Check for updates

Journal of Climate Change Research 2023, Vol. 14, No. 4, pp. 481~489
DOI: https://doi.org/10.15531/KSCCR.2023.14.4.481

반도체·디스플레이 산업의 국가 온실가스 감축계수 개발을 위한 기초 연구

우지윤* · 강성민** · 전의찬***†

*세종대학교 기후환경융합학과 박사과정학생, **세종대학교 기후환경융합센터 선임연구원, ***세종대학교 기후환경융합학과 교수

Basic research for the development of national destruction or removal efficiencies for greenhouse gases in the semiconductor and display industry

Woo, Jiyun* · Kang, Seongmin** and Jeon, Eui-Chan***†

*Ph.D. student, Department of Climate and Environment, Sejong University, Seoul, Korea
**Senior Researcher, Climate Change & Environment Research Center, Sejong University, Seoul, Korea
***Professor, Department of Climate and Environment, Sejong University, Seoul, Korea

ABSTRACT

This is a preliminary study for the development of national destruction or removal efficiencies (DREs) related to process gases in the semiconductor and display industries. The study obtained data from workplaces that apply DREs, and confirmed the level of emission factors through data outlier treatment and calculating and comparing DREs for process gases. The study collected Tier 3 data for four types of greenhouse gases generated during semiconductor and display processes, including CF_4, c-C_4F_8, CHF_3 and SF_6. We divided the data into three cases based on outlier treatment methods and calculated DREs for the semiconductor and display industries then analyzed the uncertainty of the results. All DRE values except for the Case I value of CF_4 were larger than the default emission factors provided by the 2006 IPCC GL applied to the current national emission calculation. The uncertainty analysis of DREs for process gases showed that the study results had a smaller uncertainty range than the range provided by IPCC. Currently, the default emission factors provided by the 2006 IPCC GL applied to the national emission calculation in Korea may overestimate greenhouse gas emissions in the domestic semiconductor and display industries, as they do not reflect the current technological level in Korea. Therefore, there is a need to develop national DREs that reflects the domestic situation. This study can be used as a basis for improving the reliability of greenhouse gas inventories in the semiconductor and display industries for global stocktaking.

Key words: Electronics Industry, Semiconductor, Display, Greenhouse Gas, PFCs, HFCs, F-gas, DRE

1. 연구배경 및 목적

전지구적인 기후변화 문제에 대응하기 위해 국제사회는 지구 평균온도 상승을 산업화 이전 대비 2°C 이내로 억제하고 1.5°C를 넘지 않도록 파리기후변화협정을 통해 합의하였다. 파리협정 체제 내에서는 2023년부터 5년 단위로 국제적인 이행점검(Global stocktaking)이 진행되며, 이 중에는 국가의 온실가스 인벤토리와 온실가스 감축목표의 달성 경과 등을 의무적으로 보고해야 한다(UN, 2015).

우리나라는 파리기후변화협정에 대응하기 위한 노력의 일환으로 2020년 10월 “2050 탄소중립”을 선언하였으며, 2021년 12월에 상향된 국가 온실가스 감축목표(2018년 온실가스 총배출량 727.6백만톤CO_2eq 대비 40% 감축)를 UNFCCC에 제출하였다. 최근 2023년 3월에는 「제1차 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(정부안)」을 통해 2030년까지 부문별·연도별 온실가스 감축목표를 구체적으로 제시하고 부문별 감축목표를 일부 조정하였다(2050 CNC,

†Corresponding author : ecjeon@sejong.ac.kr (209, Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05006, Korea. Tel. +82-2-3408-4353)
ORCID 우지윤 0000-0002-9376-0206 전의찬 0000-0003-2783-4550
강성민 0000-0001-8628-8241

Received: April 19, 2023 / Revised: May 22, 2023 / Accepted: August 16, 2023

2023).

온실가스 감축목표에 따르면, 우리나라의 산업부문은 전환부문 다음으로 온실가스 배출이 많은 것으로 제시되어 있다. 그중 반도체 및 디스플레이 업종의 2020년 기준 온실가스 배출량은 약 2천만톤CO_2eq로 반도체 수요의 증가 및 기술발전에 따라 배출량이 지속적으로 증가하고 있는 추세이다(GIR, 2022). 반도체 및 디스플레이 업종도 앞으로 진행될 국제 이행점검에 대비하기 위해서는 온실가스 인벤토리의 신뢰성을 향상과 주요 온실가스 배출원별 배출 특성 및 배출량을 관리하는 것이 중요하다.

반도체 및 디스플레이 업종에서는 온실가스를 감축하기 위해 2021년 3월 민관합동 “반도체·디스플레이 탄소중립위원회”를 출범하는 등 다양한 노력을 하고 있다(MOTIE, 2021). 반도체 및 디스플레이 업종의 온실가스는 전력 사용과 식각 및 증착 공정에서 불소계 온실가스를 사용하여 발생된다. 그중 불소계 온실가스 사용으로 인한 온실가스 배출은 국가인벤토리의 불소계 온실가스 소비 항목의 온실가스 배출량 중 많은 부분을 차지하고 있다. 반도체 및 디스플레이 업종에서는 불소계 온실가스 사용에 의한 공정배출 효율을 향상시키는 것을 주요 온실가스 감축 전략 중 하나로 소개하고 있다.

반도체·디스플레이 산업에서는 온실가스 배출량을 산정할 때 IPCC에서 제안한 Tier 2a, 2b 방법을 사용하고 있으며, 배출량 산정에 필요한 계수의 경우에도 주로 기본값을 적용하고 있다. 온실가스 배출량 산정을 위한 매개변수 중 가스부피분율(ai)과 가스저감효율(di)은 사업장의 배출제어기술 자료가 있는 경우 사업장의 자료를 적용하고 있으나, 사업장의 배출제어기술 자료가 없는 경우에는 IPCC 기본값을 적용하고 있다(Bartos et al., 2006; MOE, 2020, 2021). IPCC에서는 온실가스 배출량 산정 시 해당 국가의 값을 사용하는 것을 인벤토리 신뢰성을 높이는 방법 중 하나로 소개하고 있다. 우리나라의 경우에도 일부 사업장들만 사업장에서 개발한 값을 적용하여 온실가스 배출량을 산정하고 있으므로 국내의 실정을 반영하기 어려운 실정이다. 앞으로 다가올 국제적인 이행점검에 대응하기 위해서는 인벤토리의 신뢰성을 향상시켜야 하며, 이를 위해 국가 배출계수의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 반도체 및 디스플레이 업종의 온실가스 배출량 산정에 적용되는 매개변수 중 감축계수(DRE, Destruction or Removal Efficiency)의 국가 계수 개발을 위한 기초 연구를 진행하였다.

2. 반도체·디스플레이 업체의 불소계 온실가스 배출량 관리와 적용 배출계수

우리나라는 온실가스를 감축하기 위해 정책적으로 다양한 노력을 하고 있다. 특히 산업계에서 배출되는 온실가스는 「온실가스·에너지목표관리제」와 「배출권거래제」를 통해서 관리하고 있다.

온실가스·에너지목표관리제와 배출권거래제 해당 업체는 온실가스 배출량을 보고하는 명세서를 제출하도록 되어있으며, 명세서에는 관리업체의 총괄 정보 및 사업장

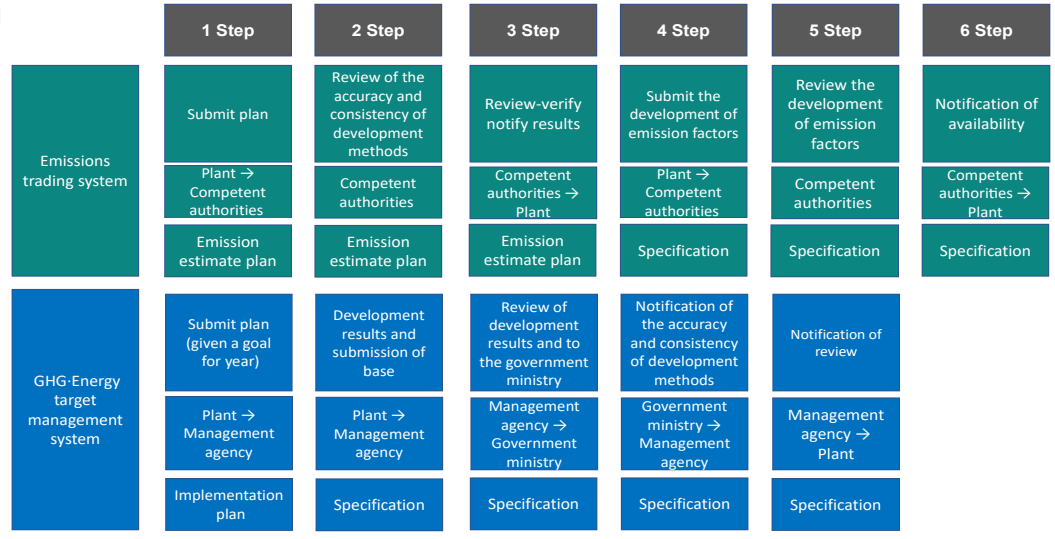

Fig. 1. Procedure for submitting Tier 3 factor reporting results for target management and emissions trading system

의 배출시설현황, 배출량 현황, 배출계수 산정 방법, 배출계수, 사업장 고유 배출계수 개발 결과 등 다양한 자료를 기입한다. 온실가스 배출량 산정을 위해서는 활동자료와 배출계수를 활용한다. 배출계수는 IPCC에서 제공하는 기본값을 사용할 경우에는 Tier 1 수준, 국가에서 개발한 배출계수를 적용할 경우에는 Tier 2 수준, 사업장에서 직접 개발한 배출계수를 사용할 경우에는 Tier 3 수준으로 나눌 수 있다.

Tier 3 배출계수는 연간 500,000 tonCO_2eq 이상의 배출시설에는 사업자가 직접 개발하여 보고하도록 되어있다. Tier 3 배출계수는 사업장에서 직접 개발한 값을 적용하기 때문에 개발 결과보고서를 제출하여 관장기관과 총괄기관의 검토를 받아야 한다. 배출권거래제의 Tier 3 계수 개발계획 및 결과 보고 제출 절차는 Fig. 1과 같다(KLIC, 2013, 2020).

반도체·디스플레이 업종의 온실가스 배출량 산정 시 적용되는 계수 중 DRE는 불소계 온실가스 종류별로 적용하고 있으며, 온실가스·에너지목표관리제 및 배출권거래제 대상 사업장 중 일부 사업장은 Tier 3 배출계수를 개발하여 적용하고 있다. 배출량을 보고하는 사업장의 Tier 3 배출계수는 관장기관과 총괄기관의 충분한 검토를 받은 자료이기 때문에, 본 연구에서는 반도체·디스플레이 업종의 국가 온실가스 DRE 개발을 위한 기초 연구 자료로 사용하였다.

3. 연구방법

3.1. DRE 개발을 위한 자료 수집 방법

반도체·디스플레이 분야의 공정가스별 DRE를 산정하기 위하여 온실가스·에너지목표관리제 해당 업체의 Tier 3 DRE 자료를 수집하였으며, 내용은 Table 1과 같다. 수집된 자료는 2018년부터 2020년까지 3년치 자료이며, CF_4, c-C_4F_8, CHF_3, SF_6를 포함한 가스 4종을 대상으로 연구를 진행하였다.

Table 1. Collected Tier 3 DRE data content

Classification	Content
Data collection period	2018 ~ 2020 (3 year)
Target gas	4 specific gases (CF_4, c-C_4F_8, CHF_3, SF_6)

3.2. Tier 3 DRE 자료의 이상치 처리 방법

데이터 분석 과정에 있어 이상치를 판별하는 작업은 중요하다. 이상치는 관측치들이 주로 모여있는 곳에서 비정상적으로 멀리 떨어져 상한과 하한의 범위를 벗어난 자료로, 측정 오류나 데이터 입력 오류 등으로 인해 발생할 수 있다(Joo and Cho, 2016; Kim, 2017, 2020; Sun et al., 2019). 이상치는 분석 결과를 왜곡할 가능성이 있고 자료의 대푯값에 영향을 줄 수 있어 데이터의 정확도와 신뢰성을 높이기 위해서는 제거, 조정 등 적절한 방법으로 처리하여야 한다.

본 연구에서는 데이터 처리 방법에 따른 차이를 확인하기 위하여 Table 2와 같이 세 가지 Case로 나누어 공정가스별 DRE를 산정하였다. Case Ⅰ은 이상치 처리 없이 모든 자료를 사용한 방법이며, Case Ⅱ는 사분위 방법에 따라 이상치를 제거한 자료를 사용한 방법, Case Ⅲ는 사분위 방법에 따라 이상치를 조정한 자료를 사용한 방법으로, 데이터 처리 방법에 따른 DRE 및 불확도를 확인하였다.

Table 2. Tier 3 DRE data processing method

Classification	Content
Case Ⅰ	- A method of analyzing all data without detecting outliers
Case Ⅱ	- A method of removing outliers based on IQR
Case Ⅱ	- A method of adjusting outliers based on IQR

3.2.1. 이상치 제거 방법

이상치를 제거하는 방법 중 하나로는 사분위수를 이용하는 방법이 있다. 사분위 방법은 상자와 수염 그림(box and whisker plot)을 통하여 극단값을 찾는 방법으로, 자료의 수를 4등분하는 3개의 사분위수 Q1, Q2(중앙값), Q3와 자료의 범위를 결정하는 최대값과 최소값까지 5개의 수를 이용하여 자료의 중심과 산포를 요약한 그림이다. 중앙값 위치에 상자의 가운데 선을 그리고, 최댓값과 최솟값까지 수염을 그리면 상자그림이 완성되며, 상자는 전체 자료의 가운데 50%가 위치하고 있는 곳을 나타내고 중앙값 위치에 따라 전체 자료 분포의 대칭성을 가늠할 수 있다(Cha, 2023; Dawson, 2011; Neil et al., 2004).

본 연구에서 사용한 Tier 3 자료는 비모수 자료로, 여러 연구에서 비모수의 이상치 제거를 위해 사분위 방법이 적용되고 있다(Habibzadeh, 2017; Lee and Shim, 2021). 또

한, 배출계수 산정 시 데이터의 이상치 제거를 위해 사분위 방법이 적용되고 있다(Roland et al., 2020; VERA, 2011).

Q1은 제1사분위수로 제25백분위수를 의미하며, Q2는 제2사분위수로 제50백분위수, Q3는 제3사분위수로 제75백분위수를 의미하는데, 여기서 Q1와 Q3 간의 차이를 사분위 범위(IQR, Interquatile Range)라고 칭한다. 이는 양쪽 극단값에서 자료의 25%씩 안쪽으로 들어와있는 값의 거리로, 이상치의 영향을 거의 받지 않는다. 본 연구에서는 Case Ⅱ에서 IQR 내에 들어와 있지 않은 자료를 모두 제거하였다(Fig. 2).

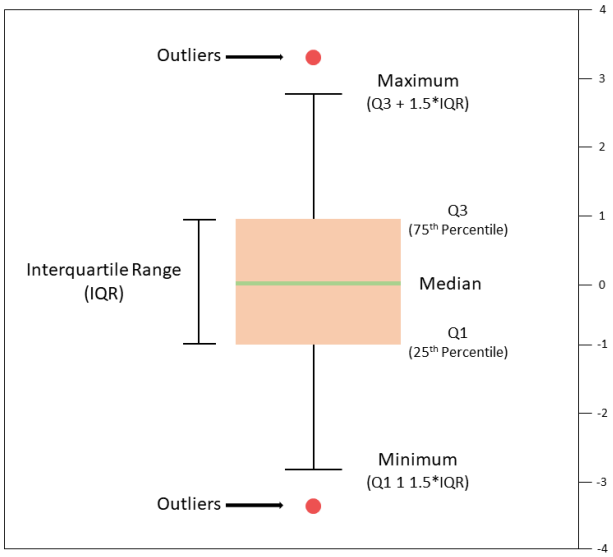

Fig. 2. A method of removing outliers

3.2.2. 이상치 조정 방법

이상치를 조정하는 방법 중 하나로는 윈저라이징 방법이 있다. 윈저라이징 방법은 이상치에 의해 왜곡되는 영향을 줄이기 위해 이상치를 제외한 나머지 값 중 특정값으로 이상치를 대체하는 방법(Dash et al., 2023; Liao et al., 2017)이다. 표본수는 줄이지 않으며 검정력을 높이는 장점이 있어 기계학습에서 많이 적용되고 있다. 본 연구에서는 이상치를 극단값으로 조정하였으며, 극단값을 판단하기 위해 사분위수를 이용하여 Case Ⅲ에서 IQR 내에 들어와 있지 않은 자료를 모두 극단값으로 조정하였다(Fig. 3).

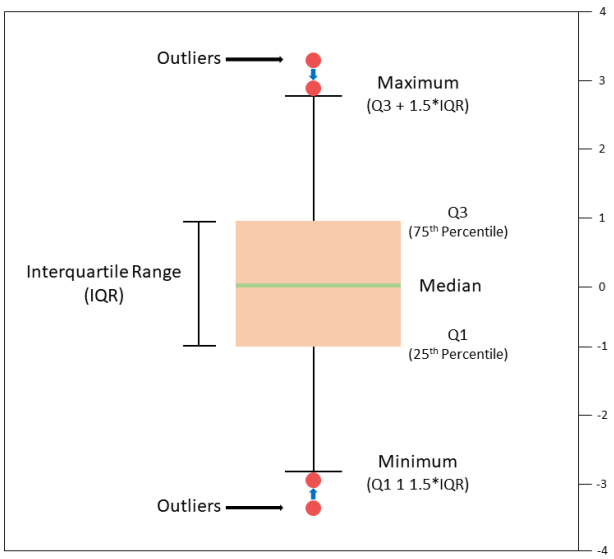

Fig. 3. A method of adjusting outliers

3.3. Tier 3 DRE 자료의 불확도 산정 방법

불확도는 온실가스 배출량의 신뢰도 관리와 배출량 산정과 관련된 방법론 및 방법 변경의 타당성을 입증하는 목적으로 평가·관리된다(KLIC, 2022; MOE, 2021). 2019 IPCC GL에서는 다양한 불확도 산정방법을 제시하고 있으며, 본 연구에서는 식 (1)을 사용하여 DRE의 불확도를 산정하였다(Beu et al., 2019).

$$U(\text{Uncertainty}) = \pm\left(\frac{1.96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}}{\overline{X}}\right) \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서,

U = 상대불확도

1.96 = 정규분포 가정 시, 95% 신뢰구간의 z score

σ = 표준편차

n = 표본수

$\overline{X}$ = 표본 측정값의 평균

Table 3. Results of calculated DREs for electronics industry process gases

Classification		CF_4	c-C_4F_8	CHF_3	SF_6
Case Ⅰ	**Mean**	**0.894**	**0.982**	**0.996**	**0.976**
	Number of Samples	66	35	49	68
	SD	0.133	0.042	0.009	0.052
	Min.	0.895	0.968	994	0.964
	Max.	0.926	0.996	0.998	0.989
Case Ⅱ	**Mean**	**0.940**	**0.999**	**0.999**	**0.986**
	Number of Samples	56	28	40	64
	SD	0.037	0.001	0.001	0.018
	Min.	0.931	0.998	0.999	0.982
	Max.	0.95	0.999	0.999	0.991
Case Ⅲ	**Mean**	**0.917**	**0.997**	**0.999**	**0.983**
	Number of Samples	66	35	49	68
	SD	0.065	0.003	0.001	0.023
	Min.	0.901	0.996	0.999	0.977
	Max.	0.933	0.998	0.999	0.988

4. 연구 결과

4.1. 반도체·디스플레이 분야에서 발생하는 불소계 온실가스의 DRE 산정

본 연구에서 산정한 반도체·디스플레이 분야에서 발생하는 연구 대상 가스 4종의 DRE는 Table 3에 나타내었다. 이상치 처리 방법에 따라 CF_4의 DRE는 0.894 ~ 0.940, c-C_4F_8은 0.982 ~ 0.999, CHF_3는 0.996 ~ 0.999, SF_6는 0.976 ~ 0.986로 나타났다.

IPCC GL 및 타 국가에서 제시하고 있는 DRE 값을 Table 4에 나타내었다. 연구 대상 가스 4종(CF_4, c-C_4F_8, CHF_3, SF_6)에 대해 2006 IPCC GL에서 제공하는 Tier 2 배출계수는 0.90으로 동일한 값을 제시하고 있으며, 2019 IPCC GL에서는 0.89 ~ 0.98 수준의 값을 제시하고 있다. US EPA (2013)에서는 CFR 40을 통해 0.75 ~ 0.97, 대만의 ITRI (2023)에서는 0.978 ~ 0.998 수준의 값을 제시하고 있다.

CF_4의 경우, Case Ⅰ은 0.894로 산정되어 2006 IPCC GL에서 제시하고 있는 0.90보다 다소 낮게 나타났으나, Case Ⅱ는 0.940, Case Ⅲ는 0.917로 산정되어 Case Ⅰ을 제외하고는 2006 IPCC GL보다 높게 나타났다. c-C_4F_8의 경우, Case Ⅰ은 0.982, Case Ⅱ는 0.999, Case Ⅲ 는 0.997로 산정되었고, CHF_3의 경우, Case 별 각각 0.996, 0.999, 0.999로 산정되어 2006 IPCC GL에서 제시하고 있는 DRE 뿐 아니라 2019 IPCC GL의 DRE보다도 높게 산정되었다. SF_6 또한 Case Ⅰ은 0.976, Case Ⅱ는 0.986, Case Ⅲ 는 0.983으로 산정되어 2006 및 2019 IPCC GL에서 제시하는 DRE보다 높게 산정되었다. US EPA에서 제시하는 DRE 값과 비교하면 모든 가스에 대해 본 연구에서 산정한 DRE 값이 높게 나타났다. ITRI의 값과 비교하면 이상치 처리 시 ITRI의 값과 전반적으로 유사한 수준이나 이상치를 처리하지 않은 경우, 일부 가스에 대해서는 ITRI의 값보다 조금 낮게 산정되었다.

Table 4. Comparison of DREs for electronics industry process gases

Classification	This study			IPCC G/L		US EPA (2013)	ITRI (Lu, 2023)
	Case Ⅰ	Case Ⅱ	Case Ⅲ	2006	2019		
CF_4	0.894	0.940	0.917	0.9	0.89	0.75	0.979
c-C_4F_8	0.982	0.999	0.997	0.9	0.98	0.97	0.998
CHF_3	0.996	0.999	0.999	0.9	0.98	0.97	-
SF_6	0.976	0.986	0.983	0.9	0.95	0.96	0.978

본 연구 및 ITRI의 DRE를 살펴보면 IPCC GL에서 제시하는 값보다 더 높게 나타났다. 대만에서는 현재 우리나라와 동일하게 2006 IPCC GL의 값을 사용하여 국가 온실가스 배출량을 산정하고 있다. 국가별 반도체·디스플레이 분야의 저감기술 도입 여부 및 기술 수준의 따라 DRE 값의 차이가 있을 수 있어 보다 정확한 국가 배출량을 산정하기 위해서는 국가별 DRE 값을 개발할 필요가 있다.

4.2. 반도체·디스플레이 분야에서 발생하는 불소계 온실가스의 불확도 산정

DRE의 불확도는 식 (1)을 통해 산정하였으며, 산정 결과는 Table 5에 나타내었다. 현재 IPCC GL에서는 반도체·디스플레이 분야에서 발생하는 불소계 온실가스의 DRE에 대해 불확도를 제시하고 있지 않다.

연구 대상 가스 4종의 DRE 불확도 산정 결과, CF_4의 Case Ⅰ 값이 ±3.60%로 가장 높게 나타났으며, CHF_3의 C_3F_8의 Case Ⅱ 값이 ±0.02%로 가장 작게 나타났다. Case Ⅰ의 불확도 범위는 ±0.24%~±3.60%, Case Ⅱ는 ±0.02%~±1.04%, Case Ⅲ는 ±0.03%~±2.07%로 나타나 모든 자료를 반영한 Case Ⅰ의 불확도보다 이상치를 제거 및 조정한 Case Ⅱ와 Case Ⅲ의 불확도가 더 작게 분석되었다.

4.3. 자료 처리 방법에 따른 결과 고찰

본 연구에서는 데이터의 정확도와 신뢰성을 높이기 위하여 수집한 Tier 3 자료에 대해 세 가지 Case로 나누어 이상치를 처리하였다.

공정가스별 DRE 산정 결과, 모든 공정가스에서 자료 전체를 반영한 Case Ⅰ의 DRE보다 이상치를 제거한 Case Ⅱ 및 Case Ⅲ의 DRE가 더 크게 나타났으며, 이상치를 조정한 Case Ⅲ보다 이상치를 제거한 Case Ⅱ의 DRE가 더 크게 나타났다.

공정가스별 불확도 분석 결과, 모든 공정가스에서 Case Ⅰ의 불확도보다 Case Ⅱ 및 Ⅲ 의 불확도가 작게 분석되었으며, 이상치를 조정한 Case Ⅲ보다 이상치를 제거한 Case Ⅱ의 불확도가 더 작게 분석되었다.

Case Ⅱ와 Case Ⅲ의 결과를 비교하면, DRE는 Case Ⅱ의 결과값이 더 크게 나타났고, 불확도 또한 Case Ⅱ의 결과값이 더 작게 분석되었으나, Case Ⅱ와 Case Ⅲ의 결과값 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

본 연구에서 수집한 Tier 3 자료 수준으로는 자료 중 이상치의 원인이 단순 장치 고장에 의한 것인지, 사용된 감축기술(스크러버)의 효율이 낮은 것인지와 같은 정확한 판단을 할 수 없는 한계가 있다. 현재 수집된 자료는 자료의 수가 많지 않고, 공정 운영 현황(가동일수, 정상 작동 여부 등), 사용된 감축기술 등 세부 정보를 고려할 수 없

Table 5. Uncertainties for electronics industry process gases

Classification		CF_4	$c\text{-}C_4F_8$	CHF_3	SF_6
IPCC G/L	2006	N/A			
	2019	N/A			
Case Ⅰ	Mean	0.894	0.982	0.996	0.976
	95% Upper	0.926	0.996	0.998	0.989
	95% Lower	0862	0.968	0.994	0.964
	Uncertainty	±3.60%	±1.42%	±0.24%	±1.27%
Case Ⅱ	Mean	0.940	0.999	0.999	0.986
	95% Upper	0.950	0.999	0.999	0.991
	95% Lower	0.931	0.998	0.999	0.982
	Uncertainty	±1.04%	±0.05%	±0.02%	±0.45%
Case Ⅲ	Mean	0.917	0.997	0.999	0.983
	95% Upper	0.933	0.998	0.999	0.988
	95% Lower	0.901	0.996	0.999	0.977
	Uncertainty	±2.07%	±0.10%	±0.03%	±0.57%

었기 때문에 이상치를 제거하는 Case Ⅱ 보다는 이상치를 조정하여 배제된 값을 고려하는 방식으로 사용된 Case Ⅲ를 활용하는 것이 더 적합하다고 생각된다.

5. 결론

본 연구는 반도체 및 디스플레이 분야의 공정가스별 국가 DRE 개발을 위한 사전연구로, DRE를 개발하여 적용하고 있는 사업장의 자료를 확보하여 자료의 이상치 처리에 관한 검토와 공정가스별 DRE를 산정 및 비교를 통해 계수의 수준을 확인하였다.

반도체·디스플레이 공정 중 발생하는 온실가스 중 4종(CF_4, c-C_4F_8, CHF_3, SF_6)에 대해 Tier 3 자료를 수집하여 이상치 처리 방법에 따라 세 가지 Case로 나누어 반도체·디스플레이 분야의 DRE를 산정하고, 이에 대한 불확도를 분석하였다. Case I의 경우, 이상치 처리 없이 모든 자료를 활용하였으며, Case II의 경우, 사분위 방법에 따라 이상치를 제거하였고, Case III의 경우, 윈저라이징 방법에 따라 이상치를 극단값으로 조정하였다.

공정가스별 DRE 산정 결과, 현재 국가 배출량 산정에 적용하고 있는 2006 IPCC GL의 Tier 2 배출계수와 비교하면 CF_4의 Case I 값을 제외한 모든 DRE 값은 2006 IPCC GL에서 제시하는 기본 배출계수보다 크게 산정되었다.

공정가스별 불확도 분석 결과, Case I의 불확도 범위는 ±0.24%～±3.60%, Case II의 불확도 범위는 ±0.02%～±1.04%, Case III의 불확도 범위는 ±0.03%～±2.07%로 나타났다.

우리나라는 산업부문의 온실가스 배출 관리를 위하여 「온실가스·에너지목표관리제」와 「배출권거래제」 제도를 운영 중에 있으며, 관리 대상 업체는 매년 명세서를 통해 온실가스 배출량을 제출하도록 되어 있다. 이 중 연간 500,000 tonCO_2eq 이상의 배출시설에서는 Tier 3 배출계수를 개발 및 적용하고 있으나, 일부 사업장에 지나지 않아 현 배출제어 기술 수준을 반영하기 어려운 실정이다. 또한, 국가 배출량 산정에 적용 중인 2006 IPCC GL에서 제시하는 DRE는 현재 우리나라의 기술 수준을 반영하지 못해 국내 반도체·디스플레이 분야의 온실가스 배출량이 과다 산정 중일 가능성이 있어 국내 실정을 반영한 DRE를 개발할 필요가 있다.

본 연구에서는 현재 2006 IPCC GL에서 DRE를 제시하고 있는 7종의 공정가스와 2019 IPCC GL에서 DRE를 제시하고 있는 15종의 공정가스 중 일부에 대해 국내 실정을 반영한 DRE를 시범 산정하였다. 본 연구에서 산정한 DRE는 국제 이행점검에 대비하여 반도체·디스플레이 분야의 온실가스 인벤토리 신뢰성을 개선할 수 있는 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 향후 감축기술별 DRE를 개발하는 등 세분화된 계수 개발 가능성을 모색하고, 현재 국가 배출량으로 산정하고 있지 않은 NF_3 등 공정가스에 대해서도 유사 연구를 진행한다면 우리나라의 기술 수준이 반영된 고도화된 반도체·디스플레이 분야의 인벤토리를 구축할 수 있을 것으로 판단된다.

사사

본 성과는 환경부의 재원을 지원받아 한국환경산업기술원 “신기후체제 대응 환경기술개발사업”의 연구개발을 통해 창출되었습니다(과제번호: 2022003560008).

본 연구는 환경부 “기후변화특성화대학원사업”의 지원으로 수행되었습니다.

References

2050 CNC (Presidential Commission on Carbon Neutrality and Green Growth). 2023. 1st national carbon neutrality and green growth basic plan (Government draft); [accessed 2023 Apr 19]. https://www.2050cnc.go.kr/base/board/read?boardManagementNo=3&boardNo=1397&searchCategory=&page=1&searchType=&searchWord=&menuLevel=2&menuNo=17

Bartos S, Beu LS, Burton CS, Fraust CL, Illuzzi F, Mocella MT, Raoux S. 2006. Chapter 6: Electronics industry emissions. In: 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories volume 3: Industrial processes and product use. Geneva, Switzerland: IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

Beu L, Raoux S, Chang YCJ, Czerniak MR, Illuzzi F, Kitagawa T, ... Parasyuk N. 2019. Chapter 6: Electronics industry emissions. In: 2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories volume 3: Industrial processes and product use.

Cha JH. 2023. Medical statistics with R: Statistical methods 120. Paju: Free Academy.

Dash CSK, Behera AK, Dehuri S, Ghosh A. 2023. An outliers detection and elimination framework in classification task of data mining. Decision Analytics Journal. 6: 100164. doi: 10.1016/j.dajour.2023.100164

Dawson R. 2011. How significant is a boxplot outlier? Journal of Statistics Education. 19(2): 1-13. doi: 10.1080/10691898.2011.11889610

EPA (United States Environmental Protection Agency). 2013. CFR(Code of Federal Regulations) Title 40, Chapter I, Subpart I of Part 98, Electronics Manufacturing. Washington, D.C., USA. : United States Environmental Protection Agency.

GIR (Greenhouse Gas Inventory and Research Center). 2022. 2022 National greenhouse gas inventory report of Korea. Cheongju, Korea: Greenhouse Gas Inventory and Research Center. National report.

Habibzadeh, F. 2017. Statistical data editing in scientific articles. Journal of Korean Medical Science. 32(7): 1072-1076. doi: 10.3346/jkms.2017.32.7.1072

Joo YS, Cho GY. 2016. Outlier detection and treatment in industrial sampling survey. Journal of the Korean Data & Information Science Society. 27(1): 131-142. doi: 10.7465/jkdi.2016.27.1.131

Kim JH. 2020. Statistical methods for outlier detection. HIRA Policy Brief. 14(1): 49-56.

Kim KY. 2017. Outlier detection in dental research. The Journal of the Korean Dental Association. 55(9): 604-616. doi: 10.22974/jkda.2017.55.9.002

KLIC (Korea Law Information Center). 2013. Framework act and its presidential decree on low carbon, green growth; [accessed 2023 Apr 17]. https://www.law.go.kr/LSW/lsInfoP.do?lsiSeq=98467&lsId=011134&chrClsCd=010202&urlMode=lsInfoP&viewCls=lsInfoP&efYd=20100414&vSct=&ancYnChk=undefined#0000

KLIC (Korea Law Information Center). 2020. Guideline for the greenhouse gas target management system; [accessed 2023 Apr 17]. https://www.law.go.kr/%ED%96%89%EC%A0%95%EA%B7%9C%EC%B9%99/%EC%98%A8%EC%8B%A4%EA%B0%80%EC%8A%A4%C2%B7%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80%EB%AA%A9%ED%91%9C%EA%B4%80%EB%A6%AC%EC%9A%B4%EC%98%81%EB%93%B1%EC%97%90%EA%B4%80%ED%95%9C%EC%A7%80%EC%B9%A8/(2020-3,20200110)

KLIC (Korea Law Information Center). 2022. Act on the creation and fostering of green convergence clusters; [accessed 2023 Apr 17]. https://www.law.go.kr/LSW/eng/engLsAstSc.do?menuId=1#AJAX.

Lee SY, Shim GE. 2021. An empirical analysis on outlier detection of land real price using nonparametric statistical test. Journal of the Korean Cadastre Information Association. 23(3): 43-55. doi: 10.46416/JKCIA.2021.12.23.3.43

Liao H, Li Y, Brooks GP. 2017. Outlier impact and accommodation on power. Journal of Modern Applied Statistical Methods. 16(1): 261-278. doi: 10.22237/jmasm/1493597640

Lu CH. 2023. F-gases and N_2O reduction emissions in Taiwan's industry (Researched by ITRI (Industrial Technology Research Institute)). Proceedings of the 9th International Symposium on Non-CO_2 Greenhouse Gases (NCGG9); 2023 Jun 21~Jun 23; Hotel CASA, Amsterdam, Netherlands.

MOE (Ministry of Environment). 2020. Guidelines for developing site-specific emission factors. Sejong-si, Korea: Ministry of Environment.

MOE (Ministry of Environment). 2021. Guidelines for developing site-specific emission factors. Sejong-si, Korea: Ministry of Environment.

MOTIE (Ministry of Trade, Industry and Energy). 2021. The launch ceremony of semiconductor and display carbon neutrality committee; [accessed 2023 Aprl 17]. http://www.motie.go.kr/motie/ne/presse/press2/bbs/bbsView.do?bbs_cd_n=81&bbs_seq_n=163883

Neil CS, Margaret AO, Robiah A. 2004. A simple more general boxplot method for identifying outliers. Computational Statistics & Data Analysis. 47(1): 165-174. doi: 10.1016/j.csda.2003.10.012

Roland V, Marcos G, Marco AB, Maximo MC, Ana B, Guido RW. 2021. Intraseasonal variability of greenhouse gas emission factors from biomass burning in the Brazilian Cerrado. Biogeosciences. 18: 1375-1393. doi: 10.5194/bg-18-1375-2021

Sun JY, Kim KY, Kim JH. 2019. Statistical methods and application methods for outlier detection. Wonju: HIRA (Health Insurance Review & Assessment Service). G000F8I-2019-81.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2015. Paris agreement; [accessed 2023 Apr 16]. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

VERA (Verification of Environmental Technologies for Agricultural Production). 2018. Vera test protocol for livestock housing and management systems. Delft: Netherlands.