2025년도 연구보고서
공모과제-02-01

AI · 데이터 기반 탄소중립 지역혁신 모델

2025. 10.

삼척시탄소중립지원센터

SAMPYO Cement (주)삼표시멘트 시멘트산업사회공헌재단

환경부 삼척시 SAMCHEOK CITY KNU 강원대학교 KANGWON NATIONAL UNIVERSITY

제 출 문

○ 과 제 명 : AI · 데이터 기반 탄소중립 지역혁신 모델

○ 계약기간 : 2025년 07월 11일 ~ 2025년 10월 10일 (총3개월)

○ 계 약 일 : 2025년 07월 11일

○ 착 수 일 : 2025년 07월 11일

○ 완 료 일 : 2025년 10월 10일

상기와 같이 「2025 제2차 삼척시 탄소중립 연구과제 공모사업」의 최종 연구보고서를 제출합니다.

2025년 10월 10일

소 속 : 강원대학교 전자AI시스템공학과

직 위 : 교수

성 명 : 윤 종 철

삼척시탄소중립지원센터장 귀하

요 약 문

Ⅰ. 연구개요

본 연구는 삼척시의 특수한 산업·에너지 구조를 분석하고, 인공지능(AI) 기술을 활용한 탄소중립 실현 전략을 모색하는 것을 목적으로 한다. 삼척은 발전소, 시멘트, LNG 기지, 광산, 항만이 집약된 복합 산업 구조를 갖추고 있으며, 국가 평균 대비 에너지 집약도가 높고 배출 강도가 큰 지역이다. 한편 석탄화력발전소의 낮은 가동률로 발생하는 유휴전력, LNG 기화과정에서 방출되는 냉열, 동해안 해역의 해양심층수 등은 다른 지역에서는 찾아보기 어려운 잠재 자원으로, 이를 활용한 저탄소 전환 가능성이 존재한다.

따라서 본 연구는 삼척시를 국가적 차원의 탄소중립 테스트베드(Test-bed)로 설정하고, AI 기반 모니터링·진단·제어 기술을 산업 구조에 접목하여 실증 가능한 모델을 제시하는 데 초점을 두었다. 이를 통해 삼척시는 기존의 "고탄소 산업도시" 이미지를 벗어나, **저탄소·디지털 융합형 산업 전환의 선도 도시**로 도약할 수 있는 근거를 마련하게 된다.

Ⅱ. 연구의 필요성 및 목적

전 세계적으로 기후위기 대응과 탄소중립 목표 달성이 국가 차원의 핵심 과제로 부상하고 있으며, 우리나라 또한 「2050 탄소중립·녹색성장 기본법」을 통해 장기 전략을 수립하였다. 그러나 기존의 중앙집중적 접근만으로는 한계가 명확하다. 지역 단위에서 특수한 산업 구조와 자원을 고려한 맞춤형 전략이 필요하다.

삼척시는 다섯 가지 산업군(발전, 시멘트, LNG, 광산, 항만)이 동시에 위치하여 배출 기여도가 크지만, 동시에 전력망·항만·자원 인프라가 밀집해 있어 AI 기반 최적화와 실증 적용에 유리하다. 특히 데이터센터 유치를 통한 유휴전력 활용, LNG 냉열·해양심층수 기반의 저탄소 냉각, AI 기반 공정 최적화는 삼척에서만 가능한 차별화된 접근이다.

따라서 본 연구의 목적은 △삼척시 산업·에너지 구조의 특수성 진단 △AI 기반 탄소중립 기술 적용 가능성 도출 △산업단지 단위의 정책·제도 설계 △단기·중기 로드맵 수립을 통해 **삼척형 AI-탄소중립 모델** 을 제시하는 것이다.

Ⅲ. 연구의 내용 및 범위

연구 내용은 크게 네 가지 축으로 구성된다.
첫째, **산업·에너지 구조 분석**이다. 발전소 가동률 저하, 시멘트 공정의 고배출 특성, LNG 기지의 냉열, 항만·광산의 물류·에너지 소비 패턴을 정밀 분석하였다.

둘째, **국내외 사례 조사**이다. 해외에서는 일본 요코하마 스마트시티, 덴마크 오르후스, 독일 NRW 산업단지 등에서 스마트그리드·순환에너지 활용 사례가 확인되었으며, 국내에서는 스마트그린산단, 수열에너지 클러스터 등의 정책과 실증 사례가 연구 범위에 포함되었다.

셋째, **AI 기반 기술 적용 방안**이다. 데이터센터 냉각 최적화, 시멘트 공정 강화학습 제어, LNG 냉열 수요 매칭, 항만·광산 물류 효율화 등 산업별 맞춤형 시나리오를 도출하였다. 이를 통해 단기(0~12개월)에는 모니터링과 예측, 중기(12~36개월)에는 최적화와 자동제어를 달성하도록 설계하였다.

넷째, **정책 모델 제안**이다. 탄소중립 산업단지 조성, 스마트그리드 기반 에너지 관리, 데이터센터·산업시설 AI 적용 로드맵을 제도와 연결하였다. 특히 조례 제정(산업단지 배출 총량 관리, 스마트그리드 운영 지원)과 성과 기반 인센티브 제도가 포함되었다.

연구 범위는 삼척시를 중심으로 하지만, 제안된 모델은 강원특별자치도 및 타 산업도시로 확산 가능한 보편적 적용성을 가진다.

Ⅳ. 연구결과

본 연구에서 도출된 주요 결과는 다음과 같다.

산업 진단: 삼척 발전소는 가동률이 10~15%에 불과하여 대규모 유휴전력이 발생하고 있으며, 시멘트 산업은 톤당 0.6~0.8 tCO_2 의 배출 강도를 보인다. LNG 기지는 대량의 냉열을 방출하고, 항만·광산은 디젤 장비와 전력 피크 부하로 배출 기여도가 높다.

AI 적용 시나리오: 데이터센터 유치와 냉각 최적화, 시멘트 공정 AI 제어, LNG 냉열-수요 매칭, 항만·광산 물류 효율화 등 3대 시나리오(단기-중기-장기)를 설계하였다.

정책 모델: 탄소중립 산업단지 조성, 스마트그리드 기반 전력 운영, 성과 기반 인센티브 제도화를 포함하는 정책 틀을 제시하였다.

로드맵: 단기(0~12개월)에는 데이터 수집·모니터링·조기 성과 도출, 중기(12~36개월)에는 최적화·제어·제도화를 통한 구조적 전환을 목표로 하는 단계별 로드맵을 완성하였다.

V. 연구결과의 활용계획

본 연구결과는 학술적·정책적·산업적 측면에서 다양한 활용 가치를 가진다.
첫째, **정책 실증**이다. 삼척시 조례 제정과 연계하여 산업단지 배출 총량 관리제, 스마트그리드 운영제도를 구체적으로 도입할 수 있다.

둘째, **산업 적용**이다. 발전·시멘트·LNG·항만·광산 등 산업군에서 AI 기반 감축 솔루션을 실제 공정에 적용해 에너지 효율을 개선하고, 데이터센터 냉각 효율화와 연계할 수 있다.

셋째, **학술 확산**이다. 본 연구의 방법론과 성과는 강원특별자치도 및 타 지자체의 산업단지 전환 모델로 확산 가능하며, 대학·연구기관과 협력해 후속 연구 과제로 이어질 수 있다.

넷째, **경제·사회적 파급효과**이다. 데이터센터 집적과 신산업 유치는 고용 창출과 지역경제 활성화로 이어지고, 주민에게는 "탄소중립=경제 회생"이라는 긍정적 메시지를 줄 수 있다.

결론적으로 본 연구는 삼척시가 AI와 탄소중립을 접목해 국가적 전략의 테스트베드로 자리매김하는 데 기여할 수 있으며, 향후 대한민국의 탄소중립 로드맵에서 **지역 맞춤형 전환 모델**로 확산될 잠재력을 지니고 있다.

목 차

제1장 서론 1

1.1절 연구 배경 및 목적 1

1.2절 삼척시 산업 및 에너지 구조의 특수성 3

제2장 국내외 탄소중립 기술·정책 사례 분석 7

2.1절 해외 탄소중립 산업전환 사례 7

2.2절 AI 기반 데이터 센터 탄소중립 전환 사례 15

2.3절 국내 주요 정책 및 실증 사례 21

2.4절 종합 분석 및 주요 시사점 25

제3장 삼척시 탄소중립 확보를 위한 인공지능 기반 접근 29

3.1절 산업별 에너지·배출 데이터와 AI 활용 가능성 29

3.2절 에너지 집약도 및 배출 요인 진단 기법 31

3.3절 AI 인프라, 유휴부지 및 전력망 연계 활용 전략 34

3.4절 딥러닝 기반 실시간 탄소 모니터링 시스템 37

3.5절 저탄소 데이터센터 유치 41

제4장 인공지능 기술 연계 정책모델 정리 44

4.1절 **탄소중립형 산업단지 모델 검토** 44

4.2절 **스마트그리드 기반 에너지 관리체계 적용** 46

4.3절 **삼척시 특화형 AI 기반 탄소저감 시나리오 설계** 37

4.4절 **데이터센터 및 산업시설 AI 적용 로드맵(단기~중기)** 49

제5장 인공지능 기술 연계 52

표목차

표 1. 해외 탄소중립 산업전환 사례 요약.....14

표 2. AI 기반 데이터센터 탄소중립 전환 사례 요약.....20

표 3. 삼척 주요 산업시설의 에너지·배출 특성과 AI 적용 가능성 요약...30

표 4. 삼척시 산업별 적용가능한 AI기법 정리.....33

표 5. 「삼척시 탄소중립 산업단지 운영 및 지원 조례」(안).....45

표 6. 해외 스마트그리드 실증 사례.....46

표 7. 삼척시 스마트그리드 추진전략(시기별).....47

표 8. 삼척시 산업별 AI 적용 로드맵 요약.....51

그림목차

[그림 1] 인공지능(AI) 기반 탄소중립 관리 과정.....2

[그림 2] 시멘트 제조공정과 인공지능(AI) 적용 가능 지점.....4

[그림 3] 유럽 산업단지 전환 프로젝트 TRANSFORMER 워크패키지(WP).....8

[그림 4] 국내 정책·규제·실증사례 요약.....21

[그림 5] 삼척시 산업별 Scope 1·2·3 온실가스 배출 구조.....29

[그림 6] 딥러닝 기반 실시간 탄소 모니터링 시스템 구조.....40

[그림 7] 노르웨이 그린마운틴 데이터센터: 해양심층수를 활용한 저탄소 데이터센터 모델.....42

1장 서론

1.1절 연구 배경 및 목적

1. 연구 배경

전 세계적으로 커지는 탄소중립 요구: 최근 기후변화로 인한 피해가 커지면서, 세계 각국은 2050년까지 탄소중립(온실가스 배출과 흡수를 같게 만드는 것)을 목표로 삼고 있다. 유럽연합(EU)은 '탄소국경조정제도(CBAM)'를 도입해, 철강·시멘트·알루미늄처럼 탄소를 많이 배출해 만든 제품을 수입할 때 추가 비용을 부과요하고 있다. 이는 지역 산업에도 직접적인 영향을 주고 있다(UNFCCC (2020)).

삼척시의 산업 구조와 과제: 삼척시는 석탄·LNG 발전소, 시멘트 공장, 항만 물류 시설등에너지와 탄소를 많이 쓰는 산업이 모여 있다. 이 때문에 배출량이 높고, 동시에 국가 전체 감축 목표에서 중요한 비중을 차지한다. 하지만 삼척은 단순히 배출이 많은 지역이 아니라, 새로운 해법을 시험할 수 있는 좋은 조건을 가지고 있다. 이미 갖추어진 전력망, 항만, 산업단지 인프라, 그리고 앞으로 활용 가능한 유휴 부지(폐발전소 부지 등)가 있어, 탄소중립 실증 테스트베드로서 매우 적합하다(Agora Energiewende (2022)).

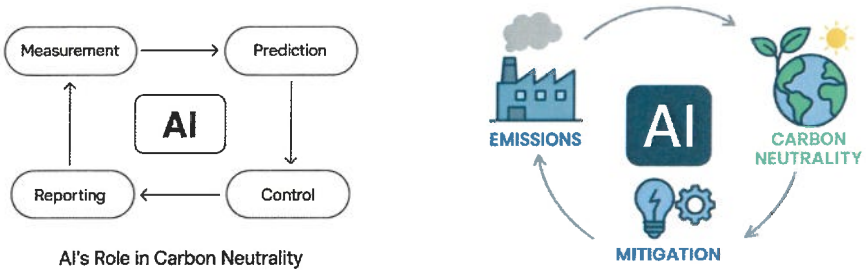
데이터센터와 AI 수요의 증가: 최근 전 세계적으로 데이터센터와 인공지능(AI)연산에 쓰이는 전력이 급격히 늘어나고 있다. 2030년까지 데이터센터가 전 세계 전력 사용량의 약 3%를 차지할 것으로 전망된다(IEA (2024)). 이는 삼척시가 추진하는 데이터센터 유치 전략과 직결되며, 동시에 지역 전력망 안정성과 탄소중립 전환에 중요한 과제가 된다.

2. 연구의 필요성

탄소중립을 달성하기 위해서는 선언적 목표만으로는 부족하다. 중요한 것은 AI(인공지능)를 중심에 둔 체계적 관리다. 배출량을 AI로 더 정밀하게 측정하고, 미래 수요와 배출량을 AI 모델로 예측하며, 이를 기반으로 설비와 공정을 AI가 실시간으로 제어하고, 마지막으로 성과를 AI 기반 데이터 시스템으로 보고해야 한다. 이 네 단계를 모두 연결해야만 실제 감축 효과가 나타나고, 그 결과가 제도적으로 인정되며, 지역과 기업이 경제적 보상을 받을 수 있다.

첫째, **AI를 통한 측정(Measurement)**이 필요하다. 기존에도 국가 인벤토리나 기업 보고서를 통해 배출량을 추산해왔지만, 공정 단위나 시간 단위로 보면 여전히 오차가 크다. AI는 다양한 센서 데이터와 운영 데이터를 동시에 처리해 실시간 탄소 모니터링을 가능하게 한다. 단

순 집계가 아니라, Scope 1·2·3(직접 배출·전력 사용·공급망 배출)을 나눠서 자동으로 추출하고 분석할 수 있다. 이렇게 하면 단순히 "배출이 많다" 수준이 아니라 "어느 설비에서, 언제, 어떤 원인으로" 배출이 집중되는지를 파악할 수 있다.



(a) (b)

[그림 1] 인공지능(AI) 기반 탄소중립 관리 과정: (a) AI를 활용한 측정–예측–제어–보고 순환 구조도; (b) AI 중심의 배출–저감–탄소중립 전환 개념도

둘째, **AI 예측(Prediction)**은 미래 대응력을 높인다. 날씨, 생산 계획, 전력 가격, 설비 상태 같은 수많은 변수를 사람의 경험만으로 종합하기는 어렵다. 하지만 AI는 시계열 분석과 딥러닝 기법을 통해 "앞으로 특정 시멘트 공정에서 배출이 늘어날 시점"이나 "전력 피크가 발생할 시간대"를 사전에 알려준다. 이렇게 미리 예측할 수 있으면 불필요한 에너지 낭비를 줄이고, 갑작스러운 수요 증가에도 안정적으로 대응할 수 있다.

셋째, **AI 제어(Control)**가 실제 감축을 만든다. 예측이 아무리 정밀해도 실행 단계가 없다면 의미가 없다. AI는 최적화 알고리즘을 바탕으로 설비 운전을 자동으로 조정할 수 있다. 구글의 사례처럼, 데이터센터 냉방에 AI를 적용해 에너지 사용을 최대 40% 절감한 것은 단순한 기술 데모가 아니라, AI 제어가 얼마나 강력한 도구인지를 보여준다. 삼척의 발전소, 시멘트 소성로, 항만 냉동창고 같은 에너지 집약 설비에 이런 AI 제어를 적용하면, 품질과 안전은 유지하면서도 큰 폭의 감축 효과를 얻을 수 있다.

마지막으로, **AI 기반 보고(Reporting)**가 성과를 제도적 효과로 연결한다. AI는 감축 데이터를 자동으로 수집·정리해, 국가 배출권거래제(K-ETS), 목표관리제(TMS), 유럽 CBAM, 글로벌 RE100 같은 제도적 틀에 맞게 보고할 수 있게 한다. 단순 보고가 아니라, AI가 생성한 투명한 데이터는 기업과 지역이 국제 시장에서도 신뢰를 얻는 근거가 된다. 이처럼 AI는 단순한 보조 기술이 아니라, 탄소중립 관리 전 과정의 핵심 도구다. 삼척시처럼 고탄소·고에너지 산업이 밀집한 지역에서 AI 기반 측정–예측–제어–보고 체계를 구축하면, 지역 산업은 감축 성과를 빠르게 증명할 수 있다. 동시에 삼척은 국가 차원의 AI-탄소중립 테스트베드로

자리매김해, 다른 산업단지로 확산 가능한 모델을 제시할 수 있다. 나아가 데이터센터 유치 전략과 연계해, AI가 전력망 안정과 에너지 효율까지 함께 책임지는 미래형 탄소중립 산업 거점을 만들 수 있다. 따라서 본 연구는 삼척시의 산업·에너지 구조를 정밀하게 분석하고, 인공지능을 활용한 탄소저감 시나리오와 운영 모델을 구체적으로 설계하여, 지역 차원의 실증과 국가 차원의 확산을 동시에 준비하고자 한다.

1.2절 삼척시 산업 및 에너지 구조의 특수성

삼척시는 강원특별자치도 남부 동해안에 위치한 대표적인 에너지·자원 기반 산업도시이다. 이 지역은 석탄·LNG 발전소, 시멘트 산업, 항만 및 물류, 광물자원과 같은 산업이 복합적으로 집적된 구조를 이루고 있으며, 이러한 산업적 특수성은 다른 지역과 명확히 구분되는 차별성을 갖는다. 삼척의 산업·에너지 구조는 단순히 과거의 전통 산업이 남아 있는 것이 아니라, 향후 국가 차원의 탄소중립 정책과 첨단 기술 적용의 시험대가 될 수 있는 중요한 의미를 가진다. 본 절에서는 삼척의 산업·에너지 구조를 세부적으로 살펴보고, 이와 연결되는 AI 인프라 현황을 분석함으로써, 이 지역이 가지는 특수성을 구체적으로 규명하고자 한다.

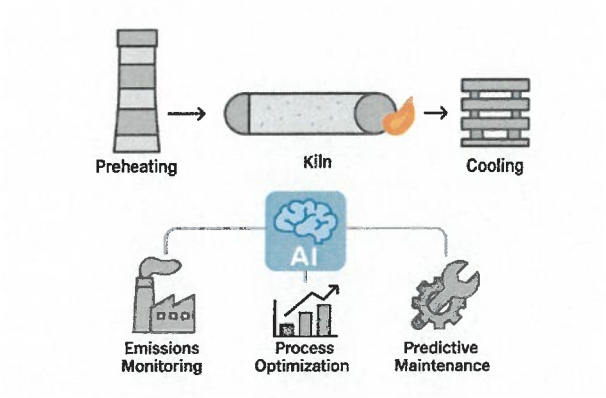
1. 화력발전 산업의 잔존 구조와 전환 가능성

삼척은 오랫동안 한국의 대표적인 발전 거점으로 기능해왔다. 과거 석탄화력발전소와 LNG 복합발전소가 동시에 입지하면서, 수도권과 강원 내륙으로 전력을 공급하는 중요한 역할을 담당하였다. 석탄화력의 경우 단일 발전소에서 연간 수백만 톤 이상의 이산화탄소가 배출되며, 이는 지역 내 온실가스 배출량의 절대적인 비중을 차지해왔다. 최근 정부의 탈석탄 정책에 따라 일부 발전소가 폐쇄되거나 축소되고 있지만, 여전히 발전 부지와 관련 송전망, 변전소, 냉각수 시설이 남아 있다.

이러한 발전소 유산은 삼척의 산업 구조에 양면적 특성을 부여한다. 한편으로는 막대한 배출원을 남겨 지역의 탄소중립 달성을 어렵게 만들지만, 다른 한편으로는 이미 구축된 전력 인프라가 새로운 에너지 산업 전환을 위한 기반으로 활용될 수 있다. 예컨대, 고압 송전망과 대규모 변전소는 재생에너지 전력의 수용과 분배를 위한 핵심 자원이며, 냉각수 시설은 데이터센터와 같은 고부하 산업시설의 운영에 직접적으로 활용 가능하다.

AI 기술 관점에서 보면, 발전소는 에너지 효율 최적화와 탄소 배출 감축 실증의 대표적인 타깃이 된다. 석탄화력과 LNG발전의 연소 조건, 보일러 운전 패턴, 부하 변동은 AI 기반 예측·제어 시스템이 적용될 수 있는 대표적인 영역이다. 그러나 현재 삼척 내 발전 부지에서 이러한 AI 제어 시스템이 본격적으로 구축되어 있지는 않으며, 기존에는 전통적인 계측·자동제

어(PLC/DCS) 방식에 의존하고 있다. 즉, AI 인프라가 부재한 상태에서, 향후 도입 가능성이 매우 큰 '잠재적 시험장'으로 남아 있다고 평가할 수 있다.



[그림 2] 시멘트 제조공정과 인공지능(AI) 적용 가능 지점: 석회석 채광 → 분쇄 → 예열 → 소성로(클링커 생산) → 냉각 → 분쇄 → 포장으로 이어지는 시멘트 제조 공정의 흐름. 예열, 소성로, 냉각, 분쇄 단계에는 AI 기반 최적화·예측제어·배출 모니터링 등 첨단 기술이 적용될 수 있음

2. 시멘트 산업의 고유 배출 특성

삼척은 국내 최대 규모의 석회석 자원을 보유하고 있으며, 이를 기반으로 한 시멘트 산업이 지역 경제의 중추를 형성한다. 삼표를 비롯해 대규모 시멘트 공장이 삼척에 입지하고 있으며, 이는 국가 인프라 건설에 필요한 건설 자재 공급을 오랫동안 담당해왔다.

시멘트 제조는 다른 산업과 구분되는 고유한 배출 특성을 가진다. 일반적인 연소 기반 배출뿐만 아니라, 원료 자체의 화학 반응에서 배출이 발생하기 때문이다. 석회석을 소성하는 과정에서 이산화탄소가 화학적으로 분리되며 방출되는데, 이는 연료 절감이나 에너지 효율 향상만으로는 줄일 수 없는 구조적 한계다. 이러한 '공정 배출'은 시멘트 산업을 고난도의 감축 과제로 만드는 동시에, CCUS(탄소 포집·저장·활용)와 같은 첨단 기술 적용의 필요성을 높인다.

삼척 시멘트 산업은 지역 내 고용과 경제 기반을 유지하는 중요한 축이지만, 동시에 지역의 배출 구조에서 가장 큰 부담을 안고 있다. 이 때문에 삼척은 한국 전체 탄소중립 전략에서 '시멘트 산업 전환의 테스트베드'로 기능할 잠재력이 있다. AI 기술의 적용 가능성은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 연소 효율 최적화로, 소성로의 온도 유지, 연료 혼합비, 가동 시간 조정 등을 AI가 실시간으로 제어함으로써 에너지 소모를 줄이는 것이다. 다른 하나는 공정 배출을 줄이기 위한 신소재·대체 원료 연구의 데이터 분석 지원이다. 현재 삼척의 시멘

트 공장에는 AI 제어 시스템이 본격적으로 구축되지 않았으며, 주로 경험 기반 운전과 일부 센서 데이터 모니터링에 의존하고 있다. 따라서 AI 인프라 측면에서는 '부재 상태'이지만, 적용 효과가 가장 클 것으로 기대되는 산업이기도 하다.

3. 항만 및 물류 산업의 복합적 배출 구조

삼척항과 묵호항(동해시)은 삼척의 또 다른 산업적 특수성을 보여준다. 이 항만들은 석탄, LNG, 석회석과 같은 원료를 수입하고, 시멘트나 기타 자원을 수출하는 데 활용되어 왔다. 항만은 단순히 물류 거점에 그치지 않고, 에너지 공급과 산업 생산이 직접 결합된 공간이다. 항만 물류 과정에서 발생하는 배출은 국제적으로 Scope 3 범주에 해당한다. 즉, 직접적인 연소나 전력 사용이 아니라, 원료와 제품의 운송 과정에서 발생하는 배출이다. 삼척은 항만과 산업단지가 밀접하게 연계되어 있기 때문에, Scope 3 배출이 다른 지역보다 더 큰 비중을 차지한다. 예를 들어, 원료의 해상 운송, 항만 하역 과정, 육상 운송으로 이어지는 전 과정을 통합 관리해야만 실질적인 감축이 가능하다.
AI는 이러한 복잡한 물류 체인을 관리하는 데 중요한 역할을 할 수 있다. 항만 자동화, 스마트 물류 네트워크, 운송 최적화 알고리즘은 모두 AI 기술을 기반으로 한다. 그러나 현재 삼척항 및 묵호항에는 이와 같은 AI 기반 물류 인프라가 본격적으로 구축되어 있지 않다. 일부 자동화 하역 장비나 물류 관리 시스템은 존재하지만, 실시간 데이터 분석과 AI 최적화 시스템은 초기 단계에 머물러 있다. 이는 삼척이 AI 물류 기술을 실증하기에 '백지 상태'의 기초 조건을 가진다는 의미이기도 하다.

4. 광물자원 및 기타 산업

삼척은 시멘트 산업 외에도 석회석, 무연탄, 기타 광물자원 개발과 관련된 산업적 기반을 가지고 있다. 이러한 산업은 현재 상대적으로 축소되었으나, 지역 배출 구조에는 여전히 일정 부분 영향을 미친다. 광물 채굴 및 가공 과정에서 발생하는 배출은 규모는 줄었지만, 관리 사각지대가 될 수 있다. 또한 이러한 광물 기반 산업은 재생에너지 및 배터리 소재, 탄소 포집 후 활용 등 신산업과의 연계 가능성을 제공한다. AI는 채굴·가공 과정의 에너지 효율화를 지원할 수 있으나, 현재 삼척 지역에서는 이러한 시도가 본격화되지 않았다.

5. AI 인프라 현황과 과제

삼척은 발전소, 시멘트, 항만이라는 대규모 산업군을 보유하고 있음에도 불구하고, AI 인프라가 본격적으로 구축된 사례는 거의 없다. 일부 센서 기반 모니터링 시스템이나 물류 관리 솔루션은 존재하지만, 딥러닝·머신러닝 기반의 예측·제어 시스템은 아직 도입되지 않았다. 이러한 부재는 한편으로는 단점이지만, 다른 한편으로는 기회 요인이다. 삼척은 기존 시스템이 복잡하게 얽힌 상태가 아니라, AI 인프라를 처음부터 설계할 수 있는 조건을 가지고 있다. 기

존 설비와 계측 시스템(PLC/DCS)을 보완하고, 산업단지와 항만, 발전소 전반을 아우르는 통합 데이터 플랫폼을 구축한다면, 삼척은 전국에서 가장 체계적인 AI-탄소중립 테스트베드가 될 수 있다.

6. 종합 평가

결국 삼척시 산업·에너지 구조의 특수성은 발전, 시멘트, 항만이라는 대표적인 고배출 산업이 한 지역에 밀집해 있으며, 이와 동시에 기존 에너지·통신 인프라가 여전히 유지되고 있다는 데 있다. 여기에 AI 인프라가 아직 구축되지 않았다는 현실은 현재로서는 약점이지만, 향후 새로운 기술을 집약적으로 적용할 수 있는 기회이기도 하다. 삼척은 한국의 산업 구조에서 가장 에너지 집약적이고 탄소 배출 강도가 높은 지역 중 하나이며, 이러한 특수성은 곧 국가적 탄소중립 전략에서 실증 시험지로서의 중요성을 의미한다. 본 연구는 이러한 구조적 특수성을 전제로, 삼척시를 AI 기반 감축 전략의 핵심 시험장으로 제안하고자 한다.

2장. 국내외 탄소중립 기술 • 정책 사례 분석

전 세계적으로 도시는 온실가스 배출량의 70%를 차지하고 있으며, 이러한 수치는 계속 증가할 것으로 예상된다(IEA, 2024). 따라서 도시의 정책, 기술, 인프라 계획을 통한 에너지와 자원 흐름 최적화는 대규모 배출 감축을 위한 중요 기회로 작용할 수 있다. EU는 100 Climate-Neutral and Smart Cities (CNSC) by 2030 미션을 통해 2030년까지 최소 100개 도시의 탄소중립 달성과 혁신 실험·확산 허브로의 전환을 추진하고 있으며(European Commission, 2025), 미국은 산업 탈탄소 대규모 실증(Industrial Demonstrations Program, 2023)과 스마트 제조·데이터 기반 최적화 R&D를 병행하고(DOE, 2023), 일본은 그린 트랜스포메이션(Green Transformation, GX) 정책 하에 산업, 에너지, 금융, 기술 등 전 분야에 걸친 대규모 시스템 전환을 추진 중이다(METI, 2023). 본 장에서는 국내외 탄소중립 전환 동향과 실증 사례를 검토하고, 이를 바탕으로 삼척시의 탄소중립 실현을 위한 적용 방향 및 시사점을 도출한다.

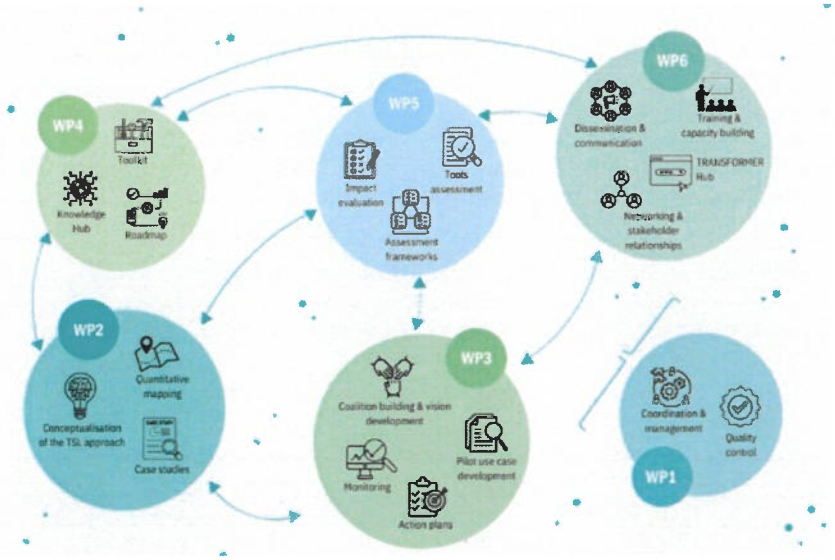
2.1절 해외 탄소중립 산업전환 사례

1. 유럽: 기술·제도 통합형 탄소중립 도시 전환

유럽연합(EU)은 도시 단위의 탄소중립 전환을 위해 정책, 기술, 재정을 통합한 다층적 전략 체계를 운영하고 있다. 특히 EU의 연구·혁신 프로그램 Horizon Europe 산하 CNSC 미션을 통해 참여 도시와 기후도시 서약(Climate City Contract)를 체결하여 교통, 에너지, 건물, 폐기물 등 전 부문에 걸친 탄소중립 실행계획을 지원하고 있다(https://netzerocities.eu/). 2022년에는 프랑스 리옹, 독일 드레스덴, 포르투갈 리스본, 이탈리아 로마, 스페인 마드리드 등 EU 회원국에서 100개, 비EU 권역에서 12개 도시가 미션 도시로 지정되었으며, NetZeroCities 플랫폼을 통해 정책 자문, 기술 지원, 재정 기획 등의 통합적 지원을 받고 있다(https://netzerocities.eu/).

특히, 복합 산업 지대나 광역권 차원의 구조 전환을 위해, EU는 Horizon Europe의 TRANSFORMER 프로젝트(https://www.transformer-project.eu)를 통해 '전환 슈퍼랩(Transition Super-Lab, TSL)' 지역을 지정하고 실험적·참여형 거버넌스를 구축하였다. TSL은 지역 내 다부문(산업·교통·에너지·자연흡수 등)을 묶어 포트폴리오형 솔루션을 공동 설계-실증-평가하는 광역 리빙랩으로, 지식허브(Knowledge Hub), 도구상자(Toolkit·매치메이킹 플랫폼), 단계별 로드맵을 통해 수행을 지원한다. 현재 독일 루르, 폴란드 로워 시레시아, 이

탈리아 에밀리아-로마냐, 그리스 서마케도니아가 TSL로 선정되어 기후 중립 로드맵과 지역 기반 파트너십을 실증 중이며, 향후 그 성과를 타 지역으로의 복제 및 확산하는 것을 목표로 한다.



[그림 3] 유럽 산업단지 전환 프로젝트 TRANSFORMER 워크패키지(WP): WP1(관리) – WP2(지역진단) – WP3(연합·비전·파일럿) – WP4(로드맵·지식허브·툴킷) – WP5(평가·영향평가) – WP6(확산·역량강화)로 구성하며, TSL의 설계, 실행, 학습, 확산의 전 주기를 지원한다.

(1) 독일 루르(Ruhr) 지역

– 지역 개요: 에센(Essen), 뒤스부르크(Duisburg) 등을 중심으로 한 루르 지역은 한때 탄광, 제철소, 화력발전소가 밀집했던 독일 최대의 중공업 지대로, 현재까지도 철강, 화학 등 에너지 및 온실가스 집약형 제조업 비중이 높다. TRANSFORMER 프로젝트의 TSL 파일럿 지역으로 선정된 이후 '유럽에서 가장 녹색적인 산업지역(Europe's greenest industrial region)'을 목표로 청정에너지 중심의 복합전환 전략을 추진 중이다 (https://www.transformer-project.eu/tsl/ruhr-area).

– 전환 전략: 루르 지역의 에너지 전환은 기존 산업 인프라를 기반으로 재생에너지 확대와 전력망 디지털화, 수소 활용을 병행하는 방향으로 진행되고 있다. 권역 곳곳에 대규모 풍력단지와 태양광 발전을 도입하고 있으며, 화석연료 기반 부지의 청정에너지 인프라 재활용이 추진 중이다. 루르 지역의 중심도시 에센(Essen)에 본사를 둔 E.ON은 시장 및 제도 불확실성의 이유로 기존 대규모 그린 수소 프로젝트를 축소하기도 하였지만, 대신 배전망 현대화와 맞춤형 B2B 수소 공급(외부 생산자와 산업 수요처를 연결)에 집중하고 있다(Hydrogen Insight, 2025). 또한, 인접한 오버하우젠(Oberhausen)에서는 Air Liquide-Siemens 컨소시엄이 기존 화학공장 부지에 20MW급 'Trailblazer' 수전해 공장을 건설하여 2024년부터 가동

중이다(Siemens Energy, 2024). 시간당 약 335kg의 수소와 2,680kg의 산소를 생산하여 기존 수소·산소 파이프라인과 연계되어 인근 철강·정유·화학 수요에 대응하고 있다. 이처럼 루르 지역은 기존 산업시설망에 재생에너지 기반 수소 생산을 통합함으로써 중공업 연료 전환을 가속화하고 있다.

- 주요 특징: 루르 전환의 핵심은 디지털화된 배전망과 수소 인프라의 결합이다. 2024년 루르 지역은 태양광 발전이 추가 428MW 확대되는 등 분산형 재생 에너지원이 급격하게 증가하였고, 풍력 입지 확대도 병행 중이다. 이에 대응하기 위해 E.ON 계열 Westnetz가 디지털 지방변전소, 스마트 변전소 등의 추가 가동을 통해실시간 모니터링 및 원격제어 역량을 강화하고 있다. 한편 오버하우젠 Trailblazer가 대량의 수소를 생산하고 있으며, 최근에는 H_2-Kernnetz 승인으로 루르 산업지대의 배관 공급 인프라가 가시화됐다(BNetzA, 2024). 이러한 기반을 통해 HyMR(루르 수소허브)가 산·학·연·관 협력을 조정하며 산업·수송부문 수소 활용을 촉진하고, 루르 지역을 유럽 선도 수소경제 권역으로 부상시키는 것을 목표로 하고 있다.

(2) 그리스 서마케도니아(Western Macedonia)

- 지역 개요: 그리스 서마케도니아는 그리스 전력생산의 중추였던 리그나이트(갈탄) 산지로, 국가 최대의 화력 발전소가 밀집한 지역이다. 기후 중립 가속화에 따라 이 탄소 집약적 산업 구조의 전환이 불가피해지자, 그리스 정부는 석탄 의존 지역을 위한 '공정 전환 개발계획(Just Transition Development Plan)'을 수립하여 대규모 구조 전환을 진행 중이다. 해당 계획은 전력 생산 방식을 청정에너지로 다각화하고, 석탄산업 중심이였던 지역 경제를 신산업 중심으로 전환하는 것을 목표로 한다. 특히 이 지역은 TRANSFORMER 프로젝트의 슈퍼랩으로 지정되어, 지역 대학과 기업 생태계가 전환의 주체로 참여하는 실험적 거버넌스를 구축하고 있다.

- 전환 전략: 전환은 크게 세 가지 영역에 걸쳐 집중적으로 진행되고 있음. 첫째는 청정에너지 다각화와 이동수단의 탈탄소화로, 코자니(Kozani) 시에는 그리스 최초의 그린수소 충전소(HRS)가 500 kW급 전해조와 연계되어 구축이 착수되었고, 2028년 가동을 목표로 한다(DEPA, 2024). 생산된 수소는 도시 버스 등 지역 교통수단을 대상으로 보급될 예정이다. 둘째는 농업 부문에서의 순환 경제 통합으로, 농장 단위 CO_2 포집·배출 저감 기술을 적용하고, 농장 내부에서 CO_2 를 저장·재소비하는 폐쇄형 탄소순환 시스템을 실증 과제로 추진하고 있다(http://transformer-project.eu). 셋째는 코자니 시의 무공해 도시 전환 프로젝트로, 오픈 리빙랩(Open Living Lab)과 디지털 데이터 허브(Data Space) 구축 타당성 조사 및 계획이 2024년 공개되었고, 이를 통해 도시 내 탄소 배출을 실시간 모니터링·제어하고, 건물·수송·산업 공정의 전기화 및 그린수소 활용을 단계적으로 실험하고 있다.

- **주요 특징:** 서마케도니아는 과거의 화석연료 중심지라는 정체성에서 벗어나 농식품·친환경 교통·디지털 혁신을 결합한 신경제 구조를 설계 중이다. TSL을 중심으로 한 참여형 거버넌스가 기술 실증과 투자 연계를 촉진하고, 국내 전환 금융('Just Transition Loans Fund')이 지역기업, 스타트업, 대학 주도의 프로젝트 수행을 뒷받침하고 있다(HDB, 2021). 또한, 이를 통해 석탄산업 종사자들의 일자리 전환을 지원하고, 지역 청년층을 위한 녹색 일자리를 창출을 도모하여 인구 유출 억제를 목표하고 있다.

(3) 영국 테사이드(Teesside)

- **지역 개요:** 테사이드 지역은 영국 북동부에 위치한 전통적 중공업 지대로, 한때 방대한 제철소(레드카 등)와 화학플랜트가 밀집했던 지역이다. 영국 정부의 2050 순배출제로 달성 목표하에, 2021년 테사이드와 험버강 유역을 통합한 'East Coast Cluster'가 정부의 넷제로 산업클러스터로 선정되어 중장기 투자 및 규제를 우선 적용받고 있으며, 2040년까지 해당 지역의 산업·발전 부문 순배출을 0으로 만들 계획을 수립하였다(East CO2ast Cluster, 2021)

- **전환 전략:** 테사이드는 '수소+CCUS' 전략으로 산업단지의 탈탄소화를 추진하고 있다. 영국 최대 수소 생산 거점이라는 강점을 살려 대규모 수소 생산·이용 클러스터를 조성하고 있으며, BP의 H_2Teesside 블루수소 플랜트(1GW 규모)와 다수의 그린수소 프로젝트를 가동하여 영국 산업용 수소의 50% 이상을 공급하는 '하이드로젠 수퍼플레이스'를 목표로 하고 있다(BP, 2023). 한편 NZT Power는 개발 인허가를 2024년에 획득했고 최대 860 MW의 저탄소 전력을 생산하며 연간 최대 200만 톤의 CO_2 를 포집하도록 설계하였다(GOV.UK, 2024). 포집된 CO_2 는 해저배관을 통해 북해 '엔듀런스(Endurance)' 심부 염수 대수층으로 이송·주입되며, 초기 연간 400만 톤 처리에서 2035년경 ECC 평균 2,300만 톤까지 확장을 계획하고 있다(Northern Endurance Partnership, 2024).

- **주요 특징:** 테사이드 넷제로 클러스터는 정부(클러스터 계획 지원)-지방정부(테즈밸리 자치구 연합)-민간(석유·에너지 대기업 컨소시엄)이 파트너십을 이룬 영국 탄소중립 전환의 시험장이다. 클러스터 내 기존 기반 시설(송전선, 항만, 파이프라인 등)을 최대한 활용하여 전환 비용을 낮추고, 이 지역을 글로벌 기업들이 모여드는 '청정에너지 혁신허브'로 변모시키는 전략을 세웠다. 연구·혁신 측면에선 Teesside University의 NZIIC(2023 개소)와 Wilton Centre가 기업-대학 연계 CCUS·수소·순환경제 R&D 허브 역할을 수행하고 있다. 이 결과 테사이드는 2040년까지 6만여 개의 신규 일자리를 창출하고 부가가치 기준 20억 파운드 이상의 경제효과를 거둘 것으로 전망하고 있다.

2. 미국: 민간 기술 중심의 데이터 에너지 통합 전환

미국은 연방정부의 대규모 기후에너지 투자와 민간 기술기업의 혁신적 실증 노력이 결합되어 탄소중립 전환을 추진하고 있다. 2022년 발효된 인플레이션 감축법(IRA)은 미 역사상 최대 규모의 기후·에너지 투자법으로, 재생에너지, 전기차, 에너지 효율화 등 지속가능 인프라 사업에 막대한 연방 자금을 지원하고 있다. 최근 일부 프로그램의 집행 지연이나 축소 시도 등으로 불확실성이 존재하지만, 이 제도를 통해 주정부나 도시들이 기후 대응사업에 투자할 수 있는 재정적 기반을 마련하였다. 연방 에너지부(DOE)의 각종 보조금 프로그램과 함께 C40(https://www.c40.org/), 탄소중립 도시연합(CNCA; https://carbonneutralcities. org/) 같은 도시 네트워크도 정책 교류·협력을 통해 지방정부 기후행동을 촉진하고 있다. 각 도시들은 자체 기후행동계획을 수립하여 건물, 교통, 전력 등의 부문별 탄소중립 목표를 정하고 시행 중이다.

특히 미국 탄소중립 추진에서 두드러지는 특징은 민간 기술기업들의 자발적 참여이다. 구글(Google), 마이크로소프트(Microsoft), 메타(Meta)와 같은 글로벌 빅테크 기업들이 탄소중립을 선도하며, 축적된 기술을 활용해 도시와 산업단지의 에너지 전환에 협력하고 있다. 이처럼 연방정부(IRA 재정)-지방정부(기후정책)-민간 기술기업(혁신 기술)의 파트너십이 미국 도시들의 탄소중립 전환을 견인하는 핵심 동력으로 작용하고 있다.

(1) 앨라배마주 잭슨카운티

- 지역 개요: 앨라배마 북부의 위도우즈크릭(Widows Creek) 석탄화력 발전소는 1952년 가동을 시작해 최대 1.6GW 규모로 지역 전력을 공급했으나, 노후화와 환경규제 등의 이유로 2015년 폐쇄되었다. 구글은 폐쇄된 발전소 부지 일부에 약 6억 달러를 투자하여 데이터센터를 건립하였다. 구글은 이곳을 100% 재생에너지로 구동하겠다고 발표하여 화제가 되었으며, 실제로 테네시강 유역(TVA) 전력망에 대규모 태양광 발전 계약을 체결하여 데이터센터 소비전력 이상을 재생에너지로 공급하는 것을 목표로 하고 있다.

- 전환 전략: 구글은 위도우즈크릭 부지의 기존 전력 인프라를 최대한 재사용하여 데이터센터 운영에 필요한 전력망 연계와 송전 설비를 신속히 확보할 수 있었다고 설명한다. 발전소가 있던 자리는 대형 서버와 냉각 시설로 채우고, 인근 강변 취수시설을 냉각수 공급원으로 재활용하였다. 한편 구글은 지역 전력회사(TVA)와 협력해 재생에너지 전력 조달을 진행했으며, 2019년 TVA를 통해 앨라배마·테네시 일대에 150MW급 태양광 발전소 3곳을 건설하는 PPA를 체결함으로써 데이터센터 연간 전력 사용량에 상응하는 청정전력을 공급받고 있다 (Google, 2019).

- 주요 특징: 산업 전환 당시 지역 경제 측면에서는 석탄발전소 폐쇄로 일자리가 상실될 우려가 있었으나, 구글 데이터센터가 약 100개의 상근 양질의 IT 일자리를 창출하고 건설단계

에서 1,100여 명의 일시 고용을 발생시켰다. 또한 부지에 깔린 송전선로 등 수십 년간의 인프라 투자가 폐쇄로 폐기되지 않고 재사용됨으로써 사회적 자원의 낭비를 최소화하였다. 구글은 해당 데이터센터에 자사의 최신 에너지 효율 기술을 모두 적용했는데, 맞춤 제작한 초고효율 서버와 AI 기반 자율냉각 시스템 도입으로 일반 데이터센터 대비 전력 효율을 2배 높였다고 밝힌 바 있다. 최근에는 TVA와 Kairos Power가 2030년 가동을 목표로 소형모듈원자로(SMR)를 건설할 계획을 발표했으며, 구글은 이를 통해 Jackson County를 포함한 자사 데이터센터에 24시간 연속 청정에너지를 공급받을 예정이다(Reuters ,2025)

(2) 유타주 델타(Delta)

- **지역 개요:** 유타주 델타에 위치한 인터마운틴 화력발전소(Intermountain Power Plant, IPP)는 1986년 준공되어 주로 로스앤젤레스시(LADWP)를 포함한 캘리포니아 남부에 전력을 공급해 왔다. 그러나 캘리포니아 주법에 따른 석탄발전 퇴출 정책에 따라 2025년 가동 종료가 확정되었으며, 이에 IPP 소유기관인 유타 자치단체 연합은 'IPP Renewed'라 불리는 신규 수소혼소 가스터빈 발전소 건설 프로젝트를 추진하고 있음. 이 사업은 현재 주요 가스터빈 기자재 발주를 마치고 공사가 진행 중이며, 신규 발전소는 초기에는 천연가스와 수소를 혼소(blending)하되, 점진적으로 수소 비율을 높여 장기적으로는 100% 수소 연소를 목표로 하고 있어 세계적인 주목을 받은 바 있다(Utility Dive, 2025)

- **전환 전략:** IPP 전환의 핵심은 캘리포니아 주의 재생에너지 발전량이 급증하면서 발생하는 잉여 전력을 활용하여 수소를 생산·저장·활용하는 청정에너지 생태계를 구축하는 데 있다. 이를 위해 '선진 청정에너지 저장사업(ACES, Advanced Clean Energy Storage)'이 병행 추진되고 있으며, 해당 프로젝트는 재생전력을 이용한 대규모 전해장치(electrolyzers)를 설치하여 무탄소 수소를 생산하고, 인근의 지하 소금 동굴에 장주기(Long-duration)로 저장하는 방식을 채택하였다. ACES는 1,000MW급 이상의 저장 능력을 목표로 하고 있으며, 이를 통해 발전소는 계절별 수급 변동에도 대응할 수 있는 청정 전력 공급 능력을 확보하게 될 것이다. 아울러 기존 석탄회 처리장 등 유휴 부지를 활용해 태양광 발전과 배터리 저장시설을 증설함으로써 지역 내 자체 재생에너지 비중도 확대하고 있다.

- **주요 특징:** IPP 전환 프로젝트는 단순한 연료 대체 이상의 새로운 에너지 전환 모델로 평가받고 있다. 첫째, 석탄화력발전소 폐쇄로 인한 고용 감소를 해결하기 위해, 신규 발전소 및 ACES 건설 과정에서 약 1,000명 이상의 건설 일자리를 창출하고 장기적으로는 운영 및 유지보수 과정에서 지역 고용을 지속할 계획이다. 둘째, 기존 송전선로와 발전 인프라를 재활용함으로써 자원 낭비를 최소화하고, 캘리포니아 남부와 직결된 대용량 송전망을 유지하여 안정적인 전력 수송을 목표로 하고 있다. 셋째, LADWP와의 장기 전력구매계약을 통해 경제성과 안정적 수요 기반을 확보함으로써 프로젝트 리스크를 최소화하려 한다. 넷째, 단계적으로

100% 무탄소 수소 연소 발전 실현 전략과 대규모 저장 기술 접목 등은 혁신적인 시도로 평가받고 있다(ENR, 2025).

3. 아시아: 산업단지 스마트 전환 사례

아시아 지역도 산업 중심지의 탄소중립 전환 시도가 활발하다. 일본, 중국 등은 정부 주도의 산업정책과 대기업의 기술력을 결합해 녹색 산업단지 구축을 추진 중이다.

(1) 일본 기타큐슈(Kitakyushu)

- 지역 개요: 기타큐슈는 1960년대 미츠비시 제철 등을 중심으로 일본 산업화를 견인했으나, 심각한 공해(기타카이만 환경오염) 사건이 발생한 바 있다. 이후 민관 협력으로 오염을 극복한 뒤 1997년 일본 최초의 에코타운으로 지정되어, 현재는 2050 탄소중립을 선언한 선도 그린시티로 변모하였다. 에코타운은 일본 최대급 재활용 집적지로 성장하였으며, 연간 약 44.7만 tCO_2 감축, 직접 투자 약 890억 엔, 상주 고용 약 1,000명 등의 성과가 2024년 공개자료로 보고되었다(City of Kitakyushu, 2024).

- 전환 전략: 순환경제와 수소도시 모델을 핵심 축으로 자원순환 비즈니스 확대와 재생에너지 보급을 병행해 왔다. 특히 히가시다 '수소 타운'(2011~2014) 실증은 도시 배관을 통해 가정·상가에 수소를 공급해 연료전지 운전·과금·안전성 등을 검증한 세계 최초 수준의 커뮤니티 실증이었다. 더불어 히비키나다(Kitakyushu) 해상풍력 220MW(25기) 프로젝트가 2025년 터빈 설치 완료로 일본 최대급 해상풍력 상업운전 준비 단계에 들어서, 지역 재생전원 기반 확대를 뒷받침한다.

- 주요 특징: 기타큐슈는 과거의 환경오염 극복 경험을 바탕으로 UNEP 등과 협력하여 기타큐슈 아시아 저탄소센터를 운영하며 중국, 태국 등 아시아 도시의 전환을 지원해왔다. 또한 에코타운을 중심으로 순환경제·수소·재생에너지 산업 육성을 통해 환경성과와 지역경제 활성화의 선순환을 입증했다. 이러한 성과로 기타큐슈는 OECD로부터 '그린성장 모범도시'로 선정되었으며, 2018년 UN으로부터 SDGs 도시로 인증받는 등 글로벌 지속가능 도시로 자리매김하였다.

(2) 중국 내몽고 오르도스(Ordos)

- 지역개요: · 오르도스는 내몽고 자치구의 대표적 석탄·리그나이트 산지이자 사막지대(쿠부치·마오우수 사막 등)로, 과거에는 '중국의 석탄 수도'로 불린 고탄소 산업도시였으나, 최근 Envision과 협력하여 세계 최초의 순제로 산업단지인 Ordos-Envision Net-Zero Industrial Park를 조성하였다. 이 단지는 2025년 기준 세계경제포럼(WEF) 등에서 글로벌 선진사례로

선정되며, 연간 1억 톤 규모의 탄소 감축과 10만 개의 녹색 일자리 창출을 목표로 하고 있다 (Envision, 2025).

- **전환 전략:** 산업단지는 100% 재생에너지 기반의 전원 체계를 구축하고, 전력망 의존을 최소화하는 오프그리드 운영 방식을 도입하였다. 풍력·태양광 발전을 중심으로 잉여 전력은 배터리·수소·암모니아 저장을 통해 안정적으로 관리하며, "wind-solar-hydrogen-storage-vehicle"로 불리는 통합 에너지·산업 네트워크를 조성하였다. 또한 AI·IoT 기반의 스마트 디지털 트윈 플랫폼을 통해 에너지 수요·공급을 실시간 최적화하고, 산업·교통·저장 부문을 통합 관리 중이다(Ordos, 2025).

- **주요 특징:** 오르도스 순제로 단지는 기존 석탄산업지대와 사막지형을 활용해 저탄소 혁신 클러스터로 재편한 사례이다. 녹색 산업 생산 규모는 연간 1,000억 위안에 달하며, 지역 경제를 친환경 신산업 중심으로 전환하고 있다. 과거 석탄·사막 도시로 대표되던 오르도스가, 재생에너지·수소·디지털 기술을 결합한 세계적 순제로 산업단지로 탈바꿈함으로써, 향후 아시아 지역의 에너지 다각화 및 정의로운 전환 모델로 주목받고 있다.

지역	주요 전환 내용	주요 전략
독일 루르	노후 중공업 지대의 청정에너지·디지털 복합지구 전환	태양광 확대, 지능형 전력망(스마트그리드) 투자, B2B 수소·관로 연계
그리스 서마케도니아	리그나이트(갈탄) 에너지 산업지대의 공정 전환	그린수소 교통, 순환농업 CO_2 실증, 오픈 리빙랩·데이터 허브 운영
영국 테사이드	석탄·제철 산업클러스터의 넷제로 산업단지화	수소+탄소 포집·활용·저장(CCUS), 정부-지자체-기업의 클러스터 파트너십, 기존 항만, 파이프라인 등의 인프라 재활용
미국 앨라배마 잭슨카운티	석탄 화력발전소에서 재생에너지 데이터센터로의 전환	재생에너지 전력구매계약(PPA) 체결, 폐발전소 인프라 재사용, AI 기반 자율냉각·고효율 설비 적용
미국 유타 델타	석탄 화력발전단지에서 수소혼소 발전단지로의 전환	물 전기분해(수전해)로 그린수소 생산 후 지하 소금동굴에 저장, 기존 대용량 송전망 활용, 인근 도시와 전력구매계약
일본 기타큐슈	제철 산업도시에서 수소·순환경제 그린도시의 전환	에코타운(재활용 집적), 수소타운 실증, 해상풍력으로 재생전원 확대
중국 오르도스	고탄소 산업도시에서 순제로 산업단지로의 전환	100% 재생에너지 기반으로 계통 의존 최소(오프그리드) 풍력·태양광·수소·저장 통합 운영, AI/IoT 디지털 트윈으로 실시간 최적화

표 1. 해외 탄소중립 산업전환 사례 요약

2.2절 AI 기반 데이터 센터 탄소중립 전환 사례

세계적인 테크 기업들은 자사의 대규모 데이터 센터를 탄소 중립적으로 운영하기 위해 AI 기술과 에너지 혁신을 적극 활용하고 있다. 구글, 마이크로소프트, 메타(페이스북) 등은 100% 재생에너지 전환과 AI 기반 효율화로 데이터 센터의 에너지 소비를 최소화하고 있으며, 냉각 효율 개선, 폐열 활용, 신재생 전력 매칭 등을 통해 전력 사용량 대비 탄소 배출을 획기적으로 줄이는 전략을 추진하고 있다. 또한 이러한 노력은 개별 기업의 차원을 넘어, 지방정부와 국가 차원의 에너지 정책 및 지역난방 인프라와 연계되는 방식으로 확장되고 있다. 예컨대, 유럽에서는 데이터센터 폐열을 지역 난방망에 연결해 주민 난방에 활용하는 등 데이터 센터를 단순한 인프라가 아닌 지역사회 친환경 에너지 허브로 전환하는 중요한 역할을 하고 있다.

1. 글로벌 테크 기업의 데이터 센터 탄소중립 추진 사례

(1) 구글(Google)

- **개요:** 구글은 전 세계에 분산된 대규모 데이터 센터를 운영하는 글로벌 기술기업으로, 2000년대 후반부터 친환경 정책을 선도해왔다. 2017년 이후 데이터 센터 전력 사용량 100%를 재생에너지로 운영해왔고, 2030년까지 24시간 완전 탄소무배출 에너지만으로 데이터 센터를 가동하겠다는 목표를 세웠다(Energy Digital, 2023). 에너지 효율을 높이기 위해 자체 설계한 고효율 서버와 혁신적인 냉각 기술을 도입하고 대규모 재생에너지 전력을 구매해왔으며, 동일 전력으로 5년 전에 비해 3.5배 이상의 연산 능력을 구현할 만큼 효율을 향상시키는 등 데이터 센터 운영에서 에너지 소비와 탄소배출을 최소화하는 정책을 추진하고 있다(DeepMind, 2016).

- **데이터 센터 탄소중립 사례:** 핀란드 하미나(Hamina) 데이터 센터는 구글의 대표적인 친환경 데이터센터 사례이다. 과거 제지 공장 부지를 개조하여 핀란드 만의 바닷물을 냉각수로 활용하는 수냉식 시스템을 갖추고 있어, 외부 찬 바닷물을 이용해 서버 열기를 식힘으로써 전통적인 전력 구동 냉각장치를 거의 사용하지 않고 있다(Data Center Dynamics, 2024). 이로 인해 냉각에 사용되는 전력을 크게 절감하였으며, 더 나아가 구글은 2024년에 하미나 센터에 폐열 회수 시스템을 도입하여, 서버 가동으로 발생하는 온배수를 지역 지역난방망에 공급하기 시작했다. 현지 에너지회사(Haminan Energia)와 협력한 이 프로젝트를 통해 하미나 인근 가정·학교·공공건물 난방열의 80%를 데이터 센터 폐열로 공급할 예정이며, 주민들은 추가 비용 없이 따뜻한 난방을 공급받게 된다. 한편 싱가포르 등의 도시국가에서 데이터 센터에 높은 에너지 효율 기준을 적용하는 정책을 도입하자, 구글은 현지 데이터 센터에 외기냉방 및 수냉식 냉각 기술을 적용하고 효율적인 설계를 통해 이러한 규제를 준수하면서도 안정

적인 운영을 이어가고 있습니다. 이처럼 구글은 지역 여건과 정책에 맞춘 기술 혁신으로 에너지 소비와 탄소 배출을 획기적으로 줄이는 전략을 실행하고 있습니다.

- **AI 활용:** 구글은 AI 기술을 활용한 데이터센터 지능형 제어 분야에서도 가장 앞선 사례를 보여주고 있다. 구글 산하 딥마인드(DeepMind) 팀은 머신러닝 알고리즘으로 데이터 센터의 냉각 시스템을 최적 제어하여 냉각 에너지 소비를 40%까지 절감시키는 데 성공한 바 있다(DeepMind, 2016). 수천 개의 센서에서 수집되는 온도, 전력 사용량, 펌프 속도 등의 데이터를 심층신경망으로 학습해 냉각장비(펌프, 냉각기, 쿨링타워 등)의 작동을 사람이 직접 제어하는 것보다 훨씬 세밀하고 효율적으로 조정한다. 그 결과 구글은 전체 데이터 센터 전력 소비의 약 15%를 AI로 절감하며 탄소배출을 줄였다고 보고한 바 있다(The Guardian, 2016). 뿐만 아니라 구글은 탄소 지능형 컴퓨팅 플랫폼을 개발하여, 전력망의 시간대별 탄소배출량 예측에 맞춰 데이터센터의 비긴급 연산 작업을 탄소 배출이 낮은 시간대로 자동 이동시키고 있습니다(ref). 이러한 AI 기반 작업 부하 스케줄링을 통해 구글은 데이터 센터가 소비하는 전력의 탄소배출 강도를 낮추고 24/7 탄소중립 운영 목표를 추진하고 있다(Google Blog, 2020).

(2) 마이크로소프트(Microsoft)

- **개요:** 마이크로소프트는 전 세계에 Azure 클라우드 데이터센터 인프라를 구축·운영하고 있으며, 2030년까지 탄소네거티브 기업이 되겠다는 기조 하에 과감한 지속가능성 투자를 진행 중이다(Microsoft Datacenters, 2024). 2025년까지 모든 데이터센터를 포함한 자사 운영 전력을 100% 무탄소 재생에너지로 공급받을 계획이며, 나아가 2030년에는 연중 언제나 전력 사용을 탄소 배출이 없는 에너지원으로 충당하는 목표를 세웠다. 이를 위해 2020년대에만 35건 이상, 총 7.8GW 규모의 대규모 재생에너지 발전소 전력구매계약(PPA)을 체결하였고, 각 지역 별로 태양광·풍력 발전원을 확보하여 데이터 센터 전력 수요를 충당하고 있다. 또한 마이크로소프트는 친환경 데이터 센터 디자인을 도입하여 신규 데이터 센터에 가능한 한 LEED 골드 인증(친환경 건축물 인증)을 취득하고, 건축 단계에서부터 저탄소 자재를 사용하는 등 간접 배출 감소에도 신경쓰고 있다. 이처럼 마이크로소프트는 재생에너지 조달, 효율 향상, 친환경 설계를 종합적으로 추진하며 데이터 센터 부문의 탄소중립을 가속화하고 있습니다.

- **데이터 센터 탄소중립 사례:** 마이크로소프트는 에너지기업 Fortum과의 협력을 통해 핀란드 수도권 Espoo(에스포)와 Kirkkonummi(키르코눔미) 지역에 신설 중인 대규모 데이터센터에서 발생하는 서버 폐열을 지역 난방에 공급하는 프로젝트를 추진하고 있다. 데이터 센터 자체는 100% 재생에너지 전력으로 운영될 계획이며, 서버 냉각 과정에서 발생하는 온수를 회수하여 Fortum의 열펌프와 연계, 지역난방에 적합한 수준으로 가공한 후 공급하게 된다.

이 과정에서 약 350MW 규모의 열에너지가 회수 가능할 것으로 추정한다. Espoo 지역은 이미 2024년을 기점으로 석탄 연료 사용을 중단하였으며, 이번 폐열 회수 프로젝트는 석탄 난방의 대체재로서 중요한 역할을 할 것으로 평가된다(Reuters, 2022).

한편 마이크로소프트는 스웨덴 데이터 센터 지역에서도 세계 최초로 시간별 재생에너지 매칭(hourly renewable matching)을 도입해, 데이터 센터 전력 사용량이 해당 시간대의 재생에너지 발전량과 실시간으로 일치하도록 운영하고 있다(Microsoft Datacenters, 2024). 또한 비상전원(backup power)에는 디젤 대신 바이오연료 발전기를 활용해 전력망의 탄소 배출을 최소화하고 있다. 아울러 미국 애리조나의 신규 데이터 센터에서는 인근에 태양광 발전소를 건설하여 전력을 직접 공급받고 있으며, adiabatic 외기 냉방 시스템을 도입하여 연중 절반 이상은 물을 전혀 쓰지 않고 외부 공기만으로 서버를 냉각하는 혁신을 실현하였다. 이처럼 마이크로소프트는 지역 기반 재생에너지 활용과 데이터 센터 폐열 공급을 통해, 데이터 센터를 단순한 ICT 인프라에서 나아가 지역 친환경 에너지 허브로 전환하는 프로젝트들을 전개하고 있다.

- **AI 활용**: 마이크로소프트는 데이터센터 운영 효율을 높이기 위해 AI와 자동화 기술을 적극 도입하고 있다(Microsoft, 2024). 예를 들어, 데이터 센터의 서버 부하를 예측하고 작업을 최적 분배하는 알고리즘을 통해 전력 피크를 관리하고 냉각 수요를 사전에 조절한다. 또한 마이크로소프트는 고밀도 AI 연산 서버의 냉각을 위해 액침냉각(서버를 냉각액에 담그는 기술)과 같은 첨단 스마트 냉각 기술을 도입하고 있는데, 이는 기존 공기냉각 대비 전력 사용량과 물 소비를 크게 줄일 수 있는 방안이다. 운영 측면에서도, 마이크로소프트는 기계학습 기반의 에너지 관리 시스템으로 냉각장치 가동을 최적화하고, 서버 빈도를 동적으로 조절하여 불필요한 에너지 소모를 줄이고 있다. 아울러 디지털 트윈 기술로 데이터 센터를 모사하여 AI가 다양한 시나리오에서 온도·습도·공조 설정을 테스트하고 최적해, 실제 운영에 적용하는 방식으로 예측 제어를 실현한다. 이런 AI와 스마트 제어 기술 덕분에, 마이크로소프트는 데이터 센터의 전력 사용효율(PUE)을 개선하고 물 사용량을 줄이며, 증가하는 AI 연산 수요에도 에너지 소비 증가를 최소화하며 대응하고 있다.

(3) 메타(Meta, 구 페이스북)

- **개요:** 메타는 페이스북, 인스타그램 등의 서비스를 운영하는 글로벌 소셜미디어 기업으로, 대규모 하이퍼스케일 데이터센터를 여러 대륙에 보유하고 있다. 메타는 2020년 기준으로 전 세계 사업장 및 데이터 센터 전력을 100% 재생에너지로 조달하는 목표를 달성했으며, 모든 신규 데이터 센터를 가장 높은 에너지효율 기준으로 설계하여 LEED 골드 등급 이상을 취득하도록 하고 있다. 또한, 외기냉방과 자체 설계한 Open Compute 서버 기술 등을 활용해 매

우 낮은 PUE를 실현하고 있으며, 운영 효율 개선과 청정에너지 전환을 통해 탄소중립을 추진 중이다. 디젤 발전기를 대체하기 위해 바이오 연료(HVO)를 비상 발전기 연료로 채택하는 등 간접배출 저감에도 노력을 기울이고 있다(Meta, 2024).

- **데이터 센터 탄소중립 사례:** 덴마크 오덴세(Odense) 데이터센터 폐열 활용 사업은 메타의 대표적인 탄소중립 전환 사례이다. 메타는 2020년부터 덴마크 오덴세에 위치한 대형 데이터센터(약 5만m^2 규모)의 서버에서 나오는 온열 공기를 지역난방망에 제공하는 시스템을 가동해왔다(WIRED, 2023). 이 센터에서 발생하는 따뜻한 공기는 열 교환을 통해 물을 데운 후, 현지 지역 난방 시설(Fjernvarme Fyn)로 전달되어 오덴세시 약 11,000가구에 해당하는 주택에 난방열로 공급된다. 데이터 센터가 배출하는 공기를 지역 난방에 투입하기 위해서는 히트펌프를 통한 추가 가열이 필요한데, 이를 위해 지자체 소유의 에너지 회사가 데이터 센터 인근에 열증폭 시설을 운영하고, 주민들은 기존 지역난방 요금체계로 서비스를 받고 있다. 이외에도 아일랜드 더블린에서는 메타의 데이터 센터 온수를 인근 대학 캠퍼스 난방에 활용하는 사례가 있으며(WIRED, 2023), 미국 네브래스카의 데이터 센터는 인근 풍력 발전과 연계하여 100% 재생에너지로 가동하고 있다(Enel Green Power, 2019).

- **AI 활용**: 메타는 AI 및 머신러닝 기술을 활용해 데이터센터의 에너지 효율과 지속가능성을 개선하고 있다. 특히 메타 엔지니어들은 강화학습기법(Reinforcement Learning, RL)을 데이터센터 냉각 시스템 제어에 적용하여 전력 및 수자원 절약을 달성한 것으로 알려져 있다(InfoQ, 2024). 2021년부터 일부 메타 데이터 센터에 도입된 RL 기반 최적화 시스템은, 시간대별로 외부 기후와 IT부하 변화를 학습하면서 송풍팬 속도와 냉각 공조량을 자동 조절한다. 그 결과 시범 운영 지역에서는 서버룸 송풍팬 에너지 소비를 20% 절감하고 냉각용 물 사용량을 4% 감소시키는 성과를 거두었다(ref). 이와 같은 AI 기반 냉각 최적화 외에도, 메타는 데이터 센터 인프라 모니터링에 머신러닝을 도입해 서버 장애를 예측하고 불필요한 예비용량을 축소하는 등 간접적인 효율 향상도 꾀하고 있다. 또한 일간 전력 수요를 예측하여 전력 부하를 평탄화하거나, AI 모델 학습 작업을 전력 탄소집약도가 낮은 시간대로 조정하는 등 구글과 유사한 탄소 지능형 워크로드 관리도 연구하고 있다.

(4) 오라클 (Oracle)

- **개요:** 오라클은 데이터베이스 소프트웨어로 유명한 글로벌 IT기업으로, 최근 클라우드 인프라(OCI)를 구축하여 여러 지역에 데이터 센터를 운영하고 있다. 오라클은 2025년까지 전 세계 모든 사업장과 데이터 센터에서 100% 재생에너지 전력 사용을 달성하고, 나아가 2050년까지 기업 활동 전반의 탄소 배출 넷 제로를 이루겠다는 장기 목표를 발표한 바 있다(Oracle, 2024). 이러한 목표의 일환으로 2023년 기준 오라클은 유럽과 라틴아메리카 지역의 모든 클라우드 데이터 센터를 이미 100% 재생에너지로 가동 중이며, 전 세계 OCI 데이터

센터 전력의 86%를 청정에너지로 조달하는 성과를 거두고 있습니다. 남은 지역의 데이터 센터들도 2025년까지 재생에너지로 전환하기 위해 현지 전력사와의 PPA 체결, 태양광·풍력 발전 투자 등을 활발히 진행하고 있습니다.

- **데이터 센터 탄소중립 사례:** 오라클은 데이터 센터 설비 전반에 친환경 기술을 적용하여 탄소중립 운영을 추진하고 있다(Oracle, 2024). 예를 들어 미국 텍사스에 위치한 오라클 클라우드 리전의 데이터 센터는 인근에 대규모 태양광 발전소를 확보하여 청정전력을 직접 공급받고 있으며, 건물 옥상과 부지 내에 태양광 패널을 설치해 일부 전력을 자체 생산하기도 한다. 또한 이 센터는 냉각에 지하수를 사용하지 않고 빗물과 재생수를 활용하는 시스템을 갖추어 지역의 물 소비 영향을 최소화하였다. 유럽 프랑크푸르트 지역의 오라클 데이터 센터 역시 실외 기온이 낮은 계절에는 외부 찬 공기를 직접 유입해 서버를 식히는 자연냉각 모드를 운영하여, 연중 냉각에 드는 에너지를 크게 절감하고 있다. 더불어 각 데이터 센터는 이중 바닥, 핫/콜드 아일 컨테인먼트 등 데이터홀 공조 효율을 극대화하는 설계를 적용해 냉각 손실을 줄이고 있습니다. 오라클은 공급망 측면에서도 데이터 센터 건설에 저탄소 콘크리트와 재활용 강철을 활용하고, 사용 후 장비를 회수·재활용하는 순환경제 전략을 병행함으로써 간접 탄소발자국 감축에도 힘쓰고 있다.

- **AI 활용**: 오라클은 데이터센터 운영 효율과 서비스 최적화를 위해 AI 및 스마트 소프트웨어 솔루션을 활용하고 있다(Oracle, 2024). 우선, 오라클 클라우드는 자동 자원 관리 시스템을 통해 서버 리소스를 수요에 맞게 탄력적으로 할당함으로써 유휴 서버 전력 낭비를 최소화하고 있다. 이 자동화 플랫폼에는 머신러닝 기반 예측 모델이 적용되어, 시간대별로 워크로드를 예상하고 필요 이상의 장비가 가동되지 않도록 조정한다. 또한 환경 모니터링 센서 데이터를 실시간으로 수집·분석하여, 온도 상승 등 이상 징후가 감지되면 AI 알고리즘이 선제적으로 냉각 설비를 제어하거나 부하 분산을 실행한다. 또한, 오라클은 블록체인, IoT와 AI를 접목한 솔루션으로 서버 부품의 수명주기를 추적하고 최적 시점에 교체·재활용하는 등 운영의 스마트화도 추진 중이다.

(5) NTT (일본)

- **개요:** NTT(Nippon Telegraph and Telephone)는 일본의 대표적인 통신기업으로, 전 세계에 데이터 센터 자회사(NTT Communications 등)를 통해 40여 개 이상의 데이터 센터 거점을 운영하고 있다. NTT 그룹은 2040년까지 그룹 전체 탄소중립을 선언했으며, 특히 데이터 센터 사업에 있어서는 2030년까지 자체 운영하는 모든 데이터 센터에서의 직간접 배출을 넷제로로 만들겠다는 목표를 세웠다(NTT DATA, 2025).

- **데이터 센터 탄소중립 사례:** NTT는 기존 자사 데이터센터 서비스에 직접 액체냉각

(Immersion Cooling)을 도입한 Green Nexcenter 서비스를 출시하였다(NTT, 2023). 데이터 센터 서버를 공기가 아닌 냉각액으로 직접 냉각함으로써, 공기 냉각 대비 냉각 에너지 소비를 절감하고 부분적으로 PUE 1.15의 세계 최고 수준 효율을 달성하였다. 또한 이 Green Nexcenter 데이터 센터들은 재생에너지 전력을 우선 활용하도록 구성되어, 전력 사용에 따른 탄소 배출을 최소화할 수 있다. 한편 NTT는 일본 후쿠오카와 오사카에 떨어져 있는 데이터 센터들을 광통신망 IOWN(All-Photonics Network)으로 연결하여, 두 지역 간 실시간 전력 수급 상황에 따라 워크로드를 최적 분산하는 실험도 성공적으로 완료한 바 있다(ref). 즉, 전력이 남는 지역의 데이터 센터에 업무를 몰아 그린 에너지를 소진하고, 다른 지역 센터는 부하를 낮추는 스마트 그리드 연계 데이터 센터 운영을 구현한 것이다. 이처럼 NTT는 신냉각 기술 적용, 재생에너지 연계, AI를 활용한 작업 분산 등 다양한 접근으로 데이터센터의 전력 효율을 높이고 탄소 배출을 저감하는 혁신을 추진하고 있다.

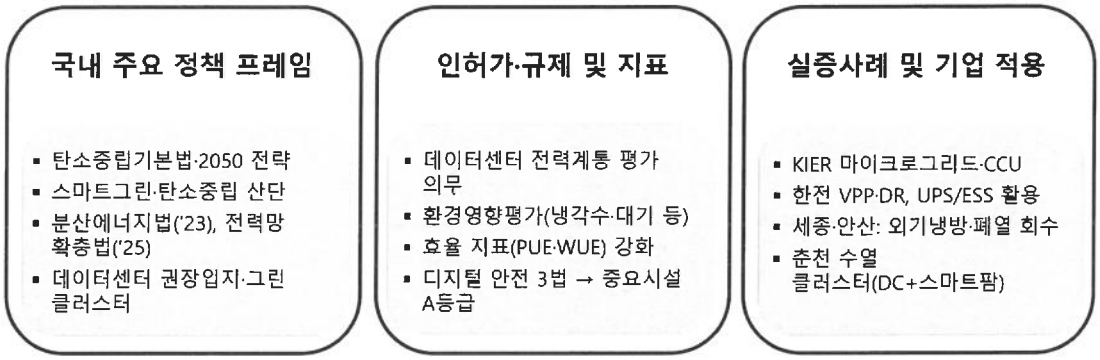
- AI 활용: NTT는 데이터센터 운영 고도화를 위해 AI와 네트워크 기술의 융합을 추구하고 있다. 상기한 IOWN 기반 워크로드 분산 솔루션은 AI 알고리즘으로 각 지역 전력의 재생에너지 비중을 예측하고, 실시간으로 업무를 최적 위치로 이동시킨 사례이다(NTT Group, 2025). 또한 NTT 연구진은 AI를 활용한 서버 자원 최적화 기술을 개발하여, 분산된 여러 데이터 센터에 작업을 배치할 때 지연 시간, 에너지 효율, 탄소 배출을 모두 고려하는 자동화 시스템을 모색하고 있다. NTT의 내부 발표에 따르면, 향후 AI 수요 증가 시대에 대비해 데이터 센터 간 초고속 네트워크와 자율 제어 알고리즘을 결합함으로써, 전력 수요를 탄력적으로 조정하고 잉여 재생에너지 활용을 극대화하는 방향으로 기술 로드맵을 그리고 있다(ref). 이와 함께 NTT는 AI를 통한 데이터 센터 시설 관리에도 투자하고 있어, 설비 이상 예측 진단이나 냉각장치 제어 최적화 등에 머신러닝을 활용하고 있다. 결과적으로, NTT는 AI 기술을 데이터 센터 전력분배 최적화, 운영 효율 향상, 설비 관리 자동화 등에 적용하여 탄소중립적인 데이터 센터 운영을 실현하고 있다.

주요 기업	AI 기반 탄소중립 사례	지자체·지역사회 연계 활용 사례
구글 (Google)	딥마인드 AI로 냉각 에너지 40% 절감, 전체 전력 15% 절약	핀란드 하미나: 데이터센터 폐열을 지역난방망에 공급, 가정·학교 난방 지원
마이크로소프트 (Microsoft)	AI·디지털트윈으로 냉각 최적화, 액침냉각 도입	핀란드 Espoo: Fortum과 협력해 데이터센터 폐열로 약 40% 난방 충당
메타 (Meta)	강화학습(RL) 기반 냉각 최적화로 전력·물 사용 절감	덴마크 오덴세: 서버 폐열을 지역난방망에 공급, 11,000가구 난방 지원
오라클 (Oracle)	ML 기반 자원 최적화, 자동 부하 분산	미국 텍사스: 태양광 연계, 빗물·재생수 활용으로 지역 물 사용 절감
NTT	AI로 지역별 전력 수급 예측·부하 분산, 액체냉각 적용	일본 후쿠오카·오사카: 지자체와 연계해 IOWN 네트워크로 전력 잉여분 활용

표 2. AI 기반 데이터센터 탄소중립 전환 사례 요약

2.3절 국내 주요 정책 및 실증 사례

본 절에서는 국내의 탄소중립 전환을 촉진하기 위한 정책 동향 및 실제 적용 사례를 조사하였다. 특히, 중앙정부의 탄소중립·에너지 전환 정책 프레임과 인허가·규제 기준을 조사하고, 국내 산업단지·도시 단위 전환 실증사업과 기업들의 기술 도입 사례를 분석하였다. 이를 통해 삼척시가 향후 데이터센터 유치 및 청정에너지 기반 산업 전략을 추진하는 데 필요한 정책적 시사점을 도출하고자 한다.



[그림 4] 국내 정책·규제·실증사례 요약

1 국내 주요 정책 프레임

(1) 탄소중립·디지털 연계 주요 정책 동향

우리나라는 2021년 탄소중립기본법 제정과 2050 탄소중립 전략 수립을 계기로 산업·에너지 부문의 구조 전환을 본격화하였다(대한민국, 2021). 산업통상자원부는 2023년 '탄소중립 산업 전환 전략' 마스터플랜을 착수하고, 탄소중립 산업단지 조성 사업을 추진 중이다. 2025년 추가경정예산을 통해 전력사용량 상위 30개 산단 중 1곳을 선정, 2029년까지 총 1,300억 원을 투자하여 신재생에너지 설비, ESS 발전소(VPP), 자원순환 인프라 등을 패키지로 구축하는 탄소중립 산단 대표모델 사업을 공모하기도 하였다(http://www.motie.go.kr/). 이를 통해 산단 내 신재생에너지 보급, 지능형 전력망 및 탄소저감 설비 도입, 기업별 탄소감축 컨설팅을 종합 지원하여 디지털·저탄소화된 산업단지 전환을 모색하고 있다. 이와 별도로 산업통상자원부는 2019년부터 스마트그린산단 사업을 추진해 현재까지 21개 산업단지를 지정하고, 노후 산단을 디지털 전환과 친환경·저탄소화를 통해 첨단 제조업 거점으로 고도화하는 것을 목표로 하고 있다(산업통상자원부·대한민국 정책브리핑, 2023). 2025년에는 10개 산단을 대상으로 총 1,400억원을 투입하는 AX(AI Transformation) 실증 산단 사업이 시작되었으며, 현재는 디지털·자동화 전환, 탄소중립 이행, 전문인력 양성, 지역경제 활성화에 중점을 두고 있다(뉴스줌, 2025).

에너지 시스템 측면에서는 '분산에너지 활성화 특별법(2023)'이 제정되어 지역 단위 에너지자립을 지원하고 있다. 동 법에 따라 대규모 소비시설 신설 시 전력 계통 영향평가를 의무화하여, 특히 데이터 센터 등 신규 부하가 전력망에 미칠 영향을 사전에 검토하도록 하였다(산업통상자원부, 2023). 또한 2025년 '국가기간 전력망 확충 특별법'이 통과되어, 정부가 데이터 센터 등 전략산업에 필요한 송전망 확충을 신속히 추진할 수 있는 근거가 마련된 바 있음(산업통상자원부, 2025). 또한, 정부는 '데이터 센터 그린 클러스터 조성 전략'을 통해 데이터 센터의 지방 분산을 유도하고 있으며, 2024년부터 데이터 센터 권장 입지를 지정하여 세제 혜택, 인허가 특례 등의 인센티브 제공 등을 추진할 계획이다(산업통상자원부, 2025). 이에 따라, 강원도는 "강원 수열에너지 융복합 클러스터 데이터센터(K-Cloud Park)" 사업을 통해 친환경 수열에너지 기반 데이터센터 집적단지 조성 및 입지 활성화를 추진 중이며, (뉴시스, 2024) 충북 청주는 오창 서오창테크노밸리에 약 7,520억원 규모의 클라우드데이터센터 건축 계획을 수립하는 등 지자체들도 경쟁적으로 관련 산업 육성에 나서고 있다(충북도정소식, 2024).

한편, 한국형 뉴딜에서도 그린뉴딜과 디지털뉴딜 두 축을 통해 도시와 에너지 시스템의 스마트화를 지원하였다(정책브리핑, 2021). 예를 들어 신재생 분산자원과 AI그리드를 접목한 스마트시티 국가시범사업(세종·부산)이 추진되었고, 산업단지의 디지털 전환과 저탄소화를 위한 인프라 구축, 공공부문의 그린데이터센터 구축, ICT 활용 에너지효율 향상 과제가 뉴딜 종합계획에 포함된 바 있다. 또한, 정부는 2024년 강원 동해·삼척과 경북 포항을 국내 최초 수소특화단지로 지정하였고, 동해·삼척 지역에는 액화수소 저장·운송 클러스터 구축을 위해 2028년까지 약 3,177억 원을 투입하는 계획을 발표하였다(정책브리핑, 2024). 이는 삼척시가 향후 데이터 센터 등 에너지 다소비 인프라를 청정수소 공급망과 연계하여 24시간 무탄소 전력을 확보할 수 있는 기반이 될 수 있을 것이다.

정책 수단 측면에서는, 탄소중립 전환을 위한 재정·세제 지원과 전력시장 제도 개선이 병행되고 있다. 산업부와 환경부는 '탄소중립 전환 선도프로젝트 융자사업' 등을 통해 기업의 CCUS, 연료전지, 공정전환 시설 투자에 저금리 자금을 지원하고 있으며, 신재생 설비 투자에 대한 세액공제도 확대하였다(www.kicox.or.kr/netzerofin). 전력 분야에서는 2021년부터 기업의 재생에너지 사용을 촉진하는 한국형 RE100 제도(재생에너지 사용 확인제도)가 시행되었으며, 녹색프리미엄, 제3자 PPA 등 다양한 수단을 통해 2023년 기준 19개 국내 기업이 가입하여 태양광·풍력 전력 조달을 확대하고 있다(https://www.k-re100.or.kr/). 데이터 센터 업계도 이러한 추세에 동참하여 태양광 발전소와의 직접 PPA, REC 구매 등을 통해 친환경 전력 사용을 확대하고 있다. 예를 들어 네이버는 춘천 데이터 센터에 태양광 발전과 외기 냉방 등 친환경 기술을 적용하여 국내 평균 대비 낮은 PUE를 달성하였고(매일경제, 2023), 국내 주요 데이터 센터 사업자들도 친환경전력 사용을 점차 의무화하는 탄소정보 공개와 배출

권거래제 대응을 강화하고 있다.

(2) 전환 관련 인허가 규제 및 지표 기준

탄소중립 신산업을 추진하기 위해서는 다양한 인허가 절차와 기술 기준 충족이 수반된다. 첫째, 노후 발전소 부지나 산업단지를 저탄소 산업용지로 전환하는 경우 해당 지역의 도시·산업단지 계획 변경이 필요하다. 예를 들어 강원 삼척시는 석탄화력 예정 부지를 데이터 센터 클라우드 파크로 조성하기 위해 기존 산업단지 계획을 변경하고, 인근 해역에 대한 온배수(냉각수) 영향 평가 등의 행정 절차를 진행 중이다(MBC 강원영동, 2025). 환경영향평가법 등에 따라 대규모 데이터 센터 건립 시 냉각수로 인한 해양 생태 영향, 비상발전기 운영 시 소음·대기오염 영향도 사전에 면밀히 검토되어야 한다.

둘째, 데이터 센터와 같은 대용량 전력수요 설비의 인허가 단계에서는 안정적인 전력 공급 대책이 필수적이다. 2023년 시행된 '분산에너지 활성화 특별법'에 따라 일정 규모 이상 신규 시설은 전력계통영향평가를 거치도록 의무화되었으며, 한국전력공사는 데이터 센터 등 5MW 이상 전력 사용 시설에 대해 전기사용예정 통지서 접수를 받아 전력 공급 가능 여부를 사전 검토하고 있다(산업통상자원부, 2023). 특히 40MW 이상의 초대형 데이터 센터는 지역 계통에 무리가 없도록 한전의 전력수급 사전검토제 대상에 포함되어 단계적 전력 공급 계획을 마련하고 있다(강원일보, 2023). 아울러 2024년 2월에는 국가기간 전력망 확충 특별법이 통과되어 데이터 센터 등 전략산업에 필요한 송전 인프라를 신속 구축할 수 있는 근거가 마련되었는데, 동 법은 송전선로 건설 인허가 절차를 간소화하고 공공성이 높은 사업을 우선 지원하는 내용을 담고 있다(산업통상자원부, 2025).

셋째, 데이터 센터의 에너지효율 관련 지표 기준도 강화되는 추세다. 데이터 센터 효율의 대표 지표인 전력사용효율지수(PUE)와 물사용효율(WUE) 등이 국제적으로 통용되고 있다. 정부 차원의 PUE 규제는 아직 없으나 업계는 냉각 고도화 등을 통해 일정 PUE 달성을 목표로 하고 있으며, 네이버의 경우 춘천 데이터 센터에 태양광 발전설비와 지열 냉방을 도입하여 PUE 1.2 수준을 달성한 바 있다(네이버, 2023). 해외 사례로는, 싱가포르가 신규 데이터센터에 PUE 1.3 이하 달성을 의무화하였고(EdgeConnex, 2024) 독일은 2023년 에너지효율법(EnEfG)을 통해 2026년 이후 가동되는 데이터센터에 PUE 1.2 이하 달성, 2027년까지 재생에너지 전력 100% 사용, 2026년부터 폐열 10% 이상 회수(2028년 20%로 상향) 등을 요구하고 있다(Data Center Dynamics, 2023). 우리나라도 중장기적으로 이러한 에너지 효율 향상과 폐열 활용 지표를 정책에 반영할 가능성이 있다.

넷째, 신기술 도입에 따른 안전기준과 규제 특례도 고려해야 한다. 예를 들어 데이터 센터 비상 전원을 디젤발전기에서 수소 연료전지로 전환하려면, 수소경제이행법 및 고압가스안전관

리법에 따른 시설 안전인증을 받아야 하며 대용량 수소저장 탱크 설치 시 주변 시설과의 이격거리 등 안전기준을 충족해야 한다. 현재 강원 동해·삼척 및 경북 포항 등이 국가 수소특화단지로 지정되어 수소 연료전지 발전시설 실증을 위한 규제 샌드박스 적용 등이 확대되고 있으며, 특화단지로 지정되면 신기술 실증·상용화를 위한 각종 규제 특례와 인허가 절차 간소화 혜택이 주어질 것이다(한국경제신문, 2025).

마지막으로, 대규모 디지털 인프라로서 데이터 센터의 신뢰도 및 보안 기준도 한층 강화되고 있다. 2023년 판교센터 화재를 계기로 개정된 이른바 디지털 안전 3법 시행령에 따라, 전산실 면적 22,500㎡ 이상 또는 수전용량 40MW 이상이고 전년도 매출 100억 원 초과인 데이터센터 사업자는 중요통신시설 A등급으로 지정되어 재난관리 의무를 지게 되었다(ZDNet 코리아, 2023). 이들은 전원 이중화, 소방설비 강화, 예비센터 확보 등 최고 수준의 안정성 확보 조치를 갖추어야 한다. 또한 전산실 500㎡ 이상 모든 데이터센터는 정보통신망법상 재난대비 보호조치 의무 대상으로 분류되어, 사고 발생 시 신고체계 구축과 정기적인 예방 점검을 시행해야 한다. 이처럼 정부는 디지털 기반시설의 규모와 중요도에 따라 단계별로 엄격한 기준을 적용함으로써, 탄소중립 전환과 디지털 경제 발전에 필수적인 데이터 센터의 안전성과 지속가능성을 담보하고자 하고 있다.

2. 국내 실증 및 기술 도입 사례

(1) 공공 연구기관의 전환 기술 실증 동향

국내 공공기관과 연구소들도 산업·도시의 탄소중립 전환을 위한 핵심 기술 개발과 실증에 나서고 있다. 한국에너지기술연구원(KIER)은 에너지 효율화 연구본부를 통해 에너지 AI 및 ICT 기반 수요관리, 산업공정 효율향상, 열에너지 전기화 기술 등을 개발 중이다. 예를 들어, 자체 마이크로그리드 실증단지에서 태양광·풍력·이차전지와 건물 HVAC를 통합 제어하는 에너지관리시스템(EMS)을 운용하고, AI 기반 알고리즘으로 재생에너지 출력 예측과 수요응답 최적화를 실험하고 있다(한국에너지기술연구원, 2024). 또한 KIER은 시멘트, 제철 등 에너지 다소비 업종의 공정을 전기열원(히트펌프 등)으로 전환하거나 CCUS 기술을 적용하는 연구를 수행하고 있으며, 일부 산업공정의 탄소포집·활용(CCU) 기술은 강원권 기업과 협력해 실증이 진행 중이다(에너지경제신문, 2024).

한국전력공사(KEPCO) 역시 탄소중립 전환의 핵심 플레이어로, 제주도 스마트그리드 실증사업(2009~2013)부터 한전 전력연구원을 통한 그린수소 저장, 직류배전망, AI 배전운영 기술 연구를 이어오고 있다. 최근에는 전력망 차원의 유연성 확보를 위해 가상발전소(VPP)와 수요관리(DR) 플랫폼을 구축하고 있으며(일렉타임스, 2025), 데이터 센터의 비상전원 설비(대용량 UPS, ESS)를 활용한 전력지원 서비스 가능성도 검토 중이다(서울와이어, 2025). 이는 데

이터센터를 단순 수용부하가 아닌 능동적 에너지 자산으로 활용함으로써 전력피크 완화와 수익창출을 동시에 노리기 위함이다.

전자통신연구원(ETRI) 등 ICT 연구기관들은 AI 인프라의 에너지 효율 향상 기술에 집중하고 있다. ETRI는 2020년 SK텔레콤과 협력하여 데이터센터용 AI반도체(NPU)를 개발, 기존 GPU 대비 연산속도 4배, 와트당 성능 10배 이상의 전력 효율을 검증한 바 있다(동아사이언스, 2020). 해당 AI칩은 SKT 데이터센터의 음성인식 서비스 등에 시범 적용되어 동등 작업 기준 전력소모를 1/10 수준으로 줄였고, 이는 고성능 서버 하드웨어의 저전력화 가능성을 보여주었다. 또한 ETRI는 AI 기술을 데이터센터 운영에 접목하는 AIOps 플랫폼을 연구하여, 실시간 전력 소비 모니터링, 이상징후 탐지, 냉각설비 자동제어 등의 기능을 선보였다(ZDNet Korea, 2024). 이런 AI 기반 운용 기술은 대규모 센서 데이터를 학습해 전력 사용량과 온도 상승의 상관관계를 최적 관리함으로써, 구글 사례와 유사한 수준의 냉방 에너지 절감을 국내 센터에도 구현하려는 시도이다. 더 나아가 ETRI와 국내 대학들은 분산 클라우드, 엣지컴퓨팅을 활용한 AI 워크로드 분산처리 연구를 진행 중인데, 이는 연산 작업을 전력 여유가 있는 시간대나 장소로 자동 분배하여 전력 피크를 저감하는 기술이다(ETNews, 2025).

(2) 도시 및 산업단지 전환 선도 사례

국내에서도 탄소 집약적 산업지역을 신산업·청정에너지 거점으로 전환한 사례가 보고되고 있다. 세종시는 네이버 제2데이터센터 '각 세종'을 2023년 말 준공한 이후, 2024년 본격 가동 결과 외기냉방, 태양광, 빗물 재활용, 폐열 회수 등을 통해 연간 1만3천 MWh 절감과 탄소 6천 톤 감축 성과를 보고하였다(매일경제, 2024). 카카오는 2023년 준공된 안산 데이터센터에서 2024년 운영 결과 빗물 재활용, 연료전지 설치, 폐열 회수 등을 통해 연간 약 15% 탄소저감 효과를 확인하였고, 임차 데이터센터에도 액침냉각 등 고효율 솔루션을 확대 적용 중이다(전자신문, 2024). 강원 춘천시의 수열에너지 융복합 클러스터는 2024년 착공 이후 본격적으로 데이터 센터(220MW 규모)와 스마트팜 단지를 조성하고 있으며, 환경부와 강원도는 수열 냉각과 재생에너지 융합을 통한 세계 최초 순환형 에너지산업단지로 2027년 완공을 목표로 추진 중이다(환경부 보도자료, 2024). 이는 데이터센터 폐열을 농업·난방 등으로 활용하고, 재생 냉열원을 적극 활용하는 국내 대표적인 융복합 전환 사례로 평가되고 있다.

2.4절 종합 분석 및 주요 시사점

1. 종합 분석

국내외 사례 검토 결과, 고탄소 산업지대를 저탄소·디지털 기반의 신경제 거점으로 전환한 지

역들은 공통적으로 i) 정량 근거 ii) 다층 거버넌스 iii) 기술·공간 통합 iv) 성과 공개를 통해 전환의 전 주기를 종합적으로 설계했다. 유럽의 루르·서마케도니아, 영국 테사이드, 일본 및 중국의 사례와 같이 지역별 배출 구조와 산업 연계, 전력·열·물 등 자원 흐름을 계량 데이터로 진단하고, 그 결과를 토대로 수소·재생에너지·CCUS 등 청정에너지 포트폴리오와 디지털 운영 기술의 투입을 단계별·우선순위 기반으로 정의하였다. 특히 EU의 전환 슈퍼랩(Transition Super-Lab)과 같은 플랫폼은 지역 단위의 복합 실증을 가능하게 하며, 실험적 거버넌스 하에 산업·교통·에너지까지 포트폴리오형 솔루션을 묶어 실행과 학습을 반복하도록 설계된 점이 특징적이다. 결과적으로 이들 지역은 '무엇을, 어디서, 얼마나' 줄일지에 대한 사회적 합의를 데이터로 뒷받침하며, 기존 항만·파이프라인·송전망 등 인프라 재활용을 통해 전환 비용과 착수 기간을 단축하는 효과를 확보했다.

글로벌 데이터센터 기업의 탄소중립 전략은 전환의 기술적 방향성을 제시한다. 구글·마이크로소프트·메타·NTT·오라클은 공통적으로 AI를 활용해 냉각·공조·부하 스케줄링을 최적화하고, 시간별 재생에너지 매칭과 폐열의 지역 에너지 연계를 결합해 운영 배출을 구조적으로 낮췄다. 이 접근은 단일 설비 효율 개선을 넘어, 데이터센터를 지역 열 공급과 수열·스마트팜 등으로 확장 가능한 '에너지 허브'로 재정의한다는 점에서 의의가 크다. 즉, 효율(저 PUE) – 청정전력(PPA·시간별 매칭) – 지역 에너지 연계(폐열·냉열·히트펌프)가 하나의 패키지로 작동할 때 감축과 지역 편익이 동시에 실현될 수 있음을 보여준다.

국내에서도 지역 및 도시의 탄소중립 지원을 위해 탄소중립기본법, 분산에너지법, 국가 기간전력망 확충 특별법 등 제도 기반이 마련되면서, 산업단지 고도화(스마트그린/AX 산단)와 데이터센터 그린 전환 실증이 병행되고 있다. 세부 기술로는 외기·수열 냉각, 폐열 회수, 연료전지 및 비상전원 저탄소화 등을 통한 예측·제어가 실제 사업에 적용되며 경제성과 운영 안정성이 검증되는 단계다. 동시에, 데이터센터의 지방 분산 유도, 수소 특화단지 지정, 재생에너지 조달 수단 다양화(RE100, 제3자 PPA 등)로 인해, 지역 단위의 청정전력 확보와 전력망 수용성 제고가 정책적으로 뒷받침되고 있다. 이러한 국내 정책 환경은 해외 사례에서 확인된 전환 메커니즘 (정량 진단, 다층 거버넌스, 인프라 재활용, 성과 공개)이 지역 차원으로 이식될 여건이 마련되고 있음을 시사한다.

종합하면, 3장에서 검토한 사례들은 다음의 주요 원칙을 제시한다. 첫째, 정량 근거 기반 진단을 통한 전환의 우선순위 도출과 단계별 목표 설정이다. 산업별 배출기여도, 전력·열·물의 흐름, 계통 수용성, 공간 전환 용이성을 객관화해야 '우선순위와 투입 순서'가 합의될 수 있다. 둘째, 다층 거버넌스와 참여를 통한 실행력 확보이다. 중앙정부/지자체 – 기업 – 대학·연구 – 시민이 참여하는 구조 속에서 정의로운 전환, 주민 편익, 안전·환경 원칙을 확보하고, 단기간의 집중 실증으로 신뢰를 축적할 수 있다. 셋째, 기술 – 공간의 통합 설계가 비용과 시간을

줄인다. 폐산업 부지, 항만·송전·배관망 등 기존 자산을 재배치하여 청정에너지·데이터 인프라와 결합하고, IoT·AI·디지털 트윈 등으로 지역 에너지 시스템을 실시간 최적화하는 것이 필요하다. 넷째, 성과 모니터링과 지식 확산을 통한 전환의 확장이다. KPI와 마일스톤을 공개하고, 표준화된 도구와 가이드로 결과를 축적할 때 타 지역 확산이 가능해진다.

2. 주요 시사점

첫째, 정책·기술·시장의 결합을 실험할 '지역 테스트베드' 역할 정립이 필요하다. 해외 선진 사례에서 보듯 단순한 재정 지원이나 기술 도입을 넘어, 규제 특례와 표준 선점을 동반하는 '정책 실험장'의 성격이 필요하다. 삼척시는 국가 전략사업과의 정합성이 높은 만큼, 시간별 재생에너지 매칭 운영, 데이터센터 폐열·냉열의 지역 활용, 수소 기반 비상전원 관련 안전기준 검증 등을 선제적으로 시험할 수 있는 지역으로 검토할 수 있다. 이를 통해 중앙정부에겐 제도 표준화를 위한 실증 무대를, 지역에는 투자 매력과 제도 선점효과를 제공할 수 있다.

둘째, AI 중심의 운영을 관리·제어할 통합 체계 구축이 필수적이다. 선언적 목표만으로는 실질적 감축이 어렵기 때문에, 데이터센터와 산업·공공 부문을 아우르는 AI 기반 에너지 관리 시스템을 공공 인프라 차원에서 설계해야 한다. 전력 탄소집약도 예측에 따른 작업 부하 스케줄링, 효율적인 냉각·히트펌프 제어, 자동화된 감축 인증·보고 등이 포함된다. 이는 단순한 기술 고도화의 문제가 아니라, 지역 차원의 신뢰 가능한 정량화된 감축 데이터를 축적해 제도적 인정과 지원을 확보하기 위한 기반으로 이해할 수 있다.

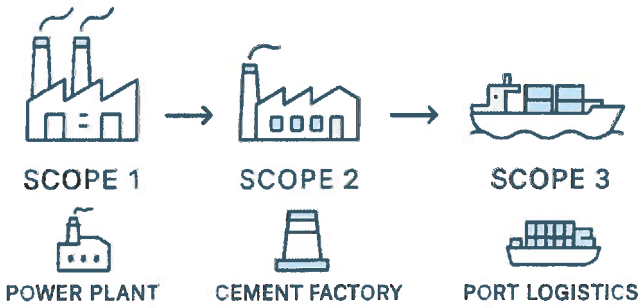
셋째, 데이터센터를 축으로 한 '효율-청정전력-지역 활용'의 패키지 모델 정립이 필요하다. 국제 선도기업들은 낮은 전력사용효율(PUE)와 재생전력 매칭, 폐열·냉열의 지역 활용, 비상전원의 친환경 전환 등이 종합되어야 구조적인 배출 감축과 지역 편익이 동시에 달성됨을 보여주고 있다. 삼척시는 이러한 요소를 결합한 '삼척형 데이터센터 탄소중립 모델'을 마련할 수 있으며, 이는 인허가·입지 심사와 공공에너지 서비스 연계를 위한 기준으로 작동하고, 향후 국가 가이드라인 마련에도 기여할 수 있다.

넷째, 성과 공개와 공정전환에 기반한 사회적 신뢰 확보가 지속가능성의 전제조건이다. 해외 사례처럼 열·전력 회수량, 매칭률, 감축량, 효율성, 지역 고용 등 핵심 지표를 정례적으로 공개하고, 주민 편익과 안전 요소를 포함하는 사회적 합의 과정이 필요하다. 삼척시는 전환 초기부터 지표 설계와 데이터 공유 체계를 마련하여 지역 공동체가 함께 학습·참여할 수 있도록 제도화하는 것이 중요하다. 이는 주민 수용성을 높이는 동시에 향후 타 지역 확산을 위한 레퍼런스 역할도 하게 될 것이다.

요약하면, 본 장의 사례 분석은 삼척시가 정량 진단을 토대로 한 다층 거버넌스 구축, AI 기반 운영체계 도입, 데이터센터 중심의 감축 모델 표준화, 성과 공개 및 공정전환 통한 사회적 신뢰 확보 등을 핵심 축으로 하는 탄소중립 전환 전략을 검토할 필요가 있음을 시사한다.

3장. 삼척시 탄소중립 확보를 위한 인공지능 기반 접근

3.1절 산업별 에너지·배출 데이터와 AI 활용 가능성



[그림 5] 삼척시 산업별 Scope 1·2·3 온실가스 배출 구조

삼척시는 발전, LNG 기지, 시멘트 및 광산, 어항 기반 소규모 물류 시설이 공존하는 독특한 산업 구조를 갖고 있으며, 이는 국내 평균 대비 높은 에너지 집약도와 탄소 배출 강도를 보인다. 이러한 구조는 **Scope 1**(발전소·LNG 기지·시멘트 소성로의 직접 배출), **Scope 2**(산업·광산·펌핑 설비의 전력 사용에 따른 간접 배출), **Scope 3**(항만 물류·운송 과정에서 발생하는 기타 간접 배출)로 구분된다. [그림 3]은 삼척시 주요 산업이 각 범주와 어떻게 연결되는지를 보여주며, 이를 바탕으로 AI 기반 감축 전략을 범주별로 분석해볼 수 있다.

우선 발전 부문을 보면, 삼척블루파워 화력발전소(2.1GW 규모)는 2023~2025년에 걸쳐 상업 운전을 개시하였다. 그러나 송전망 제약 문제로 인해 가동률이 낮거나 가동이 중단되는 상황도 발생하고 있다. 석탄화력의 평균 배출계수는 kWh당 0.88~1.22 $kgCO_2$ 로 보고되는데, 이는 부하율과 연료 조건에 따라 달라진다(IEA (2024). 삼척블루파워의 경우, 가동률이 낮아도 설비 규모 자체가 크기 때문에 효율 향상이 곧바로 수십만 톤 단위의 배출 저감으로 이어질 수 있다. 현재 발전소에서는 전통적인 DCS(Distributed Control System)를 활용한 자동제어가 이뤄지고 있으나, AI 기반의 예측 제어는 본격적으로 도입되지 않았다. 만약 부하 예측과 연소 최적화를 딥러닝이나 강화학습 기반으로 적용한다면, 실제 사례에서 보고된 바와 같이 열효율이 1.5~2.5% 향상되고 NOx 배출이 동시에 줄어드는 효과를 얻을 수 있다(Evans et al. (2018)).

다음으로 LNG 부문은 한국가스공사 삼척기지가 대표적이다. 이 기지는 저장탱크 12기, 총 261만 kL 용량을 보유하고 있으며, 연간 약 9Mtpa 규모의 기화 능력을 갖춘 것으로 알려져 있다[한국가스공사.*삼척 LNG 기지 시설 개요*.서울: 한국가스공사, 2024]. LNG 기화 과정에서는 심냉 에너지가 방출되는데, 이는 톤당 약 200 kWh의 전력 가치와 상응하는 잠재적 자원으로 평가된다(IEA (2022)). 지금까지 이 냉열은 대부분 해수로 방출되어 활용되지 않았지

만, 최근 데이터센터의 냉각 부하와 결합하려는 논의가 본격화되고 있다. 삼척시는 이미 화력 발전 유휴부지에 대규모 데이터센터 유치를 추진 중이며, 만약 AI 기반 냉열-냉방 최적화 시스템을 결합한다면 데이터센터의 전력사용효율(PUE)을 50~80% 개선할 수 있다는 연구가 존재한다 (Evans et al. (2018)). 이는 LNG 냉열의 재활용과 AI 제어기술을 연계하는 대표적 사례로 발전할 수 있다.

산업군	주요 시설 및 규모	에너지·배출 특성	AI 활용 가능성
발전	삼척블루파워 (2.1GW)	석탄 연소, 보조부하 전력, kWh당 0.88~1.22kg CO_2	연소 최적화, 부하 예측, NOx 저감
LNG	KOGAS 삼척기지 (261만 kL, 9 Mtpa)	기화 과정 냉열 방출, 펌핑 에너지 소모	냉열-데이터센터 냉각 연계, 기화부하 예측 제어
시멘트	삼표시멘트 삼척공장 (972만t/년)	소성로 열소비, 공정 배출, 분쇄 전력	소성로 MPC, 분쇄 최적화, 배합 제어
광산	삼척 대규모 노천광	채굴·운반 연료, 컨베이어 전력	자율주행 최적화, 예지정비
어항	임원항 (국가어항)	냉장·제빙, 펌프·조명 에너지 수요	DR 제어, 설비 예지정비

표 3 삼척 주요 산업시설의 에너지·배출 특성과 AI 적용 가능성 요약

시멘트 산업 역시 삼척의 대표적인 배출원이다. 삼표시멘트 삼척공장은 연간 시멘트 972만 톤, 클링커 1,004만 톤을 생산하는 국내 최대 규모의 시설 중 하나다 (삼표시멘트 (2024)). 시멘트 제조 과정의 평균 탄소배출강도는 톤당 약 0.6톤 CO_2 로, 전 세계 평균과 유사한 수준이다. 이 과정에서 가장 많은 에너지가 소모되는 단계는 소성로로, 전체 공정 에너지의 약 60%를 차지하며 동시에 탈탄산 반응으로 인한 공정 배출이 발생한다. 지금까지 소성로 운전은 경험적 제어와 일부 센서 모니터링에 의존했지만, 최근에는 머신러닝 기반 최적화 제어가 제안되고 있다. 실제 사례에서는 소성로의 온도와 연료 혼합비를 AI로 제어하여 열소비를 3~10% 줄이고, 분쇄 공정에서는 kWh/t 기준으로 5~15%의 전력 절감을 달성한 연구 결과가 보고되었다(Korre et al. (2022)). 삼척 역시 이와 같은 AI 기반 제어기술을 도입한다면, 단기간 내 상당한 감축 성과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

광산 부문에서도 AI의 적용 가능성이 크다. 삼척에는 제철용 석회석을 생산하는 대규모 노천광이 운영되고 있는데, 이 과정에서 대형 덤프트럭과 컨베이어 벨트가 막대한 연료와 전력을 소비한다. 기존에는 주행 경로와 적재량이 단순 경험에 의존했지만, 자율주행 및 예측정비 알고리즘을 적용하면 연료 사용량을 5~12% 줄일 수 있다는 국제 사례가 보고되었다 (Zhang et al. (2021)]).

끝으로 삼척의 임원항과 같은 국가어항은 대규모 산업항만과 달리 어업·관광 중심으로 운영

된다. 그러나 항만의 냉장·제빙 시설, 펌프, 조명은 여전히 에너지 수요의 중요한 부분을 차지한다. 최근 임원항은 국가어항 정비사업에 선정되어 시설 현대화가 추진되고 있는데, 이 과정에서 AI 기반의 수요반응형 제어를 도입하면 전력 피크를 줄이고 설비 고장을 예방할 수 있다 (해양수산부 (2025)).

3.2절 에너지 집약도 및 배출 요인 진단 기법

삼척시는 발전소, LNG 기지, 시멘트 및 광산, 항만 물류 시설이 복합적으로 공존하는 특수한 산업 구조를 가진다. 이들 산업은 국내 평균에 비해 높은 에너지 집약도와 탄소 배출 강도를 보이는데, 이를 정확하게 진단하는 것이 지역 차원의 탄소중립 전략 수립에 필수적이다. 지금까지는 주로 국가 온실가스 인벤토리 방식이나 기업 보고 체계에 기반하여 배출량을 추산했는데, 이러한 방식은 연료 사용량과 배출계수를 곱하는 단순 모델에 머물러 공정별 차이나 계절적 변동, 연료 품질의 차이 등을 제대로 반영하지 못한다.
삼척처럼 다양한 산업이 동시에 집적된 경우, 단순 총량 합산식 접근으로는 배출 구조의 원인을 명확히 파악하기 어렵다. AI 기반의 에너지 집약도 및 배출 요인 진단은 바로 이러한 한계를 보완하며, 기존에는 불가능했던 **실시간·공정별·요인별 분석**을 가능하게 한다는 점에서 전략적 의미가 크다.

1. 기존 진단 체계의 한계

국가 인벤토리 방식은 IPCC 권고 배출계수를 활용해 연료 사용량을 곱하는 형태로 총량을 산출한다. 이는 국제 비교와 정책 보고에는 유용하나, 특정 지역이나 공장의 특성을 반영하기에는 지나치게 단순하다. 기업 단위 보고 또한 연간 전력 및 연료 사용량 합산에 그쳐, 공정 내 세부 차이나 시간대별 변화를 포착하기 어렵다.
이러한 방식은 예를 들어 시멘트 소성로에서의 탈탄산 반응과 연료 연소 배출을 별도로 분해하지 못하고, 발전소의 보일러 부하 변동이나 보조동력 전력 사용량 변화가 배출량에 미치는 영향을 설명하지 못한다. 즉, 총량은 알 수 있으나 원인은 알 수 없는 구조에 머물러 정책·기술적 개선의 방향을 제시하기 어렵다.

2. AI 기반 진단의 구조와 방법론

AI 기반의 에너지 집약도 및 배출 요인 진단은 크게 세 단계로 구분된다. 첫 번째는 데이터 수집과 통합 단계이다. 이 단계에서는 산업 현장에서 발생하는 다양한 정량적 데이터를 체계적으로 확보하고, 이를 통합 관리할 수 있는 데이터 레이크(data lake)나 데이터 허브를 구축하는 것이 핵심이다. 예를 들어, 발전소에서는 연료 투입량, 보일러 압력, 배기가스 성분, 터

빈 효율과 같은 운전 데이터가 주요 분석 대상이 된다. 시멘트 공정에서는 소성로의 온도와 압력, 연료와 원료 배합 비율, 클링커 품질 지표가 포함되며, LNG 기지에서는 기화기 입출구 온도, 펌프 압력, 유량, 냉열 방출량이 기록된다. 광산에서는 덤프트럭과 컨베이어의 운행 시간, 적재량, 연료 소비량이 주요한 데이터 항목이고, 항만에서는 하역 장비의 전력 사용량, 선박 체류 시간, 컨테이너 이동 기록 등이 수집된다. 이러한 데이터는 시간 단위가 분·초 단위일 만큼 세밀하여, 기존의 연간 단위 통계 방식과는 차별화되는 정밀성을 제공한다(IEA (*2023).*

두 번째는 모델링과 분석 단계이다. 이 단계에서는 수집된 대규모 데이터를 기반으로 다양한 인공지능 기법이 적용된다. 머신러닝 기반 회귀·분류 모델은 배출량과 관련된 주요 요인을 통계적으로 도출하는 데 활용된다. 예를 들어 발전소의 보일러 효율, 시멘트 소성로의 운전 조건, 항만 장비 가동률 등과 배출량 간의 관계를 추정할 수 있다. 딥러닝 기반 시계열 예측 기법(LSTM, Transformer 등)은 시간에 따른 데이터 변화를 학습해 향후 배출 패턴을 예측하고, 정상 범위를 벗어난 이상치를 탐지하는 데 효과적이다. 특히 계절·부하 변동이 큰 LNG 기화 설비나 항만 물류 흐름에는 이러한 시계열 모델이 적합하다. 최근에는 설명가능 인공지능(XAI)이 주목받고 있는데, 이는 모델이 예측한 결과에서 특정 요인의 기여도를 정량적으로 보여줌으로써, 어떤 운전 조건이 배출량 변화를 주도했는지를 명확히 해준다 (Korre (2022)).

세 번째는 출력과 활용 단계이다. 이 단계에서 AI 모델은 분석 결과를 공정별 에너지 집약도(GJ/t, kWh/t), 배출 요인별 기여도(%), 그리고 개선 우선순위 형태로 도출한다. 예를 들어 시멘트 산업에서 소성로 운전이 전체 배출의 60%를 차지한다는 결과가 나오면, 정책적 대응은 소성로 대체연료 사용이나 CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage) 실증 사업에 집중될 수 있다. 발전소에서는 보조동력 전력 사용이 일정 비중을 차지한다는 진단이 나오면, 펌프와 팬의 인버터 제어 개선이 단기 감축 수단이 된다. 항만에서는 선박 체류 시간이 주요 요인으로 확인되면, 입출항 스케줄링을 개선하는 것이 우선 과제가 된다. 이처럼 AI 기반 진단 결과는 단순한 기술 보고를 넘어, 산업체의 투자 방향, 지자체의 정책 우선순위, 국가의 탄소중립 로드맵까지 직접적으로 연결될 수 있다.
결론적으로 AI 기반 진단은 데이터 수집–모델링–출력이라는 일련의 구조를 통해 기존 방식의 한계를 극복한다. 특히 삼척시처럼 다양한 산업이 집적된 지역에서는 이러한 진단 체계가 배출 구조를 실질적으로 이해하고, 과학적 근거에 기반한 감축 전략을 마련하는 핵심 도구로 기능할 수 있다.

3. 적용 가능한 AI 기법

발전소 연소 제어나 시멘트 소성로 운전에는 강화학습(RL)과 모델예측제어(MPC)가 유효하다. LNG 기화 부하 예측이나 항만 물류 흐름 분석에는 딥러닝 시계열 모델(LSTM, Transformer)이 적용될 수 있으며, 산업단지·전력망·항만 네트워크와 같이 다수 노드가 연결된 구조에는 그래프 신경망(GNN)이 효과적이다. 또한 설명가능 인공지능(XAI)은 배출량 변동의 주된 요인을 해석하는 데 도움을 주어, 정책 설계자가 어떤 요인에 우선 대응해야 하는지 객관적인 근거를 제공한다(표 4 참조).

AI 기법	적용 산업·공정	분석 목적	예상 효과	참고 문헌
강화학습 (Reinforcement Learning, RL)	발전소 연소 제어, 시멘트 소성로 운전	운전 조건을 실시간 학습·최적화하여 효율과 배출 동시 관리	열효율 1.5~3% 향상, NOx 및 CO_2 배출 감소, 연료비 절감	Evans, R. et al. (2018)
모델예측제어 (Model Predictive Control, MPC)	발전소 보일러·터빈 부하 제어, 시멘트 소성로 온도 조절	다변수 제약 조건하에서 최적 제어 수행	공정 안정성 확보, 배출 변동 최소화, 연료 소모 절감	Qin, S.J. et al. (2003)
딥러닝 시계열 모델 (LSTM, Transformer)	LNG 기화 부하 예측, 항만 물류 흐름 분석	장기·단기 부하 패턴 예측, 이상 탐지	피크 부하 완화, 물류 병목 사전 해소, 에너지 사용 최적화	Hochreiter, S. & Schmidhuber, J. (2017)
그래프 신경망 (Graph Neural Network, GNN)	산업단지 전력망, 항만 네트워크, 공급망 구조	네트워크 기반 복잡계 모델링, 간접 배출 진단	전력 손실 최소화, 공급망 효율 향상, Scope 3 배출 구조 분석	Wu, Z. et al. (2021)
설명가능 인공지능 (Explainable AI, XAI)	전 산업 공정 전반	배출 요인별 기여도 해석, 의사결정 지원	정책 설계자에게 근거 기반 감축 우선순위 제공	Ribeiro, M.T. et al. (2016)

표 4. 삼척시 산업별 적용가능한 AI기법 정리

4. 기대 효과와 정책적 함의

AI 기반 진단은 기존 방식보다 정확성이 높고 실시간성을 확보할 수 있다는 점에서 큰 장점을 가진다. 단순히 배출량이 얼마인지 보고하는 것을 넘어, 특정 설비나 공정이 배출 증가에 얼마나 기여했는지를 정량적으로 보여줄 수 있다. 이를 통해 정책 설계자는 감축 우선순위를 명확히 설정할 수 있고, 기업은 실시간으로 효율을 관리하며 비용을 절감할 수 있다. 또한 지역 차원에서는 전국 평균 계수에 의존하는 것이 아니라, 삼척시 고유의 산업 구조를 반영한

맞춤형 전략을 수립할 수 있다.
궁극적으로 AI 기반 에너지 집약도 및 배출 요인 진단은 삼척시가 단순히 고배출 산업이 밀집된 도시라는 한계를 넘어, 데이터와 인공지능을 활용해 배출 구조를 과학적으로 분석하고 관리하는 선도 사례로 발전할 수 있는 길을 열어준다. 이는 곧 국가 차원의 탄소중립 실현을 위한 중요한 기초 작업으로 이어질 것이다.

3.3절 AI 인프라, 유휴부지 및 전력망 연계 활용 전략

삼척시는 석탄화력발전소, LNG 기지, 시멘트 공장, 광산, 항만이 집적된 산업도시로, 고에너지·고배출 구조를 가지고 있다. 동시에 탈석탄 정책과 산업 구조 변화로 인해 대규모 유휴부지가 발생하고 있으며, 기존의 송전망과 항만 인프라 역시 유지되고 있다. 이러한 조건은 지역 차원의 AI 인프라 구축, 데이터센터 유치, 스마트그리드 실증 등 새로운 전략을 추진할 수 있는 중요한 기회가 된다. 그러나 이러한 변화가 단순히 인프라 전환에 머물러서는 안 되며, 강원대학교 삼척캠퍼스와의 연계를 통해 연구·교육·인재 양성까지 결합해야 지속 가능한 모델로 발전할 수 있다.

강원대학교는 이미 AI·SW 전공을 중심으로 교육·연구 기반을 구축해왔으며, 지역 산업과 연계한 다양한 산학협력 경험을 보유하고 있다. 따라서 삼척시가 보유한 유휴부지와 전력망을 활용하여 AI 인프라를 조성하는 과정에서, 강원대는 데이터 분석·모델 개발의 연구 파트너,현장 실증의 기술 자문기관,전문인력 양성의 교육기관으로 참여할 수 있다. 이러한 연계는 단순히 시설 전환에 그치지 않고, 지역 산업 생태계 전반을 혁신하는 역할을 할 것이다

1. 인공지능 인프라 구축

삼척시는 발전소, 시멘트 공장, LNG 기지, 항만과 같은 고배출 산업을 다수 보유하고 있으며, 이들 시설에서는 분·초 단위로 방대한 양의 데이터가 발생한다. 발전소에서는 연료 투입량, 보일러 압력, 배기가스 조성, 터빈 부하율과 같은 센서 데이터가 생성되며, 시멘트 산업에서는 소성로 온도·압력, 원료 및 연료 배합 비율, 클링커 품질 지표, 분쇄 전력 사용량과 같은 운전 데이터가 축적된다. LNG 기지의 경우 기화기 입출구 온도, 펌프 압력, 유량, 방출 냉열 데이터가 핵심이며, 항만에서는 하역 장비 전력 사용, 선박 체류시간, 냉장·제빙 설비의 에너지 소모량 등이 주요 데이터 항목으로 수집된다.

이러한 데이터를 단순히 개별 시설 차원에서 관리할 경우, 분석의 범위가 제한되고 중복 관리로 인한 비효율이 발생할 수 있다. 따라서 삼척시 전체를 아우르는 AI 데이터 허브를 구축하여, 다양한 산업 데이터를 한곳에 모아 통합 관리하고 분석할 수 있는 체계를 마련하는 것

이 필요하다. 데이터 허브는 단순 저장소를 넘어, 실시간 배출 진단, 효율 분석, 예측 제어 모델 개발을 위한 기반이 된다. 예를 들어, 발전소와 시멘트 공장의 데이터를 함께 분석하면, 동일한 부하 조건에서 연료 특성이나 공정 설계 차이가 배출량에 어떤 차이를 만드는지 비교할 수 있다. 또한 LNG 기지의 냉열 방출 데이터와 데이터센터 냉각 부하 데이터를 통합하면, 에너지 재활용·효율화 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

AI 데이터 허브의 구축은 이미 해외와 국내 여러 지역에서 중요한 트렌드로 자리 잡고 있다. 국제에너지기구(IEA)는 *Digitalization and Energy* 보고서에서 에너지 산업의 디지털 전환이 효율성 개선과 온실가스 감축에 결정적인 역할을 한다고 분석한 바 있다. 또한 구글의 데이터센터 운영에서는 딥러닝 기반 제어 시스템을 통해 에너지 사용량을 15% 이상 절감한 사례가 보고되었으(Evans et al. (2018)), 이는 삼척의 대규모 산업 현장에도 시사점을 제공한다. 결국 삼척의 AI 데이터 허브는 단순한 기술 인프라를 넘어, **지역 산업 전체를 대상으로** 한 데이터 기반 의사결정 플랫폼으로 기능해야 한다.

2, 유휴부지 전환

삼척의 석탄화력발전소는 정부의 에너지 전환 정책에 따라 점차 가동이 축소되면서 상당한 규모의 유휴부지가 발생하고 있다. 이 부지는 이미 고압 송전망, 냉각수 취수 및 배수 설비, 항만 및 도로 접근성과 같은 핵심 인프라가 갖춰져 있어, 새로운 산업으로 전환하기에 유리한 조건을 갖추고 있다. 특히 전력 수요가 크고 안정적인 냉각 자원을 필요로 하는 데이터센터나 AI 연구단지와 같은 시설은 이러한 인프라 조건과 밀접하게 부합한다.

해외에서도 유사한 전환 사례가 점차 늘고 있다. 예를 들어, 미국 버지니아주에서는 구(舊) 발전소 부지를 활용해 클라우드 기업의 데이터센터를 유치했으며, 핀란드 헬싱키에서는 발전소 인프라를 활용해 친환경 데이터센터 단지를 조성하였다. 이러한 사례들은 기존 인프라의 효율적 재활용을 통해 환경적·경제적 가치를 동시에 창출할 수 있음을 보여준다. 삼척 역시 유휴부지를 데이터센터와 연구단지로 전환함으로써, 기존 인프라를 활용하면서도 새로운 성장 동력을 확보할 수 있다.

따라서 삼척의 석탄화력발전소 유휴부지를 데이터센터 및 AI 연구단지로 전환하는 것은 단순한 공간 재활용을 넘어, 지역 산업구조 전환과 신산업 육성, 그리고 인재 양성을 동시에 달성할 수 있는 전략이다. 강원대학교는 연구개발과 인력 양성, 산학협력 체계의 중심에 서서 이러한 전환이 안정적이고 지속 가능하게 추진될 수 있도록 뒷받침할 수 있다. 이를 통해 삼척은 국가 차원의 탄소중립 전략과 디지털 전환 정책을 실현하는 대표적 사례 지역으로 발전할 수 있다.

3. 지역대학 연계

삼척시의 산업 구조 전환과 AI 인프라 활용 전략이 성공하기 위해서는 지역대학과의 긴밀한 협력이 필수적이다. 강원대학교 삼척캠퍼스는 AI·소프트웨어, 전자·전력공학, 에너지·해양학 분야를 중심으로 연구 및 교육 기반을 갖추고 있어, 삼척시가 추진하는 AI 기반 산업 전환의 핵심 파트너가 될 수 있다.

첫째, **교육과 인재 양성** 측면에서 강원대학교는 데이터센터 운영, 스마트그리드 관리, AI 기반 에너지 최적화 분야의 전문 인력을 배출할 수 있다. 이를 위해 클라우드 인프라 관리, 사이버 보안, 인공지능 운영 및 모니터링, 에너지 효율 관리 등을 포함한 실무형 교육과정을 개설할 수 있다. 또한 현장실습, 캡스톤디자인, 산학 프로젝트와 같은 교육 방식을 통해 학생들이 산업 데이터를 직접 다루고 분석하는 경험을 쌓도록 하여, 졸업생이 곧바로 산업 현장에 투입될 수 있도록 한다. 이러한 교육 효과는 지역 청년 고용 창출과 산업 수요 맞춤형 인력 공급으로 이어질 수 있다. 국제적으로도 지역 대학이 ICT 및 에너지 인력 양성에 기여한 사례는 다수 보고되어 있으며 (World Bank, *The Role of Universities in Regional Innovation Systems*, 2019), 강원대학교 역시 삼척에서 이와 같은 역할을 수행할 수 있다.

둘째, **연구개발과 실증** 영역에서 강원대학교는 지역 산업 현장과 연계한 산학공동연구소를 설립하여, 데이터센터 운영 효율화, AI 기반 냉각 최적화, 전력망 부하 예측, 보안 기술 개발 등의 연구를 현장에서 실증할 수 있다. LNG 기지의 냉열 활용이나 동해안 심층수를 데이터센터 냉각에 적용하는 실증 연구는 강원대학교 에너지공학·해양학 관련 학과가 주도할 수 있으며, 발전소 연소 제어나 스마트그리드 실증은 전자·전력공학 연구실이 참여할 수 있다. 이러한 실증은 단순한 이론 연구에 그치지 않고, 산업 현장에서 실제 배출 저감과 비용 절감으로 이어질 수 있다. 구글이 딥러닝 기반 제어 시스템을 통해 데이터센터 에너지 사용량을 15% 절감한 사례(Evans et al, 2018)는 삼척의 유휴부지 전환 전략에도 시사점을 제공한다.

셋째, **산학협력과 지역 산업 생태계 강화** 측면에서 강원대학교는 지역 기업, 지자체, 공공기관과 협력해 AI-탄소중립 산업 생태계를 조성할 수 있다. 대학은 기업과 공동 연구 프로젝트를 수행하고, 산업 데이터를 공유하며, 인력을 교류함으로써, 지역 산업의 경쟁력 제고에 기여한다. 특히 데이터센터와 시멘트·발전·LNG 산업 간 연계를 통해 에너지 효율을 높이고 배출 저감을 실현하는 융합형 연구가 가능하다. 지역 대학이 산업 클러스터 혁신의 허브로 작용하는 모델은 이미 독일, 핀란드 등지에서 검증된 바 있다 (Etzkowitz & Leydesdorff (2000)).

넷째, **정책 및 거버넌스 지원** 에서 강원대학교는 단순한 교육기관을 넘어 지역 정책의 싱크

탱크 역할을 수행할 수 있다. AI 기반 진단 결과를 바탕으로 산업별 배출 요인의 기여도를 분석하여 정책 우선순위를 제시하고, 지자체 및 중앙정부의 탄소중립 로드맵 설계 과정에 전문적 자문을 제공할 수 있다. 이는 지역 전략이 단순한 구호가 아니라 과학적 근거에 기반하여 설계·실행되도록 보장한다. UNFCCC의 국가 탄소중립 전략 보고서에서도 지자체·대학·기업 간 연계가 효과적인 탄소중립 달성의 핵심 요소로 제시된 바 있다.

이와 같이 강원대학교와의 연계는 삼척시의 AI 인프라 및 유휴부지 활용 전략을 단순한 시설 전환이 아니라, 교육·연구·산업·정책이 유기적으로 결합된 **지역 혁신 모델**로 발전시키는 효과를 기대할 수 있다. 구체적으로는 지역 청년 고용 창출 및 인재 양성, 산업 현장의 효율 개선 및 배출 저감 실증, 산학협력을 통한 기업 경쟁력 강화, 정책 싱크탱크로서의 장기적 지원이라는 다층적 효과가 나타날 것이다. 이는 삼척을 국가적 차원의 AI-탄소중립 테스트베드로 자리매김하게 하고, 동시에 강원대학교를 지역 혁신의 핵심 거점으로 성장시킬 수 있는 기반이 될 것이다.

3.4절 딥러닝 기반 실시간 탄소 모니터링 시스템

삼척시는 발전소, LNG 기지, 시멘트 공장, 광산, 항만 등 다양한 배출원이 밀집해 있으며, 이들 산업은 분·초 단위로 변화하는 공정 조건에 따라 탄소 배출량이 크게 달라진다. 지금까지의 탄소 모니터링은 연간 또는 분기별 보고 체계에 의존하는 경우가 많아, 실제 현장에서 발생하는 변동성을 적시에 반영하지 못하는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 실시간 데이터 기반의 탄소 모니터링 시스템이 필요하며, 특히 딥러닝 기반 분석은 방대한 시계열 데이터를 학습하여 공정별 배출량을 정밀하게 추정하고 이상 상황을 조기에 탐지할 수 있다.

1. 기존 모니터링 방식의 한계

현재 국내외에서 운영되는 대부분의 탄소 배출 모니터링 시스템은 배출계수와 연료 사용량을 곱하는 방식, 혹은 주기적으로 설치된 센서를 통한 단일 측정 결과를 통계적으로 보정하는 방식에 의존하고 있다. 이러한 방법은 행정 보고와 국제 인벤토리 작성에는 유용하지만, 실제 산업 현장에서 발생하는 복잡한 배출 변동성을 반영하기 어렵다.

첫째, 기존 방식은 공정별·시간대별 세밀한 차이를 포착하지 못한다. 예를 들어 시멘트 소성로에서 발생하는 이산화탄소는 연료 연소뿐 아니라 원료의 탈탄산 반응에서 크게 기인하는데, 전통적인 계수 기반 산정 방식은 이 두 요인을 분리하여 계산하지 못한다. 이로 인해 특정 시점에서의 배출량이 과소 또는 과대 추정되는 문제가 발생한다 (IEA (2023)).

둘째, 모니터링 주기가 너무 길다는 점도 문제이다. 다수의 산업체는 분기 또는 연 단위 보고를 통해 배출량을 집계하는데, 이러한 집계 주기에서는 갑작스러운 설비 비효율, 연료 품질 변화, 공정 사고 등으로 인한 배출 급증 현상을 제때 파악하기 어렵다. 실제로 한국환경공단의 국가 온실가스 종합관리시스템(GIR)도 연간 보고를 기본으로 하고 있어 실시간 대응에는 한계가 있다 (한국환경공단 (2022)).

셋째, 데이터 신뢰성 문제도 제기된다. 일부 산업체는 측정기를 설치하지 않고 단순한 연료 투입량과 표준 배출계수에만 의존하기 때문에, 실제 공정 조건이나 장비 효율에 따른 편차를 반영할 수 없다. 특히 LNG 기지에서의 메탄 누출, 광산 장비의 불완전 연소 등은 단순 계산 방식으로는 잡히지 않는 배출원이다 (UNFCCC (2020)).

넷째, 기존 방식은 이상 상황을 조기에 탐지하지 못한다. 예를 들어 발전소 보일러의 연소 불완전, 시멘트 소성로의 과열, 항만 냉동시설의 과부하 운전은 단기적으로 배출을 크게 늘리지만, 계수 기반 방식은 이를 실시간으로 경고할 수 없다. 이로 인해 대응 시점이 늦어져 추가적인 에너지 낭비와 배출 증가가 발생한다 (Evans et al. (2018)).

이와 같이 기존 모니터링 체계는 공정별 분해능 부족, 집계 주기의 장기화, 데이터 신뢰성 저하, 이상 상황 탐지 지연이라는 한계를 가지고 있으며, 이는 삼척과 같이 다종 산업이 집적된 지역에서 더욱 큰 문제로 작용한다. 따라서 향후에는 딥러닝 기반의 실시간 모니터링 체계를 구축하여, 복잡한 공정 데이터를 실시간으로 분석하고 즉각적인 경고 체계를 마련하는 것이 필요하다.

2. 딥러닝 기반 모니터링의 구조

삼척시의 각 산업은 서로 다른 배출 특성과 운영 조건을 가지며, 따라서 통합적인 실시간 모니터링 시스템을 구축하기 위해서는 딥러닝 기반의 다층적 분석 구조가 필요하다. 이 구조는 크게 데이터 수집 및 전처리, 딥러닝 모델 학습 및 적용, 출력 및 시각화·경보 체계의 세 단계로 나눌 수 있다.

(1) 데이터 수집 및 전처리

발전소에서는 연료 투입량, 보일러 압력과 온도, 배기가스 내 산소·이산화탄소 농도, 터빈 부하율과 보조설비 전력 사용량이 주요 수집 항목이 된다. 시멘트 산업에서는 소성로 내부 온도와 압력, 연료 혼합비, 클링커 생산량, 배출가스 조성 등이 필수 데이터다. LNG 기지에서는 기화기 입출구 온도와 압력, 펌프 가동률, 냉열 방출량이 기록된다. 광산의 경우 대형 덤프트럭과 컨베이어 벨트의 연료 사용량, 주행 패턴, 적재량 정보가 핵심이며, 항만에서는 하

역 장비 전력 사용량, 선박 체류시간, 냉동·제빙 시설의 에너지 사용량 등이 주요 모니터링 대상이다. 이들 데이터는 센서 오차, 누락값, 계절적 변동이 존재하기 때문에 전처리 과정이 필수적이다. 결측치 보정, 이상치 제거, 단위 표준화, 시계열 정렬 등의 과정을 거쳐야 이후 모델 학습의 정확도를 높일 수 있다.

(2) 딥러닝 모델 학습 및 적용

삼척시의 다양한 산업 데이터를 효과적으로 분석하기 위해서는 복합적 모델링 접근이 필요하다. 시계열 특성이 강한 발전소, 시멘트, LNG 데이터에는 LSTM(Long Short-Term Memory)이나 GRU(Gated Recurrent Unit) 모델이 적합하다. 이들 모델은 과거 운전 데이터를 기반으로 향후 배출량 추세를 예측할 수 있으며, 특히 부하 변동이 심한 LNG 기지와 발전소에 효과적이다.

시멘트 소성로와 같이 공간적·시간적 패턴이 동시에 중요한 경우에는 CNN-LSTM 결합 모델이 적용될 수 있다. 이 모델은 센서로부터 얻은 다차원 데이터(온도, 압력, 가스 성분 등)에서 특징을 추출하고, 이를 시계열 구조로 학습해 공정 조건과 배출량 간의 복잡한 관계를 포착한다.

광산 장비와 항만 물류 데이터처럼 이산적 이벤트와 경로 데이터가 결합된 경우에는 Transformer 기반 시계열 모델이나 Graph Neural Network(GNN)가 적합하다. 예를 들어, 트럭 주행 경로와 연료 사용량 데이터를 그래프 구조로 모델링하면, 어떤 경로와 운행 조건이 비효율적 배출을 초래하는지를 실시간으로 분석할 수 있다.

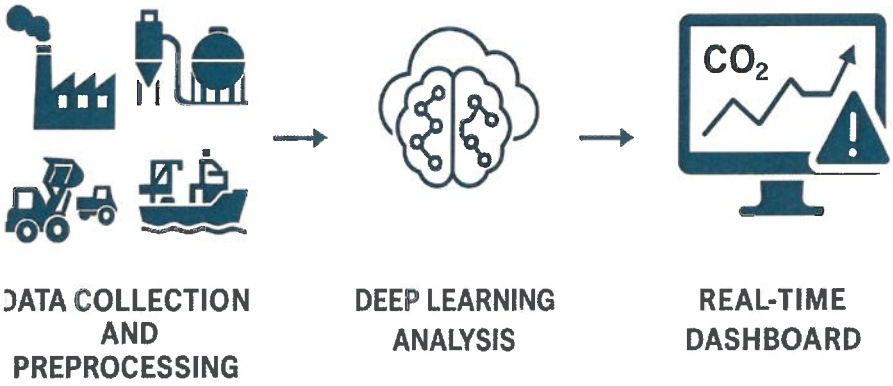
또한 Autoencoder 기반의 이상 탐지 모델을 활용하면 정상 상태를 학습한 후 갑작스러운 배출 증가, 장비 비효율, 누출 현상을 조기에 감지할 수 있다. 이는 특히 LNG 기지의 메탄 누출, 발전소 보일러의 연소 불완전, 항만 냉동 시설의 과부하 운전 등에서 실질적인 예방 효과를 낼 수 있다.

(3) 출력 및 시각화·경보 체계

딥러닝 모델의 분석 결과는 실시간 대시보드를 통해 운영자에게 제공된다. 발전소와 시멘트 공장에서는 분·초 단위 배출 추정치와 예측곡선이 제시되며, 일정 임계치를 초과할 경우 즉각 경보가 발생한다. LNG 기지에서는 기화 부하와 냉열 방출량을 기반으로 배출량과 효율성을 동시에 모니터링할 수 있고, 광산에서는 장비별 연료 사용 효율을 시각화하여 관리자가 비효율적 장비를 조기에 교체하거나 정비할 수 있다. 항만에서는 하역 장비 가동률과 전력 피크 부하를 실시간으로 표시해, 불필요한 가동을 줄이고 효율적 운영을 가능하게 한다.

시각화는 단순 수치 표기가 아니라, AI 기반 설명가능 모델(XAI)을 접목해 각 요인이 배출량

변화에 얼마나 기여했는지를 도표로 제시한다. 예컨대, 발전소의 특정 시점 배출량 증가가 보일러 연료 혼합비 40%, 터빈 부하율 30%, 보조설비 전력 사용 20%로 기여했다고 제시되면, 운영자는 즉각적으로 어떤 변수를 조정해야 하는지 파악할 수 있다.



[그림 6] 딥러닝 기반 실시간 탄소 모니터링 시스템 구조

3. 딥러닝 탄소 모니터링 시스템의 활용

딥러닝 기반 실시간 탄소 모니터링 시스템이 도입될 경우, 삼척시 산업 구조 전반에 걸쳐 다양한 기대효과를 얻을 수 있다. 첫째, 배출량 산정의 정확성이 크게 향상된다. 기존의 배출계수 방식은 연료 사용량과 평균값에 의존하기 때문에 실제 공정 조건에 따른 편차를 반영하지 못했으나, 딥러닝은 공정 데이터의 시계열 변동을 학습하여 실제 배출량을 더 정밀하게 추정할 수 있다. 국제에너지기구는 인공지능 기반 에너지 관리가 전통적 방식 대비 10~20% 수준의 정확도 개선을 가져올 수 있다고 분석한 바 있다.

둘째, 이상 상황에 대한 조기 탐지가 가능하다. 발전소 보일러의 불완전 연소, 시멘트 소성로의 과열, LNG 기지의 메탄 누출, 항만 냉동설비의 과부하 운전과 같은 돌발 상황은 단기간에 배출량을 급격히 증가시키지만, 기존 시스템은 이를 사후적으로만 확인할 수 있었다. 딥러닝 기반 이상 탐지 모델은 정상 상태를 학습한 후, 미세한 이상 신호를 빠르게 포착하여 운영자에게 실시간 경보를 제공한다. 구글 데이터센터의 사례에서도 유사한 방식으로 에너지 사용량을 15% 이상 줄이고 운영 안정성을 확보한 경험이 보고되었다 (Evans et al. (2018)).

셋째, 운영 효율성 개선과 비용 절감 효과가 기대된다. 예측된 배출량과 실시간 경보를 통해 운영자는 설비 조건을 조정하고, 불필요한 연료 낭비와 전력 소모를 줄일 수 있다. 시멘트 소성로와 분쇄 공정에서는 열소비와 전력 사용량을 최적화함으로써 에너지 비용을 5~15% 절감할 수 있다는 사례가 이미 다수 보고되고 있다 (Korre et al., (2022)).

이와 같이 딥러닝을 활용한 실시간 모니터링 시스템은 단순한 기술적 개선에 머무르지 않고, 산업 운영 효율화, 비용 절감, 지역 인재 양성이라는 다차원적 효과를 창출한다. 이는 삼척시가 탄소중립과 디지털 전환을 동시에 추진할 수 있는 실질적 수단으로서 전략적 가치가 크다.

3.5절 저탄소 데이터센터 유치

삼척시는 석탄화력발전소, LNG 기지, 시멘트 산업 등으로 대표되는 대규모 에너지·산업 인프라를 보유하고 있으나, 에너지 전환 정책으로 인한 발전소 가동률 저하와 산업 구조 변화로 상당한 유휴 전력이 발생하고 있다. 이러한 여건은 대규모 전력 수요를 필요로 하는 데이터센터를 유치하기에 유리한 조건을 제공한다. 특히 데이터센터는 안정적 전력 공급뿐 아니라 냉각 효율성 확보가 운영의 핵심 요건으로, 삼척의 유휴 자원은 저탄소형 데이터센터 운영에 직접적으로 기여할 수 있다.

1. 유휴전기 현황

삼척시에는 총 2.1GW 규모의 설비용량을 가진 삼척블루파워 화력발전소가 위치하고 있다. 그러나 이 발전소는 2024~2025년 상업운전에 들어간 이후 송전선로 건설 지연으로 인한 계통 제약에 직면하면서 가동률이 정상 수준에 미치지 못하고 있다. 여러 언론 보도와 업계 자료에 따르면 2025년 들어 삼척블루파워의 연간 가동률은 대체로 10%대, 많아도 15% 미만 수준에 머물고 있는 것으로 확인된다. 특히 2호기는 2025년 1월 1일 상업운전 개시 직후 송전망 제약으로 인해 가동이 중단되는 사례까지 발생하였다. 이러한 정황은 설비 용량에 비해 실제 발전량이 크게 미달하며, 상당한 규모의 유휴전력이 지역 내에 존재함을 보여준다. 단순히 환산할 경우 평균 출력은 약 210~315MW 수준에 머물렀고, 반대로 약 1.8~1.9GW에 해당하는 설비는 상시적으로 활용되지 못한 상태로 남아 있었다. 다만 이러한 유휴전력은 실제로 '남아도는 전기'라기보다 송전망 제약으로 인해 계통에 실어 보낼 수 없는 상태라는 점에서, '계통 제약형 유휴전력'이라고 규정하는 것이 타당하다.

2. 데이터센터 유치를 통한 유휴전기 해소

데이터센터는 24시간 안정적으로 전력을 공급받아야 하는 특성을 지니며, 초기에는 수십 메가와트(MW), 완공 이후에는 수백 MW에 이르는 전력 수요를 형성한다. 따라서 삼척의 유휴전력과 직접적으로 연계할 경우, 발전소 가동률을 끌어올리고 송전망 제약 문제를 동시에 완화할 수 있다. 특히 발전소와 데이터센터 간 직접 전력구매계약(PPA)을 체결한다면, 발전소는 안정적인 수요처를 확보하고, 데이터센터는 장기적 가격 안정성을 보장받을 수 있다.

더 나아가 데이터센터는 단순한 전력 수요처를 넘어 지역 전력망 운영의 완충장치 역할을 수행할 수 있다. 예측 불가능한 전력 수급 변동이 발생했을 때, 데이터센터는 AI 기반 부하 스케줄링이나 수요반응(DR) 프로그램을 통해 단기적으로 부하를 조정할 수 있으며, 이를 통해 전력망의 안정성이 높아진다. 이러한 구조는 유휴전력을 흡수하는 동시에, 전력망의 효율적 운영에도 기여하는 이점이 있다.

결과적으로 데이터센터 유치는 삼척의 유휴전력을 단순한 잉여로 남기지 않고, 지역 산업 전환과 연계된 전략적 자원으로 활용할 수 있는 효과적인 방안이다. 이는 삼척을 국가적 차원의 저탄소 디지털 전환 모델로 발전시키는 기반이 될 수 있다.

3. 저탄소 데이터센터 구축을 위한 해양심층수 활용방안

데이터센터 운영에서 전력 소비의 상당 부분은 냉각 설비에서 발생한다. 일반적으로 전체 소비전력의 30~40%가 냉각에 사용되며, 이는 데이터센터의 탄소 배출 강도를 높이는 주요 요인이다. 따라서 냉각 효율성 확보는 저탄소 데이터센터 구축의 핵심 과제라고 할 수 있다. 삼척은 동해안 해역에 위치하여 해양심층수를 풍부하게 활용할 수 있는 지리적 장점을 지니고 있다.

해양심층수는 수심 200m 이상의 깊은 바다에서 취수되는 물로, 연중 2~4℃의 낮고 안정적인 수온을 유지한다. 이 자원을 데이터센터 냉각에 활용하면, 기존 기계식 냉방 대비 50~80%의 냉각 에너지 절감 효과를 기대할 수 있으며, 냉매 사용에 따른 추가적인 환경 부담도 크게 줄일 수 있다. 노르웨이 피오르드 지역 등에서는 이미 해양심층수 또는 해수 활용 데이터센터가 운영되고 있으며, 이들 사례는 삼척에서도 유사한 모델을 적용할 수 있음을 보여준다.



[그림 7] 노르웨이 그린마운틴 데이터센터: 해양심층수를 활용한 저탄소 데이터센터 모델

구체적으로 삼척 연안에서 해양심층수를 취수하여 열교환기를 통해 데이터센터 서버실 냉각

에 활용하고, 이후 방출수를 해양으로 환류하는 방식이 설계될 수 있다. 이 과정에서 환경 영향을 최소화하기 위해 방출수의 온도 상승을 7℃ 이내로 제한하거나, 다중 방류구를 설치하여 해양 생태계의 변화 가능성을 줄이는 기술적 조치가 필요하다. 또한 AI 기반 냉각 제어 시스템을 적용하면, 실시간으로 서버 부하, 외기 조건, 심층수 유량을 종합적으로 고려하여 최적의 냉각 운영을 설계할 수 있다. 이를 통해 단순한 심층수 활용을 넘어, **저탄소·지능형 데이터센터** 라는 차별화된 모델을 구축할 수 있다. 결국 삼척의 해양심층수는 데이터센터 냉각에 있어 천연의 최적 자원으로, 에너지 절감과 탄소 배출 저감이라는 두 가지 효과를 동시에 실현할 수 있다. 이 자원을 전략적으로 활용한다면, 삼척은 단순한 데이터센터 집적지가 아니라, 국내 최초의 해양 기반 저탄소 데이터센터 허브로 발전할 수 있는 가능성을 지니고 있다.

4장 인공지능 기술 연계 정책모델 정리

4.1절 탄소중립형 산업단지 모델 검토

삼척시의 탄소중립 달성은 개별 기업의 설비 개선이나 단일 기술 도입만으로는 달성하기 어렵다. 발전소, 시멘트, LNG, 광산, 항만 등 복합 산업 구조를 가진 만큼, 이들을 묶어 하나의 통합 단지로 관리하고, 단지 차원에서 에너지 효율과 배출 저감을 동시에 달성할 수 있는 정책적 모델이 필요하다. 따라서 삼척시가 지향해야 할 방향은 "AI 기반 탄소중립형 산업단지"로의 전환이다. 이 모델은 단순한 기술 적용을 넘어, 제도·거버넌스·산업 생태계를 포괄하는 정책적 틀을 갖추어야 한다.

우선 산업단지 단위의 배출 총량 관리가 핵심이다. 현재 탄소 배출 관리체계는 개별 기업 단위로 분절되어 있으며, 기업 간 배출권 거래는 국가 단위에서만 제한적으로 허용된다. 그러나 삼척시와 같이 대규모 에너지 집약 산업이 밀집된 지역에서는 산업단지 단위의 총량을 설정하고, 내부적으로 배출 감축을 유연하게 조정할 수 있는 제도가 필요하다. 이를 위해 시는 「삼척시 탄소중립 산업단지 운영 및 지원 조례」(가칭)를 제정할 수 있다. 이 조례에는 산업단지를 하나의 관리 단위로 지정하고, 단지 내 각 기업이 배출량을 의무적으로 보고하도록 하며, AI 기반 플랫폼이 자동으로 총량을 집계하고 분석하여 감축 이행 상황을 관리하는 내용이 포함된다.

조항 번호	조문(안)
제1조(목적)	이 조례는 삼척시 내 산업단지를 대상으로 인공지능 기반의 에너지·탄소 관리 체계를 구축하고, 탄소중립을 실현하기 위한 행정적·재정적 지원 근거를 마련함을 목적으로 한다.
제2조(정의)	① "탄소중립 산업단지"란 삼척시장이 지정한 산업단지로서, AI 기반 에너지·배출 통합관리 시스템을 운영하는 단지를 말한다.② "순환에너지"란 발전소, 시멘트, LNG, 항만 등에서 발생하는 폐열·냉열·부산물을 재활용하여 에너지로 사용하는 것을 말한다.③ "AI 에너지 플랫폼"이란 산업단지 내 에너지·배출 데이터를 수집·분석·관리하는 시스템을 말한다.
제3조(지정)	① 시장은 삼척시 관내 산업단지 중 탄소중립형 전환이 필요하다고 인정되는 단지를 "탄소중립 산업단지"로 지정할 수 있다.② 지정 기간, 관리 범위 및 절차는 규칙으로 정한다.
제4조(배출 총량 관리)	① 시장은 탄소중립 산업단지별 연간 온실가스 배출 총량 목표를 설정한다.② 단지 내 입주기업은 에너지 사용량 및 배출 데이터를 시장에게 의무적으로 보고해야 한다.③ 보고된 자료는 AI 에너지 플랫폼을 통해 분석되며, 기업별 감축 기여도 산출에 활용한다.

제5조(데이터 제공 및 관리)	① 단지 내 기업은 일정 규모 이상의 에너지·배출 데이터를 AI 에너지 플랫폼에 제출해야 한다.② 데이터 제공 기업에는 지방세 감면, 녹색금융 우선지원 등 인센티브를 부여할 수 있다.
제6조(순환에너지 활용 지원)	① 시장은 LNG 냉열, 발전소 폐열, 시멘트 소성로 폐열 등 순환에너지 활용 프로젝트를 지정·지원할 수 있다.② 지정 프로젝트는 행정적 지원, 보조금, 탄소 저감성과 인증을 받을 수 있다.
제7조(추진위원회 설치)	① 삼척시장은 "삼척시 탄소중립 산업단지 추진위원회"(이하 위원회)를 설치한다. ② 위원회는 시, 기업, 연구기관, 시민대표로 구성하며, 산업단지 탄소중립 추진계획 수립과 성과 점검에 관한 사항을 심의·의결한다.③ 위원회 운영에 필요한 사항은 규칙으로 정한다.
제8조(재정 지원)	시장은 탄소중립 산업단지의 지정, AI 플랫폼 운영, 순환에너지 활용 프로젝트 추진 등에 필요한 예산을 지원할 수 있다.
제9조(성과 보고 및 공개)	① 시장은 매 회계연도 종료 후 탄소중립 산업단지별 감축 성과를 종합하여 성과보고서를 작성해야 한다.② 성과보고서는 시민에게 공개하여 정책 투명성을 확보한다.
제10조(부칙)	이 조례는 공포한 날부터 시행한다.

표 5. 「삼척시 탄소중립 산업단지 운영 및 지원 조례」(안)

둘째, AI 에너지 관리 플랫폼을 산업단지 운영의 필수 인프라로 제도화할 필요가 있다. 전력, 열, 연료 사용 데이터를 실시간으로 수집·분석하는 시스템을 구축하고, 이를 행정 보고 체계와 연계해 정책 결정에 직접 반영하는 것이다. 조례에는 참여 기업이 일정 규모 이상의 에너지 데이터를 의무적으로 제공하도록 명시하고, 데이터 제공에 따른 인센티브(지방세 감면, R&D 지원 우선권 등)를 규정할 수 있다. 이를 통해 기업들은 단순한 규제 수용자가 아니라, 플랫폼을 통해 효율 개선과 비용 절감 혜택을 동시에 얻을 수 있게 된다.

셋째, 순환형 에너지 활용 구조를 정책적으로 뒷받침해야 한다. 발전소 보일러 폐열, LNG 냉열, 시멘트 소성로 폐열 등은 지금까지는 버려지는 에너지였지만, AI 기반 수요 매칭 기술과 결합하면 데이터센터 냉각, 항만 냉동·제빙, 지역 난방 등으로 재활용할 수 있다. 이를 제도화하기 위해 조례에는 "순환에너지 실증 프로젝트 지정제"를 포함시켜, 민간 기업이 신청할 경우 시가 행정 지원과 보조금을 제공하도록 규정할 수 있다. 동시에 프로젝트 성과에 따라 탄소 저감분을 인정해, 국가 배출권 거래제(K-ETS)와 연계되는 방식도 검토할 수 있다.

넷째, 거버넌스의 제도화가 필요하다. 단순한 협의체 수준을 넘어 법적 근거를 갖춘 "삼척시 탄소중립 산업단지 추진위원회"를 설치하여, 시, 기업, 연구기관, 시민대표가 함께 의사결정에 참여할 수 있도록 하는 것이 중요하다. 조례에는 위원회의 구성, 권한, 의무를 명확히 규정하고, 매년 "탄소중립 성과 보고서"를 의무적으로 발간하도록 규정할 수 있다. 이러한 보고서는 시민들에게 공개되며, 투명성을 보장하고 정책 수용성을 높이는 역할을 한다.

이러한 정책 모델이 시행된다면, 삼척시는 전국 최초로 **산업단지 단위 탄소중립 관리 모델**을 제도화한 사례가 될 것이다. 이는 단순히 기술적 성과를 넘어, 지방정부가 지역 단위에서 탄소중립을 주도할 수 있다는 선례를 만드는 의미가 있다. 나아가 중앙정부의 탄소중립 로드맵과도 정합성을 갖추어, 향후 다른 산업도시로 확산될 수 있는 제도적 기반이 될 수 있다.

4.2절 스마트그리드 기반 에너지 관리체계 적용

삼척시는 전통적으로 대규모 화력발전소와 송전망 인프라를 보유하고 있으나, 탈석탄 정책과 재생에너지 확대 정책이 동시에 진행되면서 계통 안정성 문제가 점차 중요한 과제로 부각되고 있다. 동시에 데이터센터와 같은 대규모 신규 전력 수요처의 유치는 전력망의 구조적 변화를 요구한다. 이러한 조건은 기존의 중앙집중적 전력 운영 방식만으로는 대응하기 어려우며, 삼척시 차원에서 스마트그리드 기반의 지역형 에너지 관리체계를 도입해야 하는 정책적 필요성을 제기한다.

국가/도시	주요 내용	시사점
일본 요코하마 스마트시티 프로젝트	태양광·풍력·배터리와 가정·산업 수요를 통합 관리, AI 기반 부하예측 시스템 적용	대규모 도시 차원에서 재생에너지와 수요반응 프로그램이 결합 가능함을 입증
덴마크 오르후스 스마트그리드	해상풍력 발전과 도심 수요를 연계, 데이터 기반 계통 안정화 실증	재생에너지 비중이 높은 환경에서도 지역 차원 스마트그리드로 계통 안정성 확보 가능
미국 캘리포니아 DR 프로그램	대규모 수요반응 제도 운영, AI 알고리즘으로 참여자별 부하 조정 자동화	피크 수요를 10% 이상 절감, 산업계 참여 유인을 정책적으로 마련한 사례
독일 에너지 전환 클러스터(NRW)	산업단지 단위의 분산자원 통합, 기업 간 전력·배출량 공유 시스템 구축	산업단지 중심의 스마트그리드 모델, 삼척 적용 가능성과 유사성 높음

표 6. 해외 스마트그리드 실증 사례

스마트그리드는 단순한 전력계통의 디지털화가 아니라, 분산자원 관리, 수요반응 프로그램, AI 기반 부하 예측을 통합한 지능형 운영 체계이다. 삼척에 적용될 경우, 첫째, 재생에너지 변동성 대응이 가능해진다. 동해안 지역은 풍력·태양광 발전 자원이 풍부하나, 출력 변동성이 크다는 특성이 있다. AI 기반 부하 예측과 분산자원 최적화는 이러한 변동성을 완화하고, 전력망의 신뢰성을 유지하는 역할을 한다. 둘째, 대규모 전력 수요처 연계를 원활히 한다. 데이터센터, 시멘트 공장, 항만과 같은 산업체는 순간 부하가 크고 변동성이 높지만, 스마트그리

드를 통해 피크 부하를 조정하면 전력 공급의 안정성이 보장된다. 셋째, 지역 전력 자율성 확대라는 효과도 있다. 중앙 전력망 제약으로 인해 발생하는 유휴전력 문제를 지역 내에서 자체적으로 조정할 수 있는 기반이 마련되며, 이는 지역 단위 전력계획 수립의 제도적 근거로도 작용할 수 있다.

구분	주요 내용	제도적 장치
단기 (1~3년)	- AI 기반 부하 예측 시스템 시범 구축 - 분산자원 데이터 통합 플랫폼 설계- 수요반응 프로그램 설계 및 시범 참여 기업 모집	「스마트그리드 운영 및 지원 조례」 제정, 데이터 표준화 규정 마련
중기 (3~7년)	- 대규모 산업체·데이터센터 참여 의무화- ESS·재생에너지 연계형 분산자원 관리 본격화- 수요반응 참여 기업에 세제·금융 인센티브 제공	위원회 설치 및 성과평가 제도화
장기 (7년 이후)	- 삼척시를 동해안권 스마트그리드 특별구역으로 지정- 중앙-지자체 공동 전력계획 체계 정착- 국가 스마트그리드 확산 모델로 자리매김	법령 개정 연계, 산업단지 차원의 전력 자율권 확대

표 7. 삼척시 스마트그리드 추진전략(시기별)

이러한 맥락에서 삼척시에는 「스마트그리드 운영 및 지원 조례(가칭)」의 제정이 필요하다. 조례에는 산업단지·발전소·데이터센터를 대상으로 한 AI 기반 부하 예측 의무화, 분산자원 관리체계 참여 규정, 수요반응 프로그램 도입 및 인센티브 제공, 그리고 데이터 허브 설립 및 성과 공개 의무가 포함될 수 있다. 또한 "스마트그리드 운영위원회"를 설치하여 지자체·기업·전력기관·시민이 공동으로 운영하는 구조를 마련하면 정책적 지속성이 보장된다.

스마트그리드 정책이 본격적으로 작동하면 삼척시는 재생에너지 변동성을 최소화하면서도 대규모 전력 수요를 안정적으로 흡수할 수 있는 구조로 전환될 것이다. 나아가 이러한 경험은 국가 차원에서 다른 산업도시로 확산할 수 있는 모델이 될 것이며, 삼척이 동해안권 스마트그리드 특화 지역으로 지정될 근거가 될 수 있다.

4.3절 삼척시 특화형 AI 기반 탄소저감 시나리오 설계

삼척시는 발전, 시멘트, LNG, 광산, 항만이 밀집된 국내에서도 보기 드문 복합 산업도시이다. 따라서 탄소저감 전략도 전국 평균적인 접근이 아니라, 지역의 특수성을 반영한 맞춤형 시나리오가 필요하다. 특히 인공지능 기술을 결합한 접근은 단순한 배출 모니터링을 넘어, 실시간 최적화·예측·제어를 가능하게 함으로써 감축 효과를 극대화할 수 있다. 본 절에서는 삼척시 산업 구조를 고려해 세 가지 시나리오를 제안한다.

[시나리오 1] 유휴전력 활용형 저탄소 데이터센터 시나리오

이 시나리오는 석탄화력발전소의 낮은 가동률로 발생하는 유휴전력을 대규모 데이터센터 운영에 직접 연계하는 방안이다. 현재 삼척블루파워는 2.1GW 설비를 보유하고 있으나 송전망 제약으로 가동률이 10~15% 수준에 머무르고 있다. 이를 활용해 발전소 인근에 데이터센터를 유치하고, 전용 송배전망을 구축하면 계통 제약 문제를 완화할 수 있다.

인공지능은 데이터센터 전력 운영의 최적화를 담당한다. AI 부하 예측 모델을 통해 전력 수요 패턴을 분석하고, ESS(에너지저장장치) 운영 알고리즘과 결합하여 수요-공급 불일치를 최소화한다. 또한 냉각 부문에서는 해양심층수·LNG 냉열을 활용하고, AI 제어로 냉각 효율을 극대화해 탄소 배출 강도를 기존 대비 30~40% 이상 낮출 수 있다.

이 시나리오는 "유휴자원의 전략적 활용"이라는 점에서 삼척의 가장 현실적이고 차별화된 모델이 될 수 있으며, 단기(1~3년) 내 시범사업 추진이 가능하다.

[시나리오 2] 시멘트 산업 AI 최적화·순환자원 시나리오

삼척은 국내 주요 시멘트 생산 거점 중 하나로, 시멘트 산업은 원료 탈탄산 반응과 연료 연소로 인해 배출 강도가 매우 높다(약 0.6~0.8 tCO_2 /t 클링커). 따라서 시멘트 공정의 AI 기반 최적화가 지역 탄소중립의 핵심 과제가 된다.

이 시나리오는 시멘트 소성로의 온도, 압력, 연료·원료 배합 데이터를 딥러닝 모델로 학습해, 연료 사용량과 배출량 간 최적 조합을 도출하는 것이다. 예컨대 강화학습(Reinforcement Learning)을 적용하면 소성로 운전을 시뮬레이션해 연료 효율을 극대화하는 제어전략을 학습할 수 있다. 동시에 폐열 회수 시스템을 AI로 제어해 산업단지 내 데이터센터·항만 냉동시설에 공급하면, 순환형 저탄소 구조를 형성할 수 있다.

이 시나리오는 "에너지 집약적 공정 최적화 + 자원 순환"이라는 이중 전략으로, 삼척의 산업단지 전체의 배출 강도를 획기적으로 낮출 수 있다. 중기(3~7년) 내 기술 상용화와 실증 확대가 가능하다.

[시나리오 3] 항만·광산 저탄소 물류 시나리오

삼척 항만과 광산은 지역 경제에 중요한 축이지만, 동시에 운송·하역 과정에서 상당한 에너지 소비와 탄소 배출이 발생한다. 광산 덤프트럭, 항만 하역 장비는 대부분 디젤 기반이며, 항만 냉동·제빙 시설은 전력 피크 부하를 유발한다.

이 시나리오는 인공지능을 활용한 **저탄소 물류 최적화**에 중점을 둔다. 광산 부문에서는 트럭 운행 경로, 적재량, 연료 사용 데이터를 AI로 분석해 주행 효율을 높이고, 전동화 전환 우선순위를 도출한다. 항만에서는 하역 장비와 냉동시설의 전력 사용 패턴을 AI 기반 수요반응 프로그램에 연계해 피크 부하를 완화한다. 또한 항만-산업단지-데이터센터 간 물류 흐름을 AI로 매칭하여 불필요한 운송을 줄이고, 연료 소모를 최소화한다.

이 시나리오는 "에너지 효율적 물류·전동화 전환"이라는 전략으로, 장기(7년 이상)에 걸쳐 점진적으로 실현 가능하다. 특히 삼척항이 북방물류와 연결될 경우, 국제 경쟁력을 확보하는 데 중요한 기반이 될 수 있다.

이러한 시나리오를 종합적으로 추진하면, 삼척시는 개별 사업장이 아닌 지역 전체를 하나의 탄소중립 산업 생태계로 재편할 수 있으며, 이는 국가 탄소중립 전략과도 정합성을 가지는 정책모델로 자리잡을 것이다.

4.4절 데이터센터 및 산업시설 AI 적용 로드맵(단기~중기)

삼척시의 산업 구조와 전력 인프라는 기존 화력발전, 시멘트, LNG, 광산, 항만을 중심으로 형성되어 있으며, 최근에는 유휴전력 활용과 데이터센터 유치가 새로운 전략 축으로 부상하고 있다. 따라서 향후 AI 기반 탄소저감 정책은 **데이터센터**와 **기존 산업시설**을 모두 포괄하는 이중적 로드맵을 요구한다. 본 절에서는 단기(0~12개월)와 중기(12~36개월)로 나누어, 실행 가능한 순서와 제도적 장치를 중심으로 정책적 로드맵을 제안한다.

1. 추진 방향

AI 적용 로드맵은 단순한 기술 도입 차원을 넘어, **데이터 신뢰도 확보 → AI 기반 모니터링 및 진단 → 최적화 및 제어 고도화 → 정책 KPI와 연계**라는 단계적 구조를 가진다. 특히 삼척시의 경우, 유휴전력과 LNG 냉열, 해양심층수와 같은 특수 자원을 활용할 수 있으므로, 이를 **AI 제어 및 스마트그리드 운영과 통합**하는 것이 핵심이다.

2. 단기 전략 (0~12개월)

단기에는 "기반 구축과 초기 성과 도출"에 집중한다. 첫째, 발전소, 시멘트, LNG 기지, 항만 등 주요 산업시설의 계측·센서 체계를 점검하고, 데이터 표준화를 선행한다. 둘째, 데이터센터는 전력·냉각 계통을 실시간으로 가시화하고, 기본적인 AI 모니터링 알고리즘(부하 예측, 이상 탐지, 냉각 최적화)을 적용한다. 셋째, 산업시설에서는 공정별 에너지 진단과 세트포인트 최적화를 실시하여 5~10% 수준의 에너지 효율 개선을 조기에 실현한다. 넷째, 지자체 차원에서는 AI 성과를 정책 KPI로 연계하는 체계를 마련하여, 감축 성과가 행정 인센티브와 직결되도록 해야 한다.

이 시기에는 "성과 체감"이 중요하다. 데이터센터에서는 PUE(Power Usage Effectiveness)를 1.35 수준까지 낮추고, 산업시설에서는 이상 상황의 조기 탐지와 공정 효율 개선으로 에너지

절감 효과를 주민과 기업이 확인할 수 있어야 한다.

3. 중기 전략 (12~36개월)

중기에는 "확장과 제도화"가 핵심이다. 첫째, 파일럿 단계에서 검증된 AI 시스템을 산업단지 전체로 확대 적용하고, 모든 공정을 디지털 트윈 및 AI 제어와 연계한다. 둘째, 데이터센터는 해양심층수와 LNG 냉열을 본격적으로 활용하는 저탄소 냉각 시스템을 구축하고, AI 기반 MPC(Model Predictive Control)와 RL(Reinforcement Learning) 제어로 운영 효율을 극대화한다. 셋째, 스마트그리드와 연계한 수요반응(DR) 프로그램을 제도화하여, 산업체·데이터센터·항만이 전력망 안정성 확보에 직접 참여할 수 있도록 한다. 넷째, 지자체와 중앙정부가 함께 성과를 평가하고, 이를 배출권 거래제(K-ETS)나 지방세 감면과 같은 제도적 장치와 연결한다.

이 단계의 목표는 데이터센터의 PUE를 1.20 수준까지 낮추고, 시멘트·발전 공정에서 집약도를 15% 이상 개선하며, 항만·광산 부문에서는 연료 소비와 피크 부하를 줄여 장기적 감축 구조를 확립하는 것이다.

4. 리스크 관리 및 재원 조달

AI 기반 탄소중립 전략을 삼척시 산업 전반에 적용하는 과정에서는 기술적 불확실성, 제도적 공백, 보안 위협, 주민 수용성 문제 등 다양한 리스크가 발생할 수 있다. 동시에 이 프로젝트는 수년간 대규모 투자가 요구되므로, 안정적인 재원 조달과 합리적 투자 구조 없이는 지속성이 담보되지 않는다. 따라서 리스크 관리 체계와 투자 구조는 독립된 과제가 아니라, 서로 맞물려 운영되어야 한다.

첫째, **데이터 품질과 안전성**은 가장 기본적인 리스크다. 산업 현장의 센서 오작동, 데이터 결측, 통신 지연은 AI 의사결정 오류로 이어질 수 있다. 이를 방치하면 성과 기반 투자 구조의 신뢰가 무너진다. 따라서 투자 집행은 반드시 "데이터 품질 게이트"를 통과한 후 단계적으로 진행되어야 한다. 즉, 데이터 신뢰도가 확보된 경우에만 다음 투자 단계가 개시되는 방식으로 자금 배분을 설계해야 한다.

둘째, **법·보안 리스크**가 존재한다. AI 제어가 OT(산업제어시스템)에 직접 개입하는 경우, 사이버 공격과 안전사고의 위험이 뒤따른다. 이를 완화하기 위해 국제 표준(ISO 27001, IEC 62443 등)에 맞춘 사이버보안 체계가 초기 설계 단계부터 포함되어야 하며, 인프라 투자 예산의 일정 비율(예: 8~10%)은 반드시 보안·감사·훈련에 배정해야 한다. 이러한 법·보안 준수 비용은 단순 지출이 아니라, 전체 프로젝트의 투자 안정성을 담보하는 보험 역할을 한다.

셋째, **조직적·사회적 리스크**도 고려해야 한다. 새로운 AI 시스템 도입은 기존 운영방식과 충돌할 수 있고, 노동집약적 공정에서는 인력 재배치 문제가 발생할 수 있다. 이에 대한 대응은 교육·훈련 프로그램을 투자 구조에 포함하는 것이다. 즉, 전체 예산의 일정 비율을 인력 전환·교육·변화관리로 배분하

고, 이를 조례나 협약으로 제도화함으로써 사회적 저항을 최소화한다.

넷째, **재원 조달 구조**는 다원화가 필요하다. 지자체와 공공 예산만으로는 장기간 프로젝트를 유지하기 어렵다. 따라서 기본 재원은 지방정부·중앙정부 지원금과 정책 펀드에서 마련하되, 민간 투자와 녹색 금융을 결합해야 한다. 특히 AI 기반 탄소저감 프로젝트는 "성과 기반 정산(Pay-for-Performance)" 구조가 적합하다. 예컨대, 특정 시멘트 라인에서 에너지 집약도가 10% 개선되면 절감된 비용과 배출권 가치를 기준으로 투자자가 수익을 회수하는 방식이다. 이는 리스크를 성과 공유 구조로 전환해, 공공-민간 협력의 지속성을 강화한다.

5. 정책적 함의

이 로드맵은 단기에는 **기반을 마련하고 조기 성과를 도출**함으로써 정책 신뢰를 확보하고, 중기에는 **확산과 제도화를 통해 구조적 전환**을 이끌어내는 전략적 구조를 가진다. 특히 삼척시의 경우, 데이터센터 유치와 산업단지 AI화가 동시에 추진될 수 있으므로, 두 축을 유기적으로 결합해야 한다. 유휴전력은 데이터센터 운영에 활용되고, LNG 냉열은 데이터센터 냉각에 사용되며, 시멘트·발전 폐열은 항만과 연계된다. 이처럼 "AI-데이터-자원-정책"을 잇는 통합형 구조는 삼척시가 국가 차원의 탄소중립 테스트베드로 자리매김할 수 있는 근거가 될 것이다.

구분	단기 (0~12개월)	중기 (12~36개월)
데이터센터	- 전력·냉각 실시간 모니터링- 기본 AI 예측·이상탐지 적용- PUE 1.35 달성	- 해양심층수·LNG 냉열 본격 활용 - MPC·RL 기반 냉각 제어 - PUE 1.20 수준 확보
산업시설	- 센서 진단 및 데이터 표준화- 공정별 진단·세트포인트 최적화- 에너지 효율 5~10% 개선	- 전 공정 AI 제어·디지털 트윈 확장 - 집약도 15% 개선 목표 - 항만·광산 연료 절감 및 피크 완화
정책·제도	- 조례 기반 KPI-인센티브 연계- 시범 성과 평가 체계 마련	- DR 프로그램 제도화 - 배출권·세제 연계 성과관리 - 스마트그리드 특별구역 지정 추진

표 8. 삼척시 산업별 AI 적용 로드맵 요약

5장. 결론

본 연구는 삼척시의 특수한 산업 구조와 에너지 전환 과제를 진단하고, 인공지능(AI) 기술을 활용한 탄소중립 달성 전략을 제안하는 것을 목적으로 수행되었다. 삼척은 발전, 시멘트, LNG, 광산, 항만이 공존하는 국내에서도 독특한 산업지대를 형성하고 있으며, 이는 국가 평균보다 높은 에너지 집약도와 탄소배출 강도를 보여준다. 동시에 석탄화력발전소 가동률 저하로 발생하는 유휴전력, LNG 냉열, 해양심층수와 같은 특수 자원은 오히려 AI 기반 탄소중립 실증의 기회 요인이 될 수 있다.

연구 과정에서 국내외 사례를 조사한 결과, 해외에서는 스마트그리드, 저탄소 데이터센터, 산업단지 단위의 에너지 관리 모델이 이미 실증되고 있음을 확인하였다. 일본 요코하마, 덴마크 오르후스, 독일 NRW 등은 지역 단위에서 재생에너지와 AI 기반 관리 체계를 통합하여 계통 안정성과 감축 효과를 동시에 확보하였다. 이러한 사례는 삼척이 산업·에너지 구조 전환을 추진하는 데 중요한 참고점이 된다.

이를 토대로 본 보고서는 삼척시를 대상으로 다음과 같은 적용 방안을 제시하였다. 첫째, 유휴전력을 활용한 저탄소 데이터센터 유치 및 운영 전략. 둘째, 시멘트·발전·LNG 공정에 대한 AI 기반 최적화와 순환에너지 활용 방안. 셋째, 항만·광산 부문에서의 AI 물류 최적화와 전동화 전략. 넷째, 산업단지 단위의 배출 총량 관리제, 스마트그리드 기반 전력 운영, 지역 거버넌스 제도화를 포함하는 정책적 프레임워크이다. 특히 각 산업 분야별로 제시된 시나리오는 단기적으로 가시적 성과를 확보하고, 중기적으로 제도화를 통해 구조적 전환을 이끌어내는 단계적 접근으로 설계되었다.

정책적 제언의 핵심은 **AI-탄소중립 융합 모델을 삼척시에 실증적으로 적용하여 국가적 테스트베드로 육성하는 것**이다. 이를 위해 조례 제정, 배출 총량 관리, 스마트그리드 운영, 인센티브 설계와 같은 제도적 장치가 반드시 뒷받침되어야 하며, 공공-민간-대학의 공동 거버넌스를 통해 실행력을 확보해야 한다. 동시에 재원 조달은 성과 기반 정산(Pay-for-Performance) 구조로 설계하여, 기술적 불확실성과 재정적 부담을 분산시키는 것이 바람직하다.

결론적으로 삼척시는 국가적 탄소중립 전략을 뒷받침할 수 있는 **AI 기반 지역 전환 모델**로 자리매김할 수 있다. 본 연구에서 제안된 방안이 단계적으로 추진된다면, 삼척은 단순히 배출을 줄이는 수준을 넘어, 지역 산업의 경쟁력을 높이고, 디지털·에너지 융합형 산업 생태계를 선도하는 도시로 도약할 것이다. 나아가 삼척의 경험은 강원특별자치도와 대한민국 전체의 탄소중립 정책에 확산 가능한 실증 모델이 될 것이다.

참고문헌

[1] (UNFCCC, 2020) Republic of Korea: 2050 Carbon Neutral Strategy (LT-LEDS).

[2] (Agora Energiewende, 2022) 2050 Climate Neutrality Roadmap for Korea (K-MAP 2.0).

[3] (IEA, 2024) Empowering urban energy transitions: Smart cities and smart grids.

[4] (European Commission, 2025) EU mission: Climate-Neutral and Smart Cities. Horizon Europe.

[5] (DOE, 2023) Industrial Demonstrations Program.

[6] (DOE, 2023) Smart Cities Technology Roadmap.

[7] (METI, 2023) Green Transformation (GX) Strategy for Industrial Parks.

[8] (Hydrogen Insight, 2025) E.ON puts green hydrogen on the back burner as it exits 20MW project and pipeline development.

[9] (Siemens Energy, 2024) Renewable hydrogen for Germany's heavy industry.

[10] (BNetzA, 2024) Approval of the hydrogen core network is the starting block for Germany's nationwide hydrogen infrastructure.

[11] (DEPA, 2024) DEPA Commerce announces the commencement of construction for Greece's first green hydrogen refueling station.

[12] (HDB, 2021) Just Transition Loans Fund.

[13] (East CO2ast Cluster, 2021) East Coast Cluster selected as one of the UK's first two carbon capture and storage projects.

[14] (BP, 2023) H2Teesside.

[15] (GOV.UK, 2024) The Net Zero Teesside Project development consent decision announced.

[16] (Northern Endurance Partnership, 2024) Greenlights UK's first CO_2 transportation and storage infrastructure project.

[17] (Google, 2019) Why we're putting 1.6 million solar panels in Tennessee and Alabama.

[18] (Reuters, 2025) Google announces Tennessee site for small modular nuclear reactor.

[19] (Utility Dive, 2025) Hydrogen is transforming a tiny Utah coal town. Could its success hold lessons for similar communities?

[20] (ENR, 2025) Coal-Fired Power Plant Will Gain New Life with Green Hydrogen.

[21] (City of Kitakyushu, 2024) Kitakyushu City's Efforts toward Decarbonization.

[22] (Envision, 2025) The world's first net zero industrial park.

[23] (Ordos, 2025) Ordos leads green energy transition with innovation.

[24] (Energy Digital, 2023) Google's journey towards carbon-free data centres.

[25] (DeepMind, 2016) DeepMind AI reduces Google data centre cooling bill by 40%.

[26] (Data Center Dynamics, 2024) Google launches heat recovery project at data center in Hamina, Finland.

[27] (The Guardian, 2016) Google AI to cut data centre energy use by 15 per cent.

[28] (Google Blog, 2020) Our data centers now work harder when the sun shines and wind blows.

[29] (Microsoft Datacenters, 2024) Powering sustainable transformation.

[30] (Microsoft, 2024) Sustainable by design: Next generation datacenters consume zero water for cooling.

[31] (Meta, 2024) Sustainability - Data Centers.

[32] (WIRED, 2023) What Happens When Facebook Heats Your Home.

[33] (Enel Green Power, 2019) Facebook's Sarpy data center powered by renewable energy.

[34] (InfoQ, 2024) Meta Optimizes Data Center Sustainability with Reinforcement Learning.

[35] (Oracle, 2024) Renewable Energy Guidance - Oracle Cloud.

[36] (NTT DATA, 2025) Planet positive.

[37] (NTT, 2023) Green Nexcenter - Sustainable data center services.

[38] (NTT Group, 2025) Optimized workload allocation with IOWN between remote data centers.

[39] (대한민국, 2021) 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법. 법률 제30517호.

[40] (산업통상자원부·대한민국 정책브리핑, 2023) 스마트그린산단 정책 소개.

[41] (뉴스줌, 2025) 산업단지 AI 전환 통해 제조업 핵심 거점으로… 스마트그린산단 10곳 1400억 지원.

[42] (산업통상자원부, 2023) 분산에너지 활성화 특별법. 제19437호.

[43] (산업통상자원부, 2025) 데이터센터 지역 분산 정책 관련 발표.

[44] (뉴시스, 2024) 강원 수열에너지 융복합 클러스터 데이터센터 유치설명회.

[45] (충북도정소식, 2024) 청주 오창, 대한민국 첨단산업 중심 도약.

[46] (정책브리핑, 2021) 한국판 뉴딜.

[47] (정책브리핑, 2024) 수소특화단지로 동해·삼척과 포항을 지정.

[48] (매일경제, 2023) '데이터센터' 기선 제압한 네이버의 고민.

[49] (MBC 강원영동, 2025) 발전소 부지에 데이터센터 집중 유치 '손 잡았다'.

[50] (강원일보, 2023) 강원 데이터센터 설립 수요 폭증… 원전 3개 규모 전력 사용 예고.

[51] (ZDNet Korea, 2023) 데이터센터 재난관리 의무 대상 포함.

[52] (네이버, 2023) 데이터센터 각 세종 LEED 플래티넘 인증.

[53] (EdgeConnex, 2024) Making meaningful gains towards greener data centres.

[54] (Data Center Dynamics, 2023) Germany to pass Energy Efficiency Act demanding heat reuse in data centers.

[55] (한국경제신문, 2025) 수소특화단지 유치戰 뛰어든 전국 지자체.

[56] (한국에너지기술연구원, 2024) 국내 연구진, AI로 '탄소중립 에너지 도시' 구현 방안 제시.

[57] (에너지경제신문, 2024) KIER, 시멘트 산업 CCU 실증 및 에너지 전환 연구 확대.

[58] (일렉타임스, 2025) 한전, VPP-DSO 연계 기술 표준 첫 공개.

[59] (서울와이어, 2025) 한전, 분산에너지 통합발전소 플랫폼 표준안 공청회.

[60] (동아사이언스, 2020) ETRI-SKT, 인공지능 반도체 '엑스피' 개발.

[61] (ZDNet Korea, 2024) ETRI, 데이터센터 AIOps 플랫폼 실증 추진.

[62] (ETNews, 2025) 데이터얼라이언스, ETRI 손잡고 GPU-NPU 통합 자원관리 실현.

[63] (매일경제, 2024) 네이버 데이터센터 '각 세종', 친환경 건물 인증.

[64] (전자신문, 2024) 카카오 데이터센터 안산 본격 가동.

[65] (환경부, 2024) 댐의 새로운 가치 발견, 강원 수열에너지 집적단지 착공.

[66] (Evans et al., 2018) Reducing energy consumption of Google data centres with deep reinforcement learning. *Nature,*562(7727), 14-26.

[67] (IEA, 2022) LNG Energy Efficiency Report. Paris: OECD/IEA.

[68] (삼표시멘트, 2024) 2023년도 사업보고서.

[69] (Korre et al., 2022) Machine learning applications for process optimisation in the cement industry. *Journal of Cleaner Production,*362, 132253.

[70] (Zhang et al., 2021) AI-based predictive maintenance in mining truck haulage systems. *Resources Policy,*74, 102285.

[71] (해양수산부, 2025) 국가어항 정비사업 계획. 세종: 해양수산부.

[72] (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000) The dynamics of innovation: From National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations. *Research Policy*,29(2).

[73] (한국환경공단, 2022) 온실가스 종합관리체계 운영 현황.

【주　　의】

1. 이 보고서는 삼척시탄소중립지원센터에서 시행한 '2025 제2차 삼척시 탄소중립 연구과제 공모사업' 으로 수행된 최종보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 삼척시탄소중립지원센터에서 시행한 '2025 제2차 삼척시 탄소중립 연구과제 공모사업' 의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

삼척시탄소중립지원센터의 연구사업은 ㈜삼표시멘트의 후원과 시멘트산업사회공헌재단의 지원을 받아 시행하고 있습니다.