



정책 입안자를 위한
ENGAGE 요약



International Institute for
Applied Systems Analysis

IIASA www.iiasa.ac.at





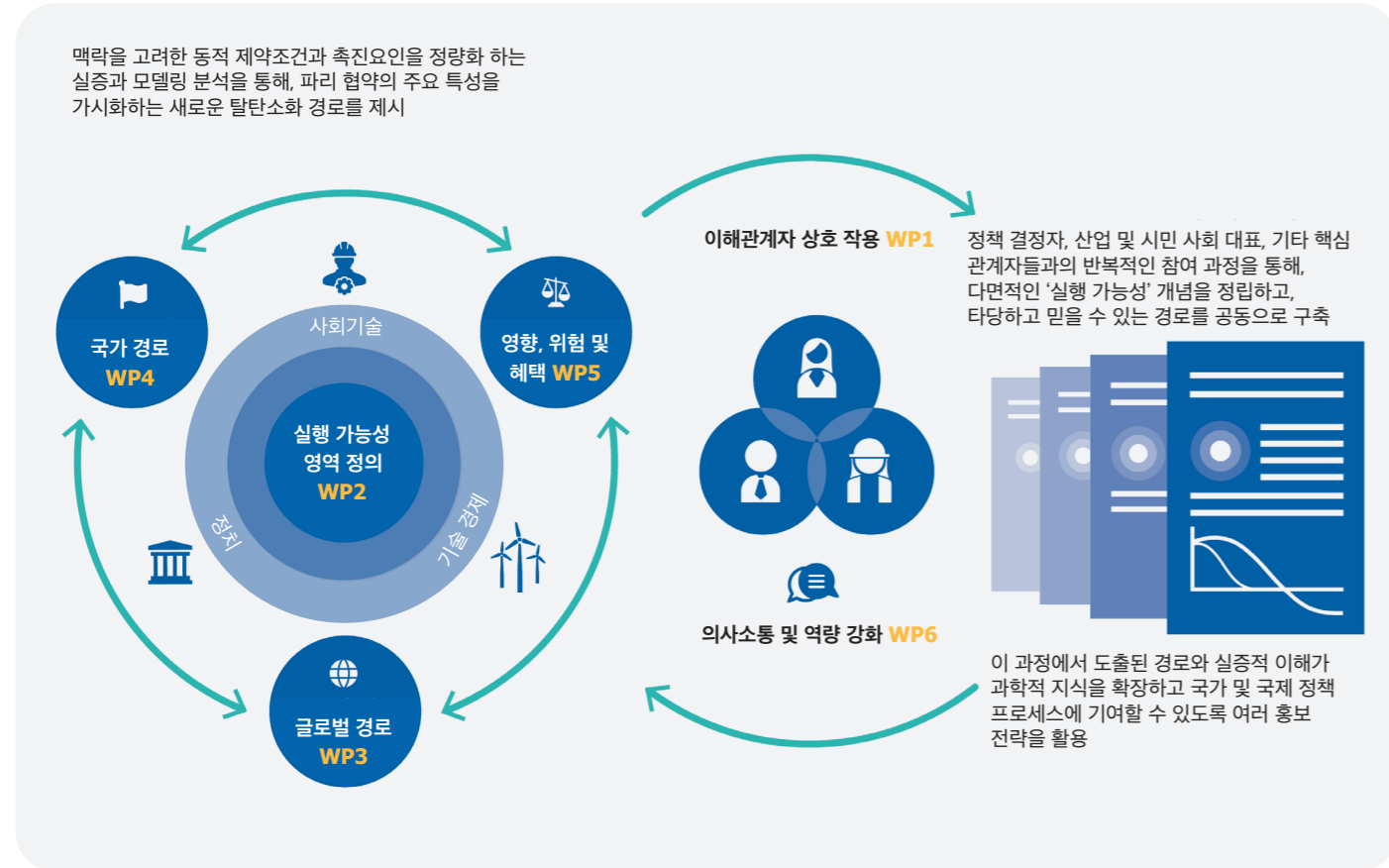
ENGAGE 프로젝트에 대하여
 이 프로젝트는 유럽연합의 호라이즌 2020 연구 혁신 프로그램으로부터 연구비 협약 821471번에 해당하는 재정 지원을 받았습니다.

목차	1. 서론	4
	2. 주요 메시지	6
	3. 탈탄소화 경로의 실행 가능성 평가	8
	4. 온도 초과(OVERSHOOT) 없는 탈탄소화 경로	11
	5. 실현 가능성을 고려한 탈탄소화 경로	16
	6. 비교 가능한 국가별 탈탄소화 경로	19
	7. 파리 협약과 글래스고 협약 목표를 달성하는 가능한 경로	23
	8. 파리 협약 목표 달성을 위한 노력 분담 옵션 탐색	27
	9. 장단점, 공동 이익 및 피할 수 있는 영향에 대한 결과 공유	30
	10. 공동 제작 과정에 이해관계자 참여 유도	32
	11. ENGAGE 역량 강화	36
	12. 결론	37

1. 서론

전 세계가 기후 변화의 위험에 직면함에 따라 정책 입안자, 산업계 및 시민 사회 지도자들은 파리협약(PA)과 이후 협정의 목표를 달성하기 위한 전략을 알리고, 가이드를 제시하기 위해 통합평가모델(IAM)을 사용하고 있습니다. ENGAGE는 이러한 이해관계자들과 협력하여(섹션 9 참조) 차세대 글로벌 및 국가적 탄소배출 감소 경로(섹션 5 및 6)를 공동 개발했습니다. 여기에서 탄소배출 감소 경로의 다차원적 실행 가능성을 탐색하고, 실행 가능성의 위험을 최소화하여 기후 정책을 강화하는 기회를 식별하기 위한 도구와 접근법을 개발하였습니다(섹션3). 새로운 배출 경로는 온도 목표의 초과(overshoot)를 최소화하고(섹션 4), 파리 협약 온도 목표를 달성하기 위한 탄소 중립 시기를 탐색하며, 논란이 되고 있는 네거티브 배출 기술에 대한 의존도를 줄이기 위해 설계되었습니다. 그러나 글로벌 탄소배출 감소 경로는 국가 정책 및 계획과 연계되는 범위 내에서만 실행 가능하므로, 이 프로젝트는 국가 배출 감소 정책 및 공약, 국제 정부메커니즘과 글로벌 탄소배출 감소 경로를 조화롭게 조정하는 데 특히 주의를 기울였습니다(섹션5 및 6). 또한 이 프로젝트는 기후 변화의 회피 영향, 공동 이익 및 기후 정책의 장단점을 정량화 했으며(섹션8), 탄소배출 감소 경로의 노력 분담 영향을 탐구했습니다(섹션 7).

그림 1: ENGAGE 프로젝트의 개념적 개요



다음 섹션에 요약된 결과는 여러 분야, 각 분야 사이의, 혹은 분야를 초월한 전문 지식으로만 얻을 수 있었습니다. 프로젝트 팀은 유럽과 비유럽 국가(브라질, 중국, 인도, 인도네시아, 일본, 한국, 멕시코, 러시아, 태국, 미국, 베트남)의 선두 IAM 팀으로 구성된 세계적인 연합체를 구성했습니다(외부 파트너 포함). 2015년 전 세계 CO₂ 배출량의 총 74%는 이 연합체에 속한 국가에서 발생했습니다. 여기에는 11개 배출국 중 9개의 최대 배출 국가가 포함되어 있습니다. 이들 국가는 고소득 국가(예: EU, 일본, 미국)와 중저소득 국가(인도, 베트남) 등으로 다양합니다. 사용된 통합 평가 모델의 앙상블은 여러가지 접근 방식을 포함하고 있습니다. 다양한 모델 유형의 조합은 서로 다른 모델에서 공통적으로 적용되는 강력한 통찰력을 파악하는데 도움이 되었습니다.

프로젝트 정보

온실 가스 배출 감소를 위한 국가 및 글로벌 대책 탐색

연구비 계약 ID: 821471

시작일 2019년 9월 | 종료일 2023년 12월

파트너

- International Institute for Applied Systems Analysis (Austria) – Project coordinator
- Potsdam Institute for Climate Impact Research (Germany)
- PBL Netherlands Environmental Assessment Agency (Netherlands)
- Euro-Mediterranean Center on Climate Change (Italy)
- E3 Modelling (Greece)
- Central European University (Hungary)
- COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro (Brazil)
- The Energy and Resources Institute (India)
- National Institute for Environmental Studies (Japan)
- NewClimate Institute (Germany)
- Wageningen University (Netherlands)
- National Research University Higher School of Economics (Russia | until April 2022)
- Tsinghua University (China)
- Energy Research Institute (China)
- National Center for Climate Change Strategy and International Cooperation (China)
- Indian Institute of Management (India)
- Research Institute of Innovative Technology for the Earth (Japan)
- Korea Advanced Institute of Science and Technology (Korea)
- University of Seoul Industry Cooperation Foundation (Korea)
- Sirindhorn International Institute of Technology – Thammasat University (Thailand)
- International University – Vietnam National University Ho Chi Minh City (Vietnam)
- Bandung Institute of Technology (Indonesia)
- Jill Jaeger (Austria)
- Utrecht University (Netherlands)
- Kyoto University (Japan)
- ENGAGE also has three external partners:
- Joint Global Change Research Institute (United States)
- SHURA Energy Transition Center (Turkey)
- TNO (Netherlands)

2. 주요 메시지

탈탄소화 경로의 실행 가능성 평가

- 전반적으로 신속한 조치를 한 경우, 실행 가능성은 높아집니다. ENGAGE 프로젝트에서 개발한 실행 가능성 프레임워크는 다음과 같습니다. 즉각적이고 의욕적인 저탄소 사회로의 변화를 향한 시나리오가 장기적으로 지연된 행동 시나리오보다 실행 가능성 관련 문제를 줄여줍니다. 단기간 내에 실행 가능성 문제를 극복하는 경우 장기적인 이점이 있습니다.
- 기관은 감축 시나리오의 실현 가능성과 관련했을 때 주요 고려 사항입니다. 많은 지역에서 정부 및 기타 기관들은 저탄소 시나리오에서의 신속한 감축 요구를 충족시킬 능력이 없을 수 있습니다. 교육 투자와 같은 분야에서 국제 사회의 집중적인 지원이 큰 차이를 만들 수 있습니다.
- 수요 및 공급 감축 전략은 균형 있게 적용되어야 합니다. 수요와 공급이 모두 중요하기 때문에 공급 측면의 감축 전략은 자체적인 실행 가능성 문제가 있습니다. 따라서 전반적으로 혼합 접근 방식이 더 견고합니다.

온도 초과(overshoot) 없는 탈탄소화 경로

- 네거티브 시나리오에 따르면, 위험한 수준의 초과(overshoot)가 발생할 수 있습니다. 순 네거티브 배출 경로 시나리오에 따르면, 탄소 중립에 도달할 때보다 세기 중반의 최고 기온이 최대 0.15 °C까지 상승할 수 있습니다 (1000 Gt CO₂ 예산 기준). 이는 상당히 더 높은 기후 영향과 티핑 포인트에 도달할 위험을 의미합니다.
- 2030년까지 저탄소 전력에 대한 투자는 적어도 2배로 늘려야 합니다 (1000Gt 예산기준). 태양광, 풍력, 전력 그리드 및 저장에 대한 의욕적인 단기 투자 요구를 충족하는 것은 최고 온도 상승 목표에 도달하는 데 도움이 됩니다.
- 선행 투자는 장기적인 경제적 이득을 가져옵니다. 온도 초과(overshoot)를 피하는 시나리오에서 세기말 GDP는 더 높습니다.
- 이산화탄소 제거 기술의 개발과 보급이 시급한 상황입니다. 심지어 순 네거티브(net negative) 배출을 피하는 시나리오에서도, 이산화탄소의 제거가 필요하며 이는 단기 감축을 가속화하고 어려운 감축 분야의 배출을 상쇄하기 위해 필요합니다.

실행 가능성을 고려한 탈탄소화 경로

- 기관 능력 부족으로 1.5°C를 초과할 가능성이 높으므로, 전 세계는 기온 상승에 대비해야 합니다. 실행 가능성 제약 사항을 고려한 가장 의욕적인 감축 시나리오에서 최고 온도 상승을 1.5°C 아래로 유지할 확률은 10-25%에 불과합니다.
- 에너지 수요를 줄이면, 1.5°C 이하로 유지할 가능성이 높아지며, 최고 온도 기록 이후에 온도를 더욱 낮추는 데에도 중요합니다.
- 제도적 역량이 높은 국가들은 단기 감축에 대해 더 큰 책임을 져야 합니다. 이러한 국가에는 EU, 일본, 미국이 포함됩니다.
- 의욕적인 탈탄소화를 위해 기관 역량에 대한 국제 지원이 중요합니다. 글로벌 기후 행동을 가속화하는 효과적인 방법은 높은 감축 가능성을 가진 국가들의 기관 능력에 중점을 둔 역량 강화 및 지식 이전일 수 있습니다.

파리 협약 및 글래스고 협약 목표를 달성하는 글로벌 및 국가별 경로

- 현재 정책이나 기존의 국가결정기여(NDCs)는 모두 파리 협약 목표에 근접하지 못한 수치입니다. 현재의 정책은 기껏해야 온실가스 배출량을 안정화시키는 수준이지만, 깊은 감축이 필요합니다.
- 최근의 탄소 중립 목표는 큰 진전입니다. 글래스고 COP26 전후에 여러 국가에서 발표한 이러한 목표는 현재 정책이나 NDCs보다 전 세계적인 배출을 훨씬 낮은 수준으로 낮출 것으로 예상됩니다. 하지만 이것만으로 장기적인 기후 목표를 달성하기에는 여전히 충분하지 않습니다.
- 남은 격차를 줄이려면 화석 연료 사용을 급격히 줄이고 재생 에너지의 영향 범위를 더욱 확장해야 합니다.
- 최적의 감축 접근 방식 조합은 국가마다 매우 다르며, 태양열, 풍력, 바이오매스, 수력, 지열, 탄소 포집 뿐만 아니라 파도 및 조수 발전 등의 다양한 조합이 있습니다.

파리 협약 목표 달성을 위한 노력 분담

- 공정성은 비용 효율적입니다. 대부분의 노력 분담 제도는 2050년 글로벌 GDP에서 매우 미미한 감소를 유발합니다(비용 최적 시나리오대비 1% 미만).
- 공정성 기반 배출 거래는 더 큰 비용 절감을 가능하게 할 수 있습니다. 그러나 국제간 전송이 이를 불가능하게 할 수 있습니다.
- 기후 클럽은 세계 모든 국가들에게 모두 최고의 선택이 될 수 있습니다. 의지가 있는 국가들이 충분히 많이 모여서 추가적인 노력을 기울이면, 전 세계는 제한된 금융 자산의 이전으로 낮은 비용으로 공정한 감축을 달성할 수 있습니다.
- 개발도상국은 이러한 접근 방식 중 어떤 방식으로든 혜택을 받을 것으로 예상됩니다. 인도, 인도네시아, 멕시코, 남아프리카, 태국은 이러한 모든 윤리 기반 제도에서 비용 최적 시나리오보다 낮은 감축 노력으로 진행할 수 있습니다.

기후 변화 해결책에 대한 이해관계자 참여

- 이해관계자 간의 대화가 필요합니다. 인류 기인 기후 변화에 대한 해결책을 찾고, 그것을 실행하기 위해서는 연구 공동체와 다양한 이해관계자 간의 반복적이고 건설적인 대화가 필요합니다. 자금 지원, 역량 강화 및 교류에 대한 해결책을 찾고 구현하려면, 이해관계자들의 참여와 경험 교환이 필요합니다. 이는 오늘날 사회가 직면하고 있는 복잡한 문제에 대한 해결책을 찾고 실행하는데 필수적입니다.
- 온라인 활동이 오프라인 회의를 완전히 대체할 수는 없습니다. 파리 협약 목표를 달성하는 경로를 찾고 문제를 해결하기 위해서는, 이해관계자들이 다양한 관점을 알아보고 이해하며, 필요한 경우 심층적으로 파고들고, 여러 차례에 걸친 대화에 참여할 시간과 공간이 필요합니다.
- 프로젝트 전반에서 이해관계자들의 참여를 통해서 얻은 교훈을 문서화하기 위한 중앙 플랫폼이 필요합니다. ENGAGE 프로젝트에서는 다른 EU 연구비 지원 프로젝트에서 연구한 이해 관계자들 참여와 관련된 디자인과 실행에 관련된 경험으로부터 많은 교훈을 얻었습니다. 이를 바탕으로 신중하게 설계된 이해관계자 참여에서 얻은 교훈을 문서화하기 위한 중앙 플랫폼이 향후 프로젝트에서 효과적인 협동 창조 과정을 설계하고 실행하기 위한 견고한 기반이 될 것입니다.

3. 탈탄소화 경로의 실행 가능성 평가

탈탄소화 경로의 실행 가능성을 평가하기 위한 도구 개발

통합 평가 모델(IAMs)은 특정 기후 목표에 대한 가장 비용 효율적인 감축 시나리오를 계산합니다. 이러한 모델은 비용에 중점을 두고 있어 시나리오가 일반적으로 얼마나 실행 가능한지를 평가할 수 없습니다. 감축 시나리오를 살펴볼 때 제기되는 실행 가능성을 평가하기 위해 새로운 프레임워크가 개발되어 사용되었습니다.

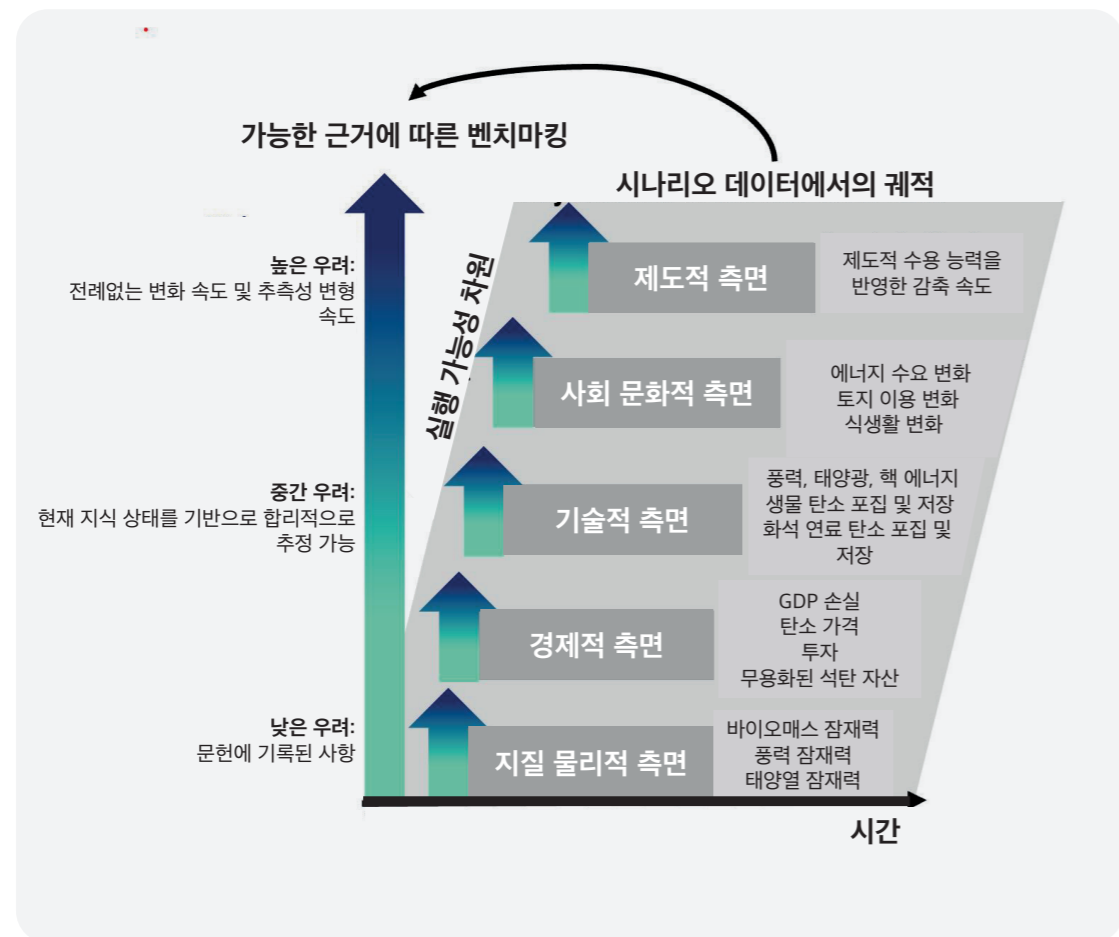
이 프레임워크(그림 2)는 실행 가능성에 관련된 문제가 발생할 수 있는 다섯 가지 차원을 살펴봅니다: 지구물리학적, 기술적, 경제적, 사회문화적, 제도적 차원. 각 차원은 시나리오에 보고된 탄소 가격과 같은 주요 지표를 통해 평가됩니다. 이 프레임워크는 문헌과 경험적 데이터에서 얻은 통찰을 기반으로, 각 지표의 다양한 값에 대해 실행 가능성 우려 수준(낮음, 중간, 높음)을 할당합니다. 높음 우려는 지표가 과거에 관측된 수준보다 훨씬 높은 수준에 도달했음을 의미하며, 이는 기술적 혁신이나 전혀 없는 행동 변화와 같은 실질적인 촉진 요인이 필요하다는 것을 의미합니다.

시나리오를 분석하기 위한 첫 번째 단계는 각 지표에 대한 우려 사항을 종합하는 것입니다. 이는 시간 경과에 따른 실행 가능성과 다섯가지 차원에 대한 분석을 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 시나리오와 관련하여 세기에 걸친 전반적인 실행 가능성을 분석할 수 있습니다.

그림 2: Brutschin et al. (2021).에 기반한 다차원 실행 가능성 프레임워크



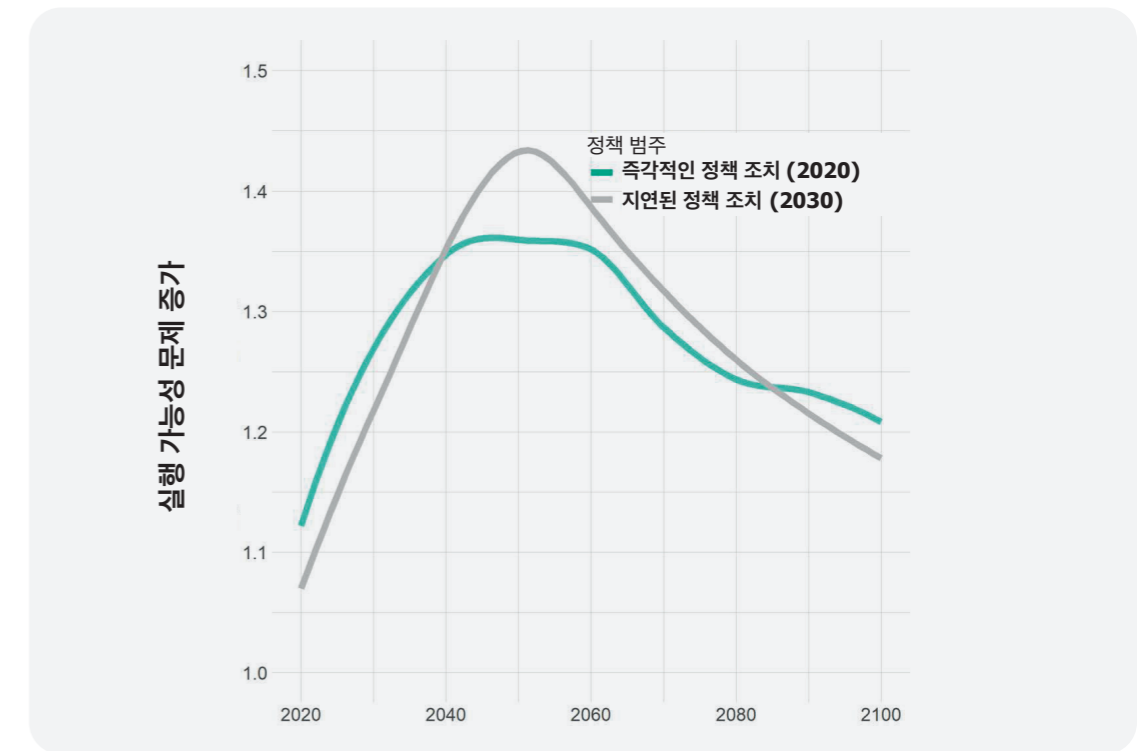
상호 작용형 온라인 실행 가능성 앱 (feasibility.streamlit.app)에서 이용 가능합니다.



급격한 혹은 느린 변화?

이 프레임워크를 기후변화에 관한 정부 간 평가위원회(IPCC)의 '지구 온난화 1.5°C' 보고서 시나리오에 적용하면 신속한 조치의 중요성을 보여줍니다. 신속한 시스템 전환을 요구하는 의욕적인 접근 방식은 단기적으로는 실행 가능성이 낮을 듯 보이지만, 결국 향후 수십 년 동안 전반적으로 실행 관련 문제들은 줄어듭니다(그림 3).

그림 3: 온난화를 1.5°C로 제한하는 두 가지 경로의 실행 가능성. '즉각적인 정책 대응' 경로는 2020년에 감축이 시작된다고 가정하고, '늦은 정책 대응'은 2030년에야 감축을 시작한다고 가정합니다.



연구팀은 이 프레임워크를 두 가지 시나리오에 추가로 적용했을 때에도, 비슷한 결과를 발견했습니다. 첫번째는 세계가 순차적으로 제로에 도달하는 시점에 탄소 예산을 충족시켜야 하므로, 적극적이고 즉각적인 정책 조치를 요구합니다. 두번째는 배출량이 예산을 초과(overshoot)하도록 허용한 후, 2100년까지 순 네거티브(net-negative) 배출을 통해 결국 예산을 달성하는 시나리오입니다. 세기를 통틀어 볼 때, 보다 의욕적인 탄소 중립시나리오에서 실행 가능성 관련 문제가 더 적습니다. 실행 가능성이 불확실한 대규모 네거티브 배출에 대한 의존도가 낮고, 조치가 지연될수록 석탄 발전과 같은 탄소 집약적 인프라가 계속 증가하여 결국 친환경 옵션으로 전환하기가 훨씬 더 어려워진다는 두 가지 주요 이유 때문입니다.

경험적 연구에 따르면 석탄 발전을 예상 수명이 끝나기 전에 폐쇄하는 것은 매우 어렵습니다. 지금까지는 주로 오래된 석탄 발전을 보유하고 있고, 상대적으로 투명하고 독립적인 정부가 있는 부유한 국가들이 석탄 발전을 폐쇄해 왔습니다. 이를 바탕으로 이 프레임워크는 특정 10년 동안 전 세계 석탄 발전의 50% 이상을 조기 폐쇄하는 것이 매우 큰 문제가 된다고 전망합니다.

행정 및 기관의 중요성

같은 연구에 따르면 기관의 역량이 실현 가능성을 고려할 때 가장 높은 문제 요소로 나타났습니다.

기후 완화를 위해서는 신뢰할 수 있는 계획과 효과적인 행정이 필요합니다. 더 나은 행정 시스템을 갖춘 국가일수록 탄소 가격이 더 높고, 석탄을 퇴출하고 재생 에너지를 더 빨리 도입하는 등 더 효과적인 기후 정책을 펼친다는 증거가 늘어나고 있습니다.

새로운 프레임워크를 위해 프로젝트 팀은 이 관계를 정량화 했습니다. 이들은 세계은행의 세계 행정 지표와 환경 성과 지수를 비교하여 엄격한 기후 정책에 필요한 행정 수준을 밝혔습니다. 그리고, EU의 과거 데이터를 통해 높은 행정 수준에서 달성할 수 있는 CO₂ 감축량을 보여주었습니다.

IAM 시나리오에는 행정 수준이 포함되어 있지 않기 때문에 연구팀은 이를 프레임워크로 가져올 수 있는 간접적인 방법을 찾아야 했습니다. 1인당 GDP, 고등 교육, 교육에서의 성 평등을 행정 수준의 좋은 예측 변수로 사용했습니다. 이 세 가지 지표는 시나리오의 배경이 되는 다섯 가지 공유 사회경제적 경로(SSP)에서 정량화됩니다. 연구자들은 이러한 지표를 사용하여 세기 말까지 각 국가의 행정 수준을 예측했습니다. 이 프레임워크는 특정 SSP에 기반한 모든 시나리오에서 동일한 행정 수준을 채택합니다.

여기에서는 행정 수준과 인구 1인당 CO₂ 배출량 감축 속도를 비교합니다. 행정 수준이 낮을 것으로 예상되는 특정 지역에서 신속한 감축을 요구한다면, 이는 실행 가능성에 있어 높은 수준의 문제를 의미합니다.

전 세계적으로 대부분의 IPCC 1.5°C 시나리오에서 이것은 가장 큰 실행 가능성 문제입니다. IAM은 금전적 비용에 중점을 두기 때문에 비용 효율성이 가장 높은 개발도상국에서 많은 감축을 예측하는 경향이 있습니다. 그러나 이러한 지역 중 상당수는 행정 수준이 낮기 때문에 감축 노력이 해당 지역의 제도적 역량을 넘어설 수 있습니다. 따라서 실행 가능성의 관점에서 볼 때, 더 높은 역량을 보유하고 있을 가능성이 높은 선진국에 더 많은 감축 부담을 지우는 시나리오를 따르는 것이 합리적일 수 있습니다.

또 다른 해결책은 특정 국가에 대한 국제 기후 지원 및 협력입니다. 특히 소녀와 여성을 위한 교육에 투자하는 것이 효과적일 수 있습니다. 교육과 성평등은 더 높은 수준의 행정을 예측하는 주요 변수 중 하나이며, 교육은 친환경적 행동을 증가시키는 것으로 나타났습니다. 이는 또한 가장 취약한 지역에서 적응 능력을 향상시킬 것으로 예상됩니다.

수요와 공급에 대한 균형 잡기

마지막으로 분석 결과, 공급과 수요를 모두 해결하면 실행 가능성이 향상됩니다. 예를 들어, IASA에서 개발한 낮은 에너지 수요 시나리오는 행동 변화와 에너지 효율성 개선을 통해 에너지 수요를 줄이는 데 중점을 둡니다. 이는 저탄소 발전, 탄소 포집 및 저장과 같은 공급 측면에서의 기술적 해결책의 일부 위험을 피하는 반면, 전 세계적으로 신속한 행동 변화를 요구하기 때문에 첫 10년간은 실행 가능성 문제가 상대적으로 높습니다. 반대로 많은 시나리오는 주로 공급 측면에 중점을 두며, 다소 더 많은 수요 감소로 실행 가능성이 개선될 것입니다.

이 요약본의 기반이 되는 간행물

Brutschin, E., Pianta, S., Tavoni, M., Riahi, K., Bosetti, V., Marangoni, G., & van Ruijven, B.J. (2021). 저탄소 시나리오의 다차원적 타당성 평가. 환경 연구 편지, 16 064069. [pure.iasa.ac.at/17259]

4. 온도 초과(overshoot) 없는 탈탄소화 경로

변화된 에너지 시스템

파리 협약 목표를 달성하려면 에너지 시스템의 전환이 필요합니다. 통합 평가 모델(IAMs)은 이를 어떻게 수행할 수 있는지 탐색하기 위해 전 세계적으로 최적화된 저비용의 배출 절감 및 토지 이용 변경의 포트폴리오를 통한 지구 온난화 제한 시나리오를 계산합니다.

대부분의 이러한 연구에서 온도 목표는 2100년까지 달성해야 하며, 시나리오가 일시적으로 목표 온도를 초과(overshoot)할 수 있는 자유를 허용합니다. 이는 대부분의 시나리오에서 가장 낮은 비용의 접근 방식이며, 특히 IPCC 제 5차 평가 보고서 및 지구 온난화 1.5°C 특별 보고서의 시나리오에서 그렇습니다.

이러한 시나리오는 초과(overshoot) 배출을 되돌리기 위해 세기 후반에 순 네거티브 배출에 크게 의존합니다. 이러한 대규모의 CO₂ 제거는 후세대에 부담을 주며 지속 불가능하거나 실행 불가능할 수 있습니다(섹션 3 참조).

최고점 제한

보다 의욕적인 목표의 의미를 탐구하기 위해 ENGAGE 프로젝트는 두 가지 접근 방식을 비교했습니다. 2100년 온도 목표에만 초점을 맞춘 기존 배출 경로와 최고 기온을 명시적으로 제한하는 경로의 비교입니다.

최고 기온은 주로 전 세계가 순배출이 제로에 도달했을 때 누적 배출 CO₂의 총량에 따라 결정됩니다. 두 번째 세트에서 각각의 경로는 순배출 제로 시점에 탄소 예산이 충족되어야 하며, 초과(overshoot)가 거의 혹은 전혀 발생하지 않아야 합니다(다른 온실 가스로 인해 소량의 초과가 발생할 수 있음).

9개의 모델링 팀이 이러한 경로를 다양한 IAMs에 적용하여 감축 시나리오를 생성하고 기후와 경제에 미치는 결과를 밝혔습니다.

기후 위험

결과(그림 4)에 따르면 탄소 예산이 1000Gt CO₂인 시나리오의 세기말 온난화 온도는 1.7~2.1°C입니다. 이 중 순 네거티브(net-negative) 배출에 의존하는 시나리오는 그렇지 않은 시나리오보다 최고 기온이 최대 0.15°C 더 높을 수 있습니다.

이는 수백만 명의 사람들을 극한 기후에 노출시키고, 기후 티핑 포인트의 위험이 증가되며, 쉽게 되돌릴 수 없는 기타 변화의 위험을 증가시킬 수 있는 상당한 기후 위험입니다. IPCC의 지구 온난화 1.5°C 특별 보고서에 따르면: "과도한 초과(overshoot)는 온난화 최고점의 온도가 높을 경우에 특히 자연 및 인간 시스템에 큰 위험을 제공합니다. 어떤 위험은 일부 생태계의 상실과 같은 다시 되돌릴 수 없고, 지속적인 큰 문제를 야기할 수 있습니다."

2030년까지 현재의 NDCs를 따르는 모든 배출 경로는 1.5°C를 달성이 불가능합니다. 지연된 시작 때문에 탈탄소화를 충분히 신속하게 확대하는 것이 불가능하다는 것입니다. 최저로 달성 가능한 최고 기온은 1.6~1.9°C입니다.

그림 4: 온난화가 2°C 이하인 모든 시나리오의 배출량. 빨간색 선은 온도 초과(overshoot) 및 순 네거티브 배출이 있는 시나리오를 나타냅니다. 파란색 선은 초과(overshoot)가 거의 또는 전혀 없는 순 배출량 제로 시나리오를 나타냅니다. 회색 선은 NDC 시나리오를 나타냅니다.

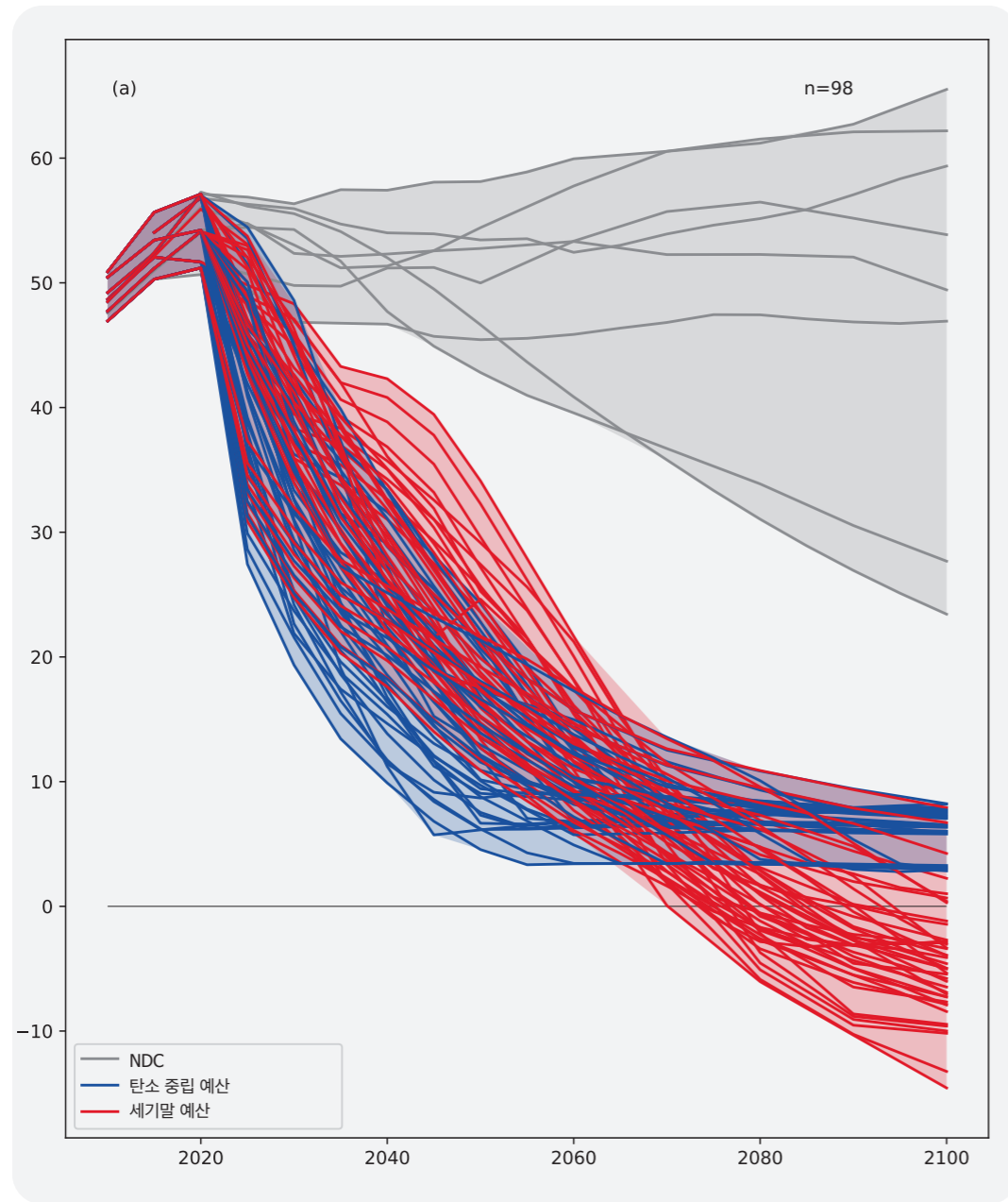
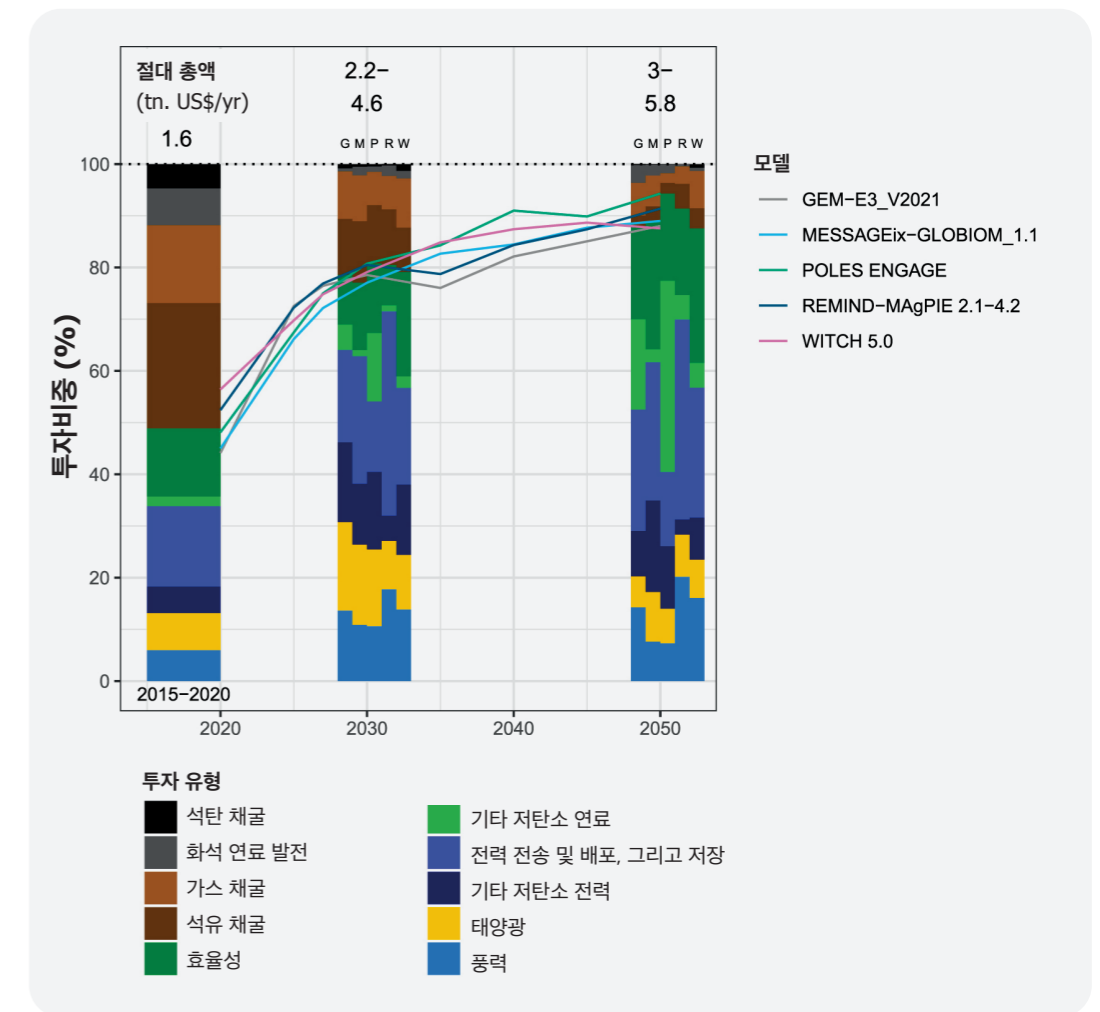


그림 5: 모든 1000Gt 탄소 중립 예산 시나리오에 대한 예상 부문별 투자.



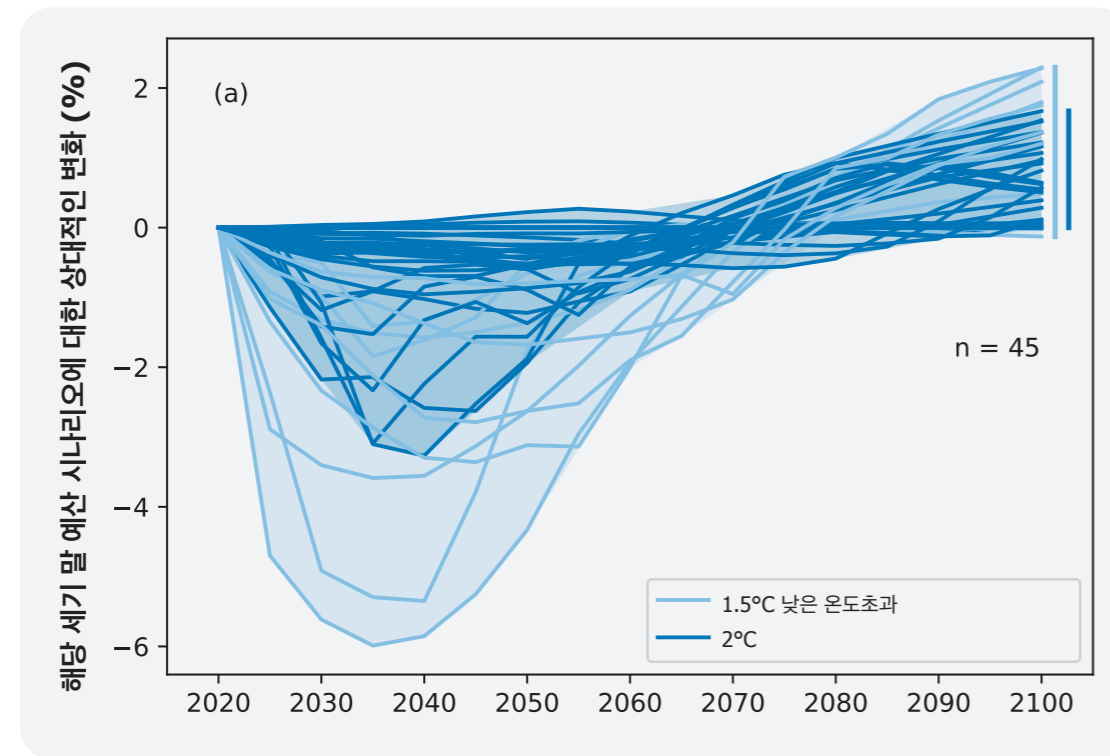
두 배로 늘어난 투자

또 다른 연구에서는 에너지 시스템을 혁신하는데 필요한 투자에 대해 자세히 살펴봤습니다. 예산이 1000Gt인 시나리오(그림 5)에서는 2025년부터 2030년까지 저탄소 에너지에 대한 연간 투자가 2020년 수준보다 최소 두 배 이상 증가해야 합니다. 이 중 대부분은 태양광, 풍력, 전력망 및 저장 장치에 투자됩니다. 최고 온난화를 2°C 이하로 제한하는 모든 시나리오에서 석탄은 빠르게 단계적으로 퇴출되고 석유와 가스도 상당히 감소합니다. 이를 통해 전력 시스템을 탄소 중화하는 것뿐만 아니라 다른 부문도 정화할 수 있습니다. 가능한 경우 직접 전기화를 통해 이루어질 것입니다. 중공업과 같이 감축이 어려운 부문에서는 재생 가능한 전력을 간접적으로 사용해야 하며, 이를 위해서는 그린 수소에 대한 상당한 투자를 필요로 합니다.

경제적 보상

온도 초과(overshoot)를 피하는 것은 장기적으로 경제적 이득을 가져옵니다. 향후 수십 년 동안 의욕적인 초기 감축 비용으로 인해 전 세계 GDP는 순 네거티브 경로보다 낮아질 것으로 예상됩니다(그림 6). 그러나 세기 후반에는 상황이 역전되어 순 네거티브 CO₂ 배출을 피하고 초과(overshoot)를 하지 않는 경로에서 GDP가 더 높아질 것입니다. 이는 부분적으로는 초과(overshoot) 시나리오에서 순 네거티브 배출을 유지하기 위해 탄소 가격을 계속 올려야 하기 때문입니다. 이는 기후 변화의 경제적 영향을 포함하지 않았기 때문에 내린 보수적인 결론입니다. 이러한 영향은 초과(overshoot) 시나리오에서 GDP를 더 많이 감소시킬 것이며, 조속한 행동에 대한 더 강력한 근거가 될 것입니다.

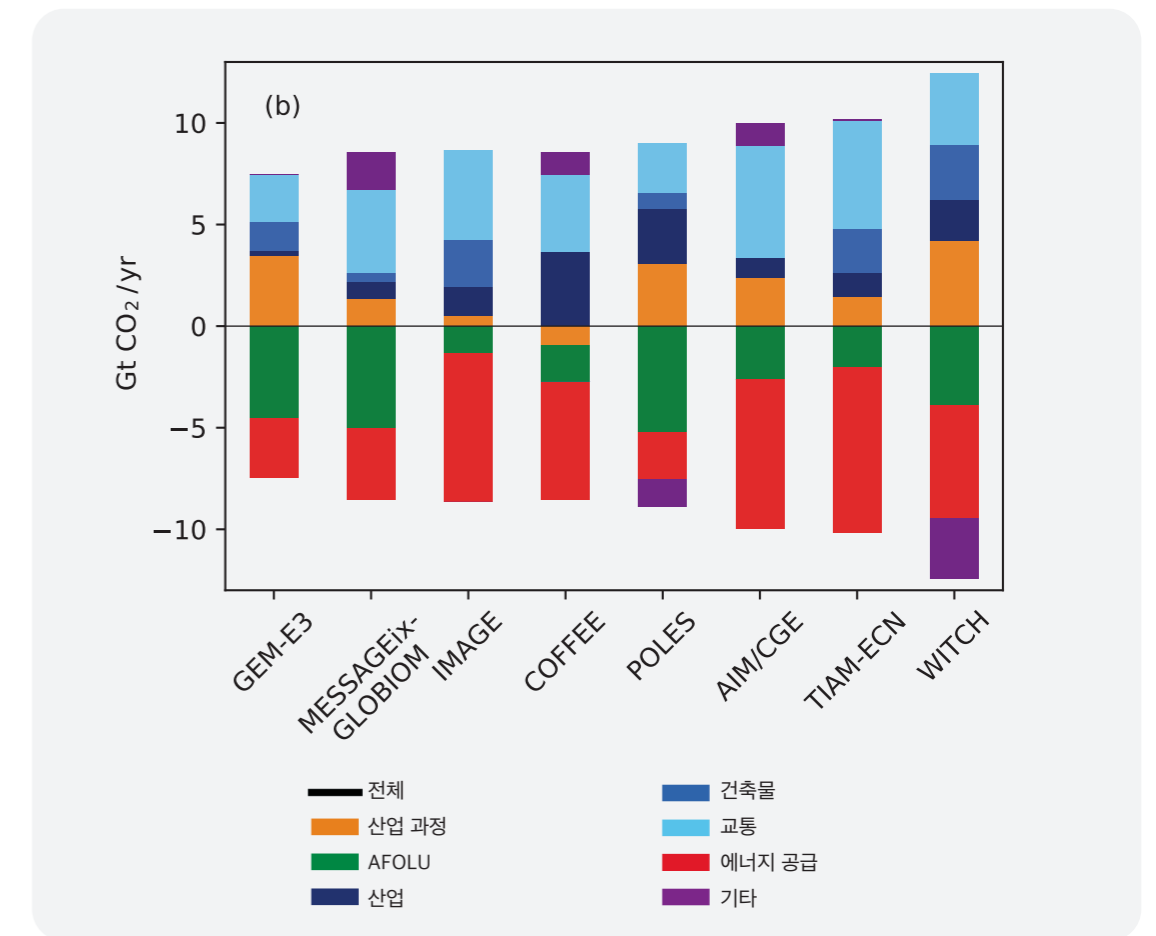
그림 6: 탄소중립 예산 시나리오(온도 초과 없음)와 순 네거티브(net-negative) 배출에 의존하는 시나리오 간의 예상 글로벌 GDP 차이. 장기적으로는 탄소 중립 예산이 더 높은 GDP를 기록합니다.



필요한 제거

탄소 제거는 여전히 필요합니다. 순 네거티브(net-negative) 배출에 명시적으로 의존하지 않는 시나리오에서도 대기 중 CO₂를 제거하면 단기적 감축을 가속화하고, 시멘트 제조와 같이 감축하기 어려운 분야의 잔여 배출을 상쇄할 수 있습니다. 이러한 시나리오에서 모델들은 1000Gt의 예산으로 넷제로(net zero)를 달성할 때 연간 5~10Gt의 탄소 제거를 예측합니다(그림 7). 일부 모델은 새로운 숲 조성이나 산림 복원을 선호하고, 일부는 제거 기술, 특히 탄소 포집 및 저장을 통한 바이오 에너지를 선호하며, 어떤 모델은 두 가지 사이의 균형을 선호합니다.

그림 7: 1000Gt 순 제로에 도달한 시점의 탄소 중립 예산 시나리오에서 부문별 배출량. 모든 모델에서는 다른 부문의 배출량을 상쇄하기 위해 에너지 부문에서 상당한 네거티브 배출이 필요합니다.



이 요약본의 기반이 되는 간행물

Riahi, Keywan, Christoph Bertram, Daniel Huppmann, Joeri Rogelj, Valentina Bosetti, Anique-Marie Cabardos, Andre Deppermann, et al. "Cost and Attainability of Meeting Stringent Climate Targets without Overshoot." *Nature Climate Change* 11, no. 12 (December 2021): 1063–69. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01215-2>.

Bertram, C., Riahi, K., Hilaire, J., Bosetti, V., Drouet, L., Fricko, O., Malik, A., Nogueira, L.P., et al. (2021). Energy system developments and investments in the decisive decade for the Paris Agreement goals. *Environmental Research Letters* 16 (7) 074020. [pure.iiasa.ac.at/17288]

5. 실현 가능성을 고려한 탈탄소화 경로

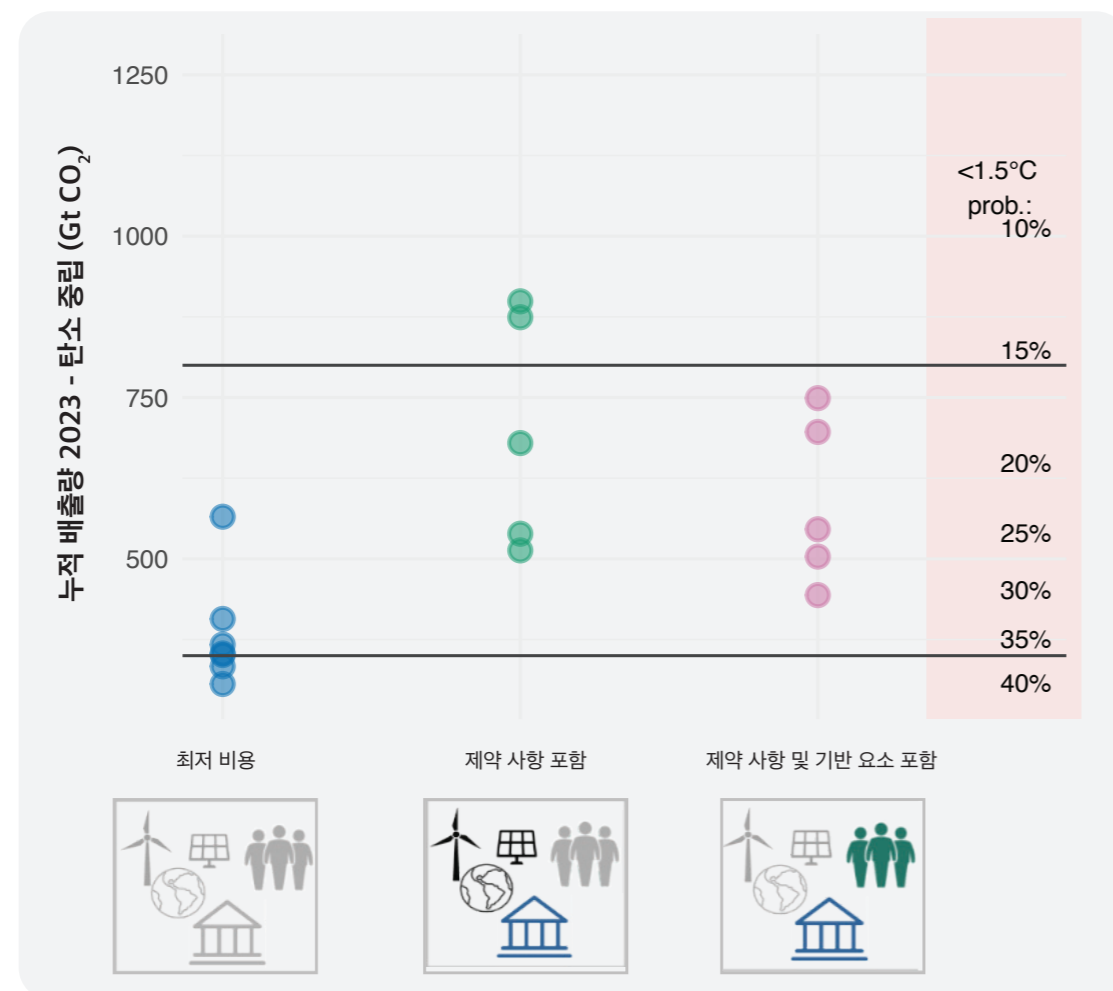
실현 가능성(섹션 3 참조)이라는 개념을 수용한 이 새로운 연구는 전 세계가 1.5°C를 초과(overshoot)할 가능성이 높으며, 이것은 주로 낮은 제도적 역량 때문이라는 것을 보여줍니다. 온도를 낮추기 위해서는 에너지 수요 감소와 전기화의 두 가지 옵션이 있습니다. 하지만, 취약한 제도를 개선하는 것이 훨씬 더 효과적일 수 있습니다.

섹션 3에서 논의한 바와 같이, ENGAGE 프로젝트는 적극적인 기후 목표의 타당성을 알아보기 위해 천연자원, 기술, 행동, 기관에서 발생하는 실현 가능성 문제를 평가하기 위한 프레임워크(그림 1 참조)를 개발했습니다. 이 프레임워크는 의욕적인 기후 목표의 실현 가능성을 알아보기 위해 여덟 가지 다른 통합평가모델(IAMs)에서 사용되었습니다.

기관적 제약이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났습니다. 여러 실증 연구에 따르면 탄소세와 탈석탄과 같은 기후 정책의 실행은 기관의 역량에 의해 영향을 받는 것으로 나타났습니다. 이러한 제약을 나타내기 위해 먼저 각국의 기관 능력을 추정하는데, 섹션 3에서 설명한 바와 같이 1인당 GDP, 고등교육 수준 및 교육에서의 성 평등과 관련이 있다는 것이 경험적으로 확인되었습니다. 그리고 이 모델은 기관적 능력이 개선됨에 따라, 시간이 지남에 따라 진화하는 제도적 역량의 함수로 탄소 가격과 배출량 감축 속도에 대한 한도를 설정합니다.

이 연구는 또한 기술 및 지구물리학적 관점에서 제약을 살펴봅니다. 광범위한 문헌 검토를 기반으로 바이오매스를 통한 에너지 생산, 지중에 저장할 수 있는 이산화탄소의 총량, 그리고 각 국가와 지역에서 태양열, 풍력 및 기타 저탄소 기술을 얼마나 빨리 늘릴 수 있을지에 대한 합리적인 제한을 설정합니다.

그림 8: 모델별 탄소 예산 결과와 1.5°C 이하로 유지될 확률. 실선 아이콘은 시나리오가 기술적 및 지구물리적 제약(검은색 기술), 제도적 제약 및 차별화(파란색 건물), 수요감소 및 전기화의 사회적 촉진요인(녹색 사람)을 조화롭게 고려했음을 나타내며, 회색 반투명 아이콘은 모델 기본 가정만 고려했음을 나타냅니다.



1 2°C를 위한 시나리오의 경우, 2023년 이후 총 CO₂ 배출량은 대략 800기가톤(Gt)으로, 2°C 미만으로 유지될 확률은 66%입니다. 1.5°C 목표의 경우, 배출량 목표는 350기가톤 또는 각 모델에서 달성 가능한 최저 배출 경로입니다. 두 경우 모두 전 세계 탄소 총립에 도달할 때까지의 예산이며, 따라서 최고 기온을 제한합니다.

2 이 모델들은 2023년부터 350Gt에 도달하는 데 어려움을 겪고 있으며 평균적으로 약 440Gt에 도달하여 최고 온난화를 1.5°C 이하로 유지할 확률이 40% 미만입니다.

준비하기

이러한 실현 가능성 제약은 파리 협약 목표 달성을 더욱 어렵게 만듭니다. 대대적인 시스템 변화가 없다면 세계는 산업화 이전 수준에서 1.5°C로 최고 온도를 제한하기는 어려울 것으로 보입니다. 이 연구는 두 가지 온도 목표에 중점을 두고 있습니다: 2°C와 1.5°C.¹ 코로나19 팬데믹이 끝난 후 지난 2년간 전 세계 배출량이 증가하면서 더 엄격한 목표 달성이 더욱 어려워졌습니다. 실현 가능성에 제약을 두지 않더라도, 고탄소 인프라를 청정 기술로 대체하는 문제가 있어서,² 최대 온난화를 1.5°C 이하로 유지할 확률이 40% 미만이기 때문에 모델에서 목표를 달성하는 데 어려움을 겪고 있습니다. 제도, 기술, 지구물리학에 대한 실현 가능성 제약을 추가하면 이 모델은 이 확률이 10~25%까지 떨어지는 것으로 나타났습니다.

이는 더 낮은 에너지 수요와 기본 설정 하에서 모델이 가정하는 것보다 더 큰 전기화라는 두 가지 활성 요인을 가정함으로써 이 문제를 개선할 수 있습니다. 그러나 이러한 효과는 제한적이며, 확률을 5~10% 포인트 개선하는데 그칩니다.

제약 요인과 활성요인을 모두 고려할 때 평균 0.2°C정도의 초과(overshoot)가 예상되므로, 적어도 해당 수준의 온난화에 대한 적응을 준비하고, 순 제로에 도달한 후 탄소 제거를 통해 다시 온도를 낮출 준비를 해야 합니다. 이를 위해서는 잔여 배출량을 가능한 한 가장 낮은 수준으로 줄이고 탄소 제거 기술을 확대해야 합니다.

절약하기

에너지 수요를 줄이면 정부의 행정 통제 수준이 높은 국가들이 배출량 감축에 더 많은 책임을 질 수 있습니다. 아마도 1.5°C를 달성하기에는 충분하지 않겠지만, 초과(overshoot)가 발생한 상황에서 회복하는 데는 많은 도움이 될 것입니다. 지구 온도를 0.1°C만 낮추려면 약 220기가톤의 이산화탄소를 대기에서 제거해야 하는데 (현재 연간 배출량의 약 5배), 이를 위해서는 많은 에너지가 필요합니다. 다른 부분의 수요를 줄이면 이 작업에 더 많은 에너지를 사용할 수 있습니다. 또한 부유한 국가들이 수요 감축을 선도함으로써 다른 국가들이 교훈을 얻을 수 있고, 이를 통해 전 지구적 감축의 중장기적 실현 가능성을 높일 수 있습니다.

책임감 있게 행동하기

더 많은 일을 할 수 있는 국가는 더 많은 일을 해야 합니다. 최소 비용 시나리오에 따르면 대부분의 감축 조치는 비용이 적게 드는 경향이 있는 제도적 역량이 낮은 국가에서 이루어질 것으로 예상됩니다. 제도적 제약은 그 책임을 이동시킵니다. ENGAGE 연구에서는 실현 가능성 제약이 있는 시나리오에서, 가장 가까운 미래 감축이 EU, 북미, 태평양 OECD와 같이 제도적 역량이 높은 지역에 할당됩니다. 이러한 국가들이 2040년까지 온실가스 배출을 80% 이상 감축해야 2°C 이하의 최고 온난화에 대응할 수 있습니다. 이 시나리오는 또한 2040년 이후 중국의 감축 비중이 증가하는 것을 보여줍니다.

이는 모든 실현 가능성 제약을 포함하는 2°C 시나리오에서 2050년에 44%의 배출 감축이 필요한 것으로 예상되는 세계의 다른 나머지 (특히 최빈국) 나라들의 부담을 크게 덜어주는 효과가 있습니다. 비용 효과적인 시나리오에서는 68%의 감축이 필요합니다.

큰 레버를 당기기

감축은 제도적 역량에서 가장 큰 도전에 직면해 있으며, 이러한 역량을 강화하는 것이 상황을 개선하는 가장 효과적인 방법일 수 있습니다. 이 연구는 또한 탄소 가격 상한선은 있지만 배출량 감축에 대한 제한이 없는 시나리오와 시간이 지나도 감축 능력이 개선되지 않는 경우의 두 가지 행정 시나리오를 조사합니다. 이러한 시나리오는 수백 기가톤을 아우르는 상당한 탄소 예산의 변동을 보여줍니다.

따라서 전 세계 기후 행동을 가속화시키는 효과적인 방법은 감축 잠재력이 높은 국가의 제도적 역량에 초점을 맞춘 역량 구축과 지식 이전일 수 있습니다. 전 세계적으로 기술 경쟁력을 확보하면 더 빠른 확장이 가능하기 때문에 기술 이전도 여전히 중요할 것입니다.

이 요약본의 기반이 되는 간행물

The research for this summary was led by Christoph Bertram (PIK/University of Maryland), Elina Brutschin, Keywan Riahi, and Bas van Ruijven (IIASA). 이 주도했습니다. DIK 연구는 2023년 8월 유럽연합집행위원회에 제출된 내부 보고서로 발표되었습니다.

향후 발행될 간행물의 사전 인쇄본은 www.engage-climate.org 에 게시됩니다.

6. 비교 가능한 국가별 탈탄소화 경로

ENGAGE 프로젝트는 새로운 표준화된 국가별 시나리오의 결과를 종합했습니다. 이를 통해 처음으로 여러 국가의 기후 목표를 직접 비교할 수 있게 되었습니다. 이로써 전 세계적인 노력의 격차를 드러내고, 국가별 목표의 공정성을 측정하며, 특정 과제를 파악할 수 있습니다.

글로벌 목표를 달성하려면 국가적 행동이 필요합니다

파리협약의 글로벌 기후 목표를 달성하려면 국가 차원의 행동이 필요합니다. 국가별 맞춤형 시나리오는 기후 정책을 수립하는 데 유용하지만 비교하기는 어렵습니다. 각 시나리오는 서로 다른 가정을 가지고 있으며, 공개 학술 논문으로 발표되는 경우도 드물기 때문입니다. ENGAGE 프로젝트는 새로운 표준화된 국가 시나리오 세트를 개발하고 비교했습니다. 각 국가 모델링 팀은 요청에 따라 하나의 정상적 비즈니스 시나리오와 2050년 탄소 배출량을 10%에서 100%(2010년 배출량 기준)까지 10% 단위로 감축하는 광범위한 기후 감축 시나리오를 실행했습니다.

이러한 표준화된 시나리오를 사용하면 각 국가의 특정 수준에서의 에너지 및 토지 사용 시스템을 공정하게 비교할 수 있으므로 여러 가지 이점을 얻을 수 있습니다.

부족함

비교 결과, 단기적인 정책은 장기적인 감축 목표에 부합하지 않는 것으로 나타났습니다.

9개국의 표준화된 시나리오 세트를 비교했습니다. 각 세트에는 국가가 발표한 장기 감축 전략이 있는 경우 이를 따르는 심층 감축 시나리오가 포함되어 있으며, 그렇지 않은 경우 소득에 따른 목표치(고소득 국가는 100%, 중간 소득 국가는 80%, 저소득 국가는 50% 감축)를 사용합니다.

분석에 따르면 모든 국가가 이러한 장기적인 심층 감축 경로를 따를 경우, 전 세계 배출량은 온난화를 2°C 이하로 유지하려는 파리 협약 목표를 달성할 수 있을 만큼 충분히 낮아질 것입니다(글로벌 통합 평가 모델인 IMAGE의 결과에 기반).

또한 연구팀은 각 국가에 대해 2030년까지 단기 기후 공약, 즉 무조건적인 국가결정기여(NDCs)를 따르는 시나리오를 실행했습니다. 9개국 중 7개국에서 이러한 NDCs는 심층적인 감축 경로와 모순되어 있으며, 때로는 매우 큰 배출량 격차를 보였습니다. 모든 국가가 기존의 무조건적 NDCs를 따른다면, 전 세계 배출량은 2°C에 필요한 궤도를 훨씬 초과할 것입니다(그림 9).

그림 9:
새롭게 표준화된 프레임워크에서 명시된 몇 가지 시나리오에 따른 배출량 모델링.

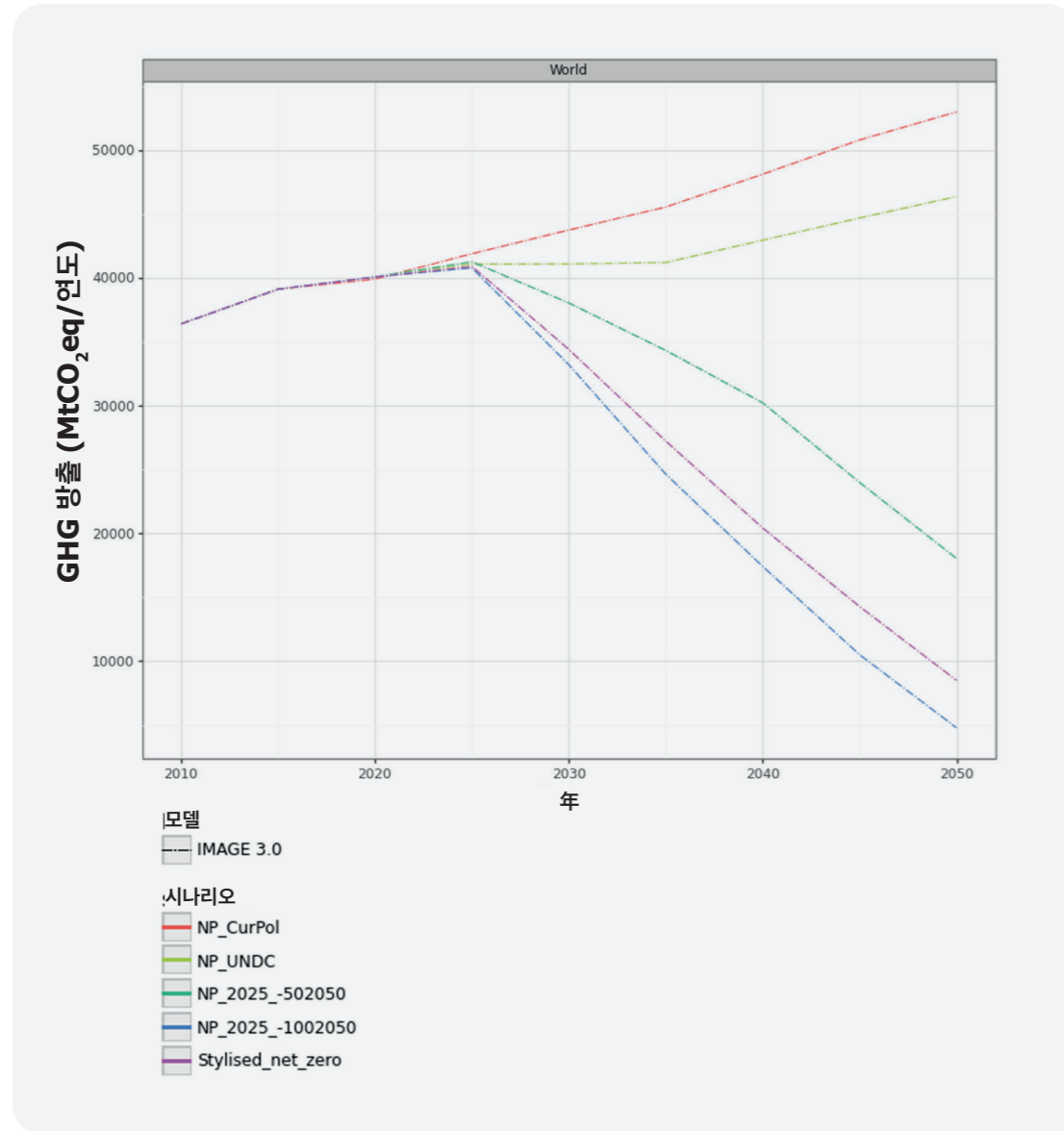
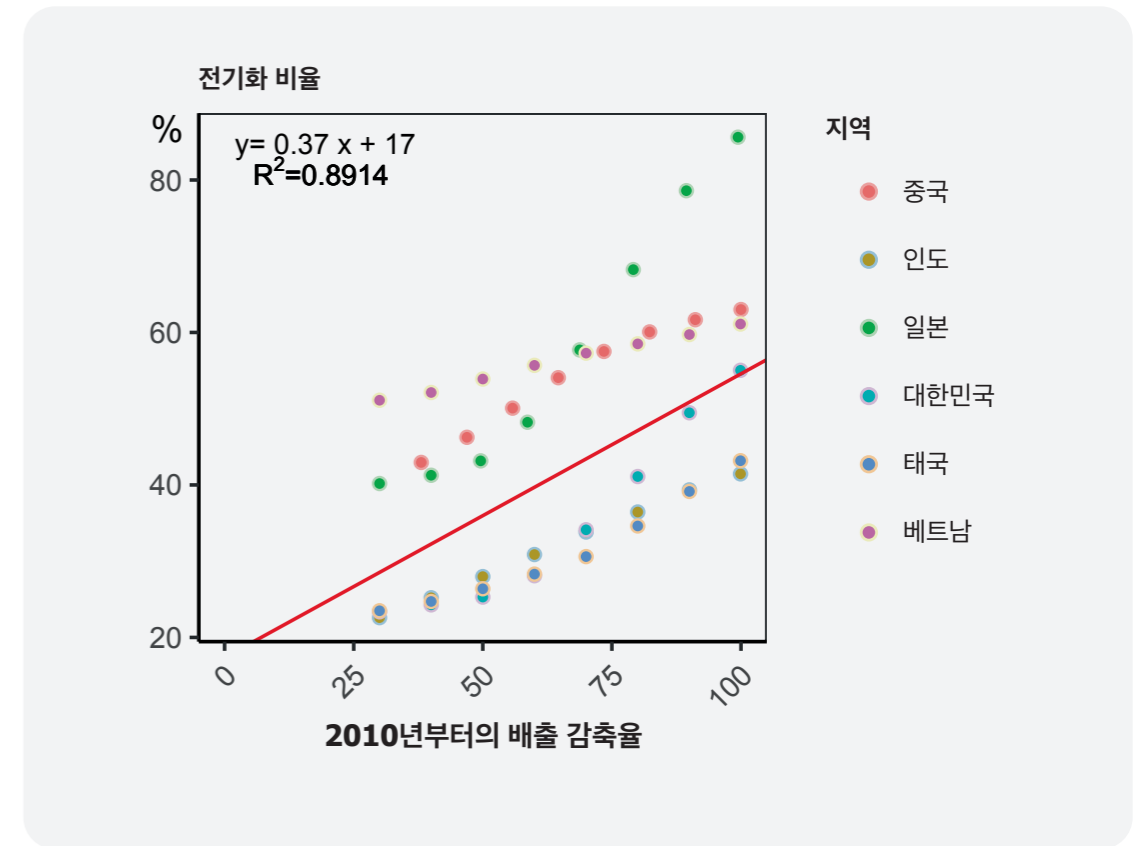


그림 10:
연구 대상 6개국의 GDP 손실 (%) 대비 배출량 감소율. 평균적으로 10%의 배출량을 추가로 감축하면 2050년에 0.5%의 GDP 손실로 이어집니다.



경제적 불균형

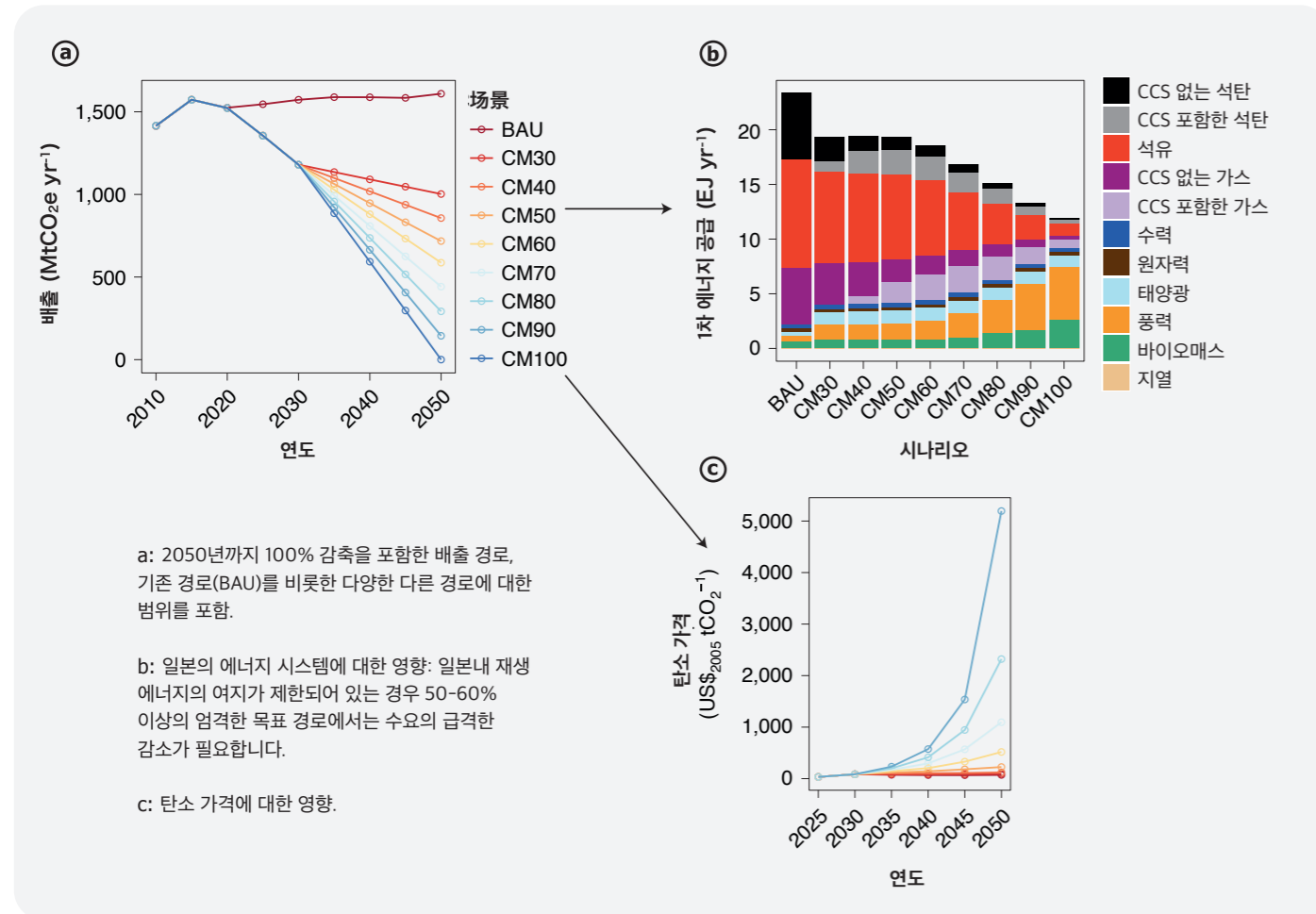
천연자원, 기관, 정부, 경제 발전 및 혁신 역량이 서로 다른 국가에서는 주어진 수준의 감축 조치가 해당 국가들의 GDP에 매우 다른 경제적 영향을 미칠 수 있습니다. 여기에서는 6개국을 대상으로 기후변화가 국내총생산(GDP)에 미치는 영향에 대한 ENGAGE 결과를 보여줍니다: 중국, 인도, 일본, 한국, 태국, 베트남. 그 차이는 뚜렷합니다. 예를 들어, 인도의 경우 목표를 단 30% 달성하려면 한국이 100% 감축하려는 것보다 더 큰 GDP 손실이 발생할 것으로 예상됩니다(그림 10). 이러한 불균형은 개발도상국의 배출량 감축이 더 부유한 국가에서의 탄소 중립과 경제적으로 동등하다는 것을 보여주는 대안적 노력 분담 시나리오의 경제적 공정성을 판단하는 데 사용될 수 있습니다.

이러한 통찰력을 통해 특별한 해결책이 필요한 경우를 나타낼 수도 있습니다. 예를 들어, 이 연구에서 일부 국가는 적은 수준의 감축에도 불구하고, GDP에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났습니다.

개발도상국에서는 국제적인 협력과 지원이 필요할 수 있습니다. 부유한 국가에서 비용이 특히 높다면 다른 해결책이 제안됩니다. 연구에 따르면 일본의 경우 태양열과 풍력 발전의 가능성이 제한적이기 때문에 탄소 가격이 500달러에 달할 것으로 예상되는 상황에서 100%에 가까운 목표를 달성하기는 매우 어려웠습니다(그림 11). 이 경우 일본은 자국 대신 다른 국가가 일본을 대신하여 보다 비용 효율적인 배출량 감축을 할 수 있도록 재정적으로 지원할 수 있습니다.

이러한 결과는 또한 가장 비용 효율적인 감축 접근 방식이 매우 다양하다는 것을 보여줍니다. 별도의 연구에서 비교한 9개 국가는 모두 2050년에 예상되는 에너지 혼합이 매우 다릅니다. 일부 국가는 태양열과 풍력보다는 바이오매스, 원자력, 수력 발전에서 저탄소 에너지를 크게 얻을 것으로 예상되고 있습니다.

그림 11: 일본의 시나리오 비교.



더 폭넓은 참여

이 프레임워크는 일부 국가들에게 모델링 능력을 향상시키고, 그들이 예상한 것보다 더 큰 폭의 감축을 고려해 볼 수 있는 자극제 역할을 할 수 있습니다. 의욕적인 목표가 예상보다 더 달성 가능할 수 있음을 보여줄 수 있습니다. 그러나 추가적인 역량 강화와 정부의 지원이 필요할 것입니다.

이 요약본의 기반이 되는 간행물

Fujimori, S., Krey, V., van Vuuren, D., Oshiro, K., Sugiyama, M., Chunark, P., Limmeechokchai, B., Mittal, S., et al. (2021). A framework for national scenarios with varying emission reductions. Nature Climate Change 11, 472-480. [pure.iiasa.ac.at/17229]

van Soest et al. (2021). Report on national decarbonization pathways considering current policies and NDCs and long term strategies. 유럽 위원회에 대한 내부 보고서

7. 파리 협약과 글래스고 협약 목표를 달성하는 가능한 경로

핵심 질문은 이러한 목표(국가별 결정 기여 및 탄소 중립 목표)가 파리 협약 목표에 얼마나 근접해 있는가 하는 것입니다. 이 질문에 답하는 것은 단순히 약속된 배출량을 합산하는 것보다 더 복잡합니다. 많은 국가들의 경우 2030년 이후의 목표가 없습니다. 세기 중반의 탄소중립 공약이 있는 경우에도 목표 달성을 위해 따라야 할 배출 경로를 구체적으로 명시하지 않습니다. 따라서 통합 평가 모델은 타당한 배출 경로를 계산하고 비용을 최소화할 가능성이 가장 높은 기술 및 기타 감축 옵션을 보여주는 데 유용합니다.

연구팀은 전 세계 배출량을 파악하기 위해 경제, 산업, 토지 사용 및 기타 글로벌 시스템을 고려한 여러 가지 통합 평가 모델을 사용했습니다. 특정 정책이나 기타 가정이 주어지면, 이 모델은 시간 경과에 따른 배출량과 기후 영향을 계산합니다.

일곱 가지 미래 시나리오

이 프로젝트의 각 글로벌 모델은 일곱 가지 광범위한 시나리오를 다루었습니다:

2°C 및 1.5°C 시나리오: 모델은 명시된 모든 정책을 무시하고 2100년에 이러한 온도 목표를 달성할 수 있는 전 세계 경제적 최적 방법을 계산합니다.

현재 정책: 이미 시행된 모든 기후 정책을 포함합니다. 그 결과 전 세계 온실가스 배출량은 계속 증가하고 있으며(그림 12), 세기말에는 예상되는 온도는 약 3.3°C입니다.

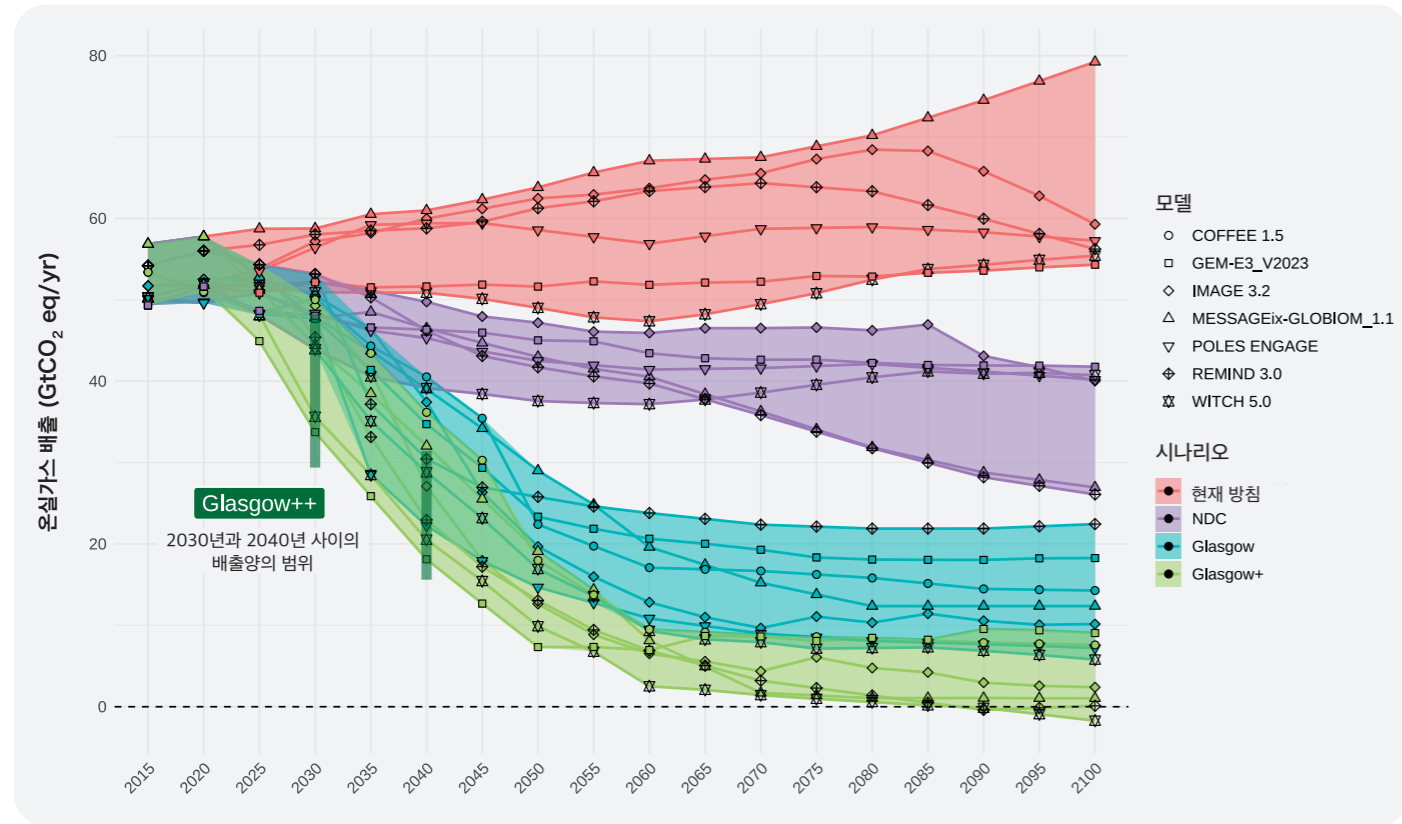
NDC 시나리오: 2030년까지 모든 NDCs를 완전히 이행하고, 그 이후에는 목표 수준을 일정하게 유지합니다. 이 경우 약 2.7°C의 온도 상승이 예상되며, 이는 여전히 파리 협약 목표를 상당히 초과합니다. 현재 정책 하에서의 배출량은 이러한 NDCs 예상치를 훨씬 초과하므로, 명백한 실행 격차가 나타납니다.

글래스고 시나리오: COP26종료까지 발표된 NDC 및 순탄소 중립 서약을 완전히 이행합니다. 모든 모델에서 이 시나리오는 NDC보다 더 의욕적인 목표이며, 전 세계 배출 경로가 훨씬 더 낮다는 것을 보여줍니다. 그러나 이 시나리오에서도 세기말의 예상 온도 상승이 약 2.1°C로 여전히 파리 협약 목표에는 미치지 못합니다.

글래스고+ 시나리오: COP26종료까지 발표된 탄소중립 공약을 완전히 이행하고, 모든 국가로 적용 범위를 확대하는 시나리오. 현재 탄소중립 전략이 없는 국가의 경우, 소득 수준에 따라 순탄소중립 목표 연도를 계산합니다. 탄소 중립서약의 적용 범위를 전 세계 모든 지역으로 확대하면 온실가스 배출 궤적이 2°C 목표(약 1.6°C의 온도 상승) 아래로 내려갈 수 있습니다.

글래스고++ 시나리오: 이 시나리오는 글래스고+ 시나리오를 기반으로 하지만 각 지역의 탄소 중립 목표 연도를 5~10년 앞당기는 것입니다. 목표를 앞당기면 단기적으로 더 가파른 배출량 감소를 유도하여 1.5°C 목표와 일치하도록 합니다.

그림 12:
일곱 가지 모델에 따른 전 세계 배출 경로의 네 가지 시나리오. 온실가스 배출량은 연간 10억 톤의 CO₂ 환산량으로 표시되어 있습니다.



격차 해소

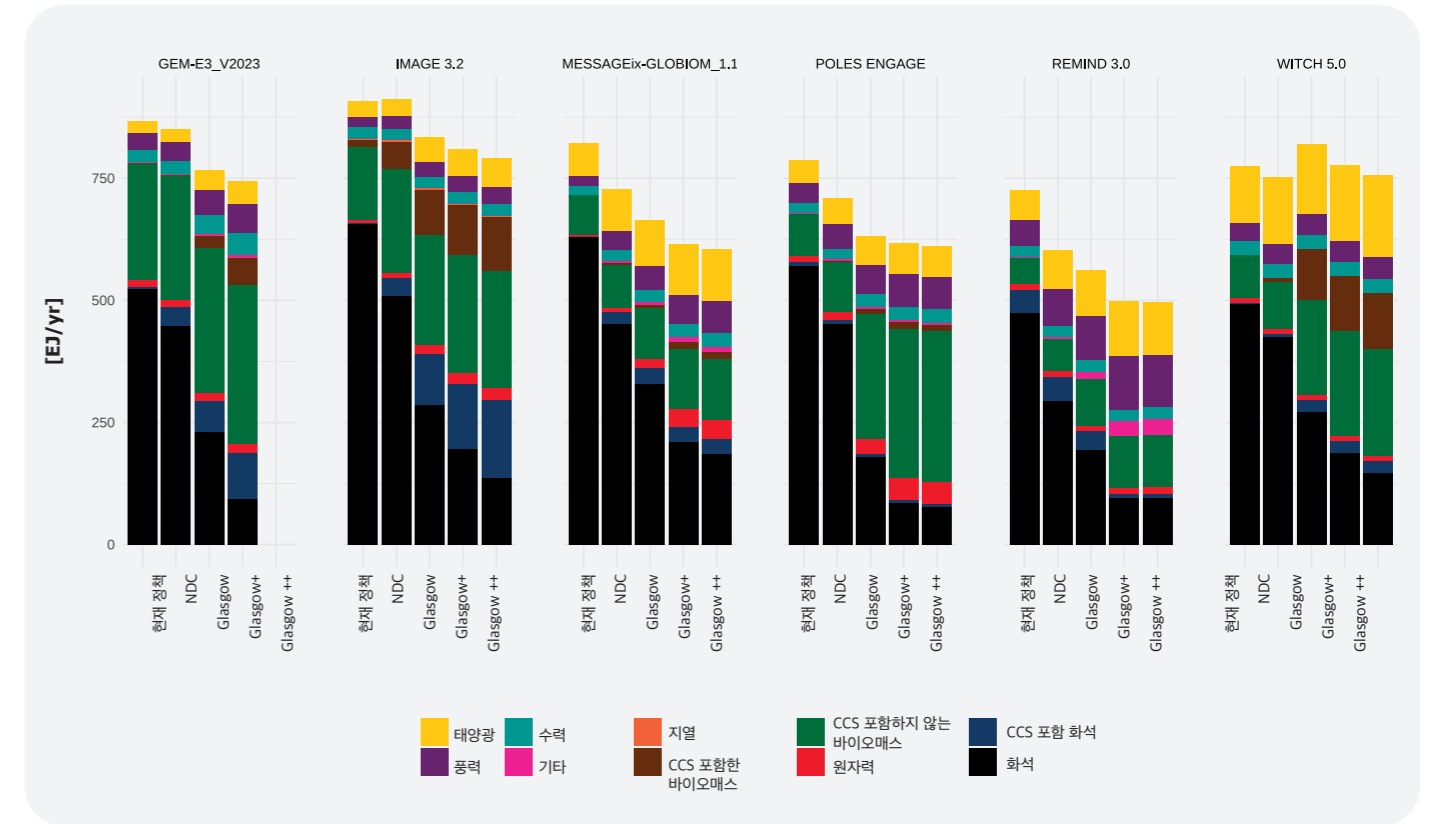
글래스고 시나리오와 2°C 사이의 격차는 작지만, 파리 협약 목표는 2°C 이하의 온도 상승을 제한하는 것임을 염두에 두어야 합니다. 이 결과는 글래스고와 1.5°C 사이의 격차를 좁히려면, 국가적, 전세계적 목표를 높이고, 더 많은 국가가 탄소중립을 약속하고, 기후 목표를 제때에 달성함으로써 탄소중립 서약의 범위를 확대하는 것이 가능하다는 것을 보여줍니다.

여기서 모델링한 글래스고++ 시나리오는 석탄을 단계적으로 퇴출하고 석유와 가스를 급격히 감축하는 동시에 재생에너지 사용을 더욱 확대해야 합니다. 기존의 탄소중립 서약은 2050년에 재생에너지가 전 세계 1차 에너지의 약 40~45%를 차지해야 한다는 것을 의미합니다. 1.5°C를 달성하려면 그 비중이 50~75%까지 증가해야 합니다.

일부 모델에서는 탄소 포집 및 저장(CCS), 화석 연료, 파도 및 조력, 원자력 등 다른 기술도 중요한 역할을 하는 것으로 나타났습니다. 전 세계 예상 에너지 균형은 그림 13에 표시되어 있습니다.

중요한 문제는 이러한 추가 노력을 국가 간에 어떻게 분배할 것인가 하는 것입니다. ENGAGE 프로젝트는 노력 분담을 위한 다양한 윤리 기반의 체계를 조사했습니다(섹션 7 참조).

그림 13:
각 시나리오 및 모델에 따른 2050년 글로벌 1차 에너지 비중.

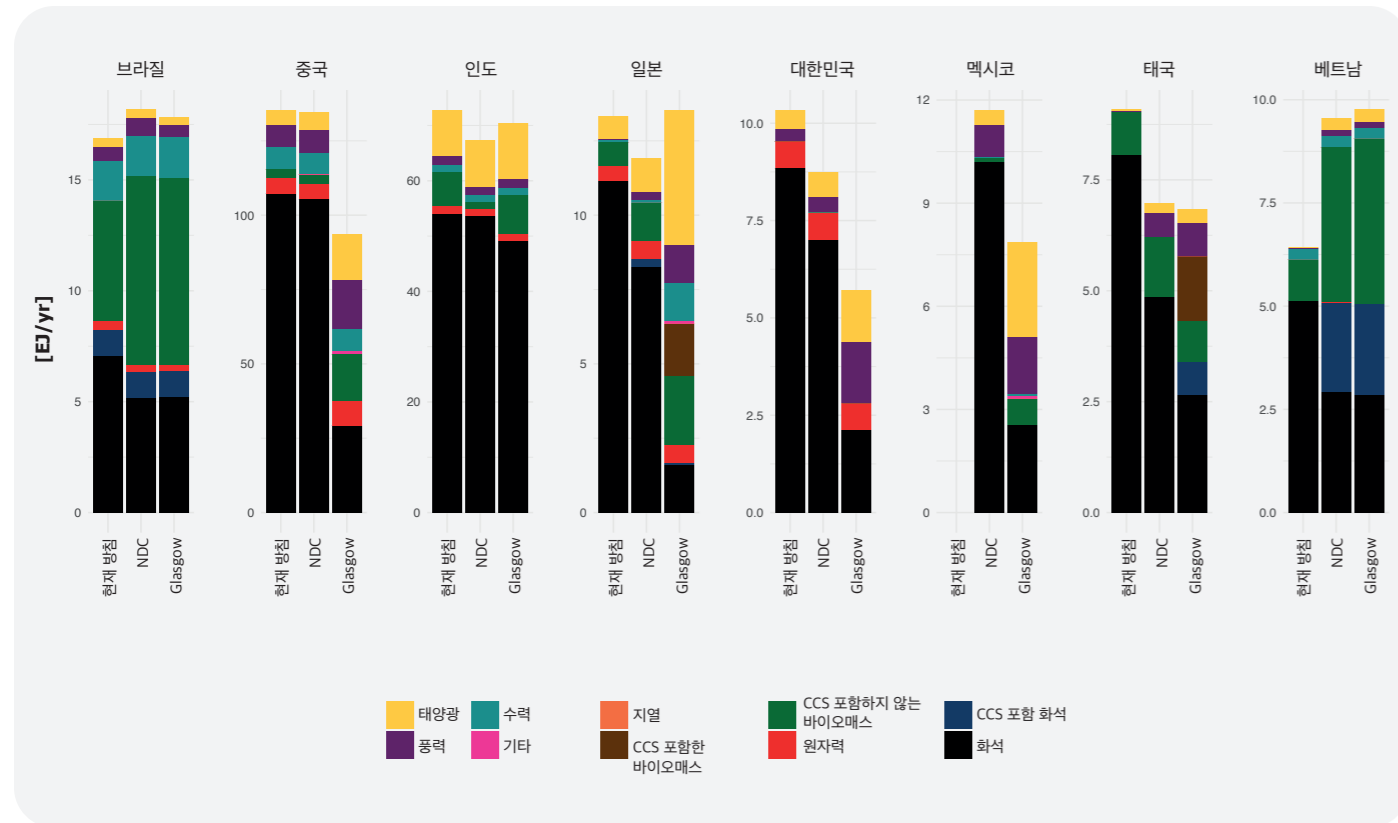


대조적인 전략

탄소중립 목표를 달성하기 위해서는 각각의 국가들이 더 지속 가능한 에너지 및 토지 시스템으로 전환해야 합니다. ENGAGE는 각국의 비용 최적 감축 전략에 대한 공정한 평가를 제공하기 위해 국가 모델링을 위한 표준화된 프레임워크를 개발했습니다.

이러한 국가별 모델은 지역 경제와 재생 가능 에너지 자원에 따라 매우 다양한 접근 방식을 예측합니다(그림 14). 예를 들어, 일본은 석유 및 가스 사용을 크게 줄이면서 태양광, 바이오매스, 풍력에 대한 강력한 투자를 병행하고 있습니다. 중국은 석탄 사용을 대폭 줄이고 원자력, CCS, 재생에너지 등 다양한 저탄소 해결책에 걸쳐 투자함으로써 순배출량 제로를 달성합니다. 가용 토지 비율이 높은 브라질, 태국, 베트남은 바이오매스 사용을 늘리고 있습니다. 태국과 한국은 여전히 많은 양의 석유를 사용합니다.

그림 14:
일부 국가의 2050년 1차 에너지 비중



공약 이행

이 연구는 각국 정부가 약속한 감축 목표를 이행한다면, 최근의 탄소중립 공약이 파리 협약의 목표 달성을 위해서 큰 진전이 될 수 있음을 보여줍니다. 이러한 기후 목표를 실제로 달성하기 위해서는 국제 협력을 통해 더 많은 국가가 탄소중립을 약속하고 기후 목표를 제때 달성하기 위한 노력을 강화함으로써 화석연료와 재생에너지에 대한 전 세계의 목표를 더욱 높여야 합니다.

이 요약본의 기반이 되는 간행물

이 요약본의 연구는 Isabela Schmidt Tagomori, Michel den Elzen, Detlef van Vuuren (all PBL Netherlands Environmental Assessment Agency), Fabio Amendola Diuana, and Roberto Schaefer (COPPE)가 주도했습니다. 이 연구는 2023년 6월 유럽연합 집행 위원회에 내부 보고서로 발표되었습니다.

향후 발행될 간행물의 사전 인쇄본은 www.engage-climate.org 에 게시될 예정입니다.

8. 파리 협약 목표 달성을 위한 노력 분담 옵션 탐색

소개

파리 협약의 기후 목표를 달성하려면 막대한 감축 노력이 필요합니다. 이러한 노력이 어떻게 그리고 어디에서 일어날 수 있는지 알아보기 위해 일반적으로 시나리오는 전 세계적인 경제적 비용을 최소화하도록 설계됩니다. 그러나 이 접근 방식은 대개 탄소 감축을 위한 자원이 가장 적고, 과거 배출에 대한 책임이 가장 적은 개발도상국에 대부분의 노력을 할당합니다.

대신에, 세계는 지불 능력과 같은 윤리적 원칙을 고려하여 국가 간에 공평하게 노력을 분담할 방법을 찾아야 합니다. 그렇지 않으면 필요한 강력한 글로벌 협력을 기대하기 어렵습니다.

ENGAGE 프로젝트는 다양한 윤리적 원칙을 바탕으로 노력 분담 방안을 모색해 왔습니다.

윤리적 범위

노력 분담 방안은 수십 년 동안 논의되어 왔습니다. 기후변화 감축 부담을 분담할 수 있는 공정하고 합리적인 실현 가능한 방법이 있을까요? ENGAGE 프로젝트에서 국가 및 전 세계 팀은 통합 평가 모델을 사용하여 세계와 개별 국가에 대한 배출량 및 비용 영향을 평가했습니다.

연구에서 검토한 각 노력 분담 방안은 평등, 과거 배출에 대한 책임, 감축 조치 이행 능력 등 하나 이상의 윤리적 원칙을 반영합니다. 모델링을 통해 얻은 방안은 다음과 같습니다:

- **지불 능력(AP)** - 1인당 국내총생산(GDP)에 따라 감축 정도가 달라집니다.
- **1인당 즉각적인 배출량(IEPC)** - 1인당 배출량은 동일합니다.
- **1인당 수렴(PCC)** - 2050년까지 1인당 배출량이 동일한 수준으로 수렴합니다.
- **그랜드파더링(GF)** - 미래 국가 배출량을 과거 배출량에 비례하여 계산합니다.¹
- **온실가스 개발권(GDR)** - 지난 배출, 1인당 GDP 및 소득 분배를 포함하는 공식으로, 책임과 이행 능력을 모두 반영합니다.

이러한 각 접근 방식은 먼저 각 국가가 할당된 감축량을 물리적으로 이행해야 한다는 가정 하에 국내 시나리오에서 모델링됩니다. 그런 다음 부유한 국가가 개발도상국을 대신해 감축 비용을 지불할 수 있는 국제 시나리오에서 다시 한 번 검토합니다(비용이 더 저렴할 경우).

다른 두 시나리오는 하이브리드 세계를 예측합니다. 한 그룹의 국가들은 덜 노력하는 옵션을 선택하고, 나머지 국가들은 기후 클럽을 결성하여 의무적인 조치를 취하는 것입니다.

비교를 위해 이 모델은 현재 정책, 현재 국가별 기여 방안(NDCs), 그리고 최적의 감축 비용을 반영하는 시나리오를 생성합니다. 파리 협약 목표를 달성하기 위해 모든 시나리오는 최대 온난화를 약 1.7°C로 제한할 것으로 예상되는 엄격한 글로벌 배출 경로를 따릅니다.

¹ 이 원칙은 통상적인 의미에서 윤리적이지 않을 수 있지만, 본 연구에서는 몇몇 배출권 거래 체계에서 채택하고 있기 때문에 이 원칙을 고려합니다.

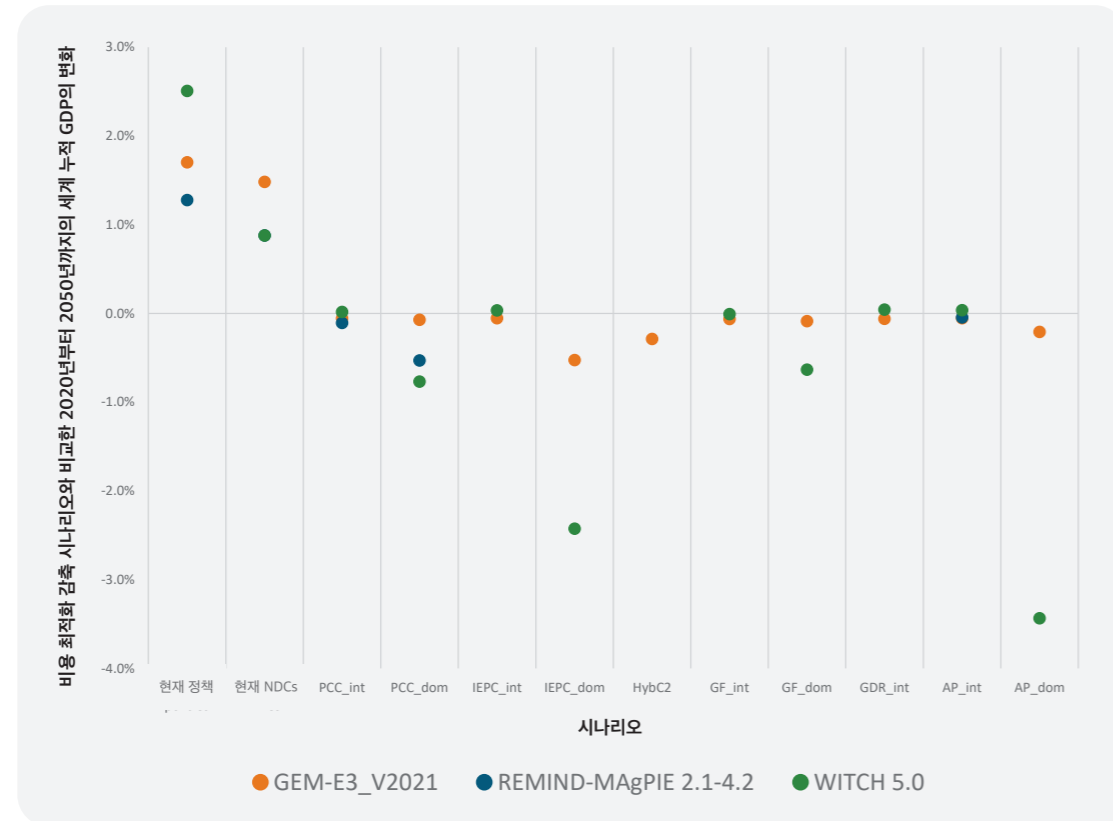
² ENGAGE 프로젝트 내에서 개발된 구체적인 경로는 향후 세기에 나타나는 부정적인 배출에 의존하지 않고 신속한 조기 감축을 통해 총 배출 예산인 800Gt CO₂e(이산화탄소 환산톤 8,000억 톤)를 충족합니다. Riahi, K., Bertram, C., Huppmann, D. et al. (2021). Cost and attainability of meeting stringent climate targets without overshoot. *Nature Climate Change* 11, 1063–1069. doi.org/10.1038/s41558-021-01215-2

저렴한 비용

경제적 비용은 2020년부터 2050년까지 전 세계 누적 GDP에 미치는 영향으로 측정됩니다(그림 15). 국내 시나리오 중 PCC는 모든 모델에서 경제성이 있는 것으로 나타났습니다. 비용 효율적 감축과 비교했을 때 GDP를 1% 미만으로 감소시킵니다. IEPC와 AP의 비용은 명확하지 않습니다. 한 모델은 PCC와 유사한 낮은 비용을 예측하고, 다른 모델은 GDP의 몇 %에 달하는 상당한 비용을 예측합니다. GF는 PCC와 유사한 비용을 갖지만, 윤리적인 문제가 제기되며, 과거에 온실가스 다배출국이었던 국가에 유리합니다. 이 모델들은 선진국에서 실현 불가능할 정도로 빠른 배출량 감축(2030년 초에 네거티브 배출에 도달)을 요구하기 때문에 GDR을 전혀 실현할 수 없습니다.

국제 배출 거래가 허용되면 GDP에 미치는 영향은 거의 제로에 가깝습니다. 감축은 대부분 비용이 가장 낮은 지역에서 이루어지기 때문입니다. 문제는 이를 위해서는 연간 수천억 달러에 달하는 막대한 국제적 지분이 필요하다는 것입니다. 선진국들은 그렇게 많은 자본을 이전하기를 원하지 않을뿐더러, 다른 국가들이 그들의 기후 약속을 대신 이행하는 데에도 소극적일 수 있습니다.

FIGURE 15: 최대 세 가지 모델에 기반 대 체 공유 방식 및 행정 체계에 따른 전 세계적 감축 비용. 모든 값은 최적 비용 감축에 대한 2020-2050년 누적 GDP의 변화율(%)로 표시되어 있습니다.



클럽 가입하기

만약 전 세계적인 배출권 거래가 실현 불가능한 것으로 판명될 경우, 하이브리드 접근 방식이 해결책일 수 있습니다. 많은 국가들이 각자의 방식대로 나아가고, 의지가 있는 국가들로 구성된 기후 클럽이 그 차이를 메우는 것입니다.

ENGAGE 프로젝트에서는 두 가지 하이브리드 시나리오로 이를 모델링했습니다. 이 시나리오에서는 기후 클럽에 가입하지 않은 국가들이 최소한의 노력을 기울인다고 가정합니다(여기서는 dom 행정 체계에 따라 모델링한 다섯가지 윤리적 접근 방식 중에서 가장 낮은 기여를 선택). 그 후 기후 클럽이 글로벌 NPi2020_800 배출 경로에 대한 배출 격차를 메우기로 약속합니다. 클럽 내에서 비용 최적화된 감축을 달성하기 위해 배출량은 공통 탄소 가격으로 거래됩니다. 재정적 이전은 전 세계적인 배출권 거래 시나리오보다 훨씬 적습니다.

클럽의 규모가 충분히 크다면 이 방법이 효과적일 수 있습니다. 한 시나리오에서는 2050년(2021년 12월까지) 탄소 중립을 달성하겠다고 약속한 국가가 클럽에 포함되며, 이는 현재 전 세계 온실가스 배출량의 40%에 달합니다. 이

시나리오에서는 클럽 회원국들이 기술적으로 실현하기에는 너무 가파른 배출량 감축을 요구하기 때문에, 모델에서 이 시나리오를 실행할 수 없었습니다.

두 번째 하이브리드 시나리오에서는 2060년까지 현재 배출량의 75%에 해당하는 탄소 중립을 달성하기 위해 노력하는 국가로 클럽을 확대하는 것입니다. 이 시나리오는 훨씬 더 효과적이며 GDP에 거의 영향을 미치지 않으면서 1.7°C 경로를 달성할 수 있습니다. 그러나 아직까지 이 시나리오에 대한 결과를 보고한 모델은 하나뿐이므로 이 결론을 테스트하기 위해서는 더 많은 연구가 필요합니다.

합리적인 요구

이 연구는 또한 개별 국가에 미치는 영향을 조사하여 노력 분담이 개발도상국에 대한 불공정한 부담을 줄여준다는 사실을 확인했습니다. 여기서 고려한 모든 계획에서 브라질, 인도, 인도네시아, 남아프리카는 글로벌 비용 최적 시나리오보다 덜 엄격한 배출량 감축을 달성해야 합니다.

그럼에도 불구하고 개발도상국과 선진국 모두 기후 목표를 높여야 합니다. 모든 국가에서 모든 노력 분담 체계가 현재의 NDCs보다 10년 안에 더 빠른 감축을 요구합니다.

이러한 목표를 달성할 수만 있다면, 이 연구는 공정성에 기반한 감축 접근법이 큰 경제적 비용 없이 개발도상국의 노력을 감소시킬 수 있음을 보여줍니다. 이는 모든 국가가 동참하여 탄소 제로 세계로의 전환을 더욱 실현 가능하고, 공정하게 만드는 데 도움이 될 것입니다.

이 요약본의 기반이 되는 간행물

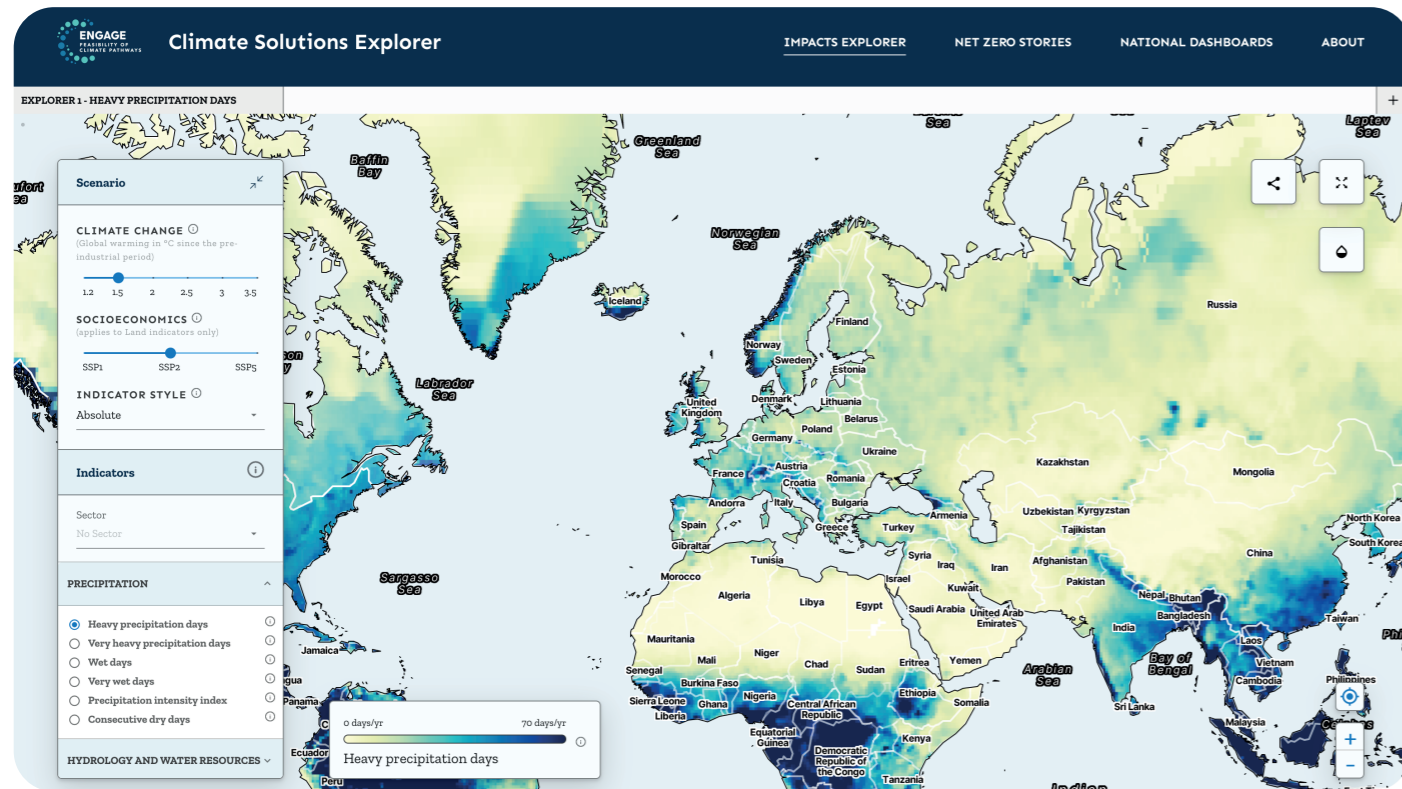
이 요약본의 연구는 E3M 모델링의 Zoi Vrontisi 와 Dimitris Fragkiadakis 가 주도했습니다. 이 연구는 2022년 9월 유럽연합 집행위 원회에 내부 보고서로 발표되었습니다

향후 발행될 논문의 사전 인쇄본은 www.engage-climate.org 에 게시됩니다.

9. 장단점, 공동 이익 및 피할 수 있는 영향에 대한 결과 공유

기후 해결책 탐색기(CSE) (www.climate-solutions-explorer.eu) 는 감축 경로, 기후 영향, 피해야 할 기후 노출, 탄소중립 감축 경로의 장단점 및 상생 효과에 대한 정보를 제공합니다.

FIGURE 16:
기후 영향 탐색기의 스크린샷



기후 변화의 영향과 위험에 대한 향상된 이해와 전달은 감축 및 적응에 관한 정책과 의사결정에 정보를 제공하는 핵심 메커니즘입니다. 더 나아가, 전 세계가 지구 온난화를 1.5°C로 감축하는 데 성공하면, 2°C 또는 3°C와 같은 고온화 수준과 비교하여 어떤 영향이 나타나는지를 보여줍니다. 즉 '피할 수 있는 영향'과 '피할 수 있는 노출'이라는 프레임워크가 새롭게 등장했습니다. 특히 국가 차원에서 이러한 방식으로 구성된 국가 대시보드는 감축 조치의 이점을 보다 명확하게 제시합니다. 대시보드 섹션에는 약 200개 국가와 10개 글로벌 거시 지역에 대한 개별 페이지가 있으며, 감축 및 영향 데이터와 분석이 결합되어 있습니다.

이 정보는 현재 1.2~3.5°C 사이의 지구 평균 기온 상승을 다루는 최신 CMIP6 기후 및 영향 모델 데이터를 사용하여 새롭게 업데이트된 기후 위험 분석을 기반으로 합니다. 전체 화면 대화형 지도에 제시된 지표, 지역, 시나리오를 비교할 수 있습니다. 그림 16은 CSE의 예시 페이지를 보여줍니다.

감축 정책은 동일한 수준의 배출량 감축을 달성하는 것이 목표라 하더라도 다양한 방식으로 구현될 수 있습니다. 다양한 부문을 통해 시행되는 감축 정책의 선택은 서로 다른 지속가능성 차원에서 나타나는 장단점과 상생 효과를 가져올 수 있습니다. ENGAGE 파트너가 모델 결과와 사례 연구를 제공할 수 있는 주요 국가에 대해서는 정책 요약 형식으로 작성된 '스토리' 형식의 심층 분석이 제공되며, 대화형 차트와 지도도 포함되어 있습니다. 해당 국가 또는 부문에 가장 관련성이 높은 탄소중립 전환의 다양한 트레이드오프와 공동 이익을 다룹니다.



이 요약본의 기반이 되는 간행물
이 요약본의 연구 및 웹 도구 개발은 Ed Byers (IIASA)가 주도했습니다. 이 연구는 2023년 5월 유럽연합 집행위원회에 내부 보고서로 발표되었습니다.

웹사이트에 사용된 모든 데이터는 문서와 함께 다운로드할 수 있으며 설명서가 제공됩니다.

10. 공동 제작 과정에 이해관계자 참여 유도

기후 변화는 매우 복잡한 문제이며, 사회 전반에 걸친 혁신적 변화를 요구합니다. 이를 위해서는 연구 공동체와 정부, 비정부기구, 기업, 금융기관, 산업계, 국제기구 및 시민사회 등 다양한 이해관계자 간의 반복적이고 건설적인 대화 과정이 필요하다는 것이 경험에 의해 입증되었습니다. 이러한 과정은 지역 및 전문 지식을 연구에 활용하는 데 도움을 줄 뿐만 아니라, 이해관계자가 이 과정에 참여할 경우 그 결과와 통찰력을 더 쉽게 수용할 수 있도록 지원할 수 있습니다. 이해관계자 참여는 정책 개발 전체 수명 주기에 걸쳐서 이해관계자가 자신의 의견을 표현할 수 있도록 하기 위해 EU 정책 개발의 핵심 요소로 인식되어 있습니다. 또한 책임 있는 연구와 혁신의 중요한 구성 요소로 인식되고 있습니다.

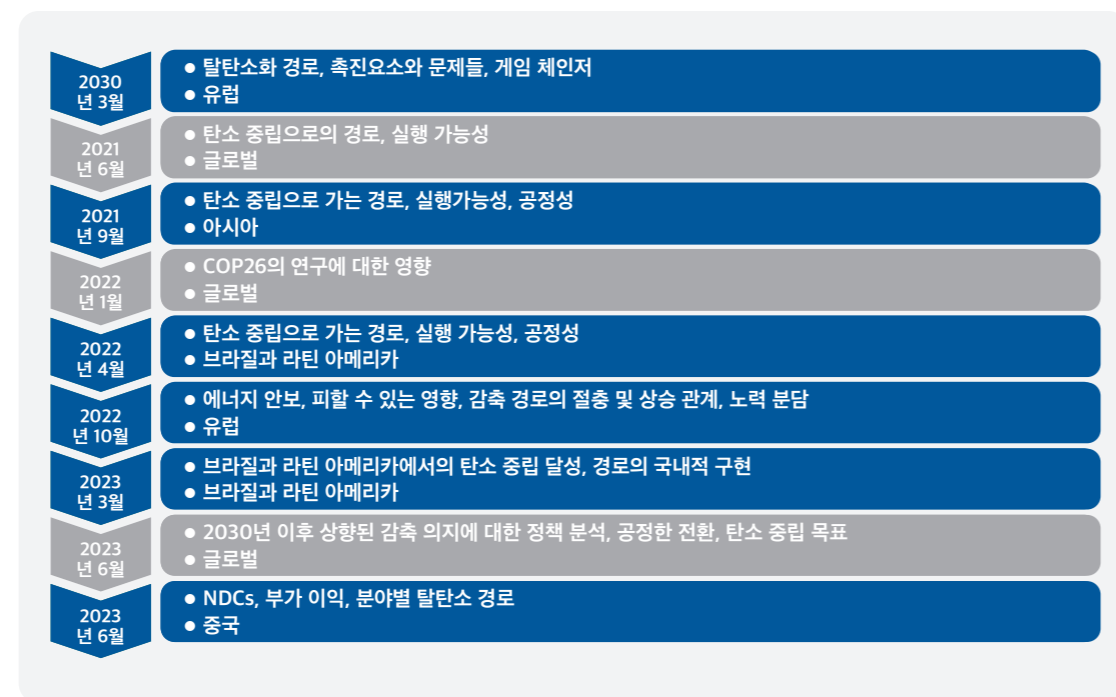
이해관계자 참여에 있어 모범 사례의 중요한 요소는 참가자들이 복잡하거나 감정적인 문제를 열린 방식으로 논의할 수 있는 안전한 공간을 열어주는 숙련된 중재입니다. 이를 통해 참가자들 간에 더 깊은 유대감을 형성하고 새롭고 창의적인 아이디어가 나올 수 있도록 장려합니다. 이러한 목표를 달성하기 위해 비공식적인 상호 작용과 같은 프로세스를 사용하여 사람들이 편안함을 느낄 수 있도록 돕는 '호스팅의 기술'이라는 접근 방식이 이번 ENGAGE 프로젝트의 이해관계자 참여를 설계하는 데 사용되었습니다.

ENGAGE 프로젝트에는 두 가지 유형의 이해관계자 참여가 있었습니다:

- 전 세계 탄소 중립 경로의 이해관계자 공동 설계 및 평가;
- 국가/지역 정책 및 경로에 대한 이해관계자 대화.

전 세계 수준에서 세 차례, 국가/지역 수준에서 여섯 차례 등 총 아홉 차례의 워크숍을 개최했습니다(그림 17). 처음 다섯 번의 워크숍은 코로나19 팬데믹으로 인해 온라인으로 진행되었고, 나머지 네 차례는 대면 회의로 진행되었습니다.

FIGURE 17: 프로젝트의 이해관계자 참여 워크숍. 전세계 워크숍은 회색, 국가/지역 워크숍은 파란색입니다.

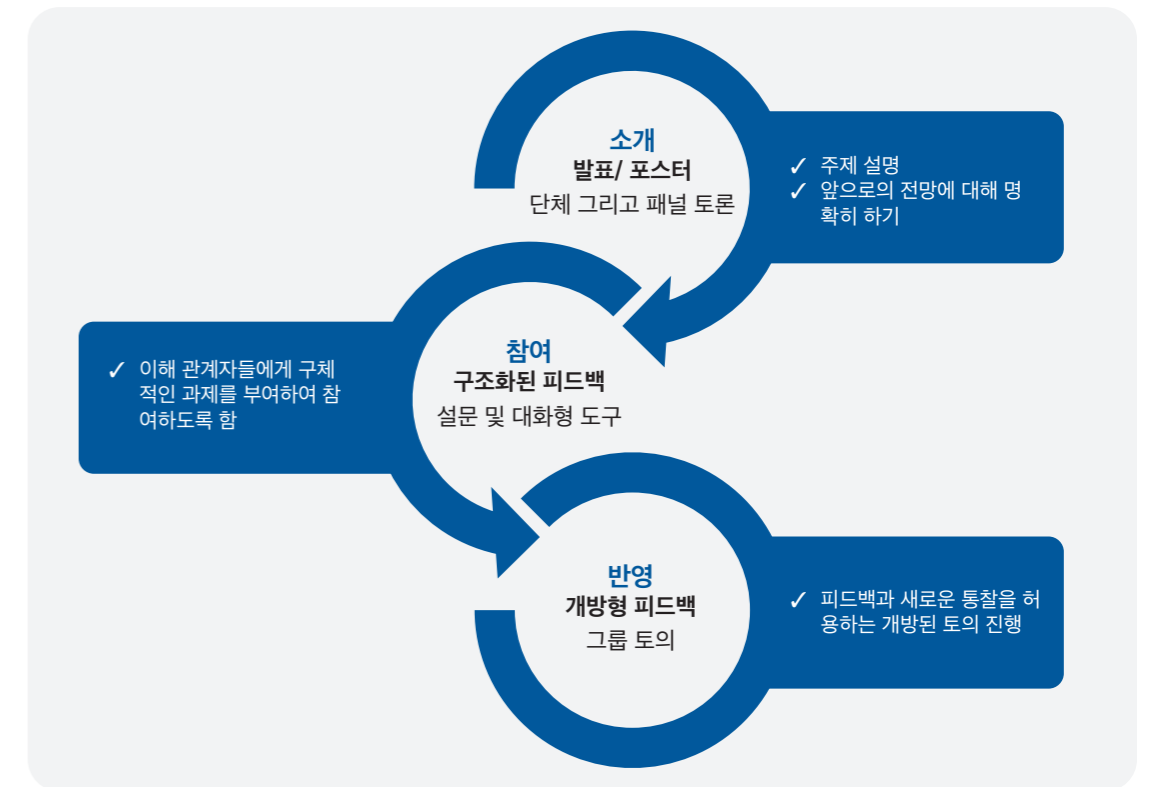


각 워크숍은 소개, 참여, 반영으로 나뉘었으며(그림 18), 주제를 이해관계자에게 소개하기 위해 모델 결과에 대한 발표, 패널 토론, 스토리텔링 등 다양한 도구와 접근법을 사용했고, 두 번의 워크숍에서는 포스터를 사용했습니다. 또한 저명한 연사를 초청하여 주제 소개 강연도 진행했습니다.

그런 다음 이해관계자를 연구에 참여시키기 위해 주제, 모델 결과와 관련된 설문조사 및 대화형 도구를 사용하여 모든 이해관계자로부터 구조화된 피드백을 수집했습니다.

마지막으로, 소그룹 토론을 통해 보다 일반적인 피드백을 수집하고 새로운 통찰력을 얻을 수 있는 열린 토론의 장을 마련했습니다.

FIGURE 18: 워크숍에서 사용된 다양한 참여 형태.



예를 들어, 워크숍은 2°C로 온난화 제한 가능한 여러 시나리오를 보여주는 모델 결과에 대한 간단한 발표로 시작할 수 있습니다. 그런 다음 참가자들을 대상으로 한 설문조사와 함께 온라인 도구를 사용하여 시나리오의 실현 가능성을 평가할 수 있습니다. 이해관계자들은 일부 시나리오는 실현 가능하다고 응답할 수 있지만, 다른 시나리오는 기술적 제약이나 행정적 부족으로 인해 실현 불가능하다고 생각할 수도 있습니다. 이 과정은 이해관계자가 자신의 관점을 제시하면 연구자들이 이를 수용할 수 있는 탄소 배출 시나리오를 공동으로 설계하는 데 기여합니다.

매 워크숍 이후 프로젝트 팀의 평가는 도구와 접근 방식을 개선하는 데 중요한 역할을 했습니다. 대부분의 경우 이해관계자들 과의 양방향 대화를 촉진하는 데 성공했지만, 대화형 도구를 사용할 때 일부 변경이 필요하다는 사실도 알게 되었습니다. 예를 들어, 실행 가능성 도구의 첫 번째 버전은 제한된 시간 내에 이해하기 너무 복잡했으므로 이후 온라인 워크숍에서는 이를 단순화했습니다.

또, 여러 접근 방식과 도구를 결합하면 부가가치를 높일 수 있다는 사실을 발견했습니다. 특히 설문조사, 시각적 도구, 발표, 공개 토론을 연계하는 것이 효과적이었으며, 이해관계자와 프로젝트 팀에게 유용한 통찰력을 제공했습니다.

참가자들은 사회운동, 금융 및 정치적 리더십이 탄소 중립화에 강력한 영향을 미칠 수 있다고 믿었습니다. 이에 따라 ENGAGE 프로젝트는 탄소 중립 경로를 연구할 때 사회적 측면에 더 많은 주의를 기울이게 되었습니다. 이해관계자들은 또한 탄소 중립화의 실행 가능성을 판단할 때 기관의 역할을 고려할 필요성을 강조했으며, 이는 ENGAGE 프로젝트의 후속 작업에서도 반영되었습니다.

오프라인 회의의 필요성

이 프로젝트의 경험에 따르면 온라인 활동이 탈탄소화 경로를 효과적으로 공동 창출하거나, 더 일반적으로는 지속 불가능성의 복잡한 문제에 대한 해결책을 찾기 위한 대면 회의를 대체할 수 없다는 것을 보여줍니다.

온라인 대화에는 주요 단점 중 하나는 시간 제약입니다. 온라인 회의는 2시간을 넘기지 않아야 하며, 그렇지 않으면 많은 참가자들이 일찍 자리를 뜨는 것으로 나타났습니다. 그 결과 참가자 소개를 위한 충분한 시간이 거의 없으며, 비공식적인 그룹 활동을 통해 다른 참가자를 알아가는 기회도 없습니다. 분과 그룹에서 한두 가지 이상의 핵심 질문을 다루거나, 심도 있는 토론을 진행할 시간도 충분하지 않습니다. 또한 세션이 끝날 때 피드백 라운드와 워크숍 평가를 위한 충분한 시간이 없습니다.

파리 협약 목표를 달성하는 경로를 찾고 실행하기 위해서 이해관계자들은 다양한 관점을 파악하고 이해하며, 필요한 경우 심층적으로 파고 들고, 여러 차례 반복적인 대화에 참여할 수 있는 충분한 시간과 공간이 필요합니다. 지속 불가능한 문제에 대한 해결책을 찾기 위한 개방형 지식 시스템은 온라인 회의를 통해 지원될 수 있지만, 장기적인 사회 학습 과정의 일환으로 더 긴 대면 회의도 필요합니다.

역량 강화

공동 창작 과정은 프로젝트 관리 팀과 협력 파트너가 프로젝트 진행 과정 전반에 걸쳐 시간과 자원을 투자할 의지에 달려 있습니다. 따라서 프로젝트 코디네이터는 양방향 대화의 중요성과 가치, 수행해야 할 단계 및 프로세스에서 각자의 역할을 충분히 이해하고, 한편으로는 역량 강화를 통해 모든 프로젝트 파트너의 이해를 증진하고 다른 한편으로는 모범이 되어야 합니다.

이를 위해 파트너들에 대한 지속적인 능력 구축을 필요로 하며, 이를 위해 예를 들어 질문을 제기하는 방법, 브레이크아웃 그룹을 책임지는 방법, 간결하게 보고하는 방법 등과 같은 운영의 기술을 가르치는 것이 필요합니다. ENGAGE 프로젝트에서는 프로젝트 초기에 New Horizon 프로젝트 (<https://newhorizon.eu/>) 와 협력하여 역량 강화 워크숍을 개최했습니다. 이 워크숍은 주로 프로젝트 파트너가 아닌 학생들을 대상으로 진행되었지만, '호스팅의 기술' 접근법에 따라 효과적인 역량 강화 계획을 위한 템플릿을 제공했습니다.

또한 이 프로젝트는 다른 이해관계자들을 위한 역량 강화의 필요성을 보여주었습니다. 여러 워크숍의 참가자들은 통합 평가 모델의 작동 방식과 결과 해석 방법에 대해 더 자세히 알고 싶어 했습니다.

누락된 플랫폼

ENGAGE 프로젝트는 다른 EU 연구비 지원 프로젝트에서 이해관계자 참여 활동을 설계하고 실행한 경험을 통해 크게 이익을 얻었습니다. 그러나 이해관계자 참여에서 얻은 교훈을 문서화하여 향후 프로젝트에서 효과적인 공동 창작 과정을 설계하고 구현할 수 있는 탄탄한 기반을 마련하기 위한 중앙 플랫폼이 부족한 것으로 보입니다.

준비, 문화 및 자금 지원

이 프로젝트에서 얻은 다른 교훈은 다음과 같습니다:

특히 새로운 도구와 접근 방식이 도입되는 경우, 온라인 및 오프라인 워크숍 모두에서 이해관계자 관련 행사 전에 프로젝트 팀을 위한 상세한 준비와 브리핑이 필수적이었습니다.

정책에 긍정적인 영향을 끼치는 명확한 목표와 프로젝트 코디네이터 및 파트너의 지원도 성공적인 이해관계자 참여를 위해 필수적입니다. 예를 들어, 직접적인 질문에 답하는 등 대화에 참여하고자 하는 의지에 있어 문화적 차이를 인식하는 것이 중요합니다. 온라인 회의든 오프라인 회의든 모든 참가자는 과정에 대한 신뢰를 쌓을 시간이 필요하며, 이를 위해서는 신중한 진행이 필요합니다. 신중하게 준비하고 다른 이해관계자와의 반복적인 대화 과정에 많은 파트너가 실질적으로 참여해야 하므로 적절한 자금이 필수적입니다.

PUBLICATION ON WHICH THIS SUMMARY IS BASED

Jäger, J., Brutschin, E., Pianta, S., Omann, I., Kammerlander, M., Sudharmma Vishwanathan, S., Vrontisi, Z., MacDonald, J., & van Ruijven, B. (2023). Stakeholder engagement and decarbonization pathways: Meeting the challenges of the COVID-19 pandemic. *Frontiers in Sustainability*, 3. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsus.2022.1063719>

워크숍에 대한 자세한 정보는 www.engage-climate.org/stakeholders 에서 확인하세요.

11. ENGAGE 역량 강화

과학 연구 수행을 넘어 과학 연구 수행 역량을 강화하는 것도 ENGAGE 프로젝트의 중요한 목표 중 하나입니다. ENGAGE내의 연구 네트워킹 및 역량 강화 프로그램으로는 역량 강화 워크숍, 연구 교류 프로그램, ENGAGE 여름학교가 있습니다.

ENGAGE의 역량 강화 워크숍은 연구 그룹이 더 경험이 풍부한 팀으로부터 새로운 방법론과 사례에 대해 배울 수 있도록 합니다. 역량 강화 워크숍의 주제는 협력단의 전반적인 합의를 바탕으로 선정되었습니다. 워크숍의 주제는 통합 평가 모델(IAM)에 대기 오염 포함, IAM 문서화 개선, 모델 유효성 검사, 모델링 모범 사례, 그리고 물, 에너지, 토지 넥서스 모델링 등이었습니다.

연구 교류 프로그램을 통해 전 세계 다양한 연구소의 젊은 학자 11명이 프로젝트 기관과 협력하여 농업 부문의 지속 가능한 전환을 위한 글로벌 통합 평가 모델, 중국 해운 부문의 암모니아 사용 시나리오, 오픈소스 모델링 도구 사용 학습 등과 같은 주제를 연구하였습니다.

2023년 7월 Como 호수에서 개최된 **ENGAGE** 여름학교는 NAVIGATE 프로젝트와 협력하여 개최되었으며, 브라질, 중국, 레바논, 대한민국 등 13개국에서 온 25명의 학생들이 참가했습니다. ENGAGE 프로젝트에 참여한 주요 과학자들이 강의를 했고, IAM의 역사와 기후 협상에서의 역할, IAM을 활용한 기후 정책의 사전 사회경제적 평가, 탄소 중립을 향한 공정한 전환 등의 주제를 다뤘습니다. 학생들은 IAM 결과물을 위한 분석 도구로 실습을 진행했으며, IAM 모델을 위한 새로운 구성 요소를 개발하는 등의 실습을 수행했습니다.

2023년 7월의 ENGAGE/ NAVIGATE 여름 학교 참가자 및 교수진, ENGAGE 역량 강화 활동의 모습



자료와 녹화본은 www.engage-climate.org/capacity-building/ 에서 확인할 수 있습니다.

12. 결론

ENGAGE 프로젝트의 다학제적 팀과 프로젝트 전반에 걸친 횡단 학제적 접근 방식은 다음과 같은 결과를 명확하게 보여줍니다:

- 현재의 정책이나 기존 국가별 결정기여(NDCs)로는 파리 협약 목표를 달성하기 위해 필요한 수준에 근접한 배출량을 달성할 수 없습니다. 최근의 탄소중립 목표 자체는 큰 진전이지만, 장기적인 기후 목표를 달성하기에는 여전히 충분하지 않습니다. 남은 격차를 줄이려면 화석 연료 사용을 급격히 줄이고 재생 에너지의 범위를 더욱 확대해야 합니다.
- 단기간에 실현 가능성 문제를 극복하면, 장기적으로 분명히 이점이 있습니다. 빠른 대응이 전반적으로 실현 가능성과 관련된 문제들을 줄여줍니다. 기관은 감축 시나리오의 실현 가능성과 관련하여 중요한 고려 사항입니다. 교육에 투자하는 등과 같은 국제사회의 집중적인 원조가 큰 차이를 만들 수 있습니다.
- 순 네거티브 시나리오에 의존하면 위험한 수준의 초과(overshoot)가 발생합니다. 이러한 초과(overshoot)를 피하려면, 2030년까지 저탄소 전력에 대한 투자가 최소한 두 배 이상 증가해야 합니다(1000Gt 이하의 예산 기준). 선행 투자는 장기적인 경제적 이익을 가져옵니다. 단기적인 감축을 가속화하고, 감축하기 어려운 부문의 배출량을 상쇄하기 위해서는 이산화탄소의 제거가 필요합니다.
- 기관 능력 부족으로 온난화는 1.5°C를 넘길 가능성이 높기 때문에, 전 세계는 기온 상승에 대비해야 합니다. 에너지 수요를 줄이면 1.5°C 이하로 유지될 가능성이 높아지며, 최고점 온도 도달 이후 기온을 낮추기 위해 에너지 수요를 줄이는 것은 더욱 중요합니다. 제도적 역량이 높은 국가들은 단기적 감축을 위해 더 큰 책임을 져야 합니다.
- 대부분의 노력 분담 계획은 2050년 세계 GDP를 아주 약간만 감소시킵니다(비용 최적 시나리오와 비교하면 1% 미만). 공정성 기반 배출 거래는 비용을 더 줄일 수 있지만, 국제 거래의 규모를 고려하면, 실현이 불가능할 수 있습니다. 기후 클럽은 양쪽의 장점을 모두 가져올 수 있습니다. 개발도상국들은 노력 분담 접근 방식 중 어떤 것이든 이득을 얻을 가능성이 높습니다.
- 이해관계자와의 대화는 필수적입니다. 인간에 의해 유발된 기후 변화에 대한 해결책을 찾고 실행하려면 연구 커뮤니티와 다양한 이해관계자들 간의 반복적이고 건설적인 대화 과정이 필요합니다. 파리 협약 목표를 달성하는 경로를 찾고 실행하려면, 이해관계자들이 다양한 관점을 파악하고 이해할 수 있는 충분한 시간과 공간이 필요하며, 필요한 경우 심도 있게 논의할 수 있어야 합니다.



ENGAGE 간행물:
www.engage-climate.org/publications/

ENGAGE 프로젝트에 대한 자세한 내용은
www.engage-climate.org 에서 확인할 수 있습니다.

저자

Bas van Ruijven, Jill Jaeger, Keywan Riahi, Stephen Battersby, Christoph Bertram, Valentina Bosetti, Elina Brutschin, Ed Byers, Aleh Cherp, Laurent Drouet, Shinichiro Fujimori, Volker Krey, Roberto Schaeffer, Isabela Schmidt Tagomori, Detlef van Vuuren, Zoi Vrontisi, ENGAGE Consortium

감사

일련의 이해관계자 및 전문가 워크숍에 참여하여 ENGAGE에서 수행한 분석에 중요한 의견을 제시함으로써 프로젝트에 기여한 정책, 비즈니스, 시민사회 및 연구 커뮤니티의 모든 관계자에게 감사의 말씀을 전합니다. ENGAGE에서 수행한 연구에 귀중한 피드백을 제공하고 프로젝트 기간 내내 긴밀한 협조를 해주신 자문위원회 - Prodipto Ghosh, John Weyant, Fu Sha, Joanna Post, Florin Vladu, Alexandra Dumitru, Tom van Ierland, Miles Perry, Katre Kets, Vicky Pollard – 에게도 특별한 감사를 전합니다.

면책 조항

본 정책 입안자를 위한 ENGAGE 요약본에 명시된 정보와 견해는 저자의 의견이며, 유럽연합의 공식 의견을 반드시 반영하는 것은 아닙니다. 유럽연합 기관 및 단체나 이들을 대신하여 활동하는 사람은 여기에 포함된 정보의 사용에 대해 책임을 지지 않습니다.





ENGAGE 프로젝트에 대하여

이 프로젝트는 유럽연합의 호라이즌 2020 연구 혁신 프로그램으로부터 연구비 협약 821471번에 해당하는 재정 지원을 받았습니다.

© 2023 국제 응용 시스템 분석 연구소

Schlossplatz 1, A-2361 락센부르크, 오스트리아

www.iiasa.ac.at



이 저작물은 크리에이티브 커먼즈 저작자표시-비영리 4.0 국제 라이선스에 따라 이용할 수 있습니다. 상업적 사용은

permissions@iiasa.ac.at 으로 문의하시기 바랍니다.

ZVR 524808900