

발간등록번호

11-1360000-001137-14

ipcc

기후변화에 관한 정부간 협의체

기후변화 2014

종합보고서

정책결정자를 위한 요약보고서



IPCC 제5차 평가 종합보고서 중 정책결정자를 위한 요약보고서

이 보고서는 제40차 IPCC 총회(2014.11.1., 덴마크 코펜하겐)에서 최종 승인·채택된 보고서를 기상청에서 번역했으며, 전체 번역본 중 정책결정자를 위한 요약보고서 부분만 발췌한 것입니다.



기후변화 2014 종합보고서 정책결정자를 위한 요약보고서

참고 : 본 책자는 IPCC 제5차 평가 종합보고서 중 ‘정책결정자를 위한 요약보고서’ 부분을 발췌한 것입니다.

서론

본 종합보고서는 세 실무그룹이 기후변화에 관한 정부간 협의체 (IPCC)에 제출한 보고서와 기후변화 관련 특별 보고서를 기반으로 하여 작성하였다. 본 보고서는 IPCC 제 5 차 평가보고서(AR5)의 마지막 보고서로서 기후변화를 통합적인 관점에서 접근한다.

요약보고서의 구조는 종합보고서 본문의 것과 같으며, 다음의 항목을 다룬다: 관측된 변화와 그 원인; 미래의 기후변화와 위험, 영향; 적응, 완화 및 지속 가능한 발전에 대한 미래 경로; 적응 및 완화

실무그룹 보고서 및 특별 보고서에서와 마찬가지로, 종합보고서에서 제시한 주요 평가 결과의 확실성은 다음과 같이 표현한다. 여기서 확실성이란 기존에 이루어졌던 과학적 이해에 대한 저자 팀의 평가를 기반으로, 해당 평가를 신뢰할 수 있는 수준을 정성적으로 표현한 것이지만(매우 낮음에서 매우 높음까지), 가능할 경우 가능성에 대한 정량적 표현도 함께 나타낸다(가능성이 매우 희박함부터 사실상 확실함까지)¹. 적절하다고 판단되는 경우에는 평가 결과에 대한 불확실성 등급 없이 사실의 서술만을 제시하였다.

본 보고서는 UN 기후변화협약(UNFCCC) 제 2 조의 내용을 포함하고 있다.

SPM 1. 관측된 변화와 그 원인

인간은 기후 시스템에 명백한 영향을 미치고 있다. 최근 배출된 인위적 온실가스의 양은 관측 이래 최고 수준이며, 기후변화는 최근 인간계와 자연계에 광범위한 영향을 주고 있다. {1}

SPM 1.1 기후 시스템의 관측된 변화

기후 시스템이 온난해지고 있다는 것은 자명한 사실이며, 1950년대 이후 관측된 변화의 대부분은 수십 년에서 수천 년 내 전례 없던 것이다. 대기와 해양의 온도 및 해수면은 상승하고 있는 반면 눈과 빙하의 양은 감소하고 있다. {1.1}

1850년대 이래로, 지구표면의 온난화는 그 어느 때의 10년 보다 지난 30년 간 연속해서 심화되었다. 지난 1400년 간의 지구 표면 온도에 대한 평가가 가능한 북반구의 경우, 1983-2012년의 30년은 지난 1400년 중 가장 따뜻한 기간이었을 가능성이 높다 (중간 신뢰도). 선형변화 경향(linear trend)을 사용하여 계산한 전 지구 평균 육지-해양 표면온도 자료를 바탕으로 볼 때, 1880-2012년까지의 기간(독립적으로 생성된 다수의 데이터셋이 존재) 동안 0.85 [0.65-1.06]°C²의 지구 표면 온난화가 나타났음을 알 수 있다 (그림 SPM.1a). {1.1.1, 그림 1.1}

이처럼 수십 년 동안 이어진 강한 온난화와 함께, 전 지구 평균 표면 온도의 10년 및 매년간 변동성 또한 상당히 높게 나타난다(그림 SPM.1a). 이처럼 자연적 변동성이 상당히 높기 때문에, 단기 자료(short records)에 근거한 경향일 경우 시작과 종료 일자에 매우 민감하게 반응하며, 일반적으로 장기적인 기후 동향을 반영할 수 없다. 예를 들어, 강력한 엘니뇨와 함께 시작된 지난 15년 동안의 온난화 속도(1998-2012년; 10년당 0.05[-0.05-0.15]°C)는 1951년 이래 계산된 속도보다 느리다 (1951-2012; 10년당 0.12 [0.08-0.14]°C). {1.1.1, 박스 1.1}

¹ 각 연구 결과는 밝혀진 증거와 동의 수준의 평가에 근거한다. 많은 경우에, 증거와 동의 수준의 종합은 신뢰도 크기를 정하는데 도움이 된다. 증거에 관한 용어 요약은 '제한된, 중간, 또는 명확한'으로 표현된다. 동의 수준은 낮음, 중간, 높음으로 표현한다. 신뢰도의 수준은 다섯 단계: 매우 낮음, 낮음, 중간, 높음, 매우 높음으로 표현하고, 중간 신뢰도와 같이 이탤릭체로 표기한다. 평가된 발생가능성 혹은 결과를 나타내기 위해 사용되는 용어는 "사실상 확실한"은 99-100% 가능성, "가능성이 매우 높음"은 90-100%, "가능성이 높음"은 66-100%, "가능성이 있는"은 33-66%, "가능성이 낮음"은 0-33%, "가능성이 매우 낮음"은 0-10%, "가능성이 매우 희박한"은 0-1%로 구성된다. 추가 용어("가능성이 대단히 높음"은 95-100%, "발생하지 않을 가능성보다 발생할 가능성이 높음"은 >50-100%, "발생할 가능성보다 발생하지 않을 가능성이 높음"은 0-50%, "가능성이 대단히 낮음"은 0-5%)도 적절한 경우에 사용될 수 있다. 평가된 가능성은 이탤릭체로 표기된다 (예: 가능성이 매우 높음 (자세한 내용은 2010 IPCC 불확실성에 대한 안내 참고)).

² 대괄호 범위 혹은 "±" 표시는 특별히 명시되지 않는 한, 예상되는 값을 포함하는 90%의 가능성을 가질 것으로 기대된다.

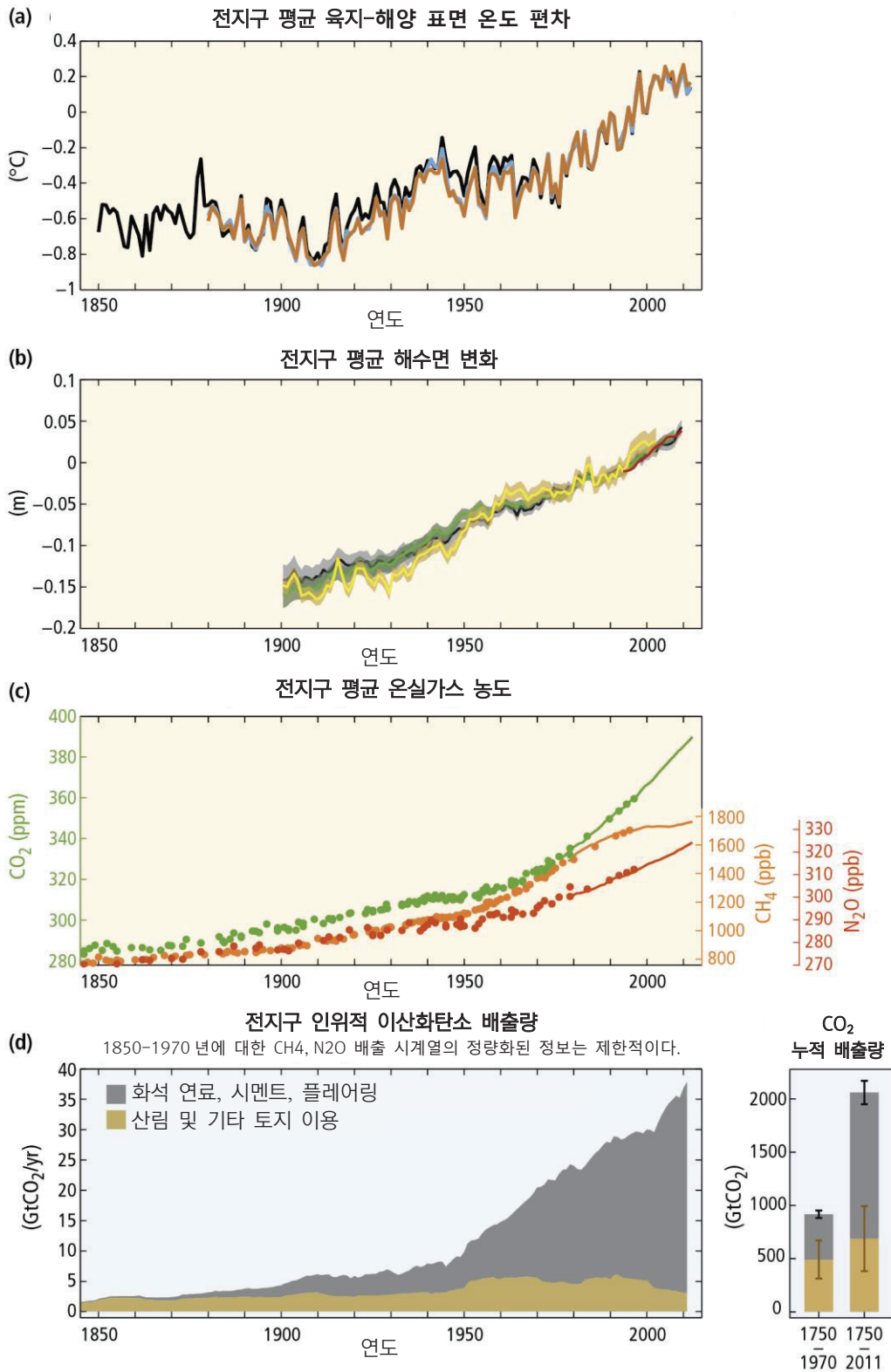


그림 SPM.1 | 관측(패널 a,b,c, 노란색 배경)과 배출량(패널 d, 밝은 파란색 배경)의 복잡한 관계는 1.2 절과 주제 1에서 다룬다. 관측 및 기타 지구 기후 시스템 변화 지표. 관측: (a) 1986-2005 년 평균 대비 연간 지구 평균 육지-해양 표면 온도 편차의 합. 색상은 각기 다른 데이터 세트를 나타낸다. (b) 가장 관측기간이 긴 데이터 세트에서 1986-2005 년 평균 대비 연간 전지구 평균 해수면 변화. 색상은 각기 다른 데이터 세트를 나타낸다. 모든 데이터 세트는 위성 고도 측정 데이터의 첫 번째 해(빨간색)인 1993 년과 같은 값을 갖도록 정렬된다. 평가의 경우, 불확실성은 색 음영으로 표시된다. (c) 빙하 코어 데이터(점)와 직접적 대기 측정(선)에 의해 결정된 온실가스 이산화탄소(CO₂, 초록색), 메탄(CH₄, 주황색), 아산화질소(N₂O, 빨간색)의 대기 중 농도. 지표; (d) 산림과 토지 이용뿐 아니라 화석 연료의 연소 및 시멘트 생산, 플레어링으로 인한 전지구 인위적 이산화탄소 배출량. 이러한 원인으로 인해 축적된 CO₂ 배출량과 그 불확실성은 각각 막대와 빗금으로 오른쪽에 표시되어 있다. CH₄, N₂O 누적 배출량의 전지구적 효과는 패널 c에 있다. 1970-2010 년의 온실가스 배출량 자료는 그림 SPM.2에 있다. {그림 1.1, 1.3, 1.5}

대기는 기후 시스템에 저장된 에너지의 약 1%만을 차지하는 반면, 해양은 1971-2010 년에 축적된 에너지의 90%를 차지하여, 기후 시스템에 저장된 에너지의 증가에 지배적인 영향을 주고 있다 (높은 신뢰도). 전지구적인 규모에서 해양 온난화는 표면 근처에서 가장 높고 해양 상층부의 75m 에서는 1971-2010 년에 10 년당 0.11[0.09-0.13]°C 상승했다. 상층 해양(0-700m)이 1971-2010 년에 온난화된 것은 사실상 확실하고 1870 년대와 1971 년 사이에 온난화되었을 가능성은 높다. {1.1.2, 그림 1.2}

북반구 중위도 육지 지역의 평균 강수량은 1901 년부터 증가했다 (1951 년 이전에 중간 신뢰도, 1951 년 이후에 높은 신뢰도). 기타 위도의 경우, 장기 지역 평균 강수량의 증가 혹은 감소 경향에 대한 신뢰도는 낮다. 해양 표면 염분에서도 변화가 관측되었는데, 이는 해양을 걸친 전 지구의 물 순환에 변화가 일어나고 있다는 간접적 증거로 볼 수 있다(중간 신뢰도). 1950 년대 이후, 염도가 높은 지역에서는 증발량이 증가하면서 염도가 더 높아진 반면, 염도가 낮은 지역에서는 강수량이 증가하면서 더욱 담수화되었을 가능성이 매우 높다. {1.1.1, 1.1.2}

산업화 시대 도래 후, 해양은 계속해서 이산화탄소를 흡수하기 시작하였고, 이로 인해 해양의 산성화 또한 점진적으로 진행되었다; 해양 표층수의 pH 는 0.1 감소했는데, 이는 26%의 산도(수소 이온 농도로 측정) 증가에 상응하는 수준이다(높은 신뢰도). {1.1.2}

1992-2011 년에 그린란드와 남극 빙상의 질량은 점차 줄어들었고 (높은 신뢰도) 감소율은 2002-2011 년에 가장 높았을 가능성이 높다. 빙하는 전 세계적으로 점차 축소되어 왔다 (높은 신뢰도). 북반구 내 봄철 적설 면적 규모는 지속적으로 감소했다 (높은 신뢰도). 표면 온도가 상승하고 적설 면적이 변화함에 따라, 영구동토층의 온도 또한 1980 년대 초 이래로 대다수 지역에서 증가하고 있다 (높은 신뢰도). {1.1.3}

북극의 연평균 해양빙(sea-ice) 면적은 1979-2012 년 기간 동안 10 년당 3.5-4.1% 범위의 속도로 감소해왔을 가능성이 매우 높다. 1979 년 이후 북극의 해양빙 면적은 모든 계절과 모든 연속한 10 년 에 걸쳐 감소하였고, 특히 여름철의 10 년 평균 면적이 가장 급속하게 감소했다 (높은 신뢰도). 남극의 연평균 해양빙 면적은 1979-2012 년에 10 년당 1.2-1.8% 범위에서 증가해왔을 가능성이 매우 높다. 그러나 남극의 경우, 면적이 증가한 지역도 있고 감소한 지역도 있는 등 해양빙 면적에서 지역적 차이가 크다는 데에 신뢰도는 높다. {1.1.3, 그림 1.1}

1901-2010 년에 전지구 평균 해수면은 0.19 [0.17-0.21]m 상승했다 (그림 SPM.1b). 19 세기 중반 이후의 해수면 상승률은 19 세기 이전 2 천년 동안의 평균 상승률보다 크다 (높은 신뢰도). {1.1.4, 그림 1.1}

SPM 1.2 기후변화의 원인

경제 및 인구 성장이 주 원인이 되어 나타난 산업화 시대 이전부터 인위적 온실가스 배출량은 계속 증가해왔고, 현재 가장 높은 수준을 보이고 있다. 현재 이산화탄소, 메탄, 아산화질소의 대기 중 농도는 인위적 배출로 인해 지난 80 만년 내 최고 수준이다. 기타 인위적 동인과 함께 전례 없던 수준의 온실가스 배출이 전체 기후 시스템에 영향을 주는 것은 계속해서 탐지되어 왔고, 이는 20 세기 중반 이후 관측된 온난화의 주 원인일 가능성이 대단히 높다. {1.2, 1.3.1}

산업화 시대 이전부터 인위적 온실가스(GHG) 배출이 주 원인이 되어 이산화탄소, 메탄, 아산화질소의 대기 중 농도가 크게 증가하였다 (그림 SPM.1c). 1750-2011 년 대기 중 누적 인위적 이산화탄소 배출량은 $2040 \pm 310 \text{ GtCO}_2$ 였다. 배출량의 약 40 %는 대기($880 \pm 35 \text{ GtCO}_2$)에 남아있다; 나머지는 대기에서 제거되어 육지(식물과 토양)와 바다에 저장되었다. 해양은 인위적 이산화탄소 배출량의 30%를 흡수했는데, 이로 인해 해양 산성화가 초래되었다. 1750-2011 년의 인위적 이산화탄소량 중 절반 가량은 지난 40 년 중 배출된 것이다(높은 신뢰도)(그림 SPM.1d). {1.2.1, 1.2.2}

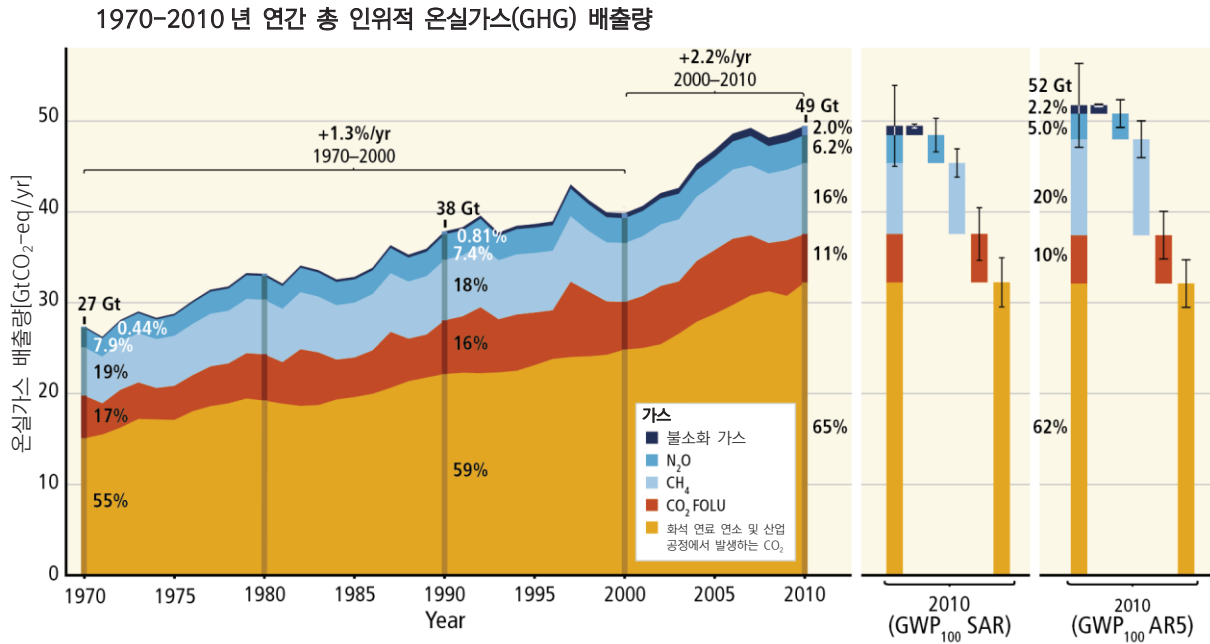


그림 SPM.2 | 1970-2010 년 연간 총 인위적 온실가스 배출량 (연간 CO₂ 환산 기가톤, GtCO₂-eq/yr): 화석 연료 연소와 산업 공정에 의한 이산화탄소; 산림 및 기타 토지사용(FOLU)에 의한 이산화탄소(CO₂); 메탄(CH₄); 아산화질소(N₂O); 플루오르화 가스는 교토의정서(불소화 가스)에서 다루었다. 오른쪽 막대그래프는 SAR 과 AR5 의 값을 기반으로 한 CO₂ 환산 배출량 가중치를 사용하여, 2010 년의 배출량을 보여준다. 별도로 언급하지 않는 한, SAR 의 100 년 지구 온난화 지수(GWP₁₀₀) 값을 기준으로 계산된 교토 가스 (CO₂, CH₄, N₂O, 불소화 가스) 등의 CO₂ 환산 배출량이 오른쪽에 나타난다 (용어집 참고). AR5 의 최근 100 년 지구 온난화 지수 값(오른쪽 막대)을 사용하면 증가된 메탄의 기여 때문에 더 높은 총 연간 온실가스 배출량(52 GtCO₂-eq/yr)이 나타나지만, 장기적인 추세에 크게 영향을 미치지 않는다. {그림 1.6, 박스 3.2}

기후변화 완화 정책이 점차 마련 및 추진되고 있음에도 불구하고, 총 인위적 온실가스 배출량은 2000-2010 년에 절대적으로 크게 증가하였고 1970-2010 년에도 계속해서 증가하였다. 2010 년 인위적 온실가스 배출량은 49(± 4.5) GtCO₂-eq/yr 에 달했다³. 화석 연료의 연소와 산업 공정에서 발생하는 이산화탄소의 배출량은 2000-2010 년 증가폭과 비슷한 비율로 1970-2010 년 전체 온실가스 배출량 증가의 약 78%를 차지했다 (높은 신뢰도) (그림 SPM.2). 전세계 경제 성장과 인구 증가는 화석연료의 연소에 의한 이산화탄소 배출의 증가를 가장 주도적으로 이끈 동인이다. 이산화탄소 배출에 대한 경제 성장의 기여도는 2000-2010 년에 급격히 증가한 반면, 동 기간 인구 성장의 기여도는 이전의 30 년과 거의 비슷한 수준이다. 전세계 에너지 공급 패턴은 점진적으로 탈 탄소화 추세(예. 에너지의 탄소농도 감소)를 띄고 있지만, 석탄 사용이 증가함에 따라 이러한 추세가 반전되고 있다 (높은 신뢰도). {1.2.2}

제 4 차 평가보고서 이후, 인간이 기후 시스템에 영향을 미친다는 증거는 증가하고 있다. 인위적 온실가스 농도의 증가와 기타 인위적 강제력은 1951-2010 년에 관측된 전지구 평균 표면 온도 상승의 절반 이상을 유발했을 가능성이 대단히 높다. 온난화에 대한 인위적 기여의 최적 추정치는 이 기간 동안 관측된 온난화와 거의 비슷하다 (그림 SPM.3). 인위적 강제력은 남극 대륙⁴을 제외한 모든 대륙 지역에서 20 세기 중반 이후 표면 온도가 상승하는데 상당한 기여를 했을 가능성이 높다. 인위적 영향은 1960 년 이후 전지구 물 순환에 영향을 미치고, 1960 년대 이후의 빙하 후퇴와 1993 년 이후 그린란드 빙상 표면 녹음의 증가에 기여했을 가능성이 높다. 인위적 영향은 1979 년 이후 북극 해양빙의 감소에 기여하고, 전지구 상층 해양 열 용량 (0~700m) 증가와 1970 년대 이후 관측된 전지구 평균 해수면 상승에 상당한 기여를 했을 가능성이 매우 높다. {1.3, 그림 1.10}

³ 온실가스 배출량은 100 년 전지구 온난화 잠재력에 따른 가중치를 사용한 CO₂ 환산(GtCO₂-eq) 배출량처럼 별도로 언급하지 않는 한 IPCC SAR 값을 사용하여 정량화된다. {박스 3.2}.

⁴ 남극 대륙의 경우, 관측의 불확실성이 크기 때문에 사용 가능한 지점의 관측된 온난화 평균에 인위적 강제력이 기여했다는 것에 대한 신뢰도는 낮다.

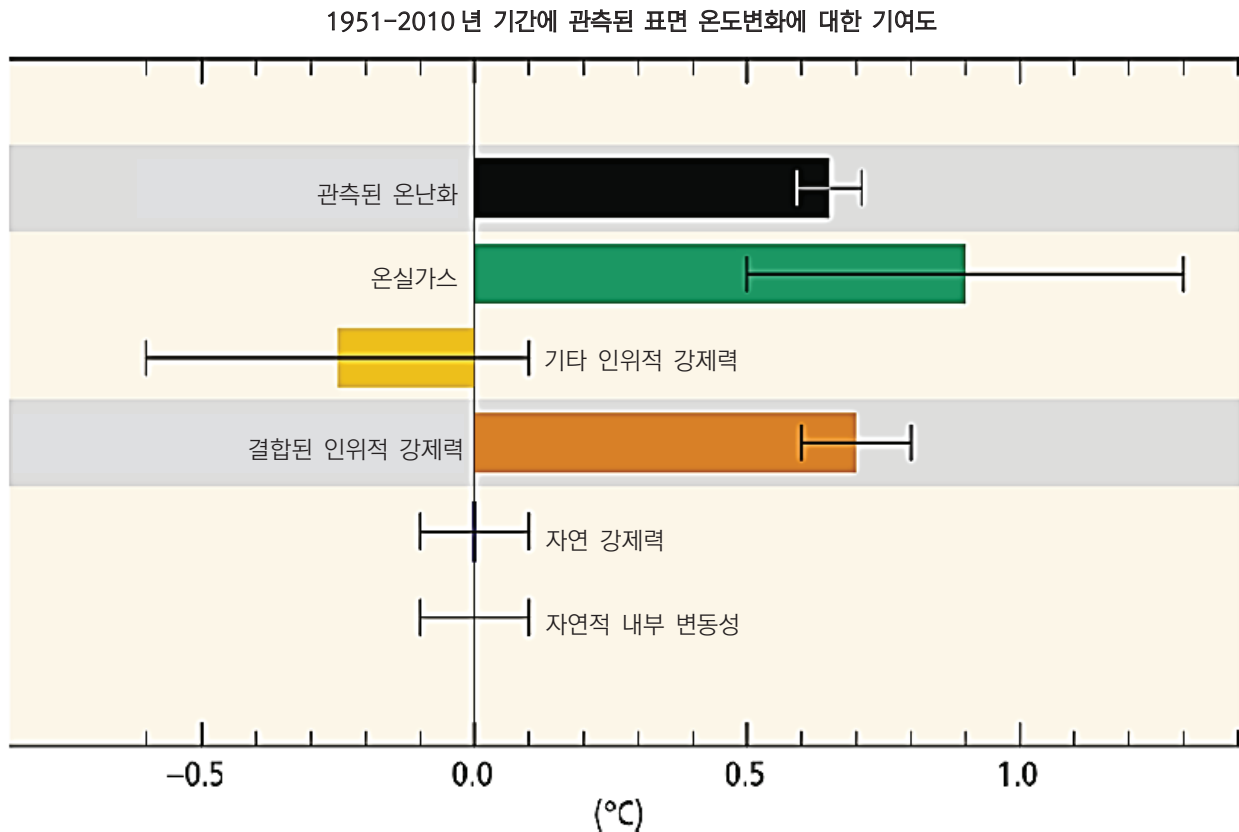


그림 SPM.3 | 잘 혼합된 온실가스와 기타 인위적 강제력(에어로졸의 냉각효과와 토지 이용 변화의 효과 포함)의 1951-2010 년 기간 중 온난화 경향에 대해 평가된 가능성 범위(위스커(Whisker); 양쪽으로 연장된 막대선)와 중간 점(막대)은 인위적 강제력, 자연 강제력, 자연적 내부 기후 변동성(강제력이 없는 상태에서도 기후변화 내에서 자연적으로 발생하는 기후 변동성의 요소)을 결합하여 나타낸다. 관측 불확실성으로 인해 관측된 표면 온도 변화는 5%-95 %의 불확실성 범위에서 검은 색으로 표시된다. 원인이 규명된 온난화 범위(색)는 관측된 온난화 각각에 대한 외부 강제력의 기여도를 추정하기 위해 기후 모델 모의와 결합된 관측에 기초한다. 결합된 인위적 강제력의 기여도는 온실가스와 기타 인위적 강제력 각각의 기여보다 적은 불확실성을 가지고 추정될 수 있는데, 이는 두 기여가 상쇄되는 부분이 있어, 결합된 신호가 관측과 더 일관된 결과를 보이기 때문이다. {그림 1.9}

SPM 1.3 기후변화의 영향

전 대륙과 해양에 걸쳐 최근 수십 년 동안 기후에 변화가 일어나 자연계 및 인간계가 영향을 받아왔다. 그 원인이 무엇이든지 간에 지금까지 관측된 기후변화가 이러한 영향을 초래했으며, 이는 기후가 변함에 따라 자연계 및 인간계가 민감하게 반응한다는 것을 의미한다. {1.3.2}

현재까지 관측된 기후변화 영향의 증거는 자연계에 대해 가장 포괄적이고 강력하게 제시되고 있다. 구체적으로, 기후변화는 다수의 지역에서 강수량의 변화를 가져왔고, 눈과 빙하를 녹여 녹지화시키면서 수문 시스템에도 변화를 초래함으로써 결과적으로 수자원의 양과 질에 영향을 주었다 (중간 신뢰도). 기후변화가 계속해서 나타남에 따라 육상, 담수 및 해양 중 다수의 지리적 범위, 계절 활동, 이주 패턴, 개체 수, 종의 상호 작용에도 변화가 일어났다(높은 신뢰도). 기후변화는 인간계에도 일부 크고 작은 영향을 주었는데, 인간계에 대한 다른 영향들과는 차이를 보인다 (그림 SPM.4). 다양한 지역과 작물을 주제로 한 많은 연구들은 기후변화가 작물 수확량에 상당히 부정적인 영향을 주는 것이 일반적이라 평가하였다(높은 신뢰도). 해양 산성화는 인위적 요인에서 일부 기인하였는데, 이는 해양 생물에 대한 영향으로 이어지고 있다. (중간 신뢰도). {1.3.2}

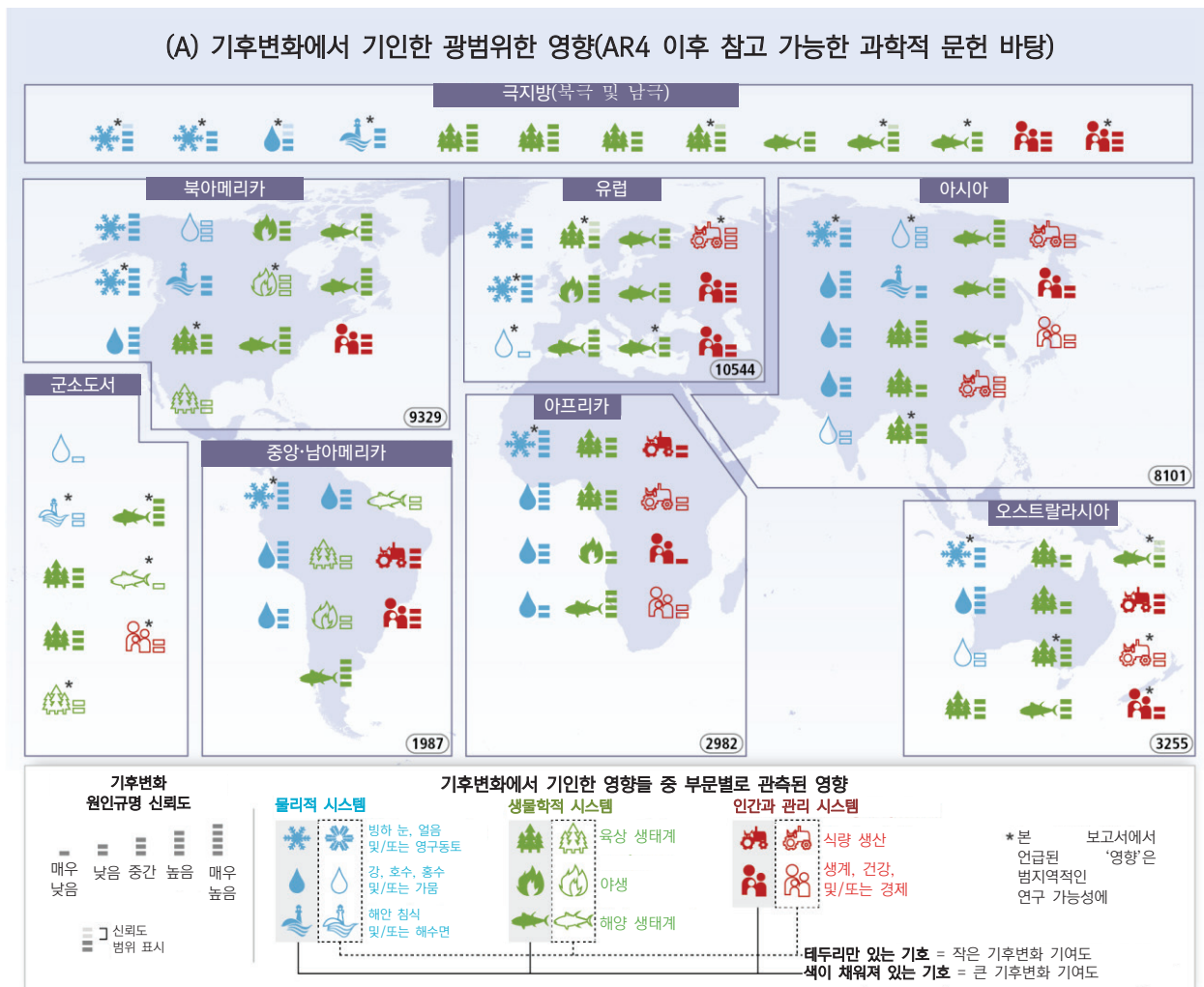


그림 SPM.4 | 변화하고 있는 세계에서 식별된 광범위한 영향. (A) AR4 이후 사용 가능한 과학적 연구에 의하면 기후변화에서 실질적으로 기인한 영향은 최근 수십 년 동안 증가하고 있다. 이에 대한 원인규명을 위해서는 기후변화의 역할을 정의할 과학적 증거가 필요하다. 기후변화에서 기인한 추가적 영향이 지도에 없다고 해서 그러한 영향이 일어나지 않았다는 것을 의미하는 것은 아니다. 기후변화에서 기인한 영향을 뒷받침하는 보고서의 출판이 증가하고 있다는 것은 지식 기반이 늘어났음을 의미하지만, 여전히 다수의 지역, 시스템 및 진행과정, 자료와 연구의 간 격차와 관련한 한계점이 나타나고 있다. 기호는 기인한 영향의 범주, 관측된 영향과 관련된 (크고 작은) 기후변화의 상대적 기여, 기여에 대한 신뢰도를 나타낸다. 각각의 기호는 관련된 지역규모의 영향을 분류하는 WGII 표 SPM.A1 에 하나 혹은 그 이상의 항목을 나타낸다. 타원 안의 숫자는 제목, 초록, 키워드(2011 년 7 월 기준)에 언급되어있는 각 나라의 영어출판물에 대한 스코푸스 도서목록 데이터 베이스를 기반으로 한 2001-2010 년 기후변화 출판물의 지역적 총합을 나타낸다. 이 숫자들은 해당 지역을 통틀어 기후변화와 관련하여 참고 가능했던 과학 보고서의 전체 수를 의미한다; 이는 각 지역에서 기후변화 영향의 원인규명을 지원하는 출판물의 수를 나타내는 것은 아니다. IPCC 과학적 증거 범주를 따르는 원인 규명의 평가에 포함된 출판물은 WGII 18 장에 정의되었다. 극지역과 군소도서지역은 인근 대륙지역과 함께 분류되었다. 원인규명 연구 범위에 속한다고 고려된 출판물은 WGII AR5 에 평가된 문헌 내 광범위한 범위를 기준으로 분류하였다. 기후변화에서 기인한 영향에 대한 설명은 WGII 표 SPM.A1 을 참고한다. {그림 1.11}

SPM 1.4. 극한 현상

1950 년 이래로 다수의 극한 기상 및 기후 현상에서 변화가 관측되었다. 이러한 변화들 중 일부는 인간 활동과 관련된 것으로 극한 저온 현상 감소, 극한 고온 현상과 극한 해수면 증가 및 많은 지역에서의 호우 빈도 증가가 있다. {1.4}

전지구적으로 추운 낮과 밤의 빈도는 감소하고 따뜻한 낮과 밤의 빈도는 증가할 가능성이 매우 높다. 유럽, 아시아, 오스트레일리아의 대부분 지역에서는 폭염의 빈도가 증가할 가능성이 높다. 20 세기 중반 이후 전지구적으로 관측된 일 극한 기온 현상의 강도와 빈도의 변화에 인간 활동이 영향을 주었을 가능성이 매우 높다. 일부 지역에서

폭염의 발생 가능성은 인간의 영향으로 인해 두 배 이상 증가하였을 가능성이 높다. 관측된 온난화는 일부 지역에서 폭염 관련 사망률은 증가시키는 반면 한파 관련 사망률은 감소시켰다 (중간 신뢰도). {1.4}

호우 빈도가 감소하는 육지 지역보다 증가하는 육지 지역이 더욱 많아질 가능성이 높다. 최근 관측된 극한 호우 현상과 일부 저수지의 유출 증가 경향은 지역적 규모에서 홍수의 위험이 더 커졌음을 의미한다 (중간 신뢰도). 주로 평균 해수면 상승의 결과인 극한 해수면(예, 해일에서 경험하듯이)은 1970 년 이후 증가했을 가능성이 높다. {1.4}

최근 발생하고 있는 폭염, 가뭄, 홍수, 사이클론 및 산불과 같은 극한 기후현상으로 인한 영향은 일부 생태계와 다수의 인간계가 현재 기후변동성에 상당히 취약하고 심각하게 노출되어 있다는 것을 보여준다 (매우 높은 신뢰도). {1.4}

SPM 2. 미래의 기후변화와 위험, 영향

온실가스 배출이 계속됨에 따라 온난화 현상이 더욱 심화되고 기후 시스템을 이루는 모든 구성요소들은 장기적으로 변화하여, 결과적으로 인간계 및 생태계에 심각하고 광범위하며 돌이킬 수 없는 영향을 미칠 것이다. 기후변화를 제한하기 위해서는 온실가스 배출량을 큰 폭으로 줄이려는 지속적인 노력이 필요하며, 감축과 적응을 통해 기후변화 위험을 예방할 수 있을 것이다. {2}

SPM 2.1 미래 기후의 주요 동인

이산화탄소 누적 배출량은 21 세기 후반과 그 이후의 평균 지구 표면 온난화에 상당한 영향을 미친다. 미래 온실가스 배출량은 사회경제적 개발과 기후 정책에 의존해서 매우 다르게 전망되고 있다. {2.1}

GHG 배출을 발생시키는 주요 인위적 요인으로는 인구 규모, 경제 활동, 생활 방식, 에너지 사용, 토지사용 패턴, 기술 및 기후정책이 있다. "대표농도경로 (Representative Concentration Pathways, 이하 RCP)"는 대기 오염물질 및 토지 이용 변화 등과 같은 요인들을 바탕으로 향후 GHG 배출량과 대기 중 농도가 2100 년까지 어떻게 전개될지 나타내는 4 가지 경로이다. 4 가지 RCP 시나리오에는 엄격한 완화 시나리오(RCP2.6), 중간 (intermediate) 시나리오(RCP4.5 및 RCP6.0) 2 가지와 매우 높은 GHG 배출량 시나리오(RCP8.5)가 있다. GHG 배출량 감축을 위한 어떠한 노력도 이루어지지 않은 경우의 시나리오인 "베이스라인 시나리오(baseline scenarios)"의 경로는 RCP6.0 과 RCP8.5 사이에 존재한다 (그림 SPM.5a). RCP2.6 은 전지구 온난화 수준이 산업화 시대 이전 기온 대비 2°C 상승 이하로 유지될 수 있는 가능성을 높이는 것을 목표로 하는 시나리오이다. 이 RCP 시나리오들은 제 3 실무그룹에서 평가된 다양한 시나리오와 일관성을 띤다⁵ {2.1, 박스 2.2, 4.3}

RCP 시나리오뿐만 아니라 좀 더 넓은 범위인 제 3 실무그룹의 완화 시나리오 세트가 전망한 2100 년까지의 지구 기온 변화 수준과 누적 이산화탄소 배출량 간에는 거의 선형에 가까운 정도로 강력하고 일관적인 상관 관계가 존재한다는 것을 다양한 증거를 통해 알 수 있다 (그림 SPM.5b). 주어진 모든 수준의 온난화는 다양한 범위의 누적 CO₂ 배출량⁶과 관련되므로 초반 수십 년간의 배출량이 높다는 것은 후반 배출량이 낮다는 것을 의미한다. {2.2.5, 표 2.2}

⁵ 2100 년까지의 CO₂ 환산 (CO₂-equivalent, CO₂-eq) 농도를 바탕으로 대략 300 베이스라인 시나리오와 900 완화 시나리오로 분류한다. CO₂ 환산 농도에는 모든 온실가스 (할로겐 가스와 대류권 오존 포함) 및 에어로졸과 알베도 변화에 의한 복사강제력이 포함된다.

⁶ 이산화탄소 배출량의 범위를 정량화하기 위해서는 비-이산화탄소 동인을 함께 고려해야 한다.

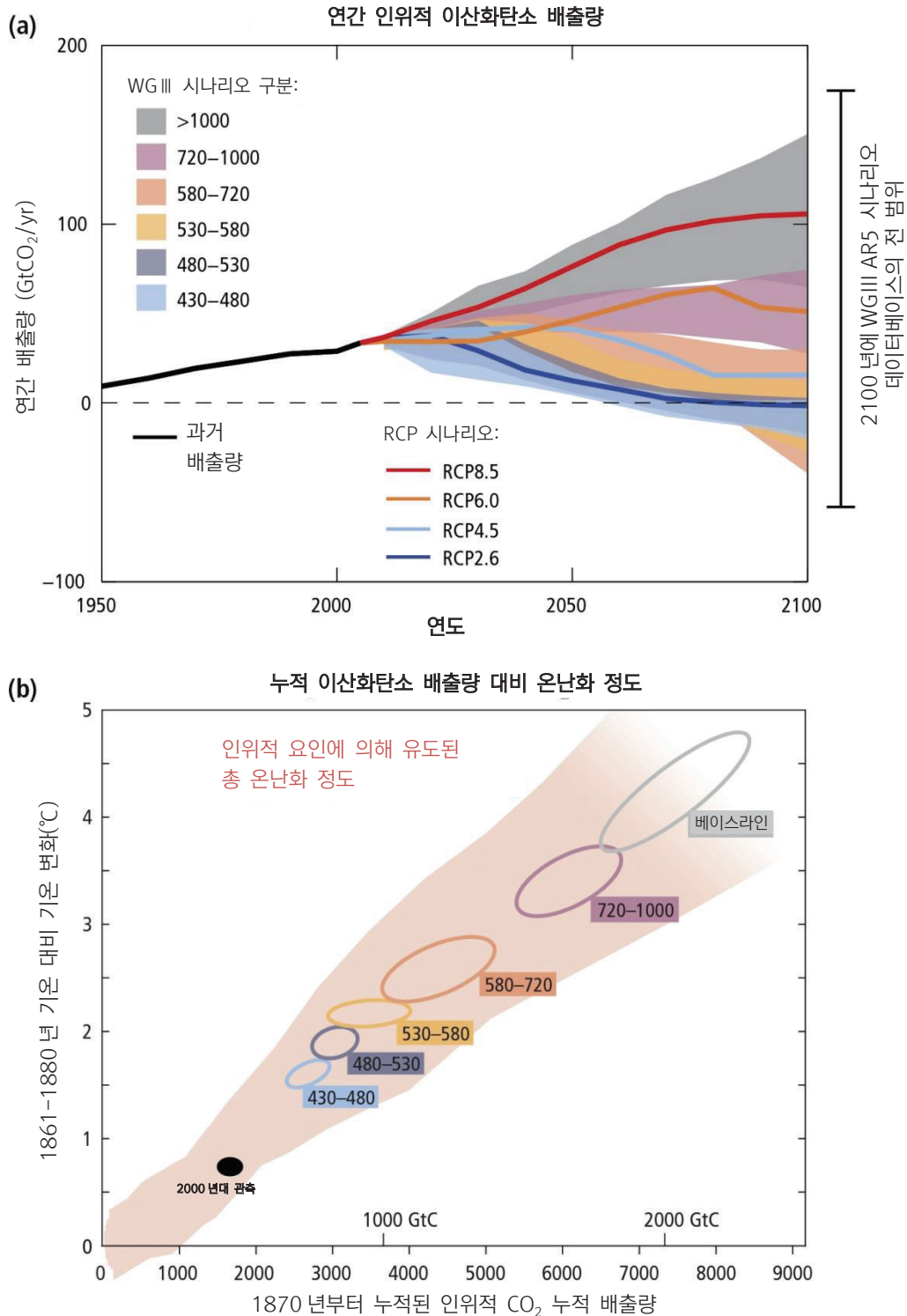


그림 SPM.5 | (a) 대표농도경로(RCP)의 이산화탄소(CO₂) 배출량(선)과 이와 관련된 WG III의 시나리오 범주 (음영 색상으로 채워진 부분은 5%에서 95% 범위를 나타낸다). WG III은 각종 과학 문헌에서 나타난 다양한 배출량 시나리오들을 요약하여 WG III 시나리오 범주(categories)를 제시하였으며 이는 2100 년의 CO₂ 환산 농도 수준(ppm)을 기준으로 분류되었다. 박스 2.2, 그림 1 에서 기타 온실가스 배출량의 시계열(time series)을 확인할 수 있다. **(b)** 다양한 증거를 바탕으로, 지구 이산화탄소 배출량이 순 누적 총량의 특정 수준에 도달하였을 때 지구 표면 온도 또한 상승하는 것을 볼 수 있다. 색으로 채워진 부분은 과거 배출량으로 유도한 기후 탄소 순환(climate-carbon cycle) 모델의 계층(hierarchy)과 2100 년까지의 네 가지 RCP 에 따라 과거 및 미래 전망의 분포 정도를 나타낸 것이며 이용 가능한 모델의 수가 감소함에 따라 색이 열려진다. 타원은 WG III의 각 시나리오 범주 하에서 단순 기후 모델 (평균 기후 반응)의 1870-2100 년 누적 이산화탄소 배출량 대비 2100 년의 총 인위적 온난화 정도를 나타낸다. 기온 측면에서 비-이산화탄소 기후 동인에 대한 다양한 시나리오의 영향에 따라 타원의 폭이 달라진다. 검은 점과 같은 타원은 2005 년에 관측된 배출량과 2000-2009 년, 10 년 동안 관련 불확실도와 함께 관측된 기온을 나타낸다. {박스 2.2, 그림 1; 그림 2.3}

1861-1880 년 기간과 비교하여 인위적 요인에 의한 총 온난화 수준을 66%⁷ 이상의 확률에서 2°C 이하로 제한하기 위해서는 모든 인위적 요인에 의한 1870 년대 이후의 총 누적 이산화탄소 배출량을 약 2900 GtCO₂ (비-이산화탄소 동인에 따라 2550 에서 3150 GtCO₂ 의 범위) 이하로 유지해야 하는데, 2011 년까지 약 1900 GtCO₂⁸가 이미 배출되었다. 이와 관련된 추가 사항은 표 2.2 를 참조한다. {2.2.5}

SPM 2.2 기후 시스템에서 전망되는 변화

본 보고서에서 평가한 모든 배출 시나리오에서 표면 온도는 21 세기 전반에 걸쳐 상승할 것으로 전망된다. 다수의 지역에서 폭염의 발생 빈도 및 지속 기간뿐만 아니라 극한 강수 현상의 발생 빈도 및 강도 또한 증가할 가능성이 매우 높다. 해양에서는 온난화와 산성화가 지속될 것이며 전지구 평균 해수면은 계속해서 상승할 것이다. {2.2}

별다른 언급이 없는 한, 2.2 절에서 전망하는 변화는 1986-2005 년 대비 2081-2100 년에 예상되는 변화이다.

미래의 기후는 과거의 인위적 배출로 인해 초래된 온난화뿐만 아니라, 미래 인위적 배출량과 기후 내부적 변동성에 따라 결정된다. 1986-2005 년과 비교하여, 2016-2035 년 중 평균 지표 온도 변화는 4 가지 RCP 에서 비슷하게 나타나며, 0.3°C-0.7°C의 범위가 될 가능성이 높다 (중간 신뢰도). 이러한 전망은 주요 화산 폭발 사건이 없고 일부 자연적 배출원 (예: CH₄ 와 N₂O)이나 총 일사량에서 변화가 나타나지 않을 것이라는 가정을 바탕으로 한 것이다. 21 세기 중반부터는, 전망되는 기후변화의 정도가 배출 시나리오에 따라 현저히 달라지기 시작한다. {2.2.1, 표 2.1}

1850-1900 년 대비, 2081-2100 년의 지표 온도 변화는 RCP4.5, RCP6.0, RCP 8.5 에서 1.5°C를 초과할 가능성이 높을 것으로 전망된다 (높은 신뢰도). RCP6.0 과 RCP8.5 에서는 온난화가 2°C를 초과할 가능성이 높고 (높은 신뢰도), RCP4.5 에서는 2°C를 초과하지 않을 가능성보다 초과할 가능성이 높은 것으로 보이지만 (중간 신뢰도), RCP2.6 에서는 2°C를 초과할 가능성이 낮다 (중간 신뢰도). {2.2.1}

1986-2005 년을 기준으로 21 세기 후반(2081-2100 년) 지구 평균 표면 온도는 RCP2.6 에서 0.3°C-1.7°C, RCP4.5 에서 1.1°C-2.6°C, RCP6.0 에서 1.4°C-3.1°C, RCP8.5⁹에서 2.6°C- 4.8°C 상승할 가능성이 높다 (그림 SPM.6a, 그림 SPM.7a). 북극 지역의 온난화는 지속될 것이며, 그 속도는 지구 평균 온난화 속도보다 더 빠를 것이다 (그림 SPM.6a, 그림 SPM.7a). {2.2.1, 그림 2.1, 그림 2.2, 표 2.1}

평균 지표 온도가 상승함에 따라, 일(daily)과 계절(seasonal) 시간 범위에서 대다수 육지 지역의 극한 고온 현상은 더욱 증가하는 반면 극한 저온 현상은 더욱 감소할 것이 사실상 확실하다. 폭염의 발생 빈도와 지속 기간은 증가할 가능성이 매우 높다. 간헐적으로 발생하는 겨울의 극한 혹한 현상 또한 계속해서 나타날 것이다. {2.2.1}

⁷ 온난화를 2°C 이하로 한정시킬 수 있는 50% 이상과 33% 이상의 확률에 해당하는 수치는 각각 3000 GtCO₂ (2900-3200 GtCO₂ 범위)와 3300 GtCO₂ (2950-3800 GtCO₂의 범위)이다. 기온 한정이 좀 더 높거나 낮은 것은 누적 배출량이 증가하거나 감소하는 것을 의미한다.

⁸ 이는 66% 이상의 확률로 온난화가 2°C 이하로 한정되는 2900 GtCO₂ 의 약 3 분의 2 에 해당하는 수치이며, 50% 이상의 확률로 온난화가 2°C 이하로 한정되는 3000 GtCO₂ 의 약 63%에 해당하는 수치이고 33% 이상의 확률로 온난화가 2°C 이하로 한정되는 3300 GtCO₂ 의 58%에 해당하는 수치이다.

⁹ 1850-1900 년 대비 1986-2005 년의 기온은 약 0.61 [0.55-0.67]°C 온난했다.

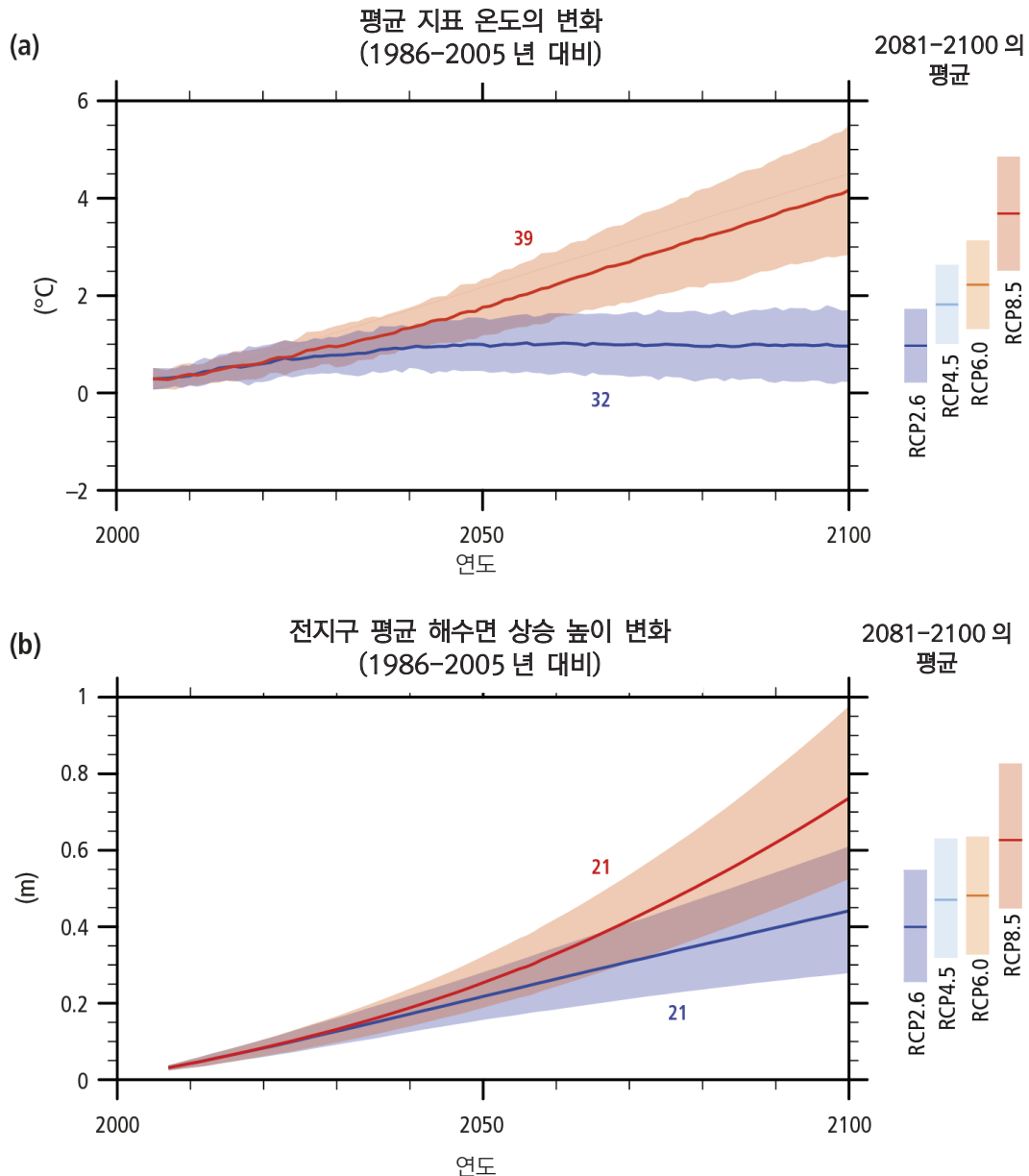


그림 SPM.6 | 지구 평균 표면 온도 변화 및 (a) 전지구 평균 해수면 상승¹⁰을 (b) 2006-2100 년 기간의 다중모델로 모의한 결과. 제시한 모든 변화는 1986-2005 년과 비교한 것이다. 전망 시계열 및 불확실성 측정(음영 색상으로 채워진 부분)은 RCP 2.6(파란색) 및 RCP8.5(붉은색) 시나리오에 대해 나타낸 것이다. 2081-2100 년 평균과 관련된 불확실성은 모든 RCP 시나리오 각각에 대해서 각 패널의 오른쪽 끝에 음영 처리를 한 수직 막대로 나타냈다. 또한 다중모델 평균을 계산하기 위해 사용한 결합모델 상호비교 프로젝트 5 단계 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5) 모델의 수를 나타내었다. {2.2, 그림 2.1}

강수량의 변화는 일정하지 않을 것이다. RCP8.5 시나리오에서 고위도 및 적도 부근 태평양의 연 평균 강수량은 증가할 가능성이 높다. RCP8.5 시나리오에서 중위도 및 아열대 건조 지역의 평균 강수량은 대개 감소하는 반면 중위도 습윤 지역의 평균 강수량은 대개 증가할 가능성이 높다 (그림 SPM.7b). 대부분의 중위도 대륙 및 열대 습윤 지역에서는 극한 강수 현상의 빈도 및 강도가 증가할 가능성이 매우 높다. {2.2.2, 그림 2.2}

전지구적으로 21 세기 중 해양의 온난화가 지속될 것이며, 특히 열대 및 북반구 아열대 지역의 해양 표면에서 온난화가 가장 강하게 나타날 것으로 전망된다 (그림 SPM.7a). {2.2.3, 그림 2.2}

¹⁰ 최근 정보 (관측, 물리적 이해 및 모델링) 에 의하면, 남극 빙하의 해양 기반 부문(marine-based sectors)이 붕괴하기 시작할 경우에만, 21 세기 중 가능할 것으로 예상되는 해수면 상승 범위를 크게 넘는 수준으로 지구 해수면 높이가 상승할 것이다. 이러한 추가적인 해수면 상승은 21 세기 동안 1m 의 수십 cm 를 넘어서지는 않을 것이다.

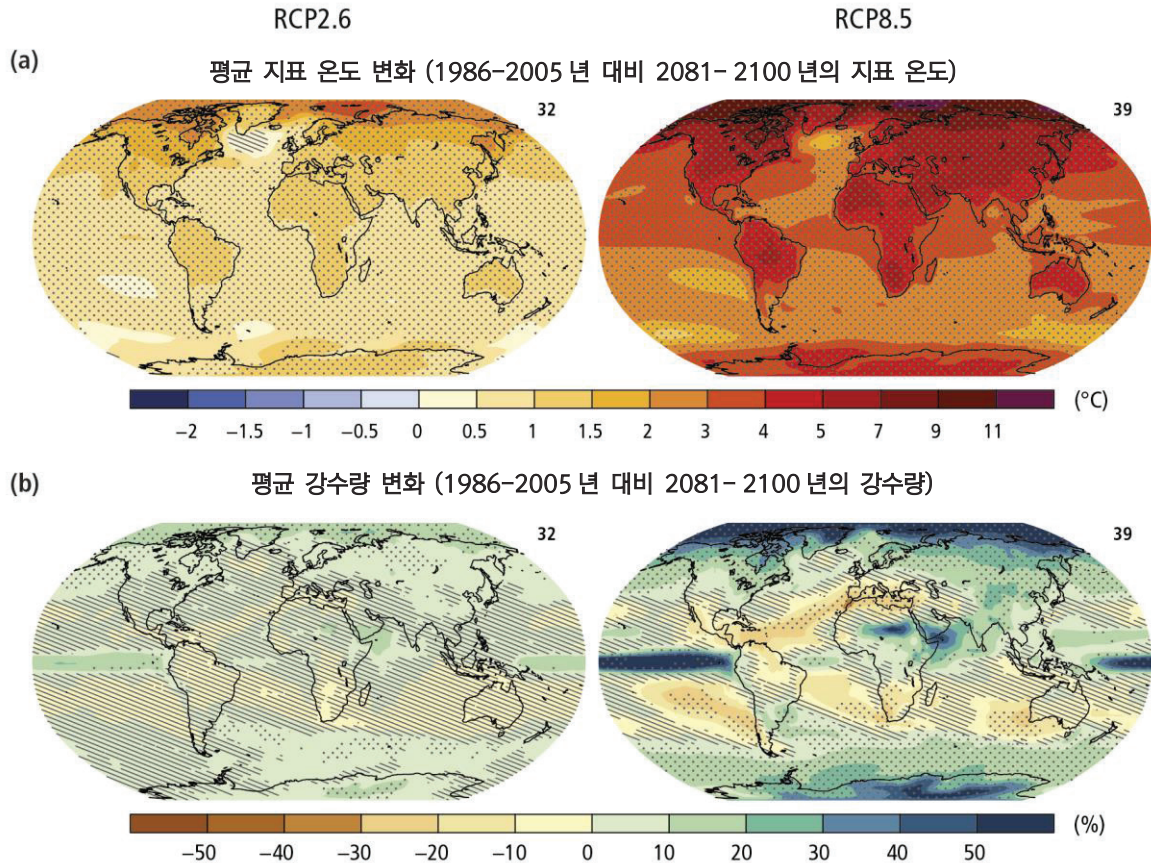


그림 SPM.7 | RCP2.6(왼쪽) 및 RCP8.5(오른쪽)시나리오 하에서 (a) 연평균 표면 온도의 변화 및 (b) 평균 강수량의 변화 전망. 1986-2005 년 대비 2081-2100 년에 대한 다중모델 평균을 기반으로 하였다. 다중 모델(multi-model) 평균을 계산하는 데 사용한 모델의 개수는 각 그림의 오른쪽 끝에 표시하였다. 자연적 내부 변동성(natural internal variability)과 비교하여 변화가 클 것으로 전망되는 지역 및 모델의 최소 90%가 변화의 신호(sign)에 동의한 지역은 점으로 표시하였다. 자연적 내부 변동성의 표준 편차 1 보다 변화가 적을 것으로 예상되는 지역은 빗금(즉, 대각선)으로 표시하였다. {2.2, 그림 2.2}

지구 시스템 모델(Earth System Model)의 전망에 따르면, RCP2.6 하에서, 해양 산성화가 21 세기 중반 이후에 느리게나마 회복될 수 있지만, 모든 RCP 시나리오하에서 21 세기 말까지 해양은 전지구적으로 현재보다 더 산성화될 것이다. 해양 표면의 pH 는 RCP2.6 에서 0.06-0.07 (산도가 15-17% 증가), RCP4.5 에서 0.14-0.15 (38-41%), RCP6.0 에서 0.20-0.21(58-62%), RCP8.5 에서 0.30-0.32(100-109%) 감소할 것이다. {2.2.4, 그림 2.1}

모든 RCP 시나리오하에서 연차적인(Year-round) 북극 해양빙의 감소가 예상된다. RCP8.5 에서는 21 세기 중반 이전 여름 해양빙이 가장 적은 9 월에, 얼지 않는 (不凍, ice-free)¹¹ 북극해가 나타날 가능성이 높다¹² (중간 신뢰도). {2.2.3, 그림 2.1}

지구 평균 표면 온도가 상승함에 따라 북반구 고위도까지 확장되어 있는 지표면 근처 영구동토층이 감소할 것은 사실상 확실하며, 다중모델 평균을 바탕으로 볼 때, 영구동토층(지표면 근처 상층 3.5m 까지)은 RCP2.6 에서 37%, RCP8.5 에서 81%까지 감소할 것으로 전망된다 (중간 신뢰도). {2.2.3}

남극 대륙의 빙하 (및 그린란드와 남극의 빙상)를 제외한 지구 빙하량은 RCP2.6 에서 15-55%까지 감소하고, RCP8.5 에서는 35-85%까지 감소할 것으로 전망된다 (중간 신뢰도). {2.2.3}

¹¹ 얼지 않는 바다(不凍海)라는 것은, 최소한 5 년 연속으로 해양빙의 범위가 100 만 km² 이하인 바다를 말한다.

¹² 북극 해양빙 범위의 기후학적 평균 상태 및 1979-2012 년 사이의 경향을 가장 정확하게 재표현한 모델들의 하위집합 평가 기반.

제 4 차 평가보고서 이후 해수면 변화의 전망 및 이해가 상당 부분 개선되었다. 지구 평균 해수면 상승은 21 세기에 지속될 것이며, 1971-2010 년 사이 관측된 수준보다 더욱 빠른 속도로 진행될 *가능성이 매우 높다*. 1986-2005 년과 비교하여 2081-2100 년의 해수면 상승 범위는 RCP2.6 에서 0.26-0.55m, RCP8.5 에서는 0.45-0.82m 가 될 *가능성이 높다 (중간 신뢰도)* (그림 SPM.6b). 해수면이 전 지역에 걸쳐 일정하게 상승하지는 않을 것이다. 21 세기 말까지 해양 면적의 약 95% 이상에서 해수면 상승이 나타나고, 전세계 해안선의 약 70%에서 해수면 상승은 지구 평균의 20% 이내에서 나타날 *가능성이 매우 높다. {2.2.3}*

SPM 2.3 기후변화에 의한 미래 위험 및 영향

기후변화는 기존의 위험을 증폭시킬 뿐만 아니라 자연과 인간계에 새로운 위험을 가져올 것이다. 위험은 균일하게 분포하지 않으며, 개발 수준을 막론하고 모든 국가에서 취약 계층 및 지역사회가 상대적으로 더 큰 위험에 노출된다. {2.3}

기후 관련 영향의 위험(risk)은 기후-관련 위해(hazard) 요소(위해한(hazardous) 사건 및 경향 포함)와 인간 및 자연계의 노출, 취약성 및 적응 수준과의 상호작용에 따라 발생한다. 온난화의 속도와 규모가 증가하고 해양 산성화가 심화되며 기후 시스템에서 여러 변화가 나타남에 따라, 위험의 강도 및 범위가 커지고 있으며, 비가역적이고 치명적인 영향이 발생하는 경우도 있다. 특정 지역에서만 제한적으로 나타나는 위험이 있는가 하면 (그림 SPM.8), 전 세계적으로 나타나는 위험도 있다. 해양 산성화를 포함하여 기후변화의 속도 및 규모를 제한한다면, 기후변화 영향으로 인해 향후 발생할 수 있는 전반적 위험을 줄일 수 있다. 갑작스럽고 비가역적인 변화를 촉발시키기 충분한 기후변화의 정확한 수준이 무엇인지 아직 확실히 알 수 없지만, 기온이 상승함에 따라 임계점(threshold)을 넘어서는 위험은 증가한다 (*중간 신뢰도*). 위험을 평가할 때는, 발생 확률은 낮지만 대규모 피해가 예상되는 결과를 포함하여, 최대한 광범위하게 영향의 가능성을 판단하는 것이 중요하다. {1.5, 2.3, 2.4, 3.3, 박스 서론 1, 박스 2.3, 박스 2.4}

기후변화가 진행됨에 따라 21 세기 중과 후에 많은 종들이 멸종 위기에 처할 것이며, 특히 기타 스트레스 요인들과 기후변화 간 상호작용이 일어날 경우 종 멸종의 위험은 더욱 커질 것이다 (*높은 신뢰도*). 대다수 식물 종들이 현재 혹은 앞으로 전망되는 빠른 기후변화 속도에 맞추어 자연적으로 자신의 지리적 범위를 옮기기에는 역부족일 것이다. RCP4.5 이상 시나리오에서 편평한 경관 지역의 소형 포유류 및 담수성 연체동물 대다수 또한 21 세기 중 예상되는 기후변화의 속도에 맞추어 적응할 수 없을 것이다 (*높은 신뢰도*). 과거 수백만 년 동안 자연적 지구 기후변화는 현재의 인위적 기후변화보다 훨씬 느리게 진행되었음에도 종의 멸종을 포함하여 상당한 수준의 생태계 변화를 가져온 것이 관측된 바 있으므로, 미래의 위험 수준은 높을 것으로 전망된다. 해양생물은 점차 용존산소 감소, 해양 산성화 속도 및 크기 증가와 함께 (*높은 신뢰도*) 해양 극한 수온의 심화에 따른 위험에 처할 것이다 (*중간 신뢰도*). 특히 산호초 및 북극 생태계의 취약성이 높다. 해수면 상승은 연안 시스템에 및 저지대 지역에 대한 위험 요소로 작용하는데, 지구 평균 기온이 안정화된다고 할지라도 해수면 상승은 수세기 동안 지속될 것이다 (*높은 신뢰도*). {2.3, 2.4, 그림 2.5}

기후변화는 미래 식량 안보에도 부정적인 영향을 미칠 것이 예상된다 (그림 SPM.9). 21 세기 중후반에 전망된 수준으로 기후변화가 진행될 경우, 전지구적으로 해양종이 재 분포될 것이며 기후변화에 민감하게 반응하는 지역에서는 해양의 생물다양성이 감소하여, 해양의 어업 생산성 및 기타 생태계 서비스가 지속되기 어려울 것이다 (*높은 신뢰도*). 적응행동이 부재한 상황에서 산업화 이전 수준과 비교하여 지역 기온이 2°C 혹은 20 세기 후반 수준 이상으로 상승한다면, 열대 및 온대 지역에서 밀, 쌀 및 옥수수의 수확량은 감소할 것으로 전망되지만, 반대로 이들 작물의 수확량이 증가하여 혜택을 보는 지역이 있을 수도 있다 (*중간 신뢰도*). 지구 기온이 4°C 혹은 20 세기 후반 수준 이상¹³으로 상승하는 경우, 식량 수요 증가 문제와 맞물려 전 세계 및 지역의 식량 안보가 막대한 타격을 받을 수 있다 (*높은 신뢰도*). 기후변화는 대부분의 건조 아열대 지역에서 재생 가능한 지표수와 지하수 자원을 고갈시켜 (*명확한 증거, 높은 동의 수준*) 지역 간 수자원 경쟁을 심화시킬 것이다 (*제한된 증거, 중간 동의 수준*). {2.3.1, 2.3.2}

¹³ 모든 RCP 시나리오에서 1986-2005 년과 비교하여 2081-2100 년의 육지(land) 평균 온난화 전망치는 지구 평균 온난화 전망치보다 높다. 지역별 전망은 그림 SPM.7 을 참조한다. {2.2}

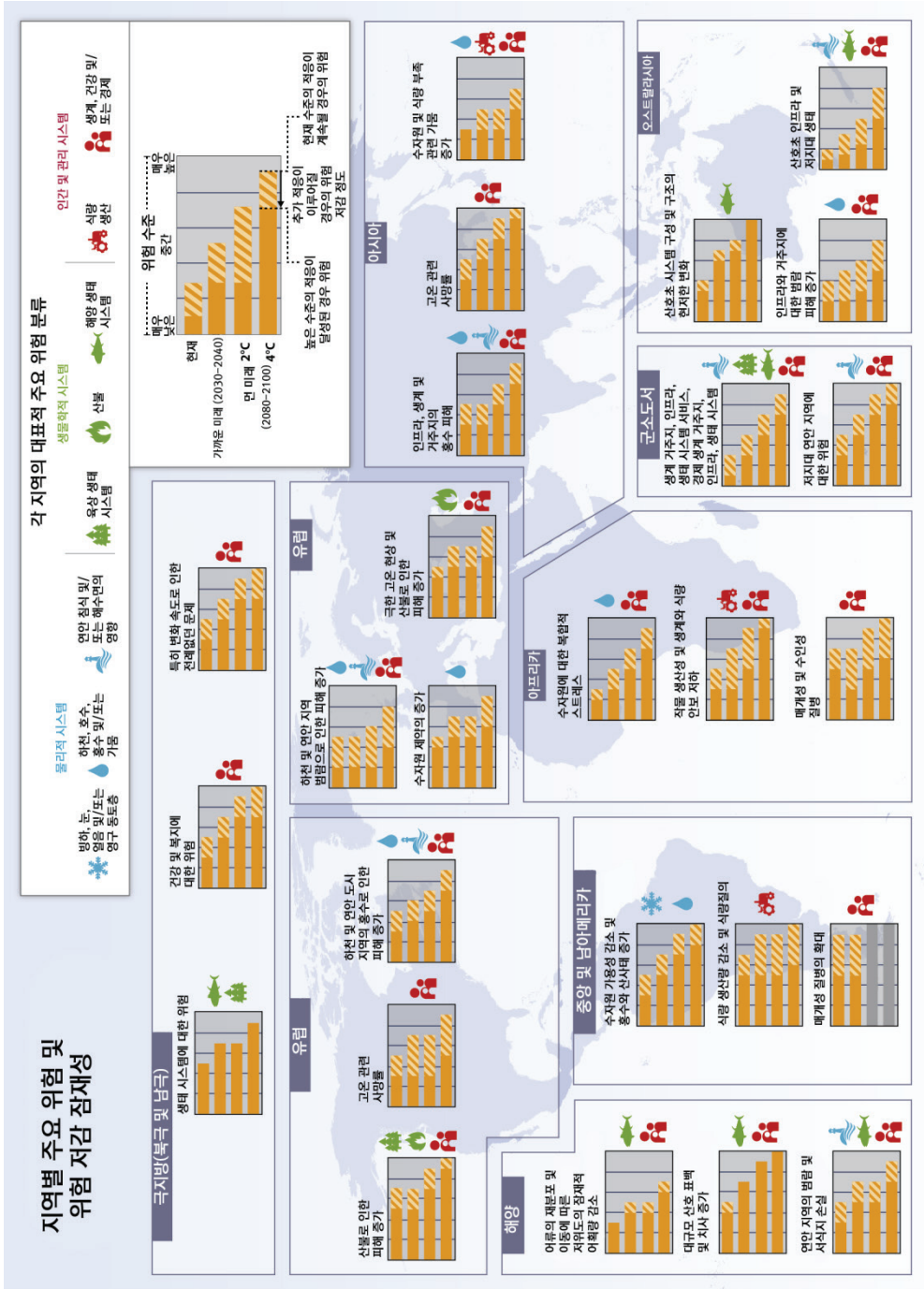
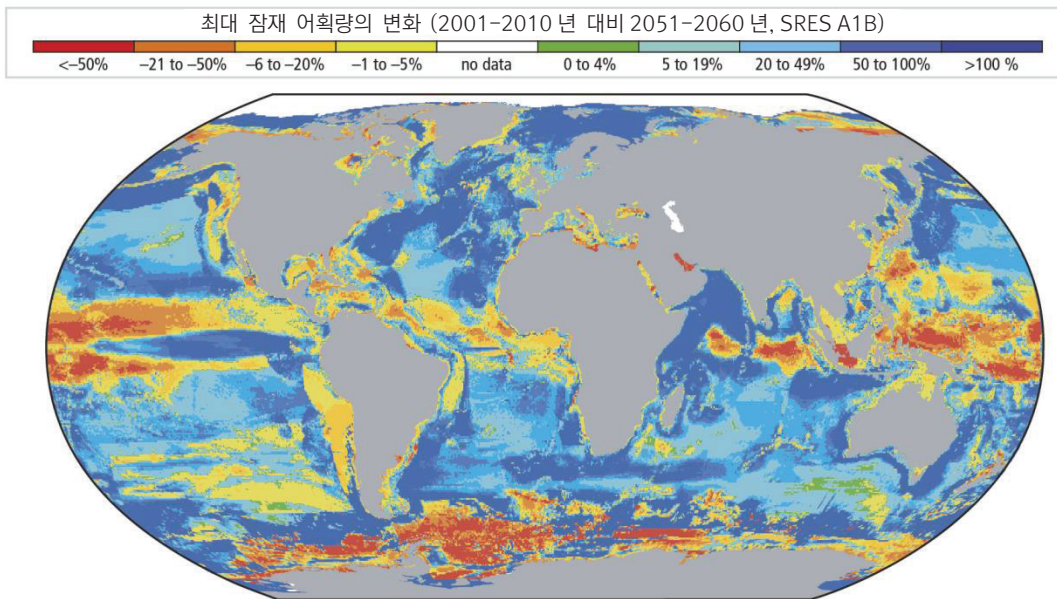


그림 SPM.8 | 적응과 완화를 통한 위험 저감의 잠재성 및 적응 한계를 포함한 지역별 대표 주요 위험 분류¹⁴. 각 주요 위험들의 특징은 매우 낮음, 중간, 높음, 매우 높은 위험들로 분류하였다. 위험 수준은 3 가지 시간 프레임(frame)으로 분류하여 나타내었다: 현재, 가까운 미래 (여기서는 2030-2040 년), 먼 미래(여기서는 2080-2100 년). 가까운 미래에 예상되는 지구 평균 기온 상승 수준은 배출 시나리오 간 큰 차이가 없다. 먼 미래의 위험 수준은 산업화 이전 기준 대비 2°C 및 4°C 기온 상승을 가정하여 제시하였다. 각 시간 프레임의 위험 수준은 '현재 수준의 적응이 지속될 경우와' '현재 혹은 미래 높은 수준의 적응이 달성될 것으로 가정된 경우'의 두 가지로 분류하였다. 위험 수준 간 비교가 반드시 필요한 것은 아니며 특히 지역 간 위험 수준의 비교는 무의미하다. {그림 2.4}

¹⁴ 다음과 같은 구체적인 기준으로 판단에 근거하여 주요 위험을 식별하였다: 영향의 규모, 발생 확률 및 비가역성; 영향의 발생 시기; 위험 수준을 높이는 취약성 및 노출의 지속성; 적응이나 완화를 통한 위험 저감 잠재력의 한계성.

식량 안보에 위험을 제기하는 기후변화

(a)



(b)

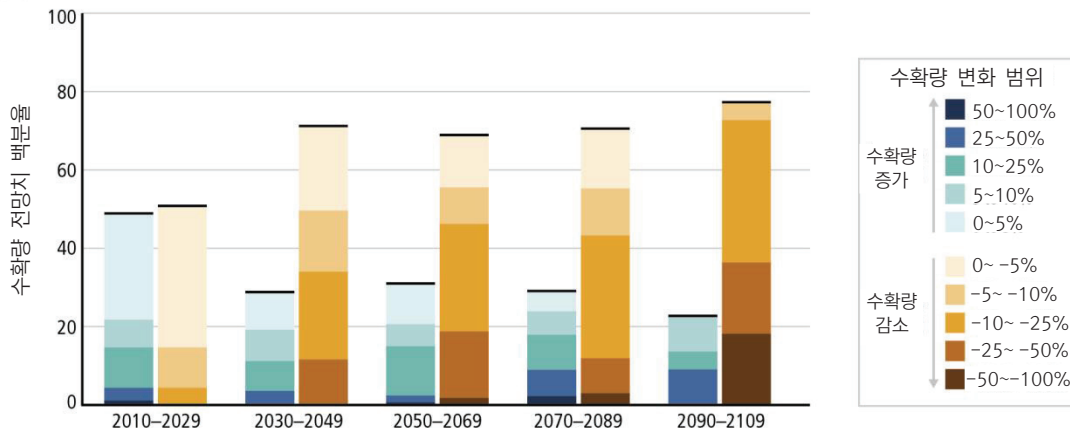


그림 SPM.9 | (a) 주요 어획 대상 해양 어류 및 무척추동물 1,000 종에 대한 최대 잠재 어획량의 전지구적 재 분포 전망. 본 전망에서는 중간- 높은 수준의 온난화 시나리오 하에서 단일 기후 모델을 바탕으로 도출한 해양 조건을 사용하여 2001-2010 년과 2051-2060 년의 10 년 평균을 비교하였으며, 남획이나 해양 산성화의 잠재적 영향은 분석에서 고려하지 않았다. **(b)** 21 세기 중 기후변화에 의한 농작물 수확량 (대개 밀, 옥수수, 쌀 및 콩)의 변화 개요. 각각의 시간 프레임에서 데이터를 모두 합하면 100%가 된다 (예상되는 수확량 감소 대비 증가를 백분율로 나타냄). 수확량 전망에서는 다양한 배출 시나리오, 열대 및 온대 지역, 적응 행동이 이루어진 경우 및 이루어지지 않은 경우를 모두 반영하였다 (1090 년 데이터 포인트 기반). 20 세기 후반의 수준 대비, 수확량의 변화를 산출하였다. {그림 2.6a, 그림 2.7}

이번 세기 중반까지 전망되는 기후변화는 대개 기존의 건강 문제를 악화시키는 방식으로 인간 건강에 영향을 줄 것이다 (**매우 높은 신뢰도**). 기후변화를 고려하지 않은 베이스라인(baseline)과 비교하여 기후변화가 심화될 경우, 많은 지역에서 21 세기에 걸쳐 기후변화로 인한 질병 관련 문제가 증가할 것이며, 이는 특히 개발도상국 내 저소득층에서 두드러지게 나타날 것이다 (**높은 신뢰도**). RCP8.5 하에서 2100 년까지 일 년 중 얼마 동안은 고온 다습한 기후가 함께 작용함에 따라, 식량 재배 및 야외 작업과 같은 인간 활동이 제약을 받는 일부 지역이 있을 것으로 예상된다 (**높은 신뢰도**). {2.3.2}

도시 지역에서 기후변화로 인한 위험이 증가할 것으로 전망되는데, 기후변화는 폭염 스트레스, 폭우, 내륙과 연안 지역의 범람, 산사태, 대기오염, 가뭄과 물 부족, 해수면 상승 및 폭풍 해일 등을 통해 도시 지역의 주민, 자산, 경제 및 생태계에 위험을 초래한다 (**매우 높은 신뢰도**). 필수적 사회 기반시설과 공공서비스가 갖추어지지 않았거나 기후변화에 대한 노출 정도가 높은 도시의 경우 이러한 위험은 더욱 심각하게 나타난다. {2.3.2}

비 도시 지역에서 기후변화의 영향에 가장 민감한 부문은 수자원 가용성 및 공급, 식량 안보, 기반시설, 농촌 수익(예: 전 세계 식량 및 비-식량 농작 지역의 변화) 부문이다 (높은 신뢰도). {2.3.2}

기온이 상승함에 따라 경제 부문의 총 손실은 급격히 증가할 것이지만 (제한된 증거, 높은 동의 수준), 현재 기후변화가 전 세계 경제에 미치는 영향을 추정하기는 쉽지 않다. 기후변화는 전 세계 빈곤 수준에도 영향을 준다. 기후변화의 영향은 경제성장과 빈곤퇴치를 더디게 하고, 식량 안보를 해치며, 새로운 빈곤의 덫을 놓게 되는데, 후자는 특히 도시 지역과 심각한 기아 문제를 보이는 신흥 지역 에서 발생할 것이다 (중간 신뢰도). 지역적인 규모에서 기후변화가 초래할 위험을 이해하기 위해서는 무역 및 국가 간 관계 등과 같은 국제적 측면 또한 충분히 고려해야 한다. {2.3.2}

기후변화로 인해, 인구 이동(displacement)이 증가할 것으로 예상된다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 이주하는 데 필요한 재원이 부족하여 이주하지 못하는 인구는 극단적 기상현상에 높은 수준으로 노출되며, 특히 개발도상국의 저소득 계층은 이에 취약하게 반응한다. 기후변화는 빈곤 및 경제적 충격 같이 이미 확고히 자리잡은 갈등 유발동인을 악화시킴으로써 폭력적 갈등이 초래하는 위험을 간접적으로 증가시킨다 (중간 신뢰도). {2.3.2}

SPM 2.4 2100 년 이후의 기후변화, 비가역적이고 갑작스러운 변화

인위적 온실가스가 더 이상 배출되지 않는다 할지라도, 다양하게 나타나는 기후변화와 그 영향은 앞으로 수세기에 걸쳐 계속될 것이다. 온난화가 심화됨에 따라, 갑작스럽게 나타나거나 비가역적인 변화의 위험은 증가할 것이다. {2.4}

2100 년 이후에도 RCP2.6 을 제외한 모든 시나리오 하에서 온난화는 계속 진행될 것이다. 인위적 이산화탄소의 순 배출량(net emission)이 0 으로 수렴한 후일지라도, 지구 표면 온도는 수세기에 걸쳐 현재의 상승 수준을 거의 일정하게 유지할 것이다. 앞으로 수년 안에 대기 중의 이산화탄소를 광범위한 수준에서 온전히 제거하는 경우가 아니라면, 이산화탄소 배출로 인해 초래된 인위적 기후변화는 대개 수 세기에서 수천 년이 지나도 회복될 수 없는 비가역적 성격을 지닌다. {2.4, 그림 2.8}

또한 평균 지표 온도를 안정화시킨다고 해서, 기후 시스템의 모든 측면을 안정화시킬 수 있는 것도 아니다. 기후변화로 인한 생물 군계, 토양 탄소, 빙하, 해양 기온 및 해수면의 변화는, 그 본질적 특성상 오랜 기간 지속되기 때문에, 지구 지표면의 기온이 안정화된 후에도 수백 년 혹은 수천 년까지 남아있을 것이다. {2.1, 2.4}

이산화탄소 배출이 지속될 경우, 해양 산성화는 향후 수세기 동안 더욱 심화되어 해양 생태계가 심각한 타격을 받을 것이라는 주장이 제기되고 있다. {2.4}

2100 년 이후 수세기에 걸쳐 지구 평균 해수면이 지속적으로 상승할 것은 **사실상 확실**하며, 해수면 상승 정도는 미래 배출량 수준에 따라 달라질 것이다. 천년 혹은 그 이상의 기간에 걸쳐 그린란드 빙상의 손실을 유도하고, 결과적으로 최대 7m 의 해수면 상승을 초래할 임계값은 산업화 이전의 기온 대비 1°C (낮은 신뢰도)보다는 높고 4°C (중간 신뢰도)보다는 낮은 온난화 수준이다. 남극 빙상에서 빙하의 손실은 갑작스럽고 비가역적으로 나타날 수 있지만, 이를 양적으로 평가하는 데 필요한 관련 증거 및 정보가 현재 부족한 상황이다. {2.4}

중간 배출 및 고 배출 시나리오 하에서 나타날 수 있는 기후변화의 크기와 속도는 해양, 습지를 포함한 육상 및 담수 생태계의 구성, 구조 및 기능에 갑작스럽고 비가역적이며 지역적인 변화의 높은 위험을 초래할 수 있는 수준이다 (중간 신뢰도). 지구 기온이 계속적으로 상승함에 따라 영구동토층의 범위가 감소할 것은 **사실상 확실**하다. {2.4}

SPM 3. 적응, 완화 및 지속 가능한 발전을 위한 미래 경로

적응과 완화는 기후변화의 위험을 저감하고 관리하기 위한 상호 보완적 전략이다. 향후 수십 년 내 배출량을 현저히 줄인다면, 21 세기부터 나타나고 있는 기후 위험을 저감시키고, 효과적인 적응에 대한 기대를 높일 수 있으며, 장기적으로는 완화에 따르는 비용과 관련 문제를 줄여 지속 가능한 발전을 향한 기후-복원경로에 기여할 수 있다. {3.2, 3.3, 3.4}

SPM 3.1 기후변화 정책 결정의 기반

기후변화와 그 영향을 제한하기 위한 효과적인 정책 결정은 거버넌스, 윤리적 측면, 형평성, 가치판단, 경제 평가, 위험 및 불확실성에 대한 다양한 인식과 대응 등의 중요성에 대해 인지하고, 예상되는 위험 및 편익을 평가하기 위한 광범위한 분석적인 방법을 통해 마련될 수 있다. {3.1}

기후 정책을 평가할 때 지속 가능한 발전과 형평성은 가장 기본이 되는 개념이다. 지속 가능한 발전과 형평성(예: 빈곤 퇴치) 관련 목표를 달성하기 위해서는, 반드시 기후변화로 인한 영향을 제한해야 한다. 과거 및 미래의 대기 중 온실가스 축적량에 대한 기여 정도는 국가마다 다르며, 직면한 문제 및 상황이나 완화 및 적응을 다룰 수 있는 역량 또한 국가마다 다르다. 완화 및 적응과 관련하여 형평성, 정의 및 공정성의 문제가 불거지고 있는데, 이는 기후변화에 가장 취약하게 반응하는 사람들 중 대부분이 온실가스 배출량에 기여했던 바, 혹은 기여하고 있는 바가 매우 적은 이들이기 때문이다. 완화 행동을 이루는 것은 현재 세대가 부담해야 할 책임을 미래 세대에 전가하는 것이며, 기후변화에 의해 발생하고 있는 영향에 충분하게 적응 및 대응하지 못할 경우 지속 가능한 발전 기반은 약화될 수 밖에 없는데, 이미 이러한 우려는 현실로 나타나고 있다. 적응과 완화에서 기대 혹은 발생할 수 있는 부수적 이익 및 부정적인 역효과 뿐만 아니라 위험 요인을 함께 고려함으로써 지속 가능한 발전에 부합하는 종합적인 기후변화 대응 전략을 마련할 수 있다. {3.1, 3.5, 박스 3.4}

개인과 조직이 위험 요인과 불확실성을 어떻게 인식하고 고려하느냐에 따라 기후 정책이 다르게 설계된다. 경제, 사회 및 윤리적 분석을 바탕으로 한 평가 수단들은 기후 관련 정책 결정을 지원할 수 있는데, 이러한 수단들은 ‘발생 확률은 낮지만 큰 결과를 동반할 수 있는 영향을 포함하여, 넓은 범위에서 발생할 수 있는 모든 가능한 영향’을 고려할 수 있기 때문이다. 하지만 이들도 완화, 적응 그리고 잔류하는 기후 영향(residual climate impacts) 사이에 존재하는 단 하나의 최적 밸런스(best balance)가 무엇인지는 식별할 수는 없다. {3.1}

기후변화는 전지구적 수준에서 해결해야 하는 문제인데, 시간이 경과함에 따라 온실가스가 대기 중에 누적되고, 전지구로 확산되며 경제 주체(예: 개인, 지역 사회, 기업, 국가)가 배출하는 온실가스는 제 3 자의 경제 활동이나 생활에 영향을 미치기 때문이다. 각각의 기관이 독단적으로 해당 기관의 이익만을 고려한다면 기후변화를 효과적으로 완화시킬 수 없다. 따라서 온실가스 배출량을 효과적으로 완화시키고 기타 기후변화 문제를 해결하기 위해서는 국제 협력 등의 협력적인 대응이 요구된다. 효과적인 적응 역시 국가간의 협력을 포함한 다양한 수준의 상호간 협력 활동이 필요하다. 문제 해결 방식의 공평성을 높일 경우, 협력의 효율성 또한 높아진다. {3.1}

SPM 3.2 적응 및 완화를 통한 기후변화 위험 감소

오늘날의 노력 외의 추가적인 완화 노력이 이루어지지 않는다면, 적응이 추진된다고 할지라도 온난화로 인해 21 세기 말까지 높음에서 매우 높은 수준의 비가역적이고, 광범위하며 심각한 영향이 전지구적으로 나타날 것이다 (높은 신뢰도). 완화는 단기 완화노력으로 인한 편익을 증대시키는 여러 수준의 부수적 이익과 부정적인 역효과를 동반한다. 하지만 이에 동반되는 위험은 기후변화로 인한 위험처럼 광범위하고 돌이킬 수 없는 심각한 영향이 발생할 가능성과 같지 않다. {3.2, 3.4}

완화와 적응은 서로 다른 시간 범위(scale)에서 기후변화 영향의 위험을 저감하기 위한 상호보완적인 전략이다 (높은 신뢰도). 21 세기 전반에 걸친 완화 뿐만 아니라 단기적인 완화 또한 21 세기 후반 및 그 이후에 발생할 수 있는 기후변화의 영향을 실질적으로 줄일 수 있다. 적응에 동반하는 편익은 현재 위험을 다루는 과정에서 이미 나타나고 있을 뿐만 아니라, 미래의 위험을 다루는 과정에서도 나타날 수 있다. {3.2, 4.5}

다섯 가지의 "우려 요인(RFC)"은 전 부문 및 지역에 걸쳐 온난화와 적응 한계가 인간, 경제 및 생태계에 미치는 영향을 설명한 것이며, 기후변화 위험을 종합한 것이다. 여기서 다섯 가지 우려 요인은 다음과 같다: (1) 위협받는 고유한 시스템, (2) 극단적 기상현상, (3) 영향의 분포, (4) 전지구적 총 영향, 그리고 (5) 대규모의 단일 현상. 본 보고서의 우려 요인에서는 UN 기후변화협약의 제 2 조와 관련된 정보를 제공한다. {박스 2.4}

오늘날의 노력 외에 추가적인 완화 노력이 이루어지지 않는다면 21 세기 말까지 온난화는 전지구적으로 확산되어 높음에서 매우 높은 수준의 돌이킬 수 없는 심각한 영향을 초래할 것이다 (높은 신뢰도) (그림 SPM.10). 추가적인 완화 노력이 없는 대부분의 시나리오(2100 년도의 대기 중 농도가 CO₂ 환산 1000ppm 을 초과하는 경우, 즉 1000ppm 이상인 경우)에서는 온난화 수준이 2100 년까지 산업화 이전 수준 대비 4℃를 초과하지 않을 가능성보다 초과할 가능성이 높다 (표 SPM.1).

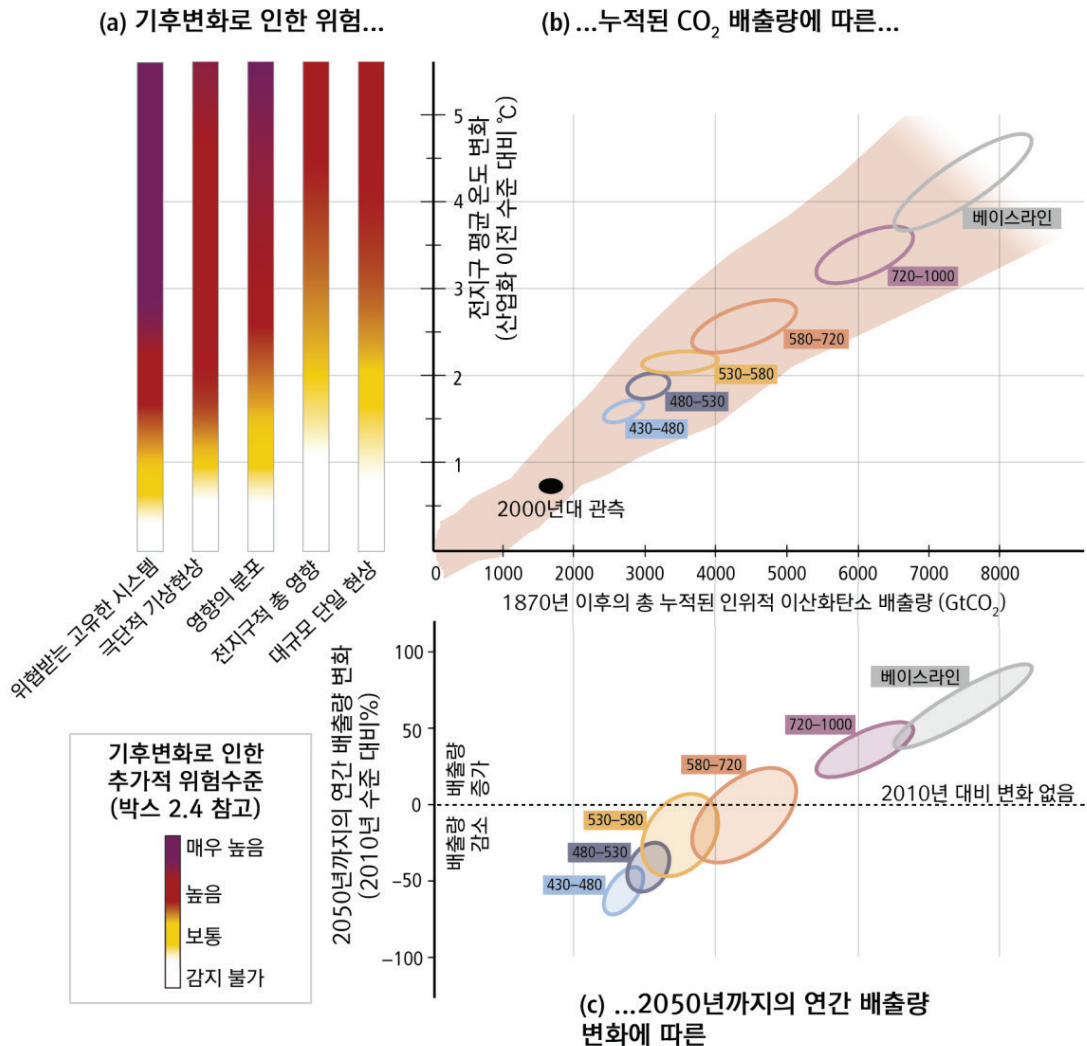


그림 SPM.10 | 기후변화로 인한 위험, 기온 변화, 누적 이산화탄소 배출량 및 2050 년까지의 연간 배출량 변화 간의 관계. 우려 요인에 따른 위험 제한(a)은 누적 배출량에 대한 제한(b)을 나타내며, 이는 향후 수십 년간 연간 배출량을 제한(c)할 것이다. **패널 a**에서는 다섯 가지의 우려 요인에 대해 설명한다 {박스 2.4}. **패널 b**에서는 누적 이산화탄소 배출량(1870 년 이후) (GtCO₂)과 기온 변화 간의 관계를 나타낸다. 이는 CMIP5 의 시뮬레이션(분홍 기둥)과 단순 기후 모형(2100 년도 중간 기후 반응) 및 베이스라인과 5 개의 완화 시나리오(6 개 타원)를 기반으로 한 것이다. 자세한 사항은 그림 SPM.5 에서 설명한다. **패널 c**에서는 각 시나리오 범주의 누적 이산화탄소 배출량(GtCO₂)과 이로 인한 2050 년까지의 연간 온실가스 배출량 변화를 2010 년도 대비 백분율 변화로 나타낸다 (연간 GtCO₂-eq %). 여기서 각 타원은 패널 b에서 나타낸 시나리오 범주와 동일하며, 이와 비슷한 방법으로 산출하였다 (더 자세한 사항은 그림 SPM.5 참조). {그림 3.1}

온도가 4°C 이상 상승할 경우 예상되는 위험에는 심각한 수준의 종 멸종, 세계 및 지역적 식량 불안정, 인간의 활동 제약 및 일부 지역에서의 적응 잠재력 한계 가능성이 있다 (높은 신뢰도). 고유의 체계를 위협하는 위험과 극한기상 현상을 야기하는 위험 등 일부 기후변화 위험은 산업화 이전 수준 대비 1-2°C 높은 기온에서 보통-높은 수준의 영향을 초래한다. {2.3, 그림 2.5, 3.2, 3.4, 박스 2.4, 표 SPM.1}

향후 수십 년 동안 온난화를 제한하여 온실가스 배출량을 상당 수준 감축시킨다면 21 세기 후반의 기후변화 위험을 현저히 줄일 수 있다. 이산화탄소 누적 배출량은 21 세기 후반과 그 이후의 평균 지구 표면 온난화에 상당한 영향을 미칠 수 있는데, 전 우려 요인에 걸쳐 나타나는 위험을 제한한다는 것은 누적 이산화탄소 배출량을 제한한다는 것을 의미할 수 있다. 즉, 전 세계 이산화탄소 순 배출량을 결국 0 으로 수렴시키고 향후 수십 년 동안 연간 배출량을 제한하는 것이 필요하다 (그림 SPM.10) (높은 신뢰도). 하지만 완화와 적응이 마련된다 해도 기후 피해를 피할 수 없는 일부 위험은 존재한다. {2.2.5, 3.2, 3.4}

완화에는 여러 수준의 부수적 이익뿐만 아니라 부정적인 역효과로 인한 위험 또한 수반되지만, 이러한 위험으로 인해 돌이킬 수 없는 심각한 영향이 광범위하게 발생할 가능성은 기후변화로 인한 것과 동일하지 않다. 경제 체제와 기후 시스템은 고착화된 경향(타성)을 보이며, 기후변화가 돌이킬 수 없는 영향을 초래할 가능성이 존재하기 때문에, 단기적인 완화 노력의 편익은 크다 (높은 신뢰도). 그러나, 추가적인 완화 행동을 미루거나 완화 기술 옵션을 제약할 경우, 기후변화 위험을 특정 수준 내로 유지시키는 데 드는 장기적인 완화 비용은 높아진다 (표 SPM.2). {3.2, 3.4}

SPM 3.3 적응 경로의 특성

적응을 통해 기후변화 영향의 위험을 줄일 수 있지만, 기후변화의 규모가 커지고 진행 속도가 빨라질 경우 그 효과성은 제한될 수 있다. 지속 가능한 발전의 맥락에서 좀 더 장기적인 관점으로 본다면, 보다 즉각적 적응 행동을 할 가능성이 높아질 경우 미래의 선택권과 준비성을 향상시킬 것이다. {3.3}

적응은 현재와 미래의 인류 복지 및 자산을 보장하고 생태계 재화, 기능 및 서비스를 유지할 수 있도록 지원한다. 적응은 장소 및 상황 특정한 성격을 지닌다 (높은 신뢰도). 현재 나타나고 있는 기후 변동성에 대한 인간 및 자연의 취약성과 노출을 줄이는 것은 미래 기후변화에 적응하기 위한 첫 단계이다 (높은 신뢰도). 정책 설계 등의 정책 계획과 정책 결정에 적응 문제를 통합시킬 경우, 적응과 개발과 간의 시너지 효과를 증대시키고 재해 위험 또한 저감시킬 수 있다. 적응 역량을 구축하는 것은 적응 방안을 효과적으로 선택 및 이행하기 위한 핵심이다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). {3.3}

개인에서부터 정부까지 다양한 주체가 상호 협력하여 적응의 계획 및 이행을 강화할 수 있다 (높은 신뢰도). 국가 중앙 정부는 지자체 및 하위 국가 정부의 적응 활동을 관리하는데, 예를 들어 취약 계층을 보호하고, 경제적 다양성을 지원하며 정보, 정책 및 법적 체계를 알리므로써 적응 활동을 조정하는 것이다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). 적응 과정 전반에 걸쳐 지역 정부 및 민간 부문의 역할은 핵심적인 것으로서 점차 부각되고 있는데, 이는 이들이 위험 정보와 재정을 관리할 뿐만 아니라 지역사회, 가정 및 시민 사회의 적응을 장려하기 때문이다 (중간 증거, 높은 동의 수준). {3.3}

거버넌스의 모든 수준에서 적응 계획과 이행은 사회적 가치 및 목표나 위험에 대한 사회적 인식에 따라 크게 달라진다 (높은 신뢰도). 의사결정 과정에서는 관심사, 상황, 사회-문화적 배경 및 요구가 다양하다는 것을 인식하는 것이 바람직하다. 또한 기후변화 적응에서 해당 지역에 고유하게 존재하는 토착, 지방 및 전통 지식 체계와 사례를 고려해야 하지만, 이러한 지식들은 기존의 적응 노력에 꾸준히 반영되어오지 못했다. 따라서 이러한 유형의 지식을 기존의 사례에 통합시켜 적응의 효율성을 높이는 것이 필요하다. {3.3}

적응 계획과 이행에 장애물로 작용하는 제약 요인들이 존재한다 (높은 신뢰도). 적응 이행에 대한 공통된 제약 요인은 다음에서 발생한다: 재정 및 인적 자원 부족; 거버넌스 통합 및 조정 한계; 영향 전망의 불확실성; 위험에 대한 인식 차이; 가치 경쟁; 주요 적응 지도자 및 지지자의 부재; 그리고 적응의 효과성을 모니터링 할 수 있는

도구의 부족, 기타 제약 요인에는 연구, 모니터링 및 관측 부족 및 이를 유지하는데 필요한 재정적 부족 등이 있다. {3.3}

기후변화의 속도와 규모가 증가할수록 적응 한계가 초과될 가능성도 증가한다 (높은 신뢰도). 적응 한계는 생물 물리적 및/혹은 사회경제적인 제약이 기후변화와 상호 작용하면서 나타난다. 또한, 단기적인 결과를 지나치게 중요시하거나 적응 결과를 충분히 예상하지 못해 적응 계획 및 이행이 부적절하게 이루어진다면, 미래 세대의 취약성이나 노출, 또는 기타 지역이나 부문의 취약성이 높아지는 부적응이 발생할 수 있다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 나아가, 하나의 사회적 과정인 적응이 지니는 복잡성을 과소평가할 경우, 의도한 적응 성과를 달성하는 것과 관련하여 비현실적인 예측을 할 수 있다. {3.3}

완화와 적응 사이뿐만 아니라 각기 다른 적응 대응들 사이에도 부수적 이익, 시너지 효과 및 트레이드 오프(trade-off)가 존재하며, 이러한 상호 작용은 지역 내와 지역 간 모두에서 발생한다 (매우 높은 신뢰도). 완화 및 적응 노력이 증대될수록 이들 사이에 존재하는 상호작용 관계는 더욱 복잡해지며, 수자원, 에너지, 토지 이용 그리고 생물 다양성 간의 관계도 더욱 복잡해진다. 그러나 이러한 상호 관계의 이해를 돕는 수단은 여전히 부족하다. 부수적 이익에는 다음과 같은 행동이 포함된다: (i) 기후를 변형시켜 건강을 위협하는 대기오염물질의 배출을 고효율 에너지와 청정 에너지 자원을 통해 저감; (ii) 도시 녹지 확대 및 수자원 재활용을 통해 도시 지역의 에너지 및 수자원 소비를 감소; (iii) 지속 가능한 농업 및 임업 (iv) 탄소 저장과 기타 생태계 보호를 통한 생태계 서비스 유지. {3.3}

경제, 사회, 기술 및 정치적 의사결정과 행동을 변형시켜 적응을 강화시키고 지속 가능한 발전을 촉진시킬 수 있다 (높은 신뢰도). 국가 수준의 변형은 각국의 상황과 우선 순위에 따라 지속 가능한 발전을 향한 국가의 비전 및 접근방식을 반영할 때 가장 효과적인 것으로 간주된다. 혁신적 변형을 추구하지 않고, 기존의 시스템과 구조를 단지 점진적으로만 변화시키는 제한적인 적응 방안을 추진한다면, 적응 비용과 손실이 커질 수 있으며, 관련 기회를 충분히 활용할 수 없다. 변형적 적응을 계획하고 이행하기 위해서는 관련 패러다임을 강화, 변경 및 조정해야 할 수 있다. 또한 평등의 실현 가능성 및 윤리적 의의 등과 같은 사항을 다루고 미래에 대한 각기 다른 목표 및 비전을 조화시키기 위해서는 거버넌스 구조에 변화를 가져오거나 새로운 거버넌스 구조를 만들어야 할 필요성이 높아진다. 적응 경로는 반복 학습과, 심사숙고 과정 및 혁신을 통해 개선할 수 있다. {3.3}

SPM 3.4 완화 경로의 특성

온난화를 산업화 이전 수준 대비 2°C 이내로 제한하기 위한 다양한 완화 경로가 존재한다. 이러한 경로들을 실현하기 위해서는 향후 수십 년 내 배출량을 상당 수준 감축해야 하며, 이산화탄소 순 배출량을 0에 가깝게 수렴시키고, 대기에 잔류하는 시간이 긴 온실가스들을 이번 세기 말까지 줄여야 한다. 이렇게 감축하는 것은 부수적인 기술적, 경제적, 사회적 및 제도적 문제를 유발시킬 수 있으며, 관련 핵심 기술을 사용할 수 없거나 추가적인 완화가 지연될 경우 이 문제는 증가한다. 온난화를 좀 더 낮은 혹은 높은 수준으로 제한할 때도 비슷한 문제들이 나타나지만, 시간 범위는 다르다. {3.4}

온실가스 배출 감축에 대한 현재 수준 이상의 추가적인 노력 없이, 세계 인구증가와 경제활동으로 인해 전지구적으로 배출량은 계속해서 높아질 것이 예상된다. 추가적인 완화가 이루어지지 않을 경우, 베이스라인 시나리오 하에서 전지구 평균 표면온도는 2100년에 중간 기후 반응에 대해서 1850-1900년 평균보다 3.7-4.8°C 높아진다. 기후 불확실성을 포함했을 경우에는 2.5-7.8°C 높아진다 (5-95 번째 백분위 범위) (높은 신뢰도). {3.4}

2100년에 약 CO₂ 환산 농도 450ppm 이하의 온실가스 농도를 이끄는 배출량 시나리오에서는, 21세기까지의 온난화가 산업화 이전 수준 대비 2°C 이하로 유지될 가능성이 높다¹⁵. 이러한 시나리오에서는 2050년까지 전 세계 인위적 온실가스 배출량이 2010년 대비 40-70% 감축되며¹⁶, 배출 수준은 2100년까지 약 0 근처에

¹⁵ 비교를 위해 2011년도 CO₂ 환산 농도는 430ppm인 것으로 예측되었다 (불확실성 범위 340ppm-520ppm).

¹⁶ 이러한 범위는 AR4에서 비슷한 농도 범주에서 제공된 범위에 따라 상이하다 (이산화탄소에 한해 2000년 대비 50%에서 85% 낮음). 이러한 차이는 본 보고서에서 AR4에서 보다 상당히 많은 시나리오가 평가되었기 때문이며, 모든 온실가스를 검토하고 있기 때문이다. 또한 새로운 시나리오의 대다수가

가깝게 혹은 그 이하까지로도 감소하는 것이 특징이다. 2100년까지 농도 수준이 약 CO₂ 환산 500ppm에 도달하는 완화 시나리오에서는 기온 변화가 2°C 이하로 제한되지 못할 가능성보다 제한될 가능성이 높는데, 단, 2100년 이전까지 약 CO₂ 환산 530ppm의 일시적인 오버슈트 농도 수준에 도달하지 않아야 하며, 이 경우 목표에 도달할 가능성이 있다. CO₂ 환산 500ppm 시나리오에서는 2050년까지의 전세계 배출량 수준이 2010년 대비 25~55% 낮다. 2050년의 배출량이 더 높은 시나리오는 중세기를 넘어 이산화탄소제거(CDR) 기술에 대한 의존도가 크다는 특징이 있다. 산업화 이전 수준 대비 3°C 이하로 온난화를 제한할 가능성이 높은 경로에서는 온난화를 2°C로 제한하는 경로에서 보다, 배출량 감축 속도가 느리다. 많지는 않지만 일부 연구에서는 2100년까지 온난화를 1.5°C로 제한하지 않을 가능성보다 제한할 가능성이 높은 시나리오를 제시하고 있는데, 이러한 시나리오에서는 농도가 2100년까지 CO₂ 환산 430ppm 이하로 줄고, 2050년도 배출량이 2010년 대비 70%에서 95% 감소된다는 특징을 보인다. 배출량 시나리오의 특성, 온실가스 농도 및 기온 수준을 일정 범위 내로 유지할 수 있는 가능성에 대한 종합적인 개요는 그림 SPM.11 그리고 표 SPM.1을 참조한다. {3.4}

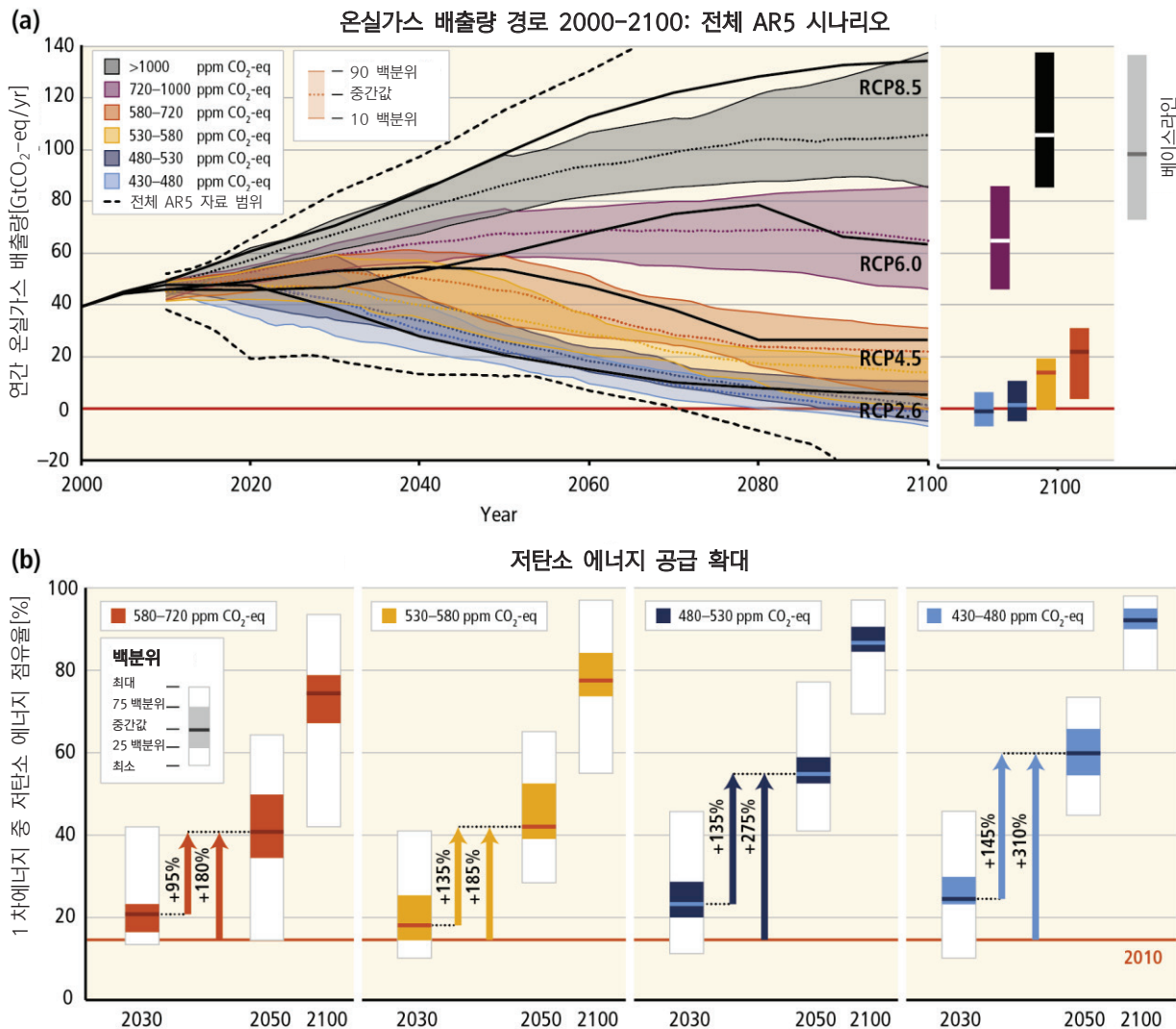


그림 SPM.11 | 베이스라인 및 완화 시나리오의 가정 하에서 다양한 장기적 농도 수준(a)에 따른 전지구적 연간 온실가스 배출량(GtCO₂-eq/yr) 및 각 완화 시나리오(b)에서 2010년도 수준 대비 2030년, 2050년 및 2100년도에 대한 저-탄소 에너지 확대 조건(1차에너지의 %). {그림 3.2}

이산화탄소제거(CDR) 기술(아래 참조)을 포함하고 있기 때문이다. 기타 요인으로는 안정적인 수준과 2000년에서 2010년까지의 표준년도의 변화 대신 2100년도 농도 수준을 사용했기 때문이다.

표 SPM.1 | WGⅢ AR5 에서 수집 및 평가된 시나리오의 주요 특성. 모든 매개 변수에 대해, 시나리오의 10 번째부터 90 번째까지의 백분위수를 제시한다.^a {표 3.1}

2100 년도의 CO ₂ 환산 농도 (ppm CO ₂ -eq) ^f 범주 라벨 (농도 범위)	하위범주	RCPs 의 상대위치 ^d	2010 년 대비 CO ₂ 환산 배출량 변화(in%) ^c		21 세기 이후에도 특정 온도 수준 이하로 유지할 가능성 (1850-1900 대비) ^{d,e}			
			2050	2100	1.5℃	2℃	3℃	4℃
<430	CO ₂ 환산 430ppm 이하의 수준에 대한 개별적인 모형 연구는 제한되었다. ^j							
450 (430-480)	전체 범위 ^g	RCP2.6	-72~-41	-118~-78	발생할 가능성 보다 발생하지 않을 가능성이 높은	가능성이 높은	가능성이 높은	가능성이 높은
500 (480-530)	CO ₂ 환산 530ppm 초과하지 않음		-52~-42	-107~-73	가능성이 낮은 ^h	발생하지 않을 가능성보다 발생할 가능성이 높은		
	CO ₂ 환산 530ppm 초과		-55~-25	-114~-90		가능성이 있는		
550 (530-580)	CO ₂ 환산 580ppm 초과하지 않음		-47~-19	-81~-59		발생할 가능성 보다 발생하지 않을 가능성이 높은 ⁱ		
	CO ₂ 환산 580ppm 초과		-16~-7	-183~-86				
(580-650)	전체 범위	RCP4.5	-38~-24	-134~-50	가능성이 낮은 ^h	가능성이 낮은	발생하지 않을 가능성보다 발생할 가능성이 높은	
(650-720)	전체 범위		-11~-17	-54~-21			발생할 가능성 보다 발생하지 않을 가능성이 높은	
(720-1000) ^b	전체 범위	RCP6.0	18~54	-7~72	가능성이 낮은 ^h	가능성이 낮은 ^h	발생할 가능성 보다 발생하지 않을 가능성이 높은	
>1000 ^b	전체 범위	RCP8.5	52~95	74~178			발생할 가능성 보다 발생하지 않을 가능성이 높은	

비고:

^a CO₂ 환산 농도의 시나리오 전체 범위인 430-480 ppm 은 WGⅢ 보고서의 표 6.3 에서 제시된 하위범주의 10-90 번째 백분위수의 범위와 일치한다.

^b 베이스라인 시나리오는 >1000 과 CO₂ 환산 750-1000 ppm 범주로 나뉜다. 후자에는 완화 시나리오 또한 포함된다. 후자의 베이스라인 시나리오에서는 2100 년에 1850-1900 년 평균 기온 대비 2.5-5.8℃의 기온 상승이 나타난다. CO₂ 환산 1000 ppm 이상인 범주의 베이스라인 시나리오와 함께 위 두 농도 범주에서 베이스라인 시나리오에 대한 2100 년도 전체 기온 변화 범위는 2.5-7.8℃(중간값 기후 반응 범위를 기반으로 한 범위: 3.7-4.8℃)로 이어질 것이다.

^c 2010 년도 전세계 배출량은 1990 년 대비 31% 증가하였다 (본 보고서에서 제시한 과거 온실가스 배출량 추정치와 일치). CO₂ 환산 배출량에는 교토의정서에서 규정한 가스(이산화탄소, 메탄, 아산화질소 및 불소화 가스)가 포함된다.

^d 본 평가에는 과학 문헌에 발표된 시나리오의 다수가 포함되며, 대표농도경로에 국한되지 않는다. 이러한 시나리오의 CO₂ 환산 농도와 기후 영향을 평가하기 위해 확률 모드에서 MAGICC(Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change) 모형이 사용되었다. MAGICC 모형과 WGⅠ에서 사용된 모형을 비교한 결과는 WGⅠ의 12.4.1.2 절과 12.4.8 절 및 6.3.2.6 절에서 확인할 수 있다.

^e 위 표에 대한 평가는 MAGICC 와 WGⅠ의 기후 모형을 사용하지 않은 기온 예측의 불확실성 평가 결과를 사용하여 WGⅢ에서 시나리오의 전체 앙상블에 대해 계산한 확률을 기반으로 한다. 따라서 본 보고서의 서술은 대표농도경로의 CMIP5(Coupled Model Intercomparison Project Phase 5)와 불확실성에 대한 평가를 기반으로 한 WGⅠ의 서술과 일치한다. 즉, 가능성에 대한 서술은 두 실무그룹이 제시한 여러 방면의 서로 다른 증거를 반영한 것이다. 이러한 WGⅠ의 방법은 CMIP5 을 사용할 수 없는 중간 수준의 농도 시나리오에서도 적용되었다. 가능성에 대한 서술은 예시일 뿐이며 {WGⅢ 6.3}, 기온 예측을 위해 WGⅠ SPM 에서 사용한 다음과 같은 용어를 넓은 범위에서 제시한다.: 가능성이 높은 66-100%, 발생하지 않을 가능성보다 발생할 가능성이 높은 >50-100%, 가능성이 있는 33-66%, 그리고 가능성이 낮은 0-33%이 포함된다. 이와 더불어, 확률이 0-(<50% 경우에, 발생할 가능성보다 발생하지 않을 가능성이 높으므로 가능성을 서술하였다.

^f CO₂ 환산 농도(용어집 참조)는 단순 탄소 순환/기후 모형인 MAGICC 의 전체 강제력을 기반으로 계산하였다. 2011 년도의 CO₂ 환산 농도는 430ppm (불확실성 범위 340ppm-520ppm)인 것으로 추정되었다. 이는 1750 년 대비 2011 년도의 모든 인위적 복사강제력에 대한 WGⅠ의 평가를 기반으로 추정된 것으로 예를 들어, 불확실성의 범위는 1.1-3.3 W m⁻²이다.

^g 이러한 오버슈트 범주에서 시나리오의 대부분은 CO₂ 환산 480 ppm 농도의 범주 경계를 초과한다.

^h 위 범주에서 시나리오의 경우, CMIP5 실행이나 MAGICC 실행이 없었으며, 각각에 대한 기온 수준 이하로 유지된다. '가능성이 낮은'에도 할당된 이유는 기존의 기후 모형에 반영되지 않는 불확실성을 나타내기 위한 것이다.

ⁱ CO₂ 환산 580ppm-650 ppm 범주의 시나리오에는 오버슈트 시나리오(overshoot scenarios)와 높은 수준의 범주(예, RCP4.5)에서 농도 수준을 초과하지 않는 시나리오가 모두 포함된다. 일반적으로 후자의 시나리오는 온도 수준을 2℃ 이하로 유지하는 상황이 발생할 가능성보다 발생하지 않을 가능성이 높은 확률을 평가하는 반면, 전자는 주로 위 수준 이하로 유지하는 상황이 발생할 가능성이 낮은 확률에 대해 평가한다.

^j 이러한 시나리오에서는 2050 년도의 지구 CO₂ 환산 배출량이 2010 년도 배출량의 70-95% 이하로, 그리고 2100 년도의 배출량은 2010 년도의 배출량의 110-120% 이하인 것으로 나타났다.

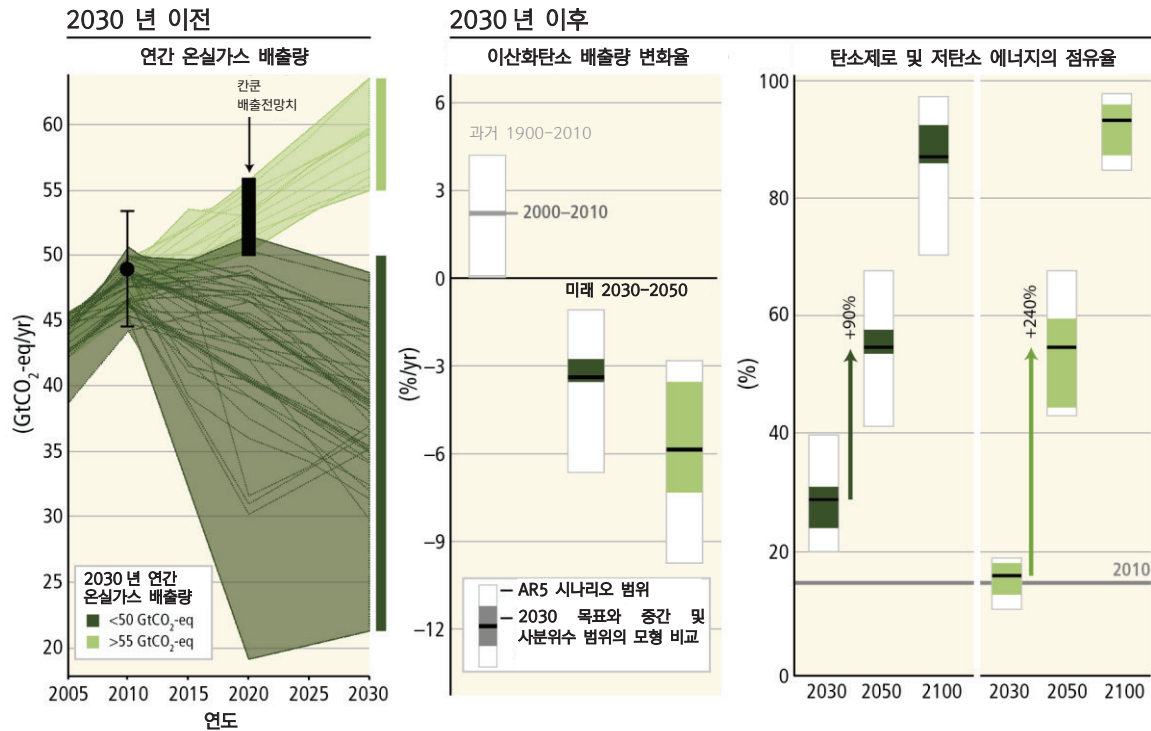


그림 SPM.12 | 이산화탄소 배출량 감축률 및 21 세기까지 최소한 가능성이 있음 확률로 산업화 이전 수준 대비 온난화가 지속될 전망하는 완화 시나리오 하(2100 년까지 CO₂ 환산 농도는 430ppm-530ppm)에서 저탄소 에너지 확대에 따른 각기 다른 수준의 온실가스 배출량. 시나리오는 2030 년까지의 여러 배출량 수준에 따라 분류된다 (녹색계열의 색으로 표시됨). 좌측 패널은 2030 년까지의 온실가스 배출량 (GtCO₂-eq/yr)의 경로를 보여준다. 그림 SPM.2 에서 보고한 바와 같이, 검은색 점에서 위아래로 연장된 얇은 막대부분은 과거 온실가스 배출량 수준과 2010 년의 관련 불확실성을 나타낸다. 검은색 막대기는 칸쿤 협정(Cancun Agreements)에서 언급된 온실가스 배출 예측의 불확실성 범위를 나타낸다. 중간 패널은 2030-2050 년 사이의 연평균 이산화탄소 배출량 감축률을 나타낸다. 이는 2030 년까지의 명시적 잠정 목표치와 함께 최근 모형 간의 비교를 통한 시나리오의 중간 및 사분위수 범위와 WGIII AR5 의 시나리오 데이터베이스에서의 시나리오 범위를 비교한다. 또한 연간 과거 배출량 변화율(20 년 이상 지속되고 2000-2010 년 사이의 연평균 이산화탄소 배출량 변화)을 보여준다. 우측 패널의 화살표는 각각 다른 수준의 2030 년 온실가스 배출량을 대상으로 2030-2050 년 동안 탄소제로(carbon zero) 및 저탄소 에너지 공급이 확대되는 정도를 나타낸다. 탄소 제로 및 저탄소 에너지 공급에는 재생에너지, 핵에너지 및 이산화탄소 포집 및 저장(CCS)이나 바이오에너지 및 탄소포집(BECCS)에 따른 화석에너지가 포함된다. [비고: 기본적 모형(기본 기술 가정)에서 전체적으로 완화가 기술이 제약되지 않은 포트폴리오를 적용하는 시나리오만 표시된다. 전세계 배출량이 비관적인 시나리오(>20 GtCO₂-eq/yr)와 외생 탄소 가격(exogenous carbon price)을 추정한 시나리오, 그리고 2010 년의 배출량이 과거의 범위에서 상당히 벗어난 시나리오의 경우 제외하였다.] {그림 3.3}

일반적으로 2100 년에 CO₂ 환산 450 ppm (산업화 이전 수준 대비 2°C 이하로 온난화가 유지될 가능성과 일치)에 도달할 것이라는 완화 시나리오에는 대기 중 농도의 임시적인 오버슈트¹⁷가 포함되며, 이는 2100 년에 약 CO₂ 환산 500-550 ppm 에 도달할 것이라는 많은 시나리오에서도 포함된다 (표 SPM.1). 오버슈트의 수준에서 차이는 있지만, 오버슈트 시나리오에서는 일반적으로 바이오에너지 및 탄소포집(BECCS)의 가용성과 적용 범위 및 이번 세기 후반기의 조림 사업에 대한 높은 의존성을 보인다. 이산화탄소제거(CDR) 기술 및 방법의 적용 범위와 가용성은 불확실하며, CDR 기술은 정도에 따라 문제점과 위험을 수반한다¹⁸. CDR 은 또한 완화 비용이 많이 드는 부문의 잔여 배출량을 보상하기 위한 오버슈트가 없는 많은 시나리오에서 흔히 나타난다 (높은 신뢰도). {3.4, 박스 3.3}

비-이산화탄소의 배출량 감축은 완화 전략에서 중요한 요소일 수 있다. 장기적인 온난화는 대개 이산화탄소 배출로 인해 나타날지라도, 현존하는 모든 온실가스 및 기타 강제력 유발 물질은 향후 수 십 년 동안 기후변화의 속도와 규모에 영향을 줄 수 있다. 비-이산화탄소 강제력 유발물질(non-CO₂ forcers)은 종종 “CO₂ 환산 배출량(CO₂-equivalent emissions)”으로 표시되지만, 이러한 배출량을 계산하기 위해 측정 기준을 선택하고 다양한 기후 강제력 유발물질을 제한하는 중요성 및 그 시기에 대한 영향을 파악하는 것은 적용 및 정책 문맥에 따르며, 가치 판단이 요구된다. {3.4, 박스 3.2}

¹⁷ "오버슈트" 시나리오의 농도에서 최고 농도는 한 세기 동안 지속된 후 감소한다.

¹⁸ 전지구적 차원에서 볼 때, CDR 방법은 생물지구화학적 및 기술적 한계점을 보인다. 예를 들어, 10 년 동안 CDR 방법을 통해 얼마만큼의 이산화탄소 배출량이 상쇄되었는지에 관한 정확하고 정량화된 자료가 부족하다. 또한 CDR 방법은 부작용을 야기시킬 뿐만 아니라 단기적 결과보다는 장기적 결과에 초점을 두고 있다.

베이스라인 시나리오에서의 전지구적 완화 비용과 소비량

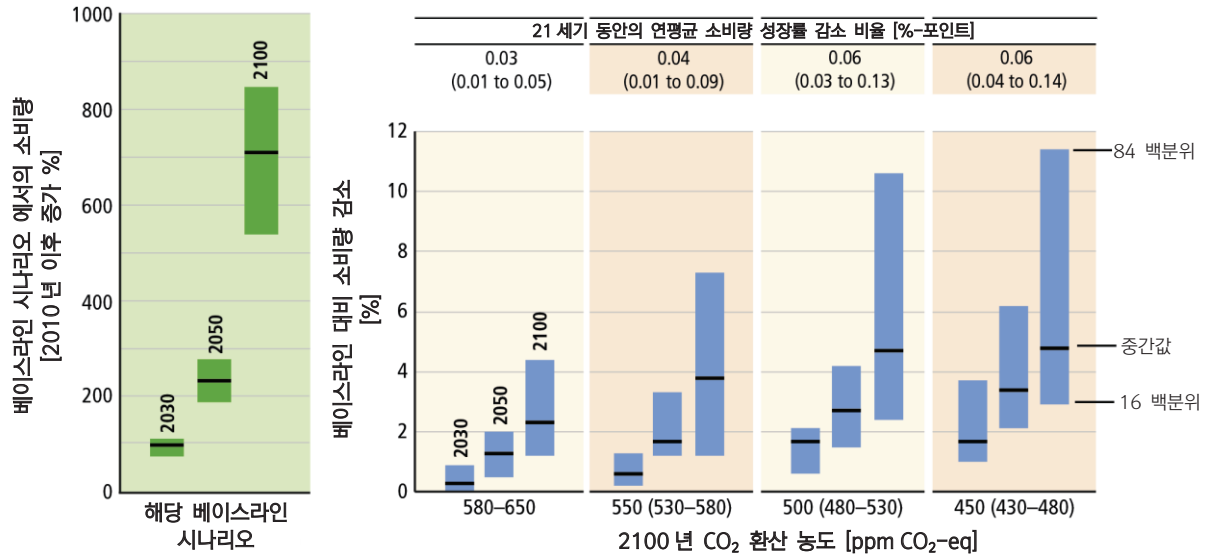


그림 SPM.13 | 2100 년도 각각의 대기 중 농도 수준에 따른 비용 효과적인 시나리오에서의 전 세계 완화 비용. 비용 효과적인 시나리오는 모든 국가의 즉각적인 완화 조치와 전 세계적으로 단일화된 탄소 가격을 추정하고 모형의 기본적인 기술 가정과 관련하여 기술에 추가적인 제약을 주지 않는다. 소비량 감소는 기후 정책이 없는 기준 개발에 상대적으로 나타난다(좌측 패널). 위의 표는 연간 소비량 증가율이 연간 1.6 - 3%만큼 소비량 증가 기준 대비 감소되었음을 보여준다 (예, 완화에 의해 연간 0.06%만큼 감소되고 기준 성장률이 연간 2.0% 감소될 경우, 완화에 따른 연간 성장률은 1.94%가 될 것이다). 아래의 표에 나타난 비용 추정치는 감소된 기후변화의 혜택뿐만 아니라 부수적 이익과 완화의 유해 부작용을 고려하지 않는다. 이러한 비용 범위에서 최상위 수준의 예상값은 목표를 달성하거나 비용이 인상될 시장 결함에 대한 가정이 포함될 수 있도록 장기적으로 필요한 충분한 배출량 감축을 달성하기 위한 유연성이 상대적으로 높은 모형에서 비롯되었다. {그림 3.4}

추가적인 완화를 2030 년까지 미룬다면, 21 세기 중 산업화 이전 수준 대비 2℃ 이하로 온난화를 제한하는 것과 관련한 문제가 상당히 증가할 것이다. 따라서, 산업화 이전 수준 대비 2℃ 이하로 온난화를 제한하기 위해서는 2030 년부터 2050 년까지 상당히 빠른 속도로 배출량 감축이 이루어져야 하고; 동 기간 중 저탄소 에너지 또한 더욱 빠르게 확산되어야 하며; 장기적으로 CDR 에 대한 의존도를 높여야 하고; 일시적 및 장기적인 경제적 효과 또한 높여야 할 것이다. 간곤 협정을 바탕으로 예상한 2020 년도의 전 세계 배출량 수준은 온난화를 산업화 이전 수준 대비 2℃ 이하로 제한할 확률이 최소한 *가능성이 있는* 정도인 비용효과적인 완화 경로에 부합하지는 않지만, 이를 달성할 수 있는 방안들이 배제되지는 않는다 (*높은 신뢰도*) (그림 SPM.12, 표 SPM. 2). {3.4}

완화에 소요되는 총 경제적 비용은 이를 예측하는 데 적용한 방법론 및 가정에 따라 매우 다르게 나타나지만, 대개 완화의 강도가 셀수록 증가한다. 전세계 모든 국가가 완화를 즉시 시작하여 단일화된 탄소 가격과 모든 주요 기술을 적용할 수 있다는 전제를 바탕으로 한 시나리오는 거시 경제 완화 비용을 예측하는 데 비용 효과적인 기준으로 사용되어 왔다 (그림 SPM. 13). 이러한 전제 하에서, 21 세기까지 온난화를 산업화 이전 수준 대비 2℃ 이하로 제한할 *가능성이 높은* 완화 시나리오에서는 베이스라인 시나리오 (이번 세기 동안 전세계 소비량이 300%-900%으로 증가) 대비 2030 년에 전세계 소비량의 1-4%(중간값: 1.7%) 손실, 2050 년에 2-6%(중간값: 3.4%) 손실, 그리고 2100 년에 3-11%(중간값: 4.8%) 손실이 동반된다고 예측하고 있는데, 여기서 기후변화 감소에 따른 편익이나 완화의 부수적 이익 및 부정적인 역효과는 고려되지 않는다. (그림 SPM.13). 이러한 수치적 결과에 상응하는 연율(年率)로 환산한 소비 성장률은 이번 세기 동안 연간 1.6-3% 사이인 베이스라인 대비 0.04-0.14(중간값:0.06)% 이다 (*높은 신뢰도*). {3.4}

완화 기술(예, 바이오에너지, CCS 및 BECCS, 원자력, 풍력/태양광)이 부재하거나 그 적용이 제한적인 경우, 완화 비용은 어떠한 기술을 고려하느냐에 따라 상당히 증가할 수 있다. 추가적인 완화를 미룰 경우, 중장기 완화 비용은 증가할 것이다. 추가적인 완화가 상당 기간 지연되는 경우, 대부분의 모형에서, 21 세기 동안 산업화 이전 수준 대비 2℃ 이하로 온난화를 제한할 수 없을 *가능성이 높다*. 바이오에너지, CCS 및 이 둘을 결합한 BECCS 등의 기술이 제한될 경우에 많은 모형에서 온난화를 2℃ 이하로 제한할 수 없을 *가능성이 높다* (*높은 신뢰도*) (표 SPM.2). {3.4}

표 SPM.2 | 특정 기술의 적용성 제한 또는 비용 효과적인 시나리오 대비 추가적인 완화 지연^a으로 인한 전세계 완화 비용 증가.^b 비용의 증가는 중간값의 추정치와 시나리오의 16 번째와 84 번째 백분위수에서 보여준다 (괄호).^c 또한 각 시나리오의 표본 크기는 꺾쇠괄호에 표시하였다. 각 셀의 색상은 성공적으로 목표한 온도 수준에 도달할 수 있도록 한 체계적인 모형 비교 연습에 따른 모형의 일부분을 나타낸다. {표 3.2}

기술의 제한적 사용에 따른 완화 비용 증가율 ^d					2030년까지 추가 완화 정책의 지연에 따른 비용 증가율	
[각 기술의 제한적 사용에 따른 총 완화 비용 증가율 (2015년-2100년), %]					[현재 대비 완화 비용 증가율, %]	
2100년 이산화탄소 농도 시나리오 (CO ₂ 환산 ppm)	CCS 비사용	원자력 폐기	태양력/풍력 제한	바이오에너지 제한	중기 비용 (2030-2050)	장기 비용 (2050-2100)
450 430-480	138% (29-297%) 	7% (4-18%) 	6% (2-29%) 	64% (44-78%) 	44% (2-78%) 	37% (16-82%) 
500 (480-530)	사용 불가능	사용 불가능	사용 불가능	사용 불가능		
550 (530-580)	39% (18-78%) 	13% (2-23%) 	8% (5-15%) 	18% (4-66%) 	15% (3-32%)	16% (5-24%)
580-650	사용 불가능	사용 불가능	사용 불가능	사용 불가능		
범례 - 이산화탄소 농도 목표 달성 모델 현황(달성한 모델의 수를 의미)						
 : 모든 모형이 목표 온도 달성			 : 모형 중 50~80%가 목표 온도 달성			
 : 모형 중 80~100%가 목표 온도 달성			 : 모형 중 50% 이하가 목표 온도 달성			

비고:

^a 지연된 완화 시나리오로 인해 2030 년도의 온실가스 배출량은 55 GtCO₂-eq 이상으로 증가할 것이며, 완화 비용 증가는 동일한 장기적인 온도 수준에 대한 비용 효과적인 완화 시나리오를 기반으로 측정된 것이다.

^b 비용 효과적인 시나리오는 모든 국가의 즉각적인 완화 조치와 전 세계적으로 단일화된 탄소 가격을 추정하고 모형의 기본적인 기술 가정과 관련하여 기술에 추가적인 제약을 주지 않는다.

^c 범위는 시나리오 세트의 16 번째와 84 번째 백분위수를 포함하여 중심이 되는 시나리오에 의해 결정된다. 2100 년까지의 시간 범위가 설정된 시나리오만 포함된다. 2100 년의 온도 수준이 CO₂ 환산 530 ppm 이상인 경우, 비용 범위에 포함된 일부 모형으로는 기술의 제한된 유용성 및/또는 지연된 추가 완화에 대한 가정으로 인해 2100 년도 CO₂ 환산 530 ppm 이하의 온도 수준에 대한 관련 시나리오를 생성할 수 없다.

^d CCS 가 없는 경우: 이산화탄소 포집 및 저장(CCS)은 위 시나리오에 포함되지 않았다. 원자력의 단계적 폐지: 현재 공사 중인 원자력 발전소 이외의 향후 추가적인 건설은 없을 것이며, 기존의 발전소는 수명이 다할 때까지 운영한다. 제한된 태양열/풍력: 이러한 시나리오에서는 태양열과 풍력 발전에서 최대 20%의 전 세계 발전량이 발생한다. 제한된 바이오에너지: 전 세계적으로 현대의 바이오에너지 공급은 최대 100 EJ/yr 이다 (2008 년의 난방, 전력, 결합 및 산업에서 사용된 현대의 바이오에너지는 약 18 EJ/yr 이었다). EJ=엑사줄=10¹⁸줄

^e 연간 5%의 할인율을 적용했을 때, 2015-2100 년 기간 동안의 기준 소비량에서 소비량 감소에 대한 순 현재가치의 백분율 증가(일반균형모형에 따른 시나리오)와 기준 GDP에서 감소 비용(부분균형모형에 따른 시나리오)을 나타낸다.

2100 년까지 CO₂ 환산 450ppm 또는 500ppm 에 이르는 완화 시나리오에서는 인간 건강, 생태계 영향, 충분한 자원 및 에너지 시스템의 회복력과 관련된 부수적 이익이 현저하게 나타나며, 대기질 및 에너지 안보 목적을 달성하는 소요되는 비용이 감소된다. {4.4.2.2}

완화 정책을 통해 화석연료 자산의 가치를 낮출 수 있으며, 화석연료 수출국의 수익을 감소시킬 수 있지만 지역별 및 연료별로 차이가 있을 수 있다 (높은 신뢰도). 대부분의 완화 시나리오에서는 주요 수출국이 석탄 및 석유 무역을 통해 꺾이는 수익의 감소가 나타난다 (높은 신뢰도). 이와 같이 완화가 화석연료 자산의 가치에 미치는 부정적인 영향은 CCS 등의 기술을 이용하여 어느 정도 줄일 수 있다 (중간 신뢰도). {4.4.2.2}

태양복사관리(SRM)는 대규모로 이루어지며, 기후 시스템에 흡수되는 에너지의 양을 줄인다. SRM 은 아직 검증된 방법은 아니며 완화 시나리오에 포함되지 않는다. SRM 을 추진할 경우, 이와 관련된 많은 불확실성과 역효과, 위험, 단점 및 특정 거버넌스와 윤리적 측면에 대한 영향이 수반될 것이다. 또한 SRM 이 해양 산성화를 감소시키지는 못할 것이며, 만약 종료될 경우, 지표면 온도가 매우 빠르게 상승하면서, 빠른 변화 속도에 민감하게 반응하는 생태계가 상당한 영향을 받을 것이다.{박스 3.3}

SPM 4. 적응 및 완화

기후변화에 대처하는 것을 도와주는 많은 적응과 완화 방안들이 있지만, 하나의 방안만을 사용할 경우 그 효과가 충분히 나타날 수 없다. 이들 방안을 효율적으로 이행하기 위해서는 규모를 막론하고 모든 유형의 관련 정책과 협력을 유도하는 것이 중요하며, 적응 및 완화를 다른 사회적 목표와 연계하는 통합적 대응을 통해 그 효과성을 향상시킬 수 있다. {4}

SPM 4.1 적응 및 완화 대응의 공동 장려 요인 혹은 공동 제약 요인

적응과 완화 대응을 모두 강화시킬 수 있는 요인을 공동 장려 요인이라고 하며, 이에는 효율적인 제도 및 거버넌스, 환경 친화적인 기술, 기반시설 혁신과 투자, 지속 가능한 생활 및 행동양식과 라이프스타일의 선택 등이 있다. {4.1}

기존 사회-경제 체제의 여러 측면에서 보였던 고착화된 경향(타성)은 적응 및 완화 방안을 제약하는 요인으로 작용할 수 있다 (중간 증거, 높은 동의 수준). 반면, 친환경 기반시설과 기술 혁신에 투자할 경우 온실가스 배출을 줄이고 기후변화에 대한 회복력을 높일 수 있다 (매우 높은 신뢰도). {4.1}

생활양식, 라이프스타일, 행동양식 및 문화는 기후변화 취약성, 온실가스 배출량 및 적응과 완화 역량에 상당한 영향을 미친다 (중간 증거, 중간 동의 수준). 또한, 특정 기후정책에 대한 사회적 수용도 및/또는 정책의 효율성은 지역적 라이프스타일이나 행동양식의 적합한 변화에 해당 정책이 이익이 되는지 혹은 영향을 받는지에 따라 달라진다. {4.1}

다수의 지역과 부문에서 적응 및 완화 능력을 높이는 것은 기후변화 위험 관리의 필수 기반을 강화하기 위한 노력의 일환이다 (높은 신뢰도). 적응, 완화 그리고 재해위험을 저감하고자 할 때 나타나는 지역별 제약 및 문제들은 관련 제도를 개선하고 거버넌스 구조에서 협력과 조정을 유도함으로써 어느 정도 해결할 수 있다. (매우 높은 신뢰도). {4.1}

SPM 4.2 적응 방안

적응 방안은 모든 부문에서 가능하지만 적응의 이행과 기후 관련 위험을 줄이는 잠재력 측면에서는 지역과 부문별로 다르게 나타난다. 일부 적응 대응은 중요한 부수적 이익, 시너지 그리고 트레이드 오프(trade-off)를 수반한다. 기후변화가 심해질 경우 많은 적응 방안을 이행하기 어려워질 것이다. {4.2}

다수의 지역 및 사회에 걸쳐 공공·민간 부문의 적응경험이 축적되고 있으며, 사회(지역사회 및 토착사회), 제도 및 생태계 기반의 적응 수단이 지니는 가치와 적응의 제약 범위에 대한 대중의 인식 또한 높아지고 있다. 적응은 일부 계획 과정에 점차 통합되고 있는 추세이나, 실질적으로 이행되는 경우는 드물다 (높은 신뢰도). {1.6, 4.2, 4.4.2.1}

기후변화 관련 문제가 점차 증가함에 따라, 적응에 대한 요구 또한 높아질 것으로 예상된다 (매우 높은 신뢰도). 모든 부문 및 지역에 적응 대안이 존재하며, 취약성 저감, 재해위험 관리 또는 사전 적응 계획 등 적응 유형에 따라 적응 잠재력과 접근법이 달라진다 (표 SPM.3). 적응 전략 및 행동의 효율성을 높이기 위해서는 보다 광범위한 전략 목표를 세운 후 개발 계획 내에 존재하는 부수적 이익 및 관련기회에 대한 잠재력을 고려한다. {4.2}

표 SPM.3 | 적응을 통한 기후변화 위험관리 접근법. 이 접근법들은 개별적으로 적용하기 보다 다른 접근법과 함께 동시다발적으로 시행한다. 아래에 제시된 예들은 특정 순서에 따라 나열된 것이 아니며, 하나의 예가 하나 이상의 범주에 관련될 수도 있다 {표 4.2}

중복 접근	범주	예시
취약성 및 노출저감 다수의 자유감 정책을 포함한 개발, 계획 및 이용 적응 점진적 및 비점진적 적응을 포함	인류 발전	교육, 영양섭취, 의료 시설, 에너지, 안전한 거주지 및 정착지, 사회 지원 시설에의 접근 개선; 다양한 형태의 성불평등 및 사회소의 저감
	빈곤 퇴치	지역 자원의 접근 및 이용 확대; 토지 소유권; 재해위험 감소; 사회 안전망 및 사회적 보호; 보험 제도
	생계 안보	소득, 자산, 생계 수단 다양화; 기반시설 개선; 기술 및 의사결정에 대한 접근성; 의사결정 권한 강화; 작물 재배, 가축 사양 & 수종 생태계 관리 변화; 사회적 네트워크 신뢰 제고
	재해위험 관리	조기경보체계; 위해 & 취약성 도식화; 수자원 다양화; 배수 체계 개선; 홍수 및 태풍 대피소 마련; 대응 매뉴얼 작성 및 실행; 태풍 & 폐수 관리; 운송 & 도로 시설 개선
	생태계 관리	습지 및 도시 녹지 공간 보전; 연안 지역 조림; 수로 및 호수 관리; 생태계 위협 요인 및 서식지 분절화 방지; 유전자 다양성 보전; 생태계 교란 체계 조정; 공동체 기반의 자연 자원 관리
	공간 또는 토지사용계획	적절한 주거, 기반시설 그리고 서비스 제공; 홍수 지역 및 이외 위험 지역의 개발 지양; 도시 계획 및 프로그램 개선; 토지 이용제한법; 지역권; 보호 구역
	구조적/물리적	공학적 방법 및 시설 구축: 방조제 및 연안 보호 시설; 홍수 대비 제방; 수조; 배수 개선; 홍수 및 태풍 피난처; 대응 매뉴얼 작성 및 실행; 태풍 & 폐수 관리; 운송 & 도로 시설 개선; 수상 가옥; 발전소 및 전력망 조정
		기술적 방법: 신규 작물 및 동물의 다양성; 토착, 전통 및 지역 지식/기술/방법; 효율적인 관개; 용수 절약 기술; 담수화; 농업 보호; 식량 저장 및 보존 시설; 위해(hazard) 및 취약성 지도화 그리고 모니터링; 조기경보체계; 건물 절연성; 기계 및 수동 냉각; 기술 개발, 기술 이전 그리고 기술 확산
		생태계 기반 적응: 생태학적 복원; 토양 보전; 신규조림 및 재조림; 맹그로브 산림 보전 및 재식림; 녹색 시설(예: 녹음수, 옥상 녹화); 어류 남획 규제; 어장 공동 관리; 종의 이동 및 확산; 생태이동통로; 종자 은행, 유전자 은행 그리고 현지 외 보전; 공동체 기반 자연 자원 관리
		서비스: 사회적 안전망 및 사회적 보호; 식량 은행 및 식량 잉여분 분배; 물과 위생을 포함한 도시 서비스; 예방접종 프로그램; 기본적인 공중보건 서비스; 강화된 응급 치료 서비스
	제도적	경제적 방법: 재정 혜택: 보험; 재해 채권(캐본드); 생태계 서비스에 대한 경제적 지불; 공급 확대와 안전한 사용을 위해 물의 가격화; 소액재정; 재해대비펀드; 현금 지원; 민간 협력
		법 및 제도: 토지 이용 제한법; 건설 표준 및 시행; 지역권; 수자원 규제 및 협약; 재해위험 감소 지원법; 보험 구입 장려 제도; 재산권 확인 및 토지소유권 보장; 보호 구역; 어획량 할당; 특허 풀(pool) 및 기술 이전
		국가, 정부 정책, 프로그램: 주류화를 포함하는 국가적 그리고 지역적 수준의 적응 계획; 하위 국가 및 지자체 적응 계획; 경제적 다양성; 도시 개선 프로그램; 도시 수자원 관리 프로그램; 재해 계획 및 예방; 통합수자원관리; 통합연안지역관리; 생태계 기반 관리; 공동체 기반 적응
	사회적	교육적 대안: 인식 증진 및 교육 통합; 교육의 성 평등화; 서비스 확대; 토착, 전통 지자체 및 지역 지식 공유; 참여 활동 연구 및 사회적 교육; 지식 공유 및 교육의 장 제공
		정보적 대안: 위해(hazard) 및 취약성 도식화; 조기경보 및 대응체계; 체계적 모니터링 및 원격 조정; 기후 서비스; 토착 지역의 기후 관측 자료 사용; 참여 시나리오 개발; 통합 평가
		행동적 대안: 가계 측면에서의 대비 및 철수 계획; 이주; 토양 및 수자원 보전; 빗물 배수관 소거; 생계 수단 다양화; 작물 재배, 가축 사양 그리고 해양 생태계 관리의 변화; 사회적 네트워크 신뢰 제고
	변화 영역	현실적: 사회적 그리고 기술적 혁신, 행동 변화, 또는 결과의 상당한 변화를 야기시킬 수 있는 제도적 그리고 관리상의 변화
		정치적: 정치적, 사회적, 문화적 그리고 생태학적 의사 결정과 활동은 기후변화에 대한 취약성 및 위험을 감소시키며 적응, 완화 및 지속 가능한 발전을 지원
		개인적: 개인적 및 집단적 추측, 신념, 가치 및 세계관은 기후변화 대응에 영향을 미침

SPM 4.3 완화 방안

모든 주요 부문에서 완화 방안이 존재하며, 에너지 사용과 최종 사용자 부문에서의 온실가스 원단위를 감소시키고 에너지 공급의 탈탄소화를 유도하며 온실가스 순 배출량을 줄이고 토지 기반 부문의 탄소 흡수원을 늘리기 위한 대책들을 결합한 통합적인 접근법을 사용할 경우 보다 비용효과적이 될 수 있다. {4.3}

완화전략을 단일 기술이나 특정 부문에 초점을 두고 설계하는 것이 아니라, 체계적이면서도 모든 부문을 아울러 고려하는 방식으로 설계하여 한 부문에서의 완화 효과가 다른 부문으로 이어지도록 하는 것이 비용효과적이다 (중간 신뢰도). 완화 대책은 기타 사회 목표와 상호 관계하여 긍정적 효과(부수적 이익) 혹은 부정적 역효과를 발생시킬 수 있는데, 이러한 상호관계를 적절히 관리할 경우 기후변화 대응 기반을 강화할 수 있다. {4.3}

그림 SPM.14에서는 베이스라인 시나리오(baseline)와 온실가스 농도를 낮은 수준(CO₂ 환산 약 450 ppm, 산업화 이전 수준대비 2°C 이내로 온난화를 제약할 가능성이 높음)으로 제한하는 완화 시나리오의 부문별/가스별 배출 범위를 정리하였다. 이러한 완화 목표를 달성하기 위한 핵심 조치에는 발전 부문의 탈탄소화(예: 탄소원단위 감소) (중간 증거, 높은 동의 수준)와 함께, 발전을 저해하지 않으면서도 에너지 수요를 줄이기 위한 에너지 효율 향상과 관련 행동 변화가 포함된다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). 2100년 온실가스 농도를 CO₂ 환산 450 ppm 수준으로 제한하는 시나리오의 경우, 전세계 에너지 공급 부문의 이산화탄소 배출량이 향후 10년 내에 감소세로 전환되고, 2040~2070에는 2010년 수준 대비 90% 이상 감소하는 것으로 분석된다. 온실가스 농도가 낮은 대부분의 시나리오(온실가스 농도는 CO₂ 환산 450 ppm~500 ppm 산업화 이전 수준 대비 2°C 이내로 온난화를 제약할 가능성이 제약하지 못할 가능성보다 높음)의 경우, 저탄소 전력 공급 부문(재생가능에너지(RE), 원자력, CCS, BECCS 포함)의 비중이 현재의 약 30% 수준에서 2050년까지 80% 이상 수준으로 확대되고, CCS 기술을 사용하지 않는 화석 연료 개발은 2100년까지 거의 완전히 사라지게 된다. {4.3}

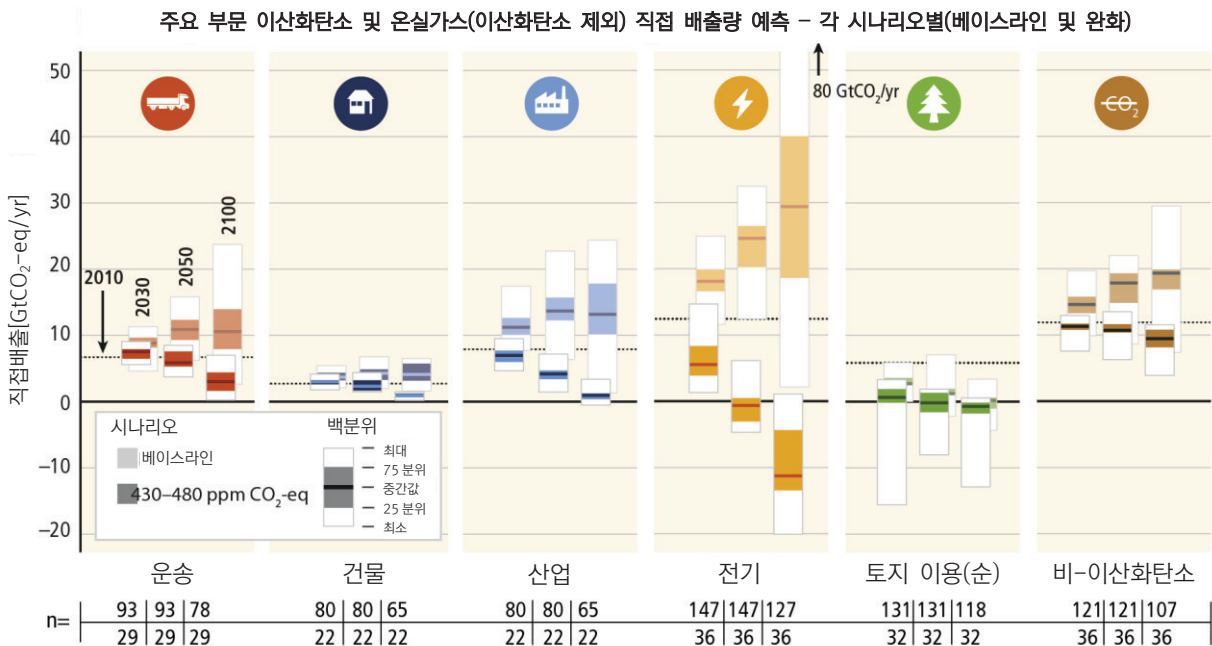


그림 SPM.14 | 부문별 이산화탄소(CO₂) 배출량과 베이스라인 시나리오(흐릿한 막대그래프) 및 완화 시나리오(컬러 막대그래프)에서의 총 비-이산화탄소 온실가스(교토 가스) 배출량. 완화 시나리오에서는 2100년(산업화 이전 수준 대비 2°C 이내로 온난화를 제약할 가능성이 높음) CO₂ 환산 농도 누적량이 450(430~480) ppm 에 이를 것으로 예측한다. 최종 에너지 소비 부문에서 완화가 이루어질 경우, 에너지 공급 부문의 간접 배출량은 감소된다. 최종 에너지 소비 부문의 간접 배출은 공급 측면의 잠재 배출 감소량을 포함하고 있지 않는데, 이는 전력 수요가 감소하기 때문이다. 각 그래프 하단에 표시된 숫자는 사용된 시나리오의 수를 의미하는데(상단 열: 베이스라인 시나리오; 하단 열: 완화 시나리오) 이 숫자는 각 부문의 특징과 대상 기간이 상이하기 때문에 부문별, 기간별로 다양하게 나타난다. 완화 시나리오 배출 범위는 모든 완화 방안을 포함한다; CCS 기술을 사용하지 않는다면, 많은 예측 결과는 완화 목표(2100년까지 대기 중의 이산화탄소 농도를 CO₂ 환산 450ppm 으로 감소)를 달성하지 못하는 것이 나타난다. 전력 부문의 음(-)의 수치는 BECCS 기술 사용으로 도출한다. '순' 농업, 산림 및 기타 토지 이용(AFOLU)은 신규조림, 재조림, 산림전용을 모두 포함한다. {4.3, 그림 4.1}

가까운 미래에 에너지 수요를 줄이는 것은 비용 효과적으로 완화전략을 적용하기 위해 매우 중요하다. 이는 또한 에너지 공급 부문의 원단위를 유연하게 낮추고, 공급 측면에서 발생하는 위험에 대비하며, 탄소를 집중적으로 배출하는 기반시설이 고착화되어 가는 현상을 예방함과 동시에 기타 중요한 부수적 이익을 가져온다. 산림 부문에서 가장 비용효과적인 완화 방안으로는 신규조림, 지속 가능한 산림 경영 및 산림전용의 방지 등이 있으나 각 지역의 특성에 따라 완화 방안이 크게 달라질 수 있다. 농업 부문에서 가장 비용 효과적인 완화 방안은 경작지 관리, 방목지 관리와 유기 토양 복원이다 (중간 증거, 높은 동의 수준). {4.3, 그림 4.1, 4.2, 표 4.3}

행동 양식, 생활 방식 그리고 문화는 에너지 사용 및 이에 따른 온실가스 배출에 크게 영향을 미치며 일부 부문에서는 상당한 완화 잠재력을 지니는데, 특히 기술 및 구조상의 변화가 있을 경우 더욱 그러하다. (중간 증거, 중간 동의 수준). 이외에도, 소비 형태의 변화, 에너지 절약 제도 도입, 식이 습관 변화 및 음식물 쓰레기 저감을 통해 온실가스 배출량을 크게 줄일 수 있다. {4.1, 4.3}

SPM 4.4 적응 및 완화, 기술 그리고 재정에 대한 정책 접근법

적응 및 완화 대응의 효율성을 높이기 위해서는 세계, 지역, 국가 및 하위-국가 등 다양한 수준에 걸쳐 관련 정책 및 대책이 뒷받침되어야 한다. 기후변화 대응을 위한 재정뿐만 아니라 기술 개발, 확산 및 이전을 지원하는 모든 수준의 정책은 적응 및 완화를 직접적으로 추진하는 정책을 보완하고 그 효율성을 높일 수 있다.

완화의 효율성을 높이기 위해서는 국제적 협력이 필수적으로 뒷받침되어야 하며, 이를 통해 지역적인 부수적 이익 또한 가져올 수 있다. 기본적으로 적응은 지역이나 국가 수준에서 이행되지만, 국제적 협력을 포함한 모든 수준의 거버넌스에 걸친 조정을 통해 적응 효율을 높일 수 있다.: {3.1, 4.4.1}

- UN 기후변화협약(UNFCCC)은 기후변화 문제를 중점적으로 다루는 대표적인 다자간포럼으로서 전세계 거의 모든 국가가 참여하고 있다. 다양한 거버넌스 수준으로 조직된 기타 기구들 또한 여러 형태의 국제 기후변화 협력을 장려하고 있다. {4.4.1}
- 교토의정서(Kyoto Protocol)는 특히 참여, 이행, 유연적 체계 그리고 환경적인 효율성과 관련하여 UNFCCC의 궁극적 목적을 성취하기 위한 방법을 제시한다 (중간 증거, 낮은 동의 수준). {4.4.1}
- 지역, 국가 그리고 하위 국가 수준의 정책들을 서로 연계함으로써 긍정적인 완화 효과를 발생시킬 수 있다 (중간 증거, 중간 동의 수준). 정책 연계에 따른 긍정적인 효과로는 완화 비용 감소, 탄소 누출 저감 및 시장 유동성 증가 등이 있다. {4.4.1}
- 지금까지 적응 계획 및 이행을 뒷받침하는 국제적 협력에 대한 관심은 완화에 비해 상대적으로 낮았지만, 적응에 대한 관심이 점차 높아지고 있을 뿐만 아니라, 국가, 하위 국가 및 지역 수준에서의 적응 전략, 계획 및 행동을 지원하려는 노력이 증대되고 있다 (높은 신뢰도). {4.4.1}

제 4 차 평가보고서 이후, 국가 수준 및 하위-국가 수준에서 적응 및 완화 관련 전략과 계획을 수립하는 사례가 크게 증가했다. 특히 다양한 목표를 통합하고, 부수적 이익을 창출하며 부정적인 영향을 감소할 전략 및 계획을 수립하는데 초점이 맞춰지고 있다 (높은 신뢰도): {4.4.2.1, 4.4.2.2}

- 국가 중앙 정부는 적응 계획 및 이행에서 핵심적인 역할을 한다 (명확한 증거, 높은 동의 수준). 즉, 하나의 국가 정부는 전반적인 적응 활동을 조직하며, 기본적인 적응 체계를 마련하고, 이를 총괄 및 지원한다. 또한, 적응 이행 시 하위-국가 수준 정부(지자체 정부)와 민간 부문의 역할이 점차 중요해지고 있는데, 지역에 따라 어느 정도 차이는 있지만 정부와 민간 부문의 역할은 각기 다르다. 반면, 적응에서 정부와 민간이 지니는 공통적 역할은 지역 공동체, 주민 및 시민사회의 적응 능력을 확대시키고, 위험을 관리하며, 관련 자금을 조달하는 것이다 (중간 증거, 높은 동의 수준). {4.4.2.1}

- 적응의 수준이 계획에서 이행 단계로 진화하기 위해서는 적응을 계획 및 의사 결정 과정에 통합시키는 제도적 접근이 선행되어야 한다 (*명확한 증거, 높은 동의 수준*). 여기서 제도적 접근의 예에는 경제 옵션(예: 보험, 민간협력), 법 및 규제(예: 토지제한법)와 국가 및 중앙 정부의 정책 및 프로그램(예: 경제적 다양성) 등 다양한 적응 관련 행동이 포함된다. {4.2, 4.4.2.1, 표 SPM.3}
- 원칙적으로 탄소배출권 거래제나 탄소세 등 탄소에 가격을 매기는 메커니즘들은 완화의 비용효율성을 높일 수 있지만, 그 효과는 국가 상황과 정책 설계에 따라 다양하게 나타난다. 탄소배출권 거래제의 경우, 배출권이 엄격하게 관리되지 못하는 사례가 목격되거나, 실질적인 온실가스 배출 제약이 증명되지 못하는 등 그 단기적 효과는 기대에 미치지 못하였다(*제한된 증거, 중간 동의 수준*). 일부 국가의 경우, 온실가스 감축을 목적으로 탄소세 정책을 기타 기술 및 정책과 함께 도입하였고, 이는 온실가스 배출과 GDP 간 존재하는 연결고리를 약화시키는 데 일조하였다 (*높은 신뢰도*). 또한 대부분의 국가에서 연료세는 완화 목적으로 설계된 제도가 아님에도 불구하고, 탄소세와 유사한 효과를 가져왔다 (*명확한 증거, 중간 동의 수준*). {4.4.2.2}
- 표준 및 인증 제도가 현재 폭넓게 사용되고 있으며, 이는 환경적인 측면에서 효과적이다 (*중간 증거, 중간 동의 수준*). 표준 및 인증 제도의 예로는 각각 에너지효율기준(EES)과 라벨링제도(labeling programmes)가 있는데, 라벨링 제도는 소비자가 구매결정 시 좀 더 많은 정보를 얻을 수 있도록 돕는다. {4.4.2.2}
- 완화 정책은 경제 전반에 걸쳐 이행되기 보다, 특정 부문을 타깃으로 하여 이행되어 왔다 (*중간 증거, 높은 동의 수준*). 특정 부문을 타깃으로 한 완화 정책을 실행함으로써 해당 부문에서 두드러지게 발생하는 문제나 시장 실패를 좀 더 적절히 해결할 수 있으며, 다른 정책들과 상호 보완적으로 조합할 수 있다. 완화정책을 경제 전반에 걸쳐 이행하는 것이 특정 부문을 타깃으로 이행하는 것보다 이론상으로는 효과적이지만, 행정이나 정치적 문제가 발생할 경우 해당 완화 정책을 실질적으로 시행하기 어렵다. 완화 정책 간의 상호작용을 피하여 시너지 효과를 기대할 수도 있지만 중복 효과가 발생할 수도 있다. {4.4.2.2}
- 경제적 수단은 보조금 등의 형태로 모든 부문에서 사용되고 있는데, 세금 환급 또는 면제, 교부금, 대출 그리고 신용 한도(credit line)와 같이 정책적으로 다양하게 설계될 수 있다. 최근 몇 년 사이 보조금을 포함하여 다양한 신재생에너지 정책이 증가함에 따라 신재생에너지 성장에도 가속이 붙게 되었다 (다양한 요인들이 동기 부여). 한편, 사회 및 경제적 맥락에 따라 정도는 다르지만, 온실가스 관련 활동에 대한 보조금이 줄어 배출량 저감 목표를 달성하는 데에도 도움이 되고 있다 (*높은 신뢰도*). {4.4.2.2}

완화에 따른 부수적 이익 및 부정적 역효과는 인류 보건, 식량 안보, 생물다양성, 지역 환경 수준, 에너지 접근성, 생계 및 공정한 지속 가능한 발전과 같은 기타 사회적 목표의 달성에 영향을 미칠 수 있다. 완화 대책의 부수적 이익 잠재력은 부정적인 역효과의 잠재력보다 크지만, 이러한 경향이 모든 에너지 공급 부문 및 AFOLU(농업, 산림 및 기타 토지 이용) 부문에서 동일하게 나타나는 것은 아니다. 예를 들어, 몇몇 완화 정책은 일부 에너지 서비스의 비용을 증가시키기도 하고, 지역 주민에 에너지 서비스를 확대 및 제공하는 지역 사회의 역량을 저하시키기도 한다 (*낮은 신뢰도*). 이와 같은 에너지 접근 관련 역효과는 소득세 환급이나 수익 이전과 같은 보조 정책으로 해결할 수 있다 (*중간 신뢰도*). 역효과의 실질적 발생 여부 및 그 정도는 각 지역 및 사례에 따라 다르며, 나아가 완화 정책의 이행 수준, 규모 및 속도에 따라서도 달라진다. 완화 정책의 부수적 이익과 역효과를 정확하게 정량화한 사례는 아직까지 없다. {4.3, 4.4.2.2, 박스 3.4}

기술 정책(개발, 보급 그리고 이전)은 국제적인 수준에서 하위 국가 수준까지 모든 수준에 걸쳐 기타 완화 정책들을 보완한다. 적응은 기술 보급과 이전 및 경영 사례를 바탕으로 이뤄진다 (*높은 신뢰도*). 연구 개발 분야에서 시장 실패가 일어날 경우, 이를 정책적 차원에서 해결할 수 있지만 효과적인 기술 적응을 위해서는 해당 지역의 특성에 맞게 특정 기술을 적절히 사용할 수 있는 역량이 필요하다. {4.4.3}

배출량 저감의 폭을 넓히기 위해서는 근본적으로 투자 형태를 변화시켜야 한다 (*높은 신뢰도*). 완화 시나리오 하에서(오버슈트가 없는 경우 2100년까지 대기 중 이산화탄소의 농도가 약 CO₂ 환산 430-530 ppm 수준에 머무르는 상태¹⁹), 2030년까지 주요 부문(운송, 산업 그리고 건물)의 저탄소 전력공급과 에너지효율에 대한 투자

¹⁹ 두 가지 완화 시나리오에 기초하고 있으며, 전자의 경우 2100년까지 대기 중 이산화탄소 농도 수준이 CO₂ 환산 430-480 ppm 에 머무르는 시나리오(온도 상승이 산업화 이전 수준보다 2°C 상회할 가능성이 높은 시나리오)이고, 후자의 경우 2100년까지 대기 중 이산화탄소 농도 수준이 CO₂ 환산 480-530 ppm 에 머무르는 시나리오이다 (온도 상승이 산업화 이전 수준보다 2°C 상회할 가능성이 그렇지 않을 가능성 보다 높은 시나리오, 오버슈트 제외).

금액은 연간 수천억 달러에 이를 것으로 예상된다. 적합한 투자 환경이 마련될 경우 민간 부문은 공공 부문과 함께 적응 및 완화 재원을 마련하는데 중요한 역할을 할 수 있다 (중간 증거, 높은 동의 수준). {4.4.4}

선진국과 개발도상국 모두에서 적응을 위한 자원 가용성은 완화 부문보다 상대적으로 둔하게 나타나고 있다. 관련 근거가 제한적이기는 하지만, 전세계적으로 적응에 필요한 재정 규모와 적응에 쓸 수 있는 재정 규모 간 격차가 벌어지고 있다 (중간 신뢰도). 따라서, 적응에 드는 비용, 재정 및 투자를 정확하게 측정하는 것이 필요하다. 또한, 재해위험 관리를 위한 재정과 기후 적응을 위한 재정 간 시너지 효과가 충분히 실현되지 못하고 있다 (높은 신뢰도). {4.4.4}

SPM 4.5 지속 가능한 발전과의 트레이드오프, 시너지 및 상호작용

기후변화로 인해 지속 가능한 발전이 위협받을 수 있지만, 통합적 대응을 통해 완화, 적응 및 기타 사회적 목표를 연계할 수 있는 기회가 다수 존재한다 (높은 신뢰도). 이러한 통합 대응의 성공 여부는 관련 도구, 거버넌스 구조의 적합성 및 대응 역량 강화 정도에 따라 크게 달라진다 (중간 신뢰도). {3.5, 4.5}

기후변화는 사회 및 자연계에 대한 기타 위협들을 더욱 악화시키며 특히 빈곤 계층에 추가적인 부담을 가한다 (높은 신뢰도). 지속 가능한 발전을 위한 기후정책을 마련하기 위해서는 적응 및 완화 모두를 고려해야 한다 (높은 신뢰도). 전 세계적인 완화 행동을 미룰 경우, 미래 기후회복경로 및 적응을 위한 선택의 폭은 좁아질 수 있다. 또한, 적응과 완화가 상호적으로 이끄는 긍정적인 시너지를 이용할 수 있는 기회는 시간이 지남에 따라 감소하는 데 이는 특히 적응 한계가 초과될 경우에 그러하다. 기후변화 완화 및 적응 노력이 증대될 수록 인간 건강, 수자원, 토지 이용 및 생물다양성 간 광범위하게 존재하는 연결관계와 상호작용을 이해하기가 복잡해진다. (중간 증거, 높은 동의 수준). {3.1, 3.5, 4.5}

지속 가능한 발전을 위한 기후회복 경로를 향해 나아가기 위해서는 이에 걸맞은 전략 및 행동을 마련하고 추진해야 하며, 이와 동시에 생계, 사회 및 경제적 복지의 개선과 효과적인 환경 관리가 뒷받침되어야 한다. 일부 사례에서는, 경제 다원화(economic diversification)가 중요한 전략적 요소가 될 수 있다. 통합적 접근의 효율성을 높이기 위해서는 관련 도구를 마련하고, 거버넌스 구조를 적절하게 조정해야 하며 충분한 제도 및 인적 역량을 확보해야 한다 (중간 신뢰도). 통합적 접근은 특히 에너지 계획 및 이행, 수자원, 식량, 에너지와 생물학적 탄소 격리 간 상호작용 및 도시계획과 관련되는데, 여기서 도시계획을 통해 기후변화에 대한 회복력을 높이고 배출량을 감축시키며 보다 지속 가능한 발전을 추구할 수 있는 다양한 기회를 얻을 수 있다 (중간 신뢰도). {3.5, 4.4, 4.5}

교정 및 감수

최영은(건국대학교), 조광우(한국환경정책평가연구원), 김용건(한국환경정책평가연구원),
기후정책과

CLIMATE CHANCE 2014 - SYNTHESIS REPORT - Summary for Policymaker

기후변화 2014
- 종합보고서 -
정책결정자를 위한 요약보고서

발 행 : 기상청
발행일 : 2015 년 5 월
편 집 : 기상청 기후과학국 기후정책과

전 화 02-2181-0403
팩 스 02-2181-0469
이 메 일 clpol@korea.kr
Website www.climate.go.kr

기후변화에 관한 정부간 협의체 (The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)는 기후변화를 평가하는 선도적인 국제 기구이다. UN 환경계획(UNEP)과 세계기상기구(WMO)는 전세계적으로 발표된 최신의 과학적, 기술적 및 사회경제적 정보를 바탕으로 기후변화의 과학적 측면에 대한 권위 있는 평가를 제공하기 위해 IPCC를 창설하였다. IPCC는 기후변화의 원인과 그 영향 및 실현 가능한 대응 전략을 주기적으로 평가하여 기후변화에 관한 가장 포괄적인 최신 정보들을 제공하며, 전세계 학계, 정부 및 산업 부문에서 기후변화와 관련된 모든 사항에 대해 표준 참고자료를 만들었다. 본 종합보고서는 IPCC 제 5차 평가보고서인 기후변화 2013/2014의 네 번째 보고서로 800명이 넘는 국제 전문가가 이번 평가보고서를 통해 기후변화를 평가하였다. 세 실무그룹의 보고서들은 캠브리지 대학 출판국(Cambridge University Press)에서 받아볼 수 있다.

기후변화 2013 - 과학적 근거

IPCC 제 5차 평가보고서 중 제 1 실무그룹의 보고서
(ISBN 9781107661820 문고본; ISBN 9781107057999 양장본)

기후변화 2014 - 영향, 적응 및 취약성

IPCC 제 5차 평가보고서 중 제 2 실무그룹의 보고서
(파트 A: ISBN 9781107641655 문고본; ISBN 9781107058071 양장본)
(파트 B: ISBN 9781107683860 문고본; ISBN 9781107058163 양장본)

기후변화 2014 - 기후변화 완화

IPCC 제 5차 평가보고서 중 제 3 실무그룹의 보고서
(ISBN 9781107654815 문고본; ISBN 9781107058217 양장본)

기후변화 2014 - 본 종합보고서는 IPCC의 세 실무그룹의 평가 내용을 바탕으로 주저자팀의 저자들이 작성한 것이며 기후변화에 대한 종합적 평가와 다음 주제에 대해 다루고 있다.

- 관측된 변화와 그 원인
- 미래의 기후변화와 위험, 영향
- 적응, 완화 및 지속가능한 발전에 대한 미래 경로
- 적응 및 완화

