시의 인구밀도가 높은 곳에서 나타나는 특징에 대해 지리적 제약 및 운영을 고려한 충전시설 입지선정에 중점을 둔 연구로 계층적 군집분석과 최적화 기법을 사용하였다. GIS를 이용해 분석대상지를 일정한 셀의 크기(500m*500m)로 나눈 뒤 셀별 입지점수를 구하였다. 인접한 셀을 클러스터링 함으로써 하나의 클러스터에 충전소를 각각 할당하는 입지 분석방법을 제시하였다. 분석단위를 행정구역의 경계로 하면 크기가 일정하지 않아 입지분석의 정확성이나 신뢰성이 떨어질 수 있지만 셀별로 분석할 때 산출 단위가 동등하고 서비스지역이 행정구역에 구애받지 않게 되는 장점을 제시하였다.

입지선정 시 최적화기법을 적용한 연구 검토 결과, 각 연구별 최적화 방법은 다양하게 나타났다. 연구의 목적과 사용하는 입지선정요인에 따라 방법이 달라졌으며 같은 요인이라고 하더라도 다른 방법을 적용할 수 있었다. 다양한 요인을 한 번에 적용할 수 있고 사업 초기에 적용할 수 있는 방법으로 정량적 평가와 정성적 평가가 모두 가능하다. 또한 충전소의 입지는 한 점보다 하나의 면이 더 적절하게 비교할 수 있으므로 GIS를 이용하여 500m 격자형으로 입지를 도출하는 방법이 전기차 충전소 입지를 선정하는데 보편적인 방법으로 사용할 수 있다.

3) 최적화 기반의 입지선정 연구

Guo et al.(2016)은 시장경제체제 내에서 전기차 충전소 설치 투자자들의 경쟁과 교통네트워크의 혼잡도를 고려한 충전소 최적위치 선정 방법론을 개발하는 것을 목적으로 하였다. 전기차충전소 설치 투자자들의 이해관계와 교통량에 따른 네트워크의 링크혼잡도를 고려하고 투자자들의 목적함수와 교통네트워크의 목적함수를 각각 설정하여 최적화하였다. Nash equilibrium과 Walras equilibrium개념을 활용하여 최적화 알고리즘을 모델링하였고, Walras function을 활용하여 총 초과수요점수의 합이 0인 동시에 전기차충전소 설치 투자자 간 균형을 이루어 더 이상 바뀌지 않는 상태가 되도록 토이네트워크에서 최적화하였다.

Guo et al.(2018)의 연구는 전기차 운전자의 주행거리 불안도(range anxiety)를 기반으로 전기차 충전소 최적위치 선정을 위해 수행되었다. 1단계에서는 전기차 충전소 설치비용 및 전기차 충전으로 인한 우회경로 길이를 최소화하고 2단계에서는 전기차 충전소를 이용하는 수요를 최대화한다. 각 단계의 목적함수에 주행거리 불안을 반영하였으며, 토이 네트워크와 실제 네트워크에 적용하여 입력변수의 변화에 따른 전기차충전소 설치비용 및 필요 전기차충전소 개소수 변화 양상을 제시하였다.

He et al.(2013)의 연구에서는 충전소의 최적입지 선정을 위해 통행패턴과 전력망, 수요전력의 가격변동성의 평형을 구하고 active-set알고리즘을 통해 효율성을 입증하고자 하였다. 이를 입증하기 위해 통행시간, 충전 가용성, 충전비용을 고려한 교통네트워크와 전력부하를 고려한 전력망을 결합하여 네트워크의 균형분석

을 통해 각 대도시 지역에 최적의 충전소 수를 결정하는 것을 목표로 하였다.

최적화 기반 연구를 검토한 결과, 통행패턴에 따른 혼잡도는 본 연구에서 유동인구로, 주행거리 불안도는 곧 충전소간 간격으로 볼 수 있다. 따라서 유동인구와 충전소 간 간격을 충전수요에 영향을 미치는 인자로 선정하였다.

2. 시사점

본 연구는 서울시의 전기차 급속충전소의 입지선정에 관한 문제를 해결하고자 충전수요를 고려한 최적입지 선정 방법을 검토하였다. 검토결과, 전기차 급속충전소가 적재적소에 설치되기 위해서는 입지적 요건³⁾, 통행량을 고려한다. 통행량이 많은 곳은 유동인구가 많은 곳이며, 이는 그만큼 많은 사람에게 접근성이 좋다는 것이다. 또한, 이들이 단지 통행하기 위한 입지가 아닌 체류가 가능한 입지를 고려하기 위해 POI도 사용하였다. 선행연구에서 방법론은 네트워크 상에서 가장 통행량이 많은 곳을 선정하는 것과 좌표계를 이용하여 공간적 분석을 하는 방법으로 나뉜다. 서울시는 전기차가 보급되고 있는 단계이므로, 전기차 주행데이터를 가용하기엔 부족한 인프라로 인해 통행행태가 대변할 수 없다고 판단, 가용할 수 있는 데이터를 고려하여 좌표계를 이용한 공간적 분석방법을 채택하였다.

Ⅲ. 입지잠재력 평가 방법

1. 입지잠재력 평가를 위한 평가요소 도출

<Table 2> Factors Used in Previous EV Studies and in this Study

Classification	Flow Data	Point Data	Polygon Data
Factors of PreviousStudies	Traffic Volume	Socioeconomic indicators	Residential Area
	Electricity Network	Location of Existing EV sta.	geographical factors
	Battery usage	POI(Point of Interests)	floating population
	Average Commuting Distance	Coordination of Parking Lot	Population
	Length of Link	Charger Capacity	Building Floor Area
	Taxi trajectories	usage(%) of Charger	Distance from charging station
	▼	▼	▼
Classification	Flow Data	Point Data	Polygon Data
Factors of This Study	-	usage(%) of Charger	Floating Population
			Population
		POI(Point of Interests)	Building Floor Area
			Distance from Charging Station

입지선정요인은 충전소 입지 결정에 영향을 미치는 충전수요로써 검토한 선행연구에 사용되었던 변수들을 <Table 2>와 같이 분류하였다. 유사한 데이터이더라도 연구목표나 분석방법에 따라 데이터 가공은 다양하게 적용되었는데, 입지결정에 영향을 미치는 요인 중 분석방법에 더 적절한 것과 AHP를 통한 가중치 산출

3) 기존 충전소 입지가 설치용이성을 우선순위로 설치되어 연구기간동안의 해당지표간 상관관계 도출이 어려움.

이 가능한 데이터 위주로 선정하였다. 본 연구에는 점(Point)과 면(Polygon)데이터가 더 적합한 형태로 이중 일부가 선정되었으며, 선(Flow)데이터는 앞서 선정한 실제 데이터와 중복된 것은 제외하고, 급속충전수요와 관련이 없는 것을 제외하였다. 이를 이용해 충전수요를 나타낼 입지잠재력점수 산정에 활용하였다.

2. 입지선정요인

1) 충전소 이용률

충전소 이용률은 현재 충전소가 얼마나 이용되고 있는지 알 수 있는 척도로 분석 시나리오에 따라 해석이 달라진다. 기존 충전소를 최적 입지로 이전한 시나리오의 경우, 충전소의 이용이 많은 지점은 전기차 이용자들에게 인기가 많은 것이고, 이용률이 떨어지는 지점은 인기가 적은 것이다. 최적화 시 충전소 이용률을 고려함으로써 이용률이 낮은 지점은 위치가 바뀔 가능성이 커지지만, 위치가 적정하다면 변할 가능성이 작아진다. 이는 정성적이지만, 이용자의 행태를 고려하여 설치된 것으로 결괏값을 적절한 위치로 판별하는 변수이다. 기존 충전소를 유지한 채 자치구별로 새로운 충전소를 설치하는 시나리오의 경우, 충전소 이용률이 매우 높아 최적화 후 기존과 동일한 셀에 설치해야 하는 경우가 존재할 수도 있다. 기존에 설치된 충전소가 적절한 입지에 설치됐다는 것이다. 충전소가 존재하지 않는 경우 기본적으로 0의 값을 가진다. 이를 고려하여 서울시 내 급속충전소의 실제 이용 패턴을 입지선정 시 반영할 수 있다. 환경부에서 제공하는 OpenAPI를 통해 충전소 이용률을 2020년 8월 중 1주 동안 수집한 결과를 바탕으로 본 연구의 충전소별 평균 이용률을 활용하였다. API 조회 결과, 서울시 급속충전소의 24시간 이용행태를 분석해보면 주간에 증가했다가 야간에 감소하는 형태를 보인다. 최적화 시 충전소가 포함된 셀에 일평균 이용률 값으로 넣어 분석하였다.

2) 가장 가까운 충전소와 거리

기존 충전소와 거리가 멀수록 충전소 개소당 서비스하는 면적이 크고 밀도가 낮다. 충전소와 거리를 입지선정요인에 고려하면 충전소 설치의 형평성을 정량적으로 고려할 수 있으며, 거리에 따라 가중치를 두어 분석대상지의 특성을 반영할 수 있다. 서울시 내 2,634개 셀 중 중심점으로부터 최근접 충전소와 거리의 최솟값은 0.01km이고 최댓값은 4.6km, 평균은 1.1km 떨어져 있는 것으로 나타났다.

3) 건축물 연면적의 합

건축물 연면적의 합은 도시의 발전 정도를 측정할 수 있는 지표 중 하나다. 서울시 조례에 따라 건축물 연면적당 부설주차장의 확보를 의무화하므로 연면적이 클수록 주차면이 많고(Lee and Kwon, 2012), 유동인구가 많음을 의미한다(Kim et al., 2013). 이러한 이유로 연면적이 클수록 다중이용시설에 가깝다. 건축물이 없는 경우 값이 0으로 나타난다.

4) 인구수

인구수는 기존문헌에서 전기차를 구매할 수 있는 잠재력을 평가하거나 주거지의 고정적인 충전수요를 대변하는 변수로 가장 많이 사용되었다.(Han, 2018) 인구수의 일정 비율을 전기차 등록대수를 가정하여 분석하기도 한다. 본 연구에서는 셀별 인구수의 합을 사용하였으며 인구수가 너무 적거나 주민등록 기준으로 거주자가 한명도 등록되지 않은 지역은 값이 0으로 나타난다.

4) 본 연구에서는 서울시 내 도심지 특성에서 나오는 충전수요를 추정 및 분석한 것으로 통행데이터는 제외함.

5) 유동인구수

급속충전소의 이용률을 늘리기 위해서 짧은 체류시간 동안 많은 사람이 이용할 수 있도록 핫스팟에 설치해야 한다. 유동인구가 많을수록 그만큼 많은 사람이 오가는 지점이며 주로 상권이나 교통이 발달한 지역일 가능성이 높다. 본 연구에서는 50m 간격으로 추산된 유동인구를 사용하였다.

6) POI(Point of Interest)개수

POI란 관심지점이라고도 하며 여러 지점정보를 지도상에 나타낸 것으로, POI가 많을수록 변화가를 뜻한다. 사람들이 자주 찾는 유형의 시설이 많을수록 충전수요와 직결되는 요인으로 이를 정량적으로 고려할 수 있다. 따라서 POI개수가 많을수록 상권이 발달하고 인구 유입이 많다고 본다. 또한 POI의 유형별로 각 시설의 전기차충전소 입지 선호도를 조사할 수 있으므로 이용특성을 도출할 때 활용할 수 있다. QGIS를 이용해 500m 격자 안에 포함된 유형별 POI개수를 합해 각각의 지표를 만들고 유형별로 가중치를 두었다.

3. 입지잠재력 평가에 활용한 기법

1) 가중평균 방법

본 연구는 충전소 입지선정에 영향을 미치는 요인을 선별하여 이를 종합적으로 고려할 수 있는 가중평균을 사용하여 입지의 잠재력을 평가하였다. 가중평균은 각각의 입지결정인자 점수에 가중치를 적용하여 분석하는 방법으로 데이터 수집이나 방법론 적용이 비교적 용이하고 입지선정 문제에 자주 쓰이는 방법론이다. 주로 격자형으로 분석하며 분석의 최소 단위는 500m크기로 선정하였는데 500m는 도보 5~10분 거리로 기존 문헌에서도 자주 쓰인 크기이다.(Csiszar et al., 2019; Ip et al., 2010) 종합점수를 구하기 위해서는 분석 단위를 일치시켜야 동등한 상태에서 구할 수 있다. 따라서 입지선정 요인에 가중치를 곱해 산출할 입지잠재력점수는 전처리가 필요하다. 각 데이터의 형태가 다르므로 GIS를 이용해 가공 후 데이터 병합이 끝나면 각 데이터의 크기를 0~1 사이값으로 수정하여 변수 간의 절대적 크기를 표준화하였다. 이후 가중치 산정 결과에 따라서 입지종합점수를 도출하였다.

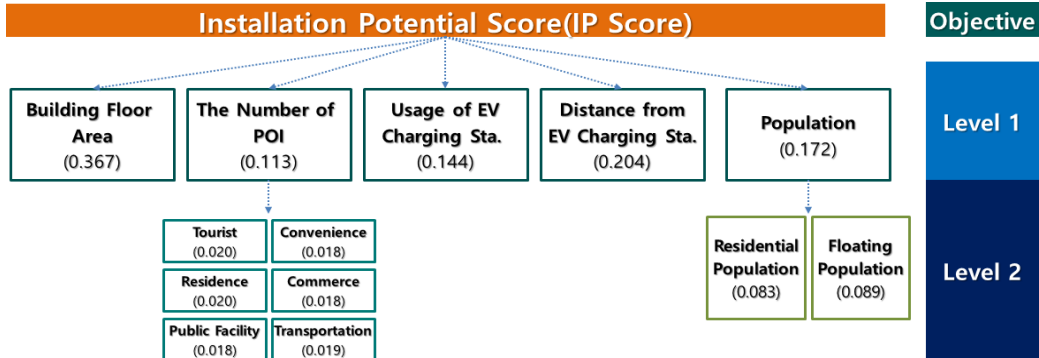
2) 가중치 산정 방법(AHP)

입지잠재력점수를 산정하기 위해 변수별 가중치를 두게 되는데 가중치는 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 통해 산정하였다. AHP는 Thomas L. Saaty가 1970년대 개발했으며 이후 광범위하게 연구되었다.(Satty, 1987) AHP는 올바른 결정을 찾아내는 것이 아닌 의사결정자의 목적에 가장 적합한 결정을 찾아줄 수 있도록 의사결정 문제를 구조화하고 구성요소를 정량화하여 활용할 수 있어 가중치 산정에 자주 쓰이는 방법이다. AHP는 평가항목의 가중치(중요도)의 비를 가지고 문제를 해결하는 방식이며 일반적으로 비율척도(ratio scale)에 의한 평가라 하여 1:1 쌍대비교를 통해 전체 항목 간의 비율척도를 결정하는 방법으로 알려져 있다.

AHP는 크게 4단계로 이뤄지는데 1단계는 의사결정이 필요한 요인들 간 관계를 분석하여 의사결정의 계층구조를 만든다. 2단계는 각 계층의 의사결정 요소 간의 쌍별비교행렬을 구한다. 3단계는 고유값 방법(Eigenvalue Method)을 이용하여 쌍별비교된 의사결정 요소 간의 상대적 가중치를 계산한다. 4단계는 응답의 일관성을 검증하여 쌍대비교 판단에 대한 이론적 모순 정도를 나타내는 일관성 지수(CI, Consistency index)를 검증하는 단계이다. 흔히 CI는 0.1이하이면 논리적으로 일관성이 있는 것으로 판단하여 사용할 수 있다.(CDI, 2008)

전기차충전소의 잠재적 이용수요를 산출하기 위해 1단계는 앞서 변수를 선별하였고 2단계는 <Fig. 1>과

같이 상위요인과 하위요인으로 나누었다. 계층별 항목끼리 가중치를 평가를 하게 되며 상위요인의 경우 쌍대비교를 통해 설문하고 하위요인의 경우 유형별 선호도를 설문해 절대적 수치를 그대로 적용하였다. 그리고 전기차충전소의 입지에 영향을 미치는 요인을 국내에 맞게 수정하기 위해서는 변수 간 중요도를 평가하기 위한 설문을 수행하였다. 본 연구에서는 전기차 충전소의 연구 경험이 있는 산학연의 전문가 11명을 대상으로 2020.12.08.~2020.12.13. 사이에 설문한 가중치를 활용하였다.



<Fig. 1> Hierarchy Components and Weights of IP Score

3) 충전소 입지 최적화 방법

충전소 입지 최적화를 위해 엑셀의 해 찾기 기능 중 유전알고리즘 기반인 진화(Evolutionary)를 선택하여 최적의 해를 찾았다. 컴퓨터 공학에서 진화연산(Evolutionary computation)은 자연의 생명체가 끊임없이 진화하는 것에 영감을 얻어 개발된 알고리즘으로 메타휴리스틱 또는 확률적 최적화 특성을 가진 시행착오 문제 해결 방법이다. 알고리즘은 사용자가 설정한 함수를 최적화하고자 새로운 값을 계속하여 생성해내면서, 최적화에 떨어지는 값을 제거해가면서 최적의 해를 탐색한다. 이때 제거되는 값을 어떠한 방식이든 상호작용을 통해 다음에 생성할 값에 영향을 미친다. 따라서 점차적으로 값을 탐색하며 최적의 해를 찾아낸다.

진화연산기법은 광범위한 문제 설정에서 고도로 최적화된 솔루션을 생산할 수 있으며 목적함수가 연속, 불연속, 미분가능여부에 상관없이 정량적인 것과 정성적인 것 모두 쉽게 포함할 수 있어 최적화하는데 함수의 제약이 크게 없다는 장점이 있다. 가중평균 방법을 통해 입지선정요인(x_i^j)에 가중치(w_i)를 적용하여 자치구마다 셀별 점수 합이 최소가 되도록 목적함수를 설정하였다. 목적함수의 결괏값인 입지잠재력점수(P_j)는 충전수요와 같으며 높을수록 충전소의 설치가 필요하다는 것이며, 낮을수록 충전소 설치의 우선순위가 낮다.

$$\text{Minimize } \sum_{j=1}^J P_{c,j} \quad \forall c \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Subject to } P_{c,j} = \sum_{i=1}^6 (w_i \times x_i^j)$$

P_j = j셀의 입지잠재력점수

C = 서울시 내 25개 구(區) 집합 (1 = 강남구, 2 = , ... 25 = 중랑구)

J = 구(區) 내부의 500*500m 셀 집합

$S_{x,y}$ = 급속충전소의 좌표

w_1 = 유동인구수의 가중치, w_2 = POI개수의 가중치, w_3 = 충전소이용률의 가중치,

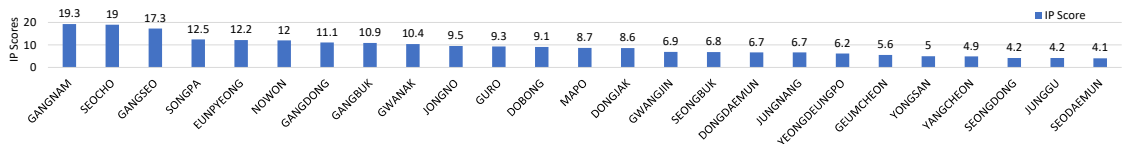
w_4 = 인구수의 가중치, w_5 = 건축물연면적의 가중치, w_6 = 가장가까운충전소와거리의가중치

$x_1^j = j$ 셀의 유동인구수, $x_2^j = j$ 셀 내 존재하는 *POI*의 개수, $x_3^j = j$ 셀 내에 존재하는 충전소 이용률(%),
 $x_4^j = j$ 셀의 인구수, $x_5^j = j$ 셀에 위치한 건축물 연면적의 합,
 $x_6^j = j$ 셀의 중심 (X, Y)에서 가장 가까운 충전소 s 와 거리

IV. 입지잠재력 분석 결과

1. 기존 충전소의 입지잠재력 분석 결과

본 연구에서 사용된 입지잠재력점수(Installation Potential Score, IP Score)가 클수록 충전수요와 공급이 불균형이 높음을 설명한다. <Fig. 2>는 2020년 8월에 수집된 충전소 정보를 바탕으로 입지잠재력점수를 분석한 결과로, 입지잠재력점수가 상위권에 위치한 입지는 인근에 변화가 있어 유동인구가 많고 건축물 연면적의 합이 크며 가장 가까운 곳에 위치한 충전소와의 거리가 멀다. 이는 충전수요가 많지만 충전소 이용의 접근성이나 편의성이 떨어진다고 볼 수 있다. 상위권에 위치한 송파구, 서초구, 강남구는 충전수요가 많은 입지와 멀리 떨어져 있거나 충전소의 개수가 부족한 것으로 해석된다.



<Fig. 2> IP score Results of Existing Fast Charger

2. 충전소의 최적입지 선정

1) 기존 충전소의 최적입지 선정 결과

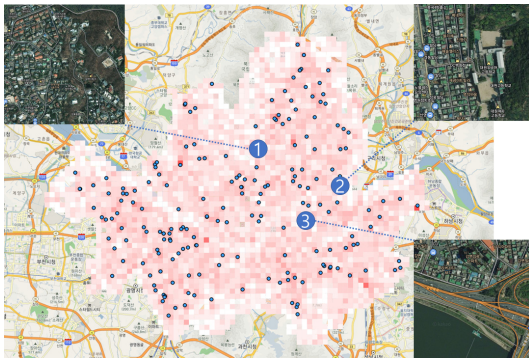
기존 충전소는 설치 용이성에 중점을 두고 입지가 선정되었으므로 충전수요에 따라 입지를 최적화할 경우 입지선정이 어떻게 달라질 수 있는지 분석하였다. <Fig. 3>은 충전소가 기존 장소에 위치했을 때 입지잠재력점수를 구한 것이고, <Fig. 4>는 기존 충전소를 최적화하여 이전한 경우이다. 이때 입지잠재력점수가 클수록 충전소 설치가 필요한 지역으로 해석한다.

2020년 8월 기준, 서울시 내 운영 중인 급속충전소를 본 연구의 점수산정방법에 의하여 산출하면 <Fig. 3>과 같이 나타나며 점수가 높을수록 셀의 색을 진하게 표시하였다. 점수가 높은 셀 중 1~3위만 별도로 표시하였다. 입지잠재력점수가 큰 지역은 충전소가 먼 곳에 있으면서 주거인구나 유동인구가 많았다. 입지잠재력점수가 가장 높았던 셀은 성북동 주택가였으며, 2위는 대원외고 인근 주거지역, 3위는 영동대교 북단IC 서쪽이었다. 대부분 주거지역을 포함하고 있으며, 기존 충전소와 거리가 1km 이상 떨어진 지역이다.

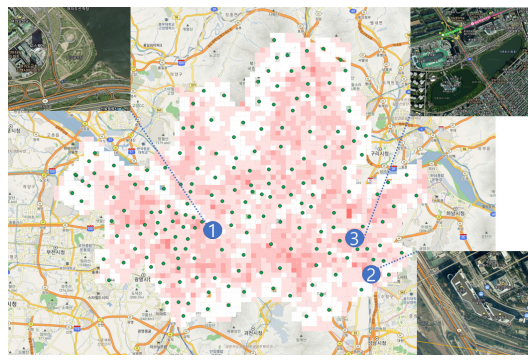
<Fig. 4>는 충전수요에 따라 최적화한 경우로, 기존 충전소의 위치와 다른 것을 알 수 있다. 기존 충전소를 전부 최적입지로 이전했을 때 입지잠재력점수는 231.0점에서 197.4점으로 기존 대비 14.5% 감소하였다. 입지잠재력점수가 높은 1위 셀은 63빌딩 인근으로, 아파트 444세대가 위치해 거주민이 많고 유동인구도 많았다. 해당 셀에 충전소가 설치되지 않았지만, 충전소 최적화 후 가장 가까운 충전소와 거리가 1.1km에서 0.5km로 가까워졌다. 2위는 이마트가든파이프점으로 인근에 오피스텔 2,781세대를 포함하고 있다. 대형마트

로 인해 많은 유동인구가 예상되며, 인근 대단지 오피스텔이 몰려있지만, 급속충전소가 없는 것으로 나타났다. 3위는 잠실역과 롯데타워 인근으로, 63빌딩 인근과 유사한 특성을 보인다. 최적화 후 입지잠재력점수가 높은 셀은 여전히 존재하지만, 충전소 재배치 이후 전체적인 접근성은 향상되었다. <Table 3>는 자치구별 입지잠재력점수의 합을 나타낸 것으로, 기존에 비해 강남구, 강서구, 서초구 등 전반적으로 1~3점 감소한 것을 알 수 있다.

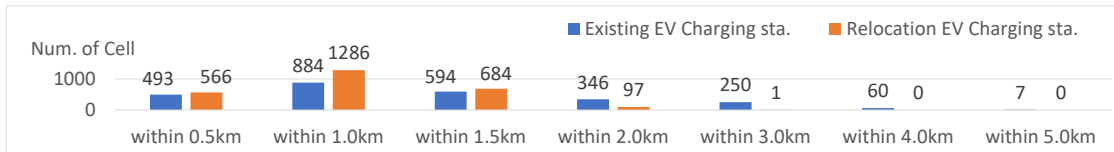
충전소를 최적입지로 이전하면 가까운 충전소와의 거리가 <Fig. 5>와 같이 변화했으며, 기존에 비해 전체적인 접근성이 향상되었다. 가까운 충전소와의 평균거리가 1.1km에서 0.8km로 감소하였고, 2km보다 멀리 떨어져 있는 입지가 317개에서 1개로 감소하였다. 입지잠재력점수의 총합이 감소하였지만 <Fig. 4>의 1~3위 지역처럼 절대적으로 수요가 큰 지역에 설치가 되지 않았다. 이를 해소하기 위해 추가 설치를 검토할 필요가 있다.



<Fig. 3> Results of Existing Fast Charger



<Fig. 4> Results of Relocated Fast Charger



<Fig. 5> Results of Existing and Relocating Fast Charger

<Table 3> IP score Results of Relocating Fast Charger

Order	District	IP Score	Order	District	IP Score	Order	District	IP Score
1	GANGNAM	16.5	10	MAPO	8.2	19	JUNGNANG	5.7
2	GANGSEO	14.8	11	JONGNO	7.7	20	GEUMCHEON	5.1
3	SEOCHO	13.4	12	GWANAK	7.5	21	YANGCHEON	4.6
4	SONGPA	11.3	13	GANGBUK	7.1	22	YONGSAN	4.1
5	EUNPYEONG	11.0	14	GWANGJIN	7.0	23	JUNGJU	3.7
6	NOWON	10.1	15	DOBONG	7.0	24	SEONGDONG	3.4
7	GANGDONG	9.6	16	DONGDAEMUN	6.9	25	SEODAEMUN	3.3
8	DONGJAK	8.6	17	YEONGDEUNGPO	6.4	Total		197.4
9	GURO	8.5	18	SEONGBUK	6.3			

2) 신규 충전소의 최적입지 선정 결과

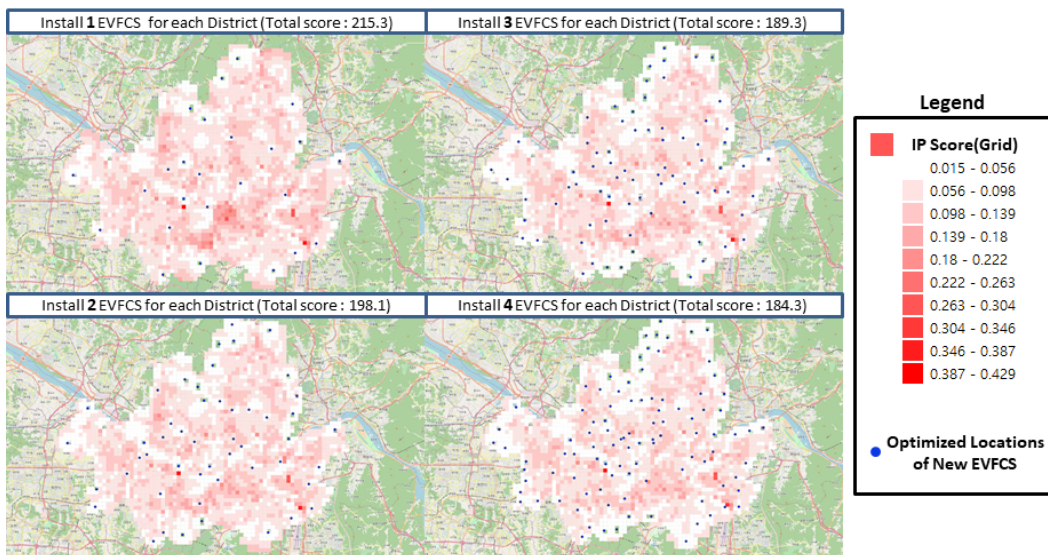
앞서 최적화한 기존 충전소는 입지잠재력점수가 231.0점에서 197.4점으로 감소하여 충전소 이용편의성이 증가했다고 할 수 있다. 이에 기존 충전소를 두고 새로이 설치할 충전소의 입지를 선정한 결과를 비교하였다. 최적입지는 분석존(Zone)간 형평성을 고려하였을 때 자치구마다 충전소를 설치하여 최적화 입지를 선정하였다. 자치구에 신규충전소를 1~4개 설치를 검토하였을 때, 충전소 입지에 따라 입지잠재력점수가 최소가 되는 지점을 선정하였다. <Fig. 6>는 각 자치구에 충전소를 신규로 설치했을 때 충전소의 입지와 입지잠재력 점수를 나타낸 것이다. 신규충전소가 늘어날수록 입지잠재력점수는 기존 231.0점에서 1개씩 늘어날 때마다 215.3점->198.1점->189.3점->184.3점까지 감소하였다. 기존 충전소와 멀고 주거지나 유동인구가 많고 인근에 대형시설이 위치한 경우, 신규충전소 입지로 선정되기 쉬웠다.

자치구별 급속충전소를 1개 설치하면, 기존에 비해 입지잠재력점수가 15.7점 감소하였다. 충전소 입지로 선정된 지점은 보통 지하철역 근처나 대형시설(병원, 마트)에 설치되었지만, 인근에 설치되지 못한 시설도 많았다. 대부분 거주민이나 유동인구가 많고 건축물연면적이 큰 입지가 선정되었다.

자치구별 급속충전소를 2개 설치하면, 총점은 198.1점으로 이전보다 점수가 감소하였다. 앞서 분석한 기존 충전소를 재배치했을 때 점수가 197.4점이므로 이와 유사한 수준이다. 자치구별 1개씩 설치할 때와 중복되는 지점이 15개로, 중복되지 않는 입지는 주거지역이지만 충전소와 거리가 먼 지역 중 인구가 높은 곳에 설치되었다. 이전보다 충전소가 없는 지역에 설치되면서 전반적인 입지잠재력점수가 낮아졌다.

자치구별 3개를 설치했을 때, 입지잠재력점수는 189.3점으로 8.8점이 감소하였으며, 이전에 비해 감소 폭이 줄었다. 자치구별 2개 설치할 때와 중복되는 지점이 31개로, 충전소 밀도가 더 높아진 것을 알 수 있다. 특히, 유동인구가 많은 한강대교(원효대교, 성산대교)나 강변북로 또한 신규 충전소 입지로 도출되었다.

자치구별 4개를 설치했을 때, 입지잠재력점수는 184.3점으로 5.0점이 감소하였다. 신규충전소가 많아질수록 입지잠재력점수의 감소 폭이 점차 줄어든다. 신규 충전소는 입지잠재력점수가 높은 곳에 많이 생겨났으며, 충전소 간 거리가 가까운 경우에도 점수가 높으면 입지로 선정되어 신규 충전소 간 간격이 점차 감소하였다.



<Fig. 6> Results of Installing New EVFCS

V. 결 론

본 연구에서는 서울시 내 급속충전소의 충전수요와 입지선정에 관하여 비교하였다. 급속충전소 이용행태나 충전수요에 영향을 미치는 요인을 고려한 입지 선정방법 연구를 통해 기존 충전소를 최적화하는 것과 신규충전소를 설치하는 것 두 가지 시나리오로 분석하였다. 본 연구의 주요척도로 설정한 입지잠재력점수는 급속충전소 입지선정에 영향을 미치는 변수를 가중평균하여 사용하였다. 가중치는 AHP를 통해 도출하였으며, 점수가 높을수록 충전소 설치에 따른 효용이 높은 것으로 해석하였다.

기존 충전소 위치에 따른 입지잠재력점수를 산출한 결과, 점수가 상위권에 위치한 입지는 인근에 변화가 있고 연면적이 큰 건축물이 포함되었으며, 충전소로부터 멀리 떨어져 있어 충전소 설치가 필요한 것을 알 수 있었다. 기존 충전소 위치를 최적입지선정에 따라 이전한 결과, 입지잠재력점수의 합이 기존 대비 14.1% 감소한 것으로 나타났다. 본 연구의 분석방법을 통해 기존의 일부 급속충전소는 설치가 용이한 지점을 위주로 선정되어 충전수요가 많은 곳과 떨어짐을 알 수 있었다.

충전소를 새로 설치할 때 최적입지를 선정하는 경우도 비교하였다. 25개 구에 신규 충전소를 1~4개까지 늘려가며 최적화하였다. 분석결과, 각 구에 신규충전소가 증가할수록 입지잠재력점수는 감소했다. 2개의 충전소를 설치하면, 입지잠재력점수가 기존 충전소를 최적화한 것과 비슷한 수준이 되었다. 각 구에 4개의 충전소를 설치하면, 충전수요를 고려하여 분포하며, 수요가 많은 지역은 충전소간 거리가 짧았다. 본 연구방법을 통하여 신규충전소의 최적입지를 선정할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 제안한 입지잠재력점수를 통해 전기차 급속충전소 입지선정 연구를 진행하였으며 향후 연구방향은 다음과 같다. 첫째, 가중평균을 통한 격자 분석은 격자의 크기에 따라 분석 결과가 달라질 수 있다. 본 연구에서는 다수의 기존 문헌에서 사용한 500m의 크기로 하였지만, 500m 크기가 서울시 분석에 적절한지 검토할 필요가 있다. 둘째, 전기자동차 충전소 설치에 따른 경제성 검토가 필요하지만 본 연구에서는 배제하였다. 충전소가 많을수록 이용편의성은 증가하지만, 추가되는 충전소가 많아질수록 입지잠재력점수의 감소 폭이 줄어들었다. 입지에 초점을 맞춰 분석하였으므로 비용 효율적 측면을 보다 고려할 필요가 있다. 셋째, 도심지의 발전정도에 영향을 미치는 변수를 반영하였지만 최적입지 도출 시 근린공원처럼 설치하기 힘든 입지가 선정되는 경우가 있었다. 이를 방지하기 위해 용도지역을 추가하여 설치가 불가능한 입지를 분류할 필요가 있다. 넷째, 전기차의 등록대수나 주행데이터 등 실제 서울시의 충전수요를 반영할 수 있는 모델연구가 필요하다. 전기차 이용이 앞으로 더 많아지게 되면 이용자의 운행패턴이 변할 수 있으며, 운행 및 충전 패턴 간 상관관계에 대한 연구가 가능할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 국토교통부의 「스마트시티 혁신인재육성사업('19-'23)」 으로 지원되었습니다.

This work is financially supported by Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) as 「Innovative Talent Education Program for Smart City」 .

REFERENCES

- Chungnam Development Institute(CDI)(2008), *A study to establish and apply the Location model for the location selection of public facilities*, pp.17-21.
- Csiszar, C., Csonka, B., Foldes, D., Wirth, E. and Lovas, T.(2019), “Urban public charging station locating method for electric vehicles based on land use approach”, *Journal of Transport Geography*, vol. 74, pp.173-180.
- Guo, F., Yang, J. and Lu, J.(2018), “The battery charging station location problem: Impact of users’ range anxiety and distance convenience”, *Transportation Research Part E*, vol. 114, pp.1-18.
- Guo, Z., Deride, J. and Fan, Y.(2016), “Infrastructure planning for fast charging stations in a competitive market”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 68, pp.215-227.
- Han, J.(2018), “A study of the Installation of a Charging Infrastructure considering Electric Vehicles in Seoul-Analysis of the case of charging at the workplace”, *Seoul Studies*, vol. 19, no. 3, pp.131-147.
- He, F., Yin, Y. and Guan, Y.(2013), “Optimal deployment of public charging stations for plug-in hybrid electric vehicles”, *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 47, pp.87-101.
- Ip, A., Fong, S. and Liu, E.(2010), “Optimization for allocating BEV recharging stations in urban areas by using hierarchical clustering”, *6th International Conference on Advanced Information Management and Service(IMS)*, pp.460-465.
- Kang, C. and Jeon, S.(2017), *A study on establishment of proper installation criteria of electric vehicle charging station in Gyeonggi-Do*, Gyeonggi Research Institute, p.82.
- Kim, K. and Koo, Y.(2020), “Optimizing Fast EV Charging Infrastructure Location with Traffic flow Data”, *Korea Society of Innovation*, vol. 15, no. 4, pp.61-87.
- Kim, M., Kim, S. and Lee, M.(2013), “A Study on the Pedestrian and Spatial Characteristics Utilizing Segment unit and Floor Area Ratio-Focused on the District Unit Planning in Jongro Area”, *Journal of Korea Planning Association*, vol. 48, no. 7, pp.23-36.
- Kim, Y. and Hur, J.(2019), “A Study on the Placement Determination of New EV Charging Stations for EV Charging Demand Dispersion”, *The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 33, no. 4, pp.28-34.
- Korea Transport Institute(KOTI)(2009), *Reviews on the Strategies of Recharging infrastructures for Promoting Electric Vehicles*, pp.23-53.
- Lee, Y. and Kwon, H.(2012), “The Estimation of Street-Parking Demand Model by Total Floor Area of Building Occupancy: Focusing on Daegu”, *The 67th Conference of Korean Society of Transportation*, pp.859-864.
- Ministry of Environment, <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?boardMasterId=1&boardId=645030&menuId=286>, 2021.01.19.
- Ministry of Environment, <https://www.ev.or.kr/>, 2021.01.19.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, <http://stat.molit.go.kr>, 2021.01.19.
- Saaty, R. W.(1987), “The Analytic Hierarchy Process-What it is and how it is used”, *Mathematical Modeling*, vol. 9, no. 3-5, pp.161-176.