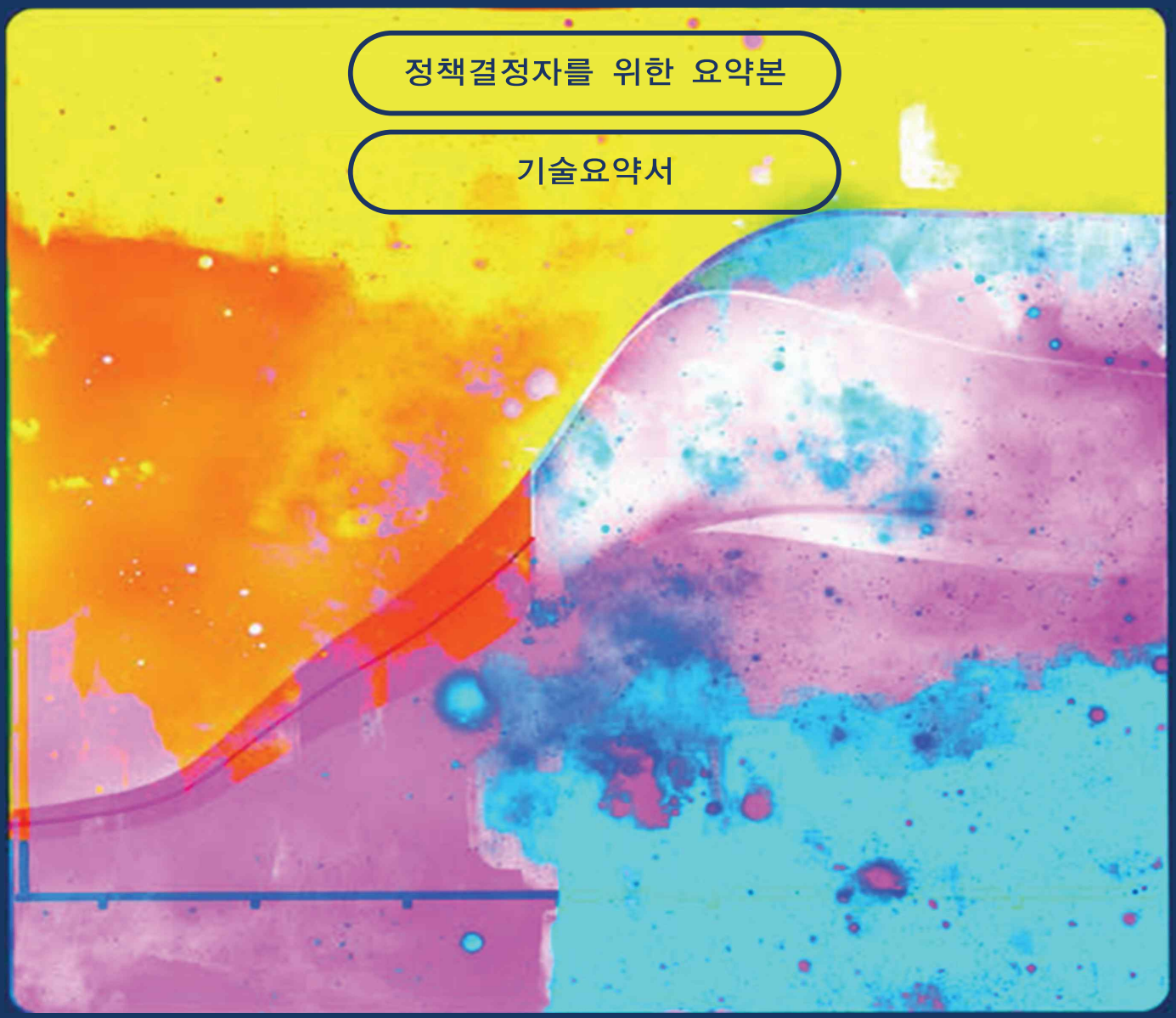
ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

지구온난화 1.5℃

기후변화 위협에 대한 전지구적 대응 강화, 지속가능한 발전, 빈곤 퇴치 노력 측면에서
산업화 이전 수준 대비 지구온난화 1.5℃의 영향과 관련 온실가스
배출 경로에 대한 IPCC 특별보고서



WG I WG II WG III

이 보고서는 제48차 IPCC 총회(2018.10.1.-6., 대한민국 인천)에서 최종 승인 · 채택된 보고서를 기상청에서 번역한 것입니다.

WMO UNEP

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

Summary for Policymakers

Edited by

Valérie Masson-Delmotte
Co-Chair Working Group I

Panmao Zhai
Co-Chair Working Group I

Hans-Otto Pörtner
Co-Chair Working Group II

Debra Roberts
Co-Chair Working Group II

Jim Skea
Co-Chair Working Group III

Priyadarshi R. Shukla
Co-Chair Working Group III

Anna Pirani
Head of WGI TSU

Wilfran Moufouma-Okia
Head of Science

Clotilde Péan
Head of Operations

Roz Pidcock
Head of Communication

Sarah Connors
Science Officer

J. B. Robin Matthews
Science Officer

Yang Chen
Science Officer

Xiao Zhou
Science Assistant

Melissa I. Gomis
Graphics Officer

Elisabeth Lonnoy
Project Assistant

Tom Maycock
Science Editor

Melinda Tignor
Head of WGII TSU

Tim Waterfield
IT Officer

Working Group I Technical Support Unit

Front cover layout: Nigel Hawtin
Front cover artwork: *Time to Choose* by Alisa Singer - www.environmentalgraphiti.org - © Intergovernmental Panel on Climate Change.
The artwork was inspired by a graphic from the SPM (Figure SPM.1).

© 2018 Intergovernmental Panel on Climate Change.
Printed October 2018 by the IPCC, Switzerland.
Electronic copies of this Summary for Policymakers are available from the IPCC website www.ipcc.ch

ISBN 978-92-9169-151-7

This translation of **Summary for Policymakers** of the **IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5℃** 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 is not an official translation by the IPCC. It has been provided by the **Korea Meteorological Administration (IPCC Focal Point of Republic of Korea)** with the aim of reflecting in the most accurate way the language used in the original text.

정책결정자를 위한 요약본
Summary for Policymakers

SPM

정책결정자를 위한 요약본(SPM)

저자:

Myles Allen(영국), Mustsfa Babiker(수단), Yang Chen(중국), Heleen de Coninck (네덜란드), Sarah Connors(영국), Renée van Diemen(네덜란드), Opha Pauline Dube(보츠와나), Kris Ebi(미국), Francois Engelbrecht(남아프리카공화국), Marion Ferrat (영국/프랑스), James Ford(영국), Piers Forster(영국), Sabine Fuss(독일), Tania Guillen (독일/니카라과), Jordan Harold(영국), Ove Hoegh-Guldberg(호주), Jean-Charles Hourcade(프랑스), Daniel Huppmann(오스트리아), Mikiko Kainuma (일본), Kiane de Kleijne(네덜란드), Elmar Kriegler(독일), Debora Ley(과테말라/멕시코), Diana Liverman(미국), Nathalie Mahowald(미국), Valérie Masson-Delmotte (프랑스), Robin Matthews(영국), Reinhard Melocher(오스트리아), Richard Millar (영국), Katja Mintenbeck(독일), Angela Morelli(노르웨이/이탈리아), Wilfran Moufouma-Okia(프랑스/콩코), Luis Mundaca(스웨덴/칠레), Maike Nicolai(독일), Chukwumerije Okereke(영국/나이지리아), Minal Pathak(인도), Anthony Payne(영국), Roz Pidcock (영국), Anna Pirani(이탈리아), Elvira Poloczanska(영국/호주), Hans-Otto Pörtner (독일), Aromar Revi(인도), Keywan Riahi(오스트리아), Debra C. Roberts(남아프리카공화국), Joeri Rogelj(오스트리아/벨기에), Joyashree Roy(인도), Sonia Seneviratne (스위스), Priyadarshi R. Shukla(인도), James Skea(영국), Raphael Slade(영국), Drew Shindell(미국), Chandni Singh(인도), William Solecki(미국), Linda Steg (네덜란드), Michael Taylor(자메이카), Petra Tschakert(호주), Henri Waisman(프랑스), Rachel Warren(영국), Panmao Zhai(중국), Kirsten Zickfeld(캐나다)

정책결정자를 위한 요약본(SPM)은 다음과 같이 인용되어야 합니다:

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impa of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathwa in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable developme and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shul A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gor E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. *World Meteorological Organization, Geneva, Switzerla 32 pp.*

SPM

Summary for Policymakers

Drafting Authors:
Myles Allen (UK), Mustafa Babiker (Sudan), Yang Chen (China), Heleen de Conin (Netherlands/EU), Sarah Connors (UK), Renée van Diemen (Netherlands), Opha Pauli Dube (Botswana), Kristie L. Ebi (USA), Francois Engelbrecht (South Africa), Marion Fer (UK/France), James Ford (UK/Canada), Piers Forster (UK), Sabine Fuss (Germany), Tar Guillén Bolaños (Germany/Nicaragua), Jordan Harold (UK), Ove Hoegh-Guldberg (Australi Jean-Charles Hourcade (France), Daniel Huppmann (Austria), Daniela Jacob (German Kejun Jiang (China), Tom Gabriel Johansen (Norway), Mikiko Kainuma (Japan), Kiane Kleijne (Netherlands/EU), Elmar Kriegler (Germany), Debora Ley (Guatemala/Mexic Diana Liverman (USA), Natalie Mahowald (USA), Valérie Masson-Delmotte (Franc J. B. Robin Matthews (UK), Richard Millar (UK), Katja Mintenbeck (Germany), Angela Mor (Norway/Italy), Wilfran Moufouma-Okia (France/Congo), Luis Mundaca (Sweden/Chil Maike Nicolai (Germany), Chukwumerije Okereke (UK/Nigeria), Minal Pathak (India), Anto Payne (UK), Roz Pidcock (UK), Anna Pirani (Italy), Elvira Poloczanska (UK/Australia), Har Otto Pörtner (Germany), Aromar Revi (India), Keywan Riahi (Austria), Debra C. Robe (South Africa), Joeri Rogelj (Austria/Belgium), Joyashree Roy (India), Sonia I. Senevirat (Switzerland), Priyadarshi R. Shukla (India), James Skea (UK), Raphael Slade (UK), Dr Shindell (USA), Chandni Singh (India), William Solecki (USA), Linda Steg (Netherland Michael Taylor (Jamaica), Petra Tschakert (Australia/Austria), Henri Waisman (Franc Rachel Warren (UK), Panmao Zhai (China), Kirsten Zickfeld (Canada).

This Summary for Policymakers should be cited as:
IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impa of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathwa in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable developme and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shul A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gor E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. *World Meteorological Organization, Geneva, Switzerla 32 pp.*

Acknowledgements

기꺼이 도움을 주신 기여저자분들과 자발적으로 참여해 주신 총괄 주저자 및 주저자분들의 전문지식과 철저함 그리고 헌신에 깊은 감사를 표합니다. 「지구온난화 1.5℃」 특별보고서의 각 장(chapter)은 여러 과학 분야를 망라하여 작성되었습니다. 검토자들은 저자팀 지원과 검토 과정에서의 무결성 확보에 있어서 중요한 역할을 했습니다. 모든 전문가 및 정부 검토자들에게 깊은 감사를 표합니다. 기대 이상의 임무를 수행한 챕터 과학자들(Chapter Scientists) - Neville Ellis, Tania Guillén Bolaños, Daniel Huppmann, Kiane de Kleijne, Richard Millar, Chandni Singh - 에게 특별한 감사를 드립니다.

또한 세 명의 IPCC 부의장인 Ko Barrett, Thelma Krug, Youba Sokona와 제1, 2, 3 실무그룹(WGI, WGII 및 WGIII) 의장단(Amjad Abdulla, Edvin Aldrian, Carlo Carraro, Diriba Korecha Dadi, Fatima Driouech, Andreas Fischlin, Gregory Flato, Jan Fuglestvedt, Mark Howden, Nagmeldin G. E. Mahmoud, Carlos Mendez, Joy Jacqueline Pereira, Ramón Pichs-Madruga, Andy Reisinger, Roberto Sánchez Rodríguez, Sergey Semenov, Muhammad I. Tariq, Diana Ürge-Vorsatz, Carolina Vera, Pius Yanda, Noureddine Yassaa, Taha Zatari)이 보고서 준비 기간 내내 보여준 지원, 지도 및 방대한 지식에도 감사를 드립니다.

「지구온난화 1.5℃」 스코핑(개요 작성) 회의, 네 번의 주저자 회의와 제48차 IPCC 총회를 주최하고 준비해 주신 것에 대해 진심어린 감사를 드립니다. 세계기상기구(WMO)와 스위스, 브라질 외교부 및 국립우주연구협회(INEP, National Institute for Space Research), 영국 기상청(Met Office)과 엑시터 대학교, 스웨덴 기상청(SMHI, Swedich Meteorological and Hydrological Institute), 보츠와나의 환경자연자원보존관광부(Ministry of Environment Natural Resources Conservation and Tourism), 보츠와나 기상청의 국가기후변화위원회(National Climate Change Committee), 보츠와나 대학교 내 보츠와나 전지구환경변화위원회(Botswana Global Environmental Change Committee), 대한민국 기상청 및 인천광역시를 포함한 주최국들과 기관에 감사를 표합니다. 보고서 준비에 저자팀이 참여할 수 있게 해준 IPCC 신탁기금과 정부 및 기관들의 지원에 감사합니다. 제1실무그룹 기술지원단의 효율적 운영은 프랑스 정부의 많은 재정지원과 프랑스의 Paris Saclay 대학교, Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE)의 행정 및 정보기술 지원으로 인해 가능했습니다. 노르웨이 환경청(Norwegian Environment Agency)의 정책결정자를 위한 요약본의 그래픽 작업 지원에도 감사드립니다.

Acknowledgements

We are very grateful for the expertise, rigour and dedication shown throughout by the volunteer Coordinating Lead Authors and Lead Authors, working across scientific disciplines in each chapter of the report, with essential help by the many Contributing Authors. The Review Editors have played a critical role in assisting the author teams and ensuring the integrity of the review process. We express our sincere appreciation to all the expert and government reviewers. A special thanks goes to the Chapter Scientists of this report who went above and beyond what was expected of them: Neville Ellis, Tania Guillén Bolaños, Daniel Huppmann, Kiane de Kleijne, Richard Millar and Chandni Singh.

We would also like to thank the three Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Vice-Chairs Ko Barrett, Thelma Krug, and Youba Sokona as well as the members of the WGI, WGII and WGIII Bureaux for their assistance, guidance, and wisdom throughout the preparation of the Report: Amjad Abdulla, Edvin Aldrian, Carlo Carraro, Diriba Korecha Dadi, Fatima Driouech, Andreas Fischlin, Gregory Flato, Jan Fuglestvedt, Mark Howden, Nagmeldin G. E. Mahmoud, Carlos Mendez, Joy Jacqueline Pereira, Ramón Pichs-Madruga, Andy Reisinger, Roberto Sánchez Rodríguez, Sergey Semenov, Muhammad I. Tariq, Diana Ürge-Vorsatz, Carolina Vera, Pius Yanda, Noureddine Yassaa, and Taha Zatari.

Our heartfelt thanks go to the hosts and organizers of the scoping meeting, the four Special Report on 1.5°C Lead Author Meetings and the 48th Session of the IPCC. We gratefully acknowledge the support from the host countries and institutions: World Meteorological Organization, Switzerland; Ministry of Foreign Affairs, and the National Institute for Space Research (INPE), Brazil; Met Office and the University of Exeter, the United Kingdom; Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), Sweden; the Ministry of Environment Natural Resources Conservation and Tourism, the National Climate Change Committee in the Department of Meteorological Services and the Botswana Global Environmental Change Committee at the University of Botswana, Botswana; and Korea Meteorological Administration (KMA) and Incheon Metropolitan City, the Republic of Korea. The support provided by governments and institutions, as well as through contributions to the IPCC Trust Fund, is thankfully acknowledged as it enabled the participation of the author teams in the preparation of the Report. The efficient operation of the Working Group I Technical Support Unit was made possible by the generous financial support provided by the government of France and administrative and information technology support from the Université Paris Saclay (France), Institut Pierre Simon Laplace (IPSL) and the Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE). We thank the Norwegian Environment Agency for supporting the preparation of the graphics for the Summary for Policymakers. We thank the UNEP Library, who supported authors throughout the drafting process by providing literature for the assessment.

또한 IPCC의 사무국장 Abdalah Mokssit과 사무국 직원들인 Kerstin Stendahl, Jonathan Lynn, Sophie Schlingemann, Judith Ewa, Mxolisi Shongwe, Jesbin Baidya, Werani Zabula, Nina Peeva, Joelle Fernandez, Annie Courtin, Laura Biagioni, Oksana Ekzarho에게 감사드립니다. 제48차 IPCC 총회 사무를 담당한 Elhousseine Gouaini에게도 감사를 드립니다.

마지막으로 실무그룹 기술지원단의 지칠줄 모르는 헌신과 전문성, 열정으로 특별 보고서가 완성된 데 대해 특별히 감사를 드립니다. 이 보고서는 제1실무그룹 기술지원단 구성원들이자 IPCC의 새로운 구성원인 Yang Chen, Sarah Connors, Melissa Gomez, Elisabeth Lonnoy, Robin Matthews, Wilfran-Moufouma-Okia, Clotilde Péan, Roz Pidcock, Anna Pirani, Nicholas Reay, Tim Waterfield, Xiao Zhou의 헌신이 없었다면 준비될 수 없었습니다. 이들은 전례없는 AR6의 도전에 선뜻 응했으며, 보고서 준비의 모든 과정에서 중심이 되었습니다. 제2 실무그룹의 기술지원단 Marlies Craig, Andrew Okem, Jan Petzold, Melinda Tignor, Nora Weyer와 제3실무그룹의 기술지원단 Bhushan Kankal, Suvadip Neogi, Joana Portugal Pereira의 조직적이고 협력적인 지원에도 감사합니다. 보고서 그래픽 지원을 해 준 Nigel Hawtin과 SPM의 그림 작업을 한 Kenny Coventry, Harmen Gudde, Irene Lorenzoni, Steve Jenkins에게도 감사드립니다. 덧붙여 Tom Maycock(운영 지원 및 교열), Jatinder Padda과 Melissa Dawes(교열), Marilyn Anderson(색인), Vincent Grégoire(레이아웃), Sarah le Rouzic(인턴)에게도 감사를 전합니다.

특별보고서 웹사이트는 Jemie Herring이 주도하여 Habitat 7으로 개발했으며, Nicolas Reay와 Tim Waterfield가 보고서 내용 준비와 관리를 해주셨습니다. 이 웹사이트 개발을 지원해 중 UN 재단에 감사를 드립니다.

We would also like to thank Abdalah Mokssit, Secretary of the IPCC, and the staff of the IPCC Secretariat: Kerstin Stendahl, Jonathan Lynn, Sophie Schlingemann, Judith Ewa, Mxolisi Shongwe, Jesbin Baidya, Werani Zabula, Nina Peeva, Joelle Fernandez, Annie Courtin, Laura Biagioni and Oksana Ekzarkho. Thanks are due to Elhousseine Gouaini who served as the conference officer for the 48th Session of the IPCC.

Finally, our particular appreciation goes to the Working Group Technical Support Units whose tireless dedication, professionalism and enthusiasm led the production of this Special Report. This report could not have been prepared without the commitment of members of the Working Group I Technical Support Unit, all new to the IPCC, who rose to the unprecedented Sixth Assessment Report challenge and were pivotal in all aspects of the preparation of the Report: Yang Chen, Sarah Connors, Melissa Gomis, Elisabeth Lonnoy, Robin Matthews, Wilfran Moufouma-Okia, Clotilde Péan, Roz Pidcock, Anna Pirani, Nicholas Reay, Tim Waterfield, and Xiao Zhou. Our warmest thanks go to the collegial and collaborative support provided by Marlies Craig, Andrew Okem, Jan Petzold, Melinda Tignor and Nora Weyer from the WGII Technical Support Unit and Bhushan Kankal, Suvadip Neogi and Joana Portugal Pereira from the WGIII Technical Support Unit. A special thanks goes to Kenny Coventry, Harmen Gudde, Irene Lorenzoni, and Stuart Jenkins for their support with the figures in the Summary for Policymakers, as well as Nigel Hawtin for graphical support of the Report. In addition, the following contributions are gratefully acknowledged: Jatinder Padda (copy edit), Melissa Dawes (copy edit), Marilyn Anderson (index), Vincent Grégoire (layout) and Sarah le Rouzic (intern).

The Special Report website has been developed by Habitat 7, led by Jamie Herring, and the report content has been prepared and managed for the website by Nicholas Reay and Tim Waterfield. We gratefully acknowledge the UN Foundation for supporting the website development.

머리말

이 보고서는 파리협정을 채택한 기후변화협약(UNFCCC, UN Framework Convention on Climate Change) 제21차 당사국총회 결정문에서 IPCC(기후변화에 관한 정부 간 협의체)에"산업화 이전 수준 대비 1.5℃ 높은 지구온난화의 영향 및 이와 관련된 온실가스 배출 경로에 대한 특별보고서를 2018년에 제공하도록..." 한 요청에 대한 대응이다[1].

IPCC는 2016년 4월 이 요청을 수락하여, 기후변화의 위협, 지속가능한 발전, 빈곤 퇴치의 전지구적 대응 강화 측면에서 산업화 이전 수준 대비 1.5℃ 높은 지구온난화의 영향과 이에 관련된 온실가스 배출 경로에 대한 특별보고서를 준비할 것을 결정하였다.

정책결정자를 위한 요약보고서(SPM)는 산업화 이전 수준 대비 1.5℃ 지구온난화와 1.5℃와 2.0℃ 지구온난화의 비교를 위해 이용가능한 과학적, 기술적, 사회경제적 연구문헌[2]을 평가하여 작성된 특별보고서의 핵심 내용을 설명한다. 각 핵심내용들의 신뢰도는 IPCC에서 합의된 용어로 제시된다[3]. 각 핵심내용의 과학적 근거는 본 보고서 장(chapter)의 목차를 지칭하는 내주(references)로 표시된다. SPM과 본 보고서 간의 지식 격차가 있다.

A. 지구온난화 1.5℃의 이해[4]

A.1. 인간 활동은 0.8℃에서 1.2℃ 범위로 산업화 이전 수준 대비 약 1.0℃의 지구온난화를 유발[5]한 것으로 추정된다(*가능성 높음*). 지구온난화가 현재 속도로 지속된다면 2030년에서 2052년 사이에 1.5℃ 상승에 도달할 가능성이 높다(*높은 신뢰도*). (그림 SPM 1) {1.2}

A.1.1. 산업화 이전 시대부터의 장기간의 온난화 경향이 반영되어, 2006~2015년의 10년 동안 관측된 전지구 평균 표면 온도(GMST)는 1850~1900년의 평균보다 0.87℃(0.75~0.99℃ 범위 내 *가능성 높음*)[6] 높았다(*매우 높은 신뢰도*). 인간활동에 기인한 추정 지구온난화는 관측된 온난화 수준의 ±20% 범위(*가능성 높음*) 내에 있다. 인간활동에 기인한 추정 지구온난화는 과거와 현재 진행되는 배출로 인해 현재 10년에 0.2℃(0.1~0.3℃ 범위 내에 *가능성 높음*)씩 증가하고 있다(*높은 신뢰도*). {1.2.1, 표 1.1, 1.2.4}

A.1.2. 여러 육지 지역에서 또한 특정 계절에서 전지구 연평균 값보다 큰 온난화가 나타나고 있으며, 북극에서는 2~3배 더 크다. 일반적으로 온난화는 해양보다 육지에서 더 크다(*높은 신뢰도*). {1.2.1, 1.2.2, 그림 1.1, 그림 1.3, 3.3.1, 3.3.2}

A.1.3. 일부 극한 기후 및 극한 기상 현상 강도와 빈도에 대한 추세가 대략 0.5℃의 지구온난화가 발생한 기간에서 탐지되었다(*중간 신뢰도*). 이 평가는 1950년 이후 발생한 극한 현상 변화의 원인규명 연구를 포함한 일련의 증거를 근거로 한다. {3.3.1, 3.3.2, 3.3.3}

---

1) 결정문 1/CP.21, 21 문단
2) 2018년 5월 15일까지 발행되어 인정된 연구문헌
3) 각 연구결과는 근거와 동의 수준의 평가에 근거를 둠. 신뢰도 수준은 매우 낮음, 낮음, 중간, 높음, 매우 높음의 5가지로 구분되며 이탤릭체로 표기함(예: *중간 신뢰도*). 다음 용어는 결과의 평가된 가능성을 나타냄: 사실상 확실함(virtually certain)은 99~100%, 매우 가능성 높음(very likely)은 90~100%, 가능성 높음(likely)은 66~100%, 가능성 있음(as likely as not)은 33~66%, 가능성 낮음(unlikely)은 0~33%, 매우 가능성 낮음(very unlikely)은 0~10%, 가능성이 매우 희박함(exceptionally unlikely)은 0~1%. 추가적인 표현(대단히 가능성 높음(extremely likely)은 95~100%, 발생 가능성이 상대적으로 높음은 >50~100%, 발생 가능성이 상대적으로 낮음은 0~<50%, 대단히 가능성 낮음 0~5%)은 적절할 경우에 사용함. 평가된 가능성은 이탤릭체로 표기함(예: 매우 가능성 높음). 이는 AR5와 동일하게 사용함
4) SPM 박스1: 핵심 개념
5) 현재의 지구온난화 수준은 현재 속도로 온난화가 계속된다는 가정 하에 2017년을 중심으로 한 30년 평균값으로 정의됨
6) 이 범위는 관측된 전지구 평균 표면 온도(GMST)의 4개의 이용가능한 동료 검토(peer-reviewed) 추정값이며, 단기간의 자연적인 변동성으로 인한 불확실성도 포함됨

Introduction

This Report responds to the invitation for IPCC '... to provide a Special Report in 2018 on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways' contained in the Decision of the 21st Conference of Parties of the United Nations Framework Convention on Climate Change to adopt the Paris Agreement.[1]

The IPCC accepted the invitation in April 2016, deciding to prepare this 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.

This Summary for Policymakers (SPM) presents the key findings of the Special Report, based on the assessment of the available scientific, technical and socio-economic literature[2] relevant to global warming of 1.5°C and for the comparison between global warming of 1.5°C and 2°C above pre-industrial levels. The level of confidence associated with each key finding is reported using the IPCC calibrated language.[3] The underlying scientific basis of each key finding is indicated by references provided to chapter elements. In the SPM, knowledge gaps are identified associated with the underlying chapters of the Report.

A. Understanding Global Warming of 1.5°C[4]

A.1 Human activities are estimated to have caused approximately 1.0°C of global warming[5] above pre-industrial levels, with a *likely* range of 0.8°C to 1.2°C. Global warming is *likely* to reach 1.5°C between 2030 and 2052 if it continues to increase at the current rate. (*high confidence*) (Figure SPM.1) {1.2}

A.1.1 Reflecting the long-term warming trend since pre-industrial times, observed global mean surface temperature (GMST) for the decade 2006–2015 was 0.87°C (*likely* between 0.75°C and 0.99°C)[6] higher than the average over the 1850–1900 period (*very high confidence*). Estimated anthropogenic global warming matches the level of observed warming to within ±20% (*likely range*). Estimated anthropogenic global warming is currently increasing at 0.2°C (*likely* between 0.1°C and 0.3°C) per decade due to past and ongoing emissions (*high confidence*). {1.2.1, Table 1.1, 1.2.4}

A.1.2 Warming greater than the global annual average is being experienced in many land regions and seasons, including two to three times higher in the Arctic. Warming is generally higher over land than over the ocean. (*high confidence*) {1.2.1, 1.2.2, Figure 1.1, Figure 1.3, 3.3.1, 3.3.2}

A.1.3 Trends in intensity and frequency of some climate and weather extremes have been detected over time spans during which about 0.5°C of global warming occurred (*medium confidence*). This assessment is based on several lines of evidence, including attribution studies for changes in extremes since 1950. {3.3.1, 3.3.2, 3.3.3}

---

1 Decision 1/CP.21, paragraph 21.

2 The assessment covers literature accepted for publication by 15 May 2018.

3 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%, more unlikely than likely 0–<50%, 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.

4 See also Box SPM.1: Core Concepts Central to this Special Report.

5 Present level of global warming is defined as the average of a 30-year period centred on 2017 assuming the recent rate of warming continues.

6 This range spans the four available peer-reviewed estimates of the observed GMST change and also accounts for additional uncertainty due to possible short-term natural variability. {1.2.1, Table 1.1}

A.2. 산업화 이전부터 현재까지 인간활동에 기인한 배출량으로 인한 온난화는 수백 년에서 수천 년 간 지속될 것이고, 해수면 상승과 같은 기후 시스템의 장기적인 변화와 이로 인한 영향을 계속 초래할 것이나(*높은 신뢰도*), 현재까지의 배출량만으로는 1.5℃의 지구 온난화가 발생할 가능성은 낮다(*중간 신뢰도*). (그림 SPM 1) {1.2, 3.3 그림 1.5}

A.2.1. 인간활동에 기인한 현재까지의 배출량(온실가스, 에어로졸 및 선행물질 포함)이 향후 20~30년 간(*높은 신뢰도*) 또는 한 세기 내(*중간 신뢰도*)에서 0.5℃를 초과하는 온난화를 초래할 가능성은 낮다. {1.2.4, 그림 1.5}

A2.2. 인간활동에 기인한 전지구 CO_2 배출량이 net zero에 도달하여 유지되고 non-CO_2 복사강제력이 감소하면 인간활동에 기인한 지구온난화는 향후 수십 년 안에 멈출것이다(*높은 신뢰도*). 이 때 도달하는 최대 온도는 CO_2 배출량이 net zero에 도달하는 시점까지 인간활동에 의해 누적된 전 지구 CO_2 순 배출량(*높은 신뢰도*)과 정점 온도에 도달하기 이전 수십 년 기간 동안의 non-CO_2 복사강제력 수준(*중간 신뢰도*)에 의해 결정된다. 더 장기간의 시간 규모에서 보면, 지구시스템의 피드백에 의한 추가적인 온난화를 방지하고(*중간 신뢰도*) 해양산성화를 되돌리고 해수면 상승을 최소화하기 위해서는(*높은 신뢰도*), 인간활동에 기인한 전지구 CO_2 배출량을 net-negative로 유지하고 동시에/또는 non-CO_2 복사강제력의 추가적인 감소가 필요할 것이다. {제1장 교차챕터 박스 2, 1.2.3, 1.2.4, 그림 1.4, 2.2.1, 2.2.2, 3.4.4.8, 3.4.5.1, 3.6.3.2}

A.3. 자연계와 인간계에 대한 기후 관련 리스크는 현재보다는 1.5℃ 온난화에서 더 높지만, 2℃일 때보다는 낮다(*높은 신뢰도*). 이러한 리스크는 온난화의 규모와 속도, 지리학적 위치, 발전과 취약성 수준에 좌우되며, 또한 적응과 완화 옵션의 선택 및 실행에 의해 좌우된다(*높은 신뢰도*). (그림 SPM 2) {1.3, 3.3, 3.4, 5.6}

A.3.1. 지구온난화가 자연계와 인간계에 미치는 영향은 이미 관측되고 있다(*높은 신뢰도*). 육상 및 해양 생태계 대부분과 그들이 제공하는 일부 서비스들은 지구온난화에 의해 이미 변화되었다(*높은 신뢰도*). {1.4, 3.4, 3.5, 그림 SPM 2}

A.3.2. 미래의 기후 관련 리스크는 온난화의 속도, 정점 및 지속 기간에 좌우된다. 전체적으로 기후 관련 리스크는 2100년까지 지구온난화가 점진적으로 1.5℃에서 안정화되는 경우보다 최종적으로 1.5℃에 도달하기 이전에 1.5℃를 초과하는 경우에 더욱 크며, 특히 정점 온도가 높을 때(가령 약 2℃) 더 크다(*높은 신뢰도*). 일부 생태계 손실과 같은 어떤 영향들은 장기간 지속되거나 비가역적일 수 있다(*높은 신뢰도*). {3.2, 3.4.4, 3.6.3, 제3장 교차챕터 박스 8}

A.3.3. 적응과 완화는 이미 진행되고 있다(*높은 신뢰도*). 미래의 기후 관련 리스크는 광범위하고 다층적이며 범분야적인 기후 완화의 규모 확대 및 가속화와 점진적이고 전환적인 적응을 통해 감소될 것이다(*높은 신뢰도*). {1.2, 1.3, 표 3.5, 4.2.2, 제4장 교차챕터 박스 9, 박스 4.2, 박스 4.3, 박스 4.6, 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, 4.3.5, 4.4.1, 4.4.4, 4.4.5, 4.5.3}

A.2 Warming from anthropogenic emissions from the pre-industrial period to the present will persist for centuries to millennia and will continue to cause further long-term changes in the climate system, such as sea level rise, with associated impacts (*high confidence*), but these emissions alone are *unlikely* to cause global warming of 1.5°C (*medium confidence*). (Figure SPM.1) {1.2, 3.3, Figure 1.5}

A.2.1 Anthropogenic emissions (including greenhouse gases, aerosols and their precursors) up to the present are *unlikely* to cause further warming of more than 0.5°C over the next two to three decades (*high confidence*) or on a century time scale (*medium confidence*). {1.2.4, Figure 1.5}

A.2.2 Reaching and sustaining net zero global anthropogenic CO_2 emissions and declining net non-CO_2 radiative forcing would halt anthropogenic global warming on multi-decadal time scales (*high confidence*). The maximum temperature reached is then determined by cumulative net global anthropogenic CO_2 emissions up to the time of net zero CO_2 emissions (*high confidence*) and the level of non-CO_2 radiative forcing in the decades prior to the time that maximum temperatures are reached (*medium confidence*). On longer time scales, sustained net negative global anthropogenic CO_2 emissions and/or further reductions in non-CO_2 radiative forcing may still be required to prevent further warming due to Earth system feedbacks and to reverse ocean acidification (*medium confidence*) and will be required to minimize sea level rise (*high confidence*). {Cross-Chapter Box 2 in Chapter 1, 1.2.3, 1.2.4, Figure 1.4, 2.2.1, 2.2.2, 3.4.4.8, 3.4.5.1, 3.6.3.2}

A.3 Climate-related risks for natural and human systems are higher for global warming of 1.5°C than at present, but lower than at 2°C (*high confidence*). These risks depend on the magnitude and rate of warming, geographic location, levels of development and vulnerability, and on the choices and implementation of adaptation and mitigation options (*high confidence*). (Figure SPM.2) {1.3, 3.3, 3.4, 5.6}

A.3.1 Impacts on natural and human systems from global warming have already been observed (*high confidence*). Many land and ocean ecosystems and some of the services they provide have already changed due to global warming (*high confidence*). (Figure SPM.2) {1.4, 3.4, 3.5}

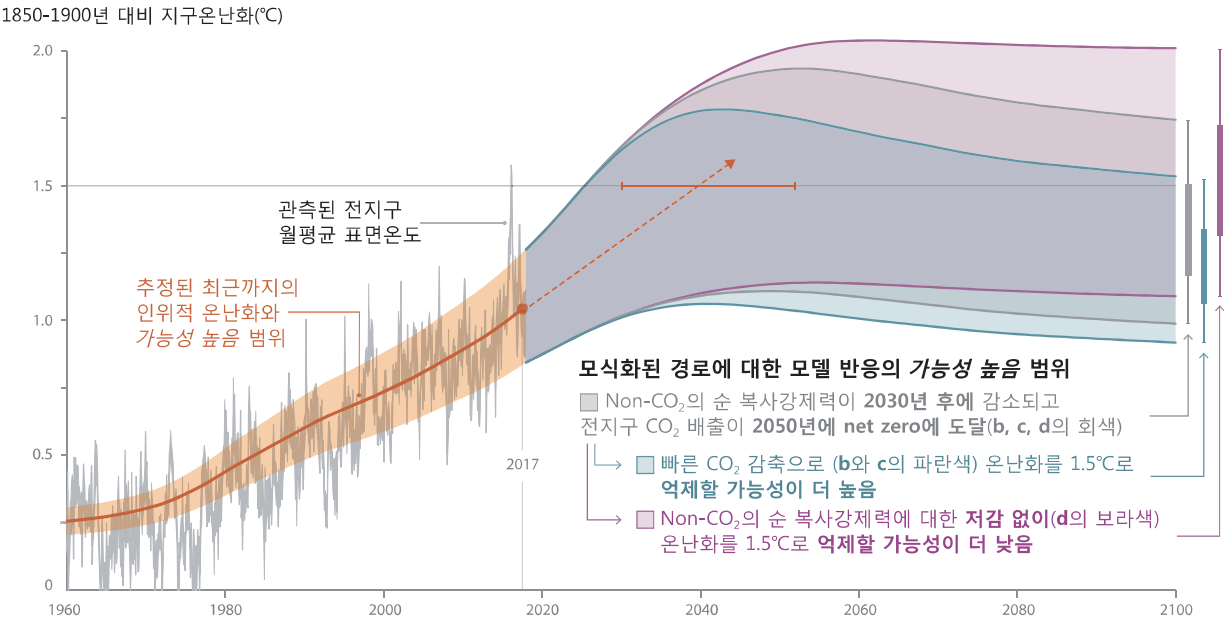
A.3.2 Future climate-related risks depend on the rate, peak and duration of warming. In the aggregate, they are larger if global warming exceeds 1.5°C before returning to that level by 2100 than if global warming gradually stabilizes at 1.5°C, especially if the peak temperature is high (e.g., about 2°C) (*high confidence*). Some impacts may be long-lasting or irreversible, such as the loss of some ecosystems (*high confidence*). {3.2, 3.4.4, 3.6.3, Cross-Chapter Box 8 in Chapter 3}

A.3.3 Adaptation and mitigation are already occurring (*high confidence*). Future climate-related risks would be reduced by the upscaling and acceleration of far-reaching, multilevel and cross-sectoral climate mitigation and by both incremental and transformational adaptation (*high confidence*). {1.2, 1.3, Table 3.5, 4.2.2, Cross-Chapter Box 9 in Chapter 4, Box 4.2, Box 4.3, Box 4.6, 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, 4.3.5, 4.4.1, 4.4.4, 4.4.5, 4.5.3}

정책결정자를 위한 요약본(SPM)

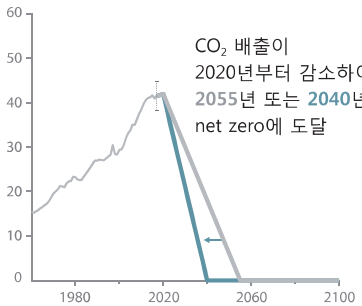
CO_2 누적 배출량과 미래 non-CO_2 복사강제력이 지구온난화를 1.5℃로 억제할 가능성을 결정

a) 관측된 전지구 기온 변화와 모식화된 인간활동에 의한 배출 및 강제력 경로에 따른 모델 반응



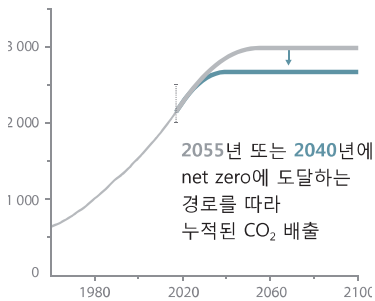
b) 모식화된 전지구 CO_2 순 배출 경로

10억톤 CO_2/년 ($GtCO_2$/년)



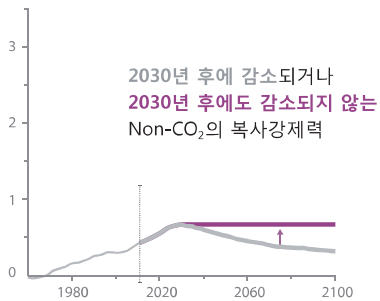
c) CO_2 순 누적 배출량

10억톤 CO_2 ($GtCO_2$)



d) Non-CO_2 복사강제력 경로

W/m^2



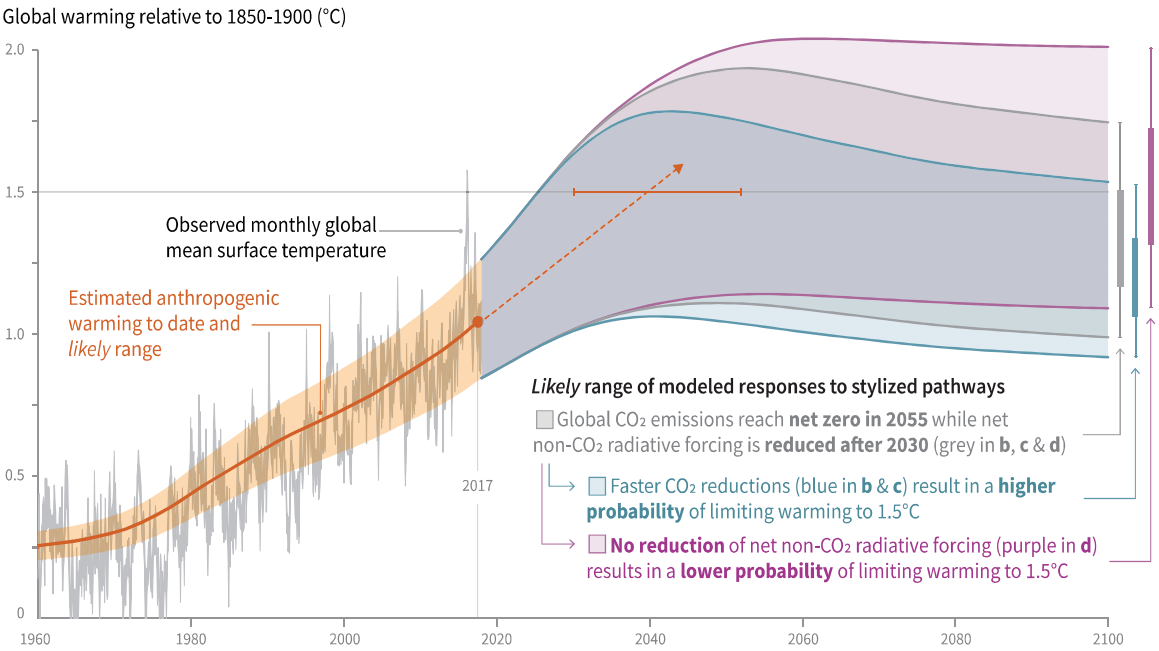
보다 빠르고 즉각적인 CO_2 배출량 감축은 세부 그림 (c)에서 보여지는 누적 CO_2 배출량을 억제함

최고 온도의 상승은 CO_2 순 누적 배출량과 메탄, NO_2, 에어로졸 및 다른 인간활동에 기인한 강제력 인자들에 의한 non-CO_2 순 복사강제력에 의해 결정

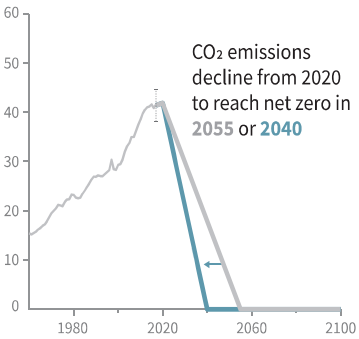
그림 SPM 1: 세부 그림 a: 관측된 월별 전지구 평균 표면 온도(GMST) 변화(2017년까지 회색 실선, HadCRUT4, GISTEMP, Cowtan–Way, NOAA 자료로 산출)와 인간활동에 기인한 추정 지구온난화(2017년까지 주황색 실선, 주황색 음영은 *가능성 높음*으로 평가된 범위). 주황색 점선 화살표와 주황색 수평 오차 막대는 각각 온난화가 현재의 속도로 지속되는 경우에 1.5℃에 도달하는 시점의 중간 값과 *가능성 높음* 범위를 나타낸다. 세부그림 a의 오른쪽 회색 음영은 간단한 기후모델로 계산된 것으로, CO_2 순 배출량이(세부 그림 b와 c의 회색 실선) 2020년부터 직선으로 감소해 2055년에 net zero에 도달하고 non-CO_2 순 복사강제력은(세부 그림 d의 회색 실선) 2030년까지 증가하다가 이후 감소하는 것으로 모식화된 경로(가설에 의한 미래)에 대해 *가능성 높음*의 온난화 반응 범위를 나타낸다. 세부 그림 a의 파란색 음영은 CO_2 순 배출량 감소가 더 빨라져 2040년에 net zero에 도달하고(세부 그림 b의 파란색 실선) 이에 따른 CO_2 누적 배출량(세부 그림 c)이 감소할 때의 반응을 나타낸다. 보라색 음영은 CO_2 순 배출량이 2055년까지 0으로 감소하고, non-CO_2 순 복사강제력이 2030년 이후 일정하게 유지되었을 때의 반응을 나타낸다. 세부 그림 a에서 오른쪽의 수직 오차 막대는 3개의 모식화된 경로 하에서 2100년에 추정된 온난화 분포의 *가능성 높음* 범위(가는 실선)와 중간 범위(33-66 분위, 굵은 실선)를 나타낸다. 세부 그림 b, c, d의 수직방향 점선 오차 막대는 각각 2017년의 과거의 연간 전지구 CO_2 배출량(Global Carbon Project 자료)과 CO_2 순 누적 배출량, IPCC 5차 평가보고서의 2011년 non-CO_2 순 복사강제력에 대한 *가능성 높음* 범위를 나타낸다. 세부 그림 c와 d의 수직 축은 대략적으로 GMST에 대한 동등한 효과를 표현하기 위해 조정되었다. {1.2.1, 1.2.3, 1.2.4, 2.3, 제1장 그림 1.2와 제1장 기술 부속서 교차챕터 박스 2}

Cumulative emissions of CO_2 and future non-CO_2 radiative forcing determine the probability of limiting warming to 1.5°C

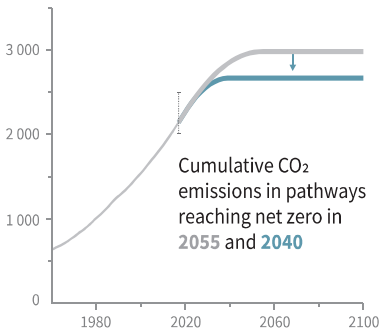
a) Observed global temperature change and modeled responses to stylized anthropogenic emission and forcing pathways



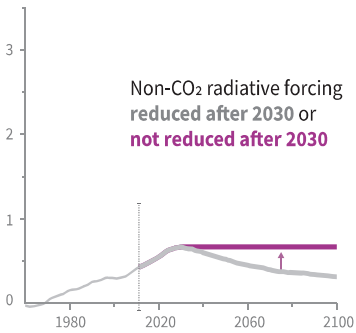
b) Stylized net global CO_2 emission pathways
Billion tonnes CO_2 per year ($GtCO_2$/yr)



c) Cumulative net CO_2 emissions
Billion tonnes CO_2 ($GtCO_2$)



d) Non-CO_2 radiative forcing pathways
Watts per square metre (W/m^2)



Faster immediate CO_2 emission reductions limit cumulative CO_2 emissions shown in panel **(c)**.

Maximum temperature rise is determined by cumulative net CO_2 emissions and net non-CO_2 radiative forcing due to methane, nitrous oxide, aerosols and other anthropogenic forcing agents.

Figure SPM.1 | Panel a: Observed monthly global mean surface temperature (GMST, grey line up to 2017, from the HadCRUT4, GISTEMP, Cowtan–Way, and NOAA datasets) change and estimated anthropogenic global warming (solid orange line up to 2017, with orange shading indicating assessed *likely* range). Orange dashed arrow and horizontal orange error bar show respectively the central estimate and *likely* range of the time at which 1.5°C is reached if the current rate of warming continues. The grey plume on the right of panel a shows the *likely* range of warming responses, computed with a simple climate model, to a stylized pathway (hypothetical future) in which net CO_2 emissions (grey line in panels b and c) decline in a straight line from 2020 to reach net zero in 2055 and net non-CO_2 radiative forcing (grey line in panel d) increases to 2030 and then declines. The blue plume in panel a) shows the response to faster CO_2 emissions reductions (blue line in panel b), reaching net zero in 2040, reducing cumulative CO_2 emissions (panel c). The purple plume shows the response to net CO_2 emissions declining to zero in 2055, with net non-CO_2 forcing remaining constant after 2030. The vertical error bars on right of panel a) show the *likely* ranges (thin lines) and central terciles (33rd – 66th percentiles, thick lines) of the estimated distribution of warming in 2100 under these three stylized pathways. Vertical dotted error bars in panels b, c and d show the *likely* range of historical annual and cumulative global net CO_2 emissions in 2017 (data from the Global Carbon Project) and of net non-CO_2 radiative forcing in 2011 from AR5, respectively. Vertical axes in panels c and d are scaled to represent approximately equal effects on GMST. {1.2.1, 1.2.3, 1.2.4, 2.3, Figure 1.2 and Chapter 1 Supplementary Material, Cross-Chapter Box 2 in Chapter 1}

B. 기후변화 전망, 잠재적 영향 및 관련 리스크

B.1. 기후모델 전망은 지역적 기후특성이 현재와 1.5℃ 만큼의 지구온난화 사이[7], 1.5℃와 2.0℃ 만큼의 지구온난화 사이에 통계적으로 유의한(robust)[8] 차이가 있음을 보여준다. 이러한 차이에는 육지와 해양 대부분 지역에서 평균 온도 상승(*높은 신뢰도*), 거주지 대부분에서 극한 고온 현상의 증가(*높은 신뢰도*), 일부 지역의 호우 증가(*중간 신뢰도*)와 일부 지역의 가뭄 및 강수 부족 가능성의 증가(*중간 신뢰도*)가 포함된다. {3.3}

B.1.1. 약 0.5℃의 지구온난화가 일부 극한 기후 및 기상 현상의 명백한 변화를 가져왔다는 것은, 현재보다 0.5℃ 높은 온난화가 바로 이러한 극한 현상의 탐지 가능한 변화와 관련이 있을 것이라는 평가를 뒷받침하는 증거라고 할 수 있다(*중간 신뢰도*). 산업화 이전 수준과 대비 1.5℃ 가량의 지구온난화에서 몇몇 지역적인 기후변화가 발생할 것으로 평가되는데, 여기에는 많은 지역에서의 극한 기온의 온난화(*높은 신뢰도*), 일부 지역에서의 호우 빈도·강도 그리고/또는 강수량 증가(*높은 신뢰도*), 일부 지역의 가뭄 강도 또는 빈도 증가(*중간 신뢰도*)가 포함된다. {3.2, 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4, 표 3.2}

B.1.2. 육지의 극한 기온은 전지구 평균 표면 온도(GMST)보다 더 많이 온난해질 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). 중위도에서 극한 고온일은 1.5℃ 지구온난화일 때 약 3℃, 2℃ 지구온난화 일 때 약 4℃까지 더 더워지고, 고위도의 극한 한랭야는 1.5℃ 지구온난화일 때 약 4.5℃, 2℃ 지구온난화에서 약 6℃까지 높아질 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). 고온일수는 대부분 육지에서 증가하는데, 특히 열대지방에서 가장 크게 증가할 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). {3.3.1, 3.3.2, 제3장 교차챕터 박스 8}.

B.1.3. 일부 지역에서는 가뭄과 강수 부족으로 인한 리스크가 1.5℃ 지구온난화보다 2℃ 지구온난화에서 더 높을 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 호우 리스크는 일부 북반구 고위도 지역 그리고/또는 고산지역, 동아시아와 북아메리카 동부 지역에서 1.5℃보다 2℃ 지구온난화에서 더 높을 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 열대저기압과 관련된 호우는 1.5℃보다는 2℃ 지구온난화일 때 더 증가할 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 다른 지역에서는 1.5℃ 상승과 비교하여 2℃ 상승 시에 호우 변화 전망 값의 일반적인 신뢰도는 낮다. 세계적 규모로 집계된 호우는 1.5℃보다는 2℃ 지구온난화에서 더 증가할 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 호우로 인한 홍수 위해(hazards)의 영향을 받는 전지구 육지 면적은 1.5℃보다 2℃ 지구온난화일 때 더 넓을 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). {3.3.1, 3.3.3, 3.3.4, 3.3.5, 3.3.6}

B.2. 2100년까지 전지구 평균 해수면 상승은 2℃ 보다 1.5℃ 지구온난화 시 약 0.1m 낮을 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 해수면은 2100년 이후에도 계속 상승할 것이며(*높은 신뢰도*), 상승 규모와 속도는 미래 배출 경로에 따라 좌우된다. 해수면 상승 속도가 느려지면 군소도서지역, 저지대 연안 및 삼각주 지역의 인간계 및 생태계에서는 더 많은 적응 기회를 가질 수 있다(*중간 신뢰도*). {3.3, 3.4, 3.6}

B.2.1. 1.5℃ 지구온난화 시, 2100년까지 전지구 평균 해수면 상승 예측 값은 0.26~0.77m 정도(1986~2005년 대비)이며, 이는 2℃ 지구온난화 상황 보다 0.1m(0.04~0.16m) 낮은 수치다(*중간 신뢰도*). 전지구 해수면 상승이 0.1m 감소한다는 것은 2010년 인구를 기준으로 할 때 관련 리스크에 노출되는 인구가 최대 1천만 명 줄어들 수 있다는 것을 의미한다(*중간 신뢰도*). {3.4.4, 3.4.5, 4.3.2}

B.2.2. 21세기 동안 지구온난화를 1.5℃로 억제하더라도, 해수면은 2100년 이후에도 계속 상승할 것이다(*높은 신뢰도*). 남극 해빙의 불안정성 그리고/또는 그린란드 빙상의 되돌릴 수 없는 손실은 수백 년에서 수천 년에 걸쳐 수 미터(m)의 해수면 상승을 초래할 수 있다. 1.5~2℃ 범위의 지구온난화에서 이러한 불안정성이 촉발될 수 있다(*중간 신뢰도*). (그림 SPM 2) {3.3.9, 3.4.5, 3.5.2, 3.6.3, 박스 3.3,}

7) 지구온난화에서 정도 차이의 영향에 대한 변화 전망은 전지구 평균 기온을 고려하여 결정됨

8) 여기서 통계적으로 유의한(robust) 최소 2/3 이상의 기후 모델이 격자점 규모에서 변화에 대한 동일한 징후를 보여준다는 것을 의미하며, 넓은 지역에서의 차이는 통계적으로 중요함

B. Projected Climate Change, Potential Impacts and Associated Risks

B.1 Climate models project robust[7] differences in regional climate characteristics between present-day and global warming of 1.5°C,[8] and between 1.5°C and 2°C.[8] These differences include increases in: mean temperature in most land and ocean regions (*high confidence*), hot extremes in most inhabited regions (*high confidence*), heavy precipitation in several regions (*medium confidence*), and the probability of drought and precipitation deficits in some regions (*medium confidence*). {3.3}

B.1.1 Evidence from attributed changes in some climate and weather extremes for a global warming of about 0.5°C supports the assessment that an additional 0.5°C of warming compared to present is associated with further detectable changes in these extremes (*medium confidence*). Several regional changes in climate are assessed to occur with global warming up to 1.5°C compared to pre-industrial levels, including warming of extreme temperatures in many regions (*high confidence*), increases in frequency, intensity, and/or amount of heavy precipitation in several regions (*high confidence*), and an increase in intensity or frequency of droughts in some regions (*medium confidence*). {3.2, 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4, Table 3.2}

B.1.2 Temperature extremes on land are projected to warm more than GMST (*high confidence*): extreme hot days in mid-latitudes warm by up to about 3°C at global warming of 1.5°C and about 4°C at 2°C, and extreme cold nights in high latitudes warm by up to about 4.5°C at 1.5°C and about 6°C at 2°C (*high confidence*). The number of hot days is projected to increase in most land regions, with highest increases in the tropics (*high confidence*). {3.3.1, 3.3.2, Cross-Chapter Box 8 in Chapter 3}

B.1.3 Risks from droughts and precipitation deficits are projected to be higher at 2°C compared to 1.5°C of global warming in some regions (*medium confidence*). Risks from heavy precipitation events are projected to be higher at 2°C compared to 1.5°C of global warming in several northern hemisphere high-latitude and/or high-elevation regions, eastern Asia and eastern North America (*medium confidence)*. Heavy precipitation associated with tropical cyclones is projected to be higher at 2°C compared to 1.5°C global warming (*medium confidence*). There is generally *low confidence* in projected changes in heavy precipitation at 2°C compared to 1.5°C in other regions. Heavy precipitation when aggregated at global scale is projected to be higher at 2°C than at 1.5°C of global warming (*medium confidence*). As a consequence of heavy precipitation, the fraction of the global land area affected by flood hazards is projected to be larger at 2°C compared to 1.5°C of global warming (*medium confidence*). {3.3.1, 3.3.3, 3.3.4, 3.3.5, 3.3.6}

B.2 By 2100, global mean sea level rise is projected to be around 0.1 metre lower with global warming of 1.5°C compared to 2°C (*medium confidence*). Sea level will continue to rise well beyond 2100 (*high confidence*), and the magnitude and rate of this rise depend on future emission pathways. A slower rate of sea level rise enables greater opportunities for adaptation in the human and ecological systems of small islands, low-lying coastal areas and deltas (*medium confidence*). {3.3, 3.4, 3.6}

B.2.1 Model-based projections of global mean sea level rise (relative to 1986–2005) suggest an indicative range of 0.26 to 0.77 m by 2100 for 1.5°C of global warming, 0.1 m (0.04–0.16 m) less than for a global warming of 2°C (*medium confidence*). A reduction of 0.1 m in global sea level rise implies that up to 10 million fewer people would be exposed to related risks, based on population in the year 2010 and assuming no adaptation (*medium confidence*). {3.4.4, 3.4.5, 4.3.2}

B.2.2 Sea level rise will continue beyond 2100 even if global warming is limited to 1.5°C in the 21st century (*high confidence*). Marine ice sheet instability in Antarctica and/or irreversible loss of the Greenland ice sheet could result in multi-metre rise in sea level over hundreds to thousands of years. These instabilities could be triggered at around 1.5°C to 2°C of global warming (*medium confidence*). (Figure SPM.2) {3.3.9, 3.4.5, 3.5.2, 3.6.3, Box 3.3}

---

7 Robust is here used to mean that at least two thirds of climate models show the same sign of changes at the grid point scale, and that differences in large regions are statistically significant.

8 Projected changes in impacts between different levels of global warming are determined with respect to changes in global mean surface air temperature.

B.2.3. 온난화가 심화되면 군소도서지역, 저지대 해안지역 및 삼각주에서 염수 침입, 홍수와 기반시설 피해 증가를 비롯한 해수면 상승 관련 리스크에 대한 여러 인간계와 생태계의 노출이 증대될 것이다(*높은 신뢰도*). 해수면 상승과 관련된 리스크는 1.5℃ 보다 2℃ 지구온난화에서 더 높다. 1.5℃ 지구온난화에서는 해수면 상승 속도가 감소해 연안 자연생태계의 관리 및 복원, 기반시설 보강 등 적응 기회가 커지면서 이러한 리스크가 줄어들게 된다(*중간 신뢰도*). {3.4.5, 그림 SPM 2, 박스 3.5}

B.3. 육지 생물종의 감소 및 멸종을 비롯하여 생물다양성과 생태계에 대한 영향은 2℃ 보다 1.5℃ 지구온난화에서 줄어들 것으로 전망된다. 지구온난화를 1.5℃로 억제하게 되면 육상, 담수 및 연안 생태계에 대한 영향은 2℃ 상승 시 보다 줄어들고 이들이 제공하는 서비스를 보다 많이 보존할 수 있을 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). (그림 SPM 2) {3.4, 3.5, 박스 3.4, 박스 4.2, 제 3장 교차챕터 박스 8}

B.3.1. 연구된 105,000개의 생물종[9] 가운데 1.5℃ 지구온난화에서 곤충의 6%, 식물의 8%, 그리고 척추동물의 4%가, 2℃ 지구온난화에서는 곤충의 18%, 식물의 16%, 그리고 척추동물의 8%가 기후 지리적 분포 범위의 절반 이상을 잃을 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 산불과 침입종의 확산과 같은 기타 생물다양성 관련 리스크에 대한 영향은 2℃ 지구온난화에 비해 1.5℃일 때 감소한다 (*높은 신뢰도*). {3.4.3.3, 3.5.2}.

B.3.2. 2℃ 지구온난화에서는 전지구 육지 면적의 약 13%(4분위 범위 8-20%)가 다른 유형의 생태계로 전환될 것으로 전망되는 반면 1℃ 지구온난화에서는 4%(4분위 범위 2-7%)로 예상된다(*중간 신뢰도*). 이는 리스크에 처해지는 면적이 2℃ 지구온난화에 비해 1.5℃ 에서 약 반으로 줄어드는 것을 의미한다(*중간 신뢰도*). {3.4.3.1, 3.4.3.5}

B.3.3. 관목이 이미 툰드라를 잠식하고 있는 가운데(*높은 신뢰도*), 특히 고위도 지역의 툰드라와 한대림은 기후변화로 인한 황폐화와 면적 감소 리스크에 놓여있으며, 이러한 리스크는 추가적인 지구온난화에 따라 계속될 것이다. 지구온난화를 2℃가 아닌 1.5℃로 억제하면 수세기 동안 약 1.5 ~ 2.5백만 ㎢의 영구동토층이 녹는 것을 막을 수 있을 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). {3.3.2, 3.4.3, 3.5.5}

B.4. 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 것은 2℃ 온난화 대비 해양 온도 상승뿐 아니라 이와 관련된 해양 산성화를 완화하고 해양 산소 수치를 높일 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). 북극 해빙 및 온난한 수역의 산호초 생태계의 최근 변화에서 살펴볼 수 있듯이, 1.5℃로 지구온난화를 억제하면 결과적으로 해양의 생물다양성, 어업, 생태계 및 이들이 인간에게 제공하는 기능과 서비스에 대한 리스크가 경감될 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). {3.3, 3.4, 3.5, 박스 3.4, 박스 3.5}

B.4.1. 북극해 해빙이 여름에 모두 녹아 없어질 확률은 지구온난화 2℃ 보다 1.5℃에서 현저하게 낮다 (*높은 신뢰도*). 1.5℃ 지구온난화에서 여름철 북극해 얼음이 모두 녹을 가능성은 100년에 한 번 정도일 것이다. 2℃ 지구온난화에서는 이러한 가능성이 적어도 10년에 한 번으로 높아진다. 북극 해빙 면적에 대한 온도 오버슛의 영향은 10년 정도의 시간 규모에서 가역적이다(*높은 신뢰도*). {3.3.8, 3.4.4.7}

B.4.2. 1.5℃ 지구온난화에서는 해양 생물종의 분포가 고위도로 이동할 뿐만 아니라 다양한 생태계 피해도 증가할 것이다. 또한 연안자원 손실과 어업 및 양식업의 생산량 감소가(특히 저위도에서) 예상된다. 기후영향 리스크는 1.5℃ 지구온난화보다 2℃ 지구온난화에서 높아질 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). 예를 들어, 산호초는 1.5℃ 지구온난화에서 70~90% 감소하나(*높은 신뢰도*), 2℃ 지구온난화에서는 더 큰 손실(99% 초과)을 입게 될 것이다(*매우 높은 신뢰도*). 여러 해양 및 연안 생태계의 비가역적인 손실 리스크는 지구온난화에 따라 증가하며 특히 2℃ 이상에서 더욱 증가한다(*높은 신뢰도*). {3.4.4, 박스 3.4}

9) 이전 연구와 일관되게, 이 수치들은 최근의 한 메타연구에서 채택됨

B.2.3 Increasing warming amplifies the exposure of small islands, low-lying coastal areas and deltas to the risks associated with sea level rise for many human and ecological systems, including increased saltwater intrusion, flooding and damage to infrastructure (*high confidence*). Risks associated with sea level rise are higher at 2°C compared to 1.5°C. The slower rate of sea level rise at global warming of 1.5°C reduces these risks, enabling greater opportunities for adaptation including managing and restoring natural coastal ecosystems and infrastructure reinforcement (*medium confidence*). (Figure SPM.2) {3.4.5, Box 3.5}

B.3 On land, impacts on biodiversity and ecosystems, including species loss and extinction, are projected to be lower at 1.5°C of global warming compared to 2°C. Limiting global warming to 1.5°C compared to 2°C is projected to lower the impacts on terrestrial, freshwater and coastal ecosystems and to retain more of their services to humans (*high confidence*). (Figure SPM.2) {3.4, 3.5, Box 3.4, Box 4.2, Cross-Chapter Box 8 in Chapter 3}

B.3.1 Of 105,000 species studied,[9] 6% of insects, 8% of plants and 4% of vertebrates are projected to lose over half of their climatically determined geographic range for global warming of 1.5°C, compared with 18% of insects, 16% of plants and 8% of vertebrates for global warming of 2°C (*medium confidence*). Impacts associated with other biodiversity-related risks such as forest fires and the spread of invasive species are lower at 1.5°C compared to 2°C of global warming (*high confidence*). {3.4.3, 3.5.2}

B.3.2 Approximately 4% (interquartile range 2–7%) of the global terrestrial land area is projected to undergo a transformation of ecosystems from one type to another at 1°C of global warming, compared with 13% (interquartile range 8–20%) at 2°C (*medium confidence*). This indicates that the area at risk is projected to be approximately 50% lower at 1.5°C compared to 2°C (*medium confidence*). {3.4.3.1, 3.4.3.5}

B.3.3 High-latitude tundra and boreal forests are particularly at risk of climate change-induced degradation and loss, with woody shrubs already encroaching into the tundra (*high confidence*) and this will proceed with further warming. Limiting global warming to 1.5°C rather than 2°C is projected to prevent the thawing over centuries of a permafrost area in the range of 1.5 to 2.5 million km^2 (*medium confidence*). {3.3.2, 3.4.3, 3.5.5}

B.4 Limiting global warming to 1.5°C compared to 2°C is projected to reduce increases in ocean temperature as well as associated increases in ocean acidity and decreases in ocean oxygen levels (*high confidence*). Consequently, limiting global warming to 1.5°C is projected to reduce risks to marine biodiversity, fisheries, and ecosystems, and their functions and services to humans, as illustrated by recent changes to Arctic sea ice and warm-water coral reef ecosystems (*high confidence*). {3.3, 3.4, 3.5, Box 3.4, Box 3.5}

B.4.1 There is *high confidence* that the probability of a sea ice-free Arctic Ocean during summer is substantially lower at global warming of 1.5°C when compared to 2°C. With 1.5°C of global warming, one sea ice-free Arctic summer is projected per century. This likelihood is increased to at least one per decade with 2°C global warming. Effects of a temperature overshoot are reversible for Arctic sea ice cover on decadal time scales (*high confidence*). {3.3.8, 3.4.4.7}

B.4.2 Global warming of 1.5°C is projected to shift the ranges of many marine species to higher latitudes as well as increase the amount of damage to many ecosystems. It is also expected to drive the loss of coastal resources and reduce the productivity of fisheries and aquaculture (especially at low latitudes). The risks of climate-induced impacts are projected to be higher at 2°C than those at global warming of 1.5°C (*high confidence*). Coral reefs, for example, are projected to decline by a further 70–90% at 1.5°C (*high confidence*) with larger losses (>99%) at 2°C (*very high confidence*). The risk of irreversible loss of many marine and coastal ecosystems increases with global warming, especially at 2°C or more (*high confidence*). {3.4.4, Box 3.4}

9 Consistent with earlier studies, illustrative numbers were adopted from one recent meta-study.

B.4.3. 1.5℃ 지구온난화에서 이산화탄소 농도 증가로 인한 해양 산성화는 온난화의 악영향을 증폭시킬 것이며, 2℃에서는 더욱 심화되어, 예를 들면, 해조류에서 어류에 이르기까지 광범위한 생물종의 성장, 발달, 석회화, 나아가 생존과 종의 풍부도에도 영향을 미칠 것이다(높은 신뢰도). {3.3.10, 3.4.4}

B.4.4. 해양에서의 기후변화 영향은 생리, 생존, 서식지, 번식, 질병의 발병과 침입종 리스크에 영향을 미쳐 어업과 양식업에 대한 리스크를 증가시키지만(*중간 신뢰도*), 그 영향은 2℃ 보다 1.5℃ 지구온난화에서 낮을 것으로 전망된다. 예를 들어, 전지구 수산자원 모형에서 2℃ 지구온난화에서는 연간 전지구 어업 수확량이 300만 톤 이상 감소하는 데 비해 1.5℃ 지구온난화에서는 대략 150만 톤 정도가 감소할 것으로 전망되었다(*중간 신뢰도*). {3.4.4, 박스 3.4}

B.5. 건강, 생계, 식량 안보와 물 공급, 인간 안보 및 경제 성장에 대한 기후관련 리스크는 1.5℃ 지구온난화에서 증가하며 2℃에서는 더 증가할 것으로 전망된다. (그림 SPM 2) {3.4, 3.5, 5.2, 박스 3.2, 박스 3.3, 박스 3.5, 박스 3.6, 제3장 교차챕터 박스 6, 제4장 교차챕터 박스 9, 제5장 교차챕터 박스 12, 5.2}

B.5.1. 1.5℃ 이상의 지구온난화로 인한 악영향에 불균형적으로 높은 리스크에 처해 있는 인구 중에는 사회적 소외계층과 취약계층, 일부 토착민, 그리고 농업이나 어업에 생계를 의존하는 지역 공동체가 포함된다(*높은 신뢰도*). 또한 불균형적으로 높은 리스크에 놓인 지역에는 북극 생태계, 건조지역 및 군소도서개발도상국, 저개발국가가 포함된다(*높은 신뢰도*). 빈곤층과 사회적 소외계층은 지구온난화가 심화될수록 일부 인구 집단에서 증가할 것으로 예상된다. 지구온난화를 2℃ 대비 1.5℃로 억제할 경우, 기후관련 위험에 노출되고 빈곤에 취약해질 인구수를 2050년까지 최대 수억 명 줄일 수 있을 것이다(*중간 신뢰도*). {3.4.10, 3.4.11, 박스 3.5, 제3장 교차챕터 박스 6, 제4장 교차챕터 박스 9, 제5장 교차챕터 박스 12, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3, 5.6.3, 교차챕터 박스 9}

B.5.2. 지구온난화의 심화는 인간 보건에도 부정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다(*높은 신뢰도*). 2℃ 보다 1.5℃ 지구온난화에서 열과 관련된 질병 유병률 및 사망률이 더 낮고(*매우 높은 신뢰도*), 오존 형성에 필요한 배출량이 계속 높게 유지된다면 오존 관련 사망률도 1.5℃ 지구온난화에서 더 낮을 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). 도시 열섬 현상은 보통 도시에서 폭염의 영향을 증대시킨다(*높은 신뢰도*). 잠재적인 지리학적 분포 변화를 비롯해 말라리아와 뎅기열 같은 일부 매개체 감염 질병 리스크는 지구온난화가 1.5℃에서 2℃로 상승되면 더 높아질 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). {3.4.7, 3.4.8, 3.5.5.8}

B.5.3. 지구온난화를 1.5℃로 억제했을 때, 2℃ 보다 특히 사하라 인근의 아프리카, 동남아시아, 중남미 지역에서 옥수수, 쌀, 밀, 그리고 잠재적 기타 곡물 수확량의 순 감소량이 줄어들 것으로 전망되며, CO_2 의존적인 쌀과 밀의 영양분의 질적 저하도 줄어들 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). 식량 가용성은 사헬(Sahel), 아프리카 남부, 지중해, 중부 유럽, 아마존에서 1.5℃ 보다 2℃ 지구온난화에서 더 크게 감소할 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 가축은 온도 상승에 따라 부정적인 영향을 받을 것으로 전망되는데, 이는 사료의 질, 질병의 확산 및 수자원 가용성의 변화 정도에 따라 좌우된다(*높은 신뢰도*). {3.4.6, 3.5.4, 3.5.5, 박스 3.1, 제3장 교차챕터 박스 6, 제3장 교차챕터 박스 9}

B.5.4. 지역 간 상당한 변동성이 존재하지만 미래의 사회경제적 여건에 따라 지구온난화를 2℃ 대비 1.5℃로 억제하면 기후변화로 인한 물 부족 증가에 노출된 세계 인구의 비율이 최대 50%까지 감소할 수 있다(*중간 신뢰도*). 많은 군소도서개발도상국은 지구온난화를 2℃ 대비 1.5℃로 억제하였을 때 건조도의 변화로 물 부족을 더 적게 경험할 것이다(*중간 신뢰도*). {3.3.5, 3.4.2, 3.4.8, 3.5.5, 박스 3.2, 박스 3.5, 제4장 교차챕터 박스 9}

B.5.5. 21세기 말까지 기후변화 영향으로 인한 세계 경제 성장의 리스크는 2℃ 보다 1.5℃의 지구온난화에서 더 낮을 것으로 전망된다[10](*중간 신뢰도*). 여기에는 완화 비용, 적응 투자 및 적응 이익은 포함되지 않는다. 열대 및 남반구 아열대 국가들이 지구온난화가 1.5℃ 에서 2℃로 상승할 경우 기후변화로 인한 경제 성장에 가장 큰 영향을 받게 될 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). {3.5.2, 3.5.3}

10) 여기에서 경제 성장에 대한 영향은 GDP 변화를 언급함. 인간 생명, 문화유산과 생태계 서비스의 손실과 같은 많은 영향은 금액으로 평가하기 어려움

B.4.3 The level of ocean acidification due to increasing CO_2 concentrations associated with global warming of 1.5°C is projected to amplify the adverse effects of warming, and even further at 2°C, impacting the growth, development, calcification, survival, and thus abundance of a broad range of species, for example, from algae to fish (*high confidence*). {3.3.10, 3.4.4}

B.4.4 Impacts of climate change in the ocean are increasing risks to fisheries and aquaculture via impacts on the physiology, survivorship, habitat, reproduction, disease incidence, and risk of invasive species (*medium confidence*) but are projected to be less at 1.5°C of global warming than at 2°C. One global fishery model, for example, projected a decrease in global annual catch for marine fisheries of about 1.5 million tonnes for 1.5°C of global warming compared to a loss of more than 3 million tonnes for 2°C of global warming (*medium confidence*). {3.4.4, Box 3.4}

B.5 Climate-related risks to health, livelihoods, food security, water supply, human security, and economic growth are projected to increase with global warming of 1.5°C and increase further with 2°C. (Figure SPM.2) {3.4, 3.5, 5.2, Box 3.2, Box 3.3, Box 3.5, Box 3.6, Cross-Chapter Box 6 in Chapter 3, Cross-Chapter Box 9 in Chapter 4, Cross-Chapter Box 12 in Chapter 5, 5.2}

B.5.1 Populations at disproportionately higher risk of adverse consequences with global warming of 1.5°C and beyond include disadvantaged and vulnerable populations, some indigenous peoples, and local communities dependent on agricultural or coastal livelihoods (*high confidence*). Regions at disproportionately higher risk include Arctic ecosystems, dryland regions, small island developing states, and Least Developed Countries (*high confidence*). Poverty and disadvantage are expected to increase in some populations as global warming increases; limiting global warming to 1.5°C, compared with 2°C, could reduce the number of people both exposed to climate-related risks and susceptible to poverty by up to several hundred million by 2050 (*medium confidence*). {3.4.10, 3.4.11, Box 3.5, Cross-Chapter Box 6 in Chapter 3, Cross-Chapter Box 9 in Chapter 4, Cross-Chapter Box 12 in Chapter 5, 4.2.2.2, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3, 5.6.3}

B.5.2 Any increase in global warming is projected to affect human health, with primarily negative consequences (*high confidence*). Lower risks are projected at 1.5°C than at 2°C for heat-related morbidity and mortality (*very high confidence*) and for ozone-related mortality if emissions needed for ozone formation remain high (*high confidence*). Urban heat islands often amplify the impacts of heatwaves in cities (*high confidence*). Risks from some vector-borne diseases, such as malaria and dengue fever, are projected to increase with warming from 1.5°C to 2°C, including potential shifts in their geographic range (*high confidence*). {3.4.7, 3.4.8, 3.5.5.8}

B.5.3 Limiting warming to 1.5°C compared with 2°C is projected to result in smaller net reductions in yields of maize, rice, wheat, and potentially other cereal crops, particularly in sub-Saharan Africa, Southeast Asia, and Central and South America, and in the CO_2-dependent nutritional quality of rice and wheat (*high confidence*). Reductions in projected food availability are larger at 2°C than at 1.5°C of global warming in the Sahel, southern Africa, the Mediterranean, central Europe, and the Amazon (*medium confidence*). Livestock are projected to be adversely affected with rising temperatures, depending on the extent of changes in feed quality, spread of diseases, and water resource availability (*high confidence*). {3.4.6, 3.5.4, 3.5.5, Box 3.1, Cross-Chapter Box 6 in Chapter 3, Cross-Chapter Box 9 in Chapter 4}

B.5.4 Depending on future socio-economic conditions, limiting global warming to 1.5°C compared to 2°C may reduce the proportion of the world population exposed to a climate change-induced increase in water stress by up to 50%, although there is considerable variability between regions (*medium confidence*). Many small island developing states could experience lower water stress as a result of projected changes in aridity when global warming is limited to 1.5°C, as compared to 2°C (*medium confidence*). {3.3.5, 3.4.2, 3.4.8, 3.5.5, Box 3.2, Box 3.5, Cross-Chapter Box 9 in Chapter 4}

B.5.5 Risks to global aggregated economic growth due to climate change impacts are projected to be lower at 1.5°C than at 2°C by the end of this century[10] (*medium confidence*). This excludes the costs of mitigation, adaptation investments and the benefits of adaptation. Countries in the tropics and Southern Hemisphere subtropics are projected to experience the largest impacts on economic growth due to climate change should global warming increase from 1.5°C to 2°C (*medium confidence*). {3.5.2, 3.5.3}

10 Here, impacts on economic growth refer to changes in gross domestic product (GDP). Many impacts, such as loss of human lives, cultural heritage and ecosystem services, are difficult to value and monetize.

B.5.6. 다중적이고 복합적인 기후 관련 리스크에 대한 노출은 지구온난화가 1.5℃에서 2℃로 상승할수록 더 증가하며, 아프리카와 아시아에서 더 많은 비율의 사람들이 빈곤에 노출되고 취약해진다(*높은 신뢰도*). 1.5℃에서 2℃로 지구온난화가 심화되면 에너지, 식량 및 물 부문에 걸친 리스크가 시공간적으로 중첩될 수 있으며 이는 더 많은 인구와 지역에 영향을 미칠 수 있는 기존의 위해(hazard), 노출 및 취약성을 악화시킬 뿐만 아니라 새로운 위해, 노출 및 취약성까지도 가져올 수 있다(*중간 신뢰도*). {박스 3.5, 3.3.1, 3.4.5.3, 3.4.5.6, 3.4.11, 3.5.4.9}

B.5.7. 제5차 평가보고서 이후 2℃의 지구온난화에서 다섯 가지'우려 단계(RFCs, Reasons for Concern)' 중 네 가지의 리스크가 증가한다는 많은 증거가 나왔다(*높은 신뢰도*). 지구온난화의 정도에 따른 리스크 변화는 다음과 같다: 1.5℃와 2℃사이에서 RFC1(고유의 위협받는 시스템)에 대해 높음에서 매우 높음까지(*높은 신뢰도*); 1.0℃와 1.5℃사이에서 RFC2(극한 기상 현상)에 대해 보통에서 높음까지(*중간 신뢰도*); 1.5℃와 2℃사이에서 RFC3(영향의 분포)에 대해 보통에서 높음까지(*높은 신뢰도*); 1.5℃와 2.5℃ 사이에서 RFC4(전지구 총 영향)에 대해 보통에서 높음까지(*중간 신뢰도*); 1℃와 2.5℃ 사이에서 RFC5(대규모 특이 현상)에 대해 보통에서 높음까지(*중간 신뢰도*). (그림 SPM 2) {3.4.13; 3.5, 3.5.2}

B.6. 대부분의 적응 필요성은 2℃에 비해 1.5℃ 지구온난화에서 더 낮아질 것이다(*높은 신뢰도*). 기후 변화 리스크를 줄일 수 있는 광범위한 적응 옵션이 있다(*높은 신뢰도*). 인간계와 자연계에 대한 적응 및 적응 역량의 한계와 이로 인한 손실이 1.5℃ 지구온난화에서 존재한다(*중간 신뢰도*). 적응 옵션의 수와 유용성은 부문별로 상이하다(*중간 신뢰도*). {표 3.5, 4.3, 4.5, 제4장 교차 장 박스 9, 제5장 교차챕터 박스 12}

B.6.1. 광범위한 적응 옵션이 자연계 및 관리된 생태계에 대한 리스크 저감에 이용가능하며 (예, 생태계에 기반한 적응, 생태계 복원, 황폐화 및 산림파괴 방지, 생물다양성 관리, 지속가능한 양식업, 지역 지식 및 토착 지식), 해수면 상승 리스크 저감에 유용한 적응 옵션(예, 연안 방어 및 강화), 특히 농어촌 지역에서의 건강, 생계, 식량, 물, 경제성장 리스크 저감에 유용한 적응 옵션(예, 효과적 관개, 사회안전망, 재난 리스크 관리, 리스크 분산 및 공유, 공동체 기반의 적응) 그리고 도시 지역에서의 리스크 저감에 유용한 적응 옵션(예, 친환경 사회기반시설, 지속가능한 토지 사용과 계획, 지속가능한 물 관리)이 있다(*중간 신뢰도*). {4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.5, 4.5.3, 4.5.4, 5.3.2, 박스 4.2, 박스 4.3, 박스 4.6, 제4장 교차챕터 박스 9}.

B.6.2. 1.5℃보다 2℃ 지구온난화에서 생태계, 식량, 보건 시스템에 대한 적응이 더 어려울 것으로 예상된다(*중간 신뢰도*). 군소도서국 및 저개발국가를 비롯한 일부 취약 지역은 1.5℃ 지구온난화에서도 다중적이고 상호간에 연계된 높은 기후 리스크를 경험할 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). {3.3.1, 3.4.5, 박스 3.5, 표 3.5, 제4장 교차챕터 박스 9, 5.6, 제5장 교차챕터 박스 12, 박스 5.3}

B.6.3. 1.5℃ 지구온난화에서 적응 역량에 대한 한계가 존재하며, 지구온난화가 진행될수록 이 한계는 명백해지고 부문에 따라 상이한데, 취약한 지역, 생태계 및 건강에 대해 지역별로 다른 시사점을 보인다(*중간 신뢰도*). {제5장 교차챕터 박스 12, 박스 3.5, 표 3.5}

B.5.6 Exposure to multiple and compound climate-related risks increases between 1.5°C and 2°C of global warming, with greater proportions of people both so exposed and susceptible to poverty in Africa and Asia (*high confidence*). For global warming from 1.5°C to 2°C, risks across energy, food, and water sectors could overlap spatially and temporally, creating new and exacerbating current hazards, exposures, and vulnerabilities that could affect increasing numbers of people and regions (*medium confidence*). {Box 3.5, 3.3.1, 3.4.5.3, 3.4.5.6, 3.4.11, 3.5.4.9}

B.5.7 There are multiple lines of evidence that since AR5 the assessed levels of risk increased for four of the five Reasons for Concern (RFCs) for global warming to 2°C (*high confidence*). The risk transitions by degrees of global warming are now: from high to very high risk between 1.5°C and 2°C for RFC1 (Unique and threatened systems) (*high confidence*); from moderate to high risk between 1°C and 1.5°C for RFC2 (Extreme weather events) (*medium confidence*); from moderate to high risk between 1.5°C and 2°C for RFC3 (Distribution of impacts) (*high confidence*); from moderate to high risk between 1.5°C and 2.5°C for RFC4 (Global aggregate impacts) (*medium confidence*); and from moderate to high risk between 1°C and 2.5°C for RFC5 (Large-scale singular events) (*medium confidence*). (Figure SPM.2) {3.4.13; 3.5, 3.5.2}

B.6 Most adaptation needs will be lower for global warming of 1.5°C compared to 2°C (*high confidence*). There are a wide range of adaptation options that can reduce the risks of climate change (*high confidence*). There are limits to adaptation and adaptive capacity for some human and natural systems at global warming of 1.5°C, with associated losses (*medium confidence*). The number and availability of adaptation options vary by sector (*medium confidence*). {Table 3.5, 4.3, 4.5, Cross-Chapter Box 9 in Chapter 4, Cross-Chapter Box 12 in Chapter 5}

B.6.1 A wide range of adaptation options are available to reduce the risks to natural and managed ecosystems (e.g., ecosystem-based adaptation, ecosystem restoration and avoided degradation and deforestation, biodiversity management, sustainable aquaculture, and local knowledge and indigenous knowledge), the risks of sea level rise (e.g., coastal defence and hardening), and the risks to health, livelihoods, food, water, and economic growth, especially in rural landscapes (e.g., efficient irrigation, social safety nets, disaster risk management, risk spreading and sharing, and community-based adaptation) and urban areas (e.g., green infrastructure, sustainable land use and planning, and sustainable water management) (*medium confidence*). {4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.5, 4.5.3, 4.5.4, 5.3.2, Box 4.2, Box 4.3, Box 4.6, Cross-Chapter Box 9 in Chapter 4}.

B.6.2 Adaptation is expected to be more challenging for ecosystems, food and health systems at 2°C of global warming than for 1.5°C (*medium confidence*). Some vulnerable regions, including small islands and Least Developed Countries, are projected to experience high multiple interrelated climate risks even at global warming of 1.5°C (*high confidence*). {3.3.1, 3.4.5, Box 3.5, Table 3.5, Cross-Chapter Box 9 in Chapter 4, 5.6, Cross-Chapter Box 12 in Chapter 5, Box 5.3}

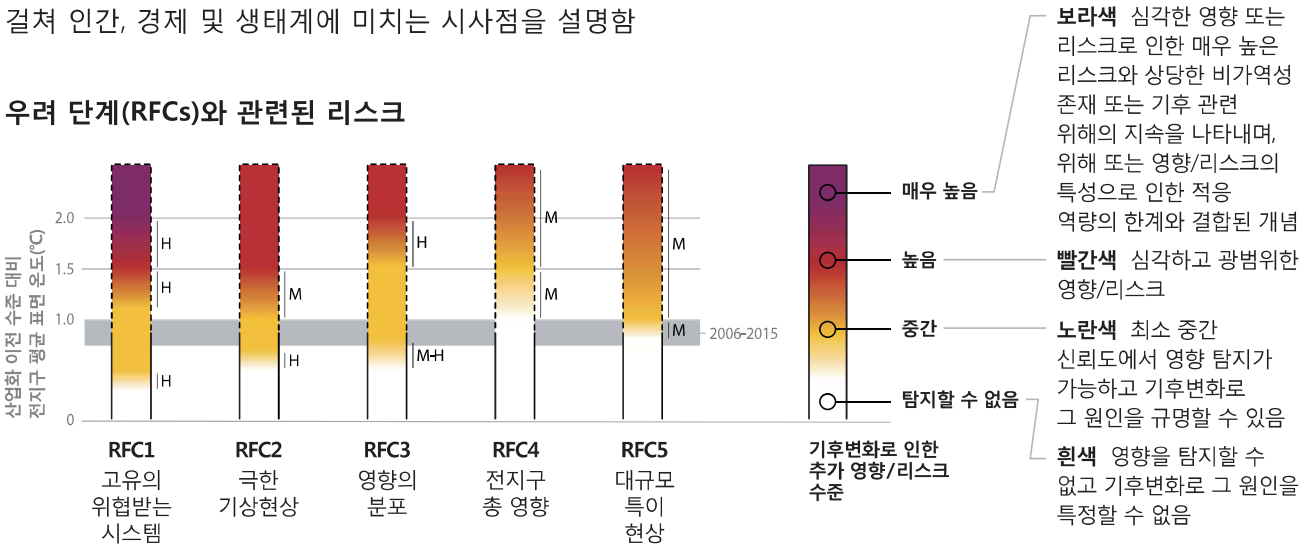
B.6.3 Limits to adaptive capacity exist at 1.5°C of global warming, become more pronounced at higher levels of warming and vary by sector, with site-specific implications for vulnerable regions, ecosystems and human health (*medium confidence*). {Cross-Chapter Box 12 in Chapter 5, Box 3.5, Table 3.5}

SPM

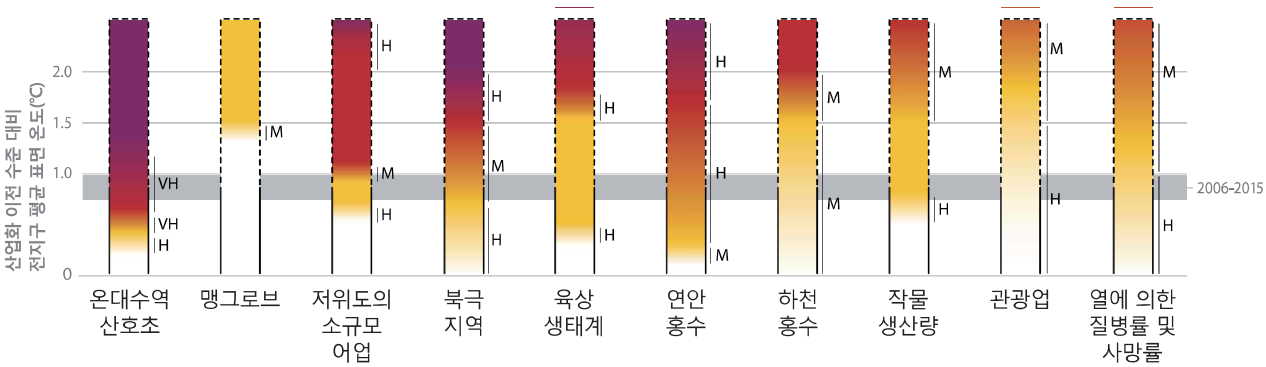
어떻게 지구온난화가 우려 단계와 관련된 리스크, 선택된 자연계, 관리된 시스템 및 인간계에 영향을 미치는가?

다섯 가지 우려 단계(RFCs)는 지구온난화 정도가 여러 분야와 지역에 걸쳐 인간, 경제 및 생태계에 미치는 시사점을 설명함

우려 단계(RFCs)와 관련된 리스크



선택된 자연계, 관리된 시스템 및 인간계에 대한 리스크



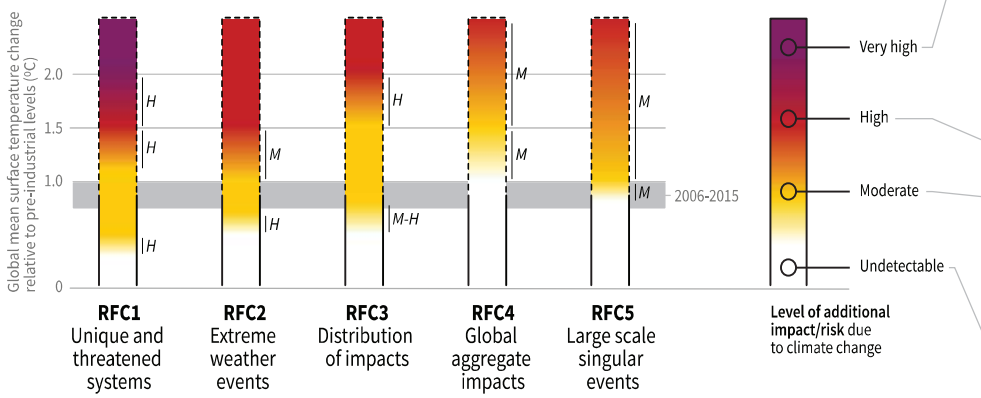
신뢰도 수준 : *L*=낮음, *M*=중간, *H*=높음, *VH*=매우 높음

그림 SPM. 2: 다섯 가지 통합 우려단계(RFCs)는 여러 분야와 지역에 걸쳐 나타나는 주요 영향과 리스크를 요약하는 준거 틀로서 IPCC 3차 평가보고서에 도입됨. RFCs는 지구온난화가 인간, 경제 그리고 생태계에 대한 시사점을 설명함. 개별 RFC에 대한 영향 그리고/또는 리스크는 새로운 연구 문헌을 평가해 작성됨. AR5와 같은 방식으로 지구온난화 수준을 영향 그리고/또는 리스크가 탐지할 수 없거나, 보통이거나, 높거나, 매우 높은지 평가해 전문적인 판단을 내리는 데 이러한 연구들이 활용됨. 아래 세부 그림에서 자연계, 관리된 시스템과 인간계에 대해 선택된 영향과 리스크가 설명되어 있으며, 모든 것이 포괄적으로 포함되지는 않음.
RFC1 고유의 위협받는 시스템: 기후 관련 조건에 의존적인 제한된 지리적 분포 범위를 갖고 특유의 풍토성 또는 다른 고유의 특성을 지니는 생태계 및 인간계. 예로는 산호초, 북극 및 북극의 토착민, 산악 빙하와 생물다양성 리스크 지역이 있음.
RFC2 극한 기상현상: 폭염, 호우, 가뭄 및 관련된 산불과 연안 홍수와 같은 극한 기상 현상으로 인한 건강, 생계, 자산 및 생태계에 대한 리스크/영향.
RFC3 영향의 분포: 물리적인 기후변화 위해(hazard), 노출 또는 취약성의 불균등한 분포로 인해 특정 집단에 더 많은 영향을 미치는 리스크/영향.
RFC4 전지구 총 영향: 전지구적 재정 피해, 생태계 및 생물다양성의 전지구 규모의 황폐화 및 감소.
RFC5 대규모 특이 현상: 지구온난화로 인한 상대적으로 거대하고, 갑작스럽고, 때때로 비가역적인 시스템의 변화. 예로는 그린란드 및 북극 해빙의 붕괴가 있음. {3.4, 3.5, 3.5.2.1, 3.5.2.2, 3.5.2.3, 3.5.2.4, 3.5.2.5, 5.4.1 5.5.3, 5.6.1, 박스 3.4}

How the level of global warming affects impacts and/or risks associated with the Reasons for Concern (RFCs) and selected natural, managed and human systems

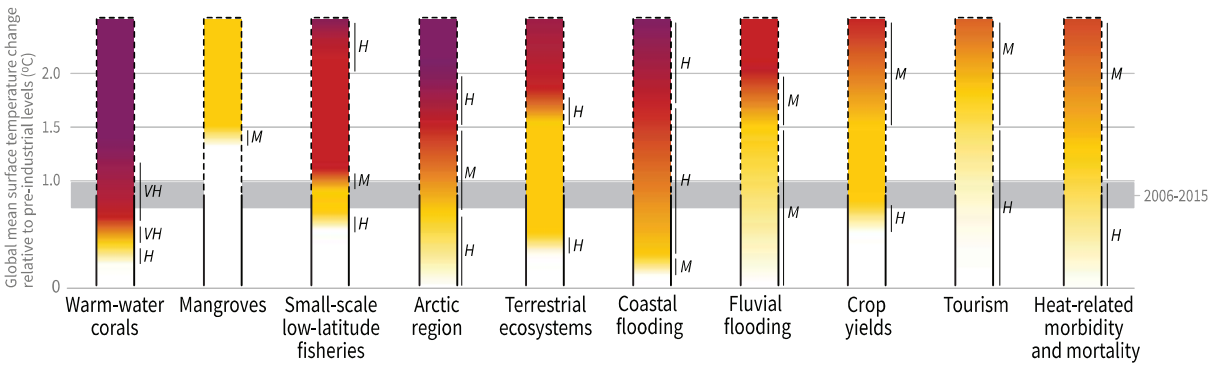
Five Reasons For Concern (RFCs) illustrate the impacts and risks of different levels of global warming for people, economies and ecosystems across sectors and regions.

Impacts and risks associated with the Reasons for Concern (RFCs)



Purple indicates very high risks of severe impacts/risks and the presence of significant irreversibility or the persistence of climate-related hazards, combined with limited ability to adapt due to the nature of the hazard or impacts/risks.
Red indicates severe and widespread impacts/risks.
Yellow indicates that impacts/risks are detectable and attributable to climate change with at least medium confidence.
White indicates that no impacts are detectable and attributable to climate change.

Impacts and risks for selected natural, managed and human systems



Confidence level for transition: *L*=Low, *M*=Medium, *H*=High and *VH*=Very high

Figure SPM.2 | Five integrative reasons for concern (RFCs) provide a framework for summarizing key impacts and risks across sectors and regions, and were introduced in the IPCC Third Assessment Report. RFCs illustrate the implications of global warming for people, economies and ecosystems. Impacts and/or risks for each RFC are based on assessment of the new literature that has appeared. As in AR5, this literature was used to make expert judgments to assess the levels of global warming at which levels of impact and/or risk are undetectable, moderate, high or very high. The selection of impacts and risks to natural, managed and human systems in the lower panel is illustrative and is not intended to be fully comprehensive. {3.4, 3.5, 3.5.2.1, 3.5.2.2, 3.5.2.3, 3.5.2.4, 3.5.2.5, 5.4.1, 5.5.3, 5.6.1, Box 3.4}

RFC1 Unique and threatened systems: ecological and human systems that have restricted geographic ranges constrained by climate-related conditions and have high endemism or other distinctive properties. Examples include coral reefs, the Arctic and its indigenous people, mountain glaciers and biodiversity hotspots.
RFC2 Extreme weather events: risks/impacts to human health, livelihoods, assets and ecosystems from extreme weather events such as heat waves, heavy rain, drought and associated wildfires, and coastal flooding.
RFC3 Distribution of impacts: risks/impacts that disproportionately affect particular groups due to uneven distribution of physical climate change hazards, exposure or vulnerability.
RFC4 Global aggregate impacts: global monetary damage, global-scale degradation and loss of ecosystems and biodiversity.
RFC5 Large-scale singular events: are relatively large, abrupt and sometimes irreversible changes in systems that are caused by global warming. Examples include disintegration of the Greenland and Antarctic ice sheets.

C. 1.5℃ 지구온난화에 상응하는 배출 경로와 시스템 전환

C.1. 오버슛이 없거나 제한적으로 있는 1.5℃ 모델 경로에서, 인간활동에 기인한 전지구적 CO_2 순 배출량은 2030년까지 2010년 대비 최소 45% 감소하고(4분위수 범위: 40~60%), 2050년경에는 net zero에 도달한다(4분위수 범위: 2045~2055년). 2℃ 미만으로 지구온난화를 억제하는[11] 경우, 대부분의 경로에서 2030년까지 이산화탄소 배출량이 대략 25% 감소하고(4분위수 범위: 10~30%), 2070년경에는 net zero에 도달한다(4분위수 범위: 2065~2080년). 1.5℃로 온난화를 억제하는 경로에서 non-CO_2 배출량은 2℃로 온난화를 억제하는 경로와 유사하게 상당한 감축을 보인다(*높은 신뢰도*). (그림 SPM 3a) {2.1, 2.3, 표 2.4}

C.1.1. 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 이산화탄소 배출량 감축은 에너지 및 자원 집약도의 저감, 탈탄소화 속도, 이산화탄소흡수(CDR)에 대한 의존 간의 균형에 현저한 차이를 줌으로써 다양한 완화 수단 포트폴리오를 가진다. 이 포트폴리오에 따라 각기 다른 이행과 관련된 도전과제와 지속가능한 발전과의 잠재적인 시너지 및 상충 문제가 존재한다(*높은 신뢰도*). (그림 SPM 3b) {2.3.2, 2.3.4, 2.4, 2.5.3}

C.1.2. 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 모델 경로는 메탄과 블랙카본 배출량의 대폭적인 감축(두 기체를 포함해 2050년까지 2010년 대비 35% 이상)을 수반한다. 이러한 경로에는 대부분의 냉각화 에어로졸의 감축 또한 포함되는데, 이 결과 20~30년 동안은 완화 효과가 부분적으로 상쇄된다. 에너지 부문의 광범위한 완화 수단의 효과로 non-CO_2 배출량[12]이 저감될 수 있다. 또한, non-CO_2를 타겟으로 하는 완화 수단은 농업에서 아산화질소와 메탄 배출량을 줄이고, 폐기물 부문에서 메탄의 배출량을 줄이며, 블랙카본 및 수소불화탄소류 배출 원인을 줄일 수 있다. 높은 바이오에너지 수요는 일부 1.5℃ 경로에서 질소산화물의 배출량을 증가시킬 수 있으며, 이는 적절한 관리 방식의 중요성을 강조한다. 모든 1.5℃ 모델 경로에서 전망된 많은 non-CO_2 배출량의 저감 결과로 나타나는 대기질 개선은 보건 측면에서 직접적이고 즉각적인 편익을 제공한다(*높은 신뢰도*). (그림 SPM 3a) {2.2.1, 2.3.3, 2.4.4, 2.5.3, 4.3.6, 5.4.2}

C.1.3. 지구온난화를 억제하기 위해서는 총 탄소배출총량과 같은 산업화 이전 시기 이후로 누적된 인간활동에 기인한 전지구 총 누적배출량을 제한해야 하는데, 즉, 총 탄소배출총량 내에 머물러야 한다(*높은 신뢰도*)[13]. 산업화 이전 시기 이후 인간활동에 기인한 CO_2 배출량은 1.5℃를 위한 총 탄소배출총량을 2017년 말까지 대략 2200±320 $GtCO_2$을 고갈시킨 것으로 추정된다(*중간 신뢰도*). 그에 따른 잔여배출총량은 현재의 배출 수준인 연간 42±3 $GtCO_2$씩 고갈되고 있다(*높은 신뢰도*). 전지구 온도 측정방법의 선택은 잔여 탄소배출총량의 추정치에 영향을 미친다. AR5와 동일하게 전지구 평균 표면 기온을 사용하면, 50% 확률로 1.5℃로 온난화를 억제하는 경우 잔여 탄소배출총량은 580 $GtCO_2$로 추정되고, 66% 확률일 경우는 420 $GtCO_2$로 추정된다(*중간 신뢰도*)[14]. 대신 GMST를 사용할 경우 50%와 66% 확률일 때의 추정값은 각각 770 $GtCO_2$와 570 $GtCO_2$이다(*중간 신뢰도*)[15]. 추정된 잔여 탄소배출총량의 불확실성은 상당히 크고 여러 요인에 좌우된다. CO_2 및 non-CO_2 배출량에 대한 기후 반응의 불확실성은 ±400 $GtCO_2$, 과거 온난화 수준의 불확실성은 ±250 $GtCO_2$이다(*중간 신뢰도*). 미래에 영구동토층이 녹아서 추가적으로 배출될 수 있는 탄소와 습지에서 배출될 수 있는 메탄은 금세기 동안 잔여 탄소배출총량을 최대 100 $GtCO_2$까지 고갈시킬 것이며, 이 후에는 더 크게 줄어들 것이다(*중간 신뢰도*). 또한, 미래의 non-CO_2 감축 수준은 어떤 방향으로든 잔여 탄소배출총량을 250 $GtCO_2$까지 변화시킬 수 있다(*중간 신뢰도*). {1.2.4, 2.2.2, 2.6.1, 표 2.2, 제2장 추가 자료}

11) 지구온난화를 2℃로 억제하는 경로는 2℃ 미만으로 유지될 가능성이 66%인 경우를 기준으로 한다.

12) 이 보고서에 포함된 Non-CO_2 배출량은 복사강제력에 영향을 미치는 CO_2 외의 모든 인간활동에 기인한 배출량을 말함. 여기에는 아산화질소 또는 일부 불화계 가스와 같은 장기체류 온실가스 뿐만 아니라 블랙 카본, 이산화황 같은 에어로졸 및 에어로졸 전구물질 그리고 메탄, 일부 불화계 가스, 오존 전구물질과 같은 단기체류 기후변화 유발물질을 포함됨. Non-CO_2 배출량 및 표면 알베도 변화와 관련된 복사강제력은 non-CO_2 복사강제력으로 언급됨 {x,y}

13) 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 것과 상응하는 총 탄소배출총량에 대한 명백한 과학적 근거가 있음. 그러나 총 탄소배출총량이나 과거 배출량이 이 총량에서 차지한 부분 모두 이 보고서에서는 평가되지 않았음

14) 사용된 전지구 온도 측정법과는 무관하게, 방법에 대한 이해가 갱신되고 고도화되면서 AR5 대비 잔여 탄소 배출 총량 추정값이 대략 300 $GtCO_2$ 증가함

15) 이 추정값은 2006~2015년에 관측된 GMST를 사용하며, 표면 근처 기온을 이용하여 미래의 온도 변화를 추정함

C. Emission Pathways and System Transitions Consistent with 1.5°C Global Warming

C.1 In model pathways with no or limited overshoot of 1.5°C, global net anthropogenic CO_2 emissions decline by about 45% from 2010 levels by 2030 (40–60% interquartile range), reaching net zero around 2050 (2045–2055 interquartile range). For limiting global warming to below 2°C[11] CO_2 emissions are projected to decline by about 25% by 2030 in most pathways (10–30% interquartile range) and reach net zero around 2070 (2065–2080 interquartile range). Non-CO_2 emissions in pathways that limit global warming to 1.5°C show deep reductions that are similar to those in pathways limiting warming to 2°C. (*high confidence*) (Figure SPM.3a) {2.1, 2.3, Table 2.4}

C.1.1 CO_2 emissions reductions that limit global warming to 1.5°C with no or limited overshoot can involve different portfolios of mitigation measures, striking different balances between lowering energy and resource intensity, rate of decarbonization, and the reliance on carbon dioxide removal. Different portfolios face different implementation challenges and potential synergies and trade-offs with sustainable development. (*high confidence*) (Figure SPM.3b) {2.3.2, 2.3.4, 2.4, 2.5.3}

C.1.2 Modelled pathways that limit global warming to 1.5°C with no or limited overshoot involve deep reductions in emissions of methane and black carbon (35% or more of both by 2050 relative to 2010). These pathways also reduce most of the cooling aerosols, which partially offsets mitigation effects for two to three decades. Non-CO_2 emissions[12] can be reduced as a result of broad mitigation measures in the energy sector. In addition, targeted non-CO_2 mitigation measures can reduce nitrous oxide and methane from agriculture, methane from the waste sector, some sources of black carbon, and hydrofluorocarbons. High bioenergy demand can increase emissions of nitrous oxide in some 1.5°C pathways, highlighting the importance of appropriate management approaches. Improved air quality resulting from projected reductions in many non-CO_2 emissions provide direct and immediate population health benefits in all 1.5°C model pathways. (*high confidence*) (Figure SPM.3a) {2.2.1, 2.3.3, 2.4.4, 2.5.3, 4.3.6, 5.4.2}

C.1.3 Limiting global warming requires limiting the total cumulative global anthropogenic emissions of CO_2 since the pre-industrial period, that is, staying within a total carbon budget (*high confidence*).[13] By the end of 2017, anthropogenic CO_2 emissions since the pre-industrial period are estimated to have reduced the total carbon budget for 1.5°C by approximately 2200 ± 320 $GtCO_2$ (*medium confidence*). The associated remaining budget is being depleted by current emissions of 42 ± 3 $GtCO_2$ per year (*high confidence*). The choice of the measure of global temperature affects the estimated remaining carbon budget. Using global mean surface air temperature, as in AR5, gives an estimate of the remaining carbon budget of 580 $GtCO_2$ for a 50% probability of limiting warming to 1.5°C, and 420 $GtCO_2$ for a 66% probability (*medium confidence*).[14] Alternatively, using GMST gives estimates of 770 and 570 $GtCO_2$, for 50% and 66% probabilities,[15] respectively (*medium confidence*). Uncertainties in the size of these estimated remaining carbon budgets are substantial and depend on several factors. Uncertainties in the climate response to CO_2 and non-CO_2 emissions contribute ±400 $GtCO_2$ and the level of historic warming contributes ±250 $GtCO_2$ (*medium confidence*). Potential additional carbon release from future permafrost thawing and methane release from wetlands would reduce budgets by up to 100 $GtCO_2$ over the course of this century and more thereafter (*medium confidence*). In addition, the level of non-CO_2 mitigation in the future could alter the remaining carbon budget by 250 $GtCO_2$ in either direction (*medium confidence*). {1.2.4, 2.2.2, 2.6.1, Table 2.2, Chapter 2 Supplementary Material}

C.1.4 Solar radiation modification (SRM) measures are not included in any of the available assessed pathways. Although some SRM measures may be theoretically effective in reducing an overshoot, they face large uncertainties and knowledge gaps

11 References to pathways limiting global warming to 2°C are based on a 66% probability of staying below 2°C.

12 Non-CO_2 emissions included in this Report are all anthropogenic emissions other than CO_2 that result in radiative forcing. These include short-lived climate forcers, such as methane, some fluorinated gases, ozone precursors, aerosols or aerosol precursors, such as black carbon and sulphur dioxide, respectively, as well as long-lived greenhouse gases, such as nitrous oxide or some fluorinated gases. The radiative forcing associated with non-CO_2 emissions and changes in surface albedo is referred to as non-CO_2 radiative forcing. {2.2.1}

13 There is a clear scientific basis for a total carbon budget consistent with limiting global warming to 1.5°C. However, neither this total carbon budget nor the fraction of this budget taken up by past emissions were assessed in this Report.

14 Irrespective of the measure of global temperature used, updated understanding and further advances in methods have led to an increase in the estimated remaining carbon budget of about 300 $GtCO_2$ compared to AR5. (*medium confidence*) {2.2.2}

15 These estimates use observed GMST to 2006–2015 and estimate future temperature changes using near surface air temperatures.

C.1.4. 평가된 어떤 경로에도 태양복사조절(SRM) 조치는 포함되어 있지 않다. 일부 SRM 조치는 이론적으로는 오버슛을 줄이는데 효과가 있을지 모르나, 이 조치는 큰 불확실성과 지식 격차, 상당한 리스크 그리고 거버넌스와 윤리 및 지속가능발전에 대한 영향과 관련된 보급에 대한 제도적·사회적 제약에 직면하고 있다. 또한 이 조치는 해양산성화를 완화하지 않는다(*중간 신뢰도*). {4.3.8, 제4장 교차챕터 박스 10}

전지구 배출 경로 특징

오버슛(overshoot)이 없거나 제한된 오버슛 하에 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 모델 경로에서 인간 활동에 기인한 CO_2 순 배출량의 변화와 메탄, 블랙 카본 및 아산화질소의 총 배출량에 대한 일반적인 특징. 순 배출량은 인위적인 흡수로 감축된 인위적 배출량을 의미함. 순 배출량의 감소는 그림 SPM3b에 설명된 여러 완화수단 포트폴리오를 통해 달성할 수 있음

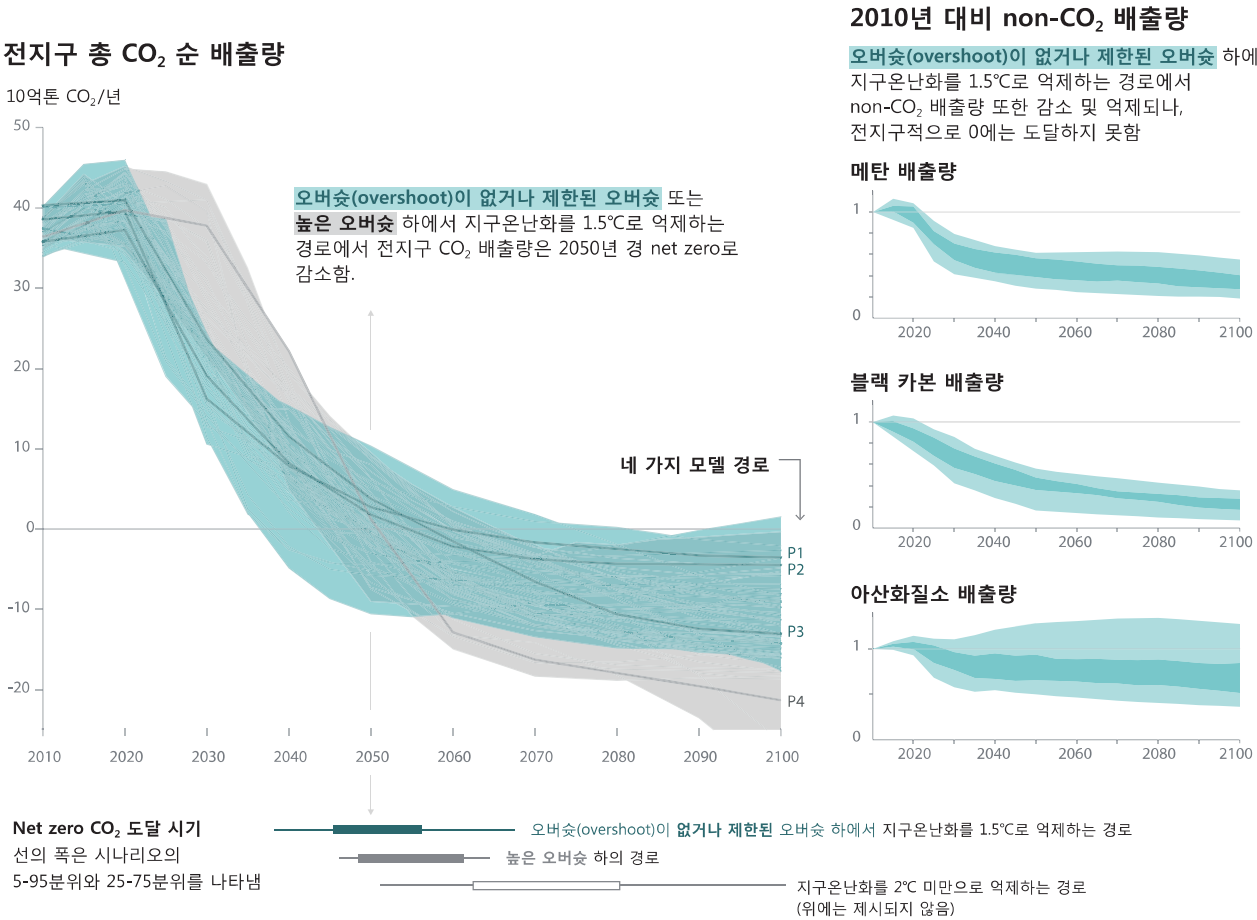


그림 SPM. 3a: 전지구 배출 경로 특징. 주요 세부 그림은 오버슛(overshoot)이 없거나 제한된 오버슛(0.1℃보다 작음)과 더 높은 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 경로에서의 전지구 인간활동에 기인한 CO_2 순 배출량을 보여줌. 음영 처리된 영역은 이 보고서에서 평가된 모든 범주의 경로를 보여줌. 오른쪽 세부 그림은 과거 큰 강제력을 가진 세 가지 화합물에 대한 non-CO_2 배출량의 범위와 CO_2 감축에 매우 중요한 영역과 별개의 배출원에서 배출되는 상당한 비중의 배출량을 보여줌. 이 그림들에서 음영 처리된 영역은 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 경로의 5~95% 범위(약한 음영) 및 4분위수 범위(진한 음영)를 보여줌. 그림 하단의 상자 수염 그림(box-whiskers)은 배출경로가 전 지구적으로 net zero CO_2 배출량에 도달하는 시점과 66% 이상의 확률로 지구온난화를 2℃로 억제하는 경로와의 비교를 보여줌. 네 가지 모델 경로가 주요 세부 그림에서 강조되었고, P1, P2, P3와 P4로 표기되었으며 이는 본 보고서 제2장에서 평가된 LED, S1, S2와 S5에 상응함. 경로별 특징과 설명은 그림 SPM 3b에 제시됨 {2.1, 2.2, 2.3, 그림 2.5, 그림 2.10, 그림 2.11}

as well as substantial risks and institutional and social constraints to deployment related to governance, ethics, and impacts on sustainable development. They also do not mitigate ocean acidification. (*medium confidence*) {4.3.8, Cross-Chapter Box 10 in Chapter 4}

Global emissions pathway characteristics

General characteristics of the evolution of anthropogenic net emissions of CO_2, and total emissions of methane, black carbon, and nitrous oxide in model pathways that limit global warming to 1.5°C with no or limited overshoot. Net emissions are defined as anthropogenic emissions reduced by anthropogenic removals. Reductions in net emissions can be achieved through different portfolios of mitigation measures illustrated in Figure SPM.3b.

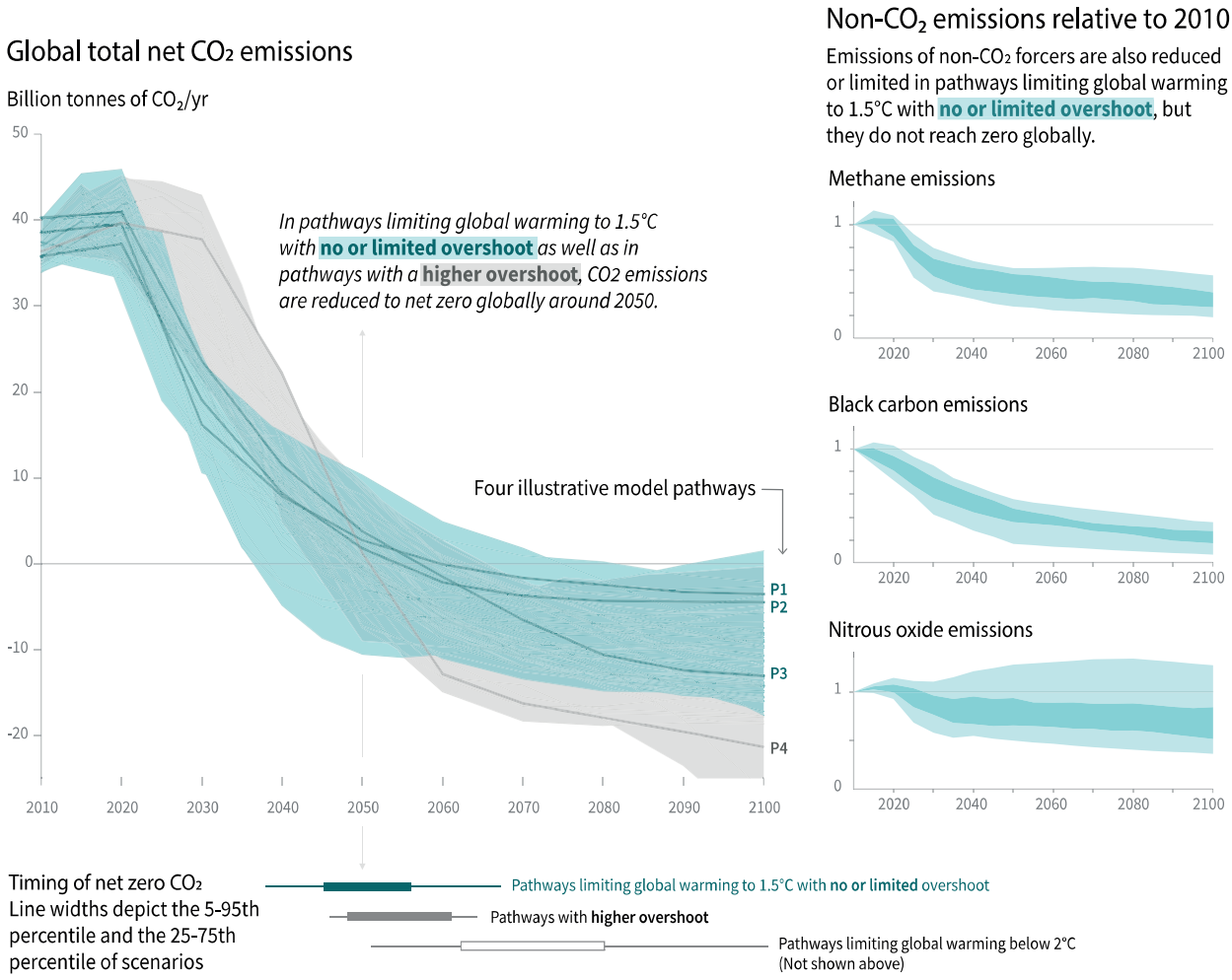
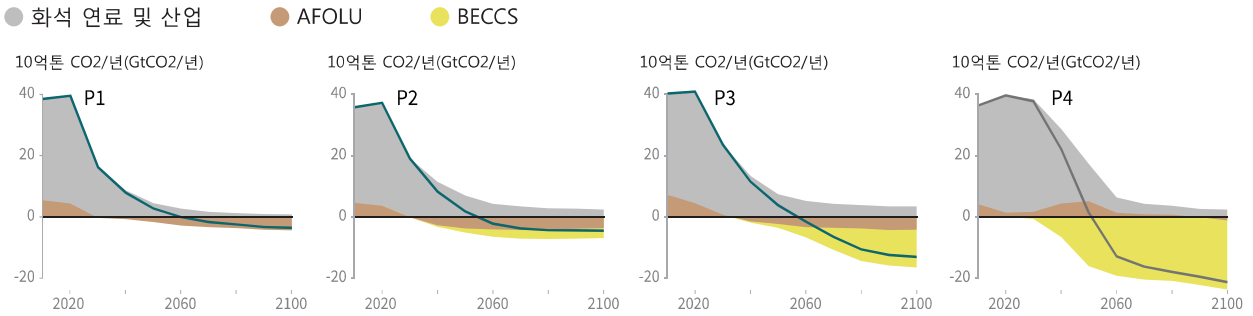


Figure SPM.3a | Global emissions pathway characteristics. The main panel shows global net anthropogenic CO_2 emissions in pathways limiting global warming to 1.5°C with no or limited (less than 0.1°C) overshoot and pathways with higher overshoot. The shaded area shows the full range for pathways analysed in this Report. The panels on the right show non-CO_2 emissions ranges for three compounds with large historical forcing and a substantial portion of emissions coming from sources distinct from those central to CO_2 mitigation. Shaded areas in these panels show the 5–95% (light shading) and interquartile (dark shading) ranges of pathways limiting global warming to 1.5°C with no or limited overshoot. Box and whiskers at the bottom of the figure show the timing of pathways reaching global net zero CO_2 emission levels, and a comparison with pathways limiting global warming to 2°C with at least 66% probability. Four illustrative model pathways are highlighted in the main panel and are labelled P1, P2, P3 and P4, corresponding to the LED, S1, S2, and S5 pathways assessed in Chapter 2. Descriptions and characteristics of these pathways are available in Figure SPM.3b. {2.1, 2.2, 2.3, Figure 2.5, Figure 2.10, Figure 2.11}

네 가지 모델 경로의 특징

상이한 완화 전략으로 오버슛(overshoot)이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5°C로 억제하는 경로를 따르는 순 배출량 감축을 달성할 수 있음. 모든 경로가 이산화탄소흡수(CDR)를 가정하지만, 농업, 산림 및 기타 토지 이용(AFOLU)에서의 흡수와 바이오에너지·탄소포집저장(BECCS)의 상대적인 기여량 등 흡수량은 경로마다 다르며, 이는 배출량과 몇몇 다른 경로의 특징에 시사점을 가짐

모델 경로별 전지구 CO_2 순 배출량



P1: 특히 제3세계에서 생활 수준이 향상되고, 사회, 기업 및 기술혁신으로 2050년까지 에너지 수요가 감소하는 시나리오. 에너지 시스템의 규모 축소로 에너지 공급의 빠른 탈탄소화가 가능해짐. 신규 조림이 유일한 CDR 옵션으로 고려되었으며 화석 연료 CCS나 BECCS는 이용되지 않음

P2: 에너지 집약도, 인간 개발, 경제적 수렴, 국제 협력 및 지속 가능하고 건강한 소비패턴, 저탄소 기술 혁신, BECCS에 대한 제한된 사회적 수용을 고려한 잘 관리된 토지 시스템을 포함하여 지속가능성에 초점을 둔 시나리오

P3: 사회 및 기술적 발전이 과거 패턴을 따르는 중도 시나리오. 배출량 감축은 주로 에너지와 제품이 생산되는 방식의 변화를 통해 이루어지며, 상대적으로 적은 수요 저감을 가정함

P4: 경제성장과 세계화로 인해 수송을 연료와 축산 제품에 대한 높은 수요를 포함해 온실가스 집약적인 생활방식이 확대되는 자원 및 에너지 집약적인 시나리오. 배출량 감축은 주로 기술적인 수단을 통해 달성되며, BECCS의 확대를 통한 CDR의 이용을 강화함

전지구 지표	P1	P2	P3	P4	사분위수 범위
경로구분	없거나 낮은 오버슛	없거나 낮은 오버슛	없거나 낮은 오버슛	높은 오버슛	없거나 낮은 오버슛
2030년 CO_2 배출량 변화 (2010년 대비 %)	-58	-47	-41	4	(-58,-40)
↳ 2050년	-93	-95	-91	-97	(-107,-94)
2030년 교토-온실가스 배출량 변화 (2010년 대비 %)	-50	-49	-35	-2	(-51,-39)
↳ 2050년	-82	-89	-78	-80	(-93,-81)
*2030년 최종 에너지 수요** (2010년 대비 %)*	-15	-5	17	39	(-12,7)
↳ 2050년	-32	2	21	44	(-11,22)
2030년 전기에너지 중 재생에너지 비율 (2010년 대비 %)	60	58	48	25	(47,65)
↳ 2050년	77	81	63	70	(69,86)
2030년 석탄으로부터의 1차에너지 비율 (2010년 대비 %)	-78	-61	-75	-59	(-78, -59)
↳ 2050년	-97	-77	-73	-97	(-95, -74)
2030년 석유로부터의 1차에너지 비율 (2010년 대비 %)	-37	-13	-3	86	(-34,3)
↳ 2050년	-87	-50	-81	-32	(-78,-31)
2030년 가스로부터의 1차에너지 비율 (2010년 대비 %)	-25	-20	33	37	(-26,21)
↳ 2050년	-74	-53	21	-48	(-56,6)
2030년 원자력으로부터의 1차에너지 비율 (2010년 대비 %)	59	83	98	106	(44,102)
↳ 2050년	150	98	501	468	(91,190)
2030년 바이오매스로부터의 1차에너지 비율 (2010년 대비 %)	-11	0	36	-1	(29,80)
↳ 2050년	-16	49	121	418	(123,261)
2030년 바이오매스 외 재생에너지로부터 1차에너지 비율	430	470	315	110	(245,436)
↳ 2050년	833	1327	878	1137	(576,1299)
2100년 누적 CCS($GtCO_2$)	0	348	687	1218	(550,1017)
2100년 누적 BECCS($GtCO_2$)	0	151	414	1191	(364,662)
2050년 바이오에너지 재배 면적(백만 km^2)	0.2	0.9	2.8	7.2	(1.5,3.2)
2030년 농업에 의한 CH_4 배출량 (2010년 대비 %)	-24	-48	1	14	(-30,-11)
↳ 2050년	-33	-69	-23	2	(-47,-24)
2030년 농업에 의한 N_2O 배출량 (2010년 대비 %)	5	-26	15	3	(-21,3)
↳ 2050년	6	-26	0	39	(-26,1)

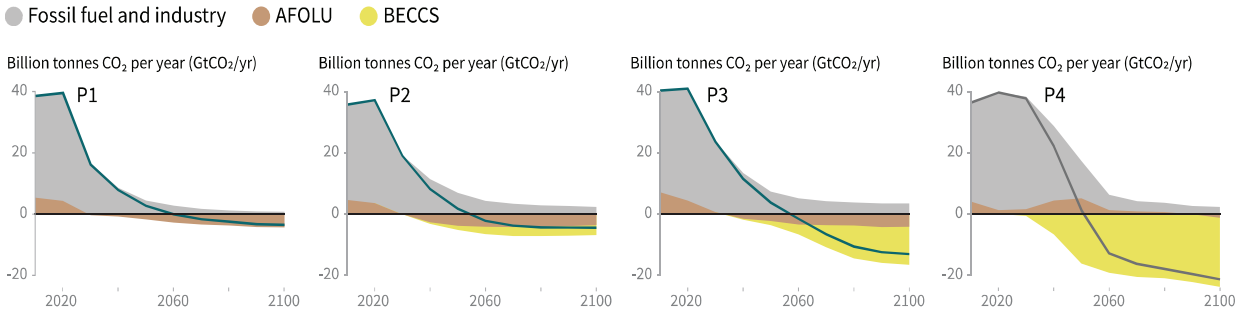
주: 지표는 본 보고서 제2장. 평가에서 규명된 전지구 추세를 보여주고자 채택됨. 국가 및 부문별 특징은 위에 제시된 전지구 추세와 상당히 다를 수 있음

** 교토-온실가스 배출량은 IPCC SR2 GWP-100에 기반함*
*** 에너지 수요 변화는 에너지 효율 개선 및 행동 변화44와 관련됨*

Characteristics of four illustrative model pathways

Different mitigation strategies can achieve the net emissions reductions that would be required to follow a pathway that limits global warming to 1.5°C with no or limited overshoot. All pathways use Carbon Dioxide Removal (CDR), but the amount varies across pathways, as do the relative contributions of Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS) and removals in the Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) sector. This has implications for emissions and several other pathway characteristics.

Breakdown of contributions to global net CO_2 emissions in four illustrative model pathways



P1: A scenario in which social, business and technological innovations result in lower energy demand up to 2050 while living standards rise, especially in the global South. A downsized energy system enables rapid decarbonization of energy supply. Afforestation is the only CDR option considered; neither fossil fuels with CCS nor BECCS are used.

P2: A scenario with a broad focus on sustainability including energy intensity, human development, economic convergence and international cooperation, as well as shifts towards sustainable and healthy consumption patterns, low-carbon technology innovation, and well-managed land systems with limited societal acceptability for BECCS.

P3: A middle-of-the-road scenario in which societal as well as technological development follows historical patterns. Emissions reductions are mainly achieved by changing the way in which energy and products are produced, and to a lesser degree by reductions in demand.

P4: A resource- and energy-intensive scenario in which economic growth and globalization lead to widespread adoption of greenhouse-gas-intensive lifestyles, including high demand for transportation fuels and livestock products. Emissions reductions are mainly achieved through technological means, making strong use of CDR through the deployment of BECCS.

Global indicators	P1	P2	P3	P4	**Interquartile range**
Pathway classification	No or limited overshoot	No or limited overshoot	No or limited overshoot	Higher overshoot	No or limited overshoot
CO_2 emission change in 2030 (% rel to 2010)	-58	-47	-41	4	(-58,-40)
└ in 2050 (% rel to 2010)	-93	-95	-91	-97	(-107,-94)
Kyoto-GHG emissions in 2030 (% rel to 2010)*	-50	-49	-35	-2	(-51,-39)
└ in 2050 (% rel to 2010)	-82	-89	-78	-80	(-93,-81)
*Final energy demand** in 2030 (% rel to 2010)*	-15	-5	17	39	(-12,7)
└ in 2050 (% rel to 2010)	-32	2	21	44	(-11,22)
Renewable share in electricity in 2030 (%)	60	58	48	25	(47,65)
└ in 2050 (%)	77	81	63	70	(69,86)
Primary energy from coal in 2030 (% rel to 2010)	-78	-61	-75	-59	(-78, -59)
└ in 2050 (% rel to 2010)	-97	-77	-73	-97	(-95, -74)
from oil in 2030 (% rel to 2010)	-37	-13	-3	86	(-34,3)
└ in 2050 (% rel to 2010)	-87	-50	-81	-32	(-78,-31)
from gas in 2030 (% rel to 2010)	-25	-20	33	37	(-26,21)
└ in 2050 (% rel to 2010)	-74	-53	21	-48	(-56,6)
from nuclear in 2030 (% rel to 2010)	59	83	98	106	(44,102)
└ in 2050 (% rel to 2010)	150	98	501	468	(91,190)
from biomass in 2030 (% rel to 2010)	-11	0	36	-1	(29,80)
└ in 2050 (% rel to 2010)	-16	49	121	418	(123,261)
from non-biomass renewables in 2030 (% rel to 2010)	430	470	315	110	(245,436)
└ in 2050 (% rel to 2010)	833	1327	878	1137	(576,1299)
Cumulative CCS until 2100 ($GtCO_2$)	0	348	687	1218	(550,1017)
└ of which BECCS ($GtCO_2$)	0	151	414	1191	(364,662)
Land area of bioenergy crops in 2050 (million km²)	0.2	0.9	2.8	7.2	(1.5,3.2)
Agricultural CH_4 emissions in 2030 (% rel to 2010)	-24	-48	1	14	(-30,-11)
in 2050 (% rel to 2010)	-33	-69	-23	2	(-47,-24)
Agricultural N_2O emissions in 2030 (% rel to 2010)	5	-26	15	3	(-21,3)
in 2050 (% rel to 2010)	6	-26	0	39	(-26,1)

NOTE: Indicators have been selected to show global trends identified by the Chapter 2 assessment. National and sectoral characteristics can differ substantially from the global trends shown above.

** Kyoto-gas emissions are based on IPCC Second Assessment Report GWP-100*
*** Changes in energy demand are associated with improvements in energy efficiency and behaviour change*

그림 SPM 3b: 그림 SPM 3a에 제시된 1.5℃ 지구온난화와 관련된 네 가지 모델 경로의 특징. 네 경로는 다양한 잠재적인 완화 접근 경로를 보여주고, 경제 및 인구 성장, 형평성과 지속가능성을 포함해 미래의 사회경제적인 발전에 관한 가정뿐 아니라 에너지 및 토지이용 전망에 있어 상당한 차이가 있도록 선택됨. 인간활동에 기인한 전지구 CO_2 순 배출량을 화석연료, 산업, 그리고 농업, 산림 및 기타 토지이용(AFOLU), 바이오에너지 · 탄소포집저장(BECCS)으로 세분화하여 제시함. 여기에 제시된 AFOLU 추정 값은 국가들이 추정한 값과 반드시 일치하지는 않음. 개별 경로에 대한 상세한 특징이 아래에 설명됨. 이 경로는 완화 전략에 있어 전지구적으로 상대적인 차이 값을 보여주고 있지만 중앙 추정 값, 국가 전략은 아니며, 필요량을 의미하는 것이 아님. 비교를 위해 가장 오른편 열은 1.5℃ 오버슛(overshoot)이 없거나 제한된 상태에서 경로에 대한 4분위수 범위를 보여줌. P1, P2, P3 및 P4는 각각 제2장에서 평가된 LED, S1, S2 및 S5와 상응함 (그림 SPM 3a) {2.2.1, 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.4.1, 2.4.2, 2.4.4, 2.5.3, 그림 2.5, 그림 2.6, 그림 2.9, 그림 2.10, 그림 2.11, 그림 2.14, 그림 2.15, 그림 2.16, 그림 2.17, 그림 2.24, 그림 2.25, 표 2.4, 표 2.6, 표 2.7, 표 2.9}

C.2. 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 경로에서는 에너지, 토지, 도시 및 기반시설(수송과 건물 포함)과 산업 시스템에서의 빠르고 광범위한 전환이 필요할 것이다*(높은 신뢰도)*. 이러한 시스템 전환은 속도 측면에서는 전례가 없었던 것이 아니나, 규모 측면에서는 전례가 없는 것이며, 모든 부문에서의 온실가스 대폭 감축, 감축 수단의 광범위한 포트폴리오, 그리고 감축 수단에 대한 상당한 투자 증대가 있어야 함을 의미한다*(중간 신뢰도)*. {2.3, 2.4, 2.5, 4.2, 4.3, 4.5}

C.2.1. 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 경로는 2℃ 경로 대비 향후 20년 동안 더 빠르고 뚜렷한 시스템 변화를 보여준다(*높은 신뢰도*). 이러한 시스템 변화 속도는 과거에 특정 부문, 기술과 공간적 상황 내에서 일어났으나, 이 변화 규모에 대해 유의미한 전례가 기록된 바는 없다(*중간 신뢰도*). {2.3.3, 2.3.4, 2.4, 2.5, 4.2,1, 4.2.2, 제4장 교차챕터 박스 11}

C.2.2. **에너지 시스템**에서, 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 모델 경로에서는 일반적으로 에너지 효율 개선 등을 통해 에너지 소비를 절감해 에너지 서비스 수요가 충족되며, 2℃ 경로 대비 최종 에너지 소비가 빠르게 전력화된다(*높은 신뢰도*). 2℃ 경로와 대비하여 오버슛이 없거나 제한된 오버슛을 보이는 1.5℃ 경로에서 특히 2050년 이전에 저배출 에너지원의 비중이 더 높을 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). 오버슛이 없거나 제한된 1.5℃ 경로에서는, 2050년 재생 에너지가 전력의 70~85%(4분위수 범위)를 차지할 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). 전력 생산에서 이산화탄소 포집 및 저장(CCS) 활용을 포함한 화석연료와 원자력의 비중은 대부분 오버슛이 없거나 제한된 1.5℃ 경로에서 증가하는 것으로 모델링되었다. 오버슛이 없거나 제한된 1.5℃ 경로에서, CCS의 활용으로 전력 발전 중 가스의 비중은 2050년 전지구 전력의 8%(4분위수 범위: 3~11%)인 반면, 석탄의 비중은 모든 경로에서 전지구 전력의 0%(4분위수 범위: 0~2%)에 가깝게 대폭 감소될 것이다(*높은 신뢰도*). 옵션과 국가별 여건 차이 및 극복 과제가 남아있지만, 태양에너지와 풍력에너지 및 전력 저장 기술의 정치·경제·사회·기술적 이행 가능성이 과거 몇 년 동안 상당히 개선되었다(*높은 신뢰도*). 이러한 개선은 전력 발전 부문의 잠재적인 시스템 전환을 시사한다. (그림 SPM 3b) {2.4.1, 2.4.2, 그림 2.1, 표 2.6, 표 2.7, 제3장 교차챕터 박스 6, 4.2.1, 4.3.1, 4.3.3, 4.5.2}

C.2.3. 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 모델 경로에서는, 2050년 **산업부문**의 CO_2 배출량은 2010년 대비 대략 65~90%(4분위수 범위) 감소할 것으로 전망되며, 2℃ 경로에서는 50~80% 감소할 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). CO_2 배출량 감소는 전력화, 수소 연료, 지속가능한 바이오 기반 원료, 제품 대체, 탄소포집저장 및 활용(CCUS)과 같은 현재 및 새로운 기술이나 실행의 조합을 통해 달성될 수 있다. 이러한 옵션들은 여러 규모에서 기술적으로 입증되었으나, 대규모 보급은 대규모 산업 설비의 구체적인 특성과 여건에 따라 경제적, 재정적, 인간 역량, 제도적 제약으로 제한될 수 있다. 산업부문에서 에너지효율과 공정효율 개선을 통한 배출량 저감만으로는 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하기에는 역부족이다(*높은 신뢰도*). {2.4.3, 4.2.1, 표 4.1, 표 4.3, 4.3.3, 4.3.4, 4.5.2}

C.2.4. 지구온난화를 2℃ 미만으로 억제하는 경로와 비교하여 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 온난화를 1.5℃로 억제하는 데 필요한 **도시 및 기반시설 시스템**의 전환은 예를 들면, 토지 및 도시계획 실천의 변화 뿐 아니라 수송과 건물부문에서의 배출량의 대폭적인 감축을 의미한다

Figure SPM.3b | Characteristics of four illustrative model pathways in relation to global warming of 1.5°C introduced in Figure SPM.3a. These pathways were selected to show a range of potential mitigation approaches and vary widely in their projected energy and land use, as well as their assumptions about future socio-economic developments, including economic and population growth, equity and sustainability. A breakdown of the global net anthropogenic CO_2 emissions into the contributions in terms of CO_2 emissions from fossil fuel and industry; agriculture, forestry and other land use (AFOLU); and bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) is shown. AFOLU estimates reported here are not necessarily comparable with countries' estimates. Further characteristics for each of these pathways are listed below each pathway. These pathways illustrate relative global differences in mitigation strategies, but do not represent central estimates, national strategies, and do not indicate requirements. For comparison, the right-most column shows the interquartile ranges across pathways with no or limited overshoot of 1.5°C. Pathways P1, P2, P3 and P4 correspond to the LED, S1, S2 and S5 pathways assessed in Chapter 2 (Figure SPM.3a). {2.2.1, 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.4.1, 2.4.2, 2.4.4, 2.5.3, Figure 2.5, Figure 2.6, Figure 2.9, Figure 2.10, Figure 2.11, Figure 2.14, Figure 2.15, Figure 2.16, Figure 2.17, Figure 2.24, Figure 2.25, Table 2.4, Table 2.6, Table 2.7, Table 2.9, Table 4.1}

C.2 Pathways limiting global warming to 1.5°C with no or limited overshoot would require rapid and far-reaching transitions in energy, land, urban and infrastructure (including transport and buildings), and industrial systems (*high confidence*). These systems transitions are unprecedented in terms of scale, but not necessarily in terms of speed, and imply deep emissions reductions in all sectors, a wide portfolio of mitigation options and a significant upscaling of investments in those options (*medium confidence*). {2.3, 2.4, 2.5, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5}

C.2.1 Pathways that limit global warming to 1.5°C with no or limited overshoot show system changes that are more rapid and pronounced over the next two decades than in 2°C pathways (*high confidence*). The rates of system changes associated with limiting global warming to 1.5°C with no or limited overshoot have occurred in the past within specific sectors, technologies and spatial contexts, but there is no documented historic precedent for their scale (*medium confidence*). {2.3.3, 2.3.4, 2.4, 2.5, 4.2.1, 4.2.2, Cross-Chapter Box 11 in Chapter 4}

C.2.2 In energy systems, modelled global pathways (considered in the literature) limiting global warming to 1.5°C with no or limited overshoot (for more details see Figure SPM.3b) generally meet energy service demand with lower energy use, including through enhanced energy efficiency, and show faster electrification of energy end use compared to 2°C (*high confidence*). In 1.5°C pathways with no or limited overshoot, low-emission energy sources are projected to have a higher share, compared with 2°C pathways, particularly before 2050 (*high confidence*). In 1.5°C pathways with no or limited overshoot, renewables are projected to supply 70–85% (interquartile range) of electricity in 2050 (*high confidence*). In electricity generation, shares of nuclear and fossil fuels with carbon dioxide capture and storage (CCS) are modelled to increase in most 1.5°C pathways with no or limited overshoot. In modelled 1.5°C pathways with limited or no overshoot, the use of CCS would allow the electricity generation share of gas to be approximately 8% (3–11% interquartile range) of global electricity in 2050, while the use of coal shows a steep reduction in all pathways and would be reduced to close to 0% (0–2% interquartile range) of electricity (*high confidence*). While acknowledging the challenges, and differences between the options and national circumstances, political, economic, social and technical feasibility of solar energy, wind energy and electricity storage technologies have substantially improved over the past few years (*high confidence*). These improvements signal a potential system transition in electricity generation. (Figure SPM.3b) {2.4.1, 2.4.2, Figure 2.1, Table 2.6, Table 2.7, Cross-Chapter Box 6 in Chapter 3, 4.2.1, 4.3.1, 4.3.3, 4.5.2}

C.2.3 CO_2 emissions from industry in pathways limiting global warming to 1.5°C with no or limited overshoot are projected to be about 65–90% (interquartile range) lower in 2050 relative to 2010, as compared to 50–80% for global warming of 2°C (*medium confidence*). Such reductions can be achieved through combinations of new and existing technologies and practices, including electrification, hydrogen, sustainable bio-based feedstocks, product substitution, and carbon capture, utilization and storage (CCUS). These options are technically proven at various scales but their large-scale deployment may be limited by economic, financial, human capacity and institutional constraints in specific contexts, and specific characteristics of large-scale industrial installations. In industry, emissions reductions by energy and process efficiency by themselves are insufficient for limiting warming to 1.5°C with no or limited overshoot (*high confidence*). {2.4.3, 4.2.1, Table 4.1, Table 4.3, 4.3.3, 4.3.4, 4.5.2}

C.2.4 The urban and infrastructure system transition consistent with limiting global warming to 1.5°C with no or limited overshoot would imply, for example, changes in land and urban planning practices, as well as deeper emissions reductions in transport and buildings compared to pathways that limit global warming below 2°C (*medium confidence*). Technical measures

(2.4.3; 4.3.3; 4.2.1 참조)(*중간 신뢰도*). 대폭적인 배출량 감축을 가능하게 하는 기술적 수단 및 실천에는 다양한 에너지 효율 개선 옵션이 포함된다. 오버슛이 없거나 제한된 1.5℃ 지구온난화 경로에서 2050년 건물부문의 에너지 수요에서 전력이 차지하는 비중은 55~75%에 이를 것이며, 2℃ 지구온난화 경로에서는 50~70%가 될 것이다(*중간 신뢰도*). 수송부문에서는 저배출 최종 에너지의 비중이 2020년 5% 미만에서 2050년 35~65%로 상승할 것이며, 2℃ 지구온난화 경로에서는 25~45%가 될 것이다(*중간 신뢰도*). 국가적, 지역적 여건과 역량 및 자본의 가용성에 따라 경제적·제도적·사회문화적 장벽이 이러한 도시 및 기반시설 시스템의 전환을 저해할 수 있다(*높은 신뢰도*). {2.3.4, 2.4.3, 4.2.1, 표 4.1, 4.3.3, 4.5.2}.

C.2.5. 전지구 및 지역적 **토지이용** 전환은 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제한 모든 경로에서 발견되지만, 그 규모는 완화 포트폴리오에 의존적이다. 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 모델 경로에서는 2010년 대비 2050년에는 50~1,100만 ㎢의 초지가 감소하고, 식량과 사료작물 생산을 위한 초지를 제외한 농경지는 –400~+250만 ㎢ 범위에서 감소하거나 증가하며, 에너지 작물 경작지가 0~600만 ㎢ 증가, 산림 면적은 –200~+950만 ㎢ 범위에서 감소하거나 증가할 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*)[16]. 비슷한 규모의 토지 이용 전환은 모식화된 2℃ 경로에서도 관측될 수 있다(*중간 신뢰도*). 이러한 대규모 전환으로 인간 정주, 식량, 가축 사료, 섬유, 바이오에너지, 탄소 저장, 생물다양성 및 기타 생태계 서비스에 대한 다양한 토지 수요의 지속가능한 관리가 상당히 어려워질 수 있다(*높은 신뢰도*). 토지 수요를 제한하는 완화 수단에는 토지이용의 지속가능한 집약화, 생태계 복원과 덜 자원집약적인 식이(less resource-intensive diets)로의 변화가 포함된다(*높은 신뢰도*). 토지 기반의 완화 수단 이행을 위해서는 지역별로 다른 사회경제적, 제도적, 기술적, 재정적, 환경적인 장벽을 극복해야 한다(*높은 신뢰도*). {2.4.4, 그림 2.24, 4.3.2, 4.3.7, 4.5.2, 제3장 교차챕터 박스 7}

C.2.6. 현재 실시되고 있는 정책 외에 새로운 기후 정책을 포함하지 않는 경로들 대비 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 경로에서, 2016~2050년 기간 동안 에너지 관련 감축에 대한 연평균 추가 투자액은 약 8,300억 달러(2010년 US 달러 기준, 6개 모델 에서 1,500억~1조 7,000억 달러 범위[17])에 이를 것으로 추정된다. 이러한 투자규모는 1.5℃ 경로에서 2016부터 2050년까지의 기간 동안 1조 4,600억~3조 5,100억 달러(2010년 US 달러)의 연평균 총 에너지 공급 투자액과, 에너지 수요부문에 대한 6,400억~9,100억 달러(2010년 US 달러)의 연평균 총 투자액에 필적한다. 2℃ 경로 대비 1.5℃ 경로에서는 에너지 관련 총 투자가 약 12%(3%~24% 범위) 증가한다. 저탄소 에너지 기술과 에너지 효율에 대한 평균 연간 투자는 2015년 대비 2050년까지 약 6배(4~10배 범위) 증가한다(*중간 신뢰도*). {2.5.2, 박스 4.8, 그림 2.27}

C.2.7. 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 모델 경로는 21세기 동안 할인된 전지구 평균 한계감축비용을 다양하게 제시한다. 이 값들은 지구온난화를 2℃ 미만으로 억제하는 경로에 비해 약 3~4배 높다(*높은 신뢰도*). 경제 문헌을 보면 경제에서 한계감축비용과 총 감축비용을 구별하고 있다. 1.5℃ 경로에 대한 총 감축비용을 분석한 문헌은 제한적이며, 이 보고서에서는 평가되지 않았다. 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 경로에 상응하는 경제 전반에 걸친 감축의 편익과 비용을 종합적으로 평가하는 데에는 지식 격차가 남아있다. {2.5.2; 2.6; 그림 2.26}

16) 여기에 나타난 토지 사용 변화 전망은 하나의 경로에서 나온 것이며 동시에 상한선은 사용하지 않았음
17) 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 두 가지 경로와 높은 오버슛을 보이는 네 가지 경로를 포함하고 있음

and practices enabling deep emissions reductions include various energy efficiency options. In pathways limiting global warming to 1.5°C with no or limited overshoot, the electricity share of energy demand in buildings would be about 55–75% in 2050 compared to 50–70% in 2050 for 2°C global warming (*medium confidence*). In the transport sector, the share of low-emission final energy would rise from less than 5% in 2020 to about 35–65% in 2050 compared to 25–45% for 2°C of global warming (*medium confidence*). Economic, institutional and socio-cultural barriers may inhibit these urban and infrastructure system transitions, depending on national, regional and local circumstances, capabilities and the availability of capital (*high confidence*). {2.3.4, 2.4.3, 4.2.1, Table 4.1, 4.3.3, 4.5.2}

C.2.5 Transitions in global and regional land use are found in all pathways limiting global warming to 1.5°C with no or limited overshoot, but their scale depends on the pursued mitigation portfolio. Model pathways that limit global warming to 1.5°C with no or limited overshoot project a 4 million km^2 reduction to a 2.5 million km^2 increase of non-pasture agricultural land for food and feed crops and a 0.5–11 million km^2 reduction of pasture land, to be converted into a 0–6 million km^2 increase of agricultural land for energy crops and a 2 million km^2 reduction to 9.5 million km^2 increase in forests by 2050 relative to 2010 (*medium confidence*).[16] Land-use transitions of similar magnitude can be observed in modelled 2°C pathways (*medium confidence*). Such large transitions pose profound challenges for sustainable management of the various demands on land for human settlements, food, livestock feed, fibre, bioenergy, carbon storage, biodiversity and other ecosystem services (*high confidence*). Mitigation options limiting the demand for land include sustainable intensification of land-use practices, ecosystem restoration and changes towards less resource-intensive diets (*high confidence*). The implementation of land-based mitigation options would require overcoming socio-economic, institutional, technological, financing and environmental barriers that differ across regions (*high confidence*). {2.4.4, Figure 2.24, 4.3.2, 4.3.7, 4.5.2, Cross-Chapter Box 7 in Chapter 3}

C.2.6 Additional annual average energy-related investments for the period 2016 to 2050 in pathways limiting warming to 1.5°C compared to pathways without new climate policies beyond those in place today are estimated to be around 830 billion USD2010 (range of 150 billion to 1700 billion USD2010 across six models[17]). This compares to total annual average energy supply investments in 1.5°C pathways of 1460 to 3510 billion USD2010 and total annual average energy demand investments of 640 to 910 billion USD2010 for the period 2016 to 2050. Total energy-related investments increase by about 12% (range of 3% to 24%) in 1.5°C pathways relative to 2°C pathways. Annual investments in low-carbon energy technologies and energy efficiency are upscaled by roughly a factor of six (range of factor of 4 to 10) by 2050 compared to 2015 (*medium confidence*). {2.5.2, Box 4.8, Figure 2.27}

C.2.7 Modelled pathways limiting global warming to 1.5°C with no or limited overshoot project a wide range of global average discounted marginal abatement costs over the 21st century. They are roughly 3-4 times higher than in pathways limiting global warming to below 2°C (*high confidence*). The economic literature distinguishes marginal abatement costs from total mitigation costs in the economy. The literature on total mitigation costs of 1.5°C mitigation pathways is limited and was not assessed in this Report. Knowledge gaps remain in the integrated assessment of the economy-wide costs and benefits of mitigation in line with pathways limiting warming to 1.5°C. {2.5.2; 2.6; Figure 2.26}

16 The projected land-use changes presented are not deployed to their upper limits simultaneously in a single pathway.

17 Including two pathways limiting warming to 1.5°C with no or limited overshoot and four pathways with higher overshoot.

C.3. 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 모든 경로에서는 이산화탄소흡수(CDR)를 사용하여 21세기 동안 대략 100~1,000 $GtCO_2$의 이산화탄소가 흡수될 것으로 예상된다. 이산화탄소흡수는 남은 잔여 배출량을 보상하고, 대부분의 경우 온도 정점 이후 지구온난화를 1.5℃로 되돌리기 위한 net negative 배출량을 달성하는데 사용될 것이다(*높은 신뢰도*). 수백 $GtCO_2$의 이산화탄소흡수 확대는 여러 실행가능성 및 지속가능성에 좌우된다(*높은 신뢰도*). 에너지와 토지 수요를 줄이기 위한 상당한 단기 배출량 감소 및 이를 위한 조치를 통해 바이오에너지 및 탄소포집저장(BECCS) 없이도 이산화탄소흡수 확대를 수백 $GtCO_2$로 억제할 수 있다(*높은 신뢰도*). {2.3, 2.4, 3.6.2, 4.3, 5.4}

C.3.1. 기존 및 잠재적인 이산화탄소흡수 조치에는 신규 조림·재조림, 토지복원과 토양탄소격리, BECCS, 직접 대기 탄소포집저장(DACCS), 강화된 풍화, 해양 알칼리화가 포함된다. 이들은 성숙도, 잠재량, 비용, 리스크, 공동 편익, 상충의 측면에서 차이점이 매우 크다(*높은 신뢰도*). 최근까지 출간된 일부 경로에만 신규 조림 및 BECCS 이외에 이산화탄소흡수 조치가 포함되어 있다. {2.3.4, 3.6.2, 4.3.2, 4.3.7}

C.3.2. 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 경로에서, AFOLU 관련 이산화탄소흡수 조치는 2030년에 0~5 $GtCO_2yr^{-1}$, 2050년에 1~11 $GtCO_2yr^{-1}$, 2100년에는 1~5 $GtCO_2yr^{-1}$ 이산화탄소를 흡수할 것으로 전망되며, BECCS 확대는 2030년에 0~1$GtCO_2yr^{-1}$, 2050년 0~8 $GtCO_2yr^{-1}$, 2100년에는 0~16 $GtCO_2yr^{-1}$로 전망된다(*중간 신뢰도*). 최근 연구 문헌의 평가 결과, 세기 중반까지 이러한 확대 범위의 최대값은 최대 5$GtCO_2yr^{-1}$의 BECCS 잠재량과 최대 3.6 $GtCO_2yr^{-1}$의 신규 조림 잠재량을 초과한다(*중간 신뢰도*). 일부 경로는 수요 측면의 조치와 농업,산림 및 기타 토지 이용(AFOLU) 관련 이산화탄소흡수 조치를 더 많이 활용하여 BECCS 확대를 지양한다(*중간 신뢰도*). 여러 부문에서 BECCS가 화석 연료를 대체할 수 있는 가능성 때문에 BECCS가 포함되었을 때와 비교하여 BECCS가 포함되지 않았을 때에는 바이오에너지 이용이 더 높아질 수 있다(*높은 신뢰도*). (그림 SPM 3) {2.3.3, 2.3.4, 2.4.2, 3.6.2, 4.3.1, 4.2.3, 4.3.2, 4.3.7, 4.4.3, 표 2.4}

C.3.3. 오버슛이 있는 경로에서, 지구평균온도 상승폭을 2100년까지 1.5℃ 미만으로 되돌아가기 위해서는 금세기 후반에 잔여 이산화탄소 배출량을 초과하는 이산화탄소흡수에 의존하며, 오버슛이 클수록 더 많은 양의 이산화탄소흡수가 필요하다(그림 SPM 3b)(*높은 신뢰도*). 따라서 이산화탄소흡수 확대의 속도, 규모, 사회적 수용성에 대한 제약에 따라 오버슛 이후 지구온난화를 1.5℃ 미만으로 되돌릴 수 있는 능력이 결정된다. 온도가 정점에 도달한 이후 온도를 낮추기 위한 net negative 배출량 효과에 대한 탄소 순환 및 기후 시스템에 대한 이해는 여전히 제한적이다(*높은 신뢰도*). {2.2, 2.3.4, 2.3.5, 2.6, 4.3.7, 4.5.2, 표 4.11}

C.3.4. 대부분의 현재 및 잠재적 이산화탄소흡수 조치가 대규모로 확대될 경우 토지, 에너지, 물 또는 영양분에 상당한 영향을 미칠 수 있다(*높은 신뢰도*). 신규 조림 및 바이오에너지는 다른 토지 이용과 경쟁관계에 있으며, 농업과 식량 시스템, 생물다양성 및 다른 생태계의 기능과 서비스에 심각한 영향을 미칠 수 있다(*높은 신뢰도*). 이런 상충을 억제하고, 육상, 지질학적, 해양 저장소에 영구적인 탄소 흡수를 보장하기 위해서는 효과적인 거버넌스가 필요하다(*높은 신뢰도*). 이산화탄소흡수 이용의 실행가능성 및 지속가능성은 대규모의 단일 옵션 보다는 실질적이지만 작은 규모로 보급되는 옵션들의 포트폴리오를 통해 개선될 수 있다(*높은 신뢰도*). (그림 SPM 3) {2.3.4, 2.4.4, 2.5.3, 2.6, 3.6.2, 4.3.2, 4.3.7, 4.5.2, 5.4.1, 5.4.2; 제3장 교차챕터 박스 7 및 8, 표 4.11, 표 5.3, 그림 5.3}

C.3.5. 자연 생태계 복원과 토양 탄소격리와 같은 일부 AFOLU 관련 이산화탄소흡수 조치는 생물다양성과 토질 및 지역 식량 안보 개선과 같은 공동 편익을 제공할 수 있다. 이것을 대규모로 확대하기 위해서는 토지 탄소 축적량과 다른 생태계 기능 및 서비스를 보존하고 보호하기 위해 토지의 지속가능한 관리를 가능하게 하는 거버넌스 시스템이 필요하다(*중간 신뢰도*). (그림 SPM 4) {2.3.3, 2.3.4, 2.4.2, 2.4.4, 3.6.2, 5.4.1, 제1장 교차챕터 박스 3 및 제3장 교차챕터 박스 3, 4.3.2, 4.3.7, 4.4.1, 4.5.2, 표 2.4}

C.3 All pathways that limit global warming to 1.5°C with limited or no overshoot project the use of carbon dioxide removal (CDR) on the order of 100–1000 $GtCO_2$ over the 21st century. CDR would be used to compensate for residual emissions and, in most cases, achieve net negative emissions to return global warming to 1.5°C following a peak (*high confidence*). CDR deployment of several hundreds of $GtCO_2$ is subject to multiple feasibility and sustainability constraints (*high confidence*). Significant near-term emissions reductions and measures to lower energy and land demand can limit CDR deployment to a few hundred $GtCO_2$ without reliance on bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) (*high confidence*). {2.3, 2.4, 3.6.2, 4.3, 5.4}

C.3.1 Existing and potential CDR measures include afforestation and reforestation, land restoration and soil carbon sequestration, BECCS, direct air carbon capture and storage (DACCS), enhanced weathering and ocean alkalinization. These differ widely in terms of maturity, potentials, costs, risks, co-benefits and trade-offs (*high confidence*). To date, only a few published pathways include CDR measures other than afforestation and BECCS. {2.3.4, 3.6.2, 4.3.2, 4.3.7}

C.3.2 In pathways limiting global warming to 1.5°C with limited or no overshoot, BECCS deployment is projected to range from 0–1, 0–8, and 0–16 $GtCO_2\ yr^{-1}$ in 2030, 2050, and 2100, respectively, while agriculture, forestry and land-use (AFOLU) related CDR measures are projected to remove 0–5, 1–11, and 1–5 $GtCO_2\ yr^{-1}$ in these years (*medium confidence*). The upper end of these deployment ranges by mid-century exceeds the BECCS potential of up to 5 $GtCO_2\ yr^{-1}$ and afforestation potential of up to 3.6 $GtCO_2\ yr^{-1}$ assessed based on recent literature (*medium confidence*). Some pathways avoid BECCS deployment completely through demand-side measures and greater reliance on AFOLU-related CDR measures (*medium confidence*). The use of bioenergy can be as high or even higher when BECCS is excluded compared to when it is included due to its potential for replacing fossil fuels across sectors (*high confidence*). (Figure SPM.3b) {2.3.3, 2.3.4, 2.4.2, 3.6.2, 4.3.1, 4.2.3, 4.3.2, 4.3.7, 4.4.3, Table 2.4}

C.3.3 Pathways that overshoot 1.5°C of global warming rely on CDR exceeding residual CO_2 emissions later in the century to return to below 1.5°C by 2100, with larger overshoots requiring greater amounts of CDR (Figure SPM.3b) (*high confidence*). Limitations on the speed, scale, and societal acceptability of CDR deployment hence determine the ability to return global warming to below 1.5°C following an overshoot. Carbon cycle and climate system understanding is still limited about the effectiveness of net negative emissions to reduce temperatures after they peak (*high confidence*). {2.2, 2.3.4, 2.3.5, 2.6, 4.3.7, 4.5.2, Table 4.11}

C.3.4 Most current and potential CDR measures could have significant impacts on land, energy, water or nutrients if deployed at large scale (*high confidence*). Afforestation and bioenergy may compete with other land uses and may have significant impacts on agricultural and food systems, biodiversity, and other ecosystem functions and services (*high confidence*). Effective governance is needed to limit such trade-offs and ensure permanence of carbon removal in terrestrial, geological and ocean reservoirs (*high confidence*). Feasibility and sustainability of CDR use could be enhanced by a portfolio of options deployed at substantial, but lesser scales, rather than a single option at very large scale (*high confidence*). (Figure SPM.3b) {2.3.4, 2.4.4, 2.5.3, 2.6, 3.6.2, 4.3.2, 4.3.7, 4.5.2, 5.4.1, 5.4.2; Cross-Chapter Boxes 7 and 8 in Chapter 3, Table 4.11, Table 5.3, Figure 5.3}

C.3.5 Some AFOLU-related CDR measures such as restoration of natural ecosystems and soil carbon sequestration could provide co-benefits such as improved biodiversity, soil quality, and local food security. If deployed at large scale, they would require governance systems enabling sustainable land management to conserve and protect land carbon stocks and other ecosystem functions and services (*medium confidence*). (Figure SPM.4) {2.3.3, 2.3.4, 2.4.2, 2.4.4, 3.6.2, 5.4.1, Cross-Chapter Boxes 3 in Chapter 1 and 7 in Chapter 3, 4.3.2, 4.3.7, 4.4.1, 4.5.2, Table 2.4}

D. 지속가능발전과 빈곤 퇴치 노력 차원의 전지구적 대응 강화

D.1. 파리 협정에 따라 제출된 국가별 감축 목표의 전지구 온실가스 배출량 성과 추정치에 따르면 2030년 전지구 온실가스 배출량[18]은 52-59 $GtCO_{2eq}yr^{-1}$에 달할 것이다(*중간 신뢰도*). 2030년 이후에 배출량 감축 목표 및 규모가 매우 확대되더라도, 국가별 감축 수준을 반영한 경로는 지구온난화를 1.5℃로 억제할 수 없을 것이다(*높은 신뢰도*). 미래에 대규모 이산화탄소흡수(CDR)와 오버슛에 의존하지 않으려면 전 지구 CO_2 배출량이 2030년보다 훨씬 이전에 감소하기 시작해야 한다(*높은 신뢰도*). {1.2, 2.3, 3.3, 3.4, 4.2, 4.4, 제4장 교차챕터 박스 11}

D.1.1. 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 경로들은 2030년까지 분명한 감축을 보여준다(*높은 신뢰도*). 한 가지 경로를 제외한 모든 경로에서 2030년에 전지구 온실가스 배출량이 $35GtCO_2eqyr^{-1}$ 미만으로 감소하며, 이용가능한 경로의 절반에서 배출량은 2010년 대비 40~50% 감소한 수준인 $25~30GtCO_2eqyr^{-1}$ 범위(4분위수 범위)에 있다(*높은 신뢰도*). 2030년까지 현재의 국가별 감축 목표를 반영한 경로는 대체적으로 2100년까지 약 3℃의 지구 온난화를 초래하며 그 이후에도 온난화가 지속되는 비용효과적인 경로에 해당한다(*중간 신뢰도*). {2.3.3, 2.3.5, 제4장 교차챕터 박스 11, 5.5.3.2}

D.1.2. 오버슛이 없거나 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 경로 대비 오버슛 궤적은 보다 큰 영향과 관련된 문제를 초래한다(*높은 신뢰도*). 금세기 동안 0.2℃ 이상의 오버슛 이후에 온난화를 되돌리는 데 이행상의 상당한 어려움이 있음을 감안할 때, 달성하지 못할 수도 있는 속도와 규모로 이산화탄소흡수를 확대해야 할 것이다(*중간 신뢰도*). {1.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.5.1, 3.3, 4.3.7, 제3장 교차챕터 박스 8, 제4장 교차챕터 박스 11}

D.1.3. 2030년 배출량을 낮출수록, 2030년 이후 오버슛 없이 혹은 제한된 오버슛 하에서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 어려움은 줄어든다(*높은 신뢰도*). 온실가스 배출량 저감에 있어 지연된 행동으로 인한 어려움에는 비용 상승, 탄소를 배출하는 기반시설에의 고착(lock-in), 좌초 자산(stranded assets)과 중장기 미래 대응 수단의 유연성 감소 리스크가 포함된다(*높은 신뢰도*). 이는 각기 다른 발전 단계에 있는 국가 간의 불균등한 분배적 영향을 악화시킬 수도 있다(*중간 신뢰도*). {2.3.5, 4.4.5, 5.4.2}

D.2. 지구온난화가 2℃가 아니라 1.5℃로 억제된 상황에서 완화와 적응 시너지가 최대화되고 상충이 최소화되는 경우, 지속가능발전, 빈곤 퇴치와 불평등 해소를 통해 기후변화 영향을 더 많이 방지할 수 있을 것이다(*높은 신뢰도*). {1.1, 1.4, 2.5, 3.3, 3.4, 5.2, 표 5.1}

D.2.1. 기후변화 영향 및 대응은 사회적 복지, 경제 번영 및 환경 보호와 균형을 이루는 지속가능한 발전과 긴밀하게 연관되어 있다. 2015년 채택된 UN지속가능발전목표(SDGs)는 2℃ 또는 1.5℃ 지구온난화와 빈곤 퇴치, 불평등 감소 및 기후 행동과 같은 개발목표 사이의 연계성 평가를 위한 기본 틀을 제공한다(*높은 신뢰도*). {제1장 교차챕터 박스 4, 1.4, 5.1}

D.2.2. 윤리 및 형평성을 고려하면, 1.5℃ 이상의 지구온난화뿐만 아니라 적응 및 완화로 인해 사회적 취약층이 겪게 될 악영향의 불균등한 분배를 해결할 수 있다(*높은 신뢰도*). {1.1.1, 1.1.2, 1.4.3, 2.5.3, 3.4.10, 5.1, 5.2, 5.3. 5.4, 제1장 교차챕터 박스 4, 제3장 교차챕터 박스 6과 8, 제5장 교차챕터 박스 12}

D.2.3. 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 데 필요한 완화 및 적응은 「지구온난화 1.5℃」 특별보고서에서 지구물리학적, 환경-생태적, 기술적, 경제적, 사회-문화적 및 제도적 가능성을 망라하여 평가한, 이행가능조건(enabling condition)에 의해 뒷받침된다. 다층적 거버넌스, 제도적 역량, 정책 수단, 기술 혁신과 이전, 재정 동원, 행동 및 생활양식의 변화 강화와 같은 이행가능조건은 지구온난화를 1.5℃로 억제하기 위한 시스템 전환에 필요한 완화 및 적응 수단의 실행가능성을 개선한다(*높은 신뢰도*). {1.4, 제1장 교차챕터 박스 3, 4.4, 4.5, 5.6}

18) 온실가스 배출량은 IPCC 제2차 평가보고서에 소개되었던 100-year GWP 값으로 합계된 것임

D. Strengthening the Global Response in the Context of Sustainable Development and Efforts to Eradicate Poverty

D.1 Estimates of the global emissions outcome of current nationally stated mitigation ambitions as submitted under the Paris Agreement would lead to global greenhouse gas emissions[18] in 2030 of 52–58 $GtCO_2eq\ yr^{-1}$ (*medium confidence*). Pathways reflecting these ambitions would not limit global warming to 1.5°C, even if supplemented by very challenging increases in the scale and ambition of emissions reductions after 2030 (*high confidence*). Avoiding overshoot and reliance on future large-scale deployment of carbon dioxide removal (CDR) can only be achieved if global CO_2 emissions start to decline well before 2030 (*high confidence*). {1.2, 2.3, 3.3, 3.4, 4.2, 4.4, Cross-Chapter Box 11 in Chapter 4}

D.1.1 Pathways that limit global warming to 1.5°C with no or limited overshoot show clear emission reductions by 2030 (*high confidence*). All but one show a decline in global greenhouse gas emissions to below 35 $GtCO_2eq\ yr^{-1}$ in 2030, and half of available pathways fall within the 25–30 $GtCO_2eq\ yr^{-1}$ range (interquartile range), a 40–50% reduction from 2010 levels (*high confidence*). Pathways reflecting current nationally stated mitigation ambition until 2030 are broadly consistent with cost-effective pathways that result in a global warming of about 3°C by 2100, with warming continuing afterwards (*medium confidence*). {2.3.3, 2.3.5, Cross-Chapter Box 11 in Chapter 4, 5.5.3.2}

D.1.2 Overshoot trajectories result in higher impacts and associated challenges compared to pathways that limit global warming to 1.5°C with no or limited overshoot (*high confidence*). Reversing warming after an overshoot of 0.2°C or larger during this century would require upscaling and deployment of CDR at rates and volumes that might not be achievable given considerable implementation challenges (*medium confidence*). {1.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.5.1, 3.3, 4.3.7, Cross-Chapter Box 8 in Chapter 3, Cross-Chapter Box 11 in Chapter 4}

D.1.3 The lower the emissions in 2030, the lower the challenge in limiting global warming to 1.5°C after 2030 with no or limited overshoot (*high confidence*). The challenges from delayed actions to reduce greenhouse gas emissions include the risk of cost escalation, lock-in in carbon-emitting infrastructure, stranded assets, and reduced flexibility in future response options in the medium to long term (*high confidence*). These may increase uneven distributional impacts between countries at different stages of development (*medium confidence*). {2.3.5, 4.4.5, 5.4.2}

D.2 The avoided climate change impacts on sustainable development, eradication of poverty and reducing inequalities would be greater if global warming were limited to 1.5°C rather than 2°C, if mitigation and adaptation synergies are maximized while trade-offs are minimized (*high confidence*). {1.1, 1.4, 2.5, 3.3, 3.4, 5.2, Table 5.1}

D.2.1 Climate change impacts and responses are closely linked to sustainable development which balances social well-being, economic prosperity and environmental protection. The United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), adopted in 2015, provide an established framework for assessing the links between global warming of 1.5°C or 2°C and development goals that include poverty eradication, reducing inequalities, and climate action. (*high confidence*) {Cross-Chapter Box 4 in Chapter 1, 1.4, 5.1}

D.2.2 The consideration of ethics and equity can help address the uneven distribution of adverse impacts associated with 1.5°C and higher levels of global warming, as well as those from mitigation and adaptation, particularly for poor and disadvantaged populations, in all societies (*high confidence*). {1.1.1, 1.1.2, 1.4.3, 2.5.3, 3.4.10, 5.1, 5.2, 5.3. 5.4, Cross-Chapter Box 4 in Chapter 1, Cross-Chapter Boxes 6 and 8 in Chapter 3, and Cross-Chapter Box 12 in Chapter 5}

D.2.3 Mitigation and adaptation consistent with limiting global warming to 1.5°C are underpinned by enabling conditions, assessed in this Report across the geophysical, environmental-ecological, technological, economic, socio-cultural and institutional

18 GHG emissions have been aggregated with 100-year GWP values as introduced in the IPCC Second Assessment Report.

D.3. 이행가능조건과 함께 국가별 상황에 맞는 적응 옵션이 신중히 선별된다면, 상충이 발생할 수는 있으나 지구온난화 1.5℃와 지속가능한 발전 및 빈곤 감소를 위한 편익이 발생할 것이다(*높은 신뢰도*). {1.4, 4.3, 4.5}

D.3.1. 자연과 인간계의 취약성을 줄이는 적응 옵션은 잘 관리된다면 식량과 물 안보 확보, 재난 리스크 감소, 보건 환경 개선, 생태계 서비스 유지, 빈곤 및 불평등 감소를 비롯해 지속가능 발전과 함께 많은 시너지를 발생시킨다(*높은 신뢰도*). 사회의 복원력 및 적응 역량 향상을 위한 물리적 및 사회적 기반시설 투자 확대는 핵심적인 이행가능조건이다. 이러한 편익은 지구온난화 1.5℃에 대한 적응을 비롯하여 대부분 지역에서 발생할 수 있다(*높은 신뢰도*). {1.4.3, 4.2.2, 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.5, 4.4.1, 4.4.3, 4.5.3, 5.3.1, 5.3.2}

D.3.2. 1.5℃ 지구온난화에 대한 적응은 지속가능한 발전에 대한 악영향과 함께 상충 또는 부적응 또한 일으킬 수 있다. 예를 들면, 여러 분야에서 적응 프로젝트가 제대로 설계되지 않거나 실행되지 않는다면, 온실가스 배출량과 물의 사용이 증가하고 성 불평등과 사회적 불평등이 증가할 수 있으며, 보건 환경이 저해되고 자연 생태계에 침입이 일어날 수 있다(*높은 신뢰도*). 이러한 상충은 빈곤과 지속가능한 발전에 대한 관심을 포함하는 적응을 통해 줄일 수 있다(*높은 신뢰도*). {4.3.2, 4.3.3, 4.5.4, 5.3.2; 제3장 교차챕터 박스 6 및 7}

D.3.3. 1.5℃로 지구온난화를 억제하기 위한 완화와 적응 옵션의 결합이 참여적이고 통합적인 방식으로 이행되면 도시와 농어촌 지역에 빠르고 체계적인 전환을 가져올 수 있다(*높은 신뢰도*). 경제적이고 지속가능한 개발과 조율되고 국가 정부가 지방과 지역 정부 및 정책 결정자를 지원할 때 이러한 수단들은 가장 효과적이다(*중간 신뢰도*). {4.3.2, 4.3.3, 4.4.1, 4.4.2}

D.3.4. 배출량을 저감하는 적응 수단은 대부분의 영역과 시스템 전환에 있어 시너지 효과와 비용 절약을 가져올 수 있는데, 예로 토지관리가 배출량과 재해 리스크를 줄이거나 저탄소 건물이 효율적인 냉방을 위해 설계된 경우를 들 수 있다. 바이오에너지 작물과 신규조림 또는 재조림이 농업 적응에 필요한 토지를 잠식하는 경우처럼, 1.5℃로 지구온난화를 억제하였을 때 완화와 적응간의 상충은 식량안보, 생계, 생태계 기능과 서비스 및 다른 지속가능발전의 측면을 저해할 수 있다 (*높은 신뢰도*). {3.4.3, 4.3.2, 4.3.4, 4.4.1, 4.5.2, 4.5.3, 4.5.4}

D.4. 지구온난화 1.5℃ 경로에 상응하는 완화 옵션은 지속가능발전목표(SDGs)에 걸쳐 다양한 시너지 및 상충과 연관되어 있다. 가능한 시너지의 총 수가 상충되는 수를 넘어서지만, 시너지의 순 영향은 변화의 속도와 규모, 완화 포트폴리오의 조합, 전환에 대한 관리에 따라 좌우될 것이다 (*높은 신뢰도*). (그림 SPM 4) {2.5, 4.5, 5.4}

D.4.1. 지구온난화 1.5℃ 경로는 지속가능발전목표(SDGs) 3(건강 및 웰빙), 7(모두를 위한 깨끗한 에너지), 11(지속가능한 도시), 12(지속가능한 생산과 소비), 14(해양생태계 보존)에 대해 특히 통계적으로 유의미한 시너지를 보여준다(*매우 높은 신뢰도*). 일부 1.5℃ 경로는 신중히 관리되지 않으면 SDGs 1(빈곤 퇴치), 2(기아 종식 및 지속가능한 농업), 6(깨끗한 물과 위생), 7(모두를 위한 깨끗한 에너지)에 대해 완화에 따른 잠재적인 상충을 보인다(*높은 신뢰도*). (그림 SPM 4) {5.4.2, 그림 5.4, 제3장 교차챕터 박스 7 및 8}

D.4.2. 낮은 에너지 수요(예: 그림 SPM 3a 와 SPM 3b 의 P1 참조), 낮은 재료 소비, 온실가스 집약도가 낮은 식량 소비를 포함하는 지구온난화 1.5℃ 경로는 지속가능한 발전 및 SDGs와 관련해 가장 뚜렷한 시너지와 가장 적은 수의 상충을 보인다(*높은 신뢰도*). 이러한 경로는 이산화탄소흡수에 대한 의존도를 낮출 것이다. 모식화된 경로에서, 지속가능발전, 빈곤 퇴치 및 불평등 감소는 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 것을 지원할 수 있다(*높은 신뢰도*). (그림 SPM 3b, 그림 SPM 4) {2.4.3, 2.5.1, 2.5.3, 그림 2.4, 그림 2.28, 5.4.1, 5.4.2, 그림 5.4}

dimensions of feasibility. Strengthened multilevel governance, institutional capacity, policy instruments, technological innovation and transfer and mobilization of finance, and changes in human behaviour and lifestyles are enabling conditions that enhance the feasibility of mitigation and adaptation options for 1.5°C-consistent systems transitions. (*high confidence*) {1.4, Cross-Chapter Box 3 in Chapter 1, 2.5.1, 4.4, 4.5, 5.6}

D.3 Adaptation options specific to national contexts, if carefully selected together with enabling conditions, will have benefits for sustainable development and poverty reduction with global warming of 1.5°C, although trade-offs are possible (*high confidence*). {1.4, 4.3, 4.5}

D.3.1 Adaptation options that reduce the vulnerability of human and natural systems have many synergies with sustainable development, if well managed, such as ensuring food and water security, reducing disaster risks, improving health conditions, maintaining ecosystem services and reducing poverty and inequality (*high confidence*). Increasing investment in physical and social infrastructure is a key enabling condition to enhance the resilience and the adaptive capacities of societies. These benefits can occur in most regions with adaptation to 1.5°C of global warming (*high confidence*). {1.4.3, 4.2.2, 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.5, 4.4.1, 4.4.3, 4.5.3, 5.3.1, 5.3.2}

D.3.2 Adaptation to 1.5°C global warming can also result in trade-offs or maladaptations with adverse impacts for sustainable development. For example, if poorly designed or implemented, adaptation projects in a range of sectors can increase greenhouse gas emissions and water use, increase gender and social inequality, undermine health conditions, and encroach on natural ecosystems (*high confidence*). These trade-offs can be reduced by adaptations that include attention to poverty and sustainable development (*high confidence*). {4.3.2, 4.3.3, 4.5.4, 5.3.2; Cross-Chapter Boxes 6 and 7 in Chapter 3}

D.3.3 A mix of adaptation and mitigation options to limit global warming to 1.5°C, implemented in a participatory and integrated manner, can enable rapid, systemic transitions in urban and rural areas (*high confidence*). These are most effective when aligned with economic and sustainable development, and when local and regional governments and decision makers are supported by national governments (*medium confidence*). {4.3.2, 4.3.3, 4.4.1, 4.4.2}

D.3.4 Adaptation options that also mitigate emissions can provide synergies and cost savings in most sectors and system transitions, such as when land management reduces emissions and disaster risk, or when low-carbon buildings are also designed for efficient cooling. Trade-offs between mitigation and adaptation, when limiting global warming to 1.5°C, such as when bioenergy crops, reforestation or afforestation encroach on land needed for agricultural adaptation, can undermine food security, livelihoods, ecosystem functions and services and other aspects of sustainable development. (*high confidence*) {3.4.3, 4.3.2, 4.3.4, 4.4.1, 4.5.2, 4.5.3, 4.5.4}

D.4 Mitigation options consistent with 1.5°C pathways are associated with multiple synergies and trade-offs across the Sustainable Development Goals (SDGs). While the total number of possible synergies exceeds the number of trade-offs, their net effect will depend on the pace and magnitude of changes, the composition of the mitigation portfolio and the management of the transition. (*high confidence*) (Figure SPM.4) {2.5, 4.5, 5.4}

D.4.1 1.5°C pathways have robust synergies particularly for the SDGs 3 (health), 7 (clean energy), 11 (cities and communities), 12 (responsible consumption and production) and 14 (oceans) (*very high confidence*). Some 1.5°C pathways show potential trade-offs with mitigation for SDGs 1 (poverty), 2 (hunger), 6 (water) and 7 (energy access), if not managed carefully (*high confidence*). (Figure SPM.4) {5.4.2; Figure 5.4, Cross-Chapter Boxes 7 and 8 in Chapter 3}

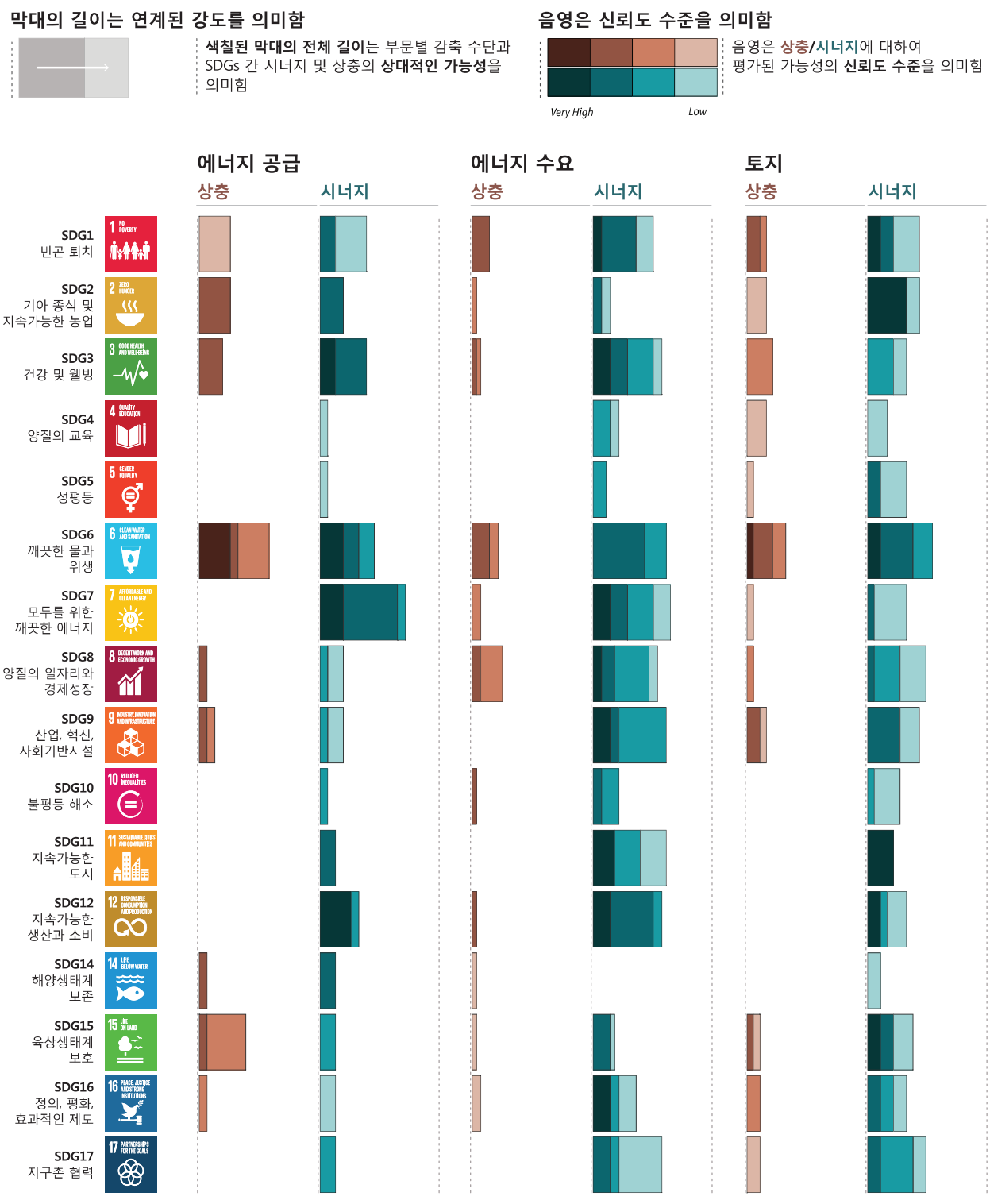
D.4.2 1.5°C pathways that include low energy demand (e.g., see P1 in Figure SPM.3a and SPM.3b), low material consumption, and low GHG-intensive food consumption have the most pronounced synergies and the lowest number of trade-offs with respect to sustainable development and the SDGs (*high confidence*). Such pathways would reduce dependence on CDR. In modelled pathways, sustainable development, eradicating poverty and reducing inequality can support limiting warming to 1.5°C (*high confidence*). (Figure SPM.3b, Figure SPM.4) {2.4.3, 2.5.1, 2.5.3, Figure 2.4, Figure 2.28, 5.4.1, 5.4.2, Figure 5.4}

SPM

SDGs를 이용한 지속가능한 발전과 기후변화 완화와의 가능한 연계

(비용 및 이익은 포함되지 않음)

분야별로 이용된 완화 수단은 지속가능발전목표(SDGs)에 긍정적인 효과(시너지) 또는 부정적인 효과(상충)을 가져올 수 있음. 이러한 가능성의 실현 정도는 완화 수단 포트폴리오, 완화 정책의 설계와 지역적인 상황과 맥락에 의존적임. 특히 에너지 수요 부문에서는 가능한 시너지가 상충보다 큼. 아래 그림의 막대는 신뢰도 수준별로 개별적으로 평가된 옵션을 분류하고 있으며 평가한 완화와 SDG 사이의 상대적인 연계 수준을 고려하고 있음



Indicative linkages between mitigation options and sustainable development using SDGs (The linkages do not show costs and benefits)

Mitigation options deployed in each sector can be associated with potential positive effects (synergies) or negative effects (trade-offs) with the Sustainable Development Goals (SDGs). The degree to which this potential is realized will depend on the selected portfolio of mitigation options, mitigation policy design, and local circumstances and context. Particularly in the energy-demand sector, the potential for synergies is larger than for trade-offs. The bars group individually assessed options by level of confidence and take into account the relative strength of the assessed mitigation-SDG connections.

Length shows strength of connection



The overall **size of the coloured bars** depict **the relative potential** for synergies and trade-offs between the sectoral mitigation options and the SDGs.

Shades show level of confidence



The shades depict **the level of confidence** of the assessed potential for **Trade-offs**/**Synergies**.

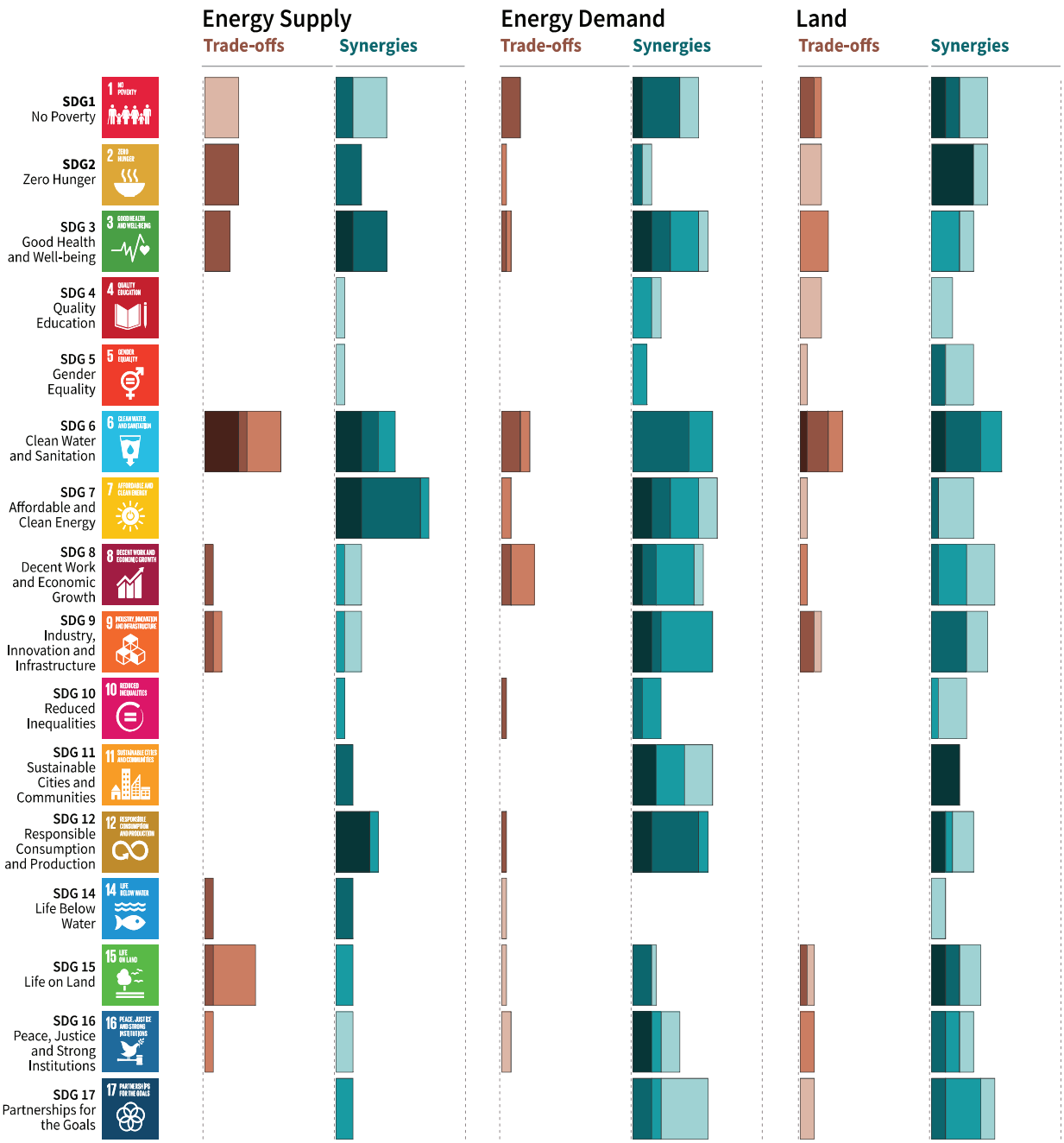


그림 SPM 4: 부문별 기후변화 완화 수단 포트폴리오와 지속가능발전목표 간의 잠재적인 시너지와 상충. SDGs는 지속가능한 발전 여러 측면의 평가를 위한 분석틀로 이용되며, 이는 2030 SGD 목표 기간 범위 이후에도 연장됨. 이 평가는 1.5℃와 관련된 완화 수단에 대한 연구 문헌을 바탕으로 함. SDG와의 상호작용의 강도 평가 값은 표 5.2에 나열된 개별 완화 수단에 대한 질적·양적 평가에 근거함. 개별 완화 수단에 대해 SDG와의 연계 강도뿐 아니라 해당 문헌의 신뢰도(녹색 및 적색 음영)가 평가됨. 한 분야 안에서 개별 옵션(표 5.2 참조) 간의 긍정적인 연계(시너지) 및 부정적인 연계(상충) 강도가 전체 완화 수단 포트폴리오에 대한 부문별 잠재량으로 합계됨. 막대 외부의 (백색) 영역은 상호작용이 없음을 보여주며 불확실성과 간접적 영향을 조사한 문헌이 제한적이어서 *신뢰도가 낮음*. 연계 강도는 완화 효과만 고려하며, 회피된 영향으로 인한 이익은 포함하지 않음. SDG 13(기후변화 대응)은 SDGs와의 상호작용에서 완화가 고려되기 때문에 나열되지 않음. 막대는 연계의 강도를 의미하며 SDGs에 대한 영향의 강도는 고려되지 않음. 에너지 수요 부문은 교통, 산업 및 건물 분야에서 행동 변화, 연료 전환 및 효율개선과 산업 부문에서의 탄소 포집 수단 또한 포함함. 에너지 공급 분야에서 평가된 옵션에는 바이오매스, 바이오매스 외의 재생 에너지, 원자력, 바이오에너지·CCS, 화석연료·CCS를 포함. 토지 분야 옵션에는 농업 및 산림 옵션, 지속가능한 식이(diets) 및 음식물 쓰레기 저감, 토양 격리, 가축 및 분뇨 관리, 산림 파괴 저감, 신규조림 및 재조림, 완전 표시제(responsible sourcing)가 포함됨. 이 그림에 포함되지 않았지만, 해양 부문의 옵션이 본 보고서에서 논의됨. {5.4, 표 5.2, 그림 5.2}

1.5℃ 경로에서 완화가 지속가능한 발전에 미치는 순 영향에 대한 정보는 일부 SDGs와 완화 수단에 대해서만 이용 가능함. 일부 연구만이, 1.5℃ 경로에서 SDGs에 대해서 회피된 기후변화 영향 이익과, 완화 및 SDGs에 대한 적응의 공통 효과를 평가함. 그림 SPM 4의 완화 잠재량 평가는 AR5에서 미래에는 보다 더 포괄적이고 통합된 평가로 발전해야 함.

D.4.3. 모식화된 1.5℃와 2℃ 지구온난화 경로는 보통 신규조림과 바이오에너지 공급처럼 대규모 토지 관련 조치 확대에 좌우되며, 이러한 조치는 제대로 관리되지 않을 경우 식량 생산과 대치되어 식량 안보에 대한 우려가 높아질 수 있다(*높은 신뢰도*). 이산화탄소흡수가 SDGs에 미치는 영향은 옵션의 종류와 확대 규모에 달려있다(*높은 신뢰도*). BECCS와 AFOLU와 같은 옵션은 제대로 이행되지 않을 경우 상충을 초래할 것이다. 상황을 고려한 설계 및 이행 시에는 사람들의 필요, 생물다양성, 기타 지속가능한 개발의 측면을 고려해야 한다(*매우 높은 신뢰도*). (그림 SPM 4) {5.4.1.3, 제3장 교차챕터 박스 7}

D.4.4. 1.5℃ 지구온난화 경로에 상응하는 완화는 수익 및 고용 창출을 위해 화석연료 의존도가 높은 지역에서 지속가능발전을 위한 리스크를 야기한다(*높은 신뢰도*). 경제와 에너지 분야의 다양성을 촉진하는 정책이 이와 관련된 과제를 해결할 수 있다(*높은 신뢰도*). {5.4.1.2, 박스 5.2}

D.4.5. 분야 및 인구 전반에 걸쳐 빈곤층과 취약계층을 보호하는 재분배 정책은 SDGs 가운데 특히 기아, 빈곤, 에너지 접근에 대한 상충을 해결할 수 있다. 이러한 보완 정책에 대한 투자는 1.5℃ 지구온난화 경로의 전체 완화 투자 가운데 작은 부분만을 차지한다(*높은 신뢰도*). {2.4.3, 5.4.2, 그림 5.5}

D.5. 지속가능한 발전 및 빈곤 퇴치 차원에서 지구온난화 1.5℃에 따른 리스크를 억제하는 것은 적응과 완화에 대한 투자 증가, 정책 도구, 기술혁신과 행동 변화의 가속화를 통해 달성할 수 있는 시스템의 전환을 의미한다(*높은 신뢰도*). {2.3, 2.4, 2.5, 3.2, 4.2, 4.4, 4.5, 5.2, 5.5, 5.6}

D.5.1. 완화 및 적응을 위한 기반 시설에 대해 투자하는 방향으로 금융을 관리함으로써 추가적인 자원을 제공할 수 있다. 여기에는 기관 투자자, 자산 운용사, 개발은행 또는 투자은행을 통한 민간 자금 조성뿐 아니라 공공 자금의 공급이 포함될 수 있다. 저배출 및 적응에 대한 투자 위험을 낮추는 정부 정책은 민간 자금의 동원을 장려하고 다른 공공정책의 효과를 향상시킬 수 있다. 여러 연구가 금융에의 접근 및 자금동원을 비롯해 많은 어려움이 있음을 보여준다(*높은 신뢰도*). {2.5.2, 4.4.5}

D.5.2. 지구 온난화 1.5℃ 달성을 위한 적응 재정 규모는 계량하기 어렵고 2℃ 경우와도 비교하기가 어렵다. 예를 들어 지식 격차에는 현재 투자가 부족한 필수 기반시설의 공급부터 특정한 기후 복원력 개선을 위한 투자 규모 계산과 관련해 불충분한 데이터가 포함된다. 적응 비용의 추정치는 2℃ 지구온난화 경우 대비 1.5℃ 지구 온난화 경우가 낮을 수 있다. 적응 수요는 일반적으로 국가 및 지방정부 예산과 같은 공공 분야 재원의 지원을 받거나 개발도상국의 경우에는 공적원조,

Figure SPM.4 | Potential synergies and trade-offs between the sectoral portfolio of climate change mitigation options and the Sustainable Development Goals (SDGs). The SDGs serve as an analytical framework for the assessment of the different sustainable development dimensions, which extend beyond the time frame of the 2030 SDG targets. The assessment is based on literature on mitigation options that are considered relevant for 1.5°C. The assessed strength of the SDG interactions is based on the qualitative and quantitative assessment of individual mitigation options listed in Table 5.2. For each mitigation option, the strength of the SDG-connection as well as the associated confidence of the underlying literature (shades of green and red) was assessed. The strength of positive connections (synergies) and negative connections (trade-offs) across all individual options within a sector (see Table 5.2) are aggregated into sectoral potentials for the whole mitigation portfolio. The (white) areas outside the bars, which indicate no interactions, have *low confidence* due to the uncertainty and limited number of studies exploring indirect effects. The strength of the connection considers only the effect of mitigation and does not include benefits of avoided impacts. SDG 13 (climate action) is not listed because mitigation is being considered in terms of interactions with SDGs and not vice versa. The bars denote the strength of the connection, and do not consider the strength of the impact on the SDGs. The energy demand sector comprises behavioural responses, fuel switching and efficiency options in the transport, industry and building sector as well as carbon capture options in the industry sector. Options assessed in the energy supply sector comprise biomass and non-biomass renewables, nuclear, carbon capture and storage (CCS) with bioenergy, and CCS with fossil fuels. Options in the land sector comprise agricultural and forest options, sustainable diets and reduced food waste, soil sequestration, livestock and manure management, reduced deforestation, afforestation and reforestation, and responsible sourcing. In addition to this figure, options in the ocean sector are discussed in the underlying report. {5.4, Table 5.2, Figure 5.2}

Information about the net impacts of mitigation on sustainable development in 1.5°C pathways is available only for a limited number of SDGs and mitigation options. Only a limited number of studies have assessed the benefits of avoided climate change impacts of 1.5°C pathways for the SDGs, and the co-effects of adaptation for mitigation and the SDGs. The assessment of the indicative mitigation potentials in Figure SPM.4 is a step further from AR5 towards a more comprehensive and integrated assessment in the future.

D.4.3 1.5°C and 2°C modelled pathways often rely on the deployment of large-scale land-related measures like afforestation and bioenergy supply, which, if poorly managed, can compete with food production and hence raise food security concerns (*high confidence*). The impacts of carbon dioxide removal (CDR) options on SDGs depend on the type of options and the scale of deployment (*high confidence*). If poorly implemented, CDR options such as BECCS and AFOLU options would lead to trade-offs. Context-relevant design and implementation requires considering people's needs, biodiversity, and other sustainable development dimensions (*very high confidence*). (Figure SPM.4) {5.4.1.3, Cross-Chapter Box 7 in Chapter 3}

D.4.4 Mitigation consistent with 1.5°C pathways creates risks for sustainable development in regions with high dependency on fossil fuels for revenue and employment generation (*high confidence*). Policies that promote diversification of the economy and the energy sector can address the associated challenges (*high confidence*). {5.4.1.2, Box 5.2}

D.4.5 Redistributive policies across sectors and populations that shield the poor and vulnerable can resolve trade-offs for a range of SDGs, particularly hunger, poverty and energy access. Investment needs for such complementary policies are only a small fraction of the overall mitigation investments in 1.5°C pathways. (*high confidence*) {2.4.3, 5.4.2, Figure 5.5}

D.5 Limiting the risks from global warming of 1.5°C in the context of sustainable development and poverty eradication implies system transitions that can be enabled by an increase of adaptation and mitigation investments, policy instruments, the acceleration of technological innovation and behaviour changes (*high confidence*). {2.3, 2.4, 2.5, 3.2, 4.2, 4.4, 4.5, 5.2, 5.5, 5.6}

D.5.1 Directing finance towards investment in infrastructure for mitigation and adaptation could provide additional resources. This could involve the mobilization of private funds by institutional investors, asset managers and development or investment banks, as well as the provision of public funds. Government policies that lower the risk of low-emission and adaptation investments can facilitate the mobilization of private funds and enhance the effectiveness of other public policies. Studies indicate a number of challenges, including access to finance and mobilization of funds. (*high confidence*) {2.5.1, 2.5.2, 4.4.5}

D.5.2 Adaptation finance consistent with global warming of 1.5°C is difficult to quantify and compare with 2°C. Knowledge gaps include insufficient data to calculate specific climate resilience-enhancing investments from the provision of currently underinvested basic infrastructure. Estimates of the costs of adaptation might be lower at global warming of 1.5°C than for 2°C. Adaptation needs have typically been supported by public sector sources such as national and subnational government budgets, and in developing countries together with support from development assistance, multilateral development banks, and United Nations Framework Convention on Climate Change channels (*medium confidence*). More recently there is a

다자간 개발 은행 및 UNFCCC 경로 등의 지원을 통해 지원을 받는다(*중간 신뢰도*). 최근에는 NGO 및 민간 기금의 규모와 증가에 대한 이해가 높아지고 있다(*중간 신뢰도*). 적응 자금 조달, 제한된 역량 및 적응 금융에 대한 접근은 장애에 포함된다(*중간 신뢰도*). {4.4.5, 4.6}

D.5.3. 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 전지구 모델 경로에서는 2016년에서 2035년 사이 에너지 시스템에 대한 연간 총 투자 필요가 약 2조 4천억 달러(2010 US 달러)가 소요되어 세계 GDP의 약 2.5%를 차지할 것으로 추정된다(*중간 신뢰도*). {2.5.2, 4.4.5, 박스 4.8}

D.5.4. 정책 수단들은 전환의 형평성을 확보하는 수단을 병행하고, 에너지 비용, 감가상각 그리고 국제 경쟁에 미치는 영향을 비롯해 이행과 관련된 난관을 인식하며, 공동 편익을 극대화할 수 있는 기회를 활용하는 등, 전 세계 투자 및 저축의 이동과 시장 및 비시장 기반 도구를 통해 자원 동원을 촉진할 수 있다(*높은 신뢰도*). {1.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.5.1, 2.5.2, 제3장 교차챕터 박스 8, 제4장 교차챕터 박스 11, 4.4.5, 5.5.2}

D.5.5. 지구온난화를 1.5℃로 억제하고 여기에 적응하기 위한 시스템 전환에는 신규 및 가능한 와해성(disruptive) 기술 및 실천의 광범위한 채택과 함께 기후 중심의 혁신 강화가 포함된다. 이는 산업 및 금융을 포함하여 기술 혁신 역량 향상을 의미한다. 국가 혁신 정책과 국제 협력은 완화 및 적응 기술의 개발, 상업화 및 광범위한 채택에 기여할 수 있다. 혁신 정책은 기술 확산에 인센티브를 제공하는 정책 패키지와 공공부문의 R&D 지원이 결합될 때 더 효과적일 것이다(*높은 신뢰도*). {4.4.4, 4.4.5}

D.5.6. 토착 지식과 지역 지식에 기반한 정보를 포함하여 교육, 정보 및 공동체 접근방식은 지구온난화를 1.5℃로 억제하고 여기에 적응하기 위한 광범위한 행동 변화를 가속화할 수 있다. 이러한 접근방식이 다른 정책과 결합되고 특정 행위자 및 상황에 대한 동기, 역량, 자원에 부합할 때 더욱 효과적이다(*높은 신뢰도*). 공공 수용성은 지구 온난화를 1.5℃로 억제하고 그 결과에 적응하기 위한 정책 및 조치의 실행을 가능하게 하거나 방해할 수 있다. 공공 수용성은 예상한 정책 결과에 대한 개인의 평가, 결과의 분배 및 결정 절차의 공정성에 대한 인식에 좌우된다(*높은 신뢰도*). {1.1, 1.5, 4.3.5, 4.4.1, 4.4.3, 박스 4.3, 5.5.3, 5.6.5}

D.6. 지속가능한 발전은 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 데 도움이 되는 근본적인 사회 및 시스템 전환과 변화를 지원하고, 보통 이를 이행 가능하게 한다. 이러한 변화는 빈곤 퇴치와 불평등을 줄이기 위한 노력과 함께 의욕적인 완화 및 적응을 달성하는 기후 복원력 있는 개발 경로의 추구를 지원한다(*높은 신뢰도*). {박스 1.1, 1.4.3, 그림 5.1, 5.5.3, 박스 5.3}

D.6.1. 사회 정의와 형평성은 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 것을 목적으로 하는 기후 복원력 있는 개발 경로의 핵심적 측면으로, 그 이유는 사회 정의와 형평성이 난관과 피할 수 없는 상충을 해결하고 기회를 넓히며, 빈곤층과 소외계층의 상황을 더 악화시키지 않으면서 국가 간, 지역사회 내에서 옵션, 비전 및 가치를 신중하게 고려될 수 있도록 하기 때문이다(*높은 신뢰도*). {5.5.2, 5.5.3, 박스 5.3, 그림 5.1, 그림 5.6, 제5장 교차챕터 박스 12 및 13}

D.6.2. 기후 복원력 있는 개발 경로의 잠재력은 상이한 개발 상황 및 시스템적 취약성에 따라 지역 및 국가 간/내에서 차이를 보인다(*매우 높은 신뢰도*). 현재까지 이러한 경로를 따르는 노력은 제한적이었으며(*중간 신뢰도*), 향상된 노력에는 모든 국가와 비국가 행위자들의 시기적절하고 강화된 행동이 포함될 것이다(*높은 신뢰도*). {5.5.1, 5.5.3, 그림 5.1}

D.6.3. 지속가능발전에 상응하는 경로에서는 완화 및 적응의 어려움은 감소하고 관련된 완화 비용은 낮아지게 된다. 대다수 모델 연구는 지구온난화를 1.5℃로 억제할 수 있는 국제적 협력 부족, 불평등 및 빈곤으로 특성화된 경로를 구축할 수 없었다(*높은 신뢰도*). {2.3.1, 2.5.3, 5.5.2}

growing understanding of the scale and increase in non-governmental organizations and private funding in some regions (*medium confidence*). Barriers include the scale of adaptation financing, limited capacity and access to adaptation finance (*medium confidence*). {4.4.5, 4.6}

D.5.3 Global model pathways limiting global warming to 1.5°C are projected to involve the annual average investment needs in the energy system of around 2.4 trillion USD2010 between 2016 and 2035, representing about 2.5% of the world GDP (*medium confidence*). {4.4.5, Box 4.8}

D.5.4 Policy tools can help mobilize incremental resources, including through shifting global investments and savings and through market and non-market based instruments as well as accompanying measures to secure the equity of the transition, acknowledging the challenges related with implementation, including those of energy costs, depreciation of assets and impacts on international competition, and utilizing the opportunities to maximize co-benefits (*high confidence*). {1.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.5.1, 2.5.2, Cross-Chapter Box 8 in Chapter 3, Cross-Chapter Box 11 in Chapter 4, 4.4.5, 5.5.2}

D.5.5 The systems transitions consistent with adapting to and limiting global warming to 1.5°C include the widespread adoption of new and possibly disruptive technologies and practices and enhanced climate-driven innovation. These imply enhanced technological innovation capabilities, including in industry and finance. Both national innovation policies and international cooperation can contribute to the development, commercialization and widespread adoption of mitigation and adaptation technologies. Innovation policies may be more effective when they combine public support for research and development with policy mixes that provide incentives for technology diffusion. (*high confidence*) {4.4.4, 4.4.5}.

D.5.6 Education, information, and community approaches, including those that are informed by indigenous knowledge and local knowledge, can accelerate the wide-scale behaviour changes consistent with adapting to and limiting global warming to 1.5°C. These approaches are more effective when combined with other policies and tailored to the motivations, capabilities and resources of specific actors and contexts (*high confidence*). Public acceptability can enable or inhibit the implementation of policies and measures to limit global warming to 1.5°C and to adapt to the consequences. Public acceptability depends on the individual's evaluation of expected policy consequences, the perceived fairness of the distribution of these consequences, and perceived fairness of decision procedures (*high confidence*). {1.1, 1.5, 4.3.5, 4.4.1, 4.4.3, Box 4.3, 5.5.3, 5.6.5}

D.6 Sustainable development supports, and often enables, the fundamental societal and systems transitions and transformations that help limit global warming to 1.5°C. Such changes facilitate the pursuit of climate-resilient development pathways that achieve ambitious mitigation and adaptation in conjunction with poverty eradication and efforts to reduce inequalities (*high confidence*). {Box 1.1, 1.4.3, Figure 5.1, 5.5.3, Box 5.3}

D.6.1 Social justice and equity are core aspects of climate-resilient development pathways that aim to limit global warming to 1.5°C as they address challenges and inevitable trade-offs, widen opportunities, and ensure that options, visions, and values are deliberated, between and within countries and communities, without making the poor and disadvantaged worse off (*high confidence*). {5.5.2, 5.5.3, Box 5.3, Figure 5.1, Figure 5.6, Cross-Chapter Boxes 12 and 13 in Chapter 5}

D.6.2 The potential for climate-resilient development pathways differs between and within regions and nations, due to different development contexts and systemic vulnerabilities (*very high confidence*). Efforts along such pathways to date have been limited (*medium confidence*) and enhanced efforts would involve strengthened and timely action from all countries and non-state actors (*high confidence*). {5.5.1, 5.5.3, Figure 5.1}

D.6.3 Pathways that are consistent with sustainable development show fewer mitigation and adaptation challenges and are associated with lower mitigation costs. The large majority of modelling studies could not construct pathways characterized by lack of international cooperation, inequality and poverty that were able to limit global warming to 1.5°C. (*high confidence*) {2.3.1, 2.5.1, 2.5.3, 5.5.2}

D.7. 국가 및 지방정부, 시민사회, 민간부문, 토착민 및 지역 공동체의 기후변화 대응 역량을 강화함으로써 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 것이 의미하는 적극적인 행동 이행을 지원할 수 있다(*높은 신뢰도*). 지속가능한 발전이라는 측면에서, 국제 협력은 모든 국가와 모든 사람들에게 이행 가능한 환경을 제공한다. 국제협력은 개발도상국과 취약 지역에 매우 중요한 지원 수단이다(*높은 신뢰도*). {1.4, 2.3, 2.5, 4.2, 4.4, 4.5, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5, 박스 4.1, 박스 4.2, 박스 4.7, 박스 5.3, 제4장 교차챕터 박스 9, 제5장 교차챕터 박스 13}

D.7.1. 비국가 공공 및 민간분야, 기관 투자자, 은행 시스템, 시민사회 및 연구 기관을 포함하는 파트너십은 지구온난화를 1.5℃로 억제하기 위한 행동과 대응을 장려할 것이다(*매우 높은 신뢰도*). {1.4, 4.4.1, 4.2.2, 4.4.3, 4.4.5, 4.5.3, 5.4.1, 5.6.2, 박스 5.3}.

D.7.2. 산업, 시민사회, 연구 기관과 같은 비국가 행위자, 다양한 거버넌스 수준에서 조정된 분야별 및 범분야적 정책, 성 인지 정책, 혁신적인 자금조달을 포함하는 금융 및 기술 개발 및 이전에 대한 협력을 포함한 책임 있는 강화된 다층적 거버넌스에 대해 협력은 참여, 투명성, 역량강화, 다양한 행위자 간의 학습을 보장할 수 있다(*높은 신뢰도*). {2.5.2, 4.2.2, 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.4, 4.5.3, 제4장 교차챕터 박스 9, 5.3.1, 4.4.5, 5.5.3, 제5장 교차챕터 박스 13, 5.6.1, 5.6.3}

D.7.3. 국제협력은 개발도상국과 취약 지역이 국가 및 지역 여건과 필요를 고려, 금융과 기술에 대한 접근성 향상 및 국내 역량 강화를 비롯해 1.5℃에 상응하는 기후 대응의 이행 활동을 강화하는데 매우 중요한 조력자 역할을 한다(*높은 신뢰도*). {2.3.1, 4.4.1, 4.4.2, 4.4.4, 4.4.5, 5.4.1 5.5.3, 5.6.1, 박스 4.1, 박스 4.2, 박스 4.7}.

D.7.4. 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 데 있어 형평성과 효과를 고려하고 다양한 여건 및 역량을 반영하여 모든 수준에서 기울이는 공동의 노력은 기후변화에 대한 전지구적 대응 강화, 지속가능한 발전 실현 및 빈곤 퇴치를 용이하게 할 수 있다(*높은 신뢰도*). {1.4.2, 2.3.1, 2.5.2, 4.2.2, 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.4, 4.4.5, 4.5.3, 5.3.1, 5.4.1, 5.5.3, 5.6.1, 5.6.2, 5.6.3}

D.7 Strengthening the capacities for climate action of national and sub-national authorities, civil society, the private sector, indigenous peoples and local communities can support the implementation of ambitious actions implied by limiting global warming to 1.5°C (*high confidence*). International cooperation can provide an enabling environment for this to be achieved in all countries and for all people, in the context of sustainable development. International cooperation is a critical enabler for developing countries and vulnerable regions (*high confidence*). {1.4, 2.3, 2.5, 4.2, 4.4, 4.5, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5, Box 4.1, Box 4.2, Box 4.7, Box 5.3, Cross-Chapter Box 9 in Chapter 4, Cross-Chapter Box 13 in Chapter 5}

D.7.1 Partnerships involving non-state public and private actors, institutional investors, the banking system, civil society and scientific institutions would facilitate actions and responses consistent with limiting global warming to 1.5°C (*very high confidence*). {1.4, 4.4.1, 4.2.2, 4.4.3, 4.4.5, 4.5.3, 5.4.1, 5.6.2, Box 5.3}.

D.7.2 Cooperation on strengthened accountable multilevel governance that includes non-state actors such as industry, civil society and scientific institutions, coordinated sectoral and cross-sectoral policies at various governance levels, gender-sensitive policies, finance including innovative financing, and cooperation on technology development and transfer can ensure participation, transparency, capacity building and learning among different players (*high confidence*). {2.5.1, 2.5.2, 4.2.2, 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.4, 4.4.5, 4.5.3, Cross-Chapter Box 9 in Chapter 4, 5.3.1, 5.5.3, Cross-Chapter Box 13 in Chapter 5, 5.6.1, 5.6.3}

D.7.3 International cooperation is a critical enabler for developing countries and vulnerable regions to strengthen their action for the implementation of 1.5°C-consistent climate responses, including through enhancing access to finance and technology and enhancing domestic capacities, taking into account national and local circumstances and needs (*high confidence*). {2.3.1, 2.5.1, 4.4.1, 4.4.2, 4.4.4, 4.4.5, 5.4.1 5.5.3, 5.6.1, Box 4.1, Box 4.2, Box 4.7}.

D.7.4 Collective efforts at all levels, in ways that reflect different circumstances and capabilities, in the pursuit of limiting global warming to 1.5°C, taking into account equity as well as effectiveness, can facilitate strengthening the global response to climate change, achieving sustainable development and eradicating poverty (*high confidence*). {1.4.2, 2.3.1, 2.5.1, 2.5.2, 2.5.3, 4.2.2, 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.4, 4.4.5, 4.5.3, 5.3.1, 5.4.1, 5.5.3, 5.6.1, 5.6.2, 5.6.3}

박스. SPM1 특별보고서의 핵심 개념

전지구 평균 표면 온도(GMST): 육지와 해빙 표면 부근 기온과 해빙이 없는 해양의 해수면 온도의 전지구 평균 추정치로서, 그 변화는 일반적으로 특정 기준 기간에 대한 값으로부터의 편차로서 표현함. GMST의 변화를 추정할 때, 육지와 해양 위 표면 부근의 기온이 또한 사용된다.[19] {1.2.1.1}

산업화 이전: 1750년경 대규모 산업 활동이 시작되기 이전의 수 세기 정도의 기간. 산업화 이전의 GMST은 근사하기 위해서 1850-1900년을 기준기간으로 한다. {1.2.1.2}

지구온난화: 30년 동안 또는 특정 연도 혹은 특정 10년의 기간을 중심으로 30년 기간 동안의 GMST의 증가 추정치로 특별한 언급이 없는 한, 산업화 이전 시기 값과 비교해 표현. 과거와 미래에 걸친 30년 기간에는 최근 수십 년간의 온난화 추세가 지속된다고 가정한다. {1.2.1}

Net zero CO_2 배출량: 어느 특정 기간 동안 인간활동에 기인한 CO_2 배출량이 인간활동에 기인한 전지구적 CO_2 흡수량과 균형을 이룰 때 Net zero CO_2 배출량이 달성된다.

이산화탄소흡수(CDR): 대기 중에서 CO_2를 흡수하고 지질, 육상, 해양 저장소 또는 생산물에 영구적으로 저장하는 인위적인 활동. 이는 기존 및 향후 가능한 생물학적 또는 지구화학적 흡수원의 인위적인 강화와 직접적인 공기 포집 및 저장이 포함되지만 인간활동과 직접적으로 관련 없는 자연적 CO_2 흡수는 제외한다.

총 탄소배출총량: 산업화 이전 기간부터 인간 활동에 기인한 CO_2 배출량이 net zero에 도달해 상당한 확률로 주어진 수준으로 온난화를 억제되는 시기까지 인간 활동에 기인한 전지구 CO_2 순 누적 배출량의 추정값으로, 다른 인간활동에 기인한 배출량의 영향을 고려한다. {2.2.2}

잔여 탄소배출총량: 특정 시점부터 인간활동에 기인한 CO_2 배출량이 net zero에 도달해 상당한 확률로 주어진 수준으로 온난화를 억제되는 시기까지 인간활동에 기인한 전지구 CO_2 순 누적 배출량의 추정 값으로, 다른 인간활동에 기인한 배출량의 영향을 고려한다. {2.2.2}

온도 오버슛: 특정한 지구온난화 수준을 일시적으로 초과하는 경우이다.

배출 경로: SPM 내에서, 21세기 동안 인간활동에 기인한 전지구 배출량을 모델링한 궤적을 배출 경로라 명명한다. 배출 경로는 21세기 동안 온도 궤적에 따라 분류된다: 현재 지식 수준을 바탕으로 50% 이상의 확률로 지구온난화를 1.5℃ 미만으로 억제하는 경로는 '오버슛 없음'으로 분류; 온난화를 1.6℃ 미만으로 억제하고 2100년까지 1.5℃로 낮출 수 있는 경로를 '1.5℃ 제한된 오버슛'으로 분류; 1.6℃를 초과하지만 2100년까지 1.5℃로 낮출 수 있는 경로를 '보다 높은 오버슛'으로 분류한다.

영향: 기후변화가 인간계 및 자연계에 미치는 영향이다. 영향은 생계, 건강과 복지, 생태계, 생물종, 생태계 서비스, 기반시설과 경제·사회·문화적 자산에 혜택을 주거나 불리한 결과를 초래할 수 있다.

리스크: 위해(hazard)와 영향을 받는 시스템의 노출 및 취약성 간의 상호작용으로 인한 결과이자 인간과 자연계에 대한 기후 관련 위해로 인한 잠재적으로 부정적인 영향을 말한다. 리스크는 위해에 대한 노출 가능성과 그 영향의 규모를 통합한 것이다. 리스크는 또한 기후변화 적응이나 완화로 인한 부정적 효과가 발생할 가능성으로도 표현될 수 있다.

기후 복원력 있는 개발 경로(CRDPs): 여러 규모에서 형평성 있는 사회 및 시스템 전환을 통해 지속가능한 발전 및 빈곤 퇴치 노력을 강화하는 궤적으로 적극적인 완화, 적응 및 기후 복원력을 통해 기후변화 위협이 줄어든다.

19) 연구문헌을 반영한 과거 IPCC 보고서들은 GMST 변화와 대략적으로 동등한 다양한 측정법을 사용하였음

Box SPM.1: Core Concepts Central to this Special Report

Global mean surface temperature (GMST): Estimated global average of near-surface air temperatures over land and sea ice, and sea surface temperatures over ice-free ocean regions, with changes normally expressed as departures from a value over a specified reference period. When estimating changes in GMST, near-surface air temperature over both land and oceans are also used.[19] {1.2.1.1}

Pre-industrial: The multi-century period prior to the onset of large-scale industrial activity around 1750. The reference period 1850–1900 is used to approximate pre-industrial GMST. {1.2.1.2}

Global warming: The estimated increase in GMST averaged over a 30-year period, or the 30-year period centred on a particular year or decade, expressed relative to pre-industrial levels unless otherwise specified. For 30-year periods that span past and future years, the current multi-decadal warming trend is assumed to continue. {1.2.1}

Net zero CO_2 emissions: Net zero carbon dioxide (CO_2) emissions are achieved when anthropogenic CO_2 emissions are balanced globally by anthropogenic CO_2 removals over a specified period.

Carbon dioxide removal (CDR): Anthropogenic activities removing CO_2 from the atmosphere and durably storing it in geological, terrestrial, or ocean reservoirs, or in products. It includes existing and potential anthropogenic enhancement of biological or geochemical sinks and direct air capture and storage, but excludes natural CO_2 uptake not directly caused by human activities.

Total carbon budget: Estimated cumulative net global anthropogenic CO_2 emissions from the pre-industrial period to the time that anthropogenic CO_2 emissions reach net zero that would result, at some probability, in limiting global warming to a given level, accounting for the impact of other anthropogenic emissions. {2.2.2}

Remaining carbon budget: Estimated cumulative net global anthropogenic CO_2 emissions from a given start date to the time that anthropogenic CO_2 emissions reach net zero that would result, at some probability, in limiting global warming to a given level, accounting for the impact of other anthropogenic emissions. {2.2.2}

Temperature overshoot: The temporary exceedance of a specified level of global warming.

Emission pathways: In this Summary for Policymakers, the modelled trajectories of global anthropogenic emissions over the 21st century are termed emission pathways. Emission pathways are classified by their temperature trajectory over the 21st century: pathways giving at least 50% probability based on current knowledge of limiting global warming to below 1.5°C are classified as 'no overshoot'; those limiting warming to below 1.6°C and returning to 1.5°C by 2100 are classified as '1.5°C limited-overshoot'; while those exceeding 1.6°C but still returning to 1.5°C by 2100 are classified as 'higher-overshoot'.

Impacts: Effects of climate change on human and natural systems. Impacts can have beneficial or adverse outcomes for livelihoods, health and well-being, ecosystems and species, services, infrastructure, and economic, social and cultural assets.

Risk: The potential for adverse consequences from a climate-related hazard for human and natural systems, resulting from the interactions between the hazard and the vulnerability and exposure of the affected system. Risk integrates the likelihood of exposure to a hazard and the magnitude of its impact. Risk also can describe the potential for adverse consequences of adaptation or mitigation responses to climate change.

Climate-resilient development pathways (CRDPs): Trajectories that strengthen sustainable development at multiple scales and efforts to eradicate poverty through equitable societal and systems transitions and transformations while reducing the threat of climate change through ambitious mitigation, adaptation and climate resilience.

19 Past IPCC reports, reflecting the literature, have used a variety of approximately equivalent metrics of GMST change.

TS

기술요약서
Technical Summary

TS

기술요약서(TS)

총괄주저자:
Myles Allen (영국), Heleen de Coninck (네덜란드), Opha Pauline Dube (보츠와나), Ove Hoegh-Guldberg (호주), Daniela Jacob (독일), Kejun Jiang (중국), Aromar Revi (인도), Joeri Rogelj (벨기에/오스트리아), Joyashree Roy (인도), Drew Shindell (미국), William Solecki (미국), Michael Taylor (자메이카), Petra Tschakert (호주/오스트리아), Henri Waisman (프랑스).

주저자:
Sharina Abdul Halim (말레이시아), Philip Antwi-Agyei (가나), Fernando Aragón–Durand (멕시코), Mustafa Babiker (수단), Paolo Bertoldi (이태리), Marco Bindi (이태리), Sally Brown (영국), Marcos Buckeridge (브라질), Ines Camilloni (아르헨티나), Anton Cartwright (남아프리카), Wolfgang Cramer (프랑스/독일), Purnamita Dasgupta (인도), Arona Diedhiou (세네갈, Riyanti Djalante (인도네시아), Wenjie Dong (중국), Kristie Ebi (미국), Francois Engelbrecht (남아프리카), Solomone Fifita (피지), James Ford (캐나다/영국), Piers Forster (영국), Sabine Fuss (독일), Bronwyn Hayward (뉴질랜드), Jean-Charles Hourcade (프랑스), Veronika Ginzburg (러시아), Joel Guiot (프랑스), Collins Handa (케냐), Yasuaki Hijioka (일본), Stephen Humphreys (영국/아일랜드), Mikiko Kainuma (일본), Jatin Kala (호주), Markku Kanninen (핀랜드), Haroon Kheshgi (미국), Shigeki Kobayashi (일본), Elmar Kriegler (독일), Debora Ley (과테말라/멕시코), Diana Liverman (미국), Natalie Mahowald (미국), Reinhard Mechler (독일), Shagun Mehrotra (미국/인도), Yacob Mulugetta (영국/에티오피아), Luis Mundaca (칠레/스웨덴), Peter Newman (호주), Chukwumerije Okereke (나이지리아/영국), Antony Payne (영국), Rosa Perez (필리핀), Patricia Fernanda Pinho (브라질), Anastasia Revokatova (러시아), Keywan Riahi (오스트리아), Seth Schultz (미국), Roland Séférian (프랑스), Sonia I. Seneviratne (스위스), Linda Steg (네덜란드), Avelino G. Suarez Rodriguez (쿠바), Taishi Sugiyama (일본), Adelle Thomas (바하마), Maria Virginia Vilariño (아르헨티나), Morgan Wairiu (솔로몬 제도), Rachel Warren (영국), Guangsheng Zhou (중국), Kirsten Zickfeld (캐나다)

TS

Technical Summary

Coordinating Lead Authors:
Myles Allen (UK), Heleen de Coninck (Netherlands/EU), Opha Pauline Dube (Botswana), Ove Hoegh-Guldberg (Australia), Daniela Jacob (Germany), Kejun Jiang (China), Aromar Revi (India), Joeri Rogelj (Belgium/Austria), Joyashree Roy (India), Drew Shindell (USA), William Solecki (USA), Michael Taylor (Jamaica), Petra Tschakert (Australia/Austria), Henri Waisman (France)

Lead Authors:
Sharina Abdul Halim (Malaysia), Philip Antwi-Agyei (Ghana), Fernando Aragón–Durand (Mexico), Mustafa Babiker (Sudan), Paolo Bertoldi (Italy), Marco Bindi (Italy), Sally Brown (UK), Marcos Buckeridge (Brazil), Ines Camilloni (Argentina), Anton Cartwright (South Africa), Wolfgang Cramer (France/Germany), Purnamita Dasgupta (India), Arona Diedhiou (Ivory Coast/Senegal), Riyanti Djalante (Japan/Indonesia), Wenjie Dong (China), Kristie L. Ebi (USA), Francois Engelbrecht (South Africa), Solomone Fifita (Fiji), James Ford (UK/Canada), Piers Forster (UK), Sabine Fuss (Germany), Bronwyn Hayward (New Zealand), Jean-Charles Hourcade (France), Veronika Ginzburg (Russia), Joel Guiot (France), Collins Handa (Kenya), Yasuaki Hijioka (Japan), Stephen Humphreys (UK/Ireland), Mikiko Kainuma (Japan), Jatin Kala (Australia), Markku Kanninen (Finland), Haroon Kheshgi (USA), Shigeki Kobayashi (Japan), Elmar Kriegler (Germany), Debora Ley (Guatemala/Mexico), Diana Liverman (USA), Natalie Mahowald (USA), Reinhard Mechler (Germany), Shagun Mehrotra (USA/India), Yacob Mulugetta (UK/Ethiopia), Luis Mundaca (Sweden/Chile), Peter Newman (Australia), Chukwumerije Okereke (UK/Nigeria), Antony Payne (UK), Rosa Perez (Philippines), Patricia Fernanda Pinho (Brazil), Anastasia Revokatova (Russian Federation), Keywan Riahi (Austria), Seth Schultz (USA), Roland Séférian (France), Sonia I. Seneviratne (Switzerland), Linda Steg (Netherlands), Avelino G. Suarez Rodriguez (Cuba), Taishi Sugiyama (Japan), Adelle Thomas (Bahamas), Maria Virginia Vilariño (Argentina), Morgan Wairiu (Solomon Islands), Rachel Warren (UK), Guangsheng Zhou (China), Kirsten Zickfeld (Canada/Germany)

기여저자:

Malcolm Araos (캐나다), Michelle Achlatis (그리스), Lisa V. Alexander (호주), Stefan Bakker (네덜란드), Mook Bangalore (미국), Amir Bazaz (인도), Ella Belfer (캐나다), Tim Benton (영국), Peter Berry (캐나다), Bishwa Bhaskar Choudhary (인도), Christopher Boyer (미국), Lorenzo Brilli (이태리), Katherine Calvin (미국), William Cheung (캐나다), Sarah Connors (영국), Joana Correia de Oliveira de Portugal Pereira (포르투갈/ 영국), Marlies Craig (남아프리카), Dipak Dasgupta (인도), Michel den Elzen (네덜란드), Haile Eakin (미국), Oreane Edelenbosch (네덜란드), Neville Ellis (호주), Johannes Emmerling (독일/이태리), Jason Evans (호주), Maria Figueroa (베네수엘라/덴마크), Hubertus Fisher (스위스), Klaus Fraedrich (독일), Jan Fuglestvedt (노르웨이), Anjani Ganase (트리니다드토바고), Thomas Gasser (프랑스/오스트리아), Jean Pierre Gattuso (프랑스), Frédéric Ghersi (프랑스), Nathan Gillet (캐나다), Adriana Grandis (브라질), Peter Greve (독일/오스트리아), Tania Guillén B. (독일/ 니카라과), Mukesh Gupta (인도),Naota Hanasaki (일본), Tomoko Hasegawa (일본), Eamon Haughey (아일랜드), Katie Hayes (캐나다), Chenmin He (중국), Karen Paiva Henrique (브라질), Edgar Hertwich (오스트리아/미국), Annette Hirsch (호주/스위스), Lena Höglund-Isaksson (스웨덴/오스트리아), Daniel Huppmann (오스트리아), Saleemul Huq (방글라데시/영국), Rachel James (영국), Chris Jones (영국), Thomas Jung (독일), Richard Klein (네덜란드/독일), Kiane de Kleijne (네덜란드), Gerhard Krinner (프랑스), David Lawrence (미국), Tim Lenton (영국), Gunnar Luderer (독일), Maria del Mar Zamora Dominguez (멕시코), Peter Marcotullio (미국), Anil Markandya (영국/스페인), Omar Massera (멕시코), David L. McCollum (미국/오스트리아), Kathleen McInnes (호주), Amaha Medhin Haileselassie (에티오피아), Malte Meinshausen (독일/호주), Katrin J. Meissner (호주), Richard Millar (영국), Katja Mintenbeck (독일), Dann Mitchell (영국), Alan C. Mix (미국), Dirk Notz (독일), Leonard Nurse (바베이도스), Andrew Okem (나이지리아), Lennart Olsson (스웨덴), Carolyn Opio (우간다), Michael Oppenheimer (미국), Shlomit Paz (이스라엘), Simon Parkinson (캐나다), Juliane Petersen (독일), Jan Petzold (독일), Maxime Plazzotta (프랑스), Alexander Popp (독일), Swantje Preuschmann (독일), Pallav Purohit (인도/오스트리아), Mohammad Feisal Rahman (방글라데시), Graciela Raga (아르헨티나), Andy Reisinger (뉴질랜드), Kevon Rhiney (자메이카), Aurélien Ribes (프랑스), Mark Richardson (미국/영국), Wilfried Rickels (독일), Timmons Roberts (미국), Maisa Rojas (칠레), Arjan van Rooij (네덜란드), Diana Hinge Salili (바누아투), Harry Saunders (캐나다/미국), Christina Schädel (스위스/미국), Hanna Scheuffele (독일), Lisa Schipper (스웨덴), Carl-Friedrich Schleussner (독일), Jörn Schmidt (독일), Daniel Scott (캐나다), Jana Sillmann (독일/노르웨이), Chandni Singh (인도), Raphael Slade (영국), Christopher Smith (영국), Pete Smith (영국), Shreya Some (인도), Gerd Sparovek (브라질), Will Steffen (호주), Kimberly Stephensen (자메이카), Tannecia Stephenson (자메이카), Pablo Suarez (아르헨티나), Mouhamadou B. Sylla (세네갈), Nenenteiti Teariki-Ruatu (키리바시), Mark Tebboth (영국), Peter Thorne (아일랜드/영국), Evelina Trutnevyte (리투아니아/스위스), Penny Urquhart (남아프리카), Anne M. van Valkengoed (네덜란드), Robert Vautard (프랑스), Richard Wartenburger (독일/스위스), Michael Wehner (미국), Margaretha Wewerinke-Singh (네덜란드), Nora M. Weyer (독일), Felicia Whyte (자메이카), Lini Wollenberg (미국), Yang Xiu (중국), Gary Yohe (미국), Xuebin Zhang (캐나다), Wenji Zhou (중국/오스트리아), Robert B. Zougmoré (부르키나 파소/말리)

Contributing Authors:

Malcolm Araos (Maldives/Canada), Michelle Achlatis (Australia/Greece), Lisa V. Alexander (Australia), Stefan Bakker (Netherlands), Mook Bangalore (USA), Amir Bazaz (India), Ella Belfer (Canada), Tim Benton (UK), Peter Berry (Canada), Bishwa Bhaskar Choudhary (India), Christopher Boyer (USA), Lorenzo Brilli (Italy), Katherine Calvin (USA), William Cheung (Canada), Sarah Connors (France/UK), Joana Correia de Oliveira de Portugal Pereira (UK/Portugal), Marlies Craig (South Africa), Dipak Dasgupta (India), Michel den Elzen (Netherlands), Haile Eakin (USA), Oreane Edelenbosch (Netherlands/Italy), Neville Ellis (Australia), Johannes Emmerling (Italy/Germany), Jason Evans (Australia), Maria Figueroa (Denmark/Venezuela), Dominique Finon (France), Hubertus Fisher (Switzerland), Klaus Fraedrich (Germany), Jan Fuglestvedt (Norway), Anjani Ganase (Trinidad and Tobago), Thomas Gasser (Austria/France), Jean Pierre Gattuso (France), Frédéric Ghersi (France), Nathan Gillett (Canada), Adriana Grandis (Brazil), Peter Greve (Germany/Austria), Tania Guillén B. (Germany/Nicaragua), Mukesh Gupta (India),Naota Hanasaki (Japan), Tomoko Hasegawa (Japan), Eamon Haughey (Ireland), Katie Hayes (Canada), Chenmin He (China), Karen Paiva Henrique (Brazil), Edgar Hertwich (USA/Austria), Annette Hirsch (Australia/Switzerland), Lena Höglund-Isaksson (Austria/Sweden), Daniel Huppmann (Austria), Saleemul Huq (Bangladesh/UK), Rachel James (UK), Chris Jones (UK), Thomas Jung (Germany), Richard Klein (Netherlands/Germany), Kiane de Kleijne (Netherlands/EU), Gerhard Krinner (France), David Lawrence (USA), Tim Lenton (UK), Gunnar Luderer (Germany), Maria del Mar Zamora Dominguez (Mexico), Peter Marcotullio (USA), Anil Markandya (Spain/UK), Omar Massera (Mexico), David L. McCollum (Austria/USA), Kathleen McInnes (Australia), Amaha Medhin Haileselassie (Ethiopia), Malte Meinshausen (Australia/Germany), Katrin J. Meissner (Australia), Richard Millar (UK), Katja Mintenbeck (Germany), Dann Mitchell (UK), Alan C. Mix (USA), Dirk Notz (Germany), Leonard Nurse (Barbados), Andrew Okem (Nigeria), Lennart Olsson (Sweden), Carolyn Opio (Uganda), Michael Oppenheimer (USA), Shlomit Paz (Israel), Simon Parkinson (Canada), Juliane Petersen (Germany), Jan Petzold (Germany), Maxime Plazzotta (France), Alexander Popp (Germany), Swantje Preuschmann (Germany), Pallav Purohit (Austria/India), Mohammad Feisal Rahman (Bangladesh), Graciela Raga (Mexico/Argentina), Andy Reisinger (New Zealand), Kevon Rhiney (Jamaica), Aurélien Ribes (France), Mark Richardson (USA/UK), Wilfried Rickels (Germany), Timmons Roberts (USA), Maisa Rojas (Chile), Arjan van Rooij (Netherlands), Diana Hinge Salili (Vanuatu), Harry Saunders (Canada/USA), Christina Schädel (USA/Switzerland), Hanna Scheuffele (Germany), Lisa Schipper (UK/Sweden), Carl-Friedrich Schleussner (Germany), Jörn Schmidt (Germany), Daniel Scott (Canada), Jana Sillmann (Germany/Norway), Chandni Singh (India), Raphael Slade (UK), Christopher Smith (UK), Pete Smith (UK), Shreya Some (India), Gerd Sparovek (Brazil), Will Steffen (Australia), Kimberly Stephensen (Jamaica), Tannecia Stephenson (Jamaica), Pablo Suarez (Argentina), Mouhamadou B. Sylla (Senegal), Nenenteiti Teariki-Ruatu (Kiribati), Mark Tebboth (UK), Peter Thorne (Ireland/UK), Evelina Trutnevyte (Switzerland/Lithuania), Penny Urquhart (South Africa), Anne M. van Valkengoed (Netherlands), Robert Vautard (France), Richard Wartenburger (Germany/Switzerland), Michael Wehner (USA), Margaretha Wewerinke-Singh (Netherlands), Nora M. Weyer (Germany), Felicia Whyte (Jamaica), Lini Wollenberg (USA), Yang Xiu (China), Gary Yohe (USA), Xuebin Zhang (Canada), Wenji Zhou (Austria/China), Robert B. Zougmoré (Burkina Faso/Mali)

검토편집자:
Amjad Abdulla (몰디브), Rizaldi Boer (인도네시아), Ismail Elgizouli Idris (수단), Andreas Fischlin (스위스), Greg Flato (캐나다), Jan Fuglestvedt (노르웨이), Xuejie Gao (중국), Mark Howden (호주), Svitlana Krakovska (우크라이나), Ramon Pichs Madruga (쿠바), Jose Antonio Marengo (브라질), Rachid Mrabet (모로코), Joy Pereira (말레이시아), Roberto Sanchez (멕시코), Roberto Schaeffer (브라질), Boris Sherstyukov (러시아), Diana Ürge-Vorsatz (헝가리)

챕터 과학자:
Daniel Huppmann (오스트리아), Tania Guillén Bolaños (독일/니카라과), Neville Ellis (호주), Kiane de Kleijne (네덜란드), Richard Millar (영국), Chandni Singh (인도), Chris Smith (영국)

기술요약서(TS)는 다음과 같이 인용되어야 합니다:
M. R. Allen, Heleen de Coninck, Opha Pauline Dube, Ove Hoegh-Guldberg, Daniela Jacob, Kejun Jiang, Aromar Revi, Joeri Rogelj, Joyashree Roy, Drew Shindell, William Solecki, Michael Taylor, Petra Tschakert, Henri Waisman, Sharina Abdul Halim, Philip Antwi-Agyei, Fernando Aragón–Durand, Mustafa Babiker, Paolo Bertoldi, Marco Bindi, Sally Brown, Marcos Buckeridge, Ines Camilloni, Anton Cartwright, Wolfgang Cramer, Purnamita Dasgupta, Arona Diedhiou, Riyanti Djalante, Wenjie Dong, Kristie L. Ebi, Francois Engelbrecht, Solomone Fifita, James Ford, Piers Forster, Sabine Fuss, Bronwyn Hayward, Jean-Charles Hourcade, Veronika Ginzburg, Joel Guiot, Collins Handa, Yasuaki Hijioka, Stephen Humphreys, Mikiko Kainuma, Jatin Kala, Markku Kanninen, Haroon Kheshgi, Shigeki Kobayashi, Elmar Kriegler, Debora Ley, Diana Liverman, Natalie Mahowald, Reinhard Mechler, Shagun Mehrotra, Yacob Mulugetta, Luis Mundaca, Peter Newman, Chukwumerije Okereke, Antony Payne, Rosa Perez, Patricia Fernanda Pinho, Anastasia Revokatova, Keywan Riahi, Seth Schultz, Roland Séférian, Sonia I. Seneviratne, Linda Steg, Avelino G. Suarez Rodriguez, Taishi Sugiyama, Adelle Thomas, Maria Virginia Vilariño, Morgan Wairiu, Rachel Warren, Guangsheng Zhou, Kirsten Zickfeld, 2018, Technical Sunnary. In: *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* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.

Review Editors:

Amjad Abdulla (Maldives), Rizaldi Boer (Indonesia), Ismail Elgizouli Idris (Sudan), Andreas Fischlin (Switzerland), Greg Flato (Canada), Jan Fuglestvedt (Norway), Xuejie Gao (China), Mark Howden (Australia), Svitlana Krakovska (Ukraine), Ramon Pichs Madruga (Cuba), Jose Antonio Marengo (Brazil/Peru), Rachid Mrabet (Morocco), Joy Pereira (Malaysia), Roberto Sanchez (Mexico), Roberto Schaeffer (Brazil), Boris Sherstyukov (Russian Federation), Diana Ürge-Vorsatz (Hungary)

Chapter Scientists:

Daniel Huppmann (Austria), Tania Guillén Bolaños (Germany/Nicaragua), Neville Ellis (Australia), Kiane de Kleijne (Netherlands/EU), Richard Millar (UK), Chandni Singh (India), Chris Smith (UK)

This Technical Summary should be cited as:

M. R. Allen, Heleen de Coninck, Opha Pauline Dube, Ove Hoegh-Guldberg, Daniela Jacob, Kejun Jiang, Aromar Revi, Joeri Rogelj, Joyashree Roy, Drew Shindell, William Solecki, Michael Taylor, Petra Tschakert, Henri Waisman, Sharina Abdul Halim, Philip Antwi-Agyei, Fernando Aragón–Durand, Mustafa Babiker, Paolo Bertoldi, Marco Bindi, Sally Brown, Marcos Buckeridge, Ines Camilloni, Anton Cartwright, Wolfgang Cramer, Purnamita Dasgupta, Arona Diedhiou, Riyanti Djalante, Wenjie Dong, Kristie L. Ebi, Francois Engelbrecht, Solomone Fifita, James Ford, Piers Forster, Sabine Fuss, Bronwyn Hayward, Jean-Charles Hourcade, Veronika Ginzburg, Joel Guiot, Collins Handa, Yasuaki Hijioka, Stephen Humphreys, Mikiko Kainuma, Jatin Kala, Markku Kanninen, Haroon Kheshgi, Shigeki Kobayashi, Elmar Kriegler, Debora Ley, Diana Liverman, Natalie Mahowald, Reinhard Mechler, Shagun Mehrotra, Yacob Mulugetta, Luis Mundaca, Peter Newman, Chukwumerije Okereke, Antony Payne, Rosa Perez, Patricia Fernanda Pinho, Anastasia Revokatova, Keywan Riahi, Seth Schultz, Roland Séférian, Sonia I. Seneviratne, Linda Steg, Avelino G. Suarez Rodriguez, Taishi Sugiyama, Adelle Thomas, Maria Virginia Vilariño, Morgan Wairiu, Rachel Warren, Guangsheng Zhou, Kirsten Zickfeld, 2018, Technical Sunnary. In: *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* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.

목 차

TS.1 맥락 및 배경 31

TS.2 지속가능발전 차원에서 1.5°C 달성을 위한 감축 경로 32

TS.3 1.5°C 지구온난화가 자연계 및 인간계에 미치는 영향 35

TS.4 전지구적 대응 강화 및 이행 40

TS.5 지속가능발전, 빈곤 퇴치, 불평등 감소 44

Table of Contents

TS.1 Framing and Context 31

TS.2 Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development 32

TS.3 Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems 35

TS.4 Strengthening and Implementing the Global Response 40

TS.5 Sustainable Development, Poverty Eradication and Reducing Inequalities 44

TS.1 맥락 및 배경

이 챕터는 기후변화 위협에 대한 전지구적 대응과 지속가능발전 및 빈곤 퇴치 노력의 강화가 요구되는 시점에서 IPCC 제5차 평가보고서(Fifth Assessment Report; AR5)를 바탕으로 산업화 이전 수준 대비 1.5℃의 지구온난화가 미치는 영향 및 그와 관련된 전지구 온실가스 배출 경로를 이해하는 데 사용되는 배경, 지식 기반, 평가 방식을 제시한다.

인간 활동에 기인한 온난화는 산업화 이전 대비 1℃(*가능성 높음* 범위 0.8-1.2℃)에 도달했으며 이는 10년당 0.2℃(*가능성 높음* 범위 0.1-0.3℃)의 상승에 해당한다 (*높은 신뢰도*). 이 보고서에서 지구온난화는 30년간 전 세계 표면 기온과 해수면 온도를 조합한 평균 상승 온도로 정의된다. 달리 명시되지 않는 한, 온난화는 AR5에서 산업화 이전 온도의 근사치로 이용되는 1850-1900년의 온도 대비로 표현된다. 30년 미만 기간에 대해서 온난화는 해당 기간을 중심으로 하는 30년간의 평균 온도 추정치를 가리키며 이는 해당 30년 기간 중 온도 변동 또는 추세의 영향력을 설명 한다. 이에 따라 산업화 이전 대비 2006년부터 2015년 까지 10년간의 온난화는 0.87℃(*가능성 높음* 범위 0.75-0.99℃)로 추정된다. 과거 대비 태양 및 화산 활동으로 인한 온도 상승의 불확실성을 ±20%(*가능성 높음* 범위)로 감안할 때, 2000년 이후 인간 활동에 기인한 온난화에 대해 추정된 수준은 관찰된 온난화 수준과 일치했다(*높은 신뢰도*). {1.2.1}

전지구 평균을 초과하는 온난화는 이미 여러 지역과 계절에서 관찰되었으며 육지에서의 평균 온난화가 해양보다 더 높았다 (*높은 신뢰도*). 대부분의 육지에서는 전지구 평균을 초과하는 온난화가 나타나고 있는 반면, 대부분 해양 지역의 온난화는 그보다 느린 속도로 진행되고 있다. 검토한 온도 자료에 따르면, 2006년부터 2015년까지 10년 동안을 기준으로 산업화 이전 대비 최소 한 계절 이상 1.5℃ 이상의 온난화를 경험한 지역에 전지구 인구의 20-40%가 거주하고 있다(*중간 신뢰도*). {1.2.1, 1.2.2}

과거 배출량만으로 전지구 평균 기온이 산업화 이전 대비 1.5℃ 이상 상승했을 가능성은 낮지만*(중간 신뢰도)*, 해수면 상승과 같은 다른 변화를 초래했다(높은 신뢰도). (에어로졸 관련 배출을 포함한) 인간활동에 기인한 배출량을 즉시 0으로 감소시키면 이미 진행된 1℃ 외의 추가적인 온난화는 여러 기후 과정과 인자들의 상반되는 효과로 향후 20-30년간 동안 0.5℃ 미만일 *가능성이 높고*(*높은 신뢰도*), 향후 100년간의 시간 규모에서 0.5℃ 미만일 *가능성이 높다*(*중간 신뢰도*). 그러므로 1.5℃를 초과하는 온난화는 지구물리학적으로 회피 불가능한 현상이 아니며 이는 배출량 감축 속도에 좌우된다. {1.2.3, 1.2.4}

1.5℃ 배출 경로는, 기후 반응에 대한 현재의 지식을 바탕으로, 1/2에서 2/3의 확률로 온난화를 1.5℃ 미만으로 유지하거나 또는 오버슛(overshoot) 이후에 2100년경까지 다시 1.5℃ 수준으로 되돌릴 수 있는 배출 경로로 정의된다. 오버슛 경로는 오버슛 최대 강도로 특정되며, 이는 영향에 대한 다른 시사점을 제공한다. 모든 1.5℃ 경로는 이산화탄소와 아산화질소를 포함한 장기 체류 온실가스의 누적 배출량 제한 및 다른 기후변화 유발물질의 상당한 저감을 포함한다(*높은 신뢰도*). 누적 배출량을 제한하기 위해서는 누적 한계치에 도달하기 이전에 장기 체류 온실가스의 전지구 순배출량을 0으로 저감하거나 한계치를 초과한 이후 전지구적 net negative (인간활동에 기인한 흡수)를 달성해야 한다. {1.2.3, 1.2.4, 교차챕터 박스 1, 2}

이 보고서는 1.5℃ 온난화의 전지구 평균 및 그 이상의 온난화가 미칠 영향을 평가한다. 1.5℃ 지구온난화는 여러 지역과 계절에 발생하는 1.5℃ 보다 상당히 더 큰 온난화와 더불어 1.5℃ 내외의 전지구 평균 표면 온도의 자연적인 변동과 관련되며(*높은 신뢰도*), 영향 평가에 이 모두가 고려되어야 한다. 1.5℃ 온난화의 영향은 또한 1.5℃로의 배출 경로에도 좌우된다. 1.5℃ 미만으로 유지되는 경로와 상당한 오버슛 이후 1.5℃로 되돌아오는 경로의 영향은 매우 다르며, 온난화가 1.5℃에서 유지되는 경우와 1.5℃를 일시적으로 초과하는 경우의 영향 역시 매우 다르다(*중간 신뢰도*). {1.2.3, 1.3}

이 보고서는 1.5℃ 및 그 이상의 온난화로 인한 많은 영향들과 온난화를 1.5℃로 억제하기 위한 완화조치들로 인한 몇몇 가능성 있는 영향들이 빈곤층 및 취약계층에 불균형적으로 집중되기 때문에, 윤리적 고려사항과 형평성의 원칙은 특히 이 보고서의 핵심이다(*높은 신뢰도*). 형평성은 절차적 및 분배적 측면을 가지며 책임 분담에 있어서 세대간, 국가간 그리고 국가 내에서의 공정성을 필요로 한다. 파리 협정은 산업화 이전 수준 대비 전지구 평균 온도 상승폭을 2℃보다 훨씬 낮은 수준으로 유지하고 나아가 1.5℃까지 억제하기 위한 노력을 추구한다는 목표를 설정하면서, 기후변화에 대한 효과적 대응을 위해서는 2015 UN지속가능발전목표(United Nations Sustainable Development Goals)를 참고할 수 있는 전 세계 공동의 노력이 필요하다는 인식 하에 형평의 원칙을 빈곤 퇴치 및 지속가능한 발전의 더 광범위한 목표와 연계하고 있다. {1.1.1}

기후 적응은 기후변화의 유해한 영향에 대한 노출 및 취약성을 감소시키고 모든 잠재적 편익을 활용함으로써 기후변화 영향의 관리를 위해 취하는 활동을 가리킨다. 적응은 전 세계, 국가, 지역 수준에서 이루어진다. 도시와 농어촌 지자체 당국을 포함한 국가 하위 관할 구역 및 기구들이 기후 및 날씨 관련 리스크 저감 조치 개발과 강화에 있어 매우 중요하다. 적응 조치의 이행은 최신 및 지역 관련 정보의 불가용성, 재정과 기술의 부족, 사회적 가치 및 태도, 제도적 제약 등 여러 장애에 직면하고 있다(*높은 신뢰도*). 정책이 완화 및 빈곤 퇴치 목표와 조정된다면 적응은 지속가능한 발전에 기여할 수 있을 것이다(*중간 신뢰도*). {1.1, 1.4}

온난화를 1.5℃ 수준으로 억제하는 동시에 지속가능발전과 빈곤 퇴치를 달성하기 위해서는 대대적인 완화 조치가 필수적이다(*높은 신뢰도*). 그러나 부실한 대응은,

TS.1 Framing and Context

This chapter frames the context, knowledge-base and assessment approaches used to understand the impacts of 1.5°C global warming above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, building on the IPCC Fifth Assessment Report (AR5), in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development and efforts to eradicate poverty.

Human-induced warming reached approximately 1°C (*likely* between 0.8°C and 1.2°C) above pre-industrial levels in 2017, increasing at 0.2°C (*likely* between 0.1°C and 0.3°C) per decade (*high confidence*). Global warming is defined in this report as an increase in combined surface air and sea surface temperatures averaged over the globe and over a 30-year period. Unless otherwise specified, warming is expressed relative to the period 1850–1900, used as an approximation of pre-industrial temperatures in AR5. For periods shorter than 30 years, warming refers to the estimated average temperature over the 30 years centred on that shorter period, accounting for the impact of any temperature fluctuations or trend within those 30 years. Accordingly, warming from pre-industrial levels to the decade 2006–2015 is assessed to be 0.87°C (*likely* between 0.75°C and 0.99°C). Since 2000, the estimated level of human-induced warming has been equal to the level of observed warming with a likely range of ±20% accounting for uncertainty due to contributions from solar and volcanic activity over the historical period (*high confidence*). {1.2.1}

Warming greater than the global average has already been experienced in many regions and seasons, with higher average warming over land than over the ocean (*high confidence*). Most land regions are experiencing greater warming than the global average, while most ocean regions are warming at a slower rate. Depending on the temperature dataset considered, 20–40% of the global human population live in regions that, by the decade 2006–2015, had already experienced warming of more than 1.5°C above pre-industrial in at least one season (*medium confidence*). {1.2.1, 1.2.2}

Past emissions alone are unlikely to raise global-mean temperature to 1.5°C above pre-industrial levels (*medium confidence*), but past emissions do commit to other changes, such as further sea level rise (*high confidence*). If all anthropogenic emissions (including aerosol-related) were reduced to zero immediately, any further warming beyond the 1°C already experienced would *likely* be less than 0.5°C over the next two to three decades (*high confidence*), and *likely* less than 0.5°C on a century time scale (*medium confidence*), due to the opposing effects of different climate processes and drivers. A warming greater than 1.5°C is therefore not geophysically unavoidable: whether it will occur depends on future rates of emission reductions. {1.2.3, 1.2.4}

1.5°C emission pathways are defined as those that, given current knowledge of the climate response, provide a one-in-two to two-in-three chance of warming either remaining below 1.5°C or returning to 1.5°C by around 2100 following an overshoot. Overshoot pathways are characterized by the peak magnitude of the overshoot, which may have implications for impacts. All 1.5°C pathways involve limiting cumulative emissions of long-lived greenhouse gases, including carbon dioxide and nitrous oxide, and substantial reductions in other climate forcers (*high confidence*). Limiting cumulative emissions requires either reducing net global emissions of long-lived greenhouse gases to zero before the cumulative limit is reached, or net negative global emissions (anthropogenic removals) after the limit is exceeded. {1.2.3, 1.2.4, Cross-Chapter Boxes 1 and 2}

This report assesses projected impacts at a global average warming of 1.5°C and higher levels of warming. Global warming of 1.5°C is associated with global average surface temperatures fluctuating naturally on either side of 1.5°C, together with warming substantially greater than 1.5°C in many regions and seasons (*high confidence*), all of which must be considered in the assessment of impacts. Impacts at 1.5°C of warming also depend on the emission pathway to 1.5°C. Very different impacts result from pathways that remain below 1.5°C versus pathways that return to 1.5°C after a substantial overshoot, and when temperatures stabilize at 1.5°C versus a transient warming past 1.5°C (*medium confidence*). {1.2.3, 1.3}

Ethical considerations, and the principle of equity in particular, are central to this report, recognizing that many of the impacts of warming up to and beyond 1.5°C, and some potential impacts of mitigation actions required to limit warming to 1.5°C, fall disproportionately on the poor and vulnerable (*high confidence*). Equity has procedural and distributive dimensions and requires fairness in burden sharing both between generations and between and within nations. In framing the objective of holding the increase in the global average temperature rise to well below 2°C above pre-industrial levels, and to pursue efforts to limit warming to 1.5°C, the Paris Agreement associates the principle of equity with the broader goals of poverty eradication and sustainable development, recognising that effective responses to climate change require a global collective effort that may be guided by the 2015 United Nations Sustainable Development Goals. {1.1.1}

Climate adaptation refers to the actions taken to manage impacts of climate change by reducing vulnerability and exposure to its harmful effects and exploiting any potential benefits. Adaptation takes place at international, national and local levels. Subnational jurisdictions and entities, including urban and rural municipalities, are key to developing and reinforcing measures for reducing weather- and climate-related risks. Adaptation implementation faces several barriers including lack of up-to-date and locally relevant information, lack of finance and technology, social values and attitudes, and institutional constraints (*high confidence*). Adaptation is more likely to contribute to sustainable development when policies align with mitigation and poverty eradication goals (*medium confidence*). {1.1, 1.4}

Ambitious mitigation actions are indispensable to limit warming to 1.5°C while achieving sustainable development and poverty eradication (*high confidence*). Ill-designed responses,

빈곤과 씨름하며 에너지 시스템의 상당한 전환을 필요로 하는 국가 및 지역에 특히 어려움을 가중시킬 수 있다. 이 보고서는 기후변화 적응 및 완화, 빈곤 퇴치, 불평등 감소를 포함해 지속가능발전목표의 달성을 위한 '기후 복원력 있는 발전 경로'(climate-resilient development pathway)에 초점을 둔다. 하지만 온난화가 1.5℃ 이내로 유지되는 모든 이행가능한 경로는 시너지와 상충이 수반된다(*높은 신뢰도*). 어떤 경로가 형평성의 원칙과 더 일치하는지에 관해서는 여전히 상당한 불확실성이 남아 있다. {1.1.1, 1.4}

과학적 증거, 서술형 시나리오, 예상 경로를 포함해 다양한 형태의 지식이 1.5℃에 대한 이해에 활용된다. 이 보고서는 물리적 기후 시스템과 기후변화 관련 영향 및 취약성에 대한 전통적 증거와 함께 기후 영향과 거버넌스 시스템의 경험과 리스크 인식으로부터 얻어진 지식을 바탕으로 한다. 시나리오와 경로는 윤리적 고려사항, 형평성 원칙, 필요한 사회 변혁의 중요성에 대한 인식 하에 목표 지향적 미래를 가능 하는 조건 탐구에 이용된다. {1.2.3, 1.5.2}

온난화를 1.5℃로 억제하고 그 결과에 대한 적응이 현실적으로 가능한지에 관한 질문에는 하나의 해답만 있는 것이 아니다. 이 보고서에서 이행가능성은 시스템이 전체적으로 특정 성과를 달성할 수 있는 역량으로 간주된다. 온난화를 1.5℃로 억제하는 데에 필요한 전지구적 전환은 완화, 적응 및 지속가능발전 간의 연계, 시너지 및 상충을 반영한 이행가능조건을 필요로 한다. 이행가능한 조건에는 지구물리, 환경생태, 기술, 경제, 사회문화, 제도 등 여러 시스템과 관련된 측면에서 평가되며, 이는 심오하고 차등적이면서 지구 전체 시스템에 대한 인간의 영향이 지질학적으로 점점 더 중요해지는 인류세(Anthropocene)에 대해 통일된 관점으로 고려될 수 있다. 이러한 틀 짓기(framing)는 또한 파리 협정의 목표를 달성하기 위한 통합된 대응의 필요성 및 기회와 필요를 조명하고, 과거, 현재, 미래의 인간과 환경의 관계가 가지는 전지구적인 상호연계성을 강조한다. {1.1, 교차챕터 박스 1}

TS.2 지속가능발전 차원에서 1.5℃ 달성을 위한 완화 경로

이 챕터는 온난화를 산업화 이전 수준 대비 1.5℃로 억제하기 위한 완화 경로를 평가한다. 이 챕터는 그 과정에서 다음과 같은 주요 질문들에 대한 답을 모색한다. 이산화탄소 배출과 non-CO_2의 배출은 어떤 역할을 하는가? {2.2, 2.3, 2.4, 2.6} 1.5℃ 경로는 21세기 동안 어느 정도의 오버슛과 1.5℃ 미만으로의 회복을 수반하는가? {2.2, 2.3} 에너지, 토지 이용, 지속가능발전에서의 전환에 대해 어떤 시사점을 가지는가? {2.3, 2.4, 2.5} 정책 체계는 온난화를 1.5℃로 억제하는 것에 어떻게 영향을 미치는가? {2.3, 2.5} 이와 관련된 지식 격차는 무엇인가? {2.6}

평가된 경로들은 전지구 에너지 및 토지 이용, 세계 경제와 관련된 21세기의 모든 배출량에 대해 통합되고 정량적인 전개를 기술한다. 평가는 이용가능한 통합 평가 문헌 및 모델 가정 여부에 따라, 예를 들어 개별 부문에 초점을 맞춘 연구와 같이 각기 다른 범주의 다른 연구들로 보완된다. 최근에는 통합 완화 연구를 통해 완화 경로들의 특징이 좀 더 정확히 규명되고 있다. 하지만 기후 피해, 회피된 영향, 또는 모식화된 전환의 사회적 공동 편익이 대체로 여전히 설명되지 못하는 등의 한계가 존재하며 이와 동시에 이루어지고 있는 급속한 기술 변화와 행동 측면 및 자료 투입의 불확실성은 지속적인 과제로 남아 있다(*높은 신뢰도*). {2.1.3, 2.3, 2.5.1, 2.6, 기술 부속서 2}

온난화를 1.5℃로 억제할 수 있는 확률 및 긴급 조치 요건

산업화 이전 수준 대비 1.5℃ 온난화에 상응하는 경로들은 경제 성장, 기술 발전, 생활 방식에 관한 다양한 가정 하에서 규명될 수 있다. 그러나 전지구적인 협력 부족, 에너지 및 토지 전환에 관한 거버넌스 부재, 자원 집약적 소비의 증가가 1.5℃ 경로 달성을 방해하고 있는 주요 장애물이다. 1.5℃ 경로 문헌에서 거버넌스 문제는 높은 수준의 불균형 및 급속한 인구 증가 시나리오와 관련되어 있다. {2.3.1, 2.3.2, 2.5}

2030년 이후 규모와 담대성 면에서 매우 어려워 보이는 완화 조치를 통해 보완된다고 하더라도 국가별 감축량 기여(Nationally-Determined Contributions; NDCs)로 알려진 파리 협정에 따른 약속과 일치하는 배출량 하에서 지구온난화는 산업화 이전 수준과 대비, 1.5℃를 초과할 것으로 예상된다(*높은 신뢰도*). 이러한 행동 강화는 15년 이내에 net zero 이산화탄소 배출량의 달성을 필요로 한다. 이 목표가 달성된다 하더라도, 실제 지구물리학적 반응이 현재의 추정된 불확실성 범위의 최저치로 가면 온도는 겨우 1.5℃ 경계값 미만으로 유지될 것으로 예상된다. 만일 전지구 배출량이 2030년 이전에 최대치에 도달하고 이후 현재에 비해 배출량을 2030년까지 상당히 저감한다면 전환의 어려움 및 현재까지 파악된 상충은 감소될 수 있다. {2.2, 2.3.5, 제4장 교차챕터 박스 11}

however, could pose challenges especially – but not exclusively – for countries and regions contending with poverty and those requiring significant transformation of their energy systems. This report focuses on 'climate-resilient development pathways', which aim to meet the goals of sustainable development, including climate adaptation and mitigation, poverty eradication and reducing inequalities. But any feasible pathway that remains within 1.5°C involves synergies and trade-offs (*high confidence*). Significant uncertainty remains as to which pathways are more consistent with the principle of equity. {1.1.1, 1.4}

Multiple forms of knowledge, including scientific evidence, narrative scenarios and prospective pathways, inform the understanding of 1.5°C. This report is informed by traditional evidence of the physical climate system and associated impacts and vulnerabilities of climate change, together with knowledge drawn from the perceptions of risk and the experiences of climate impacts and governance systems. Scenarios and pathways are used to explore conditions enabling goal-oriented futures while recognizing the significance of ethical considerations, the principle of equity, and the societal transformation needed. {1.2.3, 1.5.2}

There is no single answer to the question of whether it is feasible to limit warming to 1.5°C and adapt to the consequences. Feasibility is considered in this report as the capacity of a system as a whole to achieve a specific outcome. The global transformation that would be needed to limit warming to 1.5°C requires enabling conditions that reflect the links, synergies and trade-offs between mitigation, adaptation and sustainable development. These enabling conditions are assessed across many dimensions of feasibility – geophysical, environmental-ecological, technological, economic, socio-cultural and institutional – that may be considered through the unifying lens of the Anthropocene, acknowledging profound, differential but increasingly geologically significant human influences on the Earth system as a whole. This framing also emphasises the global interconnectivity of past, present and future human–environment relations, highlighting the need and opportunities for integrated responses to achieve the goals of the Paris Agreement. {1.1, Cross-Chapter Box 1}

TS.2 Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development

This chapter assesses mitigation pathways consistent with limiting warming to 1.5°C above pre-industrial levels. In doing so, it explores the following key questions: What role do CO_2 and non-CO_2 emissions play? {2.2, 2.3, 2.4, 2.6} To what extent do 1.5°C pathways involve overshooting and returning below 1.5°C during the 21st century? {2.2, 2.3} What are the implications for transitions in energy, land use and sustainable development? {2.3, 2.4, 2.5} How do policy frameworks affect the ability to limit warming to 1.5°C? {2.3, 2.5} What are the associated knowledge gaps? {2.6}

The assessed pathways describe integrated, quantitative evolutions of all emissions over the 21st century associated with global energy and land use and the world economy. The assessment is contingent upon available integrated assessment literature and model assumptions, and is complemented by other studies with different scope, for example, those focusing on individual sectors. In recent years, integrated mitigation studies have improved the characterizations of mitigation pathways. However, limitations remain, as climate damages, avoided impacts, or societal co-benefits of the modelled transformations remain largely unaccounted for, while concurrent rapid technological changes, behavioural aspects, and uncertainties about input data present continuous challenges. (*high confidence*) {2.1.3, 2.3, 2.5.1, 2.6, Technical Annex 2}

The Chances of Limiting Warming to 1.5°C and the Requirements for Urgent Action

Pathways consistent with 1.5°C of warming above pre-industrial levels can be identified under a range of assumptions about economic growth, technology developments and lifestyles. However, lack of global cooperation, lack of governance of the required energy and land transformation, and increases in resource-intensive consumption are key impediments to achieving 1.5°C pathways. Governance challenges have been related to scenarios with high inequality and high population growth in the 1.5°C pathway literature. {2.3.1, 2.3.2, 2.5}

Under emissions in line with current pledges under the Paris Agreement (known as Nationally Determined Contributions, or NDCs), global warming is expected to surpass 1.5°C above pre-industrial levels, even if these pledges are supplemented with very challenging increases in the scale and ambition of mitigation after 2030 (*high confidence*). This increased action would need to achieve net zero CO_2 emissions in less than 15 years. Even if this is achieved, temperatures would only be expected to remain below the 1.5°C threshold if the actual geophysical response ends up being towards the low end of the currently estimated uncertainty range. Transition challenges as well as identified trade-offs can be reduced if global emissions peak before 2030 and marked emissions reductions compared to today are already achieved by 2030. {2.2, 2.3.5, Cross-Chapter Box 11 in Chapter 4}

온난화를 1.5℃로 억제하는 것은 향후 수십 년간의 온실가스 (greenhouse gas; GHG) 배출량에 달려 있다. 즉 2030년의 GHG 배출량이 낮을수록 온난화의 최고 수준을 1.5℃로 억제할 가능성이 높아진다(*높은 신뢰도*). 1.5℃ 오버슛이 없거나 제한적인 오버슛(0.1℃ 이하)을 목표로 하는 이용가능한 경로들은 2030년 온실가스 배출량을 25-30 $GtCO_2e$/년(4분위수 범위)으로 유지한다. 이는 2030년 52-58 $GtCO_2e$/년이라는 현재 무조건적인 NDC의 중간값 추정치와 대비된다. 일시적인 온도 오버슛 후에 2100년까지 온난화를1.5℃로 억제하는 것을 목표로 하는 경로들은 대규모 이산화탄소흡수(Carbon Dioxide Removal; CDR) 수단에 의존하지만 이들 조치는 불확실하고 분명한 리스크를 수반한다. 오버슛이 없거나 제한적인 오버슛을 보이는 1.5℃ 모델 경로에서 전지구적으로 인간활동에 기인한 순 CO_2 배출량은 2010년을 기준으로 2030년 45%까지 감소하며 (4분위수 범위 40-60%), 2050년 경 net zero에 도달(4분위수 범위 2045~2055년)한다. 지구온난화를 2℃ 이하로 억제하는 대부분의 경로에서 최소 66% 확률로 CO_2 배출량이 2030년까지 25%(4분위수 범위 10-30%) 감소하고, 2070년 경 net zero에 도달(4분위수 범위 2065-2080년)할 것으로 전망된다.[1] {2.2, 2.3.3, 2.3.5, 2.5.3, 제3장 교차챕터 박스 6, 제4장 교차챕터 박스 9, 4.3.7}

온난화를 1.5℃로 억제하는 것은 2050년경 전지구적으로 net zero 이산화탄소 배출량 달성과 동시에 non-CO_2 기후변화 유발 물질, 특히 메탄 배출량의 상당한 저감을 의미한다(*높은 신뢰도*). 이러한 완화 경로는 에너지 수요의 감소, 전기 및 다른 연료의 탈탄소화, 최종 에너지 사용의 전기화, 농업 분야 배출량의 상당한 저감, 그리고 육지에서의 탄소 저장이나 지질학적 저장소에서의 격리를 이용한 특정 형태의 이산화탄소흡수를 특징으로 한다. 낮은 에너지 수요와 토지-집약적 및 GHG-집약적 소비재의 낮은 수요는 온난화를 가능한 1.5℃에 가깝게 억제하는 과정을 용이하게 한다. {2.2.2, 2.3.1, 2.3.5, 2.5.1, 제4장 교차챕터 박스 9}

2℃와 비교해 1.5℃로 온난화를 억제하는 데 필요한 전환은 질적으로는 유사하지만 향후 수십 년간 더욱 현저하고 신속하다(*높은 신뢰도*). 1.5℃ 는 공급과 수요 모두를 전환하는 매우 야심차고, 국제적으로 협력적인 정책 환경을 시사한다(*높은 신뢰도*). {2.3, 2.4, 2.5}

비용 효과적인 1.5℃에 상응하는 경로 달성을 위해서는 모델에 배출량의 고비용을 반영하는 정책들이 필수적이다(*높은 신뢰도*). 다른 모든 조건이 동일할 때, 모델링 연구에 따르면 21세기 이후 1.5℃로 온난화를 억제하기 위한 전지구 평균 최저 완화 비용은 2℃ 대비 약 3-4배 더 높은 것으로 나타났으며, 이 비용은 모델과 사회경제적 및 정책적 조건에 따라 큰 차이가 있다. 탄소 가격은 직접적으로 또는 규제 정책을 통해 간접적으로 부과될 수 있다. 기술 정책 또는 성과 기준과 같은 정책 도구가 특정 영역에서의 분명한 탄소 가격제도를 보완할 수 있다. {2.5.1, 2.5.2, 4.4.5}

온난화를 1.5℃로 억제하는 데에는 투자 패턴의 뚜렷한 변화가 필요하다(*중간 신뢰도*). 현재(예: Baseline)를 넘어서는 새로운 기후 정책이 없는 경로와 비교하여 온난화를 1.5℃로 억제하는 경로에서 2016-2050년 동안의 연 평균 추가 에너지 관련 투자액은 약 8,300억 달러(2010년 US 달러 기준, 6개 모델에서 1,500억-1조 7,000억 달러 범위)에 이를 것으로 추정된다. 2℃ 경로 대비 1.5℃ 경로에서는 에너지 관련 총 투자액이 약 12% 증가(3-24% 범위)한다. 저탄소 에너지 기술과 에너지 효율에 대한 평균 연간 투자는 2015년 대비 2050년까지 약 6배 (4-10배 범위) 증가하여 2025년 경에는 화석연료 투자액을 추월한다(*중간 신뢰도*). 불확실성과 전략적 감축 포트폴리오의 선택이 필요한 투자 규모 및 집중에 영향을 미친다. {2.5.2}

1.5℃ 경로에서의 미래 배출량

완화 요건들은 누적 이산화탄소 배출량과 전지구 평균 온도 상승을 연관 짓는 총 탄소배출총량 접근방식을 이용해 정량화될 수 있다. 통계적으로 유의미한 물리적 이해가 이 관련성을 뒷받침하지만 특정 온도 한계에 접근함에 따라 불확실성이 점차 유의미해진다. 이러한 불확실성은 누적 탄소 배출량에 대한 일시적 기후 반응 (TCRE), non-CO_2 배출량, 복사 강제력 및 반응, 잠재적인 추가 지구 시스템 피드백(영구 동토층의 해빙과 같은), 과거 배출량 및 온도와 관련된다. {2.2.2, 2.6.1}

누적 이산화탄소 배출량은 연간 전지구 이산화탄소 배출량을 net zero 수준으로 저감함으로써 일정 총량 내에서 유지된다. 이 평가에 따르면 온난화를 1.5℃ 로 억제하기 위한 잔여 배출총량은 2/3 확률로 약 420 $GtCO_2$ 1/2확률로 약 580 $GtCO_2$인 것으로 나타났다(*중간 신뢰도*). 여기에서 잔여 탄소배출총량(remaining carbon budget)은 전지구 표면 부근의 기온 변화로 정의되는 지구온난화에서 2018년부터 net zero 전지구 배출량 달성 시점까지의 이산화탄소 누적배출량으로 정의된다. 향후 영구 동토층의 해빙 및 습지로부터의 잠재적인 메탄 배출을 감안하면 2100년까지 적용가능한 잔여 배출총량은 약 100 $GtCO_2$ 더 낮을 것이다. 이 추정치는 non-CO_2 반응 및 TCRE 분포와 관련하여 추가적으로 최소 ±400%의 지구물리학적 불확실성을 가진다. 과거 온난화 수준에서의 불확실성은 ±250 $GtCO_2$이다. 또한 각 경로의 non-CO_2 완화 전략에 따라 ±250 $GtCO_2$까지 차이가 날 수 있다. {2.2.2, 2.6.1}

잔여 탄소배출총량을 580 $GtCO_2$으로 유지한다는 것은 이산화탄소 배출량이 약 30년 이내에 탄소 중립(carbon neutrality)에 도달한다는 것을 의미하며, 잔여 탄소배출총량을 420 $GtCO_2$으로 유지하는 경우 이 기간은 20년으로 단축된다(*높은 신뢰도*). 총 탄소배출총량과 관련된 ±400 $GtCO_2$의 지구물리학적 불확실성 범위는 탄소 중립 도달 시점에 대략 ±15–20년의 변동이 있음을 의미한다. 향후 10년 이내에 배출량 감소가 시작되지 않으면, 동일한 총 탄소배출총량 내로 유지하기 위해 탄소 중립을 최소한 20년 더 빨리 달성해야 할 것이다. {2.2.2, 2.3.5}

Non-CO_2 배출량은 온난화의 정점에 기여하며 그에 따라 잔여 탄소배출총량에 영향을 미친다. 메탄과 이산화황 배출량의 전개가 온난화를 1.5℃로 억제할 확률에

1) 이 문장의 교토 온실가스 배출량은 IPCC 제2차 평가보고서의 GWP-100 값으로 합산된다.

Limiting warming to 1.5°C depends on greenhouse gas (GHG) emissions over the next decades, where lower GHG emissions in 2030 lead to a higher chance of keeping peak warming to 1.5°C (*high confidence*). Available pathways that aim for no or limited (less than 0.1°C) overshoot of 1.5°C keep GHG emissions in 2030 to 25–30 GtCO2e yr^{-1} in 2030 (interquartile range). This contrasts with median estimates for current unconditional NDCs of 52–58 $GtCO_2e$ yr^{-1} in 2030. Pathways that aim for limiting warming to 1.5°C by 2100 after a temporary temperature overshoot rely on large-scale deployment of carbon dioxide removal (CDR) measures, which are uncertain and entail clear risks. In model pathways with no or limited overshoot of 1.5°C, global net anthropogenic CO_2 emissions decline by about 45% from 2010 levels by 2030 (40–60% interquartile range), reaching net zero around 2050 (2045–2055 interquartile range). For limiting global warming to below 2°C with at least 66% probability CO_2 emissions are projected to decline by about 25% by 2030 in most pathways (10–30% interquartile range) and reach net zero around 2070 (2065–2080 interquartile range).[1] {2.2, 2.3.3, 2.3.5, 2.5.3, Cross-Chapter Boxes 6 in Chapter 3 and 9 in Chapter 4, 4.3.7}

Limiting warming to 1.5°C implies reaching net zero CO_2 emissions globally around 2050 and concurrent deep reductions in emissions of non-CO_2 forcers, particularly methane (*high confidence*). Such mitigation pathways are characterized by energy-demand reductions, decarbonization of electricity and other fuels, electrification of energy end use, deep reductions in agricultural emissions, and some form of CDR with carbon storage on land or sequestration in geological reservoirs. Low energy demand and low demand for land- and GHG-intensive consumption goods facilitate limiting warming to as close as possible to 1.5°C. {2.2.2, 2.3.1, 2.3.5, 2.5.1, Cross-Chapter Box 9 in Chapter 4}.

In comparison to a 2°C limit, the transformations required to limit warming to 1.5°C are qualitatively similar but more pronounced and rapid over the next decades (*high confidence*). 1.5°C implies very ambitious, internationally cooperative policy environments that transform both supply and demand (***high confidence***). {2.3, 2.4, 2.5}

Policies reflecting a high price on emissions are necessary in models to achieve cost-effective 1.5°C pathways (*high confidence*). Other things being equal, modelling studies suggest the global average discounted marginal abatement costs for limiting warming to 1.5°C being about 3–4 times higher compared to 2°C over the 21st century, with large variations across models and socio-economic and policy assumptions. Carbon pricing can be imposed directly or implicitly by regulatory policies. Policy instruments, like technology policies or performance standards, can complement explicit carbon pricing in specific areas. {2.5.1, 2.5.2, 4.4.5}

Limiting warming to 1.5°C requires a marked shift in investment patterns (*medium confidence*). Additional annual average energy-related investments for the period 2016 to 2050 in pathways limiting warming to 1.5°C compared to pathways without new climate policies beyond those in place today (i.e., baseline) are estimated to be around 830 billion USD2010 (range of 150 billion to 1700 billion USD2010 across six models). Total energy-related investments increase by about 12% (range of 3% to 24%) in 1.5°C pathways relative to 2°C pathways. Average annual investment in low-carbon energy technologies and energy efficiency are upscaled by roughly a factor of six (range of factor of 4 to 10) by 2050 compared to 2015, overtaking fossil investments globally by around 2025 (*medium confidence*). Uncertainties and strategic mitigation portfolio choices affect the magnitude and focus of required investments. {2.5.2}

Future Emissions in 1.5°C Pathways

Mitigation requirements can be quantified using carbon budget approaches that relate cumulative CO_2 emissions to global mean temperature increase. Robust physical understanding underpins this relationship, but uncertainties become increasingly relevant as a specific temperature limit is approached. These uncertainties relate to the transient climate response to cumulative carbon emissions (TCRE), non-CO_2 emissions, radiative forcing and response, potential additional Earth system feedbacks (such as permafrost thawing), and historical emissions and temperature. {2.2.2, 2.6.1}

Cumulative CO_2 emissions are kept within a budget by reducing global annual CO_2 emissions to net zero. This assessment suggests a remaining budget of about 420 $GtCO_2$ for a two-thirds chance of limiting warming to 1.5°C, and of about 580 $GtCO_2$ for an even chance (*medium confidence*). The remaining carbon budget is defined here as cumulative CO_2 emissions from the start of 2018 until the time of net zero global emissions for global warming defined as a change in global near-surface air temperatures. Remaining budgets applicable to 2100 would be approximately 100 $GtCO_2$ lower than this to account for permafrost thawing and potential methane release from wetlands in the future, and more thereafter. These estimates come with an additional geophysical uncertainty of at least ±400 $GtCO_2$, related to non-CO_2 response and TCRE distribution. Uncertainties in the level of historic warming contribute ±250 $GtCO_2$. In addition, these estimates can vary by ±250 $GtCO_2$ depending on non-CO_2 mitigation strategies as found in available pathways. {2.2.2, 2.6.1}

Staying within a remaining carbon budget of 580 $GtCO_2$ implies that CO_2 emissions reach carbon neutrality in about 30 years, reduced to 20 years for a 420 $GtCO_2$ remaining carbon budget (*high confidence*). The ±400 $GtCO_2$ geophysical uncertainty range surrounding a carbon budget translates into a variation of this timing of carbon neutrality of roughly ±15–20 years. If emissions do not start declining in the next decade, the point of carbon neutrality would need to be reached at least two decades earlier to remain within the same carbon budget. {2.2.2, 2.3.5}

Non-CO_2 emissions contribute to peak warming and thus affect the remaining carbon budget. The evolution of methane and sulphur dioxide emissions strongly influences the chances of limiting warming to 1.5°C. In the near-term, a

[1] Kyoto-GHG emissions in this statement are aggregated with GWP-100 values of the IPCC Second Assessment Report.

큰 영향을 미친다.

가까운 시일 내 에어로졸 냉각의 약화는 향후 온난화를 가중시키지만 메탄 배출량 저감을 통해 완화될 수 있다 (*높은 신뢰도*). 복사 강제력(특히 에어로졸) 추정치의 불확실성은 총 탄소배출총량 및 경로 범주 분류의 확실성에 영향을 미친다. 특히 에너지 및 수송 분야에서 이산화탄소와 함께 일부 non-CO_2 물질이 배출되지만 대체로 이산화탄소 저감을 통해 다루어질 수 있다. 예를 들어, 농업 부문의 아산화질소(N_2O)와 메탄(CH_4), 일부 블랙카본(black carbon)의 발생원, 또는 수소불화탄소를 대상으로 하는 다른 특정 수단이 필요하다(*높은 신뢰도*). 많은 경우에서 non-CO_2 배출량 저감은 2℃ 경로와 유사하며 이는 통합 평가 모델에서 가정한 최대 잠재력에 가까운 저감을 의미한다. 일부 경로에서는 바이오 에너지 수요의 큰 증가로 아산화질소와 암모니아의 배출량이 증가한다. {2.2.2, 2.3.1, 2.4.2, 2.5.3}

이산화탄소흡수(CDR)의 역할

오버슛이 없거나 제한적인 모든 분석된 1.5℃ 경로는 어떤 완화 조치도 규명되지 않은 배출원에서 배출량 중립을 달성하고, 대부분의 경우에서 정점 이후에 온도를 1.5℃로 되돌릴 수 있는 net negative 배출량 달성을 위해 일정 정도 이산화탄소흡수를 이용한다(*높은 신뢰도*). 이산화탄소 배출량을 0으로 저감하는 것이 지연될수록 1.5℃를 초과할 가능성은 더 높아지며 21세기 중반 이후 온난화를 1.5℃로 되돌리기 위해 net negative 배출량에 대한 의존은 더욱 커질 것이다(*높은 신뢰도*). 2℃ 경로 대비 1.5℃ 경로에서 이산화탄소 순 배출량의 더 빠른 저감은 이산화탄소가 더 적게 생산 및 배출되는 수단으로 주로 달성되며 추가적인 이산화탄소흡수를 통한 부분은 미미한 수준이다. 이산화탄소흡수의 확대 속도, 규모, 사회적인 수용성의 한계 역시 온도 오버슛의 가능한 범위를 억제한다. net negative 배출을 위한 탄소순환의 반응에 대한 우리 이해의 한계는 정점 이후 온도 하강을 위한 이산화탄소흡수 효과의 불확실성을 높인다. {2.2, 2.3, 2.6, 4.3.7}

대규모의 이산화탄소흡수 확대는 입증되지 않았으며 이 기술에 대한 의존은 온난화를 1.5℃로 억제하는 것에 있어서 주요한 리스크가 된다. 특히 에너지 효율 개선과 낮은 수요를 강력하게 강조하는 경로에서 이산화탄소흡수의 필요는 더 낮다. 이산화탄소흡수 확대 규모 및 그 종류는 1.5℃ 경로 간 상당히 차이를 보이며, 지속가능한 발전 목표 달성에 대해서도 상이한 영향을 지닌다(*높은 신뢰도*). 일부 경로는 바이오에너지·탄소포집저장(BECCS)에 더 많이 의존하는 반면 다른 경로들은 신규조림(afforestation)에 더욱 의존하는데, 이 두 가지는 통합 경로에 가장 많이 포함된 이산화탄소흡수 방법들이다. 다른 지속가능한 목표와의 상충은 주로 토지, 에너지, 물, 투자의 수요 증가로 발생한다. BECCS 유무와 무관하게 바이오에너지의 이용은 에너지 이용의 탈탄소화에 있어서 여러 역할을 할 수 있다는 점으로 인해 1.5℃ 경로에서 중요하다. {2.3.1, 2.5.3, 2.6.3, 4.3.7}

1.5℃ 경로에서의 에너지 및 토지 전환 특징

오버슛이 없거나 제한적인 지구온난화 1.5℃ 경로에서 재생에너지가 1차 에너지 중 차지하는 비율은 증가하는 반면 석탄 사용량은 감소한다(*높은 신뢰도*). 오버슛이 없거나 제한적인 오버슛을 보이는 1.5℃ 경로에서 2050년 재생에너지(직접 전환이 가능한 바이오 에너지, 수소 에너지, 풍력 및 태양 에너지 포함)는 1차 에너지의 52-67%(4분위수 범위)를 차지하는 반면, 석탄의 비중은 1-7%(4분위수 범위)로 감소하며, 이 때 석탄 사용의 대부분은 탄소포집 및 저장(CCS)과 병행된다. 2020년부터 2050년까지 1차 에너지에서 석유는 대부분의 경로에서 감소한다(감소폭 39-77%; 4분위수 범위). 천연 가스는 13-62%(4분위수 범위)까지 감소하지만 일부 경로에서는 CCS의 광범위한 확대에도 불구하고 상당한 증가를 보인다. 오버슛이 없거나 제한적인 1.5℃ 경로에서 전반적인 CCS의 확대는 2050년까지 누적 이산화탄소 저장량이 0에서 300 $GtCO_2$(최소-최대 범위)까지 범위를 가지며, 그 중 0-140$GtCO_2$는 바이오매스 (biomass)에 저장된다. 1차 에너지 중 바이오에너지 공급량은 2050년에 40–310 EJ/년(최소-최대 범위) 이며 원자력 에너지는 3-66 EJ/년(최소-최대 범위)이다. 이 범위에는 기술 발전 및 전략적 감축 포트폴리오 선택의 불확실성이 모두 반영되어 있다. {2.4.2}

오버슛이 없거나 제한적인 1.5℃ 경로는 전기에 대한 탄소집약도의 급격한 감소 및 에너지 최종 이용의 전력화 증대가 포함된다(*높은 신뢰도*). 오버슛이 없거나 제한적인 1.5℃ 경로에서 2020년에 약 140 gCO_2/MJ인 전기의 탄소집약도가 2050년까지 최소 -92부터 최대 +11gCO_2/MJ까지 감소되고 같은 기간에 최종 에너지 중 전기 점유율은 약 20%에서 34-71%(최소-최대 범위)를 차지한다. 오버슛이 없어나 제한적인 1.5℃ 경로 전체에 걸쳐 2050년까지 발전량 대비 재생에너지의 비율은 59–97%(최소-최대 범위)로 상승한다. 온난화를 1.5℃ 미만으로 유지할 가능성이 더 높은 경로들은 일시적으로 1.5℃를 초과하는 경로에 비해 2030년까지 전기에 대한 탄소집약도의 더 빠른 감소를 보여준다. {2.4.1, 2.4.2, 2.4.3}

전지구 및 지역적인 토지 이용 전환은 오버슛이 없거나 제한적인 오버슛을 보이면서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 모든 경로에서 발견되지만, 그 규모는 완화 포트폴리오에 의존적이다(*높은 신뢰도*). 오버슛이 없거나 제한적인 오버슛을 보이면서 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 경로에서 2050년에는 2010년 대비 50~1,100만 ㎢의 초지가 감소하고, 식량과 사료작물 생산을 위한 초지를 제외한 농경지는 –400~+250만 ㎢ 범위에서 감소하거나 증가하며, 에너지 작물 경작지가 0~600만 ㎢ 증가, 산림 면적은 –200~+950만 ㎢ 범위에서 감소하거나 증가할 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 비슷한 규모의 토지 이용 전환은 모식화된 2℃ 경로에서도 나타날 수 있다(*중간 신뢰도*). 이러한 대규모 전환으로 인해 인간 정주, 식량, 가축 사료, 섬유, 바이오에너지, 탄소 저장, 생물다양성 및 기타 생태계 서비스에 대한 다양한 토지 수요의 지속가능한 관리가 상당히 어려워질 수 있다(*높은 신뢰도*). {2.3.4, 2.4.4}

weakening of aerosol cooling would add to future warming, but can be tempered by reductions in methane emissions (*high confidence*). Uncertainty in radiative forcing estimates (particularly aerosol) affects carbon budgets and the certainty of pathway categorizations. Some non-CO_2 forcers are emitted alongside CO_2, particularly in the energy and transport sectors, and can be largely addressed through CO_2 mitigation. Others require specific measures, for example, to target agricultural nitrous oxide (N_2O) and methane (CH_4), some sources of black carbon, or hydrofluorocarbons (*high confidence*). In many cases, non-CO2 emissions reductions are similar in 2°C pathways, indicating reductions near their assumed maximum potential by integrated assessment models. Emissions of N_2O and NH_3 increase in some pathways with strongly increased bioenergy demand. {2.2.2, 2.3.1, 2.4.2, 2.5.3}

The Role of Carbon Dioxide Removal (CDR)

All analysed pathways limiting warming to 1.5°C with no or limited overshoot use CDR to some extent to neutralize emissions from sources for which no mitigation measures have been identified and, in most cases, also to achieve net negative emissions to return global warming to 1.5°C following a peak (*high confidence*). The longer the delay in reducing CO_2 emissions towards zero, the larger the likelihood of exceeding 1.5°C, and the heavier the implied reliance on net negative emissions after mid-century to return warming to 1.5°C (*high confidence*). The faster reduction of net CO_2 emissions in 1.5°C compared to 2°C pathways is predominantly achieved by measures that result in less CO_2 being produced and emitted, and only to a smaller degree through additional CDR. Limitations on the speed, scale and societal acceptability of CDR deployment also limit the conceivable extent of temperature overshoot. Limits to our understanding of how the carbon cycle responds to net negative emissions increase the uncertainty about the effectiveness of CDR to decline temperatures after a peak. {2.2, 2.3, 2.6, 4.3.7}

CDR deployed at scale is unproven, and reliance on such technology is a major risk in the ability to limit warming to 1.5°C. CDR is needed less in pathways with particularly strong emphasis on energy efficiency and low demand. The scale and type of CDR deployment varies widely across 1.5°C pathways, with different consequences for achieving sustainable development objectives (*high confidence*). Some pathways rely more on bioenergy with carbon capture and storage (BECCS), while others rely more on afforestation, which are the two CDR methods most often included in integrated pathways. Trade-offs with other sustainability objectives occur predominantly through increased land, energy, water and investment demand. Bioenergy use is substantial in 1.5°C pathways with or without BECCS due to its multiple roles in decarbonizing energy use. {2.3.1, 2.5.3, 2.6.3, 4.3.7}

Properties of Energy and Land Transitions in 1.5°C Pathways

The share of primary energy from renewables increases while coal usage decreases across pathways limiting warming to 1.5°C with no or limited overshoot (*high confidence*). By 2050, renewables (including bioenergy, hydro, wind, and solar, with direct-equivalence method) supply a share of 52–67% (interquartile range) of primary energy in 1.5°C pathways with no or limited overshoot; while the share from coal decreases to 1–7% (interquartile range), with a large fraction of this coal use combined with carbon capture and storage (CCS). From 2020 to 2050 the primary energy supplied by oil declines in most pathways (–39 to –77% interquartile range). Natural gas changes by –13% to –62% (interquartile range), but some pathways show a marked increase albeit with widespread deployment of CCS. The overall deployment of CCS varies widely across 1.5°C pathways with no or limited overshoot, with cumulative CO_2 stored through 2050 ranging from zero up to 300 $GtCO_2$ (minimum–maximum range), of which zero up to 140 $GtCO_2$ is stored from biomass. Primary energy supplied by bioenergy ranges from 40–310 EJ yr^{-1} in 2050 (minimum-maximum range), and nuclear from 3–66 EJ yr^{-1} (minimum–maximum range). These ranges reflect both uncertainties in technological development and strategic mitigation portfolio choices. {2.4.2}

1.5°C pathways with no or limited overshoot include a rapid decline in the carbon intensity of electricity and an increase in electrification of energy end use (*high confidence*). By 2050, the carbon intensity of electricity decreases to –92 to +11 gCO_2 MJ^{-1} (minimum–maximum range) from about 140 gCO_2 MJ^{-1} in 2020, and electricity covers 34–71% (minimum–maximum range) of final energy across 1.5°C pathways with no or limited overshoot from about 20% in 2020. By 2050, the share of electricity supplied by renewables increases to 59–97% (minimum-maximum range) across 1.5°C pathways with no or limited overshoot. Pathways with higher chances of holding warming to below 1.5°C generally show a faster decline in the carbon intensity of electricity by 2030 than pathways that temporarily overshoot 1.5°C. {2.4.1, 2.4.2, 2.4.3}

Transitions in global and regional land use are found in all pathways limiting global warming to 1.5°C with no or limited overshoot, but their scale depends on the pursued mitigation portfolio (*high confidence*). Pathways that limit global warming to 1.5°C with no or limited overshoot project a 4 million km^2 reduction to a 2.5 million km2 increase of non-pasture agricultural land for food and feed crops and a 0.5–11 million km^2 reduction of pasture land, to be converted into 0-6 million km^2 of agricultural land for energy crops and a 2 million km^2 reduction to 9.5 million km^2 increase in forests by 2050 relative to 2010 (*medium confidence*). Land-use transitions of similar magnitude can be observed in modelled 2°C pathways (*medium confidence*). Such large transitions pose profound challenges for sustainable management of the various demands on land for human settlements, food, livestock feed, fibre, bioenergy, carbon storage, biodiversity and other ecosystem services (*high confidence*). {2.3.4, 2.4.4}

Demand-Side Mitigation and Behavioural Changes

Demand-side measures are key elements of 1.5°C pathways. Lifestyle choices lowering energy demand and the land- and GHG-intensity of food consumption can further support achievement of 1.5°C pathways (*high confidence*). By 2030 and 2050, all end-use sectors (including building, transport, and industry) show marked energy demand reductions in modelled 1.5°C pathways,

수요 측면 감축 및 행동 변화

수요 측면의 조치는 1.5℃ 경로의 핵심 요소이다. 에너지 수요와 토지 및 식량 소비에서 온실가스 집약도를 낮추는 생활 방식의 선택은 1.5℃ 경로 달성에 도움이 될 수 있다(*높은 신뢰도*). 2030년과 2050년까지 모식화된 1.5℃ 경로에서는 모든 최종 사용 분야(건물, 수송, 산업 포함)에서 2℃ 경로에 상응하거나 이를 뛰어넘는 에너지 수요의 뚜렷한 감소를 보인다.

분야별 모델들은 이러한 감소 규모를 뒷받침한다. {2.3.4, 2.4.3, 2.5.1}

1.5℃ 경로와 지속가능발전과의 연계

온난화를 1.5℃로 억제하기 위한 감축 포트폴리오의 선택은 지속가능발전과 같은 다른 사회적 목표 달성에 긍정적 또는 부정적 영향을 미칠 수 있다(*높은 신뢰도*). 특히 에너지, 자원, 온실가스 집약적 식량 수요를 제한하는 수요 측면 및 효율화 조치와 생활 방식의 선택은 지속가능발전에 도움이 된다(*중간 신뢰도*). 온난화를 1.5℃로 억제하는 것은 빈곤 완화 및 에너지 안보 개선의 상승 작용에 의해 달성될 수 있으며 대기 질 개선 및 수백만 명의 조기 사망 예방을 통해 공중 보건에도 큰 편익을 제공할 수 있다. 그러나 바이오에너지와 같은 특정 감축 수단에는 고려해야 할 상충이 야기될 수 있다. {2.5.1, 2.5.2, 2.5.3}

TS.3 1.5ºC 지구온난화가 자연계 및 인간계에 미치는 영향

이 챕터는 AR5 결과를 바탕으로 하며, 특별히 산업화 이전 대비 1.5℃ 지구온난화의 리스크 규모와 패턴에 초점을 두고, 기후 시스템의 변화와 이와 관련된 자연계 및 인간계에 대한 영향에 관한 새로운 과학적 증거를 평가한다. 제3장은 또한 1.5℃와 2℃에서의 리스크 수준의 변화에 초점을 맞추어 다양한 자연계과 인간계에서 관측된 영향과 예상되는 리스크를 분석한다. AR5 이후에 이용 가능한 새로운 지식 평가를 바탕으로 리스크(우려단계)의 주요 범주들을 다시 다룬다.

1.5℃ 및 2℃ 더 온난한 세계

전지구 기후는 산업화 이전 대비 변화했으며 많은 증거들은 이러한 변화가 유기체 및 생태계는 물론 인간계와 그 복지에도 영향을 미쳤다는 것을 보여주고 있다(*높은 신뢰도*). 2006-2015년의 전지구 평균 표면 온도(GMST)는 1850-1900년에 비해 0.87℃ 더 높았으며 이 온도 상승은 영향의 빈도와 규모를 증대시켰고(*높은 신뢰도*), 산업화 이전 대비 GMST의 1.5℃ 또는 2℃로의 상승은 자연계 및 인간계에 어떻게 영향을 미칠지에 대한 증거를 더욱 강화시킨다. {3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 본 장 교차챕터 박스 6, 7 및 8}

인간활동에 기인한 지구온난화는 이미 기후 시스템에서 관측된 다양한 변화를 야기시켰다 (*높은 신뢰도*). 여기에는 육지와 해양 온도의 상승은 물론 대부분 육지에서의 더 빈번한 폭염도 포함된다(*높은 신뢰도*). 또한 이러한 온도 상승은 *높은 신뢰도*로 해양의 고수온 빈도와 지속기간을 증가시켰다. 나아가, 인간활동에 기인한 지구온난화가 전지구적인 규모에서 호우의 빈도, 강도 및 강수량의 증가(*중간 신뢰도*)뿐 아니라 지중해 지역의 가뭄 리스크를 증가시켰다는(*중간 신뢰도*) 증거가 상당하다. {3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4, 박스 3.4}.

일부 극한 기후·기상 현상 강도와 빈도 추세가 대략 0.5℃의 지구온난화가 발생한 기간 동안 탐지되었다 (*중간 신뢰도*). 이는 1950년 이후 발생한 극한 현상 변화에 대한 원인규명 연구를 포함한 일련의 증거를 근거로 한다. {3.2, 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4}

산업화 이전 수준과 비교하여, 1.5℃ 지구온난화에서 몇몇 지역적인 기후변화가 발생할 것으로 평가되는데, 여기에는 많은 지역에서의 극한 온도의 온난화가 포함되며(*높은 신뢰도*), 일부 지역에서의 호우 빈도, 강도 및 강수량 증가(*높은 신뢰도*), 일부 지역의 가뭄 강도 또는 빈도 증가(*중간 신뢰도*)도 포함된다. {3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4, 표 3.2}

'1.5℃ 더 온난한 세계'는 단일한 것이 아니다(*높은 신뢰도*). GMST의 전체적인 상승 외에 잠재적인 온도 오버슛의 규모와 지속시간을 고려하는 것이 중요하다.

comparable and beyond those projected in 2°C pathways. Sectoral models support the scale of these reductions. {2.3.4, 2.4.3, 2.5.1}

Links between 1.5°C Pathways and Sustainable Development

Choices about mitigation portfolios for limiting warming to 1.5°C can positively or negatively impact the achievement of other societal objectives, such as sustainable development (*high confidence*). In particular, demand-side and efficiency measures, and lifestyle choices that limit energy, resource, and GHG-intensive food demand support sustainable development (*medium confidence*). Limiting warming to 1.5°C can be achieved synergistically with poverty alleviation and improved energy security and can provide large public health benefits through improved air quality, preventing millions of premature deaths. However, specific mitigation measures, such as bioenergy, may result in trade-offs that require consideration. {2.5.1, 2.5.2, 2.5.3}

TS.3 Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems

This chapter builds on findings of AR5 and assesses new scientific evidence of changes in the climate system and the associated impacts on natural and human systems, with a specific focus on the magnitude and pattern of risks linked for global warming of 1.5°C above temperatures in the pre-industrial period. Chapter 3 explores observed impacts and projected risks to a range of natural and human systems, with a focus on how risk levels change from 1.5°C to 2°C of global warming. The chapter also revisits major categories of risk (Reasons for Concern, RFC) based on the assessment of new knowledge that has become available since AR5.

1.5°C and 2°C Warmer Worlds

The global climate has changed relative to the pre-industrial period, and there are multiple lines of evidence that these changes have had impacts on organisms and ecosystems, as well as on human systems and well-being (*high confidence*). The increase in global mean surface temperature (GMST), which reached 0.87°C in 2006–2015 relative to 1850–1900, has increased the frequency and magnitude of impacts (*high confidence*), strengthening evidence of how an increase in GMST of 1.5°C or more could impact natural and human systems (1.5°C versus 2°C). {3.3, 3.4, 3.5, 3.6, Cross-Chapter Boxes 6, 7 and 8 in this chapter}

Human-induced global warming has already caused multiple observed changes in the climate system (*high confidence*). Changes include increases in both land and ocean temperatures, as well as more frequent heatwaves in most land regions (*high confidence*). There is also *high confidence* that global warming has resulted in an increase in the frequency and duration of marine heatwaves. Further, there is substantial evidence that human-induced global warming has led to an increase in the frequency, intensity and/or amount of heavy precipitation events at the global scale (*medium confidence*), as well as an increased risk of drought in the Mediterranean region (*medium confidence*). {3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4, Box 3.4}

Trends in intensity and frequency of some climate and weather extremes have been detected over time spans during which about 0.5°C of global warming occurred (*medium confidence*). This assessment is based on several lines of evidence, including attribution studies for changes in extremes since 1950. {3.2, 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4}

Several regional changes in climate are assessed to occur with global warming up to 1.5°C as compared to pre-industrial levels, including warming of extreme temperatures in many regions (*high confidence*), increases in frequency, intensity and/or amount of heavy precipitation in several regions (*high confidence*), and an increase in intensity or frequency of droughts in some regions (*medium confidence*). {3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4, Table 3.2}

There is no single '1.5°C warmer world' (*high confidence*). In addition to the overall increase in GMST, it is important to consider the

1.5℃로 전지구 평균 표면 온도 증가를 안정화 할 수 있는 방안, 정책이 인간계 및 자연계의 복원력에 미칠 수 있는 영향, 그리고 지역 및 하위지역별 리스크의 특성에 대한 의문이 있다. 일부 생태계의 손실처럼 어떤 리스크는 장기적이고 비가역적일 수 있기 때문에, 오버슛의 발생은 자연계 및 인간계에 상당한 리스크를 가져오며, 특히 정점 온도가 높은 경우에는 더 커진다 (*높은 신뢰도*). 21세기 말 또는 그 이후에 1.5℃로 온도 감소를 달성할 수 있다 하더라도 온도 오버슛이 빠르게 일어나는 경우에는 여러 종류의 리스크 변화 속도가 잠재적으로 거대한 리스크와 관련될 수 있다(*중간 신뢰도*). 오버슛을 최소화시켜야 한다면 이용가능한 이산화탄소에 상당하는 잔여 배출총량은 매우 적으며, 이는 온실가스 저감을 위해 대규모의 즉각적이고 전례 없는 전 세계적인 노력이 필요하다는 것을 의미한다(*높은 신뢰도*). {3.2, 3.6.2, 본 장 교차챕터 박스 8}.

산업화 이전과 비교하여 지구온난화가 2℃ 대비 1.5℃에 다다르면, 전지구 평균 온도 및 극한 현상에 있어서 통계적으로 유의미한[2] 차이가 있을 것으로 예상된다 (*높은 신뢰도*). 해양에서 지역별 표면 평균 온도와 극한 온도는 1.5℃ 대비 2℃ 에서 더 높을 것으로 전망된다 (*높은 신뢰도*). 대부분 육지에서도 평균 온도와 극한 온도는 1.5℃ 대비 2℃ 에서 더 높고, 일부 지역에서는 GSMT 대비 2-3배 더 상승할 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). 또한 1.5℃ 온난화의 경우에도 현재보다 평균 온도 및 극한 온도의 상당한 상승이 전망된다(*높은 신뢰도*). {3.3.1, 3.3.2} 눈이나 얼음으로 덮인 특정 지역에서는 극한 한랭 현상의 발생은 줄어드나, 그 온도는 상당히 증가하게 된다(*높은 신뢰도*). {3.3.1}

기후 모델은 지역 기후에서 현재와 1.5℃ 지구온난화 간[3], 그리고 1.5℃와 2℃ 지구온난화 간[3] 통계적으로 유의미한[2] 차이를 전망하며(*높은 신뢰도*), 문제의 변수와 지역에 따라 다르다(*높은 신뢰도*). 크고 통계적으로 유의미하며 광범위한 차이는 극한 기온에서 나타날 것으로 예상된다(*높은 신뢰도*). 극한 고온의 경우, 온난한 계절에 중위도에서(1.5℃ 온난화의 경우에 3℃까지 상승, 즉 2배), 추운 계절에는 고위도에서(1.5℃ 온난화의 경우에 4.5℃까지 상승, 즉 3배) 가장 강한 온난화를 보인다(*높은 신뢰도*). 극한 고온의 가장 강한 온난화는 북아메리카 중부 및 동부 지역, 중부 및 남부 유럽, 지중해 지역(남부 유럽, 북아프리카, 극동 지역 포함), 중앙 및 서아시아, 남아프리카 지역에서 발생할 것으로 전망된다 (*중간 신뢰도*). 예외적인 고온 일수는 연간 온도 변동이 가장 낮은 열대지방에서 가장 많이 증가할 것으로 예상되고, 극한 폭염 현상이 이 지역에서 먼저 나타나며, 1.5℃ 지구온난화에서는 이러한 현상이 이 지역에서 이미 광범위하게 발생할 것으로 예상된다(*높은 신뢰도*). 지구온난화를 2℃가 아닌 1.5℃로 억제하면, 취약성이 동일하다는 가정 하에 극한 폭염에 노출되는 세계 인구는 약 4억 2,000만 명 감소되고, 예외적인 극한 폭염에 노출되는 인구는 6,500만 명이 감소될 수 있다(*중간 신뢰도*). {3.3.1, 3.3.2, 본 장 교차챕터 박스 8}

지구온난화를 2℃가 아닌 1.5℃로 억제하는 것은 일부 지역 및 전지구 규모에서 호우 발생 리스크를 억제시킨다 (*중간 신뢰도*). 2℃ 대비 1.5℃ 지구온난화에서 호우가 가장 크게 증가하는 지역에는 일부 고위도 지역(알래스카/캐나다 서부, 캐나다 동부/그린란드/아이슬란드, 북유럽, 아시아 북부), 산악 지역(예, 티벳 고원), 동아시아(중국과 일본 포함), 북아메리카 동부가 포함된다(*중간 신뢰도*). 열대지방의 열대저기압은 빈도는 감소하나 매우 강한 열대저기압 수는 증가할 것으로 전망된다(*낮은 신뢰도, 제한적 증거 수준*). 열대저기압과 관련된 호우는 1.5℃보다 2℃ 지구온난화에서 더 증가할 것으로 전망된다 *(중간 신뢰도)*. 세계적 규모로 집계된 호우는 1.5℃보다는 2℃ 지구온난화에서 더 증가할 것으로 전망된다*(중간 신뢰도)*. {3.3.3, 3.3.6}

지구온난화를 1.5℃로 억제하는 것은 일부 지역의 가뭄 발생 확률, 강수 부족 및 물 이용가능성과 관련된 리스크 (즉, 물 부족)를 크게 감소시킬 것으로 예상된다(*중간 신뢰도*). 특히 가뭄 빈도 및 규모 증가와 관련된 리스크는 1.5℃ 온난화보다 2℃ 온난화 시 지중해 지역(남유럽, 북아프리카 및 극동)과 남아프리카 지역에서 상당히 더 클 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). {3.3.3, 3.3.4, 박스 3.1, 박스 3.2}

자연계 및 인간계에 대한 리스크는 2℃보다 1.5℃ 지구온난화에서 더 낮을 것으로 예상된다(*높은 신뢰도*). 이는 온도 관련 극한 현상의 빈도와 강도 감소를 포함해 1.5℃ 온도 상승과 관련된 기후변화 속도와 규모가 더 작기 때문이다. 변화 속도의 감소는 자연계와 인간계의 적응 역량을 강화시키고 육지, 담수, 습지, 연안, 해양 생태계 (산호초 포함) *(높은 신뢰도)*뿐 아니라 식량 생산 시스템, 인간 보건, 관광 *(중간 신뢰도)*, 에너지 시스템, 수송에 상당한 이득을 가져온다. *(낮은 신뢰도)* {3.3.1, 3.4}

아프리카 및 아시아에서 빈곤에 노출되고 취약한 사람들의 더 많은 비율과 함께 **다양하고 복합적인 기후 관련 리스크에 대한 노출은 1.5℃와 2℃ 지구온난화 사이에서 증가할 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*).** 1.5℃에서 2℃로 지구온난화가 진행되면 에너지, 식량 및 물 부문에 걸친 리스크는 공간적, 시간적으로 중복되고, 이는 새로운 (및 기존의 것이 악화된) 위해(hazards), 노출, 취약성을 발생시켜 더 많은 인구 및 지역에 영향을 미칠 수 있다 *(중간 신뢰도)*. 특히 군소 도서 지역과 경제적으로 취약한 인구가 위험에 놓여있다 *(높은 신뢰도)*. {3.3.1, 3.4.5.3, 3.4.5.6, 3.4.11, 3.5.4.9, 박스 3.5}

2) 여기서 '통계적으로 유의미한(Robust)'은 최소 2/3 이상의 기후 모델이 격자점 규모에서 변화에 대한 동일한 징후를 보여준다는 것을 의미하며, 넓은 지역에서의 차이는 통계적으로 중요함

3) 지구온난화에서 정도 차이의 영향에 대한 변화 전망은 전지구 평균 표면 기온을 고려하여 결정됨

size and duration of potential overshoots in temperature. Furthermore, there are questions on how the stabilization of an increase in GMST of 1.5°C can be achieved, and how policies might be able to influence the resilience of human and natural systems, and the nature of regional and subregional risks. Overshooting poses large risks for natural and human systems, especially if the temperature at peak warming is high, because some risks may be long-lasting and irreversible, such as the loss of some ecosystems (*high confidence*). The rate of change for several types of risks may also have relevance, with potentially large risks in the case of a rapid rise to overshooting temperatures, even if a decrease to 1.5°C can be achieved at the end of the 21st century or later (*medium confidence*). If overshoot is to be minimized, the remaining equivalent CO_2 budget available for emissions is very small, which implies that large, immediate and unprecedented global efforts to mitigate greenhouse gases are required (*high confidence*). {3.2, 3.6.2, Cross-Chapter Box 8 in this chapter}

Robust[1] global differences in temperature means and extremes are expected if global warming reaches 1.5°C versus 2°C above the pre-industrial levels (*high confidence*). For oceans, regional surface temperature means and extremes are projected to be higher at 2°C compared to 1.5°C of global warming (*high confidence*). Temperature means and extremes are also projected to be higher at 2°C compared to 1.5°C in most land regions, with increases being 2–3 times greater than the increase in GMST projected for some regions (*high confidence*). Robust increases in temperature means and extremes are also projected at 1.5°C compared to present-day values (*high confidence*) {3.3.1, 3.3.2}. There are decreases in the occurrence of cold extremes, but substantial increases in their temperature, in particular in regions with snow or ice cover (*high confidence*) {3.3.1}.

Climate models project robust[2] differences in regional climate between present-day and global warming up to 1.5°C[3], and between 1.5°C and 2°C[3] *(high confidence)*, depending on the variable and region in question *(high confidence).* Large, robust and widespread differences are expected for temperature extremes (*high confidence*). Regarding hot extremes, the strongest warming is expected to occur at mid-latitudes in the warm season (with increases of up to 3°C for 1.5°C of global warming, i.e., a factor of two) and at high latitudes in the cold season (with increases of up to 4.5°C at 1.5°C of global warming, i.e., a factor of three) (*high confidence*). The strongest warming of hot extremes is projected to occur in central and eastern North America, central and southern Europe, the Mediterranean region (including southern Europe, northern Africa and the Near East), western and central Asia, and southern Africa (*medium confidence*). The number of exceptionally hot days are expected to increase the most in the tropics, where interannual temperature variability is lowest; extreme heatwaves are thus projected to emerge earliest in these regions, and they are expected to already become widespread there at 1.5°C global warming (*high confidence*). Limiting global warming to 1.5°C instead of 2°C could result in around 420 million fewer people being frequently exposed to extreme heatwaves, and about 65 million fewer people being exposed to exceptional heatwaves, assuming constant vulnerability (*medium confidence*). {3.3.1, 3.3.2, Cross-Chapter Box 8 in this chapter}

Limiting global warming to 1.5°C would limit risks of increases in heavy precipitation events on a global scale and in several regions compared to conditions at 2°C global warming (*medium confidence*). The regions with the largest increases in heavy precipitation events for 1.5°C to 2°C global warming include: several high-latitude regions (e.g. Alaska/western Canada, eastern Canada/Greenland/Iceland, northern Europe and northern Asia); mountainous regions (e.g., Tibetan Plateau); eastern Asia (including China and Japan); and eastern North America (*medium confidence*). Tropical cyclones are projected to decrease in frequency but with an increase in the number of very intense cyclones (*limited evidence, low confidence*). Heavy precipitation associated with tropical cyclones is projected to be higher at 2°C compared to 1.5°C of global warming (*medium confidence*). Heavy precipitation, when aggregated at a global scale, is projected to be higher at 2°C than at 1.5°C of global warming (*medium confidence*) {3.3.3, 3.3.6}

Limiting global warming to 1.5°C is expected to substantially reduce the probability of extreme drought, precipitation deficits, and risks associated with water availability (i.e., water stress) in some regions (*medium confidence*). In particular, risks associated with increases in drought frequency and magnitude are projected to be substantially larger at 2°C than at 1.5°C in the Mediterranean region (including southern Europe, northern Africa and the Near East) and southern Africa (*medium confidence*). {3.3.3, 3.3.4, Box 3.1, Box 3.2}

Risks to natural and human systems are expected to be lower at 1.5°C than at 2°C of global warming (*high confidence*). This difference is due to the smaller rates and magnitudes of climate change associated with a 1.5°C temperature increase, including lower frequencies and intensities of temperature-related extremes. Lower rates of change enhance the ability of natural and human systems to adapt, with substantial benefits for a wide range of terrestrial, freshwater, wetland, coastal and ocean ecosystems (including coral reefs) (*high confidence*), as well as food production systems, human health, and tourism (*medium confidence*), together with energy systems and transportation (*low confidence*). {3.3.1, 3.4}

Exposure to multiple and compound climate-related risks is projected to increase between 1.5°C and 2°C of global warming with greater proportions of people both exposed and susceptible to poverty in Africa and Asia (*high confidence*). For global warming from 1.5°C to 2°C, risks across energy, food, and water sectors could overlap spatially and temporally, creating new – and exacerbating current – hazards, exposures, and vulnerabilities that could affect increasing numbers of people and regions (*medium confidence*). Small island states and economically disadvantaged populations are particularly at risk (*high confidence*). {3.3.1, 3.4.5.3, 3.4.5.6, 3.4.11, 3.5.4.9, Box 3.5}

---

[2] Robust is used here to mean that at least two thirds of climate models show the same sign of changes at the grid point scale, and that differences in large regions are statistically significant.

[3] Projected changes in impacts between different levels of global warming are determined with respect to changes in global mean near-surface air temperature.

1.5℃ 지구온난화와 비교하여 2℃ 지구온난화에서 유출(runoff)이 상당히 증가하는 지역 뿐 아니라 홍수 위해(hazard)의 영향을 받는 지역 또한 확대될 것이다(*중간 신뢰도*). 1.5℃의 지구온난화 역시 현재에 비해 유출이 크게 증가하는 지역은 물론(*중간 신뢰도*) 홍수 위해가 증가하는 지역이 확대될 것이다(*중간 신뢰도*). {3.3.5}

북극해[4] 해빙이 여름에 모두 녹아 없어질 확률은 1.5℃보다 2℃ 지구온난화에서 훨씬 더 높다(*중간 신뢰도*). 2℃ 온난화에서는 적어도 10년 중 한 번 여름철 북극해 해빙(海氷)이 모두 녹고 해빙이 없는 반면 1.5℃ 에서는 여름철 북극해 해빙이 모두 녹을 빈도가 100년에 한 번으로 감소하는 것으로 모델은 모의한다(*중간 신뢰도*). 또한 중간 수준의 온도 오버슛은 북극해 해빙 면적에 장기적으로 영향을 미치지 않을 것이며 자기 이력(履歷) 행동(역주: 외력을 제거하면 다시 본래의 모양으로 되돌아오는 현상)은 예상되지 않는다(*높은 신뢰도*). {3.3.8, 3.4.4.7}

전지구 평균 해수면 상승(GMSLR)은 2℃ 온난화에 비해 1.5℃ 온난화에서 세기 말에 대략 0.1m(0.04-0.16m) 더 낮을 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 1.5℃ 지구온난화에서 GMSLR 전망은 1986-2005년 대비 0.26-0.77m 정도의 범위를 나타낸다. 더 낮은 해수면 상승은 (2010년의 세계 인구를 기준으로 적응은 가정하지 않음) 2℃ 온난화에 비해 1.5℃ 온난화에서 2100년 해수면 상승의 영향에 전지구적으로 노출될 인구가 최대 1,040만 명 더 적다는 것을 의미할 수 있다. 해수면 상승 속도의 완화는 더 많은 적응 기회를 가능하게 한다(*중간 신뢰도*). *높은 신뢰도*로 해수면 상승은 2100년 이후에도 계속될 것이다. 그린란드와 남극 빙상에 존재하는 불안정성은 수백 년에서 수천 년의 시간 규모에서 해수면을 수 미터 상승시킬 수 있다. 1.5℃에서 2℃의 지구온난화에서는 *중간 신뢰도*로 이러한 불안정성이 촉발될 수 있다. {3.3.9, 3.4.5, 3.6.3}

해양은 인간활동에 기인한 이산화탄소의 약 30%를 흡수해, 최소 지난 6,500만년 동안 전례 없는 수준으로 산성화되었고 탄소의 화학적 특성 변화가 초래되었다(*높은 신뢰도*). 조류부터 어류까지 광범위한 생물 군의 생존, 석회화, 성장, 발달, 풍부도에서 리스크가 규명되었으며 예측가능한 특성에 기반하는 민감성에 대한 상당한 증거가 존재한다(*높은 신뢰도*). 1.5℃의 지구온난화에 해당하는 해양 온난화 및 산성화가 방대한 범위의 해양 유기체, 생태계는 물론, 농업, 어업과 같은 분야에 영향을 미칠 것이라는 여러 증거가 있다(*높은 신뢰도*). {3.3.10, 3.4.4}

현재에 비해 1.5℃ 온난화에서는 여러 지역과 시스템에 더 큰 리스크가 존재하며, 현재와 1.5℃ 온난화 시점까지는 적응이 필요하다. 그러나 2℃ 온난화에서 리스크는 더 크며 이러한 규모의 온도 상승에 대한 적응 노력이 더 많이 필요할 것이다(*높은 신뢰도*). {3.4, 박스 3.4, 박스 3.5, 본 장 교차챕터 박스 6}

1.5℃ 지구온난화에서 미래의 리스크는 완화 경로와 일시적 오버슛 발생에 좌우될 것이다(*높은 신뢰도*). 자연계 및 인간계에 대한 영향은 오버슛 없이 1.5℃ 수준으로 안정화되는 완화 경로에 비해 일시적으로 1.5℃를 초과한 후에 이번 세기 후반에 1.5℃ 수준으로 되돌아오는 경로일 때 더 클 것이다(*높은 신뢰도*). 오버슛의 규모와 지속 기간 역시 미래의 영향(impacts)에 영향을 미칠 것이다(예, 되돌릴 수 없는 일부 생태계의 손실) (*높은 신뢰도*). 완화 방안으로 토지 이용의 변화는 식량 생산과 생태계의 다양성에 영향을 미칠 수 있다. {3.6.1, 3.6.2, 본 장 교차챕터 박스 7 및 8}

자연계 및 인간계에 대한 기후변화 리스크

육지 및 습지 생태계

지역 생물종 손실 및 그로 인한 멸종 위험은 2℃ 보다 1.5℃ 온난화에서 훨씬 낮다(*높은 신뢰도*). 기후적으로 결정되는 지리적 범위의 절반에서 사라질 것으로 예상되는 생물종의 수는 2℃일 때 (대략 곤충의 18%, 식물의 16%, 척추동물의 8%) 대비 1.5℃ 온난화에서 곤충은 6%, 식물은 8% 그리고 척추동물은 4%로 줄어들 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 산불, 극한 기상 현상과 침입종, 해충, 질병의 확산과 같은 다른 생물다양성 관련 요인과 관련된 리스크 역시 2℃보다 1.5℃ 온난화에서 더 낮아지며(*높은 신뢰도*), 이는 생태계 서비스의 오랜 지속을 지원한다. {3.4.3, 3.5.2}

지구온난화를 2℃ 이상이 아닌 1.5℃로 억제한다면 육지 및 습지 생태계와 이러한 생태계가 인간에게 제공하는 서비스 보존에 대해 더 큰 편익이 존재할 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). 자연계 및 관리된 생태계에 대한 리스크는 습한 지역보다는 건조한 지역에서 더 높다. 2℃ 온난화에서 생태계 변형에 의해 영향을 받는 전지구 육지 면적(13%, 4분위수 범위 8-20%)은 1.5℃ 온난화에서는 대략 절반 수준인 4%(4분위수 범위 2-7%)로 낮아진다(*중간 신뢰도*). 1.5℃ 이상에서, 사막과 식생의 확장이 지중해의 생물군계에서 발생하며(*중간 신뢰도*), 이는 지난 10,000년 간 찾아볼 수 없었던 변화를 가져올 것이다(*중간 신뢰도*). {3.3.2.2, 3.4.3.2, 3.4.3.5, 3.4.6.1, 3.5.5.10, 박스 4.2}

더 높은 위도에서는 전지구 평균 이상을 넘는 평균적인 동절기의 온난화로 인해 여러 영향이 더 클 것으로 예상된다(*중간 신뢰도*). 특히 고위도 툰드라 및 한대림은 높은 리스크에 놓여 있으며, 관목이 이미 툰드라 지역을 잠식하고 있고(*높은 신뢰도*), 추가적인 온난화와 함께 계속될 것이다. 온난화를 1.5℃로 억제하면 2℃에서 녹는 것과 비교해 수 세기에 걸쳐 150-250만 km^2의 영구동토층이 녹는 것을 막을 수 있을 것이다(*중간 신뢰도*). {3.3.2, 3.4.3, 3.4.4}

4) 해빙이 없다는 것은 해빙 면적이 106 km^2보다 적을때로 특별보고서에는 정의함. 얼음 면적이 이보다 적다는 것은 최근 모든 연구에서 실제로 얼음이 없는 북극해와 동등한 것으로 간주됨

Global warming of 2°C would lead to an expansion of areas with significant increases in runoff, as well as those affected by flood hazard, compared to conditions at 1.5°C (*medium confidence*). Global warming of 1.5°C would also lead to an expansion of the global land area with significant increases in runoff (*medium confidence*) and an increase in flood hazard in some regions (*medium confidence*) compared to present-day conditions. {3.3.5}

The probability of a sea-ice-free Arctic Ocean[4] during summer is substantially higher at 2°C compared to 1.5°C of global warming (*medium confidence*). Model simulations suggest that at least one sea-ice-free Arctic summer is expected every 10 years for global warming of 2°C, with the frequency decreasing to one sea-ice-free Arctic summer every 100 years under 1.5°C (*medium confidence*). An intermediate temperature overshoot will have no long-term consequences for Arctic sea ice coverage, and hysteresis is not expected (*high confidence*). {3.3.8, 3.4.4.7}

Global mean sea level rise (GMSLR) is projected to be around 0.1 m (0.04 – 0.16 m) less by the end of the 21st century in a 1.5°C warmer world compared to a 2°C warmer world (*medium confidence*). Projected GMSLR for 1.5°C of global warming has an indicative range of 0.26 – 0.77m, relative to 1986–2005, (*medium confidence*). A smaller sea level rise could mean that up to 10.4 million fewer people (based on the 2010 global population and assuming no adaptation) would be exposed to the impacts of sea level rise globally in 2100 at 1.5°C compared to at 2°C. A slower rate of sea level rise enables greater opportunities for adaptation (*medium confidence*). There is *high confidence* that sea level rise will continue beyond 2100. Instabilities exist for both the Greenland and Antarctic ice sheets, which could result in multi-meter rises in sea level on time scales of century to millennia. There is *medium confidence* that these instabilities could be triggered at around 1.5°C to 2°C of global warming. {3.3.9, 3.4.5, 3.6.3}

The ocean has absorbed about 30% of the anthropogenic carbon dioxide, resulting in ocean acidification and changes to carbonate chemistry that are unprecedented for at least the last 65 million years (*high confidence*). Risks have been identified for the survival, calcification, growth, development and abundance of a broad range of marine taxonomic groups, ranging from algae to fish, with substantial evidence of predictable trait-based sensitivities (*high confidence*). There are multiple lines of evidence that ocean warming and acidification corresponding to 1.5°C of global warming would impact a wide range of marine organisms and ecosystems, as well as sectors such as aquaculture and fisheries (*high confidence*). {3.3.10, 3.4.4}

Larger risks are expected for many regions and systems for global warming at 1.5°C, as compared to today, with adaptation required now and up to 1.5°C. However, risks would be larger at 2°C of warming and an even greater effort would be needed for adaptation to a temperature increase of that magnitude (*high confidence*). {3.4, Box 3.4, Box 3.5, Cross-Chapter Box 6 in this chapter}

Future risks at 1.5°C of global warming will depend on the mitigation pathway and on the possible occurrence of a transient overshoot (*high confidence*). The impacts on natural and human systems would be greater if mitigation pathways temporarily overshoot 1.5°C and return to 1.5°C later in the century, as compared to pathways that stabilize at 1.5°C without an overshoot (*high confidence*). The size and duration of an overshoot would also affect future impacts (e.g., irreversible loss of some ecosystems) (*high confidence*). Changes in land use resulting from mitigation choices could have impacts on food production and ecosystem diversity. {3.6.1, 3.6.2, Cross-Chapter Boxes 7 and 8 in this chapter}

Climate Change Risks for Natural and Human systems

Terrestrial and Wetland Ecosystems

Risks of local species losses and, consequently, risks of extinction are much less in a 1.5°C versus a 2°C warmer world (*high confidence*). The number of species projected to lose over half of their climatically determined geographic range at 2°C global warming (18% of insects, 16% of plants, 8% of vertebrates) is projected to be reduced to 6% of insects, 8% of plants and 4% of vertebrates at 1.5°C warming (*medium confidence*). Risks associated with other biodiversity-related factors, such as forest fires, extreme weather events, and the spread of invasive species, pests and diseases, would also be lower at 1.5°C than at 2°C of warming (*high confidence*), supporting a greater persistence of ecosystem services. {3.4.3, 3.5.2}

Constraining global warming to 1.5°C, rather than to 2°C and higher, is projected to have many benefits for terrestrial and wetland ecosystems and for the preservation of their services to humans (*high confidence*). Risks for natural and managed ecosystems are higher on drylands compared to humid lands. The global terrestrial land area projected to be affected by ecosystem transformations (13%, interquartile range 8–20%) at 2°C is approximately halved at 1.5°C global warming to 4% (interquartile range 2–7%) (*medium confidence*). Above 1.5°C, an expansion of desert terrain and vegetation would occur in the Mediterranean biome (*medium confidence*), causing changes unparalleled in the last 10,000 years (*medium confidence*). {3.3.2.2, 3.4.3.2, 3.4.3.5, 3.4.6.1, 3.5.5.10, Box 4.2}

Many impacts are projected to be larger at higher latitudes, owing to mean and cold-season warming rates above the global average (*medium confidence*). High-latitude tundra and boreal forest are particularly at risk, and woody shrubs are already encroaching into tundra (*high confidence*) and will proceed with further warming. Constraining warming to 1.5°C would prevent the thawing of an estimated permafrost area of 1.5 to 2.5 million km^2 over centuries compared to thawing under 2°C (*medium confidence*). {3.3.2, 3.4.3, 3.4.4}

[4] Ice free is defined for the Special Report as when the sea ice extent is less than 106 km^2. Ice coverage less than this is considered to be equivalent to an ice-free Arctic Ocean for practical purposes in all recent studies.

해양 생태계

해양 생태계에서는 이미 대규모 변화가 일어나고 있으며 1.5℃ 이상의 온난화에서는 중요한 한계점에 도달할 것으로 예상된다(*높은 신뢰도*). 1.5℃ 온난화로의 전환에서 수온의 변화는 일부 생물종들(예, 플랑크톤, 어류)을 더 높은 위도대로 이동시켜 새로운 생태계가 나타날 것으로 예상된다(*높은 신뢰도*). 그러나 다른 생태계(예, 해초숲, 산호초)는 상대적으로 이동 가능성이 낮아 더 높은 사멸과 손실을 경험할 것으로 전망된다(*매우 높은 신뢰도*). 예를 들면, 지구온난화가 1.5℃로 억제되더라도 많은 증거들이 현재 존재하는 온대수역(열대)의 산호초 대부분이(70-90%)이 사라질 것임을 보여준다(*매우 높은 신뢰도*). {3.4.4, 박스 3.4}

현재의 해양 생태계 서비스는 1.5℃ 지구온난화에서는 감소하고, 2℃ 온난화에서의 손실은 더 클 것으로 예상된다(*높은 신뢰도*). 지구온난화를 1.5℃ 이내로 억제하면 해양 생산성 저하, 보다 높은 위도로의 생물종 이동, 생태계(예, 산호초, 맹그로브, 해초 및 기타 습지 생태계) 피해, 어업 생산성 감소(저위도 지역에서), 해양 화학 구성의 변화(예, 산성화, 산소결핍, 데드 존) 리스크는 상당히 낮아질 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). {3.4.4, 박스 3.4}

수자원

일부 지역에 대한 홍수와 가뭄의 예상 빈도와 규모는 2℃ 대비 1.5℃ 온난화에서 더 작다(*중간 신뢰도*). 홍수 증가에 대한 인류의 노출 변화 전망은 지역적으로 다른 리스크를 보이지만 2℃ 대비 1.5℃ 온난화에서 훨씬 더 낮을 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 지역 간 리스크 차이는 현지의 사회경제적 조건의 영향을 가장 크게 받는다(*중간 신뢰도*). {3.3.4, 3.3.5, 3.4.2}

일부 지역의 물 부족 리스크는 1.5℃ 대비 2℃ 온난화에서 더 클 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 지역 간 상당한 차이가 있고 미래의 사회경제적 조건에 의존하지만 지구온난화를 1.5℃로 억제하면 2℃ 온난화 대비 물 부족으로 고통받는 전세계 인구는 절반까지 줄어들 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 특히 큰 이득을 보는 지역으로 지중해와 카리브해가 포함될 수 있다(*중간 신뢰도*). 그러나 기후변화보다는 사회경제적 요인들이 이러한 리스크에 더 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다(*중간 신뢰도*). {3.3.5, 3.4.2, 박스 3.5}

토지 이용, 식량 안보, 식량 생산 시스템

2℃와 비교하여 지구온난화를 1.5℃로 억제하면 옥수수, 쌀, 밀 및 잠재적인 기타 곡물 수확량의 순 감소량이 더 적을 것으로 전망되는데, 특히 사하라 남부 아프리카, 동남아시아, 중부 및 남부 아메리카가 수확량의 순 감소량이 더 적어지고, 쌀과 밀의 CO_2 의존적인 영양소 함량에 있어서도 더욱 그러할 것으로 전망된다. 약 2℃의 온난화에서 전 세계적으로 방목 가축의 7-10%가 손실되며 많은 공동체와 지역에 상당한 경제적 영향을 미칠 것으로 예상된다(*중간 신뢰도*). {3.4.6, 3.6, 박스 3.1, 본 장 교차챕터 박스 6}

사헬(Sahel), 남아프리카, 지중해, 중부 유럽 및 아마존 지역에서의 식량 이용도 감소는 1.5℃보다 2℃ 지구온난화에서 더 크다(*중간 신뢰도*). 이는 식량 안보와 관련하여 1.5℃에서 2℃ 사이에서 지역적으로 상이한 영향이 중간 리스크에서 높은 리스크로의 바뀐다는 것을 시사한다(*중간 신뢰도*). 미래의 경제 및 무역 환경과 식량 가용성 변화에 대한 대응(중간 신뢰도)은 중·저소득 국가에서 기아 리스크를 줄이기 위한 중요한 잠재적 적응 옵션이다. {본 장 교차챕터 박스 6}

어업과 양식업은 세계 식량 안보에서 중요하지만 이미 해양 온난화 및 산성화로 인한 리스크 증가를 경험하고 있다(*중간 신뢰도*). 이 리스크는 1.5℃ 지구온난화에서 증가할 것으로 전망되며, 특히 저위도 지역에서 물고기와 패류(예, 굴) 같은 핵심 유기체에 영향을 미칠 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 산호초, 맹그로브, 해초, 해조류 숲과 같은 연안 생태계가 제공하는 서식지에 대한 의존성이 매우 높은 열대 지역의 소규모 어업은 1.5℃ 지구온난화에서 서식지 손실로 인한 리스크 증가에 직면할 것으로 예상된다(*중간 신뢰도*). 1.5℃ 이상으로 온도가 상승하면 온난화와 산성화가 증가하면서 영향 및 식량 안보의 악화 리스크는 더욱 커져 연안 지역의 생계와 산업(예, 어업, 양식업)은 상당한 손실을 입게 될 것으로 전망된다(*중간-높은 신뢰도*). {3.4.4, 3.4.5, 3.4.6, 박스 3.1, 박스 3.4, 박스 3.5, 본 장 교차챕터 박스 6}

온난화를 1.5℃로 억제하기 위해 모색한 거의 모든 완화 경로에서 토지 이용 및 토지 이용의 변화는 중요한 요인으로 대두되고 있다(*높은 신뢰도*). 최대 온난화를 또는 세기말 온난화를 1.5℃ 이내로 억제하기 위한 최소 비용의 완화 경로 대부분은 감축 수단 포트폴리오에 상당한 수준의 바이오에너지·탄소포집저장(BECCS), 신규조림 및 재조림(AR)을 주로 이용하는 이산화탄소흡수(CDR)를 활용한다(*높은 신뢰도*). {본 장 교차챕터 박스 7}

BECCS 및 AR의 대규모 확대는 광범위한 토지 및 물발자국을 가질 것이다(*높은 신뢰도*). 예를 들면 이 발자국이 생물다양성이나 식량 생산에 악영향을 미칠 것인가는 토지 탄소 저장량 보존 수단, 농업 확장을 제한해 자연 생태계를 보존할 수 있는 수단, 농업 생산성을 높일 수 있는 잠재력의 존재 및 그 효과성에 달려 있다(*중간 신뢰도*). 그 외에 BECCS 및 AR은 또한 생물물리학적 피드백을 통해 지역 기후에 상당하고도 직접적인 영향을 미칠 것이며, 이는 통합 평가 모델에 일반적으로 포함되지 않는다(*높은 신뢰도*). {3.6.2, 본 장 교차챕터 박스 7 및 8}

보다 폭넓은 이산화탄산소흡수 포트폴리오 즉, 지속가능한 토지 관리를 위해 종합적인 정책을 채택하고 완화 노력 증대로 생활 방식과 식이 변경을 포함한 토지, 에너지, 원료 수요를 강하게 제한한다면 대규모 이산화탄소흡수의 확대 영향을 크게 줄일 수 있다(*중간 신뢰도*). 특히 재조림이 자연 생태계 복원을 도

Ocean Ecosystems

Ocean ecosystems are already experiencing large-scale changes, and critical thresholds are expected to be reached at 1.5°C and higher levels of global warming (*high confidence*). In the transition to 1.5°C of warming, changes to water temperatures are expected to drive some species (e.g., plankton, fish) to relocate to higher latitudes and cause novel ecosystems to assemble (*high confidence*). Other ecosystems (e.g., kelp forests, coral reefs) are relatively less able to move, however, and are projected to experience high rates of mortality and loss (*very high confidence*). For example, multiple lines of evidence indicate that the majority (70–90%) of warm water (tropical) coral reefs that exist today will disappear even if global warming is constrained to 1.5°C (*very high confidence*). {3.4.4, Box 3.4}

Current ecosystem services from the ocean are expected to be reduced at 1.5°C of global warming, with losses being even greater at 2°C of global warming (*high confidence*). The risks of declining ocean productivity, shifts of species to higher latitudes, damage to ecosystems (e.g., coral reefs, and mangroves, seagrass and other wetland ecosystems), loss of fisheries productivity (at low latitudes), and changes to ocean chemistry (e.g., acidification, hypoxia and dead zones) are projected to be substantially lower when global warming is limited to 1.5°C (*high confidence*). {3.4.4, Box 3.4}

Water Resources

The projected frequency and magnitude of floods and droughts in some regions are smaller under 1.5°C than under 2°C of warming (*medium confidence*). Human exposure to increased flooding is projected to be substantially lower at 1.5°C compared to 2°C of global warming, although projected changes create regionally differentiated risks (*medium confidence*). The differences in the risks among regions are strongly influenced by local socio-economic conditions (*medium confidence*). {3.3.4, 3.3.5, 3.4.2}

Risks of water scarcity are projected to be greater at 2°C than at 1.5°C of global warming in some regions (*medium confidence*). Depending on future socio-economic conditions, limiting global warming to 1.5°C, compared to 2°C, may reduce the proportion of the world population exposed to a climate change-induced increase in water stress by up to 50%, although there is considerable variability between regions (*medium confidence*). Regions with particularly large benefits could include the Mediterranean and the Caribbean (*medium confidence*). Socio-economic drivers, however, are expected to have a greater influence on these risks than the changes in climate (*medium confidence*). {3.3.5, 3.4.2, Box 3.5}

Land Use, Food Security and Food Production Systems

Limiting global warming to 1.5°C, compared with 2°C, is projected to result in smaller net reductions in yields of maize, rice, wheat, and potentially other cereal crops, particularly in sub-Saharan Africa, Southeast Asia, and Central and South America; and in the CO_2-dependent nutritional quality of rice and wheat (*high confidence*). A loss of 7–10% of rangeland livestock globally is projected for approximately 2°C of warming, with considerable economic consequences for many communities and regions (*medium confidence*). {3.4.6, 3.6, Box 3.1, Cross-Chapter Box 6 in this chapter}

Reductions in projected food availability are larger at 2°C than at 1.5°C of global warming in the Sahel, southern Africa, the Mediterranean, central Europe and the Amazon (*medium confidence*). This suggests a transition from medium to high risk of regionally differentiated impacts on food security between 1.5°C and 2°C (*medium confidence*). Future economic and trade environments and their response to changing food availability (*medium confidence*) are important potential adaptation options for reducing hunger risk in low- and middle-income countries. {Cross-Chapter Box 6 in this chapter}

Fisheries and aquaculture are important to global food security but are already facing increasing risks from ocean warming and acidification *(medium confidence)*. These risks are projected to increase at 1.5°C of global warming and impact key organisms such as fin fish and bivalves (e.g., oysters), especially at low latitudes (*medium confidence*). Small-scale fisheries in tropical regions, which are very dependent on habitat provided by coastal ecosystems such as coral reefs, mangroves, seagrass and kelp forests, are expected to face growing risks at 1.5°C of warming because of loss of habitat (*medium confidence*). Risks of impacts and decreasing food security are projected to become greater as global warming reaches beyond 1.5°C and both ocean warming and acidification increase, with substantial losses likely for coastal livelihoods and industries (e.g., fisheries and aquaculture) (*medium to high confidence*). {3.4.4, 3.4.5, 3.4.6, Box 3.1, Box 3.4, Box 3.5, Cross-Chapter Box 6 in this chapter}

Land use and land-use change emerge as critical features of virtually all mitigation pathways that seek to limit global warming to 1.5°C (*high confidence*). Most least-cost mitigation pathways to limit peak or end-of-century warming to 1.5°C make use of carbon dioxide removal (CDR), predominantly employing significant levels of bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) and/or afforestation and reforestation (AR) in their portfolio of mitigation measures (*high confidence*). {Cross-Chapter Box 7 in this chapter}

Large-scale deployment of BECCS and/or AR would have a far-reaching land and water footprint (*high confidence*). Whether this footprint would result in adverse impacts, for example on biodiversity or food production, depends on the existence and effectiveness of measures to conserve land carbon stocks, measures to limit agricultural expansion in order to protect natural ecosystems, and the potential to increase agricultural productivity (*medium agreement*). In addition, BECCS and/or AR would have substantial direct effects on regional climate through biophysical feedbacks, which are generally not included in Integrated Assessments Models (*high confidence*). {3.6.2, Cross-Chapter Boxes 7 and 8 in this chapter}

The impacts of large-scale CDR deployment could be greatly reduced if a wider portfolio of CDR options were deployed, if a

와주는 것 이상으로 시행되면 상당한 공동의 편익과 관련될 수 있다(*높은 신뢰도*). {본 장 교차챕터 박스 7}

건강, 복지, 도시, 빈곤

전지구 온도 상승(예, +0.5℃)은 인간 건강에 영향을 미치는데, 주로 부정적인 결과를 가져올 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). 열과 관련된 질병 유병률과 사망률은 2℃ 대비 1.5℃ 온난화에서 그 리스크가 더 낮을 것으로 전망되며(*매우 높은 신뢰도*), 오존 형성에 필요한 배출량이 높게 유지된다면 오존 관련 사망률도 더 낮을 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). 도시 열섬은 보통 도시 지역에서 폭염의 영향을 증폭시킨다(*높은 신뢰도*). 말라리아, 댕기열과 같은 일부 매개체감염 질병에 대한 리스크가 1.5℃에서 2℃로의 온난화와 함께 증가할 것으로 전망되며, 여기에는 지리적 범위의 이동도 포함된다(*높은 신뢰도*). 결국 매개체감염 질병의 긍정적 또는 부정적인 전망은 질병, 지역, 변화 정도에 달려있다(*높은 신뢰도*). 영양 부족에 대해서는 2℃보다 1.5℃에서 더 낮은 리스크가 예상된다(*중간 신뢰도*). 적응에 대한 추정치를 전망에 포함시키면 리스크 규모가 감소한다(*높은 신뢰도*). {3.4.7, 3.4.7.1, 3.4.8, 3.5.5.8}

2℃ 지구온난화는 1.5℃ 지구온난화와 비교해 도시 지역을 더 큰 리스크에 놓이게 할 것으로 예상된다(*중간 신뢰도*). 리스크 정도는 해당 지역(연안 및 비연안)의 적응 효과성 및 인간 취약성, 임시 거주지, 기반 시설(에너지, 물, 수송 같은)에 따라 달라진다(*높은 신뢰도*). {3.4.5, 3.4.8}

빈곤과 불이익은 최근의 온난화(약 1℃)와 함께 증가했으며 전지구 평균 온도가 1℃ 에서 1.5℃ 및 더 높게 상승하면 더 많은 인구에서 증가할 것으로 예상된다(*중간 신뢰도*). 농업에 의존적인 지역에서의 전출(outmigration)은 전지구 온도와 통계적으로 유의미한 양(+)의 상관관계를 가진다(*중간 신뢰도*). 1.5℃ 및 2℃ 지구온난화와 인구 이동 간 연계성에 관한 우리의 지식은 아직 제한적이며 중요한 지식 격차 중 하나다. {3.4.10, 3.4.11, 5.2.2, 표 3.5}

주요 경제 분야 및 서비스

이번 세기 말까지 기후변화의 영향으로 인한 전지구 총 경제 성장에 대한 리스크는 2℃보다 1.5℃에서 더 낮을 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). {3.5.2, 3.5.3}

1.5℃ 온난화에 비해 2℃ 온난화에서 경제 성장의 가장 큰 둔화는 저소득, 중간 소득 국가 및 지역(아프리카 대륙, 동남아시아, 인도, 브라질, 멕시코)**에서 예상된다**(*낮은-중간 신뢰도*). 열대 및 남반구 아열대 국가들이 지구온난화가 1.5℃에서 2℃로 상승할 경우 기후변화로 인한 경제 성장의 가장 큰 영향을 받게 될 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). {3.5}

지구온난화는 이미 관광업에 영향을 미쳤으며, 1.5℃ 온난화에서 특정 지리적인 지역과 태양, 해변, 눈과 관련된 스포츠를 포함한 계절 관광에서 리스크가 증가되었다(*매우 높은 신뢰도*). 게임, 대형 호텔 기반 활동과 같이 기후에 대한 민감성이 낮은 관광 시장에 대한 리스크는 더 낮을 것이다(*높은 신뢰도*). 특히 아열대와 열대 지역의 연안 관광에 대한 리스크는 온도 관련 현상(예, 폭염, 폭풍) 또는 해안과 산호초 자원의 감소에 따라 증가할 것이다(*높은 신뢰도*). {3.3.6, 3.4.4.12, 3.4.9.1,, 박스 3.4}

군소 도서 지역과 연안 및 저지대

군소 도서 지역은 1.5℃ 지구온난화에서 여러 상호 연관된 리스크를 경험할 것으로 전망되며, 2℃ 이상의 온난화에서는 리스크가 더욱 증가할 것이다(*높은 신뢰도*). 기후 위해(hazards)는 2℃ 대비 1.5℃에서 더 낮을 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). 연안 홍수 및 인구에 대한 장기적인 리스크, 기반시설 및 자산에 대한 영향(*높은 신뢰도*), 물 부족(*중간 신뢰도*), 해양 생태계(*높은 신뢰도*)와 주요 부문(*중간 신뢰도*)에 걸친 리스크는 현재에 비해 1.5℃ 온난화에서 증가하고 2℃ 온난화에서는 더 증가하면서 적응 기회를 제한하고 손실과 피해를 가중시킬 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 군소 도서 지역에서의 (국내적 및 국제적)이주는 해수면 상승으로 인해 증가하는 다양한 원인과 목적으로 일어나는데, 대부분은 더 나은 생계 수단의 기회를(*높은 신뢰도*) 위해서이다.(*중간 신뢰도*). {3.3.2.2, 3.3.6-9, 3.4.3.2, 3.4.4.2, 3.4.4.5, 3.4.4.12, 3.4.5.3, 3.4.7.1, 3.4.9.1, 3.5.4.9, 박스 3.4, 박스 3.5}.

1.5ºC와 2ºC 지구온난화에서 해수면 상승, 연안 지하수 염도 변화 그리고 홍수 및 기반시설 피해 증가와 관련된 영향은 군소 도서 지역 및 저지대 해안가, 삼각주와 같은 민감한 환경에서는 매우 중요할 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). 지역적인 침하 및 강 하구의 변화가 이러한 영향을 잠재적으로 악화시킬 수 있다. 현재에도 이미 적응은 일어나고 있으며(*높은 신뢰도*), 그 중요성은 수백 년 동안 유지될 것이다. {3.4.5.3, 3.4.5.4, 3.4.5.7, 5.4.5.4, 박스 3.5}

기존 및 복원된 자연 연안 생태계는 연안 및 삼각주 지역을 보호함으로써 해수면 상승과 강해지는 폭풍의 악영향을 저감하는 데 효과적일 수 있다(*중간 신뢰도*). 1.5℃ 온난화와 관련된 해수면 상승이 퇴적 속도보다 느리다는 점을 감안할 때, 자연 퇴적 속도가 해수면 상승의 영향을 상쇄할 수 있을 것으로 예상된다(*중간 신뢰도*). 습지에서 육지 방향으로의 이주, 기반시설 적응과 같은 기타 피드백은 여전히 중요하다(*중간 신뢰도*). {3.4.4.12, 3.4.5.4, 3.4.5.7}

우려단계의 증가

AR5 이후 2ºC 까지의 지구온난화에 대한 5가지 우려단계(RFCs) 중 4가지의 리스크 수준이 상당히 증가한다는 많은 증거가 있다(*높은 신뢰도*).

holistic policy for sustainable land management were adopted, and if increased mitigation efforts were employed to strongly limit the demand for land, energy and material resources, including through lifestyle and dietary changes (*medium confidence*). In particular, reforestation could be associated with significant co-benefits if implemented in a manner than helps restore natural ecosystems (*high confidence*). {Cross-Chapter Box 7 in this chapter}

Human Health, Well-Being, Cities and Poverty

Any increase in global temperature (e.g., +0.5°C) is projected to affect human health, with primarily negative consequences (*high confidence*). Lower risks are projected at 1.5°C than at 2°C for heat-related morbidity and mortality (*very high confidence*), and for ozone-related mortality if emissions needed for ozone formation remain high (*high confidence*). Urban heat islands often amplify the impacts of heatwaves in cities (*high confidence*). Risks for some vector-borne diseases, such as malaria and dengue fever are projected to increase with warming from 1.5°C to 2°C, including potential shifts in their geographic range (*high confidence*). Overall for vector-borne diseases, whether projections are positive or negative depends on the disease, region and extent of change (*high confidence*). Lower risks of undernutrition are projected at 1.5°C than at 2°C (*medium confidence*). Incorporating estimates of adaptation into projections reduces the magnitude of risks (*high confidence*). {3.4.7, 3.4.7.1, 3.4.8, 3.5.5.8}

Global warming of 2°C is expected to pose greater risks to urban areas than global warming of 1.5°C (*medium confidence*). The extent of risk depends on human vulnerability and the effectiveness of adaptation for regions (coastal and non-coastal), informal settlements and infrastructure sectors (such as energy, water and transport) (*high confidence*). {3.4.5, 3.4.8}

Poverty and disadvantage have increased with recent warming (about 1°C) and are expected to increase for many populations as average global temperatures increase from 1°C to 1.5°C and higher (*medium confidence*). Outmigration in agricultural-dependent communities is positively and statistically significantly associated with global temperature (*medium confidence*). Our understanding of the links of 1.5°C and 2°C of global warming to human migration are limited and represent an important knowledge gap. {3.4.10, 3.4.11, 5.2.2, Table 3.5}

Key Economic Sectors and Services

Risks to global aggregated economic growth due to climate change impacts are projected to be lower at 1.5°C than at 2°C by the end of this century (*medium confidence*). {3.5.2, 3.5.3}

The largest reductions in economic growth at 2°C compared to 1.5°C of warming are projected for low- and middle-income countries and regions (the African continent, Southeast Asia, India, Brazil and Mexico) (*low to medium confidence*). Countries in the tropics and Southern Hemisphere subtropics are projected to experience the largest impacts on economic growth due to climate change should global warming increase from 1.5°C to 2°C (*medium confidence*). {3.5}

Global warming has already affected tourism, with increased risks projected under 1.5°C of warming in specific geographic regions and for seasonal tourism including sun, beach and snow sports destinations (*very high confidence*). Risks will be lower for tourism markets that are less climate sensitive, such as gaming and large hotel-based activities (*high confidence*). Risks for coastal tourism, particularly in subtropical and tropical regions, will increase with temperature-related degradation (e.g., heat extremes, storms) or loss of beach and coral reef assets (*high confidence*). {3.3.6, 3.4.4.12, 3.4.9.1, Box 3.4}

Small Islands, and Coastal and Low-lying areas

Small islands are projected to experience multiple inter-related risks at 1.5°C of global warming that will increase with warming of 2°C and higher levels (*high confidence*). Climate hazards at 1.5°C are projected to be lower compared to those at 2°C (*high confidence*). Long-term risks of coastal flooding and impacts on populations, infrastructures and assets (*high confidence*), freshwater stress (*medium confidence*), and risks across marine ecosystems (*high confidence*) and critical sectors (*medium confidence*) are projected to increase at 1.5°C compared to present-day levels and increase further at 2°C, limiting adaptation opportunities and increasing loss and damage (*medium confidence*). Migration in small islands (internally and internationally) occurs for multiple reasons and purposes, mostly for better livelihood opportunities (*high confidence*) and increasingly owing to sea level rise (*medium confidence*). {3.3.2.2, 3.3.6–9, 3.4.3.2, 3.4.4.2, 3.4.4.5, 3.4.4.12, 3.4.5.3, 3.4.7.1, 3.4.9.1, 3.5.4.9, Box 3.4, Box 3.5}

Impacts associated with sea level rise and changes to the salinity of coastal groundwater, increased flooding and damage to infrastructure, are projected to be critically important in vulnerable environments, such as small islands, low-lying coasts and deltas, at global warming of 1.5°C and 2°C (*high confidence*). Localized subsidence and changes to river discharge can potentially exacerbate these effects. Adaptation is already happening (*high confidence*) and will remain important over multi-centennial time scales. {3.4.5.3, 3.4.5.4, 3.4.5.7, 5.4.5.4, Box 3.5}

Existing and restored natural coastal ecosystems may be effective in reducing the adverse impacts of rising sea levels and intensifying storms by protecting coastal and deltaic regions (*medium confidence*). Natural sedimentation rates are expected to be able to offset the effect of rising sea levels, given the slower rates of sea level rise associated with 1.5°C of warming (*medium confidence*). Other feedbacks, such as landward migration of wetlands and the adaptation of infrastructure, remain important (*medium confidence*). {3.4.4.12, 3.4.5.4, 3.4.5.7}

Increased Reasons for Concern

There are multiple lines of evidence that since AR5 the assessed levels of risk increased for four of the five Reasons for Concern

온난화의 정도에 따른 리스크 변화는 다음과 같다: RFC1(위협받는 고유의 시스템)은 1.5℃-2℃에서 높은-매우 높은 리스크(*높은 신뢰도*), RFC2(극한 기상 현상)는 1℃-1.5℃에서 중간-높은 리스크(*중간 신뢰도*), RFC3(영향의 분포)는 1.5℃-2℃에서 중간-높은 리스크(*높은 신뢰도*), RFC4(전지구 총 영향)의 경우 1.5℃-2.5℃에서 중간-높은 리스크(*중간 신뢰도*), RFC5(대규모 특이 현상)는 1℃-2.5℃에서 중간-높은 리스크(*중간 신뢰도*). {3.5.2}

1. **"위협받는 고유의 시스템"(RFC1)에서 높은 리스크에서 매우 높은 리스크로의 이동은** AR5에서의 2.6℃ 지구온난화에서 발생했던 것과 달리 산호초, 북극해, 생물다양성 리스크 변화에 대한 여러 새로운 증거로 인해 현재 1.5에서 2℃ 지구온난화 사이에 위치함을 보여준다(*높은 신뢰도*). {3.5.2.1}

2. **"극한 기상 현상"(RFC2)에서 중간 수준의 리스크에서 높은 리스크로의 이동은 현재 1.0-1.5℃ 온난화 사이에 위치하며** 이는 AR5 평가와 매우 유사하지만 신뢰도는 더 높을 것으로 전망된다(*중간 신뢰도*). 영향에 대한 문헌은 극한 기상 현상에 대한 인간 사회의 적응 잠재력에 관한 정보를 거의 다루지 않았기 때문에 1.5℃와 2℃ 온난화 영향 평가 시 '높음'에서 '매우 높음'으로의 변화를 정하는 것은 불가능했다. 그러므로 이 보고서에서는 극한 기상 현상과 관련된 매우 높은 리스크를 야기할 수 있는 지구온난화 수준에는 *낮은 신뢰도*가 부여된다. {3.5}

3. 식량 안보, 수자원, 가뭄, 열 노출, 연안침수에 대해 지역적으로 상이한 리스크에 대한 새로운 증거로 인해 **"영향의 분포"(RFC3)의 중간에서 높은 리스크로의 이동은** AR5에서의 1.6℃- 2.6℃ 지구온난화와 비교해 **1.5℃에서 2℃ 지구온난화 사이에 위치한다**(*높은 신뢰도*). {3.5}

4. 전지구 총경제적 영향 및 지구의 생물다양성과 관련된 리스크에 관한 새로운 증거로 인해 **"전지구 총 영향"(RFC4)의 중간에서 높은 리스크로의 이동은 현재** AR5에서의 3.6℃ 온난화가 아니라 **1.5℃에서 2.5℃ 지구온난화 사이에 위치한다**(*중간 신뢰도*). {3.5}

5. **마지막으로 "대규모 특이 현상"(RFC5)에서 중간 리스크와 높은 리스크가** AR5에서의 1.9℃(중간 리스크) 및 4℃(높은 리스크) 지구 온난화에서 나타났던 것과 달리 **현재 각각 1℃와 2.5℃에 위치하며,** 이에 대한 근거는 서남극해 빙상에 대한 새로운 관측 결과와 모델 때문이다(*중간 신뢰도*). {3.3.9, 3.5.2, 3.6.3}

TS.4 전지구적 대응 강화 및 이행

산업화 이전 수준과 대비하여 온난화를 1.5℃ 이내로 억제하기 위해서는 지속가능한 발전과 통합된 전환적이고 체계적인 변화가 필요할 것이다. 이 변화에는 광범위하고 다층적이며 범부문에 대한 기후 완화 이행 및 장애물 제거의 규모 확대와 가속화가 필수적이다. 이러한 체계적인 변화는 특히 일시적으로 1.5℃를 초과하는 경로에 대해서는 전환적 적응을 포함한 보완적 적응 행동과 연계되어야 한다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). {제2장, 제3장, 4.2.1, 4.4.5, 4.5} 완화 및 적응에 대한 현재의 국가적인 노력은 파리 협정의 온도 제한치 이하로 유지하는 것과 적응 목표를 달성하기에는 불충분하다. 에너지 효율 개선, 연료의 탄소집약도, 전력화, 토지 이용 변화에서의 전환이 여러 국가에서 진행되고 있으나, 온난화를 1.5℃로 억제하기 위해서는 에너지, 토지, 도시 및 산업 시스템에 대한 전지구적인 전환을 위해 더 크고 더 빠른 변화가 필요할 것이다. {4.3, 4.4, 본 장 교차챕터 박스 9}

전 세계 많은 공동체가 1.5℃ 경로에 상응하는 이행 가능성을 입증하고 있지만{박스 4.1-4.10} 현재 이러한 주장을 할 수 있는 국가, 지역, 도시, 공동체, 또는 기업은 극소수에 불과하다(*높은 신뢰도*). 전지구적 대응 강화를 위해서는 거의 모든 국가가 목표 수준을 상당히 높여야 할 것이다. 이러한 상향된 목표 수준 이행에는 현지 및 토착 지식의 활용 역량 구축을 포함해, 모든 국가에서 제도적 역량 강화가 필요하다 (*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). 개도국 및 빈곤층과 취약 계층을 위한 대응 이행에는 역량 구축을 위한 재정적, 기술적 및 기타 형태의 지원이 필요하며, 이를 위해 추가적인 지역, 국가, 전지구적 자원들이 동원될 필요가 있을 것이다(*높은 신뢰도*). 그러나 공공, 재정, 제도, 혁신 역량은 현재 모든 국가에서 대규모로 광범위한 수단을 이행하기에 매우 부족하다(*높은 신뢰도*). 다층적인 기후 행동을 지원하는 국가간 네트워크가 확대되고 있지만 규모 확대에는 어려움이 존재한다. {4.4.1, 4.4.2, 4.4.4, 4.4.5, 박스 4.1, 박스 4.2, 박스 4.7}

적응 필요는 2℃ 보다 1.5℃ 세계에서 더 낮을 것이다(*높은 신뢰도*). {제3장; 본 장 교차챕터 박스 11} 현재의 적응 방식으로부터의 학습 및 적응 거버넌스 {4.4.1}, 생활 방식과 행동 변화{4.4.3}, 혁신적인 재정 메커니즘{4.4.5}을 통한 현재 적응 실천의 강화는 지속가능발전의 이행 내에서 적응의 주류화(mainstreaming)를 도와줄 수 있다. 잘못된 적응의 예방, 상향식 접근방식에 대한 의존{박스 4.6} 및 토착 지식의 활용{박스 4.3}은 취약 계층과 공동체를 효과적으로 참여시키고 보호할 것이다. 적응 재정은 양적으로 증가했지만 1.5℃에 적응하기 위해서는 상당한 추가적인 확대가 필요할 것이다. 적응 재정의 배분, 자원 활용 준비, 메커니즘 모니터링에서의 질적인 격차는 영향을 저감할 적응 재정의 잠재력을 약화시킨다. {제3장, 4.4.2, 4.4.5, 4.6}

(RFCs) for global warming levels of up to 2°C (*high confidence*). The risk transitions by degrees of global warming are now: from high to very high between 1.5°C and 2°C for RFC1 (Unique and threatened systems) (*high confidence*); from moderate to high risk between 1°C and 1.5°C for RFC2 (Extreme weather events) (*medium confidence*); from moderate to high risk between 1.5°C and 2°C for RFC3 (Distribution of impacts) (*high confidence*); from moderate to high risk between 1.5°C and 2.5°C for RFC4 (Global aggregate impacts) (*medium confidence*); and from moderate to high risk between 1°C and 2.5°C for RFC5 (Large-scale singular events) (*medium confidence*). {3.5.2}

1. **The category 'Unique and threatened systems' (RFC1) display a transition from high to very high risk which is now located between 1.5°C and 2°C of global warming** as opposed to at 2.6°C of global warming in AR5, owing to new and multiple lines of evidence for changing risks for coral reefs, the Arctic and biodiversity in general (*high confidence*). {3.5.2.1}

2. **In 'Extreme weather events' (RFC2), the transition from moderate to high risk is now located between 1.0°C and 1.5°C of global warming,** which is very similar to the AR5 assessment but is projected with greater confidence (*medium confidence*). The impact literature contains little information about the potential for human society to adapt to extreme weather events, and hence it has not been possible to locate the transition from 'high' to 'very high' risk within the context of assessing impacts at 1.5°C versus 2°C of global warming. There is thus *low confidence* in the level at which global warming could lead to very high risks associated with extreme weather events in the context of this report. {3.5}

3. **With respect to the 'Distribution of impacts' (RFC3) a transition from moderate to high risk is now located between 1.5°C and 2°C of global warming,** compared with between 1.6°C and 2.6°C global warming in AR5, owing to new evidence about regionally differentiated risks to food security, water resources, drought, heat exposure and coastal submergence (*high confidence*). {3.5}

4. **In 'global aggregate impacts' (RFC4) a transition from moderate to high levels of risk is now located between 1.5°C and 2.5°C of global warming,** as opposed to at 3.6°C of warming in AR5, owing to new evidence about global aggregate economic impacts and risks to Earth's biodiversity (*medium confidence*). {3.5}

5. **Finally, 'large-scale singular events' (RFC5), moderate risk is now located at 1°C of global warming and high risk is located at 2.5°C of global warming,** as opposed to at 1.6°C (moderate risk) and around 4°C (high risk) in AR5, because of new observations and models of the West Antarctic ice sheet (*medium confidence*). {3.3.9, 3.5.2, 3.6.3}

TS.4 Strengthening and Implementing the Global Response

Limiting warming to 1.5°C above pre-industrial levels would require transformative systemic change, integrated with sustainable development. Such change would require the upscaling and acceleration of the implementation of far-reaching, multilevel and cross-sectoral climate mitigation and addressing barriers. Such systemic change would need to be linked to complementary adaptation actions, including transformational adaptation, especially for pathways that temporarily overshoot 1.5°C (*medium evidence, high agreement*) {Chapter 2, Chapter 3, 4.2.1, 4.4.5, 4.5}. Current national pledges on mitigation and adaptation are not enough to stay below the Paris Agreement temperature limits and achieve its adaptation goals. While transitions in energy efficiency, carbon intensity of fuels, electrification and land-use change are underway in various countries, limiting warming to 1.5°C will require a greater scale and pace of change to transform energy, land, urban and industrial systems globally. {4.3, 4.4, Cross-Chapter Box 9 in this Chapter}

Although multiple communities around the world are demonstrating the possibility of implementation consistent with 1.5°C pathways {Boxes 4.1-4.10}, very few countries, regions, cities, communities or businesses can currently make such a claim (*high confidence*). To strengthen the global response, almost all countries would need to significantly raise their level of ambition. Implementation of this raised ambition would require enhanced institutional capabilities in all countries, including building the capability to utilize indigenous and local knowledge (*medium evidence, high agreement*). In developing countries and for poor and vulnerable people, implementing the response would require financial, technological and other forms of support to build capacity, for which additional local, national and international resources would need to be mobilized (*high confidence*). However, public, financial, institutional and innovation capabilities currently fall short of implementing far-reaching measures at scale in all countries (*high confidence*). Transnational networks that support multilevel climate action are growing, but challenges in their scale-up remain. {4.4.1, 4.4.2, 4.4.4, 4.4.5, Box 4.1, Box 4.2, Box 4.7}

Adaptation needs will be lower in a 1.5°C world compared to a 2°C world (*high confidence*) {Chapter 3; Cross-Chapter Box 11 in this chapter}. Learning from current adaptation practices and strengthening them through adaptive governance {4.4.1}, lifestyle and behavioural change {4.4.3} and innovative financing mechanisms {4.4.5} can help their mainstreaming within sustainable development practices. Preventing maladaptation, drawing on bottom-up approaches {Box 4.6} and using indigenous knowledge {Box 4.3} would effectively engage and protect vulnerable people and communities. While adaptation finance has increased quantitatively, significant further expansion would be needed to adapt to 1.5°C. Qualitative gaps in the distribution of adaptation finance, readiness to absorb resources, and monitoring mechanisms undermine the potential of adaptation finance to reduce impacts. {Chapter 3, 4.4.2, 4.4.5, 4.6}

시스템 전환

산업화 이전 수준 대비 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 데 필요한 에너지 시스템 전환이 전 세계 여러 분야 및 지역에서 진행 중이다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). 태양 에너지, 풍력 에너지, 전기 저장 기술의 정치적, 경제적, 사회적, 기술적 이행 가능성은 지난 수년간 크게 개선된 반면 전력 부문에서 원자력에너지와 탄소포집저장(CCS)의 이행가능성은 유사한 정도의 진전을 보이지 못했다. {4.3.1}

전력화, 수소, 바이오 기반 원료 및 대체물 그리고 몇몇 사례에서 이산화탄소 포집, 활용, 저장(CCUS)은 온난화를 1.5℃로 억제하기 위해 에너지 집약적인 산업에 필요한 배출량의 상당한 저감을 가져올 것이다. 그러나 이러한 방안들은 제도적, 경제적, 기술적 제약에 의해 제한되며 이는 많은 기존 기업들의 재정적 리스크를 증가시킨다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). 산업계에서의 에너지 효율 개선은 경제적으로 이행 가능성이 더욱 높아졌고 산업 시스템 전환을 도와주지만 에너지 집약적 산업을 1.5℃ 경로와 일치시키기 위해서는 온실가스-중립 공정 또는 이산화탄소흡수를 통해 보완되어야 할 것이다(*높은 신뢰도*). {4.3.1, 4.3.4}

1.5℃로 온난화를 억제하는 데 필요한 전지구 및 지역 토지 이용과 생태계 전환 그리고 이와 관련된 행동 변화는 미래의 적응과 토지 기반의 농업 및 산림 감축 잠재력을 개선할 수 있다. 그러나 이러한 전환은 농업과 천연 자원에 의존하는 생계에 영향을 미칠 수 있다. {4.3.2, 제3장 교차챕터 박스 6} 감축 목표 달성을 위한 농업과 임업 시스템의 변경은 현재의 생태계 및 생태계 서비스에 영향을 미쳐 식량, 물, 생계 안보를 잠재적으로 위협할 수 있다. 이는 토지 기반 감축 옵션의 사회적, 환경적 이행 가능성을 제한할 수 있지만 신중한 설계와 이행은 그 수용성을 개선하고 지속가능한 발전 목표를 지지할 수 있다(*중간 증거 수준, 중간 동의 수준*). {4.3.2, 4.5.3}

농업 방식의 변화는 효과적인 기후 적응 전략이 될 수 있다. 전 세계 많은 농업 시스템에 비용 효과적인 적응 전략이 될 수 있는 곡물-가축 복합 생산 시스템을 포함해 다양한 적응 방안들이 존재한다(*통계적으로 유의미한 증거, 중간 동의 수준*). 관개 효율 개선이 대규모 기반시설의 개입을 통해서가 아니라 농부들이 새로운 행동 및 물 절약 방식을 채택하여 달성된다면 전지구적 물 부존량(endowments) 변화에 효과적으로 대처할 수 있다(*중간 증거 수준, 중간 동의 수준*). 공동체 기반 적응과 같은 잘 설계된 적응 프로세스는 취약성의 상황 및 수준에 따라 효과적일 수 있다. {4.3.2, 4.5.3}

식량 생산 효율성 개선 및 수확량 격차를 줄이는 것은 농업 분야의 배출량을 저감하고 토지에 대한 압박을 줄이며 식량 안보와 미래의 저감 잠재력을 강화할 잠재성을 지닌다(*높은 신뢰도*). 기존 농업 시스템의 생산성 개선은 일반적으로 식량 생산의 배출 집약도를 낮추고 농촌 발전, 빈곤 감소, 식량 안보 목표들과 강력한 시너지를 제공하지만, 수요 측면의 조치들과 조합되지 않는다면 절대적인 배출량을 저감할 방안들은 제한적이다. 적절한 보호책과 함께 바이오 기술을 포함하는 기술 혁신은 현재의 이행 가능성의 제약을 해결하는 데 기여할 수 있으며 농업의 미래 감축 잠재력을 확대할 수 있다. {4.3.2, 4.4.4}

식량 손실 및 낭비의 저감과 더불어 더 낮은 배출량과 토지가 덜 필요한 식량 위주의 식단 선택으로의 전환은 배출량을 저감하고 적응 옵션을 늘릴 수 있다(*높은 신뢰도*). 식량 손실과 낭비를 줄이는 것과 식단과 관련된 행동 변화는 배출량과 토지에 대한 압박을 낮추어, 효과적인 완화 및 적응 옵션을 가져오고(*높은 신뢰도*), 이는 식량 안보, 건강, 지속가능발전에 대해 상당한 공동 편익을 가져오지만{4.3.2, 4.4.5, 4.5.2, 4.5.3, 5.4.2}, 식단 선택을 변화시키기 위한 성공적인 정책에 대한 증거는 제한적이다.

완화 및 적응 옵션과 기타 수단

참여적이고 통합적 방식으로 이행되는 완화 및 적응 옵션의 혼합체는 - 도시 및 농촌 지역에서 - 신속하고 전체적인 전환을 가능하게 할 수 있으며 이는 1.5℃로 온난화를 억제하는 가속화된 전환에 있어 필수적인 요소가 된다. 이러한 옵션과 변화는 경제 발전 및 지속가능발전과 조율되고 지방·지역 정부가 중앙 정부로부터 지원을 받을 때 가장 효과적이다. {4.3.3, 4.4.1, 4.4.3} 다양한 완화 옵션이 많은 지역에 빠르게 확산되고 있다. 그 중 많은 옵션이 발전 시너지를 가지지만 현재까지 모든 수준의 소득 집단이 그 혜택을 볼 수 있었던 것은 아니다. 무엇보다 전력화, 최종 에너지 효율개선 및 재생 에너지 비중 증대가 에너지 사용을 줄이고 있으며 만들어진 환경, 특히 건물에서 에너지 공급을 탈탄소하고 있다. 도시 환경에 필요한 다른 신속한 변화에는 전기자동차의 확대를 포함한 교통 분야의 탈자동차화 및 탈탄소화와 에너지 효율적인 가전제품의 이용 확대가 포함된다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). 기술 혁신과 사회적 혁신은 예를 들어 스마트 그리드, 에너지 저장 기술, 그리고 정보통신 기술(ICT)과 같이 배출량 저감에 활용될 수 있는 보편적 기술의 이용을 통해 온난화를 1.5℃로 억제하는데 기여할 수 있다. 이행 가능한 적응 방안에는 녹색 기반시설, 복원력 있는 수자원 및 도시 생태계 서비스, 도시 및 도시근교 농업, 규제 및 계획을 통한 건물과 토지 이용 적응이 포함된다(*중간 증거 수준, 중간-높은 동의 수준*). {4.3.3, 4.4.3, 4.4.4}

도시와 농촌 지역에서는 몇 가지 포괄적인 적응 옵션을 통한 체계적인 전환을 통해 시너지를 달성할 수 있다. 보건, 사회 안보, 리스크 공유 및 분산에 대한 투자는 규모 확대의 가능성이 높은 비용 효과적인 적응 수단들이다(*중간 증거 수준, 중간-높은 동의 수준*). 재난 리스크 관리와 교육에 기반한 적응은 확장성과 비용 효과성에 있어 전망이 밝지는 않지만(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*), 적응 역량의 구축에 있어서 매우 중요하다. {4.3.5, 4.5.3}

System Transitions

The energy system transition that would be required to limit global warming to 1.5°C above pre-industrial conditions is underway in many sectors and regions around the world (*medium evidence, high agreement*). The political, economic, social and technical feasibility of solar energy, wind energy and electricity storage technologies has improved dramatically over the past few years, while that of nuclear energy and carbon dioxide capture and storage (CCS) in the electricity sector have not shown similar improvements. {4.3.1}

Electrification, hydrogen, bio-based feedstocks and substitution, and, in several cases, carbon dioxide capture, utilization and storage (CCUS) would lead to the deep emissions reductions required in energy-intensive industries to limit warming to 1.5°C. However, those options are limited by institutional, economic and technical constraints, which increase financial risks to many incumbent firms (*medium evidence, high agreement*). Energy efficiency in industry is more economically feasible and helps enable industrial system transitions but would have to be complemented with greenhouse gas (GHG)-neutral processes or carbon dioxide removal (CDR) to make energy-intensive industries consistent with 1.5°C (*high confidence*). {4.3.1, 4.3.4}

Global and regional land-use and ecosystems transitions and associated changes in behaviour that would be required to limit warming to 1.5°C can enhance future adaptation and land-based agricultural and forestry mitigation potential. Such transitions could, however, carry consequences for livelihoods that depend on agriculture and natural resources {4.3.2, Cross-Chapter Box 6 in Chapter 3}. Alterations of agriculture and forest systems to achieve mitigation goals could affect current ecosystems and their services and potentially threaten food, water and livelihood security. While this could limit the social and environmental feasibility of land-based mitigation options, careful design and implementation could enhance their acceptability and support sustainable development objectives (*medium evidence, medium agreement*). {4.3.2, 4.5.3}

Changing agricultural practices can be an effective climate adaptation strategy. A diversity of adaptation options exists, including mixed crop-livestock production systems which can be a cost-effective adaptation strategy in many global agriculture systems (*robust evidence, medium agreement*). Improving irrigation efficiency could effectively deal with changing global water endowments, especially if achieved via farmers adopting new behaviours and water-efficient practices rather than through large-scale infrastructural interventions (*medium evidence, medium agreement*). Well-designed adaptation processes such as community-based adaptation can be effective depending upon context and levels of vulnerability. {4.3.2, 4.5.3}

Improving the efficiency of food production and closing yield gaps have the potential to reduce emissions from agriculture, reduce pressure on land, and enhance food security and future mitigation potential (*high confidence*). Improving productivity of existing agricultural systems generally reduces the emissions intensity of food production and offers strong synergies with rural development, poverty reduction and food security objectives, but options to reduce absolute emissions are limited unless paired with demand-side measures. Technological innovation including biotechnology, with adequate safeguards, could contribute to resolving current feasibility constraints and expand the future mitigation potential of agriculture. {4.3.2, 4.4.4}

Shifts in dietary choices towards foods with lower emissions and requirements for land, along with reduced food loss and waste, could reduce emissions and increase adaptation options (*high confidence*). Decreasing food loss and waste and changing dietary behaviour could result in mitigation and adaptation (*high confidence*) by reducing both emissions and pressure on land, with significant co-benefits for food security, human health and sustainable development {4.3.2, 4.4.5, 4.5.2, 4.5.3, 5.4.2}, but evidence of successful policies to modify dietary choices remains limited.

Mitigation and Adaptation Options and Other Measures

A mix of mitigation and adaptation options implemented in a participatory and integrated manner can enable rapid, systemic transitions – in urban and rural areas – that are necessary elements of an accelerated transition consistent with limiting warming to 1.5°C. Such options and changes are most effective when aligned with economic and sustainable development, and when local and regional governments are supported by national governments {4.3.3, 4.4.1, 4.4.3}. Various mitigation options are expanding rapidly across many geographies. Although many have development synergies, not all income groups have so far benefited from them. Electrification, end-use energy efficiency and increased share of renewables, amongst other options, are lowering energy use and decarbonizing energy supply in the built environment, especially in buildings. Other rapid changes needed in urban environments include demotorization and decarbonization of transport, including the expansion of electric vehicles, and greater use of energy-efficient appliances (*medium evidence, high agreement*). Technological and social innovations can contribute to limiting warming to 1.5°C, for example, by enabling the use of smart grids, energy storage technologies and general-purpose technologies, such as information and communication technology (ICT) that can be deployed to help reduce emissions. Feasible adaptation options include green infrastructure, resilient water and urban ecosystem services, urban and peri-urban agriculture, and adapting buildings and land use through regulation and planning (*medium evidence, medium to high agreement*). {4.3.3, 4.4.3, 4.4.4}

Synergies can be achieved across systemic transitions through several overarching adaptation options in rural and urban areas. Investments in health, social security and risk sharing and spreading are cost-effective adaptation measures with high potential for scaling up (*medium evidence, medium to high agreement*). Disaster risk management and education-based adaptation have lower prospects of scalability and cost-effectiveness (*medium evidence, high agreement*) but are critical for building adaptive capacity. {4.3.5, 4.5.3}

적응 및 완화 옵션이 모이면 시너지를 가져올 수 있고 잠재적으로는 비용 효과성을 높일 수 있지만, 여러 가지 상충이 규모 확대 속도와 잠재력을 제한할 수 있다. 모든 분야 및 시스템 전환에서 시너지과 상충에 대한 많은 사례를 찾을 수 있다. 예를 들어 지속가능한 물 관리(*높은 증거 수준, 중간 동의 수준*)와 지속 가능한 물 및 환경 서비스의 공급과 도시 농업 지원을 위한 녹색 기반시설에 대한 투자(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*)는 다른 적응 옵션 보다 덜 비용 효과적이지만 기후 복원력 구축에 도움이 될 수 있다. 이러한 시너지를 가능하게 하고 상충을 회피하는 데 필요한 거버넌스 및 재정과 사회적 지지를 달성하는 것은 특히 여러 가지 목표에 초점을 두고 적절한 순서와 시점을 다룰 때 종종 어려운 과제이다. {4.3.2, 4.3.4, 4.4.1, 4.5.2, 4.5.3, 4.5.4}

이산화탄소가 장기 온난화를 지배하지만, 메탄, 블랙 카본과 같은 단기체류 기후변화 유발물질(SLCF)이 단기적으로는 온난화를 1.5℃ 로 억제하는 데 상당한 기여를 할 수 있다. 블랙 카본 및 메탄의 저감은 대기 오염 저감으로 인한 건강 개선을 포함해 상당한 공동편익을 가질 것이다(*높은 신뢰도*). 이는 결과적으로 그러한 행동의 제도적 및 사회문화적 실현가능성을 강화한다. 일부 온난화 단기체류 기후변화 유발물질의 저감은 경제적 및 사회적 실현가능성으로 인해 제약을 받는다(*낮은 증거 수준, 높은 동의 수준*). 이 물질들은 대개 이산화탄소와 함께 배출되기 때문에 온난화를 1.5℃ 수준으로 억제하는 데 필요한 에너지, 토지, 도시 전환의 달성은 온난화 단기체규 기후변화 유발물질의 배출량을 크게 감소시킬 것이다. {2.3.3.2, 4.3.6}

대부분의 이산화탄소흡수 옵션은 많은 이행 가능성의 제약에 직면하고 있으며, 이는 옵션마다 상이한데, 제2장에서 기술한 1.5℃에 상응하는 경로에 필요한 대규모 확대를 지속적으로 달성할 수 있는 단일 옵션의 잠재력을 제한한다(*높은 신뢰도*). 이러한 1.5℃ 경로들은 일반적으로 총 탄소배출총량을 초과하는 이산화탄소 배출량을 줄이거나 회피하기에는 너무 비용이 높은 배출을 중립화하기 위해 BECCS, AR 또는 둘 모두를 이용하는 바이오에너지 기술에 의존한다. {제2장} BECCS와 AR은 기술적, 지구물리학적으로 실현가능하지만 토지 이용과 관련해 부분적으로 중복되면서 상이한 제약에 직면하고 있다. 흡수된 이산화탄소 1톤당 토지 발자국은 BECCS보다 AR에서 더 높지만 현재의 낮은 보급률을 감안할 때, 대중의 수용과 경제적 인센티브의 부재와 같은 이슈들이 해결된다 할지라도 온난화를 1.5℃로 억제하는 데 필요한 속도와 규모에서 상당한 이행의 어려움이 제기된다(*높은 동의 수준, 중간 증거 수준*). 숲이 포화됨에 따라, 신규 조림의 큰 잠재력과 적절하게(예, 생물다양성, 토양의 질) 이행될 경우의 공동편익은 시간이 지나면서 감소할 것이다(*높은 신뢰도*). 대기 탄소 직접 포획 및 저장(DACCS)과 이산화탄소 풍화 작용의 강화(enhanced weathering)에 필요한 에너지와 경제적 비용은 여전히 높은 수준이다(중간 증거 수준, 중간 동의 수준). 국지적인 토양 탄소 격리는 농업과는 공동편익을 가지며 기후 정책이 마련되지 않은 조건에서도 비용 측면에서 효과적이다. 전지구적인 규모에서 이 옵션의 잠재적 이행 가능성 및 비용 효과성은 더욱 제한적으로 나타난다. {4.3.7}

태양복사조절(SRM) 조치의 불확실성은 잠재적인 확산을 제한한다. 이 불확실성에는 다음이 포함된다: 기술적 미성숙, 지구온난화 억제에 있어 효과성에 대한 물리적 이해 부족, 이 수단에 대한 관리, 합법화, 확대할 역량 부족. 일부 최근 모델에 기반한 분석은 SRM이 효과적일 것이나 이행 가능성을 평가하는 것은 아직 시기상조임을 보여주었다. SRM의 가장 부정적인 부작용이 회피 될 수 있는 불확실한 사례에서조차 대중의 저항, 윤리적 문제, 지속가능발전에 미치는 잠재적 영향으로 인해 SRM은 경제적, 사회적, 제도적으로 바람직하지 않게 된다(*낮은 동의 수준, 중간 증거 수준*). {4.3.8, 본 장 교차챕터 박스 10}

신속하고 광범위한 변화 지원

산업화 이전 수준 대비 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 데 필요한 전환과 기술의 변화 속도가 과거에 특정 부문과 기술에서 관찰되었다{4.2.2.1}. 그러나 에너지, 토지, 도시, 기반시설, 산업 시스템의 변화 속도에 필요한 지리적 및 경제적 규모는 더 클 것이며 과거에 기록된 바가 없다(*제한적 증거 수준, 중간 동의 수준*). 불평등을 줄이고 빈곤을 해소하기 위해 이러한 전환은 과거에 관측된 것보다 더 많은 계획과 더욱 강력한 제도(포용적 시장을 포함)를 필요로 할 것이며 또한 거버넌스 행위자들과 규모를 가로질러 더욱 강력한 협력과 와해성(disruptive) 혁신을 필요로 할 것이다. {4.3, 4.4}

온난화를 1.5℃로 억제하는 것에 상응하는 거버넌스와 적응 및 완화의 정치 경제는 시스템 전환, 행동 변화, 혁신, 기술 보급을 가능하게 하고 가속화할 수 있다(*중간 증거 수준, 중간 동의 수준*). 1.5℃에 상응하는 행동을 위한 효과적인 거버넌스 체제에는 다음이 포함될 것이다: 산업계, 시민 사회, 연구 기관과 같은 비국가 행위자들을 포함하는 책임성 있는 다층적 거버넌스, 협력적인 여러 이해관계자 파트너십을 가능하게 하는 조율된 부문별 및 범부문적 정책, 재정과 기술에 대한 접근 확대를 가능하게 하는 전지구 및 지역 금융 구조 강화, 기후와 관련된 무역 장벽의 해소, 기후 교육 개선 및 대중 인식 고취, 행동 변화를 가속화할 수 있게 하는 계획, 기후 모니터링 및 평가 시스템 강화, 형평성 및 지속가능발전목표(SDGs)에 민감한 국제적인 호혜 협정. 시스템 전환은 기후변화 정책 계획 및 그 이행을 가속화하는 공공, 민간, 금융 기관의 역량 강화와 함께 기술 혁신, 확대, 유지의 가속화를 통해 가능해진다. {4.4.1, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.4}

행동 변화와 수요 측면의 관리는 배출량을 크게 저감할 수 있으며, 1.5℃ 로의 온난화 억제를 위해 이산화탄소 흡수에 대한 의존성을 크게 낮출 수 있다 {제2장, 4.4.3}. 정치 및 금융의 이해 관계자들은 사람들의 핵심 가치관과 행동 조정을 포함해 행동에 영향을 미치는 여러 요인들을 고려한다면, 기후 행동이 더욱 비용 효과적이고 사회적 수용성이 가능하다는 것을 발견할 수 있을 것이다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). 행동 및 생활방식과 관련된 조치 및 수요 관리는 이미 전 세계 배출량의 감소를 가져왔으며, 향후 상당한 저감을 가능하게 할 수 있다(*높은 신뢰도*). 상향식 이니셔티브를 통한 사회적 혁신은 시스템 전환 거버넌스에 대한 더욱 많은 참여와 1.5℃에 대한 전지구적 대응의 일부인 기술과 실천 및 정책에 대한 지지 증대를 가져올 수 있다.

Converging adaptation and mitigation options can lead to synergies and potentially increase cost-effectiveness, but multiple trade-offs can limit the speed of and potential for scaling up. Many examples of synergies and trade-offs exist in all sectors and system transitions. For instance, sustainable water management (*high evidence, medium agreement*) and investment in green infrastructure (*medium evidence, high agreement*) to deliver sustainable water and environmental services and to support urban agriculture are less cost-effective than other adaptation options but can help build climate resilience. Achieving the governance, finance and social support required to enable these synergies and to avoid trade-offs is often challenging, especially when addressing multiple objectives, and attempting appropriate sequencing and timing of interventions. {4.3.2, 4.3.4, 4.4.1, 4.5.2, 4.5.3, 4.5.4}

Though CO_2 dominates long-term warming, the reduction of warming short-lived climate forcers (SLCFs), such as methane and black carbon, can in the short term contribute significantly to limiting warming to 1.5°C above pre-industrial levels. Reductions of black carbon and methane would have substantial co-benefits (*high confidence*), including improved health due to reduced air pollution. This, in turn, enhances the institutional and socio-cultural feasibility of such actions. Reductions of several warming SLCFs are constrained by economic and social feasibility (*low evidence, high agreement*). As they are often co-emitted with CO_2, achieving the energy, land and urban transitions necessary to limit warming to 1.5°C would see emissions of warming SLCFs greatly reduced. {2.3.3.2, 4.3.6}

Most CDR options face multiple feasibility constraints, which differ between options, limiting the potential for any single option to sustainably achieve the large-scale deployment required in the 1.5°C-consistent pathways described in Chapter 2 (*high confidence*). Those 1.5°C pathways typically rely on bioenergy with carbon capture and storage (BECCS), afforestation and reforestation (AR), or both, to neutralize emissions that are expensive to avoid, or to draw down CO_2 emissions in excess of the carbon budget {Chapter 2}. Though BECCS and AR may be technically and geophysically feasible, they face partially overlapping yet different constraints related to land use. The land footprint per tonne of CO_2 removed is higher for AR than for BECCS, but given the low levels of current deployment, the speed and scales required for limiting warming to 1.5°C pose a considerable implementation challenge, even if the issues of public acceptance and absence of economic incentives were to be resolved (*high agreement, medium evidence*). The large potential of afforestation and the co-benefits if implemented appropriately (e.g., on biodiversity and soil quality) will diminish over time, as forests saturate (*high confidence*). The energy requirements and economic costs of direct air carbon capture and storage (DACCS) and enhanced weathering remain high (*medium evidence, medium agreement*). At the local scale, soil carbon sequestration has co-benefits with agriculture and is cost-effective even without climate policy (high confidence). Its potential feasibility and cost-effectiveness at the global scale appears to be more limited. {4.3.7}

Uncertainties surrounding solar radiation modification (SRM) measures constrain their potential deployment. These uncertainties include: technological immaturity; limited physical understanding about their effectiveness to limit global warming; and a weak capacity to govern, legitimize, and scale such measures. Some recent model-based analysis suggests SRM would be effective but that it is too early to evaluate its feasibility. Even in the uncertain case that the most adverse side-effects of SRM can be avoided, public resistance, ethical concerns and potential impacts on sustainable development could render SRM economically, socially and institutionally undesirable (*low agreement, medium evidence*). {4.3.8, Cross-Chapter Box 10 in this chapter}

Enabling Rapid and Far-Reaching Change

The speed of transitions and of technological change required to limit warming to 1.5°C above pre-industrial levels has been observed in the past within specific sectors and technologies {4.2.2.1}. But the geographical and economic scales at which the required rates of change in the energy, land, urban, infrastructure and industrial systems would need to take place are larger and have no documented historic precedent *(limited evidence, medium agreement)*. To reduce inequality and alleviate poverty, such transformations would require more planning and stronger institutions (including inclusive markets) than observed in the past, as well as stronger coordination and disruptive innovation across actors and scales of governance. {4.3, 4.4}

Governance consistent with limiting warming to 1.5°C and the political economy of adaptation and mitigation can enable and accelerate systems transitions, behavioural change, innovation and technology deployment (*medium evidence, medium agreement*). For 1.5°C-consistent actions, an effective governance framework would include: accountable multilevel governance that includes non-state actors, such as industry, civil society and scientific institutions; coordinated sectoral and cross-sectoral policies that enable collaborative multi-stakeholder partnerships; strengthened global-to-local financial architecture that enables greater access to finance and technology; addressing climate-related trade barriers; improved climate education and greater public awareness; arrangements to enable accelerated behaviour change; strengthened climate monitoring and evaluation systems; and reciprocal international agreements that are sensitive to equity and the Sustainable Development Goals (SDGs). System transitions can be enabled by enhancing the capacities of public, private and financial institutions to accelerate climate change policy planning and implementation, along with accelerated technological innovation, deployment and upkeep. {4.4.1, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.4}

Behaviour change and demand-side management can significantly reduce emissions, substantially limiting the reliance on CDR to limit warming to 1.5°C {Chapter 2, 4.4.3}. Political and financial stakeholders may find climate actions more cost-effective and socially acceptable if multiple factors affecting behaviour are considered, including aligning these actions with people's core values (*medium evidence, high agreement*). Behaviour- and lifestyle-related measures and demand-side management have already led to emission reductions around the world and can enable significant future reductions (*high confidence*). Social innovation through bottom-up initiatives can result in greater participation in the governance of systems transitions and increase support for technologies, practices

{제2장, 4.4.1, 4.4.3, 그림 4.3}

온난화를 1.5℃ 미만으로 유지하고 기후 리스크에 대한 역량 강화에 필요한 신속하고 광범위한 대응에는 현재 투자가 부족한 분야인 저배출 기반시설 및 건물에 대한 대규모 투자와 더불어 저배출 투자로의 자금 흐름 재설정이 필요하다(*통계적으로 유의미한 증거 수준, 높은 동의 수준*). 2016-2035년 에너지 분야에 대해 전세계 총고정자본 형성(GFCF)의 약 1.5%의 평균 연간 증분이 투자되는 것으로 나타나고 있으며, SDG 이행을 다룰 수 있는 기타 발전 기반시설에 대해서는 전세계 GFCF의 약 2.5%로 나타난다. 양질의 정책 설계와 효과적인 이행이 효율을 개선할 수 있지만, 그러한 운영이 이러한 투자를 완전히 대체할 수는 없다. {2.5.2, 4.2.1, 4.4.5}

이러한 투자를 가능하게 하기 위해서는 사회적으로 비효율적인 화석 연료 보조금 체계의 축소 및 혁신적인 가격/비가격 국내 및 국제적 정책 도구와 같은 **일련의 정책 도구들의 동원과 보다 나은 통합이 필요하다.** 이는 리스크 회피 금융 수단 및 장기적인 저배출 자산의 출현으로 보완되어야 할 것이다. 이러한 정책 도구들은 탄소 집약적인 서비스에 대한 수요를 낮추며 화석 연료 기반 기술에 대한 시장 선호도 탈피를 목표로 한다. 증거와 이론은 의도하지 않은 범부문적이고 범국가적인 분배상의 영향을 보상하기 위한 충분한 이전이 없는 상태에서 탄소의 가격 제도만으로는 시스템 전환을 촉발하는 데 필요한 수준에 도달할 수 없다는 것을 보여준다(*통계적으로 유의미한 증거 수준, 중간 동의 수준*). 그러나 일관된 정책 패키지 내에 포함된다면 점진적인 자원 동원에 도움이 될 수 있고 전환의 촉발 단계의 사회적, 경제적 비용을 절감시키는 유연한 메커니즘을 제공할 수 있다(*통계적으로 유의미한 증거 수준, 중간 동의 수준*). {4.4.3, 4.4.4, 4.4.5}

점차 많은 증거를 통해, 저배출, 기후 복원력 있는 기반시설 및 서비스로의 저축 및 지출의 기후에 민감한 재조정에는 세계적 및 국가별 금융 시스템의 발전을 필요로 한다는 것이 입증되고 있다. 추정에 따르면 공공 투자의 기후 친화적 배분 이외에도, 지구온난화를 1.5℃로 억제하기 위해서는 연간 자본 수입[5]의 5-10%의 잠재적인 재배정이 필요하다 {4.4.5, 박스 4.8의 표 1}. 이는 민간의 일일 지출에 대한 인센티브의 변화와 투기적이고 신중한 투자로부터 장기적으로 생산적인 저배출 자산과 서비스로의 저축의 방향 전환을 통해 촉진될 수 있다. 이는 금융 및 은행 시스템 규제에서 제도권 투자자들과 기후 금융의 주류화를 의미한다. 다자간 및 국가 개발 은행을 통해 낮은 리스크 및 낮은 이자 금융에 대한 개도국의 접근을 용이하게 해야 할 것이다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). 소규모기업의 새로운 사업 모델을 지원하고 자본 접근이 제한되는 가구들을 도와주며 기후 친화적인 투자 리스크를 제거하기 위해 다자간, 국가 및 지자체의 보증을 이용한 새로운 형태의 민관 파트너십이 필요할 수도 있다. 궁극적으로, 장기적인 저배출 자산으로 포트폴리오 이동을 촉진시키는 것이 목표이며, 이는 잠재적으로 좌초 자산 상태에서 자본의 방향을 바꾸는 것을 도울 것이다. {4.4.5}

지식 격차

1.5℃ 세계로의 전환을 실현하기 위해서는 기후변화에 대한 전지구적 대응 이행과 강화에 관한 지식 격차의 해소가 시급하다. 아직 해답을 찾지 못한 질문들은 다음과 같다: 복원력 개선, 적응 강화, 온실가스 배출량 저감에 있어 혁신, 행동 및 체계적인 정치적, 경제적 변화로부터 현실적으로 얼마나 기대할 수 있는가? 변화 속도를 어떻게 가속화하고 확대할 수 있는가? 지속가능한 발전, 빈곤 퇴치, 불평등 해소에 부합하는 완화 및 적응 토지 전환에 대한 현실적인 평가 결과는 무엇인가? 초기 단계 이산화탄소흡수 옵션 전망 및 전주기 배출량은 어떠한가? 기후 정책과 지속가능발전 정책을 어떻게 수렴시킬 수 있고 어떻게 정의와 윤리의 원칙(공통의 그러나 차별화된 책임과 개별 역량(CBDR-RC)) 및 호혜와 파트너십의 기조, 전지구적인 거버넌스 체계와 금융 시스템 내에서 조직화할 수 있는가? 온난화를 1.5℃로 억제하는 데에는 중앙은행과 같은 금융 규제 기관이 포함될 수 있는 거시적 금융 정책과 재정 정책들의 조화를 얼마나 필요로 하는가? 기후 거버넌스의 여러 행위자 및 그 절차가 어떻게 서로를 강화할 수 있고 이니셔티브의 분절을 방지할 수 있는가? {4.1, 4.3.7, 4.4.1, 4.4.5, 4.6}

5) 연간 자본 수입은 지불된 이자와 자산 증가분의 합

and policies that are part of the global response to limit warming to 1.5°C . {Chapter 2, 4.4.1, 4.4.3, Figure 4.3}

This rapid and far-reaching response required to keep warming below 1.5°C and enhance the capacity to adapt to climate risks would require large increases of investments in low-emission infrastructure and buildings, along with a redirection of financial flows towards low-emission investments (*robust evidence, high agreement*). An estimated mean annual incremental investment of around 1.5% of global gross fixed capital formation (GFCF) for the energy sector is indicated between 2016 and 2035, as well as about 2.5% of global GFCF for other development infrastructure that could also address SDG implementation. Though quality policy design and effective implementation may enhance efficiency, they cannot fully substitute for these investments. {2.5.2, 4.2.1, 4.4.5}

Enabling this investment requires the mobilization and better integration of a range of policy instruments that include the reduction of socially inefficient fossil fuel subsidy regimes and innovative price and non-price national and international policy instruments. These would need to be complemented by de-risking financial instruments and the emergence of long-term low-emission assets. These instruments would aim to reduce the demand for carbon-intensive services and shift market preferences away from fossil fuel-based technology. Evidence and theory suggest that carbon pricing alone, in the absence of sufficient transfers to compensate their unintended distributional cross-sector, cross-nation effects, cannot reach the incentive levels needed to trigger system transitions (*robust evidence, medium agreement*). But, embedded in consistent policy packages, they can help mobilize incremental resources and provide flexible mechanisms that help reduce the social and economic costs of the triggering phase of the transition (*robust evidence, medium agreement*). {4.4.3, 4.4.4, 4.4.5}

Increasing evidence suggests that a climate-sensitive realignment of savings and expenditure towards low-emission, climate-resilient infrastructure and services requires an evolution of global and national financial systems. Estimates suggest that, in addition to climate-friendly allocation of public investments, a potential redirection of 5% to 10% of the annual capital revenues[5] is necessary for limiting warming to 1.5°C {4.4.5, Table 1 in Box 4.8}. This could be facilitated by a change of incentives for private day-to-day expenditure and the redirection of savings from speculative and precautionary investments towards long-term productive low-emission assets and services. This implies the mobilization of institutional investors and mainstreaming of climate finance within financial and banking system regulation. Access by developing countries to low-risk and low-interest finance through multilateral and national development banks would have to be facilitated (*medium evidence, high agreement*). New forms of public–private partnerships may be needed with multilateral, sovereign and sub-sovereign guarantees to de-risk climate-friendly investments, support new business models for small-scale enterprises and help households with limited access to capital. Ultimately, the aim is to promote a portfolio shift towards long-term low-emission assets that would help redirect capital away from potentially stranded assets (*medium evidence, medium agreement*). {4.4.5}

Knowledge Gaps

Knowledge gaps around implementing and strengthening the global response to climate change would need to be urgently resolved if the transition to a 1.5°C world is to become reality. Remaining questions include: how much can be realistically expected from innovation and behavioural and systemic political and economic changes in improving resilience, enhancing adaptation and reducing GHG emissions? How can rates of changes be accelerated and scaled up? What is the outcome of realistic assessments of mitigation and adaptation land transitions that are compliant with sustainable development, poverty eradication and addressing inequality? What are life-cycle emissions and prospects of early-stage CDR options? How can climate and sustainable development policies converge, and how can they be organised within a global governance framework and financial system, based on principles of justice and ethics (including 'common but differentiated responsibilities and respective capabilities' (CBDR-RC)), reciprocity and partnership? To what extent would limiting warming to 1.5°C require a harmonization of macro-financial and fiscal policies, which could include financial regulators such as central banks? How can different actors and processes in climate governance reinforce each other, and hedge against the fragmentation of initiatives? {4.1, 4.3.7, 4.4.1, 4.4.5, 4.6}

[5] Annual capital revenues are the paid interests plus the increase of the asset value.

TS.5 지속가능발전, 빈곤 퇴치 및 불평등 감소

이 챕터는 지속가능발전을 분석의 출발점이자 초점으로 둔다. 이 챕터는 1.5℃ 더 온난한 세계에서, 그 다차원적 측면의 불평등 감소와 빈곤 퇴치에 대한 초점을 두고 지속가능발전과 기후 행동 간의 광범위하고 다면적인 양방향 상호작용을 고려한다. 이러한 기초적 연계는 SDG에 깊숙히 들어있다. 이 챕터는 또한 지속가능한 발전과 함께 적응 및 완화 옵션과 SDG간의 시너지 및 상충을 조사하며, 특히, 1.5℃ 더 온난한 세계로의 기후 복원력 있는 발전 경로를 포함해 가능한 경로에 대한 시사점을 제공한다.

1.5℃ 더 온난한 세계에서의 지속가능발전, 빈곤 및 불평등

산업화 이전 수준과 대비하여 온난화를 2℃가 아닌 1.5℃로 억제하면 지속가능발전의 여러 측면의 달성이 훨씬 더 용이해지며, 빈곤 퇴치와 불평등 감소 가능성은 더욱 커질 것이다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). 더 낮은 온도를 달성한다면 기후 리스크에 노출되고 빈곤에 취약한 사람들의 수를 6,200만명~4억 5,700만명 감소시킬 수 있으며 특히, 이미 발전상의 어려움을 겪고 있는 지역에서 빈곤층이 식량과 물 부족, 부정적인 건강 영향, 경제적 손실을 경험할 리스크를 낮출 수 있다(*중간 증거 수준, 중간 동의 수준*). {5.2.2, 5.2.3} 1.5℃와 2℃ 온난화 사이에서 회피 될 수 있는 영향은 빈곤, 기아, 건강, 물 및 위생, 도시, 생태계와 관련된 (SDG 1, 2, 3, 6, 12, 14, 15) 특정 SDG의 달성을 더욱 용이하게 할 것이다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*).{5.2.3, 본 장 끝 부분에 있는 표 5.2}

그럼에도 불구하고 1.5℃ 지구온난화는 현재 조건에 비해 빈곤 퇴치, 불평등 감소, 생태계와 인간 복지 보장에 대해 높은 리스크를 보여준다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). 1.5℃ 온난화는 대부분의 국가, 공동체, 생태계 및 부문에서 '안전'한 것으로 간주되지 않으며 현재의 1℃ 온난화에 비해 자연계 및 인간계에 상당한 리스크를 가져온다(*높은 신뢰도*). {제5장 교차챕터 박스 12} 1.5℃의 영향은 식량 불안정, 식량 가격 상승, 수입 손실, 생계 기회 상실, 건강에 대한 부정적인 영향과, 인구 퇴거(displacemen)를 통해 취약 계층에 불균형적인 영향을 미칠 것이다 (*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). {5.2.1} 지속가능발전에 대한 최악의 영향 중 일부는 농업 및 연안에 의존적인 생계, 원주민, 아동 및 노약자, 빈곤 노동 계층, 아프리카의 빈곤한 도시 거주자들, 북극과 군소도서개발도상국(SIDS)의 거주자들과 생태계가 경험할 것으로 예상된다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*) {5.2.1 박스 5.3, 제3장, 박스 3.5, 제4장 교차챕터 박스 9}.

기후 적응과 지속가능발전

지속가능발전의 우선순위 배정 및 SDG의 충족은 기후변화에 대한 적응 노력과 부합된다(*높은 신뢰도*). 지속가능발전을 위한 많은 전략들은 1.5℃ 더 온난한 세계에 대한 전환적 적응을 가능하게 하며, 모든 형태의 빈곤 감소와 형평성 및 의사 결정에 대한 참여 촉진에 관심을 가지고 있다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). 그렇기 때문에 지속가능발전은 빈곤층과 취약층의 구조적인 취약성을 크게 줄이고 적응 역량을 향상시키며 생계 안정성을 지원할 잠재력을 가지고 있다(*높은 신뢰도*). {5.3.1}

1.5℃ 더 온난한 세계에서 여러 분야와 상황에 걸친 적응 전략과 SDG간의 시너지는 유효할 것으로 기대된다(*중간 증거 수준, 중간 동의 수준*). 적응과 지속가능발전 간의 시너지는 농업과 건강 및 SDG1(빈곤 퇴치), SDG 2(기아 종식 및 지속가능한 농업), SDG 3(건강 및 웰빙) 및 SDG 6(깨끗한 물과 위생)를 강화하는 데 상당한 것으로 나타난다(*통계적으로 유의미한 증거 수준, 중간 동의 수준*) {5.3.2}. 건조한 지역 및 극지방의 사례에서 알 수 있듯이 생태계 및 공동체 기반의 적응은 토착 및 지역 지식의 통합과 함께, SDG5(성평등), SDG10(불평등 해소), SDG 16(정의, 평화, 효과적인 제도)과 시너지를 강화한다(*높은 증거 수준, 중간 동의 수준*) {5.3.2, 박스 5.1, 제4장 교차챕터 박스 10}.

적응 전략은 SDG와의 그리고 SDG 간에 상충을 가져올 수 있다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). 특정 SDG에 도움이 되는 전략이 다른 SDG에는 부정적 영향을 미칠 수도 있는데, 그 예로는 SDG 3(건강 및 웰빙) 대 SDG 7(모두를 위한 깨끗한 에너지) 및 농업분야 적응, SDG 2(기아 종식 및 지속가능한 농업) 대 SDG 3(건강 및 웰빙), 5(성평등), 6(깨끗한 물과 위생), 10(불평등 해소), 14(해양생태계 보존) 및 15(육상생태계 보호)가 있다(*중간 증거 수준, 중간 동의 수준*) {5.3.2}

1.5℃ 더 온난한 세계에 대한 상황에 맞는 적응 경로의 추구는 발전 수준과 무관하게 모든 국가에서 복지에 상당한 긍정적 영향을 미칠 잠재력을 가지고 있다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). 적응 경로가 다음과 같은 경우에 긍정적 결과를 기대할 수 있다. (i) 사람들의 가치와 그들이 수용 가능하다고 인정하는 상충에 기반한 적응 옵션의 다양성 보장, (ii) 포용적, 참여적, 숙의적 절차를 통한 지속가능발전과의 시너지 극대화, (iii) 형평성 있는 전환 촉진. 그러나 경로 의존성, 불균등한 권력 구조, 사회에 내재한 불평등을 극복할 재분배 수단 없이는 이러한 경로의 달성이 어려울 것이다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). {5.3.3}

완화와 지속가능발전

1.5℃ 경로에 상응하는 완화 옵션의 확대는 지속가능발전의 여러 차원에 걸쳐 다양한 시너지를 가져온다. 동시에 온난화를 1.5℃로 억제하는 데 필요한 변화 속도와 규모는 신중하게 관리하지 않을 경우 일부 지속가능발전 차원과 상충을 일으킬 수 있다(*높은 신뢰도*). 감축 대응 옵션과 지속가능발전 간 시너지의 수는 에너지 수요와 공급 분야, 농업, 임업 및 기타 토지 이용(AFOLU), 해양에서 나타나는 상충의 수를 넘어선다(*매우 높은 신뢰도*). {그림 5.2, 본 장 끝 부분에 있는 표 5.2} 1.5℃ 경로는 특히 SDG 3(건강 및 웰빙), 7(모두를 위한 깨끗한 에너지), 12(지속가능한 생산과 소비), 14(해양생태계 보존)에 대해 확고한 시너지를 가진다(*매우 높은 신뢰도*). {5.4.2, 그림 5.3}

TS.5 Sustainable Development, Poverty Eradication and Reducing Inequalities

This chapter takes sustainable development as the starting point and focus for analysis. It considers the broad and multifaceted bi-directional interplay between sustainable development, including its focus on eradicating poverty and reducing inequality in their multidimensional aspects, and climate actions in a 1.5°C warmer world. These fundamental connections are embedded in the Sustainable Development Goals (SDGs). The chapter also examines synergies and trade-offs of adaptation and mitigation options with sustainable development and the SDGs and offers insights into possible pathways, especially climate-resilient development pathways towards a 1.5°C warmer world.

Sustainable Development, Poverty and Inequality in a 1.5°C Warmer World

Limiting global warming to 1.5°C rather than 2°C above pre-industrial levels would make it markedly easier to achieve many aspects of sustainable development, with greater potential to eradicate poverty and reduce inequalities (*medium evidence, high agreement*). Impacts avoided with the lower temperature limit could reduce the number of people exposed to climate risks and vulnerable to poverty by 62 to 457 million, and lessen the risks of poor people to experience food and water insecurity, adverse health impacts, and economic losses, particularly in regions that already face development challenges (*medium evidence, medium agreement*). {5.2.2, 5.2.3} Avoided impacts expected to occur between 1.5°C and 2°C warming would also make it easier to achieve certain SDGs, such as those that relate to poverty, hunger, health, water and sanitation, cities and ecosystems (SDGs 1, 2, 3, 6, 11, 14 and 15) (*medium evidence, high agreement*). {5.2.3, Table 5.2 available at the end of the chapter}

Compared to current conditions, 1.5°C of global warming would nonetheless pose heightened risks to eradicating poverty, reducing inequalities and ensuring human and ecosystem well-being (*medium evidence, high agreement*). Warming of 1.5°C is not considered 'safe' for most nations, communities, ecosystems and sectors and poses significant risks to natural and human systems as compared to the current warming of 1°C (*high confidence*). {Cross-Chapter Box 12 in Chapter 5} The impacts of 1.5°C of warming would disproportionately affect disadvantaged and vulnerable populations through food insecurity, higher food prices, income losses, lost livelihood opportunities, adverse health impacts and population displacements (*medium evidence, high agreement*). {5.2.1} Some of the worst impacts on sustainable development are expected to be felt among agricultural and coastal dependent livelihoods, indigenous people, children and the elderly, poor labourers, poor urban dwellers in African cities, and people and ecosystems in the Arctic and Small Island Developing States (SIDS) (*medium evidence, high agreement*). {5.2.1, Box 5.3, Chapter 3, Box 3.5, Cross-Chapter Box 9 in Chapter 4}

Climate Adaptation and Sustainable Development

Prioritization of sustainable development and meeting the SDGs is consistent with efforts to adapt to climate change (*high confidence*). Many strategies for sustainable development enable transformational adaptation for a 1.5°C warmer world, provided attention is paid to reducing poverty in all its forms and to promoting equity and participation in decision-making (*medium evidence, high agreement*). As such, sustainable development has the potential to significantly reduce systemic vulnerability, enhance adaptive capacity, and promote livelihood security for poor and disadvantaged populations (*high confidence*). {5.3.1}

Synergies between adaptation strategies and the SDGs are expected to hold true in a 1.5°C warmer world, across sectors and contexts (*medium evidence, medium agreement*). Synergies between adaptation and sustainable development are significant for agriculture and health, advancing SDGs 1 (extreme poverty), 2 (hunger), 3 (healthy lives and well-being) and 6 (clean water) (*robust evidence, medium agreement*). {5.3.2} Ecosystem- and community-based adaptation, along with the incorporation of indigenous and local knowledge, advances synergies with SDGs 5 (gender equality), 10 (reducing inequalities) and 16 (inclusive societies), as exemplified in drylands and the Arctic (*high evidence, medium agreement*). {5.3.2, Box 5.1, Cross-Chapter Box 10 in Chapter 4}

Adaptation strategies can result in trade-offs with and among the SDGs (*medium evidence, high agreement*). Strategies that advance one SDG may create negative consequences for other SDGs, for instance SDGs 3 (health) versus 7 (energy consumption) and agricultural adaptation and SDG 2 (food security) versus SDGs 3 (health), 5 (gender equality), 6 (clean water), 10 (reducing inequalities), 14 (life below water) and 15 (life on the land) (*medium evidence, medium agreement*). {5.3.2}

Pursuing place-specific adaptation pathways towards a 1.5°C warmer world has the potential for significant positive outcomes for well-being in countries at all levels of development (*medium evidence, high agreement*). Positive outcomes emerge when adaptation pathways (i) ensure a diversity of adaptation options based on people's values and the trade-offs they consider acceptable, (ii) maximize synergies with sustainable development through inclusive, participatory and deliberative processes, and (iii) facilitate equitable transformation. Yet such pathways would be difficult to achieve without redistributive measures to overcome path dependencies, uneven power structures, and entrenched social inequalities (*medium evidence, high agreement*). {5.3.3}

Mitigation and Sustainable Development

The deployment of mitigation options consistent with 1.5°C pathways leads to multiple synergies across a range of sustainable development dimensions. At the same time, the rapid pace and magnitude of change that would be required to limit warming to 1.5°C, if not carefully managed, would lead to trade-offs with some sustainable development dimensions (*high confidence*). The number of synergies between mitigation response options and sustainable development exceeds the number of trade-offs in energy demand and supply sectors; agriculture, forestry and other land use (AFOLU); and for oceans (*very high confidence*). {Figure 5.2, Table 5.2 available at the end of the chapter} The 1.5°C pathways

SDG 1(빈곤 퇴치), 2(기아 종식 및 지속가능한 농업), 6(깨끗한 물과 위생), 7(모두를 위한 깨끗한 에너지)에 대해서는 1.5℃ 경로에 상응하는 엄격한 감축 조치에서 상충 또는 부정적인 부작용 리스크가 존재한다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). {5.4.2}

에너지 수요를 줄이기 위해 적절하게 설계된 완화 행동은 여러 SDG를 동시에 개선할 수 있다. 낮은 에너지 수요를 특징으로 하는 1.5℃에 상응하는 경로가 가장 현저한 시너지를 보여주며 동시에 지속가능한 발전 및 SDGs와 가장 낮은 수의 상충을 보인다(*매우 높은 신뢰도*). 모든 분야에서 에너지 효율 개선의 가속화는 SDG 7(모두를 위한 깨끗한 에너지), 9(사산업, 혁신, 사회기반시설), 11(지속가능한 도시), 12(지속가능한 생산과 소비), 16(정의, 평화, 효과적인 제도), 17(지구촌 협력)번과 시너지를 가진다(*통계적으로 유의미한 증거 수준, 높은 동의 수준*). {5.4.1, 그림 5.2, 표 5.2} 1.5℃ 경로 가운데 BECCS에 대한 의존을 줄이거나 완전히 피할 수 있는 저수요 경로는 식량 안보에 대한 압박을 상당히 줄이고, 식량 가격을 낮추며, 기아 리스크에 처한 사람의 수를 줄일 것이다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). {5.4.2, 그림 5.3}

이산화탄소흡수 옵션이 SDG에 미치는 영향은 옵션의 종류 및 그 확대 범위에 좌우된다(*높은 신뢰도*). 잘 이행되지 못할 경우, 바이오에너지, BECCS, AFOLU와 같은 이산화탄소흡수 옵션은 상충을 가져올 것이다. 적절한 설계와 이행을 위해서는 지역 주민들의 필요, 생물다양성 및 기타 지속가능한 발전 차원에서의 고려가 필요하다 (*매우 높은 신뢰도*) {5.4.1.3, 제3장 교차챕터 박스 7}.

온난화를 1.5℃로 억제하기 위한 감축 포트폴리오 및 정책 도구의 설계가 완화와 지속가능발전 간의 전반적인 시너지와 상충을 주로 결정할 것이다(*매우 높은 신뢰도*). 빈곤층과 취약층을 보호하는 재분배 정책은 일련의 SDG에 대한 상충을 해결할 수 있다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). 개별적인 감축 조치는 SDG와 긍정적· 부정적 상호작용과 모두 관련되어 있다(*매우 높은 신뢰도*). {5.4.1} 그러나 감축 포트폴리오의 적절한 선택은 긍정적 부작용을 최대화하고 부정적 부작용을 최소화할 수 있다(*높은 신뢰도*). {5.4.2, 5.5.2} 1.5℃ 경로에서 SDG 중 일부와의 상충을 해결하는 보완 정책에 대한 투자 수요는 전체적 감축 투자의 작은 부분에 해당한다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). {5.4.2, 그림 5.4} 1.5℃ 온난화에 부합하는 완화와 적응 및 지속가능발전의 통합은 체계적인 관점을 필요로 한다(*높은 신뢰도*). {5.4.2, 5.5.2}

1.5℃ 온난화에 상응하는 감축은 수익 및 고용 창출과 관련해 화석 연료에 의존성이 높은 국가에서는 지속가능발전에 높은 리스크를 발생시킨다(*높은 신뢰도*). 이러한 리스크는 광업 활동 및 수출 수익에 영향을 미치는 전 세계 수요 감소와 국내 경제에서 높은 탄소집약도의 신속한 저감의 어려움으로 인해 발생한다(*통계적으로 유의미한 증거 수준, 높은 동의 수준*). {5.4.1.2, 박스 5.2} 경제와 에너지 분야에서 다각화 장려를 겨냥한 정책이 이러한 전환을 원활하게 할 수 있다 (*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). {5.4.1.2, 박스 5.2}

1.5℃로의 지속가능발전 경로

지속가능발전은 보통 산업화 이전 수준 대비 온난화를 1.5℃로 억제하는 데 필요할 근본적인 사회 및 시스템의 전환을 가능하게 하고 광범위하게 지원한다(*높은 신뢰도*). 가장 지속가능한 세계를 특징으로 시뮬레이션 된 경로(예, 공유 사회경제적 경로(Shared Socioeconomic Pathways(SPP) 1)는 보다 낮은 완화 및 적응 어려움과 관련되고 더 낮은 감축 비용으로 온난화를 1.5℃로 억제한다. 이와는 대조적으로 높은 분절화, 불평등과 빈곤을 특징으로 하는 발전 경로는(예, SSP3) 상대적으로 높은 완화 및 적응 어려움과 관련된다. 이 경로에서는, 방대한 다수의 통합 평가 모델에서 1.5℃로 온난화를 억제하는 것이 불가능하다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). {5.5.2} 모든 SSP에서 감축 비용은 2℃ 경로보다 1.5℃ 경로에서 상당히 증가한다. 문헌 중 어떤 경로도 17개의 SDG 모두를 포함 또는 달성하지는 못한다(*높은 신뢰도*). {5.5.2} 프로젝트 수준에서의 현장 경험은 적응, 완화 및 지속가능발전의 실질적인 통합이 부문과 공간적 규모에 걸쳐 상충에 대한 조율을 필요로 한다는 점에서 상당히 어려운 과제라는 것을 보여준다(*매우 높은 신뢰도*). {5.5.1}

사회적 전환 및 도전적인 온실가스 저감 조치의 신속한 이행 없이 온난화를 1.5℃로 억제하고 지속가능발전을 달성하는 경로의 달성은 불가능하지 않지만, 극도로 어려울 것이다(*높은 신뢰도*). 이러한 경로 추구의 잠재력은 각기 다른 발전 궤적, 기회와 과제로 인해 국가 및 지역간 그리고 국가 및 지역 내에서 다르게 나타난다 (*매우 높은 신뢰도*). {5.5.3.2, 그림 5.1} 온난화를 1.5℃ 로 억제하기 위해서는 모든 국가 및 비국가 행위자들이 지체 없이 자신들의 기여를 더욱 강화해야 한다. 이는 적응, 완화 및 전환 역량이 낮은 국가 및 비국가적 행위자들에 대한 지원과 함께 더 도전적이고 보다 헌신적인 협력을 바탕으로 하는 활동 공유를 통해 달성될 수 있다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). {5.5.3.1, 5.5.3.2} 전환과 관련된 풀기 힘든 상충의 회피를 포함하여 저탄소 궤적을 조율하고 불평등을 감소시키기 위한 현재의 노력은 부분적으로 성공을 거두고 있으나 뚜렷한 장애물을 보여주고 있다(*중간 증거 수준, 중간 동의 수준*). {5.5.3.3, 박스 5.3, 본 장 교차챕터 박스 13}

사회 정의와 형평성이 전환적 사회 변화를 위한 기후 복원력 있는 발전 경로의 핵심이다. 빈곤층과 취약 계층의 상황을 더욱 악화시키지 않으면서 지속가능발전을 달성하고 온난화를 1.5℃로 억제하기 위해 국가와 공동체 간 또는 국가와 공동체 내에서의 문제 해결 및 기회 확대가 필요할 것이다(*높은 신뢰도*). 저탄소, 기후 복원력 있는 미래를 향한 포용적이고 사회적으로 수용가능한 경로 규명과 조사는 도덕적, 현실적, 정치적 어려움과 불가피한 상충이 얽힌 어렵지만 중요한 과제다(*매우 높은 신뢰도*). {5.5.2, 5.5.3.3 박스 5.3}

indicate robust synergies, particularly for the SDGs 3 (health), 7 (energy), 12 (responsible consumption and production) and 14 (oceans) (*very high confidence*). {5.4.2, Figure 5.3} For SDGs 1 (poverty), 2 (hunger), 6 (water) and 7 (energy), there is a risk of trade-offs or negative side effects from stringent mitigation actions compatible with 1.5°C of warming (*medium evidence, high agreement*). {5.4.2}

Appropriately designed mitigation actions to reduce energy demand can advance multiple SDGs simultaneously. Pathways compatible with 1.5°C that feature low energy demand show the most pronounced synergies and the lowest number of trade-offs with respect to sustainable development and the SDGs (*very high confidence*). Accelerating energy efficiency in all sectors has synergies with SDGs 7 (energy), 9 (industry, innovation and infrastructure), 11 (sustainable cities and communities), 12 (responsible consumption and production), 16 (peace, justice and strong institutions), and 17 (partnerships for the goals) (*robust evidence, high agreement*). {5.4.1, Figure 5.2, Table 5.2} Low-demand pathways, which would reduce or completely avoid the reliance on bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) in 1.5°C pathways, would result in significantly reduced pressure on food security, lower food prices and fewer people at risk of hunger (*medium evidence, high agreement*). {5.4.2, Figure 5.3}

The impacts of carbon dioxide removal options on SDGs depend on the type of options and the scale of deployment (*high confidence*). If poorly implemented, carbon dioxide removal (CDR) options such as bioenergy, BECCS and AFOLU would lead to trade-offs. Appropriate design and implementation requires considering local people's needs, biodiversity and other sustainable development dimensions (*very high confidence*). {5.4.1.3, Cross-Chapter Box 7 in Chapter 3}

The design of the mitigation portfolios and policy instruments to limit warming to 1.5°C will largely determine the overall synergies and trade-offs between mitigation and sustainable development (*very high confidence*). **Redistributive policies that shield the poor and vulnerable can resolve trade-offs for a range of SDGs** (*medium evidence, high agreement*). Individual mitigation options are associated with both positive and negative interactions with the SDGs (*very high confidence*). {5.4.1} However, appropriate choices across the mitigation portfolio can help to maximize positive side effects while minimizing negative side effects (*high confidence*). {5.4.2, 5.5.2} Investment needs for complementary policies resolving trade-offs with a range of SDGs are only a small fraction of the overall mitigation investments in 1.5°C pathways (*medium evidence, high agreement*). {5.4.2, Figure 5.4} Integration of mitigation with adaptation and sustainable development compatible with 1.5°C warming requires a systems perspective (*high confidence*). {5.4.2, 5.5.2}

Mitigation consistent with 1.5°C of warming create high risks for sustainable development in countries with high dependency on fossil fuels for revenue and employment generation (*high confidence*). These risks are caused by the reduction of global demand affecting mining activity and export revenues and challenges to rapidly decrease high carbon intensity of the domestic economy (*robust evidence, high agreement*). {5.4.1.2, Box 5.2} Targeted policies that promote diversification of the economy and the energy sector could ease this transition (*medium evidence, high agreement*). {5.4.1.2, Box 5.2}

Sustainable Development Pathways to 1.5°C

Sustainable development broadly supports and often enables the fundamental societal and systems transformations that would be required for limiting warming to 1.5°C above pre-industrial levels (*high confidence*). Simulated pathways that feature the most sustainable worlds (e.g., Shared Socio-Economic Pathways (SSP) 1) are associated with relatively lower mitigation and adaptation challenges and limit warming to 1.5°C at comparatively lower mitigation costs. In contrast, development pathways with high fragmentation, inequality and poverty (e.g., SSP3) are associated with comparatively higher mitigation and adaptation challenges. In such pathways, it is not possible to limit warming to 1.5°C for the vast majority of the integrated assessment models (*medium evidence, high agreement*). {5.5.2} In all SSPs, mitigation costs substantially increase in 1.5°C pathways compared to 2°C pathways. No pathway in the literature integrates or achieves all 17 SDGs (*high confidence*). {5.5.2} Real-world experiences at the project level show that the actual integration between adaptation, mitigation and sustainable development is challenging as it requires reconciling trade-offs across sectors and spatial scales (*very high confidence*). {5.5.1}

Without societal transformation and rapid implementation of ambitious greenhouse gas reduction measures, pathways to limiting warming to 1.5°C and achieving sustainable development will be exceedingly difficult, if not impossible, to achieve (*high confidence*). The potential for pursuing such pathways differs between and within nations and regions, due to different development trajectories, opportunities and challenges (*very high confidence*). {5.5.3.2, Figure 5.1} Limiting warming to 1.5°C would require all countries and non-state actors to strengthen their contributions without delay. This could be achieved through sharing efforts based on bolder and more committed cooperation, with support for those with the least capacity to adapt, mitigate and transform (*medium evidence, high agreement*). {5.5.3.1, 5.5.3.2} Current efforts towards reconciling low-carbon trajectories and reducing inequalities, including those that avoid difficult trade-offs associated with transformation, are partially successful yet demonstrate notable obstacles (*medium evidence, medium agreement*). {5.5.3.3, Box 5.3, Cross-Chapter Box 13 in this chapter}

Social justice and equity are core aspects of climate-resilient development pathways for transformational social change. Addressing challenges and widening opportunities between and within countries and communities would be necessary to achieve sustainable development and limit warming to 1.5°C, without making the poor and disadvantaged worse off (*high confidence*). Identifying and navigating inclusive and socially acceptable pathways towards low-carbon, climate-resilient futures is a challenging yet important endeavour, fraught with moral, practical and political difficulties and inevitable trade-offs (*very high confidence*). {5.5.2, 5.5.3.3, Box 5.3} It entails deliberation and problem-solving processes to negotiate societal values, well-being, risks and resilience

사회적 가치, 복지, 리스크, 복원력을 절충하고 무엇이 누구에게 바람직하고 공정한지를 결정하기 위한 숙고와 문제 해결 과정이 수반된다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). 예를 들어 바누아투 같은 태평양 군소도서개발도상국과 도시 측면에서 공동의 반복적인 계획 및 전환적 비전을 포괄하는 경로는 살 만하고 지속가능한 미래의 가능성을 보여준다(*높은 신뢰도*). {5.5.3.1, 5.5.3.3, 그림 5.5, 박스 5.3, 본 장 교차챕터 13}.

지속가능발전, 빈곤 퇴치, 불평등 감소를 달성하면서 동시에 온난화를 1.5℃로 억제하기 위한 근본적인 사회 및 시스템의 변화를 위해서는 특정한 제도적, 사회적, 문화적, 경제적, 기술적 조건이 충족되어야 한다(*높은 신뢰도*). 여러 분야와 공간 규모에 걸친 정책 행동의 조율 및 모니터링은 1.5℃ 더 온난한 세계에서 지속가능한 발전을 뒷받침하는 데 필수적이다(*매우 높은 신뢰도*). {5.6.2, 박스 5.3} 외부 재정 및 기술 이전은 수혜자의 특정 상황의 필요를 고려할 때 이러한 노력을 더 잘 지원한다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). {5.6.1} 포용적 절차는 참여, 투명성, 역량 구축 및 반복적인 사회 학습을 보장함으로써 전환을 촉진할 수 있다(*높은 신뢰도*). {5.5.3.3, 교차챕터 박스 13, 5.6.3}. 모든 사람들에게 이익이 되는 1.5℃에 상응하는 발전 경로 채택에서의 핵심은 국가 간 그리고 국가 내에서의 권력 불균형 및 불평등한 발전 기회에 대한 관심이다(*높은 신뢰도*) {5.5.3, 5.6.4, 박스 5.3}. 개인 및 집단적 가치에 대한 재조사는 긴급하고 도전적이며 협력적인 변화에 박차를 가하는 데 도움이 될 수 있다(*중간 증거 수준, 높은 동의 수준*). {5.5.3, 5.6.5}

and to determine what is desirable and fair, and to whom (*medium evidence, high agreement*). Pathways that encompass joint, iterative planning and transformative visions, for instance in Pacific SIDS like Vanuatu and in urban contexts, show potential for liveable and sustainable futures (*high confidence*). {5.5.3.1, 5.5.3.3, Figure 5.5, Box 5.3, Cross-Chapter Box 13 in this chapter}

The fundamental societal and systemic changes to achieve sustainable development, eradicate poverty and reduce inequalities while limiting warming to 1.5°C would require meeting a set of institutional, social, cultural, economic and technological conditions (*high confidence*). The coordination and monitoring of policy actions across sectors and spatial scales is essential to support sustainable development in 1.5°C warmer conditions (*very high confidence*). {5.6.2, Box 5.3} External funding and technology transfer better support these efforts when they consider recipients' context-specific needs (*medium evidence, high agreement*). {5.6.1} Inclusive processes can facilitate transformations by ensuring participation, transparency, capacity building and iterative social learning (*high confidence*). {5.5.3.3, Cross-Chapter Box 13, 5.6.3} Attention to power asymmetries and unequal opportunities for development, among and within countries, is key to adopting 1.5°C-compatible development pathways that benefit all populations (*high confidence*). {5.5.3, 5.6.4, Box 5.3} Re-examining individual and collective values could help spur urgent, ambitious and cooperative change (*medium evidence, high agreement*). {5.5.3, 5.6.5}

Global Warming of 1.5℃

Summary for Policymakers
Technical Summary

지구온난화 1.5℃

정책결정자를 위한 요약본
기술요약서

발 행 : 기상청
발행일 : 2019년 2월
편 집 : 기상청 기후과학국 기후정책과
발간등록번호 : 11-1360000-001593-01

전 화 02-2181-0403
팩 스 02-2181-0496
이 메 일 clpol@korea.kr
Website www.climate.go.kr

기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)는 기후변화를 평가하는 선도적인 국제기구이다. IPCC는 5-7년마다 전세계적으로 발표된 최신의 과학적, 기술적, 사회경제적 정보를 바탕으로 기후변화의 과학적 측면에 대한 권위 있는 평가를 제공한다. 「지구온난화 1.5℃」특별보고서는 2015년 파리협정에 과학적 근거를 제공하기 위한 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)의 요청을 IPCC가 수락하여 만들어졌다.

「지구온난화 1.5℃」는 총 5개 장, 562페이지로 구성되어 있다.

Chapter 1. Framing and Context
Chapter 2. Mitigation Pathways Compatible with 1.5℃ in the Context of Sustainable Development
Chapter 3. Impacts of 1.5℃ Global Warming on Natural and Human Systems
Chapter 4. Strengthening and Implementing the Global Response
Chapter 5. Sustainable Development, Poverty Eradication and Reducing Inequalities

---

보고서 가장 앞부분에는 정책결정자를 위한 요약본(SPM)과 기술요약서(TS)가 수록된다. 본 국·영문 통합본은 전체 보고서 중 정책결정자를 위한 요약본과 기술요약서를 기상청에서 번역하여 제작한 것이다.

전체 보고서는 IPCC 홈페이지(www.ipcc.ch)에서 확인할 수 있다.

기상청
Korea Meteorological Administration