creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학전문석사학위논문

교통량 데이터를 활용한 전기차 충전소 위치 최적화 방안 연구

Optimizing Fast EV Charging Infrastructure Location with Traffic flow Data

2020년 2월

서울대학교 공학전문대학원
응용공학과 응용공학전공
김경현

교통량 데이터를 활용한 전기차 충전소 위치 최적화 방안 연구

Optimizing Fast EV Charging Infrastructure Location with Traffic flow Data

지도교수 구윤모

이 프로젝트 리포트를 공학전문석사 학위
연구보고서로 제출함
2020년 2월

서울대학교 공학전문대학원
응용공학과 응용공학전공
김경현

김경현의 공학전문석사 학위논문을 인준함
2020년 2월

위원장 김 성 우 (인)
위 원 구 윤 모 (인)
위 원 한 훈 (인)

초 록

파리 협정 이후, 탄소 배출을 줄이기 위해 국내에서는 여러 지원 정책이 제시되고 있으나, 국내의 전기차 보급율은 0.3% 내외로 적은 편에 속한다. 저조한 전기차 보급율을 늘리기 위해 전기차 충전소 보급을 늘리는 것이 필수적이며, 2030년 정부의 전기차 350만대 보급목표를 맞추기 위한 전기차 급속충전소의 최적화된 위치선정이 필요로 하다. 공동주택이 지배적인 국내 도심의 환경적 상황에서는 급속충전소의 보급이 필수적이며, 안양시를 샘플로 도심 내의 급속충전소의 위치 선정을 진행하였다. 기존 연구의 완속충전소 후보지역을 바탕으로 집합 커버, P-Median, P-Center 모델링에 따른 14개의 급속충전소 후보지를 선정하였으며, 교통량 데이터를 활용하여 더 많은 사용자들이 접근하기 좋은 충전소 위치를 선정에 활용하였다. 집합커버 모델링을 활용하여 2 km 이내의 커버공간을 가진 균등한 급속충전소 위치를 선정하였으며, 보다 많은 사용자들의 짧은 거리 이동을 위해, P-Median 모델링과 교통량 데이터를 활용하였다. P-Center 모델링을 활용하여 긴 거리 이동을 줄여주는 위치를 선정하며, 교통량 데이터 활용에 따른 변화를 보였다. 본 연구결과를 통해 모델링과 교통량 데이터에 따라 달라지는 충전소의 위치를 보이며, 충전소 위치 선정 시, 목적에 따른 모델링 선정의 필요성을 제시하였다.

주요어 : 전기차 충전, 급속 충전소, 최적화, 교통량 데이터, 집합커버, P-Median, P-Center

학번 : 2016-22234

목 차

I. 서론 **1**

1.1 연구 배경 1

1.2 문제 정의 4

1.3 논문의 구성 4

II. 관련 연구 **6**

2.1 설비입지선정에 관한 선행 연구 6

2.2 각 모델링에 대한 알고리즘 11

III. 모형설계 **16**

3.1 관련 데이터 수집 16

3.1.1 후보 위치의 지역정보 17

3.1.2 수요자들의 위치와 후보 위치 간의 거리 17

3.1.3 각 도로의 교통량 정보 19

3.1.4 2030년 기준 필요로한 전기차 충전소 개수 21

3.2 연구방법 및 결과 22

3.2.1 집합커버활용한 모델링 22

3.2.2 P-Median 을 활용한 모델링 27

3.2.3 P-Center 를 활용한 모델링 32

IV. 결과 **37**

V. 결론 및 향후 연구방향 **41**

참고 문헌 **43**

Abstract **47**

그 림 목 차

그림 1. 설비 입지선정 모델링. 6
그림 2. 안양시 전기차 충전소 설치 후보지. 18
그림 3. 각 도로 노드마다의 사용자 위치조회. 19
그림 4. 사용자와 후보 충전소간의 거리 조회. 20
그림 5. ViewT 활용 화면. 20
그림 6. 거리 2 km 이하의 Set Cover 모델링 결과. 24
그림 7. 거리 2 km 이하의 Set Cover 모델링 14개의 충전소 조건 변수 추가 결과. 26
그림 8. P-Median 모델링을 적용한 급속충전소 위치. 29
그림 9. P-Median 모델링 교통량 정보를 적용한 급속충전소 위치. 31
그림 10. P-Center 모델링을 적용한 급속충전소 위치 34
그림 11. P-Center 모델링 교통량 제어조건을 적용한 급속충전소 위치. 36
그림 12. 다회 선택 후보지. 40

표 목 차

표 1. 국내 연도별 자동차 전기자동차 등록대수 2
표 2. 모델링 에 따른 접근성 변화. 38
표 3. 모델링별 선정된 장소 결과. 38
표 4. 다회 선정 지역. 39

제 1 장

서론

1.1 연구 배경

산업형명 이후, 삶은 이전 보다 풍요로워지고, 편리한 모습으로 변하였지만, 지구온난화와 같은 환경 문제 또한 부메랑처럼 우리 삶에 큰 영향을 주고 있다. 이로 인해, 세계 각국은 지속가능한 삶에 대해 생각하며, 2015년 파리 협정 이후, 탄소배출량을 줄이기 위해 각국은 여러가지 정책적 대안을 내세우고 있다. 우리나라는 파리협정 참여국으로서, 2030년까지 온실가스 배출전망치의 37% 감축목표를 가지고 있으며, 전기차 확산에 대해 많은 관심을 가지고 제도적인 지원을 아끼지 않고 있다.

2014년 정부 부처에서 발간한 "국가 온실가스 감축목표달성을 위한 로드맵"에 따르면, 온실가스배출량 중 25%는 수송 부분에서 발생하며 수송 부분의 온실가스 배출을 줄이기 위한 대책으로 1 대당 연간 약 2톤의 탄소 배출량이 감소되는 전기차의 보급 확대를 위한 정책적 지원이 적극적으로 이루어지고 있다. 이러한 지원에도 불구하고 국내의 보급율은 아직 낮은 편이다. 2012년 국내시장에 전기차가 나타난 이후, 전기차량 구매율은 꾸준히 늘어나고 있지만, 아직까지 국내 전기차 시장은 전체 자동차 시장에 3% 미만의 점유율 밖에 되지 않는다. 전국에 등록된 전기자동차 대수는 2019.10월 28일 기준 80,902 대로, 2018년 전국이 내연기관차 등록대수는 23,200,000 대 기준으로 약 3%에 미치지 않는 현저히 낮은 비율을 가지고 있다. 2017년 이후 전기자동차의 등록대수가 이전에 비해 급격히 늘어나고 있지만, 현재

표 1: 국내 연도별 자동차 전기자동차 등록대수

Year	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
자동차등록대수(만대)	1,887	1,940	2,012	2,099	2,180	2,253	2,320
전기자동차 등록대수	660	1,484	2,775	5,712	10,855	25,108	55,756
전기자동차등록률(%)	0.003%	0.008%	0.014%	0.027%	0.050%	0.111%	0.240%

증가추세로는 정부가 목표로 하는 2020년 전기차 보급 목표 35만대 확산조차 맞추기 어려워 보인다.

[1] 에서 시행한 설문조사에서도 알 수 있듯이, 전기차의 짧은 주행거리, 부족한 충전소, 비싼 자동차 가격이 소비자가 전기차 구매를 꺼리는 주된 이유로 꼽히고 있다. 짧은 주행거리 문제와 비싼 자동차 가격은 변화하는 기술발전 및 시장형성에 따라 시간에 따라 해결될 수 있는 문제이다. 기술발전으로 현재 200 km 이상을 주행할 수 있는 2세대 전기차가 상용화 되었고, 앞으로 500 km 달릴 수 있는 3세대 전기차 개발 및 출시가 예상된다. 또한 전기차 상용화로 인해 베터리의 가격하락이 예상되며, 이로 인한 차량구매 가격 또한 낮아질 것이다.

허나, 충전소의 문제는 이와 다르다. 한번 설치 후 설치 변경이 어려운 충전소의 특성상 위치선정시 사용자들의 선호도와 편의성을 고려하여 보다 많은 사람들이 접근 가능한 곳으로 선정될 필요성이 있으며, 공용충전소의 경우, 공공재의 성격을 가지므로 효율적인 배분을 통해 모든 사람들이 활용할 수 있는 위치에 선정되어야 한다. 국내에서는 아직까지 직장 등 민간의 공용 충전인프라 설치가 보편화되지 않았기 때문에 사용자들의 편의와 특성이 반영된 위치선정이 필요로 하며, 적절한 위치는 사용자에게 전기차의 주행거리가 늘어나는 것과 같은 효과를 준다. 잘못된 충전소의 위치 선정은 불편한 사용조건을 갖게 되며, 제 역할을 하지 못 할 가능성이 크다. 충전소가 무분별하게 설치된 경우에는, 사회경제적 제반 비용이 늘어나며, 오히려

전기차 사용자들의 주행에 불편을 초래할 수 있다. 이러한 현황을 반영하듯, 국내외에서는 효율적인 충전소 위치선정을 위해 많은 연구가 이루어져왔다. 초기에는 전기차의 주행거리 제한 특성으로 인해 장거리 주행 위주로 충전소 설치 방안이 연구되어왔으나, 최근에는 도심지 내 혹은 인접 도시간의 중거리 주행을 중점적으로 연구되고 있다.

최근 국내외 연구를 살펴보면, [2]에서는 설문조사를 통해 선호되는 충전인프라의 설치지점이 직장의 비중이 높은 것에 착안하여 공공기간과 민간기업 대상으로 충전인프라 설치를 제안하였으며, [3]은 남양주와 고창군의 전기차 충전 인프라 우선 설치 지역을 선정하기 위해, 빅데이터를 활용하여 검토하였다. 전기차와 상관관계가 있다고 판단되는 변수의 데이터를 취합하여 기존의 관공서 혹은 대중집합시설의 위주의 충전소 지역선정보다는 사용자의 거주지 분포와 사용자들의 동선에 따른 충전소 후보지 선정의 필요성을 피력하였다.

전기차 충전소 설치 문제에 대해서 해외에서도 연구가 활발하다. [4]의 경우, 지역내 부족한 전기차 충전문제를 해결하기 위해 주거민의 주행패턴을 고려하여 완속충전소와 급속충전소의 위치를 선정하였다. 한정된 자원으로 보다 많은 수요를 감당하기 위한 위치 선정을 연구를 보여주었으며, [5]는 한정된 예산으로 장거리 전기차 운전자를 위한 충전소의 위치 선정을 진행하였다. 중국의 양쯔강을 따라 있는 고속도로를 대상으로 모델링을 구현시켰으며, [6]는 중국 베이징의 택시 주행 데이터를 근거로 충전소 위치 선정을 하였다. [7]은 미주동부지역인 보스톤-뉴욕-워싱턴 내의 충전소의 용량과 수요예측을 통해 급속충전소의 위치 선정을 위한 모델링을 개발 위치선정에 적용하며 지역 내 공용충전소의 위치 선정 필요성을 나타내어 왔다.

1.2 문제 정의

전기차 충전소 보급 확대를 위해 전세계에서 많은 연구가 진행되어왔으나, 대부분 전기차의 주행거리 한계를 극복하기 위한 충전소 위치선정연구가 주를 이루며, 장거리 이동을 고려한 연구가 대부분이었다. 각 세대가 독립된 주차 공간을 가지고 있는 해외와 다르게 국내의 대부분의 주거는 아파트 혹은 연립주택으로 편중되어 있어, 개인사용자가 전용 완속충전기를 설치하기는 쉽지 않다. 대부분의 주거공간에는 공용 완속 충전기를 설치 할 수 밖에 없는 상황이며, 이마저도 공동주민회의 및 여러 절차로 인해 전기차 사용에 대한 접근성이 다른 나라에 비해 떨어진다. 2012 년 이후 전기차가 보급되면서 장거리 운행에 대한 전기차 충전소는 충분히 보급되었으나, 일주행거리가 30 km 안팎인 국내 차량주행 특성과 비공용 완속충전기 설치가 어려운 국내 특성이 반영된 충전소 위치 선정문제는 아직도 많은 연구과제로 남아있다.

이러한 이유들로 인해, 국내의 환경적 특성이 반영된, 급속충전소의 보급이 시급히 필요하다고 판단되며, 본 연구에서는 소비자의 요구조건을 반영한 도심 내의 급속 충전소의 위치선정 연구를 안양시를 대상으로 시행하였다.

1.3 논문의 구성

본 연구는 다음과 같이 구성하였다. 설비위치선정 문제에 대한 관련 연구를 2장을 통해 살펴보며, 이전에 연구되었던 방법론과 사례연구 내용들을 검토 해 보고자 한다. 3장에서는 급속충전소의 설비 위치 선정에 관련 된 데이터 를 제시하며, 2장에 소개된 모델링에 적용한다. 선정된 모델링은 다음과 같다. 1) 집합커버이론을 활용한 모델링, 2) P-Median 이론을 활용한

모델링, 3) P-Center 이론을활용한 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.

제 2 장

관련 연구

2.1 설비입지선정에 관한 선행 연구

전기차와 전기차 충전소는 닭이 먼저냐 달걀이 먼저냐 문제처럼 어려운 문제이면서 동시에 상호작용하는 문제이다. 하여 전기차 보급에 있어서 충전소 보급 또한 필수적으로 고려되어야 하는 문제이다. 이 문제는 설비입지선정모델 카테고리를 가지며, 이에 대한 모델링은 집합커버모델, 최대흐름모델, P-Center 모델, P-Median 모델로 나눌 수 있다.

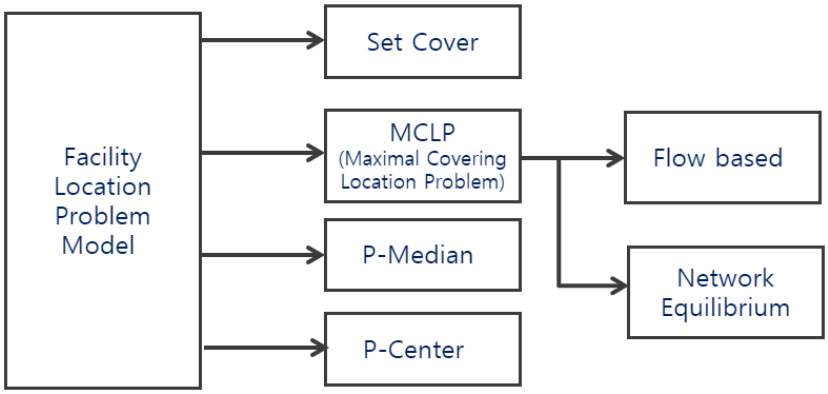

그림 1: 설비 입지선정 모델링.

집합커버링 모델은 1개의 충전소가 커버 할 수 있는 범위에 대해 모든 수요자가 서비스를 받을 수 있는 최소 입지 수를 선정하는 문제에 사용된다.

본 문제는 최소값을 이용하여 전체를 커버할 수 있는 모델로서 입지 결정문제 뿐만 아니라 승무원 스케줄, 수하물 차량 분석과 같은 문제를 해결하는데 사용되어왔다. [8]에서 처음 제안 되었으며, 긴급구호 설비 위치가 커버가능한 시간안의 수요지를 설정하여 최소한의 설비가 위치 되는 지점을 선정하였다. [9]은 이 모델을 이용하여 고속버스 정류장을 선정하여, 모든 일반버스정류장이 사람이 걸어서 접근 가능한 Z 거리 이내에 있을 수 있는 고속버스정류장 후보지를 선정하여, 그 정류장 수를 최소화하였다. [10]은 미국 콜로라도의 소방서 위치 선정에 본 모델을 활용하였다.소방서라는 긴급설비로 방화시, 후보지와 방화지 사이의 이동시간을 최소화되는 지점에 위치하기 위해 집합커버링 모델링을 이용하여 최소거리로 도착 할 수 있는 위치를 선정하였다.

이 이외에도 [10] 가 라인 단순화를 위해 본 모델링을 활용하였고, [10]는 본 모델을 활용하여 최소한의 건설비를 이용할 수 있는 날씨 레이더 네트워크 위치를 설계하였다. 이처럼 집합커버링 모델은 다양한 방면에서 활용되어, 한정된 수로 최대지역을 커버하는 위치선정모델로 활용됨을 알 수 있다. 집합커버링 방법론은 최근에 전기차 충전소 위치 선정 모델에도 활용되는데, [11]의 연구는 Magong 섬에 이륜차 충전을 위한 완속 충전소 위치 설정 문제에 대입하여 풀었으며, [12] 은 대만의 완속 및 급속 충전기 설치 위치를 설치 비용을 최소화시키는 문제를 풀기위해 이 모델을 활용하여 모델링 하였다. [12]는 여러 O-D 간의 거리를 활용하기 위해 O-D 흐름 데이터가 아닌 O-D 쌍의 거리 매트릭스 데이터를 기반으로 확장하여 사용하여, 차량이 주행할 수 있는 범위 내에 충전소가 설치 될 수 있도록 모델링 하였다. 이후, [13]은 대만의 실제 고속도로 주행 데이터를 활용하여, 최소 설치비용과 최대 사용자를 커버하는 정수최적화 모델링을 하였다.

최대흐름 모델 (MCLP: Maximal Covering Location Problem)은 한정된

수량의 설비를 가지고, 가장 많은 수요자를 충족시키는 모델로서 교통공학 분야에서는 Flow-Based model 과 Network Equilibrium 모델로 발전되었다. Flow-Based model 은 교통량으로 인한 수요 기준으로 측정하는 가장 일반적인 모델로서, 최대 지역을 수용하는 목적으로 활용되는 방법론이다. 이 모델은 1990년 [14] 에서 제안된 모델이며(FCLM), 이동경로 상에 설비입지 시, 통행량 할당이 어떻게 변화하는지 보여준다. 하지만 차량의 주행거리가 적용되지 않아, 본 모델을 활용할 겨우 한 경로 당 하나의 충전소 배치가 나타난다. 본 모델을 주행거리가 짧은 대체에너지차량의 조건이 적용되지 않아, 실제로는 모델링 결과보다 몇배로 많은 충전소가 필요로 한 결과를 가지고 왔다. 최근에 본 모델을 사용한 충전소 모델이 많이 연구되었는데, [15] 은 기존의 Flow-Based Model을 기본을 둔 FRLM(Flow Refueling Location Model)을 개발하였다. FRLM 은 충전소를 포함하여 차량이 에너지를 잃지 않고 여장을 끝낼 수 있도록 각 O-D 쌍 별로 주행에 필요한 설비의 위치를 미리 결정하여 설계되었으나 본 모델링에서는 하나의 계획된 여정에 한정된 모델링만 보여주기에, 계획된 여정을 벗어난 경우들이 적용되지 않았다.

[16] 은 최단 경로가 아닌 우회경로를 이용하는 모형인 DFRLM (Deviation -Flow Refueling Location model)을 개발하였으며, [16]은 연료가 부족할 때 경로를 벗어나 충전소로 향하는 운전자 발전된 DFRLM 을 제시하였다. DFRLM 은 연료충전소가 부족할 때, 경로를 벗어나는 운전자의 행위가 반영된 모델이며, [17] 은 MPRLM (Multipath Refueling Location Model) 이 개발하였으며, 이 모델은 사용자들이 하나의 짧은 path만을 사용하는 것이 아니라, 네트워크의 O-D 경로 안에 여러 경로 사용을 극대화한 모델링을 제안하였다. 이와 다르게, [18] 은 FCLM 을 M-FRLM (Multi period Flow Refueling Location Model) 으로 확장 시켰으며, 이 모델을 Forward -Myopic 과 Backward-Myopic 방법론으로 비교 검토하여, Single Period Optimization

으로 문제를 해결하였다. 망 평형모델 (Network equilibrium model) 의 경우, 출발지와 목적지의 흐름 모델과 경로 선택 모델로 구성하여 경로 이동에 대한 흐름을 분석하여 이동에 따른 시간 및 통행료 같은 변수가 포함된 모델이다. [19] 은 본 모델링을 적용하여 주어진 충전소 수를 활용하여 최적화된 위치를 선정하였으며, 이후 본 모델링은 운전자들의 선택 변수를 적용하는 방법으로 발전되었다. 또한 본 모델링은 충전 요금에 따라 운전자들의 선택 모형을 활용하여 최적화된 입지를 선정하는데 활용되었다. 이러한 최대흐름 모델은 지역 간의 통행연구를 대상으로 하고 있어, 장거리 여행에 기반을 둔 충전소 설치 위치 선정에 활용되었으며, 수요자의 선택과 비중이 설비 위치선정에 중요한 역할을 하는 것을 알 수 있다.

P-Median 문제는 후보입지가 주어져 있는 경우, 각 후보입지로부터 소비자에게 제품을 수송할 때, 최소의 수송비용으로 모든 수요를 충족시킬 수 있는 p개 이하의 시설 설치 입지를 결정하는 문제로, [20]에 의해 소개되었다. 이 문제에 정수 p가 주어지면, 고객과 p 개방 시설 사이의 총 가중 거리를 최소화하는 것을 목표로 하고 있으며, 도석관, 학교, 긴급 구호센터와 같은 필요로한 공고재 시설물의 위치 선정에 활용될 뿐만 아니라, 백화점, 대형할인매장, 자동차영업소 같은 경쟁사들과의 경쟁이 치열한 민간시설의 입지 선정 문제 등 많은 부분에서 활용된다. [20] 는 본 모델을 활용하여 망 전체 길이를 최소화 하는 변전소의 위치를 선정에 활용하였다. 본 모델링은 실제 데이터를 활용하여서 사용되었는데, [21]에 보여지듯 공공재 뿐만 아니라 창고와 같은 산업설비들의 위치선정에 활용되었다. [22] 는 본 모델을 확장하여, 같은 시장 안에 경쟁사 점포와의 고객을 끌어들일 수 있는 최적의 위치 선정을 하는 모델링을 개발하였다. [23] 또한 [22]의 내용을 활용하여 경쟁사의 고객을 최대로 끌어들일 수 있는 아이스크림 점포 위치 선정에 적용하였다. 이처럼 P-median 모델은 수요자들의 이동거리를 최소화 하고 더 많은

수요자들을 수용할 수 있도록 모델링 되었다.. 국내에서도 본 모델을 활용하여 여러 문제에 적용되었는데, [24]이 연구한 자전거주차장 최적입지 선정 연구에 나와 있듯이, 자전거 주차장 뿐만 아니라, 지역내의 인구모델과 지역내용을 활용한 공공시설 입지기과 유류저장탱크와 천연가스버스충전소 입지선정에도 활용되었다. 천연가스버스충전소의 경우, 천연가스 수요지점과 공급지점을 분석하여, 통행비용을 최소화 할 수 있는 설치 판단 근거를 제시하였다. [25] 에 제안된 자전거주차장 최적입지에 관한 연구의 경우, 수요자와 시설물간의 거리를 최소화 하는 기본 모형에, 예산 제약을 적용하여 모델링 하였다. 허나, p 값이 주어지지 않으면, 이 문제는 NP-Hard 문제로 고려되기에, 많은 연구자들이 이러한 문제를 풀기위해 노력해왔다. [26]에 의해 검토 것 처럼, 1979-2005 년 동안 문제를 해결하기 위해 Constructive heuristic, Local search, Mathematical programing, Meta Heuristics 과 같이 변형된 휴리스틱과 같은 방법이 제안되어왔다.

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 운송 비용을 최소화하기 위함이다. 이 모델링은 모든 고객을 포괄할 수 있는 최소 시설수를 찾거나 지정된 수의 개방 된 시설에서 보장하는 고객수를 최대화 시키는 문제에 사용된다. 본 모델을 활용하면, 서비스 수준이 가장 나쁜 지역의 서비스가 개선되며, 거리가 먼 지역 주변에 시설 입지가 선정되는 것을 기대할 수 있다. 본 모델링 또한 [20]가 처음 제안하였으며, 경찰서의 최적 위치 선정에 사용된 모델이 P-Center 모델이다. 이 모델은 긴급의료시설 최적 입지선정 뿐만 아니라, 차량 서비스 센터 위치 선정에도 사용된다. [27] 은 두 교수의 강의 시간을 본 모델링을 활용하여 교수들의 최대 강의시간을 최소화 시키는 방안으로 진행하여 설계하였다. [28]은 이 모델을 M-center 모델로 지칭하며 발전 시켰

으나, 본 모델은 NP-hard 모델에 해당하기에, 문제 해결이 어려울 수 있음을 보였다. [29][30][31]을 통해 여러 방면으로 본 모델이 개발되었다. [32] 또한 본 모델링을 활용하여 긴급 설비 센터 위치 선정에 활용하였고, [33]은 경남 진주시 대상으로 긴급의료시설 최적 입지를 Maximum Covering Problem 및 P-Center 모델을 이용하여 구한 바가 있으며, 2011년에는 고속도로의 긴급 설비센터 위치선정을 위해 본 모델링을 활용하여 위치를 선정하였다.

앞의 내용과 같이 기존의 진행된 선행 연구를 통해, 설비입지선정에 어떤 모델링이 사용되었는지 확인할 수 있었다. 제시된 집합커버 모델링, P-Median, P-Center 는 제한된 설비로 최대지역을 커버하는데 활용될 수 있는 모델링으로 도심지내의 급속전기차 충전소 입지 선정을 설계하는데에 본 모델링이 적합하다고 판단된다. 2012 년 국내의 전기차 보급이 시작된 지 7년이 지난 지금은, 장거리를 위한 전기차 충전소보다는, 도시내부 주거민이 실 사용 할 수 있는 도시 내부 충전소 확충이 더욱 필요로 해지고 있다. 또한 사용자들이 쉽게 접근 가능한 장소에 위치 할 필요성이 있다. 하여 본 연구에서는 국내 상황에 맞는 도시 내 전기차 급속 충전소 설치입지 선정을 위해, 수요자들의 선호도를 반영한 후보지역을 먼저 선정하고, 집합커버 , P-median, P-center 모델링을 활용하여 수요자에게 맞춰진 최적화된 충전소 지점을 산출하려고 한다.

2.2 각 모델링에 대한 알고리즘

[8]에서는 긴급구조설비에서 구호현장까지 거리에 대해 집합을 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 정의 하여 $N(i) = \{i|d(j,i) \leq s\}$ 최소설비입지를 선정하였다. 이때 결정 변수 $x(j)$에 대해 이진변수로 설

비가 j 위치에 설치 된 경우 1, 그렇지 않은 경우 0 으로 설정하였다. 목적함수 z는 결정변수 x의 최소값이다.

$$z = min \sum_{j=1}^{n} x(j), \tag{2.1}$$

$$\sum_{j \in N(i)} x(j) \geq 1, \quad (i = 1, 2, 3, ..., n), \tag{2.2}$$

$$x(j) \in \{0, 1\}, \quad (j = 1, 2, 3...n), \tag{2.3}$$

식 (2.1)은 목적함수로서 총 설치 설비의 수를 최소화 한다. 식 (2.2)은 집합 $N(i)$에 해당하는 후보 중 적어도 하나이상의 설비를 선택하도록 한다. 식 (2.3) 을 통해 결정변수를 이진 변수로 표현 해 준다. [8]에서는 긴급구조 설비위치를 식(2.1)(2.2)(2.3) 을 활용하여 모델링 및 선정 최적화에 활용 한 것을 알 수 있다.

[34]연구에서는 설비입지 모델에 대해 Greedy algorithm, P-Median algorithm 과 P-Center algorithm 을 활용하여 태국 치앙마이를 대상으로 모델별 설비 입지의 특성을 분석 하고, 관련 알고리즘을 제시하였다. 제시한 3 가지 모델링 중, 본 연구와 관련 있는 P-Median 과 P-Center 관련 모델을 살펴보면 아래와 같다.

- I = {1,2,3,..,} : 소비자 정보의 집합
- J = {1,2,3,..,} : 설비 입지 후보의 집합
- OBJ : 목적함수
- $f(j), \quad j \in J$: 설비 설치비용

- $h(i), \quad i \in I:$ 소비자의 수요량
- $s(j), \quad j \in J:$ 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

[34]는 수요자가 설비까지 가는 비용을 최소화 하는 것을 목적함수로 두고 있다. 결정변수인 $x(i,j)$ 에 대해 0과 1 의 이진 변수로 표현하여 소비자가 설비를 선택하는 경우 1 로 표현하며, 선택하지 않은 경우 0 으로 표현하였다. 설비가 소비자에게 서비스를 할 수 있는 경우 $y(j)$ 를 1로 정의 하며 그렇지 않는 경우 0으로 정의 하였다. 본 논문에서 사용한 P-Median 모델은 아래와 같다.

$$OBJ = min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c(i,j)x(i,j), \tag{2.4}$$

$$s.t \quad \sum_{j \in J} y(j) \leq p, \quad \forall j \in J, \tag{2.5}$$

$$\sum_{j \in J} x(i,j) = 1, \quad \forall i \in I, \tag{2.6}$$

$$\sum_{i \in I} h(i)x(i,j) \leq s(j)y(j), \quad \forall j \in J, \tag{2.7}$$

$$x(i,j) \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \tag{2.8}$$

$$y(j) \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J. \tag{2.9}$$

식 (2.4) 은 목적함수로 총 교통비용을 최소화 한다. 식 (2.5)은 대부분의 P 설비가 운영한다는 것을 확인한다. 식 (2.6)는 각 소비자가 어떤 설비에 배정된 것을 나타내며, 식 (2.7) 은 수요자의 총 소비의 합이 설비의 용량을 넘지 않음을 보증한다. 식 (2.8)과 식 (2.9)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.

$$OBJ = min \quad z, \tag{2.10}$$

$$s.t. \quad \sum_{j \in J} c(i,j)x(i,j) \leq z, \quad \forall i \in I, \tag{2.11}$$

$$\sum_{j \in J} y(j) \leq p, \quad \forall j \in J, \tag{2.12}$$

$$\sum_{j \in J} x(i,j) = 1, \quad \forall i \in I, \tag{2.13}$$

$$\sum_{i \in I} h(i)x(i,j) \leq s(j)y(j), \quad \forall j \in J, \tag{2.14}$$

$$x(i,j) \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J, \quad \forall i \in I, \tag{2.15}$$

$$y(j) \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J. \tag{2.16}$$

식 (2.10) 은 목적함수로, 소비자와 서비스 가능한 설비의 최대교통비용을 최소화 한다. 식 (2.11) 은 제약 함수로 최대교통비용을 선정하는 목적함수 값을 확인한다. 식 (2.12) 은 대부분의 P 설비가 운영한다는 것을 확인한다. 식 (2.13) 는 각 소비자가 어떤 설비에 배정된 것을 나타내며, 식 (2.14) 은 수요자의 총 소비의 합이 설비의 용량을 넘지 않음을 보증한다. 수식 (2.15) 과 (2.16) 를 통해, $x(i,j)$ 와 $y(j)$ 값이 이진변수라는 것을 나타낸다.

본 연구에서는 앞서 살펴 본 [8]의 집합커버모델과 [34]의 P-Median 과 P-Center 의 모델링을 변형 하여 적용 하고자 한다.

제 3 장

모형설계

3.1 관련 데이터 수집

본 연구는 2030년 정부의 전기차 보급 목표에 맞춰, 국내의 환경적 특성이 반영된 급속충전소의 위치선정을 안양시를 대상으로 구현하는 것을 목표로 하였다. 기존의 도심지 내의 충전소 위치 선정 모델 관련 논문 [35]을 살펴보면, 충전소의 위치 선정을 위해 인구밀도, 교통패턴, 쇼핑센터와 같은 공간적 통계패턴을 토대로 공공 충전소 후보지역을 선정하여, 최대커버지역모델을 활용하여 영국 런던을 대상으로 충전소 입지 선정을 진행하였다. 앞서 설명한 모델링 진행을 위해 안양시내의 후보충전소 지역을 먼저 선정할 필요성이 있기에 기존에 진행된 [1] 에서 선정한 완속충전소의 지점을 급속 충전소의 지점으로 활용하였다. 충전시간이 15분 이상 걸리는 급속충전소 특징으로 인해, 장시간 주차할 수 있는 공간이 필수적으로 요하기에, 완속충전소의 후보 위치는 이상적으로 볼 수 있다. 하여 본 내용을 근거로 아래와 같은 데이터를 수집하였다.

1. 후보 위치의 지역정보.
2. 수요자들의 위치와 후보 위치 간의 거리.
3. 각 도로의 교통량 정보.

3.1.1 후보 위치의 지역정보

[1] 에서는 잠재적 수요자들의 설문조사를 통한 수요와 선호도를 조사를 근거로 완속충전소를 후보 지역을 선정하였다. 그 결과 경기도에 3000기 후보 지점이 선정되었으며, 안양시의 경우, 76개의 완속충전소 후보지점이 선정되었다. 선정의 기준은 아래와 같다.

- 1 단계: 공공충전시설 시.군별 설치수량 선정, 경기도 총 설치수량·전기차보급대수·교통량·자동차등록대수 등 수요비중을 곱하여, 정책적 판단을 가감하여 보정.
- 2 단계: 설치수량을 정량적으로 동별 배분, 배분지역 내 전기차 보급대수, 충전량, 교통량, 자동차등록대수, 아파트단지수 등 항목 수요비중을 곱하여 도출.
- 3 단계: 설치 지점별 설치 수량 산정 : 적정 산전기준을 기초로, 설치지점의 특성과 여건, 보급계획된 공공충전기 수량과 정책에 따라 결정.
- 4 단계: 급속, 완속의 종류별 선정은 설치지점의 특성과 여건, 보급된 공공충전기의 수량에 따라 결정.

본 기준을 통해 선정된 안양시의 76개 충전소 위치는 그림 2과 같이 표현된다. 후보위치의 지역 정보를 수집하기 위해, 네이버 지도 API 를 활용하여 각 후보지의 위도 경도를 산출 하였다.

3.1.2 수요자들의 위치와 후보 위치 간의 거리

급속충전소의 경우, 전기차 사용자가 차량 주행 중, 충전이 필요한 경우 충전소를 찾는 경우가 대부분이 될 것이다. 하여 사용자의 위치와 후보지 간의 거리 데이터는 본 논문의 핵심 내용이다. 사용자의 위치는 안양시내의

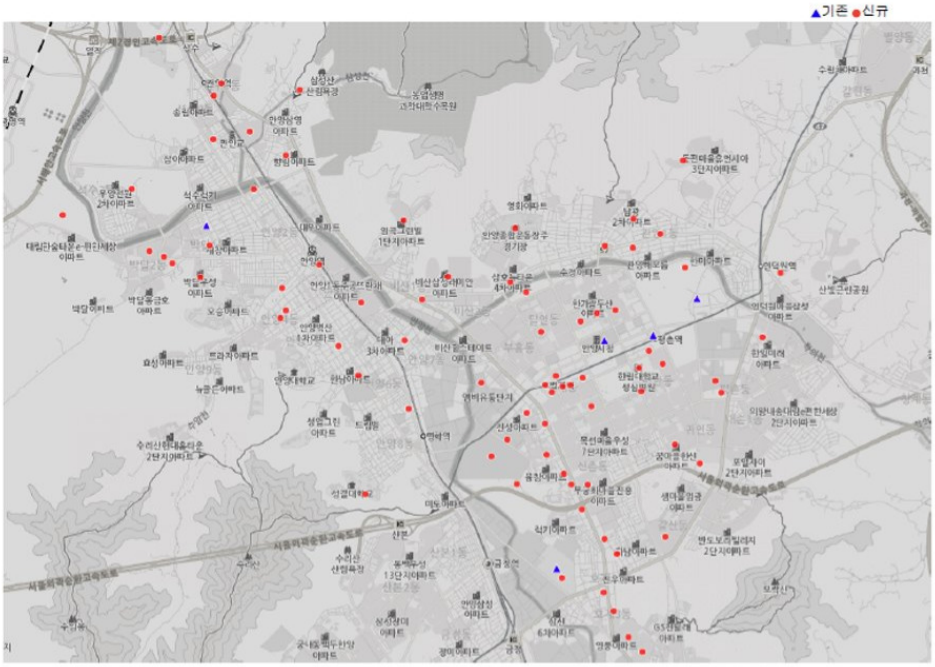

그림 2: 안양시 전기차 충전소 설치 후보지.

모든 도로의 위치로, 각 교차로 지점을 선정하였다. 그림3 과 같이 각 도로의 노드마다 각각 사용자의 위치로 선정하였으며, 각 지점의 위도 경도 정보를 얻기 위해 네이버 지도 API 를 활용하여 위도 경도를 산출 하였다. 도로주행의 특성상, 같은 지점에 차량이 있더라도, 차량의 향방에 따라 후보 충전소까지의 거리는 다르다. 하여 그림3 에 표시된 위치와 같이, 한 지점에서 나타날 수 있는 차량의 향방을 고려하여 위치 정보를 수집하였다. 본 연구에서는, 각 분기점 혹은 사거리와 같은 노드를 기준으로 사용자의 위치로 선정하였기에, 각 지점마다 적어도 4개의 지점이 사용자의 위치로 선정되었으며, 총 266 지점이 선정되었다. 사용자의 위치 266 지점과 전기차 급속충전소 76 개의 후보지역 간의 거리 산출을 위해 네이버 API 를 활용하여 위도, 경도 정보를 근거로 최적거리를 산출 할 수 있는 프로그램을 그림 4 와 같이 구현

그림 3: 각 도로 노드마다의 사용자 위치조회.

하였으며, 이 프로그램을 통해 거리를 산출하였다. 서해안 고속도로 및 제 2 경인 고속도로와 같이 충전 후보지에 가기 위해 경로를 우회하는 경우, 10 km 이상 주행하기에 수집 데이터에서 제외하였다. 결과적으로 총 249 개의 지점이 선정되었다.

3.1.3 각 도로의 교통량 정보

본 연구에서는 거리 뿐만 아니라, 교통량을 고려하여 전기차 충전소의 위치를 선정에 활용하고자 한다. 충전소는 공공재로 많은 사람이 활용할 수 있는 곳에 선정될 이유가 있다. 하여 선정된 각 지점의 추정 교통량 데이터를 한국교통연구원에서 제공하는 View T 프로그램을 활용하여 수집하였다. View T 는 국내의 교통 기초DB와 분석기능을 제공하고 있는 플랫폼으로 본 플랫폼을 활용하여 추정 교통량 데이터를 수집할 수 있다. 앞에서 선정된 각 지역 도로의 각 노드를 기준으로 자동차 향방에 따른 교통량 데이터를 그림5 과 같이 도로마다 조회하여 수집하였다.

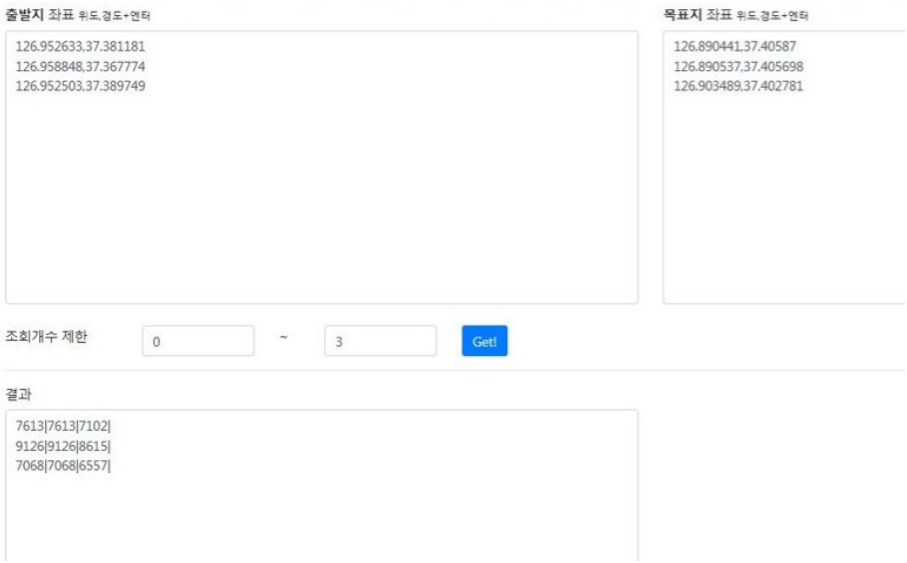

그림 4: 사용자와 후보 충전소간의 거리 조회.

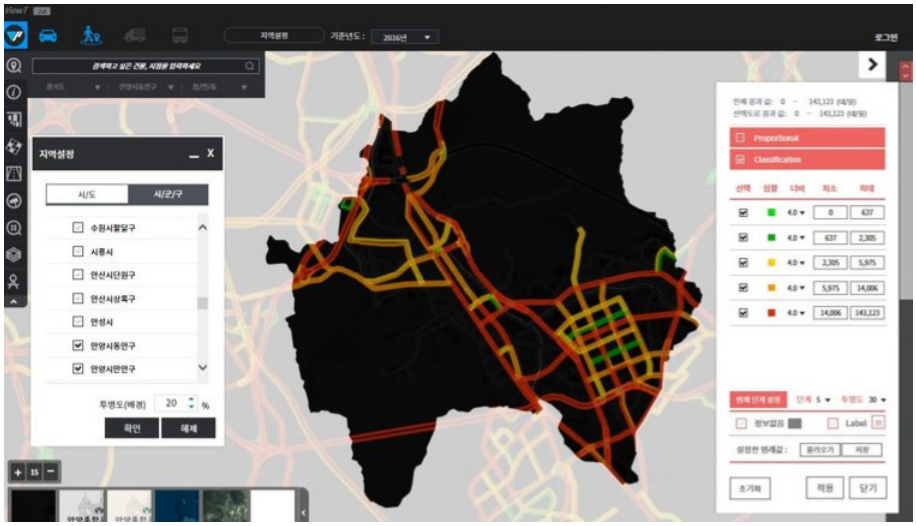

그림 5: ViewT 활용 화면.

3.1.4 2030년 기준 필요로한 전기차 충전소 개수

2030년 전국에 350만대 전기차 보급 기준시, 경기도의 경우 적어도 70만대 이상의 전기차 보급이 예상된다. [1]에서는 2020년 전국의 전기차 보급목표 25만대, 경기도 지역의 전기차 보급목표 5만대를 기준으로 안양시의 필요 급속충전소의 개수는 1 개로 선정하였다. 2030 년 기준의 전기차 보급목표는 2020 년에 비해 14 배 이상을 목표로 하기에, 이에 따른 충전소 수량 또한 14 배 이상 늘어야 할 것으로 보인다. [1]에서, 2030년 안양시의 전기차 대수는 238 대 이상의 전기차의 보급으로 예측할 수 있다. 238 대의 자동차를 대상으로 급속충전기가 1일 2회 충전이 필요한 경우, 안양시 전체에는 최대 24 대의 충전기가 필요로 할 것으로 예상된다. [36] 에서 Bass 모델과 회기분석을 통해 2025년부터 3세대 전기차의 시대가 시작될 것으로 예상하며, 2030년에는 주행거리 500 km, 충전시간 5 분 이라는 발전된 전기차와 충전기의 사양을 예측하고 있다. 2030년은 3세대 전기차량 시대로, 폭발적인 수요가 예측되나, 충전시간이 줄어듦으로 인해, 2030년 이후 추가적인 충전소의 설치는 크게 필요로 하지 않을 것으로 보인다. 하여 본 연구에서 안양시에 필요한 충전소의 개수는 최소 값인 14 개소를 기준으로 최적의 위치를 선정하였다.

결과적으로 2030년 전기차 보급율에 따른 안양시의 급속 충전소 설치 수량을 최소 14 대로 선정하였고, 수요자와 급속 충전소 후보지 간의 거리를 네이버 API 를 통해 확보하였다. 또한 도로마다의 교통량을 ViewT 를 이용하여 수집하였다.

3.2 연구방법 및 결과

앞서 수집한 데이터 를 바탕으로 집합커버모델, P-center 모델, P- Median 모델을 활용하여 안양시의 급속충전기 설치 위치 선정 모델을 설계하였다.

3.2.1 집합커버활용한 모델링

먼저 집합커버을 기준으로 모델을 설계하여 보았다. 집합커버은 1개의 충전소가 커버 할 수 있는 범위에 대해 사전에 선정하여, 모든 수요자가 서비스를 받을 수 있는 최소 입지 수 를 선정하는 모델링이다. 수집된 거리 데이터를 본 결과, 각 후보지 기준으로 수요자와의 짧은 거리를 비교해 보았을 때, 1,878 m가 가장 긴 최소 거리이다. 하여 집합의 범위를 급속 충전기 기준으로 2 km 이하 로 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 2 km 이상의 거리를 둘 것을 제한하고 있다. 이러한 법규를 근거하여 전기차 충전소 또한 2 km 이내에 최소 한개 이상의 충전소가 설치 된다면, 그 수요를 어느 정도 충족 할 수 있을 것으로 보이기에, 집합 의 범위를 2 km 로 제안 하였다.

1개의 충전소가 커버 가능한 거리를 2 km 로 제안한 집합커버모델을 다음과 같이 모델링 하였다.

$$OBJ = min \sum_{i} \sum_{j} D(i,j)x(j), \tag{3.1}$$

subject to

$$N(i) = \{i|D(j,i) \leq 2000\}, \tag{3.2}$$

$$\sum_{j \in N(i)} x(j) \geq 1, \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \tag{3.3}$$

$$x(j) = \{0,1\}, \quad \forall j \in J. \tag{3.4}$$

- 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.

식 (3.6)은 목적함수로서, 거리의 합을 최소화 한 값을 구한다. (3.7) 충전소 1 대가 감당 가능 한 거리로, 2 km 이내로 정의 한다. (3.9)은 집합 $N(i)$ 즉 각 set 안에 해당하는 후보위치 중 적어도 하나 이상의 설비를 선택하도록 한다 . (3.10) 을 통해 결정변수를 이진 변수로 표현 해 준다. 충전소가 j에 입지하면 1, 그렇지 않으면 0 으로 정의한다. 본 모델링을 활용하여 선정된 결과는 그림 6와 같다.

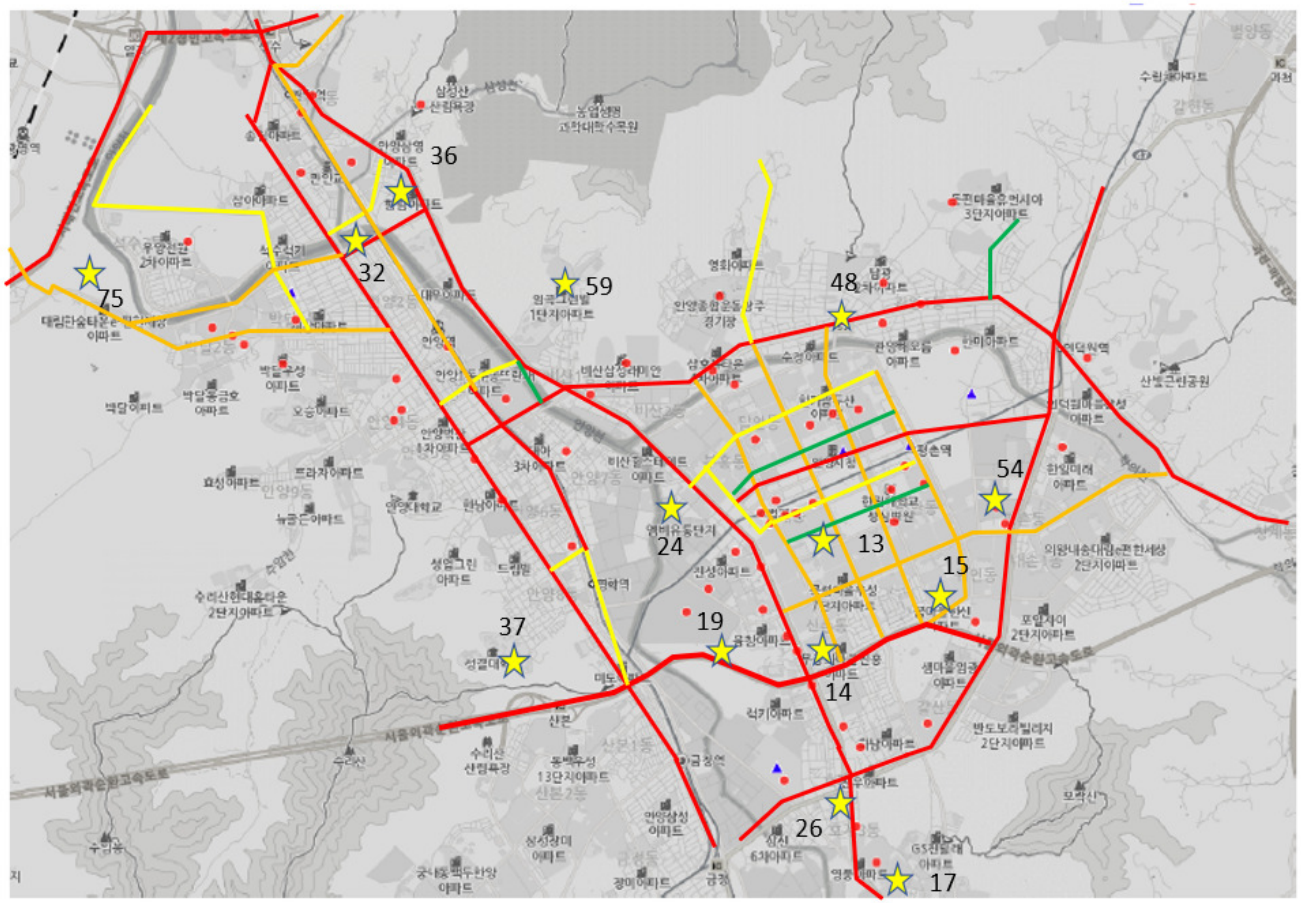

그림 6: 거리 2 km 이하의 Set Cover 모델링 결과.

집합의 범위제한으로 선정된 위치가 지역에 고르게 분포 된 것을 시각적으로 볼 수 있다. 본 내용은 거리 데이터 만 활용한 것으로 아래와 같이 목적 함수에 교통량 데이터를 대입하여 변화를 보았지만, 선정된 결과에 차이가 없었다.

$$OBJ = min \sum_{i} \sum_{j} T(i)D(i,j)x(j). \tag{3.5}$$

선정된 충전소의 개수 또한 13 군데로, 14 개 이상을 설치하고자 하는 기존의 기준과 크게 차이 나지 않은 개수이다. Set 의 범위 제한을 그대로 두고, 충전소의 개수 제한을 아래와 같이 추가하면, 다음 그림 7과 같이 기존에 선정된 13 번위치가 1번과 7번으로 교체되어 결과가 나온다.

$$OBJ = min \sum_{i} \sum_{j} D(i,j)x(j), \tag{3.6}$$

subject to

$$N(i) = \{i | D(j,i) \leq 2000\}, \tag{3.7}$$

$$\sum_{j \in J} x(j) = 14, \quad \forall j \in J, \tag{3.8}$$

$$\sum_{j \in N(i)} x(j) \geq 1, \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \tag{3.9}$$

$$x(j) \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J. \tag{3.10}$$

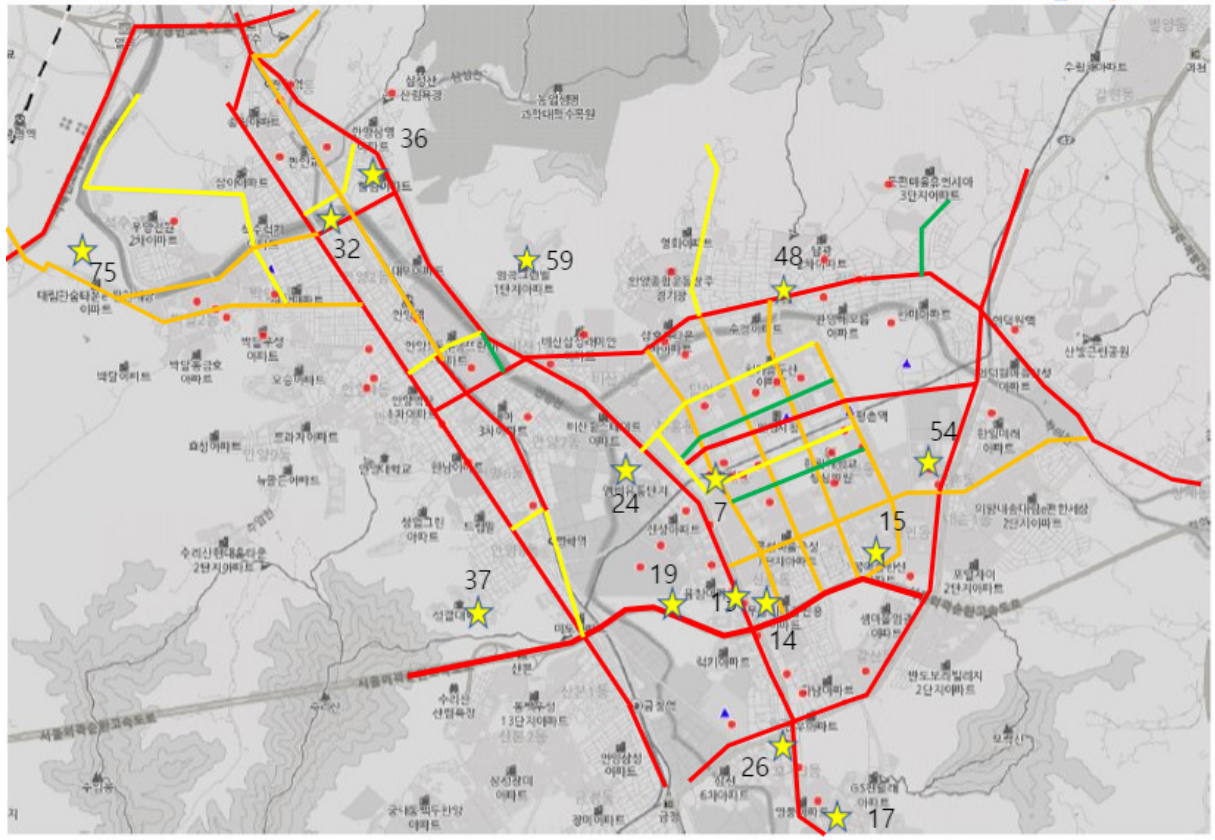

그림 7: 거리 2 km 이하의 Set Cover 모델링 14개의 충전소 조건 변수 추가 결과.

3.2.2 P-Median 을 활용한 모델링

14 개의 충전소의 위치를 선정하기 위해 P-Median 모델을 활용하여 설계를 다음과 같이 진행하였다. P-Median 모델은 한정된 설비 P (정수값) 이 주어진 경우 수요자와 P 시설 사이의 총 거리를 최소화 하는 방법으로 전기차 사용자가 충전이 필요로 할 때 가장 짧은 거리를 이동하여 충전소를 찾을 수 있을 것으로 기대 된다. 모델링은 아래와 같이 진행 하였다. 본 모델링을 설계를 위해 [34]의 모델링을 참고하여 아래와 같이 설계하였다.

$$OBJ = Min \sum_{i} \sum_{j} D(i,j)x(j), \tag{3.11}$$

subject to

$$\sum_{j \in J} x(j) = 14, \quad \forall j \in J, \tag{3.12}$$

$$\sum_{i \in I} y(i,j) = 1, \quad \forall i \in I, \tag{3.13}$$

$$\sum_{i \in I} y(i,j) \leq Mx(j), \quad \forall j \in J, \tag{3.14}$$

$$x(j) \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J, \tag{3.15}$$

$$y(i,j) \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J, \forall i \in I. \tag{3.16}$$

- I 출발지 (각 노드의 위치),

- J 전기차 충전소 후보지,
- OBJ 목적함수,
- $D(i, j)$ 임의 선정된 출발지와 전기차 충전소 후보지 간의 거리,
- $T(i)$ 각 출발지의 교통량,
- $x(j)$ 충전소가 j에 입지하면 1, 그렇지 않으면 0
- $y(i, j)$ 충전소가 서비스가 가능하면 1, 그렇지 않으면 0.

식 (3.11) 은 집합커버모델링과 마찬가지로 거리의 값이 최소값이 되도록 목적식을 구성하였다. 식 (3.12) 는 설치 설비의 갯수는 14 개로 한정한다. 식 (3.13) 은 각 위치 (I)에서 전기차 충전소 후보지역 중 한곳에 선택이 되어야 함을 의미한다. 식 (3.14) 은 총 수요의 합이 설비의 개수를 넘지 않는다. 총 수요는 (I) point 의 개수 249 개 이며, 선정될 설비의 개수는 14 개 이므로, 총 수요의 합이 설비의 개수를 넘지 않기 위해 임의의 큰수 M 을 곱한다. 식 (3.15) J 위치에 충전소가 위치 할 경우 1, 불가능 할 경우 0, 식(3.16) J 위치의 충전소가 서비스가 가능한 경우 1, 불가능 한 경우 0 과 같이 이진변수로 표현하였다. 현재 충전소가 수용할 수 있는 범위에 대해 정확한 수치를 산정할 수 없어, 임의의 큰수 M을 적용하여 근거리의 수요를 모두 수용할 수 있게 설계하였다. 실제적으로 충전소 내부의 설치 대수에 따라 충전수요량이 달라질 수 있기에, 후에 수요예측을 통해 본 충전수요량을 대입이 필요로 하다. 이 부분에 대한 적용은 뒤에 나오는 식 (3.23)에 대해서 동일하게 적용되는 부분이다.

거리의 값이 최소값이 되도록 목적식을 구성하여, 충전소의 최소 필요 개수와 결정변수에 대해 이진정수 조건만 표현하였다. 본 내용을 시뮬레이션 한 결과가 그림 8 과 같다.

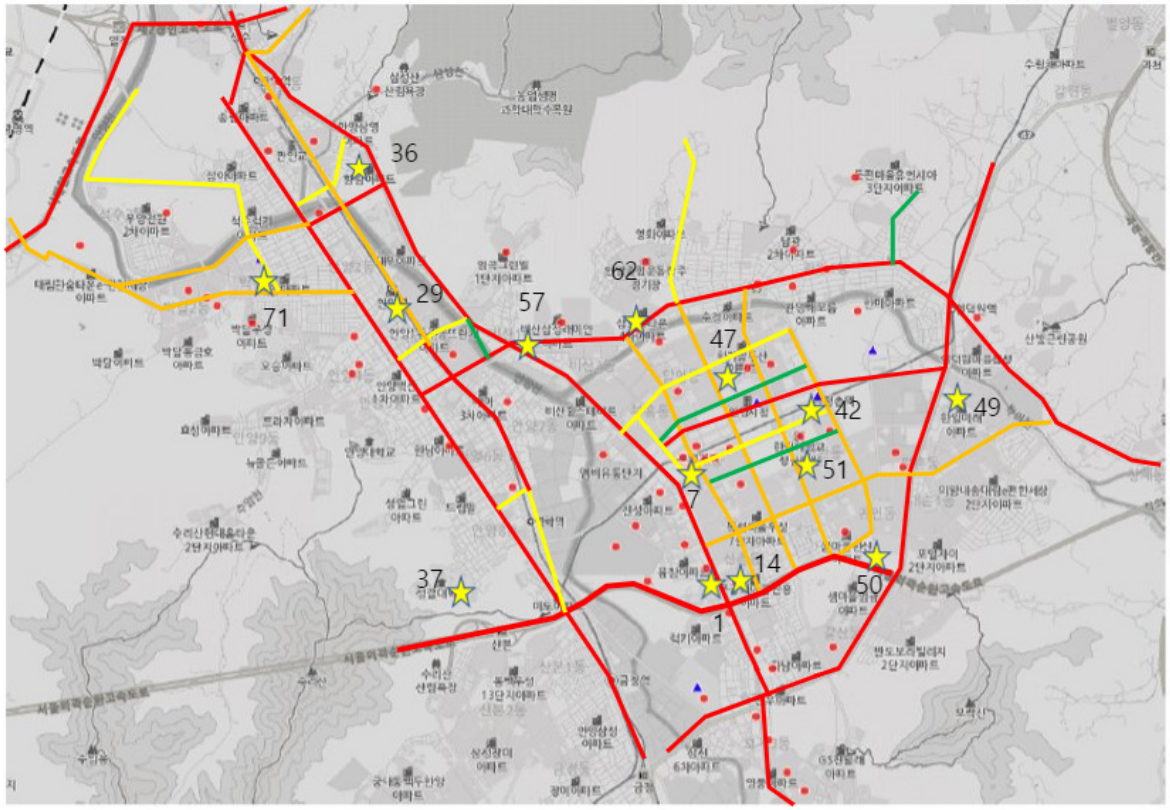

그림 8: P-Median 모델링을 적용한 급속충전소 위치.

결과를 보았을 때 14개의 지점이 전반적으로 고르게 분포했음을 알 수 있다. 거리의 합에 대해 최소화하였기 때문에, 메인 도로와 가장 가까이에 있는 위치들이 우선적으로 선택된 것을 아래 그림을 통해 확인할 수 있다. 전기차 충전소는 공공재로 많은 차량사용자들이 접근할 수 있는 위치가 선정되어야 하기에, 교통량 데이터를 활용하여 식 (3.17)와 같이 교통량이 많은 경우 후보지역과 도로와의 거리가 짧은 구간을 선정할 수 있도록 목적식을 변경하였다.

$$OBJ = min \sum_{i} \sum_{j} T(i)D(i,j)x(j), \tag{3.17}$$

시뮬레이션 한 결과는 그림 9 와 같다. 교통량 데이터를 삽입 한 결과 선정된 위치들이 교통량이 많은 붉은 도로를 따라 위치가 선정 된 것을 확인할 수 있다.

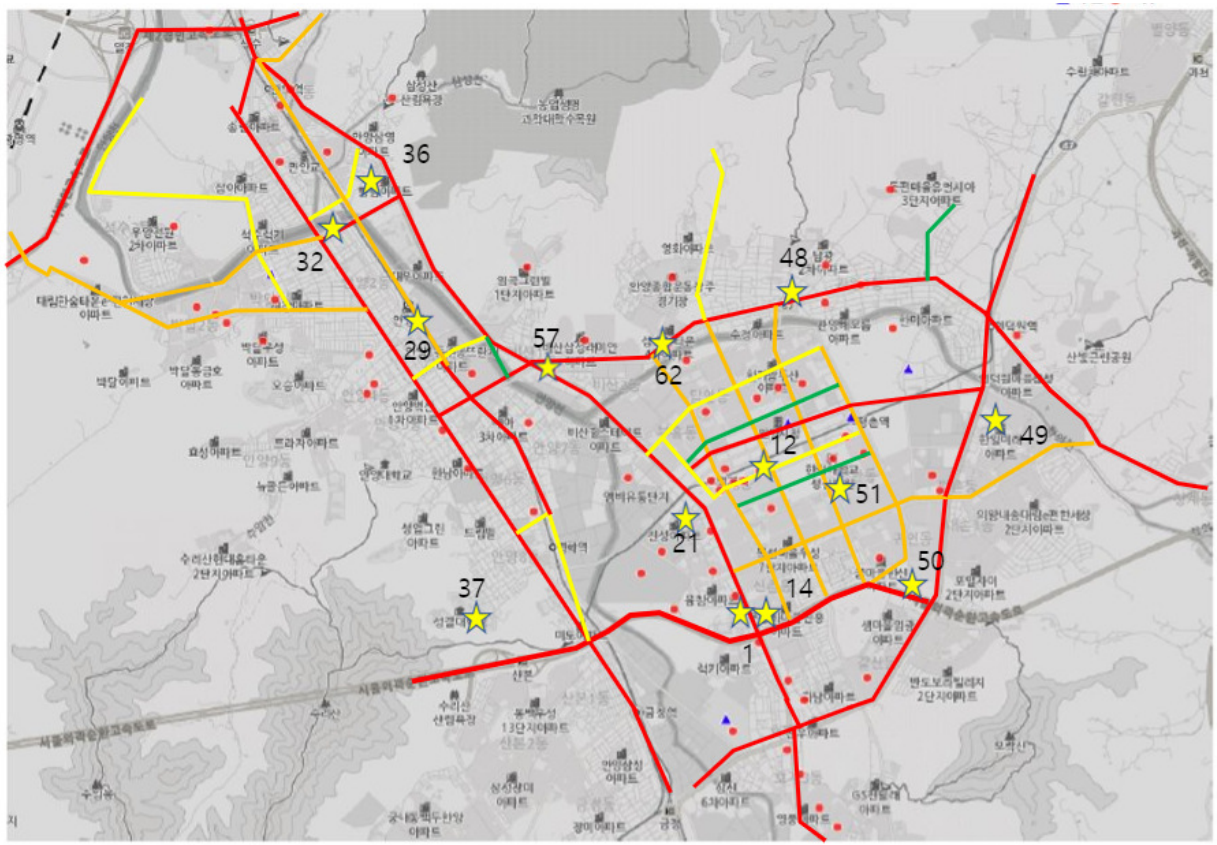

그림 9: P-Median 모델링 교통량 정보를 적용한 급속충전소 위치.

3.2.3 P-Center 를 활용한 모델링

전기차의 특성인 주행거리 제한이라는 한계로 사용자가 충전소를 찾을 때 멀리 떨어진 곳이 적을수록 이점이 작용한다. 충전이 필요로 할 때 빠른 시간 안에 충전소로 도착할 수 있어야 하며, 가까운 충전소가 사용 중이어서 차순위의 충전소를 이용하더라도, 거리가 멀면 충전소 이용이 어려우며, 불편을 느낄 수 있기 때문이다. 하여 전기차 충전소의 가장 먼 거리를 최소화 시키는 지점에 설치되어야 할 필요성이 있다. 내연기관의 경우, 주유량이 없어도 일정 속도로 주행시 상당 거리를 갈 수 있는 것과 달리, 전기차는 베터리 용량이 3% 남았을 때, 전기차는 저속으로 운전하게 되며, 경사도가 급한 도로에서는 뒤로 밀리는 사고가 일어날 수 있으니, 3% 용량이 되기 전에 충전소를 찾는 것이 필수적이라고 볼 수 있다. 전기차 사용자가 이러한 불안감에 벗어나기 위해, 후보 되는 급속충전기의 위치의 최대거리가 최소화 될 필요성이 있다. 하여 P-Center 모델을 활용하여, 최대거리를 최소화 시키는 지점을 찾기 위해 아래와 같이 설계하였다.

$$OBJ = min \quad z, \tag{3.18}$$

subject to

$$\sum_{i}\sum_{j} D(i,j)x(j) \leq z, \tag{3.19}$$

$$\sum_{j \in J} x(j) = 14, \quad \forall j \in J \tag{3.20}$$

$$\sum_{i \in I} y(j) = 1, \quad \forall i \in I \tag{3.21}$$

$$\sum_{i \in I} y(i,j) \leq Mx(j), \tag{3.22}$$

$$x(j) \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J, \tag{3.23}$$

$$y(i,j) \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J, \forall i \in I. \tag{3.24}$$

식 (3.18) 은 목적함수로 선별된 최대값을 최소화한다. 식 (3.19) 은 최대값 z 을 선별하는 조건식으로, 충전소 후보지 (j) 에 할당된 (i) 지점 중 최대 거리 선별한다. 식 (3.20) 와 같이 충전소의 개수는 14 개로 제한하며, 식 (3.21) 은 각 위치(i)에 대하여, 전기차 충전소 후보지역(j) 중 한곳 부여한다. 식 (3.22) 은 총 수요의 합은 설비의 개수를 넘지 않는다. 식 (3.14)에서와 마찬가지로 설비가 총수요를 감당할 수 있는 큰수 M 을 곱한다. 식 (3.23) 은 J 위치에 충전소가 위치 할 경우 1, 위치하지 않는 경우 0, 식 (3.24) 와 같이 J 위치의 충전소가 서비스 가능 한 경우 1, 불가능 할 경우 0 으로 설정한다.

시뮬레이션 결과 그림10 과 같이 P-Median 과 선정된 장소는 다르지만, 누락되는 지역없이 설치 위치가 지정되었다.

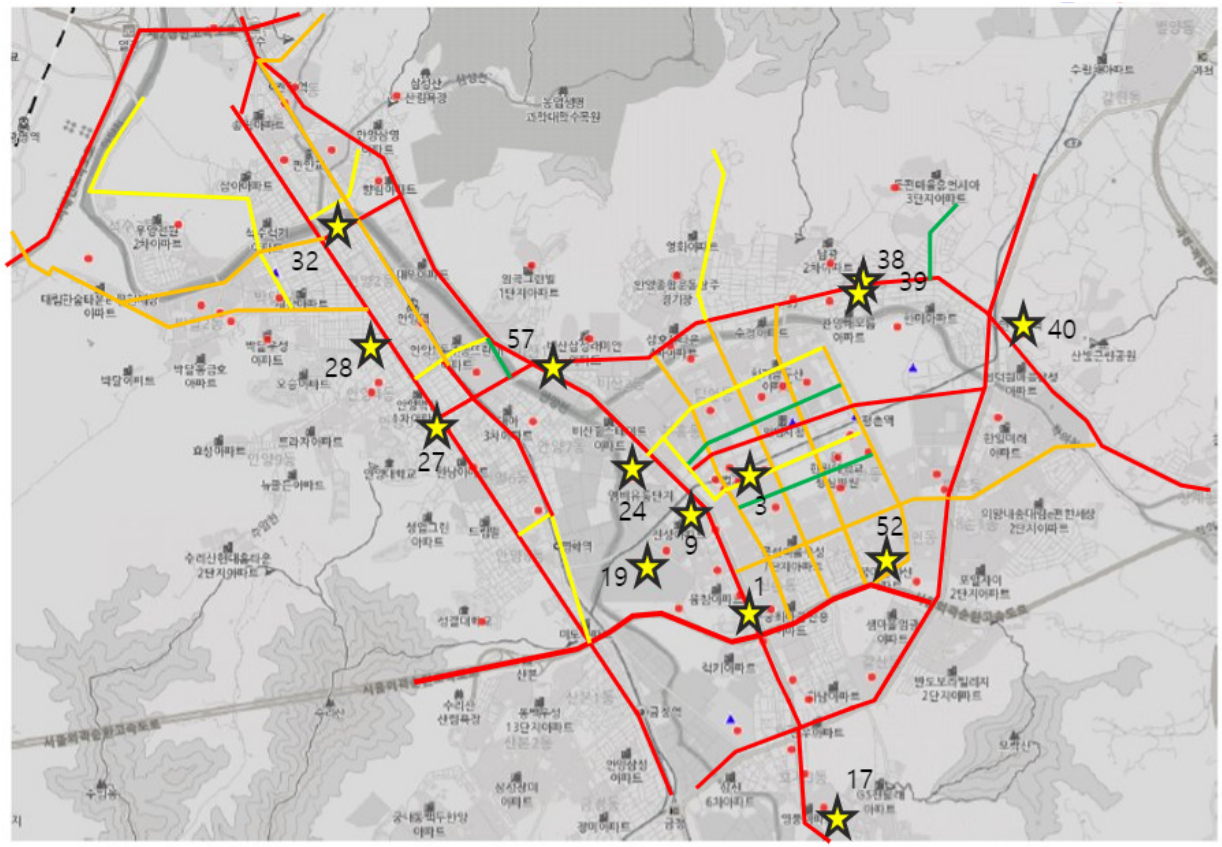

그림 10: P-Center 모델링을 적용한 급속충전소 위치

더 많은 사람들이 사용할 수 있도록 하기 위해 목적함수에 교통량을 아래 식(3.25) 과 같이 대입해 본 결과는 다음 그림 11과 같다.

$$OBJ = min \sum_{i} \sum_{j} T(i)D(i,j)x(j). \tag{3.25}$$

선정된 결과그림 11 를 보면, 교통량을 고려한 경우, 선정된 충전소의 위치가 거리를 고려한 경우보다, 교통량이 많은 도로를 따라 위치 되는 것을 보인다.

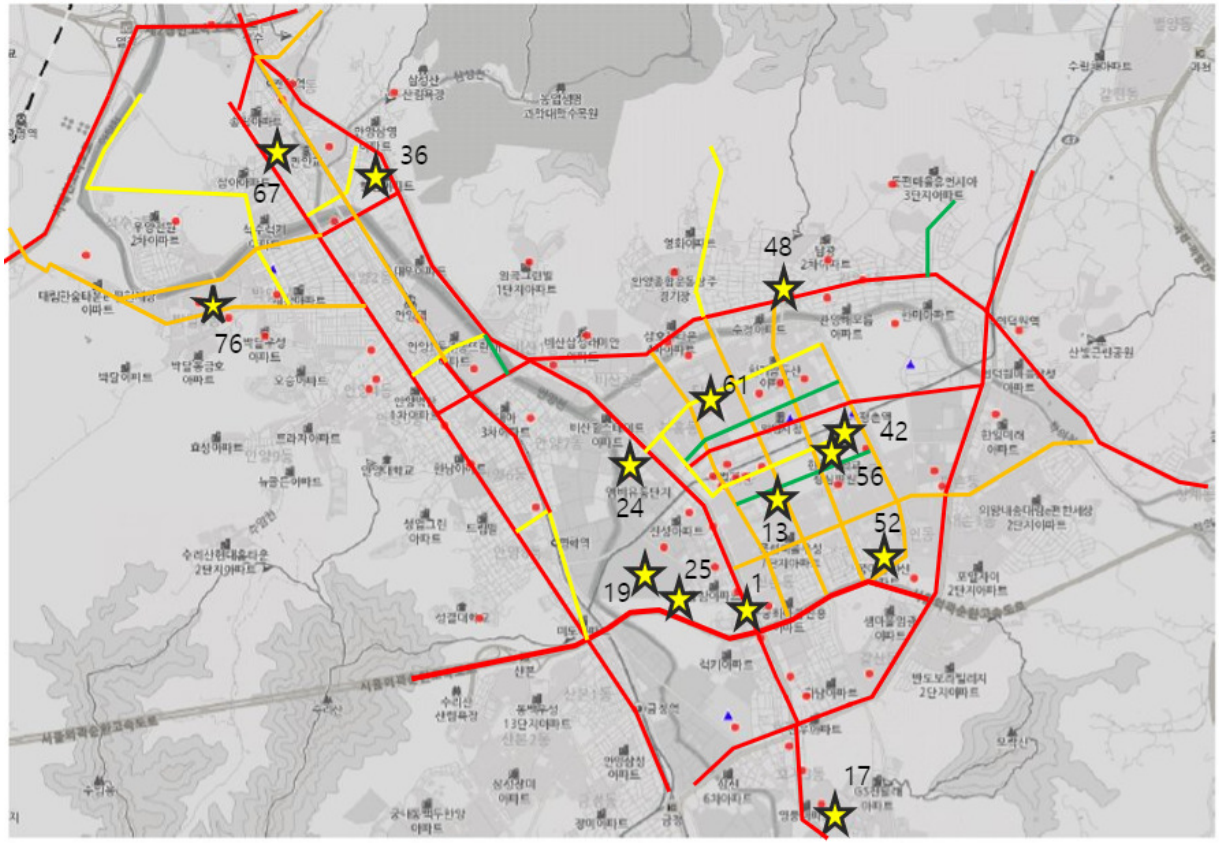

그림 11: P-Center 모델링 교통량 제어조건을 적용한 급속충전소 위치.

제 4 장

결과

앞서 시뮬레이션을 통하여 각 모델링 방법과 교통량 데이터 적용에 따라 달라지는 위치 선정을 보았다. 표2 와 표3 와 같이 모델링 별로 선정된 장소를 비교해 보았다. 시뮬레이션을 통해 집합커버모델링이 소외지역 없이 충전소를 균일하게 설치할 수 있는 것을 확인하며, 충전소의 커버 범위에 따라 위치 선정 및 충전소의 개수가 달라진 것을 확인하였다. 집합의 범위가 작을 수록 커버 하는 도로 범위가 적어, 교통량을 적용에 큰 의미가 없다. 하지만 집합의 범위에 따라 설치되는 설비의 수와 위치가 달라지기에, 이러한 특징을 고려하여 집합의 범위선정을 고려할 할 필요성이 있다. P-Median 을 활용할 경우, 충전소의 설비의 개수가 정해진 경우, 최소한의 거리이동으로 충전소의 위치에 도달할 수 있도록 활용되었다. 이동거리 최소화의 목적이 가장 잘 표현된 결과로, 실제적으로 선정된 위치들은 도로와 가장 가까운 곳으로 선정되었다. 교통량 데이터 활용한 경우, 교통량이 많은 도로에 가까운 위치에 선정되는 것을 확인할 수 있었다. 가장 짧은 거리의 충전소의 경우 33 m 이며 평균이동거리 또한 다른 모델링에 비해 이동거리가 짧으므로 사용자들의 충전소 접근성이 높다고 할 수 있다. P-Center 의 경우 최대거리를 최소화 하는 지점을 선정 되기에, 서비스 수준이 가장 나쁜 지역을 개선을 기대할 수 있으며, 전기차의 주행거리 제한에 문제에 대한 리스크를 줄여주는 내용으로 볼 수 있다. 실제적으로 최대이동거리 값이 가장 짧게 나왔으며, 교통량을 적용하였을 때, 거리만 적용한 것 보다 평균 주행거리가 짧게 나온

표 2: 모델링 에 따른 접근성 변화.

Modeling	Min.[m]	Max.[m]	Average [m]
Set Cover with 2 km below	169	12,438	3,795
P-Median	33	11,096	3,473
P-Median with Traffic	34	10,732	3,571
P-Center	155	10,732	3,624
P-Center with Traffic	33	10,732	3,245

표 3: 모델링별 선정된 장소 결과.

Modeling	**Location No.**							**common places**
SetCover	13	15	17	19	24	26	32	**12 places**
2 km	36	37	48	54	59	75		
SetCover	1	7	15	17	19	24	16	
2 km [14locations]	32	36	37	48	54	59	75	
P-Median	1	7	14	29	36	37	42	**10 places**
Minimumdistance	47	49	50	51	57	62	71	
P-Medianwith	1	12	14	21	29	32	36	
Traffic information	37	48	49	50	51	57	62	
P-Center (MinMax)	1	3	9	17	19	24	27	**6 places**
	28	32	38	39	40	52	57	
P-Centerwith	1	3	6	7	7	9	10	
Traffic information	11	12	13	27	32	37	57	

점에 대해 주목할 결과라고 볼 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, 특징들이 나타난 것을 볼 수 있다. 집합커버의 경우, 3개의 모델링 중 가장 큰 최소값과 최대값, 평균 값을 가지고 있다. 각 집합에 대해서는 최소거리의 충전소가 선택되었지만, 안양시 전체에 대해서는 다른 모델링 보다 큰 값을 보여 준다. 즉 각개의 최소값이 전체의 최소값을 대응한다고 볼 수 없으나, 지역전체에 균일하게 설치할 수 있는 결과를 나타낸다. P-Median 은 가장 작은 최소값과 작은 평균 값을 가

표 4: 다회 선정 지역.

4 회 선정			
1	32	37	57
호계2동 주민센터	안양박달우회로 공용주차장	성결대학교	이마트 안양점

짐을 볼 수 있으며, 전기차 충전소로 가는 가장 짧은 거리를 움직여 충전소에 도착할 수 있는 것을 알 수 있다. P-Center의 경우, 최소값과 평균거리가 다른 모델링 보다 큰 값을 가지고 있어, 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 오히려 줄어드는 효과가 나왔지만. 평균적으로 거리 값이 늘어나는 것을 보인다. 즉 많은 사용자들이 충전소로 향하는 평균 거리가 늘었지만, 가장 먼 충전소가 가까워지는 결과를 가지고 왔다. P-Center 모델링의 경우, 교통량 데이터 를 적용한 결과 최소이동거리가 비약적으로 줄어들면서 평균거리가 줄어들었다. 교통량을 적용하면서 더 많은 사람들이 평균적으로 짧은 이동거리를 움직여 충전소에 갈 수 있게 된 것이다. 각 모델링별, 교통량 데이터의 영향을 알아보기 위해 선정된 위치를 표 3 와 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 6 곳 밖에 나오지 않아, 교통량에 대한 변화율이 P-Median에 비해 크게 적용되었다.

추가적으로 총 6개의 모델을 앞서 돌려보며, 다회선정 된 장소를 표 4와 같이 선별해 보았다. 가장 많이 (6회 중 4 회) 선택된 장소는 호계2동 주민센터, 안양박달우회로 공영주차장, 성결대학교, 이마트 안양점으로 교통량이 많은 도로와 가까이 위치한 충전소 이다. 이곳은 큰 도로와의 인접한 구역

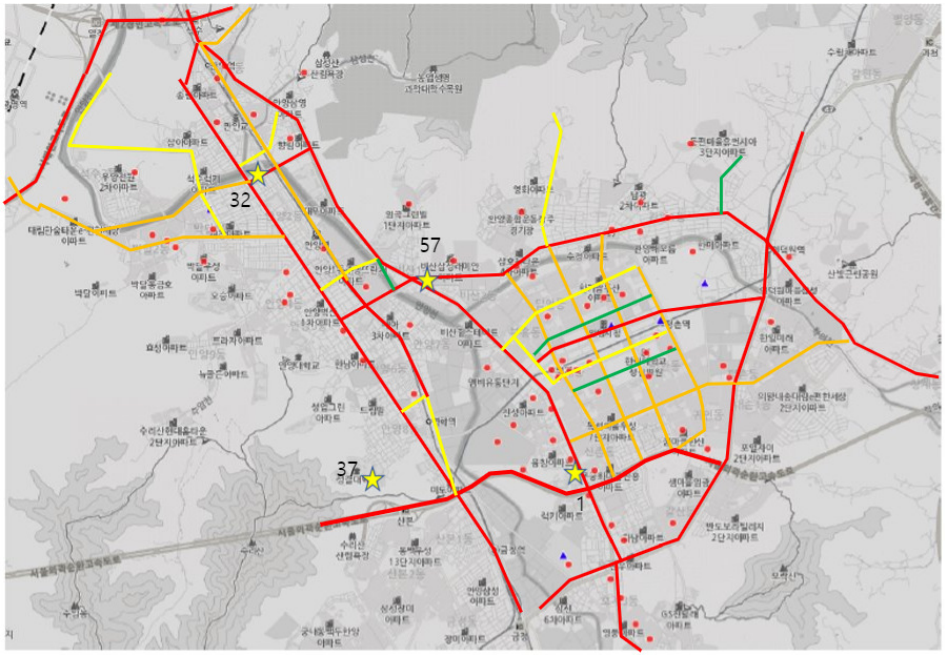

그림 12: 다회 선택 후보지.

뿐만 아니라, 그림 12 와 같이 장소를 지도에 표시해보면, 각 구역별 대표할 수 있는 장소로 보인다. 이렇게 여러 회 선정된 후보지역은 충전소 설치 시 우선적으로 선정 되어야 하는 곳으로 사료된다.

제 5 장

결론 및 향후 연구방향

앞서 결과를 통해 각 모델링의 특징을 비교 분석했으며, 교통량 변수로 인해 바뀌는 양상을 확인해 보았다. 본 모델링에 따라 다른 지점들이 선정되었지만, 지리적 특성과 설계자의 목적에 따라 모델링 선정을 선택 할 필요성이 있어 보인다. 지역별로 균등한 배치가 필요하다면, 집합커버모델을 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-Center모델링을 통해 지역을 선정할 필요성이 있다. 게다가 많은 사람들이 혜택을 누리기 위해서는 교통량 데이터 활용이 보다 나은 위치 선정에 활용 될 것으로 보인다. 집함커버 모델링의 경우에는 교통량이 큰 의미를 가지지 않았지만, P-Median 모델링과 P-Center 모델링의 경우에는 교통량 데이터 를 적용 후, 통행량이 많은 대로변과 가까운 충전소가 선정되며, 평균 주행거리 및 최대 주행거리 값에 대해 이점을 보여주었다.

본 연구를 통해 2030년 전기차 보급확대를 위한 필요한 전기차 충전소의 위치 선정을 모델링 별로 비교 검토해 보았다. 2030년에 전체 차량 중 약 15% 이상이 전기차로 변환 될 것을 기대하며 그에 대응하는 충전소의 개수를 선정하고 위치를 선정하였다. 본 연구에서 선정된 위치는 전기차 사용자가 보다 접근하기 편하며, 많은 사람들이 활용할 수 있는 최적화된 위치 선정을 보이며, 전기차 보급 활성에 긍정적인 영향을 끼칠 것으로 보인다.

앞서 적정 설비 수에 대해 먼저 선정하였기에 2030년 전기차 사용자들의 충전소 사용이 크게 혼잡 할 것으로 보이지 않으나, 이후 전기차의 급격하게 보급율이 확대 될 때, 충전소의 개소를 더 늘릴 것인지, 혹은 기존 충전소의 충전기의 수량을 늘리는 것으로 대체 할 것인지 고려하지 않을 수 없다. 이러한 부분에 대해서는 충전소 한대가 감당할 수 있는 전기차 수량과 전기차의 충전소 사용확율에 대한 연구가 필요한 것으로 보이며, P-Median, P-Center 모델링에 활용된 수식 (3.14)와 (3.22)에 이 부분을 활용하여, 더 많은 충전소의 필요성을 검토할 필요가 있다. 또한 나날이 발전하는 전기차의 기술과 충전기술로 인해 기존의 충전소를 철거 및 교체를 하게 된다면, 얼마만큼의 시간을 가지고 어떤 지점의 충전소를 철거 및 교체를 할지 고민해 봐야 하는 문제로 보이며, 이러한 자원의 효율적 배분과 활용에 관해 계속적으로 연구가 필요할 것으로 보인다.

참고 문헌

[1] 강철구, "경기도 전기차 충전시설 적정 설치기준 연구," *정책연구*, pp. 1–161, 2017.

[2] 한진석, "서울시 전기차 충전인프라 설치 방안 연구: 직장 공용 충전인프라를 중심으로," *서울도시연구*, vol. 19, no. 3, pp. 131–147, 2018.

[3] 윤충식, "빅데이터 표준분석모델을 활용한 전기차 충전 인프라 우선 설치지역 도출 사례연구," *한국통신학회 학술대회논문집*, pp. 23–26, 2019.

[4] C. Wang, F. He, X. Lin, Z.-J. M. Shen, and M. Li, "Designing locations and capacities for charging stations to support intercity travel of electric vehicles: An expanded network approach," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 102, pp. 210–232, 2019.

[5] Z. Sun, W. Gao, B. Li, and L. Wang, "Locating charging stations for electric vehicles," *Transport Policy*, pp. 1–7, 2018.

[6] H. Cai, X. Jia, A. S. Chiu, X. Hu, and M. Xu, "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*, vol. 33, pp. 39–46, 2014.

[7] A. Zhang, J. E. Kang, and C. Kwon, "Incorporating demand dynamics in multi-period capacitated fast-charging location planning for electric vehicles," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 103, pp. 5–29, 2017.

[8] C. Toregas, R. Swain, C. ReVelle, and L. Bergman, "The location of emergency service facilities," *Operations research*, vol. 19, no. 6, pp. 1363–1373, 1971.

[9] J. M. Gleason, "A set covering approach to bus stop location," *Omega*, vol. 3, no. 5, pp. 605–608, 1975.

[10] D. R. Plane and T. E. Hendrick, "Mathematical programming and the location of fire companies for the denver fire department," *Operations Research*, vol. 25, no. 4, pp. 563–578, 1977.

[11] Y.-W. Wang, "An optimal location choice model for recreation-oriented scooter recharge stations," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 12, no. 3, pp. 231–237, 2007.

[12] Y.-W. Wang and C.-C. Lin, "Locating road-vehicle refueling stations," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 45, no. 5, pp. 821–829, 2009.

[13] Y.-W. Wang and C.-R. Wang, "Locating passenger vehicle refueling stations," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 46, no. 5, pp. 791–801, 2010.

[14] M. J. Hodgson, "A flow-capturing location-allocation model," *Geographical Analysis*, vol. 22, no. 3, pp. 270–279, 1990.

[15] M. Kuby and S. Lim, "The flow-refueling location problem for alternative-fuel vehicles," *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 39, no. 2, pp. 125–145, 2005.

[16] J.-G. Kim and M. Kuby, "The deviation-flow refueling location model for optimizing a network of refueling stations," *international journal of hydrogen energy*, vol. 37, no. 6, pp. 5406–5420, 2012.

[17] Y. Huang and Y. Zhou, "An optimization framework for workplace charging strategies," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 52, pp. 144–155, 2015.

[18] S. H. Chung and C. Kwon, "Multi-period planning for electric car charging station locations: A case of korean expressways," *European Journal of Operational Research*, vol. 242, no. 2, pp. 677–687, 2015.

[19] F. He, D. Wu, Y. Yin, and Y. Guan, "Optimal deployment of public charging stations for plug-in hybrid electric vehicles," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 47, pp. 87–101, 2013.

[20] S. L. Hakimi, "Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph," *Operations research*, vol. 12, no. 3, pp. 450–459, 1964.

[21] N. Christofides, *Graph theory: An algorithmic approach (Computer science and applied mathematics)*. Academic Press, Inc., 1975.

[22] S. L. Hakimi, "On locating new facilities in a competitive environment," *European Journal of Operational Research*, vol. 12, no. 1, pp. 29–35, 1983.

[23] C. ReVelle, "The maximum capture or "sphere of influence" location problem: Hotelling revisited on a network," *Journal of Regional Science*, vol. 26, no. 2, pp. 343–358, 1986.

[24] B. Park, K. J. Lee, and K. Choi, "Optimum location choice for bike parking lots using heuristic p-median algorithm," *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 33, no. 5, pp. 1989–1998, 2013.

[25] J.-W. Yu, M.-Y. Lee, and S.-C. Oh, "A model of location decisions of natural gas filling station considering spatial coverage and travel cost," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 26, no. 3, pp. 145–153, 2008.

[26] N. Mladenović, J. Brimberg, P. Hansen, and J. A. Moreno-Pérez, "The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches," *European Journal of Operational Research*, vol. 179, no. 3, pp. 927–939, 2007.

[27] M. R. Garey and D. S. Johnson, "Two-processor scheduling with start-times and deadlines," *SIAM Journal on Computing*, vol. 6, no. 3, pp. 416–426, 1977.

[28] R. Garfinkel, A. Neebe, and M. Rao, "The m-center problem: Minimax facility location," *Management Science*, vol. 23, no. 10, pp. 1133–1142, 1977.

[29] D. S. Johnson, "The np-completeness column: an ongoing guide," *Journal of Algorithms*, vol. 11, no. 1, pp. 144–151, 1990.

[30] O. Kariv and S. L. Hakimi, "An algorithmic approach to network location problems. i: The p-centers," *SIAM Journal on Applied Mathematics*, vol. 37, no. 3, pp. 513–538, 1979.

[31] M. S. Daskin, *Network and discrete location: models, algorithms, and applications*. John Wiley & Sons, 2011.

[32] N. Agarwal, R. J. Moraga, and R. Rahn, "A case study on the facility location problem for a large-scale emergency service," in *IIE Annual Conference. Proceedings*, p. 1145, Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE), 2007.

[33] M.-H. Kim, Y.-J. Jeong, H.-C. Kwak, D.-K. Kim, and S.-Y. Kho, "Optimal locations of expressways of expressway emergency service station: A case study of korean expressways," in *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol. 8 (The 9th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2011)*, pp. 403–403, Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2011.

[34] S. Dantrakul, C. Likasiri, and R. Pongvuthithum, "Applied p-median and p-center algorithms for facility location problems," *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 8, pp. 3596–3604, 2014.

[35] G. Dong, J. Ma, R. Wei, and J. Haycox, "Electric vehicle charging point placement optimisation by exploiting spatial statistics and maximal coverage location models," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 67, pp. 77–88, 2019.

[36] 채아롬, "선택기반 다세대 확산모형을 이용한 전기자동차 수요예측 방법론 개발," *한국 ITS 학회논문지*, vol. 10, no. 5, pp. 113–123, 2011.

Abstract

Optimizing Fast EV Charging Infrastructure Location with Traffic flow Data

Kyunghyun Kim
Graduate School of Practical Engineering
Seoul National University

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 EV 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 selected14 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.

Keywords : EV charging, fast EV Charging infrastructure, Facility location optimize, Traffic flow data, Set cover, P-Median, P-Center

Student Number : 2016-22234