

권역별 클러스터링을 활용한 무선충전 고속도로 입지 분석

(팀장) 20182023 윤우성

20180942 곽수민

20182282 김민석

20182270 이승재

20185696 정석범

1. 초록	3
2. 서론	3
1) 주제 선정 배경	
2) 선행연구 분석	
3. 본론	5
1) 데이터 소개 및 EDA	
2) 분석 방법 및 모델링 알고리즘 소개	
4. 결론	13
5. 참조	13

초록

전기차의 보급이 증가하고 있지만 절대다수를 차지하지 못하는 이유는 전기차 인프라와 장거리 주행 문제 때문이다. 이에 두 가지 문제를 동시에 해결할 수 있는 무선충전도로를 그 해결 방법으로 제시하고 입지 분석을 통해 무선충전도로의 입지를 선정하고자 한다. 해당 연구는 여러 요소의 좌푯값을 기준으로하여 권역을 나눈 후 군집분석을 진행하였다. 클러스터링의 여러 방법 중 K-Means를 사용하였고 이 방법을 통해 권역별 최적의 입지를 찾을 수 있었다. 이를 통해 전체 지역군에 대해 클러스터링을 진행했을 때 수도권에만 입지가 편중되어 있을 수 있는 문제를 해결하였다. 최종적으로 무선충전도로의 설치를 통해 전기차 단점을 보완하여 보급을 증가시킬 수 있을 것으로 기대한다.

서론

1. 주제 선정 배경

테슬라의 성공 이후 전기차 시장은 빠르게 성장하고 있다. 지난 9월 8일 한국무역협회 국제무역통상연구원이 발표한 ‘코로나 이후 주요국 전기차 시장 동향’ 보고서에 따르면 글로벌 시장의 21년 전기차 판매는 19년 대비 226.3% 증가한 660만대로 역대 최대치를 기록했으며 한국 시장의 경우 21년 115%의 성장률을 보이며 높은 성장률을 보였다. 하지만 기존 화석연료 차량에서 전기차로의 전환이 빠르게 이루어지지 못하는 이유는 사람들이 여러 가지 이유로 전기차를 피하는 현상이 벌어지고 있기 때문이다. 해당 이유로 충전 속도와 인프라의 문제가 제일 크다. 이를 해결하기 위해서는 급속충전기의 보급 및 주거지 주변 인프라 확충이 필요하지만, 공간과 수익성 등의 문제 때문에 쉽지 않다.

이러한 충전소 문제를 해결하기 위해서 무선충전도로가 대안으로 대두되고 있다. 2010년 카이스트가 세계 최초로 대용량 자기공명 무선충전 기술을 개발하였고, 현재 대덕 단지에서 실용화 테스트 중이다. 또한 스웨덴도 이미 무선충전도로를 실증하였으며 대규모로 구축할 계획을 하고 있다. 무선충전 기술은 크게는 전자기 유도, 자기공명, 전자기파 유도 등 3가지 방식으로 이뤄지며 전자기 유도는 충전효율이 높지만, 충전패드와 맞닿아 있어야 한다는 점 때문에 무선충전도로에 사용하기는 알맞지 않다. 전자기파의 경우 충전 거리는 길지만, 충전효율 때문에 적합하지 않기에 최종적으로 자기공명 방식이 무선충전도로에 적합한 기술로 뽑히고 있다.

자기공명 방식은 특정 주파수로 진동하는 자기장을 생성해, 같은 공진 주파수를 가지는 코일에 자기장을

유도하는 과정을 통해 에너지를 전달하는 방법이다. 현재 스마트폰 무선 충전에 사용하고 있는 자기 유도방식보다는 충전효율이 떨어지지만 무선충전도로의 특성상 차와 도로가 맞닿을 수 없기에 수 미터 이내로 충전이 가능한 자기공명 방식 기술이 무선충전도로에 가장 적합하다고 보이는 상황이다. 또한 **Electronics**에 기고된 **Esraa Mousa Ali**의 논문에 따르면 자기공명 방식의 충전효율 또한 92%까지 상승하여 기존 유선 충전 대비 전력 효율이 저하된다는 문제 또한 상당 부분 해결하였다.

따라서 본 팀은 단순히 충전소 추가설치보단 무선충전도로의 확충이 전기차의 보급을 확대할 수 있다고 판단하였고 이에 무선충전도로 입지 분석을 통해 최적의 입지를 선정하여 사람들의 전기차 기피 문제를 해결하고자 한다.

2. 선행 연구 분석

현재까지 국내에서 전기차 인프라와 관련된 연구는 대부분 무선충전도로보다는 충전소에 초점을 두고 진행되었다. 국내에서 진행된 무선충전도로 입지 선정과 관련된 연구는 「2021 국토교통 빅데이터 온라인 해커톤 경진대회」에 참여한 「전기차 인프라 확충 프로젝트」-도시와 교통 데이터를 중심으로와, 「2021 AI Test-Bed Korea 산업 지능화 경진대회」에 참여한 ‘전기차 무선충전도로 설치를 위한 고속도로 입지 분석’이 대표적이다.

앞선 전기차 인프라 확충 프로젝트의 경우, 전기차 인프라를 확충하기 위해 전기차 충전소와 무선충전도로 두 가지의 입지를 분석하였다. 이 연구의 메인 분석은 ‘GUROBI’ 패키지를 이용해 최적화 문제를 풀어 입지를 선정하는 방식이었다. 다만 해당 연구에서는 교통량 상위 3개 노선(경부선, 서울외곽선, 영동선)에 대해서만 입지 선정을 해서 입지의 범위가 좁다는 문제가 있었으며, 차량정체 상황을 고려하지 않았다는 한계가 있었다.

또 다른 연구인 ‘전기차 무선충전도로 설치를 위한 고속도로 입지 분석’의 경우, 앞선 연구의 한계점이었던 적은 입지 후보군을 전체 고속도로 구간으로 확장하여 해결하였으며, 최적화 문제 대신 강남권, 호남권, 강원권, 수도권으로 권역화한 뒤 K-Means 클러스터링 기법을 활용해서 한 군집에 설치하는 방식으로 분석하였다. 하지만 이 연구에서 사용된 변수가 구간의 길이, 구간 내 충전소의 개수, 구간 내 교통량으로 3가지 밖에 존재하지 않아 결론의 설득력이 떨어질뿐더러, 앞선 연구의 문제점이었던 차량정체 상황을 고려하지 않은 문제도 여전히 존재했다.

해외자료의 경우 Dynamic Wireless Charge(DWC) 혹은 Wireless Charging Lane(WCL)이라는 이름으로 연구가 진행 중이며 그 중 Huan Ngo의 연구는 사회적 이익을 최대화하는 방향으로 연구를 하였고 이에 변수로 사용 중인 센서, 교통 카메라, 루프검지기를 활용한 교통량, 설치 비용, 예산, DWC설치 라인 주행시간, DWC설치에 따른 전기차의 추가 주행거리 등을 변수로 활용하였다. 이를 통해

에너지 소비 최소화 모델과 Travel-Time 최소화 모델을 기반으로 Montgomery County에 실증 연구하였다. 해당 연구는 교통량과 예산, 시간 등 다양한 특징의 요소들을 사용했다는 점에서 의의가 있지만 연구의 방향이 에너지 최소화와 전기차 교통량 집중에 따른 교통량 최소화에 초점이 맞추어져 있는 것이 한계점이었다. 또한 Hayato Ushijima-Mwesigwa의 연구에서도 Huan Ngo의 연구처럼 사회적 비용의 최적화에 초점을 맞추어 연구를 진행하였고 MCLP 기법을 바탕으로 한 Flow-Capturing Location Problem(FCLP) 기법을 사용하였다. 해당 연구에서는 State Of Charge(SOC)라는 충전소 관련 변수를 중요한 변수로 삼았고 예산, 경로 또한 변수로 설정하였다.

본론

1. 데이터 소개 및 EDA

활용 데이터명	출처	사용 이유
차량별 온실가스 배출량	환경부 보도 「2050 탄소중립을 향한 2030년 자동차 온실가스 기준 확정」	차종별 온실가스 배출량 비교
충전소 좌표&개수	한국환경공단	충전소 좌표&개수 마킹
과속단속카메라 좌표	경찰청	과속단속카메라 좌표 마킹
사고 정보 데이터	ITS 국가교통정보센터	고속도로 사고 좌표 마킹
일별 구간단면 양방향 교통량(22년 10월)	한국도로공사	일일교통량 데이터 사용
고속도로 구간별 좌표	Geocode 활용 및 네이버 지도 API 각 구간 좌표 추출	구간 좌표 마킹

표 1) 활용 데이터 정리

선행연구의 한계점을 바탕으로 본 연구에선 기존 연구에 사용하던 변수인 구간 내 교통량, 구간의 길이, 구간 내 충전소 대수에 추가로 차량정체 상황 변수를 고려하고자 하였다. 하지만 차량정체 상황 또는

주행속도 데이터는 세세하게 구간 별로 존재하지 않고 경부선, 영동선 등 더 큰 범주에서만 존재하였기 때문에 이 변수를 대체하기 위해 차량정체 상황에 영향을 줄 수 있는 요인들을 고려하였는데, 바로 교통사고 건수와 과속단속카메라 개수이다.

교통사고의 빈도가 높았던 도로일 경우 여타 도로에 비해 통행에 저해 받는 시간이 많았다고 볼 수 있다. 사고가 발생한 경우 해당 차로를 이용할 수 없을뿐더러 수습을 하고 처리를 위한 시간이 필요하기 때문에 주행속도를 늦추는 요인이 될 것이다. 무선충전도로 내에서 차량의 주행속도가 느리다면 해당 구간을 각 차량이 지나가는 시간이 증가하기 때문에 더 많은 양의 충전을 할 수 있을 것이다. 마찬가지로 과속 단속카메라 개수의 경우 교통단속 과속 단속카메라가 있으면 해당 단속 구간에서는 일반적으로 평소 달리던 속도보다 더 느리게 밝기 때문에 과속단속카메라가 많을수록 주행속도가 느려질 테고, 같은 원리로 많은 과속단속카메라 개수는 무선충전도로 입지에 더 적합함을 알 수 있다.

추가적인 변수로 온도나 습도와 같은 기후조건이 전기차의 무선충전 속도에 영향을 준다면 기후 요인도 고려하고자 하였으나, SAE(국제 자동차 기술자 협회) 연구 결과 기후 조건은 무선충전 속도와 큰 영향이 없다고 밝혀져 사용하지 않았다.

차량별 온실가스 배출을 제외한 나머지 데이터는 입지 분석의 **Factor**로 사용하기 위해 수집했으며 자료들 또한 경찰청, 도로공사 등 공기업 및 공공기관에서 제공하는 신뢰성 있는 데이터이다. EDA를 통해 공공기관 출처의 **Raw** 데이터에서 가공 및 처리를 한 새로운 데이터를 만들었다. 먼저 고속도로 구간별 좌표와 고속도로 일일 교통량 데이터를 바탕으로, 교통량 데이터를 2022년 10월에 일평균으로 활용한 하나의 데이터 프레임을 만들어주었다. 이를 통해 구간별로 2022년 10월 통행량의 일일 평균을 계산하여 시각화하였고, 지도에 시각화하기 위해 구글 API를 활용하여 도로명 주소에서 위도, 경도를 추출하는 작업을 진행하였다. 이후 Folium을 활용하여 지도위에 아이콘을 넣어 충전소, 과속단속카메라 및 사고 데이터를 시각화하였고 ZOOM-IN, ZOOM-OUT 기능을 활용하여 시각적 편리함을 추구하였다.

2. 분석 방법 및 모델링 알고리즘 소개

2021년 기준 국토교통부 도로 교통량통계 연보에 따르면 고속도로의 일평균 교통량은 51,004건으로 일반국도의 13,173건, 지방도의 6,216건보다 많다. 그렇기 때문에 일반도로, 국도, 고속도로 중에 고속도로를 최우선으로 입지 분석을 진행하였다. 고속도로 관련 **Factor**로는 충전소, 구간별 거리, 과속단속카메라, 교통량, 사고 데이터 등을 고려하였다. 더 긴 시간 동안 무선충전도로 구간에 있을수록 충전량이 많아지기 때문에 해당 구간의 길이, 과속단속카메라 수 변수는 값이 클수록 더 좋은 입지임을 나타내고, 사고다발구간일수록 차량 주행속도에 영향을 주기에 이러한 사실을 고려하여 입지를 선정할 계획이다.

클러스터링을 하기에 앞서 교통량은 인구밀도가 높은 수도권 및 경부권에 밀집되어 있기 때문에 전국을 기준으로 클러스터링을 실시하면 수도권 쪽으로만 입지가 쏠릴 것이라고 생각하였다. 전기충전소 현황 시각화를 확인하면 충전소 또한 주로 수도권에 몰려있음을 확인할 수 있다. 하지만 고속도로는 장거리 이용을 하기 위해서 이용하는 경우가 많기에 어느 한 권역에 집중되어 있으면 그 효율이 떨어지게 된다. 또한 대도시 주변으로만 집중되어 있을 경우 대도시는 보통 기점 혹은 종점인 경우가 많기 때문에 고속도로 중간중간에 설치되어있어야 효율적인 위치선정이라고 생각하였다. 그렇기 때문에 각 구간의 위치좌표를 기준으로 클러스터링을 진행하여 수도권/강원권/호남권/영남권 네 권역으로 나누어 분석을 진행하였다.



그림1) 지역별로 권역화 된 모습

메인이 되는 입지 분석 모델로는 **K-Means Clustering** 방법을 활용하였다. **K-Means Clustering**은 군집의 개수를 **K**개로 설정한 뒤 각 군집의 초기 중심점(**Centroid**)을 설정한다. 이후 각 중심점에 가까운 데이터를 해당 군집에 할당 한 뒤 중심점을 다시 계산하며, 또다시 중심점에 가까운 군집에 데이터를 재할당한다. 이후 중심점의 위치가 더 이상 변하지 않을 때까지 중심점 재설정과 데이터 군집 할당을 반복하는 방식으로 진행되는 모델인데, 각 **Factor**들이 가지는 값에 따라서 여러 군집으로 나누어 비슷한 특성을 가지는 데이터를 하나의 군집으로 묶을 수 있다는 점이 입지 분석에 적합한 여러 구간을 찾아야 하는 본 팀의 목적과 잘 들어맞는다고 생각하여 해당 모델을 사용하였다. 또한 상당수의 입지 분석 논문에서 **K-Means Clustering**을 통해 입지 분석을 진행하였기 때문에 입지 분석에 활용하기에 해당 모델이 신뢰도가 높은 편이라 판단하여 **K-Means** 클러스터링 모델을 선정하게 되었다.

- Data: $\{x^j | j = 1 \dots n\}$
- An iterative clustering algorithm
 - Pick K random cluster centers, $c^1 \dots c^k$
 - For $t = 1 \dots T$: [or, stop if assignments don't change]
 - for $j = 1 \dots n$: [recompute cluster assignments]

$$a^j = \arg \min_i \text{dist}(x^j, c^i)$$

- for $j = 1 \dots k$: [recompute cluster centers]

$$c^j = \frac{1}{|\{i | a^i = j\}|} \sum_{\{i | a^i = j\}} x^i$$

그림2) K-Means 클러스터링 모델

클러스터의 개수는 Elbow Method 방법을 통하여 선정하였다. Elbow Method란 클러스터 내의 총변동을 설명하는 WCSS(Within Clusters Sum of Squares)와 클러스터 개수(K)를 그래프로 그렸을 때, 그래프에서 마치 엘보우처럼 뾰족하게 굽어지는 지점의 K를 최적 클러스터 개수로 선정하는 방법이다. K-Means Clustering은 변수 간의 거리를 측정하는 모델의 특성상 이상치에 민감하기 때문에, 각 변수들을 Scaler를 사용해서 값들의 Scale을 통일시킬 필요가 있었다. MinMaxScaler, StandardScaler, RobustScaler 등 세 가지의 Scaler별로 Elbow Method를 적용한 결과, 가장 기본이 되는 StandardScaler를 사용하기로 결정하였고 추후 클러스터링에서도 StandardScaler로 스케일링 된 데이터를 사용하였다. 각 권역별로 Elbow Method 방법을 사용한 결과 호남권에선 K=4가 선택되었고, 나머지 3가지 권역들은 K=3이 선택되었다.

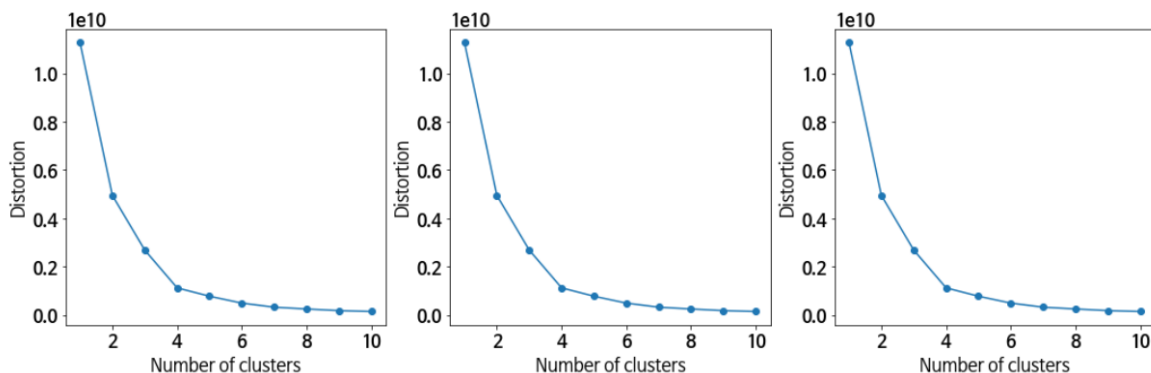


그림3) 호남권 Elbow Graph

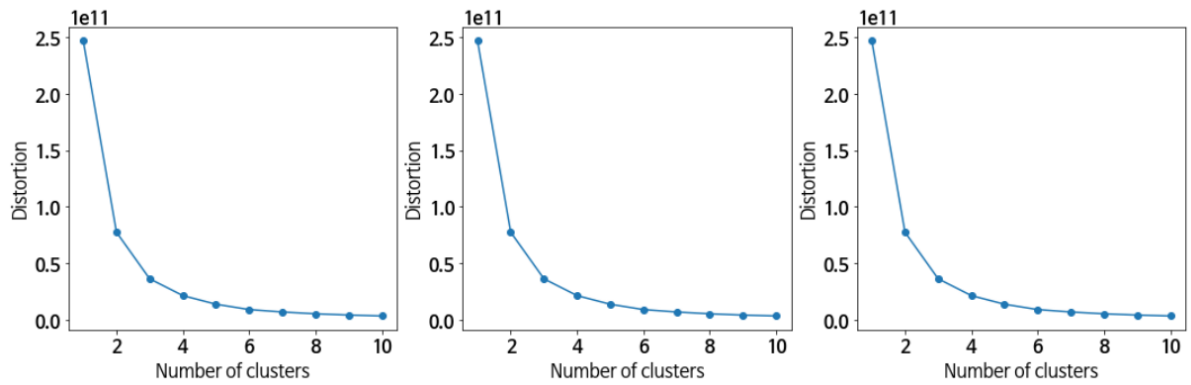


그림4) 수도권 **Elbow Graph**

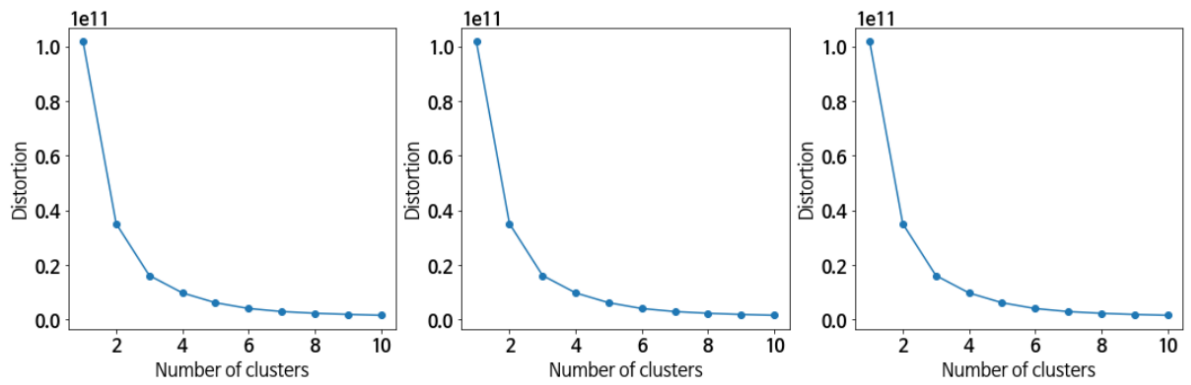


그림5) 영남권 **Elbow Graph**

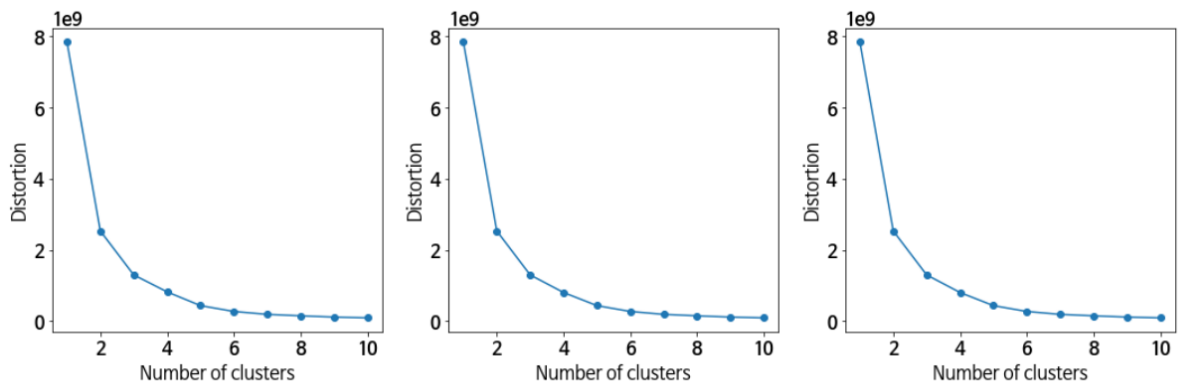


그림6) 강원권 **Elbow Graph**

구간별 교통량, 거리, 충전소 수, 과속단속카메라 수, 교통사고 건수를 변수로 사용하여 군집화를 진행하였다. 교통량과 거리, 과속단속카메라 수, 교통사고 수는 모두 높을수록 좋은 입지임을 나타내고, 충전소 수는 낮을수록 좋은 입지임을 나타낸다. 이러한 특성을 고려하여 각각의 권역별로 군집화를

진행한 뒤 산점도를 그렸을 때, 가장 좋은 입지로 판단되는 군집을 최적 군집으로 선정하여 최종적으로 입지를 선정하였다.

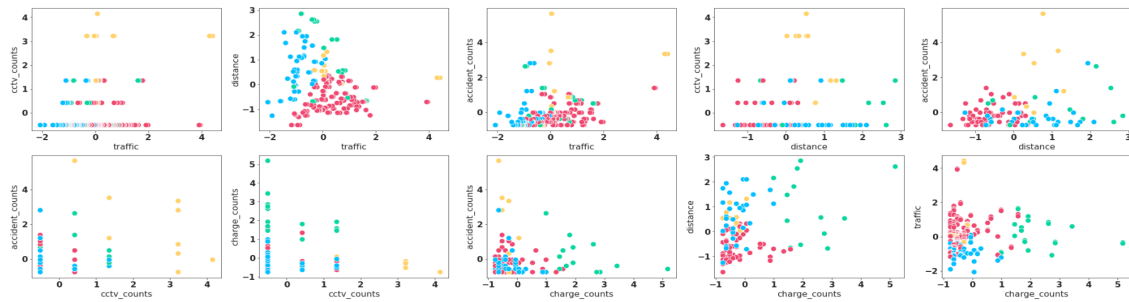


그림7) 호남권역의 Scatter Plot

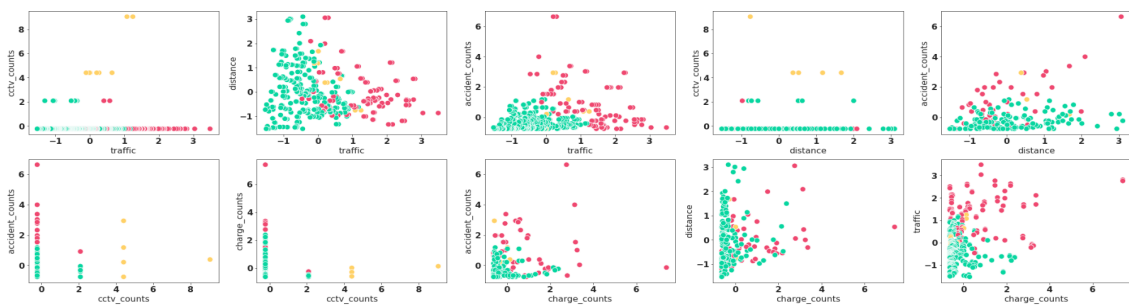


그림8) 수도권역의 Scatter Plot

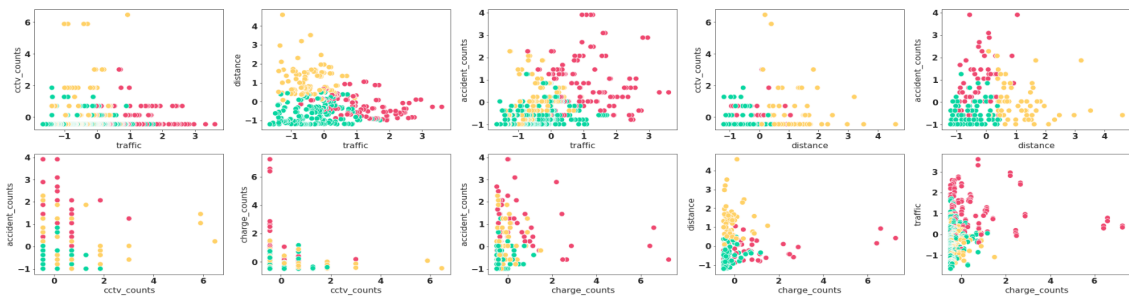


그림9) 영남권역의 Scatter Plot

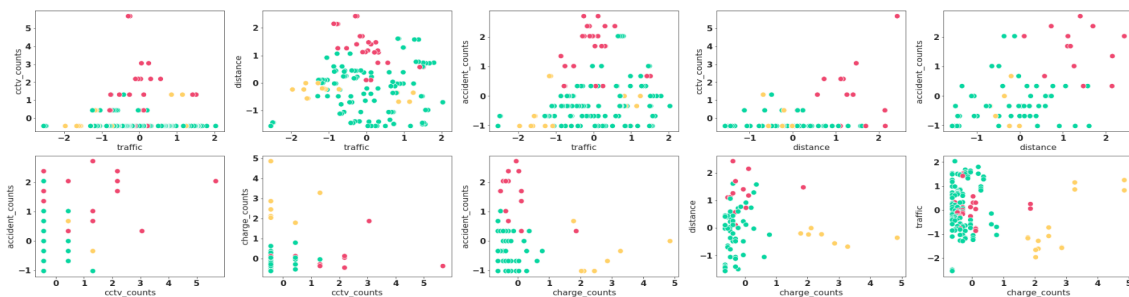


그림10) 강원권역의 Scatter Plot

다음은 각 권역별 클러스터링을 진행한 뒤 변수별로 **Scatter Plot**을 그린 결과이다. 위에서 설명한 변수들의 특성에 비추어 보았을 때, 1행에 있는 그래프는 우측 상단에 분포된 군집이 좋으며, 2행의 3~5열은 좌측 상단에 분포된 군집이 좋은 군집이다. 각 권역별로 형성된 군집들을 **Scatter Plot** 상에서 비교해보았을 때, 각 권역에서 빨간색을 띠는 군집이 좋은 분포를 보이기 때문에 빨간색 군집을 최적 군집으로 선정하였다.



그림11) 최종 입지 분석 시각화

위 이미지는 최종 입지 선정된 구간을 지도에 시각화한 자료이다. 구체적인 권역별 최적 입지 구간은 다음과 같다.

권역	노선	구간	개수
수도권	경부선	신갈JC -> 수원신갈IC	99
	경부선	신갈JC -> 서울IC	
	경부선	수원신갈IC -> 기흥IC	
강원권	중부내륙선	문경새재IC -> 연풍IC	26
	영동선	둔내IC -> 새말IC	
	서울춘천선	춘천JC -> 동홍천IC	
호남권	호남선A	익산JC -> 익산IC	124
	호남선 지선	양촌IC -> 논산IC	
	호남선 A	삼례IC -> 익산JC	
영남권	경부선	금호JC -> 북대구IC	111
	경부선	북대구IC -> 도동JC	
	남해선A	진영JC -> 동창원IC	

표 2) 권역별 최적 입지 구간(호남권, 수도권, 영남권, 강원권)

권역별 입지 분석을 합한 결과 총 1213개의 구간 중에서 360개의 최적 입지를 선정하였다. 수도권의 경우 대표적으로 신갈JC -> 수원신갈IC, 신갈JC -> 서울IC, 수원신갈IC -> 기흥IC 등 총 99개의 구간이 선정되었으며, 강원권에선 26개, 호남권에선 124개, 영남권에선 111개의 구간이 선정되었다.

결론

클러스터링 결과 무선충전도로의 최적 입지가 되는 군집 구역을 추출할 수 있었다. 무선충전도로의 확충은 주행 거리에 대한 불안감으로부터 운전자를 해방시켜 줄 수 있고 무선충전도로를 촘촘히 설치할 수 있다면 배터리의 용량도 줄여 전기차의 무게 및 설계 과정에서 오는 여러 부담 또한 줄일 수 있을 것이다. 이에 무선충전도로는 현재 많은 기업에서 연구 및 개발 중이며 테슬라, 쉐볼레 등 여러 글로벌 기업들도 시장의 성장 가치를 보고 투자 중인 상황이다.

이러한 상황에서 본 팀의 입지 분석은 여러 요소의 좌표값 데이터를 바탕으로 클러스터링을 사용하여 무선충전도로로 인한 사회적 이득을 극대화할 수 있는 입지를 선정하였다. **Elbow Method**를 활용하여 최적의 군집 개수를 찾아 군집화한 뒤 최적 군집을 선정하여 이를 반영한 구간을 지도에 반영하였다.

다만 한계점으로는 공개된 공공 데이터 기반이기에 정확한 데이터를 사용하지 않고 대체하여 사용한 변수가 있어 그 정확성이 떨어질 가능성이 있고 교통량 또한 전기차 교통량을 특정한 변수를 넣지 못해 정확하지 않고 해외 논문들처럼 다양한 변수를 기반으로 하지 않았다는 점이다. 또한 한국 지리 특성상 산이 많기에 고속도로가 굽어진 곳이 많이 있지만 좌표와 좌표를 연결해 직선으로밖에 표현하지 못했다는 점도 한계성을 보인다.

추후 분석에서는 공공데이터뿐만이 아닌 민간데이터를 활용하여 더욱더 다양한 데이터셋을 기반으로 분석을 진행하고 또한 변수 추가 및 수학적 모델링을 활용하여 완성도 높은 분석을 하고자 한다.

참고문헌

Huan Ngo(2020), Optimal positioning of dynamic wireless charging infrastructure in a road network for battery electric vehicles

Esraa Mousa Ali(2021), Efficient Wireless Power Transfer via Magnetic Resonance Coupling Using Automated Impedance Matching Circuit

Muhammad Amjad(2022), Wireless charging systems for electric vehicles

Hayato Ushijima-Mwesigwa(2021), optimal placement of wireless charging lanes in road networks

SAE International Article, Wireless road charging for EVs to debut in 2023

2021 AI Test-Bed Korea 산업지능화 경진대회 - 전기차 무선충전도로 설치를 위한 고속도로 입지 분석

2021 국토교통 빅데이터 온라인 해커톤 경진대회 - [전기차 인프라 확충 프로젝트] 도시와 교통데이터를 중심으로.

“무선으로, 전기차끼리' 전기차 충전 진화...부족한 인프라 해법되나”, news1, 2022.09.22

“전기차, 이제는 달리면서 충전한다...무선충전도로 기술 쏟아져”, 연합뉴스, 2021.06.21