

정책결정자를 위한 요약보고서

주저자 :

Richard B. Alley, Terje Berntsen, Nathaniel L. Bindoff, Zhenlin Chen, Amnat Chidthaisong, Pierre Friedlingstein, Jonathan M. Gregory, Gabriele C. Hegerl, Martin Heimann, Bruce Hewitson, Brian J. Hoskins, Fortunat Joos, Jean Jouzel, Vladimir Kattsov, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Mario Molina, Neville Nicholls, Jonathan Overpeck, Dahe Qin, Graciela Raga, Venkatachalam Ramaswamy, Jiawen Ren, Matilde Rusticucci, Susan Solomon, Richard Somerville, Thomas F. Stocker, Peter A. Stott, Ronald J. Stouffer, Penny Whetton, Richard A. Wood, David Wratt

기여 저자:

J. Arblaster, G. Brasseur, J.H. Christensen, K.L. Denman, D.W. Fahey, P. Forster, E. Jansen, P.D. Jones, R. Knutti, H. Le Treut, P. Lemke, G. Meehl, P. Mote, D. Randall, D.A. Stone, K.E. Trenberth, J. Willebrand, F. Zwiers

이 정책결정자를 위한 요약보고서를 인용할 때에는:

IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In : Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

개요

기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)의 제1실무그룹은 4차 평가보고서(AR4, Fourth Assessment Report)를 위하여 인위적 및 자연적 원인에 의한 기후변화¹⁾의 발생요인, 관측된 기후변화, 기후변화의 물리화학 과정과 원인 규명, 그리고 미래의 기후변화 전망 범위에 대한 현재 과학적 이해 수준을 기술하고 있다. 이 보고서는 IPCC 기존의 평가 보고서를 기반으로 최근 6년간의 연구 결과를 집대성한 것이다. 제3차 평가보고서(TAR, Third Assessment Report) 이후 과학적 진보는 새롭고, 보다 포괄적이고 방대한 자료, 개선된 자료분석, 물리화학과정에 대한 이해와 모델에 의한 시뮬레이션의 개선 및 불확실성의 범위에 대한 보다 광범위한 연구에 근거하고 있다.

정책 결정자를 위한 요약(SPM)에서 각 단락 내용의 근거에 해당하는 본보고서 위치는 중괄호 ‘{ }’로 기술하였다.

기후변화의 인위적·자연적 요인

온실가스와 에어러솔의 대기 중의 양, 태양복사, 지표면 특성의 변화는 기후시스템의 에너지 평형을 변화시킨다. 이러한 변화는 복사강제력²⁾으로 표현되며, 인위적, 자연적 요인이 지구 기후에 미치는 광범위한 온난화 혹은 한랭화의 영향을 평가하는데 사용된다. TAR 이후의 온실가스, 태양활동, 지표면 특성 및 에어러솔의 일부 특성에 관한 새로운 관측과 관련

된 모델링이 복사강제력의 양적인 추정의 개선으로 이어졌다.

지구의 이산화탄소, 메탄 및 아산화질소의 대기 중 농도는 1750년 이래로 인간활동의 결과로써 현저하게 증가하고 있으며, 수천 년에 걸친 빙하코어(ice core)에서 검출된 산업화 이전의 농도를 훨씬 초과하고 있다(그림 SPM.1. 참조). 지구적인 이산화탄소 농도의 증가는 주로 화석연료의 사용과 토지이용의 변화에 기인하는 한편, 메탄과 아산화질소 농도 증가는 농업에 의한 배출이 주된 요인이다. {2.3, 6.4, 7.3}

- 이산화탄소는 가장 중요한 인위적으로 발생하는 온실가스이다(그림 SPM.2. 참조). 지구의 대기 중 이산화탄소 농도는 산업화 이전의 약 280 ppm에서 2005년에는 379 ppm³⁾으로 증가했다. 2005년 대기 중 이산화탄소 농도는 빙하코어에서 결정된 과거 약 65만 년의 자연적 변동 범위(180~300 ppm)를 상당히 초과하고 있다. 연간 이산화탄소 농도의 증가율은 최근 10년간의 증가율(1995-2005년 평균 1.9 ppm/년)은 연속적인 대기의 직접관측 개시 이후의 증가율(1960-2005년 평균 1.4 ppm/년)보다 더 크다. {2.3, 7.3}
- 산업화 이후 대기 중 이산화탄소 농도 상승의 주된 원인은 화석연료의 사용이며, 토지이용의 변화도 중요한 원인 중 하나이지만 상대적으로 영향이 적다. 화석 기원의 이산화탄소의 연간 배출량⁴⁾은 1990년대는 연간 6.4[6.0~6.8]⁵⁾ GtC (23.5[22.0~25.0] GtCO₂)에서 2000-2005년은 연간 7.2[6.9~7.5] GtC (26.4[25.3~27.5] GtCO₂)로 증가했다(2004년과

1) IPCC가 사용하고 있는 「기후변화(climate change)」는 자연적 변동 또는 인간 활동의 결과로부터 기인하는 지를 구분하지 않고 모든 기후의 시간적 변화를 가리키고 있다. 이는 UN기후변화협약(UNFCCC)에서 사용되는 표현과는 다르다. UNFCCC에서 사용되는 「기후변화」는 지구의 대기 조성을 변화시키는 인간 활동에 직접 혹은 간접적으로 기인하는 기후변화이며, 기후의 자연 변동에 대해서 추가적으로 생기는 것을 말한다. (【역주】 climate change는 기후변화, climate variation은 기후변동으로 번역했다.)

2) 복사강제력(radiative forcing)은 어떤 인자가 갖는 지구-대기 시스템에 출입하는 에너지 평형을 변화시키는 영향력의 척도이며, 잠재적인 기후변동 매커니즘으로서 인자의 중요성의 지표이다. 양(+)의 복사강제력은 지표면 온도를 상승시키는 경향이, 음(-)의 복사강제력은 지표면 온도를 하강시키는 경향이 있다. 이 보고서에서는 복사강제력의 값은 산업화 이전의 상태(1750년)에 대한 2005년의 변화이며, W m⁻²로 표현된다. 상세한 내용은 Glossary 와 Section 2.2 참조

3) ppm(100만분의 1) 또는 ppb(10억분의 1)은 건조공기의 총 분자 수에 대한 온실가스 분자 수의 비율이다. 예를 들면, 300 ppm은 100만개의 건조공기 분자 중 온실가스가 300개 있는 것을 의미한다.

4) 화석 기원의 이산화탄소의 배출은 화석연료의 생산, 유통, 소비 및 시멘트 생산의 부산물로서 배출되는 이산화탄소를 포함한다. 배출량 1 GtC는 3.67 GtCO₂과 같다.

5) 정책결정자를 위한 요약(SPM)에 표시된 결과의 불확실성 범위는 일반적으로 별도로 서술하지 않는 한 90%의 신뢰구간이다. 즉, 값이 대괄호 안에 주어진 범위를 초과할 가능성과 값이 그 범위 미만으로 될 가능성이 각각 5%이다. 최적의 추정치를 가능한 경우 표시한다. 평가된 불확실성 범위는 최적의 추정치에 대하여 항상 대칭인 것은 아니다. 제1실무그룹(Working Group I) TAR에서 불확실성의 범위는 때때로 전문가의 판단에 근거하여 표준편차의 2배(95%)를 사용하였다.

2005년의 자료는 추정치임). 토지이용 변화와 관련한 1990년대의 이산화탄소의 평균배출량은 불확실성을 내포하고 있지만, 연간 1.6[0.5~2.7] GtC (5.9[1.8~9.9] GtCO₂)로 추정된다. [7.3]

빙하코어와 현대의 관측자료에 의한 온실가스의 변화

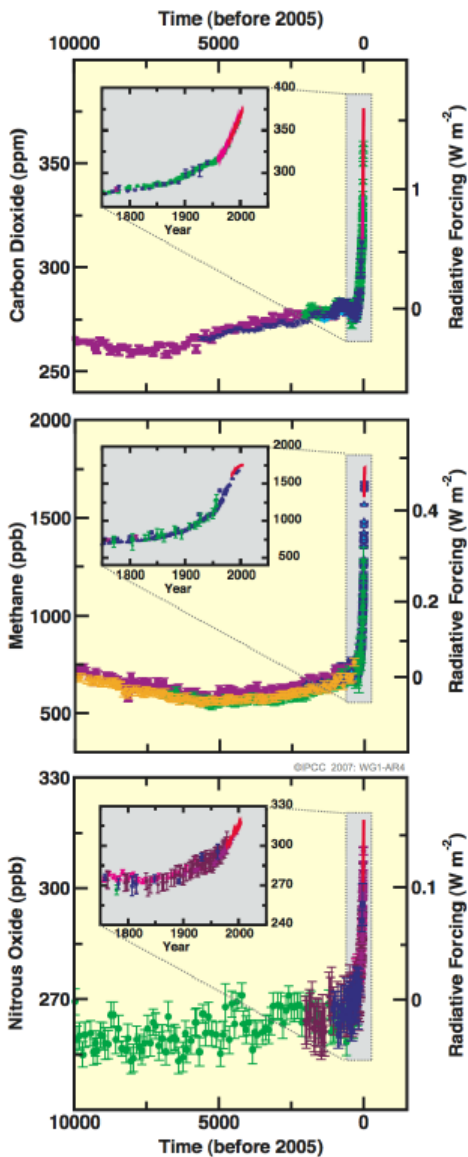


그림 SPM.1. 과거 10,000년(큰 그림) 및 1750년 이후(삽입된 그림)의 이산화탄소, 메탄 및 아산화질소의 대기 중 농도. 큰 그림의 오른쪽 축은 이에 대응하는 복사 강제력의 크기임. {그림 6.4}

- 지구 대기 중 메탄의 농도는 산업화 이전에 약 715 ppb에서 1990년대 초에 1,732 ppb로 증가하였고, 2005년에는 1,774 ppb가 되었다. 2005년 대기 중 메탄 농도는 빙하코어로 추정된 지난 650,000년 전의 자연 상태(320~790 ppb)를 훨씬 초과한 양이다. 1990년대 초기 이후 증가율은 감소하였지만, 이 기간 동안 인간 활동과 자연 배출에 의한 총 배출은 거의 일정하였다. 관측된 메탄 배출의 증가는 농업, 화석연료의 사용과 같은 인간 활동에 기인한 것이 매우 확실하지만(very likely⁶⁾), 각기 다른 배출 형태의 상대적 기여도는 결정되지 않았다. {2.3, 7.4}

- 지구 대기 중 아산화질소의 농도는 산업시대 이전에 270 ppb에서 2005년에 319 ppb로 증가하였다. 증가율은 1980년 이후에는 거의 일정하다. 모든 아산화질소 배출의 1/3이상은 인간 활동에 의한 것이며 특히, 농업활동과 관련된 것이다.

인간 활동에 따른 지구 기후의 온난화 및 냉각화에 대한 이해는 TAR 이후 향상되어, 1750년 이후 인간 활동에 의한 지구 평균 영향은 온난화라는 매우 높은 확신(very high confidence⁷⁾)을 이끌어 내었고 복사강제력은 +1.6 [+0.6~+2.4] W m⁻²로 나타났다. (그림 SPM.2. 참조). {2.3, 6.5, 2.9}

- 이산화탄소, 메탄, 아산화질소의 증가로 인한 총복사강제력은 +2.30[2.07~2.53] W m⁻²이고, 산업시대의 증가율은 지난 10,000년 동안에 전례가 없는 것일 가능성이 매우 높다(very likely)(그림 SPM.1과 SPM.2. 참조). 이산화탄소 복사강제력은 지난 1995~2005년에 20% 증가하여, 지난 200년 동안 찾아볼 수 없는 가장 큰 변화이다. {2.3, 6.4}

- 에어러솔(주요 황산화물, 유기탄소, 검댕, 질소산화물, 먼지)에 대한 인위적 영향은 냉각화이며, 직접적인 총복사강제력은 -0.5[-0.9~-0.1] W m⁻²이다. 구름 알베도에 의한 간접적인 복사강제력은 -0.7[-1.8~-0.3] W m⁻²이다. 이러한 강제력은 지상

6) SPM에서, 아래의 용어가 전문가의 판단에 근거하여 분석결과와 평가된 가능성을 나타내기 위하여 사용되었다. 사실상 확실: 99%의 발생 가능성, 거의 그럴 것 같음: 95%, 매우 그럴 것 같음: 90%, 그럴 것 같음: 66%, 아마: 50%, 그럴 것 같지 않음: 33%, 매우 그럴 것 같지 않음: 10%, 거의 그럴 것 같지 않음: 5%.

7) SPM에서, 다음의 확신 기준이 기본적인 과학적 정확도에 대한 전문가 판단을 표현하는데 사용되었다. 매우 높은 확신: 10개 중에 적어도 9개는 정확함, 높은 확신: 10개 중에 적어도 8개는 정확함.

관측, 위성 등의 관측 향상과 모델링에 의해 TAR 보다 이해가 증진하였으나 복사강제력에 대한 불확실성은 여전히 남아있다. 에어러솔은 구름 수명과 강수에도 영향을 미친다. {2.4, 2.9, 7.5}

- 주요한 인류활동에 의한 복사강제력은 몇 가지의 다른 원인에 의해 발생한다. 오존을 발생시키는 화학물질(질소산화물, 일산화탄소, 탄화수소류)의 배출에 기인한 대류권 오존변화는 +0.35[+0.25~0.65] W m⁻²의 복사강제력을 가진다. 할로겐화탄소⁸⁾(CFCs)에 의한 직접적인 복사강제력은 +0.34[0.31~0.37] W m⁻²이다. 토지 피복 변화와 검명 에어러솔

의 눈 위의 침적에 기인한 지표면 알베도 변화는 각각 -0.2[-0.4~0.0] W m⁻²와 0.1[0.01~+0.2] W m⁻²의 복사강제력을 가진다. ±0.1 W m⁻² 이하의 복사강제력은 그림 SPM.2에 나타나 있다. {2.3, 2.5, 7.2}.

- 1750년 이후 태양복사량의 변화는 +0.12[0.06~0.30] W m⁻²의 복사강제력을 초래하였고, 이것은 TAR의 추정치의 절반보다 작다. {2.7}

복사 강제력의 요소

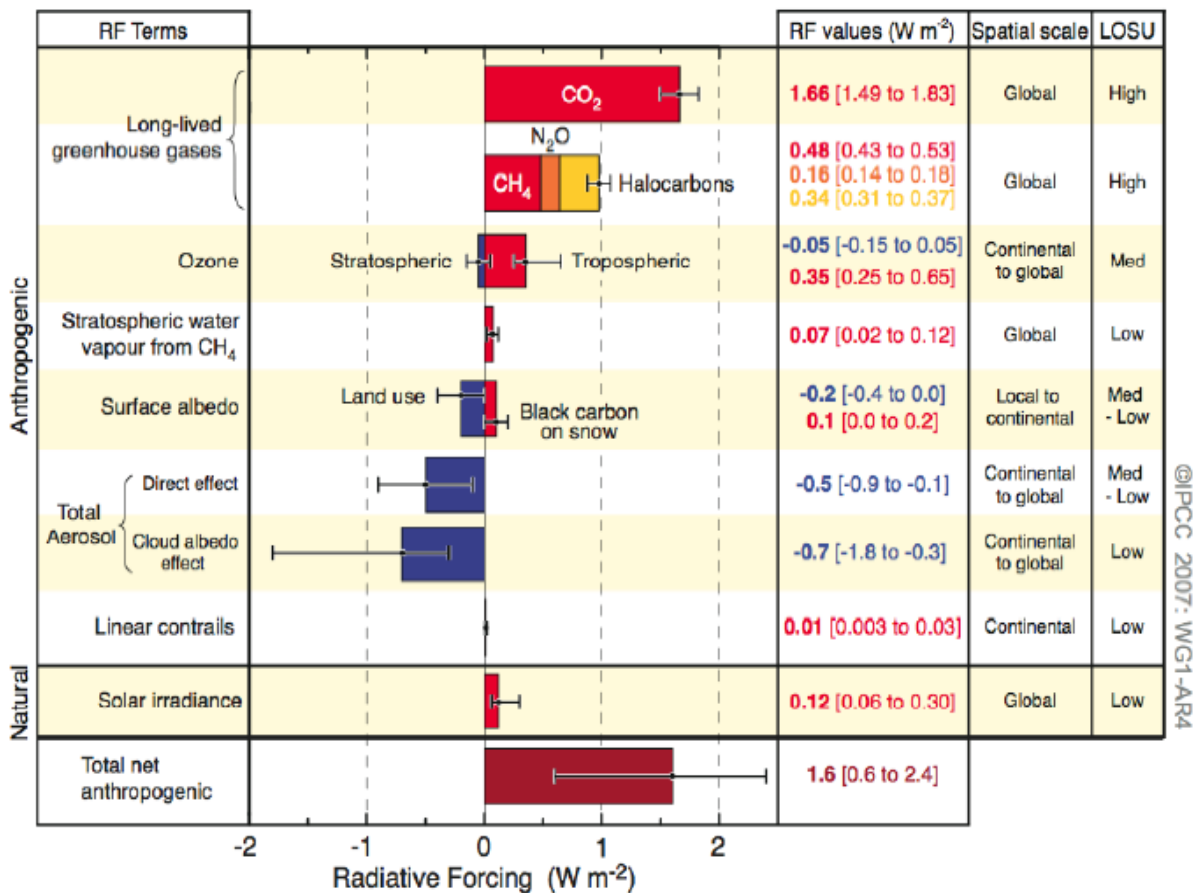


그림 SPM.2. 이산화탄소, 메탄, 아산화질소 및 다른 중요한 요소와 메커니즘에 대한 지구 평균 복사강제력(RF)의 2005년 추정치와 범위, 그리고 강제력의 전형적인 공간규모와 과학적 이해도의 평가 수준(LOSU)를 함께 나타내었다. 인류활동에 의한 순복사강제력(Total net anthropogenic RF)과 범위를 표시하였다. 각 구성성분들의 비대칭적인 불확실성의 추정치를 합계하는 것은 단순한 합계로 계산할 수 없다. 여기에 포함되지 않은 추가적인 복사강제력은 과학적 이해도의 평가 수준이 매우 낮은 것으로 간주되었다. 화산 에어러솔은 추가적인 자연적 강제력에 포함되지만 일시적 현상이라는 특성 때문에 이 그림에 포함하지 않았다. 직선 형태의 비행운에 대한 범위는 비행이 구름에 미치는 다른 잠재적 영향을 포함하지 않는다. {2.9, 그림 2.20}

8) 할로겐화탄소 복사강제력은 최근 IPCC의 지구 기후시스템과 오존층의 보호에 대한 특별보고서(Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System, 2005)에 자세히 평가되어 있다.

최근 기후변화의 직접 관측

TAR 이후, 기후의 시·공간적 변화에 대한 이해는 다양한 자료와 자료분석의 개선과 확장, 불확실성의 이해, 다양한 관측 수단의 향상을 통해 증진되었다. 1960년대 이후 빙하와 빙설, 최근 10년 간 해수면과 빙상(ice sheet)에 대한 포괄적인 관측이 가능해졌다. 그러나 일부지역에서는 자료 범위가 제한적이다.

기후시스템의 온난화는 의심할 여지가 없을 정도로 명백하며, 이것은 대기와 해양의 지구 평균 온도의 상승, 눈과 얼음의 광범위한 용해, 지구평균 해수면 상승 등의 관측자료에서 확실하다(그림 SPM.3. 참조). {3.2, 4.2, 5.5}

- 측기에 의한 기록이 존재하는 기간(1850년 이후)에 지구지표 기온(9)은 최근 12년(1995~2006)에 11번이 최고기온으로 기록되었다. 지난 100년(1906~2005)의 장기적 기온변화 추세는 0.74[0.56~0.92]°C/100년으로, TAR에서 1901~2000년의 추세인 0.6[0.4~0.8]°C/100년보다 크다. 최근 50년간 선형의 온난화 추세(0.13[0.10~0.165]/10년)는 지난 100년 추세의 거의 2배이다. 1850~1899년에 비하여 2001~2005년의 온도 상승치는 0.76[0.57~0.95]°C이다. 도시의 열섬효과는 존재하지만 지역적이고, 지구온난화에 주는 영향육상에서 0.006°C 미만/10년, 해상에서 0)은 무시할 수 있다. {3.2}
- 하층과 중층 대류권의 온도와 위성 관측의 새로운 분석에 의하면, 이 층에서 온난화 비율은 지표 기온의 기록과 비슷하다. 이들 관측의 해석 결과는 불확실성 범위 내에서 일치하며, 그 결과 TAR에 지적된 불일치가 크게 감소하였다. {3.2, 3.4}
- 대기 중의 평균 수증기량은 대류권 상층뿐만 아니라 지표와 해상에서 적어도 1980년대 이후 증가하였다. 이러한 증가는 따뜻한 공기가 함유할 수 있는 수증기량의 증가와 대략 일치하고 있다. {3.4}

- 1961년 이후의 관측에 의하면, 지구 해양의 평균온도 상승은 적어도 수심 3,000 m까지 영향을 미쳤으며, 해양은 기후시스템에 추가된 열의 80% 이상을 흡수하였다. 이러한 온난화는 해수를 팽창시켜 해수면 상승에 기여하였다(표 SPM.1. 참조). {5.2, 5.5}
- 고산 빙하와 적설면적은 북반구와 남반구에서 평균적으로 감소하고 있다. 빙하와 빙모(ice cap)의 광범위한 감소는 해수면 상승에 기여하고 있다(빙모는 그린란드와 남극 빙상의 기여를 포함하지 않는다.) (표 SPM.1. 참조). {4.6, 4.7, 4.8, 5.5}
- TAR 이후 새로운 자료에 의하면, 그린란드와 남극 빙상의 감소는 1993~2003년의 해수면의 상승에 기여했을 가능성이 매우 높다(very likely) (표 SPM.1. 참조). 빙상의 내부에서 그린란드와 남극내륙의 빙상의 유출 속도가 증가하고 있다. 이에 따라 빙상 질량 손실의 증가로 인해 빙판(ice shelf)의 축소와 손실, 유빙의 손실이 계속해서 일어난다. 이러한 역학적인 빙하의 손실은 남극 빙하의 순손실량의 대부분과 그린란드 빙하의 순손실량의 대략 반을 설명하는데 충분하다. 그린란드 빙하 손실의 나머지 반은 강설에 의한 축적을 초과하는 용해에 의한 감소이다. {4.6, 4.8, 5.5}
- 지구 평균 해수면은 1961년부터 2003년에 걸쳐서 연평균 1.8[1.3~2.3] mm의 비율로 상승했다. 1993년부터 2003년에 걸친 상승률은 더 빨라서 연평균 약 3.1[2.4~3.8] mm의 비율이었다. 1993년부터 2003년까지 상승률이 높은 것은 10년 규모의 변동인지, 보다 더 장기적인 증가 경향인지 분명하지 않다. 해수면의 관측된 상승률은 19세기보다 20세기에 증가하였으며, 20세기 해수면 상승은 0.17[0.12~0.22] m로 추정된다. {5.5}

9) 육상의 지표부근 기온과 해수면 기온의 평균

기온, 해면 수위 및 북반구의 적설 면적의 변화

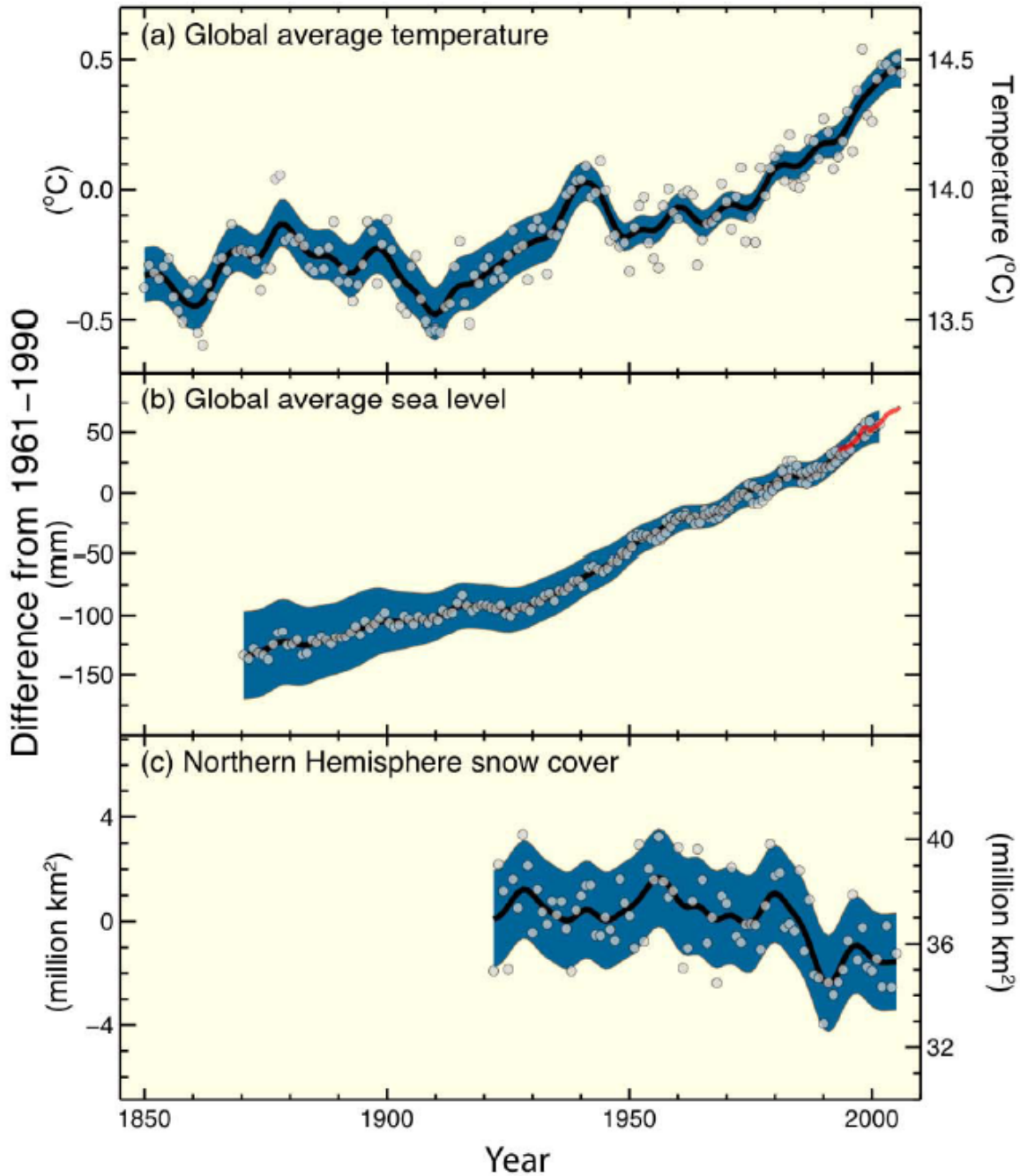


그림 SPM.3. 관측된 변화: (a) 지구 평균 표면 기온, (b) 조위계(파랑)와 위성(빨강) 자료에 의한 지구 평균 해수면, (c) 북반구의 3-4월 적설 면적. 모든 변화는 1961-1990년의 평균과의 차이이다. 곡선은 10년 평균치, 원은 매년 관측값을 각각 나타낸다. 음영부는 알려진 불확실성의 포괄적인 분석에서 추정된 불확실성의 폭(a와 b)과 시계열에서 나타난 불확실성의 폭(c)이다. {FAQ 3.1, 그림 1, 그림 4.2 및 그림 5.13}

기후의 다양한 장기적 변화는 대륙과 지역 및 대양 규모에서 관측되었다. 이는 북극 기온과 얼음의 변화, 강수량, 해양 염분, 바람 패턴의 광범위한 변화, 가뭄, 집중호우, 열파 및 강력한 열대저기압¹⁰⁾ 등의 극한기후를 포함한다. {3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 5.2}

- 지난 100년 간 북극지방의 평균 온도는 지구평균보다 거의 2배의 증가율을 보였다. 북극의 온도는 10년 변동성이 크며, 1925~1945년에도 온난화가 관측되었다. {3.2}
- 1978년 이후 위성자료에 의하면, 연평균 극지방 해빙 면적은 10년 동안 2.7[2.1~3.3]% 감소하였고, 특히 여름에는 7.4[5.0~9.8%]/10년으로 크게 감소하였다. 이러한 값은 TAR에 보고된 것과 일치하고 있다. {4.4}
- 1980년대 이후에 북극 영구동토층의 표면온도는 전반적으로 상승했다(3℃까지). 1900년 이후 북반구의 계절적 동토의 최대 면적은 약 7% 감소하였으며, 특히 봄철에 감소 면적이 15%에 이르렀다. {4.7}
- 1900~2005년 강수량의 장기 추세가 여러 지역에서 관측되었다. 현저하게 강수량이 증가한 지역은 북·남미의 동부, 북유럽, 북·중아시아이며, 건조지역은 사헬, 지중해, 남아프리카, 남아시아 일부에서 관측되었다. 강수는 시·공간적으로 매우 변화가 심하며, 일부지역에서 자료는 제한적이다. 장기 추세는 다른 대규모 지역¹¹⁾에서는 관측되지 않았다. {3.3, 3.9}

- 중고위도 해수의 저염화, 저위도 해수의 고염화는 해양에서 강수량과 증발량의 변화를 의미한다. {5.2}
- 1960년대 이후 중위도 편서풍은 양반구에서 강화되었다. {3.5}
- 1970년대 이후 강하고 오랜 가뭄이 넓은 지역에서 관측되었으며 특히, 열대와 아열대에서 뚜렷이 관측되었다. 증가된 건조화는 높은 기온과 강수 감소가 주원인이었다. 해수온도, 바람 패턴 변화, 적설 면적과 적설량의 감소는 이런 가뭄현상과 관련되어 있다. {3.3}

표 SPM.1. 관측된 해수면 상승률과 여러 가지 요인에 의한 기여도 {5.5, 표 5.3}

해면 수위 상승 원인	해면 수위 상승률 (mm/년)	
	1961-2003	1993-2003
열팽창	0.42±0.12	1.6±0.5
빙하와 빙모	0.50±0.18	0.77±0.22
그린란드 빙상	0.05±0.12	0.21±0.07
남극빙상	0.14±0.41	0.21±0.35
해수면 상승에 기여하는 요인의 합계	1.1±0.5	2.8±0.7
관측된 해수면 상승	1.8±0.5a	3.1±0.7a
차이 (관측치로부터 기후의 기여 추정치 합계를 뺀 것)	0.7±0.7	0.3±1.0

표 주석 a: 1993년 이전의 자료는 조위계, 1993년 이후는 위성 고도계의 관측치이다.

10) 열대저기압은 허리케인과 태풍을 포함한다.

11) 평가된 지역들은 TAR의 지역 전망 부분과 본 보고서의 제11장에 수록되었다.

- 호우의 발생빈도는 대부분의 대륙에서 증가하였으며, 이는 온난화와 관측된 대기 중 수증기의 증가와 일치한다. {3.8, 3.9}
- 지난 50년 동안 극한 기온의 광범위한 변화가 관측되었다. 추운 낮, 추운 밤, 서리 발생빈도는 줄어든 반면에 더운 낮, 더운 밤, 열파 발생빈도는 증가했다 (표 SPM.2. 참조). {3.8}
- 1970년 이후 북대서양에서 강한 열대폭풍 활동이 증가된 관측 증거가 있으며, 이는 열대 해수면온도의 상승과 밀접한 관련이 있다. 일부 다른 지역에서도 강한 열대폭풍 활동 증가가 암시되는 지역이 있으나, 이 지역의 경우 자료의 품질에 대한 우려가 있다. 수십 년 주기의

변동과 1970년경 개시된 현업 위성 관측 이전의 열대 폭풍 자료의 신빙성은 열대폭풍 활동의 장기 변화경향 검출을 어렵게 하고 있다. 열대폭풍의 연간 발생 수의 경향은 명확하지 않다. {3.8}

기후의 일부 특성은 변화가 관측되지 않았다. {3.2, 3.8, 4.4, 5.3}

- 기온 일교차(DTR)의 감소는 TAR에 보고되었으나, 이용된 자료는 1950~1993년이다. 갱신된 관측자료에 의하면 1979~2004년 기온 일교차는 주간과 야간의 온도 상승율이 거의 같으므로 거의 변화가 없다. 변화 경향은 지역에 따라 큰 차이가 있다. {3.2}

표 SPM.2. 최근 20세기 관측추세가 나타난 극한 기상현상의 최근 추세, 인위적인 영향이 추세 및 전망에 미치는 영향 평가 (표 3.7, 3.8, 9.4; 장 3.8, 5.5, 9.7, 11.2-11.9)

현상 ^a 및 경향	20 세기 후반(주로 1960년 이후)에 일어난 가능성	관측된 경향에 대한 인간 활동의 기여의 가능성 ^b	SRES 시나리오를 이용한 21 세기의 예측에 근거하는 경향 가능성
대부분의 육지에서 추운 날이나 밤의 온난화와 빈도 감소	매우 높음 ^c	높음 ^d	거의 확실 ^d
대부분의 육지에서 더운 날이나 밤의 온난화와 빈도 증가	매우 높음 ^e	높음(밤) ^d	거의 확실 ^d
고온/열파 대부분의 육지에서 빈도 증가	높음	약간 있음 ^f	매우 높음
호우빈도(혹은 총강수량 대비 호우 강수량의 비율)의 증가	높음	약간 있음 ^f	매우 높음
한발 지역의 증가	1970년 이후 많은 지역에서 높음	약간 있음	높음
강한 열대 저기압의 활동 증가	1970년 이후 일부 지역에서 높음	약간 있음 ^f	높음
극한 고조위의 발생의 증가 (쓰나미는 포함하지 않음) ^g	높음	약간 있음 ^{f,h}	높음 ⁱ

표의 주석 :

- 정의에 대해서는 표 3.7 을 참조. (【역주】 별지 2 참조)
- 표 TS.4, 테이블 TS.5 및 표 9.4를 참조.
- 추운 날과 밤(가장 추운 상위 10%)의 빈도 감소
- 매년의 최고/최저 기온을 기록한 낮과 밤의 온도상승
- 더운 날과 밤(가장 더운 상위 10%)의 빈도 증가
- 인간 활동의 기여 크기는 평가되어 있지 않음. 이러한 현상에 대한 원인은 원인규명 연구보다는 전문가의 판단에 의하는 것임.
- 극한적으로 높은 해수면은 평균 해수면과 지역 기상 시스템에 의존한다. 여기서, 극한적으로 높은 해수면은 특정 기간, 특정 관측소에서 관측된 1시간 간격의 해수면 가운데 가장 높은 1%로 정의한다.
- 관측된 극한적으로 높은 해수면의 변화는 평균 해수면의 변화와 부합한다(5.5). 인간 활동이 평균 해수면 상승에 기여했을 가능성이 매우 높다.
- 모든 시나리오에서, 2100년 지구 평균 해수면 전망은 기준 기간의 수치보다 높다 (10.6). 지역적인 기상 시스템의 변화가 극한적으로 높은 해수면에 미치는 효과는 평가되지 않았다.

- 남극의 해빙 면적은 지속적으로 경년변동과 국지 변화를 보이나, 평균적 추세는 통계적인 유의성이 없으며, 이것은 남극지역의 평균온도가 상승하지 않았다는 것과 일치한다. {3.2, 4.4}
- 지구 해양의 심층순환(MOC, Meridional Overturning Circulation)이나, 토네이도, 우박, 번개, 모래 폭풍 등 소규모 기상 현상에 어떠한 추세가 존재하는지를 결정하는 충분한 근거는 없다. {3.8, 5.3}

고기후학적인 관점

고기후는 기후에 민감한 지시자(또는 대용자료)를 사용하여 과거 수십~수백만 년의 기후변화를 연구하는 분야이다. 나무의 나이테와 같은 프록시(Proxy, 용어참조)는 지역규모의 온도와 강수에 영향을 받으며, 연평균보다는 특정 계절을 대표하기도 한다. TAR 이후 많은 지역에서 다양한 대용자료의 일관성 있는 양상을 보여주는 고기후 연구가 이루어진 덕분에 정확도가 향상되었다. 그러나 불확실성은 시간이 과거로 갈수록 복원된 자료의 부족 때문에 증가한다.

고기후의 연구결과는 과거 50년간의 온도 상승은 적어도 과거 1,300년 동안 이례적이라는 것을 입증한다. 약 125,000년 전에 극지역은 현재보다 장기간 온도가 높았으며 이로 인한 빙하 부피의 감소로 해수면이 4~6 m 상승하였다. {6.4, 6.6}

- 20세기 후반의 북반구 평균온도는 과거 500년 중 어느 50년 보다 높았을 가능성이 매우 높으며(very likely), 적어도 과거 1,300년간 가장 높았을 가능성이 높다(likely). 최근 연구의 일부는 북반구 온도가 TAR에서 제시된 것보다 큰 변동폭을 제시하며, 특히 12~14세기, 17세기, 19세기가 더 추운 시기라는 것을 발견했다. 20세기 이전 중 따뜻했던 시기는 TAR에서 언급된 불확실성의 범위 내에 들어간다. {6.6}

- 마지막 간빙기(약 125,000년 전)에 지구 평균 해수면은 20세기 보다 4~6 m 높았을 가능성이 높으며(likely), 해수면 상승의 주요 원인은 극지방 빙하 감소 때문이다. 빙하코어의 자료에 의하면, 그 기간에 극지역 평균 기온은 지구 공전궤도의 차이 때문에 현재보다 3~5℃ 높았다. 그린란드와 북극의 빙하에 의한 해수면 상승은 많아야 4 m 정도일 가능성이 높다(likely). 남극의 빙하 또한 해수면 상승에 기여했을 것이다. {6.4}

기후변화의 이해와 원인규명

이 평가보고서는 TAR 이후 연구에 근거하여, 보다 장기간에 걸쳐 개선된 관측 기록, 관측 범위의 확대, 기후와 그 변동성에 관한 다양한 양상에 대한 시뮬레이션의 개선을 포함하고 있다. 또한 관측된 변화가 외부 강제력에 대한 예상된 반응과 정량적으로 일치하고 물리적으로 타당한 다른 설명과 일치하지 않는지를 평가하는 새로운 원인규명 연구의 성과도 포함한다.

20세기 중반이후 지구 평균기온 상승의 대부분은 인위적인 온실가스의 농도 증가에 의해 발생했을 가능성이 매우 높다(very likely).¹²⁾ 이것은 "과거 50년에 걸쳐 관측된 온난화의 대부분은 온실가스 농도의 증가에 의한 것인 가능성이 높다(likely)"라는 TAR의 결론에서 진보한 것이다. 식별 가능한 인간의 영향은 기후의 다른 양상인 해양의 온난화, 대륙 평균 온도, 극한 기온과 바람 패턴에도 나타난다(그림 SPM.4., 표 SPM.1. 참조). {9.4, 9.5}

- 온실가스 농도의 증가만 고려한다면 관측보다 더 큰 온난화를 발생했을 가능성이 높다(likely). 왜냐하면 화산이나 인위적 에어러솔은 온난화를 일부 상쇄했기 때문이다. {2.9, 7.5, 9.4}
- 빙하의 질량 감소와 함께, 관측된 대기와 해양의 온난화는 지난 50년간 지구의 기후변화가 외부 강제력 없이 설명될 수 있을 가능성은 지극히 낮고(extremely), 자연적 원인으로 초래된 것은 아닐 가능성이 매우 높다(very likely)는 결론을 입증한다. {4.8, 5.2, 9.4, 9.5, 9.7}

12) 남아 있는 불확실성은 현재의 방법론을 기초로 한다.

- 기후시스템의 온난화는 지표와 대기의 기온, 수백 미터 해양 상층의 온도의 변화와 해수면 상승에 기여로 탐지되었다. 원인규명 연구에 의해 이러한 모든 변화에 대한 인위적인 기여가 확인되었다. 대류권 온난화와 성층권 냉각화의 관측된 패턴은 온실가스의 증가와 성층권 오존감소 등 복합적인 영향일 가능성이 매우 높다(very likely). {3.2, 3.4, 9.4, 9.5}
- 남극대륙을 제외한 모든 대륙에서 지난 50년간 현저한 인위적인 온난화가 진행되었을 가능성이 높다(likely)(그림 SPM.4. 참조). 해양보다 육지에서 온난화가 크게 나타나는 관측된 온난화 패턴과 시간에 따른 변화는 인위적인 강제력을 고려한 경우에만 모델에 재현되고 있다. 각 대륙의 관측된 온도상승을 재현할 수 있는 결합기후모델은 TAR에서 보다 기후에 대한 인간의 영향에 대한 강한 증거를 제공한다. {3.2, 9.4}
- 작은 규모의 관측된 온도 변화의 모의 및 원인규명에는 아직 어렵다. 이러한 규모에서는 기후의 자연변동성이 상대적으로 크기 때문에 외부강제력에 의한 변화를 구분하는 것이 더욱 어렵다. 지역적 강제력과 피드백의 불확실성 때문에 작은 규모의 기온 변화에 온실가스 증가로 인한 영향을 추정하는 것은 어렵다. {8.3, 9.4}
- 인위적 강제력은 바람의 패턴¹³⁾을 변화시켜 북반구와 남반구에서 중위도 폭풍의 경로와 기온패턴에 영향을 미쳤을 가능성이 높다(likely). 그러나 북반구 순환의 관측된 변화는 20세기 강제력 변화에 따라 모의된 순환 변화보다 더 크다. {3.5, 3.6, 9.5, 10.3}
- 더운 밤, 추운 낮과 추운 밤의 극한 기온은 인위적인 강제력에 의해 상승하였을 가능성이 높다(likely). 인위적 강제력은 열파의 위험을 증가시켰을 가능성이 있다(그림 SPM.2. 참조). {9.4}

관측에 의한 제약조건(constraint)과 함께 기후모델에 의한 분석을 통하여 최초로 기후민감도의 범위를 평가하는 것이 가능해져(likely), 복사강제력에 대한 기후 시스템의 반응에 관한 이해의 신뢰도가 증가하였다. {6.6, 8.6, 9.6, Box 10.2}

- 평형상태의 기후민감도는 지속적인 복사강제력에 대한 기후시스템의 반응의 척도이다. 기후민감도는 전망이 아니라 이산화탄소 농도가 배증되었을 때 지구 평균기온의 온난화로 정의된다. 기후민감도 범위는 2~4.5°C(최적추정치 약 3°C)일 가능성이 높으며(likely), 민감도가 1.5°C 미만일 가능성이 매우 낮다(very unlikely). 민감도가 4.5°C 보다 더 클 가능성이 있지만, 이 영역에 대해서 모델과 관측결과는 잘 일치하지 않는다. 수증기의 변화는 기후민감도에 영향을 주는 최대의 피드백이며, 현재는 TAR 보다 더 잘 이해되고 있다. 구름 피드백은 아직도 최대의 불확실 요인이다. {8.6, 9.6, Box 10.2}
- 1950년 이전의 7세기 동안 기후변화는 기후시스템 내의 변동성에 의해 발생했을 가능성은 매우 낮다(very unlikely). 이 기간에 복원된 북반구의 수십 년 규모의 기온변동의 상당한 부분은 화산활동과 태양복사량의 변화일 가능성이 매우 높다(very likely). 또한 인위적 강제력이 20세기 초에 온난화에 기여했을 가능성이 높다(likely). {2.7, 2.8, 6.6, 9.3}

13) 특히, 북반구와 남반구의 Annular mode와 북대서양 진동과 관련된 변화. {3.6, 9.5, Box TS.2}

전지구와 각 대륙의 기온 변화

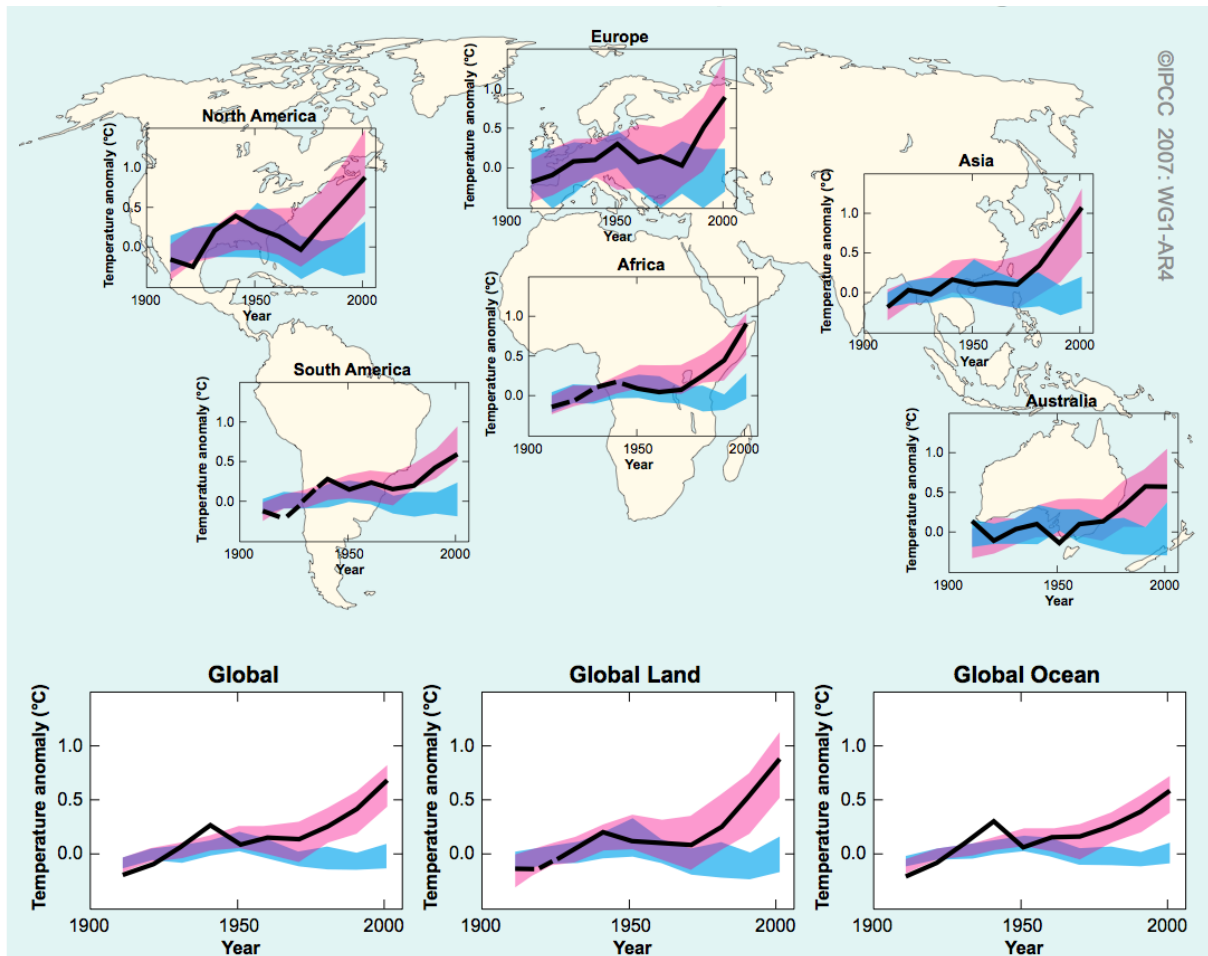


그림 SPM.4. 관측된 대륙 및 지구 규모 지표기온의 변화와 자연적 및 인위적 복사강제력을 포함한 기후 모델에 의한 시뮬레이션의 비교. 1906-2005년 관측된 10년 평균치(검은색 실선)는 1901-1950년 평균과 비교하여 매 10년의 값을 연대의 중앙에 표시하였다. 관측 면적이 전체의 50% 미만인 기간은 파선으로 나타내었다. 파란색 영역은 태양 활동과 화산에 의한 자연 강제력만을 고려한 5개 기후모델에 의한 19개 시뮬레이션의 5-95%가 포함되는 범위를 나타낸다. 붉은색 영역은 자연적 및 인위적 복사강제력을 모두 고려한 14개 기후모델에 의한 58개 시뮬레이션의 5-95%가 포함되는 범위를 나타낸다. {FAQ 9.2, 그림 1}

미래 기후변화 전망

TAR와 비교해서 기후변화 전망에 대한 평가의 주요 정보는 다양한 모델에 의한 시뮬레이션 결과가 많다는 것이다. 관측에 의한 추가적인 정보와 함께, 시뮬레이션의 증가는 미래기후변화의 다양한 양상에 대한 우도함수를 추정하는 정량적 근거를 제공한다. 모델 시뮬레이션은 이론적인 배출 또는 농도 가정을 포함한 가능한 미래의 범위를 포함한다. 가능한 미래는 2000~2100년에 대한 SRES¹⁴⁾ 시나리오와 2000년 또는 2100년 이후 온실가스와 에어러솔 농도를 일정하게 유지하는 모델 실험을 포함한다.

향후 20년 동안, SRES 배출 시나리오 범위에 대하여 0.2°C/10년 상승률로 온난화가 진행될 것으로 전망된다. 온실가스와 에어러솔 농도를 2000년 수준으로 유지하더라도, 기온은 0.1°C/10년 비율로 온난화될 것으로 예상된다. {10.3, 10.7}

강화한다. {1.2, 3.2}

- 모델 실험에 따르면 모든 복사강제력이 2000년 수준으로 유지된다 할지라도 해양의 느린 반응으로 인하여 향후 20년간 약 0.1°C/10년의 온난화가 진행 될 것이며, SRES 시나리오의 배출 범위 내에서는 약 두 배(0.2°C/10년)의 온난화가 전망된다. 모델에 의한 전망의 최적 추정치(best-estimate)는, 2030년까지 인간이 거주하는 각 대륙에서의 십년 평균 온난화는 어떤 SRES 시나리오를 선택하는가에 민감하지 않으며, 20세기 동안 모델에 의해 추정된 자연변동성의 적어도 두 배에 상당할 가능성이 매우 높은 것(very likely)으로 전망된다. {9.4, 10.3, 10.5, 11.2-11.7, 그림 TS-29}

현재 수준 또는 그 이상으로 온실가스 배출이 지속되면 추가적인 온난화를 일으키고 21세기 동안 지구기후시스템에 다양한 변화를 초래할 것이며, 이 변화는 20세기 동안 관측된 변화보다 클 가능성이 매우 높다 (very likely). {10.3}

- 1990년의 IPCC의 첫 번째 보고서 이래, 1990년부터 2005년까지 지구 평균기온이 0.15~0.3°C/10년 비율로 상승할 것으로 전망하였다. 이것은 현재의 관측 경향성(약 0.2°C/10년)과 비교해 보면, 단기간에 대한 전망에 대한 확신을

표 SPM.3. 21세기말 지구평균 지표 온난화와 해수면 상승 전망. {10.5, 10.6, 표 10.7}

시나리오	기온 변화(1980-1999년과 비교한 2090-2099년의 차이(°C)) ^a		해수면 상승(1980-1999년과 비교한 2090-2099년의 차이(m))
	최적추정치 (Best estimate)	가능범위 (Likely range)	모델에 의한 범위(얼음 유출에서 미래의 급격한 역학적 변화 제외)
2000년 농도 유지 ^b	0.6	0.3-0.9	자료 없음
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

표 주석

a : 이러한 추정치는 간단한 기후모델, 몇 개의 중간 정도로 복잡한 지구시스템모델, 다수의 대기-해양 결합 모델(AOGCMs)에 의해 평가된다.

b: 2000년 수준 농도 유지는 AOGCM만에 의한 값이다.

14) SRES는 “배출시나리오에 관한 IPCC의 특별보고서”(2000)이다. SRES 시나리오군 및 구체적인 사례(추가적인 기후 변동 대책은 포함되지 않는다)는 본 보고서의 마지막 부분에 서술하였다. 2100년에 인위적 온실가스와 에어러솔의 복사강제력에 상당하는 이산화탄소 농도는 SRES 시나리오 B1, A1T, B2, A1B, A2 및 A1FI에 대해 각각 약 600, 700, 800, 850, 1250, 1550 ppm 이다. B1, A1B, A2 시나리오는 모델에 의한 상호 비교 연구의 초점이며, 이러한 결과의 상당수는 본 보고서에서 평가되고 있다.

Multi-model Averages and Assessed Ranges for Surface Warming

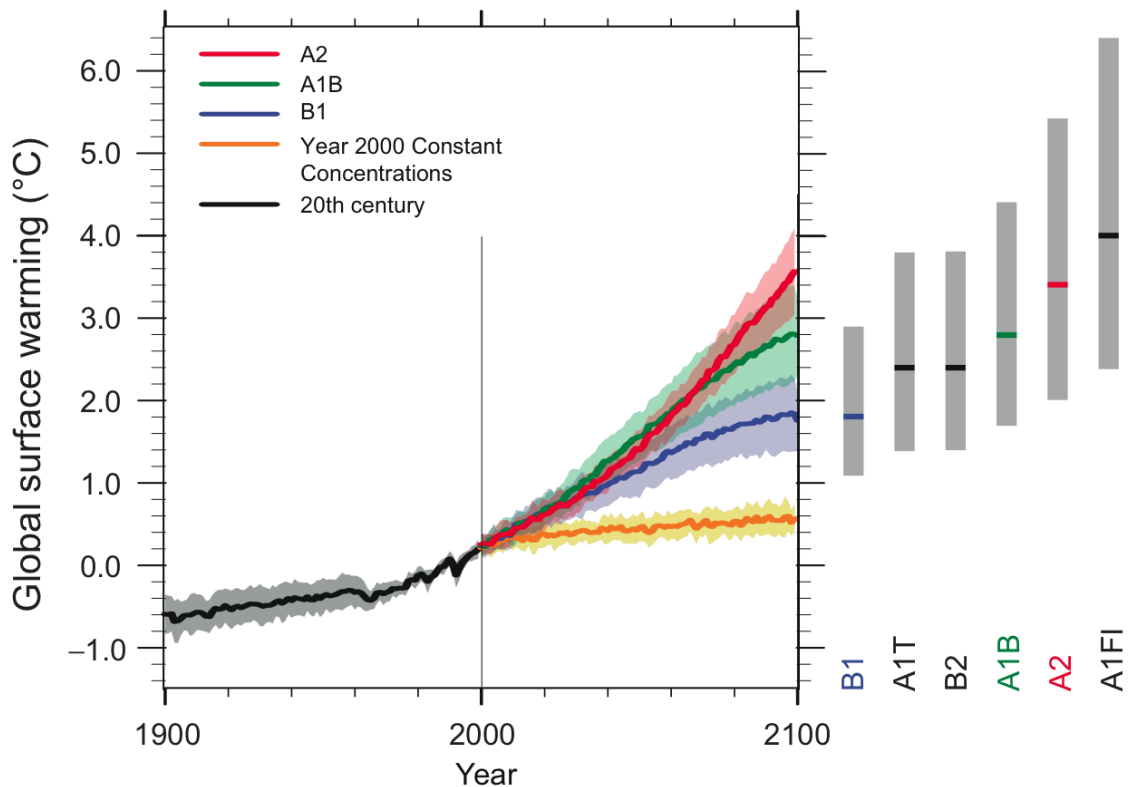


그림 SPM.5. 실선은 20세기 재현결과에 이어 A2, A1B, B1 시나리오에 대한 다중모델에 의한 지구 평균 지표 온난화(1980~1999년과 비교한)를 나타낸다. 음영부는 모델의 연평균의 ± 1 표준편차 범위이다. 주황색 선은 2000년의 농도를 일정하게 유지한 실험의 결과이다. 우측의 회색 막대는 6개의 SRES 시나리오의 최적추정치(중간의 가로 선)와 가능범위를 나타내며, 이 최적추정치와 가능범위의 평가에는 왼쪽에 나타난 AOGCM과 다양한 독립모델 및 관측결과로부터의 제약조건이 포함되었다. {그림 10.4, 10.29}

- 기후변화모델링에서의 진보는 여러 배출 시나리오에 대한 온난화의 전망에 있어 최적추정치(best estimate)를 가능하게 하고 불확실성의 범위를 평가할 수 있게 (likely) 되었다. 배출 시나리오별 결과는 정책관련 정보를 제공하기 위하여 이 보고서에 명시하였다. 1980~1999년에 기준하여, 21세기(2090~2099년)말 지구 평균 온난화 전망은 표 SPM.3.에 제시하였다. 이러한 전망은 SRES 시나리오의 고배출과 저배출의 차이와 시나리오에 따른 온난화 전망의 불확실성을 나타낸다. {10.5}

- 6개의 SRES 배출 시나리오에 대한 지구 평균기온 상승에 대한 최적추정치와 가능범위(likely range)는 표 SPM.3.에 제시하였다. 예를 들면, 저배출 시나리오(B1)의 최적추정치는 1.8°C(가능범위는 1.1~2.9°C)이며, 고배출 시나리오(A1FI)의 최적추정치는 4°C(가능범위는 2.4~6.4°C)이다. 이 전망결과가 TAR(1.4~5.8°C)에서 제시된 범위와 대략적으로 일치하기는 하나, 직접적으로 비교할 수 없다

(그림 SPM.5. 참조). 제4차 평가보고서는 각 시나리오별 최적추정치와 가능범위를 제공하기 때문에 더욱 진보된 것이라 볼 수 있다. 가능범위에 대한 새로운 평가는 보다 복잡적이고 현실적인 다수의 기후모델과 탄소순환의 피드백과 관측에서 구한 기후반응의 제약조건에 대한 새로운 정보에 기인한 것이다. {10.5}

- 온난화는 육지와 해양의 대기 중 이산화탄소 흡수를 줄여서 인위적 배출량의 일부가 대기 중에 잔류하는 비율이 증가하는 경향이 있다. 예를 들면, A2시나리오의 경우 기후-탄소순환 피드백은 2100년까지 지구평균온난화를 1°C 이상 증가시킬 것이다. 현재 이용 가능한 광범위한 모델의 범위는 더 강한 기후-탄소순환 피드백을 제시하기 때문에 기온 전망의 상한범위가 TAR보다 크다(표 SPM.3. 참조). {7.3, 10.5}

- 21세기말(2090~2099년) 모델에 의한 지구평균해수면 상승 전망은 표 SPM.3.에 제시하였다. 시나리오별로 표

SPM.3.의 전망의 중간값은 같은 기간에 대한 TAR 모델 평균의 10%이내에 포함된다. 전망 범위는 TAR 보다 작아졌는데, 이는 주로 기여도 전망의 일부 불확실성에 대한 개선된 정보에 기인¹⁵⁾한 것이다. {10.6}

- 모델들은 근거문헌 부족으로 기후-탄소순환 피드백의 불확실성이나 빙상(ice sheet)유출의 변화 효과를 포함하지 않았다. 해수면 전망은 그린란드와 남극대륙에서 1993~2003년 관측된 빙하유출의 증가에 의한 기여를 포함한다. 예를 들면, 만약 이런 기여가 지구평균기온 변화에 따라 선형적으로 증가한다면, 표 SPM.3에 제시된 SRES 시나리오에 따른 해수면 상승의 상한범위는 0.1에서 0.2 m로 증가될 것이다. 이 값보다 더 큰 값들이 나올 수도 있으나, 추정치를 평가하거나, 최적추정치나 해수면 상승의 상한선을 제시하기에는 이런 효과에 대한 이해는 매우 제한적이다. {10.6}

- 대기 중 이산화탄소의 농도 증가는 해양의 산성화를 증가시킨다. SRES 시나리오에 근거한 전망은 산업화이후 산성도(pH¹⁶⁾) 0.1 감소에 추가하여, 21세기에는 산성도가 0.14~0.35 정도 낮아질 것라고 제시한다. {5.4, Box 7.3, 10.4}

대기 해양 결합 모델에 의한 지상 기온의 예측

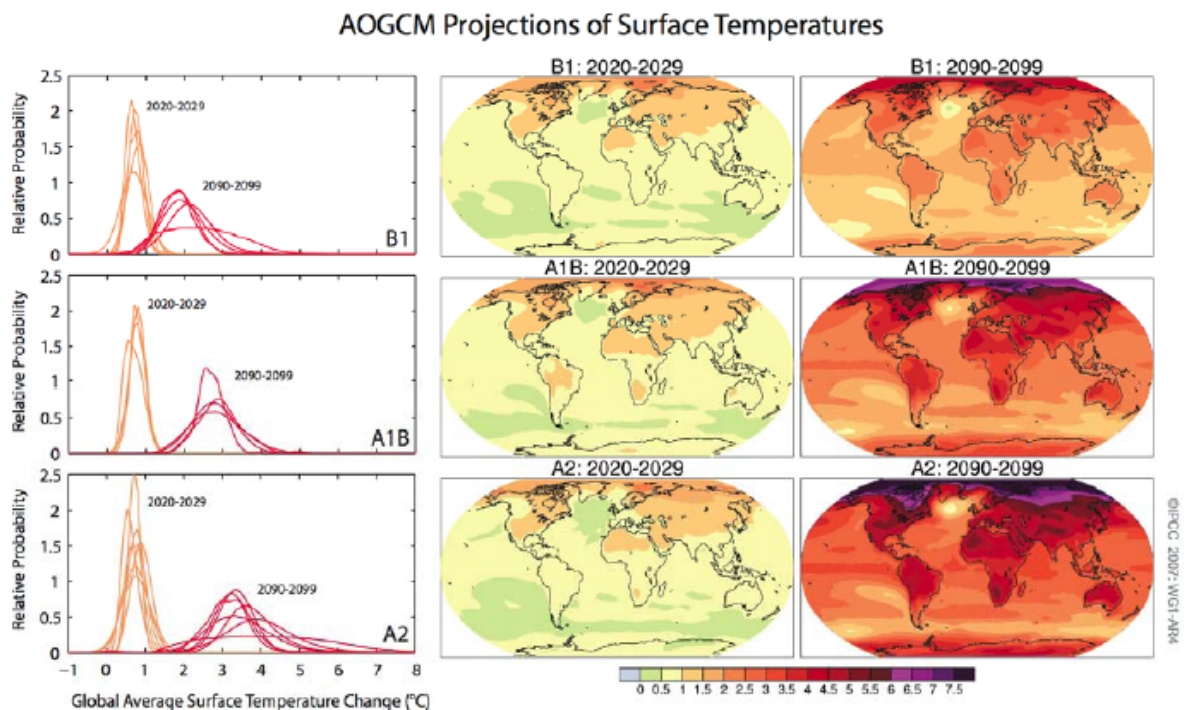


그림 SPM.6. 1980-1999년과 비교한 21세기 초기 및 말기의 지구평균기온의 전망. 중앙과 오른쪽의 그림은 B1(위), A1B(중앙), A2(아래) 시나리오에 따른 다중 AOGCM 모델 평균 전망으로 2020-2029년(중앙) 및 2090-2099년(오른쪽) 동안의 십년 평균이다. 왼쪽의 그림은 같은 기간에 대해 몇 개의 AOGCM 및 지구시스템모델 연구에 의해 추정된 지구평균 온난화의 상대적 확률로 표시한 불확실성을 나타낸다. 일부 연구는 단지 SRES 시나리오의 일부 또는 다양한 모델 버전에 대한 결과를 제시한다. 그러므로 왼쪽의 그림에 나타난 곡선의 갯수는 이용가능한 결과의 차이에 의한 것이다. {그림 10.8, 10.28}

15) TAR에서는 2100년에 대한 전망이지만 이 보고서에서는 2090-2099년이 대상이다. 만약 TAR에서 표 SPM.3과 같은 방법으로 불확실성을 취급했으면, TAR에서도 표 SPM.3과 동일한 범위를 보였을 것이다.
 16) pH의 감소는 용액의 산성도의 증가를 나타내고 있다. 상세한 것에 대하여는 용어집을 참조.

강수 분포의 변화 예측

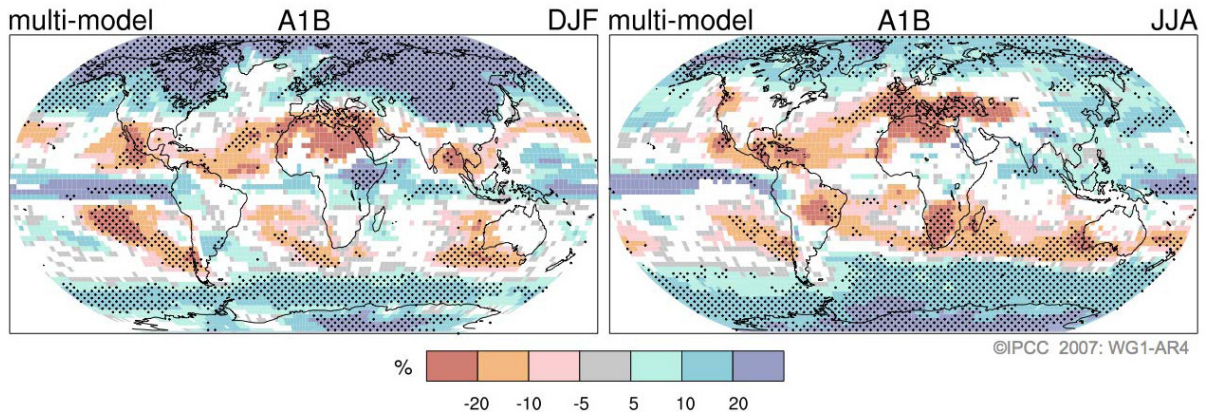


그림 SPM.7. 1980-1999년과 비교한 2090-2099년 상대적인 강수량 변화(%). 그림은 SRES A1B 시나리오에 대한 다중 모델 평균이며, 왼쪽 그림은 12-2월(DJF), 오른쪽 그림은 6-8월(JJA)이다. 흰색 영역은 66% 미만의 모델이 변화의 부호가 일치하는 지역이며, 빛금진 영역은 90% 이상의 모델이 변화의 부호가 일치하는 지역이다. {그림 10.9}

전망된 온난화 패턴과 지역 규모의 변화 양상(바람 패턴, 강수, 극한기후 및 설빙 현상 등)에 대한 신뢰도가 높아지고 있다. {8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 9.4, 9.5, 10.3, 11.1}

- 21세기에 전망된 온난화는 시나리오 종류와 상관없이 지난 수십 년간 관측된 지리적 분포와 유사한 패턴을 보인다. 온난화는 내륙과 북반구 고위도에서 가장 크고 남반구 해양과 북대서양 일부해역에서는 적을 것으로 전망된다(그림 SPM.5. 참조). {10.3}
- 적설면적은 축소될 것으로 전망되며, 영구동토의 대부분 지역에서 해빙 깊이가 광범위하게 증가할 것이다. {10.3, 10.6}
- 모든 SRES 시나리오에서 북극과 남극의 해빙이 축소될 것으로 전망된다. 일부 전망에서는 북극해에서 늦여름 해빙이 21세기 후반에는 거의 소멸된다. {10.3}
- 극한고온, 열파, 호우사례는 빈발할 가능성이 매우 높다 (very likely). {10.3}
- 모델 결과에 의하면, 미래에 열대저기압(태풍과 허리케인)은 열대 해수면온도의 지속적인 상승과 함께 최대 풍속은 호우의 증가와 함께 더욱 강화될 가능성(likely)이 있다. 지구적으로 열대저기압의 발생수가 감소한다는 전망에 대한 신뢰도는 낮다. 일부지역에서 1970년 이후 매우

강한 열대저기압의 비율의 증가는 같은 기간에 대한 현재 모델의 모의결과보다 더 크다. {9.5, 10.3, 3.8}

- 지난 반세기 동안 관측 추세의 대체적인 패턴과 유사하게 중위도 온대저기압의 진로(Extratropical Storm track)는 극 쪽으로 이동하고 이에 따라 바람, 강수, 기온 패턴 변화를 동반할 것으로 전망된다. {3.6, 10.3}
- TAR 이후, 강수패턴 전망에 대한 이해가 증진되었다. 관측 패턴의 최근 추세와 유사하게 강수량은 고위도에서 증가할 가능성이 매우 높고(very likely), 대부분 아열대 육지에서 감소할 가능성이 있다(likely) (A1B 시나리오에서는 2100년 약 20%까지 감소, 그림 SPM.7. 참조). {3.3, 8.3, 9.5, 10.3, 11.2}
- 현재 모델 모의결과에 따르면, 대서양의 자오선순환(Meridional Overturning Circulation, MOC)은 21세기 동안 느려질 가능성이 매우 높다(very likely). A1B시나리오의 경우 다중모델 평균은 2100년까지 25%(0~50% 범위) 감소한다. 대서양 지역의 기온은 온실가스의 증가로 인한 기온상승이 우세하여, MOC가 감소함에도 불구하고, 상승할 것으로 전망된다. MOC는 21세기에 급격한 불연속적인 변화의 가능성은 매우 낮다(very unlikely). MOC의 장기적인 변화는 신뢰성 있게 평가할 수 없다. {10.3, 10.7}

기후과정과 피드백과 관련된 시간규모 때문에, 온실가스 농도가 안정화되더라도 인위적인 온난화와 해수면 상승은 수세기 동안 지속될 것이다. {10.4, 10.5, 10.7}

- 기후-탄소순환의 결합은 기후시스템이 온난화되면서 대기 중의 이산화탄소를 증가시킬 것이나 이 피드백의 크기는 불확실하다. 이 때문에 대기 중의 이산화탄소의 농도를 어느 특정 수준으로 안정화시키기 위해서 필요한 이산화탄소 배출량의 불확실성을 증가시킨다. 기후-탄소순환 피드백과정에 대한 현재의 이해에 근거한 모델 연구에 의하면 이산화탄소가 450 ppm까지 안정화하기 위해서는 21세기 누적배출량은 대략 670 [630-710] GtC (2460 [2310-2600] GtCO₂)에서 490 [375-600] GtC (1800 [1370-2200] GtCO₂)까지 감소되어야 된다고 제안한다. 1000 ppm으로 안정화시키기 위해서 이 피드백은 누적배출량이 1415 [1340-1490] GtC (5190 [4910-5460] GtCO₂)에서 1100 [980-1250] GtC (4030 [3590-4580] GtCO₂)까지 감소되어야 한다. {7.3, 10.4}
- 2100년 이후 BI, A1B시나리오 수준으로 복사강제력이 안정화된다면 지구평균 기온은 2200년에 추가적으로 약 0.5°C 상승이 예상된다. {10.7}
- 2100년 이후 A1B 수준으로 복사강제력이 안정화되면 열팽창만으로 해수면은 2300년까지(1980~1999년 대비) 0.3~0.8 m 상승할 것이다. 심해로 열이 수송되는데 걸리는 시간 때문에 열팽창은 수세기 동안 지속될 것이다. {10.7}
- 그린란드 빙상의 축소는 2100년 이후에도 해수면 상승에 기여할 것으로 전망된다. 모델은 기온상승에 따른 빙하의 질량감소가 강수에 의한 질량증가보다 빠르기 때문에, 지표면 질량은 산업화 이전과 비교해서 1.9~4.6°C 이상의 지구평균 온난화로 인해 질량이 감소할 것이라고 예상된다. 이러한 질량감소 현상이 천 년간 지속된다면 그린란드 빙상은 거의 사라지고 해수면은 약 7 m 상승할 것이다. 그린란드의 미래 온도는 고기후학적으로 극의 얼음이 축적되고 해수면이 4~6 m 상승하였던 마지막 간빙기인 125,000년 전의 기온과 유사할 것이다. {6.4, 10.7}
- 빙하 유출과 관련된 역학 과정은 현 단계 모델에는 포함되지 않았으나 최근 관측에 의해 제안되고 있으며, 온난화로 인해 빙상의 취약성을 증가시키고 미래의 해수면 상승을 초래할 수 있다. 이러한 과정에 대한 이해는 제한적이며 그 규모에 대한 견해가 공감대를 얻지 못하고 있다. {4.6, 10.7}
- 현재 전구모델결과는 남극의 빙상이 광범위한 표면 용해가 일어나지 않을 정도의 저온상태를 유지하고, 강설량의 증가로 질량이 증가할 것으로 예상된다. 그러나 빙상 질량균형에서 역학적 빙하유출이 우세하다면 빙하질량의 순감소가 발생할 수 있다. {10.7}
- 과거와 미래의 인위적인 이산화탄소 배출은 대기 중에서 제거하는데 필요한 시간규모 때문에 천 년 이상 온난화와 해수면 상승에 지속적으로 기여할 것이다. {7.3, 10.3}

배출 시나리오에 관한 특별보고서 (Special Report on Emission Scenarios, SRES)¹⁷

- A1.** A1 줄거리와 시나리오 집단은 미래 세계를 매우 빠른 경제성장, 세계인구가 중반에 정점에 도달하였다가 그 이후 감소, 효율적인 신기술의 도입으로 설명한다. 주요한 기본 테마는 지역 간의 수입의 격차가 상당히 줄어들어 따라 지역 간의 수렴, 가능성의 축적 및 사회 문화적 교류의 증대이다. A1 시나리오 집단은 에너지 시스템의 기술 변화의 대체 방향에 따라 세 그룹으로 발전된다. A1의 시나리오 그룹은 기술의 강조 방향에 따라 구분될 수 있다: 화석연료 중심(A1FI), 비화석연료 중심(A1T) 및 모든 에너지공급원의 균형(A1B) (균형은 모든 에너지 공급원과 활용 기술의 동등한 발전의 가정 하에 특정한 종류의 에너지원에 의존하지 않는 것으로 정의된다).
- A2.** A2 줄거리와 시나리오 집단은 매우 혼합적인 세계를 설정한다. 주요한 기본 테마는 자기 의존과 지역 주체성을 보존하는 것이다. 지역에 따른 인구 증가는 매우 느리게 수렴하며 결과적으로 인구가 지속적으로 증가한다. 경제성장은 지역 중심으로 자본 대비 경제성장과 기술 진보는 다른 줄거리에 비하여 단편적이고 더디다.
- B1.** B1 줄거리와 시나리오 집단은 A1 줄거리와 같은 세계를 설정하지만 물질력의 감소와 깨끗하고 재생효율적인 기술의 도입으로 경제구조가 서비스와 정보 경제로 급격히 변화한다. 강조되는 것은 경제, 사회, 환경분야의 지속가능성과 새로운 기후 이니셔티브를 제안하지 않은 형평성의 개선에 대한 세계적인 해결책이다.
- B2.** B2 줄거리와 시나리오 집단은 경제, 사회, 환경분야의 지속가능성에 대한 지역 해결책을 강조한 세계를 설정한다. 이 세계는 지속적으로 A2보다는 낮은 비율로 인구가 증가하고 경제성장은 보통 수준이며, A1과 B1 줄거리에 비하여 덜 빠르지만 다양한 기술 변화가 있는 세계이다. 이 시나리오는 환경보호와 사회적 형평성으로 향하고 있지만 지역적인 수준에 초점을 둔다.

16) 이 IPCC WG I 보고서에서 배출 시나리오는 평가되지 않았다. 이 Box는 TAR의 내용을 그대로 인용한 것이다.