

하향식 감축분담을 통한 국가별 2030 및 2050 온실가스 감축목표 평가

고도연* · 안영환**†

*서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사과정, **숙명여자대학교 기초교양대학 부교수

Evaluation of GHG Mitigation Targets by Country in 2030 and 2050 through Top-down Burden Sharing

Ko, Doyeon* and Ahn, Young-Hwan**†

*Ph.D. Student, Dept. of Environmental Planning, Seoul National Univ., Seoul, Korea

**Associate Professor, Dept. of General Education, Sookmyung Women's Univ., Seoul, Korea

ABSTRACT

Future mitigation targets should consider whether a country's short-term is appropriate and sufficient to achieve the long-term goals. In this study a major top-down approach, burden sharing, was used to derive a mitigation path allowing achievement of long-term goals by country. Various weighting scenarios, including the Analytic Hierarchy Process (AHP), were constructed to comprehensively consider the various principles used for burden sharing, and consistent results were identified. Using our indicators, we compared the level of additional effort required for Nationally Determined Contributions (NDCs) and Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies (LEDS) by country, and suggested implications for setting future mitigation targets in major countries, especially South Korea.

Key words: Climate Change, Top-down, Mitigation Target, Burden Sharing, Multi-criteria, AHP

1. 서론

기후위기(climate crisis)는 인류의 지속 가능한 발전을 위협하는 가장 큰 위협의 하나로 간주된다(World Economic Forum, 2019). 산업혁명 이전 대비 2°C 상승은 기후위기로 인한 재앙의 임계점으로 받아들여지고 있으며 (Menon et al., 2007), 최근에는 1.5°C 목표도 부상하고 있다. 그간 순탄치만은 않았지만, 기후위기로 인한 피해를 줄이고자 국제사회는 협력을 강화해 나가고 있다. 2015년 ‘유엔 기후변화 회의(United Nations Climate Change Conferences)’에서 채택된 파리협정(Paris Agreement)에서는 모든 당사국이 스스로 감축목표를 설정하여 기후위기 대응에 동참하도록 하는 상향식 체계가 수립되었고, 이에

따라 당사국은 국제연합(United Nations: UN)에 국가결정 기여(Nationally Determined Contribution: NDC)를 제출하였다. 하지만, 현재까지 제출된 NDC의 추세가 지속된다면 21세기 말에는 3°C를 넘어서는 온난화가 진행될 것으로 예상된다(UNEP 2019). 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 위해서 각국은 NDC를 상향 조정할 필요가 있다(Rogelj et al., 2016).

2020년은 온실가스 감축목표 설정에 있어 특히 중요한 해이다. 올해 각국은 NDC를 현행화(update)하고 2050년 감축 목표인 ‘장기 저탄소 발전전략(Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies: LT-LEDS; 이하

†Corresponding author : yh.ahn@sookmyung.ac.kr (04310, 100, Cheongpa-ro 47-gil, Yongsan-gu, Seoul, Republic of Korea. Tel. +82-2-710-9207)

ORCID 고도연 0000-0002-4884-3731

안영환 0000-0002-4437-2610

LEDS'을 UN에 제출해야 한다. '유엔 기후행동 정상회의 (UN Climate Action Summit)'에서는 70여 국가가 2020년까지 현 수준보다 진전된 NDC를 제출하고, 다수의 국가에서는 이번 세기 중반까지 탄소중립 목표를 설정하겠다고 제안하였다(UNEP 2019). 최근 유럽연합은 NDC 감축목표를 기존 1990년 대비 40% 감축에서 55% 감축으로 상향조정하고¹⁾, 중국은 2060년 이전 탄소중립을 달성하겠다고 하였다²⁾. 이러한 사실은 긍정적이나 상향식으로 설정된 2030 NDC와 2050 LEADS가 지구적 장기목표 달성에 부합하는지를 평가하기 위해서는 기본적으로 하향식 분석을 통해 각국에 요구되는 적절한 감축노력 수준을 제시하는 것이 필요하다.

지구적 온도 목표 달성을 위해 다양한 하향식 접근법이 시도되어왔다. 그 중 단일 또는 복수의 규범적(normative) 원칙에 기반하여 허용되는 탄소누적배출한도(carbon budget)³⁾나 추가적인 감축필요량을 국가별로 할당하는 감축분담(burden sharing)⁴⁾이 주된 방법으로 활용되었고, 감축분담 원칙별 적용 방법으로는 기후위기에 대한 역사적 책임과 대응 역량 등을 포함하는 다양한 기준들이 제안되었다(Fleurbaey et al., 2014; Zhou and Wang, 2016; Höhne et al., 2018). 원칙에 따라 분담에 반영되는 요소와 분담 결과가 매우 상이하여 다양한 원칙들을 종합적으로 반영하는 것이 필요하며(Klinsky and Dowlatabadi, 2009) 이를 위해 각 원칙에 가중치를 부여하여 복합기준 결과를 도출하는 방법이 적용되었다(Ramanathan, 1998; Vaillancourt and Waaub, 2004; Cho and Kang, 2006; Baer et al., 2008; Klinsky and Dowlatabadi, 2009; Lee, 2016; Moon, 2016; Oh, 2018). 하지만, 기존 감축분담 연구에서는 일부 원칙만을 고려하거나 다양한 원칙을 포함하더라도 가중치 부여 방법이 단순하여 이를 통한 결과를 일반화하기에는 다소 한계가 있었다.

본 연구에서는 이와 같은 한계를 극복하기 위하여 다음과 같이 연구를 진행하였다. 우선 기존에 논의되었던 대표적인 감축분담 원칙들을 모두 고려하였으며, 기존 연구의 가중치 설정 방법을 본 연구에서 종합 적용하였다. 추가로

이원비교 설문을 기반으로 가중치를 설정하는 방법론인 계층분석기법(Analytic Hierarchy Process: AHP)을 적용하여 가중치를 다양화하였다. 그 결과 197개 분담 주제(196개 당사국과 대만)를 대상으로 한 두 가지가 아니라 영역을 구성할 수 있을 정도로 여러 감축경로(mitigation pathway)를 도출하였다. 이를 발표된 국가별 중장기 감축 목표와 비교하여 1.5°C 및 2°C 지구적 장기목표에 부합하기 위한 추가적 노력 수준을 산정하고 시사점을 도출하였다. 본 연구의 결과는 향후 국가별 온실가스 감축목표 비교 및 상향조정에 좋은 참고자료가 될 것으로 기대된다.

본고는 다음과 같이 구성된다. 제2장은 관련 선행연구를 검토·정리하였다. 제3장은 연구방법과 사용된 자료에 대한 내용으로 본 연구에서 고려된 감축분담 원칙과 이를 나타내는 기준의 계산법, 가중치 부여 방법, 감축목표 비교 계산식 그리고 이용된 자료들을 설명하였다. 제4장은 연구결과를 주요국과 한국에 대해 정리하고 시사점을 도출하였다. 마지막으로 제5장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시하였다.

2. 선행연구 고찰

지구적 목표를 안정적으로 달성하기 위해서는 감축목표를 하향식으로 설정하는 것이 적절하지만, 복잡한 국제협상 맥락과 이해관계 속에서 감축에 대한 부담을 누가, 얼마나 분담할 것인지에 대한 합의는 이뤄지기 어렵다(Fleurbaey et al., 2014; Zhou and Wang, 2016; Pan et al., 2017). 이러한 상황 속에서도 각 당사국에 합리적으로 요구될 수 있는 노력 수준을 도출하고, 현재의 감축목표를 평가하기 위해 다양한 접근법들이 시도되었다(Fleurbaey et al., 2014). 이러한 노력이 표면화된 시점은 교토의정서 준비 시기로 거슬러 올라갈 수 있다.

2.1 하향식 접근법의 개괄적 검토

교토의정서는 부속서 I 국가의 온실가스 감축목표를 하

1) State of the Union: Commission raises climate ambition and proposes 55% cut in emissions by 2030 [cited 2020.09.17]. Available from: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_1599

2) China pledges to become carbon neutral before 2060 [cited 2020.09.22]. Available from: <https://www.theguardian.com/environment/2020/sep/22/china-pledges-to-reach-carbon-neutrality-before-2060>

3) 일부 연구나 언론에서는 'carbon budget'을 '탄소예산'으로 직역하여 사용하지만, 본 연구에서는 일정 온도 상승의 임계점을 넘어서지 않기 위해 향후 허용되는 이산화탄소 누적배출량이라는 본래 의미를 명확히 하기 위해 '탄소누적배출한도'라는 용어를 사용한다.

4) 감축의 맥락에서, 어떠한 방법을 이용하여 온실가스 배출량을 줄이거나 흡수를 증진하는데 필요한 노력 또는 비용 부담을 나누는 것을 의미한다(Fleurbaey et al., 2014). 원칙을 분담에 적용하는 방법인 기준(criteria)에 따라 배출허용량을 할당하거나 감축필요량을 분담하며, 기준은 GDP, 인구, 온실가스 배출량 등의 지표(indicator)로 구성된다(Zhou and Wang 2016).

향식으로 설정하는 체제로 제3.1조는 2008년부터 2012년 동안 선진국 전체 온실가스 배출량을 1990년 수준보다 5% 이상 감축하는 것을 목표로 한다. 의정서 채택을 위한 실무진인 AGBM (Ad-hoc Group of Berlin Mandate)⁵⁾에는 각국으로부터 감축분담 방안(브라질: 산업화 이후 누적 온실가스 배출량 토대로 부담을 할당하는 역사적 책임, 뉴질랜드: 비용효율성을 토대로 한계감축비용(marginal abatement costs) 동일화, 네덜란드: EU의 분담 방법인 ‘삼면 접근법(triptych approach)⁶⁾’ 등)이 제안되었다(Jansen et al., 2001). 각국의 제안에는 분담 원칙으로 역사적 책임과 역량이 주로 다루어졌다.

‘기후변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)’의 ‘제5차 평가보고서(Fifth Assessment Report: AR5)’에서는 하향식 감축분담 관련 40여 개의 연구를 바탕으로 한 내용이 정리되어 있다. 연구에 따라 분담 대상(국가 또는 지역), 분담 시기, 고려된 온실가스 종류 등이 다름에도 비교를 위해 기존 감축분담 방법을 7가지 범주로 분류하고 각 분담 결과를 다섯 개 지역별로 제시하였다. 이를 통해 각 연구의 의사결정 차이로 같은 접근법이라도 결과에 차이는 존재하고 다른 유형의 방법일지라도 일관된 결과가 나타남을 확인하였다.

Zhou and Wang (2016)은 기존 수행되었던 하향식 접근법을 네 가지(감축분담, 최적화, 게임이론, 혼합)로 분류하였고 특징을 정리하였다. 대부분(77%)의 연구들이 국가 단위로 분석을 수행하였고, 분담 유형으로는 배출허용량 할당과 감축필요량 분담이 있는데 이 둘의 적용 비율은 비슷하였으며, 감축분담이 가장 주된(73%) 접근법으로 나타났다. Höhne et al. (2018)는 온실가스 감축목표를 평가하기 위한 하향식 접근법을 크게 두 그룹(도덕적 의무와 기술적 필요성)의 여덟 가지 세부 분류로 구분하고 각각의 개념과 한계점을 정리하였다. 연구에 따르면 접근법별로 다른 특성으로 인해 상이한 평가 결과가 도출되며, 각각의 장단점이 다르고 완전하지 않으므로 어느 방법이 더욱 적합하다고 할 수 없다.

기존 문헌에서 볼 수 있듯이 각국에 기대되는 기여 수준을 확립하고 감축목표를 평가하기 위해 다양한 방법으로 분석이 시도되어왔다. 각 하향식 접근법에 따라 장단점이 다르므로 어느 방법이 더욱 뛰어나다고 할 수 없다(Höhne et al., 2018). 하지만, 그중 단일 또는 복수의 규범적 원칙에 기반하여 지구적 탄소누적배출량도 또는 감축필요량을 분담하는 감축분담이 주된 방법으로 이를 활용한 연구가 지속적으로 수행되어 왔다(Jansen et al., 2001; Fleurbaey et al., 2014; Zhou and Wang, 2016; Höhne et al., 2018). 전 세계적으로 합의된 공식적인 감축분담 프레임워크가 없는 상황에서도 이러한 결과는 각 원칙에 따른 국가별 타당한 노력 수준에 대한 이해에 도움을 줄 수 있으며, 서로 다른 이해당사자들에게 요구될 수 있는 기대를 확립하는 데 중요하다(Fleurbaey et al., 2014).

2.2 분담 원칙

기존 감축분담 연구에서는 다양한 원칙에 기반하여 분담이 이루어졌고 연구에 따라 적용된 원칙이 상이하다. Den Elzen and Lucas (2005)는 관련 문헌과 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC; 이하 협약)에서 논의되는 형평성 원칙을 크게 평등주의(egalitarian), 주권주의(sovereignty), 오염자 부담(polluter pays principle), 능력자 부담(ability to pay principle)으로 정리하였다. Cho and Kang (2006)은 세 가지 원칙(평등주의, 오염자 부담, 주권주의)을 경우의 수로 조합하여 여러 분석 안을 구성하고 한국을 포함한 29개 OECD 국가를 대상으로 각 분석 안에 따른 2030년 감축필요량 분담 비중을 비교·분석하였다. Baer et al. (2008)은 두 가지 분담 기준(오염자 부담, 능력자 부담)에 가중치를 부여하여 단일 결과를 산정하는 책임역량지표(Responsibility and Capacity Indicator: RCI)를 고안하고 개도국에 대해서는 일정 수준의 추가적인 경제성장을 배려하는 발전권리(right to development)⁷⁾원칙 적용 하에 주

5) 교토의정서 합의를 위해 1995년 제1차 당사국총회에서 설치된 논의체

6) 부문별로 다른 방법을 적용하여 국가의 배출허용량을 상향식으로 산정한다. 초기에는 세 부문에 적용되었으나 현재 그 범위가 확장되었다. 형평성 원칙 중 능력자 부담과 평등주의 원칙이 포함된다.

7) 기후위기에 가장 취약한 계층에 대한 배려에 초점을 둔 발전권리 역시 분담 원칙으로 논의된다(Moellendorf 2002; Klinsky and Dowlatabadi 2009; Fleurbaey et al., 2014). 동 원칙의 적용 방식은 일정 성장수준 미달 국가에 지원을 제공하거나(Gupta and Bhandari, 1999; Höhne et al., 2006) 분담에서 제외하는 것이며(Den Elzen and Lucas, 2005; Lee, 2016) 다른 원칙을 보완하는 방식으로 적용되기 때문에 하나의 온전한 분담 방법으로 이용될 수 없다는 것이 특징이다. 이의 감축분담 적용에 있어 문제점은 배려 수준을 특정하기 어렵다는 것이다(Lee 2016). 또한, 의무에서 제외되는 저개발국가는 일반적으로 책임과 역량이 작아 이에 따른 부담이 적고 탄소 한계감축비용이 낮아(Höhne et al., 2018) 탄소 시장 등 국제 메커니즘이 활성화될 경우 수혜가 예상되는데 분담에서 제외될 경우 이러한 수혜 배제로 역량 강화와 전지구 비용효율적 감축에 장애 요인이 될 우려가 있어 본 연구에서는 고려하지 않았다(Ko, 2020).

요구에 적용한 결과를 분석하였다. AR5에서는 형평성에 기반한 감축분담 원칙으로 오염자 부담, 능력자 부담, 평등주의, 발전권리를 제시하고 분석안을 통해 지역별 2030년 배출허용량 범위를 도출하여 비용효율성(cost effectiveness)⁸⁾에 기반한 분담 결과와 비교하였다. Lee (2016)는 IPCC (2014)에서 제시된 형평성에 기반하는 네 가지 분담 원칙을 이용하여 감축분담을 수행하였다. 각 분담 원칙에 가중치를 부여하기 위해서 기후변화 국제 협상 관계자로 구성된 다국적 전문가 집단을 대상으로 설문을 수행하고 이를 통해 도출된 단일 결과를 이용하여 주요국의 NDC를 평가하였다. Moon (2016)은 기존에 제안된 RCI에 평등(equality) 원칙을 추가로 고려한 RECI (Responsibility Equity Capability Indicator) 접근법을 고안하고 각 원칙에 가중치를 달리 부여한 일곱 개 분석안을 구성하여 2도 이내 온난화 제한에 적합한 2030년 감축필요량 및 기후재원 분담 비중을 52개 국가를 대상으로 비교분석하였다. Pan et al. (2017)은 IPCC AR5에 제시된 세 종류의 분담 원칙을 기반으로 한 여섯 가지 분석안을 적용하여 주요 지역에 대해 감축분담을 수행하였다. Oh (2018)는 형평성과 효율성에 기반한 분담 원칙(오염자 부담, 능력자 부담, 효율성)을 토대로 8가지 분석안을 구성

하여 11개 주요국에 대한 감축필요량 분담률을 비교 분석하였다.

2.3 원칙별 가중치 부여 방법

기존 가중치 부여 방법은 ‘재량적 부여(discretionary setting)’와 이해관계자의 인식을 반영하는 ‘전문가 설문(expert survey)’이 있으며 전문가 설문을 이용한 연구는 상대적으로 활발하지 않다(Lee, 2016). Baer et al. (2008), Moon (2016), Oh (2018) 등 관련 연구에서는 연구자 개인의 판단하에 가중치를 설정하거나 고려되는 원칙을 경우의 수로 나누어 분석안을 구성하고 분담 원칙별로 동등 가중치를 부여하여 분석하였다. 가중치를 도출하기 위한 설문 방법으로 Ramanathan (1998)은 AHP를, Vaillancourt and Waub (2004)은 PROMETHEE 방법을 적용할 것을 제안하였으나 실제 적용에는 이르지 못하였다. Kesternich et al. (2014)는 120여개 국가의 국제 기후변화 협상관계자들을 대상으로 분담 원칙에 대한 단순 선호를 조사하였으며, Lee (2016)는 113개국 협상관계자들을 대상으로 각 원칙의 가중치 총합이 10이 되도록 설문하였다. 기존 연구에서 활용된 분담 원칙과 가중치는 다음 표와 같다.

Table 1. Weight setting method and weight of existing studies

Study	Weight setting method	Principles and weights used in the burden sharing				
		Principle	Egalitarian	Polluter pays	Sovereignty	Ability to pay
Ramanathan, 1998	Expert survey	Principle	Egalitarian	Polluter pays	Sovereignty	
		Weight	Methodological proposal only			
Vaillancourt and Waub, 2004	Expert survey	Principle	Egalitarian	Polluter pays	Sovereignty	Geography
		Weight	Methodological proposal only			
Baer et al., 2008	Discretionary setting	Principle	Polluter pays		Ability to pay	
		Weight	0.4		0.6	
Kesternich et al., 2014. (ZEW)	Expert survey	Principle	Egalitarian	Sovereignty	Ability to pay	Polluter pays (2011~)
		Preference	12.7%	10.0%	14.0%	18.8%
		Principle	Polluter pays (1990~)	Consumer pays (2011~)	Consumer pays (1990~)	Etc.
		Preference	19.3%	11.5%	11.2%	2.6%
Lee, 2016	Expert survey	Principle	Egalitarian	Polluter pays	Ability to pay	Right to development
		Weight	1.5/10	3.5/10	2.5/10	2.6/10
Moon, 2016	Discretionary setting	Principle	Egalitarian	Polluter pays	Ability to pay	
		Weight	Equal weighting			
Oh, 2018	Discretionary setting	Principle	Polluter pays	Ability to pay	Effectiveness	
		Weight	Equal weighting			

8) 협약에 ‘비용효율성’ 역시 분담의 원칙으로 제시되어 있다. 이에 기반한 감축분담은 한계감축비용이 전체 당사자에게 균등하게 적용되는 상태로 구현된다. 동 원칙은 감축분담에서 부차적인 원칙이며 주로 여러 규범적 원칙에 따른 결과와 비교 용도로 이용된다(Clarke et al., 2014).

일부 기존 연구는 두세개의 감축분담 원칙을 하나의 분담기준에 유기적으로 결합하여 활용하기도 하였다. 이러한 접근법에는 대표적으로 ‘축소 및 수렴(Contraction and Convergence: C&C)⁹⁾’, ‘과학과 환경 중심(Centre of Science and Environment)¹⁰⁾’, 다단계접근법(multi-stage approach)¹¹⁾, 삼면 접근법, 동일누적배출량 할당 등이 있다(Den Elzen and Lucas, 2005; van Ruijven et al., 2012; Clarke et al., 2014). 이와 같은 방법들은 지표 구성 내용 및 데이터 사용 기간에 따라 결과의 차이가 크며 분담기준에 일부 원칙만을 고려하였다. 본 연구에서는 가능한 모든 분담 원칙을 고려하여 다양한 분담 결과를 도출하였다.

서론에서 간략히 언급했듯이 기존 연구는 다음과 같은 한계점이 있다. 첫째, 논의되어온 여러 원칙 중 일부만을 반영하고 있다. 분담에 이용되는 절대적인 원칙은 없으며 원칙별 부담의 차이가 크기 때문에 일부 원칙만을 이용할 경우 분담 결과에 대한 신뢰성이 낮을 수 있으며(Klinsky and Dowlatabadi, 2009), 기존 연구에서 설문 응답자는 설문지 상의 모든 분담 원칙을 고려하는 방안을 가장 선호하는 것으로 나타났다(Kesternich et al., 2014; Lee, 2016). 둘째, 원칙별 가중치 부여가 임의적이거나 설문을 이용할 경우에는 단순 선호도 조사와 같은 간단한 방법을 적용하였다(Kesternich et al., 2014; Lee, 2016). 가중치의 임의적 부여는 결과의 객관성을 약화하고, 설문을 이용할 경우 이

해관계자의 가치체계를 반영하는 것에 좀 더 신중한 접근이 필요하다. 셋째, 기존 연구의 대부분은 특정 지역 또는 국가에 한정하여 감축분담을 수행하였다. 현재 협약에서 감축의 주체는 모든 당사국으로 이를 반영할 필요가 있다. 본 연구는 감축분담에서 주로 다루지고 있는 원칙들을 기존 연구에서 사용된 가중치 부여 방법과 본 연구에서 수행한 AHP 설문을 통해 도출한 가중치를 통해 종합하여 협약의 모든 당사국을 대상으로 감축분담을 수행하였다.

3. 연구방법

본 장에서는 연구에서 사용된 감축분담 기준, 가중치 부여 방법, 국가별 감축목표 비교 계산식, 사용 자료 등을 구체적으로 살펴본다.

3.1 감축분담 기준

본 연구는 대표적인 네 가지 감축분담 원칙(평등주의, 오염자 부담, 능력자 부담, 주권주의)(Den Elzen and Lucas, 2005)을 이용하여 감축분담을 수행하고 장기목표 달성과 일관된 감축경로를 국가별로 도출한다. 모든 기준에서 할당에서 적용되는 기준연도는 2019년, 목표연도는 2030년 또는 2050년이며, 할당기간은 2020~2050년이다. 각 원칙의 개념과 적용 방식 및 특징은 다음과 같다.

Table 2. Overview of the burden sharing principle

Principle	Concept	Application method	Feature
Equality	All human beings on earth have equal rights in greenhouse gas emissions	Equal emission allocation per person (emissions from global mitigation path are allocated as a percentage of the population by country)	- Need to drastically reduce emissions in developed countries with high per capita emissions - Relatively advantageous to underdeveloped countries
Polluter pays	Pollutants bear the burden of efforts in implementing pollution prevention measures	Share mitigation burden in proportion to contribution to global warming (cumulative GHG emissions)	- High burden on countries with high GHG emissions since the past - Emissions applied after 1850/1990
Ability to pay	Share the burden in proportion to solvency	Share mitigation burden in proportion to national GDP	- The higher the GDP, the higher the burden
Sovereignty	Each country has the right (right to maintain the status quo) to maintain the current emission level	Global mitigation path emissions are allocated according to the ratio of global reference path emissions to national reference path emissions	- The change in emissions is relatively small - There is a view of institutionalization of inequality that rewards developed countries and punishes underdeveloped countries

9) 첫 단계로 지구적 온실가스 감축경로를 도출(contraction)하고, 다음으로 각 국가의 1인당 배출량이 감축분담 초기에 현재의 배출 비율을 반영하고 목표시점에는 도출된 경로에 적합한 동등한 수준으로 수렴(convergence)하도록 한다. 이는 형평성 원칙 중 평등주의와 주권주의 원칙을 반영한다.

10) 이산화탄소 농도를 상승시키지 않고 지속 가능한 배출량 수준이 있다는 가정에 기초하여, C&C 기준에 ‘지속가능한 배출 권리(basic sustainable emission rights)’를 결합한 방법.

11) 국가들을 노력의 수준과 의무 분담 방식에 따라 여러 그룹으로 나뉘며, 시간이 흐름에 따라 부담 분담 방법과 수준을 확장 적용받는다. 해당 방법은 책임과 역량에 기반하며, 1인당과 관련된 지표가 이용될 경우 평등주의 원칙도 포함된다.

3.1.1 평등

평등(equality: EQ)은 평등주의 원칙을 반영하는 기준으로 모든 인간은 대기를 이용할 동등한 권리를 소유하며 온실가스 배출에 있어서도 그러하다는 개념에 기반한다(Den Elzen and Lucas, 2005). 해당 원칙을 적용하여 할당기간 장기목표 달성과 일관된 연도별 1인당 배출허용량을 구하는 기존 방법은 다음 수식과 같다(Gupta and Bhandari 1999; Böhringer and Welsch, 2006; Mattoo and Subramanian, 2012).

$$\frac{MP_{(y)}}{POP_{(y)}} = \text{할당기간 } y\text{년도 전 지구 1인당배출허용량} \tag{1}$$

$MP_{(y)}$: 장기목표(2°C 또는 1.5°C) 달성을 위한 한전지구 감축 경로의 y 년도 배출량
 $POP_{(y)}$: y 년도 전 세계인구

평등기준에 따른 할당기간 당사국 i 의 y 년도 배출허용량은 위 수식 (1)에서 구한 연도별 1인당 배출허용량에 i 국가의 해당 연도별 인구수를 곱하여 구할 수 있다. 이는 평등주의 원칙만을 반영한다(van Ruijven et al., 2012). 이 기준을 적용하면 감축분담이 적용되는 시기인 2020년부터는 과거 배출량과 상관없이 인구수에 비례하여 배출허용량이 산정되기 때문에 기준년도 배출량과 큰 격차가 발생하는 문제가 있다(Böhringer and Welsch, 2006; van Ruijven et al., 2012). 이를 보완하고자 전체 할당기간 동안 당사국에 허용되는 탄소누적배출한도를 산정하고 당사국별 연평균 배출량 감축률을 적용하여 감축경로를 도출하였다. 전체 할당기간 동안 당사국 i 의 탄소누적배출한도는 다음 수식과 같다.

$$CarbonBudget_{(i)}^{EQ} = \sum_{y=2020}^{2050} \left(\frac{MP_{(y)}}{POP_{(y)}} \times POP_{(i,y)} \right) \tag{2}$$

$CarbonBudget_{(i)}^{EQ}$: 평등기준에 따른 할당기간 당사국 i 의 탄소 누적배출한도
 $POP_{(i,y)}$: 당사국 i 의 y 년도 인구 수

식 (2)는 2050년까지의 탄소누적배출한도만을 나타낸다. 우리가 필요한 것은 이러한 탄소누적배출한도를 만족하는 2019년부터 2050년까지의 배출경로이다. 배출량 경

로를 도출하기 위해서 우리는 매년 배출량 감축률을 적용하고, 그 감축률은 일정하다는 가정하에 다음과 같은 두 가지 수식을 설정하였다. 최종적으로 도출되는 평등원칙에 따른 할당기간 당사국 i 의 y 년도 배출량은 아래 수식 (3)과 같다.

$$EQ_{(i,y)} = POP_{(i,y)} \times \frac{BE_{(i,2019)}}{POP_{(i,2019)}} \times (1 - r_{(i)})^{(y-2019)} \tag{3}$$

$$\sum_{y=2020}^{2050} EQ_{(i,y)} = CarbonBudget_{(i)}^{EQ} \tag{4}$$

$EQ_{(i,y)}$: EQ기준에서 당사국 i 의 y 년도 배출 허용량

$r_{(i)}$ 는 수식 (3)과 (4)를 이용한 최적화를 통해 구할 수 있다.

3.1.2 역사적 책임

‘역사적 책임(historical responsibility: HR)’은 오염자 부담 원칙을 반영하는 기준으로 지구온난화에 대한 책임(누적 온실가스 배출량)에 비례하여 감축필요량을 분담한다(Den Elzen and Lucas, 2005; van Ruijven et al., 2012). 당사국의 년도 배출량산정 방법은 다음과 같다(Moon, 2016; Oh, 2018).

$$CER_{(i,y)} = \frac{CE_{(i,y)}}{CE_{(y)}} \tag{5}$$

$$RN(HR)_{(i,y)} = CER_{(i,y)} \times RN_{(y)} \tag{6}$$

$$HR_{(i,y)} = BE_{(i,y)} - RN(HR)_{(i,y)} \tag{7}$$

$CER_{(i,y)}$: 당사국 i 의 y 년도 누적배출량 비중
 $CE_{(i,y)}$: 당사국 i 의 y 년도 누적배출량
 $CE_{(y)}$: y 년도 전 지구 누적배출량
 $RN(HR)_{(i,y)}$: HR 기준에서 당사국 i 의 y 년도 감축필요량
 $RN_{(y)}$: y 년도 전 지구 감축필요량
 $HR_{(i,y)}$: HR 기준에서 당사국 i 의 y 년도 배출허용량
 $BE_{(i,y)}$: 당사국 i 의 y 년도 기준경로배출량

본 연구는 역사적 책임 기준의 누적배출량 산정 시기를 자료의 가용성을 고려한 1850년 이후와 국제적 기후 논의가 활성화된 1990년 이후로 나누어서 살펴보았다. 각국의 역사적 책임을 산정할 때는 기후행동추적기(Climate Action Tracker: CAT)가 그러한 것과 같이 ‘토지이용, 토

지전용 및 산림분야(Land Use, Land Use Change and Forestry: LULUCF)’ 부문의 배출량은 제외하였다¹²⁾. 그 이유는 전체 배출량에서 차지하는 비중이 상대적으로 낮고 자료의 불확실성이 높기 때문이다(Forsell et al., 2016).

3.1.3 역량

역량(capability: CA) 기준은 능력자 부담 원칙에 기반하며 전지구 감축필요량을 당사국의 역량을 나타내는 지표인 GDP에 비례하여 분담한다(Den Elzen and Lucas, 2005). 당사국 의 연도별 배출허용량은 다음 수식과 같다(Moon, 2016; Oh, 2018).

$$RN(CA)_{(i,y)} = \frac{GDP_{(i,y)}}{GDP_{(y)}} \times RN_{(y)} \quad (8)$$

$$CA_{(i,y)} = BE_{(i,y)} - RN(CA)_{(i,y)} \quad (9)$$

$RN(CA)_{(i,y)}$: CA 기준에서의 당사국 i 의 y 년도 배출허용량

$GDP_{(i,y)}$: 당사국 i 의 y 년도 GDP

$GDP_{(y)}$: y 년도 전세계 GDP

$CA_{(i,y)}$: CA 기준에서 당사국 i 의 y 년도 배출허용량

3.1.4 그랜드파더링

그랜드파더링(grandfathering: GF)은 주권주의 원칙을 반영하는 기준으로, 주권의 주체는 국가가 되며 모든 국가는 현재의 배출수준을 유지할 수 있는 권리인 ‘현상유지권(status quo right)’을 가진다는 개념에 기반한다(Rose et al., 1998; Den Elzen and Lucas, 2005; Klinisky and Dowlatabadi, 2009). 이를 감축분담에 적용하는 방식은 기준경로의 배출량 비중과 동등한 수준의 배출허용량을 할당하는 것이며(Rose et al., 1998; Den Elzen and Lucas, 2005; van Ruijven et al., 2012) 이에 따라 모든 감축분담 주체에게 기준경로 배출량 대비 같은 감축률이 요구된다(Böhringer and Welsch, 2006; Clarke et al., 2014). 당사국의 연도 배출허용량은 다음 수식과 같다(Rose et al., 1998; Böhringer and Welsch, 2006).

$$GF_{(i,y)} = (1 - R_{(y)}) \times BE_{(i,y)} \quad (10)$$

$$R_{(y)} = \left(1 - \frac{MP_{(y)}}{BE_{(y)}} \right) \quad (11)$$

$GF_{(i,y)}$: GF 기준에서의 당사국 i 의 y 년도 배출허용량

$R_{(y)}$: 전 지구온실가스배출량 감축률

$MP_{(y)}$: y 년도 전 지구감축경로배출량

$BE_{(y)}$: y 년도 전 지구기준경로배출량

3.2 원칙별 가중치 부여 방법

감축분담 원칙에 따라 기반하는 개념이 다르고 산정되는 배출허용량이 상이하다. 일부 원칙만을 적용한 감축분담 결과는 신뢰성을 확보하기 어렵기 때문에 감축분담의 다양한 측면을 고려하는 것이 필요하다(Vaillancourt and Waaub 2004). 각 원칙에 기반한 감축분담 결과를 조합하고자 가중치 부여가 이용된다. 이를 이용한 당사국 i 의 y 년도 배출허용량은 다음 수식과 같다(원칙별 가중치의 합은 1이다).

$$EP_{(i,y)} = W_{eq}EQ_{(i,y)} + W_{hr}HR_{(i,y)} + W_{ca}CA_{(i,y)} + W_{gf}GF_{(i,y)} \quad (12)$$

$$(W_{eq} + W_{hr} + W_{ca} + W_{gf} = 1)$$

본 연구는 원칙별 가중치 부여에 AHP와 선행연구의 방법들을 적용하여 당사국별 감축경로를 도출하고 결과를 비교·분석하였다. 이용된 가중치 도출 방법은 네 가지로 다음과 같다. 첫째, Kesternich et al. (2014)이 120여 개 국가를 대상으로 전문가 설문을 수행하여 도출된 분담 원칙별 선호도를 이용하는 ‘ZEW(유럽경제연구센터)’, 둘째, 동등 가중치를 적용한 ‘동등(equal)’, 셋째, 오염자 부담과 능력자 부담 원칙에 각각 0.5씩 가중치를 부여한 ‘RCI’, 마지막으로 본 연구에서 국내 전문가 및 시민단체를 대상으로 AHP 설문을 통해 도출한 가중치로 ‘AHP’가 그것이다.

감축분담 접근법에서 중요한 사항은 여러 원칙 간 균형점을 모색하는 것이며, 이를 위해 가중치 부여에 이해관계자 의견을 반영하는 방법이 적용되고 있다(Zhou and Wang 2016). Ramanathan (1998)과 Cho and Kang (2006)은 이해관계자 참여하에 감축분담에 논의되는 원칙들을 포괄적으로 고려하여 단일 결과를 도출하기 위한 방법으로 가중치 부여에 AHP를 적용할 것을 제안하였다. ‘복합기준자원할

12) NDC ratings and LULUCF [Internet] [cited 2020.08.16]. Available from: <https://climateactiontracker.org/methodology/indc-ratings-and-lulucf/>

당(Multi-Criteria Resource Allocation)¹³⁾에서 AHP는 유용한 의사결정 기법이다(Ramanathan, 1998). AHP는 복잡한 의사결정 문제에 대해 전문가의 평가 기준에 대한 가중치를 이원비교를 통해 산정하고 이를 기반으로 한 계층적 분석 방법을 통해 최적의 대안을 도출한다. 본 연구는 상기 논의된 네 가지 감축분담 원칙의 상대적 가중치 계산이 주요 목적이므로 AHP의 가중치 산정 단계까지 이용한다. AHP 설문은 현시점의 국내 환경·기후 관련 전문가(전문 종사자와 청년·시민단체)를 대상으로 이메일과 구글 설문을 통해 진행되었다¹⁴⁾. 모두 37명이 응답하였으며 이 중 일관성 비율이 0.15 이하인 34명(전문 종사자 23명, 청년·시민단체 11명)의 응답을 이용하였다. 전문 종사자와 청년·시민단체 그룹 간 가중치에 유의미한 차이는 확인되지 않았다.

국내 전문가를 대상으로 한 본 연구의 AHP 설문에서는 분담 원칙 중 오염자 부담에 상대적으로 높은 가중치를 부여하는 것으로 나타난다. 반면, 120여 국가 전문가를 대상으로 설문을 수행한 Kesternich et al. (2014)의 연구에서는

분담 원칙별 가중치 차이가 크지 않다. 이러한 결과는 각국이 감축분담에 선호하는 원칙이 상이하여 전체적인 편차는 작아지는 것에 기인한다(Kesternich et al., 2014; Lee, 2016). 본 연구에서 사용된 가중치를 정리하면 아래 Table 3과 같다.

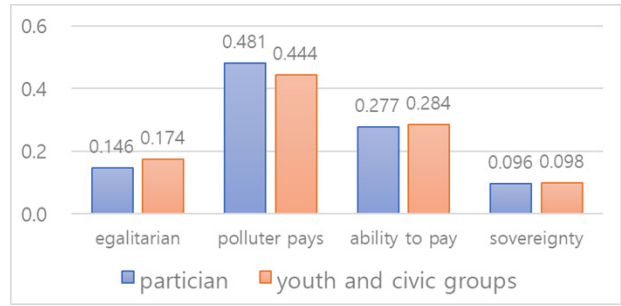


Fig. 1. Weight for the principle of each survey group

Table 3. Weight for each mitigation pathway

Principle		Equality	Polluter pays	Polluter pays ('90)	Ability to pay	Sovereignty
Single criteria	Equality	1	-	-	-	-
	Responsibility	-	1	-	-	-
	Responsibility ('90)	-	-	1	-	-
	Capability	-	-	-	1	-
	Grandfathering	-	-	-	-	1
Multicriteria	ZEW	0.245	0.293	-	0.270	0.193
	ZEW ('90)	"	-	0.293	"	"
	Equal	0.25	0.25	-	0.25	0.25
	Equal ('90)	"	-	0.25	"	"
	RCI	-	0.5	-	0.5	-
	RCI('90)	-	-	0.5	"	-
	AHP	0.155	0.469	-	0.280	0.096
	AHP ('90)	"	-	0.469	"	"

- 1) Based on the historical responsibility criteria, the timing of calculating the cumulative emissions was divided into after 1850, and after 1990, when international climate discussions were active.
- 2) The principle that Kesternich et al. (2014) considered in deriving the weights is the same as in this study, but the polluter pay principle is divided into four criteria according to the responsible subject (polluter, consumer) and the timing of the cumulative emission calculation, and surveys respondent preferences in the same hierarchy as other principles. Therefore, there is a problem of overlapping response principles. The preferences of the criteria based on the pollutant burden principle were averaged and used as weights, and the total weight of each principle was adjusted to be 1 and applied to this study.

13) 다양한 기준을 고려하여 제한된 자원을 효과적으로 할당하는 문제를 다룬다.
 14) 이용된 설문지 양식은 사사에 제시된 문헌에 수록되어 있다.

3.3 감축목표 비교 계산식: 추가 감축률 지표

본 연구는 도출된 감축경로를 이용하여 당사국별 감축 목표를 비교하기 위해 ‘추가 감축률 지표(Additional Reduction Rate Indicator: ARRI)’를 이용하여 장기목표 달성을 위해 제출된 목표 대비 추가로 필요한 노력 수준을 알아보았다. ARRI는 다음과 같다.

$$ARRI(\%) = \frac{Emission_{(i,y)}^{target} - Emission_{(i,y)}^{permit}}{Emission_{(i,2030)}^{target}} \times 100 \quad (13)$$

- $Emission_{(i,y)}^{target}$: *i* 국가 2030NDC 또는 2050LEDS목표배출량
- $Emission_{(i,y)}^{permit}$: *i* 국가감축경로의 2030년 또는 2050년 배출허용량
- $Emission_{(i,y)}^{target}$: *i* 국가 2030NDC 목표배출량

ARRI는 ‘*i* 국가 2030년 NDC 또는 2050년 LEDES 목표 배출량’과 ‘*i* 국가 감축경로의 2030년 또는 2050년 배출 허용량’ 간 격차를 ‘*i* 국가 2030년 NDC 목표배출량’으로 나눈값의 백분율이다. ARRI는 각국이 제출한 감축목표가 하향식 감축경로의 배출량보다 클 경우 양의 값을 가지며 해당 국가는 감축목표 상향을 고려할 필요가 있다. 반대로 ARRI가 음의 값을 가질 경우 당사국의 감축목표가 충분히 의욕적임을 나타낸다.

3.4 사용 자료

감축분담에 앞서 장기목표 달성에 부합하는 지구적 기준 경로 및 감축 경로 배출량, 당사국별 기준 경로 배출량, GDP 및 인구와 같은 사회경제 자료가 필요하다. 감축 경로를 도출하기 위해 ‘통합 평가 모델(Integrated Assessment Model)’이 이용되고 있으며 각 모델에 따라 다양한 경로가 도출된다(Rogelj et al., 2018). 연구의 객관성을 높이기 위해서는 다양한 경로를 종합적으로 고려하는 것이 적절해 보인다. CAT는 IPCC AR5와 ‘1.5°C 특별 보고서(Special Report on Global Warming of 1.5°C)’의 데이터베이스를 토대로 오버슈트(overshoot)이 적거나 없고,

이산화탄소제거(Carbon Dioxide Removal)와 ‘농업, 산림 및 기타 토지이용(Agricultural Forestry and Other Land Use)’ 부문 흡수량이 일정 한도 이내로만 적용된 감축 경로를 필터링하여 이의 중앙값(median)과 사분위간 범위를 제공¹⁵⁾하고 있으며 본 연구에 해당자료를 이용하였다. 전 지구 및 당사국별 온실가스 기준 경로와 GDP, 인구 전망 자료는 ‘CERP(Climature Equity Reference Project)’가 운영하는 웹사이트인 ‘Climate Equity Reference Calculator’에서 제공하는 자료¹⁶⁾를 이용하였다. 본 연구에 이용된 기준 경로와 감축 경로 자료는 모든 온실가스를 대상으로 하며 LULUCF 부문 배출량을 포함한다. 아래 Fig. 2는 연구에서 이용된 지구적 기준 경로 자료와 2°C 및 1.5°C 목표 달성에 부합하는 지구적 감축경로의 중앙값(median)과 제3사분위(3Q) 자료를 시각화한 것이다.

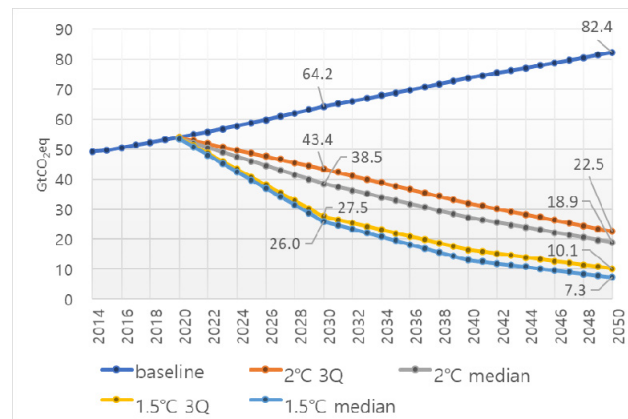


Fig. 2. Global GHG emissions by emission pathways

감축목표의 형식은 절대량, BAU, 탄소집약도 등 다양하며 범위나 조건을 가지기도 한다. UN에 제출된 공식 문서에 목표배출량이 명시되어 있지 않은 경우 본 연구에서 이용된 자료를 이용하여 목표배출량으로 변환하였다. EU의 경우 최근 NDC를 상향조정하여 기존의 목표와 새로운 목표를 함께 분석한다. 미국의 경우 NDC가 2025년이 목표연도지만 타 국가와 비교를 위해 연간 감축량이 2030년까지 유지된다는 가정하에 2030년 목표를 산정하였다. 중국은 아직 공식적으로 LEDES를 제출하지 않았으나 최근 2060년 이전 탄소중립 달성을 선언하였다. 이를 토대

15) 출처: Climate Action Tracker [Internet] [cited 2020.03.10] Available from: <https://climateactiontracker.org/global/temperatures/>

16) 아래 사이트에서는 RCI 접근법을 적용하여 감축분담을 수행하고 있으며 현재 197개국을 대상으로 관련 자료를 구축하여 제공하고 있다. 출처: Climate Equity Reference Calculator [Internet] [cited 2020 .03.22]. Available from: <https://calculator.climateequityreference.org/>

로 2030 NDC 배출량에서 2060 탄소중립까지 연간 감축량이 일정하다는 가정하에 2050년 목표를 산정하였다. 한국의 LEDS는 현재 논의되는 5개 안(Lee et al., 2020)을 평가한다. 감축목표가 범위 또는 조건부 형식을 가질 경

우, 가장 의욕적인 목표(범위의 최솟값 또는 조건부)를 평가하였다. 본 연구의 평가대상 당사국(EU28, 미국, 중국, 일본, 한국, 멕시코)별 감축목표는 다음과 같다.

Table 4. Quantifying the mitigation targets of the parties to be analyzed

Party	2030 NDC		2050 LEDS	
	Target	Quantization (MtCO ₂ eq)	Target	Quantization (MtCO ₂ eq)
EU(a)	40% mitigation compared to 1990	3,242	Carbon neutral	0
EU(b)	55% mitigation compared to 1990	2,581		
USA	26~28% mitigation in 2025 compared to 2005	4,281~4,445	80% mitigation compared to 2005	1,317
China	60 to 65% less carbon intensity compared to 2005	12,632~14,737	Carbon neutral until 2060	4,912
Japan	26% mitigation compared to 2013	1,042	80% mitigation compared to the base year	281.6
S. Korea	37% mitigation compared to BAU	536	proposals 1~5	178.9~425.9
Mexico	25% mitigation compared to BAU, conditional 40% reduction	623(conditional)	50% mitigation compared to 2000	311

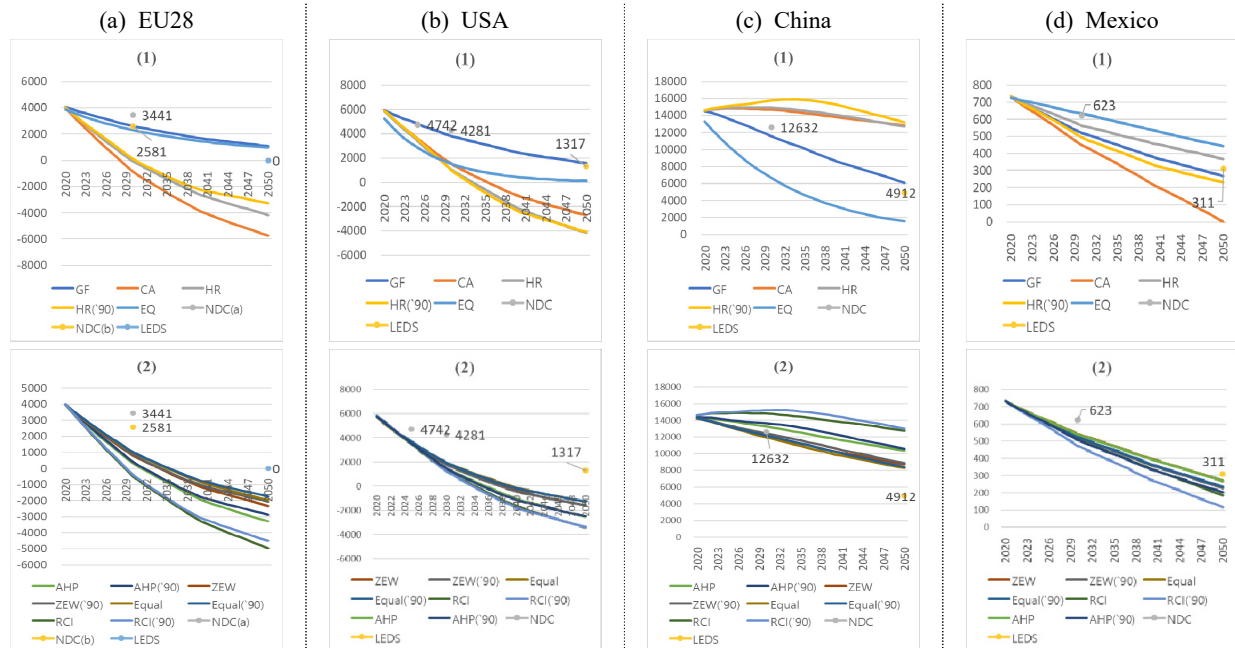


Fig. 3. Single(1)/Multi(2)-criteria mitigation pathways suitable for achieving 2°C (The points on the graph indicate the NDC and LEDS mitigation targets by country; unit: MtCO₂eq/year)

4. 연구결과

4.1 감축분담 결과

도출된 감축경로는 Fig. 3과 같이 주요국에 대해 단일 기준과 복합기준 기반 경로로 구분하여 정리하였다. 단일 기준 경로의 경우, 기준별 반영되는 요소가 상이하여 기준에 따라 개별 국가에 요구되는 노력 수준에 격차가 존재한다. EQ는 1인당 온실가스 배출량이 높은 국가(주로 선진국)에 급격한 배출량 감축을 요구한다. 반면, 1인당 배출량이 낮은 국가(주로 저개발국)에 부담이 적으며 저개발국가 중 일부에서는 기준경로보다 더욱 많은 배출량이 할당된다¹⁷⁾ Fig. 4와 같이 한국은 HR 기준에서 부담이 적고 가장 도전적인 기준은 CA이다. HR은 산업혁명 이후 지속적으로 온실가스를 배출한 선진국(EU28, 미국, 일본)에 높은 감축필요량이 분담되는 반면 누적배출량이 낮은 중국, 멕시코는 부담이 작다. 누적배출량 산정 시기를 1850년과 1990년 이후로 나누어 살펴본 결과, 최근 온실가스 배출량 상승 추세를 보이는 국가(한국, 멕시코)는 책임을 1850년부터 적용할 경우 상대적으로 부담이 적다. CA는 분담 기간 동안 높은 역량을 가지는 EU28, 일본, 한국에게 도전적인 기준이다. GF는 다른 기준에 비해 선진국은 부담이 적고 개도국에 상대적으로 불리하다. 선진국은 일반적으로 HR과 CA에 의한 부담이 상대적으로 크다.

여러 기준을 종합적으로 고려한 복합기준 감축경로에서는 단일기준에 기반한 결과에 비해 분석인들의 배출량 범위가 좁아진다. 단일기준별 배출량이 매우 상이하기 때문에 복합기준 감축경로에 따른 국가별 부담 정도는 각 기준에 부여되는 가중치에 따라 좌우된다. 미국과 EU 등 선진국은 GF 기준이 가장 유리하며 다른 복합기준 감축 경로보다 GF에 높은 가중치가 부여되는 “equal”에서 가장 많은 배출허용량을 가진다. HR과 CA 두 기준만을 고려하는 RCI는 중국의 부담이 적지만 EU는 가장 도전적이다. 중국의 2℃ 달성 RCI(90)는 2031년에 배출량 정점을 보인다. AHP는 HR에 가중치가 높아 한국에 가장 유리한 복합기준 감축경로이다.

Fig. 3에서 볼 수 있듯이, EU28, 미국은 중국이나 멕시코에 비해 감축경로와 목표 간 배출량 간극이 커 감축목표의 상향 필요성이 더욱 높아 보인다. 본고에서는 감축목표에 추가로 필요한 노력 수준을 나타내는 지표인 ARRI를 국가별로 살펴보고 시사점을 도출하였다.

4.2 국가별 중장기 온실가스 감축목표의 ARRI

감축목표 평가는 복합기준 감축경로에 대해서만 수행하였다. 아래 Table 5는 각 복합기준 감축경로에서 주요 당사국별 감축목표의 ARRI를 나타낸 것이다. 유의할 점은 EU에서 최근 상향조정된 NDC를 적용한 경우의 ARRI(b)가 기존 NDC를 적용할 경우의 ARRI(a)보다 높아지는 현상이 발생하는데 이는 분자(추가로 필요한 감축량) 저감에 비해 분모의 감소 효과가 더욱 크게 나타난 결과이다. 이 경우 목표는 상향되었으나 의욕성이 낮아 보이는 문제가 발생하여 이를 교정하고자 EU ARRI 도출식의 분모에는 공통으로 기존 NDC의 배출량을 적용하였다.

선진국(미국, 일본, EU28)은 공통적으로 매우 높은 ARRI를 가지는 반면, 중국은 대부분의 복합기준 감축경로에서 장기목표 달성에 근접하거나 적합한 것으로 나타난다. 복합기준 감축경로 중 ZEW와 equal은 원칙별 가중치 차이가 크지 않다. 두 감축경로에서 국가별로 정도의 차이는 있지만, 2℃를 달성하기 위해서 중국을 제외한 모든 당사국의 감축목표상향이 필요하며 1.5℃의 경우 더욱 그러하다. RCI는 네 가지 기준 중 HR과 CA만이 고려된다. 두 기준은 감축분담 결과가 일반적으로 중국과 같은 개도국에 유리하고 EU28나 미국과 같은 선진국에 불리하여, 도출된 ARRI의 국가별 격차가 복합기준 감축경로 중 가장 크다. RCI에서 중국 감축목표의 ARRI가 음의 값으로 2℃와 1.5℃ 달성에 모두 적합하지만, 선진국(EU28, 미국, 일본)은 매우 높은 ARRI를 가진다. AHP는 HR에 가중치가 높아 온실가스 누적배출량이 적은 한국과 같은 국가에서 다른 경로 대비 작은 ARRI를 가진다. 해당 경로에서 중국의 NDC는 지구적 2℃ 목표달성에 적합하며 LEDS의 경우 1.5℃ 달성에도 적합하다. 1850년부터 역사적 책임을 적용할 경우 한국 LEDS 1안도 2℃ 달성에 적합하다. EU는 기존 NDC의 ARRI가(a) 모든 복합기준 감축경로에서 가장 높았지만, NDC를 상향한 경우(b) 여타 선진국(미국, 일본)과 비슷하거나 낮은 수준을 보인다.

감축목표의 ARRI는 복합기준 감축경로별로 상이하다. 같은 책임 적용에서 ARRI를 살펴보면 선진국(미국, 일본, EU28)은 공통적으로 equal에서 가장 작고 RCI에서 가장 높다. 중국의 경우 이와 반대 상황을 나타낸다. 한국의 ARRI는 NDC의 경우 RCI에서 가장 낮고 equal에서 가장 높는데 2050 LEDS는 AHP에서 가장 낮고, RCI에서 가장

17) 지면의 제약으로 인해 본고에 기재되지 않은 국가의 자료는 사사에 제시된 문헌을 참고하기 바란다.

Table 5. ARRI of mitigation targets by parties according to multicriteria mitigation pathways

Temp.	ZEW								Equal							
	2℃				1.5℃				2℃				1.5℃			
	NDC		LEDS		NDC		LEDS		NDC		LEDS		NDC		LEDS	
Type	1850	1990	1850	1990	1850	1990	1850	1990	1850	1990	1850	1990	1850	1990	1850	1990
Resp.	1850	1990	1850	1990	1850	1990	1850	1990	1850	1990	1850	1990	1850	1990	1850	1990
USA	57.7	58.0	68.4	67.8	99.8	100.2	98.1	97.4	54.2	54.4	60.8	60.4	94.3	94.7	89.1	88.5
China	3.5	1.5	-30.2	-31.4	23.2	20.3	-11.1	-12.5	5.3	3.6	-26.7	-27.8	25.8	23.3	-7.2	-8.4
Japan	69.6	78.0	74.8	87.9	108.9	121.3	103.8	119.4	66.5	73.6	68.2	79.4	104.2	114.8	96.0	109.3
EU28(a)	76.6	75.0	67.2	59.6	124.5	122.1	103.9	94.9	71.3	69.9	56.8	50.3	116.6	114.5	91.5	83.9
EU28(b)	51.6	50.0			67.2	59.6			46.3	44.9			92.6	89.5		
S. Korea	17.5	21.6	30.6	39.4	47.2	53.3	59.4	69.8	17.9	21.5	30.4	37.9	47.7	52.9	59.0	67.8
Mexico	13.0	16.3	6.8	13.3	40.6	45.5	38.1	45.8	13.0	15.8	6.5	12.1	40.6	44.8	37.8	44.4
Average	37.3	39.0	54.3	57.2	64.2	66.2	86.0	89.4	36.0	37.4	48.1	50.5	62.1	63.9	78.6	81.5
	RCI								AHP							
USA	70.5	71.0	110.7	109.8	128.3	129.1	154.7	153.6	64.9	65.4	89.9	89.0	113.9	114.6	126.0	124.9
China	-17.3	-20.6	-62.1	-64.1	0.0	-5.0	-42.0	-44.4	-5.0	-8.1	-43.1	-45.0	13.5	8.0	-23.9	-26.1
Japan	95.2	109.4	130.5	152.9	150.3	171.5	172.7	199.3	73.6	86.9	86.0	107.0	116.0	135.8	118.2	143.0
EU28(a)	113.9	111.1	143.6	130.7	182.1	178.0	194.9	179.7	90.6	88.0	95.6	83.5	146.1	142.2	137.7	123.4
EU28(b)	88.9	86.1			157.1	153.0			65.6	63.0			121.1	117.2		
S. Korea	7.2	14.2	35.5	50.5	42.1	52.5	74.3	92.0	9.9	16.5	20.8	34.9	39.6	49.4	51.2	67.8
Mexico	18.6	24.2	20.2	31.3	46.9	55.3	49.1	62.3	13.5	18.8	6.9	17.3	40.6	48.5	36.4	48.8
Average	45.3	48.1	101.3	106.2	81.2	84.6	142.9	148.7	38.9	41.6	69.6	74.2	69.1	72.3	104.6	110.0

1) ARRI of South Korea LEDS is the average of five proposals

높다. 멕시코는 RCI에서 가장 높은 ARRI를 가진다. 이와 같은 결과는 기준별 배출허용량이 상이한 것이 가중치 부여를 통해 반영된 것이다.

같은 협상그룹에 속하는 당사국은 비슷한 ARRI를 가지는 것이 확인된다. 일본과 미국은 ‘엄브렐라 그룹(Umbrella Group)’에 속하며, 중국은 BASIC (Brazil, South Africa, China, India)에, 한국과 멕시코는 환경 건전성그룹(Environmental Integrity Group)에 속한다. 협상그룹이란 비슷한 상황에 있는 국가들이 집단으로 행동하여 자국의 의견을 더욱 효과적으로 개진하기 위해 구성된 협력체로 상황이 비슷한 국가는 ARRI도 그러한 것을 확인할 수 있다¹⁸⁾.

4.3 한국의 배출량 경로 및 감축목표 평가

아래 Fig. 4와 Table 6에서 볼 수 있듯이 한국은 감축분담에 가장 유리한 단일 기준은 HR이며 책임을 1850년부터 적용할 경우 더욱 유리해진다. 기준별 배출허용량 격차가 큰데 책임을 1850년부터 적용한 HR 감축경로에서 NDC와 LEDS(안) 모두 2℃ 목표 달성에 적합한 반면, CA와 EQ에서는 모든 감축목표(안)의 배출량은 분담 결과의 배출량을 초과한다. 복합기준 감축경로에서는 상대적으로 일관된 결과를 보인다. Table 6을 보면, 2℃, 1.5℃와 같은 목표 온도에 따라 ARRI가 가장 작은 경로의 종류가 바뀐다. ARRI가 가장 작은 2℃ 달성 경로는 NDC의 경우 RCI이고 LEDS의 경우 AHP이다. 1.5℃ 달성 경로에서는 두 감축목표 모두 AHP의 ARRI가 가장 작다. ARRI가 작다는 것은 요구되는 추가적인 감축 노력 수준이 낮은 것이다.

18) 같은 협상그룹에 속하는 국가는 비슷한 ARRI를 나타내지만 상황을 세부적으로 살펴볼 필요가 있다. 한국과 멕시코는 같은 협상그룹으로 역량이 높고 급격한 온실가스 배출량 증가를 보여 역사적 책임이 적다는 공통점이 있지만, 평등에서는 차이를 보인다.

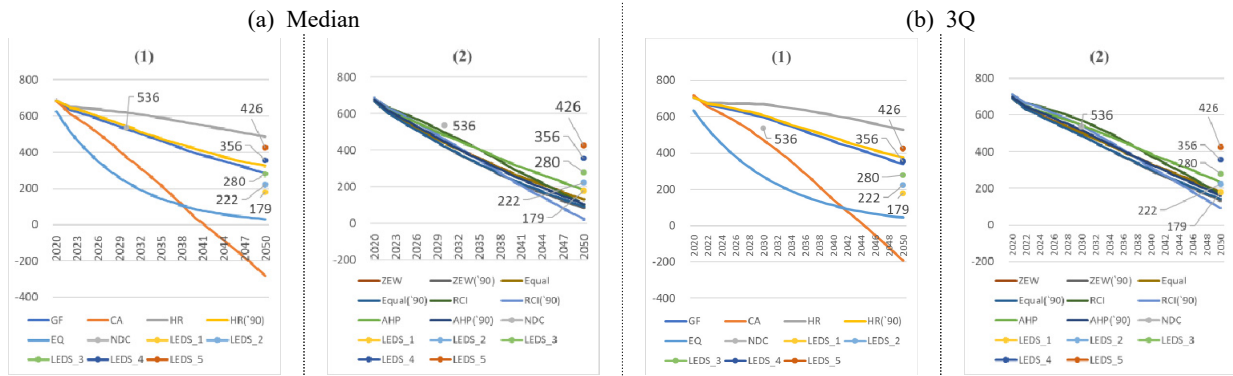


Fig. 4. Korea's Single(1)/Multi(2)-criteria mitigation pathways suitable for achieving 2°C (The points on the graph indicate the NDC and LEDES mitigation targets by country; unit: MtCO₂eq/year)

Table 6. ARRI of South Korea mitigation target

Global path	Median								3Q							
	2°C				1.5°C				2°C				1.5°C			
	NDC		LEDS		NDC		LEDS		NDC		LEDS		NDC		LEDS	
Responsibility	1850	1990	1850	1990	1850	1990	1850	1990	1850	1990	1850	1990	1850	1990	1850	1990
AHP	9.9	16.5	20.8	34.9	39.6	49.4	51.2	67.8	-1.7	3.6	11.1	24.3	35.6	45.1	43.8	59.8
ZEW	17.5	21.6	30.6	39.4	47.2	53.3	59.4	69.8	5.9	9.3	21.2	29.5	43.1	49.0	52.5	62.5
Equal	17.9	21.5	30.4	37.9	47.7	52.9	59.0	67.8	6.4	9.2	21.1	28.1	43.6	48.6	52.1	60.6
RCI	7.2	14.2	35.5	50.5	42.1	52.5	74.3	92.0	-6.5	-0.8	23.3	37.5	37.7	47.7	64.8	82.8

1) ARRI of LEDES is the average of five proposals

Fig. 4와 Table 6의 왼쪽 부분은 CAT가 제공하는 감축 경로의 중앙값을 적용한 결과이다. 이 경우, 우리나라 2°C 달성 복합기준 감축경로의 배출허용량 범위는 2030년 420 ~ 497 MtCO₂eq이며, 2050년은 22 ~ 181 MtCO₂eq이다. 이에 따르면 NDC는 모든 결과에 비해 감축량이 부족하고, LEDES는 AHP 경로의 1안만이 2°C 달성에 적합하다.

감축경로는 기본적으로 목표달성에 있어서 약간의 불확실성이 있으므로(Rogelj et al., 2018) 한국에 대해서는 다소 완화된 노력이 요구되는 경우를 살펴보았다. 전지구 감축경로에 CAT에서 제공하는 3Q 자료를 적용한 경우, 한국의 배출허용량 범위는 2030년과 2050년 각각 486 ~ 571 MtCO₂eq, 92 ~ 233 MtCO₂eq이다. 중앙값을 적용한 경우 NDC는 어떤 경로도 만족하지 못하였으나, 3Q에서는 RCI와 책임을 1850년부터 적용한 AHP에서 2°C 달성에 부합한다. LEDES의 경우 AHP에서 1안과 2안이, equal에서 1안이 2°C 달성에 적합하다. 오염자 부담 원칙에 편중된 가중치를 보이는 AHP에서 한국에 높은 배출량이 할당되는데

이를 통해 국내 전문가 집단의 가치체계가 결과적으로 우리나라에 유리하게 작용한 것을 알 수 있다.

앞의 Table 5에서 보였듯이, 한국 감축목표의 ARRI는 미국, EU28, 일본보다 낮고 중국보다 높으며 같은 협상그룹에 속하는 멕시코와 비슷하다. 한국 NDC의 ARRI는 2°C 달성 복합기준 감축경로 평균 15.8로 멕시코의 평균(16.7)과 비슷하다. LEDES의 경우 같은 조건에서 가장 의욕적인 1안이 평균 13.8로 멕시코(14.3)와 비슷하며 5안은 오히려 선진국(미국, 일본, EU28) 그룹에 가까워 1안이 의욕성 측면에서 뒤지지 않는 것으로 보인다.

2050 저탄소 사회 비전 포럼 (2020)에서는 자체적으로 여러 하향식 접근법을 적용하여 2°C 장기목표 달성을 위한 우리나라의 2050년 배출량 범위(-311 ~ 394 MtCO₂eq)를 제시하였다. 현재 제안된 LEDES 1안~4안이 해당 배출량 범위 내에 있는 것으로 보이지만, 제시된 배출량 범위가 상당히 넓고 해당 배출량 범위의 최댓값은 IPCC AR5의 아시아 지역 권고 감축률을 우리나라에 적용한 것으로

지역과 국가의 상황이 다르기 때문에 목표설정에 참고하기 어려워 보인다. 참고를 위해서는 목표설정에 기준이 되는 단일한 자료가 필요하지만 합의된 방법이 없는 만큼 적정 배출량을 특정하기 어렵다. 이와 같은 한계에도 본 연구에서 주요 감축분담 원칙을 종합적으로 고려하여 도출된 비교적 일관된 결과는 향후 감축목표의 조정 및 설정에 참고자료로 이용될 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구는 대표적인 감축분담 원칙들을 AHP와 기존 연구의 가중치 부여 방법을 통해 종합적으로 고려하여 협약의 모든 당사국을 대상으로 적정 배출량 범위를 도출하였다. 이를 이용하여 주요국의 중장기 온실가스 감축목표에 필요한 추가적 노력 수준을 자체 지표인 ARRI를 통해 비교·분석하였다. 분석 결과, 다음과 같은 시사점을 도출하였다.

정도에 차이는 있지만 중국을 제외한 주요국의 감축목표는 본 연구에서 도출된 대부분의 복합기준 감축경로에서 장기목표 달성에 부적합하며 더욱 진취적일 필요가 있다. 협약의 ‘공동의 그러나 차별화된 책임과 국가별 역량 (Common but Differentiated Responsibilities and Respective Capabilities)’ 원칙에 따라 각국은 상황에 알맞은 노력을 통해 장기목표 달성에 기여할 필요가 있다. 이에 따르면 모든 국가가 감축에 참여하며 비슷한 상황과 대응 능력을 가진 국가는 동등한 수준의 부담을 질 필요가 있다고 할 수 있다. 본 연구에서 산정된 ARRI는 같은 협상그룹에 속하는 당사국에 비슷한 값을 가지는 것이 확인된다. 협상그룹은 서로 비슷한 상황을 가지는 국가들의 협력체로 향후 감축목표 조정 및 설정에 비슷한 상황을 가진다고 판단되거나 같은 협상그룹에 속하는 국가의 ARRI를 목표에 대한 의욕성 판단 지표로써 참고할 수 있을 것이다.

EU28은 최근 NDC 목표 상향에도 불구하고 모든 복합기준 감축경로에서 미국, 일본 등과 같이 감축목표의 ARRI가 가장 높은 그룹에 속하였다. 이와 같은 결과는 EU가 협상에서 글로벌 리더로서 가장 높은 수준의 감축목표를 설정하는 등 선도적인 면모와는 다소 상반되는 결과이다. 반면, 중국은 국제적으로 가장 많은 온실가스를 배출하는 국가이며 배출량 증가율 역시 높아 우려가 높은 실정이지만, 본 연구의 평가대상 국가 중 가장 낮은 ARRI를 가지고 특히 LEDS는 모든 복합기준 감축경로에서 장기목표 달성에 충분히 의욕적인 것으로 나타났다. 향후 배

출량 증가의 대부분이 저개발국가에서 비롯될 것으로 예상되므로 협상에서 개도국을 대표하는 위치에 있는 중국의 선도적인 역할이 중요하다. NDC의 경우 1.5℃를 비롯한 장기목표 달성을 위해 보다 의욕적인 면모를 보여줄 필요성이 있으나, 중국의 최근 2060 탄소 중립 선언은 기후 위기 대응 진전에 추진력을 가질 것으로 사료된다.

본 연구의 결과, 한국의 NDC는 전지구 감축경로 중앙값을 적용한 경우 2℃ 달성에는 부합하지 않으며, 3Q를 적용하였을 경우 일부 복합기준 감축경로에 부합하는 것으로 나타난다. 한국의 LEDS는 전지구 감축경로 중앙값을 적용한 경우 제1안만이 AHP (1850)에서 2℃ 목표달성에 적합하며 요구되는 노력 수준을 완화할 경우 제2안까지도 해당 경로에서 그러하다. 한국의 감축목표가 타 국가 대비 의욕성 측면에서 뒤진다고 볼 수는 없지만, 감축목표가 대부분의 복합기준 감축경로에 부합하지 않는 것으로 보아 2030 중기목표 및 2050 장기목표(안)가 조금 더 적극적인 필요성이 있다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 본 연구에 이용된 감축경로와 기준경로, 자료는 추정치로 본질적으로 불확실성이 존재한다. 이에 대한 보완으로 한국에 대해서는 3Q에 대해서도 분석을 수행하였지만, 완전한 형태의 민감도 분석이라고 할 수는 없다. 향후 연구에서는 좀 더 체계적인 민감도 분석이 이루어지면 좋을 것으로 사료된다. 둘째, AHP 설문을 국내 전문가 집단을 대상으로 진행한 결과 우리나라에 유리한 결과가 도출되었다. 각국이 선호하는 원칙이 달라 가중치가 상이할 수 있으므로 향후 연구에서 이에 대한 보완이 필요할 수 있다. 위와 같은 한계에도 불구하고 본 연구에서 도출된 결과는 장기목표 달성을 위해 여러 규범적 관점에서 각국에 기대될 수 있는 노력 수준과 현재 감축목표가 어떻게 이해될 수 있는지에 대해 도움을 제공할 수 있을 것이다.

사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 환경산업기술원의 기후변화대응환경기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2016001300002).

본 논문은 고도연의 2020년 석사 학위논문 ‘복합지표를 이용한 국가별 중장기 온실가스 감축목표 평가: 하향식 접근법’에서 발췌 및 보완하였음.

References

- Baer P, Fieldman G, Athanasiou T, Kartha S. 2008. Greenhouse Development Rights: Towards an equitable framework for global climate policy. *Cambridge Rev Int Aff.* 21(4):649-669. doi:10.1080/09557570802453050.
- Böhringer C, Welsch H. 2006. Burden sharing in a greenhouse: Egalitarianism and sovereignty reconciled. *Appl Econ.* 38(9):981-996. doi:10.1080/00036840500399453.
- Cho YS, Kang YY. 2006. Analysis of Greenhouse Gas Emissions Allocation Schemes for OECD Countries. *J Environ Policy.* 5(1):1-24.
- 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.
- Forsell N, Turkovska O, Gusti M, Obersteiner M, Elzen M Den, Havlik P. 2016. Assessing the INDCs' land use, land use change, and forest emission projections. *Carbon Balance Manag.* doi:10.1186/s13021-016-0068-3.
- Gupta S, Bhandari PM. 1999. An effective allocation criterion for CO2 emissions. *Energy Policy.* 27(12):727-736. doi:10.1016/S0301-4215(99)00058-0.
- Höhne N, Den Elzen M, Weiss M. 2006. Common but differentiated convergence (CDC): a new conceptual approach to long-term climate policy. *Clim Policy.* 6(2):181-199.
- 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.
- Jansen JC, Battjes JJ, Ormel FT, Volkers CH, Ybema JR, Torvanger A, Ringius L, Underdal A. 2001. Sharing the Burden of Greenhouse Gas Mitigation : Final report of the joint CICERO-ECN project on the global differentiation of emission mitigation targets among countries.
- Kesternich M, LLSchel A, Ziegler A. 2014. Negotiating Weights for Burden Sharing Rules Among Heterogeneous Parties: Empirical Evidence from a Survey Among Delegates in International Climate Negotiations. *SSRN Electron J.*(14). doi:10.2139/ssrn.2436936.
- Klinsky S, Dowlatabadi H. 2009. Conceptualizations of justice in climate policy. *Clim Policy.* 9(1):88-108. doi:10.3763/cpol.2008.0583b.
- Ko DY. 2020. Evaluation of Mid to Long-term GHG Mitigation Targets by Country Using Composite Indicator : Top-down Approach. Sookmyung Women's University.
- 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.
- Lee SH, Kim DS, Choi YW. 2020. Key Contents of the 2050 Low Carbon Society Vision Forum Review.
- Mattoo A, Subramanian A. 2012. Equity in Climate Change : An Analytical Review. *World Dev.* 40(6):1083-1097. doi:10.1016/j.worlddev.2011.11.007.
- Menon S, Denman KL, Brasseur G, Chidthaisong A, Ciais P, Cox PM, Dickinson RE, Hauglustaine D, Heinze C, Holland E, et al., 2007. Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. *United States.* p. 499-587.
- Moellendorf D. 2002. *Cosmopolitan justice.* Westview

- Press.
- Moon JY. 2016. Burden-Sharing Analysis for GHG Reduction and Climate Finance Mobilization. *Korea Environ Policy Adm Soc.* 24(2):211-232.
- Oh JG. 2018. Comparative Analysis of the 2030 GHG Reduction Target for Eleven Major Countries and Its Implications. *J Clim Chang Res.* 9(4):357-368. doi:10.15531/kscrcr.2018.9.4.357.
- 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.
- Ramanathan R. 1998. A multicriteria methodology for global negotiations on climate change. *IEEE Trans Syst Man Cybern Part C Appl Rev.* 28(4):541-548. doi:10.1109/5326.725340.
- 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.
- Rogelj J, Shindell D, Jiang K, Fifita S, Forster P, Ginzburg V, Handa C, Kheshgi H, Kobayashi S, Kriegler E, et al., 2018. 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 Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change.*, p. 93-174.
- Rose A, Stevens B, Edmonds JAE, Wise M. 1998. International Equity and Differentiation in Global Warming Policy An Application to Tradeable Emission Permits. *Environ Resour Econ.* 12(1):25-51. doi:10.1023/A:1008262407777.
- van Ruijven BJ, Weitzel M, den Elzen MGJ, Hof AF, van Vuuren DP, Peterson S, Narita D. 2012. Emission allowances and mitigation costs of China and India resulting from different effort-sharing approaches. *Energy Policy.* 46:116-134. doi:10.1016/j.enpol.2012.03.042.
- UNEP. 2019. Emissions Gap Report 2019.
- Vaillancourt K, Waub JP. 2004. Equity in international greenhouse gases abatement scenarios: A multicriteria approach. *Eur J Oper Res.* 153(2):489-505. doi:10.1016/S0377-2217(03)00170-X.
- World Economic Forum. 2019. Global Risks Report 2019.
- 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.