

기후경제모형을 이용한 기후 스트레스 테스트 시나리오 생성방안

2022. 10. 6.

황인창 (ichwang@si.re.kr)



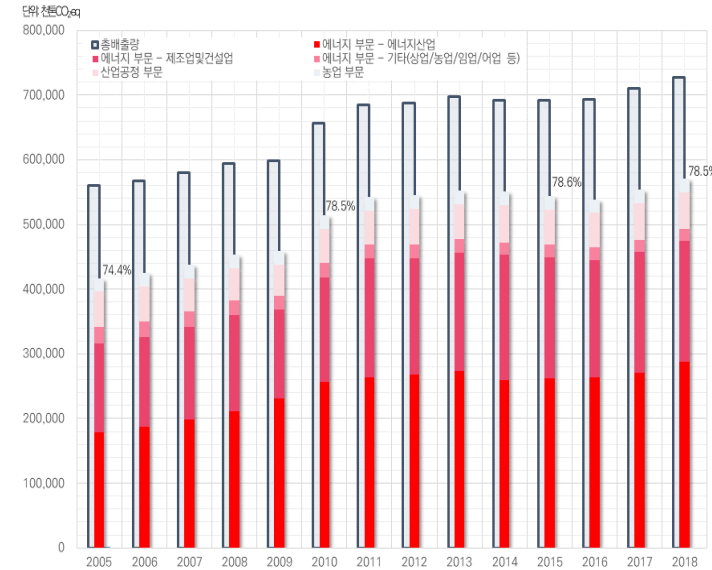
기후경제모형(IAM)을 활용한 기후변화 스트레스 테스트 시나리오 생성방안 마련

■ 산업경제부문의 기후변화로 인한 물리적 피해 및 기후정책 이행 리스크

- 2018년 기준 **국내 총 온실가스 배출량의 78.5%**는 산업경제부문에서 배출
 - 산업경제부문: 재화와 용역을 생산하는 모든 부문
- 산업경제부문은 기후변화로 인해 **직·간접적** 피해를 받는 부문
 - 기후변화와 기후변동성 확대로 인한 **물리적 손해(자본 손실), 노동생산성 하락** 등 → 생산량 감소
 - 탄소 가격제 (탄소세, 배출권거래제도), ESG 경영 의무화 등 **기후환경 정책 변화, 사회적 평판 변화, 환경 소송** 등 → 생산원가 상승, 환경규제 대응 비용 증가 등
 - 탄소 국경세** 도입, 글로벌 기업의 **공급망 관리강화**, 글로벌 투자자의 **투자 조건 강화** → 재정 리스크

■ 기후 리스크 현실화 시 국가 경제 및 시민사회에 큰 경제적 충격

- 기후변화 리스크 = 물리적 리스크 + 규제 리스크 + 기타 리스크(평판, 소송 등)**
- 코로나19**로 인한 전 세계 GDP 손실 **3.5%** vs. **기후변화**로 인한 전 세계 GDP 손실 **10% 이상**(OECD, 2015)

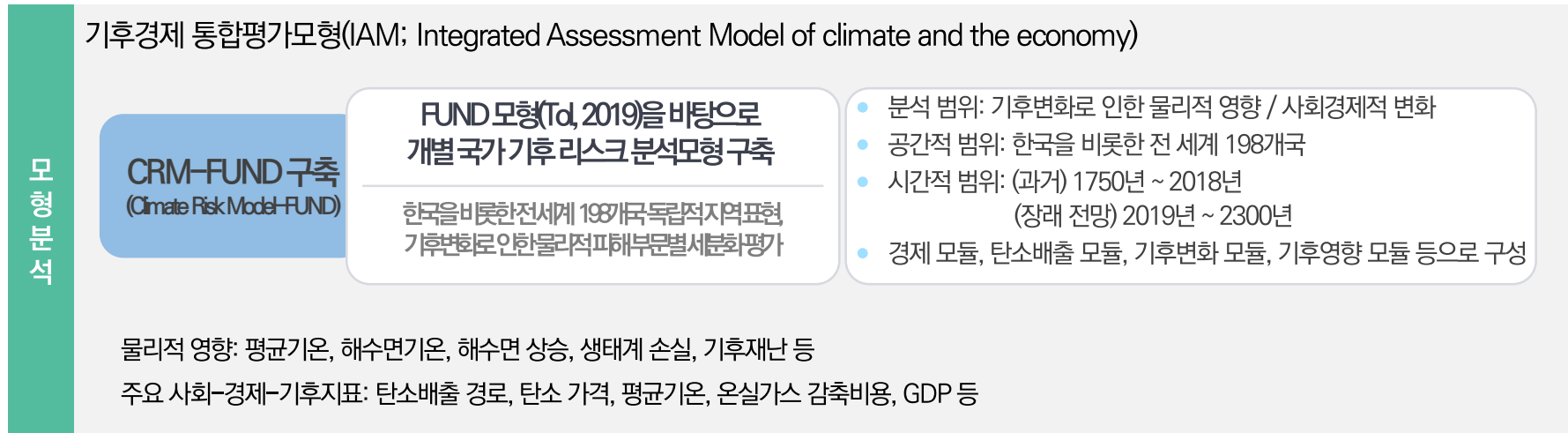
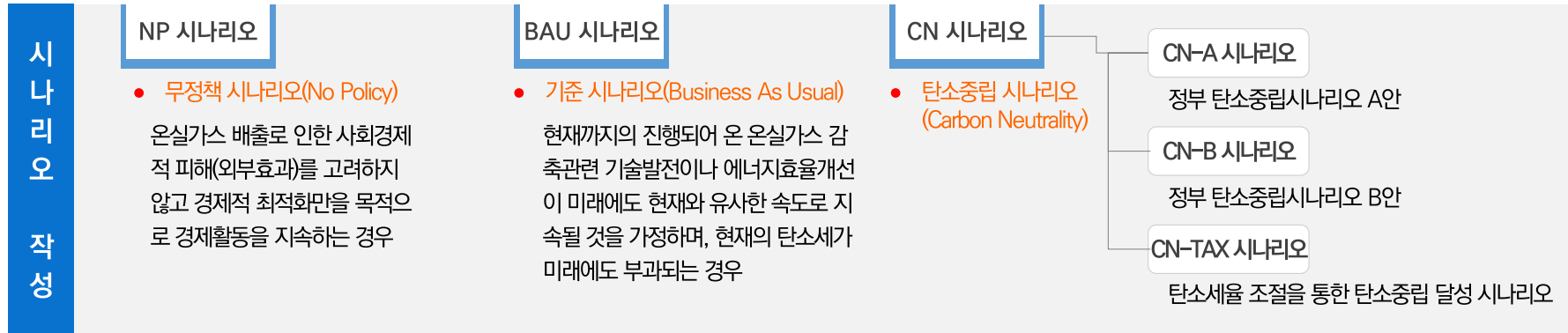


[국내 부문별 온실가스 배출량 (단위: 톤CO₂eq)]

자료: 국가 온실가스 인벤토리 보고서



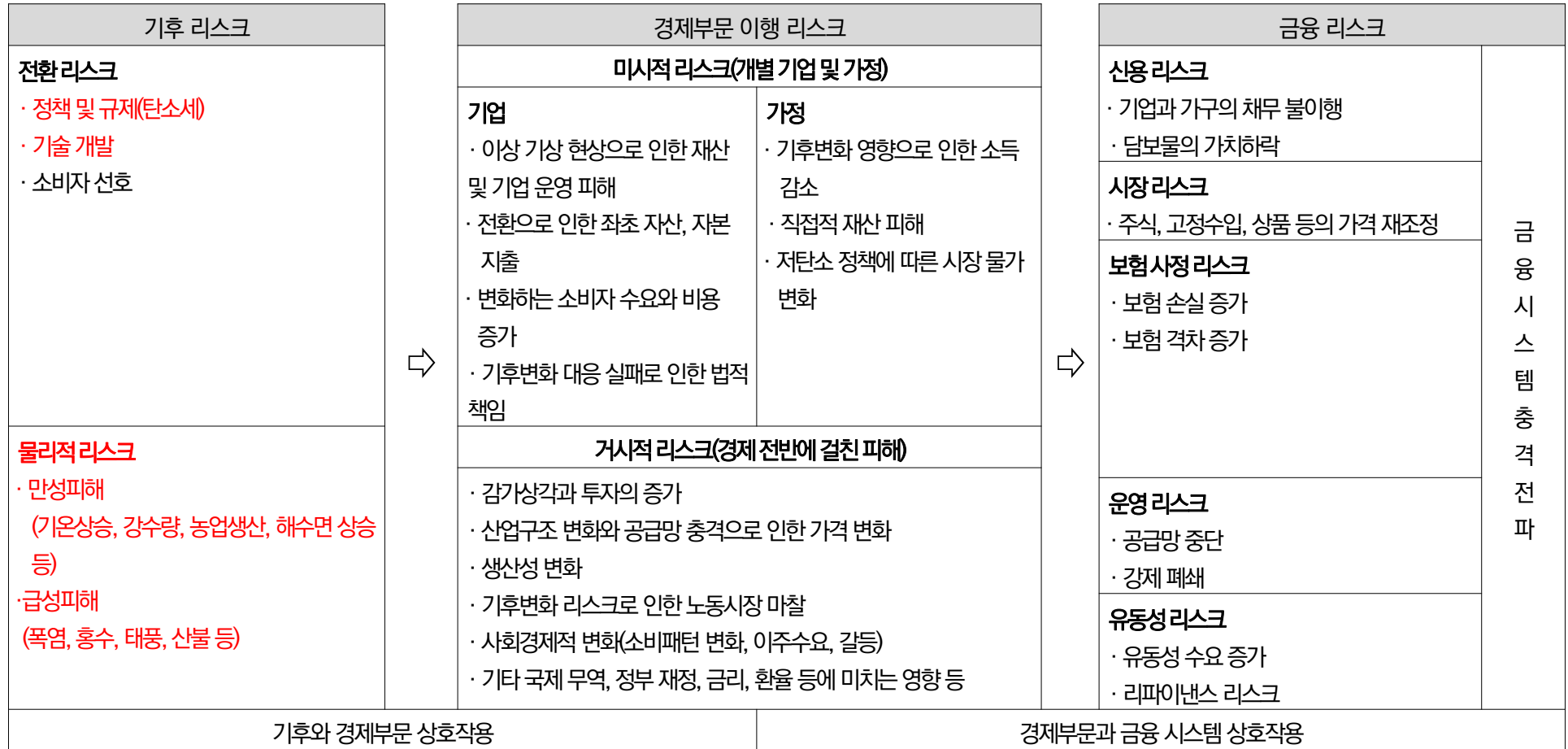
한국을 중심으로 2050년까지의 시나리오별 분석 결과 제시



1.2. 연구 방법 및 범위

■ 산업경제부문의 기후변화 리스크

■ 물리적 리스크 + 이행(규제)리스크 → (경제시스템) → 재정 리스크



2.1. 기후경제 통합평가모형(IAM)

기후경제 통합평가모형(Integrated Assessment Model of climate and the economy)

- (정의) 기후변화에 관한 과학적 측면과 사회경제적 측면을 모두 통합하며, 기후변화 문제를 해결하기 위해 필요한 정책적 수단들을 평가하려는 목적으로 고안된 모형(Kelly and Kolstad, 1999; 황인창, 2015 재인용)
- 기본 구성요소(Pindyck, 2013)
 - 전환경로: 온실가스 감축을 위해 추가적인 조치가 이루어지지 않는 현 상태의 배출 경로 시나리오(BAU 시나리오)와 하나 이상의 감축 경로 전망 시나리오
 - 기후변화 경로: 과거, 현재, 미래 탄소 배출량을 기반으로 한 미래 탄소 농도와 기후변화 전망
 - 물리적 리스크: 기온 및 해수면상승, 이상기후 등 물리적 리스크 전망
 - 손실함수: 기온 상승이 GDP 등 경제와 사회후생에 미치는 영향 전망
 - 비용추정: 온실가스 감축에 소요되는 비용 전망

번호	세부 지역	경제성장 모형	기후변화 피해비용 함수	감축비용 함수
RICE	(총 12개 지역) 미국, 중국, 일본, 인도, 러시아, 유럽연합, 유라시아, 중동, 아프리카, 남아메리카, 기타 고소득국가, 기타	신고전주의 Cobb-Douglas	(1개 요소) 총 피해비용	총 감축비용 1개
FUND	(총 16개 지역) 미국, 중국, 캐나다, 서유럽, 한국과 일본, 호주와 뉴질랜드, 중유럽과 동유럽, 구소련연방, 중동, 중앙아메리카, 남아메리카, 남아시아, 남동아시아, 북아메리카, 사하라이남 아프리카, 소규모 섬 국가	신고전주의 외생변수	(12개 요소) 농업, 임업, 수자원, 에너지, 해수면 상승, 생태계, 보건(설사, 심장폐질환, 매개체전염병), 기상재해(태풍, 온대저기압), 질병 및 사망	총 감축비용 1개

대표 모형

자료: 황인창 (2016) 수정

- DICE(Dynamic Integrated Climate and Economy) 모형: 미국 William Nordhaus 교수가 개발한 것으로 탄소배출, 기후시스템, 기후변화 경제에 대한 손실함수를 포괄한 최초의 최적화 모형. DICE 모형은 지구 전체를 하나로 통합하여 보는 전지구모형
- RICE(Reginal Integrated Climate and Economy) 모형: DICE 모형과 구조는 유사하나 지역을 12개로 구분하는 지역평가 모형
- FUND(Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution) 모형: 네덜란드 Richard Tol 교수가 개발한 지역평가 모형(16개 지역)으로 물리적 피해 분석 최적화



국가단위 기후리스크 분석 모형 구축(CRM-FUND 모형)

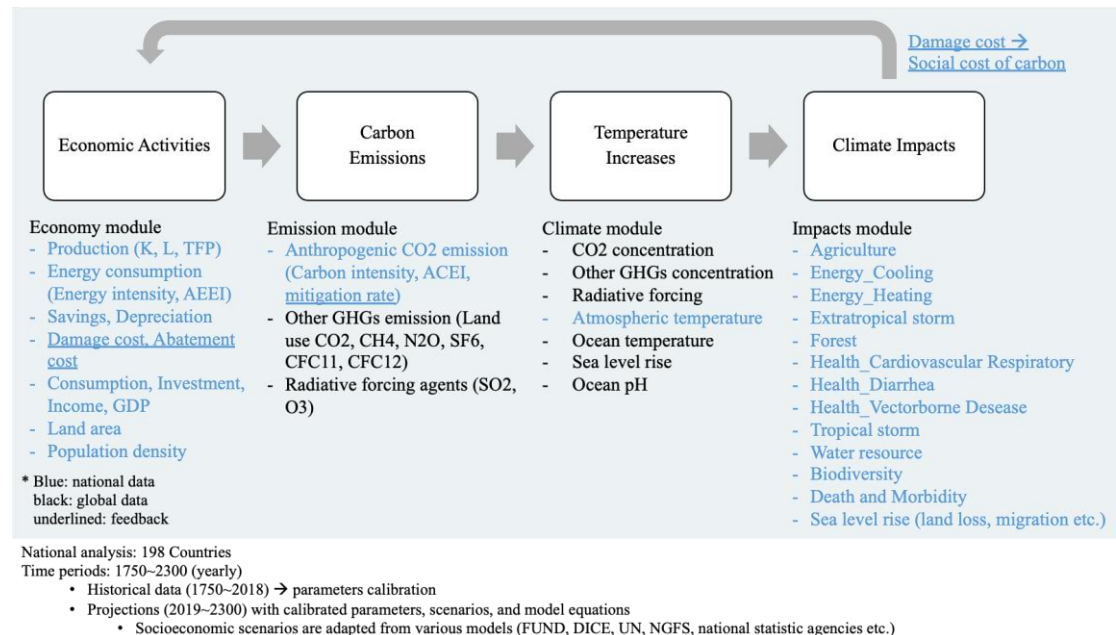
- 기후변화로 인한 물리적 피해를 부문별로 분석하는데 있어 적합한 FUND 모형을 기초로 국가 단위 기후리스크 분석 모형 구축
 - 기존 FUND 모형은 전 지구를 16개 지역으로 구분하고 기후변화로 인한 물리적 피해를 12개 부문으로 나누어 분석
 - 전 세계를 198개국(전 세계 배출량 통계의 99% 이상 차지)으로 구분하여 개별 국가단위에서의 경제활동과 그로 인한 기후변화 물리적 피해를 연도별 산출

기후 모듈

- 1750년~2018년 관측자료를 바탕으로 주요한 기후 파라미터 조정 + 2019년~2300년까지 미래 전망
- 탄소순환모듈, 복사강제력모듈, 기온반응모듈, 해수면상승모듈로 구성

경제 모듈

- 1960년~2018년 국가별 자료를 바탕으로 경제성장 파라미터 조정 + 2019년~2300년까지 미래 전망
- 신고전주의 경제성장이론에 따라 노동과 자본을 바탕으로 재화와 용역이 생산되고 이 과정에서 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출 발생
- 온실가스(이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 육불화황, CFC11, CFC 12등)는 기술발전과 탄소가격 정책 등에 따라 배출량이 결정되며, 지구의 복사강제력에 영향을 미치는 대기오염물질 배출량도 분석
- 기후변화의 물리적 영향은 농업, 냉방, 난방, 태풍, 산림, 수자원, 건강(심혈관계, 호흡기, 설사, 백테매개 질환 등), 생물다양성, 해수면 상승 등 포함



2.2. CRM-FUND 모형

국가단위 기후리스크 분석 모형 구축(CRM-FUND 모형)

입력자료 구축

- 모형의 입력자료는 기본 파라미터 조정 및 미래 전망을 위한 초기년도 값으로 활용
- 기본적으로 국가별 자료는 UN, World Bank, OECD, IEA, FAO 등 국제기구에서 제시하는 공식통계 활용
- 기후자료는 미국 국립해양대기국(NOAA)나 IPCC 보고서 등에서 활용한 값들을 사용
- 한국 자료는 통계청, 재해연보 등에서 발간한 공식 자료를 활용

구분			변수	단위	기간	자료원
전 세계	오염물질	농도	CO2	ppm	1750-2020	Meinshausen et al.(2020), NOAA
			CH4	ppb	1750-2020	
			N2O	ppb	1750-2020	
			SF6	ppt	1750-2019	Meinshausen et al.(2020), AGAGE
			CFC1.1	ppt	1750-2019	
			CFC1.2	ppt	1750-2019	
	배출량		CO2	MtCO2	1750-2020	FUND, World Bank
			CH4	MtCH4	1750-2018	FUND, World Bank
			N2O	MtN2O	1750-2019	FUND, World Bank
			SF6	ktSF6	1750-2018	FUND
			CFC1.1	ktCFC11	1750-2019	
			CFC1.2	ktCFC12	1750-2019	
	에너지		1차 에너지 소비	MTOE	1750-2018	FUND, IEA
	GDP		실질GDP	USD	1750-2020	FUND, World Bank
	인구		인구 관측	명	1750-2020	FUND, World Bank
	기온		지구평균기온	℃	1880-2020	NOAA
	해수면		해수면 상승	mm	1880-2020	NOAA
국가별	오염물질	배출량	CO2	ktCO2	1960-2018	World Bank
			CH4	ktCO2eq	1970-2018	World Bank
			N2O	ktCO2eq	1970-2018	World Bank
	에너지		1차 에너지 소비	kJOE	1960-2020	OECD
	GDP		실질GDP	USD	1960-2020	World Bank
	인구	총인구	국가별 총 인구	명	1960-2020	World Bank
		도시 인구	국가별 도시 거주 인구 비율	%	1950-2050	UN
		인구 전망	국가별 인구전망	명	1950-2100	UN
	기온		국가별 평균기온	℃	1850-2020	Berkeley Earth
	면적	총 면적	국가별 총 면적	km2	1961-2018	World Bank
		wetland	국가별 wetland 면적	km2	1992-2018	FAO
		dryland	국가별 dryland 면적	km2	1961-2018	FAO
	탄소기경		국가별 탄소세 현황과 전망	USD/tCO2	2000-2100	NGFS Remind 모형
	인구		인구 전망	명	1960-2100	통계청, UN
한국	사회		고령화율, 도시화율	%	1960-2100	통계청, UN
	경제		농업의 비중	%	1990-2018	통계청
	배출량		온실가스 배출량(교토 6대 온실가스), 흡수량	MtCO2eq	1990-2018	국가 온실가스 인벤토리
	기후변화 피해		가상재해, 질병 사망률 등	원, 인	2009-2018	재해연보, 통계청 등

국가단위 기후리스크 분석 모형 구축(CRM-FUND 모형)

시나리오 구축

NP 시나리오 온실가스 배출로 인한 사회경제적 피해(외부효과)를 고려하지 않고 경제적 최적화만을 목적으로 경제활동을 지속하는 경우

- 탄소세를 0으로 정하여 개별 국가가 탄소배출이 야기하는 외부효과를 고려하지 않고 온실가스를 배출한다고 가정
- 경제성장과 기술발전에 따른 에너지효율 개선율과 탄소집약도 개선율은 반영되어 경제성장 정도에 따라 온실가스 배출 일부 감소
- 탄소의 사회적 비용(SCC)를 산정할 수 있도록 모형 설계

BAU 시나리오 현재까지의 기술 및 효율 개선이 미래에도 유사한 속도로 지속되며, 현재 도입된 수준의 탄소가격이 미래에도 부과되는 경우

- 2021년 12월 기준 전세계 온실가스의 21.5%는 탄소가격제에 따라 관리되는 중(이산화탄소 가격은 유럽연합 1톤당 80유로, 국내 1톤당 3~4만원선)

탄소중립 시나리오 1.5°C 목표를 달성하기 위해 적어도 21세기 중반까지는 이산화탄소 순 배출량을 0(net zero)으로 만드는 경우

- **CN-A 시나리오, CN-B 시나리오**: 탄소중립위원회(2021)가 발표한 시나리오에 따라 두 가지로 구성
2030년, 2050년 제시된 목표에 따른 연평균 감축률을 산정하고 모형에 적용
분석의 편의를 위해 다른 국가들은 한국과 동일한 속도로 온실가스를 감축하는 것으로 가정
- **CN-TAX 시나리오**: 탄소세율을 조정함으로써 탄소중립에 도달하는 경우를 가정한 시나리오
NGFS의 REMIND_MAgPIE 모형에서 산출한 탄소세 경로를 입력자료로 활용

2.2. CRM-FUND 모형

국가단위 기후리스크 분석 모형 구축(CRM-FUND 모형)

탄소중립 시나리오

CN-A안과 CN-B안은 온실가스 순 배출량을 2050년까지 0으로 만드는 것은 동일하지만, 흡수량을 제외한 총 배출량 측면에서는 B안이 A안에 비해 온실가스를 더 많이 배출하는 시나리오

[표 2-1] 정부 탄소중립 시나리오(안) 부문별 목표

단위: 백만톤CO₂eq (괄호 안 기준년도 대비 감축률)

구분	기준년도('18년)	2030년	2050년	
			A안	B안
순 배출량 ¹⁾	686.3	436.6 (△36.4) ¹⁾	0 (△100)	0 (△100)
총 배출량	727.6	508.7 (△30.1)	80.4 (△88.9)	117.3 (△83.9)
전환	269.6	149.9 (△44.4)	0 (△100)	20.7 (△92.3)
산업	260.5	222.6 (△14.5)	51.1 (△80.4)	51.1 (△80.4)
건물	52.1	35 (△32.8)	6.2 (△88.1)	6.2 (△88.1)
수송	98.1	61 (△37.8)	2.8 (△97.1)	9.2 (△90.6)
농축수산	24.7	18.3 (△25.9)	15.4 (△37.7)	15.4 (△37.7)
폐기물	17.1	9.1 (△46.8)	4.4 (△74.3)	4.4 (△74.3)
수소	-	7.6	0	9
기타(탈루 등)	5.6	5.2 (7.1)	0.5 (△91.1)	1.3 (△76.8)
흡수 및 제거량	-41.3	-72.1	-80.4	-117.3
흡수원	-41.3	-26.7	-25.3	-25.3
이산화탄소 포집 및 활용·저장(CCUS)	-	-10.3	-55.1	-84.6
직접공기포집(DAC)	-	-35.1	-	-7.4

주: 1) 순배출 = 총배출량 - 흡수 및 제거량

2) 2030년 NDC 감축목표 40%는 2018년 총배출(727.6백만톤CO₂eq) 대비 2030년 순배출(436.6백만톤CO₂eq) 기준

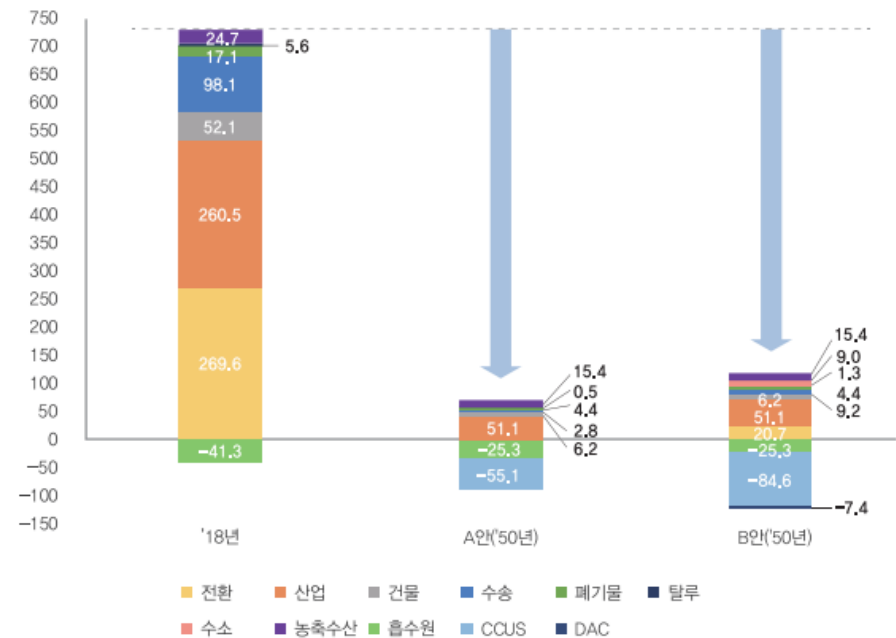
자료: 2050탄소중립위원회(2021), 관계부처 협동(2021)을 중심으로 저자 재구성

[표 2-2] 탄소중립 시나리오 발전원 구성

단위: TWh

구분	원자력	석탄	LNG	재생에너지	기타	합계
2030년	146.4	133.5	119.4	184.9	28.1	612.3
2050년	A안	76.9	0	889.8	291	1,257.7
	B안	86.9	0	61	324.9	1,208.8

자료: 2050탄소중립위원회(2021), 관계부처 협동(2021)을 중심으로 저자 재구성



■ ■ ■ 부문별 전망 방법

→ 경제 성장

- 신고전주의 경제성장이론을 따르며, 생산함수식은 Cobb-Douglas 함수식 사용
- 국가별 총요소생산성(TFP)는 국가별 과거자료를 바탕으로 추정하며, 미래에는 국가별 경제성장률 전망치에 따라 증가하는 것으로 가정

$$Y_{t,r} = A_{t,r} K_{t,r}^{\gamma} L_{t,r}^{1-\gamma}$$

Y: 총생산
A: 총요소생산성(TFP)
L: 노동력
 γ : 자본탄력성

- 현재의 자본은 감가상각을 거친 후 미래의 생산을 위한 투입요소로 활용되고, 현재의 총생산 중 일부는 미래의 생산을 위해 투자
- 미래의 국가별 저축률은 NGFS의 기준 시나리오를 바탕으로 추정

$$K_{t+1,r} = (1 - d_k) \times K_{t,r} + s_{t,r} \times Y_{t,r}$$

s: 저축률
 d_k : 자본의 감가상각률

→ 온실가스 배출과 감축

이산화탄소(CO₂) 배출량 감축

- 카야 항등식(Kaya identity)를 통해 산정
- 배출량 감소에 영향을 주는 요인은 일시적 영향(자본의 투자)과 영구적 영향(탄소집약도 및 에너지 집약도로 표현되는 기술의 발전)으로 구분

$$M_{t,r} = \frac{M_{t,r}}{E_{t,r}} \times \frac{E_{t,r}}{Y_{t,r}} \times Y_{t,r} = \psi_{t,r} \phi_{t,r} Y_{t,r}$$

$$M_{t,r} = (\psi_{t,r} - \chi_{t,r}^{\psi})(\phi_{t,r} - \chi_{t,r}^{\phi}) Y_{t,r}$$

$$\chi_{t,r}^{\psi} = \chi_{\psi} \chi_{t-1,r} + (1 - a_{t-1,r}) \chi_{t-1,r}^{\psi}$$

$$\chi_{t,r}^{\phi} = \chi_{\phi} \chi_{t-1,r} + (1 - a_{t-1,r}) \chi_{t-1,r}^{\phi}$$

M: 배출
E: 에너지사용량
Y: GDP
 ψ : 탄소집약도
 ϕ : 에너지집약도
T: 탄소가격
g: 에너지 효율 개선율

- 토지 이용과 산림 벌채등으로 인한 CO₂ 배출량은 외생변수로 산정

기타 온실가스 감축

- 메탄과 아산화질소
 - 배출량: 외생변수
 - 감축량: 내생적으로 탄소가격에 따라 결정 (이차함수식 활용)

- 배출 저감비용은 지적자본의 함수: 지식은 배출의 감소와 함께 축적되며, 지식이 축적될수록 감축 비용은 저렴해짐
- 배출집약도가 낮은 지역일수록 배출 저감비용이 상대적으로 비싸고, 배출집약도가 높은 지역일수록 배출 저감비용이 상대적으로 저렴

$$\frac{C_{t,r}}{Y_{t,r}} = \frac{\beta_{t,r} \tau_{t,r}^2}{H_{t,r} H_t^g}$$

$$H_{t,r} = H_{t-1,r} \sqrt{1 + \gamma R^{\tau} \tau_{t-1,r}}$$

$$H_t^G = H_{t-1}^G \sqrt{1 + \gamma G^{\tau} \tau_{t-1,r}}$$

$$\beta_{t,r} = 0.784 - 0.084 \sqrt{\frac{M_{t,r}}{Y_{t,r}} - \min \frac{M_{t,z}}{Y_{t,z}}}$$

C: 감축비용
H: 온실가스 배출관련 지식 수준

- 육불화황, CFC11, CFC12 등의 온실가스는 외생적으로 전 지구값만 산정, 감축량은 별도 산정하지 않음

■ ■ ■ 부문별 전망 방법

→ 기후

메탄 및 아산화질소 농도

- 대기 중 배출된 이후 시간에 따라 기하학적으로 감소

$$C_{i,t} = C_{i,t-1} - \alpha_i E_{i,t} - \beta_i (C_{i,t-1} - C_{pre,i})$$

C: 농도 α : 산정계수
i: 개별 온실가스 B: 생애주기 매개변수

육불화황, CFC11, CFC12 농도

- IPCC 시나리오에 따라 외생적 입력

이산화탄소 농도

- FUND 모형에서 모델링을 위해 고안된 수학적, 추상적 개념인 5box 모형을 따름
- CO₂는 각기 다른 생애주기를 갖는 5개로 구분된 개별 상자에 분산되어 있는 것으로 가정

$$C_t = \sum_{i=1}^5 \alpha_i Box_{i,t}$$

α : 각 상자에 유입되는 CO₂ 비율
B: 변환계수
 ρ : 자연감소율

$$Box_{i,t} = \rho_i Box_{i,t-1} + \beta \alpha_i E_t$$

복사강제력

- 다음 식에 따라 산정

$$RF_t = 5.35 \times \ln \frac{CO_2}{275} + 0.036 \times 1.4 (\sqrt{CH_4} - \sqrt{790}) + 0.12 (\sqrt{N_2O} - \sqrt{285}) \\ - 0.47 \ln (1 + 2.01 \times 10^{-5} CH_4^{0.75} 285^{0.75} + 5.31 \times 10^{-15} CH_4^{2.52} 285^{1.52}) \\ - 0.47 \ln (1 + 2.01 \times 10^{-5} N_2O^{0.75} 790^{0.75} + 5.31 \times 10^{-15} N_2O^{1.52} 790^{1.52}) \\ + 2 \times 0.47 \ln (1 + 2.01 \times 10^{-5} 285^{0.75} 790^{0.75} + 5.31 \times 10^{-15} 285^{1.52} 790^{1.52}) \\ + 0.00052 (SF_6 - 0.04) + rfSO_2$$

지구평균기온

- 지구평균기온 및 해수평균기온, 복사강제력에 의해 산정

$$T_{AT,t+1} = T_{AT,t} + \xi_1 [RF_{t+1} - \xi_2 T_{AT,t} - \xi_3 (T_{AT,t} - T_{LQ,t})]$$

- 지구평균기온 상승에 영향을 끼치는 해수평균기온 및 해수면 상승은 아래와 같이 산정
- 각 모형 파라미터는 Tol(2019) 값을 기본으로 하되 역사적 관측 자료를 바탕으로 조정된 값을 사용

$$T_{LQ,t+1} = T_{LQ,t} + \xi_4 (T_{AT,t} - T_{LQ,t})$$

$$S_t = (1 - \frac{1}{\phi}) S_{t-1} + \gamma \frac{1}{\rho} T_{AT,t}$$

■ ■ ■ 부문별 전망 방법

➔ 물리적 피해

농업

- 기후변화 속도로 인한 영향, 크기로 인한 영향으로 구분

$$A_{t,r} = A_{t,r}^r + A_{t,r}^l$$

$$A_{t,r}^r = \alpha_r \left(\frac{\Delta T_t}{0.04} \right)^\beta + \left(1 - \frac{1}{\rho} \right) A_{t-1,r}^r$$

$$A_{t,r}^l = \delta_r^l T_t + \delta_r^s T_t^2$$

A: 기후변화의 영향 T: 평균기온변화
기타: 매개변수 ρ: 적응 속도

다른 부문

- 임업, 수자원, 난방, 냉방지출, 해수면상승, 생물다양성, 건강, 태풍과 온대저기압 등으로 구분
- 기본적으로 부문별 피해비용 함수는 평균기온 상승과 온실가스 농도의 비선형 함수(생산량 감소, 지출비용 증가, 습지가치 손실, 생물다양성 손실, 인명 손실 등 추정)
- 인명손실은 통계적 생명가치 값 이용 환산

$$VSL_{t,r} = \alpha \left(\frac{y_{t,r}}{y_0} \right)^\epsilon$$

※ 기타 기후변화 물리적 피해 산정에 대한 함수식은 보고서 참조

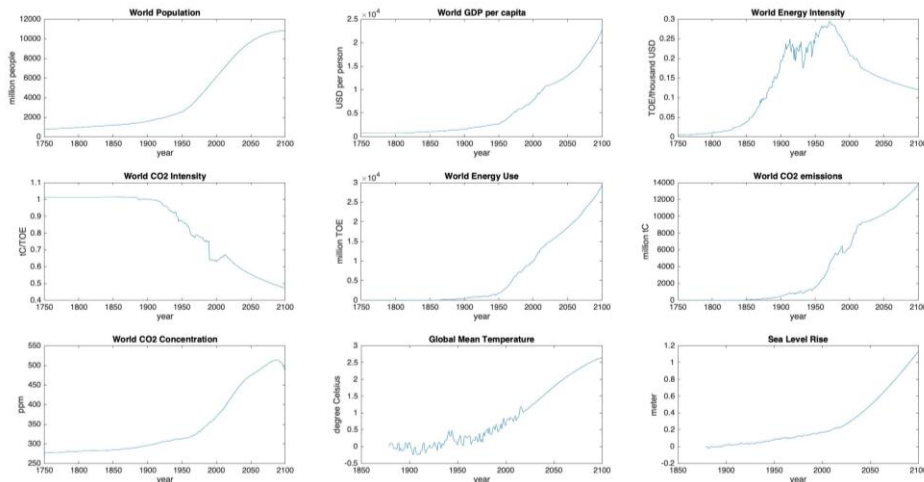
3.1. 모형 분석 결과



기후변화에 대한 정책 노력이 없을 경우(NP 시나리오)

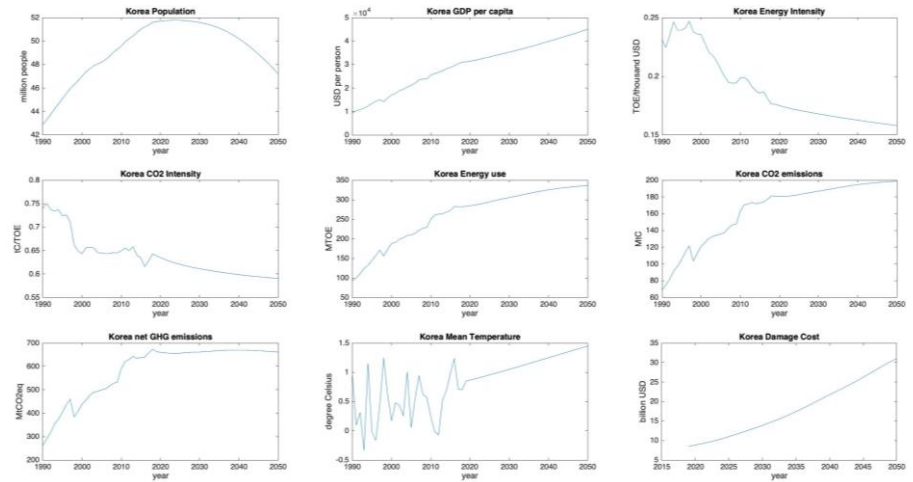
전 세계

- 인구와 1인당 GDP 증가로 인해 이산화탄소 배출량 큰 폭으로 증가
- 에너지집약도와 탄소집약도가 지속적으로 감소하기때문에 이전 시기에 비해 증가폭 다소 둔화
- 1880년~1900년 평균 대비 2100년까지 지구평균기온 2.6도 상승, 해수면 1.1m 상승 전망



한국

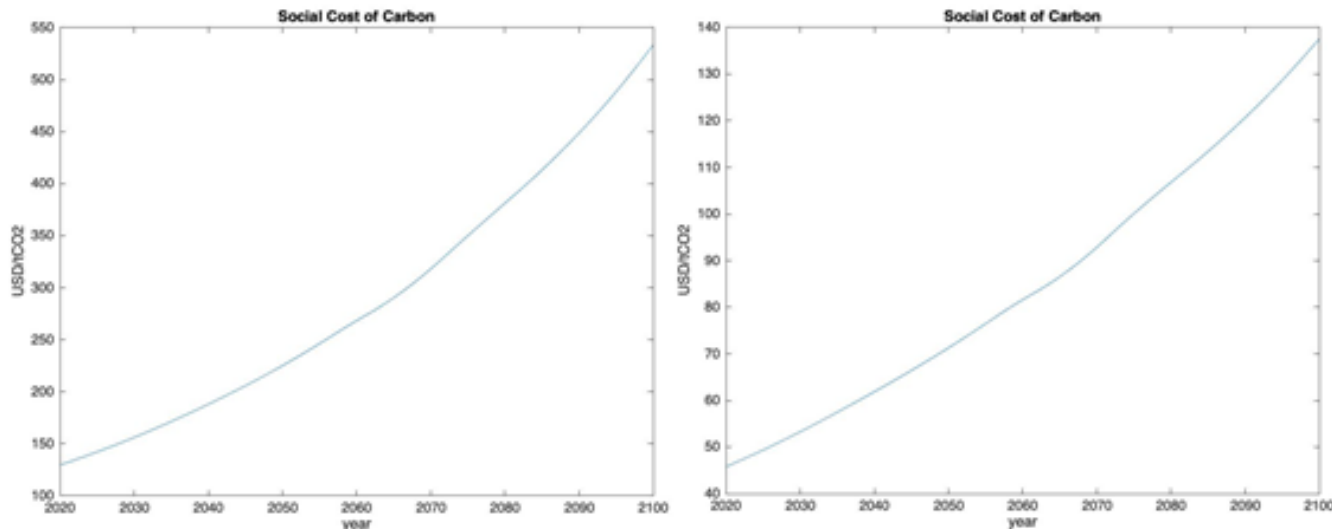
- 경제는 지속적으로 성장하나 인구는 2020년대 중반이후 감소세 전환
- 에너지집약도와 탄소집약도 감소세가 경제성장과 에너지소비 증가 속도를 넘어서지 못해 전체 이산화탄소 배출량은 지속적으로 증가 전망
- 지구 평균기온 상승에 따라 한국의 평균기온도 상승하며, 기후변화로 인한 총 피해비용은 2050년 기준 연간 310억 달러 수준으로 전망



기후변화에 대한 정책 노력이 없을 경우(NP 시나리오)

탄소의 사회적 비용(SCC) – 탄소 1톤이 초래하는 사회적 비용으로 기후변화 대응정책 마련에 있어 중요한 지표로 활용

- 이론적으로 대기 중 탄소는 배출 지역과 무관하게 전 지구적으로 확산되어 영향을 미치기 때문에 지역에 무관하게 동일한 값으로 산출할 수 있다고 가정하여, 이 연구에서는 글로벌 피해비용함수를 적용해 탄소의 사회적 비용 산정
- 상대적으로 기후변화 피해비용을 크게 산정하는 Weitzman(2012) 피해비용함수 적용 시(아래 그림 좌측) 탄소 1톤의 사회적 비용: 130USD(2020년) → 156USD(2030년) → 225USD(2050년) → 534USD(2100년)
- 상대적으로 기후변화 피해비용을 낮게 산정하는 Nordhaus(2018) 피해비용함수 적용 시(아래 그림 우측) 탄소 1톤의 사회적 비용: 46USD(2020년) → 53USD(2030년) → 71USD(2050년) → 138USD(2100년)

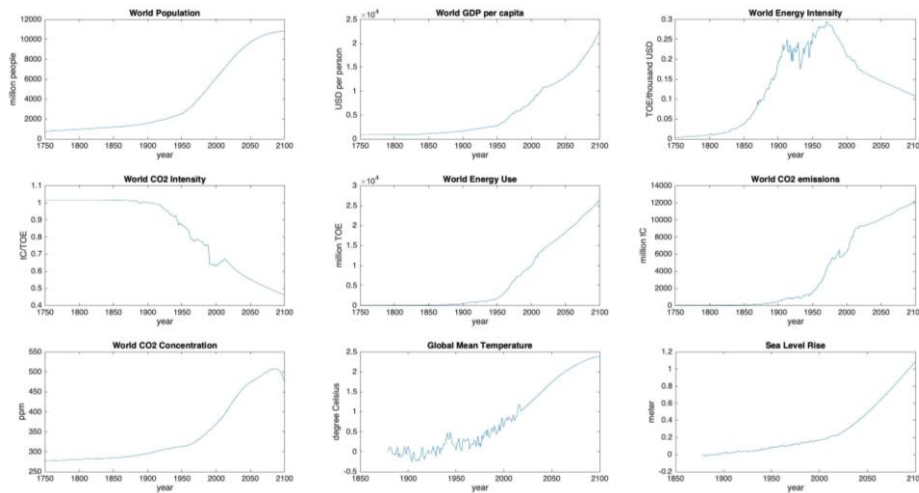




현재의 탄소세가 적용될 경우(BAU 시나리오)

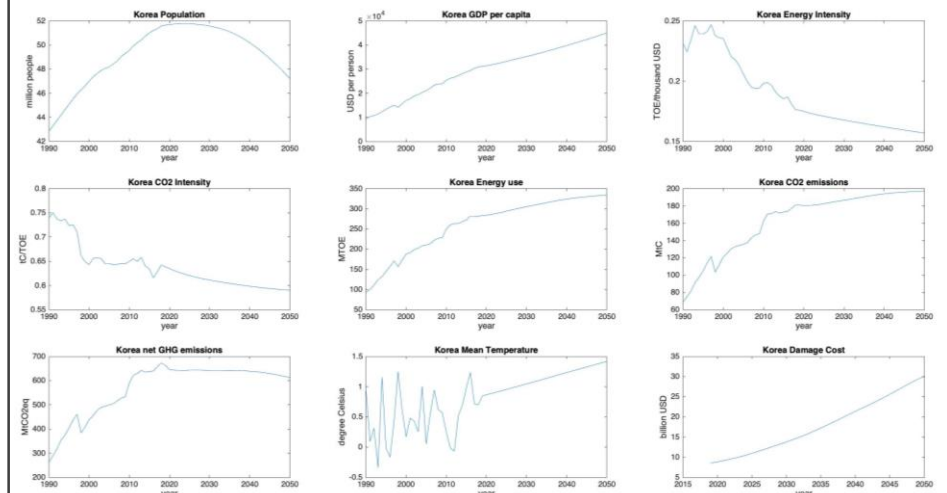
전 세계

- REMIND-MAgPIE 모형에서 제시한 Current Policies의 탄소세 요율
을 적용
- NP 시나리오에 비해 에너지집약도와 탄소집약도 일정부분 개선됨에
따라 에너지배출량 및 온실가스 배출량 개선
- 그럼에도 불구하고 평균 대비 2100년까지 지구평균기온 2.4도 상승
(NP시나리오에 비해 0.2도 개선)



한국

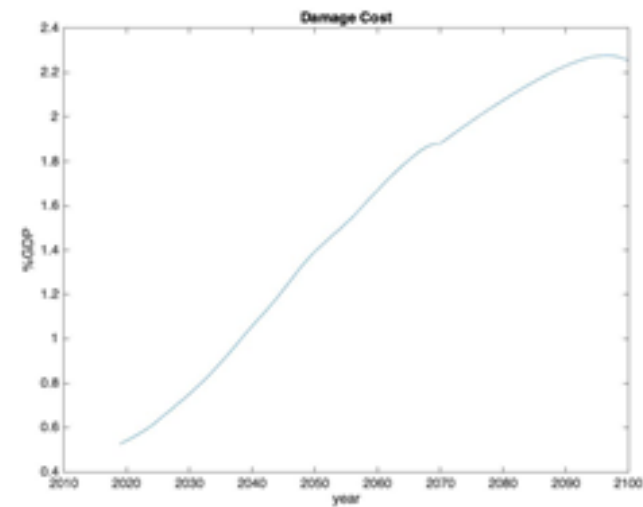
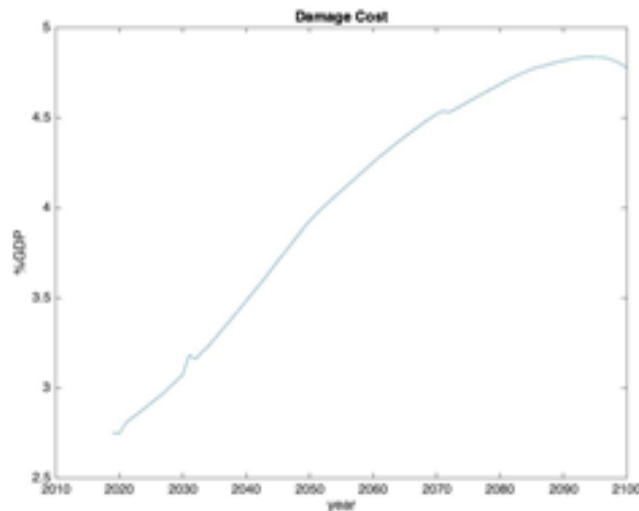
- 마찬가지로 에너지집약도와 탄소집약도의 개선으로 에너지소비량 및
온실가스 배출량이 소폭 감소할 것으로 전망되었으나 감소폭이 크지는
않음
- 기후변화 피해비용은 2050년 기준 300억 달러로 NP 시나리오에 비해
10억 달러 정도 감소할 것으로 전망



■ ■ ■ 현재의 탄소세가 적용될 경우(BAU 시나리오)

총 피해비용

- 전 세계(아래그림 좌측) 총 피해비용은 2050년 총 산출액 대비 3.9%에서 2100년 4.8%까지 상승할 것으로 전망
- 한국(아래그림 우측)의 경우 전 세계 평균에 비해서는 낮은 편으로 2050년에는 GDP 대비 1.4%, 2100년에는 2.3%가 될 것으로 전망



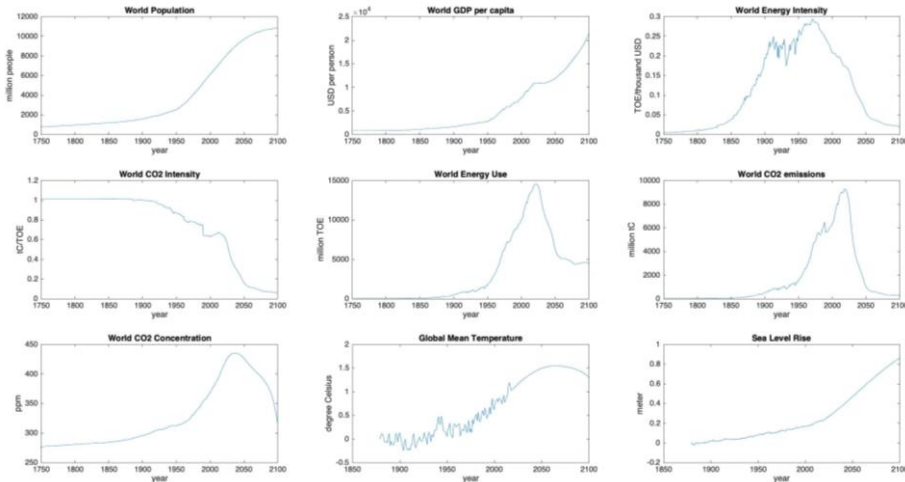


탄소중립 정책이 시행될 경우(CN_TAX 시나리오)

탄소중립 달성을 위해서는 2030년 168USD, 2050년 797USD 달러 수준으로 탄소가격을 높여야 할 것으로 전망

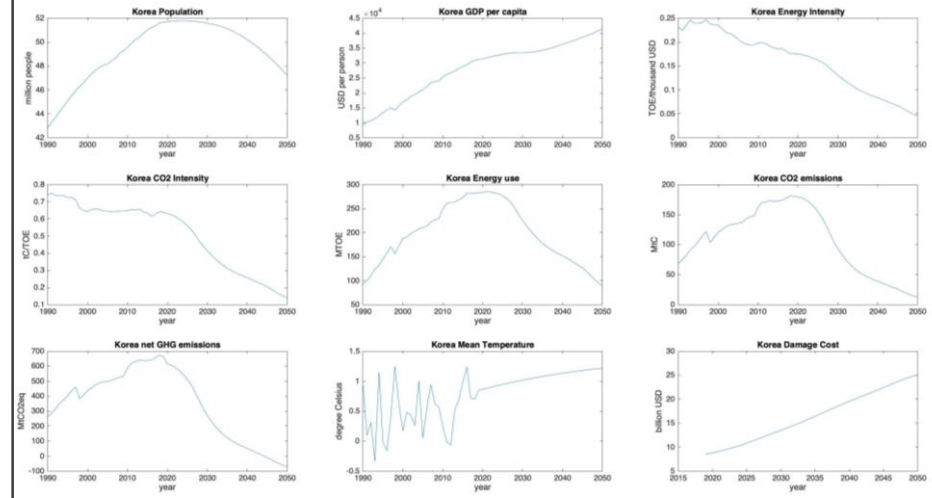
전 세계(CN-TAX 시나리오)

- 높은 수준의 탄소세 부과로 전 세계 에너지집약도와 탄소 집약도의 획기적 개선
- 지구평균기온은 2060년대 정점(1.55도 상승)을 지나 차츰 안정화
- 2100년까지 해수면 상승 폭은 0.86m 수준



한국(CN-TAX) 시나리오

- 이산화탄소 배출량이 큰 폭으로 감소될 것으로 전망
- 지구 평균기온 상승 억제로 인해 기후변화 피해비용은 2050년 기준 250억 달러로 BAU 시나리오에 비해서도 50억 달러 감소 예상

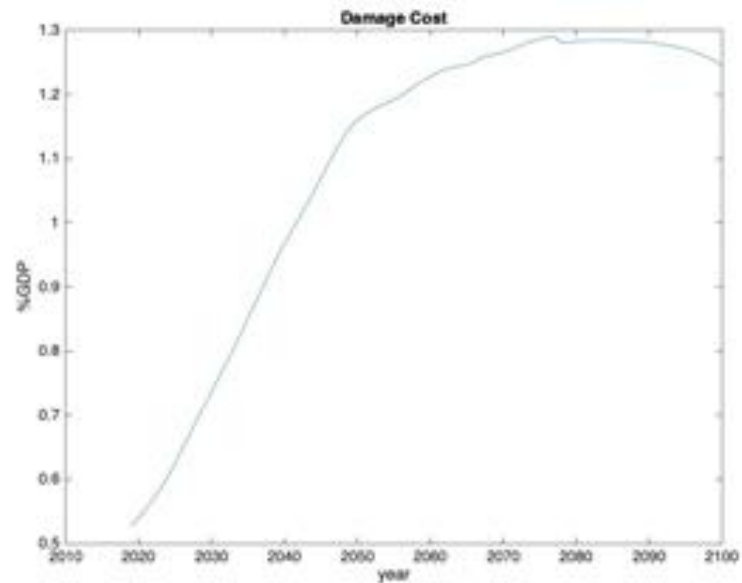
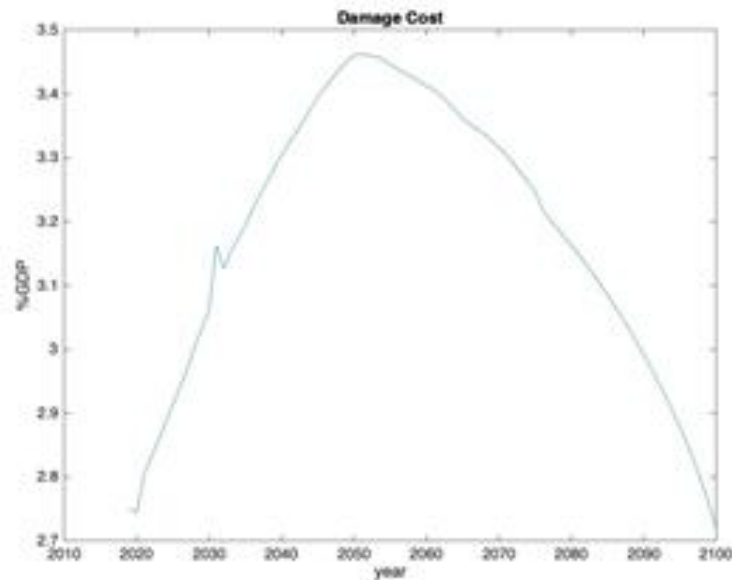


탄소중립 정책이 시행될 경우(CN_TAX 시나리오)

탄소중립 달성을 위해서는 2030년 168USD, 2050년 797USD 달러 수준으로 탄소가격을 높여야 할 것으로 전망

총 피해비용

- 전 세계(아래그림 좌측) 총 피해비용은 2050년 총 산출액 대비 3.5%를 정점으로 2100년에는 2.7%까지 낮아질 전망
- 한국(아래그림 우측)의 경우 2050년 이후 1.2~1.3% 내외가 될 것으로 전망





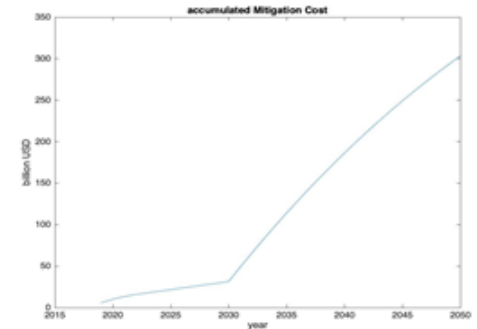
탄소중립 정책이 시행될 경우(CN_A 시나리오)

탄소중립위원회 시나리오 A 적용

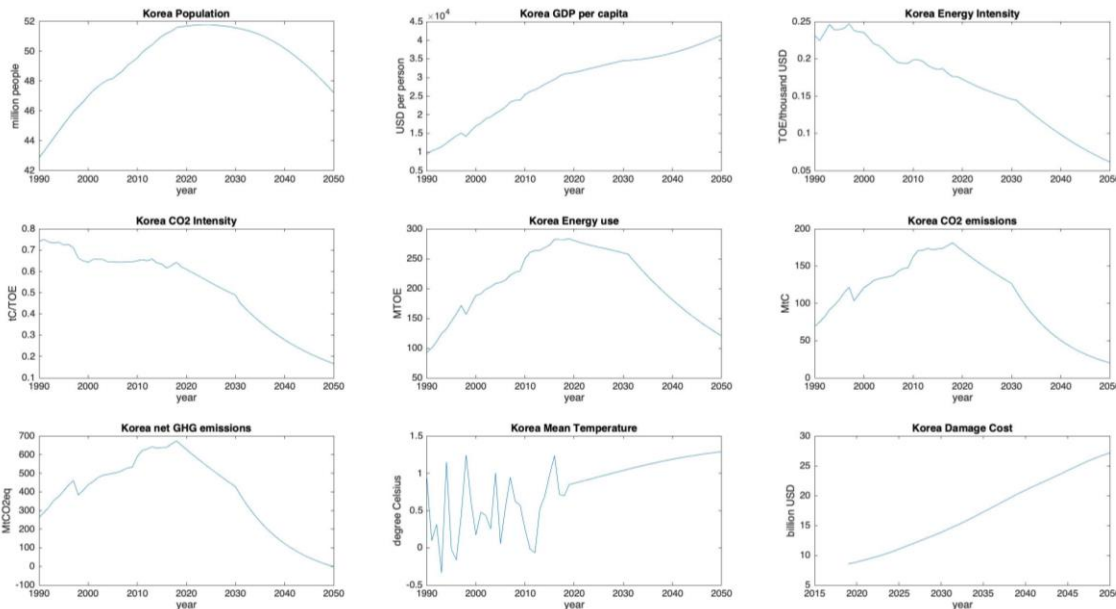
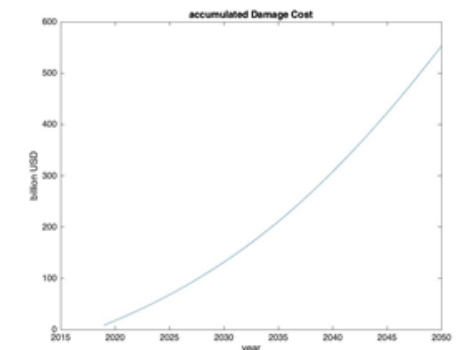
한국(CN-A 시나리오)

- 물리적 피해비용 2050년 GDP 대비 1.257%
- 온실가스 감축 누적비용은 2050년까지 총 3,033억 달러, 이후 증가폭 감소로 2100년 누적 총 3,893억 달러
- 기후변화에 따른 물리적 피해 누적비용은 2050년 총 5,528억 달러, 2100년 약 2.2조 달러

[누적 감축비용]



[누적 피해비용]





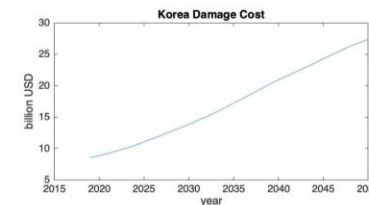
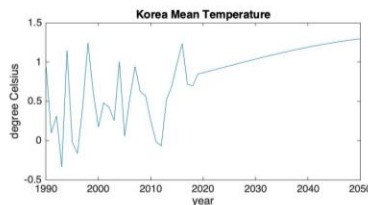
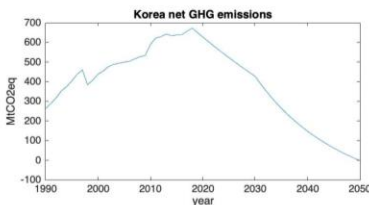
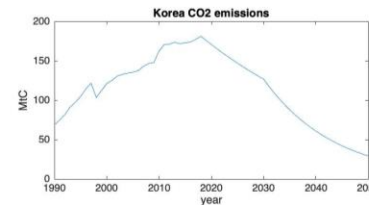
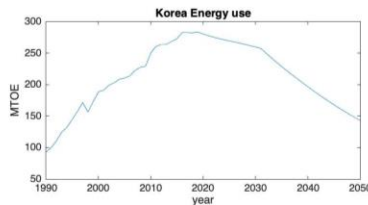
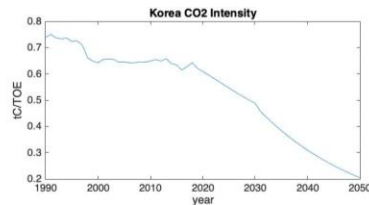
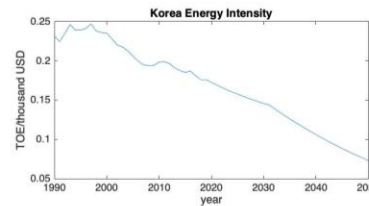
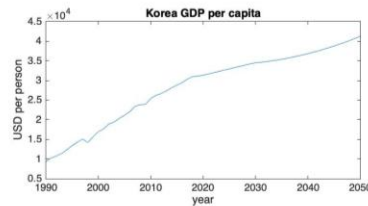
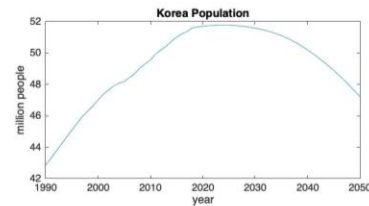
탄소중립 정책이 시행될 경우(CN_B 시나리오)

탄소중립위원회 시나리오 B 적용

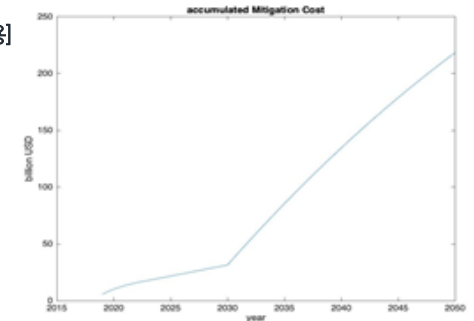
한국(CN-B 시나리오)

- 물리적 피해비용 2050년 GDP 대비 1.266%
- 온실가스 감축 누적비용은 2050년 누적 총 2,183억 달러, 이후 증가폭 감소로 2100년 누적 총 3,090억 달러

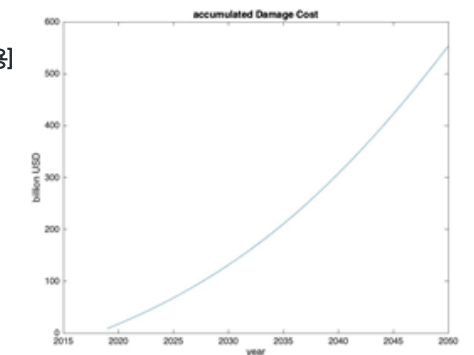
- 기후변화에 따른 물리적 피해 누적비용은 2050년 총 5,534억 달러, 2100년은 CN-A시나리오와 비슷한 약 2.2조 달러



[누적 감축비용]



[누적 피해비용]



“ 국가 탄소중립 정책 시나리오 간(CN-A, CN-B) 비교

- ✓ CN-A안과 CN-B안은 온실가스 순 배출량을 2050년까지 0으로 만드는 것은 동일하지만, 흡수량을 제외한 총 배출량 측면에서는 B안이 A안에 비해 온실가스를 더 많이 배출한다는 점에서 차이 발생
- ✓ 따라서 B안이 A안에 비해 이산화탄소 배출량이 좀 더 많고, 평균기온의 상승폭과 기후변화 물리적 피해비용이 다소 높음
- ✓ 그러나 온실가스 순 배출 측면에서의 차이는 작기 때문에 사회경제적 요소에서의 차이는 거의 없음
(예시: 기후변화 물리적 피해비용의 경우 2050년 CN-A안은 GDP 대비 1.257%인데 비해 CN-B안은 1.266%)

“ 탄소중립정책의 비용 효과성

- ✓ NP 시나리오에서는 2100년까지 기후변화로 인한 누적 피해비용이 3.1조 달러로 전망되는데 비해 CN 시나리오에서는 기후변화로 인한 누적 피해비용이 2.2조원으로 NP 시나리오에 비해 약 9천억 달러 감소 전망
- ✓ 누적 감축비용이 시나리오에 따라 2100년까지 3.1천억~3.9천억 달러로 전망되었다는 점을 고려하면, 탄소중립 정책은 비용효과적이라고 판단 가능

CGE 모형 연계, 업종별 기후리스크 산출(예시)

정책이행 리스크: 탄소세 시나리오

탄소 가격 시나리오	가정
\$50/tCO ₂	- DICE 모형(Nordhaus, 2018) 2030년 최적값: \$50/tCO ₂ - 불확실성과 학습 모형(Hwang et al., 2017) update 2030년 최적 값: DICE 피해비용함수 적용 시 \$58.5/tCO ₂
\$100/tCO ₂	- DICE 모형(Nordhaus, 2018)의 불확실성 분석 상위 10% 값: 2030년 \$100/tCO ₂
\$150/tCO ₂	- DICE 모형(Nordhaus, 2018) WEITZMAN 피해비용함수 적용 시 2030년 최적 값: \$162/tCO ₂
\$200/tCO ₂	- 불확실성과 학습 모형(Hwang et al., 2017) update 2030년 최적 값: WEITZMAN 피해비용함수 적용 시 \$200/tCO ₂
\$250/tCO ₂	- 파리협정 달성을 위한 탄소세 전문가 평가 중앙 값(Hansel et al., 2020): 2030년 \$261/tCO ₂



자본-노동 물리적 피해 시나리오

시나리오	가정	
	자본 감소율(%)	노동 감소율(%)
2030년 기준 시나리오	0.8	1.4
2050년 기준, BAU 시나리오	1.6	3.3
2050년 기준, 2050 NZ 시나리오	1.3	1.7
2100년 기준, BAU 시나리오	4.3	6.1
2100년 기준, 2050 NZ 시나리오	0.9	1.7

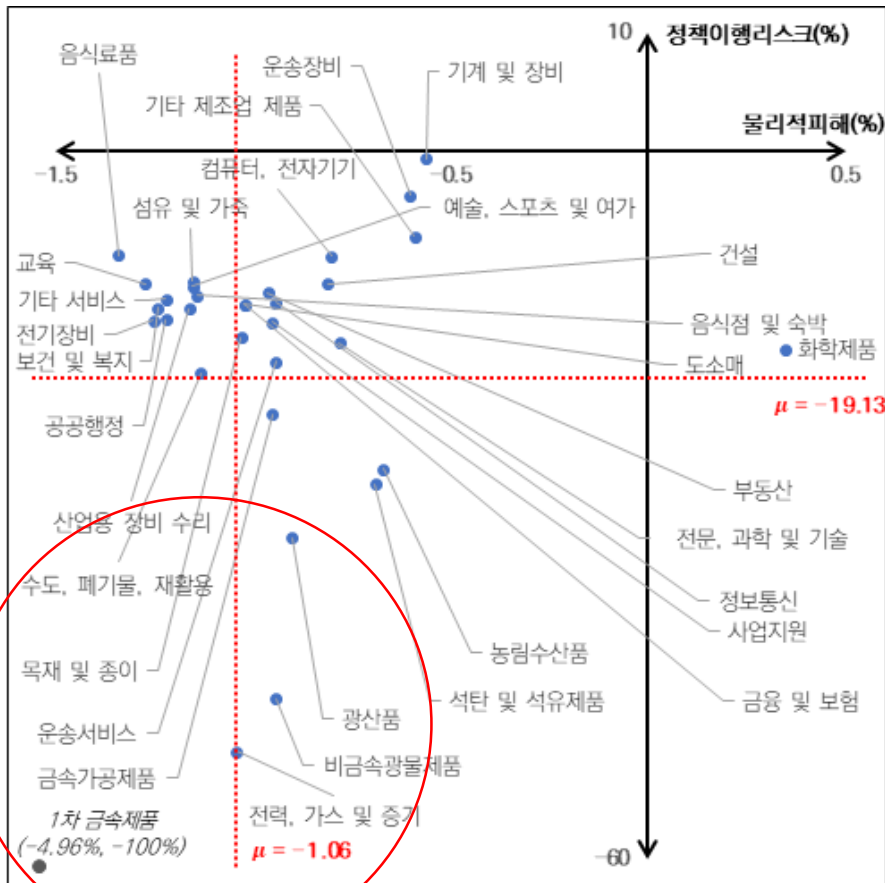
조합 시나리오

시나리오	가정
2030년 기준, 2050 탄소중립(NZ) 시나리오	- 탄소세 \$250/tCO ₂ - 자본 감소율 0.8% - 노동 감소율 1.4%
2030년 기준, BAU 시나리오	- 탄소세 \$50/tCO ₂ - 자본 감소율 0.8% - 노동 감소율 1.4%



CGE 모형 연계, 업종별 기후리스크 산출(예시)

2030년 기준 서울 산업경제부문별 기후리스크



주: 탄소가격 \$250/tCO₂, 2030년 기준 자본 감소율 0.8%, 노동감소율 1.4% 적용 시나리오
 붉은 선은 변화율 평균치, 회색 점(기울임체로 작성된 산업)은 그래프 범위 밖을 의미

