

서울 도심 도로 난류 활용 풍력 에너지 하베스팅 입지 분석

서울의 낮은 전력 자립도 해결을 위한 유휴 도로 풍력 발전 솔루션 제안

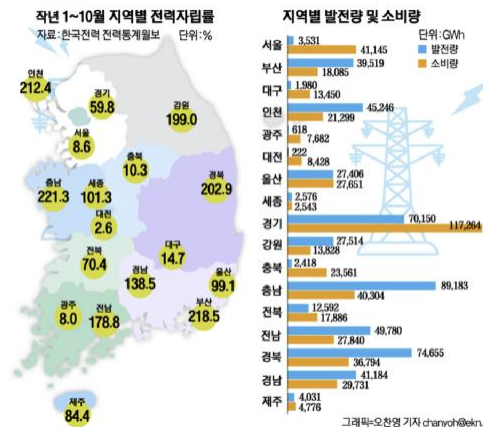
Present By
지구 프로텍터 

연구자
오주영, 박예은, 이준연, 김지연



서울의 에너지 딜레마: 지속 불가능한 에너지 의존도

수도권의 과부하된 전력 수요는 대한민국의 핵심 과제입니다. 특히, 서울은 막대한 에너지를 소비하지만 자체 에너지 생산률이 8.6%로, 전국 최하 3위 에너지 자립도의 구조적 문제를 안고 있습니다.



문제점

장거리 송·배전 중심 전력 구조
중앙집중형 발전소 편중
서울 전력 자립도 8.6%

환경적 영향

전국 송·배전 손실 전력 연 185,510 GWh, 연간 약 1조 6,990억 원 에너지 낭비, 불필요한 탄소 배출 발생
충남·울진·부산·울산 4개 지역에서 전체 전력의 약 56% 생산 → 특정 지역에 대기오염 부담 집중
소비 지역(수도권)은 환경 부담 최소화, 생산 지역은 환경 피해를 구조적으로 전가받는 불균형 발생

기존 분산 에너지의 한계 : 왜 서울은 더 어려운가?

이러한 문제를 해결하기 위해 에너지 사용지역 인근에서 에너지를 생산, 소비하자는 취지로 발전소에 가까울 수록 사용자의 전기세를 유리하게 적용되는 2023년 「분산에너지 활성화 특별법」이 제정되었지만, 서울과 같은 고밀도 도시는 기존 방식의 적용에 근본적인 제약이 따릅니다.

표면적 문제

- 서울의 전력 수요 급증과 **8.6%**의 낮은 전력 자립도
- 장거리 송 배전 손실 전력으로 인한 불필요한 탄소 배출

근본 원인

- 초고밀도 도시 구조로 인해 일조, **설치 공간 부족**

지속 가능한 가치

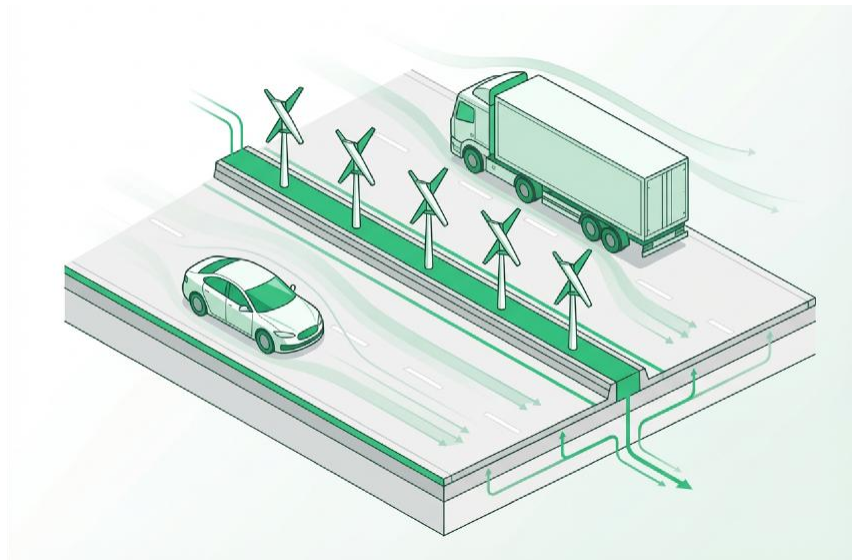
- 도시 인프라를 활용한 **신규 분산에너지 자원 발굴**
- **서울의 에너지 자립도 증가**

미래 지향적 비전

- 환경 부담의 공간적 불균형 해소 및 송·배전 손실로 인한 **불필요한 탄소 배출 최소화**

도심 도로 인프라를 ‘에너지 자원’으로

저희는 ‘도로’에서 버려지는 차량 유도 난류에 주목했습니다.



도로 인프라가 가진 장점

방대한 공공자산

- 서울시가 직접 소유, 관리하여 시설물 설치가 제도적으로 용이

구조적 가능성

- 중앙분리대, 갓길, 교량 등 에너지 설비 부착에 적합한 구조물이 풍부함

예측 가능한 에너지원

- 교통량에 따라 반복적으로 발생하는 차량 난류라는 에너지원을 보유

“도로는 더 이상 단순한 이동통로가 아닙니다. 서울의 새로운 분산 에너지 거점이 될 수 있습니다.”

도로 데이터 분석을 통한 최적의 에너지 창출 도로 확인

프로젝트 목표

데이터를 바탕으로 서울 내 에너지 하베스팅 도로 찾기

프로젝트 과정

Stage 1: 데이터 통합 (Data Integration)



서울시 5,120개 도로 구간의
교통, 기상, 도로 속성 데이터 통합



Stage 2: AI 분석 및 평가 (AI Analysis & Scoring)



RandomForest, LightGBM모델을
활용해 5대 평가 기준으로
잠재력 점수 산출



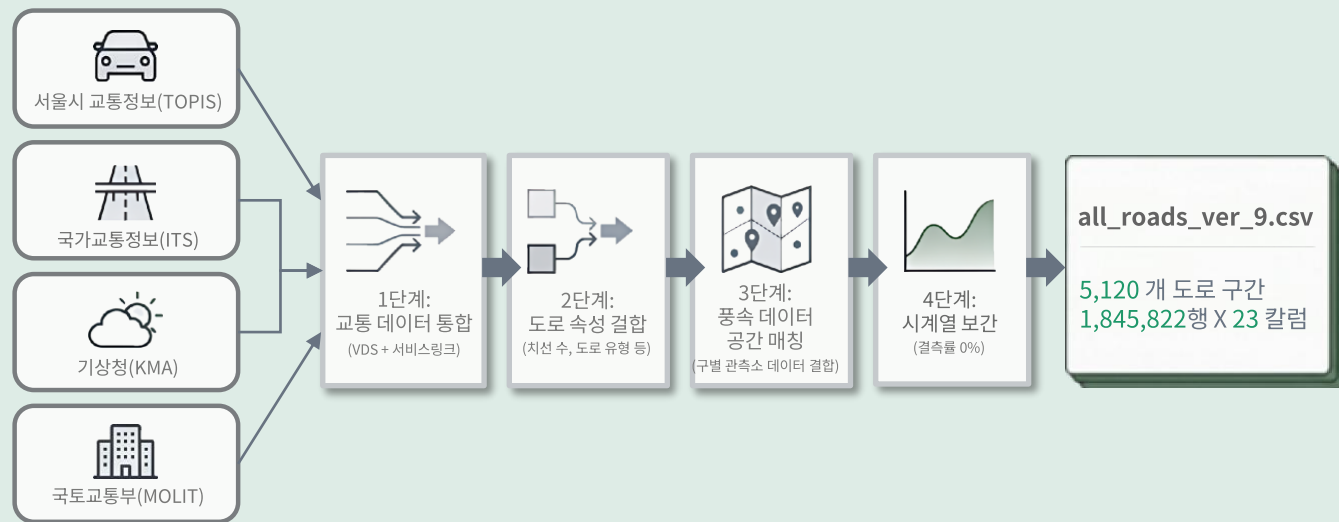
Stage 3: 설명 가능한 결과 (Explainable Results)



SHAP 기술로 AI의 판단 근거를
시각화하고, GIS 대시보드로 제공

도로 풍력 에너지 예측 모델 구축 - 데이터 통합, 전처리

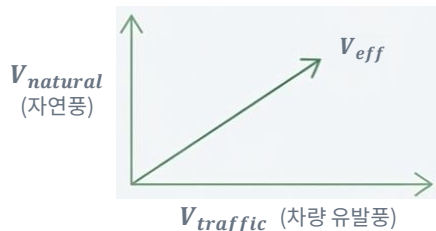
4단계의 파이프라인을 통해 파편화된 데이터를
180만행의 정밀한 통합 데이터셋으로 구축



도로 풍력 에너지 예측 모델 구축 - 데이터 통합, 전처리

물리공식을 통해 차량의 속도와 교통량을 실제 발전량으로 변환

유효 풍속 (V_{eff}) 계산



$$V_{eff} = V_{natural} + V_{traffic}$$

$$V_{traffic} = 0.377 \times \left(\frac{\text{차량속도}}{3.6} \right)^{0.5}$$

기상청의 자연풍 데이터에 경험적 보정 계수를 적용한 차량 유발풍을 더해 실제 터빈이 느끼는 유효 풍속을 계산합니다.

발전량 (P) 산출

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times C_p \times A \times V^3$$

- ρ : 공기밀도
- C_p : 파워계수
- A : 터빈 로터 면적
- V : 풍속

풍속(v)의 세제곱에 비례하여
발전량이 기하급수적으로 증가합니다.

정확도향상

풍속 변동성을 고려한 Weibull 분포 보정을 적용하여,
일평균 풍속 사용시 발생하는 과소평가 문제를 해결하고
예측 정확도를 높였습니다.

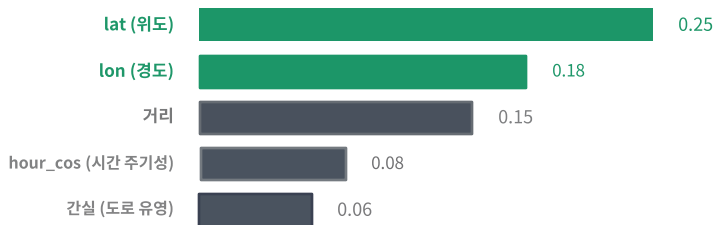
도로 풍력 에너지 예측 모델 구축 - 예측모델 - ai 분석

6개 AI모델 비교 결과 가장 정확하고 해석 가능한 Random Forest를 최종 채택

모델 성능 비교

모델	R ² Score	RMSE	학습 시간
Random Forest	0.8956	0.0025	2.5분
XGBoost	0.8772	0.0028	3.1분
LightGBM	0.8713	0.0032	1.2분

특성 중요도 분석



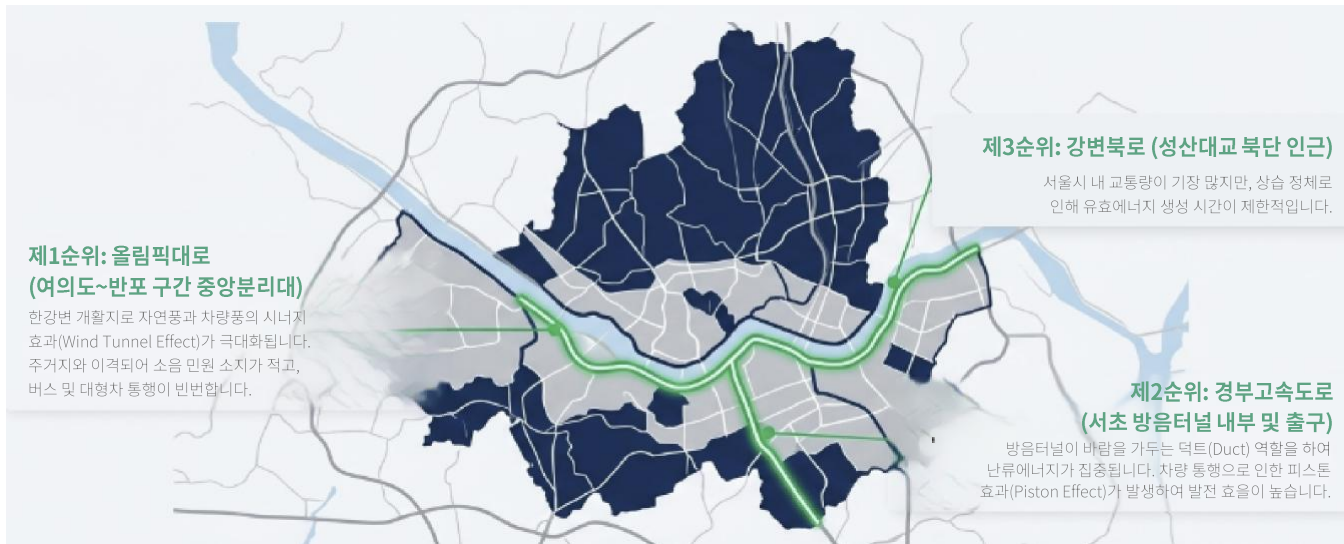
주요 인사이트

분석 결과, 공간 변수(위도, 경도)의 중요도가 58%로, 지리적 위치가 에너지 잠재력을 결정하는 가장 중요한 변수임을 확인했습니다.

도로 풍력 에너지 예측 모델 구축 - 예측모델 - AI 분석결과

시뮬레이션 결과: 서울의 에너지 핫스팟(Hotspot)

다기준 의사결정(MCDM) 분석 결과, 에너지 잠재력, 공간 적합성, 환경 요인을 종합적으로 고려한 최적 입지를 도출했습니다.



Key Insight: 에너지 하베스팅의 핵심은 단순교통량이 아닌 **정체 없는 고속주행**이 보장되는 구간, 특히 대형 화물차의 이동이 잦은 곳입니다.

AI 기반 의사결정 지원 솔루션

데이터 기반의 최적 의사결정을 지원하는 통합 플랫폼 제안

Core Features:



1. 인터랙티브 지도 시각화 (Interactive Map):

서울시 전체 도로망의 구간별 예상 발전량, 입지 점수, 제약 요인을 한눈에 파악할 수 있는 GIS 기반 인터페이스를 제공



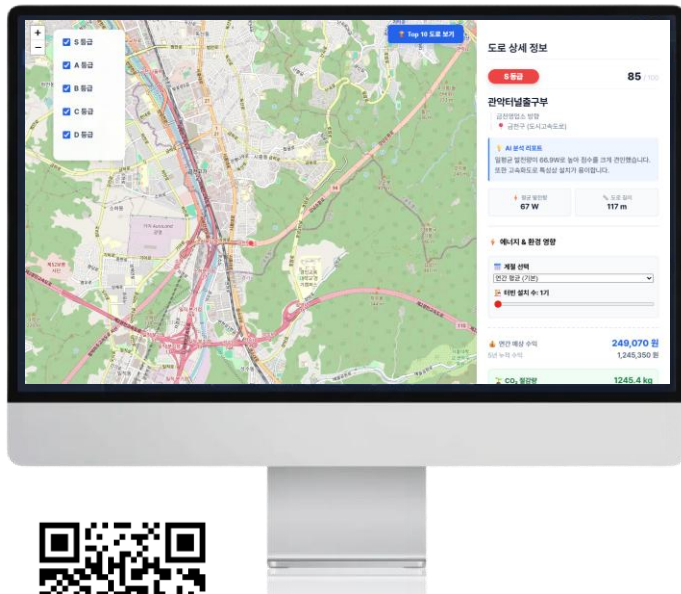
2. XAI 기반 요인 분석 (Explainable AI):

각 구간의 점수에 긍정적/부정적으로 기여한 핵심 요인을 XAI로 분석하여(SHAP) 직관적인 이해 도움



3. LLM 기반 자연어 리포팅 (Natural Language Reporting):

AI가 분석 결과를 종합하여 정책 시행자와 시민이 이해하기 쉬운 언어로 자동 보고서를 생성



<https://jiguprotector.github.io/front-end/>

서울을 위한 스마트 에너지 인프라의 시작

본 프로젝트는 단순한 전력 생산을 넘어, 도시 인프라의 패러다임을 전환하고 서울의 미래 경쟁력을 강화합니다.



에너지 자립도 향상

기존 태양광을 보완하는 새로운
분산에너지원을 확보하여 서울의
에너지 포트폴리오를 다각화하고
에너지 안보에 기여



데이터 기반 정책 의사결정 지원

분산에너지 계획도시재생 사업에
활용 가능한 과학적 근거를
제시하여 정책의 투명성과
효율성 향상



도로 인프라의 다기능화

교통 기능을 넘어 에너지 생산,
데이터 허브로 도로 자산의 가치를
극대화



탄소 절감

화석연료 발전 대체 및
송전 손실 감소를 통한
온실가스 감소