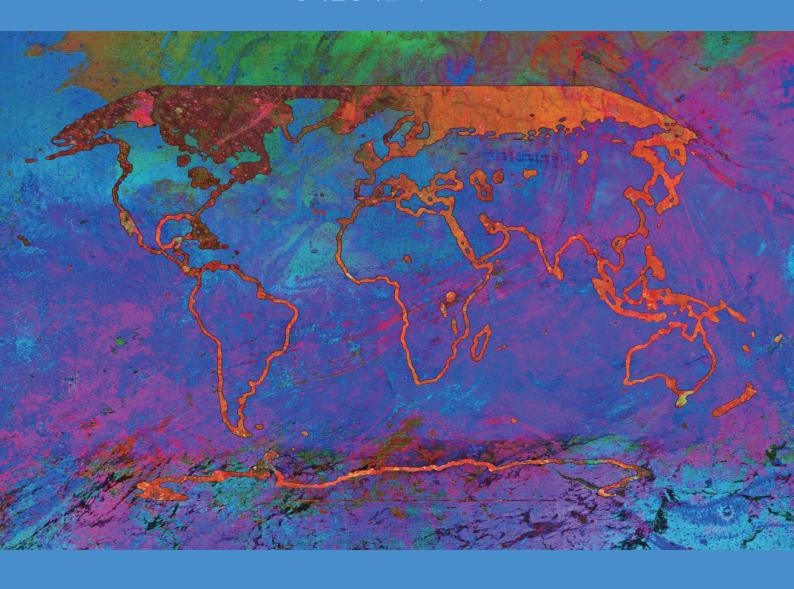


기후변화 2021 과학적 근거

정책결정자를 위한 요약본









정책결정자를 위한 요약본 Summary for Policymakers

정책결정자를 위한 요약본

저자:

Richard P. Allan(영국), Paola A. Arias(콜롬비아), Sophie Berger(프랑스/벨기에), Josep G. Canadell(호주), Christophe Cassou(프랑스), Deliang Chen(스웨덴), Annalisa Cherchi(이탈리아), Sarah L. Connors(프랑스/영국), Erika Coppola(이탈리아), Faye Abigail Cruz(필리핀), Aïda Diongue-Niang(세네갈), Francisco J. Doblas-Reyes(스페인), Hervé Douville(프랑스), Fatima Driouech(모로코), Tamsin L. Edwards(영국), François Engelbrecht(남아프리카), Veronika Eyring(독일), Erich Fischer(스위스), Gregory M. Flato(캐나다), Piers Forster(영국), Baylor Fox-Kemper(미국), Jan S. Fuglestvedt(노르웨이), John C. Fyfe(캐나다), Nathan P. Gillett(캐나다), Melissa I. Gomis(프랑스/스위스), Sergey K. Gulev(러시아 연방), José Manuel Gutiérrez(스페인), Rafiq Hamdi(벨기에), Jordan Harold(영국), Mathias Hauser(스위스), Ed Hawkins(영국), Helene T. Hewitt(영국), Tom Gabriel Johansen(노르웨이), Christopher Jones(영국), Richard G. Jones(영국), Darrell S. Kaufman(미국), Zbigniew Klimont(오스트리아/폴란드), Robert E. Kopp(미국), Charles Koven(미국), Gerhard Krinner(프랑스/독일, 프랑스), June-Yi Lee(한국), Irene Lorenzoni(영국/이탈리아), Jochem Marotzke(독일), Valérie Masson-Delmotte(프랑스), Thomas K. Maycock(미국), Malte Meinshausen(호주/독일), Pedro M.S. Monteiro(남아프리카), Angela Morelli(노르웨이/이탈리아), Vaishali Naik(미국), Dirk Notz(독일), Friederike Otto(영국/독일), Matthew D. Palmer(영국), Izidine Pinto(남아프리카/모잠비크), Anna Pirani(이탈리아), Gian-Kasper Plattner(스위스), Krishnan Raghavan(인도), Roshanka Ranasinghe(네덜란드/스리랑카, 호주), Joeri Rogelj(영국/벨기에), Maisa Rojas(칠레), Alex C. Ruane(미국), Jean-Baptiste Sallée(프랑스), Bjørn H. Samset(노르웨이), Sonia I. Seneviratne(스위스), Jana Sillmann(노르웨이/독일), Anna A. Sörensson(아르헨티나), Tannecia S. Stephenson(자메이카), Trude Storelvmo(노르웨이), Sophie Szopa(프랑스), Peter W. Thorne(아일랜드/영국), Blair Trewin(호주), Robert Vautard(프랑스), Carolina Vera(아르헨티나), Noureddine Yassaa(알제리), Sönke Zaehle(독일), Panmao Zhai(중국), Xuebin Zhang(캐나다), Kirsten Zickfeld(캐나다/독일)

기여 저자:

Krishna M. AchutaRao(인도), Bhupesh Adhikary(네팔), Edvin Aldrian(인도네시아), Kyle Armour(미국), Govindasamy Bala(인도/미국), Rondrotiana Barimalala(남아프리카/마다가스카르), Nicolas Bellouin(영국/프랑스), William Collins(영국), William D. Collins(미국), Susanna Corti(이탈리아), Peter M. Cox(영국), Frank J. Dentener(유럽연합/네덜란드), Claudine Dereczynski(브라질), Alejandro Di Luca(호주, 캐나다/아르헨티나), Alessandro Dosio(이탈리아), Leah Goldfarb(프랑스/미국), Irina V. Gorodetskaya(포르투갈/벨기에, 러시아 연방), Pandora Hope(호주), Mark Howden(호주), Akm Saiful Islam(방글라데시), Yu Kosaka(일본), James Kossin(미국), Svitlana Krakovska(우크라이나), Chao Li(중국), Jian Li(중국), Thorsten Mauritsen(독일/덴마크), Sebastian Milinski(독일), Seung-Ki Min(한국), Thanh Ngo Duc(베트남), Andy Reisinger(뉴질랜드), Lucas Ruiz(아르헨티나), Shubha Sathyendranath(영국/캐나다, 인도 재외국민), Aimée B. A. Slangen(네덜란드), Chris Smith(영국), Izuru Takayabu(일본), Muhammad Irfan Tariq(파키스탄), Anne-Marie Treguier(프랑스), Bart van den Hurk(네덜란드), Karina von Schuckmann(프랑스/독일), Cunde Xiao(중국)

문서 날짜: 2021 년 8월 7일 17:00 (중앙유럽 서머타임)

Summary for Policymakers

Drafting Authors:

Richard P. Allan (United Kingdom), Paola A. Arias (Colombia), Sophie Berger (France/Belgium), Josep G. Canadell (Australia), Christophe Cassou (France), Deliang Chen (Sweden), Annalisa Cherchi (Italy), Sarah L. Connors (France/United Kingdom), Erika Coppola (Italy), Faye Abigail Cruz (Philippines), Aïda Diongue-Niang (Senegal), Francisco J. Doblas-Reyes (Spain), Hervé Douville (France), Fatima Driouech (Morocco), Tamsin L. Edwards (United Kingdom), François Engelbrecht (South Africa), Veronika Eyring (Germany), Erich Fischer (Switzerland), Gregory M. Flato (Canada), Piers Forster (United Kingdom), Baylor Fox-Kemper (United States of America), Jan S. Fuglestvedt (Norway), John C. Fyfe (Canada), Nathan P. Gillett (Canada), Melissa I. Gomis (France/Switzerland), Sergey K. Gulev (Russian Federation), José Manuel Gutiérrez (Spain), Rafiq Hamdi (Belgium), Jordan Harold (United Kingdom), Mathias Hauser (Switzerland), Ed Hawkins (United Kingdom), Helene T. Hewitt (United Kingdom), Tom Gabriel Johansen (Norway), Christopher Jones (United Kingdom), Richard G. Jones (United Kingdom), Darrell S. Kaufman (United States of America), Zbigniew Klimont (Austria/Poland), Robert E. Kopp (United States of America), Charles Koven (United States of America), Gerhard Krinner (France/Germany, France), June-Yi Lee (Republic of Korea), Irene Lorenzoni (United Kingdom/Italy), Jochem Marotzke (Germany), Valérie Masson-Delmotte (France), Thomas K. Maycock (United States of America), Malte Meinshausen (Australia/Germany), Pedro M.S. Monteiro (South Africa), Angela Morelli (Norway/Italy), Vaishali Naik (United States of America), Dirk Notz (Germany), Friederike Otto (United Kingdom/Germany), Matthew D. Palmer (United Kingdom), Izidine Pinto (South Africa/Mozambique), Anna Pirani (Italy), Gian-Kasper Plattner (Switzerland), Krishnan Raghavan (India), Roshanka Ranasinghe (The Netherlands/Sri Lanka, Australia), Joeri Rogelj (United Kingdom/Belgium), Maisa Rojas (Chile), Alex C. Ruane (United States of America), Jean-Baptiste Sallée (France), Bjørn H. Samset (Norway), Sonia I. Seneviratne (Switzerland), Jana Sillmann (Norway/Germany), Anna A. Sörensson (Argentina), Tannecia S. Stephenson (Jamaica), Trude Storelymo (Norway), Sophie Szopa (France), Peter W. Thorne (Ireland/United Kingdom), Blair Trewin (Australia), Robert Vautard (France), Carolina Vera (Argentina), Noureddine Yassaa (Algeria), Sönke Zaehle (Germany), Panmao Zhai (China), Xuebin Zhang (Canada), Kirsten Zickfeld (Canada/Germany)

Contributing Authors:

Krishna M. AchutaRao (India), Bhupesh Adhikary (Nepal), Edvin Aldrian (Indonesia), Kyle Armour (United States of America), Govindasamy Bala (India/United States of America), Rondrotiana Barimalala (South Africa/Madagascar), Nicolas Bellouin (United Kingdom/France), William Collins (United Kingdom), William D. Collins (United States of America), Susanna Corti (Italy), Peter M. Cox (United Kingdom), Frank J. Dentener (EU/The Netherlands), Claudine Dereczynski (Brazil), Alejandro Di Luca (Australia, Canada/Argentina), Alessandro Dosio (Italy), Leah Goldfarb (France/United States of America), Irina V. Gorodetskaya (Portugal/Belgium, Russian Federation), Pandora Hope (Australia), Mark Howden (Australia), Akm Saiful Islam (Bangladesh), Yu Kosaka (Japan), James Kossin (United States of America), Svitlana Krakovska (Ukraine), Chao Li (China), Jian Li (China), Thorsten Mauritsen (Germany/Denmark), Sebastian Milinski (Germany), Seung-Ki Min (Republic of Korea), Thanh Ngo Duc (Vietnam), Andy Reisinger (New Zealand), Lucas Ruiz (Argentina), Shubha Sathyendranath (United Kingdom/Canada, Overseas Citizen of India), Aimée B. A. Slangen (The Netherlands), Chris Smith (United Kingdom), Izuru Takayabu (Japan), Muhammad Irfan Tariq (Pakistan), Anne-Marie Treguier (France), Bart van den Hurk (The Netherlands), Karina von Schuckmann (France/Germany), Cunde Xiao (China)

Date of Document: 7 August 2021 17:00 CEST

정책결정자를 위한 요약본 인용 시 다음의 서식을 따라야 한다.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

이 보고서는 2021년 8월 승인되었으며, 발간을 위한 최종 편집 중이다.

This Summary for Policymakers should be cited as:

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

This document is subject to final copy-editing.

정책결정자를 위한 요약본(SPM)

목차

머리	말	4
	- 현재 기후 상태	
	미래 기후 전망	
	위험 평가와 지역별 적응을 위한 기후 정보	
D.	미래 기후변화 억제	36

CDM

Table of Contents

Introduction		4	
A.	The Current State of the Climate	5	
В.	Possible Climate Futures	15	
C.	Climate Information for Risk Assessment and Regional Adaptation	31	
D.	Limiting Future Climate Change	36	

머리말

정책결정자를 위한 요약본(SPM)은 IPCC 제 6차 평가 주기 제 1 실무그룹(WGI) 보고서(AR6)¹에 제시된 주요 발견을 담고 있다. IPCC AR6 WGI 보고서는 IPCC 실무그룹 제 5 차 평가 주기 제 1 실무그룹보고서와 제 6 차 평가보고서 기간에 포함되는 2018~2019 년 IPCC 특별보고서 ² 를 기반으로 하고, 그 이후 기후과학의 새로운 근거들을 통합하였다³.

요약본은 기후의 변화 양상, 인간 영향의 역할을 포함한 현재 기후상태, 미래 기후 전망을 위한 현재 지식, 지역과 부문에 관련된 기후 정보, 인간이 유발한 기후변화 억제에 대한 이해를 높은 수준의 요약으로 제공한다.

과학적 이해를 바탕으로 한 주요 결과는 사실의 서술 또는 IPCC 정의 용어(calibrated language)⁴를 이용한 신뢰도 수준으로 표현될 수 있다.

모든 주요 결과에 대한 과학적 근거는 본보고서의 관련 장, 절 및 기술보고서(이하 'TS')에서 확인할 수 있으며, 본문에 중괄호{ }로 표기되어 있다. AR6 WGI 대화형 지도(Interactive Atlas) 웹사이트에서 WGI 의 기준지역별 주요 결과와 이를 뒷받침하는 기후변화 정보를 확인할 수 있다⁵.

¹ 결정문 IPCC/XLVI-2.

² 특별보고서 세 건: '지구온난화 1.5°C: 기후변화 위협에 대한 전 지구적 대응강화, 지속가능 발전, 빈곤 퇴치 노력 측면에서 산업화 이전 수준 대비 지구온난화 1.5°C 의 영향과 관련 온실가스 배출 경로에 대한 IPCC 특별보고서(SR1.5)', '기후변화와 육지: 육상생태계의 기후변화, 사막화, 토지황폐화, 지속가능한 토지관리, 식량안보, 온실가스 플럭스에 대한 IPCC 특별보고서(SRCCL)', '변화하는 기후에서의 해양 및 빙권에 대한 IPCC 특별보고서(SROCC)'.

^{3 2021} 년 1월 31 일까지 게재 승인된 과학 문헌이 평가에 포함되었다.

⁴ 각 결과는 주요 증거와 동의에 대한 평가를 근거로 한다. 신뢰도는 매우 낮음, 낮음, 중간, 높음, 매우 높음의 5 단계가 있으며 이탤릭체로 표기된다(예: 신뢰도 중간). 특정 결과에 대해 평가된 가능도(likelihood)는 거의 확실함 99~100% 확률, 가능성 매우 높음 90~100%, 가능성 높음 66~100%, 가능성 중간 33~66%, 가능성 낮음 0~33%, 가능성 매우 낮음 0~10%, 거의 희박함(0~1%)으로 표현되었다.

추가적인 용어(*가능성 대단히 높음* 95~100%, *가능성 낮지 않음* >50~100%, *가능성 대단히 낮음* 0~5%)도 적절하다면 사용될 수 있다. 평가된 가능도는 이탤릭체로 표기된다(예: *가능성 대단히 높음*). 이는 AR5 와 일치한다. 별도로 명시하지 않는 한 보고서에서 대괄호 $[x \sim y]$ 는 *매우 가능성 높은* 범위, 또는 90% 구간을 나타낼 때 사용된다.

⁵ 대화형 지도 웹사이트: https://interactive-atlas.ipcc.ch

Introduction

This Summary for Policymakers (SPM) presents key findings of the Working Group I (WGI) contribution to the IPCC's Sixth Assessment Report (AR6)¹ on the physical science basis of climate change. The report builds upon the 2013 Working Group I contribution to the IPCC's Fifth Assessment Report (AR5) and the 2018–2019 IPCC Special Reports² of the AR6 cycle and incorporates subsequent new evidence from climate science³.

This SPM provides a high-level summary of the understanding of the current state of the climate, including how it is changing and the role of human influence, the state of knowledge about possible climate futures, climate information relevant to regions and sectors, and limiting human-induced climate change.

Based on scientific understanding, key findings can be formulated as statements of fact or associated with an assessed level of confidence indicated using the IPCC calibrated language⁴.

The scientific basis for each key finding is found in chapter sections of the main Report, and in the integrated synthesis presented in the Technical Summary (hereafter TS), and is indicated in curly brackets. The AR6 WGI Interactive Atlas facilitates exploration of these key synthesis findings, and supporting climate change information, across the WGI reference regions⁵.

¹ Decision IPCC/XLVI-2.

² The three Special reports are: Global warming of 1.5°C: an IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty (SR1.5); Climate Change and Land: an IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (SRCCL); IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC).

³ The assessment covers scientific literature accepted for publication by 31 January 2021.

⁴ Each finding is grounded in an evaluation of underlying evidence and agreement. A level of confidence is expressed using five qualifiers: very low, low, medium, high and very high, and typeset in italics, for example, *medium confidence*. The following terms have been used to indicate the assessed likelihood of an outcome or a result: *virtually certain* 99–100% probability, *very likely* 90–100%, *likely* 66–100%, *about as likely as not* 33–66%, *unlikely* 0–33%, *very unlikely* 0–10%, *exceptionally unlikely* 0–1%. Additional terms (*extremely likely* 95–100%, *more likely than not* >50–100%, and *extremely unlikely* 0–5%) may also be used when appropriate. Assessed likelihood is typeset in italics, for example, *very likely*. This is consistent with AR5. In this Report, unless stated otherwise, square brackets [x to y] are used to provide the assessed *very likely* range, or 90% interval.

⁵ The Interactive Atlas is available at https://interactive-atlas.ipcc.ch

A. 현재 기후 상태

AR5 이후 관측 기반 추정 자료와 고기후 기록에서 얻을 수 있는 정보가 개선되어 기후시스템의 각 요소와 현재까지 변화를 포괄적으로 바라볼 수 있게 되었다. 새로운 기후모델 모의 결과, 새로운 분석법, 다양한 증거를 통합하는 기법 덕분에 극한기상과 극한기후를 포함하는 더욱 광범위한 기후 변수에 미치는 인간의 영향을 더욱 십도 있게 이해할 수 있게 되었다. 이 절에서 고려된 여러 기간은 이용 가능한 관측 자료, 고기후 기록, 전문가 십사를 거친 연구논문을 바탕으로 결정되었다.

A.1 인간의 영향 때문에 대기와 해양, 육지가 온난해지고 있는 것은 명백한 사실이다. 대기권, 해양권, 빙권, 생물권에서 광범위하고 급속한 변화가 발생하고 있다.

{2.2, 2.3, Cross-Chapter Box 2.3, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.8, 5.2, 5.3, 6.4, 7.3, 8.3, 9.2, 9.3, 9.5, 9.6, Cross-Chapter Box 9.1} (그림 SPM.1, 그림 SPM.2)

A.1.1 1750 년경 이후 관측된 잘 혼합된 온실가스(GHG) 농도 증가는 인간 활동에 의해 유발된 것이 명백하다. 2011 년 이후(AR5 에 보고된 측정치), 대기 중 농도가 계속 증가하여 2019 년 평균 이산화탄소(CO₂) 농도는 410 ppm, 메탄(CH₄) 농도는 1866 ppb, 아산화질소(N₂O) 농도는 332 ppb 에 달했다⁶. 지역별 차이가 존재하지만 육지와 해양은 지난 60 년간 거의 일정한 비율(전 세계 연평균 약 56%)로 인간 활동에 의해 배출된 CO₂ 를 흡수해 왔다(신뢰도 높음)⁷. {2.2, 5.2, 7.3, TS.2.2, Box TS.5}

A.1.2 1850 년 이후 10 년 단위로 봤을 때 과거 어느 때 보다 지난 40 년간 기후가 지속적으로 온난해졌다. 21 세기의 첫 20 년 동안(2001~2020 년) 지구 표면온도⁸가 1850~1900 년 대비 0.99[0.84~1.10]°C 더 높아졌다⁹. 2011~2020 년에는 1850~1900 년 보다 지구 표면온도가 1.09[0.95~1.20]°C 더 높았는데, 육지의 온도 상승폭(1.59[1.34~1.83]°C)이 해양(0.88[0.68~1.01]°C)보다 더 컸다. AR5 이후 지구 표면온도 상승은 특히 더 크게 나타난 2003~2012 년 기간부터 지금까지의 상승폭(+0.19[0.16~0.22]°C)이 주요 원인으로 추정된다. 그 외에도 방법론적 발전과 새로운 자료가 도입되어 AR6 에는 온난화가 약 0.1°C 더 높게 산출되었다¹⁰.

⁶ 2019 년 기타 온실가스 농도: PFC₅(109 ppt CF₄ 등가), SF₆(10 ppt), NF₃(2 ppt), HFC₅(237 ppt HFC-134a 등가), 그 외 몬트리올 의정서 온실가스(주로 CFC₅, HCFC₅, 1032 ppt CFC-12 등가). 2011 년 이후 증가량은 CO₂ 19 ppm, CH₄ 63 ppb, N₂O 8 ppb 이다.

⁷ 기타 온실가스의 경우 육지와 해양이 주요 흡수원이 아니다.

^{* &#}x27;지구 표면온도'는 요약본에서 지구 평균 표면온도와 지구 표면 대기온도를 모두 의미한다. 두 변수가 최대 10% 이하로 차이가 나는 것은 *신뢰도 높음*으로 평가된다. 하지만, 장기적 추세에 대한 차이에 있어서 서로 상충되는 증거가 있다는 점에서는 *신뢰도* 낮음으로 판단된다. {Cross-Section Box TS.1}

^{9 1850~1900} 년은 지구 표면온도를 추정할 수 있을 정도로 전 지구를 충분히 관측하기 시작한 가장 빠른 기간이며 AR5 와 SR1.5 에서와 마찬가지로 산업화 이전의 조건에 상응하는 기준으로 사용된다.

¹⁰ AR5 이후 발전한 방법론과 새로운 자료 덕분에 북극을 포함한 표면온도의 변화를 공간적으로 더욱 완성도 높게 나타낼 수 있게 되었다. 이를 비롯한 다양한 개선이 이루어져 지구 표면온도 추정치가 약 0.1℃ 상승했지만, 이것이 AR5 이후 실제로 더 많은 온난화가 일어났음을 의미하는 것은 아니다.

A. The Current State of the Climate

Since AR5, improvements in observationally based estimates and information from paleoclimate archives provide a comprehensive view of each component of the climate system and its changes to date. New climate model simulations, new analyses, and methods combining multiple lines of evidence lead to improved understanding of human influence on a wider range of climate variables, including weather and climate extremes. The time periods considered throughout this Section depend upon the availability of observational products, paleoclimate archives and peer-reviewed studies.

A.1 It is unequivocal that human influence has warmed the atmosphere, ocean and land. Widespread and rapid changes in the atmosphere, ocean, cryosphere and biosphere have occurred.

{2.2, 2.3, Cross-Chapter Box 2.3, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.8, 5.2, 5.3, 6.4, 7.3, 8.3, 9.2, 9.3, 9.5, 9.6, Cross-Chapter Box 9.1} (Figure SPM.1, Figure SPM.2)

A.1.1 Observed increases in well-mixed greenhouse gas (GHG) concentrations since around 1750 are unequivocally caused by human activities. Since 2011 (measurements reported in AR5), concentrations have continued to increase in the atmosphere, reaching annual averages of 410 ppm for carbon dioxide (CO₂), 1866 ppb for methane (CH₄), and 332 ppb for nitrous oxide (N₂O) in 2019⁶. Land and ocean have taken up a near-constant proportion (globally about 56% per year) of CO₂ emissions from human activities over the past six decades, with regional differences (*high confidence*)⁷. {2.2, 5.2, 7.3, TS.2.2, Box TS.5}

A.1.2 Each of the last four decades has been successively warmer than any decade that preceded it since 1850. Global surface temperature⁸ in the first two decades of the 21st century (2001-2020) was 0.99 [0.84-1.10] °C higher than 1850-1900⁹. Global surface temperature was 1.09 [0.95 to 1.20] °C higher in 2011–2020 than 1850–1900, with larger increases over land (1.59 [1.34 to 1.83] °C) than over the ocean (0.88 [0.68 to 1.01] °C). The estimated increase in global surface temperature since AR5 is principally due to further warming since 2003–2012 (+0.19 [0.16 to 0.22] °C). Additionally, methodological advances and new datasets contributed approximately 0.1°C to the updated estimate of warming in AR6¹⁰.

⁸ The term 'global surface temperature' is used in reference to both global mean surface temperature and global surface air temperature throughout this SPM. Changes in these quantities are assessed with *high confidence* to differ by at most 10% from one another, but conflicting lines of evidence lead to *low confidence* in the sign of any difference in long-term trend. {Cross-Section Box TS.1}

⁶ Other GHG concentrations in 2019 were: PFCs (109 ppt CF₄ equivalent); SF₆ (10 ppt); NF₃ (2 ppt); HFCs (237 ppt HFC-134a equivalent); other Montreal Protocol gases (mainly CFCs, HCFCs, 1032 ppt CFC-12 equivalent). Increases from 2011 are 19 ppm for CO₂, 63 ppb for CH₄ and 8 ppb for N₂O.

⁷ Land and ocean are not substantial sinks for other GHGs.

⁹ The period 1850–1900 represents the earliest period of sufficiently globally complete observations to estimate global surface temperature and, consistent with AR5 and SR1.5, is used as an approximation for pre-industrial conditions.

¹⁰ Since AR5, methodological advances and new datasets have provided a more complete spatial representation of changes in surface temperature, including in the Arctic. These and other improvements have additionally increased the estimate of global surface temperature change by approximately 0.1 °C, but this increase does not represent additional physical warming since the AR5.

A.1.3 1850~1900 년부터 2010~2019 년¹¹까지 인간이 유발한 지구 표면온도 총 증가량의 *가능성 높은* 범위는 0.8~1.3°C 이고 최적 추정치는 1.07°C 이다. 잘 혼합된 온실가스가 1.0~2.0°C 온난화에 기여하였고, 기타 인간 요인(주로 에어로졸)이 0.0~0.8°C 냉각화에 기여했으며, 자연적 요인이 지구 표면온도를 -0.1~0.1°C 변화시키고, 내부 변동성이 지구 표면온도를 -0.2~0.2°C 변화시켰을 *가능성이 높다*. 잘 혼합된 온실가스가 1979 년 이후 대류권 온난화의 주된 요인 ¹² 이었을 *가능성이 매우 높으며*, 인간에 의해 유발된 성층권 오존층 파괴가 1979 년부터 1990 년대 중반 성층권 하층에서 발생한 냉각화의 주된 요인이었을 *가능성이 대단히 높다*.

{3.3, 6.4, 7.3, Cross-Section Box TS.1, TS.2.3} (그림 SPM.2)

A.1.4 육지의 지구 평균 강수량이 1950 년 이후 증가했고 1980 년 이후 증가율이 더 높아졌을 *가능성이* 높다(신뢰도 중간). 20 세기 중반 이후 인간 영향이 이러한 강수량 변화 양상에 기여했을 *가능성이 높으며*, 해양 표면 부근 염분도에서 관측되는 변화 양상에 기여했을 *가능성이 대단히 높다*. 중위도 폭풍의 경로가 1980 년대 이후 계절적 경향이 뚜렷해지면서 북반구와 남반구 쪽으로 이동했을 *가능성이 높다(신뢰도 중간*). 남반구의 경우, 인간 영향이 밀접한 연관성을 지닌 남반구 여름에 발생하는 온대성 제트기류의 극방향 이동에 기여했을 *가능성이 매우 높다*.

{2.3, 3.3, 8.3, 9.2, TS.2.3, TS.2.4, Box TS.6}

A.1.5 인간 영향이 1990 년대 이후 전세계 빙하 감소와 1979~1988 년부터 2010~2019 년 사이에 발생한 북극해빙 면적 감소(9 월에 약 40%, 3 월에 약 10%)의 주된 요인이었을 *가능성이 매우 높다.* 남극 해빙 면적의 경우는지역적인 반대 특성과 큰 내부 변동성 때문에 1979 년부터 2020 년까지 뚜렷한 변화 추세를 보이지 않았다. 인간 영향이 1950 년 이후 북반구의 봄철 적설 면적 감소에 기여했을 *가능성이 매우 높다.* 인간 영향이 과거 20 년간 그린란드 빙상 표면이 녹는 데 기여했을 *가능성이 매우 높지만,* 남극 빙상의 질량 손실에 대한 인간 영향은 *중간 동의 수준*의 *제한적 증거*만 존재한다.

{2.3, 3.4, 8.3, 9.3, 9.5, TS.2.5}

A.1.6 1970 년대 이후 지구 해양 상층부(0~700m)가 온난해진 것이 *거의 확실*하고 인간 영향이 주된 요인일 가능성이 대단히 높다. 인간 활동에 의해 배출된 CO₂ 가 현재 전 지구적으로 발생하고 있는 해수 표면 산성화의 주된 요인이라는 것이 *거의 확실하다.* 20 세기 중반 이후 많은 지역의 해양 상층부에서 산소 농도가 감소했으며(신뢰도 높음), 인간이 끼치는 영향이 여기에 기여했다(신뢰도 중간). {2.3, 3.5, 3.6, 5.3, 9.2, TS.2.4}

A.1.7 1901 년과 2018 년 사이에 지구의 평균 해수면이 0.2[0.15~0.25] m 상승했다. 평균 해수면 상승률은 1901~1971 년에 연간 1.3[0.6~2.1] mm 였고 1971~2006 년에는 연간 1.9[0.8~2.9] mm 로 높아졌으며, 2006~2008 년에는 연간 3.7[3.2~4.2] mm 로 더욱 가파르게 증가했다(신뢰도 높음). 적어도 1971 년 이후 이러한 해수면 상승의 주된 요인이 인간이 끼친 영향 때문일 가능성이 매우 높다. {2.3, 3.5, 9.6, Cross-Chapter Box 9.1, Box TS.4}

A.1.8 1970 년 이후 지구온난화와 함께 육지 생물권의 변화가 진행되고 있다. 기후대가 양 극지방으로 이동하고 있으며 1950 년대 이후 중위도 온대지역에서 생장기가 10 년마다 최대 2 일까지 길어졌다(*신뢰도 높음*). {2.3, TS.2.6}

¹¹ A.1.2 와 기간이 다른 이유는 원인규명 연구에서 다소 이른 기간이 고려되었기 때문이다. 2010~2019 년까지 관측된 온난화는 1.06[0.88~1.21] °C 이다.

¹² 요약본에서 '주된 요인'이란 해당 변화의 50% 이상을 유발했다는 의미로 사용된다.

A.1.3 The *likely* range of total human-caused global surface temperature increase from 1850–1900 to 2010–2019¹¹ is 0.8°C to 1.3°C, with a best estimate of 1.07°C. It is *likely* that well-mixed GHGs contributed a warming of 1.0°C to 2.0°C, other human drivers (principally aerosols) contributed a cooling of 0.0°C to 0.8°C, natural drivers changed global surface temperature by –0.1°C to 0.1°C, and internal variability changed it by –0.2°C to 0.2°C. It is *very likely* that well-mixed GHGs were the main driver¹² of tropospheric warming since 1979, and *extremely likely* that human-caused stratospheric ozone depletion was the main driver of cooling of the lower stratosphere between 1979 and the mid-1990s. {3.3, 6.4, 7.3, Cross-Section Box TS.1, TS.2.3} (Figure SPM.2)

A.1.4 Globally averaged precipitation over land has *likely* increased since 1950, with a faster rate of increase since the 1980s (*medium confidence*). It is *likely* that human influence contributed to the pattern of observed precipitation changes since the mid-20th century, and *extremely likely* that human influence contributed to the pattern of observed changes in near-surface ocean salinity. Mid-latitude storm tracks have *likely* shifted poleward in both hemispheres since the 1980s, with marked seasonality in trends (*medium confidence*). For the Southern Hemisphere, human influence *very likely* contributed to the poleward shift of the closely related extratropical jet in austral summer. {2.3, 3.3, 8.3, 9.2, TS.2.3, TS.2.4, Box TS.6}

A.1.5 Human influence is *very likely* the main driver of the global retreat of glaciers since the 1990s and the decrease in Arctic sea ice area between 1979–1988 and 2010–2019 (about 40% in September and about 10% in March). There has been no significant trend in Antarctic sea ice area from 1979 to 2020 due to regionally opposing trends and large internal variability. Human influence *very likely* contributed to the decrease in Northern Hemisphere spring snow cover since 1950. It is *very likely* that human influence has contributed to the observed surface melting of the Greenland Ice Sheet over the past two decades, but there is only *limited evidence*, with *medium agreement*, of human influence on the Antarctic Ice Sheet mass loss. {2.3, 3.4, 8.3, 9.3, 9.5, TS.2.5}

A.1.6 It is *virtually certain* that the global upper ocean (0–700 m) has warmed since the 1970s and *extremely likely* that human influence is the main driver. It is *virtually certain* that human-caused CO₂ emissions are the main driver of current global acidification of the surface open ocean. There is *high confidence* that oxygen levels have dropped in many upper ocean regions since the mid-20th century, and *medium confidence* that human influence contributed to this drop. {2.3, 3.5, 3.6, 5.3, 9.2, TS.2.4}

A.1.7 Global mean sea level increased by 0.20 [0.15 to 0.25] m between 1901 and 2018. The average rate of sea level rise was 1.3 [0.6 to 2.1] mm yr⁻¹ between 1901 and 1971, increasing to 1.9 [0.8 to 2.9] mm yr⁻¹ between 1971 and 2006, and further increasing to 3.7 [3.2 to 4.2] mm yr⁻¹ between 2006 and 2018 (*high confidence*). Human influence was *very likely* the main driver of these increases since at least 1971. {2.3, 3.5, 9.6, Cross-Chapter Box 9.1, Box TS.4}

A.1.8 Changes in the land biosphere since 1970 are consistent with global warming: climate zones have shifted poleward in both hemispheres, and the growing season has on average lengthened by up to two days per decade since the 1950s in the Northern Hemisphere extratropics (*high confidence*). {2.3, TS.2.6}

¹¹ The period distinction with A.1.2 arises because the attribution studies consider this slightly earlier period. The observed warming to 2010–2019 is 1.06 [0.88 to 1.21] °C.

¹² Throughout this SPM, 'main driver' means responsible for more than 50% of the change.

인간의 영향에 의해 과거 2000년 동안 유례없이 빠른 속도로 기후가 온난화되었다.

1850~1900 년 대비 지구 표면온도 변화

a) 지구 표면온도 변화(10 년 평균) 추정치(1~2000 년)와 b) 지구 표면온도 변화(연평균) **관측치**와 **인간 및 자연적 요인**과 **자연적 관측치**(1850~2020 년)

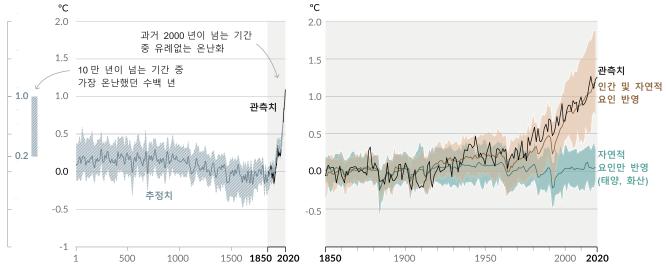


그림 SPM.1: 과거 지구 온도 변화와 최근 온난화 원인

도표 a): 추정된 고기후 기록(회색 실선, 1~2000)과 직접 관측(검은색 실선, 1850~2020)에 따른 지구 표면온도 변화. 두 가지 모두 1850~1900 년을 기준으로 10 년 간격 평균. 좌측의 수직 막대는 적어도 과거 10 만 년 중에서 가장 온난하고 현재 간빙기 기간인 약 6500 년 전(Holocene)에 포함되는 수백 년 동안 추정된 온도(가능성 매우 높은 범위)를 나타낸다. 약 12 만 5000 년 전인 마지막 간빙기가 그 다음으로 기온이 높았을지도 모르는 기간이다. 이러한 과거 온난화 기간은 매우 느린(수천 년에 걸친) 지구 궤도 변화에 의해 유발되었다. 흰색 빗금이 쳐진 회색 음영은 가능성 매우 높은 온도 추산 범위를 나타낸다.

도표 b): 과거 170 년 동안 1850~1900 년 대비 지구 표면온도 변화(검은색 실선)의 연평균과 CMIP6 기후모델 모의 결과(Box SPM.1 참고). 인간과 자연적 요인을 모두 고려했을 때(갈색)와 자연적 요인만 고려했을 때(태양과 화산활동, 녹색)의 온도 반응. 유색 실선은 여러 모델의 평균값을 나타내고 유색 음영은 *가능성 매우 높은* 모의 범위를 나타낸다. (온난화 기여도 평가는 그림 SPM.2 참고).

{2.3.1, 3.3, Cross-Chapter Box 2.3, Cross-Section Box TS.1, 그림 1a, TS.2.2}

Human influence has warmed the climate at a rate that is unprecedented in at least the last 2000 years

Changes in global surface temperature relative to 1850-1900

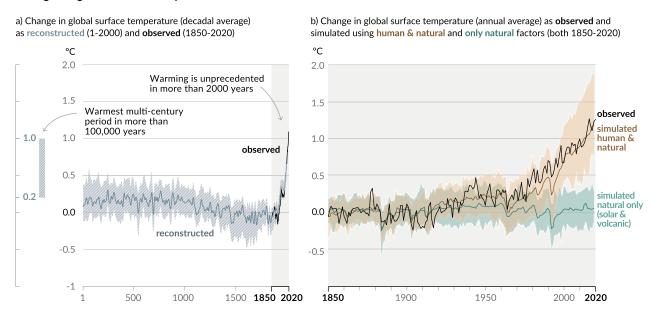


Figure SPM.1: History of global temperature change and causes of recent warming.

Panel a): Changes in global surface temperature reconstructed from paleoclimate archives (solid grey line, 1–2000) and from direct observations (solid black line, 1850–2020), both relative to 1850–1900 and decadally averaged. The vertical bar on the left shows the estimated temperature (*very likely* range) during the warmest multi-century period in at least the last 100,000 years, which occurred around 6500 years ago during the current interglacial period (Holocene). The Last Interglacial, around 125,000 years ago, is the next most recent candidate for a period of higher temperature. These past warm periods were caused by slow (multi-millennial) orbital variations. The grey shading with white diagonal lines shows the *very likely* ranges for the temperature reconstructions.

Panel b): Changes in global surface temperature over the past 170 years (black line) relative to 1850–1900 and annually averaged, compared to CMIP6 climate model simulations (see Box SPM.1) of the temperature response to both human and natural drivers (brown), and to only natural drivers (solar and volcanic activity, green). Solid coloured lines show the multi-model average, and coloured shades show the *very likely* range of simulations. (see Figure SPM.2 for the assessed contributions to warming).

{2.3.1, 3.3, Cross-Chapter Box 2.3, Cross-Section Box TS.1, Figure 1a, TS.2.2}

관측된 온난화는 인간 활동으로 인한 배출에서 기인하며, 에어로졸로 인한 냉각화에 의해 온실가스 온난화가 일부 상쇄된다.



그림 SPM.2: 1850~1900 년 대비 2010~2019 년에 관측된 온난화 기여도 평가

도표 a): 관측된 지구온난화(지구 표면온도 상승)와 *가능성 매우 높은* 온난화 범위 {3.3.1, Cross-Chapter Box 2.3}.

도표 b): 기후모델과 관측 자료를 종합한 원인 규명 연구를 통해 도출된 증거. 이 도표는 총 인간 영향과 잘 혼합된 온실가스 농도, 에어로졸과 오존 및 토지 이용 변화(토지 이용 반사도) 등 기타 인간 요인, 태양과 화산 요인, 내부 기후 변동성에 기인한 온도 변화를 보여준다. 막대마다 그려진 직선은 *가능성 높은* 범위를 나타낸다{3.3.1}.

도표 c): 복사 강제력과 기후민감도 평가를 통해 도출된 증거. 이 도표는 온실가스 배출량, 에어로졸 및 그전구물질, 토지 이용(토지 이용 반사도 및 관개), 항공기 비행운 등 인간이 끼친 영향의 개별 요소 때문에 발생한 온도 변화를 나타낸다. 막대마다 그려진 직선은 *가능성 매우 높은* 범위를 나타낸다. 대기로의 직접 배출과 직접 배출이 다른 기후 요인에 미치는 영향이 모두 고려되었다. 에어로졸의 경우 복사에 의한 직접 영향 및 구름과 상호작용에 의한 간접 영향이 모두 고려되었다{6.4.2, 7.3}.

Observed warming is driven by emissions from human activities, with greenhouse gas warming partly masked by aerosol cooling

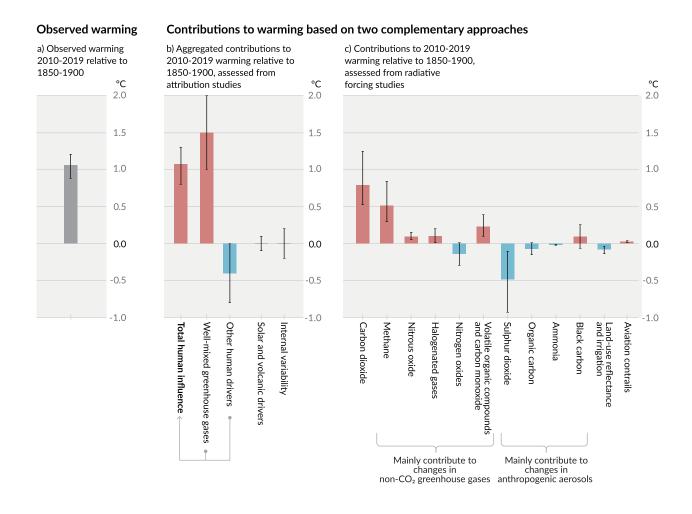


Figure SPM.2: Assessed contributions to observed warming in 2010–2019 relative to 1850–1900.

Panel a): Observed global warming (increase in global surface temperature) and its *very likely* range {3.3.1, Cross-Chapter Box 2.3}.

Panel b): Evidence from attribution studies, which synthesize information from climate models and observations. The panel shows temperature change attributed to total human influence, changes in well-mixed greenhouse gas concentrations, other human drivers due to aerosols, ozone and land-use change (land-use reflectance), solar and volcanic drivers, and internal climate variability. Whiskers show *likely* ranges {3.3.1}.

Panel c): Evidence from the assessment of radiative forcing and climate sensitivity. The panel shows temperature changes from individual components of human influence, including emissions of greenhouse gases, aerosols and their precursors; land-use changes (land-use reflectance and irrigation); and aviation contrails. Whiskers show *very likely* ranges. Estimates account for both direct emissions into the atmosphere and their effect, if any, on other climate drivers. For aerosols, both direct (through radiation) and indirect (through interactions with clouds) effects are considered. {6.4.2, 7.3}

A.2 기후시스템 전반에 걸친 최근 변화의 규모와 다양한 측면으로 본 현재 상태는 수백 년에서 수천 년에 이르는 기간 동안 전례 없는 수준이다.

{Cross-Chapter Box 2.1, 2.2, 2.3, 5.1} (그림 SPM.1)

- A.2.1 2019 년 대기 중 이산화탄소 농도는 적어도 과거 2 백만 년 중에서 가장 높았으며(신뢰도 높음), 메탄과 아산화질소 농도는 적어도 80 만 년 중에 최고 수준이었다(신뢰도 매우 높음). 적어도 과거 80 만 년 동안 빙하기와 간빙기 사이의 수백만 년에 걸친 자연적인 변화와 비교할 때, 1750 년 이후 이산화탄소(47%)와 메탄(156%) 농도 증가량은 과거보다 훨씬 크고 아산화질소 증가량(23%)은 과거와 비슷한 수준이다(신뢰도 매우 높음). {2.2, 5.1, TS.2.2}
- A.2.2 지구 표면온도는 적어도 과거 2000년을 50년 단위로 봤을 때 1970년 이후 가장 빠르게 증가했다(신뢰도 높음). 가장 최근의 온난기인 약 6500년 전 중 수백년 동안의 온도보다 최근 10년(2011~2020년)의 온도가 더 높다¹³[1850~1900년 대비 0.2~1°C](신뢰도 중간). 그보다 앞선 가장 최근 온난기는 약 12만 5000년 전이었다. 당시수백년 동안 온도[1850~1900년 대비 0.5~1.5°C]가 가장 최근 10년 동안 관측된 온도와 비슷하다(신뢰도 중간). {Cross-Chapter Box 2.1, 2.3, Cross-Section Box TS.1} (그림 SPM.1)
- A.2.3 2011~2020 년 연평균 북극 해빙 면적이 적어도 1850 년 이후 최저 수준에 도달했다(*신뢰도 높음*). 지난 늦여름 북극 해빙 면적은 적어도 과거 1000 년 중 가장 작았다(*신뢰도 중간*). 1950 년대 이후 전 세계 대부분의 빙하가 동시에 감소하고 있는 자연 현상은 적어도 과거 2000 년 동안 유례가 없었다(*신뢰도 중간*). {2.3, TS.2.5}
- A.2.4 1900 년 이후 지구 평균 해수면 상승 속도는 적어도 과거 3000 년 동안을 백 년 단위로 봤을 때 가장 빠르다(신뢰도 높음). 지난 100 년 간 지구 해양은 가장 최근 퇴빙기(약 1 만 1000 년 전) 말 이후 가장 빠르게 온난화 되었다(신뢰도 중간). 과거 5 천만 년 동안 장기간에 걸쳐 표면 해수 pH 가 상승했으나(신뢰도 높음), 최근 수십 년 동안 관측된 표면 해수 pH 가 낮았던 것은 과거 2 백만 년 동안 유례없는 현상이다(신뢰도 중간). {2.3, TS.2.4, Box TS.4}

¹³ B.1 절에 언급되었듯이 매우 낮은 배출 시나리오인 SSP1-1.9 에서조차 적어도 2100 년까지는 온도가 가장 최근 10 년 간의 온도보다 높게 유지되어 6500년 전 백 년 단위 기간의 온도보다 높을 것으로 평가된다.

A.2 The scale of recent changes across the climate system as a whole and the present state of many aspects of the climate system are unprecedented over many centuries to many thousands of years.

{Cross-Chapter Box 2.1, 2.2, 2.3, 5.1} (Figure SPM.1)

- **A.2.1** In 2019, atmospheric CO₂ concentrations were higher than at any time in at least 2 million years (*high confidence*), and concentrations of CH₄ and N₂O were higher than at any time in at least 800,000 years (*very high confidence*). Since 1750, increases in CO₂ (47%) and CH₄ (156%) concentrations far exceed, and increases in N₂O (23%) are similar to, the natural multi-millennial changes between glacial and interglacial periods over at least the past 800,000 years (*very high confidence*). {2.2, 5.1, TS.2.2}
- **A.2.2** Global surface temperature has increased faster since 1970 than in any other 50-year period over at least the last 2000 years (*high confidence*). Temperatures during the most recent decade (2011–2020) exceed those of the most recent multi-century warm period, around 6500 years ago¹³ [0.2°C to 1°C relative to 1850–1900] (*medium confidence*). Prior to that, the next most recent warm period was about 125,000 years ago when the multi-century temperature [0.5°C to 1.5°C relative to 1850–1900] overlaps the observations of the most recent decade (*medium confidence*).

{Cross-Chapter Box 2.1, 2.3, Cross-Section Box TS.1} (Figure SPM.1)

- **A.2.3** In 2011–2020, annual average Arctic sea ice area reached its lowest level since at least 1850 (*high confidence*). Late summer Arctic sea ice area was smaller than at any time in at least the past 1000 years (*medium confidence*). The global nature of glacier retreat, with almost all of the world's glaciers retreating synchronously, since the 1950s is unprecedented in at least the last 2000 years (*medium confidence*). {2.3, TS.2.5}
- **A.2.4** Global mean sea level has risen faster since 1900 than over any preceding century in at least the last 3000 years (*high confidence*). The global ocean has warmed faster over the past century than since the end of the last deglacial transition (around 11,000 years ago) (*medium confidence*). A long-term increase in surface open ocean pH occurred over the past 50 million years (*high confidence*), and surface open ocean pH as low as recent decades is unusual in the last 2 million years (*medium confidence*). {2.3, TS.2.4, Box TS.4}

¹³ As stated in section B.1, even under the very low emissions scenario SSP1-1.9, temperatures are assessed to remain elevated above those of the most recent decade until at least 2100 and therefore warmer than the century-scale period 6500 years ago.

A.3 인간에 의한 기후변화는 이미 전 세계 모든 곳에서 많은 극한기상 및 극한기후에 영향을 미치고 있다. 폭염, 호우, 가뭄, 열대성저기압 등 극한현상에서 관측되는 변화와 특히 이러한 현상들이 인간의 영향에 기인한다는 증거가 AR5 이후 강화되었다.

{2.3, 3.3, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, Box 8.1, Box 8.2, Box 9.2, 10.6, 11.2, 11.3, 11.4, 11.6, 11.7, 11.8, 11.9, 12.3} (그림 SPM.3)

A.3.1 1950 년대 이후 대부분의 육지에서 폭염 등 극한고온의 빈도가 많아지고 강도가 높아진 반면, 한파 등 극한저온의 빈도는 줄어들고 강도는 약해지고 있다는 것이 *거의 확실*하다. 인간에 의한 기후변화가 이러한 변화의 주된 요인¹⁴ 으로 꼽힌다(*신뢰도 높음*). 지난 10 년 간 관측된 극한고온 중 일부는 기후시스템에 미친 인간 영향을 배제하면 발생했을 *가능성이 대단히 낮다*. 1980 년대 이후 해양 폭염의 빈도가 거의 2 배로 늘었고(*신뢰도 높음*), 적어도 2006 년 이후 발생한 대부분의 해양 폭염에 인간 영향이 기여했을 *가능성이 매우 높다*.

A.3.2 추이 분석이 가능할 정도로 관측 자료가 풍부한 육지 대부분에서 1950년대 이후 호우의 빈도가 많아지고 강도가 높아졌으며(*신뢰도 높음*), 인간에 의한 기후변화가 주된 요인일 *가능성이 높다*. 인간에 의한 기후변화는 육지 증발산량 증가¹⁵로 일부 지역의 농업가뭄 및 식생가뭄(ecological drought)¹⁶ 증가에 기여했다(*신뢰도 중간*). {8.2, 8.3, 11.4, 11.6, 11.9, TS.2.6, Box TS.10} (그림 SPM.3)

A.3.3 1950 년대부터 1980 년대까지 관측된 전 세계 육지의 몬순(Monsoon) 강수량 감소¹⁷는 인간에 의해 배출된 북반구 에어로졸이 부분적인 원인이었지만, 그 이후 발생한 강수량 증가는 온실가스 농도 증가 및 10 년에서 수십년 규모의 내부 변동성 때문이었다(신뢰도 중간). 20 세기 남아시아, 동아시아, 서아프리카에서는 온실가스 배출에 따른 온난화 때문에 발생한 몬순 강수량 증가는 인간의 에어로졸 배출에 의한 냉각화에 따른 몬순 강수량 감소로 상쇄되었다(신뢰도 높음). 1980 년대 이후 서아프리카에서 몬순 강수량이 증가한 일부 원인으로 온실가스 영향의 증가와 유럽과 북아메리카에서 인간의 에어로졸 배출에 따른 냉각화 영향의 감소를 들 수 있다(신뢰도 중간). {2.3, 3.3, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, Box 8.1, Box 8.2, 10.6, Box TS.13}

{Box 9.2, 11.2, 11.3, 11.9, TS.2.4, TS.2.6, Box TS.10} (그림 SPM.3)

¹⁴ 요약본에서 '주된 요인'이란 해당 변화의 50% 이상을 유발했다는 의미로 사용된다.

¹⁵ 농업가뭄 및 식생가뭄(영향을 받는 생물군계에 의해 결정): 토양의 수분이 비정상적으로 부족한 기간으로, 강수량 부족과 과도한 증발이 동시에 일어날 때 발생하며 생장기에 작물 생산이나 전반적인 생태계 기능에 악영향을 끼친다. 기상학적 가뭄(강수량 부족)과 수문학적 가뭄(하천수 부족)에서 관측되는 변화는 농업가뭄 및 식생가뭄과는 차이가 있으며 AR6 의본보고서에서 다루어진다(제 11 장).

¹⁶ 물이 지구 표면을 구성하는 바다와 얼음 표면, 나지, 초지에서 대기로 이동하는 복합적인 과정들.

¹⁷ 전 세계 몬순 지역은 연간 강수량 범위(현지 여름 강수량과 현지 겨울 강수량의 차이)가 1 일 2.5 mm 를 초과하는 지역으로 정의된다. 전 세계 육지 몬순 강수량은 전 세계 몬순 기간동안 육지의 평균 강수량을 의미한다.

A.3 Human-induced climate change is already affecting many weather and climate extremes in every region across the globe. Evidence of observed changes in extremes such as heatwaves, heavy precipitation, droughts, and tropical cyclones, and, in particular, their attribution to human influence, has strengthened since AR5. {2.3, 3.3, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, Box 8.1, Box 8.2, Box 9.2, 10.6, 11.2, 11.3, 11.4, 11.6, 11.7, 11.8, 11.9, 12.3} (Figure SPM.3)

A.3.1 It is *virtually certain* that hot extremes (including heatwaves) have become more frequent and more intense across most land regions since the 1950s, while cold extremes (including cold waves) have become less frequent and less severe, with *high confidence* that human-induced climate change is the main driver¹⁴ of these changes. Some recent hot extremes observed over the past decade would have been *extremely unlikely* to occur without human influence on the climate system. Marine heatwaves have approximately doubled in frequency since the 1980s (*high confidence*), and human influence has *very likely* contributed to most of them since at least 2006.

{Box 9.2, 11.2, 11.3, 11.9, TS.2.4, TS.2.6, Box TS.10} (Figure SPM.3)

A.3.2 The frequency and intensity of heavy precipitation events have increased since the 1950s over most land area for which observational data are sufficient for trend analysis (*high confidence*), and human-induced climate change is *likely* the main driver. Human-induced climate change has contributed to increases in agricultural and ecological droughts¹⁵ in some regions due to increased land evapotranspiration¹⁶ (*medium confidence*).

{8.2, 8.3, 11.4, 11.6, 11.9, TS.2.6, Box TS.10} (Figure SPM.3)

A.3.3 Decreases in global land monsoon precipitation¹⁷ from the 1950s to the 1980s are partly attributed to human-caused Northern Hemisphere aerosol emissions, but increases since then have resulted from rising GHG concentrations and decadal to multi-decadal internal variability (*medium confidence*). Over South Asia, East Asia and West Africa increases in monsoon precipitation due to warming from GHG emissions were counteracted by decreases in monsoon precipitation due to cooling from human-caused aerosol emissions over the 20th century (*high confidence*). Increases in West African monsoon precipitation since the 1980s are partly due to the growing influence of GHGs and reductions in the cooling effect of human-caused aerosol emissions over Europe and North America (*medium confidence*).

{2.3, 3.3, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, Box 8.1, Box 8.2, 10.6, Box TS.13}

¹⁴ Throughout this SPM, 'main driver' means responsible for more than 50% of the change.

¹⁵ Agricultural and ecological drought (depending on the affected biome): a period with abnormal soil moisture deficit, which results from combined shortage of precipitation and excess evapotranspiration, and during the growing season impinges on crop production or ecosystem function in general. Observed changes in meteorological droughts (precipitation deficits) and hydrological droughts (streamflow deficits) are distinct from those in agricultural and ecological droughts and addressed in the underlying AR6 material (Chapter 11).

¹⁶ The combined processes through which water is transferred to the atmosphere from open water and ice surfaces, bare soil, and vegetation that make up the Earth's surface.

¹⁷ The global monsoon is defined as the area in which the annual range (local summer minus local winter) of precipitation is greater than 2.5 mm day⁻¹. Global land monsoon precipitation refers to the mean precipitation over land areas within the global monsoon.

A.3.4 전 세계에서 강한 열대성저기압(3~5 등급) 발생 비율이 과거 40 년 동안 증가했고 북태평양 서쪽 해상 열대성저기압의 세력이 최고조에 달하는 위도가 북쪽으로 이동했을 *가능성이 높다.* 이러한 변화는 내부 변동성 만으로는 설명이 불가능하다(*신뢰도 중간*). 모든 등급의 열대성저기압 빈도에 대한 장기간(수십 년 ~ 수백 년) 추이에 대한 *신뢰도는 낮다.* 사례 원인규명 연구와 과학적 이해에 따르면 인간이 유발한 기후변화가 열대성저기압과 관련된 호우를 증가시키는 것으로 나타났지만(*신뢰도 높음*) 자료의 한계로 인해 전 지구 규모의 과거 추이를 완전히 밝히지는 못했다. {8.2, 11.7, Box TS.10}

A.3.5 인간 영향이 1950 년대 이후 복합적인 극한현상 ¹⁸ 확률을 증가시켰을 *가능성이 높다.* 전 세계 동시다발적인 폭염과 가뭄(*신뢰도 높음*), 인간이 거주하는 모든 대륙 중 일부 지역의 산불에 취약한 날씨(*신뢰도 중간*), 그리고 일부 지역의 복합적 홍수(*신뢰도 중간*)의 빈도 증가가 여기에 해당한다{11.6, 11.7, 11.8, 12.3, 12.4, TS.2.6, Table TS.5, Box TS.10}

¹⁸복합적인 극한현상은 사회적, 환경적 위험에 기여하는 다양한 요인이나 위험 요인이 합쳐져 발생한다. 그 예로 동시다발적인 폭염과 가뭄, 복합적인 홍수(예: 극한 강수나 하천 범람을 동반하는 폭풍해일), 복합적이고 산불에 취약한 기상 조건(고온, 건조, 강한 바람), 서로 다른 지역에서 동시에 발생하는 극한현상 등을 들 수 있다.

SPM

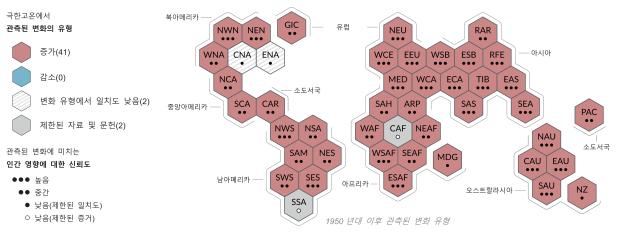
A.3.4 It is *likely* that the global proportion of major (Category 3–5) tropical cyclone occurrence has increased over the last four decades, and the latitude where tropical cyclones in the western North Pacific reach their peak intensity has shifted northward; these changes cannot be explained by internal variability alone (*medium confidence*). There is *low confidence* in long-term (multi-decadal to centennial) trends in the frequency of all-category tropical cyclones. Event attribution studies and physical understanding indicate that human-induced climate change increases heavy precipitation associated with tropical cyclones (*high confidence*) but data limitations inhibit clear detection of past trends on the global scale. {8.2, 11.7, Box TS.10}

A.3.5 Human influence has *likely* increased the chance of compound extreme events¹⁸ since the 1950s. This includes increases in the frequency of concurrent heatwaves and droughts on the global scale (*high confidence*); fire weather in some regions of all inhabited continents (*medium confidence*); and compound flooding in some locations (*medium confidence*). {11.6, 11.7, 11.8, 12.3, 12.4, TS.2.6, Table TS.5, Box TS.10}

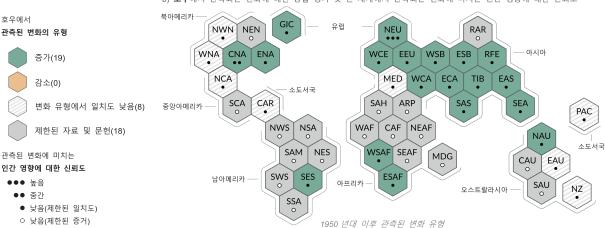
¹⁸ Compound extreme events are the combination of multiple drivers and/or hazards that contribute to societal or environmental risk. Examples are concurrent heatwaves and droughts, compound flooding (e.g., a storm surge in combination with extreme rainfall and/or river flow), compound fire weather conditions (i.e., a combination of hot, dry, and windy conditions), or concurrent extremes at different locations.

기후변화는 이미 인류가 거주하는 전 세계 모든 지역에 영향을 미치고 있으며 인간 영향이 다수의 극한기상과 극한기후 관측값 변화에 기여하고 있다.

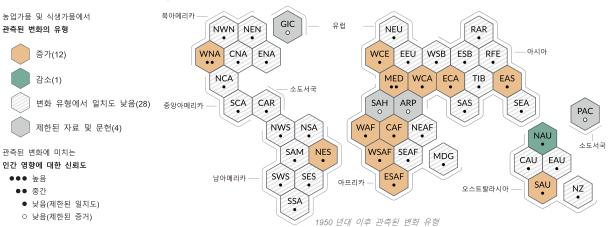
a) **극한고온**에서 관측되는 변화에 대한 종합 평가 및 전 세계에서 관측되는 변화에 미치는 인간 영향에 대한 신뢰도



b) 호우에서 관측되는 변화에 대한 종합 평가 및 전 세계에서 관측되는 변화에 미치는 인간 영향에 대한 신뢰도



c) 농업가뭄 및 식생가뭄에서 관측되는 변화에 대한 종합 평가 및 전 세계에서 관측되는 변화에 미치는 인간 영향에 대한 신뢰도

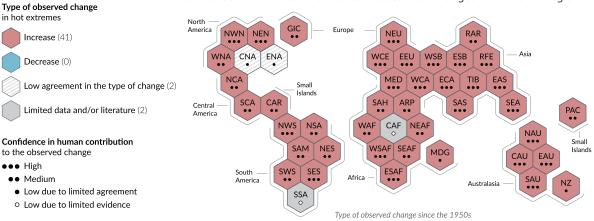


IPCC AR6 WGI 기준지역: 북아메리카: NWN(북아메리카 북서부), NEN(북아메리카 북동부), WNA(북아메리카 서부), CNA(북아메리카 증부), ENA(북아메리카 동부), 중앙아메리카: NCA(중앙아메리카 북부), SCA(중앙아메리카 남부), CAR(카리브해), 남아메리카: NWS(남아메리카 북서부), NSA(남아메리카 북부), NES(남아메리카 북동부), SAM(남아메리카 몬순 지역), SWS(남아메리카 남서부), SES(남아메리카 남동부), SSA(남아메리카 남부), 유럽: GIC(그린란디아이슬란드), NEU(북우림), WCE(서유럽 및 중유림), EEU(동유림), MED(지중해), 아프리카: MED(지중해), SAH(사하리), WAF(서아프리카), CAF(중앙아프리카, NEAF(북동아프리카), SEAF(동남아프리카), WSAF(서남아프리카), ESAF(동남아프리카), MDG(마다가스카르), 아시아: RAR(라시아 북극권), WSB(서서베리아), ESB(동서베리아), RFE(라시아 국동), WCA(중앙아시아 서부), ECA(중앙아시아 동부), TIB(티베르고원), EAS(동아시아), ARP(아라비아), SAS(남아시아), SEA(동남아시아), 오스트랄라시아: NAU(북호주), CAU(중앙호주), EAU(동호주), SAU(남호주), NZ(뉴질렌드), 소도서국: CAR(카리브해), PAC(태평왕 소도서국)

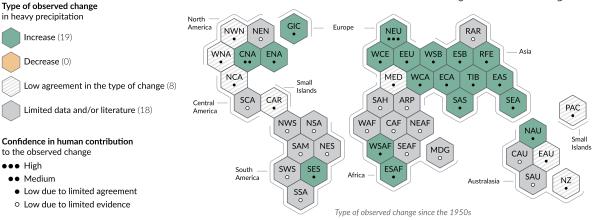
NWN 북아메리카 북서부

Climate change is already affecting every inhabited region across the globe with human influence contributing to many observed changes in weather and climate extremes

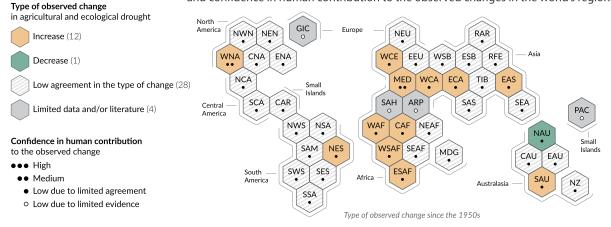
a) Synthesis of assessment of observed change in **hot extremes** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions



b) Synthesis of assessment of observed change in **heavy precipitation** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions



c) Synthesis of assessment of observed change in **agricultural and ecological drought** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions



Each hexagon corresponds to one of the IPCC AR6 WGI reference regions

NWN North-Western North America IPCC AR6 WGI reference regions: North America: NWN (North-Western North America, NEN (North-Eastern North America), WNA (Western North America), CAR (Central North America), ENA (Eastern North America), Central America: NCA (Northern Central America), SCA (Southern Central America), CAR (Caribbean), South America: NWS (North-Western South America), NSA (Northern South America), SSA (South America), SSA (South America), SSA (South America), SSA (South America), SSC (S

그림 SPM.3: 평가된 관측 및 원인 규명이 가능한 지역별 변화의 종합적 분석

인간이 거주하는 IPCC AR6 WGI 기준지역은 도표 상에 실제 지리적으로 비슷한 위치에 그려진 동일한 크기의 육각형으로 표현되었다(지역별 약어는 범례 참고). 모든 평가는 1950 년대부터 현재까지 각 지역을 하나의 단위로 취급하여 이루어졌다. 다른 시기에 이루어지거나 더 지역적인 단위로 이루어진 평가의 경우 그림에서 나타난 것과 다를 수 있다. 각 도표의 색은 관측된 변화에 대한 4가지 평가 결과를 나타낸다. 흰색과 연회색의 빗금 친 육각형은 해당 지역 전체에 대한 변화 유형의 일치도가 낮은 경우이고, 회색 육각형은 자료와 문헌이 제한적이어서 해당 지역을 전체적으로 평가할 수 없는 경우이다. 다른 색은 관측된 변화가 신뢰도 중간 이상이라는 것을 의미한다. 이런 관측된 변화에 미치는 인간 영향에 대한 신뢰도 수준은 추세 파악, 원인 규명, 사례 원인 규명 문헌을 평가하여 점의 개수로 표현된다. 신뢰도 높음인 경우 점 3 개, 신뢰도 중간인 경우 점 2개, 신뢰도 낮음인 경우 점 1개이다(색이 칠해진 점: 제한된 일치도, 비어있는 점: 제한된 증거).

도표 a) 극한고온 관련 증거는 일최고기온을 바탕으로 한 관측값의 변화에서 주로 도출되며, 다른 지표(폭염 지속 기간, 빈도, 강도)를 활용한 지역별 연구 결과도 추가로 사용된다. 빨간색 육각형은 극한고온 증가가 관측되었고 이에 대해 *신뢰도 중간* 이상인 지역을 의미한다.

도표 b) 호우 관련 증거는 전 세계 및 지역별 연구 결과를 이용해 1 일 혹은 5 일 강수량을 기준으로 판단되는 지표의 변화를 통해 주로 도출된다. 초록색 육각형은 호우 증가가 관측되었고 이에 대해 *신뢰도 중간* 이상인 지역을 의미한다.

도표 c) 농업가뭄 및 식생가뭄은 전층 토양수분함량 변화와 관련된 관측 자료와 모의 결과를 바탕으로 평가된다. 표층토양수분함량 변화, 물수지(강수량과 증발산량의 차이), 강수량과 대기증발요구량에 의해 도출되는 지표 관련 증거도 보완적으로 사용된다. 노란색 육각형은 농업가뭄 및 식생가뭄 증가가 관측되었고 이에 대해 신뢰도 중간 이상인 지역을 의미하고, 초록색 육각형은 농업가뭄 및 식생가뭄 감소가 관측되었고 이에 대해 신뢰도 중간 이상인 지역을 의미한다.

모든 지역에 대해 표 TS.5 는 이 그림에 제시된 것 외에 더욱 광범위하게 관측된 변화를 보여준다. 참고로 남아메리카 남부(SSA)는 이 그림에서 관측값 변화가 나타나지 않은 유일한 지역이지만 평균 기온 증가, 서리 감소, 해양 폭염 증가의 영향을 받았다.

{11.9, Table TS.5, Box TS.10, Figure 1, Atlas 1.3.3, Figure Atlas.2}

A.4 기후 과정과 고기후 증거, 복사 강제력 증가 등에 대한 기후시스템 반응 관련 연구가 발전하여 평형기후민감도(equilibrium climate sensitivity)의 최적 추정치가 AR5 보다 더욱 좁은 범위에서 3 °C 로 산출되었다. {2.2, 7.3, 7.4, 7.5, Box 7.2, Cross-Chapter Box 9.1, 9.4, 9.5, 9.6}

A.4.1 인간 활동에 의한 복사 강제력이 1750 년 대비 2019 년에 2.72[1.96 ~ 3.48] W m⁻² 으로 증가하였고, 이로 인해 기후시스템이 온난해졌다. 이러한 온난화는 주로 온실가스 농도 증가에서 기인하며, 에어로졸 농도 증가에 따른 냉각에 의해 일부분 상쇄된다. 복사 강제력이 AR5 에 비해 0.43 W m⁻² 증가했고 그 중 0.34 W m⁻² (19%)는 2011 년 이후 온실가스 농도 증가에서 비롯되었다. 그 외 나머지는 과학적 이해가 높아진데 더해 농도 감소와 개선된 산출 방법이 반영된 에어로졸에 의한 복사 강제력 평가의 변화 때문이다(신뢰도 높음). {2.2, 7.3, TS.2.2, TS.3.1}

Figure SPM.3: Synthesis of assessed observed and attributable regional changes.

The IPCC AR6 WGI inhabited regions are displayed as **hexagons** with identical size in their approximate geographical location (see legend for regional acronyms). All assessments are made for each region as a whole and for the 1950s to the present. Assessments made on different time scales or more local spatial scales might differ from what is shown in the figure. The **colours** in each panel represent the four outcomes of the assessment on observed changes. White and light grey striped hexagons are used where there is *low agreement* in the type of change for the region as a whole, and grey hexagons are used when there is limited data and/or literature that prevents an assessment of the region as a whole. Other colours indicate at least *medium confidence* in the observed change. The **confidence level** for the human influence on these observed changes is based on assessing trend detection and attribution and event attribution literature, and it is indicated by the number of dots: three dots for *high confidence*, two dots for *medium confidence* and one dot for *low confidence* (filled: limited agreement; empty: limited evidence).

Panel a) For hot extremes, the evidence is mostly drawn from changes in metrics based on daily maximum temperatures; regional studies using other indices (heatwave duration, frequency and intensity) are used in addition. Red hexagons indicate regions where there is at least *medium confidence* in an observed increase in hot extremes.

Panel b) For heavy precipitation, the evidence is mostly drawn from changes in indices based on one-day or five-day precipitation amounts using global and regional studies. Green hexagons indicate regions where there is at least *medium confidence* in an observed increase in heavy precipitation.

Panel c) Agricultural and ecological droughts are assessed based on observed and simulated changes in total column soil moisture, complemented by evidence on changes in surface soil moisture, water balance (precipitation minus evapotranspiration) and indices driven by precipitation and atmospheric evaporative demand. Yellow hexagons indicate regions where there is at least *medium confidence* in an observed increase in this type of drought and green hexagons indicate regions where there is at least *medium confidence* in an observed decrease in agricultural and ecological drought.

For all regions, table TS.5 shows a broader range of observed changes besides the ones shown in this figure. Note that SSA is the only region that does not display observed changes in the metrics shown in this figure, but is affected by observed increases in mean temperature, decreases in frost, and increases in marine heatwaves.

{11.9, Table TS.5, Box TS.10, Figure 1, Atlas 1.3.3, Figure Atlas.2}

- A.4 Improved knowledge of climate processes, paleoclimate evidence and the response of the climate system to increasing radiative forcing gives a best estimate of equilibrium climate sensitivity of 3°C with a narrower range compared to AR5. {2.2, 7.3, 7.4, 7.5, Box 7.2, Cross-Chapter Box 9.1, 9.4, 9.5, 9.6}
- **A.4.1** Human-caused radiative forcing of 2.72 [1.96 to 3.48] W m⁻² in 2019 relative to 1750 has warmed the climate system. This warming is mainly due to increased GHG concentrations, partly reduced by cooling due to increased aerosol concentrations. The radiative forcing has increased by 0.43 W m⁻² (19%) relative to AR5, of which 0.34 W m⁻² is due to the increase in GHG concentrations since 2011. The remainder is due to improved scientific understanding and changes in the assessment of aerosol forcing, which include decreases in concentration and improvement in its calculation (*high confidence*). {2.2, 7.3, TS.2.2, TS.3.1}

13

A.4.2 인간에 의해 발생한 순 양의(+) 복사 강제력 때문에 기후시스템에 추가적인 에너지가 누적되고(온난화), 이 에너지의 일부는 표면 온난화에 따른 우주로의 에너지 손실 증가로 상쇄된다. 기후시스템에서 관측된 평균 온난화 속도가 1971~2006년 0.50[0.32~0.69] W m⁻² ¹⁹에서 2006~2018년 0.79[0.52~1.06] W m⁻² ²⁰로 증가했다(신뢰도 높음). 해양 온난화가 기후시스템 온난화의 91%를 차지하고, 육지 온난화와 얼음 손실 및 대기 온난화가 각각 약 5%, 3%, 1%를 차지한다(신뢰도 높음). {7.2, Box 7.2, TS.3.1}

A.4.3 기후시스템 온난화는 육지 얼음 손실과 해양 온난화에 의한 열팽창으로 지구 평균 해수면을 상승시켰다. 열팽창이 1971~2018 년 동안 진행된 해수면 상승의 50%를 차지하고 빙하 얼음 손실이 22%, 빙상 손실이 20%, 육지 저수량 변화가 8%를 차지한다. 빙상 손실 속도가 1992~1999 년부터 2010~2019 년 사이에 약 4 배 증가했다. 종합하면, 빙상과 빙하의 질량 손실이 2006~2018 년 지구 평균 해수면 상승의 주된 요인이었다(신뢰도 높음). {Cross-Chapter Box 9.1, 9.4, 9.5, 9.6}

A.4.4 평형기후민감도는 복사 강제력에 대한 기후의 반응을 추정하는 데 사용되는 중요한 인자다. 다양한 증거 ²¹ 를 바탕으로 했을 때 *가능성 매우 높음*으로 나타나는 평형기후민감도 범위는 2°C(*신뢰도 높음*)에서 5°C(*신뢰도 중간*)이다. AR6 은 최적 추정치를 3°C, *가능성 높음*으로 나타나는 범위를 2.5~4°C(*신뢰도 높음*)로 판단했다. AR5 에 제시된 1.5~4.5°C 는 최적 추정치가 아닌 것으로 밝혀졌다. {7.4, 7.5, TS.3.2}

¹⁹ 1971~2006 년 동안 누적된 에너지 증가량 = 282[177~387] ZJ (1 ZJ = 10²¹ J).

²⁰ 2006~2018 년 동안 누적된 에너지 증가량 = 152[100~205] ZJ.

²¹ 기후 과정, 측정 기록, 고기후 자료, 새롭게 대두된 모델기반 제약(emergent constraints) 등에 대한 이해(용어집 참고).

- **A.4.2** Human-caused net positive radiative forcing causes an accumulation of additional energy (heating) in the climate system, partly reduced by increased energy loss to space in response to surface warming. The observed average rate of heating of the climate system increased from 0.50 [0.32 to 0.69] W m⁻² for the period 1971–2006¹⁹, to 0.79 [0.52 to 1.06] W m⁻² for the period 2006–2018²⁰ (*high confidence*). Ocean warming accounted for 91% of the heating in the climate system, with land warming, ice loss and atmospheric warming accounting for about 5%, 3% and 1%, respectively (*high confidence*). {7.2, Box 7.2, TS.3.1}
- **A.4.3** Heating of the climate system has caused global mean sea level rise through ice loss on land and thermal expansion from ocean warming. Thermal expansion explained 50% of sea level rise during 1971–2018, while ice loss from glaciers contributed 22%, ice sheets 20% and changes in land water storage 8%. The rate of ice sheet loss increased by a factor of four between 1992–1999 and 2010–2019. Together, ice sheet and glacier mass loss were the dominant contributors to global mean sea level rise during 2006-2018. (high confidence)

{Cross-Chapter Box 9.1, 9.4, 9.5, 9.6}

A.4.4 The equilibrium climate sensitivity is an important quantity used to estimate how the climate responds to radiative forcing. Based on multiple lines of evidence²¹, the *very likely* range of equilibrium climate sensitivity is between 2°C (*high confidence*) and 5°C (*medium confidence*). The AR6 assessed best estimate is 3°C with a *likely* range of 2.5°C to 4°C (*high confidence*), compared to 1.5°C to 4.5°C in AR5, which did not provide a best estimate.

{7.4, 7.5, TS.3.2}

 $^{^{19}}$ cumulative energy increase of 282 [177 to 387] ZJ over 1971–2006 (1 ZJ = 10^{21} J).

²⁰ cumulative energy increase of 152 [100 to 205] ZJ over 2006–2018.

²¹ Understanding of climate processes, the instrumental record, paleoclimates and model-based emergent constraints (see glossary).

B. 미래 기후 전망

미래의 온실가스, 토지 이용, 대기오염물질에 대한 기후 반응을 AR5 보다 더욱 광범위하게 연구하기 위해 5 가지의 새로운 배출 시나리오가 보고서에서 고려되었다. 이 시나리오들을 바탕으로 기후시스템 변화에 대한 기후모델 전망이 이루어졌다. 태양 활동과 화산의 배경 강제력이 반영되었다. 21 세기 전반에 대한 전망 결과는 별도의 언급이 없는 한 1850~1900 년 대비 단기(2021~2040), 중기(2041~2060), 장기(2081~2100)로 나누어 제시된다.

Box SPM.1: 시나리오, 기후모델, 전망

Box SPM.1.1: 보고서는 문헌을 통해 확인된 인위적인 기후변화 요인들의 예상 가능한 미래 전망 범위를 다룬 5 가지 구체적인 시나리오로 기후 반응을 평가한다. 2015 년에 시작된 이 시나리오들²²은 그림 SPM.4 처럼 구분된다. 높은 온실가스 배출 시나리오(SSP3-7.0) 및 매우 높은 온실가스 배출 시나리오(SSP5-8.5)는 CO₂ 배출량이 각각 2100 년과 2050 년까지 현재의 약 2 배로 증가할 것으로 가정한다. 중간 온실가스 배출 시나리오(SSP2-4.5)는 CO₂ 배출량이 21 세기 중반까지 현재 수준으로 유지될 것으로 가정한다. 매우 낮은 온실가스 배출 시나리오(SSP1-1.9) 또는 낮은 온실가스 배출 시나리오(SSP1-2.6)는 CO₂ 배출량이 2050 년경 혹은 그 이후에 넷 제로(Net Zero)로 감소한 후 다양한 수준으로 순 음(-) CO₂ 배출²³을 달성하는 것으로 가정한다. 시나리오별 배출량은 사회경제적 가정, 기후변화 완화 정도에 따라 달라지며, 에어로졸과 메탄 외오존 전구물질은 대기오염 억제 정도에 따라 달라진다. 다른 가정을 이용해 비슷한 배출량과 기후 반응이 도출될수 있겠지만, 개별 시나리오의 사회경제적 가정 및 가정의 타당성이나 가능성은 평가에 포함되지 않았다. {TS.1.3, 1.6, Cross-Chapter Box 1.4} (그림 SPM.4)

Box SPM.1.2: 보고서는 세계기후연구프로그램(WCRP)의 결합모델 상호비교 프로젝트 6 단계(CMIP6)에 참여한 기후 모델들의 모의 결과를 평가한다. 해당 모델들은 과거 IPCC 평가보고서에서 고려된 기후 모델보다 해상도가 높을 뿐만 아니라 물리학, 화학, 생물학 연구의 새로운 성과와 개선 사항도 반영되었다. 그 덕분에 기후변화 관련 전 지구 규모 지수 대부분의 최신 평균 상태와 기후시스템 전반의 다양한 측면을 모의할 수 있게 되었다. 지역별 강수 유형 등 관측 자료의 차이는 일부 남아 있다. 보고서에서 평가된 CMIP6 의 과거 모의 결과에 따르면 앙상블 평균 지구 표면온도 변화가 대부분의 과거 기간에 대한 관측과 0.2°C 이내로 나타나며, 관측된 온난화는 CMIP6 앙상블의 가능성 매우 높은 범위 내에 유지되었다. 하지만 일부 CMIP6 모델의 경우 가능성 매우 높은 온난화 관측 범위를 벗어난 결과가 모의되었다.

{1.5, Cross-Chapter Box 2.2, 3.3, 3.8, TS.1.2, Cross-Section Box TS.1} (그림 SPM.1 도표 b, 그림 SPM.2)

Box SPM.1.3: 보고서에 반영된 CMIP6 모델은 CMIP5 모델의 기후민감도뿐만 아니라 AR6 에서 다양한 증거를 바탕으로 *가능성이 매우 높다고* 평가된 범위보다 더 넓은 기후민감도를 나타낸다. 이러한 모델들은 또한 CMIP5 및 AR6 에서 평가된 최적 추정치보다 더 높은 평균 기후민감도를 보인다. CMIP5 대비 CMIP6 기후민감도가 더 높은 이유는 CMIP6 에서 약 20%까지 더 크게 나타난 구름 피드백의 강화 때문일 수 있다. {Box 7.1, 7.3, 7.4, 7.5, TS.3.2}

Box SPM.1.4: IPCC 보고서로는 최초로 AR6의 기후민감도 평가에 더해 과거의 온난화 모의 자료를 바탕으로 한 관측적 제약을 다중모델 전망 자료와 결합하여 지구 표면온도, 해양 온난화, 해수면의 미래 변화를 전망하였다. 다른 물리량의 경우에는, 이처럼 확실하게 전망을 제한하는 방법이 아직 없다. 그럼에도 불구하고, 다양한

²² 보고서에서 이 5 가지 시나리오는 SSPx-y 의 형식으로 표기되는데, 여기서 'SSPx'는 해당 시나리오에서 기본으로 설정된 사회경제적 추세인 공통사회경제경로(Shared Socio-economic Pathway, SSP)를 의미하고 'y'는 해당 시나리오에서 2100 년 복사 강제력(W m²)의 수준을 의미한다. 과거 IPCC 보고서에 사용된 시나리오들과 비교한 구체적인 내용은 TS1.3, 1.6, 4.6 절에 제시되어 있다. 기후 모델 구동에 사용되는 이 복사 강제력 시나리오의 기본형인 SSP 는 WGI 의 평가 대상이 아니다. SSPx-y 형태의 표기는 기후 모델의 입력 자료로 사용된 특정 강제력 경로가 제시된 문헌을 추적할 수 있게 해 준다. 가능한 모든 시나리오에 SSP가 적용되지는 않으며, IPCC는 SSP의 기본 가정에 대해 중립적인 입장이다. 다른 시나리오가 고려되거나 개발될 수 있다

²³ 순 음 CO₂ 배출은 인위적인 CO₂ 제거량이 인위적인 배출량보다 더 클 때 가능하다. {용어집}

B. Possible Climate Futures

A set of five new illustrative emissions scenarios is considered consistently across this report to explore the climate response to a broader range of greenhouse gas (GHG), land use and air pollutant futures than assessed in AR5. This set of scenarios drives climate model projections of changes in the climate system. These projections account for solar activity and background forcing from volcanoes. Results over the 21st century are provided for the near-term (2021–2040), mid-term (2041–2060) and long-term (2081–2100) relative to 1850–1900, unless otherwise stated.

Box SPM.1: Scenarios, Climate Models and Projections

Box SPM.1.1: This report assesses the climate response to five illustrative scenarios that cover the range of possible future development of anthropogenic drivers of climate change found in the literature. They start in 2015, and include scenarios²² with high and very high GHG emissions (SSP3-7.0 and SSP5-8.5) and CO₂ emissions that roughly double from current levels by 2100 and 2050, respectively, scenarios with intermediate GHG emissions (SSP2-4.5) and CO₂ emissions remaining around current levels until the middle of the century, and scenarios with very low and low GHG emissions and CO₂ emissions declining to net zero around or after 2050, followed by varying levels of net negative CO₂ emissions²³ (SSP1-1.9 and SSP1-2.6) as illustrated in Figure SPM.4. Emissions vary between scenarios depending on socio-economic assumptions, levels of climate change mitigation and, for aerosols and non-methane ozone precursors, air pollution controls. Alternative assumptions may result in similar emissions and climate responses, but the socio-economic assumptions and the feasibility or likelihood of individual scenarios is not part of the assessment.

{TS.1.3, 1.6, Cross-Chapter Box 1.4} (Figure SPM.4)

Box SPM.1.2: This report assesses results from climate models participating in the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) of the World Climate Research Programme. These models include new and better representation of physical, chemical and biological processes, as well as higher resolution, compared to climate models considered in previous IPCC assessment reports. This has improved the simulation of the recent mean state of most large-scale indicators of climate change and many other aspects across the climate system. Some differences from observations remain, for example in regional precipitation patterns. The CMIP6 historical simulations assessed in this report have an ensemble mean global surface temperature change within 0.2°C of the observations over most of the historical period, and observed warming is within the *very likely* range of the CMIP6 ensemble. However, some CMIP6 models simulate a warming that is either above or below the assessed *very likely* range of observed warming. {1.5, Cross-Chapter Box 2.2, 3.3, 3.8, TS.1.2, Cross-Section Box TS.1} (Figure SPM.1 b, Figure SPM.2)

Box SPM.1.3: The CMIP6 models considered in this Report have a wider range of climate sensitivity than in CMIP5 models and the AR6 assessed *very likely* range, which is based on multiple lines of evidence. These CMIP6 models also show a higher average climate sensitivity than CMIP5 and the AR6 assessed best estimate. The higher CMIP6 climate sensitivity values compared to CMIP5 can be traced to an amplifying cloud feedback that is larger in CMIP6 by about 20%. {Box 7.1, 7.3, 7.4, 7.5, TS.3.2}

Box SPM.1.4: For the first time in an IPCC report, assessed future changes in global surface temperature, ocean warming and sea level are constructed by combining multi-model projections with observational constraints based on past simulated warming, as well as the AR6 assessment of climate sensitivity. For other quantities, such robust methods do not yet exist to constrain the projections. Nevertheless, robust projected

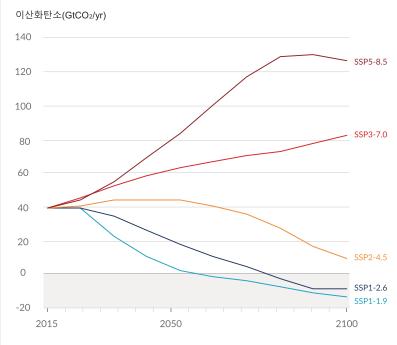
²² Throughout this report, the five illustrative scenarios are referred to as SSPx-y, where 'SSPx' refers to the Shared Socio-economic Pathway or 'SSP' describing the socio-economic trends underlying the scenario, and 'y' refers to the approximate level of radiative forcing (in W m⁻²) resulting from the scenario in the year 2100. A detailed comparison to scenarios used in earlier IPCC reports is provided in Section TS1.3 and 1.6 and 4.6. The SSPs that underlie the specific forcing scenarios used to drive climate models are not assessed by WGI. Rather, the SSPx-y labelling ensures traceability to the underlying literature in which specific forcing pathways are used as input to the climate models. IPCC is neutral with regard to the assumptions underlying the SSPs, which do not cover all possible scenarios. Alternative scenarios may be considered or developed.

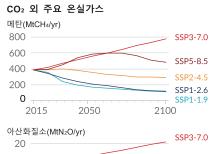
²³ Net negative CO₂ emissions are reached when anthropogenic removals of CO₂ exceed anthropogenic emissions. {Glossary}

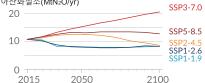
변수의 지리적 양상 패턴을 전망한 결과는 특정 지구온난화 수준에서 파악 가능하고, 고려된 모든 시나리오에 공통적으로 적용 가능하며, 해당 지구온난화 수준에 도달하는 시기에 영향을 받지 않는다. {1.6, Box 4.1, 4.3, 4.6, 7.5, 9.2, 9.6, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Section Box TS.1}

미래 배출량은 미래에 추가적인 온난화를 유발할 것이며, 총 온난화 정도는 과거와 미래의 CO₂ 배출량에 의해 결정된다.

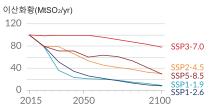
a) 5 가지 시나리오의 미래 연간 CO2 배출량(좌) 및 CO2 외 주요 요인들(우)







대기오염 물질 및 에어로졸 기여 요인



b) 배출량 시나리오별 지구 표면온도 증가 및 주요 배출원의 기여도

1850~1900 년 대비 2081~2100 년 지구 표면온도 변화(°C)

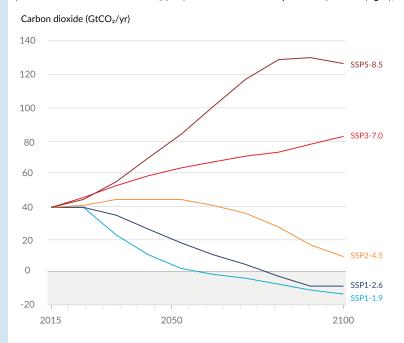


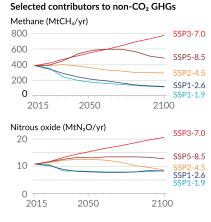
총 온난화 정도(어두운 음영은 현재까지 관측된 온난화), CO2에 의한 온난화, CO2 외 온실가스에 의한 온난화, 에어로졸과 토지 이용에 의한 냉각화

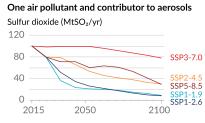
geographical patterns of many variables can be identified at a given level of global warming, common to all scenarios considered and independent of timing when the global warming level is reached. {1.6, Box 4.1, 4.3, 4.6, 7.5, 9.2, 9.6, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Section Box TS.1}

Future emissions cause future additional warming, with total warming dominated by past and future CO₂ emissions

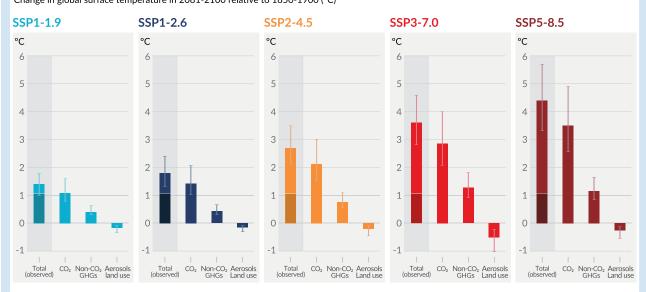
a) Future annual emissions of CO2 (left) and of a subset of key non-CO2 drivers (right), across five illustrative scenarios







b) Contribution to global surface temperature increase from different emissions, with a dominant role of CO₂ emissions Change in global surface temperature in 2081-2100 relative to 1850-1900 (°C)



Total warming (observed warming to date in darker shade), warming from CO₂, warming from non-CO₂ GHGs and cooling from changes in aerosols and land use

그림 SPM.4: 기후변화 주 요인의 인위적 미래 배출량과 보고서에 사용된 5 가지 시나리오에 대한 요인별 온난화 기여도

5 가지 시나리오는 SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5 이다.

도표 a) 2015~2100 년 인위적(인간에 의한) 연간 배출량. 모든 부문의 이산화탄소(CO₂) 배출량 전망(GtCO₂/yr)(왼쪽 그래프)과 보고서에서 고려된 CO₂ 외 세 가지 주 요인의 배출량 전망: 메탄(CH₄, MtCH₄/yr, 오른쪽 상단 그래프), 아산화질소(N₂O, MtN₂O/yr, 오른쪽 중간 그래프), 이산화황(SO₂, MtSO₂/yr, 오른쪽 하단 그래프, 도표 b의 인위적 에어로졸에 기여).

도표 b) 배출량 시나리오별 지구 표면온도 증가 및 주요 배출원의 기여도(°C, 1850~1900 년 대비 2081~2100 년 기간과 현재까지 관측된 온난화도 표시되어 있음). 막대와 직선은 각각 중앙값과 가능성 매우 높은 범위를 나타낸다. 각 시나리오의 막대그래프에서 막대는 총 지구온난화(°C, 막대 전체)(표 SPM.1 참고)와 CO₂(CO₂ 막대) 변화, CO₂ 외 온실가스(CO₂ 외 온실가스 막대, 잘 혼합된 온실가스 및 오존으로 구성)에 의한 온난화 기여도와 기타 인위적 요인(에어로졸과 토지 이용 막대: 인위적 에어로졸, 토지 이용과 관개 변화에 따른 반사도 변화, 항공기 비행운. 현재까지 요인별 온난화 기여도에 대한 자료는 그림 SPM.2 도표 c 참고)에 의한 순 냉각화 영향을 나타낸다. 1850~1900 년 대비 2010~2019 년의 온난화 관측에 대한 최적 추정치(그림 SPM.2 도표 a 참고)는 총 막대에서 어두운 음영으로 표시되어 있다. 도표 b 에 있는 총 막대의 경우 온난화 기여도는 표 SPM.1 에서 설명한 방법으로 계산되었다. 다른 막대의 경우, 요인별기여도는 기후민감도와 복사 강제력 평가에 따라 결정되는 지구 표면온도의 물리적 기후 에뮬레이터로 계산된다.

{Cross-Chapter Box 1.4, 4.6, Figure 4.35, 6.7, Figure 6.18, 6.22 and 6.24, Cross-Chapter Box 7.1, 7.3, Figure 7.7, Box TS.7, Figures TS.4 and TS.15}

B.1 고려된 모든 배출 시나리오에서 지구 표면온도는 적어도 21 세기 중반까지 계속 상승할 것이다. 향후 몇십 년 동안 CO_2 와 기타 온실가스 배출량이 극적으로 감소하지 않는 한 21 세기 안에 지구온난화 수준이 1.5° C 와 2° C 를 넘어설 것이다.

{2.3, Cross-Chapter Box 2.3, Cross-Chapter Box 2.4, 4.3, 4.4, 4.5} (그림 SPM.1, 그림 SPM.4, 그림 SPM.8, 표 SPM.1, Box SPM.1)

B.1.1 1850~1900 년 대비 2081~2100 년의 평균 지구 표면온도는 매우 낮은 온실가스 배출 시나리오(SSP1-1.9)에서 1.0~1.8°C, 중간 배출 시나리오(SSP2-4.5)에서 2.1~3.5°C, 매우 높은 온실가스 배출 시나리오(SSP5-8.5)에서 3.3~5.7°C 증가할 *가능성이 매우 높다*⁴. 1850~1900 년보다 지구 표면온도가 2.5 °C 이상 높았던 가장 최근 시기는 3 백만 년 전이었다(*신뢰도 중간*).

{2.3, Cross-Chapter Box 2.4, 4.3, 4.5, Box TS.2, Box TS.4, Cross-Section Box TS.1} (# SPM.1)

표 SPM.1: 선택된 20 년 기간과 5 가지 배출 시나리오에 대한 다양한 증거를 바탕으로 평가한 지구 표면온도 변화. 1850~1900 년 평균 지구 표면온도 대비 온도 차이는 °C 로 기록된다. AR5 기준기간인 1986~2005 년에 대한 과거 온난화 관측의 평가 결과는 AR6 에서 AR5 보다 0.08[-0.01~0.12]°C 높게 수정되었다(각주 10 참고). 최신 기준기간인 1995~2014 년 대비 변화는 1850~1900 년부터 1995~2014 년까지 관측된 최적 온난화 추정치인 0.85°C를 빼서 근사치를 계산할 수 있다. {Cross-Chapter Box 2.3, 4.3, 4.4, Cross-Section Box TS.1}

²⁴ 지구 표면온도 변화는 별도의 언급이 없는 한 20년 단위 평균으로 기록된다.

Figure SPM.4: Future anthropogenic emissions of key drivers of climate change and warming contributions by groups of drivers for the five illustrative scenarios used in this report.

The five scenarios are SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 and SSP5-8.5.

Panel a) Annual anthropogenic (human-caused) emissions over the 2015–2100 period. Shown are emissions trajectories for carbon dioxide (CO₂) from all sectors (GtCO₂/yr) (left graph) and for a subset of three key non-CO₂ drivers considered in the scenarios: methane (CH₄, MtCH₄/yr, top-right graph), nitrous oxide (N₂O, MtN₂O/yr, middle-right graph) and sulfur dioxide (SO₂, MtSO₂/yr, bottom-right graph, contributing to anthropogenic aerosols in panel b).

Panel b) Warming contributions by groups of anthropogenic drivers and by scenario are shown as change in global surface temperature (°C) in 2081–2100 relative to 1850–1900, with indication of the observed warming to date. Bars and whiskers represent median values and the *very likely* range, respectively. Within each scenario bar plot, the bars represent total global warming (°C; total bar) (see Table SPM.1) and warming contributions (°C) from changes in CO₂ (CO₂ bar), from non-CO₂ greenhouse gases (non-CO₂ GHGs bar; comprising well-mixed greenhouse gases and ozone) and net cooling from other anthropogenic drivers (aerosols and land-use bar; anthropogenic aerosols, changes in reflectance due to land-use and irrigation changes, and contrails from aviation; see Figure SPM.2, panel c, for the warming contributions to date for individual drivers). The best estimate for observed warming in 2010–2019 relative to 1850–1900 (see Figure SPM.2, panel a) is indicated in the darker column in the total bar. Warming contributions in panel b are calculated as explained in Table SPM.1 for the total bar. For the other bars the contribution by groups of drivers are calculated with a physical climate emulator of global surface temperature which relies on climate sensitivity and radiative forcing assessments.

{Cross-Chapter Box 1.4, 4.6, Figure 4.35, 6.7, Figure 6.18, 6.22 and 6.24, Cross-Chapter Box 7.1, 7.3, Figure 7.7, Box TS.7, Figures TS.4 and TS.15}

B.1 Global surface temperature will continue to increase until at least the mid-century under all emissions scenarios considered. Global warming of 1.5°C and 2°C will be exceeded during the 21st century unless deep reductions in CO₂ and other greenhouse gas emissions occur in the coming decades.

{2.3, Cross-Chapter Box 2.3, Cross-Chapter Box 2.4, 4.3, 4.4, 4.5} (Figure SPM.1, Figure

{2.3, Cross-Chapter Box 2.3, Cross-Chapter Box 2.4, 4.3, 4.4, 4.5} (Figure SPM.1, Figure SPM.4, Figure SPM.8, Table SPM.1, Box SPM.1)

B.1.1 Compared to 1850–1900, global surface temperature averaged over 2081–2100 is *very likely* to be higher by 1.0°C to 1.8°C under the very low GHG emissions scenario considered (SSP1-1.9), by 2.1°C to 3.5°C in the intermediate scenario (SSP2-4.5) and by 3.3°C to 5.7°C under the very high GHG emissions scenario (SSP5-8.5)²⁴. The last time global surface temperature was sustained at or above 2.5°C higher than 1850–1900 was over 3 million years ago (*medium confidence*).

{2.3, Cross-Chapter Box 2.4, 4.3, 4.5, Box TS.2, Box TS.4, Cross-Section Box TS.1} (Table SPM.1)

Table SPM.1: Changes in global surface temperature, which are assessed based on multiple lines of evidence, for selected 20-year time periods and the five illustrative emissions scenarios considered. Temperature differences relative to the average global surface temperature of the period 1850–1900 are reported in °C. This includes the revised assessment of observed historical warming for the AR5 reference period 1986–2005, which in AR6 is higher by 0.08 [–0.01 to 0.12] °C than in the AR5 (see footnote 10). Changes relative to the recent reference period 1995–2014 may be calculated approximately by subtracting 0.85°C, the best estimate of the observed warming from 1850–1900 to 1995–2014. {Cross-Chapter Box 2.3, 4.3, 4.4, Cross-Section Box TS.1}

²⁴ Changes in global surface temperature are reported as running 20-year averages, unless stated otherwise.

	단기, 2021~2040		중기, 2041~2060		장기, 2081~2100	
시나리오	최적 추정치(°C)	<i>가능성 매우</i> <i>높은</i> 범위(°C)	최적 추정치(°C)	<i>가능성 매우</i> <i>높은</i> 범위(°C)	최적 추정치(°C)	<i>가능성 매우</i> <i>높은</i> 범위(°C)
SSP1-1.9	1.5	1.2~1.7	1.6	1.2~2.0	1.4	1.0~1.8
SSP1-2.6	1.5	1.2~1.8	1.7	1.3~2.2	1.8	1.3~2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2~1.8	2.0	1.6~2.5	2.7	2.1~3.5
SSP3-7.0	1.5	1.2~1.8	2.1	1.7~2.6	3.6	2.8~4.6
SSP5-8.5	1.6	1.3~1.9	2.4	1.9~3.0	4.4	3.3~5.7

B.1.2 다양한 증거에 의한 평가에 따르면 보고서의 높은 온실가스 배출 시나리오(SSP3-7.0)와 매우 높은 배출시나리오(SSP5-8.5)에서는 21 세기 중에 1850~1900 년 대비 2°C 지구온난화 수준을 초과할 것이다. 중간 배출시나리오(SSP2-4.5)에서도 2°C 지구온난화를 초과할 *가능성이 대단히 높다.* 매우 낮은 온실가스 배출시나리오(SSP1-1.9)에서는 2°C 지구온난화 수준을 초과할 *가능성이 대단히 낮고,* 낮은 배출 시나리오(SSP1-2.6)에서는 *가능성이 낮다*²⁵. 매우 높은 온실가스 배출 시나리오(SSP5-8.5)에서는 중기(2041~2060 년)에 2°C 지구온난화 수준을 초과할 *가능성은 매우 높고,* 높은 배출 시나리오(SSP3-7.0)에서는 *가능성이 높으며,* 중간 배출시나리오(SSP2-4.5)에서는 *가능성이 낮지 않다*²⁶.

{4.3, Cross-Section Box TS.1} (표 SPM.1, 그림 SPM.4, Box SPM.1)

B.1.3 보고서의 중간 배출 시나리오(SSP2-4.5), 높은 배출 시나리오(SSP3-7.0), 매우 높은 배출 시나리오(SSP5-8.5)에 따르면 21 세기 중에 1850~1900 년 대비 1.5°C 지구온난화 수준을 초과할 것이다. 5 가지 시나리오에 따르면 매우 높은 온실가스 배출 시나리오(SSP5-8.5)에서는 단기(2021~2040 년)에 1.5°C 지구온난화 수준을 초과할 가능성은 매우 높고, 중간 및 높은 배출 시나리오(SSP2-4.5 와 SSP3-7.0)에서는 가능성이 높고, 낮은 배출 시나리오(SSP1-2.6)에서는 가능성이 낮지 않으며, 매우 낮은 배출 시나리오(SSP1-1.9)에서는 1.5°C 지구온난화수준에 도달할 가능성이 낮지 않다 27. 더 나아가 매우 낮은 온실가스 배출 시나리오(SSP1-1.9)의 경우, 21 세기말이 되면 지구 표면온도가 일시적으로 1.5°C 지구온난화 수준을 0.1°C 이하 정도로 초과할 수 있으며, 결과적으로는 1.5° 아래로 낮아질 가능성이 낮지 않다.

{4.3, Cross-Section Box TS.1} (표 SPM.1, 그림 SPM.4)

²⁵ 2015 년에 시작된 SSP1-1.9 와 SSP1-2.6 은 매우 낮거나 낮은 수준의 온실가스 배출량 및 CO₂ 배출량을 2050 년경이나 그 이후에 넷 제로로 감소시킨 후 다양한 수준에서 순 음 CO₂배출을 달성하는 시나리오이다.

²⁶ 초과는 20년 기간에 대해 평균 낸 지구 표면온도 변화가 특정 지구온난화 수준을 넘어서는 것을 의미한다.

²⁷ AR6 는 특정 지구온난화 수준을 처음으로 초과하는 시점을 평가할 때 5 가지 시나리오뿐만 아니라 복사 강제력에 대한 미래 지구 표면온도 반응 평가 시 고려된 다양한 증거, 과거의 온난화 추정과 관련해 개선된 자료를 반영했다. 따라서 AR6 평가는 가까운 과거의 온난화 속도를 단순한 선형외삽법으로 추정하여 2030~2052 년 사이에 1.5°C 지구온난화 수준에 도달할 가능성이 높다고 보고한 SR1.5 요약본 시나리오와 직접적으로 비교할 수 없다. 선형외삽법 대신 SSP1-1.9 와 비슷한 시나리오를 고려하면 SR1.5 에서 전망한 1.5°C 지구온난화 수준을 최초로 초과하는 시기는 여기에서 보고된 최적 추정치와 비슷하다.

	Near term, 2021–2040		Mid-term, 2041–2060		Long term, 2081–2100	
Scenario	Best estimate (°C)	Very likely range (°C)	Best estimate (°C)	Very likely range (°C)	Best estimate (°C)	Very likely range (°C)
SSP1-1.9	1.5	1.2 to 1.7	1.6	1.2 to 2.0	1.4	1.0 to 1.8
SSP1-2.6	1.5	1.2 to 1.8	1.7	1.3 to 2.2	1.8	1.3 to 2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2 to 1.8	2.0	1.6 to 2.5	2.7	2.1 to 3.5
SSP3-7.0	1.5	1.2 to 1.8	2.1	1.7 to 2.6	3.6	2.8 to 4.6
SSP5-8.5	1.6	1.3 to 1.9	2.4	1.9 to 3.0	4.4	3.3 to 5.7

B.1.2 Based on the assessment of multiple lines of evidence, global warming of 2°C, relative to 1850–1900, would be exceeded during the 21st century under the high and very high GHG emissions scenarios considered in this report (SSP3-7.0 and SSP5-8.5, respectively). Global warming of 2°C would *extremely likely* be exceeded in the intermediate scenario (SSP2-4.5). Under the very low and low GHG emissions scenarios, global warming of 2°C is *extremely unlikely* to be exceeded (SSP1-1.9), or *unlikely* to be exceeded (SSP1-2.6)²⁵. Crossing the 2°C global warming level in the mid-term period (2041–2060) is *very likely* to occur under the very high GHG emissions scenario (SSP5-8.5), *likely* to occur under the high GHG emissions scenario (SSP3-7.0), and *more likely than not* to occur in the intermediate GHG emissions scenario (SSP2-4.5)²⁶.

{4.3, Cross-Section Box TS.1} (Table SPM.1, Figure SPM.4, Box SPM.1)

B.1.3 Global warming of 1.5°C relative to 1850-1900 would be exceeded during the 21st century under the intermediate, high and very high scenarios considered in this report (SSP2-4.5, SSP3-7.0 and SSP5-8.5, respectively). Under the five illustrative scenarios, in the near term (2021-2040), the 1.5°C global warming level is *very likely* to be exceeded under the very high GHG emissions scenario (SSP5-8.5), *likely* to be exceeded under the intermediate and high GHG emissions scenarios (SSP2-4.5 and SSP3-7.0), *more likely than not* to be exceeded under the low GHG emissions scenario (SSP1-2.6) and *more likely than not* to be reached under the very low GHG emissions scenario (SSP1-1.9)²⁷. Furthermore, for the very low GHG emissions scenario (SSP1-1.9), it is *more likely than not* that global surface temperature would decline back to below 1.5°C toward the end of the 21st century, with a temporary overshoot of no more than 0.1°C above 1.5°C global warming.

{4.3, Cross-Section Box TS.1} (Table SPM.1, Figure SPM.4)

²⁵ SSP1-1.9 and SSP1-2.6 are scenarios that start in 2015 and have very low and low GHG emissions and CO₂ emissions declining to net zero around or after 2050, followed by varying levels of net negative CO₂ emissions.

²⁶ Crossing is defined here as having the assessed global surface temperature change, averaged over a 20-year period, exceed a particular global warming level.

²⁷ The AR6 assessment of when a given global warming level is first exceeded benefits from the consideration of the illustrative scenarios, the multiple lines of evidence entering the assessment of future global surface temperature response to radiative forcing, and the improved estimate of historical warming. The AR6 assessment is thus not directly comparable to the SR1.5 SPM, which reported likely reaching 1.5°C global warming between 2030 and 2052, from a simple linear extrapolation of warming rates of the recent past. When considering scenarios similar to SSP1-1.9 instead of linear extrapolation, the SR1.5 estimate of when 1.5°C global

B.1.4 단일 연도의 지구 표면온도는 높은 자연 변동성²⁸ 때문에 인간이 끼치는 영향의 장기적인 추세보다 높거나 낮아질 수 있다. 지구 표면온도 변화가 1850~1900 년 대비 특정 수준, 예를 들어 1.5°C 혹은 2°C 를 초과한 해가 있다고 해서 이 수준의 지구온난화에 도달했다는 의미는 아니다²⁹.

{Cross-Chapter Box 2.3, 4.3, 4.4, Box 4.1, Cross-Section Box TS.1} (표 SPM.1, 그림 SPM.1, 그림 SPM.8)

- B.2 기후시스템의 많은 변화가 지구온난화 심화와 직접적으로 연관되며 더욱 커지고 있다. 극한고온과 해양 폭염, 호우의 빈도 및 강도 증가, 일부 지역의 농업가뭄 및 식생가뭄 증가, 강한 열대성저기압 비율의 증가, 북극 해빙과 적설 면적 및 영구동토층 감소 등이 이러한 변화에 해당한다. {4.3, 4.5, 4.6, 7.4, 8.2, 8.4, Box 8.2, 9.3, 9.5, Box 9.2, 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.6, 11.7, 11.9, Cross-Chapter Box 11.1, 12.4, 12.5, Cross-Chapter Box 12.1, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11} (그림 SPM.5, 그림 SPM.6, 그림 SPM.8)
- B.2.1 육지 표면이 지속적으로 해양 표면보다 더 온난해질 것이 *거의 확실하다*(1.4~1.7 배 더 온난해질 *가능성 높음*). 북극이 전 지구 표면온도보다 더 온난해질 것이 *거의 확실하다*. 북극의 지구온난화 속도는 전 지구 평균보다 2 배 이상 빠른 속도를 보일 것이다(*신뢰도 높음*).

{2.3, 4.3, 4.5, 4.6, 7.4, 11.1, 11.3, 11.9, 12.4, 12.5, Cross-Chapter Box 12.1, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, Cross-Section Box TS.1, TS.2.6} (그림 SPM.5)

B.2.2 지구온난화가 심화될 때마다 극한현상은 계속 악화된다. 예를 들어, 지구온난화로 온도가 0.5°C 증가할 때마다 폭염을 포함한 극한고온의 강도와 빈도(가능성 매우 높음), 호우(신뢰도 높음), 일부 지역의 농업가뭄 및 식생가뭄³⁰(신뢰도 높음)이 뚜렷하게 증가한다. 지구온난화로 온도가 0.5°C 높아질 때마다 일부 지역에서 기상학적 가뭄의 강도와 빈도가 뚜렷하게 변화하는데, 감소보다 증가하는 지역이 더 많다(신뢰도 중간). 일부 지역에서는 지구온난화가 진행되면서 수문학적 가뭄의 빈도와 강도 증가가 더욱 확대되고 있다(신뢰도 중간). 지구온난화가 추가로 진행되면 1.5°C 지구온난화 수준에서조차 관측 역사상 전례 없는 극한기상이 더 자주 발생할 것이다. 드문 극한현상의 경우 발생 비율 변화가 더 클 것으로 전망된다(신뢰도 높음).

{8.2, 11.2, 11.3, 11.4, 11.6, 11.9, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Chapter Box 12.1, TS.2.6} (그림 SPM.5, 그림 SPM.6)

²⁸ 자연 변동성은 어떠한 인간 영향도 없이 발생하는 기후 변동으로 화산폭발, 태양 활동 변화, 장기적인 궤도 영향 및 지각판 이동 등 외적 자연 요소와 결합된 내부 변동성을 의미한다.

²⁹ 단일 연도의 내부 변동성은 ±0.25°C(5—95% 범위, *신뢰도 높음*)로 추정된다.

³⁰ 농업가뭄 및 식생가뭄의 변화 전망은 주로 전층 토양수분함량을 기준으로 평가된다. 강수량과 증발산량의 정의와 관련성에 대해서는 각주 15 참고.

B.1.4 Global surface temperature in any single year can vary above or below the long-term human-induced trend, due to substantial natural variability²⁸. The occurrence of individual years with global surface temperature change above a certain level, for example 1.5°C or 2°C, relative to 1850–1900 does not imply that this global warming level has been reached²⁹.

{Cross-Chapter Box 2.3, 4.3, 4.4, Box 4.1, Cross-Section Box TS.1} (**Table SPM.1, Figure SPM.1, Figure SPM.8**)

- **B.2** Many changes in the climate system become larger in direct relation to increasing global warming. They include increases in the frequency and intensity of hot extremes, marine heatwaves, and heavy precipitation, agricultural and ecological droughts in some regions, and proportion of intense tropical cyclones, as well as reductions in Arctic sea ice, snow cover and permafrost. {4.3, 4.5, 4.6, 7.4, 8.2, 8.4, Box 8.2, 9.3, 9.5, Box 9.2, 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.6, 11.7, 11.9, Cross-Chapter Box 11.1, 12.4, 12.5, Cross-Chapter Box 12.1, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11} (Figure SPM.5, Figure SPM.6, Figure SPM.8)
- **B.2.1** It is *virtually certain* that the land surface will continue to warm more than the ocean surface (*likely* 1.4 to 1.7 times more). It is *virtually certain* that the Arctic will continue to warm more than global surface temperature, with *high confidence* above two times the rate of global warming. {2.3, 4.3, 4.5, 4.6, 7.4, 11.1, 11.3, 11.9, 12.4, 12.5, Cross-Chapter Box 12.1, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, Cross-Section Box TS.1, TS.2.6} (Figure SPM.5)
- B.2.2 With every additional increment of global warming, changes in extremes continue to become larger. For example, every additional 0.5°C of global warming causes clearly discernible increases in the intensity and frequency of hot extremes, including heatwaves (*very likely*), and heavy precipitation (*high confidence*), as well as agricultural and ecological droughts³⁰ in some regions (*high confidence*). Discernible changes in intensity and frequency of meteorological droughts, with more regions showing increases than decreases, are seen in some regions for every additional 0.5°C of global warming (*medium confidence*). Increases in frequency and intensity of hydrological droughts become larger with increasing global warming in some regions (*medium confidence*). There will be an increasing occurrence of some extreme events unprecedented in the observational record with additional global warming, even at 1.5°C of global warming. Projected percentage changes in frequency are higher for rarer events (*high confidence*).

 {8.2, 11.2, 11.3, 11.4, 11.6, 11.9, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Chapter Box 12.1, TS.2.6} (Figure SPM.5, Figure SPM.6)

warming is first exceeded is close to the best estimate reported here.

²⁸ Natural variability refers to climatic fluctuations that occur without any human influence, that is, internal variability combined with the response to external natural factors such as volcanic eruptions, changes in solar activity and, on longer time scales, orbital effects and plate tectonics.

²⁹ The internal variability in any single year is estimated to be ± 0.25 °C (5–95% range, high confidence).

³⁰ Projected changes in agricultural and ecological droughts are primarily assessed based on total column soil moisture. See footnote 15 for definition and relation to precipitation and evapotranspiration.

B.2.3 일부 중위도 및 반건조 지역과 남아메리카 몬순 지역에서는 연중 최고 기온이 전 지구 평균보다 약 1.5~2 배 빠른 속도로 상승할 것으로 전망된다(신뢰도 높음). 북극은 연중 최저 기온이 전 지구 평균보다 약 3 배 빠른 속도로 상승할 것으로 전망된다(신뢰도 높음). 지구온난화가 계속 진행되면 해양 폭염의 빈도가 지속적으로 증가할 것이며(신뢰도 높음), 이 현상은 특히 열대 해양과 북극에서 두드러질 것이다(신뢰도 중간).

{Box 9.2, 11.1, 11.3, 11.9, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Chapter Box 12.1, 12.4, TS.2.4, TS.2.6} (그림 SPM.6)

B.2.4 지구온난화가 심화되며 대부분의 지역에서 호우의 빈도와 강도가 높아질 *가능성이 매우 높다*. 지구온난화로 온도가 1°C 높아질 때마다 전 지구 규모에서 일일 극한 호우 강수량이 약 7% 증가할 것으로 전망된다(*신뢰도 높음*). 지구온난화 심화에 따라 강한 열대성저기압(4~5 등급)의 비율과 가장 강한 열대성저기압의 최고 풍속이 전 세계적으로 높아질 것으로 전망된다(*신뢰도 높음*).

{8.2, 11.4, 11.7, 11.9, Cross-Chapter Box 11.1, Box TS.6, TS.4.3.1} (그림 SPM.5, 그림 SPM.6)

B.2.5 온난화가 더 심화되면 영구동토층 해빙과 적설 면적 손실, 육지 얼음 손실, 북극 해빙 손실이 가속화될 것으로 전망된다(신뢰도 높음). 보고서에서 고려된 5가지 시나리오에 따르면 2050년 이전에 적어도 한 번은 9월에 북극 해빙이 사실상 사라지고³¹, 온난화 수준이 높을수록 그 빈도 역시 증가할 *가능성이 높다*. 남극 해빙 감소에 대한 전망은 신뢰도 낮음을 보인다.

{4.3, 4.5, 7.4, 8.2, 8.4, Box 8.2, 9.3, 9.5, 12.4, Cross-Chapter Box 12.1, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.11, TS.2.5} (그림 SPM.8)

³¹ 월 평균 해빙 면적이 1979~1988 년에 관측된 9월 평균 해빙 면적의 약 15% 수준인 1백만 km² 미만이다.

SPM

B.2.3 Some mid-latitude and semi-arid regions, and the South American Monsoon region, are projected to see the highest increase in the temperature of the hottest days, at about 1.5 to 2 times the rate of global warming (*high confidence*). The Arctic is projected to experience the highest increase in the temperature of the coldest days, at about 3 times the rate of global warming (*high confidence*). With additional global warming, the frequency of marine heatwaves will continue to increase (*high confidence*), particularly in the tropical ocean and the Arctic (*medium confidence*).

{Box 9.2, 11.1, 11.3, 11.9, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Chapter Box 12.1, 12.4, TS.2.4, TS.2.6} (Figure SPM.6)

B.2.4 It is *very likely* that heavy precipitation events will intensify and become more frequent in most regions with additional global warming. At the global scale, extreme daily precipitation events are projected to intensify by about 7% for each 1°C of global warming (*high confidence*). The proportion of intense tropical cyclones (categories 4-5) and peak wind speeds of the most intense tropical cyclones are projected to increase at the global scale with increasing global warming (*high confidence*). {8.2, 11.4, 11.7, 11.9, Cross-Chapter Box 11.1, Box TS.6, TS.4.3.1} (**Figure SPM.5**, **Figure SPM.6**)

B.2.5 Additional warming is projected to further amplify permafrost thawing, and loss of seasonal snow cover, of land ice and of Arctic sea ice (*high confidence*). The Arctic is *likely* to be practically sea ice free in September³¹ at least once before 2050 under the five illustrative scenarios considered in this report, with more frequent occurrences for higher warming levels. There is *low confidence* in the projected decrease of Antarctic sea ice.

{4.3, 4.5, 7.4, 8.2, 8.4, Box 8.2, 9.3, 9.5, 12.4, Cross-Chapter Box 12.1, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.11, TS.2.5} (Figure SPM.8)

³¹ monthly average sea ice area of less than 1 million km² which is about 15% of the average September sea ice area observed in 1979-1988

지구온난화 심화에 따라 지역별 평균 온도, 강수량, 토양수분함량 변화가 더욱 커진다.

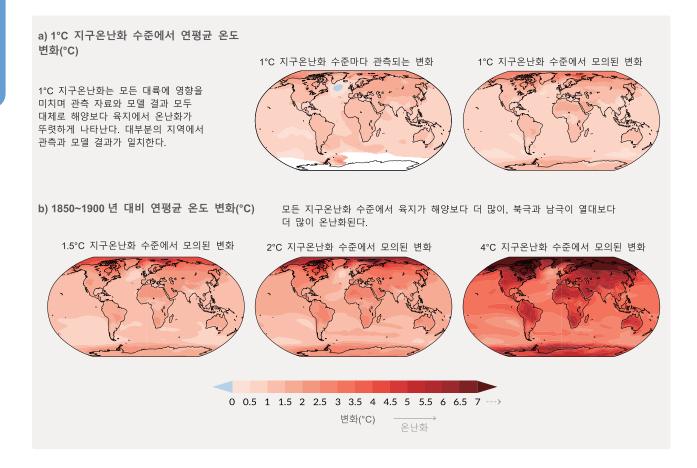


그림 SPM.5: 연평균 표면 온도와 강수량 및 토양수분함량의 변화

도표 a) 연평균 표면 온도 변화의 관측 자료와 모의 결과 비교. 왼쪽 지도는 1850~2020 년 기간 동안 1°C 지구온난화 수준마다 관측된 연평균 지표온도 변화(°C)를 나타낸다. 지역(격자점)별로 관측된 연평균 지표온도 변화는 1850~2020 년 기간의 지구 표면온도에 대해 선형회귀법으로 분석된다. 온도 관측 자료는 최대 범위와 최고 수평해상도 자료를 제공하는 버클리 어스(Berkeley Earth)의 자료를 이용했다. 해당 지역의 격자점에 대한 자료가 존재하는 모든 연도에 선형회귀법이 적용되었다. 완전한 시계열 관측 자료를 반영하여 각 격자점에서 내부 변동성의 역할을 줄이기 위해 이 회귀법이 사용되었다. 흰색은 관측 기간이 100 년 이하로 너무 짧아신뢰도 높은 선형회귀 결과를 도출하기 어려운 지역을 의미한다. 모델 모의 결과를 바탕으로 한 오른쪽 지도는 1°C 지구온난화 수준(1850~1900 년 대비 20 년 평균 지구 표면온도 변화)일 때 다중 모델로 모의된 연평균 온도를 보여준다. 색 막대의 양쪽 끝에 있는 삼각형은 범위 밖의 값, 즉, 주어진 범위를 초과하거나 미달한 값을 의미한다.

도표 b) 연평균 온도 변화 모의 자료(°C), 도표 c) 강수량 변화(%), 도표 d) 전층 토양수분함량(연간 변동성 표준편차). 모든 도표는 1.5°C, 2°C, 4°C 지구온난화 수준(1850~1900 년 대비 20 년 평균 지구 표면온도 변화)에서 모의되었다. 모의된 변화는 도표 a)의 오른쪽 지도에서 나온 방법과 동일하게 해당 지구온난화 수준에서의 CMIP6 다중모델 앙상블 평균 변화(토양수분에 대해서는 중앙값 변화로 나타냄)에 해당한다.

With every increment of global warming, changes get larger in regional mean temperature, precipitation and soil moisture

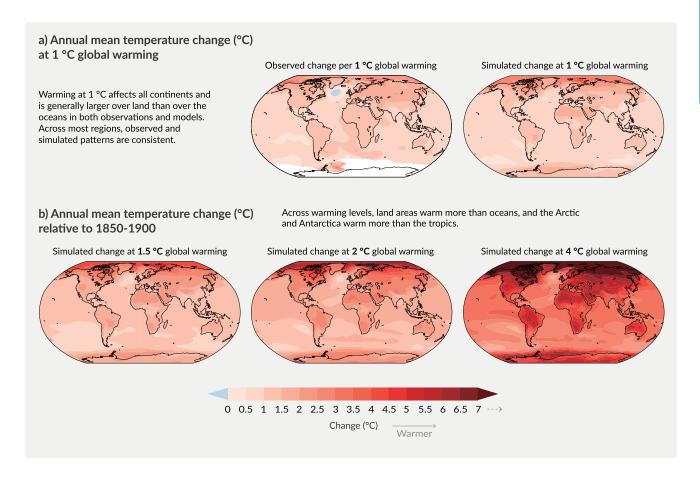
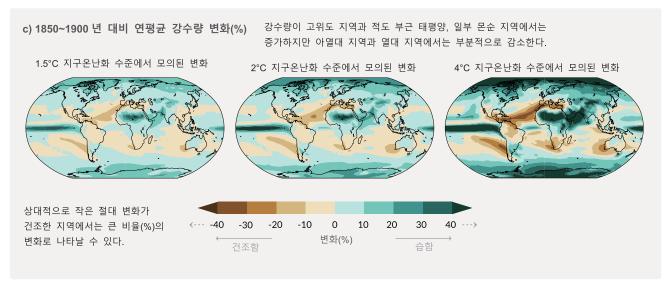


Figure SPM.5: Changes in annual mean surface temperature, precipitation, and soil moisture.

Panel a) Comparison of observed and simulated annual mean surface temperature change. The left map shows the observed changes in annual mean surface temperature in the period of 1850–2020 per °C of global warming (°C). The local (i.e., grid point) observed annual mean surface temperature changes are linearly regressed against the global surface temperature in the period 1850–2020. Observed temperature data are from Berkeley Earth, the dataset with the largest coverage and highest horizontal resolution. Linear regression is applied to all years for which data at the corresponding grid point is available. The regression method was used to take into account the complete observational time series and thereby reduce the role of internal variability at the grid point level. White indicates areas where time coverage was 100 years or less and thereby too short to calculate a reliable linear regression. The **right map** is based on model simulations and shows change in annual multi-model mean simulated temperatures at a global warming level of 1°C (20-year mean global surface temperature change relative to 1850–1900). The triangles at each end of the color bar indicate out-of-bound values, that is, values above or below the given limits.

Panel b) Simulated annual mean temperature change (°C), panel c) precipitation change (%), and panel d) total column soil moisture change (standard deviation of interannual variability) at global warming levels of 1.5°C, 2°C and 4°C (20-yr mean global surface temperature change relative to 1850–1900). Simulated changes correspond to CMIP6 multi-model mean change (median change for soil moisture) at the corresponding global warming level, i.e. the same method as for the right map in panel a).



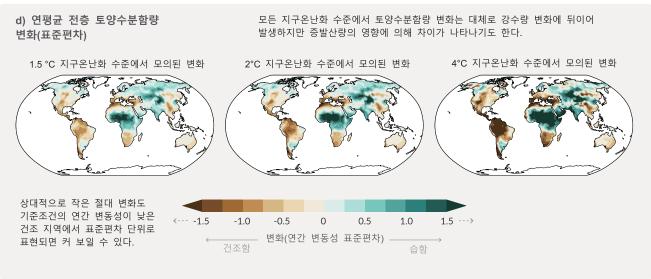
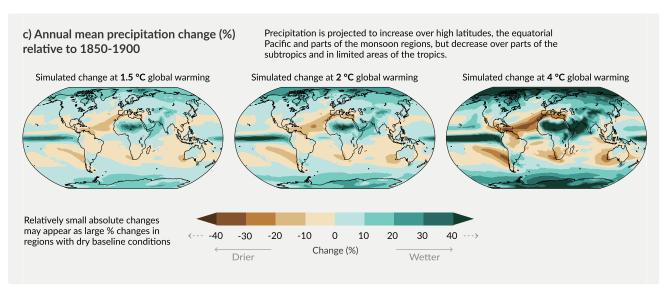
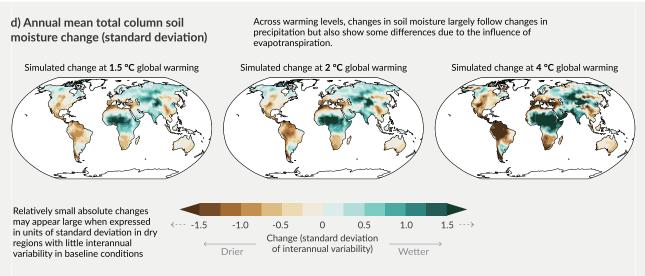


도표 c)의 경우, 건조 지역에서 높은 양의 비율 변화(%)는 작은 절대 변화에 해당할 수 있다. 도표 d)에서 단위는 1850~1900 년 토양수분함량의 연간 변동성 표준편차다. 표준편차는 가뭄의 정도를 특성화하는 방법으로 널리 사용된다. 평균 토양수분 함량이 1 표준편차 감소한다는 전망은 1850~1900 년 동안 6 년에 한 번씩 발생한 가뭄의 일반적인 토양수분 함량 조건에 해당한다. 도표 d)의 경우, 기준조건의 연간 변동성이 낮은 건조 지역의 큰 변화는 작은 절대 변화에 해당할 수 있다. 색 막대의 양쪽 끝에 있는 삼각형은 범위 밖의 값, 즉, 주어진 범위를 초과하거나 미달한 값을 의미한다. 5 가지 시나리오(SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5)에서 온난화 수준에 도달한 모든 모델의 결과는 평균값으로 표현되었다. 3°C 지구온난화수준일 때 연평균 온도와 강수량의 변화를 보여주는 지도를 4.6 절의 그림 4.31 과 그림 4.32 에서 확인할 수 있다.

도표 b), c), d)에 대응되고 격자 단위의 모델 일치도 정보까지 포함된 지도를 그림 4.31, 4.32, 11.19 에서 각각 찾을 수 있다. Cross-Chapter Box Atlas.1 에도 표시되어 있듯이, 작은 단위의 변동성 정보는 자료의 신뢰도 상승에는 기여하지만 넓은 지역의 종합적인 신호에는 영향을 덜 미치기 때문에 격자 단위의 정보가 넓은 공간 범위(예: AR6 기준지역 등)에 대해서는 유용하지 않다.

{TS.1.3.2, Figure TS.3, Figure TS.5, Figure 1.14, 4.6.1, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Chapter Box Atlas.1}



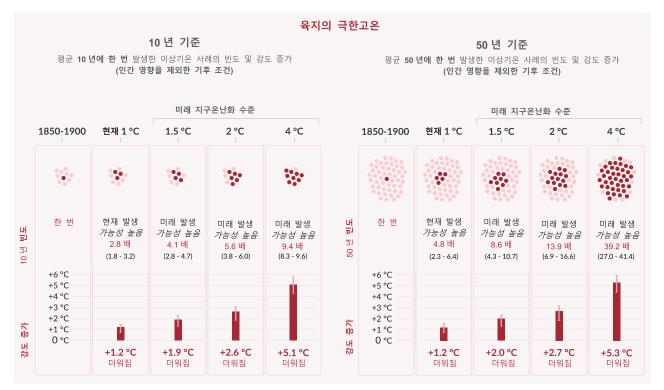


In **panel c)**, high positive percentage changes in dry regions may correspond to small absolute changes. In **panel d)**, the unit is the standard deviation of interannual variability in soil moisture during 1850–1900. Standard deviation is a widely used metric in characterizing drought severity. A projected reduction in mean soil moisture by one standard deviation corresponds to soil moisture conditions typical of droughts that occurred about once every six years during 1850–1900. In panel d), large changes in dry regions with little interannual variability in the baseline conditions can correspond to small absolute change. The triangles at each end of the color bars indicate out-of-bound values, that is, values above or below the given limits. Results from all models reaching the corresponding warming level in any of the five illustrative scenarios (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 and SSP5-8.5) are averaged. Maps of annual mean temperature and precipitation changes at a global warming level of 3°C are available in Figure 4.31 and Figure 4.32 in Section 4.6.

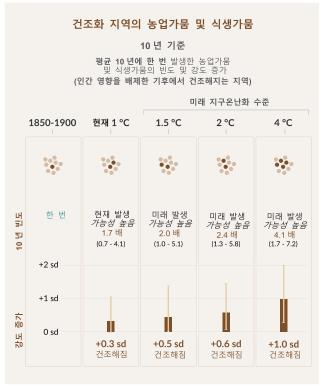
Corresponding maps of panels b), c) and d) including hatching to indicate the level of model agreement at grid-cell level are found in Figures 4.31, 4.32 and 11.19, respectively; as highlighted in CC-box Atlas.1, grid-cell level hatching is not informative for larger spatial scales (e.g., over AR6 reference regions) where the aggregated signals are less affected by small-scale variability leading to an increase in robustness.

{TS.1.3.2, Figure TS.3, Figure TS.5, Figure 1.14, 4.6.1, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Chapter Box Atlas.1}

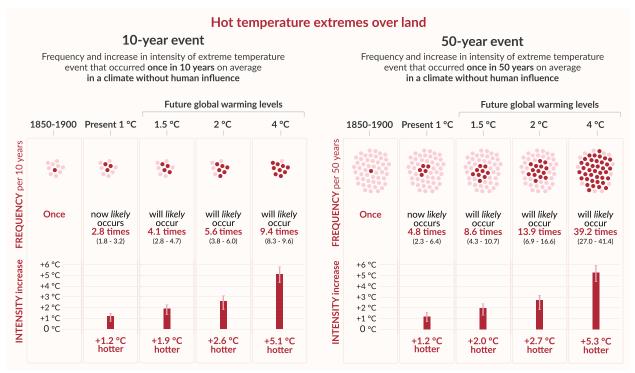
지구온난화가 심화될 때마다 극한현상의 빈도와 강도에 대한 미래 전망도 더 증가할 것이다.







Projected changes in extremes are larger in frequency and intensity with every additional increment of global warming



Heavy precipitation over land 10-year event Frequency and increase in intensity of heavy 1-day precipitation event that occurred once in 10 years on average in a climate without human influence Future global warming levels 1850-1900 Present 1 °C 1.5 °C 2°C 4°C FREQUENCY per 10 years will likely Once now likely will likely will likely occurs 1.3 times occur 1.5 times occur 1.7 times occur 2.7 times (1.2 - 1.4) (1.6 - 2.0) INTENSITY increase +40% +30% +20% +10% 0% +6.7% wetter +10.5% +14.0% +30.2% wetter wetter wetter

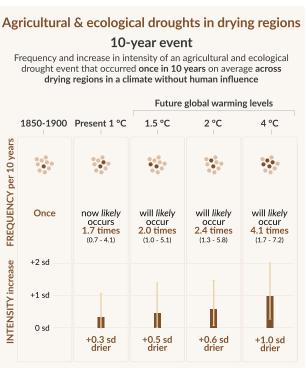


그림 SPM.6: 육지 극한고온, 육지 호우 극한 강수량, 건조화 지역의 농업가뭄 및 식생가뭄의 강도와 빈도 변화 전망

인간 영향을 배제한 기후 조건에서 1850~1900⁹ 년 대비 1°C, 1.5°C, 2°C, 4°C 지구온난화 수준일 때의 변화를 전망한다. 그림 SPM.6 은 다양한 지구온난화 수준에 대해 기준기간 동안(1850~1900 년) 10 년 혹은 50 년에 한 번 발생한 극한현상 사례의 빈도와 강도 증가를 보여준다.

국한고온은 기준기간인 1850~1900 년 동안 평균적으로 10 년 혹은 50 년에 한 번 발생한 육지의 일최고기온으로 정의된다. 호우는 기준기간인 1850~1900 년 동안 평균적으로 10 년에 한 번 발생한 육지의 일 강수량으로 정의된다. 농업가뭄 및 식생가뭄은 평균 전층 토양수분함량이 1850~1900 년 기간의 10% 미만일때를 의미한다. 이러한 극한현상은 모델의 격자 단위로 표현된다. 극한고온과 호우의 경우 전 세계 육지에대해 결과가 제시된다. 농업가뭄 및 식생가뭄의 경우 건조화 지역에 대해서만 결과가 제시되는데, 건조한지역은 CMIP6 의 기준기간인 1850~1900 년 대비 2°C 온난화 수준에서 농업가뭄 및 식생가뭄 증가가 신뢰도중간 이상으로 전망된 AR6 지역에 해당한다. 북아메리카 북부, 북아메리카 중부, 중앙아메리카 남부, 카리브해, 남아메리카 북부, 남아메리카 동북부, 남아메리카 문순 지역, 남아메리카 남서부, 남아메리카 남부, 서유럽, 중유럽, 지중해, 남아프리카 서부, 남아프리카 동부, 마다가스카르, 동호주, 남호주지역들이 여기에 포함된다(카리브해는 온전하게 해당되는 육지 격자망의 수가 너무 작아서 도표의 계산에는 포함되지 않음). 건조화가 진행되지 않는 지역은 전반적인 가뭄 강도의 증가나 감소가 나타나지 않는다. CMIP5다중 모델 앙상블에서 전망된 농업가뭄 및 식생가뭄 변화는 아프리카와 아시아 일부 특정 지역에 대해 CMIP6과 다르다. 기상학적 가뭄과 수문학적 가뭄의 변화 전망에 대한 평가 결과는 제 11 장에 제시된다. {11.6, 11.9}

'빈도' 구역에서 점 하나가 1 년을 나타낸다. 어두운 점은 극한 사례의 임계점을 초과한 해를 의미하고 밝은점은 임계점을 초과하지 않는 해를 의미한다. 수치는 중앙값(굵은 글씨)과 그에 대한 5~95% 범위를 나타낸다. 이 범위는 서로 다른 SSP 시나리오에서 CMIP6 모의를 통한 다중 모델 앙상블에 기반하여 결정되었다. 일관성을 위해 어두운 점의 개수는 반올림 한 중앙값으로 결정되었다. '강도' 구역에서는 중앙값과 그에 대한5~95% 범위가 각각 어두운 막대와 밝은 막대로 표현된다. 이 수치들 역시 CMIP6 모의를 통한 다중 모델 앙상블로 결정되었다. 극한고온과 호우의 강도 변화는 섭씨 온도와 퍼센트로 표현된다. 농업가뭄 및 식생가뭄의 경우 강도 변화는 연간 토양수분함량의 표준편차 비율로 표현된다.

{11.1, 11.3, 11.4, 11.6, Figure 11.12, Figure 11.15, Figure 11.6, Figure 11.7, Figure 11.18}

SPM

Figure SPM.6: Projected changes in the intensity and frequency of hot temperature extremes over land, extreme precipitation over land, and agricultural and ecological droughts in drying regions.

Projected changes are shown at global warming levels of 1°C, 1.5°C, 2°C, and 4°C and are relative to 1850-1900⁹ representing a climate without human influence. The figure depicts frequencies and increases in intensity of 10- or 50-year extreme events from the base period (1850-1900) under different global warming levels.

Hot temperature extremes are defined as the daily maximum temperatures over land that were exceeded on average once in a decade (10-year event) or once in 50 years (50-year event) during the 1850–1900 reference period. Extreme precipitation events are defined as the daily precipitation amount over land that was exceeded on average once in a decade during the 1850-1900 reference period. Agricultural and ecological drought events are defined as the annual average of total column soil moisture below the 10th percentile of the 1850-1900 base period. These extremes are defined on model grid box scale. For hot temperature extremes and extreme precipitation, results are shown for the global land. For agricultural and ecological drought, results are shown for drying regions only, which correspond to the AR6 regions in which there is at least medium confidence in a projected increase in agricultural/ecological drought at the 2°C warming level compared to the 1850-1900 base period in CMIP6. These regions include W. North-America, C. North-America, N. Central-America, S. Central-America, Caribbean, N. South-America, N.E. South-America, South-American-Monsoon, S.W. South-America, S. South-America, West & Central-Europe, Mediterranean, W. Southern-Africa, E. Southern-Africa, Madagascar, E. Australia, S. Australia (Caribbean is not included in the calculation of the figure because of the too small number of full land grid cells). The non-drying regions do not show an overall increase or decrease in drought severity. Projections of changes in agricultural and ecological droughts in the CMIP5 multi-model ensemble differ from those in CMIP6 in some regions, including in part of Africa and Asia. Assessments on projected changes in meteorological and hydrological droughts are provided in Chapter 11. {11.6, 11.9}

In the 'frequency' section, each year is represented by a dot. The dark dots indicate years in which the extreme threshold is exceeded, while light dots are years when the threshold is not exceeded. Values correspond to the medians (in bold) and their respective 5–95% range based on the multi-model ensemble from simulations of CMIP6 under different SSP scenarios. For consistency, the number of dark dots is based on the rounded-up median. In the 'intensity' section, medians and their 5–95% range, also based on the multi-model ensemble from simulations of CMIP6, are displayed as dark and light bars, respectively. Changes in the intensity of hot temperature extremes and extreme precipitations are expressed as degree Celsius and percentage. As for agricultural and ecological drought, intensity changes are expressed as fractions of standard deviation of annual soil moisture.

{11.1, 11.3, 11.4, 11.6, Figure 11.12, Figure 11.15, Figure 11.6, Figure 11.7, Figure 11.18}

B.3 지구온난화가 지속되면 물순환 변동성, 전 지구 몬순 강수량, 우기 및 건기의 강도 등을 포함하는 전 지구 물순환의 불균형이 더욱 강화될 것으로 전망된다.

{4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, Box 8.2, 11.4, 11.6, 11.9, 12.4, Atlas.3} (그림 SPM.5, 그림 SPM.6)

B.3.1 AR5 이후 지구 온도가 상승하면 대부분의 육지에서 강수량과 지표수 유량의 변화가 계절별(신뢰도 높음), 그리고 연도별(신뢰도 중간)로 더욱 커지면서 지구 물순환이 지속적으로 강화될 것(신뢰도 높음)이라는 증거가 많아졌다. 연평균 전 세계 육지 강수량은 1995~2004 년 대비 2081~2100 년까지 매우 낮은 온실가스 배출시나리오(SSP1-1.9)에서 0~5% 증가, 중간 배출 시나리오(SSP2-4.5)에서 1.5~8% 증가, 매우 높은 배출시나리오(SSP5-8.5)에서 1~13% 증가할 것으로 전망된다(가능성 높은 범위). SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5 시나리오에 따르면 강수량이 고위도 지역과 적도 부근 태평양, 일부 몬순 지역에서는 증가하지만 아열대 지역과열대 지역에서는 부분적으로 감소할 것으로 전망된다(가능성 매우 높음). 계절별 평균 강수량에서 두드러진 증가또는 감소가 나타나는 전 세계 육지의 비율이 증가할 것으로 전망된다(신뢰도 중간). 봄에 더 일찍 눈이 녹기시작하면서 전 세계의 눈으로 뒤덮인 지역에서는 여름 유량이 줄어드는 대신 최고 유량은 더 높아질 것이다(신뢰도 높음).

{4.3, 4.5, 4.6, 8.2, 8.4, Atlas.3, TS.2.6, Box TS.6, TS.4.3} (□림 SPM.5)

B.3.2 더 온난한 기후에서는 매우 습하거나 매우 건조한 기상 및 기후이변이 강화되고 이에 따라 홍수나가뭄이 심해지겠지만(신뢰도 높음), 이러한 현상이 발생하는 위치와 빈도는 몬순과 중위도 폭풍 경로 등 지역대기순환의 변화 전망에 따라 달라진다. SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5 시나리오에 따르면 엘니뇨-남방진동과관련된 강우 변동성이 21 세기 후반까지 강해질 가능성이 매우 높다.

{4.3, 4.5, 4.6, 8.2, 8.4, 8.5, 11.4, 11.6, 11.9, 12.4, TS.2.6, TS.4.2, Box TS.6} (그림 SPM.5, 그림 SPM.6)

B.3.3 몬순 강수량은 중·장기적으로 전 지구, 특히 남아시아와 동남아시아, 동아시아, 사헬 극서부를 제외한 서아프리카에서 증가할 것으로 전망된다(신뢰도 높음). 몬순 기간은 북아메리카와 남아메리카, 서아프리카에서 시작시기가 늦어지고(신뢰도 높음) 서아프리카 전역에서 종료 시기가 늦어질 것이다(신뢰도 중간). {4.4, 4.5, 8.2, 8.3, 8.4, Box 8.2, Box TS.13}

B.3.4 높은 온실가스 배출 시나리오(SSP3-7.0, SSP5-8.5)에서는 장기적으로 남반구 여름의 중위도 폭풍 경로와 강수의 남쪽 이동 및 강화가 *가능성 높음*을 보이지만, 단기적으로는 성층권 오존층 회복 영향이 이러한 변화를 상쇄시킬 것이다(신뢰도 높음). 북태평양에서 태풍과 그에 따른 강수가 계속 극지로 이동할 것이라는 전망은 신뢰도 중간을 보이지만 북대서양 폭풍 경로의 변화 전망은 신뢰도 낮음을 보인다. {TS.4.2, 4.4, 4.5, 8.4, TS.2.3}

- B.4 CO₂ 배출량이 증가하는 시나리오에서는 해양과 육지 탄소흡수원이 대기 중 CO₂ 누적률을 낮추는 데 덜 효율적일 것으로 전망한다. {4.3, 5.2, 5.4, 5.5, 5.6} (그림 SPM.7)
- **B.4.1** 낮은 CO_2 배출 시나리오에 비해 높은 배출 시나리오에서 자연적인 육지 및 해양 탄소흡수원이 절대값 측면에서 점진적으로 더 많은 양의 CO_2 를 흡수할 것으로 전망되지만, 효과는 갈수록 낮아질 것이다. 즉, 배출된 CO_2 가 대기 중에 더욱 누적됨에 따라 육지와 해양이 흡수하는 배출량의 비율이 낮아질 것이다. 그 결과, 배출된 CO_2 중에서 대기 중에 남아 있는 CO_2 비율이 더 높아질 것으로 전망된다(신뢰도 높음).

{5.2, 5.4, Box TS.5} (그림 SPM.7)

B.3 Continued global warming is projected to further intensify the global water cycle, including its variability, global monsoon precipitation and the severity of wet and dry events.

{4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, Box 8.2, 11.4, 11.6, 11.9, 12.4, Atlas.3} (**Figure SPM.5, Figure SPM.6**)

B.3.1 There is strengthened evidence since AR5 that the global water cycle will continue to intensify as global temperatures rise (*high confidence*), with precipitation and surface water flows projected to become more variable over most land regions within seasons (*high confidence*) and from year to year (*medium confidence*). The average annual global land precipitation is projected to increase by 0–5% under the very low GHG emissions scenario (SSP1-1.9), 1.5-8% for the intermediate GHG emissions scenario (SSP2-4.5) and 1–13% under the very high GHG emissions scenario (SSP5-8.5) by 2081–2100 relative to 1995-2014 (*likely* ranges). Precipitation is projected to increase over high latitudes, the equatorial Pacific and parts of the monsoon regions, but decrease over parts of the subtropics and limited areas in the tropics in SSP2-4.5, SSP3-7.0 and SSP5-8.5 (*very likely*). The portion of the global land experiencing detectable increases or decreases in seasonal mean precipitation is projected to increase (*medium confidence*). There is *high confidence* in an earlier onset of spring snowmelt, with higher peak flows at the expense of summer flows in snow-dominated regions globally.

{4.3, 4.5, 4.6, 8.2, 8.4, Atlas.3, TS.2.6, Box TS.6, TS.4.3} (Figure SPM.5)

- **B.3.2** A warmer climate will intensify very wet and very dry weather and climate events and seasons, with implications for flooding or drought (*high confidence*), but the location and frequency of these events depend on projected changes in regional atmospheric circulation, including monsoons and mid-latitude storm tracks. It is *very likely* that rainfall variability related to the El Niño–Southern Oscillation is projected to be amplified by the second half of the 21st century in the SSP2-4.5, SSP3-7.0 and SSP5-8.5 scenarios. {4.3, 4.5, 4.6, 8.2, 8.4, 8.5, 11.4, 11.6, 11.9, 12.4, TS.2.6, TS.4.2, Box TS.6} (**Figure SPM.5, Figure SPM.6**)
- **B.3.3** Monsoon precipitation is projected to increase in the mid- to long term at global scale, particularly over South and Southeast Asia, East Asia and West Africa apart from the far west Sahel (*high confidence*). The monsoon season is projected to have a delayed onset over North and South America and West Africa (*high confidence*) and a delayed retreat over West Africa (*medium confidence*). {4.4, 4.5, 8.2, 8.3, 8.4, Box 8.2, Box TS.13}
- **B.3.4** A projected southward shift and intensification of Southern Hemisphere summer mid-latitude storm tracks and associated precipitation is *likely* in the long term under high GHG emissions scenarios (SSP3-7.0, SSP5-8.5), but in the near term the effect of stratospheric ozone recovery counteracts these changes (*high confidence*). There is *medium confidence* in a continued poleward shift of storms and their precipitation in the North Pacific, while there is *low confidence* in projected changes in the North Atlantic storm tracks. {TS.4.2, 4.4, 4.5, 8.4, TS.2.3}
- **B.4** Under scenarios with increasing CO₂ emissions, the ocean and land carbon sinks are projected to be less effective at slowing the accumulation of CO₂ in the atmosphere. {4.3, 5.2, 5.4, 5.5, 5.6} (Figure SPM.7)
- **B.4.1** While natural land and ocean carbon sinks are projected to take up, in absolute terms, a progressively larger amount of CO_2 under higher compared to lower CO_2 emissions scenarios, they become less effective, that is, the proportion of emissions taken up by land and ocean decrease with increasing cumulative CO_2 emissions. This is projected to result in a higher proportion of emitted CO_2 remaining in the atmosphere (*high confidence*).

{5.2, 5.4, Box TS.5} (**Figure SPM.7**)

B.4.2 모델 전망 자료를 고려하면 21 세기에 대기 중 CO₂ 농도가 안정화되는 중간 배출 시나리오(SSP2-4.5)에서 육지와 해양에 의한 CO₂ 흡수 속도가 21 세기 후반부터 감소할 것으로 전망된다(*신뢰도 높음*). 21 세기 중에 CO₂ 농도가 절정에 도달했다가 감소하는 것으로 가정한 매우 낮은 온실가스 배출 시나리오(SSP1-1.9)와 낮은 배출 시나리오(SSP1-2.6)에 따르면, 대기 중 CO₂ 농도가 감소하면 육지와 해양의 탄소 흡수량이 감소하기 시작하며(*신뢰도 높음*), SSP1-1.9 시나리오는 2100 년경이 되면 육지와 해양이 약한 배출원이 될 것으로 전망한다(*신뢰도 중간*). 순 음 배출이 없는 시나리오(SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5)의 경우 2100 년까지 육지와 해양 흡수원이 배출원으로 바뀔 *가능성은 매우 낮다*³². {4.3, 5.4, 5.5, 5.6, Box TS.5, TS.3.3}

B.4.3 기후변화와 탄소순환 간 되먹임의 크기가 커지고 있지만 높은 CO₂ 배출 시나리오에서는 불확도가 더 높다(신뢰도 매우 높음). 그러나 기후 모델 전망에 따르면, 2100 년경 대기 중 CO₂ 농도의 불확도는 배출 시나리오들 간의 차이에 의해 결정된다(신뢰도 높음). 습지, 영구동토층 해빙, 산불에서 배출되는 이산화탄소와 메탄처럼 아직 기후 모델에 완전히 반영되지 않은 온난화에 대한 생태계 반응을 고려하면 대기 중 온실가스 농도는 더욱 증가할 수 있다(신뢰도 높음).

{5.4, Box TS.5, TS.3.2}

³² 잔여탄소배출총량(carbon budget) 계산 시 대기 중 CO2 안정 또는 감소 방향으로 조정된 탄소흡수원 전망이 고려된다.

B.4.2 Based on model projections, under the intermediate scenario that stabilizes atmospheric CO₂ concentrations this century (SSP2-4.5), the rates of CO₂ taken up by the land and oceans are projected to decrease in the second half of the 21st century (*high confidence*). Under the very low and low GHG emissions scenarios (SSP1-1.9, SSP1-2.6), where CO₂ concentrations peak and decline during the 21st century, land and oceans begin to take up less carbon in response to declining atmospheric CO₂ concentrations (*high confidence*) and turn into a weak net source by 2100 under SSP1-1.9 (*medium confidence*). It is *very unlikely* that the combined global land and ocean sink will turn into a source by 2100 under scenarios without net negative emissions³² (SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5). {4.3, 5.4, 5.5, 5.6, Box TS.5, TS.3.3}

B.4.3 The magnitude of feedbacks between climate change and the carbon cycle becomes larger but also more uncertain in high CO₂ emissions scenarios (*very high confidence*). However, climate model projections show that the uncertainties in atmospheric CO₂ concentrations by 2100 are dominated by the differences between emissions scenarios (*high confidence*). Additional ecosystem responses to warming not yet fully included in climate models, such as CO₂ and CH₄ fluxes from wetlands, permafrost thaw and wildfires, would further increase concentrations of these gases in the atmosphere (*high confidence*). {5.4, Box TS.5, TS.3.2}

³² These projected adjustments of carbon sinks to stabilization or decline of atmospheric CO₂ are accounted for in calculations of remaining carbon budgets.

CO₂ 누적 배출량이 높은 시나리오에서는 육지와 해양 탄소흡수원이 흡수한 CO₂ 배출량의 비율이 더 낮다.

1850 년부터 2100 년까지 5 가지 시나리오에서 **육지와 해양이 흡수한** 총 CO₂ 누적 배출량(색)과 대기 중에 남아 있는 CO₂ (회색)

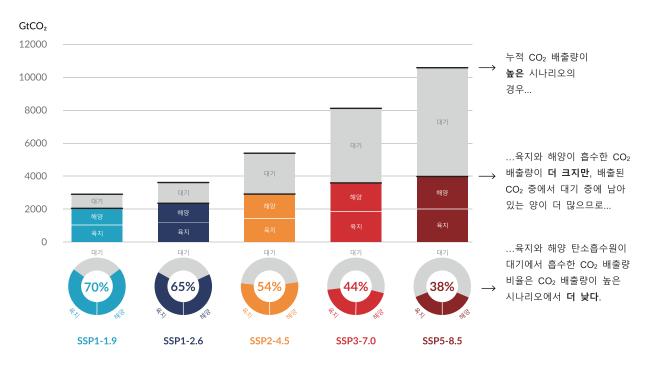


그림 SPM.7: 5 가지 시나리오에서 2100 년까지 육지와 해양 흡수원이 흡수한 인위적인 CO₂ 누적 배출량.

1850 년부터 2100 년까지 CMIP6 기후 모델의 CO₂ 농도 강제력 실험을 통해 5 가지 시나리오별(SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5) 육지와 해양 흡수원이 흡수한 인위적인(인간이 유발한) 이산화탄소(CO₂) 누적 배출량이 산출되었다. 육지와 해양 탄소흡수원은 과거, 현재, 미래 배출에 반응하기 때문에 여기에서는 1850 년부터 2100 년까지 누적된 흡수원이 제시되었다. 과거(1850~2019 년)에 육지와 해양 흡수원은 1430 GtCO₂(배출량의 59%)의 이산화탄소를 흡수한 것으로 관측되었다.

막대그래프는 1850~2100 년 동안 누적된 인위적 CO2 배출량 중에서 2100 년 대기 중에 남아 있는 CO2 와(회색) 육지와 해양이 흡수한 CO2 의 양(다른 색)을 나타낸다. 원형그래프는 누적된 인위적 CO2 배출량 중에서 2100 년까지 육지와 해양이 흡수한 배출량과 대기 중에 남아 있는 배출량의 비율을 보여준다. 퍼센트(%)로 표기된 값은 2100 년에 육지와 해양 흡수원이 흡수한 인위적 CO2 누적 배출량의 비율을 의미한다. 인위적 탄소배출 총량은 미리 정해진 CO2 농도로 모의한 기후모델로 계산한 기타 부문별 배출량에 CMIP6 데이터베이스에서 도출된 전 세계 토지 이용에 따른 순 배출량을 합산하여 구한다³³. 1850 년 이후 육지와 해양의 CO2 흡수량은 육상 생물군계의 순 생산성(토지 이용 변화 배출량을 합산하여 토지 이용 변화에 의한 손실에 대해 보정)과 해양의 CO2 순 플럭스를 통해 계산한다.

{Box TS.5, Box TS.5, Figure 1, 5.2.1, Table 5.1, 5.4.5, Figure 5.25}

 $^{^{33}}$ 기타 부문별 배출량은 육지와 해양의 CO_2 순 흡수량의 잔여량과 CMIP6 모의에서 미리 정해진 대기 중 CO_2 농도 변화로 산출된다. 이렇게 산출된 배출량이 순 배출량이며. 암묵적으로 포함되는 제거량과 총 인위적 흡수량은 분리하지 않는다.

The proportion of CO₂ emissions taken up by land and ocean carbon sinks is smaller in scenarios with higher cumulative CO₂ emissions

Total cumulative CO₂ emissions taken up by land and oceans (colours) and remaining in the atmosphere (grey) under the five illustrative scenarios from 1850 to 2100

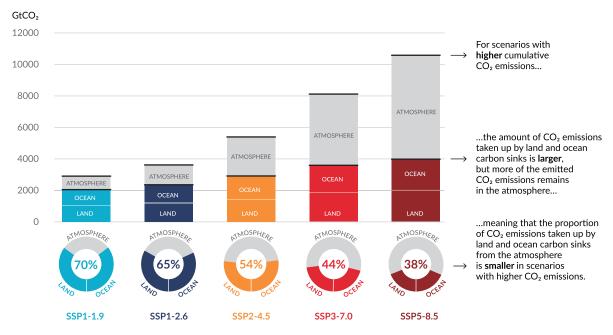


Figure SPM.7: Cumulative anthropogenic CO₂ emissions taken up by land and ocean sinks by 2100 under the five illustrative scenarios.

The cumulative anthropogenic (human-caused) carbon dioxide (CO_2) emissions taken up by the land and ocean sinks under the five illustrative scenarios (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 and SSP5-8.5) are simulated from 1850 to 2100 by CMIP6 climate models in the concentration-driven simulations. Land and ocean carbon sinks respond to past, current and future emissions, therefore cumulative sinks from 1850 to 2100 are presented here. During the historical period (1850-2019) the observed land and ocean sink took up 1430 $GtCO_2$ (59% of the emissions).

The **bar chart** illustrates the projected amount of cumulative anthropogenic CO₂ emissions (GtCO₂) between 1850 and 2100 remaining in the atmosphere (grey part) and taken up by the land and ocean (coloured part) in the year 2100. The **doughnut chart** illustrates the proportion of the cumulative anthropogenic CO₂ emissions taken up by the land and ocean sinks and remaining in the atmosphere in the year 2100. Values in % indicate the proportion of the cumulative anthropogenic CO₂ emissions taken up by the combined land and ocean sinks in the year 2100. The overall anthropogenic carbon emissions are calculated by adding the net global land use emissions from CMIP6 scenario database to the other sectoral emissions calculated from climate model runs with prescribed CO₂ concentrations³³. Land and ocean CO₂ uptake since 1850 is calculated from the net biome productivity on land, corrected for CO₂ losses due to land-use change by adding the land-use change emissions, and net ocean CO₂ flux.

{Box TS.5, Box TS.5, Figure 1, 5.2.1, Table 5.1, 5.4.5, Figure 5.25}

³³ The other sectoral emissions are calculated as the residual of the net land and ocean CO₂ uptake and the prescribed atmospheric CO₂ concentration changes in the CMIP6 simulations. These calculated emissions are net emissions and do not separate gross anthropogenic emissions from removals, which are included implicitly.

B.5 과거와 미래의 온실가스 배출로 인한 많은 변화, 특히 해양, 빙상, 전 지구 해수면의 변화는 수백, 수천 년 동안 돌이키기 어렵다. {Cross-Chapter Box 2.4, 2.3, 4.3, 4.5, 4.7, 5.3, 9.2, 9.4, 9.5, 9.6, Box 9.4} (그림 SPM.8)

B.5.1 1750 년부터 배출된 과거의 온실가스 때문에 지구 해양은 미래 온난화를 유발할 수밖에 없다(신뢰도 높음). 나머지 21 세기 기간 동안 진행될 해양온난화는 1971~2018 년의 변화보다 2~4 배(SSP1-2.6)에서 4~8 배(SSP5-8.5) 빠를 가능성이 높다. 다양한 증거를 고려할 때, 해양 상층부 성층화(거의 확실함)와 해양 산성화(거의 확실함), 해양 탈산소화(신뢰도 높음)는 미래 배출량에 따라 다양한 속도로 21 세기 내내 증가할 것이다. 수백 년에서 수천 년 동안 돌이킬 수 없는 변화가 지구 해양 온도(신뢰도 매우 높음), 심해 산성화(신뢰도 매우 높음), 탈산소화(신뢰도 중간)에서 발생하고 있다.

{4.3, 4.5, 4.7, 5.3, 9.2, TS.2.4} (그림 SPM.8)

B.5.2 산악 빙하와 극 빙하는 수십 년 혹은 수백 년 동안 지속적으로 녹을 것이다(신뢰도 매우 높음). 영구동토층이 녹아서 발생하는 영구동토층의 탄소 손실은 수백 년 동안 돌이킬 수 없다(신뢰도 높음). 21 세기 동안 그린란드 빙상의 얼음 손실이 지속되는 것이 거의 확실하고, 남극 빙상의 경우에는 가능성 높음을 보인다. 배출량이 누적될수록 그린란드 빙상의 총 얼음 손실이 증가할 것으로 전망된다(신뢰도 높음). 높은 온실가스 배출시나리오에서 수 세기 동안 남극 빙상의 얼음 손실이 크게 증가한다는 가능성은 낮지만 심각한 영향을 초래하는 결과(불확도가 큰 것이 특징이고, 때로는 임계점이 포함하는 빙상의 불안정 과정에 기인)에 대해서는 제한적인증거만 있다34. {4.3, 4.7, 5.4, 9.4, 9.5, Box 9.4, Box TS.1, TS.2.5}

B.5.3 지구 평균 해수면이 21 세기 내내 상승할 것이 거의 확실하다. 1995~2014 년 대비 2100 년 지구 평균 해수면은 매우 낮은 온실가스 배출 시나리오(SSP1-1.9)에서는 0.28~0.55 m, 낮은 배출 시나리오(SSP1-2.6)에서는 0.32~0.62 m, 중간 배출 시나리오(SSP2-4.5)에서는 0.44~0.76 m, 매우 높은 배출 시나리오(SSP5-8.5)에서는 0.63~1.01 m 상승하고, 2150 년에는 매우 낮은 시나리오(SSP1-1.9)에서 0.37~0.86 m, 중간 시나리오(SSP2-4.5)에서 0.66~1.33 m, 매우 높은 시나리오(SSP5-8.5)에서 0.98~1.88 m 상승할 가능성이 높다(신뢰도 중간)³⁵. 빙상 과정의 높은 불확도 때문에, 지구 평균 해수면이 가능성 높은 범위를 넘어서서 매우 높은 온실가스 배출 시나리오(SSP5-8.5)에서 전망한 정도인 2100 년까지 2 m, 2150 년까지 5 m 상승한다는(낮은 신뢰도) 가능성도 배제할 수 없다. {4.3, 9.6, Box 9.4, Box TS.4} (그림 SPM.8)

B.5.4 지속적으로 심해 온난화가 발생하고 빙상이 녹으면서 해수면은 수백 년에서 수천 년 동안 장기적으로 상승할 것이 분명하며, 수천 년 동안 상승한 상태를 유지할 것이다(신뢰도 높음). 향후 2 천 년 동안 지구 평균해수면은 1.5°C 온난화 수준으로 억제될 경우 약 2~3 m, 2°C 온난화 수준에서는 19~22 m 상승할 것이며, 그 이후 수천 년 동안 계속 상승할 것이다(신뢰도 낮음). 수천 년에 걸친 지구 평균 해수면 상승에 대한 전망은 고대 온난기의 해수면 수준과 일치한다. 즉, 지구 온도가 1850~1900 년보다 0.5~1.5°C 높았을 가능성이 매우 높은 12 만 5000년경 전에는 해수면이 현재보다 5~10 m 더 높았을 가능성이 높으며 지구 온도가 2.5~4°C 높았던 약 3백만 년 전에는 해수면이 5~25 m 더 높았을 가능성이 매우 높다(신뢰도 중간).

{2.3, Cross-Chapter Box 2.4, 9.6, Box TS.2, Box TS.4, Box TS.9}

³⁴ 가능성은 낮지만 심각한 영향을 초래하는 결과는 발생 확률이 낮거나 잘 알려지지 않았지만(불확도가 높은 것과 같은 맥락) 사회와 생태계에 미치는 잠재적 영향이 심각할 수 있는 결과를 의미한다. 임계점은 그 순간을 넘어서면 갑작스럽게, 혹은 회복 불가능하게 어떤 체계가 재구성되는 지점을 의미한다. {Cross-Chapter Box 1.3, 1.4, 4.7}

³⁵ AR5 와 SROCC 에서 사용한 기준기간인 1986~2005 년과 비교하기 위해 지구 평균 해수면 상승 추정치에 0.03 m 를 더한다. 그림 SPM.8 에 사용된 기준기간인 1900 년과 비교하기 위해 0.16 m 를 더한다.

- **B.5** Many changes due to past and future greenhouse gas emissions are irreversible for centuries to millennia, especially changes in the ocean, ice sheets and global sea level. {Cross-Chapter Box 2.4, 2.3, 4.3, 4.5, 4.7, 5.3, 9.2, 9.4, 9.5, 9.6, Box 9.4} (Figure SPM.8)
- **B.5.1** Past GHG emissions since 1750 have committed the global ocean to future warming (*high confidence*). Over the rest of the 21st century, *likely* ocean warming ranges from 2–4 (SSP1-2.6) to 4–8 times (SSP5-8.5) the 1971–2018 change. Based on multiple lines of evidence, upper ocean stratification (*virtually certain*), ocean acidification (*virtually certain*) and ocean deoxygenation (*high confidence*) will continue to increase in the 21st century, at rates dependent on future emissions. Changes are irreversible on centennial to millennial time scales in global ocean temperature (*very high confidence*), deep ocean acidification (*very high confidence*) and deoxygenation (*medium confidence*). {4.3, 4.5, 4.7, 5.3, 9.2, TS.2.4} (**Figure SPM.8**)

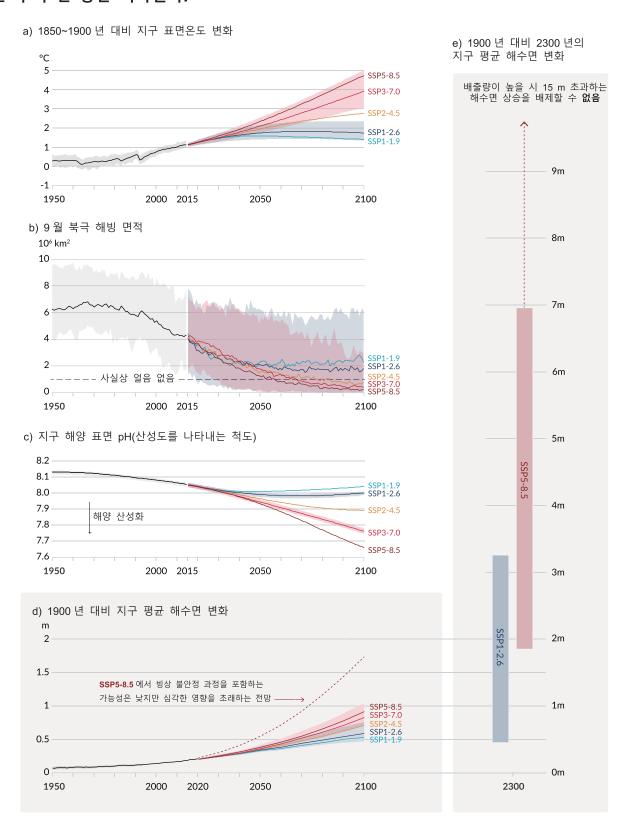
{4.3, 4.5, 4.7, 5.3, 9.2, 18.2.4} (Figure SPM.8)

- **B.5.2** Mountain and polar glaciers are committed to continue melting for decades or centuries (*very high confidence*). Loss of permafrost carbon following permafrost thaw is irreversible at centennial timescales (*high confidence*). Continued ice loss over the 21st century is *virtually certain* for the Greenland Ice Sheet and *likely* for the Antarctic Ice Sheet. There is *high confidence* that total ice loss from the Greenland Ice Sheet will increase with cumulative emissions. There is *limited evidence* for low-likelihood, high-impact outcomes (resulting from ice sheet instability processes characterized by deep uncertainty and in some cases involving tipping points) that would strongly increase ice loss from the Antarctic Ice Sheet for centuries under high GHG emissions scenarios³⁴. {4.3, 4.7, 5.4, 9.4, 9.5, Box 9.4, Box TS.1, TS.2.5}
- **B.5.3** It is *virtually certain* that global mean sea level will continue to rise over the 21st century. Relative to 1995-2014, the *likely* global mean sea level rise by 2100 is 0.28-0.55 m under the very low GHG emissions scenario (SSP1-1.9), 0.32-0.62 m under the low GHG emissions scenario (SSP1-2.6), 0.44-0.76 m under the intermediate GHG emissions scenario (SSP2-4.5), and 0.63-1.01 m under the very high GHG emissions scenario (SSP5-8.5), and by 2150 is 0.37-0.86 m under the very low scenario (SSP1-1.9), 0.46-0.99 m under the low scenario (SSP1-2.6), 0.66-1.33 m under the intermediate scenario (SSP2-4.5), and 0.98-1.88 m under the very high scenario (SSP5-8.5) (*medium confidence*)³⁵. Global mean sea level rise above the *likely* range approaching 2 m by 2100 and 5 m by 2150 under a very high GHG emissions scenario (SSP5-8.5) (*low confidence*) cannot be ruled out due to deep uncertainty in ice sheet processes. {4.3, 9.6, Box 9.4, Box TS.4} (**Figure SPM.8**)
- **B.5.4** In the longer term, sea level is committed to rise for centuries to millennia due to continuing deep ocean warming and ice sheet melt, and will remain elevated for thousands of years (*high confidence*). Over the next 2000 years, global mean sea level will rise by about 2 to 3 m if warming is limited to 1.5°C, 2 to 6 m if limited to 2°C and 19 to 22 m with 5°C of warming, and it will continue to rise over subsequent millennia (*low confidence*). Projections of multi-millennial global mean sea level rise are consistent with reconstructed levels during past warm climate periods: *likely* 5–10 m higher than today around 125,000 years ago, when global temperatures were *very likely* 0.5°C–1.5°C higher than 1850–1900; and *very likely* 5–25 m higher roughly 3 million years ago, when global temperatures were 2.5°C–4°C higher (*medium confidence*). {2.3, Cross-Chapter Box 2.4, 9.6, Box TS.2, Box TS.4, Box TS.9}

³⁴ Low-likelihood, high-impact outcomes are those whose probability of occurrence is low or not well known (as in the context of deep uncertainty) but whose potential impacts on society and ecosystems could be high. A tipping point is a critical threshold beyond which a system reorganizes, often abruptly and/or irreversibly. {Cross-Chapter Box 1.3, 1.4, 4.7}

³⁵ To compare to the 1986–2005 baseline period used in AR5 and SROCC, add 0.03 m to the global mean sea level rise estimates. To compare to the 1900 baseline period used in Figure SPM.8, add 0.16 m.

인간 활동은 기후시스템의 모든 주요 구성요소에 영향을 미치며 그 중 일부는 수십 년 또는 수백 년 동안 지속된다.



Human activities affect all the major climate system components, with some responding over decades and others over centuries

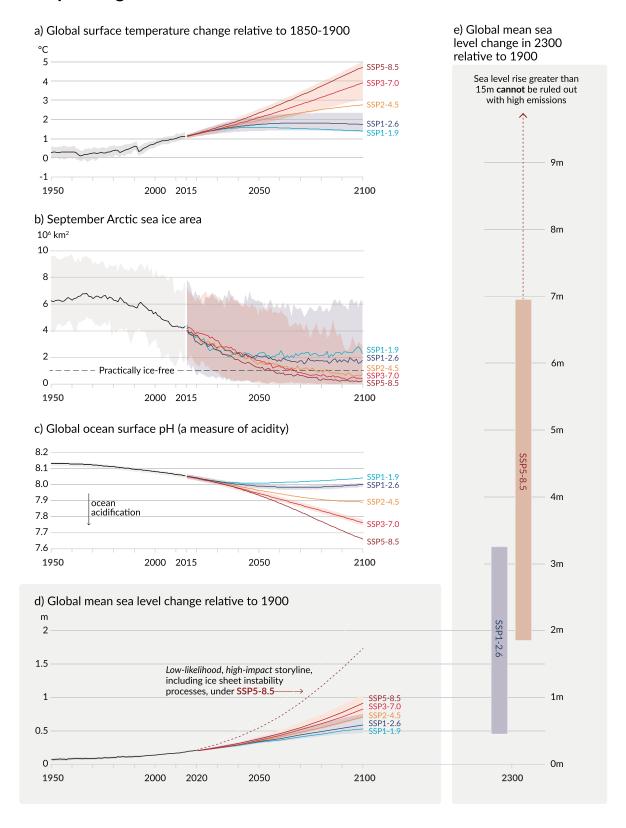


그림 SPM.8: 보고서의 5 가지 시나리오에 대한 전 지구 기후변화 지표

각 시나리오별 전망이 서로 다른 색으로 표시되어 있다. 음영은 불확도 범위를 나타내는데, 자세한 내용은 각도표의 아래쪽에 제시되어 있다. 검은색 곡선은 과거에 대한 모의 자료(도표 a, b, c) 혹은 관측 자료(도표 d)이다. 큰 맥락에서 미래 변화 전망 추이를 확인하기 위해 모든 그래프에 과거 추정치가 포함되어 있다.

도표 a) 1850~1900 년 대비 **지구 표면온도 변화**(°C) 이 변화 전망은 개선된 평형기후민감도 평가 자료와 과거 온난화 모의에 기반한 관측 제약을 CMIP6 모델 모의와 종합하여 도출되었다(Box SPM.1 참고). 1850~1900 년 대비 평균 20 년 단위 변화는 1995~2014 년 대비 변화를 모의한 자료에 0.85°C(1850~1900 년부터 1995~2014 년까지 관측된 지구 표면온도 상승)를 더해서 산출된다. SSP1-2.6 과 SSP3-7.0 에 대해 *가능성이 매우 높은* 범위가 제시되었다.

도표 b) CMIP5 모델 모의를 이용한 **9월 북극 해빙 면적**(단위: 10⁶ km²) SSP1-2.6 과 SSP3-7.0 에 대한 *가능성 매우 높은* 범위가 제시되었다. 중간 이상 온실가스 배출 시나리오에 따르면 21 세기 중반에 북극에서 사실상 얼음이 없어질 것으로 전망된다.

도표 c) CMIP6 모델 모의를 이용한 **지구 해양 표면 pH**(산성도를 나타내는 척도) SSP1-2.6 과 SSP3-7.0 에 대한 *가능성 매우 높은* 범위가 제시되었다.

도표 d) 1900 년 대비 지구 평균 해수면 변화(m) 과거의 변화는 관측된 결과이며(1992 년 이전은 검조기, 이후는 고도계 사용), 미래 변화는 관측 제약을 이용하여 CMIP, 빙상 및 빙하모델의 에뮬레이션에 기반하여 평가한 것이다. SSP1-2.6 과 SSP3-7.0 에 대한 *가능성 높은* 범위가 제시되었다. 해수면 변화의 경우 불확도가 매우 높은 과정의 분포를 추정하는 것이 어렵기 때문에 *가능성 높은* 범위만 평가되었다. 점선 곡선은 이렇게 불확실한 과정의 잠재적 영향을 나타낸다. 이 선은 가능성은 낮지만 심각한 영향을 초래하여 배제될 수 없는 빙상 과정을 반영한 SSP5-8.5 전망의 하위 83 분위를 의미한다. 그러나 이러한 과정에 대한 전망의 *신뢰도 낮음* 때문에 이 곡선은 *가능성 높은* 범위에 포함되지 않는다. 1900 년 대비 변화는 1995~2014 년 대비 모의 및 관측된 변화에 0.158 m(1900 년부터 1995~2014 년까지 관측된 지구 해수면 상승)를 더해서 산출된다.

도표 e) 1900 년 대비 **2300 년 지구 평균 해수면 변화**(m) SSP1-2.6 과 SSP5-8.5 시나리오에서 2300 년에 대한 전망을 제시한 이유는 다른 시나리오의 경우 2100 년 이후의 모의 결과가 부족해 확실한 결과가 도출할 수 없기 때문이다. 음영 부분은 17 에서 83 분위를 의미한다. 점선 화살표는 가능성은 낮지만 심각한 영향을 초래하여 배제될 수 없는 빙상 과정을 반영한 SSP5-8.5 전망의 하위 83%를 의미한다.

도표 b)와 c)는 각 모델의 단일 모의 결과를 사용하기 때문에 내부 변동성 요소를 포함한다. 도표 a), d), e)는 장기간의 평균을 반영하기 때문에 내부 변동성에 의한 기여도가 낮다.

{Figure TS.8, Figure TS.11, Box TS.4 Figure 1, Box TS.4 Figure 1, 4.3, 9.6, Figure 4.2, Figure 4.8, Figure 4.11, Figure 9.27}

Figure SPM.8: Selected indicators of global climate change under the five illustrative scenarios used in this report.

The projections for each of the five scenarios are shown in colour. Shades represent uncertainty ranges – more detail is provided for each panel below. The black curves represent the historical simulations (panels a, b, c) or the observations (panel d). Historical values are included in all graphs to provide context for the projected future changes.

Panel a) Global surface temperature changes in °C relative to 1850–1900. These changes were obtained by combining CMIP6 model simulations with observational constraints based on past simulated warming, as well as an updated assessment of equilibrium climate sensitivity (see Box SPM.1). Changes relative to 1850–1900 based on 20-year averaging periods are calculated by adding 0.85°C (the observed global surface temperature increase from 1850–1900 to 1995–2014) to simulated changes relative to 1995–2014. *Very likely* ranges are shown for SSP1-2.6 and SSP3-7.0.

Panel b) September Arctic sea ice area in 10⁶ km² based on CMIP6 model simulations. *Very likely* ranges are shown for SSP1-2.6 and SSP3-7.0. The Arctic is projected to be practically ice-free near mid-century under midand high GHG emissions scenarios.

Panel c) Global ocean surface pH (a measure of acidity) based on CMIP6 model simulations. *Very likely* ranges are shown for SSP1-2.6 and SSP3-7.0.

Panel d) Global mean sea level change in meters relative to 1900. The historical changes are observed (from tide gauges before 1992 and altimeters afterwards), and the future changes are assessed consistently with observational constraints based on emulation of CMIP, ice sheet, and glacier models. *Likely* ranges are shown for SSP1-2.6 and SSP3-7.0. Only *likely* ranges are assessed for sea level changes due to difficulties in estimating the distribution of deeply uncertain processes. The dashed curve indicates the potential impact of these deeply uncertain processes. It shows the 83rd percentile of SSP5-8.5 projections that include low-likelihood, high-impact ice sheet processes that cannot be ruled out; because of *low confidence* in projections of these processes, this curve does not constitute part of a *likely* range. Changes relative to 1900 are calculated by adding 0.158 m (observed global mean sea level rise from 1900 to 1995–2014) to simulated and observed changes relative to 1995–2014.

Panel e): Global mean sea level change at 2300 in meters relative to 1900. Only SSP1-2.6 and SSP5-8.5 are projected at 2300, as simulations that extend beyond 2100 for the other scenarios are too few for robust results. The 17th–83rd percentile ranges are shaded. The dashed arrow illustrates the 83rd percentile of SSP5-8.5 projections that include low-likelihood, high-impact ice sheet processes that cannot be ruled out.

Panels b) and c) are based on single simulations from each model, and so include a component of internal variability. Panels a), d) and e) are based on long-term averages, and hence the contributions from internal variability are small.

{Figure TS.8, Figure TS.11, Box TS.4 Figure 1, Box TS.4 Figure 1, 4.3, 9.6, Figure 4.2, Figure 4.8, Figure 4.11, Figure 9.27}

C. 위험 평가와 지역별 적응을 위한 기후 정보

과학적 기후 정보는 기후시스템이 인간 영향, 자연적 요인, 내부 변동성 사이의 상호작용에 어떻게 반응하는지를 다룬다. 기후 반응 및 가능한 결과의 범위(가능성은 낮지만 심각한 영향을 초래하는 결과 등)에 대한 지식은 기후 관련 위험과 적응 계획을 평가하는 기후서비스를 지원한다. 전 지구, 지역 및 국지 규모의 과학적 기후 정보는 관측 자료, 기후 모델 결과, 맞춤형 진단 등 다양한 정보를 바탕으로 구축된다.

C.1 자연적 요인과 내부 변동성은 특히 단기 미래에 지역 규모에서 인위적 변화를 강화하거나 상쇄할 것이나 100 년 정도의 지구온난화에 미칠 영향은 미미할 것이다. 가능한 모든 범위의 변화에 대비한 계획을 수립할 때 이와 같은 가감 효과를 고려하는 것은 중요하다.

{1.4, 2.2, 3.3, Cross-Chapter Box 3.1, 4.4, 4.6, Cross-Chapter Box 4.1, 4.4, Box 7.2, 8.3, 8.5, 9.2, 10.3, 10.4, 10.6, 11.3, 12.5, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.9, Atlas.9, Atlas.10, Cross-Chapter Box Atlas.2, Atlas.11}

C.1.1 과거의 지구 표면온도 기록을 보면 10년 주기 변동성 때문에 인간이 유발한 장기적인 변화가 강화되기도 하고 약화되기도 한다는 것을 알 수 있으며, 이러한 변동성은 미래에도 지속될 것이다(신뢰도 매우 높음). 예를들어, 태양 및 화산 요인의 10년 주기 내부 변동성과 변화 때문에 1998~2012년에는 지역적, 계절적 특성이두드러지면서 인간이 유발한 표면 지구온난화가 부분적으로 약화됐다(신뢰도 높음). 하지만 해양 온난화가지속되고(신뢰도 매우 높음)육지의 극한고온이 계속해서 증가한(신뢰도 중간) 것에서 알 수 있듯이 이 시기에도기후시스템의 온난화는 진행되고 있었다.

{1.4, 3.3, Cross-Chapter Box 3.1, 4.4, Box 7.2, 9.2, 11.3, Cross-Section Box TS.1} (□팀 SPM.1)

C.1.2 인간이 유발한 평균 기후변화와 극한현상 등 기후영향요인(CID) ³⁶ 이 내부 변동성에 의해 강화 또는 약화될 것으로 전망된다³⁷ (*신뢰도 높음*). 현재 기후와 관련해 특정 지역에서 단기적인 냉각화가 발생할 수 있지만 이는 인간 영향에 의한 지구 표면온도 증가와 일관성을 유지할 것이다(*신뢰도 높음*). {1.4, 4.4, 4.6, 10.4, 11.3, 12.5, Atlas.5, Atlas.10, Atlas.11, TS.4.2}

C.1.3 내부 변동성은 많은 육지 지역에서 관측된 인간에 의한 평균 강수량의 10 년에서 수십 년 주기 변화를 강화 또는 약화시키는 데 큰 역할을 해왔다(신뢰도 높음). 지구적, 지역적 규모에서 몬순의 단기적인 변화는 내부 변동성 영향에 의해 주로 결정될 것이다(신뢰도 중간). 내부 변동성 영향 외에도 지구적, 지역적 규모에서 전망되는 단기적인 강수량 변화는 모델 불확도와 자연적 및 인위적 에어로졸에 의한 강제력 불확도 때문에 불확실하다(신뢰도 중간).

{1.4, 4.4, 8.3, 8.5, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, Atlas.4, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Cross-Chapter Box Atlas.2, Atlas.11, TS.4.2, Box TS.6, Box TS.13}

³⁶ 기후영향요인(CID)은 사회나 생태계의 특정 요소에 영향을 주는 물리적인 기후시스템 조건(평균값, 사례, 극한현상 등)이다. 기후시스템 내성에 따라 기후영향요인과 변화는 상호작용하는 기후시스템 요소나 지역 전반에 피해를 주거나, 도움이 되거나, 영향이 없거나, 복합적인 영향을 미칠 수 있다. 기후영향요인의 유형은 더위와 추위, 호우와 가뭄, 바람, 눈과 얼음, 해안, 공해(open sea)로 나뉠 수 있다.

³⁷ 주요 내부 변동성 현상에는 지역적 영향에 따른 엘니뇨-남방진동(El Niño-Southern Oscillation), 태평양 10 년 주기 변동성(Pacific Decadal variability), 대서양 수십 년 주기 변동성(Atlantic Multidecadal variability)이 포함된다.

C. Climate Information for Risk Assessment and Regional Adaptation

Physical climate information addresses how the climate system responds to the interplay between human influence, natural drivers and internal variability. Knowledge of the climate response and the range of possible outcomes, including low-likelihood, high impact outcomes, informs climate services — the assessment of climate-related risks and adaptation planning. Physical climate information at global, regional and local scales is developed from multiple lines of evidence, including observational products, climate model outputs and tailored diagnostics.

C.1 Natural drivers and internal variability will modulate human-caused changes, especially at regional scales and in the near term, with little effect on centennial global warming. These modulations are important to consider in planning for the full range of possible changes.

{1.4, 2.2, 3.3, Cross-Chapter Box 3.1, 4.4, 4.6, Cross-Chapter Box 4.1, 4.4, Box 7.2, 8.3, 8.5, 9.2, 10.3, 10.4, 10.6, 11.3, 12.5, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Cross-Chapter Box Atlas.2, Atlas.11}

C.1.1 The historical global surface temperature record highlights that decadal variability has enhanced and masked underlying human-caused long-term changes, and this variability will continue into the future (*very high confidence*). For example, internal decadal variability and variations in solar and volcanic drivers partially masked human-caused surface global warming during 1998–2012, with pronounced regional and seasonal signatures (*high confidence*). Nonetheless, the heating of the climate system continued during this period, as reflected in both the continued warming of the global ocean (*very high confidence*) and in the continued rise of hot extremes over land (*medium confidence*).

{1.4, 3.3, Cross-Chapter Box 3.1, 4.4, Box 7.2, 9.2, 11.3, Cross-Section Box TS.1} (Figure SPM.1)

C.1.2 Projected human caused changes in mean climate and climatic impact-drivers (CIDs)³⁶, including extremes, will be either amplified or attenuated by internal variability³⁷ (*high confidence*). Near-term cooling at any particular location with respect to present climate could occur and would be consistent with the global surface temperature increase due to human influence (*high confidence*). {1.4, 4.4, 4.6, 10.4, 11.3, 12.5, Atlas.5, Atlas.10, Atlas.11, TS.4.2}

C.1.3 Internal variability has largely been responsible for the amplification and attenuation of the observed human-caused decadal-to-multi-decadal mean precipitation changes in many land regions (high confidence). At global and regional scales, near-term changes in monsoons will be dominated by the effects of internal variability (medium confidence). In addition to internal variability influence, near-term projected changes in precipitation at global and regional scales are uncertain because of model uncertainty and uncertainty in forcings from natural and anthropogenic aerosols (medium confidence).

{1.4, 4.4, 8.3, 8.5, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, Atlas.4, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Cross-Chapter Box Atlas.2, Atlas.11, TS.4.2, Box TS.6, Box TS.13}

³⁶ Climatic impact-drivers (CIDs) are physical climate system conditions (e.g., means, events, extremes) that affect an element of society or ecosystems. Depending on system tolerance, CIDs and their changes can be detrimental, beneficial, neutral, or a mixture of each across interacting system elements and regions. CID types include heat and cold, wet and dry, wind, snow and ice, coastal and open ocean.

³⁷ The main internal variability phenomena include El Niño–Southern Oscillation, Pacific Decadal variability and Atlantic Multidecadal variability through their regional influence.

C.1.4 고기후 기록과 역사적 증거를 고려할 때, 21 세기에 적어도 한 번은 대형 화산폭발이 발생할 *가능성이 높다*³⁸. 대형 화산폭발은 특히 육지에서 1~3 년 간 지구 표면온도와 강수량 감소, 지구 몬순 순환 변화, 호우 양상 변화, 다양한 기후영향요인 변화를 유발할 수 있다(신뢰도 중간). 이러한 화산폭발이 발생하면 인간이 유발한 기후변화가 부분적으로 잠시 약화될 수 있다.

{4.4, Cross-Chapter Box 4.1, 2.2, 8.5, TS.2.1}

C.2 지구온난화가 추가로 심화되면 모든 지역에서 기후영향요인의 복합적이고 동시다발적인 변화가 증가할 것으로 전망된다. 다양한 기후영향요인의 변화가 1.5°C 지구온난화 수준보다 2°C 지구온난화 수준에서 더욱 광범위하게 발생할 것이고 더 높은 수준의 온난화에서는 더 크게 확산 및 강화될 것이다. {8.2, 9.3, 9.5, 9.6, Box 10.3, Box 11.3, Box 11.4, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.7, 11.9, 12.2, 12.3, 12.4, 12.5, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Chapter Box 12.1} (표 SPM.1, 그림 SPM.9)

C.2.1 모든 지역 ³⁹ 에서 더위 관련 기후영향요인이 증가하고 추위 관련 기후영향요인이 감소할 것으로 전망된다(신뢰도 높음). 영구동토층과 눈, 빙하, 빙상, 호수, 북극 해빙은 더욱 감소할 것으로 전망된다(신뢰도 중간 또는 신뢰도 높음)⁴⁰. 이러한 변화는 2°C 지구온난화 수준, 또는 1.5°C 보다 높은 수준의 지구온난화에서 더욱 커질 것이다(신뢰도 높음). 예를 들어, 농업 및 보건 관련 폭염 임계치를 초과하는 경우가 더 높은 수준의 지구온난화에서 더욱 빈번하게 발생할 것이다(신뢰도 높음).

{9.3, 9.5, 11.3, 11.9, 12.3, 12.4, 12.5, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, TS.4.3, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Chapter Box 12.1} (표 SPM.1, 그림 SPM.9)

C.2.2 1.5°C 지구온난화 수준에서 아프리카와 아시아(신뢰도 높음), 북아메리카(신뢰도 중간 또는 신뢰도 높음)⁴⁰, 유럽(신뢰도 중간) 대부분의 지역에서 호우와 그에 따른 홍수가 더욱 빈번하고 강해질 것으로 전망된다. 또한 1850~1900 년과 비교했을 때 아시아를 제외한 모든 대륙의 몇몇 지역에서 농업가뭄 및 식생가뭄이 더욱 빈번하고 강력해질 것으로 전망되며(신뢰도 높음), 소수의 지역에서 기상학적 가뭄도 증가할 것으로 전망된다(신뢰도 중간). 소수의 지역에서 평균 강수량이 증가하거나 감소할 것으로 전망된다(신뢰도 중간).

{11.4, 11.5, 11.6, 11.9, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, TS.4.3} (표 SPM.1)

³⁸ 2500 년 추정 자료에 따르면, -1 W m²보다 음의 방향으로 큰 화산폭발이 100 년마다 평균 2 차례 발생한다.

³⁹ 아대륙과 해양 지역의 정보를 요약하기 위해 보고서에 사용된 AR6 WGI 참조 지역을 의미한다. 별도의 언급이 없는 한, 변화는 과거 20~40 년 평균과 비교된다. {1.4, 12.4, Atlas.1, Interactive Atlas}.

⁴⁰ 신뢰도나 가능도는 고려되는 지역에 따라 다르게 결정된다. 세부사항은 기술요약본과 본보고서에 포함되어 있다.

- **C.1.4** Based on paleoclimate and historical evidence, it is *likely* that at least one large explosive volcanic eruption would occur during the 21st century³⁸. Such an eruption would reduce global surface temperature and precipitation, especially over land, for one to three years, alter the global monsoon circulation, modify extreme precipitation and change many CIDs (*medium confidence*). If such an eruption occurs, this would therefore temporarily and partially mask human-caused climate change. {4.4, Cross-Chapter Box 4.1, 2.2, 8.5, TS.2.1}
- C.2 With further global warming, every region is projected to increasingly experience concurrent and multiple changes in climatic impact-drivers. Changes in several climatic impact-drivers would be more widespread at 2°C compared to 1.5°C global warming and even more widespread and/or pronounced for higher warming levels.
 {8.2, 9.3, 9.5, 9.6, Box 10.3, Box 11.3, Box 11.4, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.7, 11.9, 12.2, 12.3, 12.4, 12.5, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Chapter Box 12.1} (Table SPM.1, Figure SPM.9)
- **C.2.1** All regions³⁹ are projected to experience further increases in hot climatic impact-drivers (CIDs) and decreases in cold CIDs (*high confidence*). Further decreases are projected in permafrost, snow, glaciers and ice sheets, lake and Arctic sea ice (*medium* to *high confidence*)⁴⁰. These changes would be larger at 2°C global warming or above than at 1.5°C (*high confidence*). For example, extreme heat thresholds relevant to agriculture and health are projected to be exceeded more frequently at higher global warming levels (*high confidence*).

{9.3, 9.5, 11.3, 11.9, 12.3, 12.4, 12.5, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, TS.4.3, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Chapter Box 12.1} (**Table SPM.1, Figure SPM.9**)

C.2.2 At 1.5°C global warming, heavy precipitation and associated flooding are projected to intensify and be more frequent in most regions in Africa and Asia (*high confidence*), North America (*medium to high confidence*)⁴⁰ and Europe (*medium confidence*). Also, more frequent and/or severe agricultural and ecological droughts are projected in a few regions in all continents except Asia compared to 1850–1900 (*medium confidence*); increases in meteorological droughts are also projected in a few regions (*medium confidence*). A small number of regions are projected to experience increases or decreases in mean precipitation (*medium confidence*).

{11.4, 11.5, 11.6, 11.9, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, TS.4.3} (Table SPM.1)

³⁸ Based on 2,500 year reconstructions, eruptions more negative than −1 W m^{−2} occur on average twice per century.

³⁹ Regions here refer to the AR6 WGI reference regions used in this Report to summarize information in sub-continental and oceanic regions. Changes are compared to averages over the last 20–40 years unless otherwise specified. {1.4, 12.4, Atlas.1, Interactive Atlas}.

⁴⁰ The specific level of confidence or likelihood depends on the region considered. Details can be found in the Technical Summary and the underlying Report.

C.2.3 2°C 지구온난화 수준을 넘어설 때 가뭄과 호우, 평균 강수량 변화의 크기와 신뢰도 수준은 1.5°C 온난화수준일 때보다 더 높다. 태평양 도서국을 비롯해 남아메리카와 유럽 전역의 많은 지역에서 호우 및 그에 따른 홍수사례가 더욱 강력하고 빈번해질 것으로 전망된다(신뢰도 중간 또는 신뢰도 높음)⁴0. 이러한 변화가오스트랄라시아와 중앙아메리카, 남아메리카 일부 지역에서도 관측되고 있다(신뢰도 중간). 아프리카와 남아메리카, 유럽의 많은 지역에서 농업가뭄 및 식생가뭄의 빈도가 높아지고 강도가 증가할 것으로 전망되며(신뢰도 중간 또는신뢰도 높음)⁴0, 오스트랄라시아와 중앙아메리카, 북아메리카, 카리브해에서도 같은 현상이 나타날 것으로전망된다(신뢰도 중간). 아프리카, 오스트랄라시아, 유럽, 북아메리카의 소수 지역에서는 수문학적 가뭄 증가로 인한영향도 전망되며, 일부 지역은 기상학적 가뭄이 증가하거나 감소하여(증가하는 지역이 더 많을 것으로 예상됨)영향을 받을 것으로 전망된다(신뢰도 중간). 극지와 북유럽, 북아메리카 북부의 모든 지역과 대부분의 아시아 지역, 남아메리카의 두 지역에서 평균 강수량이 증가할 것으로 전망된다(신뢰도 높음).

{11.4, 11.6, 11.9, 12.4, 12.5, Atlas.5, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.11, TS.4.3, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Chapter Box 12.1} (표 SPM.1, 그림 SPM.5, 그림 SPM.6, 그림 SPM.9)

C.2.4 1.5°C 지구온난화 수준일 때보다 2°C 이상의 온난화 수준일 때 더 많은 지역에서 많은 기후영향요인이 변화할 것으로 전망된다(신뢰도 높음). 지역적 변화로는 열대성저기압 및 온대성 폭풍이 강해지고(신뢰도 중간), 하천 범람이 증가하며(신뢰도 중간 또는 신뢰도 높음)40, 평균 강수량이 감소하고 건조기후가 증가하며(신뢰도 중간 또는 신뢰도 높음)40, 산불 취약 지역이 증가하는(신뢰도 중간 또는 신뢰도 높음)40 등의 현상이 있다. 대부분의 지역에서 우박, 얼음폭풍, 강한 폭풍, 모래폭풍, 폭설, 산사태 등 다른 기후영향요인의 잠재적인 변화 전망은 신뢰도 낮음을 보인다.

{11.7, 11.9, 12.4, 12.5, Atlas.4, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.10, TS.4.3.1, TS.4.3.2, TS.5, Cross-Chapter Box, 11.1, Cross-Chapter Box 12.1} (표 SPM.1, 그림 SPM.9)

C.2.5 지질학적 토지 융기 속도가 상당히 높은 일부 지역을 제외하고, 지역별 평균 상대 해수면이 21 세기전반에 걸쳐 계속 상승할 것으로 전망된다(*가능성 매우 높음* 또는 *거의 확실*)⁴⁰. 전 세계 해안지역의 약 2/3 에서지역별 상대 해수면 상승이 지구 평균 상승의 ±20% 범위일 것으로 전망된다(*신뢰도 중간*). 과거에는 100 년에 한번 발생했던 극심한 해수면 변화가 상대 해수면 상승 때문에 2100 년경에는 검조기가 설치된 모든 지역의 50%이상에서 적어도 1 년에 한 번 발생할 것으로 전망된다(*신뢰도 높음*). 상대 해수면 상승으로 인해 저지대 해안범람의 빈도와 강도가 증가하고, 대부분의 모래해안 지역에서 해안 침식이 발생할 것이다(*신뢰도 높음*).

{9.6, 12.4, 12.5, Box TS.4, TS.4.3, Cross-Chapter Box 12.1} (그림 SPM.9)

C.2.6 도시는 인간에 의한 온난화를 심화시키며, 계속되는 도시화와 극한고온의 빈도 증가로 인해 폭염의 강도가 높아질 것이다(*매우 높은 가능성*). 도시화 역시 도시 전체나 풍하지역의 평균 강수량과 호우를 증가시켜(*신뢰도 중간*) 하천 유출량 강도가 높아진다(*신뢰도 높음*). 해안 도시에서는 극심한 해수면 변화의 빈도가 증가하고(해수면 상승과 폭풍 해일 때문) 호우 및 하천 범람과 결합하여 홍수가 발생할 가능성이 높을 것이다(*신뢰도 높음*).

{8.2, Box 10.3, 11.3, 12.4, Box TS.14}

C.2.7 지구온난화 수준이 심해질수록 많은 지역에서 복합적인 현상이 발생할 확률이 커질 것으로 전망된다(신뢰도 높음). 특히 폭염과 가뭄의 동시 발생이 더 빈번해질 *가능성이 높다*. 1.5°C 지구온난화 수준일 때보다 2°C 이상의 온난화 수준일 때 동시다발적 극한현상이 작물재배 지역을 포함한 여러 지역에서 더욱 빈번해진다(신뢰도 높음).

{11.8, Box 11.3, Box 11.4, 12.3, 12.4, TS.4.3, Cross-Chapter Box 12.1} (# SPM.1)

C.2.3 At 2°C global warming and above, the level of confidence in and the magnitude of the change in droughts and heavy and mean precipitation increase compared to those at 1.5°C. Heavy precipitation and associated flooding events are projected to become more intense and frequent in the Pacific Islands and across many regions of North America and Europe (medium to high confidence)⁴⁰. These changes are also seen in some regions in Australasia and Central and South America (medium confidence). Several regions in Africa, South America and Europe are projected to experience an increase in frequency and/or severity of agricultural and ecological droughts with medium to high confidence⁴⁰; increases are also projected in Australasia, Central and North America, and the Caribbean with medium confidence. A small number of regions in Africa, Australasia, Europe and North America are also projected to be affected by increases in hydrological droughts, and several regions are projected to be affected by increases or decreases in meteorological droughts with more regions displaying an increase (medium confidence). Mean precipitation is projected to increase in all polar, northern European and northern North American regions, most Asian regions and two regions of South America (high confidence).

{11.4, 11.6, 11.9, 12.4, 12.5, Atlas.5, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.11, TS.4.3, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Chapter Box 12.1} (Table SPM.1, Figure SPM.5, Figure SPM.6, Figure SPM.9)

- **C.2.4** More CIDs across more regions are projected to change at 2°C and above compared to 1.5°C global warming (*high confidence*). Region-specific changes include intensification of tropical cyclones and/or extratropical storms (*medium confidence*), increases in river floods (*medium* to *high confidence*)⁴⁰, reductions in mean precipitation and increases in aridity (*medium* to *high confidence*)⁴⁰, and increases in fire weather (*medium* to *high confidence*)⁴⁰. There is *low confidence* in most regions in potential future changes in other CIDs, such as hail, ice storms, severe storms, dust storms, heavy snowfall, and landslides. {11.7, 11.9, 12.4, 12.5, Atlas.4, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.10, TS.4.3.1, TS.4.3.2, TS.5, Cross-Chapter Box, 11.1, Cross-Chapter Box 12.1} (**Table SPM.1, Figure SPM.9**)
- C.2.5 It is *very likely* to *virtually certain*⁴⁰ that regional mean relative sea level rise will continue throughout the 21st century, except in a few regions with substantial geologic land uplift rates. Approximately two-thirds of the global coastline has a projected regional relative sea level rise within $\pm 20\%$ of the global mean increase (*medium confidence*). Due to relative sea level rise, extreme sea level events that occurred once per century in the recent past are projected to occur at least annually at more than half of all tide gauge locations by 2100 (*high confidence*). Relative sea level rise contributes to increases in the frequency and severity of coastal flooding in low-lying areas and to coastal erosion along most sandy coasts (*high confidence*).

{9.6, 12.4, 12.5, Box TS.4, TS.4.3, Cross-Chapter Box 12.1} (Figure SPM.9)

C.2.6 Cities intensify human-induced warming locally, and further urbanization together with more frequent hot extremes will increase the severity of heatwaves (*very high confidence*). Urbanization also increases mean and heavy precipitation over and/or downwind of cities (*medium confidence*) and resulting runoff intensity (*high confidence*). In coastal cities, the combination of more frequent extreme sea level events (due to sea level rise and storm surge) and extreme rainfall/riverflow events will make flooding more probable (*high confidence*).

{8.2, Box 10.3, 11.3, 12.4, Box TS.14}

C.2.7 Many regions are projected to experience an increase in the probability of compound events with higher global warming (*high confidence*). In particular, concurrent heatwaves and droughts are *likely* to become more frequent. Concurrent extremes at multiple locations become more frequent, including in cropproducing areas, at 2°C and above compared to 1.5°C global warming (*high confidence*). {11.8, Box 11.3, Box 11.4, 12.3, 12.4, TS.4.3, Cross-Chapter Box 12.1} (**Table SPM.1**)

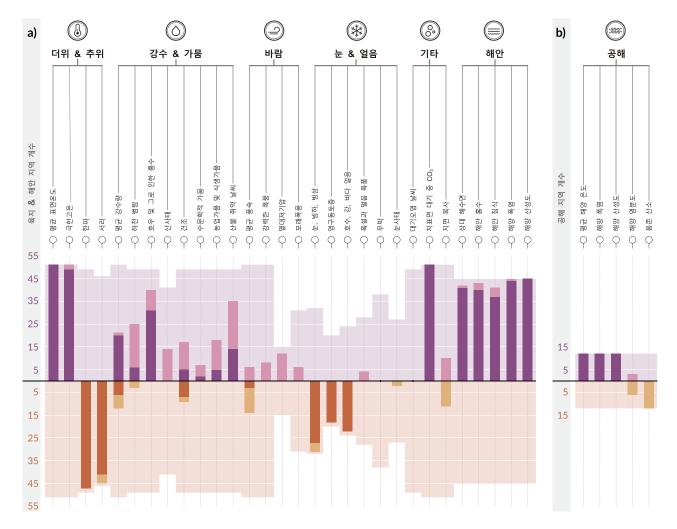
전 세계 모든 지역에서 여러 가지 기후영향요인이 변화할 것으로 전망된다.

기후영향요인(CID)은 사회나 생태계의 특정 요소에 영향을 주는 물리적인 기후시스템 조건(평균값, 사례, 극값 등)이다. 기후시스템의 내성에 따라 기후영향요인과 그것의 변화는 상호작용하는 요소나 지역 전반에 피해를 주거나, 도움이 되거나, 영향이 없거나, 복합적인 영향을 미칠 수 있다. 기후영향요인은 7 가지 유형으로 분류되며, 각 유형은 그림 SPM.9 의 아이콘 밑에 요약되어 있다. 모든 지역에서 최소 5 가지 이상의 기후영향요인이 변할 것으로 전망된다. 대부분의 지역(96%)에서 최소 10 가지 이상의 기후영향요인이 변한 것으로 전망된다. 대부분의 지역(96%)에서 최소 10 가지 이상의 기후영향요인이 변하고 약 50% 지역에서 최소 15 가지 이상의 기후영향요인이 변할 것으로 전망된다. 많은 기후영향요인의 경우, 변화가 발생한 지역에서 지리적으로 변동폭이 넓기 때문에 각 지역은 특정한 종류의 기후영향요인 변화를 겪을 것으로 전망된다. 도표의 막대는 WGI 대화형 지도에서 확인 가능한 구체적인 지리적 변화를 나타낸다.



interactive-atlas.ipcc.ch

각 기후영향요인(CID)이 신뢰도 높음 (어두운 음영) 또는 신뢰도 중간(밝은 음영)으로 증가 또는 <mark>감소</mark>할 것으로 전망되는 육지 및 해안 지역(a)과 공해 지역(b)





증가하는 지역(*신뢰도 높음*) 증가하는 지역(*신뢰도 중간*)

■ 감소하는 지역(*신뢰도 높음*)
■ 감소하는 지역(*신뢰도 중간*)

밝은 음영 부분 범례

각 막대 뒤 밝은 음영 부분의 높이는 해당 CID와 관련 된 지역의 최대 개수를 나타낸다. 이 영역은 x축에 대 칭이며 CID 증가(윗부분) 또는 감소(아랫부분)에 해당하 는 지역의 가능한 최대 개수를 의미한다.

미래 변화 평가

변화는 2050 년에 가까운 20~30 년 기간을 대상으로 하며 1960~2014 년 또는 1850~1900 년 범위 내 비슷한 기간 대비 2°C 지구온난화 수준에 해당한다.

Multiple climatic impact-drivers are projected to change in all regions of the world

Climatic impact-drivers (CIDs) are physical climate system conditions (e.g., means, events, extremes) that affect an element of society or ecosystems. Depending on system tolerance, CIDs and their changes can be detrimental, beneficial, neutral, or a mixture of each across interacting system elements and regions. The CIDs are grouped into seven types, which are summarized under the icons in the figure. All regions are projected to experience changes in at least 5 CIDs. Almost all (96%) are projected to experience changes in at least 10 CIDs and half in at least 15 CIDs. For many CIDs there is wide geographical variation in where they change and so each region are projected to experience a specific set of CID changes. Each bar in the chart represents a specific geographical set of changes that can be explored in the WGI Interactive Atlas.



interactive-atlas.ipcc.ch

Number of land & coastal regions (a) and **open-ocean regions** (b) where each **climatic impact-driver** (CID) is projected to increase or **decrease** with **high** confidence (dark shade) or **medium** confidence (light shade)

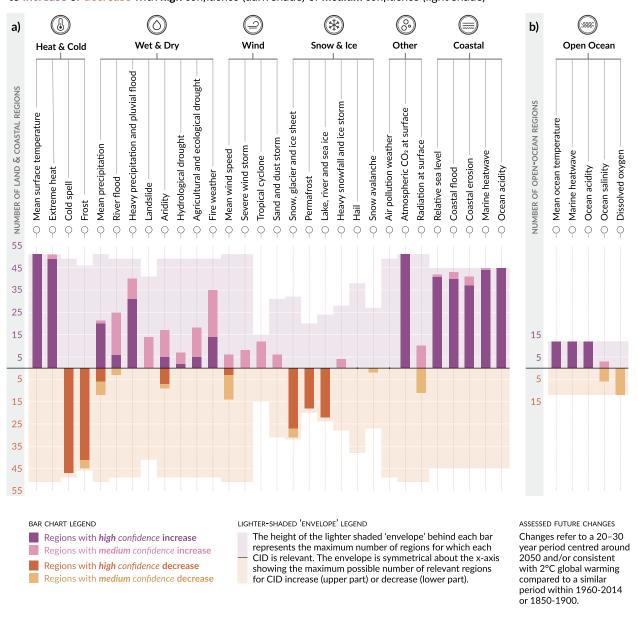


그림 SPM.9: 기후영향요인이 변화할 것으로 전망되는 AR6 WGI 기준지역의 개수 종합.

총 35 개의 기후영향요인(CID)이 더위와 추위, 호우와 가뭄, 바람, 눈과 얼음, 해안, 공해(open sea), 기타의 7 가지 유형으로 분류되었다. 그래프의 막대는 해당 기후영향요인이 변할 것으로 전망되는 AR6 WGI 기준지역의 개수를 나타낸다. 색은 변화의 방향과 해당 변화의 신뢰도로 정도를 나타낸다. 보라색은 증가, 갈색은 감소를 나타내며 어두운 음영과 밝은 음영은 각각 신뢰도 높음과 신뢰도 중간을 의미한다. 밝은 배경색은 각 CID와 광범위하게 관련된 지역의 최대 개수를 나타낸다.

도표 a)는 육지 및 해안 지역과 관련된 30 가지 기후영향요인을, 도표 b)는 공해 지역과 관련된 5 가지 기후영향요인을 보여준다. 해양 폭염과 해양 산성도는 도표 a)의 경우 해안 지역에 대해, 도표 b)의 경우 공해 지역에 대해 평가된다. 변화는 2050 년 전후의 20~30 년 기간을 의미하며 1960~2014 년 범위 내 비슷한 기간 대비 2°C 지구온난화 수준에 해당한다. 1850~1900 년과 비교하는 수문학적 가뭄과 농업가뭄 및 식생가뭄은 예외이다. 지역에 대한 정의는 Atlas.1과 대화형 지도(interactive-atlas.ipcc.ch)에 명시되어 있다.

{Table TS.5, Figure TS.22, Figure TS.25, 11.9, 12.2, 12.4, Atlas.1} (**E SPM.1**)

- C.3 매우 가능성이 낮은 결과들, 특히 빙상 붕괴, 해양순환의 돌발적 변화, 일부 복합적인 극한현상, 미래 온난화의 *가능성이 매우 높은* 평가 범위를 크게 뛰어넘는 온난화 발생 등을 배제할 수 없으며, 이는 위험 평가의 일부분이다. {1.4, Cross-Chapter Box 1.3, Cross-Chapter Box 4.1, 4.3, 4.4, 4.8, 8.6, 9.2, Box 9.4, Box 11.2, 11.8, Cross-Chapter Box 12.1} (표 SPM.1)
- C.3.1 지구온난화가 어떤 온실가스 배출 시나리오(낮은 온실가스 배출량 시나리오를 포함)에서 지구온난화가 가능성이 매우 높은 범위를 초과하게 되면 지역별 강수량과 기타 기후영향요인 같은 다양한 기후시스템 차원의 지구적, 지역적 변화 역시 가능성이 매우 높은 범위를 초과할 것이다(신뢰도 높음). 이렇게 가능도가 낮게 나타나는 높은 온난화 결과는 더욱 강력하고 빈번한 폭염과 호우 등을 통해 잠재적으로 매우 심각한 영향을 초래할 수 있으며, 특히 높은 온실가스 배출 시나리오의 경우 인간과 생태계에 큰 위협이 될 수 있다.

C.3.2 가능성은 낮지만 심각한 영향을 초래하는 결과 ³⁴ 는 특정 온실가스 배출 시나리오의 *가능성 매우 높은* 범위에 속하는 지구온난화 수준에서도 지구적, 지역적 규모로 발생할 수 있다. 가능성은 낮지만 심각한 영향을 초래하는 결과가 발생할 가능성은 지구온난화 수준이 심할수록 더 높아진다(*신뢰도 높음*). 급격하게 남극 빙상이 녹고 산림이 고사하는 등 기후시스템의 갑작스러운 반응과 임계점을 배제할 수 없다(*신뢰도 높음*).

C.3.3 지구온난화가 심화되면 과거와 현재 기후에서는 발생할 가능성이 낮은 복합적인 극한현상 ¹⁸ 이 더욱 빈번해지고 강도, 기간, 공간적 범위 측면에서 관측기록 상 전례 없을 정도로 강한 극한현상의 발생 가능성이 높아질 것이다(*신뢰도 높음*).

{11.8, Box 11.2, Cross-Chapter Box 12.1, Box TS.3, Box TS.9}

Figure SPM.9: Synthesis of the number of AR6 WGI reference regions where climatic impact-drivers are projected to change.

A total of 35 climatic impact-drivers (CIDs) grouped into seven types are shown: heat and cold, wet and dry, wind, snow and ice, coastal, open ocean and other. For each CID, the bar in the graph below displays the number of AR6 WGI reference regions where it is projected to change. The **colours** represent the direction of change and the level of confidence in the change: purple indicates an increase while brown indicates a decrease; darker and lighter shades refer to *high* and *medium confidence*, respectively. Lighter background colours represent the maximum number of regions for which each CID is broadly relevant.

Panel a) shows the 30 CIDs relevant to the **land and coastal regions** while **panel b)** shows the 5 CIDs relevant to the **open ocean regions.** Marine heatwaves and ocean acidity are assessed for coastal ocean regions in panel a) and for open ocean regions in panel b). Changes refer to a 20–30 year period centred around 2050 and/or consistent with 2°C global warming compared to a similar period within 1960-2014, except for hydrological drought and agricultural and ecological drought which is compared to 1850-1900. Definitions of the regions are provided in Atlas.1 and the Interactive Atlas (see *interactive-atlas.ipcc.ch*).

{Table TS.5, Figure TS.22, Figure TS.25, 11.9, 12.2, 12.4, Atlas.1} (Table SPM.1)

- C.3 Low-likelihood outcomes, such as ice sheet collapse, abrupt ocean circulation changes, some compound extreme events and warming substantially larger than the assessed *very likely* range of future warming cannot be ruled out and are part of risk assessment. {1.4, Cross-Chapter Box 1.3, Cross-Chapter Box 4.1, 4.3, 4.4, 4.8, 8.6, 9.2, Box 9.4, Box 11.2, 11.8, Cross-Chapter Box 12.1} (Table SPM.1)
- **C.3.1** If global warming exceeds the assessed *very likely* range for a given GHG emissions scenario, including low GHG emissions scenarios, global and regional changes in many aspects of the climate system, such as regional precipitation and other CIDs, would also exceed their assessed *very likely* ranges (*high confidence*). Such low-likelihood high-warming outcomes are associated with potentially very large impacts, such as through more intense and more frequent heatwaves and heavy precipitation, and high risks for human and ecological systems particularly for high GHG emissions scenarios. {Cross-Chapter Box 1.3, 4.3, 4.4, 4.8, Box 9.4, Box 11.2, Cross-Chapter Box 12.1, TS.1.4, Box TS.3, Box TS.4} (**Table SPM.1**)
- **C.3.2** Low-likelihood, high-impact outcomes³⁴ could occur at global and regional scales even for global warming within the *very likely* range for a given GHG emissions scenario. The probability of low-likelihood, high impact outcomes increases with higher global warming levels (*high confidence*). Abrupt responses and tipping points of the climate system, such as strongly increased Antarctic ice sheet melt and forest dieback, cannot be ruled out (*high confidence*).

{1.4, 4.3, 4.4, 4.8, 5.4, 8.6, Box 9.4, Cross-Chapter Box 12.1, TS.1.4, TS.2.5, Box TS.3, Box TS.4, Box TS.9} (**Table SPM.1**)

C.3.3 If global warming increases, some compound extreme events¹⁸ with low likelihood in past and current climate will become more frequent, and there will be a higher likelihood that events with increased intensities, durations and/or spatial extents unprecedented in the observational record will occur (*high confidence*).

{11.8, Box 11.2, Cross-Chapter Box 12.1, Box TS.3, Box TS.9}

C.3.4 모든 배출 시나리오에서 대서양 자오면 역전순환(Atlantic Meridional Overturning Circulation)이 21세기 동안 약화될 가능성이 매우 높다. 21 세기에 감소된다는 전망은 신뢰도가 높지만, 이 경향의 크기에 대해서는 신뢰도가 낮다. 2100 년 이전에 갑작스럽게 붕괴되지는 않을 것이라는 전망이 신뢰도 중간을 나타낸다. 만약 이러한 붕괴가 발생한다면 열대 강우대의 남쪽 이동, 아프리카 및 아시아 몬순 약화, 남반구 몬순 강화, 유럽 건조화 등 지역적기상 양상과 물순환이 급작스럽게 변할 가능성이 매우 높다. {4.3, 8.6, 9.2, TS2.4, Box TS.3}

C.3.5 기후에 미치는 인간 영향과 무관한 유례없고 매우 드문 자연현상이 발생할 가능성이 낮지만 심각한 영향을 초래하는 결과를 유발할 수 있다. 예를 들어, 과거 수십 년 기간에 여러 차례의 대규모 화산폭발이 발생했을 때 큰 기후변화가 지구적, 지역적으로 수십 년 동안 지속되었다. 이러한 사건이 미래에 발생할 가능성을 배제할 수는 없지만 예측이 불가능하기 때문에 보고서에 사용된 5 가지 시나리오에는 포함되지 않았다. {2.2, Cross-Chapter Box 4.1, Box TS.3} (Box SPM.1)

D. 미래 기후변화 억제

AR5 이후, SR1.5 에 처음 도입된 새로운 방법론, 최신 증거, 그리고 다양한 증거를 통해 확보된 결과를 통합하여 잔여탄소배출총량 산출 결과가 개선되었다. 기후 및 대기오염에 대한 전망의 다양한 가정이 갖는 영향을 일관성 있게 평가하기 위해 배출 시나리오에서 미래 대기오염을 억제하는 포괄적인 범위가 사용되었다. 배출량 감소에 대한 기후 반응이 자연적인 기후 변동성(내부 변동성과 자연적 요인에 대한 반응 등)을 벗어나 뚜렷하게 나타나는 시기를 특정 지을 수 있게 된 것이 큰 발전이다.

D.1 과학적 측면에서 볼 때, 인간이 유발한 지구온난화를 특정 수준으로 억제하기 위해서는 CO₂ 누적 배출량을 억제하여 CO₂ 배출 넷 제로에 도달하고 다른 온실가스 배출도 강력하게 감축해야 한다. 신속하고, 강력하며, 지속적인 CH₄ 배출량 저감은 에어로졸 오염 저감에 의해 초래될 온난화 효과를 억제하면서 대기질을 개선할 수 있을 것이다. {3.3, 4.6, 5.1, 5.2, 5.4, 5.5, 5.6, Box 5.2, Cross-Chapter Box 5.1, 6.7, 7.6, 9.6} (그림 SPM.10, 표 SPM.2)

D.1.1 보고서는 인위적 CO₂ 누적 배출량과 그에 따른 지구온난화 사이에 선형에 가까운 관련성이 있다는 AR5 결론을 *신뢰도 높음을* 갖고 재확인한다. 누적 CO₂ 배출량 1000 GtCO₂ 당 지구 표면온도가 0.27~0.63°C 상승(최적 추정치 0.45°C)할 가능성이 높은 것으로 평가된다⁴¹. 이 범위는 AR5 와 SR1.5 에 비해 좁혀진 것이다. 이 물리량을 CO₂ 누적 배출량에 대한 점진적 기후반응(TCRE)이라고 한다. 이러한 관계는 인간이 유발한 지구 온도 증가를 일정 수준으로 안정화하기 위해서는 인위적 CO₂ 배출량이 넷 제로 ⁴²에 도달해야 함을 의미하지만, 지구 온도 증가를 일정 수준으로 억제하는 것은 CO₂ 누적 배출량을 잔여탄소배출총량 내로 억제해야 함을 의미한다⁴³. {5.4, 5.5, TS.1.3, TS.3.3, Box TS.5} (그림 SPM.10)

⁴¹ 문헌에는 1000 PgC 당 °C 가 단위로 사용되고 AR6 에는 *가능성 높은* TCRE 범위가 1000 PgC 당 1.0~2.3°C 로, 최적 추정치는 1.65°C 로 제시되어 있다.

⁴² 특정 기간 동안 인위적 이산화탄소(CO₂) 배출량이 인위적 CO₂ 제거와 균형을 유지하는 조건.

 $^{^{43}}$ 잔여탄소배출총량은 다른 인위적 기후변화 유발물질의 영향을 고려해 특정 확률로 지구온난화를 특정 수준에 억제할 수 있는 전 지구의 인위적 CO_2 최대 순 누적 배출총량을 의미한다. 이 용어가 산업화 이전 기간을 시작점으로 표현될 때는 총 탄소배출총량이라 하고, 최근의 특정 날짜를 기준으로 표현될 때는 잔여탄소배출총량이라고 한다(용어집 참고). 과거 CO_2 누적 배출량에 의해 현재까지의 온난화 정도가 결정되고, 미래 배출량은 미래에 온난화를 추가로 유발한다. 잔여탄소배출총량은 온난화를 특정 온도 이하로 유지하면서 추가로 더 배출할 수 있는 CO_2 양을 의미한다.

C.3.4 The Atlantic Meridional Overturning Circulation is *very likely* to weaken over the 21st century for all emission scenarios. While there is *high confidence* in the 21st century decline, there is only *low confidence* in the magnitude of the trend. There is *medium confidence* that there will not be an abrupt collapse before 2100. If such a collapse were to occur, it would *very likely* cause abrupt shifts in regional weather patterns and water cycle, such as a southward shift in the tropical rain belt, weakening of the African and Asian monsoons and strengthening of Southern Hemisphere monsoons, and drying in Europe. {4.3, 8.6, 9.2, TS2.4, Box TS.3}

C.3.5 Unpredictable and rare natural events not related to human influence on climate may lead to low-likelihood, high impact outcomes. For example, a sequence of large explosive volcanic eruptions within decades has occurred in the past, causing substantial global and regional climate perturbations over several decades. Such events cannot be ruled out in the future, but due to their inherent unpredictability they are not included in the illustrative set of scenarios referred to in this Report. {2.2, Cross-Chapter Box 4.1, Box TS.3} (Box SPM.1)

D. Limiting Future Climate Change

Since AR5, estimates of remaining carbon budgets have been improved by a new methodology first presented in SR1.5, updated evidence, and the integration of results from multiple lines of evidence. A comprehensive range of possible future air pollution controls in scenarios is used to consistently assess the effects of various assumptions on projections of climate and air pollution. A novel development is the ability to ascertain when climate responses to emissions reductions would become discernible above natural climate variability, including internal variability and responses to natural drivers.

- D.1 From a physical science perspective, limiting human-induced global warming to a specific level requires limiting cumulative CO₂ emissions, reaching at least net zero CO₂ emissions, along with strong reductions in other greenhouse gas emissions. Strong, rapid and sustained reductions in CH₄ emissions would also limit the warming effect resulting from declining aerosol pollution and would improve air quality.

 {3.3, 4.6, 5.1, 5.2, 5.4, 5.5, 5.6, Box 5.2, Cross-Chapter Box 5.1, 6.7, 7.6, 9.6} (Figure SPM.10, Table SPM.2)
- **D.1.1** This Report reaffirms with *high confidence* the AR5 finding that there is a near-linear relationship between cumulative anthropogenic CO₂ emissions and the global warming they cause. Each 1000 GtCO₂ of cumulative CO₂ emissions is assessed to *likely* cause a 0.27°C to 0.63°C increase in global surface temperature with a best estimate of 0.45°C⁴¹. This is a narrower range compared to AR5 and SR1.5. This quantity is referred to as the transient climate response to cumulative CO₂ emissions (TCRE). This relationship implies that reaching net zero⁴² anthropogenic CO₂ emissions is a requirement to stabilize human-induced global temperature increase at any level, but that limiting global temperature increase to a specific level would imply limiting cumulative CO₂ emissions to within a carbon budget⁴³. {5.4, 5.5, TS.1.3, TS.3.3, Box TS.5} (**Figure SPM.10**)

⁴¹ In the literature, units of °C per 1000 PgC are used, and the AR6 reports the TCRE *likely* range as 1.0°C to 2.3°C per 1000 PgC in the underlying report, with a best estimate of 1.65°C.

⁴² condition in which anthropogenic carbon dioxide (CO₂) emissions are balanced by anthropogenic CO₂ removals over a specified period.

⁴³ The term carbon budget refers to the maximum amount of cumulative net global anthropogenic CO₂ emissions that would result in limiting global warming to a given level with a given probability, taking into account the effect of other anthropogenic climate forcers. This is referred to as the total carbon budget when expressed starting from the pre-industrial period, and as the remaining carbon budget when expressed from a recent specified date (see Glossary). Historical cumulative CO₂ emissions determine to a large degree warming to date, while future emissions cause future additional warming. The remaining carbon budget indicates how much CO₂ could still be emitted while keeping warming below a specific temperature level.

1톤의 CO₂ 배출도 지구온난화를 심화시킨다.

1850~1900 년 이후 지구 표면온도 상승(°C)과 CO2 누적 배출량(GtCO2)의 관계

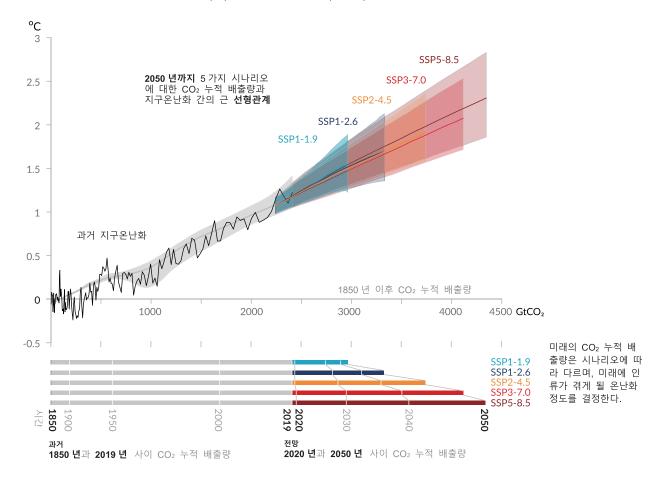


그림 SPM.10: CO2 누적 배출량과 지구 표면온도 상승 간의 근 선형관계

상단 도표: 과거 자료(얇은 검정색 선)는 1850~1900 년 이후에 관측된 지구 표면온도 증가를 1850 년부터 1900 년까지 누적된 이산화탄소(CO2) 배출량(GtCO2)의 함수로 보여준다. 가운데 실선이 그려진 회색 범위는 인간활동에 의한 과거 온난화를 추정한 범위이다(그림 SPM.2 참고). 색이 칠해진 부분은 지구 표면온도 전망에 대해가능성 매우 높은 범위이고, 가운데 두꺼운 유색 실선은 5 가지 시나리오(SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5, 그림 SPM.4 참고)에 대한 추정 범위 중앙값을 2020 년부터 2050 년까지 CO2 누적 배출량의 함수로나타낸 것이다. 각 시나리오의 CO2 누적 배출량이 사용되었으며, 지구온난화 전망에는 모든 인위적인 기후변화유발물질의 기여도가 반영되었다. 이 관계는 CO2 누적 배출량에 대한 점진적 기후반응(TCRE)이 신뢰도 높음으로일정하게 유지되는 CO2 누적 배출량 영역에 대해, 그리고 모든 시나리오에서 1850~2050 년 기간 중 전 지구 CO2 배출량이 순 양으로 유지되는 기간(순 음 CO2 배출량에 대한 온도 변화 추정에 정량적 TCRE 적용을 뒷받침하는 증거가 제한적이기 때문)을 도식화하였다.

하단 도표: 시나리오별 과거와 미래 CO₂ 누적 배출량(GtCO₂).

{Figure TS.18, Figure 5.31, Section 5.5}

Every tonne of CO₂ emissions adds to global warming

Global surface temperature increase since 1850-1900 (°C) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)

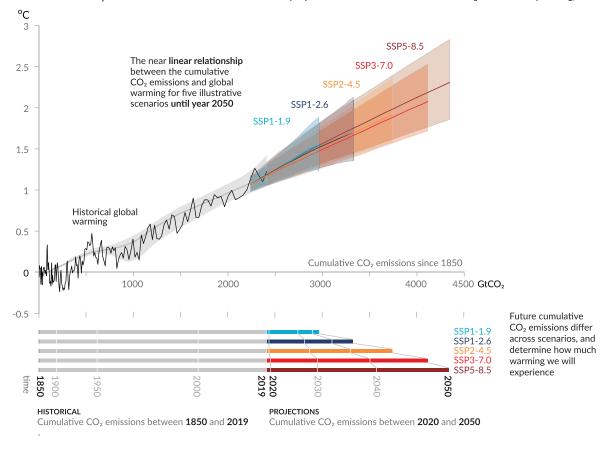


Figure SPM.10: Near-linear relationship between cumulative CO2 emissions and the increase in global surface temperature.

Top panel: Historical data (thin black line) shows observed global surface temperature increase in °C since 1850–1900 as a function of historical cumulative carbon dioxide (CO₂) emissions in GtCO₂ from 1850 to 2019. The grey range with its central line shows a corresponding estimate of the historical human-caused surface warming (see Figure SPM.2). Coloured areas show the assessed *very likely* range of global surface temperature projections, and thick coloured central lines show the median estimate as a function of cumulative CO₂ emissions from 2020 until year 2050 for the set of illustrative scenarios (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, and SSP5-8.5, see Figure SPM.4). Projections use the cumulative CO₂ emissions of each respective scenario, and the projected global warming includes the contribution from all anthropogenic forcers. The relationship is illustrated over the domain of cumulative CO₂ emissions for which there is *high confidence* that the transient climate response to cumulative CO₂ emissions (TCRE) remains constant, and for the time period from 1850 to 2050 over which global CO₂ emissions remain net positive under all illustrative scenarios as there is *limited evidence* supporting the quantitative application of TCRE to estimate temperature evolution under net negative CO₂ emissions.

Bottom panel: Historical and projected cumulative CO₂ emissions in GtCO₂ for the respective scenarios. {Figure TS.18, Figure 5.31, Section 5.5}

37

D.1.2 1850 년부터 2019 년까지 총 2390±240(*가능성 높은* 범위) GtCO₂ 의 인위적 CO₂ 가 배출되었다. 잔여탄소배출총량은 지구의 한계 온도와 다양한 수준의 확률로 산출되었는데, TCRE 추정치 및 관련 불확도, 과거 온난화 추정치, CO₂ 외 온실가스 배출량에 의한 온난화 전망 변화, 기후시스템 되먹임(영구동토층이 녹아서 발생한 배출량 등), 전세계 인위적 CO₂ 배출량이 넷 제로에 도달한 이후 지구 표면온도 변화 등에 대한 자료가 반영되었다.

{5.1, 5.5, Box 5.2, TS.3.3} (표 SPM.2)

표 SPM.2: 과거의 CO2 배출량 및 잔여탄소배출총량 산출. 잔여탄소배출총량은 2020 년 초부터 전 지구 CO2 배출량이 넷 제로에 도달할 때까지 기간에 대해 산출된다. 이 값은 CO2 배출량을 의미하며, CO2 외 온실가스 배출량의 지구온난화도 반영한다. 이 표의 지구온난화는 인간 활동에 의한 지구 표면온도 상승을 의미하며, 자연 변동성이 연간 지구 온도에 미치는 영향은 배제하였다. {Table TS.3, Table 3.1, Table 5.1, Table 5.7, Table 5.8, 5.5.1, 5.5.2, Box 5.2}

1850~1900년 기간과 2010~2019년 기간 사이의 지구온난화(°C)	1850년부터 2019년까지 CO ₂ 누적 배출량 <i>(GtCO₂)</i>
1.07(0.8~1.3, <i>가능성 높은</i> 범위)	2390(±240, <i>가능성 높은</i> 범위)

1850~1900년 대비 추정된 한계온도(°C)* (1)	2010~2019년 대비 한계온도까지 남아 있는 지구온난화(°C)	2020년 초부터 산출된 잔여탄소배출총량(GtCO ₂) <i>한계온도로 지구온난화 억제 가능성</i> *(2)				CO ₂ 외 온실가스 배출량 감축 변화*(3)	
		17%	33%	50%	67%	83%	
1.5	0.43	900	650	500	400	300	CO ₂ 외 온실가스 배출량 저감 정도에 따라 왼쪽의
1.7	0.63	1450	1050	850	700	550	자음 영모에 따다 된득되 값이 220 GtCO ₂ 이상 증가 또는 감소할 수 있음
2.0	0.93	2300	1700	1350	1150	900	

^{*(1)} 온난화가 0.1°C 상승할 때마다 값은 Table TS.3, Table 5.8에서 확인 가능.

^{*(2)} 이 가능성은 CO_2 누적 배출량에 대한 점진적 기후반응(TCRE)과 그 외 지구시스템 되먹임의 불확도를 반영하며, 지구온난화가 왼쪽의 두 열에 제시된 온도를 초과하지 않을 가능성을 나타낸다. 과거의 온난화(± 550 $GtCO_2$)와 CO_2 외 강제력 및 반응(± 220 $GtCO_2$)에 대한 불확도는 TCRE에 대해 평가된 불확도를 통해 일부 해소되지만, 2015년 이후 배출량(± 20 $GtCO_2$)과 넷 제로 CO_2 배출 도달(± 420 $GtCO_2$) 이후 기후 반응에 대한 불확도는 별개이다.

^{*(3)} 잔여탄소배출총량 산출 시 SR1.5에서 평가된 시나리오처럼 CO_2 외 요인에 의한 온난화를 고려한다. 제3 실무그룹 AR6 보고서는 CO_2 외 온실가스 배출 완화에 대해 평가할 것이다.

D.1.2 Over the period 1850-2019, a total of 2390 ± 240 (*likely* range) GtCO₂ of anthropogenic CO₂ was emitted. Remaining carbon budgets have been estimated for several global temperature limits and various levels of probability, based on the estimated value of TCRE and its uncertainty, estimates of historical warming, variations in projected warming from non-CO₂ emissions, climate system feedbacks such as emissions from thawing permafrost, and the global surface temperature change after global anthropogenic CO₂ emissions reach net zero.

{5.1, 5.5, Box 5.2, TS.3.3} (**Table SPM.2**)

Table SPM.2: Estimates of historical CO₂ emissions and remaining carbon budgets. Estimated remaining carbon budgets are calculated from the beginning of 2020 and extend until global net zero CO₂ emissions are reached. They refer to CO₂ emissions, while accounting for the global warming effect of non-CO₂ emissions. Global warming in this table refers to human-induced global surface temperature increase, which excludes the impact of natural variability on global temperatures in individual years. {Table TS.3, Table 3.1, Table 5.1, Table 5.8, 5.5.1, 5.5.2, Box 5.2}

Global warming between 1850–1900 and 2010–2019 (°C)	Historical cumulative CO ₂ emissions from 1850 to 2019 (GtCO ₂)
1.07 (0.8–1.3; <i>likely</i> range)	2390 (± 240; <i>likely</i> range)

Approximate global warming relative to 1850–1900 until temperature	Additional global warming relative to 2010–2019 until temperature	Estimated remaining carbon budgets from the beginning of 2020 (GtCO ₂) Likelihood of limiting global warming to temperature limit*(2)				Variations in reductions in non-CO ₂ emissions*(3)	
limit (°C)*(1)	limit (°C)	17%	33%	50%	67%	83%	
1.5	0.43	900	650	500	400	300	Higher or lower reductions in
1.7	0.63	1450	1050	850	700	550	accompanying non-CO ₂ emissions can increase or decrease the values on
2.0	0.93	2300	1700	1350	1150	900	the left by 220 GtCO ₂ or more

^{*(1)} Values at each 0.1°C increment of warming are available in Tables TS.3 and 5.8.

^{*(2)} This likelihood is based on the uncertainty in transient climate response to cumulative CO_2 emissions (TCRE) and additional Earth system feedbacks, and provides the probability that global warming will not exceed the temperature levels provided in the two left columns. Uncertainties related to historical warming ($\pm 550~GtCO_2$) and non- CO_2 forcing and response ($\pm 220~GtCO_2$) are partially addressed by the assessed uncertainty in TCRE, but uncertainties in recent emissions since 2015 ($\pm 20~GtCO_2$) and the climate response after net zero CO_2 emissions are reached ($\pm 420~GtCO_2$) are separate.

^{*(3)} Remaining carbon budget estimates consider the warming from non-CO₂ drivers as implied by the scenarios assessed in SR1.5. The Working Group III Contribution to AR6 will assess mitigation of non-CO₂ emissions.

D.1.3 잔여탄소배출총량 산출을 결정하는 다양한 요인이 재평가되었으며 SR1.5 이후 이 요인에 대한 변동은 작다. 과거 보고서 이후 배출량을 수정한 결과, 잔여탄소배출총량 산출값은 SR1.5 와 비슷하지만 AR5 와 비교했을 때는 방법론 개선의 영향으로 수치가 더 커졌다⁴⁴.

{5.5, Box 5.2, TS.3.3} (**표 SPM.2**)

{5.6, Cross-Chapter Box 5.1, TS.3.3}

D.1.5 인위적 CO_2 제거 조치가 전 지구적으로 순 음 배출량으로 이어지면 대기 중 CO_2 농도가 감소하고 해양표면 산성화를 되돌릴 수 있을 것이다(신뢰도 높음). 인위적 CO_2 제거와 배출은 각각 육지와 해양 탄소 저장소의 CO_2 배출과 흡수에 의해 일부 상쇄된다(신뢰도 매우 높음). CO_2 제거 조치를 실시하면 동일한 수준의 인위적 배출로 인한 증가량과 거의 동일한 대기 중 CO_2 를 감소시킬 수 있다(신뢰도 높음). 인위적 CO_2 제거를 통한 대기중 CO_2 감소량은 총 CO_2 제거량에 따라 동일한 양의 CO_2 배출로 발생한 대기 중 CO_2 증가분보다 최대 10% 적을 수 있다(신뢰도 중간). $\{5.3, 5.6, TS.3.3\}$

D.1.6 전 지구적으로 CO_2 순 음 배출량이 달성 및 지속된다면 CO_2 때문에 발생하는 지구 표면온도 상승이점진적으로 역전되겠지만 온도를 제외한 나머지 기후변화는 현재의 방향대로 수십 년에서 수천 년 동안 지속될 수있다(신뢰도 높음). 예를 들어, 큰 음의 CO_2 배출 조건에서도 지구 평균 해수면 상승 추세가 역전되려면 수백년에서 수천 년이 걸릴 것이다.

{4.6, 9.6, TS.3.3}

D.1.7 5 가지 시나리오에서 대기오염 물질이기도 한 메탄, 에어로졸, 오존 전구물질 배출량이 동시에 변하면 단기 및 장기적으로 지구의 순 온난화가 유발된다(신뢰도 높음). 장기적으로 이러한 순 온난화는 강력하고 지속적인 메탄 배출 감축을 포함한 대기오염 억제책을 가정하는 시나리오에서 더 낮게 나타난다(신뢰도 높음). 낮은 온실가스 배출 시나리오와 매우 낮은 배출 시나리오에서는 인위적 에어로졸이 감소하는 것으로 가정하면 순 온난화가 발생하지만, 메탄과 다른 오존 전구물질 배출량 감소는 순 냉각화를 유발하는 것으로 나타났다. 메탄과 에어로졸 모두 수명이 짧기 때문에 이러한 기후 영향은 부분적으로 서로 반대 방향으로 작용하며, 메탄 배출량 감소는 또한 지구 표면 오존을 감소시켜 대기질 개선에도 기여한다(신뢰도 높음).

{6.7, Box TS.7} (그림 SPM.2, Box SPM.1)

⁴⁴ AR5 와 비교했을 때, AR5 이후 배출량을 고려하면 AR6 산출값은 온난화를 1.5°C 수준으로 억제하는 경우의 잔여탄소배출총량에 비해 약 300~350 GtCO₂ 더 크고, 온난화를 2°C 수준으로 억제했을 때는 그 차이가 약 400~500 GtCO₂ 이다.

 $^{^{45}}$ CO₂ 제거 조치가 생물 다양성과 물, 식량 생산에 미치는 긍정적 및 부정적 영향은 방법에 따라 다르며 지역적 상황, 관리, 과거 토지 사용, 규모 등에 의해 주로 결정된다. IPCC 제 2 실무그룹과 제 3 실무그룹은 각자 담당한 AR6 보고서에서 CO₂ 제거의 잠재력과 CO₂ 제거 방법의 생태적, 사회·경제적 영향을 평가한다.

D.1.3 Several factors that determine estimates of the remaining carbon budget have been re-assessed, and updates to these factors since SR1.5 are small. When adjusted for emissions since previous reports, estimates of remaining carbon budgets are therefore of similar magnitude compared to SR1.5 but larger compared to AR5 due to methodological improvements⁴⁴.

{5.5, Box 5.2, TS.3.3} (**Table SPM.2**)

D.1.4 Anthropogenic CO₂ removal (CDR) has the potential to remove CO₂ from the atmosphere and durably store it in reservoirs (*high confidence*). CDR aims to compensate for residual emissions to reach net zero CO₂ or net zero GHG emissions or, if implemented at a scale where anthropogenic removals exceed anthropogenic emissions, to lower surface temperature. CDR methods can have potentially wide-ranging effects on biogeochemical cycles and climate, which can either weaken or strengthen the potential of these methods to remove CO₂ and reduce warming, and can also influence water availability and quality, food production and biodiversity⁴⁵ (*high confidence*).

{5.6, Cross-Chapter Box 5.1, TS.3.3}

- D.1.5 Anthropogenic CO₂ removal (CDR) leading to global net negative emissions would lower the atmospheric CO₂ concentration and reverse surface ocean acidification (*high confidence*). Anthropogenic CO₂ removals and emissions are partially compensated by CO₂ release and uptake respectively, from or to land and ocean carbon pools (*very high confidence*). CDR would lower atmospheric CO₂ by an amount approximately equal to the increase from an anthropogenic emission of the same magnitude (*high confidence*). The atmospheric CO₂ decrease from anthropogenic CO₂ removals could be up to 10% less than the atmospheric CO₂ increase from an equal amount of CO₂ emissions, depending on the total amount of CDR (*medium confidence*). {5.3, 5.6, TS.3.3}
- **D.1.6** If global net negative CO₂ emissions were to be achieved and be sustained, the global CO₂-induced surface temperature increase would be gradually reversed but other climate changes would continue in their current direction for decades to millennia (*high confidence*). For instance, it would take several centuries to millennia for global mean sea level to reverse course even under large net negative CO₂ emissions (*high confidence*).

{4.6, 9.6, TS.3.3}

D.1.7 In the five illustrative scenarios, simultaneous changes in CH₄, aerosol and ozone precursor emissions, that also contribute to air pollution, lead to a net global surface warming in the near and long-term (high confidence). In the long term, this net warming is lower in scenarios assuming air pollution controls combined with strong and sustained CH₄ emission reductions (high confidence). In the low and very low GHG emissions scenarios, assumed reductions in anthropogenic aerosol emissions lead to a net warming, while reductions in CH₄ and other ozone precursor emissions lead to a net cooling. Because of the short lifetime of both CH₄ and aerosols, these climate effects partially counterbalance each other and reductions in CH₄ emissions also contribute to improved air quality by reducing global surface ozone (high confidence). {6.7, Box TS.7} (Figure SPM.2, Box SPM.1)

⁴⁴ Compared to AR5, and when taking into account emissions since AR5, estimates in AR6 are about 300–350 GtCO₂ larger for the remaining carbon budget consistent with limiting warming to 1.5°C; for 2°C, the difference is about 400–500 GtCO₂.

⁴⁵ Potential negative and positive effects of CDR for biodiversity, water and food production are methods-specific, and are often highly dependent on local context, management, prior land use, and scale. IPCC Working Groups II and III assess the CDR potential, and ecological and socio-economic effects of CDR methods in their AR6 contributions.

D.1.8 전 지구적 CO_2 배출 넷 제로 달성은 CO_2 에 의한 지구 표면온도 상승을 안정화하기 위한 필수 조건이다. 인위적 CO_2 제거를 통해 인위적 CO_2 배출량을 상쇄할 수 있다. 이것은 인위적 온실가스 배출량과 인위적 온실가스 제거량이 동일해지는 넷 제로 온실가스 배출 달성과는 차이가 있다. 특정 온실가스 배출 경로의 경우, 개별 온실가스의 경로에 따라 최종적인 기후 반응 46 이 결정된다. 서로 다른 온실가스의 총 배출량과 제거량을 계산하는 데 어떤 배출량 환산 방법 47 을 사용하는가에 따라 총 온실가스 배출량이 넷 제로에 도달하는 시기가 다르게 계산된다. 100 년 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP100)에 의해 정의되는 넷 제로 온실가스 배출량을 달성 및 유지하는 배출 경로는 표면온도가 더 빨리 최고치에 도달한 이후 감소할 것으로 전망된다(12 도 높음).

{4.6, 7.6, Box 7.3, TS.3.3}

D.2 매우 낮은 온실가스 배출 시나리오(SSP1-1.9)와 낮은 배출 시나리오(SSP1-2.6)는 높은 배출 시나리오(SSP3-7.0)와 매우 높은 배출 시나리오(SSP5-8.5) 대비 수년 이내에 온실가스, 대기 중에어로졸 농도, 대기질에 식별 가능한 영향을 미칠 것이다. 이와 같은 상반된 시나리오 하에서 지구 지표 온도의 추세에 식별 가능한 차이가 자연 변동성을 넘어 나타나기까지는 약 20 년 정도 걸릴 것으로 예상되며, 다른 기후영향요인의 경우에는 더 오랜 시간이 걸릴 것으로 예상된다(신뢰도 높음). {4.6, Cross-Chapter Box 6.1, 6.6, 6.7, 9.6, Cross-Chapter Box 11.1, 11.2, 11.4, 11.5, 11.6, 12.4, 12.5} (그림 SPM.8, 그림 SPM.10)

D.2.1 2020 년 코로나바이러스감염증-19 의 확산 방지를 위한 배출량 감소는 대기오염에 일시적이지만 뚜렷한 영향을 미쳤고(신뢰도 높음) 인간 활동에서 발생하는 에어로졸에 의한 냉각효과 감소로 인해 총 복사 강제력이 일시적으로 소폭 상승했다(신뢰도 중간). 하지만 이렇게 일시적인 강제력에 대한 지구적, 지역적 기후 반응은 자연 변동성에 가려져 감지할 수 없었다(신뢰도 높음). 대기 중 CO₂ 농도는 2020 년에 계속 증가했고, CO₂ 증가율에 뚜렷한 감소세가 관측되지 않았다(신뢰도 중간)⁴⁸.

{Cross-Chapter Box 6.1, TS.3.3}

D.2.2 온실가스 배출량 감소는 대기질 개선으로 이어진다. 그러나 단기적으로는 ⁴⁹ 낮은 온실가스 배출시나리오(SSP1-2.6)와 매우 낮은 배출 시나리오(SSP1-1.9)처럼 온실가스가 크게 감축되는 시나리오에서조차 이정도의 대기질 개선으로는 많은 오염 지역에서 세계보건기구가 제시한 대기질 기준을 달성하기 어렵다(*신뢰도 높음*). 대기오염 배출량 감축 목표를 설정한 시나리오가 온실가스 배출량만 감축한 경우보다 수년 내에 더 빠르게 대기질이 개선되었지만, 2040 년부터는 온실가스와 대기오염물질 감축 노력을 함께 설정한 시나리오에서 지역별로 정도의 차이는 있지만 추가적인 대기질 개선이 전망된다(*신뢰도 높음*). {6.6, 6.7, Box TS.7}.

⁴⁶ 복사 강제력에 대한 기후시스템 반응 양식을 의미하는 일반 용어(용어집 참고).

⁴⁷ 배출량 환산 방법 선정은 어떤 목적으로 온실가스나 기후변화 유발물질을 비교하는지에 따라 달라진다. 보고서는 최신 배출량 환산값을 제시하고 온실가스 총량 산출을 위한 새로운 접근법을 평가한다.

⁴⁸ 다른 온실가스의 경우, 보고서의 평가 시점에서 2020 년 대기 중 농도 증가율의 뚜렷한 변화를 평가하는 데 활용할 수 있는 문헌이 부족했다.

⁴⁹ 단기: (2021~2040)

D.1.8 Achieving global net zero CO₂ emissions is a requirement for stabilizing CO₂-induced global surface temperature increase, with anthropogenic CO₂ emissions balanced by anthropogenic removals of CO₂. This is different from achieving net zero GHG emissions, where metric-weighted anthropogenic GHG emissions equal metric-weighted anthropogenic GHG removals. For a given GHG emission pathway, the pathways of individual greenhouse gases determine the resulting climate response⁴⁶, whereas the choice of emissions metric⁴⁷ used to calculate aggregated emissions and removals of different GHGs affects what point in time the aggregated greenhouse gases are calculated to be net zero. Emissions pathways that reach and sustain net zero GHG emissions defined by the 100-year global warming potential are projected to result in a decline in surface temperature after an earlier peak (*high confidence*). {4.6, 7.6, Box 7.3, TS.3.3}

- D.2 Scenarios with very low or low GHG emissions (SSP1-1.9 and SSP1-2.6) lead within years to discernible effects on greenhouse gas and aerosol concentrations, and air quality, relative to high and very high GHG emissions scenarios (SSP3-7.0 or SSP5-8.5). Under these contrasting scenarios, discernible differences in trends of global surface temperature would begin to emerge from natural variability within around 20 years, and over longer time periods for many other climatic impact-drivers (high confidence). {4.6, Cross-Chapter Box 6.1, 6.6, 6.7, 9.6, Cross-Chapter Box 11.1, 11.2, 11.4, 11.5, 11.6, 12.4, 12.5} (Figure SPM.8, Figure SPM.10)
- **D.2.1** Emissions reductions in 2020 associated with measures to reduce the spread of COVID-19 led to temporary but detectible effects on air pollution (*high confidence*), and an associated small, temporary increase in total radiative forcing, primarily due to reductions in cooling caused by aerosols arising from human activities (*medium confidence*). Global and regional climate responses to this temporary forcing are, however, undetectable above natural variability (*high confidence*). Atmospheric CO₂ concentrations continued to rise in 2020, with no detectable decrease in the observed CO₂ growth rate (*medium confidence*)⁴⁸.

{Cross-Chapter Box 6.1, TS.3.3}

D.2.2 Reductions in GHG emissions also lead to air quality improvements. However, in the near term⁴⁹, even in scenarios with strong reduction of GHGs, as in the low and very low GHG emission scenarios (SSP1-2.6 and SSP1-1.9), these improvements are not sufficient in many polluted regions to achieve air quality guidelines specified by the World Health Organization (*high confidence*). Scenarios with targeted reductions of air pollutant emissions lead to more rapid improvements in air quality within years compared to reductions in GHG emissions only, but from 2040, further improvements are projected in scenarios that combine efforts to reduce air pollutants as well as GHG emissions with the magnitude of the benefit varying between regions (*high confidence*). {6.6, 6.7, Box TS.7}.

⁴⁶ A general term for how the climate system responds to a radiative forcing (see Glossary).

⁴⁷ The choice of emissions metric depends on the purposes for which gases or forcing agents are being compared. This report contains updated emission metric values and assesses new approaches to aggregating gases.

⁴⁸ For other GHGs, there was insufficient literature available at the time of the assessment to assess detectable changes in their atmospheric growth rate during 2020.

⁴⁹ Near term: (2021–2040)

D.2.3 매우 낮은 온실가스 배출 시나리오(SSP1-1.9) 또는 낮은 온실가스 배출 시나리오(SSP1-2.6)가 높은 배출 시나리오(SSP3-7.0) 또는 매우 높은 배출 시나리오(SSP5-8.5)보다 인간에 의한 기후변화를 억제하는데 더 빠르고 지속적인 영향을 미치지만 기후시스템의 초기 반응은 자연 변동성에 의해 가려질 수 있다. 지구 표면온도의 경우, 높은 온실가스 배출 시나리오(SSP3-7.0) 또는 매우 높은 온실가스 배출 시나리오(SSP5-8.5)에 비해 매우 낮은 배출 시나리오(SSP1-1.9)에서 단기적으로 20 년 추이의 차이가 발생할 *가능성이 높다.* 그 외 다양한 기후 변수들의 반응은 21 세기 후반 서로 다른 시점에서 자연 변동성으로부터 벗어나는 차이가 발생할 것이다(신뢰도 높음). {4.6, Cross-Section Box TS.1} (그림 SPM.8, 그림 SPM.10)

D.2.4 매우 낮은 배출 시나리오(SSP1-1.9)와 낮은 배출 시나리오(SSP1-2.6)의 2040 년 이후 기후영향요인 ³⁶ 변화는 높은 배출 시나리오(SSP3-7.0)와 매우 높은 배출 시나리오(SSP5-8.5)에 비해 더욱 작아질 것으로 전망된다. 21 세기 말에는 매우 낮은 배출 시나리오와 낮은 배출 시나리오가 높은 배출 시나리오보다 극심한 해수면 변화와호우 및 그에 따른 홍수, 위험한 폭염 임계치 초과 같은 극한현상의 빈도 증가 등 많은 기후영향요인의 변화를 강하게 억제하면서 극한현상이 발생하는 지역 수를 줄일 것으로 전망된다(신뢰도 높음). 높은 또는 매우 높은 배출 시나리오에 비해 매우 낮은, 낮은, 중간 배출 시나리오에서 기후변화가 더 약화될 것으로 전망된다(신뢰도 높음). {9.6, Cross-Chapter Box 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.9, 12.4, 12.5, TS.4.3}

SPM

D.2.3 Scenarios with very low or low GHG emissions (SSP1-1.9 and SSP1-2.6) would have rapid and sustained effects to limit human-caused climate change, compared with scenarios with high or very high GHG emissions (SSP3-7.0 or SSP5-8.5), but early responses of the climate system can be masked by natural variability. For global surface temperature, differences in 20-year trends would *likely* emerge during the near term under a very low GHG emission scenario (SSP1-1.9), relative to a high or very high GHG emission scenario (SSP3-7.0 or SSP5-8.5). The response of many other climate variables would emerge from natural variability at different times later in the 21st century (*high confidence*). {4.6, Cross-Section Box TS.1} (**Figure SPM.8, Figure SPM.10**)

D.2.4 Scenarios with very low and low GHG emissions (SSP1-1.9 and SSP1-2.6) would lead to substantially smaller changes in a range of CIDs³⁶ beyond 2040 than under high and very high GHG emissions scenarios (SSP3-7.0 and SSP5-8.5). By the end of the century, scenarios with very low and low GHG emissions would strongly limit the change of several CIDs, such as the increase in the frequency of extreme sea level events, heavy precipitation and pluvial flooding, and exceedance of dangerous heat thresholds, while limiting the number of regions where such exceedances occur, relative to higher GHG emissions scenarios (*high confidence*). Changes would also be smaller in very low compared to low emissions scenarios, as well as for intermediate (SSP2-4.5) compared to high or very high emissions scenarios (*high confidence*). {9.6, Cross-Chapter Box 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.9, 12.4, 12.5, TS.4.3}

교정 및 감수

권원태(APEC 기후센터), 김맹기(공주대학교), 민승기(포항공과대학교), 박문수(세종대학교) 변영화(국립기상과학원), 이준이(부산대학교), 전의찬(세종대학교), 최영은(건국대학교) 기상청 기후정책과, 세종대학교 기후환경융합센터

Climate Change 2021

The Physical Science Basis Summary for Policymakers

기후변화 2021 과학적 근거

정책결정자를 위한 요약본

발 행: 기상청

발행일 : 2021년 10월

편 집 : 기상청 기후과학국 기후정책과

전 화 02-2181-0403 팩 스 02-848-0365

Website www.climate.go.kr

이 책자는 전체 보고서 중 가장 앞부분에 있는 정책결정자를 위한 요약본(SPM)을 기상청에서 번역하여 국영문 통합본으로 제작한 것이다.

(기상청 기후정보포털(www.climate.go.kr)과 IPCC 누리집(www.ipcc.ch)에서 전자파일로 내려받기가 가능하며, 전체 보고서는 IPCC 누리집에서 확인할 수 있다.)

