

REVIEW

반도체 기업의 지속가능한 환경경영: 삼성전자, SK하이닉스 사례 연구

박준희^{1,3)} · 한수호¹⁾ · 권성구^{1,3)} · 조유라^{1,3)} · 이재혁^{2,3,4)} · 옥용식^{1,3)*}

¹⁾고려대학교 환경생태공학부, ²⁾고려대학교 경영대학, ³⁾국제ESG협회, ⁴⁾고려대학교 ESG 연구원

Sustainable Environmental Management for Semiconductor Companies: Focusing on Samsung Electronics and SK hynix

Junhee Park^{1,3)}, Suho Han¹⁾, Seongku Kwon^{1,3)}, Yoora Cho^{1,3)}, Jay Hyuk Rhee^{2,3,4)}, Yong Sik Ok^{1,3)*}

¹⁾Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea

²⁾Korea University Business School, Seoul 02841, Korea

³⁾International ESG Association, Seoul 06621, Korea

⁴⁾ESG Research Institute, Korea University, Seoul 02841, Korea

Abstract

Increasing global regulations on sustainability and environmental issues pose a significant challenge to corporate sustainability efforts. Therefore, it is imperative for corporations to introduce management strategies to address these challenges. This research analyzed how two multinational semiconductor companies, Samsung Electronics and SK hynix, managed sustainable environmental practices, in key areas including resource management, energy management, water resource management, biodiversity conservation, and waste management. These companies have been actively involved in greenhouse gas reduction strategies, water resource management, board activities in response to climate change. However, the recent growth in semiconductor production has significantly increased greenhouse gas emissions and water usage. To promote proactive environmental management strategies, it is recommend that semiconductor producers practice the following: 1. disclose long-term performance evaluations for environmental management; 2. scope 3 greenhouse gas management across the value chain; 3. monitor non-regulated emerging contaminants in air and water; 4. establish biodiversity strategies that address ecosystem degradation and media-specific pollution, including water, air, and soil impacts across the value chain and supply chain, supported by structured disclosure procedures; 5. organize environmental strategies aligning with global regulatory trends; and 6. actively participate in international sustainability initiatives and obtaining relevant certifications, incorporating mid- to long-term emission reduction targets.

Key words : ESG, Semiconductor, Sustainability, Environmental management, Disclosure

1. 서론

기업의 지속가능경영은 글로벌 경쟁력을 유지하기 위한 필수 전략이다. 특히 환경(Environmental), 사회

(Social), 지배구조(Governance)로 구성된 ESG 경영은 기업의 지속가능성을 강화하고 사회적 책임과 환경적 건정성을 고려할 수 있도록 한다(Lee and Rhee, 2020). 2006년 ESG라는 용어가 등장한 이후, 이를 주

Received 10 October, 2024; Revised 5 December, 2024;

Accepted 9 December, 2024

*Corresponding author : Yong Sik Ok, Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea

Phone : +82-2-3290-3926

E-mail : yongsikok@korea.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

제로 한 출판물의 수는 2017년부터 2021년까지 매년 약 2배씩 급속히 증가하였고(Senadheera et al., 2022), 이와 함께 글로벌 기업들은 전 세계적 흐름에 맞춰 다양한 ESG 전략을 수립하고 실행하고 있다. ESG를 기반으로 한 지속가능경영은 반도체 산업에서도 필수적인 요소로, 환경을 고려한 ESG 전략의 중요성이 대두되고 있다(Senadheera et al., 2021, 2022; Liu et al., 2024; Marrucci et al., 2024).

반도체 산업은 우리나라 전체 수출의 매년 20% 이상을 차지하며, 한국 경제에서 중추적 역할을 하고 있다. 2023년에는 20.7%로 최근 5년 사이 가장 낮은 비중을 기록하였으나, 반도체 산업의 무역수지는 무려 250억 2,300만 달러로 여전히 우리나라 전체 무역수지 흑자에 크게 기여하고 있다(KIEP, 2024). 반도체 기술이 고도화됨에 따라 스마트폰, 인공지능, 빅데이터, 전기자동차, 배터리 등 활용 범위가 확대되고 있으며, 이에 따라 반도체 공정은 더욱 복잡하고 정교해져 전기, 공정 가스, 원자재 등 자원 소비량이 더욱 증가하고 있다.

뿐만 아니라 반도체 산업의 화학물질 사용량, 온실가스 배출량, 물 사용량 증가는 환경에 대한 위협을 가중시키고 있다(Kuo et al., 2022; Ruberti, 2023). 유해 화학 물질의 사용으로 환경과 보건 위험이 증가할 뿐만 아니라 제품의 생산 과정에서 다수의 공급망을 거치는 구조는 이에 따른 리스크 대응을 매우 복잡하게 만든다(Lim et al., 2022). 반도체 생산과정에서의 온실가스 배출량과 에너지 소비량을 전과정평가(Life cycle assessment, LCA) 기반으로 분석한 결과, 지구 온난화에 영향을 미치는 것이 확인되었다(Liu et al., 2010). 2017년 대비 2021년 글로벌 반도체 기업의 에너지 사용량은 48.6%, 용수사용량은 50.6%, 온실가스 배출량은 32.7% 증가하였다(Wang et al., 2023a). 또한 반도체 제조 공정에서 사용되는 잔류 과불화합물(Per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS)은 부지 인근의 수질 오염과 토양오염을 야기할 수 있다(Post et al., 2017; Cordner et al., 2019; Bolan et al., 2021; Heidari et al., 2021). 이에 미국 환경보호청은 PFAS를 독성물질 목록에 추가하여 모니터링 강화, PFAS 농도 정량화 등의 규제를 강화하고 있다(EPA, 2024). 이러한 여러 중요한 이유로 반도체 산업에서 ESG 경영의 도입은 더욱 필수적이다.

이에 대한 선도적인 사례로 미국의 Intel은 글로벌 운영 전반에 걸쳐 2030년까지 재생 전기 사용 100%

를 달성하고 2040년까지 Scope 1, 2의 온실가스(Greenhouse gas, GHG) 순 배출량을 0으로 줄이겠다고 선언하였다(Intel, 2024). 대만의 Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. Ltd. (TSMC)는 2030년까지 2010년 대비 물 소비량을 30% 감축하고, 수자원의 60%를 재이용수로 사용하는 전략을 실행하고 있다(TSMC, 2022). 한국에서는 주요 반도체 기업인 삼성전자와 SK하이닉스가 온실가스 감축을 위한 활동, 수자원 저감, 재생에너지 확대 등 다양한 전략을 추진하고 있다(SAMSUNG 2023; SK hynix, 2023).

그러나 이러한 ESG 경영 전략의 타당성 및 적용성, 그리고 '그린워싱'의 위험 여부를 객관적으로 평가하는 것은 매우 중요하다(Dorfleitner and Utz, 2023; Xia et al., 2023). 독일 신기후연구소(New Climate Institute, NCI)와 환경단체 탄소시장감시(Carbon Market Watch, CMW)는 삼성전자 등 24개 글로벌 기업을 평가하여, 탄소중립 목표를 달성하기 위한 전략은 실현가능성이 없다고 지적하였다(Day et al., 2023).

기업의 환경 전략에 대한 이러한 객관적 평가는 변화하는 규제에 대응하는데 있어 중요한 요소이다. 특히, 유럽 지속가능성보고기준(European sustainability reporting standards, ESRS) 및 미국 증권거래위원회(United States Securities and Exchange Commission, SEC)의 기후관련 공시가 채택 및 도입되고 있다(SEC, 2022; EU, 2023; IFRS, 2023). 미국과 유럽이 주요 수출국인 한국 기업들은 비재무정보 공시에 대해 적극적으로 대비하는 일환으로, 환경 전략과 환경 성과의 관계를 객관적으로 평가해야 한다.

반면, 반도체 산업은 기술 혁신과 재생 에너지 활용 등을 통해 탄소중립 목표를 달성할 수 있는 가능성이 긍정적으로 평가되기도 한다. 예를 들어, 반도체는 자동차, 빅데이터, 인공지능 등 다양한 산업에서 에너지 소비 및 사용량을 최적화하여 에너지 효율을 높이고 전반적인 탄소 배출을 줄이는데 중요한 역할을 한다. 또한 반도체 집적도 향상은 적은 전력으로 동일한 성능을 제공하여 에너지 효율성을 극대화하고, 반도체 기술을 이용해 자율적으로 작동하는 전력 시스템을 구축해 에너지 사용을 최소화한다. 이러한 노력은 유럽의 그린딜과 같은 국제적 목표 달성에 기여한다(ESIA, 2021). 국내에서도 반도체 산업의 ESG 공시와 지속 가능한 환경 경영 전략 수립이 다양한 방면으로 연구되고 있다. 반도체 산업에서 기업들이 경제적, 환경적, 사회적 책임

을 다하기 위한 ESG 경영 활동을 분석한 연구에서, Intel, 삼성전자, SK하이닉스 등 기업의 구체적 사례를 제공하였다(Kwun, 2017). 또한 ESG 경영전략과 정부 정책의 연계를 통해 기업의 ESG 목표 달성을 위한 구체적인 방안을 연구한 결과로 ESG 공시가 기업의 장기적인 성과와 직결됨을 검증되며 특히 반도체 산업의

특성을 고려한 ESG 전략 수립의 필요성이 강조되었다.

따라서 본 연구에서는 삼성전자와 SK하이닉스의 지속가능경영보고서를 통해 국내 반도체 기업의 환경 전략 수립 및 활동을 분석했다. 분석 과정을 통해 향후 지속가능한 발전을 위한 실무적 시사점과 개선 방향을 도출하고자 한다.

Table 1. GRI environmental performance indicators: materials, energy, water, emissions, and waste (GRI standards, 2024)

GRI standard	Disclosure	Contents
GRI 301: materials 2016	301-1	Materials used by weight or volume
	301-2	Recycled input materials used
	301-3	Reclaimed products and their packaging materials
GRI 302: energy 2016	302-1	Energy consumption within the organization
	302-2	Energy consumption outside of the organization
	302-3	Energy intensity
	302-4	Reduction of energy consumption
	302-5	Reductions in energy requirements of products and services
GRI 303: water and effluents 2018	303-1	Interactions with water as a shared resource
	303-2	Management of water discharge-related impacts
	303-3	Water withdrawal
	303-4	Water discharge
	303-5	Water consumption
GRI 304: biodiversity 2016	304-1	Operational sites owned, leased, managed in, or adjacent to, protected areas and areas of high biodiversity value outside protected areas
	304-2	Significant impacts of activities, products and services on biodiversity
	304-3	Habitats protected or restored
	304-4	IUCN red list species and national conservation list species with habitats in areas affected by operations
GRI 305: emissions 2016	305-1	Direct (scope 1) GHG emissions
	305-2	Energy indirect (scope 2) GHG emissions
	305-3	Other indirect (scope 3) GHG emissions
	305-4	GHG emissions intensity
	305-5	Reduction of GHG emissions
	305-6	Emissions of ozone-depleting substances (ODS)
	305-7	Nitrogen oxides (NO _x), sulfur oxides (SO _x), and other significant air emissions
GRI 306: waste 2020	306-1	Waste generation and significant waste-related impacts
	306-2	Management of significant waste-related impacts
	306-3	Waste generated
	306-4	Waste diverted from disposal
	306-5	Waste directed to disposal

* This information was directly extracted from the GRI standards

2. 연구 방법

2.1. 연구 대상 및 데이터

본 연구에서는 글로벌 시가총액 100대 기업 중 국내 반도체 산업 상위 2대 기업인 SK하이닉스와 삼성전자를 분석 대상으로 하여, 두 기업의 지속가능경영보고서 내 공시된 환경 관련 활동을 분석 데이터로 활용하였다. 단, 기업이 수행하고 있는 환경 관련 활동 및 전략이 지속가능경영보고서를 통해 대중에게 공개되지 않은 경우, 해당 데이터는 분석에서 제외되었다.

2.2. 연구 범위

지속가능경영보고서 내에는 기업의 경영활동으로 인한 환경, 사회, 경제 성과 등에 대해 서술하고 있다. 본 연구에서는 지속가능경영보고서 내 반도체 기업과 관련 있는 환경 이슈를 검토하기 위해 ESG 공시 표준인 글로벌보고이니셔티브(Global reporting initiative, GRI)와 중대성 평가 결과를 활용하여 반도체 기업의 전반적인 환경 전략 분석을 수행하고자 하였다. 먼저 GRI 및 중대성 평가 결과를 분석하고 분석 결과에 포함된 환경 성과 지표를 살펴보았다. 그리고 중요한 환경 이슈로서 자원 관리, 에너지 관리, 수자원 관리, 생물다양성 관리, 폐기물 관리가 해당되며, 이를 기준으로 기업의 지속가능경영보고서에 나타난 각 관리 전략 및 활동을 심층적으로 분석하였다. 아울러 반도체 기업이 나아가 할 전략에 대해 제시하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. GRI와 중대성 평가

GRI는 글로벌 ESG 공시 표준(가이드라인)으로서 전 세계 많은 기업, 특히 국내 기업들의 경우 지속가능경영보고서에서 GRI 공시 항목을 활용하여 E, S, G 전략을 공시하고 있다. 필수적으로 공시되어야 할 내용을 제시하는 GRI는 공통표준인 100번대, 주제별 표준 중 경제적 성과 지표 200번대, 환경적 성과 지표 300번대, 사회적 성과 지표 400번대로 구분된다. 환경적 성과 지표인 300번대 GRI 항목 중 본 연구 범위인 원재료, 에너지, 수자원, 생물다양성, 온실가스, 폐기물 관리 전략과 관련된 GRI 항목은 Table 1과 같다.

기업은 지속가능경영보고서를 작성하기 전 다양한

이해관계자를 통해 경영 이슈를 살펴보고자 중대성 평가를 실시한다. 중대성 평가를 통해 기업은 기업과 이해관계자에게 중요한 이슈의 우선순위를 그래프를 통해 보여준다. 기업지속가능성보고지침(Corporate sustainability reporting directive, CSRD) 이행을 위해 개발된 ESRS 보고서에서 이중 중대성(Double materiality)을 평가하고 공시할 것을 요구하고 있다. 이중 중대성은 영향 중대성(Impact materiality)과 재무 중대성(Financial materiality)의 두 축으로 구성된다(EFRAG, 2022; Hwang, 2023). 이는 기업이 지속가능성 이슈에 미치는 영향과 지속가능성 이슈가 기업에 미치는 영향을 모두 고려하여 중대 이슈를 평가하고, 이를 바탕으로 기업이 목표를 설정하고 달성하기 위한 전략을 수립할 수 있게 한다.

분석 대상인 두 기업의 지속가능경영보고서 내 중대성 평가 결과와 GRI 공시 지표 활용 여부를 통해 기업이 중점적으로 여기는 환경 이슈를 살펴보았다. 대체적으로 두 기업 모두 GRI 공시 항목을 활용하고 중대성 평가에 환경 이슈를 포함하고 있었으나 일부 포함되지 않은 항목들이 있었다. 원재료 항목의 경우 SK하이닉스는 GRI 및 중대성 평가에 해당 내용을 포함하여 공시하고 있지 않았다. 또한 생물다양성 항목에서 GRI 생물다양성 지표를 활용하여 공시하고 있지 않았으나 중대성 평가에서는 수자원과 함께 생물다양성을 자연자본으로 묶어 핵심 항목으로 다루고 있었다. 삼성전자의 경우 중대성 평가에 생물다양성 관리를 핵심 항목으로 포함하고 있지 않았다. 두 기업의 각 항목별 GRI 및 중대성 평가 결과는 Table 2와 같다. 해당 결과는 기업의 지속가능경영보고서 내 중대성 평가 결과에서 핵심 영역(Key topics)으로 다룬 주제를 기준으로 표기하였다.

3.2. SK하이닉스 기업 분석

3.2.1. 온실가스 관리

SK하이닉스는 반도체 공정 6대 온실가스인 이산화탄소(Carbon dioxide, CO₂), 메테인(Methane, CH₄), 아산화질소(Nitrous oxide, N₂O), 수소불화탄소(Hydrofluorocarbon, HFCs), 육불화황(Sulfur Hexafluoride, SF₆), 과불화탄소(Perfluorocarbons, PFCs)와 삼불화질소(Nitrogen trifluoride, NF₃) 등 지구온난화지수(Global warming potential, GWP)가 높은 공정 가스를 대체하기 위해 다양한 이해관계자와

Table 2. GRI and materiality assessment commitments of domestic semiconductor companies

Topic \ Year	SK hynix				Samsung Electronics			
	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
Materials	□	-	-	-	■	■	■	■
Energy	■	■	■	■	■	■	■	■
Water	□	■	■*	■*	□	■	□	■
Biodiversity	□	-	■*	■*	□	□	□	□
GHG emission	■	■	■	■	■	■	■	■
Waste	■	■	■	■	□	■	■	■

* Water and biodiversity are addressed under the natural capital category, which is identified as a key issue

□ : GRI (301 Materials, 302 Energy, 303 Water, 304 Biodiversity, 305 GHG emission, 306 Waste)

■ : Key issue in materiality assessment

협력하고 있다. 이를 통해 반도체 공정의 식각 및 챔버 세정 단계에서 사용되던 과불화탄소(PFCs)를 보다 환경적 영향이 적은 삼불화질소(NF₃)로 전환하였다. 또한, 공정에서 사용되는 가스를 정밀하게 분석하고 최적화하여 PFCs와 NF₃ 사용량을 절감하였다. 반도체 제조 과정 중 GWP가 높은 물질을 사용하는 공정을 선별하고, 해당 단계에서 발생하는 유해가스를 제거하기 위해 스크러버(Scrubber)를 설치하여 온실가스를 줄이고 있다. 또한, 공정 중 가스 유량 변화에 따라 스크러버 출력을 조정하는 기술을 확대 적용하고 있다. 이와 같은 노력으로 2022년 국내 사업장의 스크러버 처리 효율은 전년 대비 4% 상승하였다. 반도체 가치사슬 전반에서 온실가스 감축을 촉진하기 위해 반도체 기후 컨소시엄(Semiconductor Climate Consortium, SCC)에 창립 멤버로 가입하여 협력하고 있다.

3.2.2. 에너지 관리

2020년 국내 최초로 RE100 (Renewable Energy 100%) 가입을 통해 2050년까지 전력 사용의 100%를 재생에너지로 전환하고자 하며, 현재까지 해외 사업장의 100% 재생에너지 전환을 완료하였다. 탄소관리위원회 내 재생에너지 관련 실무 분과를 운영하며 2022년 전 사업장 전력 사용량의 29.6%를 재생에너지로 조달하는 전략을 발표했다. 또한 반도체 환경문제 해결을 위해 에코얼라이언스(Eco Alliance)를 출범하고 참여 기업과 함께 재생에너지 사용을 공동 선언하였다. 생산 장비 대기 상태 시 1차 스크러버 대기 모드

(Idle mode)를 운영하여 3,507 MWh의 전력을 줄이고 냉각수 폐열 회수 시스템을 통해 클린룸과 기계실, 사무실의 온도를 조절하는데 활용하여 7,859 MWh 전력을 절감하였다.

3.2.3. 수자원 관리

반도체 제조과정에 필요한 대량 용수 관리 전략을 시행하며, 2022년에는 효율적인 용수 사용을 통해 생산량 대비 사용된 물의 양인 취수량 집약도(단위: 천 톤/억 Gb eq)를 14% 감축하였다. 폐수 재이용 시설을 구축하여 수요처의 기준에 부합하는 수질로 처리해 재이용수 사용을 늘리고 있으며 이는 주로 대기오염 방지 시설에서 사용하고 있다. 내부 재이용수 확대 뿐만 아니라 지역사회와의 협업을 통해 청주 공공 하수 처리장과 같은 외부에서 생산된 재이용수를 공급받아 사용하고 있다. 이를 통해 국내 및 해외 사업장에서 약 4,788만 톤의 용수를 재이용하였다. 또한 공정용 냉각수(Process cooling water, PCW) 재이용 확대 및 1차 스크러버 모델 변경을 통한 유량 절감 등의 활동을 통해 용수 사용량을 절감하였다. 이외에도 방류수는 환경정책기본법 시행령 제2조 환경기준에 따라 만족하는 수질 기준을 충족시켜 배출하고 있고, 세계자원연구소(World Resources Institute, WRI)의 물 위험 지도를 기준으로 각 생산 사업장이 위치한 지역의 물 스트레스 수준을 파악하고, 스트레스 수준에 따라 필요한 목표를 수립해 관리하고 있다.

3.2.4. 생물다양성 관리

생태계의 건강 관리를 위해 생물다양성 선언을 통해, 생물다양성 정책 수립, 적용 범위, 이행 체계를 정립하여, 시민과학활동, 지역사회 중심 인재 양성 등 지역주민과 생물다양성 보전을 위한 노력을 실천하고 있다. 마이크로소프트와 'AI for biodiversity' MOU를 체결하고, Fab 구축 후의 생태계 데이터를 객관적으로 수집 및 축적하기 위한 6년 이상의 중장기 프로젝트를 실행 중에 있다. 데이터 수집 및 분석을 위한 지역사회를 포함한 여러 이해관계자와 협력해 교육, 경연 대회, 생태계보전 활동 등을 수행하고 있다.

SK하이닉스의 경우 생물다양성 보전 활동을 수자원과 함께 자연자본으로 다루고 있다. 자연자본의 중요도가 점차 상승할 것으로 바라보며 생물다양성을 중요하게 다루고자 하였다.

3.2.5. 폐기물 관리

사무용, 산업용 장비 및 비가용 SSD 등을 기증하여 정상 작동되나 버려지는 장비들을 재활용하고 있다. 또한 제품 반송 서비스 요청으로 회수된 SSD 중 재사용 가능한 정상 제품에서 낸드(NAND) 칩을 분리해 재활용하거나 USB, IoT 센서로 재제조하고 있다. 이외에도 반도체 세정 공정에서 사용되는 황산의 최적 사용량을 찾기 위해 제조 공정을 개선하고 테스트하여 폐황산의 발생량을 13% 저감하였다. 일부 국내 사업장에서 폐기물 매립 제로(Zero waste to landfill, ZWTL) 최고 등급인 플래티넘 인증을 취득하였다. 이는 사업장에서 발생하는 자원순환 비율이 100%일 때 플래티넘을 부여하며, 기업의 재활용 수준과 폐기물 처리 시 발생된 잔재물의 최종 매립량을 기준으로 실질 폐기물 재활용률 및 매립량을 평가한다.

3.2.6. 자원 관리: 광물 공급망

SK하이닉스는 반도체 제조에 필요한 광물을 책임 있게 조달하기 위해 3TG (Tantalum, Tin, Tungsten, Gold)의 책임광물 인증 프로세스(Responsible minerals assurance process, RMAP) 인증을 획득한 제련소에서 생산된 광물만을 사용하며, 원자재 조달 협력사와 '책임 있는 광물 사용 준수 서약'을 체결 및 협력사 컨설팅과 교육 프로그램을 제공하고 있다. 이러한 과정을 통해 공급망 정보를 정기적으로 파악하고 현황 조

사를 진행하여 3TG 인증 제련소 수와 분쟁광물 사용 협력사 수를 공시하고 있다.

SK하이닉스는 국내 최초로 RE100을 선언하였으며, RMI와 UNGC에도 함께 참여하고 있다. SK하이닉스의 경우 협력사와 책임 있는 광물 사용 준수 서약을 체결하고 조사를 진행했다. 또한 삼성전자와 같이 원자재 광물 별 제련소 수를 제공하고 RMAP 인증 현황을 모니터링하며, 3TG 사용 협력사 수에 대한 정보를 제공하고 있다.

3.3. 삼성전자 기업 분석

3.3.1. 온실가스 관리

삼성전자는 2050 탄소중립 달성을 위해 DX부문은 2030년을, DS부문은 2050년을 기본 목표로 조기 달성을 추진하고 있다. 기후변화 등 환경과 관련된 사항은 사업운영과 재무적 성과에 직결되는 경영의 핵심 영역으로 지속가능경영위원회, 지속가능경영협의회, 환경경영 TF 등을 구성하여 운영하고 있다. 기후변화 대응을 위해 온실가스 관리체계를 구축하여 글로벌 사업장에서 발생하는 온실가스를 모니터링하고 기후변화와 관련된 리스크의 실질적인 재무적 또는 전략적 영향을 규명하여 대응전략을 수립하고 있다. 기업 내부의 노력뿐만 아니라 다양한 이해관계자와의 협력을 강화하고자 아시아청정에너지연합(Asia Clean Energy Coalition, ACEC)에 아마존, 애플, 구글 등과 함께 창립멤버로 활동하고 있으며, SCC 창립멤버이자 이사회 회원으로 선정되어 온실가스 감축 목표 및 로드맵 수립, 표준화 작업에 적극적으로 참여하고 있다. 또한, 카본 트러스트(Carbon Trust) 주관 연결된 기기의 사용단계 탈탄소 협의체(Decarbonizing the Use phase of Connected Devices, DUCD) 이니셔티브에 참여하여 활동하고 있다. 카본 트러스트는 영국 정부에 의해 설립된 비영리 조직으로 탄소발자국 인증 등을 비롯한 폐기물, 수자원, 넷제로 등 기업 및 공공기관 등의 환경 영향을 최소화하기 위해 카본 트러스트 표준을 제공하고 있다.

이 밖에도 온실가스 감축을 위해 탄소포집연구소를 설립하고 기술 개발 및 공정 단계에서의 최적화 적용 등의 방안을 실행하고 있다. 반도체 공정가스 감축을 위해 DS부문은 업계 최초로 공정가스 대용량 통합처리 시설을 개발하였으며, 이는 저온에서도 공정가스 통합처리가 가능해 연료 사용을 줄임으로서 더 적은 양의 온실가

스를 배출한다. 공정가스 사용량 자체를 절감하고자 공정 시간, 공정 단계를 최적화하고 GWP가 낮은 대체가스를 개발하여 제조 공정에서 사용되는 과불화탄소(PFCs)를 일부 대체하고 있다. 또한, 사업장 내에서 발생하는 폐열을 회수하여 재활용하며 탄소발자국 및 환경 영향을 산정하고자 반도체 전과정평가 프로세스를 구축하고 제3자 검증 등을 통해 산출된 데이터의 신뢰성을 확보한다.

3.3.2. 에너지 관리

전력사용으로 인해 발생하는 탄소배출량을 줄이기 위해 글로벌 이니셔티브인 RE100에 가입하여 재생에너지 사용을 확대하고 있으며 DX부문의 경우 일부 해외 사업장은 재생에너지 전환을 완료하였다. 2027년까지 모든 해외사업장에서 재생에너지 전환을 완료하고 2050년까지 RE100을 달성하고자 한다. 이를 위해 태양광 및 풍력 발전소 설비를 설치하거나 재생에너지 인증서 구입, 전력구매계약 체결, 재생에너지 인증서 발급, CDM사업을 통한 탄소배출권 발급 등을 통해 재생에너지 전환율을 높이고 있다. 재생에너지 사용을 확대함으로써 온실가스 배출량을 줄일 수 있기 때문에, 온실가스 관리 전략으로서 폐열 회수 및 재이용을 통한 LNG 사용량 절감, ACEC 운영위원회에 참여하여 아시아 국가의 재생에너지 공급 활성화를 위해 노력하고 있다.

3.3.3. 수자원 관리

제조공정의 용수 재이용률을 높이기 위해 사업장별로 오수, 폐수, 공정용수, 초순수 항목으로 분류하여 각 사업장은 항목별 재사용량을 산출하고 시스템에 입력하여 전체적인 수자원 재이용률을 관리하고 있다. 또한 방류구를 중심으로 상류와 하류를 모두 모니터링하며 수질 분석 시 법적 기준보다 엄격한 자체 규정을 제정하여 방류수의 영향을 정확히 측정 및 관리하고 있다. 뿐만 아니라 다중방어체계를 구축하여 폐수가 들어오고 처리되어 방류되는 3가지 단계에 걸쳐 3중 차단시설을 설치하였으며 실시간으로 수질오염 물질을 측정하여 일정 농도를 초과할 시 비상 회수한다.

또한, 국내의 수자원의 중요성을 인식하고 수자원 영향을 최소화하고자 국제인증 획득 및 방법론을 활용하고 있다. 국제수자원관리동맹(Alliance for Water

Stewardship, AWS)으로부터 최고등급인 ‘플래티넘’ 인증 및 화학사업장의 경우 카본 트러스트의 ‘물 사용량 저감’의 국제 인증을 취득하였다. AWS는 전 세계 기업, NGO 등으로 이루어진 수자원 국제 이니셔티브로서 지속가능한 물 사용을 위해 수질 위생, 물 거버넌스, 안정적인 물 관리 등으로 이루어진 가이드라인을 제공하며 이를 자체 평가 및 개선 계획을 수립할 수 있다. 수자원 리스크 평가를 위해 유엔식량농업기구(Food and Agriculture Organization, FAO)의 관리기법을 활용해 물 스트레스 및 물 리스크 지역을 파악하고, 사업장 인근 유역의 물 스트레스와 10년 단위 리스크를 파악하기 위해 세계지속가능발전기업협의회(World Business Council For Sustainable Development, WBCSD), 세계자연기금(World Wild Fund for Nature, WWF), WRI, CDP 수자원 평가 방법론을 이용해 수자원 리스크 별 대응 전략을 수립해 이행하고 있다.

3.3.4. 생물다양성 관리

국내 사업장 인근 방류 하천의 수질 지표 측정 및 수생태계 모니터링을 정기적으로 수행하고 있다. 모니터링을 통해 멸종위기 야생생물인 수달 정밀조사 실시, 꼬리명주나비 복원 사업 후원 등 생태계 개선활동을 진행하고 있다. 또한 국내 사업장 인근 하천별 모니터링 결과를 공시하고 있다.

3.3.5. 폐기물 관리

삼성전자는 자원순환을 위해 국가별 폐전자제품 회수 프로그램을 운영하며 매년 회수량을 늘리고 있다. 수거된 폐전자제품을 전처리 과정을 거쳐 구리, 알루미늄, 플라스틱 등의 유가자원을 추출하여 부품 및 제품 제조에 사용한다. 반도체 공정 설비에서 포집되는 분진인 CV (Clean vacuum) 분진을 매립하던 과거와 달리 금, 텅스텐과 같은 금속을 추출하는 기술을 개발 및 현대제철과의 협업을 통해 공정 후 발생하는 폐수 슬러지에서 구리를 추출하여 제철 과정에서 필요한 형석 대체 물질로 사용하는 기술을 개발하여 다양한 분야에서 재활용하고 있다. 단, 핵심 금속 별 추출량 및 신제품 생산에 투입되는 양에 대한 정량적 정보는 포함되어 있지 않았다.

또한, 일부 사업장에서 ZWTL 최고 등급인 플래티넘 인증을 취득하였으며 이는 사업장에서 발생하는 폐기물의 자원순환 비율이 100%일 때 부여한다. 국내 업계 최초로 한국환경산업기술원으로부터 ‘순환자원 품질표지’ 인증 획득 및 금강유역환경청으로부터 DS부문 온양사업장 ‘순환자원’ 인정을 받으며 국내외 인증 획득을 통해 폐기물 저감 및 순환자원을 위해 노력하고 있다.

3.3.6. 자원 관리: 광물 공급망

삼성전자는 지속가능한 공급망 구축을 위해 책임광물 보고서를 매년 발간하고 있으며, 책임광물 관리체계 구축 및 제련소 인증 표준화를 위한 책임광물이니셔티브(Responsible Minerals Initiative, RMI), 책임있는 광물 협력체계(European Partnership on Responsible Minerals, EPRM), 지속가능한 코발트 채굴을 위한 프로젝트(Cobalt for Development, C4D)와 같은 국제 파트너십에 참여하고 있다. 협력회사가 RMAP 인증을 받은 제련소가 거려하도록 지원하고 협력회사 및 공급망 내 광물별 제련소 현황을 공개하고 있다. 광물 채굴 과정에서 발생하는 환경문제뿐만 아니라 인권문제가 제기되는 광물에 있어 삼성전자 책임광물 관리체계를 구축하여 지속적으로 모니터링하고, 협력업체들이 책임광물 정책을 준수하도록 내부 검토 및 점검을 실시하며 광물 소싱 및 공급망에서 발생하는 사회, 환경적 부정적 영향을 최소화하기 위해 노력하고 있다.

3.4. 기업의 지속가능한 전략 제시

전 세계적으로 기후변화 관련 공시 제도가 확대되고 있고, 기업에서는 공시를 대비하고자 지속가능한 환경 전략을 추진하고 있다. 하지만, 기업에서 진정성 있게 추진하고 있는 전략에 대한 그린워싱의 의혹도 증가하고 있다. 국내 SK하이닉스와 삼성전자는 글로벌 동향에 맞춰 환경문제와 관련된 관리 전략을 비교적 잘 추진하고 있지만, 향후 환경 성과로 이어질 수 있도록 다음과 같은 사항을 보완하여 공시할 것을 제안한다.

3.4.1. 온실가스 및 수자원 저감 전략에 대한 중장기 성과 평가

두 기업 모두 온실가스 저감과 수자원 관리를 위해 다양한 환경전략을 수립하고 있고 재생에너지 확대, 온

실가스 저감을 위한 반도체 생산 공정 최적화, 용수 재이용 시스템 구축 등을 추진하고 있다. 국제지속가능성 기준위원회(International Sustainability Standards Board, ISSB) 기후관련공시에서는 온실가스 배출량 저감 목표에 대한 진척도 모니터링을 위한 지표를 공시하도록 제안하고 있다(IFRS, 2023). 두 기업은 향후 전략에 대한 이행 여부를 평가하고 중장기적으로 성과 측정이 필요하다. 이러한 공시를 통해 다양한 이해관계자들과 커뮤니케이션이 가능해지고 이해관계자들을 고려한 ESG 경영이 가능해질 것으로 기대된다(Lee and Rhee, 2020).

3.4.2. 가치사슬 전반의 Scope 3 관리

SK하이닉스는 Scope 3 온실가스 배출량은 Scope 1 배출량을 초과하며, 이는 반도체 제조를 위한 구매 제품 및 서비스 부문이 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 반면, 삼성전자는 2022년부터 Scope 3 배출량을 공시하기 시작했으며, 그 중 판매된 제품의 사용 단계에서 발생하는 온실가스 배출량이 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 두 번째로 많은 비중을 차지하는 부문은 반도체 제조를 위한 구매 제품 및 서비스로, 전체 Scope 3 배출량의 약 12%를 차지한다. 특히 2022년 삼성전자는 판매된 제품의 가공, 사용, 폐기 과정에서 발생하는 온실가스 배출량까지 포함하여 Scope 3 배출량을 산정함으로써 SK하이닉스보다 Scope 3 배출량이 크게 나타났다.

판매된 제품으로 인한 온실가스 배출량을 제외하면 두 기업 모두 반도체 제조를 위한 구매 제품 및 서비스 부문이 가장 큰 부분을 차지한다. 이는 웨이퍼 제조, 반도체 원료(광물)의 채광 등의 공정에서 발생하며, Scope 3 배출량의 상당 부분을 차지하므로 이에 대한 효과적인 관리가 필요하다(Nagapurkar et al., 2023). 이를 해결하기 위한 방안으로는 조달 카테고리에 혁신적인 투자를 통해 공정 효율을 높이고 공정 단계를 축소하는 것, 반도체 성능을 유지하면서 화학물질 사용과 공정 단계를 최소화하는 방식으로 설계하는 것이 있다. 그 외에도 저배출 대체 물질을 사용하는 공급업체와 협력하거나 협력사와 함께 감축 노력을 기울이는 것도 좋은 예가 될 수 있다(Mohr et al., 2023).

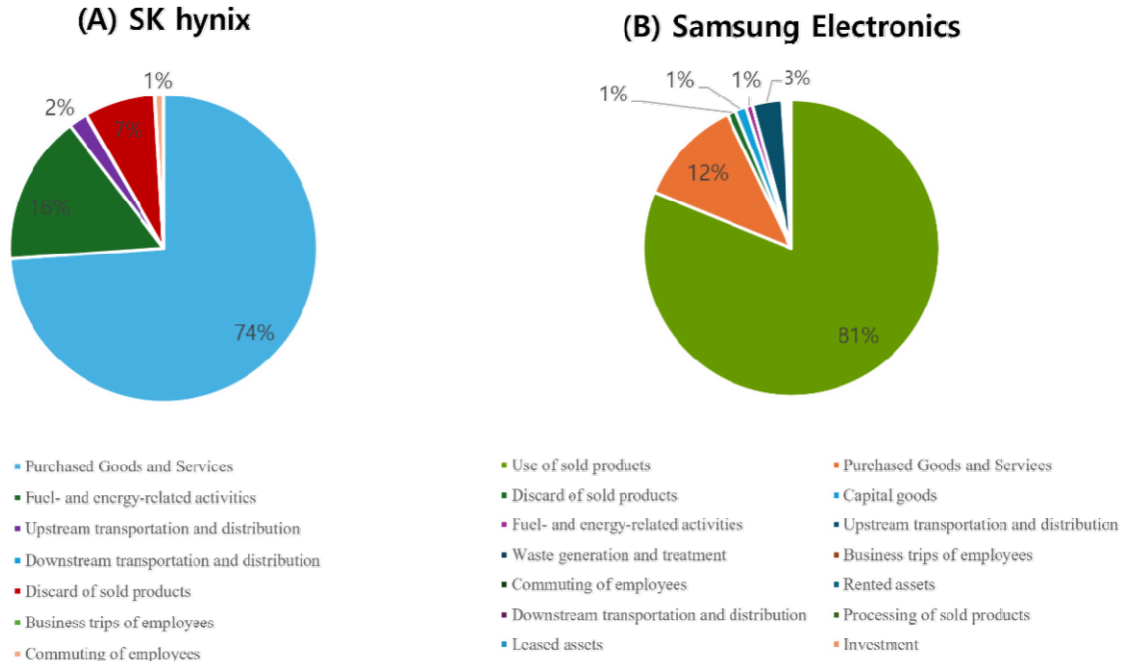


Fig. 1. Energy usage ratios by Scope 3 categories in 2020 (A) SK hynix (B) Samsung Electronics ('Scope 1' represents direct emissions from company-owned and controlled resources. 'Scope 2' accounts for indirect emissions from the generation of purchased energy. 'Scope 3' encompasses all other indirect emissions that occur in the company's value chain, including extraction and production of purchased materials, and end-of-life treatment of sold products) (SAMSUNG, 2023; SK hynix, 2023)

3.4.3. 미규제 환경오염물질에 대한 모니터링

SK하이닉스와 삼성전자는 온실가스 배출량 및 방류수의 농도를 실시간으로 모니터링하며, 두 기업은 국가에서 제정한 환경오염물질 및 각 오염물질에 대한 기준치보다 더 낮은 농도로 배출하기 위해 노력하고 있다. 반도체 생산 시 다량 사용되는 PFAS를 미국 환경보호청은 독성물질 목록에 추가하는 등 규제를 강화하고 있으며, 미국 환경법에 따라 국내 글로벌 기업들 또한 진출하는 각국의 규제에 맞게 적절히 대응하고 있다. 그러나 보다 적극적인 관리가 필요할 것이다. 반도체 생산에 쓰이는 화학물질은 평균 약 200개가 쓰이지만 (Choi, 2016), 국내에서 규제하고 있는 수질오염물질은 약 52개의 물질에 대해서만 규정하고 있고 대기오염물질은 20개의 물질에 대해서만 규정하고 있으므로 환경에 영향을 미칠 수 있는 미규제 오염물질에 대해 선제적으로 관리해야 한다(Ministry of Environment, 2021, 2023). 예를 들어, 미국의 Apple은 여러 지역에

서 요구하는 법적 기준을 충족하는 것뿐만 아니라 자체적으로 더 엄격한 기준을 설정하여 환경 및 인간에 영향을 미치는 유해 물질들에 대해 선제적으로 관리하고 있다.

3.4.4. 생물다양성 공시 전략

최근 기업의 사업활동이 생물다양성과 자연자본에 미치는 영향이 강조되면서, 전 세계적으로 규제와 공시에 대한 논의가 강화되고 있다(Coolsaet et al., 2020; Beck-O'Brien and Bringezu, 2021). 또한 글로벌 생물다양성 프레임워크(Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework, GBF)와 연계된 자연 관련 재무정보공시 협의체(Taskforce on Nature-related Financial Disclosure, TNFD) 최종 권고안이 발표('23.09.19)되었다. 두 기업은 사업장 인근 자연보전 활동 이외에도 TNFD, ESRS와 같은 공시 표준에 대해 대비할 수 있도록 생물다양성 공시에 대한 절차를 수립

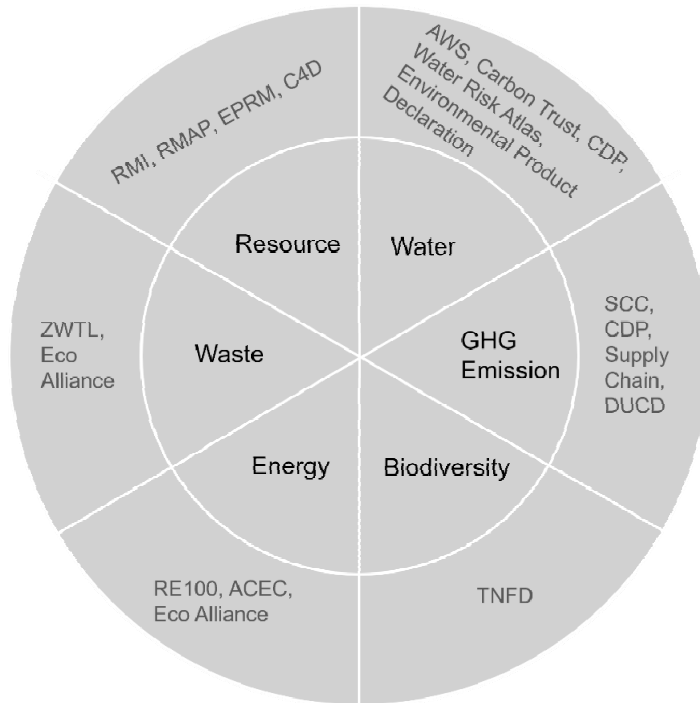


Fig. 2. Initiatives and certifications for environmental strategies implemented by SK hynix and Samsung Electronics

해야 한다. 또한 생물다양성 전략 수립 시 수생태계 생물다양성만을 고려하는 것뿐만 아니라 반도체 원자재 광물의 채굴 과정에서 발생하는 다양한 환경문제를 고려한 생물다양성 전략을 제시해야 한다. 기업의 사회를 위한 노력이 중요한 상황 속에서 광물 채굴 시 발생하는 생태계 훼손과 매체별 환경 오염에 대한 직접적인 노력이 요구될 것이다. 가치사슬과 공급망 전반의 생태계 훼손 및 매체별 환경오염을 종합적으로 고려한 생물다양성 공시 및 전략 수립 과정이 필요하다.

3.4.5. 세계 규제 대응을 포함한 환경전략 수립

국내외 규제 환경의 변화와 글로벌 공급망에서의 반도체 및 광물 사용에 대한 규제를 감안할 때, 미국의 반도체 및 과학법(Creating helpful incentives to produce semiconductors and science act, CHIPS)와 인플레이션 감축법(Inflation reduction act, IRA)을 고려한 환경 전략 수립이 필요하다. 미국 정부의 CHIPS는 반도체 공장 설립 시 필수적인 환경 영향 평가를 요구함으로써, 반도체 생산 과정에서의 환경관리

와 화학물질 처리에 대한 엄격한 규제를 강조하고 있다. 이전에는 국방 관련 법안에 따라 CHIPS 대상 기업들이 환경 영향 평가 심사를 면제받을 수 있었으나, 이 조항은 최근 최종 법안에서 제외되었다. 글로벌 기업으로서 세계적 규제에 대응하고 글로벌 시장에서 경쟁력을 유지하며 환경적 책임을 이행하는 데 필수적인 요소로 작용한다. 따라서, 국내 반도체 기업이 글로벌 환경 규제의 동향을 선제적으로 대응하고, 지속가능한 공급망 관리를 통해 환경적, 사회적 책임을 다하는 전략적 접근이 필요하다.

3.4.6. 세부 감축 목표를 고려한 국제 이니셔티브 및 인증 취득

해당 기업들은 온실가스 감축 등의 환경 목표 수립을 위해 다양한 이니셔티브와 국내외 인증을 취득하고 있다. 두 기업의 지속가능경영보고서 내 이니셔티브 및 인증 항목을 종합한 사항은 Fig. 2과 같다. 그러나 이니셔티브 및 국내외 인증 취득에 따른 책임 있는 전략 수립이 필요하다. 일례로, 국내외 많은 기업들은 2050년까

지 기업이 사용하는 전력을 모두 재생에너지로 조달하겠다는 RE100에 가입하였다. 여기서 조달이란 자체 생산한 혹은 구매한 재생에너지 전력을 포함한다. 그러나 실제로는 일부 기업들이 많은 온실가스를 배출하면서도 RE100 가입을 통해 탄소중립을 강조하며 그린워싱을 조장한다는 우려가 제기되고 있다. 국내외 이니셔티브 가입 및 인증을 취득하며 기업들이 환경에 대한 노력을 이어 나가고 있으나, 이는 세부적인 중장기 감축 목표 및 계획 수립과 함께 이루어져야 한다. 실질적인 감축 목표를 토대로 효과적인 환경 관리 전략 수립이 이루어져야 할 것이다.

4. 결론

최근 반도체 산업에서 지속가능경영의 중요성이 부각되며 환경 지속가능성을 고려한 경영 전략을 수립하고 있다. 이에 따라 반도체 기업들은 온실가스 감축, 수자원 사용 저감, 재생에너지 확대 등 다양한 환경 전략을 추진하고 있다. 그러나 일부 사례에서 이러한 환경 전략이 그린워싱으로 평가되며, 이에 대한 우려가 지속적으로 제기되고 있다.

이에 본 연구에서는 국내 반도체 기업인 SK하이닉스와 삼성전자를 대상으로 환경 경영 전략을 분석하고 지속 가능한 경영 전략을 도출하고자 하였다. 연구 결과, 환경 성과로 이어지기 위해 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다. 1. 기업의 환경 전략에 있어 향후 중장기적인 이행여부 평가와 성과측정이 필요하다. 2. 최근 가치사슬 전반의 Scope 3의 온실가스 배출량이 증가하고 있으므로 이에 대한 관리가 필요하다. 대표적으로 조달 카테고리를 혁신, 반도체 성능을 유지하면서 공정 효율 최소화 등이 있을 수 있다. 3. 반도체 제조에 사용되는 수백 개의 화학물질에 비해 환경규제물질은 제한적이므로 환경에 영향을 미칠 수 있는 미규제오염물질에 대한 적극적인 관리가 필요할 것이다. 4. 사업장 주변 이해관계자들과 자연보전 활동 이외에도 가치사슬과 공급망 전반의 생태계 훼손 및 매체별 오염 등을 종합적으로 고려한 생물다양성 전략이 필수적이다. 이를 공시하기 위한 체계적 절차를 수립·이행해야 한다. 5. CHIPS Act, IRA를 비롯한 국내외 규제 환경의 변화를 적절히 대응할 수 있는 전략적 접근이 필요하다. 6. 중장기적인 세부 감축 목표를 고려한 국제 이니셔티브 참여와 국내외 인증 취득이 이루어져야 하며 이에 따른

책임 있는 전략 수립이 필요하다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 기업의 지속가능경영보고서는 주로 전략과 같은 주관적 정보에 중점을 두고 작성되어 정량적 평가가 제한적이다. 특히, 긍정적인 성과에 비해 부정적 지표는 공개되지 않는 경향이 있어, 연구 결과를 일반화하는 데 제약이 따른다. 또한, 본 연구는 삼성전자와 SK하이닉스 두 기업의 사례를 중심으로 분석을 진행하였기에, 이를 국내 전체 반도체 산업에 적용하기에는 한계가 따른다. 따라서 향후 연구에서는 분석 대상 기업의 범위를 확대하여 국내외 다양한 반도체 기업을 포함함으로써 보다 포괄적인 비교 가능한 분석을 수행할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구의 기업 선정이나 세부 평가 내용은 기업의 지원 없이 국제ESG협회가 단독으로 주관하여 전국 대학생들을 대상으로 실시한 ESG 아카데미 제1기 교육 과정을 통해 학생들이 자발적으로 결정하고 중립적으로 수행한 결과물이다. 또한 이 논문은 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 일부 지원을 받아 수행된 기초연구사업이다(2021R1A6A1A10045235).

REFERENCES

- AWS (Alliance for Water Stewardship), 2019, International water stewardship standard.
- APPLE, 2021, Environmental progress report.
- ASML, 2023, Annual report 2023.
- Beck-O'Brien, M., Bringezu, S., 2021, Biodiversity monitoring in long-distance food supply chains: Tools, gaps and needs to meet business requirements and sustainability goals, Sustainability, 13(15), 8536.
- Bolan, N., Sarkar, B., Yan, Y., Li, Q., Wijesekara, H., Kannan, K., Tsang, D. C. W., Schauerte, M., Bosch, J., Noll, H., Ok, Y. S., Scheckel, K., Kumpiene, J., Gobindlal, K., Kah, M., Sperry, J., Kirkham, M. B., Wang, H., Tsang, Y. F., Rinklebe, J., 2021, Remediation of poly-and perfluoroalkyl substances (PFAS) contaminated soils - To mobilize or to immobilize or to degrade?, Journal of Hazardous Materials, 401, 123892.
- Carbon Trust, 2013, <https://www.carbontrust.com/news-and-insights/insights/water-a-critical-component-of-any-sustainability-strategy>.

- Coolsaet, B., Dawson, N., Rabitz, F., Lovera, S., 2020, Access and allocation in global biodiversity governance: A Review, *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 20(2), 359-375.
- Cordner, A., De La Rosa, V. Y., Schaidler, L. A., Rudel, R. A., Richter, L., Brown, P., 2019, Guideline levels for PFOA and PFOS in drinking water: The role of scientific uncertainty, risk assessment decisions, and social factors, *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 29(2), 157-171.
- Dorfleitner, G., Utz, S., 2023, Green, green, it's green they say: A Conceptual framework for measuring greenwashing on firm level, *Review of Managerial Science*, 18(12), 3463-3486.
- EFRAG (European Financial Reporting Advisory Group), 2022, ESRS 1 General requirements, Brussel, Belgium.
- ESIA (European Semiconductor Industry Association), 2021, European semiconductor industry: A Strong contributor to reducing carbon emissions, Brussel, Belgium.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2024, <https://www.epa.gov/pfas/key-epa-actions-address-pfas>.
- EU (European Union), 2023, https://finance.ec.europa.eu/news/commission-adopts-european-sustainability-reporting-standards-2023-07-31_en.
- GRI standards, 2024, Consolidated set of the GRI standards, <https://www.globalreporting.org/>.
- Heidari, H., Abbas, T., Ok, Y. S., Tsang, D. C. W., Bhatnagar, A., Khan, E., 2021, GenX is not always a better fluorinated organic compound than PFOA: A Critical review on aqueous phase treatability by adsorption and its associated cost, *Water Research*, 205, 117683.
- Hwang, S. I., 2023, ESG and materiality assessment - A Case study of European sustainability reporting standard, *Environmental Law Review*, 45(2), 113-143.
- IFRS (International Financial Reporting Standards), 2023, <https://www.ifrs.org/issued-standards/ifrs-sustainability-standards-navigator/ifrs-s2-climate-related-disclosures/>.
- Intel, 2024, 2023-24 Corporate responsibility report.
- KIEP (Korea Institute for International Economic Policy), 2024, Analysis of the export and import structure and global stature of the South Korean semiconductor industry, Sejong, Republic of Korea.
- Kuo, T. C., Kuo, C. Y., Chen, L. W., 2022, Assessing environmental impacts of nanoscale semiconductor manufacturing from the life cycle assessment perspective, *Resources Conservation and Recycling*, 182.
- Kwon, Y. H., 2017, A Case study on sustainable management of innovative global semiconductor companies, *Journal of the Korea Entrepreneurship Society*, 12(1), 335-363.
- Lee, J. K., Rhee, J. H., 2020, Current status and future directions of research on "sustainable management": Focusing on the ESG measurement index, *Journal of Strategic Management*, 23(2), 65-92.
- Lim, S., Yang, J., Kang, J. H., 2022, Measures to strengthen ESG in global supply chains, Report 2022-19, Korea Institute for Industrial Economics & Trade (KIET), Sejong, Republic of Korea.
- Liu, C. H., Lin, S. J., Lewis, C., 2010, Life cycle assessment of DRAM in Taiwan's semiconductor industry, *Journal of Cleaner Production*, 18(5), 419-425.
- Liu, J., Lau, S., Liu, S. S., Hu, Y., 2024, How firm's commitment to ESG drives green and low-carbon transition: A Longitudinal case study from hang lung properties, *Sustainability*, 16(2).
- Marrucci, L., Daddi, T., Iraldo, F., 2024, Creating environmental performance indicators to assess corporate sustainability and reward employees, *Ecological Indicators*, 158.
- Ministry of Environment, 2024, Water environment conservation act, <https://www.law.go.kr/LSW/eng/engLsSc.do?menuId=2§ion=lawNm&query=Water+Environment+Conservation+Act&x=0&y=0#liBgcolor2>.
- Ministry of Environment, 2024, Clean air conservation act, <https://www.law.go.kr/LSW/eng/engLsSc.do?menuId=2§ion=lawNm&query=Clean+Air+Conservation+Act&x=0&y=0#liBgcolor0>.
- Mohr, J. H., Tembey, G., Breidenbach, K., Sah, N., Jeschke, J., Harder, T., 2023, <https://www.bcg.com/publications/2023/why-chip-makers-need-to-focus-on-the-upcoming-decarbonization-challenges>.
- MSCI, 2020, Global industry classification standard methodology.
- Nagapurkar, P., Nandy, P., Nimbalkar, S., 2023, Cleaner chips: Decarbonization in semiconductor manufacturing, *Sustainability*, 16(1), 218.
- Post, G. B., Gleason, J. A., Cooper, K. R., 2017, Key scientific issues in developing drinking water guidelines for perfluoroalkyl acids: Contaminants of emerging concern, *PLOS Biology*, 15(12), e2002855.
- Ruberti, M., 2023, The chip manufacturing industry: Environmental impacts and eco-efficiency analysis, *Science of the Total Environment*, 858.

- SAMSUNG, 2023, Samsung Electronics sustainability report 2023.
- SEC (Securities and Exchange Commission), 2022, <https://www.sec.gov/rules-regulations/2024/03/s7-10-22>.
- Senadheera, S. S., Gregory, R., Rinklebe, J., Farrukh, M., Rhee, J. H., Ok, Y. S., 2022, The development of research on environmental, social, and governance (ESG): A Bibliometric analysis, *Sustainable Environment*, 8(1).
- Senadheera, S. S., Withana, P. A., Dissanayake, P. D., Sarkar, B., Chopra, S. S., Rhee, J. H., Ok, Y. S., 2021, Scoring environment pillar in environmental, social, and governance (ESG) assessment, *Sustainable Environment*, 7(1).
- SK hynix, 2023, SK hynix sustainability report 2023.
- Thomas Day, Silke Mooldijk, Frederic Hans, Sybrig Smit, Eduardo Posada, Reena Skribbe, Santiago Woollands, Harry Fearnehough, Takeshi Kuramochi, Carsten Warnecke, Aki Kachi, Niklas Höhne, 2023, Corporate climate responsibility monitor 2023.
- TSMC, 2022, TSMC 2022 sustainability report.
- Wang, Q., Huang, N., Chen, Z., Chen, X., Cai, H., Wu, Y., 2023a, Environmental data and facts in the semiconductor manufacturing industry: An Unexpected high water and energy consumption situation, *Water Cycle*, 4, 47-54.
- Wang, Q., Huang, N., Cai, H., Chen, X., Wu, Y., 2023b, Water strategies and practices for sustainable development in the semiconductor industry, *Water Cycle*, 4, 12-16.
- Xia, F., Chen, J., Yang, X., Li, X., Zhang, B., 2023, Financial constraints and corporate greenwashing strategies in China, *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 30(4), 1770-1781.
- Choi, Y., 2016, An Investigation on chemicals used in semiconductor industry, identification of trade secret and evaluation on accuracy of MSDS (material safety data sheet) in photolithography process, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea.
-
- Master Student. Junhee Park
Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University
wnsh252@korea.ac.kr
 - Ph. D. Student. Suho Han
Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University
suhohan@korea.ac.kr
 - Master Student. Seongku Kwon
Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University
seongkukwon@korea.ac.kr
 - Ph. D. Candidate. Yoora Cho
Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University
chouraura@korea.ac.kr
 - Professor. Jay Hyuk Rhee
Korea University Business School
jayrhee@korea.ac.kr
 - Professor. Yong Sik Ok
Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University
yongsikok@korea.ac.kr

Appendices

부록 1. SK hynix solutions' approach to sustainable environmental management related to climate change and water risk

	Original contents	Page
1	As part of these endeavors, in November 2022, SK hynix became a founding member of the Semiconductor Climate Consortium (SCC), established by the Semiconductor Equipment and Materials International (SEMI)	p7
2	SK hynix has been refining its decision-making process and operates a carbon management committee under the ESG management committee.	p44
3	To facilitate the preview and review of climate change-related matters presented to the ESG management committee, SK hynix operates the climate change roundtable, consisting of key executives.	p44
4	SK hynix proudly became a founding member of SCC, initiated by SEMI. We set both short- and long-term targets for greenhouse gas reduction, aiming to achieve net-zero emissions by 2050.	p45
5	SK hynix has made a commitment to achieve 100% renewable electricity consumption by 2050 by joining RE100 in 2020.	p46
6	SK hynix sourced 29.6% of its global electricity use via renewable electricity, marking a significant increase compared to the 4% range in 2021. Notably, our overseas sites (San Jose in the United States, and Wuxi and Chongqing in China) have already completed a full transition to 100% renewable electricity for their power consumption in 2022.	p46
7	SK hynix operates an energy conservation taskforce (TF), led by the head of facility & infrastructure, to ensure efficient energy use and management. As a result, a total of 290 energy-saving measures were implemented, resulting in a reduction of 207 GWh of energy consumption. This accomplishment surpasses the conservation target established at the outset of the year by an impressive 134%.	p47
8	SK hynix achieved a power reduction of 3,507 MWh through operation of point of use scrubbers in idle mode for energy savings and 7,859 MWh through waste heat recovery system optimization and cooling water temperature adjustment in 2022.	p47 p48
9	SK hynix has successfully reduced water intensity by implementing efficient water usage practices. In 2022, we surpassed our target of 12% reduction by achieving a 14% reduction compared to 2020.	p50
10	In 2022, SK hynix in Korea reused approximately 36.08 million tons of water, while overseas facilities reused 11.8 million tons.	p50
11	SK hynix's production facilities in Korea have set specific goals to meet the "good water" standards in accordance with the river's living environment criteria under article 2 of the enforcement decree of the framework act on environmental policy.	p50
12	To safeguard the ecological environment of rivers that receive discharged water, SK hynix's production facilities in Korea have set specific goals to meet the "Good Water" standards in accordance with the river's living environment Achievements criteria under Article 2 of the Enforcement Decree of the Framework Act on Environmental Policy.	p50
13	SK hynix identifies the water stress levels in the regions where each of our production facilities is located using the water risk atlas provided by the World Resources Institute (WRI).	p51
14	In 2022, efforts such as expanding the reuse of Process Cooling Water (PCW) from air conditioning units and implementing changes to Point of Use (POU) scrubber models to reduce flow resulted in a water usage reduction of approximately 1.26 million tons our facilities in Korea.	p51
15	The wastewater reuse facility at the Icheon campus has a treatment capacity of approximately 94,400 tons per day and reused approximately 18.06 million tons of wastewater in 2022.	p52
16	SK hynix plans to continue expanding its water reuse efforts by collaborating with the local community to secure a stable supply of treated wastewater.	p52

	Original contents	Page
17	SK hynix signed a memorandum of understanding (MOU) on “AI for Biodiversity” with Microsoft. This long-term project, spanning over six years, aims to contribute to biodiversity conservation by conducting extensive observations of ecological changes before and after the establishment of fabs and collecting objective ecosystem data.	p55
18	An optimization plan was developed and implemented, resulting in an approximately 13% reduction in waste sulfuric acid generation at the Icheon Campus in 2021. Furthermore, at the Wuxi plant in China, approximately 17% of waste sulfuric acid generated from the production process in 2022 was reused as a chemical in the in-house wastewater treatment facility, reducing sulfuric acid usage.	p56
19	After SK hynix initially obtained ZWTL certification for our Korean facilities in 2018 and completed certification for overseas facilities (Wuxi, Chongqing) in 2019. In 2022, it achieved the highest level of ZWTL certification, Platinum.	p56
20	In many cases, the SSD products collected through RMA are not inherently faulty but are returned due to malfunctions in associated devices or other components, making them mostly reusable. SK hynix separate usable NAND chips from RMA SSDs to manufacture USBs and IoT sensors, while recycling the remaining parts and defective NAND chips to reduce waste and increase equipment recycling.	p57
21	SK hynix have established a collaborative network that enables various stakeholders, including material and equipment suppliers, to participate in the development of alternative gases. Our goal is to replace high global warming potential (GWP) process gases, including carbon dioxide (CO ₂), methane (CH ₄), nitrous oxide (N ₂ O), hydrofluorocarbons (HFCs), sulfur hexafluoride (SF ₆), perfluorocarbons (PFCs), and nitrogen trifluoride (NF ₃), which are the six greenhouse gases emitted from semiconductor processes.	p60
22	SK hynix have completed the optimization of 13 processes that involve the use of nitrogen trifluoride (NF ₃) for cleaning, utilizing time-of-flight mass spectrometry (ToF-MS) for process gas analysis. This optimization has resulted in a reduction of 25 tons of NF ₃ usage, leading to a decrease of 12,029 tCO ₂ eq of annual greenhouse gas emissions.	p60
23	SK hynix is focusing on the treatment of high GWP substances. We classify each process that utilizes these substances and install appropriate scrubbers to reduce greenhouse gas emissions. In addition, we implement diagnostic technologies. To monitor the condition of components that directly impact process gas treatment efficiency. We also expand the application of variable power technologies that adjust scrubber output based on gas flow during process operation.	p60
24	These efforts have resulted in SK hynix achieving a scrubber efficiency of 94% for facilities in Korea in 2022, 4% points increased compared to 2021.	p60
25	SK hynix operates the ECO Alliance, a coalition focused on proactively addressing environmental issues and enhancing environmental competitiveness among semiconductor companies in Korea.	p75
26	SK hynix responsibly procures minerals necessary for semiconductor production, using minerals produced by smelters and refiners certified under the responsible minerals assurance process (RMAP) for 3TG minerals, namely tantalum, tin, tungsten, and gold.	p76
27	We also regularly monitor information on our minerals supply chain and utilize our minerals management system and provide consulting and educational programs to improve suppliers’ awareness and pledge compliance regarding responsible minerals.	p76

※ This information was directly extracted from the SK hynix sustainability report(2023)

부록 2. Samsung Electronics solutions' approach to sustainable environmental management related to climate change and water risk

	Original contents	Page
1	We plan to achieve net zero in Scopes 1 and 2 by 2050. Net zero will be achieved first by the DX division by 2030, followed by the company level including the DS division by 2050 or sooner.	p15
2	We joined the RE100 initiative to reduce our Scope 2 emissions (indirect carbon emissions from power consumption) and achieve the transition to renewable energy for our electricity use by 2050.	p15
3	We joined the Asia Clean Energy Coalition (ACEC) as a founding member during the 27th Conference of the Parties (COP27) of the UN Framework on Climate Change (UNFCCC). We are participating as a member of the steering committee as well as country-working groups to facilitate the supply of renewable energy in the region.	p15
4	We joined the Semiconductor Climate Consortium (SCC) as a founding member in November 2022 and have been appointed as a governing council member in January 2023.	p15
5	We consider environmental issues including climate change as factors that directly influence our business operations and financial performance.	p18
6	The CEO establishes environmental management plans and reviews implementation progress through a corporate consultative body comprising the top executives of relevant units such as the sustainability committee, sustainability council, and environmental management taskforce.	p18
7	We continuously monitor GHG emissions generated from our global business sites. Each site is required to enter GHG emissions data (e.g., power, fuel, semiconductor process gases) into the EHS system.	p20
8	We identify the financial and strategic impacts of climate change-related risks, then establish response measures based on each risk's magnitude, and make decisions accordingly.	p20
9	To reduce semiconductor process gases, we focus on improving the efficiency of process gas treatment, reducing overall process gas use, and developing GHG alternatives.	p21
10	Expanding the use of Regenerative Catalytic System (RCS).	p21
11	Development and application of new catalysts for RCS with up to 95% processing efficiency.	p21
12	Optimizing treatment time, process, and clean recipe and developing alternative gases with low global warming potential - replacing PFC gases	p21
13	To reduce LNG consumption at our business sites, we recover and reuse waste heat generated on site.	p21
14	We are reducing power consumption in the semiconductor manufacturing process through optimization, reducing equipment test time, temperature management of auxiliary equipment, applying high-efficiency equipment, and neutralizing wet scrubbers.	p21
15	The total amount of renewable energy use in 2022 stood at 8,704 GWh - a 65% increase from the previous year - reaching a 31% transition rate.	p22
16	Completed the transition to 100% renewable energy at all of DX Division's business sites in Korea and manufacturing sites in Vietnam, India, and Brazil.	p22
17	We are participating in the Clean Development Mechanism (CDM) initiative. We distributed 3.64 million high-efficiency refrigerators over eight years prior to 2020 and contributed to the reduction of 550,000 tonnes of GHG emissions, thereby obtaining certified emissions reductions (CERs) issued by the UNFCCC.	p23
18	We plan to utilize ultra-power-saving technology for semiconductors, which is expected to drastically reduce the memory-related power consumption of data centers and mobile devices from 2025.	p23
19	Since September 2022, we have been working with Amazon, Meta, Microsoft, and Sky (Comcast) as a founding member of the DUCD secretariat.	p24
20	We established the LCA process to accurately assess the environmental impact and carbon footprints of our semiconductor products across their entire lifecycles.	p24

	Original contents	Page
21	Operating e-waste collection programs in over 50 countries. Recovering copper, aluminum, steel, plastics, among others, through pre-processing such as sorting and crushing.	p28
22	We established the semiconductor-industry's Air Science Research Center (previously Carbon Capture Research Institute) in September 2021 to develop and commercialize technologies for capturing and utilizing carbon emitted from our semiconductor manufacturing sites	p30
23	Our 23 manufacturing sites have obtained the Zero Waste-to-Landfill mark* granted by Underwriters Laboratories. By 2025, we plan have all of our manufacturing sites designated as Platinum: Platinum - Korea (Suwon, Giheung, Hwaseong, Pyeongtaek, Onyang, and Cheonan), China (Xian and Suzhou(2)), Slovakia, Brazil (Campinas), and India (Chennai).	p32
24	CV dust; Recycling based on our metal recovery technology for gold, tungsten, etc.	p32
25	In December 2019, our Onyang business site became the first in the industry to be granted the Recognition of Circular Resources by the Geumgang River Basin Environmental Office. It also attained the Quality Mark Certification for Circular Resources from the Korea Environmental Industry and Technology Institute for the first time in the industry in October 2020.	p33
26	In order to increase the added value of waste, we recover and recycle copper from sewage sludge from the semiconductor manufacturing process. We also developed technology to produce an alternative for fluorspar required for steelmaking in collaboration with Hyundai Steel.	p33
27	We were rated the highest grade of platinum by AWS. Our Hwaseong business site was granted AWS certification after separately meeting the highest Carbon Trust's standard by reducing water usage in 2020.	p34
28	We categorize water resources into used water, wastewater, process water, and ultra-pure water to increase the reutilization rate of water used for manufacturing.	p34
29	We identify water-stressed regions using the tool developed by the FAO and assess the water stress and ten-year water risks that water basins near our business sites face using the tools developed by the WBCSD, WWF, and WRI. We also establish and implement risk-specific response measures based on CDP's water security guidance.	p35
30	Average daily reduction of water use at our semiconductor manufacturing sites: 30,000 tonnes.	p35
31	Total amount of reused water increased by 29% compared to the previous year (2022): 116.59 million tonnes.	p35
32	We monitor both upstream and downstream of the outlet to ensure accuracy. We perform analyses pursuant to the process testing act of the Ministry of Environment and apply our internal standards.	p35
33	We disclose the discharge amounts of general pollutants (COD, SS) and calculate the discharge amounts of sulfate ion, chlorine ion, fluorine, and T-N based on their real-time discharge concentration levels and water analysis data.	p35
34	We aim to drive the concentration of pollutants in our effluent water lower than that of the upstream by 2040.	p35
35	We are equipped with triple-tier interlocks between the infiltration, processing, and discharge stages at our wastewater treatment facilities. Each interlock is activated to initiate an emergency recovery of wastewater when the pollutant concentration is assessed to exceed our standards.	p36
36	We regularly measure key indicators of water quality - including chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD), and potential hydrogen (pH).	p37
37	As evidence of these improvements, it is now inhabited by Eurasian Otters (Endangered Species level I and and natural monument). We also sponsored the creation of the Osan Stream Butterfly Path aimed at protecting the endangered dragon swallowtail.	p37

*This information was directly extracted from the Samsung Electronics sustainability report (2023)