

변화하는 기후에서의 해양 및 빙권

이 정책결정자를 위한 요약본은
IPCC의 제1 및 제2 실무그룹의 2차 공동 세션에서 공식적으로 승인되었으며
제51차 IPCC 총회(2019.9.24., 모나코)에서 채택되었다.

정책결정자를 위한 요약본



This translation of **Summary for Policymakers** of the **IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate** 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

정책결정자를 위한 요약본

저자:

Nerilie Abram(호주), Carolina Adler(스위스/호주), Nathaniel L. Bindoff(호주), Lijing Cheng(중국), So-Min Cheong(한국), William W. L. Cheung(캐나다), Matthew Collins(영국), Chris Derksen(캐나다), Alexey Ekaykin(러시아 연방), Thomas Frolicher(스위스), Matthias Garschagen(독일), Jean-Pierre Gattuso(프랑스), Bruce Glavovic(뉴질랜드), Stephan Gruber(캐나다/독일), Valeria Guinder(아르헨티나), Robert Hallberg(미국), Sherilee Harper(캐나다), Nathalie Hilmi(모나코/프랑스), Jochen Hinkel(독일), Yukiko Hirabayashi(일본), Regine Hock(미국), Anne Hollowed(미국), Helene Jacot Des Combes(피지), James Kairo(케냐), Alexandre K. Magnan(프랑스), Valerie Masson-Delmotte(프랑스), J.B. Robin Matthews(영국), Kathleen McInnes(호주), Michael Meredith(영국), Katja Mintenbeck(독일), Samuel Morin(프랑스), Andrew Okem(남아프리카 공화국/나이지리아), Michael Oppenheimer(미국), Ben Orlove(미국), Jan Petzold(독일), Anna Pirani(이탈리아), Elvira Poloczanska(영국/호주), Hans-Otto Portner(독일), Anjal Prakash(네팔/인도), Golam Rasul(네팔), Evelia Rivera-Arriaga(멕시코), Debra C. Roberts(남아프리카 공화국), Edward A.G. Schuur(미국), Zita Sebesvari(헝가리/독일), Martin Sommerkorn(노르웨이/독일), Michael Sutherland(트리니다드토바고), Alessandro Tagliabue(영국), Roderik Van De Wal(네덜란드), Phil Williamson(영국), Rong Yu(중국), Panmao Zhai(중국)

기여 저자:

Andres Alegria(온두라스), Rob DeConto(미국), Andreas Fischlin(스위스), Shengping He(노르웨이/중국), Miriam Jackson(노르웨이), Martin Kunsting(독일), Erwin Lambert(네덜란드), Pierre-Marie Lefeuve(노르웨이/프랑스), Alexander Milner(영국), Jess Melbourne-Thomas(호주), Benoit Meyssignac(프랑스), Maike Nicolai(독일), Hamish Pritchard(영국), Heidi Steltzer(미국), Nora Weyer(독일)

정책결정자를 위한 요약본(SPM)은 다음과 같이 인용되어야 한다:

IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. Weyer (eds.)]. In press.

SPM

Summary for Policymakers

Drafting Authors:

Nerilie Abram (Australia), Carolina Adler (Switzerland/Australia), Nathaniel L. Bindoff (Australia), Lijing Cheng (China), So-Min Cheong (Republic of Korea), William W. L. Cheung (Canada), Matthew Collins (UK), Chris Derksen (Canada), Alexey Ekaykin (Russian Federation), Thomas Frölicher (Switzerland), Matthias Garschagen (Germany), Jean-Pierre Gattuso (France), Bruce Glavovic (New Zealand), Stephan Gruber (Canada/Germany), Valeria Guinder (Argentina), Robert Hallberg (USA), Sherilee Harper (Canada), Nathalie Hilmi (Monaco/France), Jochen Hinkel (Germany), Yukiko Hirabayashi (Japan), Regine Hock (USA), Anne Hollowed (USA), Helene Jacot Des Combes (Fiji), James Kairo (Kenya), Alexandre K. Magnan (France), Valérie Masson-Delmotte (France), J.B. Robin Matthews (UK), Kathleen McInnes (Australia), Michael Meredith (UK), Katja Mintenbeck (Germany), Samuel Morin (France), Andrew Okem (South Africa/Nigeria), Michael Oppenheimer (USA), Ben Orlove (USA), Jan Petzold (Germany), Anna Pirani (Italy), Elvira Poloczanska (UK/Australia), Hans-Otto Pörtner (Germany), Anjal Prakash (Nepal/India), Golam Rasul (Nepal), Evelia Rivera-Arriaga (Mexico), Debra C. Roberts (South Africa), Edward A.G. Schuur (USA), Zita Sebesvari (Hungary/Germany), Martin Sommerkorn (Norway/Germany), Michael Sutherland (Trinidad and Tobago), Alessandro Tagliabue (UK), Roderik Van De Wal (Netherlands), Phil Williamson (UK), Rong Yu (China), Panmao Zhai (China)

Draft Contributing Authors:

Andrés Alegría (Honduras), Robert M. DeConto (USA), Andreas Fischlin (Switzerland), Shengping He (Norway/China), Miriam Jackson (Norway), Martin Künsting (Germany), Erwin Lambert (Netherlands), Pierre-Marie Lefeuve (Norway/France), Alexander Milner (UK), Jess Melbourne-Thomas (Australia), Benoit Meyssignac (France), Maïke Nicolai (Germany), Hamish Pritchard (UK), Heidi Steltzer (USA), Nora M. Weyer (Germany)

This Summary for Policymakers should be cited as:

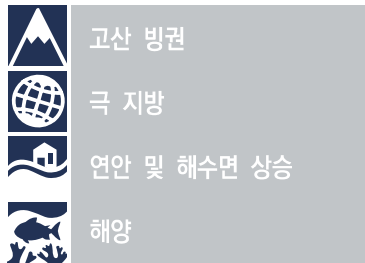
IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

머리말

변화하는 기후에서의 해양과 빙권 특별보고서¹(이하 '해양과 빙권 특별보고서')는 제6차 평가보고서 준비기간²동안 3개의 특별보고서를 발간하기로 한 2016년 IPCC 패널의 결정에 따라 준비되었다. 새로운 과학적 문헌³의 평가를 통해 해양과 빙권 특별보고서⁴는 정부 및 오픈서버 단체의 제안 사항에 대응하고 있다. 해양과 빙권 특별보고서는 또 다른 2개의 특별보고서인 지구 온난화 1.5°C 보고서(SR1.5)와 기후변화와 토지에 관한 특별보고서⁵ 그리고 생물다양성과 생태계 서비스에 관한 정부 간 과학 정책 플랫폼(IPBES)의 생물다양성 및 생태계 서비스에 관한 글로벌 평가 보고서와 맥락을 같이 한다.

정책결정자를 위한 요약본(SPM)은 이 보고서의 주요 결과를 정리한 것이며 세 개의 장으로 구성되어 있다: SPM.A: 관측된 변화 및 영향, SPM.B: 변화 및 위험 전망, 그리고 SPM.C: 해양 및 빙권 변화에 대한 대응방안 실행. SPM 검색을 돕기 위해, 내용의 위치를 알려주는 아이콘이 제시되어 있다. 핵심내용의 신뢰도는 IPCC에서 합의된 용어⁶를 사용하여 보고되었으며, 핵심결과에 대한 과학적 근거는 본보고서의 섹션을 참조로 표시된다.

내용 표시를 위한 아이콘의 키







- 1 이 보고서(부록 I : 용어집)에서 빙권은 육지 및 해양 표면과 그 아래의 지구계를 이루는 곳에서 얼어있는 지역으로 정의하며, 여기에는 적설, 빙하, 빙상, 빙봉, 빙산, 해빙, 호수 얼음, 강 얼음, 영구 동토층과 계절적으로 얼어붙은 땅 등을 포함한다.
- 2 기후변화와 해양과 빙권에 관한 특별보고서를 준비하고자 한 의사결정은 2016년 4월 11일-13일 케냐의 나이로비에서 열린 IPCC의 제43차 총회에서 정해졌다.
- 3 마감일: 2018년 10월 15일 - 원고 제출, 2019년 5월 15일 - 출간 승인
- 4 해양과 빙권 특별보고서는 제1 및 제2 실무그룹의 과학적 리더십을 통해 제작되었다. 승인된 개요에 따라 완화(제3 실무그룹)에 관한 내용은 평가하고 있지 않으나, 블루카본(연안 생태계)의 저감 잠재량에 대한 내용은 예외적으로 다루기로 한다.
- 5 이 2가지 특별보고서의 제목은 다음과 같다: "지구온난화1.5°C. 기후변화 위험에 대한 전지구적 대응 강화, 지속가능한 발전, 빈곤 퇴치 노력 측면에서 산업화 이전 수준 대비 지구온난화 1.5°C 영향과 관련 온실가스 배출 경로에 대한 IPCC 특별보고서"; "기후변화와 토지: 육상생태의 기후변화, 사막화, 토지 황폐화, 지속가능한 토지관리, 식량안보, 온실가스 플렉스에 대한 IPCC 특별보고서".
- 6 연구 결과는 수집된 증거와 동의 수준의 평가에 근거한다. 신뢰도 수준은 매우 낮음, 낮음, 중간, 높음, 매우 높음의 5가지로 구분되며 이탤릭체로 표기한다(예: 중간 신뢰도). 다음의 용어들은 산출물 또는 결과들의 가능성을 표현하는데 사용되었다: 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 높음(more likely than not)은 >50~100%, 발생 가능성이 상대적으로 낮음(more unlikely than likely)은 0~(50%, 대단히 가능성 낮음(extremely unlikely)은 0~5%)은 필요한 경우에 사용한다. 이 보고서에서는 또한 '가능성 높은 범위(likely range)' 또는 '매우 가능성 높은 범위(very likely range)'를 사용하며, 각각 산출물의 가능성이 17~83% 또는 5~95% 확률 범위에 이내에 있음을 표시한다. 보다 자세한 내용은 {1.9.2, 그림 1.4}를 참조한다.

Introduction

This Special Report on the Ocean and Cryosphere¹ in a Changing Climate (SROCC) was prepared following an IPCC Panel decision in 2016 to prepare three Special Reports during the Sixth Assessment Cycle². By assessing new scientific literature³, the SROCC⁴ responds to government and observer organization proposals. The SROCC follows the other two Special Reports on Global Warming of 1.5°C (SR1.5) and on Climate Change and Land (SRCCL)⁵ and the Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services.

This Summary for Policymakers (SPM) compiles key findings of the report and is structured in three parts: SPM.A: Observed Changes and Impacts, SPM.B: Projected Changes and Risks, and SPM.C: Implementing Responses to Ocean and Cryosphere Change. To assist navigation of the SPM, icons indicate where content can be found. Confidence in key findings is reported using IPCC calibrated language⁶ and the underlying scientific basis for each key finding is indicated by references to sections of the underlying report.

Key of icons to indicate content

	High mountain cryosphere
	Polar regions
	Coasts and sea level rise
	Ocean

¹ The cryosphere is defined in this report (Annex I: Glossary) as the components of the Earth System at and below the land and ocean surface that are frozen, including snow cover, glaciers, ice sheets, ice shelves, icebergs, sea ice, lake ice, river ice, permafrost, and seasonally frozen ground.

² The decision to prepare a Special Report on Climate Change and Oceans and the Cryosphere was made at the Forty-Third Session of the IPCC in Nairobi, Kenya, 11–13 April 2016.

³ Cut-off dates: 15 October 2018 for manuscript submission, 15 May 2019 for acceptance for publication.

⁴ The SROCC is produced under the scientific leadership of Working Group I and Working Group II. In line with the approved outline, mitigation options (Working Group III) are not assessed with the exception of the mitigation potential of blue carbon (coastal ecosystems).

⁵ The full titles of these two Special Reports are: “Global Warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty”; “Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems”.

⁶ 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, e.g., *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%. Assessed likelihood is typeset in italics, e.g., *very likely*. This is consistent with AR5 and the other AR6 Special Reports. Additional terms (extremely likely 95–100%, more likely than not >50–100%, more unlikely than likely 0–<50%, extremely unlikely 0–5%) are used when appropriate. This Report also uses the term ‘*likely range*’ or ‘*very likely range*’ to indicate that the assessed likelihood of an outcome lies within the 17–83% or 5–95% probability range. {1.9.2, Figure 1.4}

스타트업 박스 I 인간을 위한 해양과 빙권의 중요성

지구상의 모든 인간은 직간접적으로 해양과 빙권에 의존한다. 전 세계 해양은 지구 표면의 71%를 덮고 있으며, 지구상 물의 약 97%를 포함하고 있다. 빙권은 지구 시스템 중 결빙상태에 있는 구성요소를 말한다. 지구의 육지 가운데 약 10%는 빙하 또는 빙상으로 덮여있다. 해양과 빙권은 고유한 서식처를 제공하고, 물, 에너지 및 탄소를 전지구적으로 교환하면서 기후 시스템의 다른 구성요소와 상호 연결된다. 과거와 현재 인간에 의한 온실가스 배출 그리고 진행 중인 지구온난화에 대한 해양과 빙권의 예상되는 반응은 기후 피드백, 수십 년부터 수 세기에 걸친 피할 수 없는 변화, 갑작스런 변화의 임계점 그리고 비가역성을 포함한다. {박스 1.1, 1.2}

연안 환경, 소도시 (군소도시개발대상국, SIDS 포함), 극지방 및 고산 지대⁷와 가까운 지역은 특히 해수면 상승, 극한 해수면 및 빙권 감소 등 해양과 빙권 변화에 노출되어 있다. 연안에서 멀리 떨어진 지역도 극한 기후 현상과 같은 해양 변화에 노출된다. 오늘날, 약 400만 명이 북극지방에 영구 거주하고 있는데, 이들 중 10%는 토착민들이다. 현재 약 6억8000만 명(2010년 전 세계 인구의 약 10%)이 낮은 연안 지대⁸에 거주하는데, 2050년에는 10억 명을 넘어설 것으로 전망된다. SIDS에는 6,500만 명이 거주하고 있다. 토착민을 포함하여 약 6억7000만 명(2010년 전 세계 인구의 약 10%)은 남극을 제외한 모든 대륙의 고산 지대에 살고 있다. 고산 지대의 인구는 2050년에 7억4000만~8억4000만 명에 달할 것으로 전망된다.(전 세계 인구 전망치의 약 8.4%~8.7%). {1.1, 2.1, 3.1, 크로스-챕터 박스 9, 그림 2.1}

자연 및 인위적 이산화탄소(CO₂)와 열의 흡수와 재분배와 같은 기후 시스템 내에서의 해양과 빙권의 역할 이외에도 생태계 유지부터 식량 및 물 공급, 재생 에너지, 그리고 건강과 복지, 문화적 가치, 관광, 무역 및 수송 등이 해양과 빙권이 인간에게 제공하는 서비스에 포함된다. 해양과 빙권은 UN 지속가능발전목표(SDGs)에 반영된 지속가능성의 모든 요소들과 상호 작용을 일으킨다. {1.1, 1.2, 1.5}

⁷ 고산 지역은 빙하, 눈 또는 영구 동토층이라는 주요 경관상의 특징을 가진 모든 산 지역을 포함한다. 이 보고서에서 다루는 고산 지역의 목록은 제2장을 참조한다. 고산 지역의 인구수는 이 보고서에서 평가된 고산 지역의 빙하 또는 영구 동토층으로부터 100km 이내의 지역에 대해 계산한 것이다 {2.1}. 2050년 전망은 공동 사회경제적 경로에 해당하는 5가지 모두에 대해 이 지역의 인구 범위를 제공한다. {제1장의 크로스챕터 박스 1}

⁸ 저지대 해안가의 인구는 군소 도시 지역 등 연안에 연결된 토지에 대해 계산한 것이며, 해수면 위로 10m 이내이다. {크로스-챕터 박스 9} 2050년 추정치는 공동 사회경제적 경로에 포함된 5가지 시나리오에 대한 이 지역의 인구 범위를 제공한다. {제1장의 크로스챕터 박스 1}

Startup Box | The Importance of the Ocean and Cryosphere for People

All people on Earth depend directly or indirectly on the ocean and cryosphere. The global ocean covers 71% of the Earth surface and contains about 97% of the Earth's water. The cryosphere refers to frozen components of the Earth system¹. Around 10% of Earth's land area is covered by glaciers or ice sheets. The ocean and cryosphere support unique habitats, and are interconnected with other components of the climate system through global exchange of water, energy and carbon. The projected responses of the ocean and cryosphere to past and current human-induced greenhouse gas emissions and ongoing global warming include climate feedbacks, changes over decades to millennia that cannot be avoided, thresholds of abrupt change, and irreversibility. {Box 1.1, 1.2}

Human communities in close connection with coastal environments, small islands (including Small Island Developing States, SIDS), polar areas and high mountains⁷ are particularly exposed to ocean and cryosphere change, such as sea level rise, extreme sea level and shrinking cryosphere. Other communities further from the coast are also exposed to changes in the ocean, such as through extreme weather events. Today, around 4 million people live permanently in the Arctic region, of whom 10% are Indigenous. The low-lying coastal zone⁸ is currently home to around 680 million people (nearly 10% of the 2010 global population), projected to reach more than one billion by 2050. SIDS are home to 65 million people. Around 670 million people (nearly 10% of the 2010 global population), including Indigenous peoples, live in high mountain regions in all continents except Antarctica. In high mountain regions, population is projected to reach between 740 and 840 million by 2050 (about 8.4–8.7% of the projected global population). {1.1, 2.1, 3.1, Cross-Chapter Box 9, Figure 2.1}

In addition to their role within the climate system, such as the uptake and redistribution of natural and anthropogenic carbon dioxide (CO₂) and heat, as well as ecosystem support, services provided to people by the ocean and/or cryosphere include food and water supply, renewable energy, and benefits for health and well-being, cultural values, tourism, trade, and transport. The state of the ocean and cryosphere interacts with each aspect of sustainability reflected in the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). {1.1, 1.2, 1.5}


⁷ High mountain areas include all mountain regions where glaciers, snow or permafrost are prominent features of the landscape. For a list of high mountain regions covered in this report, see Chapter 2. Population in high mountain regions is calculated for areas less than 100 kilometres from glaciers or permafrost in high mountain areas assessed in this report. {2.1} Projections for 2050 give the range of population in these regions across all five of the Shared Socioeconomic Pathways. {Cross-Chapter Box 1 in Chapter 1}


⁸ Population in the low elevation coastal zone is calculated for land areas connected to the coast, including small island states, that are less than 10 metres above sea level. {Cross-Chapter Box 9} Projections for 2050 give the range of population in these regions across all five of the Shared Socioeconomic Pathways. {Cross-Chapter Box 1 in Chapter 1}


A. 관측된 변화 및 영향


관측된 물리적 변화

A.1 지난 수십 년 동안, 지구온난화로 인해 빙상 및 빙하의 질량이 손실되었으며(**매우 높은 신뢰도**), 적설 면적(**높은 신뢰도**)과 극지방의 해빙 면적 및 두께(**매우 높은 신뢰도**)의 감소로 인해 빙권이 광범위하게 줄었고, 영구 동토층의 온도가 상승했다(**매우 높은 신뢰도**). {2.2, 3.2, 3.3, 3.4, 그림 SPM.1, SPM.2}

A.1.1  전 세계의 빙상 및 빙하의 질량이 감소하였다(**매우 높은 신뢰도**). 2006년부터 2015년까지, 그린란드 빙상⁹의 얼음 질량은 평균 $278 \pm 11 \text{ Gt yr}^{-1}$ (전 세계 해수면 상승의 $0.77 \pm 0.03 \text{ mmyr}^{-1}$ 에 해당)의 속도로 줄어들었는데, 이는 대부분 지표면 용융 때문이다(**높은 신뢰도**). 2006년부터 2015년까지, 남극 지방 빙상¹⁰의 얼음 질량은 평균 $155 \pm 19 \text{ Gt yr}^{-1}$ ($0.43 \pm 0.05 \text{ mmyr}^{-1}$)의 속도로 줄어들었는데, 서남극의 빙상으로 빠져나가는 주요 유출 빙하가 급속하게 얇아지고 멀어지는 것이 주요 원인이다(**매우 높은 신뢰도**). 그린란드 및 남극 지방 이외에서 전 세계의 빙하 질량은 2006년부터 2015년까지 평균 $220 \pm 30 \text{ Gt yr}^{-1}$ ($0.61 \pm 0.08 \text{ mmyr}^{-1}$ 해수면 상승에 해당)의 속도로 줄어들었다. {3.3.1, 4.2.3, 부록 2.A, 그림 SPM.1}

A.1.2  북극의 6월 적설 면적은 1967년부터 2018년까지 10년마다 $13.4 \pm 5.4\%$ 감소하여 총 손실은 약 $2,500,000 \text{ km}^2$ 에 달한다. 이는 대부분 지표면의 온도가 상승했기 때문이다(**높은 신뢰도**). 거의 모든 고산 지역에서 적설의 깊이, 면적, 및 지속성은 최근 수십 년간, 특히 고도가 낮은 곳에서 감소했다(**높은 신뢰도**). {2.2.2, 3.4.1, 그림 SPM.1}

A.1.3  영구 동토층의 온도는 높은 수준을 기록할 만큼 상승했는데(1980년대부터 현재)(**매우 높은 신뢰도**), 전 세계의 극지대 및 고산 지역에 걸쳐 평균적으로 2007년부터 2016년까지 $0.29^\circ\text{C} \pm 0.12^\circ\text{C}$ 상승한 것이 최근 기록이다. 북극 및 아한대의 영구 동토층은 1460–1600 Gt의 유기 탄소를 포함하고 있는데, 이는 대기 중 탄소의 두 배에 달한다(**중간 신뢰도**). 북쪽 영구 동토층 지역에서 해동으로 인해 추가적인 순 메탄 및 CO_2 가 현재 배출되고 있는지 여부에 대해서는 **중간 수준의 증거와 낮은 동의 수준**이 나타난다. 영구 동토층의 해동 및 빙하 후퇴로 인해 고산 지역의 사면 안정성이 감소되었다(**높은 신뢰도**). {2.2.4, 2.3.2, 3.4.1, 3.4.3, 그림 SPM.1}

A.1.4  1979년부터 2018년까지, 북극 지역의 해빙 면적은 1년 내내 **매우 높은 가능성**으로 줄어들었다. 9월의 해빙 감소량은 **매우 높은 가능성**으로 10년에 걸쳐 $12.8 \pm 2.3\%$ 수준이다. 9월 기준 이러한 해빙 변화는 최소 1000년 동안 전례가 없었을 **가능성이 높다**. 북극 해빙은 얇아졌고, 유년 빙하로 바뀌고 있다. 1979년부터 2018년까지, 5년생 이상의 다년 얼음의 면적 비율은 약 90%정도 줄어들었다(**매우 높은 신뢰도**). 육지에서 여름철 해빙 및 봄철 적설량이 줄어들면서 북극지방에서 온난화가 증폭되었다(**높은 신뢰도**). 북극지방에서 지표면 온도는 지난 20년 동안 전지구 평균의 2배 이상으로 상승했을 **가능성이 높다**. 북극 해빙의 변화는 중위도 기상에 영향을 줄 수 있지만(**중간 신뢰도**), 특수한 기상 유형에 대해 이런 영향을 찾아낼 수 있을 것이라는 **신뢰도는 낮다**. 남극 지방의 해빙 면적은 통계적으로 유의미한 경향이 나타나지 않는데(1979–2018년), 이는 지역별 신호가 대비를 이루고 경년 변동이 크기 때문이다(**높은 신뢰도**). {3.2.1, 6.3.1; 박스 3.1; 박스 3.2; A1.2, 그림 SPM.1, SPM.2}


9 대륙경계 빙하 포함.


10 360 Gt의 얼음은 전 세계 평균 해수면의 1mm에 상응한다.


A. Observed Changes and Impacts


Observed Physical Changes

A.1 Over the last decades, global warming has led to widespread shrinking of the cryosphere, with mass loss from ice sheets and glaciers (*very high confidence*), reductions in snow cover (*high confidence*) and Arctic sea ice extent and thickness (*very high confidence*), and increased permafrost temperature (*very high confidence*). {2.2, 3.2, 3.3, 3.4, Figures SPM.1, SPM.2}

A.1.1  Ice sheets and glaciers worldwide have lost mass (*very high confidence*). Between 2006 and 2015, the Greenland Ice Sheet⁹ lost ice mass at an average rate of $278 \pm 11 \text{ Gt yr}^{-1}$ (equivalent to $0.77 \pm 0.03 \text{ mm yr}^{-1}$ of global sea level rise)¹⁰, mostly due to surface melting (*high confidence*). In 2006–2015, the Antarctic Ice Sheet lost mass at an average rate of $155 \pm 19 \text{ Gt yr}^{-1}$ ($0.43 \pm 0.05 \text{ mm yr}^{-1}$), mostly due to rapid thinning and retreat of major outlet glaciers draining the West Antarctic Ice Sheet (*very high confidence*). Glaciers worldwide outside Greenland and Antarctica lost mass at an average rate of $220 \pm 30 \text{ Gt yr}^{-1}$ (equivalent to $0.61 \pm 0.08 \text{ mm yr}^{-1}$ sea level rise) in 2006–2015. {3.3.1, 4.2.3, Appendix 2.A, Figure SPM.1}

A.1.2  Arctic June snow cover extent on land declined by $13.4 \pm 5.4\%$ per decade from 1967 to 2018, a total loss of approximately 2.5 million km^2 , predominantly due to surface air temperature increase (*high confidence*). In nearly all high mountain areas, the depth, extent and duration of snow cover have declined over recent decades, especially at lower elevation (*high confidence*). {2.2.2, 3.4.1, Figure SPM.1}

A.1.3  Permafrost temperatures have increased to record high levels (1980s–present) (*very high confidence*) including the recent increase by $0.29^\circ\text{C} \pm 0.12^\circ\text{C}$ from 2007 to 2016 averaged across polar and high mountain regions globally. Arctic and boreal permafrost contain 1460–1600 Gt organic carbon, almost twice the carbon in the atmosphere (*medium confidence*). There is *medium evidence* with *low agreement* whether northern permafrost regions are currently releasing additional net methane and CO_2 due to thaw. Permafrost thaw and glacier retreat have decreased the stability of high mountain slopes (*high confidence*). {2.2.4, 2.3.2, 3.4.1, 3.4.3, Figure SPM.1}

A.1.4  Between 1979 and 2018, Arctic sea ice extent has *very likely* decreased for all months of the year. September sea ice reductions are *very likely* $12.8 \pm 2.3\%$ per decade. These sea ice changes in September are *likely* unprecedented for at least 1000 years. Arctic sea ice has thinned, concurrent with a transition to younger ice: between 1979 and 2018, the areal proportion of multi-year ice at least five years old has declined by approximately 90% (*very high confidence*). Feedbacks from the loss of summer sea ice and spring snow cover on land have contributed to amplified warming in the Arctic (*high confidence*) where surface air temperature *likely* increased by more than double the global average over the last two decades. Changes in Arctic sea ice have the potential to influence mid-latitude weather (*medium confidence*), but there is *low confidence* in the detection of this influence for specific weather types. Antarctic sea ice extent overall has had no statistically significant trend (1979–2018) due to contrasting regional signals and large interannual variability (*high confidence*). {3.2.1, 6.3.1, Box 3.1, Box 3.2, SPM A.1.2, Figures SPM.1, SPM.2}

⁹ Including peripheral glaciers.

¹⁰ 360 Gt ice corresponds to 1 mm of global mean sea level.

해양과 빙권의 과거 및 미래 변화

주요 지표에 대한 RCP2.6 및 RCP8.5에서의 과거의 변화(관측 및 모델링)와 전망

과거(관측) 과거(모델링) 전망(RCP2.6) 전망(RCP8.5)

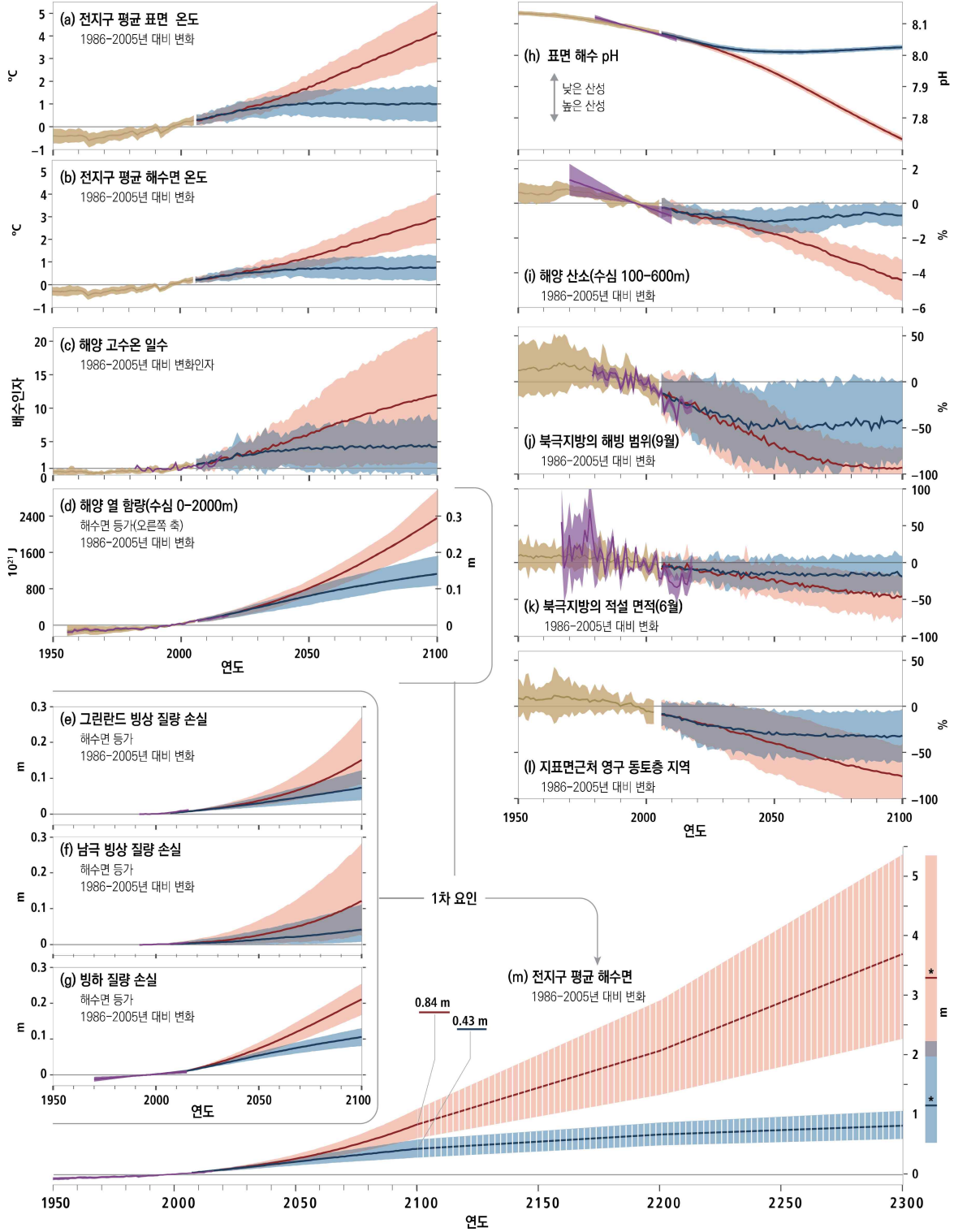


그림 SPM.1 | 관측 및 모델링으로 파악된 1950년¹¹ 이후의 해양과 빙권의 과거 변화와, 저(RCP2.6) 및 고(RCP8.5) 온실가스 배출 시나리오에 따른 미래의 변화 전망{박스 SPM.1}.

¹¹ 이 변화가 1950년에 시작되었다는 의미는 아니다. 일부 변수에서 변화는 산업화 이전 시기 이후에 발생했다.

Past and future changes in the ocean and cryosphere

Historical changes (observed and modelled) and projections under RCP2.6 and RCP8.5 for key indicators

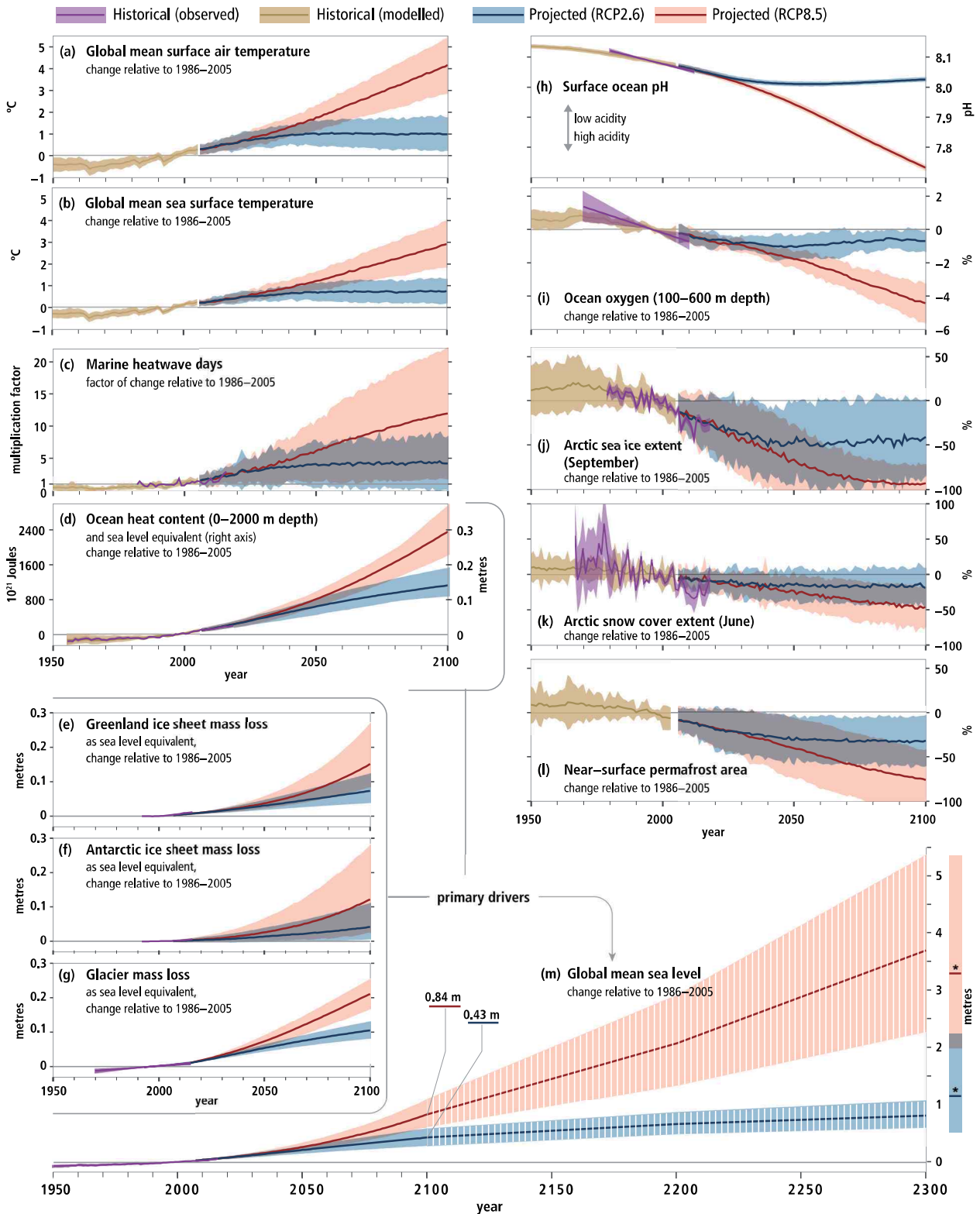


Figure SPM.1 | Observed and modelled historical changes in the ocean and cryosphere since 1950¹¹, and projected future changes under low (RCP2.6) and high (RCP8.5) greenhouse gas emissions scenarios. [Box SPM.1]

¹¹ This does not imply that the changes started in 1950. Changes in some variables have occurred since the pre-industrial period.

그림 SPM.1 I (계속됨) 변화는 다음에 대해 표시한 것이다: (a) *가능성 높은 범위*에서의 전지구 평균 지표면 온도 변화(박스 SPM.1, 제1장의 크로스-챕터 박스 1); (b) 전지구 평균 표층해수 온도 변화에 대한 *매우 가능성 높은 범위*에서 해양 관련 변화(박스 5.1, 5.2.2); (c) 표층해수의 해양 고수온 일수 변화 비율(6.4.1); (d) 전지구 해양 열 함량 변화(수심 0~2000m). 1970년 이후 관측된 온난화에 대한 전지구 평균 열 팽창 계수($\epsilon \approx 10^{24} \text{J당 } 0.125 \text{ m}^2$)와 해양 열 함량을 곱해서 환산한 대략적인 입체 해수면 값을 오른쪽 축에 표시한다(그림 5.1); (h) 전지구 평균 표층 pH(전체 척도 기준). 평가된 관측값 추이는 15년 이상의 시계열자료를 갖는 외에 관측점 자료를 취합한 것이다(박스 5.1, 그림 5.6, 5.2.2); (i) 전지구 평균 해양 산소 변화(수심 100~600m). 평가된 관측값 추이는 1970~2010년까지이며, 1996년이 중간이다(그림 5.8, 5.2.2). (m) *가능성 높은 범위*에서 전지구 평균 해수면 변화. 해시된 음영은 낮은 신뢰도 하에서 2100년 이후의 해수면 전망을 보여주며, 2300년에서 막대는 가능한 **해수면 변화**의 범위에서 전문가의 유추를 반영한 것이다(4.2.3, 그림 4.2); 그리고 (e,f) 그린란드 및 남극의 해상 질량 손실의 성분(3.3.1); (g) 빙하 질량 손실(제2장의 크로스-챕터 박스 6, 표 4.1). *가능성 높은 범위*에서 **빙권 관련 변화**로, (j) 9월¹³ 북극지방의 해빙 면적 변화(3.2.1, 3.2.2 그림 3.3); (k) 6월 북극지방의 적설면적 변화(북쪽으로 60°N인 육지)(3.4.1, 3.4.2, 그림 3.10); (l) 북반구 영구 동토층 지역내 지표면 근처(3~4m 이내)의 변화(3.4.1, 3.4.2, 그림 3.10). 중간 RCP4.5 및 RCP6.0 시나리오에서의 변화 전망에 대한 평가가 여기서 고려된 모든 변수에 대해 이용가능하지 않지만 일부는 본 보고서에서 찾아볼 수 있다(RCP4.5는 다음을 참조한다. 2.2.2, 제2장의 크로스-챕터 박스 6, 3.2.2, 3.4.2, 4.2.3, RCP6.0은 제1장의 크로스-챕터 박스 1을 참조한다).

박스 SPM.1 I 해양 및 빙권 특별보고서에서 기후변화 시나리오의 이용

이 보고서에 제시된 미래 변화 전망에 대한 평가는 대체로 대표 농도 경로(RCP)를 사용한 CMIP5¹⁴ 기후 모델 예측에 기반한다. RCP는 배출량의 시계열과 전체 온실가스(GHG) 농도 그리고 에어로졸 및 화학적 활성 가스뿐만 아니라 토지 이용/토지 피복을 포함하는 시나리오이다. RCP는 서로 다른 수준의 지구온난화를 유발하는 여러 가능한 시나리오로 구성된 단 한 가지 세트만 제공한다. {부록 I: 용어집}

이 보고서는 주로 RCP2.6과 RCP8.5를 이용하여 평가하고, 사용 가능한 문헌을 반영하고 있다. RCP2.6은 낮은 온실가스 배출량, 미래의 높은 완화를 대표하며, CMIP5 시뮬레이션에 따르면 2100년에 지구온난화를 2°C 이하로 제한할 확률이 3분의 2 정도이다.¹⁵ 이와 대조적으로, RCP8.5는 기후변화 대응정책이 부재한 경우의 높은 온실가스 배출 시나리오로 대기 중 온실가스 농도의 지속적인 증가를 가져온다.

전체 RCP 세트와 비교할 때, RCP8.5는 가장 높은 온실가스 배출경로에 상응한다. 본 보고서의 장들은 중간 수준의 온실가스 배출량과 이로 인해 중간 수준의 온난화를 유발하는 RCP4.5 및 RCP6.0을 포함한 다른 시나리오도 참조한다. {부록 I: 용어집, 제1장의 크로스-챕터 박스 1}

표 SPM.1은 해양과 빙권 특별보고서에서 사용한 주요 평가 기간에 대해 4개의 다른 RCP 하에서 산업화 이전 시기 이후 전체 온난화에 대한 추정치를 제시한다. 1850~1900년부터 1986~2005년까지 온난화는 해양 및 육지에서 지표면 근처의 대기 온도를 관측한 결과 0.63°C(0.57~0.69°C의 *가능성 높은 범위*)로 평가되었다.¹⁶ AR5의 접근 방식에 따라, 1986~2005년 대비 전지구 평균 지표 온도에 대해 모델링한 미래 변화가 이 관측된 온난화에 추가되었다. {제1장의 크로스-챕터 박스 1}

표 SPM.1 I 4가지 RCP 하에서 1850~1900년 대비 두 기간에 대해 전망된 전지구 평균 지표 온도 변화¹⁵

시나리오	근 미래: 2031-2050년		세기 말: 2081-2100년	
	평균(°C)	가능성 높은 범위(°C)	평균(°C)	가능성 높은 범위(°C)
RCP2.6	1.6	1.1~2.0	1.6	0.9~2.4
RCP4.5	1.7	1.3~2.2	2.5	1.7~3.3
RCP6.0	1.6	1.2~2.0	2.9	2.0~3.8
RCP8.5	2.0	1.5~2.4	4.3	3.2~5.4

¹² 환산 계수(전지구 평균 해양 팽창 - 단위 열 당 미터 단위의 해수면 상승)는 모델마다 약 10% 다르고, 해양의 온난화로 인해 평균 열 팽창 계수가 높아지기 때문에 RCP8.5 시나리오에서는 2100년에 약 10% 증가할 것이다. {4.2.1, 4.2.2, 5.2.2}

¹³ 남극 지방의 해빙은 미래 전망에 대한 낮은 신뢰도로 인해 여기에 제시되지 않았다. {3.2.2}

¹⁴ CMIP5는 결합모델상호비교프로젝트의 5단계이다(부록 I: 용어집).

¹⁵ RCP2.6 보다 낮은 수준의 온난화 전망치에 해당하는 배출량이 낮은 경로(RCP1.9)는 CMIP5에 속하지 않는다.

¹⁶ 예를 들면, 이 보고서는 2006~2015년 대비 변화를 평가한다. 1850~1900년부터 2006~2015년까지의 온난화는 0.87°C(0.75~0.99°C의 *가능성 높은 범위*)로 평가되었다. {제1장의 크로스-챕터 박스 1}.

Figure SPM.1 (continued): Changes are shown for: **(a)** Global mean surface air temperature change with *likely* range. {Box SPM.1, Cross-Chapter Box 1 in Chapter 1} **Ocean-related changes** with *very likely* ranges for **(b)** Global mean sea surface temperature change {Box 5.1, 5.2.2}; **(c)** Change factor in surface ocean marine heatwave days {6.4.1}; **(d)** Global ocean heat content change (0–2000 m depth). An approximate steric sea level equivalent is shown with the right axis by multiplying the ocean heat content by the global-mean thermal expansion coefficient ($\epsilon \approx 0.125$ m per 10^{24} Joules)¹² for observed warming since 1970 {Figure 5.1}; **(h)** Global mean surface pH (on the total scale). Assessed observational trends are compiled from open ocean time series sites longer than 15 years {Box 5.1, Figure 5.6, 5.2.2}; and **(i)** Global mean ocean oxygen change (100–600 m depth). Assessed observational trends span 1970–2010 centered on 1996 {Figure 5.8, 5.2.2}. **Sea level changes** with *likely* ranges for **(m)** Global mean sea level change. Hashed shading reflects *low confidence* in sea level projections beyond 2100 and bars at 2300 reflect expert elicitation on the range of possible sea level change {4.2.3, Figure 4.2}; and components from **(e,f)** Greenland and Antarctic ice sheet mass loss {3.3.1}; and **(g)** Glacier mass loss {Cross-Chapter Box 6 in Chapter 2, Table 4.1}. Further **cryosphere-related changes** with *very likely* ranges for **(j)** Arctic sea ice extent change for September¹³ {3.2.1, 3.2.2 Figure 3.3}; **(k)** Arctic snow cover change for June (land areas north of 60°N) {3.4.1, 3.4.2, Figure 3.10}; and **(l)** Change in near-surface (within 3–4 m) permafrost area in the Northern Hemisphere {3.4.1, 3.4.2, Figure 3.10}. Assessments of projected changes under the intermediate RCP4.5 and RCP6.0 scenarios are not available for all variables considered here, but where available can be found in the underlying report. {For RCP4.5 see: 2.2.2, Cross-Chapter Box 6 in Chapter 2, 3.2.2, 3.4.2, 4.2.3, for RCP6.0 see Cross-Chapter Box 1 in Chapter 1}

Box SPM.1 | Use of Climate Change Scenarios in SROCC

Assessments of projected future changes in this report are based largely on CMIP5¹⁴ climate model projections using Representative Concentration Pathways (RCPs). RCPs are scenarios that include time series of emissions and concentrations of the full suite of greenhouse gases (GHGs) and aerosols and chemically active gases, as well as land use / land cover. RCPs provide only one set of many possible scenarios that would lead to different levels of global warming. {Annex I: Glossary}

This report uses mainly RCP2.6 and RCP8.5 in its assessment, reflecting the available literature. RCP2.6 represents a low greenhouse gas emissions, high mitigation future, that in CMIP5 simulations gives a two in three chance of limiting global warming to below 2°C by 2100¹⁵. By contrast, RCP8.5 is a high greenhouse gas emissions scenario in the absence of policies to combat climate change, leading to continued and sustained growth in atmospheric greenhouse gas concentrations. Compared to the total set of RCPs, RCP8.5 corresponds to the pathway with the highest greenhouse gas emissions. The underlying chapters also reference other scenarios, including RCP4.5 and RCP6.0 that have intermediate levels of greenhouse gas emissions and result in intermediate levels of warming. {Annex I: Glossary, Cross-Chapter Box 1 in Chapter 1}

Table SPM.1 provides estimates of total warming since the pre-industrial period under four different RCPs for key assessment intervals used in SROCC. The warming from the 1850–1900 period until 1986–2005 has been assessed as 0.63°C (0.57°C to 0.69°C *likely* range) using observations of near-surface air temperature over the ocean and over land.¹⁶ Consistent with the approach in AR5, modelled future changes in global mean surface air temperature relative to 1986–2005 are added to this observed warming. {Cross-Chapter Box 1 in Chapter 1}

Table SPM.1 | Projected global mean surface temperature change relative to 1850–1900 for two time periods under four RCPs¹⁵ {Cross-Chapter Box 1 in Chapter 1}

Scenario	Near-term: 2031–2050		End-of-century: 2081–2100	
	Mean (°C)	<i>Likely</i> range (°C)	Mean (°C)	<i>Likely</i> range (°C)
RCP2.6	1.6	1.1 to 2.0	1.6	0.9 to 2.4
RCP4.5	1.7	1.3 to 2.2	2.5	1.7 to 3.3
RCP6.0	1.6	1.2 to 2.0	2.9	2.0 to 3.8
RCP8.5	2.0	1.5 to 2.4	4.3	3.2 to 5.4

¹² This scaling factor (global-mean ocean expansion as sea level rise in metres per unit heat) varies by about 10% between different models, and it will systematically increase by about 10% by 2100 under RCP8.5 forcing due to ocean warming increasing the average thermal expansion coefficient. {4.2.1, 4.2.2, 5.2.2}


¹³ Antarctic sea ice is not shown here due to *low confidence* in future projections. {3.2.2}


¹⁴ CMIP5 is Phase 5 of the Coupled Model Intercomparison Project (Annex I: Glossary).


¹⁵ A pathway with lower emissions (RCP1.9), which would correspond to a lower level of projected warming than RCP2.6, was not part of CMIP5.


¹⁶ In some instances this report assesses changes relative to 2006–2015. The warming from the 1850–1900 period until 2006–2015 has been assessed as 0.87°C (0.75 to 0.99°C *likely* range). {Cross-Chapter Box 1 in Chapter 1}


A.2 1970년 이후 전지구 해양이 온난화되었으며, 기후 시스템에서 초과된 열의 90% 이상을 흡수한다는 점은 **사실상 확실하다(높은 신뢰도)**. 1993년 이후, 해양 온난화 속도는 2배 이상이 되었다(**가능성 높음**). 해양 고수온은 1982년 이후 빈도가 2배로 늘었을 **가능성이 매우 높고**, 강도도 증가하고 있다(**매우 높은 신뢰도**). 더 많은 CO₂ 흡수로 인해, 해양 표면의 산성화가 가속화되고 있다(**사실상 확실함**). 산소 손실은 표면부터 1000m까지 발생했다(**중간 신뢰도**). {1.4, 3.2, 5.2, 6.4, 6.7, 그림 SPM.1, SPM.2}

A.2.1  IPCC 5차 평가보고서(AR5)에 수록된 해양 온난화 추세가 계속되고 있다. 1993년 이후, 해양 온난화의 속도와 열 흡수는 1969년부터 1993년 동안 $3.22 \pm 1.61 \text{ ZJyr}^{-1}$ (수심 0-700m) 및 $0.97 \pm 0.64 \text{ ZJyr}^{-1}$ (700-2000m)에서 1993년부터 2017년¹⁷ 동안 $6.28 \pm 0.48 \text{ ZJyr}^{-1}$ (0-700m) 및 $3.86 \pm 2.09 \text{ ZJyr}^{-1}$ (700-2000m)로 2배 이상 증가했으며(**가능성 높음**), 이는 인위적인 강제력에 기인한다(**매우 가능성 높음**). {1.4.1, 5.2.2, 표 5.1, 그림 SPM.1}

A.2.2  남대양은 1970-2017년 사이에 전지구 해양 상부 2000m에서 흡수한 총열량의 35-43%를 차지한다(**높은 신뢰도**). 그 비율은 2005년부터 2017년 사이에는 45-62%로 증가했다(**높은 신뢰도**). 2000m 이하의 심해는 1992년부터 온난화되었는데(**가능성 높음**), 특히 남대양에서 그렇다. {1.4, 3.2.1, 5.2.2, 표 5.1, 그림 SPM.2}

A.2.3  전 지구적으로 해양 열 관련 현상이 증가되었다; 해양 고수온¹⁸은 일별 해수면 온도가 1982년부터 2016년 기간동안 지역에서 99분위를 초과할 때로 정의하며, 그 빈도는 2배로 늘었고 더욱 오래 지속되며, 강도도 세고 광범위해 졌다(**매우 가능성 높은 범위**). 2006년부터 2015년 사이에 발생한 해양 고수온의 84-90%는 인위적인 온도 상승에 기인한다는 것은 **매우 가능성이 높다**. {표 6.2, 6.4, 그림 SPM.1, SPM.2}

A.2.4  밀도 성층¹⁹은 1970년 이후 해양의 상부 200m에서 증가되었다(**매우 가능성 높음**). 관측된 해양 표면의 온난화와 고위도에서의 담수 추가로 인해 해양 심층부에 비해 해양 표면의 밀도가 낮아지게 되고(**높은 신뢰도**), 표면 해수와 심해수가 섞이지 않게 된다(**높은 신뢰도**). 상부 200m의 평균 성층은 1971-1990년 동안의 평균값 대비 1998-2017년 평균값이 $2.3 \pm 0.1\%$ (**매우 가능성 높은 범위**) 상승했다. {5.2.2}

A.2.5  해양은 1980년 이후 전체 인위적 CO₂ 배출량의 20-30%를 흡수하였고(**매우 가능성 높음**), 이로 인해 해양이 계속 산성화되고 있다. 외해 표층 pH는 1980년대²⁰ 후반부터 10년마다 0.017-0.027 pH 단위의 **매우 가능성 높은 범위**로 감소했고, 해양 표면적의 95% 이상에서 **매우 높은 가능성**으로 이미 배경 자연 변동성을 벗어나는 표층 해수의 pH 감소가 나타난다. {3.2.1, 5.2.2, 박스 5.1, 그림 SPM.1, SPM.2}


17 ZJ는 제타줄(Zettajoule)이며, 이는 10²¹J와 같다. 전체 해양을 1°C 온난화시키려면 약 5500 ZJ이 필요하다. 144 ZJ이면 상부 100m를 약 1°C 올릴 수 있다.


18 해양 고수온은 며칠부터 몇 개월까지 지속되고 수천 킬로미터로 이어질 수 있는 해양 표면 근처의 극심한 온난화 기간이다(부록 I: 용어집).


19 이 보고서에서, 밀도 성층은 저층과 심층 사이의 밀도차로 정의한다. 성층이 증가하면 열, 염도, 산소, 탄소 및 영양분의 수직적 교환이 줄어든다.


20 15년 이상의 현장 기록 기반


A.2 It is *virtually certain* that the global ocean has warmed unabated since 1970 and has taken up more than 90% of the excess heat in the climate system (*high confidence*). Since 1993, the rate of ocean warming has more than doubled (*likely*). Marine heatwaves have *very likely* doubled in frequency since 1982 and are increasing in intensity (*very high confidence*). By absorbing more CO₂, the ocean has undergone increasing surface acidification (*virtually certain*). A loss of oxygen has occurred from the surface to 1000 m (*medium confidence*). {1.4, 3.2, 5.2, 6.4, 6.7, Figures SPM.1, SPM.2}

A.2.1  The ocean warming trend documented in the IPCC Fifth Assessment Report (AR5) has continued. Since 1993 the rate of ocean warming and thus heat uptake has more than doubled (*likely*) from $3.22 \pm 1.61 \text{ ZJ yr}^{-1}$ (0–700 m depth) and $0.97 \pm 0.64 \text{ ZJ yr}^{-1}$ (700–2000 m) between 1969 and 1993, to $6.28 \pm 0.48 \text{ ZJ yr}^{-1}$ (0–700 m) and $3.86 \pm 2.09 \text{ ZJ yr}^{-1}$ (700–2000 m) between 1993 and 2017¹⁷, and is attributed to anthropogenic forcing (*very likely*). {1.4.1, 5.2.2, Table 5.1, Figure SPM.1}

A.2.2  The Southern Ocean accounted for 35–43% of the total heat gain in the upper 2000 m global ocean between 1970 and 2017 (*high confidence*). Its share increased to 45–62% between 2005 and 2017 (*high confidence*). The deep ocean below 2000 m has warmed since 1992 (*likely*), especially in the Southern Ocean. {1.4, 3.2.1, 5.2.2, Table 5.1, Figure SPM.2}

A.2.3  Globally, marine heat-related events have increased; marine heatwaves¹⁸, defined when the daily sea surface temperature exceeds the local 99th percentile over the period 1982 to 2016, have doubled in frequency and have become longer-lasting, more intense and more extensive (*very likely*). It is *very likely* that between 84–90% of marine heatwaves that occurred between 2006 and 2015 are attributable to the anthropogenic temperature increase. {Table 6.2, 6.4, Figures SPM.1, SPM.2}

A.2.4  Density stratification¹⁹ has increased in the upper 200 m of the ocean since 1970 (*very likely*). Observed surface ocean warming and high latitude addition of freshwater are making the surface ocean less dense relative to deeper parts of the ocean (*high confidence*) and inhibiting mixing between surface and deeper waters (*high confidence*). The mean stratification of the upper 200 m has increased by $2.3 \pm 0.1\%$ (*very likely* range) from the 1971–1990 average to the 1998–2017 average. {5.2.2}







A.2.5  The ocean has taken up between 20–30% (*very likely*) of total anthropogenic CO₂ emissions since the 1980s causing further ocean acidification. Open ocean surface pH has declined by a *very likely* range of 0.017–0.027 pH units per decade since the late 1980s²⁰, with the decline in surface ocean pH *very likely* to have already emerged from background natural variability for more than 95% of the ocean surface area. {3.2.1, 5.2.2, Box 5.1, Figures SPM.1, SPM.2}

¹⁷ ZJ is Zettajoule and is equal to 10^{21} Joules. Warming the entire ocean by 1°C requires about 5500 ZJ; 144 ZJ would warm the top 100 m by about 1°C.

¹⁸ A marine heatwave is a period of extreme warm near-sea surface temperature that persists for days to months and can extend up to thousands of kilometres (Annex I: Glossary).

¹⁹ In this report density stratification is defined as the density contrast between shallower and deeper layers. Increased stratification reduces the vertical exchange of heat, salinity, oxygen, carbon, and nutrients.







²⁰ Based on in-situ records longer than fifteen years.

- A.2.6  1970-2010년 동안의 자료를 보면, 외해 상부 1000m에서는 **매우 가능성 높은** 범위로 0.5-3.3%의 산소가 손실되었고, 이와 함께 산소 최소 구역의 부피가 **높은 가능성으로** 3-8% 확장되었다(**중간 신뢰도**). 산소 손실은 해양 성층의 증가, 통기 및 생화학의 변화가 주된 원인이다(**높은 신뢰도**). {5.2.2, 그림 SPM.1, SPM.2}
- A.2.7  현장관측(2004—2017년)과 해수면 온도 복원에 기반한 관측값에 따르면, 대서양 자오선 역전순환(AMOC)²¹이 1850-1900년에 비해 약화되었음을 알 수 있다(**중간 신뢰도**). 관측 기록이 길지 않기 때문에, 약화된 크기를 정량화할 데이터가 충분하지 않고 이것이 인위적인 강제력에 기인한다고 볼 근거도 충분하지 않다. 현재로서는 규명이 불가능하지만, 1850-2015년 기간의 CMIP5 모델 시뮬레이션은 평균적으로 인위적 강제력을 가할 때 AMOC이 약화되는 것을 보여준다. {6.7}
- A.3 전지구 평균 해수면(GMSL)은 상승하고 있으며, 그린란드 및 남극 빙상의 얼음 손실 속도의 증가와 빙하의 질량 손실 그리고 해양 열팽창 지속으로 인해 최근 수십 년간 가속화되고 있다(매우 높은 신뢰도). 열대성 저기압 및 강우가 늘어나고 극한의 파도가 많아진 데다 상대적 해수면 상승과 결합되면서 극한 해수면 현상 및 연안 위해(hazards)가 악화되고 있다(높은 신뢰도).** {3.3, 4.2, 6.2, 6.3, 6.8 그림 SPM.1, SPM.2, SPM.4, SPM.5}
- A.3.1  1902-2010년의 총 GMSL 상승은 0.16m(0.12-0.21m의 **매우 가능성 높은** 범위) 이다. 2006-2015년의 GMSL 상승 속도인 3.6 mmyr⁻¹(3.1-4.1 mmyr⁻¹, **매우 가능성 높은** 범위)는 지난 100년간 전례가 없었으며(**높은 신뢰도**), 1901-1990년 동안의 속도인 1.4 mmyr⁻¹(0.8-2.0 mmyr⁻¹, **매우 가능성 높은** 범위)의 약 2.5배에 달한다. 2006-2015년 동안 빙상 및 빙하의 총 기여도는 해수면 상승의 지배적인 원인이며(1.8 mmyr⁻¹, 1.7-1.9 mmyr⁻¹의 **매우 가능성 높은** 범위), 이는 해양의 열 팽창 효과(1.4 mmyr⁻¹, 1.1-1.7 mmyr⁻¹의 **매우 가능성 높은** 범위²²)를 넘어서는 것이다(**매우 높은 신뢰도**). 1970년 이후 전지구 평균 해수면 상승의 지배적인 원인은 인위적인 강제력이다(**높은 신뢰도**). {4.2.1, 4.2.2, 그림 SPM.1}
- A.3.2  그린란드 및 남극 지방에서 빙상의 얼음 손실과 겹쳐지면서(**대단히 가능성 높음**), 해수면 상승이 가속화되었다(**매우 높은 신뢰도**). 2007-2016년 동안 남극 지방에서 빙상의 질량 손실은 1997-2006년 기간에 비해 3배로 늘었다. 그린란드의 경우, 동일한 기간 동안 질량 손실은 2배였다(**가능성 높음, 중간 신뢰도**). {3.3.1, 그림 SPM.1, SPM.2, SPM A.1.1}
- A.3.3  남극 지방에서 빙하의 유입 및 후퇴가 가속화되면 해수면이 몇 세기 만에 수 미터까지 상승할 수 있는데, 이는 서남극의 아문센만(Amundsen Sea Embayment) 그리고 동남극의 윌크스랜드(Wilkes Land)에서 관측되고 있다(**매우 높은 신뢰도**). 이런 변화는 비가역적인²³ 빙상의 불안정성이 시작된 것일 수 있다. 빙상 불안정성의 시작과 관련된 불확실성은 제한된 관측값, 빙상 과정의 부적절한 모델 표현, 그리고 대기, 해양 및 빙상 간 복잡한 상호 작용에 대한 제한된 이해에서 발생한다. {3.3.1, 제3장의 크로스-챕터 박스 8, 4.2.3}
- A.3.4  해수면 상승은 전 지구적으로 균일하지 않고, 지역적으로 다르다. 전지구 평균 해수면 상승의 ±30% 이내에서, 지역별 차이는 육지 빙하의 손실과 해양 온난화 및 순환의 편차로 인한 것이다. 전지구 평균의 차이는 해당지역의 인간 활동(예: 지하수 추출) 등 급속한 수직적 토지 이동이 발생하는 영역에서 더 클 수 있다.(**높은 신뢰도**) {4.2.2, 5.2.2, 6.2.2, 6.3.1, 6.8.2, 그림 SPM.2}

²¹ 대서양 자오선 역전순환(AMOC)은 남대서양 및 북대서양의 주요 해류 흐름이다(부록 I: 용어집).

²² 해수면 상승의 총 속도는 빙권 및 해양 기여도의 총합보다 큰데, 이는 육지 물 보관량 추정치에 대한 불확실성 때문이다.



²³ 복원 시간 단위는 수백~수천 년이다(부록 I: 용어집).

- A.2.6  Datasets spanning 1970–2010 show that the open ocean has lost oxygen by a *very likely* range of 0.5–3.3% over the upper 1000 m, alongside a *likely* expansion of the volume of oxygen minimum zones by 3–8% (*medium confidence*). Oxygen loss is primarily due to increasing ocean stratification, changing ventilation and biogeochemistry (*high confidence*). {5.2.2, Figures SPM.1, SPM.2}
- A.2.7  Observations, both in situ (2004–2017) and based on sea surface temperature reconstructions, indicate that the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC)²¹ has weakened relative to 1850–1900 (*medium confidence*). There is insufficient data to quantify the magnitude of the weakening, or to properly attribute it to anthropogenic forcing due to the limited length of the observational record. Although attribution is currently not possible, CMIP5 model simulations of the period 1850–2015, on average, exhibit a weakening AMOC when driven by anthropogenic forcing. {6.7}
- A.3 Global mean sea level (GMSL) is rising, with acceleration in recent decades due to increasing rates of ice loss from the Greenland and Antarctic ice sheets (*very high confidence*), as well as continued glacier mass loss and ocean thermal expansion. Increases in tropical cyclone winds and rainfall, and increases in extreme waves, combined with relative sea level rise, exacerbate extreme sea level events and coastal hazards (*high confidence*). {3.3, 4.2, 6.2, 6.3, 6.8, Figures SPM.1, SPM.2, SPM.4, SPM.5}**
- A.3.1  Total GMSL rise for 1902–2010 is 0.16 m (*likely* range 0.12–0.21 m). The rate of GMSL rise for 2006–2015 of 3.6 mm yr⁻¹ (3.1–4.1 mm yr⁻¹, *very likely* range), is unprecedented over the last century (*high confidence*), and about 2.5 times the rate for 1901–1990 of 1.4 mm yr⁻¹ (0.8– 2.0 mm yr⁻¹, *very likely* range). The sum of ice sheet and glacier contributions over the period 2006–2015 is the dominant source of sea level rise (1.8 mm yr⁻¹, *very likely* range 1.7–1.9 mm yr⁻¹), exceeding the effect of thermal expansion of ocean water (1.4 mm yr⁻¹, *very likely* range 1.1–1.7 mm yr⁻¹)²² (*very high confidence*). The dominant cause of global mean sea level rise since 1970 is anthropogenic forcing (*high confidence*). {4.2.1, 4.2.2, Figure SPM.1}
- A.3.2  Sea level rise has accelerated (*extremely likely*) due to the combined increased ice loss from the Greenland and Antarctic ice sheets (*very high confidence*). Mass loss from the Antarctic ice sheet over the period 2007–2016 tripled relative to 1997–2006. For Greenland, mass loss doubled over the same period (*likely, medium confidence*). {3.3.1, Figures SPM.1, SPM.2, SPM A.1.1}
- A.3.3  Acceleration of ice flow and retreat in Antarctica, which has the potential to lead to sea level rise of several metres within a few centuries, is observed in the Amundsen Sea Embayment of West Antarctica and in Wilkes Land, East Antarctica (*very high confidence*). These changes may be the onset of an irreversible²³ ice sheet instability. Uncertainty related to the onset of ice sheet instability arises from limited observations, inadequate model representation of ice sheet processes, and limited understanding of the complex interactions between the atmosphere, ocean and the ice sheet. {3.3.1, Cross-Chapter Box 8 in Chapter 3, 4.2.3}
- A.3.4  Sea level rise is not globally uniform and varies regionally. Regional differences, within ±30% of the global mean sea level rise, result from land ice loss and variations in ocean warming and circulation. Differences from the global mean can be greater in areas of rapid vertical land movement including from local human activities (e.g. extraction of groundwater). (*high confidence*) {4.2.2, 5.2.2, 6.2.2, 6.3.1, 6.8.2, Figure SPM.2}




²¹ The Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC) is the main current system in the South and North Atlantic Oceans (Annex I: Glossary).



²² The total rate of sea level rise is greater than the sum of cryosphere and ocean contributions due to uncertainties in the estimate of landwater storage change.

²³ The recovery time scale is hundreds to thousands of years (Annex I: Glossary).

- A.3.5  극한의 파고는 극한 해수면 현상, 연안 침식 및 홍수를 일으키는데, 1985-2018년 동안 남대서양 및 북대서양에서 약 1.0 cm yr^{-1} 및 0.8 cm yr^{-1} 씩 상승했다(중간 신뢰도). 북극지역의 해빙 손실은 1992-2014년 동안 파고를 증가시켰다(중간 신뢰도). {4.2.2, 6.2, 6.3, 6.8, 박스 6.1}
- A.3.6  인위적 기후변화로 강수량(중간 신뢰도), 바람(낮은 신뢰도) 그리고 일부 열대성 저기압에 관련된 극한 해수면 현상(높은 신뢰도)의 관측이 증가되었고, 이는 다수의 극한 현상의 강도와 그에 관련된 후속적 영향을 증가시켰다(높은 신뢰도). 인위적 기후변화는 인위적으로 강제된 열대지역의 팽창으로 인해 최근 수십 년간 서부 북태평양에서 최대 강도의 열대성 저기압이 극지쪽으로 이동하는데 기여했을 수 있다(낮은 신뢰도). 최근 수십 년간 카테고리 4 또는 5의 열대성 저기압의 연간 전지구적 비율 증가에 대한 증거들이 속속 나오고 있다(낮은 신뢰도). {6.2, 표 6.2, 6.3, 6.8, 박스 6.1}




생태계에 대한 관측된 영향

- A.4 **빙권 및 관련 수문학적 변화는 예전에 눈으로 덮였던 토지가 드러나고, 적설면적이 변화하며, 영구 동토층이 녹으면서 고산 및 극지방의 영토와 담수 생물종 및 생태계에 영향을 미쳤다. 이런 변화는 생태적, 문화적 및 경제적으로 중요한 식물 및 동물 종의 계절적 활동, 풍부도 및 분포, 생태학적 간섭 그리고 생태계의 기능을 바꾸고 있다(높은 신뢰도).** {2.3.2, 2.3.3, 3.4.1, 3.4.3, 박스 3.4, 그림 SPM.2}
- A.4.1  지난 세기 동안, 빙하가 줄어들고 눈이 없는 계절이 길어짐에 따라 일부 동식물종은 그 수가 증가했고, 분포범위가 달라졌으며, 새로운 지역에 정착했다(높은 신뢰도). 온난화와 더불어, 이런 변화로 인해 지역적으로 고산 지역에서 종의 수가 증가하게 되었고 저지대의 종은 사면 상부로 이동하게 되었다(매우 높은 신뢰도). 추운 지역에 적응하거나 눈에 의존적인 종들은 그 수가 감소되어 멸종 위기가 높아졌는데, 특히 산 정상에서 더욱 그러하다(높은 신뢰도). 극지방 및 산지에서, 다수의 종들은 특히 늦겨울과 봄철에 계절적 활동을 바꾸게 되었다(높은 신뢰도). {2.3.3, 박스 3.4}
- A.4.2  산불 및 갑작스런 영구 동토층의 해동이 늘어나고 북극지방 및 산의 수문학이 변화되면서, 생태계 교란의 빈도 및 강도가 달라졌다(높은 신뢰도). 여기에는 식생 및 순록과 연어 등 야생동물에 대한 긍정 및 부정적 영향이 포함된다(높은 신뢰도). {2.3.3, 3.4.1, 3.4.3}
- A.4.3  툰드라 지대에서의 위성 관측 결과는, 전반적인 녹지화를 보여주며 이는 식물 생산성 증가를 나타내는 것으로 볼 수 있다(높은 신뢰도). 툰드라의 갈변된 지역 그리고 냉대림은 생산성이 줄어든 것으로 볼 수 있다(높은 신뢰도). 이런 변화는 공급적, 조절적, 문화적 생태계 서비스에 부정적인 영향을 미쳤으며, 아울러 고산 지대(중간 신뢰도) 및 극지방(높은 신뢰도)에서는 공급적 서비스에 일시적으로 긍정적인 영향도 주고 있다. {2.3.1, 2.3.3, 3.4.1, 3.4.3, 부록 I: 용어집}


- A.3.5  Extreme wave heights, which contribute to extreme sea level events, coastal erosion and flooding, have increased in the Southern and North Atlantic Oceans by around 1.0 cm yr⁻¹ and 0.8 cm yr⁻¹ over the period 1985–2018 (*medium confidence*). Sea ice loss in the Arctic has also increased wave heights over the period 1992–2014 (*medium confidence*). {4.2.2, 6.2, 6.3, 6.8, Box 6.1}
- A.3.6  Anthropogenic climate change has increased observed precipitation (*medium confidence*), winds (*low confidence*), and extreme sea level events (*high confidence*) associated with some tropical cyclones, which has increased intensity of multiple extreme events and associated cascading impacts (*high confidence*). Anthropogenic climate change may have contributed to a poleward migration of maximum tropical cyclone intensity in the western North Pacific in recent decades related to anthropogenically-forced tropical expansion (*low confidence*). There is emerging evidence for an increase in annual global proportion of Category 4 or 5 tropical cyclones in recent decades (*low confidence*). {6.2, Table 6.2, 6.3, 6.8, Box 6.1}


Observed Impacts on Ecosystems


A.4 Cryospheric and associated hydrological changes have impacted terrestrial and freshwater species and ecosystems in high mountain and polar regions through the appearance of land previously covered by ice, changes in snow cover, and thawing permafrost. These changes have contributed to changing the seasonal activities, abundance and distribution of ecologically, culturally, and economically important plant and animal species, ecological disturbances, and ecosystem functioning. (*high confidence*) {2.3.2, 2.3.3, 3.4.1, 3.4.3, Box 3.4, Figure SPM.2}


- A.4.1  Over the last century some species of plants and animals have increased in abundance, shifted their range, and established in new areas as glaciers receded and the snow-free season lengthened (*high confidence*). Together with warming, these changes have increased locally the number of species in high mountains, as lower-elevation species migrate upslope (*very high confidence*). Some cold-adapted or snow-dependent species have declined in abundance, increasing their risk of extinction, notably on mountain summits (*high confidence*). In polar and mountain regions, many species have altered seasonal activities especially in late winter and spring (*high confidence*). {2.3.3, Box 3.4}
- A.4.2  Increased wildfire and abrupt permafrost thaw, as well as changes in Arctic and mountain hydrology have altered frequency and intensity of ecosystem disturbances (*high confidence*). This has included positive and negative impacts on vegetation and wildlife such as reindeer and salmon (*high confidence*). {2.3.3, 3.4.1, 3.4.3}
- A.4.3  Across tundra, satellite observations show an overall greening, often indicative of increased plant productivity (*high confidence*). Some browning areas in tundra and boreal forest are indicative that productivity has decreased (*high confidence*). These changes have negatively affected provisioning, regulating and cultural ecosystem services, with also some transient positive impacts for provisioning services, in both high mountains (*medium confidence*) and polar regions (*high confidence*). {2.3.1, 2.3.3, 3.4.1, 3.4.3, Annex I: Glossary}

A.5 1950년경부터 다양한 그룹에 걸쳐 많은 해양종은 해양 온난화, 해빙 변화, 산소 손실과 같은 서식지에 대한 생물 지구화학적 변화로 인해 지리적 서식범위 및 계절적 활동이 달라졌다(높은 신뢰도). 그 결과, 적도부터 극지방까지 종 구성, 풍부도 및 생태계의 바이오매스 생산이 달라졌다. 종 사이의 달라진 상호 작용은 생태계의 구조 및 기능에 후속적인 영향을 미쳤다(중간 신뢰도). 일부 해양 생태계 종의 경우, 어업 효과와 기후변화로 인해 영향을 받고 있다(중간 신뢰도). {3.2.3, 3.2.4, 박스 3.4, 5.2.3, 5.3, 5.4.1, 그림 SPM.2}


A.5.1  1950년대 이후 서로 다른 해양 종들의 분포가 극지방으로 이동하는 속도는 표층해수(해수면으로부터 상부 200m)생태계와 해저생태계의 유기체에 있어 각각 10년에 $52 \pm 33\text{km}$ 와 $29 \pm 16\text{km}$ (매우 가능성 높은 범위)이다. 분포이동의 속도 및 방향의 관측값은 현지 온도, 산소 및 수심, 위도, 경도에 따른 해류를 통해 형성된다(높은 신뢰도). 온난화로 인한 종의 서식 범위 확장으로 북대서양, 북동 태평양 및 북극지방 등에서 생태계 구조 및 기능이 달라졌다(중간 신뢰도). {5.2.3, 5.3.2, 5.3.6, Box 3.4, 그림 SPM.2}


A.5.2  최근 수십 년 동안, 북극지방의 순 1차 생산은 얼음 없는 물에서 증가되었고(높은 신뢰도) 해빙 변화 및 영양염 가용성으로 인해 봄철 식물성 플랑크톤 증식이 연초에 발생하고 있으며 이는 해양생태계에 대해 공간적으로 다양하게 긍정 및 부정적 영향을 줄 수 있다(중간 신뢰도). 남극 지방에서, 이런 변화는 공간적으로 이질적이고 급속한 현지 환경 변화에 관련되는데, 여기에는 빙하 후퇴 및 해빙 변화가 포함된다(중간 신뢰도). 일부 북극지방의 동물성 플랑크톤의 계절적 활동, 생산 및 분포의 변화와 남대서양에서 남극 크릴새우의 남쪽으로의 이동은 기후에 연계된 환경 변화와 관련이 있다(중간 신뢰도). 극지방에서, 얼음과 관련된 해양 포유동물 및 바닷새는 해빙 변화로 인한 서식지 감소를 경험하고 있으며(높은 신뢰도), 먹잇감 분포에 대한 기후 영향으로 인해 수렵 채집의 성공에 영향을 받는다(중간 신뢰도). 극지방의 동물성 플랑크톤에 대한 여러 기후 관련 인자들의 후속 효과는 먹이망 구조와 기능, 생물다양성은 물론 수산업에 영향을 주고 있다(높은 신뢰도). {3.2.3, 3.2.4, Box 3.4, 5.2.3, 그림 SPM.2}


A.5.3  동부 경계 용승 시스템(EBUS)은 가장 생산적인 해양 생태계 중 하나이다. 해양 산성화 및 산소 손실 증가로 인해 4개의 주요 용승 시스템 중 2개, 즉 캘리포니아 해류 및 훔볼트 해류가 부정적인 영향을 받고 있다(높은 신뢰도). 해양 산성화와 캘리포니아 해류 용승 시스템에서의 산소농도 감소는 생태계 구조를 변화시켰고, 직접적으로 바이오매스 생산 및 종 구성에 부정적인 영향을 미쳤다(중간 신뢰도). {Box 5.3, 그림 SPM.2}


A.5.4  20세기 이후의 해양 온난화로 인해 최대 잠재 어획량이 전반적으로 줄었으며(중간 신뢰도), 이는 어족 자원의 남획으로도 부터도 영향을 받았다(높은 신뢰도). 다수의 지역에서, 지구온난화와 생물 지구화학적 변화의 직간접적인 영향으로 인해 어류 및 조개류의 풍부도가 감소하여 어획량이 이미 감소했다(높은 신뢰도). 일부 지역에서는, 해양 상태의 변화로 적절한 서식지의 팽창 그리고/또는 일부 종의 풍부도가 증가하게 되었다(높은 신뢰도). 이러한 변화는 여러 생태계에서 1970년대 이후 어획량의 종 구성 변화를 가져왔다(중간 신뢰도). {3.2.3, 5.4.1, 그림 SPM.2}

A.5 Since about 1950 many marine species across various groups have undergone shifts in geographical range and seasonal activities in response to ocean warming, sea ice change and biogeochemical changes, such as oxygen loss, to their habitats (*high confidence*). This has resulted in shifts in species composition, abundance and biomass production of ecosystems, from the equator to the poles. Altered interactions between species have caused cascading impacts on ecosystem structure and functioning (*medium confidence*). In some marine ecosystems species are impacted by both the effects of fishing and climate changes (*medium confidence*). {3.2.3, 3.2.4, Box 3.4, 5.2.3, 5.3, 5.4.1, Figure SPM.2}


A.5.1  Rates of poleward shifts in distributions across different marine species since the 1950s are 52 ± 33 km per decade and 29 ± 16 km per decade (*very likely* ranges) for organisms in the epipelagic (upper 200 m from sea surface) and seafloor ecosystems, respectively. The rate and direction of observed shifts in distributions are shaped by local temperature, oxygen, and ocean currents across depth, latitudinal and longitudinal gradients (*high confidence*). Warming-induced species range expansions have led to altered ecosystem structure and functioning such as in the North Atlantic, Northeast Pacific and Arctic (*medium confidence*). {5.2.3, 5.3.2, 5.3.6, Box 3.4, Figure SPM.2}


A.5.2  In recent decades, Arctic net primary production has increased in ice-free waters (*high confidence*) and spring phytoplankton blooms are occurring earlier in the year in response to sea ice change and nutrient availability with spatially variable positive and negative consequences for marine ecosystems (*medium confidence*). In the Antarctic, such changes are spatially heterogeneous and have been associated with rapid local environmental change, including retreating glaciers and sea ice change (*medium confidence*). Changes in the seasonal activities, production and distribution of some Arctic zooplankton and a southward shift in the distribution of the Antarctic krill population in the South Atlantic are associated with climate-linked environmental changes (*medium confidence*). In polar regions, ice associated marine mammals and seabirds have experienced habitat contraction linked to sea ice changes (*high confidence*) and impacts on foraging success due to climate impacts on prey distributions (*medium confidence*). Cascading effects of multiple climate-related drivers on polar zooplankton have affected food web structure and function, biodiversity as well as fisheries (*high confidence*). {3.2.3, 3.2.4, Box 3.4, 5.2.3, Figure SPM.2}


A.5.3  Eastern Boundary Upwelling Systems (EBUS) are amongst the most productive ocean ecosystems. Increasing ocean acidification and oxygen loss are negatively impacting two of the four major upwelling systems: the California Current and Humboldt Current (*high confidence*). Ocean acidification and decrease in oxygen level in the California Current upwelling system have altered ecosystem structure, with direct negative impacts on biomass production and species composition (*medium confidence*). {Box 5.3, Figure SPM.2}


A.5.4  Ocean warming in the 20th century and beyond has contributed to an overall decrease in maximum catch potential (*medium confidence*), compounding the impacts from overfishing for some fish stocks (*high confidence*). In many regions, declines in the abundance of fish and shellfish stocks due to direct and indirect effects of global warming and biogeochemical changes have already contributed to reduced fisheries catches (*high confidence*). In some areas, changing ocean conditions have contributed to the expansion of suitable habitat and/or increases in the abundance of some species (*high confidence*). These changes have been accompanied by changes in species composition of fisheries catches since the 1970s in many ecosystems (*medium confidence*). {3.2.3, 5.4.1, Figure SPM.2}

A.6 연안 생태계는 강화된 해양 고수온, 산성화, 산소 손실, 염수 침입 및 해수면 상승 등 해양 온난화에 의해 영향을 받으며 이는 해양 및 육지에서 인간의 활동으로 인한 부정적 효과와 결부된다(높은 신뢰도). 이런 영향은 생태계 기능 및 서비스는 물론 서식지 영역 및 생물다양성의 측면에서 관측되고 있다(높은 신뢰도). {4.3.2, 4.3.3, 5.3, 5.4.1, 6.4.2, 그림 SPM.2}


A.6.1  식생이 있는 연안 생태계는 폭풍 및 침식으로부터 해안선을 보호하고, 해수면 상승의 영향을 완화시키는 데 도움이 된다. 지난 100년간 연안 습지 중 거의 50%가 손실되었는데, 이는 지역적인 인간의 압력, 해수면 상승, 온난화 및 극한 기후 현상이 결합된 효과에 기인한다(높은 신뢰도). 식생이 있는 연안 생태계는 중요한 탄소 저장소이다. 이것이 손실되면 0.04-1.46 GtCyr⁻¹의 배출이 일어났다(중간 신뢰도). 온난화로 인해, 해초대 및 켈프숲의 분포 범위는 1970년 후반 이후 고위도 지역에서는 확장되고 저위도 지역에서는 수축되고 있으며(높은 신뢰도), 일부 지역에서는 고수온 현상 발생 이후에 이따금씩 손실이 발생하고 있다(중간 신뢰도). 1960년대 이후 온난화에 관련된 대규모 맹그로브의 고사는 온도 상승에 따라 맹그로브가 아열대성 염습지로 침투하여 부분적으로 상쇄되었고, 그 결과 동물군에 식량 및 서식지를 제공하는 초본 식물 개활지의 손실을 초래하였다(높은 신뢰도). {4.3.3, 5.3.2, 5.3.6, 5.4.1, 5.5.1, 그림 SPM.2}.


A.6.2  해수면 상승으로 인해 하구로의 해수 침투가 증가하여 해양 종이 상류로 재분포되고(중간 신뢰도) 하구 군집에는 적정 서식지의 감소를 초래하였다(중간 신뢰도). 1970년대 이후 강도 높은 인위적 개발과 하천 오염으로 인한 하구에서 영양염 및 유기물 부하 상승은 세균 호흡에 미치는 해양 온난화의 촉진 효과를 약화시켰고, 그 결과 저산소지역이 확대되고 있다(높은 신뢰도). {5.3.1}.


A.6.3  연안 생태계에 대한 해수면 상승의 영향에는 서식지 감소, 관련 종의 지리적 이동 그리고 생물다양성과 생태계 기능의 손실이 포함된다. 인간의 직접적인 간섭으로 이런 영향이 악화되는데, 여기서 인공 장애물은 습지 및 맹그로브를 육지 쪽으로 이동할 수 없게 만든다(높은 신뢰도). 현지의 지형학적 특징과 퇴적물 공급에 따라 염습지와 맹그로브는 현재 평균 해수면 상승과 동일하거나 더 큰 속도로 연직방향으로 성장해 나갈 수 있다(높은 신뢰도). {4.3.2, 4.3.3, 5.3.2, 5.3.7, 5.4.1}

A.6.4  산호초, 따개비, 홍합 등 이동이 불가능한 석회화(예: 조개 및 뼈대의 산물) 생물이 우점하는 온수대 산호초와 암반 해안은 현재 극한 온도 및 해양 산성화로 영향을 받고 있다(높은 신뢰도). 해양 고수온은 대규모 산호 백화 현상을 더욱 자주 발생시키고 있으며(매우 높은 신뢰도), 그 결과 1997년 이후 전 세계적인 산호초 저하가 발생하고 있는데 복원 속도는 느리다(15년 이상 소요)(높은 신뢰도). 고온 환경과 생물의 탈수 기간이 길어지면 암반해안 생태계는 높은 리스크에 노출된다(높은 신뢰도). {SR1.5, 5.3.4, 5.3.5, 6.4.2.1, 그림 SPM.2}

A.6 Coastal ecosystems are affected by ocean warming, including intensified marine heatwaves, acidification, loss of oxygen, salinity intrusion and sea level rise, in combination with adverse effects from human activities on ocean and land (*high confidence*). Impacts are already observed on habitat area and biodiversity, as well as ecosystem functioning and services (*high confidence*). {4.3.2, 4.3.3, 5.3, 5.4.1, 6.4.2, Figure SPM.2}

A.6.1  Vegetated coastal ecosystems protect the coastline from storms and erosion and help buffer the impacts of sea level rise. Nearly 50% of coastal wetlands have been lost over the last 100 years, as a result of the combined effects of localised human pressures, sea level rise, warming and extreme climate events (*high confidence*). Vegetated coastal ecosystems are important carbon stores; their loss is responsible for the current release of 0.04–1.46 GtC yr⁻¹ (*medium confidence*). In response to warming, distribution ranges of seagrass meadows and kelp forests are expanding at high latitudes and contracting at low latitudes since the late 1970s (*high confidence*), and in some areas episodic losses occur following heatwaves (*medium confidence*). Large-scale mangrove mortality that is related to warming since the 1960s has been partially offset by their encroachment into subtropical saltmarshes as a result of increase in temperature, causing the loss of open areas with herbaceous plants that provide food and habitat for dependent fauna (*high confidence*). {4.3.3, 5.3.2, 5.3.6, 5.4.1, 5.5.1, Figure SPM.2}

A.6.2  Increased sea water intrusion in estuaries due to sea level rise has driven upstream redistribution of marine species (*medium confidence*) and caused a reduction of suitable habitats for estuarine communities (*medium confidence*). Increased nutrient and organic matter loads in estuaries since the 1970s from intensive human development and riverine loads have exacerbated the stimulating effects of ocean warming on bacterial respiration, leading to expansion of low oxygen areas (*high confidence*). {5.3.1}

A.6.3  The impacts of sea level rise on coastal ecosystems include habitat contraction, geographical shift of associated species, and loss of biodiversity and ecosystem functionality. Impacts are exacerbated by direct human disturbances, and where anthropogenic barriers prevent landward shift of marshes and mangroves (termed coastal squeeze) (*high confidence*). Depending on local geomorphology and sediment supply, marshes and mangroves can grow vertically at rates equal to or greater than current mean sea level rise (*high confidence*). {4.3.2, 4.3.3, 5.3.2, 5.3.7, 5.4.1}




A.6.4  Warm-water coral reefs and rocky shores dominated by immobile, calcifying (e.g., shell and skeleton producing) organisms such as corals, barnacles and mussels, are currently impacted by extreme temperatures and ocean acidification (*high confidence*). Marine heatwaves have already resulted in large-scale coral bleaching events at increasing frequency (*very high confidence*) causing worldwide reef degradation since 1997, and recovery is slow (more than 15 years) if it occurs (*high confidence*). Prolonged periods of high environmental temperature and dehydration of the organisms pose high risk to rocky shore ecosystems (*high confidence*). {SR.1.5; 5.3.4, 5.3.5, 6.4.2, Figure SPM.2}


그림 SPM.2 (계속됨): 이주는 순 이주의 증가 또는 감소를 의미하며, 이익/불이익의 의미가 아니다. 관광에 대한 영향은 관광 부문에 대한 운영 여건을 말한다. 문화 서비스는 빙하 고고학의 기여는 물론 문화 정체성, 애항심, 그리고 정신적이고 고유하며 미학적인 가치를 포함한다. 육지에 대한 본 보고서상 정보는 표 SM2.6, SM2.7, SM2.8, SM3.8, SM3.9 및 SM3.10에서, 해양에 대해서는 표 SM5.10, SM5.11, SM3.8, SM3.9 및 SM3.10에서 제시하고 있다. {2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.3.6, 2.3.7, 그림 2.1, 3.2.1, 3.2.3, 3.2.4, 3.3.3, 3.4.1, 3.4.3, 3.5.2, 박스 3.4, 4.2.2, 5.2.2, 5.2.3, 5.3.3, 5.4, 5.6, 그림 5.24, 박스 5.3}


인간 및 생태계 서비스에 대해 관측된 영향


A.7 20세기 중반 이후, 북극 및 고산 지대의 빙권 감소는 식량 안보, 수자원, 수질, 생계, 건강 및 복지, 기반시설, 수송, 관광 및 레크리에이션은 물론 인간 사회의 문화, 특히 토착민들에게 크게 부정적인 영향을 미쳤다(높은 신뢰도). 비용과 편익은 인구와 지역에 걸쳐 불공평하게 분배되었다. 적응 노력은 토착 지식 및 현지 지식을 포함함으로써 득이 되었다(높은 신뢰도). {1.1, 1.5, 1.6.2, 2.3, 2.4, 3.4, 3.5, 그림 SPM.2}

A.7.1  식량과 물 안보 확보는 대부분의 북극 지역에서 적설 면적, 호수 및 강의 얼음 그리고 영구 동토층의 변화로 인해 부정적인 영향을 받았다(높은 신뢰도). 이런 변화는 목축, 사냥, 낚시 및 밀집지에 대한 접근성과 이들 지역 사이의 식량 이용가능성에 지장을 일으켰고, 그 결과 토착민들을 비롯한 북극 지역민들의 생계와 문화적 정체성을 해치고 있다(높은 신뢰도). 빙하 후퇴 및 적설 면적 변화는 힌두쿠시 히말라야와 열대 안데스를 비롯한 일부 고산 지역에서 농업 수확량의 국지적인 감소를 가져왔다(중간 신뢰도). {2.3.1, 2.3.7, 박스 2.4, 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, 3.5.2, 그림 SPM.2}

A.7.2  북극지방에서, 빙권 변화가 인간 건강에 미치는 부정적인 영향에는 식량, 수인성 질병, 영양실조, 부상, 그리고 특히, 토착민들의 정신 질환 문제 등의 리스크 증가가 포함되었다(높은 신뢰도). 일부 고산 지역에서, 수질은 특히 수온과 같은 오염 물질의 영향을 받고 있는데, 이는 빙하가 녹고 영구 동토층이 해동되면서 방출된다(중간 신뢰도). 국지적에서 국제적 규모에 이르기까지 북극지방의 보건 관련 적응 노력과 그 성공은 토착적 지식에 의해 뒷받침되었다(높은 신뢰도). {1.8, 제1장의 크로스-챕터 박스 4, 2.3.1, 3.4.3}

A.7.3  북극 지역민들, 특히 토착민들은 토양, 얼음 및 눈의 이동 조건의 계절변화와 안전에 대응하기 위해 활동 시간을 조정해왔다. 자치 단체 및 산업계는 홍수 및 영구 동토층의 해동과 관련된 기반시설의 실패에 대응하기 시작했으며, 연안에 인접한 지역 사회에서는 다른 지역으로의 이전을 계획하기도 했다(높은 신뢰도). 계획 과정에서 비중 있게 참여하도록 하는 자금, 기술, 역량 그리고 제도적 지원의 제약이 적응을 어렵게 하고 있다(높은 신뢰도). {3.5.2, 3.5.4, 크로스-챕터 박스 9}

A.7.4  지난 20년 간 여름철 북극지방의 선박기반 수송량(관광 포함) 해빙이 줄어든 것과 동시에 증가했다(높은 신뢰도). 이는 전통 방식의 해상 운송과 연계된 국제 무역 및 경제권에 시사점을 주며, 북극의 해양 생태계와 연안에 인접한 지역 사회가 외래종 및 국지적 오염 등으로 인한 리스크를 갖게 된다(높은 신뢰도). {3.2.1, 3.2.4, 3.5.4, 5.4.2, 그림 SPM.2}

A.7.5  지난 수십 년간, 인구 증가, 관광 및 사회경제적 개발로 인해 자연적인 위해(hazards)에 대한 인간 및 기반시설의 노출이 증가되었다(높은 신뢰도). 일부 재해의 경우 빙권 변화에 연계되어 있으며, 예를 들어, 안데스, 고산 아시아, 카프카스 및 유럽 알프스의 사례가 여기에 해당한다(중간 신뢰도). {2.3.2, 그림 SPM.2}




A.7.6  적설 및 빙하의 변화로 눈이 우세하고 빙하가 유입되는 강 유역에서 유수(runoff)와 수자원의 양 및 계절성이 변화했다(매우 높은 신뢰도). 수력발전 설비는 계절성의 변화와 고산지역으로 부터의 물 유입 증감을 경험하고 있는데,


Figure SPM.2 (continued): Migration refers to an increase or decrease in net migration, not to beneficial/adverse value. Impacts on tourism refer to the operating conditions for the tourism sector. Cultural services include cultural identity, sense of home, and spiritual, intrinsic and aesthetic values, as well as contributions from glacier archaeology. The underlying information is given for land regions in tables SM2.6, SM2.7, SM2.8, SM3.8, SM3.9, and SM3.10, and for ocean regions in tables SM5.10, SM5.11, SM3.8, SM3.9, and SM3.10. {2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.3.6, 2.3.7, Figure 2.1, 3.2.1, 3.2.3, 3.2.4, 3.3.3, 3.4.1, 3.4.3, 3.5.2, Box 3.4, 4.2.2, 5.2.2, 5.2.3, 5.3.3, 5.4, 5.6, Figure 5.24, Box 5.3}


Observed Impacts on People and Ecosystem Services


A.7 Since the mid-20th century, the shrinking cryosphere in the Arctic and high mountain areas has led to predominantly negative impacts on food security, water resources, water quality, livelihoods, health and well-being, infrastructure, transportation, tourism and recreation, as well as culture of human societies, particularly for Indigenous peoples (*high confidence*). Costs and benefits have been unequally distributed across populations and regions. Adaptation efforts have benefited from the inclusion of Indigenous knowledge and local knowledge (*high confidence*). {1.1, 1.5, 1.6.2, 2.3, 2.4, 3.4, 3.5, Figure SPM.2}


A.7.1  Food and water security have been negatively impacted by changes in snow cover, lake and river ice, and permafrost in many Arctic regions (*high confidence*). These changes have disrupted access to, and food availability within, herding, hunting, fishing, and gathering areas, harming the livelihoods and cultural identity of Arctic residents including Indigenous populations (*high confidence*). Glacier retreat and snow cover changes have contributed to localized declines in agricultural yields in some high mountain regions, including Hindu Kush Himalaya and the tropical Andes (*medium confidence*). {2.3.1, 2.3.7, Box 2.4, 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, 3.5.2, Figure SPM.2}

A.7.2  In the Arctic, negative impacts of cryosphere change on human health have included increased risk of food- and waterborne diseases, malnutrition, injury, and mental health challenges especially among Indigenous peoples (*high confidence*). In some high mountain areas, water quality has been affected by contaminants, particularly mercury, released from melting glaciers and thawing permafrost (*medium confidence*). Health-related adaptation efforts in the Arctic range from local to international in scale, and successes have been underpinned by Indigenous knowledge (*high confidence*). {1.8, Cross-Chapter Box 4 in Chapter 1, 2.3.1, 3.4.3}





A.7.3  Arctic residents, especially Indigenous peoples, have adjusted the timing of activities to respond to changes in seasonality and safety of land, ice, and snow travel conditions. Municipalities and industry are beginning to address infrastructure failures associated with flooding and thawing permafrost and some coastal communities have planned for relocation (*high confidence*). Limited funding, skills, capacity, and institutional support to engage meaningfully in planning processes have challenged adaptation (*high confidence*). {3.5.2, 3.5.4, Cross-Chapter Box 9}

A.7.4  Summertime Arctic ship-based transportation (including tourism) increased over the past two decades concurrent with sea ice reductions (*high confidence*). This has implications for global trade and economies linked to traditional shipping corridors, and poses risks to Arctic marine ecosystems and coastal communities (*high confidence*), such as from invasive species and local pollution. {3.2.1, 3.2.4, 3.5.4, 5.4.2, Figure SPM.2}





A.7.5  In past decades, exposure of people and infrastructure to natural hazards has increased due to growing population, tourism and socioeconomic development (*high confidence*). Some disasters have been linked to changes in the cryosphere, for example in the Andes, high mountain Asia, Caucasus and European Alps (*medium confidence*). {2.3.2, Figure SPM.2}





A.7.6  Changes in snow and glaciers have changed the amount and seasonality of runoff and water resources in snow dominated and glacier-fed river basins (*very high confidence*). Hydropower facilities have experienced changes in seasonality and both increases and decreases in water input from high mountain areas, for

예를 들면 중앙 유럽, 아이슬란드, 미국/캐나다 서부 및 열대 안데스 등에서 그러하다(중간 신뢰도). 하지만, 그것이 운영 및 에너지 생산에 미치는 영향에 대한 근거는 매우 제한적이다. {SPM B.1.4, 2.3.1}





A.7.7     고산 지대의 미학적 및 문화적 측면은 빙하 및 적설 면적이 감소(예: 히말라야, 아프리카 동부, 열대 안데스)하면서 부정적인 영향을 받았다(중간 신뢰도). 스키 및 빙하 체험, 하이킹 및 등산 등 관광 및 레크리에이션도 대부분의 산악 지역에서 부정적인 영향을 받았다(중간 신뢰도). 일부 지역에서 인공 눈 제조로 스키 관광에 관한 부정적인 영향이 감소되었다(중간 신뢰도). {2.3.5, 2.3.6, 그림 SPM.2}





A.8 해양의 변화는 해양 생태계 및 생태계 서비스에 지역적으로 다양한 결과를 통해 영향을 미치며 거버넌스를 위협하고 있다(높은 신뢰도). 긍정적 및 부정적 영향은 수산업(중간 신뢰도), 지역적 문화 및 생계(중간 신뢰도), 그리고 관광 및 레크리에이션(중간 신뢰도)을 통해 식량 안보에서 나타나고 있다. 생태계 서비스에 관한 영향은 건강 및 복지(중간 신뢰도)와 토착민 그리고 수산업에 의존하는 지역 사회에 부정적 영향을 미친다(높은 신뢰도). {1.1, 1.5, 3.2.1, 5.4.1, 5.4.2, 그림 SPM.2}

A.8.1     일부 어류 및 조개류 자원의 공간적 분포와 풍부도가 온난화로 인해 달라지면서 어획량, 경제적 이익, 생계 및 지역적 문화에 긍정적 및 부정적 영향을 주고 있다(높은 신뢰도). 수산업에 의존하는 토착민과 지역사회에는 부정적인 결과가 초래된다(높은 신뢰도). 종 분포 및 풍부도의 변화는 생태계의 건전성을 확보하고 수산업 당사자 간 자원을 공유하기 위해 어업을 규제하고자 하는 북극지방, 북대서양 및 태평양을 비롯한 국내외 해양 및 수산업의 거버넌스를 어렵게 만들었다(높은 신뢰도). {3.2.4, 3.5.3, 5.4.2, 5.5.2, 그림 SPM.2}





A.8.2     하천 영양염 유출의 증가와 같은 기후 및 비기후적 요인에 대응하여, 1980년대 이후 연안 지역에서 유해 조류 증식의 범위 확장 및 빈도 증가가 나타나고 있다(높은 신뢰도). 관측된 유해 조류 증식의 추세는 해양 온난화, 해양 고수온, 산소 손실, 부영양화 및 오염의 효과에 부분적으로 기인한다(높은 신뢰도). 유해 조류 증식은 식량 안보, 관광, 지역 경제 및 인간의 건강에 부정적인 영향을 미쳤다(높은 신뢰도). 이러한 생물학적 위해(hazards)에 보다 더 취약한 인간사회는 유해 조류 증식에 대한 지속적 모니터링 프로그램과 전용 조기 경보 시스템이 없는 지역이다(중간 신뢰도). {박스 5.4, 5.4.2, 6.4.2}.

A.9 연안 사회는 열대성 저기압, 극한 해수면 및 홍수, 해양 고수온, 해빙 손실 그리고 영구 동토층의 해동 등 다수의 기후 관련 위해(hazards)에 노출되어 있다(높은 신뢰도). 대부분은 극한 현상 이후 다양한 대응책이 전세계적으로 시행되었을 뿐만 아니라, 대형 기반시설과 같은 경우에도 부분적으로 미래의 해수면 상승 전망에 따라 시행되었다. {3.2.4, 3.4.3, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, 4.4.2, 5.4.2, 6.2, 6.4.2, 6.8, 박스 6.1, 크로스-챕터 박스 9, 그림 SPM.5}





A.9.1     현재 인간에 대한 연안의 영향이 해수면 상승에 기여하는 정도는 대부분의 지역에서 파악하기 어려운데, 이는 영향이 지반 침하(예: 지하수 추출), 오염, 서식지 파괴, 암초 및 모래 채광과 같은 인간에 의한 비기후적 요인으로 인해 악화되었기 때문이다(높은 신뢰도). {4.3.2, 4.3.3}





A.9.2     제방, 방파제 및 고조 방파제 등 경성 조치를 통한 연안 보호는 많은 연안 도시 및 삼각주에서 광범위하게 행해진다. 생태계 기반 및 생태계와 기존 기반시설을 결합한 하이브리드 접근 방식은 전 세계적으로 각광받고 있다. 연안 진출은 바다를 향하여 새로운 토지를 생성하는 것을 말한다(예: 간척), 이는 연안 거주민들이 밀집해있고 토지가 부족한 대부분의 지역에서 오랜 역사를 갖고 있다. 연안 지역에서 인간이 차지하는 공간이 사라진 것을 의미하는 연안 후퇴도 관측되고 있으나,

example, in central Europe, Iceland, Western USA/Canada, and tropical Andes (*medium confidence*). However, there is only *limited evidence* of resulting impacts on operations and energy production. {SPM B.1.4, 2.3.1}





- A.7.7     High mountain aesthetic and cultural aspects have been negatively impacted by glacier and snow cover decline (e.g. in the Himalaya, East Africa, the tropical Andes) (*medium confidence*). Tourism and recreation, including ski and glacier tourism, hiking, and mountaineering, have also been negatively impacted in many mountain regions (*medium confidence*). In some places, artificial snowmaking has reduced negative impacts on ski tourism (*medium confidence*). {2.3.5, 2.3.6, Figure SPM.2}





- A.8 Changes in the ocean have impacted marine ecosystems and ecosystem services with regionally diverse outcomes, challenging their governance (*high confidence*). Both positive and negative impacts result for food security through fisheries (*medium confidence*), local cultures and livelihoods (*medium confidence*), and tourism and recreation (*medium confidence*). The impacts on ecosystem services have negative consequences for health and well-being (*medium confidence*), and for Indigenous peoples and local communities dependent on fisheries (*high confidence*). {1.1, 1.5, 3.2.1, 5.4.1, 5.4.2, Figure SPM.2}**

- A.8.1     Warming-induced changes in the spatial distribution and abundance of some fish and shellfish stocks have had positive and negative impacts on catches, economic benefits, livelihoods, and local culture (*high confidence*). There are negative consequences for Indigenous peoples and local communities that are dependent on fisheries (*high confidence*). Shifts in species distributions and abundance has challenged international and national ocean and fisheries governance, including in the Arctic, North Atlantic and Pacific, in terms of regulating fishing to secure ecosystem integrity and sharing of resources between fishing entities (*high confidence*). {3.2.4, 3.5.3, 5.4.2, 5.5.2, Figure SPM.2}

- A.8.2     Harmful algal blooms display range expansion and increased frequency in coastal areas since the 1980s in response to both climatic and non-climatic drivers such as increased riverine nutrients run-off (*high confidence*). The observed trends in harmful algal blooms are attributed partly to the effects of ocean warming, marine heatwaves, oxygen loss, eutrophication and pollution (*high confidence*). Harmful algal blooms have had negative impacts on food security, tourism, local economy, and human health (*high confidence*). The human communities who are more vulnerable to these biological hazards are those in areas without sustained monitoring programs and dedicated early warning systems for harmful algal blooms (*medium confidence*). {Box 5.4, 5.4.2, 6.4.2}

- A.9 Coastal communities are exposed to multiple climate-related hazards, including tropical cyclones, extreme sea levels and flooding, marine heatwaves, sea ice loss, and permafrost thaw (*high confidence*). A diversity of responses has been implemented worldwide, mostly after extreme events, but also some in anticipation of future sea level rise, e.g., in the case of large infrastructure. {3.2.4, 3.4.3, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, 4.4.2, 5.4.2, 6.2, 6.4.2, 6.8, Box 6.1, Cross Chapter Box 9, Figure SPM.5}**

- A.9.1     Attribution of current coastal impacts on people to sea level rise remains difficult in most locations since impacts were exacerbated by human-induced non-climatic drivers, such as land subsidence (e.g., groundwater extraction), pollution, habitat degradation, reef and sand mining (*high confidence*). {4.3.2, 4.3.3}


- A.9.2     Coastal protection through hard measures, such as dikes, seawalls, and surge barriers, is widespread in many coastal cities and deltas. Ecosystem-based and hybrid approaches combining ecosystems and built infrastructure are becoming more popular worldwide. Coastal advance, which refers to the creation of new land by building seawards (e.g., land reclamation), has a long history in most areas where there are dense coastal


이는 일반적으로 소규모 공동체에 제한되거나 연안 습지대의 서식지를 조성하기 위해 발생하는 것으로 관측된다. 해수면 상승에 대한 대응 효과는 그림 SPM.5에 평가되어 있다. {3.5.3, 4.3.3, 4.4.2, 6.3.3, 6.9.1, 크로스-챕터 박스 9}


B. 변화 및 위험 전망

물리적 변화 전망²⁵

B.1 전지구적 차원의 빙하 질량 손실, 영구 동토층의 해동, 그리고 적설 면적 및 북극 해빙 범위의 감소는 표면 대기온도의 상승으로 인해 가까운 미래(2031-2050년)에 계속될 전망이며, 강물 유출 및 지역적 위해(hazards)에 있어 불가피한 결과를 야기한다(높은 신뢰도). 그린란드 및 남극의 빙상에서 21세기 이후 전반에 걸쳐 점점 빠른 속도의 질량 손실이 전망된다(높은 신뢰도). 이러한 빙권 변화의 속도와 크기는 높은 온실가스 배출 시나리오에서 21세기 후반기에 더욱 증가할 전망이다(높은 신뢰도). 향후 수십 년간 온실가스 배출량이 크게 감소하면 2050년 이후의 추가적인 변화는 줄어들 전망이다(높은 신뢰도). 향후 수십 년간 온실가스 배출량이 크게 감소하면 2050년 이후의 추가적인 변화는 줄어들 전망이다(높은 신뢰도). {2.2, 2.3, 제2장의 크로스-챕터 박스 6, 3.3, 3.4, 그림 SPM.1, SPM 박스 SPM.1}

B.1.1  2015년과 2100년 사이의 빙하 질량 감소 전망(빙상 제외)은 RCP2.6인 경우의 18±7%(가능성 높은 범위)부터 RCP8.5인 경우의 36±11%(가능성 높은 범위)까지이며, 이는 RCP2.6인 경우 94±25mm(가능성 높은 범위)의 해수면 상승에 상응하고 RCP8.5인 경우 200±44mm(가능성 높은 범위)의 해수면 상승에 상응한다(중간 신뢰도). 빙하의 대부분이 소형인 지역(예: 중앙 유럽, 카프카스, 북아시아, 스칸디나비아, 열대 안데스, 멕시코, 아프리카 동부 및 인도네시아)은 RCP8.5 하에서 2100년에 현재의 얼음 질량 중 80% 이상이 손실될 전망이며(중간 신뢰도), 대부분의 빙하는 미래의 배출량과 관계없이 소멸될 것으로 예측된다(매우 높은 신뢰도). {제2장의 크로스-챕터 박스 6, 그림 SPM.1}

B.1.2  2100년, 그린란드 빙상의 GMSL 상승에 대한 기여도는 RCP2.6 하에서 0.07m(0.04-0.12m, 가능성 높은 범위)이고, RCP8.5 하에서 0.15m(0.08-0.27m, 가능성 높은 범위)이다. 2100년, 남극의 빙상은 RCP2.6 하에서 0.04m(0.01-0.11m, 가능성 높은 범위)를, RCP8.5 하에서 0.12m(0.03-0.28m, 가능성 높은 범위)를 기여할 것으로 예상된다. 현재, 그린란드 빙상이 남극의 빙상보다 해수면 상승에 더 크게 기여하지만(높은 신뢰도), 급격한 후퇴로 인해 21세기 말에는 남극이 더 큰 기여요인이 될 수도 있다.(낮은 신뢰도). 2100년 이후, RCP8.5 하에서 GMSL에 대한 그린란드와 남극의 상대적 기여도 간 차이가 늘어나면 북반구에서 상대적인 해수면 상승의 속도에 중요한 결과를 가져온다. {3.3.1, 4.2.3, 4.2.5, 4.3.3, 제3장의 크로스-챕터 박스 8, 그림 SPM.1}

B.1.3  북극의 가을 및 봄 적설 면적은 가까운 미래(2013-2050년)에 1986-2005년 대비 5-10% 감소할 전망이다이며, 이후에 RCP2.6 하에서 추가적인 감소는 없을 것이나 RCP8.5 하에서 세기 말까지 추가적으로 15-25%가 감소될 것으로 예상된다(높은 신뢰도). 고산 지역에서, 저지대 평균 겨울철 적설 깊이는 1986-2005년 대비 어떤 배출 시나리오든 관계없이 2031-2050년에 10-40% 감소할 가능성이 높다(높은 신뢰도). 2081-2100년 동안, 감소 전망치는 RCP2.6 하에서는 10-40%, 그리고 RCP8.5 하에서는 50-90%일 가능성이 높다. {2.2.2, 3.3.2, 3.4.2, 그림 SPM.1}


²⁵ 이 보고서는 다음과 같은 이유로 인해 RCP2.6과 RCP8.5를 주로 사용한다. 이 시나리오들은 일반적으로 이 보고서에서 다루는 주제에 대해 평가 범위를 대표한다; CMIP5에 기반하여 평가된 문헌에서 다루어진 내용을 전반적으로 대표한다; 이 시나리오를 활용해 전망한 변화에 관해 일관적으로 서술할 수 있다. RCP4.5와 RCP6.0은 이 보고서에 제시된 모든 주제에 대해서는 이용이 불가능하다. {박스 SPM.1}


populations and a shortage of land. Coastal retreat, which refers to the removal of human occupation of coastal areas, is also observed, but is generally restricted to small human communities or occurs to create coastal wetland habitat. The effectiveness of the responses to sea level rise are assessed in Figure SPM.5. {3.5.3, 4.3.3, 4.4.2, 6.3.3, 6.9.1, Cross-Chapter Box 9}


B. Projected Changes and Risks

Projected Physical Changes²⁵

B.1 Global-scale glacier mass loss, permafrost thaw, and decline in snow cover and Arctic sea ice extent are projected to continue in the near-term (2031–2050) due to surface air temperature increases (*high confidence*), with unavoidable consequences for river runoff and local hazards (*high confidence*). The Greenland and Antarctic Ice Sheets are projected to lose mass at an increasing rate throughout the 21st century and beyond (*high confidence*). The rates and magnitudes of these cryospheric changes are projected to increase further in the second half of the 21st century in a high greenhouse gas emissions scenario (*high confidence*). Strong reductions in greenhouse gas emissions in the coming decades are projected to reduce further changes after 2050 (*high confidence*). {2.2, 2.3, Cross-Chapter Box 6 in Chapter 2, 3.3, 3.4, Figure SPM.1, SPM Box SPM.1}

B.1.1  Projected glacier mass reductions between 2015 and 2100 (excluding the ice sheets) range from $18 \pm 7\%$ (*likely range*) for RCP2.6 to $36 \pm 11\%$ (*likely range*) for RCP8.5, corresponding to a sea level contribution of 94 ± 25 mm (*likely range*) sea level equivalent for RCP2.6, and 200 ± 44 mm (*likely range*) for RCP8.5 (*medium confidence*). Regions with mostly smaller glaciers (e.g., Central Europe, Caucasus, North Asia, Scandinavia, tropical Andes, Mexico, eastern Africa and Indonesia), are projected to lose more than 80% of their current ice mass by 2100 under RCP8.5 (*medium confidence*), and many glaciers are projected to disappear regardless of future emissions (*very high confidence*). {Cross-Chapter Box 6 in Chapter 2, Figure SPM.1}

B.1.2  In 2100, the Greenland Ice Sheet's projected contribution to GMSL rise is 0.07 m (0.04–0.12 m, *likely range*) under RCP2.6, and 0.15 m (0.08–0.27 m, *likely range*) under RCP8.5. In 2100, the Antarctic Ice Sheet is projected to contribute 0.04 m (0.01–0.11 m, *likely range*) under RCP2.6, and 0.12 m (0.03–0.28 m, *likely range*) under RCP8.5. The Greenland Ice Sheet is currently contributing more to sea level rise than the Antarctic Ice Sheet (*high confidence*), but Antarctica could become a larger contributor by the end of the 21st century as a consequence of rapid retreat (*low confidence*). Beyond 2100, increasing divergence between Greenland and Antarctica's relative contributions to GMSL rise under RCP8.5 has important consequences for the pace of relative sea level rise in the Northern Hemisphere. {3.3.1, 4.2.3, 4.2.5, 4.3.3, Cross-Chapter Box 8 in Chapter 3, Figure SPM.1}

B.1.3  Arctic autumn and spring snow cover are projected to decrease by 5–10%, relative to 1986–2005, in the near-term (2031–2050), followed by no further losses under RCP2.6, but an additional 15–25% loss by the end of century under RCP8.5 (*high confidence*). In high mountain areas, projected decreases in low elevation mean winter snow depth, compared to 1986–2005, are *likely* 10–40% by 2031–2050, regardless of emissions scenario (*high confidence*). For 2081–2100, this projected decrease is *likely* 10–40% for RCP2.6 and 50–90% for RCP8.5. {2.2.2, 3.3.2, 3.4.2, Figure SPM.1}







²⁵ This report primarily uses RCP2.6 and RCP8.5 for the following reasons: These scenarios largely represent the assessed range for the topics covered in this report; they largely represent what is covered in the assessed literature, based on CMIP5; and they allow a consistent narrative about projected changes. RCP4.5 and RCP6.0 are not available for all topics addressed in the report. {Box SPM.1}







- B.1.4  광범위한 영구 동토층의 해동은 이번 세기 (*매우 높은 신뢰도*) 이후에도 지속될 전망이다. 2100년, 지표면 가까이(3-4m 이내)의 영구 동토층은 RCP2.6 하에서 $24 \pm 16\%$ (*가능성 높은 범위*), RCP8.5 하에서 $69 \pm 20\%$ (*가능성 높은 범위*) 감소할 것으로 예상된다. RCP8.5 시나리오에서는 2100년에 누적량으로 수십-수백 억 톤(GtC)에 달하는 영구 동토층 내의 탄소가 CO₂²⁶ 및 메탄으로 대기로 방출되며, 이는 기후변화를 악화시킬 위험이 있다(*중간 신뢰도*). 낮은 배출 시나리오에서는 영구 동토층 지역에서 탄소 배출에 대한 반응이 약화된다(*높은 신뢰도*). 메탄은 추가적인 탄소 배출의 작은 비중을 차지하지만, 보다 높은 온난화 지수로 인해 매우 중요하다. 식물 성장의 증가가 부분적으로 토양 탄소를 보충할 것으로 예상되지만, 장기적으로 탄소 배출과 일치하지는 않는다(*중간 신뢰도*). {2.2.4, 3.4.2, 3.4.3, 그림 SPM.1, 제1장의 크로스-챗터 박스 5}
- B.1.5  다수의 고산 지역에서, 빙하 후퇴 및 영구 동토층 해동은 사면의 안정성을 더욱 감소시킬 전망이며, 빙하 호의 개수 및 면적은 계속 증가할 것이다(*높은 신뢰도*). 빙하호 붕괴나 눈 위에 내리는 비, 산사태 및 눈사태로 인한 홍수에 새로운 지역 또는 다른 계절에 발생할 것으로 전망된다(*높은 신뢰도*). {2.3.2}
- B.1.6  눈으로 뒤덮이거나 빙하에서 공급되는 고산 유역의 강물 유출은 배출량 시나리오에 관계없이 변화될 것으로 전망된다(*매우 높은 신뢰도*). 겨울철 평균 유출(*높은 신뢰도*)이 증가하고 보다 이른 봄철에 최대값이 발생할 것이다(*매우 높은 신뢰도*). 모든 배출량 시나리오에서, 빙하에서 흘러내리는 연평균 및 연간 및 여름철 유출은 21세기 말 또는 그 이전에 최대치에 도달할 것으로 전망된다. 예를 들면 고산 아시아 지역에서 세기 중엽 경에 최대값에 도달한 후(*높은 신뢰도*), 빙하 유출은 감소하게 될 것이다. 빙하로 덮인 지역이 거의 없는 지역(예: 열대 안데스, 유럽 알프스)에서, 대부분의 빙하는 이미 그 정점을 지났다(*높은 신뢰도*). 2100년까지 빙하 유출의 전망된 감소(RCP8.5) 하에서는, 특히 건기 중 고산 아시아 지역을 포함해 몇몇의 대형 하천 유역에서 최소 한 달 이상의 해빙 시기에는 10% 이상 유역 유출이 감소될 수 있다(*낮은 신뢰도*). {2.3.1}
- B.1.7  북극의 해빙 손실은 세기의 중반까지 계속될 것이고, 그 이후는 지구온난화의 규모에 따라 달라진다. 1.5°C 지구온난화로 안정화 되는 경우, 세기 말에 해빙이 없는 9월이 발생할 확률은 약 1%이며, 이는 2°C 지구온난화로 안정화 될 경우 10-35%로 상승한다(*높은 신뢰도*). 남극 지방의 해빙에 대한 전망은 *신뢰도가 낮다*. {3.2.2, 그림 SPM.1}
- B2 21세기 동안 해양은 온도 상승(사실상 확실함), 해양 상부의 성층 강화(매우 가능성 높음), 산성화 강화(사실상 확실함), 산소 감소(중간 신뢰도) 및 순 1차 생산의 변화(낮은 신뢰도)라는 전례 없는 상황으로 나아갈 것으로 전망된다. 해양 고수온(매우 높은 신뢰도)과 극한의 엘니뇨 및 라니냐 현상(중간 신뢰도)은 더욱 빈번해질 것이다. 대서양 자오선 역전순환(AMOC)은 약화될 것으로 전망된다(매우 가능성 높음). 이런 변화의 속도 및 규모는 온실가스 저배출 시나리오에서 더욱 작아질 것이다(매우 가능성 높음). {3.2, 5.2, 6.4, 6.5, 6.7, 박스 5.1; 그림 SPM.1, SPM.3}**
- B.2.1  해양은 21세기 동안 계속 온난화될 것이다(사실상 확실함). 2100년에, 해양의 상부 2000m는 1970년부터 관측된 누적 해양 열 흡수량보다 RCP8.5 하에서 5-7배 많은 열을 흡수(RCP2.6 하에서는 2-4배 많은 열 흡수)할 전망이다(*가능성 높음*). 상부 200m의 연평균 밀도 성층¹⁴(평균 60°S-60°N)은 1986-2100년 대비 RCP8.5 하에서 12-30%, RCP2.6 하에서는 1-9% 증가할 것으로 전망되며(*가능성 높음*), 그 결과 영양염, 탄소 및 산소의 수직적 흐름이 억제될 것이다. {5.2.2, 그림 SPM.1}

²⁶ 이런 맥락에서, 총 연간 인위적인 CO₂배출량은 2008-2017년 동안 평균적으로 10.8 ± 0.8 GtC yr⁻¹(39.6 ± 2.9GtCO₂yr⁻¹)이었다. 총 연간 인위적인 메탄 배출량은 2003-2012년 동안 평균적으로 0.35 ± 0.01 GtCH₄yr⁻¹이었다. {5.5.1}



- B.1.4**  Widespread permafrost thaw is projected for this century (*very high confidence*) and beyond. By 2100, projected near-surface (within 3–4 m) permafrost area shows a decrease of $24 \pm 16\%$ (*likely* range) for RCP2.6 and $69 \pm 20\%$ (*likely* range) for RCP8.5. The RCP8.5 scenario leads to the cumulative release of tens to hundreds of billions of tons (GtC) of permafrost carbon as CO₂²⁶ and methane to the atmosphere by 2100 with the potential to exacerbate climate change (*medium confidence*). Lower emissions scenarios dampen the response of carbon emissions from the permafrost region (*high confidence*). Methane contributes a small fraction of the total additional carbon release but is significant because of its higher warming potential. Increased plant growth is projected to replenish soil carbon in part, but will not match carbon releases over the long term (*medium confidence*). {2.2.4, 3.4.2, 3.4.3, Figure SPM.1, Cross-Chapter Box 5 in Chapter 1}
- B.1.5**  In many high mountain areas, glacier retreat and permafrost thaw are projected to further decrease the stability of slopes, and the number and area of glacier lakes will continue to increase (*high confidence*). Floods due to glacier lake outburst or rain-on-snow, landslides and snow avalanches, are projected to occur also in new locations or different seasons (*high confidence*). {2.3.2}
- B.1.6**  River runoff in snow-dominated or glacier-fed high mountain basins is projected to change regardless of emissions scenario (*very high confidence*), with increases in average winter runoff (*high confidence*) and earlier spring peaks (*very high confidence*). In all emissions scenarios, average annual and summer runoff from glaciers are projected to peak at or before the end of the 21st century (*high confidence*), e.g., around mid-century in High Mountain Asia, followed by a decline in glacier runoff. In regions with little glacier cover (e.g., tropical Andes, European Alps) most glaciers have already passed this peak (*high confidence*). Projected declines in glacier runoff by 2100 (RCP8.5) can reduce basin runoff by 10% or more in at least one month of the melt season in several large river basins, especially in High Mountain Asia during the dry season (*low confidence*). {2.3.1}
- B.1.7**  Arctic sea ice loss is projected to continue through mid-century, with differences thereafter depending on the magnitude of global warming: for stabilised global warming of 1.5°C the annual probability of a sea ice-free September by the end of century is approximately 1%, which rises to 10–35% for stabilised global warming of 2°C (*high confidence*). There is *low confidence* in projections for Antarctic sea ice. {3.2.2, Figure SPM.1}
- B.2** **Over the 21st century, the ocean is projected to transition to unprecedented conditions with increased temperatures (*virtually certain*), greater upper ocean stratification (*very likely*), further acidification (*virtually certain*), oxygen decline (*medium confidence*), and altered net primary production (*low confidence*). Marine heatwaves (*very high confidence*) and extreme El Niño and La Niña events (*medium confidence*) are projected to become more frequent. The Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC) is projected to weaken (*very likely*). The rates and magnitudes of these changes will be smaller under scenarios with low greenhouse gas emissions (*very likely*). {3.2, 5.2, 6.4, 6.5, 6.7, Box 5.1, Figures SPM.1, SPM.3}**
- B.2.1**  The ocean will continue to warm throughout the 21st century (*virtually certain*). By 2100, the top 2000 m of the ocean are projected to take up 5–7 times more heat under RCP8.5 (or 2–4 times more under RCP2.6) than the observed accumulated ocean heat uptake since 1970 (*very likely*). The annual mean density stratification¹⁹ of the top 200 m, averaged between 60°S and 60°N, is projected to increase by 12–30% for RCP8.5 and 1–9% for RCP2.6, for 2081–2100 relative to 1986–2005 (*very likely*), inhibiting vertical nutrient, carbon and oxygen fluxes. {5.2.2, Figure SPM.1}



²⁶ For context, total annual anthropogenic CO₂ emissions were 10.8 ± 0.8 GtC yr⁻¹ (39.6 ± 2.9 GtCO₂ yr⁻¹) on average over the period 2008–2017. Total annual anthropogenic methane emissions were 0.35 ± 0.01 GtCH₄ yr⁻¹, on average over the period 2003–2012. {5.5.1}



- B.2.2  RCP8.5 하에서 2081-2100년까지, 해양 산소 함량(중간 신뢰도), 상부 해양 질산염 함량(중간 신뢰도), 순 1차 생산(낮은 신뢰도) 및 탄소 방출(중간 신뢰도)은 2006-2015년 대비 각각 3-4%, 9-14%, 4-11%, 9-16%의 매우 가능성 높은 범위로 전지구적으로 감소할 것이다. RCP2.6 하에서, 2081-2100년까지 산소 손실(매우 가능성 높음), 영양염 가용성(가능성 있음) 및 순 1차 생산(높은 신뢰도)의 전지구적 변화 전망치는 RCP8.5 대비 적을 것이다. {5.2.2, 박스 5.1, 그림 SPM.1, SPM.3}
- B.2.3  2100년에 해양의 지속적인 탄소 흡수는 해양 산성화를 악화시킬 것이 사실상 확실하다. 외해 표면 pH는 RCP8.5 하에서 2006-2015년 대비 2081-2100년에 약 0.3 pH만큼 줄어들 것으로 전망된다(사실상 확실함). RCP8.5 하에서, 2018-2100년에 극지 및 아극지 해양에서 연중 방해석(aragonite)의 안정성 임계값을 넘어서 방해석으로 껍질 형성하는 핵심 종에 대한 리스크가 증가하였다(매우 가능성 높음). RCP2.6 하에서는, 금세기에 이러한 상황을 피하게 될 것이지만(매우 가능성 높음), 일부 동부 경계의 용승 시스템들은 여전히 취약한 상태일 것으로 전망된다(높은 신뢰도). {3.2.3, 5.2.2, 박스 5.1, 박스 5.3, 그림 SPM.1}
- B.2.4  산업화 이전 시기 이래로 전례 없는 수준의 기후 조건이 해양에서 확산되었고 해양 생태계에 대한 리스크를 증가시켰다. 표면 산성화 및 온난화는 과거에 이미 발생하였다(매우 가능성 높음). 수심 100-600m에서 산소 손실은 RCP8.5 하에서 2031-2050년에 해양의 59-80% 이상에서 발생할 것이다(매우 가능성 높음). 해양 생태계 변화의 주요 5가지 요인(표면 온난화, 산성화, 산소 손실, 질산염 함량 및 순 1차 생산 변화)은 RCP8.5 하에서는 해양 면적의 60% 이상 그리고 RCP2.6 하에서는 30% 이상에서 2100년 이전 나타날 것으로 전망된다(매우 가능성 높음). {부록 I: 용어집, 박스 5.1, 박스 5.1 그림 1}
- B.2.5  해양 고수온의 빈도, 지속시간, 공간 범위 및 강도(최대 온도)는 더욱 증가할 전망이다(매우 높은 신뢰도). 기후 모델들은 1850-1900년 대비 2081-2100년에 해양 고수온의 빈도가 RCP8.5 하에서 약 50배, RCP2.6 하에서 약 20배 증가할 것으로 전망한다(중간 신뢰도). 북극 및 열대 해양에서 빈도가 가장 크게 증가할 것으로 전망된다(중간 신뢰도). 해양 고수온의 강도는 1850-1900년 대비 2081-2100년에 RCP8.5 하에서 약 10배 증가할 것이다(중간 신뢰도). {6.4, 그림 SPM.1}
- B.2.6  극한의 엘니뇨 및 라니냐 현상은 21세기에 그 빈도가 증가할 가능성이 높으며, 지구상의 일부 지역은 더욱 건조해지거나 더욱 습해져서 기존의 위해(hazards)를 강화시킬 가능성이 높다. 극한 엘니뇨 현상은 20세기 대비 21세기에 RCP2.6 및 RCP8.5 하에서 약 2배 자주 발생할 것으로 전망된다(중간 신뢰도). 전망 결과, 극한 인도양 다이폴(Dipole) 현상의 빈도도 증가할 것이다(낮은 신뢰도). {6.5, 그림 6.5, 6.6}
- B.2.7  붕괴할 가능성은 거의 없지만(중간 신뢰도), AMOC은 모든 RCP 하에서 21세기에 약화될 전망이다(매우 가능성 높음). CMIP5의 전망에 따르면, 2300년에 AMOC 붕괴는 고 배출량 시나리오 하에서 발생할 가능성이 있고, 이보다 낮은 배출시나리오에서는 가능성이 거의 없다(중간 신뢰도). AMOC의 실질적인 약화는 북대서양에서 해양 생산성의 저해(중간 신뢰도), 북유럽에서 폭풍의 잦은 발생(중간 신뢰도), 사헬지역(Sahelian)의 여름철 강수량의 감소(높은 신뢰도) 및 남부 아시아의 여름철 강수량의 감소(중간 신뢰도), 대서양에서 열대성 저기압의 발생 횟수 감소(중간 신뢰도) 그리고 북미 지역 북동 연안의 지역적 해수면 상승(중간 신뢰도)을 초래할 것이다. 이런 변화는 지구온난화를 알리는 또 다른 신호이다. {6.7, 그림 6.8-6.10}


- B.2.2  By 2081–2100 under RCP8.5, ocean oxygen content (*medium confidence*), upper ocean nitrate content (*medium confidence*), net primary production (*low confidence*) and carbon export (*medium confidence*) are projected to decline globally by *very likely* ranges of 3–4%, 9–14%, 4–11% and 9–16% respectively, relative to 2006–2015. Under RCP2.6, globally projected changes by 2081–2100 are smaller compared to RCP8.5 for oxygen loss (*very likely*), nutrient availability (*about as likely as not*) and net primary production (*high confidence*). {5.2.2, Box 5.1, Figures SPM.1, SPM.3}
- B.2.3  Continued carbon uptake by the ocean by 2100 is *virtually certain* to exacerbate ocean acidification. Open ocean surface pH is projected to decrease by around 0.3 pH units by 2081–2100, relative to 2006–2015, under RCP8.5 (*virtually certain*). For RCP8.5, there are elevated risks for keystone aragonite shell-forming species due to crossing an aragonite stability threshold year-round in the Polar and sub-Polar Oceans by 2081–2100 (*very likely*). For RCP2.6, these conditions will be avoided this century (*very likely*), but some eastern boundary upwelling systems are projected to remain vulnerable (*high confidence*). {3.2.3, 5.2.2, Box 5.1, Box 5.3, Figure SPM.1}
- B.2.4  Climate conditions, unprecedented since the preindustrial period, are developing in the ocean, elevating risks for open ocean ecosystems. Surface acidification and warming have already emerged in the historical period (*very likely*). Oxygen loss between 100 and 600 m depth is projected to emerge over 59–80% of the ocean area by 2031–2050 under RCP8.5 (*very likely*). The projected time of emergence for five primary drivers of marine ecosystem change (surface warming and acidification, oxygen loss, nitrate content and net primary production change) are all prior to 2100 for over 60% of the ocean area under RCP8.5 and over 30% under RCP2.6 (*very likely*). {Annex I: Glossary, Box 5.1, Box 5.1 Figure 1}
- B.2.5  Marine heatwaves are projected to further increase in frequency, duration, spatial extent and intensity (maximum temperature) (*very high confidence*). Climate models project increases in the frequency of marine heatwaves by 2081–2100, relative to 1850–1900, by approximately 50 times under RCP8.5 and 20 times under RCP2.6 (*medium confidence*). The largest increases in frequency are projected for the Arctic and the tropical oceans (*medium confidence*). The intensity of marine heatwaves is projected to increase about 10-fold under RCP8.5 by 2081–2100, relative to 1850–1900 (*medium confidence*). {6.4, Figure SPM.1}
- B.2.6  Extreme El Niño and La Niña events are projected to *likely* increase in frequency in the 21st century and to *likely* intensify existing hazards, with drier or wetter responses in several regions across the globe. Extreme El Niño events are projected to occur about as twice as often under both RCP2.6 and RCP8.5 in the 21st century when compared to the 20th century (*medium confidence*). Projections indicate that extreme Indian Ocean Dipole events also increase in frequency (*low confidence*). {6.5, Figures 6.5, 6.6}
- B.2.7  The AMOC is projected to weaken in the 21st century under all RCPs (*very likely*), although a collapse is *very unlikely* (*medium confidence*). Based on CMIP5 projections, by 2300, an AMOC collapse is *about as likely as not* for high emissions scenarios and *very unlikely* for lower ones (*medium confidence*). Any substantial weakening of the AMOC is projected to cause a decrease in marine productivity in the North Atlantic (*medium confidence*), more storms in Northern Europe (*medium confidence*), less Sahelian summer rainfall (*high confidence*) and South Asian summer rainfall (*medium confidence*), a reduced number of tropical cyclones in the Atlantic (*medium confidence*), and an increase in regional sea level along the northeast coast of North America (*medium confidence*). Such changes would be in addition to the global warming signal. {6.7, Figures 6.8–6.10}

B.3 해수면은 증가속도가 지속적으로 상승하고 있다. 역사적으로 드물게 나타나던(가까운 과거에 세기에 1회) 극한 해수면 현상은 모든 RCP 시나리오에서 2050년에는 다수의 지역, 특히 열대 지역에서 자주 발생할 것으로 전망된다(높은 신뢰도). 높은 해수면의 빈도가 증가하면, 노출에 따라 다수의 지역에 심각한 영향을 줄 수 있다(높은 신뢰도). 해수면 상승은 모든 RCP 시나리오에서 2100년 이후에도 계속될 것으로 전망된다. 높은 배출량 시나리오(RCP8.5)의 경우, 2100년의 전지구 해수면 상승 전망은 AR5에서 보다 큰데, 이는 남극 빙상의 기여가 더 커졌기 때문이다(중간 신뢰도). RCP8.5 하에서 다가오는 세기에, 해수면 상승은 연간 수 cm의 속도를 넘어서서 수 m가 될 것으로 전망되나(높은 신뢰도), RCP2.6에서의 해수면 상승은 2300년에 약 1m로 제한될 전망이다(낮은 신뢰도). 열대성 저기압의 강도와 강수량이 늘어날 것으로 전망됨에 따라 극한 해수면 및 연안 위해(hazards)는 악화될 것이다(높은 신뢰도). 이러한 위해가 증폭 또는 완화되는지에 따라 파도 및 조수의 변화는 지역적으로 다를 것으로 전망된다(중간 신뢰도). {제1장의 크로스-챕터 박스 5, 제3장의 크로스-챕터 박스 8; 4.1, 4.2, 5.2.2, 6.3.1, 그림 SPM.1, SPM.4, SPM.5}


B.3.1   RCP2.6 하에서 전지구 평균 해수면(GMSL) 상승은 1986-2005년 대비 2081-2100년 기간에 대해 0.39m(0.26-0.53m, 가능성 높은 범위), 2100년에 0.43m(0.29-0.59m, 가능성 높은 범위)가 될 전망이다. RCP8.5의 경우, 이에 상응하는 GMSL 상승은 2081-2100년에 0.71m(0.51-0.92m, 가능성 높은 범위), 2100년에 0.84m(0.61-1.10m, 가능성 높은 범위)이다. 2100년 평균 해수면 상승 전망치는 남극 빙상에서 더 큰 얼음 손실이 예상되면서 RCP8.5 하에서 AR5 대비 0.1m 더 높고, 가능성 높은 범위로 1m를 넘을 것이다(중간 신뢰도). 세기 말의 불확실성은 특히 남극 지방의 빙상 등 주로 빙상에 의해 결정된다. {4.2.3, 그림 SPM.1, SPM.5}


B.3.2   해수면 전망치는 GMSL의 지역적 차이를 보여준다. 즉 자연 과정 및 인간의 활동으로 유발되는 지역적인 침하와 같이 최근의 기후변화로 유발되지 않는 프로세스는 연안의 상대적인 해수면 변화에 중요하다(높은 신뢰도). 기후로 인한 해수면 상승의 상대적 중요성이 시간이 지나면서 증가할 것으로 예상되는 동시에, 지역적 프로세스는 해수면의 영향과 전망치를 고려해야 한다(높은 신뢰도). {SPM A.3.4, 4.2.1, 4.2.2, 그림 SPM.5}


B.3.3   전 지구 평균 해수면 상승의 속도는 RCP8.5 하에서 2100년에 15 mmyr^{-1} ($10\text{--}20 \text{ mmyr}^{-1}$, 가능성 높은 범위)에 달하고, 22세기가 되면 연간 수 cm를 초과할 것으로 예상된다. RCP2.6 하에서는, 2100년에 4 mm yr^{-1} ($2\text{--}6 \text{ mmyr}^{-1}$, 가능성 높은 범위)에 도달할 전망이다. 모델 연구에 따르면 2300년까지 해수면이 수 m 상승할 것으로 예상되는데(RCP8.5의 경우 2.3-5.4m, 그리고 RCP2.6의 경우 0.6-1.07m), 이는 해수면 상승 제한을 위해 감소된 배출량을 보여준다. 향후 빙상의 손실 시기와 빙상 불안정성의 범위를 조절하는 프로세스는, 남극의 해수면 상승 기여도를 한 세기 및 그 이상의 시간 동안의 가능성 높은 범위 보다 실질적으로 더 높은 값으로 증가시킬 수 있다(낮은 신뢰도). 남극 빙상 일부의 붕괴가 수반하는 해수면 상승의 결과를 고려할 때, 이런 고도의 영향 리스크에 주목해야 한다. {제1장의 크로스-챕터 박스 5, 제3장의 크로스-챕터 박스 8, 4.1, 4.2.3}


B.3.4  전 지구 평균 해수면 상승은 대부분의 지역에서 극한 해수면 현상의 빈도를 증가시킬 것이다. 역사적으로 세기에 한 번 발생했(역사적으로 세기적인 현상) 지역적인 해수면 상승은 모든 RCP 시나리오 하에서 2100년에는 대부분의 지역에서 최소한 1년에 1회 발생할 것으로 예상된다(높은 신뢰도). 다수의 저지대 대도시 및 군소도서들(SIDS 포함)은 RCP2.6, RCP4.5 및 RCP8.5 하에서 2050년에 최소 1년에 한 차례이상 역사적으로 세기적인 현상을 경험할 것으로 전망된다. 역사적으로 세기적인 현상이 중위도 지역에서 매년 발생하게 되는 시점은 RCP8.5에서 가장 빠르게 나타나고, 그 다음이 RCP4.5 그리고 RCP2.6에서 가장 늦게 나타난다. 높은 해수면의 발생 빈도 증가는, 노출 수준에 따라 다수의 지역에서 심각한 영향을 일으킬 수 있다(높은 신뢰도). {4.2.3, 6.3, 그림 SPM.4, SPM.5}



B.3 Sea level continues to rise at an increasing rate. Extreme sea level events that are historically rare (once per century in the recent past) are projected to occur frequently (at least once per year) at many locations by 2050 in all RCP scenarios, especially in tropical regions (*high confidence*). The increasing frequency of high water levels can have severe impacts in many locations depending on exposure (*high confidence*). Sea level rise is projected to continue beyond 2100 in all RCP scenarios. For a high emissions scenario (RCP8.5), projections of global sea level rise by 2100 are greater than in AR5 due to a larger contribution from the Antarctic Ice Sheet (*medium confidence*). In coming centuries under RCP8.5, sea-level rise is projected to exceed rates of several centimetres per year resulting in multi-metre rise (*medium confidence*), while for RCP2.6 sea level rise is projected to be limited to around 1 m in 2300 (*low confidence*). Extreme sea levels and coastal hazards will be exacerbated by projected increases in tropical cyclone intensity and precipitation (*high confidence*). Projected changes in waves and tides vary locally in whether they amplify or ameliorate these hazards (*medium confidence*). {Cross-Chapter Box 5 in Chapter 1, Cross-Chapter Box 8 in Chapter 3, 4.1, 4.2, 5.2.2, 6.3.1, Figures SPM.1, SPM.4, SPM.5}

B.3.1  The global mean sea level (GMSL) rise under RCP2.6 is projected to be 0.39 m (0.26–0.53 m, *likely* range) for the period 2081–2100, and 0.43 m (0.29–0.59 m, *likely* range) in 2100 with respect to 1986–2005. For RCP8.5, the corresponding GMSL rise is 0.71 m (0.51–0.92 m, *likely* range) for 2081–2100 and 0.84 m (0.61–1.10 m, *likely* range) in 2100. Mean sea level rise projections are higher by 0.1 m compared to AR5 under RCP8.5 in 2100, and the *likely* range extends beyond 1 m in 2100 due to a larger projected ice loss from the Antarctic Ice Sheet (*medium confidence*). The uncertainty at the end of the century is mainly determined by the ice sheets, especially in Antarctica. {4.2.3, Figures SPM.1, SPM.5}

B.3.2  Sea level projections show regional differences around GMSL. Processes not driven by recent climate change, such as local subsidence caused by natural processes and human activities, are important to relative sea level changes at the coast (*high confidence*). While the relative importance of climate-driven sea level rise is projected to increase over time, local processes need to be considered for projections and impacts of sea level (*high confidence*). {SPM A.3.4, 4.2.1, 4.2.2, Figure SPM.5}



B.3.3  The rate of global mean sea level rise is projected to reach 15 mm yr⁻¹ (10–20 mm yr⁻¹, *likely* range) under RCP8.5 in 2100, and to exceed several centimetres per year in the 22nd century. Under RCP2.6, the rate is projected to reach 4 mm yr⁻¹ (2–6 mm yr⁻¹, *likely* range) in 2100. Model studies indicate multi-metre rise in sea level by 2300 (2.3–5.4 m for RCP8.5 and 0.6–1.07 m under RCP2.6) (*low confidence*), indicating the importance of reduced emissions for limiting sea level rise. Processes controlling the timing of future ice-shelf loss and the extent of ice sheet instabilities could increase Antarctica's contribution to sea level rise to values substantially higher than the *likely* range on century and longer time-scales (*low confidence*). Considering the consequences of sea level rise that a collapse of parts of the Antarctic Ice Sheet entails, this high impact risk merits attention. {Cross-Chapter Box 5 in Chapter 1, Cross-Chapter Box 8 in Chapter 3, 4.1, 4.2.3}

B.3.4  Global mean sea level rise will cause the frequency of extreme sea level events at most locations to increase. Local sea levels that historically occurred once per century (historical centennial events) are projected to occur at least annually at most locations by 2100 under all RCP scenarios (*high confidence*). Many low-lying megacities and small islands (including SIDS) are projected to experience historical centennial events at least annually by 2050 under RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5. The year when the historical centennial event becomes an annual event in the mid-latitudes occurs soonest in RCP8.5, next in RCP4.5 and latest in RCP2.6. The increasing frequency of high water levels can have severe impacts in many locations depending on the level of exposure (*high confidence*). {4.2.3, 6.3, Figures SPM.4, SPM.5}

- B.3.5**  유의 파고(파도의 낮은 부분부터 정점까지의 가장 높은 파고의 1/3에 해당하는 평균)는 RCP8.5 하에서 남대양과 열대 동태평양(높은 신뢰도) 그리고 발트해(중간 신뢰도)에서 증가할 것으로 전망되며, 북대서양과 지중해에서는 감소할 것으로 예상된다(높은 신뢰도). 연안 조수의 폭과 패턴은 해수면 상승과 연안 적응 수단으로 인해 달라질 것으로 예상된다(가능성 높음). 날씨 패턴의 변화로 나타나는 파도 변화의 전망치와 해수면 상승으로 인한 조수의 변화는 지역적으로 연안 위해(hazards)를 높이거나 줄일 수 있다(중간 신뢰도). {6.3.1, 5.2.2}
- B.3.6**  열대성 저기압의 평균 강도, 카테고리 4와 5에 해당하는 열대성 저기압의 비율, 그리고 이와 관련된 평균 강수량은 기준 기간 대비 전지구 온도가 2°C 상승하면서 늘어날 전망이다(중간 신뢰도). 평균 해수면 상승은 열대성 저기압과 관련된 극한 해수면을 더욱 상승시킬 것이다(매우 높은 신뢰도). 연안 위해(hazards)는 폭풍 해일의 평균 강도와 규모의 증가 및 열대성 저기압의 강우 속도 증가로 인해 악화될 것이다. 금세기의 중반부터 2100년까지 RCP2.6보다 RCP8.5 하에서 전망되는 변화가 더 크다(중간 신뢰도). 전 지구 규모에서 열대성 저기압 빈도의 미래 변화에 대한 신뢰도는 낮다. {6.3.1}




생태계 리스크 전망





- B.4** 향후 육지 빙권의 변화는 고산 지역 및 극지방의 영토와 담수 생태계를 계속 변화시킬 것이며, 종 분포의 주요 이동으로 생태계의 구조 및 기능에 변화가 생기고, 결국 전지구적으로 고유한 생물다양성이 손실될 것이다(중간 신뢰도). 산불은 대부분 툰드라와 한대 지역, 그리고 일부 산악 지역에서 금세기 동안 크게 증가할 전망이다(중간 신뢰도). {2.3.3, 박스 3.4, 3.4.3}
- B.4.1**  고산 지역에서는, 저지대의 종이 사면 상부로 이동하고, 서식 범위가 축소되며, 사망률이 증가하여 다수의 고산식물종, 특히 빙하 또는 눈에 의존하는 종의 개체수가 감소할 것이고(높은 신뢰도), 국지적 및 궁극적으로는 전지구적인 종의 손실로 이어질 것이다(중간 신뢰도). 고산식물 종의 잔류와 생태계 서비스의 유지에 적절한 보전과 적응 조치에 달려 있다(높은 신뢰도). {2.3.3}
- B.4.2**  북극지방에서, 전 지구적으로 고유한 생물다양성의 손실은 일부 북극권 생물종에 대해서 제한된 레퓨지아(refugia)가 존재할 것이며 그로 인해 좀더 온화한 기후에서 사는 종들이 경쟁에서 우위에 설 것으로 전망된다(중간 신뢰도). 목질 관목과 나무는 2050년에 북극 툰드라의 24-52%를 덮을 정도로 팽창할 것이다(중간 신뢰도). 아한대림은 북쪽 끝단으로 확장되는 반면에, 남쪽 끝단에서는 바이오매스량이 더 낮은 삼림지대/관목지로 대체되어 감소될 전망이다(중간 신뢰도). {3.4.3, 박스 3.4}
- B.4.3**  영구 동토층의 해동 및 눈의 감소는 북극과 산악 지대의 수문학 및 산불에 작용하여, 식생과 야생동물에게 영향을 미칠 것이다(중간 신뢰도). 북극 육지의 영구 동토층 가운데 약 20%는 갑작스러운 영구 동토층 해동 및 지반 침하에 취약한데, RCP8.5 하에서 2100년에 작은 호수 지역이 50% 넘게 증가할 것으로 예상된다(중간 신뢰도). 강수량, 증발산량 및 북극해로의 강의 방류 증가 등 전반적으로 지역적 물 순환은 강화되겠지만, 눈과 영구 동토층의 감소는 토양을 건조하게 하여 생태계 생산성과 교란을 초래할 것이다(중간 신뢰도). 산불은 대부분의 툰드라 및 아한대 지역뿐 아니라 일부 산악 지역에서도 금세기 나머지 기간 동안 증가할 것이나, 기후와 식생 이동간의 상호 작용은 향후 산불의 강도와 빈도에 영향을 줄 것이다(중간 신뢰도). {2.3.3, 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, SPM B.1}

- B.3.5  Significant wave heights (the average height from trough to crest of the highest one-third of waves) are projected to increase across the Southern Ocean and tropical eastern Pacific (*high confidence*) and Baltic Sea (*medium confidence*) and decrease over the North Atlantic and Mediterranean Sea under RCP8.5 (*high confidence*). Coastal tidal amplitudes and patterns are projected to change due to sea level rise and coastal adaptation measures (*very likely*). Projected changes in waves arising from changes in weather patterns, and changes in tides due to sea level rise, can locally enhance or ameliorate coastal hazards (*medium confidence*). {6.3.1, 5.2.2}
- B.3.6  The average intensity of tropical cyclones, the proportion of Category 4 and 5 tropical cyclones and the associated average precipitation rates are projected to increase for a 2°C global temperature rise above any baseline period (*medium confidence*). Rising mean sea levels will contribute to higher extreme sea levels associated with tropical cyclones (*very high confidence*). Coastal hazards will be exacerbated by an increase in the average intensity, magnitude of storm surge and precipitation rates of tropical cyclones. There are greater increases projected under RCP8.5 than under RCP2.6 from around mid-century to 2100 (*medium confidence*). There is *low confidence* in changes in the future frequency of tropical cyclones at the global scale. {6.3.1}


Projected Risks for Ecosystems


B.4 Future land cryosphere changes will continue to alter terrestrial and freshwater ecosystems in high mountain and polar regions with major shifts in species distributions resulting in changes in ecosystem structure and functioning, and eventual loss of globally unique biodiversity (*medium confidence*). Wildfire is projected to increase significantly for the rest of this century across most tundra and boreal regions, and also in some mountain regions (*medium confidence*). {2.3.3, Box 3.4, 3.4.3}


- B.4.1  In high mountain regions, further upslope migration by lower-elevation species, range contractions, and increased mortality will lead to population declines of many alpine species, especially glacier- or snow-dependent species (*high confidence*), with local and eventual global species loss (*medium confidence*). The persistence of alpine species and sustaining ecosystem services depends on appropriate conservation and adaptation measures (*high confidence*). {2.3.3}
- B.4.2  On Arctic land, a loss of globally unique biodiversity is projected as limited refugia exist for some High-Arctic species and hence they are outcompeted by more temperate species (*medium confidence*). Woody shrubs and trees are projected to expand to cover 24–52% of Arctic tundra by 2050 (*medium confidence*). The boreal forest is projected to expand at its northern edge, while diminishing at its southern edge where it is replaced by lower biomass woodland/shrublands (*medium confidence*). {3.4.3, Box 3.4}
- B.4.3  Permafrost thaw and decrease in snow will affect Arctic and mountain hydrology and wildfire, with impacts on vegetation and wildlife (*medium confidence*). About 20% of Arctic land permafrost is vulnerable to abrupt permafrost thaw and ground subsidence, which is projected to increase small lake area by over 50% by 2100 for RCP8.5 (*medium confidence*). Even as the overall regional water cycle is projected to intensify, including increased precipitation, evapotranspiration, and river discharge to the Arctic Ocean, decreases in snow and permafrost may lead to soil drying with consequences for ecosystem productivity and disturbances (*medium confidence*). Wildfire is projected to increase for the rest of this century across most tundra and boreal regions, and also in some mountain regions, while interactions between climate and shifting vegetation will influence future fire intensity and frequency (*medium confidence*). {2.3.3, 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, SPM B.1}


- B.5 해양 동물 군집의 전 지구적 바이오매스와 생산, 그리고 어획 잠재량의 감소와 종 조성의 변화가 21세기에 걸쳐 모든 배출량 시나리오 하에서 바다 표면부터 심해저에 이르기까지의 해양 생태계에서 나타날 것으로 전망된다(중간 신뢰도). 감소의 속도와 규모는 열대 지방에서 최고조에 달하는 반면(높은 신뢰도), 극지방에서는 영향이 다양하게 나타나고(중간 신뢰도) 고 배출량 시나리오에서 증가할 것이다. 해양 산성화(중간 신뢰도), 산소 손실(중간 신뢰도) 및 해빙 면적의 감소(중간 신뢰도)는 물론 비기후적 인간활동(중간 신뢰도)은 온난화로 인한 생태계 영향을 악화시킬 가능성이 있다. {3.2.3, 3.3.3, 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4, 5.4.1, 그림 SPM.3}
- B.5.1   해양 온난화 및 순 1차 생산의 변화는 해양 생태계의 바이오매스, 생산량 및 군집 구조를 변화시킬 것이다. 먹이망을 통해 해양 동물의 전지구 바이오매스는 $15.0 \pm 5.9\%$ 감소할 것이고(매우 가능성 높은 범위) 최대 어획 잠재량은 RCP8.5 하에서 1986-2005년 대비 21세기 말에 20.5-24.1% 감소할 것으로 예상된다(중간 신뢰도). 이런 변화는 RCP2.6보다 RCP8.5 하에서 3배에서 4배 커질 가능성이 매우 높을 것으로 전망된다. {3.2.3, 3.3.3, 5.2.2, 5.2.3, 5.4.1, 그림 SPM.3}
- B.5.2   성층이 강화된 상태에서 영양염의 공급이 감소하면, 열대 해양의 순 1차 생산이 2081-2100년에 RCP8.5의 경우 7-16%가 감소할 것으로 예상된다(매우 가능성 높은 범위). 열대 지역에서, 해양 동물의 바이오매스 및 생산량은 21세기에 모든 배출량 시나리오 하에서 전지구 평균보다 훨씬 많이 감소할 전망이다(높은 신뢰도). 온난화와 해빙 변화는 북극(중간 신뢰도)과 남극 주변(낮은 신뢰도)에서 해양 순 1차 생산을 증가시킬 것이며, 이는 용승과 성층의 이동 때문에 영양염 공급이 변화하면서 완화된다. 전 지구적으로, 상부 해양에서 유기물이 가라앉은 흐름은 감소할 것이며, 이는 일반적으로 순 1차 생산 변화와 연계된다(높은 신뢰도). 그 결과, RCP8.5 하에서 심해(수심 3000-6000m) 해저 면적의 95% 이상 및 냉수대 산호 생태계에서 저서 바이오매스가 줄어들 전망이다(중간 신뢰도). {3.2.3, 5.2.2, 5.2.4, 그림 SPM.1}
- B.5.3   온난화, 해양 산성화, 계절적 해빙 면적의 감소 그리고 다년 해빙의 지속적인 손실은 서식지, 개체군 및 생존 능력에 직접적으로 영향을 주어 극지 해양 생태계에 영향을 미칠 것이다(중간 신뢰도). 해양 포유류, 조류 및 어류를 비롯하여 북극 해양 종의 지리적 서식 범위는 줄어들 전망이다 반면, 아북극권 어류 군집의 서식 범위는 확대되어 북극권 지역에 대한 압력이 더욱 늘어날 것이다(중간 신뢰도). 남대양에서, 펭귄, 바다표범 및 고래의 주요 먹이 종인 남극 크릴새우의 서식지는, RCP2.6 및 RCP8.5 하에서 남쪽방향으로 위축될 전망이다(중간 신뢰도). {3.2.2, 3.2.3, 5.2.3}
- B.5.4  해양 온난화, 산소 손실, 산성화 그리고 해양의 표면부터 심해까지 유기 탄소 흐름의 감소로 서식지를 형성하는 냉수대 산호초가 위협을 받을 것이다. 산호초는 부분적으로 석회화 감소, 골격의 용해 증가, 그리고 생물 부식을 통해 높은 생물의 다양성을 유지한다(중간 신뢰도). 온도와 산소 조건 둘 다 종의 허용 범위를 벗어나는 시기와 장소에서 취약성 및 리스크가 가장 높다(중간 신뢰도). {박스 5.2, 그림 SPM.3}

B.5 A decrease in global biomass of marine animal communities, their production, and fisheries catch potential, and a shift in species composition are projected over the 21st century in ocean ecosystems from the surface to the deep seafloor under all emission scenarios (*medium confidence*). The rate and magnitude of decline are projected to be highest in the tropics (*high confidence*), whereas impacts remain diverse in polar regions (*medium confidence*) and increase for high emissions scenarios. Ocean acidification (*medium confidence*), oxygen loss (*medium confidence*) and reduced sea ice extent (*medium confidence*) as well as non-climatic human activities (*medium confidence*) have the potential to exacerbate these warming-induced ecosystem impacts. {3.2.3, 3.3.3, 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4, 5.4.1, Figure SPM.3}

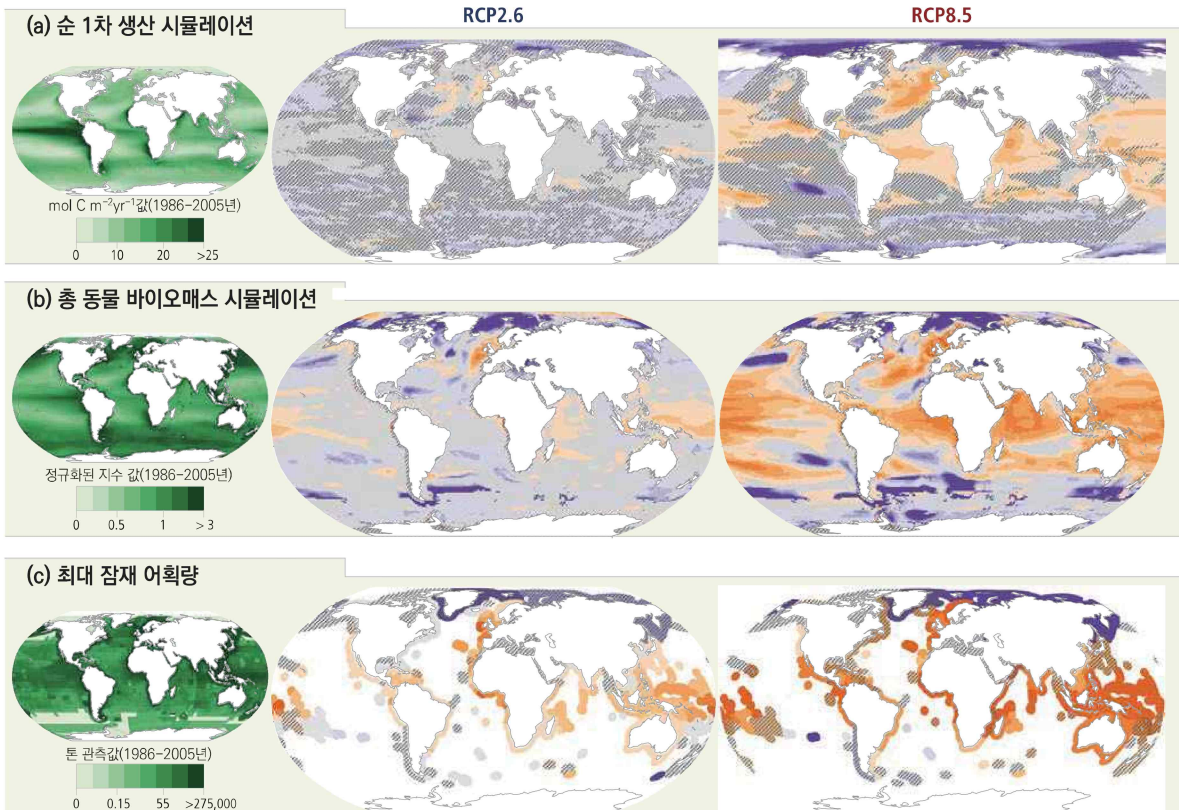
B.5.1  Projected ocean warming and changes in net primary production alter biomass, production and community structure of marine ecosystems. The global-scale biomass of marine animals across the foodweb is projected to decrease by $15.0 \pm 5.9\%$ (*very likely* range) and the maximum catch potential of fisheries by 20.5–24.1% by the end of the 21st century relative to 1986–2005 under RCP8.5 (*medium confidence*). These changes are projected to be *very likely* three to four times larger under RCP8.5 than RCP2.6. {3.2.3, 3.3.3, 5.2.2, 5.2.3, 5.4.1, Figure SPM.3}

B.5.2  Under enhanced stratification reduced nutrient supply is projected to cause tropical ocean net primary production to decline by 7–16% (*very likely* range) for RCP8.5 by 2081–2100 (*medium confidence*). In tropical regions, marine animal biomass and production are projected to decrease more than the global average under all emissions scenarios in the 21st century (*high confidence*). Warming and sea ice changes are projected to increase marine net primary production in the Arctic (*medium confidence*) and around Antarctica (*low confidence*), modified by changing nutrient supply due to shifts in upwelling and stratification. Globally, the sinking flux of organic matter from the upper ocean is projected to decrease, linked largely due to changes in net primary production (*high confidence*). As a result, 95% or more of the deep sea (3000–6000 m depth) seafloor area and cold-water coral ecosystems are projected to experience declines in benthic biomass under RCP8.5 (*medium confidence*). {3.2.3, 5.2.2, 5.2.4, Figure SPM.1}

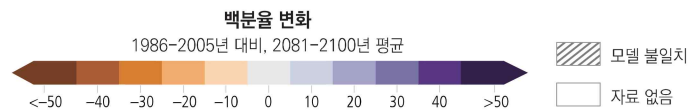
B.5.3  Warming, ocean acidification, reduced seasonal sea ice extent and continued loss of multi-year sea ice are projected to impact polar marine ecosystems through direct and indirect effects on habitats, populations and their viability (*medium confidence*). The geographical range of Arctic marine species, including marine mammals, birds and fish is projected to contract, while the range of some sub-Arctic fish communities is projected to expand, further increasing pressure on high-Arctic species (*medium confidence*). In the Southern Ocean, the habitat of Antarctic krill, a key prey species for penguins, seals and whales, is projected to contract southwards under both RCP2.6 and RCP8.5 (*medium confidence*). {3.2.2, 3.2.3, 5.2.3}

B.5.4  Ocean warming, oxygen loss, acidification and a decrease in flux of organic carbon from the surface to the deep ocean are projected to harm habitat-forming cold-water corals, which support high biodiversity, partly through decreased calcification, increased dissolution of skeletons, and bioerosion (*medium confidence*). Vulnerability and risks are highest where and when temperature and oxygen conditions both reach values outside species' tolerance ranges (*medium confidence*). {Box 5.2, Figure SPM.3}

기후변화로 인한 해양 생태계 변화, 영향 및 리스크 전망



* 자세한 내용은 그림의 캡션 참조



(d) 기후변화로 인한 해양 생태계 영향 및 리스크

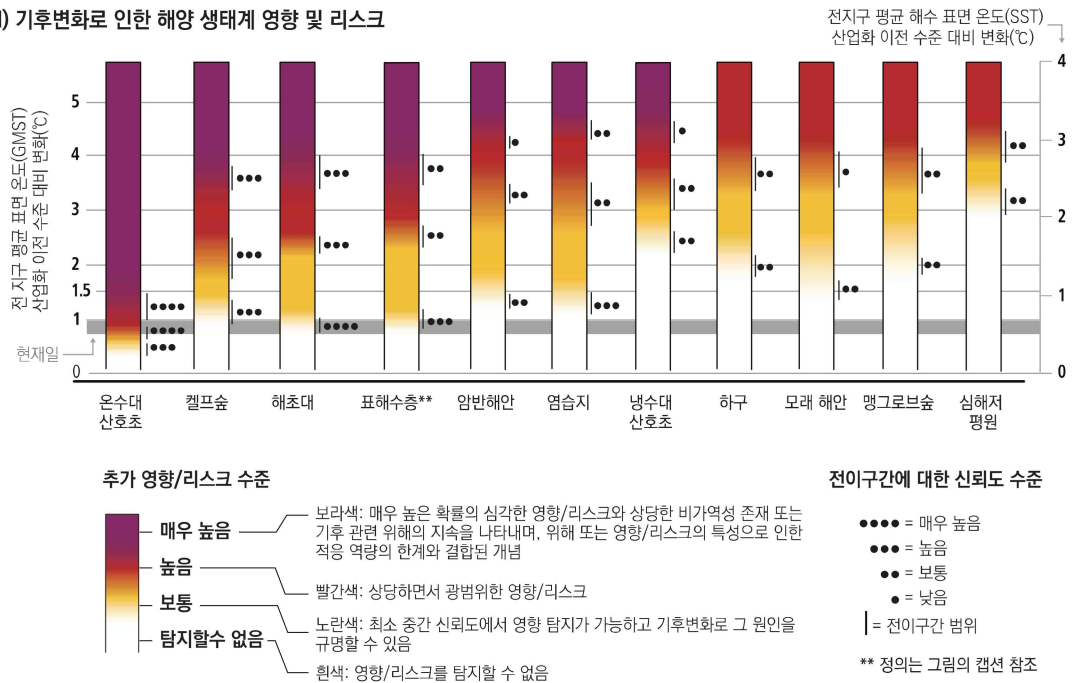


그림 SPM.3 | 해양 지역과 생태계에 대한 변화, 영향 및 리스크 전망.

Projected changes, impacts and risks for ocean ecosystems as a result of climate change

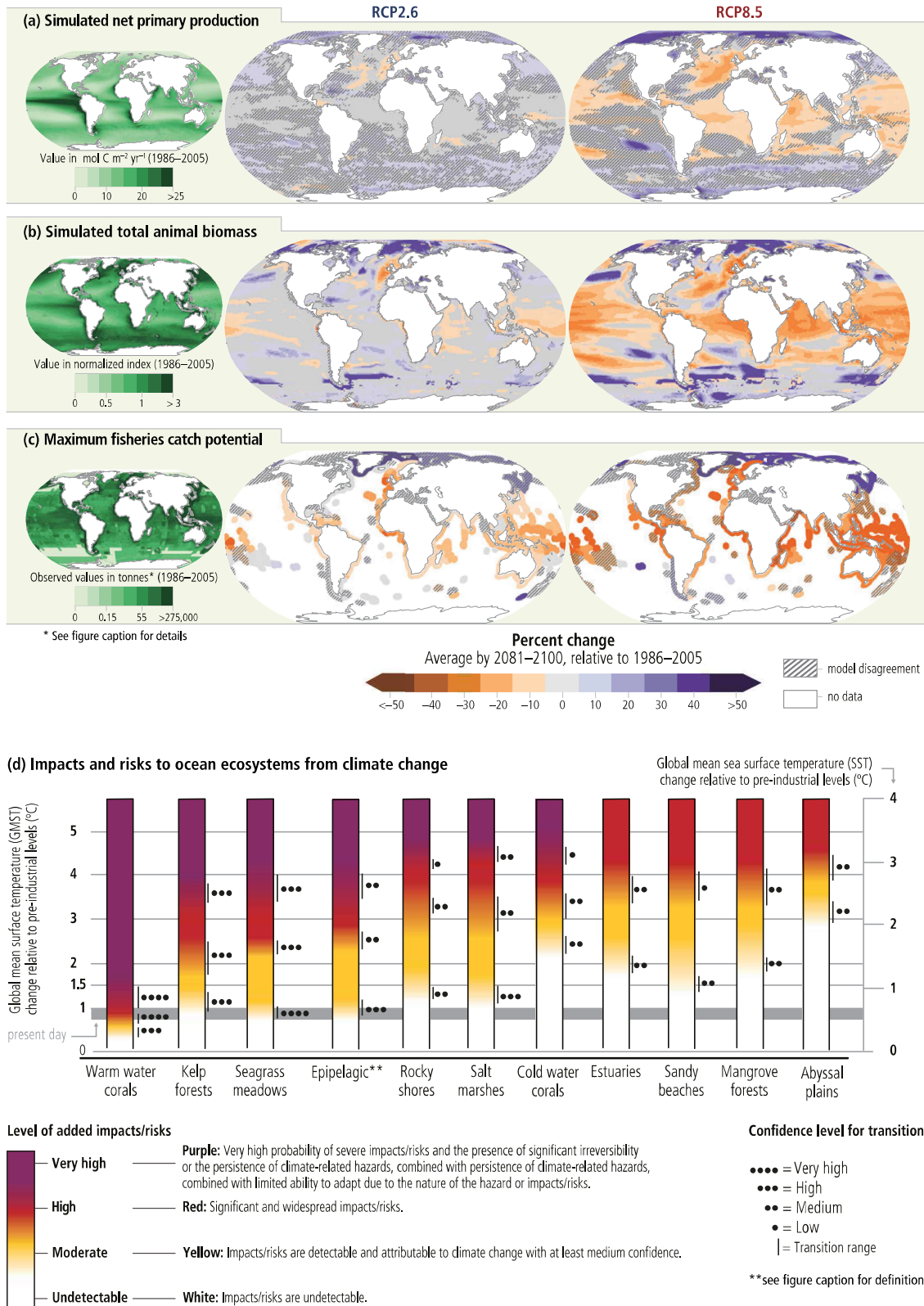




Figure SPM.3 | Projected changes, impacts and risks for ocean regions and ecosystems.

그림 SPM.3 I 해양 지역과 생태계에 대한 변화, 영향 및 리스크 전망: (a) 수심 통합 순 1차 생산(CMIP5²⁷로 부터 NPP), (b) 총 동물 바이오매스(수심 통합, FISHMIP²⁸의 어류 및 무척추동물 포함), (c) 최대 잠재 어획량 및 (d) 연안 및 외해 생태계에 대한 영향 및 리스크. 3개의 왼쪽 패널은 최근 (1986-2005년)에 대한 시뮬레이션(a, b) 및 관측(c) 평균값을 나타내며, 가운데 및 오른쪽 패널은 낮은(RCP2.6) 및 높은(RCP8.5) 온실가스 배출량 시나리오 하에서 가까운 과거와 비교하여, 2081-2100년에 대한 예측 변화(%)를 나타낸 것이다. 최근(b, 왼쪽 패널)의 총 동물 바이오매스는 전지구 평균 대비 각 공간 픽셀로 예측된 총 동물 바이오매스를 나타낸다. (c) *가까운 과거 평균 어획량 관측값(Sea Around Us 전세계 수산업 데이터베이스 참조): 대륙붕 바다에서 최대 잠재 어획량의 변화 전망치는 2개의 수산업 및 해양 생태계 모델의 평균 생산량을 토대로 한다. 모델의 불일치 영역을 표시하기 위해, 음영 표시된 지역은 모델이 (a) 와 (b)의 경우 10개의 모델 전망 중 3개, (c)의 2개의 모델 중 1개 이상에서 나타난 변화의 방향과 불일치하는 지역을 나타낸다. 음영이 표시되지 않았더라도, (a) 총 동물 바이오매스 및 (c) 어획량에서 북극 및 남극 지역에서 예측 변화는 복수의 상호작용 요인 및 생태계 대응을 모델링 하는 것과 관련된 불확실성으로 인해 신뢰도가 낮다. (b) 및 (c)에 제시된 전망치는 해양의 물리적 및 생물 지구화학적 조건, 예를 들면 CMIP5 지구 시스템 모델에서 예상하는 온도, 산소 수준 및 순 1차 생산량의 변화에 좌우된다. **표해수층은 표면으로부터 수심이 <200 m 인 해양의 최상부를 말하며, 여기는 광합성을 하기에 충분한 햇빛이 존재한다. (d) 관측 및 전망된 생태계 구조, 기능 및 생물다양성에 대한 기후영향에 기반한 연안 및 외해 생태계 리스크에 대한 평가. 영향 및 리스크는 산업화 이전의 수준과 비교하여 전지구 평균 표면 온도(GMST)의 변화에 대해 표시된 것이다. 리스크 및 영향 평가는 전지구 평균 해수 표면 온도(SST)에 따른 것이며, 이에 상응하는 SST 수준이 제시되어 있다²⁹. 리스크 변화에 대한 평가는 제5장의 5.2, 5.3, 5.2.5 및 5.3.7 그리고 보충 자료 SM5.3, 표 SM5.6, 표 SM5.8 및 본 보고서에 기술되어 있다. 그림은 해양에서 대략적인 온난화 수준과 증가하는 기후 관련 위해(hazards): 해양 온난화, 산성화, 탈산소화, 밀도 성층의 증가, 탄소 유입의 변화, 해수면 상승 그리고 극한 현상의 빈도 및/또는 강도의 증가에 대해 평가된 리스크를 표시한다. 평가에서 생태계의 자연적 적응 능력, 노출도 및 취약성을 고려한다. 영향 및 리스크 수준은 인간의 간섭 또는 향후 비기후적 요인의 변화와 같은 리스크 감축 전략을 고려하지 않는다. 생태계에 대한 리스크는 생물학적, 생물 지구화학적, 지형학적 및 물리적 측면을 고려하여 평가되었다. 기후 위해(hazards)의 복합적인 효과와 관련된 높은 리스크에는 서식지 및 생물다양성의 손실, 종 조성 및 분포 범위의 변화 및 생태계 구조 및 기능에 미치는 영향/리스크가 포함되며, 동물/식물 바이오매스와 밀도, 생산성, 탄소 흐름 및 침전물 운반에 있어서의 변화가 해당된다. 평가의 일환으로, 문헌을 취합하고 자료를 요약표로 추출하였다. 수차례에 걸친 전문가 도출 프로세스는 임계값 판단에 대해 독립적으로 평가하고 최종 합의를 위한 논의를 거쳤다. 방법론 및 본 보고서 문헌에 대한 추가 정보는 제5장, 5.2 및 5.3 그리고 보충 자료에서 찾아볼 수 있다. {3.2.3, 3.2.4, 5.2, 5.3, 5.2.5, 5.3.7, SM5.6, SM5.8, 그림 5.16, 제1장의 크로스-챕터 박스 1 표 CCB1}

B.6 연안 생태계의 생물다양성, 구조 및 기능에 관한 심각한 영향의 리스크는 21세기 이후에 저 배출량 시나리오 대비 고 배출량의 시나리오의 온도상승에서 더 높아질 것으로 전망된다. 예상되는 생태계 대응으로는 종 서식지와 다양성의 손실, 그리고 생태계 기능의 퇴화가 있다. 유기물과 생태계가 조정하고 적응하는 능력은 저 배출량 시나리오에서 더 높다(높은 신뢰도). 해초대, 켈프숲과 같은 민감한 생태계의 경우, 지구온난화가 산업화 이전 대비 2°C를 초과하고 다른 기후 관련 위해(hazards)와 결합된다면 높은 리스크가 전망된다(높은 신뢰도). 온수대 산호초는 이미 높은 리스크에 처해 있으며 지구온난화가 1.5°C보다 억제되더라도 매우 높은 리스크로 전환될 것이다(매우 높은 신뢰도). {4.3.3, 5.3, 5.5, 그림 SPM.3}

B.6.1  평가된 모든 연안 생태계는 2100년에 RCP2.6 하에서 보통에서 높은 리스크로, RCP8.5 하에서 높음에서 매우 높은 리스크로 리스크 수준이 증가할 것으로 전망된다. 조간대 암반 해안 생태계는 2100년에 RCP8.5 하에서 매우 높은 리스크에 놓일 것으로 전망된다(중간 신뢰도). 이는 온난화, 특히 해양 고수온 동안의 노출 뿐만 아니라 산성화, 해수면 상승, 석회화 종과 생물다양성의 손실이 그 원인이다(높은 신뢰도). 해양 산성화는 석회화 감소와 생물 침식 증가를 통해 회복을 억제함으로써 이러한 생태계를 어렵게 하고 나아가 서식지의 안정성을 제한한다(중간 신뢰도). 켈프숲 감소는 온난화, 특히 해양 고수온 강화가 전망됨에 따라 온대 지역에서 계속될 것이고, RCP8.5 하에서 국지적으로 멸종 리스크가 높다(중간 신뢰도). {5.3, 5.3.5, 5.3.6, 5.3.7, 6.4.2, 그림 SPM.3}

B.6.2  해초대와 염습지 그리고 관련된 탄소 저장은 1.5°C의 지구온난화에서 보통 수준의 리스크에 놓여있으며, 온난화가 더 진행됨에 따라 증가한다(중간 신뢰도). 전지구적으로, 2100년에 현재 연안습지의 20-90%가 사라질 전망이다. 이는 해수면 상승 전망치, 지역별 편차 그리고 습지의 유형에 따라 달라지며, 특히 수직적 성장이 침전물 공급의 감소로 인해 이미 제한받고 있는 지역과, 가파른 지형 또는 인간의 해안선 개발로 인해 육지 쪽으로 이주가 제한되는 지역이 해당된다(높은 신뢰도). {4.3.3, 5.3.2, 그림 SPM.3, SPM A.6.1}


²⁷ NPP는 CMIP5에서 추산한 것임.


²⁸ 총 동물 바이오매스는 FISHMIP(Fisheries and Marine Ecosystem Models Intercomparison Project)에서 나옴.

²⁹ GMST와 SST의 간의 변화는 RCP8.5 시뮬레이션의 양상별 변화에서 유도된 환산 계수 1.44를 기반으로 한다. 이 환산 계수는 RCP2.6 시나리오와 RCP8.5 시나리오의 차이로 인해 약 4%의 불확실성을 갖는다 {표 SPM.1}.

Figure SPM.3 (continued): **(a)** depth integrated net primary production (NPP from CMIP5²⁷), **(b)** total animal biomass (depth integrated, including fishes and invertebrates from FISHMIP²⁸), **(c)** maximum fisheries catch potential and **(d)** impacts and risks for coastal and open ocean ecosystems. The three left panels represent the simulated (a,b) and observed (c) mean values for the recent past (1986–2005), the middle and right panels represent projected changes (%) by 2081–2100 relative to recent past under low (RCP2.6) and high (RCP8.5) greenhouse gas emissions scenario [Box SPM.1], respectively. Total animal biomass in the recent past (b, left panel) represents the projected total animal biomass by each spatial pixel relative to the global average. (c) *Average observed fisheries catch in the recent past (based on data from the Sea Around Us global fisheries database); projected changes in maximum fisheries catch potential in shelf seas are based on the average outputs from two fisheries and marine ecosystem models. To indicate areas of model inconsistency, shaded areas represent regions where models disagree in the direction of change for more than: (a) and (b) 3 out of 10 model projections, and (c) one out of two models. Although unshaded, the projected change in the Arctic and Antarctic regions in (b) total animal biomass and (c) fisheries catch potential have *low confidence* due to uncertainties associated with modelling multiple interacting drivers and ecosystem responses. Projections presented in (b) and (c) are driven by changes in ocean physical and biogeochemical conditions e.g., temperature, oxygen level, and net primary production projected from CMIP5 Earth system models. **The epipelagic refers to the uppermost part of the ocean with depth <200 m from the surface where there is enough sunlight to allow photosynthesis. (d) Assessment of risks for coastal and open ocean ecosystems based on observed and projected climate impacts on ecosystem structure, functioning and biodiversity. Impacts and risks are shown in relation to changes in Global Mean Surface Temperature (GMST) relative to pre-industrial level. Since assessments of risks and impacts are based on global mean Sea Surface Temperature (SST), the corresponding SST levels are shown²⁹. The assessment of risk transitions is described in Chapter 5 Sections 5.2, 5.3, 5.2.5 and 5.3.7 and Supplementary Materials SM5.3, Table SM5.6, Table SM5.8 and other parts of the underlying report. The figure indicates assessed risks at approximate warming levels and increasing climate-related hazards in the ocean: ocean warming, acidification, deoxygenation, increased density stratification, changes in carbon fluxes, sea level rise, and increased frequency and/or intensity of extreme events. The assessment considers the natural adaptive capacity of the ecosystems, their exposure and vulnerability. Impact and risk levels do not consider risk reduction strategies such as human interventions, or future changes in non-climatic drivers. Risks for ecosystems were assessed by considering biological, biogeochemical, geomorphological and physical aspects. Higher risks associated with compound effects of climate hazards include habitat and biodiversity loss, changes in species composition and distribution ranges, and impacts/risks on ecosystem structure and functioning, including changes in animal/plant biomass and density, productivity, carbon fluxes, and sediment transport. As part of the assessment, literature was compiled and data extracted into a summary table. A multi-round expert elicitation process was undertaken with independent evaluation of threshold judgement, and a final consensus discussion. Further information on methods and underlying literature can be found in Chapter 5, Sections 5.2 and 5.3 and Supplementary Material. {3.2.3, 3.2.4, 5.2, 5.3, 5.2.5, 5.3.7, SM5.6, SM5.8, Figure 5.16, Cross Chapter Box 1 in Chapter 1 Table CCB1}

B.6 Risks of severe impacts on biodiversity, structure and function of coastal ecosystems are projected to be higher for elevated temperatures under high compared to low emissions scenarios in the 21st century and beyond. Projected ecosystem responses include losses of species habitat and diversity, and degradation of ecosystem functions. The capacity of organisms and ecosystems to adjust and adapt is higher at lower emissions scenarios (*high confidence*). For sensitive ecosystems such as seagrass meadows and kelp forests, high risks are projected if global warming exceeds 2°C above pre-industrial temperature, combined with other climate-related hazards (*high confidence*). Warm-water corals are at high risk already and are projected to transition to very high risk even if global warming is limited to 1.5°C (*very high confidence*). {4.3.3, 5.3, 5.5, Figure SPM.3}



B.6.1  All coastal ecosystems assessed are projected to face increasing risk level, from moderate to high risk under RCP2.6 to high to very high risk under RCP8.5 by 2100. Intertidal rocky shore ecosystems are projected to be at very high risk by 2100 under RCP8.5 (*medium confidence*) due to exposure to warming, especially during marine heatwaves, as well as to acidification, sea level rise, loss of calcifying species and biodiversity (*high confidence*). Ocean acidification challenges these ecosystems and further limits their habitat suitability (*medium confidence*) by inhibiting recovery through reduced calcification and enhanced bioerosion. The decline of kelp forests is projected to continue in temperate regions due to warming, particularly under the projected intensification of marine heatwaves, with high risk of local extinctions under RCP8.5 (*medium confidence*). {5.3, 5.3.5, 5.3.6, 5.3.7, 6.4.2, Figure SPM.3}

B.6.2  Seagrass meadows and saltmarshes and associated carbon stores are at moderate risk at 1.5°C global warming and increase with further warming (*medium confidence*). Globally, 20–90% of current coastal wetlands are projected to be lost by 2100, depending on projected sea level rise, regional differences and wetland types, especially where vertical growth is already constrained by reduced sediment supply and landward migration is constrained by steep topography or human modification of shorelines (*high confidence*). {4.3.3, 5.3.2, Figure SPM.3, SPM A.6.1}




²⁷ NPP is estimated from the Coupled Models Intercomparison Project 5 (CMIP5).



²⁸ Total animal biomass is from the Fisheries and Marine Ecosystem Models Intercomparison Project (FISHMIP).

²⁹ The conversion between GMST and SST is based on a scaling factor of 1.44 derived from changes in an ensemble of RCP8.5 simulations; this scaling factor has an uncertainty of about 4% due to differences between the RCP2.6 and RCP8.5 scenarios. {Table SPM.1}

- B.6.3  해양 온난화, 해수면 상승 및 조수 변화는 하구에서 염류화 및 저산소화를 확장시킬 것이며(높은 신뢰도), 고 배출량 시나리오 하에서 일부 생물종에 대해 이주, 생존 감소, 국지적인 멸종을 야기하는 높은 리스크를 동반한다(중간 신뢰도). 이런 영향은 온대 및 고위도 지역에서 낮은 조수범위로 인해 좀더 취약한 부영양 상태에 놓인 얇은 수심의 하구에서 더욱 확연히 드러날 것이다(중간 신뢰도). {5.2.2., 5.3.1, 그림 SPM.3}
- B.6.4  지구온난화가 1.5°C로 제한된다고 해도, 대부분의 온수대 산호초는 심각한 면적 감소와 국지적인 멸종에 처할 것으로 전망된다(높은 신뢰도). 남겨진 산호초 군집의 종 조성과 다양성은 오늘날의 산호초와 다를 것이다(매우 높은 신뢰도). {5.3.4, 5.4.1, 그림 SPM.3}




인간 및 생태계 서비스에 대한 리스크 전망



- B.7 미래의 육상 빙권 변화는 수력발전(높은 신뢰도), 고산 지역 내 및 하류에서의 관개 농업(중간 신뢰도), 북극 지방의 생계(중간 신뢰도)와 같은 수자원 및 그 사용에 영향을 줄 것이다. 홍수, 눈사태, 산사태, 지상 불안정성의 변화로 기반시설, 문화, 관광 및 레크리에이션 자산에 대한 리스크가 증가할 것으로 전망된다.(중간 신뢰도). {2.3, 2.3.1, 3.4.3}
- B.7.1  고산 지역 및 북극지방에서 인간 정주지 및 생계 옵션에 대한 재해 리스크는 증가할 전망이다(중간 신뢰도). 이는 홍수, 화재, 산사태, 눈사태, 예측 불가능한 얼음과 눈의 상태와 같은 위해의 미래 변화와 사람과 기반시설의 노출 증대 때문이다(높은 신뢰도). 현재 설계된 리스크 감소 방식은 위해(hazards) 특성이 달라지기 때문에 효과가 떨어질 것으로 전망된다(중간 신뢰도). 이번 세기에 대부분의 산악 지역에서 노출 및 취약성이 증가함에 따라(높은 신뢰도), 상당한 리스크 감소 및 적응 전략이 산의 홍수 및 산사태 위해 영향의 회피를 돕는다. {2.3.2, 3.4.3, 3.5.2}
- B.7.2  영구 동토층의 해동으로 인한 육지 표면의 침하는 북극 및 고산 지역에서 도심 및 외곽 지역의 커뮤니케이션과 수송 인프라에 영향을 미칠 것이다(중간 신뢰도). 북극지방 기반시설의 대부분은 세계 중반에 영구 동토층의 해동이 강화될 것으로 예상되는 지역에 있다. 기반시설을 보강하고 다시 설계하면, 2100년에 영구 동토층의 해동 및 이와 관련된 기후변화 영향으로 인한 비용을 절반으로 줄일 수 있다(중간 신뢰도). {2.3.4, 3.4.1, 3.4.3}
- B.7.3  고산 관광, 레크리에이션 및 문화적 자산은 미래의 빙권 변화에 의해 부정적인 영향을 받을 전망이다(중간 신뢰도). 현재의 제설 기술은 특히 2°C 이상의 지구 온난화에서는 대부분의 유럽, 북미, 일본의 기후가 더 온난해 지므로 스키 관광에 대한 리스크를 줄이는 데 덜 효과적일 것이다(높은 신뢰도). {2.3.5, 2.3.6}

- B.6.3  Ocean warming, sea level rise and tidal changes are projected to expand salinization and hypoxia in estuaries (*high confidence*) with high risks for some biota leading to migration, reduced survival, and local extinction under high emission scenarios (*medium confidence*). These impacts are projected to be more pronounced in more vulnerable eutrophic and shallow estuaries with low tidal range in temperate and high latitude regions (*medium confidence*). {5.2.2, 5.3.1, Figure SPM.3}
- B.6.4  Almost all warm-water coral reefs are projected to suffer significant losses of area and local extinctions, even if global warming is limited to 1.5°C (*high confidence*). The species composition and diversity of remaining reef communities is projected to differ from present-day reefs (*very high confidence*). {5.3.4, 5.4.1, Figure SPM.3}


Projected Risks for People and Ecosystem Services


B.7 Future cryosphere changes on land are projected to affect water resources and their uses, such as hydropower (*high confidence*) and irrigated agriculture in and downstream of high mountain areas (*medium confidence*), as well as livelihoods in the Arctic (*medium confidence*). Changes in floods, avalanches, landslides, and ground destabilization are projected to increase risk for infrastructure, cultural, tourism, and recreational assets (*medium confidence*). {2.3, 2.3.1, 3.4.3}


- B.7.1  Disaster risks to human settlements and livelihood options in high mountain areas and the Arctic are expected to increase (*medium confidence*), due to future changes in hazards such as floods, fires, landslides, avalanches, unreliable ice and snow conditions, and increased exposure of people and infrastructure (*high confidence*). Current engineered risk reduction approaches are projected to be less effective as hazards change in character (*medium confidence*). Significant risk reduction and adaptation strategies help avoid increased impacts from mountain flood and landslide hazards as exposure and vulnerability are increasing in many mountain regions during this century (*high confidence*). {2.3.2, 3.4.3, 3.5.2}
- B.7.2  Permafrost thaw-induced subsidence of the land surface is projected to impact overlying urban and rural communication and transportation infrastructure in the Arctic and in high mountain areas (*medium confidence*). The majority of Arctic infrastructure is located in regions where permafrost thaw is projected to intensify by mid-century. Retrofitting and redesigning infrastructure has the potential to halve the costs arising from permafrost thaw and related climate-change impacts by 2100 (*medium confidence*). {2.3.4, 3.4.1, 3.4.3}
- B.7.3  High mountain tourism, recreation and cultural assets are projected to be negatively affected by future cryospheric changes (*high confidence*). Current snowmaking technologies are projected to be less effective in reducing risks to ski tourism in a warmer climate in most parts of Europe, North America, and Japan, in particular at 2°C global warming and beyond (*high confidence*). {2.3.5, 2.3.6}


- B.8 기후변화로 인한 미래의 어류 분포 이동과 그 풍부도 및 잠재 어획량의 감소는 해양 자원에 의존하는 지역 사회의 소득, 생계 및 식량 안보에 영향을 줄 것으로 전망된다(중간 신뢰도). 해양 생태계의 장기적인 손실과 저하는 인간의 정체성과 행복에 필요한 문화적, 여가적 그리고 본질적 가치에 있어서 해양의 역할을 위태롭게 한다(중간 신뢰도). {3.2.4, 3.4.3, 5.4.1, 5.4.2, 6.4}
- B.8.1  전지구 해양 동물의 바이오매스와 잠재 어획량의 지리적 이동과 감소는 RCP2.6 대비 RCP8.5 하에서 더 확연히 드러나며, 특히 경제적으로 취약한 지역에서 소득 및 생계에 대한 리스크가 더욱 커지게 된다(중간 신뢰도). 자원의 재분배 및 풍부도는 수산업, 정부당국 또는 지역 사회 사이의 갈등 리스크를 증가시킬 것으로 전망된다(중간 신뢰도). 수산 거버넌스에 대한 과제는 RCP8.5 하에서 광범위해 지며, 북극 및 열대 태평양과 같은 지역별 민감지역도 포함된다(중간 신뢰도). {3.5.2, 5.4.1, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, 6.4.2, 그림 SPM.3}
- B.8.2  온수대 산호초 감소로 식량 공급(높은 신뢰도), 연안 보호(높은 신뢰도) 및 관광(중간 신뢰도) 등 산호초가 사회에 제공하는 서비스가 위태롭게 될 것이다. 수산물 이용가능성 감소에 관련된 수산물의 안보(중간 신뢰도) 리스크 증가는 북극, 아프리카 서부 및 군서도서개발도상국 등 수산물에 대한 의존도가 높은 여러 지역 사회(중간 신뢰도)에서 영양 보건 리스크를 증가시킬 것이다. 이런 영향은 사회적/경제적 변화 그리고 육지에서 기후변화로 인한 식습관 및 식량 시스템의 변화로 인한 리스크와 결합된다(중간 신뢰도). {3.4.3, 5.4.2, 6.4.2}
- B.8.3  지구온난화는 잔류성 유기오염물과 수은의 해양 식물 및 동물 내의 생물축적 증가(중간 신뢰도), 수인성 비브리오균 확산 증가(중간 신뢰도) 유해 조류가 증식될 가능성 상승에 따른 인간 노출로 인해 수산물 안전을 위협한다(중간 신뢰도). 이러한 리스크는 연안의 토착민 사회 등 수산물의 소비가 많은 지역 사회(중간 신뢰도), 그리고 수산업, 수산양식, 관광 등 경제 부문에 대해 특히 클 것으로 전망된다(높은 신뢰도). {3.4.3, 5.4.2, 박스 5.3}
- B.8.4  해양 생태계 및 그 서비스에 대한 기후변화의 영향은 문화적 차원의 생활 및 생계를 리스크에 처하게 하는데(중간 신뢰도), 여기에 수확된 종의 분포와 풍부도가 달라지고 낚시 또는 수렵지역에 대한 접근성이 감소하는 경우가 해당된다. 현지 지식과 토착 지식 그리고 문화가 빠르고 비가역적으로 손실될 가능성이 있고, 전통 방식의 식습관 및 식량 안보, 미학적 측면 그리고 해양 레크리에이션 활동에 부정적인 영향도 해당된다(중간 신뢰도) {3.4.3, 3.5.3, 5.4.2}

B.8 Future shifts in fish distribution and decreases in their abundance and fisheries catch potential due to climate change are projected to affect income, livelihoods, and food security of marine resource-dependent communities (*medium confidence*). Long-term loss and degradation of marine ecosystems compromises the ocean's role in cultural, recreational, and intrinsic values important for human identity and well-being (*medium confidence*). {3.2.4, 3.4.3, 5.4.1, 5.4.2, 6.4}


B.8.1  Projected geographical shifts and decreases of global marine animal biomass and fish catch potential are more pronounced under RCP8.5 relative to RCP2.6 elevating the risk for income and livelihoods of dependent human communities, particularly in areas that are economically vulnerable (*medium confidence*). The projected redistribution of resources and abundance increases the risk of conflicts among fisheries, authorities or communities (*medium confidence*). Challenges to fisheries governance are widespread under RCP8.5 with regional hotspots such as the Arctic and tropical Pacific Ocean (*medium confidence*). {3.5.2, 5.4.1, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, 6.4.2, Figure SPM.3}


B.8.2  The decline in warm-water coral reefs is projected to greatly compromise the services they provide to society, such as food provision (*high confidence*), coastal protection (*high confidence*) and tourism (*medium confidence*). Increases in the risks for seafood security (*medium confidence*) associated with decreases in seafood availability are projected to elevate the risk to nutritional health in some communities highly dependent on seafood (*medium confidence*), such as those in the Arctic, West Africa, and Small Island Developing States. Such impacts compound any risks from other shifts in diets and food systems caused by social and economic changes and climate change over land (*medium confidence*). {3.4.3, 5.4.2, 6.4.2}


B.8.3  Global warming compromises seafood safety (*medium confidence*) through human exposure to elevated bioaccumulation of persistent organic pollutants and mercury in marine plants and animals (*medium confidence*), increasing prevalence of waterborne *Vibrio* pathogens (*medium confidence*), and heightened likelihood of harmful algal blooms (*medium confidence*). These risks are projected to be particularly large for human communities with high consumption of seafood, including coastal Indigenous communities (*medium confidence*), and for economic sectors such as fisheries, aquaculture, and tourism (*high confidence*). {3.4.3, 5.4.2, Box 5.3}

B.8.4  Climate change impacts on marine ecosystems and their services put key cultural dimensions of lives and livelihoods at risk (*medium confidence*), including through shifts in the distribution or abundance of harvested species and diminished access to fishing or hunting areas. This includes potentially rapid and irreversible loss of culture and local knowledge and Indigenous knowledge, and negative impacts on traditional diets and food security, aesthetic aspects, and marine recreational activities (*medium confidence*). {3.4.3, 3.5.3, 5.4.2}


B.9 해양 온난화 및 산성화와 함께 평균 해수면 및 극한 해수면 상승은 저지대의 연안 지역의 인간사회에 대한 리스크를 악화시킬 것이다(높은 신뢰도). 육지가 급속하게 융기하지 않는 북극의 인간사회 그리고 도시의 환초섬에서, 리스크는 적응 한계 도달(높은 신뢰도)을 비롯하여 저배출량 시나리오(RCP2.6) 하에서조차 보통에서 높음으로 전망된다(중간 신뢰도). 고배출량 시나리오(RCP8.5) 하에서, 삼각주 지역과 자원이 풍부한 연안 도시들은 현재의 적응을 고려할 때 2050년 이후에 보통부터 매우 높은 수준의 리스크에 놓이게 될 전망이다(중간 신뢰도). 혁신적 거버넌스와 같은 의욕적 적응을 통해 리스크가 줄어들겠지만(높은 신뢰도), 상황별로 특수한 편익이 존재한다. {4.3.3, 4.3.4, 6.9.2, 크로스-챕터 박스 9, SM4.3, 그림 SPM.5}


B.9.1  현재와 비교하여 보다 의욕적인 적응 노력이 없다면, 연안 지역사회의 노출 및 취약성에 대한 현재의 증가 추세 하에서 침식 및 육지 손실, 홍수, 염류화 및 평균 해수면 상승과 극한 현상으로 인한 후속적 영향과 같은 리스크가 모든 온실가스 배출량 시나리오 하에서 금세기 동안 크게 증가할 것으로 전망된다(매우 높은 신뢰도). 동일한 가정 하에, 해마다 연안 홍수 피해는 현재와 비교하여 2100년에 그 규모가 2-3배 증가할 것으로 예상된다(높은 신뢰도). {4.3.3, 4.3.4, 박스 6.1; 6.8; SM4.3; 그림 SPM.4, SPM.5}


B.9.2  고배출량 시나리오의 경우 금세기 말보다 훨씬 전에 해수면 상승으로 산호초 환경, 도시의 환초섬 및 저지대의 북극 지역의 취약한 지역사회에 ‘높은’ 부터 ‘매우 높은’ 리스크가 나타난다. 이는 적응한계에 도달하는 것을 수반하며, 행위자의 목표(또는 시스템의 필요)가 적응 활동을 통해 감내할 수 없는 리스크로부터 확보될 수 없는 지점이다(높은 신뢰도). 적응 한계(예: 생물물리학, 지리학, 재무적, 기술적, 사회적, 정치적 및 제도적) 도달은 배출량 시나리오와 특정한 상황별 리스크 허용수준에 따라 다르고, 해수면의 장기적 상승으로 인해 2100년 이후에 더 많은 지역으로 확장될 것으로 예상된다(중간 신뢰도). 일부 섬 국가들은 높은 가능성으로 기후 관련 해양과 빙권 변화로 인해 거주가 어렵게 되었지만(중간 신뢰도), 거주 가능성의 임계점 평가는 매우 어렵다. {4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 5.5.2, 크로스-챕터 박스 9, SM4.3, SPM C.1, 용어집, 그림 SPM.5}

B.9.3  전지구적으로, 기후 관련 해양과 빙권의 변화 속도 저감은 더 많은 적응 기회를 제공한다(높은 신뢰도). 혁신적 변화를 위한 거버넌스를 포함해 여러 지역에서 의욕적인 적응은 리스크 감소 가능성이 있다는 점에 대한 신뢰도가 높은 반면, 그러한 편익은 위치에 따라 다를 수 있다. 전지구적 규모에서, 연안 보호는 21세기 동안 2-3배의 규모로 홍수 리스크를 줄일 수 있지만 연간 수백-수천억 달러(미화)의 투자를 필요로 한다(높은 신뢰도). 이런 투자는 일반적으로 인구 밀도가 높은 도심 지역에서는 비용 효율적인 반면, 외곽 지역 및 소득 수준이 낮은 지역은 이러한 투자를 감당하는 데 어려움을 겪을 것이며, 일부 도서 국가에서 연간 비용은 GDP의 몇 퍼센트에 달할 것이다(높은 신뢰도). 주요한 적응 노력에도 불구하고, 잔여 위험 및 연관 손실이 발생할 것으로 전망되지만(중간 신뢰도) 상황별로 특수한 적응 한계와 잔여 위험은 평가하기 어렵다. {4.1.3, 4.2.2.4, 4.3.1, 4.3.2, 4.3.4., 4.4.3, 6.9.1, 6.9.2, 제1장의 크로스-챕터 박스 1-2, SM4.3, 그림 SPM.5}

B.9 Increased mean and extreme sea level, alongside ocean warming and acidification, are projected to exacerbate risks for human communities in low-lying coastal areas (*high confidence*). In Arctic human communities without rapid land uplift, and in urban atoll islands, risks are projected to be moderate to high even under a low emissions scenario (RCP2.6) (*medium confidence*), including reaching adaptation limits (*high confidence*). Under a high emissions scenario (RCP8.5), delta regions and resource rich coastal cities are projected to experience moderate to high risk levels after 2050 under current adaptation (*medium confidence*). Ambitious adaptation including transformative governance is expected to reduce risk (*high confidence*), but with context-specific benefits. {4.3.3, 4.3.4, SM4.3, 6.9.2, Cross-Chapter Box 9, Figure SPM.5}

B.9.1  In the absence of more ambitious adaptation efforts compared to today, and under current trends of increasing exposure and vulnerability of coastal communities, risks, such as erosion and land loss, flooding, salinization, and cascading impacts due to mean sea level rise and extreme events are projected to significantly increase throughout this century under all greenhouse gas emissions scenarios (*very high confidence*). Under the same assumptions, annual coastal flood damages are projected to increase by 2–3 orders of magnitude by 2100 compared to today (*high confidence*). {4.3.3, 4.3.4, Box 6.1, 6.8, SM.4.3, Figures SPM.4, SPM.5}

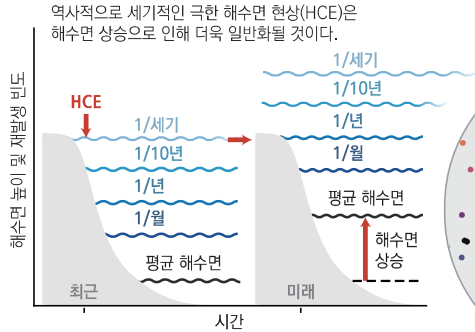
B.9.2  High to very high risks are approached for vulnerable communities in coral reef environments, urban atoll islands and low-lying Arctic locations from sea level rise well before the end of this century in case of high emissions scenarios. This entails adaptation limits being reached, which are the points at which an actor's objectives (or system needs) cannot be secured from intolerable risks through adaptive actions (*high confidence*). Reaching adaptation limits (e.g., biophysical, geographical, financial, technical, social, political, and institutional) depends on the emissions scenario and context-specific risk tolerance, and is projected to expand to more areas beyond 2100, due to the long-term commitment of sea level rise (*medium confidence*). Some island nations are *likely* to become uninhabitable due to climate-related ocean and cryosphere change (*medium confidence*), but habitability thresholds remain extremely difficult to assess. {4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 5.5.2, Cross-Chapter Box 9, SM.4.3, SPM C.1, Glossary, Figure SPM.5}

B.9.3  Globally, a slower rate of climate-related ocean and cryosphere change provides greater adaptation opportunities (*high confidence*). While there is *high confidence* that ambitious adaptation, including governance for transformative change, has the potential to reduce risks in many locations, such benefits can vary between locations. At global scale, coastal protection can reduce flood risk by 2–3 orders of magnitude during the 21st century, but depends on investments on the order of tens to several hundreds of billions of US\$ per year (*high confidence*). While such investments are generally cost efficient for densely populated urban areas, rural and poorer areas may be challenged to afford such investments with relative annual costs for some small island states amounting to several percent of GDP (*high confidence*). Even with major adaptation efforts, residual risks and associated losses are projected to occur (*medium confidence*), but context-specific limits to adaptation and residual risks remain difficult to assess. {4.1.3, 4.2.2.4, 4.3.1, 4.3.2, 4.3.4., 4.4.3, 6.9.1, 6.9.2, Cross-Chapter Boxes 1–2 in Chapter 1, SM.4.3, Figure SPM.5}

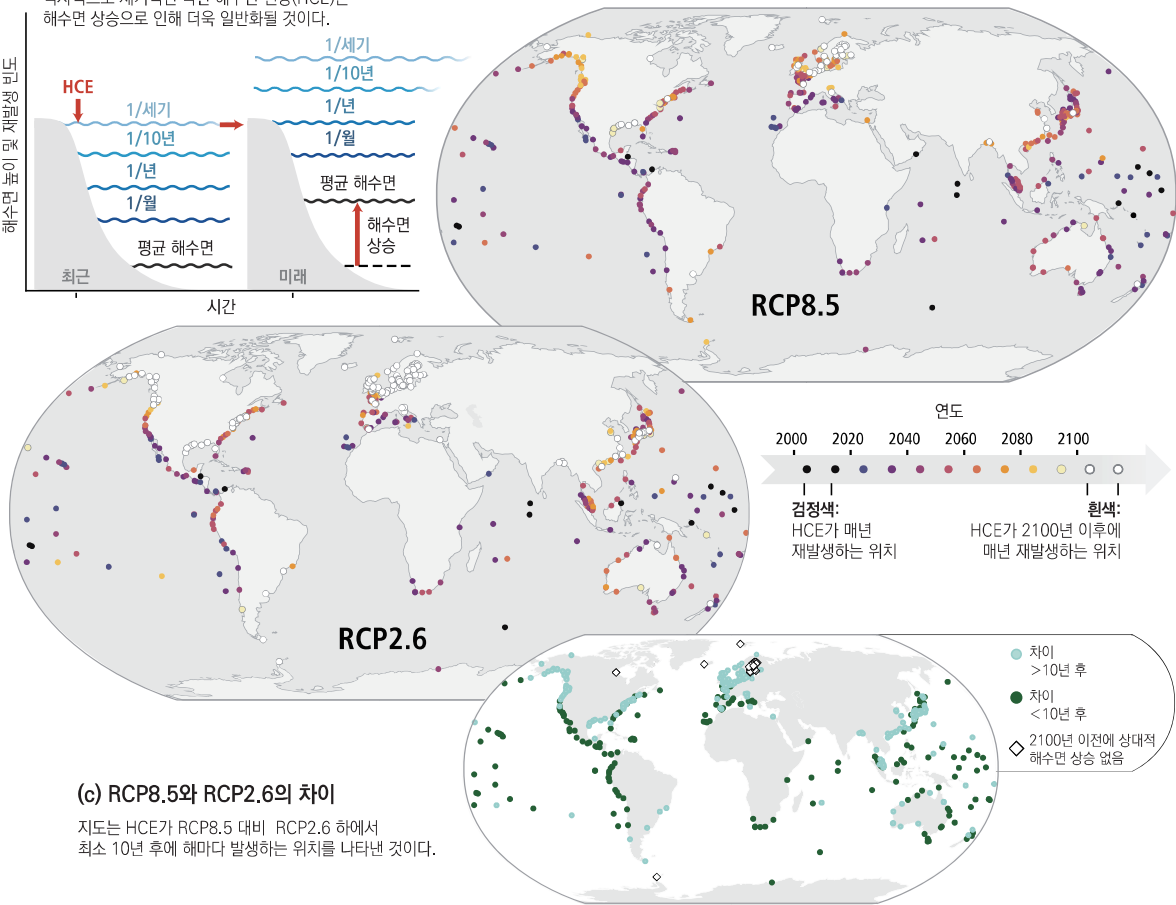
극한 해수면 현상

전지구 평균 해수면(GMSL)의 상승 전망에 따르면 100년에 한 번 발생했던 국지적 해수면(역사적으로 세계적인 현상, HCE)이 21세기 동안 대부분의 지역에서 최소한 1년에 1회 발생할 것으로 전망된다. HCE의 높이는 지역마다 다양하고, 노출 수준에 따라 심각한 영향을 일으킬 수 있다. 이 영향은 HCE의 빈도 증가에 따라 계속 증가할 수 있다.

(a) 극한 해수면 현상 전망치에 미치는 지역적 해수면 상승의 도식화된 효과(적도화 안함)



(b) HCE가 평균적으로 연간 1회 재발생할 것으로 전망되는 해



(c) RCP8.5와 RCP2.6의 차이

지도는 HCE가 RCP8.5 대비 RCP2.6 하에서 최소 10년 후에 해마다 발생하는 위치를 나타낸 것이다.

그림 SPM.4 연안에서 극한 해수면 현상에 대한 지역별 해수면 상승 영향. (a) 가까운 과거(1986-2005년)와 미래의 극한 해수면 현상 및 평균 재발생에 대한 도식적 설명. 평균 해수면 상승으로 인해 역사적으로 한 세기에 한 번(역사적으로 세계적인 현상, HCE) 발생하는 지역 해수면은 미래에 더 자주 반복될 것으로 전망된다. (b) HCE가 RCP8.5 및 RCP2.6 하에서 관측 기록이 충분한 439개의 연안 지역에서 평균적으로 1년에 한 번 재발생 할 것이다. 원이 없는 것은 자료가 없어서 평가할 수 없음을 나타내지만, 노출 및 리스크가 없다는 것을 나타내는 것은 아니다. 원이 어두울수록, 이런 변화가 더 빨리 진행된다. **가능성 높음 범위는** 2100년 이전에 이런 이행이 예상되는 지역에 대해 ±10년이다. 흰색 원(RCP2.6에 따라 위치의 33%, RCP8.5에 따라 10%)은 HCE가 2100년 이전에 해마다 한 번 재발생하지 않을 것임을 표시한다. (c) HCE의 이행이 해마다 발생하는 지역은 RCP8.5와 비교하여 RCP2.6 하에서 10년 이상 늦게 발생할 것이다. 이 시나리오는 대부분의 위치에서 2050년에 작은 차이를 보이기 때문에 RCP4.5에 대한 결과는 여기에 표시되어 있지 않지만, 제4장에서 찾아볼 수 있다. {4.2.3, 그림 4.10, 그림 4.12}

Extreme sea level events

Due to projected global mean sea level (GMSL) rise, local sea levels that historically occurred once per century (historical centennial events, HCEs) are projected to become at least annual events at most locations during the 21st century. The height of a HCE varies widely, and depending on the level of exposure can already cause severe impacts. Impacts can continue to increase with rising frequency of HCEs.

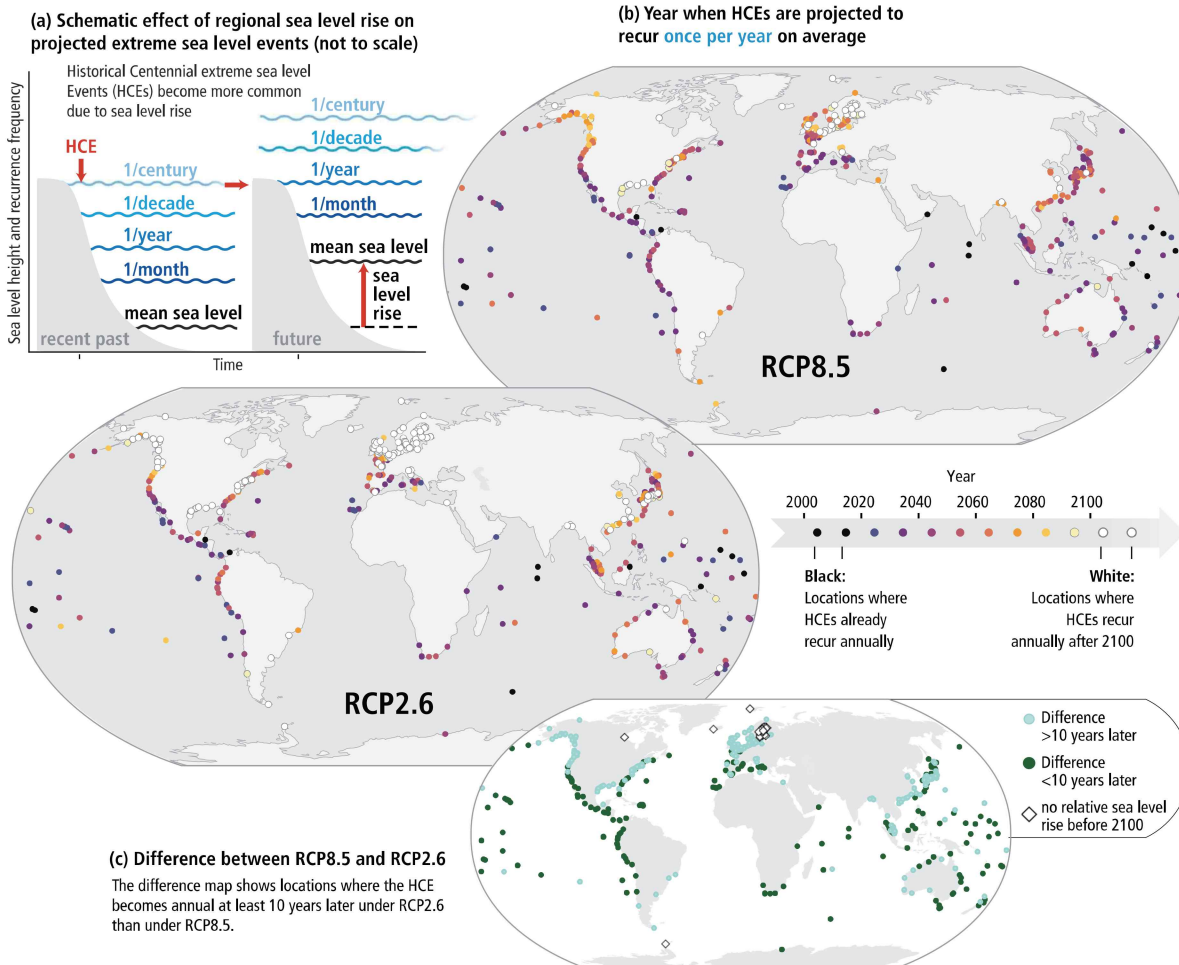




Figure SPM.4 | The effect of regional sea level rise on extreme sea level events at coastal locations. **(a)** Schematic illustration of extreme sea level events and their average recurrence in the recent past (1986–2005) and the future. As a consequence of mean sea level rise, local sea levels that historically occurred once per century (historical centennial events, HCEs) are projected to recur more frequently in the future. **(b)** The year in which HCEs are expected to recur once per year on average under RCP8.5 and RCP2.6, at the 439 individual coastal locations where the observational record is sufficient. The absence of a circle indicates an inability to perform an assessment due to a lack of data but does not indicate absence of exposure and risk. The darker the circle, the earlier this transition is expected. The *likely* range is ± 10 years for locations where this transition is expected before 2100. White circles (33% of locations under RCP2.6 and 10% under RCP8.5) indicate that HCEs are not expected to recur once per year before 2100. **(c)** An indication at which locations this transition of HCEs to annual events is projected to occur more than 10 years later under RCP2.6 compared to RCP8.5. As the scenarios lead to small differences by 2050 in many locations results are not shown here for RCP4.5 but they are available in Chapter 4. (4.2.3, Figure 4.10, Figure 4.12)


C. 해양과 빙권 변화에 대한 대응방안 이행


도전 과제

C.1 해양과 빙권에서 기후 관련 변화의 영향은 지역적 규모부터 전지구적 규모로 현재 거버넌스의 발전과 적응 방안이행을 점점 더 어렵게 하고 일부 경우에는 한계에 이르게 한다. 가장 많이 노출되고 취약한 사람들은 대응 역량이 가장 낮은 사람들인 경우가 많다(높은 신뢰도). {1.5, 1.7, 제1장의 크로스-챕터 박스 2-3, 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.4, 3.2.4, 3.4.3, 3.5.2, 3.5.3, 4.1, 4.3.3, 4.4.3, 5.5.2, 5.5.3, 6.9}

C.1.1  기후변화의 시간적 규모는 해양과 빙권에 영향을 주고, 사회적 결과는 거버넌스 계획의 결과보다 오랜 기간 동안 작동한다(예: 계획 주기, 공공 및 기업의 의사결정 주기, 재무적인 도구). 이런 시간적 차이는 극한 현상의 빈도 및 강도 변화를 비롯하여 장기적인 변화에 적절하게 대비하고 대응하는 데 필요한 사회의 능력을 어렵게 한다(높은 신뢰도). 고산 지역의 산사태 및 홍수 변화, 북극에서 중요한 종 및 생태계에 대한 리스크, 저지대의 국가 및 섬, 군소도서개발도상국, 기타 연안 지역 및 산호초 생태계 등을 예로 들 수 있다. {2.3.2, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.3, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5.1, 5.5.2, 5.5.3, 6.9}

C.1.2  거버넌스 계획(예: 해양 보호 구역, 공간 계획 및 수자원 관리 시스템)은 여러 상황에서 행정 경계 및 부문에 걸쳐 너무 분절되어 있어, 해양 및/또한 빙권에서 기후 관련 변화로부터 점점 증가하고 단계적으로 확산되는 리스크에 대한 통합적 대응을 제공할 수 없다(높은 신뢰도). 극지방 및 해양 지역에서 기후변화에 대응하기 위한 거버넌스 시스템의 기능은 최근 들어 강화되었지만, 이런 발전은 점점 증가하는 리스크 전망의 크기에 적절히 대응하는데 충분히 신속하거나 확실한 것은 아니다(높은 신뢰도). 고산 지역, 연안 지역 및 군소 도서개발도상국에서는 규모, 부문 및 정책 분야에 걸쳐 기후적 및 비기후적 리스크 요인(비접근가능성, 인구학적 및 주거 추세 또는 지역적 활동으로 인한 지반 침하) 간의 여러 상호 작용으로 인해 기후 적응 대응방안을 조정하기가 어렵다(높은 신뢰도). {2.3.1, 3.5.3, 4.4.3, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, 박스 5.6, 6.9, 제1장의 크로스-챕터 박스 3}


C.1.3  생태계에서 기후변화 적응에 관한 광범위한 장애와 한계가 규명되었다(높은 신뢰도). 한계에는 생태계가 필요로 하는 공간, 적응 대응방안의 일환으로 다루어질 필요가 있는 비기후적 요인 및 인간 영향, 기후변화로 인한 생태계의 적응 능력 감소, 그리고 기후 영향의 재발 대비 상대적으로 느린 생태계의 복원 속도, 기술의 가용성, 지식 및 재정 지원, 그리고 기존의 거버넌스 계획 등이 포함된다(중간 신뢰도). {3.5.4, 5.5.2}


C.1.4  해양과 빙권에서 기후 관련 변화의 현재 및 미래의 부정적 영향에 대한 대응방안의 이행과 관련해 재정적, 기술적, 제도적 및 기타 장애가 존재하며, 이는 복원력 구축 및 리스크 저감 조치를 저해한다(높은 신뢰도). 이런 장애가 적응 효과를 감소시키거나 적응 한계가 상황별로 특정한 여건과 일치하는지 여부는, 기후변화의 속도와 규모 그리고 적응 능력을 효과적 적응 대응방안으로 변화시키는 사회적 능력에 따라 달라진다. 적응 역량은 공동체 및 사회 내에서도 차이가 계속 있을 것이다(높은 신뢰도). 해양과 빙권 변화의 현재와 미래 위해(hazards)에 가장 많이 노출되고 취약한 사람들은 특히 개발이 어려운 저지대의 섬 및 연안, 북극과 고산지역에 있는 적응 역량이 낮은 사람들인 경우가 많다(높은 신뢰도). {2.3.1, 2.3.2, 2.3.7, Box 2.4, 3.5.2, 4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 5.5.2, 6.9, 제1장의 크로스-챕터 박스 2-3, 크로스-챕터 박스 9}


C. Implementing Responses to Ocean and Cryosphere Change


Challenges

C.1 Impacts of climate-related changes in the ocean and cryosphere increasingly challenge current governance efforts to develop and implement adaptation responses from local to global scales, and in some cases pushing them to their limits. People with the highest exposure and vulnerability are often those with lowest capacity to respond (*high confidence*). {1.5, 1.7, Cross-Chapter Boxes 2–3 in Chapter 1, 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.4, 3.2.4, 3.4.3, 3.5.2, 3.5.3, 4.1, 4.3.3, 4.4.3, 5.5.2, 5.5.3, 6.9}

C.1.1  The temporal scales of climate change impacts in ocean and cryosphere and their societal consequences operate on time horizons which are longer than those of governance arrangements (e.g., planning cycles, public and corporate decision making cycles, and financial instruments). Such temporal differences challenge the ability of societies to adequately prepare for and respond to long-term changes including shifts in the frequency and intensity of extreme events (*high confidence*). Examples include changing landslides and floods in high mountain regions and risks to important species and ecosystems in the Arctic, as well as to low-lying nations and islands, small island nations, other coastal regions and to coral reef ecosystems. {2.3.2, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.3, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5.1, 5.5.2, 5.5.3, 6.9}


C.1.2  Governance arrangements (e.g., marine protected areas, spatial plans and water management systems) are, in many contexts, too fragmented across administrative boundaries and sectors to provide integrated responses to the increasing and cascading risks from climate-related changes in the ocean and/or cryosphere (*high confidence*). The capacity of governance systems in polar and ocean regions to respond to climate change impacts has strengthened recently, but this development is not sufficiently rapid or robust to adequately address the scale of increasing projected risks (*high confidence*). In high mountains, coastal regions and small islands, there are also difficulties in coordinating climate adaptation responses, due to the many interactions of climatic and non-climatic risk drivers (such as inaccessibility, demographic and settlement trends, or land subsidence caused by local activities) across scales, sectors and policy domains (*high confidence*). {2.3.1, 3.5.3, 4.4.3, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, Box 5.6, 6.9, Cross-Chapter Box 3 in Chapter 1}


C.1.3  There are a broad range of identified barriers and limits for adaptation to climate change in ecosystems (*high confidence*). Limitations include the space that ecosystems require, non-climatic drivers and human impacts that need to be addressed as part of the adaptation response, the lowering of adaptive capacity of ecosystems because of climate change, and the slower ecosystem recovery rates relative to the recurrence of climate impacts, availability of technology, knowledge and financial support, and existing governance arrangements (*medium confidence*). {3.5.4, 5.5.2}


C.1.4  Financial, technological, institutional and other barriers exist for implementing responses to current and projected negative impacts of climate-related changes in the ocean and cryosphere, impeding resilience building and risk reduction measures (*high confidence*). Whether such barriers reduce adaptation effectiveness or correspond to adaptation limits depends on context specific circumstances, the rate and scale of climate changes and on the ability of societies to turn their adaptive capacity into effective adaptation responses. Adaptive capacity continues to differ between as well as within communities and societies (*high confidence*). People with highest exposure and vulnerability to current and future hazards from ocean and cryosphere changes are often also those with lowest adaptive capacity, particularly in low-lying islands and coasts, Arctic and high mountain regions with development challenges (*high confidence*). {2.3.1, 2.3.2, 2.3.7, Box 2.4, 3.5.2, 4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 5.5.2, 6.9, Cross-Chapter Boxes 2 and 3 in Chapter 1, Cross-Chapter Box 9}


대응 수단 강화


C.2 해양과 빙권 관련 생태계가 제공하는 광범위한 서비스 및 수단들은 재생가능 자원 이용을 위한 보호, 복원, 및 예방적인 생태계 기반 관리와 오염 물질과 기타 스트레스 요인의 감소를 통해 유지될 수 있다(높은 신뢰도). 통합적 물 관리(중간 신뢰도)와 생태계 기반 적응(높은 신뢰도)은 지역적인 기후 리스크를 낮추고 다양한 지역적, 사회적 편익을 제공한다. 그러나 이 같은 행동에는 생태학적, 재정적, 제도적 및 거버넌스 제약이 존재하고(높은 신뢰도), 다양한 상황에서 생태계 기반 적응은 낮은 수준의 온난화에서만 효과적인 것이다(높은 신뢰도). {2.3.1, 2.3.3, 3.2.4, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.2, 5.2.2, 5.4.2, 5.5.1, 5.5.2, 그림 SPM.5}

C.2.1  보호구역 네트워크는 탄소 흡수 및 저장 등 생태계 서비스를 유지하는 데 도움이 되고 온난화 및 해수면 상승에 대응하여 발생하는 중, 개체군 및 생태계의 극방향 및 고지대로의 이동을 용이하게 함으로써 미래 생태계 기반 적응 수단으로 활용할 수 있다(중간 신뢰도). 지리적 장애물, 생태계 황폐화, 서식지 파편화 및 지역 협력에 대한 장애는 해양, 고산 지대 및 극지방에서 미래 종의 서식 범위 이동을 지원하는 이런 네트워크의 잠재력을 제한한다(높은 신뢰도). {2.3.3, 3.2.3, 3.3.2, 3.5.4, 5.5.2, 박스 3.4}

C.2.2  육상과 해양 서식지의 복원, 그리고 지원 종의 재배치와 산호초 가드닝 같은 생태계 관리 도구는 생태계 기반 적응을 증진시키는 데 지역적으로 효과적일 수 있다(높은 신뢰도). 가장 낮은 수준의 온난화 하에서 이런 활동은 지역 사회의 지원을 받고 과학에 기반하면서 지역 지식과 토착 지식을 사용하고, 비기후적 스트레스 요인의 감소나 제거를 포함한 장기적 지원을 바탕으로 할 때 가장 성공적이다(높은 신뢰도). 예를 들면, 산호초 복원 수단은 지구온난화가 1.5°C를 초과할 경우 효과적이지 않는데, 산호초가 현재의 온난화 수준에서도 이미 높은 리스크 수준에 처해 있기 때문이다(매우 높은 신뢰도). {2.3.3, 4.4.2, 5.3.7, 5.5.1, 5.5.2, 박스 5.5, 그림 SPM.3}


C.2.3  남획되거나 고갈된 어족자원 복원 등 예방적 접근방식을 강화하고 기존의 수산업 관리 전략과 반응함으로써 수산업에 대한 부정적인 영향을 감소시키며, 지역 경제와 생계에 편익을 제공한다.(중간 신뢰도). 미래 생태계 추세 평가에 근거해 조치를 정기적으로 평가하고 갱신하는 수산업 관리는 수산업에 대한 리스크를 감소시키지만(중간 신뢰도), 생태계 변화에 대응하기에는 역부족이다. {3.2.4, 3.5.2, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, 그림 SPM.5}


C.2.4  맹그로브, 조수 습지 및 해초대(연안 '블루 카본' 생태계) 등 식생 연안 생태계의 복원은 현재 전 지구 연간 배출량의 약 0.5%에 해당하는 탄소 흡수 및 저장을 증가시켜 기후변화를 완화시킬 수 있다(중간 신뢰도). 보호와 관리를 개선하여 이런 생태계로부터 탄소 배출량을 줄일 수 있다. 아울러, 이러한 활동은 폭풍우를 예방하고 수질을 개선하고 생물다양성 및 수산업에 이익이 되는 등 다수의 편익을 제공한다(높은 신뢰도). 이런 연안 생태계의 탄소 저장 및 온실가스 유입의 정량화를 개선하면 측정, 보고 및 검증에 관한 지금과 같은 불확실성을 줄이게 될 것이다(높은 신뢰도), {박스 4.3, 5.4, 5.5.1, 5.5.2, 부록 I: 용어집}


C.2.5  해양 재생 에너지는 기후변화 완화를 지원하며, 해상 풍력, 조력, 파력, 열 및 염분 변화도와 조류 바이오 연료에서 에너지 추출이 해당된다. 대체 에너지원에 대한 수요가 늘어나면서 해양의 재생 에너지의 잠재량이 기후변화의 영향을 받을 수는 있으나(낮은 신뢰도), 해양 재생 에너지 부문에 대한 경제적 기회가 많이 창출될 것으로 예측된다(높은 신뢰도). {5.4.2, 5.5.1, 그림 5.23}


Strengthening Response Options


C.2 The far-reaching services and options provided by ocean and cryosphere-related ecosystems can be supported by protection, restoration, precautionary ecosystem-based management of renewable resource use, and the reduction of pollution and other stressors (*high confidence*). Integrated water management (*medium confidence*) and ecosystem-based adaptation (*high confidence*) approaches lower climate risks locally and provide multiple societal benefits. However, ecological, financial, institutional and governance constraints for such actions exist (*high confidence*), and in many contexts ecosystem-based adaptation will only be effective under the lowest levels of warming (*high confidence*). {2.3.1, 2.3.3, 3.2.4, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.2, 5.2.2, 5.4.2, 5.5.1, 5.5.2, Figure SPM.5}

C.2.1  Networks of protected areas help maintain ecosystem services, including carbon uptake and storage, and enable future ecosystem-based adaptation options by facilitating the poleward and altitudinal movements of species, populations, and ecosystems that occur in response to warming and sea level rise (*medium confidence*). Geographic barriers, ecosystem degradation, habitat fragmentation and barriers to regional cooperation limit the potential for such networks to support future species range shifts in marine, high mountain and polar land regions (*high confidence*). {2.3.3, 3.2.3, 3.3.2, 3.5.4, 5.5.2, Box 3.4}

C.2.2  Terrestrial and marine habitat restoration, and ecosystem management tools such as assisted species relocation and coral gardening, can be locally effective in enhancing ecosystem-based adaptation (*high confidence*). Such actions are most successful when they are community-supported, are science-based whilst also using local knowledge and Indigenous knowledge, have long-term support that includes the reduction or removal of non-climatic stressors, and under the lowest levels of warming (*high confidence*). For example, coral reef restoration options may be ineffective if global warming exceeds 1.5°C, because corals are already at high risk (*very high confidence*) at current levels of warming. {2.3.3, 4.4.2, 5.3.7, 5.5.1, 5.5.2, Box 5.5, Figure SPM.3}

C.2.3  Strengthening precautionary approaches, such as rebuilding overexploited or depleted fisheries, and responsiveness of existing fisheries management strategies reduces negative climate change impacts on fisheries, with benefits for regional economies and livelihoods (*medium confidence*). Fisheries management that regularly assesses and updates measures over time, informed by assessments of future ecosystem trends, reduces risks for fisheries (*medium confidence*) but has limited ability to address ecosystem change. {3.2.4, 3.5.2, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, Figure SPM.5}

C.2.4  Restoration of vegetated coastal ecosystems, such as mangroves, tidal marshes and seagrass meadows (coastal 'blue carbon' ecosystems), could provide climate change mitigation through increased carbon uptake and storage of around 0.5% of current global emissions annually (*medium confidence*). Improved protection and management can reduce carbon emissions from these ecosystems. Together, these actions also have multiple other benefits, such as providing storm protection, improving water quality, and benefiting biodiversity and fisheries (*high confidence*). Improving the quantification of carbon storage and greenhouse gas fluxes of these coastal ecosystems will reduce current uncertainties around measurement, reporting and verification (*high confidence*). {Box 4.3, 5.4, 5.5.1, 5.5.2, Annex I: Glossary}

C.2.5  Ocean renewable energy can support climate change mitigation, and can comprise energy extraction from offshore winds, tides, waves, thermal and salinity gradient and algal biofuels. The emerging demand for alternative energy sources is expected to generate economic opportunities for the ocean renewable energy sector (*high confidence*), although their potential may also be affected by climate change (*low confidence*). {5.4.2, 5.5.1, Figure 5.23}

- C.2.6  여러 규모에서의 통합형 물 관리 방식은 영향에 대응하고, 고산 지역에서 빙권 변화로 인한 기회 요인을 활용하는 데 효과적일 수 있다. 이러한 방식은 생태계와 지역사회에 대한 잠재적인 부정적 영향을 고려하여, 저장소로부터 물을 다목적용으로 저장하고 배출하도록 개발하고 최적화 함으로써 수자원 관리를 지원한다(중간 신뢰도), 연중으로 관광 활동을 다각화하는 것은 고산 지대 경제의 적응을 돕는다(중간 신뢰도). {2.3.1, 2.3.5}
- C.3 **연안 지역사회는 이용 가능한 수단의 비용, 편익 및 상충이 균형을 이루고 시간의 흐름에 따라 조정될 수 있도록 해수면 상승에 대해 특정 상황별 대응과 통합적인 대응책을 만들어내야 하는 어려운 선택에 직면해 있다(높은 신뢰도). 보호, 순응, 생태계 기반의 적응, 연안 진출 및 후퇴를 포함한 모든 유형의 수단은 이러한 통합적 대응에서 중요한 역할을 한다(높은 신뢰도).** {4.4.2, 4.4.3, 4.4.4, 6.9.1, 크로스-챕터 박스 9; 그림 SPM.5}
- C.3.1  해수면이 더 높이 상승할수록, 연안 보호는 더욱 어려워진다. 이는 기술적 한계라기보다 주로 경제적, 재정적 및 사회적 장애 때문이다(높은 신뢰도). 향후 수십 년간, 연안의 도시화와 인간으로 인한 지반 침하 같은 노출 및 취약성의 지역적 요인을 줄이면 효과적인 대응이 가능해진다(높은 신뢰도). 공간이 제한되고 노출된 자산의 가치가 높은 곳에서는(예: 도시), 21세기 동안 경성보호(예: 제방)가 높은 가능성으로 특수 상황을 고려한 비용 효율적인 대응수단이 될 것이지만 자원이 제한된 지역에서는 이러한 투자를 할 여건이 되지 않을 수 있다. 공간이 있는 경우, 생태계 기반의 적응은 연안의 리스크를 줄일 뿐 아니라 탄소 저장, 수질 개선, 생물다양성 보전 및 생계 지원 등 여러 가지 편익을 제공할 수 있다(중간 신뢰도). {4.3.2, 4.4.2, 박스 4.1, 크로스-챕터 박스 9, 그림 SPM.5}
- C.3.2  조기 경보 시스템과 건물의 홍수 방지와 같은 몇몇 연안의 순응(accommodation) 조치는 현재의 해수면 상황에서 비용은 낮고 매우 효율이 높은 경우가 많다(높은 신뢰도). 해수면 상승과 연안 위해(hazards)의 전망 하에서, 일부 조치들은 다른 수단들과 결합되지 않으면 효율성이 감소한다(높은 신뢰도). 대안이 되는 장소가 있는 경우 보호, 순응, 생태계 기반 적응, 연안 진출 및 계획된 이전 등 모든 유형의 수단은, 이런 통합적 대응에서 중요한 역할을 할 수 있다(높은 신뢰도). 영향을 받는 지역사회가 작거나 재해의 여파가 있는 경우, 안전한 대체지역이 있다면 연안에서 계획된 이전을 통한 리스크 저감은 고려할 만하다. 이런 계획된 이전은 사회적, 문화적, 재정적 및 정치적으로 제약될 수 있다(매우 높은 신뢰도). {4.4.2, 박스 4.1, 크로스-챕터 박스 9, SPM B.3}
- C.3.3  미래의 해수면 상승 속도와 규모에 관한 불확실성, 사회적 목표(예: 안전, 보전, 경제 개발, 세대 간 평등) 간의 불편한 상충, 한정된 자원, 다양한 이해관계자간의 이해와 가치의 충돌로 인해 해수면 상승 대응 및 관련 리스크 감소는 사회에 중대한 거버넌스 과제로 존재한다(높은 신뢰도). 이런 과제는 의사결정 분석, 토지 이용 계획, 공공 참여, 다양한 지식 시스템 그리고 시간이 지나면서 환경 변화에 따라 조정되는 지역적 갈등 해결 방식을 적절히 결합하여 해결할 수 있다(높은 신뢰도). {제1장의 크로스-챕터 박스 5, 4.4.3, 4.4.4, 6.9}
- C.3.4  2050년도 이후 해수면 상승의 규모 및 속도에 관한 큰 불확실성에도 불구하고, 수십 년에서 한 세기에 걸친 시간 범위를 갖는 연안에 대한 여러 결정(예: 핵심 기반시설, 연안 보호 작업, 도시 계획)이 현재 진행 중이며 이러한 의사결정은 상대적 해수면 상승을 고려하고, 조기 경보 시스템 위한 모니터링 체계를 통한 유연한 대응(즉, 시간이 지나면서 적응 가능한 대응책)을 선호하며, 의사결정을 정기적으로 조정하고(즉, 적용가능한 의사결정), 강력한 의사결정 방식을 이용하고, 전문가 판단, 시나리오 작성, 복수의 지식 시스템을 사용하여 개선될 수 있다(높은 신뢰도). 연안 대응책을 계획하고 실행하는 데 고려해야 할 해수면 상승 범위는 이해관계자의 리스크 수용치(tolerance)에 따라 달라진다. 리스크 수용치가 높은 이해관계자들(예: 예측 불가능한 조건에 매우 쉽게 적응할 수 있는 투자를 계획하는 사람들)은 전망치의 가능성 높은 범위를 선호하지만,

- C.2.6     Integrated water management approaches across multiple scales can be effective at addressing impacts and leveraging opportunities from cryosphere changes in high mountain areas. These approaches also support water resource management through the development and optimization of multi-purpose storage and release of water from reservoirs (*medium confidence*), with consideration of potentially negative impacts to ecosystems and communities. Diversification of tourism activities throughout the year supports adaptation in high mountain economies (*medium confidence*). {2.3.1, 2.3.5}
- C.3 Coastal communities face challenging choices in crafting context-specific and integrated responses to sea level rise that balance costs, benefits and trade-offs of available options and that can be adjusted over time (*high confidence*). All types of options, including protection, accommodation, ecosystem-based adaptation, coastal advance and retreat, wherever possible, can play important roles in such integrated responses (*high confidence*). {4.4.2, 4.4.3, 4.4.4, 6.9.1, Cross-Chapter Box 9, Figure SPM.5}**
- C.3.1     The higher the sea levels rise, the more challenging is coastal protection, mainly due to economic, financial and social barriers rather than due to technical limits (*high confidence*). In the coming decades, reducing local drivers of exposure and vulnerability such as coastal urbanization and human-induced subsidence constitute effective responses (*high confidence*). Where space is limited, and the value of exposed assets is high (e.g., in cities), hard protection (e.g., dikes) is *likely* to be a cost-efficient response option during the 21st century taking into account the specifics of the context (*high confidence*), but resource-limited areas may not be able to afford such investments. Where space is available, ecosystem-based adaptation can reduce coastal risk and provide multiple other benefits such as carbon storage, improved water quality, biodiversity conservation and livelihood support (*medium confidence*). {4.3.2, 4.4.2, Box 4.1, Cross-Chapter Box 9, Figure SPM.5}
- C.3.2     Some coastal accommodation measures, such as early warning systems and flood-proofing of buildings, are often both low cost and highly cost-efficient under current sea levels (*high confidence*). Under projected sea level rise and increase in coastal hazards some of these measures become less effective unless combined with other measures (*high confidence*). All types of options, including protection, accommodation, ecosystem-based adaptation, coastal advance and planned relocation, if alternative localities are available, can play important roles in such integrated responses (*high confidence*). Where the community affected is small, or in the aftermath of a disaster, reducing risk by coastal planned relocations is worth considering if safe alternative localities are available. Such planned relocation can be socially, culturally, financially and politically constrained (*very high confidence*). {4.4.2, Box 4.1, Cross-Chapter Box 9, SPM B.3}
- C.3.3     Responses to sea level rise and associated risk reduction present society with profound governance challenges, resulting from the uncertainty about the magnitude and rate of future sea level rise, vexing trade-offs between societal goals (e.g., safety, conservation, economic development, intra- and inter-generational equity), limited resources, and conflicting interests and values among diverse stakeholders (*high confidence*). These challenges can be eased using locally appropriate combinations of decision analysis, land-use planning, public participation, diverse knowledge systems and conflict resolution approaches that are adjusted over time as circumstances change (*high confidence*). {Cross-Chapter Box 5 in Chapter 1, 4.4.3, 4.4.4, 6.9}
- C.3.4     Despite the large uncertainties about the magnitude and rate of post 2050 sea level rise, many coastal decisions with time horizons of decades to over a century are being made now (e.g., critical infrastructure, coastal protection works, city planning) and can be improved by taking relative sea level rise into account, favouring flexible responses (i.e., those that can be adapted over time) supported by monitoring systems for early warning signals, periodically adjusting decisions (i.e., adaptive decision making), using robust decision-making approaches, expert judgement, scenario-building, and multiple knowledge systems (*high confidence*). The sea level rise range that needs to be considered for planning and implementing coastal responses depends on the risk tolerance of

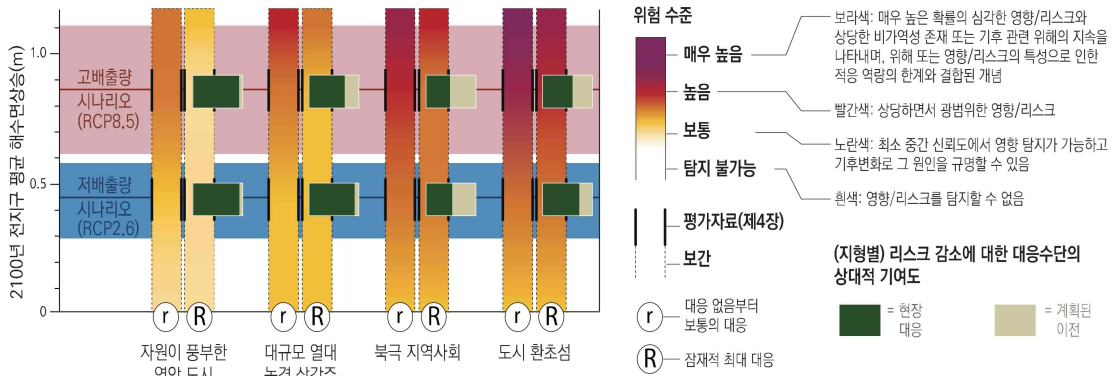
리스크 수용치가 낮은 이해관계자들(예: 핵심 기반시설에 관한 의사 결정권자들)도 가능성 높은 범위의 최대값(RCP8.5 하에서 2100년에 전지구적으로 1.1m)보다 높은 전지구적 그리고 지역적 평균 해수면을 고려하며, 전문가 유추와 같이 더 낮은 신뢰도를 갖는 방법도 고려한다. {1.8.1, 1.9.2, 4.2.3, 4.4.4, 그림 4.2, 제1장의 크로스-챕터 박스 5, 그림 SPM.5, SPM B.3}

해수면 상승 리스크 및 대응

여기에서 적응 대신에 대응이라는 용어를 사용한 이유는 후퇴와 같은 몇몇 대응은 적응으로 고려되지 않을 수 있기 때문이다.

(a) 서로 다른 해수면 상승 및 대응 시나리오 하에서 2100년 리스크

평균 해수면 변화에 따른 사례 지형에 대한 리스크 (중간 신뢰도)



이 평가에서, 대응이라는 단어는 해수면 상승에 대한 현장 대응(경성 공법의 연안 방어, 훼손된 생태계 침하 억제) 및 계획된 이전을 말한다. 이 평가에서 계획된 이전이란, 국지적으로 선제 관리되는 후퇴 또는 재정착을 말하며, 상황별 특수성(예: 도시 환초섬: 이 섬 내에서, 인접 섬 또는 인공으로 조성된 섬)에 따른다. 강제 퇴거 및 국제 이주는 이 평가에서 고려하지 않는다.

사례 지형은 동료 평가 과정을 거친 문헌에서 충분히 다루어진 제한된 수의 사례 연구를 기반으로 한 것이다. 리스크 실현은 상황별 특수성에 따라 달라진다.

해수면 상승 시나리오: RCP4.5 및 RCP6.0은 이 평가에서 고려하지 않는데, 이 평가를 뒷받침하는 문헌이 RCP2.6 및 RCP8.5에 대해서만 이용가능하기 때문이다.

(b) 해수면 상승에 대한 대응과 완화의 편익

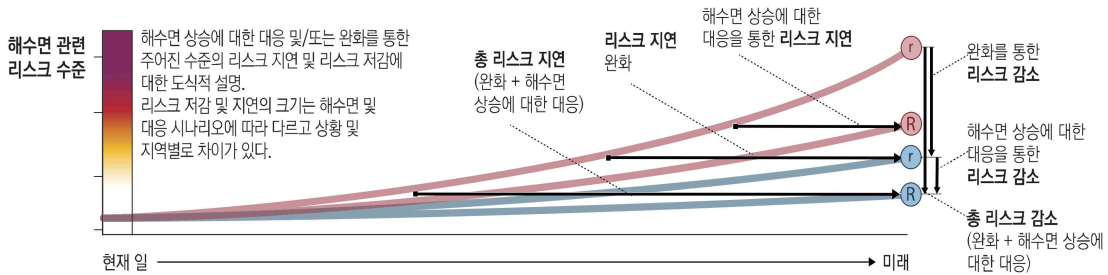


그림 SPM.5 | a, b

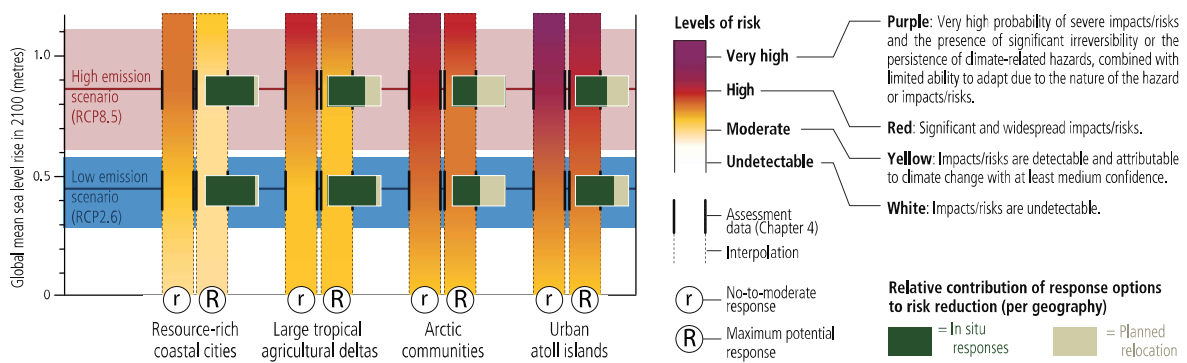
stakeholders. Stakeholders with higher risk tolerance (e.g., those planning for investments that can be very easily adapted to unforeseen conditions) often prefer to use the *likely* range of projections, while stakeholders with a lower risk tolerance (e.g., those deciding on critical infrastructure) also consider global and local mean sea level above the upper end of the *likely* range (globally 1.1 m under RCP8.5 by 2100) and from methods characterised by lower confidence such as from expert elicitation. {1.8.1, 1.9.2, 4.2.3, 4.4.4, Figure 4.2, Cross-Chapter Box 5 in Chapter 1, Figure SPM.5, SPM B.3}

Sea level rise risk and responses

The term response is used here instead of adaptation because some responses, such as retreat, may or may not be considered to be adaptation.

(a) Risk in 2100 under different sea level rise and response scenarios

Risk for illustrative geographies based on mean sea level changes (medium confidence)



In this assessment, the term response refers to in situ responses to sea level rise (hard engineered coastal defenses, restoration of degraded ecosystems, subsidence limitation) and planned relocation. Planned relocation in this assessment refers to proactive managed retreat or resettlement only at a local scale, and according to the specificities of a particular context (e.g., in urban atoll islands: within the island, in a neighbouring island or in artificially raised islands). Forced displacement and international migration are not considered in this assessment.

The illustrative geographies are based on a limited number of case studies well covered by the peer reviewed literature. The realisation of risk will depend on context specificities.

Sea level rise scenarios: RCP4.5 and RCP6.0 are not considered in this risk assessment because the literature underpinning this assessment is only available for RCP2.6 and RCP8.5.

(b) Benefits of responses to sea level rise and mitigation

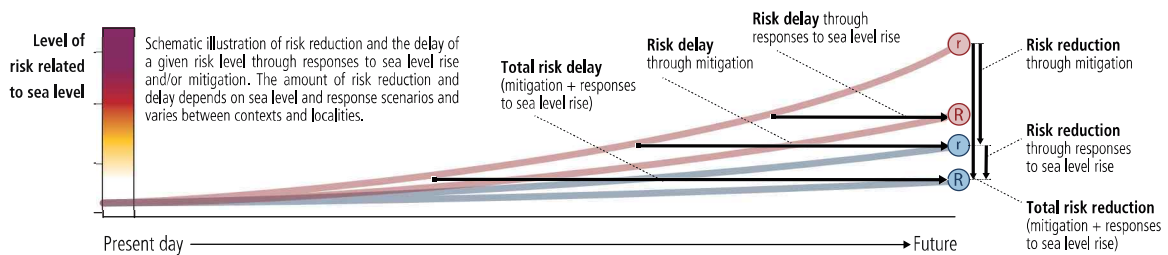


Figure SPM.5 | a, b

(c) 평균 해수면 및 극한 해수면의 상승에 대한 대응

이 표는 대응수단과 그 특성을 정리한 것이다. 모든 수단을 포함하지는 않는다. 대응이 적용 가능한지 여부는 지형과 상황에 따라 다르다.

신뢰도 수준(효과를 평가): ●●● = 매우 높음 ●● = 높음 ● = 중간 ● = 낮음

대응	해수면 상승 리스크 (기술적/생물 물리학적 한계)를 감소시키는 관점에서 잠재적 효과	장점 (리스크 저감 이후)	공동 편익	결합	경제적 효율성	거버넌스 과제			
경성 보호	최대 수 m의 해수면 상승 {4.4.2.2.4} ●●●	예측 가능한 안전 수준 {4.4.2.2.4}	레크리에이션을 위한 제방 또는 기타 토지의 사용 {4.4.2.2.5}	연안 축소를 통한 서식지의 파괴, 홍수 및 침식 하강 경향, 고착, 방어 실패에 따른 재해 결과 {4.3.2.4, 4.4.2.2.5}	보호 후 자산의 가치가 높은 경우에 높음, 다수의 도심 그리고 인구밀도가 높은 연안 지역에서 찾아볼 수 있음 {4.4.2.2.7}	빈곤지역에서는 종종 적용 곤란. 목적 간의 갈등(예: 보존, 안전 및 관광). 공공 예산의 배분에 관한 갈등, 재정 부족 {4.3.3.2, 4.4.2.2.6}			
퇴적물 기반의 보호	효과적이지만, 침전물의 가용성에 따라 다름 {4.4.2.2.4} ●●●	높은 유연성 {4.4.2.2.4}	레크리에이션/관광을 위한 해안 보존{4.4.2.2.5}	침전물의 원천인 서식지의 파괴 {4.4.2.2.5}	관광 매출이 높은 경우에 높음 {4.4.2.2.7}	공공 예산의 배분에 관한 갈등{4.4.2.2.6}			
생태계 기반의 적응	산호 보전	0.5 cm/yr 해수면상승까지 효과적임 ●● 해양 온난화 및 산성화에 의해 강하게 제한됨 1.5°C 온난화에서 제한적, 2°C 온난화 시 대부분의 장소에서 손실 {4.3.3.5.2, 4.4.2.3.2, 5.3.4} ●●●	지역사회 참여 기회, {4.4.2.3.1}	서식지 획득, 생물다양성, 탄소 격리, 관광 소득, 수산업 생산성 강화, 수질 개선. 식품, 의약품, 연료, 목재 및 문화적 편익의 제공 {4.4.2.3.5}	장기적 효과는 해양 온난화, 산성화 및 배출량 시나리오에 따라 다름 {4.3.3.5.2., 4.4.2.3.2}	비용-편익 비율에 대한 제한된 증거, 인구밀도와 토지의 이용 가능성에 따라 다름 {4.4.2.3.7}	실행 허가를 얻기 어려움, 재정 부족, 병동 정책 집행의 미흡, 단기적인 경제적 이익과 토지의 이용가능으로 인해 생태계 기반 적응(EbA) 수단 목살 {4.4.2.3.6}		
	습지 보전 (염습지, 맹그로브)							0.5-1 cm/yr 해수면상승까지 효과적, ●● 2°C에서 감소됨 {4.3.3.5.1, 4.4.2.3.2, 5.3.7}●●●	안전 수준의 예측 어려움, 개별 이익 미실현 {4.4.2.3.5, 4.4.2.3.2}
	습지 복원 (염습지, 맹그로브)								
	연안 진출							최대 몇 m의 해수면 상승까지 {4.4.2.2.4} ●●●	예측 가능한 안전 수준 {4.4.2.2.4}
연안 순응 (건물의 홍수 방지, 홍수 발생에 대비한 조기 경보 시스템 등)	작은 해수면상승에 매우 효과적임 {4.4.2.5.4} ●●●	성숙된 기술; 홍수 중 쌓인 퇴적물은 고도를 높일 수 있음 {4.4.2.5.5}	경관의 연속성 유지 {4.4.2.5.5}	홍수/영향을 방지하지 못함 {4.4.2.5.5}	조기 경보 시스템 및 건물 규모의 조지에 대해 매우 높음 {4.4.2.5.7}	조기 경보 시스템은 효과적인 제도 정비 필요함 {4.4.2.6.6}			
후퇴	계획된 이전	대안이 되는 안전한 장소가 있을 경우에 효과적임 {4.4.2.6.4} ●●●	원래 장소에서의 해수면 리스크를 제거할 수 있음 {4.4.2.6.4}	서비스(건강, 교육, 주거), 취업 기회 및 경제적 성장의 개선에 접근 {4.4.2.6.5}	사회적 결손, 문화적 정체성 및 복지의 손실 서비스(건강, 교육, 주거), 취업 기회 및 경제적 성장의 쇠퇴 {4.4.2.6.5}	제한된 근거 {4.4.2.6.7}	원래 거주지 및 목적지로부터 이전함으로써 생기는 다양한 이해관계의 조화 {4.4.2.6.6}		
	강제 퇴거	원래 거주지에서 즉각적인 위험만 대응	해당 없음	해당 없음	생명 손실부터 생계 및 주거의 손실까지 해당 {4.4.2.6.5}	해당 없음	생계, 인권 및 평등에 관한 복잡한 인본주의적 문제 제기 {4.4.2.6.6}		

(d) 선택 및 이행가능한 해수면 상승 대응

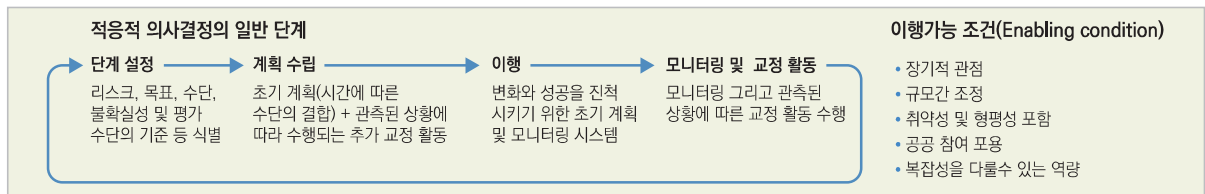


그림 SPM.5 | c, d

(c) Responses to rising mean and extreme sea levels

The table illustrates responses and their characteristics. It is not exhaustive. Whether a response is applicable depends on geography and context.

Confidence levels (assessed for effectiveness): ●●● = Very High ●● = High ● = Medium ● = Low

Responses	Potential effectiveness in terms of reducing sea level rise (SLR) risks (technical/biophysical limits)	Advantages (beyond risk reduction)	Co-benefits	Drawbacks	Economic efficiency	Governance challenges	
Hard protection	Up to multiple metres of SLR (4.4.2.2.4) ●●●	Predictable levels of safety (4.4.2.2.4)	Multifunctional dikes such as for recreation, or other land use (4.4.2.2.5)	Destruction of habitat through coastal squeeze, flooding & erosion downdrift, lock-in, disastrous consequence in case of defence failure (4.3.2.4, 4.4.2.2.5)	High if the value of assets behind protection is high, as found in many urban and densely populated coastal areas (4.4.2.2.7)	Often unaffordable for poorer areas. Conflicts between objectives (e.g., conservation, safety and tourism), conflicts about the distribution of public budgets, lack of finance (4.3.3.2, 4.4.2.2.6)	
Sediment-based protection	Effective but depends on sediment availability (4.4.2.2.4) ●●●	High flexibility (4.4.2.2.4)	Preservation of beaches for recreation/tourism (4.4.2.2.5)	Destruction of habitat, where sediment is sourced (4.4.2.2.5)	High if tourism revenues are high (4.4.2.2.7)	Conflicts about the distribution of public budgets (4.4.2.2.6)	
Ecosystem based adaptation	Coral conservation	Opportunity for community involvement, (4.4.2.3.1)	Habitat gain, biodiversity, carbon sequestration, income from tourism, enhanced fishery productivity, improved water quality. Provision of food, medicine, fuel, wood and cultural benefits (4.4.2.3.5)	Long-term effectiveness depends on ocean warming, acidification and emission scenarios (4.3.3.5.2., 4.4.2.3.2)	Limited evidence on benefit-cost ratios; Depends on population density and the availability of land (4.4.2.3.7)	Permits for implementation are difficult to obtain. Lack of finance. Lack of enforcement of conservation policies. EbA options dismissed due to short-term economic interest, availability of land (4.4.2.3.6)	
	Coral restoration						
	Wetland conservation (Marshes, Mangroves)						
	Wetland restoration (Marshes, Mangroves)						
Coastal advance	Up to multiple metres of SLR (4.4.2.2.4) ●●●	Predictable levels of safety (4.4.2.2.4)	Generates land and land sale revenues that can be used to finance adaptation (4.4.2.4.5)	Groundwater salinisation, enhanced erosion and loss of coastal ecosystems and habitat (4.4.2.4.5)	Very high if land prices are high as found in many urban coasts (4.4.2.4.7)	Often unaffordable for poorer areas. Social conflicts with regards to access and distribution of new land (4.4.2.4.6)	
Coastal accommodation (Flood-proofing buildings, early warning systems for flood events, etc.)	Very effective for small SLR (4.4.2.5.4) ●●●	Mature technology; sediments deposited during floods can raise elevation (4.4.2.5.5)	Maintains landscape connectivity (4.4.2.5.5)	Does not prevent flooding/impacts (4.4.2.5.5)	Very high for early warning systems and building-scale measures (4.4.2.5.7)	Early warning systems require effective institutional arrangements (4.4.2.6.6)	
Retreat	Planned relocation	Effective if alternative safe localities are available (4.4.2.6.4) ●●●	Sea level risks at origin can be eliminated (4.4.2.6.4)	Access to improved services (health, education, housing), job opportunities and economic growth (4.4.2.6.5)	Loss of social cohesion, cultural identity and well-being. Depressed services (health, education, housing), job opportunities and economic growth (4.4.2.6.5)	Limited evidence (4.4.2.6.7)	Reconciling the divergent interests arising from relocating people from point of origin and destination (4.4.2.6.6)
	Forced displacement	Addresses only immediate risk at place of origin	Not applicable	Not applicable	Range from loss of life to loss of livelihoods and sovereignty (4.4.2.6.5)	Not applicable	Raises complex humanitarian questions on livelihoods, human rights and equity (4.4.2.6.6)

(d) Choosing and enabling sea level rise responses

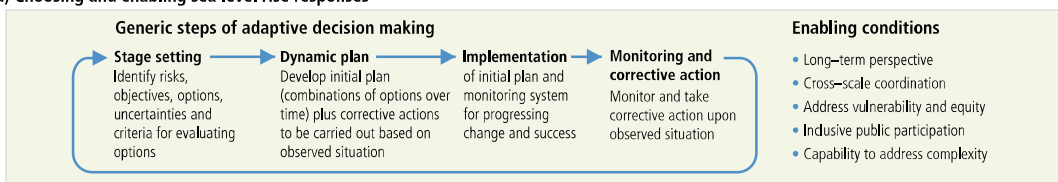



Figure SPM.5 | c, d

그림 SPM.5 I 해수면 상승 리스크 및 대응. 여기서는 적응 대신 대응이라는 용어를 사용하며, 이는 후퇴 같은 대응을 적응이라고 볼 수도 있고 그렇지 않을 수도 있기 때문이다. 패널 (a)는 2100년에 RCP2.6 및 RCP8.5 그리고 다른 2가지 대응 시나리오 하에서 평균 및 극한의 해수면 변화로 인한 도시화된 지형들에 대한 연안 홍수, 침식 및 염류화의 결합 리스크를 나타낸 것이다. RCP 4.5 및 6.0 하에서 리스크는 해당 지형적 평가관련 문헌이 부족하여 평가되지 않았다. 이 평가는 평균 해수면 상승으로 인해 직접 유도된 변화 외에 극한 해수면의 변화는 산정하지 않았다; 극한 해수면에서의 다른 변화가 고려된다면 (예: 사이클론 강도의 변화로 인한) 리스크 수준이 증가할 수 있다. 패널 a)는 100년에 걸쳐 상대적으로 안정적인 연안 인구 밀도에 근거한 사회경제적 시나리오를 고려한다 {SM4.3.2}. 사례 지형에 대한 리스크는 일련의 특수한 사례에 대해 전망된 상대적 해수면 변화에 근거해 평가되었다: 다양한 대응 경험을 가진 자원이 풍부한 연안 도시의 사례는 뉴욕, 상하이 및 로테르담; 도심 환초섬의 사례로는 사우스 타라와, 풍아팔레 및 말레; 대규모 열대성 농경 삼각주의 사례로는 메콩과 GMB(Ganges- Brahmaputra-Meghna); 급속한 빙하 지각 균열 조정에서 떨어진 지역에 소재한 북극의 지역 사회의 사례로는 Bykovskiy, Shishmaref, Kivalina, Tuktoyaktuk 및 Shingle Point {4.2, 4.3.4, SM4.2}. 이 평가는 2개의 대조적인 대응 시나리오를 구분한다. "무대응에서 보통의 대응"은 현재의 노력을 의미한다(즉, 추가적으로 상당한 행동 또는 새로운 유형의 행동 없음). "잠재적 최대 대응"은 최소한의 재정적, 사회적 및 정치적 장애를 가정했을 때 최고 수준으로 이행되는 대응 조합 및 현재와 비교해 상당한 추가적인 노력을 나타낸다. 이 평가는 각 해수면 상승 및 대응 시나리오에 대해 수행되었으며, 그림에서 붉은 막대로 표시되었다; 중간 리스크 수준은 보간하였다{4.3.3}. 평가 기준으로는 노출과 취약성(자산의 밀집, 영토 및 해양 완충 생태계의 황폐화 수준), 연안 위해(홍수, 해안선 침식, 염류화), 현장 대응(경성공법의 연안 방어, 생태계 복원 또는 새로운 천연 완충 지대의 조성, 그리고 침하 관리) 및 계획된 이전이 포함된다. 계획된 이전은 제4장에서 기술한 관리된 후퇴 또는 재정착을 말하는데, 즉 사람, 자산 및 기반시설을 이전하여 리스크를 감소시키는 사전 예방적이고 국지적인 조치이다. 강제 퇴거는 이 평가에서 고려하지 않는다. 패널 (a)는 총 리스크 감소에 대해 현장 대응 및 계획된 이전의 상대적 기여도를 중점적으로 다룬다. 패널 (b)는 완화 및/또는 해수면 상승에 대한 대응을 통한 리스크 저감(세로 방향의 화살표) 및 리스크 지연(가로 방향의 화살표)을 체계적으로 보여준다. 패널 (c)는 해수면 상승에 대한 대응을 효과성, 비용, 공동 편익, 결점, 경제적 효율성 그리고 관련된 거버넌스 과제의 측면에서 요약하고 평가한다{4.4.2}. (d)는 해수면 상승에 대응하기 위한 적응적 의사결정 방식의 일반 단계와 주요 이행가능한 조건들을 제시한다. {4.4.4; 4.4.5}

이행가능 조건(enabling conditions)

C.4 기후 복원력과 지속 가능한 발전을 구현하는 것은 조정된 지속되고 점진적으로 의욕적인 적응 행동과 어우러진 긴급하고 의욕적인 배출량 저감에 결정적으로 좌우된다(매우 높은 신뢰도). 해양과 빙권에서 기후 관련 변화에 효과적으로 대응하기 위한 핵심적인 요소는 상이한 공간적 규모와 계획 대상 기간에 대해 책임 당국 간의 협력과 조정을 강화하는 것이다. 교육 및 기후 지식, 모니터링 및 예측, 모든 가용 지식원의 이용, 자료 공유, 정보 및 지식, 금융, 사회적 취약성과 형평성 대응, 그리고 제도적 지원도 필수적이다. 이런 투자는 역량 강화, 사회적 학습, 그리고 특정 상황에 대한 적응에 참여하는 것뿐만 아니라 상충에 대한 협상 및 단기적 리스크를 줄이고 장기적인 복원력과 지속 가능성을 강화하는 공동 편익의 실현을 가능하게 한다(높은 신뢰도). 이 보고서는 기존의 IPCC 및 IPBES 보고서에서 평가한 바와 같이 낮은 수준의 지구온난화 (1.5°C)에 대한 해양과 빙권의 과학적 상태를 반영하고 있다. {1.1, 1.5, 1.8.3, 2.3.1, 2.3.2, 2.4, 그림 2.7, 2.5, 3.5.2, 3.5.4, 4.4, 5.2.2, 박스 5.3, 5.4.2, 5.5.2, 6.4.3, 6.5.3, 6.8, 6.9, 크로스-챕터 박스 9, 그림 SPM.5}

C.4.1  해양과 빙권에서 관측 및 전망된 변화와 관련하여, 의욕적인 완화에도 불구하고 많은 나라가 적응 과제에 직면할 것이다(매우 높은 신뢰도). 고배출량 시나리오에서, 다수의 해양 및 빙권에 의존하는 지역 사회는 21세기 후반에 적응 한계(즉, 생물 물리학적, 지리적, 재정적, 기술적, 사회적, 정치적 및 제도적 측면)에 직면할 것으로 예상된다. 이와 비교하여, 저배출량 경로는 금세기 이후에 해양과 빙권으로부터 받는 리스크를 제한하며 보다 효과적인 대응이 가능하고(높은 신뢰도), 그러면서도 공동 편익을 창출한다. 중대한 경제적 및 제도적 변혁을 통해, 해양과 빙권의 맥락에서 기후 회복적 발전 경로를 구현할 수 있다(높은 신뢰도). {1.1, 1.4-1.7, 제1장의 크로스-챕터 박스 1-3, 2.3.1, 2.4, 박스 3.2, 그림 3.4, 제3장의 크로스-챕터 박스 7, 3.4.3, 4.2.2, 4.2.3, 4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.6, 5.4.2, 5.5.3, 6.9.2, 크로스-챕터 박스 9, 그림 SPM.5}




C.4.2  규모, 관할, 부문, 정책 분야 및 계획 대상 기간에 걸쳐 책임 당국 간의 협력과 조정을 강화하면 해양, 빙권 변화 및 해수면 상승에 대한 효과적인 대응이 가능해질 수 있다. 조약과 협약 등의 지역적 협력은 적응 행동을 지원할 수 있다;

Figure SPM.5 | Sea level rise risks and responses. The term response is used here instead of adaptation because some responses, such as retreat, may or may not be considered to be adaptation. (a) shows the combined risk of coastal flooding, erosion and salinization for illustrative geographies in 2100, due to changing mean and extreme sea levels under RCP2.6 and RCP8.5 and under two response scenarios. Risks under RCPs 4.5 and 6.0 were not assessed due to a lack of literature for the assessed geographies. The assessment does not account for changes in extreme sea level beyond those directly induced by mean sea level rise; risk levels could increase if other changes in extreme sea levels were considered (e.g., due to changes in cyclone intensity). Panel a) considers a socioeconomic scenario with relatively stable coastal population density over the century. (SM4.3.2) Risks to illustrative geographies have been assessed based on relative sea level changes projected for a set of specific examples: New York City, Shanghai and Rotterdam for resource-rich coastal cities covering a wide range of response experiences; South Tarawa, Fongafale and Male' for urban atoll islands; Mekong and Ganges-Brahmaputra-Meghna for large tropical agricultural deltas; and Bykovskiy, Shishmaref, Kivalina, Tuktoyaktuk and Shingle Point for Arctic communities located in regions remote from rapid glacio-isostatic adjustment. (4.2, 4.3.4, SM4.2) The assessment distinguishes between two contrasting response scenarios. "No-to-moderate response" describes efforts as of today (i.e., no further significant action or new types of actions). "Maximum potential response" represents a combination of responses implemented to their full extent and thus significant additional efforts compared to today, assuming minimal financial, social and political barriers. The assessment has been conducted for each sea level rise and response scenario, as indicated by the burning embers in the figure; in-between risk levels are interpolated. (4.3.3) The assessment criteria include exposure and vulnerability (density of assets, level of degradation of terrestrial and marine buffer ecosystems), coastal hazards (flooding, shoreline erosion, salinization), in-situ responses (hard engineered coastal defenses, ecosystem restoration or creation of new natural buffers areas, and subsidence management) and planned relocation. Planned relocation refers to managed retreat or resettlement as described in Chapter 4, i.e., proactive and local-scale measures to reduce risk by relocating people, assets and infrastructure. Forced displacement is not considered in this assessment. Panel (a) also highlights the relative contributions of in-situ responses and planned relocation to the total risk reduction. (b) schematically illustrates the risk reduction (vertical arrows) and risk delay (horizontal arrows) through mitigation and/or responses to sea level rise. (c) summarizes and assesses responses to sea level rise in terms of their effectiveness, costs, co-benefits, drawbacks, economic efficiency and associated governance challenges. (4.4.2) (d) presents generic steps of an adaptive decision-making approach, as well as key enabling conditions for responses to sea level rise. (4.4.4, 4.4.5)


Enabling Conditions


C.4 Enabling climate resilience and sustainable development depends critically on urgent and ambitious emissions reductions coupled with coordinated sustained and increasingly ambitious adaptation actions (*very high confidence*). Key enablers for implementing effective responses to climate-related changes in the ocean and cryosphere include intensifying cooperation and coordination among governing authorities across spatial scales and planning horizons. Education and climate literacy, monitoring and forecasting, use of all available knowledge sources, sharing of data, information and knowledge, finance, addressing social vulnerability and equity, and institutional support are also essential. Such investments enable capacity-building, social learning, and participation in context-specific adaptation, as well as the negotiation of trade-offs and realisation of co-benefits in reducing short-term risks and building long-term resilience and sustainability. (*high confidence*). This report reflects the state of science for ocean and cryosphere for low levels of global warming (1.5°C), as also assessed in earlier IPCC and IPBES reports. (1.1, 1.5, 1.8.3, 2.3.1, 2.3.2, 2.4, Figure 2.7, 2.5, 3.5.2, 3.5.4, 4.4, 5.2.2, Box 5.3, 5.4.2, 5.5.2, 6.4.3, 6.5.3, 6.8, 6.9, Cross-Chapter Box 9, Figure SPM.5)


C.4.1  In light of observed and projected changes in the ocean and cryosphere, many nations will face challenges to adapt, even with ambitious mitigation (*very high confidence*). In a high emissions scenario, many ocean- and cryosphere-dependent communities are projected to face adaptation limits (e.g. biophysical, geographical, financial, technical, social, political and institutional) during the second half of the 21st century. Low emission pathways, for comparison, limit the risks from ocean and cryosphere changes in this century and beyond and enable more effective responses (*high confidence*), whilst also creating co-benefits. Profound economic and institutional transformative change will enable Climate Resilient Development Pathways in the ocean and cryosphere context (*high confidence*). (1.1, 1.4–1.7, Cross-Chapter Boxes 1–3 in Chapter 1, 2.3.1, 2.4, Box 3.2, Figure 3.4, Cross-Chapter Box 7 in Chapter 3, 3.4.3, 4.2.2, 4.2.3, 4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.6, 5.4.2, 5.5.3, 6.9.2, Cross-Chapter Box 9, Figure SPM.5)


C.4.2  Intensifying cooperation and coordination among governing authorities across scales, jurisdictions, sectors, policy domains and planning horizons can enable effective responses to changes in the ocean, cryosphere and to sea level rise (*high confidence*). Regional cooperation, including treaties and conventions, can support adaptation action; however, the extent to which responding to impacts and losses arising from changes


그러나 해양과 빙권의 변화에서 비롯되는 영향 및 손실에 대해, 지역적 정책 프레임워크를 통해 구현되는 정도는 현재로서는 제한적이다(높은 신뢰도). 국소지역 및 토착 지역 사회와 다층으로 강력한 연계성을 제공하는 다양한 제도들은 적응에 편익을 제공한다(높은 신뢰도). 국가 및 접경지역 정책 간의 조정과 보완은, 물과 수산물 같은 자원의 안보와 관리에 대한 리스크에 대응하려는 노력을 지원할 수 있다(중간 신뢰도). {2.3.1, 2.3.2, 2.4, 박스 2.4, 2.5, 3.5.2, 3.5.3, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, 표 4.9, 5.5.2, 6.9.2}

C.4.3  해수면 상승, 고산 지역에서 물 관련 리스크, 북극지방의 기후변화 리스크 대응과 같은 현재까지의 경험도 단기 의사결정을 내리거나, 2050년 이후의 특정상황의 리스크에 대한 불확실성을 명시적으로 설명하거나(높은 신뢰도), 복잡한 리스크를 해결하기 위해 거버넌스의 역량을 강화할 때(높은 신뢰도) 장기적 관점을 수용하는 이행 가능한 영향력을 가지고 있다(중간 신뢰도). {2.3.1, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, 표 4.9, 5.5.2, 6.9, 그림 SPM.5}

C.4.4  다양한 수준과 규모의 교육 및 역량 강화에 투자하는 것은 특정 상황에 대응하는 사회적 학습과 장기적인 역량 강화를 용이하게 하여 리스크를 줄이고 복원력을 강화시킨다(높은 신뢰도). 특정한 활동에는 다중 지식 시스템 및 지역별 기후 정보를 활용한 의사결정과 지역 사회, 토착민 그리고 관련 이해당사자를 적응형 거버넌스 마련 및 계획수립 프레임워크에 관여시키는 것이 있다(중간 신뢰도). 기후 지식의 촉진과 지역적, 토착적 및 과학적 지식 시스템의 이해는, 지역적으로 특수한 리스크 및 대응 잠재력에 관한 대중의 인식, 이해 및 사회적 학습을 가능하게 한다(높은 신뢰도). 이런 투자로 기존의 제도를 개발하고 대부분의 경우 탈바꿈시킬 수 있으며, 정보에 기반하고 상호적이며 적응적인 거버넌스 마련을 가능하게 한다(높은 신뢰도). {1.8.3, 2.3.2, 그림 2.7, 박스 2.4, 2.4, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, 표 4.9, 5.5.2, 6.9}

C.4.5  해양과 빙권에서 특정 상황을 모니터링하고 변화를 예측하는 것은 적응 계획 및 이행 정보를 제공하고 단기와 장기 이익 간의 상충에 대한 확고한 결정을 가능하게 한다(중간 신뢰도). 지속적인 장기 모니터링, 자료 공유, 정보와 지식 및 특정상황에 대한 예측 개선, 즉 보다 극심한 엘니뇨/라니냐 현상, 열대성 저기압 및 해양 고수온을 예측하기 위한 조기 경보 시스템 등은 수산업 손실, 인간의 건강에 미치는 부정적 영향, 식량 안보, 농업, 산호초, 양식, 산불, 관광, 보전, 가뭄 및 홍수 등의 해양 변화로 인한 부정적 영향을 관리하는데 도움이 된다(높은 신뢰도). {2.4, 2.5, 3.5.2, 4.4.4, 5.5.2, 6.3.1, 6.3.3, 6.4.3, 6.5.3, 6.9}

C.4.6  사회적 취약성과 형평성을 해결하기 위한 우선적 조치들은 기후 복원력 및 지속가능 발전을 공명정대하게 추진하려는 노력을 뒷받침하며(높은 신뢰도), 의미 있는 공공 참여, 속의 및 갈등 해결을 위한 안전한 지역 사회 조성이 도움이 될 수 있다(중간 신뢰도). {박스 2.4, 4.4.4, 4.4.5, 표 4.9, 그림 SPM.5}

C.4.7  변화하는 기후에서 해양과 빙권에 대한 이번 평가는 지속가능 발전에 대한 의욕적인 완화와 효과적인 적응의 편익을 보여주고 있으며, 반대로 지연된 행동에 대해서는 높아진 비용과 리스크를 시사한다. 기후 복원력 있는 발전 경로를 만드는 가능성은 해양, 고산 지역 및 극지방 내에서 서로 다르다. 가능성의 실현은 혁신적인 변화에 달려있다. 이 보고서는 시의적절하고, 의욕적이고, 조정된 그리고 지속적인 행동의 시급성을 강조한다(매우 높은 신뢰도). {1.1, 1.8, 크로스-챕터 박스 1, 2.3, 2.4, 3.5, 4.2.1, 4.2.2, 4.3.4, 4.4, 표 4.9, 5.5, 6.9, 크로스-챕터 박스 9, 그림 SPM.5}

in the ocean and cryosphere is enabled through regional policy frameworks is currently limited (*high confidence*). Institutional arrangements that provide strong multiscale linkages with local and Indigenous communities benefit adaptation (*high confidence*). Coordination and complementarity between national and transboundary regional policies can support efforts to address risks to resource security and management, such as water and fisheries (*medium confidence*). {2.3.1, 2.3.2, 2.4, Box 2.4, 2.5, 3.5.2, 3.5.3, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, Table 4.9, 5.5.2, 6.9.2}

- C.4.3  Experience to date – for example, in responding to sea level rise, water-related risks in some high mountains, and climate change risks in the Arctic – also reveal the enabling influence of taking a long-term perspective when making short-term decisions, explicitly accounting for uncertainty of context-specific risks beyond 2050 (*high confidence*), and building governance capabilities to tackle complex risks (*medium confidence*). {2.3.1, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, Table 4.9, 5.5.2, 6.9, Figure SPM.5}
- C.4.4  Investments in education and capacity building at various levels and scales facilitates social learning and long-term capability for context-specific responses to reduce risk and enhance resilience (*high confidence*). Specific activities include utilization of multiple knowledge systems and regional climate information into decision making, and the engagement of local communities, Indigenous peoples, and relevant stakeholders in adaptive governance arrangements and planning frameworks (*medium confidence*). Promotion of climate literacy and drawing on local, Indigenous and scientific knowledge systems enables public awareness, understanding and social learning about locality-specific risk and response potential (*high confidence*). Such investments can develop, and in many cases transform existing institutions and enable informed, interactive and adaptive governance arrangements (*high confidence*). {1.8.3, 2.3.2, Figure 2.7, Box 2.4, 2.4, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, Table 4.9, 5.5.2, 6.9}
- C.4.5  Context-specific monitoring and forecasting of changes in the ocean and the cryosphere informs adaptation planning and implementation, and facilitates robust decisions on trade-offs between short- and long-term gains (*medium confidence*). Sustained long-term monitoring, sharing of data, information and knowledge and improved context-specific forecasts, including early warning systems to predict more extreme El Niño/La Niña events, tropical cyclones, and marine heatwaves, help to manage negative impacts from ocean changes such as losses in fisheries, and adverse impacts on human health, food security, agriculture, coral reefs, aquaculture, wildfire, tourism, conservation, drought and flood (*high confidence*). {2.4, 2.5, 3.5.2, 4.4.4, 5.5.2, 6.3.1, 6.3.3, 6.4.3, 6.5.3, 6.9}
- C.4.6  Prioritising measures to address social vulnerability and equity underpins efforts to promote fair and just climate resilience and sustainable development (*high confidence*), and can be helped by creating safe community settings for meaningful public participation, deliberation and conflict resolution (*medium confidence*). {Box 2.4, 4.4.4, 4.4.5, Table 4.9, Figure SPM.5}
- C.4.7  This assessment of the ocean and cryosphere in a changing climate reveals the benefits of ambitious mitigation and effective adaptation for sustainable development and, conversely, the escalating costs and risks of delayed action. The potential to chart Climate Resilient Development Pathways varies within and among ocean, high mountain and polar land regions. Realising this potential depends on transformative change. This highlights the urgency of prioritising timely, ambitious, coordinated and enduring action (*very high confidence*). {1.1, 1.8, Cross-Chapter Box 1 in Chapter 1, 2.3, 2.4, 3.5, 4.2.1, 4.2.2, 4.3.4, 4.4, Table 4.9, 5.5, 6.9, Cross-Chapter Box 9, Figure SPM.5}

The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate

Summary for Policymakers

변화하는 기후에서의 해양 및 빙권

정책결정자를 위한 요약본

발 행 : 기상청

발행일 : 2019년 12월

편 집 : 기상청 기후과학국 기후정책과

발간등록번호 : 11-1360000-001636-01

전 화 02-2181-0403

팩 스 02-2181-0496

이 메 일 clpol@korea.kr

Website www.climate.go.kr

본 국·영문 통합본은 전체 보고서 중 가장 앞부분에 있는 정책결정자를 위한 요약본(SPM)을 기상청과 해양수산부(해양환경공단)가 번역하여 제작한 것이다.

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

