

수소차 충전소 배치 최적화

-보로노이 다이어그램을 중심으로-

최성민 ○ 이정빈 ○ 유승진 ○ 이진형 ○ 강형호 ○ 유재현

Sung-min Choi, Jung-bin Lee, Seung-jin Yu, Hyung-Ho Kang,
Jae-Hyun Yu

Daejeon Daeshin High School

대전대신고등학교

요약

본 연구는 대전 유성구 내 수소 및 LPG 융복합 충전소의 최적 위치를 도출하기 위해 보로노이 다이어그램과 델로네 삼각분할을 활용하였다. 또한, 인공지능 최적화 기법을 적용하여 충전소 간 서비스 영역의 균형을 맞추고, 접근성을 극대화할 수 있는 방안을 제시한다. 유동인구 데이터를 고려하여 충전소 배치를 효율적으로 개선하며, 인공지능을 활용한 최적화가 충전 인프라의 효율성에 중요한 역할을 한다. 이 연구는 충전소의 접근성을 높이고, 수소차 인프라 확장에 기여할 수 있다.

I 서론

가) 연구 목적

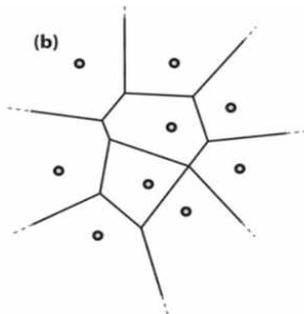
최근 국내 수소차 판매량이 저조한 추세를 보이는 주요 원인은 과도한 규제로 인한 수소 충전 인프라의 부족과 교외화에 있다. 특히, '고압가스 안전 관리법 시행 규칙'의 영향으로 인해 충전소 설치가 어려운 상황이다.

그러나 최근 신기술을 활용한 새로운 제품과 서비스에 대해 일정 조건 하에서 현행 규제를 면제, 유예하여 시장 출시와 시험, 검증이 가능하도록 특례를 부여하는 제도인 '규제샌드박스'의 적용이 본격화되면서 민간주도의 충전 인프라 시장화가 이루어지고 있으며, LPG 가스와 수소를 동시에 충전할 수 있는 융복합 충전소 등의 다양한 형태가 등장하고 있다.

본 연구는 대전 유성구를 대상으로 수소 및 LPG 가스 충전 인프라의 최적입지를 도출하고, 도심 내 충전소 배치를 최적화하여 충전 인프라의 접근성을 향상시키고자 한다. 이를 위해, 시계열 분석과 GIS 분석을 진행하여 수소차 수요의 증감 추이를 예측하고, 최적의 충전소 위치를 도출하고자 한다. 뿐만 아니라, 도심 내 충전소 배치를 최적화하여 도심 내의 유동 인구가 더욱 효율적으로 충전 인프라에 접근할 수 있도록 하고, 대전이라는 대도시의 수소 충전소 수요를 충족할 수 있는 최적의 입지를 분석하고자 한다.

II 본론

가) 이론적 배경



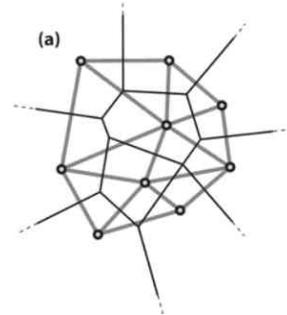
<Fig 1. 보로노이 다이어그램>

보로노이 다이어그램은 점 집합에 대해 각 점에서 가장 가까운 모든 점들의 영역을 정의하는 방법이다. 보로노이 다이어그램을 통해 점들의 영역을 정의 할 때는 평면의 점들 중에서 가장 가까운 두 점을 선택하고 선택한 두 점을 잇는 선분을 긋는다. 이후, 그 선분에 대한 수직이등분 선을 그어 영역을 분할한다. 이렇게 하여 만들어진 영역이 보로노이 다각형이다. 이를 수학적으로 정의하면, 다음과 같이 표현된다.

$$V(p_i) = \{x \in \mathbb{R}^2 | d(x, p_i) < d(x, p_j), \forall j \neq i\} \quad (\text{식1})$$

보로노이 다이어그램을 통해 각 충전소가 담

당하는 서비스 영역을 분석하고, 서비스가 과도하게 넓은 영역에 추가 충전소를 배치하여 충전소 영역의 균형을 맞출 수 있다. 이는 충전소 간의 중복 및 과잉 서비스를 방지하고, 서비스 접근성을 개선하는데 기여할 수 있다.



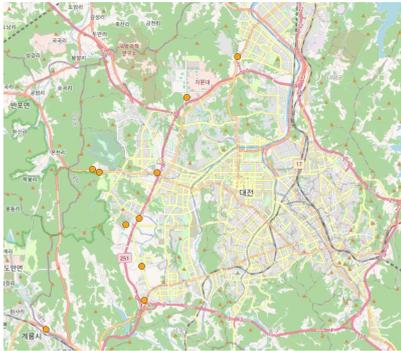
<Fig 2. 델로네 삼각분할>

델로네 삼각형은 보로노이 다이어그램의 쌍대 그래프로, 점 집합을 삼각형으로 연결하여 공간을 최적화하는 개념이다. 델로네 삼각분할은 각 점들을 잇는 삼각형으로 영역을 분할하는데 이때, 각 삼각형의 내각의 크기의 최대값이 최소값이 되도록 영역을 분할한다는 특징이 있다. 즉, 가능하면 거리가 최대한 비슷한 점들을 꼭짓점으로 하는 삼각형으로 영역을 분할하기 때문에 정삼각형에 가까운 삼각형들로 영역을 분할할 수 있으며, 각 선분의 길이를 최소화 할 수 있다. 또한, 델로네 삼각분할은 각 삼각형이 외접원 내에 다른 점을 포함하지 않도록 영역을 분할한다. 이는 보로노이 다이어그램에서 인접한 영역의 분리를 보완하며, 충전소 위치 최적화에 유용하게 사용될 수 있다. 델로네 삼각분할을 이용하면, 충전소 간의 거리와 위치를 최적화할 수 있으므로 충전소의 서비스 효율성을 극대화할 수 있다.

나) 최적 입지 도출

본 연구에서는 공공데이터포털의 수소 충전 인프라와 LPG 가스 충전 인프라 csv 파일을 사용했다. 수소 충전 인프라와 LPG 가스 충

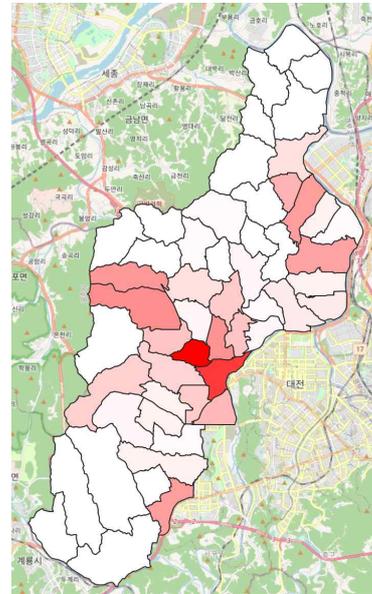
전 인프라를 지역에 대해 join하는 과정을 거치고, 공간 벡터 데이터(shp)로 변환한다. Biz GIs 사의 Geocodingtool64 를 활용하여 전처리 한다. 좌표계는 UTMK (EPSG:5179, 중부좌표계)로 설정한다. 주소에 대해서 엑셀 데이터의 공간 벡터 데이터의 변환하고 이후 인코딩을 EUC-KR 로 설정, 좌표계를 EPSG:5179 로 맞게 설정해주어, 속성 테이블 상에서 수소 충전 인프라 및 LPG 가스 충전 인프라 데이터를 공간 데이터로 변환했다.



<Fig 3. OpenStreetMap 지도>

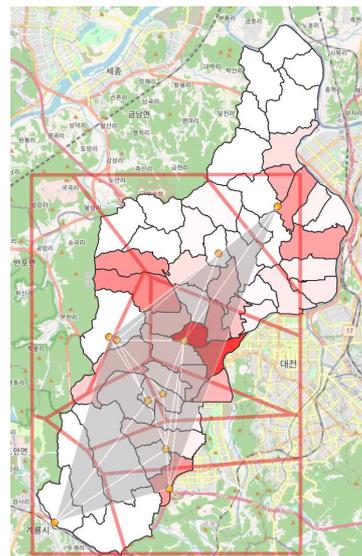
Fig 7와 같이, 수소 및 LPG 가스 충전 인프라가 정좌표로 표시된다. 이후, v-world에서 대전시 유성구의 행정구역 속성 벡터 데이터를 불러온다. 또한, 공공데이터포털에서 대전시 유성구의 수소 및 LPG 가스 충전소에 대한 유동인구 csv 데이터를 가져온다. 이때, 유성구 행정구역 데이터의 좌표계는 EPSG:5186이다.

이후, 유성구 행정구역에 대해 유성구 유동인구 데이터를 속성 join하는 과정을 거친다. 각각 데이터의 속성 테이블을 확인했을 때, 내용이 겹치는 필드는 행정구역의 EMD_NM(행정구역 이름)과 유동인구의 법정동명이다. 또한, 레이어 스타일 작업에서 유성구의 유동인구 숫자 데이터를 기준으로, 단계구분도(Choropleth Map)를 생성하기 위한 단계 구분 방법을 프리티 브레이크로 설정하고, 0~48421 값 사이에서 급간을 50단계로 둔다.



<Fig 4. 행정구역 구별>

제일 빨간 곳은, 구역 1(장대동~봉명동)이다. 그 다음으로, 구역 2(지족동~반석동), 구역 3(관평동~전민동), 구역 4(진잠동 일대) 등이 있음을 파악할 수 있다. 맨 처음 변수를 운전자 - 수소 충전 인프라 간의 거리로 둔 이상, 유동인구 값이 높은 구역을 중심으로 수소 및 LPG 융복합 충전 인프라를 설치할 필요가 있을 것이다.

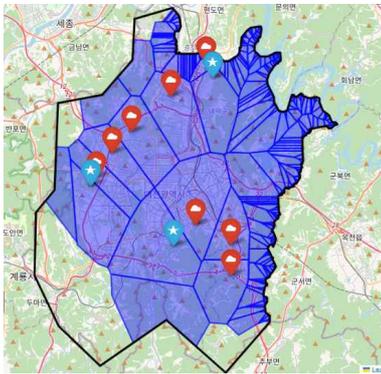


<Fig 5. 수소차 충전소 보로노이 다이어그램>

각각의 수소 충전 인프라, LPG 가스 충전 인프라에 대해 보로노이 다이어그램이 정상적으로 적용되었음을 알 수 있다. 하지만, 여

기서 서로 붙어있는 인프라의 경우, 접근성이 높음에도 일방적으로 선으로 분리되는 특징이 있다. 그리하여, 이 문제를 해결하기 위해 GIS 분석에서는 델로네 삼각분할도 같이 수행할 필요가 있다.

여기서 총 3 가지를 고려해 입지를 선정할 필요가 있다. 첫 번째로 유성구 행정구역별 유동인구, 두 번째로 보로노이 폴리곤, 세 번째로 델로네 삼각분할이다. 결과적으로 유동인구 값이 높으면서도 각각의 보로노이 폴리곤의 각 라인에 접하며, 델로네 삼각분할의 구역 내에 있는 구역이 수소 및 LPG 융복합 충전소를 설치하기에 가장 적합한 장소일 것이다.



<Fig 6. 보로노이 다이어그램 기반 장소 추천 시스템>

<Fig 5>와 같이 분석할 경우 새롭게 수소차 충전소를 설치할 위치의 대략적인 정보를 얻을 수 있지만 정확히 어디에 설치했을 때 그 효과가 가장 큰지 알 수 없다. 이에 보로노이 다이어그램 기반 장소 추천 시스템은 충전소 간의 서비스 영역을 시각적으로 분석하고, 인공지능 최적화 기법을 활용하여 기존 인프라의 효율성을 개선하고 새로운 충전소의 입지를 최적화하기 위한 도구를 개발했다. 이 시스템은 대전 유성구 내 수소 및 LPG 융복합 충전소의 위치를 기반으로 보로노이 폴리곤을 생성하고, 각 폴리곤이 커버하는 서비스 영역을 정의한다.

보로노이 다이어그램을 통해 각 충전소의 서비스 범위를 분석하고, 서비스 접근성이 낮거나 과도하게 넓은 영역을 담당하는 충전소

를 식별한다. 이러한 불균형을 해결하기 위해 서비스 영역이 큰 구역에 추가 충전소를 배치하여 최적의 균형을 맞춘다. 델로네 삼각분할을 통해 충전소 간의 연결성을 분석하고, 충전소 간의 거리를 최적화해 중복 서비스와 비효율성을 줄인다.

$$Loss(S) = \frac{-1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{M_i} \sum_{j=0}^{M_i} \|p_i - p_j\| \right) \quad (식2)$$

본 연구에서는 최적화 기법으로 L-BFGS-B 알고리즘을 사용하였다. 목적함수는 보로노이 다이어그램을 통해 정의된 각 충전소의 최대 서비스 반경을 최소화하는 것이다. 이를 통해 충전소 간의 서비스 영역을 균등하게 분배하고, 접근성을 극대화하였다. Python을 활용해 충전소 위치 데이터를 기반으로 보로노이 다이어그램을 생성하고, 최적화 과정을 통해 도출된 최적의 충전소 위치를 시각화하였다. 손실 함수에서, S는 충전소들의 위치 집합을 나타내며, 각 충전소는 경도와 위도로 표현됩니다. 각 충전소의 위치는 p로 표시되며, p는 Voronoi 셀의 정점들과의 거리를 계산하는데 사용됩니다. 각 충전소의 Voronoi 셀에 포함된 정점의 수는 M으로 나타내며, 전체 충전소의 수는 N입니다. 최적화는 충전소의 위치를 조정하여, 각 충전소에서 Voronoi 셀 정점까지의 거리 합을 최소화하는 방식으로 이루어집니다. 또한, 충전소들은 Daejeon 경계 내에 있어야 한다는 제약이 있습니다. 결과적으로, 본 시스템은 대전 유성구 내 유동인구 데이터와 충전소의 공간적 분포를 통합하여 최적의 충전소 위치를 추천한다. 이를 통해 충전소 접근성을 높이고 인프라 배치를 효율적으로 개선할 수 있는 전략적 방안을 제시한다. 인공지능 기반 최적화는 충전 인프라의 효율성과 접근성을 극대화하는 데 중요한 역할을 한다.

III 결론

본 연구는 대전 유성구 내에서 수소 및 LPG 융복합 충전소의 최적 입지를 도출하고, GIS 분석을 통해 도심 내 효율적인 충전소 배치를 제안하였다. 이러한 배치는 수소차 인프라의 접근성을 크게 향상시킬 수 있으며, 장기적으로 수소차 수요 증가에 대응할 수 있는 전략적 기반을 마련할 수 있다.