

에너지 정책 수립 지원을 위한
2025 장기 에너지 시나리오

에너지 정책 수립 지원을 위한

2025 장기 에너지 시나리오

(최종보고서)

2025. 12. 30.

에너지경제연구원

요약문

- 본 연구는 기후/에너지 감축 수단이 급변하고 국제사회의 감축 요구가 강화되는 가운데 국내외 사회경제의 발전에 대한 불확실성을 고려하여 다양한 시나리오별 에너지 수급을 전망할 수 있는 분석체계 구축하고자 함
- 국가결정기여(NDC) 및 탄소중립 목표 달성은 효율적인 기술을 개발하고 소비를 줄이는 노력으로 달성할 수 있는 것이 아니라 사회경제의 기반인 에너지시스템의 전면적인 개편과 생활 양식의 변화가 필요한 도전적인 과제임
 - 기후 문제의 해결은 우리가 의존하고 있는 사회경제 시스템의 변혁과 더불어 고밀도 에너지에서 저배출·무배출 에너지로의 에너지시스템의 대대적인 전환이 필요함
- 시나리오 생성틀은 시나리오를 생산하는 방법을 의미하며 사회경제 발전 경로와 정책/기술 경로 등 두 가지 차원의 시나리오 구성요소로 구조화되어 있음
- 사회경제 발전 경로의 주요 요소
 - 사회경제 발전 경로를 구성하는 변수들은 인구 및 인적개발, 경제 및 생활양식, 기술 및 자원 등으로 구분하고, 각 카테고리 내의 주요 변수들을 선정함
 - IPCC는 인구, 인적개발, 경제 및 생활 양식, 정책 및 제도, 기술, 환경 및 자원 등 6개로 변수 카테고리를 설정함
 - 사회경제 발전 경로의 주요 변수로 사회경제의 핵심 동인인 인구, 경제성장, 기술혁신, 제도 및 체제, 생활양식을 선정함
 - 사회경제 발전 경로는 정성 정보와 정량 정보로 구성됨
 - 정성 정보는 제도, 생활양식, 인식 등 정량화하기 힘든 요소들에 대한 내러티브(narrative)로, 정량 변수 간의 관계에 대한 논리적, 상황적 설명임
 - 정량 정보는 에너지 수급, 온실가스 배출, 파급 효과 분석을 위해 모형의 입력 전제로 사용되는 인구, 국내총생산, 업종별 산출, 에너지 가격 등에 대한 수치임

제목 차례

제1장 서론	1
제1절 연구의 배경과 필요성	1
제2절 연구의 목적과 내용	5
제2장 시나리오 설계	9
제1절 시나리오의 분석 체계	9
제2절 시나리오 개요	10
제3절 사회경제 발전 경로	11
제4절 정책/기술 경로의 개요	16
제3장 사회경제 발전 경로 내러티브의 정량화	20
제1절 STEM 분석을 위한 사회경제 전제	20
제2절 인구 전망	21
제3절 경제성장률 전망	22
제4절 산업구조 전망	25
제5절 기후 변수 전망	29
제6절 에너지 가격 전망	31
제4장 STEM 구조 및 분석 방법	34
제5장 결론	41
참고문헌	43

표 차례

〈표 1〉 사회경제 발전 경로의 주요 내러티브	7
〈표 2〉 사회경제 발전 경로 주요 구성 요소와 내러티브	13
〈표 3〉 사회경제 발전 경로별 주요 변수에 대한 가정	15
〈표 4〉 사회경제 발전 경로별 주요 거시경제 지표 특성	24

그림 차례

[그림 1] 시나리오 설계 및 분석 체계	9
[그림 2] 정책 집행 환경과 경제성장에 따른 사회경제 발전 경로	11
[그림 3] 기술혁신과 기술수요에 따른 정책/기술 경로	17
[그림 4] 사회경제 발전 경로별 인구 및 인구 증가율 전망	22
[그림 5] 사회경제 발전 경로별 국내총생산 및 경제성장률 전망	24
[그림 6] 사회경제 발전 경로별 주요 업종 2023~2050년 연평균 성장률	28
[그림 7] 사회경제 발전 경로별 연평균 기온 및 10년 평균 난방도일, 냉방도일 변화	30
[그림 8] 사회경제 발전 경로별 국제 원유 가격 변화 추이	32
[그림 9] 사회경제 발전 경로별 국제 LNG 가격 변화 추이	32
[그림 10] 사회경제 발전 경로별 국제 석탄 가격 변화 추이	33
[그림 11] STEM 구조 및 분석 흐름도	34
[그림 12] STEM 에너지 모형 개요	35

제1장 서론

제1절 연구의 배경과 필요성

- 최근 세계기상기구(WMO)는 「2024년 전 지구 기후 현황 보고서」에서 2024년 지구 평균 기온이 산업화 이전보다 1.55 °C 상승한 것으로 발표함
- 보고서에 따르면 2023년 이산화탄소 농도는 420 ppm으로 산업화 이전 대비 150 % 증가한 것으로 나타남
 - 2025년 1~8월 지구 평균 온도는 산업화 이전 대비 이미 1.4 °C를 넘어선 것으로 보고함
- 구테흐스 UN 사무총장은 2025년 11월 6일 세계 지도자 기후행동 회의에서 온난화 억제 노력이 충분하지 않으며 더 강력한 계획들이 완전히 실행되더라도 기후 상승폭 '레드 라인'인 1.5 °C를 넘는 2.3 °C가 될 것이라고 경고함
 - 이에 앞서 2025년 9월 열린 '기후정상회담 2025'에서는 기온 상승 억제 목표 달성을 위해 더욱 강력한 2035 NDC를 통해 전 세계가 노력할 것을 촉구함
- 우리나라는 현재 2025년 연내 제출을 목표로 '2035 NDC' 수립을 위한 막바지 단계를 밟고 있으며, 2025년 제30차 기후변화당사국총회(COP)에서 2035년 국가 온실가스 감축 목표를 2018년 대비 53~61 % 수준으로 발표함
 - 정부에서는 “책임있고 실현가능한 2035 온실가스 감축 목표 수립”을 강조함
 - 이번 2035년 감축목표는 단일 목표로 제시했던 2030 NDC와 달리 기술진보 등 미래 불확실성을 고려하여 세계 주요국과 같이 범위 형태로 제시함
 - 하한 목표는 배출권거래제 등 규제와 연동된 목표로 설정하고, 상한 목표는 정부지원 대폭 확대, 혁신적 기술개발, 산업체질 개선 등을 전제로 설정함
- 국가 감축 목표(NDC) 및 탄소중립 목표 달성은 삶의 질을 유지하면서 사회경제의 기반인 에너지시스템의 전면적인 개편과 생활 양식의 변화가 필요한 도전적인 과제임

- 온실가스 배출감축을 단순히 에너지 효율을 높여 에너지 소비를 억제하고 고배출 에너지에서 저배출·무배출 에너지로 바꾸는 문제로 이해하지만, 이는 우리가 의존하고 있는 에너지시스템의 대대적인 전환과 더불어 사회경제와 생산 시스템의 변혁이 필요한 사회 개조의 문제임
- 이 과정에서 경제적, 환경적, 사회적 삶의 질을 높이거나 최소한 유지하는 것을 암묵적으로 전제함
 - 탄소중립녹색성장위원회는 “과학적 데이터에 기반한 합리적 목표 설정”과 더불어 “산업 경쟁력을 잃지 않는 정의로운 전환 방안 마련”을 강조함
- 이러한 상황에서 「에너지기본계획」 수립 근거 소멸로 인해 정부의 주요 에너지 계획의 정합성 확보를 위한 종합적 에너지 수급 전망의 필요성이 제기됨
- 2024년 1월 개정된 「탄소중립녹색성장기본법」(이하 기본법)에서 「에너지기본계획」의 수립 조항이 삭제됨에 따라 그동안 주요 에너지 계획의 방향과 근거를 제공했던 「에너지기본계획」의 법적 근거가 상실되고 계획 수립이 중단됨
 - 「에너지기본계획」은 「전력수급기본계획」, 「장기천연가스수급계획」, 「이용합리화 기본계획」 등 주요 에너지 계획의 수요 전망과 목표 설정의 근거 역할을 수행
 - 현 기본법은 「탄소중립녹색성장기본계획」(이하 기본계획)의 수립을 규정하고 있으나, 동 기본계획은 온실가스 배출 목표를 설정할 뿐 에너지 수급 전망, 에너지 수요 목표 등을 명시적으로 포함하지 않음
 - 에너지 사용은 온실가스 배출의 대부분을 차지하는데, 우리나라의 경우 2022년 온실가스 총배출 724.3 백만톤CO₂e에서 에너지 사용으로 인한 배출은 76.2%를 차지하고 산업공정 및 제품 사용으로 인한 배출은 18.1%를 차지함
 - 온실가스 배출에서 에너지 부문의 중요성을 고려할 때 「에너지기본계획」의 수립 중단과 기본계획에서 에너지 부문의 구체성 결여는 온실가스 배출감축의 실제 주요 정책인 에너지 계획들의 실효성을 상당히 약화시키는 요인이 됨
- 따라서 국가 온실가스 감축 목표의 과학적 수립과 실현가능성을 위해서는 에너지 부문의 상호작용을 고려한 종합적인 정보를 제공하는 에너지 수급 전망 필요한 시점임
 - 효율개선(이용합리화기본계획), 전력수요 및 전원구성(전력수급기본계획), 천연

가스 수급(장기천연가스수급계획) 등 에너지 이용과 공급의 상호작용을 종합적으로 고려한 전망이 필요함

□ 일반적인 사회경제 전망이 그렇듯, 장기 에너지 전망은 다양한 원인에서 비롯되는 불확실성이 존재하며 이는 장기 전망을 바탕으로 수립하는 에너지 계획의 현실성과 효과를 크게 저해함

○ 사회과학을 비롯하여 모든 과학적 분석은 데이터 및 분석 모델의 불확실성을 내재함

- 데이터의 불확실성은 측정의 문제를 의미하며, 더욱 정밀한 측정 기법, 보다 광범위한 데이터 수집 등으로 개선될 수 있으나 측정의 문제를 완전히 해결할 수는 없음
- 모델의 불확실성은 변하지 않는 법칙이 존재하지 않는다는 점과 더불어 기존 이론을 모두 답을 수 있는 하나의 모형 개발이 불가능하다는 점을 의미함
- 이는 어떤 데이터와 모델을 분석에 사용할지에 대한 선택 자체가 분석 결과에 어떤 이론적 모형적 불확실성이 존재할지 사전적으로 결정하는 측면이 있으며, 분석 결과를 점 추정치가 아니라 통계적 가능성으로 이해할 필요가 있다는 것을 의미함

○ 불확실성의 원인 중 하나는 에너지 관련 미래 기술과 정책의 불확실성에서 비롯하며, 미래의 실현된 기술과 정책은 자동적 결과가 아니라 현재 또는 미래세대의 선택 문제임

- 다수의 기술과 정책이 경합 관계에 있을 때 기술과 정책의 선택은 비용 기반 단순 경제성이 아니라 사회의 역사, 문화, 구조에 따른 복합적 경제성에 의해 결정됨
- 또한 미래 기술은 기술개발 성공 자체의 불확실성을 가지고 있음
- 장기 에너지 전망은 어떤 기술이 개발될지 또는 어떤 정책이 시행될지 예측하는 것이 아니라 이러한 기술과 정책이 도입되면 어떤 결과가 나타날지를 예상하는 역할

○ 근본적인 불확실성의 원천은 미래 사회경제의 불확실성에서 발생하며, 사회경제의 불확실성은 장기 전망 실패의 원인으로 작용함

- 전망의 실패란 단순히 예측(forecast)의 실패가 아니라 전망의 결과가 불확실성에 대한 확실성을 크게 벗어나는 것을 의미하며, 기본 가정을 비롯한 분석의 대상과 범위가 전혀 엉뚱한 곳에서 이루어지는 경우를 포함하고 있음
 - 일반적으로 주어진 전제로 가정하는 사회경제 구조는 국내총생산이나 업종별 부가가치 등 양적인 구조 외에도 사회의 성격, 문화, 취향, 인식 등 주관적인 요인까지 포함하고 있으며, 이러한 요인은 ‘장기’ 미래에도 현재와 동일할 수 없음
 - 또한, 코로나19나 러시아-우크라이나 전쟁같이 사전 예측이 가능하지 않은 미지의 사회경제적 충격이 언제든 발생할 수 있으며, 이러한 충격 중에는 단기적으로 소멸하지 않고 중장기적으로 사회경제 구조를 변화시키는 것도 존재할 수 있음
 - 미래 사회의 불확실성이 단지 통계적 확률적 불확실성 차원이 아니라 사회구조와 관계의 변화를 포함한다는 것은 대다수 모형을 적용하는 데 근본적인 한계가 있다는 것을 의미함
- IPCC, EIA, IEA 등은 불확실성에서 발생하는 전망 실패의 위험에 극복하고자 다양한 시나리오 개발과 다수의 모형 적용으로 대응하고 있음
- 미래 불확실성에 대한 가장 현실적인 대응 방법은 다양한 사회경제 발전 경로에 대한 시나리오에 다수의 모형을 적용하는 앙상블(전망의 집합) 분석 기법으로, IPCC의 SSPx(Shared Socio-economic Pathway) 시나리오가 대표적인 사례임
 - IPCC는 6차 평가보고서에서 GDP, 인구, 도시화, 경제협력, 기술개발에 대해 다양한 미래 사회경제 변화 경로를 설정하고, 각각의 사회경제 경로에서 온실가스 배출 경로를 전망함(O’Neil et al., 2014)
- 국내에서도 기술 및 정책에 대한 시나리오를 다양하게 적용하거나 동일 목표에 대해 다수의 모형을 적용하여 비교 분석하는 등(Cho et al., 2025; Kwak et al., 2025) 앙상블 분석 기법이 점차 사용되고 있으나 아직은 부분적인 적용이며 특히 사회경제 경로에 대한 불확실성을 시나리오에 포함한 경우는 아직 없는 것으로 파악됨

제2절 연구의 목적과 내용

- 본 연구는 2024년 산업통상자원부의 지원으로 에너지경제연구원에서 수행한 「장기 에너지 수급 전망 수립을 위한 기반 구축 연구」에서 제시한 시나리오 설계를 채용하여 2060년까지 우리나라의 에너지 수급과 온실가스 배출에 대한 시나리오를 분석함
- 「장기 에너지 수급 전망 수립을 위한 기반 구축 연구」는 인구, 경제, 기술, 제도 등 다양한 사회경제 구성 요소들에 대한 질적 양적 가정을 바탕으로 세 가지의 사회경제 발전 경로를 제시함
 - 본 연구는 시나리오 분석을 위한 전문가위원회를 구성하고 위원회의 논의와 자문을 거쳐 세 가지 사회경제 발전 경로를 연구 목적에 맞게 일부 수정하여 적용함
 - * 본 연구의 사회경제 발전 경로 시나리오는 명칭과 수치에서 일부 수정이 있긴 하나 「장기 에너지 수급 전망 수립을 위한 기반 구축 연구」와 본질적으로 동일하므로 자세한 내용은 제2장 및 위의 보고서를 참조
- 결정론적 점추정 대신 전망의 추정치 범위를 제공하는 확률 기법인 앙상블 기법으로 발전하는 국내 연구 추세를 더욱 발전시키고자 다양한 사회경제 발전 시나리오를 설정함
 - 앙상블 기법은 확률적 전망, 다수 모형의 협력, 다양한 시나리오의 개발을 통합적으로 활용하는 방법으로 이해할 수 있음
 - 모형 개선하는 데 점 예측(point forecast)이나 확률적 전망(probabilistic prediction)을 개선하기보다 가능성 있는 다양한 미래를 살펴보는 것이 불확실성이 큰 미래에 대해 강건한(robust) 결정을 내리는 데 도움을 줄 수 있음 (Erica Thompson, 2023)
- 이러한 시나리오 분석은 다양한 사회경제 발전 상황에 따른 기후 및 에너지 관련 정책 수립과 연구 기반 확대를 위한 정보 제공을 목적으로 함
- 정책 측면에서는 온실가스 감축 국가 목표와 다수의 에너지계획 수립에서 고려해야 할 다양한 불확실성을 사전에 분석하여 목표의 적합성과 수단의 정합성을 확보할 수 있도록 지원함

- 연구 측면에서는 연구기관, 학계 등에서 모형 개발을 포함하여 통합적이고 광범위한 연구를 진행하도록 촉진함
 - 시나리오의 기초 정보를 공개함으로써 외부 다수의 연구기관의 모형이 참여하여 더욱 풍부한 시나리오 분석이 이루어질 수 있도록 함
 - 일반 국민과 연구자에게 미래 불확실성을 고려한 에너지 수급과 온실가스 배출 전망을 제공함으로써 소비와 투자 결정을 위한 정보로 활용함
- 시나리오의 구성 요소는 사회경제 발전 경로와 정책 수단 경로로 구분되며 두 경로가 모형 내에서 결합하여 하나의 시나리오를 생성함
- 사회경제 발전 경로는 인구 및 인적개발, 경제 및 생활양식, 기술 및 자원에 대한 정성 정보(내러티브)와 정량 정보(전제)로 구성되며, 다양한 사회경제 발전 경로 중에서 지속가능-고성장, 추세유지-중간성장, 분열갈등-저성장 경로를 선택함
 - 정성 정보는 제도, 생활양식, 인식 등 정량화하기 힘든 요소들에 대한 내러티브(narrative), 사회경제 주요 변수 간의 관계에 대한 논리적, 상황적 설명이며 정책과 기술의 사회 수용성을 중심으로 설계함
 - 정량 정보는 모형의 입력 전제로 사용되는 인구, 국내총생산, 업종별 산출, 에너지 가격 등에 대한 수치이며, 정성 정보와 일관성을 유지하도록 구축함
 - 지속가능-고성장 발전 경로(SEP1)는 기후 문제에 대한 사회적 관심이 높고 적극적인 참여와 활동으로 기후 문제를 해결하고자 하는 사회의식이 형성된 상황에서 인구 감소 둔화와 투자 및 기술개발이 적극적으로 진행되면서 생산 측면에서도 경제가 빠르게 성장하는 발전 경로를 의미함
 - 추세유지-중간성장 발전 경로(SEP2)는 기후 문제에 대해 현재와 유사한 사회의식과 갈등이 유지되며 생산 측면에서도 총요소생산성이 둔화로 성장이 느려지는 발전 경로로, 기존 사회경제 전제와 유사한 발전 시나리오임
 - 분열갈등-저성장 발전 경로(SEP3)는 소득, 정보, 권력 분배의 불평등 심화로 사회적 갈등이 높고 기후 및 에너지 정책에 대한 사회적 수용성이 매우 낮은 상황이며 생산 측면에서도 인구 감소가 빠르게 진행되고 투자가 적절히 이루어지지 않으면서 성장 둔화가 두드러진 발전 경로를 의미함

〈표 1〉 사회경제 발전 경로의 주요 내러티브

사회경제 경로	개요
지속가능-고성장 (SEP1)	<ul style="list-style-type: none"> • 전 세계 및 우리나라의 사회경제가 지속가능한 발전 경로를 따르는 상황 • 질적 삶의 수준 향상과 물질 성장의 공유에 대해 사회적 관심이 높고, 교육과 건강에 대한 투자 증가와 사회 시스템 강화로 출산율이 올라가며, 기술 및 정보에 대한 개발, 확산, 공유가 활발 • 기후를 비롯한 사회적 문제에 대한 관심이 높고 협력을 통한 문제해결이 원활한 국내 사회구조
추세유지-중간성장 (SEP2)	<ul style="list-style-type: none"> • 전 세계 및 우리나라의 사회경제가 현재의 발전 추세를 지속하는 경로 • 인구, 투자, 생산성 등 주요 사회경제 변수들이 장기 추세를 유지 • 기후변화 완화를 위한 국제적 노력이 현재 수준을 유지하는 상황에서, 사회제도, 경제, 기술 발전에 혁신적인 전환 없이 현재의 추세 변화를 이어가는 국내 사회구조
분열갈등-저성장 (SEP3)	<ul style="list-style-type: none"> • 전 세계 및 우리나라의 사회경제가 비협조적 성장 경쟁을 하며 불평등과 갈등이 심화되는 경로 • 에너지·자원 안보가 강조되어 보호주의와 자국 우선주의가 강화되고, 기술·정보 독점으로 기술 개발의 확산이 둔화되면서 경제성장이 둔화 • 소득, 정보, 권력 분배의 불평등이 심화되고 사회적 갈등이 높아 협력을 통한 문제 해결이 약한 국내 사회구조

- 정책 수단 경로는 기후 및 에너지 관련 정책과 기술의 발전에 대한 가정으로, 각 사회경제 발전 경로에서 기준 시나리오와 정책 시나리오를 구분하는 역할을 담당함
- 정책 수단 경로는 「2030 NDC 수정안», 「한국형 탄소중립 100대 핵심기술», 「탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획», 「11차 전력수급기본 계획」 등 국가 주요 계획들의 이행 수단들과 민간의 탄소감축 기술개발 계획들에 대한 최신 정보를 조사하여 구성함
 - 정책 수단 경로의 내용은 2030년 온실가스 배출 감축 목표나 2050년 탄소중립 목표가 아니라 목표와 함께 제시된 이행 수단으로 구성되며, 이행 수단을 기술 혁신과 기술 수요로 구분하여 정책 경로를 설정함
 - 본 연구에서는 현재의 정책/기술이 추세적인 변화를 하는 기준 정책 수단 경로와 기술 혁신 및 기술 수요 모두 최대 수준을 반영한 최대저감 정책 경로를 선택함

- 기준 시나리오(reference scenario)는 현재의 정책과 기술 발전 추세가 특별한 변화 없이 유지되는 시나리오이며, 여기서 ‘기준’은 비교의 근거를 의미할 뿐 가치 판단의 근거를 의미하는 것은 아님
- 정책 시나리오는 관심 대상이 되는 정책이나 기술이 도입되어 온실가스 및 에너지 공급이 기준 시나리오에서 벗어나 새로운 경로를 따르는 시나리오이며, 정책 시나리오와 기준 시나리오의 차이가 정책 효과로 인식됨
- 목표 시나리오는 정책 시나리오의 하나로 취급되기도 하지만 정책 시나리오는 목표 달성을 전제하지 않고 정책 및 기술의 효과를 산출하는 반면 목표 시나리오는 특정 목표 수준에 도달하는 데 필요한 정책과 기술의 규모 및 조합을 산출한다는 점에서 정책 시나리오와 차이가 있음

□ 본 보고서는 다음과 같이 구성됨

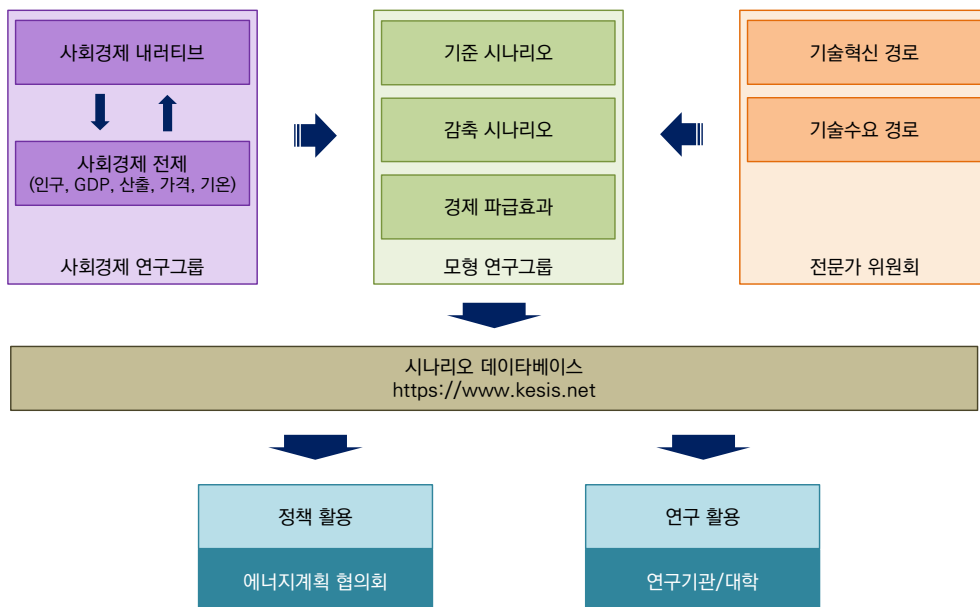
- 제2장은 시나리오 생성 방법을 설명하고 사회경제 발전 경로의 내러티브를 포함하여 사회경제 발전 경로 및 정책/기술 발전 경로의 구체적인 내용을 비교함
- 제3장은 사회경제 발전 경로의 정량 정보인 전제 작성 방법과 결과를 설명함
- 제4장은 에너지경제연구원의 장기에너지 전망 모형인 STEM(Systems of Three E-Models)의 구조 및 분석 방법을 설명함
- 마지막으로 제5장은 결과를 요약하고 정책적 시사점과 시나리오의 활용 방법을 제안함

제2장 시나리오 설계

제1절 시나리오의 분석 체계

- 사회경제 발전 경로 및 전제 작성, 정책 수단 경로 설정, 모형 분석 등 시나리오 설계와 분석의 각 단계마다 다수의 전문가가 참여하는 분석 체계를 구축
- 사회경제 연구그룹은 사회경제 발전 경로에 대한 내러티브와 정량 전제를 도출
 - KDI, 산업연구원, 통계청, 학계 등 전문가 5인 참여, 연 4회 회의 진행
- 전문가 위원회는 기후 및 에너지 정책과 기술의 발전 경로에 대한 설계와 검토 그리고 시나리오 분석 결과의 평가를 담당
 - 학계, 기관, 민간 등 분야별 전문가 29인 참여, 연 4회 회의 진행
- 모형 연구그룹은 에너지경제연구원의 장기 에너지 모형 연구팀으로 구성되어 있으며, 사회경제 연구그룹 및 전문가 위원회와 협력하여 시나리오 분석을 진행

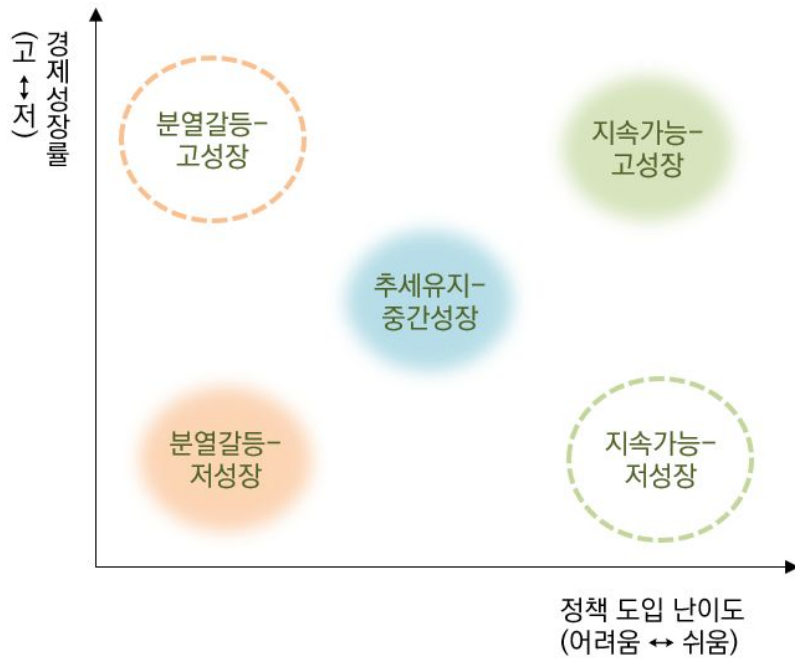
[그림 1] 시나리오 설계 및 분석 체계



제2절 시나리오 개요

- 시나리오는 사회경제 발전 경로와 정책/기술 발전 경로 등 두 가지 구성 요소의 결합으로 생성
 - 사회경제 발전 경로는 사회경제의 핵심 변수들의 상호 관계에 대한 논리적이고 일관된 가정으로, 정책/기술 수단이 적용되기 전의 전반적인 사회경제 모습을 의미
 - 사회경제 발전 경로는 정성 정보와 정량 정보로 구성되며, 정성 정보는 인구 및 인적개발, 경제 및 생활양식, 기술 및 자원 등에 대한 서술, 정량 정보는 인구, 경제성장률, 산업경쟁력, 에너지가격, 기온 등의 모형 입력 전제
 - 사회경제 발전 경로는 기후 및 에너지 정책에 대한 시나리오의 기반을 제공하고 정책 수단의 범위와 효과를 제약
 - 정책/기술 경로는 정책적으로 선택할 수 있는 수단의 조합을 의미
 - 기술혁신(기술개발)경로와 기술수요(보급수준)경로로 구분
 - 사회경제 발전 경로에 따라 적용가능한 수준이 달라질 수 있으며, 사회경제 발전 경로의 내러티브와 최종 정책·기술 시나리오의 내적 일관성 중요
- 새로운 정책 수단에 대한 사회적 수용성과 경제성장이라는 두 축을 기준으로 세 가지의 사회경제 발전 경로를 선택
 - 사회경제 발전 경로는 지속가능-고성장(SEP1), 추세유지-중간성장(SEP2), 분열갈등-저성장(SEP3) 경로를 분석 대상으로 선택
 - 사회경제 발전 경로의 선택 기준은 사회경제 경로의 발현 가능성보다 미래의 불확실성을 최대한 아우르기 위해 극단적으로 대비되는 사회를 고려
 - 사회경제 발전 경로의 내러티브는 사회성격과 경제성장의 맥락을 설명할 뿐, 사회성격과 경제성장의 인과관계 혹은 필연성을 의미하는 것은 아님
 - 즉, 지속가능 사회성격과 중간 또는 저성장의 조합이 가능하며, 이 경우 지속가능 사회의 일부 변수는 정성적 또는 정량적으로 중간 및 저성장의 지속가능 사회와 달라질 가능성 존재

[그림 2] 정책 집행 환경과 경제성장에 따른 사회경제 발전 경로



- 정책/기술 경로는 현재의 기후 에너지 정책에서 큰 변화가 없는 기준 정책 수단 경로와 기술혁신 및 기술수요가 최대한 반영된 최대저감 정책 수단 경로를 선택
 - 기준 정책 수단 경로는 정책의 효과를 측정하기 위한 기준선(기준 시나리오)를 제공
 - 최대저감 시나리오는 정책 집행의 가능성보다 정책의 최대 효과를 측정하기 위해 선택

제3절 사회경제 발전 경로

1. 사회경제 발전 경로의 개요

- 사회경제 발전 경로는 에너지 수급과 온실가스 배출 저감 분석을 수행하는 데 배경이 되는 미래 상황에 대해 광범위한 설명을 제공
- 사회경제 발전 경로 자체는 전망의 목적이 아니며, 기후 및 에너지 정책의 적용과 집행 난이도의 측면에서 추가적인 정책 분석을 위한 기반을 제공하는 것이 목적

- 사회경제 발전 경로는 기후 및 에너지 정책을 수행하는 데 발생하는 어려움 정도 및 상황을 설명하는 것이 주요 목적
- 사회경제 요인들은 상호 일관성 있게 구성되지만, 발생가능한 모든 조합을 다루는 것은 아니며 대표적인 사회경제 발전 경로를 제시
- 기후변화의 영향이나 추가적인 기후 정책이 없다는 가정하에 내적으로 일관되고 가능성 있으며 통합적인 사회경제의 발전 경로(O'Neill et al., 2017)인 IPCC의 정의와 유사

○ 사회경제 발전 경로의 주요 요소

- 사회경제 발전 경로를 구성하는 변수들은 인구 및 인적개발, 경제 및 생활양식, 기술 및 자원 등으로 구분하고, 각 카테고리 내의 주요 변수들을 선정
 - IPCC는 인구, 인적개발, 경제 및 생활 양식, 정책 및 제도, 기술, 환경 및 자원 등 6개로 변수 카테고리를 설정
- 사회경제 발전 경로는 정성 정보와 정량 정보로 구성
 - 정성 정보는 제도, 생활양식, 인식 등 정량화하기 힘든 요소들에 대한 내러티브(narrative)로, 정량 변수 간의 관계에 대한 논리적, 상황적 설명
 - 정량 정보는 모형의 입력 전제로 사용되는 인구, 국내총생산, 업종별 산출, 에너지 가격, 기온 등에 대한 수치

2. 사회경제 발전 경로의 내러티브

- 내러티브는 사회경제 요인인 인구 및 인적 개발, 경제 및 생활양식, 기술 및 자원의 주요 변수들을 시나리오의 특성에 맞게 서술한 것
- 인구 및 인적 개발을 결정하는 요인은 인구성장, 출산율, 사망률, 이민, 교육, 보건투자, 형평성(equity), 사회적 참여 등을 선정
- 경제 및 생활 양식을 결정하는 요인은 (인당) 경제성장, 불평등(inequality), 국제 무역, 소비 행태, 정책 목표, 사회제도 등을 선정
- 기술 및 자원을 결정하는 요인은 기술개발, 기술이전, 에너지 기술 변화, 배출 집약도, 에너지 집약도, 화석연료 제약 등을 선정

□ 주요 사회경제 발전 경로 시나리오

- 지속가능-고성장 경로 : 전 세계 및 우리나라의 사회경제가 지속가능한 발전 경로를 따르는 상황
 - 사회의식이 삶의 질 향상과 공유된 번영에 방점을 두며, 교육, 건강, 환경 기술에 대한 투자가 증가하고 사회구조 및 소비행태의 변화 노력이 지속
- 추세유지-중간성장 경로 : 전 세계 및 우리나라의 사회경제가 과거의 발전 추세를 지속하는 경로
 - 사회, 경제, 기술 발전이 과거의 추세 변화를 이어가는 가운데, 정책과 기술의 획기적 전환은 발생하지 않고 기후변화 완화를 위한 국제적 노력도 크게 개선되지 않는 상황
- 분열갈등-저성장 경로 : 성장을 위한 배타적 경쟁과 분배 불평등이 심화되는 상황
 - 국내외 에너지 안보 부각과 자국 우선주의 강화 등으로 성장을 위한 경쟁이 치열하고 국가 간 그리고 계층 간 소득 분배를 비롯하여 불평등이 심화되는 상황

〈표 2〉 사회경제 발전 경로 주요 구성 요소와 내러티브

	구성요소	지속가능-고성장	추세유지-중간성장	분열갈등-저성장
대외 상황		<ul style="list-style-type: none"> · 교육, 건강 투자 증가 · 인구 증가 속도 둔화, 장기적 경제성장률은 하락 · 환경기술 투자 증가, 자원 효율 향상 · 친환경 기술개발, 원활한 국제협력 	<ul style="list-style-type: none"> · 전 세계 인구는 꾸준히 증가하는 가운데 교육과 건강에 대한 투자는 불충분 · 전반적인 기술은 빠르게 발전하지만, 청정에너지 관련 기술의 획기적 전환은 없는 상황 	<ul style="list-style-type: none"> · 국가주의 또는 민족주의 대두, 경쟁 및 안보에 대한 우려, 지역 분쟁 확산으로 국제 협력 약화 · 국가 간 그리고 계층 간 불균형 성장과 불평등 심화
인구 및 인적개발	<ul style="list-style-type: none"> · 인구성장 · 출산율 · 사망률 · 이민 · 교육 · 보건투자 · 형평성 · 사회적 참여 	<ul style="list-style-type: none"> · 교육 및 건강에 대한 투자 증가와 삶의 질 향상으로 출산율 상승 · 성장의 고른 분배와 사회적 공론에 대한 참여 활발 	<ul style="list-style-type: none"> · 인구 감소 추세를 반전시킬 만한 사회적 투자 부족으로 인구 감소 지속 	<ul style="list-style-type: none"> · 교육 및 건강에 대한 사회적 투자의 부족으로 인구 감소 추세 심화

	구성요소	지속가능-고성장	추세유지-중간성장	분열갈등-저성장
경제 및 생활양식	<ul style="list-style-type: none"> · 경제성장 · 불평등 · 국제무역 · 소비행태 · 정책목표 · 사회제도 	<ul style="list-style-type: none"> · 인구 증가, 기술 발전으로 인한 생산성 상승으로 경제성장률 상승 · 친환경, 에너지 절약 소비행태 확산 · 에너지시스템 전환을 위한 사회간접자본투자에 대해 사회적으로 높은 수용성 · 탄소중립 목표와 에너지정책의 설계와 집행이 수월한 사회의식 	<ul style="list-style-type: none"> · 인구 감소와 생산성 증가 둔화 지속으로 경제성장률 하락 · 재생에너지 및 신기술에 대한 사회적 수용성이 중간 수준 · 석유제품과 석유화학제품의 수출 시장이 여전히 넓은 상태 유지 	<ul style="list-style-type: none"> · 인구 감소와 생산성 둔화의 가속화로 경제성장률이 더욱 하락 · 사회갈등 심화로 에너지 사회기반시설과 신기술에 대한 사회적 수용성이 매우 낮음
기술 및 자원	<ul style="list-style-type: none"> · 기술개발 · 기술이전 · 자원안보 	<ul style="list-style-type: none"> · 기술 발전이 빠르게 진행 · 기술 확산과 학습이 원활 · 에너지 및 광물 자원에 대한 접근 제약 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> · 해외 자원 도입의 제약은 상대적으로 낮은 수준 · 기술 발전 속도가 과거의 추세를 유지하지만 기술 발전의 성과 공유는 미흡, 소득 불평등과 실업이 현재 수준을 유지 	<ul style="list-style-type: none"> · 해외 에너지 자원 접근에 대한 제약, 화석 연료에 대한 국제 수요 지속 · 기술 발전 속도가 하락하는 가운데 기술 특허와 보호 주의 강화로 기술 확산과 학습 둔화
	<ul style="list-style-type: none"> · AI 	<ul style="list-style-type: none"> · 기술은 빠르게 발전하지만, 사회적 합의에 따라 정보 분사 및 감시 규제 	<ul style="list-style-type: none"> · 빠른 기술 발전, 정보통신 및 반도체 산업 성장 주도 	<ul style="list-style-type: none"> · 정보 집중과 기술 집중 심화

〈표 3〉 사회경제 발전 경로별 주요 변수에 대한 가정

주요 변수	지속가능-고성장 경로	추세유지-중간성장 경로	분열갈등-저성장 경로
인구 및 인적 개발			
인구성장	높음	낮음	낮음
출산율	높음	낮음	낮음
사망률	낮음	중간	높음
이민	중간	중간	높음
교육	높음	중간	낮음
보건투자	중간	중간	보건지출 상승 압박
형평성	높음	중간	낮음
사회적 참여	높음	중간	낮음
경제 및 생활 양식			
경제성장	높음	중간	낮음
불평등	완화	지속	심화
국제무역	원활	원활	강한 제약
소비 행태	저탄소, 저에너지 재화 중심의 소비	현재 유지	계층별 소비 재화의 차이
정책 목표	지속가능성장	현재 유지	안보 지향, 총량 성장 중심
사회제도	효과적 제도 정착	현재 유지	국제협력 및 사회적 참여 악화, 불균형 성장
기술 및 자원			
기술개발	빠름	중간	느림
기술이전	빠름	중간	느림
에너지기술변화*	효율 개선 및 청정에너지 지향	화석 연료 의존 지속	분산화된 투자, 화석 연료 의존 지속, 국내 자원 개발
화석연료 제약	청정에너지 전환	비전통 자원 활용	안보 강화로 에너지가격 상승

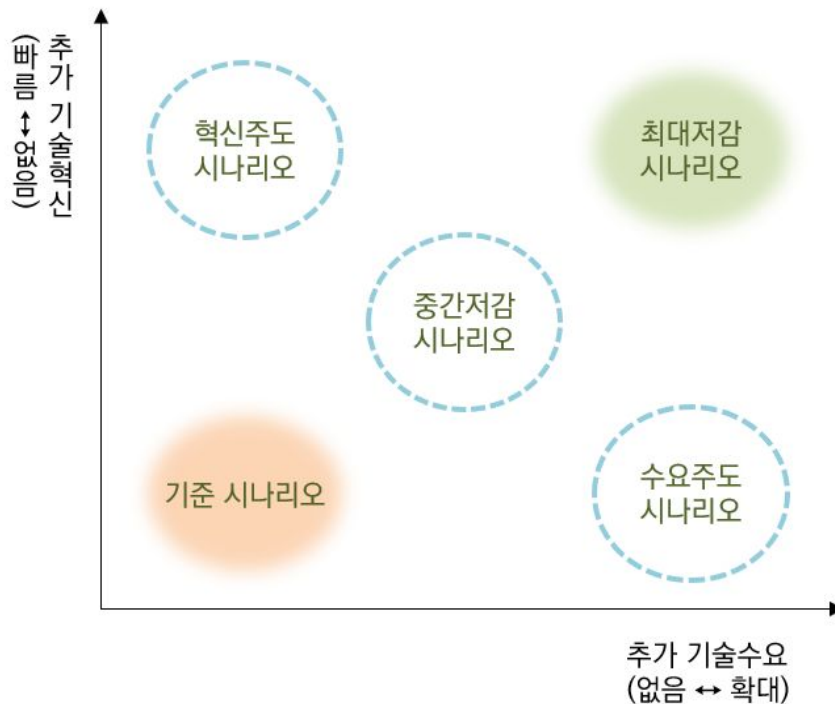
* 에너지 및 기후변화 저감에 대한 추가적인 정책/기술이 적용되기 전의 상황으로, 시나리오별 기준 전망 결과에 대한 예상을 의미

제4절 정책/기술 경로의 개요

1. 정책/기술 경로의 개요

- 정책/기술 발전 경로는 에너지 및 기후 관련 정책과 기술에 대한 가정으로, 기술 개발에 대한 가정인 기술혁신과 기술 보급에 대한 가정인 기술수요로 구분
 - 탄소중립은 근본적으로 현재 수준과 차별화되는 기술과 수요 감축 등 행동 변화(behavioral change) 등이 적절히 결합되어야 달성 가능
 - 기술적 측면에서 현재의 기술을 넘어 에너지, 산업, 수송, 건물 등 전 부문에서 혁신의 확산에 의한 탄소중립의 추진이 필요
 - 행태적 측면에서는 기존의 생활 양식과 차별화되는 고효율 제품 선택, 재활용의 확대 등의 변화가 필요
 - 기술혁신은 지속가능한 성장을 보완하고 탄소중립을 지향하는 기술 그룹으로, 좁게는 에너지 및 기후변화 저감을 위한 기술이 대상
 - 주요 공정에 대한 정부와 민간의 혁신 기술의 개발 상황에 따라 에너지 수요와 온실가스 배출의 변화를 분석하는 것으로, 산업정책 목적의 기술 경로와는 차이
 - 기술혁신에 대한 시나리오는 주요 핵심 기술의 기술 수준과 개발 일정에 대한 계획으로 구성
 - 기술수요는 개발된 기술에 대한 에너지 소비자의 경제적 선택을 의미하며, 거시경제 측면에서는 설비투자와 건설투자의 형태로 실현
 - 에너지효율 개선 기술과 전기화를 포함한 에너지 전환 기술의 보급수준에 내재된 불확실성이 에너지 수요와 온실가스 배출에 미치는 영향을 분석하는 것이 목적
 - 기술수요에 대한 시나리오는 에너지 소비자의 에너지·기후 기술에 대한 수용성 정도로 구별

[그림 3] 기술혁신과 기술수요에 따른 정책/기술 경로



2. 기술혁신 경로의 구성

- 기술혁신 수단은 행태 변화를 배제한 상황에서 탄소중립을 위한 기술혁신이 달성 되었을 때 예상되는 경로를 분석하는 것이 목적
- 기술혁신 경로는 에너지를 사용하는 부문에서 현재 사용 기술의 대대적인 효율 향상 또는 에너지 전환, 아직 현실화되지 않는 미래 기술의 효과를 분석하는 기술 혁신 중심(innovation oriented scenario) 시나리오
- 기술혁신 시나리오는 계획한 일정의 지연과 목표한 기술개발 수준의 미달에 따라 다양한 시나리오를 형성
 - 기술혁신 시나리오는 영국 기후변화위원회(CCC)의 Widespread Innovation* 시나리오와 유사

* "Widespread Innovation... assume greater success in reducing the costs of low-carbon technologies. This allows more widespread electrification, a more resource- and energy-efficient economy, and more cost-effective technologies to remove CO₂ from the atmosphere."

□ 기술혁신에 대한 주요 시나리오

- 기술혁신 경로는 전 분야에서 일정과 목표를 달성하는 기술혁신 달성 경로와 모든 분야의 일정과 목표를 달성하지 못하는 기술혁신 지연 경로로 구분
 - 현실적으로 일정과 목표의 달성 여부는 개별 기술에 대해 각각 발생하지만, 시나리오의 복잡성이 증가하고 시나리오 간 차별성이 희석
 - 기술혁신 시나리오는 '21년 수립된 탄소중립 시나리오를 기초로 수립된 한국형 탄소중립 100대 핵심기술을 시나리오 구성의 주요 기술로 선정
 - 한국형 탄소중립 100대 핵심기술은 범부처 차원의 탄소중립 기술개발 방향성을 제시하기 위한 것으로 우리나라의 탄소중립 실현을 위해 필요한 기술을 선별
 - 한국형 탄소중립 100대 핵심기술은 총 233명의 전문가가 참여하여 국내외 탄소중립 세부 후보기술 약 450개 중 총 100개 기술을 선정하여 '23년 5월 탄소중립 기술특별위원회에서 확정
 - 단, 본 연구의 시나리오는 에너지 부문의 탄소배출 저감을 분석하는 것에 한정하므로 비에너지 관련 기술은 제외

3. 기술수요 경로의 구성

- 기술수요 시나리오는 수요측 주요 감축 수단인 행태변화와 전기화에 내재된 불확실성이 장기 에너지 수요 및 온실가스 배출에 미치는 영향에 대한 선제적 분석하는 것이 목적
- 기술개발을 전제로 해당 기술의 채택과 에너지 사용에 관련된 행태의 변화 여부에 따른 에너지 수요 및 온실가스 배출 변화를 비교 분석
 - 에너지효율을 비롯하여 현재 논의되는 온실가스 감축 기술이 계획한 시기에 모두 개발되더라도 사람들의 기기 선택과 에너지 사용은 경제적 선택에 따라 온실가스 배출 감축과 에너지 수요에 미치는 영향이 상이
 - 기술수요 시나리오는 전기화를 비롯하여 화석연료 폐지 관련 정책(내연기관차 판매금지, 화석연료 보일러 설치 금지 등)과 전 국민을 대상으로 하는 생활 습관 변화 정책 등의 수립에 직접적으로 참고할 수 있는 분석 결과를 제공

- 고효율 기기 보급 확대를 통한 에너지효율 향상과 전기화(electrification)는 탄소 중립 목표를 달성하기 위해 수요 측면에서 활용할 수 있는 대표적 감축 수단
 - IEA(2023a)에서도 1.5℃ 경로 달성에 요구되는 단기간 내 목표를 달성하기 위해서는 에너지효율의 혁신적 개선 필요하다는 것을 강조하였으며, COP28의 ‘두바이 컨센서스(Dubai Consensus)’는 2030년까지 글로벌 에너지원단위 개선세를 과거의 2배 이상 가속화하는 노력에 합의
 - IEA의 ‘Energy Efficiency 2023’는 2022년에 2% 수준인 글로벌 에너지원단위 개선율을 2022~2030년 동안 연평균 4% 수준으로 2배 끌어올려야 한다고 제안
 - IEA(2023b), IRENA(2023), Sorknæs et al.(2022) 등 선행연구는 최종소비 부문의 화석연료 사용을 전기로 전환하여 직접 배출을 줄이는 전기화를 핵심 감축 수단으로 주목
 - IEA(2023a)의 NZE 시나리오에 따르면 최종소비에서 전기의 비중은 현재의 20%에서 2050년 약 50% 수준까지 대폭 증가하는 것이 필요
- 에너지효율 향상과 전기화는 소비자의 에너지 기기의 선택과 사용에 연관된 행태의 변화를 요구한다는 점에서 불확실성이 높은 감축 수단
 - 에너지효율 향상은 기기의 효율 개선과 더불어 고효율 기기의 보급 확대를 통해 부문의 평균적인 에너지 사용이 낮아지는 것을 의미하며, 전기화는 기기가 사용하는 에너지 상품을 화석연료에서 전기로 바꾸는 것을 의미
 - 에너지효율 향상이나 전기화는 기술혁신을 전제로 기술에 대한 경제적 선택인 기술수요가 결합되어 나타나는 결과
 - 본 연구에서 기술수요는 소비자의 경제적 선택의 결과로 나타나는 소비 행위의 변화를 의미하며, 사회경제 경로가 가정하는 경제 및 생활양식의 제약하에 정책 효과를 분석
 - 세제 및 요금 제도, 시장 제도, 규제 제도 등 여러 가지 정책 수단이 고효율 저배출 기기의 선택과 에너지 절약 등의 행태변화를 유인할 수 있으나, 에너지 수요의 낮은 가격 탄력성, 고효율 기기의 높은 비용, 극단적 이상기후 등을 고려할 때 이러한 행태변화의 불확실성은 높은 편

제3장 사회경제 발전 경로 내러티브의 정량화

제1절 STEM 분석을 위한 사회경제 전제

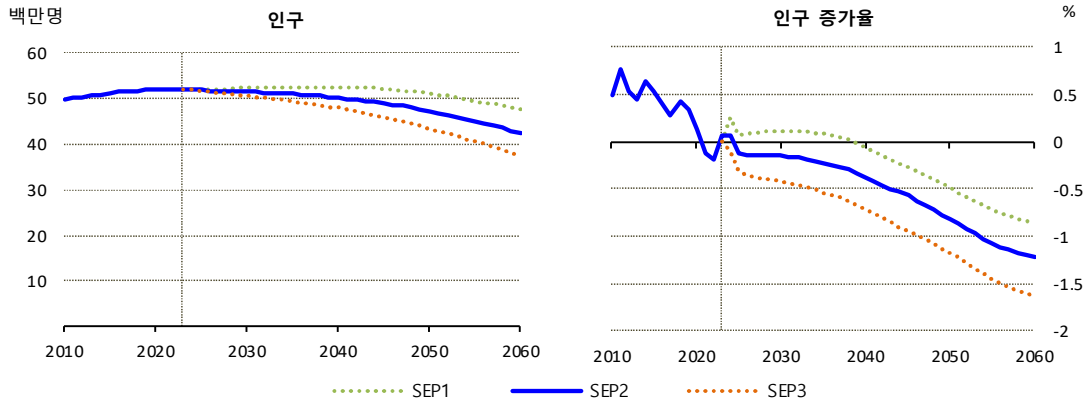
- STEM의 본격적인 분석에 앞서 에너지 수급이 이루어지는 사회경제적 상황에 대한 기본 전제의 입력이 필요
 - 장기 에너지 수급 전망은 경제활동 및 에너지 소비 활동이 이루어지는 사회의 미래 형태를 특정한 후에 특정된 미래 사회에서 에너지 소비 행태가 어떻게 달라질 수 있는지를 전망함
 - 미래 사회의 변화 경로를 어떻게 반영하느냐에 따라 사회의 활동 수준이 달라지며, 그에 따라 에너지 소비량과 소비 구조도 영향을 받게 됨
- 시나리오 설계에 따라 세 개의 사회경제 발전 경로를 구분하였으므로 각 사회경제 발전 경로마다 각각의 전제 파라미터 구성 필요
 - 중간성장 경로를 기준으로 고성장 경로와 저성장 경로는 각기 다른 경제성장률 전망이 적용되어야 함
 - 정책 이행 난이도를 고려한 추세유지 경로와 지속가능 경로, 분열갈등 경로의 구분에서도 미래 사회의 특성에 대한 가정이 다르며, 그에 따라 산업구조도 영향을 받기 때문에 업종별 성장 속도에도 차이가 나타나며, 총인구와 인구 구성 변화도 달라질 수 있음
 - 추세유지 경로와 지속가능 경로, 분열갈등 경로는 국내뿐 아니라 에너지 기술과 정책 수용에 대한 국제적인 상황 변화를 포함하고 있으므로 글로벌 환경의 변화는 기후 변수와 국제 에너지 가격에도 차이를 유발할 수 있음
 - 구분한 사회경제 발전 경로의 특성과 정의에 따른 전제 파라미터 입력을 통해 사회경제 발전 경로 간 차별성을 명확히 하고 경로의 정의와 일관된 사회경제적 특성을 분석 모형에 부여함

제2절 인구 전망

- 인구 전망은 2023년 통계청에서 발표한 2022~2072년 장래인구추계 자료를 참조
- 통계청은 2022년 인구 자료를 기준으로 50년 간의 인구 변화 추이를 전망하는 장래인구추계 자료를 2023년 12월 발표
 - 2022~2072년 장래인구추계는 코호트요인법을 반영한 인구균형방정식을 연도 별로 축차적으로 적용하여 인구를 산출하는 방식으로 인구를 전망
 - 인구 전망에 연령별 출산율, 출생성비, 성 및 연령별 생존율, 성 및 연령별 국제순이동 등을 고려
- 2022~2072년 장래인구추계는 인구 변동 요인인 출생, 사망, 국제이동의 장래 수준을 중위/고위/저위로 설정하고 이를 모두 조합하여 27개의 시나리오를 작성
 - 추가로 코로나 영향을 반영한 기대수명 감소 시나리오, 출산율 변동 시나리오, 국제 이동 효과를 제거한 시나리오를 포함하여 총 31개의 시나리오에 따른 인구 전망 결과를 제시
 - 인구 전망에 대한 기본 시나리오는 출생, 사망, 국제이동 모두 중위 수준으로 가정된 중위 추계, 모두 고위 수준으로 가정된 고위 추계, 모두 저위 수준으로 가정된 저위 추계 3가지
- 2022~2072년 장래인구추계 결과 중 추세유지-중간성장 경로는 중위 추계를 적용하였고, 지속가능-고성장 경로는 고위 추계를, 분열갈등-저성장 경로는 저위 추계를 적용
 - 추세유지-중간성장 경로는 기존 에너지 수급 장기 전망과 비교하였을 때 기준 시나리오에 대응되는 정성적 특성을 가지므로 기준 시나리오에서 적용하고 있는 중위 추계를 적용함
 - 사회경제 발전 경로의 정성적 정의에 따라 지속가능 경로는 추세유지 경로 대비 삶의 수준이 질적으로 향상되며 성장 공유에 대한 사회적 관심이 높고 사회 시스템 강화로 인해 출산율이 높아지는 상황을 내포하므로 이와 유사한 사회상을 가정한 고위 추계 인구 전망을 적용함

- 분열갈등 경로는 지속가능 경로와는 반대의 특성으로 사회적 협력이 약화되는 상황을 고려하고 있어 이에 부합하는 저위 추계 인구 전망을 적용함

[그림 4] 사회경제 발전 경로별 인구 및 인구 증가율 전망



- 인구는 모든 사회경제 발전 경로에서 전반적인 감소 추세가 나타나며, 특히 분열갈등-저성장 경로에서 인구 감소가 빠르게 나타남
 - 추세유지-중간성장 경로와 분열갈등-저성장 경로에서는 2020년대 중반부터 인구 감소가 시작되며, 분열갈등-저성장 경로는 인구 증가율의 감소 속도가 빠르게 높아져 2040년대 이후 인구 감소가 매우 빠르게 나타날 것으로 전망됨
 - 지속가능-고성장 경로는 2040년까지 미세한 인구 증가세가 유지되는 것으로 반영하였고, 그 이후의 인구 감소도 완만하게 나타나 2050년까지 5천만 명 이상의 인구가 유지될 것으로 전망됨

제3절 경제성장률 전망

- 추세유지-중간성장 경로의 미래 경제성장률 전망은 KDI의 전망치를 기초로 구성
- 국내에서 경제성장률 전망 분석을 담당하는 주요 기관인 KDI에서 전망하고, 11차 전력수급기본계획에 반영된 경제성장률 전망치를 활용함
 - KDI에서는 매년 경제성장률 전망치를 새롭게 분석하는 것으로 파악되나, 전력수급기본계획은 장기 에너지 수급 전망에서 우선적으로 고려해야 하는 주요

국가 계획이므로 가장 최근인 11차 전력수급기본계획에서 고려한 경제성장 경로를 반영하였고, 2040년까지는 전력수급기본계획에서 활용된 경제성장률 수치를 적용함

- 2040~2060년의 경제성장률 전망치는 에너지경제연구원의 2024년 장기 에너지 전망에서 적용하였던 해당 기간의 경제성장률을 적용하였고, 이는 2022년에 KDI에서 제공받은 장기 경제성장률 전망치를 기반으로 에너지경제연구원 장기 에너지 전망 연구진이 산업구조 변화를 고려해 재구성한 값임

□ 지속가능-고성장 경로와 분열갈등-저성장 경로의 경제성장률은 거시경제 성장 모형을 활용하여 일부 성장 관련 파라미터를 조정하여 도출

- 거시경제 성장 모형을 활용하여 추세유지-중간성장 경로에 대응되는 성장 관련 파라미터를 파악하고, 해당 파라미터의 값을 조정함을 통해 성장 경로를 재구성하는 일종의 리버스엔지니어링 방법론을 활용함
- 거시경제 성장 모형은 가장 대표적이면서 단순한 형태인 단순 솔로 성장 모형을 활용함
- 솔로 성장 모형에서 균형 경제성장률에 영향을 미치는 주요 파라미터인 1인당 자본 규모와 총요소생산성의 증가율을 사회경제 발전 경로별로 다르게 적용하여 경로별로 경제성장률에 차이가 나타나도록 구성
 - 분석에 활용한 솔로 성장 모형에서 포함된 1인당 자본 규모는 투자 활동의 영향을 받으며, 투자는 특성에 따라 건설 투자, 설비 투자, 지식재산생산물 투자로 구분함
 - 추세유지-중간성장 경로 기준으로 지속가능-고성장 경로는 건설과 설비 투자는 매년 0.1%p, 지식재산생산물 투자는 매년 0.05%p 더 높은 증가율을 적용하였고, 반대로 분열갈등-저성장 경로는 건설과 설비 투자는 매년 0.1%p, 지식재산생산물 투자는 매년 0.05%p 낮은 증가율을 적용함
 - 고정자본소모와 자본스톡 간의 비율은 모든 사회경제 발전 경로에서 동일하게 유지되는 것으로 가정하여 지속가능-고성장 경로와 분열갈등-저성장 경로의 연간 고정자본소모 규모를 산출함
 - 국가 산업 전반의 생산성 수준을 나타내는 총요소생산성의 증가율은 추세유지

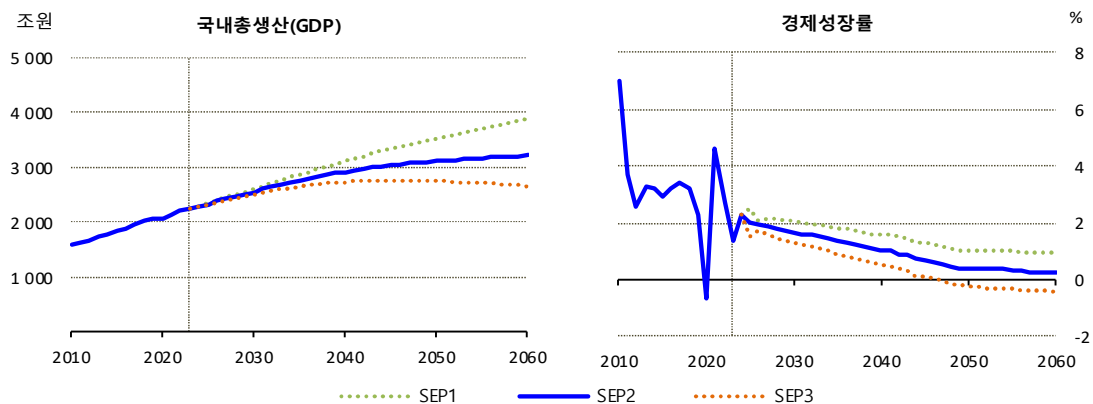
- 중간성장 경로의 연간 증가율을 기준으로 지속가능-고성장 경로는 0.5%p 높게, 분열갈등-저성장 경로는 0.5%p 낮게 적용함
- 인구 변화 및 구성과 연관된 경제활동참여율의 경우 추세유지-중간성장 경로 대비 지속가능-고성장 경로에서 0.5%p 높고, 분열갈등-저성장 경로에서는 0.5%p 낮으며, 실업률은 반대로 지속가능-고성장 경로에서 0.5%p 낮고, 분열갈등-저성장 경로에서 0.5%p 높게 반영함

〈표 4〉 사회경제 발전 경로별 주요 거시경제 지표 특성

	지속성장-고성장 경로	분열갈등-저성장 경로
건설 투자 증가율	매년 +0.1%p	매년 -0.1%p
설비 투자 증가율	매년 +0.1%p	매년 -0.1%p
지식재생산산물 투자 증가율	매년 +0.05%p	매년 -0.05%p
총요소생산성 증가율	매년 +0.5%p	매년 -0.5%p
경제활동 참여율	매년 +0.5%p	매년 -0.5%p
실업률	매년 -0.5%p	매년 +0.5%p

주: 추세유지-중간성장 경로 대비 각 경로의 연도별 격차를 의미함.

[그림 5] 사회경제 발전 경로별 국내총생산 및 경제성장률 전망



- 국내총생산과 경제성장률 모두 추세유지-중간성장 경로를 중심으로 지속가능-고성장 경로는 더 높게, 분열갈등-저성장 경로는 더 낮게 구성됨

- 2023~2050년 연평균 경제성장률은 지속가능-고성장 경로에서 1.7%, 추세유

- 지-중간성장 경로에서 1.2%, 분열갈등-저성장 경로에서 0.7%로 나타남
- 지속가능-고성장 경로는 지속적으로 추세유지-중간성장 경로보다 높은 경제성장률이 나타나며, 그로 인해 두 경로 간의 국내총생산 격차는 계획 확대됨
 - 분열갈등-저성장 경로의 경제성장률은 2030년까지는 추세유지-중간성장 경로와 유사하다가 그 이후 점차 격차가 벌어지기 시작하며, 지속적인 성장 격차 누적으로 2040년대 이후 분열갈등-저성장 경로와 추세유지-중간성장 경로의 국내총생산 격차가 빠르게 확대됨

제4절 산업구조 전망

- 세부 업종별로 다르게 나타나는 성장 경로와 에너지 수요 변화의 반영을 위해 산업구조 전망을 경제성장률과 병행하여 도출
 - 2000년대 이후로는 제조업 업종 대비 서비스업 업종의 성장이 빠르게 이루어진 것처럼 앞으로의 업종별 성장 추이는 미래 사회 특성에 따라 각기 다르게 나타날 것으로 예상됨
 - STEM 구조 특성으로 인해 각 업종의 생산 규모는 총에너지 수요와 밀접하게 연관되어 있으므로 에너지 수요의 합리적인 전망을 위해서도 업종별로 적절한 성장 경로의 구성이 필요함
 - 또한 미래 사회 특성에 대한 가정에 따라 일부 업종이 상대적으로 더 빠르게 성장하거나 더 느리게 성장하는 변화가 나타날 수 있고, 그로 인한 경제의 구조적 파급효과가 발생할 수 있으므로 사회 전체의 총부가가치가 업종별로 분배되는 과정을 여러 측면에서 검토하는 과정이 필요함
- 추세유지-중간성장 경로의 산업구조 전망은 경제성장률 전망과 업종별 성장 전망을 통합하여 도출
 - 업종별 성장 전망은 산업연구원에서 분석한 자료를 활용하였으며, 산업연구원은 자체적으로 경제 전체 성장률을 산출하여 업종별 전망에 활용하므로 산업구조 전망 과정에 활용되는 KDI의 경제성장률 전망과 산업연구원의 경제성장률 전망이 일치하지 않는 현상이 발생함

- KDI의 경제성장률 전망은 주요 거시경제 변수 간의 관계에 초점을 두고 분석되었으나 산업연구원의 경제성장률은 주요 거시경제 변수와 함께 개별 산업의 성장 전망과 산업 간 파급효과 등이 복합적으로 고려된 수치로 반복적인 분석 과정을 통해 값이 조종되며, 분석 과정에서 KDI의 전망치를 직접 활용하지는 않으므로 두 전망치는 다르게 나타남
- 국가 대내외적으로도 대표적인 중장기 경제성장률 전망치로 KDI의 발표 자료를 활용하는 경우가 많으므로 산업구조 전망 단계에서도 국가 전체 경제성장률은 KDI의 수치를 기준으로 활용하되 업종별 성장을 전망하는 과정에서 산업연구원의 업종별 전망 자료를 활용하는 형태로 전망치를 구성
- 조정된 업종별 성장 전망을 도출하는 과정은 다음과 같음
 - 업종별 생산액과 부가가치액은 한국은행 발표 자료를 기초 자료로 활용하며, 분석 기준 연도인 2023년까지의 2020년 가격 기준의 실측 자료를 정리함
 - 산업연구원 업종별 성장 전망 자료의 부가가치 전망치를 참고하여 연도별 총 부가가치에서 각 업종이 차지하는 비중을 도출하고, 해당 비중을 한국은행 부가가치 실측치에 연도별 경제성장률을 반영한 부가가치 전망치에 적용함
 - 각 업종에 분배된 연도별 부가가치를 기준으로 업종별 부가가치 성장률을 도출하고, 도출된 부가가치 성장률을 한국은행의 2023년 업종별 실질 부가가치에 적용하여 조정된 업종별 실질 부가가치 전망치를 도출함
 - 산업연구원의 업종별 생산액 및 부가가치 전망을 통해 업종별 연도별 부가가치율을 구성하고, 앞서 도출된 조정된 업종별 실질 부가가치 전망치와 업종별 연도별 부가가치율을 활용하여 조정된 업종별 실질 생산액을 구성
- 이 과정을 통해 모든 산업의 부가가치를 합하였을 때 KDI 경제성장률 전망을 적용한 국가 GDP와 일치하면서, 산업연구원에서 전망한 업종별 상대적인 성장 속도를 반영한 산업구조 전망을 구성할 수 있음
- 지속가능-고성장 경로와 분열갈등-저성장 경로의 산업구조 전망에는 각 사회경제 발전 경로의 내러티브를 반영한 업종별 성장 가중치를 반영
- 지속가능-고성장 경로와 분열갈등-저성장 경로에 대한 업종별 성장 전망까지 산업연구원에서 수행하지는 않으므로 추세유지-중간성장 경로의 산업구조 전망을 기

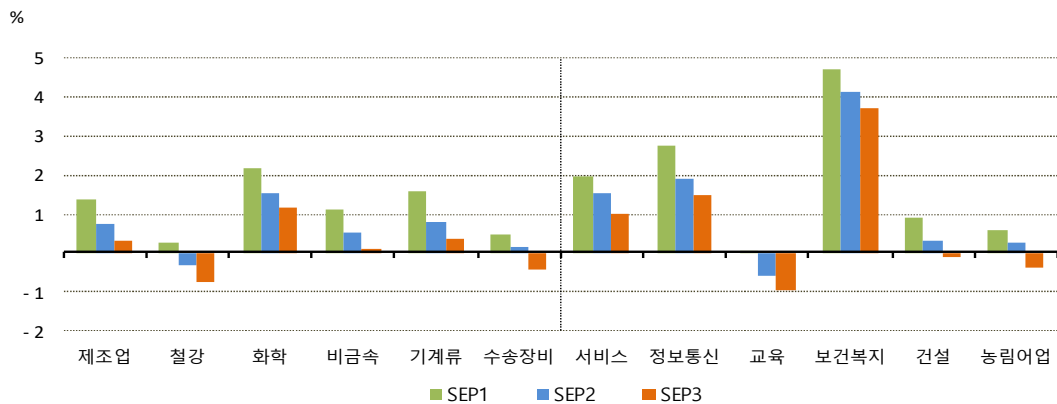
초로 각 경로의 사회경제적 특성을 고려한 조정된 산업구조 전망의 구성을 시도

- 경제성장률이 0.1%p 증가하였을 때 증가한 GDP가 모든 업종에 똑같이 분배된다는 가정은 현실성이 낮으며, 사회경제 구조의 특성에 따라 특정 업종에 부가가치가 더 분배되거나 덜 분배되는 현상이 나타날 수 있음
- 예를 들어 지속가능-고성장 경로는 추세유지-중간성장 경로 대비 성장이 빠를 뿐 아니라 지속가능이라는 특성이 강화되어 삶의 질 향상, 교육에 대한 투자 증가, 기술 발전 및 보급 가속 등의 수혜가 일부 업종에서 더 효과가 크게 나타날 수 있으며, 그로 인해 해당 업종의 성장이 가속할 수 있음
- 지속가능-고성장 경로와 분열갈등-저성장 경로의 정성적 특성을 고려하여 추세유지-중간성장 경로 대비 각 사회경제 발전 경로에서 상대적으로 더 성장할 것으로 판단되는 업종과 덜 성장할 것으로 판단되는 업종을 분류하고 사회경제 경로 자문그룹과 함께 검토를 수행함
- 지속가능-고성장 경로에서는 반도체를 포함하는 전기전자제조업, 정밀제조업, 정보통신서비스업이 추세유지-중간성장 경로 대비 크게 성장세가 증가할 것으로 평가하였고, 석유화학업, 철강업, 비금속제조업 등 중화학제조업과 건설업, 교육서비스업, 보건사회서비스업, 운수보관업도 더 빠른 성장세가 나타날 것으로 평가함
- 분열갈등-저성장 경로에서는 화석에너지 지속 소비의 영향으로 석유정제업의 성장세가 추세유지-중간성장 경로 대비 크게 나타날 것으로 평가하였고, 석유화학업, 금속 및 비금속 제조업, 기계류 제조업 등의 중화학제조업 대부분과 건설업, 정보통신서비스업, 교육서비스업, 보건사회서비스업, 운수보관업도 비교적 높은 성장세가 나타날 것으로 평가함
- 이처럼 두 개의 사회경제 발전 경로에서 추세유지-중간성장 경로 대비 성장이 비슷한 업종과 약간 빠른 업종, 매우 빠른 업종 세 단계로 분류하고, 지속가능-고성장 경로에서는 추세유지-중간성장 경로 대비 연도별로 증가한 부가가치 성장이 더 빠를 것으로 전망되는 업종에 더 큰 가중치를 부여하여 분배함
- 반대로 분열갈등-저성장 경로에서는 추세유지-중간성장 경로 대비 연도별로 감소하는 부가가치가 성장이 더 빠를 것으로 전망되는 업종에 더 작은 가중치로 부여하여 분배함

- 위 과정을 거쳐 사회경제 발전 경로별로 업종별 부가가치 전망치를 재구성하며, 구성된 부가가치 전망치에 업종별 부가가치율을 반영하여 업종별 산출액 전망치를 사회경제 발전 경로별로 구성함

○ 사회경제 발전 경로별 주요 업종의 2023~2050년 연평균 성장률은 다음과 같이 나타남

[그림 6] 사회경제 발전 경로별 주요 업종 2023~2050년 연평균 성장률



- 제조업은 추세유지-중간성장 경로에서 연평균 0.7%로 성장하고, 지속가능-고성장 경로에서 1.4%, 분열갈등-저성장 경로에서 0.3%의 연평균 성장률이 나타남
- 서비스업은 추세유지-중간성장 경로에서 연평균 1.5%로 성장하고, 지속가능-고성장 경로에서 2.0%, 분열갈등-저성장 경로에서 1.0%의 연평균 성장률을 보여 제조업보다 빠른 성장세가 나타남
- 제조업에서는 화학 산업의 성장세가 상대적으로 빠르게 적용되었고, 후방산업인 기계류, 비금속 업종도 비교적 성장 속도가 빠르지만, 철강 산업은 근래 업황이 좋지 않은 것이 반영되어 추세유지-중간성장 경로와 분열갈등-저성장 경로에서 음의 성장이 나타남
- 서비스업에서는 AI 활용과 데이터 센터와 연관된 정보통신업과 고령 인구 증가에 따른 보건복지업의 성장이 빠르게 나타나며, 인구 감소의 영향으로 교육업은 규모가 감소하는 것으로 나타남

제5절 기후 변수 전망

□ 기상청의 미래 기온 전망 자료를 제공받아 활용

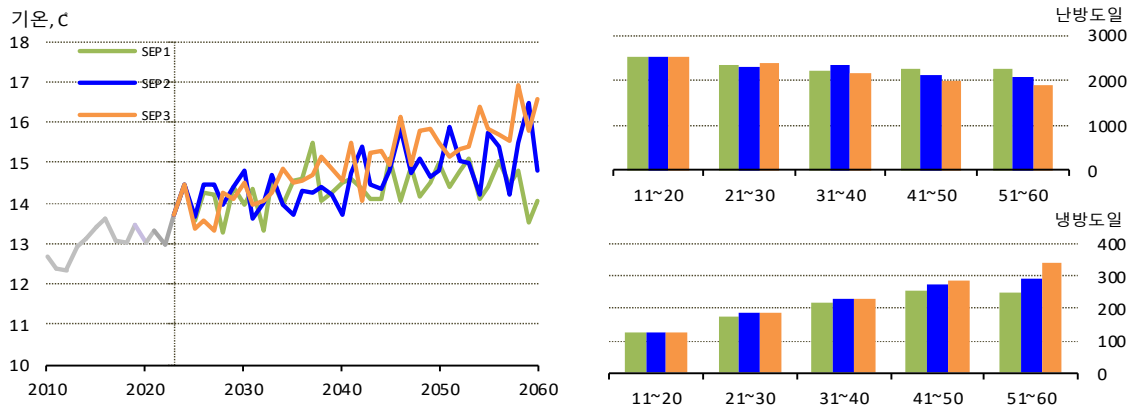
- 기상청의 협조를 통해 새롭게 제공받은 1km 격자 단위 지역에 대한 일 단위 기후 전망 데이터를 새롭게 활용
 - SSP 시나리오에 따른 기후 전망 분석 결과를 활용하였으며, 추세유지-중간성장 경로는 SSP245, 지속가능-고성장 경로는 SSP126, 분열갈등-저성장 경로는 SSP370과 연결하여 적용함
 - 여러 기후 변수 전망치가 활용될 수 있으나 실질적으로 일 단위 평균 기온 전망치만 활용함
- 일 단위로 전국을 대표할 수 있는 평균 기온 값을 구성하기 위해 기존 59개 관측소가 속한 1km 격자를 추출하여 해당 격자 지역의 평균 기온의 평균치를 시나리오별로 도출함
 - 전국을 1km 격자로 나눈 영역에는 본 연구의 본질적인 분석 대상인 에너지 소비 행위가 이루어지지 않는 영역의 수가 훨씬 많아 모든 격자에 동일한 가중치를 부여하면 일반적으로 인식되는 기온의 변화 추이와 매우 다른 양상이 나타남
 - 격자별로 가중치를 다르게 적용하는 방식이 적용될 수 있으나, 에너지 소비활동 측면에서 1km 격자에 가중치를 부여하는 것은 경제학의 범위를 벗어난 또 다른 연구 영역으로 연구진이 직접 수행하기는 어려움
 - 대안적인 방법으로 실제 기상청의 실측 기온 데이터 도출에 활용되는 59개 관측소의 지리적 위치와 매칭되는 1km 격자를 선별하여 해당 격자의 기온 데이터가 대표성을 가지는 것으로 평가하였으며, 59개 격자의 기온 전망치의 평균치를 전국 일평균 기온 전망치의 대푯값으로 설정함
- 도출한 전국 일평균 기온 자료를 기초로 모형 분석에 필요한 난방도일과 냉방도일을 연도별로 산출함
 - 난방도일의 기준 온도는 섭씨 18도, 냉방도일의 기준 온도는 섭씨 24도로 설정하였으며, 2060년까지 정리된 일별 평균온도와 각 기준 온도와의 차이를 연

단위로 합산하여 난방도일과 냉방도일을 도출함

- 난방도일과 냉방도일은 최종소비 부문에서 난방과 냉방 에너지 수요를 도출하는 관계식에 활용됨

○ 사회경제 발전 경로에 따른 연평균 기온 변화 추세와 난방도일, 냉방도일의 변화는 다음 그림과 같음

[그림 7] 사회경제 발전 경로별 연평균 기온 및 10년 평균 난방도일, 냉방도일 변화



○ 모든 사회경제 발전 경로의 연평균 기온은 완만한 상승세가 나타남

- 추세유지-중간성장 경로(SEP2)를 기준으로 분열갈등-저성장 경로(SEP3)는 2030년대부터 약간 더 높은 수준의 평균 기온이 나타나며, 지속가능-고성장 경로(SEP1)는 2040년대부터 더 낮은 수준의 평균 기온이 나타나고, 2050년대에는 연평균 기온이 하락하는 추세까지 관찰됨

○ 연평균 기온 상승에 따른 난방도일 감소와 냉방도일 증가가 나타남

- 2030년대에 기온 전망치의 변동성으로 인해 추세유지-중간성장 경로의 난방도일과 냉방도일이 가장 크게 나타남
- 장기적인 기온 변화 추세가 분명히 드러나는 2040년대 이후로는 분열갈등-저성장 경로의 난방도일이 가장 낮고 냉방도일이 가장 높으며, 반대로 지속가능-고성장 경로에서는 가장 높은 난방도일과 가장 낮은 냉방도일이 나타남

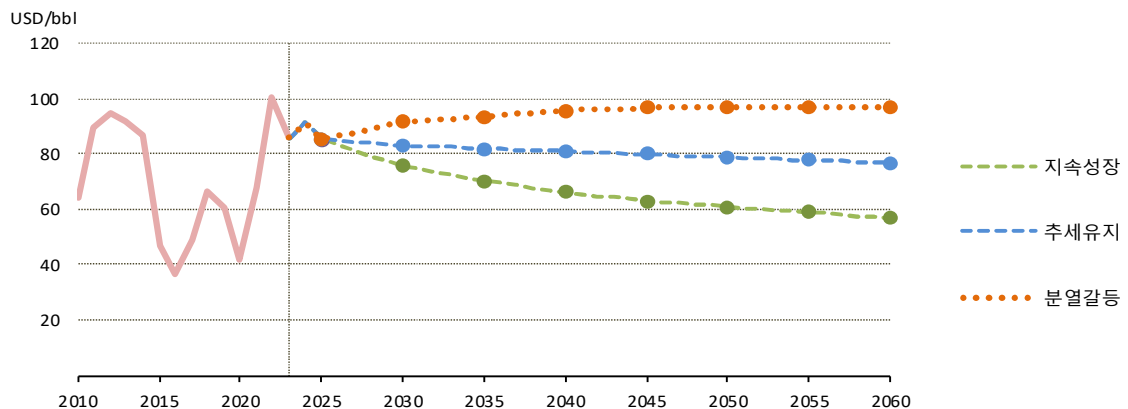
제6절 에너지 가격 전망

- 국제시장에서 수입되는 주요 에너지 상품의 가격은 IEA World Energy Outlook (WEO) 가격 전망 자료를 참조하여 구성
- 에너지 최종소비 부문별 모형에서 에너지 상품 가격에 따른 상품 선택 의사결정이 반영되므로 에너지 상품 간 상대가격 구성을 위한 가격 전망치가 모형 구성 과정에서 필요함
- 우리나라가 해외에서 수입하는 물량이 많은 원유, LNG, 석탄의 장기 국제 시장 가격 전망치를 주요 전제로서 반영함
- 여러 에너지 가격 전망치 중 IEA WEO의 전망 자료를 활용하며, 2023년까지는 WEO의 실측 자료를 적용하고, 이후 2030년부터 2050년까지 5년 단위의 전망치 자료를 공유받아 활용함
 - 가격 전망치가 적용된 5년 단위 기간 외 연도의 가격은 5년 기간별 선형보간을 통해 전망치를 구성함
 - 5년 단위 선형보간 수행 과정에서 가격 전망치가 적용되지 않은 2024년, 2025년에는 Annual Energy Outlook 2023의 WTI 연간 가격 전망치의 변화율을 3개 에너지 상품에 적용하여 가격을 구성함
- WEO도 시나리오별로 각기 다른 에너지 가격 전망이 제시되어 있으며, 추세유지-중간성장 경로는 STEPS, 지속가능-고성장 경로는 APS의 에너지 가격 전망을 적용함¹⁾
 - WEO에는 분열갈등-저성장 경로에 해당하는 시나리오가 없으므로 추세유지-중간성장 경로와 지속가능-고성장 경로의 에너지 가격 격차를 반대로 추세유지-중간성장 경로와 분열갈등-저성장 경로에 적용하여 가격 전망을 구성함
- 분열갈등-저성장 경로는 화석에너지에 대한 수요가 지속적으로 존재하여 추세유지-중간성장 경로보다 수입 자원의 가격이 높게 형성되며, 화석에너지 사용이 감소하는 지속가능-고성장 경로에서는 오히려 수입 자원 가격이 낮게 구성됨

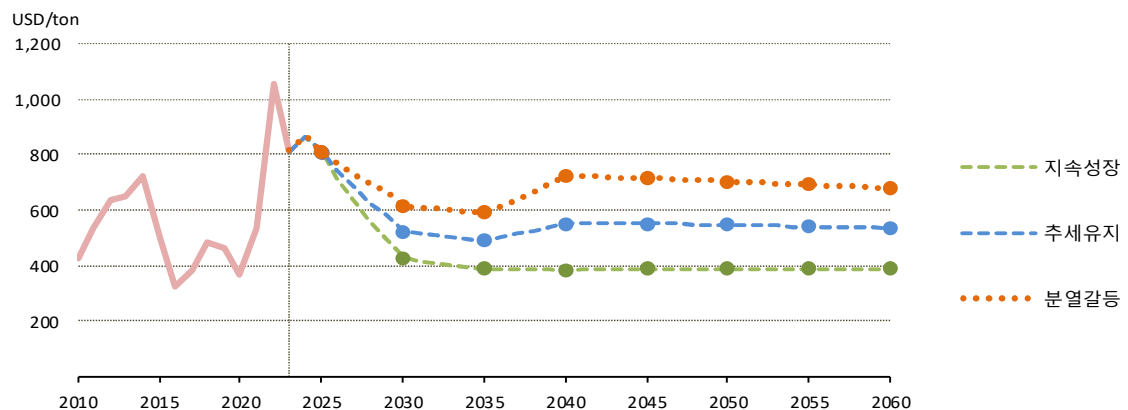
1) STEPS는 Stated Policies Scenario, APS는 Announced Pledges Scenario를 의미함

- 추세유지-중간성장 경로에서 원유의 가격은 장기적으로 80 USD/bbl에 수렴하는 것으로 전망되었고, 지속가능-고성장 경로에서는 60 USD/bbl, 분열갈등-저성장 경로에서는 100 USD/bbl 수준에 수렴함
- 추세유지-중간성장 경로에서 LNG의 가격은 장기적으로 550 USD/ton에 수렴하는 것으로 전망되었고, 지속가능-고성장 경로에서는 400 USD/ton, 분열갈등-저성장 경로에서는 700 USD/ton 수준에 수렴함
- 추세유지-중간성장 경로에서 석탄의 가격은 장기적으로 90 USD/ton에 수렴하는 것으로 전망되었고, 지속가능-고성장 경로에서는 60 USD/ton, 분열갈등-저성장 경로에서는 115 USD/ton 수준에 수렴함

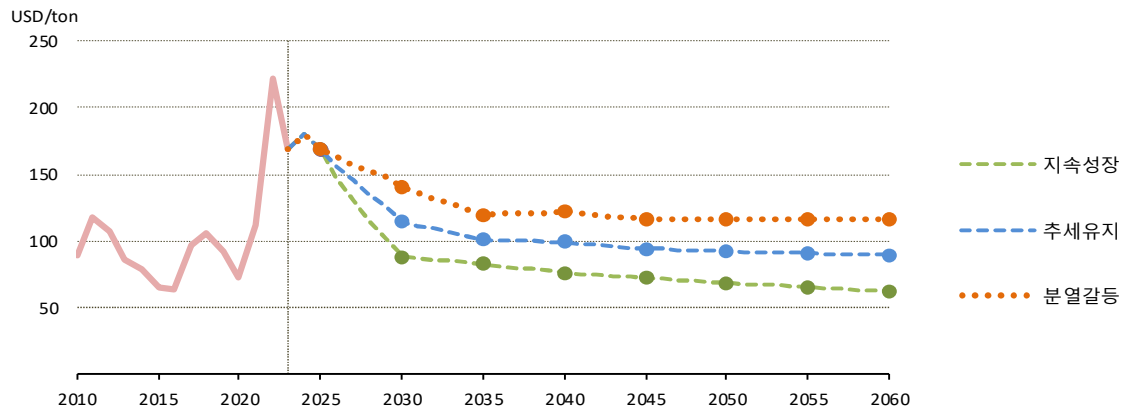
[그림 8] 사회경제 발전 경로별 국제 원유 가격 변화 추이



[그림 9] 사회경제 발전 경로별 국제 LNG 가격 변화 추이



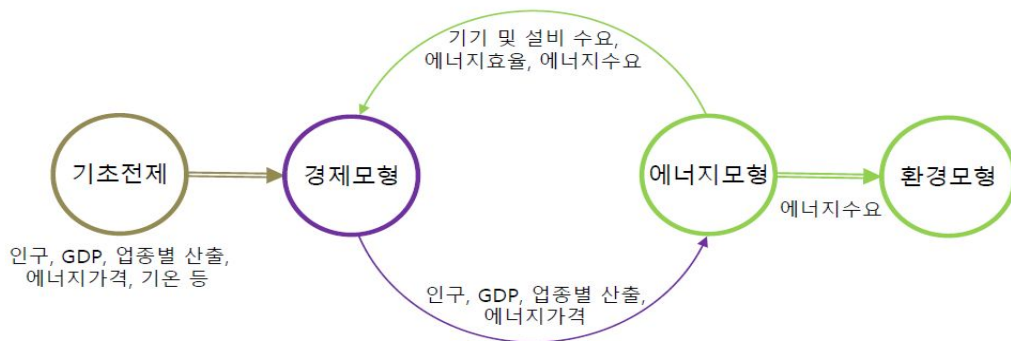
[그림 10] 사회경제 발전 경로별 국제 석탄 가격 변화 추이



제4장 STEM 구조 및 분석 방법

- 본 연구의 에너지 수급 전망 및 온실가스 배출량 분석은 에너지경제연구원 에너지 장기 전망 연구진이 활용하는 STEM을 활용
- STEM(Systems of Three E-Models)은 경제(Economy), 에너지(Energy), 환경(Environment) 세 분야의 모형을 통합하여 분석하는 모형 시스템을 의미함
 - STEM은 에너지경제연구원 내에서 십수 년에 걸쳐 자체적으로 개발한 분석 모형으로, 에너지 상품과 기술 특성을 반영할 수 있는 상향식(bottom-up) 모형 구조의 에너지 모형을 중심으로 에너지 모형의 정합성과 활용성을 높이기 위한 경제 모형, 환경 모형을 함께 구성하여 활용함
- STEM의 구조와 분석의 흐름은 다음 그림과 같이 나타남

[그림 11] STEM 구조 및 분석 흐름도



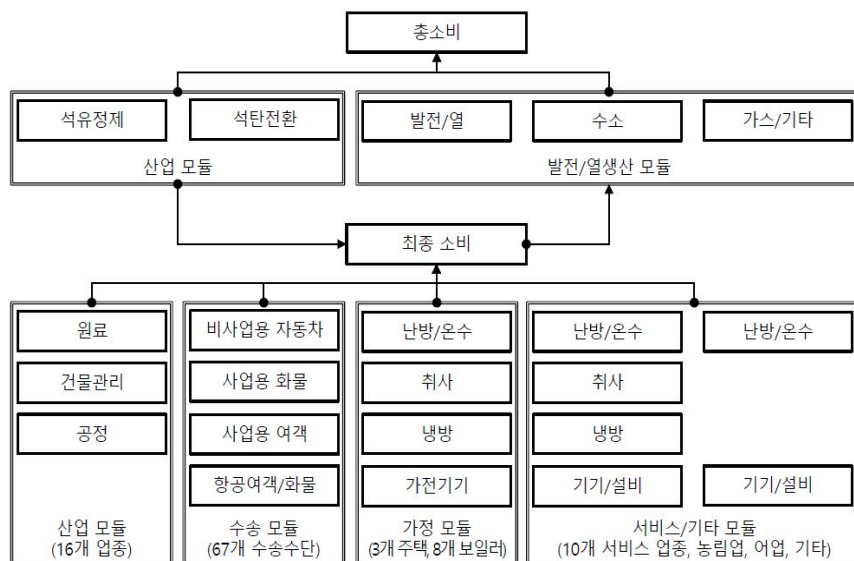
- 경제 모형은 소규모 거시계량모형과 투입산출모형을 결합한 균형 모형이며, 전제로 입력된 경제 변수들을 에너지 모형에서 사용할 수 있도록 정리하고, 또한 에너지 모형의 결과를 이용하여 고용, 투자, 총요소생산성, 업종별 중간투입 및 총산출 등과 같은 주요 경제 변수를 추정함
- 에너지 모형은 STEM의 핵심 모형으로 경제 모형과 일관성을 갖춘 에너지 수급 전망 분석을 수행하며, 최종 소비 부문에서 전기, 열, 수소 수요를 도출하

고, 발전/열생산 부문에서 해당 에너지를 생산하는 데 필요한 발전설비의 구성과 연료 소비를 도출함

- 에너지 모형은 경제 모형의 거시 모듈과 투자 변수를 통해 밀접하게 연결되며, 에너지 수요는 경제 모형 산업 모듈의 최종수요 및 중간투입과 연결됨
- 에너지 모형의 산업 부문과 서비스 부문 신규 생산설비 도입과 신규 주택 보급 규모는 경제 모형의 설비 투자, 건설 투자 관계식의 변수로 활용되며, 각 모형에서 도출되는 설비와 주택의 멸실 규모는 고정자본소모 추정에 활용됨
- 투자와 고정자본소모 규모에는 영구재고법을 적용하여 생산함수의 변수로 사용되는 자본스톡을 구성함
- 에너지 모형과 경제 모형은 순환 연산을 통해 거시, 산업, 에너지 수급의 균형해를 도출하는 구조를 갖추고 있음
- 환경 모형은 에너지 모형과 결합되어 온실가스 배출량, 오염물질 배출량 등을 추산하는 기능을 담당함

□ STEM의 가장 핵심적인 모형인 에너지 모형은 각 최종수요 부문의 특성에 맞추어 에너지 수요를 도출할 수 있는 형태로 구성

[그림 12] STEM 에너지 모형 개요



- 에너지 모형은 4개의 최종 소비 부문과 하나의 발전/열생산 모듈로 구성된 시물레이션 모형이며, 에너지 모형의 전체적인 구성은 위 그림과 같음
 - 최종 소비 부문은 크게 산업, 수송, 가정, 서비스 모듈로 구분되며, 각 모듈은 생산 업종, 수송 수단, 주택 형태 등에 따라 에너지 소비 주체를 세분하며, 에너지 소비 주체는 용도별로 개별적인 에너지 소비 함수를 가지고 있음
 - 4개의 최종 소비 모듈을 통해 에너지 상품별 최종 수요를 도출하고, 전력과 열, 수소의 수요에 대응되는 공급량을 발전/열생산 모듈에서 도출하며, 산업 부문의 생산 과정에 포함된 전환 공정인 석유 정제, 석탄 전환 과정에서의 에너지 소비까지 포함하여 총에너지 소비량을 도출함
- 산업 부문 모듈은 16개 세부 업종으로 구분되며, 원료용 소비, 건물 관리용 소비, 공정에서의 에너지 소비를 구분하여 에너지 수요를 파악함
 - 산업 부문의 에너지 용도는 건물 관리, 내부 수송, 직접 가열, 간접 가열, 동력, 전기화학, 원료의 7가지로 구분됨
 - 7개 에너지 용도로 업종 내 에너지 수요를 분류할 수 있는 업종은 일반업종으로 구분하여 유사한 형태의 관계식이 적용되며, 기계, 수송장비, 식품/담배, 섬유/의류, 목재/나무제품, 제지/인쇄, 비철금속, 기타제조 업종이 이에 해당함
 - 에너지를 집약적으로 소비하여 에너지 소비량과 온실가스 배출의 구체적인 파악을 위해 세부적인 묘사가 필요한 특수 공정을 포함하는 업종은 일반 업종과 다른 형태의 모형 구성이 이루어짐
 - 특수 업종에는 철강, 정유, 화학, 비금속 업종이 포함되며, 특수 공정에는 코크스로 및 고로, 정유 및 화학 공정, 시멘트 킬른 등이 포함됨
 - 일반업종과 구별되는 에너지 소비 구조와 생산 특성을 가진 일부 업종도 별도로 모형이 구성되며, 광업(석탄 제외), 천연가스원유추출업, 석탄광업, 건설업이 이에 해당함
- 수송 부문 모듈은 수송 수단의 용도, 종류, 크기, 연료 등에 따라 67개 세부 수송 수단으로 구성되며, 크게 비사업용 승용 자동차와 사업용 수송 수단으로 구분됨
 - 사업용 수송 수단은 사업용 화물과 사업용 여객으로 분리되며, 수송 수단 유형에 따라 차량, 철도, 해운, 항공 등으로 나뉘짐

- 도로 수송은 자가용 승용, 자가용 화물, 자가용 승합, 사업용 승용으로 구분되며, 연료에 따라 내연기관, 하이브리드, 전기차, 연료전지차 등으로 구분됨
 - 도로와 철도의 사업용 수요는 사업용 여객과 사업용 화물로 구분되며, 이동 거리에 따라 광역 시내 근거리와 도시 간 장거리로 분류함
 - 해운과 항공은 이동 지역에 따라 국내와 국제로, 수요 유형에 따라 여객과 화물로 구분하여 에너지 수요를 파악함
- 가정 부문 모듈은 주택 유형을 3가지로, 주택에서 활용하는 보일러의 유형을 8가지로 구분하여 에너지 소비를 분석하며, 가정 내 에너지 소비는 용도에 따라 난방 및 온수, 취사, 냉방, 가전기기로 구분함
- 주택 유형은 단독주택, 아파트, 기타 공동주택으로 구분함
 - 보일러 유형은 연료에 따라 연탄, 중유, LPG, 도시가스, 심야전기, 지역난방, 히트펌프, 기타로 구분되며, 취사용 연로도 중유, LPG, 도시가스, 전기로 구분됨
 - 가전기기에 대해서는 가정 내에서 활용하는 조명, 냉방, 난방 보고지구, 취사 보조기구, 기타 가전 등 여러 가전기기의 보급 규모와 효율 등을 고려하여 구체적인 에너지 소비량을 도출함
- 서비스 및 기타 부문 모듈에는 10개 세부 서비스 업종과 농림업, 어업, 기타 업종이 포함됨
- 서비스 부문은 도소매, 음식/숙박, 운수/보관, 공공행정, 수도, 교육, 정보통신, 보건/사회복지, 예술/스포츠/여가, 기타 서비스의 10개 세부 서비스 업종으로 세분되며, 상업 서비스와 공공 서비스를 모두 포함함
 - 서비스 부문에서는 에너지 용도를 난방 및 온수, 취사, 냉방, 기기 및 설비로 구분하여 에너지 수요를 도출함
 - 농림업과 어업에 대해서는 난방 및 온수, 기기 및 설비 용도만 구분하여 에너지 수요를 도출함
- 최종 소비 부문의 에너지 수요 관계식에는 에너지 집약도(energy intensity)와 활동 수준, 설비 교체 과정을 반영하여 효율 개선 과정을 반영

- 에너지 소비를 단순화하면 에너지원단위와 활동 수준의 곱으로 표현할 수 있으며, 구체적으로 (식 1)과 같이 표현할 수 있음

$$Energy_{i,j} = \frac{Energy_{i,j}}{Energy_j} \times \frac{Energy_j}{Activity} \times Activity \quad (\text{식 1})$$

- (식 1)에서 i 는 에너지 상품. j 는 에너지 소비 용도를 의미하며, $Energy$ 는 에너지 소비량, $Activity$ 는 에너지를 소비하는 활동의 수준을 나타냄
 - (식 1) 우변의 첫 번째 항은 j 용도에서 에너지 상품 i 가 차지하는 비중을 의미하고, 두 번째 항은 j 용도의 에너지 활동의 집약도, 즉 에너지원단위를 의미함
 - 활동 수준인 $Activity$ 는 분석 대상의 특성에 맞게 설정할 수 있으며, 산업 부문과 서비스 부문에서는 각 업종의 산출액을 $Activity$ 로 적용함
- (식 1)의 용도별 에너지원단위는 설비 규모와 산출액이 비례한다는 가정에 기초하여 신규 설비와 기존 설비로 구분하여 (식 2)와 같이 표현할 수 있음

$$Energy_{i,j} \approx s_{i,j} \times \left(int_{o,j} \frac{capa_o}{capa} + int_{n,j} \frac{capa_n}{capa} \right) \times Activity \quad (\text{식 2})$$

- (식 2)의 $s_{i,j}$ 는 (식 1)의 우변 첫 번째 항에 대응되며, (식 2)의 괄호 부분은 (식 1)의 우변 두 번째 항에 대응됨
- int_j 는 (식 1) 우변 두 번째 항인 j 용도에서의 에너지원단위를 의미하며, 첨자 o 는 기존 설비를, 첨자 n 은 신규 설비를 나타내어, (식 2)에서는 활동 전체의 에너지원단위를 기존 설비와 신규 설비 에너지원단위의 가중합으로 표현함
- 가중합 과정에서 (식 1)에 따르면 기존 설비와 신규 설비에서의 활동 수준이 직접 반영되었지만, 활동 수준 규모는 명확히 설정하기 어려운 측면이 있어 비교적 정량화가 쉬운 설비 규모를 활동 수준에 비례하는 대리변수로 구성하여

관계식에 반영함

- $int_{n,j}$ 는 미래 기술 발전 상황을 고려하여 $int_{o,j}$ 와의 상대적 차이로 표현되며, 특히 산업 부문과 수송 부문 모듈에서는 확률 변경 분석(stochastic frontier analysis) 패널모형을 활용하여 선도 기술의 에너지원단위 실적을 추정함
 - 건물 부문은 소득, 가구원수, 냉방도일, 난방도일, 에너지 가격지수, 에너지 효율지수 등을 변수로 하는 단위 에너지 소비 함수를 활용해 에너지원단위를 구성함
 - $s_{i,j}$ 는 고정된 값이 아니라 에너지 상대가격을 변수로 하는 로짓비중함수로 적용하여 에너지 상품 가격 변화에 따라 소비 선택이 달라지는 행위를 반영함
- 매년 도입되는 신규 설비의 규모는 전제에 의해 결정되는 총설비 규모와 멸실 설비 규모에 의해 결정됨

$$capa_{s,t} = \sum_{k=0}^{t-t_0} (SP_k \times capa_{n,t-k}) \quad (\text{식 } 3)$$

$$capa_{n,t} = capa_t - (capa_{t-1} - capa_{s,t}) = capa_t - capa_{o,t} \quad (\text{식 } 4)$$

- t 는 각 연도를 의미하고, (식 3)의 SP 는 설비의 연령별 멸실 확률밀도함수이며, t_0 는 데이터의 시작 시점을 나타냄
 - (식 3)은 데이터 시작 시점부터 각 연도에 도입된 신규 설비 중 t 시점에 멸실되는 설비의 총규모를 의미함
 - (식 4)에서 신규 설비 규모 $capa_{n,t}$ 는 이전 시점 총설비 규모($capa_{t-1}$)에서 현재 시점에 멸실되는 규모($capa_{o,t}$)를 제외한 후, 전제를 통해 사전에 설정된 현재 시점 총설비 규모($capa_t$)를 달성하는 규모로 결정됨
- 각 사회경제 발전 경로의 특성과 분석 시나리오의 내용을 각 부문 모형에 반영할 수 있는 형태로 정량화하여 분석에 적용
- 정성적 특성이나 사회 변화의 방향성으로 제시된 내용에 대해 그러한 과정과 결과가 나타날 수 있도록 하는 정량적 변화를 검토하여 분석 모형에 반영

- 예를 들어 전기차의 보급이 더 빠르게 이루어지는 시나리오 내용을 모형에 반영하기 위해 기존 내연기관 차량의 폐차가 더 이른 시점이 이루어지고 신규 차량 도입 선택에서 전기차의 비중을 크게 높여 전기차로의 전환이 더 빠르게 이루어지도록 함
- 에너지 효율 개선이 더 빠르게 나타내기 위해 에너지원단위의 개선을 더 빠르게 하거나 신규 설비의 도입이 더 많이 이루어지도록 할 수 있음
- 화석연료의 소비가 줄이고 비배출 에너지원 활용을 확대하는 에너지 전환 과정은 에너지 상품 선택 비중을 결정하는 로짓함수의 파라미터를 조정하여 구현할 수 있음
- 새로운 감축 기술의 도입은 신규 기술 도입에 따른 에너지 효율 변화와 에너지 상품 선택 변화를 복합적으로 고려하여 반영함

제5장 결론

- 본 연구는 국내외 사회경제 발전과 기후·에너지 정책 및 기술 변화에 대한 불확실성을 고려하여 다양한 사회경제 발전 경로와 정책 수단 경로를 설계하고 에너지 수급 및 온실가스 배출을 전망
 - 시나리오 설계를 체계적이고 지속적으로 수행하기 위해 전문가위원회, 사회경제 연구그룹, 모형 연구그룹 등을 구성하고 다양한 의견을 반영
 - 사회경제 발전 경로는 인구 및 사회체제, 경제 및 생활양식, 기술 및 자원 그리고 이들의 상호 관계에 대한 논리적이고 일관된 가정으로, 미래 상황에 대한 시나리오의 배경을 제공
 - 사회경제 발전 경로는 정성 정보(narrative)와 정량 정보(presumption)로 구성되며, 정량 정보는 인구, 경제성장, 산업구조, 에너지 가격, 기온 등에 대한 전제를 의미
 - 정책 경로는 각 사회경제 발전 경로 상황에서 선택할 수 있는 정책 및 기술적 감축 수단의 조합으로, 기술혁신과 기술수요로 구분함
 - 기술수요는 부문별, 기술별 에너지 소비자의 수용성(투자)에 대한 가정, 기술혁신은 주요 핵심 기술의 기술 수준과 개발 일정에 대한 가정을 의미
- 본 연구는 세 가지 사회경제 발전 경로에서 각각 기준 정책 경로와 최대저감 정책 경로 가정을 조합하여 시나리오를 비교 분석
 - 기준 시나리오(사회경제 발전 경로 + 기준 정책 경로)의 에너지 수요는 2023년 286.3 백만toe에서 2060년 263.4~333.7 백만toe 수준으로 증가함
 - 총에너지 기준 에너지원단위는 2023~60년 사이 31.1~40.3 % 개선되며, 온실가스 배출은 2023년 569.2 백만톤에서 2060년 305.6~387.4 백만톤으로 감소할 것으로 전망됨
 - 최대저감 시나리오(사회경제 발전 경로 + 최대저감 정책 경로)에서 총에너지 수요는 2060년 257.1~295.1 백만toe 수준으로 감소하는 것으로 분석됨
 - 기술혁신과 기술수요 확대로 총에너지 수요는 2060년 기준 시나리오 대비 약

2.4~11.6 % 감소, 온실가스 배출은 2060년 97.7~103.6 백만톤 수준으로 감소 (기준 시나리오 대비 약 66~74 % 하락)

○ 시나리오는 사회경제 발전 경로(SEP)와 온실가스 분석 결과(누적 배출량)에 따라 분류

- 온실가스 누적 배출량은 2018년 이후 2050년까지 에너지 부문의 누적 온실가스 배출량으로, 이는 본 연구의 시나리오 분류가 사전에 결정되는 것이 아니라 사후에 결정됨을 의미
- 분석 결과, 기준 시나리오는 SEP1-170, SEP2-160, SEP3-160, 정책 시나리오는 SEP1-130, SEP2-130, SEP3-130으로 분류
- 2018년 에너지 부문 온실가스 배출량과 2050년 탄소중립 목표 배출량을 선형 연결할 경우 누적 배출량이 약 100억 톤으로 추정되는 것을 고려하면, 기 제시된 배출감축 이행 수단이 선형 감축 수준에는 이르지 못하는 것으로 판단

□ 본 연구의 시나리오는 정책 수립과 연구 활동의 증진을 목적으로 활용 가능

- 본 연구는 국내에서는 처음으로 고정된 하나의 사회경제 발전 경로에서 에너지·기후 정책 수단의 조합만을 분석하는 시나리오에서 다양한 사회경제 발전 경로까지 고려하는 방식으로 시나리오 설계를 확대
- 다양한 시나리오 분석 결과는 에너지 정책 수립에 고려해야 할 불확실성을 사전에 분석하여 정책의 적합성과 수단의 정합성을 확보
- 또한 시나리오의 기반이 되는 사회경제 발전 경로와 정책 수단 경로의 공개는 연구기관, 대학 등 다양한 주체들의 기후변화에 대한 통합적이고 광범위한 연구를 촉진할 수 있을 것으로 기대

참고문헌

〈한국어 문헌〉

관계부처 합동. (2021a). '2030 NDC 상향안'.

관계부처 합동. (2021b). '2050 탄소중립 시나리오안'.

관계부처 합동 (2023) '탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획'.

과학기술관계장관회의. (2021). '탄소중립 기술혁신 추진전략(안)'.

과학기술정보통신부 보도자료. (2023.5.19.). 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 확정 본격적인 탄소중립 기술개발 청사진 제시.

기상청. 시나리오별 남한 상세 격자 기후요소. <https://climate.go.kr/atlas/ana/cdd> (검색일: 2025. 9. 18)

김수일(2023). 에너지 정책이 국민 삶의 질에 미치는 영향과 대응 전략 연구(3/3). 울산 : 에너지 경제연구원

대통령 직속 2050 탄소중립녹색성장위원회(2021). 2050 탄소중립 시나리오.

대통령 직속 2050 탄소중립녹색성장위원회(2025). 보도자료 “35년까지 18년 대비 온실가스 53~61% 감축.” 작성일 : 2025.11.10. <https://www.2050cnc.go.kr/base/board/read?boardManagementNo=3&boardNo=7125&menuLevel=3&menuNo=9>

산업통상자원부(2025). 제11차 전력수급기본계획 (2024~2038).

에너지경제연구원 (2024) 'KEEI 2023 장기 에너지 전망'

온실가스종합정보센터 (2024) 2023년 국가 온실가스 인벤토리

〈외국어 문헌〉

Bauer, N., Calvin, K., Emmerling, J., Fricko, O., Fujimori, S., Hilaire, J., Eom, J., Krey, V., Kriegler, E., Mourantiadou, I., de Boer, H.S., van den Berg, M., Carrara, S., Daioglou, V., Drouet, L., Edmonds, J.E., Gernaat, D., Havlik, P., Johnson, N., Klein, D., Kyle, P., Marangoni, G., Masui, T., Pietzcker, R.C., Strubegger, M., Wise, M., Riahi, K., van Vuuren, D.P. 2017. “Shared Socio-Economic Pathways of the Energy Sector – Quantifying the Narratives.” Global Environmental Change 42 : 316-330.

- Calvin, K., Bond-Lambert, Ben, Clarke, Leon, Edmonds, James, Eom, Jiyong, Hartin, Corinne, Kim, Sony, Kyle, Page, Link, Robert, Moss, Richard, McJeon, Haewon, Patel, Pralit, Smith, Steve, Waldhoff, Stephanie, Wise, M., 2017. “SSP4: A world of inequality.” *Global Environmental Change* 42 : 284-296.
- Chen, D., M. Rojas, B.H. Samset, K. Cobb, A. Diongue Niang, P. Edwards, S. Emori, S.H. Faria, E. Hawkins, P. Hope, P. Huybrechts, M. Meinshausen, S.K. Mustafa, G.-K. Plattner, and A.-M. Tréguier, 2021: Framing, Context, and Methods. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 147–286, doi:10.1017/9781009157896.003.
- Cho, C., Eom, J., Ahn, Y-H., Choi, Y., Kim, H., Kim, Y-G., Lee, H., Moon, J., Park, C. 2025. “A multi-model assessment of carbon neutrality pathways for Korea’s power sector.” *Energy and Climate Change* 6 : 100193
- Crespo Cuaresma, J. 2017. “Income projections for climate change research: a framework based on human capital dynamics.” *Global Environmental Change* 42 : 226– 236.
- Dellink, R., Chateau, J., Lanzi, E., Magne, B. 2017. “Long-term economic growth projections in the Shared Socioeconomic Pathways.” *Global Environmental Change* 42 : 200-214.
- EIA. 2025. *Annual Energy Outlook 2025*.
- Fricko, O., Havlik, P., Rogelj, J., Klimont, Z., Gusti, M., Johnson, N., Kolp, P., Strubegger, M., Valin, H., Amann, M., Ermolieva, T., Forsell, N., Herrero, M., Heyes, C., Kindermann, G., Krey, V., McCollum D.L., Obersteiner, M., Pachauri, S., Rao, S., Schmid, E., Schoepp, W., Riahi, K. 2017. “The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century.” *Global Environmental Change* 42 : 251-267.

Grubb, M., C. Okereke, J. Arima, V. Bosetti, Y. Chen, J. Edmonds, S. Gupta, A. Koberle, S. Kverndokk, A. Malik, L. Sulistiawati, (2022) Introduction and Framing. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.003.

Fujimori, S., Hasegawa, Tomoko, Masui, Toshihiko, Takahashi, Kiyoshi, Silva Herran, Diego, Dai, Hancheng, Hijioka, Yasuaki, Kainuma, M., 2017. “SSP3: AIM implementation of Shared Socioeconomic Pathways.” *Global Environmental Change* 42 : 268–283.

IEA. 2024. *World Energy Outlook 2024*. Paris: International Energy Agency.

IPCC. 2022 Annex III: Scenarios and modelling methods [Guivarch, C., E. Kriegler, J. Portugal-Pereira, V. Bosetti, J. Edmonds, M. Fisschedick, P. Havlik, P. Jaramillo, V. Krey, F. Lecocq, A. Lucena, M. Meinshausen, S. Mirasgedis, B. O’Neill, G.P. Peters, J. Rogelj, S. Rose, Y. Saheb, G. Strbac, A. Hammer Strømman, D.P. van Vuuren, N. Zhou (eds.)]. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.022

IRENA. 2024 *World Energy Transitions Outlook 2024*.

Jiang, L. and O’Neill, B.C. 2017. “Global urbanization projections for the Shared Socioeconomic Pathways.” *Global Environmental Change* 42 : 193–199.

KC, S. and Lutz, W. 2017. “The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100.” *Global Environmental Change* 42: 181–192.

- Kriegler, E., Edmonds J., Hallegatte, S., Ebi, K.L., Kram, T., Riahi, K., Winkler, H., van Vuuren, D.P. 2014. "A new scenario framework for climate change research: the concept of shared climate policy assumptions." *Climate Change* 122 : 401-414.
- Kriegler, E., Bauer, Nico, Popp, Alexander, Humpenöder, Florian, Leimbach, Marian, Strefler, Jessica, Baumstark, Lavinia, Bodirsky, Benjamin, Hilaire, Jerome, Klein, David, Mouratiadou, Ioanna, Weindl, Isabelle, Bertram, Christoph, Dietrich, Jan-Philipp, Luderer, Gunnar, Pehl, Michaja, Pietzcker, Robert, Piontek, Franziska, Lotze-Campen, Hermann, Biewald, Anne, Bonsch, Markus, Giannousakis, Anastasis, Kreidenweis, Ulrich, Müller, Christoph, Rolinski, Susanne, Schwanitz, Jana, Stefanovic, M., 2017. "Fossil-fueled development (SSP5): an energy and resource intensive scenario for the 21st century." *Global Environmental Change* 42 : 297-315
- Lee, J.-Y., J. Marotzke, G. Bala, L. Cao, S. Corti, J.P. Dunne, F. Engelbrecht, E. Fischer, J.C. Fyfe, C. Jones, A. Maycock, J. Mutemi, O. Ndiaye, S. Panickal, and T. Zhou, 2021: Future Global Climate: Scenario-Based Projections and Near-Term Information. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 553-672, doi:10.1017/9781009157896.006.
- Leimbach, M., Kriegler, E., Roming, N., Schwanitz, J. 2017. "Future growth patterns of world regions – A GDP scenario approach." *Global Environmental Change* 42 : 215-225.
- O'Neill, B.C., Kriegler, E., Ebi, K.L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D.S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D.P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., Solecki, W. 2017. "The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century." *Global Environmental Change* 42 : 169-180.

- O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., Carter, T.R., Mathur, R., van Vuuren, D.P. 2014. "A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways." *Climate Change* 122 : 387-400.
- Riahi, K., van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B.C., Fujiori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J.C., KC, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humenberger, F., Da Silva, L.A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Strefler, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmesen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J.C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A., Tavoni, M. 2017. "The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview." *Global Environmental Change* 42 : 153-168
- Shell, 2023: The Energy Security Scenarios, Full report. Shell, https://www.shell.com/news-and-insights/scenarios/the-energy-security-scenarios/_jcr_content/root/main/section_926760145/promo/links/item0.stream/1679344984968/5bc8327925d66e1402040d0e79fed7291bf9b7e9/energy-security-scenarios-full-report.pdf.
- Sorknæs et al. 2022. Electrification of the industrial sectors in 100% renewable energy scenarios. *Energy* 254, PartB, 124339.
- van Vuuren, D.P., Kriegler, E., O'Neill, B.C., Ebi, K.L., Riahi, K., Carter, T.R., Edmonds, J., Hallegatte, S., Kram, T., Mathur, R., Winkler, H. 2014. "A new scenario framework for Climate Change Research: scenario matrix architecture." *Climate Change* 122 : 373-386.
- van Vuuren, D.P., Stehfest, E., Gernaat, D., Doelman, J., van Berg, M., Harmsen, M., Mathijs, H-S, Lex, M., Daioglou, V., Edelenbosch, O., Girod, B., Bastien, K., Kram, T., Lassaletta, L., Lucas, P., van Meijl, H., Müller, C., Christoph, van Ruijven, B., Tabeau, A., Andrzej, 2017. "Energy, land-use and greenhouse gas emissions trajectories under a green growth paradigm." *Global Environmental Change* 42 " 237-250.

〈법령 및 행정규칙〉

저탄소·녹색성장 기본법. (시행 2024. 1. 1. 법률 제19208호, 2022. 12. 31., 타법개정). <https://www.law.go.kr/법령/기후위기대응을위한탄소중립·녹색성장기본법> (검색일: 2024.10.17.).

기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법. (시행 2010. 4. 14. 법률 제9931호, 2010. 1. 13., 제정). <https://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=98467#0000> (검색일: 2024.10.17.).

통계청(2023). 성 및 연령별 추계인구. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?sso=ok&returnurl=https%3A%2F%2Fkosis.kr%3A443%2FstatHtml%2FstatHtml.do%3Fconn_path%3DMT_ZTITLE%26list_id%3DA41_10%26obj_var_id%3D%26seqNo%3D%26tblId%3DDT_1BPA001%26vw_cd%3DMT_ZTITLE%26itm_id%3D%26language%3Dkor%26lang_mode%3Dko%26orgId%3D101%26 (검색일: 2025.9.18.)



44543 울산광역시 중구 종가로 405-11(성안동, 에너지경제연구원)
TEL: 052-714-2114 FAX: 052-714-2028 E-mail: EnergyOutlook@keei.re.kr
www.keei.re.kr

