

교통량 데이터를 활용한 전기차 충전소 위치 최적화 방안 연구*

김경현** · 구윤모***

초 록

탄소 배출을 줄이기 위해 국내에서는 전기차 보급확대를 위해 여러 지원 정책이 제시되고 있으나, 현재 국내 전기차 보급율은 0.3% 내외로 상당히 낮은 수준에 머무르고 있다. 전기차 보급율을 높이기 위해서, 전기차 구매 여부에 가장 큰 영향을 미치는 요인 중 하나인, 충전소의 접근성을 높여야 할 필요성이 있다. 한정된 자원을 통해 최대 효과를 발휘하기 위해, 무분별한 충전소 설치보다는 사용자의 접근성이 높은 최적의 위치에 충전소를 보급하여, 사용자의 편리성을 높이는 효과를 통해 전기차 보급률 증대로 이끌 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 접근성이 높은 충전소위치 선정을 위해, 안양시를 대상으로 집합 커버, P-Median, P-Center 방식으로 교통량 정보를 함께 고려하여 14개의 급속충전소 후보지를 선정하였다. 집합커버 모델링을 사용할 경우, 특정 범위(반경 2km 이내)의 공간에 급속충전소가 균등하게 위치할 수 있기에 형평성 위주의 배치를 할 때 유용하고, 보다 많은 사용자들의 짧은 거리 이동으로 충전소에 접근하기 위해서는 P-Median 방식이 유용한 것을 보였다. 또한, P-Center 방식을 통해 전기차 충전을 위해 사용자가 이동해야 하는 최대 이동거리를 최소화 하는 위치를 선정하였다. 접근성이 높은 위치 선정이 목적에 따라 다른 충전소 위치 선정을 보이며, 지역의 특징과 계획 목표에 따라 적합한 모델링을 통한 충전소 위치 선정의 필요성을 보였다.

주제어; 전기차 충전, 급속 충전소, 최적화, 교통량 데이터, 집합커버, P-Median, P-Center

논문접수일 2020. 10. 13 논문수정일 2020. 11. 14 논문게재확정일 2020. 11. 19

* 본 연구는 서울대 공학전문대학원 석사학위논문(제목: 교통량 데이터를 활용한 전기차 충전소 위치 최적화 방안 연구)을 바탕으로 작성됨

** 제1저자, 서울대학교 공학전문대학원 응용공학과, khkimamy@snu.ac.kr

*** 교신저자, 서울대학교 공학전문대학원 응용공학과 부교수, yyounmo@snu.ac.kr

I. 서론

1.1 연구 배경

산업혁명 이후, 삶은 이전보다 풍요로워지고, 편리한 모습으로 변하였지만, 지구온난화와 같은 환경 문제 또한 부메랑처럼 우리 삶에 큰 영향을 주고 있다. 이로 인해, 세계 각국은 지속가능 한 삶에 대해 생각하며, 2015년 파리 협정 이후, 탄소배출량을 줄이기 위해 각국은 여러 가지 정책대안을 내세우고 있다. 우리나라는 파리협정참여국으로서, 2030년까지 온실가스 배출전망치(BAU)의 37% 감축목표를 가지고 있으며, 이에 대한 지원과 관심을 아끼지 않고 있다. 온실가스 배출원 중 수송 부분의 배출량은 전체 배출량 중 약 12%에 해당하며 수송 부분의 2030년 온실가스 29.3% 배출감소를 목표하고 있다.¹⁾ 이에 대한 방법으로 전기차 보급확대를 300만대로 상향 조정하며²⁾, 전기차 확산에 대해 많은 관심과 제도적인 지원을 아끼지 않고 있다. 전기차 1대의 보급은 연간 약 2톤의 탄소배출량 감소와 같은 직접적인 효과를 발휘하기에, 내연기관차의 연료효율 개선보다 큰 효율을 가지고 있다.

하지만 정부의 적극적인 지원과 이러한 환경적 이점에도 불구하고 국내의 보급율은 아직 낮은 편이다. 2012년 국내시장에 전기차가 나타난 이후, 전기차량 구매율은 꾸준히 늘어나고 있지만, 아직까지 국내 전기차 시장은 전체 자동차 시장에 0.3% 미만의 점유율 밖에 가지고 있지 않다. 전국에 등록된 전기자동차 대수는 2019년 10월 28일 기준 80,902 대로, 2018년 전국이 내연기관차 등록 대수는 23,200,000대 기준으로 약 0.3%에 미치지 않는 현저히 낮은 비율을 가지고 있다.³⁾ 2017년 이후 전기자동차의 등록 대수는 이전보다 두 배가 넘는 성장률을 보이며 늘고 있지만, 현재 증가추세로는 정부가 목표로 하는 2020년 전기차 보급목표 300만대 확산조차 맞추기 어려워 보인다.

전기차의 보급률이 낮은 이유에 대해 경기연구원에서 시행한 설문조사를 살펴보면, 전기차의 짧은 주행거리, 부족한 충전소, 비싼 자동차 가격이 소비자가 전

1) 환경부 보도자료 2018. 7. 24

2) 친환경차 385만대 보급으로 미세먼지 잡는다. 출처: 에너지신문(<http://www.energy-news.co.kr>) 2019. 1. 22

3) 국토교통부 보도자료 2019. 7. 15

기차 구매를 꺼리는 주된 이유인 것을 확인할 수 있다(강철구 외, 2017). 짧은 주행거리 문제와 비싼 자동차 가격은 변화하는 기술발전 및 시장형성에 따라 시간에 따라 해결될 수 있는 문제이다. 기술발전으로 현재 200km 이상을 주행할 수 있는 2세대 전기차가 상용화 되었고, 앞으로 500km 달릴 수 있는 3세대 전기차 개발 및 출시가 예상된다. 또한 전기차 상용화와 산업계에서 전기차 배터리의 대량 생산으로 인해 가격하락이 예상되며(박요한&이철용, 2020), 전기차량구매 가격 또한 낮아질 것을 예상할 수 있다.

허나, 충전소의 문제는 이와 다르다. 전기차 충전소는 한번 설치 후 설치 변경이 어려워, 위치 선정시 사용자들의 선호도와 편의성을 고려할 필요성이 있으며, 공용충전소의 경우, 공공재의 성격을 가지므로 효율적인 배분을 통해 모든 사람들이 활용할 수 있는 위치에 선정되어야 한다. 물론 전기차충전소가 위치 선정 운영자의 입장으로 수익성이 고려되어야 하지만, 본 연구에서는 환경적 문제 해결을 위한 전기차사용자의 확충을 이끌어내기 위해, 보다 많은 사용자가 쉽게 접근할 수 있는 전기차충전소 위치선정에 초점을 맞출 필요성이 있다.

이러한 사회적 현황을 반영하듯, 국내외에서는 효율적인 충전소 위치선정을 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 초기에는 전기차의 주행거리 제한 특성으로 인해 장거리 주행 위주로 충전소 설치 방안이 연구되어왔으나, 최근에는 도심지 내 혹은 인접 도시 간의 중거리 주행을 중점적으로 연구되고 있다. 이와 관련된 최근 연구를 살펴보면, 국내에서는 설문 조사 혹은 빅데이터를 이용하여 전기차 충전소를 선정한 것을 확인할 수 있다. 설문 조사를 통해 사용자가 선호하는 충전 인프라의 설치지점이 직장의 비중이 높은 것에 착안하여 공공기관과 민간기업 대상으로 충전 인프라 설치를 제안하였으며(한진석, 2018), 또한 전기차와 상관관계가 있다고 판단되는 변수의 데이터를 취합하여 사용자 거주지 분포와 사용자들의 동선에 따른 충전소 후보지 선정의 필요성을 피력하였다(한진석, 2018; 윤충식, 2019). 국외 논문을 살펴보면, 지역 내 부족한 전기차 충전문제를 해결하기 위해 거주민의 주행패턴을 고려하여 완속충전소와 급속충전소의 위치를 선정을 보여주었다(Wang et al., 2019). 한정된 자원으로 더욱 많은 수요를 감당하기 위한 위치선정을 중국의 양쯔강을 따라 있는 고속도로를 대상으로 모델링을 구현하였다(Sun et al., 2018). 택시 주행 데이터를 근거로 중국 베이징의 충전소 위치선정을 진행하며(Cai et al., 2014), 미주 동부지역인 보스턴-뉴

육-위싱턴을 대상으로 충전소의 용량과 수요예측을 통해 급속충전소의 위치선정 모델링을 개발 및 적용하여 지역 내 공용충전소의 위치선정 필요성을 나타내어 왔다(A.Zhang et al.,2017).

앞선 연구들을 통해, 전기차충전인프라가 전기차 구매에 큰 영향이 미치는 것을 확인 할 수 있었으며, 국내의 주거환경을 고려해 급속충전소의 확대 보급이 필요한 것을 알 수 있다. 또한 앞으로 충전수요가 지속적으로 증가하는 것을 확인할 수 있으며(이순정 외, 2017), 이에 맞춘 전기차충전인프라의 확대 설치가 필요로 한 것이 충분히 인지가능하다. 게다가 앞선 연구들을 통해 기존의 전기차 주행가능 거리에 따른 충전소 선정보다 사용자들의 선호와 주행특성에 따른 충전소 설치모델링의 필요성과 국내 실제 도시를 기반으로 유효한 충전소 위치선정 시뮬레이션을 진행하는 것이 필요로 한 것을 알 수 있다.

1.2 문제 정의

국내외에서 전기차 충전소 보급 확대를 위한 많은 연구가 진행되어왔으나, 대부분 전기차의 주행거리 한계를 극복하기 위한 충전소 위치선정연구가 주를 이루며, 장거리 이동을 고려한 연구가 대부분이었다. 하지만, 국내 1일 주행거리를 살펴보면, 약 35km⁴⁾ 내외로 매년 줄어들고 있다. 즉, 자동차사용자는 장거리 이동보다, 도시 내 주행 혹은 도시 간의 주행으로 자동차 사용이 많으며, 이러한 주행 형태를 토대로, 전기차의 활용은 장거리보다는 도시 내 주행을 위한 충전소가 필요로 한 것을 알 수 있다.

전기차는 충전시간이 길게는 8시간, 짧게는 15분이 필요로 하기에, 충전을 위한 주차공간이 필수적이다. 해외의 경우 개인차고지 내에서 완속 충전하여 차량 사용이 이루어지지만, 국내의 경우 대부분 아파트 혹은 연립주택과 같은 공동주택으로 편중되며 공용주차장을 사용하기에, 전기차 사용자가 개인차량을 위한 전용완속충전기를 설치하기는 쉽지 않다. 대부분 주거공간에는 공용 완속충전기를 설치할 수밖에 없는 상황이며, 이마저도 공동주민회의 및 여러 절차로 인해 충전소 설치에 대한 많은 장벽으로 전기차 사용에 대한 접근성이 다른 나라에

4) 2018년도 자동차 1일 평균 주행거리 승용차 35.8km, 전체 자동차 주행거리 39.2km.
출처: 국가교통DB

비해 떨어진다. 이에 대해 공공기관에서 전기차 충전시설을 관내에 설치하였지만, 접근성이 떨어지는 위치와 주차문제에 대한 시시비비로 사용률이 높지 않다.

이러한 국내의 환경으로 인해 도시 내 전기차 사용자들의 접근성이 높은 전기차 충전소가 필요로 한 것을 알 수 있으며, 완속충전소 보다는 많은 사람이 사용할 수 있는 급속충전소의 보급이 시급히 필요하다고 판단된다. 게다가 전기차 주행가능거리를 대상으로 하는 장거리용 충전소가 아니라, 사용자들의 행동패턴에 맞는 도시 내 주행을 위한 급속충전소 위치 선정을 위해 안양시를 대상으로 모델링 및 시뮬레이션을 시행하였다.

1.3 논문의 구성

본 연구는 다음과 같이 구성하였다. 2장을 통해 설비위치선정 방법론을 살펴봄, 이전에 연구되었던 방법론과 사례연구 내용을 검토해 보고자 한다. 3장에서는 급속충전소의 설비 위치 선정에 관련된 교통량 데이터와 위치데이터를 제시하며, 2장에 소개된 모델링에 적용하여 위치 선정을 한다. 선정된 모델링은 다음과 같다. 1) 집합커버 이론을 활용한 모델링, 2) P-Median 이론을 활용한 모델링, 3) P-Center 이론을 활용한 본 모델링으로 구성하며, 교통량 데이터를 적용시켜 얻는 결과를 비교 검토한다. 4장 결과에서는 3장에서 진행한 모델링을 통한 결과들을 비교 검토하며 5장에서는 4장의 내용을 토대로 검토하며 향후 연구과제와 함께 기술하며 끝을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 설비입지선정에 관한 선행 연구

전기차충전소 문제는 설비입지선정모델 카테고리를 가지며, 집합커버 모델, 최대흐름 모델, P-Center 모델, P-Median 모델로 나눌 수 있다.

〈표 1〉 설비입지선정모델의 종류

Facility Location Problem Model	Set Cover Model	1 개의 충전소가 커버할 수 있는 범위에 대해 모든 수요자가 서비스를 받을 수 있는 최소 입지 수를 선정
	P-Median Model	최소 거리를 이동하여 도달 할 수 있는 P 개수 이하의 설비 입지 선정 문제
	P-Center Model (Min-Max)	가장 멀리 떨어진 거리를 최소화하는 P 개수 이하의 설비 입지 선정 문제

집합커버 모델은 1개의 충전소가 커버할 수 있는 범위에 대해 모든 수요자가 서비스를 받을 수 있는 최소 입지 수를 선정하는 문제에 사용된다. 본 문제는 최소 값을 이용하여 전체를 커버할 수 있는 모델로서, 입지 결정문제뿐만 아니라 승무원 스케줄, 수하물 차량 분석과 같은 문제를 해결하는 데 사용되어왔다. 본 모델은 긴급구호 설비 위치선정을 위해 처음 제안되었으며, 한정된 시간 안에 수요지에 도착할 수 있는 장소를 선정하여 최소한의 설비의 위치를 선정하였다(Toregas et al, 1971). 이 모델은 이후 고속버스 정류장을 선정에 사용되어, 모든 일반버스 정류장에서 사람이 걸어서 접근 가능한 Z 거리 이내에 있을 수 있는 최소화된 고속버스정류장 수와 후보지 선정에 활용하였다(Gleason, 1975). 또한, 미국 콜로라도의 소방서 위치 선정에 본 모델을 활용하여, 방화시 후보지와 방화지 사이의 이동시간을 최소화되는 위치선정에 활용되었다(Planeplane and Hendrick, 1977). 이 이외에도 날씨 레이더 네트워크 위치와 같이 최소화된 건설비 사용을 위해 본 모델링이 사용된 것을 확인 할 수 있다(Plane and Hendrick, 1977). 최근에는 전기차 충전소 위치 선정 모델에도 활용되는 것을 확인할 수 있는데, Magong 섬에 이륜차 충전을 위한 완속충전소 위치 설정 문제에 본 모델링을 대입하여 풀었으며, 대만의 완속 및 급속충전기 설치 위치를 설치 비용을 최소화시키는 문제를 풀기 위해 이 모델을 활용한 것을 볼 수 있다(Wang, 2007). 또한 대만의 실제 고속도로 주행 데이터를 활용하여, 최소 설치비용과 최대 사용자를 커버하는 정수최적화 모델링에 사용된 것을 확인 할 수 있다(Wang and Wang, 2010). 이처럼 집합커버 모델은 다양한 방면에서, 1 설비가 커버할 수 있는 범위를 활용하여 최대지역을 커버하는 위치선정모델로 사용 되는 것을 확인 할 수

있으며, 본 연구에 활용가능 할 것으로 보인다.

P-Median 모델은 후보입지가 주어져 있는 경우, 각 후보입지로부터 소비자에게 제품을 수송할 때, 최소의 수송비용으로 모든 수요를 충족시킬 수 있는 p 개 이하의 시설 설치 입지를 결정하는 문제로, 이동을 최소화 할 수 있는 위치 선정 모델링이다. 이 모델은 망 전체 길이를 최소화 하는 변전소의 위치를 선정에 최초로 활용되었다(Hakimi, 1964). 정수 p 가 주어지면, 고객과 개방 시설(P 개) 사이의 총 거리를 최소화하는 것을 목표로 하고 있으며, 도서관, 학교, 긴급 구호센터와 같은 공공재 시설물의 위치 선정에 주로 활용되고, 이외에도 백화점, 대형 할인매장, 자동차영업소 같은 경쟁사들과의 경쟁이 치열한 민간시설의 입지선정 문제에서 수요자들의 이동거리를 최소화 시키는 위치 선정에도 활용되었다. 민간 시설의 경우, 같은 시장 안에 경쟁사의 고객을 최대로 끌어들일 수 있는 아이스크림 점포 위치 선정에 적용되었다(Hakimi, 1983; ReVelle, 1986). 국내에서 활용된 경우를 살펴보면, 지역 내의 인구모델과 지역 내용을 활용한 공공시설 입지와 천연가스 버스충전소 입지선정에도 활용한 것을 볼 수 있으며(박보라 외, 2013), 천연가스 수요지점과 공급지점을 분석하여, 통행비용을 최소화 할 수 있는 위치 선정을 진행하였다(유정훈 외, 2008). 허나, P-Median은 P 값이 주어지지 않으면, NP-Hard 문제로 고려되기에, Constructive heuristic, Local search, Mathematical programing, Meta Heuristics 과 같이 변형된 휴리스틱과 같은 방법으로 제안되어왔다(Mladenovie et al, 2007).

P-Center 모델은 가장 멀리 떨어진 수요에 대한 거리를 최소화하는 모델로서, 최대거리를 최소화 하는 개념으로 min-max 문제 부른다. P-Center 모델의 목표는 수요자와 시설 사이의 총 운송비용을 최소화하기 위해 사용되며, 모든 고객을 포괄할 수 있는 최소 시설 수를 찾거나 지정된 수의 개방 된 시설에서 보장하는 고객 수를 최대화 문제에 사용된다. P-Cneter 모델은 서비스 수준이 가장 나쁜 지역의 서비스 개선에 사용되며, 도심지와 거리가 먼 지역 주변에 시설 입지가 선정되는 것을 기대할 수 있기에 공공재 설치에 주로 활용된다. 이 모델은 경찰서의 최적 위치 선정 사용에 처음 소개되었으며, 긴급의료시설 최적 입지선정 뿐만 아니라, 차량 서비스 센터 위치 선정, 교수들의 최대 강의시간을 최소화 시키는 시간표 설계와 같이 여러 방면에 활용되어왔다(Hakimi, 1964; Garey and Johnson, 1977). 국내에서도 본 모델링을 활용하여, 경남 진주시 대상으로 긴급

의료시설 최적입지를 선별하는 데 활용하였으며, 고속도로 설비센터 위치 선정에 활용되었다(Kim et al, 2011). 이 이외에도 설비입지선정에 많은 모델링들이 시도 되었다. 특히 전기차충전소 설비입지에 관해서는 교통흐름과 관련하여 정리된 논문들을 확인할 수 있다(Shen et al, 2019).

앞의 내용과 같이 기존의 진행된 선행 연구를 통해, 설비입지선정에 어떤 모델링이 사용되었는지 확인할 수 있었다. 제시된 모델링 중 집합커버 모델링, P-Median, P-Center 는 제한된 설비로 최대지역을 커버하는데 활용될 수 있는 모델링으로서, 도심지 내의 급속전기차 충전소 입지선정을 설계 하는 데에 적합하다고 판단된다. 2012년 국내의 전기차 보급이 시작된 지 7년이 지난 지금은, 장거리를 위한 전기차 충전소보다는, 도심지 내 거주민들이 사용 가능한 접근성 높은 도시 내부 충전소 확충이 더욱 필요로 해지고 있다. 본 연구에서는 개개인의 완속충전소 설치가 어려운 환경을 반영하여, 공용 급속충전소의 필요성이 높아지는 국내 상황을 반영하여, 집합커버, P-median, P-center 모델링을 활용한 최적화된 충전소 지점을 산출하고자 한다.

2.2 각 모델링에 대한 알고리즘

앞서 살펴본 모델링 중, 집합커버 모델링, P-Median 그리고 P-Center 모델링의 알고리즘을 기존 연구를 통해 다음과 같이 확인하였다.

2.2.1 집합커버 모델링 알고리즘

본 모델링이 제시된 기존연구에서는 아래 수식을 제시하며 긴급구조설비 위치 선정에 활용하였다(Toregas et al. 1971). 이 연구에서는 긴급구조설비 위치에서 구호현장까지 거리를 집합 $N(i)$ 을 설정하였다. 각 도로의 노드 (i)에 대해 긴급구조설비가 구호에 필요한 최대 시간(s)안에 도달할 수 있는 거리 $d(j,i)$ 를 집합 $N(i)$ 로 정의하여 최소설비입지를 선정하였다.

$$N(i) = \{j | d(j,i) \leq s\}$$

이때 결정 변수 $x(j)$ 에 대해 설비가 j 위치에 설치 된 경우 1, 그렇지 않은 경우 0과 같이 이진변수로 설정하였다. 목적함수 z 는 결정변수 x 의 최소값으로 설정하였다. 본 모델은 아래와 같이 수식화 된다.

$$z = \min \sum_{j=1}^n x(j), \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{s.t.} \sum_{j \in N(i)} x(j) \geq 1, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n), \dots\dots\dots (2)$$

$$x(j) \in 0, 1, \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n), \dots\dots\dots (3)$$

수식 (1) 은 목적함수로서 총 설치 설비의 수를 최소화한다. 수식 (2)는 집합 $N(i)$ 에 해당하는 후보 중 적어도 하나 이상의 설비를 선택하도록 한다. 수식 (3)을 통해 결정변수를 이진 변수로 표현해 준다.

이 연구에서는 긴급구조설비위치를 수식(1), (2), (3)을 활용하여 모델링 및 선정 최적화에 활용한 것을 알 수 있다.

2.2.2 P-Median & P-Center 모델링 알고리즘

P-Median & P-Center 를 활용하여 모델링 한 연구는 태국 치앙마이를 대상으로 진행한 설비입지 모델링을 활용하였다(Dantrakul et al., 2014). 연구내용에서 보여준 정의는 아래와 같다.

- $I = \{1, 2, 3, \dots\}$: 소비자 정보의 집합
- $J = \{1, 2, 3, \dots\}$: 설비 입지 후보의 집합
- OBJ : 목적함수
- $f(j), j \in J$: 설비 설치비용
- $h(i), i \in I$: 소비자의 수요량
- $s(j), j \in J$: 설비의 용량
- $c(i, j)$: 수요자로부터 설비까지의 교통비용
- z : 최대값

- $x(i,j)$: 설비를 선택한 경우 1, 선택하지 않는 경우 0
- $y(j)$: 서비스 가능한 경우 1, 서비스가 불가능한 경우 0

이 연구에서는 수요자가 설비까지 가는 비용을 최소화하는 것을 목적으로 결정변수 $x(i,j)$ 에 대해 0과 1의 이진 변수로 표현하여, 소비자가 설비를 선택하는 경우 1, 선택하지 않은 경우 0으로 표현하였다. 또한 설비가 서비스가 가능한 경우 $y(j)$ 를 1, 그렇지 않는 경우 0으로 정의 하였다. 본 모델링은 아래 수식과 같이 표현되었다.

$$OBJ = \min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c(i,j)x(i,j), \dots\dots\dots (4)$$

$$s.t \sum_{j \in J} y(j) \leq p, \quad \forall j \in J, \dots\dots\dots (5)$$

$$\sum_{j \in J} x(i,j) = 1, \quad \forall i \in I, \dots\dots\dots (6)$$

$$\sum_{i \in I} h(i)x(i,j) \leq s(j)y(j), \quad \forall j \in J, \dots\dots\dots (7)$$

$$\sum_{i \in I} h(i)x(i,j) \leq s(j)y(j), \quad \forall j \in J, \dots\dots\dots (8)$$

$$y(j) \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J. \dots\dots\dots (9)$$

수식 (4)는 목적함수로서 총 교통비용을 최소화 한다. 수식 (5)로 대부분의 P 설비가 운영한다는 것을 확인한다. 수식 (6)은 각 소비자가 어떤 설비에 배정된 것을 나타내며, 수식 (7)은 수요자의 총 소비의 합이 설비의 용량을 넘지 않음을 보증한다. 수식 (8)과 수식 (9)를 통해, $x(i,j)$ 와 $y(j)$ 값이 이진변수라는 것을 나타낸다.

위 모델을 활용하여 교통비용을 최소화 시킬 수 있는 설비 위치를 선정하였으며, 또한 P-Center 모델을 아래와 같이 설계하여 설비의 위치선정에 활용하였다.

$$OBJ = \min z, \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in J} c(i, j) x(i, j) \leq z, \quad \forall i \in I, \dots\dots\dots (11)$$

$$\sum_{j \in J} y(j) \leq p, \quad \forall j \in J, \dots\dots\dots (12)$$

$$\sum_{j \in J} x(i, j) = 1, \quad \forall i \in I, \dots\dots\dots (13)$$

$$\sum_{i \in I} h(i) x(i, j) \leq s(j) y(j), \quad \forall j \in J, \dots\dots\dots (14)$$

$$x(i, j) \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \dots\dots\dots (15)$$

$$y(j) \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in J, \dots\dots\dots (16)$$

수식 (10)은 목적함수로, 소비자와 서비스 가능한 설비의 최대교통비용을 최소화 한다. 수식 (11)은 제약 함수로 최대교통비용을 선정하는 목적함수 값을 확인 한다. 수식 (12)은 대부분의 P 설비가 운영한다는 것을 확인한다. 수식 (13)은 각 소비자가 어떤 설비에 배정된 것을 나타내며, 수식 (14)은 수요자의 총 소비의 합이 설비의 용량을 넘지 않음을 보증한다. 수식 (15)과 (16)를 통해, $x(i, j)$ 와 $y(j)$ 값이 이진변수라는 것을 나타낸다.

본 연구에서는 앞서 제시한 집합커버 모델링, P-Median & P-Center 모델링 알고리즘을 변형하여 안양시를 대상으로 급속 전기차 충전소 위치 선정을 위해 다음과 같이 적용해 보고자 한다.

III. 모형 설계

3.1 관련 데이터 수집

본 연구는 2030년 정부의 전기차 보급 목표 300만대에 맞춰, 많은 사람이 사용할 수 있는 접근성이 높은 급속충전소의 위치선정을 안양시를 대상으로 구현하는 것을 목표로 하였다. 연구를 위해 충전소 후보지역과 사용자의 위치 데이터, 사용

자와 충전후보지역 간의 거리, 사용자 예측을 위한 교통량 데이터를 수집하였다.

충전소 후보 지역은 경기연구원에서 선정한 전기차 충전소 입지를 이용하였다(강철구 외, 2017). 경기연구원에서는 잠재적 수요자들의 설문조사를 통한 선호도를 근거로 완속충전소를 후보 지역을 선정한 결과, 경기도에 3,000기 후보 지점을 선정하였으며, 이 중 안양시의 경우 76개의 완속충전소 후보지점을 선정하였다. 본 연구에서는 76개의 완속충전소 후보지 대상으로 급속충전소 입지를 선정하였다⁵⁾. 충전소 후보위치 지역정보는 경기연구원의 연구내용을 통해 확인할 수 있다.

급속충전소를 이용하는 사용자의 경우, 대부분 차량 주행 중 충전이 필요한 경우이다. 충전소는 사용자 위치에서 접근하기 편해야 하며, 사용자의 위치와 후보지 간의 거리를 통해 급속충전소의 접근성을 평가하고자 한다. 거리 데이터는 접근성 평가에 용이하며, 위치의 적절성을 논의할 수 있는 핵심 데이터이다. 사용자의 위치는 안양시내의 모든 도로의 위치로 볼 수 있으나, 분석을 단순화하기 위해 안양시내 모든 도로의 각 교차 지점을 수요자들의 위치로 선정하였다. 도로주행의 특성상, 같은 지점에 차량이 있더라도, 차량의 향방에 따라 후보 충전소까지의 거리는 다르다. 하여 <그림 1>에 표현된 위치와 같이, 한 교차로 내에서 나타날 수 있는 모든 차량의 향방을 고려하여 총 266개의 지점을 수요지 위치로 선정하였다.

수집된 수요자의 위치 266지점과 전기차 급속충전소 76개의 후보지역 정보를 근거로, <그림 2>와 같이 네이버 API를 이용하여 최적운행거리를 산출하였다. 안양시를 통과하는 일부 고속도로의 경우 충전 후보지에 가기 위해 10km 이상 주행해야 하는 우회경로가 발생하였는데, 이 경우 지역 내 충전소 이용이 어려울 것으로 판단되어, 본 연구 수집 데이터에서 제외하였고, 결과적으로 총 249개의 수요 지점을 선정하였다.

본 연구에서는 거리뿐만 아니라, 교통량을 고려하여 전기차 충전소의 위치를 선정에 활용하였다. 전기차 충전소는 공공재로 누락되는 지역 없이 위치할 필요성이 있지만, 또한 원활한 운영을 위해, 많은 사람이 사용할 수 있는 곳에 위치할 필요가 있다. 수요 지점 별 교통량은 한국교통연구원에서 제공하는 View T

5) 완속충전소는 충전을 위해 장시간 주차가 가능한 지역이어야 한 만큼, 단시간 주차가 필요한 급속충전소의 입지 후보로도 활용 가능하다.

〈그림 1〉 각 도로 노드의 위치 정보 조회

〈그림 2〉 사용자와 후보 충전소 간의 거리조화

3.2 연구 방법 및 결과

2030년 전국에 300만대 전기차 보급 기준시, 경기도의 경우 적어도 70만대 이상의 전기차 보급이 예상된다. 경기연구원의 기존연구에서는 2020년 전국의 전기차 보급목표 25만대, 경기도 지역의 전기차 보급목표 5만대를 기준으로 안양시의 급속충전소 필요 개수를 1개로 선정하였다. 2030년 기준의 전기차 보급 목표는 2020년에 비해 14배 이상을 목표로 하기에, 이에 따른 충전소 수량 또한 14배 이상 늘어날 것으로 보인다. 하여 2030년 안양시의 전기차 충전소 개수를 약 14개로 산정하여 기준을 세우고 집합커버 모델, P-center 모델, P-Median 모델을 활용하여 급속충전기 설치 위치 최적화 모델을 설계하였다.

3.2.1 집합커버 활용한 모델

집합커버 모델은 1개의 충전소가 커버 할 수 있는 범위에 대해 사전에 선정하여, 모든 수요자가 서비스를 받을 수 있는 최소 입지 수를 선정하는 모델링이다. 수집된 거리 데이터 분석 결과, 각 충전소 후보지 기준으로 수요자와의 최소 거리를 비교해 보았을 때, 1,878m가 가장 긴 거리이다. 이 수치를 기준으로 집합의 범위 최소거리를 2km 이하로 선정하였다. 국내의 주유소 설치 위치에 대한 법규를 살펴보면, 설치 위치 거리에 대한 제한이 없지만 계발제한구역의 경우, 지역 훼손을 최소화 할 수 있으며, 해당 도로의 교통량 및 그 시설 이용의 편리성 등을 고려하여 2km 이상의 거리를 둘 것을 제한하고 있다. 이러한 내용으로 보았을 때, 전기차 충전소 또한 2km 이내에 최소 한개 이상의 충전소가 설치된다면, 그 수요를 어느 정도 충족 할 수 있을 것으로 보이기에, 집합 범위를 2km로 선정하는 것에 적정성이 있다고 판단된다. 이 내용을 근거로 집합커버 모델을 다음과 같이 모델링 하였다.

$$OBJ = \min \sum_i \sum_j D(i,j)x(j), \dots\dots\dots (17)$$

$$\text{s.t. } N(i) = \{i | D(j,i) \leq 2000\}, \dots\dots\dots (18)$$

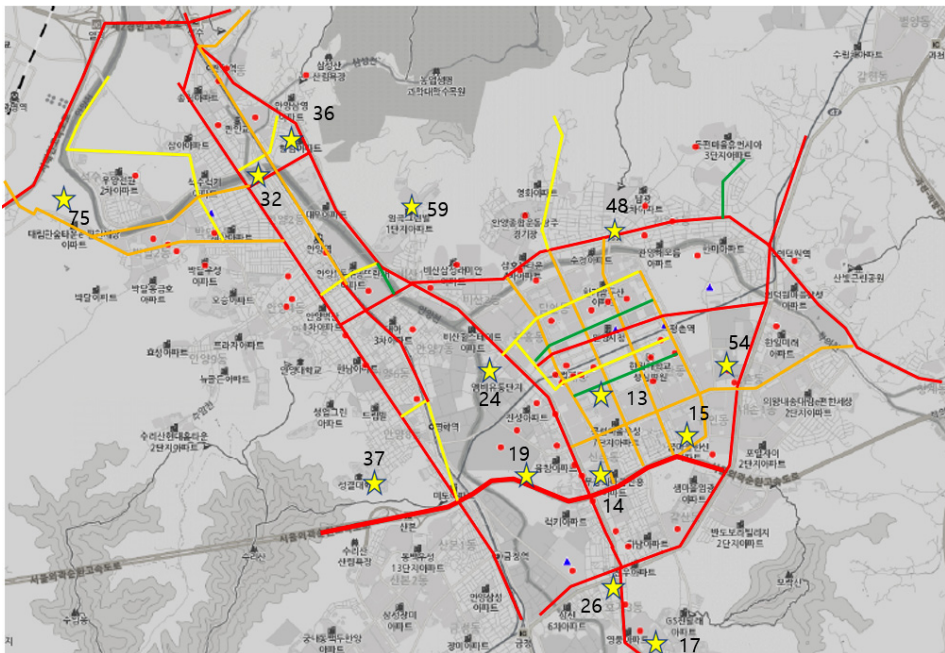
$$\sum_{j \in N(i)} x(j) \geq 1, \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \dots\dots\dots (19)$$

$$x(j) \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J. \dots\dots\dots (20)$$

- I 출발지 (각 노드의 위치),
- J 전기차 충전소 후보지,
- D(i,j) 임의 선정된 출발지와 전기차 충전소 후보지 간의 거리,
- N(i) 충전소 1 대가 커버할 수 있는 집합,
- x(j) 충전소가 j에 입지하면 1, 그렇지 않으면 0.

수식 (17)은 목적함수로서, 거리의 합을 최소화 한 값을 구한다. 수식 (18)은 충전소 1대가 감당 가능한 거리로, 2km 이내로 정의한다. 수식 (19)는 집합 N(i) 즉 각 set 안에 해당하는 후보위치 중 적어도 하나 이상의 설비를 선택하도록 한다. 수식 (20)을 통해 결정변수를 이진 변수로 표현해 준다. 충전소가 j에 입지하면 1, 그렇지 않으면 0으로 정의한다.

본 모델링을 활용하여 선정된 결과는 다음 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 거리 2km 이하의 Set Cover 모델링 결과

〈그림 3〉를 살펴보면, 선정된 위치가 지역에 고르게 분포된 것을 시각적으로 볼 수 있다. 본 내용은 거리 데이터만 활용한 것으로 아래 수식 (21) 과 같이 목적 함수에 교통량 데이터를 대입하여 변화를 보았지만, 선정된 결과에 큰 차이가 없었다.

$$OBJ = \min \sum_i \sum_j T(i) D(i, j) x(j). \dots\dots\dots (21)$$

- T(i) 각 출발지의 교통량.

선정된 충전소의 개수 또한 13군데로, 14개 이상을 설치하고자 하는 기존의 기준과 크게 차이 나지 않은 개수이다.

다음으로 본 모델링을 활용한, 충전소의 개수를 14개로 할당하는 조건을 아래 수식 (24)와 같이 추가하면, 다음 〈그림 4〉와 같이 〈그림 3〉에서 선정된 13번 위치가 1번과 7번으로 교체되어 결과가 나타난다.

$$OBJ = \min \sum_i \sum_j D(i, j) x(j), \dots\dots\dots (22)$$

$$\text{s.t } N(i) = \{i | D(j, i) \leq 2000\}, \dots\dots\dots (23)$$

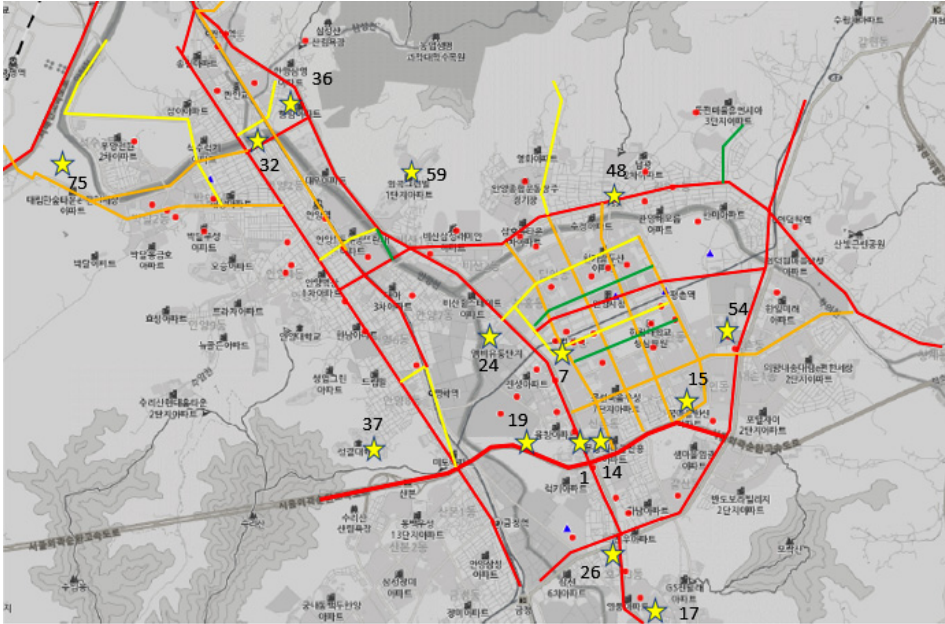
$$\sum_{j \in J} x(j) = 14, \forall j \in J, \dots\dots\dots (24)$$

$$\sum_{j \in N(i)} x(j) \geq 1, \forall j \in J, \forall i \in I, \dots\dots\dots (25)$$

$$x(j) \in \{0, 1\} \text{RIGHT}, \forall j \in J. \dots\dots\dots (26)$$

3.3.3 P-Median 을 활용한 모델링

내연기관 자동차의 경우, 주유량이 없어도 일정 속도로 주행시 상당 거리를 갈 수 있는 것과 달리, 전기차는 배터리 용량이 3% 남았을 때, 전기차는 저속으로 운전하게 되며, 경사도가 급한 도로에서는 뒤로 밀리는 사고가 일어날 수 있다.



〈그림 4〉 14개 충전소 조건변수 적용한 거리 2km 이하의 Set Cover 모델링 결과

이러한 문제점으로 인한 불안감을 벗어나기 위해, 수요자는 배터리 용량이 3%가 되기 전에 충전소를 찾는 것이 필수적이라고 볼 수 있다. 하여, 사용자들이 충전 필요시, 이동이 적고, 접근하기 좋은 위치산정을 하기 위해, P-Median 모델을 활용하여 다음과 같이 설계를 진행하였다. P-Median 모델은 한정된 설비 P (정수값) 이 주어진 경우, 수요자와 P 시설 사이의 총 거리를 최소화하는 방법으로 전기차 사용자가 충전이 필요로 할 때 가장 짧은 거리를 이동하여 충전소를 찾을 수 있을 것으로 기대된다. 모델링은 아래 수식과 같이 진행하여 14 개의 충전소의 위치를 선정하는 데에 활용하였다.

$$OBJ = \min \sum_i \sum_j D(i, j) x(j), \dots\dots\dots (27)$$

$$s.t \sum_{j \in J} x(j) = 14, \forall j \in J, \dots\dots\dots (28)$$

$$\sum_{i \in I} y(i, j) = 1, \forall i \in I, \dots\dots\dots (29)$$

$$\sum_{i \in I} y(i, j) \leq Mx(j), \forall j \in J, \dots\dots\dots (30)$$

$$x(j) \in \{0, 1\}, \forall j \in J, \dots\dots\dots (31)$$

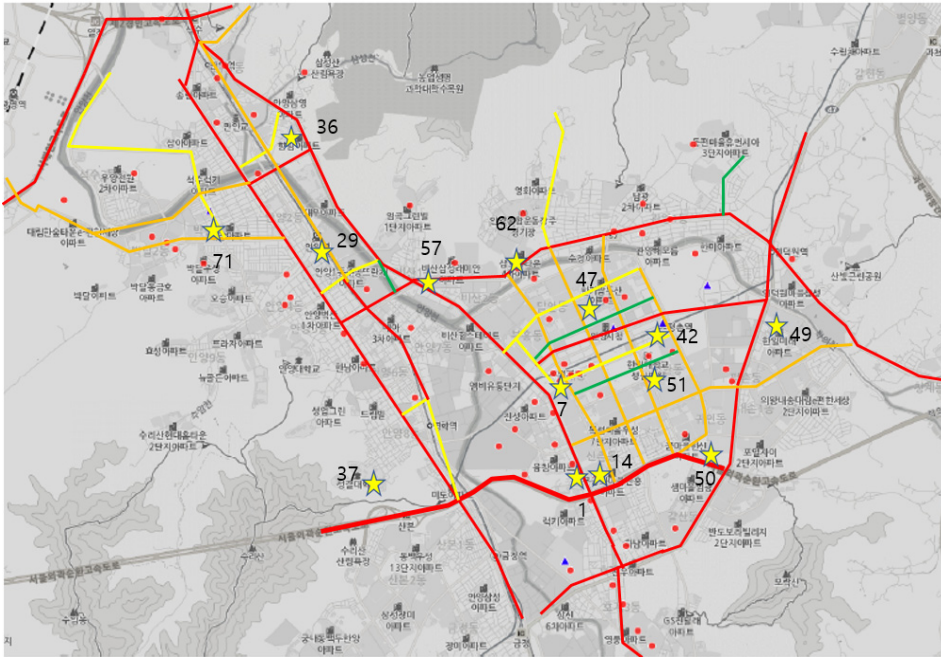
$$y(i, j) \in \{0, 1\}, \forall j \in J, \forall i \in I \dots\dots\dots (32)$$

- i 출발지 (각 노드의 위치),
- j 전기차 충전소 후보지,
- OBJ 목적함수,
- D(i,j) 임의 선정된 출발지와 전기차 충전소 후보지 간의 거리,
- x(j) 충전소가 j에 입지하면 1, 그렇지 않으면 0,
- y(i,j) 충전소가 서비스가 가능하면 1, 그렇지 않으면 0.

수식 (27)은 집합커버 모델링과 마찬가지로 거리의 값이 최소값이 되도록 목적 수식을 구성하였다. 수식 (28)은 설치 설비의 개수 (P)를 14개로 한정한다. 수식 (29)는 각 위치 (I)에서 전기차 충전소 후보지역 중 한곳에 선택이 되어야 함을 의미한다. 수식 (30)은 총 수요의 합이 설비의 개수를 넘지 않는다. 총 수요는 (I) point의 개수 249개이며, 선정될 설비의 개수는 14개 이므로, 총 수요의 합이 설비의 개수를 넘지 않기 위해 임의의 큰수 M을 곱한다. 수식 (31)은 J 위치에 충전소가 위치 할 경우 1, 불가능 할 경우 0, 수식 (32)는 J 위치의 충전소가 서비스가 가능한 경우 1, 불가능 한 경우 0과 같이 이진변수로 표현하였다.

현재 본 연구에서는 1개의 전기차충전소가 수용할 수 있는 범위에 대해 정확한 수치를 산정할 수 없어, 임의의 큰수 M을 적용하여 근거리의 수요를 모두 수용할 수 있게 설계하였다. 실제로 충전소 위치에 설치되는 충전소 대수에 따라 충전수요량이 달라질 수 있기에, 이후 수요예측을 통해 본 충전수요량을 대입이 필요로 하다. 이 부분에 대한 적용은 뒤에 나오는 P-Center 수식에 대해서도 동일하게 적용되는 부분이다.

위와 같이 거리의 값이 최소가 되도록 목적수식을 구성하여, 충전소의 최소 필요 개수와 결정변수에 대해 이진정수 조건만 표현한 결과는 다음 <그림 5>와 같다. <그림 5> 결과를 보았을 때, 14개의 지점이 안양시에 전반적으로 고르게 분포했음을 알 수 있다. 거리의 합에 대해 최소화하는 조건이 적용되었기에, 도로



〈그림 5〉 P-Median 모델을 적용한 급속충전소 위치

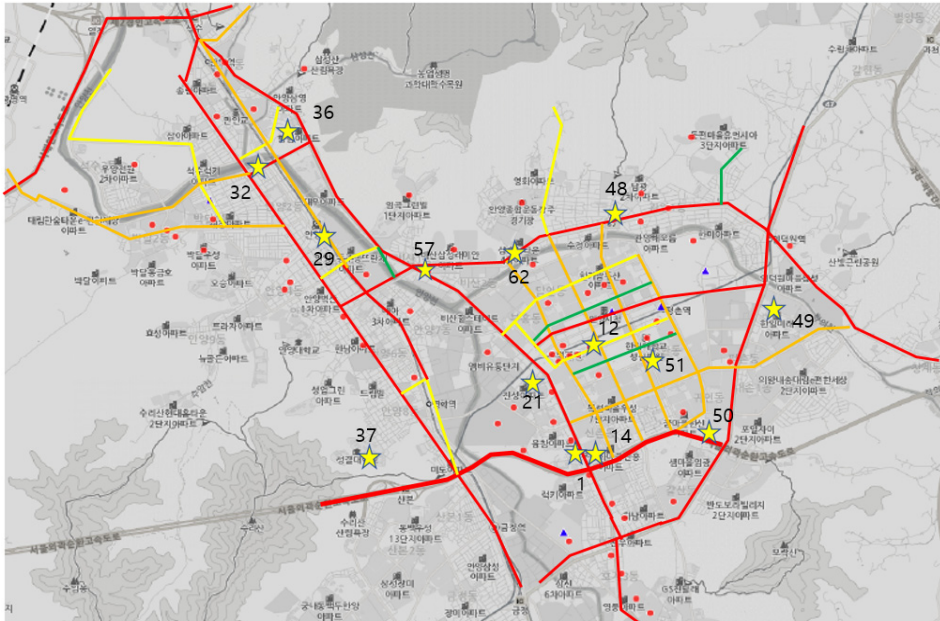
와 가장 가까이에 있는 위치들이 우선적으로 선택된 것을 그림 5를 통해 확인할 수 있다.

앞서 얘기했듯이 공공재로서 전기차 충전소는 많은 수요자가 접근하기 쉬운 위치에 선정될 필요성이 있어, 수식 (33)과 같이 교통량 데이터를 목적함수에 대입하였다. 하여, 수식 (33)과 같이 교통량이 많은 경우 후보지역과 도로와의 거리가 짧은 구간을 선정할 수 있도록 목적수식을 변경하였다.

$$OBJ = \min \sum_i \sum_j T(i) D(i, j) x(j). \dots\dots\dots (33)$$

- T(i) 각 출발지의 교통량.

변경된 목적수식이 적용된 시뮬레이션 한 결과는 〈그림 6〉과 같다. 교통량 데이터를 삽입한 결과 선정된 위치들이 교통량이 많은 붉은 도로를 따라 위치가 선정된 것을 확인할 수 있다.



〈그림 6〉 P-Median 모델링 교통량 정보를 적용한 급속충전소 위치

3.3.4 P-Center 을 활용한 모델링

전기차는 내연기관차보다 주행거리가 짧아, 수요자가 충전소를 찾을 때 멀리 떨어진 곳이 적을수록 이점이 작용한다. 특히 충전이 필요로 할 때 수요자는 빠른 시간 안에 충전소로 도착할 수 있어야 하며, 가까운 충전소가 다른 사용자가 사용 중이거나, 사용 불가능한 상황에 차순위의 충전소를 이용하더라도, 멀리 않은 충전소가 있어야 할 필요성이 있다. 하여 전기차 충전소는 가장 먼 거리를 최소화하는 지점의 설치를 위해 P-Center 모델링으로 설계해 보았다. 충전소에서 다른차량이 충전중 인 경우, 사용자는 제2 혹은 제3의 장소를 물색하여야 한다. 이러한 상황에서는 충전소의 위치가 멀리 있는 경우 사용자가 입장에서 불편을 느끼기에 가장 먼 충전기의 거리를 줄일 필요성이 있다. 본 모델은 아래 수식과 같이 설계하였다.

$$OBJ = \min z, \dots\dots\dots (34)$$

$$s.t \sum_i \sum_j D(i,j)x(j) \leq z, \dots\dots\dots (35)$$

$$\sum_{j \in J} x(j) = 14, \forall j \in J, \dots\dots\dots (36)$$

$$\sum_{i \in I} y(i) = 1, \forall i \in I \dots\dots\dots (37)$$

$$\sum_{i \in I} y(i, j) \leq Mx(j), \dots\dots\dots (38)$$

$$x(j) \in \{0, 1\}, \forall j \in J, \dots\dots\dots (39)$$

$$y(i, j) \in \{0, 1\}, \forall j \in J, \forall i \in I. \dots\dots\dots (40)$$

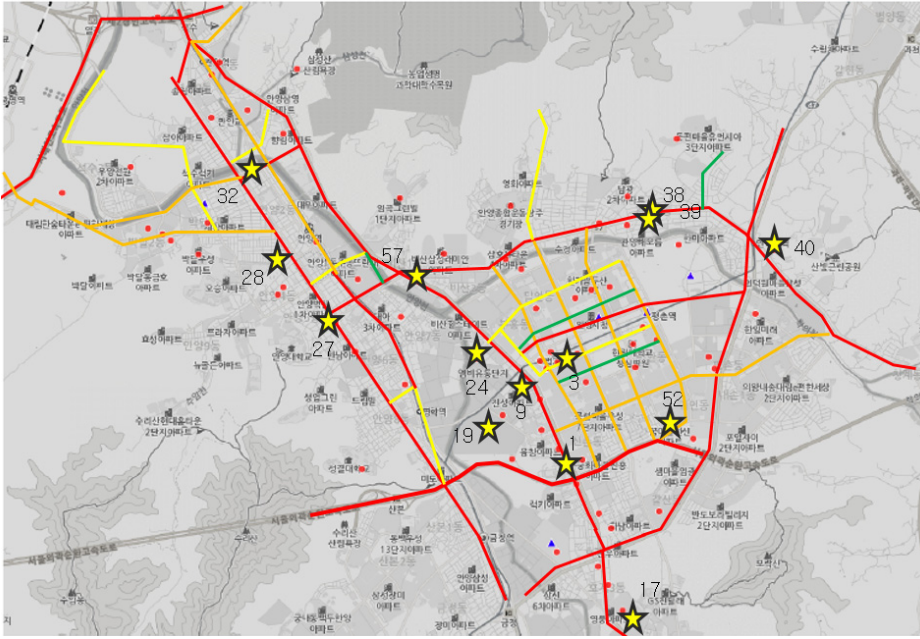
수식 (34)는 목적함수로 선별된 최대값을 최소화한다. 수식 (35)는 최대값 z 을 선별하는 조건수식으로, 충전소 후보지 (j)에 할당된 (i) 지점 중 최대 거리 선별한다. 수식 (36)과 같이 충전소의 개수는 14개로 제한하며, 수식 (37)은 각 위치 (i)에 대하여, 전기차 충전소 후보지역(j) 중 한곳 부여한다. 수식 (38)은 총 수요의 합은 설비의 개수를 넘지 않는 것을 보여준다. 수식 (38)은 수식 (30)과 마찬가지로 설비가 총수요를 감당할 수 있는 큰수 M 을 곱한다. 수식 (39)는 J 위치에 충전소가 위치 할 경우 1, 위치하지 않는 경우 0, 수식 (40)은 J 위치의 충전소가 서비스 가능한 경우 1, 불가능할 경우 0으로 설정한다.

본 설계내용을 토대로 산출한 시뮬레이션 결과 <그림 7>과 같다. P-Median을 활용한 모델링과 선정된 장소는 다르지만, 지역 내에 누락되는 구역없이 설비 위치가 선정되었다.

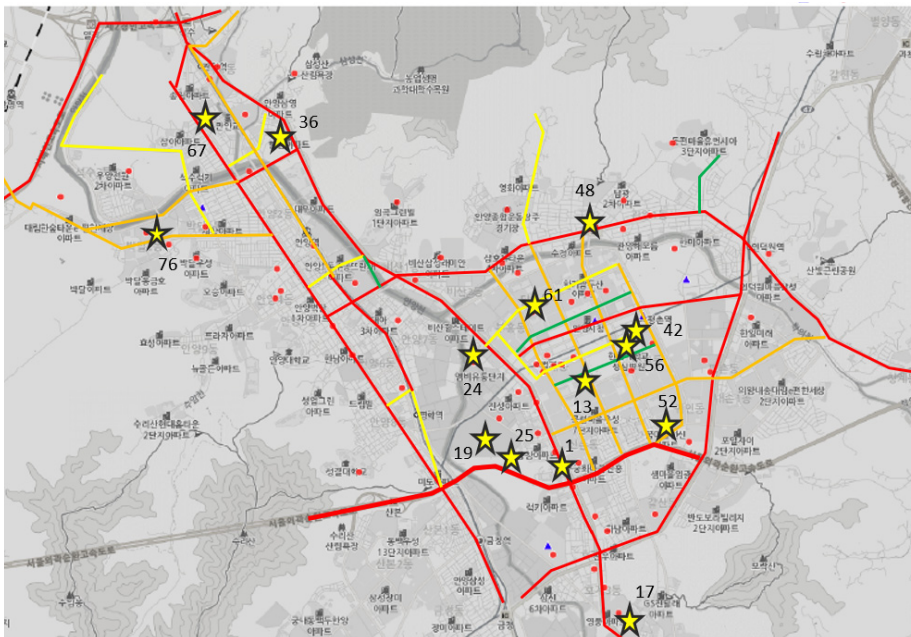
더 많은 사람들이 접근하기 편한 위치 선정을 위해 본 모델링 또한 아래 수식 (41)과 같이 교통량 데이터를 대입하도록 목적함수를 변경하였다. 결과는 다음 <그림 8>과 같다.

$$OBJ = \min \sum_i \sum_j T(i) D(i, j) x(j). \dots\dots\dots (41)$$

선정된 결과 <그림 8>을 보면, 교통량을 고려한 경우, 선정된 충전소의 위치가 이전보다 교통량이 많은 도로를 따라 위치하는 것을 확인할 수 있다.



〈그림 7〉 P-Center 모델링을 적용한 급속충전소 위치



〈그림 8〉 P-Center 모델링 교통량 제어조건을 적용한 급속충전소 위치

IV. 결과

앞서 시뮬레이션을 통하여 각 모델링 방법과 교통량 데이터 적용 여부에 따라 달라지는 위치 선정을 볼 수 있었다. 이 결과를 다음 <표 2>와 <표 3>과 같이 비교해 보았다.

집합커버 모델링을 활용한 시뮬레이션에서 앞서 본 <그림 3>과 같이 소외지역 없이 충전소를 균일하게 설치할 수 있는 것을 확인했으며, 충전소의 커버 범위에 따라 위치 선정 및 충전소의 개수가 달라진 것을 확인하였다. 집합의 범위가 작을수록 커버 할 수 있는 도로 범위가 적어, 교통량 데이터 적용이 결과에 크게 변화를 끼치지 않았다. 하지만 집합의 범위에 따라 설치되는 설비의 수와 위치가 달라지기에, 집합커버 모델링을 활용하여 설계할 경우, 집합의 범위선정을 중요하게 고려할 할 필요성이 있다.

P-Median 모델링을 활용한 경우, 전기차 충전소의 설비(P)의 개수를 설정하여 수요자가 최소한의 거리이동으로 전기차 충전소의 위치에 도달할 수 있도록 설계되었다. 이동거리 최소화의 목적이 가장 잘 표현된 결과로, 선정된 위치들은 도로와 가장 가까운 곳으로 선정되었다. 교통량 데이터 활용한 경우, 교통량이 많은 큰 도로에 가까운 위치에 선정되는 것을 확인할 수 있었다. 가장 짧은 거리의 충전소의 경우 33m이며, 평균이동거리 또한 다른 모델링에 비해 적은 값을 보여주므로 선정된 전기차충전소 접근성이 다른 모델링에 비해 높다고 할 수 있다.

P-Center 모델링은 최대거리를 최소화 하는 목적을 가지고 있기에, 서비스 수준이 가장 나쁜 지역을 개선을 기대할 수 있으며, 전기차의 주행거리 제한에 문제에 대한 리스크를 줄여줄 수 있을 것을 기대할 수 있다. <표 2>를 보면, 다른 모델링에 비해 최대이동거리 값이 가장 짧게 나왔으며, 교통량을 적용하면, 최대거리값은 늘어나지만, 최소거리 값이 줄어드는 것을 확인 할 수 있다.

실제적으로 각 모델링 마다의 최소거리, 최대거리, 평균 거리 결과 값을 비교해 보았을 때, 각 모델링에 대해 결과 값에 대해 큰 차이는 보이지 않지만, 모델들의 특징이 잘 반영된 결과라는 것을 확인할 수 있다. 집합커버 모델링의 경우, 3개의 모델링 중 가장 큰 최소값과 최대값, 평균값을 가지고 있다.

〈표 2〉 모델링에 따른 접근성 변화

모델링	최소 거리 [m]	최대 거리 [m]	평균 거리 [m]
Set Cover with 2km below	169	12,438	3,795
P-Median	33	11,096	3,473
P-Median with Traffic information	34	10,732	3,571
P-Center	155	10,732	3,624
P-Center with Traffic information	141	11,928	3,672

선정된 충전소의 위치는 각 집합의 범위 안에서 최소거리 이동으로 도달할 수 있는 충전소가 선택되었지만, 안양시 전체 범위에 대해서는 최소값을 가진다고 할 수 없다. 즉 각개의 최소값이 전체의 최소값을 대응한다고 볼 수 없으나, 〈그림 5, 6〉에 보이는 것처럼 다른 모델링과 비교하여 지역 전체에 균일 거리를 가지며 선정된 충전소 위치를 확인할 수 있다. 〈표 2〉에서 확인 할 수 있듯이, P-Median 은 가장 작은 최소값과 작은 평균 값을 가지고 있다. 이 결과값을 통해, 이 모델링으로 선정된 충전소 위치는 수요자가 가장 짧은 거리를 움직여 충전소에 도착할 수 있는 것을 알 수 있다. P-Center의 경우, 최소값과 평균거리가 다른 모델링 보다 큰 값을 가지고 있지만, 최대값이 다른 모델링에 비해 가장 작은 값을 가지는 것을 볼 수 있다.

하지만 교통량 데이터를 적용한 경우, 이러한 양상에 변화를 가진다. 교통량 데이터를 적용한 P-Median 모델링의 경우, 최소값에는 큰 변화가 없지만, 최대값이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 가장 먼 충전소의 위치가 개선 된 것이다. 하지만, 평균적으로 거리 값이 약 3% 정도 늘어나는 것을 확인할 수 있어, 많은 사용자들이 충전소로 향하는 평균 거리가 조금 늘어난 것을 확인할 수 있다. P-Center 모델링의 경우, 교통량 데이터를 적용한 결과 최소이동거리가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 하지만 최대 거리값이 약 10% 늘어나면서 평균 거리값이 늘어난 것을 확인할 수 있다. 교통량을 적용하면서 최소 거리값 개선되었지만, 최대 거리값이 최소 거리값의 변동율 보다 크게 나타나면서 평균 거리값이 오히려 늘어나 접근성이 평균적으로 낮아진 것을 확인할 수 있다.

〈표 3〉 모델링별 선정된 장소 결과

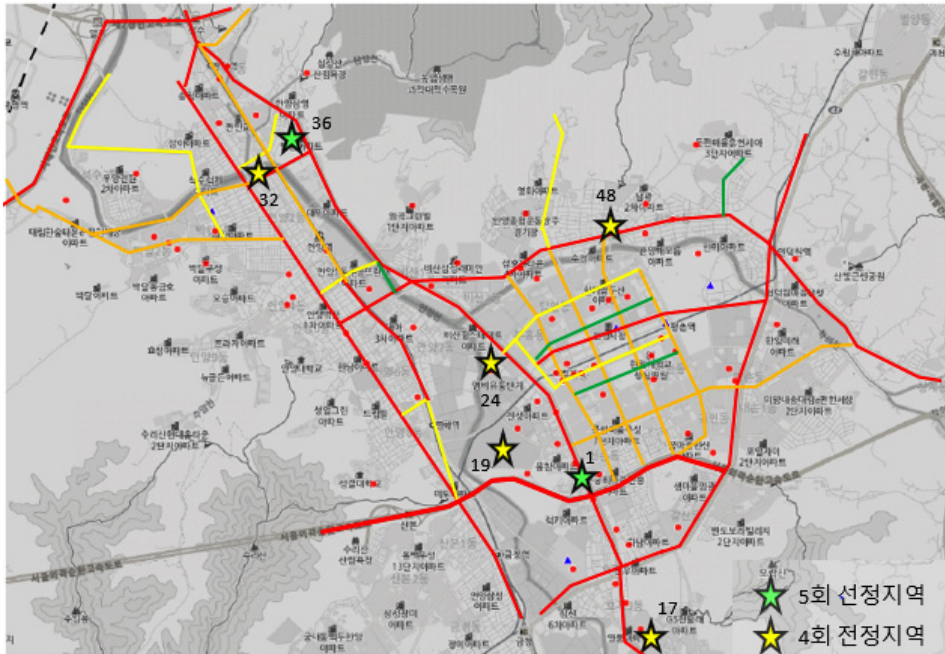
Modeling	Location							common places
Set cover 2km	13	15	17	19	24	26	32	12 places
	36	37	48	54	59	75		
Set cover 2km [14 location]	1	7	15	17	19	24	26	
	32	36	37	48	54	59	75	
P-Median	1	7	14	29	36	37	42	10 places
	47	49	50	51	57	62	71	
P-Median with traffic information	1	12	14	21	29	32	36	
	37	48	49	50	51	57	62	
P-Center	1	3	9	17	19	24	27	5 places
	28	32	38	39	40	52	57	
P-Center with Traffic information	1	13	17	19	24	25	36	
	42	48	52	56	61	67	76	

각 모델링 별, 교통량 데이터의 영향을 알아보기 위해 선정된 위치를 〈표 3〉과 같이 비교대조해 보았다. P-Median 모델링의 경우, 교통량 데이터를 적용한 경우, 적용하지 않은 모델링과 10 곳의 공통된 장소가 선정되면서, 적은 변화율을 보여주었다. 반면에 P-Center의 경우, 공통된 장소가 5곳 밖에 나오지 않아, 교통량에 대한 변화율이 P-Median에 비해 크게 적용되었다.

추가적으로 총 6개의 모델을 앞서 돌려보며, 다회선정 된 장소를 〈표 4〉, 〈그림 10〉과 같이 선별 표시해 보았다.

〈표 4〉 다회 선정 후보지

5회 선정 지역	1	36	
	호계2동 주민센터	한송골프클럽	
4회 선정 지역	17	19	24
	e편한세상 · 호계현대아파트	효성 안양공장	안양감리교회
	32	48	
	안양박달우회로 공영주차장	관양소공원	



〈그림 9〉 다회 선정 후보지

가장 많이(6회 중 5회) 선택된 장소는 호계2동 주민센터, 한송골프클럽으로 교통량이 많은 도로와 가까이 위치한 충전소이다. 이곳은 큰 도로들이 교차되는 지점에 위치한 것을 확인할 수 있다. 6회 중 4회 선정된 지역은 큰 도로와 인접하거나, 혹은 교통량이 많은 큰 도로와 교차하는 도로가 있는 지점들이 선정된 것을 확인할 수 있다. 또한 다회 선정된 지역들을 지도에 표현해 보면 각 지역을 대표할 만한 위치가 선정된 것을 확인할 수 있다. 이렇게 여러 회 선정된 후보지역은, 전기차 충전소 위치 선정시, 우선적으로 고려해 봐야 할 곳으로 보인다.

V. 결론 및 향후 연구방향

앞서 결과를 통해 각 모델링의 특징을 비교 분석했으며, 교통량 변수로 인해 바뀌는 양상을 확인해 보았다. 각 모델링은 특성에 따라 다른 전기차 충전소 후보 지점들을 선정하였다. 하여 실제적으로 전기차 충전소 위치 선정시, 설계자의 목

적에 따라 모델링 선정이 필요해 보인다. 지역별로 균등한 배치가 필요하다면, 집합커버 모델을 통해 선정할 필요성이 있으며, 사용자들이 최소이동을 통해 충전소를 찾는 데에 중점으로 둔다면, P-Median 모델링 활용이 필요로 하다. 설비의 수가 지역에 비해 비약적으로 적다면, P-Center 모델링을 통해 지역을 선정할 필요성이 있다. 게다가 많은 사람들이 혜택을 누리기 위해서는 교통량 데이터 활용은 보다 나은 위치 선정에 활용 될 수 있는 것을 알 수 있다. 집합커버 모델링의 경우에는 교통량이 큰 의미를 가지지 않았지만, P-Median 모델링과 P-Center 모델링의 경우에는 교통량 데이터 적용 후, 통행량이 많은 대로변과 가까운 충전소가 선정되었으며, 평균 주행거리 및 최소&최대 주행거리 값에 대해 이점을 보여주었다. 이러한 내용으로 보았을 때 급속 전기차 충전소 위치 선정에 교통량 데이터 적용은 필수적으로 보인다.

본 연구는 2030년에 전체 차량 중 약 15% 이상이 전기차로 변환될 것을 기대하며, 그에 대응하는 충전소의 개수를 선정하고 위치를 선정하였다. 본 연구에서는 선정된 전기차 충전소의 위치는 전기차 사용자가 보다 접근성이 높고, 보다 많은 수요자가 활용할 수 있는 최적화된 위치 선정을 보였다. 이러한 충전소의 위치는 전기차 보급 활성화에 긍정적인 영향을 끼칠 수 있는 역할을 할 것으로 보인다.

본 연구에서 선정된 적정 후보지 수는 14로, 2030년 이후 전기차의 보급율이 급격하게 상승한 경우, 충전소의 개소를 더 늘릴 것인지, 혹은 기존 충전소의 충전기의 수량을 늘리는 것으로 대체할 것인지 고려하지 않을 수 없다. 이러한 부분에 대해서는 충전소 한대가 감당할 수 있는 전기차 수량과 수요자들의 전기차의 충전소 사용 확률에 대한 연구가 필요한 것으로 보인다. 이것은 본 연구에서 활용되지 못한 P-Median, P-Center 모델링에 활용된 수식 (30)과 수식 (38)의 M 에 대한 정의 및 활용을 통하여, 더 많은 충전소의 필요성을 검토할 필요가 있을 것으로 보인다. 게다가 미래 전기차의 기술과 충전기술 발전으로 기존의 충전소를 철거 및 교체가 필요로 하다면, 언제 어떤 충전소를 철거 및 교체를 할지 고민해 봐야 하는 문제로 보인다. 현재에 전기차의 도로점유비율이 크지 않기에, 이러한 문제가 크지 않고, 교통흐름에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 보인다. 하지만, 전기차 사용자가 많아질수록, 각 충전위치의 필요충전수량과 이로 인한 교통흐름의 문제에 대해 이슈화 될 것이며, 이러한 문제에 대해 면밀하게 살펴봐야 할 필요성이 있을 것으로 보인다.

[참고문헌]

- 강철구 외 (2017), “경기도 전기차 충전시설 적정 설치기준 연구,” 『정책연구』, 2017(05), 1-161.
- 김성준 · 오인하 · 강민형 (2017), “벤처캐피탈 공동투자 네트워크가 벤처캐피탈 투자성
과에 미치는 영향,” 『중소기업연구』, 39(4), 1-22.
- 박보라 · 이규진 · 최기주 (2013), “휴리스틱 P-Median 알고리즘을 이용한 자전거주차장
최적입지선정,” 『대한토목학회논문집』, 33(5), 1989-1998.
- 박요한 · 이철용 (2020), “국내 · 외 리튬 이온 배터리 수요 및 가격 예측,” 『한국혁신학회
지』, 15(2), 209-235.
- 유정훈 · 이무영 · 오세창 (2008), “공간적 접근성 및 통행비용을 고려한 천연가스 충전소
최적 입지선정 모형,” 『대한교통학회지』, 26(3), 145-153.
- 윤영석 · 조영상 (2017), “시너지와 기업벤처투자사(Corporate Venture Capital)와의 관계
성 연구,” 『한국혁신학회지』, 12(4), 1-41.
- 윤충식 (2019), “빅데이터 표준분석모델을 활용한 전기차 충전 인프라 우선 설치지역
도출 사례연구,” 한국통신학회 학술대회논문집, 23-26.
- 이순정 · 손서은 · 박민혁 (2017), “국내 전기자동차 확산 전망과 영향,” 『한국혁신학회
지』, 12(3), 117-133.
- 정진한 · 김정연 · 강성진 · 정현준 (2008), “IT산업에서 기업주도형 벤처투자의 유인 및
실효성에 관한 연구,” 『정보통신정책연구원(KISDI), 기본연구』, 08-07.
- 한진석 (2018), “서울시 전기차 충전인프라 설치 방안 연구: 직장 공용 충전인프라를
중심으로,” 『서울도시연구』, 19(3), 131-147.
- Cai, H., X. Jia, A.S. Chiu, X. Hu and M. Xu (2014), “Siting public electric vehicle charging
stations in beijing using big-data informed travel patterns of the taxi fleet,”
Transportation Research Part D: Transport and Environment, 33, 39-46.
- Chung S.H. and C. Kwon (2015), “Multi-period planning for electric car charging station
locations: A case of korean expressways,” *European Journal of Operational
Research*, 242(2), 677-687,
- Dantrakul, S., C. Likasiri and R. Pongvuthithum (2014), “Applied p-median and p-center
algorithms for facility location problems,” *Expert Systems with Applications*, 41(8),

3596-3604.

- Garey, M.R. and D.S. Johnson (1977), "Two-processor scheduling with starttimes and deadlines," *SIAM Journal on Computing*, 6(3), 416-426.
- Gleason, J.M. (1975), "A set covering approach to bus stop location," *Omega*, 3(5), 605-608.
- Hakimi, S.L. (1964), "Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph," *Operations research*, 12(3), 450-459.
- Hakimi, S.L. (1983), "On locating new facilities in a competitive environment," *European Journal of Operational Research*, 12(1), 29-35.
- He, F., D. Wu, Y. Yin, and Y. Guan (2013), "Optimal deployment of public charging stations for plug-in hybrid electric vehicles," *Transportation Research Part B: Methodological*, 47, 87-101.
- Hodgson, M.J. (1990), "A flow-capturing location-allocation model," *Geographical Analysis*, 22(3), 270-279.
- Huang Y. and Y. Zhou (2015), "An optimization framework for workplace charging strategies," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 52, 144-155.
- Kim, J.-G. and M. Kuby (2012), "The deviation-flow refueling location model for optimizing a network of refueling stations," *international journal of hydrogen energy*, 37(6), 5406-5420.
- Kuby, M. and S. Lim (2005), "The flow-refueling location problem for alternative-fuel vehicles," *Socio-Economic Planning Sciences*, 39(2), 125-145.
- Mladenovic, N., J. Brimberg, P. Hansen, and J.A. Moreno-Pérez (2007), "The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches," *European Journal of Operational Research*, 179(3), 927-939.
- Plane, D.R. and T.E. Hendrick (1977), "Mathematical programming and the location of fire companies for the denver fire department," *Operations Research*, 25(4), 563-578.
- ReVelle, C. (1986), "The maximum capture or "sphere of influence" location problem: Hotelling revisited on a network," *Journal of Regional Science*, 26(2), 343-358.
- Shen, Zuo-Jun Max, et al. (2019), "Optimization models for electric vehicle service operations: A literature review," *Transportation Research Part B: Methodological*, 128, 462-477.

- Sun, Z., W. Gao, B. Li, and L. Wang (2018), “Locating charging stations for electric vehicles,” *Transport Policy*, 1-7.
- Toregas, C., R. Swain, C. ReVelle, and L. Bergman (1971), “The location of emergency service facilities,” *Operations research*, 19(6), 1363-1373.
- Wang, C., F. He, X. Lin, Z.-J. M. Shen and M. Li (2019), “Designing locations and capacities for charging stations to support intercity travel of electric vehicles: An expanded network approach,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 102, 210-232.
- Wang, Y.-W. (2007), “An optimal location choice model for recreation-oriented scooter re-charge stations,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(3), 231-237.
- Wang, Y.-W. and C.-R. Wang (2010), “Locating passenger vehicle refueling stations,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(5), 91-801.
- Zhang, A., J.E. Kang, and C. Kwon (2017), “Incorporating demand dynamics in multi-period capacitated fast-charging location planning for electric vehicles,” *Transportation research Part B: Methodological*, 103, 5-29.

Optimizing Fast EV Charging Infrastructure Location with Traffic flow Data

Kyunghyun Kim* · Yunmo Goo**

Abstract

Since the Paris Agreement, various support policies to support reduction of carbon emissions have been proposed in Korea. However, domestic EV (Electric Vehicle) penetration rate accounts only for 0.3%. The increase in supply for EV is proportional to the increase in EV charging stations. The Korean government have announced the increase in supply to 3.5 million by 2030. Therefore, it is crucial to find the optimal location for EV Charging station. Considering the environmental condition in Korea city, large number of apartments are built and thus, fast EV charging stations become an important factor. In this research, it defined optimal location of fast charging stations based on Anyang City. This research has been selected 14 fast EV charging stations based on using Set cover, P-Median, and P-Center modeling, and used traffic data among the existing candidates slow charging stations. Using the Set cover modeling, it has been suggested optimal locations within 2 km distance, and it has been defined optimal locations with shorter distance movement of more users using the P-Median modeling with traffic data. P-Center modeling has been used to select a location that reduces long distance travel and showed changes according to the utilization of traffic data. Through the results of this study, it has been showed changing locations of the fast EV charging stations by each modeling and traffic data. So it is necessary to define which modeling will be used when design optimal locations according to purpose.

Key Words ; EV Charger, Fast EV Charging infrastructure, traffic flow data, set cover, P-Median, P-Center

* Master of Engineering, Department of Practical Engineering, Seoul National University, khkimamy@snu.ac.kr

** Associate Professor, Department of Practical Engineering, Seoul National University, yyounmo@snu.ac.kr

