CLIMATE ANALYTICS

탈탄소 사회로의 전환 :
파리협정에 따른 한국의 과학 기반 배출 감축 경로

2020 년 5 월

탈탄소 사회로의 전환 : 파리협정에 따른 한국의 과학 기반 배출 감축 경로

2020 년 5 월

저자

우르술라 허트필터(Ursula Fuentes Hutfilter)
매튜 기든(Matthew Gidden)
데보라 라말로페(Deborah Ramalope)
라이언 윌슨(Ryan Wilson)
거라브 간티(Gaurav Ganti)
빌 헤어(Bill Hare)

감사의 말

이 보고서가 나오기까지 많은 분들의 도움이 있었다. 데이터 사이언스와 그래픽 디자인을 맡아준 안드레아스 가이게스(Andreas Geiges)와 매트 비어(Matt Beer)에게 각별한 감사의 말을 전한다. 아낌없는 코멘트와 제안을 해준 기후솔루션(Solutions for Our Climate)에도 감사를 드린다. 단, 보고서 내용에 대한 모든 책임은 저자들에게 있다.

이 작업이 가능했고 매끄럽게 진행된 데에는 IPCC 시나리오 데이터베이스에 자료를 제공해준 IAM 모델링팀이 있었기 때문이다. 깊은 감사를 표한다.

보고서의 전체 또는 일부를 Climate Analytics 의 허가 없이 교육 혹은 비영리적 목적으로 사용할 수 있지만 인용 또는 참고문헌에 출처를 명확히 언급해야 한다.

Climate Analytics 의 사전 서면허가 없이는 이 보고서를 상업적 목적으로 판매 또는 사용할 수 없다.

이 문헌은 아래와 같이 인용할 수 있다.
Climate Analytics (2020). Transitioning towards a zero-carbon society: science-based emissions reduction pathways for South Korea under the Paris Agreement.

이 보고서는 아래 링크에서 다운로드 가능하다.
www.climateanalytics.org/publications

이 보고서는 유럽기후재단(ECF)의 재정 지원을 받아 작성하였다.

In collaboration with

CLIMATE ANALYTICS

SFOC Solutions for Our Climate

목차

핵심 요약 1

서론 3

국가 기후 목표 4

현 정책에 따른 배출 전망 5

한국의 파리협정 준수 배출 경로 7

국내 목표의 타당성 12

국가 NDC 목표의 타당성 – 공정한 분담 범위와 비교 12

결론 및 정책 권고 15

부록 I – SIAMESE 모형 18

부록 II – 한국을 위한 최저비용 파리협정 준수 경로를 수립하는 방법 19

부록 III – 한국의 공정한 분담 범위 도출 방법 21

참고문헌 23

핵심 요약

2020 년은 더욱 과감한 감축 목표를 설정해야 하는 매우 중요한 해이다. 올해 각국 정부는 더욱 야심찬 2030 목표를 반영하여 국가결정기여(Nationally Determined Contributions, NDC)를 상향하고, 파리협정의 장기 온도 목표(Paris Agreement's Long-Term Temperature Goal, PA LTTG) 달성에 필요한 공동 행동 전략인 장기 저탄소발전전략(Long-Term Low Emissions Sustainable Development Strategies)을 새로 제출해야 한다.

한국의 현 NDC 는 '매우 불충분(highly insufficient)'으로 평가받고 있으며, 각국의 기후 목표가 한국처럼 미흡하다고 가정할 경우, 파리협정 목표의 2 배 수준인 3-4°C 까지 온난화가 진행될 것으로 예상된다. 모든 파리협정 가입국과 마찬가지로 한국도 파리협정의 1.5°C 억제 목표 달성을 목표로 2030 년까지 전세계 배출량 감축을 위한 노력에 동참해야 할 뿐만 아니라 세계 최고 권위의 기후과학 연구 집단인 기후변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)이 명시한 의지와 행동간의 격차를 줄이기 위해서는 반드시 **2020 년에 NDC 를 개선**해야 한다.

2050 년까지 순배출제로(net-zero)를 목표로 하는 여당의 '그린뉴딜(Green New Deal)' 공약을 입법화한다면 NDC 목표 개선과 함께 기후 의지와 행동을 강화하는 기회가 될 것이다. 한국은 NDC 목표를 강화하면서 다음의 주요 사항을 고려해야 한다.

- 점진적인 변화가 아니라 **변혁적인 의지의 강화**가 필요하며, 이는 기술과 사회의 역동적 발전 그리고 혁신에 기반해야 한다.

- **국내 감축과 국제 노력에 대한 '공정한 분담(fair share)' 기여를 고려한 NDC 전체 목표**를 2030 년까지 2017 년 대비 70-94%로 강화해야 한다. 현 NDC 목표는 2017 년 대비 24.4%에 불과하다.

- 국제사회 노력에 대한 공정한 분담 기여는 적정한 수준의 국내 감축 목표를 보완하여 실질적이고 추가적인 감축을 이끌어내야 한다. 공정한 분담은 파리협정에 상응하는 심층 탈탄소화(deep decarbonisation)를 위한 국내 기여분을 대체하는 것이 아니다. 최근 한국 정부는 기존 산림의 관리를 계상(accounting)하여 국내 감축분 이외의 감축 목표 상당 부분을 충당하겠다고 발표했는데, 이는 국제 노력에 대한 추가적 기여를 감소시키는 일이며, 실질적이고 추가적인 감축없이 전체 목표 감축수준을 낮출 위험이 있다.

- 한국이 **NDC 를 BAU(Business As Usual) 전망치 대비가 아니라 기준 연도에 대비한 총량으로 표시하는 것이 바람직하다.** 현재 한국의 NDC 목표는 BAU 대비 37% 감축이다. 새로운 NDC 목표는 (**2017 년 배출량 대비 70%**에 상응하려면) 적어도 BAU 대비 74% 감축이 돼야 **파리협정의 장기 온도 목표 달성을 위한 공정한 분담**을 할 수 있다.

- **NDC 의 국내 감축 목표**를 2030 년까지 2017 년 배출량 대비 59% 감소로 대폭 강화해야 한다. 현재 **국내 감축** 목표는 2017 년 배출량 대비 19% 감축에 불과하다. 이를 BAU 를 기준으로 표시하면, 현재 BAU 대비 32.5%에서 66% 감축(**2017 년 기준 대비 59% 감축**)으로 목표가

상향될 것이다. 이러한 감축 목표는 미래에 대규모 이산화탄소 제거(Carbon Dioxide Removal, CDR)와 완화 옵션에 대한 의존을 최소화하면서 파리협정을 최저비용으로 준수할 수 있는 세계적 경로에 부합한다.

- 이러한 감축 목표를 달성하려면 기존의 부문별 목표 달성 방안에 더해 **모든 부문의 변혁적 기여**가 필요하다. **석탄과 기타 화석 연료의 퇴출을 가속화하고 재생에너지로 전환**하는 작업이 특히 필요하다. 재생에너지는 한국의 전원 구성에서 비중이 작지만 한국은 태양광 및 풍력의 비중을 확대할 수 있는 잠재력이 크다. 재생에너지 확대가 이뤄지면, 그린수소(green hydrogen)에 중점을 둔 수소 경제 활성화도 가능해질 것이다.

- 발전 부문의 완전한 탈탄소화를 위한 발빠른 행동은 전기화가 중요한 모든 부문의 배출량 감축을 위한 근본적 조치이다. **한국은 2029 년까지 발전 부문의 탈석탄을 달성해야 하며,** 이를 위한 명확한 로드맵을 작성해야 한다. 발전 부문의 탈석탄화를 빠르고 체계적으로 이행하면 경제, 환경, 보건 분야에서 많은 추가적 동반 편익(co-benefit)이 발생하게 되고, 이를 바탕으로 한국은 공정하고 순조로운 에너지 전환을 이룰 수 있게 된다.

서론

파리협정은 기후변화의 위험과 영향을 상당히 줄일 것이라는 인식하에 산업화 이전 대비 지구 온도 상승을 2℃ 보다 현저히 낮은 수준으로 유지함으로써 기후변화 위협에 대한 전지구적 대응을 강화하고 나아가 산업화 이전 대비 온도 상승폭을 1.5 ° C 로 제한하기 위한 노력을 추구하는 것이 목표이다(UNFCCC, 2015a). 이러한 목표에 기여하기 위해 각국은 2015 년 처음으로 국가결정기여(NDC)를 제출했으나, 각국 기여분의 총합과 파리협정의 장기온도목표(Long-term Temperature Goal of the Paris Agreement, PA LTTG)에 부합하는 글로벌 배출 경로 사이에 큰 격차가 존재한다(Climate Action Tracker, 2019d; UNEP, 2019). 이를 고려했을 때, NDC 개선안과 새로운 장기 저탄소발전전략(LT-LEDS)의 제출 기한인 2020 년에 기후변화에 대한 행동과 의지를 획기적으로 강화할 필요가 있다.

파리협정에 따라 각국이 계획하고 있는 감축 노력이 실행되더라도 지구 온도는 2.8℃ 상승할 것으로 전망되며(Climate Action Tracker, 2019b), 이는 온난화가 재앙을 초래하는 위험한 수준까지 진행됨을 뜻한다. 그러나 이런 낮은 목표 하에서도 각국이 현재 시행하고 있는 정책들로는 NDC 목표 달성조차 어려울 것으로 전망된다. 이는 모든 국가들이 배출 격차를 줄이기 위하여 시급성을 가지고 과감하게 움직여야 함을 의미한다. 2020 년은 각국이 의지와 행동을 강화하고 파리협정을 준수하는 NDC 를 수립하는 중요한 전환점이다. 파리협정에 부합하는 NDC 목표를 강화와 배출 경로 조정을 위해서는 점진적인 변화가 아닌 변혁적인 변화가 필요하다(Climate Analytics, 2019b).

다른 여러 국가와 마찬가지로 한국의 현 NDC 도 파리협정 목표에 부합하지 않는다. 한국의 NDC 는 온실가스 배출을 2030 년까지 BAU(Business As Usual) 수준 대비 37% 감축하는 것이며, 2017 년 배출량으로 환산하면 24.4% 감축에 해당하는 목표이다.

한국 정부는 2018 년 7 월 내놓은 '2030 온실가스 감축 로드맵(2030 GHG Roadmap)'에서 NDC 중 국내감축 비중을 2030 년 BAU 대비 27.5%에서 32.5%로 올리고, 나머지 4.5%는 국제 시장메커니즘과 산림을 통해 감축하겠다고 발표했다(Ministry of Environment, 2018). Climate Action Tracker 는 한국의 NDC 국내감축 목표를 '매우 불충분(highly insufficient)'하다고 평가하였으며, 한국이 더욱 강력한 기후 행동을 취하지 않는다면 NDC 국내감축 목표 달성은 어려울 것으로 보고 있다(Climate Action Tracker, 2019a).

최근 치뤄진 총선에서 여당인 더불어민주당이 압도적인 승리를 거두면서 2050 년까지 순배출제로(net-zero)를 목표로 내세운 공약인 '그린뉴딜(Green New Deal)' 시행에 힘이 실리고 있다. 이러한 공약은 발전부문의 탈석탄과 2030 년 NDC 목표 개선을 위한 명확한 로드맵으로 연결되어야 한다.

탄소 배출의 급격한 감소를 위한 가장 중요한 진전은 발전 부문의 탈석탄화이다. 지난 2 월 본 연구진은 파리협정의 1.5℃ 목표 준수를 위해 한국의 발전 부문이 취해야 하는 조치를 상세히 설명하며(Climate Analytics, 2020), 발전 부문의 최대 오염원인 석탄을 2029 년까지 퇴출시키고 재생에너지 기술의 사용을 조속히 확대해야 한다는 보고서를 발표한 바 있다.

본 보고서는 탈석탄 경로 보고서의 후속으로 한국이 경제 전반의 감축 목표를 얼마나 더 개선해야 파리협정 준수가 가능한지 분석한다. 최저비용 감축 경로를 한국에 상세화(downscale)하는 방법을 통해 파리협정 1.5℃ 목표에 상응하는 국가 경제 전체의 배출 감축 목표의 준거점을 수립했다.

나아가 이 보고서는 Climate Action Tracker 가 2019 년에 실시한 분석에 기반하여 공정한 분담(fair share)에 기초한 한국의 감축 범위를 전체 NDC 목표와 비교한다. 이는 국내감축과 국제 협력을 통한 추가 기여를 포괄한 것이다.

이러한 분석은 파리협정 준수를 위해서 2030 년까지 한국이 국내 감축 및 국제 행동을 통해 기여해야 할 온실가스 감축에 대한 기준을 제시한다.

이 보고서의 구성은 다음과 같다.

1. 한국의 국가 기후 목표를 개괄하고 이를 현행 및 미래 기후 정책에 비추어 분석한다.
2. 파리협정에 상응하는 경제 전반의 감축 경로 범위를 도출하고 설명한다.
3. 분석을 통해 도출한 2030 년 감축량을 한국의 국내감축 목표와 비교한다.
4. Climate Action Tracker 의 NDC 목표 분석을 바탕으로 선행 과학연구에서 도출한 '공정한 분담' 범위와 비교하여 현 국가 목표의 타당성을 논의한다.
5. 파리협정 준수를 위해서는 올해 현 NDC 를 개선하고, 유엔사무총장과 유엔기후변화협약이 강조하는 2030 년 목표와 행동 사이의 격차를 줄여야 한다는 결론을 도출한다.

국가 기후 목표

파리협정에 따라 한국이 설정한 NDC(국가감축기여, Nationally Determined Contribution)는 2030 년까지 온실가스를 BAU 기준 37% 감축하겠다는 목표를 담고 있다. 한국 정부는 이 목표가 2030 년 온실가스 배출량 536 $MtCO_2e$ 에 해당하는 것으로 보고 있다. 그러나 이 계산은 1995 년에 발표된 IPCC '제 2 차 평가보고서(Second Assessment Report, SAR)' 상의 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)를 이용한 것이다. Climate Action Tracker 의 자체 분석 결과에 따르면, IPCC '제 4 차 보고서(Fourth Assessment Report, AR4)'의 GWP 값을 적용할 경우 한국의 NDC 목표는 2030 년 배출량 539 $MtCO_2e$ 으로, 2010 년 수준 대비 19% 감축에 해당한다(Climate Action Tracker, 2019a). Climate Action Tracker 는 NDC 및 정부의 관련 후속 보고서(Government of the Republic of Korea, 2019a, 2019b)와 마찬가지로 NDC 목표에 토지이용, 토지용도변경과 산림(Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF) 부문은 제외하는 것으로 가정하였다(Climate Action Tracker, 2019a). Climate Action Tracker 는 파리협정의 장기온도목표 달성에 필요한 수준에 비해 한국의 NDC 목표가 '매우 불충분'하다고 평가하였다.

한국의 NDC 는 모든 종류의 온실가스(Greenhouse Gas, GHG)를 포괄하는 국가 경제 전반의 목표이며, 한국은 이를 국내 감축과 국제 시장메커니즘을 이용한 탄소크레딧을 통해 달성할 계획이다(Republic

of Korea, 2015). 현 NDC 는 LULUCF 부문을 제외하고 있지만, 추후 결정에 따라 포함될 수 있다고 밝히고 있다.

2019 년 12 월 한국 정부는「저탄소 녹생성장 기본법」의 시행령 개정을 통해 2030 년 국가 온실가스 감축 목표를 2017 년 수준 대비 24.4%로 공식화했다(Ministry of Environment, 2018). 이는 배출량 536 $MtCO_2e$ 에 해당하며, 2030 년 BAU 대비 37% 감축이라는 현 NDC 목표와 동일한 수준이다. 이 새로운 산정방식을 기준으로 한국이 NDC 를 수정할 경우 배출전망치(BAU)가 아닌 2017 년을 기준연도로 설정하고 절대량 기준으로 감축 목표를 제시하여 투명성을 제고하는 효과가 있으나, 파리협정 4.3 조에 따라 후속 NDC 에 요구되는 감축 목표 상향 요건을 충족하지는 못한다.

한국 정부는 최신 격년 갱신 보고서(Biennial Update Report, BUR)와 최근 수정한 '2030 온실가스 감축 로드맵'에서 산림 흡수원을 계상(accounting)하여 NDC 의 국외감축 목표의 일부를 달성하겠다는 입장을 밝혔다. '2030 온실가스 감축 로드맵'에 따르면, 기존 산림의 관리와 향상(management and enhancement of existing forest)을 위주로 산림 흡수원을 계상하여 2030 년까지 연간 22$MtCO_2$ 감축을 달성하고, 이를 제외한 나머지 국외 감축분인 16 $MtCO_2$ 을 국제 탄소크레딧 거래를 통해 달성할 계획이다(Government of the Republic of Korea, 2019a; Ministry of Environment, 2018). 그러나 이러한 내용은 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 제출한 최신 국가보고서(National Communication)와 격년 갱신 보고서에 담겨 있지 않다. 이러한 한국의 셈법은 국내감축 목표를 개선하지 않으면서 국제 사회에 대한 기여를 사실상 감소시킬 것이다. 기존 산림의 관리를 계상하는 방식은 실질적인 배출 감축을 위해 필요한 전환에 도움이 되지 않는다.

최근 4 월 15 일 총선에서 대승을 거둔 한국의 여당은 야심찬 '그린뉴딜' 공약을 입법화하고 시행해야 하는 의무를 갖게 되었다(Farand, 2020). '그린뉴딜'은 탄소세 도입과 국내외 석탄발전사업에 대한 단계적 금융 제공 중단, 재생에너지 투자 확대를 골자로 하고 있다. 그러나 아직까지 2030 년 NDC 목표에 대한 의지를 강화하겠다는 내용은 담겨있지 않다.

현 정책에 따른 배출 전망

한국의 실제 배출 전망은 '매우 불충분'한 수준인 현재 NDC 목표조차 큰 폭으로 초과할 것으로 전망되며, 따라서 Climate Action Tracker 는 현 정책에 따른 2030 년 배출 전망치를 '심각하게 불충분(critically insufficient)'한 것으로 평가한다(Climate Action Tracker, 2019a). 각국의 기후 행동이 한국과 같은 수준으로 이루어질 경우 지구온난화의 수준은 4℃ 를 넘어선다.

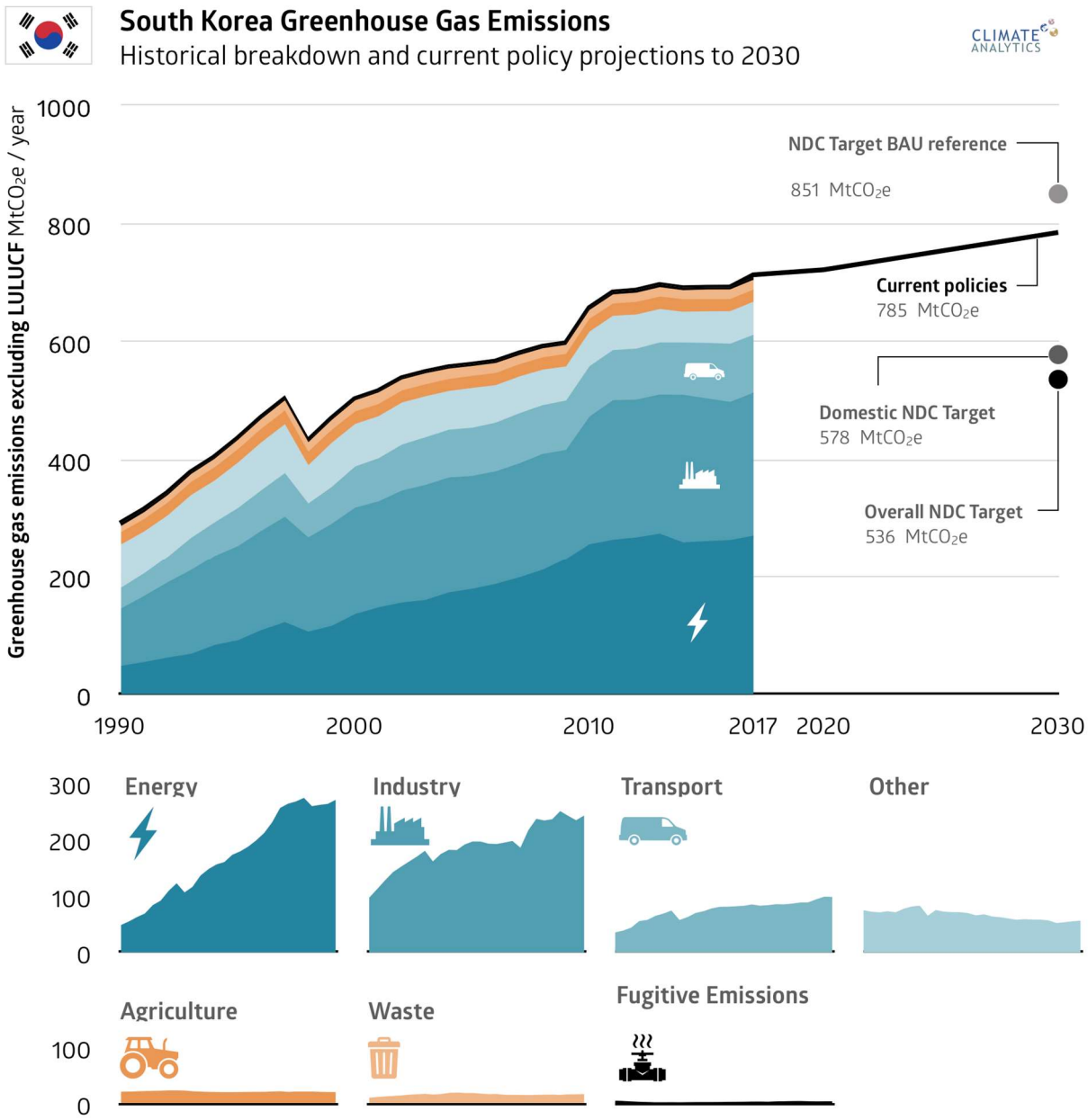

그림 1. 분야별 배출량 추이와 2030 년 전망[1]

(출처: 2019 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 미국 EPA 2019, APERC 2019 자료를 활용한 Climate Action Tracker 의 전망) (AR4 GWP 비적용)[2]

<그림 1>과 같이 한국의 온실가스 배출량은 1990 년부터 2010 년까지 유난히 빠른 속도로 증가했다. 그 중 에너지 분야(전력 생산, 석유 정제, 고체연료 제조)의 비중이 가장 컸으며 2017 년 전체 배출량의 38%를 차지했다. 또한 현 정책 하에서 배출량은 향후 10 년 동안 감소하지 않고 2030 년까지 오히려 꾸준히 증가할 것으로 전망된다. <그림 1>에 표시한 한국 NDC 의 국내 감축 목표를 보면, 현재의 불충분한 감축 목표를 달성하는 데에도 지금보다 현격하게 많은 노력이 필요하다는 사실을 알 수 있다.

[1] 배출량 추이는 '2019 국가 온실가스 인벤토리 보고서'를, 배출 전망치는 에너지 관련 이산화탄소 배출량(APERC, 2019)과 비이산화탄소 배출량(US EPA, 2019) 데이터를 이용하였다.

[2] 한국 정부는 'IPCC 제 2 차 평가보고서(SAR)'의 지구온난화지수(GWP)를 적용하여 온실가스 배출 인벤토리를 작성하였다. 따라서 이 보고서에 적힌 한국의 온실가스 배출량은 '제 4 차 평가보고서(AR4)'가 아닌 제 2 차 평가보고서의 GWP 값을 기준으로 한다.

한국 정부가 2019 년 11 월에 발표한 '제 4 차 국가보고서'는 현 정책을 유지할 경우 전망되는 2030 년 온실가스 배출량을 수록하고 있다(Government of the Republic of Korea, 2019b). 이 보고서의 2030 년 배출 전망치(850.6 $MtCO_2e$)는 현재의 목표 감축률인 BAU 대비 37%를 2015 년에 제시할 당시 사용했던 BAU 시나리오와 동일하다. 이는 재생에너지 비중을 20% 확대하고 2030 년 온실가스 배출량을 BAU 대비 26.4% 감축하겠다는 내용을 담은 '제 8 차 전력수급 기본계획'을 2017 년에 채택했음에도 불구하고 2015 년과 2019 년 사이에 제대로 된 감축 정책이 시행되지 않았음을 뜻한다(MOTIE, 2017).

한국은 범분야적 핵심 정책 두 가지를 시행 중이다. 2015 년에 도입한 탄소배출권 거래제(Korea Emissions Trading Scheme, ETS)와 2012 년부터 탄소배출권 거래제 비해당 사업장을 대상으로 시행 중인 온실가스·에너지 목표관리제(Greenhouse Gas Energy Target Management System, TMS)이다. 현재 직간접 배출을 포함하여 발전 및 산업 등 23 개 부문에서 연 배출량이 25$ktCO_2e$ 이상인(ICAP, 2019b) 약 600 개의 사업장이 탄소배출권 거래제에 참여하고 있으며, 이는 국가 온실가스 배출량의 68%에 해당한다.

탄소배출권 거래제의 1 차 계획기간(2015-2017 년)이 끝나고 2 차 계획기간(2018-2020 년)이 시작되면서 배출권 총 할당량이 1,686 $MtCO_2e$ 에서 1,796 $MtCO_2e$ 로 110 $MtCO_2e$ 증가했다. 2 차 계획기간에는 전체 할당량 중 97%를 무상할당하며, 유상할당(경매) 비율은 3%에 불과하다. 3 차 계획기간(2021-2025 년) 에는 유상할당 비율을 10%로 늘릴 예정이지만, 유럽연합(EU)의 경우 거래제의 현 시행 단계(2013-2020 년)에서 유상할당 비율이 57%라는 점을 고려하면 현저히 낮은 수준이다(ICAP, 2019a).

한국 정부가 2018 년 채택한 '2030 온실가스 감축 로드맵'에는 구체적인 분야별 감축 목표와 향후 정책 개선 방안이 실려있다. 건축물 규제 강화와 산업 부문의 에너지 효율 증대, 공정 개선, 친환경 원자재 및 연료의 사용 촉진을 위한 방안이 포함되어 있다(Ministry of Environment, 2018).

2017 년을 기준으로 연료 연소로 인한 이산화탄소 배출의 54%가 발전 부문에서 비롯되었다. 이와 관련해 현 대통령 문재인은 원전과 석탄화력발전에 대한 의존도를 낮추고 재생에너지 비중을 높이겠다는 의지를 밝혔다. 그러나 현재 정책으로는 2030 년에 석탄화력발전이 전력 생산의 36%, 천연가스가 18.8%를 담당할 것으로 계획되어 있어 충분하다고 보기 어렵다. (MOTIE, 2017). 본 연구진은 2020 년 2 월 발간한 보고서에서 과학에 기반한 한국의 탈석탄 경로를 제시하였고, 파리협정의 장기온도목표 부합을 위해서는 발전 부문의 탈석탄화가 2029 년에 완료되어야 함을 지적한 바 있다(Climate Analytics, 2020).

최근 여당이 발표한 '그린뉴딜' 정책은 2050 년 순배출제로라는 당찬 목표를 제시하고 있지만, 이에 대한 구체적 달성 방안이나 단기적으로 얼마나 감축을 할 것인지에 대한 설명은 빠져있다.

한국의 파리협정 준수 배출 경로

2018 년 10 월 채택·발표된 IPCC 의 '1.5°C 특별보고서(SR15)'는 지구온난화 1.5°C 제한을 위한 감축 경로를 제시하고, 단중장기적 관점에서 세계적, 지역적 및 부문별 전환을 평가하며 지속가능한

개발과의 시너지와 상충(trade-offs) 효과를 살펴본다. '1.5℃ 특별보고서'는 파리협정의 장기 온도 목표의 실현을 위해 현재 활용할 수 있는 최고 수준의 과학 기반 연구이며, 장기 온도 목표에 부합하는 감축(mitigation) 경로를 가장 포괄적으로 평가한 최신 연구이다. '1.5℃ 특별보고서'는 2030 년까지 온실가스의 급격한 감축(전세계적으로 2010 년 대비 약 45% 감축)을 실현하는 것이 파리협정의 1.5℃ 목표 달성을 위한 핵심 전략이라 보고 있다. 또한 이를 통해 향후 탈석탄화의 비용을 높이고 실현가능성을 낮추는 탄소집약적 인프라가 초래하는 제도적, 경제적 잠김(lock-in) 현상의 위험을 회피할 수 있다는 점도 분명히 하고 있다. 감축이 늦어지면 미래 대응 수단의 유연성이 감소할 뿐만 아니라 이산화탄소 제거(Carbon Dioxide Removal, CDR)에 대한 의존도가 높아진다. 모든 경로에서 에너지 체계의 빠른 탈탄소화가 2050 년까지 이뤄져야 한다.

지구 온도 상승폭을 2℃ 보다 현저히 낮게 유지하고 1.5℃ 로 제한하기 위해 노력한다는 파리협정의 장기 온도 목표는 칸쿤 합의(Cancun Agreements)의 2℃ 미만 목표보다 개선된 것이다. 따라서 파리협정에 부합하는 배출 경로는 칸쿤 합의의 2℃ 미만 배출 경로와 비교했을 때 2℃ 미만 목표 달성 가능성이 더 높으면서도 파리협정의 1.5℃ 목표에도 부합하는 상당한 개선을 보여야 한다. IPCC '1.5℃ 특별보고서 정책결정자를 위한 요약본(Summary for Policymakers, SPM)'은 이를 반영하여 1.5℃ 감축 경로를 오버슛이 없거나 제한적인 것으로 설정하였다. 좀 더 자세히 설명하자면, 21 세기 동안 온도 상승폭이 1.5℃ 를 넘지 않으면서 지구온난화 중간값을 1.5℃ 로 억제하는 경로(오버슛 없음)와 2060 년대에 온난화 최고 중간값이 1.6℃ 미만으로 일시적으로 상승하는 제한적 오버슛(0.1℃ 이하)이 나타난 뒤, 21 세기 말까지 온난화를 1.5℃ 미만으로 낮출 수 있는(2100 년 1.3℃ 정도) 경로(낮은 오버슛)를 설정한 것이다.

현재까지의 역사적 배출량, 또는 누적 배출량은 이미 상당한 수준이며, (농업 등) 일부 부문에서는 배출을 완전히 0 으로 저감하는 것이 불가능하기 때문에 대기 중 이산화탄소 제거가 어느 정도 필요하다. 이에 따라 IPCC 가 이용한 통합평가모형(Integrated Assessment Model, IAM) 경로는 대규모 신규조림(afforestation)과 재조림(reforestation, AR) 혹은 바이오에너지□탄소포집저장(Bio-Energy and Carbon Dioxide Storage, BECCS)이라는 두 가지 이산화탄소 제거 수단을 반영하고 있다.

IPCC 는 2050 년까지 전세계적으로 이 두 가지 이산화탄소 제거 수단을 지속가능한 방식으로 사용하는 데에 한계(BECCS 의 경우는 5 $GtCO_2$ p.a. 미만, 재조림을 통한 탄소 격리(sequestration)는 3.6 $GtCO_2$ p.a. 미만)가 있다고 판단하고 있다. 그러면서도 21 세기 하반기에 이 두 수단에 대한 이용 지속가능성과 경제적, 기술적 잠재성을 평가하기에는 불확실성이 있다는 점을 인정한다(Climate Analytics, 2019c).

이 연구는 이 같은 감축 경로 개발을 위해 통합평가모형(**IAM**)을 사용하였다. IAM 은 전지구적 감축 비용을 최소화하면서 기후 및 탄소예산 목표를 실현하는 국내 감축 기여에 대한 추정치를 지역별, 부문별로 제공한다. IAM 은 (국제 탄소 가격 또는 배출권 거래제와 같이) '이상화된(idealised)' 조건 하에서 경제 발전과 에너지 소비, 기후변화를 일으키는 배출 간의 상호작용을 고려한다. 모형을 이용해 이를 분석하면 '경제적으로 최적(economically optimal)'인 국내 기여 추정치를 도출할 수 있다.

IAM 는 분명한 한계점이 있다. IAM 도 다른 대부분의 모형처럼 기후변화 완화를 위해 노력하는 것이 행동을 하지 않는 것보다 항상 더 많은 비용이 든다고 가정한다. 이는 BAU 시나리오가 이미 경제적으로 최적화 되었다고 가정하고 최저비용 경로의 감축 비용을 BAU 시나리오와 비교하여 평가하기 때문에

나타나는 결과이다(Climate Analytics, 2019a). IAM 은 과거의 기술과 트렌드를 신기술보다 더 잘 변영하는 경향이 있어 미래 비용과 이용 추이를 예측하기 어려운 에너지 저장, 전해조, 그린수소(green hydrogen) 등의 신기술 트렌드나 태양광(photovoltaics, PV)과 같은 기존 기술의 비용이 최근 크게 감소했다는 사실을 충분히 반영하지 못한다. 그 결과, 대부분의 IAM 은 변혁적 변화의 가능성에 대해 보수적인 결과를 도출하는 경향이 있다는 것이 기존 경험을 통한 평가이다. 그러나 이러한 단점에도 불구하고 IAM 은 파리협정에 부합하는 경제 전반의 배출 경로에 대해 보수적이지만 합리적인 지침을 제공한다.

이 보고서는 Climate Analytics 의 에너지 시스템 에뮬레이션을 이용한 단순통합평가모형(Simplified Integrated Assessment Model with Energy System Emulator, SIAMESE)을 이용하여 파리협정에 부합하는 한국의 비용효과적인 국내 감축 경로를 추정한다(Sferra et al., 2019)(부록 I 참조). 여러 선행연구도 세계적, 지역적 에너지 모델이 도출한 결과를 국가 차원에서 살펴보는 접근 방식을 사용했다(Climate Analytics, 2019a). 이 연구는 이전 보고서와 같은 방식으로 국제에너지기구(IEA)의 시나리오를 이용하며, 사회경제적, 기술적 진보에 대한 동일한 가정 하에 도출한 다양한 IAM 결과값에 근거해 에너지 수요와 소비로 인한 배출량을 추정함으로써 배출 궤적을 계산한다(Climate Analytics, 2020). 이렇게 계산한 궤적을 가용한 최신 연도의 배출 인벤토리(2017 년)에 맞춰 조정(harmonize)하고, 한국에 직접 적용한 IMAGE 모형(Government of the Republic of Korea, 2019c)의 비에너지 사용 경로(non-energy use pathway)를 이용해 보완한 뒤 파리협정을 준수하는 경제 전반의 배출 추정치를 도출하였다.

평가 방법에 대한 자세한 설명은 <부록 II>에 수록하였다. IEA 에너지기술전망(Energy Technology Perspectives, ETP)의 2°C 미만 시나리오(Beyond 2°C Scenario, **B2DS**)는 온난화를 2°C 보다 현저히 낮은 수준으로 제한하기 위한 에너지 부문 배출 경로를 위해 현재 가용한 기술과 혁신 과정이 있는 기술 등을 얼마나 활용할 수 있는지를 포함하여 분석을 한다. B2DS 는 파리협정 1.5°C 준수 경로에 대한 대리 지표(proxy)가 될 수 있다(Agora Verkehrswende, 2019; CAT, 2018 참조). IPCC '1.5°C 특별보고서'는 B2DS 시나리오를 평가하고, 시나리오 내 에너지 시스템이 갖는 특성이 오버슛이 없거나 제한된 오버슛[3] 하에서 온난화를 1.5°C 로 억제하는 감축 경로 범위에 상응한다는 결론을 내렸다. 이전 보고서에서도 파리협정을 준수하는 한국 전력 부문의 탈석탄 경로를 도출하기 위해 B2DS 를 이용하였는데, 이는 B2DS 가 유일하게 한국을 OECD 국가에 포함시켜 동질적 집단 분류를 제대로 수행한 1.5°C IAM 시나리오이기 때문이다. 이 보고서에서는 B2DS 의 시작년도인 2014 년부터 한국의 배출 추이 자료를 활용해 IEA B2DS 시나리오 하에서 OECD 지역의 총 1 차 에너지 수요(Total Primary Energy Demand, TPED)에 대해 상세화 기법을 적용하였다. 그런 다음 2020 년까지의 배출증가 전망치를 고려하여 상세화 기법을 적용해 도출한 IEA B2DS 경로를 추가 조정하였으나 누적배출량은 동일하게 유지하였다. 따라서 지난 5 년간의 감축 행동 부재를 만회하기 위해서는 추가적인 감축이 필요하였다.

[3] IEA B2DS 가 제시하는 온난화 영향은 비에너지 관련 부문 및 비이산화탄소 배출에 대한 가정에 따라 달라진다. IEA 는 온난화 최고 온도를 1.75°C 로 추정하였다. 그러나 IPCC 의 분석 등 유사 감축 시나리오의 평균 가정을 적용하고, IPCC 가 평가한 다른 시나리오와 비슷한 수준에서 에너지 부문의 순 네거티브(net-negative)배출이 가능하도록 경로 추정 기간을 (B2DS 의 마지막 년도인) 2060 년 이후로까지 늘리게 되면, (B2DS 의) 온난화 최고 온도는 1.6°C 에 도달했다가 2100 년 이전에 1.5°C 미만으로 떨어진다. 따라서 이러한 추가적인 가정을 더하면 B2DS 는 IPCC SR15 가 분류하는 오버슛이 없거나 제한적으로 있는 경로가 된다. 실제로 IPCC SR15 의 2 장은 '이러한 (B2DS) 시나리오는 2050 년 1.5°C 오버슛 경로에 관한 정보를 제공한다'고 적고 있다. (CAT, 2018)

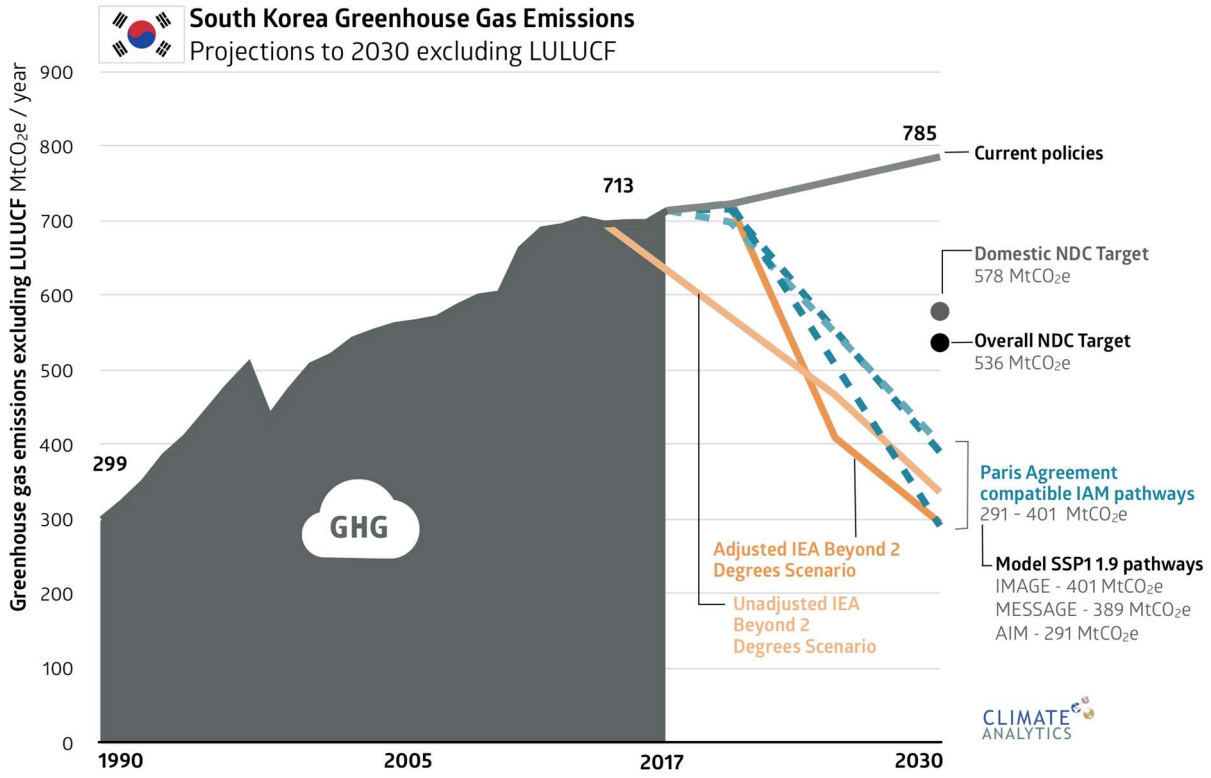

그림 2. 현 정책 배출 전망과 파리협정에 부합하는 2030 년 최저비용 배출 경로 (LULUCF 제외)

<그림 2>는 파리협정에 부합하는 한국의 온실가스 배출 경로에 대한 분석 결과를 나타낸 것이다. 상세화 기법을 적용한 IAM 경로의 배출 수준이 2020 년까지 현 정책 하의 전망치와 유사하게 나타나는데 이는 최신 IAM 설계에서 2020 년 이전에는 강력한 감축 노력이 시작하지 않는다고 가정하였기 때문이다. 배출 범위와 배출 전망 사이의 격차는 2020 년 이후에 본격적으로 나타나며, 2050 년까지 전체 배출량을 현저히 감소시키려는 한층 강력한 정책적 의지 필요할 것임을 의미한다.

파리협정에 부합하는 배출 경로 범위에서 2030 년 상위값과 하위값은 각각 401, 291 $MtCO_2e$ 이며, 2030 년 578 $MtCO_2e$ 을 목표로 설정한 현재 한국의 국내 NDC 는 이 같은 파리협정 부합 경로 범위에서 크게 벗어난다. 한국의 배출량이 배출 경로 범위에 포함되려면 더 많은 온실가스 감축이 필요하다. 이 경로 범위는 총량 기준으로 2017 년 대비 44-59%의 감축에 해당한다. 그러나 한국 NDC 의 국내 감축은 2017 년 대비 19% 수준에 불과하다. 급격한 배출량 감축은 에너지 수요 감소와 재생에너지 확대를 통한 석탄과 천연가스 대체 등의 요인이 결합되면 가능하다.

이전 보고서를 통해서도 밝혔듯이, 파리협정 목표 준수를 위한 배출량의 급격한 감축을 위해 취해야 할 가장 중요한 조치는 발전 부문의 탈석탄화이다(Climate Analytics, 2020). 발전 부문의 완전한 탈탄소화를 조속히 실행에 옮겨야 전기화가 중요한 다른 모든 부문에서 배출량 감축을 달성할 수 있다. 전원 구성의 탈석탄화를 빠른 시일 내에 이루지 못하면 온실가스 감축의 실현가능성과 비용이라는 측면에서 심각한 문제가 발생한다(Climate Analytics, 2020).

이 연구가 분석한 세 가지 IAM 모형 중 가장 엄격한 배출 경로는 일본국립환경연구소(Japanese National Institute of Environmental Studies)와 쿄토대학교가 공동개발한 아시아태평양 통합모형(Asia-Pacific

Integrated Model, AIM)에서 도출되었다. 아시아태평양 지역에 초점을 맞추어 아시아에서 직접 개발한 이 모형은 지역 특성이 충실히 반영되어 있어, 이 배출 경로의 실현가능성에 대한 신뢰도가 높다. 감축 노력이 뒤늦게 시작한다는 점을 반영하여 조정한 IEA B2DS 에서 도출한 2030 년 결과값도 이처럼 과감한 범위를 보여준다.

2030 년 기준 배출량이 더 많은 두 IAM(IMAGE, MESSAGE) 모형은 향후에 이산화탄소 제거(CDR)를 더 많이 적용해야 함을 시사한다[4]. 파리협정 1.5°C 목표와 2050 년까지 이산화탄소 제거의 지속가능성에 제약이 있을 것이라는 점을 적용한 이 두 개의 상세화한 시나리오에서 2030 년 한국은 파리협정 준수를 위해 필요한 2010 년 대비 전세계 감축률(45%)보다 더 낮은 감축률(39-41%)을 보이는데, 또한 2030 년까지의 감축량이 더 큰 배출 경로보다 이산화탄소 제거(CDR)에 더 의존하며, 상세화한 AIM 시나리오보다 BECCS 의 비중이 2, 3 배 더 높게 나타난다.

태양광이나 풍력 등 재생에너지의 확대는 완화 옵션으로써 유효성이 입증되었지만, 이산화탄소 제거(CDR) 옵션은 상당한 한계가 있다. 감축 경로를 다룬 대부분의 연구는 이산화탄소 제거(CDR)의 필요성을 어느 정도 인정하나, 지속가능한 이산화탄소 제거(CDR)의 이용 문제를 해결해야 하기 위해서는 추가적인 연구개발과 지속가능한 개발과의 시너지 혹은 상충에 대한 신중한 평가가 필요한 상황이다(Climate Analytics, 2019c).

최근 태양광 패널과 저장 배터리 같은 기존 재생에너지 기술의 가격은 크게 떨어졌으며, 그린수소와 같은 신기술의 가능성이 점차 대두되고 있다. 이러한 기술에 대한 투자 확대를 통해 중단기에 추가적으로 온실가스를 감축하는 것이 중단기에 더 많은 배출을 허용하고 장기적으로 이산화탄소 제거(CDR) 기술에 의존하는 것보다 더 안전한 전략이다.

따라서 금세기를 거쳐 차세기까지 CDR 기술과 옵션에 의존하는 위험을 낮추기 위해서는 전략적으로 배출 경로 범위 중 하위값을 목표로 하는 NDC 개선안을 마련해야 한다.

[4] 한국 정부는 IPCC '제 2 차 평가보고서'의 GWP 를 적용해 총량 기준 배출 목표를 계산한다. 이 연구는 IPCC '제 4 차 평가보고서'의 GWP 를 적용해 목표(값)을 변환했다.

국내 목표의 타당성

한국 NDC 의 국내감축 목표는 2030 년 BAU 대비 32.5%, 목표배출량은 578 $MtCO_2e$ 이다.[5] 하지만 이는 상세화한 IAM 시나리오에서 도출한 파리협정 준수 범위 내의 그 어떤 값보다도 매우 높은 배출량이다. 이를 정리하면 아래 <표 1>과 같다.

한국은 NDC 국내감축 목표를 현재의 BAU 대비 32.5%에서 66%로, 2017 년 수준에 대비해서는 현재의 19%에서 59%로 강화해야 한다. 이는 파리협정 준수를 위해 전세계적으로 요구되는 최저비용 배출 경로에 상응하는 수준이며, 이를 통해 향후 대규모 이산화탄소 제거(CDR) 기술과 저감 수단에 대한 의존을 최소화할 수 있다.

	배출량 (백만톤 CO_2e)	BAU 대비 감축률	2017 년 대비 감축률	2010 년 대비 감축률
한국 2030 국내 온실가스 감축 목표(SAR GWP)	574	32.5%	19%	13%
한국 2030 국내 온실가스 감축 목표(AR4 GWP)	578	32.5%	19%	13%
파리협정에 부합하는 3 가지 최저비용 경로의 2030 감축범위	291 – 401	66-53%	59-44%	56-39%
파리협정에 부합하는 국내 NDC 목표	291	66%	59%	56%

표 1. 한국의 국내감축 목표와 파리협정에 부합하는 최저비용 경로 범위, 파리협정에 부합하는 개선된 NDC 에 대한 권고안

국가 NDC 목표의 타당성 – 공정한 분담 범위와 비교

IAM 모형과 달리 형평성에 근거한 접근법은 다음과 같은 전혀 다른 질문에 대한 답을 찾으려는 시도이다. 전세계적인 저감 노력에 있어 개별 국가나 지역이 책임져야 하는 '공정한 분담(fair share)' 수준은 얼마인가? 전세계적으로 통용되는 형평성에 대한 기준이란 존재하지 않는다. 선행연구는 '공정한 분담'을 정의하기 위해 (역사적) 책임, 능력, 평등 등 여러 다른 기준을 제시하였고, 이러한 기준을 이용해 형평성에 대한 각기 다른 양적 접근법을 강구했다. 일반적으로 이러한 접근법은 형평성에 근거해 할당할 경우 완전한 저감을 달성할 수 있다고 가정하지는 않는다. 앞서 논의했던 최저비용 경로에 비해 형평성을 고려한 방식이 더 많은 감축으로 이어지려면, 한 국가가 다른 국가의 저감 노력에 대해 자금을 제공하거나 지원할 것이라는 기대가 있음을 의미한다(Climate Analytics, 2019a).

[5] 한국 정부는 IPCC '제 2 차 평가보고서'의 GWP 를 적용해 총량 기준 배출 목표를 계산한다. 본 연구에서는 IPCC '제 4 차 평가보고서'의 GWP 를 적용해 목표(값)을 변환했다.

지구온난화를 1.5℃ 로 유지하기 위해 남은 배출량(remaining emissions)을 현실에서 '형평성 있게 분담(equitable sharing)'하는 방식은 지금까지 명확하게 정의하기 어렵고, 종종 관련 국가의 각기 다른 이해관계를 반영하기도 한다. 그러나 이에 대해 몇 가지 대안이 제시되었다. 그 중 하나가 (역사적으로 더 많은 온실가스를 배출한 국가들이 저감을 위해 더 많은 부담을 져야 한다는) '역사적 책임'에 근거한 노력 분담이다. 이 같은 여러 접근 방식은 (IPCC WGIII 의 '제 5 차 평가보고서' 6 장에서 사용한 정의에 기초하여) 아래와 같이 범주화해 볼 수 있다.

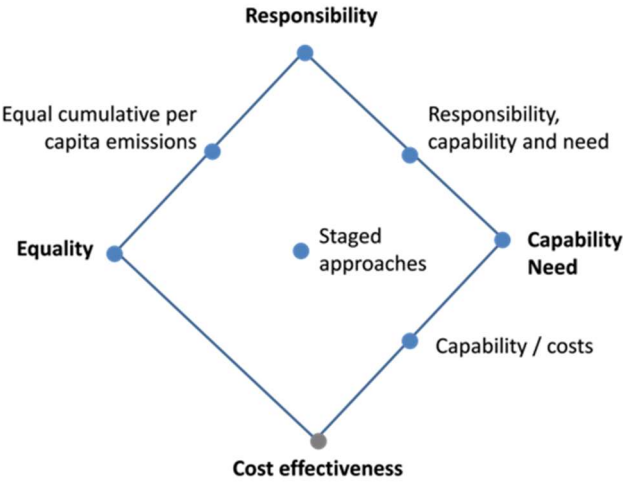

그림 3. '노력 분담' 체제의 범주
(Höhne, den Elzen, & Escalante, 2014)

Climate Action Tracker 는 관련 선행연구를 근거로 역사적 책임, 능력, 평등을 통합적으로 고려해 일부 국가에 대한 온실가스 배출 범위를 제공한다. 이를 온실가스 배출의 '공정한 분담' 범위라 부르며, 온난화를 1.5℃ 로 억제하는데 있어 해당 국가의 공정한 기여분을 의미한다. 한국의 2030 NDC 목표와 파리협정 1.5 도 목표 달성을 위한 한국의 '공정한 분담' 범위를 비교해 보았다.

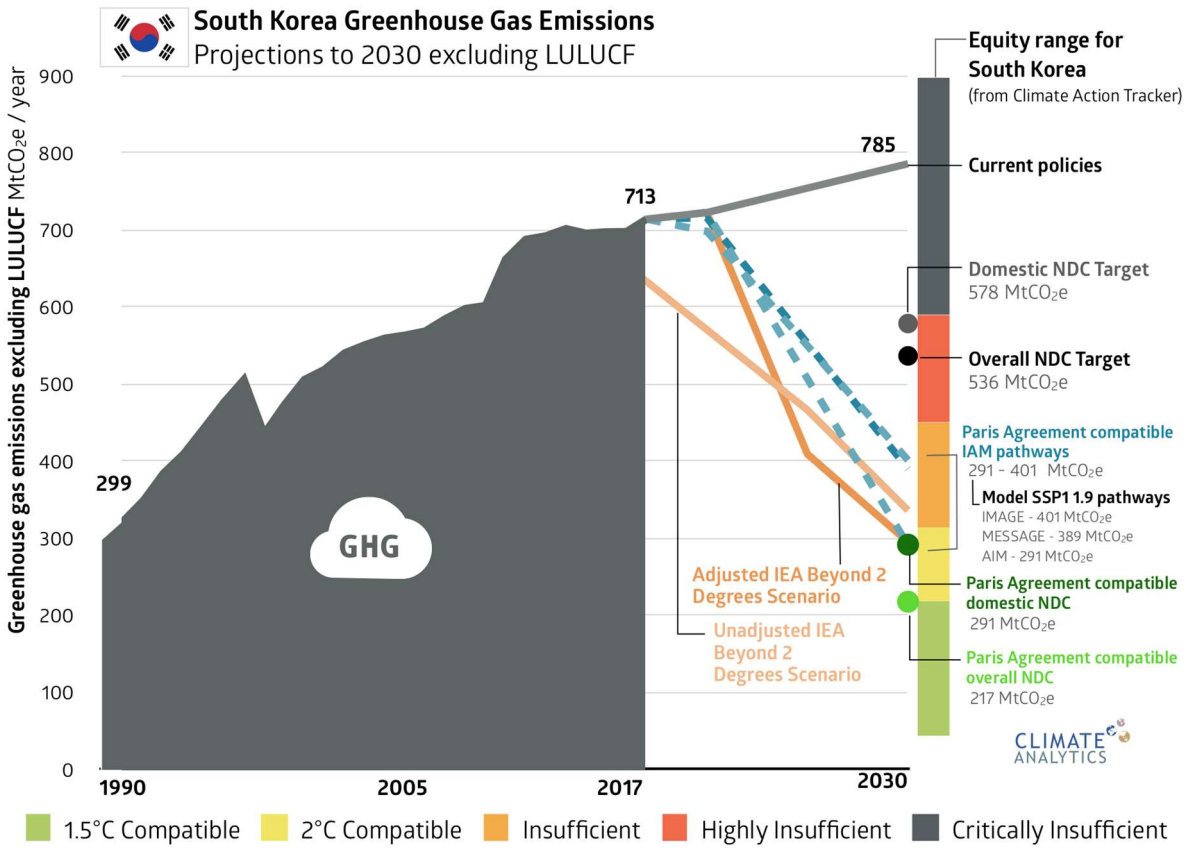

그림 4. 한국의 '매우 불충분'한 NDC 와 Climate Action Tracker 의 분석 방법을 이용한 2030 '공정한 분담' 배출량 및 파리협정에 부합하는 국내 및 전체 NDC. 출처: Climate Action Tracker 의 형평성 범위에 근거해 연구진이 직접 분석한 결과임. '공정한 분담 범위'에는 '파리협정 1.5℃ 준수', '2℃ 준수', '불충분' 의 3 가지 범주가 있음. 자세한 설명은 <부록 II> 참조.

Climate Action Tracker 는 한국의 NDC 를 '매우 불충분'하다고 평가한다. 각국이 한국처럼 소극적인 목표를 세운다면 온난화가 3-4℃ 까지 진행될 것으로 보기 때문이다(Climate Action Tracker, 2019c). <그림 4>는 Climate Action Tracker 가 분석한 한국의 형평성 범위 전체이다. 옅은 연두색 부분은 1.5℃ 목표에 부합하는 범위이며, 노란색 부분은 2℃ 준수, 주황색은 '불충분' (2-3℃ 상승폭에 해당), 붉은색은 '매우 불충분,' 검정색은 '심각하게 불충분' 범위(4℃ 초과)를 나타낸다.

공정한 분담 범위는 한국이 파리협정을 준수하는 최저비용 배출 경로에 제시된 범위보다 2030 년까지 더 많은 배출량 감축이 필요함을 보여준다.

이러한 사실은파리협정에 부합하는 최저 비용 국내 감축 경로 보다도 한국이 전체적으로 더 많은 부담을 져야 함을 시사한다. 국내 감축과 국제금융 (international finance) 수단을 조합하여 NDC 목표를 달성하겠다는 한국의 접근 방식에 맞춰, 파리협정 1.5℃ 목표에 부합하는 NDC 목표는 2017 년 대비 2030 년 70% 감축(BAU 대비 74%)으로, 배출량은 217 $MtCO_2e$ 이하가 되어야 한다. 연구진은 2010 년 칸쿤 합의의 목표였던 '2℃ 이내로 유지'에 상응하는 감축 범위도 분석하였는데, 공정한 분담 범위에는 포함되지만 파리협정의 목표에는 부합하지 않는 것으로 나타났다.

	배출량 (백만톤 CO_2e)	BAU 대비 감축률	2017 년 대비 감축률	2010 년 대비 감축률
한국 2030 전체 온실가스 NDC 배출 감축 목표 (SAR GWP)	536	37%	24.4%	19%
한국 2030 전체 온실가스 배출 감축 목표 (AR4 GWP)	539	37%	24.4%	19%
파리협정 1.5°C 목표에 부합하는 '공정한 분담'범위 (AR4 GWP)	42 – 217	95-74%	94-70%	94-67%
"2°C 이내로 억제" 목표 (칸쿤합의 목표)에 부합하는 범위(AR4 GWP)	217 – 313	74- 63%	70-56%	67-53%

표 2. 한국 NDC 와 1.5℃ 목표에 상응하는 공정한 분담 범위

결론 및 정책 권고

2020 년, 기후대응을 개선할 핵심적인 시기

본 연구는 한국의 현 2030 NDC 목표가 파리협정 1.5°C 억제 목표에 상응하지 않는다는 점을 보였다. 이에 따라 한국은 파리협정 장기 온도 목표에 부합하도록 NDC 를 수정할 필요가 있다.

한국은 다른 파리협정 체약국과 마찬가지로 2020 년에 NDC 를 개선함으로써 파리협정을 준수하고 IPCC 가 지적하고 파리협정 당사국이 재차 강조한 바 있는 2030 년 목표에 대한 의지와 행동간의 격차를 시급히 줄여 나가야 한다. 점진적인 변화가 아니라 변혁적인 수준으로의 의지 강화가 필요하며, 이는 기술과 사회의 역동적 발전 그리고 혁신에 기반해야 한다.

2020 년은 더욱 과감한 감축 목표를 설정해야 하는 매우 중요한 해이다. 올해 각국 정부는 더욱 야심찬 2030 목표를 반영하여 NDC 를 개선하고, 파리협정의 장기 온도 목표 달성에 필요한 공동 행동 전략인 장기 저탄소발전전략을 수정하여 제출해야 한다.

기후 위협의 시급성을 고려하여 과감한 기후 완화 조치가 필요하다. 대담한 행동을 미룰수록 탄소 집약적인 인프라에 묶이게 되고 지속가능한 발전에 잠재 리스크로 작용할 수 있는 대규모 이산화탄소 제거(CDR)에 의존하게 되므로 미래 비용과 위험은 더 커진다. 2030 년까지 기후변화에 대한 공동 행동을 대폭 강화하지 못한다면 파리협정 장기 온도목표의 달성 자체가 어려워질 것이다.

파리협정 4.4 조에 따르면 선진국은 '경제 전반에 대한 총량 기준 감축 목표(economy-wide absolute emission reduction targets)'를 이행해야 한다(UNFCCC, 2015b). 이에 따라 NDC 를 BAU 전망치 대비가

아니라 기준 연도에 대비한 총량으로 표시해야 한다. 현재 한국의 NDC 목표는 BAU 대비 37% 미만 감축이다.

국내 감축행동 강화의 필요성

NDC 중 국내 감축분은 현재 2017 년 배출량 대비 19% 감소로 설정되어 있으나 이를 2017 년 대비 59% 감소로 강화해야 한다. 현재 NDC 처럼 BAU 대비 감축으로 표기하면 BAU 대비 기존 32.5% 감소에서 66% 감소로 강화되는 것이다. 이렇게 강화된 수준은 대규모 이산화탄소 제거(CDR)와 미래 저감 옵션에 대한 의존을 탈피하면서 파리협정을 최저비용으로 준수할 수 있는 세계적 경로에 부합한다.

이와 동시에 파리협정 부합 경로를 준수하기 위해서는 포괄적인 저감 노력과 순배출제로 목표에 부합하는 경로에 올라서기 위한 조치를 더 이상 지연해서는 안 된다.

이 같은 감축 목표를 실현하려면 기존의 부문별 목표 달성 방안에 더해 모든 부분의 변혁적 기여가 필요하다. 특히 석탄 등 화석 연료에서 벗어나 재생에너지로의 빠르게 전환할 필요가 있다. 최근 재생에너지와 에너지 저장 비용이 대폭 절감되고 배터리 구동 전기 자동차(및 화물운송을 위한 연료전지 자동차)가 거듭 발전하고 산업계와 대형화물차가 활용할 수 있는 그린수소 솔루션이 생기는 등 기술의 발전이 잇따르고 있어 불과 몇 년 전에 구상한 시나리오보다 빠르게 배출량을 감축할 수 있는 기회가 나타나고 있다. 한국은 수소 경제 활성화 노력을 지속하면서도 그린수소에 중점을 둘 필요가 있으며, 현재 전원 믹스에서 비중이 낮은 풍력과 태양에너지의 역할을 확대해야 한다.

발전 부문의 완전한 탈탄소화를 조속히 행동으로 옮기는 것은 전기화가 이루어지고 있는 모든 부문의 배출량 감축이 이루어낼 수 있는 근본적인 조치이다. 전원 믹스의 탈석탄화가 늦어질 경우 온실가스 감축 비용의 실현가능성 측면에서 심각한 부작용이 발생한다. 클라이밋 애널리틱스(Climate Analytics) 연구진은 한국이 2029 년까지 발전 부문의 탈석탄화를 달성해야 하고 이를 위한 명확한 계획과 로드맵을 수립해야 한다고 주장한 바 있다. 발전 부문이 신속하고 체계적으로 탈석탄화를 달성하면 경제, 환경, 보건 부문에서 많은 추가적인 공편익을 누리게 되고, 이를 바탕으로 한국은 공정하고 순조로운 에너지 전환을 이룰 수 있다(Climate Analytics, 2020).

파리협정에 따라 2050 년까지 순배출제로를달성하는 것은 최근 치뤄진 4 월 15 일 총선에서 압승을 거둔 한국의 여당이 법제화를 추진할 것으로 보이는 '그린뉴딜'의 핵심이다(Farand, 2020). 또한 신속하고 체계적인 발전 부문의 탈석탄화는 2019 년 12 월 국무회의가 의결한 '국가환경종합계획'이 규정하고 있는 정책 목표에 부합하며, 전지구적인 기후 위기에 대응하기 위한 배출량 감축 방안과 목표를 강화할 필요가 있다는 점에서 더욱 중요하다. 파리협정 준수를 위한 목표와 전략을 수립할 때는 보건과 녹색 성장에 미치는 추가적 이익을 반드시 고려해야 한다.

순배출제로 전략은 다음의 두 단계를 거쳐야 한다. 첫째, 파리협정 및 지속가능 발전에 부합하는 경로를 수립해야 한다. 둘째, 순배출제로 목표에 관한 광범위한 입법 프레임워크를구체적인 로드맵과 행동 계획으로 발전시키고, 2020 년 한 해 동안 파리협정에서 요구하는장기 저탄소발전전략를 수립할 때 이를 활용하도록 한다. 이는 2029 년 탈석탄화 완료를 위한 로드맵과 함께 온난화 1.5℃ 억제에 필요한 혁명적 변화를 실현할 수 있는 탄탄한 정책적 기반이 될 것이다.

파리협정에 상응하는 한국의 공정한 NDC 목표

파리협정의 장기 온도 목표를 달성하는 과정에서 한국이 공정한 역할 분담을 하기 위해서는 국가 전체 NDC 목표가 2017 년 배출량 대비 24.4%에서 최소 70% 감축으로 강화되어야 한다. 현 NDC 와 마찬가지로 BAU 기준으로 환산하면 현재의 BAU 대비 37% 감축은 BAU 대비 최소 74% 감축으로 강화되어야 한다. 이러한 목표는 파리협정에 상응하는 수준인 2017 년 대비 59%(BAU 대비 66%)를 넘어서는 것으로 파리협정에 따라 국내 감축분에 더해 국제 금융을 통한 추가적 감축을 계획 중인 한국의 방침과도 상통한다.

최근 한국 정부는 기존 산림의 관리를 계산하여 해외 감축의 상당 부분을 충당하겠다고 발표했는데, 이는 국제 노력에 대한 추가적 기여를 감소시키는 일이며, 실질적이고 추가적인 감축없이 전체 목표 수준의 과감성을 낮출 위험이 있다. 국제사회 노력에 대한 공정한 분담 기여는 타당한 수준의 국내 감축 목표를 보완하며, 실질적이고 추가적인 감축을 이끌어낸다.

개도국의 완화 노력에 대한 국제적인 자금 조달 및 지원은 파리협정 장기 온도 목표의 공동 달성을 가능하게 하는 경로에 부합해야 한다. 특히 한국은 인도네시아, 베트남, 필리핀 등 동남아시아 국가에서 석탄화력발전과 같은 탄소 집약적인 사업에 투자를 진행하고 있는데 이는 파리협정은 물론 지속가능 발전 목표에 부합하지도 않으며 개도국의 기후완화 행동 및 배출량 감축에 필요한 지원을 방해할 것이다. '신남방정책'을 포함한 일련의 아시아태평양 지역 협력 이니셔티브는 한국이 국제협력 노력과 자금 흐름의 우선순위를 재정비함으로써 글로벌 에너지 전환의 가속화, 협력국의 지속가능 발전 촉진에 초점을 맞추면서도 궁극적으로 파리협정 목표를 달성할 수 있는 결정적인 기회이다(Climate Analytics, 2020). 이를 고려할 때 공적금융기관의 국·내외 석탄 금융을 중단하도록 하겠다는 여당의 선언은 매우 바람직하다.

부록 I – SIAMESE 모형

통합평가모형(Integrated Assessment Model, IAM)을 단순화한 단순통합평가모형(Simplified Integrated Assessment Model with Energy System Emulator, SIAMESE)은 경제 성장, 에너지 소비 및 기후변화 같은 요소들의 복잡한 상호작용을 반영하여 국가 차원에서 비용 효과적인 감축 경로를 도출한다. 일례로 높은 경제 성장률은 에너지 소비 증가를 수반하고 배출량 증가까지 초래한다(저탄소 기술의 발전 상황과 비용, 기후 목표도 영향을 미친다). SIAMESE 모형은 특정 모형(IMAGE, MESSAGE, AIM 등)의 결과를 상세화(downscale)하면서도 평가 대상 시나리오와 연계된 공동 사회·경제 경로(Shared Socioeconomic Pathway, SSP)에 상응하는 일련의 가정 사항을 반영한다(Fricko, Havlik, Rogelj, Klimont, & Gusti, 2017; Riahi et al., 2017). 또한 SIAMESE 모형은 비용최적화 방식을 적용하여 파리협정 장기 온도 목표를 위한 국가나 지역 단위의 기여 감축량을 할당한다.

SIAMESE 모형은 경제 전체(예를 들어, 전체 1 차 에너지 소비 및 배출에 대한 상세화)에도 적용 가능하며 개별 분야(예컨대, 교통, 전력 분야)에 맞게 조정할 수도 있다. SIAMESE 모형은 기존 IAM 경로(R5ASIA 지역 등)와 특정 국가의 실제 에너지 소비량 자료를 입력자료로 활용할 수 있다. SIAMESE 모형 시뮬레이션을 바탕으로 파리협정에 상응하는 특정 국가의 에너지 전망을 계산한다. 모형의 기반이 되는 방정식의 경우, SIAMESE 모형은 대체탄력성이 일정한 CES 생산함수를 이용하여, 경제 생산(GDP)이 자본, 노동, 에너지 소비의 함수로 나타나는 IAM 의 구조를 모방하도록 설계되어 있다.

부록 II – 한국을 위한 최저비용 파리협정 준수 경로를 수립하는 방법

R5ASIA 지역('IPCC 5 차 평가보고서'가 정의한 지역구분으로 아시아 지역으로서 한국을 포함한다)과 IMAGE SSP1(부록 I 참조)의 1.9 W/m^2 의 시나리오에 대해 SIAMESE 모형을 이용하여 한국에 상세화한 IAM 결과를 활용하면[6], 파리협정에 부합하는 한국의 총 온실가스 배출량 범위를 도출할 수 있다. 해당 배출 범위 산출은 다음 세가지 주요 단계를 거쳤다.

1) IMAGE SSP1-19 시나리오를 통한 비이산화탄소(non-CO_2) 배출 경로 도출
2) IMAGE SSP1-19 시나리오를 통한 비에너지기원 이산화탄소(non-energy CO_2) 배출 경로 도출
3) 총 1 차 에너지 수요(total primary energy demand, TPED)를 위해 지역 차원의 IAM 상세화 및 각 경로에 맞는 이산화탄소 배출량 도출

각 단계에 대한 상세한 설명은 아래와 같다.

1. 비이산화탄소(non-CO_2) 배출 경로 도출

한국의 IMAGE SSP1 1.9 시나리오에는 비이산화탄소 배출 경로가 포함되어 있다. 이 시나리오만이 한국을 위해 마련된 국가 수준 IAM 시나리오 중에서 1.5°C 목표에 부합하는 유일한 시나리오이기 때문에 연구진은 조정된(calibrated) 비이산화탄소 배출 경로를 도출하는 기반으로 선택하였다. 이런 배출 경로는 2019 년 국가 온실가스 인벤토리 보고서(2019 National GHG Inventory Report)에 수록된 과거 총 비이산화탄소 배출을 현재 활용가능한 최신(2017 년) 데이터를 기반으로 조정하였다(Government of the Republic of Korea, 2019c).

2. 비에너지기원 이산화탄소(non-energy CO_2) 배출 경로 도출

한국의 IMAGE SSP1 1.9 시나리오는 에너지 및 산업 부문을 포함한 각 경제 분야의 이산화탄소 배출 경로를 포함한다. 배출량 분포도에 따르면 산업활동이 전통적으로 비에너지기원 이산화탄소의 주요 배출원(전체 비에너지기원 이산화탄소 배출의 85-93%를 차지)이었으며 이외 대부분의 배출은 폐기물 소각에서 비롯됐다. 우리는 산업 배출 집약도의 변화와 이에 따른 IMAGE SSP1 1.9 시나리오 내 활동 변화를 파리협정에 부합하는 비에너지기원 이산화탄소 배출량의 합리적인 대리 지표(proxy)로 가정한다. 연구진은 IMAGE SSP1 1.9 시나리오 상의 산업 배출량 감소율을 사용하여 비에너지기원 이산화탄소 배출 경로를 수립한 후, 이 경로를 한국의 2019 국가 온실가스 인벤토리 보고서(Government of the Republic of Korea, 2019c)의 최신(2017 년) 데이터를 이용해 조정하였다.

3. 지역 수준의 IAM 을 총 1 차 에너지 수요에 맞게 상세화 및 각 경로에 맞는 이산화탄소 배출량 도출

미래 에너지 수요와 관련 온실가스 배출의 모형을 도출 하는 많은 IAM 시나리오 중에서 극히 일부만 온도 상승을 1.5°C 로 제한한다는 목표(온난화. 1.5°C 목표)와 이산화탄소 흡수(CDR) 활용도 전망에

[6] 결합모델 상호비교 프로젝트 6 번째 단계(Coupled Model Intercomparison Project Phase 6, CMIP6) 의 일환으로 IMAGE 모형이 도출한 한국의 공동 사회·경제 경로 1(SSP1 은 완화와 적응의 어려움이 적은 진로)을 뜻한다.

제한을 두는 IPCC 의 지속가능성 조건을 충족한다. Climate Analytics 는 이 둘을 충족하는 시나리오가 19 개 밖에 되지 않는다고 판단하여서(Climate Analytics, 2019c), 파리협정에 부합하는 한국의 온실가스 배출 범위를 도출하기 위한 자료로 해당 시나리오를 선정했다. 19 개 시나리오 중 비이산화탄소 배출 경로에 부합하는 공동 사회경제적 가정을 적용한 시나리오는 3 개였으며 이는 IIMAGE, AIM 및 MESSAGE 모형을 통해 도출된 시나리오였다.

R5ASIA 지역의 총 1 차 에너지 수요는 2017 년을 기준년도로 설정한 후 IMAGE, AIM, MESSAGE 모형들의 SSP1 1.9 한국 시나리오로 상세화했다. 석유, 석탄, 천연가스의 배출 계수를 한국 실정에 맞게 계산하였고 이를 이용해 한국에 상세화한 IMAGE, AIM, 그리고 MESSAGE 의 TPED 시나리오에 맞는 배출 경로를 도출했다. 상세화한 세 개의 SSP1 1.9 시나리오에 1 단계와 2 단계에서 도출한 값을 활용하여 비이산화탄소와 비에너지기원 이산화탄소 배출 경로에 존재하는 중간년도(interval year)의 값을 채워넣었으며, 이것이 바로 파리협정 준수를 위한 한국의 총 온실가스 배출 경로이다.

2020 년 2 월에 출간된 보고서는 IEA 에너지기술전망(Energy Technology Perspectives, ETP)의 B2DS 시나리오가 제시한 OECD 지역의 전력 부문 에너지 수요를 상세화하여 파리협정에 부합하는 한국의 탈석탄 경로를 도출했다. 이 경로를 선택한 이유는 1.5℃ 목표에 부합하는 IAM 시나리오 중 유일하게 한국을 동일 특성을 공유하는 국가들의 모임인 OECD 가입국으로 인식하고 이를 반영했기 때문이다. OECD 지역의 총 1 차 에너지 수요에 대한 ETP B2DS 시나리오 하에서 SIAMESE 모형을 이용해 한국에 맞게 상세화한 연관 배출 경로를 포함했다.

ETP 의 기준 연도는 2014 년이기 때문에 기존의 탄소 예산을 유지하면서도 2015 년부터 2020 년까지 실제 배출량 및 배출량 증가 전망을 반영하는 대안 배출 경로도 도출했다. 2015 년에서 2018 년까지는 실제 온실가스 배출량 자료를 사용했고, 2018 년에서 2020 년까지의 배출량은 현행 정책의 전망치와 일치할 것이라 가정했다. 자료에 포함되지 않은 중간 년도의 배출량 전망치는 공통 인자(0.88)를 적용하여 산출하였으며, 기존 탄소 예산의 총 배출량 수준과 동일하게 조정했다. 연구진은 한국의 B2DS 시나리오에서 추정한 결과와 이전 보고서가 고려한 다른 시나리오를 비교하고(<그림 2> 참조), 세 개의 SSP1 1.9 모형에서 도출한 추정값으로 인해 B2DS 시나리오에 나온 추정값이 2030 년 범위에서 하한값에 해당한다는 결론에 도달했다.

부록 III – 한국의 공정한 분담 범위 도출 방법

Climate Action Tracker 는 '공정(fair)'의 다양한 해석을 통해 서로 다른 NDC 를 비교하는 방법을 명확히 제시한다. 이런 접근법은 과거의 2°C 목표와 파리협정의 1.5°C 목표에 상응하는 연구가 도출한 결과를 고려하며, 가능한 모든 종류의 관점과 장기 온도 목표와 관련한 지금까지의 진행상황을 포괄적으로 반영한다.

이 연구는 무엇이 '공정'한지 별도의 평가를 하지 않고, 기존 문헌의 공정성 추정치의 범위에 기초하여 각 국가의 '공정한 분담' 범위를 구성하였다. 그런 다음 그 범위를 세 가지 영역으로 구분하였다.

- 불충분
- 2°C 목표에 부합[7]
- 파리협정 1.5°C 목표에 부합[8] (<그림 1> 참조)

각 영역은 각국 정부 모두가 동일한 수준의 의지를 가지고 배출 감축량 목표를 수립한다고 가정할 경우 도출되는 온난화 수준을 의미한다(Climate Action Tracker, 2020).

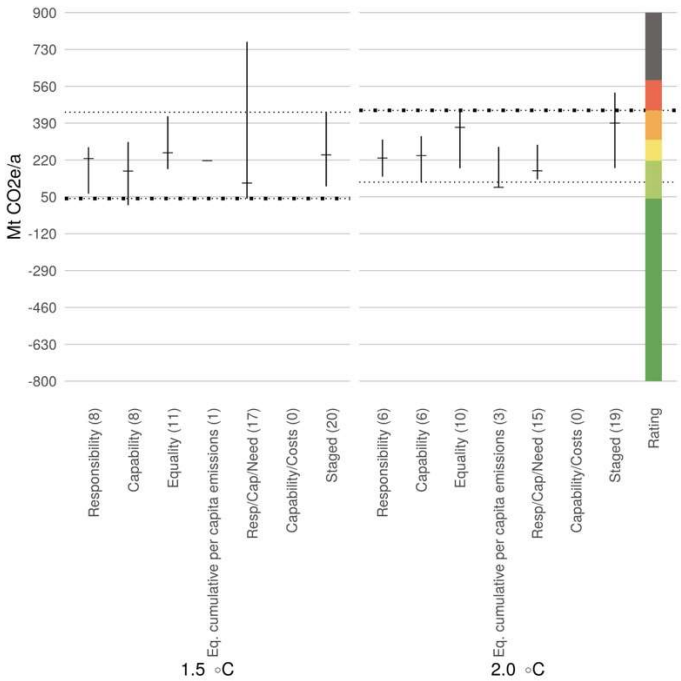

그림 1. 노력 분담 범주별 상세 결과와 2030 년 한국의 공정한 분담분 도출을 위해 해당 결과가 사용된 방식. 그래프의 세로축은 2°C 와 1.5°C 목표 하에서 7 개의 분담 범주별로(괄호는 각 범주에 포함된 데이터포인트의 수이다) 살펴본 한국의 배출량 범위를 나타낸다. 오른쪽의 막대그래프는 Climate Action Tracker 가 사용하는 6 가지 평가 범주(심각하게 불충분, 매우 불충분, 불충분, 2°C 목표에 부합, 파리협정 1.5°C 목표에 부합, 모범 사례)를 뜻한다. '불충분'에서 '파리협정 1.5°C 목표에 부합'

[7] 2°C 목표에 부합한다는 것은 시나리오가 금세기 안에 산업화 이전 중간 값 온도 대비 지구 온도 상승을 2°C 미만으로 제한할 개연성이 있거나(66% 이상) 가능성이 높다는 뜻이다.

[8] 파리협정 1.5°C 목표에 부합한다는 것은 시나리오가 지구 온도 상승폭의 중간 값을 2°C 보다 현저히 낮게 유지하고 1.5°C 로 제한한다는 뜻이다. 이런 시나리오의 21 세기 온난화 최고수준은 2°C 목표에 상응하는 시나리오와 비교했을 때 현저히 낮고, 21 세기 말까지의 온도 상승폭이 1.5°C 이하일 가능성이 50%가 된다는 것을 뜻한다.

범위는 특이값을 제외한(의지가 가장 소극적이거나 가장 야심찬 경우) 개별 국가의 포괄적인 공정한 분담 범위를 의미한다.
(출처: Climate Action Tracker, 2019a)

모든 정부가 2℃ 목표에 부합하는 범주 내에서 목표를 세운다면 온도 상승폭 2℃ 미만 유지의 가능성이 높겠지만(66% 이상의 가능성) 2℃ 보다 훨씬 낮은 수준이나 1.5℃ 미만을 달성할 수는 없을 것이다. 모든 정부가 가장 야심찬 공정한 분담 범위(공정한 배출량의 최소값)를 기준으로 '파리협정 1.5℃ 목표에 부합'하는 정책을 세운다면 온난화는 2℃ 보다 훨씬 낮은 수준에서 유지되고 1.5℃ 로 제한될 것이다.

참고문헌

CAT. *Scaling up climate action: Key opportunities for transitioning to a zero emissions society - European Union*. , (2018).

Climate Action Tracker. (2019a). Climate Action Tracker - South Korea. Retrieved from https://climateactiontracker.org/countries/south-korea/

Climate Action Tracker. (2019b). Climate Action Tracker Update, December 2019.

Climate Action Tracker. (2019c). *Governments still showing little sign of acting on climate crisis*.

Climate Analytics. (2019a). *En route to Paris? Implications of the Paris Agreement for the German transport sector*. Retrieved from https://climateanalytics.org/media/31_co2_budget_studie_en_web.pdf

Climate Analytics. (2019b). *How can Paris Agreement commitments be improved now to close the gap to 1.5°C*. Retrieved from https://climateanalytics.org/media/ndc_closing_the_gap_to_1p5c.pdf

Climate Analytics. (2019c). *Insights from the IPCC Special Report on 1.5°C for preparation of long-term strategies*. Retrieved from https://climateanalytics.org/media/climateanalytics_ipcc-lt-leds_report_april_2019.pdf

Climate Analytics. (2020). *Transioning towards a coal-free society : science based coal-phase out pathway for South Korea under the Paris Agreement*. (February).

Farand, C. (2020). South Korea to implement Green New Deal after ruling party election win. Retrieved from Climate Home News website: https://www.climatechangenews.com/2020/04/16/south-korea-implement-green-new-deal-ruling-party-election-win/

Fricko, O., Havlik, P., Rogelj, J., Klimont, Z., & Gusti, M. (2017). The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century. *Global Environmental Change*, *42*, 251–267. https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2016.06.004

Government of the Republic of Korea. (2019a). *3rd Biennial Update Report of the Republic of Korea Under the UNFCCC*. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Government of the Republic of Korea. (2019b). *Fourth National Communication of the ROK under the UNFCCC*. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Government of the Republic of Korea. (2019c). National GHG Inventory Report Republic of Korea 2019. In *Journal of Chemical Information and Modeling*. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Höhne, N., den Elzen, M., & Escalante, D. (2014). Regional GHG reduction targets based on effort sharing: a comparison of studies. *Climate Policy*, *14*(1), 122–147. https://doi.org/10.1080/14693062.2014.849452

ICAP. (2019a). *ETS Detailed Information: EU Emissions Trading System (EU ETS). Last update: 29 October 2019*. Retrieved from International Carbon Action Partnership

website: https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems[]=43

ICAP. (2019b). *Korea Emissions Trading Scheme*. Retrieved from https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems[]=47

International Energy Agency. (2017). *Energy Technology Perspectives 2017*. https://doi.org/10.1787/energy_tech-2017-en

Ministry of Environment. (2018). *National Greenhouse Gas Reduction Target by 2030: Amended baseline roadmap roadmap for achieving achievement*. Retrieved from Ministry of Environment, Republic of Korea website: http://energytransitionkorea.org/sites/default/files/2018-11/18.072030-온실가스감축로드맵-수정안관계부처-합동 %281%29.pdf

MOTIE. (2017). Announcement of the 8th Basic Electricity Supply and Demand Plan (2017-2031). Ministry of Trade, Industry and Energy Announcement 2017-611. In Korean. Retrieved April 12, 2018, from http://www.motie.go.kr/motie/ne/announce2/bbs/bbsView.do?bbs_cd_n=6&biz_anc_yn_c=Y&bbs_seq_n=64603

Republic of Korea. (2015). *Submission by the Republic of Korea Intended Nationally Determined Contribution* (pp. 1–4). pp. 1–4. Retrieved from http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published Documents/Republic of Korea/1/INDC Submission by the Republic of Korea on June 30.pdf

Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., … Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, *42*, 153–168. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009

Sferra, F., Krapp, M., Roming, N., Schaeffer, M., Malik, A., Hare, B., & Brecha, R. (2019). Towards optimal 1.5° and 2 °C emission pathways for individual countries: A Finland case study. *Energy Policy*, *133*. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.04.020

UNEP. (2019). *Emissions gap report 2019*. https://doi.org/10.18356/ff6d1a84-en

UNFCCC. (2015a). Paris Agreement. *Conference of the Parties on Its Twenty-First Session*, Vol. 21932, p. 32. https://doi.org/FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1

UNFCCC. (2015b). *Paris Agreement*. 1–16. Retrieved from https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf