



## 기후변화 대응이 재정에 미치는 영향에 대한 해외 논의 사례



기후변화 대응이 재정에 미치는 영향에 대한 해외 논의 사례

한국조세재정연구원

**kipf** 한국조세재정연구원  
조세재정전망센터

30147 세종특별자치시 시청대로 336  
TEL. 044.414.2114 www.kipf.re.kr



# 기후변화 대응이 재정에 미치는 영향에 대한 해외 논의 사례

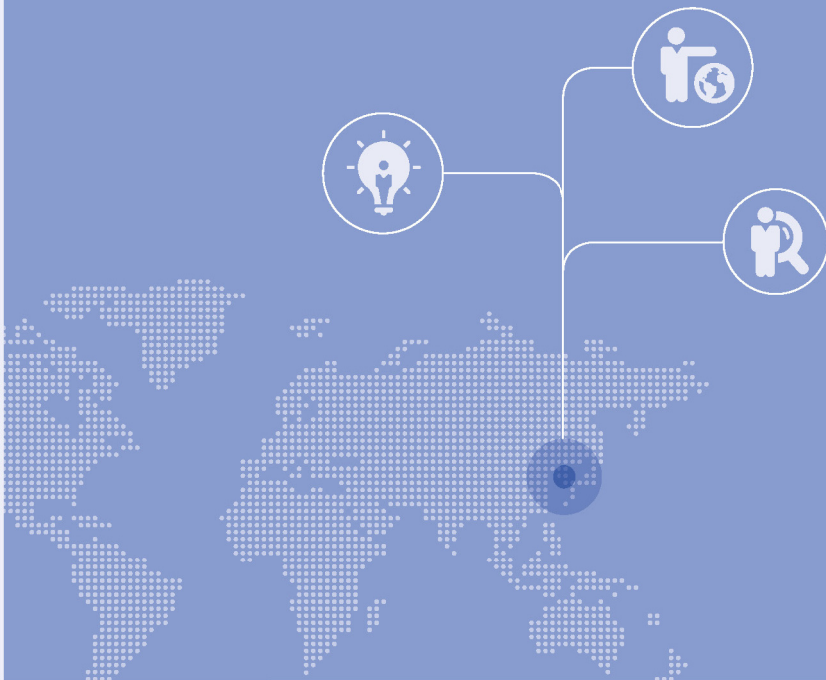
2021. 12.



**kipf** 한국조세재정연구원  
조세재정전망센터

# 기후변화 대응이 재정에 미치는 영향에 대한 해외 논의 사례

2021. 12.



| 연구진 |

연구책임: **고창수** 재정전망팀장

연구진: **권미연** 선임연구원

**백기영** 선임연구원

**오수정** 선임연구원

# 차례

---

|  |    |
|--|----|
| I. 서론 .....  | 1  |
| II. 기후변화 대응이 재정에 미치는 영향 .....  | 3  |
| 1. EU, <i>The EU spending on fight against climate change</i> , 2018 .....                                   | 3  |
| 가. 정책개요(EU action against climate change) .....  | 3  |
| 나. 기후변화에 대응하는 EU의 자원 현황(EU Financing for climate change) .....   | 5  |
| 다. 기후변화 완화 및 적응에 대한 지출(Expenditure on mitigation and adaptation to the climate change) .....                 | 8  |
| 2. OECD, <i>Climate Change and Long-term Fiscal Sustainability</i> , 2021 .....                              | 8  |
| 가. 기후변화가 환경·경제·재정에 미치는 영향 .....  | 9  |
| 나. 기후변화에 의한 장기재정영향을 연구한 국가별 사례 .....   | 14 |
| III. 기후변화 대응의 장기재정전망 반영 사례 .....   | 49 |
| 1. 미국 OMB .....  | 50 |
| 2. 미국 CBO .....  | 51 |
| 가. CBO, <i>Budgetary effects of climate change and of potential legislative responses to it</i> , 2021 ..... | 51 |
| 나. CBO, <i>CBO's Projection of the Effect of Climate Change on U.S. Economic Output</i> , 2020 .....         | 53 |
| 참고문헌 .....   | 60 |
| 부록 .....   | 63 |
| 1. 평균 기상패턴(Average Weather Patterns) 변화가 경제성장에 미치는 영향 추정방법 .....   | 63 |
| 2. 허리케인 피해(Hurricane Damage)가 경제성장에 미치는 영향 추정방법 .....  | 71 |

## 표목차

---

|  |    |
|--|----|
| 〈표 II-1-1〉 2021~2027년 EU 예산 분야별 지출 범주 .....                        | 7  |
| 〈표 II-2-1〉 기후변화가 공공 부문(public sector)에 미치는 영향-지출 측면에 대한 직접적 영향 ... | 38 |
| 〈표 II-2-2〉 기후변화가 공공 부문에 미치는 영향-GDP 변화를 통한 소득 측면에서의 간접적 영향 ..       | 38 |
| 〈표 II-2-3〉 몬테카를로 시뮬레이션 절차 .....                                    | 39 |
| 〈표 II-2-4〉 2050년 기후변화가 공공 부문에 미치는 영향 .....                         | 40 |
| 〈표 II-2-5〉 2100년 기후변화가 공공 부문에 미치는 영향 .....                         | 41 |
| 〈표 II-2-6〉 기후변화가 공공 서비스 제공에 미치는 영향 .....                           | 45 |
| 〈표 III-2-1〉 기간별 기후변화 조건 설정 .....                                   | 58 |

## 그림목차

---

|   |    |
|---|----|
| [그림 II-1-1] EU 온실가스 감축목표 .....                                  | 4  |
| [그림 II-1-2] 2014~2020년 EU 예산 중 기후 관련 지출 비중 .....                | 6  |
| [그림 II-2-1] 온실가스 배출에 의한 환경적인 영향 .....                           | 10 |
| [그림 II-2-2] 다양한 시나리오에서의 온도 변화 전망 .....                          | 12 |
| [그림 II-2-3] 피해 규모 및 예방 규모, 최적 시나리오 .....                        | 12 |
| [그림 II-2-4] 기후변화에 따른 거시 경제적 위험의 예 .....                         | 16 |
| [그림 II-2-5] 취약성 측면에서 공급 측으로의 전달 경로(transmission channels) ..... | 24 |
| [그림 II-2-6] 재정 영향: 비재량 vs 재량 조치 비교 .....                        | 25 |
| [그림 II-2-7] 2030년 EU 연합 주요 목표 .....                             | 26 |
| [그림 II-2-8] 극심한 기상현상의 영향(정책 불변 vs 대안 정책 시나리오 비교) .....          | 28 |
| [그림 II-2-9] 유럽 내 자연 손실 중 보험 손실 비율 및 금액(1980~2018년) .....        | 30 |
| [그림 II-2-10] 극심한 기상현상 보고: 두 가지 데이터 예시 .....                     | 31 |
| [그림 II-2-11] 미국 연방 세출 증가 .....                                  | 34 |
| [그림 II-2-12] 미국 연방 세입 손실 .....                                  | 35 |
| [그림 II-2-13] 2050년 5가지 균형 조정 시나리오별 세수예의 영향 .....                | 47 |
| [그림 II-2-14] 2050년 5가지 균형 조정 시나리오별 지출예의 영향 .....                | 48 |
| [그림 III-2-1] 기후변화가 연방예산에 미치는 주요 경로 .....                        | 51 |
| [그림 III-2-2] 기후변화가 GDP에 미치는 영향 추정 모델 flow chart .....           | 56 |
| [그림 III-2-3] 기후변화로 인해 추정되는 실질 GDP 감소분 추세 .....                  | 58 |
| [그림 III-2-4] 기후변화로 인한 2050년 실질 GDP 예측 .....                     | 59 |



# I. 서론

- 전 세계는 2015년 파리기후변화협정(Paris Climate Agreement, 이후 파리협약)을 체결함으로써 온실가스 감축 및 이행에 대한 합의안을 도출함
  - 파리협약에 따르면 지구 평균기온 상승을 산업화 이전 대비 2℃보다 낮은 수준으로 유지하고, 1.5℃로 제한하기 위해 노력한다는 전 지구적 장기목표하에 모든 국가가 2020년부터 기후행동에 참여하며 5년 주기 이행점검을 통해 노력을 강화하도록 규정
    - 1997년 채택된 교토의정서 채택 당시 한국은 온실가스 감축의무 대상 국가가 아니었으나, 2015년 파리협약부터는 전세계 195개국에 포함됨
  - 한국은 파리협약에 따라 2030년 배출전망치(BAU) 대비 37%를 줄이겠다는 감축목표를 UN에 제출하였으나 기후행동추적(CAT)은 한국의 국제 기후변화 대응 수준이 '매우 불충분(Highly Insufficient)'하다고 평가(2017.11).<sup>1)</sup>
  
- 2021년부터 신기후체제<sup>2)</sup>에 돌입함에 따라 국제기구와 각국 정부는 환경목표 달성을 위하여 기후 관련 정책을 예산에 반영하고자 준비하는 단계에 들어섬
  - IMF는 최근 국가 간 비교가 가능한 기후변화 통계 대시보드(Climature Change Indicators Dashboard)를 발표했으며, 이는 기후변화 완화 및 적응을 촉진하기 위한 국제통계이니셔티브로, 거시경제 및 금융정책 분석 및 정부정책 지표 등의 국제비교를 가능하게끔 데이터 제공<sup>3)</sup>
  - 프랑스의 경우 다른 나라가 기후변화 대응정책을 예산에 적용하고자 준비 중인 반면, 2020년 9월 전 세계 최초로 정부 전체 예산안의 환경영향을 분석한 녹색예산서<sup>4)</sup>를 공개하는 등 기후변화 대응에 매우 적극적임

---

1) 대한민국 정부 관계부처 합동, 「2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정안」, 2018. 7.  
2) 신기후체제(Post-2020)란 파리기후협약이라고도 불리며, 2020년 만료 예정인 교토의정서를 대체할 새 기후변화 체제에 대한 국제적 합의문으로, 여기에는 선진국, 개도국 195개국의 온실가스 감축 및 재정 지원 로드맵이 포함됨(<https://www.moef.go.kr/sisa/dictionary/detail?idx=1641>, 검색일자: 2021. 12. 30.)  
3) IMF, "IMF Launches Climate Change Indicators Dashboard," 보도자료, 2021. 4. 7.  
4) France Government, "Report on the Environmental Impact of the Central Government Budget," 2020. 9.

- 우리나라 정부는 2020년 주요 부처의 기후변화 예산액을 6,599억원으로 배정하였으며, 이는 5년 전인 2016년 예산 3,681억원에 비해 약 78% 증가한 규모<sup>5)</sup>
  
- 2010년까지 기후변화 대응이 재정에 미치는 영향에 대한 연구는 정부 인프라 투자와 관련된 직접비용에 대한 일부 연구를 제외하고는 연구되지 않았으며, 더욱이 재정수입과 지출에 대한 간접적인 영향을 고려한 문헌은 거의 없음<sup>6)</sup>
  
- 2015년 파리협약 이후 국제기구는 기후변화 대응을 위한 재정정책 중요성과 방향을 제시하는 한편, 각국은 관련 법 제정 및 예산 반영 이후의 재정지속성 등에 대해 질적·양적 분석을 진행하고 있음
  
- 이에 따라 본 보고서에서는 EU, OECD 및 기타 주요국의 관련 보고서 내용을 번역 및 요약하여 기후변화 대응이 재정에 미치는 영향에 대한 주요국 연구사례를 소개하고자 함
  - 미국 사례를 바탕으로 장기재정전망 관련 사례를 소개함
  - EU와 OECD 보고서의 설명이 부족할 경우 보다 자세한 정보를 제공하기 위해 EU와 OECD 보고서의 참고문헌을 바탕으로 내용을 추가·보완

---

5) 국회예산정책처, 『한국경제의 구조변화와 대응전략 IV』, 2020, p. 7.

6) EU, “The fiscal implications of climate change adaptation,” 2010, p. 50.

## II. 기후변화 대응이 재정에 미치는 영향

### 1. EU, *The EU spending on fight against climate change, 2018*<sup>7)</sup>

- EU가 2018년 발표한 *The EU spending on fight against climate change* 보고서는 2018년 4월 24일 EU 예산 및 파리기후협정(The EU Budget and the Paris Climate Agreement)\*의 배경문서로 작성

\* EU 예산위원회와 환경·공중보건·식품안전에 관한 유럽 의회위원회(Public Health and Food Safety of the European Parliament)가 조직

- 2015년 기후협약에서 공약했던 정책들을 이행하고 있는지 예산적 관점(a budgetary angle)에서 분석함

#### 가. 정책개요(EU action against climate change)<sup>8)</sup>

- 1992년 유엔 기후변화기본협약(UNFCCC) 채택, 1997년 선진국들의 온실가스 감축목표 달성을 법적으로 구속하는 교토의정서 채택, 2009년 12월 코펜하겐협정에서 1996년 EU가 약속한 산업화 이전 수준(현재 수준보다 1℃ 이하)에 비해 지구 온도 증가가 2℃를 초과하지 않도록 온실가스 배출량을 줄여야 한다는 데 동의
  - 2015년 11월 파리에서 열린 COP21 회의에서 지구 평균기온 상승을 산업화 이전 대비 2℃보다 상당히 낮은 수준으로 유지하고, 1.5℃로 제한한다는 장기 목표 제시
- 기후변화에 대한 EU의 조치는 완화 및 적응 접근법으로 나뉨
  - 완화에는 온실가스 배출을 줄이고 그 수준을 안정화시키려는 노력과 더불어 토양, 산림 녹화 및 복원과 같은 탄소 격리(carbon sequestration) 강화 조치를 수반
  - 적응은 해수면 상승, 극심한 기상 조건 또는 식량 불안정과 같은 기후변화의 영향에 적응하기 위한 예비 조치를 포함

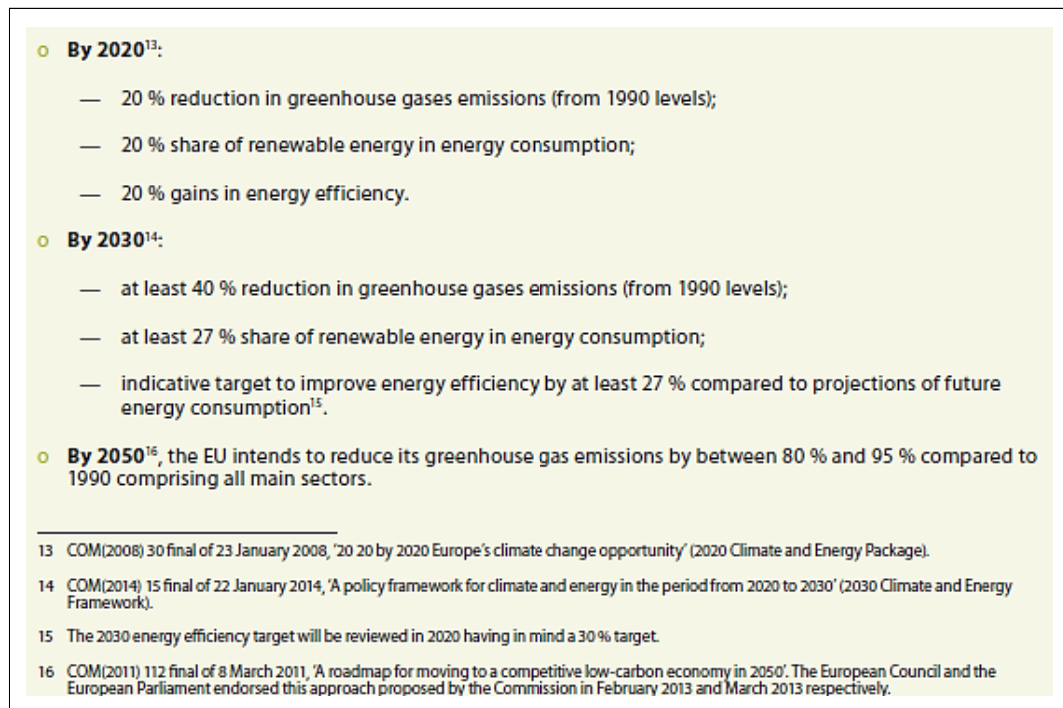
7) EU, *The EU spending on fight against climate change*, 2018, pp. 5~16.

8) EU, *The EU spending on fight against climate change*, 2018, pp. 8~11까지 번역 및 요약.

## 1) 완화정책(Mitigation)

- EU는 2008년 온실가스 배출량을 1990년 수준 대비 20% 감축, 에너지 소비에서 재생에너지 점유율 20% 및 2020년까지 에너지효율 20% 증가를 목표로 했었음
  - 2015년 EU 총 온실가스 배출량은 1990년 수준 대비 23.6% 낮게 나타났으며, 이 외에도 재생에너지 점유율 개선을 위한 탄소 포집 및 저장(Carbon Capture and Storage, CCS) 공장을 설립\*·추진 중
    - \* 2015년까지 유럽 전역에 걸쳐 15개 CCS 공장이 설립될 예정이었으나 인프라 구축 기반시설 비용문제로 인하여 현재 영국과 네덜란드에 2개 공장이 설립
  - 다음은 2020년, 2030년, 2050년을 목표로 설정된 EU 온실가스 감축목표임

[그림 II-1-1] EU 온실가스 감축목표



출처: EU, *The EU spending on fight against climate change*, 2018, p. 9.

## 2) 적응정책(Adaptation)

- 2017년 12월 EU위원회는 적응 조치의 강화 필요성을 재확인한 *Study to support the evaluation of the EU Adaptation Strategy* 보고서를 발표하였으며, 보고서에 따르면 1980~2013년 유럽의 기후변화로 인한 총 경제적 손실액은 약 4천유로로 추산됨
  - 이 외에 EU위원회는 매년 자연재해가 크게 증가하고 있다는 점을 감안하여 예산지원을 강화하기로 결정함에 따라 2017년 7월부터 자연재해 지역에 대한 새로운 재정계획을 도입
    - 기존 EU 연대기금(EU Solidarity Fund)을 재원으로 한 5천억유로 이외에 유럽지역개발기금(The European Fund for Regional Development, ERDF)으로부터 추가 조달되어 2020년까지 총 98억유로(기금 총액의 5%)가 지원될 것
  - 이 외에 보고서에서는 EU 회원국들의 적응 조치를 지속적으로 촉진하고, 유럽 기후변화 적응 플랫폼(European Climate Adaptation Platform, Climate-ADAPT)을 통해 더 나은 정보에 입각한 의사결정을 촉진할 것을 권고

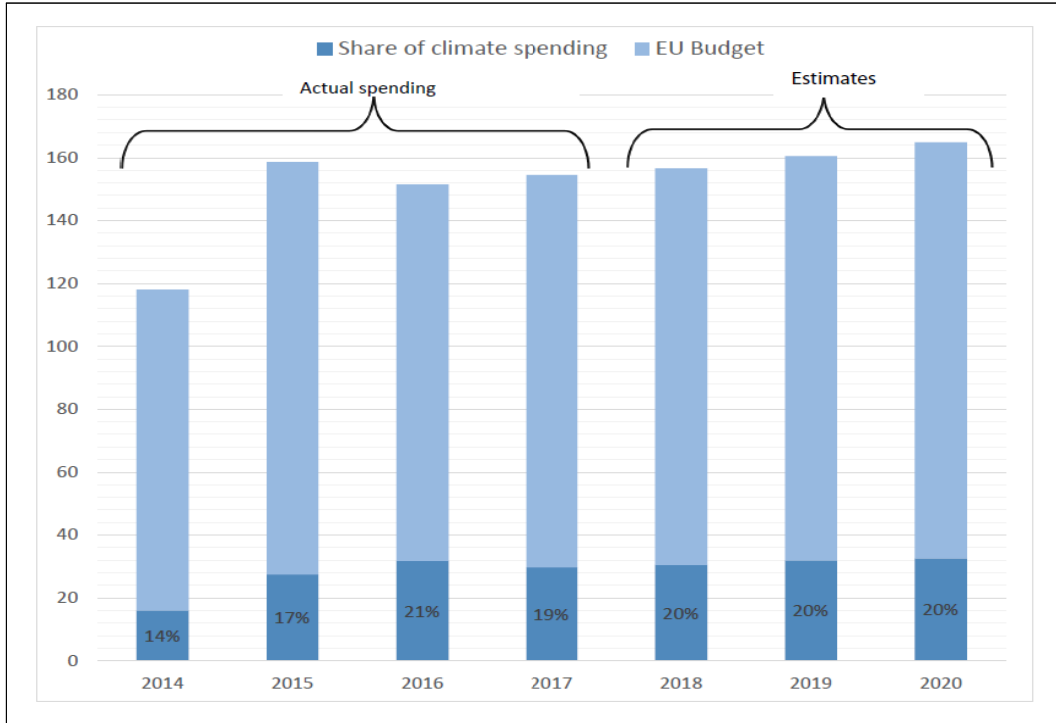
### 나. 기후변화에 대응하는 EU의 자원 현황(EU Financing for climate change)<sup>9)</sup>

- 2011년 EU위원회는 기후변화 대응부문에 총 EU 예산의 연간 20%씩 배정
  - 기후 대응 지출액은 2014년 전체 EU 예산 대비 13.6%, 2015년 17.3%로 집계됐으며, 보고서 작성 당시(2017년 5월)에 추정된 2016년 기후대응 지출액은 20.9%로 추정되고, 이후 MFF<sup>10)</sup> 잔여 기간 동안 19~20% 선에서 지출될 것이라 예측

9) EU, *The EU spending on fight against climate change*, 2018, pp. 12~15까지 번역 및 요약.

10) 다년도재정체계(Multiannual Financial Framework, MFF)는 7년 단위로 계획되는 지출예산계획이며, EU 회원국 전원 합의 및 유럽의회의 승인을 거쳐 최종 확정

[그림 II-1-2] 2014~2020년 EU 예산 중 기후 관련 지출 비중



출처: EU, *The EU spending on fight against climate change*, 2018, p. 14.

- (현재 EU 예산)<sup>11)</sup> EU 2021~2027년 MFF에 따르면 2021년 1월부터 7년간 2조 180억유로 (1조 743억유로 규모, 2018년 가격 기준) 규모의 예산액이 7개 분야에 걸쳐 집행될 예정
- (분야별)<sup>12)</sup> EU는 단일시장, 혁신 및 디지털 분야에서 1,610억유로, 결속과 가치 분야에 1조 2,032억유로, 천연자원과 환경 분야에 4,199억유로, 이주 및 국경관리 분야에 257억유로, 보안 및 국방 분야에 149억유로, EU 주변국과 세계를 위한 지원액에 1,106억유로를 배정<sup>13)</sup>
  - 이 중 ‘천연자원과 환경(Natural Resources and Environment)’ 분야에 속하는 프로그램의 일부는 유럽의 농·어업을 지원하고 경쟁력을 강화하는 한편, 이외 프로그램은 전적으로 EU 환경 및 기후변화 대응에 지출

11) EU, *The EU's 2021-2027 Long-term Budget and NextGeneration EU: Fact and Figures*, 2021.

12) EU, *The EU's 2021-2027 Long-term Budget and NextGeneration EU: Fact and Figures*, 2021, pp. 6~7.

13) EU, "The long-term EU budget-Headings: spending categories", [https://ec.europa.eu/info/strategy/eu-budget/long-term-eu-budget/2021-2027/spending/headings\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/eu-budget/long-term-eu-budget/2021-2027/spending/headings_en), 검색일자: 2021. 10. 11.

- LIFE 프로그램(LIFE programme)\*을 통해 환경 및 기후 행동을 위한 EU의 자금 지원 수단으로 자연, 물, 공기, 기후변화 완화 및 삶의 질 개선을 위한 적응 정책에 자금 지원
  - \* LIFE 프로그램에 의해 현재 150만명이 개선된 대기질을 누릴 수 있으며 생물종(種)의 42%가 보전
- 2050년까지 EU에서 기후 중립 달성 목표하에 구성된 Just Transition Fund는 석탄 및 탄소 집약 지역에서 기후변화에 의해 발생하는 사회경제적 비용을 지원

〈표 II-1-1〉 2021~2027년 EU 예산 분야별 지출 범주

(단위: 십억유로)

| 구분                           | MFF <sup>1)</sup>    | NGEU <sup>1)</sup> | Total                |
|------------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| 1. 단일시장, 혁신 및 디지털            | 149.5                | 11.5               | 161.0                |
| 2. 결속(Cohesion)과 가치          | 426.7                | 776.5              | 1,203.2              |
| 3. 천연자원과 환경                  | 401.0                | 18.9               | 419.9                |
| 4. 이주 및 국경관리                 | 25.7                 |                    | 25.7                 |
| 5. 보안 및 국방                   | 14.9                 |                    | 14.9                 |
| 6. EU 주변국 및 세계               | 110.6                |                    | 110.6                |
| 7. 공공행정비용                    | 82.5                 |                    | 82.5                 |
| TOTAL<br>(TOTAL 2018년 가격 기준) | 1,210.9<br>(1,074.3) | 806.9<br>(750.0)   | 2,017.8<br>(1,824.3) |

주: 1) 2021~2027년 다년도재정체계(Multiannual Financial Framework, MFF) 예산안은 2018년 5월 집행위에서 논의되었으며, 코로나19로 인해 2020년 5월 회복기금(Next Generation EU, NGEU)을 포함한 수정안을 합의

출처: EU, "The long-term EU budget," [https://ec.europa.eu/info/strategy/eu-budget/long-term-eu-budget/2021-2027/spending/headings\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/eu-budget/long-term-eu-budget/2021-2027/spending/headings_en), 검색일자: 2021. 10. 28.

- (부문별)<sup>14)</sup> MFF의 다년도 예산과 EU 회복기금(Next Generation EU) 중 신규 및 강화 프로그램 부문에서 예산의 50% 이상은 현대화정책에 지원될 것이며, 30% 이상은 기후 변화 대응 정책에 배정, 20%는 EU 디지털 전환에 투자
  - 현대화정책은 연구·혁신(Horizon Europe), 기후 및 디지털 전환(Just Transition Fund, Digital Europe programme), 회복 및 복구(Recovery and Resilience Facility) 새로운 보건프로그램(rescEU) 등

14) EU, *The EU's 2021-2027 Long-term Budget and NextGeneration EU: Fact and Figures*, 2021, pp. 10~11.

- 기후변화 대응의 경우 역대 최고 규모의 예산이 배정된 것으로, 생물의 다양성 보호\*와 젠더이슈를 다룰 것이며 2050년까지 EU와 주변국들이 기후중립(climate neutrality)<sup>15)</sup>을 지키도록 지원할 예정
  - \* 이로 인해 2026~2027년에는 연간 지출액의 10%가 생물다양성 감소를 멈추게 하고 다시 되돌리는 데 집행될 것으로 예상

## 다. 기후변화 완화 및 적응에 대한 지출(Expenditure on mitigation and adaptation to the climate change)<sup>16)</sup>

- 기후에 대한 지출은 완화정책과 적응정책의 범주로 세분화될 필요가 있으나, 현재 EU 예산 상으로는 구분하기 어려움
  - 최근 Ricardo(2017)<sup>17)</sup>에서 EU 자금을 세분화하려는 시도를 하였으며, 완화 조치에 초점을 맞춘 프로그램은 EU 지출의 59%에 해당하고, 적응에 초점을 맞춘 프로그램은 41%에 해당한다는 결과를 발표
  - 추정 결과 ERDF(유럽지역 발전기금)와 Horizon 2020 프로그램에 대한 지출의 80~90% 정도는 완화 조치에 투입되는 것으로 추정되었으나, EAFRD(유럽농촌개발농업기금)의 90%는 적응 조치에 투입되는 것으로 추정

## 2. OECD, *Climate Change and Long-term Fiscal Sustainability*, 2021<sup>18)</sup>

- OECD는 인구통계학적 변화가 향후 수십년 동안 공공재정에 큰 부담을 줄 것이라는 점을 감안하여 기후변화가 재정적 영향을 미치는 경로에 대해 설명한 *Climate Change and Long-term Fiscal Sustainability* 보고서를 발표
  - 기후변화는 기온상승, 해수면 상승, 빈번한 날씨 변화 등 경제활동과는 별개로 안보,

15) 기후중립(climate neutrality)은 기후변화의 주요 원인인 이산화탄소뿐만 아니라 온실가스에 대한 규제를 포함하여 온실가스 배출량만큼 이를 상쇄하기 위한 활동을 수행하여 온실가스 배출량을 0(zero)으로 만드는 것

16) EU, *The EU spending on fight against climate change*, 2018, p. 16 번역 및 요약

17) EU, *Climate main streaming in the EU Budget: preparing for the next MFF*, 2017.

18) OECD, *Climate Change and Long-term Fiscal Sustainability*, 2021의 전반적인 내용을 번역 및 요약하고, 해당 보고서상 축약 설명된 부분은 원 출처를 찾아 자세한 설명을 덧붙임

건강, 문화와 같은 삶의 여러 측면에 영향을 미칠 것이며, 이러한 사회 경제적 결과는 중장기적으로 정부예산의 재정 지속가능성에 영향을 미칠 것

## 가. 기후변화가 환경·경제·재정에 미치는 영향<sup>19)</sup>

### 1) 온실가스(GHG) 배출의 정의

- 온실가스 배출의 미래 경로는 인구 1인당 GDP, 경제성장에 따른 에너지투입량을 나타내는 에너지 집약도(energy intensity),<sup>20)</sup> 라이프스타일의 변화에 따라 달라질 것이며, OECD는 이러한 경로를 반영하여 온실가스 배출을 다음과 같이 정의

$$CO_2emissions = population \times \frac{GDP}{population} \times \frac{Energy}{GDP} \times \frac{CO_2emissions}{Energy}$$

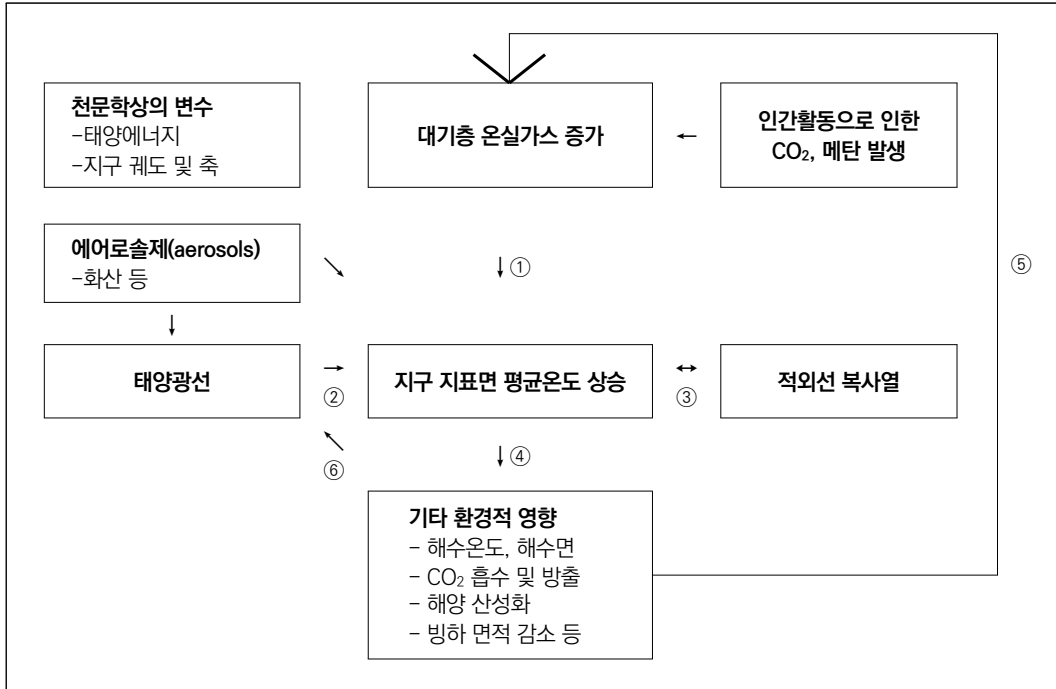
### 2) 온실가스(GHG) 배출이 환경에 미치는 영향

- 온실가스 배출이 환경에 미치는 영향은 매우 복잡하고 장기적인 시계열로 갈수록 불확실성은 더욱 커짐에 따라 관련 요인들을 모두 고려하여 계량화하는 것은 어려운 문제임
  - 그럼에도 불구하고 온실가스 배출이 환경에 미치는 영향을 살펴보아야 하는 이유는 기후대응 정책 중 하나인 탄소예산(carbon budget)\*을 측정하기 위한 탄소 완화 경로를 정의하는 데 중요하기 때문
    - \* 최악의 기후위기를 막기 위한 탄소배출량 한계치
    - Hausfather(2018)에 따르면 2018년부터 남은 탄소예산은 50%의 확률로 1.5℃로 온난화를 억제하는 경우 잔여 탄소배출 총량은 580기가이산화탄소톤(GtCO<sub>2</sub>), 잔여 기간은 14년으로 추정

19) OECD, *Climate Change and Long-term Fiscal Sustainability*, 2021, pp. 4~18까지 번역 및 요약.

20) 에너지 집약도(energy intensity)란, GDP에서 에너지가 차지하는 비중을 말하며 GDP 1천달러 생산을 위해 투입되는 에너지의 양으로, 보통 경제성장을 위해 투입되는 에너지 양이 적을수록 국가발전에 긍정적인 영향을 미침

[그림 II-2-1] 온실가스 배출에 의한 환경적인 영향



출처: OECD, *Climate Change and Long-term Fiscal Sustainability*, 2021, p. 6 바탕으로 저자 번역

### 3) 기후변화가 경제에 미치는 영향

- 기후변화가 경제에 미치는 영향은 ① 환경적 영향의 결과인 물리적 위험(physical risks)과 ② 기후변화 완화(mitigating)를 목표로 하는 정책결과인 전환 위험(transition risks)으로 나눌 수 있음

#### 가) 환경영향의 결과

- 지표면 평균온도 상승은 사막화·토지 황폐화 및 식품 안보와 관련된 프로세스에 영향을 미치며, 나아가 세계·인프라·토지·건강 등에 대한 위험을 초래함
  - 부정적인 영향으로 고온으로 인한 노동생산성 손실, 의료비지출 증가, 기후변화에 의한 투자 및 생산성 감소 등이 있음
  - 긍정적인 영향으로 한랭지역에서의 온도 상승은 토지 가용성을 높이고 열에너지 소비 등을 감소시킴

- 그러나 부정적인 외부효과로 인한 시장실패 등 기후변화에 적응하기 위한 천문학적인 비용이 예상됨에 따라 전체적으로 순영향은 부정적일 것
- 환경적 영향에 의해 유발되는 경제적 피해는 경제상황에 따라 달라질 것이나 기후변화의 다음 세기까지의 경제 수준을 예측하는 것은 어려움
  - 따라서 단순화된 접근법으로 현재 경제상황이 유지된다는 가정하에 기후영향을 평가하는 방법을 사용

#### 나) 완화(mitigation)정책과 적응(adaptation)정책의 영향

- 완화(mitigation)정책은 온실가스를 감축시키고, 환경 및 경제적 영향을 감소시키는 정책으로, 단기적으로는 온실가스를 줄이기 위해 많은 비용이 투입되었으나 장기적으로는 부정적인 영향이 점점 줄어들어 따라 국가적 이익을 얻을 수 있음
  - 예를 들어 온실가스 감축에 필요한 제품을 개발하고 수출할 수 있는 국가는 단기적으로는 비용이 투자되고, 장기적으로는 이익을 얻을 수 있음
    - 화석연료 매장 국가는 경제구조 다변화를 피하지 않는 이상 화석연료 소비 감소에 따른 가격 하락 등으로 부가 감소하고, 재생에너지 관련 중요 자재를 보유하고 있는 국가는 부가 증가할 것
- 적응(adaptation)정책은 완화정책 이후 실제 관측되는 기후 혹은 예상 가능한 기후변화와 그 영향에 대한 조정 과정에 대한 정책을 말함
  - 앞서 언급한 화석연료의 가격하락으로 인해 형성된 할인된 가격은 기후변화 완화를 어렵게 만들 것

#### 다) 기후변화의 경제적 비용에 대한 계량적 시나리오

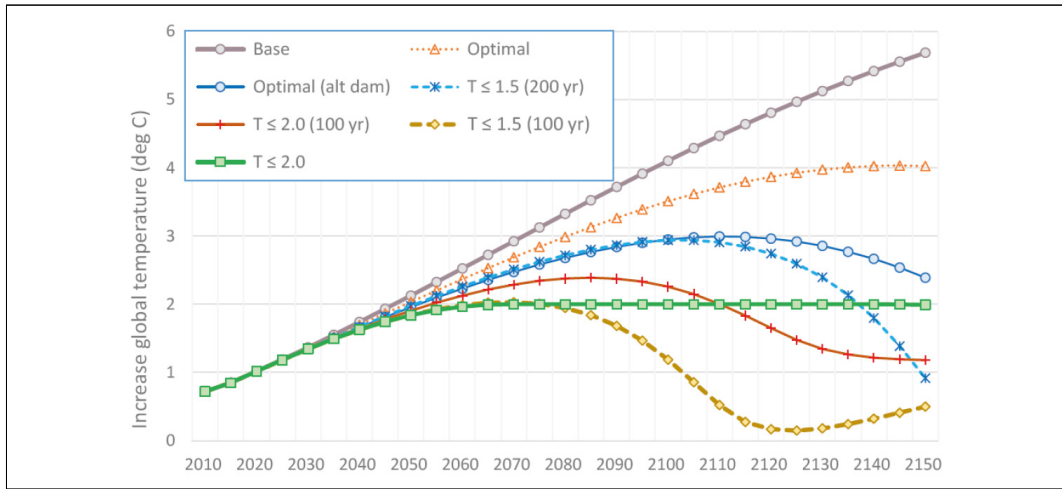
- Nordhaus(2018)는 기후변화의 경제적 비용 추정에 대해 시나리오 분석을 실시함
  - (기준 시나리오) 현재 기후변화를 유지할 경우 2100년까지 지구 온도는 산업화 이전 온도 대비 4℃ 상승
  - (최적 시나리오) 현재 기후변화를 최소비용으로 완화할 경우 2100년까지 지구 온도는 산업화 이전 온도 대비 3.5℃ 상승

- ( $T \leq 2^\circ\text{C}$  시나리오) 지구 평균온도가  $2^\circ\text{C}$  이하 수준으로 유지\*될 경우 기후변화에 따른 피해 규모는 작지만 예방비용(abatement costs)은 높을 것이므로 피해 규모와 예방비용의 합계가 클 것

\* 2015년 파리협약에서는 지구 평균 상승 온도를  $2^\circ\text{C}$  이하 수준으로 억제하고  $1.5^\circ\text{C}$ 를 넘지 않는 수준을 목표로 하고 있음

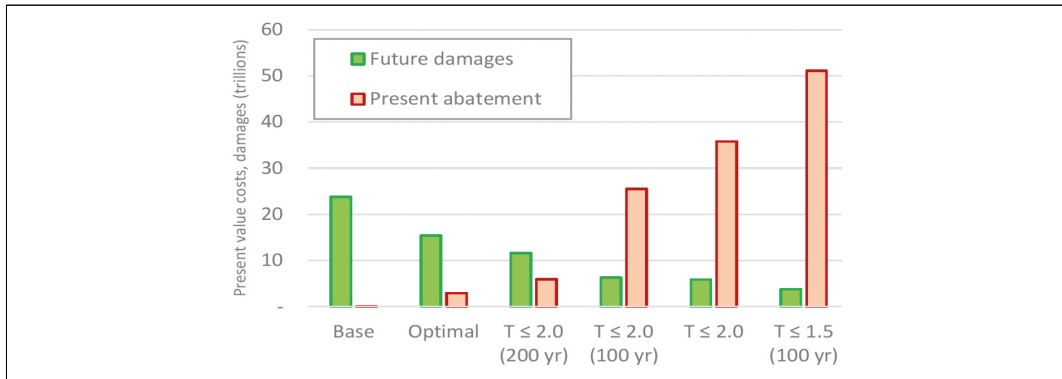
- ( $T \leq 2^\circ\text{C}$ (200yr) 시나리오): 향후 200년 동안 지구 평균온도가  $2^\circ\text{C}$  수준으로 유지될 경우 피해 규모와 예방비용의 합계는 최적 시나리오 수준에 상당히 접근할 것이나, 피해 규모는 더욱 클 것으로 예상

[그림 II-2-2] 다양한 시나리오에서의 온도 변화 전망



출처: OECD, *Climate Change and Long-term Fiscal Sustainability*, 2021, p. 11.

[그림 II-2-3] 피해 규모 및 예방 규모, 최적 시나리오



출처: OECD, *Climate Change and Long-term Fiscal Sustainability*, 2021, p. 11.

#### 4) 기후변화가 재정에 미치는 영향

- 기후변화에 의한 재정적 영향은 Musgrave의 세 가지 기능인 ① 자원의 배분(allocation) ② 재분배(redistribution) ③ 경제 안정(stabilisation)을 고려하여 설명
  - (자원의 배분) 기후변화에 따른 공공재 및 부정적 외부효과로 인해 국가자원 배분의 역할이 증가
    - 시장실패는 경제주체들 스스로가 합리적 선택을 하지 못하게 하므로, 국가가 개입하여 재정적 수단(세금부과, 보조금 지원) 및 규제를 적절하게 조합한 정책을 펼쳐야 함
  - (재분배) 완화정책은 온실가스 감축 위주의 상품과 서비스를 제공하도록 할 것이나 그 가격은 비쌀 것이고, 저소득층은 이러한 상품과 서비스에 접근하기 어려움에 따라 불평등이 증가될 것
    - 따라서 세입을 재분배하거나, 다른 재분배수단의 규모를 확대하여 형평성을 제고할 수 있는 정책을 고려해야 함
  - (경제안정) 화석연료 소비 중심의 경제구조를 변화시키지 못한 상태에서의 극단적인 완화정책 시행은 경제적 위기를 유발할 수 있음
    - Carbon bubble risk 발생 가능성이 높음: 일부 자산이 묶일 수 있고, 투자자들은 손실이 발생하여 경제적 위기 초래할 수 있으므로, 이에 대비한 거시경제적 안정화 정책을 권고
    - 반면 완화정책은 높은 실업률을 겪고 있는 국가에서 뉴딜정책으로 활용될 수 있으며 경제안정에 긍정적인 효과를 가져올 수 있음
- 완화정책에 의한 세입(tax revenues) 경로는 GDP 대비 세입, 노동생산성, 실업률에 영향을 줄 것이며, 이를 반영한 수식은 다음과 같음

$$\frac{\text{Tax revenues}}{\text{population}} = \frac{\text{Tax revenues}}{\text{GDP}} \times \frac{\text{GDP}}{\text{workers}} \times \frac{\text{workers}}{\text{population}}$$

- (GDP 대비 세입) 모든 개별 세율이 일정하더라도, 경제구조 변화에 따라 각종 과세표준과 세율이 달라질 수 있음
- (노동생산성) 고온으로 인한 1차 농업에서의 노동생산성 감소 및 농어업 수확물 변화, 이에 대응하기 위한 자원의 전용 발생
- (실업률) 경제구조 변화에 따른 마찰적 실업률(frictional unemployment) 증가

## 나. 기후변화에 의한 장기재정영향을 연구한 국가별 사례<sup>21)</sup>

### 1) 영국<sup>22)</sup>

#### □ 기후변화 현황

- 영국은 산업화 이전 대비 1℃ 상승했으며 주로 1970년대 이후 온난화가 발생
  - 1900년대 이후 영국 해수면은 15~20cm 증가, 1990년 이후로는 변화율도 증가
  - 폭염과 심한 홍수의 위험이 증가했으며 겨울 추위는 1960년대의 절반 수준
  - IPCC(기후변화에 관한 정부간 협의체)<sup>23)</sup>에 따르면 산업화 이후의 경제·인구 성장에 의한 온실가스 배출은 전례 없는 수준이며, 이에 따라 20세기 중반 이후 지구온난화의 주요 원인으로 파악
- 이에 따라 세계적으로 2015 파리협정을 체결하였으며, 이는 지구 평균온도 상승폭을 산업화 이전 대비 2℃ 이하로 유지하고 더 나아가 온도 상승폭을 1.5℃ 이하로 제한하기 위해 노력하는 협약임
  - 최근 영국 정부는 2050년까지 탄소중립(탄소 순배출량이 0)<sup>24)</sup>을 목표로 채택

#### □ 기후변화 위험에 대한 기존 대응

- 예산책임청(OBR)의 *Fiscal Risks Report* (2017)에 따르면 당시 기후변화가 재정위험에 잠재적으로 중요한 요소임을 인지하고 있었으나, 이에 대해 분석하지는 않음
  - 기후변화위원회(CCC)의 『2017년 기후변화 위험 평가서』<sup>25)</sup>에서는 “영국에 기후변화의 간접적·거시적 영향을 정량화한 평가는 없다”라고 언급
- 이후 2년간 영국 중앙은행에서는 금융 안정에 대한 기후관련 위험을 평가하는 방법을 개발, 녹색금융협의체(the Network for Greening the Financial System, NGFS)<sup>26)</sup>에서는

21) OECD, *Climate Change and Long-term Fiscal Sustainability*, 2021, pp. 21~34까지 번역 및 요약

22) OECD, *Climate Change and Long-term Fiscal Sustainability*, 2021, pp. 21~23까지를 기초로 OBR(2019)의 내용을 보충하여 번역한 것임

23) IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 1988년 11월 UN 산하의 세계기상기구(WMO)와 UN환경계획(UNEP)이 기후변화와 관련된 전 지구적인 환경 문제에 대처하기 위해 각국의 기상학자, 해양학자, 빙하 전문가, 경제학자 등 3천여 명의 전문가로 구성된 정부 간 기후변화 협의체임

24) 2018년 10월 IPCC에서 승인한 『지구온난화 1.5℃ 특별보고서』는 지구 평균온도 상승을 1.5℃ 이내로 억제하기 위해 이산화탄소 배출량을 2030년까지 2010년 대비 최소 45% 이상 감축하여야 하고, 2050년까지 전 지구적으로 탄소 순 배출량이 “0”이 되는 탄소중립을 달성하여야 한다고 제시

25) CCC(Committee on Climate Change), *UK Climate Change Risk Assessment 2017*, 2016. 7.

기후변화를 금융 위험의 요소로서 『행동 촉구서』<sup>27)</sup>를 발간

- 이는 기후변화 관련 재정 위험의 특성과 규모를 평가하는 데 도움이 될 것임

〈참고〉 영국 정부의 기후변화 위험 평가

2008년 「기후변화법」은 온실가스 배출을 줄이고 기후변화에 적응하기 위한 영국의 접근법에 법적 토대를 제공. 무엇보다도 매 5년마다 기후변화로 인한 위험과 기회를 평가하도록 요구함. 기후변화위원회(Committee on Climate Change, CCC)에서 가장 최근의 평가(UK Climate Change Risk Assessment 2017 Evidence Report)를 2017년에 발표. 기후변화위원회는 기후변화와 관련하여 6가지로 위험을 구분하였으며, 영국 정부는 거의 모든 권고를 수용함(일부 식량 안보와 관련된 경우 제외)

1. 홍수 및 해안 변화로 인한 지역사회, 기업 및 인프라에 대한 위험
2. 고온으로 인한 건강, 웰빙, 및 생산성에 대한 위험
3. 공공 상수도 및 농업, 에너지 생산 및 산업의 부족 위험
4. 육상, 해안, 해양 및 담수 생태계, 토양 및 생물 다양성 등 자연 자원에 대한 위험
5. 국내 및 국제 식품 생산 및 무역에 대한 위험
6. 새로운 해충 및 질병 및 비 토착종의 침입에 따른 위험

각 기후 관련 위험은 재정 위험과 함께 다양한 수준으로 발생. 홍수와 폭염은 세수에 영향을 미치고, 완화 조치는 공공재정에 요청이 발생할 것임. 그에 따른 경제구조의 변화는 세입의 신뢰성 및 공공 지출 배분 등에 영향을 미칠 것임.

출처: OBR, 2019 Fiscal Risks Report, 2019. 7., p. 241.

□ 기후변화 관련 재정 위험 평가 체계

○ (중앙은행 사례) 중앙은행은 2015년 9월 Carney 주지사의 기후변화에 대한 당면과제에 관한 연설을 시작으로 기후 관련 금융 안정성을 평가하는 체계를 설정

- 주지사는 연설에서 기후 관련 금융 안정성 위험에 영향을 미칠 수 있는 경로로서 ① 물리적 위험 ② 전환 위험을 발표

· ① 물리적 위험: 재산을 손상시키거나 무역을 방해하는 기후 및 기상 관련 사건에

26) 녹색금융을 위한 중앙은행·감독기구 간 글로벌 협의체(Network for Greening the Financial System)는 기후 및 환경 관련 금융위험 관리, 지속가능한 경제로의 이행 지원 등을 목적으로 2017년 12월 설립된 자발적 논의체로서 2021년 5월 현재 프랑스, 네덜란드, 영국, 독일 등 70개국 90개 기관 및 14개 국제기구가 참여 중임. 우리나라의 경우 한국은행이 2019년 11월에 가입, 금융위원회와 금융감독원은 P4G 서울 정상회의 개최를 계기로 2021년 5월에 가입

27) NGFS, A call for action: Climate change as a source of financial risk, 2019. 4.

다른 보험 부채 및 금융자산 가치에 대한 영향

- ② 전환 위험: 저탄소 경제로의 조정 과정에서 발생하는 금융 위험
- 중앙은행은 보험과 관련하여 산하기관인 건전성 감독청(the Prudential Regulation Authority, PRA)의 법적 목표에 기후변화가 어떤 영향을 미치는지를 평가하여 발표했으며, 이는 2017년 기후변화 위험 평가서에 적용됨
- 이후 2016년에는 「통화정책 및 금융 안정성과 관련한 기후변화의 영향 및 저탄소 경제로의 전환에 대한 보고서」<sup>28)</sup>를 발표
- 2018년에는 「기후변화로 인한 거시 경제적 위험 분석에 관한 보고서」<sup>29)</sup>를 발표
  - 극심한 기상 현상과 지구온난화로 인한 물리적·전환 위험을 조사했으며, 거시 경제적 결과를 경제의 공급·수요 측면으로 분류하여 나타냄
- 중앙은행의 이러한 체계는 향후 영국 재무부에서 기후 관련 재정 지속가능성 위험을 평가하는 방식과 유사할 것임
- 다만 차이점은 은행에서는 기후변화를 외생적 변수로 취급하였으나 재무부에서는 조세 및 재정지출 정책이 기후변화에 영향을 미칠 수 있다는 내생적 요소를 고려하였음

[그림 II-2-4] 기후변화에 따른 거시 경제적 위험의 예

Table 9.1: Examples of macroeconomic risks from climate change

| Type of shock/impact | Physical risks                |  | Transition risks   |
|----------------------|-------------------------------|--|--|
|                      | From extreme weather events   | From gradual global warming  |  |
| Demand               | Investment                    | Uncertainty about climate events   | 'Crowding out' from climate policies   |
|                      | Consumption                   | Increased risk of flooding to residential property                       | 'Crowding out' from climate policies   |
|                      | Trade                         | Disruption to import/export flows  | Distortions from asymmetric climate policies                                       |
| Supply               | Labour supply                 | Loss of hours worked due to natural disasters                            | Loss of hours worked due to extreme heat   |
|                      | Energy, food and other inputs | Food and other input shortages   | Risks to energy supply   |
|                      | Capital stock                 | Damage due to extreme weather  | Diversion of resources from productive investment to adaptation capital            |
|                      | Technology                    | Diversion of resources from innovation to reconstruction and replacement | Diversion of resources from innovation to adaptation capital                       |
|                      |                               |  | Uncertainty about the rate of innovation and adoption of clean energy technologies |

출처: OBR, *Fiscal Risks Report*, 2019, p. 243.

28) Batten S., Sowerbutts R. and Tanaka, M., "Let's talk about the weather: the Impact of climate change on central banks," Bank of England Staff Working Paper, No. 603, May 2016.

29) Batten, S., "Climate change and the macro-economy: a critical review," Bank of England Staff Working Paper, No. 706, January 2018.

○ (기상 이변으로 인한 재정적 위험)

- 스텐보고서(The Stern Review)<sup>30)</sup>는 극심한 기상 현상으로 인한 전 세계 비용이 금세기 중반까지 매년 세계 GDP의 0.5~1%에 이를 수 있다고 추정
  - 개발도상국의 경우 주로 수입의 손실로 이어지고 선진국의 경우 구조물 피해 및 감가상각비용에 해당
- 2018년 중앙은행 보고서에 따르면 기후변화는 GDP에 단기적으로 부정적인 영향을, 장기적으로도 다수의 연구에서 GDP 손실을 야기한다고 언급
- 기상이변으로 인한 재정적 위험은 다양한 형태일 것이며, 중기에 걸쳐 세입이 감소하고 사회보장지출이 늘어날 것임
  - 정부가 사유재산의 수리 및 재건비용 중 일부를 충당하거나 손상된 자산을 복원하는 데 더 많은 비용을 지출하게 되면 공공 지출은 증가
- 재정위험의 규모는 기상 현상의 특성에 따라 달라짐
  - 2007년 여름 영국에 대홍수가 발생하여 역대로 큰 경제적 비용(2015년 가격으로 39억파운드)을 발생시켰으나, 재정적으로는 국가 일부 지역의 경제에만 영향을 미치기 때문에 미미했으며 오히려 템스강 하구 근처 경제 활동에 따른 세입 집중을 감안하면 이 지역의 홍수가 심각한 재정적 영향을 초래할 것으로 보임

○ (기후변화 적응으로 인한 재정적 위험)

- 재정위험의 규모는 온도가 증가하는 정도와 연관됨
  - 파리협정의 목표인 산업화 이전 대비 1.5℃ 증가한 수준도 이미 기후변화 위험은 이전보다 심각한 수준이며, 4℃가 증가한 경우라면 재정위험은 훨씬 크고 평가하기 어려우며 국제이민, 분쟁 등이 발생 가능
- 2018년 중앙은행 보고서에 따르면 온도 상승이 근로자와 농작물의 생산성을 감소시키므로 경제적 손실의 잠재적인 원인에 해당
  - 이러한 효과가 발생하는 것은 생산적인 자본과 혁신에서 '적응 자본(adaptation capital)'으로의 자원 전환에 해당
  - 중기 전망 시 가장 중요하고도 불확실한 기후변화 위험이 바로 생산성 변화에 관한 것임
- 기후변화에 대한 적응은 GDP 및 세원에 미치는 영향 이외에 보다 직접적인 재정적

30) *The Stern Review on the Economics of Climate Change*는 영국 경제학자 니콜라스 스텐(Nicholas Stern)이 세계 경제에 대한 지구 온난화 영향에 대해서 2006년 10월에 발표한 보고서임.

비용이 발생 가능

- 예를 들어 환경청은 온도가 4℃ 상승할 시 복원을 위해 홍수와 해안 구조물에 연간 평균 10억파운드를 지출해야 한다고 추정, 이는 홍수위험에 노출된 부동산 수가 현재 240만호에서 2065년 460만호로 거의 두 배가 될 것으로 예상하는 데에 기인
- 물론 4℃ 상승 시 홍수위험 및 해안 보호보다는 분쟁 및 대량 이주에 따른 공공 지출이 재정위험의 중요 요인으로 전망

○ (저탄소 경제로의 전환에 따른 재정위험)

- 배출량을 낮추기 위해 고안된 정책의 직접적인 재정적 영향과 저탄소 경제로의 전환에 따른 경제의 구조적 변화의 간접적인 재정 영향을 의미
  - 재정적 영향은 배출 감소목표 수준과 정책의 효율성·예측성에 따라 다르며, 저탄소 경제에서 경제 자원의 변화에 따라 다른 유형의 위험을 내포
  - 저탄소 경제로 유연하게 전환하지 않으면 성장 전망이 약화된 분야와 기술에 자원을 남겨 성장 전망에 피해를 야기, 이 위험은 녹색기술 비용이 낮아질수록 중요
- 중앙은행의 2018년 보고서는 파리협정의 목표 충족을 위한 정책 중심의 저탄소 경제로의 전환은 위험을 수반한다고 주장
  - 장기적으로는 지구온난화의 경제적 비용이 점진적으로 감소하나 단기적으로는 자원을 다른 생산 활동에서 기후변화 완화로 전환하고 투입비용을 상승시키면서 경제적 부담을 야기
- 녹색기술 비용이 하락하고 전 세계 정책입안자들이 이를 성장에 활용하는 경제를 지향함에 따라 기후변화 완화정책이 잠재적인 성장 요인으로 인식
  - OECD는 성장과 기후 의제를 통합하면 G20 국가의 평균 경제 생산량을 2021년까지 1% 증가, 2050년까지 최대 2.8% 증가할 수 있을 것으로 전망
- 기후정책에서 오는 위험은 관리 방법에 달려 있으며 경제가 적응하고 비용이 줄어드는 기술 진보의 시간을 허용한다면 위험은 발생하지 않을 것임
  - 다만 예상치 못하거나 일관되지 않은 정책 변경은 에너지 가격 상승으로 인해 경제활동 감소 또는 자산을 고갈시키고 재정 안정성 위험을 초래
- 스테인보고서(The Stern Review)<sup>31)</sup>는 온실가스 배출 감소에 매년 세계 GDP의 1%가 소요된다고 언급

31) 기후변화에 대한 조치가 없으면 기후변화 비용은 매년 세계 GDP의 최소 5%가 될 것이며 온실가스로 인한 여러 종류의 위험 및 경제적 파장을 포함하면 GDP의 20%까지 증가할 수 있음을 경고함

- 기후변화위원회(CCC)는 영국이 2050년까지 탄소중립을 달성하는 연간 비용으로, GDP의 약 1~2%가 소요되며, 구조적 변화 비용은 더 큰 것으로 추정
- 온실가스 배출량을 성공적으로 감축하게 되면 현재 세입이 가스 배출하는 활동에 의존하는 만큼 재정위험이 발생할 수 있음
- 탄소중립이 되면 기후변화 및 EU 배출거래제도에서 오는 세입이 감소

□ 기후변화 관련 재정 위험의 특성

- (기후변화 해결 이유) 정부가 기후변화를 해결해야 하는 이유는 기후변화가 시장실패에서 비롯돼 온실가스 배출로 인한 사회적 비용이 세대를 걸쳐 광범위하게 발생하기 때문
  - 스텐보고서는 기후변화를 '가장 크고 광범위한 시장 실패'라고 설명
- (위험 원인) 영국 정부의 재정 위험 원인은 ① 기후변화의 결과(극한 기상 현상으로 인한 피해 및 기후 적응에 드는 비용)와 ② 온실가스 배출 감소 및 저탄소 경제 발전을 위한 정책에서 비롯됨
  - ① 기후변화의 결과는 규모에 영향이 있으나 본질적으로 피할 수 없음
  - ② 정책 영향은 정책 선택을 반영하되 국제협정 및 탄소중립 목표에 기초함
  - 전 세계적으로 온실가스 배출량을 성공적으로 감축할수록 기상 현상 및 적응 조치 비용은 감소
- (위험 요소) 기후 관련 재정위험은 ① 기존의 중기 예측에 대한 위험과 ② 재정 지속가능성에 대한 위험을 포함
  - ① 기존의 중기 예측에 대한 위험: 계획에 비해 지출을 늘리는 예상치 못한 비용이 발생 또는 세입이 예상에 비해 줄어드는 충격을 의미
    - 재무부는 2017~2018년에 기후변화 적응 및 완화에 총 100억파운드를 지출했고, 그중 70억파운드는 소비자 및 기업 에너지 요금에 대한 부과금을 통해 저탄소 전기에 지출
    - 또한 보험 상품의 홍수위험 요인에 대해 'Flood Re'<sup>32)</sup>를 설립
  - ② 재정 지속가능성에 대한 위험: 장기적인 기후 관련 재정위험을 의미
    - 자원을 기후변화 적응 및 완화 활동으로 전환함에 따라 생산성 성장에 영향을 미치거나 경제를 녹색기술로 재조정할 기회에 영향을 미침
    - 연료세 감소 및 홍수 방어에 대한 추가 지출 요구와 같은 세입 및 지출에 대한 직접

32) Flood Re는 2016년 4월에 시작된 비영리 제도로 보험사가 운영하고 자금을 조달하여 홍수 고위험 지역 가정에 보험료를 저렴하게 유지하도록 국내 홍수 보험 가격을 제한하는 제도임

### 적인 압력 발생

- (의문 제기) 기후변화 관련 재정위험이 경기침체나 금융위기처럼 상당한 규모가 아닐 것이며 관리 가능할 것이라는 의견 가능성
  - 그러나 자원을 적용 및 완화 조치에 사용하는 것은 장기적으로 수입·지출 및 경제 구조 자체에 영향을 미칠 것임
  - 인구고령화 또는 의료서비스 비용 압박에 비해서는 재정적 영향이 작을 수 있으나, 영향이 크지 않을 것이라는 다소 낙관적인 입장은 지구온난화의 전체적인 결과를 이해하는 데 적절하지 않을 수 있음
  - 재무부의 2009년 장기공공재정보고서(2009 Long-term Public Finance Report)에서는 “기후변화에 대해 탄소 배출량을 줄이는 방식이 공공재정에 대한 직접적인 압력은 있으나 그 압력은 관리할 수 있음. 정책은 경제와 공공재정에 간접적으로 영향을 미치나 그 정도는 미미할 것임”이라고 서술
  - 기후변화의 비용 및 수익에 관한 기후변화위원회(CCC)의 자문 그룹은 최근에 “화석 연료에 대한 과세가 상당한 수입원을 제공하는 경우 중장기적으로 새로운 과세 기반을 개발해야 하며 이러한 재정적 변화는 점진적이고 관리하기 쉬울 것임”이라고 언급

### □ 향후 과제 및 문제점

- (중앙은행 향후 과제) 중앙은행은 금융 위험 및 기후변화에 대한 녹색금융협의체(NGFS)의 첫 번째 종합 보고서를 발간함과 동시에 국제은행 감독 전무이사인 사라 브리던(Sarah Breedon)에 의해 향후 과제를 논의(하단 <참고> 참조)
  - 은행은 금융 안정성 스트레스 테스트의 일부로서 2021년 ‘격년의 탐색 시나리오(biennial exploratory scenario)’에 기후 요인을 포함
  - 녹색금융협의체(NGFS)는 은행의 시나리오를 분석하는 체계를 개발 중에 있으며, 이는 기후변화 경로에 대한 공공재정의 민감도 테스트를 할 수 있는 기반을 제공할 것임
- (재무부 향후 과제) 은행과 녹색금융협의체(NGFS)가 진행하는 작업과 관련하여 재무부도 중앙은행과 녹색금융협의체와 협업을 시작
  - 중앙은행과 함께 금융 안정성 스트레스 테스트 시나리오들을 재정위험 분석에 적용할 수 있는 방법을 고려
  - 시나리오 작업 시 NGFS와 협력하기 위해 의회 예산국의 OECD 네트워크와 독립적인 재정 기관과 함께 일할 것을 제안함으로써 전 세계 중앙은행과 재정의회의 경험과

전문성을 활용할 수 있음

**<참고> 기후 관련 시나리오 분석: 녹색금융협의체(NGFS) 접근법**

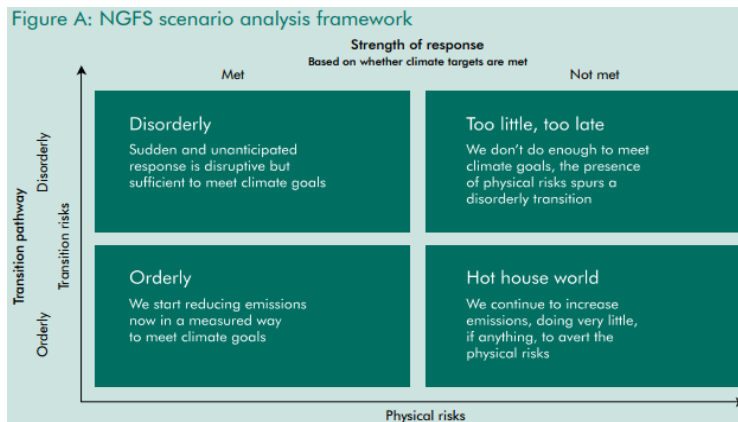
녹색금융협의체(NGFS)는 기후변화 재무정보공개에 관한 태스크포스(TCFD)<sup>1)</sup>의 작업을 기반으로 함. 2019년 4월 금융 안정성에 대한 기후 관련 위험을 평가하기 위한 물리적·전환 체계를 사용하는 행동 촉구를 발표. 기후변화로 인한 물리적 위험과 온실가스 배출 감소와 관련된 전환 위험을 금융시스템에 연결하는 전송 채널 및 피드백 메커니즘을 고려함.

NGFS는 기후변화 관련 금융 안정성 위험을 평가하는 시나리오 분석 체계를 개발 중임. 정책 대응을 완화하는 온실가스의 강도 및 이러한 조치가 얼마나 원활하고 예측 가능하게 수행되는지 기준에 따라 다음 시나리오 매트릭스가 산출됨(참고 그림 참조). 그다음은 정책 설정 및 기술 변화에 대한 주요 가정을 포함하여 데이터 기반의 서술적, 정량적 변수를 개발할 계획임.

TCFD의 제안은 다른 사람들이 기후 관련 시나리오 분석을 하도록 유도했음. 예를 들어 기후변화에 관한 기관 투자자 그룹은 적절한 시나리오를 선택하고 이를 분석에 적용하는 방법에 대한 가이드를 발표했음. 정부는 최근에 모든 영국 상장기업과 대형 자산 소유자들이 TCFD의 제안을 기반으로 구축할 방법을 설정하고, 이를 공개하는 녹색재정전략(Green Finance Strategy)을 발표함. 공공 금융기관에서 TCFD의 제안을 수용하고 자연 관련된 금융 공개의 투명성을 높이기 위해 노력할 것임.

공공부문에서는 재무부가 2050년까지 탄소중립 달성과 관련된 비용을 검토하고 내년 재정 위험 관리에서 기후변화와 저탄소 전환으로 인한 위험을 고려할 것임. 정부는 또한 “신중한 규제 당국, 금융 행동 당국 및 금융 정책 위원회에서 파리 협정을 이행하는 책임을 명확히 할 것”이라고 밝힘

[참고 그림] NGFS 시나리오 분석 체계



주: 1) 주요 20개국(G20)의 요청에 따라 금융안정위원회(FSB)가 기후변화 관련 정보의 공개를 위해 2015년 설립한 글로벌 협의체  
출처: OBR, 2019 Fiscal Risks Report, 2019. 7., pp. 252~253.

- (문제점) 향후 다음의 문제점에 대해 중장기적으로 경제 및 공공재정 전망 시 이 문제들을 다루는 방법 고려 필요
  - 기후 관련 위험을 재정위험의 광범위한 관리에 통합
  - 재정위험을 평가하는 중앙은행/NGFS 시나리오 체계의 적절성
  - 공공재정과 관련된 자원 및 전송채널 분석
  - 기후와 다른 목표 사이에서의 상충관계(예: 연료세)
  - 기후변화에 대한 공공재정의 잠재적인 충격 관리 방법
  - 장기적인 기후 관련 재정 압박 및 기타 우선순위 사이에서의 상충관계

## 2) EU<sup>33)</sup>

### □ EU 기후변화 현황

- 온실가스 농도가 허용 가능한 수준을 넘어서 기후변화 위험이 증가했고, 전 세계 평균 기온은 산업화 이전 수준 대비 상승
  - 이에 따라 강수량 패턴 변화, 해수면 상승, 해양 먹이사슬 파괴 등 환경의 점진적인 변화와 홍수, 가뭄, 폭염, 산불 등 극단적인 기상 현상을 야기
  - 기후변화의 영향은 지역마다 다를 것이며 초기 온도가 높은 지역에 더 큰 영향을 미칠 것으로 예상
- 기후변화 속도의 완화가 없다면 평균 예상 온난화는 2100년까지 약 3~4℃로 예상
  - 추정치는 하방 위험이 있으며 또한 비선형적일 경우 비극적 결과가 발생할 수 있는 티핑 포인트(tipping point)가 존재
    - 테일리스크(tail-risks)는 실제하며 재앙적인 재난의 위험이 증가하고 있고(IPCC, 2014; 2018), 재앙적인 기후변화가 발생할 경우 안전장치(backstop) 없이(Aglietta et al., 2018) 잠재적으로 무한한 비용이 소요될 수 있음을 암시(Weitzman, 2011)
- 기후변화가 국가 경제에 미치는 영향을 적절히 통제하기 위해 완화·적응정책을 수행
  - 완화정책은 온실가스 배출을 억제하거나 방지하려는 노력을 의미하며 탄소세, 배출권거래 계획, 청정에너지(재생 가능 에너지 등) 사용을 장려하는 규정 또는 세금 인센티브 부여 및 효율적인 에너지 사용 등이 해당

33) OECD, *Climate Change and Long-term Fiscal Sustainability*, 2021, pp. 23~24까지를 기초로 EC(2020)의 내용을 보충하여 번역한 것임

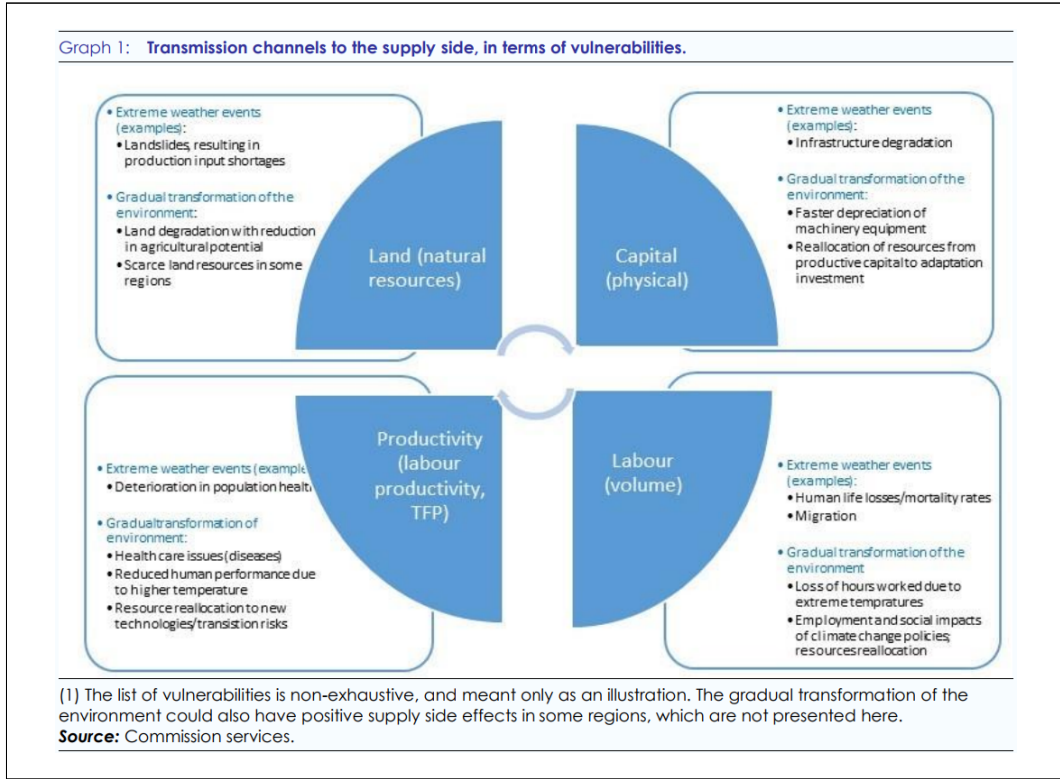
- 적응정책은 피해를 예방하거나 최소화하기 위해 조치를 취하는 것을 의미하며 고온 및 극한 기후에 견딜 수 있도록 건축 규정 수정, 가뭄 내성 작물 개발, 폭풍 및 화재에 대한 취약성을 줄이는 산림 관행 촉진 등이 해당
- EU 집행위원회는 2019년 12월에 발표된 유럽 그린딜(European Green Deal)<sup>34)</sup>을 통해 “기후 중립적이고 건강한 행성”으로의 전환을 주도하겠다고 밝힘
- 기후변화에 따른 빈번한 기상 이변과 관련된 손실 급증으로 인해 공공재정의 지속 가능성 위험이 증가, 이에 적응 및 완화를 위해서는 상당한 공공 투자와 이에 수반되는 정책이 필요

□ 거시 경제로의 전달 경로(Transmission Channels)

- 기후 관련 현상은 여러 전달 경로를 통해 상당한 경제적(GDP 수준 및 성장)·재정적 영향을 미칠 것으로 예상
- 이러한 영향은 일시적일 수도 있고 환경의 점진적인 변화를 반영하여 지속적일 수 있음
  - 극심한 기상 현상은 중기에 걸쳐 즉각적인 피해를 유발하고 국가별 특성에 따라 상이하나 일시적인 편이고, 온도의 점진적인 변화로 인한 영구적인 손실(permanent losses) 또는 적응 및 완화 정책으로 인한 영구적인 변형(permanent transformation)은 지속적인 편
- 경제의 수요 및 공급 측면을 통해 다양한 전달 경로가 존재할 수 있음(그림 II-2-5)는 전달 경로를 도식화)
- 수요 효과는 지속될 수 있으며(특히 기후에 적응된 내구재 및 투자에 대한 장기적인 수요) 투자 증가에 따른 생산의 긍정적인 효과를 상쇄하면서 소비에 부정적인 영향을 미침
- 공급의 부작용은 일부 지역에서는 온도 상승으로 인해 자원 가용성 증가(농지 증가, 인간의 삶에 보다 적합한 따뜻한 기후, 새로운 기후 적응 기술에 의해 촉진된 혁신)로 인해 긍정적일 수 있음

34) 유럽 그린딜(European Green Deal)은 2019년 12월 출범한 신 EU 집행위의 차기 핵심정책 중 최우선 정책과제로 2050년 탄소중립, 즉 탄소 순배출의 제로화(net zero)를 목표로 함. 주요 내용으로는 기후 변화 대응 목표를 높이고 지속가능한 미래를 위해 ① 탄소배출 감축 ② 에너지의 탈탄소화 ③ 신산업 전략 ④ 지속가능한 운송 ⑤ 건축분야 에너지 및 자원 효율성 강화 ⑥ 식품안전 및 생태계 보전 등 다양한 정책을 제시

[그림 II-2-5] 취약성 측면에서 공급 측으로의 전달 경로(transmission channels)



출처: EC, *Debt Sustainability Monitor 2019*, 2020. 1., p. 117.

- 공공재정에 대한 영향 역시 여러 경로를 통해 직접적이거나(손상된 인프라를 대체하기 위한 공공 지출 증가) 간접적으로(경제적 활동 중단) 구체화될 수 있을 것으로 예상(그림 II-2-6 참조)
- 기후변화에 대한 완화 및 적응정책들이 공공재정에 무시할 수 없는 영향을 미칠 것으로 예상
  - 적응정책은 단기적으로 공공 지출과 공공 부채를 증가시킬 가능성이 있고, 장기적으로는 악천후 영향에 대한 회복력을 증가하고 손상의 심각성을 감소
    - 따라서 중장기 거시재정 전망 시 장기 성장에 미치는 영향을 추정하는 과정에서 적응정책의 영향을 다소 불확실성이 있더라도 포함해야 함
  - 완화정책은 탄소세 부과나 화석연료 보조금 단계적 폐지 등에 해당하며, 중장기 거시재정 전망 시 고려해야 함

[그림 II-2-6] 재정 영향: 비재량 vs 재량 조치 비교

Table 1: Fiscal impacts: non-discretionary vs. discretionary measures

| Non-discretionary (exogenously driven, by climate change phenomenon)  | Discretionary impact (endogenously driven, through policy measures)  |
|---|--|
| <p><b>Direct (examples):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Public spending to replace damaged infrastructure/buildings</li> <li>Social transfers to households affected by the weather event</li> <li>Materialization of <i>explicit</i> contingent liabilities (e.g. insurance schemes backed by state guarantees)</li> </ul> <p><b>Indirect (examples):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reduction of tax revenue due to a reduction in economic activity</li> <li>Increase of health care spending due to more diseases</li> <li>Materialization of <i>implicit</i> contingent liabilities (e.g. to support financial institutions in distress)</li> <li>Impact on the sovereign capacity to pay debt payment obligations over the medium-term (due to budgetary funds reallocation towards recovery/reconstruction)</li> </ul> | <p><b>Adaptation policies (examples):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Public investment in climate-proofing infrastructure, water management</li> <li>Subsidies to support changing crop varieties, or relocation from coastal areas</li> <li>“Rainy day” funds</li> </ul> <p><b>Mitigation policies (examples):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Carbon taxes (e.g. on fossil fuels, and other carbon taxes). Adverse impact on economic activity in the short term, with uncertain net impact on the overall tax revenues in the medium and long-term</li> <li>Emission trading schemes (ETS) revenues</li> <li>Public subsidies for clean energy transition</li> <li>Redistribution effects on the tax base</li> </ul> |

(1) This table presents a number of possible climate change related impacts on public finances - due to the physical effects of climate change (either extreme weather events, or gradual transformation of the environment), or to active policies aimed at either mitigating climate change or adapting to it. It does not necessarily cover all possible impacts.

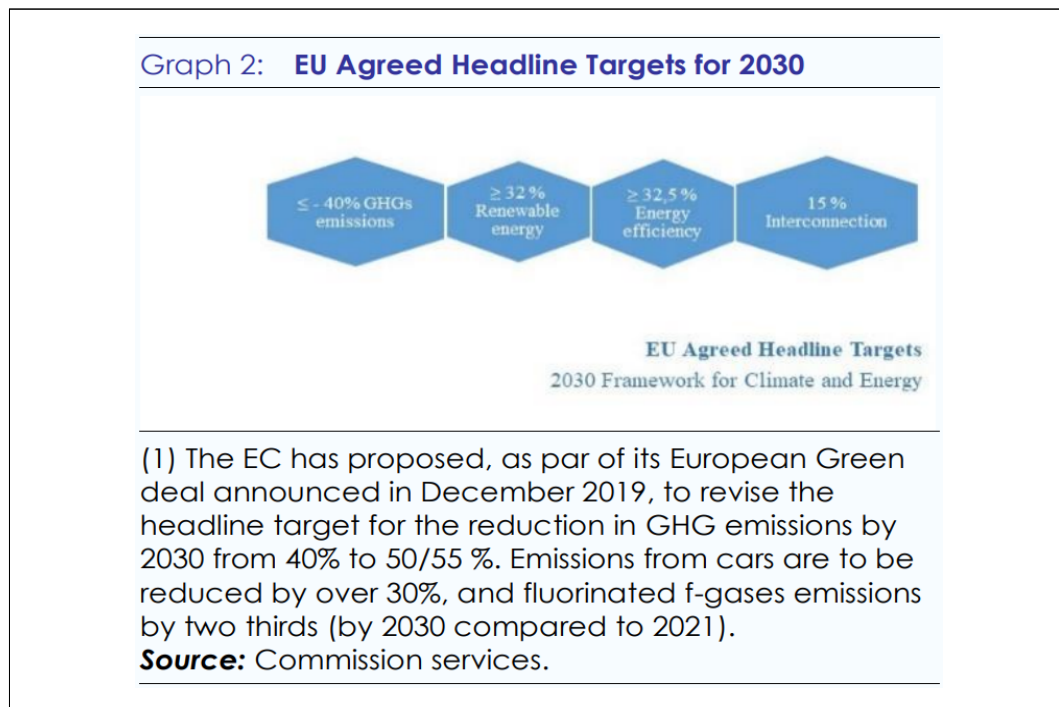
(2) The decomposition between direct and indirect impacts relates to the fact that in some cases, public finances will be directly affected by climate change events (e.g. in cases where public infrastructures are damaged and need replacing), while in other cases, the impact on public finances will materialise via indirect channels (e.g. in case of disruption of economic activity, implying a reduced tax base).

**Source:** Commission services.

출처: EC, *Debt Sustainability Monitor 2019*, 2020. 1., p. 118.

- EU의 완화정책은 에너지 연합 목표에 반영되어 있으며 온실가스 배출 감소, 재생 가능 에너지, 에너지 효율성 및 상호 연결 등 네 가지 정책 영역에서 목표를 설정 ([그림 II-2-7] 참조)
- 또한 EU 배출권거래시스템(EU ETS)은 온실가스 배출량을 비용-효율적으로 줄이기 위해 2021~2030년에 대해 2018년 초 개정
- 2019년 12월에 발표된 유럽 그린딜(European Green Deal)에는 2050년까지 탄소 중립을 달성하기 위해 2030년까지 온실가스 배출량을 40% 감축에서 50~55% 감축으로 목표 수정
- 목표 달성을 위해 회원국 수준에서는 국가 에너지 및 기후 계획(2021~2030년)에 따른 조치를 2019년 말까지 제시, 2023년에 이를 업데이트할 예정

[그림 II-2-7] 2030년 EU 연합 주요 목표



출처: EC, *Debt Sustainability Monitor 2019, 2020*. 1., p. 119.

□ EU 외 국가 및 국제기관의 지속가능성 분석 관련 기후변화 도입 사례

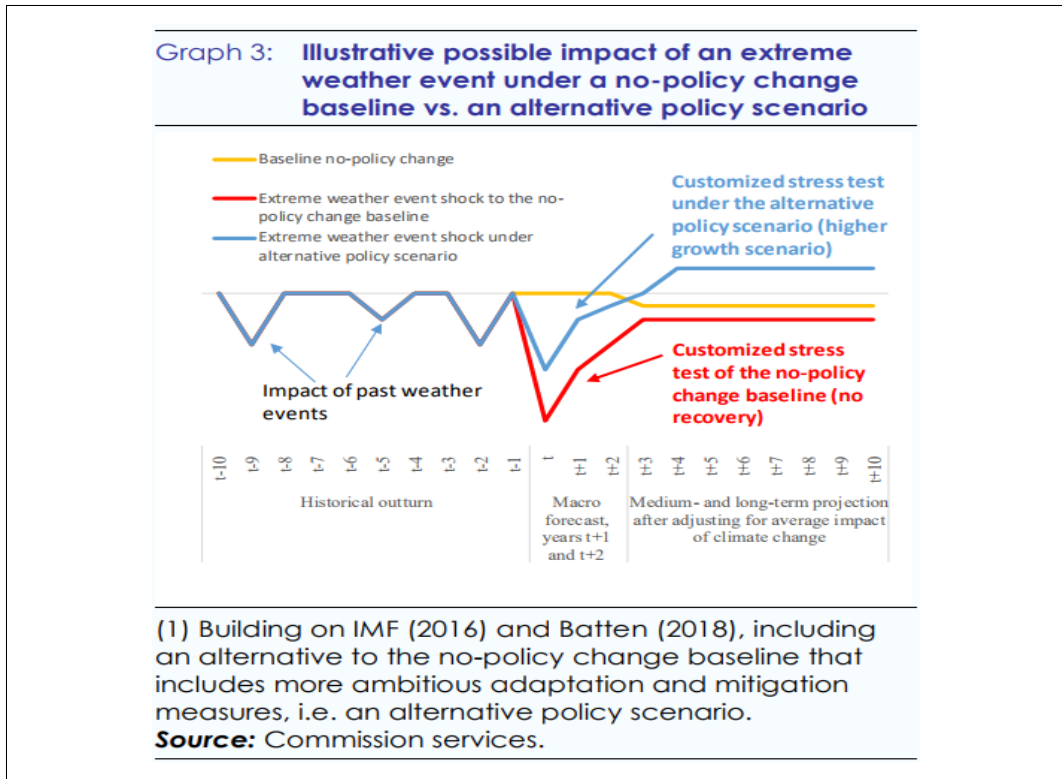
- 기후와 관련된 재정 위험은 정량화하기 어려우므로 공식 기관의 재정 지속가능성 체계에 대다수 부재
  - 그럼에도 불구하고 여러 기관은 재정 지속가능성 체계 모듈을 개발하기 시작
- 영국 예산책임청(UK Office for Budget Responsibility, OBR)과 스위스 연방재무부(Swiss Federal Finance Administration)는 기본적으로 개념과 정의를 개발하기 시작해 기후변화를 재정 지속가능성 프레임워크에 통합하기 위한 준비에 돌입
  - 영국 OBR은 영국 중앙은행의 분류 체계를 기반으로 기후 관련 재무 안정성 위험을 다음과 같이 구분: 1) 단기적인 영향을 주는 예상치 못한 충격과 같은 극한 기상 현상 위험 2) 적응 및 완화정책의 재정적 결과와 관련된 전환 위험(증기에 걸쳐서 발생하며 예상 가능)
- 다른 국제기관은 재정위험 분석 시 기후변화 차원을 도입하면서 자연재해에 초점을 맞춘 첫 정량 분석을 함께 포함

- IMF와 World Bank는 최근 개정된 저소득 국가를 위한 부채 지속가능성 체계(IMF/WB LIC DSF)에 자연재해에 대한 맞춤형 스트레스 테스트를 도입
  - 자연재해 스트레스 테스트는 이 위험에 취약한 국가에 실행, 국가별 역사에 맞게 조정되나 기후변화의 미래 효과와 직접적으로 연결되지는 않음
- OECD & World Bank(2019)의 경우 정기적인 재정위험 관리의 일환으로 자연재해 위험에 대한 경제적 재정 분석을 제공하는 다수 국가들(뉴질랜드, 호주, 멕시코 및 일본)의 사례를 강조
- 미 의회예산청(CBO)은 극심한 기상 현상에 대한 경제적 재정적 영향 관련한 여러 연구(예: 허리케인 바람과 돌풍 관련 홍수에 대한 CBO 연구(2019))를 발표했으며, 온실가스 배출을 제한하는 여러 정책(예: 탄소세 및 배출 거래제도)들이 경제성장 및 공공재정에 미치는 영향을 조사
- 중앙은행, 금융 규제 기관도 재무 안정성 관점에서 기후변화 위험을 고려 시작
  - 영국 중앙은행(BoE)은 보험업계와 함께 기후변화의 금융 안정성 영향을 평가하기 위한 광범위한 체계를 제안(BoE, 2019)
  - 유럽 보험연금기금청(European Insurance and Occupational Pensions Authority, EIOPA)은 정기적인 스트레스 검사 분석의 일환으로 자연 재해 시나리오를 도입(EIOPA, 2018)
- EU 부채 지속가능성 분석(DSA) 체계의 기후변화 모듈: 개념적 체계
  - 부채 지속가능성 분석(DSA)<sup>35</sup>에서 기후변화와 기후 관련 정책의 영향을 경제 및 재정적 충격으로 변환하는 것은 예상치 못한 충격(극심한 기상 현상)과 환경의 점진적 변화(정책 전략의 시나리오하에서)를 구분하여 수행
  - 극심한 기상 현상의 영향
    - 부채 지속가능성 분석(DSA) 내 맞춤형 스트레스 테스트 시나리오에 포함하여 평가 가능하며 성장 및 공공재정에 대한 영향은 부채 및 지불 능력을 포함해 국가별 특성(기상 현상의 과거 이력, 과거 적응 정책 수준, 보험)을 기초로 함
    - 기상 현상은 정부 계정 및 부채에 직접적인 영향(손상된 공공시설 대체)을 미치며 GDP 효과 등을 통해 간접적으로도(경제 침체로 인한 세수 감소) 영향

35) 부채 지속가능성 분석(Debt Sustainability Analysis) 체계는 국가 취약성 평가를 위한 중요 도구이며, 당국에 정책 경고를 제공할 수 있음. 대부분의 국제기구와 금융기관은 감시 절차에 이를 사용.

- 맞춤형 시나리오는 자연재해에 대한 취약성과 같은 국가별 위험 노출에 대해서만 스트레스 테스트가 설계될 수 있음
- 적응 및 완화 조치가 존재하는 경우 여러 시나리오가 예상되며, 더 빠른 성장 시나리오 하에서는 더 높은 성장 경로에 도달할 수 있음(그림 II-2-8) 참조)

[그림 II-2-8] 극심한 기상현상의 영향(정책 불변 vs 대안 정책 시나리오 비교)



출처: EC, *Debt Sustainability Monitor 2019, 2020*. 1., p. 121.

○ 환경의 점진적 변화의 영향

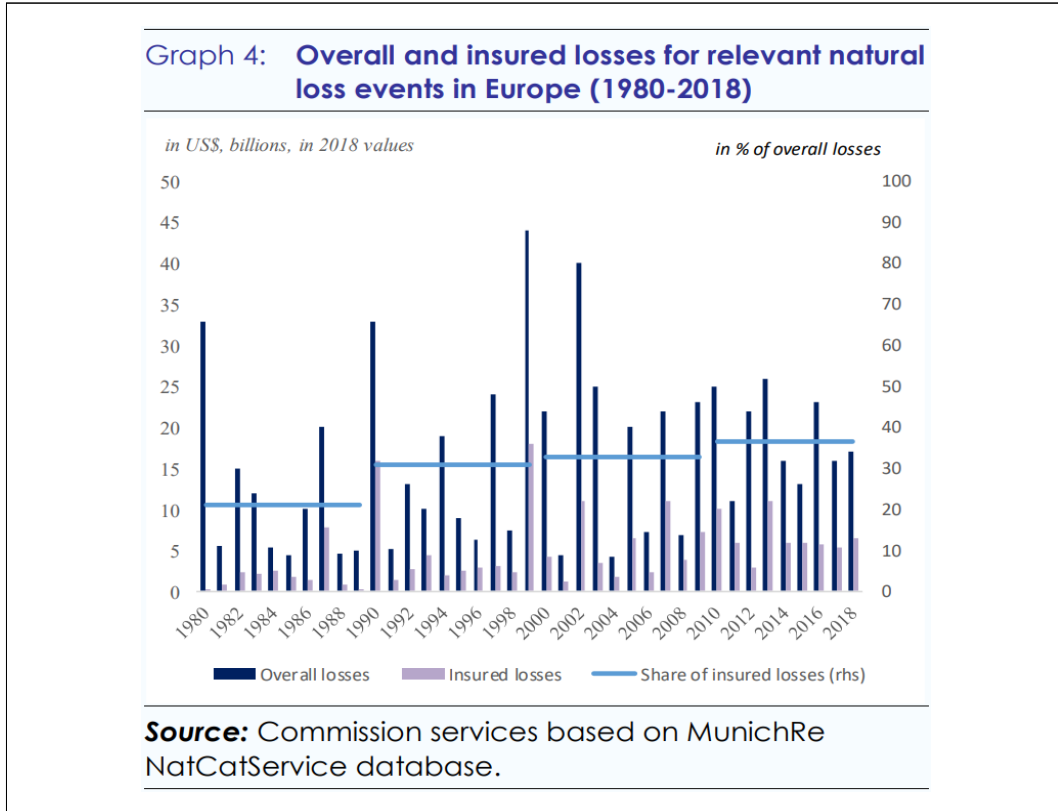
- 입법된 정책 조치는 기준선(baseline) 거시재정 전망 내 부채 지속가능성 분석(DSA)에 포함되는 반면, 정책 공약은 대안적인(alternative) 거시재정 전망 내 대안 시나리오에서 고려 가능
- 온실가스 배출 경로에 대한 환경의 점진적 전환 맞춤형 시나리오는 기준선에 대한 대안 정책 시나리오로 볼 수 있음
- 그러한 시나리오는 회원국 수준에서 계획된 정책 및 조치에 대한 거시경제적 영향

평가를 요구할 것임(국가 에너지 및 기후 계획(2021~2030))<sup>36)</sup>

- 스트레스 테스트 및 정책 시나리오에서 고려해야 할 기타 악화·완화 요인
  - 우발 부채의 잠재적 영향은 명시적으로는 정부 보증(government guarantee)에 연결, 암묵적으로는 기후변화 위협에 대한 금융 부문의 회복력 부족과 연결
    - 정부가 보증하는 보험제도는 중대한 재난의 경우 정부가 조치를 취하도록 요구할 수 있음(프랑스의 자연재해 보험제도)
    - 재앙적 사건의 잠재적인 구체화는 은행과 보험사들에 손실 및 자본 재확보 필요성을 생성하고 이는 공공재정에 위험 유발 가능
  - 기후 관련 금융 상품을 통해 민간과 공공 부문 간에 기후 현상의 위험 공유
    - 기후변화에 대한 재정적 회복력을 제공하고 기후 현상의 재정적 영향을 완화하는 보험 및 부채상품을 통해 우발 부채의 영향을 줄임으로써 부채 지속가능성 위험을 줄일 수 있음
    - 지난 40년간 유럽에서는 전체 자연 손실 사건 중에서 보험 손실의 비율은 1980년대 평균 21%에서 지난 10년간 36.5%로 증가(그림 II-2-9) 참조)
  - 규제 조치, 금융 및 화폐 정책 등 기타 거시경제 정책도 중요(IMF, 2019)
    - IMF(2019)의 연구에서는 기후변화 완화를 위한 적절한 정책 조합을 결정할 필요가 있음을 강조하며, 이는 중기 전망에 대한 재정, 금융 및 통화정책 수단을 모두 포괄함
    - 따라서 재정 지속가능성 위험 평가 시 거시 경제적 정책 프레임워크의 현실성은 완화 요인으로서 중요한 역할
- 재앙적 결과를 가져오는 티핑 포인트는 정책 조치가 있는 경우 임계값 미만으로 유지될 가능성이 높음
  - 부채 지속가능성 분석(DSA) 기준선, 스트레스 테스트 및 정책 시나리오 분석에는 온실가스 배출에 대한 여러 가정이 포함되어 있으며, 특히 정책 시나리오에는 재앙적이고 비가역적 기후변화의 위험이 포함

36) 국가 에너지 및 기후 계획(National Energy and Climate Plans, NECP)은 회원국이 2021년부터 2030년까지 기후 및 에너지 목표, 정책 및 조치를 개괄하기 위한 프레임워크임. 2018년 12월에 채택된 에너지 연합 거버넌스 규정(Energy Union Governance Regulation)에 따른 것으로 회원국은 2021년부터 2030년까지 통합 국가 에너지 및 기후 계획(NECP)을 채택해야 하며, 이에 수반되는 정책 및 조치 계획은 물론 EU 목표에 대한 국가 기여도 제시 필요

[그림 II-2-9] 유럽 내 자연 손실 중 보험 손실 비율 및 금액(1980~2018년)



출처: EC, *Debt Sustainability Monitor 2019*, 2020. 1., p. 122.

- 온도 증가로 티핑 포인트가 발생하면 완전히 새로운 기후, 생물 물리학적 및 사회 경제적 시스템을 생성(IPCC, 2018; WWF, 2018; IPBES, 2019)
- 이로 인해 시나리오 내 극도의 복잡성 및 불확실성을 야기해 재앙적인 가정을 기준선 시나리오에 통합하는 것을 제한

□ 향후 과제

- 다양한 기후변화 위험 및 정책에 대한 맞춤형 스트레스 테스트 및 대안 시나리오를 구축하려면 과거 기후 사건에 대한 데이터 세트 및 정책 등 조치에 대한 거시 경제적 영향 평가가 필요
- 이러한 정량화된 요소는 충격과 다양한 정책 시나리오에 대한 경제적 대응을 보정하는 데에 특히 필요하나, 현재의 데이터 수집, 모델링 도구 및 재정 체계는 중요한

한계를 보임

○ 데이터 가용성

- 데이터 가용성은 기후변화 관련 재정 위험 분석 개발에 주요 과제임
- 극한 기상 현상을 기록하는 국제 데이터는 공개적으로 사용 가능하지 않으며 부분적인 정보만을 제공(그림 II-2-10) 참조)
- 데이터는 과거의 관측치이나 향후 자연재해의 빈도 및 정도는 증가할 수 있음이 중요
- 또한 환경의 점진적 변화에 대한 경제 모델링 작업은 큰 불확실성을 포함하고 있으며, 추정치가 특정 부문에 한정되거나 또는 넓은 지역(large regions)에만 해당(예: PESETA)<sup>37)</sup>

[그림 II-2-10] 극심한 기상현상 보고: 두 가지 데이터 예시

**Table 2: Reporting extreme weather events: the example of two datasets**

| Dataset | Provider  | Coverage                                       | Events reported  | Availability  |
|---------|---|--|--|---|
| NatCat  | MunichRe  | Worldwide including EU countries, 1980-current | Relevant* natural loss events: number of events, overall/insured loss, fatalities (including for each event)   | Limited (e.g. no excel dataset available, limited methodological information)   |
| EM-DAT  | CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) | Worldwide including EU countries, 1900-current | Relevant* disasters including natural disasters: total estimated economic damage, insured loss, fatalities, etc. (including detailed information for each event) | Upon registration, free downloads of a limited number of entries, many supporting methodological / analytical documents |

(1) \*Only events with a significant magnitude in terms of people affected and / or economic loss are reported. The criteria used by the CRED are more restrictive (e.g. more fatalities) than the ones used by MunichRe. Other datasets are available either supported by international institutions as part of crisis management and prevention (e.g. DesInvtar, notably supported by the UN agencies), or provided by the private sector for businesses' risk management (e.g. Risk Management Solutions (RMS), AIR Worldwide Corporation (AIR)). The latter are however not freely accessible.

**Source:** Commission services.

출처: EC, *Debt Sustainability Monitor 2019*, 2020. 1., p. 123.

37) PESETA(Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on bottom-up Analysis)는 21세기 유럽의 기후변화로 인해 발생할 수 있는 물리적 및 경제적 영향을 분석하는 연구임. 이 연구 프로젝트는 고해상도 기후 및 부문별 영향 모델을 포괄적인 경제 모델과 결합하여 대체 기후 미래(alternative climate futures)에 대한 영향의 추정치를 제공할 수 있는 혁신적이고 통합된 접근법을 따름. 이 프로젝트는 유럽의 넓은 지리적 지역에 대한 영향을 추정

○ 모델링 도구 및 예산 체계

- 기후변화 및 정책 대응에 대한 여러 모델링 방식이 존재하는데, 각각 중요한 주의 사항이 있음
  - 비용-편익 모형(통합 평가 모형, Integrated Assessment Models, IAMs): 기후 정책이 비용과 편익으로 설정되는데, 몇 가지 제한(다양한 요소에 대한 적절한 공통 측정법, 할인율 선택 문제)이 있어 정확한 정량적 예측은 불가능
  - 경제 역학 모형(Economic dynamic models): 정책을 외생변수로 두면서 기후변화 완화정책의 경제적 영향을 이해하는 대안적인 방법이나, 결과값이 넓은 간격 내에 존재
- 현 예산 체계는 기후변화 관련 재정위험을 평가함에 있어 한계 존재
  - EU 위원회가 현 체계에 대해 수행한 초기 검토(European Commission, 2020)에서는 프랑스, 아일랜드, 이탈리아, 스웨덴만 해당하는 정보와 함께 '녹색예산(green budget)'<sup>38)</sup>의 제한적인 사용을 지적
  - 따라서 현 체계는 예산 항목의 범위 측면에서 크게 상이하므로 '녹색예산'을 광범위하게 사용하면 현재 데이터 격차 해소 가능
  - 또한 회원국들이 2018년 말에 제출한 국가 에너지 및 기후계획(NECP)의 초안에서는 경제 및 재정에 대한 기후 공약의 총 비용 추정치를 많은 회원국에서 사용할 수 없었음
  - 추정치가 존재하는 경우 불확실성은 특히 중장기적으로 매우 크게 나타남
  - EU의 안정-수렴 프로그램(Stability and Convergence program)에 따른 현재 보고에는 기후 관련 재정지출 추정에 대해 합의된 체계 또는 '녹색(green)'의 분류가 미포함

□ 결론

- 기후변화와 관련된 재정위험에 대한 평가는 중요하고 어려운 문제
  - 많은 국내 및 국제기관이 부채(재정) 지속가능성 분석 체계에 기후변화를 포함시킬 것을 고려하나 개발된 것은 거의 없으며 이벤트성 연구 수준에서만 발표

38) '녹색예산'은 환경 목표 달성을 위해 예산 정책 도구를 사용하는 것을 의미. 이는 예산 또는 재정정책이 환경에 미치는 영향을 평가하고 국가 및 국제 공약 이행에 대한 일관성을 평가하는 것을 포함. 자세한 내용은 OECD의 "Paris collaborative on green budgeting(2018)"을 참고(<https://www.oecd.org/environment/cc/Flyer-Paris-Collaborative-on-Green-Budgeting.pdf>, 검색일자: 2021. 11. 22.)

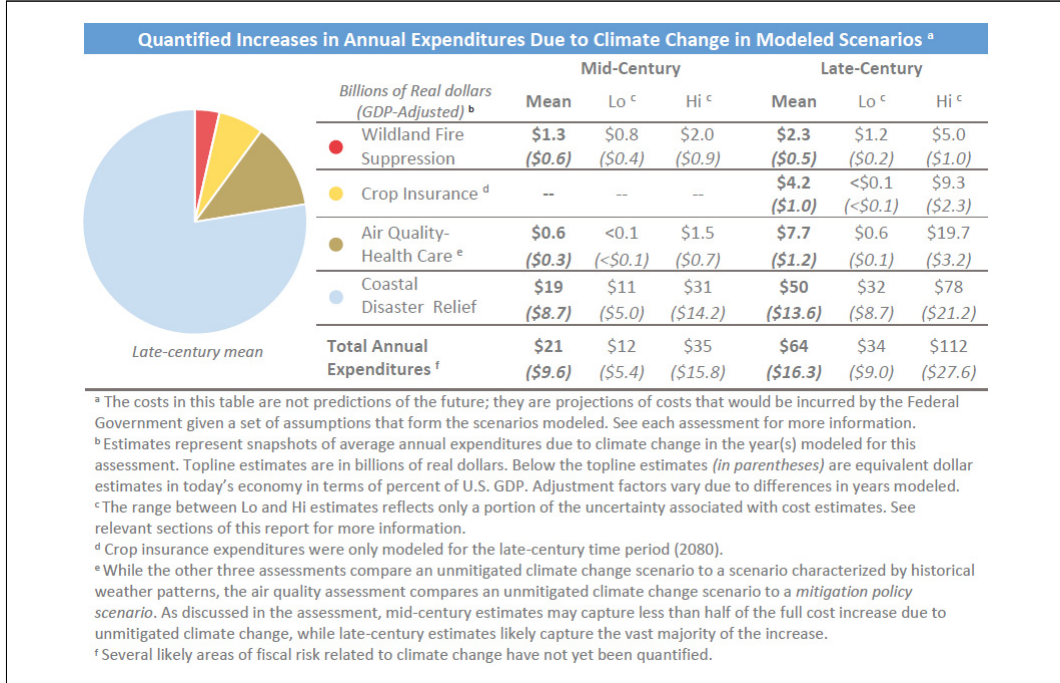
- 기후변화 위험은 위원회의 부채 지속가능성 분석(DSA) 체계 내 스트레스 테스트 분석, 대안 정책 시나리오 및 추가적인 완화·악화 위험 요인 고려 등을 통해 포함될 수 있음
- 모듈을 개발하는 중요 필수요건이 바로 데이터 수집 개선임
  - 따라서 기후변화에 대한 노출이 심각한 또는 정보가 이용 가능한 EU 회원국의 사례 연구를 수행하는 것부터 시작하여 단계별 접근 방식이 타당

### 3) 미국<sup>39)</sup>

- (개요) 미국 OMB는 오바마 행정부 재임 기간 중 경제자문위원회(Council of Economic Advisers, CEA)와 협력하여 기후변화로 인해 직면할 수 있는 재정적 위험을 수치화하고, 이를 평가하기 위한 노력의 일환으로 2016년 공식보고서인 *Climate change: The Fiscal risks facing the federal government*를 발표
  - 보고서는 농작물 보험(crop insurance), 건강관리(health care), 황무지 화재 진압(wildfire suppression), 허리케인 관련 해안 재난구조(hurricane-related disaster relief), 홍수위험(Federal facility flood risk) 등 다섯 가지 프로그램별 평가를 통해 재정적 위험을 요약
- (지출) 기후변화는 지출을 분명히 증가시킬 것이며 다섯 개 프로그램별 계량화된 지출 증가액 추정치는 2040년부터 2060년까지 연간 수백억달러에 달한 이후 2060년에서 2100년까지 수천억달러로 증가할 것으로 추산
  - 5가지 프로그램 중 홍수위험\*을 제외한 4개 프로그램 분야에서의 지출증가액을 추정한 결과, 2060년부터 2100년까지 연간 340억~1,120억달러가 지출될 것으로 추정되며, 이는 오늘날 경제 수준으로 환산하면 90억~280억달러에 해당하는 규모
  - \* 연방자산에 유의한 영향을 줄 수 있는 홍수위험을 검토하였으나 부채와 관련된 예상원가를 추산하지 않음

39) OECD, *Climate Change and Long-term Fiscal Sustainability*, 2021, pp. 25~27까지 번역 및 요약

[그림 II-2-11] 미국 연방 세출 증가



출처: OMB, *Climate change: The Fiscal risks facing the federal government*, 2016, p. 6.

□ (수입) 기후변화는 미국뿐만 아니라 전 세계의 생산량(output)을 감소시킬 것이며, 이는 연방정부의 세수 감소로 이어질 것

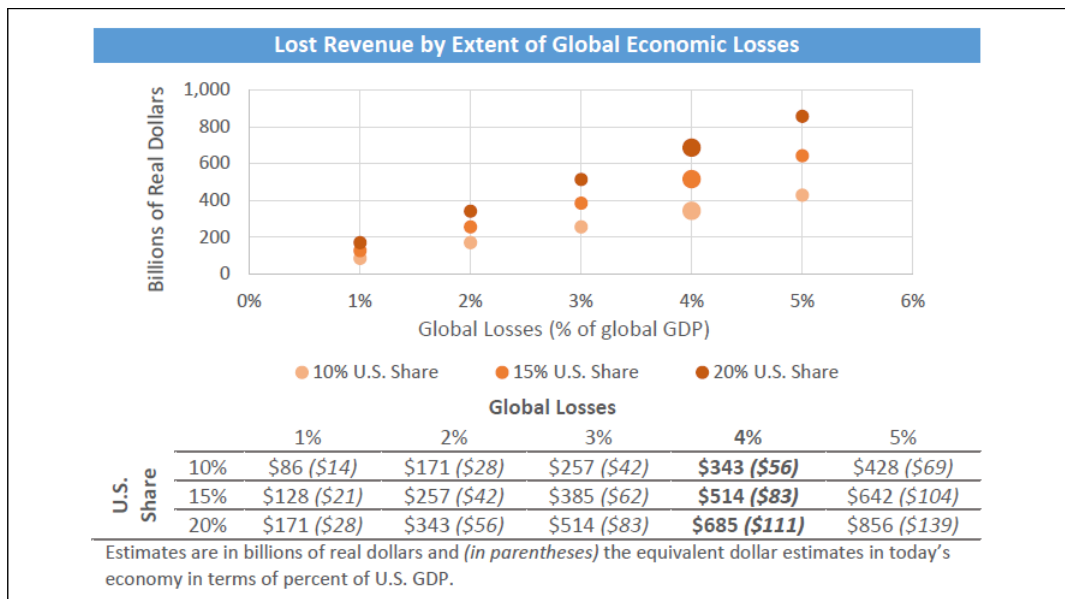
○ Nordhaus(2013)에 의하면 기후경제통합평가모형(Integrated assessment models of climate and the economy, 이하 IAMs)<sup>40)</sup>을 이용하여 온난화로 인한 경제적 피해 규모를 분석한 결과 2100년까지 매년 전 세계 GDP의 1~5% 정도를 차지할 것이라 추정 - 이 중 온난화로 인하여 지구 온도가 4℃ 상승할 경우 연간 피해 규모는 글로벌 GDP의 4%로 추산\*되며, 이 중 미국 GDP가 차지하는 비중은 약 22% 정도(2015년 기준)로 추정됨

\* 지구 온도 4℃ 상승 시 발생하는 손실 시나리오는 여러 선행연구를 통해 일반적으로 인용되는 시나리오임

40) 기후변화가 미치는 장기적 영향을 분석하기 위해 널리 사용되는 모형으로, 지구온난화 영향과 이를 방지하기 위한 노력을 평가하기 위해 기후변화의 과학적 측면과 사회경제적 측면을 결합한 모형

- 기후변화에 노출된 여러 문제로 인해 재정에 미치는 영향을 계량화하기엔 한계가 있음에 따라, 기후변화로 인해 발생하는 글로벌 GDP의 손실 수준과 이 중 미국이 차지하는 비중은 시간의 영향을 받지 않고 일정하다고 가정
  - 지구 온도 4℃ 상승 시 발생하는 글로벌 GDP 4%의 손실 추정치에서 연방 수익은 손실 비중에 따라 연간 약 3,430억~6,850억달러 규모로 추정되며, 이는 오늘날 경제 수준으로 환산할 경우 연간 약 560억~1,100억달러에 해당하는 규모임

[그림 II-2-12] 미국 연방 세입 손실



출처: OMB, *Climate change: The Fiscal risks facing the federal government*, 2016, p. 9.

- (한계점) OMB는 기후변화에 취약한 5개 분야를 선정하여 재정위험을 추정하기 위한 계량화를 하고자 과학 및 경제분야의 문헌조사와 기존의 모델을 활용하는 방법을 취하였으나, 전체 재정의 위험에 대한 것이 아닌 일부만 보여줌
  - 이는 기후변화의 위험에 노출된 여러 가지 영역에서의 제한된 데이터와 가용 가능한 자료의 부재에 기인함
  - 또한 실제적으로 인구변화, 소득증가, 정책변화, 기술개발, 향후 기후변화의 규모와 속도, 경제 규모의 변화 등 고려해야 할 요인이 많음에도 불구하고 이를 고려하지 못했으며, 계량화하기 어렵거나 수치가 어려운 요소들을 설명하지 않았다는 한계점이 있음

#### 4) 독일<sup>41)</sup>

- (요약) 독일 연방재무부(Federal Ministry of Finance, Germany)를 대신하여 Ecologic Institute와 INFRAS는 독일 기후변화의 경제적 결과가 공공 예산의 지속가능성을 위협하는 정도를 조사했으며, 기후변화가 지속되는 경우 2100년 공공 수입에 대한 추가 비용과 부족은 GDP의 0.6~2.5%에 달할 것으로 예상

##### 가) 도입

- Infrac/Ecologic(2009)<sup>42)</sup>에서 독일의 기후변화가 공공 예산(Public budget)에 미치는 영향에 대해 정성적 및 정량적 분석을 실시
  - 국제기후변화위원회(IPCC)에서 개발한 배출 시나리오 특별 보고서(SRSE)의 총 40개 사회-경제 시나리오\*에 독일의 인구 변화, GDP 성장, 기후변화 예측 데이터를 조합하여 분석
    - \* 미래의 지구 기후변화 가능성을 구조화하기 위해 2000년에 세계 인구의 발전, 세계총생산(GDP) 및 기술 진보에 대한 통합된 가정을 포함하여 개발
  - 10개 부문별\*로 나누어 기후변화가 개별 영역에서 공공재정에 미치는 경제적 영향을 분석
    - 부문 정의는 연방 통계청이 국가 계정에 사용하는 경제 부문을 기반으로 함
    - \* ① 해수면 상승 및 폭풍 해일 ② 건물에 대한 영향 ③ 농업 및 임업 ④ 전원 공급 ⑤ 물 공급 ⑥ 관광 ⑦ 교통 ⑧ 보험업 ⑨ 건강 ⑩ 국제적 영향

##### 나) 정성적 분석

- (목적) 정성적 분석의 목적은 기후변화 영향을 정량화하기 위한 틀을 제공하는 것이며, 해당 효과를 정량화할 수 없더라도 상호 의존성의 다양성과 복잡성을 보여줄 수 있음
  - 기후변화가 공공 예산을 변화시키는 인과 관계를 분석하며, 경제 및 생활 관련 분야에 미치는 영향을 사례 연구의 형태로 검토한 후 집계함으로써 공공 예산에 관련된 모든 영역을 포괄

---

41) OECD, *Climate Change and Long-term Fiscal Sustainability*, 2021, pp. 28~30까지의 내용을 기초로 Infrac/Ecologic(2009)의 내용을 보충하여 번역한 것임

42) 독일 Ecologic Institute, <https://www.ecologic.eu/11266>, 검색일자: 2021. 11. 23.

□ (분석) 기후변화가 지출과 수입 측면에 미치는 영향은 다음과 같음

- (지출) 공공 부문에서는 적응 조치 및 기반시설의 재건 분야에 대한 지출이 발생할 것이며, 개인이 극심한 기후변화로 인해 보험적용이 되지 않는 피해를 입으면 정부보조금이 강화될 수 있음
  - 이렇게 증가된 지출은 다른 정부 지출(예: 연구 및 교육)을 대체하거나 더 높은 세금 또는 부채를 통한 자금 조달을 야기
  - 일부 분야에서는 경미한 긍정적 효과 또한 발생할 수 있음
- (수입) 기후변화가 많은 분야에서 생산성과 GDP에 영향을 미쳐 여러 경로(예: 소득세, 기업에 대한 직접세, 간접세, 사회보장기여금)를 통해 법정 사회보험의 세입 및 기여금이 변동될 수 있음

다) 정량적 분석

□ (절차) 기후변화가 공공 예산에 미치는 영향을 정량화하는 데는 2단계로 진행

- ① 특정 부문 또는 영향 경로와 관련된 기후변화의 경제적 영향에 대한 기존 연구<sup>43)</sup>를 분석하며, 극단적인 사건을 평가할 때는 과거 사건의 보험 피해에 관한 데이터를 포함하는 보험회사의 정보를 사용
- ② 필요한 경우 결과를 독일의 경우로 바꾸고 취약성 가정을 사용하여 데이터를 확대 또는 축소하여 검토하며 국제 영향 경로(무역 흐름)의 효과를 분석

□ (주의) 기후변화가 공공재정에 미치는 두 가지 영향은 지출 부담 변경에 의한 직접적인 효과와 GDP 변화에 따른 간접적 효과로 구분해야 함

- (직접효과) 홍수 및 폭풍 등 극단적인 사건이 발생할 미래 확률에 대한 가정을 사용하여 2050년과 2100년의 피해 비용을 추정
- (간접효과) 자본 및 노동생산성 관련 가정을 거쳐 미래 성장(GDP 증가)에 대한 부정적인 영향과 긍정적인 영향을 종합하고, 정부의 평균 수익 탄력성에 대한 가정을 통해 공공 수익에 대한 장기적 영향에 대한 설명을 생성

43) 스위스의 기후변화 영향 경로에 관한 연구 Ecoplan(2007): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft - nationale Einflüsse, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt und des Bundesamtes für Energie, Ittigen., 또는 독일 기후변화와 의료비 증가에 관한 연구 WWF(2007): Kosten des Klimawandels 등

라) 분석 결과

- (개요) 기후변화가 다양한 경로를 통해 공공 지출과 수입에 영향을 미치며, 일부는 정량화될 수 있으나 일반적으로 정량화하기 어려운 측면이 있으므로, <표 II-2-1>을 통해 정량적 효과(기후변화의 예측 비용 및 이점)와 정성적 효과(행동 방식)에 대한 개요를 제공
  - 정성적 효과 화살표는 추가 효과에 의해 예상 피해가 증가하거나 악화되는 정도를 나타냄

<표 II-2-1> 기후변화가 공공 부문(public sector)에 미치는 영향 - 지출 측면에 대한 직접적 영향

| 구분         | 공공 부문에 대한 지출 증가  |                | 질적 고려사항에 대한 추가 효과 |
|------------|------------------|----------------|-------------------|
|            | 2050             | 2100           |                   |
| 해수면 상승     | 해안 보호: 2,500만€/a | 해안 보호: 1억€/a   | ↑                 |
| 건강(Health) | 2억 5천만€/a        | 4억 9천만€/a      | ↗                 |
| 관광         | 직접적인 영향 없음       |                |                   |
| 에너지        | 직접적인 영향 없음       |                |                   |
| 물 관리       | 10억€/a           | 10억€/a         | ↗                 |
| 운송         | 0.45억€/a         | 11억유로          | ↗                 |
| 건물과 건축     | 홍수와 폭풍: 9억€/a    | 홍수와 폭풍: 20억€/a | ↑                 |
| 보험         | 정량화할 수 없음        | 정량화할 수 없음      | ↑                 |
| 국제 채널      | 정량화할 수 없음        | 정량화할 수 없음      | ↑                 |

출처: Infrac/Ecologic, "Klimawandel: Welche Belastungen entstehen für die Tragfähigkeit der Öffentlichen Finanzen?," 2009, p. 106.

- (설명) 추가 적응 조치(예: 공간 계획, 기반 시설 이전, 배수 등)에 따른 추정치가 없고, 해수면 상승과 이에 따른 행동변화(예: 거주자들이 이전하는 경우)가 지출에서 고려되지 않았기 때문에 결과 값은 전반적으로 하한 값을 나타냄
  - 해수면 상승에 따른 지출과 수익 모두에 관한 양적 효과는 질적 측면에 의해 추가적으로 강화될 수 있음

<표 II-2-2> 기후변화가 공공 부문에 미치는 영향 - GDP 변화를 통한 소득 측면에의 간접적 영향

| 사례 연구       | GDP에 미치는 영향(+2°C로 추정)  |                       | 질적 고려사항에 대한 추가 효과 |
|-------------|------------------------|-----------------------|-------------------|
|             | 2050                   | 2100                  |                   |
| 해수면 상승      | 폭풍 해일: -6억€/a          | 폭풍 해일: -17억€/a        | ↑                 |
| 건강 (Health) | 업무 성과 감소: GDP의 -0.07 % | 업무 성과 감소: GDP의 -0.3 % | ↗                 |
| 관광          | 수요 증가 +41억€/a          | 수요 증가 +199억€/a        | ↘                 |

〈표 II-2-2〉의 계속

| 사례 연구  | GDP에 미치는 영향(+2°C로 추정)   |                        | 질적 고려사항에 대한 추가 효과 |
|--------|-------------------------|------------------------|-------------------|
|        | 2050                    | 2100                   |                   |
| 농림업    | 정량화할 수 없음               |                        | ↘                 |
| 에너지    | 생산 손실: -50억€/a          | 생산 손실: -50억€/a         | ↗                 |
| 물 관리   | 지하수의 홍수 염분<br>-30억€/년   | 지하수의 홍수 염분<br>-0.3억€/a | ↗                 |
| 운송     | 열로 인한 지연:<br>1,600 만€/a | 열로 인한 지연:<br>-44백만€/a  | ↗                 |
| 건물과 건축 | 홍수와 폭풍: -0.3억€/a        | 홍수와 폭풍: -6억€/a         | ↗                 |
| 국제 채널  | 수출 감소: GDP의 -0.7%       | 수출 감소: GDP의 -4.5%      | ↑                 |

출처: Infrac/Ecologic, "Klimawandel: Welche Belastungen entstehen für die Tragfähigkeit der Öffentlichen Finanzen?," 2009, p. 107.

- (분석의 문제) 2050년과 2100년 기후변화가 공공재정에 미치는 영향에 대한 평가는 많은 매개 변수가 미래 분석을 필요로 하고, 부정확하게 결정되므로 매우 불확실함
- (시뮬레이션 적용) 해당 연구에서는 개별 기후의 영향 경로와 함께 고려되는 모든 피해 영역에 대한 공공재정 관련 기후변화 예상효과의 확률 분포가 어떻게 변할지에 대해 시뮬레이션을 수행
  - 몬테카를로 시뮬레이션(Monte-Carlo simulation)은 해결할 수 없거나 분석하기 어려운 복잡한 계산의 불확실성을 고려하는 데 적합한 방법
  - 이를 통해 개별 불확실성은 독일의 공공재정에 대한 기후변화의 전반적인 영향에 대한 전반적인 확률로 압축

〈표 II-2-3〉 몬테카를로 시뮬레이션 절차

|   |
|---|
| (1) 불확실성의 영향을 받는 계산의 각 매개 변수에 대해, 불확실성의 범위와 범위의 확률 분포가 결정됨<br>(2) 시뮬레이션은 각각의 확률 분포에 따라 이 범위 내의 각 매개 변수에 대해 난수를 생성<br>(3) 질문에 사용된 알고리즘에 따라 결과치가 결합되면 전체 계산에 대한 불확실성이 결정<br>(4) 안정된 결과를 얻을 때까지 위 과정을 반복 |
|---|

출처: Infrac/Ecologic, "Klimawandel: Welche Belastungen entstehen für die Tragfähigkeit der Öffentlichen Finanzen?," 2009, p. 109.의 내용을 표로 재구성

- (시뮬레이션 결과) 기후변화가 영향을 미치는 모든 경로를 정량화할 수 없으므로 본 분석의 정보가 영향의 최대 추정치로 해석될 수 없음

- 결과 값은 기후변화가 독일의 공공 예산 재정에 가져올 도전의 규모를 나타내며, 인구 통계학적 변화 등 다른 문제와 비교하여 공공재정에 대한 기후변화의 중요성을 고려하게 함
- (2050년) 시뮬레이션의 결과로 2050년에 기온이 +1~+1.6℃ 사이에서 상승한다고 가정하면 연간 공공 지출(직접 비용)의 평균 증가액은 13억~27억유로 사이로 추정
  - 이는 2050년 예상 공공 지출의 0.1~0.2%에 해당하며 지출 측면에서 GDP의 0.03~0.07%에 해당
  - 가장 높은 비용은 폭풍 해일의 증가와 홍수로 인한 교통 기반 시설의 손상으로 인해 발생
- 기후변화가 독일 경제에 미치는 간접적 영향은 양면적인데, 이는 기후 관련 내륙 관광의 증가 예측 때문
  - 다양하게 가정된 확률에 따라 2050년에 39억유로의 추가 정부 소득 또는 최대 92억 유로의 소득 감소가 있을 것
  - 이는 공공 부문 예산과 관련하여 최대 0.2%의 긍정적 효과 또는 최대 0.6%의 추가 부담에 해당

〈표 II-2-4〉 2050년 기후변화가 공공 부문에 미치는 영향

| 공공 부문의 지출 또는 소득의 변화(백만유로/연, 2007년 가격 기준 실제 가치) |         |         |
|--|---------|---------|
|  | 10% 백분위 | 90% 백분위 |
| 직접 효과: 과다 지출                                   | 1,260   | 2,680   |
| 간접 효과: 소득 손실                                   | -3,910  | 9,230   |
| 전반적인 효과  | -1,920  | 11,460  |
| 2050년 정부 수입과 지출 대비 비율                          |         |         |
|  | 10% 백분위 | 90% 백분위 |
| 직접 효과: 과다 지출                                   | 0.1%    | 0.2%    |
| 간접 효과: 소득 손실                                   | -0.2%   | 0.6%    |
| 전반적인 효과  | -0.1%   | 0.7%    |
| GDP 대비 공공 부문에 미치는 영향                           |         |         |
|  | 10% 백분위 | 90% 백분위 |
| 직접 효과: 과다 지출                                   | 0.03%   | 0.07%   |
| 간접 효과: 소득 손실                                   | -0.11%  | 0.25%   |
| 전반적인 효과  | -0.05%  | 0.31%   |

주: 음수(-) 부호 값은 긍정적인 효과를, 부호가 없는 값은 부정적인 영향을 나타냄

출처: Infrac/Ecologic, "Klimawandel: Welche Belastungen entstehen für die Tragfähigkeit der Öffentlichen Finanzen?," 2009, p. 113.

- 2050년 기후변화가 공공재정에 미치는 전반적인 영향은 대략적으로 20억유로의 연간 순감소로 나타나거나, 최대 120억유로 또는 국가 예산(national budget)의 0.7% 연간 추가 부담액으로 발생
  - 이 수치는 GDP 대비 0.05%의 공공 예산의 순부담 완화(a net relief) 또는 0.3% 미만의 순부담(a net burden)에 해당
  - 기후변화가 경제와 재정에 미치는 부정적인 영향은 2050년에서 2100년 사이에 크게 증가할 것
- (2100년) 2100년까지 +1.5℃에서 +3.5℃ 사이의 기온 상승을 가정하여 추정하면, 기후변화의 직접적 영향에 의한 연간 공공 지출은 34억유로에서 159억유로로 평균 증가
  - 이는 2100년 공공 예산의 0.2~0.8%에 달하며 GDP 대비 대략 0.1~0.3%에 해당
  - 간접적 영향에 따른 공공 부문 수익 손실은 2100년 약 230억유로에서 약 105억유로에 이르며, 이는 2100년 공공 부문의 예상 예산의 1.1~5%에 해당
  - 간접적 영향에 따른 공공 부문 소득 손실은 GDP의 0.5~2.2%에 해당
  - 기후변화로 인한 직접 및 간접적 영향에 따른 합계를 보면 2100년 270억유로에서 1,200억유로 사이의 재정적 부담을 촉발할 수 있을 것으로 예상
  - 즉 국가 예산의 1.3%에서 5.7%가 기후변화 위험에 처해 있으며, 이는 GDP의 0.6~2.5%의 공공 예산에 대한 순부담에 해당
  - 기후변화가 경제와 재정에 미치는 부정적인 영향은 2050년보다 2100년에 훨씬 더 높을 수 있으며, 지출 증가 또는 소득 감소로 인해 공공 예산의 약 6%(GDP의 2.5% 미만에 해당)가 위협을 받을 수 있는 것으로 나타남

〈표 II-2-5〉 2100년 기후변화가 공공 부문에 미치는 영향

| 공공 부문의 지출 또는 소득의 변화(백만유로/연, 2007년 가격 기준 실제 가치) |         |         |
|--|---------|---------|
|  | 10% 백분위 | 90% 백분위 |
| 직접 효과: 과다 지출                                   | 3,430   | 15,890  |
| 간접 효과: 소득 손실                                   | 22,900  | 104,640 |
| 전반적인 효과  | 26,650  | 120,050 |
| 상대적 수치(2050년 정부 수입 및 지출 대비)                    |         |         |
|  | 10% 백분위 | 90% 백분위 |
| 직접 효과: 과다 지출                                   | 0.2%    | 0.8%    |
| 간접 효과: 소득 손실                                   | 1.1%    | 5.0%    |
| 전반적인 효과  | 1.3%    | 5.7%    |

〈표 II-2-5〉의 계속

| GDP 대비 공공 부문에 미치는 영향 |         |         |
|----------------------|---------|---------|
|                      | 10% 백분위 | 90% 백분위 |
| 직접 효과: 과다 지출         | 0.07%   | 0.3%    |
| 간접 효과: 소득 손실         | 0.5%    | 2.2%    |
| 전반적인 효과              | 0.6%    | 2.5%    |

출처: Infrac/Ecologic, "Klimawandel: Welche Belastungen entstehen für die Tragfähigkeit der Öffentlichen Finanzen?," 2009, p. 116.

마) 결론 및 결과의 분류

- 기후변화는 독일의 공공재정에 중대한 영향을 미치며 시간이 흐를수록 공공재정의 지속가능성에 상당한 위험을 초래할 것
  - 기후변화가 긍정적인 영향을 미칠 가능성은 전반적으로 낮으며, 2050년까지는 약하게 나타날 것으로 예상
  - 2050년 기후변화로 인한 부담(또는 완화)은 예산의 +0.1%에서 -0.7%가 될 수 있는 반면, 2100년에는 부담이 확연히 증가할 것으로 예상됨에 따라 지출 증가와 세수 감소 발생 가능
  - 기후변화가 없는 참조 시나리오 대비 2100년 공공 예산의 1.3%에서 5.7%(평균 3.3%) 증가하며, 이는 2050년 GDP의 -0.05~0.3%, 2100년 GDP의 0.6~2.5% 범위에 해당
  
- 기후변화는 인구통계학적 변화로 인한 부담에 필적하여 공공재정의 지속가능성에 위험을 초래할 가능성이 매우 높음
  - 다만 인구통계학적 변화가 주로 2050년까지 예산에 부담을 주지만, 기후변화는 그 이후에야 더 큰 영향을 미칠 것
  
- 부문별 결과를 살펴보면 일부 주요 영역이 전체 결과에 큰 영향을 미치는 것으로 나타남
  - 기후변화로 인한 가장 큰 변화는 국제 무역 흐름에 미치는 영향이며, 이는 독일 수출 상품에 대한 세계의 수요 감소로 예측됨
  - 기후변화로 인해 두 번째로 큰 영향을 받는 분야는 관광인데, 긍정적인 영향이 커서 부정적인 영향을 부분적으로 상쇄할 것

- 농업에서는 긍정적 효과가 기대되나, 세계 시장가격의 동향에 대한 지역적 차이와 불확실성이 너무 커서 본 연구에서는 정량화하지 않음
- 다른 모든 부문에서는 추가 비용과 GDP 손실이 발생할 것으로 예상
- 추가되는 공공 지출의 직접 비용은 주로 열, 홍수 및 폭풍우로 인한 교통 기반구조 및 공공 재산에 대한 손실로 인할 것으로 예상

#### 5) 오스트리아<sup>44)</sup>

- (요약) Bachner and Bednar-Friedl(2019)에서 기후변화가 오스트리아의 공공 지출과 수입에 어떤 영향을 미치는지 2050년까지 일반균형모형을 사용하여 분석한 결과, 전반적으로 기후변화는 공공재정에 부정적인 영향을 미치며 기후와 관련 없는 정부 소비를 감소시키는 것으로 나타남

#### 가) 도입

- Bachner and Bednar-Friedl(2019)의 연구 결과, 기후변화는 가계에 대한 재해구호 지급 또는 기반시설의 재건에 대한 공공 지출을 증가시켜 공공 예산의 불균형을 초래할 수 있음
  - 또한 기후변화로 인해 관광·농업 등 부문별 산출량이 감소함에 따라 과세 기반이 줄어들어 세수를 낮추고 지출과 세입 사이의 불균형을 악화시킴
  - 기후변화가 공공 예산에 미치는 영향에 대한 포괄적인 평가를 위해서는 지출 증가의 직접적인 영향뿐 아니라 과세표준 감소의 간접적 영향도 조사해야 함
  - 더 높은 기후 유발 지출과 세수 감소의 상호 작용으로 인해 보건·교육과 같은 다른 공공 서비스 제공에 사용할 수 있는 예산이 줄어들 수 있음
- 해당 연구에서는 기후변화가 공공 예산에 미치는 직간접적 영향의 조합을 분석하고 공공 서비스 제공에 대한 부정적인 영향과 거시 경제적 결과의 균형을 맞추기 위한 다양한 재정 수단을 탐색하였음

44) OECD, *Climate Change and Long-term Fiscal Sustainability*, 2021, pp. 31~33까지의 내용을 기초로 Bachner and Bednar-Friedl(2019)의 내용을 보충하여 번역한 것임

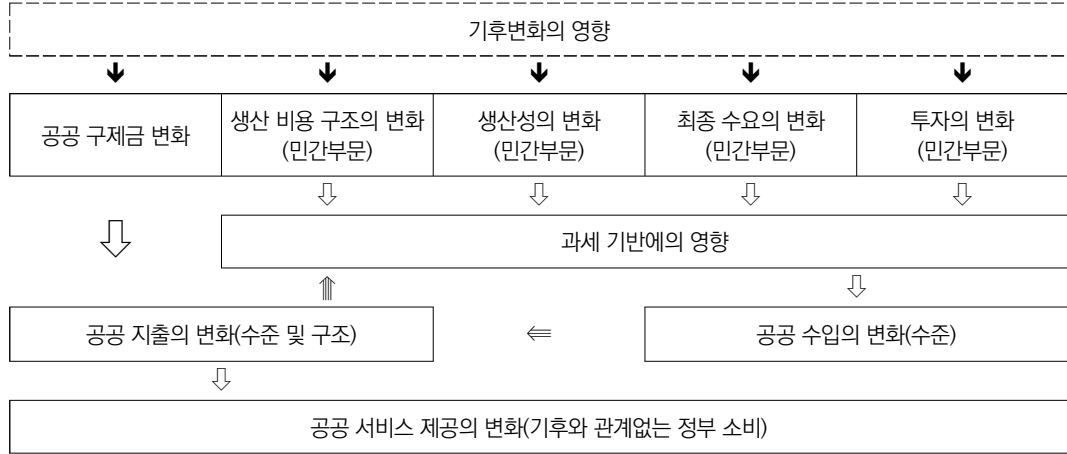
## 나) 방법론

- (모형) 비교 계산 가능한 일반균형모델(Computable general equilibrium model, CGE)을 사용하여 40개 경제 부문을 분석
- (시나리오 및 기간) 기준선 시나리오, 기후변화 시나리오, 균형 조정 시나리오로 구분하여 기준연도인 2008년에서 2050년까지의 추이를 비교 및 분석
  - 분석 기간을 2050년으로 설정한 것은 인구, 토지 이용 등 사회경제적 발전과 장기적인 정부 예산 계획에 대한 세부 예측이 2030년까지 가능하며, 2050년까지도 대략적인 추정이 가능하기 때문
  - 기후변화 시나리오는 1981~2010년 대비 연평균 기온은 2.02℃ 상승하고, 여름 평균 강수량은 여름에 9.2% 감소하며, 겨울에 6.5% 증가함을 가정
  - 균형 조정 시나리오는 기후변화 시나리오에 기초하지만 공공 서비스의 제공이 감소하지 않아야 한다는 추가 제약을 포함

## 다) 기후변화의 영향과 공공예산에 미치는 영향

- 10개 분야\*를 대상으로 물리적 기후 매개변수의 변화가 경제에 미치는 영향을 단계적으로 설명하는 영향 경로를 별도로 분석하여 정량화한 다음, 다섯 가지 경제 메커니즘을 통해 CGE 모델에 구현
  - \* 농업, 임업, 상수도 및 위생, 건물, 전기, 운송, 제조 및 무역, 도시 및 도시 녹색, 재난 관리, 관광
  - 다섯 가지 경제 메커니즘이란 생산 비용 구조의 변화(예: 농업의 다른 생산 과정), 생산성 변화(예: 제조 및 무역에서 노동력의 생산성 저하), 최종 수요의 변화(예: 겨울 관광에서 여름 관광으로의 이동), 투자의 변화(예: 전력의 냉각 피크를 충당하기 위한 추가 가스 터빈), 공공 지출의 변화(예: 재난 관리에서 정부가 집행한 더 많은 구제금) 등에 해당
- <표 II-2-6>은 다섯 가지 경제 메커니즘이 공공 예산에 영향을 미치는 경로(방법)를 보여줌

〈표 II-2-6〉 기후변화가 공공 서비스 제공에 미치는 영향



주: 검은색 화살표는 물리적 기후변화 영향을, 흰색 화살표는 직접적인 영향을, 빗금 화살표는 간접적인 영향을 나타냄  
출처: Bachner and Bednar-Friedl, "The Effects of Climate Change Impacts on Public Budgets and Implications of Fiscal Counterbalancing Instruments," 2019, p. 126.

라) 균형조정 시나리오

- 균형 조정 분석에서는 기후변화가 없는 기준선 시나리오에서와 동일한 수준의 공공 서비스 제공에 대한 지출(CGЕ 모델에서의 정부 소비)을 유지하는 것을 목표로 함
  - 기후변화로 인해 보건 서비스, 교육 또는 공공 인프라 운영 등의 공공 서비스가 줄어드는 것은 바람직하지 않기 때문
- 이러한 균형 조정은 세입 증대, 지출 삭감 또는 해외 대출에 의해 이루어질 수 있으며 본 연구에서는 CGE 모델에 균형을 맞추기 위해 다섯 가지 다른 경우를 구현
  - (1) 모든 부문에 대해 부과되는 균일한 생산세 시나리오
  - (2) 근로소득세 인상 시나리오
  - (3) 자본세 인상 시나리오
  - (4) 가계에 대한 이전(transfer) 삭감 시나리오
  - (5) 해외 대출(foreign lending) 시나리오

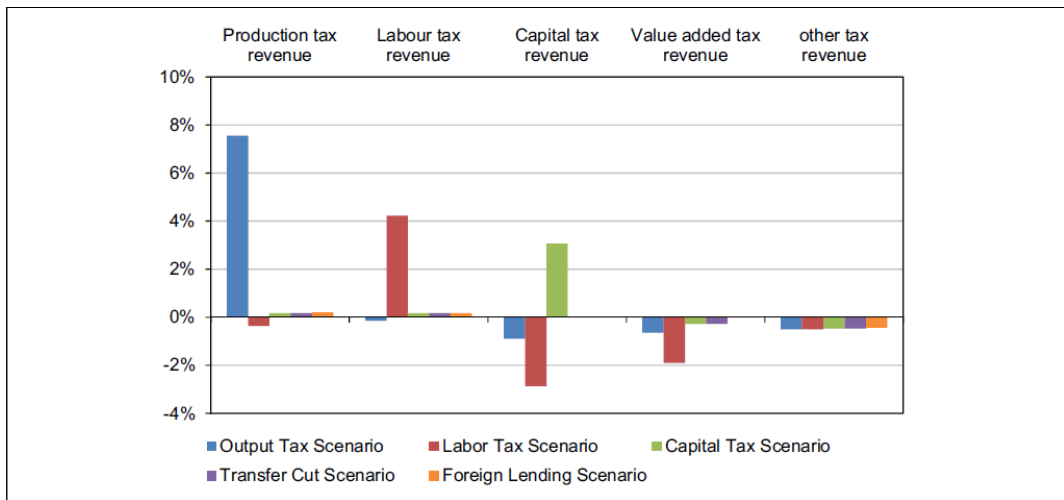
마) 분석 결과

- 균형 조정이 없는 경우 기후변화가 공공 예산에 미치는 영향은 다음과 같음

- 총수입과 총지출이 기준선 전망 대비 각각 0.3%씩 감소하는 것으로 나타났으며, 세입 측면에서 보면 노동세수가 0.4% 감소하고, 생산세수는 0.8% 감소하는 것으로 전망
  - 기후에 의한 재해 구제 관련 지출(+184%)과 총생산 감소에 따른 실업급여 지출(+10%)이 증가하는 것으로 전망
  - 증가한 지출로 인해 공공 서비스 제공이 감소할 수 있으며, 기후와 관련 없는 정부소비는 상대적으로 노동집약적이어서 소비 수준이 낮아지면 노동수요가 감소해 노동세수 또한 줄어드는 결과를 초래
  - 정부 예산에 대한 직·간접적 효과와 함께 세입 및 지출이 균형을 이루는 것을 고려하면 기후와 관련 없는 정부 소비는 1.4% 감소하게 됨
  - 정부 지출에 대한 직접 효과(즉 연간 추가 공공구호 지급액 5억 7,400만유로)와 변경된 과세 기준의 전반적인 효과(즉 기후변화 영향 5억 8,400만유로에 따른 세수 변동)를 비교할 때 수익 손실은 같은 크기이며, 이는 간접 효과가 나타난다는 것을 의미
- 균형 조정이 없는 경우 부문별 결과는 다음과 같음
- 농업 및 냉난방에서 긍정적인 효과가 발생하지만, 임업(수확량 감소 및 해충 증가), 전기(수력 발전의 잠재력 감소), 관광(겨울 관광 수요 감소), 재해 관리(재해 보상에 대한 높은 지출) 등 다른 모든 분야에는 부정적인 영향
    - 임업, 전기, 관광, 재해 관리 분야에서 세수 수입이 크게 감소하며, 지출 또한 비슷한 패턴으로 나타나 부정적인 영향은 임업, 전기, 관광 분야의 영향에 의해 좌우될 전망
- 시나리오별 균형 조정의 효과는 다음과 같음
- (생산세) 정부 소비의 균형을 맞추기 위해 내생적으로 결정된 추가 생산세는 0.2% 높은 것으로 나타났으며, 경제활동에 더 높은 비율로 세금이 부과되기 때문에 생산과 고용은 더 낮아질 전망
    - GDP와 복지 분야에서 0.1%p씩 감소
  - (근로소득세) 균형 조정을 하지 않았을 때와 비교할 때 노동에 대한 추가 세수는 4.7% 증가
    - 높은 근로소득세는 더 적은 노동력을 고용하도록 장려함에 따라 실업급여를 증가시키고, 이는 결국 추가적인 혜택과 정부소비의 균형을 맞추기 위해 훨씬 더 높은 세금이 요구되는 결과를 초래

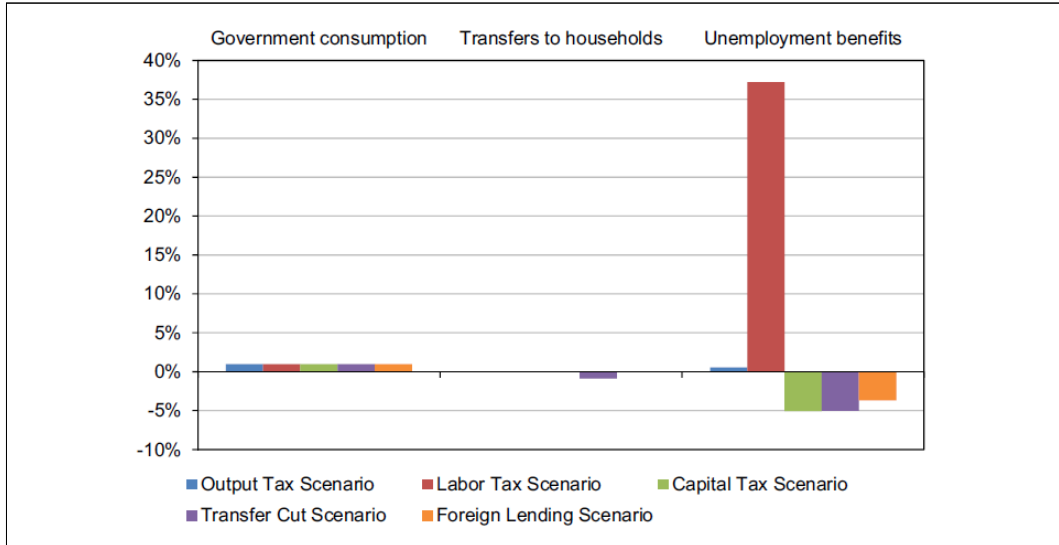
- (자본세) 시나리오 분석 결과 필요한 자본세율 인상은 0.5%로 나타남
  - 생산 부문이 자본 투입에서 노동 투입 증가로 전환되어 노동 수요가 증가하기 때문에 생산 및 노동 세수에 미치는 영향은 약간 긍정적으로 보임
  - 노동시장을 통해 기후와 관련 없는 정부소비 증가의 고무 효과가 나타나 실업률 감소(-0.2%p)와 실업급여 지급액 감소(-5%p)로 이어지며, GDP와 복지에는 긍정적인 영향을 미칠 것으로 전망
- (가계 이전 삭감) 균형 조정을 위해 가구로의 이전은 0.8% 줄어들 것
  - 생산세와 근로소득세(정부소비 증가의 고무 효과)로 인한 세수는 조금 더 높지만, 가계의 소비가 적어 부가가치세 수입은 더 낮을 것
  - 지출 측면에서는 기후와 관련 없는 정부 소비가 증가하고(즉 균형 조정), 가계로의 이전이 삭감되는 것으로 분석
  - 실업률도 낮아져 실업급여 지급액이 0.2%p 낮아지고 GDP와 복지는 0.1%p 높아지는 것으로 나타남
- (해외 대출) 균형 조정을 위해 추가로 필요한 해외 대출은 7억 3,500만유로(상대적으로 9% 증가)이며, 이는 연간 적자가 이 양만큼 증가한다는 것을 의미
  - 연간 부채 대비 GDP 비율은 0.1%p 증가할 것

[그림 II-2-13] 2050년 5가지 균형 조정 시나리오별 세수세의 영향



주: 효과는 기준선 시나리오 대비 균형 조정 없는 시나리오와 기준선 시나리오 대비 균형 조정 시나리오 사이의 %p 차이  
 출처: Bachner and Bednar-Friedl, "The Effects of Climate Change Impacts on Public Budgets and Implications of Fiscal Counterbalancing Instruments," 2019, p. 129.

[그림 II-2-14] 2050년 5가지 균형 조정 시나리오별 지출에의 영향



주: 효과는 기준선 시나리오 대비 균형 조정 없는 시나리오와 기준선 시나리오 대비 균형 조정 시나리오 사이의 %p 차이

출처: Bachner and Bednar-Friedl, "The Effects of Climate Change Impacts on Public Budgets and Implications of Fiscal Counterbalancing Instruments," 2019, p. 130.

### 바) 결론

- Bachner and Bednar-Friedl(2019) 연구에서는 기후변화 영향에 의해 공공 수입과 지출이 어떻게 영향을 받는지, 그리고 재정 균형 조정의 거시 경제적 효과는 무엇인지 알아보기 위해 2050년까지 2°C 기온 상승 시나리오에 따라 10개 분야에 대해 연구하였음
- 기후변화 영향은 GDP와 복지에 긍정적·부정적 결과를 모두 초래할 수 있지만, 2050년까지 오스트리아에서 GDP와 복지에 대한 전반적인 영향은 분명히 부정적으로 나타남
  - 조세 기반이 축소되었기 때문에 공공 세입과 지출에 미치는 영향은 부정적
  - 기후에 의한 구호지급에 대한 정부 지출이 증가하기 때문에, 다른 공공 서비스의 제공 범위는 훨씬 더 감소하는 것으로 나타남
  - 자본세의 상승, 가계 이전 또는 외국 대출의 감소는 기후변화로 인한 GDP와 복지 손실을 감소시키는 반면, 근로소득세나 생산세의 상승은 GDP와 복지 손실의 증가로 이어짐

### Ⅲ. 기후변화 대응의 장기재정전망 반영 사례

- 미국 OMB와 CBO는 각각 기후변화가 미국 경제 및 재정에 미칠 영향에 대해 조사를 실시하였음
  - 2017년 트럼프 대통령이 취임한 후 파리협약 탈퇴를 공식화함에 따라 기후변화에 의한 경제적·재정적 영향에 대해 분석한 보고서는 찾기 어려웠음
  
- OMB의 경우 2016년 공식보고서<sup>45)</sup>를 통해 기후변화의 재정적 영향을 계량화하여 소개했을 뿐만 아니라, 2021년 5월 바이든 대통령이 행정명령을 통해 장기재정전망 시 각 부처와 협의하여 기후 관련 위험을 정량화하는 방법을 개발 및 대통령 예산안에서의 거시경제 가정과 장기재정전망에 반영토록 함
  - 다만 행정명령 시기\*와 FY2022 바이든 정부 예산안 전망 발표시기\*\*가 맞물림에 따라 향후 기후변화의 장기적인 영향 평가를 위한 추가적인 분석 결과를 발표할 예정으로, 이번 FY2022 예산안에서는 해당 내용이 미포함
    - \* 2021. 5. 20. Executive Order on Climate-Related Financial Risk, “Sec 6. Long-term Budget Outlook”
    - \*\* 2021. 5. 31. 발표
  
- CBO의 경우 최근 들어 미 의회에서 기후변화와 관련된 리스크 분석 요구가 지속됨<sup>46)</sup>에 따라 2020년 9월 Long-term Budget Outlook 보고서에서 기후변화에 의한 경제적 효과를 포함시키고, 그 방법론과 기술적 세부사항에 대해서도 단계적으로 공개하기 시작

45) OMB, *Climate change: The fiscal risks facing the federal government—Apreliminary assessment*, 2016.

46) CBO, *CBO’s projection of the Effect of Climate Change on U.S. Economic output*, 2020. 9., p. 1.

## 1. 미국 OMB

- 바이든 행정부는 취임 후 기후변화 대응을 필두로 재무부, 증권거래위원회(SEC), 연방준비제도(Fed) 등 규제 당국 차원에서 잇따라 전담조직을 신설하고 관련 정책들을 마련 중이며 아울러 행정명령(Executive Order)과 교서(Memorandum)의 형태로 관련 정책을 공식화하여 추진하고 있음
  
- 2021년 5월 20일 발표된 기후 관련 금융위험(Climate Related Financial Risk) 행정명령<sup>47)</sup>은 기후변화가 미국 내 공공 및 민간 금융자산에 미칠 수 있는 위험을 억제할 수 있는 범정부 차원에서의 전략을 수립하라는 내용을 담고 있음
  - 행정명령에 따르면 국립기후보좌관과 경제자문위원회는 120일 이내에 재정안정성에 대한 기후변화 위험에 대한 종합적인 범정부 차원에서의 전략을 개발해야 함
    - 재무부 장관은 금융안정감시위원회(FSOC)의 의장으로서 OMB와 협력하여 기후변화 위험이 정부프로그램, 자산, 부채 등에 미칠 위험을 파악하고 그 내용 또한 공개
    - 노동부 장관은 기후변화 위험으로부터 미국 노동자와 가족의 저축 및 연금을 보호하는 방법을 개발
    - OMB는 관련 부처와 협력하여 *Long-term Budget Outlook* 보고서에서 기후위험을 정량화하는 방법을 개발하고 매년, 예산안 보고서에 연방정부의 기후위험 평가 내용을 포함해야 함
  - 이 외 행정명령에 따라 기후변화에 대응하기 위한 은행과 주택 및 농업분야에서도 새로운 규제가 따를 것으로 예상

---

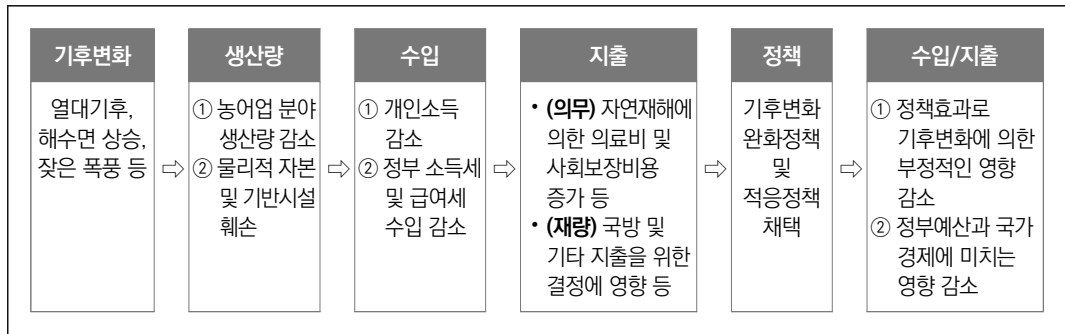
47) 미국 백악관, 행정명령 “Executive Order on Climate-Related Financial Risk”, 2021. 5. 20. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2021/05/20/executive-order-on-climate-related-financial-risk/>, 검색일자: 2021. 9. 30.

## 2. 미국 CBO

### 가. CBO, *Budgetary effects of climate change and of potential legislative responses to it*, 2021<sup>48)</sup>

- CBO(2021)에서는 기후변화가 연방예산에 영향을 미치는 주요 경로를 파악하며, 기후변화 완화(mitigation)정책과 적응(adaption)정책이 예산에 미치는 영향에 대해 개략적으로 설명

[그림 Ⅲ-2-1] 기후변화가 연방예산에 미치는 주요 경로



출처: CBO, *Budgetary effects of climate change and potential legislation responses to it*, 2021. 4., p. 4.

- (생산량) 기후변화는 농업부문 평균 생산성을 낮추고, 관련 기반시설 등을 훼손시킴으로써 생산량을 감소시킴
- (수입) 생산량의 감소는 소득감소와 소득세 및 급여세 수입의 감소로 이어짐
  - 연방정부 차원에서 선언한 재해의 경우 개인의 보험으로는 보상되지 않으므로 연방정부는 개별공제를 통해 개인의 부담을 낮춰 주는데, 이는 역으로 소득세 수입 감소로 이어짐
  - 이 외 허리케인과 열대성 폭풍은 멕시코만 석유와 가스 생산에 타격을 주어 연방정부 수입 감소

48) CBO, *Budgetary effects of climate change and of potential legislative responses to it*, 2021의 전체 내용을 번역 및 요약

- (의무지출) 기후변화로 인한 질병발생과 사망률은 4대 의무지출 프로그램인 사회보장, 메디케어, 메디케이드, SSI 연금보조(Supplemental Security Income)에 복잡하게 영향을 미칠 것
  - 의료보험 가입자들이 기후변화와 관련된 다양한 질병(일사병, 대기오염으로 인한 호흡기 질환, 오염된 물 소비 등)에 더 많이 노출될수록 의료비는 증가
    - 이 외 기후변화로 인한 건강상 조기퇴직, 질병 유병률, 장애율 증가는 사회보장 및 SSI 연금보조 비용을 증가시킬 것
    - 결과적으로 개인소득 감소, 연방정부 수입 감소로 이어져 정부는 과거보다 더 좋은 사회보장 혜택을 보장해 주지 못할 것
  - 이 외 기후변화와 관련된 의무지출인 농어업분야 지원 프로그램, 국가수해보험프로그램(the National Flood Insurance Program) 비용 증가 예상
    - 홍수, 산불로 인한 주거용 부동산의 손실을 보증 및 복구하기 위한 주택담보대출 보증비용 및 노동시장 이탈로 인한 실업급여 증가 등
    - 허리케인과 열대성 폭풍은 멕시코만의 석유와 가스 생산에 타격을 주어 연방정부 수입은 감소
  
- (재량지출) 재량지출은 의회에서 통과된 지출법에 의해 영향을 받음에 따라 연방정부 총당금 결정에 영향을 미칠 것이고, 또한 인플레이션의 영향을 받아 미국 내 상품과 서비스 조달 비용 증가로 인해 다양한 프로그램 지원이 어려울 수 있음
  - 홍수, 폭풍, 산불은 종종 홍수 대비를 위한 육군병력 투입(담, 제방, 방파제 및 습지 복구 등) 비용 및 미연방재난관리청(FEMA)의 보조금의 증가를 초래
    - CBO(2019)<sup>49)</sup>에 의하면 현재의 기후조건과 정책 유지하에서 연방정부는 허리케인과 홍수로 인한 경제적 피해를 회복하기 위해 매년 약 170억달러를 지출할 것이라 추정
  - 또한 여름철 냉방수요 증가와 겨울철 난방수요 증가는 연방시설 운영과 저소득층 가정 에너지 지원프로그램의 증가 초래
  
- (정책) 국회의원들은 기후변화를 완화하는 정책을 선택할 수 있고, 국가가 완화된 정책에 적응하도록 돕기 위한 정책을 채택할 수 있음

---

49) CBO, *Expected Costs From Hurricane Winds and Storm-related flooding*, 2019.

- 또한 새로운 정책은 의무지출과 재량지출을 늘리고, 수입에 영향을 미치거나 민간 부문이나 주·지방정부에 규제를 가할 수 있음
- (정책효과로 인한 수입과 지출) 기후변화 완화정책과 적응정책을 채택함으로써 시간이 지날수록 기후변화에 의한 부정적인 영향은 줄어들 것이고 정책의 범위와 규모 또한 작아질 것임
  - (수입) 잘 설계된 정책은 경제활동을 증가시켜 고용과 소득의 증가로 이어질 수 있고, 이는 의무프로그램의 비용을 줄이고 세수를 창출할 수 있음
    - CBO는 탄소배출량에 25달러의 세금을 부과할 경우 향후 10년간 1조달러의 수익을 올릴 수 있을 것으로 추정
  - (지출) 정책에 대한 지출은 투자로 간주될 수 있으며 현재 정부에서는 추가비용이 소요되겠지만 미래에는 절감될 것

#### 나. CBO, *CBO's Projection of the Effect of Climate Change on U.S. Economic Output, 2020*<sup>50)</sup>

##### 1) 연구배경

- CBO는 매년 장기전망에 영향을 미칠 수 있는 요인들에 대해 추정방법을 검토하고 업데이트하고 있으며, 2020년 9월 장기재정전망보고서<sup>51)</sup>부터 기후변화에 의한 경제적 영향을 반영
  - 2020년 9월 21일 발표된 기후변화에 따른 *The 2020 Long-term Budget Outlook*에 따르면 기후변화에 의해 2020년에서 2050년까지 미국의 실질 GDP 성장률을 감소시킬 것이라고 예측
    - *The 2020 Long-term Budget Outlook* 발간 전까지는 기후변화에 의해 영향을 받는 경제변수들의 변화를 그대로 진전(forward)시킴으로써 향후 GDP에 미치는 기후변화의 영향을 설명하는 예측법\*을 사용하였음

50) CBO, *CBO's Projection of the Effect of Climate Change on U.S. Economic Output, 2020*.의 전체 내용을 번역 및 요약

51) CBO, *The 2020 Long-term Budget Outlook, 2020. 9.*, p. 22.

\* CBO는 이미 과거부터 기후변화에 의한 경제적 영향에 의한 변화를 전망에 포함시키는 등 다양한 연구작업을 수행하였으나 그 과정과 결과를 별도로 보고하지 않았음<sup>52)</sup>

○ 그러나 최근 연구에 따르면 기후변화가 GDP 성장률에 미치는 영향은 시간이 지남에 따라 증가할 것이라는 것을 암시하고 있어, CBO의 과거 접근법은 미래의 영향을 과소 평가할 것이라는 판단하에 새로운 접근법을 개발

□ 이번 보고서에서는 CBO의 접근방식에 대한 개요만을 제공하고 기술적 세부사항이나 계량방법에 대해서는 단계적으로 공개

○ 2020년 9월 장기재정전망 보고서에서 사용했던 전망법과 다른 점은 실질 GDP 성장률이 날씨변화와 허리케인에 의해 영향을 받을 것으로 예측한 점임  
- 접근방식은 날씨와 생산량의 상관관계에 대한 추정 이후, CBO가 설정한 기후시나리오 분석을 실시

## 2) CBO 전망방법

□ 기후변화가 GDP에 미치는 영향을 추정하기 위해 투입되는 요인은 경제, 산업, 과학, 환경 등 광범위함에 따라 CBO 내에서 모든 요인을 파악하고 전망하기엔 한계가 있음

○ 이에 따라 CBO는 최근 연구에 기초한 하향식 접근법(top-down)과 상향식 접근법(bottom-up)을 모두 사용하여 전망모형을 구축  
- 상향식 접근법(bottom-up)으로 기후변화의 영향을 받는 조건들이 변화함에 따라 발생하는 경제적 결과와의 관계를 추정  
- 하향식 접근법(top-down)으로 과거 지역별 날씨 패턴과 경제활동 사이의 관계 추정

□ 기후변화에 의한 경제적 영향을 추정하기 위한 CBO의 접근방식은 다음과 같음

○ (1단계) 2050년까지 미국 기후조건 변화(기온, 강수량, 허리케인 강도와 빈도, 해수면 상승 등)와 관련된 예측값 획득  
○ (2단계) 주·지방정부 생산량과 날씨변화와의 상관관계를 분석한 4개의 선행연구<sup>53)</sup>를

---

52) CBO, *CBO's projection of the Effect of Climate Change on U.S. Economic Output*, 2020. 9., p. 1.

53) ① Matthew E. Kahn and others, "Long-term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis," Working Paper, No. 26167, 2019.

바탕으로 기상 패턴(Weather Patterns)의 변화가 미국 GDP 성장률에 미치는 영향을 분석<sup>54)</sup>

- (3단계) 허리케인에 의한 피해(damage)가 미국 GDP 성장률에 미치는 영향<sup>55)</sup>
  - CBO(2016)<sup>56)</sup>의 상향식 접근법을 사용하여 향후 1년 안에 허리케인에 의한 GDP 변화를 추적하는 구조적 거시경제모델(a structural macroeconomic model)로 추정되는 피해액\*의 증가\*\*를 예측
    - \* 허리케인에 의한 피해로 연평균 GDP 대비 0.16%(280억달러)의 피해액과 180억달러의 연방지출이 발생할 것으로 예측
    - \*\* 2075년에 허리케인으로 인한 피해는 GDP 대비 0.22%(총 390억달러)로 증가, 연방지출액 또한 240억달러로 증가 전망
- (4단계) 이미 반영되어 있는 기후변화 효과에 대한 GDP값 조정
  - CBO 장기 경제전망에서는 기후변화가 GDP 성장에 미치는 영향을 반영하고 있으며, 앞서 언급한 2단계의 날씨변화와 3단계의 허리케인에 의한 효과는 반영되지 않았음
  - 따라서 이를 반영한 GDP값을 조정해야 함
- (5단계) 날씨변화와 허리케인 변화가 미국 GDP 성장률에 미치는 영향을 합침

② Marshall Burke and Vincent Tanutama, "Climatic Constraints on Aggregate Economic Growth," Working Paper, No. 25779, 2019.

③ Riccardo Colacito, Bridget Hoffmann, and Toan Phan, "Temperature and Growth: A Panel Analysis of the United States," *Journal of Money, Credit, and Banking*, Vol. 51, 2019, pp. 313~368.

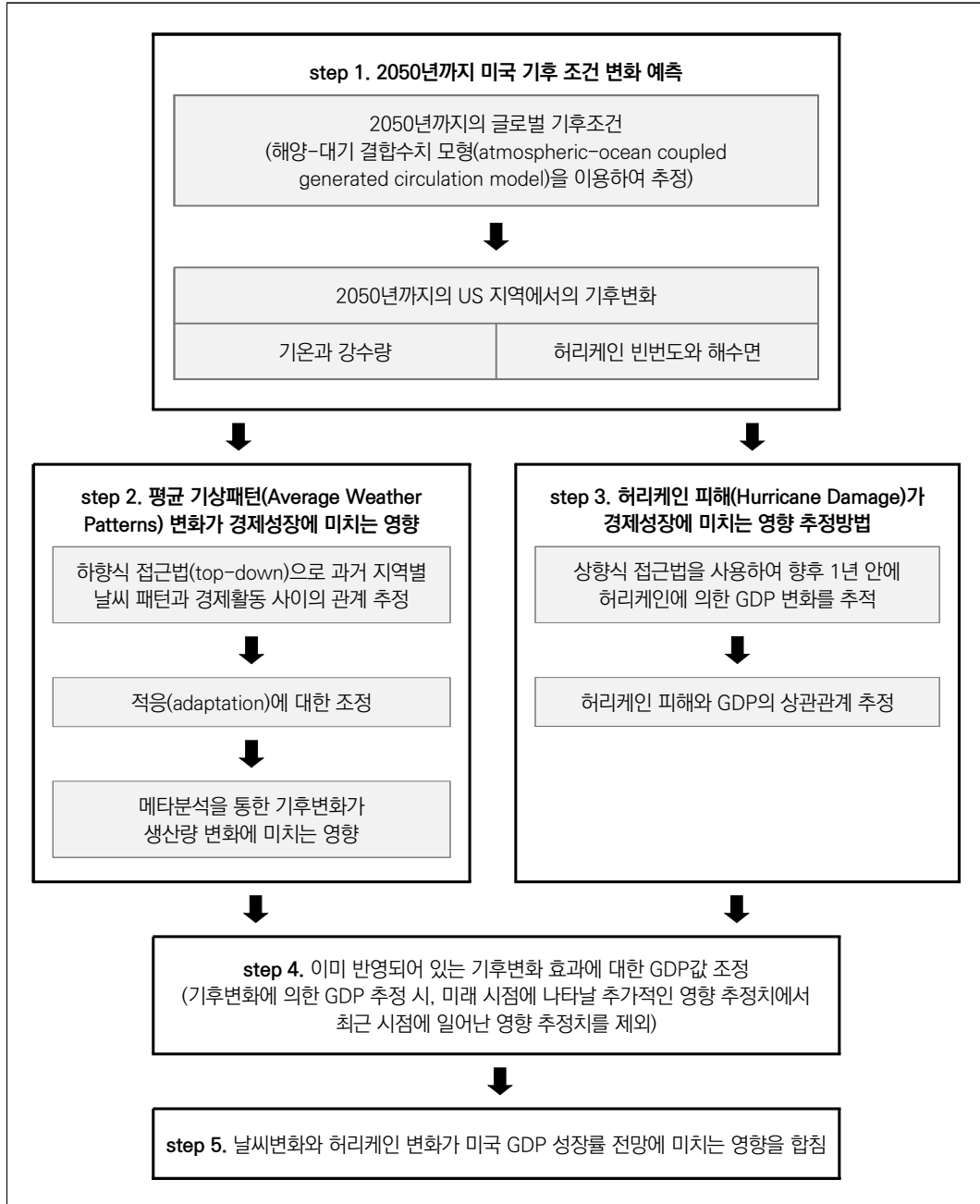
④ Tatyana Deryugina and Solomon Hsiang, "The Marginal Product of Climate," Working Paper, No. 24072, 2017.

54) 전망방법에 대한 기술적 세부사항은 부록을 참고

55) 전망방법에 대한 기술적 세부사항은 부록을 참고

56) CBO, *Potential Increases in Hurricane Damage in the United States: Implications for the Federal Budget*, 2016. 6.

[그림 III-2-2] 기후변화가 GDP에 미치는 영향 추정 모델 flow chart



출처: CBO, *CBO's projection of the Effect of Climate Change on U.S. Economic Output*, 2020. 9., p. 10, Figure 2.

### 3) CBO 기후변화 시나리오

- CBO 분석은 2014년 IPCC가 제5차 평가보고서에서 사용한 대표농도경로(Representative Concentration Pathways, 이하 RCP) 시나리오에 기초함
  - IPCC는 온실가스 배출과 에어로졸 배출, 토지 이용변화 등을 고려해 21세기에 전개될 4가지 RCP 시나리오<sup>57)</sup>를 제시
  
- CBO는 RCP 시나리오(4.5, 8.5)를 이용하여 ‘날씨’와 ‘허리케인’에 의해 변화된 기후를 예측할 수 있는 중앙 시나리오(a middle-case scenario, 베이스 시나리오)를 설정
  - 날씨변화를 RCP 시나리오(4.5, 8.5)에 적용할 경우, 2050년 지구 온도는 현재보다 약 1.2°C, 1.6°C 상승할 것으로 추정되며, CBO는 두 추정값의 중앙값을 베이스 시나리오로 설정
  - 허리케인에 의한 피해액은 CBO(2016)<sup>58)</sup>를 따르며, 보고서에 따르면 2050년 허리케인 강도 변화는 RCP 시나리오(4.5, 8.5)에 의해 도출된 결과에 기초하였고, 해수면 변화 예측은 RCP 시나리오(4.5, 8.5) 외에 2.6 시나리오를 추가하여 도출된 결과에 기초함

### 4) 전망 결과

- CBO는 분석대상 기간인 2020년부터 2050년까지의 기후변화 조건을 설정하기 위해 1995년을 기준연도(benchmark)로, 1995년부터 2019년까지를 레퍼런스 기간으로 지정하여 기후 조건을 다르게 설정

57) 시나리오 RCP 2.6: 인간활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우  
 시나리오 RCP 4.5: 온실가스 저감정책이 상당히 실행되는 경우  
 시나리오 RCP 6.0: 온실가스 저감정책이 어느 정도 실현되는 경우  
 시나리오 RCP 8.5: 현재 추세로 저감 없이 온실가스가 배출되는 경우

58) CBO, *Potential Increases in Hurricane Damage in the United States: Implications for the Federal Budget*, 2016.

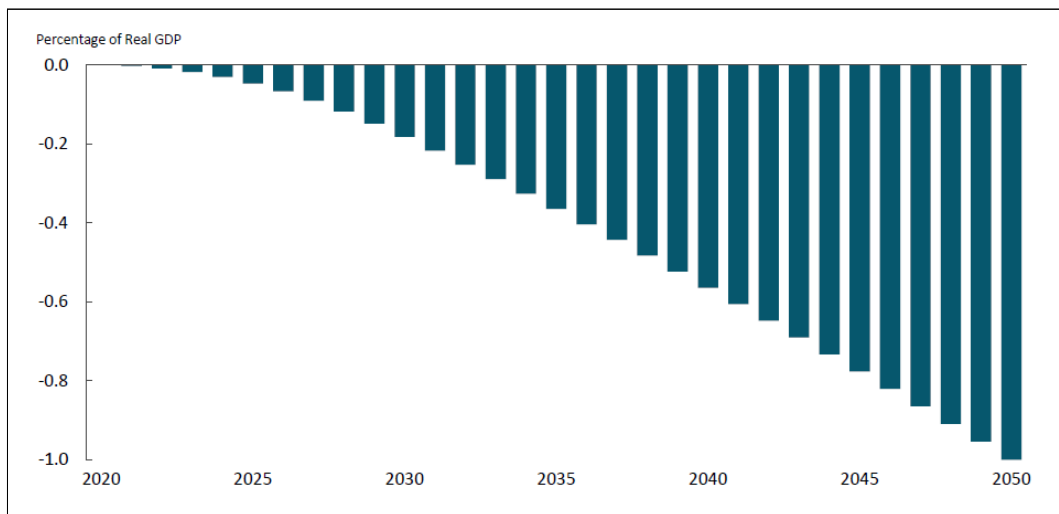
〈표 III-2-1〉 기간별 기후변화 조건 설정

| 구분      | 기간         | 내용   |
|---------|------------|--|
| 기준연도    | 1995년      | • 선행연구를 통해 1995년을 분석 기준연도로 설정  |
| 레퍼런스 기간 | 1995~2019년 | • 해당 기간 동안의 기후변화 경제적 변화 등 과거 실제 데이터를 활용  |
| 전망기간    | 2020~2050년 | • <i>The 2020 Long-term Budget Outlook</i> 에서 전망된 실질 GDP를 사용<br>: 전망된 실질 GDP에는 이미 총요소생산성(TFP)의 감소에 의한 조정이 포함되어 있음<br>: 총요소생산성 감소는 곧 기후변화가 GDP 성장에 미치는 영향을 반영하는 조치임 |

출처: CBO, *CBO's projection of the Effect of Climate Change on U.S. Economic Output*, 2020. 9., p. 4.

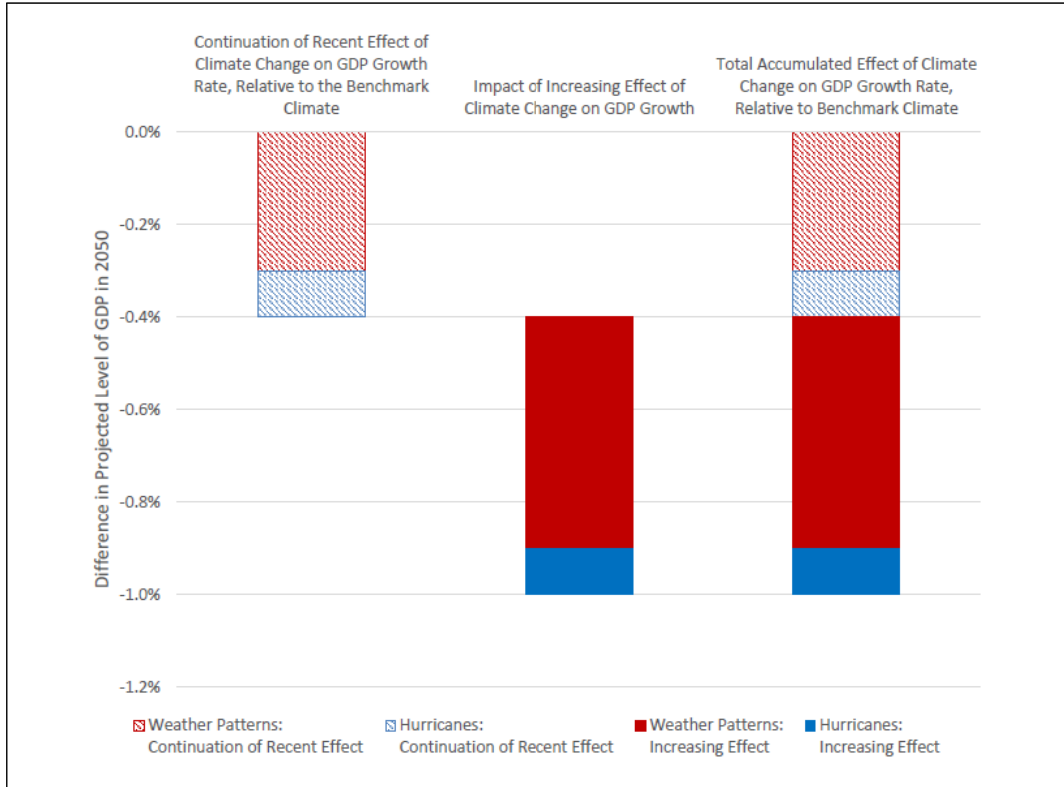
- 전망 결과, 기후변화로 1995년부터 20세기 후반까지 관측된 기후조건이 장기적으로 일정하게 유지될 때 추정되는 연평균 실질 GDP에 비해 기후변화의 영향을 반영한 2020년부터 2050년까지의 연평균 실질 GDP가 0.03%p 낮게 예측됨
- 0.03%p의 차이는 30년 전망기간 동안 누적되어 2050년 실질 GDP를 총 1.0%p 감소시킬 것으로 예상
  - 감소분 중 0.4%p는 1995년부터 2019년까지 25년간 기후변화가 실질 GDP에 미치는 영향을 나타내고, 0.6%p는 2020년부터 2050년까지 향후 30년간 기후변화가 실질 GDP에 미치는 영향으로 구분

[그림 III-2-3] 기후변화로 인해 추정되는 실질 GDP 감소분 추세



출처: CBO Presentation, "An Overview of CBO's work on climate change," 2020. 11. 12.

[그림 Ⅲ-2-4] 기후변화로 인한 2050년 실질 GDP 예측



출처: CBO, *CBO's projection of the Effect of Climate Change on U.S. Economic Output*, 2020. 9., p. 5.

## 참고문헌

- 국회예산정책처, 『한국경제의 구조변화와 대응전략Ⅳ』, 2020.
- 대한민국 정부, 『2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정안』, 2018. 7.
- Bachner, G., Bednar-Friedl, B., *The Effects of Climate Change Impacts on Public Budgets and Implications of Fiscal Counterbalancing Instruments*, Environ Model Assess, 24, 2019, pp. 121~142.
- Batten, S., “Climate change and the macro-economy: a critical review,” Bank of England Staff Working Paper, No. 706, January 2018.
- Batten S., Sowerbutts R. and Tanaka, M., “Let's talk about the weather: the Impact of climate change on central banks,” Bank of England Staff Working Paper, No. 603, May 2016.
- CBO, *Budgetary effects of climate change and potential legislation responses to it*, 2021. 4.
- \_\_\_\_\_, *CBO's projection of the Effect of Climate Change on U.S. Economic output*, 2020. 9.
- \_\_\_\_\_, *The 2020 Long-term Budget Outlook*, 2020. 9.
- \_\_\_\_\_, *Expected Costs From Hurricane Winds and Storm-related flooding*, 2019.
- \_\_\_\_\_, *Potential Increases in Hurricane Damage in the United States: Implications for the Federal Budget*, 2016.
- CBO Presentation, *An Overview of CBO's work on climate change*, 2020. 11. 12.
- \_\_\_\_\_, *Technical Information About How CBO Models the Effects of Climate Change on Output in Its Long Term Economic Projections*, 2021. 9.
- CCC(Committee on Climate Change), *UK Climate Change Risk Assessment 2017*, 2016. 7.
- EC, *Debt Sustainability Monitor 2019*, 2020. 1.

- EU, *The EU's 2021-2027 Long-term Budget and NextGeneration EU: Fact and Figures*, 2021.
- \_\_\_\_\_, *Study to support the evaluation of the European Union Strategy for the Protection and Welfare of Animals 2012-2015*, 2020.
- \_\_\_\_\_, *The EU spending on fight against climate change*, 2018.
- \_\_\_\_\_, *Climate main streaming in the EU Budget: preparing for the next MFF*, 2017.
- \_\_\_\_\_, *The fiscal implications of climate change adaptation*, 2010.
- France Government, *Report on the Environmental Impact of the Central Government Budget*, 2020. 9.
- IMF press release, *IMF Launches Climate Change Indicators Dashboard*, 2021. 4. 7.
- Infras/Ecologic, *Klimawandel: Welche Belastungen entstehen für die Tragfähigkeit der Öffentlichen Finanzen*, Gutachten i.A. des Deutschen Bundesministeriums für Finanzen, Berlin, 2009.
- IPCC, *Global warming of 1.5°C(지구온난화 1.5°C 특별보고서)*, 2018. 10.
- Marshall Burke and Vincent Tanutama, "Climatic Constraints on Aggregate Economic Growth," Working Paper, No. 25779, 2019.
- Matthew E. Kahn and others, "Long-term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis," Working Paper, No. 26167, 2019.
- NGFS, *A call for action: Climate change as a source of financial risk*, 2019. 4.
- Nicholas Stern, *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, 2006. 10.
- OBR, *2019 Fiscal Risks Report*, 2019. 7.
- OECD, *Climate Change and Long-term Fiscal Sustainability*, 2021.
- \_\_\_\_\_, *Paris collaborative on green budgeting*, 2018.
- OMB, *Climate change: The fiscal risks facing the federal government-Appreliminary assessment*, 2016.

Riccardo Colacito, Bridget Hoffmann, and Toan Phan, “Temperature and Growth: A Panel Analysis of the United States,” *Journal of Money, Credit, and Banking*, Vol. 51, 2019, pp. 313~368.

Tatyana Deryugina and Solomon Hsiang, “The Marginal Product of Climate,” Working Paper, No. 24072, 2017.

기획재정부 시사경제용어사전, <https://www.moef.go.kr/sisa/dictionary/detail?idx=1641>, 검색일자: 2021. 12. 30.

독일 Ecologic Institute, <https://www.ecologic.eu/11266>, 검색일자: 2021. 11. 23.

미국 백악관, 행정명령 “Executive Order on Climate-Related Financial Risk,” 2021. 5. 20., <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2021/05/20/executive-order-on-climate-related-financial-risk/>, 검색일자: 2021. 9. 30.

## 부 록

### 1. 평균 기상패턴(Average Weather Patterns) 변화가 경제성장에 미치는 영향 추정방법<sup>59)</sup>

- 기후변화가 GDP에 미치는 영향에 대한 CBO의 추정치는 미국 날씨와 생산량 사이의 역사적 관계를 조사한 다음 네 가지 연구에 기초함
  - Deryugina and Hsiang(2017)은 1969년부터 2011년 일교량 및 강수량 분포가 카운티(county) 단위 소득에 미치는 영향 분석
  - Burke and Tanutama(2019)는 2002년부터 2016년 사이 대도시 통계지구(Metropolitan Statistical Areas, MSA) 기반의 데이터를 사용하여 연평균 기온과 강수량이 GDP에 미치는 영향 분석
  - Colacito, Hoffmann, and Phan(2019)은 1957년부터 2012년 사이 연평균 계절 기온이 주내총생산(Gross State Product, GSP)에 미치는 영향 분석
  - Kahn and others(2019)는 1963년부터 2016년까지 평균기온과 강수량의 연간 편차가 주내총생산(Gross State Product, GSP)에 미치는 영향 분석
  - (메타분석 개요) CBO는 이 네 가지 연구를 사용하여 기상패턴 변화가 카운티(county), 지역 및 주의 경제 생산량에 미치는 영향에 대한 예측을 개발하고, 이를 사용하여 랜덤효과 메타분석(random-effects meta-analysis)에서 단일추정치 세트(a single set of estimates)를 개발
  - 이 접근방식은 데이터 및 모델링 접근법이 다른 연구 결과를 통합할 수 있으며, 지역 생산량 대비 기후변화 영향에 대한 전체 평균(grand mean) 추정치 산출 가능
    - 전체 평균( $\mu$ , grand mean)의 추정치( $\hat{\mu}$ )는 다른 연구와 관련된 예측들의 가중평균이며, 이는 다른 예측치들( $\hat{\theta}_s$ )과 해당 예측의 정밀도( $\hat{\sigma}_s^2$ )에 의해 결정됨

---

59) CBO Presentation, *Technical Information About How CBO Models the Effects of Climate Change on Output in Its Long Term Economic Projections*, 2021. 9., pp. 14~31까지 번역 및 요약

- 하나의 연구 예측치가 다른 연구의 예측치들과 다를 경우 추가 정보를 포착해야 할 필요성이 있으며, 각 연구들의 내제된 차이( $\theta_2$ )는 서로 다른 가정과 정규분포로부터 나오는 것으로 가정되는 실제 효과( $\tau$ , true effect)와 연관되어 있으며,  $\theta_2$ 는  $N(\mu, \tau^2)$ 의 정규분포를 따름(이때 모형의 실제효과( $\tau$ )가 전체 평균( $\mu$ ) 주위에 분포되어 있다는 가정은 랜덤효과로부터 나옴)
  - 연구별 예측치가 정확하지 않을 경우 정확성이 떨어짐에 따라 가중치에 대한 영향을 덜 받으며, 각 예측치( $\hat{\theta}_s$ )는  $\tau$ 의 a noisy estimate로,  $\hat{\theta}_s$ 는  $N(\theta_s, \hat{\sigma}_s^2)$ 를 따르고,  $\hat{\sigma}_s^2$ 는 데이터와 모형의 불확실성 및 시간 경과에 따른 경제적 효과 불확실성에 따른 분산값임
- CBO는 4개 선행연구에 기초한 모델에 입력값을 투입하기 위해 베이지안 접근방식(a Bayesian approach)을 사용하여 전체 평균의 추정치( $\hat{\mu}$ )를 산출

□ (메타분석을 위한 기초) CBO가 선행연구를 메타분석에 통합하기 위해, 메타분석을 위한 투입은  $\hat{\theta}_s$ 과  $\hat{\sigma}_s^2$ 를 기초로 하며, CBO는 컴퓨터코드와 위 선행연구의 저자들이 제공한 데이터를 사용하여 표준오차와 파라미터의 공분산을 재구성함(단, CBO 추정에서 다른 연구들의 모수는 독립적)

- 이때 CBO는 선행연구에서 다른 기후변화 과거 데이터를 미래 예측에 적용함에 있어 원본에 최대한 가깝게 처리함
  - 예를 들어 원래의 연구에서 강수 효과가 작거나 미미한 것으로 밝혀져 연구의 기후 영향 예측에서 누락되었다면, CBO도 동일하게 처리
  - 또한 선행연구에서 사용된 데이터의 엄밀성을 위해 '강건성 확인(robustness checks)'을 실시하고, 선행연구들의 설명에 의존하여 저자의 의도를 따르도록 함

□ (분석 시 고려해야 하는 변수) CBO는 위의 선행연구를 바탕으로 날씨변화에 대한 생산량 충격 지속성(Persistence)과 적응성(Adaptation)<sup>60</sup>에 대한 변수를 고려

- CBO 모델에서 날씨에 의한 생산량 충격이 단기적으로 종료될지 혹은 지속될지를 고려해야 하지만, 연구자들의 의견이 분분함에 따라 레벨효과(Levels effect)\*로 끝날 것인지, 성장효과(Growth effect)\*\*가 있을 것인지 결정하지 못함

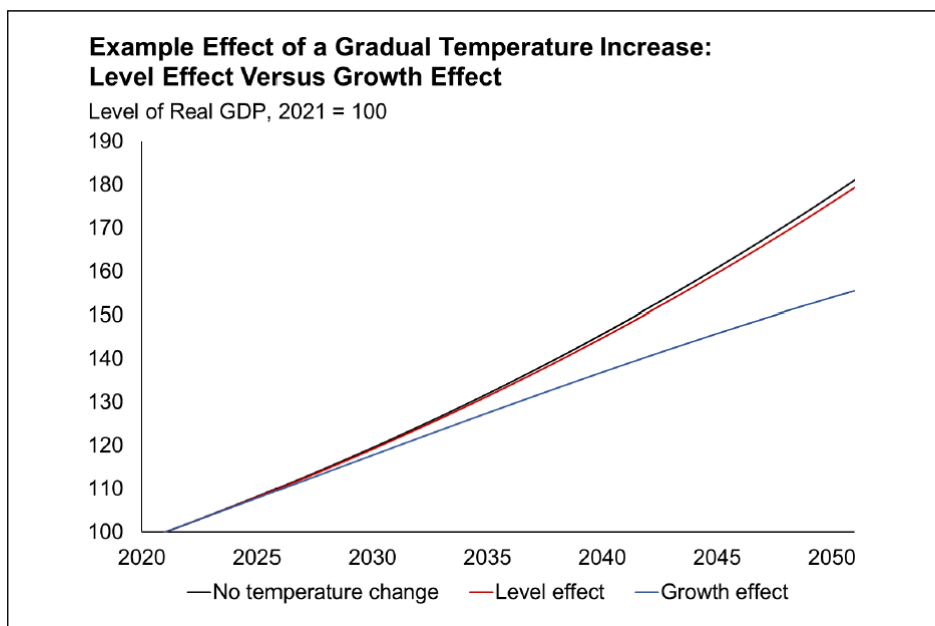
60) 본문 p. 10의 적응(adaption)의 설명을 참고

\* (레벨효과) 비정상적으로 더운 해는 그 해에만 생산량을 감소시켜 미래 연도의 생산량은 영향을 받지 않을 수 있음

\*\* (성장효과) 비정상적으로 더운 해는 다음해 생산량에 지속적으로 영향을 미칠 수 있으며, 시간이 지남에 따라 악화될 수 있음

#### 〈참고〉 레벨효과와 성장효과의 차이 예시

- 레벨효과와 성장효과의 차이를 설명하기 위해 기온이 1°C 변하면 실질 GDP의 0.5%p가 감소하고, 미국 기후는 향후 30년 동안 2°C 정도 따뜻해질 것이라 가정
  - 기온 1°C의 변화가 레벨효과에 의한 것이라면 실질 GDP는 30년 안에 1%가 낮아질 것
  - 반면 성장효과에 의한 것이라면 30년 후 실질 GDP는 14% 정도 낮은 수준으로 나타날 것



출처: CBO, "Technical Information About How CBO Models the Effects of Climate Change on Output in Its Long-term Economic Projections," PPT presentation, 2021.

- (지속성, Persistence) 이에 따라 CBO는 기후변화가 생산량에 미치는 영향의 예측을 계산하기 위해 메타분석 모델에 지속성을 투입할 수 있는 다른 모델을 결합하는 방법을 강구
  - Deryugina and Hsiang(2017)과 Kahn and Others(2019)는 시간에 따른 지속성 패턴을 명시적으로 모델링했으며, CBO는 시간에 따른 날씨 패턴 변화의 영향을 계산하는 그들의 접근방식을 따름
  - Burke and Tanutama(2019)와 Colacito, Hoffmann, and Phan(2019)는 레벨효과(level effect)에 대한 경험적 증거를 제시하고 그 결과를 완전 성장효과(a full growth effect)로 논의한 결과, 기상 충격으로 인한 생산량 감소 후에도 지속적으로 저성장 경로를 유지할 것이라 함
- (적응성, Adaptation) CBO는 변화하는 기후조건에 경제가 적응(Adaptation)할 가능성을 반영하도록 모델을 정교화
  - 선행연구 중 Deryugina and Hsiang(2017)과 Burke and Tanutama(2019), Kahn and Others(2019)는 모두 평균 기후와 함께 날씨에 의한 점진적인 영향을 변화시킴으로써 기후변화에 대한 적응(Adaptation)을 측정 가능하도록 함
  - 반면 Colacito, Hoffmann, and Phan(2019)는 이를 허용하지 않았기 때문에 CBO는 Colacito, Hoffmann, and Phan(2019) 모델에서 적응(Adaptation)을 고려하는 조정과정을 거침

〈부표 1-1〉 각 선행연구와 관련된 CBO 모델의 가정

| 선행연구                                | 분석기술  | 지속성<br>(Persistence)        | 적응<br>(Adaptation)  |
|-------------------------------------|---|-----------------------------|---|
| Deryugina and Hsiang (2017)         | '완전 적응(full adaptation)' 변수와 '도시-농촌 간 이질성을 가진 완전 적응(full adaptation with urban-rural heterogeneity)' 변수 설정 후 회귀분석 <sup>1)</sup> | 시간경과에 따른 효과 반영              | 평균 기후변화에 따라 점진적으로 변화하는 효과 반영 (CBO 모형에 반영되어 있음. 조정 불필요)                    |
| Burke and Tanutama (2019)           | 기온반응함수 (The temperature response function) <sup>2)</sup>  | 레벨효과 미반영 (CBO는 완전한 성장효과 가정) | (상동)  |
| Colacito, Hoffmann, and Phan (2019) | 패널분석 (panel analysis) <sup>3)</sup>   | (상동)                        | Deryugina and Hsiang(2017)을 기초로 CBO 조정 필요                                 |
| Kahn and Others (2019)              | 확률성장모델 (stochastic growth model) <sup>4)</sup>  | 시간경과에 따른 효과 반영              | 평균 기후로부터 산출된 편차 효과의 모형화(평균은 시간이 지남에 따라 변화할 수 있고, 이러한 영향은 CBO 모형에 반영되어 있음) |

주: 1. Tatyana Deryugina and Solomon Hsiang, "The Marginal Product of Climate," Working Paper, No. 24072, 2017, p. 39, Figure 13.

2. Marshall Burke and Vincent Tanutama, "Climatic Constraints on Aggregate Economic Growth," Working Paper, No. 25779, 2019, p. 13, Figure 3.

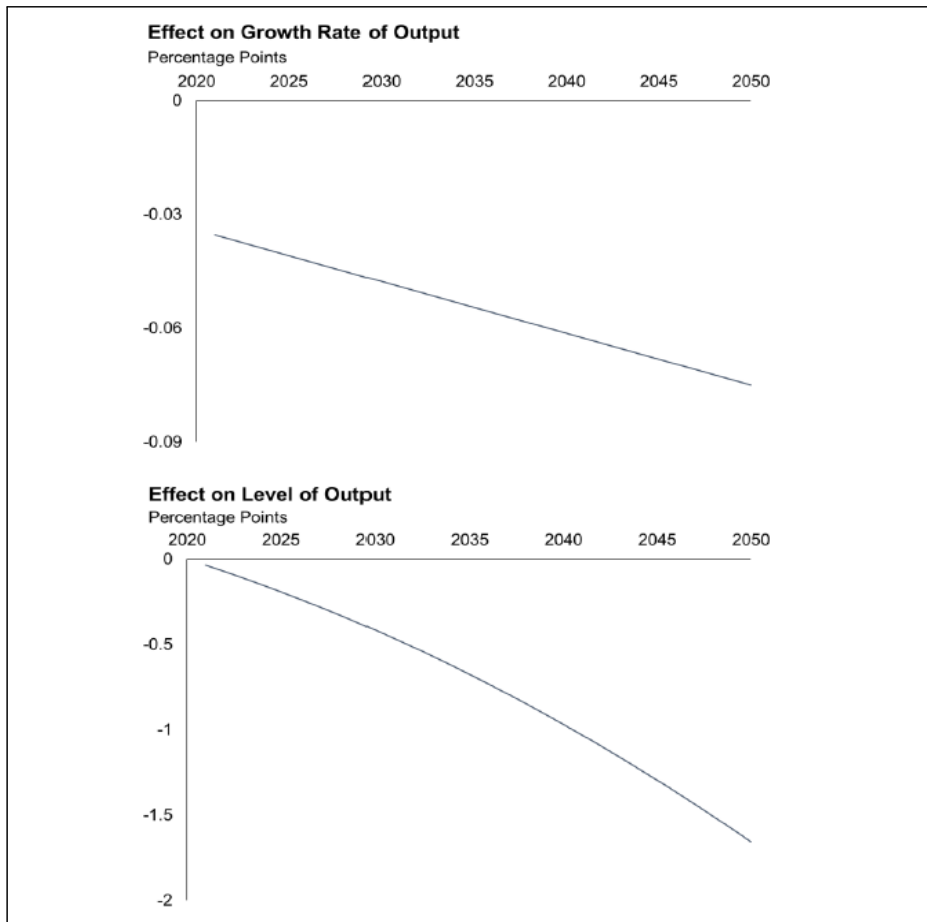
3. Riccardo Colacito, Bridget Hoffmann, and Toan Phan, "Temperature and Growth: A Panel Analysis of the United States," *Journal of Money, Credit, and Banking*, Vol. 51, 2019, pp. 313-368, 2019; p. 320, Table 1.

4. Matthew E. Kahn and Others, "Long-term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis," Working Paper, No. 26167, 2019, p. 39, Table 10, column 4.

출처: CBO presentation, *Technical Information About How CBO Models the Effects of Climate Change on Output in Its Long Term Economic Projections*, 2021. 9., p. 25.

〈참고〉 CBO의 기후변화 예측에 대한 평균 효과( $\hat{\theta}_s$ ) 계산 예시

- 평균 기온이 1°C 상승하면 완전 성장효과(a full growth effect)가 있고, 해당 지역의 생산성 증가율이 0.05%p 감소한다고 가정
  - 한 지역의 평균기온이 1981~2010년 평균값에서 2050년까지 1.5°C 상승할 것으로 예측되었다면, 2021년부터 2050년까지 매년 생산성 증가율은 낮아져 2050년에는 1.7%p 낮아질 것
  - CBO는 이 연구와 기후 시나리오에 대한 평균 예측치( $\hat{\theta}_s$ )를 얻기 위해 가중치를 부여한 모든 지역에서의 효과를 평균화함



출처: CBO presentation, *Technical Information About How CBO Models the Effects of Climate Change on Output in Its Long Term Economic Projections*, 2021. 9., p. 26.

□ (통계적 및 지속성 불확실성 반영) 각 추정치( $\hat{\theta}_s$ )를 계산하기 위해서는 메타분석 정밀도를 측정할 수 있는 분산 파라미터( $\hat{\sigma}_s^2$ )\*가 필요함에 따라 CBO는 몬테카를로(Monte Carlo) 방식을 사용하여 통계 및 지속성 불확실성과 관련된 분산 파라미터( $\hat{\sigma}_s^2$ )를 계산

\* 분산 파라미터의 CBO 추정치는 통계적 불확실성(Statistical uncertainty), 지속성 불확실성(Persistence uncertainty), 모델의 불확실성(Model uncertainty)을 요약

○ CBO는 모든 선행연구에서의 추정된 파라미터와 2050년 GDP에 미칠 예상 효과와의 차이를 계산

- Deryugina and Hsiang(2017)과 Kahn and Others(2019)는 분산-공분산 행렬(variance-covariance matrix)을 사용하여 여러 개의 변수들이 개별적으로 2050년 GDP 수준에 어떤 영향을 미칠지에 대한 효과를 추정하였고, 이를 통해 이를 통해 지속성을 추정함에 따라 통계적 불확실성과 지속성 불확실성을 모두 포착

- Burke and Tanutama(2019)와 Colacito, Hoffmann, and Phan(2019)의 분산-공분산 행렬(variance-covariance matrix)에는 지속성이 포함되지 않았으므로 통계적 불확실성만을 포착하고 있음

· 여기에 지속성을 통합하기 위해 CBO는 연간 날씨에 의한 영향력을 지속할 수 있는 가정( $\chi$ )을 투입하였고, 이때  $\chi$ 는 완전한 정상 효과를 가정( $\chi=1$ )

· 각 파라미터는 0.5~1.5(중심점 1)의 삼각분포(Triangular Distribution)를 따르며 이는 날씨 영향으로 인한 GDP 수준은 다음해에 50%까지 증감할 수 있다는 것을 의미

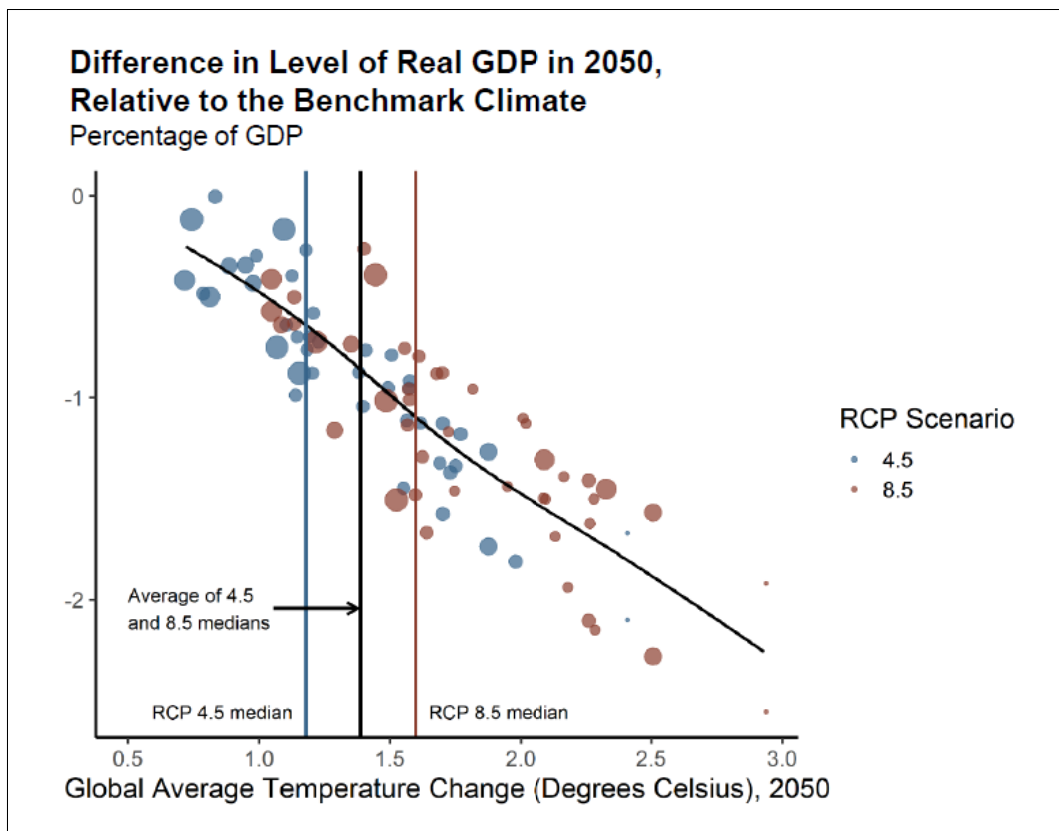
□ (모델의 불확실성 반영) CBO 예측의 전체 분산에 대한 추정치( $\hat{\sigma}_s^2$ )는 모델의 불확실성을 포함하고 있고 앞서 추출한 통계적 및 지속성 불확실성의 조합과 같은 크기라 가정

○ 주어진 기후변화 시나리오에서 CBO는 각 연구별로 통합된 통계적 및 지속성 불확실성에 대한 분산( $\tilde{\sigma}_s^2$ )을 추정하고, 다시 이들에 대한 평균을 계산하여 모델의 불확실성 값( $\hat{\sigma}_M^2$ )을 얻음( $\hat{\sigma}_s^2 = \tilde{\sigma}_s^2 + \hat{\sigma}_M^2$ )

□ (메타분석으로부터 구축한 기준 추정치) CBO는 메타분석으로 얻은 연구별 예측치( $\hat{\theta}_s$ )와 분산값( $\hat{\sigma}_s^2$ )을 사용하여 미래 기후 시나리오별로 2050년 실질 GDP에 영향을 미치는 날씨 패턴의 변화( $\hat{\mu}$ )를 예측함

- 각 기후 시나리오(RCP 4.5, 8.5)별로 2050년까지 지구 평균기온이 얼마나 변할지 예측치 ( $\hat{\mu}$ )를 표시하고 해당 점들을 연결
  - 이후 선행연구의 각 기후모델로부터 도출된 지구 평균온도 변화가 미국 전역에 걸쳐 어떤 지리적 변화를 일으켰는지 예상하고, 이를 위의 곡선에 적합시켜 평균을 구함
- 이러한 과정을 거쳐 도출된 추정치는 RCP 4.5와 RCP 8.5에 따른 '평균온도 변화'로 평가된 곡선으로, 2050년 실질 GDP 수준의 0.86%p 감소를 나타냄
  - 이 곡선은 2.5°C 혹은 3°C 정도의 극심한 온도 변화는 반영하지 않음

[부그림 1-1] 글로벌 평균온도 변화에 의한 2050년 실질 GDP 수준 변화

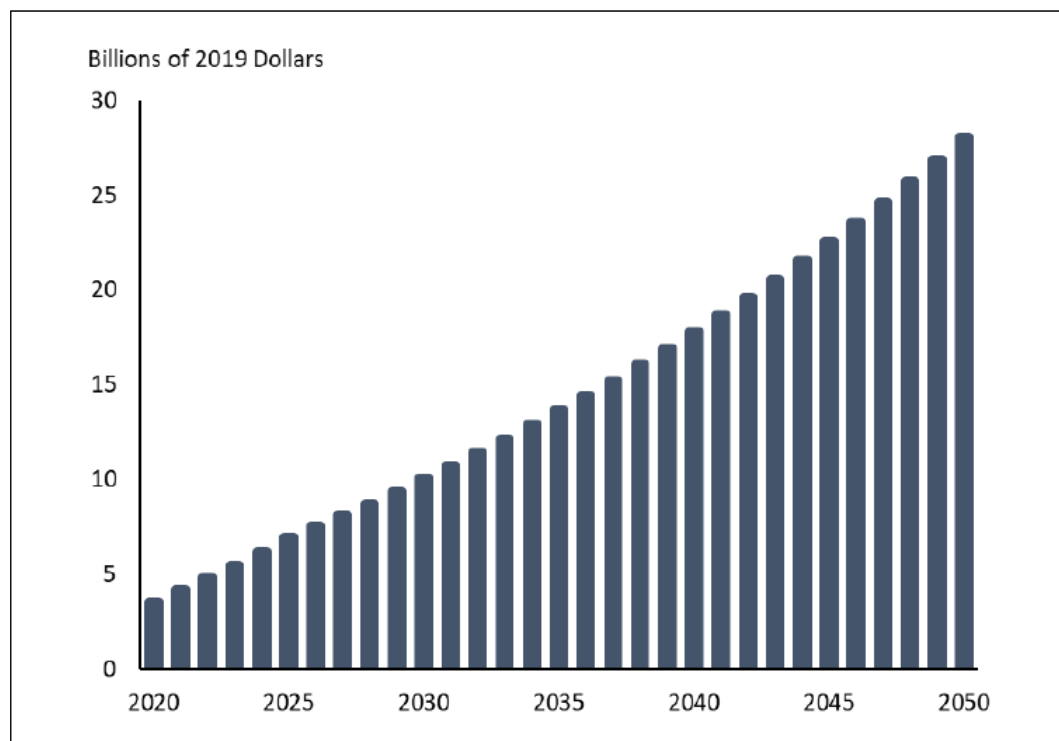


출처: CBO presentation, *Technical Information About How CBO Models the Effects of Climate Change on Output in Its Long Term Economic Projections*, 2021. 9., p. 31.

## 2. 허리케인 피해(Hurricane Damage)가 경제성장에 미치는 영향 추정방법<sup>61)</sup>

- CBO(2016)은 2050년 예상되는 허리케인 피해에 의한 기후변화의 영향을 예측
  - 추정치는 주어진 허리케인 범주 및 해수면 피해에 대해 리스크 관리 모델(a risk management industry model)을 통해 해수면 상승 예측 및 허리케인 강도 변화와 결합
    - CBO(2016)에 의하면 기후변화로 인해 20세기 말 기준 피해액보다 2050년에 이르러 연간 평균 약 280억달러 증가시킬 것으로 예측
    - 만약 현재 기후가 유지될 경우(기준 기후) 연간 평균 피해액은 약 300달러로 예측

[부그림 2-1] 현재 기후가 유지될 경우 허리케인에 의한 연간 피해액 추정 추이



출처: CBO presentation, *Technical Information About How CBO Models the Effects of Climate Change on Output in Its Long Term Economic Projections*, 2021. 9., p. 34.

61) CBO Presentation, *Technical Information About How CBO Models the Effects of Climate Change on Output in Its Long Term Economic Projections*, 2021. 9., pp. 32~34까지 번역 및 요약

- CBO는 이상의 허리케인에 의한 피해 예측과 연산일반균형모델(a computable general equilibrium model)의 충격반응함수(impulse response function)를 결합
  - 이를 통해 t년도에 발생한 허리케인 피해를 t+1년도의 GDP에 미치는 효과로 환산
    - 예를 들어 t년도 허리케인으로 인한 추가 피해액 1달러는 t+1년도 GDP의 0.25달러 감소와 관련이 있으며, 이 효과는 시간이 지날수록 감소함
  - CBO 추정치에 따르면, 2020년부터 2050년까지 예상되는 피해액의 증가는 2050년 실질 GDP 수준의 0.19%p 감소를 초래

## 기후변화 대응이 재정에 미치는 영향에 대한 해외 논의 사례

---

발 행 2021년 12월 31일

발 행 인 김재진

발 행 처 한국조세재정연구원

30147 세종특별자치시 시청대로 336

TEL: 044-414-2114(代) www.kipf.re.kr

등 록 1993년 7월 15일 제2014-24호

조 판 및  
인 쇄 세일포커스㈜

I S B N 979-11-6655-083-6

© 한국조세재정연구원 2021

---

\* 잘못 만들어진 책은 바꾸어 드립니다.

