



탄소중립과 RE100을 대비한 산업단지 4.0 기본구상

강호제 선임연구위원

[요약]

우리나라의 산업단지는 제조업 수출의 70% 이상을 차지하는 국가경제의 중추기반시설이므로 최근 새롭게 국제질서로 자리 잡고 있는 탄소중립과 RE100에 대한 보다 적극적 대응이 필요

- 우리나라 산업단지의 에너지 소비량은 국가전체의 53.5%, 전체 산업부문의 83.1%를 차지하고 있으며, 석유(51.4%)와 석탄(23.7%)을 대부분 소비하고 있어 화석연료 의존성이 매우 높은 것으로 분석
- 파리기후협약을 비롯해 RE100, 유럽의 탄소국경조정제도(Carbon Border Adjustment Mechanism: CBAM) 등 산업 부문의 기후변화 관련 탄소규제가 새로운 글로벌 질서로 재편 중이므로 우리나라 산업단지도 이에 대한 대응이 필요

중국, 영국, 미국 등 주요국을 중심으로 탄소중립과 RE100에 대응하기 위한 관련 정책과 사업이 진행 중

- 쑤저우경제특구는 2014년 탈탄소를 위해 목표책임평가 시스템을 도입한 후 주요 석탄소비기업들과 온실가스 감축 계획을 수립하고 사업계약 관련 재정을 지원하기 시작
- 영국은 산업클러스터를 중심으로 2050년 탄소중립 실현을 위해 2030년까지 5GW의 수소생산과 10Mt의 탄소포집을 계획 중이며, 미국도 수소를 활용하여 산업클러스터의 탈탄소화를 추진 중
- 우리나라는 스마트그린산업단지 제도를 도입, 탄소배출 25% 절감을 목표로 추진 중

각국의 탄소중립 산업클러스터 모델은 공통적으로 ① 기업과 시설 간의 자원 순환, ② 탄소포집 및 이용(Carbon Capture Utilization and Storage: CCUS), ③ 그린수소 인프라 구축과 발전, ④ 스마트 그리드 조성의 네 가지 요소로 구성

일반 산업용지와 RE100 산업용지를 구분하고, 탄소포집이 가능한 LNG 연료전지와 지붕태양광을 활용해 맞춤형 에너지를 공급하는 친환경에너지 복합 콤플렉스(가칭 그린이노파크) 도입 필요

- 발전효율이 높은 LNG 연료전지를 통해 전력을 생산하고 탄소포집을 통해 탄소배출을 절감
- 일반 산업용지의 지붕태양광과 전력구매계약(Power Purchase Agreement: PPA)을 활용, RE100 산업용지에서 필요로 하는 친환경에너지 공급
- 포집된 탄소는 산업소재로 재생하거나 인근 스마트팜에 시비하여 자원의 순환 달성

탄소중립과 RE100 산업단지 조성을 위한 시사점

- ① 자원 순환과 친환경에너지 공급을 위한 입지규제 완화, ② 탄소배출 절감과 RE100 요구 기업에 대한 맞춤형 개발, ③ 개별 제조기업의 생산시설을 친환경에너지로 전환

01 기후변화시대의 산업단지과 에너지

우리나라의 산업단지는 제조업 수출의 70% 이상을 차지하는 국가경제의 중추기반시설로, 최근 새롭게 국제질서로 자리 잡고 있는 탄소중립과 RE100에 대한 대응이 필요

- 우리나라 산업단지는 국가전체 에너지 소비량의 53.5%, 전체 산업부문 에너지 소비량의 83.1%를 차지하고 있으며, 에너지 소비의 대부분은 석유(51.4%)와 석탄(23.7%)으로 구성되어 있어 화석연료 의존성이 매우 높음
 - 산업단지는 「산업입지 및 개발에 관한 법률(이하 산업법)」상 '산업시설·교육·연구·업무·지원, 정보처리·유통시설 및 이들 시설의 기능 향상을 위하여 주거·문화·환경·공원녹지·의료·관광·체육·복지시설 등을 집단적으로 설치하기 위하여 포괄적 계획에 따라 지정·개발되는 일단의 토지'(「산업법」 제2조8)로 정의되는 대표적 지역개발 수단
 - 2022년 3분기를 기준으로 전국의 산업단지 지정개수는 1,264개로 전체 면적은 1,442km²에 이르며 우리나라 전체 제조업 수출의 74.4%(한국산업단지공단 2022)를 담당하는 산업생산의 전초 기지로 역할
 - 2018년 기준으로 산업단지의 연간 에너지 사용량은 110,866천 toe로 이는 우리나라 전체 산업부문 연간 에너지 소비량(133,471천 toe)의 83.1%, 국가전체 에너지 사용량(207,374천 toe)의 53.5%에 해당 (허원녕 2020)

〈표 1〉 산업단지 연간 에너지 사용현황(2018)

구분	에너지 사용량 합계 (천 toe)	에너지원별 사용량(천 toe, %)					
		석탄류	석유류	도시가스	열에너지	전력	기타
산업단지	110,866	26,290 (23.7)	57,029 (51.4)	8,399 (7.6)	3,306 (3.0)	15,079 (13.6)	764 (0.7)
산업부문	133,471	28,895 (21.6)	64,723 (48.5)	10,133 (7.6)	3,692 (2.8)	24,377 (18.3)	1,653 (1.2)
국가전체	207,374	29,035 (14.0)	117,437 (56.6)	16,201 (7.8)	3,902 (1.9)	39,078 (18.8)	1,653 (0.8)

자료: 허원녕 2020.

- 산업단지에서 소비하는 에너지는 석유, 석탄이 각각 51.4%와 23.7%를 차지하고 전력은 13.6%에 불과해 탄소를 배출하는 '회색' 에너지에 대부분 의존한다는 것을 의미
- 구체적으로 산업단지의 석탄 에너지 사용량은 2만 6,289toe로 국가전체 석탄 에너지 사용량(2만 9,035toe)에 육박하고 석유류 에너지 역시 국가전체 사용량(11만 7,437toe)의 절반(5만 7,029toe)을 사용 중인 것으로 나타남
- 이는 우리나라 화석연료 에너지의 절반 이상이 국토면적의 1.36%에 불과한 산업단지에서 사용된다는 것으로, 향후 탄소중립 실현을 위해서는 산업단지에서 소비하는 에너지를 청정 에너지로 전환이 시급

- 파리기후협약을 비롯해 RE100, 유럽의 탄소국경조정제도(Carbon Border Adjustment Mechanism, 이하 CBAM) 등 산업부문에 대한 기후변화 관련 탄소규제가 새로운 글로벌 질서로 재편 중
 - 2016년 파리기후협약에서 탈퇴했던 미국은 바이든 대통령 취임 직후 재가입함으로써 기후변화와 탄소 중립에 대비한 새로운 시장을 창출
 - 한국도 파리기후협약에 따라 장기저탄소발전전략(Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies, 이하 LEADS)을 수립하고 2017년 7.09억 톤이던 온실가스 배출량을 2030년 5.4억 톤으로 감축할 계획 수립(관계부처 합동 2018)
 - 이에 따라 산업부문에서는 고효율에너지 기자재 사용, 신기술·혁신기술 도입, 친환경 공정 도입, 온실가스 연료 대체, 폐열 등 폐자원 활용 등을 통해 2030년 온실가스 배출량 전망치를 4억 8,100만 톤에서 3억 8,240만 톤으로 감축할 필요
 - 파리기후협약과 더불어 EU집행위원회는 2022년 12월, 유럽연합으로 수출하는 제품은 생산과정의 탄소배출량을 추정해 관세를 부과하는 CBAM 도입에 공식 합의하고 2023년 전환기간을 거쳐 2026년부터 철강, 알루미늄, 시멘트, 비료, 수소 등 6개 업종을 대상으로 먼저 시행할 예정
 - CBAM이 시행될 경우 우리나라의 철강과 알루미늄산업에서는 각각 9.7%와 7.1%의 관세 부과효과, 20.6%와 21.8%의 수출 감소효과가 발생할 것으로 예상(이슬기 외 2021)
 - 우리나라 제2의 수출대상국인 미국도 탄소국경세(Emission Tariff Bill)에 대한 법안(Clean Competition Act) 발의를 논의 중(Axios Pro 2023)
 - 가장 시급한 위협은 RE100 캠페인으로 2014년 뉴욕에서 처음 발족한 이후 2021년 현재 278개 기업이 가입해 있으며 이 중 30개 기업이 이미 전력의 100%를 청정 에너지로 사용하고 있다는 사실임(RE100 정보플랫폼)
 - 애플을 비롯한 세계적인 기업(마이크로소프트, 구글, 페이스북, 나이키, 이케아, 스타벅스, 지엠)들이 RE100 가입 후 협력 파트너 기업들의 동참을 요구함에 따라 우리나라 기업들도 2020년 SK의 8개 자회사가 RE100에 가입하였고, 이후 2023년 11월 기준 35개 기업이 가입 중¹⁾

02 탄소중립을 위한 주요국의 산업지역 사례

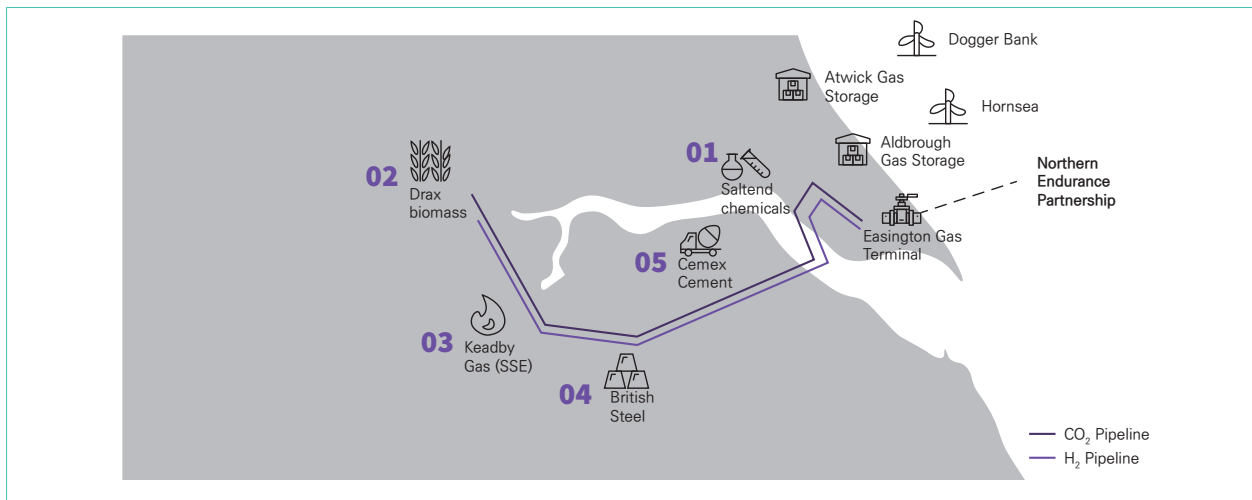
중국, 영국, 미국 등 주요국을 중심으로 탄소중립과 RE100 대응을 위해 관련 정책과 사업이 진행 중

- 기후변화에 따른 산업환경의 변화에 따라 전 세계 70% 이상의 국가에서 도시와 산업집적지, 산업클러스터를 중심으로 탄소중립정책을 추진 중(Accenture 2021)
- 중국은 2060년 완전한 탄소중립 실현을 목표로 온실가스 감축을 위한 13차 5개년 계획에 따라 '준탄소중립지구(zone)'를 도입하고 2050년까지 50개의 준탄소중립지구를 지정할 계획
 - 싱가포르와 중국정부가 함께 개발한 쑤저우경제특구는 2014년 탈탄소 목표책임평가 시스템을 도입한 뒤 주요 석탄소비기업들과 감축에 관련된 계획을 수립하고 사업계약 관련 재정을 지원 중

1 https://www.there100.org/re100-members?items_per_page=100 (2023년 11월 22일 검색).

- 쉐저우경제특구 내 에너지 소비량(TWH)과 탄소배출(tCO₂)이 지속적으로 감소하고 효율적인 에너지 사용률이 높아지면서 GDP 단위당 에너지 소비량이 2016년 대비 2019년 기준 10.3% 감소
 - 이와 같은 쉐저우의 탄소배출 절감과 에너지 효율화를 위한 기본전략은 산업폐기물과 부산물의 생태적 순환, 청정 에너지, 마이크로 그리드, IoT 서비스 플랫폼, 녹색교통시설 도입으로 요약
 - 폐기물은 처리시설 두 곳에서 1일 35만 톤을 처리하고, 음식물 쓰레기는 재처리하여 바이오가스로 매년 8천 톤 가량의 탄소를 절감 중(연간 1만 톤의 석탄 소비량과 맞먹는 탄소 절감량에 해당)
 - 신재생에너지의 생산과 저장, 냉난방 시스템을 하나로 모은 2개 지역의 청정에너지센터와 10개 지역의 마이크로 그리드 시스템을 통해 3.75GWh의 전력 생산과 아울러 에너지 소비량의 40%, 탄소배출량의 50%를 절감(Accenture 2021)
- 영국도 산업클러스터를 중심으로 2050년 탄소중립 실현을 위해 2030년까지 5GW의 수소생산과 10Mt의 탄소포집을 계획 중
- 이를 위해 10억 파운드(약 1조 5천억 원)를 투자해 4개 지역의 산업클러스터에 탄소포집시설을 구축할 예정이며 저탄소기술을 중심으로 일자리를 창출하고 지역경제를 발전시키기 위한 전략 수립 중
 - 특히, 지리적 특성을 고려해 수소·탄소 포집과 같은 저탄소기술과 인프라를 도입하기 위한 ‘Super Places’를 영국 북동부 요크셔, 북서부의 스코틀랜드와 웨일스에 지정
 - 이 중에서 중화학공업 중심의 대표적 산업지역인 요크셔의 Humber 클러스터에서는 2040년까지 세계 최초의 탄소중립 산업클러스터 구축을 위해 ① 탄소포집, ② 수소생산과 수소 인프라 구축, ③ 풍력발전을 이용한 그린수소발전의 3단계로 나누어 관련 인프라를 구축 중(Accenture 2021)

〈그림 1〉 Humber 산업클러스터의 탄소중립 구상도



자료: Accenture 2021.

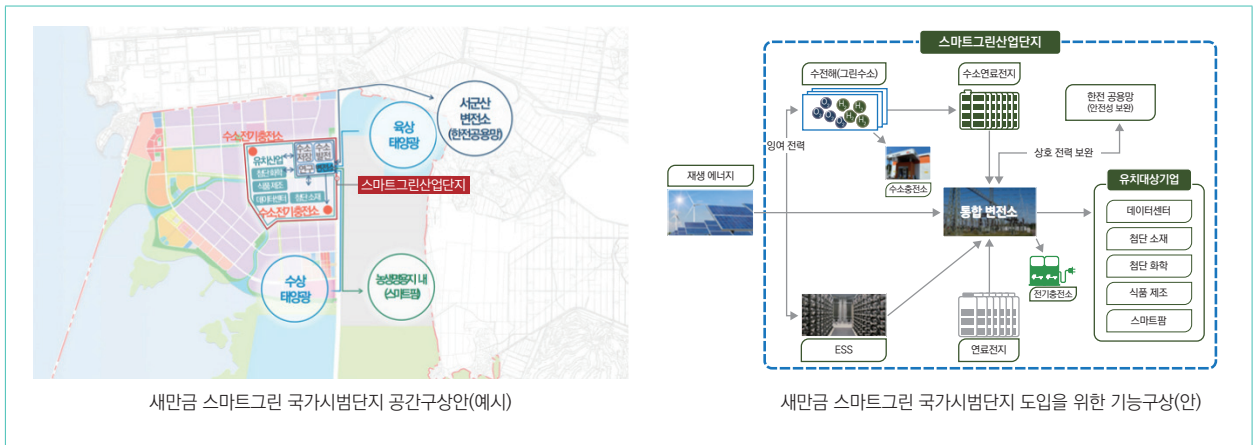
- 산업분야의 온실가스 배출량이 전체의 4분의 1을 차지하는 미국도 수소를 활용한 산업클러스터의 탈탄소화를 추진 중이며 H₂Houston Hub, National Capital Hydrogen Center, Ohio Regional Clean Hydrogen Hub, Greater St. Louis – Illinois Clean Hydrogen Hub Alliance 등 4개 사례가 가장 대표적
 - 유럽이나 중국은 구체적인 산업클러스터 모형을 제시하고 개발하였지만 미국은 수소 중심의 에너지 경제를 지향하며 인플레이션 감축법(IRA)이나 초당적 인프라법(Bipartisan Infrastructure law) 등의 법제화를 통해 참여기업을 행·재정적으로 지원하는 방식으로 추진(Accenture 2021)
- 온실가스의 배출을 줄이는 동시에 탄소포집을 활용한 자원 순환형 모델을 전 세계적으로 가장 먼저 대규모로 적용한 사례는 네덜란드의 Agriport A7

- Agriport A7은 탄소중립이나 기후변화가 본격적으로 논의되기 이전인 2015년에 마이크로소프트의 데이터 센터가 온실 옆에 입지하면서 인근 온실들과 생태적 에너지 순환체계를 형성하기 시작
- 대형 온실은 LNG를 연료로 전기와 이산화탄소를 생산하는 CHP(Combined Heat Power) 시스템을 운영하며, 이때 생산된 전기는 인근 마이크로소프트의 데이터 센터로 보내고 LNG 연소과정에서 발생하는 이산화탄소는 온실에 시비하여 감축

■ 우리나라도 「산업법」 제7조의5에 스마트그린산업단지의 지정 등에 관한 규정을 명시하고 개발을 지원 중이며, 2022년까지 10개의 스마트그린산업단지를 지정한 데 이어 2025년까지 15개로 확대할 예정

- 2022년 7월에는 수상태양광을 활용할 수 있는 새만금 국가산업단지를 '스마트그린 국가시범단지'로 지정해 탄소중립을 위한 산업단지 모델로 개발 중
- 국토교통부(2022)는 에너지 사용의 최소화, 재생에너지 보급 확대를 위한 인프라 구축, 온실가스 배출량의 25% 이상 감축을 목표로 스마트그린산업단지 개발의 기본방향을 설정

〈그림 2〉 새만금 스마트그린 국가시범단지 개요



자료: 새만금개발청. <https://www.saemangeum.go.kr/sda/content.do?key=2108029155584> (2023년 11월 15일 검색).

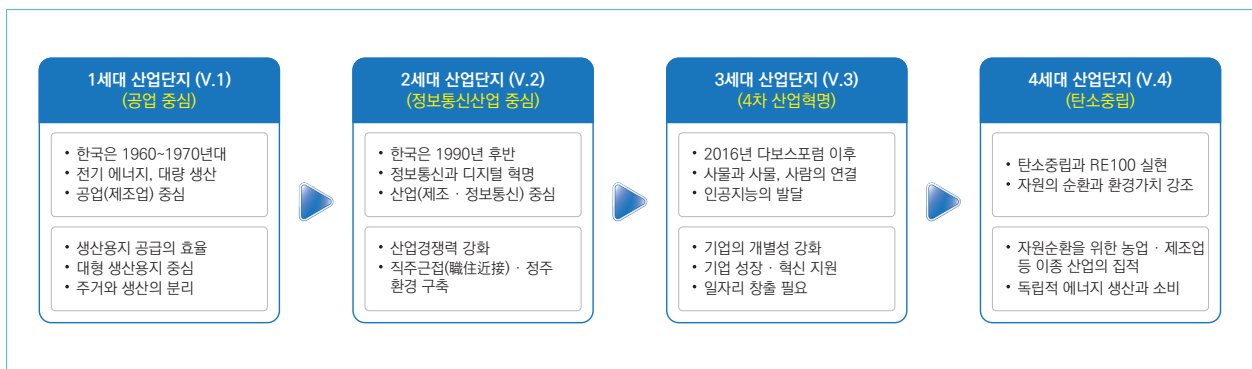
03 탄소중립을 위한 산업단지 4.0 모델의 구성요소

각국의 탄소중립 산업클러스터 모델은 공통적으로 ① 기업과 시설 간의 자원 순환, ② 탄소포집 및 이용(CCUS), ③ 그린수소 인프라 구축과 발전, ④ 스마트 그리드 조성의 네 가지 요소로 구성

- 각국의 탄소중립 산업클러스터는 기업의 생산과정에서 발생한 부산물과 잉여 생산물을 활용해 에너지와 전력을 생산하고, 스마트 그리드를 이용해 클러스터나 산업지구 내의 에너지 자립을 이루는 것에 목표를 두고 있음
- 이 과정에서 탄소포집 및 이용(Carbon Capture Utilization and Storage: CCUS)을 통해 화석연료 발전의 부산물인 CO₂를 처리하고 새로운 자원으로 활용을 추진하는 동시에 궁극적으로 그린수소로의 전환과 이행을 준비

- 현재 정부와 지자체가 추진하고 있는 산업단지 모형은 탄소중립과 RE100을 실현하는 데 한계에 직면
 - 2023년 현재 우리나라 산업단지는 1,300여 개가 지정되어 있고 매년 약 30개씩 추가로 신규 개발·지정되는 상황에서 2030년까지 35개의 스마트그린산업단지를 지정한다는 정부의 계획으로는 2050년까지 탄소중립 실현이 어려운 상황
 - 2019년 언론에 공개된 후 현재까지 4년이 지났지만 아직도 사업시행자가 선정되었다거나 구체적인 추진 계획이 확정되지 않은 당진의 RE100 산업단지와 같이 각급 지방자치단체에서 추진하고 있는 RE100 산업단지 사업도 작동 가능한 모델을 제시하지 못하고 있음
- 탄소중립과 RE100에 대한 기업의 요구를 반영해 실제 작동이 가능한 산업단지 기본구상 필요
 - 글로벌 수요기업은 우리나라 제조업 기업의 14.7%에 RE100 도입을 요구하고 있으며, 이는 2030년까지 38.1%로 증가할 전망(대한상공회의소 2022)
 - 모든 기업체가 RE100으로 전환할 필요는 없으므로 기업수요를 반영해 실현 가능한 RE100 산업단지 개발 모델과 세부 전략이 필요
- 탄소중립과 RE100 실현을 위한 친환경 4세대 산업단지로의 전환 필요
 - 우리나라의 산업단지는 산업구조 전환에 맞추어 다양하게 발전
 - 단순 제조업 공장을 유치하던 산업단지는 1세대로 구분되며, 수송 등 입지여건이 우수한 임해지역과 노동력 공급이 원활한 수도권 지역에 개발
 - 비제조업인 정보통신산업을 포함하기 시작한 2세대 산업단지는 지방시대를 견인하며 전국적으로 지정·개발
 - 3세대 산업단지는 2016년 다보스 포럼에서 4차 산업혁명에 대한 논의가 시작된 이후 IoT, 정보통신산업의 혁신성장과 일자리 창출을 강조
 - 최근에는 기후변화에 대비한 탄소중립과 RE100이 중요해지면서 4세대 산업단지로의 전환이 필요

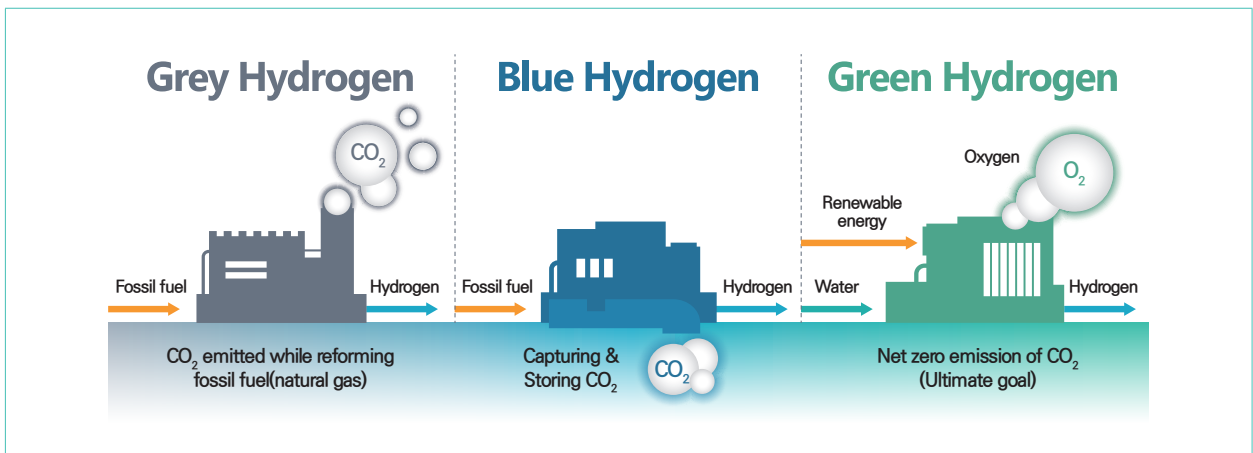
〈그림 3〉 산업단지의 역할 변화



- 탄소중립과 RE100을 대비하는 4세대 산업단지는 ① 이종(異種) 기업과 시설 간의 자원 순환, ② 배출된 탄소모집 및 이용(CCUS), ③ 그린수소 인프라 구축과 발전, ④ 스마트 그리드 조성의 네 가지 조건이 필요
 - ① 이종 기업과 시설 간의 자원 순환을 위해서는 산업단지 내 산업시설용지를 저렴하게 분양 받아 산업단지 입주할 수 있는 입주업종에 대한 과감한 규제 완화가 필요
 - 2017년 이후 생태산업단지(Eco Industrial Park: EIP) 사업에 참여하는 기업의 수가 해마다 감소(국토일보 2020)하는 것은 제조업종 간 자원 순환에 한계가 있음을 방증
 - 네덜란드 Agriport A7 사례와 같이 제조업 중심의 산업단지는 인근에 스마트팜(농·축·어업), 폐자원 재생산업 등과 함께 개발할 때 부산물과 자원의 순환에 효율적

- 외국의 스마트팜은 LNG 발전기를 활용해 전기를 생산하고, 이때 발생하는 이산화탄소와 전기를 각각 온실과 인근 산업단지에서 활용할 수 있지만 영세농가와 농업법인이 대부분인 국내 실정에서는 관련법(「도시가스사업법」 제29조1항)에 따라 가스 안전관리자를 상시적으로 고용하여 외국 사례를 도입하는 데 한계
 - 따라서, 산업단지에 LNG 연료전지 발전소를 설치하고 전기와 이산화탄소를 산업단지와 스마트팜에서 순환·활용하는 방식이 국내 상황에서는 보다 현실적인 자원 순환 모델로 제시
- ② 배출된 탄소의 포집과 활용을 위해서는 탄소포집 및 이용 시스템 설치와 포집된 이산화탄소의 산업적 재활용이 중요
- 탄소포집 및 이용 시스템이 구축되면 화석연료를 이용한 발전과 수소(블루수소) 생산이 가능
 - 산업단지는 그린수소를 활용하기 전까지 화석연료에 의존할 수밖에 없으므로 탄소포집이 신재생에너지의 간헐성을 극복하고 탄소중립 실현을 위한 현실적 대안으로 역할
 - 화석연료를 에너지로 사용하는 경우에도 탄소포집 및 이용 시스템을 통해 탄소배출량을 줄이면, 신재생에너지만을 요구하는 RE100 실현은 어렵지만 탄소배출권과 유럽의 탄소국경세 비용을 줄일 수 있어 입주기업에 이익
 - 특히, 탄소배출권 가격은 지속적으로 오르고 있고 최근 유럽에서는 사상 처음으로 톤당 100유로를 돌파(Reuters 2023)했기 때문에 기업의 비용 절감을 위해서도 탄소포집은 필수적

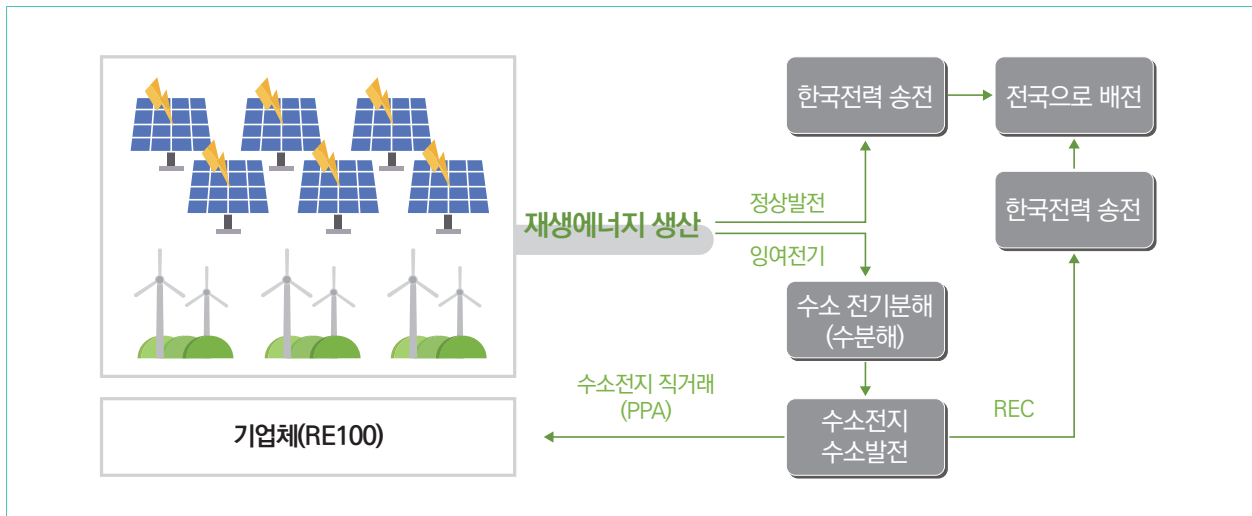
〈그림 4〉 수소의 종류



자료: POSCO 2020.

- 정부도 탄소포집의 중요성을 인식하고 수소 공급, 무탄소 전력 공급, 친환경 자동차와 함께 '탄소중립 기술혁신전략 이행안'의 4대 전략 중 하나로 포함(과학기술정보통신부 2022)
 - 탄소포집을 통해 포집·저장된 이산화탄소는 식품 가공, 탄산음료 제조 등 산업적 용도로 재활용이 가능 한데, 실제로 코로나19 팬데믹 기간 이후 우리나라는 2022년에만 162만 달러의 이산화탄소를 미국에 수출, 10.8%의 시장 점유율을 차지(KOTRA 2022)
- ③ 탄소중립 달성을 위해서는 궁극적으로 그린수소를 생산하고 이를 발전원으로 사용하는 인프라와 시스템의 구축이 필요하지만 과도기적으로 LNG 연료전지 활용이 필요
- 수소경제를 달성하기 전까지는 화석연료를 사용한 그레이수소와 탄소포집을 통한 블루수소가 현실적 대안
 - 새만금 스마트그린 국가시범단지처럼 주변에 대규모 신재생에너지 발전이 가능한 경우에는 잉여 전기로 그린수소를 추출해 전기를 생산하고 소비자와 개별 거래하는 전력구매계약(Power Purchase Agreement, 이하 PPA) 방식을 통해 입주기업에 공급이 가능

〈그림 5〉 신재생에너지를 이용한 그린수소 발전



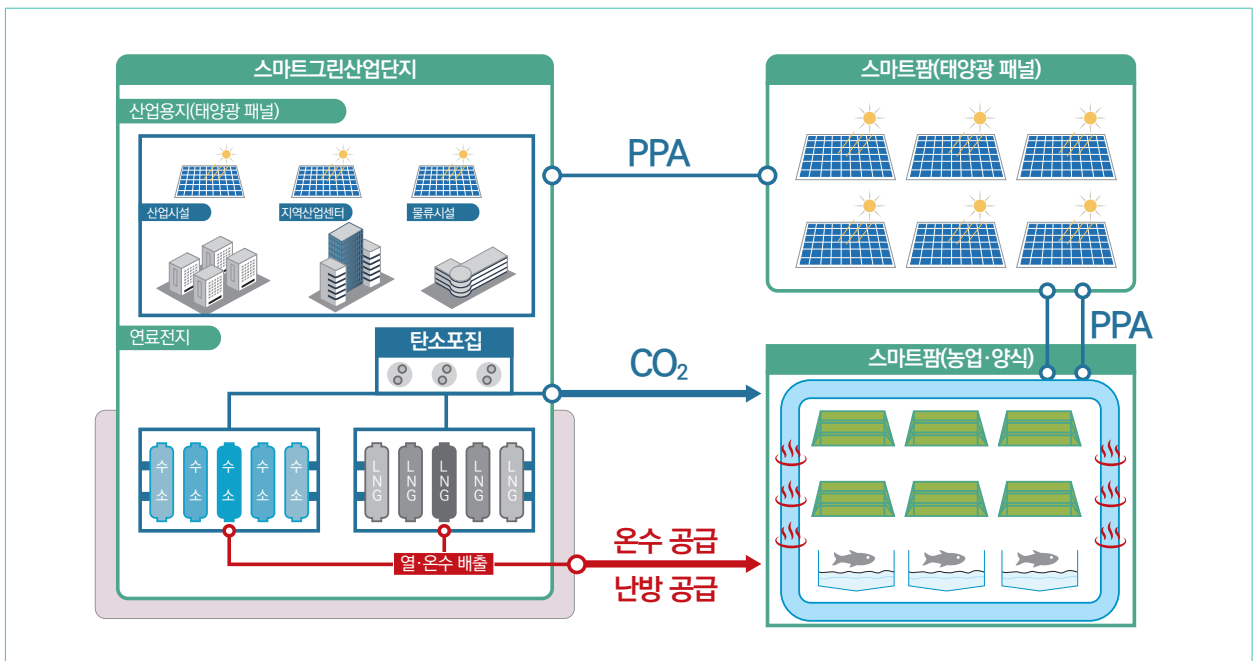
- 그러나 새만금을 제외한 국내 산업단지는 대부분 신재생에너지로 충분한 전력을 공급받을 수 없으므로 LNG를 활용한 연료전지 발전에 의존하는 것이 과도기적 대안으로 검토 가능
 - 향후 그린수소를 생산, 활용할 때의 인프라는 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제48조에서 수소용품 제조에 관한 시설기준과 기술기준, 수소연료사용시설에 관한 시설기준과 기술기준, 완성검사와 정기검사의 기준 등을 「고압가스 안전관리법」 제33조의2에 따른 가스기술기준위원회가 정하도록 규정
 - 이는 현재의 LNG 연료전지 인프라 구축이 중복 투자 없이 향후 그린수소 인프라로 전용될 수 있음을 의미하며, 실제로 LNG 연료전지 발전기 중에는 수소를 연료로 함께 사용할 수 있는 모델이 이미 시중에 보급(한국경제 2022)
 - LNG 연료전지가 탄소중립 산업단지에서 과도기적으로 활용되어야 하지만 향후 그린수소로 전환하기 위해서는 산업단지에 그린수소 추출을 위한 독립적인 수전해 설비와 신재생에너지 시설도 포함할 필요
 - 정부는 이미 2017년부터 주민들의 수용성과 환경성을 제고하고 개발이익을 공유하기 위한 재생에너지 계획입지제도를 추진 중이나, 현재까지 시범사업 실시에 대한 계획만 있을 뿐 본격적인 사업은 진행되지 못하고 있는 상황
 - 수소를 직접 생산하는 경우 생산단가가 kg당 2~3달러에 불과하지만 수송과정을 거치는 지역 간, 국제 간 거래의 경우에는 kg당 최대 7달러까지 가격이 오르기 때문에(Hydrogen council, 이지연 2022에서 재인용) 자체적으로 수소를 추출·저장할 수 있는 수전해 설비도 산업단지 내 신재생에너지계획입지에 설치할 필요
- ④ 스마트 그리드는 산업단지와 산업단지 주변에서 생산된 재생에너지를 해당 산업단지와 주변 지역에서 직접 소비할 수 있도록 해주는 분산형 마이크로 그리드 시스템으로 IT 등 정보통신기술을 융합한 형태
- 산업단지 내에 풍력, 태양광 등 자연환경에 영향을 받는 친환경 재생에너지를 공급할 때는 날씨나 기후의 변동에 따라 급격한 출력의 변동이 발생
 - 탄소중립과 RE100을 위한 산업단지는 친환경 재생에너지뿐만 아니라 한국전력에서 유입되는 전기, 산업단지 내 수소, LNG 연료전지 발전 등 다양한 전력원을 효율적으로 생산·분배하기 위해 스마트 그리드 시스템이 필요
 - 스마트 그리드 시스템을 구축하는 경우 2026년까지 전 세계적으로 1,060TW/h의 에너지 절약이 가능 (Juniper Research 2022)

04 탄소중립과 RE100을 위한 그린이노파크 기본구상

탄소중립과 RE100을 위한 친환경 그린산업단지인 그린이노파크(greeninnopark)는 일반 산업용지와 RE100 산업용지를 구분하고 LNG 연료전지와 지붕태양광을 활용, 각각의 산업용지에 맞춤형 에너지를 공급함과 동시에 탄소포집 및 이용, 스마트팜 등 자원순환시설을 함께 활용하는 친환경에너지 복합 콤플렉스

- 탄소중립과 RE100을 위한 산업단지 4.0 모델인 그린이노파크는 LNG 연료전지와 탄소포집을 통해 전력을 생산하고, 포집된 탄소는 주변 스마트팜에 제공하거나 산업용으로 재활용하는 동시에 RE100 기업을 위한 친환경 재생에너지 단지로 구성되는 자원 순환형 복합 콤플렉스
 - 그린이노파크는 공간적으로 탄소중립 산업용지, RE100 산업용지, LNG 연료전지용지, 친환경에너지용지(신재생에너지계획입지)로 구성
 - LNG 연료전지에서 전기를 생산하고 이때 발생하는 부산물인 이산화탄소를 탄소포집시설로 포집·저장 후 산업용으로 재활용하거나 인근 스마트팜에 제공
 - 탄소중립 산업용지는 LNG 연료전지에서 생산한 전력을 사용해 생산시설을 가동하되, 지붕태양광 시설을 설치해 발생하는 청정 에너지는 PPA를 통해 RE100 산업용지에 공급
 - 친환경에너지용지(신재생에너지계획입지)는 민원 발생과 환경 파괴를 예방하기 위해 산업단지 지정 시 함께 개발하여 RE100 기업과 탄소중립 산업용지에 필요한 추가적인 재생에너지를 공급하고 향후 수전해 설비와 수소 충전시설 설치를 위한 유보지로 활용
 - RE100 산업용지는 친환경 재생에너지를 전면 사용하는 산업용지로 친환경에너지용지(신재생에너지계획입지)와 탄소중립 산업용지의 지붕태양광에서 발생하는 전기로 운영

〈그림 6〉 그린이노파크 에너지 순환 기본개념도



- 비도시 지역과 도농복합도시에는 스마트팜, 스마트 양식장 등 1차 산업 관련 시설용지를 인근에 조성해 포집된 이산화탄소를 작물에 시비할 때 사용하는 것이 가능
 - 또한 LNG 연료전지나 산업용지의 제조시설에서 발생하는 폐열을 활용해 스마트팜 운영비의 30% 이상을 차지하는 난방비 절감이 가능(지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단 2019)
 - 스마트팜 이외에도 바이오플락(biofloc)을 이용한 새우 양식장 등 수산 양식업과 연계하여 그늘을 선호하는 새우의 습성을 이용한 고부가가치 양식과 함께 지붕태양광 시설을 함께 설치·발전할 수 있을 것으로 기대
- 산업단지의 업종별 에너지 사용량과 탄소배출량을 분석한 결과, 태양광 발전과 LNG 연료전지를 복합적으로 활용하는 것이 전력 공급과 탄소배출 절감의 현실적 대안
- 가상의 일반 산업단지를 사례로 한국전기연구원 스마트그리드연구단 분산전력연구센터의 자문을 받아 업종별로 탄소배출량과 에너지 사용량을 분석

〈표 2〉 산업용지별 업종 배분과 에너지 소모량 원단위

업종	업종명	산업 분류 코드	세부 업종별 면적 비율(%)	연료 (Mcal/m ² .년)	전력 (kWh/m ² .년)	에너지 (Mcal/m ² .년)	연간 전력 부하율 (%)	간접 열비율 (%)	업종별 배분비율 (%)	용지 배분 (m ²)
식료품	도축, 육류 가공 및 저장 처리업	C101	13.60	1,176	466	2,339	0.602	86.00	31.00	240,332
	수산물 가공 및 저장 처리업	C102	29.90							
	과실, 채소 가공 및 저장 처리업	C103	16.20							
	낙농제품 및 식용 빙과류 제조업	C105	1.60							
	곡물 가공품, 전분 및 전분제품 제조업	C106	9.80							
	기타 식품 제조업	C107	20.80							
	동물용 사료 및 조제식품 제조업	C108	8.10							
바이오 화학	합성고무 및 플라스틱물질 제조업	C202	20.00	3,534	601	4,686	0.786	65.80	18.00	141,372
	비료, 농약 및 살균·살충제 제조업	C203	46.10							
	기타 화학제품 제조업	C204	31.60							
	화학석유 제조업	C205	2.30							
전자	반도체 제조업	C261	18.30	325	384	1,285	0.74	68.20	5.00	40,055
	전자부품 제조업	C262	24.00	325	384	1,285	0.74	68.20		
	컴퓨터 및 주변 장치 제조업	C263	54.50	165	487	1,383	0.707	48.90		
	통신 및 방송장비 제조업	C264	3.30	325	384	1,285	0.74	68.20		
에너지	측정, 시험, 항해, 제어 및 기타 정밀기기 제조업; 광학기계 제외	C272	1.90	144	336	984	0.373	68.90	42.00	329,868
	전동기, 발전기 및 전기 변환·공급·제어 장치 제조업	C281	2.10	325	384	1,285	0.74	68.20		
	절연선 및 케이블 제조업	C283	5.40	449	412	1,479	0.59	32.70		
	일반 목적용 기계 제조업	C291	4.10	106	109	379	0.462	30.50		
	증기, 냉·온수 및 공기 조절 공급업	D353	86.40							
물류	도로 화물 운송업	H493	3.30						4.00	32,987
	해상 운송업	H501	15.30							
	보관 및 창고업	H521	81.40							

자료: 강호제, 홍사흠, 남기찬 외 2021.

- 산업시설 용지면적을 전체 산업단지 120만㎡(약 40만 평)의 65%인 78만 4천 ㎡라고 가정하고 입주 업종을 바이오·화학, 전기·전자, 에너지 부품, 연료전지 발전, 식품가공, 물류로 구성해 업종별 면적과 사용 에너지를 배분
- 식료품은 연간 1㎡당 1,176Mcal/㎡의 연료, 466kWh의 전력을 사용하는 반면 바이오·화학업종은 1㎡당 가장 많은 연료, 전력을 사용
- 입주업종 중에서 연간 가장 많은 전력을 사용하는 업종은 바이오·화학, 전기·전자, 식료품의 순인데, 여기에 업종별로 배분된 산업용지 면적을 적용해 전력 사용량, 연료 사용량, 기타 에너지 사용량을 <표 3>과 같이 산정

<표 3> 그린이노파크 업종별·면적별 에너지 원단위와 총 사용량

업종	업종별·면적별 원단위			업종별 연료, 전력, 에너지 총 사용량		
	연료 원단위 (Mcal/㎡·년)	전력 원단위 (kWh/㎡·년)	에너지 원단위 (Mcal/㎡·년)	연료 (Mcal/㎡·년)	전력 (kWh/㎡·년)	에너지 (Mcal/㎡·년)
식료품	1,176	466	2,339	282,630,432	111,994,712	562,136,548
바이오·화학	3,534	601	4,686	499,608,648	84,964,572	662,469,192
전기·전자	238	441	1,340	9,538,097	17,644,989	53,661,483
에너지	38	41	141	12,585,454	13,579,016	46,539,757
물류	-	-	-	-	-	-

자료: 강호제, 홍사흠, 남기찬 외 2021.

- 산업단지 내 전체 산업용지에서 업종별로 소모되는 에너지 총량을 합산하면 <표 4>와 같은데, 연료는 8억 436만 2,631Mcal이 사용되고 전력은 2억 2,818만 3,289kWh가 사용되는 것으로 분석
- 만일 입주기업들이 연료 대신에 전기 에너지를 더 많이 사용하는 경우 전력소요량은 이보다 많아질 수 있음

<표 4> 그린이노파크 산업용지 전체 에너지 사용량

연료(Mcal)	전력(kWh)	에너지(Mcal)
804,362,631	228,183,289	1,324,806,980

자료: 강호제, 홍사흠, 남기찬 외 2021.

- 전체 산업단지에서 사용되는 에너지를 외부전력과 열에너지, 태양광, 연료전지로 구분해 <표 5>와 같이 분석
- 산업단지의 전체 산업시설 면적이 78만 4천 ㎡일 때 현재와 같이 외부에서 전력과 열을 공급받는 경우 전력량은 22만 8,183MWh이고 열에너지는 132만 4,807Gcal임
- 만일 전체 산업시설 면적에 대해 현재 소비하는 전력 22만 8,183MWh를 모두 태양광으로 대체하기 위해 설비 이용률을 15%, 설비용량을 174MW로 가정하는 경우 필요한 면적은 208만 3,866㎡로 전체 산업시설용지 면적의 2.65배(265%)에 해당
- 이는 산업단지를 건설하면서 태양광만으로 에너지를 공급하려고 할 때 산업단지 면적의 2.65배에 해당하는 태양광 설치면적이 필요한데도 기존 산업단지에서 사용되는 열에너지(132만 4,807Gcal)를 생산할 수 없어 태양광 발전만으로는 산업단지의 에너지 공급이 불가능하다는 것을 의미
- 연료전지는 단층시설인지, 3단 복층시설인지에 따라 필요면적이 다르지만, 단층시설은 전체 산업단지 산업시설용지 면적의 0.9%에 해당하는 7,236㎡(복층시설인 경우 1,765㎡)를 사용해 산업단지에서 필요로 하는 전력과 15만 8,660Gcal의 열에너지 생산이 가능
- 즉, LNG 연료전지 발전은 단위 면적당 발전효율이 우수해 산업용지 대비 1% 미만의 토지를 활용해 설비용량 29MW를 갖추고 입주기업 전체가 필요로 하는 전력을 공급하는 것이 가능

- 실제로 주민 반대로 사업이 백지화된 인천 송도의 100MW급 연료전지 발전소는 분석에 사용된 LNG 연료전지 설비용량인 29MW보다 세 배나 큰 설비용량에도 불구하고 시설면적은 2만 1,818㎡에 불과

〈표 5〉 그린이노파크 전원별 CO₂ 배출량 및 시설 소요면적

에너지 공급원	단위 면적 (m ² /MM)	CO ₂ 배출 계수	전력량 (MWh)	열에너지 (Gcal)	발전 효율 (%)	열효율 (%)	연료 사용량 (t)	CO ₂ 배출량 (tCO ₂)	설비 이용률 (%)	설비 용량 (MW)	공급원별 소요면적(m ²)과 전체 산업시설 용지면적 (784,000m ²) 비율(%)	
외부	전력	-	0.4567	228,183	-	-	-	104,211	-	-	-	
	열	-	0.2499	-	1,324,807	-	-	331,055	-	-	-	
태양광	지상형	12,000	-	228,183	-	-	-	-	15	174	2,083,866 (265%)	
연료 전지	MCFC (단층)	250	2.7657	228,183	158,660	47	38	35,384	97,861	90	29	7,236 (0.9%)
	PAFC (3단)	61	2.7657	228,183	214,492	43	47	38,675	106,964	90	29	1,765 (0.2%)

자료: 강호제, 홍사흠, 남기찬 외 2021.

- 태양광 발전을 통해 산업단지에 필요한 모든 전기를 공급받는 경우 약 24%의 CO₂를 줄일 수 있지만 LNG 연료전지도 약 10~11% 내외의 CO₂ 배출을 감소하는 효과가 있음
- LNG 연료전지를 통해 10~11%의 CO₂를 감축하고 발전과정에서 배출된 CO₂를 포집한다면 CO₂ 배출량은 더욱 감소(100MW급 습식 CO₂ 포집 플랜트가 보령화력발전소에서 상용 운전 중)

〈표 6〉 전력 및 열 공급원 조합별 CO₂ 배출량과 감축률

전원	열원	전원CO ₂ 배출량 (tCO ₂)	열원CO ₂ 배출량 (tCO ₂)	총 CO ₂ 배출량 (tCO ₂)	기준안 CO ₂ 감축률
외부	외부	104,211	331,055	435,266	0.00%
태양광	외부	-	331,055	331,055	-23.94%
MCFC(단층)	외부	97,861	291,407	389,268	-10.57%
PAFC(3단)	외부	106,964	277,456	384,419	-11.68%

자료: 강호제, 홍사흠, 남기찬 외 2021을 저자 수정.

- 현재 「산업법」상 그린산업단지 지정되기 위해서는 탄소배출을 25% 감축해야 하는데 LNG 연료전지를 활용하면 작은 면적(산업시설용지의 1% 이내)에도 불구하고 산업단지 전체에 공급 가능한 전력을 생산 하는 동시에 10~11%의 탄소배출 절감이 가능
- 이는 LNG 연료전지 발전시설을 활용하고 탄소포집 시설을 통해 15% 정도의 탄소배출만 추가로 절감하면 현행 「산업법」의 그린산업단지 지정이 가능하다는 것을 의미
- 산업단지 내 입주기업이 화석연료에 의존하는 열에너지 사용을 전력으로 전환하고 LNG 연료전지와 탄소포집을 확대하면 장기적으로 산업단지의 탄소중립도 가능
- 현재와 같이 산업단지 입주기업들이 전기가 아닌 화석연료를 사용하는 열에너지에 의존할 경우 태양광 발전만으로는 25%의 탄소배출량 절감도 어려운 실정으므로 기업 생산공정에서 화석연료 의존도를 줄이고 전력으로 전환하기 위한 관련 정책 추진을 반드시 병행할 필요

- 산업단지 내 RE100 달성을 위해서는 탄소배출 절감이 목적인 기업과 RE100을 필요로 하는 기업의 수요를 파악하여 토지이용계획에 반영할 필요
 - LNG 연료전지를 활용해 탄소배출량을 줄이고 탄소포집을 통해 장기적으로 탄소중립을 실현할 수 있다고 해도 LNG 연료전지는 화석연료를 사용하므로 RE100 조건에는 미충족
 - 산업단지 내 RE100 달성을 위해서는 탄소배출량 절감이 목적인 기업의 수요와 RE100을 필요로 하는 기업의 수요를 구분하여 토지이용계획에 반영할 필요
 - 전체 산업단지를 모두 RE100 산업단지로 조성하는 것보다 대한상공회의소(2022)의 조사결과를 고려해 일부만 RE100 산업시설용지로 공급
 - 일반 산업용지에 입지한 기업들은 산업단지 내 LNG 연료전지를 활용해 탄소배출을 절감하고 지붕태양광 에너지를 생산해 RE100 산업용지로 공급하는 것이 합리적
- 그린이노파크의 에너지 소비 및 탄소배출 절감효과를 분석한 결과 산업단지의 40%를 RE100 산업용지로 조성하는 경우 지붕태양광 외에 추가적으로 전체 산업용지 면적의 30%에 해당하는 친환경에너지용지(신재생에너지계획입지) 조성이 필요
 - 대한상공회의소(2022)의 조사결과처럼 2030년까지 약 40%의 기업들이 RE100 달성을 필요로 한다고 가정하여 다음과 같이 시나리오 분석
 - 330만 m²(100만 평) 규모 산업용지의 60%인 200만 m²(60만 평)를 LNG 연료전지를 사용하는 일반 산업용지로 계획하고 나머지 40%인 130만 m²(40만 평)를 RE100 산업용지로 계획
 - 이때 RE100 산업용지에 필요한 태양광 발전면적은 RE100 산업용지(130만 m²)의 2.6배인 343m²(104만 평)로 계산
 - RE100 산업용지에서 필요로 하는 343m²(104만 평)의 태양광 부지는 지붕태양광과 일부 추가적인 태양광 부지를 활용해 충당
 - 전체 산업단지 중 60%를 차지하는 198만 m²(60만 평)의 일반 산업용지에는 LNG 연료전지를 통해 전력을 공급하고 건폐율 70%로 지붕태양광을 설치해 RE100 산업용지를 PPA로 공급할 경우 138.6만 m²의 태양광 면적을 확보 가능
 - 여기에 더해, RE100 산업용지 132만 m²의 건폐율 70%인 92.4만 m²에 지붕태양광 확보 가능
 - 일반 산업용지와 RE100 산업용지에서 확보 가능한 태양광 면적은 총 231만 m²이므로 RE100 산업용지에서 필요로 하는 태양광 부지면적 343m²(104만 평)를 충당하기 위해서는 추가로 112m²의 태양광 부지가 필요

〈표 7〉 RE100 산업용지 비율이 40%인 경우 필요한 태양광 부지 면적

(단위: 만 m², %)

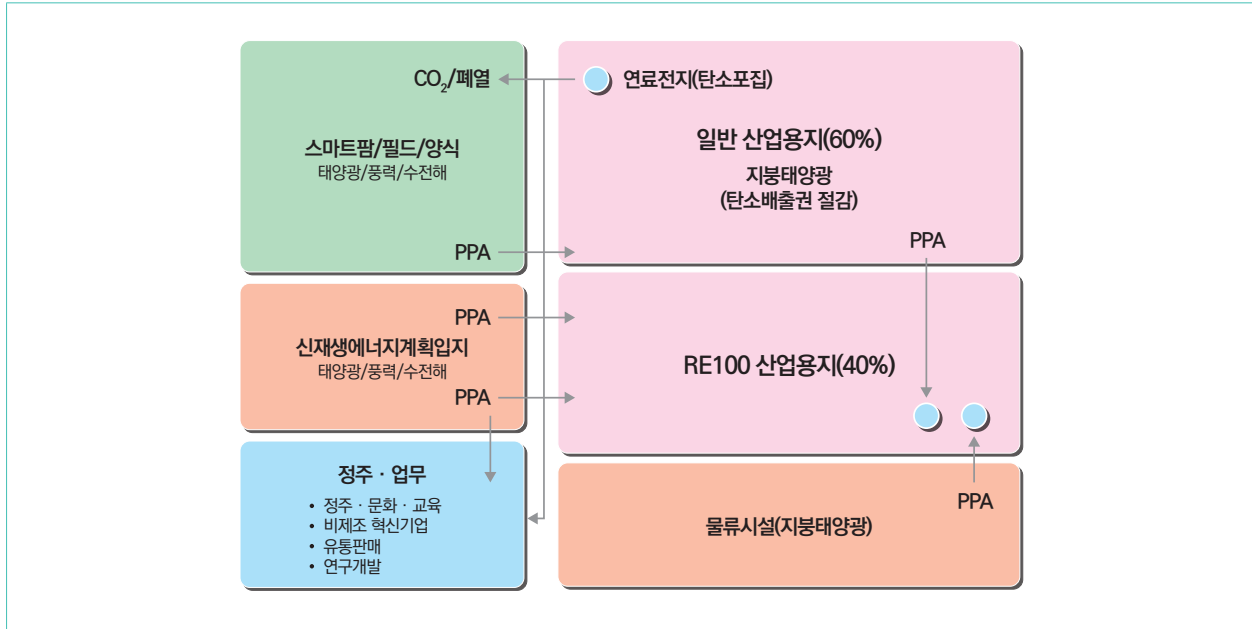
구분	산업용지		필요 태양광 부지 면적 (RE100 부지의 2.6배)	건폐율(70%) 적용 시 지붕태양광 면적	추가로 필요한 태양광 부지 면적 (신재생에너지계획 입지 면적)	전체 태양광 부지 면적 지붕태양광 + 신재생에너지계획입지
	용지 면적	비율				
일반산업용지 (탄소배출 절감)	198	60%	-	138.60	-	138.60
RE100 산업용지	132	40%	343.20	92.40	-	92.40
신재생에너지계획입지 (태양광 발전)	-	-	-	-	112	112
합계	330	100%	343	231	112	343

자료: 강호제, 홍사흠, 남기찬 외 2021을 저자 수정.

- 추가로 필요한 태양광 부지(112만 m²)는 산업단지 지정·개발 시에 신재생에너지계획입지로 산업단지와 함께 공급함으로써 민원, 환경 오염의 최소화 가능

- 즉, 일반 산업용지는 LNG 연료전지와 탄소포집을 통해 탄소배출을 줄여 기업의 탄소배출권과 탄소 국경세 부담을 덜어주고 지붕태양광과 최소한의 신재생에너지계획입지를 통해 RE100 산업용지에 청정 에너지 공급이 가능

〈그림 7〉 RE100 산업용지 40%의 산업단지 토지이용계획



- 그린노파크 산업단지의 20%를 RE100 산업용지로 조성하는 경우 추가적인 태양광용지(신재생에너지 계획입지) 조성 없이 RE100 실현 가능
 - 예를 들어 대한상공회의소(2022)의 조사결과처럼 2022년 기준 약 20%의 기업만이 RE100을 필요로 한다고 가정하면 다음과 같은 시나리오가 가능
 - 일반 산업용지를 80%로 조성하고 RE100 산업용지를 그중 20%인 66만 m²로 조성하는 경우 RE100 산업용지가 필요로 하는 태양광 면적은 2.6배인 171.6만 m²
 - 일반 산업용지의 건폐율을 적용한 태양광 면적은 184.8만 m²이므로 RE100 산업용지에서 건폐율을 적용한 태양광 부지면적 46.2만 m²를 합산하면 총 231만 m²의 부지면적 확보가 가능
 - 이는 RE100 산업용지에서 필요로 하는 171.6만 m²보다 59만 m²를 초과하는 면적으로 추가적인 신재생 에너지계획입지와 태양광 부지를 확보할 필요 없이 RE100 달성이 가능하고 초과되는 태양광 부지면적에서 생산되는 전력은 PPA를 통해 판매가 가능

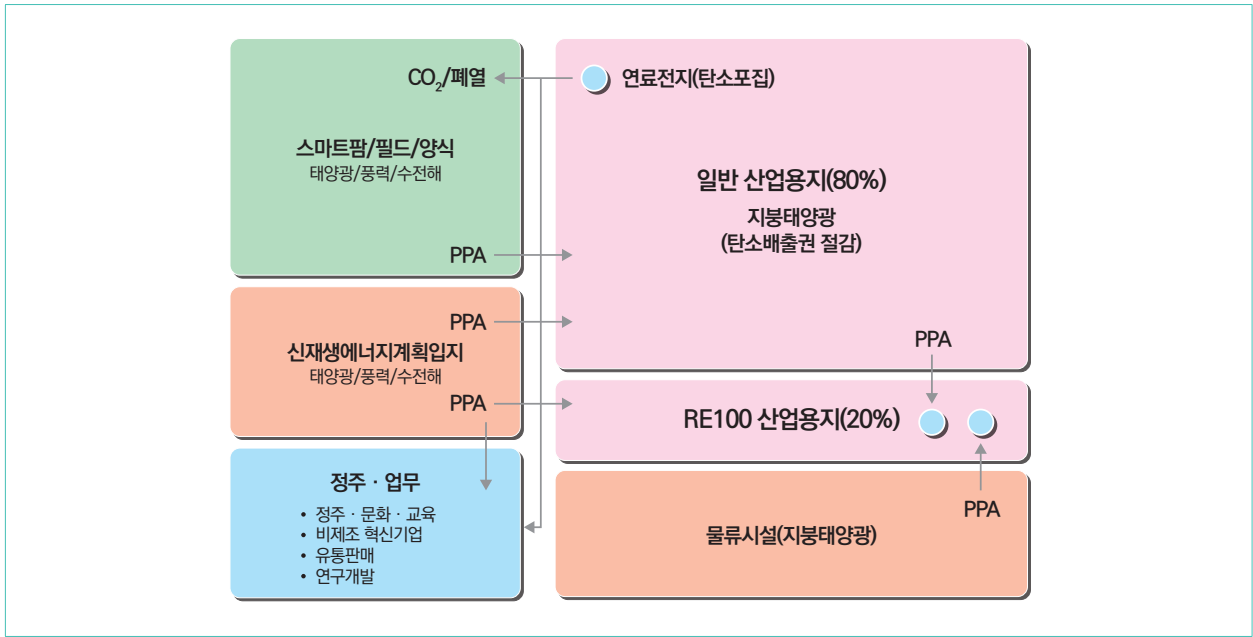
〈표 8〉 RE100 산업용지 비율이 20%인 경우 태양광 부지 필요 면적

(단위: 만 m², %)

구분	산업용지		필요 태양광 부지 면적 (RE100 부지의 2.6배)	건폐율(70%) 적용 시 지붕태양광 면적	추가로 필요한 태양광 부지 면적 (신재생에너지계획 입지 면적)	전체 태양광 부지 면적 지붕태양광 + 신재생에너지계획입지
	용지 면적	비율				
일반산업용지 (탄소배출 절감)	264	80%	-	184.8	0	184.8
RE100 산업용지	66	20%	171.6	46.2	-	46.2
신재생에너지계획입지 (태양광 발전)	-	-	-	-	-59	-59
합계	330	100%	172	231	-59	172

자료: 강호제, 홍사흠, 남기찬 외 2021을 저자 수정.

〈그림 8〉 RE100 산업용지 20%의 산업단지 토지이용계획



05 탄소중립과 RE100 산업단지 조성을 위한 시사점

탄소중립과 RE100이 세계적 경제질서로서 중요해지면서 제조업 수출의 70% 이상을 생산하는 국내 산업단지도 세 가지 변화가 필요 ① 자원 순환과 친환경에너지 공급을 위한 입지규제 완화, ② 탄소배출 절감과 RE100 요구 기업에 대한 맞춤형 개발, ③ 개별 제조기업의 생산시설을 친환경에너지로 전환

■ 자원 순환과 친환경에너지 공급을 위한 입지규제 완화

- 현행 「산업법」상 발전소에 대해서는 조성원가로 산업용지 공급이 가능하지만 대규모 태양광 발전시설을 유치하기는 사실상 불가능
- 탄소배출 절감과 RE100을 위해 산업단지에 친환경에너지 시설 설치가 필수적이므로 산업단지 조성 시 친환경에너지 공급시설 설치가 가능한 신재생에너지계획입지를 함께 개발할 필요
- 현재 논의되고 있는 신재생에너지계획입지는 민원, 환경 오염 등의 이유로 도입이 어렵지만 산업단지와 함께 개발하는 경우 신속한 사업 추진이 가능
- 이와 함께 탄소의 포집, 저장, 활용이 가능한 산업(자원재생산업) 등에 대한 산업시설 내 조성원가 공급과 함께 이산화탄소를 사용하는 스마트팜 등 비제조업 농업시설과 인접 개발 필요

■ 탄소배출 절감과 RE100 요구 기업에 대한 맞춤형 개발

- 대한상공회의소(2022)의 조사결과에 의하면 국내 기업 중 RE100 인증을 필요로 하는 기업은 2030년까지 40% 수준일 것으로 예상되지만 일반제조업기업도 탄소배출권과 탄소국경세 비용을 줄이기 위해 그린산업단지에 대한 요구가 높은 상황

- 시나리오 분석에서 알 수 있듯이 RE100 산업용지를 공급하기 위해서는 대규모 태양광 시설부지 면적이 필요하므로 RE100 산업단지와 지붕태양광을 활용할 수 있는 일반 산업용지를 함께 공급함으로써 추가적인 태양광 시설부지 면적을 대체 가능
- LNG 연료전지는 수소경제로 이행하기 이전에 과도기적으로 중복 투자 없이 산업단지에서 필요로 하는 전력을 공급할 수 있으며 탄소포집을 통한 탄소배출권과 탄소국경세 절감, 장기적으로는 탄소중립 실현도 가능
- 따라서 향후 산업단지는 RE100 산업용지와 일반 산업용지를 입주기업의 수요와 니즈에 맞춰 개발단계에서부터 토지이용계획으로 구분하고 에너지 공급계획을 차별화할 필요

■ 개별 제조기업의 생산설비와 시설을 친환경에너지로 전환

- 현재 시나리오에서는 산업단지 입주기업이 사용하는 전력을 100% 태양광 에너지 등 신재생에너지로 공급한다고 해도 절감할 수 있는 탄소배출량은 25% 이하 수준으로 추정
- 이는 전력 외에도 화석연료와 열에너지에 대한 개별 제조기업의 생산시설 의존도가 높기 때문
- 대규모 친환경에너지 공급시설을 조성하고 입주기업에 공급한다고 해도 개별 기업의 생산시설이 화석연료와 에너지에 의존하는 경우 탄소배출 절감과 RE100 달성은 불가능하므로 개별 기업의 생산설비와 시설을 친환경으로 전환하는 것이 필요

참고문헌

- 강호제, 홍사흠, 남기찬, 조성철 외. 2021. 강릉 허브거점도시 지정 및 개발계획 수립을 위한 기본구상 및 수요조사 연구용역. 강릉: 강릉시청.
- 과학기술정보통신부. 2022. 제5회 탄소중립기술특별위원회 개최, 11월 21일. 보도자료. <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mlid=113&mPid=112&pageIndex=&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3182376&searchOpt=ALL&searchTxt=> (2023년 11월 23일 검색).
- 관계부처 합동. 2018. 2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본로드맵 수정안.
- 국토교통부. 2022. 새만금 산단, 국내 최초 '스마트그린 국가시범산단' 지정. <https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148903283> (2023년 11월 23일 검색).
- 국토일보. 2020. 생태산업단지개발사업, 온실가스 감축성과에도 예산 반토막, 10월 13일자. <https://www.ikld.kr/news/articleView.html?idxno=224681> (2023년 11월 23일 검색).
- 대한상공회의소. 2022. 국내 제조기업의 RE100 참여 현황과 정책과제 조사, 8월 29일. 보도자료. https://www.korcham.net/nCham/Service/Economy/appl/KcciReportDetail.asp?SEQ_NO_C010=20120935475&CHAM_CD=B001 (2023년 11월 23일 검색).
- 새만금개발청. 스마트그린 산업단지. <https://www.saemangeum.go.kr/sda/content.do?key=2108029155584> (2023년 11월 27일 검색).
- 이슬기, 길은선, 허선경. 2021. EU 탄소국경조정제의 국내 제조업 영향 분석. 세종: 산업연구원.
- 이지연. 2022. 수전해 설비, 게임 체인저를 꿈꾸며. 신영ESG 4월 14일자. 서울: 신영증권.
- 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단. 2019. 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단(동향보고서). 나주: 지능형 스마트팜 플랫폼 수출연구사업단.
- 한국경제. 2022. 수소난방 준비하는 보일러사.. 탄소중립 걱정없는 이유, 9월 24일자. <https://www.hankyung.com/economy/article/202209294513i> (2023년 11월 23일 검색).
- 한국산업단지공단. 2022. 전국산업단지현황통계. https://www.kicox.or.kr/user/bbs/BD_selectBbsList.do?q_bbsCode=1036&q_clCode=2 (2023년 11월 23일 검색).
- 허원녕. 2020. 스마트 그린 산단 구축을 위한 에너지 부문 현황과 과제. 대구: 산업단지공단 산업입지 연구소.
- KOTRA. 2022. 美 식·음료 업계 이산화탄소 부족 사태. https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE_NO=3&MENU_ID=180&CONTENTS_NO=1&pNttSn=196408 (2023년 11월 23일 검색).
- Accenture. 2021. Industrial clusters: Working together to achieve net zero. <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/accenture-com/document/Accenture-WEF-Industrial-Clusters-Report.pdf> (2023년 11월 23일 검색).
- Axios Pro. 2023. Scoop: Cassidy plans carbon-tariff bill. <https://www.axios.com/pro/energy-policy/2023/02/14/scoop-cassidy-plans-carbon-tariff-bill> (2023년 10월 12일 검색).
- Climate Group RE100. https://www.there100.org/re100-members?items_per_page=100 (2023년 11월 22일 검색).
- Juniper Research. 2023. Smart Grid: Key opportunities, Challenges&Market Forecasts 2022-2027. <https://www.researchandmarkets.com/reports/5732184/smart-grid-key-opportunities-challenges-and> (2023년 11월 24일 검색).
- POSCO. 2020. POSCO to Establish Hydrogen Production Capacity of 5 Million Tons. <https://newsroom.posco.com/en/posco-to-establish-hydrogen-production-capacity-of-5-million-tons/> (2023년 11월 23일 검색).
- Reuters. 2023. EU carbon price hits record high nearing 100 euros/tonne. <https://www.reuters.com/markets/carbon/eu-carbon-price-hits-record-high-nearing-100-eurostonne-2023-02-20/> (2023년 11월 27일 검색).