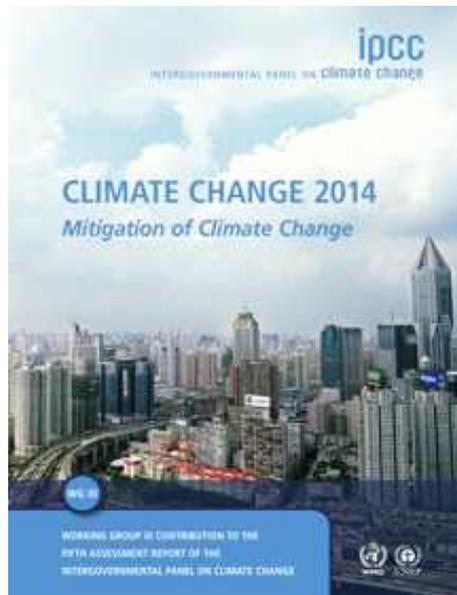


IPCC 제5차평가보고서 제3실무그룹 “기후변화 2014 : 기후변화의 완화” 정책결정자를 위한 요약문

(Climate Change 2014 : Mitigation of Climate Change
- Summary for Policymakers)

한글 번역본



2014

이 보고서는 독일 베를린에서 개최된 IPCC 제3 실무그룹 제12차 회의(2014.4.7.~11)에서 승인된 정책결정자를 위한 요약문을 한국에너지기술연구원에서 번역한 것입니다.

Drafting Authors:

Ottmar Edenhofer (Germany), Ramón Pichs-Madruga (Cuba), Youba Sokona (Mali), Shardul Agrawala (France), Igor Alexeyevich Bashmakov (Russia), Gabriel Blanco (Argentina), John Broome (UK), Thomas Bruckner (Germany), Steffen Brunner (Germany), Mercedes Bustamante (Brazil), Leon Clarke (USA), Felix Creutzig (Germany), Shobhakar Dhakal (Nepal/Thailand), Navroz K. Dubash (India), Patrick Eickemeier (Germany), Ellie Farahani (Canada), Manfred Fischedick (Germany), Marc Fleurbaey (France), Reyer Gerlagh (Netherlands), Luis Gómez-Echeverri (Colombia/Austria), Sujata Gupta (India/Philippines), Jochen Harnisch (Germany), Kejun Jiang (China), Susanne Kadner (Germany), Sivan Kartha (USA), Stephan Klasen (Germany), Charles Kolstad (USA), Volker Krey (Austria/Germany), Howard Kunreuther (USA), Oswaldo Lucon (Brazil), Omar Masera (México), Jan Minx (Germany), Yacob Mulugetta (UK/Ethiopia), Anthony Patt (Austria/Switzerland), Nijavalli H. Ravindranath (India), Keywan Riahi (Austria), Joyashree Roy (India), Roberto Schaeffer (Brazil), Steffen Schlömer (Germany), Karen Seto (USA), Kristin Seyboth (USA), Ralph Sims (New Zealand), Jim Skea (UK), Pete Smith (UK), Eswaran Somanathan (India), Robert Stavins (USA), Christoph von Stechow (Germany), Thomas Sterner (Sweden), Taishi Sugiyama (Japan), Sangwon Suh (Republic of Korea/USA), Kevin Chika Urama (Nigeria/UK), Diana Ürge-Vorsatz (Hungary), David Victor (USA), Dadi Zhou (China), Ji Zou (China), Timm Zwickel (Germany)

Draft Contributing Authors

Giovanni Baiocchi (UK/Italy), Helena Chum (USA/Brazil), Jan Fuglestad (Norway), Helmut Haberl (Austria), Edgar Hertwich (Norway/Austria), Elmar Kriegler (Germany), Joeri Rogelj (Switzerland/Belgium), H.-Holger Rogner (Germany), Michiel Schaeffer (Netherlands), Steven J. Smith (USA), Detlef van Vuuren (Netherlands), Ryan Wiser (USA)

This Summary for Policymakers should be cited as:

IPCC, 2014: Summary for Policymakers, In: Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. *Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

목 차

SPM.1 서론	1
SPM.2 기후변화 완화에 대한 접근	2
SPM.3 온실가스의 저량과 유량의 추세와 동인	4
SPM.4 지속가능발전 맥락에서 완화 경로 및 조치	8
SPM.4.1 장기 완화 경로	8
SPM.4.2 부문 및 범부문 완화 경로 및 조치	17
SPM.4.2.1 범부문 완화 경로 및 조치	17
SPM.4.2.2 에너지 공급	21
SPM.4.2.3 에너지 최종이용 부문	22
SPM.4.2.4 농업, 임업 및 기타 토지이용	27
SPM.4.2.5 인간 정주, 기반시설 및 공간계획	28
SPM.5 완화 정책 및 제도	30
SPM.5.1 부문 및 국가 정책	30
SPM.5.2 국제 협력	34

SPM.1 서론

IPCC 제5차 평가보고서의 제3 실무그룹은 기후변화 완화의 과학적, 기술적, 환경적, 경제적 및 사회적 측면에 대한 문헌을 평가한다. 이는 IPCC 제4차 평가보고서, 재생에너지 및 기후변화 완화에 대한 특별보고서(SRREN)와 이전 보고서에 대한 제3 실무그룹의 기여와 일련의 새로운 발견 및 연구에 기반한다. 이 보고서는 거버넌스 수준별 및 경제 부문별 기후변화 완화 옵션과 완화 정책들의 사회적 함의를 평가하며, 특정 완화 옵션을 권고하지는 않는다.

정책결정자를 위한 요약문(SPM)은 제3 실무그룹 보고서의 구조를 따른다. 서술은 일련의 강조된 결론들로 뒷받침되며, 일련의 결론을 합하면 간결한 요약이 된다. SPM의 기초는 본 보고서와 기술 요약(Technical Summary)의 챕터 섹션에서 발견할 수 있다. 참고문헌은 대괄호로 제시된다.

세 개의 실무그룹 보고서에서, 발견 사항의 확실성에 대한 정도는 저자들의 해당 과학적 이해에 대한 평가에 기반하며, 신뢰의 질적 수준(매우 낮음부터 매우 높음까지)으로 표현되며, 가능하다면 정량적 개연성(극히 개연성이 없음부터 사실상 확실까지)으로 확률적으로 표현된다. 발견의 타당성에 대한 신뢰는 증거(예, 자료, 기계적인 이해, 이론, 모형, 전문가 판단)의 유형, 양, 질, 일관성과 합의의 정도에 기반한다.¹⁾ 발견의 불확실성에 대한 정량적 측정의 확률적 추정치는 관측의 통계 분석 또는 모형 결과, 또는 둘 다, 그리고 전문가 판단에 기반한다.²⁾ 적절한 곳에서는, 발견 사항을 불확실성 규정을 사용하지 않고 사실적인 문장으로도 표현하였다. 이 요약문의 문단 안에서, 굵게 표시된 발견 사항에 대한 신뢰, 증거, 동의에 대한 용어는 또다른 용어가 없다면 문단 내 일련의 문장들에 적용된다.

1) 이용가능한 증거를 묘사하기 위해 limited(제한된), medium(중간의), robust(강력한)와 같은 요약 용어를 사용하며, 동의의 정도에 대해서, low(낮은), medium(중간의), high(높은)와 같은 용어가 사용된다. 신뢰의 수준은 5가지 규정(very low, low, medium, high, very high)으로 표현되며, 이태릭으로 표현된다(예, *중간의 신뢰/medium confidence*). 증거와 동의가 들어있는 문장에서, 다른 신뢰 수준이 부여될 수 있다. 그러나 증거의 수준과 동의 정도의 증가는 신뢰의 증가와 상관관계가 있다. 더 자세한 내용은, IPCC 제5차 평가보고서(AR5)의 불확실성에 대한 일관된 취급에 대한 주저자들의 지침(guidance note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on consistent treatment of uncertainties)을 참조하시오.

2) 결과의 개연성을 평가하기 위하여, 다음과 같은 용어가 사용되었다. virtually certain(사실상 확실) 99-100% 확률, very likely(매우 개연성있음) 90-100%, likely(개연성있음) 66-100%, 어느 정도 개연성있음(about as likely as not) 33-66%, 개연성약함(unlikely) 0-33%, 매우 개연성약함(very unlikely) 0-10%, 극히 개연성약함(exceptionally unlikely) 0-1%. 적절한 곳에서는 절반 이상 개연성있음(more likely than not >50-100%), 절반 미만 개연성 있음(more unlikely than likely 0-<50%)과 같은 용어도 사용될 수 있다. 개연성의 평가는 이태릭으로 표기된다(예, *매우 개연성있음 very likely*).

SPM.2 기후변화 완화에 대한 접근

완화(mitigation)는 온실가스 배출원을 저감하거나 흡수원을 제고하는 인간의 개입이다. 기후변화에 대한 적응과 함께, 완화는 기후변화에 관한 국제연합 기본협약 제2조에 표현된 목적에 기여한다.

이 협약과 당사자총회가 채택하는 모든 관련 법적문서의 궁극적 목적은, 협약의 관련규정에 따라, 기후체계가 위험한 인위적 간섭을 받지 않는 수준으로 대기중 온실가스 농도의 안정화를 달성하는 것이다. 그러한 수준은 생태계가 자연적으로 기후변화에 적응하고 식량생산이 위협받지 않으며 경제개발이 지속가능한 방식으로 진행되도록 할 수 있기에 충분한 기간내에 달성되어야 한다.

기후 정책은 과학적 발견과 다른 학문의 체계적 방법으로부터 정보를 제공받을 수 있다. [1.2, 2.4, 2.5, 상자글 3.1]

지속가능발전과 형평성은 기후 정책을 평가하는데 기초를 제공하며, 기후변화의 위험을 해결해야 할 필요성을 강조하고 있다.³⁾ 빈곤 퇴치를 포함하여, 지속가능발전과 형평성을 달성하기 위해서는, 기후변화의 영향을 제한할 필요가 있다. 동시에, 일부 완화 노력은 지속가능발전을 촉진하는 활동과 빈곤 퇴치 및 형평성을 달성하기 위한 활동을 저해할 수 있다. 따라서, 기후 정책에 대한 광범위한 평가는 발전 경로를 더욱 광범위하게 검토하기 위하여, 완화 및 적응 정책과 결정인자들에만 초점을 맞추는 것을 넘어선다. [4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.8]

개별 행위자들이 독립적으로 자신이 이익을 좇는다면, 효과적인 완화는 달성될 수 없다. 대부분의 온실가스가 시간이 지나면서 축적되고, 전세계적으로 섞이고, 행위자들(예, 개인, 지역공동체, 기업, 국가)의 배출량이 다른 행위자들에게 영향을 미치기 때문에, 기후변화는 지구적 규모에서 공동으로 행동해야 하는 문제(collective action problem)의 성격을 지닌다.⁴⁾ 따라서, 온실가스 배출량을 효과적으로 완화하고, 다른 기후변화 이슈를 해결하기 위해서는 국제 협력이 요구된다[1.2.4, 2.6.4, 3.2, 4.2, 13.2, 13.3]. 더욱이 완화를 뒷받침하는 연구·개발은 지식의 확산(knowledge spillovers)을 야기한다. 국제 협력은 지식과 환경적으로 건전한 기술의 개발, 보급, 이전에 건설적인 역할을 할 수 있다[1.4.4, 3.11.6, 11.8, 13.9, 14.4.3].

3) 제2 실무그룹의 제5차평가보고서의 정책결정자를 위한 요약문을 참고하십시오.

4) 사회과학에서는 이것을 '지구적 공유지의 문제(global commons problem)'라고 일컫는다. 이 표현이 사회과학에서 사용되고 있지만, 노력 분담에 대한 특정 기준이나 법적 수단에 대한 특정 의미는 갖고 있지 않다.

완화와 적응에 대해 형평성, 정의(justice), 공평성의 이슈가 제기된다.⁵⁾ 대기중 온실가스 누적 배출량에 대한 국가들의 과거 및 미래 기여도는 서로 다르며, 국가들은 다양한 과제 및 환경에 직면하고, 완화 및 적응에 대한 역량도 다르다. 결과가 공평할 때, 더욱 효과적인 협력을 이룰 수 있다는 것을 증거는 시사하고 있다. [3.10, 4.2.2, 4.6.2]

기후 정책결정에 대한 많은 영역들이 가치 판단과 윤리적 고려사항을 포함하고 있다. 이러한 영역에는 기후 시스템의 위험한 간섭을 예방하기 위해 완화를 얼마나 많이 할 것인가의 질문에서부터 완화 또는 적응에 대한 구체적인 정책들 중에서 선택까지 다양하다[3.1, 3.2]. 사회적, 경제적 및 윤리적 분석들은 가치 판단에 정보를 제공하는데 이용될 수 있으며, 인간의 복지, 문화적 가치 및 비인간적 가치 등 다양한 부문들의 가치를 고려할 수 있다[3.4, 3.10].

여러 가지 방법들 중에서, 기후 정책을 설계할 때 일반적으로 정보를 제공해주는 방법은 경제적 가치평가이다. 경제성 평가를 위한 실용적 도구는 비용편익 분석, 비용효과성 분석, 다기준 분석 및 기대효용 이론 등이다[2.5]. 이러한 수단의 한계는 잘 알려져 있다[3.5]. 사회적 후생 함수에 기반한 윤리 이론들에 따르면, 편익과 해악을 금전적으로 측정할 때 사람들마다 돈의 가치를 다르게 고려한 분배 가중치를 적용해야 한다[3.6.1, 상자글 TS.2]. 동일 시간에 기후 정책이 다른 사람들에게 미치는 영향을 비교할 때에 분배 가중치가 자주 적용되지는 않지만, 다른 시간대의 영향을 비교할 때 분배 가중치는 할인의 형태로 적용되는 것이 일반적인 관행이다[3.6.2].

기후 정책은 부수적 편익 또는 부정적 부대효과 가능성에 있는 다른 사회적 목표와 교차한다. 이러한 교차는 잘 관리된다면 기후 행동을 착수하는 토대를 확고히 해줄 수 있다. 완화 및 적응은 보건, 식량 안보, 생물다양성, 지역의 환경 질, 에너지 접근, 생활, 공평한 지속가능발전과 다른 사회적 목표의 달성에 긍정 또는 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 반대로, 다른 사회적 목표를 위한 정책들도 완화 및 적응 목표의 달성에 영향을 미칠 수 있다[4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.8]. 이러한 영향은 정량화가 때론 어렵지만, 특히 후생 측면에서 상당할 수 있다[3.6.3]. 다목적 증진을 위한 정책 지원이 확고한 영역을 발굴하는데 이러한 다목적 관점이 도움을 주기 때문에 이러한 다목적 관점은 어느 정도 중요하다[1.2.1, 4.2, 4.8, 6.6.1].

기후 정책은 다양한 부류의 위험(risk)과 불확실성, 그중에는 측정하기는 어려우며, 확률은 낮지만 발생시 영향이 상당한 사건들을 고려함으로써 정보를 제공할 수 있다. 제

5) 이 개념의 구분에 대해서는 FAQ 3.2를 참조. 정의에 대한 철학 문헌과 기타 문헌들이 이 이슈들을 설명해줄 수 있다 [3.2, 3.3, 4.6.2].

4차 평가보고서 이후, 과학적 문헌은 기후변화, 적응, 완화 전략에 대한 위험을 검토하였다. 완화의 편익을 정확히 추정한다는 것은 기후변화의 가능한 모든 영향을 고려한다는 것이며, 여기에는 발생 가능성은 낮지만 커다란 결과를 야기하는 영향도 포함된다(높은 신뢰)[2.5, 2.6, 상자글 3.9]. 완화 행동의 선택은 경제성장률과 기술의 진화 등 수많은 사회-경제적 변수의 불확실성에 의해서도 영향을 받는다(높은 신뢰)[2.6, 2.3].

기후 정책의 설계는 개인과 조직이 위험과 불확실성을 어떻게 인지하고, 고려하는가에 의해 영향을 받는다. 사람들은 현상 유지를 선호하는 단순 결정 규칙을 자주 이용한다. 개인과 조직은 위험 회피 정도와 특정 활동의 장기 대비 단기 과급효과에 대한 상대적 중요성이 서로 다르다[2.4]. 정식 방법의 도움을 받으면, 의사 결정, 인지, 가치와 부(wealth) 뿐만 아니라 자연, 사회-경제, 기술 시스템의 위험과 불확실성을 고려함으로써 정책 설계를 개선할 수 있다[2.5].

SPM.3 온실가스의 저장(stocks)과 유량(flows)의 추세와 동인

인위적 온실가스 총배출량은 1970~2010년 기간 계속 증가해 왔으며, 이 기간 최근 십년의 절대배출량은 더욱 증가하였다(높은 신뢰). 기후변화 완화 정책의 수가 증가하였음에도 불구하고, 연간 온실가스 배출량은 2000년부터 2010년까지 평균 연간 1.0기가톤 이산화탄소 환산량(GtCO₂eq) (2.2%)이 증가하여, 1970년부터 2000년까지 연간 0.4GtCO₂eq (1.3%) 증가와 대비된다(그림 SPM.1).⁶⁾ 인위적 온실가스 총배출량은 2000년부터 2010년까지 인류 역사상 가장 많았으며, 2010년에는 49(±4.5)GtCO₂eq/년에 도달했다. 2007/2008 세계 경제 위기에만 일시적으로 배출량이 감소하였다. [1.3, 5.2, 13.3, 15.2.2, 상자글 TS.5, 그림 15.1]

화석연료 연소와 산업공정상에서 이산화탄소(CO₂) 배출량이 1970년부터 2010년까지 총 온실가스 배출량 증가의 약 78%를 차지하였으며, 2000~2010년 기간에도 비슷한 백분율을 차지하였다(높은 신뢰). 화석연료 관련 CO₂ 배출량은 2010년에 32(±2.7)GtCO₂eq/년이었으며, 2010~2011년 동안 약 3%, 2011~2012년 동안 약 1~2% 더 증가하였다. 2010년 인위적 온실가스 총배출량 49(±4.5)GtCO₂eq/년에서, CO₂는 2010년 인위적 온실가스 총배출량의 76%(38±3.8GtCO₂eq/년)를 차지하는 주요 인위적 온실가스이다. 16%(7.8±1.6GtCO₂eq/년)는 메탄(CH₄), 6.2%(3.1±1.9GtCO₂eq/년)는

6) 정책결정자 요약문에서, 온실가스 배출량은 IPCC 제2차 평가보고서의 100년 기간 지구온난화지수(GWP₁₀₀)가 적용되었다. 모든 측정기준(metrics)은 다른 배출량의 결과를 평가하는데 한계와 불확실성이 있다. [3.9.6, 상자글 TS.5, 부록 II.2.9, 제1차 실무그룹 정책결정자 요약문]

7) 이 요약문에서, 과거 온실가스 배출량 자료의 불확실성은 별다른 언급이 없으면, 90% 불확도를 이용하여 작성되었다. 온실가스 배출량 수준은 이 문서에서 2개의 유효 숫자로 반올림되었다. 따라서, 반올림으로 인해 합계에서 작은 차이가 발생할 수 있다.

아산화질소(N₂O), 2.0%(1.0±0.2GtCO₂eq/년)는 불화기체가 차지한다(그림 SPM.1). 1970년 이후, 해마다 인위적 온실가스 배출량의 약 25%는 비CO₂의 형태이었다.⁸⁾ [1.2, 5.2]

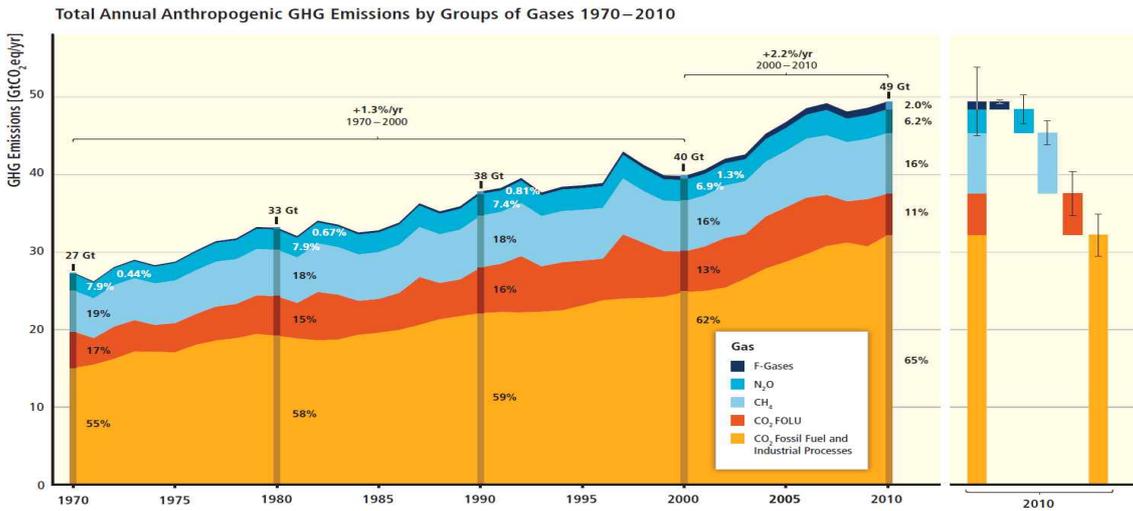


그림 SPM.1] 1970~2010년 기간 기체 그룹별 인위적 온실가스 연간 총배출량(GtCO₂eq/년). 화석연료 연소 및 산업 공정에서 배출된 CO₂, 산림 및 기타 토지 이용(FOLU)에서 배출된 CO₂, 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 교토의정서 상의 불화기체(F-기체)⁸⁾. 2010년 온실가스 배출량 그림의 오른쪽에, 기체 그룹별로 다시 구분하였으며, 오차 막대(error bars)로 관련 불확도(90% 신뢰 구간)를 표시하였다. 인위적 온실가스 총배출량의 불확도는 5장에 서술된 개별 기체 추정치에 기인한다[5.2.3.6]. 화석연료 연소에 의한 전 세계 CO₂ 배출량은 8% 이내의 불확도(90% 신뢰 구간)로 알려져 있다. 산림 및 기타 토지 이용의 CO₂ 배출량은 ±50%의 크기로 불확도가 매우 높다. 전 세계 CH₄, N₂O, F-기체 배출량의 불확도는 각각 20%, 60%, 20%로 추정된다. 2010년은 불확도 평가 뿐만 아니라 모든 기체의 배출량 통계가 이번 보고서를 위해 자른 데이터의 시점에 완료된 가장 최근 년도이었다. 배출량은 IPCC 제2차 평가보고서의 GWP₁₀₀⁶⁾에 기반한 CO₂ 환산량으로 변환되었다. 산림 및 기타 토지 이용의 배출량 데이터는 이번 보고서의 11장에 서술된 산림 및 기타 토지 이용의 순 CO₂ 유동(fluxes)에 근접하는 산림 화재, 이탄 화재, 이탄 부패에서 배출되는 토지 기반 CO₂ 배출량을 나타낸다. 기간별 연평균 증가율은 강조표시되었다. [그림 1.3, 그림 TS.1]

1750~2010년 기간 인위적 CO₂ 누적 배출량의 약 절반은 지난 40년 동안 발생하였다(높은 신뢰). 1970년에, 1750년 이후 화석연료 연소, 시멘트 생산 및 플레어링(flaring)에서 배출된 CO₂ 누적 배출량은 420±35GtCO₂이었다. 2010년에 누적 총량은 1300±110GtCO₂로 세 배가 되었다(그림 SPM.2). 1750년 이후 산림 및 기타 토지 이용(FOLU)⁹⁾에서 배출된 CO₂ 누적 배출량은 1970년 490±180GtCO₂에서 2010년

8) 이 보고서에서, 불화기체 등 비CO₂ 온실가스 자료는 교토의정서 1차 공약기간 대상 물질을 포함하는 EDGAR 데이터베이스(부록 II.9)에서 가져왔다.

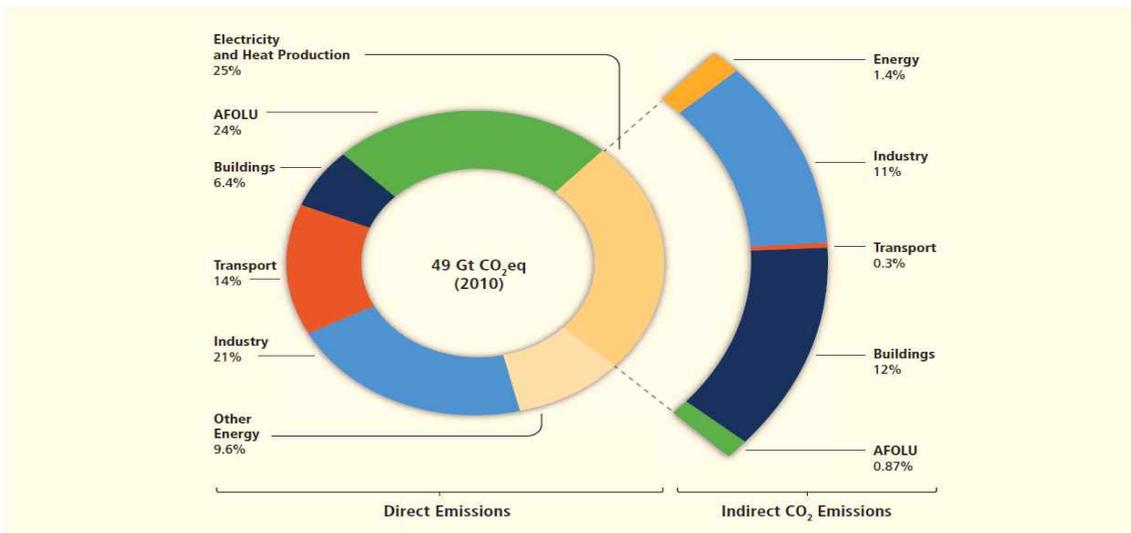
9) 산림 및 기타 토지 이용(FOLU)은 LULUCF(토지이용, 토지이용변화 및 산림)으로도 불리는데, 직접적

680±300GtCO₂로 증가하였다. [5.2]

2000~2010년 기간 인위적 온실가스의 연간 배출량은 10GtCO₂eq 증가하였으며, 이 증가는 에너지 공급 부문(47%), 산업 부문(30%), 교통 부문(11%), 건물 부문(3%)에서 직접적으로 발생한다(중간의 신뢰). 간접 배출량을 고려하면, 건물과 산업 부문의 기여도는 높아진다(높은 신뢰). 2000년 이후, 온실가스 배출량은 AFOLU를 제외한 모든 부문에서 증가하고 있다. 2010년 49(±4.5)GtCO₂eq 배출량 중에서, 온실가스 배출량의 35%(17GtCO₂eq)는 에너지 공급 부문에서, 24%(12GtCO₂eq, 순배출량)는 AFOLU에서, 14%(7.0GtCO₂eq)는 교통 부문에서, 6.4%(3.2GtCO₂eq)는 건물에서 배출되었다. 전력과 열 생산에 따른 배출량을 최종에너지를 사용하는 부문에 배분하면(즉, 간접배출량), 전 세계 온실가스 배출량에서 산업과 건물 부문의 비중은 각각 31%와 19%⁷⁾로 증가한다(그림 SPM.2). [7.3, 8.2, 9.2, 10.3, 11.2]

전 세계적으로 경제 성장과 인구 성장이 화석연료 연소로 인한 CO₂ 배출량 증가의 가장 중요한 동인이 계속되고 있다. 2000~2010년 기간 인구 성장의 기여는 과거 30년과 대략 동일하지만, 경제성장의 기여도는 급격히 증가했다(높은 신뢰). 2000~2010년 기간, 앞서 두 개의 동인은 에너지 집약도(intensity)의 개선으로 인한 배출량 저감을 상회하였다(그림 SPM.3). 기타 에너지원 대비 석탄 사용의 증가는 세계 에너지 공급 부문의 점진적 탈탄소화라는 오랫동안 지속된 추세를 뒤집었다. [1.3, 5.3, 7.2, 14.3, TS.2.2]

Greenhouse Gas Emissions by Economic Sectors



으로 인간에 의한 농업의 배출량 및 제거량을 제외한 토지 이용, 토지이용 변화 및 산림 활동과 연관된 농업, 임업 및 기타 토지이용(AFOLU)의 온실가스 배출량 및 제거량의 하위부분이다(제3 실무그룹 제5차 평가보고서의 용어 참조).

그림 SPM.2] 경제 부문별 인위적 온실가스 총배출량(GtCO₂eq/년). 내부 원은 2010년 5개 경제 부문의 직접 온실가스 배출량 비중(인위적 온실가스 총배출량의 %)을 나타낸다. 밖으로 빼낸 부문은 전기와 열 생산에 따른 간접 CO₂ 배출량 비중(인위적 온실가스 총배출량의 %)이 최종 에너지 이용 부문에 어떻게 배분되는지를 보여준다. ‘기타 에너지’는 전기와 열 생산을 제외하고 부록 II에 정의된 에너지 부문의 모든 온실가스 배출량을 일컫는다[A.II.9.1]. 농업, 임업 및 기타 토지 이용(AFOLU)의 배출량 데이터는 이번 보고서의 11장에 서술된 산림 및 기타 토지 이용(FOLU)의 순 CO₂ 유동에 근접하는 산림 화재, 이탄 화재, 이탄 부패에서 배출되는 토지 기반 CO₂ 배출량을 포함한다. 배출량은 IPCC 제2차 평가보고서의 GWP₁₀₀⁶⁾에 기반한 CO₂ 환산량으로 변환되었다. 부문의 정의는 부록 II.9에 제시하였다. [그림 1.3a, 그림 TS.3 a/b]

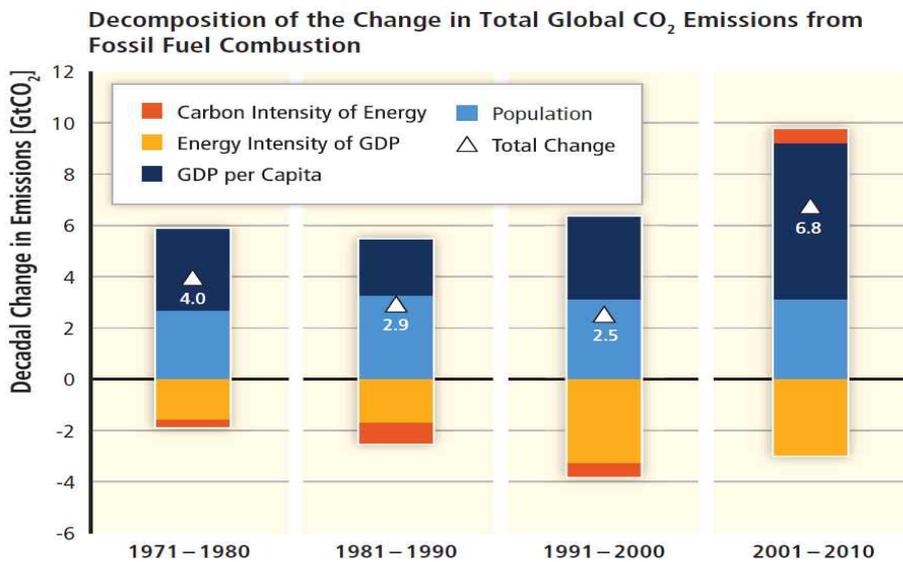


그림 SPM.3] 인구, 1인당 소득(GDP), GDP의 에너지 집약도, 에너지의 탄소 집약도 등 네 개의 동인으로 화석연료 연소의 전 세계 CO₂ 총배출량의 십년간 변화를 분해함. 막대의 구성요소들은 다른 요인들이 동일한 상태에서 각 요인만의 변화를 나타낸다. 십년간의 총 변화는 삼각형으로 제시되었다. 변화량은 십년간 CO₂ 배출량의 기가톤(Gt)으로 측정되었으며, 소득은 구매력 지수를 이용하여 공통의 단위로 환산되었다. [그림 1.7]

현재 시행중인 것들을 넘어서 온실가스 배출량을 저감하기 위한 추가 노력이 없다면, 전 세계 인구와 경제 활동의 증가로 인해 배출량 증가는 지속될 전망이다. 추가적인 완화가 없는 시나리오인 기준(baseline) 시나리오에서는 산업화 이전 수준¹⁰⁾ 대비 2100년에 지구 평균 표면 온도가 3.7°C에서 4.8°C로 증가한다(중앙값(median values). 기후 불확실성을 포함하면 2.5°C에서 7.8°C의 범위임. 표 SPM.1 참고)¹¹⁾(높

10) 이용가능한 가장 긴 지구 표면 온도 데이터셋에 기반하면, 1850~1900년 기간의 평균과 제5차 평가 보고서 기준 기간(1986~2005)의 관측된 차이는 0.61°C(5~95% 신뢰구간: 0.55~0.67°C) [제1 실무그룹 SPM.E]. 여기서는 이 값이 1750년 이전 기간인 산업화 시대 이전부터 지구 평균 표면 온도의 변화의 근사값으로 이용되었다.

11) 기후 불확도는 표 SPM.1에 서술된 기후 모형 계산의 5~95 백분위수(percentile)를 반영하였다.

은 신뢰). 이번 평가를 위해 수집된 배출량 시나리오는 온실가스, 대류권 오존, 에어로졸, 알베도 변화 등 전체 복사력(radiative forcing)을 제공한다. 기준 시나리오(배출량을 제약하기 위한 명확한 추가 노력이 없는 시나리오)에서 2030년까지 450ppm(parts per million)을 초과하고, 2100년까지 750~1,300ppm CO₂eq 이상의 CO₂eq 농도 수준에 도달한다. 이는 2100년 RCP 6.0과 RCP 8.5 경로 사이의 대기 농도 수준 범위와 유사하다.¹²⁾ 비교를 위해, 2011년 CO₂eq 농도는 430ppm(불확도 범위 340~520ppm)으로 추정된다¹³⁾. [6.3, 상자글 TS.6; 제1 실무그룹 그림 SPM.5, 제1 실무그룹 8.5, 제1 실무그룹 12.3]

SPM.4 지속가능발전 맥락에서 완화 경로 및 조치

SPM.4.1 장기 완화 경로

완화 수준이 다르며, 지속가능발전의 특성과 함의가 다른, 기술적 및 행태적 옵션을 포함하는 다양한 시나리오들이 있다. 이번 평가에서, 발표된 통합 모형¹⁴⁾에 기반한 데이터베이스에서 약 900개의 완화 시나리오들이 수집되었다. 이 시나리오들은 2100년에 대기 농도가 430ppm CO₂eq에서 720ppm CO₂eq에 걸쳐 있으며, 이는 2100년 복사력 수준이 RCP 2.6에서 RCP 6.0 시나리오에 해당한다. 이 범위 밖에 있는 시나리오들(2100년에 430ppm CO₂eq 이하 농도의 시나리오들 등)도 평가되었다. 완화 시나리오는 일련의 기술적, 사회경제적, 제도적 경로를 포함하지만, 불확실성과 모델의 한계가 존재하며, 이 범위 밖의 발전도 가능하다(그림 SPM.4, 상부 그림). [6.1, 6.2, 6.3, TS.3.1, 상자글 TS.6]

인위적 온실가스 배출량에 의한 온도 변화를 산업화 이전 수준 대비 2°C 이하로 유지

12) 이러한 평가 목적으로, 약 300개의 기준 시나리오와 900개의 완화 시나리오가 전 세계의 통합 모델링 팀으로부터 공개모집(open call)을 통해 수집되었다. 이 시나리오들은 대표 농도 시나리오(Representative Concentration Pathways, RCPs, 제3 실무그룹 제5차 평가보고서의 용어 참조)와 보완적이다. RCPs는 1750년 대비 2100년의 총 복사력의 근사값으로 구분된다. RCP 2.6은 평방 미터당 2.6와트(Wm⁻²), RCP 4.5은 4.5Wm⁻², RCP 6.0은 6.0Wm⁻², RCP 8.5은 8.5Wm⁻²이다. 이번 평가를 위해 수집된 시나리오들은 2100년의 농도 범위가 4개의 RCP 보다 약간 더 넓다.

13) 제1 실무그룹의 1750년 대비 2011년의 인위적 총 복사력에 대한 평가, 즉 2.3Wm⁻²에 기반하며, 불확도 범위는 1.1~3.3Wm⁻²이다. [제1 실무그룹 그림 SPM.5, 제1 실무그룹 8.5, 제1 실무그룹 12.3]

14) 제3 실무그룹에서 평가된 장기 시나리오들은 금세기 중반 및 그 이상까지 완화 경로의 여러 가지 핵심 속성을 전망하는 대규모, 통합 모형에 의해 주로 생성되었다. 이러한 모형들은 여러 가지 중요한 인간 시스템(예, 에너지, 농업 및 토지 이용, 경제)과 기후변화와 관련한 물리적 과정(예, 탄소 순환)을 연계한다. 이 모형들은 다른 제약이 없다면, 완화 결과를 달성하는 경제적 총비용을 최소화하는 비용 효과적인 해결책에 근접한다. 모형들은 고도로 복잡한 실제 세계의 과정을 단순화와 유형화시켜 표현하며, 모형이 만든 시나리오는 종종 한 세기 동안의 시간 규모에서 핵심 사건과 동인에 대한 불확실한 전망에 기반한다. 서로 다른 모형들, 또는 동일 모형의 여러 버전들이 만들어낸 결과가 서로 다른 이유는 단순화와 가정이 다르기 때문이며, 모든 모형의 전망치는 전개된 실제와 상당히 다를 수 있다. [상자글 TS.7, 6.2]

할 **개연성이 있는(likely)** 완화 시나리오들은 2100년 대기중 농도가 약 450ppm CO₂eq의 특성을 지닌다(높은 신뢰). 2100년까지 약 500ppm CO₂eq의 농도 수준에 도달하는 완화 시나리오들은 만약 2100년 이전에 약 530ppm CO₂eq의 농도 수준을 일시적으로 초과하지(overshoot) 않는다면, 산업화 이전 수준 대비 2°C 이하로 온도 변화를 제한할 **개연성이 절반 이상(more likely than not)**이다. 만약 2100년 이전에 약 530ppm CO₂eq의 농도 수준을 일시적으로 초과한다면, 목표를 달성할 **개연성이 어느 정도 있다(about as likely as not)**.¹⁵⁾ 2100년까지 530에서 650ppm CO₂eq 농도에 도달하는 시나리오들은 온도 변화를 산업화 이전 수준 대비 2°C 이하로 제한할 **개연성이 절반 미만(more unlikely than likely)**이다. 2100년까지 약 650ppm CO₂eq를 초과하는 시나리오들은 온도 변화를 산업화 이전 수준 대비 2°C 이하로 제한할 **개연성이 약하다(unlikely)**. 온도 증가가 2100년까지 산업화 이전 수준 대비 1.5°C 이하가 될 **개연성이 절반 이상인(more likely than not)** 완화 시나리오들은 2100년의 농도가 430ppm CO₂eq 이하라는 특성이 있다. 이 시나리오들에서는 온도가 금세기에 정점에 도달한 다음 감소한다. 온도 변화의 다른 수준에 대한 확률 서술은 표 SPM.1을 참고할 수 있다. [6.3, 상자글 TS.6]

2100년까지 대기중 농도 수준이 약 450ppm CO₂eq에 도달하는 시나리오들(온도 변화를 산업화 이전 수준 대비 2°C 이하로 유지할 **개연성이 있음(likely)**에 부합하는)은 에너지 시스템과 잠재적으로 토지 이용의 대규모 변화를 통해 금세기 중반까지 인위적 온실가스 배출량을 상당히 감축하고 있다(높은 신뢰). 2100년까지 이러한 농도에 도달하는 시나리오들은 2050년에 전 세계 온실가스 배출량이 2010년보다 낮으며, 전 세계적으로 40~70% 더 낮으며¹⁶⁾, 2100년에 배출량 수준이 거의 0GtCO₂eq 또는 이하가 된다. 2100년까지 500ppm CO₂eq에 도달하는 시나리오들에서, 2050년의 배출량 수준은 전 세계적으로 2010년보다 25에서 55% 더 낮다. 550ppm CO₂eq에 도달하는 시나리오들에서, 2050년의 배출량은 전 세계적으로 2010년 수준보다 5% 많은 경우부터 2010년보다 45% 적은 경우까지 있다(표 SPM.1). 전 세계 수준에서, 450ppm CO₂eq에 도달하는 시나리오들의 특징은 에너지 효율 개선이 훨씬 급격하고, 2050년까지 재생에너지, 원자력(nuclear energy), 이산화탄소 포집 및 저장(CCS)이 수반된 화석에너지, CCS가 수반된 바이오에너지(BECCS)로부터 무탄소 및 저탄소 에너지 공급 비중이 세 배에서 거의 네 배가 된다는 것이다(그림 SPM.4, 아래 그림). 이러한 시나리오들은 바이오에너지 생산, 조림, 삼

15) 2100년 농도가 550ppm CO₂eq 또는 그 이상인 완화 시나리오들은 대기 CO₂eq 농도를 일시적으로 '초과하고(overshoot)', 이후 더 낮은 수준으로 감소할 수 있다. 이러한 농도 초과는 단기 적은 완화와 장기 급격하고 큰 감축을 의미한다. 초과가 있으면 주어진 농도 목표를 넘을 확률이 증가한다. [6.3, 표 SPM.1]

16) 이 범위는 제4차 평가보고서에서 비슷한 농도 범주(2000년의 오직 CO₂ 보다 50%~85% 더 낮은)에 대한 범위와 다르다. 이러한 차이의 이유에는 이 보고서가 제4차 평가보고서에 비해 상당히 더 많은 시나리오를 평가하였으며, 모든 온실가스를 다루기 때문도 있다. 게다가, 새로운 시나리오들의 많은 비중은 순배출량이 마이너스인(negative) 기술들을 포함하고 있다(아래 참조). 기타 요인에는 안정화 수준 대신에 2100년 농도 수준을 사용하고, 참고(reference) 년도를 2000년에서 2010년으로 변경한 것도 있다. 2050년에 배출량이 더 높은 시나리오들은 금세기 중반 이후 이산화탄소 제거(CDR) 기술에 더 크게 의존한다는 특징이 있다.

림 벌채의 감소 규모에 대한 가정이 다르기 때문에, 토지 이용의 변화 범위가 넓다.17) 더 높은 농도에 도달하는 시나리오들에서 변화 정도는 비슷하지만, 시간적으로 더 느리다. 반면에, 더 낮은 농도에 도달하는 시나리오들은 더 빠른 변화를 요구한다. [6.3, 7.11]

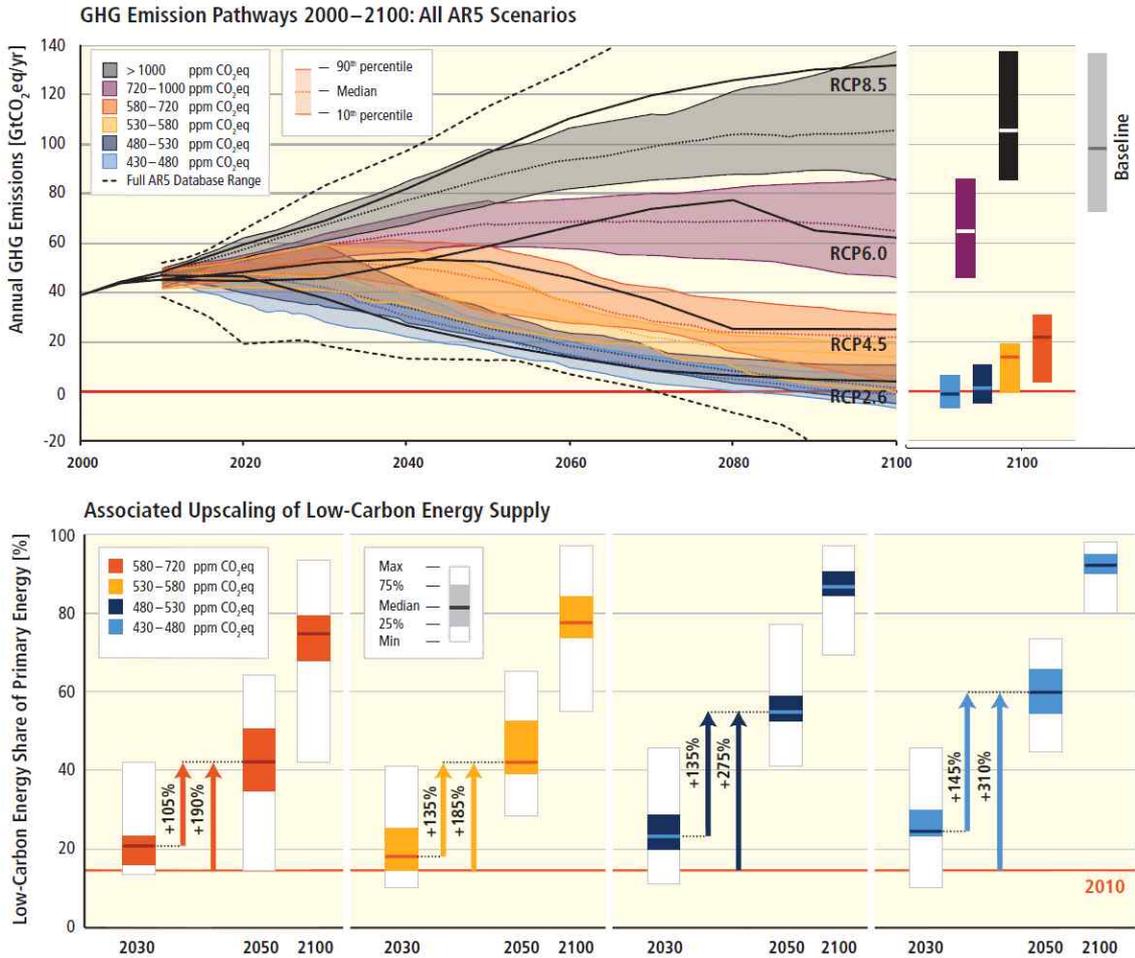


그림 SPM.4] 서로 다른 장기 농도 수준에 대한 기준 및 완화 시나리오의 전 세계 온실가스 배출량(GtCO₂eq/년)의 경로(위 그림). 완화 시나리오에서 2010년 수준 대비 2030, 2050, 2100년의 저탄소 에너지의 비중 확대(1차에너지의 %)(아래 그림). 아래 그림은 기술 이용이 제한되고, 탄소 가격이 외생적인 시나리오들을 제외하였다. CO₂ 환산 배출량과 CO₂ 환산 농도의 정의는 제3 실무그룹의 제5차 평가보고서의 용어를 참조하시오. [그림 6.7, 그림 7.16]

17) 국가 수준에서 변화는 국가와 지역의 비전을 반영하고 국가의 상황과 우선순위에 따라서 지속가능한 발전을 달성하기 위하여 접근할 때 가장 효과적인 것으로 보인다[6.4, 11.8.4, 제2 실무그룹 SPM].

표 SPM.1] 제3 실무그룹 제5차 평가보고서에서 수집되고 평가된 시나리오들의 주요 특성. 모든 파라미터들은 시나리오들의 10에서 90백분위로 제시되었다.^{1,2} [표 6.3]

CO ₂ eq Concentrations in 2100 (CO ₂ eq) Category label (concentration range) ³	Subcategories	Relative position of the RCPs ⁵	Cumulative CO ₂ emissions ⁴ (GtCO ₂)		Change in CO ₂ eq emissions compared to 2010 in (%) ⁴		Temperature change (relative to 1850–1900) ⁶												
			2011–2050	2011–2100	2050	2100	2100 Temperature change (°C) ⁷	Likelihood of staying below temperature level over the 21st century ⁸											
								1.5 °C	2.0 °C	3.0 °C	4.0 °C								
< 430	Only a limited number of individual model studies have explored levels below 430 ppm CO ₂ eq																		
450 (430–480)	Total range ^{1,10}	RCP2.6	550–1300	630–1180	–72 to –41	–118 to –78	1.5–1.7 (1.0–2.8)	More unlikely than likely	Likely	Likely	Likely								
500 (480–530)	No overshoot of 530 ppm CO ₂ eq		860–1180	960–1430	–57 to –42	–107 to –73	1.7–1.9 (1.2–2.9)	Unlikely	More likely than not										
	Overshoot of 530 ppm CO ₂ eq		1130–1530	990–1550	–55 to –25	–114 to –90	1.8–2.0 (1.2–3.3)		About as likely as not										
550 (530–580)	No overshoot of 580 ppm CO ₂ eq		1070–1460	1240–2240	–47 to –19	–81 to –59	2.0–2.2 (1.4–3.6)		Unlikely			More unlikely than likely ¹²							
	Overshoot of 580 ppm CO ₂ eq		1420–1750	1170–2100	–16 to 7	–183 to –86	2.1–2.3 (1.4–3.6)												
(580–650)	Total range	RCP4.5	1260–1640	1870–2440	–38 to 24	–134 to –50	2.3–2.6 (1.5–4.2)							Unlikely					
(650–720)	Total range		1310–1750	2570–3340	–11 to 17	–54 to –21	2.6–2.9 (1.8–4.5)												
(720–1000)	Total range	RCP6.0	1570–1940	3620–4990	18 to 54	–7 to 72	3.1–3.7 (2.1–5.8)										Unlikely ¹¹	More likely than not	More unlikely than likely
>1000	Total range	RCP8.5	1840–2310	5350–7010	52 to 95	74 to 178	4.1–4.8 (2.8–7.8)										Unlikely ¹⁶	Unlikely	More unlikely than likely

- 430~480ppm CO₂eq 시나리오들에 대한 ‘총 범위’는 표 6.3에 제시된 시나리오들의 하위범주의 10~90 백분위에 해당한다.
- 기준 시나리오는 CO₂eq 범주가 1000보다 크거나 720~1000ppm에 속한다. 후자 범주는 완화 시나리오도 포함한다. 후자 범주에서 기준 시나리오는 온도 변화가 2100년에 산업화 이전 대비 2.5~5.8°C에 도달한다. 1.000ppm CO₂eq를 초과하는 범주의 기준 시나리오를 합치면, 앞서 두 가지 농도 범주의 기준 시나리오들에서 2100년도의 온도 범위는 2.5~7.8°C (중앙: 3.7~4.8°C)에 이른다.
- 제1 실무그룹에서 제시된 내용과 여기서 평가된 CO₂ 누적 배출량 추정치를 비교하면, 1870년 이후 2011년까지 515[445–585]GtC (1,890[1,630~2,150]GtCO₂)가 이미 배출되었다(제1 실무그룹 12.5]. 여기서는 다른 기간 (2011~2050, 2011~2100년)의 누적 배출량이 제시되었음을 밝힌다. 제1 실무그룹의 누적 배출량은 RCPs (2012~2100)의 상응하는 총배출량이나 특정 개연성에서 주어진 온도 목표 이하로 유지할 수 있는 총배출량으로 제시되었다. [제1 실무그룹 표 SPM.3, 제1 실무그룹 SPM.E.8]
- 2010년의 전 세계 배출량은 1990년 배출량보다 31% 많다(이 보고서에서 제시된 과거 온실가스 배출량 추정치와 부합한다). CO₂eq 배출량은 교토의정서의 온실가스 종류(CO₂, CH₄, N₂O 및 F-기체)를 포함한다.
- 제3 실무그룹의 평가는 과학 문헌에 발표된 수많은 시나리오들을 포함하며, RCPs에 국한되지 않는다. 이 시나리오들의 온실가스 농도와 기후 함의를 평가하기 위하여, MAGICC 모형이 확률 모드로 사용되었다(부록 II 참조). MAGICC 모형 결과와 제1 실무그룹에서 사용된 모형의 결과를 비교하려면, 제1 실무그룹의 12.4.1.2, 12.4.8와 (제3 실무그룹의 -역자 주) 6.3.2.6를 참조. 제1 실무그룹의 SPM 표.2와 차이가 나는 이유는 기준 년도의 차이 (1986~2005년과 여기서는 1850~1900년), 보고 년도의 차이(2081~2100년과 여기서는 2100년), 시물레이션의 설정(CMIP5 농도와 여기서는 MAGICC 배출량), 더 많은 시나리오들(RCPs와 여기서는 제3 실무그룹 제5차 평가보고서 시나리오 데이터베이스의 전체 시나리오) 등이다.
- 제3 실무그룹의 제4차 평가보고서(표 3.5, 챕터 3)에 보고된 균형 온난화에 직접적으로 상응하지 않는, 2100년의 온도 변화가 보고되었다. 2100년 온도 추정치의 경우, 일시적인 기후 반응(transient climate response, TCR)이 가장 관련있는 시스템의 속성이다. MAGICC의 불확도 범위를 90백분위로 가정하면 1.2~2.6°C(중앙 1.8°C). CMIP5 (제1 실무그룹 9.7)의 TCR 90백분위는 1.2~2.4°C 범위이며, IPCC 제5차 평가보고서 제1 실무그룹 보고서에 보고된 다양한 증거로부터 평가된 개연성있는 범위는 1~2.5°C이다.
- 2100년의 온도 변화는 MAGICC 계산의 중앙 추정치로 제공되며, 각 범주의 시나리오들의 배출량 경로 간에 차이를 보인다. 괄호 안의 온도 변화 범위는 MAGICC 모형으로 제시된 탄소 순환과 기후 시스템의 불확실성을 포함한다(보다 상세한 내용은 6.3.2.6 참조). 기준년도인 1850~1900년 대비 온도 데이터는 1986~2005년 대비 예상되는 모든 온난화를 고려하였으며, 1850~1900년 대비 1986~2005년에 0.61°C를 더했고, HadCRUT4에 기반하여 계산되었다(제1 실무그룹의 표 SPM.2 참조).
- 이 표의 평가는 MAGICC을 이용하여 제3 실무그룹의 전체 시나리오에 대해 계산된 확률에 기반하고 있으며, 제1 실무그룹의 온도 전망의 불확도에 대한 평가는 기후 모형에서 다루어지지 않았다. 따라서 문구는 제1 실무그룹의 문구와 일치하며, RCPs에 대한 CMIP5 결과와 불확도 평가에 기반하고 있다. 따라서 개연성 문구는 두 실무그룹

- 의 증거 차이를 반영한다. 이러한 제1 실무그룹의 방법은 CMIP5 결과를 이용할 수 없는 중간의 농도 수준에 대한 시나리오들에도 적용될 수 있다. 개연성 문구는 암시할(indicative) 뿐이며(6.3), 제1 실무그룹의 정책결정자요약문에서 온도 전망에 대해 사용된 용어를 광범위하게 따른다: 개연성있음(likely) 66~100%, 절반이상 개연성있음(more likely than not) >50~100%, 어느 정도 개연성있음(as likely as not) 33~66%, 개연성약함(unlikely) 0~33%. 그밖에 절반미만 개연성있음(more unlikely than likely)도 사용되었다.
9. CO₂ 환산 농도에는 할로겐 기체, 대류권 오존, 에어로졸, 알베도 변화 등 모든 온실가스의 복사력을 포함한다(단순 탄소 순환/기후 모형 MAGICC의 총 복사력에 기반하여 계산되었다).
 10. 이 범주의 거의 대부분의 시나리오들이 범주 경계인 480ppm CO₂eq 농도를 초과한다.
 11. 이 범주의 시나리오들에서 각각의 온도 수준 이하로 유지하는 CMIP5 결과(제1 실무그룹 12장, 표 12.3)와 MAGICC 구현(6.3)은 없었다. 하지만, 현재의 기후 모형이 반영할 수 없는 불확실성을 반영하기 위하여 '개연성 약함'이 제시되었다.
 12. 580~650ppm CO₂eq 범주의 시나리오들은 초과 시나리오와 범주의 가장 끝단의 농도 수준을 넘지 않는 시나리오(RCP4.5와 같은)를 포함한다. 후자 유형의 시나리오들은 일반적으로 2°C 온도 수준을 넘을 *개연성이 절반 미만(more unlikely than likely)*이라는 확률 평가를 받으며, 전자는 대개의 경우 2°C 수준을 넘을 확률이 *개연성 약함(unlikely)*이라는 평가를 받는다.

2100년에 약 500ppm에서 550ppm CO₂eq에 도달하는 많은 시나리오들과 마찬가지로, 2100년에 약 450ppm CO₂eq에 도달하는 완화 시나리오들은 보편적으로 대기 농도를 일시적으로 초과한다. 초과 수준에 따라서, 초과 시나리오들은 대체로 금세기 후반에 BECCS와 조림의 이용가능성과 광범위한 보급에 의존하게 된다. 이러한 기술들 및 기타 이산화탄소 제거(Carbon Dioxide Removal, CDR) 기술들과 방법들의 이용가능성과 규모는 불확실하며, CDR 기술 및 방법은 정도는 다르지만, 과제와 위험이 존재한다(높은 신뢰) (SPM.4.2 섹션 참조).¹⁸⁾ CDR은 완화 비용이 더 비싼 부문들의 잔여 배출량을 벌충하기 위하여 초과가 없는 많은 시나리오들에서도 널리 사용되고 있다. 대규모 CCS의 보급, 대규모 조림 및 기타 CDR 기술과 방법의 잠재량에 대해서는 제한된 증거만 있을 뿐이다. [2.6, 6.3, 6.9.1, 그림 6.7, 7.11, 11.13]

칸쿤 서약에 기반한 2020년 전 세계 온실가스 배출량 추정치는 온도 변화를 산업화 이전 수준 대비 2°C로 제한할 *개연성이 적어도 어느 정도 있는(as likely as not)* 비용 효과적인 장기 완화 경로에는 부합하지 않지만, 그 목표를 달성할 옵션을 배제하지는 않는다(높은 신뢰). 이 목표를 달성하려면 2020년 이후에 더욱 상당한 저감이 요구된다. 칸쿤 서약은 온도 변화를 산업화 이전 수준 대비 3°C 이하로 유지할 *개연성이 있는(likely)* 비용 효과적인 시나리오에 광범위하게 부합한다. [6.4, 13.13, 그림 TS.11]

오늘날 시행되고 있는 노력들을 넘어서는 완화 노력을 2030년까지 연기한다면 장기 저배출량 수준으로 전환하는 어려움이 상당히 가중되고, 산업화 이전 수준 대비 온도 변화를 2°C 이하 유지에 부합하는 옵션들의 범위를 좁힐 것으로 예상된다(높은 신뢰). 온도 변화를 산업화 이전 수준 대비 2°C 이하로 유지할 *개연성이 적어도 어느 정도 있는(as*

18) 제1 실무그룹에 따르면, CDR 방법은 전 세계적 규모의 잠재성에 생지화학적 및 기술적 제약이 있다. CO₂ 배출량이 한 세기 시간규모에서 CDR로 얼마나 부분적으로 상쇄될지 정량화하기에는 지식이 불충분하다(제1 실무그룹 SPM.E.8).

likely as not) 비용 효과적인 완화 시나리오들은 대체로 2030년에 연간 온실가스 배출량이 약 30GtCO₂eq에서 50GtCO₂eq인 특성을 보인다(그림 SPM.5, 왼쪽 그림). 2030년에 연간 온실가스 배출량이 55GtCO₂eq 이상인 시나리오들은 2030년부터 2050년까지 배출량 저감 속도가 상당히 높고(그림 SPM.5, 가운데 그림), 이 기간에 저탄소 에너지가 훨씬 더 빠르게 보급되고(그림 SMP.5, 오른쪽 그림), 장기적으로 CDR 기술에 더 많이 의존하고(그림 SPM.4, 위 그림) 전환기와 장기 경제적 영향이 더 크다(표 SPM.2)는 특징이 있다. 이와 같이 더욱 증가한 완화 과제로 인해, 2030년 연간 온실가스 배출량이 55GtCO₂eq 보다 높은 수많은 모형들은 온도 변화를 산업화 이전 수준 대비 2°C 유지할 가능성이 어느 정도 있는(*as likely as not*) 대기 농도에 도달하는 시나리오를 수립할 수 없었다. [6.4, 7.11, 그림 TS.11, TS, 13]

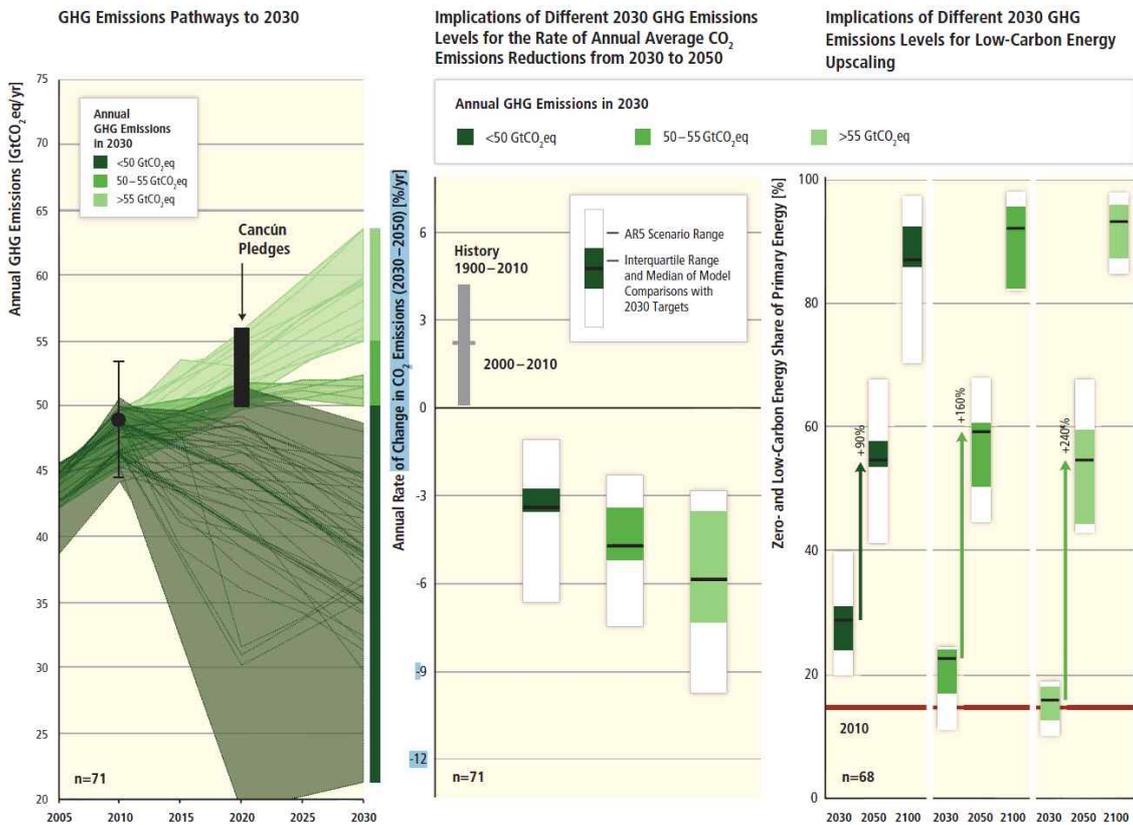


그림 SPM.5] 2030년 서로 다른 온실가스 배출량 수준(왼쪽 그림)의 CO₂ 배출량 저감율(가운데 그림)과 2100년까지 약 450에서 500(430~530)ppm CO₂eq 농도에 도달하는 완화 시나리오들에서 2030년부터 2050년까지 저탄소 에너지의 보급 확대(오른쪽 그림)에 대한 함의. 시나리오들은 2030년까지 서로 다른 배출량 수준에 따라서 그룹화되었다. 검정 막대는 칸쿤 서약이 내포하는 온실가스 배출량의 불확실성 범위 추정치를 나타낸다. 가운데 그림은 2030~2050년 기간의 연평균 CO₂ 배출량 저감율을 나타낸다. 이 그림은 제3 실무그룹의 제5차 평가보고서용 시나리오 데이터베이스의 시나리오들의 범위에 대한 명백한 2030년 중간 목표와 최근의 모형간 비교로부터 중앙(median) 및 사분위 범위(interquartile range)를 비교하고 있다. 과거 배출량의 연간 변화율(20년 기간 동안 지속된)은 회색으로 표시되었다. 오른쪽 그림의 하

살표는 2030년 온실가스 배출량 수준이 다른 상황에서 2030년부터 2050년까지 무탄소 및 저탄소 에너지 공급의 보급 확대 크기를 보여준다. 무탄소 및 저탄소 에너지 공급에는 재생, 원자력, 이산화탄소 포집 및 저장(CCS)을 부착한 화석에너지, CCS를 부착한 바이오에너지(BECCS)가 포함된다. 주의: 사용된 모형에서 완화 기술 포트폴리오가 모두, 제약이 없이 적용된 시나리오(디폴트 기술 가정)만 나타내었다. 전 세계 순 배출량이 크게 마이너스(>20GtCO₂/년)인 시나리오, 탄소 가격을 외생적으로 가정한 시나리오, 2010년 배출량이 과거 범위를 상당히 벗어난 시나리오는 제외되었다. 그림에 나타낸 71개 시나리오 중에서 3개는 무탄소 및 저탄소 에너지의 비중을 계산하는데 필요한 일차 에너지의 하위범주를 보고하지 않아서 오른쪽 그림은 68개 시나리오만 다루고 있다. [그림 6.32, 7.16, 13.13]

완화의 총 경제적 비용에 대한 추정치는 모형의 설계와 가정 뿐만 아니라 시나리오의 세부사항, 기술의 특성 및 완화의 시기 등에 매우 민감하다(높은 신뢰). 세계의 모든 국가들의 완화를 즉시 시작하고, 단일 전 세계 탄소 가격이 존재하고, 모든 핵심 기술들이 이용가능한 시나리오가 거시경제적 완화 비용을 추정하는 비용 효과적인 벤치마크로 사용되어 왔다(표 SPM.2, 회색 부분). 이러한 가정 하에, 2100년까지 대기 농도가 약 450ppm CO₂eq에 도달하는 완화 시나리오들은 전 세계 소비의 손실(금세기 동안 도처에서 300%에서 900% 이상 증가하는 기준 시나리오의 소비 대비 2030년에 1%에서 4%(중앙값 1.7%), 2050년에 2%에서 6%(중앙값: 3.4%), 2100년에 3%에서 11%)을 수반한다. 하지만 완화의 부수적 편익과 부정적 부대효과 뿐만 아니라 기후변화 저감의 편익은 포함하지 않았다.¹⁹⁾ 이러한 수치들은 기준 시나리오의 연간 소비 성장(연 1.6%에서 3%) 대비 금세기 동안 0.04에서 0.14(중앙값: 0.06)%p만큼 연간 소비 성장의 감소를 의미한다. 이 비용 범위의 상단은 장기적으로 이러한 목표를 달성하는데 필요한 배출량의 심층 저감을 달성하는데 비교적 유연하지 못한 모형과 시장의 불완전을 가정하여 비용이 증가되는 모형에 기인한다. 기술의 부재 또는 이용가능성의 제약 하에, 완화 비용은 고려하는 기술에 따라서 상당히 증가될 수 있다(표 SPM.2, 주황색 부분). 추가적인 완화를 지연하면 중장기적으로 완화 비용이 더욱 증가한다(표 SPM.2, 파란색 부분). 추가적인 완화노력이 상당히 지연되거나, 바이오에너지, CCS와 이 둘의 조합(BECCS)과 같은 핵심 기술의 이용가능성이 제한된다면, 수많은 모형들은 2100년까지 약 450ppm CO₂eq의 대기 농도 수준을 달성할 수 없었다. [6.3]

19) 다른 온도 수준에서 총 경제적 영향은 완화 비용, 완화의 부수적 편익, 완화의 부정적 부대효과, 적응 비용 및 기후 피해를 포함한다. 완화의 비용과 편익을 평가하기 위하여, 완화 비용과 주어진 온도 수준에서의 기후 피해 추정치를 비교할 수 없다. 차라리 완화의 경제적 비용과 편익을 고려할 때, 저감되지 않은 기후변화의 경우 대비 기후 피해의 저감을 포함해야 한다.

표 SPM.2] 비용효과적인 시나리오들에서¹⁾ 전 세계 완화 비용과 비용 추정치는 특정 기술의 이용가능성에 대한 제약을 가정하고, 추가적인 완화의 지연으로 인해 증가한다. 이 표에 제시된 비용 추정치는 완화의 부수적 편익과 부정적 부대효과 뿐만 아니라 기후변화 감소의 편익을 고려하지 않았다. 회색 열은 2030년, 2050년, 2100년(밝은 회색)의 소비 손실과, 기후 정책이 없는 기준 발전 대비 비용 효과적인 시나리오에서 금세기 동안 연간화된 소비 성장의 감소(회색)를 나타낸다. 주황색 열은 기술이 디폴트 기술 가정³⁾ 대비 제한된 시나리오에서 비용 효과적인 시나리오 대비 금세기 동안 할인된 비용의²⁾ 백분을 증가를 나타낸다. 파란색 열은 2030년까지 추가적인 완화를 지연함으로써 완화를 즉시 시작하는 시나리오 대비 2030~2050년과 2050~2100년 기간 동안 완화 비용의 증가를 나타낸다.⁴⁾ 추가적인 완화를 지연한 시나리오들은 2030년에 55GtCO₂eq 이하 또는 초과배출량 수준과 2100년에 두 개의 농도 범위(430~530ppm CO₂eq와 530~650 CO₂eq)로 구분되었다. 모든 수치들에서, 시나리오 세트의 중앙값이 괄호 없이 제시되었으며, 시나리오 세트의 16에서 84백분위 구간이 괄호 안에 제시되었고, 세트내 시나리오의 수가 대괄호 안에 제시되었다.⁵⁾ [그림 TS.12, TS.13, 6.21, 6.24, 6.25, 부록 II.10]

2100 Concentration (ppm CO ₂ eq)	Consumption losses in cost-effective scenarios				Increase in total discounted mitigation costs in scenarios with limited availability of technologies				Increase in medium- and long-term mitigation costs due to delayed additional mitigation until 2030			
	[% reduction in consumption relative to baseline]			[percentage point reduction in annualized consumption growth rate]	[% increase in total discounted mitigation costs (2015–2100) relative to default technology assumptions]				[% increase in mitigation costs relative to immediate mitigation]			
	2030	2050	2100	2010–2100	No CCS	Nuclear phase out	Limited Solar/Wind	Limited Bioenergy	≤55 GtCO ₂ eq		>55 GtCO ₂ eq	
					2030–2050	2050–2100	2030–2050	2050–2100	2030–2050	2050–2100	2030–2050	2050–2100
450 (430–480)	1.7 (1.0–3.7) [N: 14]	3.4 (2.1–6.2)	4.8 (2.9–11.4)	0.06 (0.04–0.14)	138 (29–297) [N: 4]	7 (4–18) [N: 8]	6 (2–29) [N: 8]	64 (44–78) [N: 8]	28 (14–50) [N: 34]	15 (5–59)	44 (2–78) [N: 29]	37 (16–82)
500 (480–530)	1.7 (0.6–2.1) [N: 32]	2.7 (1.5–4.2)	4.7 (2.4–10.6)	0.06 (0.03–0.13)								
550 (530–580)	0.6 (0.2–1.3) [N: 46]	1.7 (1.2–3.3)	3.8 (1.2–7.3)	0.04 (0.01–0.09)	39 (18–78) [N: 11]	13 (2–23) [N: 10]	8 (5–15) [N: 10]	18 (4–66) [N: 12]	3 (–5–16) [N: 14]	4 (–4–11)	15 (3–32) [N: 10]	16 (5–24)
580–650	0.3 (0–0.9) [N: 16]	1.3 (0.5–2.0)	2.3 (1.2–4.4)	0.03 (0.01–0.05)								

- 비용 효과적인 시나리오들은 모든 국가에서 즉시 완화하고, 단일 전 세계 탄소 가격을 가정하고, 모형들의 디폴트 기술 가정 대비 기술에 추가적인 제약을 부과하지 않는다.
- 기준 시나리오의 소비 퍼센트(일반균형모형의 시나리오들에서)로 소비 손실의 순현재가치의 백분을 증가와 연간 5%로 할인하여 2015~2100년 기간 동안 기준 시나리오의 GDP 퍼센트(부분균형모형의 시나리오들에서)로 저감 비용의 백분을 증가.
- No CCS (CCS 없음) : CCS가 이 시나리오들에서는 포함되지 않았다. Nuclear phase out (원자력 단계적 폐기) : 건설중인 것 이상으로 원자력 발전소를 추가하지 않고, 기존 발전소는 수명이 다할 때까지 운전. Limited Solar/Wind (태양과 풍력의 제한) : 시나리오의 모든 년도에서 태양과 풍력발전의 전 세계 발전량 비중이 최대 20%임. Limited Bioenergy (바이오에너지의 제한) : 전 세계적으로 현대적 바이오에너지를 최대 100EJ/년 공급 (2008년에 열, 전력, 열병합발전, 산업용으로 사용된 현대적 바이오에너지는 약 18EJ/년이었다[11.13.5]).
- 2030~2050년, 2050~2100년 기간의 총 할인된 완화 비용의 백분을 증가.
- 구간은 시나리오 세트의 16백분위와 84백분위를 포함하는 중심 시나리오에 의해 결정되었다. 시간 범위가 2100년까지인 시나리오들만 포함되었다. 2100년에 약 530ppm CO₂eq가 넘는 농도 수준에서 비용 범위에 포함된 일부 모형은 기술들의 이용가능성에 제한이 있고, 추가적인 완화를 지연한다고 가정할 때 2100년에 530ppm CO₂eq 이하의 농도 수준에 대한 관련 시나리오를 도출할 수 없었다.

단지 한정된 편수의 연구들만 산업화 이전 수준 대비 온도 변화를 2100년까지 1.5°C 이하로 유지할 *개연성이 절반 이상(more likely than not)*인 시나리오들을 개발하였다. 이 시나리오들에서 대기 농도는 2100년까지 430ppm CO₂eq 이하가 된다(높은

신뢰). 여러 개의 모형을 이용하여 이러한 시나리오를 개발한 연구가 없었기 때문에 이 목표를 평가하는 것은 현재 어렵다. 이 목표에 부합하는 한정된 편수의 발표된 연구들은 (1) 즉시 완화 행동, (2) 완화 기술의 모든 포트폴리오의 빠른 보급 확대, (3) 저에너지 수요 경로를 따라서 발전(development)하는 특성의 시나리오를 제시하고 있다.²⁰⁾ [6.3, 7.11]

2100년까지 약 450 또는 500ppm CO₂eq에 도달하는 수많은 시나리오들에서 대기 질과 에너지 안보 목적을 달성하는 비용이 저감되었으며, 인간의 건강, 생태계 영향, 자원의 자급성 및 에너지 시스템의 회복력(resilience)에 대해 상당한 부수적 편익이 있었다(중간의 증거). 이러한 완화 시나리오들은 에너지 공급의 회복력 뿐만 아니라 국가 에너지 수요를 충족하기 위한 자원의 자급성 측면에서 개선됨을 보여 주며, 그 결과 에너지 시스템은 가격 휘발성과 공급 교란에 대한 취약성이 개선된다. 대기 오염물질 배출량의 주요 감축과 연관된 건강과 생태계에 미치는 영향의 감소로 인한 편익은 특히 현재 입법화되고 계획된 대기 오염 제어가 약한 곳에서 높다. 대기 질과 에너지 안보를 제외하고 추가적인 목적에 대한 광범위한 부수적 편익과 부정적 부대효과가 있다. 전체적으로, 에너지 최종이용 조치의 부수적 편익의 잠재성은 부정적 부대효과의 잠재성을 초과하지만, 이것이 모든 에너지 공급 및 AFOLU 조치의 경우에 해당되는 것은 아님을 증거는 시사한다. [제3 실무그룹 4.8, 5.7, 6.3.6, 6.6, 7.9, 8.7, 9.7, 10.8, 11.7, 11.13.6, 12.8, 그림 TS.14, 표 6.7, 표 TS.3~TS.7, 제2 실무그룹 11.9]

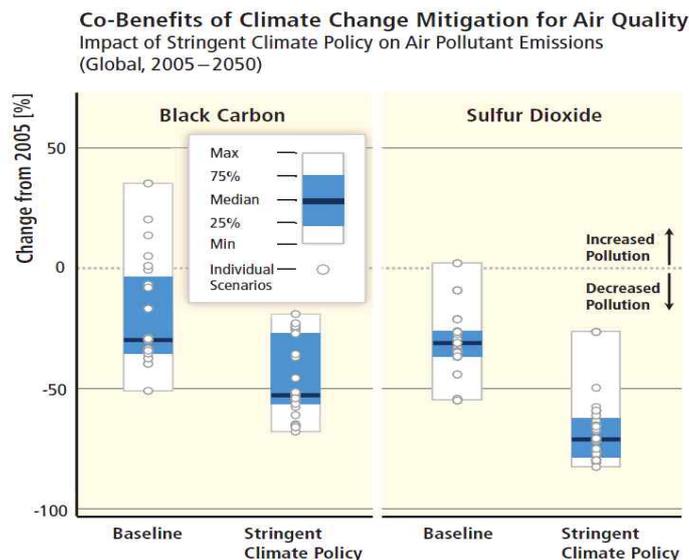


그림 SPM.6] 2005년 대비 2050년의 블랙카본(BC)과 이산화황(SO₂)의 대기오염물질 배출량

20) 이러한 시나리오들에서, 누적 CO₂ 배출량의 범위는 2011~2050년 기간에 655에서 815GtCO₂eq 사이이며, 2011~2100년 기간에 90에서 350GtCO₂ 사이이다. 2050년에 전 세계 CO₂eq 배출량은 2010년 배출량 보다 70에서 95% 낮으며, 2100년에는 2010년 배출량보다 110에서 120% 낮다.

수준(0=2005년 수준). 오늘날 시행되는 내용을 넘어서 온실가스 배출량을 저감하기 위한 추가 노력이 없는 기준 시나리오는 2100년까지 약 450에서 500(430~530)ppm CO₂eq 농도 도달에 부합하는, 완화 정책을 엄격히 하는 시나리오와 대비된다. [그림 6.33]

기후 정책의 정량화가 잘 안된 광범위한 부수적 편익과 확산(spillovers) 뿐만 아니라 가능성있는 부정적 부대효과도 있다(높은 신뢰). 부대효과가 실현될지 여부, 부대효과가 실현되는 정도는 국지적 상황과 이행의 규모, 범위, 속도에 달려있기 때문에 사례와 장소에 따라 다르다. 중요한 예시로는 생물다양성 보존, 물 이용가능성, 식량 안보, 소득 분배, 과세 체계의 효율, 노동 공급 및 고용, 도시의 스프롤(urban sprawl), 개도국의 성장의 지속가능성 등이 있다. [상자글 TS.11]

완화 노력과 관련 비용은 완화 시나리오들에서 국가들 간에 다양하다. 국가별 비용의 배분은 활동 그 자체의 배분과는 다를 수 있다(높은 신뢰). 전 세계적으로 비용 효과적인 시나리오들에서, 완화 노력의 대부분은 기준 시나리오에서 미래 배출량이 가장 많은 국가들에서 발생한다. 특정 노력분담 틀을 개발한 일부 연구들은 전 세계 탄소 시장의 가정 하에 2100년 대기 농도가 약 450에서 550ppm CO₂eq에 이르는 시나리오들의 완화에 대한 상당한 전 세계 재정 흐름을 추정하였다. [상자 3.5, 4.6, 6.3.6, 표 6.4, 그림 6.9, 그림 6.27, 그림 6.28, 그림 6.29, 13.4.2.4]

완화 정책은 화석연료 자산가치를 하락시킬 수 있으며, 화석연료 수출업자들의 수익을 감소시킬 수 있지만, 지역간 및 연료간 차이가 있다(높은 신뢰). 대부분의 완화 시나리오들은 주요 수출업자들의 석탄 및 석유 무역으로 인한 수익 감소와 연관된다(높은 신뢰). 일부 연구들에서 대략 2050년까지 중기적으로 천연가스 수출 수익의 편익이 가능하다고 제시하고 있기 때문에 완화가 천연가스 수출 수익에 미치는 영향은 더욱 불확실하다. CCS의 이용가능성은 완화가 화석연료의 자산 가치에 대한 부정적 영향을 저감해줄 것이다(중간의 신뢰). [6.3.6, 6.6, 14.4.2]

SPM.4.2 부문 및 범부문(cross-sectoral) 완화 경로 및 조치

SPM.4.2.1 범부문 완화 경로 및 조치

기준 시나리오에서, AFOLU 부문의 CO₂ 순배출량을²¹⁾ 제외하고, 모든 부문에서 온실가스 배출량은 증가할 전망이다(강력한 증거, 중간의 동의). 에너지 공급 부문의

21) AFOLU 부문 CO₂ 순배출량은 산림의 토지를 포함하여 AFOLU 부문의 CO₂ 배출량 및 제거량, 일부 평가에서의 농업용 토양의 CO₂ 흡수원을 포함한다.

배출량은 계속해서 온실가스 배출량의 주요 배출원이 될 전망이며, 결국 건물과 산업 부문에서 전기 사용으로 인한 간접배출량의 상당한 증가를 설명해 준다. 기준 시나리오에서, 농업의 비CO₂ 온실가스 배출량은 증가할 전망이지만 AFOLU 부문의 CO₂ 순배출량은 시간이 지나면서 감소하며 일부 모형에서는 금세기 말에는 순흡수원을 전망하고 있다(그림 SPM.7).²²⁾ [6.3.1.4, 6.8, 그림 TS.15]

사회를 온실가스 집약적인 배출 경로로 고착화하는 기반시설의 개발과 장수명 제품은 바꾸기가 어렵거나 매우 비싸며, 이 때문에 야심찬 완화를 위한 조기 행동의 중요성이 강조된다(강력한 증거, 높은 동의). 이러한 고착화(lock-in) 위험은 기반시설의 수명, 대안들의 배출량과의 차이, 투자 비용의 크기로 인해 악화된다. 그 결과, 기반시설과 공간 계획과 연관된 고착화는 저감하기가 가장 어렵다. 그러나 수명이 길고, 전주기(lifecycle) 배출량이 적은 재료, 제품과 기반시설은 재료 사용 수준의 감소를 통해 배출량도 저감하면서 저배출 경로로 전환을 촉진할 수 있다. [5.6.3, 6.3.6.4, 9.4, 10.4, 12.3, 12.4]

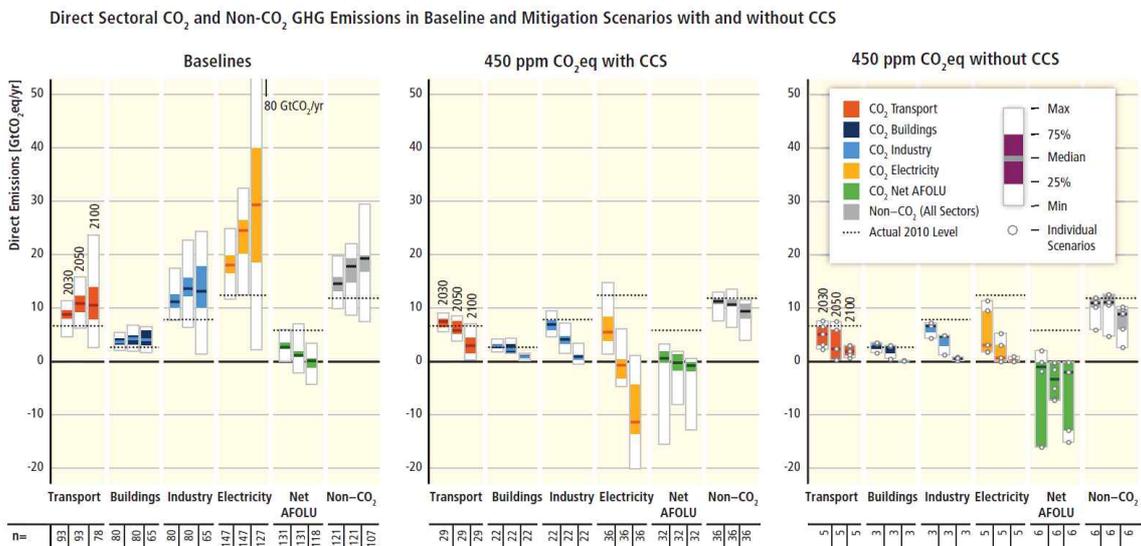


그림 SPM.7] 기준 시나리오(왼쪽 그림)와 CCS가 있고(가운데 그림), 없을 때(오른쪽 그림) 약 450(430~480)ppm CO₂eq에 도달하는 완화 시나리오의 부문별 CO₂와 범부문 비CO₂ 온실가스(교토 기체)의 직접 배출량. 그래프의 아래에 있는 숫자는 부문별 해상도와 모형의 시간 범위의 차이로 인해 부문별 및 시간별로 다르게 포함된 시나리오의 수를 가리킨다. 많은 모형들에서 CCS가 없다면 2100년까지 450ppm CO₂eq 농도에 도달할 수 없었으며, 그 결과 오른쪽 그림과 같이 시나리오 수가 적었다(그림 6.34, 6.35).

22) 제1 실무그룹에서 평가한 지구 시스템 모형의 대부분은 2100년까지 모든 RCPs에서 토지 탄소를 지속적으로 흡수(uptake)하는 것으로 전망하지만, 일부 모형은 기후변화와 토지이용 변화의 복합 효과로 인해 토지 탄소의 손실을 시뮬레이션하고 있다. [제1 실무그룹 SPM.E.7, 제1 실무그룹 6.4]

에너지 공급 및 에너지 최종이용에서 완화 조치의 도입 속도와 AFOLU 부문의 발전 간에 완화 시나리오의 강한 상호의존성이 있다(높은 신뢰). 부문별 완화 노력의 분배는 BECCS의 이용가능성과 성과, 그리고 대규모 조림에 의해 강한 영향을 받는다(그림 SPM.7). 이는 2100년까지 약 450ppm의 CO₂eq 농도에 도달하는 시나리오들의 경우에 특히 그러하다. 설계가 잘 되고 체계적이며 범부문 완화 전략들은 개별 기술과 부문에 초점을 맞춘 경우보다 배출량을 저감하는데 더욱 비용 효과적이다. 에너지 시스템 수준에서 이러한 전략에는 에너지 공급 부문의 온실가스 배출량 집약도의 저감, 저탄소 에너지 캐리어(저탄소 전력 등)로 교체, 발전을 저해하지 않으면서 최종이용 부문의 에너지 수요 저감이 포함된다(그림 SPM.8). [6.3.5, 6.4, 6.8, 7.11, 표 TS.2]

2100년까지 약 450ppm CO₂eq 농도에 도달하는 완화 시나리오에서 에너지 공급 부문은 전 세계적으로 대규모 변화를 보인다(강력한 신뢰, 높은 동의). 이러한 선택된 시나리오들에서, 에너지 공급 부문의 전 세계 CO₂ 배출량은 향후 몇십년 동안 감소할 전망이며, 2040년부터 2070년 사이에 2010년 수준보다 90% 이상 감소하는 특징이 있다. 이러한 시나리오들 가운데 수많은 시나리오들에서 배출량은 그 이후 0이하로 감소할 전망이다. [6.3.4, 6.8, 7.1, 7.11]

발전을 저해하지 않으면서 기준 시나리오와 비교하여 에너지 수요를 저감하기 위하여 효율 향상과 행태 변화는 2100년까지 대기중 CO₂eq 농도를 약 450 또는 500ppm에 도달하는 시나리오에서 핵심 완화 전략이다(강력한 증거, 높은 동의). 가까운 장래에 에너지 수요의 저감은 비용 효과적인 완화 전략의 중요한 요소이며, 에너지 공급 부문의 탄소 집약도를 저감하는데 유연성을 더욱 제공하며, 공급측 위험에 대비하며(hedge), 탄소집약적 기반시설으로 고착화를 피하게 하며, 중요 부수적 편익과 관련있다. 통합 및 부문 연구들은 2030년과 2050년의 교통, 건물, 산업 부문의 에너지 수요 저감에 대한 비슷한 추정치를 제공하고 있다(그림 SPM.8). [6.3.4, 6.6, 6.8, 7.11, 8.9, 9.8, 10.10]

행태, 생활양식, 문화는 에너지 사용 및 관련 배출량에 상당한 영향을 미치며, 일부 부문에서는 완화 잠재량이 높으며, 특히 기술 및 구조 변화를 보완할 때 높다(중간의 증거, 중간의 동의).²³⁾ 배출량은 소비 패턴의 변화(예, 이동 수요 및 수단, 가정의 에너지 사용, 더 오래 쓰는 제품의 선택)와 식단의 변화와 음식물 쓰레기의 감소를 통해 상당히 저감할 수 있다. 정보제공 조치 뿐만 아니라 금전적 및 비금전적 인센티브를 포함하여 수많은 옵션들이 행태 변화를 촉진할 수 있다. [6.8, 7.9, 8.3.5,

23) 구조 변화(structural changes)는 일부 구성요소가 대체되거나 다른 구성요소에 의해 대체될 가능성이 있는 시스템의 전환을 의미한다(제3 실무그룹 제5차 평가보고서의 용어 참조).

8.9, 9.2, 9.3, 9.10, 상자글 10.2, 10.4, 11.4, 12.4, 12.6, 12.7, 15.3, 15.5, 표 TS.2]

Final Energy Demand Reduction and Low-Carbon Energy Carrier Shares in Energy End-Use Sectors

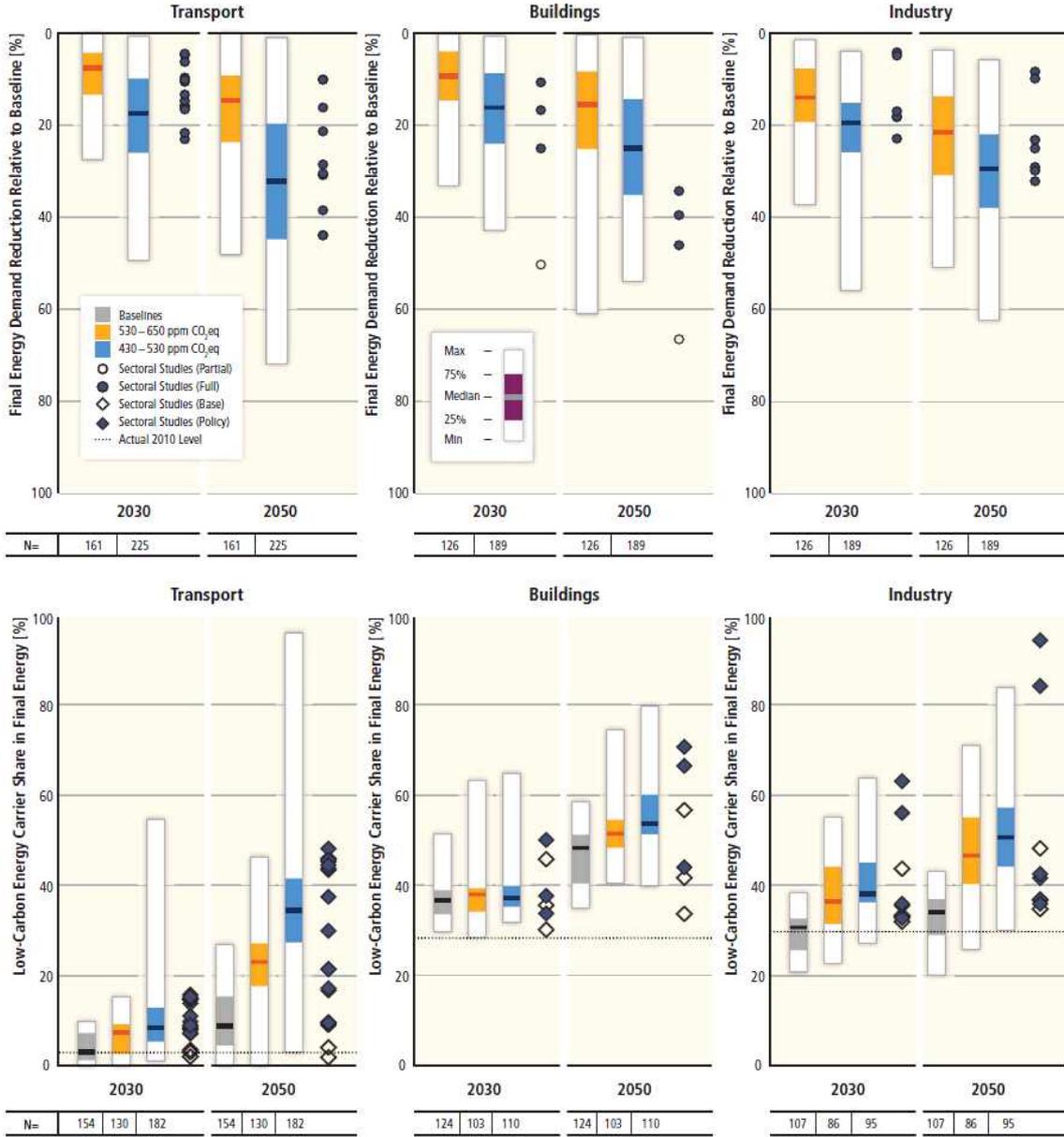


그림 SPM.8] 기준 시나리오 대비 최종에너지 수요의 저감(위 그림). 8~10장에서 평가된 부문별 연구와 비교하여 두 개의 서로 다른 CO₂e 농도 시나리오에서 2030년과 2050년까지 교통, 건물, 산업 부문의 최종에너지에서 저탄소 에너지 캐리어의 비중(아래 그림). 이 시나리오들에서 제시된 수요 저감은 발전을 저해하지 않는다. 저탄소 에너지 캐리어에는 교통의 전기, 수소와 액체 바이오연료, 건물의 전기, 산업의 전기, 열, 수소 및 바이오에너지가 해당된다. 그래프 아래의 숫자는 부문별 해상도와 모형의 시간 범위가 다르기 때문에 부문별, 시간별로 해당 범위에 포함된 시나리오의 숫자를 가리킨다. [그림 6.37, 6.38]

SPM.4.2.2 에너지 공급

제5차 평가보고서에서 평가된 기준 시나리오에서, 에너지 공급 부문의 직접 CO₂ 배출량은 만약 에너지 집약도의 개선이 과거의 발전을 넘어서 상당히 가속화되지 않는다면, 2050년까지 2010년의 14.4GtCO₂/년의 수준과 비교하여 거의 두 배나 심지어 세 배가 될 전망이다(중간의 증거, 중간의 동의). 지난 십년 동안, 배출량 증가의 주된 기여는 에너지 수요의 증가와 전 세계 연료 구성에서 석탄 비중의 증가였다. 화석연료의 이용가능성만으로는 CO₂eq 농도를 450ppm, 550ppm, 또는 650ppm 과 같은 수준으로 제한하는데 충분치 않을 것이다. [6.3.4, 7.2, 7.3, 그림 6.15, TS.15, SPM.7]

전기 생산의 탈탄소화(즉, 전기 생산의 탄소 집약도 저감)가 저안정화 수준(430~530ppm CO₂eq)을 달성하는데 비용 효과적인 완화 전략의 핵심 요소이다. 대부분의 통합 모델링 시나리오에서, 탈탄소화는 산업, 건물, 교통 부문에서보다 전기 생산에서 더욱 빠르게 발생한다(중간의 증거, 높은 동의) (그림 SPM.7). 대부분의 저안정화 시나리오에서, 저탄소 전기 공급(재생에너지(RE), 원자력 및 CCS로 구성)의 비중은 현재 약 30%에서 2050년까지 80% 이상으로 증가하며, CCS가 없는 화력발전은 2100년까지 거의 전부 단계적으로 폐기된다(그림 SPM.7). [6.8, 7.11, 그림 7.14, TS.18]

제4차 평가보고서 이후, 수많은 재생에너지 기술들은 상당한 성능 개선과 비용 저감을 입증하였으며, 점점 더 많은 재생에너지 기술들이 상당한 규모에서 보급될 수 있을만큼 성숙된 수준을 달성하였다(강력한 신뢰, 높은 동의). 전기 생산에서만, 재생에너지는 풍력, 수력, 태양 전력의 성장으로 2012년에 전 세계적으로 추가된 신규 발전 설비용량의 절반을 조금 넘었다. 그러나 수많은 재생에너지 기술들은 시장 비중이 상당히 증가할지라도 여전히 직접 및 간접 지원을 필요로 한다. 재생에너지 기술 정책은 재생에너지의 최근의 성장을 유도하는데 성공적이었다. 재생에너지를 에너지 시스템으로 통합하는데 과제와 관련 비용은 재생에너지 기술, 지역적 상황, 기존 배경 에너지 시스템의 특성에 따라 다르다(중간의 증거, 중간의 동의). [7.5.3, 7.6.1, 7.8.2, 7.12, 표 7.1]

원자력은 기저 전력의 성숙된 저온실가스 배출원이지만, 전 세계 전기 생산에서의 비중은 (1993년 이후) 계속 감소하고 있다. 원자력은 저탄소 에너지 공급에 대한 기여도를 높일 수 있지만, 다양한 장애요인과 위험이 존재한다(강력한 증거, 높은 동의). 여기에는 운전 위험 및 관련 우려, 우라늄 채굴 위험, 재정적 및 규제 위험, 해결안된 폐기물 관리 이슈, 핵무기 확산 우려, 부정적 여론이 포함된다(강력한 증거,

높은 동의). 이 이슈들 중에서 일부를 해결할 새로운 연료 사이클과 반응로 기술이 조사되고 있으며, 안전 및 폐기물 처분에 대한 연구·개발이 진전되고 있다. [7.5.4, 7.8, 7.9, 7.12, 그림 TS.19]

에너지 공급에서 온실가스 배출량은 천연가스를 이용할 수 있으며, 추출 및 공급 관련 비산 배출량이 적거나 완화된다는 전제 하에 현재 세계 평균 석탄 발전소를 현대식, 고효율 천연가스 복합화력이나 열병합발전소로 대체하면 상당히 저감할 수 있다(강력한 증거, 높은 동의). 2100년까지 약 450ppm CO₂eq 농도에 도달하는 완화 시나리오들에서, CCS가 없는 천연가스 발전은 교량 기술(bridge technology)로서 활동하며, 보급이 정점에 도달하기 전까지는 증가하다가 2050년까지 현재 수준 이하로 떨어지고, 금세기 후반에는 더욱 감소한다(강력한 증거, 높은 동의). [7.5.1, 7.8, 7.9, 7.11, 7.12]

이산화탄소 포집 및 저장(CCS) 기술은 화력발전소의 전주기 온실가스 배출량을 저감할 수 있다(중간의 증거, 중간의 동의). 통합 CCS 시스템의 모든 요소들이 존재하고, 화석연료 추출 및 정유업종에서 오늘날 이용되고 있지만, CCS는 대형 운전중인 상업용 화력발전소의 규모로는 아직 적용되고 있지 않다. CCS 발전소는 규제를 통해 인센티브가 제공된다면, 그리고 저감하지 않은 상대에 견줘 경쟁력이 있다면, 예를 들면 추가 투자 및 운전 비용(효율 저하에 의해 일부 야기되는)이 충분히 높은 탄소 가격(또는 직접적인 재정 지원)에 의해 보상된다면, CCS 발전소가 시장에 등장할 수 있다. CCS의 미래 대규모 보급을 위해서는, 경제적 인센티브 뿐만 아니라 저장의 단기 및 장기 책임에 대한 잘 설계된 규제가 필요하다. CCS 기술의 대규모 보급의 장애요인에는 수송 위험 뿐만 아니라 운전중 안전과 CO₂ 저장의 장기 온전성(integrity)에 대한 우려가 있다. 그러나 CO₂ 주입정(well)의 온전성을 확보하는 방법, CO₂ 저장에 의해 야기되는 지층의 압력 가중에 대한 잠재적 결과(유발된 지진 활동과 같은), 일차 주입 구역 밖으로 이탈하는 CO₂의 잠재적 인간의 건강 및 환경 영향에 대한 문헌이 증가하고 있다(제한된 증거, 중간의 동의). [7.5.5, 7.8, 7.9, 7.11, 7.12, 11.13]

바이오에너지와 CCS를 결합(BECCS)할 경우, 과제와 위험이 수반되지만, 수많은 저안정화 시나리오에서 중요한 역할을 하며 대규모 순배출량이 마이너스인 에너지 공급이 가능하다(제한된 증거, 중간의 동의). 이러한 과제와 위험에는 CCS 기술 그 자체에 대한 것 뿐만 아니라 CCS 시설에서 사용되는 바이오매스의 상류(upstream) 대규모 공급에 대한 과제와 위험이 포함된다. [7.5.5, 7.9, 11.13]

SPM.4.2.3 에너지 최종이용 부문

교통

교통 부문은 2010년에 최종에너지 이용의 27%를 차지하였으며, 직접 배출량이 6.7GtCO₂이었으며, 기준 시나리오의 CO₂ 배출량은 2050년까지 약 두 배가 될 전망이다(중간의 증거, 중간의 동의). 전 세계 여객 및 화물 활동도의 증가로 인한 CO₂ 배출량의 증가는 연료의 탄소 집약도와 에너지 집약도의 개선, 기반시설의 개발, 행태 변화와 종합 정책의 이행 등 미래 완화 조치를 일부 상쇄한다(높은 신뢰). 전체적으로, 기준 시나리오의 성장과 비교하여 2050년에 교통의 총 CO₂ 배출량을 15~40% 저감할 수 있다(중간의 증거, 중간의 동의). (그림 SPM.7) [6.8, 8.1, 8.2, 8.9, 8.10]

모든 교통 수단의 기술적 및 행태적 완화 조치와 새로운 기반시설 및 도시 재개발 투자로 2050년의 최종에너지 수요를 기준시나리오보다 약 40% 저감할 수 있으며, 평가된 완화 잠재량은 제4차 평가보고서에서 보고된 것보다 더 높다(강력한 증거, 중간의 동의). 에너지 효율과 차량 성능은 교통 수단과 차량 유형에 따라서 2030년에 2010년 대비 30~50% 개선될 전망이다(중간의 증거, 중간의 동의). 통합 도시 계획, 대중교통 지향 개발, 자전거 및 도보를 지원하는 더욱 컴팩트한 도시 형태는 모두 교통수단 전환을 야기하고, 장기적으로 도시 재개발과 단거리 항공 여행 수요를 줄여주는 고속 철도 시스템과 같은 새로운 기반시설에 대한 투자를 야기할 것이다(중간의 증거, 중간의 동의). 이러한 완화 조치들은 도전적이며, 결과가 불확실하며, 기준 시나리오와 비교하여 2050년에 교통의 온실가스 배출량을 20~50% 저감할 수 있다(제한된 증거, 낮은 동의). (그림 SPM.8 위 그림) [8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.9, 12.4, 12.5]

연료의 탄소 집약도를 저감하는 전략과 탄소 집약도의 저감율은 에너지 저장과 관련된 과제와 저탄소 수송 연료의 비교적 낮은 에너지 밀도에 의해 제약된다(중간의 증거). 통합 및 부문 연구들은 저탄소 연료로 전환할 수 있는 기회가 가까운 미래에 존재하며 시간이 지나면서 증가할 것이라는 데 광범위하게 동의한다. 메탄에 기반한 연료들은 도로 차량과 선박 수송에서 이미 비중이 증가하고 있다. 저탄소 원천에서 생산된 전기는 가까운 미래에 전기 철도에 적용될 잠재성이 있으며, 전기 버스, 경량 차량 및 2륜 차량이 보급되면서 단기 및 중기에 적용될 잠재성이 있다. 저탄소 원천에서 생산된 수소 연료는 장기 옵션을 구성한다. 기술 발전을 통해 확대될 수 있는 완화 옵션들과 함께, 상업적으로 이용가능한 액체 및 기체 바이오연료는 이미 부수적 편익을 제공하고 있다. 교통에서의 입자상 물질(블랙카본 등), 대류권 오존 및 에어로졸 전구체(NO_x 등) 배출량을 저감하면 단기적으로 인간의 건강과 완화의 부수적 편익이 있다(중간의 증거, 중간의 동의). [8.2, 8.3, 11.13, 그림 TS.20, 오른쪽 그림]

교통 부문의 다른 탄소 저감 조치의 비용 효과성은 차량 유형과 교통 수단에 따라서 상당히 다르다(높은 신뢰). 수많은 단기 행태 조치들과 경량 및 중량 도로 차량과 선박의 효율성 개선의 경우, 탄소 절감의 균등화 비용이 매우 낮거나 마이너스이다. 2030년에 일부 전기차, 항공기, 어쩌면 고속철도의 경우 균등화 비용이 회피된 CO₂ 톤당 100USD 이상이 될 것이다(제한된 증거, 중간의 동의). [8.6, 8.8, 8.9, 그림 TS.21, TS.22]

지역적 차이는 교통의 완화 옵션 선택에 영향을 미친다(높은 신뢰). 제도적, 법적, 재정적, 문화적 장애요인들이 저탄소 기술의 채택과 행태 변화를 제한한다. 구축된 기반시설은 교통수단의 전환 옵션을 제한하고, 차량 기술의 발전에 더 의존하게 할 것이다. 경량 차량에 대한 수요가 느리게 증가하는 것이 일부 OECD 국가들에서 이미 뚜렷해지고 있다. 모든 경제권에서, 특히 도시의 성장 속도가 빠른 곳에서 대중 교통 시스템과 저탄소 기반시설에 투자하면 탄소집약적인 교통수단에 고착화되는 것을 피할 수 있다. 보행자를 위한 기반시설에 우선 순위를 부여하고, 모터가 없는 교통수단과 대중교통 서비스를 통합하면 모든 지역에서 경제적 및 사회적 부수적 편익을 창출할 수 있다(중간의 증거, 중간의 동의). [8.4, 8.8, 8.9, 14.3, 표 8.3]

완화 전략은 모든 정부 수준에서 기후 정책이 아닌 정책들과 조합되면 모든 지역에서 경제 성장과 교통의 온실가스 배출량을 탈동조화(decouple)하는데 도움이 될 것이다(중간의 신뢰). 이 전략들은 이동 수요를 저감하고, 화물 업체들이 자신들의 물류 체계의 탄소 집약도를 저감하도록 장려하고, 교통수단 전환을 유발할 뿐만 아니라, 접근과 이동성의 개선, 건강 및 안전의 향상, 에너지 안보 향상, 비용 및 시간 절약 등 부수적 편익도 제공한다(중간의 증거, 높은 동의). [8.7, 8.10]

건물

2010년에, 건물 부문은²⁴⁾ 최종에너지 이용의 약 34%를 차지하였으며, 직·간접 배출량을 포함하여 8.8GtCO₂를 배출하였으며, 기준 시나리오에서 세기 중반까지 에너지 수요는 약 2배가 되고, CO₂ 배출량은 50~150% 증가할 전망이다(중간의 증거, 중간의 동의). 이러한 에너지 수요의 성장은 부, 생활양식의 변화, 현대식 에너지 서비스에 대한 접근, 적절한 주거, 도시화의 향상에 기인한다. 건물 및 관련 기반시설의 긴 수명과 관련된 고착화 위험이 상당히 있으며, 이러한 위험은 건설 속도가 빠른 지역에서 특히 중요하다(강력한 증거, 높은 동의). [9.4, 그림 SPM.7]

24) 건물 부문은 가정, 상업, 공공 및 서비스 부문을 포함한다. 건설에서의 배출량은 산업 부문에 해당된다.

기술의 최근 발달과 노하우, 정책들은 전 세계 건물 부문의 에너지 사용을 금세기 중반까지 안정시키거나 저감할 기회를 제공한다(강력한 증거, 높은 동의). 신규 건물에서는 매우 낮은 에너지 건물 기준(building code)의 채택이 중요하며, 제4차 평가 보고서 이후 상당한 진전이 있었다. 개량(retrofit)은 건물 스톡이 구축된 국가들에서는 완화 전략의 핵심 부분이며, 개별 건물의 냉·난방 에너지 사용이 50~90% 저감되었다. 성능과 비용이 최근 크게 개선되어 매우 적은 에너지를 사용한 건설과 개량이 경제적으로 매력있게 되었으며, 때로는 순비용이 마이너스가 되기도 한다. [9.3]

생활양식과 문화, 행태가 건물의 에너지 소비에 상당한 영향을 미친다(제한된 증거, 높은 동의). 건물에서 비슷한 건물 관련 에너지 서비스 수준을 공급할 때 에너지 사용이 3배에서 5배 차이가 났다. 시나리오에 따르면 선진국에서 생활양식과 행태 변화로 에너지 수요를 단기적으로 20%까지 저감하고, 금세기 중반까지 현재 수준의 50%까지 저감할 수 있다. 개도국에서 전통적인 생활양식의 요소들을 건물 기법과 건축에 통합하면 기준 시나리오보다 훨씬 에너지 투입을 적게 하면서 높은 수준의 에너지 서비스를 제공할 수 있다. [9.3]

건물의 완화 옵션들 대부분은 에너지 비용 절감 외에도 상당하고, 다양한 부수적 편익이 있다(강력한 증거, 높은 동의). 부수적 편익에는 에너지 안보, 건강(예를 들면 더 깨끗한 목재연소 취사용 스토브로 인한), 환경적 성과, 작업장 생산성, 연료 빈곤의 저감 및 고용의 순증가에서 개선 등이 있다. 부수적 편익을 금전화한 연구들에 따르면 종종 부수적 편익이 에너지 비용 절감과 어찌면 기후 편익도 상회한다고 한다(중간의 증거, 중간의 동의). [9.6, 9.7, 3.6.3]

인센티브의 분할(예, 세입자와 건설자), 파편화된 시장, 정보와 금융에 대한 부족한 접근과 같은 강력한 장애요인들로 인해 비용 효과적인 기회들이 시장에 기반하여 채택되지 못하고 있다. 건물 및 기기의 전주기에서 모든 단계를 처리하는 정책 개입을 통해 장애요인들을 극복할 수 있다(강력한 증거, 높은 동의). [9.8, 9.10, 16, 상자글 3.10]

에너지 효율 정책의 포트폴리오 개발과 이행은 제4차 평가보고서 이후 상당한 진전이 있었다. 건물 기준과 기기 표준은 잘 설계되고 이행된다면 배출량 감축을 위한 가장 친환경적이고 비용 효과적인 수단들에 속한다(강력한 증거, 높은 동의). 일부 선진국에서 이 수단들은 건물의 총 에너지 수요를 안정화하거나 저감하는데 기여하였다. 건물 기준을 상당히 강화하고, 이것을 더 많은 관할권에서 채택하고, 더 많은 건물과 기기 유형에 확장한다면 야심찬 기후 목표를 달성하는데 핵심 요소가

될 것이다. [9.10, 2.6.5.3]

산업

2010년에 산업 부문은 최종 에너지 사용의 약 28%를 차지하였으며, 공정상 배출뿐만 아니라 직·간접 배출량을 포함하여 13GtCO₂를 배출하였으며, 에너지 효율 개선이 상당히 가속되지 않으면 제5차 평가보고서에서 평가된 기준 시나리오에서 2050년까지 배출량이 50~150% 증가할 전망이다(중간의 증거, 중간의 동의). 산업의 배출량은 2010년 전 세계 온실가스 배출량의 30%를 조금 넘으며, 건물이나 수송 중 한 부문의 최종이용에서의 배출량보다 현재 더 많다.(그림 SPM.2, SPM.7) [10.3]

이용가능한 최고의 기술(best available technology)로 널리 업그레이드하고 교체하고 보급함으로써, 특히 아직 채택되지 않는 국가나 에너지 비집약적인 산업들에서, 산업 부문의 에너지 집약도를 현 수준 대비 약 25% 직접 저감할 수 있다(높은 동의, 충분한 증거). 혁신을 통해 잠재적으로 에너지 집약도를 약 20% 추가 저감할 수 있다(제한된 증거, 중간의 동의). 에너지 효율을 이행하는데 장애요인은 대체로 초기 투자 비용과 정보의 부족과 연관된다. 정보 프로그램은 에너지 효율을 증진하는데 일반적인 접근법이며, 경제적 수단, 규제 접근법과 자발적 행동이 그 다음의 접근법이다. [10.7, 10.9, 10.11]

산업 부문에서 기준 시나리오의 수준 이하로 온실가스 배출량을 저감하는데 에너지 효율 이외에도 온실가스 배출량 효율의 개선, 재료 이용 효율, 재료와 제품의 재활용, 제품 수요(제품의 보다 집약적인 사용을 통한)와 서비스 수요의 전반적인 감소가 도움이 된다(중간의 증거, 높은 동의). 수많은 배출량 저감 옵션들이 비용 효과적이며, 이익이 되며, 여러 가지 부수적 편익과 관련있다(환경 준수와 건강 편익의 증진 등). 장기적으로 저탄소 전력으로 전환, 새로운 산업 공정, 급진적인 제품 혁신(예, 시멘트의 대안), 또는 CCS(예, 공정상 배출량을 저감하기 위하여)가 온실가스 배출량을 상당히 저감하는데 기여할 것이다. 주요 장애요인은 재료 및 제품 서비스 효율에 대한 정책과 경험의 부족이다. [10.4, 10.7, 10.8, 10.11]

산업 부문 온실가스 배출량에서 CO₂ 배출량이 지배적이지만, 비CO₂ 기체에 대한 완화 기회도 상당히 있다(강력한 근거, 높은 동의). 산업의 CH₄, N₂O와 불화기체가 2010년에 0.9GtCO₂eq 배출되었다. 핵심 완화 기회로는 예를 들면 장애요인은 있지만 공정 최적화와 냉매 회수를 통한 HFC 배출량 저감, 재활용 및 대체가 있다. [표 10.2, 10.7]

여러 회사와 여러 부문에 걸쳐 체계적인 접근과 협력 활동으로 에너지와 재료의 소비와 그에 따른 온실가스 배출량을 저감할 수 있다(강력한 증거, 높은 동의). 대규모 에너지 집약 산업과 중소기업에서 크로스커팅 기술(예, 고효율 전동기)과 조치(예, 공기 또는 스팀 누출 저감)를 적용하면 공정 성능과 플랜트 효율을 비용 효과적으로 개선할 수 있다. 여러 회사(예, 산업 단지내)와 여러 부문에 걸친 협력에는 기반시설, 정보, 폐열 이용의 공유도 포함된다. [10.4, 10.5]

폐기물 관리에서 중요한 완화 옵션은 폐기물 저감이며, 재사용, 재활용, 에너지 회수 순이다(강력한 증거, 높은 동의). 폐기물과 폐수에서 2010년에 1.5GtCO₂eq이 배출되었다. 재활용 및 재사용된 재료의 비중이 여전히 낮기 때문에, 폐기물 처리 기술과 화석연료 수요를 저감하기 위한 에너지 회수로 폐기물 처분에서의 직접 배출량을 상당히 저감할 수 있다. [10.4, 10.14]

SPM.4.2.4 농업, 임업 및 기타 토지이용(AFOLU)

AFOLU 부문은 주로 삼림 벌채, 토양과 영양분 관리로 인한 농업 배출량과 가축에서 배출되는 인위적 온실가스 순배출량의 약 1/4(~0~12GtCO₂eq/년)을 차지한다(중간의 증거, 높은 동의). 최근 대부분의 추정치에 따르면 주로 삼림 벌채율의 감소와 조림의 증가로 인해 AFOLU에서의 CO₂ 유동이 감소하고 있다. 그러나 AFOLU의 과거 순배출량의 불확실성이 다른 부문에 비해 크며, 기준 시나리오에서 AFOLU의 순배출량 전망에 추가적인 불확실성이 있다. 그럼에도 불구하고, 미래에 AFOLU에서의 기준 시나리오의 CO₂ 연간 순배출량은 감소할 전망이며, 순배출량이 잠재적으로 2050년까지 2010년 수준의 절반 이하가 되며, AFOLU 부문이 금세기 말 이전에 CO₂ 순흡수원이 될 가능성도 있다(중간의 증거, 높은 동의). (그림 SPM.7) [6.3.1.4, 11.2, 그림 6.5]

AFOLU는 식량 안보와 지속가능한 발전의 중심 역할을 한다. 산림에서 가장 비용 효과적인 완화 옵션은 조림, 지속가능한 산림 관리와 삼림 벌채의 저감이며, 지역에 따라 이들의 상대적 중요성은 크게 다르다. 농업에서 가장 비용 효과적인 완화 옵션은 농경지 관리, 목초지 관리, 유기 토양의 복원이다(중간의 증거, 높은 동의). 공급측면의 조치들의 경제적 완화 잠재량은 100USD/tCO₂eq까지의 탄소 가격²⁵⁾에 부합하는 완화 노력에서, 2030년에 7.2에서 11GtCO₂eq/년으로 추정되며,²⁶⁾ 이중 약 1/3은 20USD/tCO₂eq에서 달성될 수 있다(중간의 증거, 중간의 동의). 이용가능한

25) 완화의 경제적 비용을 평가하는데 사용되는 수많은 모형들에서, 탄소 가격은 종종 완화 정책의 노력 수준을 나타내는 대리지표(proxy)로 사용된다(제3 실무그룹의 제5차 평가보고서의 용어 참조).

26) 모든 연구들의 전체 범위는 0.49~11GtCO₂eq/년이다.

완화 옵션들을 이행하는데 잠재적인 장애요인들이 있다[11.7, 11.8]. 식단의 변화와 식품 공급망의 손실 저감과 같은 수요측면의 조치들은 식량 생산의 온실가스 배출 저감 잠재량이 상당하지만 불확실하다(중간의 증거, 중간의 동의). 추정치는 2050년 까지 대략 0.76~8.6GtCO₂eq/년으로 다양하다(제한된 증거, 중간의 동의). [11.4, 11.6, 그림 11.14]

농사 방식과 산림 보존 및 관리에 대한 정책은 완화와 적응을 포함할 때 더욱 효과적이다. AFOLU 부문의 일부 완화 옵션들(토양 및 산림 탄소 스톡과 같은)은 기후변화에 취약할 수 있다(중간의 증거, 중간의 동의). 산림 벌채와 산림 황폐화로 인한 배출량을 저감하기 위한 활동들은 지속가능하게 이행된다면(REDD+²⁷)는 지속가능하도록 설계된 사례이다) 기후변화를 완화하는 비용 효과적인 정책 옵션이며, 경제적, 사회적 및 기타 환경적 및 적응의 부수적 편익(예, 생물다양성 및 수자원의 보존, 토양 침식 감소) 잠재성도 있다(제한된 증거, 중간의 동의). [11.3.2, 11.10]

바이오에너지는 완화에 중요한 역할을 할 수 있지만, 바이오에너지 시스템의 효율과 작업의 지속가능성 등 고려해야 할 이슈들이 있다(강력한 증거, 중간의 동의)[11.4.4, 상자글 11.5, 11.13.6, 11.13.7]. 바이오에너지의 대규모 보급의 장애요인에는 토지의 온실가스 배출량, 식량 안보, 수자원, 생물다양성 보존 및 생계에 대한 우려 등이 있다. 특정 바이오에너지 경로의 토지 이용 경쟁 효과와 관련한 총 기후 영향에 대한 과학적 논쟁은 아직 해결되지 않았다(강력한 증거, 높은 동의). [11.4.4, 11.13] 바이오에너지 기술은 다양하며, 옵션과 기술 경로가 폭넓다. 전주기 배출량이 적으며, 이미 일부 이용되고 있는 옵션들(예, 사탕수수, 억새(Miscanthus), 빨리 성장하는 수종, 바이오매스 잔재물의 지속가능한 이용)은 온실가스 배출량을 저감할 수 있다는 증거가 있다. 결과는 장소에 따라 다르며, 효율적인 통합 '바이오매스 대 바이오매스 시스템'과 지속가능한 토지이용 관리 및 거버넌스에 달려 있다. 일부 지역에서는, 취사 스토브의 개선, 소규모 바이오가스 및 바이오전력 생산과 같은 특정 바이오에너지 옵션들이 온실가스 배출량을 저감하고, 지속가능 발전의 맥락에서 생계와 건강을 개선할 수 있다(중간의 증거, 중간의 동의). [11.13]

SPM.4.2.5 인간 정주(settlement), 기반시설 및 공간계획

도시화(urbanization)는 전 세계적 추세이며, 소득의 증가와 관련있으며, 도시 소득의 증가는 에너지 소비 및 온실가스 배출량의 증가와 상관관계가 있다(중간의 증거, 높은 동의). 2011년에 전 세계 인구의 52% 이상이 도시 지역에 살고 있다. 2006년에

27) 제3 실무그룹의 용어 참조

도시 지역이 에너지 사용의 67~76%를, 에너지 관련 CO₂ 배출량의 71~76%를 차지하였다. 2050년까지, 도시 인구는 56~71억명, 즉 세계 인구의 64~69%로 증가할 전망이다. 부속서 I 국가들의 도시들(cities)은 일반적으로 국가 평균에 비해 1인당 에너지 사용이 더 적지만, 비부속서 I 국가들의 도시들은 일반적으로 국가 평균에 비해 에너지 사용 수준이 더 높다(중간의 증거, 중간의 동의). [12.2, 12.3]

향후 20년간 세계 도시 지역의 많은 곳이 발전될 것이기 때문에, 이 기간에 도시 지역에서 완화 기회의 창이 열릴 것이다(제한된 증거, 높은 동의). 인구 밀도의 감소 추세와 경제 및 인구 성장의 지속을 고려하면, 도시 토지 피복은 2000년에서 2030년까지 56~310% 확대될 전망이다. [12.2, 12.3, 12.4, 12.8]

도시 지역의 완화 옵션은 도시화 경로에 따라 다양하며, 정책 수단을 결합할 때 가장 효과적이다(강력한 증거, 높은 동의). 기반시설과 도시 형태는 강하게 상호연결되어 있으며, 토지이용, 교통 선택, 주택과 행태의 패턴을 고착시킨다. 효과적인 완화 전략은 상호 상승효과가 있는 정책 패키지를 포함하며, 여기에는 주거 밀도가 높은 곳과 고용 밀도가 높은 곳을 일치시키고, 토지 이용의 통합과 다양성을 제고하고, 접근성을 제고하고, 대중교통과 기타 수요관리 조치에 투자하는 것이 해당된다. [8.4, 12.3, 12.4, 12.5, 12.6]

인간의 정주 측면에서 가장 큰 완화 기회는 도시 형태와 기반시설이 아직 고착되지 않았지만, 종종 거버넌스, 기술적, 재정적, 제도적 역량이 제한적이며, 도시화가 빠르게 진행되는 지역에 있다(강력한 증거, 높은 동의). 도시 성장의 대부분은 개도국의 중소 규모 도시에서 있을 전망이다. 기후변화 완화를 위한 공간계획 수단의 타당성은 도시의 재정적 및 거버넌스 역량에 크게 의존한다. [12.6, 12.7]

수천 개의 도시들이 기후행동계획을 착수하고 있지만, 도시의 배출량에 미치는 총 영향은 불확실하다(강력한 증거, 높은 동의). 기후행동계획들의 이행, 배출량 저감 목표가 달성된 정도, 또는 배출량이 감소된 정도에 대한 체계적인 평가는 거의 없었다. 현재 기후행동계획들은 대체로 에너지 효율에 초점을 두고 있다. 스포를을 저감하고 대중교통 지향적인 발전을 장려하는 토지 이용 계획 전략과 범부문 조치를 고려하는 기후행동계획은 거의 없다.²⁸⁾ [12.6, 12.7, 12.9]

도시 규모의 기후변화 완화 전략을 성공적으로 이행하면 부수적 편익이 창출될 수 있다(강력한 증거, 높은 동의). 전 세계 도시 지역들은 에너지에 대한 접근 확보, 대

28) 제3 실무그룹의 제5차 평가보고서의 용어를 참조

기 및 수질 오염 제한, 고용 기회의 유지와 경쟁력 등 과제와 계속해서 싸우고 있다. 도시 규모의 완화 행동은 종종 기후변화 완화 노력을 지역의(local) 부수적 편익과 관련시키는 역량에 달려있다(강력한 증거, 높은 동의). [12.5, 12.6, 12.7, 12.8]

SPM.5 완화 정책 및 제도

SPM.5.1 부문 및 국가 정책

배출량을 상당히 저감하려면, 투자 패턴을 크게 바꾸어야 한다. 정책을 통해 대기 농도를 (초과 없이) 2100년까지 430에서 530ppm CO₂eq의 범위로 안정시키는 완화 시나리오들에서 기준 시나리오와 비교하여 2010~2029년 기간 동안 연간 투자 흐름이 상당히 전환된다(그림 SPM.9). 향후 20년 동안(2010~2029년) 저탄소 전기 공급(즉, 재생에너지, 원자력 및 CCS 부착한 전기 생산)에 대한 연간 투자는 약 1,470(310~3,600)억USD(중앙값: 2010년 대비 +100%) 증가할 전망이다 반면, 전기 공급 부문과 관련한 전통적 화석연료 기술에 대한 연간 투자는 약 300(20~1,660)억USD(중앙값: 2020년 대비 -20%) 감소할 전망이다(제한된 증거, 중간의 동의). 비교를 위해, 에너지 시스템에 대한 전 세계 연간 총투자액은 현재 약 1조 2,000억 USD이다. 게다가, 흔히 기존 설비의 현대화를 포함하여 교통, 건물, 산업의 에너지 효율에 대한 연간 투자 증가분(incremental)은 약 3,360(10~6,410)억USD 증가할 전망이다(제한된 증거, 중간의 동의). [13.11, 16.2.2]

기후 금융이 무엇으로 이루어지는지에 대하여 널리 동의된 정의는 없지만, 기후변화 완화 및 적응과 관련한 금융 흐름에 대한 추정치는 이용가능하다. 기대 효과가 온실가스 순배출량을 저감하고 기후변화 및 기후 변동성에 대한 회복력을 증진하기 위한 목적의 현 연간 금융 흐름에 대한 발표된 평가에 따르면, 전 세계적으로 연간 3,430에서 3,850억 달러이다(중간의 신뢰)[상자글 TS.14]. 이 중에서 대부분은 완화로 제공된다. 이 중에서, 개도국에 유입된 총 공적 기후 금융은 2011년과 2012년에 350에서 490억USD/년으로 추정된다(중간의 신뢰). 개도국으로 유입된 국제 민간 기후 금융 추정치는 2008~2011년 기간 동안 100에서 370억USD/년의 범위에서 주식과 채권을 통한 외국인 직접 투자를 포함하여 100에서 720억USD/년의 범위이다(중간의 증거). [16.2.2]

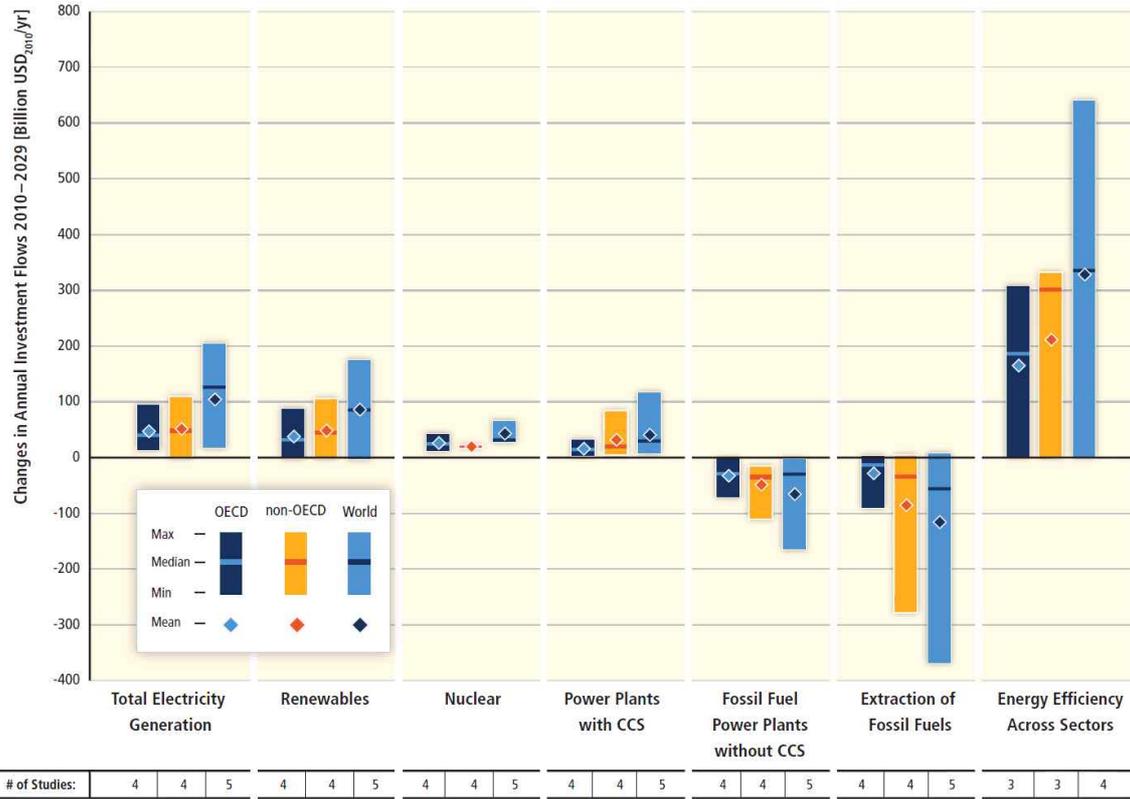


그림 SPM.8] 2100년까지 약 430~530ppm CO₂eq의 범위 내에서 농도를 안정화시키는 완화 시나리오의 향후 20년간 평균의 기준 시나리오 수준 대비 연간 투자 흐름의 변화. 투자 변화는 한정된 수의 모형 연구와 모형 비교에 기반하고 있다. 총 발전량(가장 왼쪽)은 재생에너지, 원자력, CCS가 수반된 발전소와 CCS가 없는 화력 발전소의 합이다. 수직의 막대는 최소와 최대 추정치의 범위를 가리킨다. 수평 막대는 중앙값을 가리킨다. 모형 결과의 집계(aggregation) 수준이 다르고, 이용가능한 연구의 수가 적고, 고려된 연구들의 가정이 서로 다르기 때문에, 중앙값에 근접한다고 개연성이 더 높은 것은 아니다. 아래 행의 숫자는 평가에 사용된 문헌 연구의 숫자이다. 이는 투자 필요성이 상대적으로 검토된 연구가 적으며, 연구가 진행되고 있는 영역임을 알려준다.

제4차 평가보고서 이후 국가 및 국가하위의 완화 계획과 전략이 상당히 증가하였다. 2012년에는 전 세계 온실가스 배출량의 67%가 국가의 법률 및 전략의 대상이었는데, 2007년에는 45%이었다. 그러나 전 세계 온실가스 배출량은 아직 과거 추세에서 상당히 벗어나지 못했다[그림 1.3c]. 이러한 계획 및 전략은 수많은 국가들에서 전개 및 이행의 초기 단계에 있으며, 미래 전 세계배출량에 미치는 총 영향을 평가하기는 어렵다(중간의 증거, 높은 동의). [14.3.4, 14.3.5, 15.1, 15.2]

제4차 평가보고서 이후, 다양한 목적을 통합하고 부수적 편익을 증진하고 부정적 부대효과를 저감하기 위한 정책들에 더욱 초점이 맞춰졌다(높은 신뢰). 정부들은 중중 기후 및 부문 계획과 전략의 부수적 편익을 명확히 언급한다. 과학적 문헌은 부

수적 편익의 규모를 평가하려고 시도해 왔으며(섹션 SPM.4.1 참조), 부수적 편익이 크고 부정적 부대효과가 적은 정책들은 정치적 타당성과 지속성이 더 크다. [4.8, 5.7, 6.6, 13.2, 15.2] 제4차 평가보고서 이후 정책결정과 과학적 문헌에 대한 관심이 증가하였음에도 불구하고, 수많은 상호 영향을 이해하기 위한 분석적 및 실증적 기반은 아직 개발되지 않았다[1.2, 3.6.3, 4.2, 4.8, 5.7, 6.6]

경제 전반의 정책 수단들보다는 부문별 정책들이 훨씬 널리 사용되고 있다(중간의 증거, 높은 동의). 비록 경제 이론은 완화라는 단일 목적을 위한 경제 전반의 정책이 부문별 정책보다 비용 효과적이라고 시사하지만, 제4차 평가보고서 이후 점점 더 많은 연구들은 행정적 및 정치적 장애요인으로 경제 전반의 정책들을 설계하고 시행하기가 부문별 정책보다 더 어려움을 입증하고 있다. [6.3.6.5, 8.10, 9.10, 10.10, 15.2, 15.5, 15.8, 15.9]

규제 접근과 정보 조치들이 널리 사용되고 있으며, 종종 환경적으로 효과적이다(중간의 증거, 중간의 동의). 규제 접근의 예로는 에너지 효율 기준이 있다. 정보 프로그램의 예로는 소비자가 결정할 때 더 좋은 정보를 제공해주는 라벨링 프로그램이 있다. 이러한 접근법은 사회적으로 순편익이 있는 것으로 종종 밝혀지지만, 과학적 문헌은 이러한 정책이 회사와 개인에게 사적 비용이 마이너스로 시행될 수 있는 정도에서 갈린다. 반등 효과(rebound effects)가 존재한다는 것이 일반적인 합의인데, 반등 효과에 의하면 효율이 높으면 에너지 가격이 낮아지고 소비가 커진다. 하지만 그 크기에 대한 문헌의 동의 수준은 낮다[3.9.5, 5.7.2, 14.4.2, 15.5.4].

제4차 평가보고서 이후, 온실가스에 대한 총량제한 거래제(cap and trade)가 수많은 국가와 지역에서 제정되었다. 단기 환경적 효과는 느슨한 총량 또는 억압적이지 않은 총량으로 인해 제한적이었다(제한된 증거, 중간의 동의). 이는 에너지 수요를 줄이게 했던 금융 및 경제 위기, 새로운 에너지원, 다른 정책과의 상호작용, 규제의 불확실성과 같은 요인들과 관련있다. 원칙적으로 총량제한 거래제는 비용 효과적인 방식으로 완화를 달성할 수 있으며, 이행은 국가의 상황에 달려있다. 조기 프로그램은 거의 전적으로 그랜드파더링(배출권의 무상 할당)에 의존했지만, 배출권 경매를 적용하는 곳이 증가하고 있다. 만약 할당을 경매로 하면, 수입(revenues)을 사회 수익이 높은 다른 곳에 투자하거나 세금 및 부채 부담을 줄이는데 사용할 수 있다. [14.4.2, 15.5.3]

일부 국가들에서는, 특별히 온실가스 배출량을 저감하기 위한 목적으로 세금에 기반한 정책이 (기술과 기타 정책과 함께) 온실가스 배출량과 GDP간의 연계를 약화시키는데 도움이 되었다(높은 신뢰). 많은 국가들에서, 연료세(반드시 완화 목적으로

설계된 것은 아니지만)은 부문별 탄소세와 비슷한 효과가 있다[표 15.2]. 가격이 1% 오르면 교통 연료의 수요는 단기 반응은 훨씬 적지만 장기적으로 0.6%에서 0.8% 감소한다[15.5.2]. 일부 국가들에서는 수입을 다른 세금을 저감하거나 저소득 집단으로 이전하는데 사용하고 있다. 이는 정부의 수입을 높여주는 완화 정책이 그렇지 않은 접근법에 비해 일반적으로 사회적 비용이 더 적다는 일반 원칙을 설명해준다. 예전에는 교통 부문의 연료세가 역진적이라고 생각되었지만, 제4차 평가보고서 이후 많은 연구들이 연료세가 누진적이며 특히 개도국에서 그러함을 보여주었다(중간의 증거, 중간의 동의). [3.6.3, 14.4.2, 15.5.2]

여러 부문에서 온실가스 관련 활동에 대한 보조금을 저감하면 배출량 저감을 달성할 수 있으며, 이는 사회적 및 경제적 맥락에 달려있다(높은 신뢰). 보조금은 많은 분야에서 배출량에 영향을 미칠 수 있지만, 최근 대다수 문헌은 화석연료에 대한 보조금에 초점을 맞추고 있다. 제4차 평가보고서 이후 경제 전반을 다루는 모형에 기반한 문헌은 적지만 증가하였는데, 이 문헌들은 모든 국가에서 화석연료에 대한 보조금을 완전히 제거하면 금세기 중반까지 전 세계 총 배출량을 저감할 수 있다고 전망하였다(중간의 동의, 중간의 동의)[7.12, 13.13, 14.3.2, 15.5.2]. 연구들마다 방법론, 보조금의 유형과 정의, 고려한 제거 기간이 다르다. 특히 연구들은 어떤 보조금이 낭비적이고 비효율적인지를 평가하려 하지 않은 채 모든 화석연료의 보조금을 완전히 제거하는 것의 영향을 평가하고 있는데, 국가의 상황을 명심해야 한다. 비록 정치경제적 장애요인은 상당하지만, 일부 국가들은 연료 보조금을 줄이기 위하여 세금 및 예산 시스템을 개혁하였다. 종종 소득의 많은 비중을 에너지 서비스에 지출하는 저소득 그룹에 미치는 잠재적 부정적 영향을 저감하기 위하여, 많은 정부들이 일괄(lump-sum) 현금 이전이나 빈곤층을 겨냥한 다른 메커니즘을 이용하고 있다.[15.5.2]

완화 정책들 간에 상호작용은 배출량을 저감하는데 상승효과가 있거나 부가(additive) 영향이 없을 수도 있다(중간의 증거, 높은 동의). 예를 들면 탄소세는 재생에너지의 공급에 대한 보조금과 같은 정책에 부가적인 환경 영향을 미칠 수 있다. 반대로 만약 총량제한 거래제에서 구속력있는 총량(배출량 관련 결정에 영향을 미칠 만큼 충분히 엄격한)이 설정된다면, 재생에너지 보조금과 같은 다른 정책들은(비록 비용과 미래 더 엄격한 목표의 가능성에 영향을 미칠 수 있지만) 총량이 적용된 기간 내에 배출량 저감에 추가 영향을 미치지 못한다(중간의 증거, 높은 동의). 둘 중 어느 경우이든, 혁신과 기술 확산 관련한 시장 실패를 해소하기 위하여 추가 정책이 요구된다. [15.7]

일부 완화 정책들은 일부 에너지 서비스들의 가격을 높이며, 아직 현대식 에너지

서비스를 제공받지 못한 사람들에게 현대식 에너지 서비스에 대한 접근을 확대시킬 수 있는 사회의 능력을 저해할 수 있다(낮은 신뢰). 이러한 잠재적 부정적 부대효과는 보완 정책을 채택함으로써 피할 수 있다(중간의 신뢰). 특히 전 세계 약 13억명이 전기를 사용하지 못하며, 약 30억명이 취사 및 난방용으로 전통적인 고체 연료에 의존하며, 건강과 생태계 및 발전에 심각한 부정적 영향을 미친다. 현대식 에너지 서비스를 이용할 수 있게 해주는 것은 중요한 지속가능발전 목표이다. 온실가스 배출량에 최소의 영향을 미치면서 거의 모두가 취사 및 난방용 청정연료와 전기를 이용할 수 있게 하는데 소요되는 비용은 2030년까지 연간 720억에서 950억USD 사이로 전망된다(제한된 증거, 중간의 동의). 전통적인 바이오매스²⁹⁾의 사용에서 전환하고, 고체 연료를 더욱 효과적으로 연소하면 이산화황(SO₂), 질소 산화물(NO_x), 일산화탄소(CO), 블랙카본(BC)과 같은 대기오염물질 배출량을 저감하고, 건강 편익이 증진된다(높은 신뢰). [4.3, 6.6, 7.9, 9.3, 9.7, 11.13.6, 16.8]

기술 정책은 다른 완화 정책을 보완한다(높은 신뢰). 기술 정책에는 기술선도(technology-push. 예, 공적 자금 R&D)와 수요창출(demand-pull. 예, 정부 조달 프로그램)이 있다. 이런 정책들은 혁신 및 기술 확산과 관련한 시장 실패를 해소한다. [3.11, 15.6] 기술 지원 정책은 상당한 혁신과 신 기술의 확산을 촉진하였지만, 이런 정책의 비용 효과성을 평가하기는 종종 어렵다[2.6.5, 7.12, 9.10]. 그럼에도 불구하고, 프로그램 평가 데이터는 다른 정책들의 상대적 효과성에 대한 실증적 증거를 제공하며, 정책 설계에 도움을 줄 수 있다[15.6.5].

많은 국가들에서, 민간 부문은 완화 뿐만 아니라 배출량으로 이어지는 과정에서 중심 역할을 한다. 적절한 우호(enabling) 환경에서, 민간 부문은 공공 부문과 함께 완화에 자금지원하는데 중요한 역할을 할 수 있다(중간의 증거, 높은 동의). 총 완화 자금에서 민간 부문의 비중은 데이터의 한계를 인정할 때, 평균적으로 전 세계 수준(2010~2012)의 2/3에서 3/4 사이인 것으로 추정된다(제한된 증거, 중간의 동의). 많은 국가에서, 정부와 국가개발은행, 국제개발은행에 의한 공공 금융 개입은 민간 부문의 기후 투자를 촉진하며[16.2.1], 민간 부문의 투자가 제한된 곳에 자금지원한다. 국가의 우호 환경의 질에는 민간 부문에 대한 제도, 규제, 지침의 효과성, 재산권의 보장, 정책의 신뢰도, 민간 회사가 신기술과 기반시설에 투자할 것인지 여부에 상당한 영향을 미치는 기타 요인 등이 있다[16.3]. 신용 보험, 전력구매계약, 발전차액지원제도(feed-in tariffs), 양허성(concessional) 자금지원 및 환급(rebate) 등 전용 정책 수단은 민간 주체의 위험을 낮추어줌으로써 투자 인센티브를 제공한다[16.4].

29) 제3 실무그룹 제5차 평가보고서의 용어 참조.

SPM.5.2 국제 협력

기후변화에 관한 국제연합기본협약(UNFCCC)은 거의 모두가 참여하는, 기후변화를 해결하는데 중점을 둔 주요 다자 포럼이다. 서로 다른 수준의 거버넌스에서 여러 제도들이 조직되어 국제 기후변화 협력은 다양해졌다. [13.3.1, 13.4.1.4, 13.5]

기존 및 제안된 국제 기후변화 협력 협정들(arrangements)은 중앙집권 및 협력의 정도와 중점이 다르다. 이러한 협정은 광역(regional) 정책, 광역 협력 정책 뿐만 아니라 다자 합의, 조율된 국가 정책, 분산형이지만 협력된 국가 정책을 아우른다. [그림 TS.38, 13.4.1, 13.13.2, 14.4]

교토의정서는 특히 참여, 이행, 유연성 메커니즘과 환경적 효과성 측면에서 UNFCCC의 궁극적 목적을 달성하기 위한 교훈을 제공한다(중간의 증거, 낮은 동의). [5.3.3, 13.3.4, 13.7.2, 13.13.1.1, 13.13.1.2, 14.3.7.1, 표 TS.9]

2007년 이후 UNFCCC 활동으로 국제 기후변화 협력을 위한 제도와 기타 협정의 수가 증가했다. [13.5.1.1, 13.13.1.3, 16.2.1]

광역, 국가, 국가하위 기후 정책들간 정책 연계를 하면 잠재적인 기후변화 완화 및 적응 편익이 있다(중간의 증거, 중간의 동의). 국가 정책간, 다양한 수단간, 광역 협력을 통해서도 연계는 이루어질 수 있다. [13.3.1, 13.5.3, 13.6, 13.7, 13.13.2.3, 14.4, 그림 13.4]

국가 및 전 세계 규모 사이에 다양한 광역 시책들(initiatives)이 개발되고 있거나 이행되고 있지만, 이 시책들이 전 세계 완화에 미치는 영향은 현재까지는 제한적이었다(중간의 신뢰). 수많은 기후 정책들은 지리적 광역 전체에서 시행된다면 더욱 효과적일 것이다. [13.13, 13.6, 14.4, 14.5]

[참고] (이하 정책결정자를 위한 요약문에는 없는 내용으로 번역자가 추가한 내용임)

□ IPCC 평가보고서 현황 (기상청, 2013)³⁰

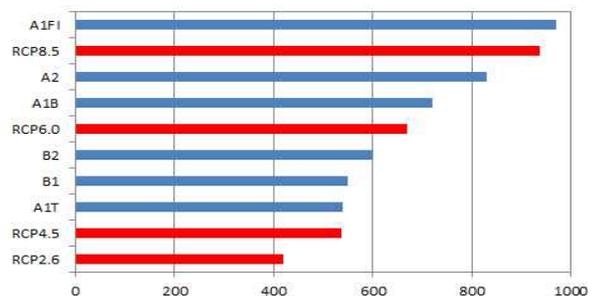
- 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC)에서는 1990년 이래 매 5~6년 간격으로 기후변화 평가보고서를 발간하고 있음
 - 제1차(1990년), 제2차(1995년), 제3차(2001년), 제4차(2007년), 제5차(2014년)
 - 제5차 평가보고서(AR5)는 총 4개의 보고서로 구성
 - 3개 실무그룹(WG I, II, III) 보고서와 1개 종합평가보고서(Synthesis Report)
- ※ 3개 실무그룹: WG-I(기후변화 과학적 근거), WG-II(기후변화 영향·적응 및 취약성), WG-III(기후변화 완화)

□ 새로운 온실가스 시나리오 도입 (기상청, 2013)

- IPCC는 제4차 평가보고서('07)에 사용된 온실가스 배출량 시나리오(SRES*) 대신, 제5차 평가보고서를 위해 새로운 대표농도경로(RCP*)를 도입
 - SRES : Special Report on Emission Scenario (온실가스 배출량 시나리오)
 - RCP : Representative Concentration Pathways(대표농도경로)
- * SRES는 인위적인 기후변화 요인 중에서 온실가스와 에어러솔의 영향에 의한 강제력만 포함하였다면, RCP는 토지이용변화에 따른 영향까지 포함

<표 3> AR4와 AR5의 온실가스 시나리오 비교(2100년 CO₂농도, 단위ppm)

SRES (AR4)	CO ₂ 농도	RCP (AR5)	CO ₂ 농도
A1FI	970		
A2	830	RCP8.5	936
A1B	720	RCP6.0	670
B2	600		
B1	550	RCP4.5	538
A1T	540	RCP2.6	421



30) 기상청 보도자료(2013.9.27.), “21세기말 기온은 3.7도, 해수면은 63cm 높아져”.

□ IPCC AR5, 세 개의 실무그룹 공통으로 불확실성의 처리에 대한 지침 (IPCC, 2010)³¹⁾

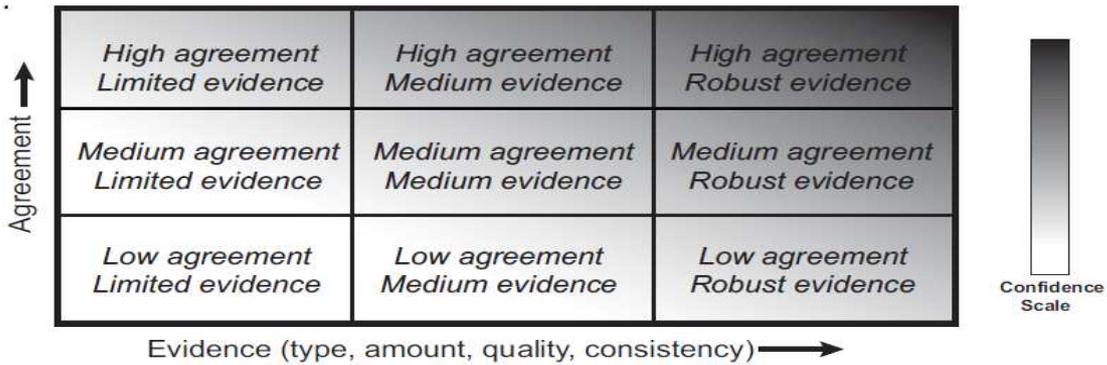


Figure 1: A depiction of evidence and agreement statements and their relationship to confidence. Confidence increases towards the top-right corner as suggested by the increasing strength of shading. Generally, evidence is most robust when there are multiple, consistent independent lines of high-quality evidence.

Table 1. Likelihood Scale	
Term*	Likelihood of the Outcome
<i>Virtually certain</i>	99-100% probability
<i>Very likely</i>	90-100% probability
<i>Likely</i>	66-100% probability
<i>About as likely as not</i>	33 to 66% probability
<i>Unlikely</i>	0-33% probability
<i>Very unlikely</i>	0-10% probability
<i>Exceptionally unlikely</i>	0-1% probability

* Additional terms that were used in limited circumstances in the AR4 (*extremely likely* – 95-100% probability, *more likely than not* – >50-100% probability, and *extremely unlikely* – 0-5% probability) may also be used in the AR5 when appropriate.

31) IPCC, 2010, Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties.

정책결정자를 위한 요약문 (IPCC 제3 실무그룹 제5차 평가보고서)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020					
IPCC 평가보고서	1차(FAR)					2차(SAR)						3차(TAR)						4차(AR4), 노벨평화상 수상						5차(AR5)												
IPCC 인벤토리 지침							수정 1996 인벤토리 지침										2006 인벤토리 지침																			
IPCC 특별보고서					복사 강도			지역별 영향 및 취약성		행공	기술이전, 배출량시나리오, 토지이용변화 및산림(LULUCF)						이산화탄소 집적및저장, 오존층보호						재생 에너지	기상 재해												
기후변화협약		UNFCCC				Kyoto Protocol								교토의정서 발효			1차 공약기간																			
기후변화협약 당사국총회					COP1 베를린 (독일)	COP2 제네바 (스위스)	COP3 교토 (일본)	COP4 부에노스아이레스 (아르헨티나)	COP5 본 (독일)	COP6 헤이그 (네덜란드)	COP7 마라케시 (모로코)	COP8 뉴델리 (인도)	COP9 밀라노 (이태리)	COP10 부에노스아이레스 (아르헨티나)	COP11 몬트리올 (캐나다)	COP12 나이로비 (케냐)	COP13 발리 (인도네시아)	COP14 포즈난 (폴란드)	COP15 코펜하겐 (덴마크)	COP16 칸쿤 (멕시코)	COP17 더반 (남아공)	COP18 도하 (카타르)	COP19 바르샤바 (폴란드)	COP20 리마 (페루)	COP21 파리 (프랑스)											
EU 배출권거래제																EU ETS Phase I			EU ETS Phase II					EU ETS Phase III												
국가 기후변화 종합대책	<p>〈그림 1〉 국가 온실가스 배출량 통계 및 전망</p>						기후 변화 대응 종합대책			기후 변화협약 대응 제2차 종합대책			기후 변화협약 대응 제3차 종합대책		기후 변화협약 대응 제4차 종합대책		기후 변화협약 대응 종합기본계획 (2009~2013)		녹색성장5개년계획 (2009~2013)						제2차 녹색성장 5개년 계획, 기후변화대응기본계획 (예정)											
국가 기후변화 적응대책																																				
기후변화협약 국가보고서 제출															제1차 제출				제2차 제출																	
반																					에너지 기본법				녹색성장 기본법							배출권 할당 및 거래법				
감축목표 설정																									중기목표		업종별 목표									
																											배출권거래제 기본계획	배출권거래제 1단계	배출권거래제 2단계							
에너지기본계획							국가에너지 기본계획 (1997~2006)							제2차 국가에너지 기본계획 (2002~2011)												제2차 에너지기본계획										
전력수급기본계획	장기전력수급계획 (1991~2006)	중기전력수급계획 (1993~2006)			95 장기전력수급계획 (1995~2010)		제4차 장기전력수급계획 (1998~2015)	제5차 장기전력수급계획 (1999~2015)				제1차 전력수급기본계획 (2002~2015)	제2차 전력수급기본계획 (2004~2017)			제3차 전력수급기본계획 (2006~2020)	제4차 전력수급기본계획 (2008~2022)			제5차 전력수급기본계획 (2010~2024)				제6차 전력수급기본계획 (2013~2027)	제7차 전력수급기본계획 (2013~2027)											

<그림> IPCC 평가보고서와 국내·외 기후변화 정책 및 제도의 경과

<표> IPCC 제3 실무그룹의 “기후변화평가보고서(기후변화 완화) 정책결정자를 위한 요약문” 목차 비교

IPCC 제1차평가보고서(1990)	IPCC 제2차평가보고서(1995)	IPCC 제3차평가보고서(2001)	IPCC 제4차평가보고서(2007)	IPCC 제5차평가보고서(2014)
1. 인위적 온실가스 배출원	1. 서론	서론	A. 서론	1. 서론
2. 미래 온실가스 배출량	2. 평가의 범위	완화 과제 속성	B. 온실가스 배출량 추세	2. 기후변화 완화에 대한 접근
2.1 배출량 시나리오	경제학의 기여		C. 단기 및 중기 완화(2030년까지)	3. 온실가스 저량과 유량의 추세와 동인
2.2 기준 시나리오	형평성 고려		D. 장기 완화 (2030년 이후)	4. 지속가능발전 맥락에서 완화 경로 및 조치
3. 지구 기후변화 대응 전략	3. 기후변화 대응을 위한 의사결정 틀	온실가스 배출량 제한 또는 저감, 흡수원 제고 옵션	E. 기후변화 완화 정책, 조치 및 수단	4.1 장기 완화 경로
4. 온실가스 배출량 제한 옵션	4. 형평성과 사회적 고려			4.2 부문 및 범부문 완화 경로 및 조치
4.1 에너지 부문 순배출량 제한	5. 세대간 형평성과 할인			4.2.1 범부문 완화 경로 및 조치
4.2 산업 부문 순배출량 제한	6. 비용편익분석의 적용			4.2.2 에너지 공급
4.3 농업 부문 순배출량 제한	7. 인간에 의한 기후변화의 사회적 비용: 온실가스 배출량 증가의 피해			4.2.3 에너지 최종이용 부문
4.4 임업 및 기타 활동의 순배출량 제한	8. 대응 전략의 전반적 평가			교통
5. 온실가스 배출량 제한 목표에 대한 추가 작업	9. 대응 옵션의 비용			건물
6. 지구적 기후변화 적응 조치	비용 개념			산업
6.1 해안구역 관리	구체적인 결과			4.2.4 농업 임업 및 기타 토지이용
6.2 자원 이용 및 관리	10. 통합 평가	완화 활동의 비용 및 부수적 편익	F. 지속가능발전과 기후변화 완화	4.2.5 인간 정주, 기반시설 및 공간계획
7. 대응 전략 이행 메커니즘	11. 기후변화 대응 정책 수단의 경제성 평가	완화 방법 및 수단		5. 완화 정책 및 제도
7.1 공공 교육 및 정보				5.1 부문 및 국가 정책
7.2 기술 개발 및 이전		지식의 격차	G. 지식의 격차	5.2 국제 협력
7.3 경제 메커니즘				
7.4 재정 메커니즘				
7.5 법적 및 제도적 메커니즘				

이 보고서는 독일 베를린에서 개최된 IPCC 제3 실무그룹 제12차 회의(2014.4.7.~11)에서 승인된 정책결정자를 위한 요약문을 한국에너지기술연구원에서 번역한 것입니다.

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

번역 : 한국에너지기술연구원 미래전략정책부 박년배 선임연구원