

"As a UN body the IPCC publishes reports only in the six official UN languages. This translation of the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report "Climate Change 2007 (SPM, Longer part)" is therefore not an official translation by the IPCC. It has been provided by the Korea Meteorological Administration with the aim of reflecting in the most accurate way the language used in the original text."

이 보고서는 제27차 IPCC 총회('07.11.17., 스페인 발렌시아)에서 최종 승인 및 채택 된 IPCC 제4차 평가보고서의 종합보고서를 기상청에서 번역한 자료입니다.

원본 출처 : IPCC 홈페이지(<http://www.ipcc.ch>)

☞ 본 자료는 기후변화정보센터 홈페이지(<http://climate.go.kr>)에서도 보실 수 있습니다.

# 기후변화 2007

## 종합 보고서

편집

---

주요 저자팀

IPCC  
종합 보고서

Rajendra K. Pachauri

IPCC  
의장

Andy Reisinger

기술지원부장  
IPCC 종합 보고서

### 주요 저자팀:

Lenny Bernstein, Peter Bosch, Osvaldo Canziani, Zhenlin Chen, Renate Christ, Ogunlade Davidson, William Hare, Saleemul Huq, David Karoly, Vladimir Kattsov, Zbigniew Kundzewicz, Jian Liu, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Bettina Menne, Bert Metz, Monirul Mirza, Neville Nicholls, Leonard Nurse, Rajendra Pachauri, Jean Palutikof, Martin Parry, Dahe Qin, Nijavalli Ravindranath, Andy Reisinger, Jiawen Ren, Keywan Riahi, Cynthia Rosenzweig, Matilde Rusticucci, Stephen Schneider, Youba Sokona, Susan Solomon, Peter Stott, Ronald Stouffer, Taishi Sugiyama, Rob Swart, Dennis Tirpak, Coleen Vogel, Gary Yohe

### 종합 보고서 기술지원부:

Andy Reisinger, Richard Nottage, Prima Madan

### 종합 보고서 서지정보:

IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.



IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에 의해 출판

IPCC Secretariat  
c/o World Meteorological Organization  
7 bis, Avenue de la Paix  
C.P. 2300  
CH- 1211 Geneva 2, Switzerland

<http://www.ipcc.ch/>

이 보고서는 저작권이 있습니다. 법률상 예외 적용되며, 관련 라이선스허가 계약 조항이 적용됩니다. 이 보고서는 IPCC의 서면 허가 없이 복제할 수 없습니다.

2008년 초판 발행



**IPCC, 2007년 노벨 평화상 공동 수상**

© Nobel Foundation, Nobel Prize® 메달 디자인은 노벨 재단 (Nobel Foundation)의 등록 상표임.

기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)는 1988년 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 공동으로 설립한 협의체입니다. 기후변화와 관련된 과학적 정보와 기후변화로 인한 환경 및 사회경제적인 영향력 평가와 더불어 현실적 대응전략을 공인화하기 위하여 탄생하게 되었습니다. 지금까지 IPCC는 기후변화 대응에 있어 각국 정부의 이행정책 수립 및 채택에 매우 중요한 역할을 담당하였습니다. 특히 당사국총회(COP: Conference of the Parties)와 유엔기후변화협약(UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change, 1992 설립)에 신뢰성 있는 정보를 제공하고 있습니다.

IPCC는 설립 이후, 일련의 평가보고서(1990년, 1995년, 2001년, 2007년), 특별보고서, 기술보고서 등 많은 보고서들을 발간하였습니다. 이러한 보고서들은 정책결정자, 과학자, 전문가, 학생들에게 널리 활용되고 있으며, 인용이 되는 참고문헌으로 자리를 잡아가고 있습니다. 근년에 "Carbon Dioxide Capture and Storage"와 "Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System" 보고서들 2005년에 발간하였으며, "국가 온실가스 인벤토리를 위한 지침"을 2006년에 교정하여 발간한 바 있습니다. 또한, "기후변화와 물"에 관한 기술보고서를 현재 진행 중에 있습니다.

제4차 평가보고서의 완결판인 종합보고서(SYR)는 지난 2007년 11월 17일에 채택되었으며 "기후변화 2007" 보고서라는 제목 아래 소정의 절차를 거쳐 발간되었습니다. 종합보고서는 3개의 실무그룹 보고서의 주요사항을 요약한 것으로 특히, 이 보고서는 정책결정자들에게 기후변화에 대한 주요 관심 주제를 보다 명확하게 제공하였습니다. 이 보고서는 기후변화의 대부분이 인간활동으로부터 야기된 것이 확인됨을 보여주고 있습니다. 또한 지구온난화로 인한 영향이 현재도 진행되고 있으며, 미래에도 지속될 것임을 예상하고 있습니다. 이 보고서는 기후변화의 취약성을 줄이기 위한 사회의 적응 잠재력을 기술하고 있으며, 마지막으로 기후시스템의

미래의 변화 폭을 줄이기 위한 비용 분석, 정책과 기술을 제시합니다.

제4차 평가보고서는 500명의 주요 저자와 2,000여명의 전문가 검토를 마친 눈부신 업적의 결과라 할 수 있습니다. 이 보고서는 100개 이상의 참여국가 대표단의 검토 및 광범위한 과학 공동체 노력의 결과로 만들어졌으며, 전문가의 열정, 헌신과 노력의 산물입니다. 우리는 이 보고서에 참여한 IPCC Bureau 회원과 기술지원부 직원 특히, 종합보고서 발간을 위한 노력해 준 기술지원부 그리고 Renate Christ(IPCC 사무국장)를 비롯한 사무국 직원에 경의를 표합니다.

우리는 다양한 방법으로 IPCC에 기여한 정부들과 기관에 감사를 드립니다. IPCC는 기여금 덕분에 지금까지 시장경제전환국가와 개발도상국가로부터 수많은 전문가들의 참여가 가능하였습니다. 또한, 우리는 총회에 참가하여 의미 있는 합의정신을 보여준 모든 정부 대표단의 공동협력 정신에 깊이 감사드립니다.

마지막으로 우리는 지칠 줄 모르는 헌신적 노력으로 IPCC를 이끈 IPCC 의장(라젠드라 파차우리)에게 감사드립니다. 그의 뛰어난 리더십으로 인해 지난해 노벨평화상을 수상하게 되었습니다. 우리는 20년 전 첫 번째 IPCC 의장이신 Bert Bolin이 지난해 12월 30일 작고하게 됨을 매우 슬프게 생각합니다. 그는 기상과 기후과학 분야에서 눈부신 발전을 이루어냈습니다.



Michel Jarraud  
세계기상기구 사무총장



Achim Steiner  
유엔환경계획 집행이사



정책결정자를 위한 요약보고서를 포함하고 있는 종합 보고서는 IPCC의 제4차 평가보고서의 최종 완결판의 일부입니다. "기후변화 2007"은 기후변화에 관한 최신의 과학 및 기술적 그리고 사회경제적인 정보와 최신의 정책결정자를 위한 혜택을 종합한 보고서입니다. 이 보고서는 인위적으로 야기된 기후변화 위협에 대한 적절한 대응을 위해 공공 및 사적 부문의 정책결정자와 정부를 지원할 목적으로 발간하게 된 것입니다.

종합보고서의 범위는 제4차 평가보고서의 3개의 실무 그룹 보고서를 포함하고 있습니다. 제1 실무그룹 보고서는 "과학적 근거"를, 제2 실무그룹 보고서는 "영향적응 및 취약성"을, 제3 실무그룹은 "기후변화 완화"를 다룹니다. 최근 발간한 보고서에는 IPCC 특별보고서가 있습니다. 종합보고서는 제4차 평가보고서의 각각 실무 그룹 보고서의 저자와 편집팀에 의해 발간하게 된 것입니다. 저자들의 비(非) 기술적 형태의 초안을 패널에 의해 과학적 및 기술적 사실을 정확하게 기록되도록 하였습니다.

종합보고서는 패널에 의해 동의된 6개의 주제를 토대로 질의 및 구성에 대한 폭넓은 범위의 정책을 제시하고 있습니다. 이 보고서는 정책결정자를 위한 요약보고서(SPM)와 본문(Longer Report)으로 구성되어 있으며, 정책결정자를 위한 요약보고서(SPM)의 섹션은 본문(Longer Report)의 주제(Topic) 구성으로 이어집니다. 보고서의 간결 및 명료화를 위해 특정 이슈들은 하나의 주제이상에서 다룬 것이 있으며, 그것은 SPM의 하나의 섹션에 요약되었습니다.

**주제 1** 은 자연시스템과 인간사회에 관한 관측된 기후변화와 그 영향에 관한 내용으로 제1 실무그룹과 제2 실무그룹 보고서의 통합정보입니다.

**주제 2** 는 기후변화의 자연적 및 인위적 요인을 고려한 기후변화의 원인을 제시합니다. 복사강제력과 이로 인한 기후변화와 온실가스 배출 및 농도를 분석하였습니다. 기후, 물리, 생물계가 자연적 또는 인위적인 원인 때문에 발생한 것인지를 관측된 변화들로부터 평가합니다. 이러한 정보는 제4차 평가보고서의 3개 실무그룹 보고서를 토대로 작성된 것입니다.

**주제 3** 은 미래 기후변화와 영향에 관한 정보를 다룹니다. 배출시나리오와 미래 기후변화에 관한 업데이트 정보를 제시하며, 시스템·부문·지역별 미래의 기후변화의 영향 전망을 기술합니다. 또한 복지 및 발전에 관한 정보도 포함되어 있습니다.

**주제 4** 는 제2 실무그룹과 제3 실무그룹의 평가 및 기후변화 관계와 지속가능한 발전을 위한 대응조치 등 적응과 완화 옵션을 기술합니다. 주제 4의 주요 내용은 2030년까지 이행할 수 있는 대응조치에 관한 사항입니다. 거래조건 및 시너지 효과를 실현하기 위해 이행을 위한 장애뿐만 아니라 과학기술, 정책, 대응책들 기술합니다.

**주제 5** 는 적응 옵션과 관련된 장기적 전망에 관해 기술하며, 유엔기후변화협약(UNFCCC)의 목표와 일치된 과학적, 기술적 및 사회경제적 관점에서 분석하였습니다. 위험 관리 관점에서 광범위한 환경문제에 주의를 가지고 기후변화에 관한 의사결정 사항을 기술합니다. 주제 5는 기온 증가와 연관된 완화 비용, 즉 기술발전과 배치, 기후영향 최소화를 위한 정보 등 다양한 레벨에서 온실가스 농도의 안정화를 위한 배출 궤적을 기술합니다.

**주제 6** 은 확실한 발견과 주요 불확실성을 강조합니다. 종합보고서는 "기후변화 2007"의 다른 서적의 관계에 있어 검토가 필요합니다. 3개의 실무그룹은 보다 자세한 정보가 요구됩니다. 각각의 실무그룹 보고서는 보다 자세한 과학적이고 기술적인 평가, 기술 요약, 정책결정자를 위한 요약을 포함하는 일련의 장(chapter)으로 구성되어 있습니다.

종합보고서의 본문(longer report)은 AR4와 관계된 IPCC 보고서 등 실무그룹 보고서의 광범위한 참조를 포함하고 있습니다. 이해를 돕기 위해 정책결정자를 위한 요약의 참조(references)는 종합보고서의 본문과 관련된 섹션을 가리킵니다. CD는 제4차 평가보고서에 기여한 3개의 실무그룹에서 준비한 영어로 된 전체(full) 텍스트와, 정책결정자를 위한 요약보고서(SPM), 기술 요약보고서(TS), 종합보고서를 포함하고 있습니다. 또한 전자 버전에서 참조할 수 있도록 독자로 하여금 과

학적, 기술적 및 사회경제적 정보를 쉽게 찾을 수 있도록 하이퍼링크(hyperlink)를 제공합니다. 사용자 가이드, 용어집, 약어(acronyms) 정리와 저자, 감수자, 감수편집자가 이 보고서에 첨부되어 있습니다.

종합보고서의 발간에 이르기 까지 준비, 검토, 채택, 승인과 IPCC 보고서의 발간 절차에 따라 수행되었습니다. 이 보고서는 제27차 IPCC 총회 (07.11.12.-17., 스페인 발렌시아)에서 승인 및 채택되었습니다.

우리는 보고서가 나오기까지 애써준 아래의 분들에게 감사를 포함합니다.

- 핵심저자팀(Core Writing Team): 이 보고서를 기안한 팀으로 세심하고 온갖 정성을 다해 확정함
- 감수편집자(Review Editor): 보고서의 모든 내용의 일치성을 고려함
- 실무그룹의 총괄 주저자 및 저자: 보고서의 초안을 마련함
- SYR 기술지원부 직원: Dr. Andy Reisinger와 3개의

실무그룹 기술지원부의 편집 지원

- IPCC 사무국 직원: 보고서의 준비, 출판할 수 있도록 임무 수행
- 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP): 재정 (IPCC 기여금) 후원 및 IPCC 사무국 지원
- 모든 정부 및 유엔기후변화협약(UNFCCC): 재정 (IPCC 기여금) 후원
- 정부 및 참여기관 : 총회 유치, 전문가 참여 등



Dr. R.K Pachauri  
IPCC 의장



Dr. Renate Christ  
IPCC 사무국장

# 기후변화 2007: 종합 보고서

---

## 목차

---

서문	iii
머리말	v
정책 결정자를 위한 요약보고서	1
종합 보고서	25
서론	27
주제 1	31
주제 2	37
주제 3	45
주제 4	59
주제 5	69
주제 6	79
부록	
I. 사용자 가이드와 세부정보 입수 방법	83
II. 용어	84
III. 약자, 화학기호, 과학단위, 국가집단	105
IV. 저자 목록	107
V. 감수자 및 감수 편집자 목록	109
VI. IPCC 보고서 목록	115



### 종합 보고서에 인용된 참고문헌

이 종합 보고서에 포함된 참고문헌은 각 문단 마지막 부분에 중괄호 {} 로 표시된다.

정책 결정자를 위한 요약보고서 (Summary for Policymakers)의 경우, 참고문헌은 이 종합 보고서의 서론 및 각 주제 아래에 장, 그림, 표, 및 박스로 표시된다.

이 종합 보고서의 서론 및 6가지 주제 내용의 경우, 실무그룹 I, II, III (WG I, WG II, WG III)이 기고한 제4차 평가보고서(AR4), 이 종합 보고서를 기초로 한 기타 IPCC 보고서들, 또는 이 종합보고서(SYR) 자체의 기타 섹션들을 의미한다.

다음 약어들이 사용됨.

SPM (Summary for Policymakers): 정책결정자를 위한 요약보고서

TS (Technical Summary): 기술 요약보고서

ES (Executive Summary of a Chapter): 실행 요약보고서

숫자는 보고서의 특정한 장 및 섹션을 의미한다.

예를 들어, {WG I TS.3; WG II 4.ES, 그림 4.3; WG III 표 11.3}의 경우, WG I의 기술 요약보고서 섹션 3, WG II의 실행 요약보고서 4장 및 그림 4.3, WG III의 11장, 표 11.3을 의미한다.

이 종합 보고서에서 인용된 기타 보고서:

TAR (Third Assessment Report): 제3차 평가보고서

SROC (Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System): 오존층 및 전지구기후시스템 보호에 관한 특별보고서



# 기후변화 2007 : 종합 보고서

---

## 정책결정자를 위한 요약보고서

### 기후변화에 관한 정부간협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 평가

*IPCC 제27차 총회(스페인 발렌시아, 2007년 11월 12일~17일)에서 승인된 이 요약보고서는 실무그룹의 제4차 평가보고서에 대한 기여를 토대로 주요 발견과 불확실성에 관해 IPCC가 공식 동의한 선언문을 나타낸다.*

---

이 보고서 안을 준비한 저자팀 :

Lenny Bernstein, Peter Bosch, Osvaldo Canziani, Zhenlin Chen, Renate Christ, Ogunlade Davidson, William Hare, Saleemul Huq, David Karoly, Vladimir Kattsov, Zbigniew Kundzewicz, Jian Liu, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Bettina Menne, Bert Metz, Monirul Mirza, Neville Nicholls, Leonard Nurse, Rajendra Pachauri, Jean Palutikof, Martin Parry, Dahe Qin, Nijavalli Ravindranath, Andy Reisinger, Jiawen Ren, Keywan Riahi, Cynthia Rosenzweig, Matilde Rusticucci, Stephen Schneider, Youba Sokona, Susan Solomon, Peter Stott, Ronald Stouffer, Taishi Sugiyama, Rob Swart, Dennis Tirpak, Coleen Vogel, Gary Yohe

## 서론

이 종합보고서는 IPCC의 3개 실무그룹(Working Group: WG)이 수행한 평가에 근거한다. IPCC 제4차 평가보고서(AR4)의 최종본인 본 보고서에서는 기후변화에 대한 총체적 견해를 제시한다.

이 요약문에 포함된 주제들에 완벽한 노력을 기울였다는 점은 이 종합보고서와 본 보고서의 근간이 된 3개 실무그룹의 보고서를 보면 알 수 있다.

### 1. 관측된 기후변화와 그 영향

**기후시스템의 온난화는 현재 관찰되는 지구 평균기온과 해수면 상승, 광범위한 눈과 빙하의 용해 및 지구 평균 해수면 상승의 관측 자료에서 명백히 나타난다(그림 SPM.1). {1.1}**

지난 12년(1995~2006년) 중 11번이 1850년 이래 전지구 표면기온의 측기 기록에서 가장 더웠던 해에 속한다. 1906~2005년 지구 평균 기온의 선형 추세는 100년간 0.74[0.56 to 0.92]°C<sup>1)</sup>로 제3차 평가 보고서(Third Assessment Report: TAR)의 해당 추세인 0.6[0.4 to 0.8]°C(1901-2000년)보다 높았다(그림 SPM.1). 기온 상승은 지구 전체에 광범위하게 나타나고 있으며 북반구 고위도로 갈수록 더 크게 나타난다. 이러한 현상은 육지가 해양보다 더 빠르게 온난화된 것으로 나타난다(그림 SPM. 2, SPM. 4). {1.1, 1.2}

해수면 상승은 온난화와 일치하여 일어나고 있다(그림 SPM.1). 지구 평균 해수면은 1961년 이후 평균 1.8[1.3~2.3] mm/yr, 1993년 이후 3.1[2.4~3.8] mm/yr로 상승하였으며, 이는 열팽창과 빙하, 빙모(ice cap) 및 극지방의 빙상의 용해에 의한 것이었다. 1993에서

2003년 사이의 급속 상승률이 10년 변동인지 더 장기적 추세의 증가를 반영하는지는 불분명하다. {1.1}

눈과 얼음의 범위에서 관측된 감소 역시 온난화와 일치한다(그림 SPM.1). 1978년 이후 위성자료에 따르면 연평균 북극의 해빙 범위가 10년에 2.7[2.1~3.3]%씩 감소하고, 여름에는 7.4[5.0~9.8]%씩 더 크게 감소한 것으로 나타난다. 산악의 평균 빙하 및 적설면적은 양반구에서 평균적으로 감소하였다. {1.1}

1900년부터 2005년까지 북미와 남미의 동부, 북유럽, 북아시아와 중앙아시아에서는 강수량이 상당히 증가했으나 사헬(사바나), 지중해, 남아프리카, 남아시아 몇지역에서는 오히려 감소하였다. 가뭄의 영향을 받은 지역은 1970년 대 이후 지구 전체적으로 증가했을 *가능성<sup>2)</sup>이 높다*. {1.1}

지난 50년 동안 추운 낮과 밤, 서리의 발생 빈도는 대부분의 육지에서 감소하였고, 더운 낮과 밤의 발생 빈도는 증가했을 *가능성이 매우 높다*. 열파는 대부분이 육지에서 더 자주 발생하였고, 폭우 및 폭설 빈도는 대부분의 지역에서 증가했을 것이며, 1975년 이후 해수면이 극단적으로 높아지는<sup>3)</sup> 사례가 전 세계적으로 증가했을 *가능성이 높다*. {1.1}

1970년 이후 북대서양의 강력한 열대성 저기압의 활동이 증가한 관측 증거가 있으며, 다른 지역에서도 이러한 증거가 제한적으로 발견되었다. 열대성 저기압의 연간 발생횟수에서 뚜렷한 경향은 보이지 않으며, 특히 1970년 이전의 저기압 활동에서 장기적 추세는 확인하기 어렵다. {1.1}

20세기의 후반세기 동안 북반구의 평균 기온은 지난 500년 동안 어느 반세기보다도 높았을 *가능성이 매우 높으며*, 적어도 과거 1300년 동안 가장 높았을 *가능성이 있다*. {1.1}

1) 괄호 안의 숫자는 최적추정치를 중심으로 90% 신뢰 구간을 나타낸다. 즉, 대괄호 안에 주어진 범위를 초과할 가능성과 값이 그 범위 미만으로 될 가능성이 각각 5%로 추정된다. 불확실성 구간은 해당 최적추정치를 중심으로 반드시 대칭적이지는 않다.

2) 이탤릭체의 용어는 불확실성과 신뢰도의 측정치를 나타낸다. 이와 관련된 용어는 본 보고서의 서론에서 '불확실성의 처리법'에 설명하였다.

3) 쓰나미는 기후변화에서 기인하지 아니하므로 제외한다. 극단적인 해수면 상승은 평균 해수면과 지역 기후 시스템에 의해 발생된다. 여기서 말하는 극단적인 해수면상승이란 일정 기간 동안 한 지점에서 관측된 시간당 해수면 높이의 상위 1%로 정의한다.

기온, 해수면 및 북반구 적설(Snow cover)의 변화

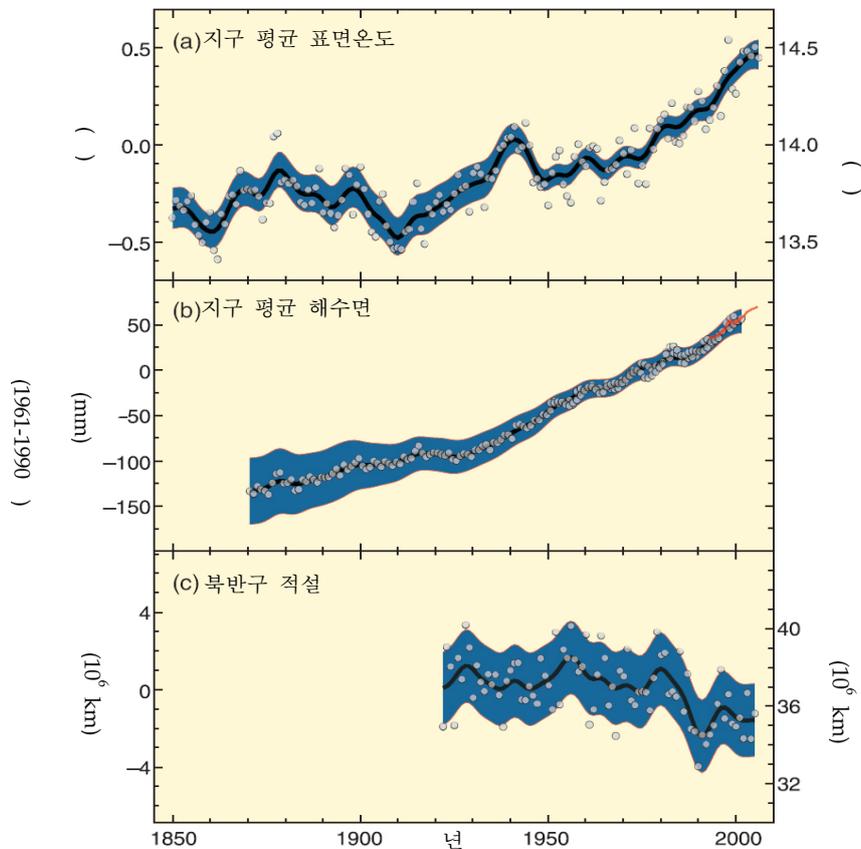


그림 SPM.1. 관측변화: (a) 지구 평균 지표기온 (b) 조위계(파란색)와 위성(빨간색) 자료에 의한 지구 평균 해수면 높이 및 (c) 3월-4월 북반구 적설면적. 모든 변화는 1961-1990년의 평균에 대한 상대적인 변화이다. 완만한 곡선은 십년 평균치이며, 둥근 점은 연별 값을 나타낸다. 음영부분은 알려진 불확실성의 통합 분석(a, b)과 시계열(c)로부터 추정된 불확실 구간을 나타낸다. (그림 1.1)

모든 대륙과 해양 대부분에서 관측된 증거자료<sup>4)</sup>는 대부분의 자연계가 특히 기온 상승과 같은 지역기후변화의 영향을 받았다는 것을 보여준다. (1.2)

적설량, 얼음 및 동토의 변화는 빙하호의 수와 크기를 증가시키고 산악지역 및 기타 영구 동토지역에서 지반을 점차 불안정하게 해 일부 북극과 남극의 생태계에 영향을 끼쳤음이 확실하다. (1.2)

일부 물순환 시스템 역시 녹은 빙하와 눈이 유입되는 강의 유출량 증가와 더 빨라진 봄철 최고 유출 시기, 따뜻해지는 강과 호수의 열적 구조와 수질에 영향을 받았다는 것은 높이 신뢰할만하다. (1.2)

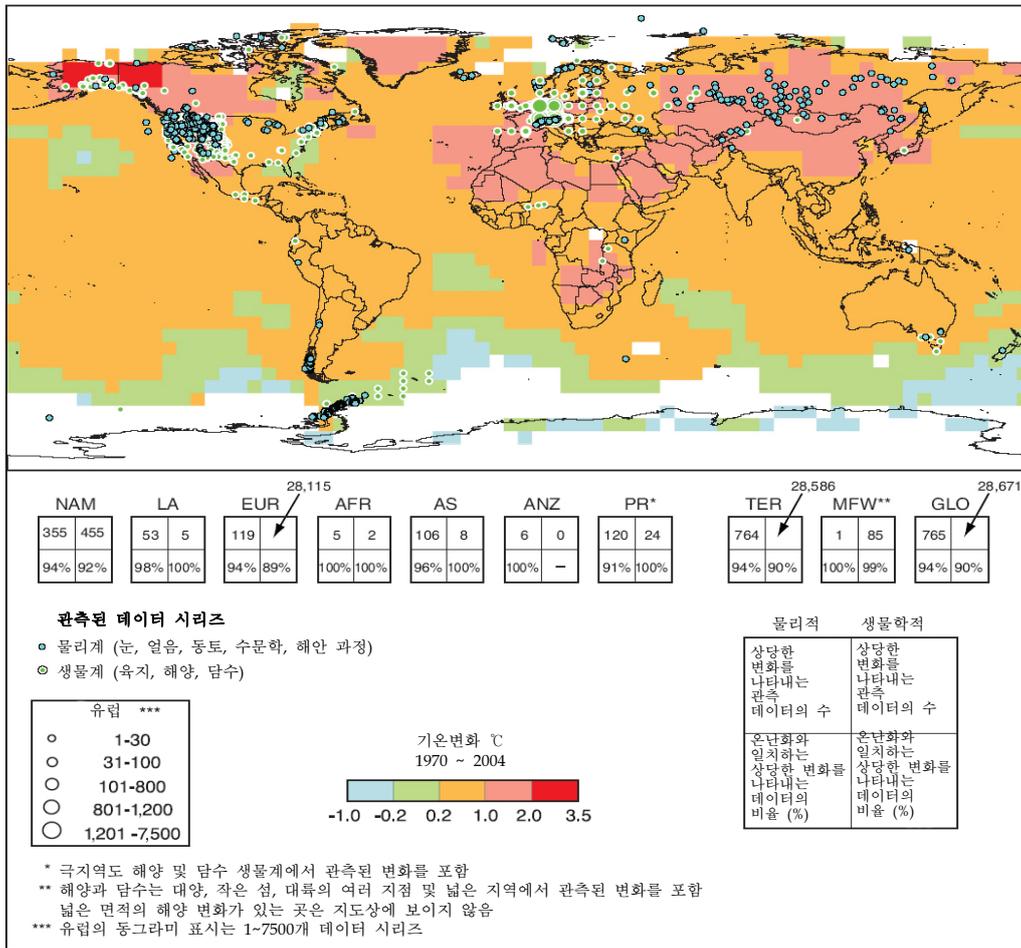
육지생태계에서, 봄이 빨리 시작되고 동식물의 서식

범위가 극지방과 고지대로 이동하는 것이 최근의 기후 온난화와 관련이 있다는 것은 매우 신뢰할만하다. 일부 해양 및 담수 시스템에서는 조류, 플랑크톤 및 어종에 닥친 변화와 서식 범위의 이동 역시 수온상승뿐 아니라 빙상(ice cover), 염분, 산소 농도 및 해류순환의 변화와 관련이 있다는 것도 높이 신뢰 할만 하다. (1.2)

75건의 연구로부터, 많은 물리계와 생물계에서 현저한 변화를 보여주는 29,000건 이상의 관측자료 중 89% 이상이 온난화에 대한 대응으로서 예상되는 변화 방향과 일치한다(그림 SPM.2). 그러나 관측된 변화에 관한 데이터와 문헌에는 개발도상국의 데이터가 현저히 부족하여 지리적인 균형이 부족하다. (1.2, 1.3)

4) 대부분 1970년 이후의 데이터에 근거함.

1970-2004년의 물리계, 생물계 및 지표 온도의 변화



**그림 SPM.2.** 물리계(눈, 얼음, 동토 수문 연안 과정)와 생물계(육지, 해양 및 담수 생물계)의 관측 자료에서 상당한 변화가 발생한 지점들이 1970년부터 2004년까지의 지표기온 변화와 함께 표시되었다. 29,000 건의 하위 자료는 총 577건의 연구에서 나온 80,000여 개 자료 중에서 선정된 것으로, 선정 기준은 (1) 1990년 이후까지의 자료가 있는지, (2) 최소 20년의 기간 동안 연구된 자료인지, (3) 개별 연구에서 평가된 대로 어느 방향으로든 상당한 변화를 보이는지 등이다. 이 일련의 자료는 약 75건의 연구(그 중 약 70건의 연구는 제 3차 평가가 시작된 후에 시작되었다)에서 나온 것들이며, 약 29,000 건의 자료로 되어 있고, 그 중 약 28,000건의 자료는 유럽 연구에서 나온 것들이다. 흰색 부분은 기온 추세를 추정할만한 관측 자료가 충분하지 않은 지역이다. 2x2 상자의 윗쪽에는 상당한 변화를 보인 자료의 총 개수가, 아랫줄에는 (i) 대륙: 북미(NAM), 라틴 아메리카(LA), 유럽(EUR), 아프리카(ASFR), 아시아(AS), 호주 및 뉴질랜드(ANZ), 극지방(PR), (ii) 지구 규모: 육지(TER), 해수 및 담수(MFW), 전세계(GLO)에서 온난화와 일치하는 비율(%)을 나타낸다. 7개 지역(NAM, EUR, AFR, AS, ANZ, PR)의 연구 건수는 전세계 합계(GLO)로 추산되지 않는다. 그 이유는 극지방을 제외한 지역의 연구 건수에는 해수 및 담수(MFW) 시스템에 관련된 연구 건수가 포함되어 있지 않기 때문이다. 광범위한 지역의 해양 변화는 지도상에 나타나지 않는다. {그림 1.2}

지역기후변화가 자연과 인간 환경에 미치는 그 밖의 영향들이 발생하고 있다는 중간 정도의 확신이 있으나 적응과 비(非)기후적 요인 때문에 이러한 영향의 식별이 쉽지 않다.

온도 상승이 영향을 미치는 분야는 다음과 같다. {1.2}

- 북반구 고위도 지역의 농업 및 삼림 관리 - 작물의

봄철 조기 파종, 산불과 병충해에 의한 삼림의 교란체제(disturbance regime) 변경 등

- 인간건강 측면 - 유럽의 열파 관련 사망률, 일부 지역의 전염병 매개체 변화, 북반구 중고위도 지역의 알레르기성 꽃가루 등
- 북극(사냥 및 눈과 얼음 위의 이동)과 고도가 낮은 산악지대(산악스포츠)의 일부 인간 활동

## 2. 변화의 원인

대기 중 온실가스(GHG)와 에어러솔, 토지피복도(land cover) 그리고 태양복사량의 변화는 지구기후시스템의 에너지 균형의 변화를 초래한다. {2.2}

**인류의 활동에 의하여 발생한 지구 온실가스(GHG) 배출량은 산업화 이전시대부터 증가하여 왔으며, 1970년부터 2004년 사이에는 70%나 증가하였다(그림 SPM.3).** {2.1}

이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 인위적으로 발생하는 가장 중요한 온실가스이다. CO<sub>2</sub>의 연간 배출량은 1970년부터 2004년기간 동안 80% 증가하였고, 공급되는 단위 에너지 당 CO<sub>2</sub> 배출량이 장기적으로 점차 감소하던 추세는 2000년 이후 역전되었다. {2.1}

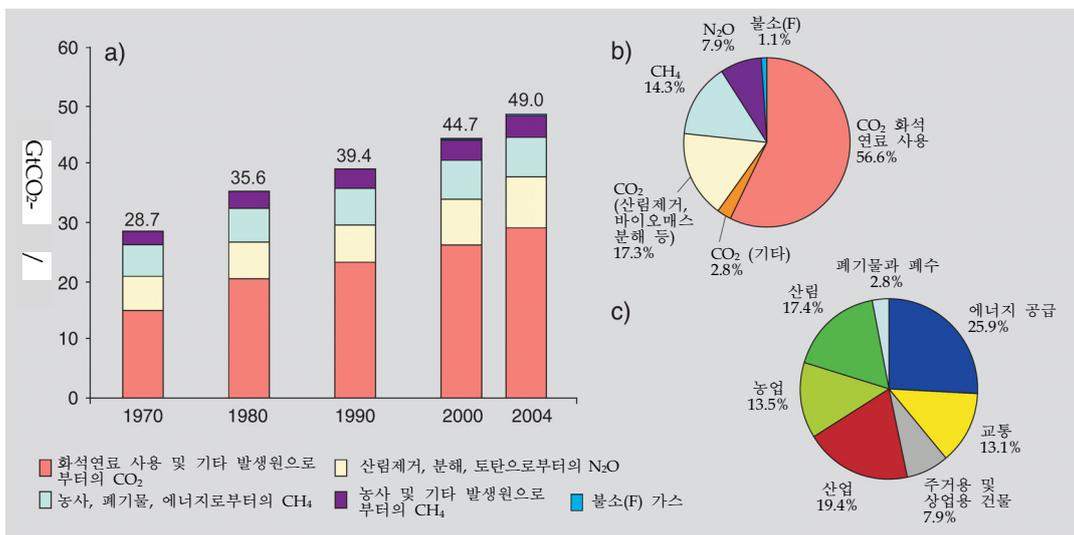
**CO<sub>2</sub>, 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O)의 지구 평균 대기**

중 농도는 1750년 이후 인간 활동의 결과 현저하게 증가하여 왔으며 수천 년 동안 존재하여 온 빙핵(ice core)을 통해 알아낸 산업화 이전의 값들을 크게 상회한다. {2.2}

2005년도에 대기 중의 CO<sub>2</sub> 농도(379 ppm)와 CH<sub>4</sub> 농도(1774 ppb)는 과거 65만년 동안의 자연적 범위를 크게 초과했다. CO<sub>2</sub> 농도의 전 세계적 증가는 화석연료 사용이 주 원인이며, 토지이용의 변화 역시 기여하였다. 관측된 CH<sub>4</sub> 농도의 증가는 주로 농업과 화석연료의 사용이 원인일 가능성이 높다. 메탄 증가 속도는 1990년대 초 이래로 감소하고 있는데 이 기간 중에 일정하게 유지되고 있는 총 배출량(인위적 배출량과 자연 배출량의 합계)과 일치한다. N<sub>2</sub>O 농도의 증가는 농업이 주 원인이다. {2.2}

1750년 이래 인간 활동의 순효과(net effects)가 지구온난화의 주범 중 하나였다는 것은 극히 확실하다. 6){2.2}

지구 전체 인위적 온실가스 배출량

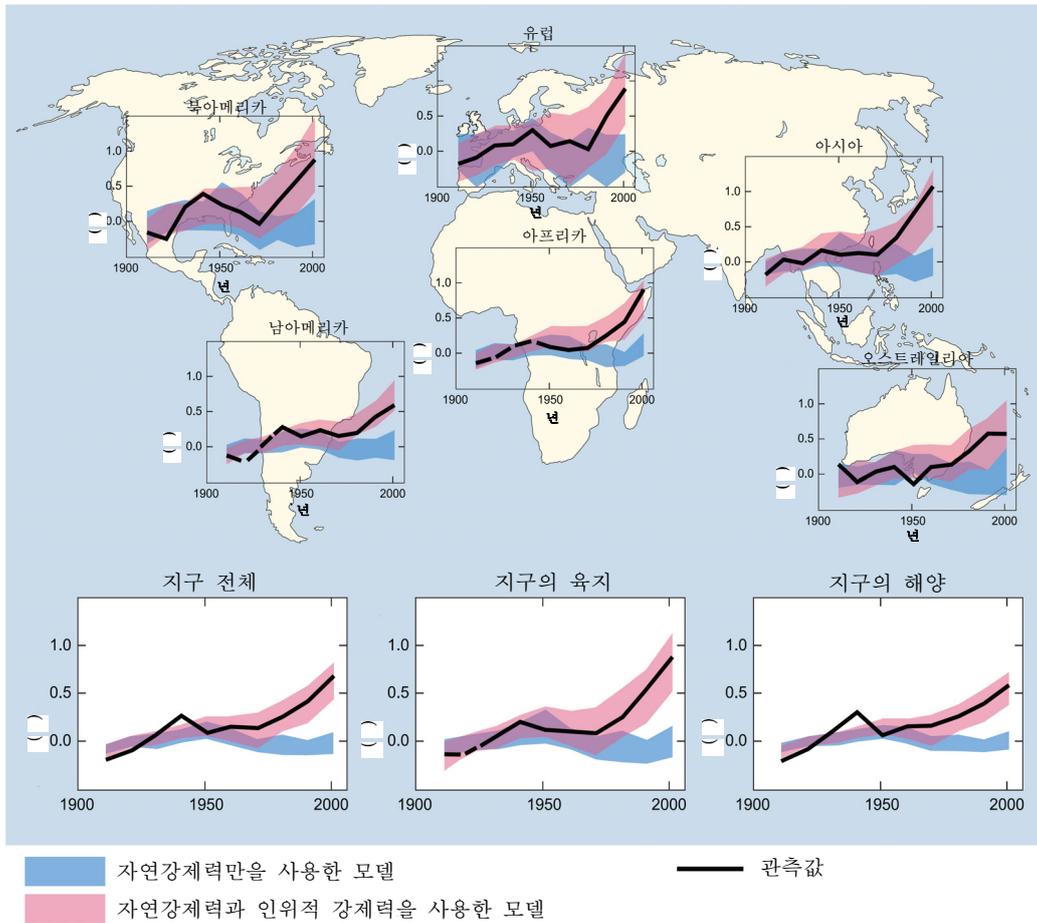


**그림 SPM.3.** (a) 1970년부터 2004년까지 지구 전체의 인위적 온실가스 연간 배출량 (b) CO<sub>2</sub>와 비교한 2004년도 인위적 온실가스 배출량 (c) 2004년도 인위적 온실가스 CO<sub>2</sub>의 각 부문별 발생비율(삼림은 별체를 포함) {그림 2.1}

5) UNFCCC에 의해 배출량이 집계되는 온실가스는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs 및 SF<sub>6</sub> 등이다. 이 온실가스들은 저마다의 100년 지구온난화 지수(Global Warming Potentials)가 가중치로 적용되며 UNFCCC의 보고와 일치하는 값이 사용된다.

6) 온실가스 증가는 지표면 온도를 상승시키는 경향이 있는 반면, 에어러솔 증가의 순효과(net effect)는 지표면을 냉각시키는 경향이 있다. 산업화 이전 시대 이래로 인간의 활동에 따른 순 효과는 온난화의 주범 중 하나이다(+1.6[+0.6 to +2.4] W/m<sup>2</sup>). 이와 비교하여, 태양 복사열의 변화가 유발한 온난화 효과는 미약한 것으로 추정된다(+0.12[+0.06 to +0.30] W/m<sup>2</sup>).

지구 전체 및 대륙의 온도 변화



**그림 SPM.4.** 자연강제력이나 자연 및 인위적 강제력 모두를 사용한 기후모델의 시뮬레이션(모사) 결과와, 대륙 및 지구 전체 지표온도 관측값의 변화를 비교. 1906년부터 2005년까지 관측된 10년 평균값(검은색 실선)은 1901~1950년 기간의 해당 평균과 10년의 중앙에 비교되어 나타난다. 공간 평균이 50% 이하인 곳은 파선으로 표시하였다. 파랑색 음영은 태양 활동과 화산에 의한 자연 강제력을 사용한, 5종의 기후모델에서 얻은 19건의 시뮬레이션 중 5~95% 범위를 나타낸다. 붉은색 음영은 자연과 인위적 강제력을 모두 사용한, 14종의 기후모델에서 얻은 58건 시뮬레이션 중 5~95% 범위를 나타낸다. (그림 2.5)

20세기 중반 이후 지구 평균 기온의 상승은 대부분 인위적 온실가스 농도의 증가에서 기인했을 가능성이 매우 높다.<sup>7)</sup> 지난 50년 동안 남극대륙을 제외한 모든 대륙에서 평균적으로 상당한 인위적 온난화가 진행되었을 가능성이 상당히 높다(그림 SPM.4). (2.4)

제3차 평가보고서(TAR) 발표 이후에는, 뚜렷한 인간 활동의 영향이 평균 기온의 상승을 넘어 기후의 다른 측면에까지 확대되고 있다는 것이 나타나고 있다. (2.4)

지난 50년 동안 태양의 복사에너지와 화산의 활동에 의한 복사강제력의 합은 오히려 냉각효과에 기여하였을 가능성이 높다. 관측된 지구온난화와 온난화 변화 양상은 인위적 강제력을 포함하는 모델에 의해서만 시뮬레이션된다. 그러나 관측된 온도 변화를 대륙보다 작은 규모로 시뮬레이션 하고 분석하는 데는 어려움이 있다. (2.4)

인간의 영향은 (2.4)

- 20세기 후반세기 동안의 해수면 상승에 기여했을 가능성이 매우 높다.
- 바람 패턴의 변화, 온대성 폭풍의 진로와 기온패턴에 영향을 주었을 가능성이 높다.
- 극한 열대야, 추운 밤(저온야)과 추운 낮(저온일)의 온도를 상승시켰을 가능성이 있다.

7) 나머지 불확실성은 현재의 방법론을 토대로 고려한다.

- 열파(heat wave) 리스크, 1970년대 이후 가뭄의 영향을 받은 지역, 폭우 및 폭설 등의 발생 빈도를 증가시켰을 가능성이 있다.

등이다. {2.4}

### 3. 기후변화와 그 영향에 대한 전망

지난 30년 동안 인위적 온난화는 지구의 여러 물리계와 생물계에 뚜렷한 영향을 미쳤을 가능성이 높다. {2.4}

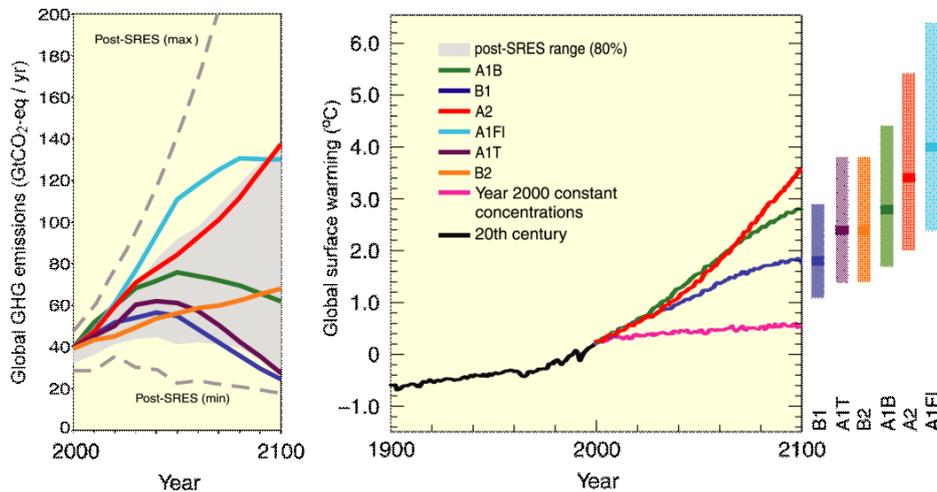
현재의 기후변화 완화 정책 및 그와 관련된 지속 가능한 개발 정책으로 인해, 전 세계 온실가스 배출량이 앞으로 수십 년 동안 계속해서 증가할 것이라는 데에 의견이 일치되고 있으며 그에 대한 여러 증거가 있다. {3.1}

지구 전체적으로 상당히 온난화된 지역과, 여러 가지 시스템에서 온난화로 볼 수 있는 상당한 변화가 관측된 지역들의 공간적인 일치는 전적으로 자연의 변동성 때문만은 아닐 것이다. 많은 모델링 연구들은 물리계 및 생물계의 일부 특정 반응을 인위적 온난화와 관련시켰다. {2.4}

IPCC 배출 시나리오에 관한 특별보고서(IPCC Special Report on Emission Scenarios)(SRES, 2000)에 따르면 2000년에서 2030년까지 전 세계 온실가스는 25~90%(CO<sub>2</sub>-상당) 증가할 것이며, 화석연료는 2030년 이후에도 전 세계 에너지원에서 주도적 위치를 고수할 것이라고 전망한다. 추가 배출량 완화를 고려하지 않은 최근의 시나리오에서도 그 범위는 비슷하다.<sup>8) 9)</sup> {3.1}

현재 인위적 온난화에 대해 관측된 자연계의 반응에 있어 더 완전한 원인 규명이 방해 받는 이유는 대부분의 단기성 영향평가 연구와 지역 규모의 자연 기후 변동성, 비기후적 요인의 영향 그리고 연구의 공간적 범위 제약

2000~2100년의 온실가스 배출량 시나리오 (추가 기후정책 부재 시)와 추정 지표온도



**그림 SPM.5.** 왼쪽 그래프: 기후정책 부재 시 전 세계 온실가스 배출량(CO<sub>2</sub>-상당): 6가지 도식적 SRES의 시나리오(유색 실선)와 SRES 이후에 발표된 최근 시나리오(SRES 이후 시나리오)의 80 백분위수 범위(회색 음영 부분). 파선은 SRES 이후 시나리오의 전체 범위를 나타낸다. 배출량은 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, F 가스의 배출량이다. 오른쪽 그래프 실선은 A2, A1B, B1 시나리오에 따른 전 세계 평균 지표 온난화의 다중모델로 20세기 시뮬레이션의 연장이다. 이러한 예측 역시 단기적 온실가스와 에어러솔의 배출량을 고려한 것이다. 분홍색 실선은 시나리오가 아니라 대기 농도를 2000년 수준으로 고정하고서 AOGCM 시뮬레이션을 한 결과를 나타낸다. 그래프의 오른쪽에 있는 막대는 SRES 6가지 시나리오에서 2090~2099년에 대해 평가한 최적의 추정치(각 막대 안의 실선)와 예상 범위를 보여준다. 모든 온도는 1980~1999년 기간의 온도를 기준 하였다. {그림 3.1, 그림 3.2}

8) 본 보고서의 3장의 'SRES 시나리오'에서 SRES 배출 시나리오에 대한 설명을 볼 수 있다. 본 시나리오는 현재의 기후 정책 즉, UNFCCC와 교토의정서를 포함한 것과 차별화된 최근의 연구보다 높은 수준의 추가적 기후 정책을 포함하고 있지는 않다.

9) 배출 경로 완화 시나리오는 5절에서 다루고 있다

**표 SPM.1. 21세기말의 지구 평균 지표온난화와 해수면 상승 추정치. {표 3.1}**

사례	온도 변화 (°C, 1980~1999년 대비 2090~2099년) <sup>a, d</sup>		해수면 상승 (m, 1980~1999년 대비 2090~2099년)
	최적의 추정치	예상범위	미래 빙하류(ice flow)의 급격한 역학적 변화를 배제한 모델에 근거한 범위
2000년 농도 유지 <sup>b</sup>	0.6	0.3 ~ 0.9	NA(Not Available)
B1 시나리오	1.8	1.1 ~ 2.9	0.18 ~ 0.38
A1T 시나리오	2.4	1.4 ~ 3.8	0.20 ~ 0.45
B2 시나리오	2.4	1.4 ~ 3.8	0.20 ~ 0.43
A1B 시나리오	2.8	1.7 ~ 4.4	0.21 ~ 0.48
A2 시나리오	3.4	2.0 ~ 5.4	0.23 ~ 0.51
A1FI 시나리오	4.0	2.4 ~ 6.4	0.26 ~ 0.59

Notes:

- a) 온도는 최적의 추정치이며, 예상되는 불확실성은 다양한 복잡성을 갖는 모델 계급에서부터 관측 제약까지 그 범위가 넓다.
- b) 2000년도의 일정한 조성은 Atmosphere-Ocean General Circulation Models (AOGCMs)로부터만 도출된다.
- c) 상기 시나리오는 6가지 SRES 표준(marker) 시나리오이다. SRES B1, A1T, B2, A1B, A2 및 A1FI 도식적 시나리오에서 2100년 인위적인 온실 가스 및 에어러솔로 인한 방사능 강제력 계산값(TAR의 823쪽 참조)에 해당하는 대략적 CO<sub>2</sub> 상당농도는 각각 약 600, 700, 800, 850, 1250, 1550 ppm이다.
- d) 온도 변화는 1980~1999년 온도와와의 차이를 뜻하며, 이에 0.5°C를 더하면 1850~1899년 기간에 대한 온도변화를 얻을 수 있다.

**온실가스 배출량이 현재 수준 혹은 그 이상으로 지속된다면 21세기에 온난화가 추가적으로 진행되고 지구 기후시스템에 다양한 변화를 초래할 것으로 예상되며, 이는 20세기에 관측된 변화보다 더 심각할 가능성이 높다(표 SPM.1, 그림 SPM.5). {3.2.1}**

SRES 배출량 시나리오에서는 향후 20년 동안 10년마다 약 0.2°C씩 온난화가 진행될 것이라고 추정한다. 모든 온실가스와 에어러솔의 농도가 2000년 수준으로 유지된다 하더라도 10년마다 약 0.1°C씩 온난화가 진행될 것으로 예상된다. 그 후의 온도 전망은 특정 배출량 시나리오에 점진적으로 의존한다. {3.2}

추정 범위(표 SPM.1)는 TAR와 대체로 일치하지만 불확실성과 온도의 상한 범위는 더욱 크게 나타났는데 이는 더 다양해진 가용 모델들이 더 강한 기후-탄소 순환 피드백을 보이기 때문이다. 온난화는 육지 및 해양의 대기 중 CO<sub>2</sub> 흡수를 감소시켜 대기에 잔존하는 인위적 배출량 부분을 증가시킨다. 이 피드백 효과의 강도는 모델마다 뚜렷이 다르다. {2.3, 3.2.1}

해수면 상승의 몇몇 주요 요인에 대한 이해가 너무 제한적이기 때문에 본 보고서는 가능성을 평가하거나 해수면 상승에 대한 최적의 추정치 또는 상한 범위를 제시하지 않는다.<sup>10)</sup> 모델을 기반으로 한 표 SPM.1은 2090~2099년의 지구 평균 해수면 상승을 추정한 결과이다. 이러한 추정치는 기후-탄소 순환 피드백의 불확실성이나 빙상(ice sheet) 흐름의 변화가 가져올 전체적인 영향도 포함하지 않으므로 이 범위의 상한값은 해수면 상승의 상한으로 고려될 수 없다. 이러한 추정치는 1993~2003년에 관측된 속도의 그린란드 및 남극 빙하류 증가가 기여한 영향을 포함하지만, 향후 증가하거나 감소할 수 있는 수치이다.<sup>11)</sup> {3.2.1}

**바람 패턴, 강수량, 일부 극단 및 해빙(sea ice) 측면을 비롯해 온난화 패턴 예측과 그 외 지역 규모의 특징들에 관해 TAR보다 현재의 신뢰도가 높다. {3.2.2}**

지역 규모의 변화로는 아래와 같은 것들이 있다. {3.2.2}

- 온난화는 육지와 북반구 최고위도 지역에서 최대이며 남반구 바다와 북대서양 일부에서 최저로 나타날 것이다. 또한 눈 덮인 지역의 감소, 대부분의 영구동토 지역의 해동 깊이 증가, 해빙 범위 감소 등

10) TAR에서는 2100년에 대해 예측한 반면 본 보고서에서는 2090~2099년 기간에 대해 예측하였다. TAR의 불확실성을 본 보고서와 같은 방식으로 다루었다면 표 SPM.1과 비슷한 범위를 얻었을 것이다.

11) 장기적 전망은 아래 자료를 참고한다.

의 최근 관측 경향이 지속될 것으로 보인다(그림 SPM. 6). SRES 시나리오를 사용한 몇몇 예측에 의하면 북극의 늦여름 해빙은 21세기 후반에 거의 완전 소멸한다.

- 극심한 더위, 열파, 폭설의 빈도가 증가할 가능성이 높다.
- 열대성 저기압의 강도가 증가할 가능성이 크지만, 전 세계 열대성 저기압 발생회수가 감소하리라는 확신은 적다.
- 바람, 강수 및 기온 패턴의 변화를 동반한 온대성 폭풍 경로가 극쪽으로 편향한다.
- 고위도 지역에서는 강수량 증가 가능성이 매우 높으며, 대부분의 아열대 육지 지역에서는 강수량 감소 가능성이 높다는 것이 최근의 관측 경향으로 이어진다.

금세기의 중반까지는 연간 강물 유출량과 물의 가용성이 고위도 지역 (및 일부 열대 습지)에서는 증가하고,

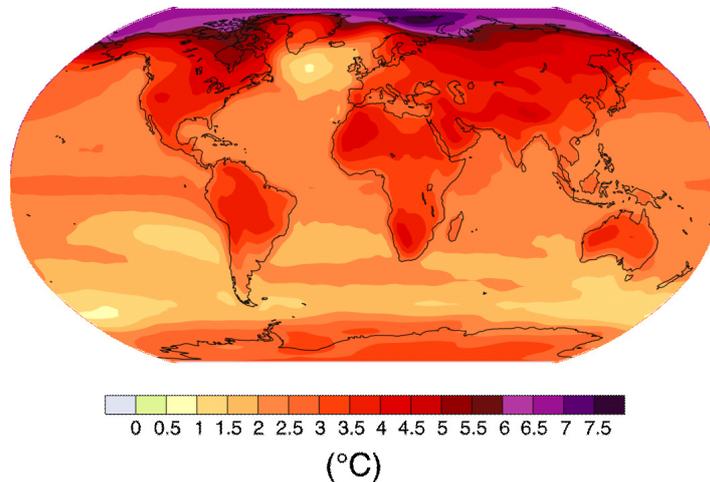
중위도 및 열대의 일부 건조 지역에서는 감소할 것이 상당히 신뢰할만하다. 또한, 대다수의 반건조 지역(예: 지중해 유역, 미국 서부지역, 남아프리카, 브라질 북동부)은 기후변화로 인해 수자원 감소 문제를 겪을 것이다. {3.3.1; 그림 3.5}

**TAR 이후의 연구들을 통해, 기후변화의 다양한 양과 속도에 관한 영향의 시기와 강도를 좀더 체계적으로 이해할 수 있게 되었다.** {3.3.1, 3.3.2}

그림 SPM.7은 이 새로운 정보를 활용할 다양한 시스템 및 부문의 예를 보여준다. 맨 위 칸은 온도변화의 증가에 따라 증가하는 영향을 나타내며 그 예상 규모 및 시기 역시 발달 경로(아래 칸)의 영향을 받는다. {3.3.1}

서로 다른 지역에 대한 영향 예측은 표 SPM.2에 나타난다.

### 지표 온난화의 지리적 패턴

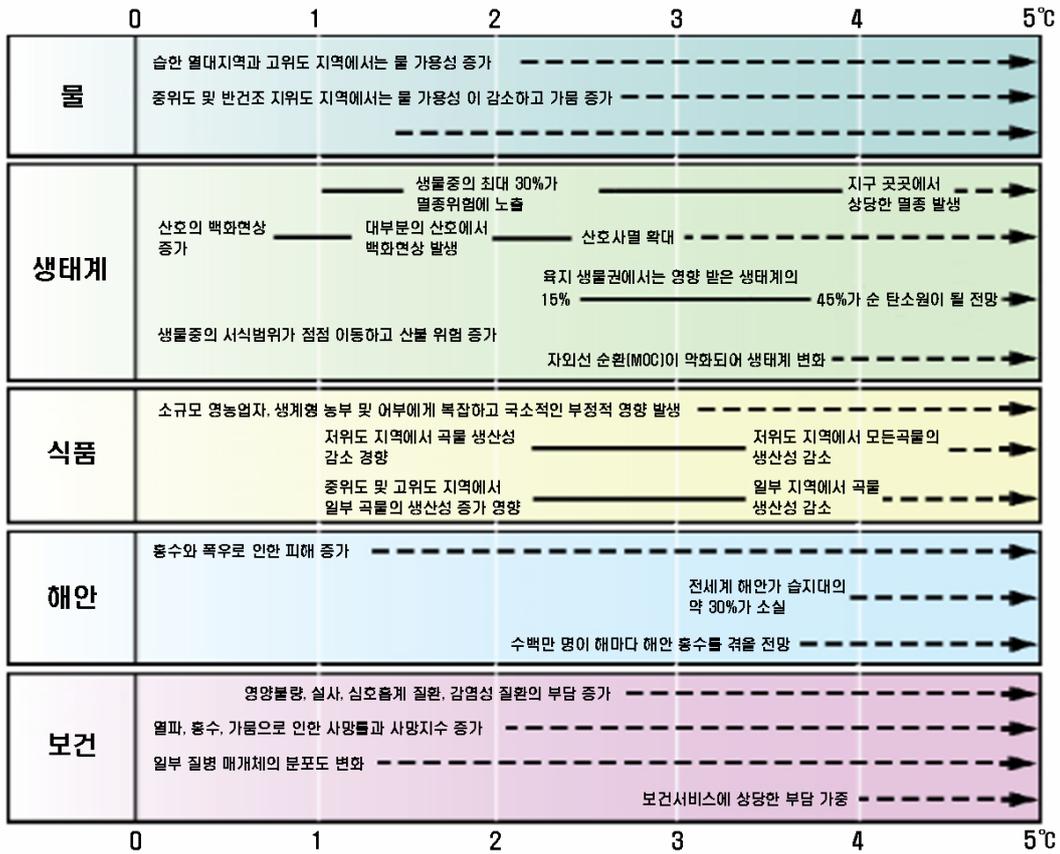


**그림 SPM.6.** 21세기 후반(2090-2099년)의 지표온도 변화 예측도. 이 지도는 A1B SRES 시나리오에 대한 다중-AOGCM 평균 예측결과를 나타낸다. 모든 온도는 1980-1999년 온도를 기준으로 하였다. {그림 3.2}

### 지구 평균 온도변화와 관련된 영향의 예

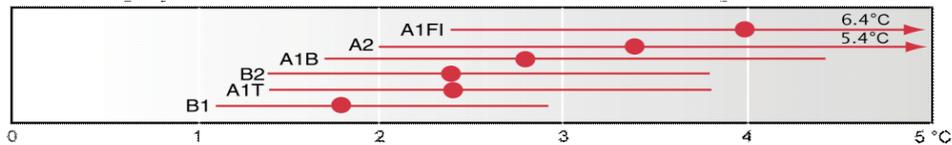
(영향은 적응 정도, 온도변화 속도, 사회경제적 경로에 따라 다름)

1980~1999년 대비 지구 평균 연간 기온변화량(°C)



†: 여기서 '상당한'은 40% 이상을 뜻함. ‡: 2000~2080년 평균 해수면 상승 속도 4.2 mm/yr에 근거함

### 비(非)완화 시나리오에 근거한 1980~1999년 대비 2090~2099년까지의 온난화



**그림 SPM.7.** 지구 평균 지표 온난화 반영시의 영향. 맨 윗줄은 21세기 지구 평균 지표온도의 증가량 차이와 관련한 기후변화 (및 관련 해수면과 대기 CO<sub>2</sub> 농도)의 전 세계적 영향이 반영된 도식이다. 검은색 선은 영향이 계속된다는 뜻이며, 점선은 온도 증가와 함께 영향이 계속됨을 뜻한다. 항목들은 문자 왼쪽에 위치하여 해당 영향이 시작되는 대략적 온난화 수준을 나타낸다. 물 부족과 홍수에 관한 양적 항목은 SRES 시나리오 A1FI, A2, B1, B2에 반영된 조건과 관련한 기후변화의 추가적인 영향을 나타낸 것이다. 기후변화에 대한 적응온도는 이 예측에 적용되지 않았다. 모든 예측의 신뢰구간은 높다. 하단의 도표: 점과 막대는 6가지 SRES 시나리오에서 1980~1999년 대비 2090~2099년의 온난화 예상 범위와 최적 추정치를 나타낸다. {그림 3.6}

표 SPM.2. 일부 지역의 영향 예측. {3.3.2}

<p><b>아프리카</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2020년까지 7천 5백만 명~2억 5천만 명이 기후변화로 인한 물 부족 스트레스 증가를 겪을 것으로 예측된다.</li> <li>2020년까지 일부 국가에서 천수답 농사의 수확고가 최대 50% 감소될 수 있다. 아프리카 여러 나라에서는 식품 공급을 비롯해 농산물 생산량이 심각하게 감소될 것으로 예측된다. 이는 식량확보에 대한 부정적 영향과 영양불량을 한층 악화시킬 것이다.</li> <li>21세기 말까지, 해수면 상승 예상값은 인구가 많은 해안가 저지대에 영향을 줄 것이다. 적응 비용은 적어도 국내 총생산(GDP)의 5~10%에 달할 것이다.</li> <li>2080년까지 기후 시나리오(TS) 범위 하에 아프리카의 건조 및 반건조 지대가 5~8% 증가할 것으로 예측된다.</li> </ul>
<p><b>아시아</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2050년까지 중앙아시아, 남아시아, 동아시아, 동남아시아에서 특히 큰 강의 부근에서는 사용 가능한 담수가 줄어들 것으로 예측된다.</li> <li>남아시아, 동아시아, 동남아시아의 해안지역, 특히 인구가 과밀한 메가델타(megadelta) 지역에서는 바닷물 범람이 증가하고 일부 메가델타 지역에서는 강물 범람이 증가하여 최대의 위협에 직면할 것이다.</li> <li>기후변화로 인한 급속한 도시화 및 산업화, 그리고 경제 성장에 따른 자연자원 및 환경에 대한 압박이 복합될 것으로 예측된다.</li> <li>물 순환의 변화 예측으로 미루어 동아시아, 남아시아, 서남아시아 내에 주로 홍수 및 가뭄과 관련한 실사병으로 인해 풍토병 사망률과 사망자 수가 증가할 것으로 예상된다.</li> </ul>
<p><b>호주와 뉴질랜드</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2020년까지 Great Barrier Reef와 Queensland Wet Tropics를 비롯한 생태계 풍부 지역에서 생물다양성이 상당히 소실될 것으로 예측된다.</li> <li>2030년까지 물 확보 문제가 호주 남부 및 동부, 뉴질랜드, 노스랜드(Northland), 그리고 그 밖의 일부 동부 지역에서 악화될 것으로 예측된다.</li> <li>2030년까지 농림산물 생산량이 가뭄과 화재 증가로 인해 호주 남부 및 동부, 뉴질랜드 동부 일부 지역에서 감소될 것으로 예측된다. 그러나 뉴질랜드 일부 지역에서는 초기에 혜택이 있을 것으로 예측된다.</li> <li>2050년까지 호주와 뉴질랜드 일부 지역의 지속적 해안 발달과 인구 증가가 해수면 상승 및 염분 증가, 폭우와 해안 범람 빈도의 증가로 인한 위협을 악화시킬 것으로 예측된다.</li> </ul>
<p><b>유럽</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기후변화는 유럽의 자연자원 및 자산의 지역적 차이를 확대시킬 것으로 예상된다. 부정적 영향에는 내륙 돌발홍수 위험 증가, 해안홍수 빈도 증가, 침식 증가(폭풍우와 해수면 상승으로 인한)가 있을 것이다.</li> <li>산악지역은 빙하 퇴각, 적설량 및 겨울 관광객 감소, 광범위한 생물 종 소실(높은 배출량 시나리오에 따르면 2080년까지 일부 지역에서는 최대 60%)에 직면할 것이다.</li> <li>남부 유럽에서는 기후변화로 인해 이미 기후 다양성에 취약한 지역의 상태(고온과 가뭄)가 악화되고, 가용한 물, 수력발전 가능성, 여름 관광객, 그리고 전반적인 작물 생산량이 감소될 것으로 예측된다.</li> <li>기후변화는 열파로 인한 건강 위협과 산불 빈도도 증가시킬 것으로 예측된다.</li> </ul>
<p><b>라틴 아메리카</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>금세기 중반까지는 온도 상승 및 그와 관련된 토양 수분의 감소로 인해 아마존 동부 지역에서 열대 우림이 점차 초원화될 것으로 예측된다. 반건조 식생은 건조 식생으로 대체되는 경향이 있을 것이다.</li> <li>열대 라틴 아메리카의 많은 지역에서 종의 멸종이 일어나 생물다양성이 소실될 위험이 크다.</li> <li>일부 중요 작물의 생산량과 가축 생산성이 감소하면서 식량확보에 부정적 결과를 불러올 것으로 예측된다. 온대지역에서는 콩류 생산량이 증가할 것이며, 전반적으로 기아 위험에 처한 사람의 수가 증가할 것이다(TS: <i>중간장도의 신뢰도</i>).</li> <li>강수 패턴의 변화와 빙하 소실은 인간이 사용할 물, 농업용수, 에너지 생산에 필요한 물의 양에 상당한 영향을 줄 것으로 예측된다.</li> </ul>
<p><b>북아메리카</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>서부 산악지역의 온난화는 눈으로 덮인 들판(snowpack) 감소, 겨울철 홍수 증가, 여름철 홍수 감소를 유발하여 과다 배분된 수자원 경쟁을 악화시킬 것으로 예측된다.</li> <li>금세기 초반 몇 십 년 동안에는 적당한 기후변화가 천수답 농사의 총 생산량을 5~20% 증가시킬 것으로 예측되나 지역에 따라 차이가 클 것이다. 적정 범위의 온난 한계에 가까운 작물이나 수도 시설에 많이 의존하는 작물이 주로 영향 받을 것으로 예측된다.</li> <li>금세기 중에, 현재 열파를 겪고 있는 도시들에서는 열파의 발생횟수, 강도 및 지속기간이 더욱 증가될 것이고 그로 인해 건강에 부정적 영향도 생길 가능성이 있는 것으로 예측된다.</li> <li>해안 도시 및 거주지는 발전 및 오염과 상호 작용하는 기후변화 영향에 의해 스트레스가 점점 심해질 것이다.</li> </ul>
<p><b>극지방</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>예측되는 주요 생물리학적(biophysical) 결과는 철새, 포유류, 고등 포식자를 비롯해 많은 생물체에 대한 결정적 영향을 동반하면서 빙하, 빙상과 해빙의 두께 및 범위가 감소되고 자연 생태계에 변화가 일어나는 것이다.</li> <li>북극지방 공동체의 경우, 눈 및 얼음 상태의 변화로 인한 영향들이 복합적으로 작용할 것으로 예측된다.</li> <li>기반시설 및 자생적 생활방식에 대한 영향이 결정적일 것이다.</li> <li>북극 및 남극지역에서는 생물 종 침입을 막을 기후 장벽이 저위도로 하강함에 따라 해당 생태계와 서식지가 취약해질 것으로 예상된다.</li> </ul>

<b>작은 섬들</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해수면 상승은 범람, 폭우 급습, 침식, 그 외 해안 유해요소를 악화시켜 중요한 기반시설, 거주지, 섬 주민들의 거주 환경 편의 시설들을 위협할 것으로 예측된다.</li> <li>• 해변 침식과 산호 백화를 통한 해안 상태의 악화는 지역 자원에 영향을 줄 것으로 예상된다.</li> <li>• 금세기 중반까지는 기후변화로 인해 카리브해와 태평양 등의 작은 섬들이 수자원 부족을 겪을 것으로 예상되며 갈수기 동안의 물 수요를 충족하기에 부족한 수준으로 예상된다.</li> <li>• 중위도 및 저위도 내륙에서는 기온이 높아질수록 비토착 생물종의 침입이 증가될 것으로 예상된다.</li> </ul>
--------------	---

Notes:

명확히 언급한 경우를 제외하면, 모든 항목은 WG II SPM에 기술된 것으로 신뢰도가 높거나 신뢰도 높은 진술이며, (농업, 생태계, 물, 해안, 보건, 산업, 거주지 등의) 여러 분야를 반영하고 있다. WG II SPM은 진술의 출처, 일정, 온도를 다룬다. 궁극적으로 실현될 영향의 규모와 시기는 기후변화의 양과 속도, 배출 시나리오, 발달 경로, 적응에 따라 달라질 것이다.

기후변화에 특별히 영향 받을 가능성이 높은 시스템 및 부문, 지역도 있다.<sup>12)</sup> {3.3.3}

시스템과 부문: {3.3.3}

- 특정 생태계
  - 육지: 온난화 민감성으로 인한 툰드라, 아한대 산림 및 산악 지대 강수량 감소로 인한 지중해성 생태계, 강수량 감소로 인한 열대 우림
  - 해안: 다중적 스트레스로 인한 맹그로브와 염분성 습지(salt marsh)
  - 해양: 다중적 스트레스로 인한 산호초 온난화 민감성으로 인한 해빙 생물군계(sea ice biome)
- 강수량 및 증발량의 변화로 인한 중위도 건조지역<sup>13)</sup>과 건조한 열대지역 내 수자원, 눈과 얼음 녹은 물에 의존하는 지역 내 수자원
- 저위도 지역의 농사: 사용 가능한 물 감소
- 저지대 해안 시스템: 해수면 상승의 위협과 극단적 기상으로 인한 위험 증가
- 인간 보건: 적응능력이 낮은 사람들의 보건 지역: {3.3.3}
- 북극: 자연계와 인간사회에 대해 예측되는 고속 온난화 영향
- 아프리카: 낮은 적응능력과 기후변화 영향
- 작은 섬: 추정되는 기후변화 영향에 인구와 기반시설이 상당히 노출
- 아시아 및 아프리카의 메가델타 지역: 인구과다, 해수면

상승 및 폭우 급습, 강물 범람에 대한 노출

유입이 많은 지역을 비롯해 다른 지역에도 몇몇 사람들(빈곤층, 소아, 노인)과 지역, 활동이 특별히 위협에 노출되어 있을 수 있다. {3.3.3}

**해양 산성화**

1750년 이래 인위적으로 발생한 탄소는 바다를 더욱 산성화시켜 해수의 pH가 평균 0.1 감소하였다. 대기 중 CO<sub>2</sub> 농도의 증가로 인해 해수는 더욱 산성화 되었다. SRES 시나리오에 근거한 예측에 의하면 21세기 동안 평균 지표면 해수의 pH는 0.14~0.35 감소될 것이다. 관측된 해양 산성화가 해양 생물권에 미치는 영향은 아직 공식적으로 발표되지 않았으나 해양의 점진적 산성화는 해양 갑각류(예: 산호)와 이에 의존하는 생물들에게 부정적 영향을 끼칠 것으로 예상된다. {3.3.4}

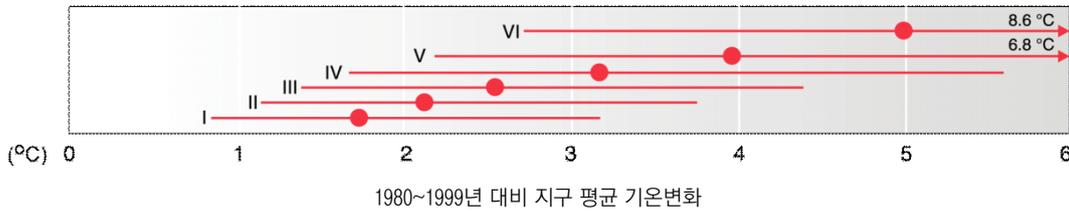
**해수면 상승과 더불어 극단적 기상의 발생빈도 및 강도의 변화는 자연계와 인간계에 대체로 부정적인 영향을 끼칠 것으로 예상된다. {3.3.5}**

극단적 현상과 부문별로 선정된 예를 표 SPM.3에 나타냈다.

12) 이 가능성은 평가된 문헌들에 대한 전문가의 견해를 근거로 하였으며 기후변화의 규모와 시기 및 예상 속도, 그리고 민감도 및 적응 능력을 고려한 것이다.

13) 건조 및 반건조 지역 포함

AR4 안정화 범주(카테고리) 별로 예상된 1980~1999년 대비 장기적 온난화(수백 년)



**표 SPM.8.** AR4 WG III의 6가지 안정화 범주(표 SPM.6.)에 대해 예상되는 장기적 온난화(수백 년). 산업화 이전 시대와 1980~1999년 기간 사이의 온난화를 대략적으로 보정하기 위해 온도 범위는 표 SPM.3에 비해  $-0.5^{\circ}\text{C}$  이동했다. 가장 안정된 수준의 경우, 지구 평균 기온은 1~2세기에 걸쳐 평형수준에 도달할 것이다. 2100년까지 SRES B1과 A1B (600 ppm과 850 ppm,  $\text{CO}_2$ 상당 기준 범주 IV와 V)와 비슷한 수준에서 온난화가 안정화 될 것이라는 온실가스 배출 시나리오의 경우, 평가된 모델들은 기후 민감도를  $3^{\circ}\text{C}$ 로 가정하여 추정된 지구 평균 기온상승의 약 65~70%가 안정화 시점에서 실현될 것이라고 예측한다. 훨씬 더 낮은 안정화 시나리오(범주 I과 II, 그림 SPM. 11)의 경우에는 평형 온도에 더 일찍 도달할 수도 있다. {그림 SPM.3.4}

**표 SPM.3.** 21세기 중후반까지의 예측을 근거로 한, 극단적 기상 및 기후 변화에 따른 예상 영향. 여기에서 적응능력의 변화나 발달은 고려되지 않았다. 두 번째 열은 첫 번째 열의 현상이 발생할 가능성에 대한 추정이다. {표 3.2}

현상과 추세	SRES 시나리오를 사용한 21세기 향후 예측 추세가 실현될 가능	부문별 주요 예측 영향			
		농업, 임업, 생태계	수자원	보건	산업, 거주지, 사회
대부분의 육지 지역에서 추운 낮과 밤은 따뜻해지고 그 발생 빈도는 적어질 것이며, 더운 낮과 밤은 더 더워지고 더 빈번하게 발생할 것이다	사실상 확실 <sup>b</sup>	추운 지역에서 생산량 증가, 따뜻한 지역에서 생산량 감소, 해충 출몰 증가	해빙에 의존하는 수자원에 영향, 일부 물 공급에 영향	추위 노출 감소로 인해 인간의 사망률은 감소.	난방을 위한 에너지 수요는 감소, 냉방 에너지 수요는 증가, 도시의 공기질 악화, 눈과 얼음으로 인한 수송 곤란은 감소, 겨울철 관광에 영향
온난기/열파. 대부분의 육지 지역에서 빈도가 증가할 것이다.	가능성 높음	열 스트레스로 인해 따뜻한 지역의 생산량 감소, 산불위험 증가	물 수요 증가, 수질 문제 증가(조류 발생)	특히 노인과 만성질환자, 영아, 사회적 고립자의 더위 관련 치사위험 증가	따뜻한 지역의 노숙자 및 무주택자는 삶의 질 악화, 노인과 영아, 빈곤층에 대한 영향
폭우. 대부분의 지역에서 빈도가 증가할 것이다.	가능성 높음	작물 피해, 토양 침식, 토양의 물 막힘으로 인한 토지 경작 불능	수질에 부정적 영향, 급수 오염, 물 부족은 완화될 수도 있음	사망 및 상해 위험 증가, 감염성, 호흡성 및 피부 질환 위험 증가	홍수로 인해 거주지, 상업, 운송, 사회의 단절, 도시 및 사물 기반시설의 곤경, 자산 손실
가뭄을 겪는 지역이 증가할 것이다.	가능성 있음	토지 황폐화, 생산량 감소/작물 피해 및 실패, 가축류 사망 증가, 산불위험 증가	물부족, 스트레스 확대	식품과 물 부족 위험 증가, 영양불량 위험 증가, 수인성 및 식중독 질환의 위험 증가	거주지, 산업, 사회에 물 부족, 수력발전 가능성 감소, 인구 이주 가능성
강력한 열대성 저기압 활동이 증가할 것이다.	가능성 있음	작물 피해 바람에 쓰러지는 수목(뿌리 드러남); 산호초 피해	물 공급 중단을 유발하는 정전	사망, 상해, 수인성 질환, 식중독 질환의 위험 증가; 외상 후 스트레스 질환	홍수와 강풍에 의한 단절, 민간 보험사의 취약지역 보험 적용 철수, 인구 이주 가능성, 재산 손실
극단적인 해수면 상승의 발생빈도가 증가할 것이다(쓰나미 제외) <sup>c</sup>	가능성 있음 <sup>d</sup>	관개용수, 강어귀 및 담수계의 염수화	염수 유입으로 인해 담수 가용성 감소	홍수에 의한 사망과 상해 위험 증가, 이민 관련 건강 영향	해안보호 비용 대 토지용도 재배치 비용, 인구 및 기반시설 이동 가능성, 앞의 열대성저기압 관련 내용을 참고할 것

Notes:

- a) 정의에 관한 세부 내용은 WG I 표 3.7을 참고할 것.
- b) 매년 가장 극단적인 낮과 밤의 온난화
- c) 극단적인 해수면 상승은 평균 해수면과 지역 기상체계에 달렸다. 일정 기간 동안 한 지점에서 관측된 시간당 해수면의 상위 1%로 정의된다.
- d) 모든 시나리오에서, 2100년도의 예측 지구 평균 해수면은 기준기간(WG I 10.6)의 그것보다 높다. 지역 기상체계의 변화가 해수면 극단치에 미치는 영향은 아직 평가되지 않았다.

**인위적 온난화 및 해수면 상승은 온실가스 농도가 안정된다 하더라도 기후 과정 및 피드백에 따른 기간으로 인해 수세기 동안 계속될 것이다. {3.2.3}**

AR4 WG III 6가지 범주에 대응하는 장기적(수백 년) 온난화 예상을 그림 SPM.8에 나타내었다.

그린란드 빙상 감소는 2100년 이후에도 해수면 상승에 계속 기여할 것이라고 예측된다. 현재의 모델들은 만약 지구 평균 온난화가 산업화 이전 시대보다 1.9~4.6°C 높은 상태로 1천년 동안 지속된다면 그린란드 빙상은 사실상 완전히 제거될 것이고 결과적으로 해수면은 약 7 m 상승될 것이라고 암시한다. 이 때의 그린란드 기온은 12만 5천년 전 마지막 간빙기에 대해 추정된 온도와 비슷하게 추정된다. 지질시대 고기후 정보는 마지막 간빙기에 극지방 얼음 범위가 감소하고 해수면이 4~6 m 상승했을 것이라고 암시한다. {3.2.3}

현재의 글로벌 모델 연구들은, 강설량 증가로 인해 남극의 빙상이 폭넓게 표면을 녹여 질량을 획득하기에는 너무 차가울 것으로 예측한다. 그러나 극적인 얼음 배출이 빙상 질량수지를 좌우한다면 얼음 질량의 순 손실이 발생할 수도 있다. {3.2.3}

**인위적 온난화는 기후변화의 속도 및 규모에 따라 돌발적이거나 복구 불가능한 영향을 일으킬 수도 있다. {3.4}**

극지방 빙상의 부분적 손실은 수 미터에 달하는 해수면 상승, 해안선 변화 및 저지대 침수를 유발할 수 있으며, 삼각주 지역과 저지대 섬들에게 막대한 영향을 동반한다. 그런 변화는 1천 년이라는 기간에 걸쳐 발생할 것으로 예측되지만 1백 년이라는 기간에 걸친 더 빠른 해수면 상승도 배제할 수는 없다. {3.4}

기후변화는 복구 불가능한 영향을 일으킬 가능성이 있다. 만약 지구 평균 기온상승이 1.5~2.5°C(1980~1999년 대비)를 초과한다면 지금까지 평가된 생물 종의 대략 20~30%는 멸종위험이 증가될 것이라는 확신이 충분하다. 모델들의 예측에 의하면 지구 평균 기온상승이 약 3.5°C를 초과할 때는 지구 전체에서 상당한 멸종(평가

된 생물 종의 40~70%)이 발생할 것이다. {3.4}

현재의 모델 시뮬레이션에 근거하면, 대서양의 자오선 순환(MOC)은 21세기에는 매우 느려질 가능성이 높다. 그렇더라도 대서양과 유럽의 기온은 증가할 것으로 예측된다. MOC가 21세기에 대규모 돌발적 변이를 겪을 가능성은 낮으며, 장기적 MOC의 변화는 확신 있게 평가할 수가 없다. MOC의 지속적인 대규모 변화의 영향에는 해양 생태계 생산성의 변화, 어종, 해양의 CO<sub>2</sub> 흡수, 수중 산소 농도, 육지 식생의 영향이 포함될 가능성이 있다. 육지 및 해양의 CO<sub>2</sub> 흡수 변화는 기후시스템에 피드백을 줄 수 있다. {3.4}

#### 4. 적응과 완화의 선택 14)

**다양한 적응 선택이 이용 가능하지만 기후변화 취약성을 줄이기 위해서는 현재보다 더 광범위한 적응이 필요하다. 장벽, 한계, 비용 문제가 존재하지만 완전히 파악되지는 않았다. {4.2}**

인류는 기상과 기후에 관련된 것들의 영향을 관리한 오랜 경험이 있다. 그렇더라도 예상되는 기후 변화와 기후 가변성의 부정적 영향을 줄이기 위해서는 다음 20~30년에 걸쳐 취해질 완화 규모에 상관없이 추가적 적응 대책이 필요하다. 더욱이 기후변화에 대한 취약성은 다른 스트레스에 의해 악화될 수 있다. 이런 스트레스들은 현재의 기후 유해요소, 빈곤, 불공평한 자원 분배,

식량비 확보, 경제적 세계화 추세, 갈등, 질병(HIV/AIDS 등) 등에서 생긴다. {4.2}

이미 기후변화에 대한 일부 적응계획이 진행 중이다. 적응은 더 넓은 부문별의 이니셔티브에 포함되면 취약성을 줄일 수 있다(표 SPM.4). 일부 부문별에서 낮은 비용 혹은 비용 대비 높은 효과(높은 CBR)로 이행될 수 있는 중요한 적응옵션들이 있다는 강한 확신이 있다. 그러나 적응에 소요될 전 세계적 비용 및 이익에 대한 포괄적 추산에는 한계가 있다. {4.2, 표 4.1}

14) 이 섹션은 적응과 완화를 따로 다루고 있지만, 이 두 가지는 서로 보충적일 수 있다. 이 주제는 5절에서 살핀다.

**적응능력은 사회적, 경제적 발전과 긴밀히 관련되어 있고 사회 전체적으로 균등하지 않다. {4.2}**

다양한 장벽 때문에 적응 대책의 이행과 효과가 제한된다. 적응 능력은 역학적이며, 자연자본 자산과 인위적 자본 자산, 사회적 네트워크 및 권리, 인적 자본과 제도, 정부, 국민 소득, 건강, 기술 등을 비롯한 사회의 생산력 기반의 영향을 받는다. 적응 능력이 높은 사회조차도 기후의 변화와 다양성 및 극단에 취약하다. {4.2}

**상향식 연구나 하향식 연구 모두, 다음 10년 동안 지구 전체 온실가스 배출을 완화시키기 위한 실질적인 경제적 잠재력(economic potential), 즉 예측된 전 세계 배출량 증가를 상쇄하거나 배출량을 현재 수준보다 감소시킬 수 있는 잠재력에 대한 의견이 일치하고 있으며 그에 대한 여러 증거가 있다 (그림 SPM.9, SPM.10).<sup>15)</sup> 하향식 연구와 상향식 연구는 전 세계적 차원에서는 일치하지만 (그림 SPM.9) 부문별 차원에서는 상당한 차이가 있다. {4.3}**

한 가지 기술만으로는 어느 한 개 부문에서도 완화 잠재력의 전부를 제공하지 못한다. 이 경제적 완화 잠재력은 일반적으로 시장의 완화 가능성보다 크며 적절한 정책이 실행되고 장벽이 제거될 때에만 달성될 수 있다 (표 SPM.5). {4.3}

상향식 연구들에 의하면, 순 비용이 적자가 되는 완화 기회는 2030년 안에 배출량을 약 6 GtCO<sub>2</sub>-상당/yr 감소시킬 잠재력이 있으며 이행 장벽을 제거할 필요가 있다. {4.3}

2005~2030년에 20조 US\$<sup>16)</sup>를 초과할 것으로 예상되는 미래 에너지 기반시설 투자 결정은 장기 발전소와 기타 기반시설 주식자본 때문에 온실가스 배출에 장기적 영향을 끼칠 것이다. 저탄소 기술은 비록 이 기술에 대한 조기투자가 매력적이게 되더라도 폭넓게 확산되는 데는 수십 년이 걸릴 수 있다. 초기 추정치에 따르면, 2030년까지 전 세계 에너지 관련 CO<sub>2</sub> 배출량을 2005년 수준으로 되돌리는 데는 5~10%까지의 무시할만한 순 추가 투자가 필요하긴 하지만 투자 패턴을 크게 바꿔야 할 필요가 있다. {4.3}

**정부가 완화조치의 인센티브를 창출하는 데 이용할 수 있는 다양한 정책과 도구가 있다. 그것들의 적용성은 국가가 처한 환경과 부문별 상황에 달렸다(표 SPM5). {4.3}**

이것은 더 다양한 발전정책, 규제와 기준, 세금과 부과금, 거래 허가, 재정 인센티브, 자발적 동의, 정보 도구, 연구, 개발과 입증(RD&D)에 기후정책을 짜깁기 하는 것을 포함한다. {4.3}

15) "완화 잠재력(mitigation potential)"이란 일정 수준의 탄소 가격(CO<sub>2</sub>-상당으로 완화해야 할 단위 배출량 당 비용)으로 배출량 베이스라인(baselines, 기준 배출량) 대비 달성 가능한 온실가스 완화 규모를 평가하기 위한 개념이다. 완화 잠재력은 "시장의 완화잠재력(market mitigation potential)"과 "경제적 완화 잠재력(economic mitigation potential)"으로 세분화 된다.

**시장의 완화 잠재력:** 민간 비용과 민간 할인율(민간 소비자와 민간 회사의 전망을 반영한)에 기초한 완화 잠재력이다. 이것은 현재 시행 중인 정책과 방안을 비롯해 예상 시장조건 아래서 이루어질 것으로 예상할 수 있는데 장벽 때문에 실제 완화는 제한될 것이다.

**경제적 완화 잠재력:** 시장의 효율이 정책과 대책에 의해 향상되고 장벽이 제거된다는 가정 하에 사회적 비용 및 이득과 사회적 할인율(사회적 전망을 반영한 것 사회적 할인율은 민간 투자자들의 할인율보다 낮다)을 고려한 완화 잠재력이다.

완화 잠재력은 서로 다른 접근법을 사용해서 추산된다. 상향식 연구는 완화 옵션의 평가를 토대로 하고 특정 기술과 규제를 강조한다. 이것들은 전형적으로 거시경제를 불변으로 간주하는 부문별 연구들이다. 하향식 연구는 범경제적 완화옵션 가능성을 평가한다. 이것들은 지구 전체에 일관된 틀/framework)과 완화옵션에 대한 종합정보를 사용해서 거시경제와 시장 피드백을 포착한다.

16) 20 조 = 20,000 x 10억 = 2×10<sup>13</sup>

표 SPM.4. 부문별 적응계획의 예. {Table 4.1}

부문	적응 옵션/전략	정책의 기본	이행 관련 핵심적 제약과 기회 (정서체 = 제약 이태릭체= 기회)
물	천수담 농사 확대; 물 저장 및 보존 기술; 물 재사용; 담수화 물 사용 및 관개의 효율	국가적 물 정책과 수자원 통합관리; 물 관련 유해요소 관리	재정, 인적 자원, 물리적 장벽; 수자원 통합관리; 다른 부문과의 시너지
농업	모내기 날짜 조정과 작물의 다양성; 작물 재배치; 토지관리 개선(예: 나무 심기를 통한 침식 관리와 토양보호)	R&D 정책; 제도 개혁; 토지보유권 및 토지개혁; 교육; 능력함양; 작물보험; 재정적 인센티브(예: 보조금과 세금공제)	기술 및 재정적 제약; 새로운 다양성 접근; 시장; 고위도 지역에서 더 긴 경작철; '신'제품으로부터의 세입
기반시설/거주지 (해안지역 포함)	재배치; 방파제와 폭풍해일 방벽; 모래 언덕 강화; 토지획득과 해수면 상승과 홍수에 대비한 완충지로서 습지/소택지 형성; 기존 자연방벽의 보호	기후변화 고려사항을 설계에 결합하는 기준 및 규정; 토지사용 정책; 건물 규격; 보험	재정 및 기술적 장벽; 재배치 공간의 가용성; 통합 정책 및 관리; 지속 가능한 개발 목표와의 시너지
보건	보건조치 계획; 응급 의료 서비스; 기후민감성 질병 조사 및 제어; 안전한 물과 위생 개선	기후 위험을 인지하는 보건정책; 보건서비스 강화; 지역 및 국제 협력	한정된 인간 내성(취약 집단); 한정된 지식; 재정적 능력; 보건서비스 업그레이드; 삶의 질 개선
관광	여행상품 및 수입원의 다양화; 고위도 지역과 빙하지대로 스키 슬로프 이동; 인공설 제조	통합 계획(예: 수송능력 다른 부문과의 연결); 재정적 인센티브(예: 보조금, 세금공제)	새로운 관광지 홍보/마케팅; 재정 및 물류 관련 도전; 다른 부문별에 대한 부정적 영향 가능성(예: 인공설 제조는 에너지 사용을 증가시킬 수 있음); '신'관광지로부터의 세입 더 넓은 이해관계자 포섭
수송	재편성/재배치; 온난화 및 배수를 위한 도로, 철도, 기타 기간시설의 설계 기준과 기획	기후변화 고려사항을 국가 교통정책에 통합; 특별 상황(예: 영구동토 지역)을 위한 R&D 투자	재정 및 기술적 장벽; 덜 취약한 경로의 가용성; 기술 개선 및 핵심 부문(예: 에너지)과의 통합
에너지	가공 송전선 및 배전 기간시설의 강화; 시설의 케이블 지하 매설; 에너지 효율; 재생 원료 사용; 단독 에너지원 의존도 감축	국가적 에너지 정책, 규제, 회계 및 재정적 인센티브로 대체 에너지원 사용을 촉진; 기후변화를 설계기준에 통합	중요 대안 사용; 재정 및 기술적 장벽; 신기술 수송; 신기술 개발 격려 지역자원 사용

Notes: 많은 부문들이 조기 온난화 시스템을 포함할 것이다.

2030년 전 세계 경제적 완화 잠재력과 예상 배출량 증가의 비교

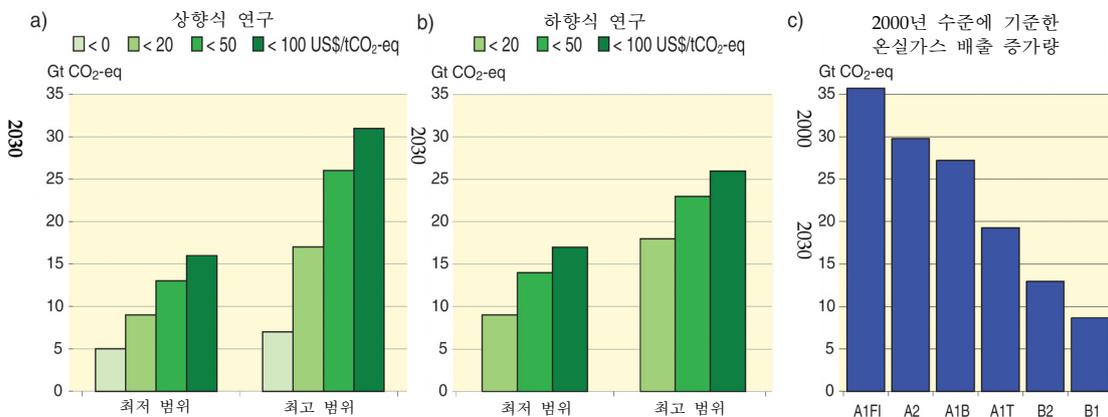


그림 SPM.9. 상향식 연구(a)와 하향식 연구(b)에서 도출된 2030년 전 세계 경제적 완화 잠재력과 2000년도 온실가스 배출량 40.8 Gt(CO<sub>2</sub>-상당) 대비 SRES 시나리오에 따른 예상 배출량 증가(c)의 비교. 비교: 2000년도 온실가스 배출량은 SRES 배출량 결과와 일관성을 유지하기 위해 지상 바이오매스의 분해에 따른 배출량은 제외하였다. 이것들은 벌목 및 벌채된 후에 남아서 토탄 연소 및 토탄 토양의 배수를 통해 기여한다. [그림 4.1]

상향식 연구로부터 추정된 2030년 부문별 경제적 완화 잠재력

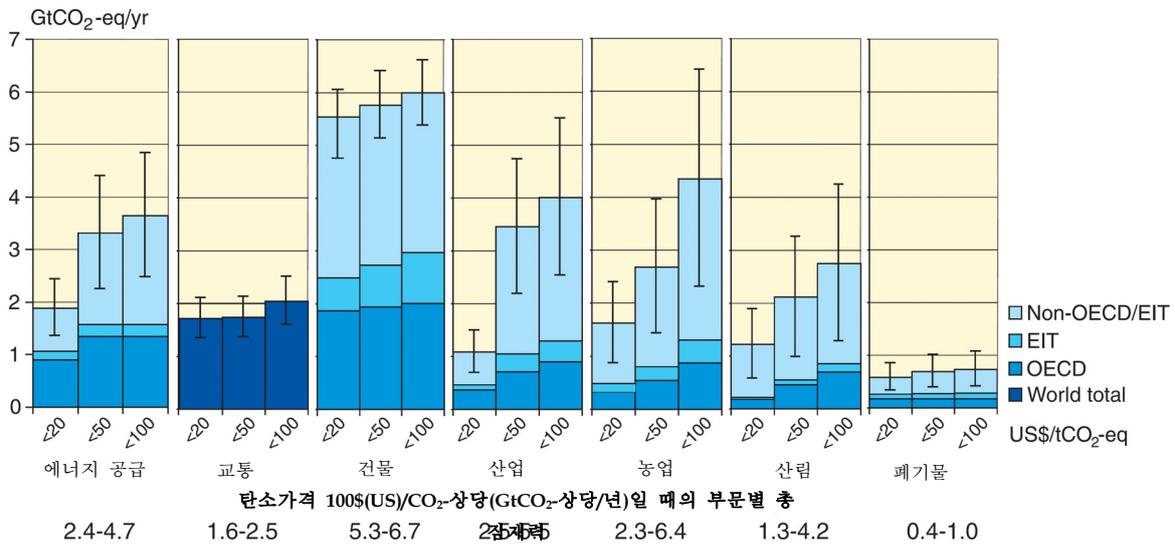


그림 SPM.10. 상향식 연구에서 도출된 2030년 부문별 경제적 완화 잠재력 추정치와 부문 평가에서 가정된 각 베이스라인(baselines, 기준 배출량)과의 비교. 이 잠재력에는 라이프스타일 변화 같은 기술 외적인 옵션은 포함되지 않는다. (그림 4.2)

Notes:

- a) 세로선은 부문 별로 평가된 전 세계 경제적 완화 잠재력의 범위를 나타낸다. 이 범위는 배출량의 최종사용 배치에 기초한다. 즉, 전기의 경우, 전기사용 배출량은 에너지공급 부문에 포함되지 않고 최종사용 부문에 포함된다는 의미다.
- b) 추정된 잠재력은 높은 탄소가격 수준에서는 가용성에 제약을 받았다.
- c) 부문마다 서로 다른 베이스라인을 사용했다. 산업 부문은 SRES B2 베이스라인을, 에너지공급과 수송 부문은 WEO 2004 베이스라인, 빌딩 부문은 SRES B2와 A1B 사이의 베이스라인, 폐기물 부문은 폐기물에 특정한 베이스라인을 구축하기 위해 SRES A1B 추진력을, 농림업 부문은 대부분 B2 추진력을 사용한 베이스라인을 사용했다.
- d) 수송의 경우, 국제 항공이 포함되기 때문에 전 세계적 총계만 제시했다.
- e) 제외된 범주: CO<sub>2</sub>를 배출하지 않는 건물 및 수송수단, 원료효율 옵션의 일부, 에너지 공급에서 열생산과 열병합, 대형화물 차량, 해운, 수송인원이 많은 수송수단, 가장 높은 비용옵션을 사용하는 건물, 폐수처리, 탄광과 가스배관의 배출량 감소, 에너지 공급 및 수송에서 불소함유 가스가이다. 이들 배출량에서 총 경제적 완화 잠재력의 과소평가 는10~15% 수준이다.

효과적인 탄소가격 표시제는 모든 부문에서 상당한 완화 가능성을 실현시킬 수 있다. 모델링 연구에 의하면, 2030년까지 20~80 US\$/tCO<sub>2</sub>-상당으로 상승할 전세계 탄소가격은 2100년까지 약 550 ppm CO<sub>2</sub>-상당으로 안정화될 것이다. 동일한 안정화 수준의 경우, 도입된 기술변화를 통해 이 가격 범위를 2030년 안에 5~65 US\$/tCO<sub>2</sub>-상당까지 낮출 수도 있다.<sup>17)</sup> {4.3}

한 조건 향상)을 가져와 완화비용의 상당 부분을 상쇄할 수도 있을 것이라는 데에 *의견이 일치되고 있으며 그에 대한 여러 증거가 있다.* {4.3}

부속국가 I의 조치는 비록 탄소 누출 범위는 불확실하더라도 전 세계 경제와 전 세계 배출량에 영향을 줄 수 있다는 데에 *의견이 일치되고 있으며 그에 대한 여러 증거가 있다.*<sup>18)</sup> {4.3}

완화 조치는 조만간 공동 이익(예: 대기오염 감소로 인

17) 완화 포트폴리오 연구와 본 보고서에서 산정된 거시경제 비용은 하향식 모델링에 기초한다. 대부분의 모델은 21세기 내내 투명한 시장, 거래비용 무료, 그에 따른 완화대책의 완벽한 이행이라는 가정 하에 완화 포트폴리오에 전 세계 최소 비용 접근법과 함께 보편적 배출량 거래를 사용한다. 비용은 특정 시점의 비용이다. 일부 지역이나 부문(예: 토지용도), 옵션, 또는 가스가 제외되면 글로벌 모델링에서 도출되는 비용은 높아질 것이다. 글로벌 모델링에서 나온 비용은 베이스라인이 낮고, 탄소세와 경매된 허가권에서 나오는 세입이 사용되고, 그리고 도입된 기술의 학습이 포함되는 경우에 감소할 것이다. 이 모델들은 기후 이익을 고려하지 않으며 일반적으로 완화 대책의 공동이익이나 형평성 문제도 고려하지 않는다. 안정화 연구는 도입된 기술 변화에 근거한 접근법을 적용하면서 상당한 진척을 이루었다. 그러나 개념적 문제가 여전히 남아 있다. 도입된 기술 변화를 고려하는 모델들에서는, 주어진 안정화 수준에 필요한 비용이 더 적게 예측된다. 이 비용 감소분은 안정화 수준이 낮을수록 더 크게 나타난다.

표 SPM.5. 주요 부문별 완화 기술, 정책과 조치, 제약과 기회의 예. {표 4.2}

부문	현재 상업적으로 이용가능한 주요 완화 기술과 실행, 2030년 전에 상업화될 것으로 추정되는 주요 기술과 실행은 이탤릭체로 표시.	환경적으로 효과적이 됨을 보여주는 정책, 조치, 도구	주요 제약 또는 기회 (표준 서체 = 제약, 이탤릭체 = 기회)
에너지 공급	향상된 공급과 분배 효율; 석탄에서 가스로 연료 전환; 원자력; 재생가능 열과 동력(수력, 태양열, 바람, 지열, 바이오에너지); 결합된 열과 동력; 이상화탄소 포획과 전장의(Carbon dioxide capture and storage, CCS) 조기 적용 (예: 천연가스로부터 떨어진 CO <sub>2</sub> 의 저장); 가스, 바이오매스, 석탄-연소 발전 시설 등을 위한 CCS; 향상된 원자력; 조수와 파도 에너지, 농축된 태양열, 태양열 광전지 등을 포함하는 향상된 재생에너지	화석연료 보조금 축소; 세금 또는 화석연료에 탄소 사용료  재생가능 에너지 기술을 위한 무료 관세율; 재생가능 에너지 의무; 생산자 보조금	기득 이권에 의한 저항으로 이행이 어려워질 수 있음  <i>저-배출량 기술을 위한 시장을 만드는 데 적절할 수 있음</i>
운송	더 큰 연료-효율 차량; 하이브리드 차량; 무공해 디젤 차량; 바이오연료; 도로수송에서 철도와 대중교통 시스템으로 형태 전환; 모터가 없는 운송 (자전거, 도보); 토지-사용과 운송 기획; <i>2세대 바이오연료; 고효율 항공기; 더 강력하고 믿을 만한 전지를 가진 향상된 전기 하이브리드 차량</i>	도로 운송을 위한 의무적인 연료 절약, 바이오연료 합성, CO <sub>2</sub> 규격  차량의 구입, 등록, 사용, 모터 연료 등에 과세; 도로와 주차 유료화  토지-사용 규제와 인프라 기획 등을 통한 작용 가동성 요구; 매력있는 대중교통 시설과 모터가 없는 교통 형태에 투자	차량의 부분적 범위는 효율성을 제한할 수 있음  효율성은 더 높은 소득에 따라 떨어질 수 있음  <i>운송시스템을 구축하는 국가를 위해 특히 적절</i>
건물	효율적인 조명과 일광; 더 효율적인 전기 기구와 냉난방 장치; 향상된 요리용 렌지; 향상된 단열재료; 냉난방을 위한 수동 및 능동 태양열 설계; 대체 냉각 유체; 불소화 가스의 회수와 재활용; <i>피드백과 제어를 제공하는 인텔리전트 계측기 등과 같은 기술을 포함하여 상업적 건물의 통합 설계; 건물에 통합된 태양열 광전지</i>	기기의 표준화 분류  건물 규약과 인증  수요-측면 관리 프로그램  채용을 포함하여 공공부문의 지도력 프로그램  에너지 서비스 회사를 위한 인센티브(ESCOs)	요구된 규격의 정기적 개정  새로운 건물을 위한 매력. 실행은 어려울 수 있음  시설이 이익이 될 수 있도록 규제를 위한 요구  <i>정부의 구매는 에너지-효율 생산물을 위한 수요를 확대시킬 수 있다.</i>  <i>성공 요소: 제3자의 자금조달에 접근</i>
산업	더 효율적인 최종-용도 전기 설비; 열과 동력 회수; 자재 재활용과 대용품; non-CO <sub>2</sub> 가스 배출 통제; 넓은 배열의 공정-특별 기술; <i>진보된 에너지효율; 시멘트, 암모니아, 철 생산을 위한 CCS; 알루미늄 생산을 위한 불활성 전극</i>	벤치마크 정보 제공; 성과 기준; 보조금; 세액 공제  거래할 수 있는 배출권  자발적 합의	<i>기술 갱신을 자극하기에 적절할 수 있음. 국가 경쟁력 측면에서 중요한 국가 정책의 안전성</i>  투자를 위해 중요한 예측할 수 있는 할당 메커니즘과 안정적인 가격 시그널  성공 인자는 다음을 포함한다: 명확한 목표, 기준선 시나리오, 설계와 검토 그리고 감시의 공식적 제공에서 제3자 참여, 정부와 업계 사이의 긴밀한 협조
농업	토양의 탄소 저장을 향상시키기 위한 향상된 작물과 목초지 관리; 경작된 토탄토양과 저하된 토지의 복구; 향상된 쌀 경작 기술과 CH <sub>4</sub> 배출을 줄이기 위한 가축과 비료 관리; N <sub>2</sub> O 배출을 줄이기 위한 향상된 질소 비료 적용 기술; 화석연료 사용을 대체하기 위한 전용 에너지 작물; 향상된 에너지 효율; <i>작물의 수확량 향상</i>	향상된 토지 관리를 위한 재정 인센티브와 규정; 토양의 탄소 함유량 유지; 비료의 효율적 사용과 관계	<i>지속 가능한 발전 및 기후변화에 대한 취약성을 줄이는 것과 함께 시너지를 장려할 수 있으며, 그에 따라 이행에 대한 장애물 극복</i>

18) 더 자세한 내용은 종합보고서의 제4주제(Topic 4)를 참고한다.

<p><b>산림학/산림</b></p>	<p>조림; 재식림; 산림 관리; 줄어든 산림 파괴; 수확된 목재 생산물 관리, 화석연료 사용을 대체하기 위하여 바이오에너지를 위한 산림 생산물의 이용; <i>바이오매스 생산성과 탄소 분리를 증가시키기 위한 수종 개량; 식물/토양 탄소 분리 잠재력의 분석을 위한 향상된 원격탐사기술 그리고 토지-사용 변화 지도제작</i></p>	<p>산림면적을 증가시키기 위한, 산림 파괴를 줄이기 위한, 삼림을 유지 및 관리하기 위한 재정적 인센티브 (국가적, 국제적); 토지-사용 규정과 실행</p>	<p>제약은 투자 자본의 부족과 토지 소유 문제를 포함한다. <i>빈곤 완화에 도와줄 수 있다.</i></p>
<p><b>폐기물</b></p>	<p>매립지 CH<sub>4</sub> 회수; 에너지 회수와 함께 폐기물 소각; 유기성폐기물 퇴비화; 폐수 처리; 재활용과 폐기물 최소화; <i>CH<sub>4</sub> 산화를 최적화시키기 위한 바이오커버와 바이오필터</i></p>	<p>향상된 폐기물과 폐수 관리를 위한 재정적 인센티브  재생할 수 있는 에너지를 위한 인센티브 또는 의무  폐기물 관리 규정</p>	<p><i>기술 확산을 고무시킬 수 있다</i>  저-비용 연료의 지방 이용가능성  실행전략을 가지고 국가 차원에서 가장 효과적으로 적용</p>

화석연료 수출국(부속국가 I과 부속국가 I에 포함되지 않은 국가들)은 TAR에 설명된 바와 같이 완화정책으로 인해 화석연료의 수요와 가격이 낮아지고 GDP 성장률도 낮아질 것이라고 예상할 수 있다. 이 여파의 정도는 정책 결정과 오일시장 조건에 관한 가정에 크게 좌우된다. [4.3]

생활방식, 행동 패턴, 관리 관례의 변화가 전 부문에 걸쳐 기후변화 완화에 기여할 수 있다는 데 의견이 일치되고 있으며 그에 대한 여러 증거가 있다. [4.3]

국제 협력을 통해 전 세계 온실가스 배출량을 완화하기 위한 많은 옵션이 존재한다. UNFCCC와 그에 따른 교토 의정서(Kyoto Protocol)는 기후변화에 대한 지구적 대응 체제, 일련의 국가 정책에 대한 자극제, 국제 탄소시장 창출, 미래의 완화노력에 기반이 될 수 있는 새로운 제도적 장치라는 데에 *의견을 일치하고 있으며 그에 대한 여러 증거가 있다* UNFCCC 내에서 적용을 다루는데 많은 진척이 있었고 국제적으로 추가 발의가 제안되었다. [4.5]

더 큰 협력 노력과 시장 기능의 확대는 주어진 완화수준을 달성하기 위한 전 세계적 비용을 줄이는 데 도움이 되거나 환경 효과를 개선시킬 것이다. 개선 노력에는 배출량 목표치; 부문별 조치, 지역별 조치, 국가 내 지역적 조치; R&D 프로그램; 공동 정책의 채택; 발전위주의 조치 이행; 재정적 도구의 확대 같은 다양한 요소들이 포함될 수 있다. [4.5]

몇몇 부문에서는 시너지를 실현하고 다른 차원의 지속 가능한 개발과의 상충을 피하기 위해 기후 대응 옵션을 이행할 수도 있다. 거시경제와 그 외 기후 외적 정책에 관한 결정은 배출량, 적응능력, 취약성에 상당한 영향을 줄 수 있다. [4.4, 5.8]

좀더 지속 가능한 개발을 추구한다면 완화 능력과 적응 능력을 강화시킬 수 있고 배출량을 줄이고 취약성을 줄일 수는 있지만 이행하는 데는 장벽이 있을 수 있다. 반면에, 기후변화는 지속 가능한 개발을 향한 전진 속도를 늦출 가능성이 높다. 다음 반세기 동안 기후변화는 천년 발전 목표(Millennium Development Goals)의 달성을 저해할 수도 있을 것이다. [5.8]

## 5. 장기적 전망

UNFCCC 제 2조에서 "기후시스템에 대한 인간의 위협한 간섭"의 구성요소를 분석하는 일은 가치 판단을 요한다. 과학은 어떤 취약성이 "핵심"으로 간주될 수 있는가를 판정하는 기준이 되며 이 문제에 대한 정보에 입각하여 결정을 내릴 수 있도록 뒷받침해 줄 수 있다. {제5주제의 박스 '핵심 취약점과 UNFCCC 제 2조'}

핵심 취약성<sup>19)</sup>은 식량공급, 기반시설, 보건, 수자원, 해안 시스템, 생태계, 전 세계 바이오 지구화학적 순환 (biogeochemical cycle), 빙상, 해류순환 방식, 대기순환 방식을 비롯한 기후에 민감한 시스템과 관련이 있을

19) 핵심 취약성은 영향의 규모, 시기, 지속성/역전가능성, 적응 가능성, 분포 특성, 발생가능성, '중요도'를 비롯해 문헌상의 수많은 기준에 기초해서 파악할 수 있다.

수 있다. (제5주제의 '핵심 취약점과 UNFCCC 제 2조')

TAR에서 확인된 "우려할 이유" 5가지는 핵심 취약성을 고려하기 위한 중요한 틀로 남아 있다. 이 "이유" 들은 TAR 에서 보다 본 보고서에서 더 강력한 것으로 평가 되었다. 많은 위험요소들이 보다 확실하게 확인되었다. 일부 위험요소는 온도상승이 둔화될수록 더 커지거나 더 발생할 것으로 예측되었다. 영향(TAR의 "우려할 이유"의 근거)과 취약성(영향에 적응하는 능력을 포함) 간의 관계에 대한 이해도가 향상되었다. (5.2)

이것은 시스템, 부문 및 지역을 특별히 취약하게 만드는 환경이 더 명확히 파악된 데에 그 원인이 있으며, 몇 백 년에 걸친 매우 큰 영향의 위험을 증명하는 증거들이 많아진 데에도 그 원인이 있다. (5.2)

- **특이하고 위협 받는 시스템에 대한 위협.** 기후변화가 특이하고 취약한 시스템(예: 극지방과 높은 산악 지대의 공동체 및 생태계)에 미치는 관측된 영향들에 대한 새롭고 강력한 증거들이 존재하며, 온도가 증가할수록 부정적 영향의 수준도 증가하였다. 온난화가 진행될수록 생물 종의 멸종 위험과 산호초의 파괴 위험도 증가한다는 것이 TAR에서 보다 더 확실하게 예측되었다. 지구 평균 온도상승이 1980~1999년 대비 1.5~2.5℃를 초과한다면 지금까지 평가된 동식물 종의 약 20~30%에 대한 멸종위험이 증가할 가능성이 높다. 지구 평균 기온이 1990년 수준보다 1~2℃ 높아지면(산업화 이전보다 약 1.5~2.5℃ 상승) 생물 다양성이 존재하는 특이하고 위협 받는 많은 시스템에 상당한 위협을 가할 것이라는 확실성은 더욱 높아진다. 산호초는 열 스트레스에 취약하여 적응능력이 낮다. 따라서 해수면 온도가 약 1~3℃ 상승하게 될 경우 산호들이 열 적응이나 열 순응을 하지 않는 한 산호 백화현상과 넓은 지역에서 폐죽음이 더 자주 발생할 것으로 예측된다. 남극지역과 작은 섬들의 원주민 공동체에서도 온난화 취약성이 증가 될 것으로 예측된다. (5.2)

- **극단적 기상현상의 위협.** 최근의 극단적 기상현상에 대한 반응은 TAR보다 더 높은 수준의 취약성을 보여준다. 가뭄, 열파, 홍수는 물론 이들의 부정적 영향이 증가할 가능성이 높다. (5.2)

- **영향과 취약성의 분포.** 지역 간에 뚜렷한 편차가 존재하고, 경제적 입지가 가장 약한 지역이 기후변화에 가장 취약한 경우가 많다. 개도국은 물론 선진국에서도 빈곤층과 고령자 같은 특정 집단의 취약성이 더 크다는 증거가 많아지고 있다. 더욱이 건조지역이나 메가델타 지역 같은 저위도 지역과 개발이 덜 된 지역은 일반적으로 더 큰 위협에 직면한다는 증거도 늘고 있다. (5.2)

- **총체적 영향.** TAR에 비해, 기후변화에서 비롯한 시장 기반의 초기 순이익은 소규모 온난화에서 최고에 달할 것으로 예측되나 온난화 규모가 커질수록 피해는 더 커질 것이다. 온난화 증가의 영향에 따르는 순 비용은 시간이 지날수록 증가할 것으로 예측된다. (5.2)

- **대규모 특이성 (singularity)에 대한 위협.** 수세기에 걸친 지구 온난화는 열팽창만으로도 20세기에 관측된 것보다 훨씬 큰 해수면 상승을 유발할 것으로 예측되며, 해안 지역 소실과 그에 관련된 영향이 동반될 것은 *매우 확실하다*. 그린란드 빙상, 그리고 어쩌면 남극의 빙상이 해수면 상승에 추가로 기여할 위험은 빙상 모델의 예측보다 클 수도 있으며 100년이라는 기간 중에도 발생할 수 있다는 것을 TAR에서보다 더 잘 이해할 수 있게 되었다. 최근 관측에도 나타나지만 AR4에서 평가된 빙상 모델에 완전히 포함되지는 않은 얼음의 역학 과정이 얼음소실 속도를 증가시킬 수도 있기 때문이다. (5.2)

**적응이든 완화든 단독으로는 모든 기후변화 영향을 피할 수 없다는 것은 높이 신뢰할만하다 그러나 이 둘은 서로 보완할 수 있고 기후변화의 위협을 상당 수준 줄일 수 있다. (5.3)**

최저 안정화 시나리오에서도 발생할 온난화의 영향을 다루기 위해서는 장단기적으로 적응이 필수적이다. 여기에는 장벽, 한계 및 비용이 존재하지만 이것들은 아직 완전히 파악되지 않았다. 기후변화를 완화시키지 않으면 장기적으로는 자연시스템, 관리된 시스템 및 인류 시스템의 적응 능력을 넘어설 가능성이 있다. 그 한계에 도달할 시기는 지역마다 다를 것이다. 조기 완화 조치는 탄소를 많이 배출하는 기간시설의 추가 폐쇄를 예방할 것이고 기후변화 및 관련 적응 요구를 감소시킬

것이다. {5.2, 5.3}

많은 영향이 완화조치를 통해 감소, 지연, 혹은 예방될 수 있다. 앞으로 20~30년 동안 완화를 위한 노력과 투자는 보다 낮은 안정화 수준을 달성할 기회를 가지는 데 큰 영향을 줄 것이다. 배출량 감축이 지연되면 낮은 안정화 수준을 달성할 기회는 크게 제약을 받고 더 심각한 기후변화 영향은 증가된다. {5.3, 5.4, 5.7}

대기의 온실가스 농도를 안정화시키기 위해서는 배출량이 최고치에 도달한 뒤 그 이후부터 감소해야 한다. 안정화 수준을 낮춰서 이 최고치에 더 빨리 도달해 감소시킬 것이다.<sup>20)</sup> {5.4}

표 SPM.6과 그림 SPM.11은 서로 상이한 안정화 농도 그룹에 필요한 배출량 수준과, 결과적으로 평형을 이룬 전 세계 온난화와 열팽창만으로 인한 장기적 해수면 상승을 요약하여 보여준다.<sup>21)</sup> 주어진 온도 안정화 수준에 도달할 완화 시기와 수준은 기후 민감성이 높을 경우가 낮을 경우보다 더 이르고 더 긴박하다. {5.4, 5.7}

온난화 상황에서는 해수면 상승이 불가피하다. 어떤 안정화 수준을 고려하던 열팽창은 온실가스 농도가 안정화된 뒤에도 수세기 동안 계속되어 궁극적으로 해수면은 21세기에 예측된 것보다 훨씬 더 많이 상승할 것이다. 그린란드 빙상 소실은 중국에는 몇 미터에 달할 것이고 열팽창으로 인한 것보다 클 수도 있으며, 산업화 이전보다 1.9~4.6℃ 초과하는 온난화가 수 세기에 걸쳐 지속될 것이다. 온난화에 대한 열팽창 및 빙상의 장기간 반응은 온실가스 농도가 현재 수준이나 현재보다 높은 수준에서 안정화 되더라도 해수면이 수세기 동안 안정화되지 않으리라는 것을 암시한다. {5.3, 5.4}

평가된 모든 안정화 수준은 현재 이용 가능하거나 앞으로 수십 년 안에 상용화될 것으로 예상되는 기술들의 개발, 습득, 활용, 확산을 위한 적절하고 효과적인 보상이 주어지고 관련 장벽이 제거된다는 가정 아래 그 기술들을 활용해서 달성할 수 있다는 높은 공감대와 많은 증거가 있다. {5.5}

평가된 모든 안정화 시나리오를 보면, 감소량의 60~80%는 에너지 공급 및 사용과 산업공정에서 나올 것이고 에너지 효율이 많은 시나리오에서 핵심적 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 토지사용과 삼림에 CO<sub>2</sub>를 발생시키지 않는 완화 옵션과 발생시키는 완화 옵션을 포함하면 융통성과 비용효과가 더 커진다. 낮은 안정화 수준은 첨단 저 배출 기술에 대한 조기 투자와 그 기술들의 상당히 빠른 확산 및 상용화를 필요로 한다. {5.5}

상당한 투자와 효과적 기술 이전이 없으면 상당한 규모의 배출량 완화는 달성하기 어려울지 모른다. 저탄소 배출 기술의 비용 증가분에 자본투자를 유동화 하는 것이 필요하다. {5.5}

**거시경제적 완화 비용은 일반적으로 안정화 목표치가 엄격할수록 상승한다(표 SPM.7). 특정 국가와 지역에 따라서는 비용이 전 세계 평균과 상당히 달라진다.<sup>22)</sup> {5.6}**

2050년의 710~445 ppm CO<sub>2</sub> 상당 농도 안정화에 필요한 전지구 평균 거시적 완화비용은 전 세계 GDP의 1% 성장과 5.5% 감소 사이에 있다(표 SPM.7). 이것은 연평균 전 세계 GDP 성장률의 0.12% 포인트 감소에 해당한다. {5.6}

**표 SPM.6. TAR 이후 안정화 시나리오의 특징과 장기적 지구 평균 평형온도 및 열팽창에서만 기인하는 해수면 상승의 요소.<sup>a)</sup> {표 5.1}**

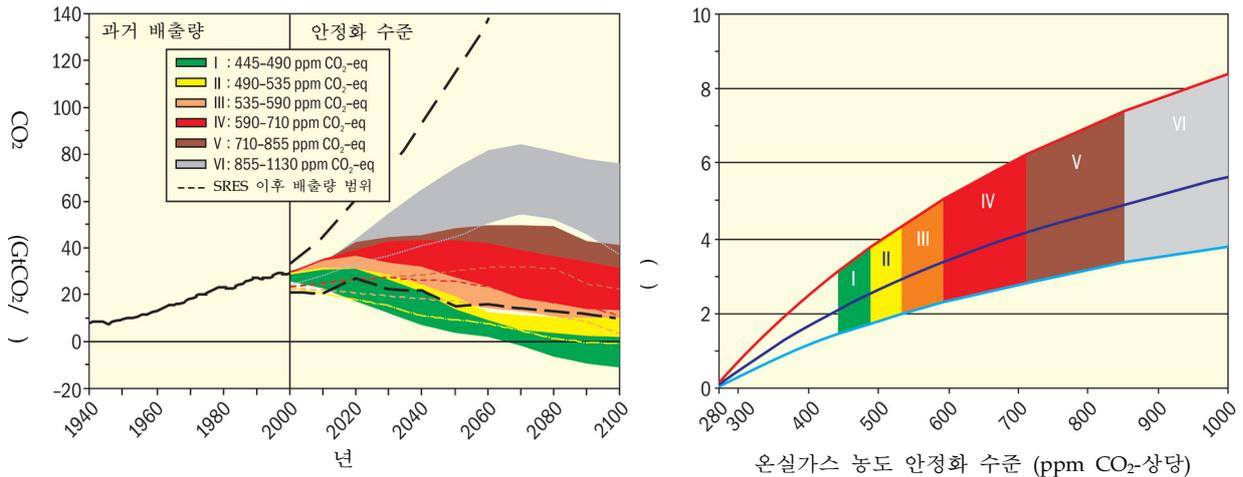
20) 평가된 최저 완화 시나리오 범주의 경우, 배출량은 2015년까지 최고에 도달해야 하며 최고 완화 시나리오의 경우엔 2090년까지 도달해야 한다(표 SPM. 3을 참고). 대체 배출경로를 사용하는 시나리오들은 전세계 기후변화의 속도에서 상당한 차이가 난다.  
 21) 이 세기 동안 온도 상승에 대한 추정치는 안정화 시나리오에 대한 AR4에는 존재하지 않는다. 대부분의 안정화 수준의 경우, 지구 평균 온도는 몇 세기에 걸쳐 평형에 근접할 것이다. 훨씬 더 낮은 안정화 시나리오라면(범주 I과 II, 그림 SPM.11), 평형 온도에 더 일찍 도달할 수도 있다.  
 22) 비용 추산과 모델의 가정에 관한 세부내용은 각주 17을 참고

범주	안정화 된 CO <sub>2</sub> 농도 (2005 = 379 ppm) <sup>(b)</sup>	온실가스와 에어러솔을 비롯해 안정화 된 CO <sub>2</sub> eq 농도(2005 = 375 ppm) <sup>(b)</sup>	CO <sub>2</sub> 배출량 최고 년도 <sup>(a, c)</sup>	2050년도 전세계 CO <sub>2</sub> 배출량의 변화(2000년도 배출량에 대한 백분율) <sup>(a, c)</sup>	2050년도 전세계 CO <sub>2</sub> 배출량의 변화(2000년도 배출량에 대한 백분율) <sup>(d), (e)</sup>	열팽창만을 고려한 산업화 이전 대비 지구 평균 해수면 상승 <sup>(f)</sup>	평가된 시나리오의 수
	ppm	ppm	년	%	℃	m	
I	350 ~ 400	445 ~ 490	2000 ~ 2015	-85 ~ -50	2.0 ~ 2.4	0.4 ~ 1.4	6
II	400 ~ 440	490 ~ 535	2000 ~ 2020	-60 ~ -30	2.4 ~ 2.8	0.5 ~ 1.7	18
III	440 ~ 485	535 ~ 590	2010 ~ 2030	-30 ~ +5	2.8 ~ 3.2	0.6 ~ 1.9	21
IV	485 ~ 570	590 ~ 710	2020 ~ 2060	+10 ~ +60	3.2 ~ 4.0	0.6 ~ 2.4	118
V	570 ~ 660	710 ~ 855	2050 ~ 2080	+25 ~ +85	4.0 ~ 4.9	0.8 ~ 2.9	9
VI	660 ~ 790	855 ~ 1130	2060 ~ 2090	+90 ~ +140	4.9 ~ 6.1	1.0 ~ 3.7	5

Notes:

- a) 여기서 평가된 완화연구에 보고된 특정 안정화 수준을 충족하기 위한 배출량 완화는 탄소순환 피드백의 결여로 인해 과소평가 되었을 수 있다(제2주제 참고).
- b) 대기 CO<sub>2</sub> 농도는 2006년에 379 ppm이었다. 장기 수명을 가진 모든 온실가스에 대한 2006년도 총CO<sub>2</sub> 상당농도의 최적 추정치는 약 455 ppm 이지만 인간에 의한 모든 강제 성분의 순 효과를 고려한 농도는 375 ppm 이다.
- c) 범위는 TAR 이후 시나리오의 15~85 백분위수이다. 복합적 가스 시나리오를 CO<sub>2</sub> 단독 시나리오와 비교할 수 있도록 CO<sub>2</sub> 배출량을 표시했다(그림 SPM.3 참고).
- d) 기후민감도의 최적 추정치는 3℃이다.
- e) 평형에 도달한 지구 평균 온도는 기후시스템의 관성으로 인해 온실가스 농도 안정화 시점의 예상 지구 평균 온도와 다르다. 평가된 대부분의 시나리오에서 온실가스 농도의 안정화는 2100~2150년에 일어난다(각주 9 참고).
- f) 해수면 상승 평형은 해수 열팽창만 기여하고 적어도 수세기 동안에는 평형에 도달하지 않는다. 이 값들은 상대적으로 간단한 기후모델(저해상도 AOGCM 과 3℃기후민감도 최적 추정치에 근거한 몇 가지 EMIC)를 사용해서 추정되었으며, 빙상과 빙하 및 만년봉의 해빙의 기여도는 포함하지 않는다. 장기적 열팽창은 산업화 이전 대비 지구 평균 온난화 1℃ 당 0.2~0.6 m가 될 것으로 예측된다. (AOGCM: Atmosphere Ocean General Circulation Models, EMIC: Earth System Models of Intermediate Complexity)

여러 안정화 수준에서의 CO<sub>2</sub> 배출량과 평형온도 상승



**그림 SPM.11.** 1940~2000년 전 세계 CO<sub>2</sub> 배출량과 2000~2100년 안정화 시나리오의 배출량 범위(왼쪽 그래프); 안정화 목표치와 산업화 이전 대비 지구 평균 평형온도 상승 가능성 간의 관계(우측). 안정화 수준이 높은 시나리오의 경우에는 평형에 근접하는 데 수 세기가 걸릴 수 있다. 색칠된 부분은 목표치에 따라 그룹화된(안정화 범주 I~IV) 안정화 시나리오를 뜻한다. 우측 그래프는 (i) "최적 추정치" 기후 민감도 3℃(색칠된 곳의 중앙의 검은색 선), (ii) 기후민감도 4.5℃의 가능한 범위의 상한선(색칠된 부분 꼭대기의 붉은선), (iii) 기후민감도 2℃가 가능한 범위의 하한(색칠된 부분 바닥의 파란선)을 사용해서 나타낸 산업화 이전 대비 지구 평균 온도변화의 범위이다. 좌측 그래프에서 검은색 파선은 SRES(2000) 이후 발표된 최근 베이스라인 시나리오의 배출량 범위이다. 안정화 시나리오는 CO<sub>2</sub> 단독 시나리오와 복합 가스 시나리오로 되어 있고, 배출량 범위는 시나리오 전체 범위의 10~90 백분위수에 대응한다. 비교: 대부분의 모델에서 CO<sub>2</sub> 배출량에는 지상 바이오메스의 분해에 따른 배출량이 포함되지 않는다. 이것들은 벌목 및 벌채된 후 남아서 토탄 연소 및 토탄토양 배수를 통해 배출량에 기여한다. {그림 5.1}

**표 SPM.7. 2030년과 2050년의 전세계 거시경제 비용 추정치. 장기적 안정화 수준에 따른 최소비용 궤적에 관해서 비용을 추정하였다. {표 5.2}**

안정화 수준 (ppm CO <sub>2</sub> -상당)	평균 GDP 감소율 <sup>(a)</sup> (%)		GDP 감소 범위 <sup>(b)</sup> (%)		평균 연간 GDP 성장률 감소 (% 포인트) <sup>(c), (e)</sup>	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
445 ~ 535 <sup>(d)</sup>	NA		< 3	< 5.5	< 0.12	< 0.12
535 ~ 590	0.6	1.3	0.5	4보다 약간 작음	< 0.1	< 0.1
590 ~ 710	0.2	0.5	-0.6 ~ 1.2	-1 ~ 2	< 0.06	< 0.05

Notes: 이 표의 값들은 GDP 수치가 제공된 모든 베이스라인 시나리오와 완화 시나리오의 완전한 문서에 나온 값들을 사용했다.

- a) 시장 환율에 기초한 전 세계 GDP.
- b) 해당되는 곳에는 분석된 데이터의 10 ~90 백분위수(퍼센타일) 범위를 제시했다. 마이너스 값은 GDP 성장을 뜻한다. 첫 번째 줄(445~535 ppm CO<sub>2</sub>-상당)은 그 문헌만의 추정치의 상한이다.
- c) 연간 성장률 감소 계산치는 평가된 기간의 평균 감소율에 근거한 것으로, 각각 2030년과 2050년까지의 GDP 감소율이다.
- d) 연구 건수가 상대적으로 적는데다가 그 연구들은 일반적으로 낮은 베이스라인을 사용한다. 배출량 베이스라인이 높을수록 일반적으로 비용도 높아진다.
- e) 수치들은 세 번째 열에 있는 GDP 감소율의 최고 추정치에 해당된다.

**기후변화에 대한 대응에는 반복적인 위기관리 과정이 포함되는데 이 과정은 적응과 완화 둘 다 포함하고, 기후변화 피해, 공동이익, 지속 가능성, 형평성, 위험에 대한 자세를 고려한다. {5.1}**

기후변화의 영향은 전지구 기온이 상승함에 따라 시간이 지날수록 증가될 순 연간 비용을 발생시킬 가능성이 높다. 전문가 검토를 거친 2005년도 탄소의 사회 비용 추정치<sup>23)</sup> 평균은 CO<sub>2</sub> 1톤당 US \$12였으나 범위가 넓어서 100개 추정치에서는 CO<sub>2</sub> 1톤당 -\$3 ~ \$95/tCO<sub>2</sub> 이었다. 이것은 부분적으로는 기후 민감성, 대응 지체, 리스크 및 형평성의 처리, 경제적·비경제적 영향, 잠재적인 제약 수준의 손실 삽입 및 할인율에 관한 가정들의 차이 때문이다. 총 비용 추정치는 부문, 지역 및 인구에 걸친 영향의 중요한 차이를 가려버린다. 또한 정량 불

가능한 영향은 피해 비용에 포함시킬 수 없기 때문에 피해 비용이 과소평가될 가능성이 높다. {5.7}

완화비용과 완화이익에 대한 종합분석에서 나온 조기 분석결과는 그 분석들이 규모면에서는 대체로 서로 비슷하지만 이익이 비용을 초과하는 배출경로나 안정화 수준은 아직 명확히 분석해내지 못한다는 것을 보여준다. {5.7}

기후 민감성은 특정 온도수준에 대한 완화 시나리오에서 핵심적인 불확실성 요소이다. {5.4}

온실가스 완화 규모와 시기를 선택할 때는 배출량을 더 신속히 줄이는 것의 경제 비용을 증기 및 장기적 기후 지연위험과 균형을 맞추는 것이 필요하다. {5.7}

23) 지구 전체적으로 종합하고 그 해까지 고려한 기후변화 피해의 순 경제비용

