Vol.35 2025년 5월호

서울대학교
국가미래전략원
Institute for Future Strategy
Seoul National University

IFS 국가 정책 제안

탄소중립과 AI, 지속 가능한 미래를 위한 혁신적 파트너십

서울대 화학생물공학부 윤제용 교수
서울대 기술경영·경제·정책전공 곽정원 연구원

본 보고서는 서울대 국가미래전략원 탄소중립 클러스터가 발표한 『탄소중립과 AI, 지속 가능한 미래를 위한 혁신적 파트너십』 내용에 기반함

9 773058 556003 35
ISSN 3058-5562

1 탄소중립과 AI, 피할 수 없는 만남

21세기 두 개의 대전환, 탄소중립과 AI

- 21세기 인류는 '탄소중립'과 '디지털 전환'이라는 두 가지 거대한 흐름에 직면함
- 대한민국 역시 '2050 탄소중립' 선언 및 「탄소중립기본법」 마련과 함께 「AI 국가전략」 수립 및 「인공지능기본법」 제정을 통해 이러한 흐름에 동참하고 있음
- 특히 최근 새롭게 들어선 현 정부는 AI를 미래 경제의 핵심 성장 동력으로 보고 'AI 고속도로' 구축을 통한 'AI 3대 강국' 도약을 강력히 추진하고 있음
- 이 두 대전환을 개별적으로 추진할 경우 막대한 사회적 비용과 정책 비효율이 발생하므로, 두 영역의 교차점에서 전략적 융합을 통한 시너지 창출이 시급함

AI의 두 얼굴, 그린 AI와 레드 AI

- 탄소중립에 미치는 AI의 영향은 이중적임
- '그린 AI'는 에너지 최적화, 탄소 감축 등 긍정적 기여를 하는 반면, '레드 AI'는 막대한 전력 소비, 자원 고갈 등 부정적 영향을 미침
- 따라서 '탄소중립을 위한 AI(AI for Green)' 활용과 함께, AI 기술 자체의 에너지 효율을 높이고 환경 발자국을 최소화하는 'AI의 친환경화(Green for AI)' 노력이 병행되어야 함
- 본 보고서는 기후위기 대응의 양대 축인 '감축(mitigation)'과 '적응(adaptation)' 측면에서 AI의 구체적인 활용 방안을 심도 있게 분석하였음

탄소중립에 대한 AI의 이중적 영향, 그린 AI와 레드 AI

측면	탄소중립 기여 (Green AI)	탄소중립 부담 (Red AI)
에너지 수급 및 효율	사회 전반의 에너지 생산·소비 효율 최적화	AI 기술의 연산·운영 과정 내 에너지 소비량 급증
자원 순환 및 환경 부하	자원 이용 효율성 극대화 및 순환 경제로의 전환 지원	AI 하드웨어 제조·폐기에 따른 자원 고갈 및 환경오염 유발
탄소 배출 영향	전 부문 탄소 배출량 직접 감축 및 흡수원 확대	AI 인프라 확대 및 전력 소비 증가로 인한 탄소 배출량 증대 기여
환경 리스크 및 관리	환경 감시 정밀화 및 기후변화 예측·적응·완화 능력 제고	AI 기술 발전의 예측 불확실성 및 새로운 환경 리스크 창출 가능성
사회 시스템 전환	저탄소 기술 혁신 및 지속 가능한 사회 시스템으로의 전환 가속화	기존 고탄소 산업·시스템의 효율화로 인한 체제 고착화 우려

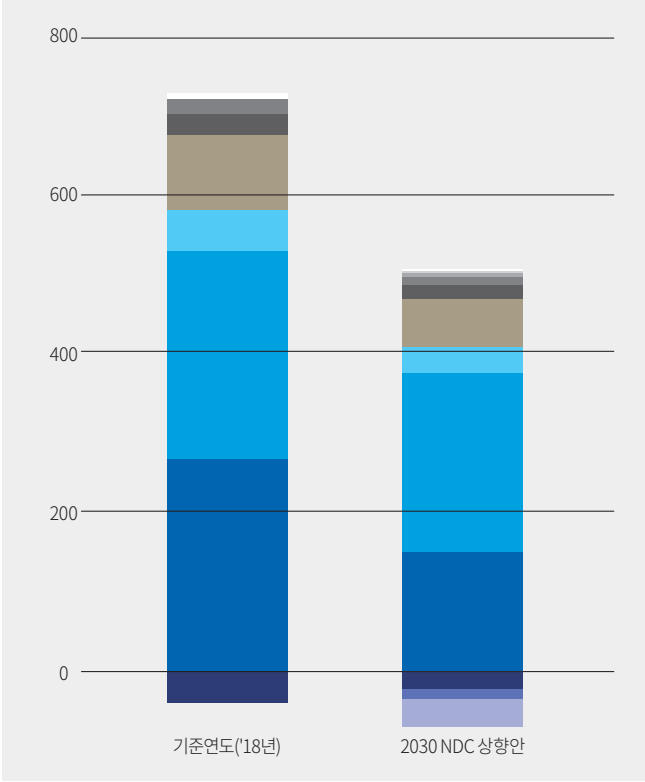
그린 AI를 위한 주요 적용 원리

탄소중립 ←	AI 적용 원리
	(1) 데이터 기반 예측 및 분석 (2) 시스템 최적화 및 효율성 극대화 (3) 실시간 모니터링 및 지능형 제어 (4) 신소재 및 혁신 기술 개발 가속화 (5) 의사결정 지원 및 정책 시뮬레이션

서울대학교
국가미래전략원
Institute for Future Strategy
Seoul National University

2 탄소 감축을 위한 AI의 활용: 부문별 활용 전략

부문별 온실가스 감축목표



- AI는 예측, 최적화, 자동 제어 역량을 통해 부문별 온실가스 배출 감축에 핵심적인 역할을 함
- 대한민국의 2030년 국가 온실가스 감축목표(NDC)는 2018년 대비 40% 감축으로, 총배출량의 90% 이상을 차지하는 발전, 산업, 건물, 수송 등 핵심 부문의 혁신이 관건임

핵심 부문

- **발전(전환):** 기상 데이터와 실시간 운영 데이터를 분석하여 발전량을 정확히 예측하고, 지능형 전력망(스마트 그리드) 및 가상발전소(VPP) 운영을 최적화하여 계통 안정성과 효율을 높임
- **산업:** 에너지 다소비 공정의 운전 조건을 최적화하고, 공급망 전반의 탄소 배출량 관리 및 디지털 제품 여권(DPP)과 연계하여 제품 전 생애주기의 탄소 발자국을 감축함
- **건물:** 지능형 건물 에너지 관리 시스템(BEMS)에 AI를 적용하여 냉난방, 조명 등 설비 운전을 자동 제어하고 에너지 사용을 최적화함
- **수송:** 자율주행 기술로 운행 효율을 극대화하고, 지능형 교통 시스템(ITS)으로 도시 교통 흐름을 개선하여 불필요한 탄소 배출을 줄임

기타 부문

- **농축수산:** 정밀 농업을 통해 비료·농약·물 사용 최적화하여 아산화질소(N_2O) 배출을 줄이고, 스마트 축산을 통해 가축의 메탄(CH_4) 배출 저감을 지원함
- **폐기물:** AI 비전 기술을 통해 재활용품을 자동으로 선별하여 재활용률을 높이고, 폐자원 에너지화 공정의 효율을 극대화함
- **수소 및 탈루:** 그린수소 생산 공정을 최적화하고 수소 인프라를 안전하게 관리하며, 위성 이미지 분석 등을 통해 산업시설의 탈루성 메탄 배출원을 정밀 감지·관리함
- **흡수 및 제거:** 탄소 포집·활용·저장(CCUS) 기술의 효율을 높이고, 산림·해양 등 자연기반해법(NbS)의 탄소 흡수량을 정밀 측정·관리하며, 국제감축 사업의 투명성을 제고함

탄소 감축을 위한 AI의 활용

1. 발전(전환) 부문	2. 산업 부문
(1) 재생에너지 발전 효율 극대화 및 계통 안정화 (2) 지능형 전력망 운영 최적화 (3) 기존 발전원의 효율 향상 및 탄소 배출 저감 (4) 에너지저장장치(ESS) 및 차세대 에너지 시스템 운영 지능화	(1) 공정 최적화를 통한 에너지 효율 향상 및 배출 감축 (2) 스마트 팩토리 및 지능형 생산 시스템 구축 (3) 친환경 신소재·신공정 개발 가속화 (4) 공급망 전반의 탄소 배출량 관리 및 최적화
3. 건물 부문	**4. 수송 부문**
(1) 지능형 건물 에너지 관리 시스템(BEMS) 고도화 (2) 사용자 맞춤형 스마트홈·스마트빌딩 환경 구현 (3) 친환경 건축 설계 및 시공 최적화	(1) 자율주행 기술을 통한 운행 효율 최적화 및 교통 체증 완화 (2) 지능형 교통 시스템(ITS) 및 도시 교통 관리 고도화 (3) 스마트 물류 및 운송 최적화 (4) 공유 모빌리티 및 서비스형 모빌리티(MaaS) 플랫폼 활성화
5. 농축수산 부문	**6. 폐기물 부문**
(1) 정밀 농업을 통한 자원 효율 극대화 및 온실가스 감축 (2) 스마트 축산 및 메탄 배출 저감 (3) 지능형 양식 및 지속 가능한 어업 관리	(1) 폐기물 발생량 예측 및 수거·운반 경로 최적화 (2) 폐기물 자동 선별 및 재활용 품질 향상 (3) 폐자원 에너지화 공정 최적화 (4) 음식물 쓰레기 감량 및 자원화 효율 증대
7. 수소 및 탈루·기타 부문	**8. 흡수 및 제거 부문**
(1) 그린수소 생산 최적화 및 효율 향상 (2) 블루수소 생산 및 CCUS 공정 효율화 (3) 수소 저장·운송·충전 인프라 운영 효율화 및 안전 관리 (4) 탈루성 온실가스(메탄 등) 정밀 감지 및 배출량 산정·저감	(1) CCUS 기술 효율 증대 및 비용 절감 (2) 자연 기반 탄소 흡수원(산림, 해양, 토양 등) 관리 및 증진 (3) 국제 탄소 감축 사업의 효율성 및 투명성 제고

3 기후변화 적응을 위한 AI의 활용: 기후탄력성 제고

핵심 분야별 적응 능력 강화

- 기후변화가 이미 현실화된 만큼, AI는 피해를 최소화하고 사회 전반의 회복탄력성을 높이는 '적응'에서도 중요한 역할을 함
- **물관리:** 강우량, 하천 수위 등 데이터를 분석해 홍수와 가뭄을 정밀 예측하고, 댐 방류량과 용수 배분을 최적화하여 피해를 최소화함
- **생태계:** 위성 영상 분석으로 식생 변화와 멸종위기종 분포를 모니터링하고, 산불·병해충 위험을 예측하여 생태계 보전·복원 노력을 지원함
- **국토·연안:** 해수면 상승으로 인한 연안 침수 위험을 시뮬레이션하고, 산사태·지반침하 발생 가능성을 예측하여 국토 재해에 선제적으로 대응함
- **농수산:** 기후변화에 따른 재배 적지 및 병해충 발생을 예측하고, 스마트팜·양식 시스템을 정밀 제어하여 생산 안정성을 높임
- **건강:** 폭염 등 극한 기상 시 취약계층의 질병 발생 위험도를 예측하고, 감염병 매개체 변화를 분석하여 공중보건 시스템의 대응 능력을 강화함
- **산업·에너지:** 주요 산업 시설과 에너지 인프라의 기후 리스크를 종합 평가하고, 공급망 불안정성을 예측하여 사업 연속성 계획(BCP) 수립을 지원함

감시·예측 고도화와 적응의 주류화

- AI는 방대한 위성 및 센서 데이터를 분석하여 기후변화 감시 기술을 고도화하고, 기존 기후 예측 모델의 정확도를 향상시킴
- 또한, 지역별·계층별 사회경제적 데이터를 결합하여 기후변화 취약성을 정밀하게 평가함으로써 맞춤형 적응 정책 수립을 위한 과학적 근거를 제공함
- 궁극적으로 AI는 모든 정부 정책에 기후 적응 요소를 통합하고, 기후탄력적 사회기반시설(SOC) 설계를 지원하며, 맞춤형 정보를 제공하여 국민 인식을 제고하는 등 '적응의 주류화'를 실현하는 데 핵심적으로 기여함

기후변화 적응을 위한 AI의 활용

1. 기후리스크 적응력 제고
(1) 물관리 부문 – 수자원 관리 및 수재해 대응
(2) 생태계 부문 – 생태 모니터링 및 서식지 보호
(3) 국토·연안 부문 – 국토 재해 예측 및 연안 침수 대응
(4) 농수산 부문 – 정밀농업 및 스마트 양식
(5) 건강 부문 – 건강위험 예측 및 공중보건 대응
(6) 산업·에너지 부문 – 기반 시설 관리 및 에너지 최적화
2. 감시·예측·평가 강화
(1) 기후변화 감시 기술
(2) 기후변화 예측 모델
(3) 기후변화 영향·취약성 및 적응 대책의 효과성 평가
3. 적응 주류화 실현
(1) 정책 통합 및 다부처 협력 지원
(2) 기후탄력적 사회 시스템 및 인프라 설계 지원
(3) 기후변화 정보 서비스 제공 및 국민 인식·참여 제고

4 탄소중립과 AI의 혁신적 파트너십을 위한 국가 전략 제언

거버넌스 정립 및 데이터 생태계 구축

- **전략 및 거버넌스:** 명확한 비전 하에 '국가 탄소중립-AI 혁신 2040 전략(가칭)'을 수립하고, 범부처 컨트롤타워('탄소중립-AI 전략추진단(가칭)')를 구축해야 하며, 신기술·서비스의 신속한 시장 진입을 위해 '선허용-후규제' 원칙에 기반한 혁신 지향적 규제 시스템을 마련해야 함
- **데이터 인프라:** 부처별 데이터를 통합·표준화하는 '국가 탄소중립-AI 통합 데이터 플랫폼(가칭)'을 구축하고, 개방형 API를 통해 데이터 접근성을 높여야 하며, AI 개발에 필수적인 고품질 특화 데이터셋을 구축·개방해야 함

혁신 생태계 조성 및 인적 자본 확충

- **선순환 생태계:** 탄소중립-AI 핵심기술 R&D 투자를 확대하고, 스타트업 육성 및 리빙랩(Living Lab) 운영을 통해 시장 창출을 지원해야 하며, 명확한 탄소 가격 신호를 제공하여 '기술혁신-시장창출-정책지원'의 선순환 구조를 만들어야 함
- **인재 및 윤리:** 대학 내 융합 교육과정을 활성화하여 AI와 특정 도메인(에너지, 환경 등) 지식을 겸비한 융합형 인재를 양성해야 하며, AI의 잠재적 위험에 대응하기 위한 구체적인 윤리 가이드라인을 마련하고, AI의 사회적 수용성 제고와 포용적 전환을 위한 노력을 강화해야 함

탄소중립과 AI의 혁신적 파트너십을 위한 제언

1. 미래 지향적 국가 전략 및 통합적 거버넌스 구축	2. 데이터 인프라 강화 및 개방적 디지털 생태계 구축
(1) '국가 탄소중립-AI 혁신 2040 전략' 수립 및 추진 (2) 범부처 협력 거버넌스 강화 및 컨트롤타워 '탄소중립-AI 전략추진단' 구축 (3) 혁신 지향적 규제 시스템(선허용-후규제 등) 구축	(1) '국가 탄소중립-AI 통합 데이터 플랫폼' 구축 및 고도화 (2) 고품질 AI 학습용 특화 데이터셋 구축 및 공개·확산 (3) 데이터 주권 확보 및 글로벌 데이터 협력 강화
3. 기술혁신, 시장창출, 정책지원의 선순환 생태계 조성	**4. 융합형 핵심 인재 양성 및 AI 윤리·제도 기반 공고화**
(1) 탄소중립-AI 핵심기술 R&D 투자 확대 및 전략적 지원 (2) 시장 형성·확산(스타트업 육성, 리빙랩(Living Lab) 운영) (3) 정책 지원(탄소 가격 신호 제공, 명확한 인센티브 제공)	(1) 탄소중립-AI 융합형 핵심 인재 양성 시스템 구축 (2) AI의 윤리적·책임 있는 활용을 위한 제도적 장치 공고화 (3) 사회적 수용성 제고 및 포용적 전환 기반 확립