

환경 및 응용기상 분과 [P-215]

대기 중 Σ CFC-114와 CFC-115의 농도 관측 및 추세 분석최지은¹, 최학림¹, 윤재근¹, 장지혜², 박선영^{1,2}¹경북대학교 경북해양과학연구소²경북대학교 해양학과

염화불화탄소(Chlorofluorocarbons, CFCs)는 대표적인 오존층파괴물질(ozone depleting substances)이며, 높은 지구온난화지수(GWP₁₀₀, 5000–10,000)를 지닌 온실기체이다. 몬트리올 의정서에 따라 CFCs의 생산과 사용은 2010년을 기점으로 전 세계적으로 전면 금지되었으며, 이로 인해 CFC-11, CFC-12와 같은 주요 CFCs 종의 대기 중 농도는 지속적인 감소세를 보여왔다. 그러나 Minor CFCs로 알려진 극미량의 Σ CFC-114 (CFC-114+CFC-114a)와 CFC-115의 경우, 특별한 사용처가 없어 실질적인 생산이 없음에도 불구하고 최근 대기 중 농도가 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다. AGAGE 12-box 모델 기반 전 지구 배출량 추정(Western et al., 2023)에 따르면, Σ CFC-114와 CFC-115의 전 세계 연간 배출량은 각각 2010년 1.54 ± 0.63 Gg/yr와 0.54 ± 0.37 Gg/yr에서, 2020년 1.64 ± 0.69 Gg/yr, 1.59 ± 0.39 Gg/yr로 약 6.5%, 약 194.4% 증가하였다. 따라서, 이러한 설명할 수 없는 농도 증가에 대한 올바른 이해를 위해, 정확하고 정밀한 측정과 장기 관측 자료에 기반한 배출 기원 추적에 관한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 동아시아 지역을 대표하는 제주도 고산의 경북대학교 온실기체 관측소에서 2008-2024년의 기간 동안, 극저온 농축 전처리 장치(Medusa)가 부착된 GC/MS 시스템을 활용하여 측정된 고밀도·고정밀 Σ CFC-114와 CFC-115의 대기 중 농도 관측 결과를 제시한다. Σ CFC-114의 배경농도(baseline concentrations, 지역을 대표하는 농도)는 2008년부터 2020년까지 약 0.01 ± 0.03 ppt/yr의 감소 경향을 보였으나, 2021년 이후 2024년까지 약 0.04 ± 0.04 ppt/yr로 증가하였다. 한편, CFC-115는 2014년 이후 명확한 증가세를 나타내어 2024년까지 약 0.05 ± 0.03 ppt/yr 증가하였다. 이는 북반구와 남반구 배경대기를 각각 대표하는 Mace Head와 Cape Grim 관측소에서의 배경농도 추세와 유사하다. 그러나 이들 전 지구 배경대기 관측소와 달리, 제주도 고산의 Σ CFC-114와 CFC-115의 경우, 동아시아 지역에서의 배출을 반영하는 고농도 사례(pollution events)들이 지속적으로 관측되었으며 특히 2019년 이후 고농도 데이터의 크기와 빈도가 증가하는 추세에 있다. 이러한 고밀도 관측 자료에 라그랑지안 입자 확산 모델(Lagrangian Particle Dispersion Model) 기반의 베이지안 역산(Bayesian inversion) 시스템인 FLEXPART-FLEXINVERT+를 결합하여, 동아시아 Σ CFC-114와 CFC-115의 연도별·국가별 배출량을 추정하고, 가능한 배출 기원에 대해 토의한다.

Keywords: 오존층파괴물질, Σ CFC-114, CFC-115, Medusa GC/MS, FLEXPART-FLEXINVERT+

※ 이 연구는 기상청 「기후 및 기후변화 감시·예측정보 응용 기술개발 사업」 과제번호(RS-2025-02313790)의 지원으로 수행되었습니다.