

수소환원제철과 탄소저감을 위한 민간 원전 활용 정책 제언

[수소환원제철과 탄소저감을 위한 원전 활용 정책 토론회 결과 보고서]

2025. 09. 30.

서울대학교
원자력 미래기술정책연구소
원자력정책센터



국회의원 허성무



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

포스코홀딩스



제 출 문

본 용역 보고서를
「수소환원제철과 탄소저감을 위한 원전 활용 정책토론회」의
결과 보고서로 제출합니다.

2025. 09. 30

서울대학교
원자력미래기술정책연구소 원자력정책센터



기관명

서울대학교

원자력미래기술정책연구소 원자력정책센터

연구진

연구책임자

이상일

연구원

이종호, 박석빈, 장재환

연구보조원

고범규, 김지선, 박민지, 현우리, 이은주

센터장

심형진

요약

탄소중립 시대에 철강산업의 탈탄소화는 국가 경쟁력과 직결되는 과제다. 본 토론회(<수소환원제철과 탄소저감을 위한 원전 활용 정책토론회> 2025.7.2(수), 국회의원회관 제2소회의실 개최)는 허성무 국회의원이 주최하고 서울대학교 원자력정책센터가 주관하였으며, 포스코홀딩스에서 후원한 민간 주도의 수소환원제철 실현을 위한 원전 활용 방안을 중심으로, 산업계와 정부, 학계가 함께 제도개선과 협력방향을 모색한 자리였다. 특히, 민간기업이 직접 원자력 전력을 구매(PPA, Power Purchase Agreement)하고 활용할 수 있는 제도 기반 마련, 소형모듈원자로(SMR, Small Modular Reactor) 및 영구정지원전 재가동 및 민간활용, 계속운전원전 민간참여 및 활용방안, 데이터 센터 전력수요 대응 등이 핵심 의제로 다음과 같이 논의되었다:

토론회 내용 요약

1. 수소환원제철과 원자력의 접점

- EU 탄소국경조정제도(EU CBAM, Carbon Border Adjustment Mechanism) 등 탄소장벽 강화로 철강 산업의 탈탄소화 시급
- 포스코, 수소환원제철 등 혁신 기술 개발, 확대 및 단계적 설비 전환을 통해 2050 탄소 중립 선언
→ 연간 200만 톤 수소 및 8GW 무탄소 전력 필요(탈탄소 기술개발, 시기, 루트, 비중 등에 따라 수요 변동 가능)

2. 민간 주도의 원자력 활용 방안

- 민간이 참여 수소전용 원전 프로젝트 제안: 2,800MWe 원전 + 1,300톤/일 수소 생산 규모
→ 민간+지자체(SPC, Special Purpose Company) 주도, 총사업비 13조 원, 연 3,000억 수익 예상
- 영구정지원전, 설계수명 만료 원전 재가동, SMR 및 신규 대형원전의 민간투자 허용 필요

3. 산업 경쟁력 강화를 위한 정책 제언

- 전기요금 부담과 공급 불안정 해결을 위한 민간 중심의 원전 PPA 허용 촉구
- 전기사업법, 원자력안전법 등 현행 법률 내 허용 여지 존재하나, 제도 명문화 필요
- 수소 생산 전용 전력요금제 도입 및 원전 수소의 청정수소 인증 제도화 필요

4. 글로벌 사례 및 시사점

- 원전, AI·데이터산업의 신뢰성 높은 '무탄소 전력원'으로 부각
→ 美 빅테크, 원전 PPA 추진 (MS, Amazon, Google 등)
☞ 국내 역시 산업별 수요 기반의 PPA 전략 도입 시급

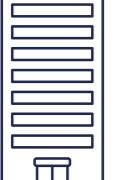
5. 재생에너지 한계와 원전의 보완 역할

- 2042년 RE100 수요 초과분 21.4TWh 예상 → 원전 이용률 10%p 상승 시 RE100 수요 대부분 충당 가능
- 송전망 제약, 망이용료 부담 등으로 재생 중심 PPA는 한계, 원전 병행 필수

6. 원전 종사자의 목소리와 현장 개선 필요

- 순환보직과 재취업 제한으로 기술 축적 단절 우려
- '감시보다 신뢰' 기반의 제도개선 및 숙련 인력의 적극적 활용 강조

정책제안

정책 제안	주요내용
 계속운전 민간투자 활용형 PPA (K-CAPN)	<ul style="list-style-type: none"> 기존 원전 계속운전에 민간 CAPEX(Capital Expenditure) 투자 결합 장기 PPA(20년 이상) 기반 안정적 전력 공급 전기사업법·원안법 개정 통한 법적 근거 마련 망요금·기금 감면 등 요금 특례 도입 월성 2~4호기 중심 실증 패키지 추진
 영구정지원전 재가동 및 민간 활용	<ul style="list-style-type: none"> 경제성 부족으로 영구정지된 원전(고리1·월성1)에 민간 CAPEX 투자 결합 20년 이상 장기 PPA로 경제성 확보 (K-CAPN, Korean Carbon-free Alliance for Power Nuclear) Palisades 등 해외 재가동 사례 참고 기존 인프라 재활용 통한 24/7 무탄소 전력 공급 해체 승인 이후 재가동 절차·법적 근거 마련 지역 수용성 확보 위한 상생기금·인센티브 필요
 민간기업 SMR 사업 참여 확대	<ul style="list-style-type: none"> 산업계 장기 무탄소 전력·열 수요 대응 민간기업 투자·운영 참여 허용 및 확대 SMR 전용 인허가 절차·제도 패키지 도입 가격 안정장치(CfD, Contract for Difference·K-CAPN) 마련 부지 지정·주민 수용성 확보 제도화 공급망 표준화·품질 인증·전문 인력 양성 병행
 원전 기반 수소 (CFE 인증 연계)	<ul style="list-style-type: none"> 원전을 포함한 무탄소 전원 인증체계(K-CFE, Korea Carbon-Free Energy) 도입 국제 상호 인정 가능한 인증체계 마련 전기사업법·원안법 개정 통한 제도 기반 마련 CfD+H₂-CfD 결합 계약모델 제안 원전 인접 수전해 파일럿 프로젝트 추진 연간 3만~3.5만 톤 규모 수소 생산 실증 목표
 신규 대형원전 민간투자 및 직접 활용	<ul style="list-style-type: none"> 11차 전기본에 따라 대형원전 2기 신설·부지 선정 예정 추가적으로 민간전용 대형원전을 통한 무탄소 전력 확보 지원 공기업·지자체·민간 공동 참여 원자력 협력 모델 구축사업 수용성·경제성 확보

기대효과

 1	<h3>산업 경쟁력·에너지 비용 안정</h3> <ul style="list-style-type: none"> 24/7 무탄소 전력 포트폴리오 확보 전력단가 변동성 완화, 장기 원가 예측성 제고 K-CAPN·CfD 장기정산제 도입 → 금융비용 절감, LCOE 하향
 2	<h3>탄소중립 달성 가속화</h3> <ul style="list-style-type: none"> 계속운전(월성 2·3·4) → 무탄소 전력 즉시·대량 공급 영구정지 원전 재가동 → 환경·사회적 영향 최소화, 조기 전력 공급 원전수소·열연계 확대 → Scope 2·공정배출 동시 감
 3	<h3>전력망·공급안정성</h3> <ul style="list-style-type: none"> 원전 기반 청정 전력 확대로 재생에너지 혼합 포트폴리오 최적화 대규모 수요처와 직접 연동 → 계통 혼잡 완화, 시스템 비용 절감 전력 지산지소 체계 구축
 4	<h3>투자촉진·민간자본유입</h3> <ul style="list-style-type: none"> 민간 투자 참여·장기 수요 연계형 투자 활성화 → 금융 유치 확대 포트폴리오 PPA·다중구매자 모델 → 신용보강 체계 확립
 5	<h3>지역경제·수용성제고</h3> <ul style="list-style-type: none"> 지자체·민간 공동개발, 상생기금·커뮤니티 세어→지역 수용성·일자리 창출 영구정지 부지 재활용 → 지역 산업 생태계 회복

목 차

1. 서론	12
1.1 배경	12
1.2 토론회 목적	13
2. 주요 발제 요약	14
2.1 수소환원제철과 탄소저감을 위한 원전 활용 방안	14
2.2 국가 산업 경쟁력 강화를 위한 원전 활용 방안	20
3. 패널 토의 요약	24
3.1 패널 토의 좌장 모두 발언	24
3.2 지자체 민간기업에 의한 수소 전용 원전 프로젝트	25
3.3 원전 사업 민간참여 활성화를 위한 제도수립	26
3.4 미국의 원전 활용 사례를 통한 시사점	28
3.5 데이터센터와 원자력의 역할	29
3.6 재생에너지 초과 수요 전망 결과 및 PPA 제도 개선	30
3.7 산업부 의견: 원전 PPA 필요성과 민간 참여 확대	32
3.8 지속 가능한 원전 진흥을 위한 원전 종사자의 현장 목소리	33
4. 사후 여론 동향 분석	36



목 차

5. 정책 제언	38
5.1 계속운전 민간 투자 활용을 통한 PPA	38
5.2 영구정지원전 활용성 검토	41
5.3 민간기업의 SMR 사업 참여 확대 방안	43
5.4 원전 수소 도입과 무탄소 전력 인증체계	46
5.5 신규대형원전의 민간투자 및 전력 직접 활용 검토	48
6. 기대효과	52
첨부	56





01 서론

1.1 배경

1) 민간 기업들은 지속 가능한 발전을 위해 무탄소 전력의 필요성을 강조하고 있음.

이러한 기업들은 탄소 배출을 줄이고 환경 친화적인 생산 방식을 채택하기 위해 원전과 같은 청정 에너지원에 대한 활용도를 높이고자 함

2) 이번 정책토론회는 하성무 국회의원이 주최하고, 서울대학교 원자력정책센터에서 주관하였으며, 포스코홀딩스에서 후원하였음. 본 토론회는 포스코그룹과 다른 민간 기업들의 에너지 수급 문제를 해결하기 위한 전략적 방향을 제시하고, 민간 원전 활용 방안을 모색하는데, 중점을 두고 있음. 이를 통해 지속 가능한 발전을 위한 실질적인 해결책을 마련하고, 관련 이해관계자들과의 협력을 강화할 수 있을 것으로 기대함



1.2 토론회 목적

1) 민간기업의 원전 전력 필요성 및 민간 참여를 위한 제도적 보완점

○ 민간 기업들이 원전 전력을 필요로 하는 이유와 그 중요성에 대해 논의함. 특히, 탄소 중립 목표 달성을 위한 원전의 역할 강조 필요. 민간 기업이 원전 프로젝트에 참여할 수 있도록 제도적 장벽을 제거하고, 참여를 촉진하기 위한 법적 및 규제적 보완점을 제시함

2) 신규 대형원전의 민간기업 참여 및 원전 PPA

○ 신규 대형 원전 건설에 민간 기업이 참여할 수 있는 방안을 모색함.

이를 통해 민간 기업이 직접 전력 구매 계약(PPA)을 체결하거나 장기적으로 민간이 원전 운영에 참여하여 안정적인 무탄소 전력 공급을 받을 수 있는 기회를 제공함. 민간 기업의 참여가 원전 건설 및 운영에 미치는 긍정적 효과와 경제적 이점을 논의함

3) 민간기업의 투자 및 PPA를 통해 영구 정지원전(월성1호기 및 고리1호기 등) 경제성을 확보하고 이에 따른 재가동 검토 필요성

○ 민간기업의 투자 및 PPA를 통한 영구정지 원전의 재가동 가능성 검토함. 이를 통해 기존 원전의 활용도를 높이고, 민간 기업의 무탄소 전력 수급 및 청정 수소 생산/조달 문제를 해결할 수 있는 방안을 제시함. 재가동 후 전력 공급의 안정성 및 경제성에 대한 분석을 통해 민간 기업의 참여를 유도함

4) 소형 모듈형 원자로(SMR) 민간기업의 참여 및 PPA

○ SMR의 경제적 장점과 민간 기업의 참여가 가져올 수 있는 혁신적 효과를 분석하고, PPA를 통한 안정적인 전력 공급 방안을 제시함

5) 원전을 활용한 수소 생산 및 활용 방안

○ 원전 활용한 수소의 생산 및 활용을 통해 민간 기업의 청정수소 수급 문제를 해결하고, 수소 경제 활성화에 기여할 수 있는 방안을 제시함





02 주요 발제 요약

2.1 수소환원제철과 탄소저감을 위한 원전 활용 방안 (손병수 삼무, 포스코홀딩스)

1) 철강산업의 탈탄소 위협: 높아지는 탄소장벽과 선진국과의 탈탄소 경쟁력 격차 확대 우려

- 시장보호 정책으로 탄소를 명분으로 한 무역장벽 강화

- EU는 탄소국경조정조치(CBAM)를 '26년 1월부터 전면 시행

- 미국은 청정경쟁법과 해외오염세법을 통해서 탄소장벽 시행검토

- 경쟁력 강화정책으로 미래 신성장동력육성

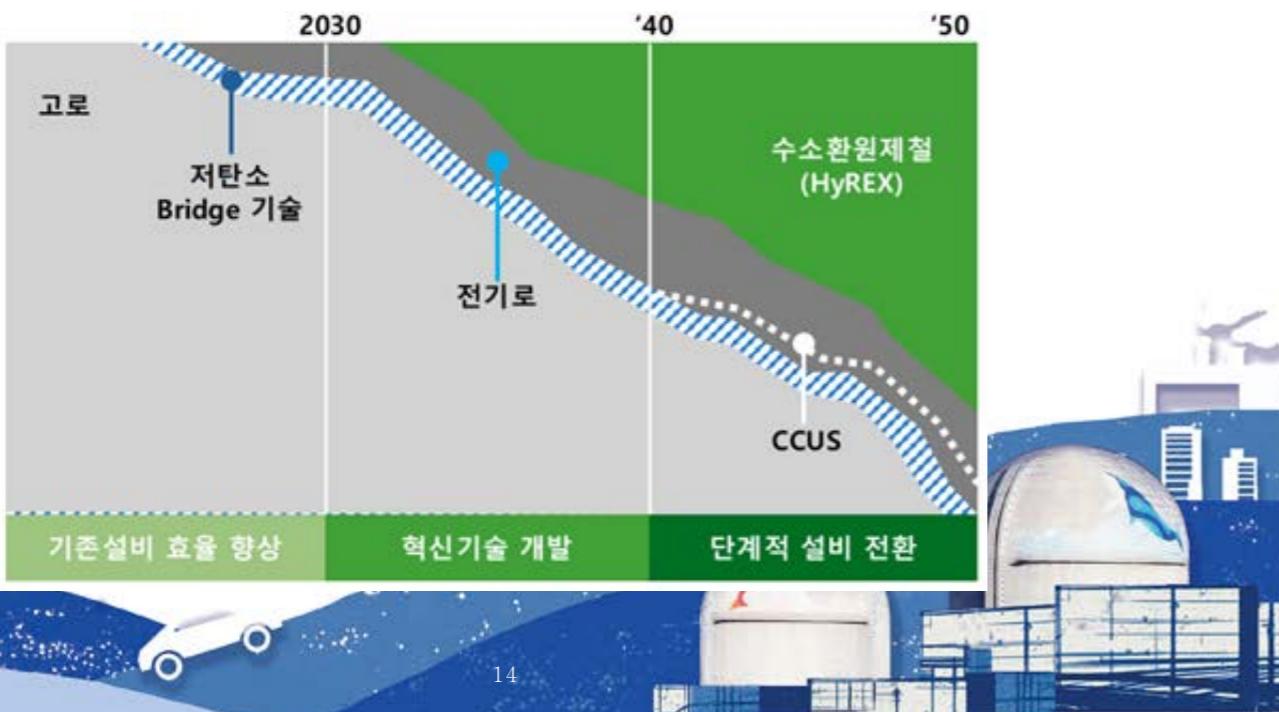
- EU는 '그린딜'연계 탈탄소화 기술 설비 투자 지원 확대

- 미국은 인플레이션감축법(IRA, Inflation Reduction Act)에서 수소 및 탄소포집 세액공제 제공

- 일본은 그린트랜스포메이션(GX, Green Transformation)전략하에 탈탄소 연구개발(R&D, Research and Development) 과제 및 설비투자 지원

2) 포스코의 탈탄소 전략: 수소환원제철을 포함한 혁신 기술 개발을 통해 탈탄소 추진

- 포스코 2050 탈탄소 전략로드맵



- 수소환원제철 성공의 필수요건

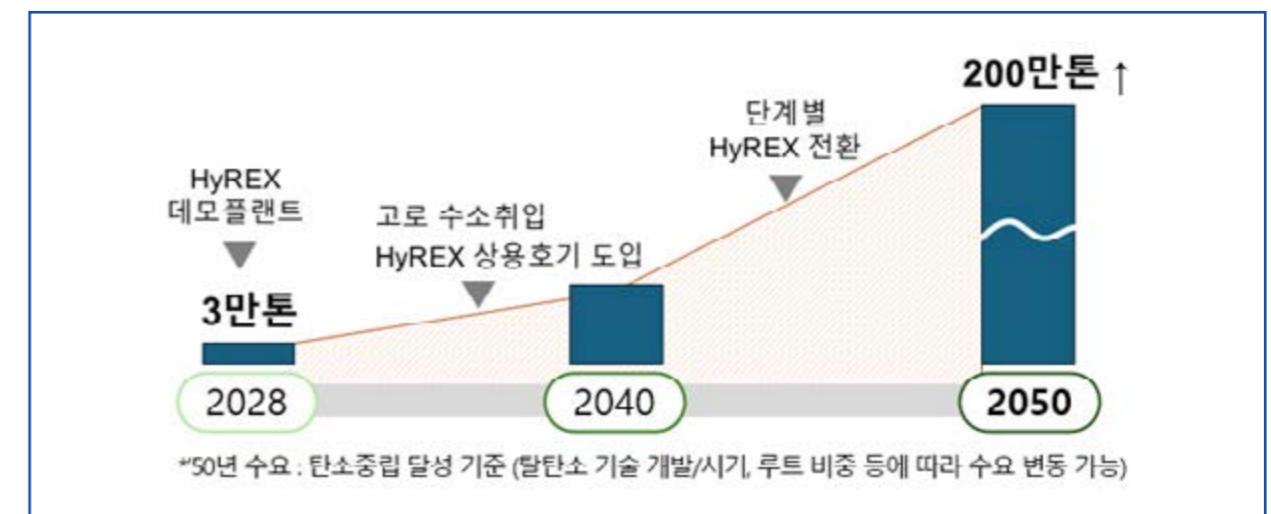
- 경쟁력 있고 안정적인 무탄소 전력 및 저렴한 대규모 청정수소 확보

- 무탄소전력 및 청정수소 공급 여건

- 국내 여건을 고려시, 탈탄소를 위해서는 국내 재생에너지 확대, 해외 수소 도입과 병행하여 원전 활용이 반드시 필요함

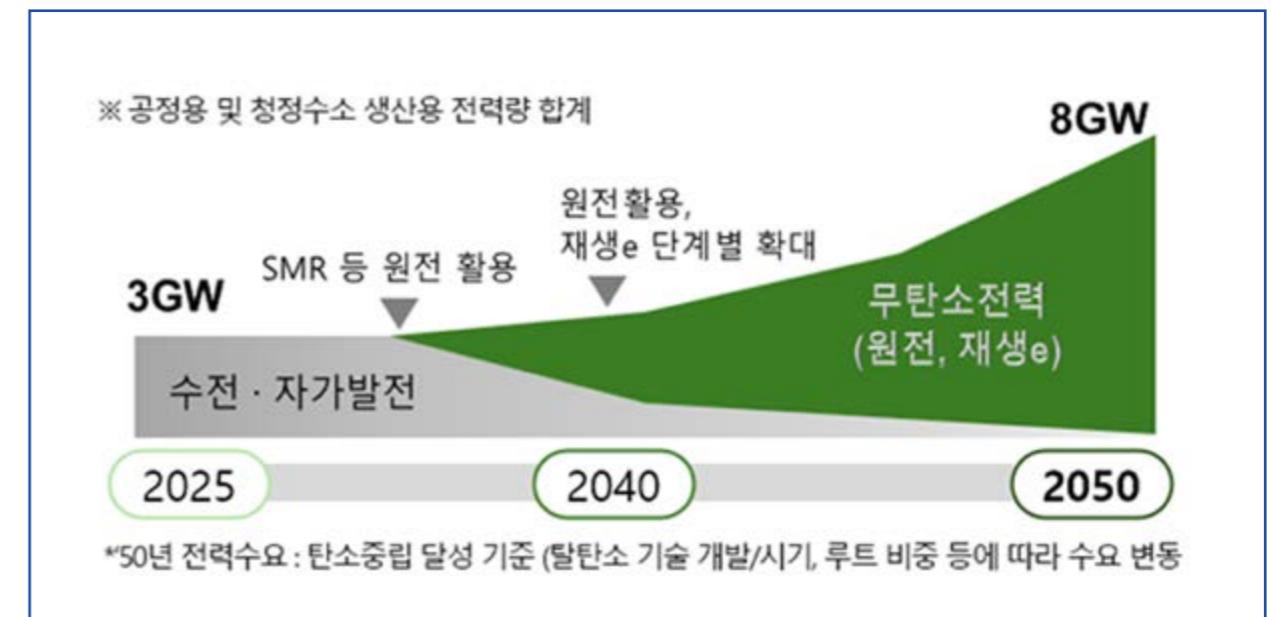
3) 철강 탈탄소 위한 에너지 수요: 단계별 친환경 설비 전환에 따른 청정수소·무탄소전력 수요 급증

- 청정수소



- '50년 탄소중립 달성을 위한 탄소削減 실행을 위해 200만톤 이상의 대규모 청정수소 필요

- 탄소 전력



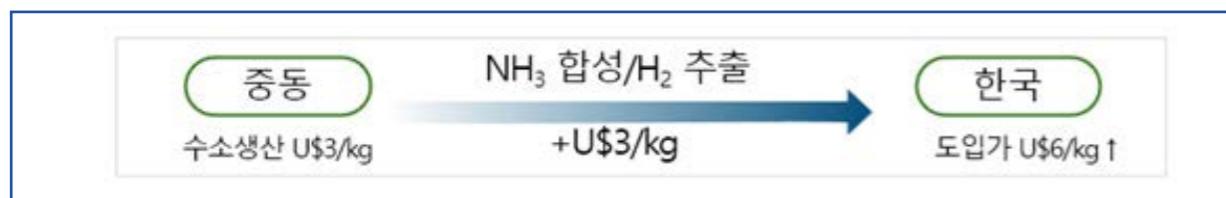
- '50년 배출량 감축 및 청정수소 생산을 통해 친환경 철강 전환을 위해서는 8GW 수준의 무탄소전력 필요



4) 수소환원제철 성공을 위한 청정수소 조달: 경쟁력 확보 가능한 현실적인 수단부터 활용, 단계별 원전과 재생에너지를 활용한 포트폴리오로 대응

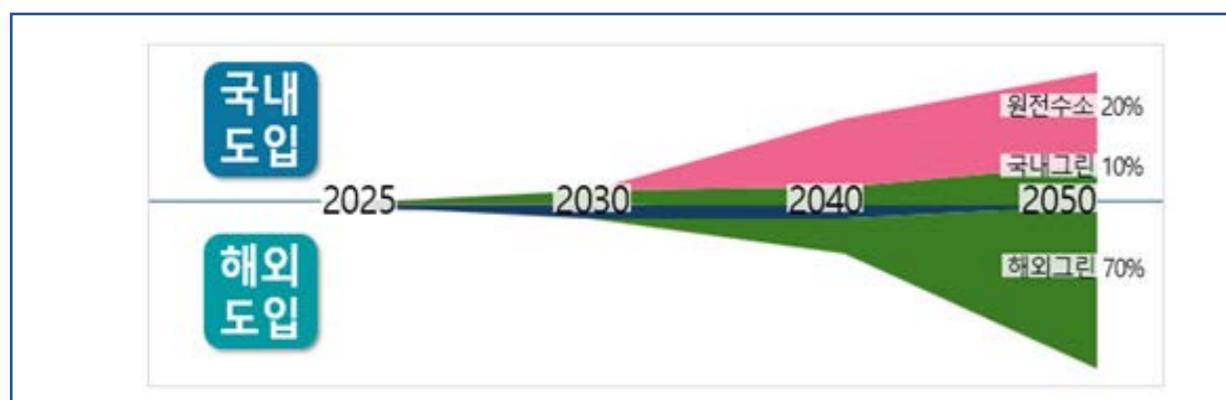
○ 수소 생산 여건

- 국내 무탄소전력 공급 경쟁력 미흡: 포스코 수요 대응에만 現원전발전 55%, '38년 재생에너지 발전량 60% 필요
- 해외 재생 에너지 여건이 우수해도, 국내 도입에 한계: 우수한 재생에너지 기반 수소생산 하더라도, 국내 도입 비용 추가



○ 수소 조달 전략

- 국내 경쟁력 확보 가능한 방안부터, 포트폴리오로 대응 (국내원전>해외블루>해외그린>국내그린)

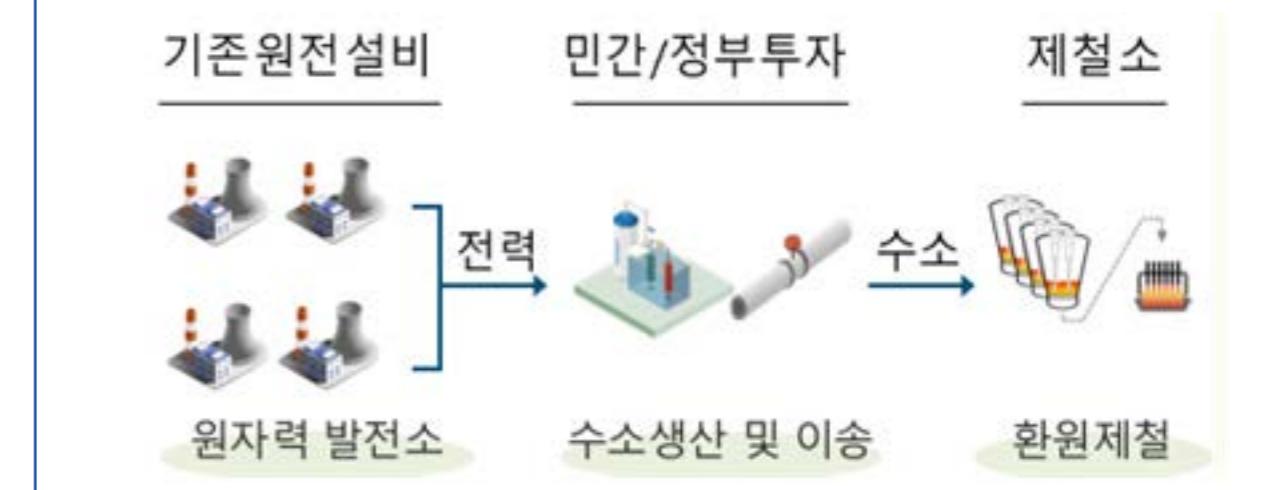


- 제철소 공급 방안: 그레이 수소, 원전 수소, 그린 수소를 실현 가능한 방법으로 도입

5) 수소환원제철 성공을 위한 무탄소전력 확보: “원전 기반 재생에너지 확대”를 목표로 단계별 포트폴리오 구성

6) 무탄소전환을 위한 원전 활용 모델 제언

- 지자체 추진, 원전수소 실증 사업 활용
- 우선순위 따른 단계별 포트폴리오 (원전기반 재생에너지 확대)
 - 사업 구도

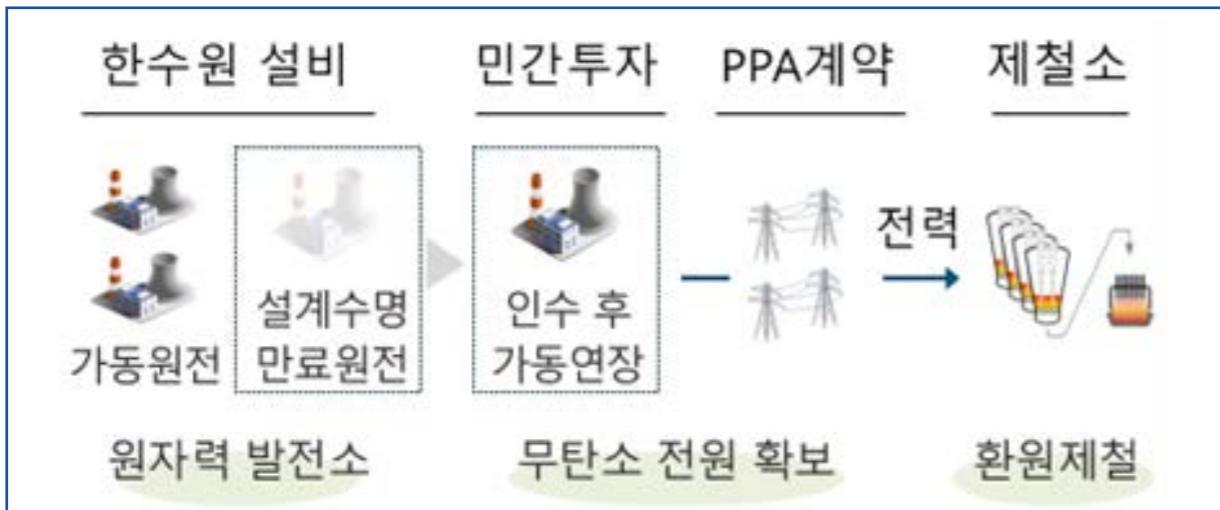


- 주요 현안: PPA 제도 개선, 원전수소 경제성 확보 및 청정에너지 인증(CFE, Carbon-Free Energy Certification), 수소전용 배관 등 인프라 구축
- 주요 사례: 한수원, 10MW 원전수소 국책과제, 울진군, 원전산단 조성 및 원전수소 실증사업, 경북도, 수소고속도로(배관) 1,000km 구축



○ 설계수명 만료원전 활용 전력공급

- 사업 구도



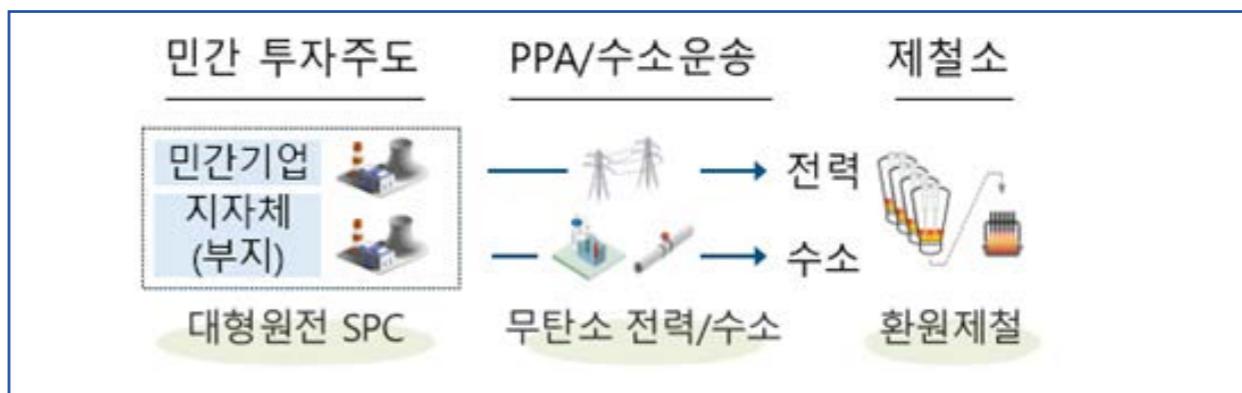
- 주요 현안: PPA 및 민간의 수명만료원전 투자/활용 허용, 계속운전 최소기간 20년 보장

- 주요 사례(해외): (미국) Palisade(800MW, '22년중지- '25년 재가동),

(미국) Three Mile(800MW, '19년중지- '28년 재가동), (미국) Duane Arnold(600MW, '20년중지 - '28년 재가동)

○ 신규 대형원전의 민간 참여

- 사업 구도

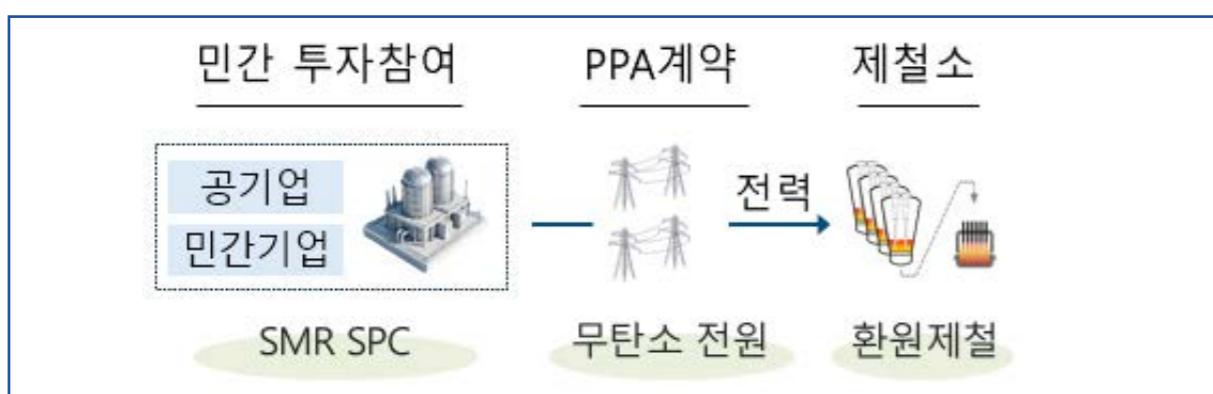


- 주요 현안: 국민수용성 및 민간사업자 참여 제도 도입, 국가 차원의 부지확보 및 핵폐기물 관리 지원, 국가 전력수급기본계획에 포함되지 않은 설비

- 참여 방식: 한수원과 합작법인(JV, Joint Venture) 설립 또는 위탁운영 방식, 원자력환경공단 등을 통해 국가 차원의 폐기물 관리 규제, 프로세스 적용 대상에 포함

○ SMR 활용 무탄소전원 확보

- 사업 구도



- 주요 현안: 분산에너지법 개정 등 SMR PPA 완화, 초도호기 개발 및 상용호기 민간투자 허용·확대

- 해외 동향: (구글) 데이터센터용 500MW PPA 체결('24년), (메타) '30년까지 SMR 포함 원전 4GW 설치,

(아마존) SMR 개발사 X-Energy에 5억달러 투자, (NUCOR) Nuscale과 SMR전력 공급 양해각서 체결(MoU, Memorandum of Understanding)



2.2 국가 산업 경쟁력 강화를 위한 원전 활용 방안

(김무환 특임교수, 포스텍)

1) 산업 발전과 원자력

○ 산업 성장과 전력 수요

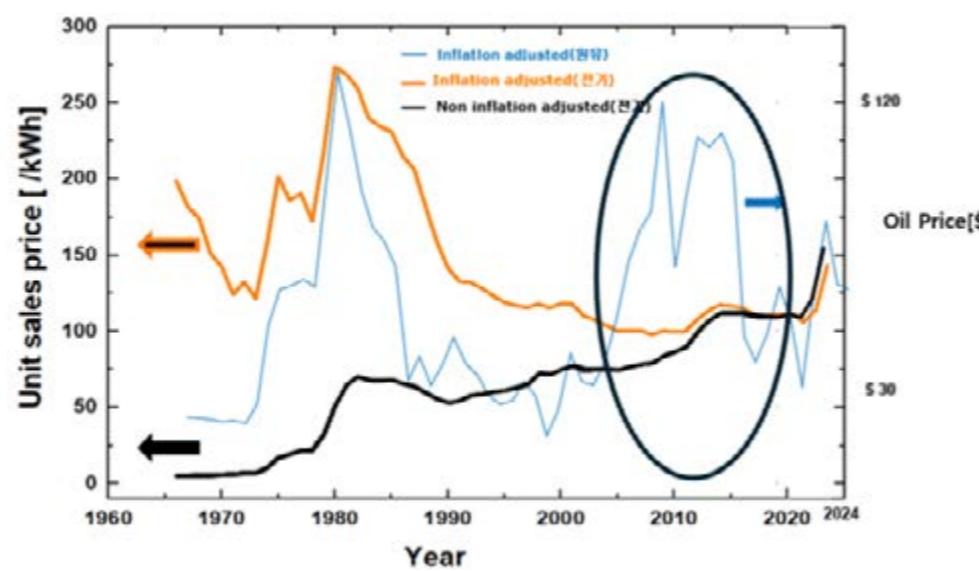
- 1960년대 이후 한국 산업화 과정에서 전력 수요 폭발적으로 증가
- 제조업 중심의 경제 구조는 안정적·저렴한 전기 공급을 필수로 요구
- 원자력은 저렴하고 대규모 전력 공급원으로 산업 발전에 핵심적 기여

○ 원유 가격과 전기요금 변화 (1966~2024)

- 국제 원유 가격 상승은 전기요금 인상으로 직결 → 제조업 경쟁력 약화
- 원자력 비중 확대 시, 연료비 의존도를 낮추어 전기요금 안정화 가능
- 과거 원유 파동 시기에도 원자력이 전기요금 완충 역할 수행

○ 제조업 경쟁력과 전기요금

- 전기요금은 제품 가격 경쟁력에 직접적 영향
- 고부가가치 산업일수록 전기 가격 변동에 민감
- 최근 전기요금 상승은 제조업 매출 대비 전기료 비중을 크게 증가시킴



2) 현재의 위기와 기회

○ 전기 가격 상승

- 2021년: 매출 대비 전기료 34%
- 2024년: 매출 대비 전기료 46%까지 증가
- 제조업체 수익성 감소, 해외 경쟁력 악화
- 매출 대비 전기요금 비중: 34% → 46%로 급증

○ 산업 구조 전환

- 탈탄소 정책, 4차 산업혁명, 친환경 에너지 확대 등으로 산업 경쟁력 변화
- 첨단산업(반도체, 배터리, 데이터센터)은 안정적이고 저렴한 전력 확보가 핵심

○ 인구 감소와 인재 부족

- 2040년경 고교 상위 10% 이공계 진학자 수 1만 명 이하 전망
- 대학 교육 부실 → 원자력 전문 인력 부족 심화
- 지역 인구 감소와 산업 붕괴 → 지방 소멸 가속화

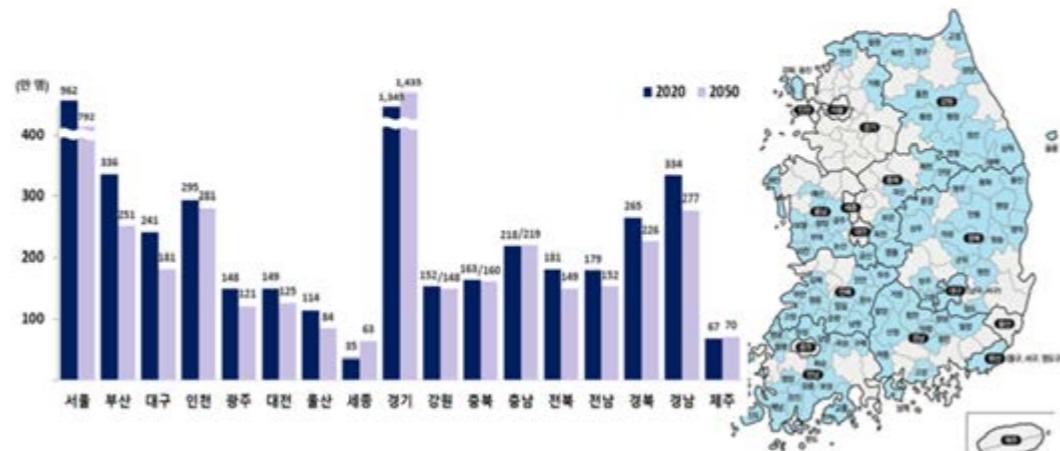
○ 국제 원자력 산업 환경

- 미국·캐나다·유럽: SMR 개발 경쟁 가속화
- 한국은 국내 기업이 해외 SMR 프로젝트에 투자하면서 국내 기술개발은 지연
- 대형 원전 수출 경쟁력 유지와 동시에 i-SMR 개발 필수





전국 89개 인구감소지역 지정 (행안부, 2021)



3) 우리가 해야 할 일

○에너지 공급 안정화

- 원자력 확대를 통한 저렴하고 안정적인 산업용 전력 공급
- 재생에너지와의 조화로운 믹스 필요
- 에너지 안보 측면에서 원자력은 핵심적 역할

○인력 양성

- 고등교육 단계부터 원자력·이공계 지원 확대
- 대학원 및 연구기관 중심의 심화 교육·R&D 강화
- 장기적으로 원자력 전문 인력 수급 안정화 방안 마련
- 해외 SMR에만 투자, 국내 SMR 개발 소극적

○지방 회생

- 원자력 발전소 및 관련 산업 기반으로 지역 경제 활성화
- 지방 대학과 연구소를 통한 지역 인재 육성
- 인구 감소 지역의 새로운 성장 거점으로 원자력 활용

○제도와 규제 개선

- 민간 사업자의 발전소 건설 및 운영 허용 → 다수 공급자·수요자 체제 준비
- 합리적이고 예측 가능한 규제체계 확립
 - 인허가 절차 간소화 및 예측 가능성 강화
 - 국제 기준과의 정합성 확보
- 안전 문화 확립
 - 국가·기업 충성보다 안전에 대한 충성을 최우선 가치로 확립
 - 규제기관과 사업자 간의 투명한 소통 강화
 - “스스로 지키려는 안전 문화” 확산 필요

4) 결론

○원자력은 국가 산업 경쟁력 회복의 출발점

○저렴하고 안정적인 전기 공급 → 제조업 경쟁력 회복

○인력 양성 및 지역 균형 발전 → 국가 지속 가능성 강화

○합리적이고 국제화된 규제 정비 → 원자력 수출 경쟁력 강화

○미래 산업 경쟁력은 원자력 활용에 달려 있으며, 국가 경제를 뒷받침할 핵심 축으로

자리매김해야 함



03 패널 토의 요약

3.1 패널 토의 좌장 모두 발언 (심형진 교수, 서울대학교 원자력정책센터장)

1) 에너지 시대, 전기의 시대

- 산업 경쟁력은 전력 확보 역량에 달려 있음

- 최근 공학한림원이 제시한 '혁신과 도약의 3대 축'은 에너지, AI, 인재이며 그 중에서도 에너지원, 특히 전기의 안정적 확보는 제조업 생존의 핵심임.

- 전력의 원천으로서 원자력의 역할 부각

- 무탄소·대용량·안정적 공급 특성을 갖춘 원자력은 전기 중심 산업구조에 필수적임.

2) 수소환원제철과 원자력의 연결성

- 2050년 포스코 수소환원제철 목표: 연간 수소 200만 톤 생산. 이를 위해 약 8기의 APR-1400 원전, 8GW 규모의 무탄소 전력 필요

- 수소 생산과 공급을 위해 원자력 활용이 불가피

- 민간 중심의 SMR 도입, 원자력 기반 PPA(전력구매계약), 수소생산 전용 원전 등의 필요성 강조

3) 정책 논의의 구조

- 원자력은 단순한 발전원이 아닌 '산업 전략 자산'임

- 제조업 경쟁력, 전기 요금 안정, 에너지 안보를 동시에 해결할 수 있는 수단으로 평가

- 정책 논의는 "무엇이 필요한가"에서 "어떻게 구현할 것인가"로 진전되어야 함

- 토론회는 실현 가능한 제도화, 투자 유인, 제약 해소 방안을 구체화하는 자리가 되어야 함

3.2 지자체 민간기업에 의한 수소 전용 원전 프로젝트

(박기철 이사장, 한국원자력산업환경진흥협회)

1) 한국 원전 발전 경위 및 현황

- 기술도입기→독자기술 확보→설계·제작·운영까지 기술자립
- 2000년 이후 16기 원전 건설 완료 (On Time, On Budget, High Quality)
- 과도한 규제·탈원전 정책으로 최근 건설효율 급감

2) 대형 원전(APR-1400) 활용 모델

- 기술도입기→독자기술 확보→설계·제작·운영까지 기술자립
- 활용 방식
 - 전력공급용: 55원/kWh (판매가 & 150원/kWh)
 - 수소생산 전용: 650톤/일/기→연 42만톤
 - 전력+수소 병행: 주파수 자동제어→전력망 적응형 모델(Grid Adaptive Model)

3) 수소전용원전 프로젝트 (제안)

- 사업추진 방식

- 주체: 지자체 + 민간기업(SPC)
- 규모: 2800MWe 발전 + 1300톤/일 수소 생산
- 부지: 총 600만m² (원전 120만m², 산업단지 150만m² 등)
- 비용 및 수익: 총사업비 13조원 / 최소 연 3,000억 원 수익
- 특징

- 한수원 부분 일괄도급 방식(Semi Turn-Key) 참여
- SPC 주도 수소생산, 나머지 부문은 민간 개방
- 송전망 불필요, 주파수 제어로 전력계통 기여
- 지자체와 기업 수익 참여→원전 우호 여론 확대
- 수출형 지식재산(IP, Intellectual Property) 개발, AI·모듈화 적용으로 글로벌 확장



○ 당위성 및 경제성

- 수소 수요 급증

- 한국은 '50년 2,790만톤 (해외 도입 2,290만톤) 수요
- 세계 5.46억톤 (에너지 수요의 20%) 수요 예상

- 생산비용: 원전이 가장 저렴 (기타 발전원 대비 경쟁력 우위)

○ 예상 효과

- 정부: 에너지 자립, 국가온실가스감축목표(NDC, Nationally Determined Contribution) 이행, 국제수지 개선

- 지자체: 일자리 창출, 지역 산업 활성화

- 민간기업: 자기발전 기반의 수익모델 확보

○ 대정부 협조 사항

- 민간·지자체 원전 투자 허용 법률 개정

- 수소전용로 인허가 절차 선제적 개선

- 산업단지 내 자가전력공급 허용

2) 제도적 기반: 현행 법률과 한계

- 중소형원전(SMR): 분산에너지특화지역 내 직거래 허용 법제화 완료 (500MW 이하)
- 대형원전: 직거래 가능하나 산업부 장관 승인 필요. 제도적 불확실성 큼
- 세부 규정은 대부분 산업부 고시에 위임돼 있어 법률 안정성·투자 예측성 부족

3) 원자력 민간 활용 비즈니스 모델

○ 민간 터즈

- 저렴하고 안정적인 전력

- 수소 생산용 전력

- 반도체·데이터센터 등 고부가산업 지원

○ 주요 비즈니스 형태

- 자체 발전소 직접 운영 (On-grid / Off-grid)

- 발전사업자로부터 PPA(전력구매계약) 체결

- 집단 수요자 공동 투자 → 발전사 설립

- 인프라 펀드가 발전소 운영 → 구역전기 판매

○ 하이브리드 모델

- 전력(Electricity, E) + 열(Heat, H) 공급형 원전 모델

- 수요자원시장(DR, Demand Response) 활용

- 탄소무배출 인증(CF100, Carbon Free 100 Certification) 대응 가능한 시스템 구축

3.3 원전 사업 민간참여 활성화를 위한 제도 수립 (이종호 객원교수, 서울대학교 원자핵공학과)

1) 전력시장의 변화: 민간 참여 확대의 필요성

- 한국의 산업용 전기요금은 2024년 기준 190원/kWh(140\$/MWh)로, 경쟁국 대비 높은 수준
- 코레일 등 공기업조차 도매시장 진출 검토 중, 전력비용이 기업 수익성에 심각한 영향을 미침
- 재생에너지 비중 확대 시, 발전단가가 최대 89%까지 상승할 전망 → 에너지저장장치(BESS, Battery Energy Storage System) 비용 등 그리드 운영비용 폭증도 동반
- 기존 공공 중심 전력공급 체계는 한계에 도달, 민간 중심의 효율적 에너지 조달체계 필요

4) 제도 개선 방안 및 정책적 제언

- PPA 및 직접 소유 허용 확대: 민간 사업자가 원전 운영 가능하도록 명확한 법제도 정비 필요
- 시간별 요금제 도입으로 경제성 제고
- DR 시장 참여 및 E/H 하이브리드 사업 모델의 법제화 필요
- 정부와의 협력 및 국민적 공감대 형성 병행 필요



3.4 미국의 원전 활용 사례를 통한 시사점 (김택동 실장, 한수원 전략경영단 원자력정책실)

1) 전력 수요 변화와 원전의 재조명

- AI 및 데이터센터 확산으로 인해 고정적·청정한 대용량 전력 수요 급증
→ 빌 게이츠, 젠슨 황 등 글로벌 리더들도 원전 없이는 AI 경쟁 불가능이라 강조
- 수익성과 안정성을 위해 글로벌 대기업은 원전 기반 전력 공급 확보에 집중

2) 미국의 데이터센터 원전 활용 방식

- 활용 유형:
 - PPA (전력구매계약)
 - 직접 투자
 - 원전 인근 입지형 데이터센터(Co-location, Co-located Data Center)

- 주요 사례:
 - 오하이오·펜실베니아·버지니아 등에 SMR 24기, 300MW 단위로 건설 추진
 - Susquehanna·TMI 1호기 재가동을 통해 데이터센터(DC, Data Center) 3개소에 전력 공급
 - 시사점: 데이터센터의 핵심 운영 인프라로서 SMR이 선택되고 있음.

3) 전력 수요 변화와 원전의 재조명

- 트럼프 행정부(1·2기) 및 바이든 정부 모두 원전 재건 드라이브 강화
 - 원전 규제 완화, 혁신 촉진 법안 제정
 - SMR 개발 및 실증 사업(ARDP 등, Advanced Reactor Demonstration Program 등) 다수 시행
 - 투자세액공제(ITC, Investment Tax Credit) 30%, \$3.5M 매칭펀드 등 강력한 재정지원
 - 수출국(우방국) 대상 기술·자금 패키지 지원
 - 시사점: 원전은 단순 발전소가 아닌 산업·에너지 안보의 핵심 인프라로 재인식됨.

4) 국내 시사점: 원전과 산업의 유기적 연결 필요

- 기존의 한수원 중심 Value Chain 협력(EPC, Engineering, Procurement and Construction·정비·기술)에서 벗어나, 미국처럼 산업계와의 PPA 기반 협력 모델 확대 필요
- 국내 산업의 원전 수요 전망
 - 고탄소 산업: 철강, 반도체, 화학, 제조, 데이터센터 등
 - 요구사항: 청정·안정·장기 계약 기반 전력, i-SMR 등 다양한 기술 활용
 - 민간 투자자(SI·FI, Strategic Investor·Financial Investor)의 참여 기반 마련 필요

5) 정책점 시사점

- 미국 사례는 원전이 미래 에너지·산업 성장의 중심 축임을 보여줌. 특히 민간 수요 기반의 전력 공급 체계(PPA, Co-location 등)는 국내에서도 SMR 등 신규원전 도입 전략에 반드시 반영되어야 하며, 산업계와 전력공급자의 전략적 파트너십 기반 재구축이 시급함

3.5 데이터센터와 원자력의 역할 (채효근 전무, 한국데이터센터연합회)

1) 데이터센터와 에너지 전환의 연결

- 디지털 전환과 AI 확산으로 데이터센터의 전력 수요는 기하급수적으로 증가하고 있음
- 데이터센터는 이제 단순한 전력 소비자가 아닌, 국가 전력망과 산업의 지속가능성을 좌우하는 핵심 주체로 부상
- 글로벌 기업은 환경·사회·지배구조(ESG, Environmental, Social, and Governance) 전략의 일환으로 24시간 무탄소 전력 확보를 요구하며, 이 과정에서 재생에너지의 간헐성 한계를 보완할 대안으로 원자력이 재조명되고 있음

2) RE100과 원자력의 인정 여부

- RE100은 태양광·풍력 등 재생에너지로 100% 전력을 조달하겠다는 글로벌 이니셔티브
 - 그러나 원자력은 재생에너지로 간주되지 않아 RE100에는 포함되지 않음
- 미국·유럽 등에서는 'CFE (Carbon-Free Energy)', 'CF100' (Carbon Free 100), '24/7 무탄소 전력' 등의 프레임워크를 통해 원자력을 실질적인 무탄소 전력으로 인정하는 병행 전략을 추진하고 있음



3) 글로벌 사례: 원자력과 데이터센터의 융합

- Microsoft, Amazon, Google 등 빅테크는 미국 내 기존 원전과 SMR(소형모듈원자로) 기반의 PPA 체결 확대
- Susquehanna·TMI 등 원전 인근에 데이터센터와 원전의 Co-location 전략 추진
- 미국 에너지부(DOE, Department of Energy)는 연방 부지를 활용해 AI용 데이터센터와 원전의 통합 개발을 촉진
- 영국은 SMR 입찰 프로젝트(2025~2029)를 통해 미래 전력 수요에 대응 중
- 결론적으로 원자력은 AI 인프라의 핵심 전원으로 인정되고 있으며, SMR은 그 중심 기술로 부상

4) 국내 동향: SMR 개발 및 데이터센터 적용

- KHNP의 i-SMR 프로젝트: 2028년 표준설계 인증 목표, 2030년대 상용화 추진
- 대구 SMR 실증 MoU, 문무대왕 과학연구소 설립, 경북 지역 기반 인프라 조성 등 국내 실증 기반 확대 중
- 제11차 전력수급기본계획에서 SMR 및 기존 원전 활용을 통한 원자력 비중 확대 명시

5) 정책점 시사점

- AI 시대에 안정적이고 무탄소적인 전력은 곧 산업경쟁력임. 재생에너지의 한계를 보완할 수 있는 원자력은 데이터센터·AI 산업을 뒷받침하는 '신뢰 가능한 전력원(Clean & Firm Energy)'으로써 재정립되어야 함

3.6 재생에너지 초과 수요 전망 결과 및 PPA 제도 개선
(이제훈 박사, 한국경제인협회)

1) 산업 저탄소전환의 배경과 장벽

- 한국 산업계는 글로벌 공급과잉과 탄소중립 압박이라는 이중의 도전에 직면하고 있음
특히 철강·석유화학 등 에너지 다소비 업종은 글로벌 원청기업의 무탄소 전력 사용 요구에 대응해야 함
- 주요 산업의 위기 요인:
 - 중국발 공급과잉 → 국내 조강 생산량 급감
 - 글로벌 기업의 89%가 탄소 감축 요구
 - 무탄소 전력 수요 증가 (RE100, 24/7 CFE 이니셔티브 등)

○ 전환의 장벽:

- 에너지·환경 정책의 불확실성: 계획 변동성이 크고 예측 가능성이 낮음
- PPA(전력구매계약) 지원체계 미비: 망이용료, 전력기반기금 부담이 민간 참여 저해
- 무탄소전력원 인정범위 협소: 국내법상 원전은 PPA 전력원에 포함되지 않음
(現 전기사업법상 재생에너지로 한정)

2) 재생에너지 초과수요 전망

- 2042년 기준 RE100 수요 초과분: 약 21.4TWh
- 원전 이용률 10%p 상승 시: 4대 산업(철강, 석유화학, 반도체, 데이터센터)의 전력소비 대부분을 무탄소전력으로 충당 가능. 기존 원전의 적극 활용이 재생에너지 수요 초과분을 보완할 유력 대안임이 입증됨

3) PPA 제도 개선 정책과제

○ 단기과제:

- 송전제약 PPA 내 원전 포함
- 출력감발 발생 시 원전전력을 흡수할 대규모 수요처 지정 (예: 반도체·DC 등)

○ 중장기과제:

- 조달 가능한 무탄소전력원에 원자력 포함 명문화
- SMR 등 분산형 전원 확대와의 정책 정합성 확보
- 망이용료·전력기반기금 등 부대비용 한시 감면을 통해 민간기업의 자율적 선택 유도

- 해외는 이미 PPA 투자지원(예: 발전설비 투자비 1/3 지원, 망이용료 80% 감면 등)을 통해 민간 참여를 촉진하고 있음
- 한국도 에너지믹스 현실화를 위해 업종별 수요에 기반한 원전-PPA 제도 개편이 시급함

4) 정책점 시사점

- AI 시대에 안정적인 산업계의 저탄소 전환은 선택이 아닌 생존의 문제이며, 이를 실현하기 위한 현실적·효율적 해법은 '원전 기반 PPA 제도 도입'임. 정부는 원전을 무탄소 전력원으로 포함하는 제도 개정과 함께 민간 기업이 자율적으로 전력원을 선택할 수 있도록 정책 유연성과 지원 체계를 마련해야 함



3.7 산업부 의견 : 원전 PPA 필요성과 민간 참여 확대 (안세진 국장, 산업부 원전산업정책국)

1) 원전 전력구매계약(PPA)의 필요성

- PPA는 단순한 계약을 넘어, 국가 전력 수급 체계 전반과 관련된 이슈임
전력의 수요·공급 균형, 전력시장 공정성, 소비자 부담 등 복합적인 고려사항이 존재함
- 산업부 내 전력국, 수소국 등 관련 부서들과 협의체를 구성해 PPA제도 개선 방안을 본격적으로 검토 예정

2) 민간의 원전산업 참여 확대

- 현행법 제도상 민간의 원전 사업 참여가 법적으로 금지되어 있는 것은 아님
그러나, 원전 인허가에는 주민 수용성 확보와 높은 안전기준 충족이 필수. 민간기업으로써는 제약사항이 존재함
- 특히 대형 원전의 경우, 사업 규모(수조~수십조 원), 추진기간(10년 이상) 등으로 인해 민간 기업의 진입이 매우 어려운 구조임

3) SMR 민간 참여 필요성 – 세 가지 이유

- 수요 다변화 가능성: 수소 생산, 데이터센터 등 다양한 수요처에 맞춰 규모·용량 조절이 가능하며, 이러한 수요는 한수원·한전이 아닌, 민간기업이 스스로 발굴해야 할 영역
- 사업 규모의 적정성: 대형 원전은 수십 년의 기간과 막대한 자본이 필요하지만, SMR은 작은 규모로 민간기업이 도전해 볼 수 있는 사업성 있는 수준
- 해외 진출 가능성: 국내뿐 아니라 미국 등 해외 SMR 기업과 협력 중이며, 한국이 SMR 제작의 '파운드리' 역할 (예: 창원, 경남 등 제조 기반)을 수행할 기회가 큼

4) 정부의 대응과 향후 계획

- 산업부는 2023년부터 "SMR 얼라이언스(42개 민간 기업 참여)"를 결성해 민간 중심의 SMR 생태계를 육성하고 있음
- 포스코 등 주요 기업들도 여기에 함께하고 있으며, 중장기적으로 SMR 산업에 민간 참여를 본격화하는 전략을 추진하고 있음
- 여야 의원님들께서 준비 중인 SMR 관련 특별법에도 민간 참여를 촉진할 수 있는 조항이 반영되도록 산업부도 적극 협의 예정

3.8 지속 가능한 원전 진흥을 위한 원전 종사자의 현장 목소리 (오영수 기획처장, 한수원 노동조합)

1) 감시보다 신뢰 중심의 제도 필요

- 최근 논의되고 있는 '원전감독법'은 원전 종사자를 감시와 통제의 대상으로 보고 있음.
- 현장은 신뢰와 자율성이 작동해야 안전문화가 유지될 수 있음. 현장 인력은 감시 대상이 아니라 안전을 지키는 전문가로 인정 필요

2) 순환보직의 부작용

- 강제 순환보직은 다음과 같은 문제를 야기:
 - 숙련도 단절 → 기술 축적 불가
 - 전문성 약화 → 안전성 저하

3) 재취업 금지의 문제

- 현행 제도는 퇴직자들의 원전 분야 재취업을 사실상 금지하고 있음. 이로 인한 문제점은 다음과 같음:
 - 기술 전수 단절
 - 현장 노하우의 유실
- 해외 사례:
 - 미국: 퇴직자를 독립 감리단·교육 강사로 활용
 - 프랑스: 안전 기술 평가자로 적극 기용
- 한국도 숙련 인력을 '위험'이 아닌 '자산'으로 전환해야 함

4) 현장 종사자들의 체감 현실

- 다음과 같은 환경은 종사자의 사기를 떨어뜨리고, 원전 안전의 근간을 흔들 수 있음:
 - 자율성 없는 인사 이동
 - 의심의 대상이 된 전문가들
 - 퇴직 이후 불투명한 미래
 - 신뢰성 부족한 정책 체계



5) 제도 개선 제안

- 순환보직 의무조항의 유연한 적용
- 재취업 제한 완화 및 명확한 기준 정립
- 오지 근무 보상 강화 및 인사 연속성 확보
- 현장 종사자에 대한 신뢰 회복

(빈페이지)



04 사후 여론 동향 분석

- * 토론회이후 논의된 주제와 관련하여 2025.7.2.~8.15일사이에 기사 120건·칼럼 18건·SNS 2.3만건이 게재됨
- * 이를 주제별로 요약하면 다음과 같음

1) 정책환경 및 주요 동향

- 제도 진전: 고준위 방폐물 특별법 하위법령 입법예고로 관리체계 구체화, 계속운전·재가동 논의 병행 확대
- 수요 측 압력: 철강(수소환원제철)·데이터센터 중심의 24/7 무탄소 전력(CFE) 수요 급증
- 조달 메커니즘 부상: 원전 포함 PPA와 장기정산(CfD·CAPN 등), Contract for Difference·Carbon-free Alliance for Power Nuclear 등) 도입 필요성 다수 보도
- 리스크 관리 요구: 금융조달가능성(bankability) 확보를 위한 비용 패스스루(Pass-through)·표준계약·신용보강 논의 확산
- 수용성 쟁점: 지원범위·절차·정보공개 등 지역·시민 우려에 대한 제도적 대응 필요

2) 정책 프레임 전환 요인

- 24/7 CFE 제도화: RE100 중심에서 시간매칭·속성검증을 포함한 조달체계로의 전환 가속
- 계속운전의 전략적 활용: 수명만료 접근 초기의 단·중기 가용전원화 및 계통 안정 기여
- 영구정지 부지의 단계적 재활용: 기존 부지·송변전 인프라 활용을 통한 조기 공급 경로 검토
- 원전 포함 PPA 표준화·장기정산: CfD/생산할당(CAPN) 기반의 가격 안정·리스크 분담 구조 확립 필요.
- 금융조달가능성 요건: HLW(High-Level Waste) 비용 패스스루, 표준계약, 보증·보험·유동화 등 신용보강
패키지 요구
- 지역수용성 패키지: 지자체·민간 공동개발, 정부 주도 계획부지(경쟁선정) 등 제도적 설계 필요.

정책환경 및 주요 동향

- 제도 진전: 고준위 방폐물 특별법 하위법령 입법예고로 관리체계 구체화, 계속운전·재가동 논의 병행 확대
- 수요 측 압력: 철강(수소환원제철)·데이터센터 중심의 24/7 무탄소 전력(CFE) 수요 급증
- 조달 메커니즘 부상: 원전 포함 PPA와 장기정산(CfD·CAPN 등) 도입 필요성 다수 보도
- 리스크 관리 요구: 금융조달가능성(bankability) 확보를 위한 비용 패스스루·표준계약·신용보강 논의 확산
- 수용성 쟁점: 지원범위·절차·정보공개 등 지역·시민 우려에 대한 제도적 대응 필요
- 방폐물 로드맵 연계: 월성 건식저장시설(MACSTOR, Modular Air-Cooled Storage) 용량관리와 중간저장(2050)/영구처분(2060) 일정 정합성 확보
- SMR·공급망 전환: 최초실증(FOAK, First-Of-A-Kind)에서 표준화모델(Fleet, Standardized Fleet)로 전환 표준화·반복학습 효과를 축적하는 중장기 전략 부각
- 데이터센터 변수: AI 확대로 고정·대용량 CFE 수요가 조달·계통 정책을 견인
- 증거기반 모니터링: 기사량·감성·키워드 정례 대시보드로 정책 커뮤니케이션 품질 제고



05 정책제언

5.1 계속운전 민간 투자 활용을 통한 PPA



○ 현황

- 산업 전력·탈탄소 수요 급증
 - 철강·석유화학·반도체·데이터센터 등 전력다소비 업종은 무탄소 전력의 장기 조달이 필수
 - 원전 이용률 10%p 상승 시 무탄소 산업 전력 충당 여력 확대
→ 원전 기반 PPA 제도 개편 필요
- 원전 PPA 논의의 제도적 출발점
 - 현행법상 제한적 무탄소전원 인정으로 원전PPA 불가, 원자력을 '조달 가능한 무탄소 전원'으로 명문화하고 원전 PPA를 주요 정책 과제로 명시 제안
- 국제 벤치마킹: 프랑스 CAPN 사례(상세 설명은 첨부 참조)
 - ARENH(프랑스 규제전력판매제도, Regulated Access to Historic Nuclear Electricity) 종료 → CAPN(원전 생산할당 계약) 전환
 - ① 기존 ARENH 제도(2011~2025) → EDF가 원전 전력을 고정가(42 €/MWh)로 판매
→ 시장가격 급등 시 EDF 손실, 시장왜곡 심화
 - ② 2025년부터 CAPN(원전 생산할당 계약)으로 전환 → 원전 전력의 공공성·시장성 조화, 가격 안정 확보 목적
 - CAPN(Contrat d'Accès à la Production Nucléaire) 개요
 - ① 형태: 원가 기반 장기계약(PPA 유사)
 - ② 계약기간: 10~15년
 - ③ 초기 물량: 1.8GW(연 10TWh)
 - ④ 대상: 연간 7GWh 이상 대형 수요자(산업체·전력판매사 등)
 - ⑤ 방식: 유럽 단위 공개경쟁입찰

○ 필요성

- 29년까지 2월까지 10기 원전 설계수명 만료 예정이나 계속운전 심사가 지연될 경우 대규모 원전 가동 중단 불가피



- 이는 전력수급 불안정, 전기요금 상승, 탄소중립 목표 차질, 산업 경쟁력 약화 등 복합적 문제 초래 예상됨
- 계속운전 신청 시기 확대, 심사 프로세스 신속화, 계속운전 기간 연장 등 제도 개선과 함께 설계수명 만료 원전 민간 투자 활용을 통한 PPA 모델 적용 제안
- 이를 통해 계속운전 심사 프로세스 신속화, 전력 다소비 산업 무탄소 전력 확보, 한수원 재정 부담 완화에 기여 할 수 있을 것으로 기대됨

○ 문제점

- 법·제도 장벽
 - 현행법상 무탄소 전원 범위에 원자력 배제, 수요기업-한수원 직접 PPA 불가
- 계속운전 인허가 불확실성
 - 고준위 특별법 세부기준 미정으로 인한 불확실성 존재
 - 부지내 건식 저장
 - ① 수명연장 시 법적 한계: 저장용량은 원전 설계수명 동안 발생하는 사용후핵연료까지만 허용
→ 원전 수명 연장 시 추가 저장 문제 발생
 - ② 지역 수용성: 주민 공람·토론회 절차가 필수 → 지역 반대 시 건설·운영 지연 또는 무산 가능
 - ③ 사실상 장기 저장화 위험: 중간저장·처분시설이 지연될 경우, 건식저장이 임시가 아니라 사실상 장기·영구 저장 기능을 떠안을 위험
 - 중간저장시설
 - ① 목표 시한의 강제력 부족: 2050년 이전 운영 개시 규정이 "노력해야 한다" 수준
→ 실질적 강제력이 없어 달성 불확실
 - ② 부지선정 갈등: 국가가 특정 지역을 선정할 경우, 주민투표·지역 반발(NIMBY, Not In My Backyard) 현상으로 추진 지연 가능성 큼
 - ③ 기술·운영 경험 부족: 수십 년간 안전 운용 및 최종 처분시설과 연계하는 실증 경험 부족
→ 기술적 불확실성

○ 제언

- K-CAPN (계속운전형 원전 생산할당계약) 도입 검토
 - 개념: 기존 원전 계속운전에 민간 CAPEX(민간 설비투자, Capital Expenditure) 투자 결합 선투자 ↔ 장기 생산할당(20년 이상)+무탄소 전력 구매 권리 확보
 - 설계 핵심
 - ① 대상: 설계수명 만료 임박/도달 원전(예: 월성 2~4), 개선공사 완료·계속운전 승인 전제



- ② 가격: 오프테이커(Off-taker) 계속운전 CAPEX 선투입, 총운영원가+합리적 수익 기반 가격대(band) 또는 상·하한(CfD형)
- ③ 리스크 분담: 운전·연료·규제·해체=운영자, 수요·신용=오프테이커. 정지·불가항력은 계약 정산규정으로 처리

· 법·제도 정비

- ① 전기사업법: '무탄소 전원 PPA' 범위에 원전 포함(직접·가상 PPA 근거)
- ② 원자력안전법: 민간 CAPEX 참여 근거, 감독·정보공개 강화(운영권·안전책임은 사업자 일원화), 계속운전 신청 시기 확대, 심사 프로세스 신속화, 계속운전 기간 연장
- ③ 고준위 방사성폐기물 관리에 관한 특별법: 계속운전 기간을 고려한 부지내 저장시설 용량허용 필요
- 월성 2~4호기 민간 PPA 실증 패키지
 - 일정: (예시) '25~'26 설계·규정 정비 → '27~'29 단계 공급
 - 조달 구조: 민간 개선 CAPEX 투자 → 생산할당+PPA 권리 확보(운영·안전은 한수원)
 - 가격·정산: 원가+가산(Margin) 또는 CfD(상·하한), 가용성 보너스/패널티
 - 수요처: 철강·데이터센터·반도체 등 24/7 수요
- 고준위 특별법 이슈 (민간 PPA 전제 체크리스트)
 - 시행·로드맵 정합성: '25.9.26 시행, 2050~2060년 목표 ↔ PPA 20년 기간 부합 확인
(사용후 핵연료 발생량 정합 확인)
 - 시행령 확정 전 금융보호: 변경법 조항·선행조건(CP, Condition Precedent)로 리스크 관리
 - 부지 내 임시저장: 증설 인허가 절차, 지역 동의·보상, 환경영향평가 정합
 - 관리기금·요율: 특별회계·지원사업 규정에 고준위 폐기물(HLW, High-Level Waste) 처리 비용 패스스루 또는 별도 정산항목 명문화 필요
 - 수송·보관·보안: 현장 → 중간저장 이송 계획, 보험·책임(원자력손해배상) 반영
 - 커뮤니케이션: 실시간 데이터 공개(운전·방사선·저장용량), 설명회·공청회 상시화

5.2 영구정지원전 활용성 검토

○ 현황

- 국내 영구정지원전: 고리1(2017.6 영구정지, 2025.6 해체 승인), 월성1(2019.12 영구정지)
- 산업계(철강·데이터센터 등)의 24/7 무탄소 전력 수요 확대, 데이터센터 확장 → 재가동·민간활용 논의 확대
- 고준위 방사성폐기물 특별법 시행령(안) 입법예고(2025.7)로 관리체계 세부 정비 중
- 해외: 팔리세이즈(미) 재가동 추진, TMI-1(미) 2028 재가동 계획(장기 PPA), 듀웨인 아널드 재가동 검토
- 월성1호기와 동일한 중수로 탑입 원자로인 캐나다 Bruce 1,2호기(Candu 형 원자로) 10년간 정지후 재가동 사례
 - 정지 및 재가동 배경: 브루스 A 원전의 1·2호기는 1995년에 영구 정지되었으나, 2005년 온타리오 주정부와 브루스 파워는 증가하는 전력 수요를 충족시키기 위해 재가동을 결정. 이후 2012년에 각각 17년, 15년 만에 재가동
 - 재가동 과정: 재가동을 위해서는 주요 부품 교체, 제어 시스템 업그레이드, 연료 재장전 등 대규모 개보수 작업이 필요. 이러한 개보수 작업은 원전의 수명을 연장하고 안전성을 확보하는 데 중요한 역할로써 작용

○ 필요성

- 무탄소 전력 장기 조달이 필요한 전력 다소비 산업 원전 전력 공급 요구 증가 중이나 가동 중 원전 및 신규 원전을 통한 원전 전력 공급 현실적 어려움 존재
- 경제성 부족 등을 사유로 영구 정지된 원전 민간 CAPEX 투자 결합, 20년 이상 장기 PPA를 통한 모델 구축을 통한 경제성 확보 가능 예상
- 정부 전력수급기본계획에 영향을 미치지 않고 추가적인 무탄소 전원확보 가능
- 24/7 무탄소 전력 수요 대응: 철강(수소환원제철), 데이터센터 등 장기 고정·대역 가격(Long-term fixed band price) 계약 구조로 무탄소 전력이 필요한 철강(수소환원제철), 데이터센터 같은 산업 수요자의 안정적인 전력 조달 수단이 필요
- 정책 포트폴리오 정합: 계속운전·SMR·원전수소와 연계해 무탄소 포트폴리오의 한 축으로 배치
- 자산·부지 인프라 재활용: 송변전·냉각수로 등 기존 인프라를 경제성 있게 재활용하여 기회비용 최소화
- 이를 통해 무탄소 전력 공급 확대와 국가 핵심 전략 자산 좌초 자산화 방지, 한전 및 한수원 재무 개선 기여, 무탄소 전원 추가 공급을 통한 국가온실가스감축목표(NDC, Nationally Determined Contribution) 달성, 수소 경제 창출 및 확장, 원전 소재 지역 경제 활성화 등 다각적인 부가 효과 기대 가능 등 부가적인 효과 예상



○ 문제점

- 영구정지 이후 재가동에 대한 명시적 절차·부재·해체 승인 이후는 사실상 신규사업 수준 인허가 필요
- 전기사업법·원안법: 민간과 공기업 간 직접/가상 PPA 근거 미비, 공기업 중심 구조
- 기술·안전: 장기정지 설비 노화·케이블·계측제어 교체, 최신 규제요건(지진·홍수·화재·사이버보안) 반영
- 경제성·시장: 재투자 CAPEX·연료·정비·보험·정지기간 손실로 균등화발전비용(LCOE)상승 가능. 단, 민간 활용 시 경제성 확보 가능 예상
- 지역수용성: 해체 기대(부지 복원·재개발)와 재가동 간의 기대 충돌 가능성
- 소유·거버넌스: 공기업 소유·운영 체계에서 민간 CAPEX 참여·수익귀속·정보공개·감독 설계 필요

○ 제언

- 월성1 등 영구정지원전 민간활용 재가동 검토 필요성
- 재가동을 위한 사전 기술적 평가 정책·법제 로드맵(안)
 - '25~'26: 사전 기술적 평가(4~5개월): 설비 상태 파악을 통한 재가동 가능여부에 대한 1차 평가 및 향후 계획 수립
 - '26 타당성 조사: 최신 규제요건 대비 안전성 갭 분석, 설비상태 상세평가 및 실행계획 수립, CAPEX·LCOE·PPA 단가 산정, 상세 경제성평가
 - 규제 방향성 합의: 원안위·KINS와 '영구정지→재가동' 규제 경로(운영변경 재심사 vs. 신규허가 수준 심사) 합의; 환경영향·주민협의 병행
 - 법·제도 개정: 전기사업법에 '무탄소 전원PPA(원자력 포함)' 명시, 원안법에 민간 CAPEX 참여·정보공개·감독 근거 신설, 해체 승인 단계의 '정지→보류' 전환 절차 마련
 - 금융·계약: K-CAPN(한국형 원전 생산할당 계약) 또는 CfD형 장기계약, 망이용료·전력기반기금 한시 감면, 연료·규제비·고준위폐기물 비용 패스스루
 - 지역수용성: 상생기금, 지역 요금 인센티브, 실시간 환경·방사선 데이터 공개, 공청회·협약 체계 고도화, 주민 참여형 사업 모델 개발을 통해 지역 경제 활성화 기여
 - 주요 로드맵: 월성1 대상 사전 기술적 1차 평가(4~5개월) → 타당성 조사(9~12개월) → 법·제도 초안 병행 → 재가동을 위한 설비 보수 및 민간 PPA 체결

○ 영구정지 현안 이슈 체크리스트

- 해체 승인 단계별 제약: 고리1(해체 승인), 월성1(영구정지) → 단계별 규제·계약 제약 파악
- 사용후핵연료: 온사이트 저장 용량·증설 허가, 중간저장 로드맵·이송 계획, 관리기금 요율·정산(패스스루)
- 안전성: 최신 지진·홍수·화재·사이버보안 기준 반영, 중대사고 대응, 가용성 KPI($\geq 90\%$)
- 경제성: CAPEX(설비·제염·계측), 운전 및 유지보수(O&M, Operation and Maintenance), 보험·책임, 연료조달, 정지기간 손실, PPA 단가 목표
- 운영체계: 민간 참여 구조, 생산할당·정산, 정보공개·감독, 감사·리스크 관리
- 지역·환경: 부지 재개발 기대치와 정합, 고용·협력업체 전환, 환경영향 재평가, 상시 데이터 공개

5.3 민간기업의 SMR 사업 참여 확대 방안

○ 현황

- 국내 산업의 탈탄소 전환과 전력망 안정성 확보를 위해 '24/7 무탄소 전력·열'에 대한 수요가 증가하고 있음
- SMR(Small Modular Reactor)은 공장제작·모듈화·다중모듈 확장성, 그리고 공정열·수소·담수화 등 열활용이 가능하다는 점에서 산업단지·데이터센터·정유화학·철강(수소환원제철)과의 연계성이 높음
- 민간기업은 장기 오프테이커(PPA)·자본투자·운영협력 등 다양한 방식으로 참여 의향을 보이고 있으며, 국내외 공급망은 '선(先)실증-후(後)확대'의 흐름을 선호함
- SMR 사업은 초기(FOAK)에는 기술·인허가·공정 리스크가 높지만, 표준화·반복구매(fleet) 단계(Nth-of-A-kind)로 갈수록 원가와 공기가 안정되는 구조임
- 정책·제도는 '금융조달가능성(bankability)'을 높이고, 민간 참여를 촉진하는 표준계약·가격안정 장치·부지 수용성·공급망 인프라를 동시에 설계해야 함
- 민간 참여 비즈니스 모델(요약)

참여유형	주요역할	수익원	적용사례(예시)
오프테이커(PPA)	장기 전력·열·수소 구매	전력요금·CFE(Carbon-Free Energy) 절감	데이터센터·철강·정유화학
지분투자자(SPV/JV)	CAPEX 투자·거버넌스 참여	배당·정산수익(CfD/생산할당)	상장사·금융기관·인프라펀드
EPC/제조	모듈·기기 제작·시공	EPC마진·서비스	기자재·건설·엔지니어링
O&M/서비스	운영지원·정비·사이버보안	O&M 수수료·성과보수	전력/IT 서비스 기업

※ CFE(Carbon-Free Energy) 인증과 시간매칭 기반 정산은 민간 오프테이커의 '24/7 무탄소 전력' 조달 신뢰성을 높힐 수 있음.



○ 문제점

- 법·제도: 원자력 민간 참여(JV/지분·위탁운영)와 직접·가상(Virtual) PPA의 법적 근거가 불명확. SMR 표준설계 승인·통합허가 경로 및 예측가능한 심사기준·기한이 미비
- 재무·정산: FOAK 리스크로 자본비용이 높고, 장기 가격안정 장치(CfD·생산할당계약 등) 부재로 금융종결이 어려움 망요금·전력기반기금 부담 구조가 PPA 경쟁력 저하
- 시장·수요: 복수 오프테이커를 끓는 포트폴리오 PPA 구조와 신용보강 메커니즘(보증·보험)이 미흡 CFE 인증·시간매칭 제도 부재
- 인허가·부지: 계획입지·지자체 공동개발 등 '사전 조사-계획부지-경쟁선정' 절차가 부재 지역수용성·갈등관리 장치도 미흡
- 공급망·품질·핵심부품·용접·ASME-N 스탬프(미국기계학회 원전기기 인증, American Society of Mechanical Engineers N-Stamp) 등 품질·표준화 체계 확립과 국내 공급망 적격화, 인력양성 프로그램이 부족
- 연료·폐기물: 연료공급(농축도·주기), 사용후핵연료·중저준위 폐기물의 비용·역할 분담, 해체·복원 비용 적립체계가 불명확
- 안전·보안: 확장된 디지털·사이버보안 요구, 다모듈 운전의 안전·인적요인 관리, 비상계획구역(EPZ, Emergency Planning Zone) 합리화 논의 미흡

○ 제언

- 법·제도 패키지(참여 근거와 가격안정)
 - 전기사업법·무탄소전원(원자력 포함)PPA의 직접·가상 하용 조항 신설, 시간매칭 CFE 인증 기반 정산 규칙 도입
 - 원자력안전법·하위규정: 민간 CAPEX·JV·위탁운영 허용 근거 명시(운영·안전 책임 일원화), SMR 표준설계 승인→통합허가의 단계형 심사·기한 도입
 - 가격안정장치: 원가+합리적 수익 기반의 CfD 또는 한국형 생산할당계약(예: KCAPN)으로 10~20년 장기 정산을 제공
 - 요금·기금: 파일럿 사업 5년간 망이용료·전력기반기금 감면, 신규 송변전 투자의 규제자산 (RAB, Regulated Asset Base model) 인정 검토→이는 전력망 운영자가 투자를 하면, 규제기관이 투자금을 장부에 자산으로 인정해 주고, 일정 기간에 걸쳐 요금으로 안정적으로 회수할 수 있도록 보장하는 제도
 - 연료·폐기물: 사용후핵연료·해체 비용의 '패스스루' 및 별도 적립계정 규정, 규제변경(Change-in-Law) 정산조항 명문화

- 사업모델·조직(민관 역할 분담)

- 특수목적법인(SPV, Special Purpose Vehicle)/JV 모델: 공기업(운영허가 보유)-지자체-민간(SI·FI) 합작. 공공은 안전·인허가·표준계약, 민간은 자본·수요 연계를 담당
- 포트폴리오 PPA: 데이터센터·철강·정유화학 등 복수 오프테이커를 끓는 '다중구매자' 구조. 신용보강 (지급보증·보험·유동화) 병행
- 플릿(fleet) 전략: 동일 설계·공정·공급망을 다수 부지에 반복 적용해 학습곡선·규모의 경제 달성
- 운영·서비스: 사업자(한수원 등)가 안전·운영을 책임지고, 민간은 O&M·사이버보안·데이터·에너지관리 서비스로 참여

- 부지·주민수용성

- 지자체-민간 공동개발: 부지은행, 용도지역 변경, 진입·수·하수·항만 등 인프라를 동시 패키지로 추진
- 정부주도 '계획부지' 제도: 해상풍력과 유사하게 국가가 환경·지질·수자원·송전·수용성 기초조사를 선행하고, 후보지를 "계획부지"로 고시한 뒤 경쟁입찰로 사업자를 지정
- 이익공유·투명성: 발전량 연동 지역상생기금, 주민·지자체 지분참여(커뮤니티 공유), 요금 보상제도·지방세 배분, 실시간 운영·환경·방사선 Data Dashboard 공개, 갈등영향평가 의무화

- 인허가·품질·공급망

- 단계형 심사·기한: 사전 컨셉검토→표준설계 승인→통합허가(조건부)→상업운전. 예측가능한 표준 타임라인 제시
 - 디지털 심사: 모델기반설계·디지털트윈·데이터룸 기반 병렬검토, 반복 설계의 신속 심사
 - 품질·인력: 원전 품질규격(예: 원자력용 압력용기·배관·용접) 적격화, ASME-N-스탬프 등 인증 로드맵과 인력양성 프로그램
 - 공급망 개발: 모듈화 제작공장, 장주기 핵심부품의 조달계획, 국내외 벤더 사전자격심사제도
- 오프테이커·정산·데이터
 - CFE 인증: 원전 포함 24/7 CFE 인증·시간매칭 제도 도입, 오프테이커의 ESG·RE100·탄소회계 연계
 - 계약: 전력-CfD/생산할당+(필요 시) 열·수소 오프테이커 결합. 가용성 핵심성과지표(KPI, Key Performance Indicator)·불가항력·정지보상·데이터접근 조항
 - 정산·데이터: 표준 응용프로그램 인터페이스(API, Application Programming Interface)를 통한 발전·정산·시간매칭 데이터 공개(감사·검증), 이중계상 방지 규칙



-로드맵·KPI(예시)

- '25~'26: 법·하위규정 개정(무탄소 PPA, SMR 심사체계), 계획부지 후보 조사·공개, 1차 오프테이커 RFP·SPV 구성
- '27~'28: 표준설계 승인·통합허가 신청, EPC 계약·금융종결, 모듈 제작 착수
- '29~'31: 1호 모듈 상업운전 개시일(COD, Commercial Operation Date), 다모듈 확장·타 부지 플릿 착공
- KPI 예상 항목: 금융종결 기간, CAPEX/kWe, 상업운전(COD) 시점, 가용성(%), LCOE(원/kWh), 24/7 CFE 인도율, 지역고용·국산화율(원/kWe)

○ 문제점

- CFE 인증 공백: 원자력의 무탄소 속성을 시간단위로 인증·정산하는 체계가 부재하거나 재생에너지 중심으로 제한
- 원전-PPA 제도 미비: 직접/가상 PPA 근거 미흡, 망요금·전력기반기금 부담구조가 파일럿 확산을 제약
- 안전·입지 규정 미비: 원전 인근 수전해·저장·배관 설치 시 방호·방재·위험물 기준과의 정합, 공동비상계획 필요
- 경제성 민감도: 초기 CAPEX와 전력단가 변동성에 따른 LCOH(Levelized Cost of Hydrogen) 변동, 고가의 백업·저장 요구 가능성
- 국제 상호인정: EU·미국 등 해외 인증체계와의 시간매칭·추적성·배출계수 정합성 불확실

○ 제언

- K-CFE(원전 포함) 인증체계 도입

- 정의: 전원별 무탄소 속성(CFE)을 1시간 단위로 발급·거래·상계하는 인증·원전·수력·재생에너지·열(CFE-Steam) 포함
- 핵심요소: (i) Hourly 매칭, (ii) 추가성(신규·계속운전 투자 인정 범위 명확화), (iii) 전달 가능성(동일 계통/노드 기준), (iv) 이중계상 방지(REC 등과 분리), (v) 데이터·감사(MRV, Measurement, Reporting and Verification) 규칙과 제3자 검증
- 연동: H₂-GO(수소 보증서)와 자동 연동하여 'NU-H₂(CFE 인증)' 라벨 부여—수출·RE100·24/7 CFE에 활용
- 운영: 공공 레지스트리(전력거래소/에너지공단) + 민간 검증기관의 혼합 모델

- 제도·계약 패키지

- 전기사업법: 무탄소 전원(원자력 포함) PPA 명문화—직접/가상 PPA 허용, 시간매칭 정산 규정 신설
- 원자력안전법·위험물안전관리법: 원전 인접 수전해·저장·배관 설치 가이드라인(거리, 방호, 공동비상계획) 제정
- 요금·정산: 망이용료·전력기반기금 특례(파일럿 5년), 전력·수소 동시 정산 규정(전력단가·CFE 프리미엄·HLW 패스스루)

- 계약: 전력-CfD 또는 K-CAPN(원전 생산할당 계약) + H₂-CfD 결합으로 금융조달 가능성(bankability) 제고.
- 표준계약서: 시간매칭·검증·감사·데이터 접근, 불가항력·정지 보상, 탄소강도 변화 시 조정 조항 포함

- 파일럿 프로젝트(안)

- P1(직접송전): 원전 부지 인접 200MWALK/PEM(Alkaline/Proton Exchange Membrane), 연 30~35천 톤 수소 생산, 철강/정유와 10~15년 오프테이커.
- P2(PPA+시간매칭): 동일 용량을 계통 연계로 운영, K-CFE 인증으로 시간대별 상계. 여러 지역 수요처 분산 공급
- P3(열연계 HTSE): 20~50MW 실증—원전 증기·열 기반 HTSE 효율성 및 열-CFE 인증 시범 발급

5.4 원전 수소 도입과 CFE(무탄소 전력) 인증체계

○ 현황

- 국내 산업부문의 탈탄소는 '대량·연속적·저변동성' 에너지원 없이는 불가능함
- 수소환원제철(H₂-DRI/HyREX), 정유·화학(수소화·탈황), 암모니아·전기연료, 반도체·데이터센터의 장주기 백업 등은 시간대별로 균일한 전력·열을 요구하고 있음
- 재생에너지는 필수 축이지만 간헐성 보완 비용(저장·피크전력)이 커지므로, 고가용성(>90%)의 원전 전력·열을 활용한 '원전 수소(NU-H₂)'가 합리적 보완재로 부상하고 있음
- 원전 수소 공급 경로

경로	개념	장점	유의사항
A. 직접송전 (Direct Wire)	원전-수전해 간 전용선/ 부지 내 연계	송전손실·망요금 ↓, 시간매칭 용이, 높은 가용성	보안·위험물 기준, 인접입지 인허가
B. PPA+시간매칭(Grid)	원전 전력의 시간단위 CFE 인증서 구매·정산	입지자유도 ↑, 확장성, 계통 활용	정확한 시간매칭·추적· 정산 규칙 필요
C. 열연계 고온수전해	원전증기·열+전기활용 (고온수전)	효율↑, 전력소비 ↓, 균일운전	고온설비 안전·표준 부재, 실증 필요



- 금융·인센티브·거버넌스
 - 금융: CAPEX 보조(예: 20~30%), 저리 정책금융, 녹색/전환채권, 수요연계 OPEX(Operating Expenditure) 한시지원
 - 인센티브: 초기 5년 망요금·기금 감면, 시간매칭 데이터 제출 시 거래비용 감면
 - 거버넌스: 'NU-H₂/CFE 운영위원회' 설치—규칙 제정, 표준계약, 분쟁조정, 공개지표 관리

- 데이터·MRV(측정·보고·검증)

- 데이터: 시간별 발전실적, 계통제약, 오프테이커 매칭, 수전해 운전데이터(부하·효율)
- MRV: 블록체인/레지스트리 해시 기반 원장, 제3자 검증, 이중계상 탐지 규칙
- 개방: 표준 API로 기업·감사·규제기관에 제공—보안·개인정보 규정 준수

- 로드맵·KPI

- '25~'26: K-CFE 법·하위규정 초안, 레지스트리 구축, 표준계약(전력-CfD/H₂-CfD), P1·P2부지선정·FEED(Front-End Engineering Design).
- '27: P1 착공·P2 가동, P3 설계 완료—시간매칭 정산 운영 시작
- '28~'29: P1 상업가동, P2 확장, P3 실증—산업체 오프테이커 확대
- KPI: 시간매칭율(≥95%), NU-H₂ 생산량(ton/yr), 가동률(≥90%), LCOH(원/kg), CFE 인증 발급량(MWh/ton-steam), 누적 오프테이커(kt)

수요부문	요구특성	적합한 조달모델(예시)
철강(H ₂ -DRI)	24/7·저변동성·대용량	원전 PPA + 포트폴리오 PPA (재생/저장)
데이터센터	고신뢰·저탄소·장기	원전 PPA + CFE(시간매칭)
정유·화학	연속공정·열전력병행	원전 전력·열 + 수소 오프테이커

- 제11차 전력수급계획에 따라 대형원전 2기가 신설될 예정이며, 체코 두코바니 원전 수주를 통해 한국형 대형원전의 경제성 및 안전성이 입증되었음

○ 문제점

- 법·제도 불명확성: 전기사업법·원자력안전법 체계에서
 - 민간의 발전용 원자력을 소유·투자·운영 및 장기 PPA(직접·가상)의 허용 여부
 - 원전에 투자한 민간사업자가 해당 원전으로부터 전력을 공급받기 위해 송전설비를 소유·투자·운영에 대한 허용 여부에 대한 명확한 규정이 부재함 - 원전에 투자한 민간사업자가 해당 원전으로부터 전력을 공급받기 위해 송전설비를 소유·투자·운영에 대한 허용 여부에 대한 명확한 규정이 부재함
- 인허가 및 일정 리스크: 신규 원전의 인허가 절차 장기화, 절차적 예측가능성 부족, 단계별 기준 (환경성·안전성·지역수용성) 불명확
- 금융·정산 구조 미확립: 장기 고정가격 또는 변동성 해지(CfD·생산할당계약 등) 부재로 투자 회수 예측성 낮음. 망이용료·전력기반기금 부담으로 PPA 경쟁력 저하
- 폐기물·책임 배분: 고준위 관리·정산(Pass-through) 방식과 운영·폐기물 관리의 역할 분담 (운영자 vs. 관리기관) 설계 미흡
- 주민 수용성 및 부지 확보: 후보지 발굴 초기 단계부터 이익공유·투명한 정보공개가 체계화되어 있지 않고, 수용성 형성에 필요한 지역개발 패키지 부재
- 공급망·인력: 기자재·건설·운영 핵심인력의 병목, 표준화·품질체계 미흡

5.5 신규대형원전의 민간투자 및 전력 직접 활용 검토

○ 현황

- 국내 제조·데이터·수소 산업의 24/7 무탄소 전력 수요가 급증하고 있으며, 재생에너지 중심의 조달만으로는 가격·간헐성·망 제약을 동시에 해소하기 어려움.
- 이에 안정적이고 예측 가능한 전원인 원자력에 산업계의 관심이 집중되고 있고, 민간이 장기 오프테이커 (PPA) 형태로 참여하려는 수요가 증가
- 주요 수요부문과 요구특성(요약)

○ 제언

- 법·제도 패키지(민간 참여의 명문화와 가격안정)
 - 민간 CAPEX/JV 근거: 원자력안전법·하위규정에 민간의 설비투자(CAPEX) 참여·JV 설립·위탁운영 근거를 명시(운영 안전책임은 사업자에 일원화)



- 전기사업법상 둘 이상의 사업 경업이 금지되어 있어, 한수원과 JV형태로 참여한 민간 원전사업자가 모기업 전력 직접 활용을 위한 송전설비를 건설하기 위해서는 제도 개선이 필요함. 구체적으로는 해당 사업을 '자가발전'으로 간주하거나, 경업금지 규정에 대한 예외를 신설하는 방안 필요
- 무탄소 전원 PPA 명문화: 전기사업법에 원자력을 포함한 '무탄소 전원'의 직접·가상(virtual) PPA 허용 조항을 신설하고, 시간별 속성증서(CFE) 정산을 병행
- 가격·정산 장치: 원가+합리적 수익 기반의 CfD 또는 한국형 CAPN(생산할당 계약) 도입으로 장기 고정/대역(band) 가격 제공
- 망·요금 특례: 파일럿 5년간 망이용료·전력기반기금 한시 감면, 신규 부지 연계 송변전 투자에 대한 규제자산기반 모델 인정 검토
- 폐기물 정산: 고준위 폐기물 관리비용과 규제 변경에 따른 추가 비용을 전력구매계약(PPA·CAPN)에 패스스루 조항과 변경법 리스크 조항으로 반영해 사업자의 비용 부담을 보전하는 조항을 명문화
- 민간 원자력 사업자의 방사성폐기물관리 및 손해배상 관한 사항에서 공공부문과 동일한 법적 기준을 적용받도록, 방사선폐기물 관리법 및 원자력 손해배상법의 해당 규정을 원용 또는 준용하도록 함
- 사업모델(민간·공공 역할 분담)
 - JV/컨소시엄: 공기업(한수원)·지자체·민간(SI·FI) 합작 SPV 설립 — 공공은 안전·인허가·표준계약, 민간은 자본·수요(오프테이커) 연계를 담당
 - 포트폴리오 PPA: 데이터센터·철강·정유·화학 등 24/7 수요처와 연동한 장기 PPA(전력+열) 및 수소 오프테이커 동시 설계
 - 표준계약: 가용성 KPI, 불가항력, 계획정지·예방정비, CFE/REC 이중계상 방지, H1W 패스스루 등 표준 조항 마련
 - 재원조달: 정책금융(보증·저리), 녹색/전환채권, 세액공제·가속상각, 구축·운전 단계별 단계금융
- 부지·주민수용성 패키지(핵심)
 - 지자체-민간 공동개발: 주민 수용성 있는 부지확보를 위해 '지자체-민간 공동개발' 모델 도입
(부지은행, 용도지역 변경, 진입·상수·하수·항만 등 인프라 동시 투자)
 - 정부주도 계획부지: 해상풍력의 '계획입지'와 유사한 "정부주도 신규 원전 '계획부지' 사전 선정"
- 환경·지질·수자원·송전기반·수용성 기초조사를 국가가 수행하고, 이후 경쟁입찰로 사업자 지정
 - 자가발전용 원전 건설시, 부지확보 및 인허가 절차를 신속히 진행할 수 있도록 전원개발촉진법 준용 근거를 마련하는 등 관련 법률의 재정비 필요
- 이익공유: 지역상생기금(발전량 연동), 주민·지자체 지분참여 (커뮤니티 셰어), 요금인센티브·지방세 배분, 지역인력 채용쿼터
- 투명성·참여: 공청회 상시화, 실시간 운영·환경·방사선 데이터 대시보드 공개, 민관협의회
- 갈등영향평가 의무화
- 인허가·공정 혁신
 - 단계형 심사: 예비개발허가(부지 타당성) → 통합허가(건설·운전 조건부) → 상업운전 승인으로 단계·기한 명시
 - 디지털 검토: 모델기반 설계·디지털트윈 기반 심사, 표준화된 APR-1400/i-SMR 패키지 반복심사 간소화
 - 공정관리: 표준공기·마일스톤·품질 KPI 공개, 공급망 적격심사(국산화율·안전등급 부품)
- 로드맵·KPI(예시)
 - '25~'26: 계획부지 후보 조사·공개, K-CAPN/CfD·표준계약 확정, 1차 수요자 컨소시엄 모집
 - '27: 1차 계획부지 지정·사업자 선정, 기본설계·환경평가 착수, 장기 오프테이커 체결
 - '28~'30: 본허가·착공, 공급망 로컬라이제이션, 지역 상생프로그램 본격화
 - KPI: 주민동의율·협약 건수, 금융종결 기간, 공기준수율, 가용성(%), LCOE(원/kWh), 지역고용/지출 비중



06 기대효과

* 민간의 원자력 활용을 통한 수소환원제철 등을 통한 탈탄소 산업구조 전환과 산업 경쟁력 강화, 국가 탄소중립과 에너지안보 강화라는 국가적 전략목표 동시 달성

1) 산업 경쟁력·가격 안정

- 24/7 무탄소 전력 포트폴리오 확보로 철강, 반도체, 데이터센터 등 전력다소비 업종의 전력단가 변동성 완화 및 장기 원가 예측성 제고
- K-CAPN/CfD 등 장기정산 도입 시, 금융비용 하락과 조달비 안정으로 LCOE 하향 및 금융조달 가능성 (bankability) 개선

2) 탈탄소 달성 가속(계속운전·영구정지 활용 포함)

- 계속운전(월성 2·3·4 등): 가용 설비의 수명연장을 통해 무탄소 전력의 즉시·대량 공급이 가능, RE100 초과수요 보완 및 계통 안정성 강화
- 영구정지 원전(월성1·고리1 등) 재가동·민간활용 검토: 기존 부지·송변전 인프라를 재활용하여 신규부지 대비 환경·사회적 영향 최소화 및 조기 전력/열 공급 경로 확보
- 전력수급기본계획에 변경없이 추가 무탄소 전원 확보 및 민간기업에 공급 가능, 국가 핵심 전략 자산 쟽조 자산화 방지, 한전 및 한수원 재무 개선 기여, 무탄소 전원 추가 공급을 통한 NDC 달성, 수소 경제 창출 및 확장, 원전 소재 지역 경제 활성화 등 다각적인 부가 효과 기대
- 원전수소(NU-H₂)·열연계 확대로 제철·정유화학의 Scope 2·공정배출 동시 감축 효과 기대

3) 전력망·공급안정성

- 원전 기반 청정·고가용성(Firm CFE) 전력 확대로 간헐성·피크 비용을 흡수하고, 재생에너지와의 혼합 포트폴리오 최적화로 계통 안정도 향상
- 출력감별·송전제약 구간에서 대규모 수요처와 직접 연동 시 계통혼잡 완화 및 시스템 비용 절감.
- 대규모 무탄소 전력을 필요로 하는 오프테이커가 직접 원전사업을 주도적으로 개발하도록 함으로써, 전력 수요처 인근에서 생산·소비가 이루어지는 '전력 자산지소' 체계를 구축할 수 있음

4) 투자 촉진·민간자본 유입

- 민간 CAPEX 참여+생산할당(K-CAPN) 모델 정착 시, 장기 수요 연계형 투자 활성화 및 국내외 인프라·연기금·전환금융 유치 확대
- 포트폴리오 PPA·다중구매자 모델 도입으로 신용보강(보증·보험·유동화) 체계가 확립되어 금융종결 속도 개선

5) 지역경제·수용성 제고

- 지자체-민간 공동개발/정부 계획부지 방식과 상생기금·지분참여(커뮤니티 공유), 데이터 투명공개로 지역 수용성 향상 및 양질의 일자리 창출
- 영구정지 부지의 재활용(재가동 또는 에너지·데이터 허브 전환)으로 부지의 기회비용 최소화와 지역 산업 생태계 회복에 기여

6) 공급망·기술 생태계 활성화

- SMR·계속운전·재가동을 잇는 플릿(fleet) 전략으로 표준화·반복구매 학습효과 촉진→EPC·제조·품질 (N-스탬프)·정비·사이버보안 등 전 주기 경쟁력 강화
- 국내 실증→수출형 모델로 전환 시 글로벌 데이터센터·수소·산업열 시장에서 K-원전 패키지 경쟁력 제고

7) 방폐물 관리 신뢰성·규범 정합

- 고준위특별법(중간저장 2050, 영구처분 2060) 로드맵과 연동해 중수로 건식저장 증설·운영 및 중간저장 이송계획을 선제 설계하면, 계속운전·재가동 관련 규제 불확실성이 축소
- HLW비용 패스스루·변경법 조항이 표준계약에 반영되면 투자자·오프테이커의 정책리스크가 완화



8) 민간·지자체 협력 기반 효과

- 주민 수용성과 지역 자립성: 지자체와 민간이 공동 참여해 지역 특성을 반영하고, 주민 신뢰와 수용성을 높이며 지역 경제 자립 기반을 강화
- 부지·자원 재활용으로 비용 절감: 영구정지 원전 부지, 기존 송변전망 등 기존 인프라를 재활용해 신규 부지 개발 대비 환경·사회적 비용을 최소화
- 사업 효율성과 속도 향상: 민간 자본과 지자체 참여로 투자 활성화, 사업 추진 속도 개선, 그리고 Scope 1·2 배출 감축에 직접 기여

(빈페이지)



첨부



1. 프랑스 EDF社 CAPN 제도 개요

1) 배경 및 목적

- 프랑스 국영 Utility(원전 포함) 기업인 EDF의 재정/수익 안정화
- 원전전력 장기공급(10~15년)을 통해 산업계 전력비 변동 최소화
- 산업계, 원전 전력을 활용한 탄소배출량(Scope2) 감축 기여

2) CAPN 계약 구조

항 목	주요 내용
계약 대상 전력	EDF 보유 60년 미만 원전(61GW, 프랑스 전력의 70%)의 발전량 일부
계약 기간	10년 또는 15년
구매 대상	연간 7GWh 이상 사용하는 산업체 또는 전력 판매/공급 사업자
계약 방식	유럽 전체 대상 공개 입찰
초기 공급량	총 1,800MW 수준 (EDF 재량에 따라 변경 가능) *가동률 85% 반영시 연간 13.4TWh

3) 가격 체계

구성요소	주요 내용
초기 분담금	계약 시점에 일괄 납부 (일할로 결정)
월별 납부금	발전소 운영비용(OPEX, Operating Expenditure), 연료비, 유지보수비 등을 반영한 정액 + 가변 비용 포함
정산 방식	예측 생산량과 실제 발전량 차이에 대해 연간 단위로 정산 (spot price 기준)



4) 계약 사례

(1) ArcelorMittal France

- 배경: 제철소 전기로(EAF) 전환 및 탄소배출 감축 필요
- 계약 내용: EDF와 10년 장기 CAPN 계약 체결
- 효과: 전력 단가 안정화→전기로 전환 CAPEX 회수 계획 수립 용이
Scope 2 배출량 대폭 감소 (원자력 기반 전력 사용)

(2) Aluminium Dunkerque

- 배경: 알루미늄 제련은 전력 집약 산업→가격 변동 리스크 큼
- 계약 내용: EDF와 25년 장기 CAPN 계약
- 효과: 장기 고정가격으로 생산원가 안정, 탄소감축 및 투자자 ESG 평가 개선

(3) Lafarge France(시멘트), Data4(데이터센터)

- 배경: 탄소배출 감축 및 경제적/안정적 전력공급 필요
- 계약 내용: EDF와 10~12년 장기 CAPN 계약 체결
- 효과: 에너지비용 절감, 탄소중립 목표 달성 기여

5) 기대 효과

- EDF는 안정적 현금흐름을 확보하여 신규원전 투자 여력 강화(K-CAPN 제도 도입시, 공기업에서 확보한 현금흐름을 바탕으로 재생에너지 확대 강화에 활용 기대)
- 산업체는 장기 고정 단가로 전력 비용 예측성 향상을 통한 산업경쟁력 확보
- 국가는 탈탄소 및 에너지 주권 달성이 가능하며, 시장 가격 안정 장치 마련



2. 캐나다 Bruce Unit 1,2 중수로 원자로 재가동 사례

1) Bruce Power 개요

- 위치: 온타리오주 킨카딘의 휴런호 동부 해안에 자리
- 규모: 총 8개, 6.4GW 캐나다형 중수로(CANDU, Canada Deuterium Uranium reactor) 원자로를 운영하는 세계 최대 규모의 원자력 발전 시설 중 하나
- 전력 생산: 온타리오주 전력 수요의 약 30%를 공급
- 소유 및 운영: 온타리오 주 정부 산하의 공기업인 '온타리오 파워 제너레이션(Ontario Power Generation)'이 부지를 소유·브루스 파워 유한 파트너십(Bruce Power Limited Partnership)'이 운영



2) Bruce Power의 Unit 1~2 재가동 사례

Bruce Power의 Unit 1, Unit 2는 1990년대 말~2000년대 초 경제성 문제로 장기간 정지 상태였으나, 대규모 개보수 후 재가동

- 배경
 - 정지 시점: Unit 2 (1995년), Unit 1 (1997년)
 - 정지 이유: 전력 수요 감소, 운영비 증가, 설비 노후화
 - 재가동 이유: 에너지 수요 증가, 탄소배출 감소 위함

○ 재가동 프로젝트

- 기간: 2005년 ~ 2012년
- 투자 규모: 약 45억 캐나다 달러
- 주요 작업: 원자로 압력관 교체 / 터빈·발전기 오버홀 / 안전계통 현대화

○ 성과

- 2012년 10월, Unit 1과 Unit 2 모두 상업운전 재개
- 온타리오주 석탄발전 단계적 폐지에 기여
- 캐나다 전력 믹스의 무탄소 비중 확대



3) 월성 1호기와의 비교

항목	월성1호기	Bruce Unit 1 &2
원자로 타입	중수로(Candu형) 원자로	중수로(Candu형) 원자로
설비 용량	679 MW	각 750 MW
운전기간	1983~2012 (30년)	1977~1995(18년)
정지	2019년 12월 24일 영구정지	1995~2005 (10년 정지)
설비보수	2012~2015년 3년 설비보수	2005~2012년 7년 설비보수
재가동	정지후 재가동 추진 없음	10년 정지 후, 산업환경 변경으로 설비 보수하여 재가동

4) MCR(주요 설비 교체사업, Major Component Replacement) 프로젝트 (진행 중)

- MCR 프로젝트는 Bruce Power의 원자로 수명을 2064년까지 연장하기 위해 진행되는 대규모 설비 교체·현대화 사업
- 기간: 2020~2033년
- 투자규모: 약 130억 캐나다 달러
- CANDU형 원자로의 주요 부품(압력관, 피더관, 증기발생기 등)은 약 30~40년 사용 후 교체가 필요
- 목표: 중수로의 특성상 주기적 설비교체를 하여 연장 가능하므로, 원자로의 수명을 약 30년 연장, 안전성 효율성 향상
- 효과: 경제 활성화, 고용 창출, 지역 비즈니스 성장, 안정적이고 저렴한 전력 공급

5) 시사점

- 재가동 프로젝트는 단순한 수리가 아니라 노후 부품을 최신 기술로 교체하여 안전성과 성능을 대폭 향상시키는 작업을 포함. 이는 과거의 월성1호기 안전성 문제를 해결하고 원전 운영의 안정성을 높이는 기회
- 초기 투자 비용이 크지만, 원전의 수명을 연장함으로써 얻는 장기간의 안정적인 전력 생산과 관련 부가가치 경제적인 이점
- 대규모 투자를 유치하고 수많은 일자리 창출할 기회
- 석탄 화력발전을 단계적으로 폐지하고 탄소 배출량을 크게 줄이는데 결정적인 역할. 원자력은 운전 중 탄소 배출이 거의 없는 무탄소 전원이므로, 재가동을 통해 기후변화 대응 목표 달성을 기여
- 브루스 사례는 노후 원전을 단순히 폐쇄하는 것이 아니라, 전략적인 투자 결정을 통해 청정에너지 자산으로 재활용할 수 있음을 시사



3. 미국 Three Mile Island(TMI) 원자로 재가동 사례

1) 개요

- Constellation Energy社는 향후 20년간 MS(Microsoft) Data Center에 전력공급을 목적으로 2019년 경제성의 문제로 가동 중지된, TMI 1호기를 '28년 재가동 할것이라 발표
- 최소 2054년까지 계속운전을 목표로 함(40년 계속운전)

연혁	주요 연혁
1974	운영허가 취득(4.19) / 상업운전 시작(9.2)
1979	TMI-2 사고 발생으로 가동 중단
1985	TMI-1 재가동
2009	20년 계속운전허가 취득
2019	운전 정지 ('17 폐로 계획 발표)
2024	MS사와 전력공급계약 20년 체결
2028	재가동 목표 / 운영허가 만료 ('34)
~2054	추가 20년 계속운전 목표 (총 80년)

2) 미국 1호기 재가동 개요

- 운영정지
 - 배경: 천연가스 가격 하락, 전력 수요의 제한적 증가 등으로 지역 전력 시장에서 원자력발전소 시장 경쟁력 저하로 경제성 문제 발생
 - 세일가스가 대규모로 매장되어있는 애팔리치아산맥 분지(펜실베니아, 웨스트버지니아, 오하이오 주에 걸쳐 있음)는 펜실베니아 주에 소재하여, 펜실베니아 주는 풍부한 세일가스 때문에 타 에너지원 활용에 다소 소극적인 정책을 보여 왔음

○ 원전 재가동 계획 발표

- 배경: 탄소중립 시급성, AI 데이터 센터로 인한 전력수요 급장, 원자력에너지원의 청정에너지원 산입, 미국 에너지 정책 변화로 재가동 계획
- MS사와의 20년 전력구매계약 체결에 따른 전력수요 확보로 경제성 악화 요인이 개선됨에 따라 재가동 계획

3) 경제성에 의한 폐로 유사사례(Palisades 원전)

- 1971년 상업운전을 시작한 Palisades 원전 또한 경제성을 사유로 발전소 가동이 중단('19)되었으나, 이를 재가동('25~)하고자 안전성 검토를 진행 중
 - 펠리세이즈 재가동 패널을 구성하여 재가동 관련 미국원자력규제위(NRC)의 인허가 대응 진행
 - 미 에너지부(DOE)는 펠리세이즈 발전소 재가동을 위해서 15.2 억 달러 대출을 보증함

4) 시사점

- MS, Google 등 빅테크기업은 AI, 데이터 센터 운영으로 기하급수적인 전력소비 증가에 직면함
다수의 거대 기술기업은 선제적으로 무탄소 전력공급 확보에 앞장서고 있음
- 미국은 최근 몇 년간 원자력 에너지 진흥에 앞장서는 법안을 다수 발표하였고, 청정에너지원으로 포함시키려는 노력을 지속해옴
 - '25.9.10 유럽사법재판소는 원전을 '청정에너지' 투자 분류에 포함 시킴



4. 미국 Palisades 원자로 재가동 사례

1) 개요

○ 과거 상태 및 폐쇄

- 1971년 가동 시작, 2022년 5월 20일 상업운전 공식 종료됨

○ 소유권 변화: Entergy → Holtec International로 매각됨 (2022년)

○ 재가동 계획 및 허가 폐쇄

- 미국 원자력규제위원회(NRC)가 2025년 7월 Holtec의 여러 요청들을 승인하여,

연료 재장전(Fuel loading) 허가 가능 상태가 됨

- 2025년 8월 25일부로 공식적으로 “폐쇄(Decommissioned)” 상태에서 “운전 가능(Operational)” 상태로 전환됨

○ 현재 상태 & 남은 절차

- 아직 전력 생산은 시작되지 않음. 안전 검사, 정비(Testing/Maintenance/Inspections), 발전소 내

주요 구성품(예: 증기발생기, 터빈 등) 복원 또는 재조립 중임

- NRC로부터 긴급 계획(Emergency plan), 보안·검사 체계 유지 등의 규제 문서들이 복원 또는 이전됨

○ 재정 & 계약 지원

- 미국 정부(예: DOE)로부터 최근 \$1.5B 규모 대출 보증(Loan Guarantee) 검토 및 일부 자금 조달됨

- 주(州) 및 지역 전력 구매자(Power purchase agreement, PPA)와의 다년 계약 확보됨

(지방 전력협동조합 등이 Palisades의 전력을 일부를 구매하기로 약정)

○ 예상 재가동 시기

- Holtec에서 예측한 재가동 시점은 2025년 4분기 경이며, 다만 모든 허가 및 규제 요건이 만족되어야 함



**수소환원제철과 탄소저감을 위한
민간원전활용정책제언**