

"As a UN body the IPCC publishes reports only in the six official UN languages. This translation of the IPCC Fourth Assessment Report "Climate Change 2007 : The Physical Science Basis" 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 IPCC 제10차 WG I 회의(2007, 프랑스 파리)에서
최종 승인·채택된 보고서를 국문 번역한 것입니다.

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

기후변화 2007

과학적 근거

편집

Susan Solomon
IPCC 제1실무그룹
공동의장

Dahe Qin
IPCC 제1실무그룹
공동의장

Martin Manning
IPCC 제1실무그룹
기술지원단장

Melinda Marquis

Kristen Averyt

Melinda M.B. Tignor

Henry LeRoy Miller, Jr.

IPCC 제1실무그룹 기술지원단

Zhenlin Chen

중국 기상청

표지 사진:

푸른 구슬(Blue Marble) 서반구와 동반구, 육지, 바다, 해양빙하, 구름을 통해 지구의 기후계(또는 기후시스템)를 시각적으로 표현한 이 사진은 TERRA와 AQUA 위성에 탑재된 NASA의 MODIS(MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) 센서를 통해 우주에서 지구를 관측한 모습입니다. 이 사진들은 푸른구슬(Blue Marble) 데이터세트의 일부이며, <http://bluemarble.nasa.gov>에서도 감상할 수 있습니다. 또한 Stöckli, R., Vermote, E., Saleous, N., Simmon, R., and Herring, D. (2006) 책에도 소개되어 있습니다. 실제 색깔의 지구 데이터가 계절의 역동성을 보여주고 있습니다. EOS, 87(5):49, 55.

서문

기후변화 과학에 대한 최초의 중대한 지구적 평가를 의미하는 6년 만의 “Climate Change 2007 - The Physical Science Basis”는 정책결정자와 일반 대중의 관심을 단숨에 사로잡았습니다. 이 보고서는 우리가 기후계 그리고 온실가스 배출량에 대한 기후계의 민감도를 전보다 풍부하고 깊게 이해하고 있음을 확인시켜줍니다. 또한 미래의 기후변화를 보다 깊게 통찰하게 될 역동적인 연구 분야도 알려줍니다.

이 보고서의 엄밀함과 신뢰성은 대부분 IPCC의 고유 성격 덕분입니다. 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)에 의해 1988년에 설립된 IPCC는 정부간 조직이며, 전 세계의 선도적인 기후변화 과학자와 전문가들의 네트워크입니다.

이 보고서의 각 장은 과학자들이 각자 해당 분야의 지식 상태를 평가한 내용을 담고 있습니다. 30개국 이상에서 152명의 총괄 저자와 주요저자가 집필하였고, 600명 이상의 전문가들이 검토하였습니다. 그리고 수많은 정부 관계자들이 검토 의견을 냈습니다.

〈정책결정자를 위한 요약보고서〉는 113개국 정부가 승인하였는데 이것은 그들이 보고서 전체를 이해-그리고 소유-하고 있다는 것을 대변합니다. IPCC의 강점은 바로 이러한 전문가와 정부 검토의 조합입니다.

IPCC는 새로운 연구를 수행하지는 않습니다. 그 대신 IPCC의 임무는 기후변화의 과학적, 기술적, 사회경제적 측면에 관한 전 세계의 기존 자료를 정책에 관련하여 -정책을 정하는 것이 아니라-평가하는 것입니다. 이전 평가보고서들은 각국 정부가 “UN 기후변화협약 (United Nations Framework Convention on Climate Change)”과 “교토 의정서 (Kyoto Protocol)”을 채택하고 이행하도록 촉구하는 데 도움이 되었습니다. 정부들은 기후변화의 도전을 해결하기 위해 공동 행보를 취할 옵션을 고려하고 있기 때문에 이 4차 평가보고서 역시 매우 관련 있는 내용을 담을 것입니다.

Climate Change 2007-The Physical Science Basis는 IPCC 제 4차 평가보고서(IPCC's Fourth Assessment Report)의 제1권입니다. 제2권은 기후변화의 영향, 취약성, 적응옵션을, 제3권은 완화 가능성 및 비용을 다룹니다. 제4권은 IPCC의 전반적 소견을 취합한 권입니다.

Physical Science Basis는 세계의 선도적 기후 과학자들의 헌신과 자발적 수고를 통해 완성되었습니다. 우리는 모든 총괄 저자, 주요저자, 보조저자, 감수편집자, 감수자들에게 감사를 표합니다. 또한, 또 하나의 성공적인 IPCC 보고서가 완성되도록 조정작업에

헌신해준 제1실무그룹 기술지원단과 IPCC 자문단에 게도 감사합니다.

많은 정부들이 과학자들의 IPCC 참여와 자발적 신용기금에 협력을 해 주셨습니다. 이런 덕택으로 개발도상국과 신흥경제개발 국가들의 전문가들의 IPCC 참여가 보장되었습니다. 이탈리아, 중국, 뉴질랜드 정부에서 초안을 검토하는 회의를 개최하였으며, 프랑스 정부에서 개최된 전체회의를 통해 이 보고서가 승인 및 채택되었습니다. 미국 정부는 제1실무그룹의 기술지원단에 자금을 지원하였습니다.

마지막으로, IPCC 의장(Dr. R.K. Pachauri)에 깊은 감사를 드립니다. 그는 미래지향적이고 지칠 줄 모르는 IPCC의 길잡이로서 역할을 수행하였습니다. 제1실무그룹의 공동의장인 Susan Solomon 박사와 Dahe Qin 교수에게도 감사드립니다. 그들은 제1실무그룹의 능력있는 리더십 역할을 충실히 이행하여 이 보고서가 나오게 되었습니다.



M. Jarraud
사무총장
세계기상기구 (WMO)



A. Steiner
집행위원장
UN 환경계획 (UNEP)

머리말

IPCC 제4차 평가보고서(AR4)의 제1실무그룹(Working Group I; WG I) 보고서는 기후변화의 물리과학에 대한 포괄적 평가를 제공하고, 이전의 WG I 평가를 이어 계속 물리과학의 시야를 넓혀간다. 이 보고서에 제시된 결과들은 확장된 데이터세트, 새로운 분석결과, 더 정교한 기후모델링 능력, IPCC 제3차 평가 이후 이용 가능해진 방대한 과학적 자료들에 근거한다.

이 보고서는 IPCC에서 정하고 이전 평가들에도 사용했던 규칙과 절차에 따라 준비되었다. 보고서의 구조는 2003년 11월 제21차 세션에서 합의되었고, 주요 저자들은 2004년 4월 IPCC 제 31차 세션에서 승인되었다. 이 저자들이 작성한 초안은 2차례의 검토와 개정을 받았고, 그 기간 동안 650명 이상의 민간 전문가뿐 아니라 정부와 국제기구로부터 3만 건 이상의 의견서가 접수되었다. 각 장의 감수편집자는 정부와 민간인 전문가들의 모든 실질적 검토의견이 적합하게 고려되게 하였다. 정책결정자를 위한 요약문은 한 줄 한 줄 면밀히 승인되었고, 원 보고서의 해당 장(chapter)들은 그 다음에 2007년 1월 29일부터 2월 1일 까지 열린 IPCC 제 10차 세션에서 수락되었다.

보고서의 범위

WG I 보고서는 기후변화의 물리과학에서 현재 이해된 측면 중 정책결정자에게 가장 관련 있다고 판단된 것들에 초점을 맞추었다. 과학적 이해의 발전사항을 검토하거나 기후과학 전부를 다루려 하지는 않았다. 더욱이 이 평가는 2006년 중반에 저자들에게 이용 가능한 과학 자료들에 기초한 것이므로 독자들은 이 안의 주제 중 일부는 추가로 급속히 발전할 수도 있다는 것을 인식하기 바란다.

최근 기후변화 연구의 한 가지 특징은 대기, 해양, 빙권을 포함해 기후계의 여러 구성요소에 대해 현재 이용 가능한 관측의 범위가 넓어졌다는 것이다. 추가 관측과 새로운 분석 덕분에 우리의 이해가 넓어졌고 많은 불확실성이 감소될 수 있었다. 새로운 정

보는 예상치 못했던 빙상의 변화, 그것들이 해수면 상승에 미치는 잠재적 효과, 기후변화와 생물지구화학 간의 복잡한 상호작용의 함축성 같은 분야에 새로운 의문을 던지기도 했다.

기후변화의 미래 전망을 고려할 때, 이 보고서는 AR4 범위결정 및 승인 과정에서 3개 실무그룹의 일관성을 위해 IPCC가 결정한 바를 따른다. 즉, IPCC가 이전에 평가한 배출 시나리오를 사용한 것이다. 그러나 기후 안정화에 관련된 새 기후모델에서 나온 정보의 중요성도 인정되었다. 그리하여 두 주제를 모두 다루기 위해, 기후모델링 그룹은 대기 조성이 일정하게 유지되는 이상화된 실험이 포함된 기후 시뮬레이션을 수행했다. 20세기와 21세기에 대한 모델 실행을 비롯해 기후모델 앙상블 시뮬레이션 외에도, 이 평가는 앞에 수행되었던 기후변화 평가보다 훨씬 많은 시뮬레이션을 고려할 수 있었다.

IPCC에서 기후변화의 효과 평가와 그런 효과에 반응하거나 피하기 위한 옵션의 평가는 WG II와 III에서 수행하므로 이 WG I 보고서에는 포함되지 않는다. WG I 보고서는 이전 보고서와 일치하는 배출 시나리오들의 결과를 제시하는 반면에, 미래 배출량의 가능한 범위에 대한 업데이트 된 평가는 WG III에서만 수행할 수 있다.

WG I 보고서의 구성

WG I 평가는 서론 격인 1장을 처음으로 포함하고 있다. 이 1장에서는 기후변화 과학에 사용된 방법, 기후 모델의 역할, 불확실성 처리방법의 발전사항을 포함해 그동안 기후변화 과학이 진전되어온 방식을 설명한다.

2장과 7장은 대기의 복사에너지균형에 영향을 주어 지구 기후를 결정하는 대기 구성요소(가스과 에어러솔)의 변화를 설명한다. 2장은 대기에서 관측된 변화에 기초하여 전망을 제시하고, 복사강제력의 중심 개념을 설명한다. 7장은 에어러솔/구름 상호작용을 포함해 대기 구성요소에 영향을 주는 생물지구화학 순환과 기후변화 사이의 상호관계를 고려함으로써 2

장을 보충한다.

3, 4, 5장에서는 대기와 지표, 눈과 얼음과 동토, 그리고 해양, 이 각 영역에 대해 현재 이용 가능한 방대한 관측 결과를 설명한다. 기후계의 이런 구성요소들에서 관측된 변화는 물리적 과정 전체에서 서로 긴밀히 연관 있지만, 각 장은 위성관측 데이터를 포함해 유효한 데이터 및 그것들의 불확실성에 초점을 맞춰 평가한다. 5장은 이것들과 해양의 열함량 간의 강한 상호연관성을 인식해 해수면에서 관측된 변화를 평가한다.

6장에서는 고기후 전망을 제시하고, 과거 기후변화에 대한 증거와 현재의 과학지식으로 설명될 수 있는 범위를 평가한다. 6장에는 재구성된 지난 1300년간의 온도에 대한 평가가 새로이 포함되었다.

8장은 물리적 과정을 기후모델에서 시뮬레이션하는 방법을 설명하고, 모델 결과를 평균적 상태 및 변동성을 비롯한 기후 관측결과에 비추어 평가한다. 9장은 관측된 기후변화의 인위적 원인과 자연적 원인으로 볼 수 있는 범위에 관한 문제들을 평가한다.

10장은 전지구적 기후 및 그것의 불확실성을 전망하기 위한 기후모델 사용을 설명한다. 서로 다른 수준의 미래 온실가스에 관한 결과를 보여주고, 기후

계의 다양한 물리적 반응과 그 반응에 연관 있는 시간 스케일 및 관성에 대한 확률적 평가를 제시한다. 11장은 전지구적 전망과 일치하는 지역적 기후변화 전망을 설명한다. 지역 수준의 모델 신뢰성과 지역 규모의 기후변화에 상당히 영향을 줄 수 있는 인자들에 대한 평가결과를 제시한다.

정책결정자를 위한 요약보고서(SPM)와 기술요약보고서(TS)는 이 보고서와 동일한 구조를 따르며, 요약된 내용이 들어있는 원래 보고서의 장과 절의 상호참조가 표시되어 있다. 이런 방법으로 이 보고서의 요약문들은 전체 보고서의 내용에 관한 로드맵을 제시하고 있으며, 따라서 독자들은 SPM과 TS를 그런 방법으로 사용하길 바란다.

이 보고서는 혁신적으로 19개의 FAQ를 담았다. FAQ에서 저자들은 폭넓은 지식을 제공하기에 알맞은 형식으로 일반적인 다양한 질문에 대한 과학적 답변을 제공한다. 마지막으로, 각 장의 초안과 함께 검토된 250 페이지 분량의 보충자료를 포함시켰다. 이것은 개별 기후모델의 결과 등 추가 세부정보를 제공하기 위한 것으로, 이 보고서의 CD와 웹 버전에서 이용 가능하다.

이 보고서에서 다루진 주요 정책 관련 질문, 이슈 및 해당 장

질 문	장
IPCC가 출범한 후로 기후변화 과학은 얼마나 발전했는가?	1
기후변화에 기여하는 자연적, 인위적 요소, 그리고 기후변화에 관련된 근본적 과정에 대해 밝혀진 것은 무엇인가?	2, 6, 7
기기관측이 시작된 후로 기후는 어떻게 변하고 있다고 관측되었나?	3, 4, 5
기기 관측이 시작되기 전의 수백 년~수천 년 동안의 고기후 변화와 그런 변화를 일으킨 과정에 대해 밝혀진 것은 무엇인가?	6, 9
최근 기후변화에 대한 인간과 자연의 기여도는 얼마나 이해하고 있는가? 모델을 사용해서 기후변화를 얼마나 잘 모사할 수 있는가?	8, 9
기후가 미래에는 지구전체 및 지역적으로 어떻게 변하리라 전망되는가?	10, 11
빙하와 빙상의 변화가 행하는 역할을 포함해 과거 및 미래 해수면의 변화에 대해 밝혀진 것은 무엇인가?	4, 5, 6, 10
집중호우, 가뭄, 열파 같은 극단적 기상현상에 변화가 있는가? 그것들이 미래에는 왜, 어떻게 변하리라 예상되는가?	3, 5, 9, 10, 11

감사의 글

이 평가는 국제 기후과학 커뮤니티의 전폭적인 협조와 WMO WCRP(World Meteorological Organization World Climate Research Program)와 IGBP(International Geosphere Biosphere Program)의 조정노력에 힘입은 바가 크다. 특히 전 세계 14개 기후모델링 그룹의 개인 및 기관들이 보내준 많은 의견뿐 아니라 WCRP와 IGRP가 기후모델 진단 및 상호비교(Climate Model Diagnosis and Intercomparison)를 위해 유례없이 방대한 양의(30 테트라바이트 이상) 기후모델 결과를 분류하고 보급해준 점에 감사드린다. 이 덕분에 현재의 기후모델들을 세부적으로 상호 비교할 수 있었고 장기 기후변화의 잠재적 성격을 전보다 더 포괄적으로 평가할 수 있었다.

이 보고서는 전적으로 우리의 총괄 저자와 주요 저자 및 보조저자들의 귀중한 도움 속에 보여준 전문 지식, 고된 작업, 최고의 결과를 위한 헌신에 의존했다는 점을 강조하고 싶다. 또한 전문가 감수자들의 감수 노고에 진심으로 감사드리며, 그간 제기된 수많은 건설적인 의견들의 가치를 높이 평가하는 바이다. 우리의 감수 편집자들은 저자들이 이 의견들을 다루는 데 지원을 제공하며 중요한 역할을 해주었다.

제1실무그룹 부서의 Kansri Boonpragob, Filippo Giorgi, Bubu Jallow, Jean Jouzel, Maria Martelo, David Wratt는 저자 선정 및 보고서의 초기 윤곽 설정을 지원하는 편집 이사회에서 중요한 역할을 해주었다. 이들은 실무그룹 공동의장들을 내내 건설적으로

로 지원해주었고 그 점에 감사해 마지않는다.

보고서 준비에 필수적인 4번에 걸친 주요저자 회의 주최처 및 주관처에 심심한 감사를 표한다. 이탈리아, 중국, 뉴질랜드, 노르웨이 정부와 정부기관에게도 감사를 표한다. 최종 제1실무그룹 승인 세션은 프랑스 정부의 관대한 호의를 통해 Mr. Marc Gillet에 의해 가능했고, WMO 컨퍼런스 책임자 Francis Hayes에 의해 매우 수월하게 이루어졌다.

제1실무그룹 기술지원단 스태프 Melinda Marquis, Kristen Averyt, Melinda Tignor, Roy Miller, Tahl Kestin, Scott Longmore의 지칠 줄 모르는 노고에도 감사드린다. 이들을 아낌없이 지원해준 Zhenlin Chen, Barbara Keppler, MaryAnn Pykkonen, Kyle Terran, Lelani Arris, Marilyn Anderson에게도 감사를 표한다. 그래픽과 레이아웃을 지원해 준 Michael Shibao과 Paula Megenhardt 에게도 깊이 감사드린다. 이 보고서의 표지를 장식한 우주에서 본 지구사진을 제공해 준 Reto Stockli에게도 감사움을 표시하고 싶다. 공동의장들이 FAQ를 구성 및 편집하는 데 도움을 준 David Wratt, David Fahey, Susan Joy Hassol에게도 감사를 표한다. 정부 연락과 개도국 및 전환 경제 국가전문가들의 여행을 뒤에서 지원해준 IPCC의 사무국장 Renate Christ, 사무국 스태프 Jian Liu, Rudie Bourgeois, Annie Courtin, Joelle Fernandez에게도 감사를 표한다.

Rajendra K. Pachauri
IPCC Chairman

Susan Solomon
IPCC WGI Co-Chair

Dahe Qin
IPCC WGI Co-Chair

Martin Manning
IPCC WGI TSU Head

목차

서문	v
머리말	vii
정책결정자를 위한 요약보고서	1
기술 요약보고서 (Technical Summary)	19
기술적 요약	87
제 1 장 기후변화 과학의 역사적인 개관	87
제 2 장 대기조성과 복사강제력의 변화	125
제 3 장 관측 : 지표와 대기의 기후변화	241
제 4 장 관측 : 눈, 얼음과 동토의 변화	355
제 5 장 관측 : 해양의 기후변화와 해수면	407
제 6 장 고기후(Palaeoclimate)	457
제 7 장 기후시스템 내의 변화들과 생지화학간의 연결	531
제 8 장 기후모델의 특징과 평가	631
제 9 장 기후변화의 이해 및 원인규명	705
제10장 전 지구 기후전망	791
제11장 지역기후전망	897
부속서 I 용어집	1048
부속서 II 제1실무그룹 보고서 기여자	1069
부속서 III 제1실무그룹 보고서 검토전문가	1083
부속서 IV 약어	1095