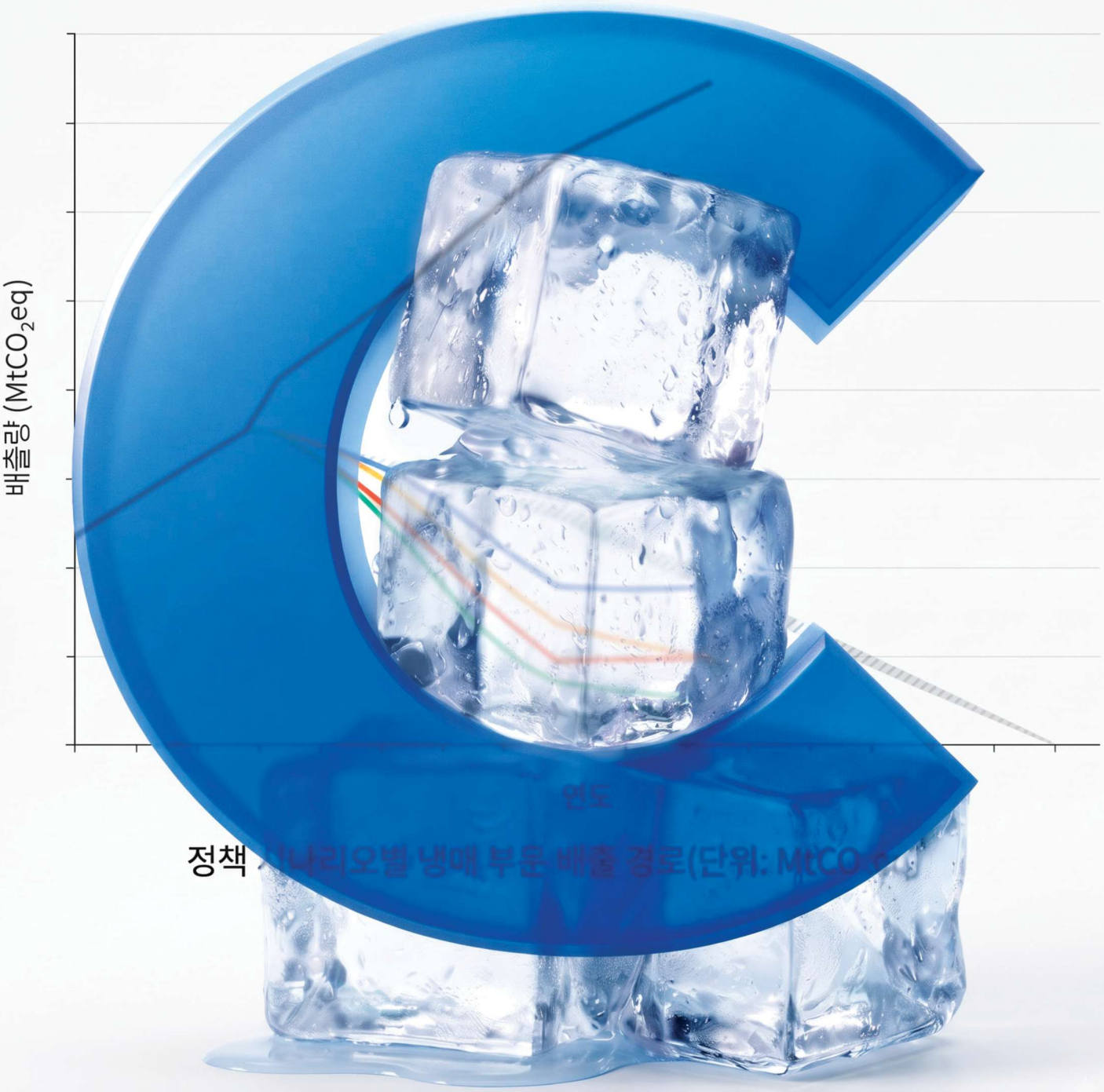
SFO°C
Solutions for Our Climate

° Report



한국의 냉매 부문 HFCs 감축 경로 분석과 정책 방안

목차

1. 핵심 요약 2

2. 국내 HFCs 배출 현황 3

3. 냉매 부문 HFCs 배출 전망 및 감축 시나리오 5

3.1 기준 전망(BAU) 시나리오 5

3.2 감축 시나리오 구성 5

3.3 분석 결과 7

3.4 정책적 시사점 9

4. 정책 방안 10

4.1 자연냉매 전환 사례 및 정책 방안 10

4.2 누출관리 강화 사례 및 정책 방안 12

참고문헌 14

부록 16

A. 국내 데이터센터 HFCs 배출량 산정 16

B. 감축 시나리오별 냉매 배출 경로 산정 19

1. 핵심 요약

본 보고서는 지구온난화지수(Global Warming Potential, 이하 GWP)가 높은 온실가스인 수소불화탄소(Hydrofluorocarbons, 이하 HFCs)의 생산과 소비를 점진적으로 감축시키는 몬트리올 의정서의 키갈리 개정안(Kigali Amendment)과 국가 온실가스 감축목표(Nationally Determined Contribution, 이하 NDC)의 이행을 고려하여 국내 HFCs 배출의 89%를 차지하는 냉매 부문의 감축 방안을 제안한다. 이를 위해 데이터센터 증설에 따른 추가 HFCs 배출을 반영한 기준 전망(BAU) 시나리오와 간이모형을 활용한 감축 수단별 시나리오를 분석하고, 냉매 부문의 감축 경로와 이를 달성하기 위한 감축 수단을 제시한다. 감축 수단으로는 정부의 현행 냉매 부문 감축정책인 '냉매 누출률 7.7% 목표'와 '저(低)GWP 냉매 전환'을 반영하였으며, 강화된 감축 수단으로 '냉매 누출률 4.0% 목표'와 '자연냉매[1] 전환'을 추가로 고려하였다.

2025~2040년 냉매 부문 HFCs 감축 경로를 분석한 결과, 자연냉매 전환은 냉매 부문의 장기적인 배출 감축을 가능하게 하는 주요 수단이며, 자연냉매로의 전환이 이루어지지 않을 경우 누출관리 강화만으로는 장기적인 감축에 한계가 있는 것으로 나타났다. 이는 현행 누출관리 중심의 정책과 함께 자연냉매 전환을 병행하는 것이 장기적인 냉매 부문 배출 감축에 중요함을 시사한다.

또한 정부의 현행 계획이 계획대로 이행될 경우, 2035년 배출량은 현행 2035 NDC 냉매 부문 목표보다 낮은 수준으로 나타났다. 이는 NDC를 설정할 때 냉매 부문의 감축 잠재력을 추가로 반영할 여지가 있음을 시사한다. 아울러 누출관리를 추가로 강화하고 자연냉매 전환을 병행하는 경우 배출량을 더욱 낮출 수 있는 것으로 분석되어, 향후 2040년 및 2045년 NDC 설정 시 이러한 추가적인 감축 잠재력을 고려할 수 있다.

정책 수단으로는 장기적인 자연냉매 전환과 기존 설비의 직접배출 관리를 함께 추진하기 위해, 대형마트·편의점·물류센터·저온창고 등 냉매 충전량이 큰 분야를 대상으로 자연냉매 설비 전환을 지원하는 방안을 검토할 수 있다. 이와 함께 냉매의 충전·보충·회수량과 수리이력을 관리하고, 반복 누출 설비에 대한 수리 검증·교체 계획 및 자동누출감지 장치 도입을 강화하는 방안도 함께 고려할 수 있다.

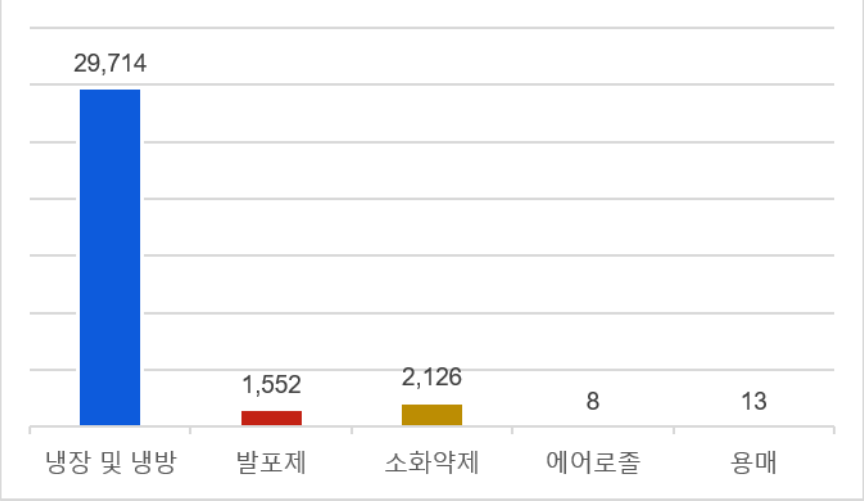
---

[1] 자연냉매는 이산화탄소(CO_2), 프로판, 이소부탄, 암모니아 등 자연계에 존재하는 물질을 냉매로 사용하는 것을 의미하며, GWP가 대체로 0~3 수준으로 기존 고GWP 합성냉매보다 낮다.

2. 국내 HFCs 배출 현황

한국은 몬트리올 의정서 키갈리 개정안에 따라 2029년부터 HFCs의 생산과 소비를 단계적으로 감축해야 한다.[2] 이를 위해 한국 정부는 냉매정보관리시스템과 몬트리올 의정서 대응사업 등을 운영하고 있으나, 최근 온실가스감축인지예산에 따르면 국내 냉동·공조기기의 HFCs 누출 관리, 냉매 회수·재생, 저GWP·자연냉매 전환을 직접 지원하는 독립적인 재정사업은 사실상 마련되어 있지 않다.[3] 국내 HFCs 감축 수단의 도입이 지연되면서 HFCs 배출량은 증가 추세를 보이고 있으며, 국내 데이터센터의 확대에 따른 냉각 시스템의 냉매 수요 증가도 향후 HFCs 배출을 증가시키는 요인으로 작용할 것으로 예상된다.

2023년 기준 한국의 HFCs 총배출량은 33,629 $ktCO_2eq$로[4], 국내 온실가스 총배출량의 약 4.8%를 차지한다. 이는 NDC 기준연도인 2018년의 23,595 $ktCO_2eq$보다 42.5% 증가한 수치로, 같은 기간 국내 온실가스 총배출량이 감소한 것과 대조적이다. 한국의 HFCs 배출량 대부분은 냉매·발포제·소화약제 등이 포함된 오존층파괴물질(Ozone-Depleting Substances, 이하 ODS) 대체물질 사용 부문에서 발생하며, 2023년 이 부문의 배출량은 33,413 $ktCO_2eq$로 국내 HFCs 총배출량의 99.4%에 달했다. 이 가운데 냉장·냉방 부문의 배출량은 29,714 $ktCO_2eq$로 해당 부문 배출량의 88.9%를 차지했으며, 나머지는 주로 소화약제(6.4%)와 발포제(4.6%)에서 발생하였다(**[그림 1]** 참조).



[그림 1] 부문별 HFCs 배출량(2023년 기준, 단위: $ktCO_2eq$)

2035 NDC에 따르면, 한국 정부는 2035년 냉매 부문의 목표 순배출량을 2018년 대비 약 10.4~18.6% 증가한 25.5~27.4 $MtCO_2eq$으로 설정하였다.[5] 냉매 부문의 목표 배출량이 기준연도보다 높게 설정된 것은 전력·산업·건물 등 다른 부문에서 적어도 20% 이상의 배출 감축을 목표로 하는 것과 비교할 때, 냉매 부문의 감축 속도가 상대적으로 더딜 것으로 예상된다는 점을 보여준다. 이와 관련하여 기후에너지환경부 대기정책과 한상우 사무관은 추가적인 냉매 부문 감축 대책이 마련되지 않을 경우 2035년 냉매 배출량이 62.0 $MtCO_2eq$ 이상으

---

[2] HFCs는 오존층파괴물질의 대체물질로 널리 사용되어 왔으나, 지구온난화지수가 높아 키갈리 개정안의 단계적 감축 대상에 포함되었다. 이에 따라 한국은 A5-1 당사국으로서 2029년부터 감축을 시작하여 2045년까지 기준수량의 80%를 감축해야 한다(노민영 외, 2025).

[3] 국회예산정책처. (2025). *2026년도 온실가스감축인지 예산서 분석*. pp. 73–85.

[4] 온실가스종합정보센터. (2026). *2025 국가 온실가스 인벤토리(1990~2023) 보고서(NID)*.

[5] 기후에너지환경부. (2025a). *2035 국가 온실가스 감축목표(안)*.

로 증가할 것으로 전망된다는 점에서 현 2035 NDC 목표를 도전적인 수준으로 평가하였다.[6] 실제로 한국의 제1차 격년투명성보고서(Biennial Transparency Report, BTR)는 HFCs 부문의 배출량을 2025년 40.7 $MtCO_2eq$, 2030년 52.1 $MtCO_2eq$, 2035년 65.8 $MtCO_2eq$, 2040년 73.6 $MtCO_2eq$으로 추정하였으며, 다른 온실가스에 비해 높은 배출 증가세를 보일 것으로 전망하였다.[7]

냉매 부문의 배출량이 빠르게 증가하는 데에는 두 가지 주요 요인이 있다. 첫째, 오존층파괴물질인 수소염화불화탄소(Hydrochlorofluorocarbons, HCFCs)의 대체물질로 HFCs가 사용되고 있기 때문이다.[8] HCFCs는 HFCs와 달리 한국의 NDC 산정 대상에 포함되지 않는다. HCFCs는 1987년 채택된 몬트리올 의정서에 따라 별도로 관리되고 있으며, 2030년까지 생산과 소비가 전면 금지될 예정이기 때문이다.[9] 이에 따라 HCFCs가 HFCs로 전환되는 과정에서 NDC 산정에 포함되는 HFCs의 배출량이 큰 폭으로 증가할 것으로 예상된다.

둘째, AI 확산에 따른 데이터센터의 증설이다. 데이터센터는 냉각설비의 냉매뿐 아니라 전산실 방호용 청정소화약제와 건물 단열재에 사용되는 발포제까지 세 가지 HFCs 배출원을 수반한다. 앞의 요인이 물질 전환에 따른 구조적·장기적 증가 요인이라면, 데이터센터 증설은 최근 특정 부문을 중심으로 나타나는 추가적인 증가 요인이라는 점에서 성격이 다르며, 앞서 인용한 BTR의 전망에도 별도로 반영되어 있지 않다.

이러한 배출 증가 요인을 고려할 때, 향후 냉매 부문의 배출 경로와 감축 수단별 감축 잠재력을 정량적으로 살펴볼 필요가 있다.

---

[6] 김정현. (2026.08.). *[냉매 전주기관리체계 관리기관 인터뷰] 한상우 기후부 대기환경정책과 사무관.* 콜드체인뉴스. https://www.coldchainnews.kr/news/article.html?no=28781

[7] 기후에너지환경부. (2025b). *유엔기후변화협약 및 파리협정에 따른 제1차 격년투명성보고서 및 제5차 국가보고서(The Republic of Korea's First Biennial Transparency Report and Fifth National Communication).*

[8] HCFCs는 오존층을 파괴한다고 알려진 초기 합성냉매 염화플루오린화탄소(Chlorofluorocarbons, CFCs)를 대체하기 위해 사용되기 시작하였다. 하지만 여전히 오존층을 파괴하며 지구온난화를 유발한다는 점 때문에 HCFCs 역시 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)에 따라 2030년까지 생산과 소비가 금지될 예정이다(Annex C 제1군).

[9] 산업통상자원부. (2022.10.11.). *냉매 등에 사용되는 수소불화탄소(HFC) 감축 이행을 위한 제도 정비 추진* [보도자료].

3. 냉매 부문 HFCs 배출 전망 및 감축 시나리오

앞서 살펴본 국내 HFCs 배출구조와 향후 배출 증가 요인을 바탕으로, 본 장에서는 냉매 부문을 대상으로 정책 시나리오별 배출 경로를 전망한다. 비교 기준이 되는 '기준 전망(BAU) 시나리오'와 함께 현행 정책, 누출관리 강화, 자연냉매 전환 및 두 수단을 병행하는 시나리오를 구성하여 각 시나리오의 배출량 변화를 비교한다. 감축 수단별 시나리오는 냉매로 사용되는 HFCs에 초점을 맞추어 산정한다. 이는 NDC 냉매 부문 목표와 직접 비교하고 감축 수단별 정책 효과를 살펴보기 위한 것이며, 기준 전망 시나리오는 각 감축 수단의 감축 잠재력을 산정하기 위한 비교 기준으로 활용한다.

3.1 기준 전망(BAU) 시나리오

'기준 전망(Business as Usual, BAU) 시나리오'는 별도의 감축 정책이 없는 무정책 시나리오가 아니라, 2021년 이전의 온실가스 감축 정책이 유지되는 BTR의 With Measures(WM) 전망을 기반으로 데이터센터 증가에 따른 추가 냉매 수요를 반영한 비교 기준이다. 즉, 기존 감축 정책이 유지되는 조건에서 2025~2040년 냉매 부문의 배출량이 어떻게 변화하는지를 나타내는 기준 경로로 활용한다.

BTR의 With Measures(WM) 시나리오는 2021년 이전의 온실가스 감축 정책이 유지되는 조건에서 HFCs 부문의 2025~2040년 배출량을 전망한다. 다만 인공지능(Artificial Intelligence, AI) 확산에 따른 데이터센터(Data Center, DC) 증가와 이에 따른 냉매 수요 증가는 명시적으로 반영하지 않는다. 이에 본 연구에서는 에너지경제연구원(Korea Energy Economics Institute, KEEI)의 국내 데이터센터 수전용량 전망을 바탕으로 IT 용량과 냉각용량을 환산하여 냉매 보유량을 추정하고, IPCC 2006 지침과 환경부 배출권거래법령 고시의 산정식을 적용하여 연간 배출량을 전망한다. 또한 데이터센터의 HFCs 배출원은 냉각설비의 냉매에 한정되지 않으므로, 전산실 방호에 사용되는 청정소화약제와 건물 단열재에 사용되는 발포제를 함께 포함한다. 이를 반영하여 데이터센터 수요 증가가 포함된 기준 전망을 구성하였다(산정 절차와 적용 계수는 **부록 A** 참조).

3.2 감축 시나리오 구성

냉매 부문의 2035년 감축 목표 달성을 위해 정부는 세 가지 주요 감축 수단을 제시하고 있다[10]: (1) 신규 제품의 고GWP 냉매 사용을 제한하고 제품군별 전환 시기와 GWP 기준에 따라 저GWP 냉매로 전환[11], (2) 제품 사용 단계의 냉매 누출을 줄이기 위한 누출률 관리기준 강화, (3) 신규 냉매 수요를 줄이기 위한 냉매 회수 및 재활용 체계 구축. 본 분석에서는 이 가운데 배출 경로에 직접 반영할 수 있는 저GWP 냉매 전환과 누출관리 강화를 중심으로 정책 시나리오를 구성하고, 추가적인 감축 수단으로 자연냉매 전환을 함께 비교한다. 정부의 현행 계획을 반영한 시나리오를 기준으로 누출관리 강화 여부와 자연냉매 전환 여부를 조합한 네 가지 정책 시나리오는 **[표 1]**과 같다.

각 시나리오의 배출량은 IPCC 2006 지침의 Tier 1a 산정 방법론[12]과, 2019년 Refinement의 물질수지 흐름

[10] 기후에너지환경부. (2025a). *2035 국가 온실가스 감축목표(안).*
[11] 기후에너지환경부·산업통상부. (2025). *수소불화탄소(HFCs) 사용 제품의 물질 전환 일정 공고.*
[12] IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3: Industrial Processes and Product*

(stock-flow) 접근[13]을 결합한 간이 냉매 배출량 산정식을 활용하여 추정한다. 이를 통해 정부의 현행 계획과 추가적인 감축 수단에 따른 배출 감축 잠재력을 비교한다. Tier 1a 산정식은 당해연도의 신규 냉매 순소비량 중 일부와 직전연도까지 누적된 냉매 잔존량(이하 bank)[14] 중 일부가 대기 중으로 누출되는 것으로 보고 이를 합산하여 배출량을 산정한다. 물질수지 흐름 접근은 직전연도의 bank에 신규 시장 유입량을 더하고 누출량과 폐기·교체량을 차감하여 당해연도의 bank를 산정하는 방식이다. 배출량과 bank를 산정할 때에는 HFCs 등 합성냉매와 자연냉매의 질량 및 GWP를 각각 적용하여 이산화탄소 환산톤(tCO_2eq)으로 변환한 후 합산하였다(산정 절차와 적용 데이터는 **부록 B** 참조).

구분	저GWP 냉매 전환[15]	자연냉매 전환
누출률 목표 7.7%	현행안	자연냉매 전환안
누출률 목표 4.0%	누출관리 강화안	병행안

[표 1] HFCs 감축 정책 시나리오 구성

'현행 시나리오'는 정부의 현재 계획을 반영한다. 누출률을 2035년까지 7.7%로 낮추고, 제품군별 전환 시기와 GWP 기준에 따라 신규로 생산 또는 수입되는 기기에 사용되는 냉매의 GWP를 제한한다. 누출률은 IPCC 2006 지침의 배출계수인 15%에서 시작하여 2035년 7.7%까지 선형으로 감소하도록 설정하고, 이후 2040년까지 7.7%를 유지한다. 제품군별로 신규 시장에 유입되는 냉매의 GWP는 「수소불화탄소(HFCs) 사용 제품의 물질 전환 일정 공고」[16]의 기준에 따라 설정하였다. 시기별로 GWP 기준이 강화되는 경우에는 해당 전환 시점부터 강화된 GWP 기준을 적용한다.

'누출관리 강화 시나리오'는 현행 시나리오와 동일한 냉매 전환 기준을 적용하되, 2035년까지 누출률을 4.0%로 낮추는 방안이다. 이는 폴란드, 독일 등 유럽국가가 2020년대 달성한 누출률 수준과 국내 규제정책 및 기술 도입 시기를 고려하여 설정하였으며,[17] 누출률은 2035년까지 선형으로 감소한 뒤 2040년까지 4.0%를 유지한다.

'자연냉매 전환 시나리오'는 누출률 목표를 현행 정책 수준인 7.7%로 유지하되, 제품군별 전환 시점 이후 신규로 시장에 유입되는 기기에 적용 가능한 냉매를 자연냉매로 전환하는 것으로 설정하였다. 자연냉매 전환의 최대 감축 잠재력을 살펴보기 위해 R-290, R-600a, R-717, R-744 등을 제품군별 대표 자연냉매로 적용한다.

Use, Chapter 7: Emissions of Fluorinated Substitutes for Ozone Depleting Substances.

[13] IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3: Industrial Processes and Product Use,* Chapter 7: Emissions of Fluorinated Substitutes for Ozone Depleting Substances.

[14] IPCC(2006)에 따르면, bank는 어떤 용도에 이미 소비·투입되었지만, 아직 대기 중으로 배출되지 않은 화학물질의 누적 잔존량을 의미한다. Tier 1a 식에 따라 냉매로 인한 배출량을 산정할 때, 시장에 신규로 투입된 냉매뿐 아니라 기존에 운용되고 있던 기기에 잔존하는 냉매에서 누출되는 양 또한 고려해야 하기 때문에 bank 값을 사용하여야 한다.

[15] 저GWP 냉매는 지구온난화지수(GWP)가 낮은 냉매 전반을 포괄하는 개념이며, 자연냉매도 그 범주에 포함된다. 다만 현행 정부안은 기준을 충족하는 경우 자연냉매보다 GWP가 상대적으로 높은 합성냉매의 전환도 허용한다. 따라서 본문에서 말하는 '저GWP 냉매 전환'은 자연냉매보다는 HFOs 등 저GWP 합성냉매로의 전환에 초점을 둔 용어로 해석할 필요가 있다.

[16] 기후에너지환경부·산업통상부. (2025). *수소불화탄소(HFCs) 사용 제품의 물질 전환 일정 공고.*

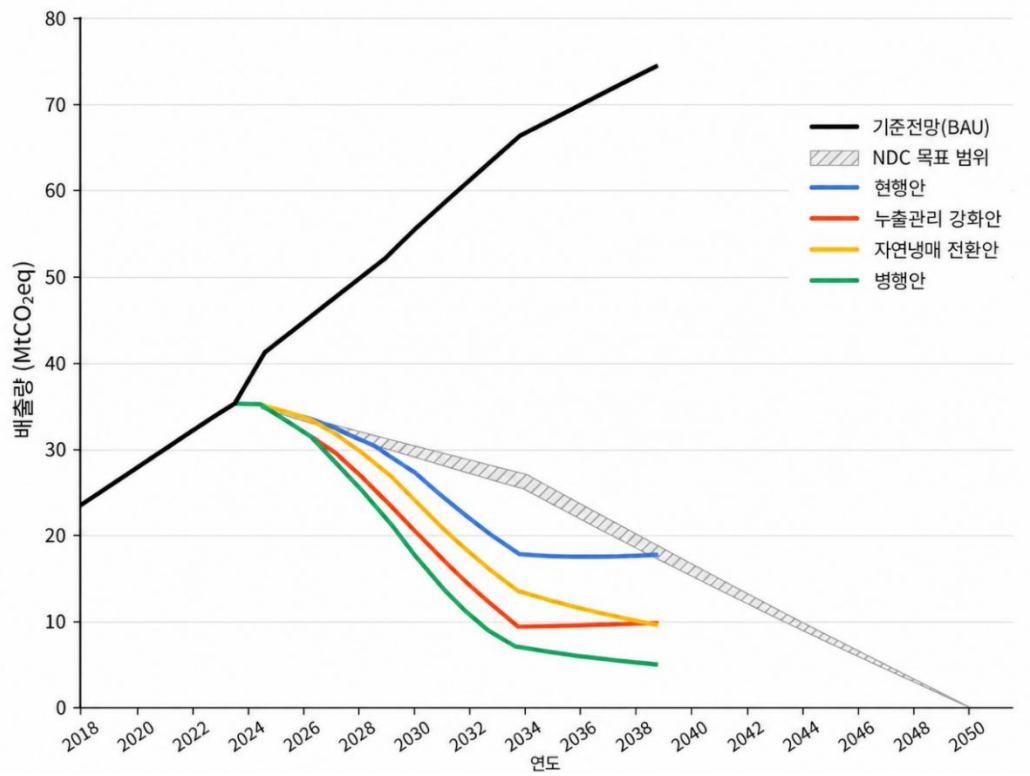
[17] Birchby, D., Dubey, J., Johansen, B., Hekman, J., Gschrey, B., Behringer, D., Kleinschmidt, J., Jörß, W., Liste, V., Ludig, S., & Wissner, N. (2022). *Support contract for an evaluation and impact assessment for amending Regulation (EU) No 517/2014 on fluorinated greenhouse gases: Evaluation final report.* Publications Office of the European Union. https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-04/f-gas_evaluation_report_en.pdf; Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe e. V. (VDKF). (2026). *Kältemittel-Leckagerate liegt bei nur noch 1,0 %.* VDKF. https://www.vdkf.de/kaeltemittel-leckagerate-liegt-bei-nur-noch-10/

'병행 시나리오'는 제품군별 자연냉매 전환과 2035년 누출률 4.0% 목표를 함께 적용하여, 정부의 현행 계획보다 냉매 전환과 누출관리를 모두 강화하는 것으로 설정한다.

3.3 분석 결과

앞서 구성한 정책 시나리오와 간이 산정식을 적용하여 산출한 시나리오별 냉매 부문의 HFCs 배출 경로는 **[그림 2]**와 같다.

'기준전망(BAU) 시나리오'의 배출 경로는 지속적인 증가 추세를 보인다. 2035 NDC 냉매 부문 목표와 비교할 때, 목표 달성을 위해서는 기준 전망(BAU) 대비 약 59%(53% NDC안) 또는 61%(61% NDC안)의 배출 감축이 필요하다. HFCs는 우리나라 온실가스 인벤토리에서 냉매 부문 외에도 화학산업, 금속산업, 전자산업 등에서 배출되므로, 기준 전망 시나리오와 냉매 부문의 NDC 목표를 직접 비교하는 데에는 한계가 있다. 그럼에도 HFCs 배출 증가의 대부분은 오존층파괴물질(ODS) 대체물질인 냉매·발포제·소화약제 등의 사용에서 비롯되며, 특히 냉매 부문의 비중이 크다는 점에서 HFCs 감축 수단의 효과를 비교하기 위한 기초 자료로 활용할 수 있다. 본 연구의 기준 전망 시나리오는 BTR WM 시나리오의 HFCs 배출 전망에 더해, BTR에 명시적으로 반영되지 않은 데이터센터 증설에 따른 HFCs 수요 증가를 추가로 고려하였다는 점에서 차이가 있다. 데이터센터 증설에 따른 추가 HFCs 배출량은 전체 배출량의 연평균 약 0.64%에 해당하는 것으로 추정된다.



[그림 2] 정책 시나리오별 냉매 부문 배출 경로(단위: $MtCO_2eq$)

'현행 시나리오'의 배출 경로는 지속적으로 감소하다가 2035년 누출률 목표 달성과 제품군별 냉매 전환이 진행

된 이후 감소폭이 완만해지며, 2039~2040년에는 배출량이 다시 증가하는 것으로 나타난다. 이는 단년도 배출량 변화 자체보다, 누출률 목표와 제품별 GWP 기준이 추가로 강화되지 않는 경우 증가하는 냉매 수요를 충분히 상쇄하지 못할 가능성이 있음을 보여준다.

'누출관리 강화 시나리오'는 누출률 관리 강화로 인해 현행 시나리오보다 2020년대 후반부터 배출량이 더 빠르게 감소하지만, 목표 누출률이 4.0%로 고정되는 2035년 이후에는 다시 증가하는 경향이 나타난다. 이는 누출률 개선이 기존 냉매 bank에서 발생하는 직접배출을 줄이는 데 기여할 수 있지만, 신규 냉매 유입이 계속 증가하는 경우 누출관리만으로 장기적인 배출 증가 압력을 모두 상쇄하기는 어렵다는 점을 보여준다.

'자연냉매 전환 시나리오'에서는 2035년 이후에도 배출량 감소 추세가 유지된다. 이는 자연냉매의 GWP가 기존 고GWP HFCs보다 낮아 신규 설비의 자연냉매 전환이 누적될수록 배출 증가 압력을 낮추는 방향으로 작용한 결과이다.

마지막으로 **'병행 시나리오'**는 전망 기간 동안 배출량이 지속적으로 감소하며, 자연냉매 전환에 따른 장기적인 배출 저감 효과와 누출관리 강화에 따른 직접배출 저감 효과가 함께 나타난다. 2035년 이후에는 누출률이 4.0%에 도달해 추가적인 누출률 개선 효과가 제한되므로, 배출량 감소폭은 이전보다 완만해진다.

3.4 정책적 시사점

시나리오별 배출 경로 분석을 바탕으로 국내 HFCs 감축을 위한 정책적 시사점을 다음과 같이 도출할 수 있다.

첫째, 자연냉매 전환은 장기적인 배출 증가 압력을 낮추는 주요 수단으로 작용할 수 있다. 저 GWP 합성냉매 전환이 적용된 '현행 시나리오'와 '누출관리 강화 시나리오'에서는 2035 년 이후 추가적인 기준 강화가 없을 경우 배출 감소폭이 축소되고 이후 다시 증가하는 것으로 나타났다. 반면, '자연냉매 전환 시나리오'와 '병행 시나리오'에서는 전망 기간 동안 배출 감소 추세가 유지된다. 따라서 제품군별 GWP 상한을 단계적으로 낮추는 현행 정책과 함께, 적용 가능한 분야에서 자연냉매 전환을 확대하는 방안을 검토할 수 있다.

둘째, 자연냉매 전환과 함께 누출률 관리도 단계적으로 강화할 수 있다. 냉매는 기기의 충전·사용·교체·폐기 전 과정에서 대기 중으로 누출될 수 있으므로, 누출률을 낮추는 것은 냉매의 직접배출을 줄이는 주요 수단이다. 분석 결과, 4.0%의 누출률 목표를 적용한 시나리오에서 배출량이 더 낮게 나타났으며, 누출률 목표에 도달하는 2035년 이후에는 감축 속도가 완만해졌다. 자연냉매 전환이 냉매 부문의 장기적인 배출 감소 추세를 유지하는 수단이라면, 누출률 개선은 해당 경로에서 배출량의 절대적 수준을 낮추는 수단으로 볼 수 있다. 따라서 자연냉매 전환을 추진하는 동시에 2035년 이후 누출률 목표를 추가로 낮추는 방안도 검토할 수 있다.

셋째, 분석 결과는 향후 NDC를 설정할 때 냉매 부문의 감축 수준을 추가로 상향할 여지가 있음을 시사한다. 본 연구에서 구축한 모형은 단순화된 구조이므로 실제 배출량에 영향을 미치는 모든 요인을 포함하지는 않는다. 그럼에도 국내의 주요 감축 수단을 반영하여 분석한 결과, 현행 정부 계획만으로도 2035년 냉매 부문 NDC 목표보다 낮은 배출 수준에 도달할 수 있는 것으로 추정된다. 특히 본 연구의 모형에는 정부가 제시한 세 번째 주요 감축 수단인 냉매 회수·재활용을 통한 신규 냉매 수요 억제 효과가 포함되지 않았다는 점을 고려하면, 향후 2040년 및 2045년 NDC 설정 시 자연냉매 전환과 누출률 개선의 추가적인 감축 잠재력을 반영할 여지가 있다.

종합하면, 누출률 개선을 중심으로 한 현행 계획이 원활히 이행될 경우 단기적으로는 2035년 냉매 부문 NDC 목표보다 낮은 배출 수준에 도달할 수 있을 것으로 추정된다. 다만 이후 추가적인 누출률 개선과 자연냉매 전환이 이루어지지 않을 경우 냉매 배출량이 다시 증가하여, 장기적인 감축 경로를 유지하는 데 한계가 있을 수 있다. 따라서 2040년 및 2045년 NDC 설정 시 적용 가능한 분야에서 자연냉매 전환을 확대하고 누출률 관리기준을 추가로 강화하는 방안을 감축 수단으로 고려할 수 있다. 이를 위해서는 자연냉매 적용 기술의 확산과 함께 관련 설비의 안전한 설치·운영을 위한 전문인력과 관리체계를 지속적으로 확충할 필요가 있다.

4. 정책 방안

4.1 자연냉매 전환 사례 및 정책 방안

현행「수소불화탄소(HFCs) 사용 제품의 물질 전환 일정 공고」는 제품군별 GWP 기준을 단계적으로 강화하는 방식으로 설계되어 있어,[18] 기준을 충족하는 저 GWP HFCs 와 HFOs 등 합성냉매도 전환 선택지에 포함된다. 이러한 접근은 고 GWP HFCs 사용을 줄이는 데 기여할 수 있지만, GWP 기준만으로 장기적인 냉매 전환 방향을 설정하는 데에는 한계가 있다. 특히 일부 불소계 냉매는 대기 중 분해 과정에서 초단쇄 과불화·폴리플루오로알킬 물질(Per- and Polyfluoroalkyl Substances, PFAS)을 생성할 수 있다. 이에 유럽연합은 2023 년부터 산업계와 협의를 거쳐 사회경제적 영향을 분석하며 PFAS 규제안 도입을 추진하고 있으며,[19] 향후 규제가 확정될 경우 일부 HFOs 를 사용하는 제품·설비의 생산과 사용이 제한될 가능성이 있다.

이러한 관점에서 R-290(프로판, C_3H_8), R-600a(이소부탄, C_4H_{10}), R-717(암모니아, NH_3), R-744(이산화탄소, CO_2) 등 자연냉매는 장기적인 HFCs 감축을 뒷받침할 수 있는 주요 대안이다. 자연냉매는 GWP 가 0~3 수준으로 매우 낮아 누출이 발생하더라도 고 GWP 냉매를 사용하는 경우보다 기후변화에 미치는 영향이 현저히 작으며, HFOs 와 달리 PFAS 와 같은 불소계 분해산물의 발생 우려가 없다는 장점이 있다.

다만 자연냉매의 도입을 시장에만 맡기기에는 한계가 있다. 기존 합성냉매와 물성이 다른 자연냉매는 초기 설비 교체 및 설계·시공 비용이 높다고 인식되는 경우가 있으며, 기후, 적용 부문 및 기술성숙도 등에 따라 비용효율성도 달라질 수 있기 때문이다. 그러나 자연냉매 전환의 경제성은 기술 발전과 적용 경험의 축적에 따라 개선되고 있다. International Institute of All-Natural Refrigeration(IIAR)은 암모니아 설비의 설치비용이 기존 설비보다 10~20% 낮을 수 있으며, 열역학적 효율 역시 3~10% 높아 전력 소비를 줄일 수 있다고 제시하였다.[20] 스웨덴의 한 현장연구에서는 슈퍼마켓용 HFCs 시스템과 R-744 초임계 시스템을 비교한 결과 약 20%의 연간 에너지 절감 효과가 나타나, 슈퍼마켓에 R-744 초임계 시스템을 적용할 수 있는 근거를 제시하였다.[21] 또한 국내 업계 사례에서도 자연냉매 전환과 냉동효율 최적화를 통해 전력 소비와 운영비를 절감할 가능성이 제시된 바 있다.[22] 따라서 자연냉매 전환의 비용과 편익을 평가할 때에는 냉매 누출에 따른 온실가스 직접배출 감축 효과뿐 아니라 설비 효율 개선에 따른 간접배출 감축 효과도 함께 고려할 수 있다.

한편 주요 국가에서는 자연냉매 도입을 촉진하기 위한 다양한 정책을 시행하고 있다. **일본**은 비교적 직접적인 재정지원 방식을 활용하여, 2014 년 50 억 엔 규모의 지원사업 이후 최근까지 연간 약 70 억 엔을 투입하여 편의점·슈퍼마켓 등을 대상으로 자연냉매 냉동·냉장설비 도입을 지원하고 있다.[23] **미국** 캘리포니아주의 Building

---

[18] 기후에너지환경부·산업통상부. (2025). *Ibid.*

[19] 산업통상부. (2026.03.25.). *유럽연합(EU) 과불화화합물 규제 대응을 위해 민·관이 함께 머리 맞댄다.* 산업통상부 [보도자료].

[20] International Institute of All-Natural Refrigeration. (n.d.). *Economic advantages of ammonia refrigeration.* https://www.iiar.org/IIAR/About_Ammonia_Refrigeration/Economic_Advantages_of_Ammonia_Refrigeration.aspx

[21] Sawalha, S., Piscopiello, S., Karampour, M., Manickam, L., & Rogstam, J. (2017). *Field measurements of supermarket refrigeration systems. Part II: Analysis of HFC refrigeration systems and comparison to CO_2 trans-critical.* Applied Thermal Engineering. 111. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.09.073

[22] 주호민(2022.10.). *탄소중립 도전...미래형 콜드체인 기술 논의.* 콜드체인뉴스. https://www.coldchainnews.kr/news/article.html?no=24754

[23] 일본 Ministry of the Environmnet. (2014). *平成26年度先進技術を利用した省エネ型自然冷媒機器普及促進事業に係る補助事業者（執行団体）の募集について（お知らせ）*. https://www.env.go.jp/press/17795.html.

일본 Ministry of the Environment. (2026). *令和8年度予算 脱炭素化支援事業 事業概要（合本版）*.

Initiative for Low-Emissions Development(BUILD) 프로그램은 저 GWP 냉매를 적용한 히트펌프 등의 설비에 대해 냉매의 GWP 수준에 따라 추가 인센티브를 차등 지급하며,[24] **독일**은 건물 에너지효율 지원제도(Bundesförderung für effiziente Gebäude, BEG)를 통해 2028 년부터 보조금 지원 대상 히트펌프를 자연냉매 사용 제품으로 한정할 예정이다.[25] 이처럼 주요국은 재정지원과 지원요건을 활용하여 자연냉매 설비의 초기 투자비 부담을 완화하고 시장 전환에 대한 정책적 신호를 제공하고 있다.

자연냉매 확대 과정에서는 안전 요건도 함께 고려할 필요가 있다. 자연냉매 가운데 R-290 은 인화성, R-717 은 독성이 있으며, R-744 는 고압 설계가 필요하다는 특성이 있다. 따라서 설비 용도별 안전기준, 충전량 제한, 환기·감지설비, 설치 공간 기준과 함께 전문인력의 교육·훈련 체계를 갖출 필요가 있다.[26] **유럽**과 **호주**에서는 가연성·유독성 냉매에 대한 안전기준과 기술자 교육을 병행하면서 신선식품 냉장 분야에서 자연냉매 사용을 확대하고 있다.[27]

이와 함께, 주요국들은 공공조달과 실증사업을 통해 자연냉매의 초기 시장 형성을 지원하고 있다. 실증사업은 자연냉매 설비의 성능·안전성·운영비 등에 관한 데이터를 축적하여 기술 도입의 불확실성을 낮추고, 공공조달은 검증된 설비에 안정적인 초기 수요를 제공하는 역할을 할 수 있다. **EU** LIFE 프로그램(Programme for the Environment and Climate Action)의 NATURAL HVACR 4 LIFE 는 R-744 냉매를 적용한 냉난방·냉동설비 21 대를 독일, 프랑스, 영국, 스페인 등의 상점과 슈퍼마켓에 설치·실증하였다. 이를 통해 지역별 기후조건에서의 성능과 안전성을 검증하였으며, 기존 R-410A 설비와 비교해 10 년간 배출량이 21% 낮다는 결과를 제시하였다.[28] **북유럽** 각료이사회는 냉동·공조·히트펌프(Refrigeration and Air Conditioning, RAC) 제품군 25 개에 대해 녹색 공공조달(Green Public Procurement, GPP) 기준을 마련하여 자연냉매를 포함한 저 GWP 냉매와 에너지효율을 조달기준에 반영하였다. 또한 북유럽 RAC 설비의 HFCs 축적량 가운데 약 10%가 공공소유 설비에 포함된 것으로 추정하여, 공공부문의 조달기준이 일정 규모의 초기 수요를 형성할 수 있음을 보여주었다. 아울러 자연냉매가 다수의 RAC 제품군에서 기존 대안과 유사한 비용 수준으로 적용될 수 있음을 제시하였다.[29]

---

https://www.env.go.jp/earth/earth/ondanka/enetoku/pamphlet/pdf/2026/enetoku_jigyo_gaiyo_2026-R8.pdf.

[24] California Energy Commission. (2023). *BUILD building initiative for low-emissions development program: Low global warming potential refrigerants kicker incentive opportunity* (Version 1). California Energy Commission.

[25] 독일 Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. (2026). *Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG): Anpassungen 2026*. KfW. https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesf%C3%B6rderung-f%C3%BCr-effiziente-Geb%C3%A4ude/Anpassungen-2026/

[26] Palm, B. (2008). *Hydrocarbons as refrigerants in small heat pump and refrigeration systems – A review.* International Journal of Refrigeration, 31(4), 552-563. https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2007.11.016; Maina, P., & Huan, Z. (2015). *A review of carbon dioxide as a refrigerant in refrigeration technology.* South African Journal of Science, 111(9/10). https://doi.org/10.17159/SAJS.2015/20140258

[27] ATMOphere (2025). *Natural Refrigerants: State of the Industry 2024* – 2.7 European Market Data. Stores Using Natural Refrigerants. https://atmosphere.cool/chapters_report/2-7-european-market-data-storesusing-natural-refrigerants

[28] European Commission, CINEA. (2025). *NATURAL HVACR 4 LIFE*. https://cinea.ec.europa.eu/featured-projects/natural-hvacr-4-life_en

[29] Nordic Council of Ministers. (2020). *Nordic criteria for green public procurement (GPP) for alternatives to high GWP HFCs in RAC products* (TemaNord 2020:512). https://www.norden.org/en/publication/nordic-criteria-green-public-procurement-gpp-alternatives-high-gwp-hfcs-rac-products

자연냉매 전환을 위한 국내 정책 방안

국내에서도 자연냉매 전환에 따른 기후·에너지·산업적 편익을 충분히 실현하기 위해서는 별도의 유인체계와 기반 조성이 필요하다. 우선 대형마트·편의점·물류센터·식품 냉동창고 등 냉매 충전량이 많고 운전시간이 긴 분야를 대상으로 자연냉매 설비 전환을 위한 보조금 또는 저리융자를 도입할 수 있다. 일본과 같이 설비 구매 및 교체비를 직접 지원하는 방식과 함께, 캘리포니아와 독일의 사례처럼 냉매의 GWP 수준에 따라 지원 규모를 차등화하여 자연냉매 사용 설비에 더 높은 지원을 제공하는 방식도 고려할 수 있다. 또한 자연냉매 적용에 따른 추가 투자비와 안전설비 비용을 지원하고, 실제 에너지 절감량과 냉매 배출 감축량 등 성과에 연계하여 지원 수준을 차등화하는 방안도 검토할 수 있다.

이와 함께 공공시설, 농수산물 저온저장고, 공공 물류시설, 지역 냉난방 및 산업용 히트펌프 등을 우선 대상으로 자연냉매 설비를 도입하고, 설비비뿐 아니라 에너지사용량·고장률·안전사고·유지관리 비용 등에 관한 운영 데이터를 축적할 수 있다. 이러한 실증자료는 국내 제조사와 시공·정비업체가 표준 설계와 유지관리 역량을 확보하는 데 활용될 수 있으며, 민간 사업자에게는 초기 투자비와 운영위험을 판단할 수 있는 근거를 제공할 수 있다. 이를 통해 자연냉매 설비에 대한 초기 수요와 시장 경험을 축적하고, 이후 민간 부문의 전환을 단계적으로 확대하는 기반을 마련할 수 있다.

4.2 누출관리 강화 사례 및 정책 방안

냉매 부문의 누출관리는 신규 장비를 자연냉매 등 저 GWP 냉매로 전환하는 것과 함께, 제품의 전 생애주기에서 대기 중으로 직접 배출되는 냉매를 줄이는 중요한 감축 수단이다. 자연냉매 전환이 신규·교체 설비를 중심으로 장기적인 배출 증가 압력을 낮추는 방안이라면, 누출관리는 이미 사용 중인 기기에 축적된 고 GWP 냉매 bank 를 폐기 단계까지 관리하여 직접배출을 줄이는 주요 수단으로 볼 수 있다.[30]

특히 누출관리는 합성냉매에서 자연냉매로 전환되는 과도기에 중요한 감축 수단이 될 수 있다. 고 GWP 냉매를 사용하는 냉동·냉장 및 공조설비는 수명이 길기 때문에 자연냉매 설비의 보급이 확대되더라도 2035 년 이후까지 상당수가 계속 운용될 가능성이 있다. 이러한 기존 설비에서 냉매 누출이 지속될 경우 자연냉매 전환에 따른 전체 감축 효과가 제한될 수 있다. 이에 최근 주요국에서는 단순히 누출량을 파악하고 냉매를 보충하는 데 그치지 않고, 누출 원인을 확인하고 수리와 사후 검증까지 요구하는 방향으로 관리체계를 강화하고 있다.

유럽연합은 「F-gas Regulation」[Regulation (EU) 2024/573]을 통해 F-gas 의 의도적인 배출을 금지하고 비의도적 배출을 예방하도록 규정하고 있다. 또한 F-gas 충전량에 따라 대상 설비를 3~24 개월 주기로 점검하고, 누출이 발견될 경우 신속히 수리한 뒤 일정 기간 내 수리 효과를 확인하도록 의무화하고 있다. 일정 규모 이상의 고정식 설비에는 자동누출감지 장치(Automatic Leak Detection, ALD)를 설치하도록 하고, 설비별 냉매 종류·충전량·보충량·회수량 등을 기록하며 관련 작업을 인증받은 인력이 수행하도록 규정하고 있다.[31]

미국은 「AIM Act」에 근거한 EPA 의 ER&R(Emissions Reduction and Reclamation) 규칙을 통해 일정 규모 이상의 HFCs 또는 GWP 53 을 초과하는 대체냉매 설비에 대해 누출수리 및 관리 의무를 규정하고 있다. 대상

[30] Multilateral Fund for the Implementation of the Montreal Protocol. (2025). *Report pursuant to decision 93/104 on life-cycle refrigerant management.*

[31] European Parliament and Council. (2024). *Regulation (EU) 2024/573 on fluorinated greenhouse gases.*

설비의 누출률이 적용 기준을 초과하면 누출 부위를 수리해야 하며, 수리와 검증 이후에도 기준을 충족하지 못할 경우에는 설비의 개조 또는 폐기 계획을 수립·이행하도록 하고 있다.[32] 이처럼 주요국은 누출관리 대상 설비를 명확히 규정하고 누출률 기준을 설정하는 한편, 기준 초과 시 수리·검증·개조·폐기 등 후속조치까지 연계하고 있다.

종합하면, 자연냉매 전환은 신규·교체 설비를 중심으로 장기적인 배출 증가 압력을 낮추는 수단이며, 누출관리는 전환 과정에서도 계속 운용되는 기존 고 GWP 냉매 설비의 생애주기 배출을 줄이고 잔여 냉매의 회수·재생을 가능하게 하는 보완 수단이다. 따라서 국내에서도 자연냉매 전환과 함께 기존 설비의 누출 예방, 점검·수리, 회수·재생을 연계한 관리체계를 강화하는 방안을 검토할 수 있다. 특히 누출률 기준을 설정하는 데 그치지 않고, 기준 초과 시 수리와 사후 검증, 반복 누출 설비에 대한 개조·교체 계획, 자동누출감지 장치 도입 등을 함께 연계하는 방식으로 제도를 구체화할 수 있다. 이를 통해 2035 년 이후 국가 온실가스 감축목표 달성에 필요한 지속적인 기반을 마련하고, 보다 강화된 목표를 달성할 수 있을 것으로 기대된다.

누출관리 강화를 위한 국내 정책 방안

한국도 「대기환경보전법」에 따라 관리대상 냉매사용기기의 냉매를 대기 중으로 방출하는 것을 금지하고, 기기 상태와 냉매 누출 여부를 점검하여 그 결과에 따라 유지·보수하도록 하고 있다. 또한 냉매를 회수할 때에는 회수 전 누출감지기를 이용해 누출 여부를 확인하고, 누출이 발견되면 지체 없이 누출 지점을 보수한 후 회수해야 하며, 회수 후에도 누출 여부를 다시 확인하도록 규정하고 있다. 다만 현행 제도는 1 일 냉동능력 20RT 이상의 고정식 냉매사용기기를 중심으로 적용되며, 점검 주기, 허용 누출률, 반복 누출 설비에 대한 개선계획이나 교체 의무 등은 명시적으로 규정하고 있지 않다. 향후에는 누출량과 냉매 충전량이 큰 상업용 냉동·냉장설비를 우선 대상으로 냉매의 충전량·보충량·회수량과 수리이력을 체계적으로 관리하고, 일정 수준 이상의 누출이 반복되는 설비에 대해서는 수리 검증과 교체·개조 계획을 요구하는 방향으로 제도를 보완한 뒤 적용 대상을 단계적으로 확대하는 방안을 검토할 수 있다. 최근 정부가 추진하고 있는 냉매 회수량의 냉매정보관리시스템(Refrigerant Information Management System, RIMS) 연계와 R-290 히트펌프용 누출감지·제어기술 개발은 각각 냉매 회수 과정의 투명성과 자연냉매 설비의 안전성을 높이는 관리체계의 기반으로 활용될 수 있다.

이러한 관점에서 누출률 7.7% 목표는 현행 누출관리 제도의 성과를 평가하는 기준으로 활용할 수 있으며, 장기적으로는 누출률 목표를 추가로 낮추는 방안도 검토할 수 있다. 자연냉매 전환이 확대될수록 고 GWP 냉매를 사용하는 기존 설비의 규모는 점차 줄어들고, 남아 있는 설비를 보다 집중적으로 관리할 수 있기 때문이다. 따라서 2035 년 이후에는 누출률 목표를 단계적으로 낮추어 직접배출을 추가로 감축하는 경로를 설정하는 방안을 고려할 수 있다. 다만 이러한 목표는 자연스럽게 달성되는 것이 아니라, 허용 누출률 기준의 단계적 강화와 함께 정기점검·수리 검증·반복 누출 설비의 개조 또는 교체와 같은 관리수단이 뒷받침될 때 검토할 수 있는 장기적인 정책목표로 보는 것이 적절하다.

[32] U.S. Environmental Protection Agency. (2024). *Phasedown of hydrofluorocarbons: Management of certain hydrofluorocarbons and substitutes under the American Innovation and Manufacturing Act of 2020* (89 Fed. Reg. 82,682; codified at 40 C.F.R. § 84.106). https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2024-10-11/pdf/2024-21967.pdf

참고문헌

관계부처 합동. (2024). *온실가스 감축을 위한 수소불화탄소 관리제도 개선방안*.

국토교통부. (2024.04.16.). 전국 건축물 총 7,391,084 동 / 42 억 27 백만m² [보도자료]. 대한민국 정책브리핑. https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156625508

노민영, 김학영, & 윤소원. (2025). HFCs 배출량 감축을 위한 정책 옵션별 장기 시나리오 탐색. *한국기후변화학회지, 16*(6), 1377–1390. https://doi.org/10.15531/KSCCR.2025.16.6.1377

대한민국 법제처. (2026a). *대기환경보전법 시행규칙 [별표 35 의 2]: 냉매사용기기의 범위*.

대한민국 법제처. (2026b). *대기환경보전법 제 76 조의 11: 냉매회수업의 등록*.

산업통상자원부. (2024). *2023 년도 특정물질의 생산량·소비량·수출량 및 수입량 산정치의 실적 공고*.

산업통상자원부. (2025). *2024 년도 특정물질의 생산량·소비량·수출량 및 수입량 산정치의 실적 공고*.

온실가스종합정보센터. (2025a). *2025 년 국가 온실가스 인벤토리 보고서*. 기후에너지환경부.

온실가스종합정보센터. (2025b). *국가 온실가스 인벤토리 (1990–2023)* [데이터세트]. 기후에너지환경부. https://www.gir.go.kr

일본 법령 번역(Japanese Law Translation). (2019). *Act on rational use and proper management of fluorocarbons*.

정정호. (2020). 전산 서버실 가스계 소화설비의 경보음 전달 특성. *한국방재학회논문집, 20*(4), 145–152. https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2020.20.4.145

최규정. (2025). *2025 데이터센터 보고서*. 알스퀘어 리서치센터.

환경부. (2022). *배출권거래법령 관련 고시[검·인증] 제 3 권*.

환경부. (2023, 12 월 8 일). *특정물질(HFC 류)의 생산량 및 소비량 기준한도 등 공고*. (환경부공고 제 2023-746 호). https://me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?menuId=10261&seq=8172

Carrier. (2021). *19DV water-cooled centrifugal chiller with VFD: Product data*.

Department for Environment, Food and Rural Affairs, & Department for Business, Enterprise and Regulatory Reform. (2009). *F-gas impact assessment*.

Institute for Governance & Sustainable Development. (2026, February 9). *China strengthens lifecycle management of ozone-depleting substances and HFCs*. https://www.igsd.org/china-strengthens-lifecycle-management-of-ozone-depleting-substances-and-hfcs/

IPCC. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Vol. 3. Industrial processes and product use (H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe, Eds.)*. Institute for Global Environmental Strategies. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_7_Ch7_ODS_Substitutes.pdf

Ministry of the Environment, & Ministry of Economy, Trade and Industry. (2025, February 28). *令和 5 年度フロン類算定漏えい量の集計結果* [Fiscal year 2023 aggregate results of calculated fluorocarbon leakage]. meti.go.jp

Mundo HVAC&R. (2026). *Buenas prácticas fortalecen la transición de la refrigeración en México*.

Sandalow, D., McCormick, C., Friedmann, J., Abramson, A., Masanet, E., Aines, R., Kucukelbir, A., Sivaram, V., Coskun, A., Jain, S., Yuan, A., & Wu, M. (2025). *Sustainable data centers roadmap*. ICEF Innovation Roadmap Project. https://icef.go.jp/wp-content/themes/icef_new/pdf/roadmap/icef2025_roadmap%20Oct%209.pdf

SAP SE. (2025). *SAP integrated report 2025*.

United Nations Environment Programme. (2022). *Report of the Fire Suppression Technical Options Committee: 2022 assessment report*. Ozone Secretariat.

United Nations Environment Programme, Ozone Secretariat. (n.d.). *Article 2F: Hydrochlorofluorocarbons*. https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol/articles/article-2f-hydrochlorofluorocarbons

Uptime Institute. (2025). *Cooling systems survey 2025*. Uptime Intelligence. https://intelligence.uptimeinstitute.com/sites/default/files/2025-07/UI%20Field%20181_Data%20center%20cooling.pdf

U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). *Phaseout of class II ozone-depleting substances*. https://www.epa.gov/ods-phaseout/phaseout-class-ii-ozone-depleting-substances

부록

A. 국내 데이터센터 HFCs 배출량 산정

본 분석은 에너지경제연구원(KEEI)의 국내 데이터센터 전력 수요 전망을 바탕으로 데이터센터에 보유된 냉매의 양을 추정하고, IPCC 2006 지침과 환경부 배출권거래법령 관련 고시의 산정식을 적용하여 2025년부터 2050년까지의 연간 HFCs 배출량을 전망하였다 **[표 2]**. 이는 공개자료를 이용한 상향식 추정이며, 자료가 확인되지 않는 항목은 국내외 대표값 또는 가정값을 적용하고 그 성격과 선정 근거를 **[표 3]**에 함께 제시하였다. 환경부 고시는 냉동 및 냉방 부문의 총 배출량을 보관단계, 충전단계, 운전단계, 폐기단계의 합으로 규정하나, 보관단계는 배출 주체가 냉매 유통 부문이고 데이터센터 시설 경계 밖에서 발생하므로 제외하고 나머지 세 단계를 산정하였다. 한편 데이터센터의 HFCs 배출원에는 냉각설비 냉매 외에 전산실 방호용 청정소화약제와 건물 단열재의 발포제가 있으며, 이들은 냉동 및 냉방 설비에 해당하지 않아 위 단계 구분에 포함되지 않으므로 각각의 산정식을 적용하여 따로 산정하였다.

$$E_{ref,t} = E_{charge,t} + E_{lifetime,t} + E_{end\text{-}of\text{-}life,t} \quad \text{(A-1)}$$

- $E_{charge,t}$: t년 충전단계의 냉매 배출량
- $E_{lifetime,t}$: t년 운전단계의 냉매 배출량
- $E_{end\text{-}of\text{-}life,t}$: t년 폐기단계의 냉매 배출량

냉매 보유량

KEEI는 2023년 실적 2.0 GW를 기준으로 2030년 4.0 GW, 2040년 6.9 GW, 2050년 9.3 GW에 이르는 수전용량 경로를 제시하고 있으며, 기준연도 사이는 선형보간하였다. 여기에 IT 용량 환산계수, 냉각용량 환산계수, RT당 냉매 충전량, N+1 예비 배율을 순차적으로 적용한다.[33]

$$D_t = C_t^{grid} \times r_{IT} \times 1{,}000 \times r_{cool} \times c_{ref} \times r_{N+1} \times \frac{1}{1{,}000} \quad \text{(A-2)}$$

- D_t : t년 데이터센터 냉각설비 내 HFCs 냉매 보유량(t-HFC)
- C_t^{grid}: t년 국내 데이터센터 수전용량(GW)
- r_{IT} : 수전용량 대비 IT 용량 환산계수
- r_{cool} : IT 용량당 냉각용량 환산계수(RT/MT_{IT})
- c_{ref} : 냉각용량당 냉매 충전량(kg/RT)
- r_{N+1} : N+1 예비설비 반영 배율

이에 따라 국내 데이터센터의 냉매 보유량은 2025년 672.8톤에서 2050년 2,433.1톤으로 전망 기간 중 약 3.6배 증가한다.

---

[33] 김철현·김성균. (2025). *AI 시대 데이터센터 증가의 국내 에너지 소비 시사점 (기본연구보고서 25-09)*. 에너지경제연구원. https://keei.re.kr/board.es?act=view&bid=0001&cg_code=C01&list_no=127044&mid=a10101020000

냉매 배출량

IPCC 2006 지침에 따라, 충전단계는 해당 연도의 신규 충전량에, 운전단계는 해당 연도의 냉매 보유량에 각각 배출계수를 곱하여 산정한다. 폐기단계는 설비 수명 d년 전에 충전된 양에 폐기 시점의 잔존율과 미회수율을 곱한다. 잔존율 90%는 운전 기간 중 이미 누출된 10%를 제외하는 항으로, 해당 부분은 운전단계에 계산되므로 이중계산이 방지된다.[34]

$$E_{charge,t} = M_t \times \frac{k}{100} \quad \text{(A-3)}$$

$$E_{lifetime,t} = B_t \times \frac{x}{100} \quad \text{(A-4)}$$

$$E_{end\text{-}of\text{-}life,t} = M_{t-d} \times \frac{p}{100} \times \left(1 - \frac{\eta}{100}\right) \quad \text{(A-5)}$$

폐기단계 산정에는 설치연도별 충전량이 필요하나 국내 데이터센터 냉각설비의 설치연도 분포를 제시한 통계는 확인되지 않는다. 이에 2023년 이전 설치분은 한국데이터센터연합회의 업력별 분포를 이용해 재배분하였으며, 설치연도별 통계가 없어 건물 업력을 냉각설비 설치연도의 대리값으로 사용하였다. 2024년 이후 설치분은 재고항등식에서 직접 산출하였다. 신규 충전량은 증설에 따른 보유량 증가분과 수명이 다한 설비의 교체 충전량의 합으로 구성된다.[35]

$$B_t = B_{t-1} + M_t - R_t \implies M_t = (B_t - B_{t-1}) + R_t \quad \text{(A-6)}$$

- B_t : t년 설비 내 HFCs bank
- M_t: t년 bank에 추가되는 신규 충전량
- R_t : t년 bank에서 제거되는 냉매량

배출량의 CO_2 환산에는 계통별 냉매 구성을 반영한 가중 GWP를 적용하였다. 중앙 냉수식에는 HFC-134a가, 직접팽창식에는 R-410A가 주로 사용된다. GWP는 비교 대상인 국가 HFCs 배출 전망과 기준을 맞추기 위해 국가 온실가스 인벤토리(표 1-9)의 AR5 값을 적용하였으며, 혼합냉매인 R-410A는 HFC-32(677)와 HFC-125(3,170)를 질량비 50 대 50으로 가중한 1,923.5를 사용하였다.[36] 이를 중앙 냉수식 85% 대 직접팽창식 15%로 가중한 1,393.5가 본 분석의 적용값이다.

소화약제 배출량

소화약제 보유량은 전역방출방식의 설계 원리에 따라 방호구역의 체적에 설계농도에 대응하는 단위체적당 필요 약제량을 적용하여 산정하였다. 방호구역 체적과 설계농도를 이용하여 필요 약제량을 산정하는 방식은 「할로겐화합물 및 불활성기체소화설비의 화재안전기술기준(NFTC 107A)」[37], NFPA 2001 및 ISO 14520-1:2023의 전역방

---

[34] IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol.3 Ch.7, pp.7.49–7.50. 식 7.13은 운전단계, 식 7.14는 폐기단계 배출에 해당한다.

[35] 한국데이터센터연합회. (2024). *데이터센터 산업 시장 및 전망 보고서(2024~2027).*; 김철현·김성균. (2025). *AI 시대 데이터센터 증가의 국내 에너지 소비 시사점 (기본연구보고서 25-09).* 에너지경제연구원.

[36] Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestvedt, J., Huang, J., et al. (2013). *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing.* In T. F. Stocker et al. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis.* Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Table 8.A.1.

[37] 국립소방연구원. (2024). 할로겐화합물 및 불활성기체소화설비의 화재안전기술기준(NFTC 107A). 국립소방연구원공고; National Fire Protection Association. (2025). NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems; ISO 14520-1:2023, 제7.7.2항,

출방식 약제량 산정 원리에 근거한다. 본 분석에서는 국내 데이터센터의 실제 가스계 소화설비 방호면적 자료가 확인되지 않아 KDCC의 상면면적 분포를 방호면적의 대리변수로 사용하였다. 이에 따라 IT 용량에 방호면적 대리원단위, 방호높이, 단위체적당 필요 약제량 및 HFC계 비율을 순차적으로 적용하여 HFC계 소화약제 보유량을 산정하였다.

소화약제 배출량은 운전단계와 폐기단계의 합으로 산정하였다. 운전단계에는 IPCC가 제시한 전역방출식 소화설비의 연간 배출계수 2%를 적용하였다. 폐기단계는 설치연도별 자료가 확인되지 않아 설비수명 20년을 기준으로 보유량의 1/20이 매년 수명을 다하는 것으로 연평균화하고, 여기에 폐기 시 미회수율을 적용하였다. 국내 데이터센터의 소화약제 회수실적 자료가 확인되지 않아 회수율을 0%로 가정하였다. 이에 따라 운전단계 2%와 연평균화한 폐기단계 5%를 합한 연 7%를 유효 배출률로 적용하였다.

발포제 배출량

데이터센터 건물의 단열재에 사용되는 발포제도 HFCs 배출원에 해당한다. 다만 발포제는 폼의 독립기포 내부에 갇힌 상태로 존재하여 셀 벽을 통해 서서히 외부로 치환되므로, 순환 운전하는 냉매나 실린더에 충전된 소화약제와는 배출 거동이 다르다. 국내 데이터센터의 단열재 적용 사양과 발포가스 구성에 관한 자료가 확인되지 않아, 개별 계수를 가정하는 대신 국가 온실가스 인벤토리의 발포제 부문 배출량을 전국 건축물 연면적으로 나눈 배출 원단위를 데이터센터 연면적에 적용하였다. IPCC는 연속식 폴리우레탄 패널의 제품수명을 50년으로 제시하므로 전망 기간 내 폐기단계는 발생하지 않는다.[38]

[표 2] 국내 데이터센터 연간 HFCs 배출량

연도	냉매 보유량	소화약제 보유량	냉매 배출	소화약제 배출	발포제 배출	총 배출
2025	672.8	362.5	10.13	8.50	0.07	18.70
2030	1,046.5	564.0	16.23	13.22	0.11	29.56
2035	1,425.9	768.4	21.43	18.02	0.14	39.59
2040	1,805.2	972.8	25.02	22.81	0.18	48.01
2045	2,119.2	1,142.0	36.69	26.78	0.21	63.68
2050	2,433.1	1,311.2	42.08	30.75	0.24	73.07

주: 보유량의 단위는 t-HFC, 배출량의 단위는 10ktCO_2eq/yr이다. 발포제는 국가 온실가스 인벤토리의 배출량을 연면적 기준으로 배분하는 방식이므로 물질량이 산출되지 않는다.

"Liquefied gases."

[38]IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3: Industrial Processes and Product Use, Chapter 7: Emissions of Fluorinated Substitutes for Ozone Depleting Substances.

[표 3] 적용 계수와 선정 근거

계수	값	단위	출처	구분	선정 근거
IT 용량 환산계수	0.65	—	알스퀘어(2025)	자료값	
냉각용량 환산계수	350	RT/MW_IT	ICEF(2025)	인용	
RT당 냉매 충전량	1.0	kg/RT	Carrier(2021)	자료값	
HFCs 비중	100	%	SAP SE(2025)	가정	국내 데이터센터의 냉매 종류별 보유량 통계가 없어, 보유 냉매 전량을 HFC로 간주하는 기준 시나리오를 설정하였다. 자사 시설과 코로케이션 데이터센터에 동일한 가정을 적용한 SAP의 산정 방식을 따른 것이다.
N+1 예비 배율	1.15	—	알스퀘어(2025)	계산	국내 데이터센터는 대부분 예비 장치 N+1 구성의 Tier III를 목표로 건설된다. 단위 냉동기를 1,000~1,700 RT로 보면 배율은 IT 용량 10 MW에서 1.25, 50 MW에서 1.09, 100 MW에서 1.05가 되며, 그 중간값을 적용하였다.
충전 배출계수 k	0.6	%	환경부 고시 〈표-47〉	인용	
운전 배출계수 x	8.5	%/yr	환경부 고시 〈표-47〉	인용	
설비 수명 d	20	년	IPCC(2006) Table 7.9	인용	
폐기 잔존율 p	90	%	환경부 고시 〈표-47〉	인용	
폐기 회수율 η	0	%	—	가정	「대기환경보전법」이 냉매회수업을 규정하고 있으나 데이터센터의 회수 실적 통계는 확인되지 않아, 폐기 시 회수가 이루어지지 않는 것으로 보았다.
냉매 가중 GWP	1,393.5	$kgCO_2eq/kg$	국가 인벤토리 〈표 1-9〉	가정	국내 계통별 채택비율 통계가 없어 Uptime Institute(2025) 조사의 직접팽창식 응답 비율 11%를 참고하였으며, 중앙 냉수식 85% 대 직접팽창식 15%로 가중하였다.
[소화] 방호면적	631	m^2/MW_IT	KEEI(2025) 〈표 3-1〉	계산	규모별 비중에 구간 중간값을 가중한 평균 상면 면적은 5,128 m^2이다. 같은 자료의 전체 수전용량 1,913 MW를 153개소로 나눈 뒤 0.65를 곱하면 데이터센터당 평균 IT 용량이 8.13 MW이며, 전자를 후자로 나누어 산출하였다.
[소화] 방호높이	2.2	m	정정호(2020)	자료값	
[소화] 최소 약제량	0.625	kg/m^3	UNEP FSTOC(2022)	인용	
[소화] HFC계 비율	25	%	UNEP FSTOC(2022)	인용	
[소화] 운전 배출계수	2	%/yr	IPCC(2006) p.7.63	인용	
[소화] 설비 수명	20	년	IPCC(2006) p.7.63	인용	
[소화] 폐기 회수율	0	%	IPCC(2006) p.7.63	인용	
[소화] GWP	3,350	$kgCO_2eq/kg$	국가 인벤토리 〈표 1-9〉	인용	
[발포] 배출 원단위	367	$g\text{-}CO_2eq/m^2{\cdot}yr$	국가 인벤토리, 국토교통부(2024)	계산	2023년 국가 발포제 부문 배출량 1,552 $ktCO_2eq$를 같은 해 전국 건축물 연면적 4,227,660천 m^2로 나누어 산출하였다.
[발포] 연면적 원단위	1,100	m^2/MW_IT	알스퀘어(2025)	자료값	

주: 구분은 국내외 공식 자료를 그대로 인용한 값(인용), 국내 공개 프로젝트 자료에서 도출한 값(자료값), 다른 계수로부터 산출한 값(계산), 자료가 확인되지 않아 설정한 값(가정)을 뜻한다.

B. 감축 시나리오별 냉매 배출 경로 산정

냉매 부문의 배출량 산정의 가장 중요한 요소는 순소비량과 bank이다. 순소비량은 생산량과 수입량에서 파괴량과 수출량을 뺀 값이며, bank는 분석하고자 하는 시점에 작동하는 모든 기기 속 냉매의 총량이다. IPCC Tier 1a에 의하면 냉매 부문의 배출량은 합성 배출계수를 이용하여 계산한 순소비량의 일부와 bank의 일부의 합이다.

즉, 기존에 운영되는 냉매의 일부가 사용 단계에서 누출된 배출량과, 새로 시장에 들어온 소비량 중 일부가 충전 및 운송, 설치와 소비 단계에서 누출된 배출량을 합한 값이다. 이를 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$E_t^{CO_2eq} = \sum_g \left(C_{g,t} \times EF_{FY,g} + B_{g,t}^{open} \times EF_{B,g} \right) \times GWP_g \quad \text{(B-1)}$$

- $E_t^{CO_2eq}$: t년 배출량 ($kgCO_2eq$)
- $C_{g,t}$: t년 가스 g의 순소비량 (kg refrigerant)
- $B_{g,t}^{open}$: t년 가스 g의 기초 bank (kg refrigerant)
- $EF_{FY,g}$: 가스 g의 당해연도 순소비량에 적용하는 첫해 합성 배출계수
- $EF_{B,g}$: 가스 g의 기초 bank에 적용하는 연간 bank 합성 배출계수
- GWP_g : 가스 g의 지구온난화지수

t년 말 bank는 2019 Refinement에 따라 t년 초 bank에서 운전 중 누출량과 수명종료로 제거되는 양을 빼고, 기존 설비의 보충량과 신규·교체 설비의 최초 충전량을 더하여 산정한다. t+1년 기초 bank는 t년 말 bank와 같아, t+1년의 배출량 산정에 포함되어 순환하도록 하였다. HFCs의 2024년 초기 bank는 IPCC 2006 지침의 Tier 1a 산정식에 순소비량과 대표 GWP 값을 이용해 역산하여 산정한 뒤, 2025년부터의 bank 값에 반영하였다. Bank를 산정하는 방법은 앞서 다루어진 (A-6)의 식과 기본적으로 같다. 다만, 기존 장비의 누출을 다시 채우기 위한 보충량과 시장에 새로 유입되는 기기에 대한 충전량을 구분하기 위해 새 충전량 M_t을 보충량과 신규 및 교체(수명 종료) 장비의 최초 충전량으로 나눈다. 마찬가지로 bank에서 제거되는 양인 R_t을 기기 운전 중 누출되는 양과, 기기의 수명 종료 등으로 빠지는 양으로 나누었다. 운전 중 누출되는 양은 기본적으로 100% 다시 충전한다고 가정하여 기존 장비의 보충량과 같다.

이때 대표 GWP 값은 2023년의 HFCs 종류별 소비량(질량)에 기반하여 국내에서 사용된 HFCs 가스의 GWP를 가중평균한 값을 사용하였다. 가스 g는 HFCs와 자연냉매를 의미하며, 아래의 식에 따라 bank에 더해지는 양과 빠지는 양을 각각 산정하여 섞이지 않도록 하였다.

$$B_{t+1}^{open} = B_t^{open} - L_t - R_t + P_t + A_t \quad \text{(B-2)}$$

- B_t^{open} : t년 기초 bank
- L_t : t년 기기 운전 중 냉매 누출량
- R_t : 수명 종료 등으로 bank에서 빠지는 냉매 폐기량
- P_t : 기존 장비의 누출 후 냉매 보충량
- A_t : 신규 또는 교체 장비의 최초 냉매 충전량

이외에 앞선 분석과의 정합성을 맞추기 위해, '기준 전망(BAU) 시나리오'의 배출량과 간이 모델의 기준 경로(누출률 15%, 저GWP 냉매 전환 없는 배출량 경로) 간 차이가 최소화되도록 신규 냉매의 시장공급량의 성장률을 6.7%로 보정하였다. 또한 제품군별 순차적으로 저GWP 냉매로 전환하는 것과 누출 관리를 강화하는 정부의 계획을 구현하기 위해, 제품군별 대표 고GWP 값과 대체 냉매의 저GWP값, 제품군별 냉매 질량 비중을 직접 조사하여 산출하였다 **[표 4]**.

제품군별 질량 비중은 2022년 또는 2023년 기준 국내 운영 대수에 평균 충전량을 곱한 값의 비중으로 구하였다. 국내 제품군의 평균 충전량은 실제 상품의 냉매 충전량을 기기 규모와 종류에 따라 조사하여 평균값을 활용하였다. 제품군별 대표 고 GWP는 일본의 전환 이전 시기의 제품군별 사용 냉매의 GWP를 운전량(bank)에 가중평균하여 우선산정하였으며, 불가능한 제품군의 경우 한국에서 사용되는 대표적인 냉매의 GWP로 정하였다. 저GWP 자연냉매 대표 GWP는 제품군별로 사용 가능한 자연냉매 중 가장 높은 GWP를 사용하였으며, 합성냉매는 제품군별 전환일정의 GWP 제한에 맞는 값을 사용하였다. 이러한 냉매별 GWP는 IPCC AR5(제5차 평가보고서)의 100년 기준 값이다.

[표 4] 제품군별 질량 비중 및 대표 GWP

제품군 구분	질량 비중 (%)	전환 시작연도 (년)[39]	대표 고GWP	대표 저GWP	
				합성냉매[40]	자연냉매
고정식 공조	28.17[41]	2028	1827.7[42]	750	3
이동식 공조	21.20[43]	2027	1300.0	150	1
가정용 냉장고	5.60[44]	2027	1300.0	150	3
건조기·의류관리기	6.89[45]	2028	1300.0	150	3
제습기	1.05[46]	2028	1300.0	450	3
정수기·냉온수기·제빙기	0.90[51]	2029	1300.0	150	3
자동판매기	0.14[47]	2030	1300.0	150	3
쇼케이스·냉장설비	15.62[48]	2030	3414.4[47]	150	1
냉장·냉동용 냉동기	3.70[49]	2032	1300.0	750	1
냉동트럭·컨테이너	16.74[50]	2032	3943.0[47]	750	1

[39] 기후에너지환경부·산업통상부. (2025). *Ibid.*

[40] 기후에너지환경부·산업통상부. (2025). *Ibid;* 공고는 GWP 150 이상 또는 750 이상의 사용을 제한하므로 실제 허용값은 해당 기준 미만이나, 본 분석에서는 시나리오 단순화를 위해 경계값인 150과 750을 근사값으로 적용하였다.

[41] 한국갤럽. (2023.08.). *마켓70 2023 (6) 주방환경건강 가전제품 18종 보유율*, 한국갤럽. https://www.gallup.co.kr/gallupdb/reportContent.asp?seqNo=1438; 기후에너지환경부. (2025c). *열에너지 탈탄소화의 핵심… 히트펌프 보급 활성화 지원.* https://www.mcee.go.kr/home/web/board/read.do?boardId=1828430&boardMasterId=939&menuId=10598.

[42] 일본 Ministry of the Environment & Ministry of Economy, Trade and Industry. (2026). *フロン排出抑制法に基づく報告情報の集計結果（令和6年度分）について*. https://www.env.go.jp/content/000380427.pdf.

[43] 국토교통부. *2023년 12월 자동차 등록자료통계*. https://stat.molit.go.kr/portal/cate/statMetaView.do?hRsId=58. 국토교통통계누리.

[44] 한국갤럽. (2021.03.) *마켓70 2021 (5) 주방생활 가전제품 26종 보유율*, 한국갤럽. https://www.gallup.co.kr/gallupdb/reportContent.asp?seqNo=1214

[45] 한국갤럽. (2023.08.). *마켓70 2023 (7) 생활·정보 가전, 자동차 등 제품 20종 보유율, 반려동물 동거율*. 한국갤럽. https://www.gallup.co.kr/gallupdb/reportContent.asp?seqNo=1439

[46] 한국갤럽. (2023.08.). *Ibid.*

[47] 박종관. (2022.02.). *자판기의 진화… 고기·샐러드·밀키트까지 판다.* 한국경제신문. https://www.hankyung.com/article/2022022344681

[48] 이상복. (2022.08.). *한전, 마트편의점 개방형 냉장고에 문달기 EERS 사업.* 이투뉴스. https://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=244447

[49] 국가물류통합정보센터. (2023). *지역별 물류창고업 등록현황*. https://www.nlic.go.kr/nlic/WhsStatsWarehouseArea.action

[50] 한국콜드체인협회(Korea Cold Chain Association). (2024). *2023년 12월 냉동냉장 차량 등록현황.* http://www.kfcca.kr/coldchain/statistics/read.jsp?reqPageNo=4&no=57

기기의 수명 종료 등으로 매년 bank에서 빠지는 양은, 제품의 수명과 균등한 소비 행태를 가정하여 설정하였다. 즉, 매년 직전 연도의 1/15가 기기의 수명 종료로 교체된다고 보았으며 제품군별 전환 시기 이후 교체해야 하는 기기의 냉매는 시나리오별로 저 GWP 합성냉매 또는 자연냉매로 전환하도록 설정하였다. 감축 시나리오별 냉매 부문 감축 경로 전망 결과는 **[표 5]**과 같다.

[표 5] 감축 시나리오별 냉매 부문 배출 경로 (단위: $MtCO_2eq$)

연도	BAU	현행 정책	누출관리강화	자연냉매전환	병행
2025	40.89	34.98	34.98	34.98	34.98
2026	43.19	34.10	33.22	34.10	33.22
2027	45.48	33.25	31.50	33.19	31.44
2028	47.78	32.01	29.38	31.55	28.92
2029	50.08	30.90	27.36	29.98	26.49
2030	52.40	29.08	24.63	27.70	23.38
2031	55.15	27.32	21.96	25.52	20.40
2032	57.91	24.71	18.54	22.24	16.53
2033	60.67	22.19	15.30	19.10	12.97
2034	63.43	19.92	12.31	16.30	9.86
2035	66.20	17.86	9.52	13.81	7.14
2036	67.77	17.72	9.53	12.89	6.67
2037	69.35	17.64	9.57	12.04	6.23
2038	70.93	17.63	9.64	11.24	5.82
2039	72.51	17.70	9.76	10.50	5.43
2040	74.08	17.84	9.92	9.80	5.07

SFO°C

한국의 냉매 부문 HFCs 감축 경로 분석과 정책 방안

발간일 2026년 11월

저자 **유종현** | 서울대학교 행정대학원 부교수
최윤영 | 서울대학교 행정대학원 연구원
강나원 | 서울대학교 행정대학원 연구원
김다슬 | 서울대학교 행정대학원 연구원
김동기 | 서울대학교 행정대학원 연구원

도움 주신 분 **노진선** | 기후솔루션 메탄 & HFCs팀
김이현 | 기후솔루션 메탄 & HFCs팀

디자인 **박서연** | 기후솔루션 제작팀

기후솔루션은 전 세계 온실가스 감축 및 올바른 에너지 전환을 위해 활동하는 비영리법인입니다.
리서치, 법률, 대외 협력, 커뮤니케이션 등의 폭넓은 방법으로 기후위기를 해결할 실질적 솔루션을 발굴하고,
근본적인 변화를 위한 움직임을 만들어 나갑니다.