

Research Overview

- 본 연구는 **PyPSA 모형을 한국에 최초로 도입하여, PyPSA-KR를 구축**하고, 이를 통해 한국의 **에너지 시스템을 정밀 분석**하는 것을 목표로 함
- PyPSA는 **오픈소스 글로벌 에너지 시스템 모형**으로, 높은 공간 및 시간 해상도로 지역별 전력망 분석과 최적화에 유용함
- PyPSA-KR을 사용해 한국의 **재생에너지 잠재력과 최적 전력망**을 도출하고 실제 데이터를 통해 검증
- 재생에너지 확대와 전력망 최적화를 위한 과학적이고 체계적인 접근을 제시하며, **국가의 장기 에너지 전략 수립**에 기여

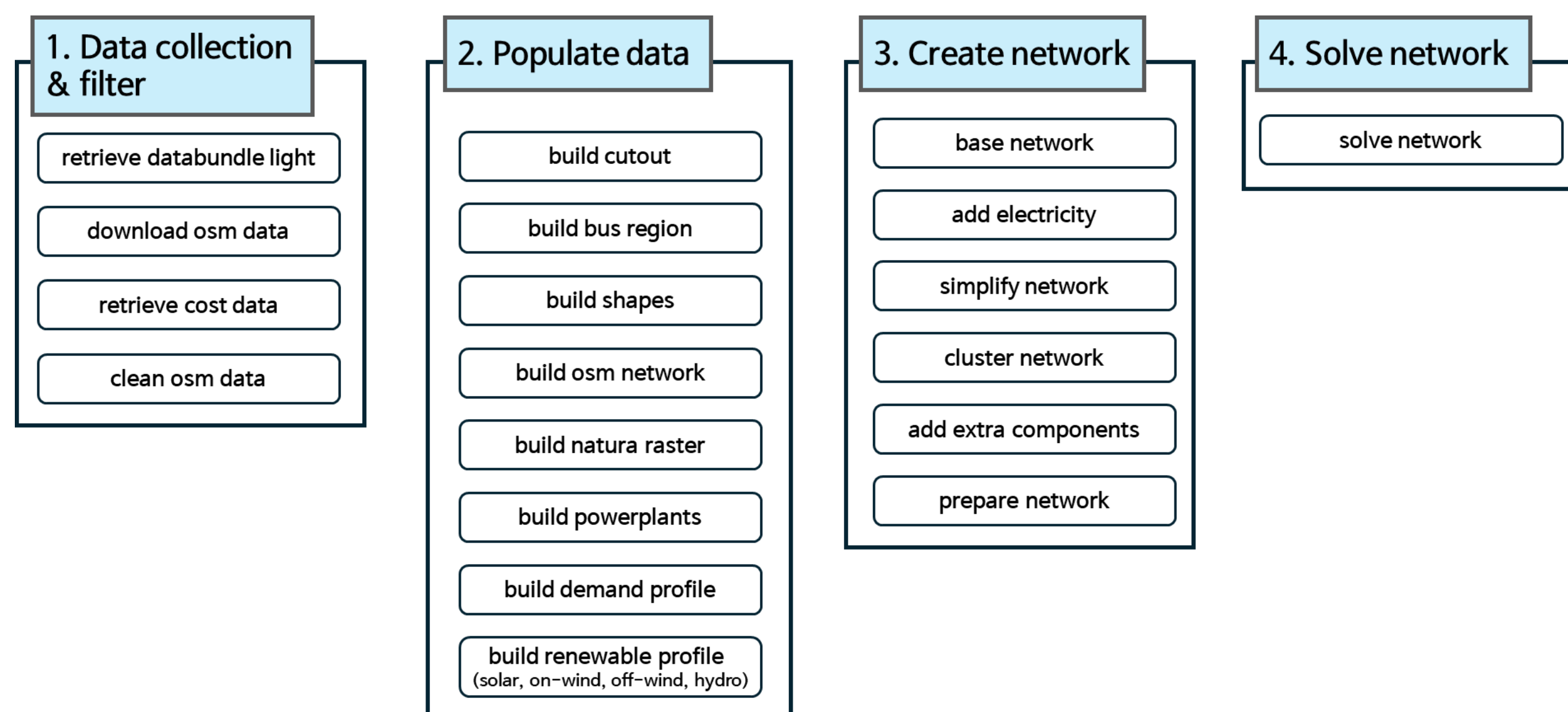
Status quo of modelling work in Korea

- 기존에 한국에서 연구되어왔던 에너지 모형들은 **통합평가 모형**이 대부분 이기에
⇒ **시나리오 베이스**로 전반적인 에너지 시스템을 분석하기엔 유용하고, 전력망의 세부적인 요소까지 다루기에는 적합하지 않음
- 또한, 새로운 ESS 기술이나 재생에너지의 변동성을 효과적으로 모델링하기 어렵고, 빠르게 변화하는 에너지 시장과 기술 발전을 충분히 반영하지 못할 수 있음
- 이러한 이유로 본 연구를 통해 PyPSA 모형을 제안

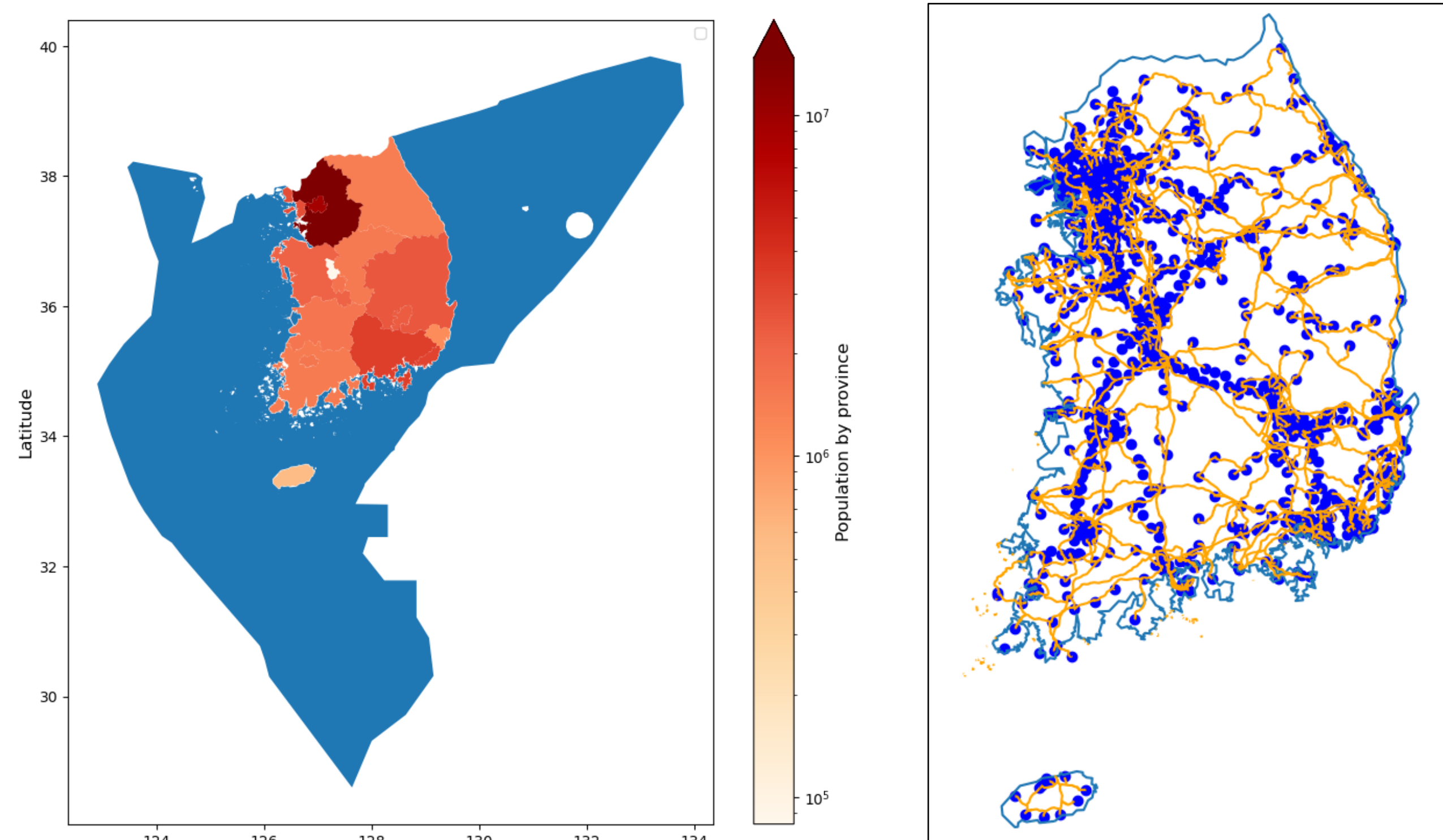
Model	Description	Spatial resolution	Temporal resolution	Approach	Free and open-source
TIMES	An optimization energy planning model that represents energy systems, focusing on technology and policy analysis.	Local to Global	day, night and peak hours for 4 seasons	Bottom-up	limited
GCAM	An integrated assessment model that links energy, water, land, and climate systems to assess the implications of policy decisions.	National to Global	Annual	Bottom-up	✓
LEAP	A scenario-based energy modeling tool that is used for integrated resource planning and climate change mitigation assessment.	Local to Global	Hourly	Hybrid	limited
PLEXOS	A power market simulation software used for modeling electricity markets and generation optimization.	National to Local	Hourly	Bottom-up	limited
PyPSA	An open-source tool for simulating and optimizing energy systems.	Local to Global	Hourly	Bottom-up	✓

Workflow of PyPSA-KR

- PyPSA-KR은 복잡한 작업을 관리 가능한 하위 작업으로 분해하여 사용 편의성과 명확성을 높이는 **"snakemake" 규칙**을 사용하는 **모듈식 접근 방식**을 사용하고 있음
- Workflow는 데이터 수집 및 필터링 → 데이터 채우기 → 네트워크 생성 → 네트워크 최적화의 4개의 단계로 구분되어 진행



- 한국의 육상, 해상 **GIS dataset** 기반으로 네트워크를 생성하고, Bus에 대해 ID를 할당

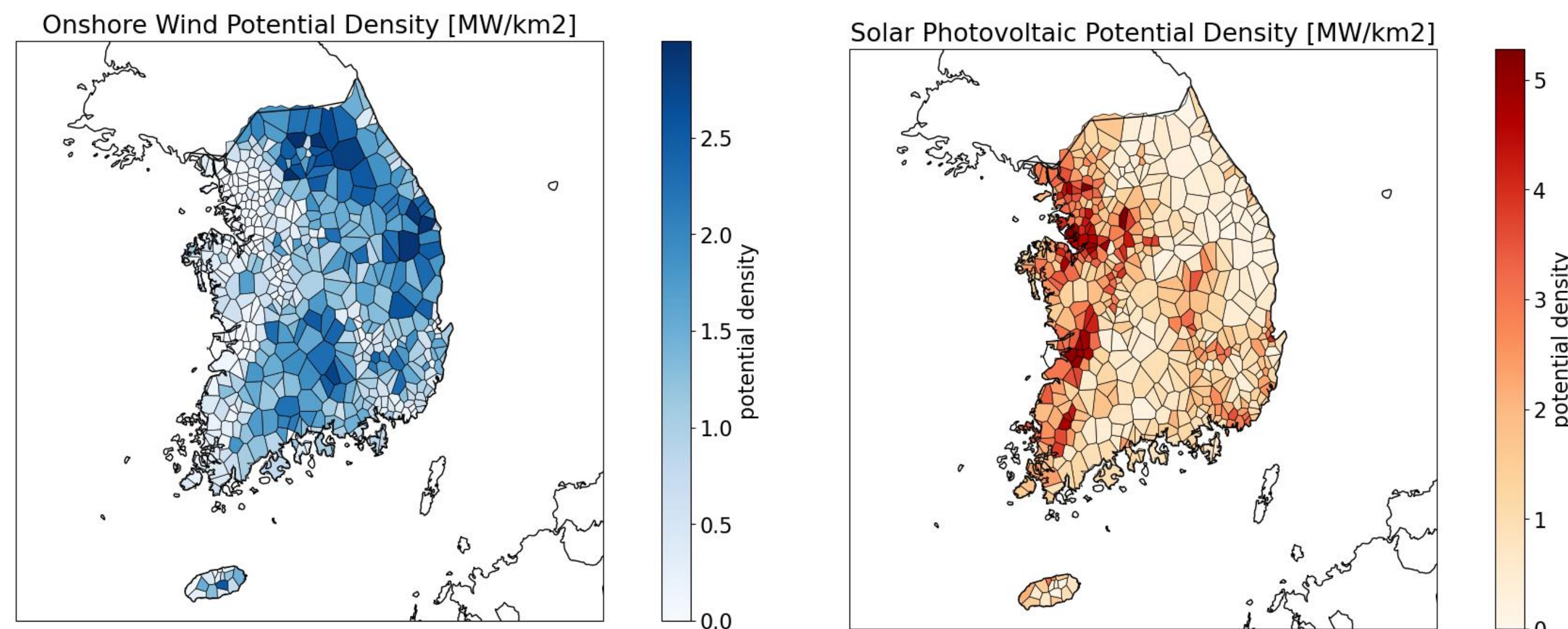


(a) Onshore and offshore shapes in Korea

(b) Korean network infrastructure

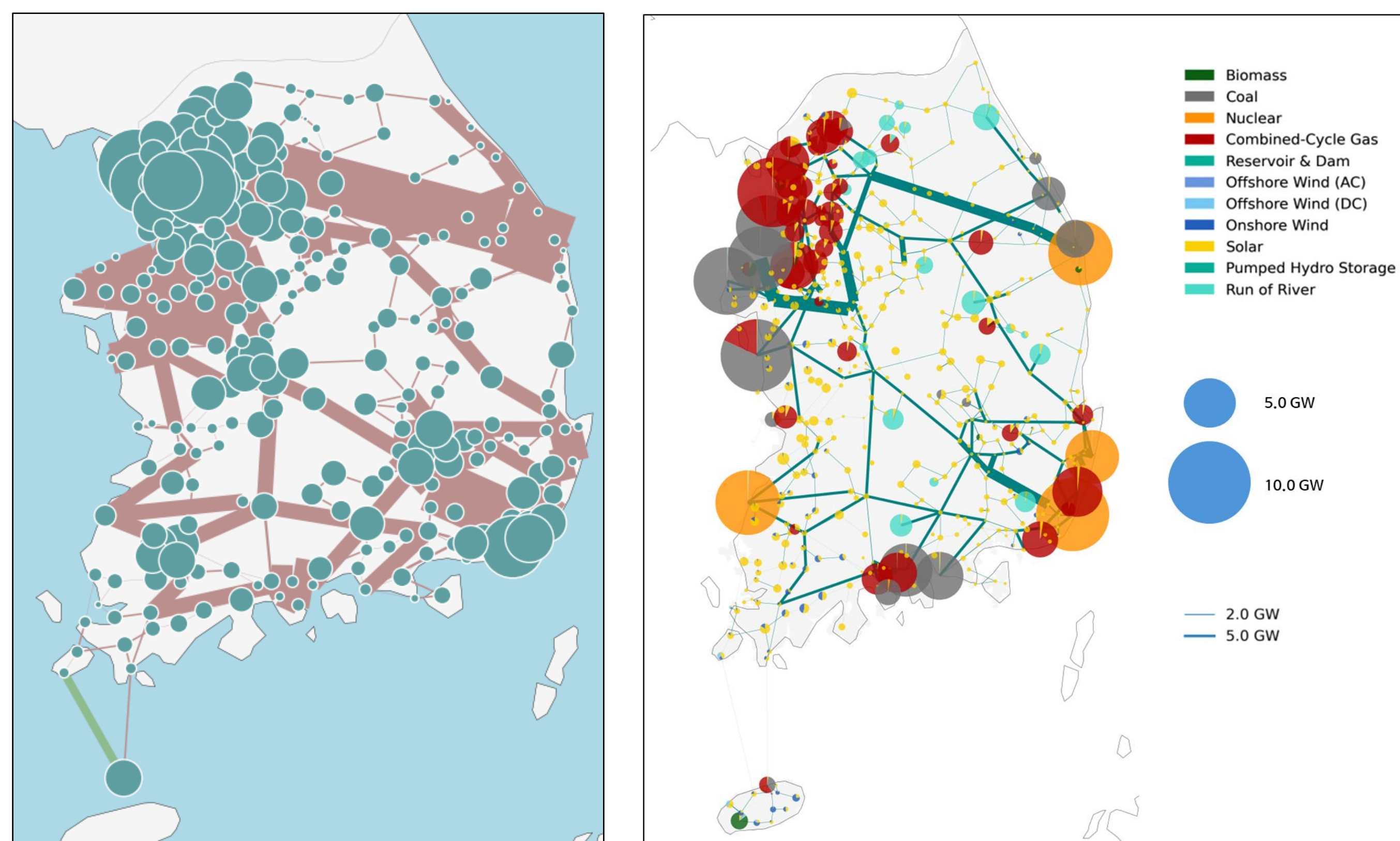
Potential renewable energy

- 잠재적 재생에너지 발전량은 Atlite 기상 패키지를 사용하여 각 노드에 잠재적 발전량이 계산되며, 본 모형에서는 **ERA5 기상 dataset 활용**



Transmission network

- 그림 (a)는 한국의 **전력 수요**를 보여주며, 원의 크기는 각 Bus의 연간 전력 수요를 나타냄
 - 송전선은 선으로 표현되며, 노드를 서로 연결하는 **선의 두께는 전력망의 송전 용량을** 나타냄 (두꺼운 선일수록 더 높은 용량을 의미)
- 그림 (b)는 2020년 한국 **전력 시스템을 도식화**한 결과로 국내 발전소의 분포와 용량, 그리고 Cluster된(256 Bus-2Hour) 전력망의 구조를 가짐
 - 원크기는 각 발전소의 발전 용량을 나타내며, 색깔은 각기 다른 발전원을 의미



(a) Demand maps

(b) Illustration of Korean power system in 2020

- 아래 Table은 모형으로 **시뮬레이션 된 dispatch** 양을 나타내고 있으며, 실제 발전량과의 비교를 통해 모형을 검증
- 재생에너지(태양광, 풍력, 수력)의 경우 오차 범위가 1% 내로 실제 값과 상당히 유사하게 모사
- 원자력의 경우 실제보다 과대 모사되는 결과가 나오며, 모형이 실제 사회적 이해관계 요인까지는 반영하지 못하고, 단순 비용과 효율 측면만을 고려함

Optimal dispatch [MW]		
Energy source	PyPSA-KR (2020)	Actual value ¹⁾ (2020)
Coal	202,588,900	189,426,013
CCGT ²⁾	127,620,300	111,759,245
Nuclear	205,859,900	160,183,721
Hydro	381,060	3,879,383
Biomass	7,883,950	9,938,354
Solar	21,234,910	19,337,964
Wind ³⁾	3,337,543	3,139,948
Total	569,669,303	550,485,720

1) Actual value = KPX database (KPX, 2024)
2) CCGT = Combined Cycle Gas Turbine plant
3) Wind = 해상풍력 + 육상풍력

Summary & Policy Implications

- 한국의 에너지 전환 과정을 지원하는 전력 시스템 모델 개발을 촉진하기 위해 PyPSA-KR 모형과 프레임워크를 구축하였음
- 모형 결과의 시각화로 연구의 결과를 쉽게 해석하고, 이해할 수 있는 장점이 있음
- 추후 ESS Mix(Li-B, H₂) 연구, 미래 탄소세 도입 영향, 다양한 탄소 배출 저감 목표 및 전력 시뮬레이션 등의 미래 전력제도 과제에 관한 후속 연구를 진행할 예정
- 한국에서는 몇몇 에너지 모형 연구 틀이 존재하지만, 오픈 소스 모형의 부재로 연구가 다소 제한적이었기에 PyPSA-KR의 도입은 국내 학생들과 연구진들에게 시사점을 제공