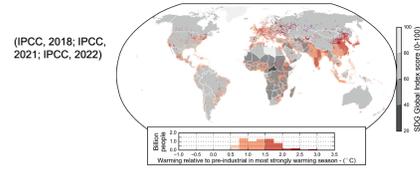


## I. 서론

### IPCC Special Report: Global Warming of 1.5°C



- 전 세계 인구의 20-40% → 이미 1.5도를 초과하는 온난화 경험
- 인구 증가 + 경제 활동 → 직접적인 CO2 배출량 증가 → 2100년 지구온도는 약 3.7~4.8도 상승 예측

(IPCC, 2018; IPCC, 2021; IPCC, 2022)

### 탄소포집 및 저장기술(CCS)

- IPCC 2100년: 총 CO<sub>2</sub> 지중저장가능량을 약 348 Gt, 687 Gt 및 1218 Gt로 전망
- 기후변화완화로 인한 화석연료 관련 기반시설의 좌초 전망 → 좌초자산을 줄이기 위해서 CCS의 역할이 강조됨
- 단 여전히 불확실성 및 경제성에 대한 논란
  - CCS는 자본 집약적, 장기간 지속되는 자산에 대한 투자를 필요로 함
  - 지질학적 저장(GCS)의 경우 주입된 CO<sub>2</sub>가 지하 단층을 통해 저류층(reservoir)에서 누출 가능성

(IPCC, 2018; Martin-Roberts et al., 2021; Zahasky and Krevor, 2020)

### 사회적 탄소 비용(SCC)

- 온도 상승에 따른 피해 및 부정적인 외부효과로 인한 사회적인 비용
- 특정 시점에서 기후 정책에 대한 평가 가능

### 통합 평가 모델(IAM)

- 지구 시스템 및 사회경제적 구성요소
- 복잡한 모델 구성 → 산정되는 SCC 값은 불확실성을 포함
- 사회경제적 조건 (미래 CCS 확대 포함)은 매우 빠르게 변화 → 변화를 반영해 신속하게 정책 수단의 함의를 평가 방법론의 구축이 필요

연구 목적: CCS기술의 확대의 SCC에 대한 영향을 다양한 미래 사회경제적 조건과 IAM의 불확실성 정보를 함께 신속하게 평가할 수 있는 방법론을 개발

## II. 본론

### ① 미래 사회경제적 조건 및 CCS 확대 시나리오에서의 SCC 분석

### ② 기계학습을 활용한 SCC 확률 계산 자동화 및 CCS 확대의 영향 분석

PAGE & FUND baseline 사회경제적 데이터 + Monte Carlo 시뮬레이션 (MCS)

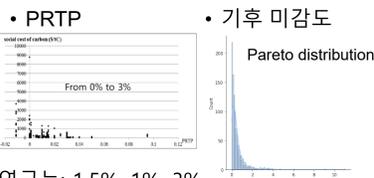
#### 사회경제적 조건

Kaya Identity 기반

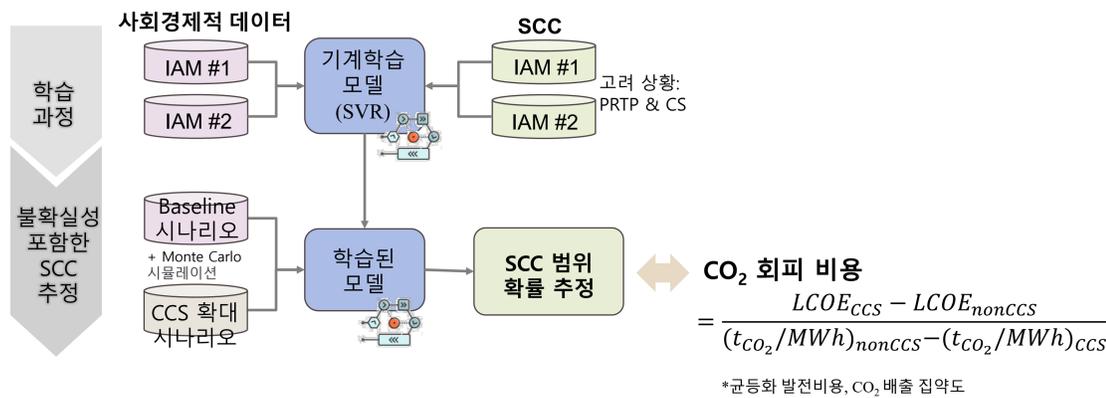
$$M_{industrial} = P \left( \frac{Y}{P} \right) \left( \frac{E}{Y} \right) \left( \frac{M}{E} \right) = P y e f$$

- M: 탄소 배출량
- P: 인구
- Y: GDP
- E: 에너지소비
- y: 1인당 GDP
- e: 탄소 집약도
- f: 에너지 집약도

#### IAM 모델 고려한 상황



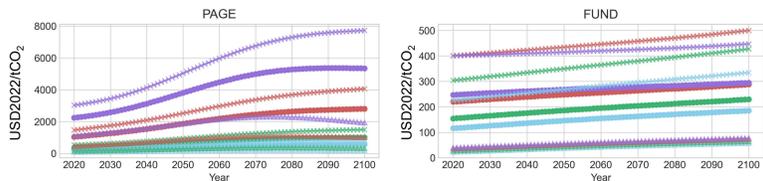
본 연구는: 1.5%, 1%, 3%  
본 연구 사용한 CS 값: ~3, 3.8, 6.7, 11



## III. 결과 및 토론

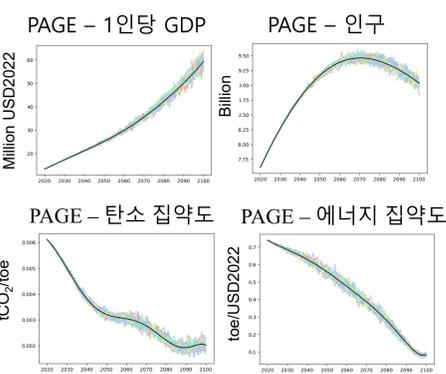
### ① 미래 사회경제적 조건 및 CCS 확대 시나리오에서의 SCC 분석

### ② 기계학습을 활용한 SCC 확률 계산 자동화 및 CCS 확대의 영향 분석



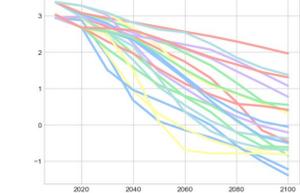
PRTP	CS	SCC Name	PRTP	CS	SCC Name
2.8	1.5%	SCC_1	2.8	1.03	SCC_5
3.8	1.5%	SCC_2	3.8	1.03	SCC_6
6.7	1.5%	SCC_3	6.7	1.03	SCC_7
11	1.5%	SCC_4	11	1.03	SCC_8
2.8	3%	SCC_9	2.8	3%	SCC_10
3.8	3%	SCC_10	3.8	3%	SCC_11
6.7	3%	SCC_11	6.7	3%	SCC_12
11	3%	SCC_12	11	3%	SCC_12

#### Monte Carlo 시뮬레이션 결과



#### CCS 시나리오

SSP-RCP 시나리오 - 탄소 집약도



- RCP > 4.0 제외
- 매 10년마다 단계적으로(step-wise) 감소하며, 본 연구는 각 영도 값을 얻기 위한 회귀를 수행
- 상당한 감소 시나리오의 경우= 기준 연도인 2020년 대비 2% ~ 140% 감소

#### 학습 결과

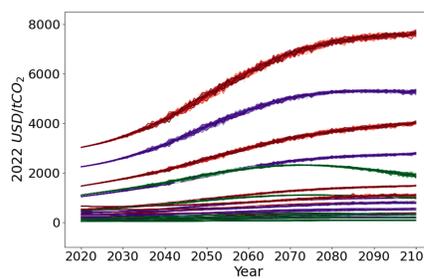
Data	RMSE			R <sup>2</sup>		
	Model 1 (PRTP 1.5%)	Model 2 (PRTP 1%)	Model 3 (PRTP 3%)	Model 1 (PRTP 1.5%)	Model 2 (PRTP 1%)	Model 3 (PRTP 3%)
Train	2.39E-04	2.46E-04	3.13E-04	0.999E-01	0.999E-01	0.999E-01
Val.	2.10E-04	2.70E-04	2.58E-04	0.999E-01	0.999E-01	0.999E-01
Test	2.37E-04	2.79E-04	6.18E-04	0.999E-01	0.999E-01	0.999E-01

Good performance model of SVR → accurate model prediction

#### CO<sub>2</sub> 회피 비용

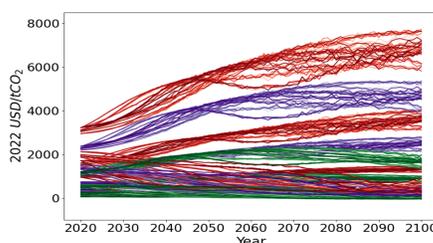
Parameter	Unit	Coal power plant		
		w/o CCS	w/ CCS	Difference
I. CAPEX	\$/kW	1250 <sup>(a)</sup>	1597 <sup>(b)</sup>	5084 <sup>(c)</sup>
II. O&M	\$/kW-year	42.7 <sup>(a)</sup>	58.6 <sup>(b)</sup>	132 <sup>(c)</sup>
III. Fuel cost	\$/kW-year	176.3 <sup>(b)</sup>	226.5 <sup>(a)</sup>	246.40 <sup>(c)</sup>
LCOE	cents/kWh	3.7 - 8.9	9.5 - 20	5.8 - 11.1
CO <sub>2</sub> 배출 집약도	gr/kWh	975.2 <sup>(d)</sup>	146.28 <sup>(e)</sup>	828.92
CO <sub>2</sub> 회피 비용	\$/tCO <sub>2</sub>			69.97 - 133

#### Baseline 시나리오 (MCS)의 SCC 예측 결과



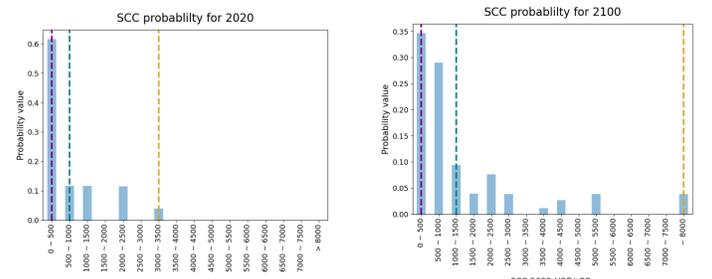
SCC 추정 = 1200개 값  
PRTP 값이 0.5% ↓ SCC가 약 1.5배 ↑  
CS 값이 두 배 ↑ SCC가 약 1.5-1.9배 ↑

#### CCS 시나리오 (MCS)의 SCC 예측 결과 =



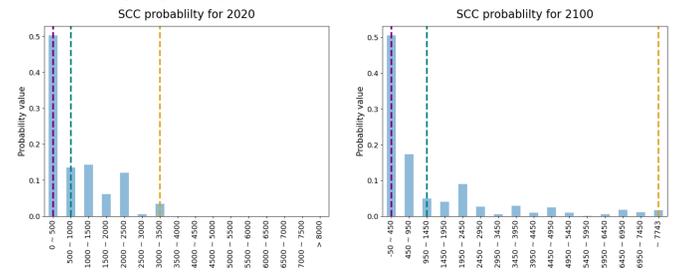
Baseline 시나리오의 탄소 집약도 데이터는 CCS 시나리오의 탄소 집약도로 대체함

#### SCC 범위 확률 추정



높은 SCC 값의 (>4,000USD/tCO<sub>2</sub>) 확률 증가  
확률 분포 = "long right-tail" → 치명적인 재해의 가능성  
CO<sub>2</sub> 회피 비용~70USD/tCO<sub>2</sub> → 경제적 이점

#### SCC 범위 확률 추정



CCS 확대 → SCC value is shifted to the left

## IV. 결론

- SCC 추정에 내재된 불확실성을 포착하기 위한 대안적 접근 방식으로 SVR을 사용 → 신속하게 다양한 시나리오의 SCC 및 확률 추정
- Baseline 시나리오의 SCC 확률 결과 분석:
  - 2100년 높은 SCC의 확률이 증가
  - SCC와 CO<sub>2</sub> 회피 비용 비교 결과, CCS 개발은 경제적 이점 확인
- CCS 확대 시나리오의 SCC 확률 결과 분석:
  - 2100년 높은 SCC의 확률이 감소
  - SCC 분포가 왼쪽으로 이동 → 전반적인 SCC 값의 감소

사사: 본 연구는 "숲과나눔 인재양성 프로그램"의 지원으로 제작되었습니다.