

탄소중립시대의 ICT: 기회와 도전

최 세 솔

본 보고서는 ETRI 기술정책연구본부 주요사업인
“국가 지능화 기술정책 및 표준화 연구”를 통해 작성된 결과물입니다.



본 보고서의 내용은 연구자의 견해이며 ETRI의 공식 의견이 아님을 알려드립니다.

본 보고서의 작성에 도움을 주신 넥스텔리전스 조현도 수석연구원님께 감사드립니다.

본 보고서에서 음영 처리된 부분()은 정보공개법 제9조의 비공개대상 정보와 저작권법 및 그 밖의 다른 법령에서 보호하고 있는 제3자의 권리가 포함된 저작물로 공개대상에서 제외되었습니다.



핵심 요약	i
I. 서론	1
1. 연구 배경	1
2. 연구의 목적과 범위	6
II. 탄소중립과 국제 질서 변화	8
1. 탄소중립에 따른 국제 질서 변화 동향	8
2. 소결 및 시사점	13
III. (ICT활용) ICT는 탄소중립에 어떻게 활용되는가?	15
1. ICT/AI 활용을 통한 탄소중립 달성 효과	15
2. ICT/AI를 활용한 탄소중립 대응 유형별 사례분석	17
IV. (ICT자체) ICT 산업은 탄소중립에 어떻게 대응하는가?	35
1. ICT 산업 발전과 탄소중립 이슈	35
2. ICT 세부 산업(기술)별 탄소중립 대응 동향	41
3. 국내·외 주요 ICT 기업의 탄소중립 대응 동향	55
V. 이슈 전개 방향과 정책적 시사점	64
1. 이슈 전개 방향 검토	64
2. 정책적 시사점	72
[부록] 국내·외 주요 ICT 기업의 탄소중립 대응 활동 정리	75
참고문헌	81

핵심 요약

연구 배경 및 목표

◇ 연구 배경

▶ 기후변화 대응은 더는 미룰 수 없는 인류생존 문제이며, 세계는 탄소중립 패러다임으로 급속히 전환 중

- 지구 기온은 향후 20년 이내, 산업화 이전 대비 1.5°C 상승을 넘어설 것으로 예측되며 이는 인류생존을 위협하는 가장 큰 요인으로 부상
 - 세계경제포럼(WEF)은 향후 발생할 가능성이 가장 큰 인류의 위협으로 기상이변, 기후변화 적응 실패를 각각 1, 2위로 선정
- 탄소중립 패러다임으로 빠르게 국제 질서 재편되고 있으며, 탄소중립 이행은 막연한 미래가 아닌 다가온 현실의 문제
 - 주요국의 탄소중립 선언 잇따른 가운데 우리나라도 2050년 탄소중립 목표에 동참('20.10.)

▶ 탄소중립 시대의 ICT 역할과 과제에 대한 체계적 분석 필요

- (기회와 역할) 인공지능, 빅데이터, IoT 등의 ICT 혁신은 각 분야에서 다양한 방식으로, ICT가 기후 문제 해결의 실마리를 제공할 수 있을 것이라는 기대를 고조
 - 쉼 사회적/산업적 디지털 전환과 맞물리면서, 일회적이고 시범적인 친환경 솔루션을 넘어선 체계 가능한 수준의 다양한 활용 사례가 창출 중으로 탄소중립을 위한 ICT 활용 관심 고조
- (도전과 과제) 디지털 사회 진전으로 ICT의 에너지 소비가 급속히 증가하는 가운데 ICT 산업 자체의 에너지 효율화 및 ICT 제품·서비스 사이클 전반에 대한 친환경화가 중요한 화두로 부상
 - ICT 산업의 전 세계 탄소 배출량 직접 기여도는 2~4%로 추정되나, 디지털 전환에 따른 간접효과 증대 및 세계 경제에 미치는 영향력을 고려 필요
- 본격화되는 탄소중립 패러다임 하에서 ICT 산업의 대응 동향과 이슈 전개 방향에 대한 체계적 분석 필요
 - ICT 산업관점에서 (1) 탄소중립 실현을 위한 ICT 활용 측면과 (2) 규제강화 등 외부환경 변화에 따른 ICT 자체의 대응 측면의 최신 사례 및 동향 검토 필요

◇ 연구 목표

- 본 연구는 탄소중립이라는 회피할 수 없는 메가트렌드에 따른 ICT 산업의 기회(솔루션이자 인프라로서의 기회)와 도전(탄소 배출 규제에 대응)을 검토하고 정책적 시사점을 도출하는 것을 목표
 - 탄소중립 실현을 위한 ICT 활용과 ICT 자체 친환경화에 대한 사례분석
 - 전문가 설문을 통한 이슈 전개 방향 및 우리나라 탄소중립 대응을 위한 정책 방향 검토



환경분석 및 사례 유형화

◇ 탄소중립과 국제 질서 변화

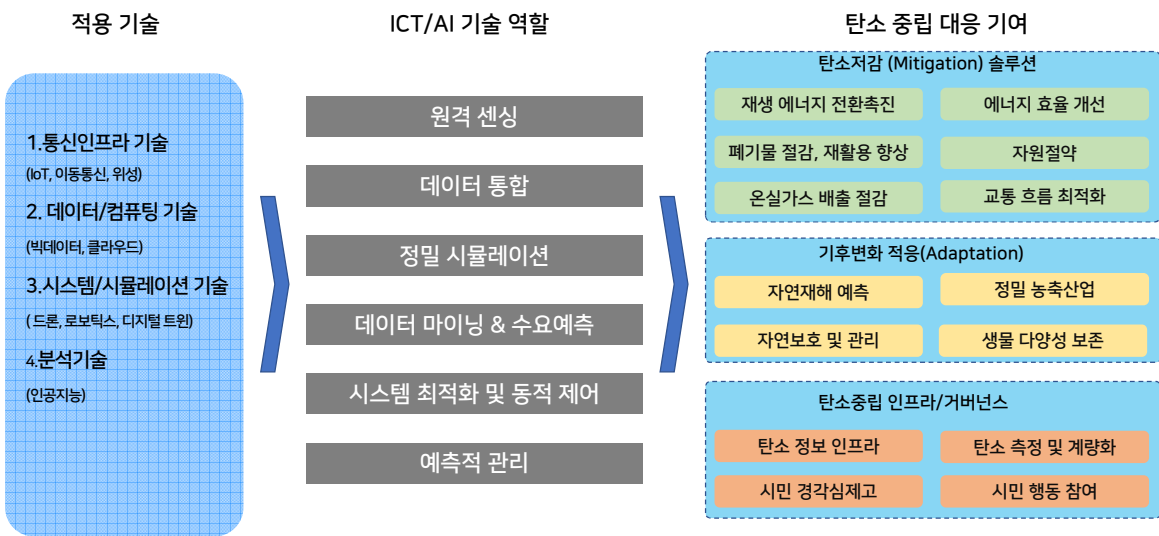
- (패러다임 전환 가속화) 세계 각국의 탄소중립 달성과 저탄소사회 실현을 위한 노력이 강화되고 있는 가운데 탄소중립 패러다임 전환이 가속화
- (산업 규제강화) 탄소배출권, 탄소 국경세, 환경정보 의무공시 등 탄소감축을 위한 산업 규제가 강화되고 있으며, 이는 새로운 무역장벽으로 작동 가능
- (새로운 투자지표로 부상) 환경·사회·거버넌스(ESG) 경영철학 확산으로 기업의 기후변화 관련 대응이 투자의 중요한 평가지표로 부상
- (산업계 자발적 노력) 탄소중립 실현이 강조되자, 글로벌 기업들을 중심으로 기후변화 대응을 위한 산업계의 자발적 탄소 저감 노력이 강화
- (국제 공조 강화) 탄소 저감을 위한 ICT 활용과 과학적 검증 방법 구축을 위한 국제 기구 주도의 이니셔티브 활동 활발

◇ (ICT 활용) ICT는 탄소중립에 어떻게 활용되는가?

- ICT/AI 기술을 활용한 기후변화와 탄소중립 대응을 위한 다양한 분야의 최신 사례를 수집·분석하였고, 이를 유형화
- (유형 1: 탄소 저감 솔루션) ICT/AI 기술을 활용하여, 에너지 소비효율 향상, 재생에너지 전환 촉진, 수요예측, 공정 최적화, 폐기물 선별 최적화 등 특정 도메인에서의 탄소배출 저감 및 에너지효율 향상을 위한 솔루션

- (유형2: 기후변화적응) 지구의 기온 상승에 따른 자연환경 변화, 자연재해 증가 등은 앞으로 일정 부분 피할 수 없는 문제로, ICT/AI 기술은 기후변화에 인류가 더욱 잘 적응(adaptation)하도록 하는 데 활용
- (유형3: 탄소중립 인프라/거버넌스) 특정 도메인에 국한되지 않고, 탄소중립 관리/평가를 위한 디지털 인프라로서, 저탄소사회 이행 주체(기업, 정부, 시민)의 인식과 참여를 독려하는 플랫폼으로서 역할을 수행

<탄소중립을 위한 ICT/AI의 역할 분야와 기여>



◆ (ICT 자체) ICT 산업은 탄소중립에 어떻게 대응하고 있나?

- ICT 산업의 에너지/전력 소모는 빠르게 증가 중이며, ICT 산업 내에서도 에너지 효율 증가와 탄소배출 저감은 중요한 목표로 설정되고 있음
 - '30년까지 ICT 산업이 전 세계 전력 소비의 21%에 이를 것으로 전망
 - 파리기후협약을 이행하기 위해서는 ICT 산업의 탄소 배출량은 '30년까지 45%를 감축해야 함
- (세부 기술별 이슈 및 동향) ICT 산업을 전력/에너지 사용 관점에서 데이터센터, 네트워크, 소비자 단말로 구분하여 세부 기술 분야별 이슈와 대응 동향을 분석

〈ICT 세부 기술별 탄소중립 이슈 및 대응 동향〉

구분	데이터센터	네트워크	소비자 단말
핵심이슈	데이터량 폭발적 증가	5G 네트워크 확산	단말 증가와 순환경제
탄소배출 증가동인	<ul style="list-style-type: none"> • 데이터양, 연산량 기하급수적 증가 • 암호화폐, OTT, AI 서비스, 자율차 등 신규 서비스 확대 	<ul style="list-style-type: none"> • 5G 확산은 4G 대비 많은 전력이 필요하며 기지국도 2배가량 더 필요 • 자율차, AR/VR, 4K 영상 등을 데이터 트래픽 증가와 이를 수용하기 위한 네트워크 업그레이드 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • IoT, 드론, 로봇 등의 확산에 따른 단말 수 증가 • 고성능화에 따른 내재 탄소(embodied carbon) 증대
탄소배출 저감노력	<ul style="list-style-type: none"> • 재생에너지 전환 • 냉각 시스템 최적화 • 트래픽 예측 정밀화 • 분산 컴퓨팅, 엣지 클라우드 적용 • 데이터센터 전용 AI 가속 프로세서 개발 • 데이터센터 잔열 지역난방 활용 	<ul style="list-style-type: none"> • AI/ML 기반 수요예측과 전송 알고리즘 • SDN/NFV 기반 자원 동적 관리 • 네트워크 공유를 통한 중복구축 회피, 환경부담 감소 • 기지국 에너지 효율화 및 재생에너지 사용 	<ul style="list-style-type: none"> • 환경 원자재 사용 • 제조 단계 폐기물 최소화 • 부품 회수 및 재활용률 향상 • 포장 간소화 및 배송 효율화 • 제품 수명 연장을 위한 재활용 프로그램 운영 • 제품 에너지효율 향상을 위한 HW/SW 개발 • 에너지 고효율 칩셋 개발

- (국내·외 주요 기업별 동향) 국내외 주요 ICT 기업을 △플랫폼 △네트워크 △통신 장비/기기 분야로 세분화하여, 기업의 공시자료와 언론에 노출된 각 기업의 탄소중립 관련 활동 실적 등을 토대로, 활동유형을 크게 △에너지 최적화 △재생에너지 전환 △친환경/순환 경제로 유형화
 - (에너지 최적화) 글로벌 ICT 기업들은 주력 사업영역뿐 아니라 사업 영위 과정에서 필요한 데이터센터를 비롯한 각종 ICT 장비/기기와 사옥 및 시설물에 에너지효율 개선, 운영 최적화, 수요예측 기술 등을 적극적으로 적용
 - (재생에너지 전환) 글로벌 ICT 기업들은 탈탄소화를 목표로, 재생에너지 공급 계약(PPA)체결에서부터 태양광, 풍력발전 등 재생 에너지 발전소 투자, 나아가 직접적인 발전소 구축까지 적극적으로 재생에너지 전환 활동을 전개
 - (친환경/순환 경제) 글로벌 ICT 기업들은 탄소 간접 배출량 감소(Scope 3)의 일환으로 공급망 기업에 대한 원자재 조달, 재생 포장지 사용 및 제품 제작 및 유통 과정에서의 친환경 방침을 강화
- 반면, 국내 ICT 기업의 탄소중립 대응 활동은 상대적으로 소극적이며, 초기 단계에 머물고 있거나 특정 영역에 치우쳐 있는 것으로 관찰되며, 국내기업의 적극적인 대응이 필요할 것으로 판단
 - (플랫폼) 상대적으로 발전소 구축이나 투자를 통한 재생 에너지의 주체적 생성, 전력 효율 개선 등의 에너지 최적화, 친환경 촉진 솔루션 개발 활동 등이 전반적으로 소극적인 것으로 관찰

- (네트워크) 해외 사업자 대비 준수한 활동을 보이거나, 재생 에너지 전환 및 탄소중립 목표 시점 등은 상대적으로 미진한 것으로 판단
- (통신 장비/단말) 에너지 최적화와 친환경 촉진을 위한 솔루션 분야 역시 개발 활동이 미진한 상황으로 향후 적극적인 시장 대응이 필요한 영역

이슈 전개 방향 및 정책적 시사점

◆ 탄소중립 관련 ICT 이슈 전개 방향 및 정책 고려사항 논의

- 그린 ICT 기술 및 정책 전문가를 대상으로 한 2차례의 서면 인터뷰를 통해, 탄소중립과 관련한 향후 ICT 이슈 전개 방향, ICT 정책 고려사항 및 ICT가 탄소중립에 미치는 영향 등에 대한 전문가 의견을 수렴

〈탄소중립 관련 향후 ICT 이슈 전개 및 정책 고려사항〉

구분	이슈 및 고려사항	시사점
이슈 전개	<ul style="list-style-type: none"> 탄소중립 가속화는 우리나라의 산업경쟁력 약화 	<ul style="list-style-type: none"> ICT가 경제성장과 탄소 배출 탈동조화를 견인하는 지렛대가 되어야 함
	<ul style="list-style-type: none"> ICT 산업은 지속 팽창하고, ICT로 인한 탄소 배출 부담은 향후 증대 	<ul style="list-style-type: none"> ICT가 탄소중립 실현에 미치는 총체적 영향(금부정 효과 및 간접효과)에 대한 체계적 평가 필요
	<ul style="list-style-type: none"> 탄소중립 대전환으로 변화에 적응하는 기술과 이용행태가 요구될 것 	<ul style="list-style-type: none"> 탄소 배출 저감과 기후변화에 적응하는 ICT/디지털 기술 개발이 필요하며, 기술적 접근뿐 아니라, ICT 사용자의 행위를 변화를 유도하는 인센티브정책과 소외계층 지원 방안도 고려 필요
정책 고려 사항	<ul style="list-style-type: none"> 국내에서 ICT 산업이 갖는 특수성과 영향력을 고려 	<ul style="list-style-type: none"> ICT 산업이 우리 경제에서 차지하는 비중과 영향력을 고려할 때, ICT 중심의 종합적인 탄소중립 정책 마련이 필요
	<ul style="list-style-type: none"> ICT/AI 기반 과학적 탄소배출 측정·예측·검증 기술 확보 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 탄소중립 중심 경제 질서가 강화될수록 공정하고 투명한 탄소배출 측정, 검증, 예측 및 영향 평가와 같은 인프라 기술에 대한 수요가 증대될 것으로, ICT가 이를 담당할 필요
	<ul style="list-style-type: none"> 변혁적 수준의 ICT 에너지 효율 개선 기술 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 한계점에 도달하고 있는 ICT 에너지 효율화 기술을 획기적으로 개선할 수 있는 새로운 방식의 소재 부품, 시스템 구조 기술 및 소프트웨어 기술의 개발 필요
	<ul style="list-style-type: none"> 타 산업 탄소중립의 촉진자(enabler)로서 ICT 활용 	<ul style="list-style-type: none"> ICT 산업 자체의 탄소중립 대응뿐 아니라, 탄소중립 규제의 영향을 더욱 크게 받는 기존 산업에서의 탄소중립 실현을 촉진하기 위한 ICT 역할과 활용이 강조될 필요

- ICT가 기후변화 대응 및 탄소중립 실현에 미치는 영향은 일방적이지 않으며, 명확하게 파악되지 못하고 있는 실정. 향후 ICT가 탄소중립에 미치는 영향을 총체적 관점에서 심층 분석이 진행될 필요
- 아울러, 탄소중립 대응을 위한 ICT 기술혁신은 반드시 필요하나, 이는 탄소중립 달성의 충분조건은 아니며, 적절한 정책적 개입과 사용자 행동 변화가 수반될 필요

〈ICT 자체와 ICT 활용에 따른 탄소중립에 대한 긍·부정 전망〉

구분	ICT 자체	ICT 활용	
긍정 전망	<ul style="list-style-type: none"> • ICT 에너지효율은 지속 발전해옴 • ICT 산업은 재생 에너지 전환에 적극적 • 글로벌기업 재생 에너지 100% 달성 완료, 일부는 카본 네거티브 표방 	<ul style="list-style-type: none"> • ICT/AI의 활용으로 각 분야에서 실질적인 에너지효율, 탄소 저감 효과가 가시화 • 통합화, 가상화, 최적화 등 ICT/디지털 기술의 특성은 전 분야의 탄소중립 실현의 핵심 인프라로 이용 	
	<ul style="list-style-type: none"> • (공통) 인공지능/ML, 뉴로모픽, 양자컴 등 새로운 기술혁신은 새로운 국면 창출 가능 		
부정 전망	<ul style="list-style-type: none"> • ICT가 전력 사용량은 급속히 증가 추세 • 무어의 법칙 한계 도달 등 ICT 효율성 증진에도 한계 존재 • 재생 에너지 100% 달성은 탄소배출 상쇄이지 무배출이 아니며, 재생 에너지의 무제한 증산도 한계 	<ul style="list-style-type: none"> • 개별 도메인의 에너지 효율성 증대가 반드시 에너지 소비 총량의 감축을 의미하지 않음 	
	<ul style="list-style-type: none"> • (공통) ICT 산업혁신은 결국 더 많은 ICT 이용과 산업폐기물 야기(리바운드 효과 존재) 		
긍정 영향	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ ICT 에너지 효율 향상 	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ 타산업의 탄소배출 저감 디지털 솔루션 	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ 환경/자원 보호 및 기후 변화 적응(adaptation)
부정 영향	<ul style="list-style-type: none"> ⊖ ICT 에너지 총 소비량 증가 	<ul style="list-style-type: none"> ⊖ 간접효과 (리바운드 효과, 진부화 효과) 	<ul style="list-style-type: none"> ⊖ ICT 폐기물 증가 (빠른 확산)
	<ul style="list-style-type: none"> ⊖ ICT 장비/단말 내재탄소 (embodied carbon) 		

◆ 정책적 시사점

▣ 사례분석과 전문가 의견 수렴결과, 탄소중립 시대의 ICT 정책 방향을 제안

- 탄소중립 대응을 위한 ICT 종합대책 마련 필요
 - 현재 ICT 산업의 직접적 탄소 배출 기여도는 2~4% 수준이나, 리바운드 효과 등 간접효과와 향후 ICT 산업 성장세 및 경제 사회에 미치는 영향력을 고려하면 더욱 비중 있게 인식되어야 할 필요
 - 탄소중립 선도국으로 도약하기 위한 ICT/AI 기반 (전환·산업·건물·수송 등) 부문별 탄소중립 추진 전략과 ICT 산업 자체의 탄소중립 실현을 위한 대책이 균형 있게 검토되어야 할 것

- ICT/AI 기반의 공정하고 투명한 탄소 배출 측정·예측·검증 방법 개발 필요
 - 향후 투명·공정하고 편리한 탄소측정 및 검증 기능을 제공하는 것이 국가적 탄소중립 실현 촉진 및 국가 경쟁력 제고에 핵심 요소로 자리매김
 - 블록체인, 스마트센서, 디지털트윈, 빅데이터/AI 등 4차산업혁명 기술을 활용한 탄소 배출 측정·예측·검증 관련 인프라 기술개발이 필요
- 에너지효율 향상, 탄소 저감 등을 기존 ICT R&D의 주요 목표로 설정·관리 필요
 - 향후 디지털 전환에 따른 ICT/AI의 전면적 활용으로 ICT 에너지 총사용량 증가가 전망되는바, ICT R&D에서 고성능 구현뿐 아니라, 에너지효율 향상과 탄소 배출량 저감이 중요한 성과 목표로 인식되어 관리될 필요
 - 특히, 소프트웨어 공학 측면에서의 에너지효율 향상을 위한 접근이 함께 고려될 필요
- 탄소중립 대응 격차 해소를 위한 공공 R&D 영역에서의 ICT/AI 기반 탄소중립 솔루션 마련 필요
 - 자체 대응력을 확보한 대기업과 달리, 대응력이 영세한 중소기업은 탄소중립 패러다임 가속화로, 시장에서 경쟁력을 잃게 될 위험이 존재하며, 이들이 쉽게 활용할 수 있는 ICT/AI 기반 탄소중립 솔루션 마련을 공공 R&D 영역에서 담당할 필요
- ICT 산업 순환 경제 활성화 방안 마련 및 소비자 권리 및 인식 제고 필요
 - 향후 ICT 단말/장비의 생산 및 폐기에 따른 탄소 배출량 증가가 전망됨에 따라, ICT 단말/장비 수명 연장과 폐자원 순환망 구축 의무 등을 포괄하는 ICT 산업 순환 경제 활성화 방안 마련 필요
 - 이를 위한 ICT 제품 소비자의 수리받을 권리 및 업데이트 권리, 오래된 단말/장비의 반환에 대한 소비자 인식과 보상체계 등이 개선 필요

I 서론

1 연구 배경

◆ 기후변화 대응은 더는 미룰 수 없는 인류생존의 문제

- IPCC¹⁾ 제6차 보고서(‘21)²⁾는 지구 기온 상승은 빨라지고 있으며, 향후 20년 이내 산업화 이전 대비 1.5°C를 넘어설 것으로 예측
 - 2003~2012년 사이 산업화 이전 대비 0.78°C 상승했으나, 2011~2020년까지 지구 기온은 1.09°C 상승하며 지구온난화가 가속화
 - 현 추세라면 2030~2052년 사이에 산업화 이전 대비 1.5°C, 2100년경에는 3°C 이상 상승 예상
- 기상이변, 기후변화 적응 실패 등 기후변화 관련 문제는 향후 발생할 가능성이 가장 큰 인류생존의 위협 요소로 부상³⁾
 - 지구 기후변화는 폭염, 초대형 태풍, 집중호우, 해수면 상승에 따른 침수와 범람, 농업 생산량 감소와 물 부족 등 전 지구적으로 엄청난 피해를 야기
 - 2000년~2019년 사이에 기록된 7,348건의 주요 자연 재난은 123만 명의 목숨을 앗아갔고, 42억 명의 사람들에게 영향을 미쳐 약 2조 9,700억 달러의 세계 경제 손실 유발⁴⁾

표 1-1 지구의 기온이 오를 때마다 예상되는 환경 변화

구분	+1°C	+2°C	비고
수자원	4억~17억 명 물 부족	10억~20억 명 물 부족	지역에 따라 홍수, 가뭄이 극명하게 갈림
생태계	양서류 멸종 산호 백화 현상	생물 종 중 20~30% 멸종위기	생물 종 사이 상호연계 체계 무너져 생태계 가속화
자원	1,000만 ~ 3,000만 명 기근 위협		저위도 국가 수확량 크게 감소
해안	홍수, 폭우 위험 증가	300만 명 홍수 위험 노출	
건강	알레르기, 전염성 질병 유행	영양부족, 과다출혈 심장병 증가 홍수, 가뭄에 따른 사망자 증가	오존 농도 길어져 호흡기 질환, 피부질환 전염병 증가

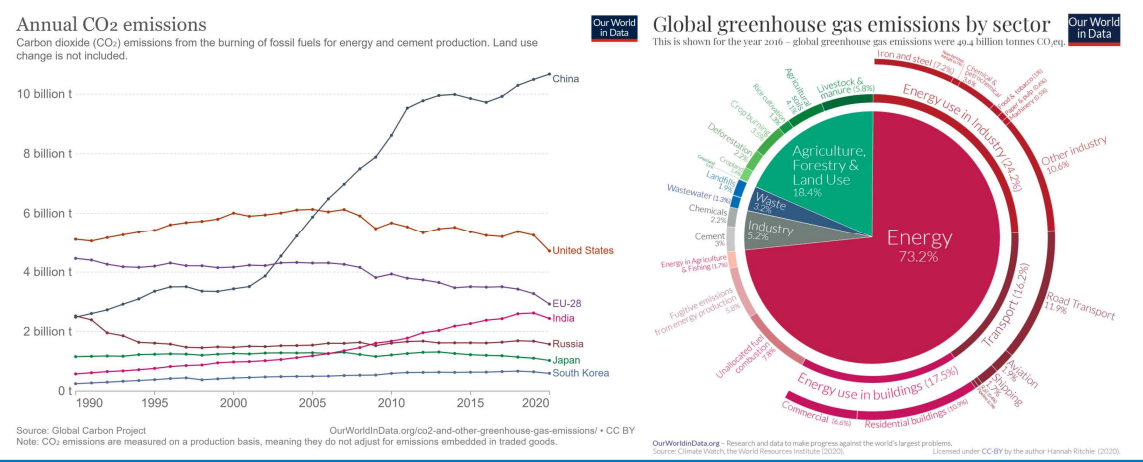
※ 출처: KISTEP(2021), 2020년도 예비타당성조사 보고서, 신기후체제 대응 환경기술개발사업

1) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 유엔 산하 기후변화에 관한 정부 간 협의체)
 2) IPCC(2021), The Sixth Assessment Report, Climate Change 2021: The Physical Science Basis
 3) 세계경제포럼(WEF)의 Global risks report(2021)는 향후 발생할 가능성이 가장 큰 인류의 위협으로 기상 이변, 기후변화 적응 실패를 각각 1, 2위로 꼽음
 4) Capgemini(2021), AI to Power Climate Action Strategy.

◆ 온실가스의 증가는 지구온난화의 주범으로 인식

- 온실가스는 적외선 복사열을 흡수하거나 재방출해 지구에 온실효과를 유발하며, 지구온난화를 일으키는 주된 원인으로 알려져 있음
 - 온실가스(GHG, green house gas)는 이산화탄소(CO2), 메탄(CH4), 아산화질소(N2O), 수화불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화유황(SF6) 등 6가지 기체로 이뤄져 있음
- 산업화 과정 이후, 인간의 화석연료 사용에 따른 인위적인 이산화탄소의 증가가 지구온난화의 주범으로 인식
 - 지구온난화에 미치는 영향은 이산화탄소보다 메탄이 21배, 아산화질소가 310배 정도로 훨씬 더 크나, 온실가스 중 이산화탄소가 차지하는 함량이 80% 이상
 - 산업화 과정 이후, 인간이 화석연료를 태워서 배출한 이산화탄소는 기존의 탄소의 순환 과정에서 없었던 이례적인 유입으로 본래 자연적 대기에 없었던 이산화탄소 유입이 발생하면 온실효과를 가속하는 원인으로 작용
- 그럼에도 불구하고, 전 세계 온실가스 배출량은 2009년 글로벌 경제위기 시기를 제외하고 지난 30년간 지속 증가
 - 2000년대 이후 중국의 경제성장으로 중국의 온실가스 배출량이 급증하였고, 분야별로는 에너지(전력, 열) 부문의 배출 비중이 가장 높음

그림 1-1 주요국의 온실가스 배출량 추이 및 분야별 온실가스 배출량 비중



※ 출처: Our World in Data 홈페이지⁵⁾

5) <https://ourworldindata.org/co2>

◆ 탄소중립 패러다임으로 빠르게 국제 질서 재편

- 파리기후협약('15)*, UN 기후 정상회의('19.9) 이후, 주요국의 탄소중립 선언이 잇따른 가운데, 이를 실현하기 위한 각국은 감축목표를 발표
 - EU('19.12), 중국('20.9), 일본('20.10), 한국('20.10), 미국('21.1) 등 세계 121개국이 2050년까지 탄소중립 달성 선언
 - EU는 '유럽 기후법'을 통해 EU 가입국의 2050년 탄소중립 달성 목표 수립을 법적 의무화

(파리기후협약*) 2015년 열린 유엔기후변화협약 당사국 총회(COP21)에서 채택된 협약으로, 지구 온도를 산업화 이전 대비 최대 1.5°C까지 낮춘다는 내용이 주요 골자임. 이 협약에는 197개국이 참여하였으며, 참여국은 2050년까지 탄소배출량과 탄소 감축량을 합해 0(중립)을 만든다는 '탄소중립'을 목표로 하는 장기 저탄소 발전 전략(LEDs)을 제출함

- IPCC의 제6차 보고서 발표와 기후 정상회의('21.4)에서 주요국들의 탄소 배출 저감 목표 대폭 강화 발표로, 탄소중립 패러다임으로 국제 질서가 빠르게 개편
 - IPCC 제6차 보고서('21)6)에 따르면, 현재 경로에 따르면, 앞으로 20년 안에 지구 온난화를 산업화 이전의 1.5°C 상승을 묶어두는 것을 목표로 한 파리협정서는 달성 어려움
 - 해당 보고서는 21세기 중반 2°C 이하의 후퇴된 목표 역시 지키지 못할 가능성이 큰 것으로 보고
 - 2021년 4월 개최된 기후 정상회의(Leaders Summit on Climate)에서 각국은 NDC7) 상향 조정을 발표
 - ※ 미국은 2030년까지 2005년 대비 온실가스 배출량을 50~52% 감축목표 설정, 이는 오바마 행정부의 감축 목표치를 2배 정도 상향한 수준
 - ※ EU는 1990년 대비 감축목표를 기존 40%에서 55%로 상향 조정
 - ※ 일본은 2013년 대비 26%에서 46%로, 캐나다는 2005년 대비 30%에서 40~45%로 상향

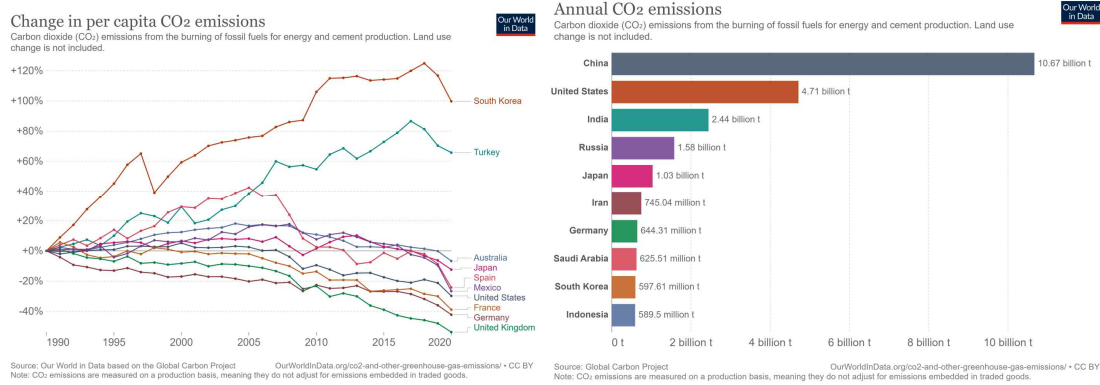
6) IPCC(2021), The Sixth Assessment Report, Climate Change 2021: The Physical Science Basis.

7) NDC(Nationally Determined Contribution): 파리기후협약의 참여국이 자국 상황을 고려하여 제시하는 온실가스 감축 방안

◆ 탄소중립 이행은 막연한 미래가 아닌 다가온 현실적 문제

- 탄소 배출이 많은 제조업 중심의 경제·산업 구조를 가진 우리나라의 실정을 고려할 때 탄소중립 이행에 대한 기민한 대응은 불가피한 상황
 - 한국은 1990~2018년 온실가스 배출 증가율 OECD 1위이며⁸⁾, 제조업 비중이 27.7%로 미국(10.9%), 영국(9.7%) 등과 비교 시 상대적으로 높음⁹⁾
 - 한국의 2020년 기준 연간 이산화탄소배출량은 597메가톤(Mt)으로 중국(10,670 Mt), 미국(4,710 Mt), 인도(2,440 Mt), 러시아(1,580 Mt), 일본(1,030 Mt), 이란(745 Mt), 독일(644 Mt), 사우디아라비아(625 Mt)에 이어 9위인 수준

그림 1-2 1인당 이산화탄소배출량 증가율 추이(좌), 2020년 연간 온실가스 배출 국가 순위(우)



※ 출처: Our World in Data 홈페이지¹⁰⁾

- 탄소중립 이행을 위해서는 화석연료에 대한 높은 의존도를 줄이고, 산업 전반에 걸친 에너지 절감 및 효율 개선 노력이 필수
 - '17년 기준, 국내 온실가스 배출 분야는 에너지 생산(42.6%), 산업공정(28.2%), 도로 수송(15%)

◆ 탄소중립 대응을 위한 ICT 역할 부상

- 인공지능, 빅데이터, IoT 등의 ICT 혁신은 각 분야에서 다양한 방식으로, ICT가 기후 문제 해결의 실마리를 제공할 수 있을 것이라는 기대를 고조
 - 쉼 사회적/산업적 디지털 전환과 맞물리면서, 일회적이고 시범적인 친환경 솔루션을 넘어선 체감 가능한 수준의 다양한 활용 사례가 창출 증으로 탄소중립을 위한 ICT 활용 관심 고조

8) <https://www.greenpeace.org/korea/update/15430/blog-ce-what-ndc-mean-for-korea>
 9) ISTANS(산업통계분석시스템) 2020년 명목 부가가치 기준
 10) <https://ourworldindata.org/co2>

- 최근 다양한 보고서들은 ICT/디지털 기술을 활용한 에너지·자원의 효율적 이용에 따른 구체적인 탄소 저감효과 및 지속 가능한 저탄소사회 실현 가능성을 제시
 - (캡제미니)¹¹⁾ 향후 3~5년 내 AI가 온실가스 배출량을 16% 줄이고 전력 효율을 15% 개선할 것으로 기대
 - (독일 정보통신산업협회)¹²⁾ 디지털 기술 가속화를 통해 '30년까지 자국 탄소배출 감축 목표의 50% 이상을 달성할 수 있다는 연구 결과 발표
 - (GeSI)¹³⁾ 2030년 ICT의 활용으로 전 세계 탄소 배출량의 12기가톤(Gt)을 감축할 수 있으며, 이는 2015년 탄소 배출량 20%에 해당
 - Andrae(2021)¹⁴⁾ ICT 활용에 따른 2030년 글로벌 온실가스 감축은 약 11.37 Gt으로 전체 66.3 Gt의 17%에 해당. 즉, 17%의 온실가스 감축 효과가 기대

◆ 탄소중립 시대, ICT 자체의 친환경화 역시 중요한 과제

- 디지털 사회 진전으로 ICT의 에너지 소비가 급속히 증가하는 가운데 ICT 산업 자체의 에너지 효율화 및 ICT 제품·서비스 사이클 전반에 대한 친환경화가 중요한 화두로 부상
 - (데이터 유통 급증) 전 세계 데이터 규모는 2025년 175제타바이트로 연평균 61% 증가
 - (컴퓨팅 자원) AI 학습에 필요한 데이터센터 컴퓨팅 자원은 3.4개월마다 2배씩 증가
 - (5G 확산) 5G는 기존 LTE 통신망 대비 총 네트워크 에너지 소비량이 70% 이상 증가
 - (연결 단말 증가) 커넥티드 단말은 2018년 184억 개, 2023년까지 293억 개로 증가 전망
- 2030년까지의 ICT 소비전력을 예측한 한 연구 결과는 전 세계 소비전력에 21%에 이를 것으로 전망(Andrae&Edler, 2015)¹⁵⁾
 - ※ 해당 연구는 3가지 시나리오를 가정하는데, 최악(worst)의 경우 2030년 ICT가 전 세계 전력 소비에서 차지하는 비중은 51%이며, 최상(best) 시나리오에서는 8%, 중립(expected) 시나리오에서는 21%에 달할 것으로 전망
- ICT 산업의 전 세계 탄소 배출량 직접 기여도는 2~4%로 추정되나, 디지털 전환에 따른 간접효과 증대 및 세계 경제에 미치는 영향력을 고려할 때, ICT 활용에서 발생하는 탄소 배출량 감소와 환경부담 저감을 위한 기초·응용 기술 및 관련 정책 개발은 시급

11) Capgemini(2021), AI to Power Climate Action Strategy.

12) Bitkom(2021), Klimateffekte der Digitalisierung, 2021.03.18.

13) GeSI(2015), #SMARTer2030. ICT Solutions for 21st Century Challenges.

14) Andrae, A. S. (2021), Internet's handprint. Eng. Appl. Sci. Lett, 4(1), 80-97.

15) Andrae A. S., Edler T.(2015), On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. Challenges. 6(1), 117-157.

2 연구의 목적과 범위

◆ 연구목적

- 본격화되는 탄소중립 패러다임 하에서 ICT 산업의 대응 동향과 이슈 전개 방향에 대한 체계적 분석 필요
 - 전 세계가 기후변화 대응 및 탄소중립 실현에 대한 공조 노력을 강화하고, 세계 경제 질서가 이를 중심으로 급격히 재편 중
 - ICT 산업관점에서 (1) 탄소중립 실현을 위한 ICT 활용 측면과 (2) 규제강화 등 외부 환경 변화에 따른 ICT 산업의 대응 측면의 최신 사례 및 동향 검토 필요
 - ICT 산업관점에서 탄소중립의 영향을 총체적으로 분석을 시도한 연구는 많지 않음
- 이러한 배경에서 본 연구는 탄소중립이라는 회피할 수 없는 메가트랜드에 따른 ICT 산업의 기회(솔루션이자 인프라로서의 기회)와 도전(탄소배출·환경 규제 대응)을 검토하고 정책적 시사점을 도출하는 것으로 목적으로 함
 - (ICT 기대역할) ICT(AI) 기술은 탄소중립 시대에 어떻게 활용되는가?
 - (ICT 대응동향) ICT(AI) 산업은 탄소중립 시대에 어떻게 대응하고 있나?
 - (ICT 정책방안) 탄소중립 시대의 우리 ICT 정책의 고려사항은 무엇인가?

◆ 연구 범위

- 첫째, 탄소중립 실현을 위한 ICT 활용과 ICT 자체 친환경화에 대한 사례분석
 - (ICT 활용) ICT/AI 활용 최신 사례를 제공 가치 및 적용 분야로 유형화
 - (ICT 자체) ICT 세부 기술별 탄소중립 이슈와 국내외 주요 ICT 기업의 대응 활동 동향분석
- 둘째, 탄소중립 시대의 ICT 정책 방향 검토
 - ICT가 기후변화 대응 및 탄소중립 실현에 미치는 긍정, 부정 효과 논의 검토
 - 사례분석 시사점을 바탕으로, 2차레 전문가 설문을 통한 이슈 전개 방향 및 우리나라 탄소중립 대응을 위한 정책 방향 검토
- 전체 연구 프레임워크를 살펴보면 아래의 그림1-3과 같음

그림 1-3 연구 프레임워크

2장 탄소 중립과 국제 질서 변화

3~4장 탄소중립 실현을 위한 ICT 기술활용과 ICT 산업 내의 대응 사례 분석

ICT 기술활용 측면

ICT/AI활용한 탄소중립 대응 최신 사례를 제공가치 및 적용 분야로 유형화

탄소저감
(mitigation)
솔루션

기후변화
적응
(adaptation)

탄소중립
인프라/
거버넌스

ICT 산업대응 측면

탄소중립에 대처하는 ICT 산업 대응을 세부기술별, 주요기업별 검토 및 유형화

ICT 세부 기술별 대응동향

데이터센터

네트워크

사용자 단말

주요ICT기업의 대응활동

에너지효율개선

재생에너지 전환

친환경/업사이클링

5장 탄소중립시대의 ICT 정책방향 검토

사례분석 결과 및 2차례의 기술 및 정책 전문가 설문을 통한 탄소중립 대응을 위한 ICT 정책방향 검토

- ICT가 탄소중립 실현에 미치는 복합적(긍부정) 효과 및 이슈전개 방향 검토
- 우리나라 ICT 정책 고려사항 검토

※ 출처: 저자 작성

II 탄소중립과 국제 질서 변화

1 탄소중립에 따른 국제 질서 변화 동향

◆ (패러다임 전환 가속화) 세계 각국은 탄소 감축목표를 강화하기 시작

- 세계 주요국은 기후변화 대응과 탈탄소 산업구조로의 전환을 위한 국가 차원 정책을 발표하는 등 탄소중립 패러다임 전환이 가속화
 - 한국(그린뉴딜'20, 탄소중립 추진전략'21), 미국(청정에너지 정책'21), EU(유럽 그린딜'21), 영국(녹색성장 전략'20), 일본(환경 혁신전략'20) 등
- 미국 바이든 정부는 출범 첫날, 트럼프 행정부에서 탈퇴한 파리기후변화협약에 복귀한다는 내용의 행정조치 단행('21.1.21.)
 - 미국의 기후협약 복귀는 바이든 대통령의 대선 공약사항으로 바이든 대통령은 미국의 기후변화 관련 리더십을 되찾겠다는 의지를 여러 차례 표명
- '21년 4월 개최된 기후 정상회의(Leaders Summit on Climate)에서 세계 주요국은 상향 조정된 탄소 감축목표를 발표
- 한국 역시 기존 26.3% 배출량 감축에서 2018년 대비 40% 감축하는 안으로 대폭 상향 조정('21.10.)
 - 분야별로 2030년까지 전력 44%, 산업 14.5%, 수송 37.8%, 농축수산 27.1% 등의 감축 목표를 설정하고, 탄소포집·활용·저장(CCUS)은 1,620만 톤에서 3,350만 톤으로 상향

표 2-1 주요국의 2030년 온실가스 감축 강화 내용

국가	기존 목표	기후정상회의 이후
미국	• 2005년 대비 26~28% 감축	• 2005년 대비 50~52% 감축
EU	• 1990년 대비 40% 감축	• 1990년 대비 55% 감축
일본	• 2013년 대비 26% 감축	• 2013년 대비 46% 감축
캐나다	• 2005년 대비 30% 감축	• 2005년 대비 40~45% 감축
한국	• 2017년 대비 24.4% 감축	• 2018년 대비 40% 감축

※ 출처: 언론 보도 내용 정리

◆ (산업 규제강화) 탄소배출권, 탄소 국경세 등 탄소중립 중심의 경제 질서 본격화

- EU, 미국, 일본 등에서 탄소배출권, 탄소 국경세 등 탄소 배출 저감을 위한 산업 규제가 강화되고 있으며, 이는 새로운 무역장벽으로 작동 가능
- (탄소배출권) EU('05년)는 이미 배출권거래제 시장을 도입하였고, 일본과 중국은 국가 단위의 배출권거래제(ETS: Emission Trading System)* 도입을 고려 중
 - * 온실가스를 많이 감축한 기업과 감축을 못 한 기업 사이에 탄소배출권을 팔고 살 수 있도록 한 제도로, 향후 국가 또는 지역 단위의 거래로 확장될 수 있음
- (탄소 국경세) EU는 수입되는 제품의 탄소 함유량에 따라 인증서(배출권)를 의무 구매하게 하는 탄소 국경조정 메커니즘(CBAM, Carbon Border Adjustment Mechanism)을 2023년부터 시행계획이며, 미국은 도입을 검토 중
 - EU는 탄소 배출량이 많은 철강, 시멘트, 알루미늄, 비료, 전기 등 5개 분야에 우선 적용하고, 시행 초기 3년 동안은 탄소 배출량 보고만 받고, 2026년부터 실제로 세금을 징수 계획
 - 탄소 국경세는 해당 국가에 수출하는 국내기업에 새로운 무역장벽으로 작동할 수 있는 위협이며, 특히 탄소 배출 저감 대응력이 약한 중소기업의 피해가 우려

표 2-2 주요국의 탄소중립 관련 규제 강화 내용

탄소중립 규제	주요 내용
탄소 국경세	• (EU) '23년 시행, (미국) '25년 탄소세 도입 공약⇒도입 검토 중
플라스틱 세	• (EU) 재활용 불가능 플라스틱 폐기물에 0.8유로/kg 부과 ('21년 시행)
자동차 배출 가스 규제	• (EU) 판매 차량의 평균 CO ₂ 배출량 기준 95g/km로 강화, 초과 시 제조사에 2유로 /g 벌금 부과('21년 시행)

※ 출처: 탄소중립 기술혁신 추진전략(안)(2021)

- (국내 대응) 한국은 '15년 탄소배출권 시장을 출범, '22년부터 자산총액 2조 원 이상의 상장사에 환경정보 공개 의무 부과
 - (탄소배출권 시장) 한국은 '15년 배출권 시장개설 이후, 5년간 거래 규모는 15.4배, 거래액은 42.8배 증가
 - (환경정보공개 의무) 우리 정부는 '22년부터 자산총액이 2조 원이 넘는 국내 상장기업은 의무적으로 환경정보를 공개하도록 하는 '환경 기술 및 환경산업 지원법 시행령' 개정안 시행('21.10.)
 - ※ 환경정보에는 기업의 에너지, 온실가스, 용수, 대기오염물질, 수질오염 물질, 폐기물 등 분야별로 배출량이나 발생량 등의 정보가 포함되며, 환경정보 공개 확대로 환경·사회·지배구조(ESG) 평가 등에 도움이 될 것으로 기대

◆ (새로운 투자지표로 부상) 환경·사회·거버넌스(ESG) 경영철학 확산으로 기업의 기후변화 관련 대응이 투자의 중요한 평가지표로 부상

- 전 세계적인 환경·사회·거버넌스(ESG) 경영철학 확산과 주요국들의 탄소중립 정책 강화로, 글로벌 투자시장에서 기업의 기후 위기관리 및 대응이 중요한 투자평가 기준으로 부상
- ESG 펀드 및 녹색 채권 등을 통한 친환경 투자가 빠르게 증가
 - '21년 상반기 글로벌 ESG 펀드로의 순 유입은 3,245억 달러(약 381조 원)로, 직전 반기 기준 최대 규모인 지난해 하반기보다 40%가량 증가한 수준¹⁶⁾
 - 글로벌 ESG 투자 규모는 '16년 22조8,000억 달러에서 지난해 35조3,000억 달러로 54% 성장하였고, '30년에는 130조 달러까지 증가 전망¹⁷⁾
- ESG 강화 추세에 따라 탄소 배출이 많은 국내기업의 글로벌 금융 조달에 위협이 될 가능성 존재

◆ (산업계 자발적 노력) 기후변화 대응 가속화를 위한 산업계 차원의 자발적 탄소 저감 노력 진행

- 기후변화 대응과 탄소중립 실현이 강조되자, 글로벌 기업들을 중심으로 RE100, EV100, 사내 탄소세 등 기후변화 대응을 위한 산업계의 자발적 탄소 저감 노력이 진행 중
- RE100(Renewable Electricity 100%)은 2050년까지 사용 전력량 100%를 풍력·태양광 등 재생에너지로 조달하겠다는 내용을 담은 글로벌 캠페인
 - 다국적 비영리 기구 클라이밋 그룹(The Climate Group)과 탄소 정보공개프로젝트(CDP, Carbon Disclosure Project)의 제안으로 2014년 시작되어 구글, 애플, GM 등 300개 이상('21.10월 기준)의 글로벌 기업들이 가입
 - 구글, 애플 등은 협력사에도 동일한 RE100을 요구하는 추세로, 재생에너지 사용이 우리 기업들의 실제 생존과도 직결되는 상황으로 전개
 - 참여 기업들이 제시한 평균 목표 달성 시점은 '28년으로 이미 30% 이상 기업이 100% 목표를 달성했으며, 44%는 협력업체에도 재생에너지 사용을 촉구
 - 국내에서는 SK그룹 8개사, 수자원공사가 RE100 참여를 선언('21.11월 기준)
- EV100(Electric Vehicles 100%)은 2030년까지 기업 소유 및 임대 차량 중 3.5톤 이하 100%, 3.5~7.5톤 50% 차량을 전기차량으로 전환하는 캠페인¹⁸⁾

16) 조선일보(2021.10.29.), ESG 펀드에 올 상반기에만 381조 원 몰려... 글로벌 투자기준 바뀌

17) 동아일보(2021.11.23.), [머니 컨설팅] ESG 투자 시작, '에너지전환' 펀드부터

18) 이투데이(2021.4.16.), LG에너지솔루션, RE100 이어 친환경 차 100% 전환 선언

- 기업주도로 전기자동차로의 전환을 가속화하고, 이를 통해 수송부문에서의 온실가스 배출량을 줄이고자 2017년 2월 클라이밋 그룹 주도로 출범한 이니셔티브
- 글로벌 탄소 배출의 23%를 차지하는 수송 분야의 전기차 도입을 촉진을 목표로 하며, 전 세계 113개 사(21.10월 시점)¹⁹⁾가 가입 중

● (사내 탄소세) 기업 내부의 탄소발자국 감축을 촉진하기 위해 사업부서별로 탄소 배출량을 할당하고 이를 초과 시 요금을 부여하는 제도²⁰⁾

- 부서별 활동에 대한 탄소 배출량을 측정하고, 할당량 이상 배출할 경우 그에 대한 금전적 패널티를 부과하는 것을 의미
- 메킨지(2021)²¹⁾에 따르면 2,600여 개 글로벌 기업 중 약 23%가 사내 탄소세를 채택했으며, 22%의 기업은 논의 중

※ 사내 탄소세 적용 분야로 에너지(40%) > 소재(30%) > 금융(29%) > 테크/미디어/통신(27%) > 산업(26%) 순

- 마이크로소프트는 사내 탄소세 제도를 가장 효과적이고 적극적으로 도입한 기업으로, '12년 도입을 시작하였고 '20.7월부터는 기업 내에서 배출되는 탄소량뿐 아니라 제품 공급망 내 배출되는 탄소까지 관리하기 시작

● 애플, 구글, 마이크로소프트와 같은 글로벌 빅테크 기업들은 협력사에게 동일한 수준의 높은 탄소 저감 활동을 요구하는 추세로, 이는 생태계 내 대응력이 부족한 중·소기업들에 새로운 위협으로 작동할 가능성 존재

◆ (국제 공조 강화) 탄소 저감을 위한 기술 활용과 과학적 방법 정립을 위한 국제 기구 중심의 활동 강화

■ GeSI, 2030년까지 탄소 배출량 20% 저감을 목표로 한 ICT 활용 방향성 제시

- GeSI*(The Global Enabling Sustainability Initiative)는 전 세계 정부와 민간 부문의 온실가스 배출량 감소를 돕기 위한 목적으로 2015년 6월 'SMARTer2030' 이니셔티브를 개시하고, 이를 통해 ICT 활용 지침과 분야별 ICT 활용 가치 및 응용 방안을 제시

* ICT 부문의 지속가능성 향상을 위해 2001년 설립된 비영리단체로 UN 환경계획(UNEP)과 국제전기통신연합 (ITU)등과 협력하여 ICT 산업 전반의 지속 가능성을 지원하며, 60개 이상의 글로벌 기업, 국제기구 및 표준화단체가 참여하여 활동 중

- SMARTer2030은 △에너지 △건물 △식량 △모바일·접속성 등의 분야에서 지속가능성 담보를 위한 ICT 활용에 따른 가치와 응용 방안을 기술

19) <https://www.theclimategroup.org/ev100-members>

20) 환경ESG(2021.09.15.), 사내 탄소세로 넷제로 앞당기는 기업들

21) McKinsey&Company(2021.2.10.), The state of internal carbon pricing.

표 2-3 GeSI SMARTer2030 분야별 활용 가치 및 응용 방안

분야	활용 가치 및 응용 방안
에너지	<ul style="list-style-type: none"> • '30년까지 스마트그리드 발전을 촉진하며 그리드 내 모든 자산으로부터 데이터와 정보를 지속해서 수집 분석하여 부하 관리 개선, 탄력적 에너지 수요 공급 조절 등이 가능 • 피크 부하를 감소시키는 수요반응(demand response), 에너지 저장기술 분야의 혁신 등을 통해 전력 그리드의 에너지 효율 개선과 에너지 분야의 탈탄소를 가속화
건물	<ul style="list-style-type: none"> • 스마트 미터, 센서, 자동화 진단 및 제어 시스템과 빌딩 IoT 등은 에너지 활용과 관련된 전력 소비자의 통찰과 제어를 강화함으로써 에너지 및 자원 절감에 기여 • ICT 기반 스마트 빌딩용 솔루션을 통해 에너지 사용량 관리, 건물 상태와 관련된 오동작 예측 및 실시간 정보 수신 등이 가능
식량	<ul style="list-style-type: none"> • 농업 분야에서 데이터에 기반한 효율적이고 스마트한 농업 관행 실현에 기여 • 센서에 기반한 날씨·작물·생육 상태·토질 등의 실시간 데이터 분석으로 파종 시기와 수확량 예측이 가능한 스마트농업 및 정밀농업(precision agriculture)구현 촉진 • 또한 ICT는 GPS, RFID 및 기타 추적 시스템을 통해 작물의 위치, 신선도, 공급원, 유통기간 등을 실시간으로 파악함으로써 음식물 쓰레기 배출량 감소에도 기여
모바일·접속성	<ul style="list-style-type: none"> • IoT 및 모바일 브로드밴드 기반 스마트 기기의 교통 분야 응용 확대는 개인 차량, 교통 흐름 제어 및 교통 물류 등에 대한 최적화를 통해 목적지까지 빠르고 효율적으로 이동함으로써 이동수단의 탄소 배출량 감소에 기여

※ 출처: GeSI SMARTer2030 (<http://smarter2030.gesi.org/>)

▣ SBTi, 과학 기반 탄소 감축목표 검증 기준과 방법론 제시²²⁾

- 과학 기반 감축목표 이니셔티브 (Science-based target Initiative, SBTi)는 파리기후협약을 달성하기 위한 기업의 탄소 감축목표 기준을 제시하고 이를 관찰하는 과학적 방안을 마련하기 위한 국제 이니셔티브
 - 2015년 세계자연기금(WWF), 탄소 정보공개프로젝트(CDP), 유엔글로벌콤팩트(UNGC), 세계자원연구소(WRI)가 공동으로 출범시킨 비영리 국제연합기구
- SBTi는 기업들에 대한 감시가 아닌 탄소 감축목표 수립에 대한 컨설팅과 수립한 목표 달성을 위한 과학적 방법론 지원을 목표로하며, 다음과 같은 효과를 기대
 - (참여 기업의 경쟁력 강화 및 투자자 신뢰도 향상) 기업의 장기 탄소중립 목표, 전략 수립 및 재생에너지 확대 등 기후 행동에 대한 이해관계자 요구를 충족함으로써 기업의 경쟁력 강화 및 신뢰도 향상
 - (혁신 강화) 탄소중립 경제로의 대전환을 위한 기업의 새로운 기술 및 운영 방침 개발을 촉진하여 기업의 미래 혁신과 변화를 선도

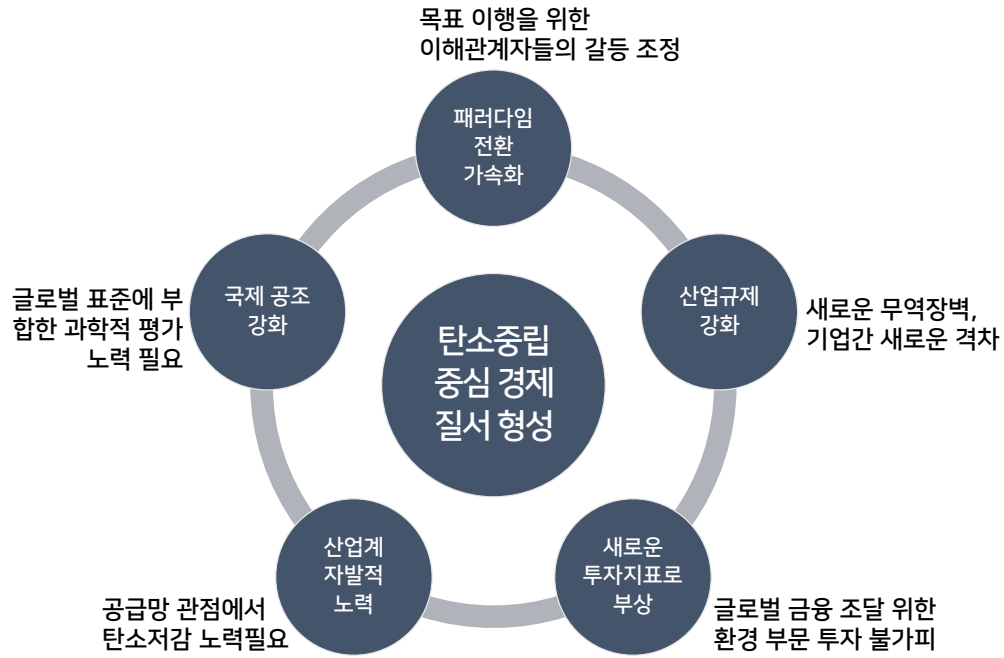
22) <https://sciencebasedtargets.org/>

- (규제 대응의 불확실성 감소) 온실가스 배출량을 제한하기 위한 향후 정책 및 규제에 선제 대응
- 현재 총 2,194개 기업이 과학 기반 감축목표 수립(SBT)에 참여를 선언하였고, 1,044개 기업이 검증받음 ('21.11.28 기준)
 - 한국 기업은 금융권 기업을 중심으로 총 11개 기업이 참여를 선언
 - ※ SK증권, 신한금융, DGB 금융, 산업은행, 우리금융, JB금융, KB금융, 미래에셋증권과 LG전자, SK텔레콤, 현대모비스가 참여 선언('21.11.28.)

2 소결 및 시사점

- 세계 각국의 탄소중립 달성과 저탄소사회 실현을 위한 노력이 강화되고 있는 가운데 탄소중립 패러다임 전환이 가속화
 - 우리나라는 선진국 대비 상대적으로 조급하게 설정된 측면이 있으며, 목표 이행을 위한 이해관계자들 간의 합의와 갈등 조정 과정이 반드시 필요
- 탄소세는 EU 등 일부 선진국에서 도입을 결정했거나, 도입을 검토 중으로, 탄소 배출이 많은 제조업 중심의 국내 산업구조 상 향후 상당한 부담으로 작용 전망
 - 탄소세는 새로운 무역장벽으로 작동하며, 대기업과 중소기업 간 탄소중립 대응력에 따른 새로운 격차로 작용할 가능성이 존재
- 투자평가 지표로서 기업의 탄소 저감 노력이 새롭게 조망 받으며, 산업계 내부에서 탄소 저감을 위한 자발적 노력이 강화
 - 이는 국내기업들이 글로벌 금융 조달을 위해서는 일정 부분 환경 부문 투자를 강화해야 하고, 국내 및 해외에서 인증하고 있는 공급망 관련 이니셔티브 가입 등도 필요함을 시사
- 탄소 저감을 위한 ICT 활용과 과학적 검증 방법 구축을 위한 국제기구 주도의 이니셔티브 활동 활발
 - 민간 주도의 탄소중립 이니셔티브 활동이 구속력이 있는 것은 아니나, 글로벌 표준에 부합하는 과학적 탄소 저감 검증에 참여는 기업 이미지 제고와 규제강화에 선제 대응 가능

그림 2-1 탄소중립과 국제 질서 변화



※ 출처: 저자 작성

III (ICT 활용) ICT는 탄소중립에 어떻게 활용되나?

1 ICT/AI 활용을 통한 탄소중립 달성 효과

◆ 분석 배경

- 인공지능, 빅데이터, IoT 등 ICT/디지털 기술혁신이 가속화됨에 따라, 다양한 분야와 방식으로 ICT가 기후·환경·에너지 문제 해결의 가능성 제시
- 쉰 사회적/산업적 디지털 전환과 맞물리면서, ICT를 활용한 기후변화 대응 사례는 일회적이고 시범적인 친환경 솔루션을 넘어선 체감 가능한 수준의 다양한 활용 사례가 창출되고 있는 것이 특징
 - 최근 공공과 민간은 데이터 분석, AI, IoT 등의 ICT 기술을 응용하여 자원 활용 효율, 생태계 보호, 온실가스 배출량 저감, 자연재해 등의 방지 등의 사회 과제 해결을 도모
- 이러한 배경에서 본 절에서는 ICT/AI 기술의 활용을 통한 탄소중립 달성 효과를 분석한 최신 보고서 결과를 간략히 검토

◆ (문헌 검토) ICT/AI 활용을 통한 탄소중립 달성 효과

- 사례분석에 앞서, ICT/AI 기술의 활용을 통한 탄소중립 달성 효과를 분석한 최근 발간된 보고서 결과를 검토
- 다양한 보고서들은 ICT 융합으로 에너지·자원의 효율적 이용을 극대화하여 지속 가능한 친환경 사회 구현을 가속하고, 탄소 배출량 절감 등 저탄소 산업생태계 구축 가능성을 제시함
- (캡제미니, 2021) 향후 3~5년 내 AI가 온실가스 배출량을 16% 줄이고, 전력 효율을 15% 개선할 것으로 기대
 - 기후변화 대응을 위해 AI를 (전면 혹은 부분) 도입한 190개 기업 대상 설문과 70여 개의 사례분석을 통해 AI가 온실가스 저감에 유의미한 성과를 보임을 주장
 - AI 도입에 따른 세부 산업별 감축 기대효과는 △의료 장비 18.3% △에너지(석유, 석탄) 16.5% △유틸리티(전력, 가스, 물) 15.9% △소비재 15.5% △자동차 15.2% △소매 15.0% △기타 17.6% 순
- (독일 정보통신산업협회, 2021) 디지털 기술 가속화로 '30년까지 독일 탄소배출 감축목표의 최대 50% 이상을 디지털 기술로 달성할 수 있다는 연구 결과 발표

- 디지털 기술로 효과적인 탄소배출 감축 효과가 기대되는 7대 응용 분야를 중심으로 2개의 시나리오(완만한 디지털화, 가속화된 디지털화)별 '30년까지의 탄소 감축량을 제시
- 완만한 디지털화 추세로는 '30년까지 독일의 탄소배출 감축목표인 262메가톤의 39%(102 메가톤)를, 가속화된 디지털화로는 58%(151메가톤) 감축할 수 있으며, 가속화된 디지털화는 독일의 환경보호에 이바지하고, 산업경쟁력을 높일 것으로 기대

표 3-1 독일 정보통신산업협회(Bitkom) 발표, 디지털 기술 7대 응용 분야별 탄소 저감효과

분야	예상 탄소 감축량	주요 응용 내용
전력	19~23Mt	<ul style="list-style-type: none"> 스마트그리드 통한 발전-전력 소비의 정밀 제어, AI 및 빅데이터를 통한 재생에너지의 디지털 제어 및 효율적 생산 등이 가능
농업	4~7Mt	<ul style="list-style-type: none"> 디지털 비료 살포, 토양 분석을 통해 비료 사용 효율성 제고와 지하수 부하 감소 정밀 사료 공급 및 가축 모니터링 등 디지털 축산으로 탄소 배출량 최대 9% 감소
건강	0.3~0.4Mt	<ul style="list-style-type: none"> 원격 의료, 디지털 처방전, 디지털 건강앱 등으로 환자의 의료시설 방문 대체
제조	35~61Mt	<ul style="list-style-type: none"> 생산 자동화, 디지털 트윈을 통한 제품 및 공정 모사를 통한 에너지 소비 최적화
운송	17~28Mt	<ul style="list-style-type: none"> 지능형 제어, 스마트 물류, 공유 모빌리티 등을 통해 주행거리 감소와 주행 효율성 향상
건물	16~19Mt	<ul style="list-style-type: none"> 데이터 기반 모니터링, 냉난방, 환기 등의 자동화로 건물의 에너지 소비를 최적화
업무 및 비즈니스	10~12Mt	<ul style="list-style-type: none"> 재택근무 화상회의, 물리적 사무 공간 감소로 탄소 배출 저감 가능

※ 출처: Bitkom(2021)

- (GeSI, 2015) 2030년 ICT의 활용으로 전 세계 탄소 배출량의 12 Gt를 감축할 수 있으며 이는 2015년 탄소 배출량 20%에 해당
 - 2030년 세부 분야별 탄소 배출 감축 효과는 △모빌리티 3.6 Gt △제조 2.7 Gt △농업 2.0 Gt △빌딩 2.0 Gt △에너지 1.8 Gt 순으로 전망
 - 보고서는 ICT 활용에 따른 2030년 탄소 배출 저감량(12.1 Gt)이 ICT 산업 자체의 탄소 배출량(1.25 Gt)의 9.7배일 것으로 전망하며, 탄소중립에의 ICT 기여 가능성 긍정적으로 평가
- (Andrae, 2020) ICT 활용에 따른 2030년 글로벌 온실가스 감축은 약 11.37 Gt로, 약 17% 온실가스 감축 효과('30년 전체 탄소 배출량 66.3 Gt)가 기대
 - 기준연도(2019) 대비 감축 효과가 큰 분야는 여행(43%), 빌딩(24%), 산업(17%) 순
 - 절대 감축 기여량이 많은 분야는 건물 에너지 사용(열에너지 절감) 분야가 2.43 Gt(21.4%), 서비스 및 제품 판매(원자재 절약) 분야가 2.07 Gt(18.2%), 스마트그리드 최적화 분야가 0.93 Gt(8.2%) 순

표 3-2 ICT 솔루션 도입에 따른 2030년 세부 분야별 탄소 감축량

분야	2030년 감축량(저감율)	분야	2030년 감축량(저감율)
산업	3.37Gt (17%)	농업	0.84Gt (10%)
빌딩	3.90Gt (24%)	폐기물	0.21Gt (10%)
여행	1.98Gt (43%)	토지이용	0.06Gt (1%)
교통	1.01Gt (15%)	전체	11.37Gt (17%)

※ 출처: Andrae(2021)

- 독일 정보통신산업협회(bitkom) 내용을 제외한 나머지 보고서(연구)에서는 ICT/AI 도입에 따른 탄소배출 감소 효과가 16~20% 수준으로 유사함을 확인 가능
- 그러나 세부 분야별 감축 효과에서 있어서는 일치된 결과를 확인할 수 없었음
 - 가장 큰 감축 효과를 보이는 분야로 캡제미니는 의료 장비 분야(18.3%), 독일 Bitkom은 제조 분야(35~61 Mt), GeSI는 모빌리티 (3.6 Gt), Andrae 연구는 여행(1.98 Gt) 분야였음

2 ICT/AI를 활용한 탄소중립 대응 유형별 사례분석

- 본 절에서는 ICT/AI 기술을 활용한 기후변화와 탄소중립 대응을 위한 다양한 분야의 최신 사례를 수집·분석하고 이를 유형화하여 시사점을 검토함
 - (유형 구분) 본 연구는 ICT/AI의 활용목적과 기여분을 기준으로 (1) 탄소 저감 솔루션, (2) 기후변화 적응, (3) 탄소중립 인프라/거버넌스로 구분

표 3-3 ICT/AI 기술을 활용한 탄소중립 대응 유형 구분

분야	주요 내용	세부분야
탄소 저감 (Mitigation) 솔루션	<ul style="list-style-type: none"> ● 가장 보편적인 활용방식으로, ICT/AI 기술을 활용하여, 에너지 소비효율 향상, 재생에너지 전환 촉진, 수요예측, 공정 최적화, 폐기물 선별 최적화 등 특정 도메인에서의 탄소 배출 저감 및 에너지효율 향상을 위한 솔루션 	<ul style="list-style-type: none"> ● 에너지(전력) ● 공장(제조) ● 수송(교통) ● 폐기물(재고관리 등)
기후변화 대응 (Adaptation)	<ul style="list-style-type: none"> ● 적극적인 탄소중립 활동이 진행되더라도, 지구의 기온 상승에 따른 자연환경 변화, 자연재해 증가 등은 앞으로 일정 부분 피할 수 없는 문제로, ICT/AI 기술은 기후변화에 인류가 더욱 잘 적응(adaptation)하도록 하는 데 활용 	<ul style="list-style-type: none"> ● 수자원 보호 ● 생물 다양성 보존 ● 자연재해 예측 ● 정밀 농업 등
탄소중립 인프라/거버넌스	<ul style="list-style-type: none"> ● ICT/AI 기술은 특정 도메인에 국한되지 않고, 탄소중립 관리/평가를 위한 디지털 인프라로서, 저탄소사회 이행 주체(기업, 정부, 시민)의 인식과 참여를 독려하는 플랫폼으로서 역할을 수행 	<ul style="list-style-type: none"> ● 탄소정보 인프라 ● 시민 행동변화 등

※ 출처: 저자 작성

2.1. 탄소 저감(Mitigation) 솔루션 유형

◆ 에너지(전력) 효율화 분야 사례

- 에너지(전력) 생산·이용 과정에서의 ICT/AI 기술을 활용하여, 에너지 소비 효율을 높이거나, 재생에너지 전환을 촉진하는 유형으로 구분 가능
- 재생에너지 수요-공급 예측력 제고, 재생에너지 수급 대응력 강화, 빅데이터를 이용한 전력 소비의 효율적 관리, ICT 기반 분산 에너지 거래 플랫폼 구축 등이 주요 내용임

■ 테슬라(미국), 맞춤형 전력 생산을 위한 가상 전력 발전소 사업 강화²³⁾

- 테슬라는 AI 등을 활용해 분산 전력 소비 정보를 수집하고 분석한 뒤 필요한 전력만 생산하는 맞춤형 발전사업인 가상전력발전소(VPP, Virtual Power Plant)를 전 세계로 확장 중
 - VPP의 가정용 에너지저장장치(ESS)인 '파워월(PowerWall)'은 전기차 배터리 등 흩어져 있는 전력을 네트워크로 통합한 뒤 하나의 발전소처럼 관리하는 역할을 수행
 - 또한, 잉여전기를 송전망에 되팔기 위한 오토비더(Autobidder)*를 통해 지역 에너지 운영사의 전력 소매 판매 기능을 제공
 - * 오토비더는 머신러닝 기반의 에너지 거래 플랫폼으로, ESS에 저장한 전력의 최적 관리와 실시간으로 개인 간 전력 거래를 지원
- 특히 신재생에너지 발전은 계절이나 날씨, 시간에 따라 발전량의 등락이 큰 데, 머신러닝을 이용한 정교한 수급 예측은 수익화에 도움
- 테슬라는 미국, 호주, 유럽 등으로 VPP 사업을 확대하며, 에너지 기업으로 사업 영역을 확대 중
 - 태양광 사업이 포함된 신재생에너지 사업부 비중은 ('20년 기준) 전체 매출의 6% 수준이나, 매출 증가율은 전년 대비 30%를 기록하며 테슬라 성장의 주요한 요인으로 부상 중²⁴⁾
 - 호주에서는 8억 달러를 투자해 세계 최대 규모의 VPP를 세울 계획으로, 남호주 5만여 개 주택에 250MW급 태양광 발전기를 설치하고 전력 생산과 판매 예정
 - 자회사 갬빗에너지 스토리지(Gambit energy storage)를 통해, 100MW급 ESS 시설을 구축하며 텍사스주 전력시장에 진출하였고, 애플이 구축하는 캘리포니아 240MW급 발전소에 ESS를 공급하기로 함²⁵⁾

23) The Guru(2021.08.25.), 테슬라, 독일 가상발전소 설립 추진...英 옥토퍼스 에너지와 협력

24) The Guru(2021.04.01.), 테슬라 에너지사업 질주...애플에 메가팩 공급

▣ 딥마인드(미국), AI/ML 기반 풍력발전 출력예측 시스템²⁶⁾

- 구글 자회사 딥마인드는 미국 중부 700MW 규모 풍력 발전소에 머신러닝 알고리즘을 적용, 실제 발생보다 36시간 앞서 풍력 출력을 예측하는 시스템 개발
 - 풍력은 가변적 특성 때문에 예측 불가능한 에너지원(재생에너지 간헐성)으로, 정해진 시간에 안정적으로 전력을 공급할 수 있는 에너지보다 유용성이 떨어지는 단점이 존재
 - 해당 시스템은 AI/ML 기반 에너지 공급 스케줄링 최적화를 통해 기존 대비 풍력 에너지의 가치를 약 20% 상승시킴
 - 이는 바람의 가변성을 없앨 수는 없지만, 기계 학습을 사용하여 풍력(재생에너지)을 충분히 예측한 에너지원의 범주로 만들 수 있음을 시사

▣ 써킷미터(캐나다), 빅데이터 기반 실시간 에너지 소비 분석 솔루션²⁷⁾

- 써킷미터사는 빅데이터 기반 복합시설 인프라의 에너지 소비 및 최적화 방안을 실시간으로 제시할 수 있는 솔루션인 써킷모니터링을 개발
 - 대상지의 개별기기 전기 사용량 데이터를 계측하여 클라우드 기반 소프트웨어 플랫폼으로 전송하여 다양한 분석을 실행
 - 이를 통해 개별 장비 단위 및 전력 설비 전반에 걸친 전력 활용 트렌드, 불필요하게 동작하거나 전력을 소모하는 장비를 식별 가능
 - 표준 성능 이하의 장비나 전력 과소비 장비 식별, 상세 전력 수요 분석과 선제적인 에너지 관리 프로그램을 통해 비용 절감 효과 달성

▣ KT(한국), AI 기반 통합 에너지관리 플랫폼으로 수요 관리 최적화²⁸⁾

- KT는 AI 기반 빅데이터 분석 엔진 ‘e-Brain’이 탑재된 에너지관리 플랫폼인 KT-MEG(Micro Energy Grid) 플랫폼을 개방
 - KT-MEG는 11,000여 개의 고객 사이트가 연계된 관제 현황 및 ‘e-Brain’이 분석하는 ‘진단-예측-최적제어’의 3단 메커니즘을 대형 모니터를 확인할 수 있는 서비스
 - 재생에너지와 에너지저장장치(ESS), 에너지관리시스템(EMS)을 연계해 에너지 사용량 모니터링과 분석, 최적의 설비운영 방안을 제시하는 에너지 통합관리를 목표로함
 - 국내외 20개 회원사를 둔 ‘KT 에너지 얼라이언스²⁹⁾’ 회원사에 ‘KT-MEG’를 개방

25) Ibid.

26) <https://www.deepmind.com/blog/article/machine-learning-can-boost-value-wind-energy>

27) <https://www.circuitmeter.com/technology/energy-data-analytics/>

28) 인공지능신문(2018.02), KT, 빅데이터 통합 에너지관리 플랫폼 ‘KT-MEG’ 모든 회원사에 오픈

29) 에너지사업 전 분야(생산-소비-거래) 생태계 조성을 위한 사업자 연합. 에너지 소비 효율화 분야 20개 회사(장비 제조 분야 16개 기업, 솔루션 분야 3개 기업, 진단 분야 1개 기업)를 중심으로 결성된 조직

■ 미국정부, IoT 기반 에너지 인프라 통합 거래망 구축³⁰⁾

- 미국 에너지부(DoE)는 IoT 기반 에너지 인프라 구축을 목표하는 670만 달러 규모의 ‘IoT 통합 연구(IoT Integration Research)’ 프로그램을 추진 중
 - ICT를 활용하여 전송망이나 배전망 등 연결 네트워크에 상관없이 주요 시설에 대한 상시 에너지 공급 및 유지를 포함한 운영 성능을 확장할 수 있는 네트워크 간의 조정 기능 강화를 목표로하는 연구로,
 - 투명하고 안전한 거래망을 다양한 수용가를 대상으로 형성함으로써, 수용가 측의 에너지 생산과 소비를 동시에 지원할 수 있는 포괄적 방안을 제공할 것으로 기대

■ 영국정부, 재생에너지 사업자 대상 탄력적 온라인 전력 교환 플랫폼 사업³¹⁾

- 2019년 12월 영국 산업·에너지·산업전략부(는 전국 규모의 탄력적 온라인 전력 교환 플랫폼 개발의 하나로 시범사업인 ‘Project TraDER’를 추진
 - 재생에너지 발전사업자들이 영국 전역의 배터리, 전기차 등 유연성 자산(flexible assets)*들과 전력 직거래가 가능한 탄력적 교환 플랫폼을 개발하기 위한 컨소시엄 프로그램
 - * 피크 부하에 공급을 집중하거나 소비를 피하는 등 전력의 공급과 소비를 탄력적으로 수행할 수 있는 전력 소비 자산을 의미
 - 재생에너지원은 전력 그리드 망에 전력을 제공하는 유연성 자산에 대한 결제 수단을 제공*하여 저비용으로 온라인 기반 저탄소 발전의 토대를 마련
 - * 예) 바람이 많은 부는 날씨에 풍력 터빈 소유자는 그리드 내 축전 공간 확보를 위한 디젤 발전기 이용료를 지불

■ 한국에너지공단, 빅데이터 기반 지능형 에너지 관리 시스템³²⁾

- 한국에너지공단은 실시간(15분 간격) 시계열 전력 데이터를 수집, 분석, 활용해 유사 업종 및 규모별로 비교 분석할 수 있는 서비스를 구축
 - ※ 빅데이터 기반 지능형 에너지 관리 시스템의 목적으로 과학기술정보통신부의 2020년도 ICT 기반 공공 서비스 촉진 사업 과제 중 하나
 - 본 서비스는 전력 데이터에 적합한 예측과 분류, 식별, 통계 기술을 적용한 체계 마련을 통해 에너지 다소비 사업자의 에너지 절감과 국가 에너지 정책 수립을 위한 AI(예측) 맞춤형

30) T&D World(2020.03.05.), DOE Announces US\$6.7 Million for IoT Integration Research

31) Current News(2020.05.04.), Project TraDER hits milestone that could have ‘profound impact’ on energy network

32) 지디넷코리아(2020.07.07), 엑셈, 한국에너지공단 '빅데이터 기반 지능형 에너지관리시스템' 계약

서비스를 제공을 목표

- ※ 기상, 지리 등 외부 데이터와 결합한 매쉬업 데이터를 활용해 분석을 고도화하고, 시간과 분포, 관계, 비교 등 에너지 빅데이터 전용 기술을 도입해 시각화 서비스를 구현

◆ 에너지(전력) 탄소 저감 분야 사례

- 에너지(전력) 생산·이용 과정에서 배출되는 탄소를 줄이기 위해 ICT/AI 기술을 활용하여 탄소 배출의 실시간 모니터링, 탄소 배출 저감을 위한 공정 최적화 등의 유형이 파악됨

▶ 동경전력(일본), 머신러닝으로 화력발전 질소산화물 배출량 감축³³⁾

- '18년 5월 동경전력 화력발전은 히로노(広野) 석탄 화력발전소를 대상으로 머신러닝을 활용한 연소 조정 지능화 작업을 추진 중
 - 머신러닝을 활용한 해당 모델은 전통적 방식을 사용한 현장 작업자의 운영 결과와 비교 시, 질소산화물(NOx) 배출량 10% 감축을 달성했고, 실 테스트에서도 9% 감소 효과를 입증

▶ 미국정부, 드론 탑재형 머신러닝 기반 메탄 배출 감지 시스템³⁴⁾

- 에너지부(DoE) 화석에너지국(OFE)은 드론의 수동 광센서³⁵⁾ 모듈에 머신러닝 기법을 적용하여 실시간 메탄* 유출 조기 감지 시스템을 연구 중
 - * 메탄가스(CH₄)는 이산화탄소 대비 열 차단 효과가 훨씬 강력한 온실가스로, '18년 미국 전체 온실가스 배출량의 9.5%를 차지
 - 연구는 수동 광센서와 임베디드 프로세싱 유닛을 통합한 메탄 탐지 시스템을 개발하여, 이를 화력발전소에 적용함으로써 작업장 안전과 온실가스 저감 효과를 동시에 도모한다는 목표

33) 일본 자원에너지청(資源エネルギー庁)(2018.05.18.), 電力分野におけるデジタル化について

34) Office of Fossil Energy(2020.04.09.), Using Artificial Intelligence in Fossil Energy R&D.

35) passive optical sensor. 빛 에너지(광자)를 전기 신호(전자) 출력으로 변환하기 위한 장치

◆ 공장(제조) 분야 사례

- 제조 과정에서의 ICT/AI 기술을 이용한 탄소 저감 솔루션은 크게 (1) 공정 및 제품 설계 최적화, (2) 에너지관리 효율화 등의 유형으로 구분 가능
- 공정·설계 최적화를 통해 소비 원자재의 절감 및 생산성 향상과 에너지관리 효율화를 통한 공장 및 산업단지 소비 에너지 감축 등이 주요 효과이며, 활용 기술로는 머신러닝, 빅데이터, IoT, 디지털 트윈, 로봇틱스 등이 있음

▶ 제너럴모터스(미국), 머신러닝과 3D 프린터를 이용한 자동차 부품설계 최적화³⁶⁾

- 제너럴모터스는 머신러닝과 3D 프린터를 활용해 기존 8개 부품을 1개 부품으로 대체하고, 기존보다 40% 가볍지만 20% 더 강한 안전벨트 브래킷을 설계함
- 이를 통해 기능의 손실 없이, 원자재 사용과 공정 최적화를 달성하여 소비 원자재 절감 및 생산성을 제고

그림 3-1 머신러닝 및 3D 프린터 기반 안전벨트 브래킷 디자인을 최적화한 GM 사례



※ 출처: Fast company(2018)

▶ 세계경제포럼 선정 등대공장의 에너지 소비 최적화

- (슈나이더 일렉트릭社)³⁷⁾ 미국 렉싱턴에 있는 스마트팩토리로, 공장 내에서 IIoT(Industrial IoT), 인공지능 및 빅데이터 기술을 활용한 전력 소비 예측을 통해 에너지 비용을 최적화
 - 이를 통해 공장은 기존 에너지 사용량의 26%를 절감하고, 이산화탄소 배출은 기존보다 30% 감축하였으며, 물 사용량은 기존보다 20% 절약하였음

36) Fast company(2018.05.04.), GM And Autodesk Develop 3D-Printed Car Parts

37) 뉴스와이어(2021.10.28.), 세계경제포럼, 슈나이더 일렉트릭 공장 2곳 등대 공장과 지속가능성 공장으로 선정

- 이 공장은 '20년 세계경제포럼 선정 '등대공장'*으로 선정되었는데, 추가하여 '21년에는 '지속가능성 등대공장'으로 세계 최초로 선정됨

* 등대공장(lighthouse factory): 제조 분야에서 4차 산업 혁명 기술을 실현해 혁신과 자원 효율성에서 앞서가는 첨단 제조 공장을 일컫는 말로 2018년부터 세계경제포럼(WEF)에서 매년 2차례씩 발표

- (지멘스社) 암베르크 공장은 클라우드 컴퓨팅 기반의 IIoT 플랫폼, 디지털 트윈 등을 활용하여 에너지 소비 절감과 생산성 크게 제고
 - 로봇틱스 기반 물류(노동생산성 50% 증가), 센서 데이터 기반 유지보수 (설비 효율성 13% 증가), AI 기반 프로세스 제어(진행 작업 20% 증가) 등의 효과 달성

▶ 한국전력(한국), 광주 첨단 산업단지의 종합 에너지관리시스템³⁸⁾

- 한국전력은 그린 뉴딜사업의 하나로, 광주 첨단 산단에 종합에너지 관리 시스템을 구축함
 - 시스템은 산단 내 전기, 열원, 가스 등 이종 에너지를 통합 관리하며, 제조 데이터 수집·분석이 가능한 플랫폼으로, 산단의 에너지효율과 생산성 향상으로 기업 경쟁력을 강화
 - 입주 기업은 이 시스템을 통한 공조 처리 개선으로 에너지 소비 41% 감축할 수 있었고, 제조 데이터 기반 시뮬레이션 센터로 활용으로 공정 혁신을 꾀할 수 있게 됨

◆ 수송(교통) 분야 사례

- 수송 및 교통 분야에서 ICT/AI 기술 활용을 통한 탄소 저감 기여는 (1) 도시 차원에서의 지능형 교통관제를 통한 차량 흐름 최적화, (2) 수송체 차원에서의 친환경 운행을 위한 경로 및 연료 관리 최적화 등의 유형이 식별됨

▶ 구글(미국), AI로 교통 신호 최적화³⁹⁾

- 구글은 차량 연료 소비 절감과 도심지 교통체증을 완화하기 위한 AI를 개발 중
 - 교통 신호 디지털화 및 빅데이터 분석을 통한 도심지 교통혼잡도 개선 및 탄소 배출 최소화가 목표로, 전체 연료 소비와 지연시간이 10~20% 향상이 가능할 것으로 전망
- 이스라엘 교차로에서 시범적으로 기술 테스트하고 있으며, 브라질 리우데자네이루까지

38) 광주일보(2020.11.10.), 한전, 광주첨단산단에 종합 에너지관리시스템 구축

39) Reuters(2021.10.7.), Google wants to use AI to time traffic lights more efficiently

시범 프로그램 확대 예정

❑ 오픈에어라인(프랑스), AI 활용 항공연료 솔루션 개발로 탄소 배출 5% 저감⁴⁰⁾

- 오픈에어라인社가 개발한 항공연료 관리 솔루션(SkyBreathe)은 빅데이터와 AI를 활용하여 항공 원료 소비를 절약하고, 탄소 배출을 줄일 수 있는 에코비행(eco-flight)을 위한 운항 지침을 제공
 - 실제 비행 조건(기상 조건 등)의 환경 데이터와 운영 비행계획, 수십억 개의 과거 항공 비행 기록 데이터를 빅데이터와 AI를 통해 분석하여 항공연료를 가장 절약할 수 있는 일련의 권장 조치를 제공
- 현재 전 세계 50개 이상의 항공사가 시스템을 활용 중이며, '19년에는 1억 5천만 달러와 60만 톤 이상의 이산화탄소 배출(약 5%의 감소 효과)을 저감에 기여

❑ 피츠버그 시(미국), 지능형 교통관제 SURTRAC, 차량 탄소 배출 21% 감소⁴¹⁾

- 미국 피츠버그시는 '11년부터 지능형 교통관제 시스템인 SURTRAC을 운용 중
 - SURTRAC은 카네기멜런대에서 개발한 시스템으로 다양한 교통 센서들을 통해 파악된 빅데이터를 인공지능을 통해 분석하여 차량흐름을 최적화하는 시스템
- 시스템 도입을 통해 이동 시간 25%, 신호 대기 시간 40%, 탄소 배출량 21% 감축 효과를 확인

◆ 폐기물(재고) 관리 분야 사례

- 폐기물(재고)관리 분야에서 ICT/AI 기술을 활용한 탄소 저감 기여는 재고 관리 최적화, 폐기물 분류 자동화 등을 통해, 재활용률 향상과 폐기물 감소를 통한 자원 소비 절약과 환경부하 감소 등을 들 수 있음

❑ 와스텔리스(이스라엘), AI 기반 신선식품 재고 관리 및 동적 가격 책정 솔루션⁴²⁾

- 이스라엘 스타트업인 와스텔리스(wastless)는 AI와 빅데이터 분석을 활용하여 매장 선반에서 부패하기 쉬운 신선 식품의 가격을 동적으로 책정하는 솔루션을 개발
 - 이 시스템은 기존 슈퍼마켓 매장 IT 시스템과 쉽게 통합되는 것이 장점으로, 12주간의

40) <https://www.openairlines.com>

41) AI 타임스(2021.10.10.), 교통혼잡 제어하는 스마트 신호등...AI로 더 똑똑해진다.

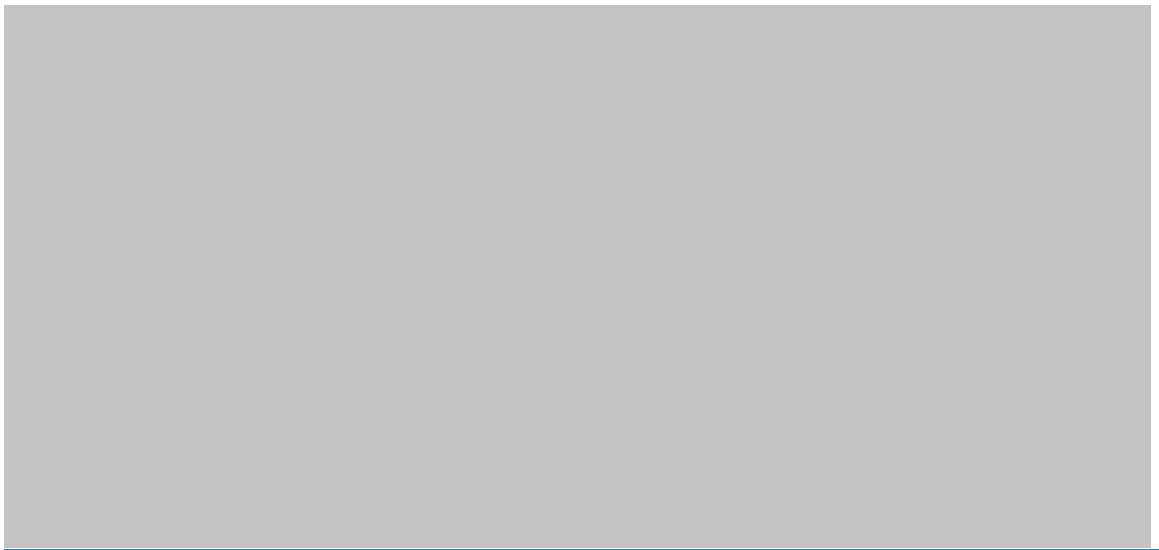
42) <https://www.weforum.org/agenda/2021/06/wasteless-ai-retail-food-waste/>

시범운영에서 음식쓰레기 39% 감소가 확인되었고, 향후 알고리즘 향상으로 80% 수준의 음식쓰레기 감소가 예상된다

■ 젠로보틱스(핀란드), AI 기반 폐기물 분리수거 로봇⁴³⁾

- 핀란드 로봇업체 젠로보틱스(Zen Robotics)는 세계 최초로 AI와 로봇을 이용하여 폐기물 흐름을 실시간으로 평가, 신속 분류하는 솔루션을 개발
 - 회사는 2011년부터 컴퓨터 비전과 인공지능 기술을 적용해 컨베이어로부터 재활용품을 자동으로 분류하는 로봇을 개발
- 이 업체가 개발한 ‘ZRR(Zen Robotics Recycler)’ 솔루션은 고형폐기물에서 선택된 부분을 선별해 폐기물을 분류 가능
 - 컨베이어 벨트 상에서 건축 자재를 분리하고, 이 가운데 재활용이 가능한 재료를 집어서, 이를 수집 용기에 저장하는 반복적이고 위험한 분류작업을 높은 효율로 담당
 - 해당 솔루션은 금속 센서, 3D 레이저 카메라, 분광 센서 카메라를 이용해 시간당 최대 8,000여 개의 폐기 물품을 분류가 가능
 - AI 학습을 통해, 새로운 종류의 물질을 학습하여 선별 품질을 개선하거나 기존 분류 품목을 세분화할 수 있는 것이 장점

그림 3-2 젠로보틱스의 ZRR 솔루션



※ 출처: Zen Robotics 홈페이지⁴⁴⁾

43) Recyclingproductnews(2020.9.14.), ZenRobotics’ AI based robotic waste sorting technologies help Remeo to build next generation MRF

44) <https://zenrobotics.com/>

■ 이큐브랩(한국), 쓰레기 수거·관리 친환경 솔루션⁴⁵⁾

- 국내 스타트업 이큐브랩은 머신러닝, 태양광 패널, IoT 등 다양한 ICT를 활용하여 재활용률을 높이고, 환경부담을 줄이는 친환경 스마트 쓰레기통을 개발하여 전 세계 60개국 300여 개 도시에 수출 중
 - 시스템은 태양광 전지를 활용하여 폐기물을 압축하고, 쓰레기 적재량 실시간 모니터링 및 쓰레기(분리수거) 적재 패턴 분석을 통해 수거업체에 최적화된 수거 경로를 제시
- 해당 솔루션은 쓰레기 범람 또는 불필요한 수거 횟수를 감소시킴으로써, 폐기물(분리수거) 처리의 경제성과 효율성을 높이며, 궁극적으로 탄소 저감에 기여
 - 회사는 쓰레기 배출자와 수거업체를 연계해주는 중개 플랫폼인 하울라(Haula)를 미국 시장에서 출시하여 1,000여 개의 고객사를 확보
 - ※ 해외는 우리나라보다 인건비가 높고, 땅덩어리는 크고, 인구밀도가 낮아서 (재활용) 쓰레기 수거의 횟수를 줄이려는 수요가 많음. 미국 폐기물 시장은 100조 원 규모로, 이에 대한 실적을 인정받아 누적 투자금 270억 원 유치

2.2. 기후변화 적응(Adaptation) 유형

- 지구 기온 상승에 따른 자연환경 변화, 자연재해 증가 등은 앞으로 일정 부분 피할 수 없는 문제로, ICT/AI 기술을 기후변화에 인류가 더욱 잘 적응(adaptation)하도록 하는 데 활용하는 보다 적극적인 형태의 대응유형
- 생물 다양성 보존, 홍수·가뭄 등 이상 기후 대응력 제고, 스마트농업 등 기후환경 변화 대응과 환경자원 관리 최적화 등이 주요 내용임

■ 마이크로소프트(미국), '지구환경 AI 프로젝트(AI for Earth)' 추진⁴⁶⁾

- 프로젝트는 AI와 클라우드 기술을 이용해 지구환경 문제를 해결하고 지속할 수 있는 미래를 만들기 위한 목적으로, 세계 각지에서 AI 기술로 인류가 누리는 혜택을 자연으로 확대하는 다양한 활동을 지원
 - 마이크로소프트는 자사가 보유한 AI 기술 자산과 5년간 5,000만 달러의 자금을 투입하여 다음의 3가지 분야를 중심으로 지속가능한 지구환경을 위한 미래 연구를 지원:

45) 조선비즈(2021.11.05.), “모두가 관심 없는 쓰레기에서 길을 찾았다…폐기물 시장 바꾼다”

46) Microsoft Blog(2017.7.12.), Announcing AI for Earth: Microsoft's new program to put AI to work for the future of our planet.

△클라우드와 AI 컴퓨팅 자원 접근성 △교육·연수 △혁신 기술 분야 협업 등

- (사례) 동 프로젝트에 참여 중인 미국 코넬대학교(Cornell University) 조류학 연구소는 머신러닝 기반 코끼리 울음소리 분석을 통해 코끼리 개체 수를 측정하고, 서식지를 추적 및 보호
 - 시끄러운 열대 우림에서 다양한 동물 소리, 벌목 현장의 엔진 소리, 사람 목소리에 이르기 까지 다양한 소리를 수집한 후, 이를 마이크로소프트 애저 클라우드의 정교한 알고리즘 처리를 통해 코끼리 소리만 신속히 식별
 - ※ 기존 소리 데이터를 처리하는 데 약 3주의 시간이 소요됐지만, 애저(Azure) 플랫폼을 활용하여 같은 양의 작업을 하루 만에 수행할 수 있음

▶ 아이오크롭스(한국), AI·IoT 기반 온실재배 솔루션 개발⁴⁷⁾

- 국내 스타트업인 아이오크롭스(ioCrops)는 IoT 센서와 데이터 모니터링 시스템을 활용하여 농작업 의사결정을 지원하는 스마트 톨인 아이오팜(ioFarm)을 개발
 - ※ 누적 투자금액은 총 21억 원으로 전국의 중대형 유리온실·비닐온실 약 140여 개의 고객을 확보(21년 6월)
 - IoT, AI 기반의 실시간 온실 데이터 수집·분석으로 작물 생산성, 출하량 및 출하 시기 예측 개선과 재배 비용 절감을 동시에 달성 가능

▶ Aquasuite Flow(네덜란드), AI 기반 오·폐수 관리 및 하천 품질 최적화⁴⁸⁾

- 기후변화에 따른 집중호우, 하천 범람 등에 따른 오·폐수 범람 가능성 저감과 통제 역량을 개선하기 위한 디지털트윈 기반의 모니터링 및 제어관리 솔루션
 - 집중호우 등으로 최대 처리량을 넘어가는 폐수가 유입되면, 범람하거나 정화 처리가 제대로 진행되지 못하고 방류되어 하천 관리에 문제가 발생
 - 하천 내 센서 네트워크와 AI, 디지털트윈 기술 등을 활용하여, 비정상적인 수위 변화와 건기 시기를 정확하게 예측하고, 하천 품질 저하 등의 상황에 조기 경보 기능을 제공

▶ 빅토리아씨(호주), 스마트 배수관 솔루션⁴⁹⁾

- 호주의 EyEfi가 개발한 스마트 배수구 관리(smart drain) 솔루션은 네트워크 초음파 스마트센서, 클라우드 기술을 사용하여 15분마다 배수구 모니터링을 통해

47) <https://www.iocrops.com/>

48) <https://aquasuite.ai/en/products/flow/>

49) <https://www.eyefigroup.com/smart-drain-1>

배수구 막힘과 수위 상승에 대한 알람을 제공

- 솔루션은 폭우와 홍수 범람 등 잇따른 자연재해가 자주 발생하는 호주의 빅토리아주의 야라(Yarra) 산맥 일대에 처음 설치
- 기존 수동 검사 비용을 절감하여 인적 자원을 더 잘 활용할 수 있게 하며, 홍수 및 침수에 대한 조기 정보제공으로 재난위험을 완화

■ 한국정부, 재해 대응 디지털 트윈 기반 하천 관리 플랫폼⁵⁰⁾

- 대한민국 환경부는 댐-하천을 연계한 홍수 및 용수공급 분석, 홍수·가뭄 등 물 재해 대응 체계 구축을 위한 디지털트윈 기반 물관리 플랫폼을 구축
 - (댐-하천 공간정보 가상화) 물관리 정보(강수량, 하천수위·유량, 취수량)와 하천 공간정보의 실시간 동기화 시스템을 구축
 - (홍수) 다양한 홍수 시나리오 시뮬레이션을 통해 댐의 상·하류 피해를 최소화할 수 있는 최적 댐 운영 방법 도출 및 영향 예측 기술개발
 - (가뭄) 다양한 가뭄 및 용수공급 시나리오의 시뮬레이션을 통해, 가뭄 취약지역에 대한 안정적인 수자원 확보 방안 및 하천 용수, 농업용수 등의 감량 규모와 시점 결정 지원

2.3. 탄소중립 인프라 및 거버넌스 유형

◆ 탄소중립 인프라 사례

- 탄소중립 관리/평가를 위한 디지털 인프라로서 ICT가 활용되는 사례로, 크게 (1) 탄소 실측과 (2) 탄소 시뮬레이션으로 2가지로 유형 구분 가능
- 탄소 실측은 지구 관측 인공위성 영상과 AI를 사용하여 복잡한 기후 및 환경 데이터 분석을 통해 탄소 배출 실제 측정과 지구환경 변화를 조기에 감지
- 탄소 시뮬레이션은 에너지 소비 주체들 간의 생산·소비활동의 방대한 데이터에 기반한 동적 관계 시뮬레이션을 통해 탄소 저감을 위한 의사결정에 활용

■ GHGsat(캐나다), 위성/항공기 기반 온실가스 배출 측정 솔루션⁵¹⁾

- 캐나다의 스타트업 GHGSat은 위성이나 항공기 기술을 사용하여 산업 현장의 온실가스(GHG)를 원격 감지(측정)하는 솔루션을 제시

50) The CCE(2021.09.12.), [물관리] ('22년 환경부 사업) 댐-하천 디지털트윈 물관리 플랫폼

51) <https://www.ghgsat.com/>

- 해당 솔루션은 현재 탄소 배출량을 에너지 사용량을 통한 계산(계측) 방식이 아닌 위성에 장착된 초분광센서로 탄소와 메탄과 같은 온실가스를 직접 측정하여 정확성을 높이는 방식으로 차별화

※ 회사는 전 세계 탄소 배출량을 추적하는 것을 목표로 2023년까지 추가로 총 10개 위성을 확보한다는 계획

▣ 파차마(미국), 위성 이미지 기반 산림의 탄소 흡수량 정량화 모델 개발⁵²⁾

- 미국 스타트업 파차마(Pachama)는 산림의 탄소 흡수를 확인하고 감시하기 위한 머신러닝 및 원격 감지 플랫폼을 개발
 - 이 플랫폼은 머신러닝, 위성영상, 드론, 라이다(LIDAR) 기술을 결합해 산림 상태와 복귀 정도를 측정하여, 해당 산림이 흡수할 수 있는 탄소량을 계측하여 제공
 - 이를 통해 고객은 소유 산림의 탄소 흡수량이 상쇄할 수 있는 탄소 배출량을 확인 가능

▣ 호주정부, 에너지 관련 데이터 축적사업으로 전력 수급 대응력 강화⁵³⁾

- 호주 정부는 탄력적 에너지 수급을 위한 양질의 에너지 데이터 확보를 위해 국가 에너지 분석연구(NEAR, National Energy Analytics Research) 프로그램을 추진 중
 - 2,000만 호주 달러를 투자한 본 프로그램은 'Energise'라는 앱을 통해 기 확보한 약 4,300 명의 등록 사용자들의 에너지 사용 데이터를 수집함
- 에너지 소비와 건물 특징, 인구통계 및 소비자 행동, 경제 구조 변화 등 에너지 수요를 견인하는 다양한 요인의 데이터 수집과 이들 간의 영향력을 분석하여 궁극적으로 정밀한 전력 수급의 대응력을 확보하는 것이 목표

▣ 영국왕립학회, 탄소 배출량 제로 달성을 위해 디지털트윈 컨셉⁵⁴⁾

- 영국왕립학회는 기후변화 대응을 위한 디지털 기술 활용 방안 검토 보고서에서 탄소 배출량 감소를 위한 통제 루프(control loop) 구축의 필수 요소로서 디지털 트윈 컨셉을 제시
 - 모든 자산이 디지털 인프라에 연계된 미래에는 다양한 산업 분야에 걸쳐 온실가스 배출 모니터링, 감소 및 최적화가 가능한 통제 루프 구축이 가능

52) <https://pachama.com/>

53) <https://www.energy.gov.au/government-priorities/energy-data/national-energy-analytics-research>

54) The Royal Society(2020.12), Digital technology and the planet: Harnessing computing to achieve net zero.

- 디지털트윈은 자산의 구축 이전이나 사용 중의 정밀한 시뮬레이션 구현과 실시간 데이터 피드백을 지원할 수 있어 새로운 정책 가능성을 탐색을 용이하게 함
- 디지털 통제 루프 하에서는 센서에서 수집된 데이터와 사회 기반 시스템 간 데이터 연계가 이뤄지며, 이를 통해 탄소 배출량 감소, 생물학적 다양성, 복원력, 복지 등의 다양한 목표들을 고려한 시스템의 결정과 최적화를 위한 피드백을 생성

◆ 사용자 행동 변화

- 저탄소사회로의 이행을 위해 ICT/AI가 시민의 인식 개선과 참여를 유도하는 매개가 되는 사례들로, 친환경 주행 루트, 개인 및 가정 수준에서의 에너지 사용패턴과 알림, 재활용 수거 플랫폼 등의 내용이 포함

▶ 구글맵(미국), 빅데이터 기반 친환경 주행 루트 옵션 제공⁵⁵⁾

- 구글은 자사 네비게이션 기능 중에서 가장 빠른 길 검색뿐 아니라, 가장 환경에 무해한 '친환경 주행 루트(greenest route)'를 '22년부터 기본 제공한다고 발표
- 구글맵은 국립 신재생에너지연구소(NREL)가 제공하는 자료를 바탕으로 도로 상태, 연료 소비량, 경사로, 교통체증 등 다양한 요소를 데이터화하여 탄소배출을 최소화할 수 있는 길을 사용자들에게 제공

▶ 비드즐리(미국), 빅데이터/AI 기반 사용자 에너지 사용 패턴 분석 솔루션⁵⁶⁾

- 미국의 에너지관리 솔루션 업체인 비드즐리(Bidgely)는 기계 학습 알고리즘과 500억 개 이상의 계량기 판독 데이터베이스를 바탕으로 가정과 기업에서 가장 많은 에너지를 소비하는 장치와 사용패턴을 파악하고, 에너지 낭비를 줄이기 위한 소비자 의사결정 지원
- 솔루션은 AMI 빅데이터 분석을 통한 가전제품별 전력 소비량 및 전기요금 정보제공과 소비자의 라이프 스타일과 사용패턴 등에 맞춘 맞춤형 솔루션을 제공

▶ 스테프스트(영국), 의류 재-상거래(re-commerce) 플랫폼⁵⁷⁾

- 영국의 스타트업, 스테프스트(stuffstr)는 모바일 앱을 통해 소비자가 브랜드의 의류를 다시 매장에 판매할 수 있는 재-상거래(re-commerce) 플랫폼을 개발

55) <https://today.in-24.com/technology/418280.html>

56) <https://www.bidgely.com/>

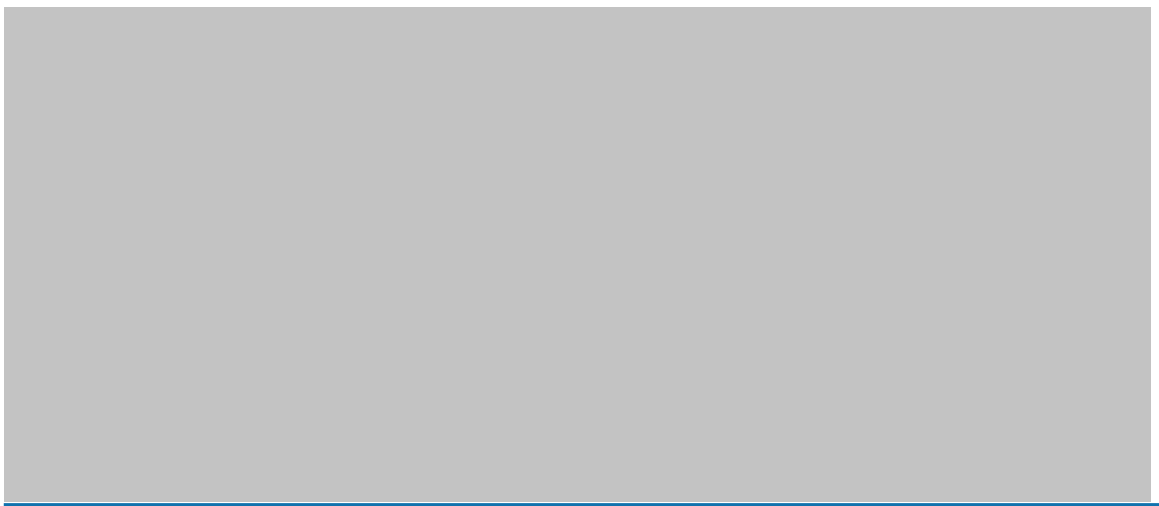
57) Forbes(2019.12.16.), The App Buying Back Your Unwanted Clothes To Fuel The Circular Economy

- 소비자가 AI로 책정된 가격을 수락하면 무료 우편을 통해 상품을 반품을 반납할 수 있고, 소비자는 해당 브랜드의 신제품을 구매할 수 있는 쿠폰을 수령 하는 방식으로, 스포츠 브랜드 아디다스가 이 시스템을 처음으로 도입
- 본 플랫폼은 중고 의류를 수집, 재활용, 개조 및 재판매 기능을 제공하는데, 의류 브랜드는 의류 재활용 및 재구매율을 높이고, 소비자는 안 입고 버려지는 의류를 처분하는 기회를 얻음

■ MILA연구소(캐나다), 기후변화 경각심을 높이는 AI 기반 기상재난 이미지 생성 기술⁵⁸⁾

- 캐나다의 밀라(MILA) 연구소는 기후변화가 일으킬 미래 위협의 예상 이미지는 생성적 적대 신경망(GANs) 기술을 통해 생성하는 기술을 공개
 - ※ 논문 제목: Using Artificial Intelligence to Visualize the Impacts of Climate Change⁵⁹⁾
- 기후변화와 관련된 위험을 실제로 존재하지는 않지만, 매우 현실적으로 묘사한 환경 재앙의 이미지를 합성하여 보여줌으로써 많은 사람이 기후 위기에 대한 경각심을 갖고 행동하는데 동기를 행동하는데 동기부여 하는 것이 목적임
- 사용자들은 개발된 웹사이트에서 입력한 주소의 폭풍과 해수면 상승에 따른 피해 정도를 시각화한 가상 이미지를 볼 수 있음

그림 3-3 GANs 기반 기후재난을 가상 이미지 생성 기술



※ 출처: Luccioni, A., Schmidt, V., Vardanyan, V., & Bengio, Y. (2021)

58) AI 타임스(2021.11.16.), 기후변화의 가공할 미래 위협...생성적 적대 신경망(GANs)이 잘 보여준다
 59) Luccioni, A., Schmidt, V., Vardanyan, V., & Bengio, Y. (2021). Using Artificial Intelligence to Visualize the Impacts of Climate Change. IEEE Computer Graphics and Applications, 41(1), 8-14.

2.4. 소결 및 시사점

- 본 연구에서는 ICT/AI 기술을 활용한 기후변화와 탄소중립 대응을 위한 다양한 분야의 최신 사례를 수집·분석하였고, 이를 유형화하고자 함
 - 사례분석 결과, ICT/AI의 활용목적과 기여 분야에 따라 ① 탄소 저감 솔루션, ② 기후변화 적응, ③ 탄소중립 인프라/거버넌스로 유형 구분
 - 적용 기술: ① IT 인프라(IoT, 통신 기술), ② 데이터/컴퓨팅 기술(빅데이터, 클라우드), ③ 시스템/시뮬레이션 기술(드론, 로봇틱스, 디지털 트윈), ④ 분석기술(인공지능) 등
- (탄소 저감 솔루션) 가장 보편적인 활용방식으로, ICT/AI 기술을 활용하여, 에너지 소비효율 향상, 재생 에너지 전환 촉진, 수요예측, 공정 최적화, 폐기물 선별 최적화 등 특정 도메인에서의 탄소배출 저감 및 에너지효율 향상을 위한 솔루션
 - 연구는 에너지(전력), 산업(제조), 수송(교통), 폐기물(재고)처리 분야로 대상 구분

표 3-4 탄소 저감 솔루션 사례 및 기여 내용

대상분야	조사 사례	기여 내용
에너지(전력) 효율성	<ul style="list-style-type: none"> • 테슬라, 맞춤형 전력 생산을 위한 가상 전력 발전소 • 딥마인드, AI/ML 기반 풍력발전 출력예측 시스템 • 씨킷미터, 빅데이터 기반 에너지 소비 분석 솔루션 • KT, AI 기반 통합 에너지관리 플랫폼 • 미국, IoT 기반 에너지 인프라 통합 거래망 • 영국, 재생에너지 온라인 전력 교환 플랫폼 사업 • 한국, 빅데이터 기반 지능형 에너지 관리 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> • 재생에너지 출력예측 및 보급 촉진 • 전력 소비의 효율적 관리 • 에너지 수요-공급 예측 • 에너지 수급 대응력 강화 • 분산 에너지 거래 플랫폼
에너지(전력) 탄소배출	<ul style="list-style-type: none"> • 동경전력, ML로 화력발전 질소산화물 배출량 감축 • 미국, 드론 탑재형 ML기반 메탄 배출 감지 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> • 온실가스 저감 공정 최적화 • 온실가스 실시간 모니터링
공장(제조)	<ul style="list-style-type: none"> • GM, ML과 3D 프린터를 이용한 부품설계 최적화 • 세계경제포럼 선정 등대공장의 에너지 소비 최적화 • 한국전력, 광주 첨단 산단의 종합 에너지관리시스템 	<ul style="list-style-type: none"> • 제품 최적 설계 • 소비 자원 절감 • 에너지 소비 최적화
수송(교통)	<ul style="list-style-type: none"> • 구글, AI로 교통 신호 최적화 • 오픈에어라인, AI 활용 항공연료 솔루션 • 피츠버그, SURTRAC 지능형 교통관제 	<ul style="list-style-type: none"> • 운항 및 연료 소비 최적화 • 차량흐름 동적 제어
폐기물(재고) 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 와스텔리스, AI 기반 신선식품 재고 및 동적 가격 관리 • 젠로보틱스, AI 기반 폐기물 분리수거 로봇 • 이큐브랩, 쓰레기 수거·관리 친환경 솔루션 	<ul style="list-style-type: none"> • 폐기물 감소 • 폐기물 분류 자동화 • 재활용률 향상

※ 출처: 저자 작성

- (기후변화적응) 지구의 기온 상승에 따른 자연환경 변화, 자연재해 증가 등은 앞으로 일정 부분 피할 수 없는 문제로, ICT/AI 기술은 기후변화에 인류가 더욱 잘 적응(adaptation)하도록 하는 데 활용
 - ICT/AI 기술을 이용한 생물 다양성 보존, 자연재해 예측, 환경 모니터링, 저탄소 스마트 농업 등 기후환경 변화 대응한 환경 및 자원 관리 최적화에 기여

표 3-5 기후변화적응 사례 및 기여 내용

대상분야	조사 사례	기여 내용
기후변화 적응	<ul style="list-style-type: none"> • MS, '지구환경 AI 프로젝트(AI for Earth)' 추진 • 아이오크롭스, AI·IoT 기반 온실재배 솔루션 개발 • Aquasuite Flow, AI 기반 오·폐수 및 하천관리 • 빅토리아애호주, 스마트 배수관 솔루션 • 한국, 디지털 트윈 기반 하천 관리 플랫폼 	<ul style="list-style-type: none"> • 생물 다양성 보존 • 정밀 농업 • 수자원 보호 • 자연재해 예측

※ 출처: 저자 작성

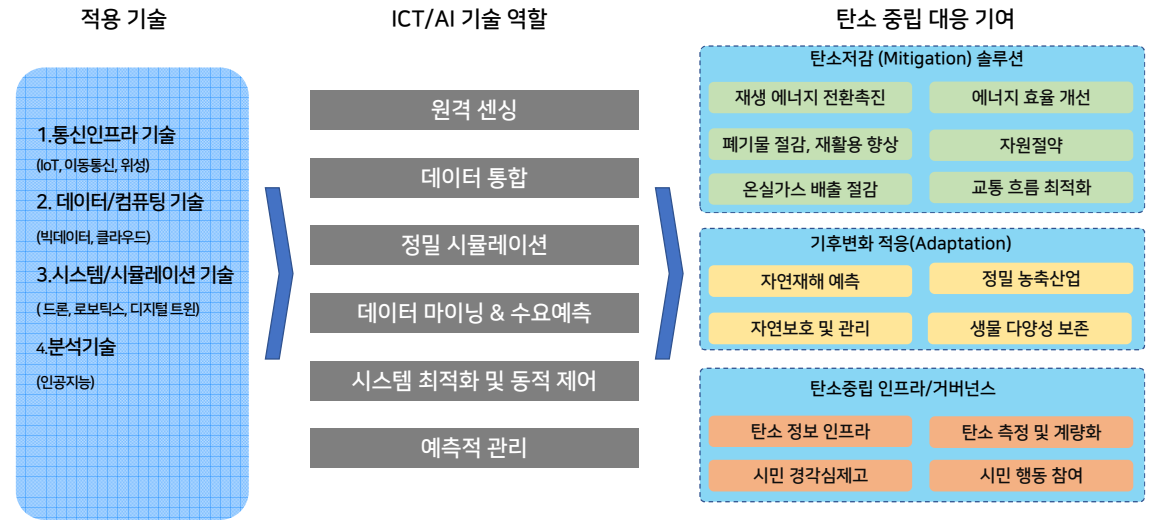
- (탄소중립 인프라/거버넌스) 특정 도메인에 국한되지 않고, 탄소중립 관리/평가를 위한 디지털 인프라로서, 저탄소사회 이행 주체(기업, 정부, 시민)의 인식과 참여를 독려하는 플랫폼으로서 역할을 수행
 - 지구 관측 인공위성 영상과 AI를 사용하여 복잡한 기후 및 환경 데이터 분석을 통해 탄소 배출 실제 측정과 지구환경 변화를 조기에 감지하고 대처
 - 시민의 탄소중립 활동 참여 제고를 촉진하는 사회 시스템으로써의 역할 수행

표 3-6 탄소중립 인프라/거버넌스 사례 및 기여 내용

대상분야	조사 사례	기여 내용
탄소 정보 인프라	<ul style="list-style-type: none"> • 위성/항공기 기반 온실가스 배출 측정 솔루션 • 위성 이미지 기반 산림의 탄소 흡수량 정량화 모델 • 에너지 데이터 축적사업 • 탄소 배출량 제로 달성을 위해 디지털 트윈 	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소배출 측정, 모니터링 • 탄소배출 계량화 • 전력 소비 정보모델 • 탄소배출 시뮬레이션
시민 행동 변화	<ul style="list-style-type: none"> • 구글맵, 빅데이터 기반 친환경 주행 루트 • 빅데이터/AI 기반 사용자 에너지 사용 패턴 분석 • 의류 재활용 및 재-상거래(re-commerce) 플랫폼 • 기상재난(홍수)의 예상 이미지 자동 생성 솔루션 	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소 저감 활동 참여 유도 • 시민 경각심 제고

※ 출처: 저자 작성

그림 3-4 탄소중립을 위한 ICT/AI의 역할 분야와 기여



※ 출처:저자 작성

IV (ICT 자체) ICT산업은 탄소중립에 어떻게 대응하고 있나?

1 ICT 산업 발전과 탄소중립 이슈

- 디지털 전환 진전과 ICT 기술 확산에 따라 ICT의 전력 소비는 빠르게 증가할 것으로 전망되며, 탄소중립 규제가 세계적으로 신설 및 강화되는 추세에 따라, 글로벌 ICT 기업은 신속하게 대응 중
 - 전 세계 전력 소비 중 ICT 분야 비중은 11%(’20)에서 21%(’30)로 증가 전망⁶⁰⁾
 - 글로벌 ICT 기업은 친환경 에너지 분야 투자와 재생 에너지 전환 등을 빠르게 진행 중
- ICT 산업의 전 세계 탄소 배출량의 직접적 기여는 2~4%로 추정되나⁶¹⁾, 간접배출 유발효과와 세계 경제·산업에서 미치는 영향을 고려하면 ICT의 탄소중립 이슈는 전혀 가볍지 않음
 - 옥스퍼드 경제는 2016년 디지털 경제 규모가 세계 GDP의 15.5%에 해당하며, 2025년에는 24.3%에 이를 것으로 전망⁶²⁾
- 탄소중립 실현과 ESG 경영이 중요한 경영 목표로 부상함에 따라, ICT를 활용한 탄소중립 솔루션뿐만 아니라, ICT 산업 자체의 효율화 및 친환경 활동 역시 중요하게 인식됨
 - ICT 산업의 소비전력 효율화, 신재생에너지로의 전환, 제품·서비스 사이클 전반에 대한 순환 경제(업사이클링, 친환경 패키징) 등이 화두로 대두
- 본 장에서는 이러한 배경에서 탄소중립에 대처하는 ICT 산업 대응 활동을 정리하고, 시사점을 도출

1.1. ICT/디지털 산업 진보와 에너지 소비 증가

▣ 유통 데이터, 커넥티드 단말, 센서의 폭증

- (글로벌 데이터 유통) 시장조사기관 IDC(2018)는 전 세계 데이터의 총규모가 ’25년에는 175제타바이트로 연평균 61% 증가할 것으로 예측⁶³⁾

60) Andrae&Edler(2015)

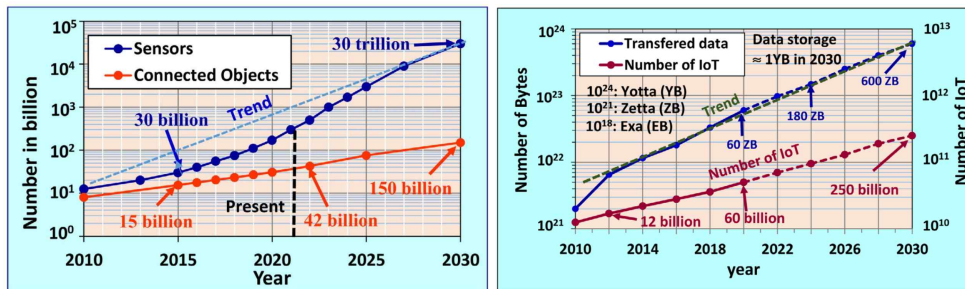
61) Small world consulting(2020), the climate impact of ICT: A review of estimates, trends and regulations.

62) <https://www.oxfordeconomics.com/recent-releases/digital-spillover>

63) IDC(2018), data age 2025

- Bonnaud, O. (2021)⁶⁴연구는 전 세계 데이터 유통량이 '25년 180제타바이트, '30년에는 600제타바이트에 이를 것으로 전망하기도 함
- (커넥티드 단말) 시스코(2021)는 '18년의 184억 개에서 '23년까지 293억 개의 커넥티드 단말이 예상된다고 발표⁶⁵)
 - 이 중에서 M2M (Machine to Machine) 연결이 '23년에는 절반을 차지할 것으로 전망 ('18년에는 33% 수준)
 - Bonnaud, O. (2021) 연구는 '25년 1,000억여 개의 커넥티드 사물(Connected object)을 전망
- (센서) 자율자동차, IoT 등의 스마트 서비스 시장이 본격 개화되면서 데이터를 실시간으로 수집하고 분석하기 위한 센서 보급이 기하급수적으로 증가할 전망
 - Janusz Bryzek(2014)⁶⁶는 20년경에 연간 센서 생산량 1조 개 시대 (Trillion economy)가 열리고, '35년경에는 45조 개의 센서가 연결될 것으로 전망
 - Bonnaud, O. (2021) 연구에서는 '30년 30조(30 trillion) 개의 센서를 전망

그림 4-1 전 세계 센서 수(좌)와 유통 데이터(우) 증가 추이 (2030년까지)



※ 출처: Bonnaud, O. (2021)

▣ AI 연산을 위한 고성능 컴퓨팅 자원의 소모량 증가

- (AI 학습 컴퓨팅 자원) open AI에 따르면, AI 학습에 필요한 데이터센터 컴퓨팅 자원은 3.4개월마다 2배씩 증가⁶⁷)
- (AI 알고리즘 탄소 배출량) 대규모 자연어처리 딥러닝 모델 훈련 과정에서 배출되는 탄소량은 626,155 파운드(lbs)로 평균적인 미국 자동차가 수명이 다할 때까지 배출하는 탄소량 126,000 파운드(lbs)의 약 5배 수준임⁶⁸)

64) Bonnaud, O. (2021), Skills in Physics and Semiconductor Devices: A Global Challenge for Digital Society. Journal of Applied Mathematics and Physics, 9, 2936-2946. <https://doi.org/10.4236/jamp.2021.911187>

65) Cisco(2021), Annual Internet Report 2021.

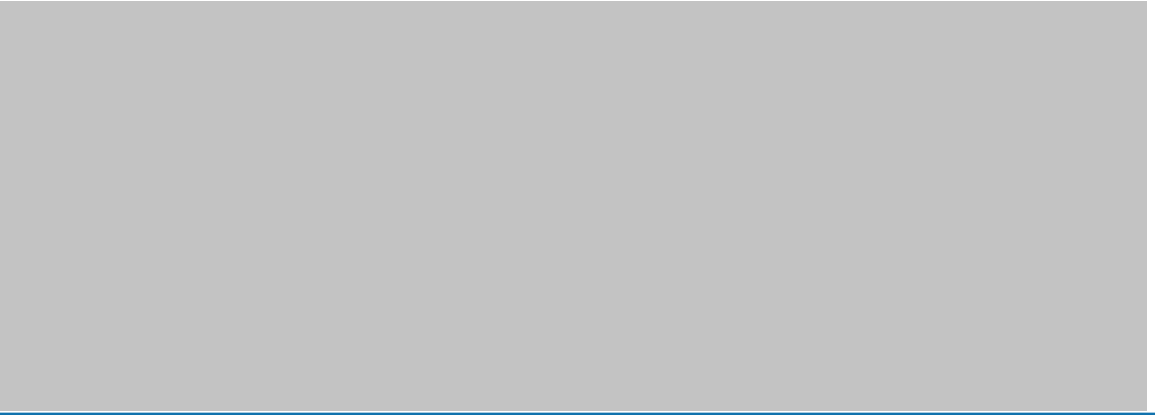
66) Janusz Bryzek(2014), Emergence of Trillion Sensors Movement

67) <https://openai.com/blog/ai-and-compute/>

- (하이퍼스케일 데이터센터* 수) 전 세계 하이퍼스케일 데이터센터 수는 빠르게 증가하여, 전 세계 700여 개가 운용⁶⁹⁾(21.3Q 기준)이며, 이들 용량은 지난 4년간 2배 이상으로 확장

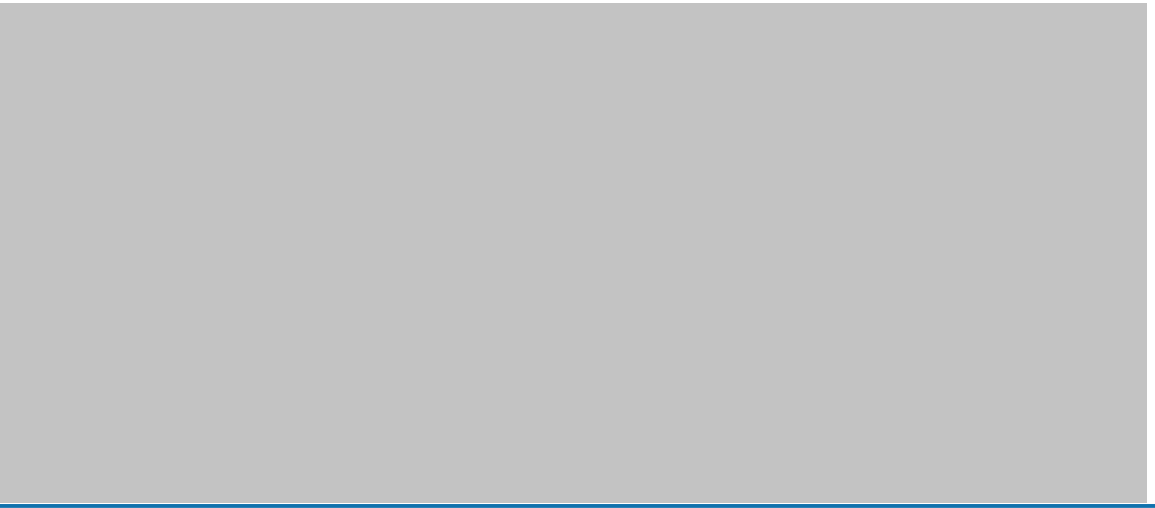
* 하이퍼스케일 데이터센터 : 아마존, 구글, 마이크로소프트, 페이스북 등 글로벌 IT 기업들이 이용하는 연면적 2만2500㎡ 이상, 서버 최소 10만 대 이상 갖춘 초대형 데이터센터를 의미

그림 4-2 AI 주요 학습모델 따른 필요한 데이터 연산량 증가 추이



※ 출처: OpenAI (2018)

그림 4-3 전 세계 하이퍼스케일 데이터센터 증가 추이



※ 출처: prnewswire(2021)

68) Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019), Energy and policy considerations for deep learning in NLP. arXiv preprint arXiv:1906.02243.

69) Sdxcentral(2021.11.20.), Hyperscalers Surpass 700 Data Centers Globally

▶ 네트워크 진화와 전송속도 향상

- (5G 확산)⁷⁰⁾ 5G는 '25년까지 전체 이동통신 가입 회선의 20%를 초과할 전망
 - 전 세계 5G 가입 회선은 5억 회선('21)에서 18억 회선('25)으로 증가 전망
- (전송속도 향상)⁷¹⁾ 유·무선 네트워크의 전송속도는 빠르게 향상
 - 유선 네트워크 평균 속도: 45.9Mbps('18)에서 110.4Mbps('23)로 향상
 - 무선 네트워크 평균 속도: 13.2Mbps('18)에서 43.9Mbps('23)로 향상되며, 5G는 13배 향상된 575Mbps로 전망

▶ ICT 전력 소비량은 빠르게 증가

- Andrae&Edler(2015)은 '20년경부터 ICT 소비전력은 빠르게 증가하여 '30년 ICT 소비전력이 전 세계 소비전력의 21%에 이를 것으로 예측⁷²⁾
 - 연구는 3가지 시나리오를 가정하는데, 최악(worst)의 경우 2030년 ICT가 전 세계 전력 소비에서 차지하는 비중은 51%이며, 최상(best) 시나리오에서는 8%, 중립(expected) 시나리오에서는 21%에 달할 것으로 전망
 - ※ 해당 연구는 2018년 네이처(nature) 기사로 수록([그림4-4] 참고)

그림 4-4 ICT 산업의 전력 소모량 추이 예측



※ 출처: nature(2018)⁷³⁾

▶ 전 세계 탄소배출 총량에서 ICT 기여율은 2~4% 수준, 탄소중립 위해선 '30년까지 45% 감축 필요

70) GSMA(2021), The mobile Economy 2021.

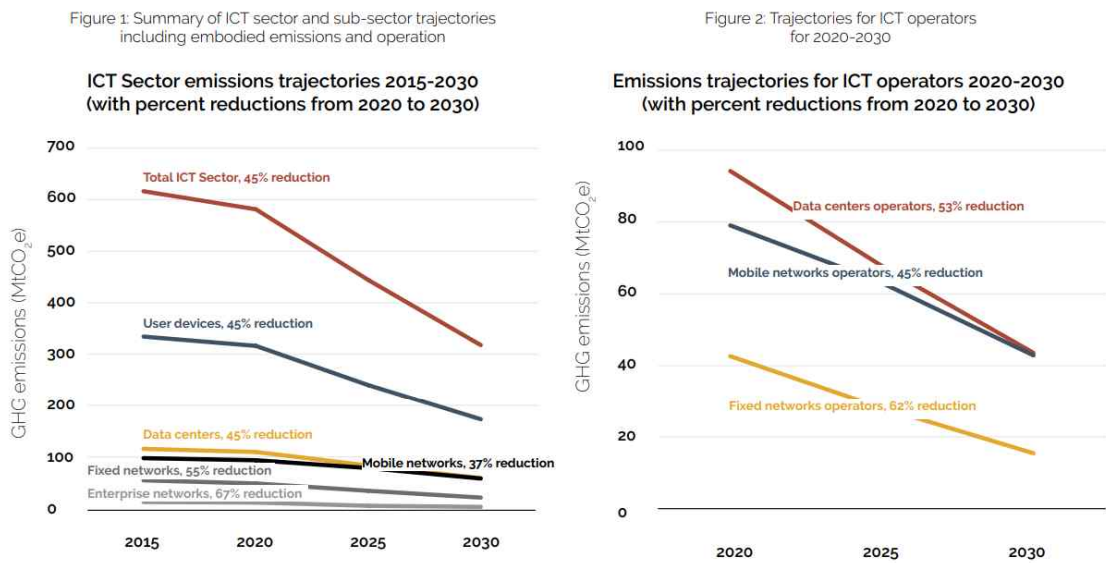
71) Cisco(2021), annual internet report (2018-2023)

72) Andrae&Edler(2015)

73) Nature(2018.09.12.), How to stop data centres from gobbling up the world's electricity

- '20년 기준으로 전 세계 탄소 배출 총량에서 ICT가 차지하는 비중은 2~4%로 보는 것이 타당⁷⁴⁾
 - Small world consulting(2020)은 ICT의 탄소 배출에 관한 기존 연구를 분석한 결과, 기존 연구는 1.8~2.8%를 제시하고 있으나, 내재 탄소(embodied carbon)*등을 고려하면 2.1~3.9% 수준으로 상향 조정해야 한다고 주장
 - * 내재 탄소는 제품(product) 생산에 들어가는 행위로 인해 배출된 탄소량을 의미
- ITU의 ITU L.1470⁷⁵⁾ 표준은 ICT 산업이 파리협정을 준수하기 위해서는 '20년 부터 '30년까지 온실가스(GHG) 배출을 45% 줄여야 함을 강조
 - ITU L.1470은 GeSI, GSMA, SBTi와 협력을 통해, 지구온난화를 산업화 이전 수준보다 1.5°C로 제한한다는 유엔기후변화협약 파리협정의 목표를 충족하는데 필요한 ICT 세부 산업별 감축목표 궤적(trajecory)을 제시
 - 데이터센터 사업자는 53%, 모바일 사업자는 45%, 유선망 사업자는 62%를 감축해야 함

그림 4-5 파리기후협약 준수를 위한 ICT 산업의 탄소 배출 저감량



※ 출처: ITU(2020), L.1470

1.2. 글로벌 ICT 기업의 탄소중립 대응 자발적 노력 강화

74) Small world consulting(2020)

75) ITU(2020) L.1470, GHG emissions trajectories for the ICT sector compatible with the UNFCCC Paris Agreement

- 아마존, 마이크로소프트, 구글 등 글로벌 클라우드 기업은 데이터센터의 탄소중립을 선언하며 신재생에너지 활용과 최신 기술 적용을 통한 데이터센터의 탄소 배출량 감소 노력을 강화
 - (마이크로소프트) 2017년부터 ‘지구를 위한 인공지능’ 프로젝트로 환경문제 해결 기술에 지원하고 있으며, 2030년을 목표로 탄소중립 달성을 선언
 - (구글) 2030년까지 모든 자사 데이터센터를 수력/풍력/태양광으로 전환하여 24시간 탄소 배출량 제로를 목표로 설정
 - (아마존) 2020년 3월부터 데이터센터를 신재생에너지로 운영하기 위한 프로젝트에 착수했으며, 2040년까지 전 계열사에서 제로 탄소를 달성 선언

표 4-1 해외 주요 ICT 기업 탄소중립 추진 현황

기업	탄소중립 목표연도	세부 목표	선언연도
마이크로소프트	2030	<ul style="list-style-type: none"> • 2023년까지 전체 에너지의 70%를 재생 에너지로 대체 • 2030년까지 탄소 네거티브 • 2030년까지 업무용 차량을 전기차로 전환 	2020
구글	2030	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소 배출량 추적 툴 개발 • 환경 기술 프로젝트 투자로 자체 탄소 배출량 상쇄 	2019
아마존	2040	<ul style="list-style-type: none"> • 배송용 차량을 전기차로 변경 • 기후 위기 대응 기금 조성 	2019

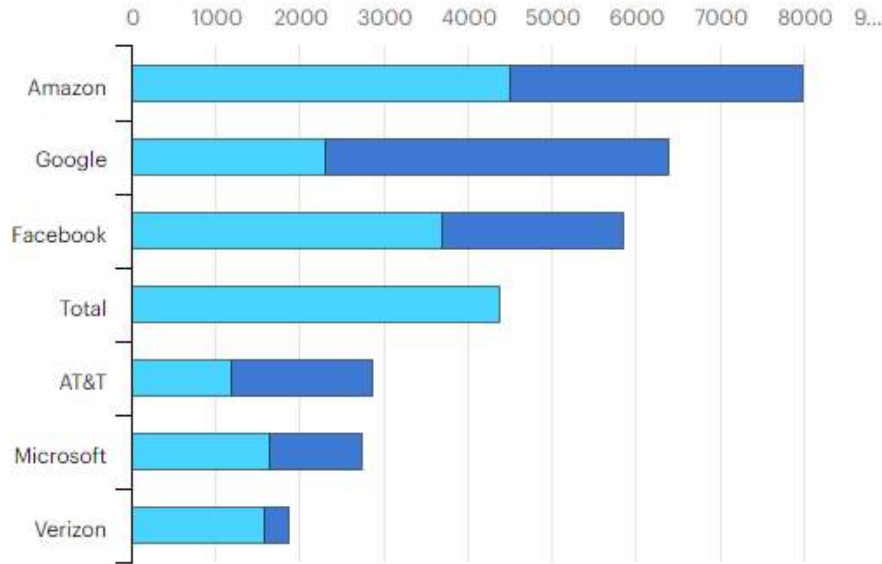
※ 출처: 언론 보도 정리

- 특히, 이들은 신재생에너지가 갖는 전력 가격 변동성을 방어하고 탄소규제 대응과 브랜드 평판 제고를 위해 재생에너지에 상당한 금액을 투자 중
- 이들은 주로 전력구매계약* 통해 재생에너지를 조달하고 있으며, 지난 5년간 전 세계 재생에너지 조달의 절반을 ICT 산업이 차지했을 만큼 적극적 투자가 진행 중
 - 마이크로소프트(2020년, 10.2TWh), 구글(2020년 15.1TWh), 아마존(2020년, 24TWh), 애플(2020년 1.7TWh), 페이스북(2020년 7TWh)은 데이터센터 운영 전력의 100% 재생 에너지 달성을 위해 PPA를 통한 전력 구입⁷⁶⁾

* 전력구매계약(PPA, power purchase agreement)은 에너지 생산자와 구매자간 상호 동의한 기간과 가격으로 전력을 거래하는 계약

76) 각사의 지속 가능 보고서 참조

그림 4-6 재생에너지 PPA 체결 기업 순위 ('10-'20년 누적, 단위:MW) 하늘색:태양광, 파란색: 풍력

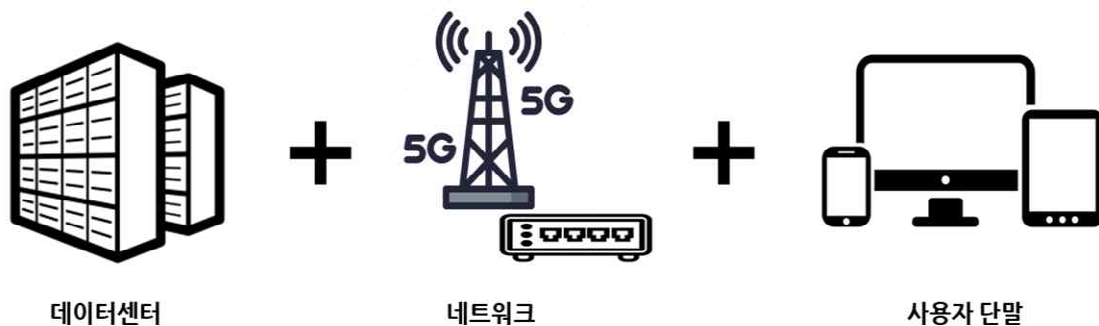


※ 출처: IEA(2021) 홈페이지

2 ICT 세부 산업(기술)별 탄소중립 대응 동향

- 본 연구에서는 에너지 소비 및 탄소배출 관점에서 ICT 산업을 크게 (1) 데이터 센터, (2) 네트워크, (3) 사용자 단말로 세분화하고, 세부 섹터별 탄소 배출 관련 개요와 대응 사례를 살펴봄

그림 4-7 ICT 세부 산업(sector) 분류



※ 출처: 저자 작성

2.1. 데이터센터 분야

◆ 탄소배출 관련 현황 및 영향요인

■ 에너지효율은 지속 향상되나, 총에너지 사용량과 탄소배출 기여도는 증가

- (에너지효율) 에너지효율 최상위권 데이터센터(구글 데이터센터 기준) PUE*가 2008년 1.2PUE에서 2021년 1.09PUE까지 에너지효율이 향상
 - 데이터센터 에너지 소비 세부 내용을 보면 냉각이 50%로 가장 높은 비중을 보이며, 이후 서버 및 저장장치(26%), 전원변압(11%), 네트워크 장비(10%), 조명(3%) 순⁷⁷⁾
 - * 전력효율지수(PUE, Power Usage Effectiveness)는 데이터센터 총 전력량을 IT 장비 전력량으로 나눈 값으로 1에 가까울수록 전력 효율이 좋은 데이터센터로 평가됨
- (탄소발자국 비중 증가) ICT 전체 탄소발자국 중에서 데이터센터는 가장 큰 비중을 차지하며, 그 비중 역시 35%(’10년)에서 45%(’20년)로 10%p 증가⁷⁸⁾

그림 4-8 ICT 전체 탄소 배출량 부문별 비중 비교 (2010년과 2020년)



※ 출처: Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2018)

77) Dayarathna, M., Wen, Y., & Fan, R. (2016), Data Center Energy Consumption Modeling: A Survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18, 732-794.

78) Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2018), Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. Journal of cleaner production, 177, 448-463.

- (데이터센터 소비전력 증가) Andra(2020) 연구에 따르면 전 세계 데이터센터의 소비전력은 '20년 207 TWh에서 '25년 469 TWh, '30년 799 TWh로 빠른 증가 전망⁷⁹⁾
 - 참고로, 세계에너지기구(IEA)가 추산한 '20년 기준 전 세계 데이터센터의 전력 소모량은 200~250 TWh로 이는 전 세계 전력 수요의 약 1% 수준에 해당

▣ 데이터센터 분야 탄소배출 영향요인

- (악화) IoT, 인공지능, 블록체인(암호화폐 포함) 활성화에 따른 데이터 처리량의 기하급수적 증가와 클라우드 서비스 의존 증가
 - '20년 암호화폐 채굴에 소비된 전력은 최대 100TWh수준으로 추정 (IEA)⁸⁰⁾
 - IDC(2018)는 2025년 전체 생성 데이터의 약 50% 데이터가 퍼블릭 클라우드 환경에 저장되어 활용되어 소비될 것으로 전망
- (악화) 무어의 법칙(Moore's Law)으로 대면되는 반도체 집적(集積)의 물리적 한계로 인해 ICT 산업의 에너지효율 향상 둔화
- (개선) 엣지 컴퓨팅, 연합학습(federation learning) 등 컴퓨팅 부하를 분산 저감하는 기술 향상
- (개선) 포토닉 컴퓨팅, PIM(process in memory), 양자컴퓨팅, 뉴로모픽 컴퓨팅 등 에너지효율과 성능향상을 모두 충족할 수 있는 변혁적 컴퓨팅 기술의 출현

◆ 대응 동향 사례

▣ 데이터센터의 구축방식

- (마이크로소프트, 냉각에 효율적인 해저 데이터센터 건설)⁸¹⁾ 냉각에 필요한 전력 비용 절감을 목표로 2년간 추진해 온 해저 데이터센터 구축 및 운영 실험을 완료
 - 지상 데이터센터는 대규모 냉방 설비 확보, 산소와 습도에 의한 부식 등으로 인해 막대한 유지비용이 소요되는 반면, 수중 데이터센터는 연중 일정 수준의 낮은 온도와 적정 습도 유지가 가능해 기존 데이터센터의 문제점을 해결
 - 해저 데이터센터는 특히 풍력발전 등 재생 에너지 설비와 연계하여 사용할 경우 친환경 데이터센터로서의 효율 극대화가 가능

79) Andrae, A. S. (2020), Hypotheses for primary energy use, electricity use and CO2 emissions of global computing and its shares of the total between 2020 and 2030. WSEAS Transactions on Power Systems, 15, 50-59.

80) <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>

81) 조선일보(2021.07.09.), 탄소 줄이려... MS는 데이터센터를 바다에 넣었다

- (마이크로소프트, 데이터센터 건설과정의 탄소 배출 개선)⁸²⁾ 마이크로소프트는 매년 50~100개의 신규 데이터센터를 신규 구축하고 있으며, 데이터센터 설계 및 건설 중에 배출되는 탄소를 줄이기 위해 비영리단체 '빌딩 투명성(Building Transparency)'이 개발한 EC3를 사용 중
 - EC3는 건설 프로젝트별 총탄소량을 관리할 수 있는 도구로, 마이크로소프트는 이를 통해 콘크리트와 철에 내재된 탄소 약 30~60% 저감을 예상
- (화웨이, 모듈러 데이터센터 건설) 화웨이는 조립식 모듈형 데이터센터 솔루션을 이용하여 우한지역에서 신속하게 AI 컴퓨팅 센터를 구축⁸³⁾
 - 해당 센터는 120일 만에 완공, 180일 만에 운영을 시작하여 일반적인 데이터센터 대비 건설 기간이 50% 이상 단축하였는데, 이를 통해 수명 주기 동안 탄소 배출 약 4만2천 톤을 줄일 것으로 전망

▶ 데이터센터 운용효율 향상

- (마이크로소프트, AI기반 컴퓨팅 자산 재활용 판단)⁸⁴⁾ 마이크로소프트는 업계 최초로 순환센터(Microsoft Circular Center)를 만들어 서버의 수명 주기를 연장하거나 재사용하여 낭비를 최소화하고 있다고 발표('21.10.27.)
 - 마이크로소프트 순환센터에서는 AI 알고리즘을 활용해 폐기된 서버와 기타 하드웨어 부품을 분류하고, 재활용할 수 있는 부품을 파악
 - 마이크로소프트는 향후 이 모델을 자사의 모든 클라우드 컴퓨팅 자산에 적용하여 90%의 재사용률을 달성한다는 방침
- (구글, 재생에너지 출력 연동 분산 플랫폼) 구글은 로컬 전력 그리드의 시간당 평균 탄소 집약도 변화를 예측·분석하여, 풍력·태양광 등의 저탄소 전력 공급이 원활한 시기로 컴퓨팅 작업을 분산 조정하는 플랫폼 개발⁸⁵⁾
 - 이 플랫폼은 별도 컴퓨팅 하드웨어 추가나 검색, 맵, 유튜브 등 기존 Google 서비스의 영향 없이 전력 활용 전환이 가능
 - 전환 대상은 Google Photos, 유튜브 동영상 처리, Google 번역기 새로운 단어 추가 등의 시급성을 요하지 않는 작업이 포함

82) AI타임스(2021.10.28.), 마이크로소프트, '전기와 물' 먹는 하마 '데이터센터' 오명 벗긴다...친환경 기술 대폭 확대

83) 지디넷코리아(2021.11.09.), 화웨이, 전력 효율화 AI·태양광 패널로 탄소저감 노력

84) AI타임스(2021.10.28.), 마이크로소프트, '전기와 물' 먹는 하마 '데이터센터' 오명 벗긴다...친환경 기술 대폭 확대

85) Google Blog(2020.4.22.), 'Our data centers now work harder when the sun shines and wind blows'

그림 4-9 구글의 재생 에너지 연동 워크로드 분산 플랫폼 테스트 기준부하: 노란색, 조정부하: 녹색



※ 출처: Google Blog(2020.4.22.), Our data centers now work harder when the sun shines and wind blows

- (페이스북, 덴마크 데이터센터 잔열을 지역난방으로 활용) 페이스북은 덴마크 Odense 소재 데이터센터 캠퍼스의 폐열을 지역난방 기업인 Fjernvarme Fyn에 제공하는 계약을 '20년 10월에 체결⁸⁶⁾
 - EU의 Fit for 55*에 따라 덴마크, 노르웨이 등 북유럽 국가들은 20MW 이상의 가스, 석유, 폐기물, 바이오에너지 전력을 소비하는 산업 플랜트에 대해 발생된 열에 대해 지역난방 공급 기업에 제공하는 방안 검토를 의무화(‘21.3)⁸⁷⁾
 - * EU가 기후변화 대응을 위한 12개 항목을 담은 입법 패키지

▣ 데이터센터용 고효율 시칩 개발

- (SK텔레콤, 초저전력 데이터센터용 AI 반도체 개발) SK텔레콤은 세계 최고 수준의 데이터센터용 AI 반도체인 SAPEON X220을 개발⁸⁸⁾
 - SAPEON X220은 낮은 전력 소모량 (60W) 에도 AI 연산 최적화된 로직을 탑재, 백열 전구 한 개의 전력으로 초당 6,700개의 이미지 처리가 가능
 - 클라우드 데이터센터 기업 NHN AI 서버에 시범 적용 중이며 SK 관계사 서비스에 확대 적용 예정

86) Data Center Dynamics(2020.10.14.), Facebook begins data center and district heating expansion in Odense, Denmark

87) EuroHeat & Power(2021.3.4.), Norwegian government to demand data centres try plugging into DHS

88) 매일경제(2020.11.25.), SKT, 국내 최초 AI 반도체 출시... "미래 반도체 시장 선점"

2.2. 네트워크 분야

◆ 탄소배출 관련 현황 및 영향요인

▣ 무선 네트워크 전력 소비량이 핵심으로 부상

- Andra(2020) 연구는 전 세계 유선 네트워크 전력 소비량은 감소추세에 있지만, 모바일 네트워크의 소비전력은 급증한다고 지적⁸⁹⁾
 - 네트워크의 전력 소비량은 '20년 136 TWh, 유선(optical) 네트워크는 171 TWh으로 유선 네트워크 전력 소비가 많지만, '30년에는 무선 네트워크가 700 TWh, 유선 네트워크가 146 TWh으로 큰 격차로 역전될 것으로 전망

표 4-2 네트워크 분야 전 세계 전력 소모량 예측 (단위 : TWh)

구분	2020	2020	2025	2030
모바일 네트워크	152	136	286	700
유선 네트워크	179	171	138	146

※ 출처: Andrae(2020)

▣ 이동통신사는 소비전력 85~90% 수준을 네트워크 운용에 활용

- 이동통신사들은 전체 사용 전력의 90~95% 수준을 기지국과 데이터센터 등 네트워크 운용에 활용⁹⁰⁾
 - 미국 버라이즌 89%, 영국 보다폰 95%, 스페인 텔레포니카 95% 수준

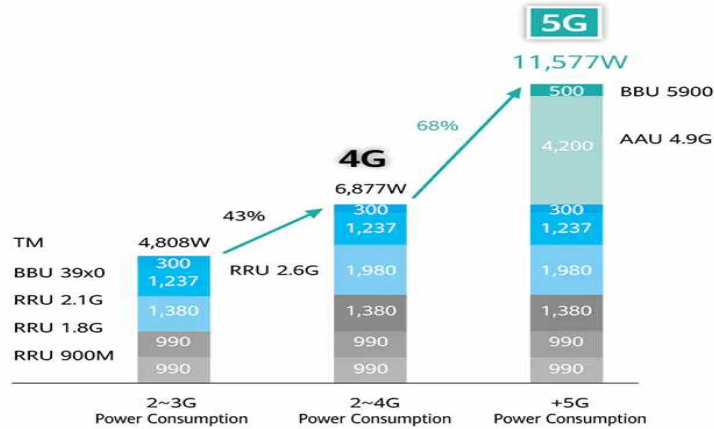
▣ 5G는 LTE보다 전력 효율은 높지만, 총소비 전력은 높음

- 5G는 효율이 우수해 전송 비트당 소비와트(W)는 낮지만, 네트워크 용량이 커져 총 전력 소비는 증가하는 구조
- 기지국 기준, 5G는 4G 대비는 전력 소비량은 약 70% 증가할 것으로 예측
 - 5G는 직진성이 높고 도달 범위가 짧은 사용 주파수의 특성상 LTE보다 두 배 이상 더 많은 기지국 설치가 필요하여 실제 총소모 전력은 크게 늘어날 것으로 전망

89) Andrae, A. S. (2020), Hypotheses for primary energy use, electricity use and CO2 emissions of global computing and its shares of the total between 2020 and 2030. WSEAS Transactions on Power Systems, 15, 50-59.

90) GSMA(2020), 5G energy efficiencies.

그림 4-10 이전 세대 기술 대비 5G의 전력 소모량 비교



Typical maximum power consumption of a single 5G base station

※ 출처: 화웨이⁹¹⁾

▣ 국내 이동통신 3사, 5G 전국망 구축으로 온실가스 배출증가 추세

- 이동통신 3사의 공시자료 분석 결과, 2020년 이동통신 3사의 지난해 온실가스 배출량은 355만4,453tCO₂e(이산화탄소 환산톤)로 전년 대비 9.7% 증가⁹²⁾
 - LG유플러스(17.6% 증가, 129만t), KT(7.7% 증가, 122만t), SK텔레콤(3.4% 증가, 104만t) 순
- 이들의 온실가스 배출량 증가는 5G 전국망 구축에 따른 것으로 전국적으로 설치된 기지국의 전력 사용이 가장 큰 기여 요인임

▣ 네트워크 분야 탄소배출 영향요인

- (악화) 5G는 2025년까지 전체 이동통신 가입의 20%를 초과하며 18억 화선에 이를 전망⁹³⁾
 - 프랑스 기후 고등평의회는 5G 통신이 도입될 경우, 프랑스에서 2030년까지 이산화탄소배출량이 270~670만 톤 증가할 수 있을 것으로 예상⁹⁴⁾
- (악화) 자율차, 클라우드, AR/VR, 4K 영상 등 네트워크 수요는 지속 증가
- (개선) AI 소비전력 제어 효율화 기술 등 5G-어드밴스드 및 이후 6G 표준에서는 에너지효율 역시 주요한 KPI로 설정⁹⁵⁾

91) <https://www.huawei.com/en/technology-insights/publications/huawei-tech/89/5g-power-green-grid-slashes-costs-emissions-energy-use>

92) 에너지경제신문(2021.08.02.), 이동3사의 진짜고민 '온실가스 배출'...C레벨 임원이 직접쟁킨다

93) GSMA(2021), The mobile Economy 2021.

94) 시사위크(2021.03.02.), “반도체·5G가 지구온난화 범인?”... IT업계의 이유 있는 ‘녹색바람’

95) 전자신문(2021.06.28.), KT, 3GPP 워크숍서 5G 전력 절감 기술 제안

- (개선) 전력 효율이 낮고 이용률이 낮은 2G와 3G 서비스 종료나 구리선 교체 작업 진행 중

◆ 대응 동향 사례

▣ 4G 및 5G 네트워크 에너지효율 향상

- (ZTE) 네트워크 장비 업체 ZTE는 에너지 절약 기능과 AI 기반 트래픽 부하 예측 기능을 탑재한 4G 및 5G 네트워크 에너지 절약 솔루션 PowerPilot을 출시⁹⁶⁾
 - PowerPilot은 서비스 종류와 서비스별 에너지효율의 차이를 감지하여 에너지효율이 더 높은 네트워크를 통해 서비스를 지원함으로써, 기존 에너지 절약 솔루션보다 약 두 배의 에너지를 절감
 - 현재 전 세계 20개 이상의 네트워크, 약 70만 개 웹사이트에 적용돼 사업자의 전력 비용을 10억 달러 이상 절감
- (SK텔레콤) 3G·LTE 네트워크 장비 통합 및 업그레이드를 통해 기존 대비 약 53%의 전력 사용량 절감⁹⁷⁾
- (SK텔레콤) 프론트홀*을 전원이 필요 없는 5G-PON(Passive Optical Network) 기술을 이용하여 구축⁹⁸⁾
 - * 프론트홀은 안테나, 중계기 등 건물 단위 기지국(RU)과 동 단위 통합기지국(DU)을 연결하는 유선 전송망
 - 기존 유선 전송망 장비는 전력 공급을 위해 건물 내부에 설치해야 하지만, '5G-PON'은 전원 없이 작동해 실외 설치가 쉬우며, '5G-PON' 전송망 하나로 LTE와 초고속인터넷은 물론 5G까지 서비스가 가능할 수 있어 구축 공간 및 설비 소모 전력이 감축됨
 - SK텔레콤은 이를 통해 기존 시스템 대비 100% 전력 소비 및 50%의 총 운영비용을 감축
- (LG유플러스) 5G 기지국에 차세대 친환경 정류기를 부착해 전력 효율을 높이는 작업을 진행 중으로, 기존 정류기보다 효율성을 94%로 향상⁹⁹⁾

▣ 기지국 폼팩터 단순화 설계 및 재생에너지 사용

- (화웨이) 기지국 구조물을 소형화·단순화하여 설치 공간과 에너지효율을 개선함 또한 외부에서 에너지를 공급받지 않고 태양광 패널 등을 활용한 전력 공급인

96) 연합뉴스(2021.05.24.), [PRNewswire] ZTE, 2020 지속가능성 보고서 발표

97) 한국경제(2021.03.09.), SK텔레콤, 네트워크 장비 통합해 온실가스 감축 인증

98) <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/sk-telecom-case-study/>

99) 시사위크(2021.03.02.), “반도체·5G가 지구온난화 범인?”… IT업계의 이유있는 ‘녹색바람’

오프그리드 솔루션을 적용¹⁰⁰⁾

- 중국 한 통신사는 화웨이 고밀도 eMIMO 기술을 사용해 캐비닛 6개를 단일 캐비닛으로 교체해 설치 공간을 5분의 1로 줄이고, 현장 에너지효율을 85%에서 96%로 개선
- (NTT) 도코모는 태양열 패널을 축전지를 도입한 '그린 기지국'을 확대 구축¹⁰¹⁾

2.3. 사용자 단말/장비 분야

◆ 탄소배출 관련 현황 및 영향요인

▣ ICT 단말은 ICT 총 탄소 배출에서 33% 수준 차지

- 사용자 단말의 ICT 전체 탄소 배출량에서 비중은 '20년 기준 약 33%로 추정¹⁰²⁾
 - 스마트폰(11%), 데스크탑(7%), 랩탑(6%), 디스플레이(7%) 등의 순이며, 해당 연구는 IoT 등 신규 응용 서비스는 분석에 미포함하였음을 고려할 필요
- (내재 탄소) 사용자 단말의 내재 탄소(embodied carbon)*는 데이터센터와 네트워크와 달리 사용자 단말/장비 분야의 가장 큰 탄소 배출 요인
 - ICT 하드웨어의 내재 탄소는 ICT 총 탄소 배출량의 약 23% 수준으로 추정되며, 특히 사용자 단말의 내재 탄소는 약 50% 수준으로 추정¹⁰³⁾

* 내재 탄소: 제품 원자재 및 생산공정 과정에서 발생한 탄소량을 의미

▣ ICT 단말의 순환 경제, 탄소중립의 주요 실천 항목으로 부상

- 세계적으로 탄소중립이 중요한 실천 과제로 부상하면서 전자기기(ICT 단말/장비 포함)에 대한 순환 경제*가 주목
 - 순환 경제는 사실 온실가스 감축량보다는 자원 사용량 감축과 환경오염 방지를 주장할 때 주로 사용된 논리이나, 탄소중립 패러다임 본격화로, 기후변화 대응 차원으로 논의가 변화
 - * 순환 경제는 자원을 채취하고 가공하는 과정에서 온실가스 배출이 많이 배출되므로, 경제시스템으로 진입한 재화(제품·소재)는 최대한 그 가치가 없어질 때까지 순환해 사용자는 운동
- 세계경제포럼에 따르면 전자 폐기물(e-waste)는 가장 빠르게 증가하는 폐기물 중 하나¹⁰⁴⁾

100) 지디넷코리아(2021.11.09.), 화웨이, 전력 효율화 AI-태양광 패널로 탄소저감 노력

101) <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/ntt-docomo-case-study/>

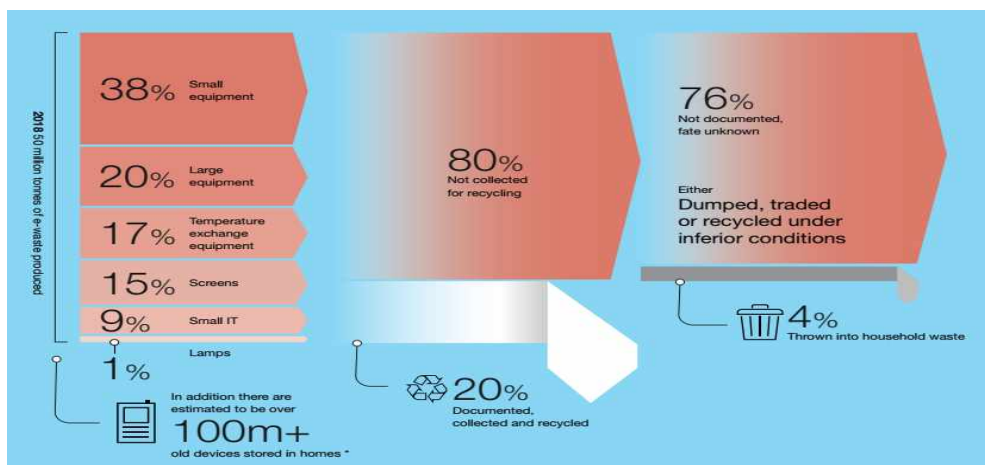
102) Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2018), Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. Journal of cleaner production, 177, 448-463.

103) Small world consulting(2020)

104) World Economic Forum(2019), A New Circular Vision for Electronics. Time for a Global Reboot.

- 전 세계 생성되는 전자 폐기물은 연간 5,000만 톤('18년) 수준이며, '50년에는 1억 2,000만 톤에 이를 것으로 전망
- 5,000만 톤은 점보제트기 125,000대를 생산할 수 있는 양으로, 이는 지금까지 생산된 모든 상용 항공기보다 많은 수준
- 전자 폐기물 중에 오직 20%만이 수거되어 재활용되었고, 76%는 어떻게 처리되었는지 기록조차 없으며 4%만이 가정 쓰레기로 버려진 것이 확인되는 수준

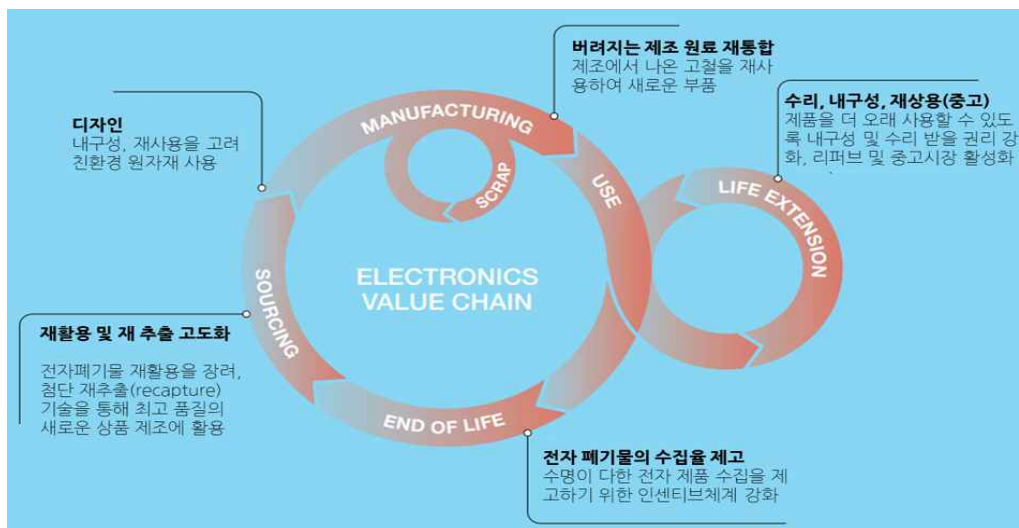
그림 4-11 전자 폐기물의 수거 및 재활용 수준의 심각성



※ 출처: WEF(2019)

- ICT 단말의 순환 경제 활동은 제품의 '생산-사용-폐기'의 전체 라이프 사이클 상에서 고려될 필요

그림 4-12 라이프 사이클 차원에서의 ICT 단말의 순환경제 활동



※ 출처: WEF(2019)의 내용을 한국어로 번역

▶ 사용자 단말/장비 분야 탄소배출 영향요인

- (악화) IoT, 웨어러블, 드론, 로봇 등의 확산에 따른 단말 수 증가와 고성능화에 따른 내재 탄소(embodied carbon) 증대
- (개선) ICT 디바이스의 칩셋 및 제품 에너지효율 향상과 순환 경제 활성화에 따른 재사용, 재활용률 증가

◆ 대응 동향 사례

▶ EU, 신 순환 경제 실천 계획(New Circular Economy Action Plan)

- 유럽은 그린 딜에서 신 순환 경제 실천 계획(New Circular Economy Action Plan)을 2050 탄소중립 목표 달성을 위한 중요한 정책으로 제시
 - 관련하여 유럽위원회(EC)는 ICT 제품의 수명과 수리 가능성, 재활용성 향상을 위해 2021년 말까지 구체적인 '순환형 전자제품 이니셔티브(Circular Electronics Initiative)'를 내놓을 계획¹⁰⁵⁾
 - 해당 계획 중 핵심 목표는 제품의 설계 단계에서 유자보수, 업그레이드, 더 나아가 업사이클링(재활용)을 고려하여 제품 사용 기간(수명)을 늘리는 것임

▶ 사용자 단말용 고효율 칩셋 개발

- (IBM) 자체 개발한 알고리즘을 통해 탄소 배출량을 늘리지 않으면서 더 많은 AI 연산을 처리할 수 있는 2나노 AI 칩을 공개('21.2)¹⁰⁶⁾
 - IBM이 세계 최초로 2 나노미터(nm) 나노시트(nanosheet) 기술로 개발된 칩을 개발해 기존 7나노 노드 칩보다 45% 더 높은 성능과 75% 더 낮은 에너지 사용을 달성할 것으로 전망
- (ETRI-SK텔레콤) 한국전자통신연구원과 SK텔레콤 등 국내 연구진이 신경망 처리장치(NPU) 기반의 고효율 AI 반도체를 개발('20.4)¹⁰⁷⁾
 - 전력 소모와 제작 비용 등 실용성을 고려해 칩의 크기를 최소화하면서도 AI 연산에 최적화된 설계 기술을 적용, 높은 연산 능력과 전력 효율을 구현

105) Small world consulting(2020), the climate impact of ICT: A review of estimates, trends and regulations.

106) 인공지능신문(2021.5.6.), IBM, 반도체 새 시대 연다! 세계 최초 2나노미터 칩 기술 공개... 인공지능, IoT, 클라우드 컴퓨팅 등에 혁신적으로 기여

107) 디지털데일리(2020.4.7.), ETRI-SKT, AI 반도체 개발...칩 면적↓·전력 효율↑

▣ 친환경 패키징

- (화웨이) 친환경 패키징 ‘6R1D*’ 전략 실행을 통해 친환경적이고 재생 가능한 포장재를 사용하고 패키징 간소화 등 순환 경제에 적극 대응¹⁰⁸⁾

* ‘6R1D’: △Right(적합성) △Reduce(절약) △Returnable(회수) △Reuse(재사용) △Recovery(회복력)
△Recycle(재활용) △Degradable(분해 가능성)

- 가볍고 콤팩트한 패키지 디자인으로 포장 자재 절약뿐만 아니라 웨어하우징 및 운송비용도 절감되며, 친환경적이고 재생할 수 있는 포장재를 사용하여 자원과 에너지를 모두 절약
- 2019년에, 화웨이는 5G 기지국 장비와 다른 제품들을 포장하기 위해 지속사용이 가능하고 가벼운 플라스틱 강철 팔레트를 개발하여 사용 중
- 기존 팔레트와 비교하면 연간 총중량을 1,367톤 줄일 수 있고, 이는 이산화탄소배출량을 6,890톤 줄일 수 있는 수준

▣ 중고 단말 회수 및 업사이클링(재사용) 촉진

- (독일 Telekom) 독일의 1위 통신사업자인 Telekom은 ‘Take Back Mobile Devices’ 캠페인을 통해 중고폰 회수 ESG KPI를 설정¹⁰⁹⁾

- ’20년 한 해 39만 대 이상의 휴대폰이 Telekom 그룹 전체에 걸쳐 회수(전년 대비 4% 증가) 되어, 총판매 물량의 4.6% 수준
- 회수된 휴대폰은 그 자체로 재활용될 수 있으며, 휴대폰 재활용이 어려울 경우 기기 내 주요 부품들을 새롭게 활용

- (삼성전자) 갤럭시 업사이클링 애크를 통해 중고 갤럭시 스마트폰을 IoT 디바이스 컨트롤러로 재활용하기 위한 베타 서비스를 개시¹¹⁰⁾(‘21.4)

- 중고 스마트폰을 홈 IoT의 컨트롤러나 센서로 활용하는 방안. 가령 스마트폰의 조도 센서를 사용해 사용자가 사전에 설정한 조도 기준 이하로 주변 환경이 어두워지면, 연동해 놓은 조명이나 TV의 전원을 켜거나 끌 수 있음

▣ 부품 재활용 회수 및 순환 경제 촉진

- (애플) 애플의 소재 복원 연구소(Material Recovery Lab)은 아이폰 소재 재활용 및 회수를 위한 분해 로봇 Daisy와 Dave를 개발¹¹¹⁾

108) 테크월드(2021.5.27.), 화웨이, 재활용-그린 패키징 등 전자 폐기물 감축 노력

109) <https://www.cr-report.telekom.com/site21/management-facts/environment/waste-management-recycling#atn-18669-18671>

110) 삼성전자(2021.4.21), 삼성전자, '지구의 날' 맞아 업사이클링·리사이클링 캠페인 진행

111) <https://www.apple.com/kr/environment/>

- 해당 로봇은 기기 부품을 분해해 희토류, 강철, 텅스텐 등 소재를 회수하며, 회수된 소재는 원재료 시장으로 돌아가 새 제품을 만드는 데 사용
- 해당 로봇은 15종의 다양한 iPhone 모델에서 시간당 200대의 처리 속도로 소재를 회수
- 애플은 '20년 한 해 동안 39,000톤의 전자 폐기물을 이 방식으로 처리
- (에릭슨) 생애주기 평가(Life-Cycle Assessment, LCA) 방법론을 통해 ICT 제품의 개발 소재, 생산, 조립, 유통, 수송, 활용 및 폐기에 이르는 전 과정에 걸쳐 지구온난화, 산성화 등의 환경 효과를 평가¹¹²⁾
 - 이를 근거로 환경에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 Ericsson의 사업 활동을 수정 및 조정
 - 또한 생애주기 관점에서 Ericsson의 제품 포트폴리오에 대한 지속적인 환경 개선을 위한 설계 방법을 적용
 - 이외 Ericsson은 제품 회수 서비스(take-back services)를 통해 제품 및 솔루션의 친환경적인 폐기를 지원

▶ 고객의 수리받을 권리 향상

- (애플) 직접 수리를 원하는 고객들이 애플의 정품 부품과 도구를 제공하는 셀프 서비스 수리 프로그램 발표('21.11.)¹¹³⁾
 - 고객들은 온라인 스토어에서 Apple 공인 서비스 제공업체(AASP)와 동일한 부품과 도구, 안내서를 이용할 수 있게 되어, 고객의 제품의 사용 기간을 연장하며 궁극적으로 순환 경제에 기여할 것으로 전망
 - 고객의 직접 수리에 보수적이었던 애플이 전향적 변화를 보인 것은 스마트 기기 생태계에 의미 있는 변화를 가져올 것으로 전망
 - 애플은 iPhone 12 및 iPhone 13 제품을 시작으로 Mac 컴퓨터로 확대한다는 계획이며, '22년 초 미국에서부터 시작되며 다른 국가로 지원 범위를 넓혀갈 예정

112) Ericsson(2016), Opportunities and limitations of using life cycle assessment methodology in the ICT sector.

113) <https://www.apple.com/kr/newsroom/2021/11/apple-announces-self-service-repair/>

2.4. 소결 및 시사점

- ICT/디지털 산업의 에너지/전력 소모는 빠르게 증가 중이며, ICT 산업 내에서도 에너지 효율증가와 탄소배출 저감은 중요한 목표로 설정되고 있음
 - '30년까지 ICT 산업이 전 세계 전력 소비의 21%에 이를 것으로 전망(Andre, 2015)
 - 파리기후협약의 저감 목표를 맞추기 위해서는 ICT 산업의 탄소 배출량은 '30년까지 45%를 감축해야 함(ITU-T,'20)
- ICT 산업을 전력/에너지 사용 관점에서 데이터센터, 네트워크, 단말로 구분하고, 주요 탄소 저감 활동을 조사
 - 데이터센터는 플랫폼 기업들을 중심으로 데이터센터의 에너지효율 향상, 재생 에너지 사용 확충 등으로 이미 많은 진전을 보임
 - 네트워크는 5G 보급, 데이터 사용량 증가 등으로 증가하는 소비전력에 대응하여, 전력 효율 알고리즘의 개발과 기지국 전력 사용 효율화 등이 적극적으로 활용되고 있음
 - 디바이스(단말) 분야에서는 친환경 원자재, 부품 재활용률 향상, 포장 및 배송 효율화, 제품 수명 연장 등 노력이 이뤄지고 있음

표 4-3 ICT 세부 기술별 탄소중립 이슈 및 대응 동향

구분	데이터센터	네트워크	소비자 단말
핵심이슈	데이터량 폭발적 증가	5G 네트워크 확산	단말 증가와 순환 경제
탄소배출 증가동인	<ul style="list-style-type: none"> • 데이터양, 연산량 기하급수적 증가 • 암호화폐, OTT, AI 서비스, 자율차 등 신규 서비스 확대 	<ul style="list-style-type: none"> • 5G 확산은 4G 대비 많은 전력이 필요하며 기지국도 2배가량 더 필요 • 자율차, AR/VR, 4K 영상 등을 데이터 트래픽 증가와 이를 수용하기 위한 네트워크 업그레이드 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • IoT, 드론, 로봇 등의 확산에 따른 단말 수 증가 • 고성능화에 따른 내재 탄소(embodied carbon) 증대
탄소배출 저감노력	<ul style="list-style-type: none"> • 재생 에너지 전환 • 냉각 시스템 최적화 • 트래픽 예측 정밀화 • 분산 컴퓨팅, 엣지 클라우드 적용 • 데이터센터 전용 AI 가속 프로세서 개발 • 데이터센터 잔열 지역난방 활용 	<ul style="list-style-type: none"> • AI/ML 기반 수요예측과 전송 알고리즘 • SDN/NFV기반 자원 동적 관리 • 네트워크 공유를 통한 중복구축 회피, 환경부담 감소 • 기지국 에너지 효율화 및 재생에너지 사용 	<ul style="list-style-type: none"> • 환경 원자재 사용 • 제조 단계 폐기물 최소화 • 부품 회수 및 재활용률 향상 • 포장 간소화 및 배송 효율화 • 제품 수명 연장을 위한 재활용 프로그램 운영 • 제품 에너지효율 향상을 위한 HW/SW 개발 • 에너지 고효율 칩셋 개발

※ 출처: 저자 작성

3 국내외 주요 ICT 기업 탄소중립 대응 동향

3.1. 분석 개요

- (분석 대상) ICT 분야를 대표하는 국내외 대기업을 분석 대상으로 하며, △플랫폼 △네트워크 △장비/기기 분야로 세분화하여 대표 기업을 선정
- (분석 방법) 기업의 공시 투자자료와 언론에 노출된 각 기업의 탄소중립 관련 (친환경 활동 포함) 프로그램과 실적 등을 조사
 - 유형별 각 기업이 발표한 IR, ESG 보고서 및 언론 보도자료를 토대로 수집된 이하의 국내외 주요 ICT 기업 활동 내용을 정리
 - 본 보고서에서는 탄소중립 대응 활동을 친환경 활동을 포함하는 광의의 개념으로 정의

표 4-3 분석대상 : 국내외 주요 ICT 기업의 탄소중립 대응 동향

구분	내용	분석 기업
플랫폼 기업	<ul style="list-style-type: none"> • ICT/인터넷 분야의 방대한 비즈니스 및 일반 고객을 접점으로 하는 최상위(top-tier) 기업들로, 대부분 자체 데이터센터를 보유하거나 데이터센터 운영이 주요 비즈니스 모델이 하나를 차지 	<ul style="list-style-type: none"> • (해외) 애플, 아마존, MS, 구글 • (국내) 네이버, 카카오
네트워크 기업	<ul style="list-style-type: none"> • 유무선 네트워크 자산을 기반으로 비즈니스 및 일반 고객을 접점으로 하여 통신 서비스를 제공하는 기업 	<ul style="list-style-type: none"> • (해외) 버라이즌, NTT • (국내) KT, SK텔레콤
통신 장비/기기 기업	<ul style="list-style-type: none"> • 유무선 통신 장비 또는 기업/소비자용 전자통신 기기를 개발, 제공하는 기업 	<ul style="list-style-type: none"> • (해외) 화웨이, 에릭슨 • (국내) 삼성전자

※ 출처: 저자 작성

- (활동유형) 글로벌 ICT 기업들은 △에너지 최적화 △재생에너지 전환 △친환경/순환 경제 등의 영역에서 다양한 R&D와 캠페인 및 투자 활동을 통해 탄소중립 대응을 적극적으로 추진 중인 상황

표 4-4 ICT 기업의 탄소 대응 활동 유형화

구분	개요	세부 활동 유형
에너지효율 최적화	<ul style="list-style-type: none"> 에너지 소비가 큰 데이터센터, 통신 장비와 기기 및 글로벌 전역의 사옥 등에서의 효율적인 전력 에너지 활용과 수요예측 기술개발 활동을 추진 	<ul style="list-style-type: none"> (전력효율) 머신러닝과 보유 빅데이터를 기반으로 에너지 소비가 큰 데이터센터와 사옥을 대상으로 운영 최적화와 에너지 효율화를 도모 (수요예측) 에너지 활용 패턴과 전력 수급 이력 데이터를 기반으로 수요예측 기술을 적용하여 전력 소비를 탄력적으로 운용
재생에너지 전환	<ul style="list-style-type: none"> 클라우드 및 데이터센터를 주요 사업으로 하는 플랫폼 기업을 중심으로 최근 발전소 구축 및 투자와 기존의 화석 기반 에너지를 재생 에너지원으로 전환하는 활동을 통해 탄소배출량 저감과 각 기업의 넷제로 목표치 달성을 추구 	<ul style="list-style-type: none"> (에너지 전환) 재생에너지 공급원과의 단위 계약 등을 통해 데이터센터의 전력 공급을 재생에너지로 전환하는 경우가 보편적 추세 (발전소 투자/구축) 유력 클라우드 기업의 경우 자체적으로 풍력, 태양광 등의 재생에너지 발전소를 직접 건립하거나 투자함으로써 재생에너지 전환을 가속화
친환경/순환 경제 촉진	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 사업 도메인과 산업 밸류체인의 상당 부분을 포괄하는 글로벌 기업의 경우 제품 및 서비스 기획 단계에서부터 최종소비자에 이르는 과정까지의 전반에 걸친 친환경 및 순환 경제 달성을 위한 노력이 두드러짐 	<ul style="list-style-type: none"> (친환경 포장/업사이클링) 일반 소비자를 접점으로 하는 사업 도메인을 보유한 기업들의 경우 포장재의 친환경화와 업사이클링과 관련된 활동 (공급망 기업 친환경) 공급망 파트너 기업들에 대한 친환경 소재와 재생에너지 사용 등에 대한 인센티브와 지원을 강화하기 위한 노력도 전개 (친환경 촉진 솔루션 개발) 제품 및 서비스 제공 프로세스상에서 머신러닝과 재료(material)과학을 응용한 첨단 포장 방식이나 로봇 동작 기반의 부품 분해 및 재활용 용품 수거 등 직접 친환경 촉진 솔루션을 개발

※ 출처: 저자 작성

3.2. 국내외 주요 ICT 기업의 탄소중립 대응 동향

▶ 플랫폼 기업

- 플랫폼 기업들은 대부분 자체 데이터센터를 보유하거나 데이터센터 운영을 주요 비즈니스 모델로 삼고 있으며, 타 기업군에 비해 데이터센터와 사옥 전반에 걸친 재생에너지 전환과 전력 효율 개선에 적극적인 투자를 진행 중
- **(애플)** 콘텐츠-플랫폼-기기에 이르는 B2C 마켓밸류체인을 두루 보유한 기업으로, 비교 항목 전반에 걸친 폭넓은 그린 활동을 추진 중

- 2018년에 RE100을 달성하였고, 2030년까지 공급체인을 포함한 전체 기업 활동에서 탄소중립을 목표로 선언
- 이에 공급사 클린 에너지 프로그램(supplier clean energy program)을 발족하였고, 71개 공급사가 RE100을 달성(20.6월 기준)
- (아마존) 공급망 중심의 그린 활동이 부각되는 한편, 전력 자체의 효율화를 위한 노력은 상대적으로 제한적으로, B2C 사이트를 통한 다수의 파트너사를 거느리고 있는 특징이 반영된 것으로 분석
- (마이크로소프트) 데이터센터의 재생에너지 활용과 친환경/순환 경제 관련 노력은 활발하나, 자체적인 재생에너지 발전소 구축 및 투자는 상대적으로 취약
 - 이는 OS와 클라우드를 기반으로 이미 오랜 기간 방대하고 안정적 핵심 자산을 보유함에 따라, 사업 도메인 확장에 대한 필요성이 상대적으로 떨어진 데 기인한 것으로 분석
- (구글) 포괄적인 그린 활동을 추진 중이나, 서비스 중심적인 비즈니스 구조하에서 상대적으로 기기나 하드웨어 영역의 사업 도메인이 취약한 특징으로 인해 내부 공급망과 업사이클링 관련 활동은 상대적으로 취약
- (국내기업) B2C 고객을 주요 자산으로 두고 있는 플랫폼의 특성상 친환경 포장 원자재와 공정 및 유통을 강조하고 있으며, 데이터센터 에너지 효율화, 재생 에너지 발전소 투자 및 친환경 촉진 솔루션 개발 면에서는 해외 사업자들보다 소극적
 - 네이버와 카카오는 친환경 및 순환 경제 구현을 위한 다양한 프로그램을 실시 중이나 에너지 최적화를 위한 분석기술 개발, 재생 에너지 전환 및 투자 등에서는 해외 사업자들보다 소극적인 것으로 관찰

표 4-5 국내외 주요 ICT 기업의 탄소중립 대응 동향: 플랫폼

구분	프로그램/이니셔티브	에너지 최적화	재생에너지 전환	친환경/순환 경제 촉진
애플	RE100		○	
	Supplier Clean Energy Program		○	○○○○
	저탄소 제품 설계			○○
	재활용을 위한 부품 분해 로봇			○○○
	미-중 그린펀드 협약			○
	태양광/풍력 발전소		○○○○	
	공장 에너지 관리 시스템	○○		
아마존	태양광/풍력 발전소		○○○○	
	RE100		○	

구분	프로그램/ 이니셔티브	에너지 최적화	재생에너지 전환	친환경/순환 경제 촉진
	Climate Pledge Friendly			○
	Compact by Design			○○
	친환경 배송 계획			○○
	친환경 공급망 관리			○
	Right Now Climate Fund			○
	Climate Pledge Fund			○
	Sustainable Packaging Program			○○○
MS	해저 데이터센터	○		○
	공급 파트너사 탄소 배출 관리			○○○
	기기 전력 효율화	○		○
	탄소 제거 활동			○
	Climate Innovation Fund			○
	미래형 친환경 데이터센터	○		○○○
	공급망 탄소배출량 감축(Scope 3)			○
	RE100		○	
	MS Cloud for Sustainability			○
	풍력 기반 데이터센터		○○	
구글	탄소 인텔리전트 컴퓨팅 플랫폼	○○		○
	RE100		○	
	풍력 기반 데이터센터		○○	
	재생에너지 구매 계약		○	
	데이터센터 에너지 효율화	○		○
친환경 서비스 옵션			○○	
네이버	신설 데이터 센터 '각'	○	○	
	클로바 포캐스트			○○
	재생에너지 발전 투자		○	
카카오	그린팩토리	○		
	카카오프렌즈 친환경 포장			○○
	카카오프렌즈 그린라이프			○○
	친환경 데이터센터	○	○	

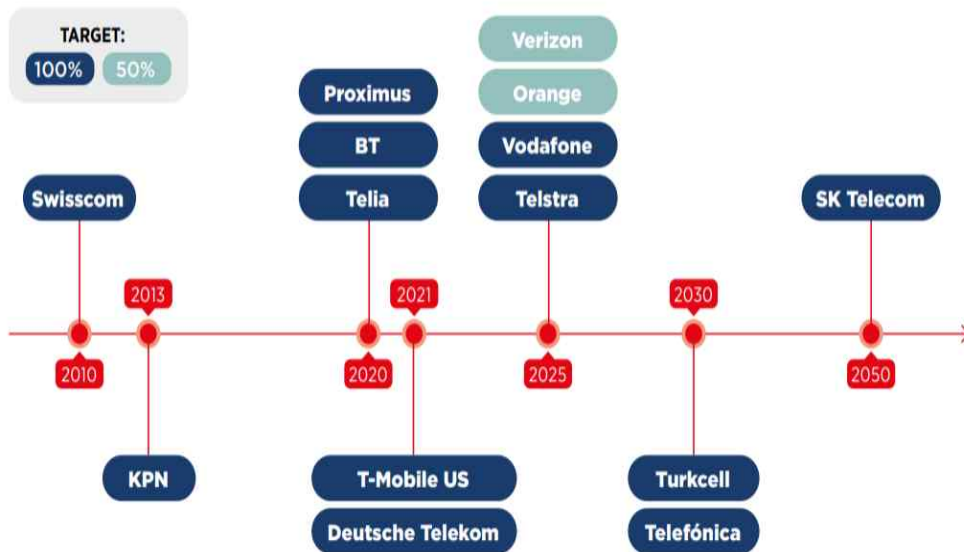
※ 출처: 각사 보도자료, IR 자료, 국내외 뉴스 보도 등 자료 종합

주) 프로그램/이니셔티브에 대한 세부 내용은 [부록] 내용을 참고. 동그라미 수가 많을수록 관련 사례가 많음을 의미.

▶ 네트워크 기업

- 네트워크 기업들은 에너지 최적화, 재생 에너지 활용 및 친환경/순환 경제 촉진 등 탄소중립 대응과 관련된 활동을 두루 고르게 수행하고 있는 것으로 판단
 - 그러나 빅테크 플랫폼 기업 대비 투자 적극성은 떨어지며 직접적인 발전소 구축보다는 기지국 단위의 재생에너지 적용과 전력 효율 개선 기술개발에 초점이 맞춰지는 경향 존재
 - 국내 대표 통신사업자들은 효율적인 에너지 활용 및 관리를 위한 에너지 분석 솔루션 사례 개발과, B2C 고객 사업자 브랜드 강화를 위해 친환경 원자재 활용과 업사이클링 활동 노력이 활발한 것으로 관찰
 - 다만, 재생에너지 전환을 통한 탄소중립 실현 목표는 해외 사업자들보다 소극적인 목표를 제시하고 있는 것으로 관찰됨
 - GSMA(2021)¹¹⁴⁾에 따르면 SK텔레콤은 2050년에 탄소중립 실현을 목표하고 있는데, 이는 여타 해외 주요 통신사의 목표치 대비 소극적 목표로 판단(그림 4-13 참조)
 - ※ KT는 2050년, LG유플러스는 2030년으로 나머지 국내 통신사들의 목표치도 해외 사업자에 비해 높지 않음

그림 4-13 주요 통신사업자의 재생 에너지 전환 목표 시점



※ 출처: GSMA(2021) The Mobile Economy 2021

114) GSMA(2021), The Mobile Economy 2021.

표 4-6 국내외 주요 ICT 기업의 탄소중립 대응 동향: 네트워크

구분	프로그램/ 이니셔티브	에너지 최적화	재생에너지 전환	친환경/순환경제 촉진
버라이즌	Eco Friendly 재생에너지 구매		○	○○
	에너지 효율화 표준	○		
NTT	도코모 그린조달 가이드라인			○○
	환경관리시스템			○
	플리엄화비닐폐기물 관리			○
	자연에너지를 이용한 차세대 그린 기지국		○	
	기지국 잉여부지 태양광 발전 시스템 설치		○○	○
	단말기 에너지 절감 솔루션 환경 라벨제도	○		○
	KT-MEG	○○		○
	온실가스 배출량 관리	○		○○
KT	태양광발전소		○○	
	제로웨이스트			○
	피크닉세트			○
SK 텔레콤	싱글랜	○		○
	친환경 유동망 RE100		○	○○
	클라우드 EMS 활용			
	에너지 효율화	○○		
	11번가 친환경 포장재			○○
	민팅 중고폰 보상 프로그램 확대			○

※ 출처: 각사 보도자료, IR 자료, 국내외 뉴스 보도 등 자료 종합

주) 프로그램/이니셔티브에 대한 세부 내용은 [부록] 내용을 참고. 동그라미 수가 많을수록 관련 사례가 많음을 의미.

☑ 통신 장비/단말 기업

- 장비/단말 기업은 플랫폼 사업자나 통신사업자보다 B2B 및 B2C 시장에서의 엔드유저 고객 기반이 약한 하위 티어(tier) 기업의 특성상 공급망 전반에 걸친 친환경 노력은 상대적으로 떨어지며, 재생에너지 전환 노력도 취약
 - 그러나, 통신 장비 및 단말의 에너지 효율성과 친환경 원자재/공정/유통 및 업사이클링과 관련된 노력은 활발한 편
- (삼성전자) 삼성전자는 B2C 및 B2B까지 폭넓은 글로벌 하드웨어 공급망을 관리하며, 글로벌 환경 기준에 부합한 활동을 적극적으로 전개하고 있으나, 에너지 최적화나 재생에너지 전환 활동은 여타 글로벌 장비/단말 벤더 대비 취약한 것으로 조사

- 그러나, 에너지 최적화나 재생에너지 전환 활동은 소극적인데, 실제로 삼성전자는 해외 공장에서만 RE100을 도입하는 등 전반적으로 미진한 대응을 보임
- 특히, AI와 머신러닝 기술을 활용한 에너지 최적화와 친환경 촉진을 위한 솔루션 분야 역시 개발 활동이 미진한 상황으로 향후 적극적인 시장 대응이 필요한 영역

표 4-7 국내외 주요 ICT 기업의 탄소중립 대응 동향: 장비/단말

구분	프로그램/이니셔티브	에너지 최적화	재생에너지 전환	친환경/순환경제 촉진
화웨이	6RID			○○
	E-waste 리사이클			○
	통신장비 효율화	○		○
	스마트 태양광 솔루션		○	○
	Power Star Solution	○		○
에릭슨	생애주기평가 (Life-Cycle Assessment)			○
	매니지드 서비스(Intelligent Automation Platform)	○		○
삼성 전자	업사이클링 애틀			○
	지구를 위한 갤럭시			○○
	삼성 인증 중고폰 프로그램/보상 판매			○○
	에코패키지			○○
	친환경 리모컨		○	

※ 출처: 각사 보도자료, IR 자료, 국내외 뉴스 보도 등 자료 종합

주) 프로그램/이니셔티브에 대한 세부 내용은 [부록] 내용을 참고. 동그라미 수가 많을수록 관련 사례가 많음을 의미.

3.3. 소결 및 시사점

- 디지털 전환이 빠르게 진전되고 탄소중립 대응이 글로벌 추세로 자리 잡자, ICT 산업 내에서도 에너지효율 개선과 탄소 저감은 중요한 경영 목표로 인식
- 본 조사에서는 최근 수년간 국내외 주요 ICT 기업의 탄소중립 대응 활동 동향을 조사하고, 이를 토대로 크게 △에너지 최적화 △재생 에너지 전환 △친환경/순환경제로 활동유형을 분류함
 - (에너지 최적화) 글로벌 ICT 기업들은 주력 사업영역뿐 아니라 사업 영위 과정에서 필요한 데이터센터를 비롯한 각종 ICT 장비/기기와 사옥 및 시설물에 에너지효율 개선, 운영 최적화, 수요예측 기술 등을 적극적으로 적용하고 있음

- (재생에너지 전환) 글로벌 ICT 기업들은 탈탄소화를 목표로, 재생에너지 공급 계약(PPA) 체결에서부터 태양광, 풍력발전 등 재생에너지 발전소 투자, 나아가 직접적인 발전소 구축까지 적극적으로 재생에너지 전환 활동을 전개
- (친환경/순환 경제) 글로벌 ICT 기업들은 탄소 간접 배출량 감소(Scope 3)의 하나로 공급망 기업에 대한 원자재 조달, 재생 포장지 사용 및 제품 제작 및 유통 과정에서의 친환경 방침을 강화
- 탄소중립에 대응하는 ICT 산업의 특징은 기업의 자발적인 노력이 적극적으로 진행되고 있다는 것으로, 이들의 자발적인 노력은 최근의 ESG 준수에 대한 정책·사회적 요구 증대가 중요한 요인으로 작용한 것으로 판단
 - 과거 기업의 사회적 책무(CSR) 수준에서 소극적인 환경보호를 하였다면, ESG 경영이 중요한 경영 목표로 자리매김하자, 기업들은 능동적이고 적극적인 탄소 저감 노력을 시행
- 반면, 국내 ICT 기업의 탄소중립 대응 활동은 상대적으로 소극적이며, 초기 단계에 머물고 있거나 특정 영역에 치우쳐 있는 것으로 판단
 - (플랫폼) 국내 플랫폼 사업자들은 글로벌 플랫폼 기업보다는 상대적으로 발전소 구축이나 투자를 통한 재생에너지의 주체적 생성, 전력 효율 개선이나 수요예측 등의 에너지 최적화나 친환경 촉진 솔루션 개발 활동 측면 전반에서 소극적인 것으로 관찰
 - (네트워크) 국내 통신사업자들은 망 투자나 서비스 개발 측면에서 전 세계적인 선도 역할을 해 온 가운데, 해외 사업자 대비 준수한 활동을 보이거나, 재생에너지 전환 및 탄소중립 목표 시점 등은 상대적으로 미진한 것으로 판단
 - (통신 장비/단말) 삼성전자의 경우 B2B 분야의 통신 장비에서부터 휴대폰, 가전에 이르는 다양한 B2C 분야에 걸쳐 폭넓은 하드웨어 공급망을 관리하고 있어 글로벌 환경 기준에 부합한 활동을 적극 전개 있으나, 에너지 최적화와 친환경 촉진을 위한 솔루션 분야 역시 개발 활동이 미진한 상황으로 향후 적극적인 시장 대응이 필요한 영역
- 이러한 결과는 CDP(탄소 정보공개프로젝트, The Carbon Disclosure Project)가 제공하는 기업별 기후변화 대응 활동 평가와 전반적으로 일치하며, 향후 국내기업의 적극적인 대응이 필요할 것으로 판단
 - CDP 분석에 따르면, 한국 주요 ICT 기업은 미국기업보다 기후변화 대응에 부족한 참여와 소극적 활동을 보이는 것으로 나타남 (63 페이지 참고)

[참고1] 《국내외 ICT 기업 CDP의 Climate change 활동》

- CDP(탄소 정보공개프로젝트, The Carbon Disclosure Project)는 전 세계 91개국, 9,600개가 넘는 기업이 참여 하는 글로벌 기후변화 프로젝트로, 영국에 본부를 둔 비영리 민간기구임
- CDP는 투자자를 대신하여 주요 기업의 온실가스 관련 정보를 공개하도록 요구하고 공개된 정보에 근거하여 각 기업의 온실가스 관련 리스크를 파악
- 국내의 경우, 2008년 한국 위원회 발족하여 매년 시가총액 기준 200대 한국 기업에 환경정보공개를 요청하고 있으며, 19년 기준 한국의 응답률은 200개 기업 중 60개 기업¹¹⁵⁾
- (조사 결과) 미국기업 대비, 한국 기업은 부족한 참여와 활동 결과를 보이고 있음
 - 특히, 네이버 카카오 등 플랫폼 기업은 전혀 참여하지 않고 있는데 이는 꾸준히 참여하고 있고 준수한 성적을 보이는 국내 통신사업자들과 대비되는 모습

〈참고- 국내외 ICT 기업 CDP의 Climate change 활동¹¹⁶⁾〉

기업		2021	2020		2019		2018	
플랫폼	애플	제출	제출	A	제출	A	제출	A
	MS	제출	제출	A	제출	A	제출	A
	구글	제출	제출	A	제출	A	제출	A
	아마존	제출	무응답	F	무응답	F	참여 거부	F
	네이버	무응답	무응답	F	제출	not scored	무응답	F
	카카오	무응답	무응답	F	무응답	F	무응답	F
네트워킹	AT&T	제출	제출	A-	제출	A-	제출	A-
	Verizon	제출	제출	C	제출	B	제출	A-
	SKT	제출	제출	B	제출	B	제출	C
	KT	제출	제출	A-	제출	A-	제출	A-
반도체	Nvidia	제출	제출	A-	제출	A-	제출	A-
	Intel	제출	제출	A-	제출	B	제출	C
	삼성전자	제출	제출	A-	제출	A-	제출	A-

* 접속일 : 2021.11.18. 접속일 기준, 평가 결과 F는 제출 정보 부족으로 판단할 수 없음을 의미.
 * 접속일 기준, '21년의 경우, 제출 여부만 확인할 수 있으며 평가 결과는 미공개 상황

115) <https://www.kosif.org/cdp/cdp-%EB%8C%80%EC%83%81%EA%B8%B0%EC%97%85/>

116) <https://www.cdp.net/en/companies/companies-scores>

V 이슈 전개 방향 및 정책적 시사점

1 이슈 전개 및 정책 방향 검토

- 가속화되는 탄소중립 패러다임 속에서 향후 ICT 역할과 도전과제를 파악하는 것은 중요한 과업이나, 전 사회에 걸쳐 복잡하게 얽힌 관계를 조망하는 것은 용이하지 않음
- 이와 관련, 본 연구는 더욱 균형 잡힌 시각을 갖추기 위해, 탄소중립 및 그린 ICT 기술 및 정책 전문가를 대상으로 2차례에 걸친 서면 인터뷰를 통해 의견을 청취
 - (전문가 구성) 학계, 연구계 종사자로 구성된 5인 참여*
 - * 1, 2차 동시 응답자는 3인이며, 2차에서 설문에서 전문가 2인은 신규 참여자
 - (주요 질의내용) 향후 탄소중립과 관련한 ICT 이슈 전개 방향, 향후 ICT 역할, ICT가 탄소중립에 미치는 복합적 영향(긍·부정 효과) 등에 대한 의견 등
- 본 장에서는 앞선 사례분석 결과와 청취한 전문가 의견을 종합하여, 탄소 중립시대의 ICT 관련 이슈 전개 방향, 탄소중립에 미치는 ICT의 복합적인 영향력, ICT 정책 방향성 등을 논의

1.1. 이슈 전개 방향 전망 논의 결과

- 향후 탄소중립 관련 ICT 이슈 전개 방향을 탐색함에 있어, 다음의 사항을 기본 전제로 고려
 - (ICT 영향력 증대) 데이터 경제, 디지털 전환이 진전될수록 사회·산업·경제 분야 등에서 ICT 영향력은 지속 확대될 것
 - (탄소중립 규범 강화) 탄소중립 실현을 위한 범지구적인 노력이 새로운 사회·산업·경제의 보편적인 규범으로 안착하고, 탄소중립은 ICT를 포함한 모든 분야에서 기본적 의무사항으로 작동되면서 대응력이 약한 소외계층 발생
- 이하의 내용은 전문가들이 바라본 향후 탄소중립 관련 향후 ICT 이슈와 시사점을 정리한 것임

❑ 탄소중립 가속화는 우리나라의 산업경쟁력 약화

- “우리 산업구조 상 제조업 중심의 탄소배출(에너지 소비량 및 에너지원의 화석연료 사용)은 불가피한 상황으로, 이미 20여 년 이상 탄소중립을 준비하고 제조업에서 탈피한 선진국들과의 경쟁에서 산업경쟁력의 급격한 하락이 예상된다”
- “우리나라는 에너지의 94%를 수입에 의존, 세계에서 9번째로 많은 에너지를 사용하고 있는 에너지 다소비 국가임”
- “탄소중립의 기본전략은 경제성장과 탄소배출을 탈동조화(Decoupling)함으로써 지속적 경제성장을 영위하면서도 탄소배출은 줄이겠다는 것임”

- ICT가 경제성장과 탄소배출 탈동조화를 견인하는 지렛대가 되어야 함

❑ ICT 산업은 지속 팽창하고, ICT로 인한 탄소배출 부담은 향후 증대

- “ICT는 고효율이라는 인식이 있었으나 대규모 데이터센터 등의 경험을 통해 발전소 급의 전력 수요가 필요하다는 것을 인지하였음. 따라서 향후 이에 대한 신축에 대한 규제는 더욱 강화될 것으로 전망되며, 이를 대처하는 초고효율화에 대한 기술과 정책 준비 필요함”
- “ICT 산업 자체가 가져오는 부정적 효과가 있음을 주지해야 함. 에너지효율 개선으로 ICT의 직접적인 배출과 ICT 산업 자체의 효율화도 동시 진행되어야 함”
- “글로벌 ICT 기업들은 빠르게 움직이고 있다. ICT 산업의 팽창과 의존도 증가는 탄소중립 기준에 맞추는 것을 더욱 어렵게 만든다. 또한 2, 3차의 간접효과를 고려하면 ICT 산업이 주는 탄소배출과 환경부담은 큼”
- “재생 에너지의 간헐성, 전력망 노후, 새로운 발전원 및 전력 거래 방법 등의 문제를 해결하기 위해 활발히 도입되고 있으나, 오히려 에너지 사용량을 증가시키는 리바운드 효과를 초래할 수 있다는 시각도 분명 존재함”

- ICT가 탄소중립 실현에 미치는 총체적 영향(긍·부정 효과 및 간접효과)에 대한 체계적 평가 필요

❑ 탄소중립 대전환으로 변화에 적응하는 기술과 이용행태가 요구될 것

- “강력한 탄소중립 정책과 국제 공조가 진행되더라도 기온 상승과 이로 인한 기후재난은 막을 수 없음. 이러한 환경에서 적응하기 위한 ICT 기술 필요함”
- “가령, 데이터센터의 ICT 인프라(하드웨어, 네트워크 장비, 서버, 냉각장치 등)를 운용하는 책임자는 네트워크 대역폭, 속도 및 성능에 대한 요구사항과 에너지(전력), 공간 및 비용 절약에 대한 필요성 등을 고려하여 최적의 운용정책에 초점을 맞춰져야 하는 필요성 높음”

- “탄소 저감을 위한 무인 자동화 등 ICT 기술 위주의 중소기업에 불합리한 환경으로 변할 가능성 존재, 24시간 가동이 가능한 시스템을 전력량/탄소 배출량 문제로 제대로 활용하지 못할 가능성도 존재하여 사회적으로 수많은 혼란을 초래할 것임”

- 탄소배출 저감과 기후변화에 적응하는 ICT/디지털 기술개발이 필요하며, 기술적 접근뿐 아니라, ICT 사용자의 행위를 변화를 유도하는 인센티브정책과 중소기업 등 패러다임 전환기의 소외계층 지원 방안도 고려 필요

1.2. ICT 정책 방향 고려사항 논의 결과

- 탄소중립 관련 ICT 정책에서 고려사항으로 전문가들은 ICT가 갖는 산업적 위상과 영향력을 고려해야 하며, 탄소중립 실현을 위한 실측 및 예측 인프라로서의 ICT 역할, ICT 자체의 고효율화를 위한 R&D 필요성, 타 산업에서의 탄소중립 실현 촉진을 위한 ICT 활용 등을 중심으로 방향성을 제시
- 이하의 내용은 탄소중립 시대의 ICT 정책 방향 고려사항에 대한 전문가 의견 및 시사점을 정리한 것임

■ 국내에서 ICT 산업이 갖는 특수성과 영향력을 고려

- “국내 산업에서 ICT 산업이 갖는 비중과 영향력을 고려. ICT 산업이 '30~'50년에 우리나라 산업 비중에서 더 늘어날 것으로 예상되는바, 이에 대한 구체적 전망치를 제시하고 ICT 기반 탄소중립 전략을 제시하는 최초 국가가 되면 좋을 것으로 판단됨”
- “탄소중립은 세계적인 이슈로서 시급성, 파급성, 지속성이 높은 주제이지만, 국내에서 시급하게 다루어질 정책 우선순위로 인식되고 있지 못하며, 기존 정보화 및 지능화의 연장선상에서 다루어지는 경향이 높으므로 기후변화 대응 및 온실가스 감축, 그리고 이를 위한 재생 에너지 이용 확대를 위한 필수 요소로서 ICT의 중요성과 가치를 강조하는 정책 연구 및 기술개발이 중요함”

- ICT 산업이 우리 경제에서 차지하는 비중과 영향력을 고려할 때, ICT 중심의 종합적인 탄소중립 정책 마련이 필요

■ ICT/AI기반 과학적 탄소배출 측정·예측·검증 기술 확보 필요

- “세계 인터넷 트래픽의 폭발적 증가('17 제타바이트(ZB) 시대 진입) 등 이미 전 세계적으로 디지털화가 가속되고 있으므로, ICT 산업 자체의 확대와 ICT 기술을 활용한 산업 부문의 확산을 고려한 탄소발자국 분석 및 예측이 시급함”

- “문제는 이를 계량화하거나 가시화하기 어렵다는 것임. 직접적이지 않고 간접적인 영향 분석이나 추정치로 계산되는 경우가 많기 때문임. 더욱 구체적인 측정과 평가 및 분석을 할 수 있는 방법론 개발과 시도가 필요함”
- “탄소중립 이행과정에서 ICT의 가장 큰 역할은 구체적인 통계 제시와 배출요인에 대한 진단을 가능하게 하는 것이며, 세부 구현 단계에서의 행태변화를 촉진하는 것이 될 것으로 보임”
- “기업이 scope 1, 2 단계적으로 집중하겠으나, scope 3을 달성하기 위해서는 그러나 AI는 기후변화 행동을 위한 기술 기반을 구축하는 데 핵심적 역할을 함. 특히, 단기적인 scope 1, 2에 대한 footprint 관리를 넘어 scope 3에 대한 배출을 관리하기 위해서는 AI의 활용이 필요함”

- 탄소중립 중심 경제 질서가 강화될수록 공정하고 투명한 탄소배출 측정, 검증, 예측 및 영향 평가와 같은 인프라 기술에 대한 수요가 증대될 것으로, ICT가 이를 담당할 필요

▣ 변혁적 수준의 ICT 에너지효율 개선 기술 필요

- “기존의 반도체, 통신, 서버 시스템 등 전반적 효율 개선을 위한 기술개발 노력을 해왔으나 집적도의 증가, 초고속화, 고성능화에 따른 전력 소비 증가는 피할 수 없는 현상이었음. 이에 대한 탈동조화(Decoupling) 필요로 하며, 새로운 소재·부품, 시스템 구조에 대한 요구가 있으며, 관련 R&D 지원과 정책 추진이 필요함”

- 한계점에 도달하고 있는 ICT 에너지 효율화 기술을 획기적으로 개선할 수 있는 새로운 방식의 소재 부품, 시스템 구조 기술 및 소프트웨어 기술의 개발 필요

▣ 타 산업 탄소중립의 촉진자(enabler)로서 ICT 활용

- “빅데이터, 데이터 경제 등 ICT 기술의 급격한 발전으로 ICT 분야의 전력 소모가 확대되는 추세로 탄소중립의 관점에서 필요성은 인정되나, 탄소중립 규제가 ICT 산업보다 철강, 석유화학·정유 등 온실가스 다 배출 산업에 미치는 영향이 더욱더 높음. EU의 탄소중립 규제가 2023년을 시범사업을 시작으로 2026년 확대를 목표로 하고 있어 단·중기적으로 중요한 이슈라고 판단됨”

- ICT 산업 자체의 탄소중립 대응뿐 아니라, 탄소중립 규제의 영향을 더욱 크게 받는 기존 산업에서의 탄소중립 실현을 촉진하기 위한 ICT 역할과 활용이 강조될 필요

1.3. ICT가 탄소중립에 미치는 복합적(긍·부정) 영향 논의 결과

- 앞선 3~4장의 분석내용을 종합하여 ICT 자체와 ICT 활용 각각에 대한 탄소 중립과 관련한 긍정 전망과 부정 전망을 정리하면 [표 5-1]과 같음
 - (긍정 영향) ICT 에너지효율 향상은 많은 기술 한계를 돌파하며 지속되어 왔고, 타 산업에서 ICT가 탄소배출 저감의 솔루션으로 정착되고 있으며, 환경/자원 보호 및 기후변화 적응을 위한 솔루션/인프라로 이용되고 있음
 - (부정 영향) ICT의 에너지 효율성 향상에도 불구하고, 총 전력 소비량은 증가하고 있으며, ICT 단말의 폭발적 증가와 고성능화는 내재 탄소 발생 증가를 유발. 또한 ICT 산업 혁신은 리바운드 효과*나 진부화 효과**를 야기
 - * 리바운드 효과: 에너지효율 개선에 따라 기기의 사용량이 증가하거나 에너지 절약에 따른 소득 상승효과가 타 상품 구매로 전환되어 에너지 사용량 총량 증가
 - ** 진부화 효과: ICT가 빠르게 발전하기 때문에 ICT 장비/단말의 물리적 수명보다 빠른 교체를 유발하는 것으로 더 많은 ICT 폐기물을 발생시킴

표 5-1 ICT 자체와 ICT 활용에 따른 탄소중립에 대한 긍·부정 전망

구분	ICT 자체	ICT 활용
긍정 전망	<ul style="list-style-type: none"> • ICT 에너지효율은 지속 발전해옴 • ICT 산업은 재생에너지 전환에 적극적 • 글로벌 기업 재생에너지 100% 달성 완료, 일부는 카본 네거티브 표방 	<ul style="list-style-type: none"> • ICT/AI의 활용으로 각 분야에서 실질적인 에너지효율, 탄소 저감 효과가 가시화 • 통합화, 가상화, 최적화 등 ICT/디지털 기술의 특성은 전 분야의 탄소중립 실현의 핵심 인프라로 이용
	<ul style="list-style-type: none"> • (공통) 인공지능/ML, 뉴로모픽, 양자 컴 등 새로운 기술혁신은 새로운 국면 창출 가능 	
부정 전망	<ul style="list-style-type: none"> • ICT가 전력 사용량은 급속히 증가 추세 • 무어의 법칙 한계 도달 등 ICT 효율성 증진에도 한계 존재 • 재생에너지 100% 달성은 탄소배출 상쇄되지 무배출이 아니며, 재생에너지의 무제한 증산도 한계 	<ul style="list-style-type: none"> • 개별 도메인의 에너지 효율성 증대가 반드시 에너지 소비 총량의 감축을 의미하지 않음
	<ul style="list-style-type: none"> • (공통) ICT 산업혁신은 결국 더 많은 ICT 이용과 산업폐기물 야기(리바운드 효과* 존재) 	
긍정 영향	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ ICT 에너지 효율 향상 	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ 타산업의 탄소배출 저감 디지털 솔루션 ⊕ 환경/자원 보호 및 기후 변화 적응(adaptation)
부정 영향	<ul style="list-style-type: none"> ⊖ ICT 에너지 총 소비량 증가 	<ul style="list-style-type: none"> ⊖ 간접효과 (리바운드 효과, 진부화 효과)
	<ul style="list-style-type: none"> ⊖ ICT 장비/단말 내재탄소 (embodied carbon) 	<ul style="list-style-type: none"> ⊖ ICT 폐기물 증가 (빠른 확산)

※ 출처: 저자 작성

- 위와 관련하여 전문가 의견을 정리하면 [표 5-2]와 같으며, 전문가 의견에서는 긍정적 어느 한쪽이 우세하지는 않음

표 5-2 ICT의 탄소중립에 대한 긍정적 효과에 대한 전문가 의견

긍정 효과	부정 효과
<ul style="list-style-type: none"> ● ICT는 재생 에너지의 간헐성, 전력망 노후, 새로운 발전원 및 전력 거래 방법 등의 문제를 해결하기 위해 활발히 도입 ● ICT는 환경문제 해결의 솔루션이 될 수 있습니다. 에너지 효율화를 통한 온실가스 배출 저감, 교통, 건설 등 다양한 분야의 혁신을 통한 환경부담 경감, 재생 에너지 이용 촉진을 통한 에너지전환에 기여하는 등 부정적 영향보다 긍정적 영향이 더 클 수 있음 ● ICT 기술이 탄소배출 저감(에너지 사용 효율화)에 적극 활용 ● 탄소중립의 핵심 수단은 분산형 ①그린 에너지 공급 확충과 ②고효율 소비 전환으로 ICT는 이 두 부문에 대한 기여도가 계속 커갈 것으로 전망 ● 글로벌 트렌드를 반영한 현장 중심의 제조혁신 지원을 위해 생산성 향상에 더해 탄소 저감에 효과적인 특화 스마트공장 신설 지원 정책이 준비되고 있으며, 향후 다각적으로 확대될 것으로 예상됨 	<ul style="list-style-type: none"> ● ICT는 탄소배출에 큰 비중을 차지하지 않는다는 인식이 많으나, 새로운 기술에 관한 내용이 간과된 측면 존재 ● ICT는 에너지 사용량을 증가시키는 리바운드 효과를 초래할 수 있다는 시각도 분명 존재 ● ICT는 전력 소비로 인해 온실가스를 배출하고 전자 폐기물도 계속하여 증가하고 있어 환경부담을 높이고 있음 ● ICT 기술이 접목되는 분야의 확대, ICT 기술을 활용하는 인구의 급증, 데이터 수집량 및 그에 따른 저장공간, 트래픽, 분석수요 폭증 등은 데이터센터의 과부하를 유발과 같은 탄소배출을 증가시키는 원인이 되기도 함 ● 자율주행차, 자율주행 비행기/선박 등 전산업의 디지털화스마트화가 더 많은 에너지 소비량을 늘리는 요인이 될 것으로 판단됨 ● ICT 기술 기반 서비스로 인한 여타 분야 에너지 소비량 증대(예: 플랫폼 서비스 활성화로 인한 배달, 물류량 증가)도 포함될 필요

※ 출처: 저자 작성

- ICT가 기후변화 대응 및 탄소중립 실현에 미치는 영향은 일방적이지 않으며, 명확하게 파악되지 못하고 있는 실정. 향후 ICT가 탄소중립에 미치는 영향을 총체적 관점에서 심층 분석이 진행될 필요
- 아울러, 탄소중립 대응을 위한 ICT 기술혁신은 반드시 필요하나, 이는 탄소중립 달성의 충분조건은 아니며, 적절한 정책적 개입과 사용자 행동 변화가 수반될 필요

[참고2]

《기존연구 검토: ICT의 탄소중립에 대한 긍·부정 효과》

- 탄소중립 시대의 ICT 역할 설정을 위해서는 ICT가 탄소중립에 미치는 영향에 대해 면밀하게 살펴볼 필요가 있음
 - ICT로 인한 탄소배출 증가 및 ICT 활용에 따른 탄소배출 감소 효과가 동시에 발생하며 이들 간의 정확한 관계를 규명하기란 쉽지 않음
- ICT의 탄소중립과 탄소중립에 미치는 총 효과를 분석에 미치는 영향을 검토한 기존 연구의 내용을 살펴보면 다음과 같음
- (ICT 자체의 탄소중립 실현) ICT 에너지 효율증가에도 불구하고, ICT의 에너지 소비는 지속해서 증가하므로 단기간 내에 ICT 산업 자체의 탄소중립을 달성하기는 어려울 것으로 전망 (Andrae, 2020)
 - 해당 연구는 82~96% 확률로 2020~2030년까지 ICT 탄소 배출량 증가를 전망
- (ICT 총효과-독일 bitkom) '30년 독일에서 ICT로 인한 감축 효과가 ICT가 자체 배출하는 탄소량의 6배 이상으로 높을 것으로 전망
 - 시나리오 1(완만한 디지털화) : 102메가톤/16메가톤 = 6.375
 - 시나리오 2(급격한 디지털화) : 151메가톤/22메가톤 = 6.863
- (ICT 총효과-GeSI) '30년 전 세계 ICT 활용에 따른 탄소배출 저감효과는 ICT 자체의 탄소 배출량의 9.7배 수준으로 전망
- 요컨대, 기존 연구들은 현 추세대로라면 ICT 산업 자체의 탄소배출은 증가하기 때문에 ICT 산업의 탄소중립 실현은 어려운 과제이나, ICT 활용에 따른 탄소배출 저감효과는 더 크기 때문에 이를 상쇄할 것으로 전망함
 - (비판) 해당 연구의 수행기관인 Bitkom과 GeSI가 모두 정보통신 산업체의 지원을 받는 기관 및 조직이라는 점에서 일부 편향적으로 작성되었을 가능성을 배제하지 못함

[참고3] 《제본스 역설(Jevons Paradox) - 리바운드 효과(Rebound effect)》

- 영국 경제학자 윌리엄 스탠리 제본스(William Stanley Jevons, 1835~1882)가 1865년 저서 '석탄의 문제'에서 주장한 내용으로 기술 발전으로 석탄 에너지 효율이 높아지면 오히려 석탄 소비가 더 늘어나게 된다는 주장
- 에너지효율 개선에 따라 기기의 사용량이 증가하거나 에너지 절약에 따른 소득 상승효과가 타 상품 구매로 전환되어 에너지 사용량 총량 증가할 수 있음



출처: https://www.kindpng.com/imgv/hhiihj_iimagen-1-direct-and-indirect-rebound-effect-hd/

- ICT는 환경 부하를 경감할 수도, 증가시킬 수도 있음. 예를 들어 ICT는 원격회의/메타버스를 통해 해외 출장을 감소시킬 수 있으나, 인터넷과 SNS 발달은 해외여행을 촉진할 수도 있음
- ICT 효율성 증가로 인한 ICT 수요증가(직접 리바운드 효과)나 ICT로 인한 행동 변화(간접 리바운드 효과)까지 고려하여 체계적인 접근이 요구

2 정책적 시사점

▶ 탄소중립 대응을 위한 ICT 종합대책 마련 필요

- 현재 ICT 산업의 직접적 탄소배출 기여도는 2~4% 수준이나, 리바운드 효과 등 간접효과와 향후 ICT 산업 성장세 및 경제 사회에 미치는 영향력을 고려하면 더욱 비중 있게 인식되어야 할 필요
 - ICT 산업이 국내 경제에서 차지하는 비중과 영향력을 볼 때, 적절한 대응을 하지 못해 글로벌 생태계에서 도태될 시, 국내 경제에 미치는 위험은 매우 클 것
- 그러나 현재 탄소중립 정책은 ICT 산업 자체보다는 국가 탄소중립 실현을 위해 타 산업에서의 ICT 활용에 더 많은 관심과 정책 의지가 반영된 것으로 보임
 - 정부의 '탄소중립 기술혁신 추진전략' 및 '탄소중립 10대 혁신 기술'에서 ICT는 별도 산업이 아닌 전 산업 분야의 디지털화를 달성하는 범용 기술로서 인식
- 따라서, ICT/AI 기술이 미래 사회에서 갖는 위상과 이들이 탄소배출에 갖는 복합적인 영향력을 고려한 ICT 관점의 종합대책 마련이 필요한 시점으로 판단
 - 즉, 탄소중립 선도국으로 도약하기 위한 ICT/AI 기반 (전환·산업·건물·수송 등) 부문별 탄소중립 추진전략과 ICT 산업 자체의 탄소중립 실현을 위한 대책이 균형 있게 검토되어야 할 것

◆ ICT/AI 기반의 공정하고 투명한 탄소배출 측정·예측·검증 방법 개발 필요

- 현재 개별 산업 분야에서 ICT/AI가 적용되어 탄소중립 대응을 위한 유의미한 성과가 도출되고는 있으나, 사례검토와 전문가 의견 청취를 종합해 보면, ICT에 요구되는 가장 중요한 역할은 과학적 탄소 배출 측정과 예측 및 검증과 같은 탄소중립 인프라 기술의 제공인 것으로 판단됨
- 특히, 탄소세, 탄소 국경세 등 탄소중립 중심의 경제 패러다임이 가속화된다면, 정부가 투명·공정하고 편리한 탄소측정 및 검증 기능을 제공하는 것이 국가적 탄소중립 실현 촉진 및 국가 경쟁력 제고에 핵심
 - 이해당사자 간의 불필요한 갈등 조정과 대응력이 약한 취약 계층(기업, 개인) 등의 지원, 새로운 경제 패러다임에서의 선제적 인프라 구축
- 따라서, 이 분야는 향후 탄소중립 시대에 ICT의 역할이 가장 두드러지는 분야로 판단되며, 이에 대한 정부의 적극적인 투자와 지원이 필요

- 블록체인, 스마트센서, 디지털트윈, 빅데이터/AI 등 4차산업혁명 기술을 활용한 탄소배출 측정·예측·검증 관련 인프라 기술개발이 필요
- ICT/AI 기술 기반 단일 도메인 솔루션에 맞춰진 현재의 활용 수준을 넘어선 복수 도메인을 통합 관리할 수 있는 투명하고 효율적인 거버넌스 플랫폼*으로 확대 필요
 - * ICT/AI 기술을 활용한 탄소 배출 측정 및 검증 단위를 기업, 지역, 국가로의 통합화

▶ 에너지효율 향상, 탄소 저감 등을 기존 ICT R&D의 주요 목표로 설정·관리 필요

- 지금껏 ICT의 핵심인 반도체 집적의 물리적 한계가 계속 전망되었으나, 새로운 공정과 아키텍처로 한계 시점을 연장하고 있으며, ICT 시스템 차원의 에너지효율 최적화 역시 지속적인 개선이 이뤄지고 있음
 - 수직 트랜지스터 아키텍처 등 새로운 패키징 공법이나 AI 전용 칩 등 반도체 설계 기술의 발전으로 반도체 성능과 에너지효율은 지속 향상됐음
 - 또한, 지난 10여 년간 데이터센터나 LTE, 5G 이동통신 시스템에서 데이터 처리효율은 크게 개선되었음
- 그럼에도 불구하고, 향후 디지털 전환에 따른 ICT/AI의 전면적 활용으로 ICT 에너지 총사용량 증가가 전망되는바, ICT R&D에서 고성능 구현뿐 아니라, 에너지효율 향상과 탄소 배출량 저감이 중요한 성과 목표로 인식되어 관리될 필요
 - 이미 5G-Advanced, 6G 등 차세대 이동통신 시스템에서는 에너지효율이 중요한 KPI로 고려되고 있음
- 하드웨어를 넘어 소프트웨어 공학 측면에서의 에너지효율 향상을 위한 접근이 함께 고려되어야 함
 - 학계 및 산업계에서는 그린 코딩(green coding), 코드 카본(code carbon)과 같은 소프트웨어 개발과정에서 탄소 배출(전력 소모)을 최소화하는 알고리즘 구현과 이를 위한 개발자 지원(가시화)이 노력이 진행 중

▶ 탄소중립 대응 격차 해소를 위한 공공 영역에서의 ICT/AI 기반 탄소중립 솔루션 마련 필요

- 탄소중립 및 ESG 패러다임이 가속화될수록, 제조업 비중이 높은 우리 경제가 맞는 타격이 클 것으로 예상되며, 특히 개별 대응력을 가진 대기업을 제외한 대부분 중소기업은 탄소중립 전환 과정에서 많은 어려움이 예상됨
 - 중소벤처기업진흥공단 실태조사(21.2.)에 따르면, 응답 기업의 56%가 현재 탄소중립 대책이 없다고 응답하였고, 저탄소 전환 관련 애로사항으로 공정개선·설비 도입 관련 비용 부담

(44.3%)이 가장 큰 것으로 조사됨¹¹⁷⁾

- 자체 대응력을 확보한 대기업과 달리, 대응력이 영세한 중소기업은 탄소중립 패러다임 가속화로 인해, 시장에서 빠르게 경쟁력을 잃게 될 위험 존재
- 따라서, 자체적인 탄소중립 대응 솔루션 도입이 어려운 중소기업들이 쉽게 활용할 수 있는 대표 산업 분야에서 ICT/AI 기반 탄소중립 솔루션 마련을 공공 R&D 영역에서 담당할 필요

▣ ICT 산업의 순환 경제 활성화 방안 마련 및 소비자 권리 및 인식 제고 필요

- 디지털 전환이 고도화될수록 ICT 단말/장비 수의 증가와 고성능화로 인해 내재 탄소를 비롯한 ICT 산업의 탄소 배출량은 증가할 것으로 전망되며,
- 이에 따라, 유지보수 서비스를 통한 ICT 단말/장비 수명 연장과 폐자원 순환망 구축 의무 등 ICT 산업의 순환 경제 활성화를 위한 방안 마련이 필요
 - EU의 ‘신 순환 경제 실천 계획’는 ICT 제품의 수명과 수리 가능성, 재활용성 향상을 위해 제품의 설계 단계에서 유지·보수, 업그레이드, 더 나아가 업사이클링(재활용)을 고려하여 제품 사용 기간(수명)을 늘리는 것을 강조
- 이를 위해서는 ICT 제품 소비자의 수리받을 권리 및 업데이트 권리, 오래된 단말/장비의 반환에 대한 소비자 인식과 보상체계 등이 개선되어야 함

117) 한국일보(2021.10.21.), 탄소중립 사각지대 놓인 중기... 중기부 및 산하기관 관련 예산 5% 미만

[부록] 국내외 주요 ICT 기업의 탄소중립 대응 동향 조사

◆ 플랫폼 기업

구분	프로그램/ 이니셔티브	주요 내용
애플	RE100	<ul style="list-style-type: none"> 데이터센터와 사무실 등 모든 운영 시설의 전력을 재생에너지원으로 100% 전환
	Supplier Clean Energy Program	<ul style="list-style-type: none"> 공급 업체가 애플 제품을 생산할 때 재생 에너지만을 쓰도록 지원. 100개 이상의 공급사 참여('21년 환경 진척 보고서) 공급자 클린 에너지 포털 개시 공급망 내 탄소 배출량 저감을 위해 중국과 일본 내 500 메가와트에 달하는 태양광 및 풍력 프로젝트 개발 투자
	저탄소 제품 설계	<ul style="list-style-type: none"> 저탄소·재활용 재료를 이용해 상품을 생산하고, 제품 설계 과정에서 에너지 효율화 추진: 2019년 배포된 모든 아이폰, 아이패드, 맥북, 애플워치는 재활용품으로 생산
	재활용을 위한 부품 분해 로봇	<ul style="list-style-type: none"> 부품 분해 로봇인 Daisy와 Dave를 활용해 수거된 아이폰에서 알루미늄이나 철, 희토류 등 14가지 물질을 회수하여 재활용. 로봇 한 대가 시간당 200대의 아이폰을 분해
	미·중 그린펀드 협약	<ul style="list-style-type: none"> 애플 협력업체를 위한 에너지효율 촉진 프로젝트에 1억 달러를 투자
	태양광/풍력 발전소	<ul style="list-style-type: none"> 태양광발전소 설립: 중국, 스칸디나비아, 미국 각지
	공장 에너지 관리 시스템	<ul style="list-style-type: none"> 중국 Guangzhou 공장 내 에너지 관리 시스템 도입을 통해 에어컨, 선풍기, 펌프, 공기 응축기 등 시설 내 다양한 전력 에너지 소비 장비에 대한 모니터링과 최적화 실시 Asia Green Fund 참여를 통한 관련 프로젝트 투자 지원
풍력 터빈 발전	<ul style="list-style-type: none"> 덴마크 Esbjerg에서 세계 최대 규모의 200미터 높이 터빈을 통해 연 62GWh의 전력 생산 시설 투자. 해당 시설은 애플의 Viborg 소재 데이터센터의 전력원으로도 활용 	
아마존	태양광/풍력 발전소	<ul style="list-style-type: none"> 총 127개의 태양광 및 풍력발전 프로젝트 추진 미국과 유럽 내 태양광/풍력 발전소 14곳에서 1.5GW 규모의 에너지 조달 계약 체결
	RE100	<ul style="list-style-type: none"> 인프라 운영 전력을 100% 재생 에너지로 전환
	Climate Pledge Friendly	<ul style="list-style-type: none"> 친환경제품 인증 마크 프로그램으로, 전자상거래 사이트 내에서 아마존이 인정하는 19가지 지속가능성 인증 중 하나 이상을 충족한 제품에 부여
	Compact by Design	<ul style="list-style-type: none"> 전자상거래 사이트 내에서 효율적이고 지속 가능한 포장을 사용하는 제품에 대한 아마존의 인증 프로그램
	친환경 배송 계획	<ul style="list-style-type: none"> 2030년까지 자사가 취급하는 배송 물량의 절반에 대해 이산화탄소 배출을 제로 수준으로 억제하기 위해 전기차를 통한 배송을 확대 (10만 대 확보)
	친환경 공급망 관리	<ul style="list-style-type: none"> 아마존 납품 기업에 재활용이 가능한 친환경 포장재 요구

구분	프로그램/ 이니셔티브	주요 내용
	Right Now Climate Fund	<ul style="list-style-type: none"> 탄소 제거와 토질 복원을 위한 산림농업 및 생태 보호 사업을 위해 최초 1억 달러의 재원을 기반으로 형성된 기금으로, 유럽 기후변화 대응, 브라질 탄소 제거 자연 기반 솔루션, 전 세계 열대 우림 보호, 독일 도심 그린화 등의 사업을 추진
	Climate Pledge Fund	<ul style="list-style-type: none"> 전기차량 충전 기술 개발사, 재생연료 기술 개발사 등의 친환경 기술개발 전문 기업에 대한 투자를 위해 형성한 기금. '21.10월 시점 총 11개 기업에 대한 투자를 완료
	Sustainable Packaging Program	<ul style="list-style-type: none"> 전자 상거래 제품에 친환경 포장 적용을 위한 이니셔티브로, Frustration-Free Packaging (FFP)의 경우 제조 기업의 포장지 폐기물을 줄이고 포장 개봉의 간편성을 향상 랩테스팅, 머신러닝, 소재과학 기술을 결합하여 과학 기반의 지속가능한 패키징 방식 발명 및 간소화
MS	해저 데이터센터	<ul style="list-style-type: none"> 냉각에 필요한 전력 비용 절감을 목표로 2년간 추진해 온 구축 및 운영 실험을 완료, 연중 일정 수준의 낮은 온도와 적정 습도를 유지하여 기존 데이터센터의 문제점을 해결
	공급 파트너사 탄소배출 관리 기기 전력 효율화	<ul style="list-style-type: none"> 데이터 시각화 도구인 파워BI(Power BI)를 활용해 탄소배출 관련 감사 관리 시스템을 구축, 결과를 추적하고 공급망 개선을 지원 엑스박스(Xbox)팀은 장비가 대기 모드일 때 전력을 15와트에서 2와트 미만으로 줄이는 새로운 기능을 개발
	탄소 제거 활동	<ul style="list-style-type: none"> 6개의 탄소 제거 솔루션 프로젝트에 투자해 약 130만 톤의 탄소를 제거
	Climate Innovation Fund	<ul style="list-style-type: none"> 탄소 제거 분야의 초창기 스타트업 지원을 위한 기금으로 10억 달러의 초기 자금을 형성
	미래형 친환경 데이터센터	<ul style="list-style-type: none"> 데이터센터 가동으로 발생하는 물 사용량과 탄소 배출량을 획기적으로 줄이고, 지역 생태계를 지원하기 위한 계획 및 성과물: 1) 액침 냉각 방식, 2) 냉각수 제거 및 물 사용량 저감, 3) 수량, 수질, 공기, 탄소, 기후, 토양 질, 생물 다양성 등 여러 측면에서 생태계 활동성을 정량화와 데이터센터 주변지역 재생과 활성화, 4) 데이터센터 설계 및 건설 중에 배출되는 탄소량 저감(EC3), 5) AI 알고리즘을 활용한 순환 센터(Microsoft Circular Center)를 통한 서버의 수명 주기를 연장하거나 재사용 지원(서버 및 하드웨어 목록 분류 및 확인)
	공급망 탄소 배출량 감축(Scope 3)	<ul style="list-style-type: none"> 새로운 조달 프로세스와 툴을 활용하여 공급사들의 Scope 1, 2, 3 감축을 위한 인센티브 부여: 일관성 있고 정확한 보고 실행과 과학 기반 목표치 설정을 위한 효과적 단계 수립 지원
	RE100	<ul style="list-style-type: none"> 2012년 탄소 제로를 달성했으며, 2030년까지 마이너스 탄소배출을 위해, 2025년까지 100% 재생 에너지로 공장을 가동하고, 2030년까지는 회사의 업무용 차량을 모두 전기차로 돌리겠다는 계획
	MS Cloud for Sustainability	<ul style="list-style-type: none"> 클라우드 고객사의 탄소절감 솔루션으로, 실시간으로 탄소 배출량을 기록하고, 시각화 기능을 제공. 고객사는 감소 목표에 대한 진행 상황을 추적함으로써 정확한 탄소 회계 정보를 제공
	풍력 기반 데이터센터	<ul style="list-style-type: none"> 네덜란드 암스테르담의 데이터센터를 통해 해상 풍력을 이용한 에너지 매칭 솔루션 운영(예정)

구분	프로그램/ 이니셔티브	주요 내용
구글	탄소 인텔리전트 컴퓨팅 플랫폼	<ul style="list-style-type: none"> 일 단위로 로컬 전력 그리드의 시간당 평균 탄소 집약도 변화를 예측·분석하여 풍력·태양광 등의 저탄소 전력 공급이 원활한 시기로 컴퓨팅 작업을 분산 조정
	RE100	<ul style="list-style-type: none"> 덴마크와 핀란드, 미국 아이오와, 오클라호마, 오레곤 주에 있는 5개 데이터센터에서 소비하는 전력의 90%를 무탄소 에너지원에서 공급 5.5GW 상당의 50개 이상 재생 에너지 발전사업으로부터 전력을 구매 10년 안에 전 세계 모든 구글 데이터센터와 클라우드 지역, 사무실을 100% 청정전력으로 운영계획
	풍력 기반 데이터센터	<ul style="list-style-type: none"> 벨기에 데이터센터 전력 공급을 위해 북해에 최초의 해상용 풍력발전 건설 착수
	재생 에너지 구매계약	<ul style="list-style-type: none"> O2와 북부 스웨덴 풍력발전 단지 전력 전체를 10년간 구매하는 전력구매계약(PPA)을 체결
	데이터센터 에너지 효율화	<ul style="list-style-type: none"> 머신러닝을 사용하여 데이터센터의 냉각을 자동으로 최적화하고 스마트 온도, 조명 및 냉각 제어 솔루션을 구축해 데이터센터에서 사용되는 에너지를 절감 텐서 프로세싱 유닛(TPU) 설계를 통해 머신러닝 효율을 향상하고, 모든 데이터센터에 고성능 서버 장착
네이버	친환경 서비스 옵션	<ul style="list-style-type: none"> 항공권 예약 사이트인 구글 플라이트(Google Flights)에서 비행편을 검색하는 고객에게 탄소 배출량 추정치를 알려주는 서비스를 개시 구글맵스(Google Maps)를 통해 교통량과 도로 경사도 등 여러 가지 요소들을 종합적으로 고려해서 운전자들에게 탄소 배출량이 가장 낮은 경로를 알려주는 서비스를 시작 여행자들이 좀 더 친환경적이고 지속할 수 있는 방식의 호텔과 리조트를 선택할 수 있도록 호텔 검색 목록에 녹색 잎 모양의 '에코 인증(Eco-certified)' 태그를 표시
	데이터센터	<ul style="list-style-type: none"> 춘천 데이터센터 '각'에 대해 풍력, 조력, 지열, 태양광을 이용한 100% 재생가능에너지로 운영기로 발표 각 세종의 하이퍼스케일 데이터센터의 에너지 효율적인 운영을 위한 데이터센터 인프라 관리 시스템 구축 예정
	클로바 포캐스트 재생 에너지 발전 투자	<ul style="list-style-type: none"> AI 기반 물류 효율화 프로그램. 완충재, 테이프, 패드 등 모든 포장재는 재활용할 수 있는 종이 소재로 대체해, 플라스틱 사용량 감축 국내 재생 에너지 개발과 자가 발전 여건을 고려해 간접 개발과 투자를 병행하는 PPA(제3자 전력 구매) 적극 확대 예정
	그린팩토리	<ul style="list-style-type: none"> 20년에 준공된 네이버의 친환경 사옥으로, 설계 단계부터 환경을 고려해 에너지 절약형으로 건축했으며 열 차단 칸막이(루버), LED 조명, 인버터 등의 설비 투자와 지열 설비를 이용한 여름철 전기 소비량 감축, 설비 운영 개선 등을 도모
카카오	카카오프렌즈 친환경 포장	<ul style="list-style-type: none"> 카카오프렌즈 온라인몰에서 사용하는 모든 포장재와 부자재를 친환경 경제품으로 사용할 계획. 배송용 포장박스, 포장재, 완충재를 친환경 소재로 변경
	카카오프렌즈 그린 라이프	<ul style="list-style-type: none"> 흔히 사용하는 일회용품을 대체할 수 있는 품목으로 구성. 패키지에 서도 컬러 인쇄와 코팅을 최소화한 종이와 생분해 소재 비닐을 사용해 생산부터 폐기과정까지 환경을 고려한 제품으로 기획

구분	프로그램/ 이니셔티브	주요 내용
	친환경 데이터센터	<ul style="list-style-type: none"> 4249억 원을 신규시설에 투자. 상수 사용량을 모니터링하고 빗물을 모아 활용하는 등 물 사용량을 최소화하기 위한 시스템을 도입하고, 냉동기, 항온항습기 등 다양한 장치를 설치해 전기 소모량을 절감

※ 출처: 각사 보도자료, IR 자료, 국내외 뉴스 보도 등 자료 종합

◆ 네트워크 기업

구분	프로그램/ 이니셔티브	주요 내용
버라이즌	Eco Friendly	<ul style="list-style-type: none"> 100% 자연 분해가 가능하거나 식물 기반 소재나 리사이클 플라스틱으로 제작된 휴대폰 케이스 및 액세서리 판매
	재생 에너지 구매	<ul style="list-style-type: none"> 20.8월 시점 Verizon의 재생 에너지 구매계약이 누적 450MW를 달성. '21.1월, 845MW 추가 계약
	에너지 효율화 표준	<ul style="list-style-type: none"> 네트워크, 데이터센터 또는 고객 장비 대상 에너지 효율화 표준 마련, 자체 서비스 운영 및 공급망 기업에 대한 에너지 효율화 가이드를 제시
NTT	도코모 그린조달가이드 라인	<ul style="list-style-type: none"> 안전하고 환경 부하가 적은 원재료, 부품, 제품을 조달하기 위한 공급망 가이드라인. 신규 공급망업체 선정과 기존 공급망 업체 관리에 활용
	환경관리시스템	<ul style="list-style-type: none"> 공급망 거래 기업에 대해 ISO14001, EMAS, KES, Eco Action 21 등의 제삼자 인증을 기본 요건으로 제시하고, 거래 개시 시 환경 관리 시스템의 운용 상황과 공급사 환경 경영의 실행력 측정 등 공급망 전반에 걸친 환경 법령의 준수 체계를 확립
	폴리염화비닐폐 기물 관리	<ul style="list-style-type: none"> NTT 그룹 내 폴리염화비닐(PCB) 포함 기기에 대해 계획적 철거·보관 및 기한 내 처분을 시행
	자연에너지를 이용한 차세대 그린 기지국	<ul style="list-style-type: none"> 도코모는 기지국 전력 소비에 의한 CO₂ 배출 삭감을 위해 기존 기지국에 태양열 패널이나 대용량 축전지를 도입한 '그린 기지국'을 확대 구축 중으로, 2019년도 말 시점 262국을 운용
	기지국 잉여 부지 태양광 발전 시스템 설치	<ul style="list-style-type: none"> 2019년 홋카이도 내 전력선 부설이 어려운 지역을 대상으로 태양광 패널의 발전량만으로 운용되는 오프그리드형 기지국을 건설하여 가동을 개시. 2020년은 시코쿠에서 태양광 패널과 연료 전지를 함께 사용하는 오프그리드형 기지국의 구축
	단말기 에너지 절감	<ul style="list-style-type: none"> 2019년 판매 스마트폰 및 태블릿은 2018년도에 판매 기기와 비교할 때 배터리 용량당 평균 약 10%의 배터리 보유 시간 개선
	솔루션 환경 라벨제도	<ul style="list-style-type: none"> ICT 서비스를 이용하여 삭감가능한 CO₂ 배출량, ICT 서비스를 이용하지 않을 경우의 CO₂ 배출량과 비교해서 15%를 넘을 경우 NTT 그룹이 라벨을 부여. LTE 서비스, docomo의 LoRa 솔루션, docomo sky가 솔루션 환경 라벨을 획득
KT	KT-MEG	<ul style="list-style-type: none"> 신재생에너지와 에너지저장장치(ESS), 에너지관리시스템(EMS)을 연계해 △에너지 사용량 모니터링과 분석 △최적의 설비 운영 방안을

구분	프로그램/ 이니셔티브	주요 내용
		제시하는 AI 기반의 빅데이터 분석 엔진인 '에너지 통합관리 플랫폼 (KT-MEG)'을 구축
	온실가스 배출량 관리	• 13년 이후 Scope 3까지 온실가스 배출량 관리 범위 확대. 2018년 각 사옥의 에너지 사용량 및 온실가스 배출량을 실시간으로 모니터링할 수 있는 시스템을 구축
	태양광발전소	• 11년 이후 강릉수신소에서 태양광발전소를 구축한 이후, '19년 시점 태양광 발전량 8,809MWh로 증가
	제로웨이스트 피크닉세트	• 포장을 줄이거나 재활용이 가능한 재료를 사용해 쓰레기를 줄이기 위한 다화용 2인 음식 세트
SK 텔레콤	싱글랜	• 3G·LTE 장비의 하드웨어를 교체하거나 소프트웨어를 업그레이드해 하나의 장비로 통합 운영하여 온실가스 배출량을 줄이기 위한 기술. 환경부로부터 국내 통신 분야 최초로 온실가스 감축을 인증을 획득
	친환경 유통망	• 종이로 작성하던 가입 신청서를 전자 방식으로 전환하고 유심카드 플레이트 크기를 절반으로 축소. 이외 앞서 전자 청구서, T멤버십 카드의 모바일 카드화 등의 전환 완료
	RE100	• 한전과 녹색 프리미엄 계약, 분당 및 성수 IT 인프라센터에 재생 에너지 활용
	클라우드 EMS 활용 에너지 효율화	• 클라우드 및 AI 분석 기반 에너지 관리 솔루션으로 기구축 200개 프로젝트 사례 확보
	11번가 친환경 포장재	• 친환경 종이박스, 종이 완충재 및 비닐 포장재 없는 무라벨 생수 판매 등
	민트 중고폰 보상 프로그램 확대	• 연 32만 건 중고 단말 회수 목표

※ 출처: 각사 보도자료, IR 자료, 국내외 뉴스 보도 등 자료 종합

◆ 통신 장비/단말 기업

구분	프로그램/ 이니셔티브	주요 내용
화웨이	6RID	• 친환경 패키징 '6R1D' 전략 실행을 통해 친환경적이고 재생 가능한 포장재를 사용하고 패키징 간소화 등 순환 경제에 적극 대응
	E-waste 리사이클	• 스마트폰, 노트북, 스마트워치나 밴드 등 각종 전자기기에서 플라스틱, 코발트, 알루미늄 등 원자재를 분리 추출해 전자제품 제조에 활용. 월평균 30만 건 이상의 중고품 회수
	통신 장비 효율화	• 옥외기지국 장비인 화웨이 블레이드 AAU의 단순화된 설계는 약 2m 크기로 5G AAU 및 2G/3G/4G 안테나를 하나의 박스에 통합하여, 하나의 블레이드 AAU로 6GHz 이하 전 주파수대역을 지원하므로, 안테나 구축에 필요한 공간과 리소스를 대폭 경감

구분	프로그램/ 이니셔티브	주요 내용
	스마트 태양광 솔루션	<ul style="list-style-type: none"> 높은 발전효율과 스마트 스트링 차단 기술 및 AI 알고리즘으로 계통연계 능력이 향상된 태양광 솔루션
	Power Star Solution	<ul style="list-style-type: none"> 통신사 네트워크 사이트에 구축할 수 있는 에너지 절약 솔루션으로, 네트워크 성능 저하 없이 전기 사용량을 12% 절감. 전 세계적으로 10만개 이상의 사이트에 구축 레퍼런스 확보
에릭슨	생애주기 평가 (Life-Cycle Assessment, LCA)	<ul style="list-style-type: none"> ICT 제품의 개발 소재, 생산, 조립, 유통, 수송, 활용 및 폐기에 이르는 전 과정에 걸쳐 지구온난화, 산성화 등의 환경 효과를 평가
	매니지드 서비스(Intellige nt Automation Platform)	<ul style="list-style-type: none"> 머신러닝 및 AI 활용을 통해 네트워크 최적화와 자동관리를 구현함으로써 에너지효율을 개선하고 탄소 배출량 감소에 기여
삼성 전자	업사이클링 애틀	<ul style="list-style-type: none"> 중고 갤럭시 스마트폰을 IoT 디바이스로 재활용하기 위한 베타 서비스를 개시
	지구를 위한 갤럭시	<ul style="list-style-type: none"> 생산부터 사용, 폐기에 이르는 제품 수명 주기와 사업 운영 전반에 걸쳐 보다 지속가능한 미래를 위한 노력에 대한 선언. 혁신적인 친환경 소재 개발, 패키지에서 모든 일회용 플라스틱 소재 제거를 위한 노력 예정. 이외 스마트폰 충전기의 대기 전력을 0.005W 미만으로 낮춰 대기 전력 제로(zero)화를 달성키로 함
	삼성 인증 중고폰 프로그램/보상 판매 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> 제품 수명 주기 최적화, 제조 공정과 제품 디자인 과정을 개선하며 전 세계 전자 폐기물 감소 노력
	에코 패키지	<ul style="list-style-type: none"> TV 배송 후 버려지는 포장재에 업사이클링 개념을 도입한 것으로, 포장재를 이용해 고양이 집과 소형 가구 등을 쉽게 만들 수 있도록 포장박스에 점 패턴을 적용하고 QR 코드를 통해 소비자들에게 다양한 소품 제작을 위한 설명서를 제공
	친환경 리모컨	<ul style="list-style-type: none"> 2021년형 QLED TV 전 제품에 적용되는 솔라셀 리모컨으로, 리모컨 자체에 태양전지 패널을 넣어 일회용 배터리 없이 리모컨을 사용

※ 출처: 각사 보도자료, IR 자료, 국내외 뉴스 보도 등 자료 종합

참고문헌

◆ 국내자료

ISTANS(산업통계분석시스템)

(<https://istans.or.kr/>)

KISTEP(2021), 2020년도 예비타당성조사 보고서, 신기후체제 대응 환경기술개발사업.

삼성전자(2021.4.21), 삼성전자, '지구의 날' 맞아 업사이클링·리사이클링 캠페인 진행.

(<https://news.samsung.com/kr/삼성전자-지구의-날-맞아-업사이클링-리사이클>)

The CCE(2021.09.12.), [물관리] (22년 환경부 사업) 댐-하천 디지털트윈 물관리 플랫폼.

(<https://thecce.kr/1578>)

◆ 국외자료

Andrae A. S., Edler T.(2015), “On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030”, *Challenges*, 6(1), 117-157.

Andrae, A. S. (2020), “Hypotheses for primary energy use, electricity use and CO2 emissions of global computing and its shares of the total between 2020 and 2030”, *WSEAS Transactions on Power Systems*, 15, 50-59.

Andrae, A. S. (2021), “Internet’s handprint. Eng”, *Appl. Sci. Lett*, 4(1), 80-97.

Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2018), “Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations”, *Journal of cleaner production*, 177, 448-463.

Bitkom(2021), *Klimaeffekte der Digitalisierung*.

Bonnaud, O. (2021), “Skills in Physics and Semiconductor Devices: A Global Challenge for Digital Society”, *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 9, 2936-2946.

Capgemini(2021), *AI to Power Climate Action Strategy*.

Cisco(2021), *annual internet report (2018-2023)*.

- Cisco(2021), Annual Internet Report 2021.
- Dayarathna, M., Wen, Y., & Fan, R. (2016), “Data Center Energy Consumption Modeling: A Survey”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18, 732–794.
- Ericsson(2016), Opportunities and limitations of using life cycle assessment methodology in the ICT sector.
- GeSI(2015), #SMARTer2030. ICT Solutions for 21st Century Challenges.
- GSMA(2020), 5G energy efficiencies.
- GSMA(2021), The Mobile Economy 2021.
- IDC(2018), data age 2025.
- IPCC(2021), The Sixth Assessment Report, Climate Change 2021: The Physical Science Basis.
- ITU(2020), L.1470, GHG emissions trajectories for the ICT sector compatible with the UNFCCC Paris Agreement.
- Janusz Bryzek(2014), Emergence of Trillion Sensors Movement.
- Luccioni, A., Schmidt, V., Vardanyan, V., & Bengio, Y. (2021). “Using Artificial Intelligence to Visualize the Impacts of Climate Change”, IEEE Computer Graphics and Applications, 41(1), 8–14.
- McKinsey&Company(2021.2.10.), The state of internal carbon pricing.
- Microsoft Blog(2017.7.12.), Announcing AI for Earth: Microsoft’s new program to put AI to work for the future of our planet.
(<https://blogs.microsoft.com/on-the-issues/2017/07/12/announcing-ai-earth-microsofts-new-program-put-ai-work-future-planet/>)
- Office of Fossil Energy(2020.04.09.), Using Artificial Intelligence in Fossil Energy R&D
- Small world consulting(2020), the climate impact of ICT: A review of estimates, trends and regulations.
- Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019), “Energy and policy considerations

for deep learning in NLP”, arXiv preprint arXiv:1906.02243.

The Royal Society(2020.12), Digital technology and the planet: Harnessing computing to achieve net zero.

WEF(2021), The Global Risks Report 2021.

World Economic Forum(2019), A New Circular Vision for Electronics. Time for a Global Reboot.

資源エネルギー庁(일본 자원에너지청)(2018.05.18.), 電力分野におけるデジタル化について.

◆ 뉴스기사(국내)

AI타임스(2021.10.10.), 교통혼잡 제어하는 스마트 신호등...AI로 더 똑똑해진다.

(<http://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=140929>)

AI타임스(2021.10.28.), 마이크로소프트, '전기와 물' 먹는 하마 '데이터센터' 오명 벗긴다... 친환경 기술 대폭 확대.

(<http://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=141248>)

AI타임스(2021.11.16.), 기후 변화의 가공할 미래 위협...생성적 적대 신경망(GANs)이 잘 보여준다.

(<http://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=141547>)

The Guru(2021.04.01.), 테슬라 에너지사업 질주...애플에 메가팩 공급.

(<https://theguru.co.kr/mobile/article.html?no=20247>)

The Guru(2021.08.25.), 테슬라, 독일 가상발전소 설립 추진...英 옥토퍼스에너지와 협력.

(<https://www.theguru.co.kr/news/article.html?no=24659>)

광주일보(2020.11.10.), 한전, 광주첨단산단에 종합 에너지관리시스템 구축.

(<http://www.kwangju.co.kr/article.php?aid=1604989017707983005>)

뉴스와이어(2021.10.28.), 세계경제포럼, 슈나이더 일렉트릭 공장 2곳 등대 공장과 지속 가능성 공장으로 선정.

(<https://www.newswire.co.kr/newsRead.php?no=933105>)

동아일보(2021.11.23.), [머니 컨설팅]ESG 투자 시작, '에너지전환' 펀드부터.

(<https://www.donga.com/news/Economy/article/all/20211122/110404506/1>)

- 디지털데일리(2020.4.7.), ETRI-SKT, AI 반도체 개발...칩 면적↓·전력 효율↑.
(<https://www.ddaily.co.kr/news/article/?no=193985>)
- 매일경제(2020.11.25.), SKT, 국내 최초 AI 반도체 출시...미래 반도체 시장 선점.
(<https://www.mk.co.kr/news/it/view/2020/11/1214522/>)
- 시사위크(2021.03.02.), “반도체·5G가 지구온난화 범인?”... IT업계의 이유있는 ‘녹색바람’
(<https://www.sisaweek.com/news/articleView.html?idxno=142125>)
- 에너지경제신문(2021.08.02.), 이통3사의 진짜고민 '온실가스 배출'...C레벨 임원이 직접챙긴다.
(<https://www.ekn.kr/web/view.php?key=20210802010000260>)
- 연합뉴스(2021.05.24.), [PRNewswire] ZTE, 2020 지속가능성 보고서 발표.
(<https://www.yna.co.kr/view/RPR20210524004800353>)
- 이투뉴스(2021.4.16.), LG에너지솔루션, RE100 이어 친환경차 100% 전환 선언.
(<https://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=231881>)
- 인공지능신문(2018.02), KT, 빅데이터 통합 에너지관리 플랫폼 ‘KT-MEG’ 모든 회원사에 오픈.
(<http://www.aitimes.kr/news/articleView.html?idxno=11311>)
- 인공지능신문(2021.5.6.), IBM, 반도체 새 시대 연다! 세계 최초 2나노미터 칩 기술 공개... 인공지능, IoT, 클라우드 컴퓨팅 등에 혁신적으로 기여.
(<http://www.aitimes.kr/news/articleView.html?idxno=20953>)
- 전자신문(2021.06.28.), KT, 3GPP 워크숍서 5G 전력 절감기술 제안.
(<https://www.etnews.com/20210628000221>)
- 조선비즈(2021.11.05.), “모두가 관심 없는 쓰레기에서 길을 찾았다...폐기물 시장 바꾼다”.
(<https://biz.chosun.com/industry/company/2021/11/05/URNVXZX4B5CRFMIRJNC2J4DAAE/>)
- 조선일보(2021.07.09.), 탄소 줄이려... MS는 데이터센터를 바다에 넣었다.
(https://www.chosun.com/economy/tech_it/2021/07/09/7KVB3XBTfZGC3OGZS7DXSG53QU/)
- 조선일보(2021.10.29.), ESG 펀드에 올 상반기에만 381조원 몰려... 글로벌 투자기준 바뀌.
(<https://www.chosun.com/economy/industry-company/2021/10/29/DBE63UTNYFB I3LP5G4QJPWTAYY/>)
- 지디넷코리아(2020.07.07), 엑셈, 한국에너지공단 '빅데이터 기반 지능형 에너지관리시스템'

계약.

(<https://zdnet.co.kr/view/?no=20200707055006>)

지디넷코리아(2021.11.09.), 화웨이, 전력 효율화 AI·태양광 패널로 탄소저감 노력.

(<https://zdnet.co.kr/view/?no=20211109103455>)

테크월드(2021.5.27.), 화웨이, 재활용·그린 패키징 등 전자 폐기물 감축 노력.

(<https://www.epnc.co.kr/news/articleView.html?idxno=209001>)

한경ESG(2021.09.15.), 사내 탄소제로 넷제로 앞당기는 기업들.

(<https://www.hankyung.com/economy/article/202108244672i>)

한국경제(2021.03.09.), SK텔레콤, 네트워크 장비 통합해 온실가스 감축 인증.

(<https://www.hankyung.com/it/article/202103090933i>)

한국일보(2021.10.21.), 탄소중립 사각지대 놓인 중기… 중기부 및 산하기관 관련 예산 5% 미만.

(<https://m.hankookilbo.com/News/Read/A2021102109300001742>)

◆ 뉴스기사(해외)

Current News(2020.05.04.), Project TraDER hits milestone that could have ‘profound impact’ on energy network.

(<https://www.current-news.co.uk/news/project-trader-hits-milestone-that-could-have-profound-impact-on-energy-network>)

DataCenter Dynamics(2020.10.14.), Facebook begins data center and district heating expansion in Odense, Denmark.

(<https://www.datacenterdynamics.com/en/news/facebook-begins-installing-district-heating-system-odense-data-center-denmark/>)

EuroHeat & Power(2021.3.4.), Norwegian government to demand data centres try plugging into DHS.

(<https://www.euroheat.org/resource/norwegian-government-to-demand-data-centres-try-plugging-into-dhs.html>)

Fast company(2018.05.04.), GM And Autodesk Develop 3D-Printed Car Parts.

(<https://www.fastcompany.com/90170842/gm-and-autodesk-develop-3d-printed-car-parts>)

Forbes(2019.12.16.), The App Buying Back Your Unwanted Clothes To Fuel The Circular Economy.

(<https://www.forbes.com/sites/brookeroberthislam/2019/12/16/the-app-buying-back-your-unwanted-clothes-to-fuel-the-circular-economy/>)

Nature(2018.09.12.), How to stop data centres from gobbling up the world's electricity.

(<https://www.nature.com/articles/d41586-018-06610-y>)

Recyclingproductnews(2020.9.14.), ZenRobotics' AI based robotic waste sorting technologies help Remeo to build next generation MRF.

(<https://www.recyclingproductnews.com/article/34800/zenrobotics-ai-based-robotic-waste-sorting-technologies-help-remeo-to-build-next-generation-mrf>)

Reuters(2021.10.7.), Google wants to use AI to time traffic lights more efficiently.

(<https://www.reuters.com/technology/google-wants-use-ai-time-traffic-lights-more-efficiently-2021-10-06/>)

Sdxcentral(2021.11.20.), Hyperscalers Surpass 700 Data Centers Globally.

(<https://www.sdxcentral.com/articles/news/hyperscalers-surpass-700-data-centers-globally/2021/11>)

T&D World(2020.03.05.), DOE Announces US\$6.7 Million for IoT Integration Research.

(<https://www.tdworld.com/utility-business/article/21125368/doe-announces-us67-million-for-iot-integration-research>)

◆ 웹사이트

<https://aquasuite.ai/en/products/flow/>

<https://ictfootprint.eu/>

<https://openai.com/blog/ai-and-compute/>

<https://ourworldindata.org/co2>

<https://pachama.com/>

<https://sciencebasedtargets.org/>



<https://today.in-24.com/technology/418280.html>

<https://www.apple.com/kr/environment/>

<https://www.apple.com/kr/newsroom/2021/11/apple-announces-self-service-repair/>

<https://www.bidgely.com/>

<https://www.cdp.net/en/companies/companies-scores>

<https://www.circuitmeter.com/technology/energy-data-analytics/>

<https://www.cr-report.telekom.com/site21/management-facts/environment/waste-management-recycling#atn-18669-18671>

<https://www.deepmind.com/blog/article/machine-learning-can-boost-value-wind-energy>

<https://www.energy.gov.au/government-priorities/energy-data/national-energy-analytics-research>

<https://www.eyefigroup.com/smart-drain-1>

<https://www.ghgsat.com/>

<https://www.greenpeace.org/korea/update/15430/blog-ce-what-ndc-mean-for-korea>

<https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/ntt-docomo-case-study/>

<https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/sk-telecom-case-study/>

<https://www.huawei.com/en/technology-insights/publications/huawei-tech/89/5g-power-green-grid-slashes-costs-emissions-energy-use>

<https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>

<https://www.iocrops.com/>

<https://www.kosif.org/cdp/cdp-%EB%8C%80%EC%83%81%EA%B8%B0%EC%97%85/>

<https://www.openairlines.com>

<https://www.oxfordeconomics.com/recent-releases/digital-spillover>

<https://www.theclimategroup.org/ev100-members>

<https://www.weforum.org/agenda/2021/06/wasteless-ai-retail-food-waste/>

<https://zenrobotics.com/>

저자소개

최새솔 ETRI 지능융합연구소 기술정책연구본부 지능화정책연구실 선임연구원
e-mail: saesol.choi@etri.re.kr Tel. 042-860-1803

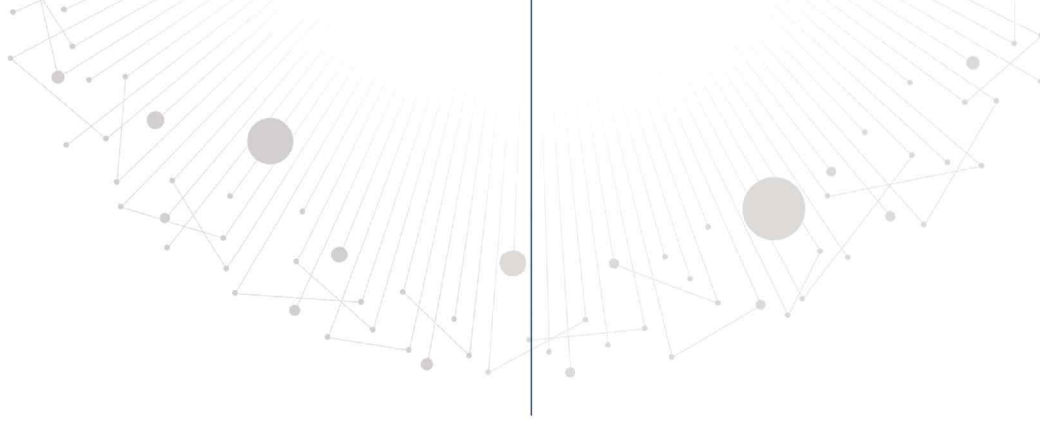
탄소중립시대의 ICT: 기회와 도전

발행인 이 지 형

발행처 한국전자통신연구원 지능융합연구소 기술정책연구본부

발행일 2021년 12월 31일





www.etri.re.kr

본 저작물은 공공누리 제4유형:

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.



ETRI Electronics and Telecommunications
Research Institute

34129 대전광역시 유성구 가정로 218
TEL.(042) 860-6114 FAX.(042) 860-6504

