

분산 에너지자원의 효율적인 공급을 위한 폐철도 부지의 태양광 발전 잠재성 분석

-빅데이터분석 (과제3: 국공유 유휴부지를 활용한 태양광 입지발굴)-

동아대학교 컴퓨터시공학부
TEAM: 칙칙폭폭
김지선(발표자), 김건한, 김정수

2022년 09월 16일

C O N T E N T S

I . 제인배경

II . 사전분석

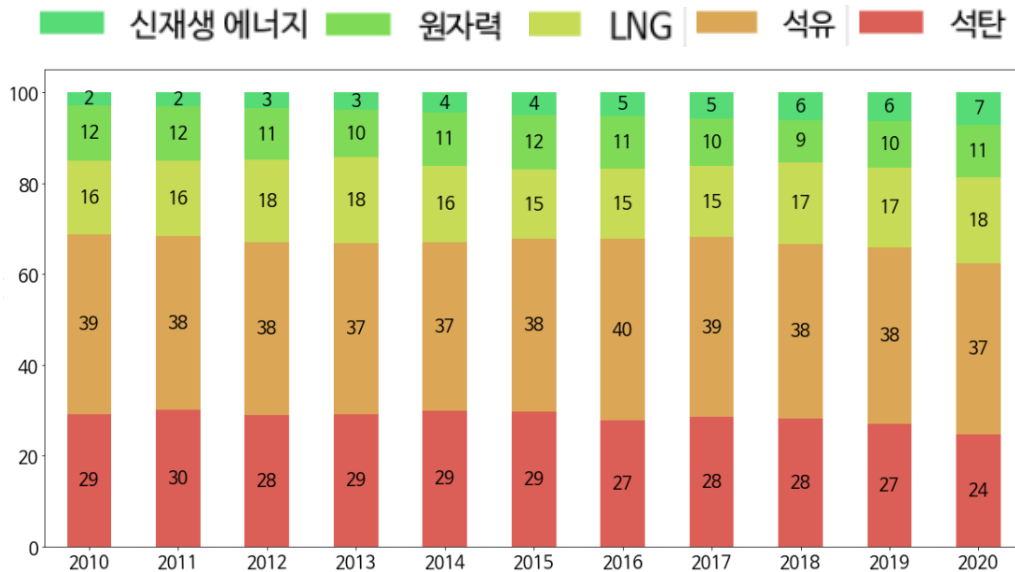
III . POPE 기반 빅데이터 분석 및 결과

IV . 사용데이터 및 개발환경

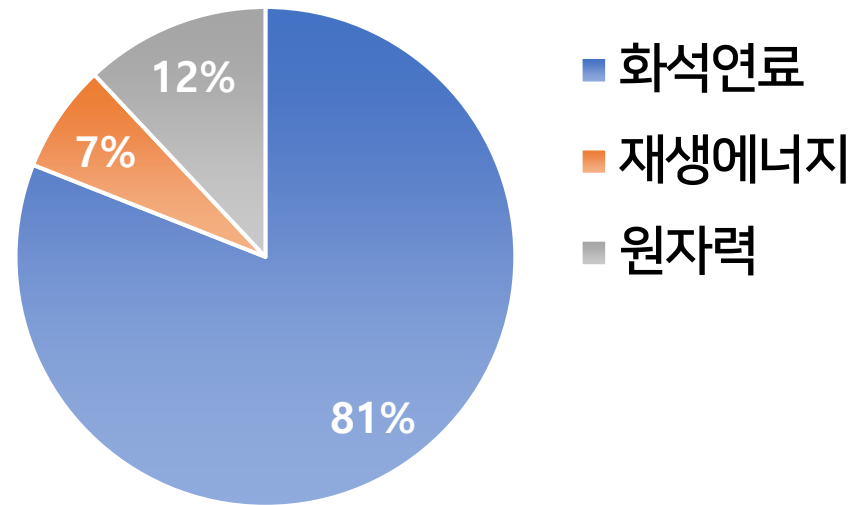
1 화석에너지 고갈에 따른 재생에너지의 증설 필요

신재생 에너지 증가의 필요성

- 2010년부터 2020년까지 국내 **최종에너지 수급은 대부분 화석에너지에 의존**하고 있고, 재생에너지는 약 7%에 불과함
- 그런데 화석에너지는 2040년이면 고갈될 것이라 예측되어 **그 이전에 재생에너지 증설이 시급함**



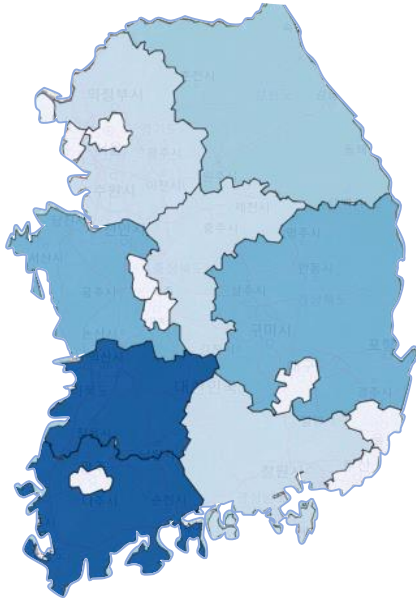
<최근 10년 에너지 수급 현황>
2021년 e-나라지표 데이터 사용하여 분석



<2021년 에너지 수급 현황>
2021년 e-나라지표 데이터 사용하여 분석

1 현재 태양광 발전 시장의 동향

기존에 태양광이 설치된 입지

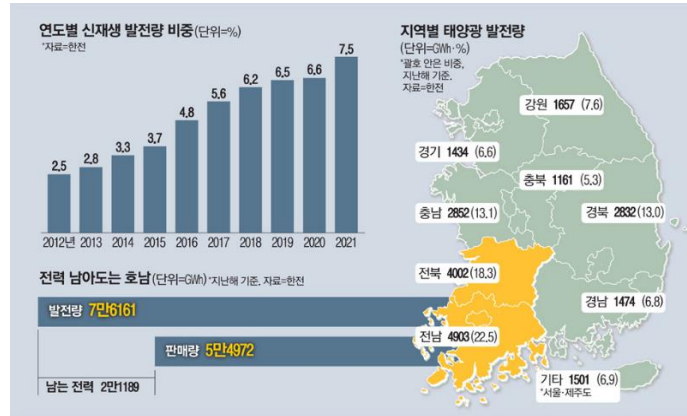


지역별 태양광 발전소 누적 설치 현황

2022년, 재생에너지 클라우드 플랫폼의 데이터로 분석

- ◎ 전남·전북지역 발전량이 전체의 40.8%를 차지
- ◎ 기존의 태양광 발전소는 대다수 전남 지역에 몰려있음

특정 지역에 집중된 태양광으로 인한 전력 과공급



출처: 매일경제 뉴스

- ◎ 태양광 발전이 집중된 지역은 수요이 상으로 전력이 과하게 생산
- ◎ 생산된 전력의 약 30%가 버려져 수익성 떨어지고 산림 훼손 침수 피해 등 민원 급증
- ◎ 경제성이 떨어져 스스로 허가를 반납하거나 아예 사업을 포기하는 '폐업' 절차를 밟는 경우도 속출

분산형 태양광 발전으로 전환 필요



[사진=dreamstime]

- ◎ 분산된 입지로 전환을 통해 에너지 효율 극대화
- ◎ 손실 전력의 최소화 가능
- ◎ 전국 각지역의 태양광 전력 소비 증대
- ◎ 계통 연계비용 최소화
- ◎ 정부는 2050 탄소중립 추진전략에서 분산형 에너지 활성화를 목표로하여 계통 안정화 제고중

1 빅데이터 분석과제 목표

과제3: 빅데이터를 활용한 국공유 유휴부지 태양광 입지 발굴

○ 과제 내용

- 태양광 입지 관련 정보 종합 분석
 - 항공사진 및 수치지도 활용 적합 부지 확인
 - 태양광 설치 가능 부지에 대한 정보 제공

○ 과제 목적

- 태양광 설치 가능한 국공유 유휴부지를 발굴
 - 항공사진, 국공유지 입지정보, 계통, 경제성 등 종합적인 정보 분석을 수행
- 이를 활용하여 생산한 전력을 공공에 공급하고 추후 개인 소유주택에 공급 확대

1 국공유 유휴부지

○ 국공유 유휴부지란?

“국가 소유의 사용하지 않는 땅을 의미”



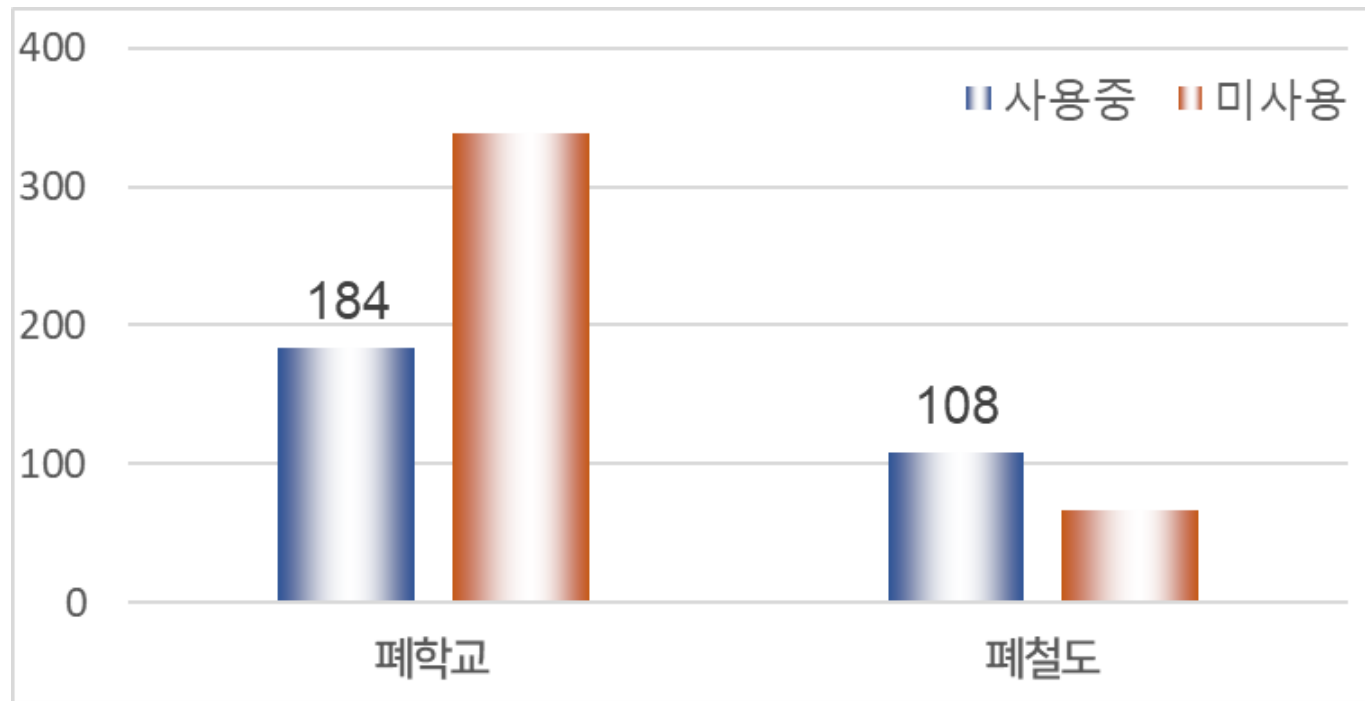
폐학교



폐철도

2 데이터가 공개된 폐학교와 폐철도를 분석

- 데이터가 공개된 면적이 큰 유희부지는 폐학교와 폐철도만 존재
- 폐학교와 폐철도 데이터의 유희 면적을 집중적으로 분석
- 폐학교가 폐철도에 비해 미사용 면적이 넓음
 - 이외에도 자잘한 서울시 자투리땅 등의 유희부지가 있었지만 크기가 매우 작아 제외함



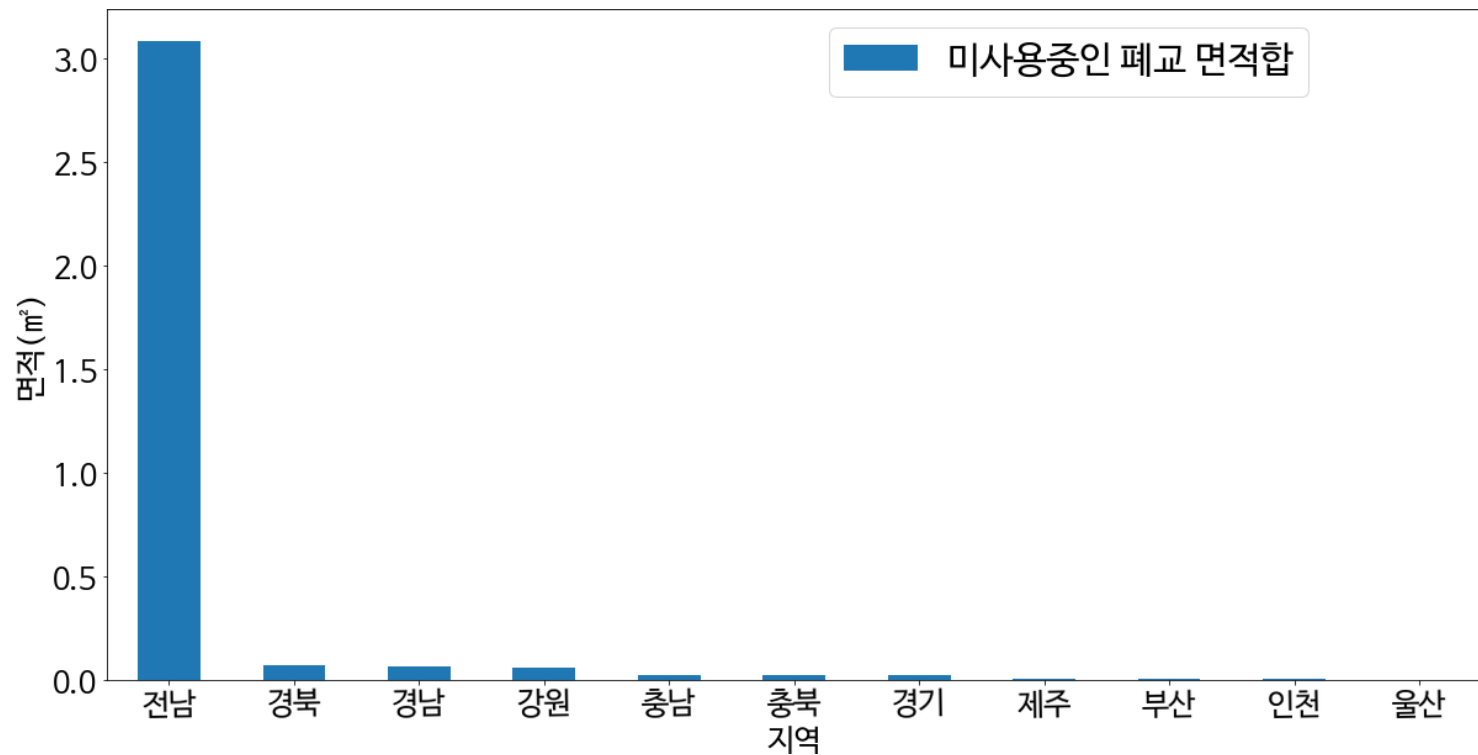
〈최근 10년에너지수급현황〉

2 폐학교의 유허부지의 90%가 태양광 과공급 지역에 분포

- 폐학교의 유허 부지는 대다수 **전남에 몰려 있음**
- 태양광을 설치 시 이미 과공급 되는 지역에 추가 보급하는 문제가 발생
 ☞ **폐학교 부지는 본 과제에서는 배제하였음**



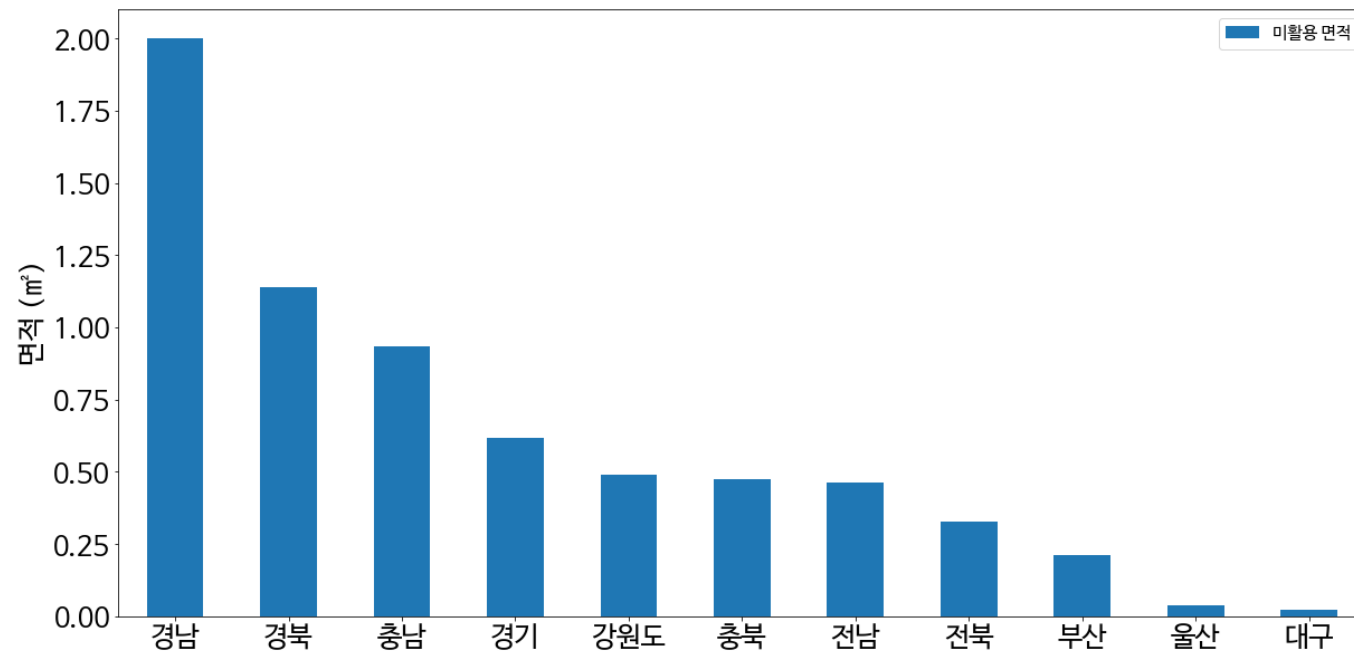
〈지역별 태양광 수요-공급 비율〉



〈지역별 미활용중인 폐교수의 유허면적 합〉

2 폐철도 유희부지는 전국에 고르게 분포

- 폐철도 유희부지는 경북, 경남, 충남 등 전국에 **고르게 분포**되어 있었음
- 철도는 송전탑 주위에 건설되어 철도 유희부지는 계통과의 연계가 용이
- 폐철도 부지의 특성상 **구간으로 존재(연결되어 있어)**해서 **발전 설비 집약 가능**
 👉 따라서 폐철도를 주요 분석 대상으로 삼고 **POPE 심화분석 진행**



〈미활용 폐철도의 지역별 유희면적 시각화〉

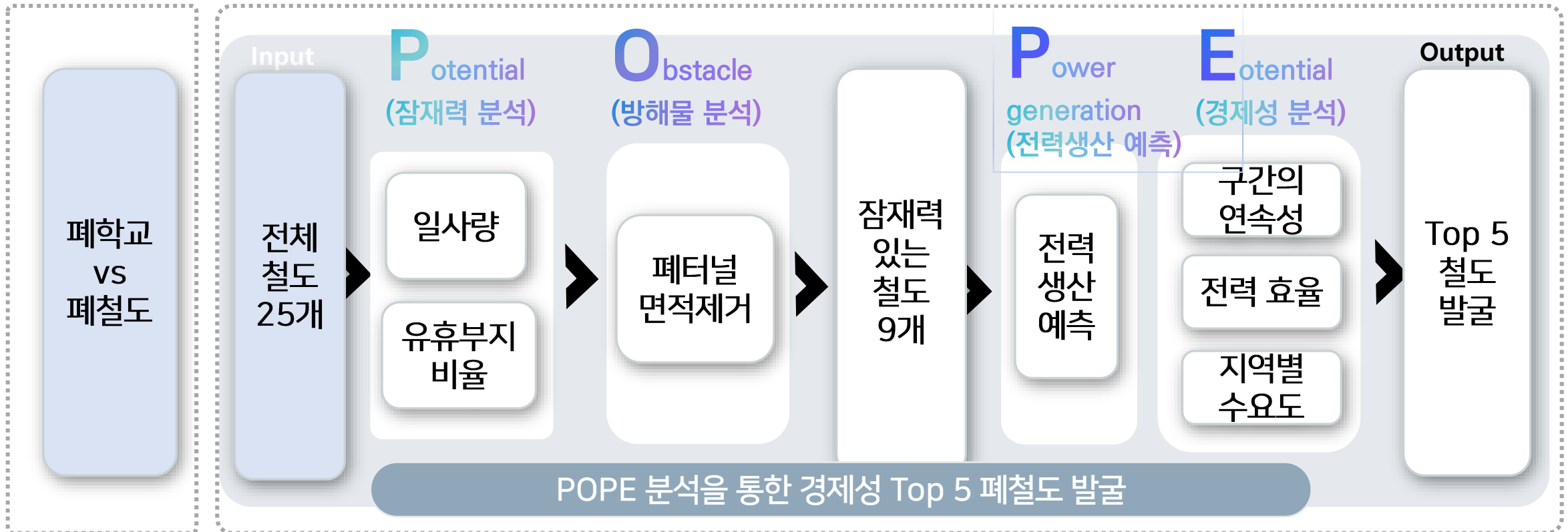


〈전체 폐철도의 분포〉

- 태양광 입지 관련 정보 종합 분석을 바탕으로 POPE 심화분석을 진행하였음

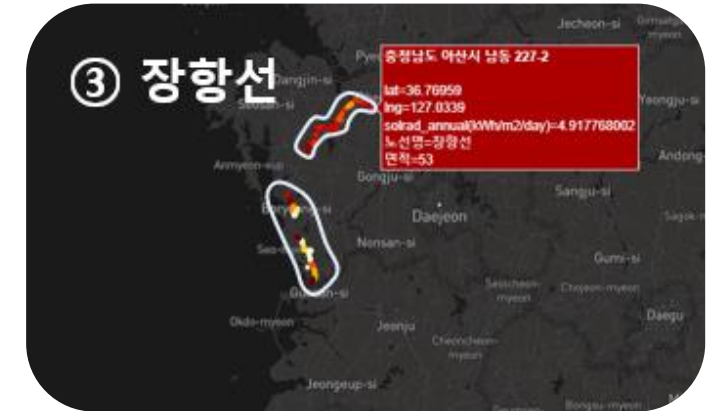
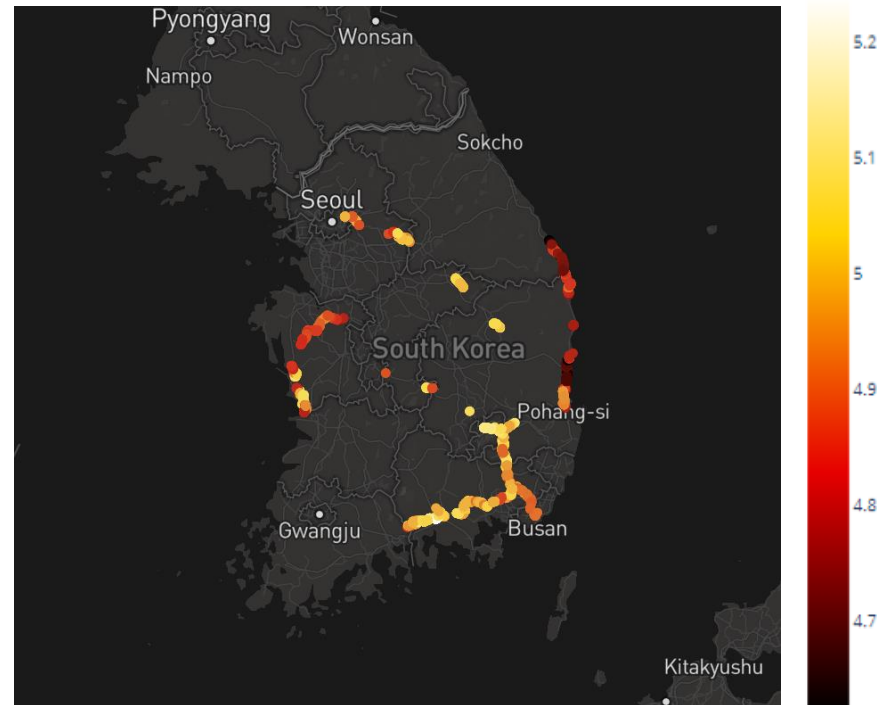
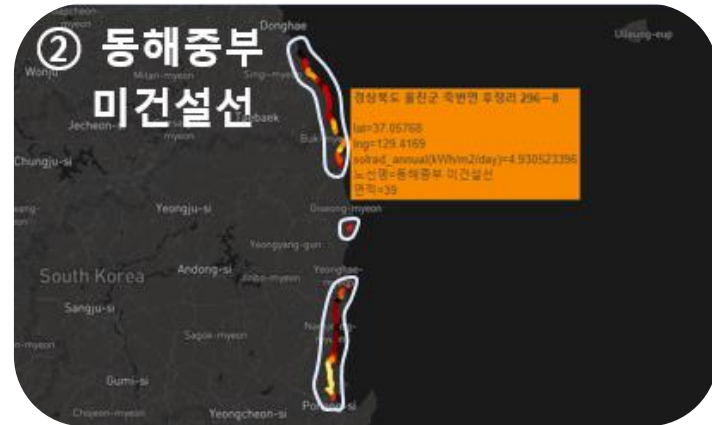
태양광 입지
종합분석

POPE 4단계 분석



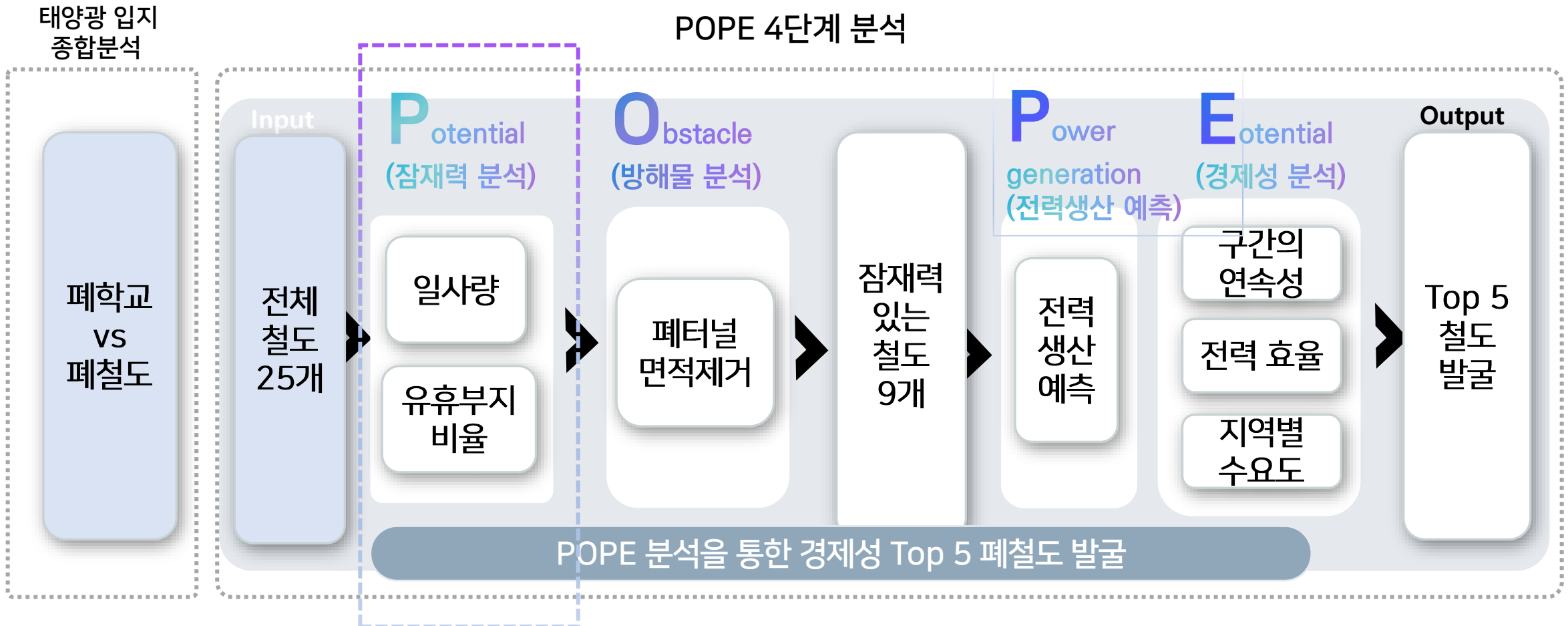
최종: 태양광 발전 시 높은 효율성을 갖는 폐철도 구간 TOP5

- POPE 심화 분석 결과, 효율성 높은 TOP5을 도출
경전선, 동해중부 미건설선, 장항선, 중앙선, 경부선

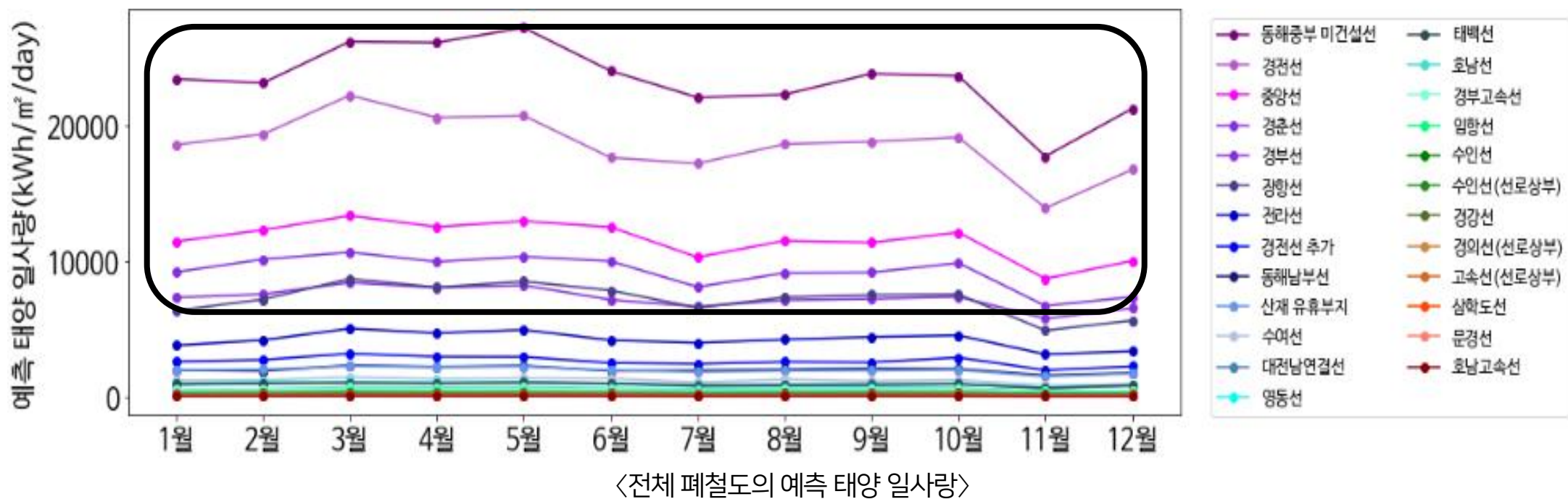


3 POPE 1단계(P) – 잠재력 분석 단계

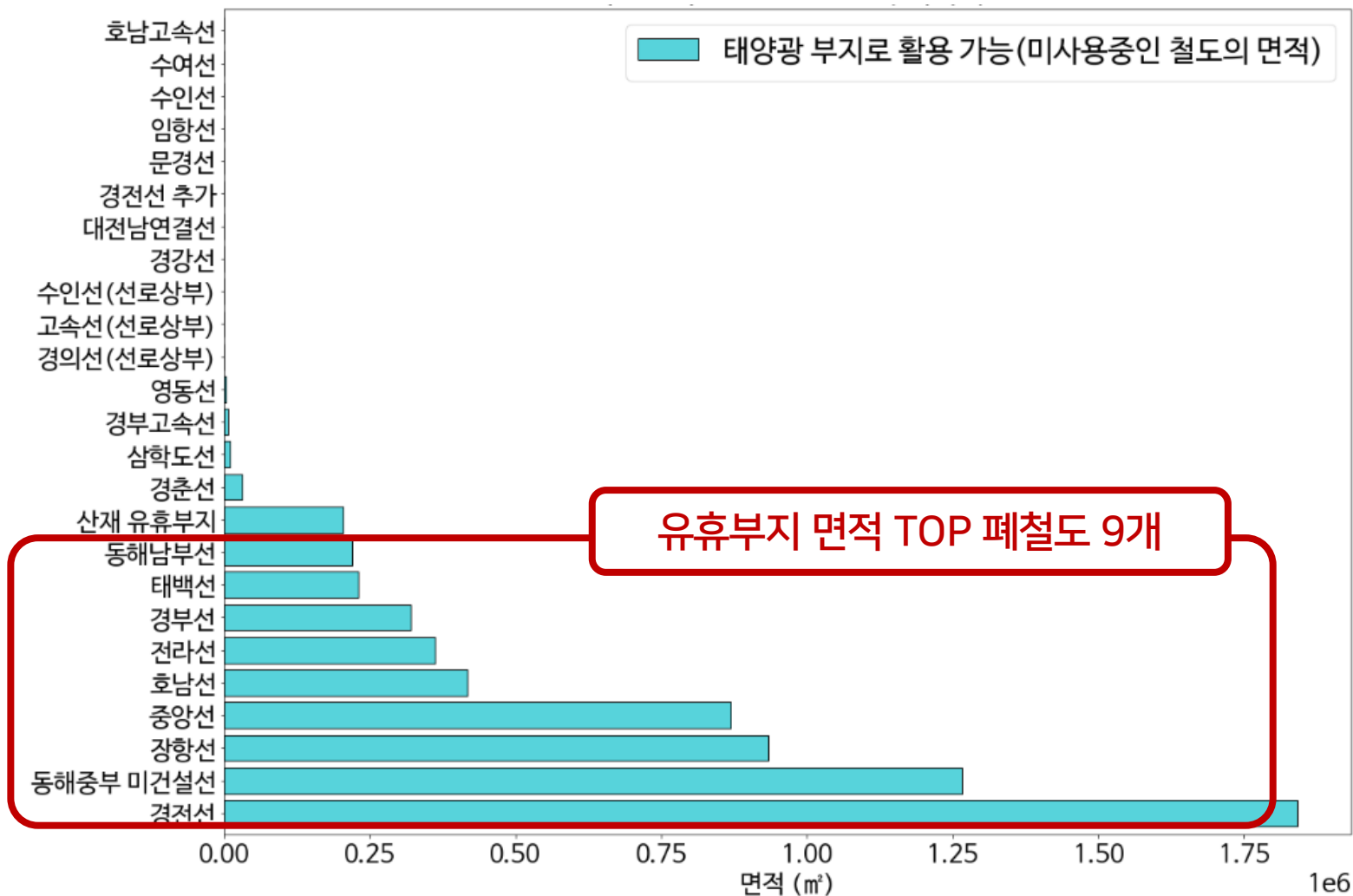
- 태양광 입지 관련 정보 종합 분석을 바탕으로 POPE 심화분석을 진행하였음



- 일사량이 높은 순서 (TOP7)
동해중부 미건설선 > 경전선 > 중앙선 > 경춘선 > 경부선 > 장항선 > 전라선
- 일사량 TOP 7개 철도의 일사량 총합이 나머지 18개 철도의 합보다 3배 큼
=> TOP 7는 높은 잠재 일사량을 보유한 철도임



P 유휴부지 면적이 높은 상위 폐철도를 선정



〈폐철도의 노선별 유휴면적〉

- 높은 일사량이라도 태양광 발전 설치가 불가능한 경우가 발생
⇒ 다른 용도로 활용 중
- 전체 폐철도 유휴면적 분석 결과 다음 9개가 유휴부지 면적이 큰 폐철도로 분석됨.

TOP9

1. 경전선
2. 동해중부 미건설선
3. 장항선
4. 중앙선
5. 호남선
6. 전라선
7. 경부선
8. 태백선
9. 동해남부선

*산재 유휴부지는 불연속적 노선 구간이므로 부지에서 제외

P | 일사량과 유희부지 면적이 큰 폐철도 9개를 선정

일사량 TOP 7

동해중부 미건설선, 경전선, 중앙선, 경춘
선, 경부선, 장항선, 전라선

유희면적 TOP 9

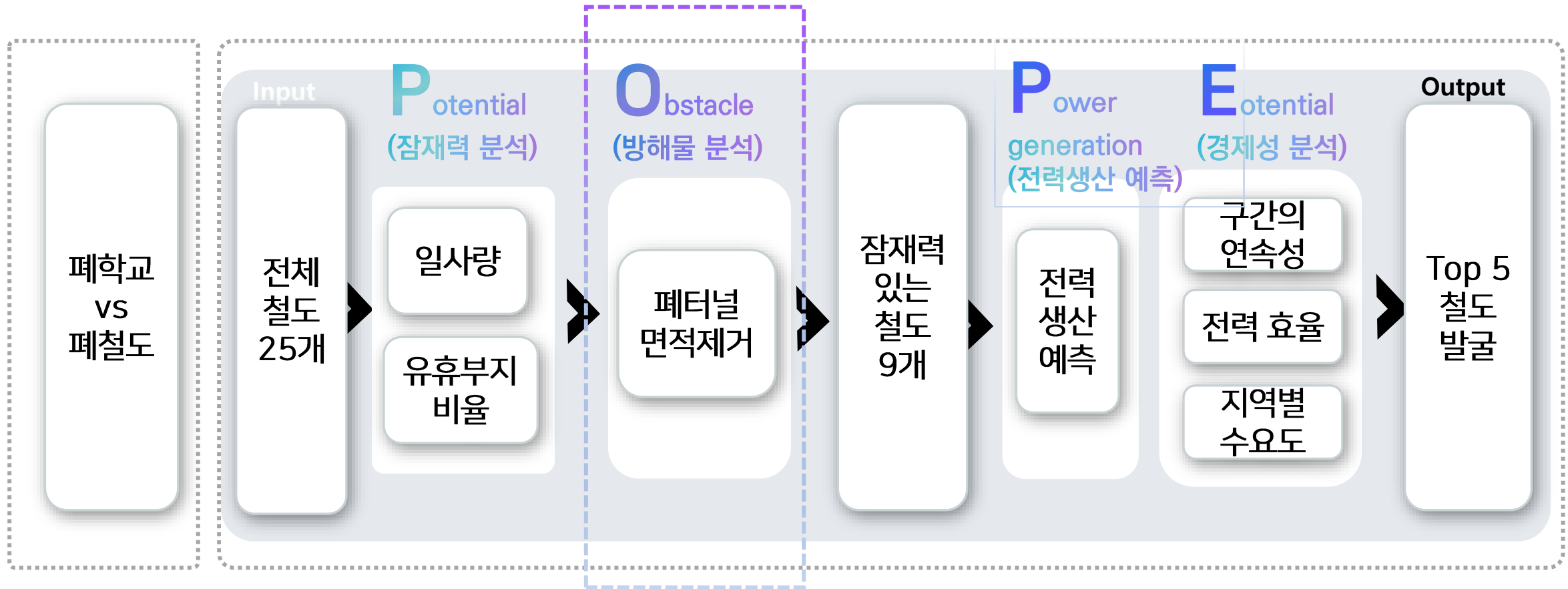
동해중부 미건설선, 경전선, 중앙선, 경부선,
장항선, 전라선, 호남선, 동해 남부선, 태백선

잠재력 있는 폐철도 Top 9

동해중부 미건설선, 경전선, 중앙선, 경부선, 장항선,
전라선, 호남선, 동해 남부선, 태백선

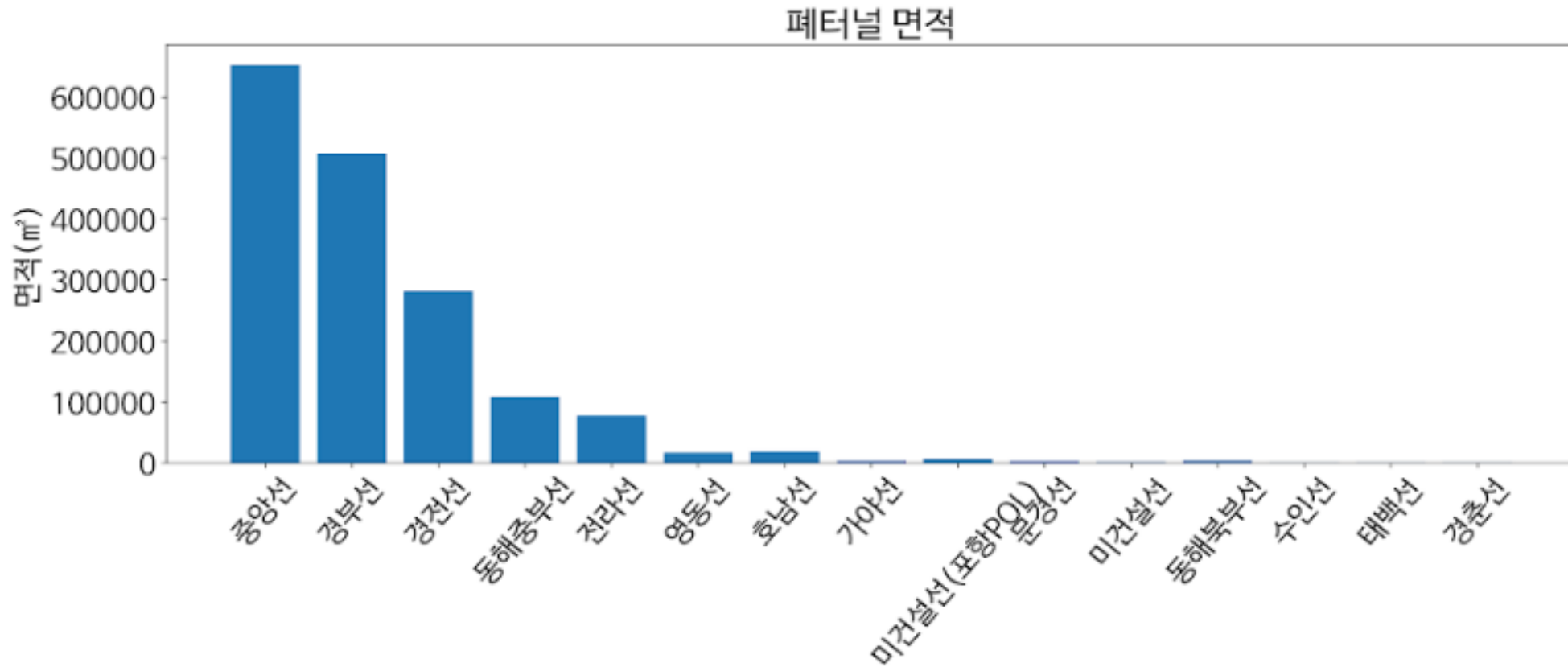
- 일사량 및 유희면적이 큰 폐철도가 태양광 발전의 잠재력이 있는 폐철도임.
- 잠재 일사량이 크지만 유희 면적이 없는 경춘선을 제외하고 이들의 합집합으로 9개의 폐철도를 잠재성 있는 철도로 선정
- 따라서 잠재성 있는 폐철도는 일사량과 면적이 크고 실제로 유희부지로 사용가능한 폐철도를 뜻함
 - 9개 중 6개는 일사량 및 유희면적이 모두 상위인 철도임 (아래 그림에서 파란색 글씨로 표시된 폐철도)

3 POPE 2단계(O): 방해물 분석 단계



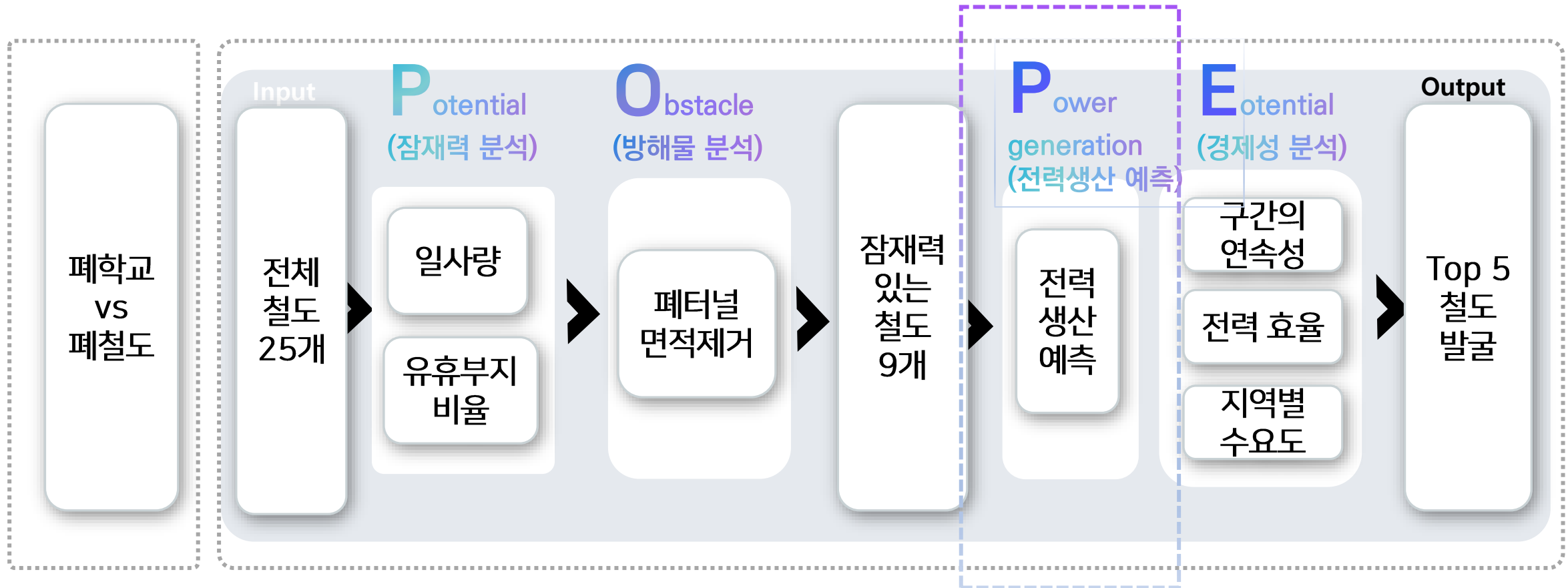
O 페터널 구간 제거를 통해 더 정확한 전력 생산량을 예측

- 터널안에서는 태양광 발전이 불가능
- 다음 분석을 진행하기 전에 이전 단계에서 선정된 9개 폐철도에서 태양광 발전이 불가능한 터널 구간을 제거를 통해 더 정확한 전력 생산량을 예측했다.

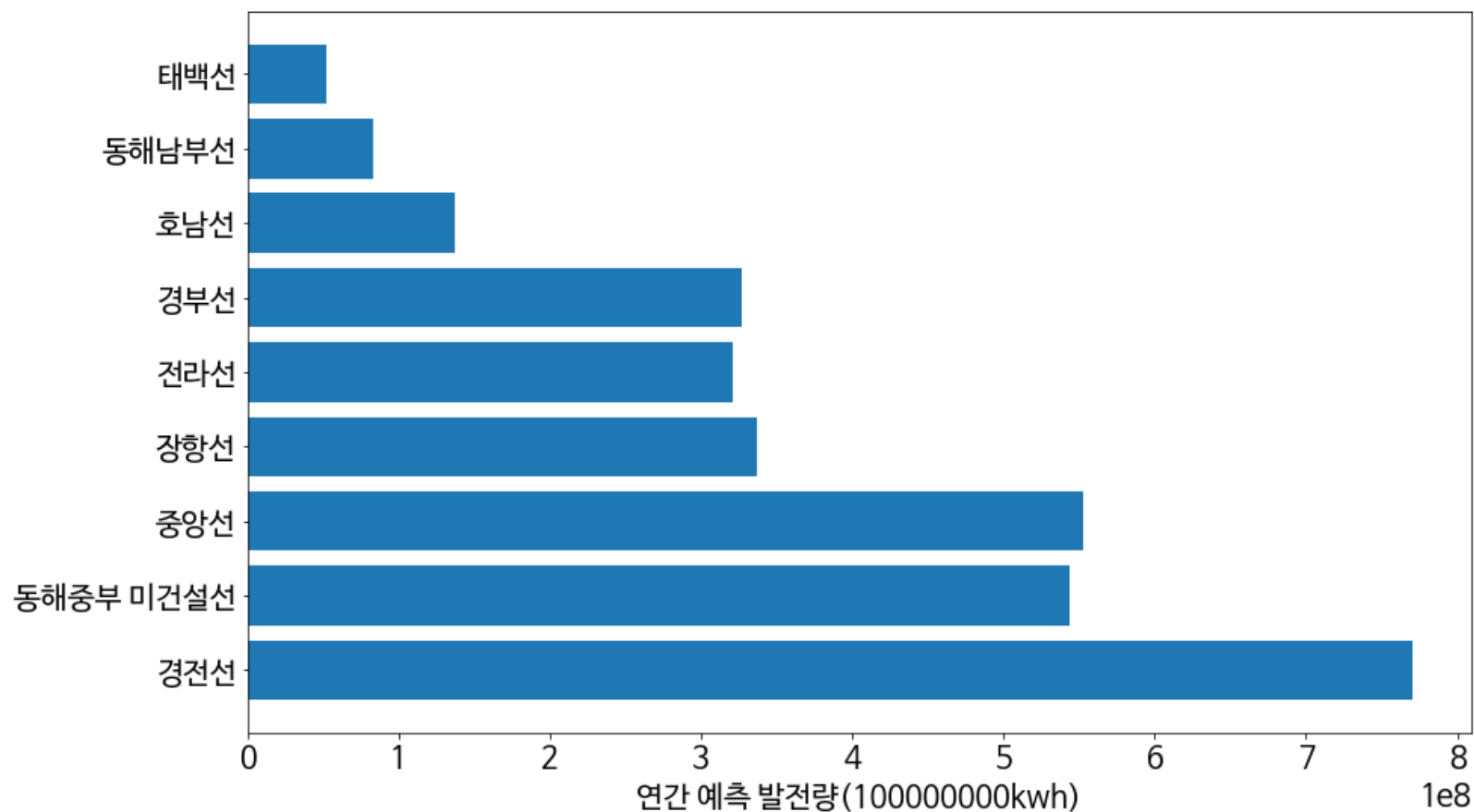


〈잠재력 폐철도 9개에 존재하는 페터널의 유효면적 분석〉

3 POPE 3단계(P): 전력 생산 예측



- Nrel PVWatts를 사용하여 잠재력 있는 철도 9개의 연간 예측 전력 발전량을 계산



〈잠재력 있는 폐철도 9개의 총 전력 생산량〉

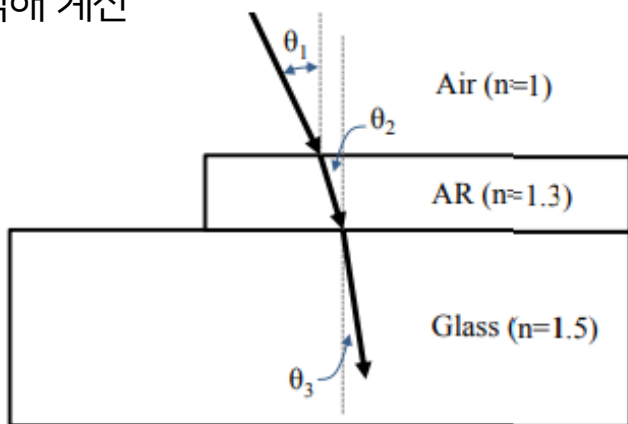
- NREL PVWatts®R 계산기는 미국 국립 재생에너지 연구소에서 개발한 태양광에서 생산되는 전력을 예측하는 모델
- 웹기반의 실제 성능과 일치하도록 에너지 예측 알고리즘을 업데이트해 일반적인 시스템보다 정확하게 모델링도록 설계됨
- 폐철도 구간의 방위각·위도·경도·면적 파라미터 값과 함께 API를 호출 ⇒ 구간 일사량과 전력 예측량 값을 구함
- 폐철도의 행정구역 주소를 WGS84 좌표체계로 변환

태양일사량 예측

- PVWatts는 고정, 1축 또는 2축에 대한 입사각(AOI) 계산을 수행

$$\alpha_{fixed} = \cos^{-1} [\sin(\theta_{sun}) \cos(\gamma - \gamma_{sun}) \sin(\beta) + \cos(\theta_{sun}) \cos(\beta)]$$

- 시스템은 주어진 입사각에 대한 표준 기하학적 계산을 통해 실시간 시간별 태양열을 추적해 계산



전력 생산 예측

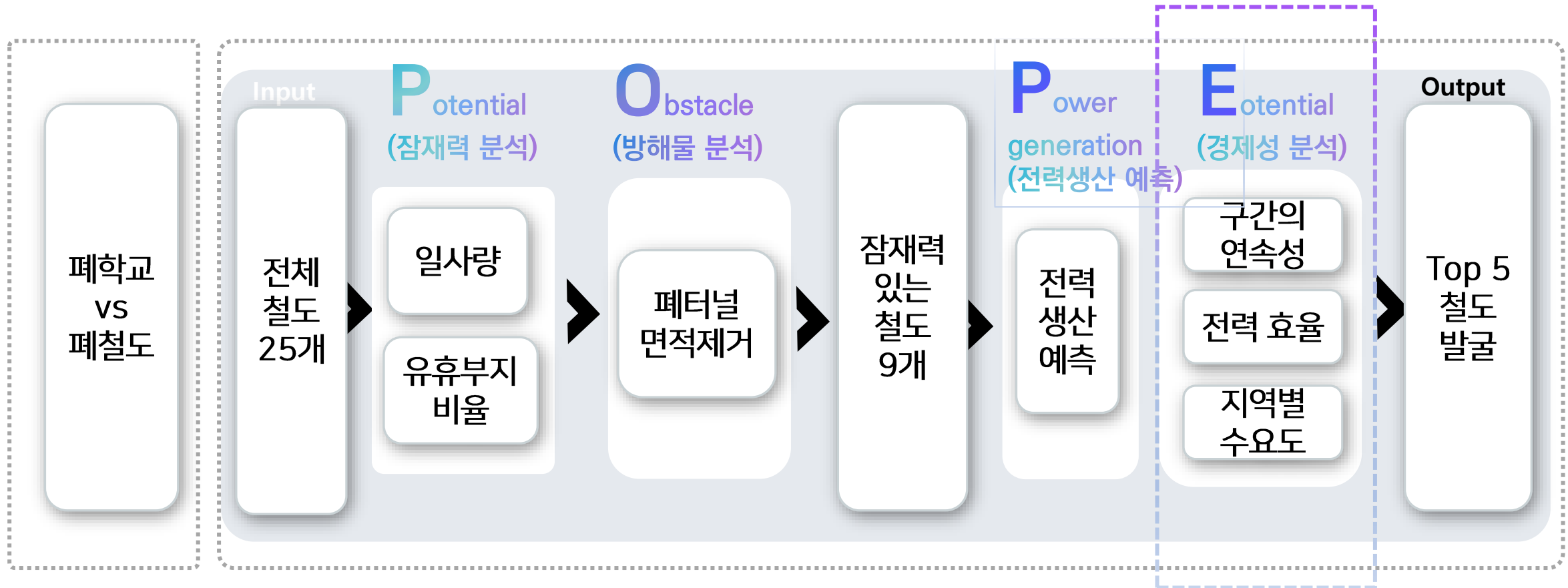
- PVWatts 모듈은 지정된 명판 DC가 있는 DC 전력을 계산
- 시스템 사양 및 시간당 복사조도를 기반으로 시간당 출력을 보고

$$P_{dc} = \frac{I_{tr}}{1000} P_{dc0} (1 + \gamma(T_{cell} - T_{ref}))$$

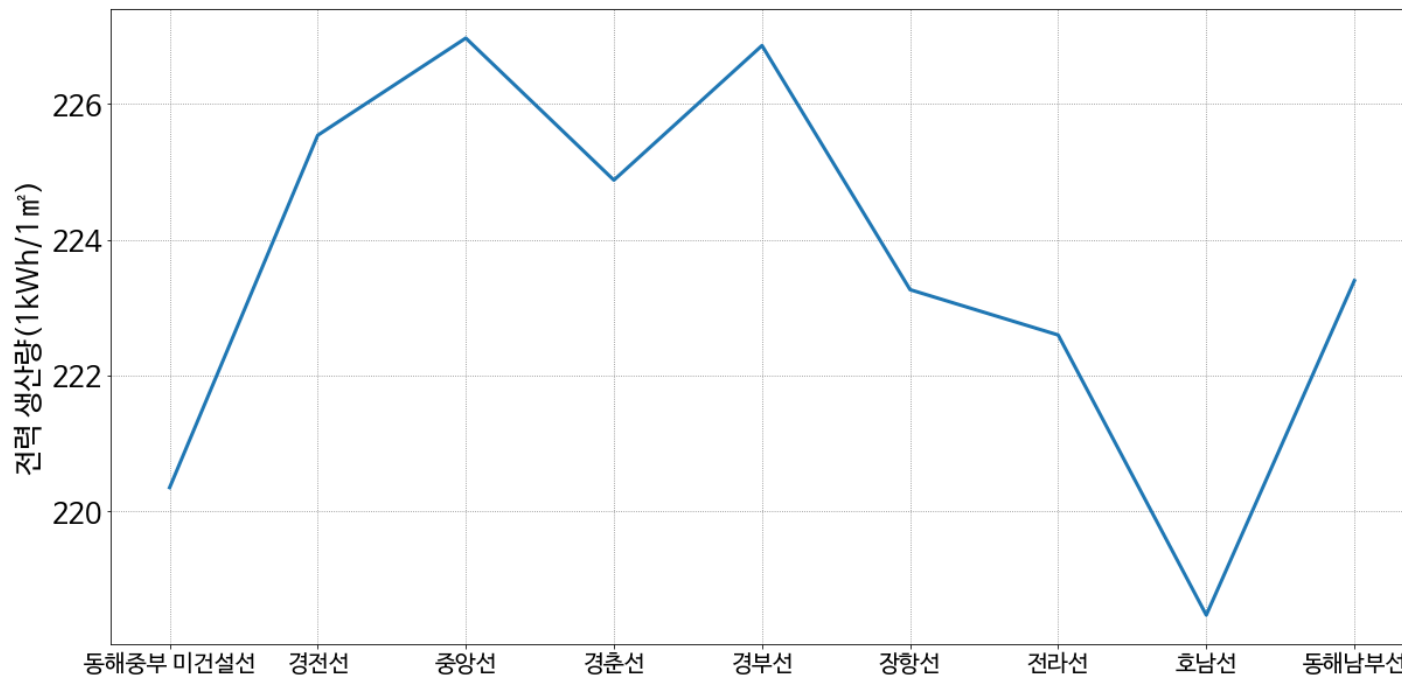
- 시간당 출력 DC 및 AC 전력도 월별 및 연간 에너지 총계로 집계

$$POA_m = \frac{0.001 \cdot \sum_m POA_h}{\text{number of days in month } m}$$

3 POPE 4단계(E): 경제성 분석을 통한 경제성 높은 폐철도 TOP5 도출

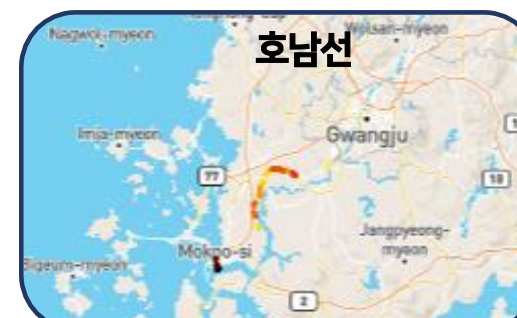
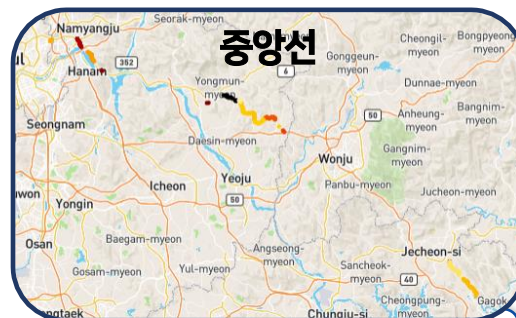
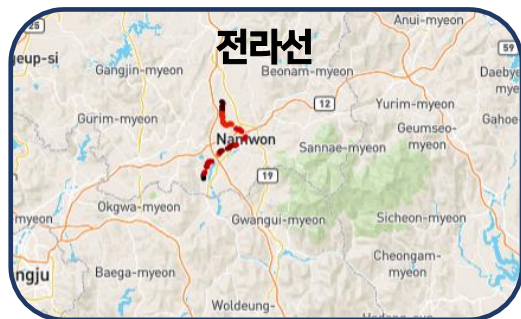
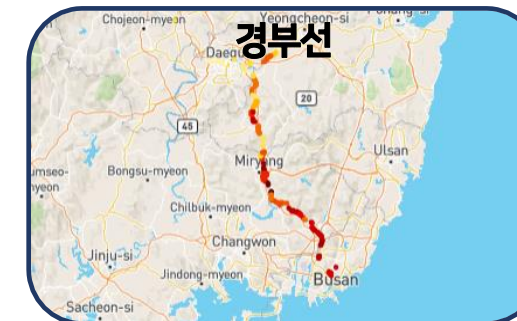
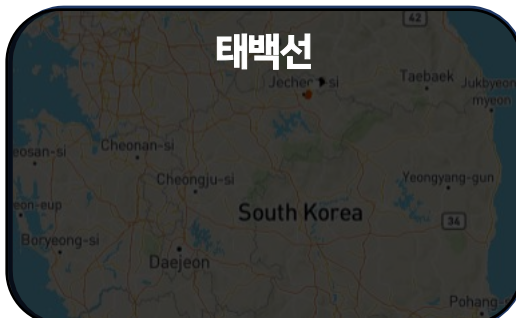
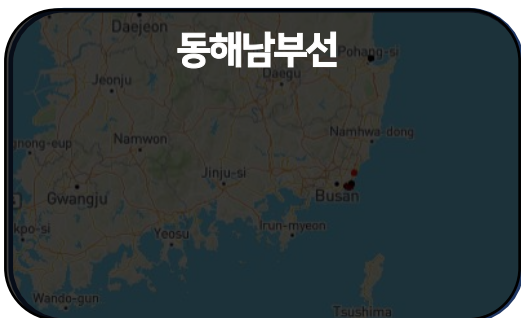
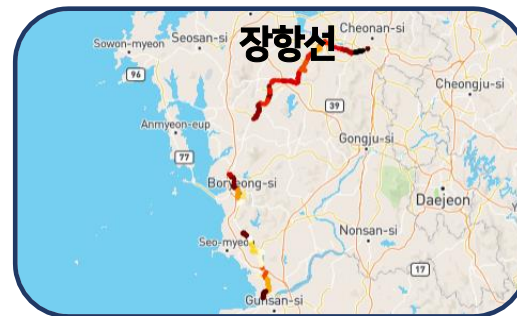
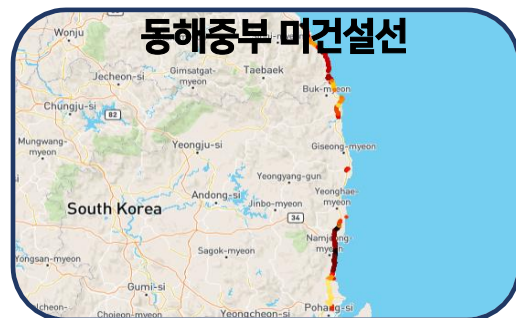
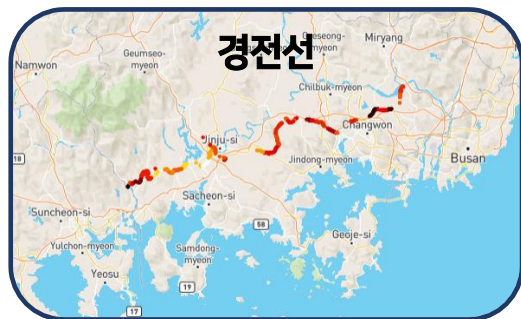


- 폐철도의 단위면적당 전력생산량 분석을 통해 철도별 효율을 분석해본 결과
- 잠재력 있는 폐철도 9개 중에서는 호남선이 가장 낮은 전력 생산 효율성을 보임
- 전력 생산 효율이 떨어지면 결과적으로 낮은 경제성을 보임



〈잠재력 있는 폐철도의 전력 생산 효율 분석〉

- 구간별 연속성 분석 결과 동해남부선과 태백선의 면적이 너무 작고 연속되어 있지 않음
⇒ 동해남부선과 태백선을 경제성 높은 철도에서 제외함



일사량
낮음

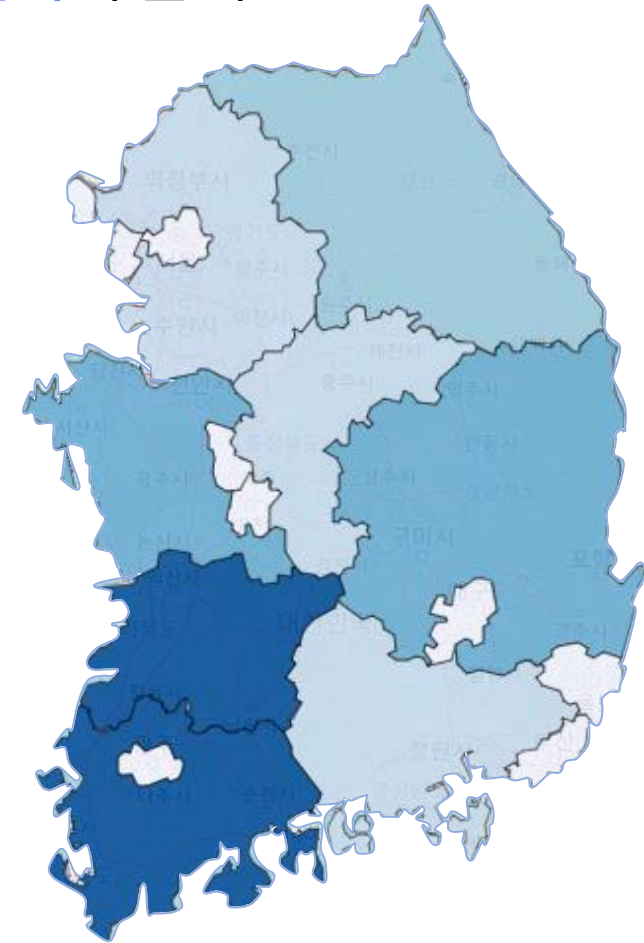
일사량
높음

E 폐철도가 위치한 지역의 전력 수요도를 분석

- 지역별 전력 수요도 분석 결과 과공급 지역 존재
- 남은 폐철도 중 전라선과 호남선은 태양광 전력 과공급 지역에 존재
- 기 과공급 지역에 추가 설치시 경제성이 떨어짐
⇒ 전라선과 호남선은 경제성 높은 폐철도에서 제외

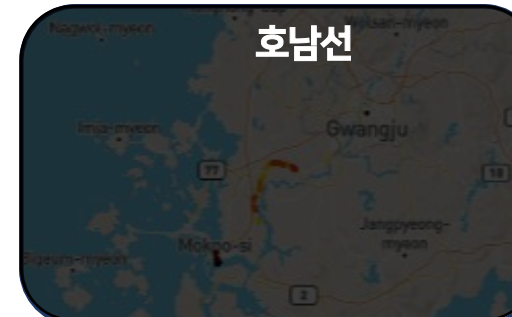
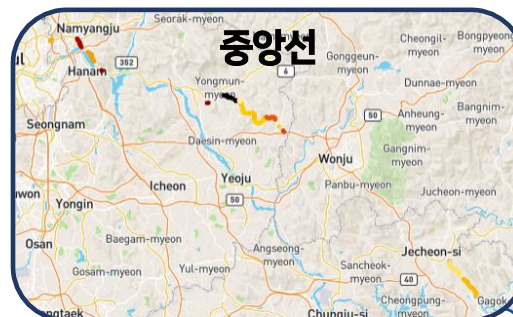
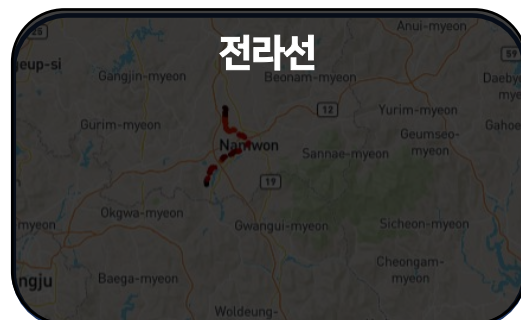
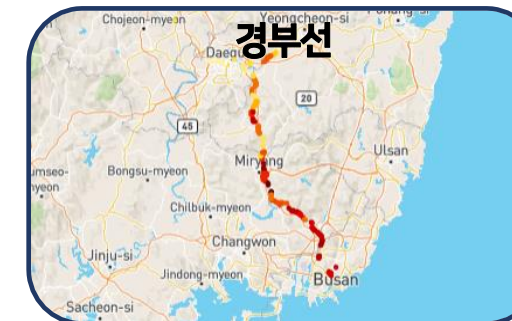
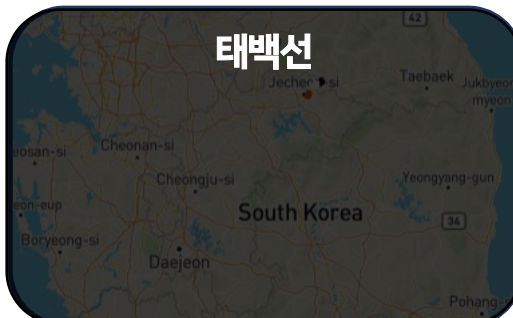
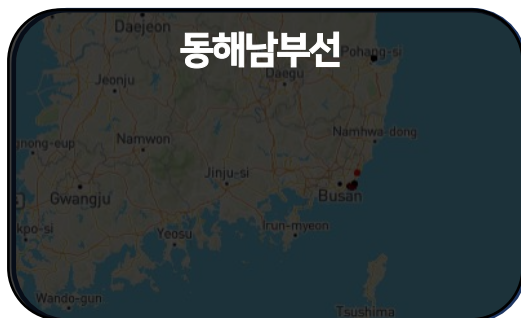
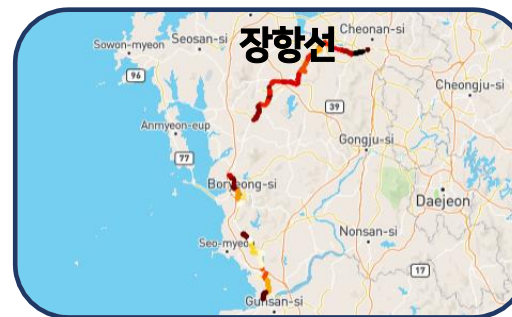
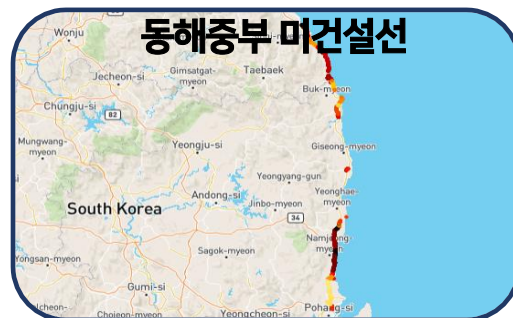
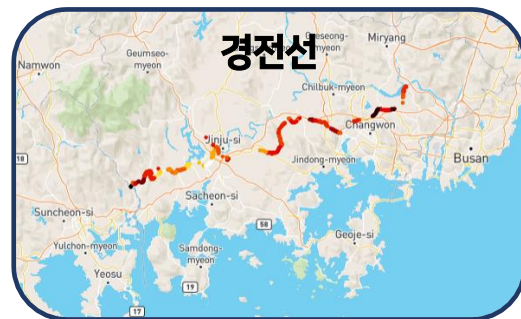
No	폐철도명	위치 지역	합 계
1	경전선	경남	
2	동해중부 미건설선	경북	
3	장항선	충남	
4	경부선	경기	수요 多
5	중앙선	충북	
6	전라선	전남	공급 多
7	호남선	전남	공급 多

기 태양광 과공급 지역



〈2021년 지역별 전력 수요도 분석 결과〉

- 철도 구간 연속성의 평가 결과로부터 일부 구간을 배제(동해남부선, 태백선) + **지역별 전력 수요대비 전력과공급 구간을 배제(전라선, 호남선)**



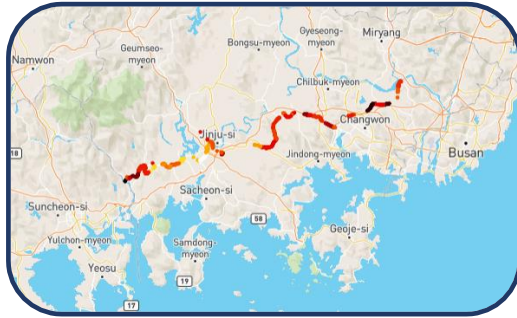
일사량
낮음

일사량
높음

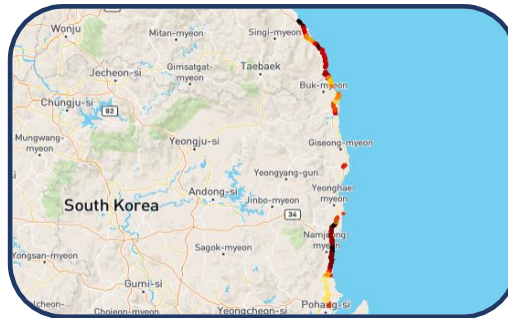
E 가장 경제성 높은 폐철도 TOP5를 발굴

- 최종적으로 폐철도별로 위치한 지역의 수요도와, 폐철도 구간의 연속성, 전력효율을 고려해서 **상위 5개의 폐철도를 가장 경제성 높은 폐철도로 선정함**
- 선정된 폐철도들은 전력 생산 효율도 높고 전력 수요가 높고 연속되어 있어서 지역에 위치한 폐철도여서 경제성이 매우 높음

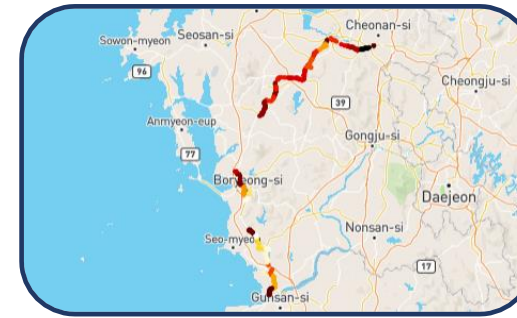
경전선



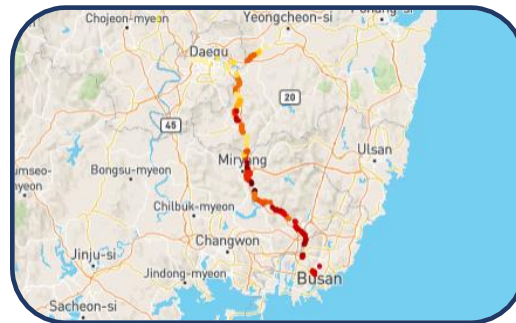
동해중부 미건설선



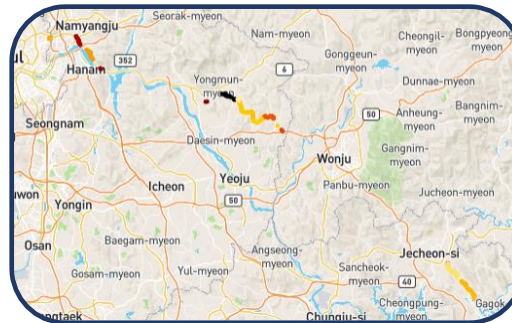
장항선



경부선



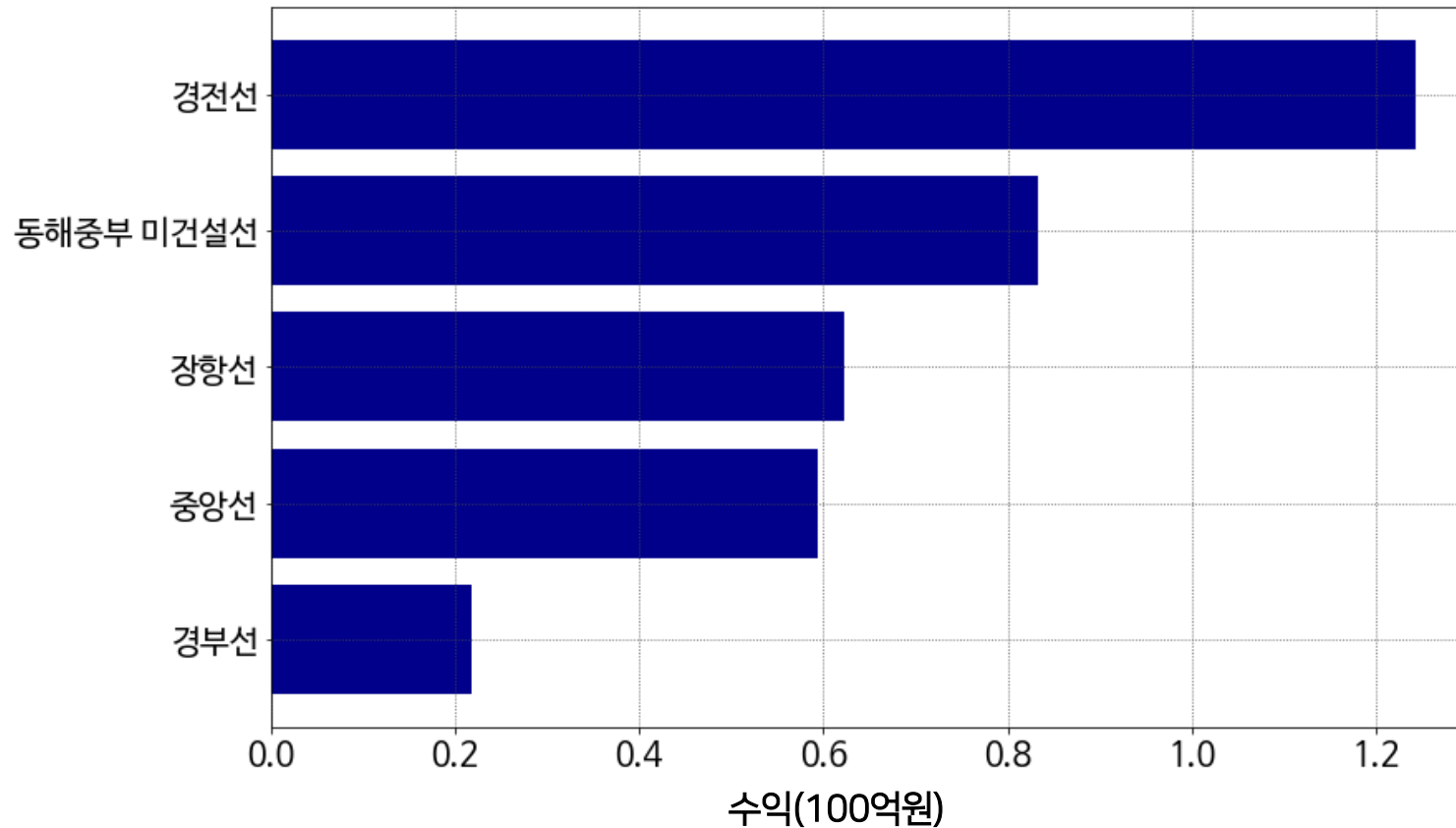
중앙선



〈최종 선정된 우수한 경제성의 폐철도 TOP 5〉

E 경제성이 가장 높은 폐철도 TOP 5의 수익 분석

- 최종적으로 Top 5에 모두 설치할 경우 매년 수익은 약 350억원이고
- 설치비용 대비 회수 기간은 약 5년이 소요될 것으로 예상됨
- 그러나 폐철도 특성상 계통연계 설치 및 유지 비용이 절감되어 실제 수익은 이보다 클 것으로 예상됨

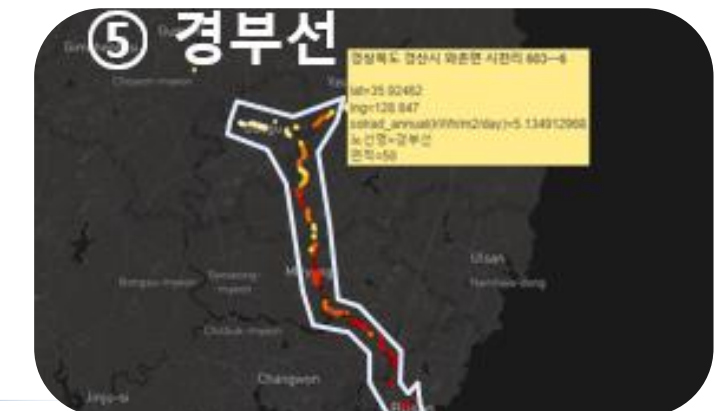
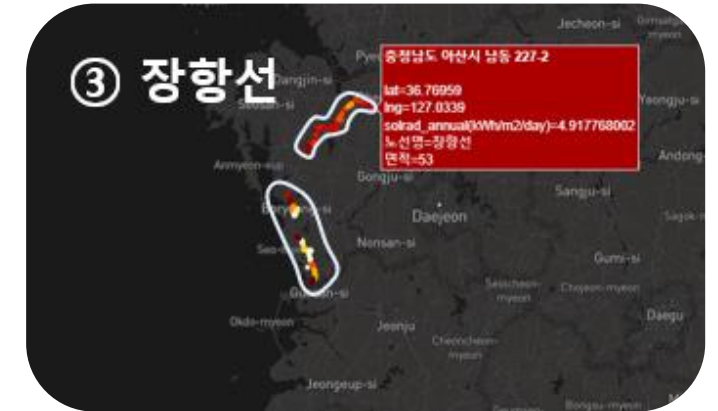
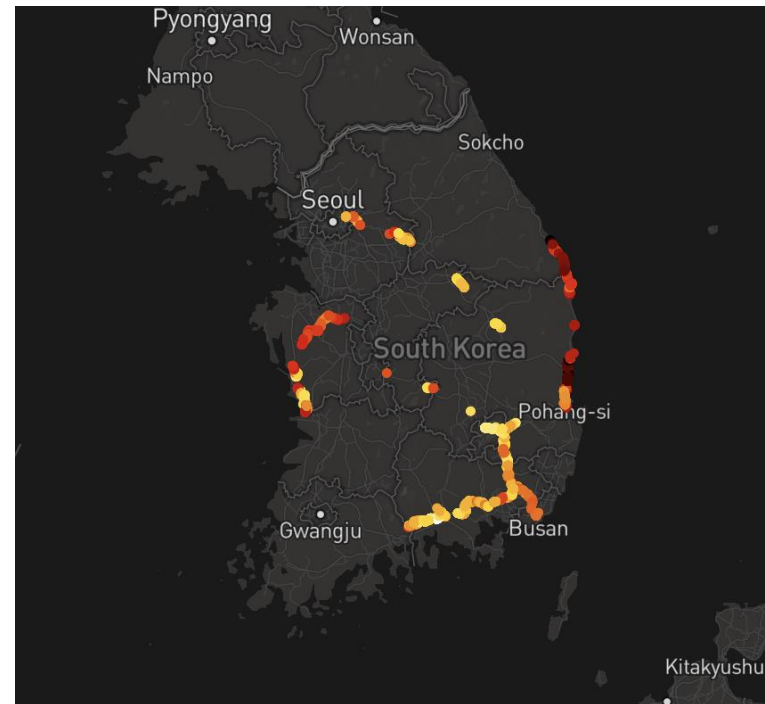
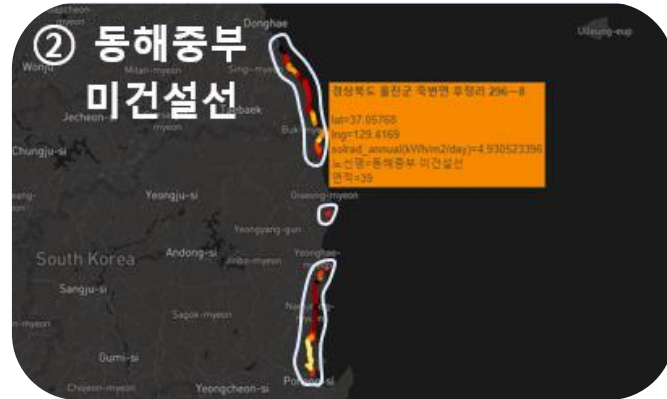
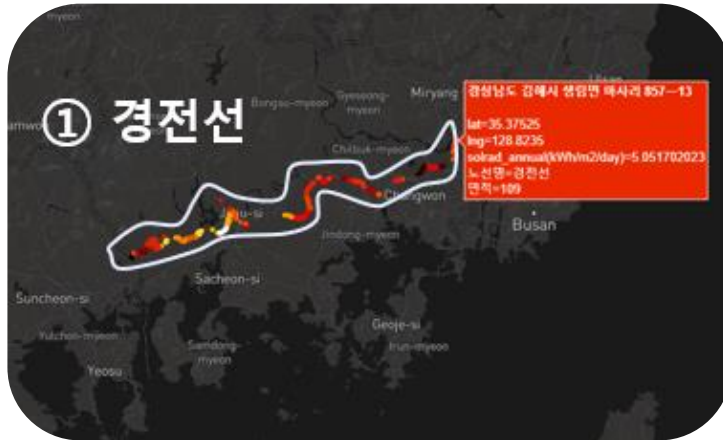


E | 경제성이 뛰어난 Top 5 폐철도의 수익과 설치비용을 산출

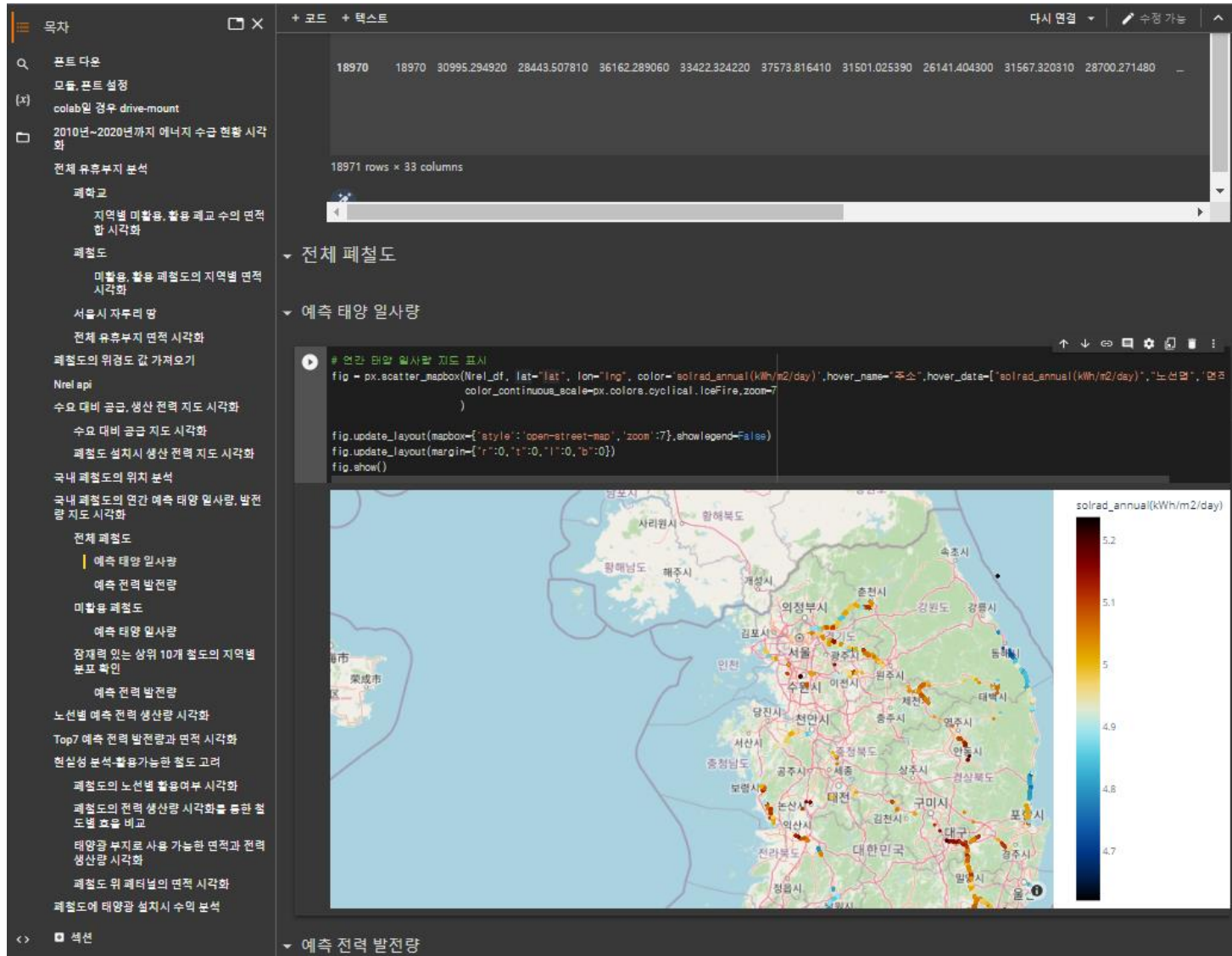
- 발전소의 수익 계산은 전력 판매 비용과 공급 인증서 판매 비용을 합해서 계산
 - 발전소수익 = 1. 전력판매 + 2. 공급인증서판매
1. 연간 전력 판매수익
= 설비용량(kW) * 일 평균 발전시간(3.4~3.6시간, 예상) * 연일수(365일) * 예상 계통한계가격(원/kWh)
 2. 연간공급인증서 판매수익
= 설비용량(kW) * 일평균발전시간(3.4~3.6시간, 예상) * 연일수(365) / 1000 * 가중치 * 예상 REC판매가격(원/REC)

폐철도 TOP 5에 설치시 전국에 높은 접근성으로 공급 가능

- POPE 심화 분석 결과, 효율성 높은 TOP5을 도출
경전선, 동해중부 미건설선, 장항선, 중앙선, 경부선



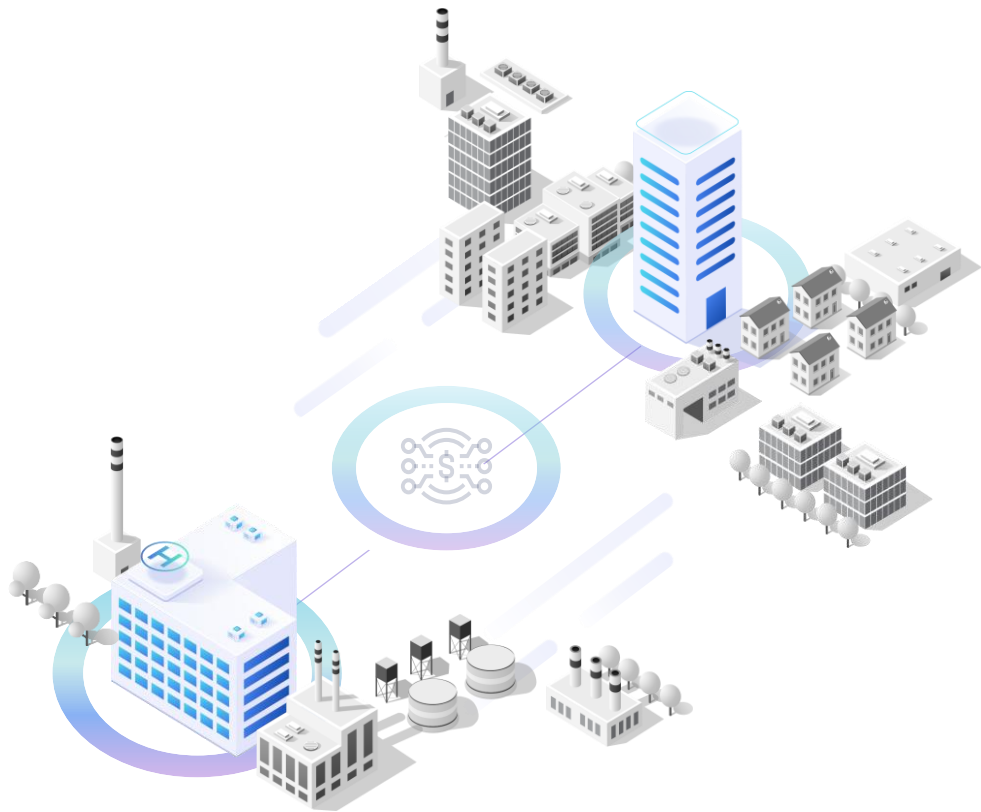
No	데이터셋명	출처	갱신일자
1	유희부지 목록	서울특별시 행정부	2022.03
2	폐학교정보	교육부 지방교육 재정 알리미	2020
3	폐철도 데이터	국가철도공단	2022
4	태양광 발전소 누적 설치현황	재생에너지 클라우드 플랫폼	2022.06.29
5	시군구별 전력사용량	한국전력 자료실	2021.07
6	페터널 데이터	정보공개 청구(open.go.kr)	2022.08



〈공공데이터셋을 활용한 데이터 분석 코드의 예시〉

- POPE 데이터분석 과정에 따라 코드 작성 및 목차 작성
 - NREL PVWatts, 국토부 Vworld 등을 활용
- 추후 Github 등으로 공개예정
- 국제논문으로 투고 예정





Thank You

감 사 합 니 다
