

# 한국 중장기 온실가스 감축목표 평가: 형평성에 기초한 감축분담 메타분석

고도연

서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사과정학생

## Evaluation of Korea's Mid- and Long-Term Greenhouse Gas Mitigation Targets: Meta-Analysis of Burden Sharing Based on Equity

Ko, Doyeon

*Ph.D. Student, Department of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul, Korea*

### ABSTRACT

To achieve the long-term global temperature targets set forth in the Paris Agreement to minimize the negative impact of the climate crisis, it is necessary to evaluate the mid- and long-term greenhouse gas mitigation targets of each country and present standards to encourage more ambitious targets. In the same context, burden-sharing discussions continue to produce targets in a top-down manner based on various equity perspectives. However, the methodological diversity inherent in individually conducted studies makes it difficult to generalize and discuss results. This study comprehensively collects and reviews burden-sharing studies conducted to more specifically propose the appropriate level of effort in South Korea to achieve global goals.

*Key words : Climate Crisis, Top-Down, Equity, Burden-Sharing, Meta-Analysis, NDC, LEDS*

## 1. 서론

### 1.1. 현 목표설정 체제와 장기온도목표 달성

산업혁명 이전 대비 1.5°C와 2°C 기온 상승은 온난화로 인한 급격한 변화의 임계점으로 받아들여지고 있으며, 파리협정(Paris Agreement)에서 확인할 수 있듯이 국제사회는 지구온도 상승을 1.5°C 이내로 억제하기로 합의하였다. 이는 모든 국가의 참여 없이는 달성하기 어려운 과제로 (Shukla, 1999), 순탄치만은 않지만, 현실화 되어가는 피해 앞에서 국제사회는 노력을 강화해 나아가고 있다.

2015년 ‘유엔 기후변화 회의(United Nations Climate Change Conferences)’에서 채택된 파리협정에서는 모든 당사국이 스스로 감축목표를 설정하여 기후위기 대응에 동참하도록 하는 상향식 체계가 수립되었고, 이에 따라 당사국

은 국제연합(United Nations)에 국가결정기여(Nationally Determined Contribution: NDC)와 ‘장기 저탄소 발전전략(Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies: LT-LEDS; 이하 LEDS)’을 제출하고 있다. 하지만, 현재까지 제출되거나 선언된 중장기 온실가스 감축목표(2030 NDC, 2050 LEDS)가 달성된다는 낙관적인 가정 아래에서도 2°C보다 훨씬 낮고(well below) 더 나아가 1.5°C 노력을 추구하는 ‘파리협정 장기온도목표(Paris Agreement’s Long-Term Temperature Goal; 이하 장기목표)’를 달성하기 위해서는 각국에 더욱 적극적인 움직임이 요구된다(Rogelj et al., 2016; CAT, 2021).

최근 완화 문제에 대한 국제적 논의 동향은 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 지구온난화 1.5°C 특별보고서(Special Report on Global Warming of 1.5°C: SR1.5)’에 따른 2050년 전후의 범지구적 탄소중립

†Corresponding author : [environman@snu.ac.kr](mailto:environman@snu.ac.kr) (1, Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, 08826, Republic of Korea. Tel. +82-2-880-5642) ORCID [고도연 0000-0002-4884-3731](https://orcid.org/0000-0002-4884-3731)

(carbon neutrality) 달성 및 파리협정에 따른 국가별 LEDS 설정과 2030년 감축목표인 NDC의 현행화(update)이다. 이에 따라 선진국 등 여러 국가에서는 2050년 인접 시점에 탄소중립 달성을 선언하고 NDC를 상향하였다. 우리나라 역시 문재인 대통령이 2020년 10월 28일 2021년도 예산안 시정연설을 통해 2050년 탄소중립 달성을 선언하고 동년 12월 30일 이를 명시한 목표를 유엔에 제출하였다. 또한, 한국은 2021년 4월 열린 기후정상회의(Leaders Summit on Climate)와 동년 5월 서울에서 열린 P4G(Partnering for Green Growth and the Global Goals 2030)에서 연내 NDC를 상향할 것을 선언하였다(Ministry of Economy and Finance, 2021; Moon et al., 2021). 2021년 8월 31일에는 NDC를 2018년 배출량 대비 35% 이상 감축한다는 내용의 탄소중립·녹색성장 기본법(탄소중립기본법)이 국회 본회의를 통과했고 2021년 9월 14일 정부에 의해 공포되었다. 동년 10월 8일, 탄소중립위원회에서는 2018년 배출량 대비 40% 감축안을 제시하였다. 이러한 변화는 긍정적이나 국제동향을 인식하여 결정된 측면이 상당히 커 보여 향후 변화에 안정적이지는 않아 보인다. 국가별 상황과 지구적 장기목표 달성에 부합하는 목표 설정을 위해서는 기본적으로 하향식 분석을 통해서 한국의 적절한 노력 수준을 논하는 것이 필요하다.

## 1.2. 하향식 접근과 필요성

지구적 장기목표를 안정적으로 달성하기 위해서는 각 주체의 감축목표를 하향식으로 설정하는 것이 적합하다. 파리협정문에서는 <제4조 3항>의 ‘공동의 그러나 차별화된 책임과 국가별 역량(Common But Differentiated Responsibilities and Respective Capabilities: CBDR-RC)’ 원칙에 기초해서 각국은 상황에 따라 가능한 최선의 노력을 통해 장기목표 달성에 기여해야 함을 명시하였다. 이에 따르면 모든 국가가 감축에 참여하되 높은 역량과 책임 등을 가진 국가는 경각심을 가지고 알맞은 수준의 노력을 경주할 필요성이 있다.

감축분담(burden sharing)은 위와 같은 사상을 반영하는 형평성 원칙에 기반하여 감축목표와 자원 분담 등 기후목표를 설정하는 주된 하향식 접근법이다. 이 방법론에

서는 ‘오염자 부담 원칙(Polluter Pay Principle)’과 평등주의(egalitarianism) 등 분담 원칙을 나타내는 여러 기준(criteria)을 도입하여 적절한 경로 또는 노력 수준을 제시하고 상황을 평가한다(Fleurbaey et al., 2014; IPCC, 2014; Höhne et al., 2018).

기후위기 대응에서 형평성 관점의 논의는 피할 수 없으며, 상향식 체제를 기반으로 기후위기에 대응하는 현 체제에서도 서로 다른 주체 간 거버넌스 및 의사결정에 기본이 되기 때문에 중요하다(Müller, 2001; IPCC, 2014; Klinsky et al., 2016; Ivanova et al., 2020). 비록 정량화되기 어려운 문제의 성질과 복잡한 국제협상 맥락 그리고 이해관계 속에서 감축에 대한 부담을 누가, 얼마나 분담할 것인지에 대한 합의는 이뤄지기 어렵지만(Fleurbaey et al., 2014; Zhou and Wang, 2016; Pan et al., 2017; Ko and Ahn, 2020), 감축분담 결과는 형평성 관점에서 각 주체에게 요구될 수 있는 기대를 제시함으로써 각국의 감축목표 결정에 참고될 수 있기에 장기목표 논의에서 중요하다.

상향식으로 설정된 감축목표가 지구적 장기목표 달성에 부합하는지를 알아보는 감축분담 연구가 지속하여 수행되어 왔다. 하지만, 개별 연구에 내재하는 고유한 가정과 상황 그리고 기반하는 가치체계에 따라서 도출된 결과가 상이하여 정책 활용과 같은 건설적 논의로 이어지는 것은 제한적임이 명확하다. 이에 본 연구에서는 기존 한국을 포함하여 수행된 감축분담 문헌에 대한 종합적인 검토를 통해 향후 장기목표 달성을 위해 우리에게 기대되는 노력 수준에 대한 중론을 조명하고 현재 상황을 논의한다.

## 2. 감축분담 방법론

감축분담에서는 단일 또는 복수의 형평성 원칙에 입각하여 허용되는 탄소누적배출한도(carbon budget)<sup>2)</sup>나 추가적인 감축필요량을 주체별로 분담한다. 지구적 탄소누적배출한도를 주체별로 할당하는 접근을 자원할당(resource sharing), 지구적 감축필요량을 주체별로 분담하는 접근을 노력분담(effort sharing)이라고 한다(Clarke et al., 2014).<sup>3)</sup>

1) Each Party's successive nationally determined contribution will represent a progression beyond the Party's then current nationally determined contribution and reflect its highest possible ambition, reflecting its common but differentiated responsibilities and respective capabilities, in the light of different national circumstances

2) 국내 연구나 언론에서는 ‘carbon budget’을 탄소예산으로 직역하여 사용하지만, 본 연구에서는 일정 온도 상승의 임계점을 넘어서지 않기 위해 지켜야 할 이산화탄소 누적배출량이라는 본래 의미를 명확히 하기 위해 탄소누적배출한도라는 용어를 사용한다(Ko and Ahn, 2020).

3) 기후과학은 기본적으로 미래의 예측에 기반한다. 하지만, 노력분담에서는 그 의존도가 높아 예측치에 따라 결과에 변화가 큰데 이는 동 접근법의 단점으로 지적된다(Saikku and Soimakallio, 2008).

각 원칙을 분담에 적용하는 방법론인 기준에 따라 감축 주체에게 탄소누적배출한도를 할당하거나 감축필요량을 분담하며, 기준은 GDP, 인구, 누적배출량 등의 지표(indicator)로 구성된다(Zhou and Wang, 2016; Ko and Ahn, 2020).

기본적으로 각 원칙을 감축분담에 적용할 때, 원칙에 따른 당위성과 자원 할당량 또는 노력 분담량이 비례적인 방식을 사용하는데, 이는 반비례 함수의 적용으로 인한 결과의 극단성이 발생하기 때문이다.<sup>4)</sup> 예를 들어 감축분담 원칙으로 오염자 부담 원칙을 적용할 경우 책임이 높

은 주체에게 더욱 높은 노력이 기대되기 때문에 노력분담을 적용하고, 평등주의와 같이 인구수를 고려하는 경우 이에 비례하여 더욱 많은 탄소누적배출한도를 할당하는 자원할당을 적용하게 된다. 기존 연구에서 주로 활용되어 온 감축분담 원칙의 개념과 특징은 아래와 같다(Den Elzen and Lucas, 2005; Botzen et al., 2008; Klinsky and Dowlatabadi, 2009; Müller et al., 2009; Caney, 2011; Höhne et al., 2014; IPCC, 2014; Lee, 2016; Zhou and Wang, 2016; Kartha et al., 2018; Ko and Ahn, 2020; Rajamani et al., 2021).<sup>5)</sup>

Table 1. Concept and characteristics of principles that have been mainly used in burden-sharing researches including Korea

Principle	Concept	Characteristics
Egalitarianism	All humans have equal rights in greenhouse gas emissions	Allocating the remaining carbon budget equally to all humans - Rapid mitigation in emissions is required in traditional developed countries with high per capita GHG emissions. - Relatively less burden on underdeveloped countries
Polluter pays	The polluter shares the effort required for mitigation	Share the burden in proportion to the responsibility for climate crisis (greenhouse gas concentration or temperature change) by using indicators such as cumulative greenhouse gas emissions - A high burden is shared with entities that have exhibited high greenhouse gas emissions from the past - There are various additional considerations: consumer-based emission perspectives, the responsibility calculation period, and other normative considerations
Ability to pay	The entity with high ability to pay shares the mitigation required	The burden is shared by each entity in proportion to the capacity indicators used (GDP, GNI, PPP, etc.)
Sovereignty*	Reflecting the status quo right to maintain the current standard of living	Allocating of emission allowance at a rate equal to the proportion of greenhouse gas emissions by country - A small change in emissions compared to other principles - Usually favourable to developed countries - There is an opinion that it is the institutionalization of inequality that rewards developed countries and punishes underdeveloped countries
Right to sustainable development	Guarantee of basic emission rights	Exclude or mitigate entities that still have low capabilities or emissions from the burden for the time being

\* There is controversy that grandfathering arguably creates ‘cascading biases’ against poorer states, is not a ‘standard of equity’, and is indeed morally ‘perverse’.

4) 반비례 함수의 적용에서 어떤 주체의 분담 지표가 0에 가까울수록 해당 주체의 배출한도는 무한대에 가까워지고 역(逆)도 그러하다. 이 같은 방법론적 한계는 결국 그룹별 양극화를 초래한다. 기존 연구에서 반비례 함수가 경로의존적으로 사용되고 있지만(Lee, 2016), 모든 주체를 대상으로 하는 감축분담의 기본 성질은 이를 합리적으로 보기 어렵게 한다.  
5) 협약 제3조 3항에서는 주체별 감축 이행에 고려해야 할 사항으로 비용효율성(cost-effectiveness)이 명시되어 있다. 이에 따라 통합 평가 모형(integrated assessment models)을 활용하여 지구적 한계감축비용을 동일화하는 연구가 수행되고 있으며, 해당 결과는 형평성 감축 분담 결과와 비교 대상으로 다뤄진다(Clarke et al., 2014; Fyson et al., 2020).

## 2.1. 방법론적 한계와 연구 방향

기후위기 완화를 위해 누가 얼마나 더 노력하는 것이 적절한가? 이 문제는 정의, 공정성, 권리 등 윤리의 영역에 있어 명확한 합의점에 이르기 어려운 문제이다. 이에 기존 감축분담 연구에서는 서로 다른 원칙과 가정에 기반하여 분석이 수행되고 있는 상황이다. 원칙에 따라 분담 결과가 매우 상이하며, 같은 원칙을 반영하더라도 적용된 가정과 기준이 달라 결과에 다소간의 차이가 존재한다 (IPCC, 2014; Pan et al., 2017; Ko and Ahn, 2020).

이에 따라 여러 원칙을 하나의 기준에 통합하여 고려하는 새로운 기준을 제안하거나, 각 원칙을 포괄적으로 고려하기 위해 이해관계자의 인식적 가중치를 부여하여 복합원칙 결과를 도출하는 방법이 적용되고 있다. 하지만, 이러한 접근도 논쟁의 여지가 있는 형평성에 대한 함축적인 가정을 포함한다는 비판에서 벗어나지 못한다.

위와 같은 한계로 정책 수립에서 단일 연구 결과를 참고하기는 제한적이다. 그렇더라도, 기존 고유한 가치체계 아래 독립적으로 얻어진 결과를 종합하여 주요하고 다양한 관점을 살펴보고 일정한 방향성을 식별할 수 있다면, 목표달성을 위해 한국에 기대되는 적절한 노력 수준에 대한 보다 구체적인 제언을 도출할 수 있을 것이다.

## 3. 연구방법

본 연구에서는 기존 한국을 포함하여 수행된 감축분담 연구를 종합하여 살펴보고 양적 증론을 도출한다는 점에서 방법론상 메타분석(meta-analysis)으로 볼 수 있다. 연구를 위해 아래와 같이 자료 수집/선별/조정 과정을 거쳤다.

### 3.1. 기존 연구 및 자료 수집

형평성에 입각한 한국의 감축경로를 식별하고자 본 연구에서는 기존 수행된 감축분담 연구를 종합하여 살펴보았다. 이를 위해 우선 한국의 특정 연도별(2020 또는 2030, 2050) 배출한도 또는 2050년까지의 감축경로를 제시한 연구를 포괄적으로 수집하였다. 이때, 단순히 특정 기간의 지구적 탄소누적배출한도를 총량적으로 할당하거나 노력 분담 비중을 산정하는 연구는 감축목표와 결부하여 비교하기 어려우므로 제외하였다.

국제적으로 감축분담 연구가 지속 수행되고 있지만

(Zhou and Wang, 2016; Rajamani et al., 2021), 대부분의 국의 문헌에서 한국은 특정 국가군에 포함되어 결과가 제시되기 때문에 참고할 수 있는 자료가 많지 않다. 본 연구를 위해 수집된 감축분담 문헌과 공개자료는 다음과 같다.

우선, Shim et al. (2014)은 감축분담 연구에서 주로 이용되는 형평성 원칙인 오염자 부담, 능력자 부담, 평등주의를 고려한 세 가지 복합원칙 기준을 적용하여 2050년까지의 탄소누적배출한도를 주요국에 할당하고 분석을 수행하였다. 이용된 기준은 기준연도의 배출량을 유지하면서 목표 연도에 모든 주체의 인당 배출량이 동일해지도록 수립하는 형태로 온실가스 배출량을 할당하는 ‘인당 동일배출량 수렴’, 일정 수준 이상의 배출량을 가지는 국가의 배출량을 수렴시키는 형태인 ‘차별화된 수렴’, 누적배출량을 누적 인구수로 나눈 값을 수렴시키는 ‘인당 동일 누적배출량’이다. Herrala and Goel (2016)은 확률적 프런티어 접근을 도입하여 저개발국가의 발전 권리를 역량지표에 따라 차별화하여 보장하는 기준을 제안하고 이를 통해 2°C 온난화 제한에 적합한 주체의 연도별 배출한도를 산출하였다. 감축분담을 통해 주요국의 온실가스 감축목표를 평가하는 기후행동추적기(Climate Action Tracker: CAT)에서는 문헌 고찰을 통해 감축분담 기준을 일곱 가지로 구분한다. 이 분류를 토대로 기존 문헌에서 제시된 감축분담 결과와 자체 산출 결과를 종합하여 각 기준에 알맞은 주요국의 연도별 배출한도를 도출하고 목표를 평가한다. CAT는 기준별 중앙값을 공개하고 있는데 본 연구에서는 이를 분석에 포함하였다. Lee (2019)는 자원할당 복합원칙 기준으로는 SR1.5에서 제시된 1.5°C와 2°C 제한과 일관된 지구 탄소누적배출한도를 토대로 인당 동일 누적배출량 기준과 인당 동일배출량 수렴 기준을 적용하여 주요국 탄소누적배출한도를 산정하고 일정한 감축량을 가정한 선형 형태의 감축경로를 도출하였다. 또한, 노력분담 복합원칙 기준으로는 오염자 부담과 능력자 부담 원칙에 동일 가중치를 부여한 책임역량지수(Responsibility Capability Index: RCI)<sup>6)</sup>를 적용하여 주요국을 대상으로 복수의 감축경로를 도출하고 비교/분석하였다. Ko and Ahn (2020)은 1.5°C와 2°C 장기목표 달성과 일관된 다수의 지구적 감축경로를 토대로 대표적인 네 가지 감축분담 원칙(평등주의, 오염자 부담, 능력자 부담, 주권주의)을 적용해 모든 당사국을 대상으로 하향식 감축분담을 수행하였다. 동 연구는 감축분담 원칙별 상이한 결과의 균형을 고려하여, 기존 연구에서 사용된 원칙별 기준

6) 기본적으로 오염자 부담, 능력자 부담 두 가지 형평성 원칙에 가중치를 부여하여 단일 결과를 산출하는 복합원칙 기준

치와 국내 관련분야 전문가와 시민활동가의 인식조사를 통한 가중치를 포괄적으로 적용하여 여러 복합원칙 감축경로를 도출하였다. Lim and Kim (2021)은 ‘IPCC 제5차 평가 보고서(IPCC Fifth Assessment Report: AR5)’에서 제시된 아시아 지역 탄소누적배출한도에 기반하는 자원할당 접근을 통해 2°C 달성에 부합하는 한국의 중장기 감축경로를 도출하였다. 감축분담에 이용된 기준은 배출 비중 유지, 인당 동일 배출량, 동일 배출집약도이며 각 기준에 같은 가중치를 부여하여 총 4개의 복합원칙 기준에 따른 한국의 탄소누적배출한도를 도출하였다. 이를 토대로 감축경로를 산출하기 위한 세 가지 수식을 도입하여 복수의 경로를 도출하였다. ‘기후형평성기준 계산기(Climature Equity Reference Calculator)’<sup>7)</sup>에서는 IPCC의 최신 기후과학에 기반하여 기후변화협약에서 준용되는 형평성 원칙에 따른 현실적 전환 경로를 제안하기 위해 RCI를 적용한 노력분담을 수행하고 관련 자료를 공개하고 있다(Christian et al., 2019). 감축분담에 고려사항을 사용자의 선택에 따라 조정할 수 있으며, 이러한 선택은 모든 당사국의 감축경로에 영향을 미친다. 본 연구를 위해 오염자 부담과 능력자 부담 원칙에 동일 가중치를 적용하고 선택사항(발전 권리 보장 수준, 책임 산정 기간)에 따른 경우의 수를 구성하여 자료를 수집하였다.

### 3.2. 자료 선별

감축문제에 대한 합의된 하향식 접근법이 부재함에 따라 각 연구에서는 서로 다른 가정과 기준을 토대로 접근이 이뤄지고 있는 상황이다. 이에 따라, 문제에 대한 의사결정에 앞서 자료를 면밀히 살펴보고 적합한 선별과정을 통해 분석 자료를 재구성할 필요성이 있다. 합리적인 선별은 도출된 결론을 더욱 견고히 뒷받침할 수 있으며, 본 연구에서는 다음과 같은 과정을 통해 방법론적 토대 위에서 수용되기 어렵다고 판단되는 자료를 제외하였다.

첫째는 ‘국가 그룹별 권고사항을 토대로 감축분담이 수행된 연구’이다. 감축분담 결과는 우리나라와 같이 인당 배출량, 역량, 책임이 상대적으로 높은 선진국에 장기목표 달성을 위해 필요한 공동의 노력 수준보다 더욱 의무적인 움직임을 요구한다. 하지만, 기존의 몇몇 감축분담 연구에서는 전지구 또는 지역별 권고 감축률을 적용하거나 지역별(아시아) 탄소누적배출한도에 기반하여 자원할당을 수행하고 있는데,<sup>8)</sup> 이러한 접근이 기반하는 원칙이나 논리를 알 수 없

며 이는 형평성에 따른 노력의 차별화라는 감축분담의 토대를 배제하고 있음으로 관련 결과는 제외하였다. 둘째, ‘형평성 원칙을 반영하지 않는 기준을 적용한 경우’이다. 특정 연구에서는 배출효율성 원칙에 기반한 기준으로 국가별 배출 집약도(배출량/GDP) 동일화를 도입, 국가 경제의 규모에 비례하여 탄소누적배출한도를 할당한다. 이는 논의된 어떠한 원칙(Höhne et al., 2014)에도 기반하지 않으며 오히려 역량 지표와 비례하여 노력분담을 수행하는 능력자 부담 원칙의 적용과는 상반된 결과가 도출되기 때문에 분석에서 제외하였다. 셋째, 자료의 연속성이 떨어지는 경우로 이러한 현상은 노력 이행 시점인 기준연도의 배출량을 고려하지 않는 방법론상의 단순성이나 너무 오래전에 수행된 연구에서 나타난다. 이에 따라 기준연도의 배출량과 동떨어진 배출한도(400 MtCO<sub>2</sub>-eq 이하)를 가지는 경로는 제외하였다.

### 3.3. 기준연도 배출량 조정

수집된 감축분담 연구는 대부분 과거의 자료에 기반한다. 현시점 참고자료로 활용되기 위해서는 달라진 상황을 반영할 필요가 있지만, 이용되는 마땅한 방법은 아직 존재하지 않는 것으로 보인다. 본 연구에서는 기준연도 배출량을 조정하는 대안을 도입하여 이를 보완하고자 하였다.

연구별로 이용된 기준연도가 상이하므로 경로에 따라 본 연구 기준연도인 2020년의 배출한도에 차이가 존재한다. 이러한 상황은 감축분담 연구에서 기준연도 이후에 감축노력을 이행하지만, 실제 한국의 온실가스 배출량은 최근까지 가파른 증가 추세를 보였기 때문에 나타난다. 참고되기 더욱 적절한 감축경로는 현재의 배출량 상황을 반영할 필요가 있다. 자원할당과 노력분담의 방법론적 토대는 지구적 탄소누적배출한도에 있기 때문에 조정된 배출량은 보상될 필요가 있다. 본 연구에서는 감축경로별로 기준연도와 동일 배출량을 가지기 위해 조정된 배출량 계수를 산정 기간(2020년~2050년)동안 동일하게 적용하고 발생한 전체 배출한도 차이를 동 기간 일정한 기울기를 가지는 일차함수 형태로 분배하여 보상하였다. 이로써 도출된 조정된 감축경로에서는 현재 배출량을 반영하는 동시에 산정기간의 총 배출한도는 유지되며 기준연도 배출량이 상향된 경우, 유예된 노력과 비례하여 더욱 가파른 감축이 요구된다.

한국의 2020년 순배출량 자료는 현시점 공식적인 수치가 없다. 이에 본 연구에서는 2020년 6월 GIR이 추정

7) 장기목표 달성에 기여하기 위해 당사국별 감축분담 문제를 정량적으로 조사하는 데이터베이스

8) 산업화가 비교적 늦게 시작된 아시아는 다른 지역보다 높은 탄소누적배출한도를 가진다(IPCC, 2014).

2020년 예상 총배출량(648.6 MtCO<sub>2</sub>-eq)<sup>9)</sup>에 2018년 토지 이용변화 및 임업(Land Use, Land Use Change and Forestry: LULUCF)부문 음의 배출량(-41.3 MtCO<sub>2</sub>-eq)을 적용하여 예상값(607.3 MtCO<sub>2</sub>-eq)을 산정/적용하였다.<sup>10)</sup>

### 4. 결과

감축분담에 고려되는 다양한 측면을 종합하는 방법론적 특성에 따라 기존 연구에서는 복수의 결과를 도출하는 경향을 확인할 수 있다. 수집된 감축경로는 총 125개이며 Fig. 1은 이를 시각화한 것이다.<sup>11)</sup>

어떠한 목표, 가치체계와 기준이 적용되었는지에 따라 상이한 결과가 도출되며 단편적인 가치체계 아래 도출된 결과는 극단적인 움직임을 요구하기도 한다. 연구 시점의 상황 등도 이러한 차이를 유발하는 요인이며 이에 따라 폭넓은 배출량 범위를 확인할 수 있다. 감축분담은 일반적으로 선진국과 같이 책임과 역량이 높은 주체에게 더욱 가파른 감축을 요구하여 많은 경우 세기 중반 이전부터

음의 배출한도를 부여한다(Fyson et al., 2020; Rajamani et al., 2021). 본 연구에서 수집된 다수의 한국 감축경로에서도 음의 배출한도를 가지는 것을 확인할 수 있다.<sup>12)</sup> Table 2는 수집된 연구별 감축경로 수와 이용된 원칙에 대한 정보, 선별 내용을 요약한 것이다.

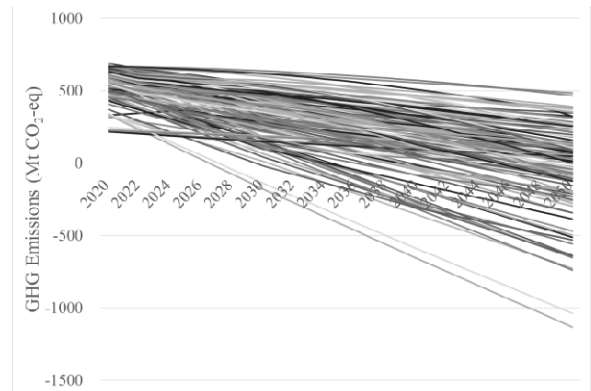


Fig. 1. Collected Korea's mitigation pathways

Table 2. The cumulative number of uses of the equity principle on which the collected researches are based

Goal	Research	Number of pathways		The cumulative number of uses of the principle				
		Single	Multi	Polluter Pays	Egalitarianism	Ability to pay	Sovereignty	Right to sustainable development
2°C	CAT	9	9	12	9	6	-	6
	CERC	-	9	9	-	9	-	6
	Herrala and Goel	-	1	-	-	1	-	1
	Ko and Ahn	5	8	10	7	9	7	-
	Lee et al.	-	9	6	6	3	3	-
	Shim et al.	-	9	-	9	-	9	6
	Lim and Kim	-	8	-	6	-	6	-
Not selected	-	14	4	10	2	8	-	
1.5°C	CAT	9	9	12	9	6	-	6
	CERC	-	18	18	-	18	-	12
	Ko and Ahn	5	8	10	7	9	7	-
	Lee et al.	-	9	6	6	3	3	-
	Not selected	-	6	4	4	2	2	-
Sum (selected)		28	77	75	45	60	25	37

9) 환경부는 2021년 6월 7일 보도자료 “온실가스 배출량 2018년 이후 2년 연속 감소 예상”을 통해 2020년 총배출량 추정치를 공개했다.  
 10) LULUCF 부문 배출량은 변동성이 있지만 감소 추세를 보이고 있다. 이에 따라 가용한 가장 최근(2018년)의 자료를 적용하였다.  
 11) 특정 연도의 배출한도만을 제시한 연구는 각 배출량을 선형으로 이어 경로로 변환하거나, 해당 연구에서 감축경로 도출에 이용된 수식을 제공 하는 경우 이를 적용하여 자료를 구성하였다.  
 12) 이러한 음의 배출한도는 대기중 CO<sub>2</sub>를 지질, 육상, 제품 등 타 매체에 오랫동안 저장하는 음의 배출 기술, 배출권 취득, 그리고 국제협력을 통한 저개발국가 등에서 배출량 감축 활동 지원 등을 통해서 달성될 수 있다(Smith et al., 2016; CAT, 2017; Fuss et al., 2018).



다수의 경로가 복수의 원칙을 고려하여 도출되었기 때문에 원칙별 누적 사용 횟수의 합은 경로의 수보다 크다. 기존 연구에서 주요하게 고려된 원칙은 오염자 부담, 능력자 부담, 평등주의 순으로 이는 감축분담 문제에서 국내 이해관계자 인식을 반영하여 원칙별 가중치를 조사한 최근의 연구결과(Ko and Ahn, 2020)와도 일관된 것이다.<sup>13)</sup>

선별을 거쳐 최종 구성된 감축경로 수는 2℃와 1.5℃ 장기목표별로 각각 53개, 52개이다. 조정된 감축경로는 Fig. 2에 장기목표별로 구분하여 제시되었다. 추가로, 기존 감축분담 결과를 종합적으로 논의하기 위해, 사분범위 감축경로를 함께 구성하였다.<sup>14)</sup> 전체를 볼 경우 넓은 배출량 범위를 가지지만, 사분범위에서는 비교적 밀집된 영역을 구성함을 확인할 수 있다.<sup>15)</sup>

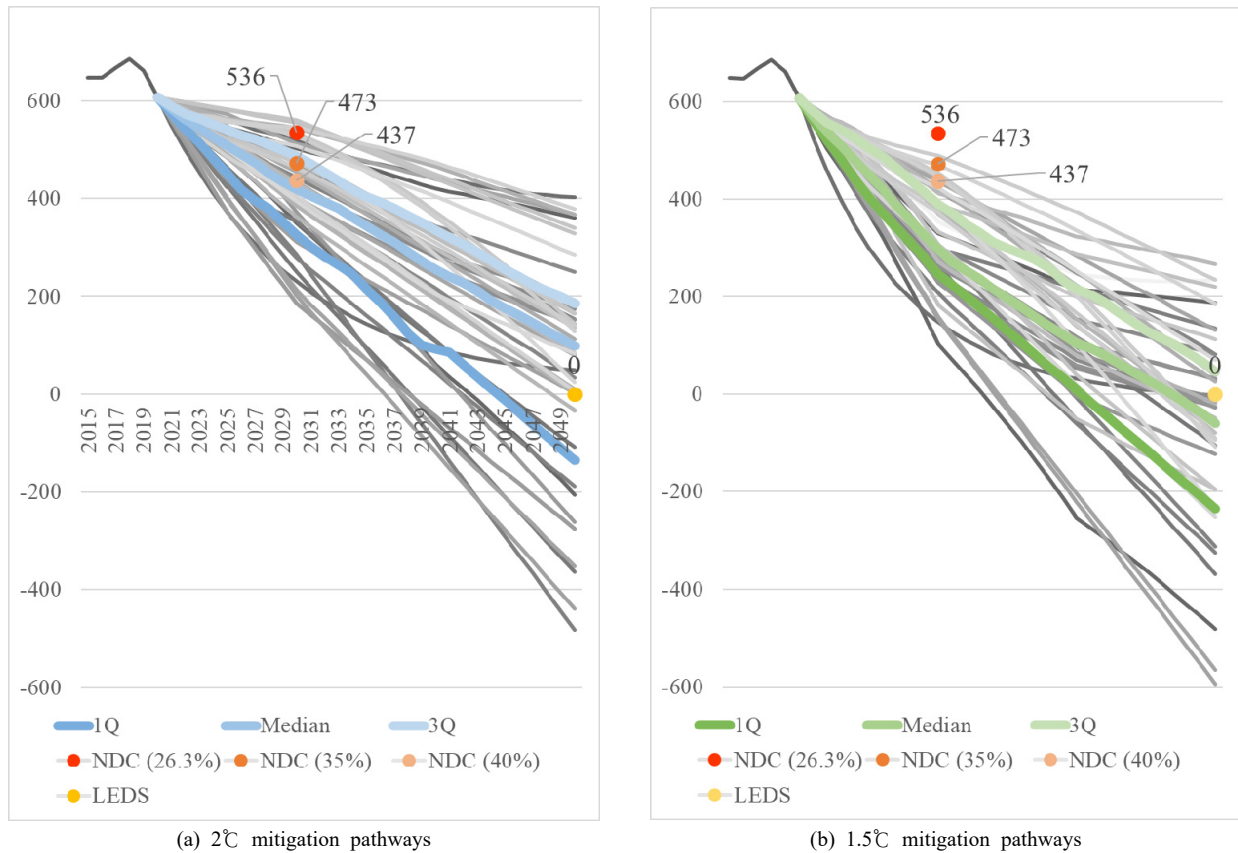


Fig. 2. Mitigation pathways and mid- to long-term targets

Note: This is the net-emission mitigation pathways, and the unit is MtCO<sub>2</sub>-eq

경로보다 높은 배출량을 가지는 감축목표의 경우 장기 목표를 달성하기 위해서는 초과분만큼의 추가적인 노력이 다른 국가에 전가되어야 하므로 해당 형평성 관점에서 격차를 줄일 필요가 있음을 제언할 수 있다.

사분범위를 통해 현재 우리나라의 감축목표를 살펴보면 기존 NDC는 2℃에서도 배출한도의 3사분위에서 벗어나 부적절한 수준인 것으로 보이며 40% 감축률(2018년 총배출량 대비)에서는 2℃ 장기목표 달성과 상당히 근접

13) 감축분담 원칙에 대한 이해관계자의 인식적 가중치는 국가 그룹별로 상이하다(Lee, 2016; Kesternich et al., 2021).

14) 단일원칙에 기반한 결과는 보통 값이 극단적이기 때문에 일부 연구에서는 참고자료로만 제시한다(Ko and Ahn, 2020; Lim and Kim, 2021). 복합원칙 감축경로만을 이용하여 도출된 사분범위는 중앙값에 큰 변화는 없지만, 범위가 좁아지는 경향을 보인다(1.5℃에서 2050년 중앙값: -60 → -56 사분범위: -236 ~ 45 → -195 ~ 31; 단위: MtCO<sub>2</sub>-eq).

15) 이 때, 장기목표별로 배출량 간극이 큰 경로 5개씩(약 10%)을 시각화에서 제외하였다.

한 것으로 보인다. 중앙값을 통해 볼 경우, 2050년 탄소중립 목표는 2°C 달성에는 의욕적인 것으로 볼 수 있지만, 1.5°C 달성에는 다소 못 미치는 것을 확인할 수 있다. 본

연구에서 식별된 중론의 영역은 2020년 수행된 감축분담 연구인 Ko and Ahn (2020)의 결과와 대체로 일관된다.

Table 3. Quartiles of emission limits in mitigation pathways by long-term goals

(Emission unit: MtCO<sub>2</sub>-eq)

Long-term goal	2°C				1.5°C			
	Emission limits by year			Carbon budget (2020 ~ 2050)	Emission limits by year			Carbon budget (2020 ~ 2050)
	Target year	2030	2040		2050	2030	2040	
1Q	324.8	92.8	-135.1	6,775	245.8	8.5	-236.4	4,493
Median	419.0	254.3	99.0	10,646	298.3	104.7	-60.3	7,038
3Q	486.6	335.9	185.2	12,495	390.3	215.5	45.9	9,709

### 5. 결론

한국은 2050년 탄소중립을 선언하였고 현재 논의의 초점은 이의 달성 가능성과 정책 방향성 고민에 맞춰져 있다. 비록 급박한 상황이지만 이제껏 그러하였듯이 한국의 감축목표는 앞으로의 국제 논의와 국가 감축 상황에 따라 변화의 여지가 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 기존 한국을 대상으로 수행된 감축분담

문헌을 종합하여 향후 감축목표 설정에 참고할 수 있는 감축경로를 드러내고자 하였다. 분석 결과 다음과 같은 시사점을 도출하였다.

주요국은 지구적 장기목표 달성 필요성에 의거하여 최근 2030 NDC를 상향 조정하였다. 앞서 언급하였듯이 한국 역시 최근 탄소중립기본법에서 NDC의 최소 감축률을 2018년 총배출량 대비 35%로 공포하였으며, 최근에는 40% 감축안도 다뤄지고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 이 수치를 중심으로 논한다.<sup>16)</sup>

Table 4. Major countries' 2030 NDC update status

(Emission unit: MtCO<sub>2</sub>-eq)

Country	Base year	Base year		NDC (updated, %)	2018 emissions		Reduction rate relative to ~ (compared to 2018, %)	
		Total emissions	Net emissions		Total	Net	Total emissions	Net emissions
		USA	2005		7,423	6,635	50 ~ 52	6,671
Germany	1990	1,251	1,223	65	858	831	49	47
UK	1990	791	809	68	463	468	44	45
Canada	2005	739	747	40 ~ 45	728	737	39 ~ 44	40 ~ 45
Japan	2013	1,408	1,345	46	1,247	1,191	39	36
ROK	2018	728	686	35/40	728	686	35/40	31/36

\* Net emissions: Emissions including LULUCF

16) 한국의 온실가스 배출 정점은 2018년으로 잠정 판단된다(Joint ministries, 2020). 정점이 지난 다른 국가의 감축률과 비교하기 위해 해당 연도를 기준으로 하였다.



Table 4의 미국과 영국 이외에도 여러 국가에서는 기준 연도 순배출량 대비 감축률의 NDC를 명시하고 있다.<sup>17)</sup> 주요국의 신규 NDC는 2018년 순배출량 대비 36~47%의 감축률을 보이는데, 이는 한국의 그것(31/36%)과는 격차를 보인다. 본 연구에서 분석한 결과 우리나라의 현재 NDC(안)는 상당수의 감축경로를 충족하지 못한다. 2°C, 1.5°C 목표달성과 일관된 중앙값이 가리키는 적정 감축률은 2018년 순배출량 대비 약 39%, 57%인데, 이는 Table 4에 제시된 다른 국가의 감축률 범위와 비슷하다.

몇몇 국가는 특정 형평성 기준을 근거로 자국이 제시한 NDC에 적절성을 부여한다(Rajamani et al., 2021). 수집된 연구 및 감축분담 연구 전반에서도 위 국가들은 일반적으로 한국보다 가파른 감축이 요구된다. 따라서 우리나라가 이들과 비슷한 수준의 NDC 감축률을 제시한다면 정당성과 더 높은 의욕성으로 뒷받침할 수 있기 때문에 향후 국내의 동향 변화에도 안정성을 갖출 수 있을 것으로 생각된다.

도출된 사분범위에서 살펴보면, 우리나라가 1.5°C 장기 목표 달성에 충분히 기여하기 위해서는 2050년경 음의 순배출량을 지켜야 하는 것으로 나타난다. 현재보다 조금 더 적극적인 노력이 요구되는 것이다. 하지만, 탄소 기반의 사회체계에서 기후위기에 대응하는 것은 현재의 감축 목표에서도 많은 난관이 존재하며 이러한 상황은 현재 한국 감축목표 논의에서 소외되는 지점을 조명한다.

파리협정은 인위적 온실가스 배출과 흡수가 금세기 후반까지 균형을 이루도록 규정하고 있다. IPCC 보고서(AR 5, SR 1.5 등)에서 정책입안자에게 정보를 제공하기 위해 이용된 거의 모든 통합평가모형(Integrated Assessment Model)에서는 중장기 지구적 감축경로에서 농업(Gernaat et al., 2015)이나 항공부문과 같이 완전한 탈탄소화가 어려운 부문의 배출을 지속 상쇄하고 음의 배출한도를 달성하는 방안으로 21세기에 걸친 대규모의 ‘음의 배출 기술(negative emissions technologies: NETs)<sup>18)</sup> 이행을 가정/적용하고 있다(Wheeler; Anderson and Peters, 2016; Smith et al., 2016; Fuss et al., 2018; IPCC, 2018b). 비록, NETs에 의존하는 것이 부정의를 유발하고 비경제적이며, 높은 위험성과 목표달성의 불확실성을 내포하는 측면이 있지만(Anderson and Peters, 2016; Smith et al., 2016), 중장기간 인간의 식량생산, 장거리 이동 등 생활양식을 엄

격히 통제하는 것이 어렵다면 결국, 목표달성을 위해 이를 활용할 필요가 있는 것이다(Anderson and Peters, 2016; Rogelj et al., 2016). 이를 반영하여 현재 유엔에 제출된 전통적 선진국 등 여러 국가의 LEDS에서는 NETs와 국제 배출권 거래 등을 탄소중립 과정과 이후 지속적인 음의 배출량 달성을 위한 필수적 요인으로 언급하고 있다. 이는 LULUCF 조치를 제외하고 다른 음의 배출 수단을 고려하지 않은 한국의 LEDS (The Government of the Republic of Korea 2020)와는 다른 지점이다.

방법론적으로 이러한 기후과학 자료에 기반하는 감축분담 역시 음의 배출 달성 수단을 명목적으로 고려한다(Fyson et al., 2020; Rajamani et al., 2021). 본 연구 결과, 한국에는 급격한 감축과 세기중반 이후 음의 순배출량이 요구된다. 하지만, 한국과 같은 개별 국가의 경계 내에서 달성할 수 있는 음의 배출량에는 물리생물학적, 경제적인 한계가 존재한다(Kraxner et al., 2014; Pozo et al., 2020). 이러한 상황에서 감축경로 및 탄소누적배출한도를 지키기 위해, 향후 진전된 국제협력을 통한 음의 배출 이행을 고민할 필요가 있다(Galán-Martín et al., 2018; Pozo et al., 2020). 이때, 관련 기술 도입은 사회적 문제를 일으키기 때문에(Kraxner et al., 2014; Smith et al., 2016; Pozo et al., 2020) 신중한 접근이 필요하며 국내적 감축 이행을 우선하여야 할 것이다.

형평성 관련 논의는 지구적 기후위기 대응에서 기본적으로 살펴봐야 할 사항이지만, 아직 국내에서는 상향식 접근이 주로 다뤄지고 있다. 감축목표 설정에 있어서 기본적으로 다양한 고려사항, 즉 장기목표 달성에 충분히 기여하는지, 다른 국가들의 노력 수준과 견주어 보고, 우리나라의 감축 여건에 비추어 이를 어떻게 달성할 수 있을지 등을 면밀히 살펴보아야 하며, 이에 따라 두 가지 접근 모두 중요하게 검토될 필요성이 있다.

본 연구에서는 기존 수행된 다양한 방법론에 따른 감축분담 결과를 종합하여 살펴보았으나 본질적으로 참고할 수 있는 연구의 수가 적고, 과거의 자료에 기반한 것에서 한계점을 가진다. 최근 공개된 『(IPCC 6차 보고서: 제1 실무그룹 보고서(AR6: The Physical Science Basis)』를 통해 우리는 앞으로 더욱 적극적인 움직임이 필요함을 알 수 있다. 본 연구에서는 현 상황을 반영하는 대안으로 조정

17) 한국 감축목표는 기준연도에는 LULUCF부분 배출을 제외하고 목표연도에는 이를 포함한다. 2050년 순배출량 기준은 변할 수 없으며 연젠가는 용어 통일이 필요한 문제이다. 비교분석을 위해 순배출량을 중심으로 논의한다.

18) Fuss et al. (2018)는 대표적인 NETs를 7가지(조림 및 재조림, 바이오에너지 결합 탄소 포집 및 저장(BECCS), 공기중 탄소 포집 및 저장(DACCS), 바이오 숯 등)로 정리하였다.

을 거쳤지만, 더욱 적절한 참고자료는 향후 이를 반영하여 지표별 최신 자료를 토대로 하는 다양한 감축분담 연구의 집합에서 찾을 수 있을 것으로 생각된다.

## References

- Anderson K, Peters G. 2016. The trouble with negative emissions. *Science* (80-). 354(6309):182-183. doi:10.1126/science.aah4567.
- Botzen WJW, Gowdy JM, Van den Bergh JCJM. 2008. Cumulative CO<sub>2</sub> emissions: Shifting international responsibilities for climate debt. *Clim Policy*. 8(6):569-576. doi:10.3763/cpol.2008.0539.
- Caney S. 2011. Climate change, energy rights, and equality.
- CAT. 2017. Comparability of effort. <https://climateactiontracker.org/methodology/comparability-of-effort/>.
- CAT. 2021. Climate summit momentum: Paris commitments improved warming estimate to 2.4°C. <https://climateactiontracker.org/publications/global-update-climate-summit-momentum/>.
- Christian H, Eric KB, Tom A, Sivan K. 2019. The Climate Equity Reference Calculator. *J Open Source Softw*. 4(35):1273. doi:10.21105/joss.01273.
- Clarke L, Jiang K, Akimoto K, Babiker M, Blandford G, Fisher Vanden K, Hourcade J-C, Krey V, Kriegler E, Löschel A, et al. 2014. Chapter 6 - Assessing transformation pathways. 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*. New York: Cambridge University Press. p. 413-510.
- Den Elzen MGJ, Lucas PL. 2005. The FAIR model: A tool to analyse environmental and costs implications of regimes of future commitments. *Environ Model Assess*. 10(2):115-134. doi:10.1007/s10666-005-4647-z.
- Fleurbaey M, Kartha S, Bolwig S, Chee YL, Chen Y, Corbera E, Lecocq F, Lutz W, Muylaert MS, Norgaard RB, et al. 2014. Sustainable Development and Equity. 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*. New York: Cambridge University Press. p. 238-350.
- Fuss S, Lamb WF, Callaghan MW, Hilaire J, Creutzig F, Amann T, Beringer T, de Oliveira Garcia W, Hartmann J, Khanna T, et al. 2018. Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects. *Environ Res Lett*. 13(6):063002. doi:10.1088/1748-9326/aabf9f. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aabf9f>.
- Fyson CL, Baur S, Gidden M, Schlessner CF. 2020. Fair-share carbon dioxide removal increases major emitter responsibility. *Nat Clim Chang*. 10(9):836-841. doi:10.1038/s41558-020-0857-2. <http://dx.doi.org/10.1038/s41558-020-0857-2>.
- Galán-Martín A, Pozo C, Azapagic A, Grossmann IE, Mac Dowell N, Guillén-Gosálbez G. 2018. Time for global action: an optimised cooperative approach towards effective climate change mitigation. *Energy Environ Sci*. 11(3):572-581. doi:10.1039/C7EE02278F. <http://dx.doi.org/10.1039/C7EE02278F>.
- Gernaat DEHJ, Calvin K, Lucas PL, Luderer G, Otto SAC, Rao S, Strefler J, van Vuuren DP. 2015. Understanding the contribution of non-carbon dioxide gases in deep mitigation scenarios. *Glob Environ Chang*. 33:142-153. doi:10.1016/J.GLOENVCHA.2015.04.010.
- Herrala R, Goel RK. 2016. Sharing the emission reduction burden in an uneven world. *Energy Policy*. 94:29-39. doi:10.1016/j.enpol.2016.03.028. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.028>.
- Höhne N, den Elzen M, Escalante D. 2014. Regional GHG reduction targets based on effort sharing: a comparison of studies. *Clim Policy*. 14(1):122-147. doi:10.1080/14693062.2014.849452. <http://dx.doi.org/10.1080/14693062.2014.849452>.
- Höhne N, Fekete H, den Elzen MGJ, Hof AF, Kuramochi T. 2018. Assessing the ambition of post-2020 climate targets: a comprehensive framework. *Clim Policy*.

- 18(4):425-441. doi:10.1080/14693062.2017.1294046.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.
- IPCC. 2018a. Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15\\_SPM\\_version\\_report\\_LR.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf).
- IPCC. 2018b. Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathw. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15\\_Chapter2\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter2_Low_Res.pdf).
- IPCC. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FullReport>.
- Ivanova A, Zia A, Ahmad P, Lima MB. 2020. Climate mitigation policies and actions : access and allocation issues The Union of Concerned Scientists. *Int Environ Agreements Polit Law Econ.* 20(2):287-301. doi:10.1007/s10784-020-09483-7.
- Joint ministries. 2020. 2050 Carbon Neutralization Strategy. <https://www.korea.kr/archive/expDocView.do?docid=39241>.
- Kartha S, Athanasiou T, Caney S, Cripps E, Dooley K, Dubash NK, Fei T, Harris PG, Holz C, Lahn B, et al. 2018. Cascading biases against poorer countries. *Nat Clim Chang.* 8(5):348-349. doi:10.1038/s41558-018-0152-7. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0152-7>.
- Kesternich M, Löschel A, Ziegler A. 2021. Negotiating weights for burden sharing rules in international climate negotiations: an empirical analysis. *Environ Econ Policy Stud.* 23(2):309-331. doi:10.1007/s10018-020-00289-0. <https://doi.org/10.1007/s10018-020-00289-0>.
- Klinsky S, Dowlatabadi H. 2009. Conceptualizations of justice in climate policy. *Clim Policy.* 9(1):88-108. doi:10.3763/cpol.2008.0583b.
- Klinsky S, Roberts T, Huq S, Okereke C, Newell P, Dauvergne P, O'Brien K, Schroeder H, Tschakert P, Clapp J, et al. 2016. Why equity is fundamental in climate change policy research. doi:10.1016/j.gloenvcha.2016.08.002.
- Ko DY, Ahn YH. 2020. Evaluation of GHG Mitigation Targets by Country in 2030 and 2050 through Top-down Burden Sharing. *J Clim Chang Res.* 11(5):547-562. doi:http://dx.doi.org/10.15531/KSCCR.2020.11.5.547.
- Kraxner F, Aoki K, Leduc S, Kindermann G, Fuss S, Yang J, Yamagata Y, Tak K Il, Obersteiner M. 2014. BECCS in South Korea—Analyzing the negative emissions potential of bioenergy as a mitigation tool. *Renew Energy.* 61:102-108. doi:10.1016/J.RENENE.2012.09.064.
- Lee CH. 2019. A Study on 2050 Low Carbon Society Transition for National Sustainable Development. [https://www.kei.re.kr/elibList.es?mid=a10101000000&elibName=researchreport&act=view&c\\_id=722845](https://www.kei.re.kr/elibList.es?mid=a10101000000&elibName=researchreport&act=view&c_id=722845).
- Lee JH. 2016. An equity-based reference framework for effort sharing in global GHG emissions reduction : based on a survey of participants in COP20. Seoul National University.
- Lim JM, Kim DK. 2021. A Study on Korea's Remaining GHG Emissions Allowance and Capped-Emissions Trajectories under the Paris Agreement Goal. *J Clim Chang Res.* 12(3):255-270. doi:https://doi.org/10.15531/KSCCR.2021.12.3.255.
- Ministry of Economy and Finance. 2021. Economic Policy Directions for the Second Half of 2021. <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156458786>.
- Moon JY, Lee SH, Kim EM. 2021. The main contents

- and implications of the climate summit. [https://www.kiep.go.kr/gallery.es?mid=a10101010000&bid=0003&list\\_no=9473&act=view](https://www.kiep.go.kr/gallery.es?mid=a10101010000&bid=0003&list_no=9473&act=view).
- Müller B. 2001. Varieties of distributive justice in climate change. *Clim Change*. 48:273–288. doi:10.1023/A:1010775501271.
- Müller B, Höhne N, Ellermann C. 2009. Differentiating (historic) responsibilities for climate change. *Clim Policy*. 9(6):593–611. doi:10.3763/cpol.2008.0570.
- Pan X, Elzen M den, Höhne N, Teng F, Wang L. 2017. Exploring fair and ambitious mitigation contributions under the Paris Agreement goals. *Environ Sci Policy*. 74(March):49–56. doi:10.1016/j.envsci.2017.04.020.
- Pozo C, Galán-Martín Á, Reiner DM, Mac Dowell N, Guillén-Gosálbez G. 2020. Equity in allocating carbon dioxide removal quotas. *Nat Clim Chang*. 10(7):640–646. doi:10.1038/s41558-020-0802-4. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0802-4>.
- Rajamani L, Jeffery L, Höhne N, Hans F, Glass A, Ganti G, Geiges A. 2021. National ‘fair shares’ in reducing greenhouse gas emissions within the principled framework of international environmental law. *Clim Policy*.:1–22. doi:10.1080/14693062.2021.1970504. <https://doi.org/10.1080/14693062.2021.1970504>.
- Rogelj J, Den Elzen M, Höhne N, Fransen T, Fekete H, Winkler H, Schaeffer R, Sha F, Riahi K, Meinshausen M. 2016. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. *Nature*. 534(7609):631–639. doi:10.1038/nature18307.
- Saikku L, Soimakallio S. 2008. Top-down approaches for sharing GHG emission reductions: uncertainties and sensitivities in the 27 European Union Member States. *Environ Sci Policy*. 11(8):723–734. doi:10.1016/j.envsci.2008.07.002.
- Shim SY, Kim SY, Ahn YH, Jeong GH, Lee H. 2014. Research and analysis of international trends related to national greenhouse gas reduction goals.
- Shukla PR. 1999. Justice, equity and efficiency in climate change: A developing country perspective. In: Toth F, editor. *Fair Weather: Equity Concerns in Climate Change*. London: Earthscan.
- Smith P, Davis SJ, Creutzig F, Fuss S, Minx J, Gabrielle B, Kato E, Jackson RB, Cowie A, Krieglner E, et al. 2016. Biophysical and economic limits to negative CO<sub>2</sub> emissions. *Nat Clim Chang*. 6(1):42–50. doi:10.1038/nclimate2870. <https://doi.org/10.1038/nclimate2870>.
- The Government of the Republic of Korea. 2020. 2050 Carbon Neutral Strategy of the Republic of Korea. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/LTS1\\_RKorea.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/LTS1_RKorea.pdf).
- Wheeler CE. Regenerate natural forests to store carbon. :3–6.
- Zhou P, Wang M. 2016. Carbon dioxide emissions allocation: A review. *Ecol Econ*. 125(2016):47–59. doi:10.1016/j.ecolecon.2016.03.001.