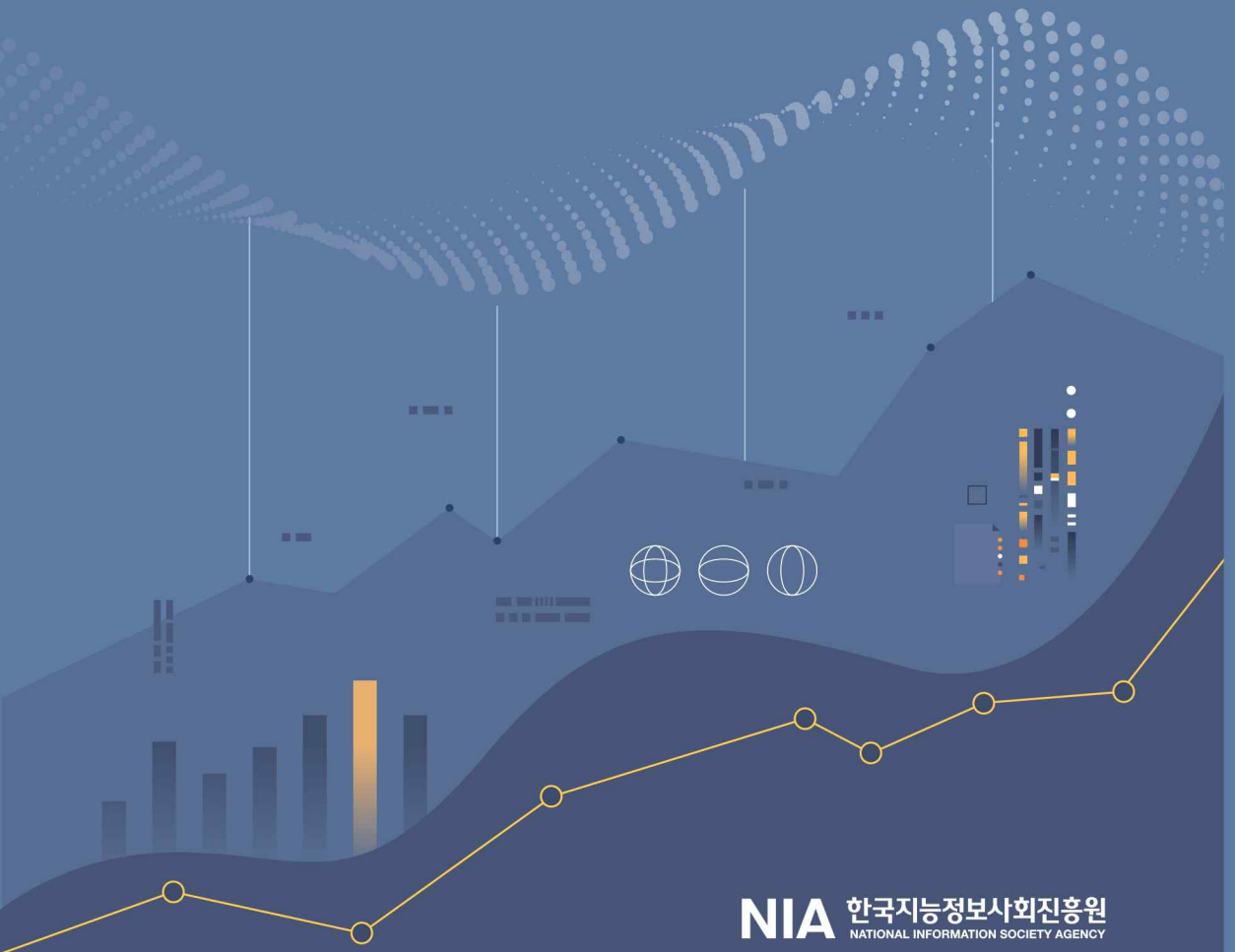


Data Brief

디지털 분야의 탄소 배출과 대응 노력



DATA BRIEF

**디지털 분야의
탄소 배출과
대응 노력**

Data Brief」 보고서는 디지털로 인한 기술 및 경제·사회 변화 방향을
데이터를 기반으로 설명하는 보고서입니다.

NIA의 승인 없이 본 보고서의 무단전재나 복제를 금하며,
인용하실 때는 반드시 NIA, 「Data Brief」 보고서라고 밝혀주시기 바랍니다.
보고서 내용에 대한 문의나 제안은 아래 연락처로 해주시기 바랍니다.

Data Brief_디지털 분야의 탄소 배출과 대응 노력

발행인

황중성

기획 및 작성

한국지능정보사회진흥원(NIA) 인공지능정책본부 미래전략팀
정현영 주임연구원(053-230-1203, hyeon0@nia.or.kr)

ABC Inc. 지속가능혁신팀

권오정 팀장(jake@theabcusainc.com)

보고서 온라인 서비스

www.nia.or.kr



목 차

01 디지털 분야 탄소중립의 필요성

02 디지털 분야에서의 탄소 배출

- 1. 단말 분야 3
- 2. 데이터센터 분야 7
- 3. 네트워크 분야 10

03 디지털 분야 탄소 배출 대응 사례

- 1. 단말 분야 12
- 2. 데이터센터 분야 15
- 3. 네트워크 분야 18

04 결론 및 시사점

- 1. ICT 분야 탄소 배출 표준화 21
- 2. ICT 분야 탄소 배출 기준 수립 22

01 디지털 분야 탄소중립의 필요성

1. 서론

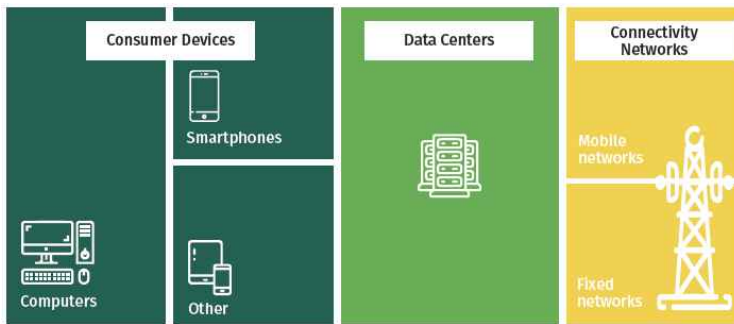
대두되는 글로벌 현안 : 디지털 기술 확산에 따른 온실가스 배출 증가

- o ICT 기술은 지속적인 발전으로 현대 사회의 중요한 인프라로 자리잡았으나, 이에 따른 온실가스 및 탄소 배출 문제가 국제적 사회 현안으로 대두되는 중
 - 국제 금융기관인 WorldBank(세계은행)는 디지털 산업에서 200개 주요 기술 기업이 배출한 온실가스가 약 2억 6천만 톤에 달한다고 발표하였으며, 이는 전 세계 에너지 소비로 인한 온실가스 배출량의 약 0.8%에 해당¹⁾
 - 또한 유엔 산하 ITU(국제전기통신연합)는 2020년 ICT 부문의 온실가스 배출량이 이산화탄소 환산량 기준 730메가톤(MtCO₂-eq)에서 2030년 800메가톤을 넘을 것으로 예상²⁾
 - 특히 2022년 기준 전 세계 전력 소비의 1.3%는 데이터 센터와 네트워크 장비에서 발생하며, 이는 에너지 관련 탄소 배출량의 1% 수준³⁾

ICT 부문의 주요 탄소 배출원 : 단말기, 데이터센터, 네트워크

- o ITU와 WorldBank는 ICT 부문의 주요 온실가스 배출원으로 '단말기, 데이터 센터, 네트워크'를 선정·분석

[그림 1] ICT 부문별 배출원 3가지(단말기, 데이터센터, 네트워크)



자료 : The World Bank and ITU(2024)

- 1) WorldBank, Greening Digital Companies Report, 2023
- 2) 한국의 디지털 녹색화 - 한국의 ICT 부문 녹색화 사례 연구
- 3) Luccioni, A. S., Jernite, Y., & Strubell, E. (2021). Power Hungry Processing: Watts Driving the Cost of AI Deployment?

온실가스 배출량 측정 기준: 온실가스 프로토콜(GHG Protocol)

- 온실가스 배출량은 세계자원연구소(WRI)와 세계지속가능기업협의회(WBCSD)가 공동 개발한 국제 표준인 온실가스 프로토콜에 기반하여 측정
 - 해당 기준은 파리기후협약 등 기후 변화 대응 국제협약에서 활용될 뿐 아니라 기업들의 배출량 관리 및 감축 목표 수립에 활용

[표 1] ICT 분야 온실가스 배출 범위 및 특징

| 구분 | | 내용 |
|-------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 직접 배출 | Scope1 | · (정의) 기업이 소유하거나 통제하는 시설과 장비에서 발생하는 온실가스 · (특징) 기업이 직접적으로 배출을 통제할 수 있는 범주로, 감축 조치가 비교적 쉽고 명확 · (측정) 연료 소비량, 냉매 사용량 등 실제 사용량 데이터를 바탕으로 배출 계산 · (예시) 데이터센터에서 사용되는 냉각 시스템에서 냉매 가스, 운송수단 연료 등 |
| 간접 배출 | Scope2 | · (정의) 기업의 소비 전력 및 열의 생산 과정에서 발생하는 온실가스 · (특징) 에너지 사용에서 발생하므로 재생 에너지로의 전환이 감축 전략으로 작용할 수 있음 · (측정) 구매한 전력 사용량과 전력 공급원의 탄소 배출 계수를 기반으로 계산 · (예시) 데이터센터에서 사용되는 전력을 석탄 발전소에서 생산할 때 발생하는 온실가스 |
| | Scope3 | · (정의) 기업 활동과 관련된 공급망, 유통, 폐기물 처리 등에서 발생하는 온실가스 · (특징) 기업이 간접적으로 영향을 미치는 부분까지 포함해 측정 및 관리가 어려움 · (측정) 가치 사슬의 다양한 단계에 걸쳐 데이터를 수집하고 계산 · (예시) 데이터센터 구축을 위해 구매한 원자재 확보 중 발생한 배출 등 |

자료 : Greenhouse Gas Protocol, Google Environmental Report(2023)

- 해당 국제 표준은 ICT 온실가스 배출량을 측정하는데도 동일하게 적용되지만, 디지털 분야 특유의 빠른 기술 발전으로 인해 어디까지를 배출원으로 포함할지와 같은 구체적 기준을 마련하기 어려운 현실
 - 배출량을 측정하기 위한 글로벌 표준의 부재는 온실가스 저감 노력 효과를 객관적으로 평가·비교하기 어렵게 하며 효과적인 대응 도출을 저해
- ICT 기술은 기후 위기의 주요 대응책이 될 수 있지만 역설적으로 위기의 원인으로 작용할 가능성도 있어 이를 면밀히 점검할 필요가 있음
 - 따라서 ICT 기술이 인간과 환경에 미치는 긍정적 영향을 확대하고, 지속 가능한 기술 발전을 지원하기 위해 온실가스 배출의 명확한 측정과 구체적 저감 방안 마련이 시급
- 본 보고서는 ICT 부문별 주요 배출원(단말기, 데이터센터, 네트워크)을 중심으로 탄소 배출 현황을 분석하고 저감을 위한 주요 사례를 탐색
 - 이를 통해 ICT 기술이 기후 위기 대응의 주요 역할을 담당하면서도 환경적 지속가능성을 동시에 확보하기 위한 정책 방향성 제시 필요

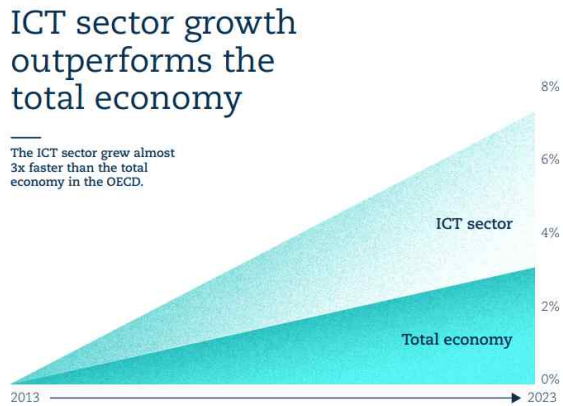
02 디지털 분야에서의 탄소 배출

1. 단말 분야

ICT 단말기 시장 전망

- o OECD에 따르면, 2013년부터 2023년까지 10년간 OECD 회원국들의 ICT 산업 성장률은 연평균 6.3%이며, 이는 전체 경제 성장률에 3배에 달하는 수준⁴⁾
- 그 중, IT 단말기 시장의 규모는 '23년 약 1조 8천억에 이르며, 2033년에는 4조 4천억 달러까지 IT 단말기 시장의 규모는 꾸준히 성장할 것으로 전망

[그림 2] 전체 경제 성장률 대비 ICT 분야 경제성장



자료 : OECD(2024)

스마트폰 제조 및 보급으로 인한 탄소 배출 현황

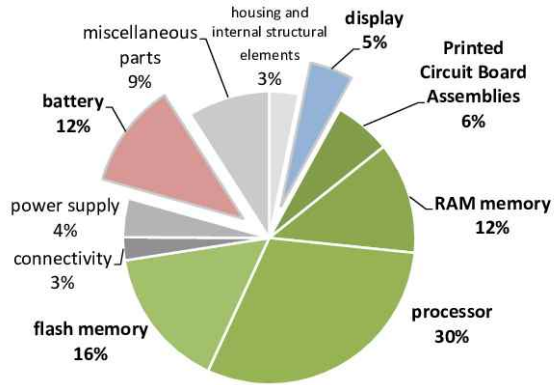
- o 국제환경보호단체인 Greenpeace는 스마트폰 온실가스 배출량 중 제조 및 운송 과정에서 전체 배출량의 83%가량이 발생하는 것으로 보고⁵⁾
- 스마트폰 제조 과정에 대한 전 생애 주기 분석(Life Cycle Analysis, LCA)에 따르면, 프로세서, 플래시 메모리, 배터리, RAM 메모리 순으로 많은 온실가스를 배출⁶⁾

4) OECD, OECD Digital Economy Outlook Vol.1, '24

5) Greenpeace, Guide to Greener Electronics. '17.10

6) Proske et al., The smartphone evolution - an analysis of the design evolution and environmental impact of smartphones. '20.09

[그림 3] 스마트폰 부품별 온실가스 배출 정도



자료 : Greenpeace(2017)

- o ICT 분야 시장조사 전문 기관 IDC는 2024년에 12억대의 스마트폰 출하량을 전망하며 스마트폰으로 인한 온실가스 발생량은 꾸준히 증가할 것으로 추산⁷⁾
- 스마트폰 1대 제조 시 평균 85kg*의 이산화탄소에 달하는 온실가스가 배출되며,⁸⁾ 탄소 배출량은 2010년 4%에서 2020년 11%로 크게 증가⁹⁾

7) <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS52550324>

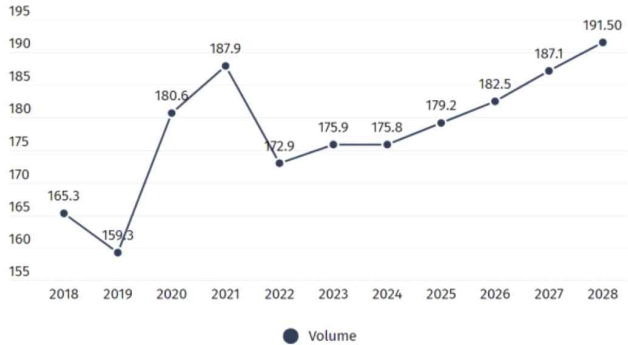
8) Le Monde, 'Smartphones' carbon footprints are largely underestimated. '23.04

9) Belkhir & Elmeligi, Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. '18.01

태블릿 제조 및 보급으로 인한 탄소 배출 현황

- 태블릿 시장은 2019년 침체기를 맞았음에도 불구하고, 매년 약 2천만 톤 이상의 이산화탄소가 태블릿 신규 제조로 인하여 발생되는 상황
 - 태블릿은 2021년 1억 8천만 대로 출하량이 정점에 달했으며, 이후 2022년 하락을 보였으나, 여전히 1억만 대 이상의 양이 출하¹⁰⁾

[그림 4] 글로벌 태블릿 판매량 규모, 2018 ~ 2028 (단위: 백만 대)



자료 : All4Chip(2023)

- 태블릿 1개의 제조 및 운송에는 약 153kg의 이산화탄소가 발생¹¹⁾

웨어러블 디바이스 제조 및 보급으로 인한 탄소 배출 현황

- IoT, 인공지능 등의 발전으로 웨어러블 기기 출하량의 지속적인 성장 예상
 - 스마트워치는 웨어러블 디바이스 중 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 2023년 1억 5천만 대 이상의 스마트워치가 출하¹²⁾
 - 스마트워치 1기 제조 시 36.7kg의 이산화탄소에 해당하는 온실가스가 발생하며¹³⁾, 연간 약 550만 톤의 이산화탄소가 발생하는 것으로 추정

10) All4Chip, “태블릿 시장, 2024년 2% 매출 감소로 3년간 하락”

11) Safieddine & Nakhoul. Carbon Break Even Analysis: Environmental Impact of Tablets in Higher Education. '16.

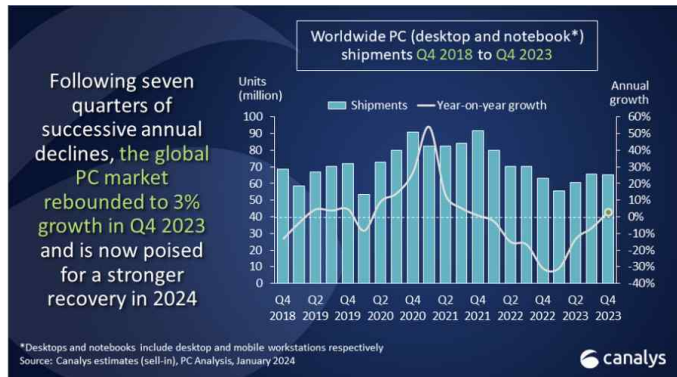
12) ABI Research. Wearables and Mobile Accessories Market Share and Forecasts. '24.01

13) Apple, Product Environmental Report-Watch Series 9. '23.12

PC(데스크톱, 노트북) 제조 및 보급에 의한 탄소 배출 현황

- 전 세계적으로 '20년~'21년 동안 약 6억 대가 넘는 PC가 출하되었으며, 전체 PC 출하량 중 노트북 출하량의 비율은 지속적으로 높아지는 추세¹⁴⁾
 - * 2014년 58%, 2019년 65%, 2022년 70%

[그림 5] 2018 - 2023 전세계 PC 출하량



자료 : Canalsys(2024)

- 일부 PC 제조사들은 지속가능경영을 위하여 자사 제품들의 전 생애 주기 분석(LCA)을 실시하여 온실가스 배출량을 공개
 - 데스크톱 1대로 인한 탄소 배출량은 약 422kg에 이르며, 노트북 1대로 인해 발생하는 온실가스는 약 305kg에 달하는 수준¹⁵⁾

단말기 시장 전체의 탄소배출 수준 비교

- ICT 분야 단말기 시장의 연간 탄소 배출량은 '23년 기준 약 2.6억 톤이며, 이는 전 세계 연간 항공 운항 과정에서 발생하는 탄소배출량의 약 29% 수준

14) Canalsys, "Global PC shipment decline narrows to just 7% in Q3 2023"

15) DELL. Product Carbon Footprint - Latitude 5591. '18.

2. 데이터센터 분야

데이터센터의 에너지 수요 및 온실가스 배출량 증가

- AI의 발전과 함께 각 분야에서 데이터 처리 및 저장에 대한 수요가 증가함에 따라 데이터센터 운영을 위한 에너지 소비와 온실가스 배출 증대를 야기
 - 클라우드 컴퓨팅, 소셜미디어, 스트리밍 서비스, 인공지능 확산 등 글로벌 디지털화는 폭발적인 데이터 생성을 발생
 - 구글, 마이크로소프트, 아마존, 메타와 같은 하이퍼스케일러는 2030년까지 데이터센터 유지를 위해 약 25억 톤*의 온실가스 배출을 예상¹⁶⁾
- * 데이터센터 수요가 증가함에 따른 에너지 수요 증가가 예상되며, 이는 미국 전체에서 1년간 배출하는 양의 약 40%에 해당

클라우드 컴퓨팅 운영으로 인한 탄소 배출 현황

- 클라우드 컴퓨팅은 소프트웨어와 데이터 저장소를 클라우드에 의존하도록 변화시켰으며, 기업들은 자체 서버 인프라를 줄이고, 경제적이고 효율적인 대규모 클라우드 데이터 센터로의 이전을 선호¹⁷⁾
- SaaS, PaaS, IaaS 등 클라우드 서비스 유형이 확대됨에 따라 데이터센터의 처리량을 비롯한 부하가 지속적으로 증가
- 온프레미스 서버 대비 에너지 효율적이고, 최적화된 자원을 사용하지만 경계의 불분명함으로 개별 사용자별 탄소발자국 관리의 한계 발생

[표 2] 전세계 공공 클라우드 서비스 수익 및 전년 대비 성장률

| 구분 | 2021 수익 | 2022 수익 | 전년대비 성장률 |
|-------------------------------------|---------|---------|----------|
| IaaS | \$91.5 | \$115.5 | 26.2% |
| PaaS | \$70.1 | \$92.6 | 32.1% |
| SaaS-Application | \$208.1 | \$246.3 | 18.4% |
| SaaS-System Infrastructure Software | \$74.6 | \$91.4 | 22.6% |
| 총계 | \$444.2 | \$545.8 | 22.9% |

자료 : IDC(2023)

16) Reuters, "Global data center industry to emit 2.5 billion tons of CO2 through 2030, Morgan Stanley says"

17) IDC "Worldwide Public Cloud Services Revenues Surpass \$500 Billion in 2022, Growing 22.9% Year Over Year, According to IDC Tracker"

디지털 콘텐츠 소비로 인한 탄소 배출 현황

- 고품질 영상 스트리밍과 SNS 사용량 증가는 데이터 서버의 부하를 초래하며, 방대한 데이터의 저장·처리를 위해 데이터센터의 수요를 증폭시킴¹⁸⁾
 - 전 세계 온라인 플랫폼 사용자는 1인당 연간 3,230시간*의 디지털 콘텐츠를 소비하며, 그로 인해 약 229kg 이산화탄소에 해당하는 온실가스를 배출¹⁹⁾
 - * 웹서핑: 730시간(22.6%), 소셜미디어: 894시간(27.7%), 비디오스트리밍: 833시간(25.8%), 음악스트리밍: 566시간(17.5%), 화상회의: 207시간(6.4%)
 - 탄소발자국 계산 방법에 따라 결과값의 차이는 발생할 수 있으나, 영상 스트리밍과 SNS의 사용 시간과 함께 데이터센터의 가동 시간이 증가함에 따라 각 플랫폼이 발생시키는 시간 단위 당 탄소량 또한 증가
- 디지털 콘텐츠 소비는 보이지 않는 심각한 오염원 중 하나이며, 온라인 영상 1일 시청은 뉴욕-파리 왕복 비행기 탄소 배출량보다 13배 많은 수준²⁰⁾
 - 또한 스트리밍 서비스의 캐시 데이터와 미디어 플랫폼에 저장된 콘텐츠는 삭제되지 않고 다크 데이터로 남아 데이터센터의 에너지 소비를 야기²¹⁾

[그림 6] 데이터 서버 내 콘텐츠 분류

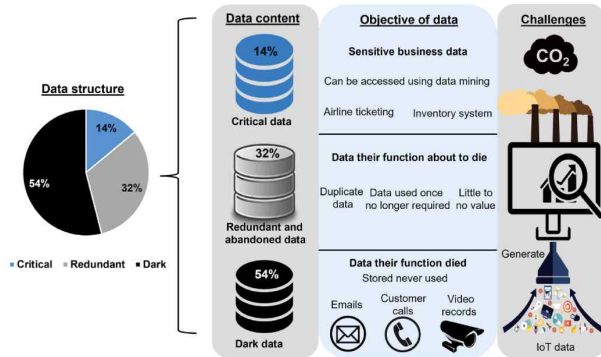


Fig. 3. General content format of big data classifications.

자료 : Journal of Cleaner Production, Exploring the sustainability challenges facing digitalization and inter data centers(2022)

18) WB-ITU Measuring data

19) The environmental sustainability of digital content consumption

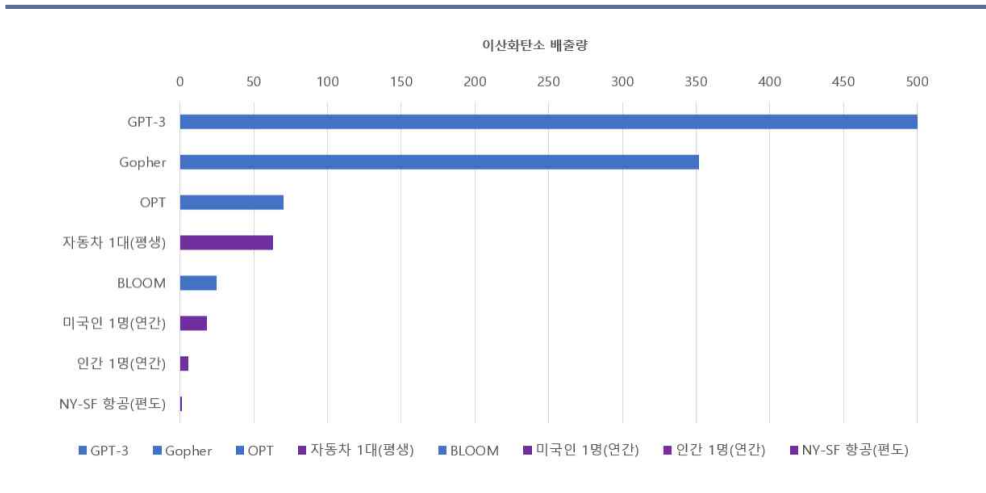
20) Carbon Footprint of The Most Popular Social Media Platforms

21) D. Al kez et al., Exploring the sustainability challenges facing digitalization and internet data centers, 2022

인공지능 및 머신러닝

- 인공지능의 빠른 발전과 처리 작업의 증가는 데이터센터의 운영에서 에너지 소비와 탄소 배출 증가의 주요 원인으로 부상
 - 모델의 연산처리 능력(컴퓨팅 파워)은 약 100일마다 두 배 가량 증가하며, 이로 인해 데이터센터의 전력 수요가 급증
 - 이러한 전력 수요의 증가는 일부 지역에서 폐쇄 예정이었던 화석연료 발전소의 재가동을 초래하며 탄소 배출을 더욱 악화
- 인공지능의 생애 주기에서 학습과 추론 단계는 환경에 영향을 미치며, 학습(20%)보다 추론(80%) 과정에서 더 많은 에너지 소비와 탄소가 배출²²⁾
 - 특히, 스탠퍼드대학에서 2023년 발표한 연구에 따르면 언어 생성형 AI 모델인 GPT-3이 학습을 위해 배출하는 이산화탄소량은 502톤이며,
 - 이는 한 사람이 1년간 배출하는 양(5.51톤) 그리고 뉴욕-샌프란시스코 왕복 비행 승객 1명이 배출하는 양(0.99톤)에 비해 압도적으로 높은 수치²³⁾

[그림 7] 인공지능 모델과 실생활 이산화탄소 배출량 비교(톤 단위), 2022



자료 : Stanford University(2023)

22) WEF, "How to manage AI's energy demand — today, tomorrow and in the future"

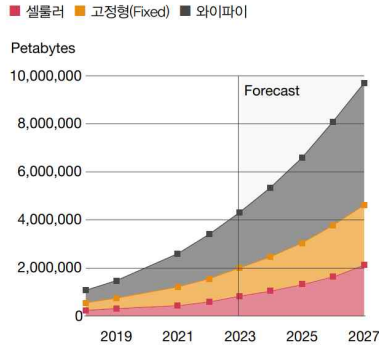
23) Artificial Intelligence Index Report 2023, standford

3. 네트워크 분야

넓어지는 네트워크, 성장하는 통신 산업

- ITU에 따르면 '24년 인터넷 사용자 수는 55억 명(세계 인구 68%)을 돌파²⁴⁾
- 2027년까지 전체 네트워크의 데이터 소비량은 셀룰러, 고정형, 와이파이 전 분야에서 꾸준히 증가할 전망이며 그 중 와이파이가 가장 큰 비중을 차지²⁵⁾
 - 네트워크별 데이터 소비에서 와이파이가 가장 큰 비중을 차지하며, 모바일 데이터 분야는 2027년까지 가장 빠르게 성장할 것으로 전망

[그림 8] 2018~2027 네트워크별 전 세계 데이터 소비량 (pwc. 2023)



자료 : PWC(2023)

유선 통신 산업에서의 탄소 배출

- 유선 통신 산업은 인터넷과 네트워크 연결의 핵심 인프라로, 통신 인프라*에 따라 온실가스 배출량에 큰 차이를 보임
- * 유선 통신 산업에서 오래된 네트워크의 경우 동축 케이블을, 최신 네트워크의 경우에는 광케이블을 주로 사용
- 초기 유선 통신망 구축에 널리 사용된 동축 케이블은 에너지 효율이 낮은 반면 금속선 기반의 광케이블은 에너지 소비가 적고 효율적
 - 동축 케이블은 설치 및 운영 과정에서 14kg CO₂/km의 탄소발자국을 남기는 반면, 광케이블은 2.3kg CO₂/km의 더 적은 이산화탄소를 배출²⁶⁾
 - 예를들어, 특정 지역에서 50Mbps 속도의 유선 통신을 제공할 경우, 광케이블은 매년 1.7톤의 이산화탄소를 배출한다면 동축 케이블은 매년 2.7톤을 배출²⁷⁾

24) ITU. Measuring digital development facts and figures 2021. '21.

25) PWC. 2023~2027 글로벌 통신시장 전망. '23.11

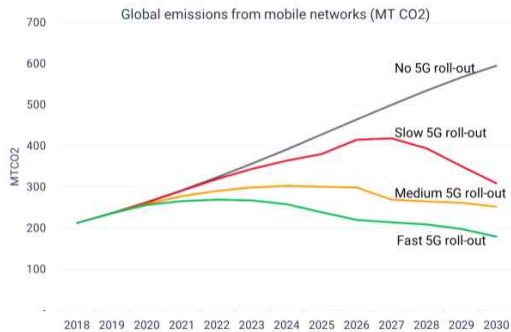
26) Hutchinson. How optical fibre will help create a sustainable future for data centres. '24.01

27) Guinness. How Does Choosing Fiber Internet Benefit the Environment?. '22.09

무선 통신 산업에서의 의한 탄소 배출

- 2021년 기준 전 세계 탄소 배출량 중 약 1.6%가 무선 통신과 관련되어 발생되었으며, 이는 약 6억 톤의 이산화탄소에 해당²⁸⁾
- 4G에서 5G로의 전환은 초기 단계에서 개별 기지국의 전력 소모 증가와 동일 면적당 더 많은 기지국 설치로 인해 탄소 배출을 야기²⁹⁾
 - 5G 기지국은 하루 약4.3kWh의 전력을 소모해 4G(1.1kWh)보다 전력 소모가 크고, 좁은 신호 커버리지로 동일 면적에 더 많은 기지국이 필요
- ※ 중국은 이로 인한 연간 6천만 톤 이상의 추가 탄소 배출을 예상
 - 연구에 따르면, 5G 기지국 1개소는 연간 약 30톤의 이산화탄소와 맞먹는 온실가스를 발생시키며, 무선통신 분야에서는 전체 탄소 배출량 중 전력 소모가 차지하는 비중이 80% 이상을 차지³⁰⁾
- 다만, 단순 커버리지를 벗어나 5G는 처리할 수 있는 데이터량 대비 효율성이 높아 장기적으로 탄소 배출 저감에 효과적³¹⁾
 - 데이터 통신량 증가에 맞춰 5G를 도입하지 않을 시 2030년 탄소배출량이 6억 톤에 이를 수 있으나, 도입 시 2억 톤 이하로의 감소를 전망³²⁾

[그림 9] 5G 도입 시나리오별 탄소 배출량



자료 : STL Partners(2019)

28) Boston Consulting Group. Putting Sustainability at the Top of the Telco Agenda. '21.06

29) Li et al., Carbon emissions of 5G mobile networks in China. '23.07

30) Ericsson, A quick guide to your digital carbon footprint. '20.02

31) ZTE. PowerPilot-5G energy saving in coordination with 4G

32) STL partners. Curtailing carbon emissions - Can 5G help?. '19.10

03 디지털 분야 탄소 배출 대응 사례

1. 단말 분야

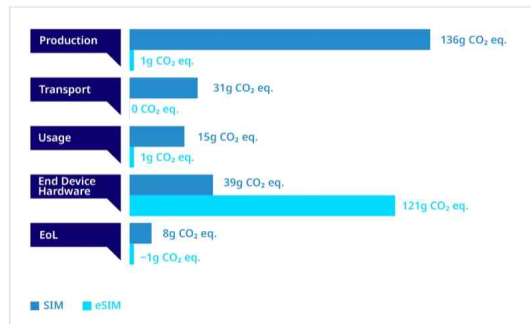
단말 분야에서의 탄소 배출 대응 노력

- o 단말 분야에서의 탄소중립을 위한 노력은 제조 단계에서의 탄소배출량 감축과 단말 에너지 효율화 사례로 구분
 - 단말 제조 분야에서는 e-SIM의 도입, 재활용 소재 활용, 충전기 등 표준 통일, 공정 가스 처리 설비 확충을 통해 탄소 배출을 감축하고자 노력
 - 단말 에너지 효율화를 위해서는, 고효율 칩셋 개발, 진동 에너지 하베스팅 기술 개발, 열전 소자 활용 에너지 하베스터 개발 등의 노력이 지속

제조 관련 온실가스 감축 사례

- o e-SIM은 물리적 SIM 카드를 대체할 수 있는 단말기 내장 칩으로, 생산 공정이 생략되어 제조 공정과 관련된 탄소 배출을 상당히 저감³³⁾
 - 물리적 SIM 카드 제조로 인한 이산화탄소 배출량이 229그램인데 반해, e-SIM의 배출량은 123그램 수준
 - 전자 폐기물, 불필요한 배송 및 보관 시설 수요의 감소 등의 부가적인 효과를 고려하면, 탄소 배출 저감 효과는 더 클 것으로 예상

[그림 10] 물리적 SIM과 e-SIM 전 생애 주기 비교



자료 : Fraunhofer IZM, "Independent study by Fraunhofer IZM for G+D confirms eSIM as an environmentally friendly SIM solution"

33) 정보통신정책연구원, 넷제로에 대응하는 통신서비스 진화 방향. '22.12.

신소재 개발과 부품 재활용을 통한 공정 가스 감축

- 디지털 단말 제조사들은 재활용 소재 적용 부품 확대 및 다양한 재활용 소재 개발 촉진을 통한 탄소 배출 저감을 추구
 - 삼성전자의 경우, 2023년 출시한 스마트폰에 12개의 재활용 소재 부품을 사용하였고 페어망, 폐생수통, 재활용 알루미늄, 재활용 글라스 등을 적용³⁴⁾
 - Apple은 다양한 종류의 단말에 재활용 소재를 폭넓게 사용하고 있으며 2021년 기준 제품의 약 20%가 재활용 소재로 제조³⁵⁾
 - Lenovo는 노트북 제조에 재활용 마그네슘을 전폭적으로 적용하였고 노트북 포장재의 90% 이상을 재생가능한 소재로 제작³⁶⁾
 - Dell은 데스크톱 제조에 최대 60%에 이르는 재활용 플라스틱을 사용했고, 노트북에는 해양 플라스틱 폐기물을 재활용한 소재를 적용³⁷⁾
- 반도체 제조 공정에서 사용되는 공정 가스는 반도체 제조의 Scope1 배출 (직접배출) 80% 이상을 차지³⁸⁾
 - 삼성전자는 공정 가스 통합 처리 시설을 도입하여 공정 가스 처리 효율을 높이며, 신규 촉매를 개발하여 처리 효율을 95% 이상으로 향상
- ※ 이 시스템은 불소가스를 포함한 유해 가스를 낮은 온도에서 처리할 수 있어 에너지 사용을 절감하며, 2023년 약 560만 톤의 이산화탄소 배출을 감축³⁹⁾
- SK하이닉스는 높은 지구온난화지수를 가진 공정 가스의 사용량을 감소 및 이를 대체하는 신공정을 개발중으로 2023년 약 3만 톤의 이산화탄소 배출 감축⁴⁰⁾

34) plastickorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=22706

35) www.apple.com/newsroom/2022/04/apple-expands-the-use-of-recycled-materials-across-its-products/

36) Lenovo. 2020/21 Environmental, Social, and Governance Report. '21.

37) Dell Technologies, FY22 Environmental, Social, and Governance Report. '22.

38) Boston Consulting Group. For Chip Makers, the Decarbonization Challenge Lies Upstream. '23.05.

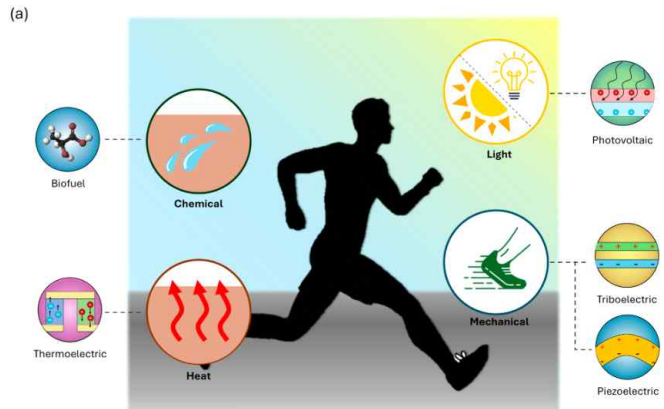
39) semiconductor.samsung.com/kr/sustainability/environment/climate-action/we-are-minimizing-greenhouse-gases-until-we-hit-zero/

40) SK 하이닉스. Sustainability Report 2024. '24.08.

단말 에너지 효율화를 위한 노력

- 디지털 단말기 사용 시 전력 소모량 감축을 위해, 활용되지 않던 미세 에너지를 전기 에너지로 변환하는 에너지 하베스팅 기술들이 연구 중⁴¹⁾
 - 진동, 열, 전자파 등 에너지를 전기로 변환하는 하베스팅 기술이 개발 중이며, 웨어러블 기기 등 저전력 전자기기 전원 공급에 효과적일 것으로 기대
 - 주요 에너지 하베스팅 기술은 마찰전기 나노발전기(TENG, Triboelectric Nanogenerator), 열전기 하베스터(TEH, Thermoelectric Harvester) 등이 존재
- ※ TENG은 최대 0.94mW의 출력전력 달성, 8.39 μ A에서 42.25 μ A의 전류 생성
TEH는 인간의 체온 만으로 2.8V~3.3V의 출력 전압을 생성하였고 웨어러블 센서 시스템 구현에 가장 중요할 것으로 평가

[그림 11] 웨어러블 디바이스에 적용가능한 에너지 하베스팅 기술



자료 : Kang & Yeo, Advances in Energy harvesting technologies for wearable devices, 2024

41) Kang & Yeo. Advances in Energy Harvesting Tehcnologies for Wearable Devices. '24.07.

2. 데이터센터 분야

데이터 센터 운영 기업들의 대응 방안

- 데이터 센터의 온실가스 배출 문제는 클라우드, 스트리밍/소셜미디어 그리고 인공지능 서비스 기업 모두에게 해당하는 환경적 과제이며, 각 기업에서는 다양한 대응 방안을 마련 및 추진 중
 - 데이터 센터로부터의 에너지 소비 절감과 온실가스 배출 감축을 위해 기업은 크게 반도체 칩의 최적화와 재생 에너지 기반의 데이터 센터를 구축하고 새로운 기술을 접목한 개선된 서버 냉각 장치를 활용

맞춤형 칩 사용

- 인공지능 및 머신러닝은 학습과 추론의 과정을 통해 에너지를 소비하게 되며 이에 따라 작업의 효율성을 높여 에너지 효율성 및 전력 소비 감축을 시도
 - 구글은 텐서 프로세싱 유닛(TPU)을 도입하여 이전 TPU v5e 대비 칩당 최대 4.7배의 컴퓨팅 성능 효과를 달성하고 에너지 효율성을 67% 향상⁴²⁾
 - AWS는 인공지능 및 머신러닝 전용 칩인 트레이니움 2를 도입하여 향상된 컴퓨팅 성능을 선보이며, 이전 세대 대비 2배 높은 에너지 효율성을 제공⁴³⁾

[그림 12] AWS 트레이니움2 인스턴스 서버



자료 : 조선일보(2024)

42)

https://blog.google/intl/ko-kr/products/in-the-cloud/introducing-trillium-6th-gen-tpus-kr/?utm_source=chatgpt.com

43) https://zdnet.co.kr/view/?no=20231129142436&utm_source=chatgpt.com

재생 에너지 기반 데이터센터

- 각 기업은 인공지능 및 머신러닝이 필요로 하는 전력과 에너지를 충당하기 위해 기존의 에너지 생산책에서 재생 에너지를 확보해 탄소 배출 없는 데이터 센터 운영이라는 장기적 목표를 설정 및 실천
 - 구글은 전 세계 데이터 센터에서 사용하는 전력의 100%를 재생에너지로 충당하기 위해 2022년까지 10GW의 청정에너지 생산 용량을 확보하였으며, 2022년 기준 모든 데이터 센터에서 64%의 탄소 없는 에너지를 달성
 - 구글은 그 외에도 사무실 설계에서부터 기존 건물 재활용 또는 목재 건물을 건설하는 노력을 보이는 등 효율성 증대에서는 성과를 창출⁴⁴⁾
 - 마이크로소프트 또한 초강력, 초경량 목재인 '혼합 구조용 직교 집성판 (CLT)'를 활용한 데이터 센터를 미국에 건설하고 있으며, 강철을 건설에 사용했을 때 대비 탄소발자국을 35% 감축할 것으로 기대
 - 마찬가지로 아마존 또한 2023년 기준 전 세계 운영에서 사용하는 에너지의 100%를 재생 에너지로부터 충당하며, 2040년까지 탄소 배출량을 0으로 만들겠다는 목표를 설정

[그림 13] 핀란드 하미나시에 위치한 구글의 데이터센터



자료 : 조선일보(2024)

44)

<https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2023-environmental-report.pdf>

서버 냉각 장치 개선

- 각 하이퍼스케일러는 24시간 서버를 냉각시키기 위해 냉각 장치를 운영하고 있으며, 해당 냉각 장치 가동을 위해 배출되는 온실가스와 추후 버려지는 온수를 재활용하는 다양한 방식을 도입 중
 - 마이크로소프트는 데이터센터 냉각을 위해 해저에 이를 설치하는 ‘프로젝트 나틱’을 추진하였으며, 테스트 기간동안 매우 안정적으로 운영되어 일상적인 환경 유지에 사용되는 불필요한 에너지를 절약
 - 아마존은 데이터 센터에서 발생하는 폐열을 지역의 가정과 건물의 난방에 재활용하는 프로젝트를 진행. 아일랜드 더블린의 Codema와 협력하여 데이터 센터의 폐열을 인근 가정과 건물 난방을 위해 공급
- 그 외 국내 기업 카카오와 네이버 또한 각기 고효율 프리쿨링 냉각기 시스템 도입 또는 외부 공기를 활용한 자연 냉각 시스템을 통해 에너지 효율 향상

[그림 14] 마이크로소프트 ‘프로젝트 나틱’



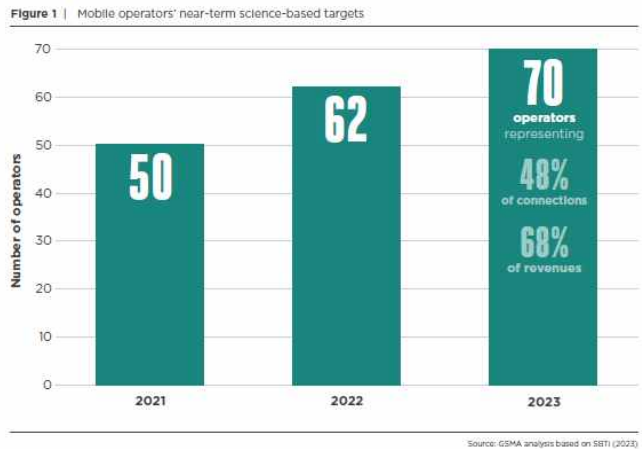
자료 : 인공지능신문(2020)

3. 네트워크 분야

통신 사업자들의 탄소중립 노력

- 국내·외 통신 사업자들은 각자 탄소중립을 달성하기 위한 목표를 설정하고, 재생에너지 활용 및 다양한 에너지 절감 통신 기술들을 적용하는 전략을 통해 지속가능한 미래를 위한 변화를 추진⁴⁵⁾
 - ITU에서는 2030년까지 이동 통신망 사업자는 45%, 유선망 사업자는 62%의 온실가스 감축 목표 달성을 권고⁴⁶⁾
 - 세계이동통신사업자협회(GSMA)에 따르면, 2023년 53개 이동통신사업자가 장기적 탄소중립을 위해 움직이고 있으며, 총 70개의 사업자가 과학 기반의 단기적 감축 목표를 SBTi(Science Based Targets initiative)에 제출⁴⁷⁾

[그림 15] 단기적 과학기반 감축 목표를 설정한 이동통신사업자



자료 : GSMA analysis based on SBTi, 2023

45) 정보통신정책연구원. 넷제로에 대응하는 통신서비스 진화 방향. '22.12.

46) ITU. Recommendation ITU-T L. 1470. '20.01.

47) GSMA. Mobile Net Zero 2024. '24.02.

기존 통신 인프라 대체

- 온실가스 배출량을 줄이기 위해 상대적으로 비효율적인 레거시 네트워크(동축 케이블 네트워크, 3G 네트워크 등)의 은퇴 수준이 가속화될 것으로 예상⁴⁸⁾
 - 3G 네트워크 또한 사용자 감소에도 불구하고 여전히 많은 전력이 소모되어 4G/5G로의 변환을 지속 중이며, 지난 6년간 22개국 58개 통신사가 3G를 폐쇄, 2024년에는 6개국 15개 통신사가 추가 폐쇄할 전망
 - 광케이블은 유지가 쉽고 전력 소모가 적어, 싱가포르를 비롯해 일본, 호주, 뉴질랜드 등 14개국에서 동축 케이블을 폐쇄하거나 교체 작업을 진행 중
 - 동축 케이블에서 광케이블로의 전환은 85%의 에너지 효율 상승효과가 있으며, 3G 네트워크 폐쇄는 15%의 에너지가 절감될 것으로 보고

네트워크 관리를 위한 새로운 기술 개발

- 인공지능 기술의 발전은 네트워크 보안 향상, 선제적 장애 대응을 통한 고신뢰 네트워크 구축, 네트워크 운영관리 자동화, 통신 트래픽 최적화를 위한 기술 개발⁴⁹⁾ 등 통신 분야에서도 주요한 영향으로 작용
 - 머신러닝 기반의 트래픽 예측, 분류 및 라우팅을 통해 네트워크 리소스를 효율적으로 관리하고, 트래픽 경로 최적화를 통하여 그 효율성을 증대
- SDN(Software-defined networking)은 네트워크 자원을 가상화해 중앙에서 제어하고 관리하여 네트워크의 유연성, 자동화 및 효율성을 향상.⁵⁰⁾
 - 전통적인 네트워크는 라우터 및 스위치와 같은 하드웨어 장치를 통해 트래픽을 제어하고 네트워크 제어 및 데이터 전송이 결합된 반면,
 - SDN은 소프트웨어와 API를 활용하여 가상화 라우터를 구성해 각 장치별 수동 제어가 아닌 중앙 집중식 제어 가능
 - SDN 시장 규모는 전 세계적으로 성장하는 추세이며 2023년 28억 달러 규모로 평가, 2032년까지 연평균 17% 성장할 것으로 전망⁵¹⁾
 - 한 연구에서는, 최적화된 SDN 알고리즘은 최대 35%가량의 탄소 배출량을 줄일 수 있는 가능성을 지닌 것으로 보고⁵²⁾

48) Deloitte Insights. 동축 케이블과 3G 무선통신이 사라진다...탄력 받은 통신 산업의 탄소 감축 노력. '24.03

49) 한국과학기술정보연구원. 네트워크를 위한 AI 연구동향. '20.

50) 한국전자통신연구원. 스마트인터넷을 위한 SDN 및 NFV 표준기술 동향 분석. '14.

51) Global Market Insights. Software Defined Networking Market. '24.02.

52) Hossain et al. Using SDN for controlling the carbon footprint of the internet. '20.07.

모바일 네트워크 시스템에서의 에너지 효율화

- 스트리밍 서비스, IoT 기기, 모빌리티 등에서의 수요 증가에 대응해 5G 및 에너지 효율화 기술은 전력 소비와 환경 영향을 줄이는데 기여⁵³⁾
- 5G 표준 내 에너지 절감 기술인 Massive MIMO는 통신에 소모되는 전력을 줄이고, 공간 다중화 이득을 활용하여 에너지 소모를 감소
- 대만의 ITRI는 5G Open RAN 에너지 절감 시설망 솔루션을 선보였으며 이를 통해 100개의 5G 단말을 갖춘 스마트공장에서 월간 12,750kWh의 전력을 절감하고 약 7톤의 이산화탄소를 감축이 가능함을 발표⁵⁴⁾

[그림 16] 5G 오픈랜 에너지 절감 시설망 솔루션



자료 : ITRI(2022)

53) 한국전자통신연구원. 모바일 네트워크 에너지 절감 기술 동향. '23.

54) ITRI and Pegatron Exhibit Taiwan's First 5G O-RAN Energy-Saving Private Network Solution at MWC 2022

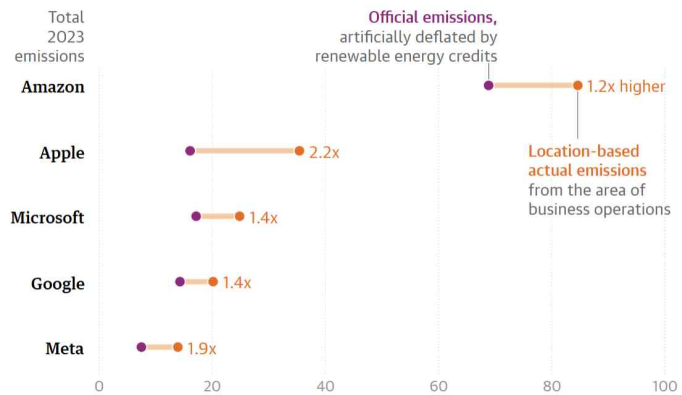
04 결론 및 시사점

1. ICT 분야 탄소 배출 표준화

ICT 분야 정확한 탄소 배출량 파악 한계 및 기준 수립 필요

- o ICT 분야는 국가 온실가스 산정 분야에 포함되지 않아 에너지 소비 및 온실가스 배출 수준 파악을 위해선 기업 자체 발간물 비교·분석이 필요
 - o 하지만 2024년 영국의 The Guardian 보도자료에 따르면 기업에서 자체적으로 발표하는 탄소 배출량과 실제 탄소 배출량 간의 차이가 발생⁵⁵⁾
 - 기업이 사용하는 탄소 배출량 측정 방식 중 탄소 배출 저감 활동(RECs* 구매 등)으로 인해 줄여진 탄소량을 실제 배출량에서 제외하는 경우가 있기 때문
- * 재생에너지 발전으로 생산된 1MWh의 전력을 인증하는 증서로, 전력소비자가 재생에너지를 간접적으로 구매 혹은 지원하였음을 공식적으로 증명하는 수단

[그림 17] 기업이 발표한 탄소배출량과 실제 탄소량 간의 차이



자료 : The Guardian(2024)

- RECs를 반영하여 계산된 탄소배출량은 기업의 실제 환경 영향을 과소평가 시킬 위험이 존재하여 기업 간에도 의견 차이가 발생하며,
- ICT 분야의 온실가스 현황에 대해 정확하고 신뢰성 있는 파악을 위해 배출량을 측정·보고하는 기준에 대한 명확한 제시가 필요

55) The Guardian “Data center emissions probably 662% higher than big tech claims. Can it keep up the ruse?”

2. ICT 분야 탄소 배출 기준 수립

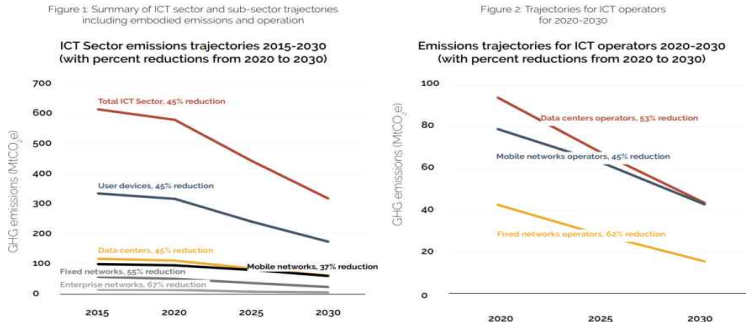
ICT 분야 탄소 배출 기준 수립 사례에 따른 우리나라 정책 시사점

- 과학 기반 감축 목표 이니셔티브(Science-Based Target Initiative, SBTi)는 ICT 산업에 특화된 이산화탄소 제거 방법 개발과 기업들이 과학 기반 목표를 설정할 수 있도록 탄소 배출량 궤적과 목표 설정 기준 제시
 - 해당 가이드라인은 국제전기통신연합(ITU), 글로벌 지속 가능성 이니셔티브(GeSI), 세계이동통신사업자협회(GSMA)와 협력하여 작성되었으며,
 - 복잡한 탄소 배출 구조를 가진 ICT 산업 특성을 반영하여 배출 범위를 구분하고, 기업이 온실가스 배출 감소 목표를 과학적으로 설정하도록 지원
- 데이터센터, 모바일, 유선망 등 ICT 유관 기업은 탄소 배출 목표를 수립하고 해당 가이드라인에 따라 저감 할 수 있는 탄소 배출 추이를 모니터링
 - Vodafone을 비롯한 ICT 기업은 이니셔티브에 참여하고, 가이드라인 기반 현황 파악 및 목표치를 공개적으로 발표하는 사례가 실제 발생하고 있으며
 - 이러한 가이드라인 수립은 탄소 배출량의 투명성을 강화하고 탄소 배출 저감 활동의 실효성 등을 파악할 수 있게 하는 객관적 판단을 지원
 - 기업과 정부는 기후 리스크를 효과적으로 관리할 수 있을 뿐 아니라, 기후 변화에 대한 법적 규제와 시장 변화에 대한 대응력 또한 높일 수 있음
- 대한민국의 경우 탄소중립녹색성장위원회 주도 관계 부처 합동 디지털 전환을 통한 탄소중립 촉진 방안을 2023년 발표하였으며, 탄소중립 관련 공공데이터를 개방하고 활용성 확대를 추진할 계획
 - 대한민국 소재 ICT 기업 또한 글로벌 시장에 요구에 맞추어 올바른 탄소 발자국 산정이 필요하며, 국내 탄소발자국 산정 결과가 국제적으로 통용될 수 있도록 대한민국 정부의 기준 제시 및 국제협력 필요
- ICT 산업의 지속 가능한 발전을 위해서는 배출에 대한 투명한 모니터링과 함께 국제 수준을 고려한 체계적인 탄소 저감 노력이 필요
 - ICT 산업의 국내에서 차지하는 비중을 고려할 때 국제적 수준의 대응이 이루어 지지 않는 경우 글로벌 생태계에서 도태될 수 있어 국가 차원의 관심이 요구
 - 에너지 효율화 기술이 기존의 한계점을 뛰어넘어 개선할 수 있는 물리적 기술과 소프트웨어 개발을 위해 국가 주도의 R&D 필요
 - ICT 기술을 활용하는 다양한 산업의 각기 다른 특성을 고려한 탄소중립 추진이 필요하며, ICT 산업 자체의 탄소중립 목표도 동시에 설정하여 실현할 수 있도록 균형 있는 대책 마련이 중요

〈참고 - SBTi, Guidance for ICT Companies Setting Science Based Targets 요약〉

- 가이드 개요 : ICT 기업이 온실가스(GHG) 배출 감소 목표를 과학적으로 설정하도록 지원하며, IPCC 특별 보고서를 기반으로 파리 기후 협약과 호환되는 새로운 감축 경로를 제공
- 대상 기업 : 모바일 네트워크, 고정 네트워크 및 데이터 센터 운영 기업
- ICT 부문의 감축 경로
 - 부문별 주요 목표 : 데이터 센터 (53% 감축), 모바일 네트워크 (45% 감축), 고정 네트워크 (62% 감축)

ICT 산업 부문별 탄소 배출 저감 목표 궤적



- 목표 설정 방법
 - 기준 연도 설정 : 최근 이용 가능한 데이터를 사용하며, 일반적으로 2015년을 기준
 - 목표 연도 설정 : 최소 5년 이상을 목표로 설정하며, 최대 2030년까지 가능
 - 배출량 측정 : Scope 1, Scope 2 배출량을 온실가스 프로토콜 기준으로 측정
 - 배출 감축 목표 계산 : 기준 연도의 배출량에 감축 인자를 곱하여 목표 배출량을 산출하며, 감축 인자는 각 ICT 하위 부문별로 제공

※ 기본 공식 : SBTs = CCb X ERF

- SBTs : 목표 연도의 배출 목표(Science Based Target)
- CCb : 기준연도의 Scope 1 및 Scope 2 배출량
- ERF : 감축 계수(Emission Reduction Factor), ICT 하위 산업별로 상

| 기준연도 | 목표연도 | 이동통신 ERF | 고정통신 ERF | 데이터센터 ERF |
|------|------|----------|----------|-----------|
| 2019 | 2025 | 0.794 | 0.652 | 0.710 |
| 2020 | 2025 | 0.752 | 0.609 | 0.669 |
| 2022 | 2025 | 0.706 | 0.568 | 0.641 |

- Scope 3 배출 관리 : ICT 기업의 가치사슬(Scope 3) 배출이 총 배출량의 40% 이상을 차지하는 경우, Scope 3에 대한 배출 목표 별도 설정 필요

- 감축 실행 전략
 - 에너지 효율성 계획 지속
 - 재생 가능/저탄소 전력 사용 확대
 - 최종 사용자의 탄소 의식 제고

〈 국내 〉

세계은행그룹 한국사무소, 한국의 디지털 녹색화 - 한국의 ICT 부문 녹색화 사례 연구, 2022.02

PWC. 2023~2027 글로벌 통신시장 전망. 2023.11

SK 하이닉스. Sustainability Report 2024. 2024.08.

정보통신정책연구원. 넷제로에 대응하는 통신서비스 진화 방향. 2022.12.

Deloitte Insights. 동축 케이블과 3G 무선통신이 사라진다...탄력 받은 통신 산업의 탄소 감축 노력. 2024.03

한국과학기술정보연구원. 네트워크를 위한 AI 연구동향. 2020

한국전자통신연구원. 스마트인터넷을 위한 SDN 및 NFV 표준기술 동향 분석. 2014

〈 해외 〉

The World Bank and ITU, Measuring the Emissions & Energy Footprint of the ICT Sector: Implications for Climate Action. 2024

WorldBank, Greening Digital Companies Report, 2023

Alexandra Sasha Luccioni, Yacine Jernite, Emma Strubell. (2024). Power Hungry Processing: Watts Driving the Cost of AI Deployment?. arXiv:2311.16863

Google, Google Environmental Report 2023

OECD, OECD Digital Economy Outlook Vol.1, 2024

Greenpeace, Guide to Greener Electronics. 2017

Proske et al., The smartphone evolution - an analysis of the design evolution and environmental impact of smartphones. '20.09

Le Monde, Smartphones' carbon footprints are largely underestimated. '23.04

Belkhir & Elmeligi, Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. '18.01

Safieddine & Nakhoul. Carbon Break Even Analysis: Environmental Impact of Tablets in Higher Education. '16.

ABI Research. Wearables and Mobile Accessories Market Share and Forecasts. '24.01

Apple, Product Environmental Report-Watch Series 9. '23.12

DELL. Product Carbon Footprint - Latitude 5591. 2018

D. Al kez et al., Exploring the sustainability challenges facing digitalization and internet data centers, 2022
 Stanford University, Artificial Intelligence Index Report 2023
 ITU, Measuring digital development facts and figures 2021
 Hutchinson. How optical fibre will help create a sustainable future for data centres. 2024.01
 Guinness. How Does Choosing Fiber Internet Benefit the Environment?. 2022.09
 Boston Consulting Group. Putting Sustainability at the Top of the Telco Agenda. 2021.06
 Li et al., Carbon emissions of 5G mobile networks in China. 2023.07
 Ericsson, A quick guide to your digital carbon footprint. 2020.02
 ZTE. PowerPilot-5G energy saving in coordination with 4G
 STL partners. Curtailing carbon emissions – Can 5G help?. 2019.10
 Lenovo. 2020/21 Environmental, Social, and Governance Report. 2021
 Dell Technologies, FY22 Environmental, Social, and Governance Report. 2022
 Boston Consulting Group. For Chip Makers, the Decarbonization Challenge Lies Upstream. '23.05.
 Kang & Yeo, Advances in Energy harvesting technologies for wearable devices, 2024
 ITU. Recommendation ITU-T L. 1470. 2020.01.
 GSMA. Mobile Net Zero 2024. 2024.02.
 Hossain et al. Using SDN for controlling the carbon footprint of the internet. '20.07.
 Global Market Insights. Software Defined Networking Market. '24.02.

〈 링크 〉

Greenhouse Gas Protocol, <https://ghgprotocol.org/>

<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS52550324>

https://all4chip.com/archive/graphic_view.php?no=16119

<https://www.canalys.com/newsroom/worldwide-pc-shipments-Q3-2023>

<https://www.reuters.com/markets/carbon/global-data-center-industry-emit-25-billion-tons-co2-through-2030-morgan-stanley-2024-09-03/>

<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS51009523>

<https://www.weforum.org/stories/2024/04/how-to-manage-ais-energy-demand-today-tomorrow-and-in-the-future/>

<https://www.gi-de.com/en/group/press/press-releases/independent-study-by-fraunhofer-izm-for-g-d-confirms-esim-as-an-environmentally-friendly-sim-solution>

plastickorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=22706

www.apple.com/newsroom/2022/04/apple-expands-the-use-of-recycled-materials-across-its-products/
semiconductor.samsung.com/kr/sustainability/environment/climate-action/we-are-minimizing-greenhouse-gases-until-we-hit-zero/

https://blog.google/intl/ko-kr/products/in-the-cloud/introducing-trillium-6th-gen-tpus-kr/?utm_source=chatgpt.com

https://zdnet.co.kr/view/?no=20231129142436&utm_source=chatgpt.com

<https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2023-environmental-report.pdf>

<https://science.chosun.com/sc-science/2024/06/11/2EWIHPGHM5CIDDClJM2XJVAZKU/>

<https://www.aitimes.kr/news/articleView.html?idxno=17749>

https://www.itri.org.tw/english/ListStyle.aspx?DisplayStyle=01_content&SiteID=1&MmmID=617731531241750114&MGID=111030116573461715

<https://www.theguardian.com/technology/2024/sep/15/data-center-gas-emissions-tech>

Data Brief

디지털 분야의
탄소 배출과 대응
노력