

NF₃ 가스의 국가온실가스 규제 범주 포함에 대한 한국의 입장 모색: 국제규칙의 해석과 국내정책 적용 관점에서

오채운*[†] · 이민아**

*국가녹색기술연구소 정책연구본부 국가기후기술협력센터 책임연구원, **국가녹색기술연구소 정책연구본부 선임연구원

Exploration of Korea's national strategic position on including NF₃ gas within the scope of national greenhouse gas regulations: Interpreting and applying global rules domestically

Oh, Chaewoon*[†] and Lee, Mina**

*Principal Researcher, National Climate Technology Cooperation Center, Division of Policy Research, National Institute of Green Technology, Seoul, Korea

**Senior Researcher, Division of Policy Research, National Institute of Green Technology, Seoul, Korea

ABSTRACT

The Paris Agreement sets a rule to obligate all parties to submit national greenhouse gas (GHG) inventory reports on seven greenhouse gases: CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆, and NF₃. Developing countries are granted flexibility to report at least three gases—CO₂, CH₄, and N₂O—while the other four gases only need to be reported under specific conditions. Korea, which includes only six GHGs (excluding NF₃) in its national legal GHG definitions, has faced difficulty in directly applying the afore-mentioned global rule at the domestic level. Accordingly, this study, considering domestic circumstances in semiconductor and display-related industries, attempts to explore two questions: A) Can the flexibility rule for developing countries be applied to Korea? and B) To what extent can the global rule on reporting seven GHGs be applied to Korea's domestic policies, including i) the nationally determined contribution (NDC), ii) the national GHG inventory system, and iii) the emission trading system (ETS). The first question is examined through the interpretation of global rules by the country differentiation system under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and the Paris Agreement. The second question is explored through a comparison of policies of developed country parties (Japan, the EU, and the US), other parties (Singapore and Saudi Arabia), and developing country parties (China and Taiwan). The study concludes that Korea's national negotiation position of "other parties" can allow the flexibility rules to be applied to Korea. This research also suggests that Korea can include NF₃ in the national GHG scope, provided there is a de-linking between Carbon Neutrality Basic Law and Korea-ETS in the short-term.

Key words : Greenhouse Gas, NF₃, Paris Agreement, Global Rules, Transparency, Country Differentiation

†Corresponding author : chaewoon.oh@gmail.com (National Institute of Green Technology, 14th floor, Yeouido Post Tower, 60, Yeouinaru-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul 07328, Korea. Tel. +82-2-3393-3987) **ORCID** 오채운 0000-0003-1357-5519 이민아 0000-0001-5476-5234

1. 서론

삼불화질소(NF₃, nitrogen trifluoride) 가스의 법제화를 둘러싸고 2023년부터 우리나라에서 논의가 진행되어 왔다. NF₃ 가스는 반도체, 액정디스플레이(liquid crystal display), 태양전지의 제조공정 장비의 이물질 세척 시 사용하는 가스이다. 반도체 등 디스플레이 류는 매우 민감한 장치들이므로 이물질을 표면에서 제거할 때 이러한 가스를 사용하게 되므로, 이는 무색의 비(非)반응성 가스로, 일명 ‘세정가스’라고도 불린다(Media Hyosung, 2016). NF₃ 가스는 배출되었을 때 대기 체류시간은 569년으로 과불화탄소(PFCs) 가스의 2,600~50,000년보다 훨씬 낮으나, NF₃ 가스의 지구 온난화 지수(GWP, global warming potential)는 17,400으로 높다(Tsai and Tsai, 2023, p. 8). 이에 NF₃ 가스는 유엔기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)에 근거를 둔 교토의정서(Kyoto Protocol) 하에서 7대 온실가스 중 하나로 규정되었다. 그런데 우리나라 「저탄소 녹색성장 기본법」과 이어 등장한 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(이하, 탄소중립기본법)에서는 온실가스를 6대 온실가스인 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆)과 그 밖에 대통령령으로 정하는 것으로 규정하고 있다(KLIC, 2016, 2021).¹⁾ 즉 NF₃ 가스는 우리나라 법상 아직 온실가스로 규정되어 있지 않다.

그런데, 최근 NF₃ 가스에 대한 관심이 국내적으로 높아지고 있다. 그 이유는 바로 2015년에 채택되고 2021년부터 이행이 시작된 파리협정 하에서 모든 당사국들은 7대 온실가스의 배출(emissions)과 흡수원에 의한 제거(removals by sinks)에 대해 보고해야 한다고 결정되었기 때문이다. 물론, 파리협정 채택 이전에 이미 NF₃ 가스가 7대 온실가스로 규정되기는 하였다. 그런데 유엔기후변화협약 하에서 제출하는 국가 온실가스 인벤토리 보고서에 NF₃ 가스를 포함하는 것은 협약 하에서 감축 의무를 가진 ‘선진국’에만 해당되는 의무였다. 그런데, 파리협정에 따라 모든 당사국들이 NF₃

가스를 포함한 7대 온실가스를 보고하게 된 것이다. 이 경우, 우리나라 산업계는 경제적으로 상당한 부정적 영향을 받게 된다. 그 이유는 앞서 언급된 바와 같이 NF₃ 가스는 주로 반도체 및 디스플레이의 세정 가스로 활용되는 바, 반도체 생산국 중 하나인 한국(메모리, 파운드리)의 NF₃ 가스 사용량과 이로 인한 배출량도 많을 수 밖에 없다. 물론, 우리나라가 가장 많은 것은 아니고, NF₃ 가스 사용량이 가장 많은 나라는 대만(파운드리)이다.²⁾ 따라서, 전자산업 분야의 업체들이 NF₃ 가스 배출량 산정 및 보고 작업을 해야 할 뿐만 아니라 향후 배출저감 노력을 진행해야 하는 환경경제적 부담이 증가할 수 밖에 없다. 또한, 삼성전자나 SK하이닉스의 경우 메모리 단수 증가 및 공정 증가로 클리닝 공정이 증가하였고, 삼성 디스플레이의 QLED나 LG 디스플레이의 생산량이 늘어나면서,³⁾ NF₃ 가스의 사용량이 급증하고 있어(Bae, 2022), 우리나라에서 NF₃ 가스 배출은 더욱더 커질 것으로 예상된다. 더더군다나 NF₃의 대체물질이 없는 상황이다.

이러한 상황에서 2023년 우원식 의원이 NF₃ 가스를 온실가스에 포함시키자는 내용을 포함한 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 일부 개정법률안」을 국회에 대표발의 하였다(PSPD, 2023). 이에 대해 산업계에서는 개정 내용 삭제를 건의하였는데, 그 이유로 네 가지를 제시하였다. 첫째, 디스플레이 생산 증가에 따른 NF₃ 가스 구매량이 증가 추세에 있고, 둘째, NF₃ 가스의 대체물질이 부재하며, 셋째, 탄소중립 기본법과 배출권거래제 간의 연동으로 NF₃ 가스 배출 기업의 배출량 산정·보고 부담과 동시에 배출저감에 대한 부담이 발생하며, 넷째, 유럽연합(EU, European Union)의 배출권거래제의 경우 NF₃가 포함되어 있지 않다는 점이다. 이에, 산업부는 산업계 검토 의견서를 환경부에 전달했다. 이를 환경부 소관 상임위원회인 환경노동위원회에서 심의하였다. 2024년 5월 시점에서는 탄소중립기본법 개정에 대한 논의는 잠시 소강상태이나, 우리나라가 2024년 제출하게 될 국가 온실가스 인벤토리 보고서와 2025년 제출하게 될 제2차 국가결정기여(NDC, nationally determined contribution)에 NF₃ 가스

1) 저탄소녹색성장 기본법 제2조 9항에 따르면, “온실가스”란 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆) 및 그 밖에 대통령령으로 정하는 것으로 적외선 복사열을 흡수하거나 재방출하여 온실효과를 유발하는 대기 중의 가스 상태의 물질을 말한다”고 정의되어 있다(KLIC, 2016, Article 2.9). 탄소중립기본법 제2조 5항의 내용 역시 유사하다.

2) 반도체는 크게 ‘메모리’ 반도체와 ‘비(非)메모리/시스템’ 반도체로 구분된다. 비(非)메모리/시스템 반도체에 대해 해외에서 쓰는 용어는 로직칩(logic Chip)이다. 메모리는 스마트폰이나 컴퓨터에서 데이터를 저장하는 기능을 수행하는 데 비해, 비메모리 반도체는 입력된 데이터를 처리 및 연산하여 명령을 내리는 즉 전자 기기의 두뇌 역할을 한다. 파운드리는 비메모리 반도체를 생산하는 방식 중의 하나로, 반도체 설계 도면을 받아 생산 및 납품하는 것을 의미한다(Lee, 2019). 참고로 대만의 경우는 파운드리에 집중하고 있다.

3) QLED는 Quantum Dot Light Emitting Diode의 약자이다.

에 대한 사항이 포함될 것으로 예상된다.

사실, 파리협정 당사국총회의 결정문에 따라 ‘모든 당사국’들은 7대 온실가스를 모두 보고할 의무가 있으므로, NF₃ 가스를 우리나라에서 온실가스로 지정하는 것은 시기의 문제일 뿐 기정사실로 받아들여야 한다는 의견은 국내에서 이미 10년도 전에 나왔다(Gas News, 2009). 그럼에도 불구하고, 우리나라는 대응책을 아직까지 마련하지 못하고 있는 실정이다. 이 상황에서 산업계의 핵심 의견은 NF₃ 가스를 온실가스로 규정하게 될 경우, 사업장에서 NF₃ 가스 배출량 산정과 보고의 의무가 주어질 뿐만 아니라, 탄소중립 기본법과 배출권거래제 간의 연동으로 인해 NF₃ 가스가 배출저감 대상이 되어 기업에 부담이 된다는 것이다.⁴⁾ 이러한 산업계의 상황을 고려할 때, 우리나라는 파리협정 이행규칙에 기반한 ‘모든 당사국들의 NF₃ 가스를 보고해야 하는 의무’라는 국제 규칙을 국내 정책에 반영해야 하는지의 여부, 단기적으로라도 반영하지 않을 수 있는지의 여부, 그리고 반영하지 않는다면 이를 위한 대응 근거가 무엇이어야 하는지에 대한 전략적인 접근과 준비가 필요할 수 있다.

이러한 정책 전략을 도출하기 위해 동 연구는 먼저 제2장에서 NF₃ 가스를 둘러싼 국제 규제 현황을 살펴보고자 한다. 특히 유엔기후변화협약 하에서의 규제 규칙을 중심으로 설명할 예정이다. 다음으로, 제3장에서는 우선 NF₃ 가스 규제에 관한 기존 연구들을 개괄한다. NF₃ 가스 규제 정책에 대한 단독 연구가 많지 않은 바, F-가스를 중심으로 한 연구를 살펴본다. 그 결과, 유엔기후변화협약 및 관련 제도 하의 NF₃ 가스에 대한 국제 규칙을 국내 정책으로 반영하는 과정과 전략에 대한 연구는 부족하다. 이에 국제 규범·규칙을 국내 정책으로의 수용 및 확산에 대한 국제정치학 구성주의 이론의 연구들을 활용하여, 국제 규칙을 국내 현황에 맞게 재해석하고 국제 규칙을 우리나라 정책에 적용하는 부분에 초점을 두고자 한다. 이를 토대로, 제4장에서는 두 가지 측면을 분석하고자 한다. 첫째는 NF₃ 가스 배출에 대한 국제적인 보고 규칙과 관련하여 국제협상 국가 분류 상의 ‘여타 당사국(other Parties)’ 지위 차원에서 우리나라에 유리하게 해석할 수 있는지의 여부를 모색하고자 한다. 둘째는 NF₃ 가스 배출에 대한 국제 보고 규칙을 선진국, 개도국, 그리고 여타 당사국에 속하는 대표적인 국가들이 어떠한 수준으로 자국 정책에 반영하는지 살펴보고, 우리나라가 국내 정책에 반영하는 수

준에 대한 전략적인 방안을 모색하고자 한다. 이 결과를 토대로, 제5장에서는 분석 결과를 마무리하면서 정책 방향을 제시하고자 한다.

2. 배경: NF₃ 가스를 둘러싼 국제적 규제

NF₃ 가스란 상술된 바와 같이, 지구온난화지수가 높은 온실가스이다. NF₃ 가스를 둘러싼 기존의 규제를 크게 i) 국제 유엔기구, ii) 산업계, iii) 지역, 그리고 iv) 국제민간기구 레벨에서 살펴보겠다. 첫째는 국제 유엔기구 레벨로, 유엔기후변화협약 하에서의 규제이다. 먼저 1997년 채택된 교토의정서의 부속서A (Annex A)에 6대 온실가스가 규정되어 있다(KP, 1997, Annex A). 교토의정서에 따르면, 교토의정서 당사국들 중 부속서I (Annex I)에 속하는 당사국들은 부속서A에 열거된 온실가스에 대한 당사국의 총 이산화탄소 환산 배출량이 부속서B (Annex B)에 명시된 감축목표에 따라 계산된 할당량(assigned amounts)을 넘어설 수 없다(UN, 1998, Article 3.1). 여기서, ‘부속서I’ 당사국들은 1992년에 채택된 유엔기후변화협약에 대한 부속서 I 리스트에 포함된 국가로(UN, 1998, Article 1.7), 이는 ‘선진국’을 의미한다. 그리고 부속서I 리스트에 속하지 않는 국가는 자동적으로 ‘비(非)부속서I 국가’로 규정되며 이는 ‘개도국’을 의미한다. 따라서, 교토의정서를 채택 및 비준한 선진국들은 상기 6대 온실가스에 대한 국가 인벤토리를 구축하고 관련 보고서를 작성해야 하며, 이를 토대로 감축목표 달성 여부를 판별할 수 있다. 이후, 2012년 카타르 도하에서 개최된 제18차 당사국총회에서 NF₃ 가스가 7번째 온실가스로 지정되어 교토의정서 부속서A에 추가되었다(UNFCCC, 2012). 한편, 2014년 개도국을 대상으로 한 측정·보고·검증(MRV, measuring·reporting·verifying) 핸드북에서 국가 온실가스 인벤토리 보고서 작성 시 7대 온실가스 중 특정 가스의 배출량을 반드시 보고해야 한다는 내용은 부재한다(UNFCCC, 2014).

한편, 2015년에 채택되고 교토의정서를 대체하는 파리협정은 온실가스의 범주를 규정하고 있지 않다. 파리협정 제1차 당사국총회 결정문에 따르면, 각 당사국들은 「2006 IPCC 지침」을 활용해야 하는 의무가 있고, 이 지침에 따라 온실가스 배출량과 제거량을 보고해야 한다(UNFCCC, 2018a, para 20 & 47). 그런데, 국가 온실가스 인벤토리를

4) 산업계의 동 의견은 2023년 10월 25일 서울 트레이드타워에서 개최된 ‘반도체산업 탄소중립 글로벌 동향과 대응전략’ 컨퍼런스에서 비공개로 개최된 특별세션에서 언급된 사항이다. 동 특별세션은 NF₃ 관련 관리방향에 대한 산/학/연 논의가 목적이었다.

위한 IPCC 2006 지침에 포함되는 온실가스로는 7대 온실 가스 뿐만 아니라 SF₆, CF₄, 할로젠화 에테르 가스,⁵⁾ 그리고 몬트리올 의정서에서 커버되지 않는 할로카본 가스도 포함된다(IPCC, 2006, p. 5).⁶⁾ 핵심은 IPCC 2006 지침에 7대 온실가스가 포함되어 있다는 것이다.⁷⁾

또한, 파리협정 제1차 당사국총회 결정문에 따르면, 모든 당사국들은 7대 온실가스에 대해 보고해야 하는 의무가 있다(UNFCCC, 2018a, para 48). 이와 관련하여 국가 역량이 부족한 개도국에 대해서는 유연성이 담보된다. 파리협정 의무를 유연하게 적용하는 것이 필요한 개도국들은 최소 3개 온실가스인 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 그리고 아산화질소(N₂O)에 대해서는 반드시 보고해야 한다. 다음으로 i) 파리협정 제4조에 기반하여 국가결정기여(NDC) 상에 포함되거나, ii) 파리협정 제6조(탄소시장 관련) 상의 활동에 속하거나, iii) 또는 기존에 이미 보고된 바가 있는 F-가스(HFCs, PFCs, SF₆, NF₃)에 대해서 보고해야 한다(UNFCCC, 2018a). F-가스에 대해 보고하는 각 국가는 해당 가스별로 실제 배출량을 보고해야 하며, 화

학물질(예: HFC-134a) 및 범주 별로 질량 단위 및 CO₂eq 단위로 세분화된 데이터를 제공해야 한다(UNFCCC, 2018a, para 49). 또한, 각 당사국은 단기적인 기후요인 오염물질에 대한 정보를 제공해야 하는 의무(should)도 갖는다(UNFCCC, 2018a, para 51). 파리협정 하에서 국가 지위에 따른 온실가스 보고 의무를 정리하면 다음의 Table 1과 같다.

그런데, 여기서 주목할 점은 파리협정은 기후변화 행동에 있어서 기본적으로 선진국과 개도국 구분 없이 ‘모든 당사국’의 행동을 요구한다는 점이다. 이에, 국가의 의무를 설명할 때 대부분 모든 당사국들(all parties), 당사국들(parties), 또는 각 당사국(each party)으로 표현된다는 점이다. 또한, 기후행동에 앞장서는 주체 그리고 지원(support)의 제공자와 수혜자를 구분하기 위해, 선진국(developed country parties), 개도국(developing country parties), 그리고 여타 국가(other parties)의 구분이 이루어지고 있다. ‘선진국’은 기후행동을 주도하는 주체이자 재정·기술·역량배양에 대한 지원을 제공하는 주체이다. ‘개도국’은 지원을

Table 1. Reporting obligation on GHGs by country category under the Paris Agreement

Country category	Obligation
All parties	(para 48) Each Party shall report seven gases (CO ₂ , methane (CH ₄), nitrous oxide (N ₂ O), hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs), sulfur hexafluoride (SF ₆) and nitrogen trifluoride (NF ₃)).
	(para 49) Each Party reporting HFCs, PFCs, SF ₆ and NF ₃ shall report actual emissions of the gases, providing dis-aggregated data by chemical (e.g. HFC-134a) and category in units of mass and in CO ₂ eq.
	(para 51) Each Party should provide information on the following precursor gases: carbon monoxide (CO), nitrogen oxides and non-methane volatile organic compounds (NMVOCs), as well as sulfur oxides.
Developing country parties	(para 48) Those developing country Parties that need flexibility in the light of their capacities with respect to this provision have the flexibility to - instead report at least three gases (CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O) - as well as any of the additional four gases (HFCs, PFCs, SF ₆ and NF ₃) that → i) are included in the Party’s NDC under Article 4 of the Paris Agreement, → ii) are covered by an activity under Article 6 of the Paris Agreement, → iii) or have been previously reported.

Source: Formulated by the authors on the basis of paras 48-29 of UNFCCC (2018a)

5) 할로젠화 에테르 가스의 예시로는 C₄F₉OC₂H₅, CHF₂OCF₂OC₂F₄OCHF₂, CHF₂OCF₂OCHF₂가 있다.

6) 할로카본 예시로는 CF₃I, CH₂Br₂, CHCl₃, CH₃Cl, CH₂Cl₂이 있다.

7) IPCC 2006 지침에 따르면 Tier 1 방법은 기업별 자료를 구하기 어려워 기체별 배출량을 알 수 없는 경우 제조되는 전자제품의 종류에 따른 배출계수를 활용하여 산정한다. Tier 2는 공정기체별(2a) 또는 공정 유형별(2b) 입력변수에 따라 산정하는 방법이며, Tier 3는 Tier 2의 공정유형별(2b)의 산정식과 동일하나 개별 공정과정에 대한 기업별/공장별 수치가 필요하다(MOE and KECO, 2008).

Table 2. Obligation differentiation by country category under the Paris agreement

Country category	Expression	Meaning
All parties	All parties, parties, each party	Obligation is born by all parties equally
Developed countries	Developed country Parties	Parties who need to take a lead in bearing and implementing obligations and also need to provide support to developing countries.
Other parties	Other Parties	Parties which are not developed countries but can voluntarily provide support to developing countries.
Developing countries	Developing country Parties	Parties who need to make efforts in implementing obligations and also need to receive support

Source: Formulated by the authors on the basis of the Paris Agreement (UN, 2015)

받는 수혜자이다. 그리고 ‘여타 국가’는 선진국과 개도국의 중간적 개념으로 개도국이나 선진국과 같이 지원을 제공하는 국가라고 해석될 수 있다. 이를 정리하면 Table 2와 같다. 즉, 유엔기후변화협약/교토의정서와는 달리, 파리협정은 선진국과 개도국을 구분하고 부속서I와 비부속서I로 해당하는 국가 리스트를 작성하지 않는다. 국가 구분을 두지 않고 모든 국가의 이행 노력을 부과하는 대신 국가의 자기 결정성(national determinedness)을 강조한다(UN, 2015, Article 3). 따라서, 파리협정 하에서 당사국들은 스스로가 어떤 국가인지에 대해서 규정을 내리고 이에 따라 협상에 참여하거나 또는 국가적으로 부여된 의무를 이행한다.

둘째, 산업계 차원에서, 세계 반도체 협회(World Semiconductor Council)에서는 PFC 가스에 대해서는 2010년 배출량 대비 2020년까지 온실가스 배출량 30%를 저감하는 자발적 목표를 세웠다(IPCC, 2022, p. 1390; WSC, 2017). 다만, NF₃ 가스에 대해서는 별도 저감 목표는 없고, NF₃ 가스를 저감하기 위한 기술로 고온 온실가

스 분해 설비 가스 사용량 최적화, 가스 대체, 재순환 등이 있으며, 대부분의 반도체 기업은 분해설비를 도입하거나 가스 사용량 최적화 기술을 주로 적용하고 있다(KSIA, 2024). 우리나라의 경우, NF₃ 가스는 국가 온실가스로 규정되지 않았기 때문에 반도체 업계에 대한 NF₃ 가스 대상 별도의 감축목표나 규제가 존재하지 않는다. 반도체 산업계에서는 식각(etching) 및 증착 챔버 세척(deposition chamber cleaning)에 HFC, PFC, SF₆, NF₃를 사용한다(EPA, 2019; IPCC, 2022, p. 1390).⁸⁾

셋째, 지역 규제 차원에서, 유럽은 불소계 온실가스에 관한 규정에 따라 NF₃를 포함한 23종류의 F-가스 배출량을 2030년까지 1990년 수준 대비 55%, 2050년까지 100%로 감축하고자 한다.⁹⁾ 특히 F-가스를 사용하는 기업은 최소 5년 동안 보고 문서를 보관해야 하는 등 보고 요건이 엄격하다(EPC, 2024). 예를 들어, 수소불화탄소(HFC)에 대해서는 연도별 역내 출시량에 대한 중단기 목표를 상향 조정하였다. 또한, F-gas가 사용된 제품의 라벨링 부착이 의무화되었다(EPC, 2024). 한편, 미국의 경우, 연간 25,000톤 이상 배출하는 시설 대상으로 온실가스 보고 프로그램(GHGRP, greenhouse gas reporting program)에 따른 NF₃ 보고 의무를 지우고 있다(EPA, 2024). 일본은 화학물질관리법(Chemical Substances Control Law)에 따라 NF₃ 규제를 하고 있으며 제조 및 수입 업체는 NF₃를 수입하는 용도에 대한 자세한 정보를 제출해야 하는 등 엄격한 보고 기준 및 관리절차를 가지고 있다(CIRS, 2024; NITE, 2024). 한편, 덴마크, 노르웨이, 슬로베니아, 스페인에서는 F-gas에 대해 세금을 부과하고 있다(IPCC, 2022, p. 1390).

넷째, 국제민간기구에서 온실가스 산정 및 보고에 대한 지침을 수립하고 있는데, 여기에 NF₃ 가스가 포함되어 있다. 먼저, 국제표준기구(ISO, International Standard Organization)는 온실가스 배출 및 제거의 산정·보고·검증을 위한 조직 차원의 원칙·지침·요구사항을 명시한 ISO 14064를 수립하였다(IGC, 2022). 이는 기업의 탄소발자국을 설정하기 위한 기초이다. ISO 14064는 조직으로 하여금 NF₃ 가스 배출량을 산정하여 온실가스 인벤토리에 포함하고, NF₃ 배출에 대한 지속적인 모니터링과 정기적 보고를 요구한다. NF₃ 배출저감 사업도 ISO 14064-2에 따라 계획 및 문서화되어야 한다. 따라서, NF₃ 가스를 세정가스로 활용하

8) 우리나라 「대기환경보전법 시행규칙」 <별표 8>에 반도체 및 기타 전자부품 제조시설 중 사업장에서 배출되는 불소화합물(즉 불소로서) 총 배출 농도에 대한 배출허용기준이 지정되었는데, 이것이 NF₃ 배출을 규제하는 유일한 법령이다(Park and Kim, 2024, p. 210). 물론, NF₃ 가스에 대한 별도의 배출허용기준이 아니라 NF₃를 포함한 불소화합물에 대한 기준이다.

9) 규정은 Regulation (EU) No 517/2014이다.

는 반도체 업계의 경우, ISO 14064에 따라 NF₃ 가스 배출에 대한 모니터링, 산정, 보고, 감축 사업 이행, 결과 인증 등을 실시해야 한다. NF₃ 가스 생산·공급하는 업체의 경우, 역시 ISO 14064 기준에 근거하여 NF₃ 가스의 취급, 사용, 그리고 폐기 방법이 NF₃ 가스 배출을 최소화해야 한다. 다음으로, 세계자원연구소(WRI)와 세계지속가능발전기업협의회(WBCSD)가 기업의 온실가스 배출량의 산정 및 보고를 위해 수립한 국제표준으로 GHG 프로토콜(GHG protocol)이 있다(WRI, 2024). NF₃ 가스가 GHG 프로토콜 신규 개정안에 2013년 포함됨에 따라, 기업들의 자체 운영 또는 공급망 상에서 발생하는 NF₃ 가스 산정량을 기업 인벤토리에 반영해야 한다(Russel, 2013). ISO 14064나 GHG 프로토콜은 민간국제기구가 수립한 지침이나, 선진국 기반 다국적 기업이 공급망에 존재하는 기업들 대상으로 ISO 14064 지침 준수를 요구할 경우, 공급망 상의 기업들은 NF₃ 가스에 대한 산정 및 보고를 진행해야 하므로 규제적 역할을 한다고 볼 수 있다.

이를 종합하면, NF₃를 둘러싼 규제는 국가 차원에서는 국가 온실가스 인벤토리 구축과 관련하여 파리협정 하의 NF₃ 가스 배출량을 산정·보고하는 규칙이 핵심적이다. 물론 국제 민간기구의 자체적인 온실가스 산정·보고지침이 기업 ESG와 공급망 관리 차원에서 진행될 경우, 국가 차원의 규제보다 훨씬 강력한 규제 접근법으로써 역할을 할 것으로 보인다. 따라서, 현재로서는 우리나라의 NF₃ 가스를 사용 및 배출하는 주요 산업계의 상황을 고려하여 파리협정 국제 규칙에 대해서 우리나라가 어떻게 해석하고 국내 정책에 어떻게 반영해야 하는가에 대한 전략적인 고민이 필요한 시점이다. 이러한 배경을 토대로, 다음 섹션에서는 NF₃에 대한 기존 연구를 살펴보고, 국제 규칙/규범의 해석과 국가 정책에 대한 기존 연구 및 방법론에 대해서 살펴보려고 한다.

3. 기존 연구 및 분석틀

NF₃ 가스에 대한 기존 연구를 살펴보면, 기술적 연구는 상당하나, 이 가스의 규제를 다룬 정책 연구는 많지 않다. 정책 연구의 경우 대부분 F-가스 전체를 다루며, 이 경우 NF₃ 가스가 포함되기도 하고 포함되지 않는다. 특정 F-가스에 대한 배출과 정책에 대해 다룬 연구도 대부분 HFCs

나 PFCs 가스를 다루고 있다. 특히, HFC 가스의 경우, 교토의정서 하의 청정개발메커니즘 제도 하에서 HFC 가스 배출을 저감하기 위한 감축사업이 계획 및 이행되었으나, HCFC 가스를 생산 또는 배출하는 사업자가 HFCs 가스 배출을 저감하여 획득하는 감축 결과물(배출권/크레딧)을 더 많이 확보하기 위해 HCFCs 가스를 더 많이 생산하는 왜곡된 인센티브로 인해 ‘시장 메커니즘의 실패’가 발생한 현상에 대한 연구들이 있다(Iordache et al., 2021; Schneider, 2011). 또한, HFC 가스는 오존파괴물질(ozone depleting substance)이 아님에도 불구하고 오존파괴물질인 HCFCs의 대체제로서 활용되는 바, 오존층 보호를 위한 국제 제도(키갈리 의정서) 하에서 HFC 가스를 규제하는 내용에 대한 연구들이 있다(Birmpili, 2018; Sun and Ferris, 2018). 특히, 유럽연합 내에서 HFC 가스 규제를 위한 향후 정책 방향을 제시한 연구도 있다(de Graaf et al., 2021). 그와 비교해, NF₃ 가스에 한정된 정책 연구는 상대적으로 굉장히 빈약하다.

NF₃ 가스의 배출 현황과 배출저감 정책 연구를 살펴보면, NF₃ 가스는 단독으로 연구되기 보다는 F-가스의 일부 분으로 포함되어 연구되고 있다(Sovacool et al., 2021). F-가스에 대한 연구의 경우, 국가 차원에서 이루어지는 F-가스의 배출 현황과 이에 대한 규제정책 현황을 기술한 연구가 있다. 국내 연구로는 대표적으로 유럽연합(EU)과 한국의 규제정책을 비교한 연구로, 이는 우리나라가 EU의 F-가스 규제정책을 따라가고 있으며, 대기환경보전법 및 기타 관련 법률이 개정되나 F-가스 전체를 아우르는 통합성의 문제가 존재하고,¹⁰⁾ 피규제자의 F-가스 배출저감 노력에 대한 미약한 경제적 보상, 규제 위반에 대한 제재의 유효성에 대한 의문 등이 존재하는 바, 보다 종합적인 F-가스 감축전략을 담은 법률적 장치의 필요성을 언급한 연구가 있다(Han and Lim, 2018). 다른 나라 연구를 살펴보면, 대표적으로 대만 정책에 대한 연구가 있는데, NF₃ 가스에 대한 별도 정책 연구보다는 NF₃ 가스를 포함한 F-가스 전반에 대한 배출 추세를 보여주고, F-가스 배출 감소 추세를 대만 정부의 규제와 산업계의 자발적 감축 노력에 기인한다고 설명하고 있다(Tsai and Tsai, 2023). 정부 규제 요건으로는, 2018년 개정된 대기오염통제법 하에서 6대 온실가스가 대기오염 물질로 공표되었고, 2023년 2월 기후변화대응법이 통과되었는데,¹¹⁾ 이 법에는 NF₃를 포

10) 한국의 법률 시스템에 의해 명확히 규제되지 않는 일부 가스와 산업분야가 존재한다.

11) 이는 2015년에 통과된 온실가스 감축 및 관리법을 대체한다.

함한 7대 온실가스와 추가적으로 다른 온실가스가 지정되었다. 또한, 폐기물 관리법에 따라, 재활용 기업은 F-가스 회수 장비와 저장탱크를 설치해야 한다는 정책 방향성이 포함되어 있다(Tsai and Tsai, 2023).¹²⁾ NF₃ 가스 규제를 우리나라에 적용하는 연구는 아주 최근으로 국내 반도체 및 디스플레이 기업들의 NF₃ 배출량을 추산하여 대한민국 NDC에 미치는 영향을 파악하고,¹³⁾ 우리나라 현행법상 NF₃ 규제 현황을 조사하였으며, NF₃ 가스의 대체 및 저감 기술의 현황을 파악하는 시도가 있었다(Park and Kim, 2024). 동 연구 결과 NF₃ 배출량 추산값 총합이 2030년 산업 부문 온실가스 배출량 목표치의 2.066 ~ 2.233%에 달하는 것으로 나왔다.

정리하면, F-가스 전반에 대한 기존의 정책 연구의 경우, 특별한 연구 방법론이 적용되기보다는 F-가스 배출 현황, 정책·법 수립 현황, 이행 현황, 향후 배출 및 관리 전망 등에 대해 정리·서술하는 방식을 취하고 있다. 더더군다나, 단독의 NF₃ 가스에 대한 국가 단위의 배출 현황과 규제에 대한 연구는 많지 않다. 특히, 본 연구에서 중점을 두고 있는 NF₃ 가스 규제를 위한 국제 규칙을 국내정책에 반영하는 수준·현황·전략에 대한 연구는 미미하다. 즉, ‘국제 규범·규칙’을 국가가 어떻게 ‘해석’해야 하는가와 동시에 국제 규범·규칙을 국가의 ‘국내정책’에 어떠한 수준으로 ‘반영’해야 하는가에 대한 연구는 찾기 어려웠다. 이러한 국제 제도(규범 및 규칙)에 대한 해석과 이에 대한 국내 정책에의 반영에 대한 연구는 주로 국제정치학의 구성주의(constructivism) 이론을 중심으로 국제 규범·규칙을 정의하고, 이 국제 규범·규칙이 국가 또는 지역 레벨에서 확산 및 적용되는 수준, 과정/메커니즘, 원인을 모색하는 방식을 취한다. 이에, NF₃ 가스에 대한 국제 규칙이 국내 적용에 대한 연구를 위해서는 구성주의에 기반한 국제규범 연구 방법론을 살펴볼 필요가 있다.

국제정치학의 구성주의 이론에서는, 국제제도를 구성하는 규범(norms)과 규칙(rules)과 관련하여, 규범은 “권리와 의무에 관해 규정된 행동의 기준”이며, 규칙은 “행동에 대한 구체적인 규정사항 또는 금지사항”이다(Krasner, 1982, p. 186). 국제제도의 효과성은 행위자들, 즉 당사국들이 이 규범·규칙을 준수할 때 발생한다. 즉 국제 규범·규칙이 당사국의 국내 정책에 반영되고 이행되어야 한다는 것이다. 따라서, 국제 규범·규칙과 당사국 간의 상호작용 프로세스

가 중요하게 부각되었고, 이에 대한 연구는 Acharya(2004)에 따르면 세 가지로 구분될 수 있다. 첫째, 동일한 국제 규범·규칙이 다양한 국가들에 확산되는 것에 대한 연구이다. 이는 국제 규범·규칙을 형성하고 이를 당사국들에 확산하는 데에 있어 국제기구의 역할에 주목한다(Finnemore, 1993). 둘째는 국제적인 규범·규칙이 국가 레벨에서 수용 및 제도화되는 과정에 초점을 둔 연구이다. 연구의 핵심 질문은 국제적인 규범·규칙이 수립되어도 국가들이 이를 자국 내에 반영하는 수준이 국가마다 다른 원인이 무엇인 가이다. 이러한 수용 수준이 국가마다 다양한 이유는 국제 규범·규칙과 기존에 존재하는 국내 규범·규칙·관행 간의 마찰로 설명된다(Finnemore and Sikkink, 1998). 즉, 국제 규범·규칙이 국내에 반영되는 수준은 국내 규범·규칙·관행 간의 정합성 정도(degree of fit)에 따라 달라진다고 본다(Finnemore and Sikkink, 1998). 이러한 정합성을 높이기 위한 행위자의 노력과 관련해서, 크게 두 가지 수단이 연구되었는데, 하나는 국제 규범·규칙의 “국내적 중요성(domestic salience)”이며, 다른 하나는 “국내 구조(domestic structure)”이다(Cortell and Davis, 1996, p. 454). 여기서 ‘국내적 중요성’은 주로 국내 정치적 상황에서의 합법성(legitimacy)에 기인한다. 즉, 당사국의 의사결정자 또는 정부관료가 해당 국제 규범·규칙을 i) 자국의 국민 또는 사회적 행위자들의 믿음과 가치체계에 주입하거나 ii) 행정기관의 운영 절차 표준에 따라 진행하는 역할을 수행할 때, 국제 규범·규칙에 대한 국내적 합법성이 획득되고 이에 따라 국제 규범·규칙이 반영될 가능성이 증대되는 것이다(Cortell and Davis, 1996, p. 453). 그리고, ‘국내 구조’는 의사결정 권한을 가진 조직과 국가-사회 관계 유형을 의미한다. 특히, 의사결정 권한을 가진 조직은 해당 이슈에 관련된 행정기관, 부처, 그리고 다른 정부 기관의 개수에 기반하여 중앙집중형과 분산형으로 다양할 수 있다. 국가-사회 관계 유형은 사회적 행위자들에게 국가가 해당 이슈의 정책 수립에 접근 및 참여하는 권한을 부여하는 수준에 따라 다양할 수 있다. 국가-사회의 관계유형이 중앙집중형일 때 보다 분산형일 때 국제 규범·규칙의 수용 및 확산의 가능성이 증대될 수 있다(Cortell and Davis, 1996, p. 454). 셋째는 자국 내에서 규범·규칙을 수용할 수 없는 바 국제적 레벨에서 국제 규범·규칙에 대한 대안적인 해석을

12) 저장탱크는 에어컨 냉매 그리고 냉장고 발포단열 시스템의 발포제를 대상으로 한다.

13) 동 연구에서 국내 반도체 및 디스플레이 기업의 NF₃ 배출량을 추산할 때, NF₃를 사용하는 공정에 각 업종의 최적가용기업 기준서예 명시된 통합공정도를 활용하였다.

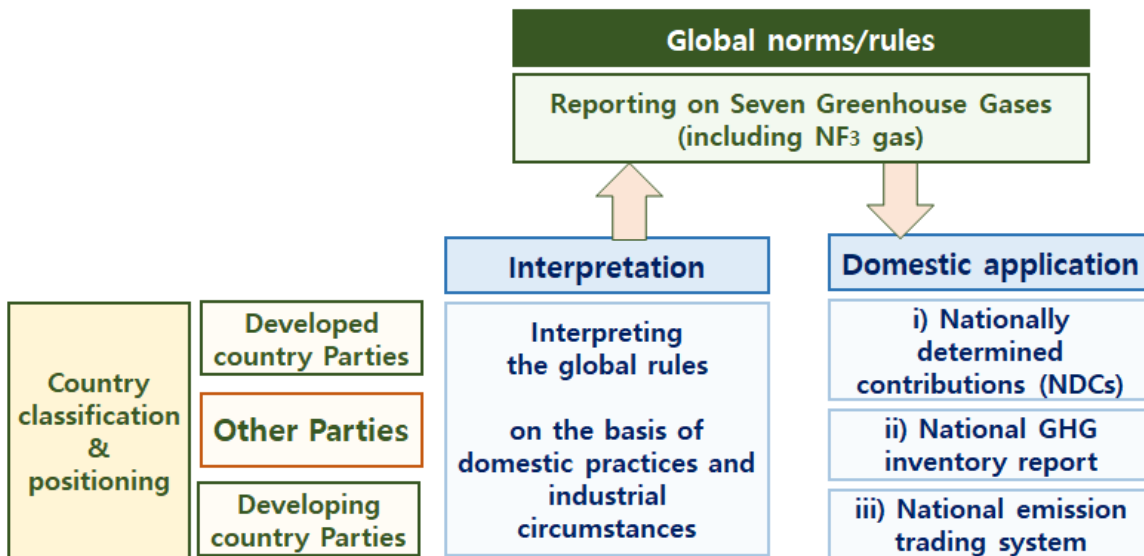
제시하거나 또는 대체하는 새로운 국제 규범·규칙을 제시하는 프로세스에 대한 연구이다. 즉, 국제 규범·규칙을 자국에 유리하게 재구성(reconstruction) 또는 지역화(localization)하는 것이다. 이는 당사국이 기존의 국가 또는 지역의 신념과 관행에 기반하여 국제 규범·규칙을 재해석하고 경쟁적인 또는 대체적인 해석 또는 규범·규칙을 제시하는 것이다(Acharya, 2004).

동 연구는 NF₃ 가스를 둘러싼 국제 규제에 대해서 우리나라가 이에 대해서 우리나라 입장 차원에서 어떻게 해석하고 이를 국내정책에 반영해야 하는가를 모색하고자 하므로, 앞서 언급된 국제정치학 구성주의 이론에 입각한 국제 규범·규칙 확산 연구에서 두 번째와 세 번째 연구를 활용할 수 있다고 본다. 먼저, 우리나라의 NF₃ 가스를 활용하는 산업계가 경제적으로 비용 부담으로 인한 부정적 영향을 받을 수 있다는 점과 산업계에서 NF₃ 가스를 대체하는 물질이 부재하다는 물질적인 측면을 고려하여 국제 규칙을 우리나라에 유리하게 재구성하는 해석과 국내 적용 수준에 대해 고찰해 보고자 한다.

현재 우리나라가 당면한 핵심 질문은 두 가지이다. 첫째는 NF₃ 가스 배출에 대한 국제적인 보고 의무 규칙을 어떻게 해석하고 대응해야 하는가이다. 보다 구체적으로는, 파리협정 당사국총회의 결정문에서 ‘개도국’에만 주어지는 ‘유연성 조건’ 규칙이 우리나라에도 적용될 수 있는가의

문제이다. 둘째는 NF₃ 가스 배출에 대한 국제 보고 의무 규칙에 대해서 국내에 적용하는 수준에 대한 문제이다.

먼저, 첫 번째 연구 질문에 대해서는 모든 국가를 대상으로 한 규칙과 개도국에 주어지는 유연성 규칙이 구분되는 바, 우리나라가 스스로 어떠한 국가 유형으로 구분 또는 규정하는가에 따라 국제규칙의 해석이 달라질 수 있다. 이에, 파리협정 하에서의 국가 구분 카테고리인 ‘선진국’, ‘개도국’, ‘여타 당사국’ 중에서, 우리나라는 파리협정 하에서 국제협상 시 여타 당사국으로 스스로 규정하고 있는 바, 이 위상에서 유연성 규칙이 우리나라에 적용될 수 있는지를 해석해 보고자 한다. 다음으로 두 번째 연구 질문인 NF₃ 가스 배출에 대한 국제 보고 의무 규칙에 대해서 국내에 이를 적용한다고 가정했을 때 그 적용 수준과 관련해서, NF₃ 가스를 상당한 수준으로 배출하는 국가들이 자국 내 정책에 대해서 어떻게 반영하고 있는가를 살펴보는 것이 중요하다. 이를 위해 앞서 국가 구분 카테고리인 선진국, 개도국, 그리고 여타 당사국에 속하는 대표 국가들을 중심으로 살펴보고자 한다. 이들이 자국 내 적용하는 국내정책으로는 i) 국가결정기여(NDC), ii) 국가 인벤토리 시스템, 그리고 iii) 배출권거래제로 설정하고자 한다. 이에 대한 사항은 다음의 Fig. 1과 같이 정리될 수 있다.



Source: Formulated by the authors

Fig. 1. Analytical approach

4. 분석

4.1. 파리협정 하 국가 구분 규칙에 대한 해석

유엔기후변화협약의 선진국과 개도국을 구분하는 부속서I-비(非)부속서I 국가 분류 시스템 상에서, 우리나라는 비(非)부속서I로 구분되어 ‘개도국’ 지위를 누려왔다. 이에, 2020년까지 국제 기후변화행동의 주축이 된 교토의정서 하에서도 ‘개도국’ 지위로서 온실가스 감축 의무 부담을 지지 않았다. 이렇게 교토의정서/유엔기후변화협약이 선진국과 개도국을 구분하는 근거는 ‘공통의 그러나 차별화된 책임(common but differentiated responsibilities)’ 원칙이다. 이에, 기후 행동(actions)과 지원(support)에 대해 측정·보고·검증(MRV, measurement·reporting·verification)하는 투명성(transparency) 체계 역시 선진국과 개도국을 구분하고 이원화된 체계로 발전되었다. 이에, 부속서I에 속한 선진국은 4년 주기의 국가보고서(national communication), 2년 주기의 격년보고서(Biennial Report), 그리고 1년 주기의 국가 인벤토리보고서(National Inventory Report)를 제출하고 별도의 평가 시스템을 거친다. 한편, 비부속서I 하의 개도국은 4년 주기의 국가보고서와 2년 주기의 격년갱신보고서(BUR, Biennial Update report)를 제출하게 되어 있다.¹⁴⁾ 우리나라는 비부속서I의 개도국 체계에 따라 보고서를 제출 및 작성해 왔다. 다만, 격년갱신보고서(BUR)에서 재정·기술·역량배양에 대해 선진국으로부터의 지원(support)이 필요하고 지원을 실제 수혜받은 사항을 작성하는 부분에 대해서는, 우리나라는 선진국과 같이 개도국에 지원을 제공(provision)한 내용을 작성하였다.

그런데, 파리협정 하에서는 선진국과 개도국에 대한 이원화된 구분이 사라졌다. 국가가 선진국, 개도국, 여타 당사국으로 구분되기는 하였지만, 이 각각의 국가 카테고리를 충족시키는 ‘기준’도 없고, 각 국가 카테고리에 해당하는 국가 ‘리스트’도 부재하다. 따라서, 국가마다 자국의 위상이 선진국인지, 개도국인지, 아니면 여타 당사국인지 자발적으로 판단하고 행동할 수 있다. 또한, 파리협정에서 이러한 국가 구분이 등장하는 조항 즉 규칙들을 살펴봄으로써 국가 구분 규칙의 의미를 파악할 수 있다.

먼저, 선진국은 감축 및 적응 행동에 대해서 이행하되 ‘리드’ 즉 앞장서서 이행해야 한다(UN, 2015, preamble,

article 4.4). 개도국에 대한 지원을 ‘제공’할 의무로, 재정 지원의 의무와 역량배양 지원 의무가 있다. 더 나아가, 선진국은 개도국에 재정·기술·역량배양을 지원한 정보를 제출해야 할 의무가 있다(UN, 2015, Articles 9.1, 9.3, 9.5, 9.7, 11.3 & 13.9). 다음으로, 개도국은 감축과 적응 ‘행동’에 있어서 역시 이행 의무를 갖으나 개도국의 특수한 필요와 상황에 따라 선진국보다는 경감된 의무를 갖는다는 점이 명시되어 있다(UN, 2015, Preamble, Articles 4, 6 & 9). 그리고, 개도국은 재정·기술·역량배양에 대해 지원을 ‘수혜’받을 수 있는 의무가 명시되어 있다(UN, 2015, Articles 9, 10, 11 & 13). 한편, 여타 당사국의 경우, ‘행동’에 대해서 여타 당사국에 대한 별도의 언급은 없다. 그러나 선진국의 개도국에 대한 ‘지원’에 대해서 여타 당사국이 함께 언급된다. 즉, 개도국에 대한 재정 지원, 개도국을 재정 지원한 정보의 제공, 그리고 개도국에 대해 재정·기술·역량배양에 대해 지원한 정보를 제공하는 의무가 명시된 부분에 여타 당사국이 함께 등장하는데, 지원의 제공과 관련된 사항은 여타 당사국의 의무가 아니라 권고사항이다(UN, 2015, Article 9.2, 9.5, 9.7 & 13.9). 따라서, 여타 당사국의 지원은 자발적 성격을 갖는다(Voigt and Ferreira, 2016, p. 70).

이를 정리하면, 기본적으로 파리협정 하에서의 감축 및 적응 목표 달성을 위한 ‘행동’에 대한 의무는 선·개도국 구분 없이 동일하게 적용되지만, 의무 이행의 수준은 차별화된다. ‘감축’ 관점에서 볼 경우, 선진국은 국가결정기여(NDC) 상에서 모든 경제부문에 걸쳐 절대(absolute) 배출 감축 목표를 세움으로써 국가감축목표 설정에 있어 앞장서는 모습을 보여야 한다(UN, 2015, para 4.4). 한편, 개도국은 감축노력을 꾸준히 강화하고, 국가마다 다른 국가 상황을 고려하여 시간이 지남에 따라 선진국의 행동 양식에 따라 모든 경제부문의 배출감축 목표를 설정하도록 권고받는다(UN, 2015). 즉 개도국은 감축 목표 설정에 있어 선진국보다는 경감된 목표를 설정하는 유연성을 담보받는 것이다. 그리고 재정·기술·역량배양에 대해 개도국에 제공해야 할 ‘지원’의 의무에 대해서는 선진국, 개도국, 여타 당사국의 행동이 명확히 구분되어 있다. 선진국은 개도국에 지원을 제공할 의무를 가지고, 개도국은 지원을 수혜받을 수 있는 권리가 의무적으로 주어지고, 여타 당사국은 개도국에 지원을 제공하도록 권고를 받는다는 것이다.

14) 격년보고서(BR)는 선진국이 2년마다 제출해야 하는 보고서로서 감축행동, 감축경로, 개도국 지원 등에 대해 기술하는 보고서이며, 격년갱신보고서(BUR)는 개도국이 2년마다 제출해야 하는 보고서로서 감축행동, 감축경로, 선진국으로부터의 지원 받은 내용 등에 대해 기술하는 보고서이다(Oh et al., 2018, p. 28).

따라서, ‘여타 당사국’의 의미를 보다 엄밀하게 보면, 감축과 적응 ‘행동’에 대해서는 개도국과 같은 의무 수준을 취하고, 재정·기술·역량배양에 대한 개도국 ‘지원’에 대해서는 선진국과 같이 지원을 제공하되 대신 의무적 지원이 아닌 자발적으로 지원을 제공하는 것이다. 물론, 이는 선진국이 지원을 실제로 제공하는 모범을 보일 때 여타 당사국도 선진국과 같이 지원을 제공할 수 있다는 것을 내포한다. 그리고, 행동(감축·적응)과 지원(재정/기술/역량배양)에 공통적으로 적용되는 ‘투명성’에 대해서는, 모든 당사국들은 기본적으로 격년투명성보고서(BTR, biennial transparency report)와 국가 인벤토리 보고서(NIR, national inventory report)를 작성하고 이를 토대로 평가를 받아야 한다(UN, 2015, Articles 13.7, 13.8, 13.11 and 13.12). 이는 모든 당사국들에 적용되는 공통 의무이다. 그러나 개도국들은 자국 역량에 따라 유연성을 담보받는다(UN, 2015, Article 13.2), 이와 관련하여 두 가지를 동시에 봐야 하는데, 먼저 ‘지원’ 제공에 대한 ‘정보’에 대해서 선진국은 지원 제공 정보를 제출할 의무가 있고, 여타 당사국에게 있어 이는 권고사항이다. 한편, 감축 및 적응 ‘행동’에 대한 ‘정보’에 대

해서는 선진국 및 개도국 모두 정보를 제공해야 하나, 개도국은 유연성을 담보 받을 수 있다. 다만, 여타 당사국에 대해서는 별도의 언급이 없으며, 감축·적응 행동에 대해서는 개도국의 지위를 갖는 바 개도국과 같이 유연성을 담보 받는다고 해석될 수 있다. 이의 내용을 정리하면 다음의 Table 3과 같다.

우리나라는 유엔기후변화협약 하의 부속서 국가 구분 시스템에서 비(非)부속서I 국가 즉 개도국으로 분류되었다. 이에 따라 협약의 부속서I-비(非)부속서I 국가 구분 시스템에 기반해 감축 의무를 부과한 교토의정서 하에서, 우리나라는 개도국 지위를 누렸다. 이에, ‘감축 행동’에 대해서는 부과된 목표와 이행 의무가 없었다. 다만 2009년 11월 이명박 정부 때 2020년까지 BAU 온실가스 배출량 대비 20% 감축이라는 자발적 감축 목표를 수립하였다 (Greenpeace, 2020). 그리고 ‘지원’에 대해서는 선진국은 아니지만 ‘능력이 되는 당사국(parties in a position to do so)’으로써 재정·기술·역량배양에 대한 지원을 개도국에 제공해 왔다.¹⁵⁾ ‘투명성’ 차원에서 우리나라는 1차(‘14.12), 2차(‘17.11), 3차(‘19.11), 그리고 4차(‘22.6) 격년

Table 3. Obligation differentiation by country category under the Paris agreement

Components of the Paris agreement	Country category			
	All parties	Developed countries	Developing countries	Other parties
Mitigation Action	Common obligation	Obligation to take a lead by undertaking economy-wide absolute emission reduction targets	Obligation to continue enhancing mitigation efforts & Recommendation to take after developed countries	N/A* (*Developing country position)
Support provision to developing countries	-	Obligation (by shall)	Support to be provided	Recommendation (Voluntary support)
Transparency	Common obligation	(Reporting on actions) Obligation to report all seven GHG gases	Flexibility due to different national inventory system	N/A* (*Developing country position)
		(Reporting on support) Obligation to provide information on support provided to developing countries	Obligation for reporting on support needed and received	Recommendation to provide information on support provided to developing countries

Source: Formulated by the authors on the basis of the Paris Agreement (UN, 2015)

Note: Esoteric sign (*) means that there is no indication in the Paris Agreement.

15) 유엔기후변화협약 제4.5조에서는 “Other Parties and organizations in a position to do so”라고 표현된다(UNFCCC, 1992, Article 4.5).

갱신보고서를 꾸준히 작성하고 유엔기후변화협약 사무국에 제출하였다. 마지막에 제출된 제4차 격년갱신보고서를 보면, 동 보고서의 제2장에 국가 온실가스 인벤토리 데이터가 포함되었다. 4차 격년갱신보고서까지 우리나라는 「1996 IPCC 지침」을 활용하여(GIR, 2022, p. 15), 6대 온실가스에 대한 배출 및 제거 데이터를 작성 및 보고하였다(GIR, 2022, p. 30).

그런데, 파리협정 하에서는 이미 앞서 기술된 바와 같이 선진국, 개도국, 그리고 여타 당사국으로 구분되어 있으나 각각의 카테고리에 해당하는 국가 리스트가 부재한다. 우리나라는 감축의무 이행 노력의 준비가 완전하지 않다는 측면, 암묵적으로 선진국은 협약 부속서I에 속한 국가들이라는 이해의 측면, 그리고 우리나라는 지금까지 선진국이 아님에도 불구하고 능력이 되는 당사국으로써 개도국에 재정·기술·역량배양 측면의 지원을 제공해 왔다는 측면에서, 우리나라는 ‘여타 당사국’의 입장에서 국가 입장을 수립하고 국제협상에 참여해 왔다.

이에, 우리나라가 ‘여타 당사국’의 지위임을 대·내외적으로 지속한다는 전제 하에, ‘7대 온실가스 보고 의무’라는 규칙을 ‘여타 당사국’이라는 입장에서 해석해 보고자 한다. 파리협정에서 ‘모든 국가’는 7대 온실가스를 모두 보고해야 할 의무가 있다고 하였으나, 개도국의 경우 유연성 조건이 주어져 있다. 개도국은 먼저 최소 CO₂, CH₄, 그리고 N₂O에 대해서는 보고가 필요하며, i) 파리협정 제 4조에 기반하여 국가 NDC 상에 포함되거나, ii) 파리협정 제6조 상의 활동에 속하거나, iii) 또는 기존에 이미 보고된 바가 있는 추가적인 F 가스(HFCs, PFCs, SF₆, NF₃)에 대해서는 보고가 필요하다는 규칙이다(UNFCCC, 2018a, para 48). 우리나라는 「탄소중립·녹색성장 기본법」에서 ‘6대’ 온실가스를 지정하였다(KLIC, 2021, Article 2.5). 우리나라는 파리협정의 이행을 위해, 중장기·부문별·연도별 감축목표를 5년마다 재검토하고 필요시 파리협정 제4조의 진전(progression) 원칙에 따라 목표들을 변경 또는 신규 설정할 수 있다(KLIC, 2021, Article 8.4). 이에 우리나라는 2020년 12월 30일, 파리협정 이행을 위해 제1차 국가결정기여(NDC)를 제출하였다. 이후, 2021년 12월 23일 제출한 NDC 갱신본에 따르면, 우리나라는 「IPCC 1996 지침」을 활용하여 온실가스 배출량과 제거량을 산정하고 있으며, ‘6대’ 온실가스로 범주를 한정하였다(MOFA, 2021, p. 10). 또한, 우리나라는 파리협정 제6.2조 협력적 접근에 따라 「국제감축사업 사전승인 및 국제감축실적의 취득 등에 관한 지침」, 간략히는 「온실가스 국제감축사업

지침」을 2022년 12월 30일 제정하였는데, 이는 「탄소중립·녹색성장 기본법」 제35조(국제감축사업의 추진)에 기반하고 있다(PCCNGG, 2023). 동 법에서 6대 온실가스를 지정하고 있는 바, 파리협정 제6조 기반 국제감축사업에 대해서도 6대 온실가스 배출저감 또는 제거를 대상으로 하고 있다. 마지막으로, 우리나라는 F-가스에 대해서도 NF₃를 제외한 HFCs, PFCs, SF₆에 대해서 현재까지 국가 인벤토리를 구축하여 왔다. 이를 정리하면 다음의 Table 4와 같다. 따라서, 우리나라는 파리협정 당사국총회 결정문에서 ‘개도국’에 적용되는 요건들을 모두 충족한 바, ‘여타 당사국’이라는 지위를 유지할 경우, NF₃에 대한 보고를 하지 않아도 용인될 수 있는 상황이라고 해석할 수 있다.

그런데, 이는 어디까지나 우리나라가 스스로를 ‘여타 당사국’이라는 지위로 규정한다는 것을 전제로 한 것이며,

Table 4. Korea’s status to meet developing countries’ reporting flexibility rules

	Flexibility rules for developing countries	Korea
(1)	To report at least three gases (CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O)	Korea has reported six GHGs in its National Communications (NCs) and Biennial Update Reports (BURs).
(2)	To report any of the additional four gases (HFCs, PFCs, SF ₆ and NF ₃) that	
	→ i) are included in the Party’s NDC under Article 4 of the Paris Agreement,	- In Korea’s NDC (renewed and submitted in December 2021), six GHGs are indicated with IPCC 1996 guideline. - NF ₃ is not included.
	→ ii) are covered by an activity under Article 6 of the Paris Agreement,	- In Korea’s guideline for GHG global project for GHG reduction (formulated in December 2022), six GHGs are indicated. - NF ₃ is not included.
→ iii) or have been previously reported.	- Korea has reported already six GHGs in its NCs and BURs. - NF ₃ is not included.	

Source: Formulated by the authors

이에 대해서 우리나라 스스로 그리고 다른 나라들이 이를 받아들일 것인가에 대해서 고민할 필요가 있다. 국제협상에서 우리나라는 여타 당사국의 입장에서 입장을 수립한다고 앞에서 서술했다. 즉, 감축 행동에 대해서는 되도록 개도국의 입장에서 완화된 규제 방향을, 적응 행동에 대해서는 선진국의 입장에서 적극적인 활동을, 지원에 대해서는 선진국처럼 적극적이지만 자발적인 지원을 강조한다. 이러한 우리나라의 입장에 대해서 의문이 제기될 수 있다. 선진국·개도국을 구분하는 데에 가장 많이 활용되는 항목은 경제적 역량으로 보통 국내총생산(GDP) 또는 일인당 국내총생산(GDP per capita)가 활용된다. GDP 차원에서 세계은행 데이터에 기반한 2022년도 GDP를 따지면 우리나라는 10위를 차지한다(GPS, 2023).¹⁶⁾ GDP 관점에서는 전세계 15위에 유엔기후변화협약 하의 비부속서I 국가 리스트에 속한 중국, 인도, 한국, 인도네시아가 포함되어 있다. 이에 기후협상에서는 이 국가들이 엄밀한 또는 순수한 의미의 개도국인가에 대해 의문이 제기되어 왔다. 한편, 일인당 국내총생산 관점에서 보면, 유엔기후변화협약 가입국 기준으로 2022년도 세계은행 데이터에 따르면,¹⁷⁾ 우리나라는 30위(\$32,254)를 차지한다(WB, 2023).¹⁸⁾ 그런데 유엔기후변화협약의 선진국에 해당하는 부속서I 국가 리스트에 속하면서도 우리나라보다도 일인당 국내총생산이 낮은 나라들이 다수 존재한다.¹⁹⁾ 한편, 스스로 여타 당사국이라고 규정하는 싱가포르의 일인당 총생산은 8위(\$82,807)이고, 사우디아라비아는 33위(\$30,436)이다. 따라서, 우리나라를 여타 당사국으로 규정하는 것에 대해 국가 경제지표에 기반한 비판이 있을 수도 있으나, 싱가포르와 사우디아라비아의 사례 역시 존재한다는 측면도 존재하므로, 여타 당사국 차원에서 NF₃ 가스를 지금 바로 국가 온실가스로 규정·포함하지 않아도 국제사회에 대한 설득은 가능할 것으로 보인다.

4.2. 해외 국가의 NF₃ 국제규칙의 국내 전환 현황

다음으로 NF₃ 가스에 대한 의무 규칙에 대해 국가들이 자국 정책에 어떻게 반영하는지에 대해 분석하고자 한다. 특히, 파리협정 국가 구분 카테고리인 선진국, 여타 당사국, 그리고 개도국으로 구분하고, 이 국가들이 어떻게 자국 정책에 반영하는지의 수준을 비교하고자 한다. 자국 정책으로는 국가결정기여(NDC), 국가 인벤토리 보고서, 그리고 배출권거래제이다.

첫째, ‘선진국’이다. 현재 유엔기후변화협약 하에서 NF₃ 배출량을 국가 인벤토리 보고서에 반영하기 위해 산정·보고해야 하는 국가들은 선진국으로, 이 중에서 NF₃를 배출하는 국가는 총 16개 국가로서, 호주, 벨라루스, 벨기에, 캐나다, 체코 공화국, 유럽연합(EU), 프랑스, 독일, 아일랜드, 이탈리아, 일본, 리투아니아, 러시아, 스위스, 영국, 미국이다(UNdata, 2023). 2020년과 2019년의 NF₃ 배출량을 국가별로 살펴보면 하단의 Table 5와 같다. 동 데이터는 유엔기후변화협약 하에서 각 당사국들이 제출한 국가 인벤토리 보고서에 기반하고 있다. 하단의 표에서와 같이 NF₃ 가스를 배출하는 양이 많지 않고, 눈에 띄는 국가로는 일본, 유럽연합, 그리고 미국이 있다.

먼저, 일본의 경우, 국가 NDC 상에서 7대 온실가스를 명시하고 있다(UNFCCC, 2021b, p. 1). 일본은 배출권거래제가 존재하나, 이는 국가 차원이 아닌 지역 레벨에서 운영되는 수준이다. 대표적으로 도쿄와 사이타마 현이 있는데, 도쿄와 사이타마 현 배출권 거래제 모두 커버되는 부문은 건물과 산업 부문이며, 커버되는 온실가스는 7대 온실가스 중 오직 이산화탄소(CO₂)에 한정되어 있다(Afriat et al., 2015; ICAP, 2022a, 2022b). 따라서, 일본 내 기업 입장에서는 F-가스에 대한 배출저감 부담이 국가 차원에서도 없고, 배출권거래제가 운영되는 도쿄 시와 사이타마 현에서도 없다.

다음으로, 유럽연합의 경우, 2020년 제출한 2030 NDC

16) GDP 순위를 나열하면, 1위 미국(\$20.89 trillion), 2위 중국(\$14.72T), 3위 일본(\$5.06T), 4위 독일(\$3.85T), 5위 영국(\$2.67T), 6위 인도(\$2.66T), 7위 프랑스(\$2.63T), 8위 이탈리아(\$1.89T), 9위 캐나다(\$1.64T), 10위 한국(\$1.63T), 11위 러시아(\$1.48T), 12위 브라질(\$1.44T), 13위 호주(\$1.32T), 14위 스페인(\$1.28T), 15위 인도네시아(\$1.05T)이다 (GPS, 2023).

17) 데이터에서 2022년 데이터가 없는 국가들은 2021년 또는 2020년 데이터를 활용하였다.

18) 일인당 총생산 순위를 나열하면, 1위 모나코, 2위 리히텐슈타인, 3위 룩셈부르크, 4위 노르웨이, 5위 아일랜드, 6위 스위스, 7위 카타르, 8위 싱가포르, 9위 미국, 10위 아이슬란드, 11위 덴마크, 12위 호주, 13위 네덜란드, 14위 스웨덴, 15위 캐나다, 16위 이스라엘, 17위 아랍에미리트, 18위 오스트리아, 19위 핀란드, 20위 벨기에, 21위 독일, 22위 뉴질랜드, 23위 영국, 24위 쿠웨이트, 25위 프랑스, 26위 브루나이, 27위 이탈리아, 28위 몰타, 29위 일본, 30위 한국이다.

19) 부속서I 국가에 속하면서 우리나라보다도 일인당 총생산량이 낮은 나라로는 시프러스(32위), 스페인(36위), 에스토니아(37위), 체코(38위), 리투아니아(40위), 포르투갈(41위), 라트비아(42위), 슬로바키아(43위), 그리스(45위), 헝가리(50위), 폴란드(52위), 루마니아(55위), 러시아(57위), 불가리아(58위)이다.

Table 5. NF₃ emissions by developed countries in year 2020 and 2019(Unit: Kilotones of CO₂eq)

Nation	Australia	Belarus	Belgium	Canada	Czechia	EU	France	Germany
2020	12	6	9	1	2	60	9	11
2019	14	6	1	0	3	57	10	11
Nation	Ireland	Italy	Japan	Lithuania	Russia	Switzerland	UK	US
2020	1	16	289	-	2	0	0	621
2019	1	18	261	-	0	1	0	572

Source: Arranged by the authors based on the filtered data from UNdata (2023)

갱신본에서는 7대 온실가스를 커버한다고 되어 있다(EU, 2020, p. 10). 유럽은 지역 레벨로 유럽 배출권거래제(EU ETS)가 운영되고 있는데, 여기서 커버하는 온실가스는 CO₂, N₂O, 그리고 PFCs 즉 3종의 온실가스에만 한정되고, 또한 이 온실가스가 배출되는 부문 역시 구체적으로 제한되어 있다(EC, 2023). CO₂ 배출저감 사업은 전기 및 열 생산, 에너지 집약 산업 부문,²⁰⁾ 유럽경제지역 내 항공, 그리고 해운 수송 부문에 한정된다(EC, 2023). N₂O 배출저감 사업은 질산, 아디프산, 글리옥실산 및 글리옥사 생산에 한정한다. PFCs는 알루미늄 생산에 한정된다(EC, 2023). 따라서, EU 내 기업 입장에서도 F-가스에 대한 배출저감 부담이 배출권거래제 차원에서는 없다. 그리고 NF₃는 당연히 포함되지 않았다. 대신, 이미 앞서 언급된 바와 같이, EU는 F-가스에 대한 규제를 인센티브 기반 접근법인 ETS가 아니라, 명령 및 통제(command-and-control) 방식과 자발적 방식(voluntary approach)으로 접근하고 있다. EU의 불소계 온실가스에 관한 규정에 따르면 수소불화탄소(HFC)에 대한 연도별 역내 출시량에 대한 중단기 목표를 상향 조정하고, F-gas가 사용된 제품의 라벨링 부착이 의무화되었다(EPC, 2024).

그리고, 미국의 경우, 미국이 2021년 제출한 NDC에 IPCC 2006 지침에 포함된 모든 온실가스를 커버한다고 되어 있다(UNFCCC, 2021c, p. 9). 즉, NF₃를 포함한 7대 온실가스 뿐만 아니라 추가적으로 다른 가스들 역시 커버되는 것이다. 한편, 미국 역시 국가 차원에서 운영되는 배출권거래제는 없고, 주별로 운영되는 경우가 있다. 캘리포니아에서 운영되는 배출권거래제의 경우, 커버되는 온실

가스는 NF₃를 포함한 7대 온실가스 외에도 다른 F 가스를 포함한다(C2ES, 2023).

둘째, ‘여타 당사국’들의 현황을 살펴보고자 한다. 여타 당사국의 대표 격으로는 싱가포르와 사우디아라비아가 있다. 먼저, 싱가포르의 경우, NDC에 IPCC 2006 지침을 활용하여 산정한다는 내용과 NF₃를 포함한 7대 온실가스를 커버한다는 내용이 명시되어 있다(UNFCCC, 2022, p. 4, 10). 싱가포르가 제출한 제4차 격년갱신보고서 상에 포함된 국가인벤토리 현황을 보면, 2016년도 배출량 통계가 나와 있는데, NF₃를 포함한 7대 온실가스 통계가 잡혀 있다. 그러나, NF₃ 가스 배출량은 220.51 GgCO₂eq로 미미하며,²¹⁾ 이는 국가 온실가스 총 배출량의 0.43%를 차지한다(UNFCCC, 2020, p. 35).

한편, 또 다른 여타 당사국인 사우디아라비아의 경우, 제1차 NDC 갱신본 상에서 온실가스의 대상 범주를 포함하고 있지 않고, 또한 온실가스 범주를 추측하기 위한 IPCC 지침에 대한 사항도 언급되어 있지 않다(UNFCCC, 2021d). 사우디아라비아의 제1차 격년갱신보고서 상에 포함된 국가 인벤토리 현황을 보면, 우선 IPCC 1996 지침을 활용하고, 2012년 기준 배출량 통계에 포함된 온실가스는 CO₂, CH₄, N₂O에 한정되어 있다(UNFCCC, 2018b, p. 16, 20). 그리고 이 두 개 국가 모두 배출권거래제가 존재하지 않는다.

셋째, ‘개도국’이다. NF₃ 가스를 배출하는 개도국이 많지 않으며, 경제 대국이면서 온실가스 다배출 국가인 중국과 NF₃를 배출하는 반도체 업계에서 우리나라와 경쟁하는 대만을 중심으로 살펴보도록 하겠다. 먼저, 중국의

20) 에너지 집약사업은 정유 공장, 제철소 및 철, 알루미늄, 금속, 시멘트, 석회, 유리, 세라믹, 펄프, 종이, 판지, 산 및 벌크 유기 화학 물질 생산과 관련된다.

21) Gg는 기가그램을 의미한다.

Table 6. Taiwan’s NF₃ emission quantity (EQ)

(Unit: Kilotones of CO₂eq)

Year	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
EQ	11	10	235	398	540	659	765	688	798	204	577
Year	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
EQ	258	420	388	773	667	662	472	440	509	473	564

Source: Exerpted from the Table ES2.1 of TEPA (2022)

경우, 제1차 NDC 갱신본에서 커버하는 규제 대상의 온실가스 종류의 범주를 명확히 설명하고 있지 않다. 가장 명확한 것은 CO₂이고, 핵심적인 비(非)CO₂ 온실가스(key non-CO₂ GHG gas)를 효과적으로 컨트롤할 계획만이 언급되어 있다. 특히, 非CO₂ 온실가스 배출을 저감하기 위해 배출 통제(emission control) 기술, 배출저감 노력에 기반한 주요 사업, 시범 및 실증사업을 준비하는 내용이 들어가 있다. 중국은 계속해서 HFC-23 파괴를 추진하고, 주요 산업에 대한 N₂O 배출 감축 계획을 연구 및 수립하고, 온난화 가능성이 낮은 발전 시설을 촉진하고, HFC, N₂O 및 SF₆의 배출 관리를 강화할 것이라고 NDC 상 언급되어 있다(UNFCCC, 2021a, p. 39). 중국은 제2차 격년갱신보고서 상에 포함된 국가 인벤토리 통계에 대해서, 2014년 기준으로 6대 온실가스에 대한 통계 수치를 보여준다(UNFCCC, 2018c, p. 16).²²⁾ 한편, 중국의 국가 배출권거래제의 적용은 발전 부문에만 한정되고, 커버되는 온실가스는 CO₂로만 한정되어 있다(ICAP, 2023, pp. 1-2).

다음으로, 대만은 유엔기후변화협약의 당사국이 아니다. 그러나, 대만은 IPCC 2006 지침에 따라 7대 온실가스에 대한 국가 온실가스 인벤토리 통계 작업을 진행해 왔다(TEPA, 2023). 대만이 제출한 2022년도 국가 온실가스 인벤토리 보고서 상에 따르면, 대만은 NF₃ 가스에 대한 보고를 1999년부터 매년 실시해 왔고 이를 외부에 공개해 왔다(TEPA, 2022, p. 4). NF₃ 가스의 배출량을 연도별로 정리하면 다음의 Table 6과 같다. 2020년도 미국의 NF₃ 가스 배출량이 621ktonCO₂eq라는 점을 고려할 때, 대만의 배출량은 이보다는 작지만 미국 수준으로 상당히 많은 배출량이 발생함을 알 수 있다. 그리고 대만에는 배출권거래제가 존재하지 않는다.

동 섹션에서 선진국, 여타 당사국, 그리고 개도국을 중심으로 NF₃ 가스의 관점에서 온실가스 범주를 자국의 정

Table 7. Global rules’ reflection to national policies

Countries		National policies		
		NDC	GHG inventory	ETS
Developed countries	Japan	Seven GHGs	Seven GHGs	(Tokyo ETS) <u>CO₂ only</u>
	EU	Seven GHGs	Seven GHGs	(EU ETS) <u>CO₂, N₂O, PFCs only</u>
	The US	Seven GHGs plus	Seven GHGs	(California ETS) Seven GHGs
Other parties	Singapore	Seven GHGs	Seven GHGs	-
	Saudi Arabia	<u>No mentioning</u>	<u>CO₂, CH₄, N₂O</u>	-
Developing countries	China	<u>CO₂</u> (including efforts on HFC, N ₂ O, SF ₆)	<u>Six GHGs</u>	(National ETS) <u>CO₂ only</u>
	Taiwan	<u>No NDC</u>	Seven GHGs	-

Source: Formulated by the authors on the basis of the section 4.2

책에 어떻게 반영 및 이행하고 있는지 대표적인 국가들을 중심으로 살펴보았다. 이를 정리하면 다음의 Table 7과 같다. 동 표를 통해 주목할 점은 선진국이 NDC와 온실가스 인벤토리 보고서에 NF₃ 가스를 포함한다고 하더라도, 자국의 국가 레벨에서 운영되는 배출권거래제에는 NF₃가 포함되지 않았다는 점이다. 설사 포함되었다 하더라도 국가가 아닌 주(州) 레벨의 배출권거래제라는 점이다. 즉, 국

22) 중국의 격년갱신보고서의 <표 2-7>, <표 2-10>, <표 2-11>에 해당 내용이 정리되어 있다.

내 레벨에서 운영되는 ‘배출권거래제’의 온실가스 범주와 국제적으로 보고되어야 하는 ‘NDC’ 및 ‘온실가스 인벤토리 보고서’의 온실가스 범주가 연동되지 않다는 점이다. 여타 당사국에 속하는 싱가포르와 사우디아라비아의 경우에는 배출권거래제가 아예 존재하지 않는다. 개도국의 경우에도 중국은 NDC, 국가 인벤토리 보고서, 배출권거래제에 해당하는 온실가스 범주가 각기 모두 다르다. 대만의 경우, 국가 온실가스 인벤토리를 NF₃를 포함하여 진행하고는 있으나 역시 국가 차원의 배출권거래제가 존재하지 않는다. 따라서, 국제규칙에 따라 NDC와 온실가스 인벤토리 보고서의 온실가스 범주를 변경하더라도, 배출권거래제의 온실가스 범주에는 현재로서는 영향을 미치지 않는다는 점이다. 이는 NF₃ 가스에 대한 배출저감 규제에 있어서, 시장 기반의 인센티브 접근법 하에서 이러한 국가들의 기업들이 받는 부담이 현재로서는 또는 단기적으로는 없다는 의미와 같다.

4.3. 소결: 한국에 대한 시사점

우리나라 탄소중립기본법 상의 6대 온실가스에 NF₃를 포함할 지의 여부는 아직 결정되지 않았다. 또한, 우리나라는 제2차 국가 온실가스 통계 총괄관리계획(2020~2024)에 근거하여, 2023년부터 NF₃ 배출량 산정을 시작해 왔다(GIR, 2020). 그러나, 산정된 통계값을 파리협정에 제출하는 국가 인벤토리 보고서에 반영 여부는 아직 논의 중이다. 우리나라 산업계에서 우려하는 사항은 바로 우리나라의 탄소중립기본법 상의 온실가스 범주가 배출권거래제와 연동된다는 점이다. 「탄소중립기본법」 제8조 1항에 근거하여, 우리나라 배출권거래제의 경우, 다른 중장기 국가 온실가스 감축목표와의 정합성을 고려하여 국가 배출권 할당 계획이 수립된다(KLIC, 2022, Article 3①). 따라서, 이러한 정합성 차원에서, 우리나라 배출권거래제에서 커버되는 온실가스는 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률 시행령」의 제31조에 명시된 별표2에 따라 6대 온실가스를 포함하며, 배출권은 온실가스별 지구온난화계수에 따라 이산화탄소상당량톤(tCO₂eq)으로 환산한 단위로 거래한다(KLIC, 2022, Article 31①). 물론, 기후변화에 대한 대응으로써 NF₃ 가스를 포함한 7대 온실가스를 중심으로 국가 온실가스 감축목표를 설정하고, 이를 배출권거래제에 적용하고, 이를 국제적으로 보고하는 것은 매우 바람직한 정책 및 이행 방향이다. 그러나, 온실가스 배출 규제는 국가의 산업 경쟁력 및 경제발전과 매우 밀접하게

연관되어 있다. 우리나라보다도 훨씬 기후변화 대응에 앞선 선진국들마저도 배출 규제를 위한 온실가스 범주를 적용하는 데에 있어 ‘국제적인 계획 수립 및 보고’와 ‘자국/지역 내의 배출권거래제’를 분리하고 있다. 이러한 현실적인 측면에 대한 고려가 필요한 시점이다.

이에, 단기적으로 우리나라가 취할 수 있는 가장 현실적인 전략은 다음과 같다. 첫 번째 전략은, 협상에서 ‘여타 당사국’ 위치를 유지하며, 탄소중립기본법 상 국가 온실가스 범주에 NF₃를 추가하지 않는 것이다. 대신 NF₃에 대한 산정은 시작하고, 보고는 진행하지 않는 것이다. 첫 번째 전략이 힘들다면, 두 번째 전략으로 ‘여타 당사국’ 위치를 유지하며, 탄소중립기본법 상 국가 온실가스 범주에 NF₃를 포함하되, 탄소중립기본법과 배출권거래법 간의 연동을 제거하는 것이다. 즉, 국가 온실가스 범주에 NF₃를 넣더라도, 국내 배출권거래제는 종래대로 6대 온실가스로만 진행되는 것이다.

다음으로, 장기적인 관점에서 볼 때, 우리나라가 NF₃ 가스를 국가 온실가스로 규정하고, 배출량을 산정·보고하고, 배출규제를 적용하는 시기와 관계없이, 국제사회는 F-가스에 대한 규제를 강화하는 방향으로 움직이고 있다. 특히, 국제민간기구 차원의 온실가스 산정·보고·검증 표준에 NF₃가 포함되고 있다 이에, 우리나라 반도체를 구입하는 해외 다국적 기업들이 ESG 차원의 공급망 관리를 위해, 우리나라 반도체 관련 기업들을 대상으로 NF₃ 가스에 대한 감축 노력 및 관리에 대한 정보를 요구할 가능성이 높아지고 있다. 따라서, 한국 내 NF₃ 가스 배출기업들 역시 자체적인 감축 및 관리 노력이 필요한 상황이다. 이에 기업들이 선택할 수 있는 옵션들에 대해 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 대체 가스의 활용과 R&D를 고려할 수 있다. 국내에서 NF₃ 대체 가스 연구 개발에 집중하고 있다. 그러나, NF₃의 대체품으로 거론되는 산화 삼불화아민(F₃NO)의 경우, 세정력은 NF₃보다 낮고 가격은 더 높다. 또한, 삼불화아민을 사용할 경우, 기존의 반도체 공정 변경하고 이 과정에 투자비 증가로 인한 경쟁력 약화 등의 단점이 존재한다는 현실을 고려할 필요가 있다(Bae, 2022). 또한, NF₃ 식각에 대한 심층적인 연구 역시 필요하다(Park and Kim, 2024, p. 214). 둘째, 기존 NF₃ 가스를 그대로 사용하되, 배출된 가스를 회수하는 설비 또는 회수되지 못한 잔여가스를 처리하는 설비를 구축하는 것이다. 예를 들어, SK 머티리얼즈는 이러한 방식을 고려하고 있다(Park and Kim, 2024). 셋째, NF₃ 가스의 배출만큼 해당 업체에서 다른 부분의 배출량을 저감시키거나, 또는 이산

화탄소제거(carbon dioxide removal) 접근법을 통해 대기 중에서 제거량을 확보하는 것이다.²³⁾

5. 결론

파리협정 제13조 투명성 조항의 이행규칙에 따라, 파리협정 하의 모든 당사국들은 NF₃ 가스를 포함한 7대 온실가스를 측정·보고·검증해야 한다. 이 국제규칙을 이행하기 위해 현재 6대 가스를 온실가스로 규정하고 있는 우리나라 「탄소중립기본법」에 NF₃ 가스를 포함해야 하는가의 여부에 대해 국내적으로 2023년부터 많은 논의가 있어 왔다. 특히, NF₃가 많이 활용되는 반도체 및 액정 디스플레이 등의 산업이 우리나라 경제에 중요한 부분을 차지하고 있으며, NF₃ 가스 배출의 산정과 이에 대한 규제가 산업계의 국제적 경쟁력에 영향을 미칠 수 있으며, 더더군다나 NF₃ 가스의 대체제가 없다는 점에서 산업계는 NF₃ 가스를 탄소중립기본법에 온실가스로 규정하는 것에 대해 반대하고 있다.

이에 대해서 동 연구는 우리나라 산업계 현황을 고려하여 단기적으로 우리나라가 국제 규칙을 따르지 않는다고 가정했을 때, 우리나라의 입장을 방어하기 위한 전략적인 논리를 모색하고자 하였다. 이를 위해, 국제정치학 구성주의 이론의 접근법인 국제 규범·규칙이 당사국 정책에 반영 및 확산되는 과정에 대한 부분을 분석틀로 설정하였다. 이를 토대로, 먼저 7대 온실가스에 대한 측정·보고·검증 의무에 대해 개도국에 예외적으로 적용되는 규칙이 우리나라에 적용될 수 있는지를 우리나라의 현재 기후변화 국제협상 입장인 ‘여타 당사국’ 입장에서 해석하였다. 다음으로, 파리협정 하의 국가 분류 체계인 선진국, 여타 당사국, 개도국으로 분류되며 NF₃ 가스를 배출하는 대표적인 국가들이 7대 온실가스 측정·보고·검증 의무라는 규칙을 자국 정책에 어떠한 수준으로 반영하는지를 살펴보았다. 이를 위해 반영 대상이 되는 국내 정책을 자국 국가결정기여(NDC), 국가 인벤토리 보고서, 그리고 배출권거래제로 설정하였다.

분석 결과, 먼저 우리나라가 스스로 규정하고 있는 협상 지위인 ‘여타 당사국’은 개도국에 대한 ‘지원’에 대해서는 선진국과 같은 역할을 수행하되 대신 이를 자발적으로 수행하고, 그 외의 부분에 대해서는 개도국과 같은 역할을

수행하고 있다고 볼 수 있다. 이렇게 볼 때 NF₃ 가스의 측정·보고·검증 의무에 대한 개도국 예외 규칙을 우리나라에 적용할 경우, 우리나라는 이미 최소 3대 온실가스인 CO₂, CH₄ 그리고 N₂O를 보고해 왔고, 이외에 NDC 포함되는 온실가스, 파리협정 6조 활동으로 인정되는 온실가스, 또는 기존에 이미 보고된 온실가스에 대해서도 우리나라는 6대 온실가스를 중심으로 진행해 온 바 개도국 예외 규칙을 모두 충족하는 것으로 볼 수 있다. 다음으로, 선진국, 개도국, 여타 당사국으로 분류된 다른 국가들이 NF₃ 가스에 대한 정책 반영 수준을 살펴본 결과, 선진국들은 NF₃ 가스를 NDC와 온실가스 인벤토리 보고서에 포함하더라도, 국내에서 운영되는 배출권거래제에는 NF₃를 포함하지 않았다는 점이다. 여타 당사국이나 개도국의 경우 NF₃ 가스를 NDC와 온실가스 인벤토리 보고서에 포함하는 수준은 국가마다 조금 달랐다. 그러나, NF₃ 가스를 포함하여 7대 온실가스를 규정한 여타 당사국인 싱가포르 그리고 개도국인 대만의 경우, 자국 내에 배출권거래제가 아예 존재하지 않는다. 개도국의 경우에도 중국은 NDC, 국가 인벤토리 보고서, 배출권거래제에 적용되는 온실가스 범주가 서로 연동되어 있지 않고 모두 다르다. 이것이 의미하는 바는 국가 차원에서 7대 온실가스를 규정한다 해도, 배출권거래제가 부재하거나 배출권거래제에 연동시키지 않고 있기 때문에, NF₃를 국가 온실가스 차원에서 측정·보고·검증에 대한 국제 규칙을 이행하는 데에 시장기반 인센티브 접근법에 따른 기업에 대한 규제 부담이 적다는 점이다.

이에, 우리나라가 취해야 할 전략적 정책 방향을 제시하면, 우리나라가 ‘여타 당사국’으로 협상 지위를 규정하고 있는 한, 반드시 NF₃ 가스를 국내 「탄소중립기본법」 상에서 온실가스로 규정해야 할 의무는 없다고 해석할 수 있다. 또한, 만약 「탄소중립기본법」 상에서 NF₃ 가스를 온실가스로 규정하고자 한다면, 이의 온실가스 범주의 적용을 NDC와 국가인벤토리보고서 상으로만 한정하는 것으로 진행하고, 국내 배출권거래제의 적용에 대해서는 예외를 적용한다는 정책을 세울 필요가 있다. 또한, 국제협상에서는 우리나라 국내법에서 규정한 온실가스가 배출권거래제와 연동되는 특이성 때문에 NF₃에 대한 측정·보고·검증 규칙을 적용하는 것이 다른 나라들의 정책 적용 수준과 비교할 때 공평하지 않다는 입장에서 접근하는 것이 필요하다. 한편, 파리협정 국제규칙에 대응하는 국가 정책과 별개로, 우리나라 반도체 등을 구입하는 해외 선진국

23) 배출량 저감의 경우, 재생에너지와 같은 저탄소 에너지를 적용하는 방법이 있다. 예를 들어, SK 머티리얼즈는 2030년까지 제품생산에 들어가는 에너지를 100% 신재생에너지로 추진하는 계획을 가지고 있다(Park and Kim, 2024).

기반의 기업의 경우 해당 국가에서 7대 온실가스에 대한 산정·보고 규칙이 적용되어 기업 산정·보고가 이미 진행되고 있다. 이러한 기업들은 ESG 차원에서 공급망 상에서 NF₃를 포함한 7대 온실가스 배출을 산정·보고하고 규제하려는 움직임을 보이고 있는 바, 장기적으로는 국내 관련 기업들의 NF₃ 가스 산정 및 보고에 대한 준비와 이의 규제를 고려할 필요가 있다. 또한, 대체 가스를 위한 R&D와 실증에 대한 지원과 노력이 필요하다. 그리고 기존 NF₃ 가스의 회수 또는 잔여가스 처리를 위한 설비 구축을 고려할 필요가 있다. 마지막으로, NF₃ 가스 배출 저감이 단기적으로는 어려울 것으로 예상되는 바, 해당 업체의 다른 부문의 배출저감 또는 제거 사업을 시도하던지 또는 해외사업을 통한 오프셋 크레딧을 확보할 수 있는 역량을 높일 필요가 있다.

동 연구는 NF₃를 포함한 온실가스의 측정·보고·검증 규칙에 대해서 이 규칙의 이행 의무를 회피하거나 위반하기 위한 방안을 모색한 것이 아니다. 다만, 국제 규칙을 이행하는 과정에서 우리나라의 현재 산업계의 현황과 우리나라에 미칠 경제적 영향을 고려할 때 국내적으로는 보다 산업계가 점진적으로 대응할 수 있고 국제협상에서는 우리나라 정부 입장을 설득력있고 논리적으로 대응할 수 있는 전략적 정책 방안을 모색하기 위해 동 연구가 시도되었음을 다시 한 번 밝힌다.

마지막으로, 국제 규칙에 대한 해석과 우리나라의 국내 정책 적용 수준에 대한 연구에 대해서 일반적인 국제정치학 연구라면 관여되는 이해관계자들을 파악하고 이들의 해석과 정책적용 수준에 대한 논의 과정을 살펴보면, 이 과정에 작용한 요인과 이에 따른 정책 수립과정 또는 정책 결정 결과물의 관계를 설명하는 방식을 취한다. 그러나, 동 연구는 이 정치적 과정에 대한 부분에 초점을 둔 것이 아니라, 최종적으로는 우리나라가 국제협상에서 우리나라가 NF₃ 가스에 대한 규칙을 미이행했을 때 이를 국제협상에서 방어하기 위한 전략 그리고 국제규칙을 국내적으로 이행한다고 했을 때 그 이행수준에 대한 전략적 수준을 모색한 연구라는 점에서 기존의 국제규칙의 수용 및 확산에 대한 과정적 분석과정과는 다른 점이 동 연구의 부족한 점이라고 할 수 있다.

사사

본 연구는 국가녹색기술연구소 2023년 연구과제 「한-아세안 녹색전환 촉진을 위한 기후과학기술 협력체계

구축 연구(C2320401)」와 2024년 한국연구재단 연구과제 「기후기술국제협력촉진사업(2022M3K1A1078178)」의 지원을 받아 국가녹색기술연구소에서 수행한 연구과제 「기후기술 국제협력을 위한 정책지원 사업(N2400001)」을 통해 진행되었습니다.

References

- Acharya A. 2004. How ideas spread: Whose norms matter? Norm localization and institutional change in Asian regionalism. *Int Organ* 58(2): 239-275. doi: 10.1017/S0020818304582024
- Afriat M, Alberola E, Rittenhouse K, Francis D, Sopher P, De Clara S, Kouchakji K, Swartz J. 2015. Tokyo: An emissions trading case study; [accessed 2024 May 29]. <https://www.edf.org/sites/default/files/tokyo-case-study-may2015.pdf>
- Bae JI. 2022 Jan 26. Supply of semiconductor-specific gas NF₃ becomes tight, which gets more serious than in 2015. *e4ds News*; [accessed 2024 May 29]. https://www.e4ds.com/sub_view.asp?ch=2&t=0&idx=14185
- Birmipili T. 2018. Montreal Protocol at 30: The governance structure, the evolution, and the Kigali Amendment. *C R Geosci* 350(7): 425-431. doi: 10.1016/j.crte.2018.09.002
- C2ES (Center for Climate and Energy Solutions). 2023. California cap and trade; [accessed 2024 May 29]. <https://www.c2es.org/content/california-cap-and-trade/>
- CIRS (Chemical Inspection and Regulation Service). 2024. Japan published the schedule for declaration of new chemical substances in 2024; [accessed 2024 May 29]. <https://www.cirs-group.com/en/chemicals/japan-released-the-schedule-for-declaration-of-new-chemical-substances-in-2024>
- Cortell AP, Davis JW Jr. 1996. How do international institutions matter? The domestic impact of international rules and norms. *Int Stud Q* 40(4): 451-478. doi: 10.2307/2600887
- de Graaf D, Elsner C, Hoffmann G, Martens K, Thalheim D, Plehn W. 2021. Hydrofluorocarbon emission reduction: A crucial contribution to climate protection (Scientific Opinion Paper // May 2021). German Environment Agency; [accessed 2024 May 29]. <https://inis.iaea.org/collection/>

- NCLCollectionStore/_Public/52/097/52097888.pdf
- EC (European Commission). 2023. EU Emissions Trading System (EU ETS); [accessed 2024 May 29]. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en/#sectors—gases-covered
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2019. Global Non-co₂ greenhouse gas emission projections & marginal abatement cost analysis: Methodology documentation; [accessed 2024 May 29]. https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-09/documents/nonco2_methodology_report.pdf
- EPA. 2024. GHG proposed rule - Greenhouse gas proposed rule; [accessed 2024 May 29]. <https://cdxapps.epa.gov/oms-substance-registry-services/substance-list-details/197>
- EPC (European Parliament and of the Council). 2024. Regulation (EU) 2024/573 of the European Parliament and of the Council of 7 February 2024 on fluorinated greenhouse gases, amending Directive (EU) 2019/1937 and repealing regulation (EU) No 517/2014; [accessed 2024 May 29]. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202400573
- EU (European Union). 2020. Submission by Germany and the European Commission on behalf of the European Union and its member states; [accessed 2024 May 29]. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/EU_ND_C_Submission_December%202020.pdf?gclid=CjwKCAjwxOymBhAFEiwAnodBLB2H9Mq4eJd7vz4ysjtlo32j28QeQfM4vOvcDOBG9OHI9Jhy8R-K8hoCYhkQAvD_BwE
- Finnemore F. 1993. International organizations as teachers of norms: The United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization and science policy. *Int Organ* 47(4): 565-597. doi: 10.1017/S0020818300028101
- Finnemore M, Sikkink K. 1998. International norm dynamics and political change. *Int Organ* 52(4): 887-917. doi: 10.1162/002081898550789
- Gas News. 2009 Apr 7. NF3 emerging as the greenhouse gas; [accessed 2024 May 29]. <http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=42504>
- GIR (Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea). 2020. The 2nd comprehensive management plan for national greenhouse gas inventory (2020-2024); [accessed 2024 May 29]. https://www.gir.go.kr/home/board/read.do;jsessionid=LqAci377Dv1P85RGdLa41cz6rmkf8JI15bDkHl10NRdIOzMa7VkiTgBaHrFAXS7j.og_was1_servlet_engine1?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=36&boardId=50&boardMasterId=2&boardCategoryId=
- GIR. 2022. Fourth biennial update report of the Republic of Korea; [accessed 2024 May 29]. <https://www.gir.go.kr/home/board/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=36&boardId=57&boardMasterId=2&boardCategoryId=>
- GPS (Global PEO Services). 2023. TOP 15 countries by GDP in 2022; [accessed 2024 May 29]. <https://globalpeoservices.com/top-15-countries-by-gdp-in-2022/>
- Greenpeace. 2020. Why Korean is a climate villain? What is NDC, a national greenhouse gas reduction target?; [accessed 2024 May 29]. <https://www.greenpeace.org/korea/update/15430/blog-ce-what-ndc-mean-for-korea/>
- Han TW, Lim D. 2018. A comparative study on the F-gas control laws and systems of EU and Korea (in English with Korean abstract). *Environ Law Rev* 40(3): 377-410. doi: 10.35769/elr.2018.40.3.012
- ICAP (International Carbon Action Partnership). 2022a. Japan - Tokyo cap-and-trade program; [accessed 2024 May 29]. https://icapcarbonaction.com/system/files/ets_pdfs/icap-etsmap-factsheet-51.pdf
- ICAP. 2022b. Japan - Saitama target setting emissions trading system; [accessed 2024 May 29]. https://icapcarbonaction.com/system/files/ets_pdfs/icap-etsmap-factsheet-84.pdf
- ICAP. 2023. China national ETS; [accessed 2024 May 29]. https://icapcarbonaction.com/system/files/ets_pdfs/icap-etsmap-factsheet-55.pdf
- IGC (Institute of Global Certification). 2022. ISO 14064 greenhouse gas emission and removal; [accessed 2024 May 29]. https://www.igcert.org/bbs/board.php?bo_table=notice&wr_id=46&sst=wr_hit&sod=desc&sop=and&page=2
- Iordache M, Zgavarozea RI, Iordache AM, Constantinescu M, Bucura F, Ionete RE, Grigorescu R, Nechita C. 2021. Temporal evolution of greenhouse gas emissions

- in European Union (EU-28): A perspective on Romania. *Smart Energy Sustain Environ* 24(2): 43-58. doi: 10.46390/j.smensuen.24221.438
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Chapter 1: Introduction to the 2006 guidelines; [accessed 2024 May 29]. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_1_Ch1_Introduction.pdf
- IPCC. 2022. Climate change 2022: Mitigation of climate change; [accessed 2024 May 29]. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Full_Report.pdf
- KLIC (Korean Law Information Center). 2016. Framework act on low carbon, green growth; [accessed 2024 May 29]. <https://law.go.kr/LSW/lsInfoP.do?lsiSeq=182116#0000>
- KLIC. 2021. Framework act on carbon neutrality and green growth for coping with climate crisis; [accessed 2024 May 29]. <https://www.law.go.kr/LSW/lsInfoP.do?lsiSeq=235581&efYd=20220925&ancYnChk=0#0000>
- KLIC. 2022. Enforcement decree of the act on the allocation and trading of greenhouse gas emission permits. <https://www.law.go.kr/LSW/lsInfoP.do?lsiSeq=241541&chrClsCd=010202&urlMode=lsInfoP&efYd=20220325&ancYnChk=#0000>
- Krasner SD. 1982. Structural causes and regime consequences: Regimes as intervening variables. *Int Organ* 36(2): 185-205. doi: 10.1017/S0020818300018920
- KSIA (Korea Semiconductor Industry Association). 2024. Strategy to promote carbon neutrality in semiconductor industry. Presentation. March 2024.
- Lee KM. 2019 May 2. [Tech & Biz] Non-memory? System? Foundry?... Confusing terminologies. *Chosun Biz*; [accessed 2024 May 29]. https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2019/05/02/2019050200101.html
- Media Hyosung. 2016. NF₃ which cleans the magic stones of semiconductor; [accessed 2024 May 29]. <https://blog.hyosung.com/2709>
- MOE (Ministry of Environment), KECO (Korea Environment Corporation). 2008. 2006 IPCC guideline for the formulation of national GHG inventory; [accessed 2024 May 29]. https://www.gir.go.kr/home/board/read.do?jsessionid=21QDRCTO18UAa8AHc7drRZBHXWIUJUR1NsAFyYXbpX0ZKOFbbem2n8cKttyYEMvt.og_was2_servlet_engine1?pagerOffset=80&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=19&boardId=2&boardMasterId=8&boardCategoryId=MOFA
- MOFA (Ministry of Foreign Affairs). (2021). Submission under the Paris Agreement: The Republic of Korea's enhanced update of its first nationally determined contribution; [accessed 2024 May 29]. https://www.mofa.go.kr/www/brd/m_4080/view.do?seq=371966&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&multi_itm_seq=0&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&company_cd=&company_nm=NITE
- NITE (National Institute of Technology and Evaluation). 2024. Substances under the chemical substances control law: Type II monitoring chemical substances (before amendment in FY 2009); [accessed 2024 May 29]. https://www.nite.go.jp/chem/jcheck/list2.action?category=122&request_locale=en
- Oh CW, Kim SD, Lee HY, Kim SY, Choi KR, Yang SY. 2018. Paris Agreement Article 13 transparency framework and technology development & transfer support; [accessed 2024 May 29]. <https://www.nigt.re.kr/gtck/gtcPublication.do?mode=view&articleNo=1761&articleOfset=130&articleLimit=10>
- Park H, Kim SH. 2024. Estimation of Nitrogen Trifluoride (NF₃) emissions and future management strategies in South Korea's semiconductor and display industries (in Korean with English abstract). *J Korean Soc Environ Eng* 46(5): 205-218. doi: 10.4491/KSEE.2024.46.5.205
- PCCNGG (Presidential Commission on Carbon Neutrality and Green Growth). 2023. Formulation of guideline on global project for greenhouse gas mitigation. <https://www.2050cnc.go.kr/base/board/read?boardManagementNo=43&boardNo=1215&page=2&searchCategory=&searchType=&searchWord=&menuLevel=2&menuNo=73>
- PSPD (People's Solidarity for Participatory Democracy). 2023. Partial amendment of the basic act on carbon neutrality and green growth for climate risk response (10 congress members including Congressman Woo Won-

- shik); [accessed 2024 May 29]. https://watch.peoplepower21.org/?mid=LawInfo&bill_no=2121909
- Russel S. 2013. Nitrogen trifluoride now required in GHG Protocol greenhouse gas emissions inventories; [accessed 2024 May 29]. <https://ghgprotocol.org/blog/nitrogen-trifluoride-now-required-ghg-protocol-greenhouse-gas-emissions-inventories>
- Schneider LR. 2011. Perverse incentives under the CDM: An evaluation of HFC-23 destruction projects. *Clim Policy* 11(2): 851-864. doi: 10.3763/cpol.2010.0096
- Sovacool BK, Griffiths S, Kim J, Bazilian M. 2021. Climate change and industrial F-gases: A critical and systematic review of developments, sociotechnical systems and policy options for reducing synthetic greenhouse gas emissions. *Renew Sustain Energy Rev* 141: 110759. doi: 10.1016/j.rser.2021.110759
- Sun, X. and Ferris, T. 2018. The Kigali amendment's and China's critical roles in evolving the Montreal Protocol. *Nat Resour Environ*, 33(2). [https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/nre33&div=27&id=&page=.](https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/nre33&div=27&id=&page=)
- TEPA (Taiwan Environmental Protection Administration). 2022. Republic of China national greenhouse gas inventory report: Report summary; [accessed 2023 August 14]. <https://www.epa.gov.tw/DisplayFile.aspx?FileID=F386D1F4A86AE83>
- TEPA. 2023. National inventory report; [accessed 2023 August 15]. <https://www.epa.gov.tw/eng/C822CC8F362AE1E2>
- Tsai WT, Tsai CH. 2023. A survey on fluorinated greenhouse gases in Taiwan: Emission trends, regulatory strategies, and abatement technologies. *Environments* 10(7): 113. doi: 10.3390/environments10070113
- UN (United Nations). (1998). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change; [accessed 2024 May 29]. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- UN. 2015. Paris Agreement; [accessed 2024 May 29]. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- UNdata. 2023. Nitrogen trifluoride (NF3) emissions, in kilotonne CO₂ equivalent; [accessed 2024 May 29]. <http://data.un.org/Data.aspx?d=GHG&f=seriesID%3ANF3>
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change; [accessed 2024 May 29]. https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf
- UNFCCC. 2012. Report of the conference of the parties serving as the meeting of the parties to the Kyoto Protocol on its eighth session, held in Doha from 26 November to 8 December 2012; [accessed 2024 May 29]. <https://unfccc.int/resource/docs/2012/cmp8/eng/13a01.pdf#page=2>
- UNFCCC. 2014. Handbook on measurement, reporting and verification for developing country parties; [accessed 2024 May 29]. https://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom/_application/pdf/non-annex_i_mrv_handbook.pdf
- UNFCCC. 2018a. Decision 18/CMA.1 Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement; [accessed 2024 May 29]. <https://ledslac.org/wp-content/uploads/2020/09/e.-Decision-18-cma.1.pdf>
- UNFCCC. 2018b. The first Biennial Update Report (BUR) Kingdom of Saudi Arabia; [accessed 2024 May 29]. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/18734625_Saudi%20Arabia-BUR1-1-BUR1-Kingdom%20of%20Saudi%20Arabia.pdf
- UNFCCC. 2018c. The People's Republic of China second biennial update report on climate change; [accessed 2024 May 29]. <https://unfccc.int/documents/197666>
- UNFCCC. 2020. Singapore's fourth biennial update report; [accessed 2024 May 29]. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Fourth%20Biennial%20Update%20Report.pdf>
- UNFCCC. 2021a. China's Achievements, new goals and new measures for nationally determined contributions; [accessed 2024 May 29]. <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/China%E2%80%99s%20Achievements%2C%20New%20Goals%20and%20New%20Measures%20for%20Nationally%20Determined%20Contributions.pdf>
- UNFCCC. 2021b. Japan's Nationally Determined Contribution (NDC); [accessed 2024 May 29]. <https://unfccc.int/>

- sites/default/files/NDC/2022-06/JAPAN_FIRST%20NDC%20%28UPDATED%20SUBMISSION%29.pdf
- UNFCCC. 2021c. The United States of America nationally determined contribution; [accessed 2024 May 29]. <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/United%20States%20NDC%20April%2021%202021%20Final.pdf>
- UNFCCC. 2021d. Updated first nationally determined contribution; [accessed 2024 May 29]. <https://unfccc.int/documents/497886>
- UNFCCC. 2022. Singapore's second update of its first Nationally Determined Contribution (NDC) and accompanying information; [accessed 2024 May 29]. <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/Singapore%20Second%20Update%20of%20First%20NDC.pdf>
- Voigt C, Ferreira F. 2016. Differentiation in the Paris Agreement. *Clim Law* 6(1-2): 58-74. doi: 10.1163/18786561-00601004
- WB (World Bank). 2023. GDP per capital (current US\$); [accessed 2024 May 29]. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>
- WRI (World Resource Institute). 2024. Greenhouse Gas Protocol; [accessed 2024 May 29]. <https://www.wri.org/initiatives/greenhouse-gas-protocol>
- WSC (World Semiconductor Council). 2017. Best practice guidance for semiconductor PFC emission reduction; [accessed 2024 May 29]. <http://www.semiconductorcouncil.org/wp-content/uploads/2017/07/Best-Practice-Guidance-of-PFC-Emission-Reduction.pdf>