

# Greenovation | & |

## Issues&Insights

2024년

08

발간일 | 2024년 8월 30일

### 인공지능을 통한 탄소중립 달성 효율화, 글로벌 동향과 우리나라의 과제는?

임종서 김원무 김지예  
손범석 한범진 염성찬

인류는 오존층 방어 전투에서  
승리하고 있다

식물의 탄소 흡수 효과  
생각보다 컸다

한세희



## 탄소중립 기술에의 AI 적용, 득일까? 실일까?

### 요약

AI 기술이 기후 변화 대응에 얼마나 효과적으로 기여할 수 있는지에 대한 논의는 여전히 활발하다. AI가 온실가스 감축에 기여할 수 있다는 기대가 크지만, 그 효과와 잠재력에 대한 의문도 동시에 제기되고 있다. 이러한 논란에도 불구하고, AI를 활용한 다양한 탄소중립 기술 분야에서 주목할 만한 모범사례들이 등장하고 있으며, 이는 AI 기술이 온실가스 감축의 중요한 수단이 될 가능성을 보여준다.

AI 기술은 에너지 생산, 연·원료 대체, 온실가스 처리, 에너지 효율, 에너지 융복합 등 온실가스 감축 기술 분야 5종에서 중요한 역할을 하고 있다. AI는 재생 가능 에너지의 변동성 관리, 에너지 효율 극대화, 그리고 탄소 포집 및 저장(CCS) 기술의 정밀화 등 다양한 분야에서 핵심적인 기능을 수행하고 있다. 이를 통해 AI는 기존 기술의 한계를 극복하고, 새로운 기회를 창출하며, 온실가스 감축의 효과를 극대화할 수 있는 잠재력을 보여주고 있다. 그러나 국내에서 이러한 AI 기술을 온전히 도입하는 데에는 데이터 품질 문제, 높은 초기 비용, 인프라 미비, 그리고 규제와 표준화의 부족 등 여러 장애 요소들이 존재한다.

AI 기술은 탄소중립 달성에 중요한 도구로 자리 잡고 있지만, 그 실효성을 극대화하기 위해서는 데이터 품질 개선, 초기 비용 부담 완화, 규제 및 표준화의 정비 등이 필수적이다. 성공적인 온실가스 감축 사례들은 AI의 잠재력을 증명하고 있으나, 이를 전반적으로 확산시키기 위해서는 정부와 산업계, 학계의 긴밀한 협력과 더불어 다각적인 정책적, 경제적 지원이 필요하다. 이러한 통합적인 접근은 AI가 탄소중립을 효과적으로 달성하는 데 기여할 수 있는 중요한 기반이 될 것이다.



임종서 데이터정보센터

김원무 데이터정보센터

김지예 데이터정보센터

손범석 데이터정보센터

한범진 데이터정보센터

엄성찬 데이터정보센터

\*센터장; shiney@nigt.re.kr

## 배경 및 서론

### 탄소중립 달성을 위한 AI 기술의 혁신적 역할: 기회와 도전

4차 산업혁명, 인공지능(AI), 빅데이터, 사물인터넷(IoT) 등의 첨단 기술의 급격한 기술 발전은 에너지 관리와 생산에 혁신적인 변화를 가져오고 있다. 특히 AI는 에너지 분야에서의 효율성을 극대화하고, 재생 가능 에너지의 활용을 최적화하는 데 중요한 역할을 하고 있다. 산업부문의 기후 변화 대응 측면에서도 AI 기술은 산업에서 에너지 생산과 관리 시스템의 실시간 데이터 분석, 예측 모델링, 최적화 알고리즘 등을 적용함으로써 에너지 효율성을 높이고, 운영 비용을 절감하며, 탄소 배출을 줄이는 데 기여하고 있다. 물론 AI의 발전이 온실가스 배출을 증가시킨다는 우려 섞인 반응도 있다. 하지만 이러한 우려에 앞서 World Bank(2023)는 디지털 발전을 통한 경제성장이 온실가스 배출량의 증가로 이어지는 것은 아니라는 연구결과<sup>1</sup>를 발표하고, 오히려 AI를 활용한 디지털 전환은 적절한 정책을 통해 억제될 수 있음을 강조하고 있다. 요약하면, AI와 관련된 적절한 정책 및 규제 환경, 충분한 재정 지원, 그리고 시장 기능의 조합은 기후변화 대응에 효과적이라고 할 수 있으며, 이러한 순기능을 증대하기 위해서는 정부, 민간 부문, 학계, 시민 사회 등 다양한 이해관계자들 간의 협력이 필요하다.

AI의 기술은 탄소중립 달성에 필수적인 기술이 되었다. 국제사회에서도 탄소중립과 기후행동의 속도를 높이는 것은 많은 부분이 디지털 솔루션들에 의하여 결정될 것이라 말한다.<sup>2</sup> 이 글에 앞서 [Greenovation\_I&I 04호] 「탄소중립을 위한 인공지능, 그린 AI(Green AI)의 역할」에서는 그린 AI(Green AI)와 레드 AI(Red AI)에 관한 논의를 진행하였다. 그린 AI(Green AI)는 효율성을 추구하고 환경적 비용과 사회적 비용을 줄여나가면서 새로운 결과를 산출하는 연구를 의미하며, 레드 AI(Red AI)는 고비용 고예산의 컴퓨팅 비용(따라서 탄소 비용)을 급격히 증가시키고 더 많은 매개변수를 포함하여 연산하여, 정확도와 속도를 바탕으로 모델의 성능을 증가시켜 재정적, 환경적 비용이 증가하는 것을 의미한다. 이는 직접적인 측면에서 기후 변화에 영향을 주는 원인을 디지털화 및 AI의 확산으로 판단하고 에너지 소비와 자원 소모 문제를 해결하기 위한 개념적 정의였다. 이 글에서는 이러한 논의를 AI의 사용까지 확대하여 '디지털 기술활용 친환경화(Greening with digital technologies)'와 그에 따른 기후 변화 영향에 대한 논의로 확대하고자 한다.

AI가 전산업 부문에 적용할 때 나타날 수 있는 장점은 다양하다. AI가 디지털 산업 외에 확산되었을 경우 저탄소 경제로의 전환 촉진, 경제적 기회 창출, 자원관리 및 효율성 향상, 재난 위험관리 등의 긍정적 영향이 발생할 수 있다. 현재도 에너지집약 산업에서의 에너지 효율화, 교통·운송에서의 최적화, 소재·원료 가공에서의 자원 효율화 등에 활용되어 산업 현장에서 온실가스 배출을 직접적으로 줄이는 데 활용되고 있다. 부정적인 측면으로 에너지 효율성이 향상됨에 따라 에너지 사용을 위한 비용이 개선되어 더 많은 에너지를 소비하게 되는 리바운드 효과(Rebound Effects)가 발생하거나, 기술 발전으로 더 많은 자원과 더 많은 에너지 소비를 하게 되는 부가성(Additionality) 효과에 대한 우려 등이 있다.

1 World Bank(2023), "Green Digital Transformation".

2 World Bank(2023), "Green Digital Transformation".

이 글은 탄소중립을 위한 AI 기술의 긍정적인 측면을 강조하여 그 적용 사례와 효과를 중심으로 구성하고자 하였다. 제2장에서는 염성찬 외(2023)가 정리한 기후기술 분류체계<sup>3</sup>에서 감축 분야에 속하는 에너지 생산, 연·원료 대체, 에너지 효율, 온실가스 처리, 에너지 융복합 분야를 대상으로 AI 기술이 어떻게 적용되고 있는지를 살펴본다. 제3장에서는 분야별로 대표적인 Green AI 사례를 심층 분석하고, 주요 현안 및 추진 전략을 제시한다. 마지막으로 제4장에서는 이러한 기술들이 주는 시사점과 향후 전망에 대해 논의한다. 이를 통해 AI 기술이 탄소중립 목표 달성에 어떻게 기여할 수 있는지를 명확히 하고, 지속 가능한 에너지 관리를 위한 방향성을 제시하고자 한다.

〈표 1〉 기후변화 대응에 있어 AI 기술의 양면적 영향

긍정적 측면에서 기후 변화 원인	부정적 측면에서 기후 변화 원인
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>에너지 효율성 개선</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 에너지 효율성을 높여 온실가스 배출을 감소시키고, 부정적인 영향을 최소화</li> </ul> </li> <li>• <b>재생 가능 에너지 사용</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 에너지원으로 재생 가능 에너지를 도입함으로써, 탄소 배출 감소</li> </ul> </li> <li>• <b>디지털 순환 경제 강화</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ICT 장비와 자원의 재활용 및 재사용을 촉진하는 디지털 순환 경제를 강화</li> </ul> </li> <li>• <b>디지털 부문의 기후 적응 강화</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ICT 부문에서 기후 변화에 대한 적응력을 강화함으로써, 디지털 인프라를 보호</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>환경 복원력(Resilience) 필요성 증가</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 장비의 생산, 사용, 그리고 폐기 과정에서 상당한 에너지 소비와 자원 소모가 환경 복원력(Resilience) 필요성 증가</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>저탄소 경제로의 전환 촉진</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 디지털 기술의 도입은 에너지 효율성을 높이고, 스마트 그리드 및 재생 가능 에너지 시스템과 같은 저탄소 기술을 확산</li> </ul> </li> <li>• <b>경제적 기회 창출</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 디지털화는 새로운 산업과 일자리를 창출하며, 이를 통해 경제적 다각화와 지속 가능한 경제성장을 촉진</li> </ul> </li> <li>• <b>자원 관리 및 효율성 향상</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 디지털 기술은 자원의 사용을 최적화하고, 공급망을 효율적으로 관리하는 데 도움</li> </ul> </li> <li>• <b>디지털 기술을 통한 교육과 인식 제고</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 디지털 플랫폼을 통해 대중에게 기후 변화와 환경 보호에 대한 인식을 높이고, 교육을 제공</li> </ul> </li> <li>• <b>재난 위험 관리</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 디지털 기술은 재난 위험 관리 시스템을 강화하는 데 중요한 역할</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>리바운드 효과 (Rebound Effects)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 에너지 효율성이 향상됨에 따라 에너지 사용 비용이 줄어들어 오히려 더 많은 에너지를 소비하게 되는 현상</li> </ul> </li> <li>• <b>추가성 (Additionality)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 디지털 기술 도입으로 인해 더 많은 제품이 생산되면서, 전체적인 자원 사용과 에너지 소비가 증가</li> </ul> </li> <li>• <b>디지털 채택으로 인한 경제 성장과 에너지 소비 증가</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 디지털 기술의 채택이 경제 성장을 촉진하지만, 동시에 에너지 소비도 증가</li> </ul> </li> <li>• <b>디지털 격차</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 디지털 솔루션 접근의 불평등</li> </ul> </li> </ul>

출처: World Bank(2023)

3 염성찬 외(2023), “기후변화대응 기술개발 활동조사 연구”, 국가녹색기술연구소.

## 탄소중립 실현을 견인하는 인공지능 활용 사례

### 에너지 생산

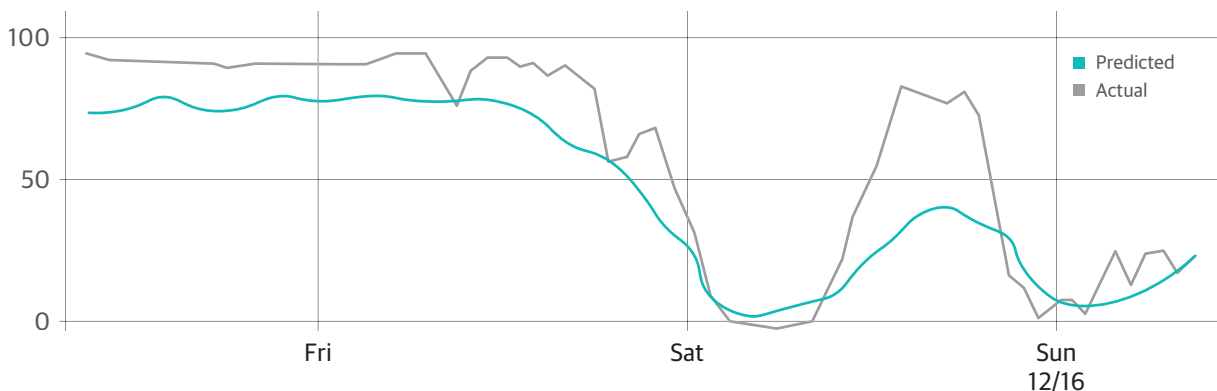
에너지 생산은 인간 사회에서 필수적인 전력과 열을 공급하는 다양한 기술·시스템을 포괄한다. 세부적으로는 전통적인 화석 연료 기반의 에너지 생산부터 태양광, 풍력, 수력, 지열, 바이오에너지와 같은 재생 가능 에너지원까지 다양한 형태의 에너지원을 포함한다. 최근 기후 변화와 탄소중립 목표 달성을 위해 재생 가능 에너지의 비중을 높이는 것이 중요해지고 있으며, 이 과정을 효과적으로 관리하고 최적화하기 위해 AI 기술이 중요한 역할을 하고 있다. AI 기술은 에너지 생산의 효율성을 극대화하고, 재생 가능 에너지의 생산을 최적화하며, 탄소 배출을 줄이는 것을 목표로 한다. 이를 위해 AI는 데이터 분석, 예측 모델링, 실시간 모니터링 등 다양한 방법을 통해 에너지 시스템의 운영을 최적화한다. 예를 들어, 태양광, 풍력, 수소 에너지 등 재생 가능 에너지 분야에서는 AI를 활용해 발전량을 예측하고, 에너지 사용 계획을 효율적으로 수립하며, 에너지 저장을 관리함으로써 에너지 생산의 불확실성을 줄이고, 비용을 절감하며, 안정적인 에너지 공급을 가능하게 한다.

#### (1) 주요 사례: DeepMind의 풍력 에너지 생산 효율성 최적화

2018년, 구글의 AI 자회사인 DeepMind는 영국의 National Grid와 협력하여 풍력 에너지의 효율성을 극대화하기 위한 프로젝트를 시작했다. 풍력 에너지는 세계적으로 발전 규모가 큰 주요 신재생 에너지 유형이지만, 변동성이 커 일관된 전력 생산에 제약이 있다. 풍력 발전의 예측 가능성을 높이면 전력망 운영자가 에너지 출력을 더 정확하게 예측하고 관리할 수 있으며, 이는 에너지 효율성과 경제성 향상에 크게 기여한다. 이 프로젝트는 풍력 발전의 예측 정확도를 높여 에너지 생산을 최적화하고, 재생 에너지의 경제적 가치를 증대시키는 것을 목적으로 추진되었다.

DeepMind는 기상 예보 데이터와 과거 터빈 데이터를 수집하여 풍력 패턴을 예측하는 머신러닝 알고리즘을 개발했다. 수집된 데이터는 실시간으로 업데이트되며, AI 모델의 학습에 사용되었다. 예측 모델은 다양한 기상 변수를 고려하여 기상 조건에 따른 풍력 발전량을 시간 단위로 예측하고, 내셔널 그리드의 운영 시스템에 통합되어 실시간으로 예측 데이터를 제공하였다. 이를 통해 운영자는 데이터에 기반한 최적의 풍력 발전 계획을 수립하고, 전력망의 안정성을 유지할 수 있는 의사결정 지원 기반을 제공받았다.

[그림 1] DeepMind의 AI 기반 풍력에너지 최적화를 위한 발전량 예측 예시



출처: Elkin and Witherspoon(2019)

이 프로젝트를 통해 영국은 AI 기반 예측 모델을 사용하여 전통적인 방법에 비해 풍력 발전의 에너지 출력을 20% 증가시켰다. 더 정확한 예측을 통해 에너지 자원의 배분과 전력망 운영이 효율적으로 개선되었다. 풍력 에너지의 예측 가능성이 높아지면서 전력 시장에서의 경제적 가치도 증가했다. 특히 이 사례는 AI 시스템을 통해 대용량의 자료를 실시간으로 분석하고 즉각적인 대응에 필요한 정보를 제공함으로써 풍력 발전 시스템의 효율성을 극대화하는데 기여하였다.

DeepMind는 AI 기반 풍력 발전 최적화 시스템의 성능을 지속적으로 개선할 계획이다. 또한, 에너지 저장 기술과 스마트 그리드 기술을 통합하여 더욱 효율적인 에너지 관리 솔루션을 제공할 예정이다. AI 기술을 통해 기후 변화에 대응하고, 지속 가능한 에너지 솔루션을 개발하는 데 주력할 것이다. DeepMind는 더 많은 에너지 회사와 협력하여 재생 에너지의 사용을 확대하고, 탄소 배출을 줄이는 데 기여할 것으로 기대된다.

DeepMind와 National Grid의 협력은 풍력 에너지 관리의 새로운 표준을 제시하였다. 이 시스템은 AI가 에너지 출력 향상과 운영 효율성 개선뿐만 아니라, 재생 에너지 보급을 촉진하는 데 중요한 역할을 할 수 있음을 확인하였다. 이를 토대로 여타 에너지 기업에 AI 기술 도입의 필요성을 환기하였으며, 장기적으로 이러한 기술은 상업용 및 산업용 풍력 발전 시스템으로 확산될 가능성이 있다.

## (2) 기타 사례

미국의 GE Renewable Energy 또한 풍력발전단지의 유지보수에 AI를 활용하고 있다.<sup>4</sup> 이를 통해 터빈을 구성하는 장비와 부품의 고장을 예측하고 선제적으로 조치함으로써 이용률을 개선함으로써, 제품에 대한 신뢰성과 효율성을 향상시켰다.

국내에서는 한국전력의 지능형 디지털 발전소(IDPP) 기술개발이 대표적인 사례이다.<sup>5</sup> 이 기술은 AI와 빅데이터 분석을 통해 발전소를 운영하고 설비의 상태를 사전에 예측함으로써 고장을 예방하고 자산 운용 효율을 높여 발전 비용 최소화 및 발전 효율화에 기여한다. 특히 AI 지능형 앱에 기반한 ‘조기경보시스템’을 탑재하여 3만 개에 달하는 운전 신호 가운데 핵심 신호를 가려내고, 발전소 운전 조건에 최적화된 학습 모델을 구축하는 등 기존 경보 시스템의 성능을 보완했다. 한국에너지기술연구원은 태양광 발전소의 고장 진단을 위한 AI 기술을 개발하여 패널의 오염과 성능 저하 등을 진단하는 기술을 개발했다.<sup>6</sup> 기존의 현장 방문 방식과 달리, 이 AI 시스템은 원격으로 태양광 패널의 상태를 진단하고, 유지관리의 효율성을 크게 높일 수 있다. 특히 접근이 어려운 수상 및 해상 설치 설비에 적용하면 유지관리 비용을 획기적으로 절감할 수 있다.

4 Yao, M.(2017), "Future Factories: How AI enables smart manufacturing", 2024.08.14. 접속, <https://medium.com/topbots/future-factories-how-ai-enables-smart-manufacturing-c1405f4ec0e6>

5 임지현 외(2022), "오픈소스 기반 지능형 발전소 플랫폼 구축 및 실증," 대한기계학회 논문집 B권, 46(12), pp.701-705.

6 신우균 외(2022), "딥러닝과 I-V 곡선을 이용한 태양광 스트링 고장 진단," Current Photovoltaic Research, 10(3), pp.77-83.

## 연·원료 대체

연·원료 대체는 온실가스 배출을 줄이기 위해 화석연료를 대체하거나 재생 가능한 자원을 활용하여 탄소중립을 달성하는 중요한 기술들을 포함한다. 여기에는 수소 기술, 바이오매스 기술, 폐자원 기술 등이 포함되며, 이러한 기술들은 연료 및 원료의 생산, 운송, 활용 과정에서의 탄소 배출을 최소화하는 것을 목표로 한다. AI 기술은 이 과정에서 중요한 역할을 하며, 특히 연·원료 대체 기술의 효율성을 극대화하고, 비용을 절감하며, 환경적 영향을 줄이는 데 기여하고 있다.

### (1) 주요 사례: AI를 활용한 폐기물 및 재활용 분야의 혁신 - AMP Corp.

AMP는 AI와 로봇틱스를 통합하여 폐기물 및 재활용 산업에서 혁신<sup>7</sup>을 이루고 있다. AMP Cortex™-C는 재활용선별시설(MRF; Material Recovery Facility)과 플라스틱 회수시설의 공간 제약에 적응하도록 설계된 소형 AI 로봇 시스템으로, 사물 인식과 로봇 제어 기술을 활용하여 시설 내의 재활용선별과 물질회수 프로세스를 현대화하고 있다. 독자 개발한 고속 로봇 분류 시스템을 통해 색상, 크기, 모양, 불투명도, 소비자 브랜드 등 다양한 혼합 폐기물에서 재활용품을 정확하게 식별하고 구분할 수 있는 것으로 알려졌으며, 처리하는 각 항목에 대한 데이터를 지속적으로 저장하여 전체 재활용 효율성을 향상시키고 있다. AI 및 로봇틱스 기술을 기반으로 재활용품의 식별 및 분류를 자동화함으로써 재활용률을 높이고, 글로벌 공급망을 위해 가치 있는 재료를 경제적으로 회수하는 데 기여하고 있다.

[그림 2] AMP의 AI 기반 폐기물 분류 및 재활용 예시



출처: AMP(2024)

AI 비전을 담당하는 AMP Vision™은 실시간 재료 특성화 시스템으로, 재활용 공정에서 RGB 카메라를 통해 재료를 스캔하고 AI를 이용해 유형, 형태, 색상 등을 식별한다. 이 시스템은 최대 600ft/min의 벨트 속도에서 수집된 데이터로부터 정확한 폐기물의 분류를 제공한다. 전 세계적으로 400개 이상의 시스템이 배치되어 있으며, 연간 750억 개 이상의 재활용 품목을 인식함으로써 폐기물 및 재활용 분야에서 탄소중립 달성에 이바지하고 있다. 또한, 컴퓨터 비전과 AI 알고리즘을 통해 재료를 인식하고 분류하는 고속 로봇 암 분류 시스템인 AMP Delta™는 자동 성능 모니터링 기능을 갖추고 있으며, 수작업보다 최대 4배 빠르게 재료를 처리하며 높은 정확도와 일관성을 제공한다.

7 AMP(2024), "The new engine of waste sortation", 2024.08.14. 접속, <https://ampsortation.com/technologies>



AMP Robotics의 사례는 컴퓨터 비전, 로봇 제어 등의 AI 기술을 활용하여 재활용 공정의 효율성을 극대화함으로써 폐기물 및 재활용 분야의 혁신을 이루고 있는 주요 기술 사례라 할 수 있다.

## (2) 기타 사례

DeepMind가 개발한 AlphaFold는 수소 생산에 필요한 촉매의 구조를 예측하고 최적화하는 데 사용된다.<sup>8</sup> 이를 통해 촉매의 효율성을 크게 향상시킬 수 있으며, 이는 수소 생산 공정의 경제성을 높이는 데 중요한 역할을 한다. 또한, Siemens는 수소 생산을 가속화하기 위해 생성형 AI 기반 소프트웨어 도구를 도입하여 수소 생산 플랜트의 설계, 엔지니어링 및 자동화 프로세스를 단순화하고 있다. 이러한 기술들은 수소 경제의 실현을 가속화하고 있다.<sup>9</sup> 바이오매스 분야에서도 머신러닝 알고리즘을 통해 바이오매스 가스화 프로세스의 효율성을 높이는 사례<sup>10</sup>가 늘고 있으며, 이를 통해 바이오매스를 활용한 에너지 생산이 보다 경제적이고 친환경적으로 이루어지고 있다. 예를 들어, 스위스의 화학기업 Clariant의 Navigance는 AI를 활용하여 화학 공정을 실시간으로 최적화하고<sup>11</sup>, 이를 통해 지속 가능한 바이오경제 구축에 기여하고 있다. 폐자원 처리 분야의 주요 사례로, 글로벌 재활용 공장 건설업체인 Bollegraaf와 AI 스타트업 Greyparrot은 AI를 활용한 재활용 분류 시스템을 도입하여 재활용 공정의 정확성과 효율성을 크게 높이고 있다.<sup>12</sup> 이러한 기술들은 폐자원의 재활용률을 높이고, 자원 재활용의 경제성을 증대시키는 데 기여하고 있다.

국내에서도 연·원료 대체 분야에서 AI 기술을 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 광주과학기술원(GIST)의 연구팀은 딥러닝 알고리즘을 통해 그린수소 생산에 필요한 수전해 촉매의 최적 조합 비율을 계산하는 데 성공하였으며, 이는 촉매의 효율성을 극대화하여 수소 생산 공정에서 중요한 역할을 하고 있다.<sup>13</sup> 또한, 고려대학교의 연구팀은 AI를 활용하여 폐기물에서 유래된 다공성 탄소 재료의 이산화탄소 흡착을 예측하는 머신러닝 알고리즘을 개발했으며, 이는 폐기물 처리 공정의 효율성을 높이는 데 기여하고 있다.<sup>14</sup> 바이오엑스는 울산과학기술원과의 공동 연구를 통해 그린수소 생성 HAAMA 공정에 AI 기술을 접목하여 자율운전과 수소 생산량 증대를 목표로 하고 있다.<sup>15</sup>

8 DeepMind(2024), "AlphyFold", 2024.08.14. 접속, <https://deepmind.google/technologies/alphafold/>

9 Siemens(2024), "Siemens accelerates hydrogen ramp-up with generative artificial intelligence", 2024.08.14. 접속, <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-accelerates-hydrogen-ramp-generative-artificial-intelligence>

10 Alfarra et al.(2024), Artificial intelligence methods for modeling gasification of waste biomass: a review. Environ Monit Assess 196, 309.

11 Clariant(2020), "Intellectual Capital", 2024.08.14. 접속, <https://reports.clariant.com/2020/integrated-report/multicapital-review/performance/intellectual-capital.html>

12 The Washington Post(2024), "How the world of recycling is about to be transformed", 2024.08.14. 접속, <https://www.washingtonpost.com/climate-solutions/2024/02/07/ai-recycling-sorting/>

13 인공지능신문(2022), "인공지능이 그린수소 생산 위한 수전해 '철-니켈' 촉매 최적 비율 제시", 2024.08.14. 접속, <https://www.aitimes.kr/news/articleView.html?idxno=25580>

14 Yuan et al.(2021), "Applied machine learning for prediction of CO2 adsorption on biomass waste-derived porous carbons", Environmental Science & Technology 55(17), pp.11925-11936.

15 서울경제TV(2022), "바이오엑스, 중기부 산학 R&D 사업자로 선정", 2024.08.14. 접속, <https://www.sentv.co.kr/news/view/616675>



## 온실가스 처리

온실가스 처리는 이산화탄소와 같은 온실가스를 포집, 저장, 또는 활용하는 기술들을 포함하며 대표적인 요소기술은 탄소 포집 및 저장(CCS), 탄소 포집 및 활용(CCU), 직접 공기 포집(DAC) 등이다. 이 분야에서는 주로 데이터 분석, 예측 모델링, 실시간 모니터링 등을 통해 CCS, CCU, DAC 기술의 효율성을 극대화하고 비용을 절감하기 위한 목적으로 AI 기술의 도입을 시도하고 있는데, 이는 AI를 활용하여 온실가스 배출원을 정확히 식별하고, 포집 및 저장 과정을 최적화함으로써 온실가스 감축 효과를 증대할 수 있기 때문이다. 또한, AI는 실시간 데이터 분석을 통해 최적의 솔루션을 제공하고, 운영 효율성을 높이며, 유지보수 비용을 줄이는 데 기여한다.

### (1) 주요 사례: Pendulum의 AI 기반 공급망 효율성 극대화

전 세계적으로 공급망에서 발생하는 탄소 배출은 전체 탄소 배출량의 큰 부분을 차지하고 있으며, 이는 글로벌 기후 변화에 큰 영향을 미치는 가운데, Pendulum은 공급망 최적화 및 데이터 분석을 통해 복잡한 산업 문제를 해결하는 AI 기반 기술을 제공하는 스타트업이다. Pendulum의 주된 목적은 AI 기술을 활용하여 공급망의 효율성을 극대화하고, 자원 낭비를 줄이며, 이를 통해 탄소 배출을 감소시키는 것이다. 또한 이를 통해 기업들이 지속 가능한 운영을 가능하게 하고 환경 보호에 기여하는 것을 목표로 삼고 있다.

Pendulum은 다양한 비정형 데이터 소스(PDF, 텍스트 파일 등)에서 데이터를 추출하여 기계 판독 가능 형식으로 변환하여, 이를 통해 고객의 의사결정에 필요한 데이터를 실시간으로 제공한다. AI를 활용하여 수요를 정확하게 예측하고, 이에 맞춰 공급을 계획하는 과정에서 이를 통해 과잉 생산과 자원 낭비를 줄일 수 있다. 또한 대규모 언어 모델(LLM)을 사용하여 농업 데이터 분석을 최적화하고, 농업 기계가 필요한 자원을 정확하게 사용할 수 있도록 지원하며, 이를 통해 농업에서 발생하는 탄소 배출을 최소화할 수 있다.

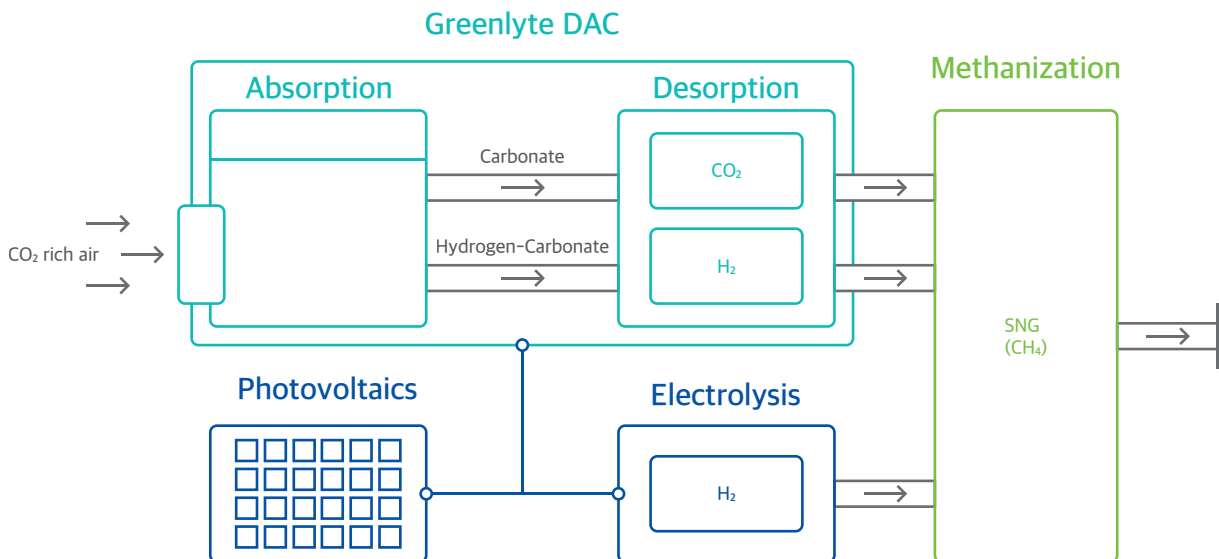
Pendulum의 AI 솔루션은 자원 사용을 최적화하여 온실가스 배출을 감소시키는 데 크게 기여하고 있다. 공급망의 각 단계에서 발생하는 낭비를 최소화하고, 효율성을 극대화함으로써 비용 절감과 환경 보호를 동시에 달성할 수 있다. 특히 농업 분야에서는 농약, 물 등의 사용량을 줄여 탄소 발자국을 감소시키는 역할을 하고 있다. 특징점으로는 비정형 데이터를 효과적으로 분석하여 실시간으로 의사결정에 필요한 정보를 제공하며, 이를 통해 운영의 효율성을 극대화하는 ① AI 기반의 데이터 분석, AI를 통해 정확한 수요 예측과 공급 계획을 수립하여 자원 낭비를 최소화하고 탄소 배출을 저감하는 ② 정밀 예측 및 계획, 그리고 대규모 언어 모델을 활용한 데이터 분석으로 농업 기계의 자원 사용을 최적화하여 환경 영향을 최소화하는 ③ 정밀 농업 지원에의 활용 등을 들 수 있다.

Pendulum의 AI 솔루션은 다양한 산업 분야에 적용 가능하며, 이를 통해 전 세계적으로 탄소 배출을 줄이는 데 기여할 수 있다. 또한, 기업들은 효율적인 자원 관리와 비용 절감을 통해 경제적 이익을 창출하고, 이러한 기술은 특히 기후 변화 대응 및 지속 가능한 발전 목표(SDGs)를 달성하는 데 중요한 역할을 한다. 향후에는 Pendulum은 지속적으로 AI 기술을 발전시키고, 다양한 산업 분야에 적용 범위를 확대할 계획이다. 특히 데이터 분석 기술을 고도화하여 더 많은 고객에게 효과적인 솔루션을 제공하고, 글로벌 기후 변화 대응에 기여할 수 있다. 또한, 정밀 농업 분야에서의 기술 적용을 확대하여 환경 보호와 식량 생산의 효율성을 동시에 추구할 전망이다.

## (2) 기타 사례

미국의 Oil and Gas Climate Initiative(OGCI)는 AI 기술을 적용하여 CCUS 허브를 개발하고 있다. 이 프로젝트는 AI를 통해 온실가스 배출원과 매칭하여 온실가스 저장 및 활용시설의 최적 위치와 방법을 도출함으로써 다양한 산업 부문에서 배출되는 온실가스를 효율적으로 포집하는 데 중점을 둔다.<sup>16</sup> OGCI는 BP, Chevron, ExxonMobil 등 12개 주요 석유 및 가스 회사가 참여하는 CEO 주도의 국제 산업 연합체로, 이들은 파리 협정의 목표 달성을 지원하기 위해 탄소 포집 기술의 경제성을 크게 향상시키는 데 중요한 역할을 한다. 독일의 Greenlyte Carbon Technologies는 AI를 활용하여 저에너지 직접 공기 포집(DAC) 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 대기 중의 이산화탄소를 포집한 후 이를 녹색 탄화수소로 전환하는 과정에서 AI를 통해 최소한의 에너지로 최적의 성능을 발휘한다. 이로 인해 에너지 효율이 크게 개선되고, 탄소 배출이 현저히 줄어드는 효과를 거두고 있다.<sup>17</sup>

[그림 3] Greenlyte Carbon Technologies의 저에너지 직접 공기 포집(DAC) 장치 개념도



출처: Greenlyte(2023)

국내에서도 온실가스 처리 분야에서 AI 기술을 활용한 선도적인 사례가 나오고 있다. 한국전력공사(KEPCO)는 발전소에서 배출되는 이산화탄소를 포집하고 저장하는 CCS 기술에 AI를 적용하여 포집 효율을 높이고, 운영 비용을 줄이는 연구를 지속적으로 진행하고 있다. 이 AI 시스템은 포집 과정을 실시간으로 모니터링하고, 최적의 운전 조건을 제공함으로써 전체 공정의 효율성을 극대화한다. 이러한 기술 개발은 탄소중립 목표 달성에 중요한 기여를 하고 있으며, 한국의 에너지 산업 전반에 걸쳐 적용 가능성을 확대하고 있다. 또한, 포스코는 제철 과정에서 발생하는 이산화탄소를 포집하고 이를 활용하여 화학제품으로 전환하는 CCU 기술을 도입하였다. 포스코는 AI를 활용하여 포집된 이산화탄소의 순도를 높이고, 이를 활용한 화학제품 생산 공정을 최적화함으로써 공정의 효율성을 크게 향상시켰다. 이 기술은 제철 공정의 환경 영향을 최소화하고, 포스코의 지속 가능한 생산 공정 구축에 중대한 역할을 하고 있다.

16 OGCI(2024), "Oil and Gas Climate Initiative\_About OCGI", 2024.08.14. 접속, <https://www.ogci.com/about>

17 Greenlyte(2023), "DAC-2-E-Methane", 2024.08.14. 접속, <https://www.greenlyte.tech/milestones/dac-2-e-methane>

## 에너지 효율

에너지 효율 분야는 전력 생산, 산업 공정, 수송, 건물 운영 등 다양한 부문에서 에너지 자원의 사용을 최적화하여 동일한 양의 에너지를 생산하거나 사용하는 데 필요한 자원을 줄이는 것을 목표로 한다. 발전 효율은 에너지 손실을 최소화하여 전력 생산의 효율성을 극대화하는 것을 의미하며, 산업 효율은 제조 공정에서 에너지 소비를 줄이고, 생산성을 향상시키는 데 중점을 둔다. 수송 효율은 물류 및 교통 시스템에서의 에너지 사용을 최적화하며, 건물 효율은 냉난방, 조명, 통풍 등 건물의 에너지 사용을 최적화하는 기술을 포함한다. 이러한 모든 영역에서 AI 기술이 점점 더 중요한 역할을 하고 있으며, AI 기술의 발전은 에너지 소비 절감 및 탄소 배출 감소 목표 달성에 핵심적인 기여를 하고 있다. AI 기술은 특히 예측 모델링, 최적화 알고리즘, 실시간 모니터링 시스템에서 두각을 나타내며, 이러한 기능을 통해 에너지 관리의 효율성을 크게 향상시키고 있다. 예를 들어, AI 기반의 예측 모델은 에너지 수요 변동을 예측하여 자원의 낭비를 최소화하고, 최적화된 에너지 사용 계획을 수립하는 데 도움을 준다. 또한, 스마트 그리드와 스마트 빌딩 시스템에서 AI는 실시간으로 에너지 사용 데이터를 분석하여 필요에 따라 에너지 사용을 조정하고, 이를 통해 전력 소비와 운영 비용을 동시에 줄일 수 있다.

### (1) 주요 사례 : Vistra의 발전소와 McKinsey의 QuantumBlack AI의 협력을 통한 발전 효율화

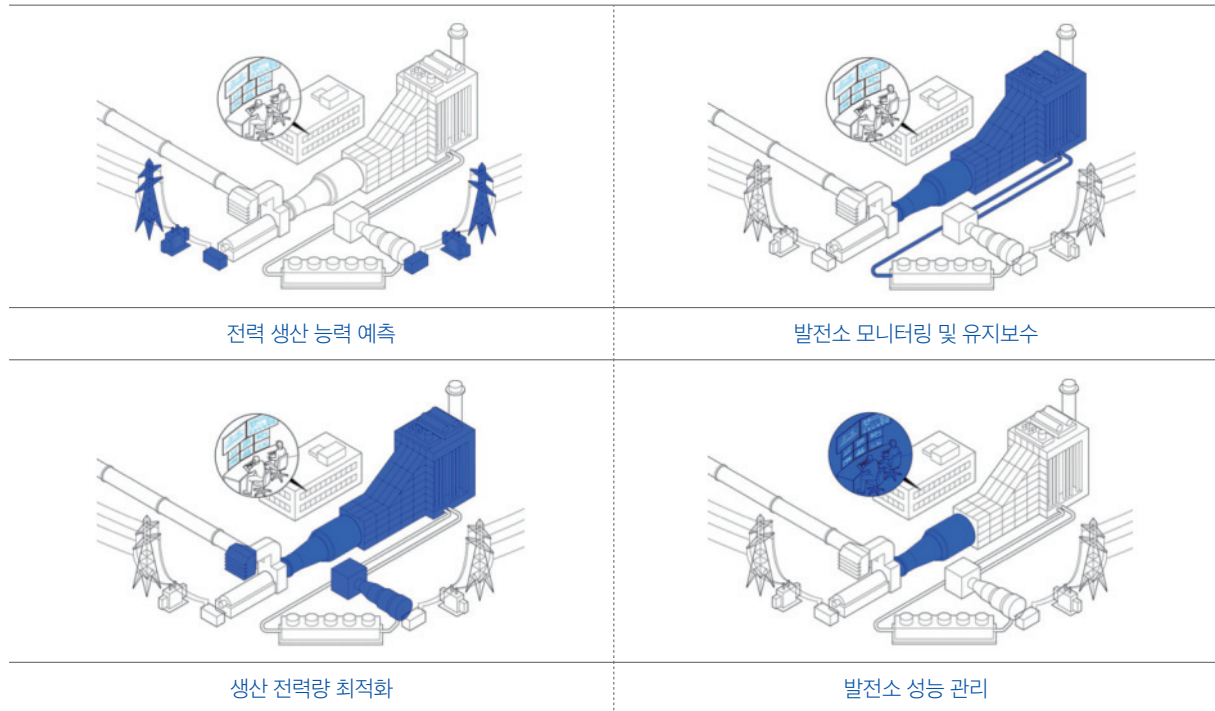
미국 전력회사인 Vistra는 McKinsey의 QuantumBlack AI와 협력하여 열효율 최적화(Heat Rate Optimizer, HRO) 시스템을 개발했다. 이 모델은 발전소의 다양한 변수들을 분석하여 최적의 운영 조건을 찾아내고 연료 소비를 줄여 효율성을 높이는 역할을 한다. Vistra는 2020년 HRO 시스템을 텍사스의 Martin Lake 발전소에 시범 도입하여 3개월 간 운영한 결과 발전소의 효율성이 2% 이상 증가하며 연간 450만 달러의 비용 절감과 34만 톤의 탄소 배출 감소 효과를 거두었다. Vistra는 이 성공을 바탕으로 HRO 시스템을 26개 발전소의 67개 발전소에 확장하였으며, 발전소의 실시간 데이터와 연계되어 30분마다 운영자에게 최적의 운영 방안을 제안하며 이를 통해 발전소 운영의 효율성과 안정성을 높였다. 이를 통해 평균 1%의 효율성 향상과 연간 2,300만 달러의 추가 절감 효과를 달성하였고 연간 160만 톤의 탄소를 감축하는 데 기여하고 있다.<sup>18</sup>

HRO 시스템은 전력 생산 능력 예측, 발전소 모니터링, 생산 전력량 최적화, 성능 관리로 구분된다. 전력 생산 능력 예측 AI 모델을 통해 주변 조건, 발전소 상태, 마모 및 손상을 고려하여 총 전력 생산 능력을 예측하고, 이를 통해 고객에게 안정적으로 전력을 전달한다. 복합 사이클 가스 터빈(CCGT) 및 석탄 연료 플랜트에 9개의 전력 생산 능력 예측 AI 모델이 적용되었다. 또한, 발전소 모니터링 및 유지보수 AI 모델을 통해 장비 성능 모니터링 및 장애를 예측하고 수리 작업 시간과 비용 간의 최적 균형을 찾아 충분한 시간을 두고 조치를 취함으로써 발전소의 신뢰성을 높이고 연간 430,000톤의 탄소를 감축하는 데 기여했다. 모니터링 및 예측을 위해 120개의 AI 모델이 적용되어 열 회수 증기 발생기, 가스 터빈, 펌프 등의 상태와 온도 분포를 모니터링하고 문제나 고장을 예측하며, 유지보수를 위해 CCGT와 석탄 연료 플랜트의 분쇄기 및 스크러버에 130개의 AI 모델이 적용되어 열 회수 증기 발생기, 압축기, 응축기 세척 및 공기 흡입 필터 교체 등에 활용된다. 또한, 생산 전력량 최적화를 위한 60개 AI 모델로 증기 온도, 덕트 운전 모드, 냉각 팬 조정 등을 통해 연료 소비당 생성되는 전력의 양을 최적화하여 연간 1,207,000톤의 탄소를

18 Boswell et al.(2022), "An AI power play: Fueling the next wave of innovation in the energy sector", McKinsey&Company, 2024.08.14. 접속, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/how-we-help-clients/an-ai-power-play-fueling-the-next-wave-of-innovation-in-the-energy-sector>

감축하였으며, 60개의 성능 관리 AI 모델을 활용하여 석탄 연료 플랜트의 보조 부하 최적화, 펌프 및 팬 운영 최적화, 장비 이상 탐지 및 문제 해결, 석탄 공급 및 석회석 추가 시 제어 개선 등 발전소의 세부 구성 요소별 작동 시간을 최적화하여 불필요한 가동을 줄이고 발전소의 안정성을 높이고 있다.

[그림 4] Vistra의 발전 효율화를 위해 복합 사이클 가스 터빈 플랜트에 AI 모델이 활용된 예시



출처: Boswell et al., 2022 기반 저자 재구성

Vistra는 또한 각 발전소의 운영자를 대상으로 AI 모델 사용법에 대한 교육을 실시하여 도입 초기의 어려움을 극복하였으며 발전소 운영의 복잡성을 고려하여 HRO 모델을 지속적으로 개선하고 있다. 예를 들어, 해안가 발전소의 경우 염분과 습기로 인해 필터 교체 주기가 달라지는 문제를 해결하기 위해 AI를 활용 등 각 발전소의 고유한 환경 조건에 맞춰 HRO 모델을 조정하고, 이를 통해 운영 효율성을 극대화하고 있다.

Vistra는 에너지 효율화 시스템을 발전 외에 태양광 및 배터리 에너지 저장 시스템 등 다른 분야로 확장을 추진 중이다. 이를 통해 2030년까지 온실가스 배출을 60% 줄이고 2050년까지 탄소 배출 제로 목표를 달성하기 위해 노력하고 있다. Vistra의 AI 도입 사례는 전력 산업에서 효율성, 신뢰성, 안전성, 지속 가능성을 동시에 향상시키는 혁신적인 전환점이 될 것으로 기대된다.

## (2) 기타 사례

영국의 Grid Edge는 건물 에너지 관리 시스템(BMS)을 최적화하는 AI 시스템인 Edge2X를 개발했다. 이 시스템은 날씨, 에너지 가격, 탄소 배출량 등을 종합적으로 고려하여 건물의 에너지 사용을 실시간으로 조정하며, 그 결과로

건물의 에너지 효율을 높이고, 탄소 배출을 줄이는 데 기여하고 있다.<sup>19</sup>

국내에서는 포스코가 양자 컴퓨팅 기술과 AI를 결합하여 고로 성능을 최적화하고, 탄소 배출을 줄이는 데 주력하고 있다. 포스코는 스위스의 Terra Quantum과 협력하여 광양제철소에서 고로 성능 최적화를 위해 시계열 예측과 하이브리드 양자 신경망을 활용하는 프로젝트를 진행하고 있으며, 이를 통해 환원제 비율(RAR)을 최적화하여 연료 사용과 운영 비용을 줄임으로써 온실가스 배출량 감소에 기여한다.<sup>20</sup> LG전자의 스마트홈 시스템은 AI 기반 에너지 관리 솔루션을 도입하여 가정 내 에너지 사용을 최적화하고 있다. 이 시스템은 사용자의 생활 패턴과 에너지 사용 데이터를 학습하여 전기 사용량을 줄이는 방향으로 가전제품을 제어하며, AI는 실시간 데이터를 바탕으로 조명, 냉난방 시스템 등을 자동으로 조절한다. 특히, LG전자는 자사의 스마트홈 솔루션을 통해 연간 전력 사용량을 최대 30%까지 절감할 수 있는 성과를 거두고 있으며, 탄소 배출 감소에도 크게 기여하고 있다.<sup>21</sup>



19 IEA(2019), "Case Study: Artificial Intelligence for Building Energy Management Systems", 2024.08.14. 접속, <https://www.iea.org/articles/energy-efficiency-and-digitalisation>

20 포커스온경제(2024), "테라퀀텀-포스코홀딩스, 퀀텀 AI로 제철 생산 혁신 가속화", 2024.08.14. 접속, <https://www.foeconomy.co.kr/id/WGS0DiVEXehkY4TJuN3K>

21 연합뉴스(2024), "AI 스머튼 스마트홈'...변화 더딘美가전시장도 에너지효율 대세", 2024.08.14. 접속, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20240228075600072>

## 에너지 융복합

에너지 융복합 분야는 다양한 에너지 생산·저장·소비 기술을 통합하여 에너지 자원의 효율적 관리를 목표로 하는 영역이다. 특히, 전통적인 에너지 기술과 정보통신 기술의 융합을 통해 에너지 시스템의 전반적인 효율성과 안정성을 극대화하는 데 주력한다. 이는 전력망의 안정성과 효율성을 높이는 동시에, 다양한 에너지원의 통합 운영을 가능하게 하여, 재생 가능 에너지의 변동성을 효과적으로 관리하고 전력 공급의 신뢰성을 강화하는 데 중요한 역할을 한다. AI 기술은 이러한 에너지 융복합 시스템의 핵심 요소로, 실시간 데이터 분석, 예측 모델링, 최적화 알고리즘을 통해 전력망과 에너지 자원의 운용 효율을 극대화한다. AI를 활용하면 다양한 에너지원의 출력을 통합적으로 관리하고, 전력망의 장애를 사전에 예측해 대응할 수 있으며, 이를 통해 에너지 공급의 안정성과 효율성을 높인다. 또한, 스마트 그리드, 스마트 빌딩, 스마트 시티 등의 시스템에서 AI는 실시간으로 에너지 사용을 모니터링하고 최적화함으로써 에너지 절감을 극대화할 수 있다.

### (1) 주요 사례 분석: ABB Ability를 통한 전력 관리 최적화

ABB Ability는 ABB의 디지털 솔루션 브랜드로, 산업 자동화 및 전력 관리 분야에서 혁신적인 디지털화를 추구하고 있다. ABB는 130년 이상의 역사를 가진 글로벌 기술 기업으로, 디지털화, 자동화, 전력 솔루션을 통해 지속 가능한 미래를 만들기 위해 노력하고 있다. ABB Ability의 목적은 실시간 데이터 분석과 통합된 자산 및 에너지 관리를 통해 운영 효율성을 극대화하고 비용 절감을 실현하는 것이다. ABB Ability 솔루션은 클라우드 기반의 SaaS(Software-as-a-Service) 모델로 제공되며, 사용자는 다양한 산업 분야에서 실시간 데이터와 분석 도구를 활용할 수 있다. 실시간 모니터링 및 분석을 통해 에너지 소비와 자산 성능을 실시간으로 모니터링하고 분석하여 최적의 운영 조건을 유지한다. 통합 대시보드를 통해 다양한 데이터를 하나의 대시보드에서 통합 관리할 수 있으며, 사용자 친화적인 인터페이스를 제공한다. 예측 유지보수를 통해 자산의 상태를 미리 파악하고, 적절한 시기에 유지보수를 수행하여 다운타임을 최소화한다. 맞춤형 보고서를 생성하여 에너지 소비와 자산 상태에 대한 종합적인 정보를 제공한다.<sup>22</sup>

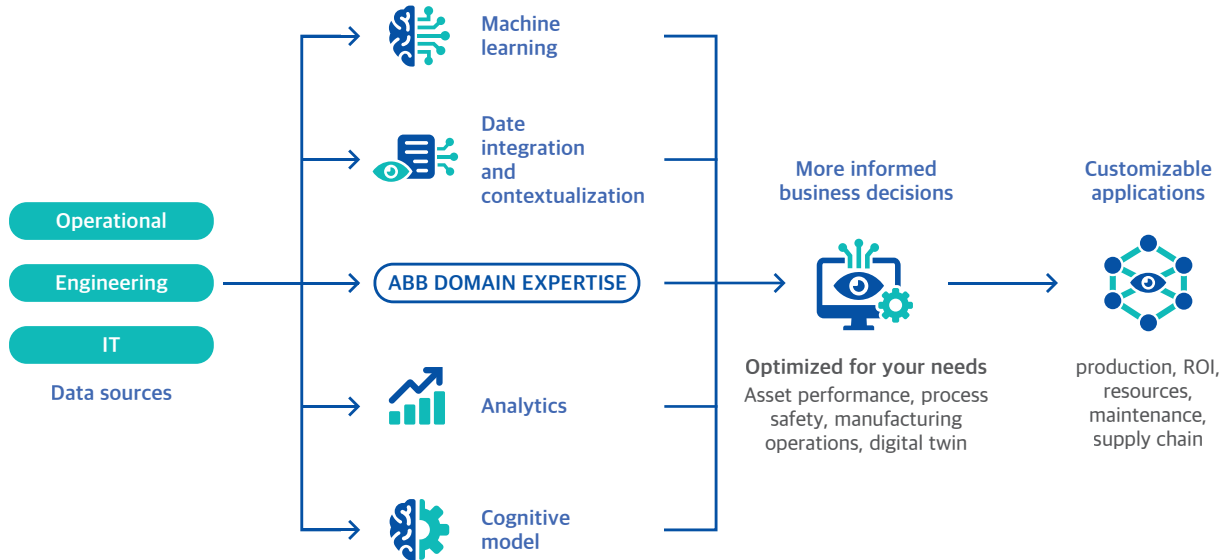
이 프로젝트를 통해 ABB는 운영 비용을 최대 40% 절감하고, 에너지 비용은 최대 30%까지 절감할 수 있었다. 실시간 데이터와 분석을 통해 운영 효율성을 극대화하여 전반적인 사이트 효율성을 개선하고, 예측 유지보수를 통해 자산의 수명을 연장하고 다운타임을 줄였다. 특히, 실시간 데이터 접근성을 통해 언제 어디서나 실시간으로 데이터에 접근하여 빠른 의사결정 지원이 가능하게 하였으며, 통합 대시보드를 통해 다양한 에너지 및 자산 데이터를 단일 인터페이스에서 관리하여 효율성을 높였다. 또한, 소프트웨어 업그레이드와 구독 서비스를 온라인으로 간편하게 관리할 수 있는 유연한 업그레이드 및 확장성을 제공하였고, 높은 보안 기준을 준수하여 높은 보안성을 보장하였다. ABB Ability는 다양한 산업 분야에서, 특히 제조업, 데이터 센터, 상업 시설 등에서 디지털 전환을 촉진하며, 에너지 효율을 높여 환경 영향을 최소화하고, LEED 인증과 같은 지속 가능성 목표 달성에 기여하며, 실시간 모니터링과 예측 유지보수를 통해 운영 리스크를 줄이고, 안정적인 운영을 지원한다. 또한, 비용 절감과 효율성 증대를 통해 기업의 경쟁력을 강화할 수 있다. ABB는 AI 및 머신러닝 기술을 발전시켜 더 정교한 데이터 분석과 예측 모델을 개발하여, 사용자에게 맞춤형 솔루션을 제공할 계획이다. 더욱 안전하고 효율적인 에너지 관리 및 자산 관리 솔루션을 제공하기 위해 클라우드 및 IoT 기술을 지속적으로 발전시키고, ABB Ability의 글로벌 확장을 통해 더 많은 기업이 디지털 전환의 혜택을 누릴 수 있도록 지원할 계획이다.

22 ABB(2022), "ABB Ability™ Efficiency AI", 2024.08.14. 접속, <https://new.abb.com/ability-building-solutions/efficiency-ai>

[그림 5] ABB의 AI 기반 관리 최적화 솔루션

## ABB Ability Genix Industrial Analytics and Ai Suite

How does it work?



출처: ABB(2020)

## (2) 기타 사례

미국의 General Electric(GE)은 AI 기반의 Predix 플랫폼을 활용해 전력망 운영의 효율성을 극대화하고 있다. Predix는 IoT 및 클라우드 컴퓨팅 기술을 기반으로, 실시간 데이터 분석과 예측 모델링을 통해 전력망의 안정성과 효율성을 높이고 있다. 이 플랫폼은 전력망의 운영 상태를 실시간으로 모니터링하며, 잠재적인 문제를 사전에 예측해 조치를 취할 수 있도록 한다. 이러한 시스템은 다양한 에너지원의 통합 관리와 최적화 운영을 가능하게 하여, 전력 공급의 안정성을 향상시킨다.<sup>23</sup>

국내에서는 한국전력공사(KEPCO)가 AI를 활용하여 전력망의 실시간 상태를 모니터링하고, 예측 알고리즘을 통해 전력 수요와 공급을 최적화하는 프로젝트를 진행 중이다. 이 프로젝트는 전력 손실을 최소화하고, 재생에너지의 변동성을 관리하여 안정적인 전력 공급을 보장하는 것을 목표로 한다. AI를 통해 전력망 운영의 효율성을 높이고, 에너지 관리의 신뢰성을 증대시키는 데 기여하고 있다.<sup>24</sup> SK E&S는 AI 기반의 스마트 그리드를 구축하여 전력 수요 예측 및 최적화를 통해 에너지 효율을 극대화하고 있다. AI 예측 모델을 통해 피크 수요 시간을 정확히 예측하고, 이에 따라 전력 공급을 조절하여 에너지 소비를 효율적으로 관리한다. 이를 통해 에너지 비용을 절감하고, 재생에너지의 활용을 극대화하며, 안정적인 전력 공급을 보장하는 시스템을 운영하고 있다.<sup>25</sup>

23 Emerj(2021), "Artificial Intelligence and Digital Twins at General Electric", 2024.08.14. 접속, <https://emerj.com/ai-sector-overviews/ai-at-general-electric/>

24 일렉트릭파워(2023), "한전 전력연구원, 'AI 기반 전력망 상태 예측 시스템' 국제 스마트그리드 기술경연 수상", 2024.08.14. 접속, <https://www.epj.co.kr/news/articleView.html?idxno=32800>

25 서울신문(2021), "수소를 넘어... 에너지업계, 스마트그리드 등 미래 신사업 '올인'", 2024.08.14. 접속, <https://www.seoul.co.kr/news/economy/industry/2021/09/10/20210910019001>



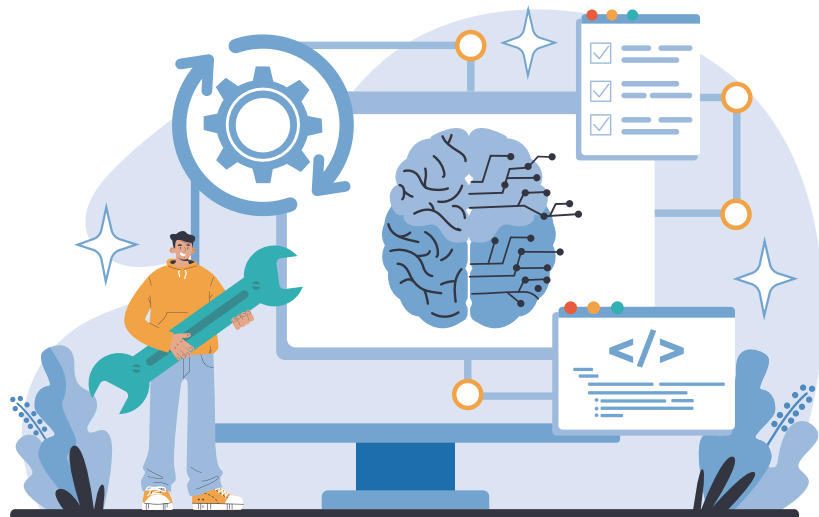
## 소결

### AI의 온실가스 감축 기술에 대한 기여와 도전

AI는 온실가스 감축 기술 전반에서 핵심적인 역할을 하고 있으며, 탄소중립 목표 달성을 위한 필수적인 도구로 자리매김하고 있다. AI의 도입은 에너지 생산, 연·원료 대체, 에너지 효율, 온실가스 처리, 에너지 융복합 등 다양한 분야에서 기술적 한계를 극복하고 효율성을 크게 향상시키며, 비용 절감과 환경 보호에도 기여하고 있다.

에너지 생산 분야에서 AI는 재생 가능 에너지의 예측과 운영을 최적화하여 전력 공급의 안정성을 강화하고 있다. 이는 풍력 및 태양광 발전의 변동성을 효과적으로 관리함으로써, 전력망 운영의 효율성을 높이고, 탄소 배출을 감소시키는 데 기여하고 있다. 연·원료 대체 분야에서는 AI가 자원 관리와 화학 공정의 최적화에 활용되며, 수소 생산, 바이오매스 처리, 폐자원 재활용 과정에서 에너지 소모를 최소화하고 자원 활용을 극대화하여 경제성과 환경적 이점을 동시에 추구하고 있다. AI는 에너지 효율 분야에서도 중요한 역할을 하고 있다. AI 기반의 예측과 최적화 기술은 전력 소비를 줄이고, 실시간 에너지 관리 시스템을 통해 효율성을 극대화하여 탄소 배출을 줄이는 데 기여하고 있다. 온실가스 처리 분야에서는 AI를 통해 탄소 포집 및 저장(CCS) 과정의 효율성을 극대화하고, 경제성을 개선하여 온실가스 감축 효과를 높일 수 있다. 또한, 에너지 융복합 분야에서는 AI가 다양한 에너지원과 정보통신 기술을 결합하여 전력망의 안정성과 효율성을 높이는 데 기여하고 있다.

이와 같은 AI의 기여에도 불구하고, 기술 도입에 따른 에너지 소비 증가와 같은 부정적인 영향에 대한 우려도 존재한다. 그러나 AI 기술의 발전과 올바른 활용은 이러한 우려를 상쇄하고, 탄소중립 목표를 달성하는 데 중요한 기여를 할 수 있다. 따라서, AI가 온실가스 감축 기술에서 실질적인 효과를 발휘하기 위해서는 데이터 품질 개선, 초기 비용 문제 해결, 규제 및 표준화의 정비 등 다양한 측면에서의 노력이 필요하다. 궁극적으로, AI는 온실가스 감축 기술의 발전을 가속화하고, 탄소중립을 달성하기 위한 핵심적인 역할을 수행할 것이다. 이는 기술 혁신뿐만 아니라 정책적·경제적 측면에서도 새로운 전환점을 마련하는 데 중요한 기여를 할 것으로 기대된다.



&lt;표 2&gt; 탄소중립 관련 기후기술 분야별 AI 활용 사례

분류	국내외	사례
에너지 생산	국내	<ul style="list-style-type: none"> <li>한국전력의 지능형 디지털 발전소(IDPP) 플랫폼 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- AI와 빅데이터 분석을 통해 발전소를 운영·점검, 설비 상태를 사전에 예측</li> <li>- ‘조기경보시스템’으로 핵심 신호를 가려내어 발전 비용을 최소화하고 효율성 향상</li> </ul> </li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>한국에너지기술연구원의 AI 기반 태양광 발전 고장 진단 기술               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10년 이상 태양광발전소 고장 진단 평가를 통해 수집한 데이터를 AI 모델로 분석</li> <li>- 원격으로 태양광 패널 상태를 진단, 유지관리 비용을 절감</li> </ul> </li> </ul>
	국외	<ul style="list-style-type: none"> <li>구글 딥마인드의 풍력 에너지 최적화               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 딥마인드는 영국의 내셔널 그리드와 협력하여 풍력에너지 생산의 효율성을 최적화</li> <li>- 머신러닝을 사용해 일기예보와 터빈 구동 기록을 분석, 에너지 출력을 20% 향상</li> </ul> </li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>GE Renewable Energy의 AI 기반 유지보수               <ul style="list-style-type: none"> <li>- GE Renewable Energy는 풍력발전단지의 유지보수에 디지털트윈 및 AI를 활용</li> <li>- 터빈 장비와 부품의 고장을 예측하고 선제적으로 조치하여 신뢰성과 효율성을 향상</li> </ul> </li> </ul>
연·원료 대체	국내	<ul style="list-style-type: none"> <li>그린수소 생산 촉매 최적화               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 광주과학기술원(GIST) 이재영 교수 연구팀, 딥러닝을 활용해 수전해 촉매의 비귀금속(철-니켈) 최적 조합 비율 도출</li> </ul> </li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>이산화탄소 흡착 예측               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고려대학교 옥용식 교수 연구팀, 싱가포르 국립대와 협력하여 머신러닝을 통해 폐기물 유래 다공성 탄소 재료의 CO2 흡착 예측</li> </ul> </li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>그린수소 생성 HAAMA 공정               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 바이오엑스와 울산과학기술원, AI 기술을 접목하여 자율운전 및 수소 생산량 증대</li> </ul> </li> </ul>
	국외	<ul style="list-style-type: none"> <li>DeepMind의 AlphaFold를 활용한 수소 생산 촉매 구조 예측               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소 생산 촉매의 구조를 예측하고 최적화함으로써 촉매 효율성 향상</li> </ul> </li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Siemens의 Navigance               <ul style="list-style-type: none"> <li>- AI 기술을 활용하여 화학 공정을 최적화하는 데 필요한 최적의 구성을 실시간으로 제공</li> </ul> </li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Bollegraaf와 Greyparrot의 재활용 분류 시스템               <ul style="list-style-type: none"> <li>- AI 시스템을 통해 재활용 공정의 효율성을 높이고 재활용 자재 회수율 증대</li> </ul> </li> </ul>
온실가스 처리	국내	<ul style="list-style-type: none"> <li>한국전력공사(KEPCO)의 AI 활용 CCUS 프로젝트               <ul style="list-style-type: none"> <li>- AI를 활용한 탄소포집 및 저장(Carbon Capture and Storage, CCUS)기술 발전</li> <li>- 발전소에서 배출하는 CO2를 포집, 저장함으로써 온실가스 배출을 줄이는 데 기여</li> <li>- 동 프로젝트에서 AI는 CO2의 포집 과정의 효율성을 높이고 비용을 절감하는 데 중요한 역할을 수행</li> </ul> </li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>포스코의 CCU 기술               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 제철 과정에서 발생하는 CO2를 포집하고 이를 활용하여 화학제품으로 전환</li> <li>- AI를 활용하여 포집된 CO2의 순도를 높이고, 화학제품 생산 공정 최적화</li> </ul> </li> </ul>
	국외	<ul style="list-style-type: none"> <li>미국 OGC CCUS 허브 프로젝트               <ul style="list-style-type: none"> <li>- AI를 활용한 CCUS 허브를 개발하여 여러 산업에서 발생하는 이산화탄소를 효과적으로 포집하고 저장하는 프로젝트 진행</li> <li>- CO2 배출원과 저장소를 매칭하여 최적의 위치 선정, AI 통한 비용효율적 솔루션 제공</li> </ul> </li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>독일 Greenlyte Carbon Technologies               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 저에너지 직접 공기 포집(Direct Air Capture, DAC) 시스템 개발하여 대기 중 CO2를 녹색 탄화수소로 전환하는 기술 보유</li> <li>- AI를 통해 최적화되어 최소한의 에너지를 사용하며, 동시에 그린 수소 생산</li> </ul> </li> </ul>

분류	국내외	사례
에너지 효율	국내	<ul style="list-style-type: none"> <li>포스코 홀딩스의 제철소 성능 최적화 시스템               <ul style="list-style-type: none"> <li>포스코 홀딩스는 스위스의 Terra Quantum과 협력하여 양자 AI를 활용해 광양제철소의 고로 성능을 최적화</li> <li>환원제 비율(RAR)을 최적화하여 탄소 배출과 운영 비용을 줄이고, 연료 사용 및 생산 매개변수를 개선함으로써 배출 감소 및 에너지 절감</li> </ul> </li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>LG전자의 스마트홈 시스템               <ul style="list-style-type: none"> <li>AI 기반 에너지 관리 솔루션을 도입하여 가정 내 에너지 사용을 최적화</li> <li>사용자의 생활 패턴과 에너지 사용 데이터를 학습하여 전기 사용량을 줄이는 방향으로 가전제품을 제어하여 전력 사용량을 절감하고 온실가스 배출량 감소에 기여</li> </ul> </li> </ul>
	국외	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vistra의 열효율 최적화(Heat Rate Optimizer, HRO) 시스템               <ul style="list-style-type: none"> <li>Vistra는 McKinsey의 QuantumBlack AI와 협력하여 열효율 최적화 시스템을 개발</li> <li>수년간의 데이터와 다양한 변수를 분석하여 최적의 운영 조건을 찾아내어 연간 160만 톤의 탄소 배출 저감</li> </ul> </li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Grid Edge의 Edge2X 시스템               <ul style="list-style-type: none"> <li>Grid Edge는 건물 에너지 관리 시스템(BMS)을 최적화하는 AI 시스템인 Edge2X를 개발</li> <li>날씨 데이터와 같은 다양한 데이터 소스를 활용해 실시간으로 건물의 에너지 사용을 최적화하고, 전력 가격 및 탄소 집약도에 따라 에너지 사용을 조정</li> </ul> </li> </ul>
에너지 융복합	국내	<ul style="list-style-type: none"> <li>KEPCO(한국전력공사)의 AI기반 전력망 관리               <ul style="list-style-type: none"> <li>한국전력공사는 AI를 활용하여 전력망의 실시간 상태를 모니터링하고, 예측 알고리즘을 통해 전력 수요와 공급을 최적화함. 이를 통해 전력 손실을 최소화하고, 재생에너지의 변동성을 관리하는데 기여</li> </ul> </li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>SK E&amp;S의 스마트 그리드               <ul style="list-style-type: none"> <li>SK E&amp;S는 AI 기반의 스마트 그리드를 구축하여, 전력 수요 예측 및 최적화를 통해 에너지 효율을 극대화하고 있음. 특히, AI를 활용한 예측 모델을 통해 피크 수요 시간을 예측하고, 이에 맞춰 전력 공급을 조절하는 시스템을 운영</li> </ul> </li> </ul>
	국외	<ul style="list-style-type: none"> <li>미국 GE의 Predix 플랫폼               <ul style="list-style-type: none"> <li>AI 기반의 Predix 플랫폼을 활용해 전력망 운영의 효율성을 극대화를 추진</li> <li>IoT 및 클라우드 컴퓨팅 기술을 기반으로, 실시간 데이터 분석과 예측 모델링을 통해 전력망의 안정성과 효율성을 증진</li> </ul> </li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>스위스 ABB의 ABB Ability               <ul style="list-style-type: none"> <li>AI 기반의 ABB Ability 플랫폼을 통해 전력망을 모니터링하고, 예측 분석을 통해 전력 공급의 안정성과 효율성을 향상</li> <li>전력망의 장애를 사전에 예측하고 대응할 수 있으며, IoT, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅 등의 첨단 기술을 통합하여 디지털 전환을 가속화</li> </ul> </li> </ul>

출처: 저자 작성

## 결론 및 시사점

### AI 기술 접목을 통한 온실가스 감축 촉진을 위한 제언

#### AI 기술을 통한 온실가스 감축 기술 고도화 및 탄소중립 기여 방안

국내외 사례를 통해 확인한 바와 같이, AI 기술의 도입은 온실가스 감축 기술을 고도화하고, 탄소중립을 달성하기 위한 핵심적인 전략으로 자리 잡고 있다. AI는 대규모 데이터를 실시간으로 분석하고, 복잡한 문제를 해결하는 데 탁월한 능력을 보유하고 있어, 기존 온실가스 감축 기술의 한계를 극복하고 새로운 기회를 창출하는 데 중요한 역할을 한다. 특히, AI는 예측 정확성, 운영 효율성, 비용 절감, 환경적 영향 최소화와 같은 주요 이점을 제공하며, 이를 통해 온실가스 감축 기술의 효과를 극대화할 수 있다.

##### (1) 예측 정확성 향상

AI는 에너지 생산 및 소비 패턴을 정밀하게 예측할 수 있도록 하여, 에너지 수요에 맞춘 최적의 공급 계획 수립을 지원한다. 특히, AI는 기상 데이터와 에너지 수요 데이터를 분석해 풍력 및 태양광 발전량을 예측하고, 이를 바탕으로 전력망의 안정성을 강화할 수 있다.

##### (2) 운영 효율성 극대화

AI는 복잡한 시스템을 실시간으로 모니터링하고 최적화하여, 에너지 효율 분야에서 특히 중요한 역할을 한다. AI 기반 시스템은 전력 소비를 줄이고 에너지 낭비를 최소화할 수 있으며, 스마트 그리드와 스마트 빌딩 시스템에서 실시간 데이터를 분석하여 에너지 사용을 조정함으로써 효율성을 극대화한다.

##### (3) 비용 절감 및 ROI 개선

AI 기술은 온실가스 감축 기술을 개선하여 운영 비용을 줄이고, 투자 대비 수익(ROI)을 높일 수 있다. 예를 들어, AI는 재생 가능 에너지의 생산과 저장 과정에서 발생하는 비효율성을 줄여 경제성을 강화한다. AI 기반 예측 모델은 자원 낭비를 줄이고, 운영 효율성을 극대화함으로써 비용 절감에 기여한다.

##### (4) 환경적 영향 최소화

AI는 온실가스 감축 기술의 환경적 영향을 줄이는 데 중요한 역할을 한다. 예를 들어, AI는 탄소 포집 및 저장(CCS) 기술에서 포집 효율을 극대화하고, 이를 통해 온실가스 감축 효과를 높일 수 있다. 또한, AI는 폐기물 처리 과정에서 발생하는 환경적 영향을 최소화하고, 자원 재활용을 통해 지속 가능한 발전을 촉진한다.

## 국내 주요 현안

국내에서 온실가스 감축을 위한 AI 기술의 도입이 일부 기관과 연구자를 중심으로 이루어지고 있으나, 국가적 차원에서 활발히 추진되기에는 아직 여러 가지 과제가 남아 있다. AI 기술이 다양한 산업 분야에서 온실가스 감축을 가속화하고 효율성을 극대화하는 데 핵심적인 역할을 할 수 있지만, 이러한 기술의 적용을 가로막는 여러 현안이 존재한다. 이와 같은 문제들은 에너지 생산, 연·원료 대체, 온실가스 처리, 에너지 효율, 에너지 융복합 분야에서 공통적으로 나타나고 있으며, 분야별로 해결해야 할 구체적인 과제들이 산적해 있다.

### (1) 에너지 생산 분야

AI를 활용한 에너지 생산 최적화는 재생 가능 에너지의 변동성을 관리하는 데 핵심적이다. 그러나 국내에서는 풍력 및 태양광 발전과 같은 재생 에너지의 예측 모델에 필요한 데이터의 질이 불충분하며, 이로 인해 AI 예측 모델의 정확도가 저하되는 문제가 발생하고 있다. 또한, AI 기술 도입을 위한 초기 비용이 많이 들어 중소형 발전소에서 도입에 어려움을 겪고 있다.

### (2) 연·원료 대체 분야

AI 기반 수소 생산 기술과 바이오매스 가스화 기술이 국내에서도 도입되고 있으나, 기존 화석연료 기반의 생산 공정에 비해 초기 비용이 많이 들고, 기술 성숙도가 낮아 상용화에 어려움이 있다. 또한, 데이터 수집의 어려움과 생산 공정의 복잡성으로 인해 AI 기술의 효율적인 적용이 제한되고 있다.

### (3) 온실가스 처리 분야

국내의 탄소 포집 및 저장(CCS) 기술은 아직 초기 단계에 머물러 있으며, AI를 활용한 효율성 제고 시도는 제한적이다. CCS 기술에서 AI의 도입을 위해서는 고도로 정밀한 데이터가 요구되지만, 관련 데이터의 품질과 접근성이 부족하여 기술적 한계를 극복하기 어려운 상황이다. 또한, CCS 기술의 경제적 타당성을 입증하기 위한 ROI 분석이 충분하지 않다는 점도 문제로 지적된다.

### (4) 에너지 효율 분야

AI를 통한 에너지 효율 개선은 이미 다양한 산업 및 건물 관리 시스템에 도입되고 있으나, 국내에서는 관련 인프라의 미비와 높은 초기 도입 비용이 문제로 작용하고 있다. 특히, 스마트 빌딩 및 그리드 시스템에서 AI 기술을 적용하려면 실시간 모니터링 및 최적화 기술이 필수적이거나, 관련 데이터를 수집하고 분석할 수 있는 체계가 아직 부족하다.

### (5) 에너지 융복합 분야

에너지 융복합 시스템은 다양한 에너지원의 통합 관리를 필요로 하며, AI 기술은 이를 최적화하는 데 중요한 역할을 한다. 그러나, 융복합 시스템의 복잡성으로 인해 데이터의 통합 관리와 최적화가 어렵고, 규제와 표준화가 미흡하여 기술 도입이 지연되고 있다.

## 향후 국내 온실가스 감축 분야 AI 활용 활성화 추진 전략

향후 국내에서 AI 기술을 활용한 온실가스 감축 전략을 성공적으로 추진하기 위해서는 체계적이고 종합적인 접근이 필요하다. 국내에서는 일부 선도적인 기관과 기업들이 AI를 활용하여 온실가스 감축 기술을 발전시키고 있지만, 국가적 차원에서 이러한 노력이 전반적으로 확산되고 있지 않다. 따라서, 향후 추진 전략은 다음과 같은 요소들을 포함해야 한다.

### (1) 에너지 생산 분야

데이터 품질 개선 및 예측 모델 고도화 | 재생 가능 에너지의 변동성을 관리하기 위해서는 풍력 및 태양광 발전의 정확한 예측이 필수적이다. 이를 위해, 국내에서 수집되는 기상 데이터 및 발전량 데이터를 고도화하고, 이를 기반으로 AI 예측 모델의 정확성을 높이는 노력이 필요하다. 정부와 산업계가 협력하여 데이터 인프라를 강화하고, 센서 기술 및 데이터 수집 장비의 현대화를 추진해야 한다.

중소형 발전소 지원 프로그램 | AI 도입에 따른 초기 비용 부담이 큰 중소형 발전소를 대상으로 지원 프로그램을 마련하여, AI 기술의 도입을 촉진해야 한다. 이를 위해, 정부 차원에서 보조금이나 세제 혜택을 제공하고, 성공적인 도입 사례를 적극적으로 홍보함으로써 AI 기술의 채택을 가속화할 수 있다.

### (2) 연·원료 대체 분야

자원 가용성 관리 및 최적화 | 수소 생산과 바이오매스 처리에서 AI는 자원의 가용성과 품질 변동성을 관리하는 데 중요한 역할을 한다. 이를 위해, AI 기반의 예측 모델을 통해 자원의 공급망을 최적화하고, 원료의 품질을 실시간으로 모니터링하여 생산 공정을 최적화해야 한다. 국내에서는 이러한 기술의 상용화를 위한 파일럿 프로젝트를 확대할 필요가 있다.

기술 성숙도 향상을 위한 연구개발 | 연·원료 대체 기술의 성숙도를 높이기 위해 AI 기술을 활용한 연구개발을 강화해야 한다. 특히, AI를 활용하여 복잡한 화학 공정을 최적화하고, 데이터 분석을 통해 공정 효율을 극대화하는 방법을 연구하는 것이 중요하다. 이를 위해 산학연 협력을 통해 기술 개발을 촉진해야 한다.

### (3) 온실가스 처리 분야

CCS 기술의 경제성 확보 | CCS(탄소 포집 및 저장) 기술의 경제성을 확보하기 위해 AI를 활용한 비용 절감 전략을 수립해야 한다. AI를 통해 CCS 과정에서 발생하는 비효율성을 줄이고, 포집 및 저장의 정확성을 높여야 한다. 이를 위해, 국내 CCS 프로젝트에 AI 기반의 최적화 솔루션을 도입하여 기술의 상용화를 촉진할 필요가 있다.

데이터 통합 및 접근성 강화 | CCS 기술에서 AI의 역할을 극대화하기 위해서는 관련 데이터의 품질과 접근성을 높여야 한다. 다양한 데이터 소스를 통합하여 AI 모델을 훈련하고, 이를 통해 CCS 기술의 효율성을 높이는 것이 중요하다. 정부는 데이터 관리 플랫폼을 구축하여 다양한 데이터 소스의 통합을 촉진해야 한다.

### (4) 에너지 효율 분야

스마트 그리드 및 스마트 빌딩 시스템의 확산 | 에너지 효율을 극대화하기 위해 AI 기반의 스마트 그리드와 스마트 빌딩 시스템을 확산시켜야 한다. 이를 위해 정부는 관련 인프라 구축을 지원하고, 민간 기업들이 스마트 시스템을 도입할 수 있도록 재정적 인센티브를 제공해야 한다. AI를 통해 실시간으로 에너지 사용을 모니터링하고, 효율적으로

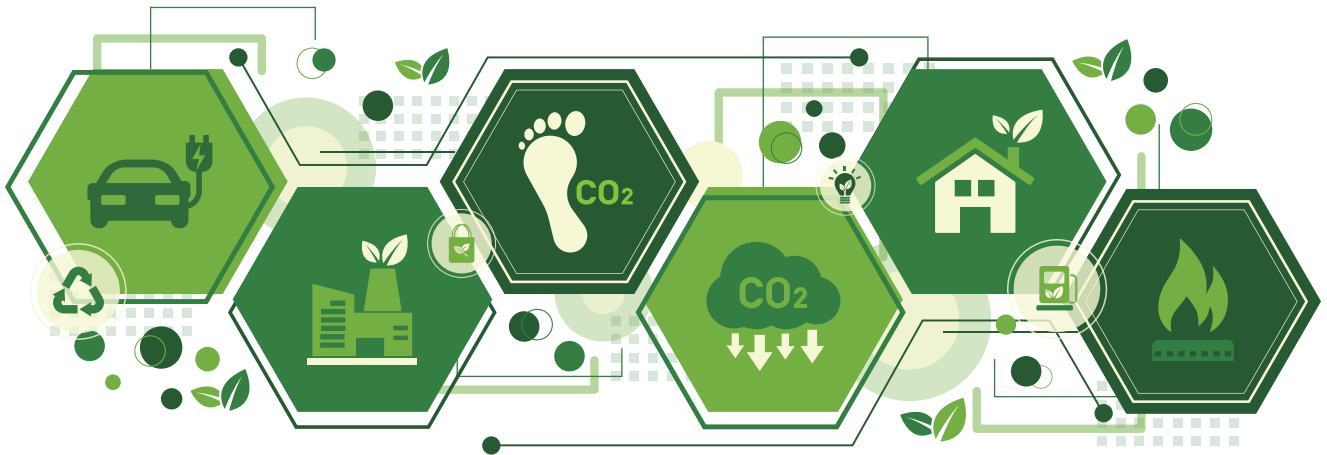
조정할 수 있는 시스템을 구축하는 것이 목표이다.

기존 인프라와의 통합 | 기존 에너지 관리 시스템과 AI 기반 기술을 효과적으로 통합하는 것이 필요하다. 점진적인 통합 접근 방식을 통해 기존 시스템과 AI 시스템을 병행 운영하며, 데이터 수집 및 분석 능력을 점차 확대해야 한다. 이를 위해 기술적 지원과 전문 인력 양성을 강화해야 한다.

#### (5) 에너지 융복합 분야

복합 에너지원 관리 최적화 | 에너지 융복합 시스템에서 다양한 에너지원의 통합 관리를 위해 AI 기술을 적극적으로 도입해야 한다. 이를 위해 재생 에너지와 화석연료 기반 에너지원의 데이터를 통합 관리할 수 있는 AI 솔루션을 개발하고, 실시간 데이터 분석을 통해 최적의 운영 전략을 수립해야 한다.

규제 및 표준화 마련 | AI 기반 에너지 융복합 시스템의 도입을 촉진하기 위해서는 관련 규제와 표준화를 마련하는 것이 중요하다. 정부와 산업계가 협력하여 융복합 시스템의 안전성 및 효율성을 보장할 수 있는 규제 환경을 조성하고, AI 기술의 도입을 촉진할 수 있는 정책적 지원을 강화해야 한다.





## 정책 제언

### (1) 정책적 지원과 규제 마련

탄소중립 목표 달성과 지속 가능한 에너지 관리를 위해 AI 기술의 도입은 필수적이다. 그러나 기술 도입을 촉진하고 안정적인 운영을 보장하기 위해서는 정부와 산업계의 긴밀한 협력이 필요하다.

우선적으로, 정부는 AI 기술 도입을 위한 법적·제도적 기반을 마련해야 한다. 이는 AI 기술의 표준화와 규제 체계의 수립을 포함한다. AI 기술 적용에 대한 명확한 가이드라인과 규제는 기술 도입의 불확실성을 줄이고, 기업들이 적극적으로 AI를 활용할 수 있도록 유도할 것이다.

또한, 정책적 지원을 통해 초기 투자 비용을 줄이는 것이 중요하다. 정부는 보조금, 세금 감면, 저금리 대출 등 다양한 재정적 지원을 제공하여 기업들이 AI 기술을 도입하는 데 필요한 초기 비용을 경감시킬 수 있다. 이러한 지원 정책은 특히 중소기업이나 자본이 부족한 기관들에 큰 도움이 될 것이다. 특히 강조할 사항은 ‘데이터 인프라 확충 및 품질 개선’과 ‘기술 도입 초기 비용 지원 및 인센티브 제공’이다. 먼저 AI 기술의 성공적인 도입을 위해서는 고품질의 데이터가 필수적이다. 이를 위해 데이터 수집과 관리 인프라를 확충하고, 데이터의 품질을 개선해야 한다. 국가 차원에서 데이터 공유 플랫폼을 구축하고, 표준화된 데이터 관리 절차를 마련하여 다양한 출처의 데이터를 일관되게 활용할 수 있도록 해야 한다. 또한 AI 기술의 초기 도입 비용이 많이 드는 것은 중소기업 및 공공기관에서 기술 도입을 주저하게 만드는 주요 원인 중 하나이다. 이를 해결하기 위해 정부는 재정 지원 및 세제 혜택을 통해 AI 기술 도입을 촉진할 필요가 있다. 성공적인 AI 도입 사례를 적극적으로 홍보하여 ROI의 확실성을 높이는 전략도 추진할 필요가 있다.

마지막으로, 정부와 산업계 간의 협력 네트워크 구축이 필요하다. 이를 통해 정보와 기술을 공유하고, 공동으로 문제를 해결할 수 있는 기반을 마련할 수 있다. 에너지 AI 기술 협력 네트워크, 산학연 협력 프로젝트 등의 프로그램은 이러한 협력의 좋은 예가 될 수 있다.

### (2) 재생 가능 에너지와의 연계 촉진

AI 기술은 높은 전력 소비를 동반하며, 이러한 전력 소비가 탄소중립 목표 달성에 악영향을 미칠 수 있다는 점에서 우려가 제기되고 있다. 이러한 부작용을 최소화하고, AI 기술이 온실가스 감축에 실질적으로 기여할 수 있도록 하기 위해서는 AI 기술의 활용과 재생 가능 에너지의 사용을 긴밀히 연계하는 정책적 접근이 필요하다.

첫째, 재생 가능 에너지를 활용한 AI 인프라 구축이 필수적이다. AI 기술의 전력 소비가 급격히 증가함에 따라, 데이터 센터와 같은 AI 인프라의 전력 수요를 충족시키기 위해 재생 가능 에너지를 우선적으로 사용하는 정책이 필요하다. 예를 들어, 태양광, 풍력 등 청정 에너지를 통해 데이터 센터에 전력을 공급하고, 이를 의무화하는 법적 규제를 마련함으로써 AI 기술이 사용하는 전력이 온실가스 배출을 유발하지 않도록 해야 한다. 둘째, AI 기술과 재생 가능 에너지의 통합 운영 전략이 필요하다. AI는 재생 가능 에너지의 변동성을 효과적으로 관리하고, 에너지 효율성을 극대화하는 데 중요한 역할을 할 수 있다. 이를 위해 AI 기술을 활용하여 재생 가능 에너지의 생산과 저장을 최적화하고, 전력망 운영의 안정성을 강화하는 방안을 모색해야 한다. 예를 들어, AI 기반의 예측 모델을 통해 기상 조건에 따른 재생 에너지 생산량을 예측하고, 이를 바탕으로 에너지 저장 시스템을 최적화하여 전력 공급의 변동성을 줄일 수 있다. 셋째, AI 기술 도입 시 재생 가능 에너지 사용을 촉진하는 인센티브 제공이 중요하다. 정부는 AI 기술을 도입하는 기업들이 재생 가능 에너지를 사용하도록 유도하기 위해 재정적 인센티브를 제공할 수 있다. 예를 들어, 재생 가능 에너지를 사용하는 AI 데이터 센터에 대해 세금 감면이나 보조금을 지급하는 정책을 도입할 수 있다. 또한,

기업들이 재생 가능 에너지를 사용하지 않을 경우, 이에 상응하는 탄소세를 부과함으로써 재생 가능 에너지 사용을 촉진할 수 있다.

### (3) 산업 부문에서 'AI 기술의 온실가스 배출량 감축' 관련 지침 마련

AI 기술은 산업 부문에서 생산성 향상과 비용 절감에 기여하는 중요한 도구이다. 그러나 AI 기술의 도입이 증가함에 따라, 에너지 소비가 증가하고 이로 인해 온실가스 배출량이 늘어날 가능성도 존재한다. 따라서 AI 기술을 활용하면서도 온실가스 배출을 줄일 수 있는 현실적이고 실현 가능한 지침을 마련하는 것이 중요하다.

첫째, AI 기술 도입 시 에너지 효율성을 고려한 설계와 운영 방안을 마련해야 한다. 기업들은 AI 기술을 도입할 때 에너지 효율성이 높은 솔루션을 선택하고, 에너지 사용량을 최소화할 수 있는 운영 방안을 모색해야 한다. 이를 통해 기업의 자율성을 보장하면서도 에너지 효율성을 자연스럽게 향상시킬 수 있다. 둘째, 재생 가능 에너지와의 연계 강화를 통해 AI 기술의 탄소 발자국을 줄일 수 있다. AI 기술의 운영에 필요한 전력을 재생 가능 에너지원으로부터 조달하도록 장려하는 정책을 도입함으로써, AI 기술 도입에 따른 온실가스 배출을 최소화할 수 있다. 이와 관련해, 정부와의 협력을 통해 재생 가능 에너지 사용 확대를 위한 인센티브를 제공할 필요가 있다. 셋째, 온실가스 배출량 감축을 위한 AI 기술 활용 사례를 확산시키는 것이 중요하다. 다양한 산업 부문에서 성공적으로 AI를 활용해 온실가스 배출량을 줄인 사례를 발굴하고, 이를 적극적으로 공유함으로써 다른 기업들이 이를 참고하고 적용할 수 있도록 유도해야 한다. 이를 통해 기업들은 탄소 배출을 줄이는 데 실질적인 도움을 받을 수 있다.

<표 3> 산업 부문의 온실가스 배출량 감축을 위한 당면 과제

건물	디지털·AI 장비	냉각	에너지 투입/출력	전자 폐기물
<ul style="list-style-type: none"> <li>저비용 또는 무비용 냉각 솔루션을 위한 사이트 선택</li> <li>에너지 효율적인 건축 표준 준수</li> <li>에너지 절약에 초점을 맞춘 건물 관리</li> <li>친환경 건축을 장려</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>정기적인 하드웨어 감사를 수행</li> <li>전력 사용 효율을 측정하고 개선</li> <li>서버 효율성을 높이기 위해 하드웨어 업그레이드</li> <li>최적의 서버 환경 및 네트워크 가상화를 구현</li> <li>서버 부하 최적화를 위한 동적 전력 관리 구현</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>냉각 변동 감소</li> <li>데이터 센터 냉각 효율성 향상</li> <li>혁신적인 냉각 솔루션 채택 (예: 위치 최적화 포함)</li> <li>건물 환경의 실시간 모니터링 및 제어 채택</li> <li>서버 냉각을 최적화하기 위한 기술 사용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>녹색 또는 재생 가능 에너지 사용 (자체 재생 가능 에너지 구매 포함)</li> <li>데이터 센터와 서버에 에너지 효율적인 장비 사용 장려</li> <li>에너지 효율을 개선하는 기술 채택 (예: 전력 절감 기능)</li> <li>백업 전원 시스템 고려</li> <li>전력 사용을 모니터링하고 제어</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>지속 가능한 폐기물 관리 약속</li> <li>전자 폐기물을 최소화하고, 장비의 수명 연장</li> <li>폐기물 계층 구조에 따라 처리 (수리 &gt; 재사용 &gt; 재활용)</li> <li>IT 자산 폐기 프로그램 및 기업과 협력하여 장비를 적절히 폐기</li> <li>제품을 판매하고, 수리 가능한 제품 사용</li> </ul>

출처: World Bank (2023)

## 참고문헌

- World Bank(2023), "Green Digital Transformation".
- World Bank(2023), "Green Digital Transformation".
- 염성찬 외(2023), "기후변화대응 기술개발 활동조사 연구", 국가녹색기술연구소.
- Yao, M.(2017), "Future Factories: How AI enables smart manufacturing", 2024.08.14. 접속, <https://medium.com/topbots/future-factories-how-ai-enables-smart-manufacturing-c1405f4ec0e6>
- 임지현 외(2022), "오픈소스 기반 지능형 발전소 플랫폼 구축 및 실증," 대한기계학회 논문집 B권, 46(12), pp.701-705.
- 신우균 외(2022), "딥러닝과 I-V 곡선을 이용한 태양광 스트링 고장 진단," Current Photovoltaic Research, 10(3), pp.77-83.
- AMP(2024), "The new engine of waste sortation", 2024.08.14. 접속, <https://ampsortation.com/technologies>
- DeepMind(2024), "AlphyFold", 2024.08.14. 접속, <https://deepmind.google/technologies/alphafold/>
- Siemens(2024), "Siemens accelerates hydrogen ramp-up with generative artificial intelligence", 2024.08.14. 접속, <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-accelerates-hydrogen-ramp-generative-artificial-intelligence>
- Alfarra et al.(2024), Artificial intelligence methods for modeling gasification of waste biomass: a review. Environ Monit Assess 196, 309.
- Clariant(2020), "Intellectual Capital", 2024.08.14. 접속, <https://reports.clariant.com/2020/integrated-report/multicapital-review/performance/intellectual-capital.html>
- The Washington Post(2024), "How the world of recycling is about to be transformed", 2024.08.14. 접속, <https://www.washingtonpost.com/climate-solutions/2024/02/07/ai-recycling-sorting/>
- 인공지능신문(2022), "인공지능이 그린수소 생산 위한 수전해 '철-니켈' 촉매 최적 비율 제시", 2024.08.14. 접속, <https://www.aitimes.kr/news/articleView.html?idxno=25580>
- Yuan et al.(2021), "Applied machine learning for prediction of CO2 adsorption on biomass waste-derived porous carbons", Environmental Science & Technology 55(17), pp.11925-11936.
- 서울경제TV(2022), "바이오엑스, 중기부 산학 R&D 사업자로 선정", 2024.08.14. 접속, <https://www.sentv.co.kr/news/view/616675>
- OGCI(2024), "Oil and Gas Climate Initiative\_About OCGI", 2024.08.14. 접속, <https://www.ogci.com/about>
- Greenlyte(2023), "DAC-2-E-Methane", 2024.08.14. 접속, <https://www.greenlyte.tech/milestones/dac-2-e-methane>
- Boswell et al.(2022), "An AI power play: Fueling the next wave of innovation in the energy sector", McKinsey&Company, 2024.08.14. 접속, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/how-we-help-clients/an-ai-power-play-fueling-the-next-wave-of-innovation-in-the-energy-sector>
- IEA(2019), "Case Study: Artificial Intelligence for Building Energy Management Systems", 2024.08.14. 접속, <https://www.iea.org/articles/energy-efficiency-and-digitalisation>
- 포커스온경제(2024), "테라퀀텀-포스코홀딩스, 퀀텀 AI로 제철 생산 혁신 가속화", 2024.08.14. 접속, <https://www.foeconomy.co.kr/id/WGSODiVEXehkY4TJuN3K>
- 연합뉴스(2024), "AI 스머든 스마트홈...변화 더딘美가전시장도 에너지효율 대세", 2024.08.14. 접속, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20240228075600072>
- ABB(2022), "ABB Ability™ Efficiency AI", 2024.08.14. 접속, <https://new.abb.com/ability-building-solutions/efficiency-ai>
- Emerj(2021), "Artificial Intelligence and Digital Twins at General Electric", 2024.08.14. 접속, <https://emerj.com/ai-sector-overviews/ai-at-general-electric/>
- 일렉트릭파워(2023), "한전 전력연구원, 'AI기반 전력망 상태 예측 시스템' 국제 스마트그리드 기술경연 수상", 2024.08.14. 접속, <https://www.epj.co.kr/news/articleView.html?idxno=32800>
- 서울신문(2021), "수소를 넘어... 에너지업계, 스마트그리드 등 미래 신사업 '올인'", 2024.08.14. 접속, <https://www.seoul.co.kr/news/economy/industry/2021/09/10/20210910019001>

'본 연구는 국가녹색기술연구소의 한국연구재단 수탁사업인 '기후기술국제협력촉진사업 (2022M3K1A1078178)' 의 지원을 받아 수행되었습니다.'

## 기후탄소 이슈레포트

**인류는  
오존층 방어 전투에서  
승리하고 있다**

**식물의  
탄소 흡수 효과  
생각보다 컸다**

## 인류는 오존층 방어 전투에서 승리하고 있다

기후 위기에 맞서 탄소 배출을 줄이거나 지구 평균 기온을 낮추려는 노력은 아직 만족할만한 성과를 못 내고 있다. 하지만 환경 오염과의 힘든 싸움에서 드물게 성공적인 사례가 오존층 파괴 물질에 대한 규제다. 냉장과 냉매 등으로 쓰이며 프레온 가스라고도 불리는 염화불화탄소(CFC)에 이어, 이의 대체물질인 수소염화불화탄소(HCFC)의 대기 중 농도도 떨어지기 시작했다.

CFC 가스는 냉장과 냉매나 에어로젤 스프레이, 폴리우레탄 단열재 등에 많이 쓰인다. 이 물질이 오존층을 파괴한다는 사실이 알려지면서, 1987년 세계 각국은 CFC 생산을 점진적으로 중단하기로 약속하는 몬트리올 의정서에 서명했다. CFC 생산은 2010년 전면 금지되었다.

CFC 대체물질이 HCFC이다. HCFC를 쓰면 CFC에 비해 오존층 파괴를 10분의 1 수준으로 줄일 수 있다. 하지만 CFC와 마찬가지로 염소를 포함하고 있기 때문에 오존층에 미치는 영향을 완전히 막을 수는 없다. 온실 효과도 일으킨다. 이 계열 물질 중 널리 쓰이는 HCFC-22는 이산화탄소에 비해 지구 온난화에 미치는 영향이 1,910배나 크다. 다만, 대기에 머무는 시간이 대략 12년으로 수백 년을 머무는 탄소보다 훨씬 짧다.

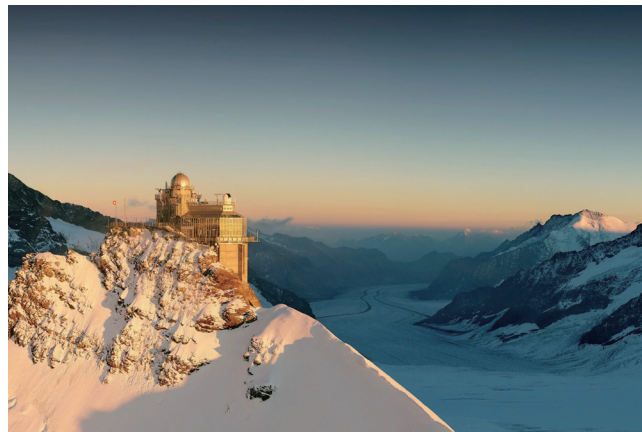
HCFC를 대체할 물질이 개발됨에 따라 HCFC도 국제 사회의 규제를 받기 시작했다. 1992년 코펜하겐 회의와 1999년 베이징 회의 등 두 차례에 걸쳐 몬트리올 의정서가 개정되면서 HCFC도 점진적으로 생산을 줄여 2040년에는 완전히 생산을 중단하기로 했다.

이 같은 노력으로 대기 중 HCFC의 영향은 줄어들고 있다. 영국 브리스톨대학교 루크 웨스턴 교수 연구팀은 학술지 '네이처 기후변화(Nature Climate Change)'에 발표한 논문에서 HCFC의 복사강제력이 2021년 61.75mWm<sup>-2</sup>로 정점을 찍고 이후 내리막길을 걷고 있음을 밝혔다. 대기 중 염소 성분 비중도 감소 추세다.

[사진 1]



[사진 2]



복사강제력은 지구 대기로 들어오는 에너지와 방출되는 에너지의 차이를 기준으로 지구의 에너지 균형을 정량화하기 위한 개념이다. 온실 효과 물질 등의 요인으로 유입되는 에너지가 방출되는 에너지보다 크면 지구가 뜨거워진다.

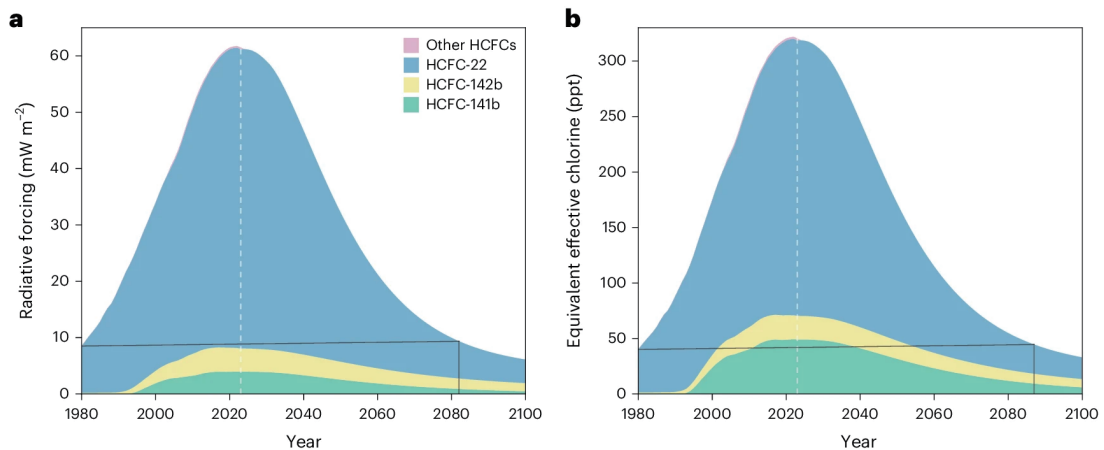
웨스턴 교수 연구진은 앞서 몬트리올 의정서에 따른 규제가 강화되면서 CFC 농도가 크게 줄었지만, 사용 비중이 낮은 일부 CFC 계열 가스는 도리어 배출량이 늘어났다는 점도 밝힌 바 있다. CFC 대체소재를 만드는 공정에서 중간재료로 여전히 CFC 계열 가스가 쓰이고 있고, 과거 CFC 가스를 쓴 냉장고나 에어컨 제품이 폐기되면서 가스 배출이 늘어났기 때문으로 보인다. 또 중국 등 일부 지역에서 감시망을 피해 불법으로 이들 금지 물질을 쓰는 곳도 남아 있는 것으로 추정된다. 아직 대기 중에 방출되는 CFC나 HCFC 계열 가스는 주로 프라이팬에 음식이 늘어붙지 않게 하는 불화폴리머나 HCFC 대체재로 개발된 수소불화탄소(HFC) 제조 과정에서 나온다. 이 연구는 지난해 학술지 '네이처 지오사이언스 (Nature Geoscience)'에 실렸다.

오존층 파괴 물질 배출이 항상 안정적으로 줄어온 것은 아니지만, 몬트리올 의정서 체제는 국제 협력과 공동 노력을 통해 기후 위기에 대응한 모범 사례로 꼽힐만 하다는 평가다. CFC 감소에 성공한데 이어, HCFC 감소도 미국 해양대기연구청(NOAA)이나 우주항공청(NASA) 예측보다 5년 정도 빨리 달성했다.

브리스톨대 연구진은 앞으로 HCFC의 복사강제력이 지속적으로 줄어 2082년에는 1980년 수준으로 돌아갈 것으로 예측했다. 웨스턴 교수는 “HCFC 감소 추세가 확인됨에 따라 오존층을 지키기 위한 국제 사회의 노력이 전환점을 돌았다”라며 “이 문제를 낙관적으로 볼 근거가 충분하다”라고 밝혔다.

오존층 파괴를 막기 위해 개발되어 현재 쓰이는 소재들이 대부분 온실 가스 효과까지 막지는 못한다는 점에서 이 같은 기후 영향을 막을 신소재 개발은 지속적인 과제다.

**[사진 3] 대기에 대한 HCFC의 영향은 2021년을 정점으로 계속 줄어들 전망이다**



출처: 네이처



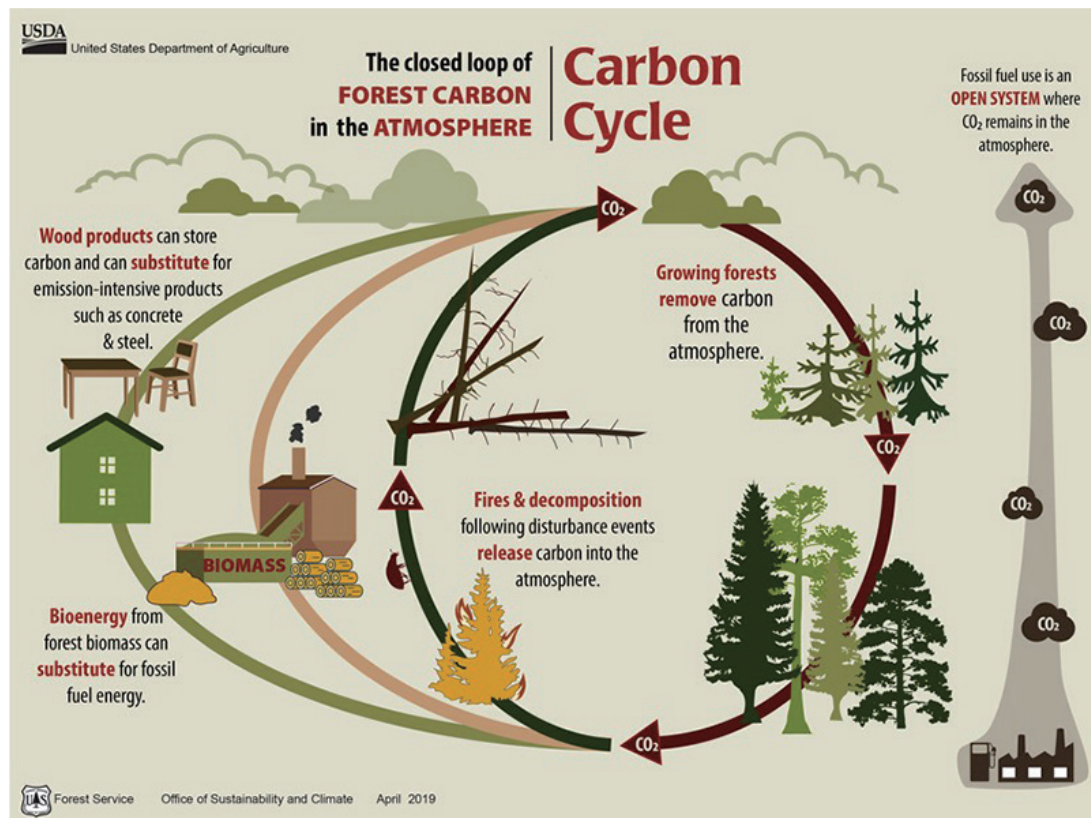
## 식물의 탄소 흡수 효과 생각보다 컸다

광합성을 하는 식물은 자연이 만든 탄소 저장 장치이기도 하다. 최근 주목받는 탄소 포집 기술은 식물의 광합성 작용을 인공적으로 재현하는 시도라고도 볼 수 있다. 탄소 중립을 위한 노력의 일환으로 대규모 삼림 조성 프로젝트들이 세계 곳곳에서 진행되고 있기도 하다.

하지만 지구 전체 토양과 대기에 걸쳐 식물이 이산화탄소를 얼마나 많이, 어떤 상호작용을 거쳐 흡수하는지는 정확히 파악하기 힘들었다.

영국 임페리얼칼리지런던 연구진은 식물의 탄소 흡수량을 보다 정확히 측정하기 위한 새로운 방법론을 개발했다. 그 결과, 식물은 현재 과학자들이 시뮬레이션 등을 통하여 예상한 것보다 많은 탄소를 흡수하지만, 식물에서 탄소가 다시 대기 중으로 배출되는 속도 역시 생각보다 빠른 것으로 나타났다.

[사진 1] 삼림의 탄소 순환 사이클



출처: 미국 산림청



이는 삼림 조성 등 식물을 이용한 탄소 저감 정책에 새로운 시사점을 주리란 기대다. 연구 결과는 학술지 ‘사이언스’에 최근 실렸다.

연구를 주도한 헤더 그레이브 임페리얼칼리지런던 교수는 “많은 정부와 기업의 탄소 중립 전략이 탄소를 흡수해 가둬두는 식물에 의존하고 있다”라며 “하지만 탄소가 식물에 저장된 상태로 오래 머물지 않는다는 이번 연구 결과는 화석 연료에 대한 보다 시급한 대책이 필요함을 보여준다”라고 말했다.

전체 식물이 광합성에 사용하는 이산화탄소 규모(NPP, Net Primary Productivity)를 알기 위해 보통 과학자들은 특정 지역의 이산화탄소 수치를 측정하고 이를 근거로 지구 전체 규모를 추정하는 방법을 쓴다. 하지만 데이터가 정밀하게 수집된 지역이 많지 않기 때문에 정확한 계산은 어려운 상황이었다.

연구진은 핵실험으로 생기는 탄소 동위원소인 방사성 탄소( $^{14}\text{C}$ )에 주목했다. 1950년대와 1960년대 초 핵실험이 자주 실시됨에 따라 이 기간 대기 중  $^{14}\text{C}$  농도가 자연 상태 이상으로 높아졌다. 이로 인해 세계 각지 식물에 이 원소의 함량이 높아졌다. 이 수치를 핵실험이 거의 실시되지 않은 1963-1967년 사이 식물 내 방사성 탄소 축적량과 비교, 대기 중 이산화탄소가 얼마나 빨리 식물에 흡수되는지 파악할 수 있었다.

이 같은 수치를 시뮬레이션에 도입한 결과, 식물은 매년 현재 추정치에 비해 30%가량 많은 800억톤의 탄소를 흡수하는 것으로 나타났다, 식물은 인간 활동의 결과로 생기는 탄소의 30% 정도를 흡수하고 있다. 반면 나무가 죽거나 잎과 가지가 떨어지는 등의 과정에서 탄소가 방출되는 속도는 현재 추정치보다 빨랐다. 식물이 탄소를 장기적으로 붙들어두지는 못한다는 의미다.