

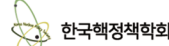
국민경제와
미래세대를 위한

국가 원자력 정책 제안서

원자력은 첨단산업 성장의 동력으로
대한민국 自強을 위한 필수 자원

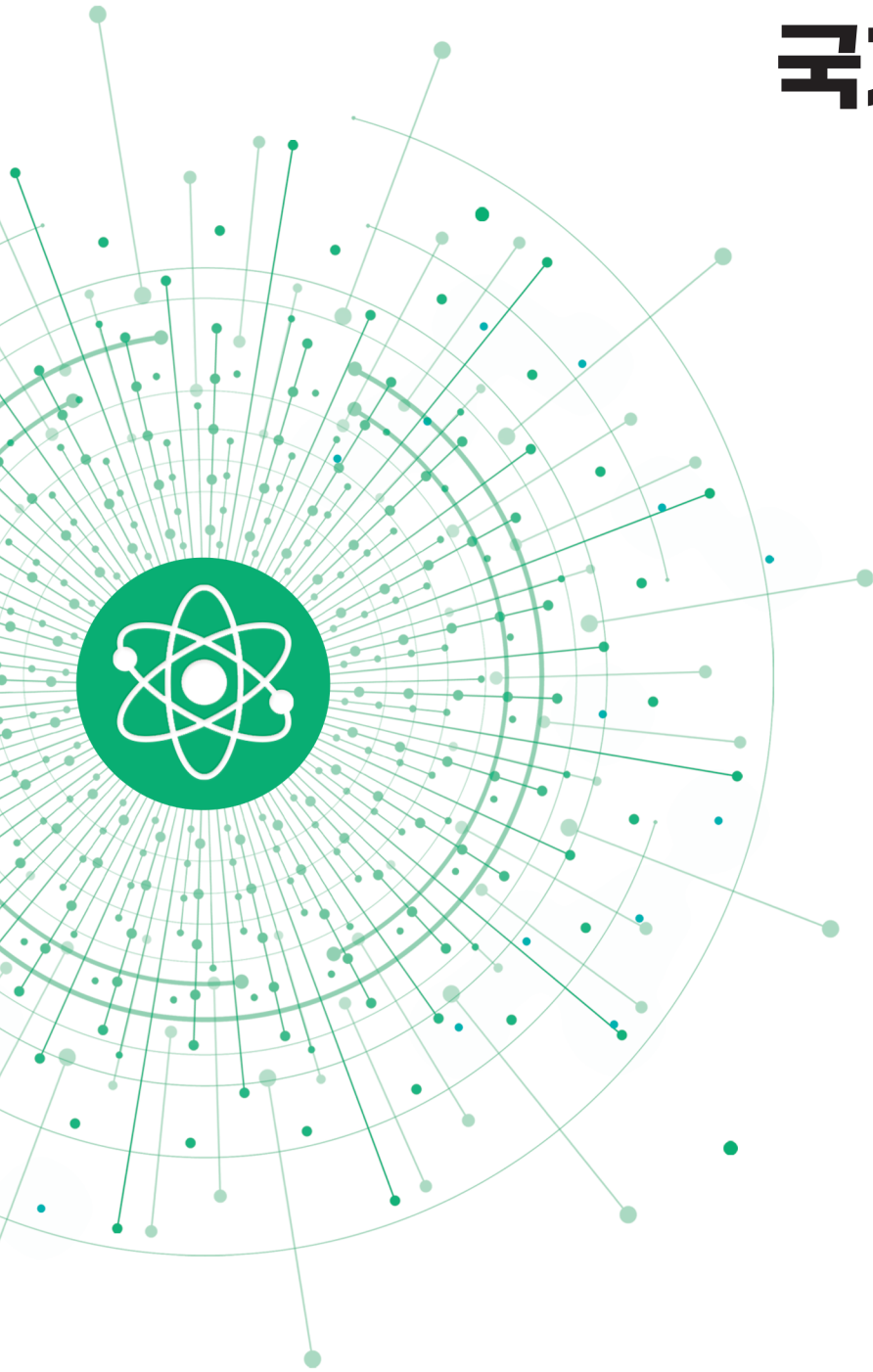
전기요금 걱정 없는 에너지 강국,
원자력이 책임집니다.

2025. 5.



국민경제와
미래세대를 위한

국가 원자력 정책 제안서



 대한방사선방어학회
The Korean Association for Radiation Protection

 대한방사선종양학회
The Korean Society for Radiation Oncology

 대한핵의학학회

 KSRB
한국방사선안전관리위원회

 한국방사선산업학회
Korean Society of Radiation Industry

 한국방사선안전협회
Korean Association for Radiation Application

 KARA
한국방사선진흥협회

 한국방사성폐기물학회
Korean Radioactive Waste Society


 WIN
한국여성원자력전문인협회
Women In Nuclear Korea

 KMI
한국원자력산업협회

 한국원자력학회
KOREAN NUCLEAR SOCIETY

 한국의학물리학회
Korean Society of Medical Physics

 한국핵물질관리학회
Korea Institute of Nuclear Materials Management

 한국핵정책학회



국민경제와 미래세대를 위한 국가 원자력 정책 제안서

목 차 | Contents

정책 제안서 요지	03
-----------------	----

5대 정책 제안

[정책 1] 고부가가치 첨단산업의 견인차, 원자력	07
[정책 2] 책임감 있는 에너지 원자력, 안전한 사용후핵연료 관리	10
[정책 3] 국가 미래 먹거리, 원자력	12
[정책 4] 국민 건강 지킴이, 방사선 기술	14
[정책 5] 원자력 백년기반, 인재와 국민지지	16

부록 | 정책 제안 도출의 배경

(부록 1) 국내외 원자력 이용 현황	19
(부록 2) 탄소중립을 위한 에너지믹스와 원자력	27
(부록 3) 원자력 안전과 안전성 확보체계	42
(부록 4) 세계 원전시장 및 원전 공급망 현황	51
(부록 5) 가동원전 계속운전	55
(부록 6) 사용후핵연료 안전 관리	63
(부록 7) 소형모듈원자로(SMR) 개발 현황 및 전망	72
(부록 8) 원자력에 의한 청정수소 공급	80
(부록 9) 방사선 기술 및 산업	86
(부록10) 원자력 발전에 대한 국민 인식조사 결과	91
(부록11) 주요국 전기요금 비교	92

1 글로벌 환경 변화와 에너지

- 러-우크라 전쟁과 美-中 분쟁 등을 계기로 서방권과 非서방권 갈등이 표면화되면서 자원과 에너지 안보의 중요성이 부각
 - 유럽의 성장 엔진이었던 독일은 천연가스 수입 축소와 탈원전에 따른 高에너지 비용 등으로 기업의 2/3가 생산 축소 또는 해외 이전을 고려, 산업 공동화마저 우려
 - 美·日 등 22개국은 “2050년까지 세계 원전 용량 3배로 확대” 결의(2023.12)
- 美 트럼프는 취임 직후부터 “AI산업 육성 등을 위해 지금보다 두 배 이상의 에너지가 필요하다”며, 비상권한 사용을 언급하는 등 ‘힘에 의한 평화’를 구사
 - AI, 데이터센터, 반도체 등 첨단산업은 안정적이고 경제적인 전력 공급체계 구축이 관건
 - “AI는 산업이나 과학의 영역을 넘어 국방의 문제로 에너지 시스템을 집중 성장시켜 주도권을 잡아야 한다”고 강조(2025.03.17 크리스 라이트 美에너지부 장관)
- 에너지 수입 의존도가 93%에 달하는 우리의 경우, 글로벌 공급망 교란과 한반도 주변의 위기 상황에 대비하기 위해서라도 가용 자원의 총동원 체제와 안보가 필수적
 - 中東에서 수입된 석유는 분쟁 소지가 잠재해 있는 호르무즈, 말라카, 대만 해협을 통과하는 등 2.5만km 항해(왕복 45일) 후에 한반도에 도착
 - 사실상 핵보유국으로 등장한 북한의 현실적 위협에 대응하기 위해서라도 일정 수준의 원자력 기술 유지가 불가피

2 당면 현안 및 문제점

- 최근 들어 원자력산업이 정부정책의 영역에서 정치의 영역으로 변질됨에 따라 갈등과 분열의 대명사로 전락
 - 원자력을 찬성하면 ‘보수’고 반대하면 ‘진보’라는 인식이 퍼지고 있어, 일반 국민들이 객관적 사실보다는 정치적 진영에 따라 贊反에 동조
- 러-우 전쟁과 美-中 분쟁을 계기로 글로벌 원전시장이 급격히 재편될 것으로 보이나, 국내정치적 불확실성을 이유로 현상 유지에 급급해 시장 개척에 실기할 개연성
 - 그동안 해외 시장의 76%를 차지했던 러-中에서 韓-美-佛 중심으로 전환이 예상되나
 - 대부분 기업이 원전산업의 불투명성을 지적하며 투자와 인력 확대에 소극적 자세로 대응하고 있어, 50여년의 안전운전 경험과 탄탄한 원자력 공급망이 이완될 가능성 상존
- 정치권에서는 北의 핵무기 고도화에 따른 對北 대응방향을 두고 韓美협력 또는 독자 핵무장론 등 백가쟁명식 논쟁이 벌어지고 있어, 주변국에 잘못된 시그널을 주거나 외교분쟁으로 비화할 소지도 잠복
 - 북한의 핵위협 가능성이 상존해 있는 가운데 미국의 ‘민감 국가’ 지정에 따른 책임 문제를 두고 정치적 공방이 이어지는 등 불필요한 다툼이 계속되고 있어
 - 첨단기술 확보에 보이지 않는 장애물은 물론 자칫 잘못하면 외교적으로 고립되는 상황까지 자초할 수 있어 원전의 적극적 활용과 수출을 위해 교정이 시급

3

평가 및 후속 조치방향

- 글로벌 기후변화에 대응하고 대규모 디지털산업 육성을 위해서는 원자력과 신재생에너지와의 결합 등을 통한 합리적인 에너지 믹스(Energy Mix)가 필요
 - * 원자력과 첨단산업의 연계를 통한 기술-에너지 공급망의 견고화로 산업 경쟁력과 수출 동력, 국가 신뢰도 동시 강화도 기대
- 원자력이 남북간 핵균형 전략에서 결정적 변수로 부상하고 있는 데다, 에너지 안보와 산업경쟁력의 결합은 '이념보다 국익이 우선'이라는 국가전략을 상징

가 원자력과 재생에너지 주축의 합리적 전원계획 수립

- 대형원전의 확대와 송전망 인프라 조기 확충
- 혁신형 소형모듈원전(SMR) 실증, 조기 건설 및 글로벌 시장 선점을 지원
- 사용후핵연료 관리체계 선진화와 안전한 중간저장시설 확보로 원전가동 차질을 방지
- 원자력 결합 재생에너지 국산화와 경쟁력 확보
 - 원자력과 재생에너지 결합 체계 추진
(예, 스마트넷제로시티, 탄력운전과 잉여에너지 활용)
 - 재생에너지 설비 확대 위주에서 산업경쟁력 확보로 전환

나 수출 산업화와 미래 성장동력 확보

- 원전 수출 경쟁력 강화를 위한 통합 컨트롤타워 신설, 민간 참여 확대 및 산업 생태계 활성화
 - 원전 수출이 民-官-軍 협력아래 대통령이 주도하는 'National Project'인 만큼, 전체를 총괄할 수 있는 대통령실(또는 총리실)에 '예, 수출 지원단'을 가동
 - 해외 세일즈에 강점 있는 민간 기업의 원자력산업 진출을 강력 견인, 시장 개척과 생태계 안정화를 동시 달성

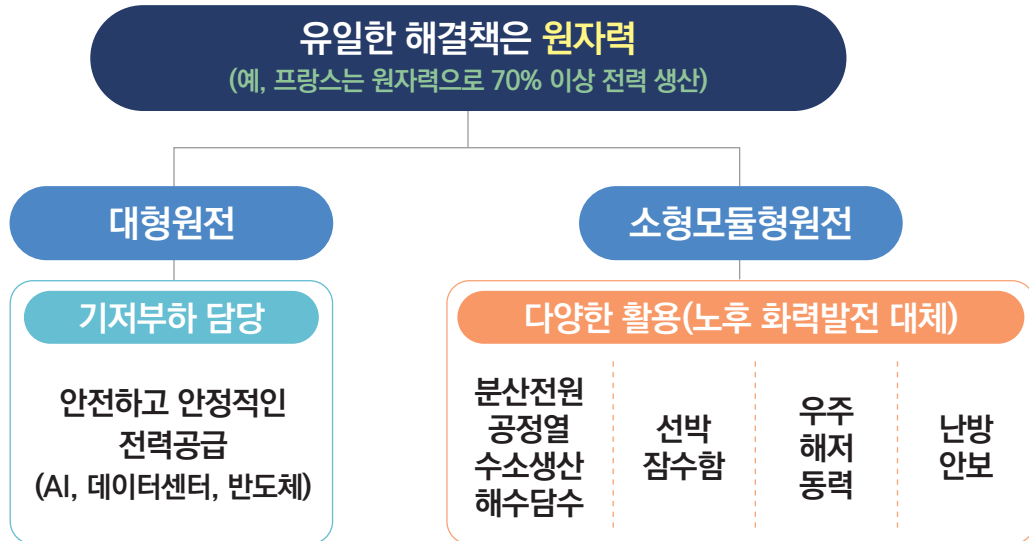
다 글로벌 국제협력 강화로 원자력 네트워크 확장

- 韓美 원전동맹 강화로 SMR 및 핵연료 분야 등 첨단기술 외교 추진
 - 우라늄 공급망 다변화와 핵연료주기 기술 확보로 산업계의 연속성 보장
- 東北亞(안전 협력)는 물론 유럽(첨단기술 제휴)과 中東(원전 수출) 등 권역별 목표 중심의 협력 네트워크 확장

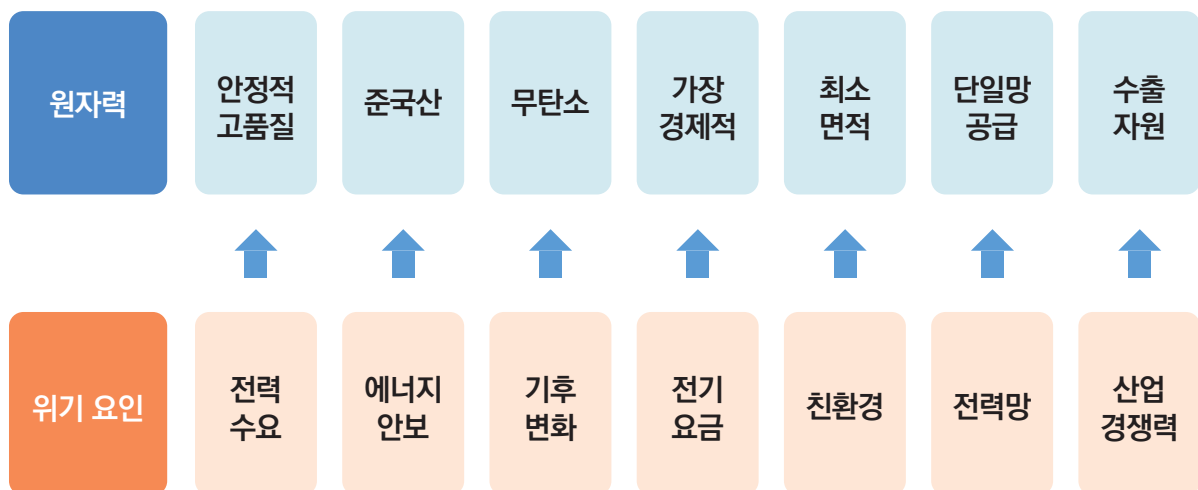
라 국민과 함께하는 원자력 安全文化 조성

- 철저한 안전관리는 산업의 성장뿐 아니라 국가의 지속가능한 미래를 뒷받침하는 만큼, 국민의 알권리 보장과 신뢰 관계 향상을 위해 원자력 행정의 100% 투명 공개 원칙을 천명
- 필요시 객관적인 데이터를 근거로 국민을 설득하는 적극 행정 구현의 기반으로 활용

국가 미래는 에너지에 달려있고, 그 해결책은 원자력 확대 전기요금 걱정 없는 나라!



원자력의 장점과 역할 (기반: 다중방벽, 사고대비 안전성 확보, 고준위방폐물 안전관리)



재생에너지 현황

- 무탄소 전원으로 전원 계획의 주축이나 간헐성으로 대체전원(LNG) 사용
(2025.04.28 스페인-포르투갈 대정전)
- 비싼 요금(원전의 4~5배)과 전력망 계통 연결 어려움(송배전 비용 과다)
- 1GW 생산시, 원전 대비 태양광 20배, 풍력 100배 면적 필요 - 입지 문제 유발
- 해외 의존성: 태양광셀 70%, 웨이퍼 97% 중국산, 풍력설비 66% 해외산(중국산 50%)
- 규모 확대보다 R&D, 국내산업 육성으로 경쟁력 확보 우선 지원

원자력 정책 제안서 요약

원자력으로 만드는 전기요금 걱정 없는 나라



POLICY

01

고부가가치 첨단산업의 견인차, 원자력

글로벌 첨단산업은 대규모 무탄소 전력 요구. 원자력은 경제적이고 안정적인 무탄소 전원

- AI·데이터센터·반도체 등 첨단산업 맞춤형 전력공급 체계 구축
- 혁신형 SMR 실증 및 조기 건설 지원
- 대형원전 확대와 송전망 인프라 조기 확충
- 계속운전 허가 기간 연장과 사용후핵연료 중간저장시설 확보
- 원자력과 첨단산업의 연계를 통한 에너지·기술 안보 확보
- 무탄소에너지(CF100) 활성화 정책으로 탄소중립 이행 가속화



POLICY

02

책임감 있는 에너지 원자력, 안전한 사용후핵연료 관리

사용후핵연료 저장시설 포화 임박, 원전 가동 차질 우려. 핵연료 수급 불안정성도 증가

- 습식저장시설 최대 활용 및 원전 부지 내 건식저장시설 조기 건설
- 사용후핵연료 관리 거버넌스 구축 및 심지층 처분 R&D 확대
- 우라늄 공급망 다변화, 핵연료주기 기술 확보, 한미 원자력협력협정 개정 추진



POLICY

03

국가 미래 먹거리, 원자력

전 세계적으로 원자력 수요 증가, 한국형 원전의 수출로 경제성장 기회

- 원전 수출 경쟁력 강화를 위한 일사분란한 원전 수출 컨트롤타워 구축
- 민간 참여 확대 및 산업 생태계 활성화
- 수출형 SMR 모델 개발
- 차세대 대형원전 개발로 수출 기반 및 기술 생태계 강화



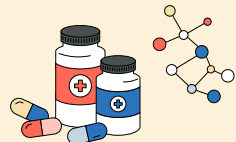
POLICY

04

국민 건강 지킴이, 방사선 기술

동위원소·방사성의약품 시장 확대, 지역 방사선 인프라의 적극 활용

- 가장연구로 및 상용로 활용 중심 글로벌 방사성동위원소 생산 거점 조성
- 방사선 이용 바이오·소재 산업 클러스터 구축
- 대형 방사선 연구시설 운영체계 혁신 및 국가 과학기술 인프라 기능 강화



POLICY

05

원자력 백년기반, 인재와 국민지지

전공생 감소, 인재 부족, 규제 이원화 등 지속 가능성 저해 요인 해소

- 장기 비전 제시를 통한 우수 인재 영입 촉진
- 우수 인력 양성을 위한 혁신 플래그십 프로그램 추진
- 원전의 안전성과 규제의 효율성 강화를 위한 원자력 규제체계 개편
- 과학기반 에너지 교육 및 국민과의 소통 체계 강화



고부가가치 첨단산업의 견인차, 원자력

▶ 첨단산업 육성, 에너지 자립, 탄소중립 실현의 수단 원자력

현황

무탄소 전력수요 폭증에 대응하기에 부족한 원전계획

❖ 세계는 지금 첨단산업이 원자력과 융합 중

- 2025년 3월 구글, 아마존, 메타 등 글로벌 빅테크 기업들이 2050년까지 원전 용량 3배 이상 확대를 지지하는 '대규모 에너지 사용자들의 선언(Large Energy Users Pledge)'을 공표하고, 원자력 에너지 기업들 투자 및 제휴를 활발히 진행 중.
- 마이크로소프트는 대형원전으로부터 직접 에너지 공급 계약을 맺었으며, 구글, 아마존, OpenAI와 같은 회사들은 소형모듈원전(SMR) 회사에 투자하거나 에너지 공급 계약 진행.
- 우리나라도 반도체 생산, AI 및 데이터센터 유치 등의 고부가가치 산업의 글로벌 경쟁력을 가지기 위해서는 경제적인 무탄소 전원인 원자력의 확대가 필요함.

❖ 무탄소 전력수요 증가에 원전 설비용량 계획이 미치지 못하는 상황

- 제11차 전력수급기본계획에서 원전 설비용량을 2038년까지 10GW 증설하여 설비비중 13% 발전 비중 35%를 차지하지만, 같은 기간 태양광·풍력 등의 재생에너지 설비는 약 60GW 증설하여 설비 비중이 46%나 차지함에도 불구하고 발전비중은 29%에 불과함.
- 재생에너지는 설비비중은 높으나 전력 공급 기여도가 낮아 경제성이 매우 부족함.
- 우리나라 발전원들의 정산단가(전기요금 주요 요소)는 2024년 석탄 143.6원/kWh, LNG 175.5원/kWh, 태양광 210.6원/kWh(보조금 포함), 풍력 198.5원/kWh(보조금 포함)이며, 원자력은 이들에 비해 저렴한 66.3원/kWh임. (태양광, 풍력 보조금(REC) 단가는 75원/kWh 적용)
- 간헐성을 가진 재생에너지 전원 비중의 증가로 인한 전력 공급의 불안정성과 송전망 과잉투자로 인해 전기요금이 추가로 인상될 것이며, 이는 우리나라 산업 경쟁력을 약화시킴.
- OECD 국가 전체의 전기요금 평균을 100이라 할 때, 한국의 주택용 전기요금은 56, 산업용 전기요금은 93정도이며 대한민국의 가정용 대비 산업용 전기 요금 비율은 약 123%로 산업용 전기요금이 가정용보다 비싼 소수 국가 중 하나임. (24.11 이후 산업용/가정용 전기요금값 적용, 환율 1400원/USD)

❖ 러-우 전쟁 등으로 국제정세 불안이 심화되어 에너지 안보 중요성 증가

- 러시아산 에너지에 대한 의존으로 유럽의 천연가스 가격은 2022년 11배까지 급등했고, 탈원전 정책을 고수하던 독일은 제조업 중심 경제가 연속적인 마이너스 성장을 겪으며 '유럽의 병자'로 전락함.
- 이와 같은 사례는 24시간 안정적 공급이 가능하고 장기 비축이 가능한 원자력의 에너지 안보적 가치를 부각시키고 있으며, 급변하는 세계 정세 속에 우리나라도 원자력의 이용을 적극적으로 확대하여 에너지 안보를 공고히 할 필요가 있음.
- 2024년 31개국이 COP29에서 2050년까지 원자력 발전 용량을 3배로 확대하기로 공동 서약하였으며, 우리나라도 이에 동참했으나 구체적인 실행계획이 부재한 상황으로 실질적 목표 수립과 이행 로드맵 마련이 시급함.

❖ 미래 첨단산업 맞춤형 전력공급 체계 개편

- AI, 데이터센터, 로봇틱스 등 미래 산업의 전력 수요가 급증하는 상황에서, 현재의 수동적인 전력 수급계획으로는 적시에 대응하기 어려움.
- 경제적인 무탄소 전원의 확대를 통한 전력공급에 의해 수요가 창출되는 첨단산업 발전 전략 수립.
- 이와 연계한 원자력 전력공급계획을 수립하고, 미래 산업 성장을 뒷받침할 수 있도록 에너지 계획을 선제적이고 능동적으로 전환하는 정책 도입 필요.

❖ 첨단산업 성장 인프라 구축을 위한 i-SMR 적기 건설 지원

- 혁신형 소형모듈원전(i-SMR)의 적기 건설을 위해 과학기술을 기반으로 하여 인허가 체계를 정비하고, 민간사업자의 원활한 참여를 위한 관련 법령 및 제도 개선을 통해 기술 상용화와 시장 확대를 동시에 추진.
- i-SMR 국내실증을 위한 정책적 지원을 통하여 AI 및 데이터센터 전력공급, 노후 석탄화력발전 대체, 수소생산 등의 분야에 경제적인 무탄소 원자력이 기여 가능.
- 도전적인 연구개발 사업 참여 기업에 세제 혜택 등의 추가 혜택 부여 추진.

❖ 대형원전 확대 및 첨단산업 에너지 인프라 조기 건설

- 대형원전의 신규 건설을 대폭 확대하여 2040년대에는 원자력 발전 비중 40%, 2050년대에는 50% 달성을 목표로, 원자력 설비용량을 현재 대비 최소한 3배 이상 확대할 수 있게 추진.
- 이를 위해 선제적인 부지 확보 및 송전망 확충 등 첨단산업의 급속한 성장이 가능한 인프라 조속히 마련.

❖ 계속운전 제도 개선 및 중간저장시설 확보

- 「원자력 안전법령」을 개정하여 가장 효과적이고 경제적인 탈탄소 수단인 계속운전의 허가 기간을 기존 10년에서 20년으로 연장.
- 계속운전의 경제성 평가는 국가차원의 이익에 기반하여 수행.
- 사용후핵연료 중간저장시설을 2040년까지 확보함으로써 계속운전의 기반 강화.

❖ 첨단산업과 원자력 에너지의 협력을 통한 국가 안보 강화

- 경제적인 무탄소 전원인 원자력의 확대를 통해 토종 AI 및 데이터 기술을 개발하여 국가의 AI 안보와 에너지 안보를 동시에 완성.
- 해외 의존적인 화석연료 자원과 재생에너지 설비 의존성을 낮추고 국산 에너지인 원자력을 확대하여 에너지 자립형 국가를 지향.
- 경제적이고 안정적인 원자력을 이용해 세계 최고의 경쟁력을 갖춘 국산 AI 개발 및 운용.



제안

무탄소에너지(CF100) 활성화 정책으로 탄소중립 이행 가속화

❖ 무탄소 에너지 체제 전환을 통해 국제 경쟁력 확보

- 재생에너지 100%(RE100)은 무탄소 달성의 실효성과 안정적인 대규모 전력 공급 측면에서 한계가 있음. 따라서 원자력과 재생에너지를 결합한 무탄소에너지 100%(CF100) 체제로의 전환을 추진하고 국제 CFE (Carbon Free Energy) 체제 확산을 선도.

❖ CF100 제도 법제화 및 조달 시장 구축

- 정부와 글로벌 대형 에너지 수요자들이 선언한 ‘2050년 원전용량 3배 확대’ 목표를 실현하기 위해, 무탄소 전원 사용을 인증하고 원자력과 재생에너지를 자유롭게 거래할 수 있는 CF100 조달시장을 조성할 수 있도록 CF100 제도를 법제화.

❖ 무탄소 에너지 인증제도 (CFC) 신설

- 기존 재생에너지 인증제도인 REC(Renewable Energy Certificate)를 대체하여 원자력을 포함한 무탄소 전원에 대한 인증이 가능한 CFC(Carbon Free Certificate) 제도를 신설하고, 이를 CF100 시장의 기반으로 활용.

❖ 무탄소 전력 선택권 확대 및 수요 창출 유도

- 전력구매계약(Power Purchase Agreement, PPA) 제도에 원자력을 포함시켜 기업들의 전력원 선택권을 보장하고, 민간이 값싼 원자력 전력을 직접 구매할 수 있는 기반을 마련하여 첨단산업의 무탄소 전력 신규수요 유도.

❖ 원자력 활용 산업 다양화 및 시장 확대

- 원자력 추진 선박, 산업공정열 공급, 수소 생산 등 비전력 산업 분야에서 원자력 활용을 확대하고, 관련 기술의 개발, 실증 및 인허가를 정부가 적극 지원
- 이를 통해 원자력의 산업 적용 범위를 넓히고, 반도체·조선 등 우리나라 제조업의 주력 산업과 시너지를 통해 시장을 확대.

책임감 있는 에너지 원자력, 안전한 사용후핵연료 관리

▶ 사용후핵연료 안전 관리 및 핵연료 안정적 수급 체계 확보

현황

사용후핵연료 저장 한계 임박에 따른 대응 필요

❖ 사용후핵연료 습식저장시설 포화 임박, 원전 가동 차질 우려

- 한빛원전은 2030년, 한울원전은 2031년, 고리원전은 2032년부터 임시저장시설의 포화가 예상됨. 이에 적절히 대응하지 못할 경우 원전 가동 중단으로 인한 전력 공급 차질이 우려됨.
- 미국 등 원자력 선도국들은 원전 부지 내에 건식저장시설 또는 중앙집중식 중간저장시설 등을 운영하면서 임시저장시설 포화 문제에 적극 대응하고 있음.

❖ 고준위방폐물 관리시설 부지선정 절차 마련

- 고준위방폐물 관리시설 (중간저장시설 및 최종처분시설)의 부지선정 절차 등을 포함한 「고준위 방사성 폐기물 관리 특별법」이 2025년 2월 27일 국회 본회의를 통과, 3월 18일 국무회의 의결을 거쳐, 3월 25일 공포됨.
- 유럽연합은 2050년까지 고준위방폐물 처분시설 운영 계획을 수립하고 이를 전제로 원자력을 환경적으로 지속가능한 경제활동을 분류하였으며('23.1) 우리나라도 녹색분류체계 가이드라인을 통해 원자력을 녹색경제활동으로 포함하고 있음.

❖ 원자력의 지속적인 이용을 위한 안정적인 핵연료 수급 체계 필요

- 탄소중립을 위한 세계적인 원전 확대 흐름과 러시아산 농축우라늄(약 40% 시장 점유)에 대한 의존도 감축 움직임 속에서, 2040년까지 글로벌 우라늄 공급 부족이 심화될 것으로 전망됨.
- 우리나라는 원전 연료인 우라늄을 전량 수입에 의존하고 있어 안정적인 우라늄 연료 공급망 다변화 및 수급 체계 마련이 시급한 상황임.

제안

안전하고 경제적인 원전 부지 내 사용후핵연료 관리

❖ 사용후핵연료 습식저장시설의 최대 활용

- 국민과 기업의 전기요금 부담을 줄이기 위해, 저장 여유가 있는 기존 습식저장시설을 최대한 활용

❖ 원전 부지 내 저장능력 확충을 위한 건식저장시설 적기 건설

- 원전 내 사용후핵연료 습식저장시설의 저장용량이 한계에 도달할 경우에는 원전 부지 내 건식저장시설을 적기에 건설하여 운영

❖ 사용후핵연료의 유연한 관리체계 구축을 위한 법령 정비

- 부지 간 사용후핵연료의 운반과 저장을 제한하는 「고준위 방사성폐기물 관리 특별법」의 관련 조항을 개정하여 원전 운영의 안전성, 효율성, 경제성을 높여 국민 부담 완화



제안

투명하고 책임있는 고준위방폐물 처분

❖ 고준위방폐물 관리 거버넌스 구축

- 「고준위 방사성폐기물 관리 특별법」에 따라, 정치적 중립성과 전문성을 갖춘 “고준위 방사성폐기물 관리위원회”를 조속히 설립하여 운영

❖ 중간저장시설 및 최종처분시설 부지 선정 절차 가속화

- 월성원전 계속운전과 부지내저장시설 용량 최소화를 통한 비용 절감 등을 위해 사용후핵연료 중간 저장시설을 2040년 이전에 운영할 수 있도록 부지 선정 절차 조속히 추진
- EU 텍소노미 등 국제사회의 요구에 부합하도록 2050년대에 운영할 수 있도록 조속한 기술 개발 및 규제 기반 마련

❖ 심지층 처분기술 개발 및 사용후핵연료 재활용 기반 마련

- 심지층 처분의 안전성·경제성·친환경성 강화를 위한 연구개발(R&D) 지원을 확대하고, 고준위방폐물 처분 부담 완화 및 관리의 유연성 확보를 위해 친환경적인 사용후핵연료 재활용 기술(예: 기존원전에서 재활용, 선진원자로에서 재활용, 가속기에서 P-T 등)을 개발하여 국가 전략기술로 육성

제안

지속 가능한 원자력을 위한 핵연료주기 산업정책 마련

❖ 우라늄 연료공급망 다변화 및 국제협력 추진

- 우라늄의 안정적 수급을 위해 한미 또는 다국적 컨소시엄을 기반으로 공급망을 다변화하고 우방국과의 협력을 강화함. 아울러 핵연료 수급 역량 강화를 위한 기술 개발 추진.

❖ 핵연료주기 기술 확보를 위한 기반 인프라 조기 구축

- 선진 핵연료 및 신재료 원천기술 확보를 위해 필수적인 조사시험시설과 대형 핫셀 등 핵연료주기 기반 시설을 조속히 구축.

❖ 한미 원자력협력 협정 개정 조기 추진

- 2035년 만료 예정인 「한·미 원자력협력협정」 개정 협상을 선제적으로 착수하고 사용후핵연료 재활용을 위한 자원 순환형 원자력시스템 개발을 위한 한·미 공동 실증 프로젝트를 본격적으로 추진

현황

글로벌 원전 확대 전망 속, 원전 수출 경쟁력 강화 요구

❖ 2050년까지 원전 설비용량이 3배 이상 증가할 것으로 전망

- 미·중·영·프·일·인·러 등 주요국의 원전 건설이 활발히 진행되며, 전 세계적으로 원자력의 역할이 다시 확대되고 있음.
- 이탈리아 탈원전 폐기, 독일의 탈원전 재검토 등 세계적인 원자력 이용정책의 대변환이 진행 중.

❖ K-원전, 세계 최고 수준의 경쟁력 보유

- 한국은 APR1400(UAE), APR1000(체코), JRTR(요르단), SMART, i-SMR 등 다양한 모델을 보유하고 있음.
- 우수한 전문기술인력과 세계 최고의 설계, 시공, 건설 및 운영 능력(On-time Within-budget)을 입증하고 있음.

❖ SMR 실증 및 독자적 대형원전 수출모델 개발 필요성

- 전 세계적으로 SMR 실증에 투자가 확대되고 있으며, 고유기술의 지재권 확보 및 실증 없이 수출은 불가능함.
- SMR 실증 사업을 조속히 추진함과 동시에 독자적인 대형원전 수출모델을 개발하여 수출시장에서 경쟁력을 강화해야 함.

제안

SMR 개발 및 실증을 통한 수출 경쟁력 확보

❖ 혁신형 SMR 실증을 통한 수출형 모델 개발 및 신산업 연계 활용

- 현재 개발 중인 i-SMR의 성능과 경제성을 검증하기 위해 실증 플랜트의 조속한 건설을 추진하고, 국내 실증을 바탕으로 수출 주력 모델을 개발하여 글로벌 시장 선점
- AI 데이터센터, 산업단지 등 에너지 수요가 높은 신산업과 연계하여 SMR 기반 에너지 공급 모델 구축

❖ SMR 개발 지원을 위한 제도 정비 및 민간 투자 촉진

- 정부 차원의 연구개발(R&D) 지원과 함께 기술표준, 인허가 제도 개선을 통해 SMR 개발을 적극 뒷받침
- 선진국 수준의 규제 체계를 구축하여 인허가 절차를 효율화하고, 신속한 상용화를 가능하게 함으로써 민간의 투자 참여를 활성화

❖ 원자력 실증 인프라 (K-Test Site) 조성 및 활용 기반 마련

- SMR의 실증을 지원하기 위해 K-Test Site의 구축
- 혁신 설계 원자로의 실증 및 운영이 가능한 부지를 확보하여, SMR 실증 수요에 체계적으로 대응할 수 있는 기반 마련



제안

차세대 대형원전 개발 및 건설을 통한 새로운 수출상품 확보

❖ 차세대 대형원전 개발을 통해 국내 원전 공급망 및 수출기반 강화

- 안전성과 경제성을 고도화한 차세대 대형원전을 개발·건설함으로써 세계 최고 수준의 국내 원전 기술력과 산업 생태계를 유지하고 확장
- 대형원전에 대한 선도기술 확보와 부품·기자재 및 서비스 등 전 주기 공급망의 적기 대응 능력 고도화를 통해, 대형원전 시장에서의 수출 경쟁력 확보

❖ 차세대 대형원전 개발 및 건설 추진을 위한 개방형 혁신 체계 구축

- 개방형 혁신 체계를 도입하여 민간의 기술개발 참여를 확대하고, 국민과 지역사회의 공감대 형성 속에 차세대 대형원전의 개발과 건설을 가속화
- 신규부지는 엄격한 기준에 따라 지자체 공모 등을 통해 확보하되, 원전 해체 부지, 화력발전소 해체 부지 등 기존 에너지 부지의 효율적 재활용 방안도 함께 고려

제안

원전 수출경쟁력 강화를 위한 민간 참여 확대

❖ 민간 참여 확대를 통한 원전 산업 생태계 활성화 및 투자 유도

- 원전 사업에 민간이 투자할 수 있는 기회를 확대하여 민간의 참여와 역할 강화
- 민간의 전문성과 효율성을 활용하여 원자력 산업의 활용범위 확대, 기술혁신 및 산업구조의 선진화 추진
- 민간 기업 컨소시엄 구성 등을 통한 해외 원전 프로젝트 참여를 위한 제도적 지원 강화
- 민관 협력을 기반으로 원자력 R&D, 원자로 설계, 운영 유지보수 등 핵심 분야의 기술 개발과 사업화 및 수출 적극 지원

현황

국민건강과 산업발전을 위해 방사선 기술 혁신 필요

❖ 방사성동위원소와 방사성의약품의 핵심 전략산업화 필요

- 방사성동위원소를 이용한 방사성의약품 기술혁신으로 암 치료에 새로운 전기가 마련되고 있으며, 글로벌 투자 및 국내 유망 의료기업 진입이 급속히 확대되고 있음
- 기장연구로 등 의료용 동위원소 생산 인프라가 구축 중에 있으며 국내에서도 방사성동위원소와 방사성의약품을 핵심 산업으로 육성하기 위한 전략이 요구됨

❖ 지역별 방사선 기술 인프라를 활용한 방사선 기술 산업 거점 육성 필요

- 기장, 정읍, 대전 등 지역별로 특화된 방사선 기술 인프라의 활용도를 극대화할 수 있는 방안이 필요함
- 지역 경제 활성화와 국가 방사선 기술 경쟁력 강화를 동시에 달성할 수 있는 전략적 접근이 요구됨

❖ 대형 방사선 연구시설의 국가 과학기술 인프라 기능 강화 필요

- 연구용 원자로, 대형 입자가속기 등 대형 방사선 연구시설이 선진국 수준의 재정적 지원 및 운영체계를 확보하지 못해 국가 과학기술 발전과 신산업 창출에 기여하는 데 한계가 있음
- 대형 방사선 연구시설의 지속적인 업그레이드를 통해 세계 최고 수준의 연구시설 역량을 확보할 필요가 있음

제안

글로벌 동위원소·방사선치료 산업 허브 육성

❖ 기장연구로 및 상용로를 중심으로 세계적인 의료·산업용 방사성동위원소 생산 및 수출 거점 육성

- 대표적인 의료용 방사성동위원소인 Mo-99(Tc-99m 원료), Lu-177, Ac-225 및 관련 동위원소 의약품의 국내 자급화를 실현하고 글로벌 수출 산업으로 육성
- 방사성동위원소에 기반한 방사성의약품 연구개발 특화 클러스터 구축

❖ 국제적 경쟁력을 갖춘 방사선바이오-의과학산업 메카 육성

- 방사선을 이용한 암 치료(동위원소, 양성자·중입자 치료센터) 및 핵의학 연구 거점 조성
- RI 바이오헬스 산업과 연계하여 동남권 방사선 의·과학 산업단지를 활성화하고 관련 기업을 적극 유치



제안

방사선 응용연구 및 산업의 글로벌 거점 도시 육성

❖ 국가 첨단 방사선 연구 인프라를 활용한 방사선 응용기술 혁신

- 방사선 육종 및 멸균 연구를 활성화하여 고부가가치 작물 개발, 농업 경쟁력 강화 및 의료기기·식품 산업 지원
- 감마선·전자선 기술에 기반한 첨단 환경·신소재 방사선 가공산업 혁신

❖ 방사선을 활용한 바이오·소재 연구 및 산업화의 거점 육성

- 방사선 기술 기반의 생명과학 특화 산·학·연 클러스터를 조성하고, 식품·농생명 관련 기업을 유치하여 육성
- 방사선 융합기술을 활용하여 소재분야의 강소기업 육성
- 농업(방사선 육종), 바이오(멸균 기술), 소재 산업을 연계한 전북 첨단 방사선 산업벨트를 구축하여 방사선 연구 및 산업의 글로벌 거점 도시로 육성

제안

방사선 과학기술의 글로벌 리더십 구축

❖ 대형 방사선 연구시설의 운영체계 혁신

- 선진국 수준의 운영체계를 구축하고 정부의 적극적인 지원을 통해 하나로, 입자가속기 등 대형 방사선 연구시설의 국가 과학기술 발전 및 신산업 창출에 대한 기여도 확대
- 산·학·연 연구자의 방사선 이용연구 활성화를 위해 시설 출입 등 관련 규제 합리화

❖ 대형 방사선 연구시설의 역량 업그레이드

- 대형 방사선 연구시설이 세계 최고 수준의 역량을 확보할 수 있도록 지속적인 시설 업그레이드와 인력 지원 강화

❖ 방사선 기술을 활용하여 첨단 과학기술 및 스타트업 허브 육성

- 최고 수준의 방사선 연구시설과 대덕연구개발특구 간의 시너지를 극대화할 수 있는 활용 기반을 구축하고, 개발된 첨단기술을 스타트업으로 연계할 수 있도록 지원 체계 확립

원자력 백년기반, 인재와 국민지지

▷ 인재양성과 국민소통으로 원자력의 지속가능성 확보

현황

원자력의 지속가능성을 위한 기반 시스템 강화 필요

❖ 원자력 정책의 불확실성이 우수인재 유입 저하 요인으로 작용

- 2024년에 원자력 전공 재학생 수가 2,156명으로 역대 최저치를 기록함
- 2025년 발표된 원자력산업실태조사에 따르면 원자력산업 경쟁력 확보의 최대 내부 제약요인으로 '기술인력확보' 문제가 27.8%로 지적됨
- 원자력분야의 기술혁신을 이끌 우수 인재의 유입 및 양성을 위한 중장기적인 정책지원이 필요함

❖ 글로벌 환경변화에 적극적으로 대응할 수 있는 원자력 규제체계 필요

- 차세대 원전 개발에 따라 새로운 규제기술 구축이 필요함
- 안전규제 행정조직(원자력안전위원회)과 전문조직(한국원자력안전기술원 등)의 이원화로 인한 비효율성을 극복하고, 규제의 독립성과 전문성을 강화할 필요가 있음

❖ 국민 눈높이에 맞는 원자력 소통의 부족

- 원자력 관련정보의 공개는 투명하게 이루어지고 있으나, 국민 눈높이에 맞는 전달체계는 부족한 상황임
- 학교 교육과정에서 에너지의 중요성을 과학적이고 효과적으로 전달할 수 있는 교재 개발 및 보급이 필요함

제안

우수 인력 양성을 위한 혁신 플래그십 프로그램 추진

❖ 원자력 분야에 대한 장기적인 비전 제시를 통해 우수인재 유입 촉진

- 원자력 정책의 불확실성을 해소하고 원자력의 장기적인 기술 및 산업 전망을 제시함으로써 우수 인재 유입 촉진
- 차세대 원전 기술 개발, AI 등 타 분야와의 융합 및 활용분야의 확장을 통해 원자력 산업의 미래 비전을 구체화

❖ 대학의 중장기적 혁신기술 개발 프로그램을 통한 우수인재 양성

- 우수 인재 양성의 핵심은 혁신적인 사고력과 연구역량을 갖추도록 하는 데 있음. 이를 위해 대학을 중심으로 혁신기술 개발에 특화된 중장기 연구개발 프로그램 적극 지원
- 대학에 대형 연구기반시설을 구축하는 등 최고급 인재 양성에 과감한 투자

❖ 게임의 룰을 바꾸는 획기적 원자력 연구개발 프로그램 도입

- 대학, 연구기관, 기업이 협력하고, 동시에 경쟁할 수 있는 연구개발 모델 도입
- 원천기술 개발부터 실용화까지를 추진할 수 있는 정책적 지원을 확대하여 하드웨어 파워와 소프트웨어 파워가 조화되는 지속가능한 R&D 체계 정립



제안

안전성과 효율성 강화를 위한 원자력 규제체계 개편

❖ 전문성과 책임성을 기본으로 하는 원자력 규제체계 수립

- 최상위 의사결정기구인 원자력안전위원회(현재 상임위원 2인, 비상임위원 7인으로 구성) 구성 및 운영 방식을 개선하여 의사결정의 전문성과 책임성 강화 필요
- 원자력 안전규제 이행조직을 체계적으로 재정립하여 원자력의 안전성과 규제의 효율성을 동시에 확보

❖ 글로벌 환경변화를 반영한 원자력안전규제 정책 수립 및 제도 개선

- 위험도정보활용 및 성과기반(RIPB)을 적용한 원자력안전규제체계를 도입하여 원전의 안전성과 경제성 제고
- 글로벌 원자력안전규제 추세를 반영하고 국제 안전기준에 부합하는 (신)원자력안전정책성명을 제정함으로써 국내외 신뢰 강화
- 계속운전, SMR 개발, 사용후핵연료 안전관리 및 고준위방사성폐기물 처분 방안 등 현안에 적기 대응할 수 있도록 원자력안전규제 법령 및 제도 개선을 신속히 추진

제안

국민 눈높이에 맞는 원자력 소통 체계 구축

❖ 과학과 사실에 기반한 국민 친화적 에너지 소통 체계 구축

- 원자력안전위원회는 원자력안전 주요 현안에 대한 심사 결과 등 규제 입장에 대하여 국민과 소통하는 쌍방향 소통체계강화
- 한국에너지정보문화재단 등이 국내 원자력 기관 홍보팀과 연합한 상시 대응팀을 구성하여, 원자력에 대한 객관적 정보 전달 및 홍보를 할 수 있는 프로그램을 기획·운영할 수 있도록 정책적·재정적 지원 강화
- 대학, 학회, 연구원, 산업체, 규제기관 등 원자력 유관기관들이 국민 친화적인 대국민 소통을 강화할 수 있도록 정부의 정책적 지원강화

❖ 과학적이고 균형 있는 에너지 교육을 위한 초·중·고 교재 개발 및 보급

- 미래 세대들의 에너지에 대한 올바른 인식을 위해 과학에 기반한 교재개발 및 보급
- 초·중·고 교육 담당자에 대한 교육부 차원의 연수프로그램 개발 및 시행

(부록 1) 국내외 원자력 이용 현황

가. 원자력의 종류와 이용 분야

- 원자력은 원자핵의 반응으로 물질의 질량이 줄어들면서 방출되는 에너지로서, 다음 세 가지가 있음
- **핵분열**(Nuclear Fission): 우라늄, 플루토늄과 같이 무거운 원소의 원자핵이 쪼개지면서 에너지를 방출
 - **핵융합**(Nuclear Fusion): 수소(지상에서는 무거운 수소인 중수소와 삼중수소)와 같이 가벼운 원소의 원자핵들이 합쳐지면서 에너지를 방출
 - **방사능**(Radioactivity): 불안정한 상태의 원자핵이 방사선 형태로 에너지를 방출하면서 더 안정한 상태로 변화
- 원자력은 다음 표와 같이 광범위하게 이용되고 있거나 개발 중임

구 분	원 리	이 용 분 야
핵분열	<p>중성자 우라늄-235 원자핵 불안정한 U-236 원자핵 핵분열조각 (방사성물질) 에너지 (~200MeV) 핵분열 중성자</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 원자력발전: 전세계 10%(OECD 18%) 전력 공급 • 연구용원자로: 방사성동위원소 생산, 재료시험, 과학연구(물질 특성 규명 등) • 열생산: 지역난방, 해수담수화, 산업용 열공급, 수소 생산 등 • 선박동력: 잠수함, 항공모함, 쇄빙선, 컨테이너선 • 우주원자로: 발전 및 추진체 • 원자폭탄
핵융합	<p>중수소 삼중수소 중성자 (14.1MeV) 헬륨 (3.5MeV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 핵융합발전(개발 중) • 소형 중성자원 • 수소폭탄
방사능	<p>전자기파 (엑스선, 감마선 등) Electromagnetic wave 방사성 붕괴 방사선 입자(알파, 베타, 중성자 등) Particles</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 의료 진단 및 치료, 공업(측정, 검사, 생산 등), 농업(품종개발, 식품보존 등), 과학연구 • 방사능 전지(원자력 전지): 우주 동력 등

- 현재 가장 광범위하게 이용되는 핵분열 에너지는 다음과 같은 대표적 장단점을 지니고 있음

구분	핵심특성
장점	<ul style="list-style-type: none"> 고밀도 에너지: 최소 연료량(화력 대비) 및 부지면적(재생, 화력 대비) 온실가스와 대기오염물질(미세먼지 등)을 배출하지 않는 에너지 고품질의 전기를 매우 안정적으로 공급 가능: 재생에너지 대비 우위 산소 불필요 및 긴 연료 교체주기: 해저 및 우주 에너지원으로 유리
단점	<ul style="list-style-type: none"> 원자력 사고와 사용후핵연료(고준위폐기물) 안전관리에 대한 우려 수력 및 가스 발전에 비해 급격한 출력 조절 어려움 ※소형모듈원자로(SMR)에서는 출력 조절 기능이 크게 강화

나. 우리나라의 원자력발전 현황

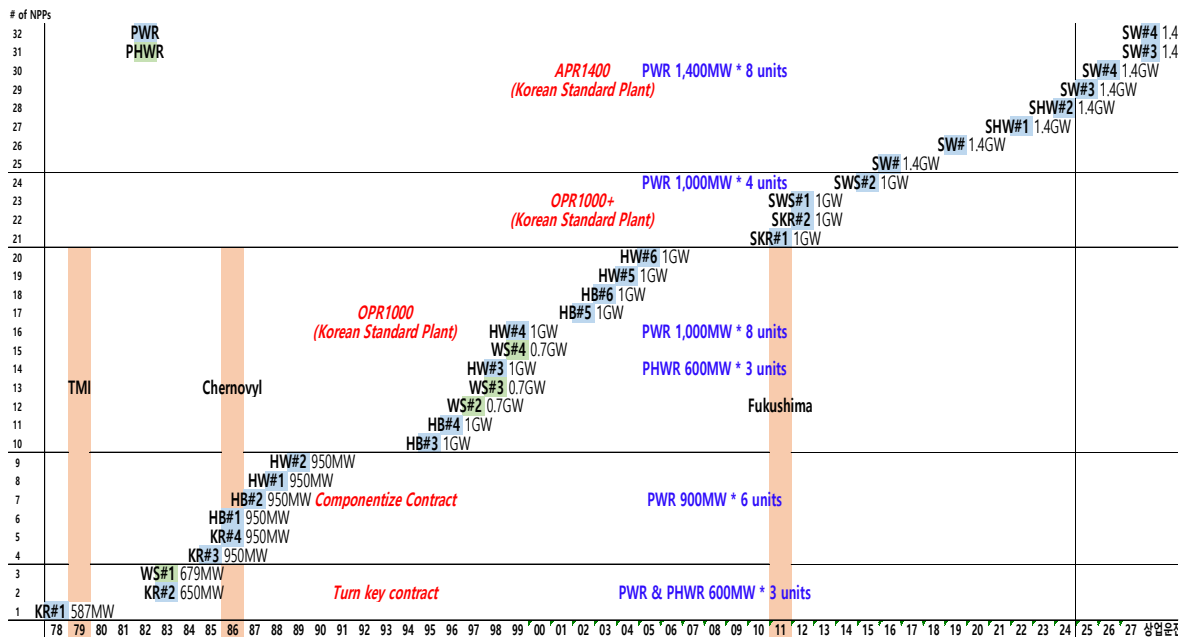
- 우리나라는 1950년대 후반부터 원자력 이용을 모색했으며, 1978년 고리원전 1호기가 상업운전을 시작함으로써 본격적인 원전시대에 진입함
- 1956년 한·미원자력협정 체결, 문교부 원자력과 설치 및 원자력 국비유학생 파견, 1958년 원자력법 제정 및 연구용원자로 도입계약, 1959년 원자력원 및 원자력연구소 설립 등 신속한 추진체계 구축
 - 1978년 고리1호기 상업운전 이래 2025년 2월 현재 26기의 원전 운영 중, 2기(고리 1호기, 월성1호기) 영구정지, 4기 건설 중
 - 2025년 2월 현재 국내 원자력발전 현황은 다음 그림과 같음¹⁾



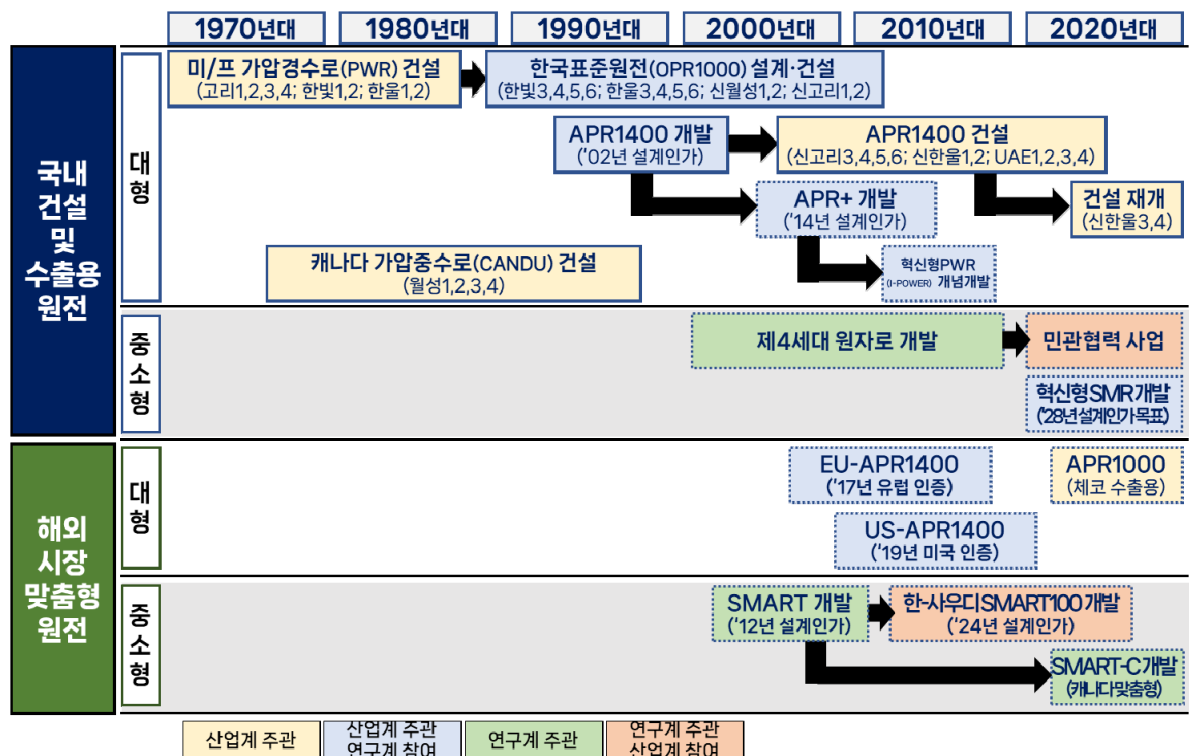
1) 한국수력원자력 열린원전운영정보(검색일: 2025.2.28.)

○ 국내 원전은 석유파동이 있었던 1970년대에 매우 적극적으로 건설되었으며, 1980년대 이후에도 지속적으로 건설하면서 기술을 자립하여 고유 모델을 갖추

- 1970년대부터의 국내 원전 건설 과정



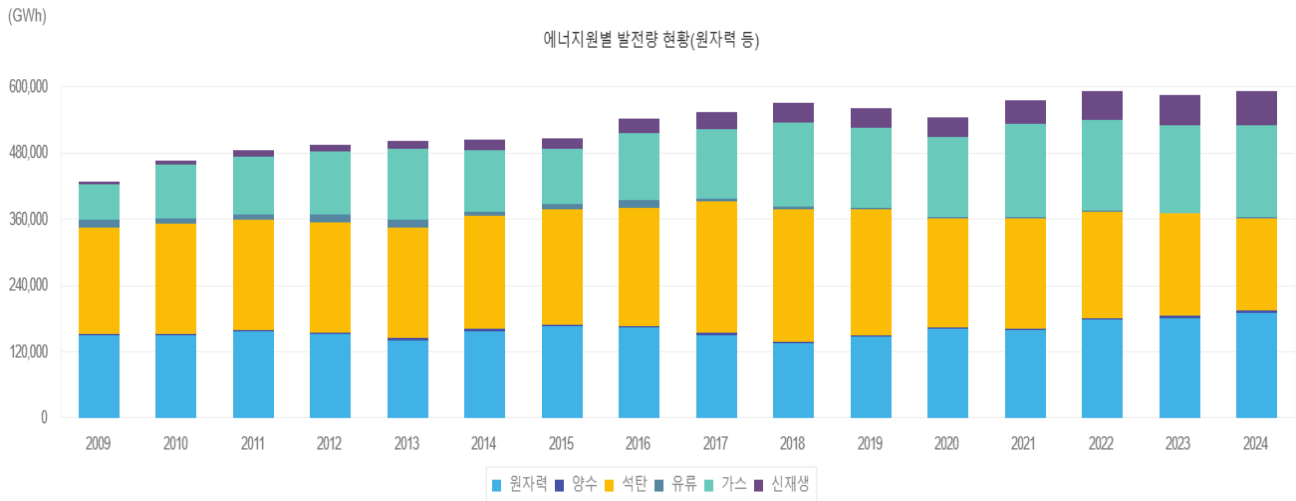
- 1980년대부터 원전기술 자립을 적극적으로 추진하여, 1990년대에 한국표준형원전 (KSNP, 후에 OPR1000), 2000년대에 신형경수로(APR1400)를 확보



[참고] 국내 원전의 노형과 용량 및 건설·운영 상세 정보(괄호: 예정)

발전소명		원자로형	원자로 공급	용량 (MWe)	건설허가	운영허가	첫임계	상업운전	최초설계수명 (운전 만료일)
고리	#1	PWR	W/H	587	72.05.31	72.05.31	77.06.19	78.04.29	07.06.18 (17.6.18 영구정지)
	#2	PWR	W/H	650	78.11.18	83.08.10	83.04.09	83.07.25	23.04.08
	#3	PWR	W/H	950	79.12.24	84.09.29	85.01.01	85.09.30	24.09.28
	#4	PWR	W/H	950	79.12.24	85.08.07	85.10.26	86.04.29	25.08.06
	신#1	PWR (OPR1000)	두산중	1,000	05.07.01	10.05.19	10.07.15	11.02.28	50.05.18
	신#2	PWR (OPR1000)	두산중	1,000	05.07.01	11.12.02	11.12.27	12.07.20	51.12.01
새울	#1	PWR (APR1400)	두산중	1,400	08.04.15	15.10.30	15.12.29	16.12.20	75.10.29
	#2	PWR (APR1400)	두산중	1,400	08.04.15	19.02.01	19.04.08	19.08.29	79.01.31
	#3	PWR (APR1400)	두산중	1,400	16.06.27	(25.07.01)	(25.08.09)	(26.02.28)	건설중 (16.06~26.11)
	#4	PWR (APR1400)	두산중	1,400	16.06.27	(26.04.01)	(26.05.10)	(26.11.31)	
월성	#1	CANDU	AECL	679	78.02.15	78.02.15	82.11.21	83.04.22	12.11.20 (19.12.24 영구정지)
	#2	CANDU	AECL	700	92.08.28	96.11.02	97.01.29	97.07.01	26.11.01
	#3	CANDU	AECL	700	94.02.26	97.12.30	98.02.19	98.07.01	27.12.29
	#4	CANDU	AECL	700	94.02.26	99.02.08	99.04.10	99.10.01	29.02.07
신월성	#1	PWR (OPR1000)	두산중	1,000	07.06.04	11.12.02	12.01.06	12.07.31	51.12.01
	#2	PWR (OPR1000)	두산중	1,000	07.06.04	14.11.14	15.02.08	15.07.24	54.11.13
한빛	#1	PWR	W/H	950	81.12.17	85.12.23	86.01.31	86.08.25	25.12.22
	#2	PWR	W/H	950	81.12.17	86.09.12	86.10.15	87.06.10	26.09.11
	#3	PWR (OPR1000)	두산중	1,000	89.12.21	94.09.09	94.10.13	95.03.31	34.09.08
	#4	PWR (OPR1000)	두산중	1,000	89.12.21	95.06.02	95.07.07	96.01.01	35.06.01
	#5	PWR (OPR1000)	두산중	1,000	97.06.14	01.10.24	01.11.24	02.05.21	41.10.23
	#6	PWR (OPR1000)	두산중	1,000	97.06.14	02.07.31	02.09.01	02.12.24	42.07.30
한울	#1	PWR	프라마툼	950	83.01.25	87.12.23	88.02.25	88.09.10	27.12.22
	#2	PWR	프라마툼	950	83.01.25	88.12.29	89.02.25	89.09.30	28.12.28
	#3	PWR (OPR1000)	두산중	1,000	93.07.16	97.11.08	97.12.21	98.08.11	37.11.07
	#4	PWR (OPR1000)	두산중	1,000	93.07.16	98.10.29	98.12.14	99.12.31	38.10.28
	#5	PWR (OPR1000)	두산중	1,000	99.05.17	03.10.20	03.11.28	04.07.29	43.10.19
	#6	PWR (OPR1000)	두산중	1,000	99.05.17	04.11.12	04.12.16	05.04.22	44.11.11
	신#1	PWR (APR1400)	두산중	1,400	11.12.05	21.07.09	22.05.22	22.12.07	81.07.08
	신#2	PWR (APR1400)	두산중	1,400	11.12.02	23.09.07	23.12.06	24.04.05	83.09.06
	신#3	PWR (APR1400)	두산중	1,400	24.09.12	-	-	-	건설중 (23.06~33.10)
	신#4	PWR (APR1400)	두산중	1,400	24.09.12	-	-	-	

- 국내 전력생산에서의 발전원별 점유율 변화²⁾



○ 에너지자원이 빈약하고 고립된 에너지 섬인 우리나라에서 원자력은 다음과 같은 중요한 장점을 지님

- 온실가스, 미세먼지, 기타 대기오염 물질을 배출하지 않는 에너지
- 가장 경제적인(해체 및 사용후핵연료 처분비용 포함) 전력원
- 기술집약적 準국산 에너지: 발전원가 중 수입연료비 비중 10% 이하
- 에너지 안보에 크게 기여: 석탄, 가스, 석유를 대체하고 비축성 우수
- 국내 건설뿐만 아니라 수출 경쟁력(기술, 가격, 인지도)도 확보
- 수소경제에 필수적인 청정(그린) 수소를 경쟁력 있는 가격으로 공급 가능
- 화력발전 대체, 해양/극지/우주전원 등 다양한 미래 수요
- 국방 및 우주 개발을 위해 핵심 인프라 유지·강화 필요
- 국내외에서 고급 일자리 지속 창출
- 남북 화해·협력 과정 및 통일 후 북한지역에 안정적 전력공급 가능
- 방사선 이용 분야의 국민복지 및 과학기술·산업 경쟁력 기여

2) 출처: 한국전력공사 월별 전력통계속보, 연도별 한국전력통계

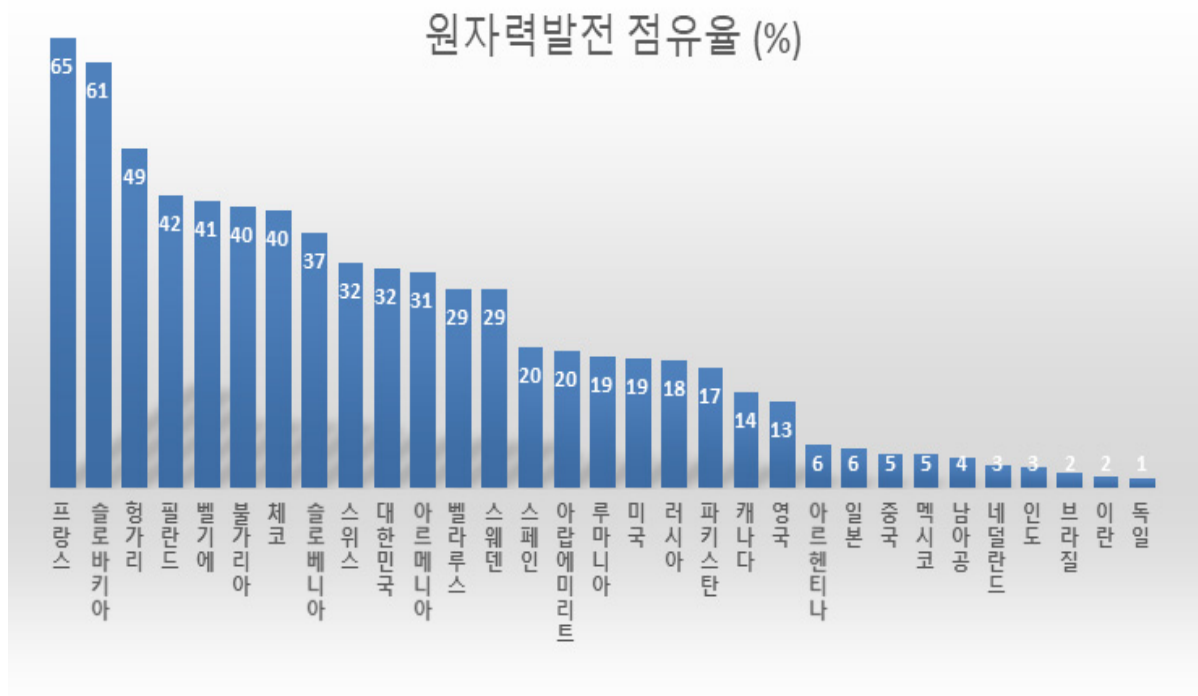
다. 세계의 원자력발전 현황

○ 세계의 원자력발전 현황은 다음과 같이 요약할 수 있음(IAEA PRIS)

구 분	현 황 요 약 [IAEA, 2023.12.31.]
원전 운영	<ul style="list-style-type: none"> ○ 운전가능 상용원전: 31개국(대만 포함), 413기, 371.5GWe ※ 미 93, 프 56, 중 55, 러 37, 한 26, 인 19, 캐 19, 우크라 15, 일 12, 영 9 ○ 가동원전의 평균연령: 약 30년 ※ 설비용량 기준으로 30년 이상 67%, 40년 이상 29%, 50년 이상 4% ○ 원전 누적 가동년수: 19,751년 ○ 45기 원전은 열 공급 병행: 지역난방, 산업용 열 공급, 해수 담수화
신규 건설	<ul style="list-style-type: none"> ○ 17개 국에서 59기(61.1GWe) 신규건설 중 ※ 중 24, 인 8, 튀르 4, 러/이집 3, 한/영/일/방/우크 각 2 등 ○ '23년 한해에만 중국 5기, 이집트 1기 등 총 6기(6.8 GWe) 건설 착수

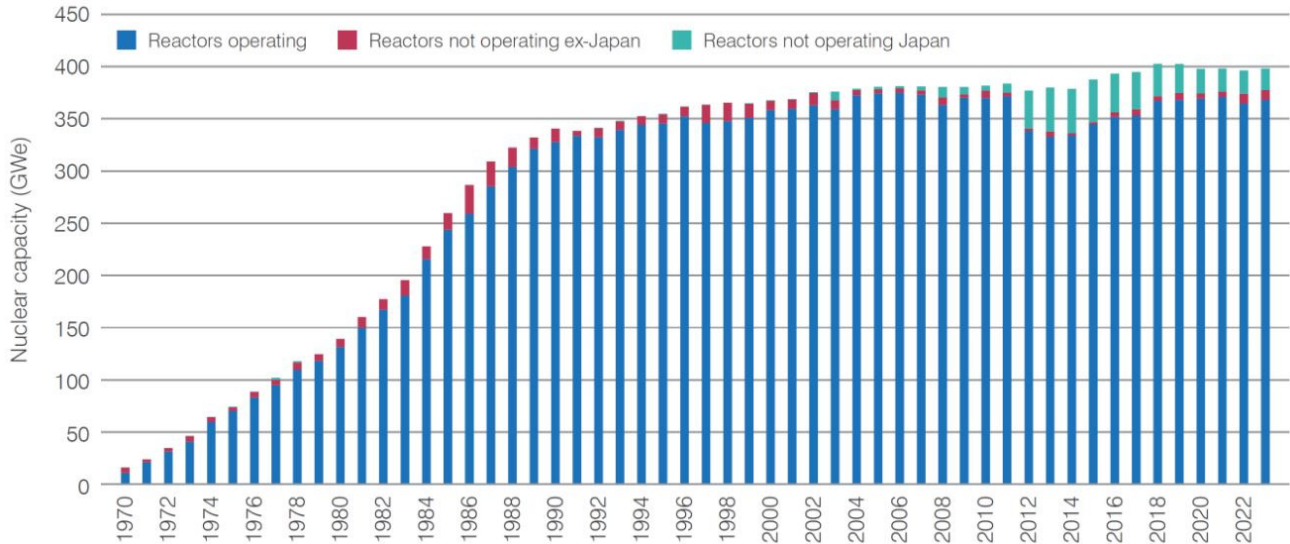
- 세계의 원자력발전량 및 전기생산에서의 점유율[IAEA, 2023년 기준]

- 2023년 2,552TWh의 전기 생산
- 원자력발전 점유율은 프랑스가 가장 높고(65%), 동유럽 및 북유럽 국가들도 높은 편

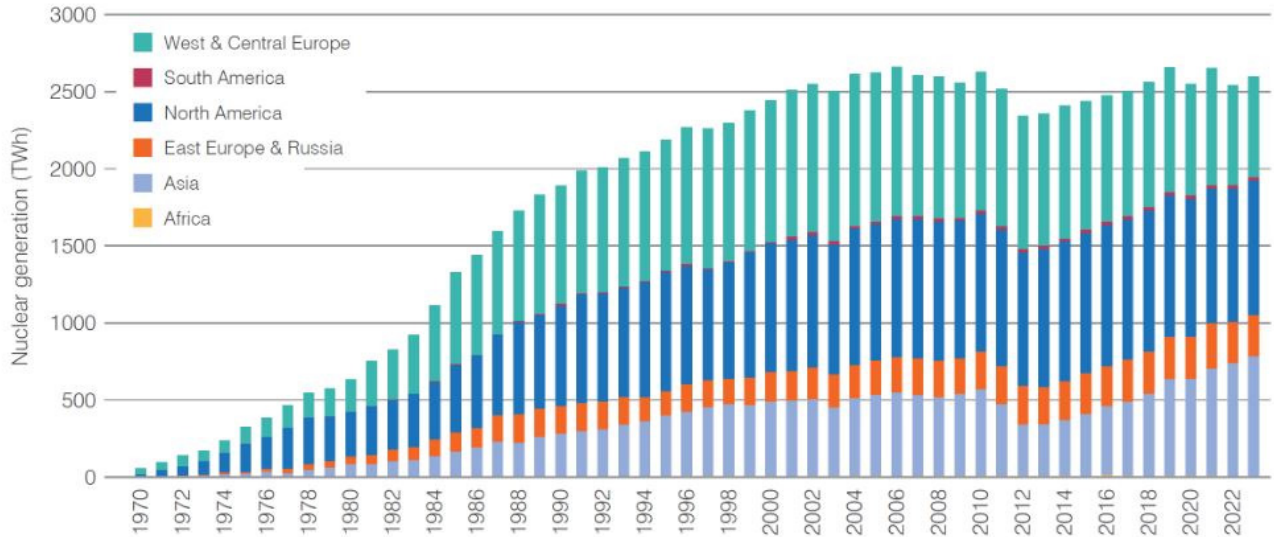


○ 세계 원자력발전 시설용량과 발전량은 1980년대 중반까지 급증하다가 1980년대 후반 부터는 느리게 증가함

- 후쿠시마 원전사고(2011.3.)에 의한 원자력 발전량 급감상황은 현재 회복된 상태
- 전 세계 원전의 설비용량 변화(출처: World Nuclear Association, IAEA PRIS)



- 전 세계 원전의 발전량 변화(출처: World Nuclear Association, IAEA PRIS)



○ 주요 원자력발전 국가들의 동향은 다음과 같이 요약할 수 있음³⁾

국 가	원전 현황(기)			주 요 동 향
	가동	건설	폐지	
미국	94		41	<ul style="list-style-type: none"> • 보글 3, 4호기 상업운전 개시 • 빅테크 기업(아마존, 구글 등)의 원자력투자 증가 • 민간기업 주도 실증 중심의 SMR 개발 및 정부 지원
프랑스	57		14	<ul style="list-style-type: none"> • 원자력 점유율 70~75%(부하추종운전) • EDF 중심 국내 건설 및 수출 추진 • 25년 만의 신규 원자로 플라망빌 3호기 가동('24)
중국	56	25		<ul style="list-style-type: none"> • 국내 원전 대량 건설 및 수출 추진 • 거의 모든 형태의 SMR 개발 및 적극적 실증 및 이미 운영(경수로, 고온가스로, 액체금속로, 해상부유식 원전 등)
러시아	36	4	11	<ul style="list-style-type: none"> • 쇠빙선, 해상부유식 원전 등 다양한 SMR 개발 및 건설 • 세계 원전 수출시장 과점 • BREST-OD-300(납냉각고속로) 건설중
대한민국	26	2	2	<ul style="list-style-type: none"> • 신한울 3, 4호기 건설 재개 • 체코 원전건설 우선협상자 선정 • 민관협력 선진원자로 개발 중 • 11차 전기본 확정
인도	20	7		<ul style="list-style-type: none"> • 적극적 신규원전 건설(자체 개발 및 수입) • 카크라파 3호기(700MW급 가압중수로) 상업 운전 돌입('24)
캐나다	19		6	<ul style="list-style-type: none"> • 연방정부·주정부의 SMR 개발 및 도입 적극 추진
우크라이나	15	2	4	<ul style="list-style-type: none"> • 체르노빌 사고를 겪었으나 원자력 점유율 50% 이상 • 러시아 침공 후, 원자로 기술 및 핵연료의 탈러시아화 진전
일본	12	2	27	<ul style="list-style-type: none"> • 후쿠시마 사고 후, 12년만에 다카하마 1,2호기 재가동('23) • 탈탄소와 안정적 에너지 공급을 향한 수단으로, 원전을 계속 활용
영국	9	2	36	<ul style="list-style-type: none"> • 대형 원전 건설(수입) 및 SMR 개발 등 적극적 원전 정책 • 붕괴된 인력·기술체계 확보를 위한 적극 노력
스페인	7		3	<ul style="list-style-type: none"> • 1981년 이후 신규원전 건설은 없음, 40년 이상 운전 허용
스웨덴	6		7	<ul style="list-style-type: none"> • 1980년의 세계 최초 탈원전 정책 폐기, 수명 연장 계획 • 포스마크 지역 사용후핵연료 심층처분장 건설 착수단계
체코	6			<ul style="list-style-type: none"> • 원전 확대 정책 유지 및 두코바니 원전 건설 추진 (한국 수출 노력)
파키스탄	6		1	<ul style="list-style-type: none"> • CANDU 1기 제외 시 모두 중국 원전(CNP-300, HPR1000) 건설·운영
핀란드	5			<ul style="list-style-type: none"> • 원전 지속 건설 및 계속 운전 • 온칼로 지역 사용후핵연료 심층처분장 건설 완료단계
벨기에	5		3	<ul style="list-style-type: none"> • 2003년 탈원전 정책 채택(40~50년 운전 후 2025년까지 폐쇄 계획)
슬로바키아	5	1	3	<ul style="list-style-type: none"> • 모호브체 3호기 상업운전 개시('24) 및 4호기 건설 완료단계
UAE	4			<ul style="list-style-type: none"> • 한국이 건설한 바라카 1~4호기 상업 운전중
스위스	4		2	<ul style="list-style-type: none"> • 2017년 국민투표를 통해 신규 원전 건설이 가능토록 원자력법을 개정하기로 결정 • 레게렌 지역에 고준위방폐물 처분장 건설 발표

3) 2024 세계 원자력발전의 현황과 동향 (한국원자력산업협회)

(부록 2) 탄소중립을 위한 에너지믹스와 원자력

가. 기후변화 관련 동향 및 우리나라 탄소중립 정책

□ 국내외 기후위기 대응 동향

- 국제사회는 온실가스 배출을 혁신적으로 감축함으로써 지구 평균온도 상승을 산업혁명 이전 대비 1.5°C 이하로 억제하여 기후 위기를 예방하기 위해 공동 노력 중임
 - 1988년, 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 발족
 - 1992년, 유엔기후변화협약(UNFCCC) 채택
 - ※ 1995년 제1차 UNFCCC 당사국총회(COP1) 개최
 - 1997년, 교토의정서(Kyoto Protocol: COP3에서 채택)
 - 2015년, 파리협정(Paris Agreement: COP21에서 채택)
 - 2018년, 제48차 IPCC 총회에서 「지구온난화 1.5°C 특별보고서」 채택
 - 2021년, 제26차 당사국총회(COP26) (10.31-11.12, 영국 글래스고)에서 기후변화대응 강화와 파리협정 실현을 위한 글래스고 기후협약(Glasgow Climate Pact) 채택
 - 2023년, 제28차 당사국총회(COP28) (11.30-12.13, UAE 두바이)에서 원전을 청정에너지로 인정하고 2050년까지 전 세계 원전 용량을 3배로 확대하기 위한 국제협력을 공식화
 - 2024년, 제29차 당사국총회(COP29) (11.11-11.24, 바쿠 아제르바이잔)에서 신규 기후재원 조성목표를 설정하고 국제탄소시장 세부운영규칙을 마련 및 바쿠 기후통합서약을 타결

〈기후변화 관련 핵심 국제협약〉

구분	UN 기후변화협약 (UNFCCC)	교토의정서 (Kyoto Protocol)	파리협정 (Paris Agreement)
채택/ 발효	채택: 1992.06 발효: 1994.03	채택: 1997.12 발효: 2005.02~2020	채택: 2015.12 발효: 2016.11(2021.01 시행)
의의	기후변화 대처 관련 최초 국제협약	기후변화협약에 대한 선진국 감축 목표 및 구체적인 이행방안 결정	모든 국가가 참여하는 포괄적 체제
목표	온실가스 농도 안정화	온실가스 배출량 감축 -1차: 90년 수준의 5.2% 감축 -2차: 90년 대비 18% 감축	지구 평균온도를 산업화 이전 대비 +2°C보다 상당히 낮게 (Well below) 제한*
주요 내용	선진국과 개도국에 차별 화된 기후변화대응 의무	선진국에만 온실가스 감축 의무	자발적 감축목표 설정(NDC) 및 이행수단 포괄 제시 요구
국가	192개국	선진국 37개국(온실가스 배출기준 상 위 15% 국가)	협약 당사국 195개 (온실가스 배출기준 상위 87%)

※ 지구 평균온도 상승을 1.5°C로 억제하기로 합의하고, 2050년 탄소중립 추구

- 우리나라도 2015년 파리협정(Paris Agreement) 채택과 2018년 IPCC 총회 특별보고서 채택 이후 2050 탄소중립 체제로 전환하고 있음

- 2050년 탄소중립 선언('20.10월) 및 장기 저탄소발전전략 유엔 제출('20.12월)
- 탄소중립 이행의 구심점 역할로 탄소중립위원회('21.5월) 출범 및 2050 탄소중립 시나리오 수립
- 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장기본법(탄소중립기본법)」 제정('22.3 시행)
- 탄소중립이 실현된 미래상을 전망하고, 전환·산업·건물·수송 등 부문별 정책방향을 제시하는 '2050 탄소중립 시나리오' 수립 및 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향('18년 대비 40% 감축)('21.10)
- 「탄소중립기본법」에 따른 제2기 '2050 탄소중립·녹색성장위원회' 출범 및 '탄소중립·녹색성장 추진전략' 수립('21.10)
- 탄녹위 전체회의, 국무회의 심의·의결로 「탄소중립·녹색성장 국기전략 및 제1차 국가 기본계획」 최종 확정('23.4)

□ 우리나라의 온실가스 감축 목표

○ '30년 감축 후 배출량 436.6백만톤('18년 배출량 대비 △40%) 목표

(단위: 백만톤CO₂eq, 괄호는 '18년 대비 감축률)

구 분	부 문	2018 실적	2030 목표	
			기존 ('21.10)	수정 ('23.3)
배출량(합계)		727.6	436.6 (40.0%)	436.6 (40.0%)
배출	전환	269.6	149.9 (44.4%)	145.9 (45.9%) ¹⁾
	산업	260.5	222.6 (14.5%)	230.7 (11.4%)
	건물	35.0	35.0 (32.8%)	35.0 (32.8%)
	수송	98.1	61.0 (37.8%)	61.0 (37.8%)
	농축수산	24.7	18.0 (27.1%)	18.0 (27.1%)
	폐기물	17.1	9.1 (46.8%)	9.1 (46.8%)
	수소	-	7.6	8.4 ²⁾
	탈루 등	5.6	3.9	3.9
흡수 및 제거	흡수원	-41.3	-26.7	-26.7
	CCUS	-	-10.3	-11.2 ³⁾
	국제 감축	-	-33.5	-37.5 ⁴⁾

※ 기준연도('18) 배출량은 총배출량 / '30년 배출량은 순배출량 (총배출량 -흡수·제거량)

1) 태양광, 수소 등 청정에너지 확대에 400만톤 추가 감축

2) 수소수요 최신화(블루수소 +10.5만톤), 블루수소 관련 탄소포집량은 CCUS 부문에 반영(0.8백만톤)

3) 국내 CCS 잠재량 반영(0.8백만톤), CCU 실증경과 등을 고려한 확대(0.1백만톤)

4) 민관협력 사업 발굴 및 투자 확대 등을 통해 국제감축량 400만톤 확대

- 전환 부문은 원전과 재생에너지의 조화, 태양광·수소 등 청정에너지 전환 가속화를 통해 45.9% 감축
- 산업 부문은 원·연료 전환, 공정배출 감축 등을 통해 감축하되, 기술개발 상용화 시기 등을 고려하여 11.4% 감축

- 건물·수송·농축수산·폐기물 등 타 부문에서도 합리적 이행수단을 발굴, 27.1 ~ 46.8% 감축 및 흡수원, CCUS 등을 통한 배출 상쇄
- 이외 국제감축은 국내감축의 보충적 수단으로 활용하고 파리협정 등 전지구적 탄소저감에 기여하는 방향으로 추진

○ 온실가스 감축정책의 본격 시행 이후 실질적 효과로 이어지기까지의 시차 발생을 고려하여 연도별 감축목표도 설정

부문	2018 (기준년도)	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
합계	686.3*	633.9	625.1	617.6	602.9	585.0	560.6	529.5	436.6**
전환	269.6	223.2	218.4	215.8	211.8	203.6	189.9	173.7	145.9
산업	260.5	256.4	256.1	254.8	252.9	250.0	247.3	242.1	230.7
건물	52.1	47.6	47.0	46.0	44.5	42.5	40.2	37.5	35.0
수송	98.1	93.7	88.7	84.1	79.6	74.8	70.3	66.1	61.0
농축수산	24.7	22.9	22.4	21.9	21.2	20.4	19.7	18.8	18.0
폐기물	17.1	15.1	14.7	14.1	13.3	12.5	11.4	10.3	9.1
수소	(-)	3.4	4.1	4.8	5.5	6.2	6.9	7.6	8.4
탈루 등	5.6	5.1	5.0	5.0	4.9	4.8	4.5	4.2	3.9
흡수원	-41.3	-33.5	-31.3	-28.9	-30.4	-29.1	-28.3	-27.6	-26.7
CCUS	(-)	-	-	-	-0.4	-0.7	-1.3	-3.2	-11.2

* 국제사회에 제출된 '18년 총 배출량은 727.6백만톤이나 순배출량 기준으로는 686.3백만톤이며, 모든 연도별 합계는 순배출량 기준(부문별 소수점 첫째자리 아래 절사)

** 국제감축은 관련 국제기준 확정, 최초 활용시기('26년 예상) 등을 고려하여 연도별 목표를 설정할 예정으로 '30년 목표에만 반영

○ 탄소중립 및 '30년 NDC를 위해 무탄소 전원 비중을 '30년까지 53%, '38년까지 70%로 확대할 계획(제11차 전기본)

< 11차 전기본 발전량 및 발전비중 전망 (단위 : TWh, %) >

연도	구분	원전	석탄	LNG	재생e	신e	청정수소 암모니아	기타	합계	탄소	무탄소*
'23년	발전량	180.5	184.9	157.7	49.4	7.2	-	8.3	588.0	358.2	229.9
	비중	30.7	31.4	26.8	8.4	1.2	-	1.4	100.0	60.9	39.1
'30년	발전량	204.2	110.5	161.0	120.9	18.7	15.5	11.8	642.6	302.0	340.6
	비중	31.8	17.2	25.1	18.8	2.9	2.4	1.8	100.0	47.0	53.0
'38년	발전량	248.3	70.9	74.3	205.7	26.4	43.9	34.9	704.5	206.7	497.8
	비중	35.2	10.1	10.6	29.2	3.8	6.2	5.0	100.0	29.3	70.7

* 무탄소발전 : 원전 + 재생 + 청정수소·암모니아

** 신규설비 중 '무탄소경쟁' 물량은 수소전소(0.7GW) 및 ESS연계형 태양광(0.8GW)으로 반영

*** 무탄소경쟁 시장 여건, 유보 물량 처리 등에 따라 변동 가능

○ 한국환경연구원은 단일국가 대상 연산가능 일반균형 모형(CGE 모형)*을 활용하여 2030 온실가스 감축경로 이행의 경제적 효과 분석**

* IPCC 제6차 평가보고서 등에서 온실가스 감축정책의 효과를 평가하는 주된 방법론

** 「탄소중립 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획」에 포함된 분석결과 인용

- (경제영향) 기준경로(BAU)에 대비하여, '30년까지 GDP는 유사하고 (연평균 0.01% 증가), 고용은 연평균 0.22% 증가 예상

※ 기후테크 등 신산업 창출 등으로 유발되는 경제적 효과는 분석에 미반영

- (탄소가격) '30년에 61,400원/톤 수준이 될 것으로 전망

구분	분석 결과
GDP 증감율 (BAU 대비)	0.01%
총고용 증감율 (BAU 대비)	0.22%
탄소가격 (원/톤)	61,400

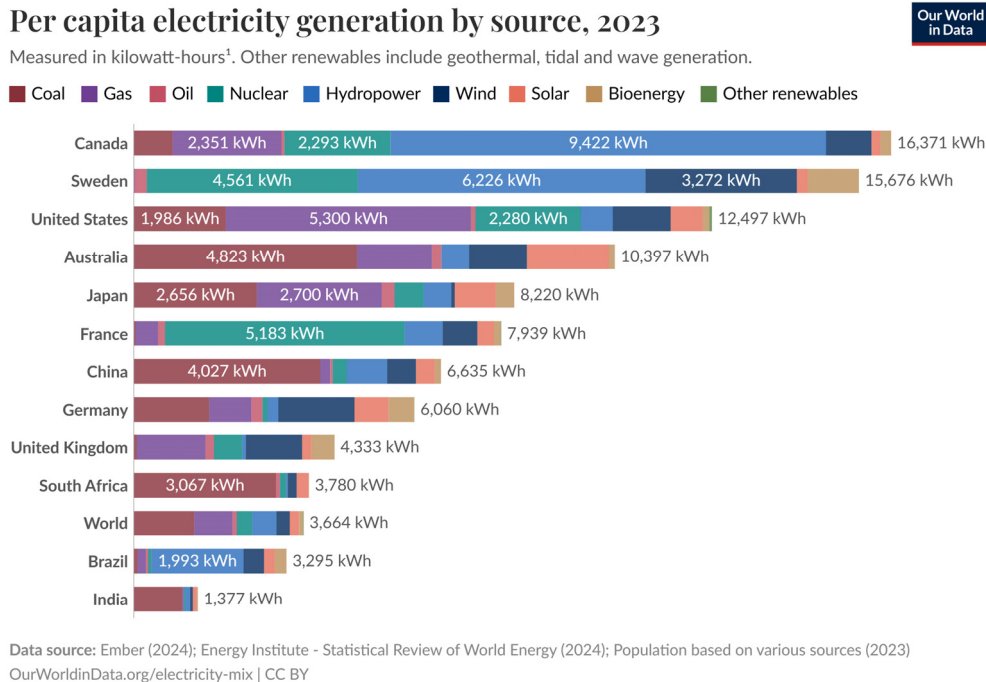
※ '23.3월 온실가스 배출권 가격은 14,000원 수준

- (정책적 합의) 탄소가격 수입을 고용지원에 집중 투자할 경우 생산 활성화로 경제 성장률에 큰 변동 없이 유지 가능

나. 에너지 정책 국제 동향

□ 세계 주요국의 에너지믹스 현황

- Our World in Data 자료⁴⁾에 의하면 2023년 주요 국가의 1인당 에너지원별 전력 생산 비율은 다음 그림과 같음



- 각국의 발전원은 석탄, 천연가스 등 화력과 수력, 원자력, 풍력, 태양광, 바이오, 지열 등 저탄소 발전원으로 이루어지며, 국가에 따라 발전원 구성에 큰 차이
 - 화석연료 비율이 높은 국가 중 남아프리카(74%), 인도(75%)는 석탄 의존도가 매우 높으며, 미국, 독일, 일본은 여전히 천연가스와 석탄이 주요 에너지원
 - 원자력 비중이 높은 국가는 프랑스(63%), 스웨덴(39%), 미국(18%), 캐나다(14.4%)이며, 프랑스, 스웨덴, 캐나다는 원자력+신재생 중심의 전력 믹스를 구축
 - 탈원전 정책의 상징인 독일과 원전 확대가 멈춘 일본은 화석연료/신재생에너지 비율이 각각 57%/36%, 63%/20%로서 화석연료 의존도가 여전히 높음
- ※ LNG 발전도 많은 양의 온실가스 방출(원자력의 약 50배, 석탄의 50~60%)

- Our World in Data 자료⁵⁾에 의하면 2023년 주요 국가의 1인당 1차 에너지 소비량은 다음 그림과 같음

4) Our World in Data, Per capita electricity generation by source, 2023

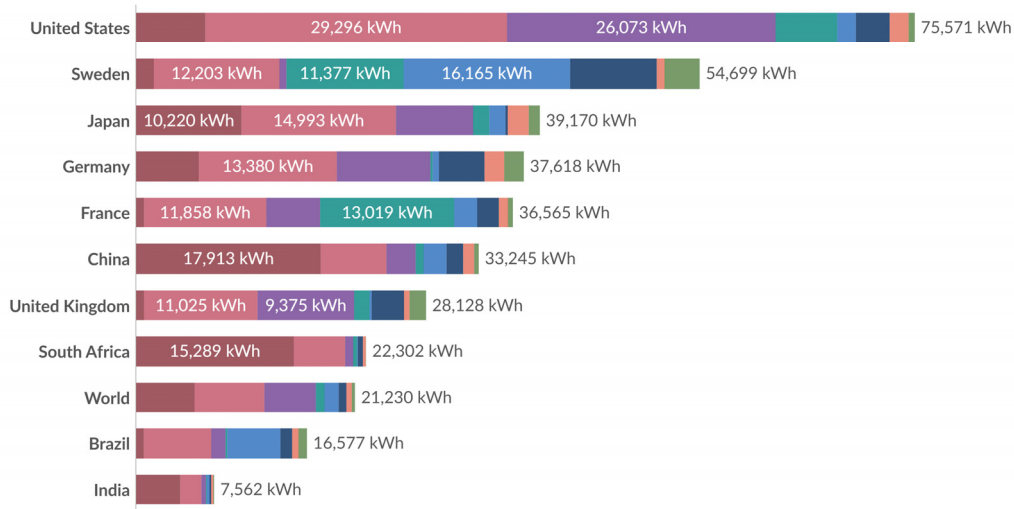
5) Our World in Data, Per capita electricity generation by source, 2023

Per capita primary energy consumption by source, 2023

Our World
in Data

Primary energy¹ is measured in kilowatt-hours² per person, using the substitution method³.

■ Coal ■ Oil ■ Gas ■ Nuclear ■ Hydropower ■ Wind ■ Solar ■ Other renewables

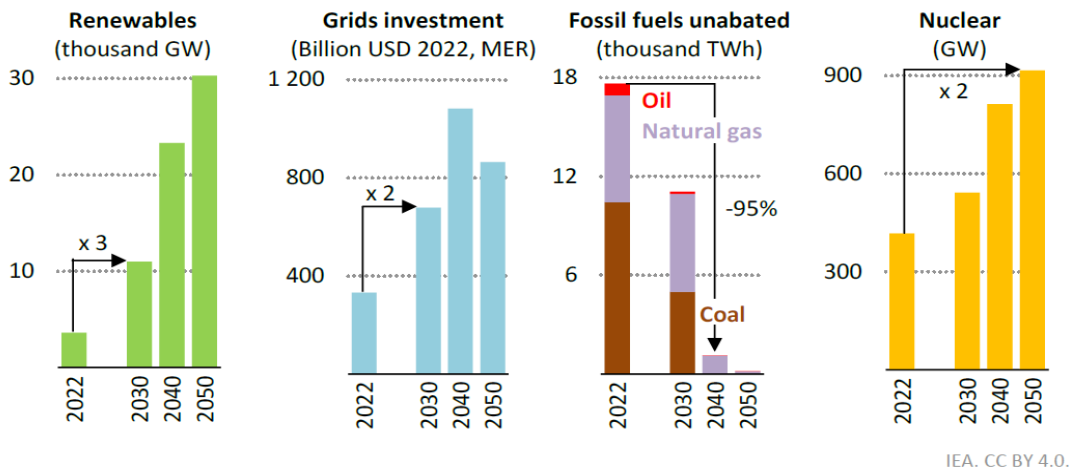


Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024); Population based on various sources (2023)
OurWorldinData.org/energy-mix | CC BY

- 저탄소 에너지원인 원자력과 신재생에너지 조합이 높은 국가는 프랑스, 스웨덴이며, 프랑스는 원자력, 스웨덴은 신재생에너지가 크게 기여
- 신재생에너지 소비가 높은 국가는 독일과 브라질이지만 이는 전체 에너지 소비의 절반에도 못 미치는 수준이며 대부분 화석에너지를 더 많이 소비 중
- 미국과 중국이 신재생에너지 소비를 늘리고 있지만 여전히 화석에너지 소비가 대부분을 차지

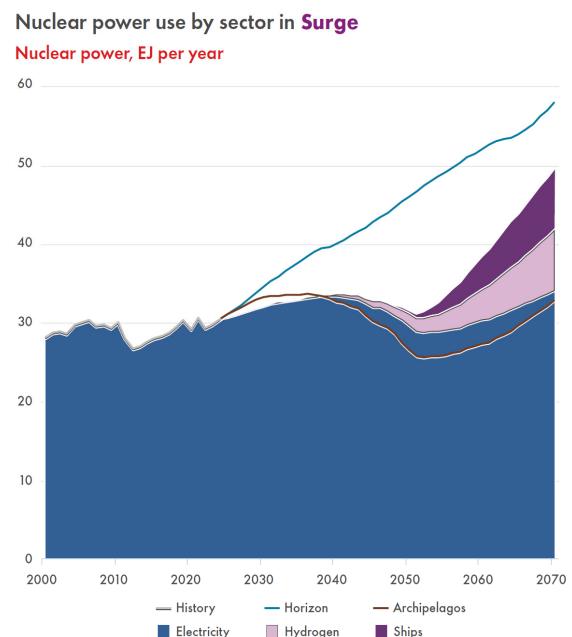
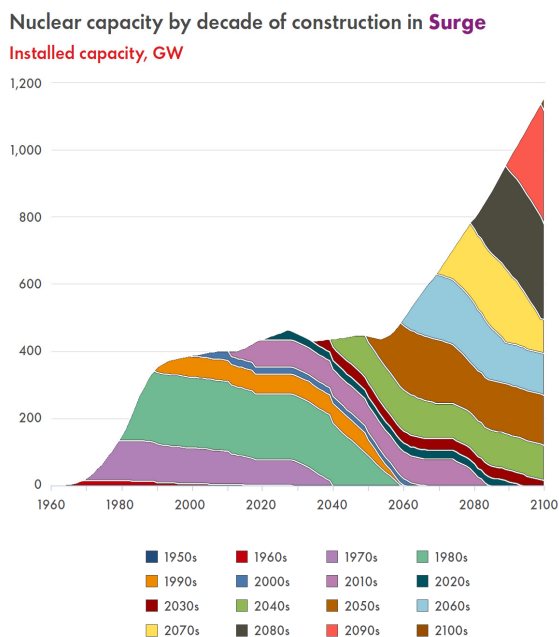
□ 탄소중립을 위한 원자력의 역할

- 국제에너지기구(IEA)의 넷제로(탄소중립) 로드맵⁶⁾에서는 2040년까지 화석연료 발전량이 95% 감소하며 동시에 2050년까지 원자력의 발전설비가 2배이상 늘어날 것으로 예상



6) IEA (2023.9), Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5°C Goal in Reach.

- 국제원자력기구(IEA)는 최근 보고서⁷⁾에서 탄소중립을 위한 원자력의 역할을 다음과 같이 제시함
 - 원자력은 저탄소 전기 및 비전기 에너지 생산을 위한 지속가능 에너지시스템의 일환으로, 재생에너지원 및 다른 저탄소 기술과 협력하여 글로벌 탄소중립 목표를 달성하는데 있어서 핵심 수단
 - 원자력은 연중무휴 24시간 신뢰성 있고 조절 가능한 전기를 제공함으로써 증가하는 재생에너지 발전 점유율에 대한 보완 및 통합 가능
 - 현재 가동 중인 원전의 운영기간을 연장함으로써 저탄소 발전용량을 유지하는 것이 중요하며, 2050년까지 약 550GW의 신규 원전 추가 건설 필요
 - 많은 국가가 기후변화 억제목표를 충족하기 위해 원자력을 선택하고 있으며, 원자력 이용계획이 증가 중
- 2023년 말 기준으로 세계 각국에서 건설 중인 원전은 59기(17개국), 총 용량은 61.1GW이며 특히, 2023년에 6기의 원전(총 6.7GW)이 건설에 착수함
 - IAEA에 따르면, 2035년에는 현재 31개의 원전 운영 국가에서 약 30%가 증가한 10~12개 국가가 새로 원전을 도입할 것이라 전망⁸⁾
- Shell 사의 AI 확산 경제 성장 시나리오(Shell Surge Scenario)⁹⁾에서도 원자력의 설비 용량이 2060년부터 대폭 상승할 것을 예상하고, 특히 2090년까지 모든 대형선박이 원자력 추진 선박으로 대체될 것을 예상

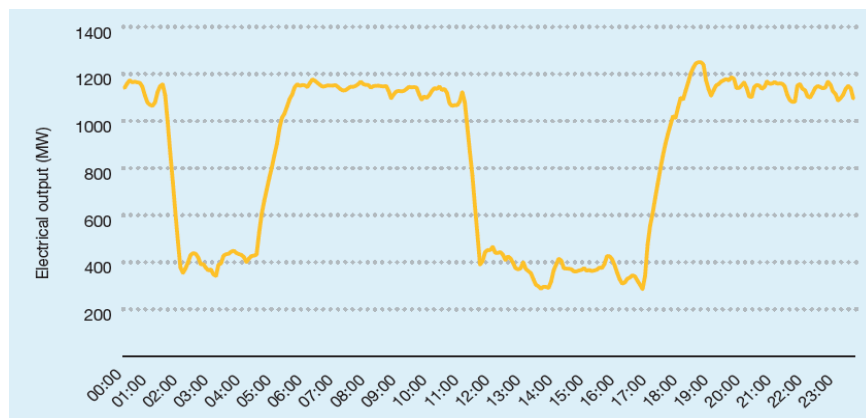


7) IAEA (2021.9), Nuclear Energy for a Net Zero World, p.2.

8) IAEA(2024), Nuclear Technology Review 2024

9) Shell (2025), The 2025 Energy Security Scenarios

- 각국은 자국의 고유한 에너지 및 정치경제적 환경을 고려하여 에너지믹스를 결정하고 있으며, 원자력을 이용하거나 이용을 고려하는 국가가 증가 중임
 - 원자력은 전기뿐만 아니라 열공급 및 수소생산 등에 활용
 - 현재 원전을 이용하는 에너지 다소비국인 중국, 미국, 인도, 러시아, 프랑스 등은 모두 원자력의 중요성을 강조하고 있으며, 탈원전을 추진하던 독일도 최근 기독교민주연합의 집권으로 탈원전 정책 폐지 수순을 밟고 있음
 - 우리나라는 원자력을 기저부하(Base Load)용으로 이용하면서 부하추종 운전을 고려하지 않았으나, 부분적인 설계 보완 및 운전방식 변경을 통해 부하추종운전 가능
 - ※ 다음은 프랑스의 일일 부하추종운전에 따른 원전 출력 변화를 보여주며, 이러한 운전을 통해 특히 태양광발전의 극심한 출력변동 영향을 상당부분 보완할 수 있음



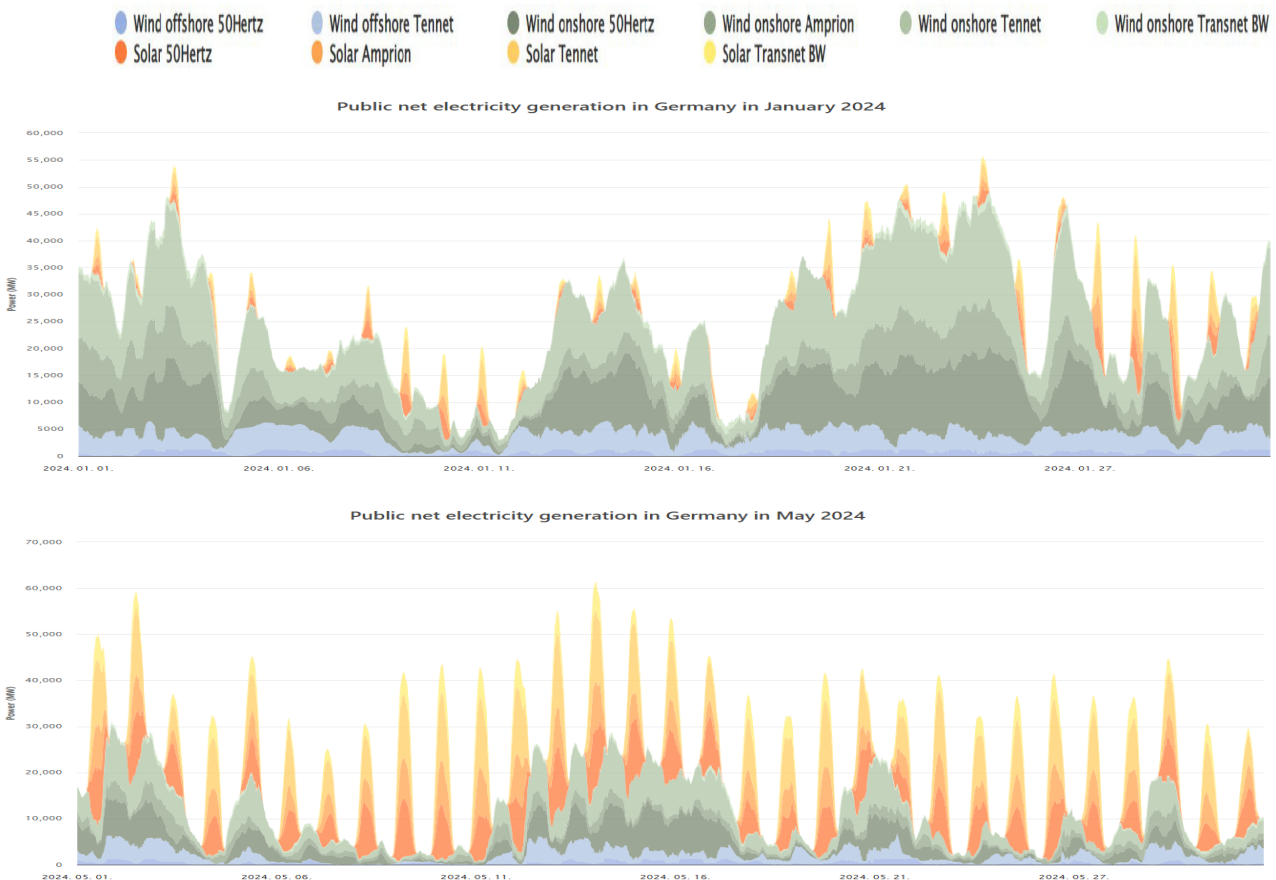
〈프랑스 원전 부하추종 운전의 예〉¹⁰⁾

10) IAEA (2021.9), Nuclear Energy for a Net Zero World.

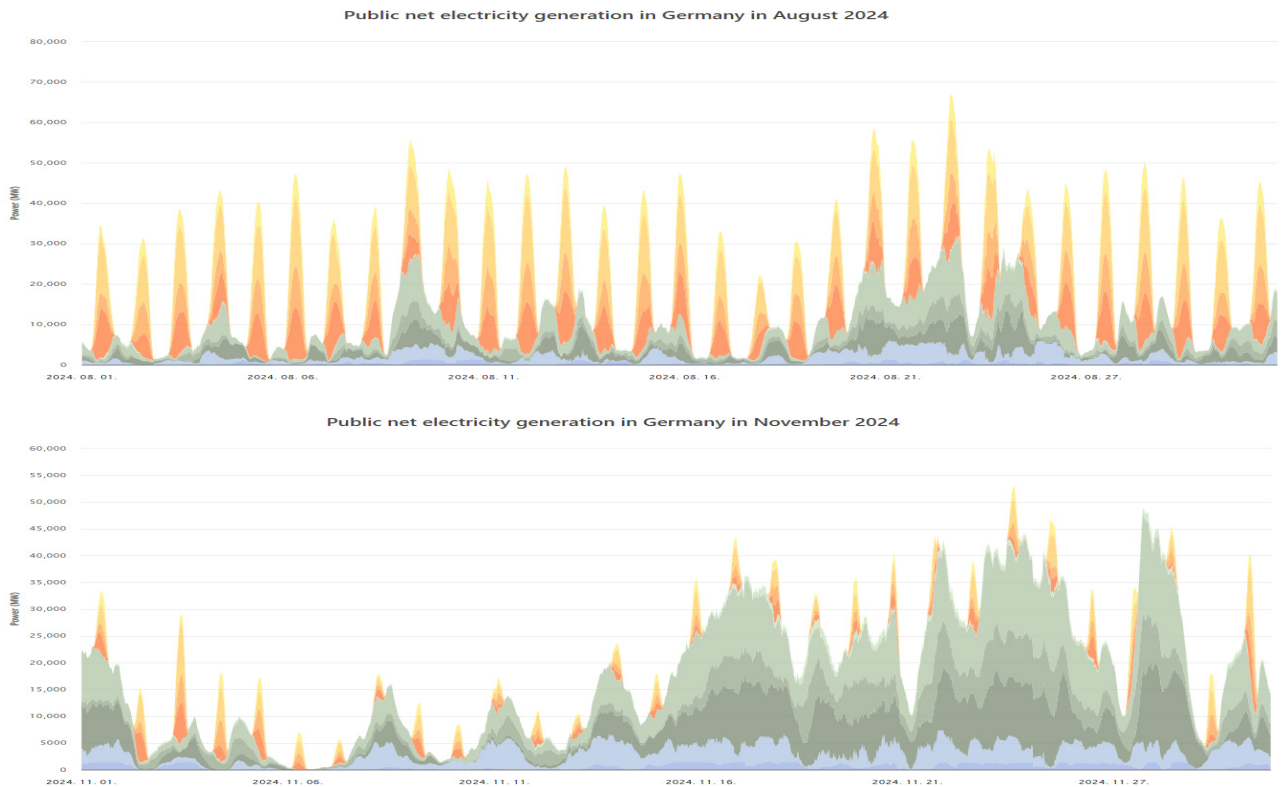
다. 합리적 에너지믹스를 위한 고려사항

□ 재생에너지 점유율 급증에 따른 문제점

- 탄소중립을 위해 사용량이 크게 증가할 것으로 예상되는 태양광과 풍력 등 간헐성 재생 에너지는 점유율이 과도하면 전력공급의 안정성 등에 많은 문제를 야기함
 - 태양광은 낮에만 전기를 생산하므로 시설용량 대비 발전량이 작고(국내 이용률 15% 이하), 날씨가 발전량에 큰 영향
 - 풍력은 밤에도 전기를 생산하므로 태양광보다는 출력변동이 작고 이용률도 높으나(이용률은 위치에 따라 20~40% 수준), 바람의 세기에 따라 출력이 계속 변하고, 매우 낮은 출력이 며칠간 또는 일주일 이상 지속되는 경우 발생
 - 수 일 이상 풍력과 태양광이 모두 낮은 발전량을 보이는 경우가 흔하게 발생
- 태양광과 풍력의 극심한 간헐성은 2024년 독일의 발전량 변화¹¹⁾에서 확인 가능함
 - 2024년 독일의 발전 기록(1, 5, 8, 11월)에 따르면 태양광과 풍력 모두 발전량 변화가 극심



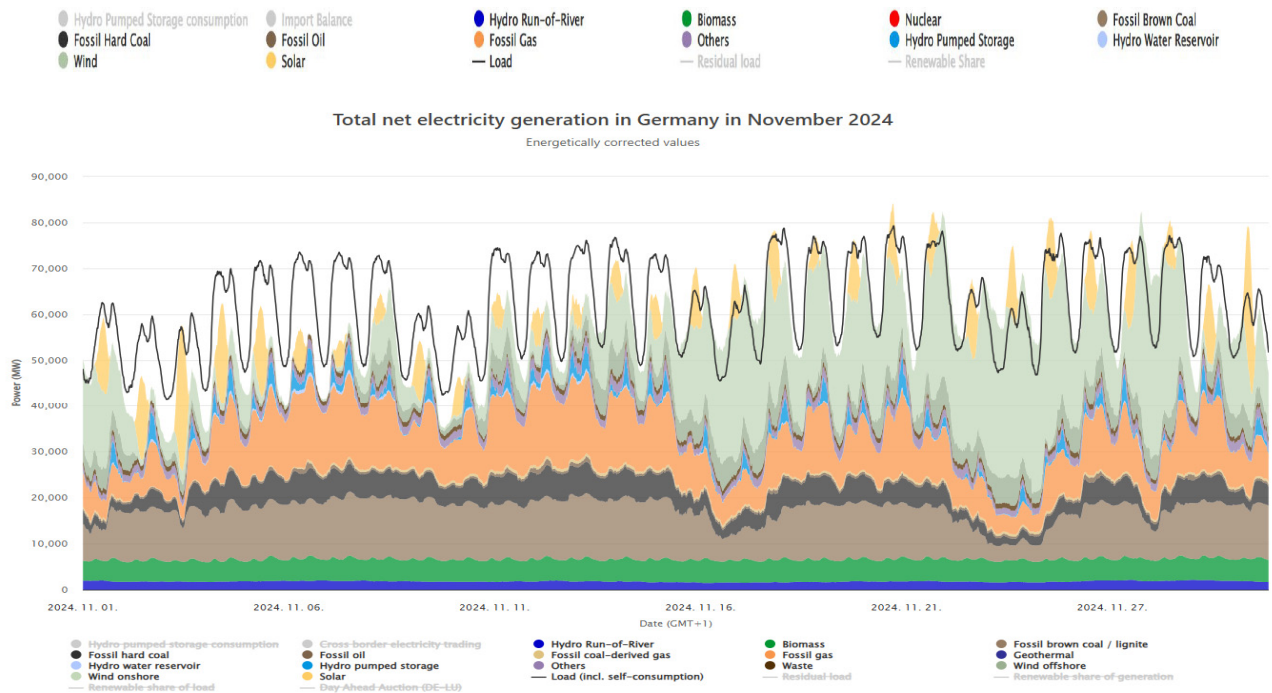
11) Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE), Energy Charts, <https://energy-charts.info/>



〈2021년 1·5·8·11월의 독일 태양광 및 풍력 발전량 변화〉

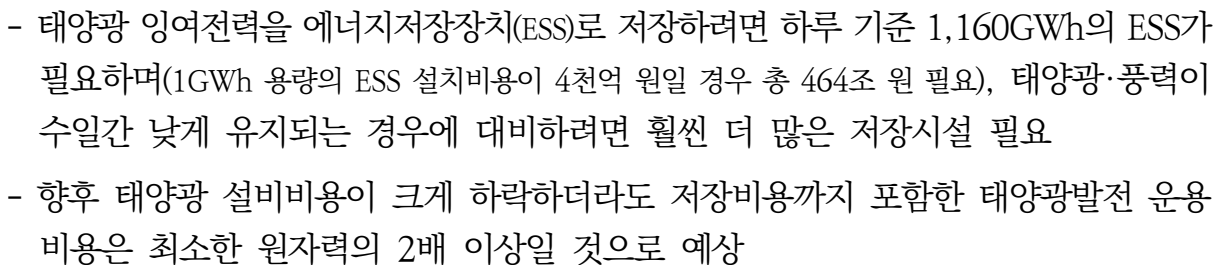
- 독일에서는 이러한 재생에너지의 간헐성 문제를 석탄발전과 가스발전으로 보완하고 전력망이 연결된 유럽국가들과의 전기 수출입을 통해 해결 중

※ 2024년 11월의 독일 전력 수요 및 공급



- 참고로 2024년 독일의 전력생산 비중은 풍력 29%, 석탄 22%, 태양광 17%, 가스 16%, 바이오 9%, 수력 5% 순이었음¹²⁾

- 정부 탄소중립 시나리오에 따라 2050년 태양광 비중이 약 50%일 때 예상되는 하루 중 전기 수요 및 공급¹³⁾(하루 평균전력 140GW 대비, 약 15%의 안정적 풍력발전 가정)



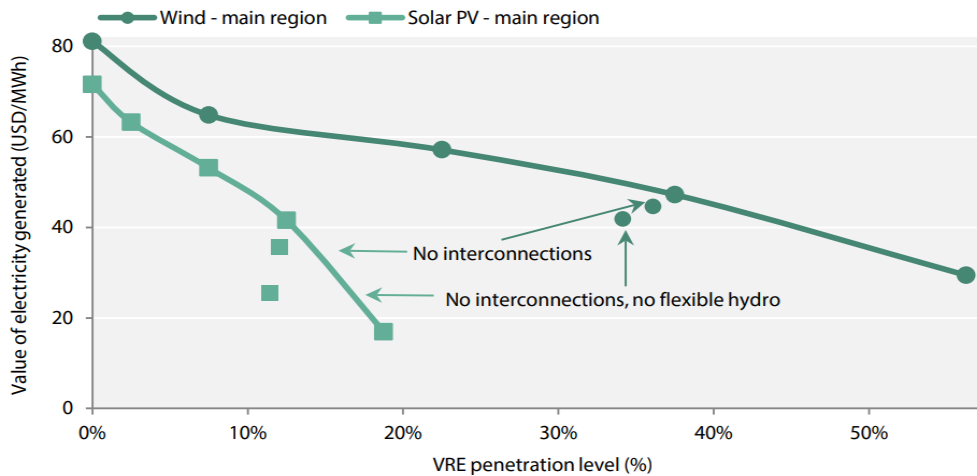
- 2020~2024년 5월의 주파수 유지율 변화(전력거래소 전력계통 운영실적)

13) 핵공감 클라쓰 운영진(2021.11), 대통령을 위한 원자력 이슈 문답 10선, p.13.

	≤59.80	59.81~59.85	59.86~59.90	59.91~59.95	59.96~60.00	60.01~60.05	60.05~60.10	60.10~60.15	60.15~60.20	>60.20
2020	0	0	69	16,380	652,928	653,381	16,219	223	0	0
2021	3	6	78	12,102	661,535	651,148	14,072	256	0	0
2022	1	0	6	7,832	657,293	668,127	5,934	7	0	0
2023	0	0	21	5,862	498,290	818,651	16,243	143	0	0
2024	0	0	25	2,790	595,518	733,980	6,887	0	0	0

- 간헐성 재생에너지 증가에 따른 문제들이 미국(캘리포니아, 텍사스), 영국, 유럽 전력망 등 외국에서 이미 자주 발생
- 새만금 태양광, 신안 해상풍력 등 대규모 신재생 단지는 대용량 송전시설을 필요로 하며, 송전량의 급격한 변화로 계통 불안정성을 야기
- 간헐성인 태양광·풍력 발전의 경제적 가치는 점유율이 높아지면 크게 하락하는 것으로 평가¹⁴⁾

Figure ES9. **The market remuneration received by wind and solar PV as a function of their share in the electricity mix**

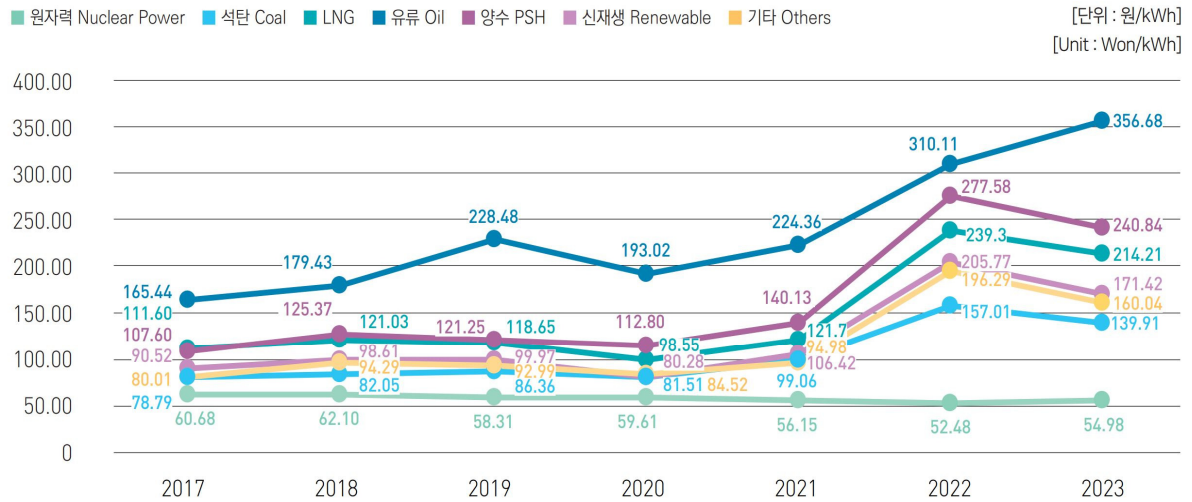


□ 우리나라 원자력발전 환경

○ 우리나라의 원자력발전은 타 발전원과 비교하여 낮은 정산단가를 보이고 있음

- 최근 우리나라 발전원별 정산단가는 다음과 같음 (자료: 전력거래소(2024.3.), 2023년도 전력시장 통계)

14) OECD/NEA (2019), The Costs of Decarbonization.



[단위 : 원/kWh]

[Unit : Won/kWh]

구분	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
원자력 Nuclear Power	60.68	62.10	58.31	59.61	56.15	52.48	54.98
석탄 Coal	78.79	82.05	86.36	81.51	99.06	157.01	139.91
LNG	111.60	121.03	118.65	98.55	121.70	239.30	214.21
유류 Oil	165.44	179.43	228.48	193.02	224.36	310.11	356.68
양수 PSH	107.60	125.37	121.25	112.80	140.13	277.58	240.84
신재생 Renewable	90.52	98.61	99.97	80.28	106.42	205.77	171.42
기타 Others	80.01	94.29	92.99	84.52	94.98	196.29	160.04
평균 Average	82.98	90.09	89.44	80.35	95.00	153.13	137.07

※ 신재생은 REC 비용(약 70원/kWh) 미반영

- 원자력 비용에는 원전 해체비용과 사용후핵연료 및 방사성폐기물 처리비용이 포함(주기적으로 재산정하며, 이들 비용이 상승하더라도 원가에 미치는 영향은 제한적)

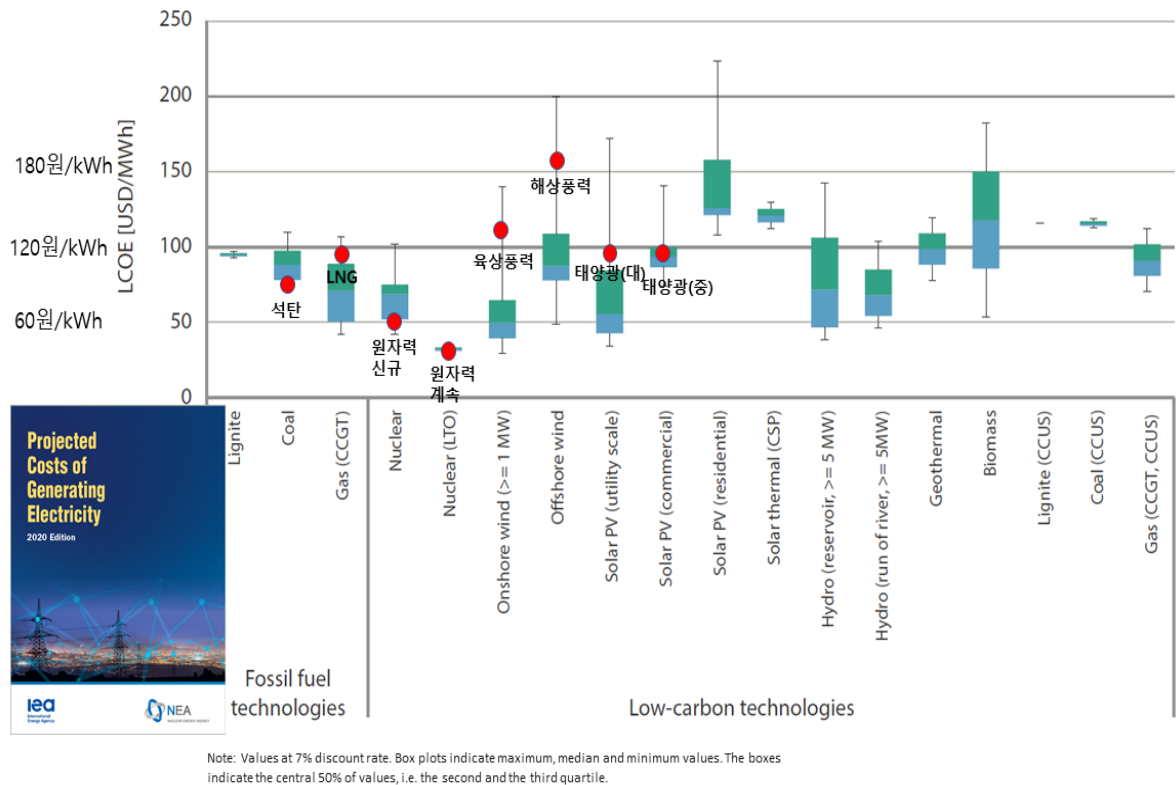
○ 다양한 기관의 균등화 발전단가(LCOE: Levelized Cost of Electricity) 평가에서 우리나라 원자력발전의 LCOE는 재생에너지에 비해 월등하게 낮게 나타남

- 에너지경제연구원 연구보고서¹⁵⁾에서 3가지 시나리오에 따라 2030년 태양광의 LCOE는 78~119원/kWh(1MW급), 육상풍력의 LCOE는 93~162원/kWh(40MW급), 해상풍력의 LCOE는 205~281원/kWh로 평가되었으며, 이는 원자력보다 높으며, ESS의 필요성을 고려하면 훨씬 더 큰 차이
- 국제에너지기구(IEA)에서 최근 발행한 보고서¹⁶⁾에서도 2025년 기준으로 우리나라 원자력 발전의 균등화 발전단가가 타 발전원에 비해 매우 낮은 것으로 제시

15) 이근대·임덕오(2023.12), 재생에너지 공급확대를 위한 중장기 발전단가(LCOE) 전망 시스템 구축 및 운영 (4/5), 에너지경제연구원 기본연구보고서 2023-22.

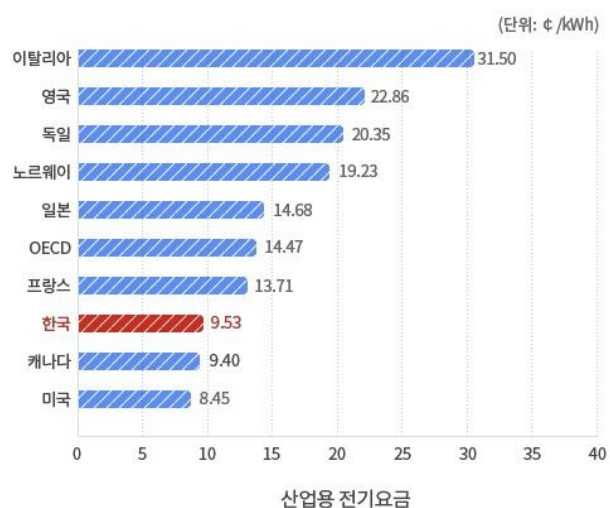
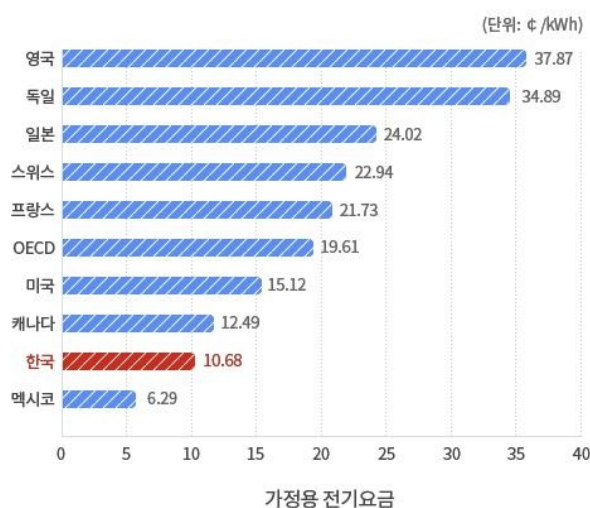
16) OECD IEA/NEA (2020), Projected Costs of Generating Electricity.

※ 적색 동그라미가 한국에 대해 산정된 LCOE임



○ OECD 국가 전체 평균을 100이라고 할 때, 우리나라 가정용 전기요금은 54, 산업용 전기요금은 66 수준임

- OECD 주요국의 가정용 및 산업용 평균 전기요금¹⁷⁾



17) OECD IEA, Energy Prices and Taxes Statistics Database(2023. 8월 기준)

□ 합리적 탄소중립 전략을 위한 시사점

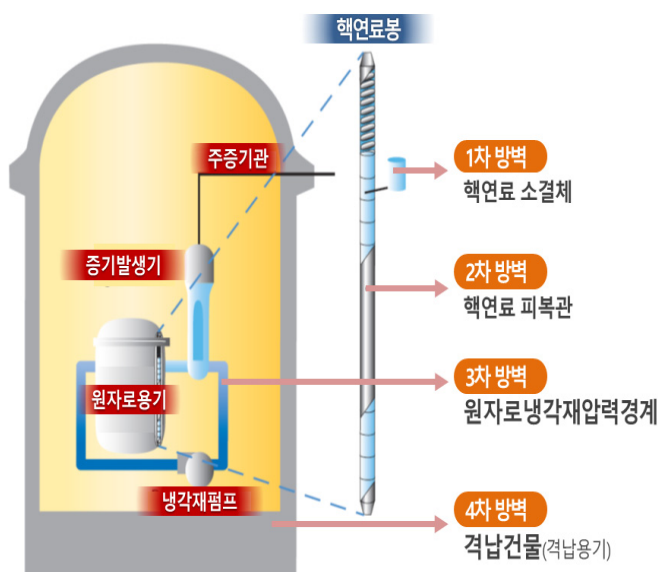
- 전력망이 고립되어 있고, 수력이 미미하고, 인구밀도가 매우 높고, 제조업·IT 국가인 우리나라에서 재생에너지에만 의존하는 탄소중립은 불가능함
 - 각국의 에너지믹스와 탄소중립 전략은 국토환경, 인구 분포, 부존 에너지자원, 전력망, 주력산업 구성에 따라 큰 차이
 - 한국은 전력망이 고립되어 있고(독일 등 유럽과 다름), 수력이 거의 없고(노르웨이, 스위스 등과 다름), 부존 에너지자원도 거의 없고, 인구밀도가 매우 높은 국가(덴마크 등과 다름)
 - 재생에너지(주로 태양광)에만 의존하는 경우 발전설비와 에너지저장시설 확보에 과도한 국토면적과 비용 소요
- 고부가가치 제조업과 IT 산업에는 고품질의 안정적인 전기가 필수적이며, 신재생과 원자력의 최적 조합을 통한 탄소중립 정책이 필수적임
 - 원자력은 우리나라가 최대 장점을 지닌 무탄소 전력원
 - ※ 세계 최우수 경제력, 양질의 일자리(수출+내수), 국토 보전(광범위한 신재생 투자 축소)
 - 원자력과 신재생의 최적 조합을 통해 경제성, 안정성, 전기품질, 에너지 안보, 수출 산업화를 동시에 달성할 수 있음

(부록 3) 원자력 안전과 안전성 확보체계

가. 원자력 안전의 기본 개념

□ 원자력 안전의 특성과 심층방어

- 원자로는 안전성 관점에서 다음과 같은 3가지 고유한 특성이 있음
 - 원자로 운전에 따라 많은 양의 방사성물질이 원자로 안에서 생성되어 축적되므로, 방사성물질과 인간·환경을 격리하는 **다중의 물리적 방벽(Physical Barrier)**이 필요
 - 원자로는 **매우 높은 밀도로 열을 생산**하므로, **출력을 확실하게 제어하고 핵연료를 적절하게 냉각**해야 방사성물질을 둘러싼 방벽을 보호하여 외부 누출 예방
 - 원자로는 정지되면 핵분열 반응은 멈추지만, 핵연료 안의 방사성물질에 의한 **붕괴열(Decay Heat)**이 계속 생성되므로 **지속적인 냉각**이 필요
- ⇒ 원자로가 정상상태를 벗어나는 경우 안전하게 정지시킨 후 붕괴열을 제거하여 방사성 물질을 물리적 방벽 안에 억류(격납)시키는 것이 중요
- ⇒ 원자로 정지, 붕괴열 제거, 방사성물질 격납이 가장 중요한 안전기능이며, 원자로 시설은 이를 위한 다양한 안전계통을 구비
- 사회가 수용할 수 있는 수준의 높은 안전성 확보가 원자력 이용의 전제조건이며, 이를 달성하기 위한 핵심적인 개념이 **심층방어(Defense-in-Depth)**임
 - 심층방어는 **다중방벽과 다단계방호**를 통해 원전 사고를 높은 신뢰도로 예방하고(**사고 예방**), 만일의 사고 시에는 그 피해를 최소화(**사고 완화**)하는 개념



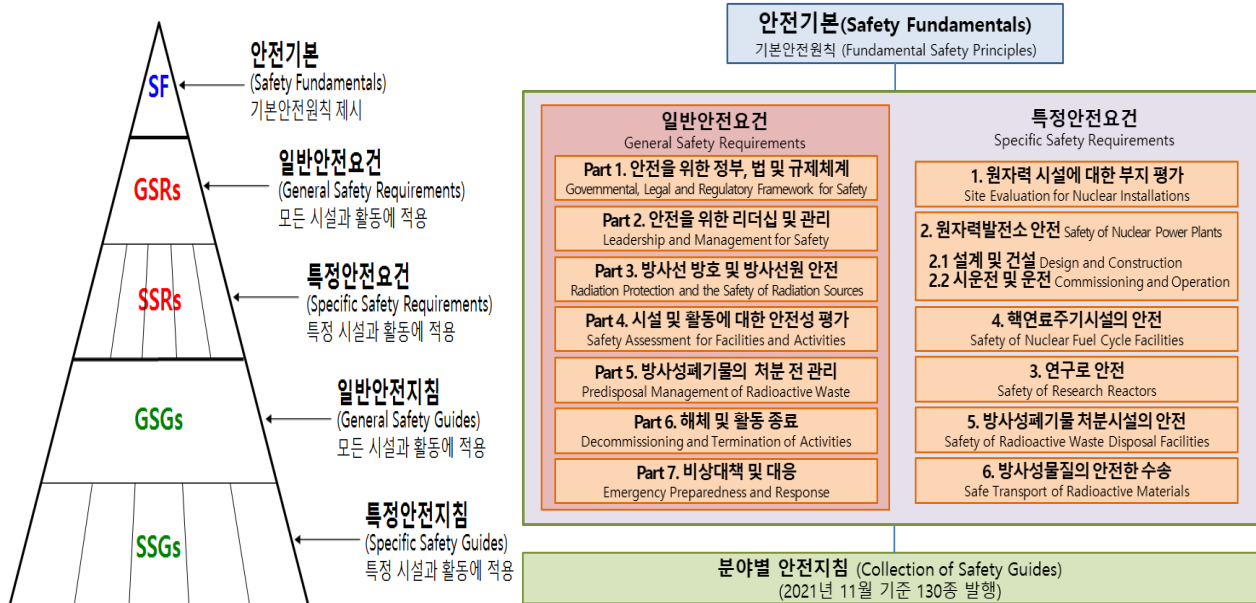
〈원자력발전소의 물리적 다중방벽〉

단계	목 표	핵 심 수 단
1단계	비정상 운전 및 고장 방지	보수적인 설계와 고품질 건설 및 운전
2단계	비정상 운전의 제어 및 고장 탐지	제어, 제한 및 보호 계통과 감시 기능
3단계	사고를 설계기준 이내로 제어	공학적인 안전설비 및 비상대응절차서
4단계	중대사고의 제어(중대사고 진행 억제와 결과 완화)	추가적 안전 설비 및 사고 관리
5단계	방사성물질 대량 누출로 인한 피해 최소화	소외 비상 대응 (원자력 비상방재대책)

〈사고 예방완화를 위한 다단계 방호〉

□ 국제원자력기구(IAEA)의 안전기준

○ IAEA는 국제적으로 통용될 수 있는 안전기준체계를 개발하여 제공함



○ 최상위 문서인 Safety Fundamentals¹⁸⁾에서 다음 10가지의 기본안전원칙을 정함

- **안전에 대한 책임**(Responsibility for Safety): 안전에 대한 주된 책임(Prime Responsibility)은 방사선 리스크를 유발할 수 있는 시설과 행위에 책임이 있는 개인이나 조직에 있다.
- **정부의 역할**(Role of Government): 독립적 안전규제기관을 포함하여, 안전을 위한 효과적 법체계 및 정부체제가 확립되고 지속되어야 한다.
- **안전을 위한 리더십 및 관리**(Leadership and Management for Safety): 방사선 리스크와 관련된 기관과 방사선 리스크를 유발할 수 있는 시설 및 행위에 있어서는 안전을 위한 효과적인 리더십과 관리체계가 확립되고 지속되어야 한다.
- **시설 및 행위의 정당화**(Justification of Facilities and Activities): 방사선 리스크를 증가시키는 시설과 행위는 종합적인 관점에서 이득을 제공해야 한다.
- **방호의 최적화**(Optimization of Protection): 방호는 합리적으로 달성할 수 있는 최상의 안전 수준을 제공할 수 있도록 최적화되어야 한다.
- **개인 리스크의 제한**(Limitation of Risks to Individuals): 방사선 리스크 제어 조치들은 어느 개인도 수용할 수 없는 장해 리스크를 감당하지 않도록 보장해야 한다.
- **현재 및 미래 세대의 보호**(Protection of Present and Future Generations): 현재와 미래의 인간 및 환경을 방사선 리스크로부터 보호해야 한다.
- **사고 예방**(Prevention of Accidents): 원자력 또는 방사선 사고를 예방하고 완화하기 위해 현실적인 (Practical) 모든 노력을 기울여야 한다.
- **비상 대책 및 대응**(Emergency Preparedness and Response): 원자력 또는 방사선 사건·사고에 대한 비상 대책 및 대응체계를 갖추어야 한다.
- **기존 및 비규제 방사선 리스크 저감을 위한 보호조치**(Protective Actions to Reduce Existing or Unregulated Radiation Risks): 이미 존재하고 있거나 규제대상이 아닌 방사선 리스크에 대한 보호 조치들은 정당화되고 최적화되어야 한다.

18) IAEA et al. (2006), Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standards Series No. SF-1, IAEA, Vienna.

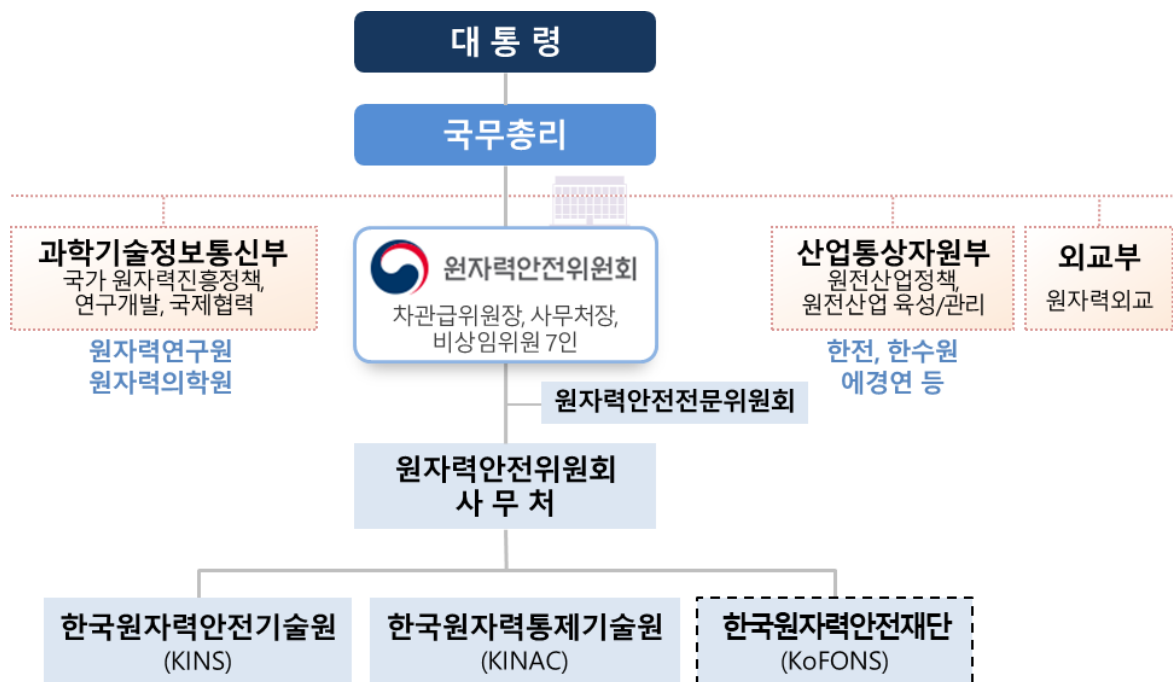
나. 원자력 안전규제

□ 원자력 안전규제란?

- 원자력시설의 안전에 대한 주된 책임은 운영기관에 있으나, 원자력 개발·이용 과정에서 발생할 수 있는 재해로부터 국민과 국토환경을 보호하기 위해 국가(정부)의 **안전규제** (Nuclear Safety Regulation)가 필요함
 - 관계 법령과 기준의 제정을 통해 안전 요건과 지침을 제시
 - 인허가 심사를 통해 시설의 설계, 건설, 성능 등에 대한 종합적 안전성 확인
 - 운영 중에는 허가조건 범위 안에서 안전하게 운영, 관리되고 있는가를 정기적 및 수시로 점검/확인

□ 우리나라의 원자력 안전규제체계

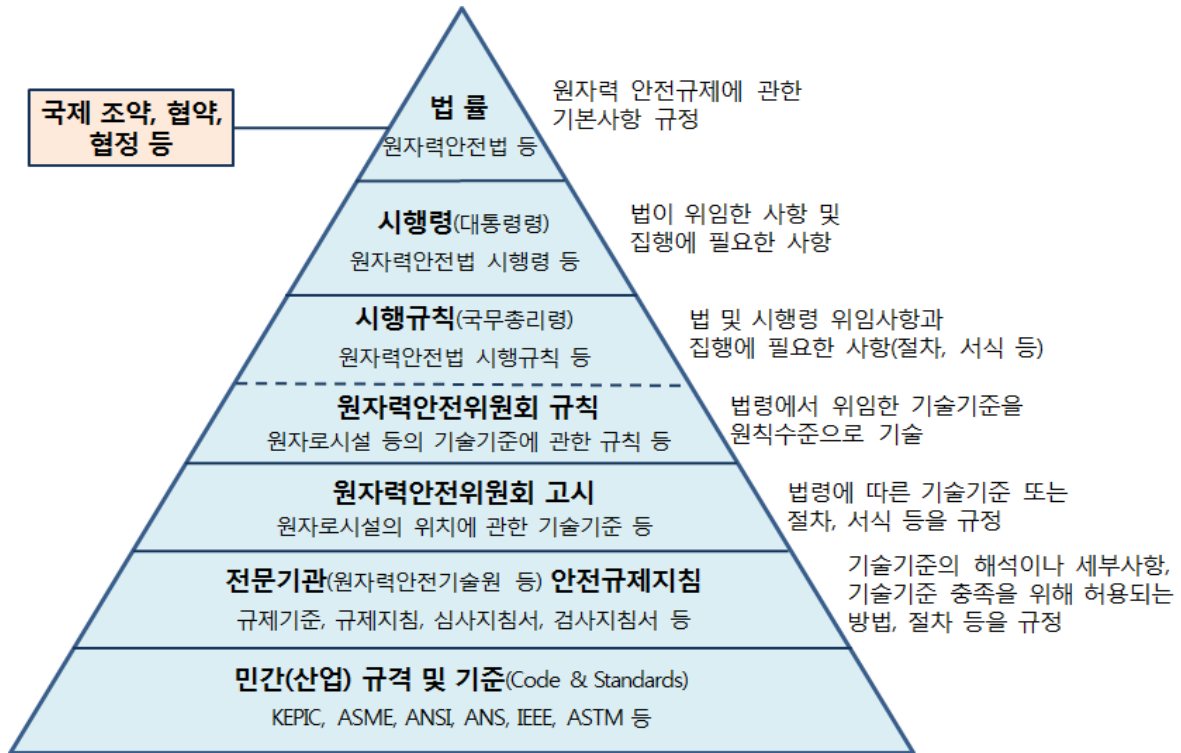
- 우리나라의 원자력 안전규제기관은 원자력안전위원회이며, 산하 조직 및 타 정부조직과의 관계는 다음 그림과 같음



- 최상위 의사결정기구는 위원장, 사무처장(이상 상임위원) 및 7인의 비상임위원으로 구성된 9인 위원회로서, 법령 및 기준, 안전정책, 인허가, 행정조치, 안전현안 등과 관련한 주요 사항에 대해 심의·의결
- 위원회 사무처는 규제업무를 집행하는 행정조직(필요 시 9인 위원회 보고 및 심의를 거침)
- 한국원자력안전기술원은 안전심사, 안전검사, 원자력 방재 등의 규제 실무 수행
- 한국원자력통제기술원은 방호·보안 관련 규제실무 수행

○ 체계적인 원자력 안전규제를 위한 법령 및 기준이 마련되어 있으며, 지속적으로 보완되고 있음

- 우리나라의 원자력 안전규제 법령체계



- 원자력안전위원회 소관 주요 법령

법률	대통령령(시행령)	총리령(시행규칙)	위원회 규칙(행정규칙)
원자력안전위원회의 설치 및 운영에 관한 법률	원자력안전위원회의 설치 및 운영에 관한 법률 시행령		원자력안전위원회 회의 운영에 관한 규칙
	원자력안전위원회와 그 소속기관 직제	원자력안전위원회와 그 소속기관 직제 시행규칙	
원자력안전법	원자력안전법 시행령	원자력안전법 시행규칙	원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙
원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법	원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법 시행령	원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법 시행규칙	
원자력 손해배상법	원자력 손해배상법 시행령		
원자력 손해배상 보상 계약에 관한 법률	원자력 손해배상 보상 계약에 관한 법률 시행령		
생활주변방사선 안전관리법	생활주변방사선 안전관리법 시행령	생활주변방사선 안전관리법 시행규칙	
한국원자력안전기술원법	한국원자력안전기술원법 시행령		

다. 국내 원자력 안전수준, 안전관리체계 및 개선 방향

□ 국내 원전 안전수준 및 안전관리

- 국내 원전은 대형 방사능 누출사고가 발생하지 않은 가압경수로(PWR)형 및 가압중수로(CANDU-PHWR)형이며, 43년간 26기의 원전을 안전하게 운영
 - 가압경수로인 TMI 원전에서도 중대사고가 발생했으나(1979.3) 방사성물질의 외부 누출이나 환경 영향은 미미
 - ※ 국내 원전은 사건·사고 및 운전 경험을 반영하여 지속적으로 안전성 개선
 - 총 600여년의 가동이력이 축적된 국내 원전에서는 국제원자력사건등급(INES) 체계의 3등급 이상 사건 미발생
- 국내 원전은 후쿠시마 원전사고 이후, 설계기준을 초과하는 자연재해에 대비하여 설비를 개선하고, 이동형 설비(발전기, 펌프 등)를 보강함
 - 쓰나미에 대비한 해안방벽 증축, 방수문 및 방수형 배수펌프 설치, 중대사고에 대비한 피동형 수소제거설비(PAR) 및 냉각수 주입유로 추가 설치
 - 전력계통 상실에 대비하여 이동형 발전기 및 이동형 펌프 등 구비
- 2015년 6월 국회는 원자력안전법을 개정하여, 모든 원전에 대해 ‘사고관리계획서’를 제출하도록 함
 - ※ 사고관리계획서: 사고가 발생하였을 때 사고가 확대되는 것을 방지하고 사고의 영향을 완화하며 안전한 상태로 회복하기 위하여 취하는 제반 조치를 통해, 설계기준을 초과하는 사고 중 법규에서 정한 사고에 대응하기 위한 계획서
 - 한국수력원자력은 2019년 6월에 가동 중인 모든 원전의 사고관리계획서를 제출
- 현재 규제기관에서 사고관리계획서의 내용이 기술기준에 부합하는지를 검토 중임
 - 사고관리계획서의 주요 내용

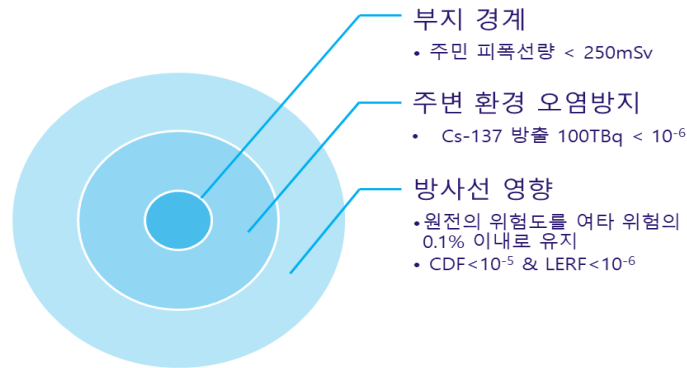
- 대상사고: 다중고장사고, 외부재해, 노심용융을 가정한 위협요인
 - 사고관리 수단: 사고관리에 사용되는 설비, 사고관리 전략 및 이행체계
 - 사고관리 능력의 평가: 결정론적 방법 및 확률론적 방법을 적용
 - 안전목표: 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙(제85조의22 제1항)

1. 사고가 발생하더라도 부지 인근 주민의 건강상 위해를 주거나 장기간의 소외 오염을 초래하는 방사성 물질의 대량 방출을 방지할 것
 2. 발전용원자로 및 관계시설의 운영으로 인하여 부지 인근 주민의 건강과 환경에 미치는 위험도(risk)의 증가량을 극히 낮출 것

- 허용기준: 원안위 고시 제2017-34호(원자로. 42) ‘사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정’

성능 목표

1. 다중고장 사고 시 핵연료의 현저한 손상 방지
2. 설계기준초과 재해 시 핵연료 냉각기능 및 원자로격납건물의 방호벽 기능 복구·유지
3. 노심의 현저한 손상 이후에도 원자로격납건물의 방호벽기능 상실을 방지



〈허용 기준 요약〉

○ 우리나라의 원전 안전목표는 국제사회에서 설정한 안전목표와 동등한 수준임

- 유럽연합(EU)은 2014년 원전의 안전 수준을 다음과 같이 제시

1. 원전에서 사고가 발생하더라도 방사성 물질의 조기·대량 방출로 인한 주민보호 조치가 필요치 않을 수준으로 설계할 것
2. 가동 중인 원전은 주기적안전성평가를 통해 지속적으로 안전성을 개선할 것

- 한국을 포함한 원자력안전협약(Convention on Nuclear Safety) 당사국들은 2015년 2월 9일 '원자력 안전에 관한 비엔나 선언'을 채택

1. 신규 원전의 경우,
 - 주민보호조치가 필요치 않을 수준¹⁹⁾으로 방사성 물질의 조기·대량 방출 가능성을 배제하고,
 - 장기간 소외오염이 발생하지 않도록 부지선정 및 설계·건설할 것
2. 가동 원전의 경우, 주기적안전성평가를 통해 안전성 개선사항을 도출하고 적시에 적용하여 상기 안전 목표 달성을 지향할 것

○ 그러나 후쿠시마 원전사고 등으로 인한 국민의 불안감은 여전한

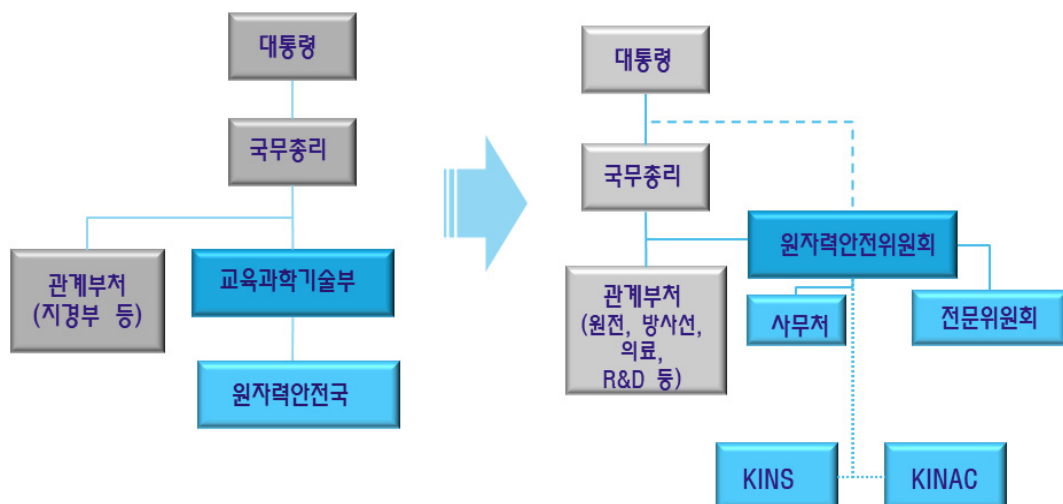
- 방사선 피폭으로 사망한 사람은 없으나, 주민소개와 피난생활 과정 등에서 상당수의 사상자가 발생하고, 아직도 과거의 일상으로 복귀하지 못하고 있는 것도 현실
- 국민이 ‘사고가 나면 방사능 확산 영향이 광범위하고 장기간 지속된다’는 점을 체감

19) IAEA는 안전기준 GSR Part 7(2016년 개정)에서 사고시 대피 기준을 100mSv(밀리시버트)로 설정하였으며, 이는 후쿠시마 원전사고의 경험을 반영한 것임.

- 특히, 부산 및 울산 등 대도시가 원전 가까이에 있어서 방사성물질 누출로 긴급 주민 보호조치²⁰⁾가 결정되면 극도의 혼란이 발생할 수 있다는 점이 불안감의 중요한 요인
- 후쿠시마 원전사고의 교훈과 안전목표 및 중대사고 대응 강화 등을 종합적으로 고려하여 국가방사능방재체계도 종합적으로 재검토하여 개선할 필요가 있음
 - 후쿠시마 원전사고에서 준비되지 않은 긴박한 피난이 불필요한 사상자 증가의 원인
 - 방재조직, 방사선비상계획구역(SMR에 대한 고려 포함), 비상대피기준, 커뮤니케이션 등에 대한 재검토 필요
- 국내 원전에 대한 안전목표는 국제동향을 참조하고 국회의 입법조사 또는 공론조사 방법을 통해 국민이 수용 가능한 수준으로 설정해야 함
 - 안전목표에 대한 간결하고 직관적인 표현이 필요

□ 안전규제 체제의 현황 및 문제점

- 후쿠시마 원전사고 후 원자력안전 강화대책의 하나로 「원자력안전위원회」를 독립행정 기구로 설립함
 - 후쿠시마 원전사고 이전에는 교육과학기술부 산하에 원자력 연구개발을 담당하는 부서와 원자력 안전규제를 담당하는 부서가 같은 조직 내에 위치
 - 후쿠시마 원전사고 후에 독립 규제기관의 필요성이 인정되어, 「원자력안전위원회의 설립 및 운영에 관한 법률」이 2011년 6월 28일 국회를 통과
 - 2011년 10월 26일 합의제 행정기관인 「원자력안전위원회」 출범



〈원자력 안전규제 행정체계의 변화〉

(원자력안전위원회 설립 당시 원자력의 이용 및 개발을 담당하는 부서들과 분리되도록 대통령 직속의 독립기관으로 설립하였으나 이후 국무총리 소속으로 변경)

20) 「원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법」 제29조에 따른 대피, 소개, 음식물 섭취 제한, 갑상샘 방호약품 배포 등을 말함.

- 최상위 의사결정기구인 원자력안전위원회는 상임위원 2인(위원장, 사무처장)과 비상임위원 7인(대통령 임명 3인, 국회 추천 4인) 등 총 9인으로 성
- 규제업무의 투명성이 크게 향상되었으나, 독립성과 전문성에서는 아직 한계를 드러냄
 - 위원회 회의록 및 의사록 공개, 각종 인허가자료 공개, 현안 조사 및 의사결정 과정의 민간참여 확대 등 원자력 안전규제의 투명성이 크게 개선
 - 그러나 정부 정책, 정치권, 출신 기관 또는 시민단체의 영향으로부터 만족할 만한 수준의 독립성은 확보하지 못한 것으로 평가
 - ※ 「원자력안전위원회의 설치 및 운영에 관한 법률」 제3조제2항 단서에서 안전규제와 관련된 사항은 정부조직법 제18조에 따른 국무총리의 행정감독권을 적용받지 않도록 명시
 - 원자력안전위원회에 다양한 분야의 전문가들이 포함되어 있으나, 원자력에 대한 지식과 경험이 부족하여, 기술적인 현안에 대한 심층 검토에 한계
- 행정조직(원자력안전위원회 사무처)과 전문조직(원자력안전기술원 등)의 이원화로 비효율성이나 의사소통의 문제점 등이 발생함
 - 원자력안전위원회 산하의 행정조직인 사무처와 전문조직인 KINS 및 KINAC의 이원화로 인한 비효율 발생
 - ※ (사례) 원전 부지 등에 원안위 지역사무소(39명), KINS 주재검사팀(25명) 등이 상주하며, 정기검사는 KINS에서 별도로 수행
 - 이원화된 조직과 다층 구조의 정보 전달 및 의사결정 과정에서 지연과 왜곡 발생
 - ※ (사례) 현장의 현안 제기가 차단 또는 왜곡 처리, 안전과 무관한 생색내기 업무에 동원, 실질적인 기술교류 활동 제약 등
 - 주요 원자력 국가는 다음과 같이 규제기관 및 위원 운영
 - ※ 미국 : 단일 규제기관(~4,000명), 상임위원 5명(임기 5년, 순차 임명)
 - ※ 일본 : 단일 규제기관(~1,000명), 상임위원 5명(임기 5년, 순차 임명)
 - ※ 프랑스 : 단일 규제기관(~600명), 상임위원 5명(임기 6년, 순차 임명)

□ 안전규제 제도의 현황 및 문제점

- 원자력법은 1958년 3월 11일 제정된 이후 수많은 개정이 이루어짐
 - 고리 1호기의 건설·운영 등 원자력의 이용·개발의 확대에 따른 안전성 확보를 강화하기 위하여 안전관계 조항의 보강을 위해 전면 개정(1982)
 - 원자력법은 후쿠시마 원전사고 이후 원자력안전법과 원자력진흥법으로 분리 개정됨(2011.10.26.)
- 국내외 규제 동향과 경험, 사회적 요청을 반영하여 지속적으로 개정됨

- 미국 TMI 원전사고(1979), 舊소련 체르노빌 원전사고(1986), 일본 후쿠시마 원전사고(2011) 등의 대규모 사고 경험을 반영하여 규제 강화
- 규제 강화의 과정에서 기존 유사제도와 충분히 조정하지 못하여 중복 또는 비효율적인 사례 발생
 - ※ (사례) 가동 원전의 안전성 확인과 사회적 수용성 확보를 위해 주기적안전성평가 제도와 계속운전허가 제도를 중복 적용
- 법적인 근거가 미흡한 제도가 운영되기도 하여 규제 행정의 불신 초래
 - ※ (사례) 불시정지 후 재가동을 원안위에서 승인, 법령에 근거가 없는 위원회 설치 및 운영

□ 안전규제체계 개선 방향

- 안전규제 체계를 재검토하여 원자력안전위원회를 안전규제업무에 적합한 전문기관으로 발전시킬 필요가 있음
 - 원자력안전위원회가 합의제 독립행정기관으로 설립되었으나, 그 역할에 대해 긍정적인 평가가 충분하지 않은 상황
 - 원자력 안전정책을 합리적으로 수립·집행하고, 기술적 현안에 대한 심의를 위해 원자력 안전위원회의 전문성 확보 필요
 - ※ 다양한 분야의 전문가로 구성하되, 원자력에 대한 지식과 경험이 있는 전문가로 구성
 - ※ 임기 중 안전규제 업무에 집중할 수 있도록, 적정수의 상임위원으로 구성 (국내 현실을 고려하면 임기는 3년으로 하되, 순차 임명으로 연속성 확보)
 - 원자력안전위원회 산하의 행정조직인 사무처와 전문조직인 한국원자력안전기술원(KINS) 및 한국원자력통제기술원(KINAC)의 분리로 인한 비효율 제거를 위한 방안 강구
 - ※ 전문성을 필요로 하는 행정업무의 수행에 적합한 조직으로 개선
- 안전규제 제도를 합리적으로 개선하여 규제의 실질적 효과와 효율성 제고가 필요함
 - 규제가 지속적으로 추가·강화되면서 중복규제 등 불합리한 부분 발생
 - 안전규제 제도를 개선하여 원자력 안전의 투명성과 합리성을 강화
 - 원자력 사업자의 책임을 명시하는 등 안전규제 기본원칙을 포함하도록 원자력안전법을 개정하고, 규제 업무별로 특성을 반영하여 정비
 - 안전 기준은 최신 동향을 반영하여 적시에 개정
 - ※ 국내외 연구결과 및 규제 동향을 분석하여 안전 기준에 반영
 - ※ 사회적 변화와 요구사항을 적시에 반영하여 사회적 수용성을 확보
 - 규제 절차는 안전 중요도를 고려한 차등접근방식(Graded Approach)을 적용하고, 가능한 단순화하여 절차로 인한 비효율과 불합리를 제거

(부록 4) 세계 원전시장 및 원전 공급망 현황

가. 세계 원전시장 현황

- 현재 전 세계적으로 건설 중인 66기 중에서 43기는 자국 주도로 건설하고(우크라이나, 아르헨티나, 브라질 등은 선진국 기술 지원), 23기는 러·프·중이 수출에 성공하여 건설 중²¹⁾²²⁾

수출국	수출 대상국(기수)	총 기수
러시아 ¹⁾	방글라데시(2), 중국(4), 이집트(4), 인도(4), 이란(1), 슬로바키아(1), 터키(4)	20
중국 ²⁾	파키스탄(1)	1
한국 ³⁾	(체코 2)	(2)
미국 ⁴⁾	(폴란드 3, 불가리아 2)	(5)
프랑스	영국(2)	2
자국 주도 건설	중국(26), 대한민국(2), 인도(3), 러시아(6), 일본(2), 우크라이나(2) ⁵⁾ , 아르헨티나(1) ⁵⁾ , 브라질(1) ⁵⁾	43

- 1) 러시아는 현재 중국, 인도, 벨라루스, 방글라데시, 튀르키예, 헝가리, 슬로바키아, 이란, 이집트에서 원전을 건설 또는 계획 중이며, 우크라이나 사태 이후 핀란드에 계획된 원전 건설사업은 취소됨
- 2) 중국은 미국·영국·EU 등이 안보상의 문제로 중국 기술 규제 및 도입 배제 정책을 추진하며 수출사업에 영향을 받고 있음
- 3) 한국은 UAE에 4기의 원전 건설을 완료했으며, '24.6월 체코 원전 2기의 우선협상자로 선정
- 4) 미국은 정치적 영향력을 활용하여 신규원전시장 진출을 강력하게 추진하여, 최근 폴란드와 불가리아 신규원전을 수주하고, 인도, 영국, 루마니아 등도 수출 추진 중
- 5) 장기간 건설 중단 상태였던 원전을 외국의 지원을 받으면서 완공 추진

- 향후 원전 건설이 지속될 것으로 예상되며, 원전 공급국이 아닌 국가에서 건설이 계획되거나 제안되고 있는 원전들이 우리나라의 주된 수출 대상임
- 세계원자력협회(WNA) 자료에 의하면, 86기가 건설 계획 중이고 344기가 추가로 건설 제안 중²³⁾
 - 동유럽, 인도, 중동, 동남아 등 신흥개발국의 신규원전 도입 확대 및 유럽 등 선진국의 탄소 저감 노력 등으로 원전의 지속적인 발주 예상

21) World Nuclear Association, World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements <https://world-nuclear.org/information-library> (2025.2. 기준)

22) 한국원전수출산업협회(KNA), 2024 국가별 원전도입 및 수출 동향 분석

23) World Nuclear Association, World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements <https://world-nuclear.org/information-library> (2025.2. 기준)

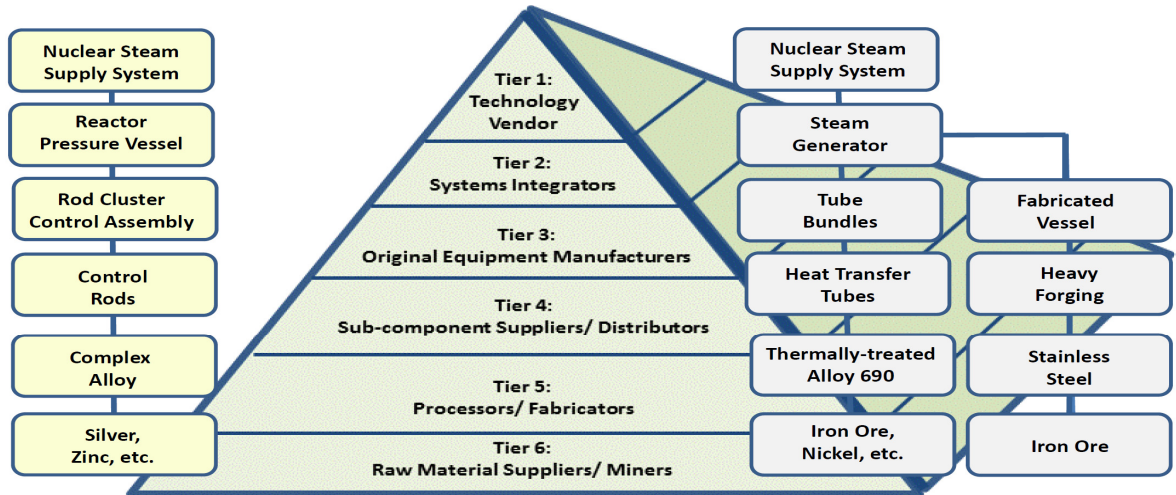
국 가	건설 계획 중	건설 제안 중	국 가	건설 계획 중	건설 제안 중
중 국	36	158	헝가리	2	0
러시아	14	36	불가리아	2	0
인 도	12	28	아르헨티나	1	1
폴란드	3	26	사우디아라비아	0	2
미 국	0	13	남아공	0	2
캐나다	2	9	방글라데시	0	2
우크라이나	2	7	UAE	0	2
일본	1	8	멕시코	0	2
루마니아	2	6	네덜란드	0	2
이란	2	6	우즈베키스탄	0	2
터 키	0	8	아르메니아	0	1
브라질	0	8	카자흐스탄	0	1
프랑스	0	6	슬로바키아	0	1
영 국	2	2	슬로베니아	0	1
체 코	1	3	가나	0	1
한국	2	0			
스웨덴	2	0	합 계	86	344
우리나라에 수주 시도가 가능한 기수				33	123

- 1) 수주 가능한 기수 산출을 위해 원전공급국(중국, 러시아, 미국, 프랑스, 일본, 한국) 기수 제외
- 세계 원전 시장을 정부의 강력한 지원을 받는 러시아와 중국이 주도하고 미·프·일 등 서방권 국가는 고전 중이었으나, 우리나라의 체코 원전 수주를 기점으로 세계 원전 수출 경쟁이 더욱 치열해질 것으로 평가
- 러시아는 현재 압도적 원전 수출국일 뿐만 아니라 계획 중인 원전에 대해서도 점유율이 높을 것으로 예상
 - 중국은 미국과 무역전쟁 등으로 원전 수출에서 큰 성과를 가져오지는 못하고 있으나, 자국 내 압도적인 원전 건설과 건설한 공급망을 바탕으로 향후 원전 수출의 주요 국가로 부상할 가능성이 있음
 - 미국은 자국 원자력산업의 리더십 회복과 리·중의 세계 원전 시장 독점에 따른 국제 핵비확산체제 훼손 방지를 위해 원전 수출을 적극 추진하여 그 성과가 가시화되는 단계
 - 우리나라는 UAE에서 4기의 원전 수주(2009.12) 이후, 정부의 적극적인 지원 아래 체코 원전 2기의 우선협상자로 선정되었고, 향후 추가 수출을 위한 미국과의 파트너십도 재정비

나. 원전 공급망 개요

□ 원전 공급망(Supply Chain)

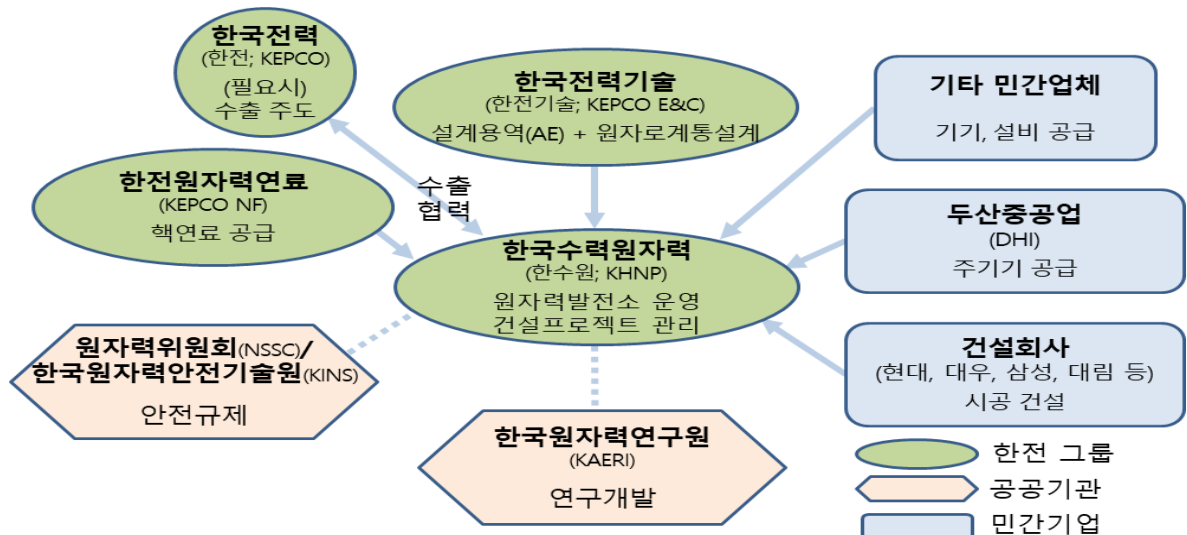
- 원전 건설 및 운영에 필요한 기자재·부품과 기술·용역 서비스를 제공하는 업체들을 말하며, 아래 그림처럼 핵증기공급계통(Nuclear Steam Supply System, 원자로계통)과 같은 최상위 부문부터 기본 소재(재료)에 이르기까지 여러 계층으로 구성됨



〈원자력발전소 Supply Chain의 예시〉²⁴⁾

□ 국내 원전 공급망 현황

- 우리나라 원자력 산업의 최상위 체계는 아래 그림과 같이 표현할 수 있음



〈우리나라 원전산업의 최상위 체계〉

24) Greg Kaser, The World Nuclear Supply Chain - An Overview, NEA Workshop, 2014

○ 원전 2기 건설 시에는 2,000여 개 업체, 6만여 명이 투입됨(신고리 5·6호기 기준)

- 원전의 성능과 안전을 위해서는 모든 계층이 최상의 품질 확보 필수

○ 원전 기자재 제작 분야는 다품종 소량생산을 특징으로 하는 중소기업형 특화 분야임

- 주기기 제작 분야 460여 개, 보조기기 제작 분야 1,300여 개의 중소기업체 참여

- 원전 주기기 제작 핵심기술 보유 중·소 협력사 중 매출 규모가 100억 원 미만인 소규모업체 비중은 42%임

- 원전 주기기 제작 중·소 협력사 중 원전 핵심기술 보유업체* 현황²⁵⁾

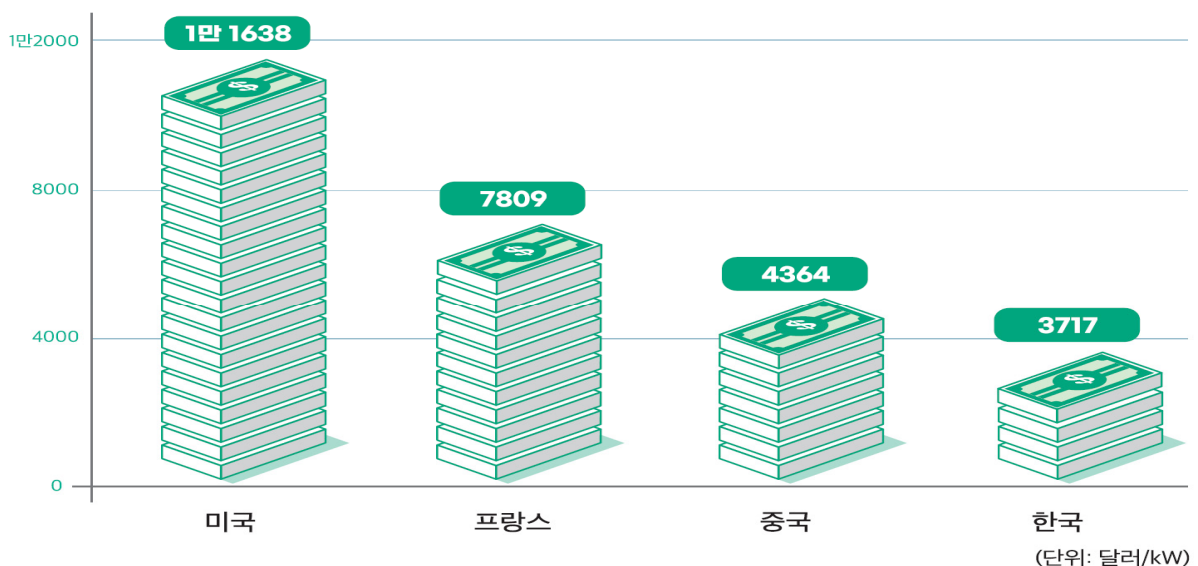
분 야	핵심기술 보유업체 수	인 력	매출 규모에 따른 업체의 비중(%)		
			1000억원 이상	100~1000억원	100억원 미만
원자로설비	65	5,595	6.2	36.9	56.9
터빈/발전기	41	3,907	7.3	43.9	48.8
보조기기	68	1,100	16.7	59.1	24.2
합 계	174	10,602	10.5	47.1	42.4

※ 핵심기술 보유업체: 원전 품질보증요건을 만족하는 특화된 설비, 원전 주요 부품 제작기술과 인력을 보유한 전문업체

○ 우수한 원전 공급망 보유 여부는 원전 품질 및 가격경쟁력 결정에 핵심적인 요소임

- 2018년 사우디아라비아 원전 건설사업 입찰시, 원전 건설 제출 견적가(달러/kW):

한국 3,717, 중국 4,364, 러시아, 5,271~6,250, 프랑스 7,809, 미국 11,638.²⁶⁾



※ 2018년 220억 달러 프로젝트

※ [그림] 핵공감 클라쓰 운영진(2021), 대통령을 위한 에너지정책 길라잡이

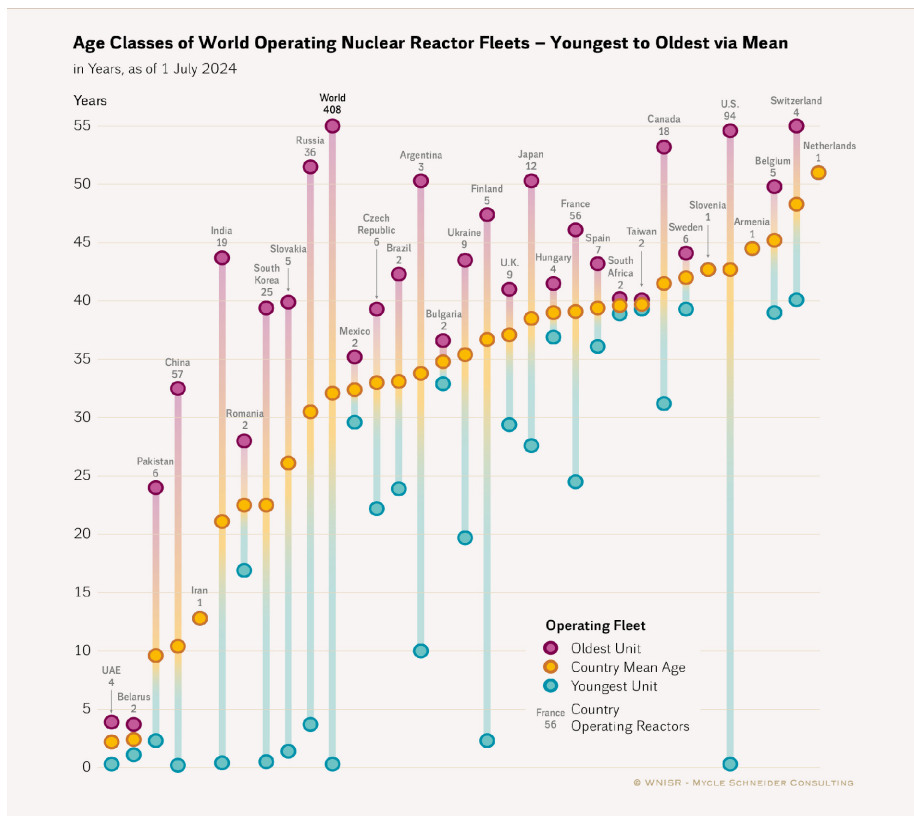
25) 두산중공업 분석자료

26) 조선일보, 2019.11.19. (https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2019/11/18/2019111803299.html)

(부록 5) 가동원전 계속 운전

가. 세계 각국의 계속운전 현황

- 미국, EU 등 대부분의 원전 운영국들이 경제성 및 환경적 측면에서 필수적인 요소로 설계수명 이후에도 원전의 계속운전을 추진하고 있음
 - 전 세계 가동 중인 원전의 30% 이상이 USNRC가 정한 최초 운영허가 기간 40년을 넘겼으며, 그중 약 5%인 22기의 원전은 50년을 초과하여 운영 중임²⁷⁾
 - 2024년 기준 전 세계 가동원전의 평균 연령이 32년으로 원전 노후화 진행중
 - 많은 국가들이 원전의 수명을 늘리는 계속운전을 시도하고 있으며, 현재 전 세계 가동 원전 중 약 57%인 233기가 계속운전 승인을 받았음 (23년 기준)²⁸⁾
 - 최초 운영허가 기간이 만료된 원전 252기 가운데에서는 92%가 계속운전 승인 받음



(자료: The World Nuclear Industry Status Report 2024 - www.worldnuclearreport.org)

- 러시아-우크라이나 전쟁에 따른 각국의 에너지안보 강화 정책으로 탈원전을 추진하던 주요 국가들도 기존 정책을 폐지하고 계속운전에 주목하고 있음²⁹⁾³⁰⁾³¹⁾³²⁾

27) The World Nuclear Industry Status Report(WNISR) with IAEA-PRIS, 2024

28) 한국원자력수출산업협회(KNA), 글로벌 원전 시장 보고서, 2024

29) 한국에너지정보문화재단, 주요국 원전 계속운전 동향, 2023

30) 인터스트리 뉴스, 탈원전 외치던 세계, 다시 원전 회귀, 2022

31) 조선일보, 후쿠시마 사고 이후 탈원전 국가들, 독일 빼고 줄줄이 원전 유턴, 2024

32) 한국에너지정보문화재단 블로그, 스위스 탈원전 정책, 원전 연장으로 노선 변경?, 2024

- 2017년 탈원전 방침을 확정한 스위스는 가동원전 4기의 설계수명을 60년으로 연장했으며, 안전성과 효율성을 따져 80년까지 늘리는 방안을 연구·검토 중임
- 2025년 탈원전 달성을 목표로 했던 벨기에 역시 원전 2기에 대한 계속운전 기한을 10년 연장함
- 1980년 국민투표로 단계적 탈원전을 선언한 스웨덴은 IAEA의 원전 장기 운영 안전 검토를 완료하고 계속운전을 위한 준비에 나서고 있음
- 후쿠시마 사고이후 신규원전 건설을 중단한 일본은 실질적으로 60년 이상 계속운전이 가능하도록 법안을 개정함 (23년 5월)

- 미국은 원자력법에 따라 원전의 최초 운영허가 기간은 40년으로 제한하고, 인허가갱신 (LR, license renewal) 제도를 이용하여 20년 단위로 허가기간 연장을 승인하고 있음
 - 최초 운영허가 기간 40년은 기술적 고려가 아닌 경제적 측면과 시장 독점을 제한하기 위해 설정

“This original 40-year term for reactor licenses was based on economic and antitrust considerations not on limitations of nuclear technology.”

- 미국 원자력규제위원회(USNRC)는 안전성이 확인되면 추가로 20년씩 운영허가를 갱신하는 인허가갱신 제도를 운영 중
 - ※ 원전 운영자는 허기가간 만료 5~20년 전에 갱신 신청
- 미국은 가동원전 95기에 대한 운영허가 갱신을 승인하였고, 기후변화에 대응하기 위해 운영허가를 80년까지 추가 갱신(SLR, Subsequent Licence Renewal)하는 추세임
 - 현재 가동원전 중에서 8기는 최초 운영허가, 78기는 1차 운영허가 갱신, 6기는 2차 운영허가 갱신 상태 (22년 10월 기준, USNRC, US Operating Commercial Nuclear Power Reactors 참조)
 - 미국 NRC는 최초 계속운전 승인된 원전 6개 호기의 운영허가를 80년까지 갱신하도록 SLR 승인함
 - 2023년 8월 기준 원전 11개 호기가 SLR 신청서를 제출하고 심사를 받고 있으며, 2024~2027년 사이에 원전 12개 호기가 SLR 신청서를 접수할 계획임
 - 최근에는 100년까지 운전을 위한 기술적 검토를 진행 중

[표] 후속 계속운전 승인 완료 원전

순번	원전 명	접수일	승인일	계속운전 시작일
1	Turkey Point 3 & 4	2018.01.31	2019.12.04	2032.07.19(Unit 3)
2				2033.04.10(Unit 4)
3				2033.08.08(Unit 2)
4	Peach Bottom 2 & 3	2018.07.10	2020.03.05	2034.07.02(Unit 3)
5				2032.05.25(Unit 1)
6	Surry 1 & 2	2018.10.15	2021.05.04	2033.01.29(Unit 2)

[표] 후속 면허 갱신 검토 중인 원전

원전 명	접수일
North Anna, Units 1 and 2	2020.08.24
Point Beach, Units 1 and 2	2020.11.16
Oconee Nuclear Station, Units 1, 2, and 3	2021.06.07
St. Lucie Plant, Units 1 and 2	2021.08.03
Monticello Nuclear Generating Plant, Unit 1	2023.01.09
Virgil C. Summer, Unit 1	2023.08.17

[표] 후속 면허 갱신 신청서 제출 예정 원전

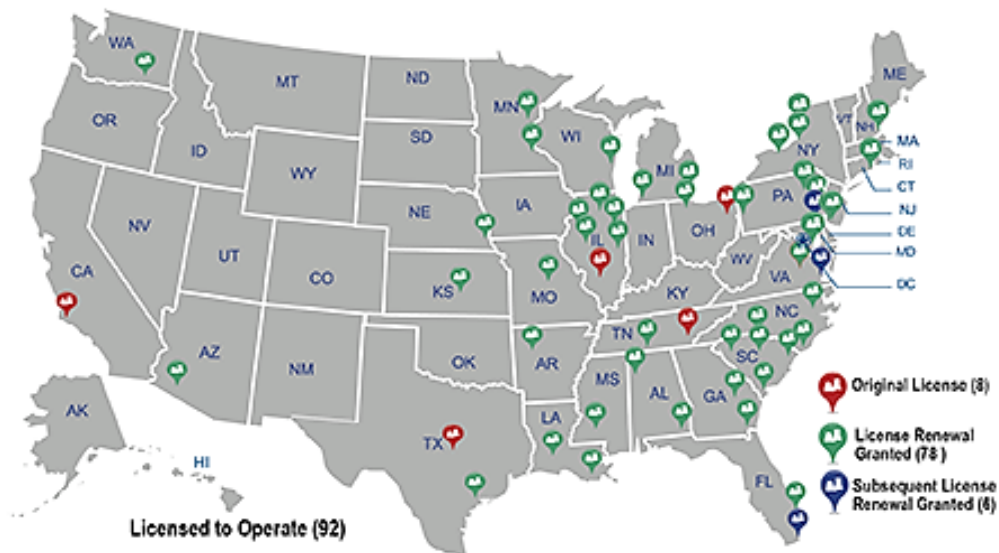
원전 명	예정일
Browns Ferry Nuclear Plant, Units 1, 2 & 3	2024.01.31 이전
Dresden Nuclear Power Station, Units 2 and 3	2024.04~2024.06
H.B.Robinson Steam Electric Plant, Unit 2	2025.04~2025.06
Edwin I. Hatch Units 1 and 2	2025.07~2025.09
Prairie Island Nuclear Generating Plant, Units 1 and 2	2026.10~2026.12
Donald C. Cook Nuclear Plant, Units 1 and 2	2027.12.31 이전

출처 : Nuclear Regulatory Commission

(자료: 한국원전수출산업협회, 글로벌 원전 시장 보고서, 2024)

- 현재 미국에서 가동 중인 원전 대부분이 운영허가를 1회 갱신하였으며, 이중 상당수가 2029년 첫 20년 연장기간이 종료됨
- NRC가 최대 80년까지 가동할 수 있는 제도를 마련해 놓았고, 계속운전의 중요성을 공감하는 추세로써 앞으로 SLR 신청으로 사용기간 재연장하는 원전이 계속 늘어날 것임

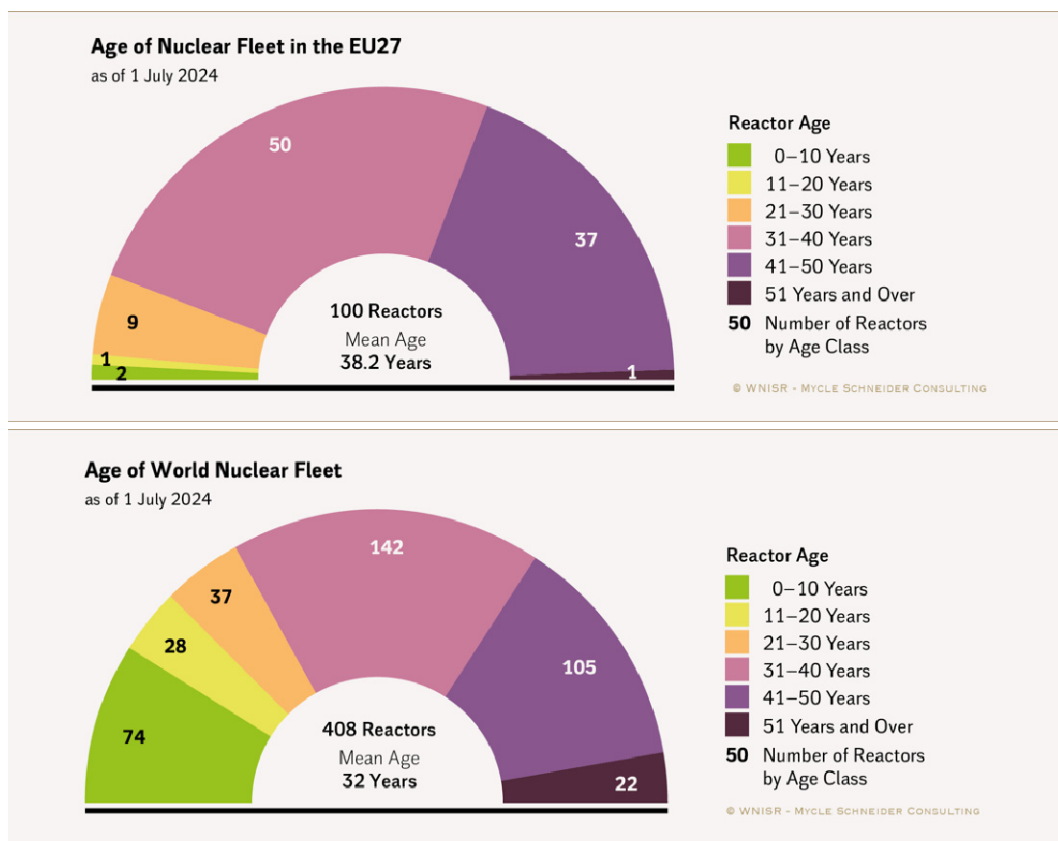
U.S. Operating Commercial Nuclear Power Reactors



Note: The NRC has issued a total of 95 initial license renewals; 10 of these units have permanently shut down.
Data are as of October 2022. For the most recent information, go to the NRC Web page at <https://www.nrc.gov/info-finder.html>.
Source: U.S. Nuclear Regulatory Commission - As of February 2023

(자료: USNRC, <https://www.nrc.gov/images/reading-rm/doc-collections/maps/power-reactors-license-renewals.png>)

- 대부분의 유럽 국가들은 정해진 최초 인허가기간이 없이 10년 주기의 주기적안전성평가 (PSR: periodic safety review)를 통해 가동원전의 계속운전을 허용하고 있음
- 2024년 기준, EU 국가들에서 운영중인 가동원전 100기중 85% 이상이 31년 이상 가동중이며, 그중 38호가 41년 이상 가동중임
 - 네덜란드 Borssele 원전은 24년 7월에 가동 51년을 맞이함
 - 전 세계에서 40년을 초과하여 운영중인 가동원전 비율은 EU 국가들에서 38%로 높음
 - 프랑스는 2023년 Tricastin 원전 1호기에 대하여 운영허가 기간을 50년으로 10년 연장하였으며, 프랑스 최초 40년 이상 가동할 수 있는 원전이 됨
 - 프랑스 정부는 2023년 원전 60년 이상 가동 타당성 조사를 승인한 바 있으며, 이를 기반으로 지속적인 계속운전 허가 연장이 늘어날 것으로 보임
 - 영국의 경우 60~70년대 가동을 시작한 원전들 가운데 안전성 심사와 경제성평가를 통해 선별적으로 40년 이상 계속운전 중
 - 특히, 스위스의 경우, 69년과 71년에 운전을 시작한 Beznau 원전이 50년 이상 성공적으로 운전 중
 - 체코는 Temelin 2호기에 대한 안전성 요건 충족을 전제로 무기한 가동을 승인하였으며, 10년 주기의 PSR을 통해 향후 40년간 계속운전을 계획중임



(자료: The World Nuclear Industry Status Report 2024 - www.worldnuclearreport.org)

나. 우리나라의 가동원전 계속운전 현황

- 우리나라의 가동원전 계속운전 제도는 미국의 인허가갱신(LR) 제도와 유럽의 주기적 안전성평가(PSR) 제도가 혼재되어 있음
 - 모든 가동원전에 대해 매 10년마다 주기적안전성평가 수행
 - IAEA 안전지침³³⁾에 기반하여 14개 항목에 대한 평가 수행
 - ※ 안전성 평가 후 필요하면 안전성 개선조치 요구
 - 설계수명에 도달하는 원전에 대해서는 다음 사항을 추가 평가하여 허가만료 2~5년 전에 계속운전을 신청하고, 규제기관은 심사 후 10년 단위로 계속운전 허용
 - 계속운전 기간을 고려한 주요 기기에 대한 수명평가: 계속운전 기간 동안 주요 구조물·계통 및 기기의 기능이 확보되어 있는지를 확인
 - 운영허가 이후 변화된 방사선 환경영향 평가: 계속운전이 환경에 미치는 방사선 영향을 평가
- 계속운전 제도의 운영 과정에서 다음을 포함하여 다양한 개선방안이 제시되어 왔음
 - 허가기간 2~5년 전에 계속운전을 신청함으로써 인허가 심사와 안전개선조치에 충분한 시간을 확보하기 어려운 문제
 - 미국과 유사한 수준의 수명평가를 함에도 불구하고 10년 단위의 연장만 허용되는데 따른 적극적인 안전 투자 동기 약화
 - 허용기준 등에 대한 정확한 정의 필요성
- 정부의 에너지전환정책에 따라 최초 설계수명 또는 허가기간에 도달한 원전의 계속운전은 정책적으로 추진하지 않고 있음
 - 국내 원전 중 10기의 최초 설계수명(운영허가 기간)이 2030년 이전 만료
 - ※ 고리 2·3·4호기, 한빛 1·2호기, 한울 1·2호기, 월성 2·3·4호기 등 총 8.45GW 용량
 - 동일량 발전을 위해 태양광은 45GW, 육상풍력은 29GW 수준의 시설 확충 필요
- 다만, 정부 및 산하기관을 중심으로 계속운전 공감대 형성을 위한 적극적인 움직임을 보이고 있음
 - 23년 11월 원안위는 원자로 시설의 계속운전평가를 위한 기술기준 적용에 관한 지침 일부 개정고시안 의결함
 - 수명연장을 위한 주기적안전성평가지 원전 건설시 적용했던 기술기준이 아니라 최신 기술기준을 활용해 안전성 평가
 - 에너지경제연구원 분석에 따르면³⁴⁾, 고리 2호기가 계속운전을 통해 LNG발전을 대체할 경우 kWh당 평균 0.67원의 전기요금 인하 효과가 있음

33) IAEA (2012), Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-25

34) 에너지경제신문, [EE칼럼]원전 계속운전이 필요한 이유, 2023

- 이는 국민 1인당 연간 약 7,000원의 전기요금 부담을 더는 효과
- 또한 2030년까지 8.5GW 용량의 원전이 계속운전되면 온실가스는 2,155만~4,918만 톤을 줄일수 있을 것으로 예측
- 24년 에너지정보문화재단이 분기별 전국 만18세 이상 국민 1,000명을 대상으로 시행한 에너지 국민인식조사에서 응답자의 67.9%가 계속운전에 찬성한다고 응답함³⁵⁾

다. 가동원전 계속운전 제도의 운용 방향

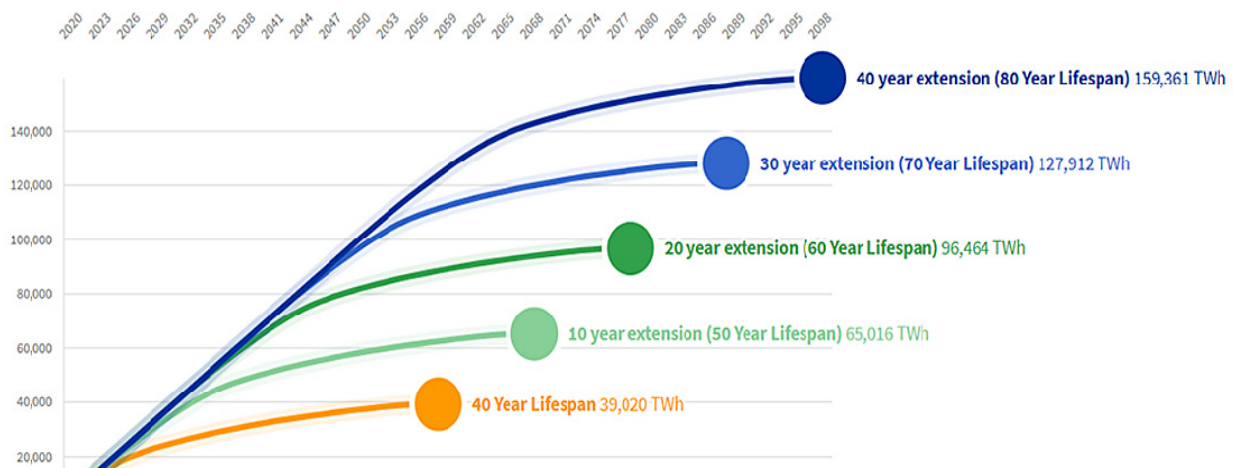
- 원전의 설계수명(인허가 기간)은 안전성이 저하되는 시점을 나타내는 것이 아니므로 엄격한 안전성 확인 후 계속운전을 허용하는 것이 합리적임
 - 대부분의 원전 보유국은 실제 원전 조건과 최신 지식을 고려해 안전성과 경제성을 평가한 후 계속운전을 허용
 - ※ 탈원전 국가인 스위스와 벨기에도 최초 허가기간을 초과하여 운전을 운영하며, 스위스의 Beznau 1호기는 1969년부터, 벨기에의 Doel 1호기는 1974년부터 운영 중
 - OECD/NEA의 최근 보고서³⁶⁾에서는 원자력발전은 연간 최대 29억 톤의 CO₂ 배출(현재 CO₂ 총 배출 수준의 약 10%)을 억제할 수 있으며, 이 중 약 12억 톤의 CO₂ 배출 억제는 가동원전의 계속운전에 의해 달성할 것으로 기대
- 안전성이 확인되는 가동원전의 계속운전을 추진하여 탄소중립을 위한 효과적 수단으로 이용하는 것이 바람직함
 - 운영허가 기간이 만료되는 원전 10기(시설용량 8.45GW)를 모두 운영한다면, 연간 석탄 대비 약 5,000만톤, 천연가스 대비 약 3,000만톤의 온실가스 배출량을 저감(85% 이용률 가정, CO₂ 환산값)
 - 석탄발전 대비 온실가스 배출량 감축분은 '30년 총 배출량 목표의 11.5%, 발전부문 배출량 목표의 33.5%에 해당
- IAEA 보고서에 따르면³⁷⁾, 원자력발전은 전체 저탄소 전력 생산량(Low Carbon Electricity Generation)의 1/3을 차지하며, 전 세계 원전의 수명을 10년 연장할 경우, 저탄소 전력 생산량이 26,000 TWh 증가함
 - 원전 수명을 20년 더 연장할 경우, 10년 연장에 비해 약 31,400 TWh의 저탄소 전력 생산량 추가 가능
 - 이는 IPCC의 특별보고서³⁸⁾에 제시된 2020~2080년까지 전 세계 저탄소 전력 생산의 약 2%에 해당하며, 수명을 80년까지 연장하면, 이러한 수치는 두 배 이상 증가함

35) 전기신문, 국민 10명 중 8명 원전 찬성, 계속운전은 67.9%가 찬성, 2024

36) OECD/NEA (2021), Legal Frameworks for Long-Term Operation of Nuclear Power Reactors.

37) IAEA Data animation: Nuclear Power Plant Life Extensions Enable Clean Energy Transition, 2020

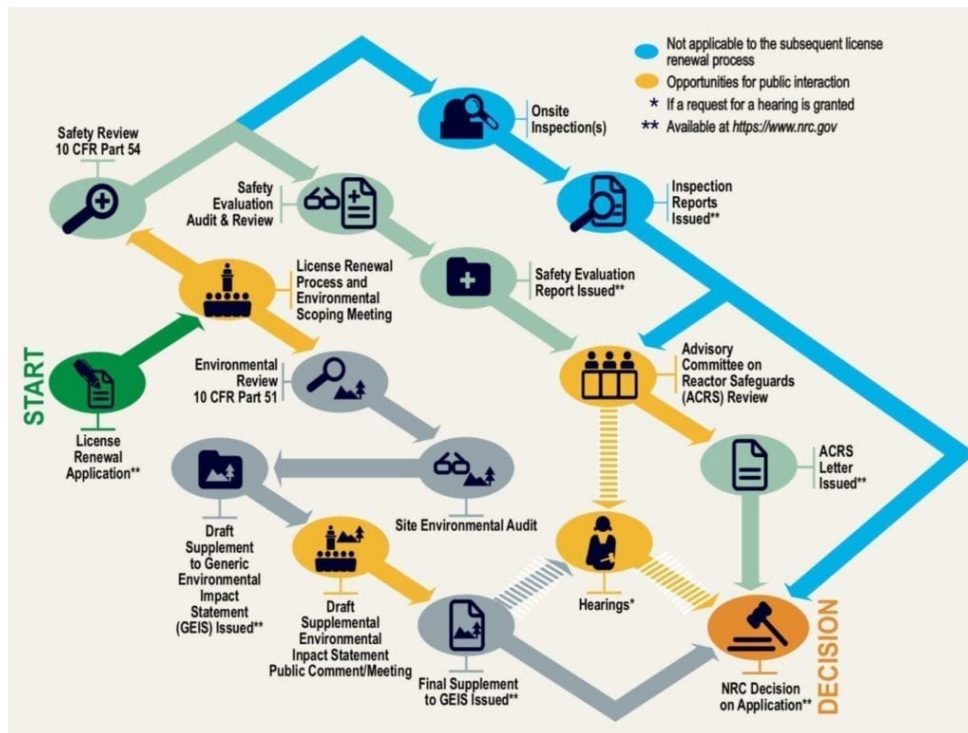
38) IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), Special Report on Global Warming 1.5oC, 2018



(자료: IAEA data animation, Climate Change and Nuclear Power 2020,
<https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-data-animation-nuclear-power-plant-life-extensions-enable-clean-energy-transition>)

○ 안전한 계속운전을 담보할 수 있는 안전규제체계의 정비가 필요함

- 미국식 인허가갱신 제도와 유럽식 주기적안전성평가 제도가 혼재된 형태인 계속운전 규제체계를 합리적으로 정비
 - ※ 실질적인 안전성 확보를 위한 실효성 있는 제도 도입(예: 20년 단위로 허가기간을 연장하고, 수명만료 5~10년 전에 계속운전을 신청하여 안전성 개선조치 기간 확보)
- 정책적 불확실성을 제거하여 장기에 걸쳐 주요 기기의 공급망 유지와 인재 및 기술을 확보할 수 있도록 가동원전 계속운전에 대한 법적·정책적 장치 마련
- 미국의 원전 계속운전 평가의 핵심은 안전성과 환경영향이며, 안전성은 10 CFR Part 54, 환경영향은 10 CFR Part 51에 기재되어 있음
 - 10 CFR Part 54의 핵심은 원전 노후화가 야기할 수 있는 역효과 분석에 집중하여 초기 설계 의도대로 안전하게 계속 운영할 수 있는지 중점적으로 검토 (불필요한 절차 간소화)
 - 10 CFR Part 51의 핵심은 포괄환경영향평가(GEIS, Generic Environmental Impact Statement)로 원전 계속운전으로 인한 환경적 변화만을 통합적으로 분석·예측함
 - 계속운전 심사시, 안전성 분석과 환경영향 분석을 철저히 분리하여 독립적으로 실행하도록 규정하여 어느 한쪽의 결과가 다른 부문에 영향을 주는 것을 방지하고 있음
- 프랑스는 원전 관련 규정은 환경법에서 다루고 있으며, 계속운전과 관련하여 사업자가 법률준수로 시설을 안전하게 운영하는 한 계속 가동할 수 있도록 보장함
 - 환경법 제24조4항에 따르면 원자력안전청(ASN)이 승인한 운영허가는 별도의 해제 명령이 있을 때까지 계속 유효함
 - 사업자는 10년마다 주기적안전성평가를 통과하고 현행법을 위반한 사실이 없으면 최초 운영허가 기간을 넘어서도 가동할 수 있음



(자료: USNRC, <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/fs-reactor-license-renewal>)

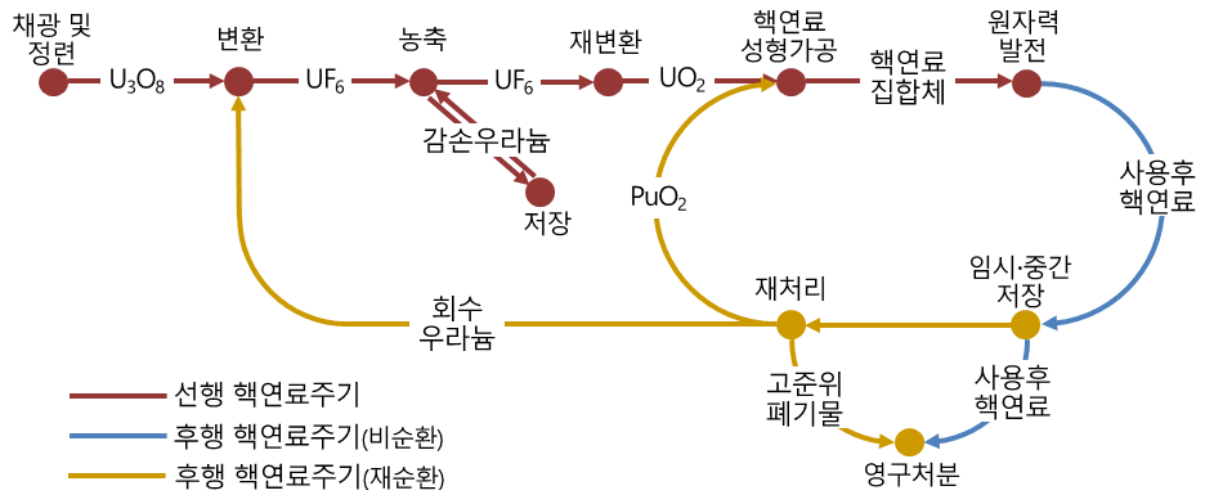
(부록 6) 사용후핵연료 안전 관리

가. 사용후핵연료 관리 국제 동향

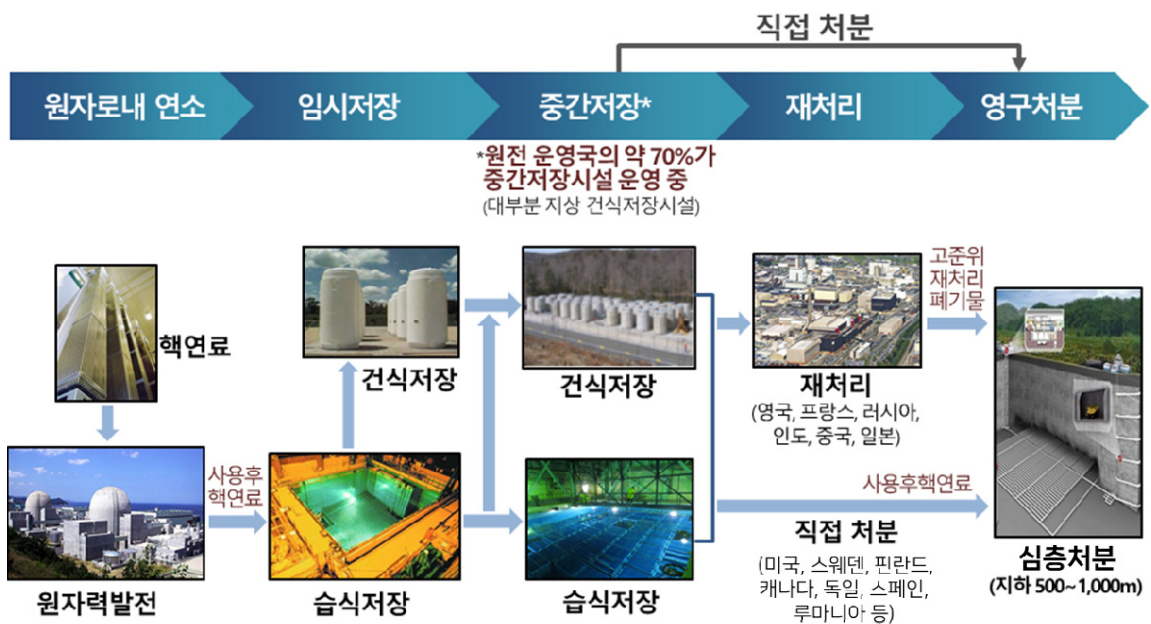
□ 사용후핵연료의 발생과 관리

- 사용후핵연료는 원자로 안에서 핵분열반응으로 에너지를 생산한 후(이를 '연소'라 함) 반출되어 나온 핵연료를 말하며, 고준위 방사성폐기물로 취급하여 직접 처분하거나(열린/비순환 핵연료주기), 재처리하여 유용한 핵연료 물질은 재사용하고 남은 고준위폐기물을 처분함(닫힌/재순환 핵연료주기)

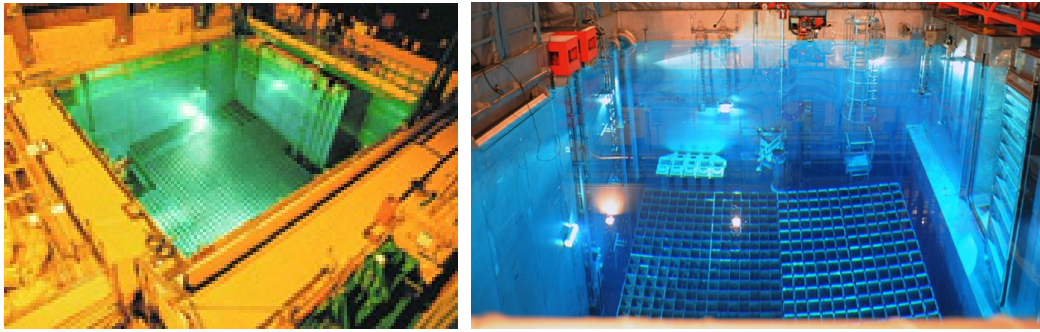
- 경수로형 원전의 핵연료주기



- 사용후핵연료의 발생, 저장 및 처분



- 사용후핵연료 습식 저장시설: 물 속에 저장



- 사용후핵연료 건식 저장시설: 공기로 냉각



○ 사용후핵연료 관리정책은 국가에 따라 크게 다르며, 최근 핀란드, 스웨덴, 프랑스 등은 심지층처분(Deep Geological Disposal)에 큰 진전을 보임

- 사용후핵연료 관리정책 구분 및 해당 국가

구 분	해 당 국 가
직접처분 (10개국)	• 미국, 핀란드, 스웨덴, 스위스, 스페인, 캐나다, 독일, 루마니아, 슬로바키아, 대만
재처리 후 처분 (6개국)	• 프랑스, 일본, 러시아, 인도, 중국, 영국 (일본을 제외한 5개국은 핵무기보유국)
정책결정 유보 (18개국)	• 벨기에, 체코, 남아공, 한국 , 아르헨티나, 아르메니아, 브라질, 불가리아, 헝가리, 이란, 이탈리아, 카자흐스탄, 리투아니아, 멕시코, 네덜란드, 파키스탄, 슬로베니아, 우크라이나

- 주요국의 사용후핵연료 관리정책

국 가	사용후핵연료 관리정책
미 국	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책: 직접처분 <ul style="list-style-type: none"> - 유카마운틴 고준위폐기물 처분장 건설 중단 - 블루리본위원회 권고사항을 바탕으로 국가전략 발표('13.1) ○ 소내/소외 독립저장시설 운영(건설)
영 국	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책: 재처리 <ul style="list-style-type: none"> - 셀라필드 재처리시설 운영 ○ 재처리 시설 및 Wylfa 원전(건설) 내에서 중간저장
프랑스	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책: 재처리 <ul style="list-style-type: none"> - 라하그 재처리 시설 내에서 중간저장
스웨덴	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책: 직접처분 <ul style="list-style-type: none"> - 처분장 부지(포스마크) 확보 ○ 소외 중앙집중 중간저장시설(CLAB) 운영
핀란드	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책 : 직접처분 (지하 500 m) <ul style="list-style-type: none"> - 처분장 부지(올킬루오토) 확보 및 건설허가 취득('15.11) ○ 습식저장시설 운영(원전부지 내 독립시설)
일 본	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책: 재처리 <ul style="list-style-type: none"> - 위탁(프랑스/영국) 및 자체 재처리(도카이 무라/로카쇼 무라) 병행 - 재처리 초과분 소내 건식저장 ○ 소외 중간저장시설 운영(무츠)
스위스	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책: 직접처분('06.7월 프랑스/영국 위탁 재처리 중단) <ul style="list-style-type: none"> - 재처리 영구금지('18년 1월) ○ 소외 중간저장시설 운영(ZWILAG)
독 일	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책: 직접처분('05.7월 프랑스/영국 위탁 재처리 중단) ○ 소외 중간저장시설 운영(Ahaus, Gorleben, Greifswald 등)
벨기에	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책: 미정('01년, 프랑스 위탁 재처리 중단) <ul style="list-style-type: none"> - 관리정책 재결정시까지 50년 이상 장기저장(소내) 전망
캐나다	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책: 직접처분(지하 500~1,000 m, 재활용 가능옵션 포함) ○ 소내 별도 건식저장시설 운영
스페인	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책: 직접처분 ○ 소내/소외 건식저장 병행
러시아	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책: 재처리/직접처분(원자로형별 상이) ○ 재처리시설 내 중간저장 및 집중식 중간저장시설(MCC) 운영

- 사용후핵연료 또는 재처리 후 고준위폐기물의 영구처분장 확보가 지연됨에 따라, 원전 운영 주요국은 발전소내 또는 외부에 저장시설을 구축하여 운영

구 분	국 가	시 설 명	운영기간	비 고
소외 (집중식)	일 본	무츠 중간저장시설	50년	
	스페인	ATC 중간저장시설	60년	건설 중
	스웨덴	CLAB 중간저장시설	60년	연료는 40년 저장 후 최종처분장으로 이송
	독 일	Ahaus 중간저장시설	40년	
소내	미 국	소내 독립저장시설	40년	최장 40년 추가연장 가능(인허가 갱신) ¹⁾
	캐나다	소내 건식저장시설	50년	

※ 미국 원자력규제위원회는 사용후핵연료를 최소 120여 년간 안전하게 저장할 수 있다고 밝히고 있으며, 300년 정도 장기저장 기술을 개발 중임

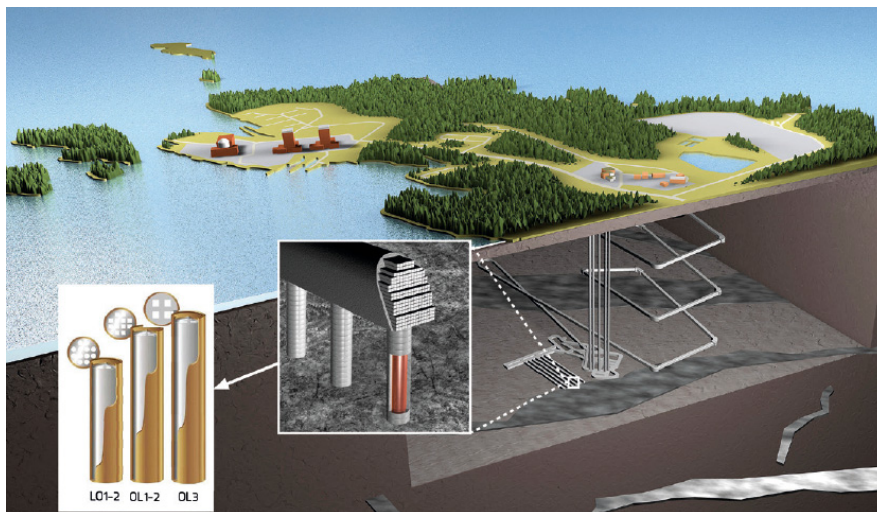
□ 사용후핵연료의 영구처분 추진 현황

- 미국, 스웨덴, 핀란드, 스위스, 프랑스, 일본 등은 사용후핵연료(또는 재처리 고준위폐기물)의 영구처분장 확보에 장기간 노력했으며, 핀란드 심층처분시설은 완공 단계임

국가명	타당성연구 및 부지조사 착수	부지 선정	URL 건설착수	건설허가 신청	건설허가 발급	건설허가 신청까지의 기간(년)	건설 착수	운영 예정기간 (년)
핀란드	1983	2000	2004	2012	2015	29	2016	100
프랑스	1991	1998	2000	(2021)		30	(2022)	100
스웨덴	1976	2009	1990 (Aspo)	2011		34	(‘20년대 초반)	45
미 국 Yucca	1882	1987	1993 (탐색연구시설)	2008		28	(2048)	100
중 국	1985	2018	2020			50	(2041)	
캐나다	1978	2024	1982 (AECL)	(2031)	(2033)	49		> 40
독 일	1965	(2031)	1986 (Gorleben)					
스위스	1978	2022	1984(Grimsel) 1996(Mont Terri)	2024	(2031)			~30
일 본	1976	(2027)	2002					~50

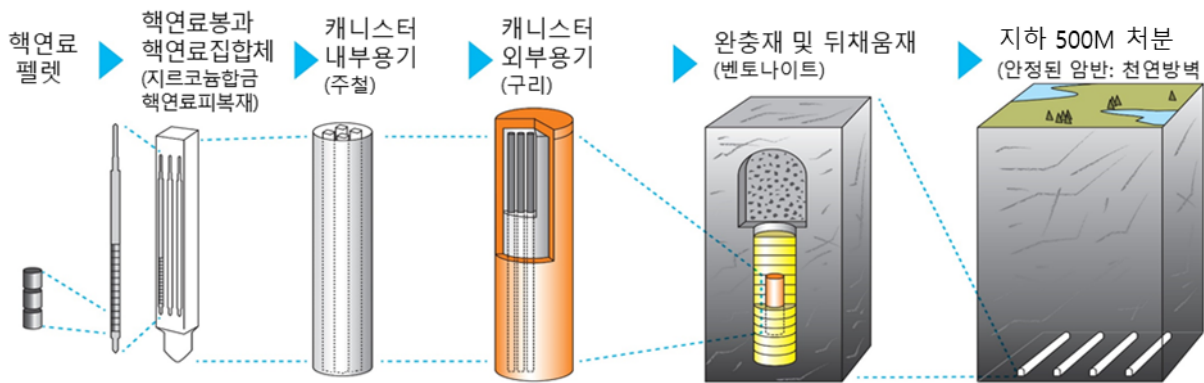
주) 괄호 안의 연도는 예정년도임

- 핀란드의 ONKALO 심층처분장(사용후핵연료 직접 처분)은 건설 완료 단계로서, 2021년 운영허가를 신청하고 현재 심사 중이며, 2025년에 운영 개시 목표
- 스웨덴의 Forsmark 심층처분장(사용후핵연료 직접 처분)은 2011년 건설허가를 신청하여 2022년 인허가 획득
- 프랑스는 고준위 재처리폐기물과 중준위폐기물에 대한 심층처분장 개념을 수립하고, 광범위한 공청회를 거친 후 상세설계를 마무리하였으며 2023년에 처분장 건설 인허가 신청



〈핀란드 Olkiluoto 원전 인근의 ONKALO 처분장[POVISA 웹사이트]〉

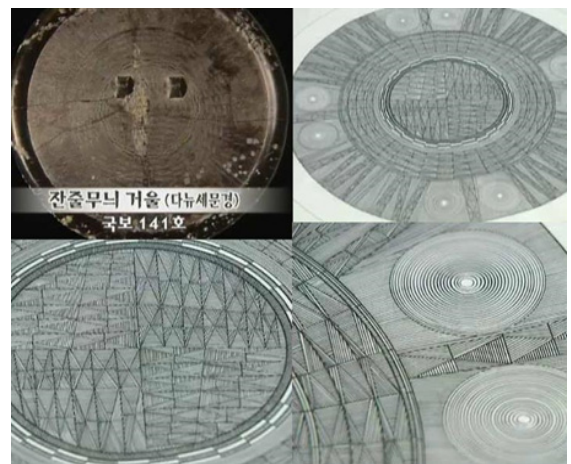
○ 사용후핵연료 또는 고준위폐기물 심층처분시설은 다중방벽을 통해 안전성을 확보함



- 구리 용기는 부식에 매우 강하며, 고조선 유물인 다뉴세문경에서도 확인



KBS-3 처분용기



고조선 유물 다뉴세문경

나. 우리나라의 사용후핵연료 관리 현황

□ 현황 및 문제점

○ 2021년 발표된 제2차 고준위 방사성폐기물 관리 기본계획에 따르면, 2021년 3분기까지 경수로형 원전에서 20,733다발, 중수로형 원전에서 484,076다발, 연구용원자로에서 514다발의 사용후핵연료가 누적 발생함

- 경수로 사용후핵연료는 모두 발전소 내 습식저장수조(물로 냉각)에 저장 중이고, 중수로의 경우 습식 저장수조(물로 냉각하는 '사용후핵연료저장조')와 건식저장시설(공기 냉각)에 저장 중
※ 8다발(고리 7다발·한울 1다발)은 한국원자력연구원에 연구목적으로 보관 중
- 일부 원전의 사용후핵연료 임시저장시설은 저장용량 포화상태가 임박하며, 경수로형 원전은 한빛원전(2031년)부터 시작하여 순차적으로 포화될 것으로 전망됨

〈시설별 사용후핵연료 저장량 및 포화율(2021년 3분기 기준)〉

시 설	저장용량(다발)	저장량(다발)	포화율(%)
고 리	8,038	6,737	83.8
새 울	1,560	297	19.0
한 빛	9,017	6,697	74.3
한 울	7,066	6,344	89.8
신월성	1,046	658	62.9
월 성	489,952	484,076	98.8
하나로	1,032	512	49.6

- 2024년 4월 21일에 확정된 제11차 전력수급기본계획에 따르면 신규 원전 2기와 SMR(소형 모듈형 원자로) 1기 건설이 예정되는 등 원자력 발전의 비중이 늘어남에 따라 임시저장시설 포화 시점은 더 빨라질 것으로 예상
- 2031년 한빛원전을 시작으로 고리원전, 한울원전, 신월성원전, 새울원전 순으로 소내 임시저장시설 포화가 예상되어, 원전부지내 저장시설 확보를 추진 중임
 - 월성원전에는 건식저장시설(맥스터)을 추가 건설하여 운영 중
 - 한빛원전, 한울원전에는 저장용량 확충을 위해 원전부지내 건식저장시설 확보를 추진 하고 있으며 2030년 운영 착수를 목표로 현재 설계 중
- 국내 사용후핵연료 관리정책은 관망정책(Wait and See)으로 현재까지 최종 관리정책은 결정이 유보된 상태이나 처분을 기준으로 추진 중
 - 2013년 구성된 사용후핵연료 공론화위원회(2013.10~2015.6)에서는 2051년까지 처분 시설을 운영을 목표로 부지를 조속히 선정하고 2030년 실증연구 착수를 권고
 - 공론화위원회 권고안을 바탕으로 고준위 방사성폐기물 관리 기본계획 수립(2016.7)
 - ※ 부지확보에 12년, 실증연구에 14년, 처분시설 건설 10년을 고려(2050년대 처분장 운영)
 - 2019년 사용후핵연료 관리정책 재검토위원회 운영(2019.5~2021.3)
 - ※ 2015년 공론화 이후 국민들의 인식변화를 반영하여 ①관리원칙, ②정책결정체계, ③처분/중간저장 시설 확보, ④부지선정절차, ⑤지역 지원원칙, ⑥임시저장시설 확충, ⑦사용후 핵연료 발생/포화전망, ⑧기술개발에 대해 권고안을 정부에 제출('21.3월)
 - 2021년 12월 제2차 고준위 방사성폐기물 관리 기본계획 수립
 - ※ 부지확보에 13년, 중간저장시설 확보에 7년, 처분시설 확보 24년을 고려(2060년대 처분장 운영)
 - 2025년 2월 27일 고준위 방사성폐기물 관리에 관한 특별법안이 국회 본회의를 통과 하여 조만간 법률로 공포될 예정
 - ※ 국가와 지자체의 고준위 방사성폐기물 안전관리 책무 부여, 관리시설 및 관리시설 부지 조사선정 등을 위한 국무총리 소속의 고준위 방사성폐기물 안전관리위원회 설치, 부지

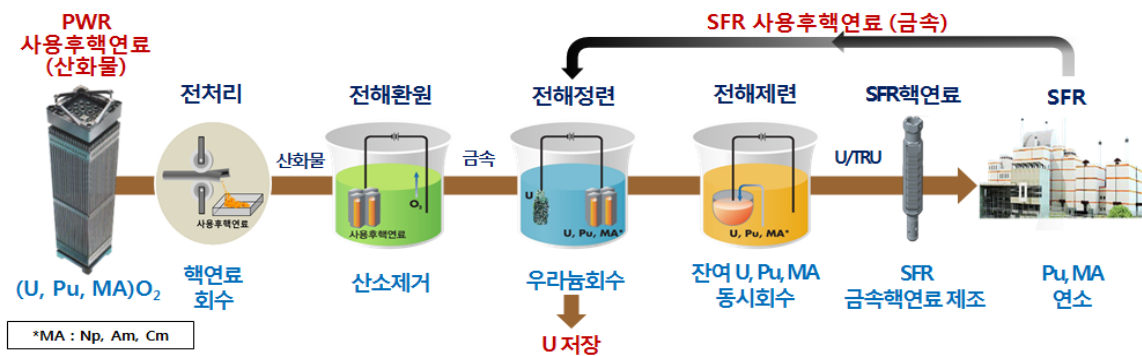
선정 시 원안위 의견청취, 관리시설 운영일정(중간저장시설은 2050년 이전, 처분시설은 2060년 이전 운영 개시) 명시, 관리시설 부지 선정방식 및 지역 지원 근거 마련 등이 주요 내용

- 사용후핵연료의 안전관리는 물론 가동 원전의 안전 운영을 위해서도 중간저장시설과 영구처분시설 등의 건설은 피할 수 없는 과제이며, 사용후핵연료 처리 여부는 연구 개발 이후 결정 예정

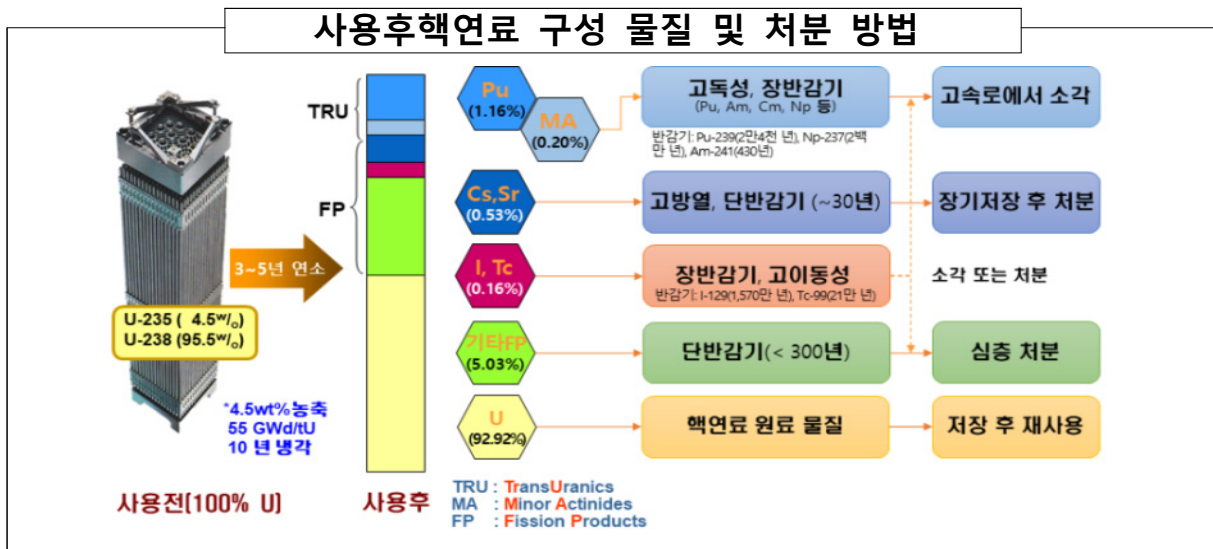
□ 사용후핵연료 처리(파이로프로세싱) 기술

- 사용후핵연료 직접처분 기술 확보와 함께 처분대상 고준위폐기물의 양과 독성을 줄여서 최종처분의 부담을 경감하는 기술(파이로기술)을 개발해옴
- 사용후핵연료에 포함된 우라늄(U)과 초우라늄(TRU*) 원소 등을 파이로 기술로 회수하여 소듐냉각고속로(SFR) 연료로 재순환하기 위한 기술을 개발 중임

* 초우라늄원소(TRU): 플루토늄(Pu) + 마이너엑티나이드(Np, Am, Cm)의 통칭



- 파이로는 고온(500~650℃)의 용융염(LiCl-KCl 등)에서 사용후핵연료에 포함된 핵물질을 전기화학적 방법으로 분리·회수하는 기술임
- 국내에서는 파이로 기술을 통해 사용후핵연료에 포함된 핵물질을 회수하여 이를 고속로에서 소각하여 부피 및 독성을 저감하기 위한 목적으로 기술개발 중
- ※ 초우라늄원소와 같은 고독성·장반감기 핵종은 고속로에서 소각, 세슘(Cs)과 스트론튬(Sr)과 같은 고방열, 단반감기 핵종은 장기저장 후 처분 등



□ 국가 정책 방향

- 고준위 방사성폐기물 관리에 대한 구체적인 일정과 이행 절차 등이 포함된 특별법을 따라 정부의 일관성 있는 정책 추진 및 이행이 필요함
 - 최종처분장 등의 부지조사, 주민투표, 지역지원, 기술개발 등은 20여 년이 소요되는 장기 프로세스이므로, 고준위 방사성폐기물 관리를 책임지고 전담하는 정부조직에서 특별법에 따라 일관성 있게 정책 추진 필요
 - ※ 핀란드는 1983년 부지 선정에 착수하여 2001년 올킬루오토 부지 최종 선정(현재 지하 450 m 암반에 위치하는 심층 최종처분장 건설 완료 단계이며, 2025년경 운영 개시 예상)
 - ※ 스웨덴은 1992년 부지 선정에 착수하여 2009년 포스마크 부지를 최종 선정하고 2022년 건설허가 획득
 - 사용후핵연료 및 고준위 방사성폐기물의 저장 및 처분 시설에 대한 지역 주민의 동의를 확보하기 위한 정부의 적극적인 의지와 실행력 필요
 - 원전 부지의 사용후핵연료 저장시설은 10년 이내에 포화될 전망이므로, 부지 내 임시 저장시설 적기 확보 필요
 - ※ 국내 고준위 방사성폐기물 영구처분시설의 운영은 '50년대 중반 이후로 예상되기에, 그 전에 해외의 원전에서 성공적으로 운영 중인 부지 내 임시저장시설의 확보 필요
- 고속로와 연계하여 사용후핵연료의 부피 및 방사성 독성을 감소시켜 사용후핵연료 처분 부담을 경감시킬 수 있는 처리기술(파이로기술)에 대한 연구 지원 확대가 필요함.
 - 기술발전과 환경변화에 따라 향후 정부와 국민이 최적의 사용후핵연료 관리방안을 선택할 수 있도록 기술적 대안 제공 필요
 - 사용후핵연료에는 다시 활용할 수 있는 우라늄 등의 핵물질이 약 95% 잔존: 사용후 핵연료 처리기술은 에너지 안보 측면에서 원자력 전주기를 완성할 수 있는 핵심기술
 - 탄소중립을 위한 무탄소 발전원인 원전의 지속적 이용에 따른 사용후핵연료 발생량은 계속 증가될 것으로, 미래 사용후핵연료의 처분 부담 저감을 위한 처리기술개발 지원 확대 필요

[참고] 프랑스 방사성폐기물관리특별법(일명: Bataille 법, 1991~2006)

- 사용후핵연료 재처리/재순환 정책에 따라 재처리 과정에서 발생하는 방폐물의 처분이 필요, 1973년에 처분부지 조사 착수
 - 지역주민 반발로 부지조사 활동이 중단되자 Bataille(바타유) 의원 주도로 사용후핵연료 관리방안 연구에 대한 법률제정(1991.12)
 - 관리 기반기술에 대한 연구개발 결과를 지속적으로 평가하여, 평가 결과를 매년 의회에 제출하여 공개하고 국민수용성 확보

〈Bataille법 주요 내용〉

- 정부는 다음 3가지 관리기반 기술에 대한 집중연구를 수행하고, 연구 결과를 토대로 처분장 건설 여부를 결정한다.
 - ① 사용후핵연료로부터 장반감기 핵종의 분리 및 소멸, ② 지하연구시설 실험을 통한 심지층처분 타당성, ③ 고준위폐기물의 초장기 저장
- 심지층처분 연구를 위한 지하연구시설(Underground Research Laboratory; URL) 설치

(부록 7) 소형모듈원자로(SMR) 개발 현황 및 전망

가. 소형모듈원자로 개발 동향

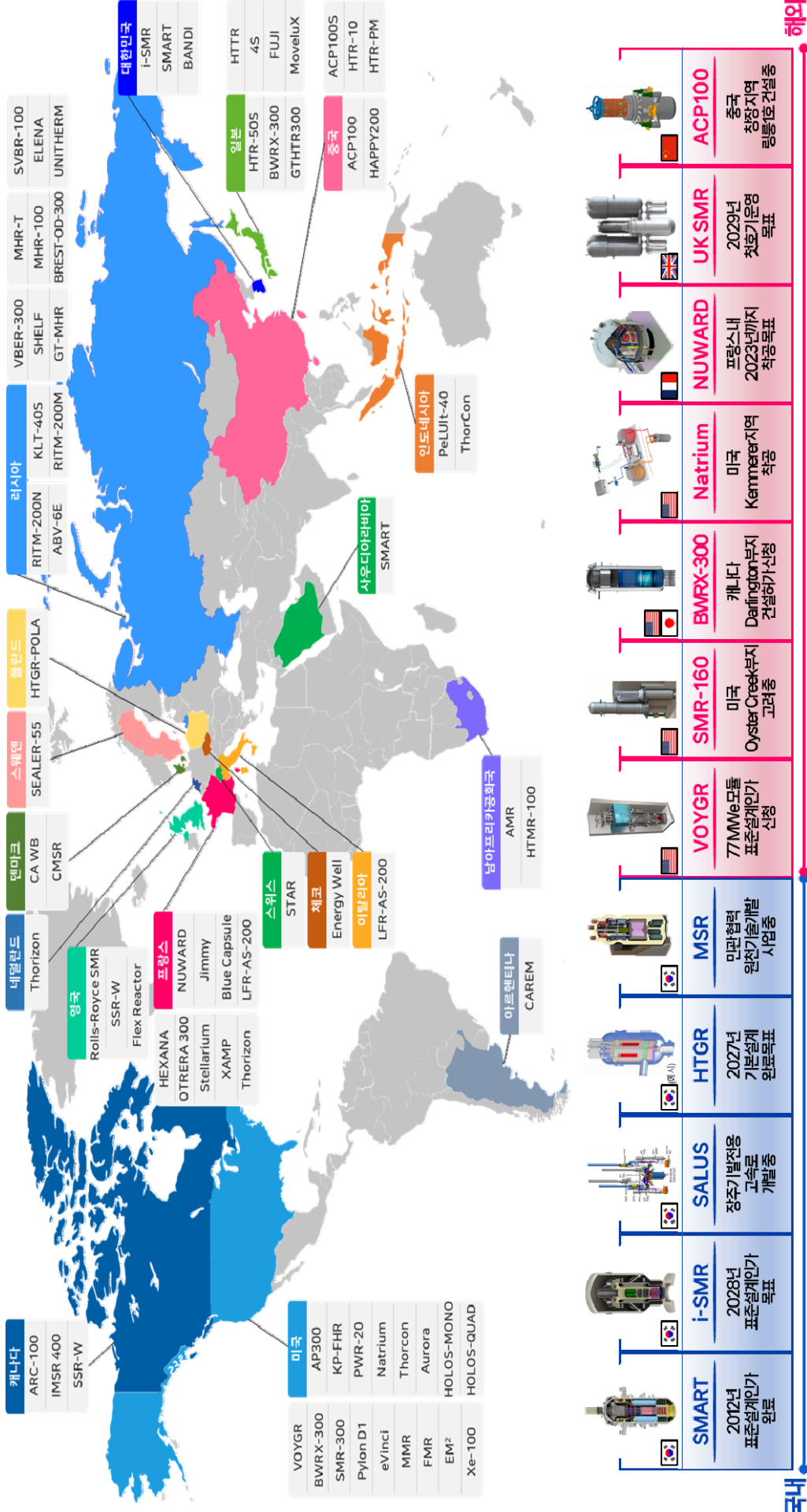
□ 소형모듈원자로란?

- 소형모듈원자로(SMR: Small Modular Reactor)는 공장에서 하나의 모듈로 제작하여 원자로 부지로 수송하여 바로 설치할 수 있는 출력 300MWe 이하의 원자로를 가리킴
 - Small: 전기출력 300MWe 이하
 - ※ 20MWe 이하는 초소형원자로(Micro-reactor)로 다시 구분
 - Modular: 공장에서 동일한 원자로 모듈을 반복 제작
 - ※ 보통 하나의 용기 안에 원자로를 비롯한 주요 기기를 모두 배치하여 소형화·단순화
 - 소형모듈원전은 1기 단독 또는 10여 기까지의 소형모듈원자로로 구성
- SMR에 대해 일반적으로 기대되는 장점은 다음과 같음
 - 저출력과 고유·피동 안전성으로 중대사고를 제거하거나 사고 시 영향을 극소화
 - ※ 피동(Passive) 안전성: 교류전력이 필요한 펌프나 밸브 없이 안전기능 달성
 - 공장에서 원자로 모듈을 반복 제작하여 경제성과 품질을 획기적으로 제고
 - 원자로 모듈 1기의 단독 건설부터 10여기의 중·대용량 구성까지 다양한 출력의 전기 또는 열 공급 가능
 - 분산형 전원, 화력발전 대체, 극지·원격지·이동식 전원, 전력망이 작은 개도국 건설 등 다양한 이용환경에 대응 용이
 - 부하추종 운전능력을 갖추어 재생에너지의 간헐성을 보완하는데 유리
 - 원자로 모듈의 지하·수중 배치를 통해 자연재해(지진, 쓰나미 등)나 인공적 위해(항공기 충돌, 미사일 공격 등)에 대한 방호능력 강화 가능
 - 높은 안전성과 자율운전 기능으로 극지/오지에서 소수 인력으로 운전 가능성
 - 안정적인 전기 및 열공급(수소 생산, 해수담수화)이 가능하고, 육상용 원전 및 열공급원, 해상부유식 원전, 선박용원자로 등으로 다양한 활용 가능
 - 핵연료 농축도를 15~20% 수준으로 높이면 핵연료 교체 없이 10년 이상 운전

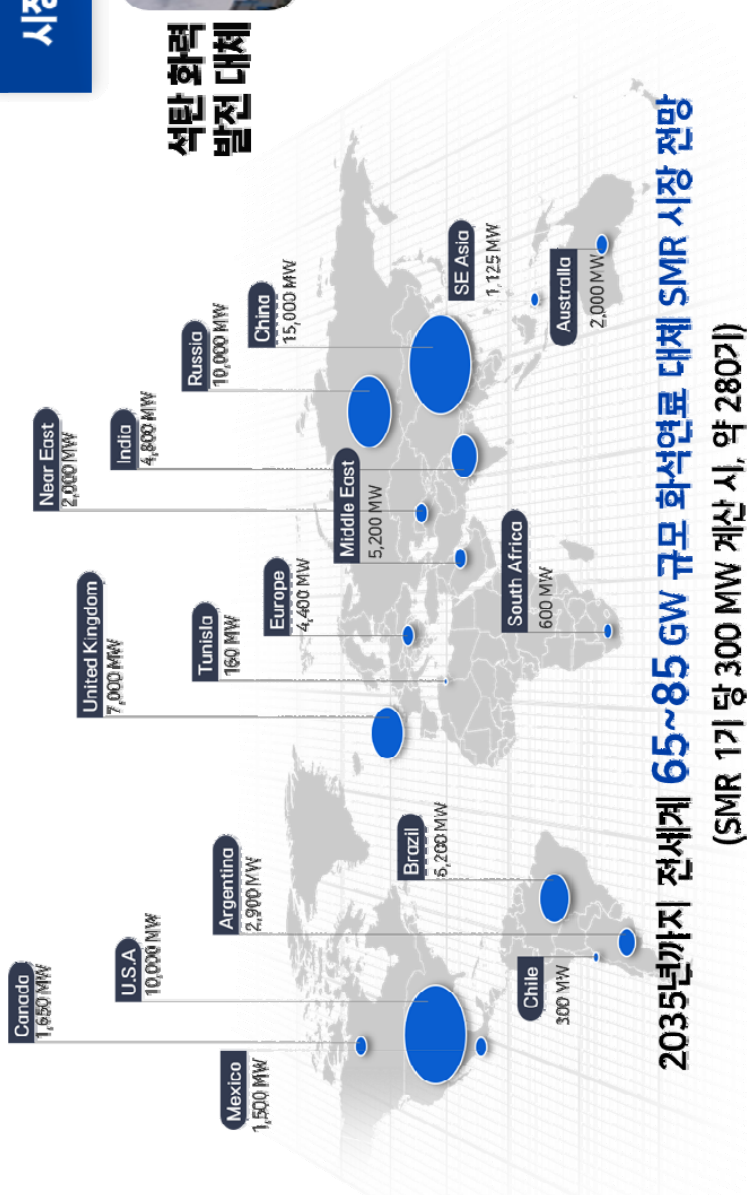
□ SMR 개발 현황 및 시장 전망

- 전 세계적인 SMR 개발 현황과 시장 전망을 다음 그림에 요약함

'Active Design' 68종 개발 경쟁 (IAEA, 2024)



무탄소 에너지 생산을 위한 SMR 시장 성장 전망



Rolls-Royce (2017)

<SMR 세계 시장 전망>



- 전 세계적으로 기술우위에 기반한 미래 시장선점을 위해 SMR 개발 경쟁이 격화되고 있으며, 이미 건설 또는 운영 중인 SMR도 존재함
 - 가압경수로, 고온가스로, 액체금속로, 용융염원자로 등 다양한 노형이 개발 중
 - ※ 국제원자력기구에 따르면('24.10월), 'Active Design'은 68종에 달함
 - 특히 미국 정부의 지원 하, 다수의 민간기업(전통적 원전기업, 스타트업 등)이 SMR 개발에 능동적으로 참여 중이며, 이미 비즈니스 단계로 부지선정 및 수출 사업을 추진 중
 - 미국 VOYGR, BWRX-300, Xe-100 등은 인허가 중이며, 미국 TerraPower社의 Natrium, 러시아 BREST-OD-300, 중국 ACP100은 건설 중, 러시아 KLT-40S 및 RITM-200, 중국 HTR-PM은 이미 운영 중

□ 국내외 비경수형 SMR 연구현황

- 주요 원자력 선진국들은 경수형 SMR뿐만 아니라, 아래와 같이 다양한 목적의 비경수형 SMR을 개발하고 있음
 - SFR(소듐냉각고속로): 액체금속인 소듐을 냉각재로 하는 고속로로 사용후핵연료 방사능 저감과 핵연료 효율적 이용을 위해 개발. 해외 SMR 시장 진출을 위해 기확보 기술을 활용한 발전용 장주기 SMR 기술 개발 추진 중
 - LFR(납냉각고속로): 액체금속인 납이나 납-비스무스 합금을 냉각재로 하는 고속로로 SFR과 마찬가지로 사용후핵연료 방사능 저감과 핵연료 효율적 이용을 위해 개발. 납합금 냉각재 특성을 이용한 초우라늄 원소의 소각로 개념 및 첨단 핵변환 시스템 설계 연구 수행 및 납냉각 방식의 선박용 초소형원자로 개념 개발 착수
 - GFR(가스냉각고속로): 헬륨 기체를 냉각재로 하는 고속로로 사용후핵연료 방사능 저감과 핵연료 효율적 이용을 위해 개발. 고온 수소생산 및 공정열 공급에도 활용 가능
 - VHTR(초고온가스로): 피복입자핵연료, 흑연 감속재 및 반사체, 헬륨 냉각재를 활용하는 원자로로, 높은 노심온도로 고효율 수소 생산, 산업용 증기 및 공정열에 유용. '24년 7월부터 한국원자력연구원은 기확보 기술을 기반으로 포스코이앤씨, SK에코플랜트, 롯데케미칼 등과 산업공정열 고온가스로 설계 민관합작사업 착수
 - MSR(용융염원자로): 용융염(Molten Salt)에 핵연료를 섞어 액체 상태로 활용하는 원자로로 주로 해양 활용을 목표로 개발. 고속로로 설계될 경우 고준위폐기물 저감에 활용 가능
 - HPR(히트파이프원자로): 펌프나 배관 대신 히트파이프로 원자로의 열을 전력변환계통으로 이송시키는 원자로로, 우주 탐사 등의 특수 목적용 초소형원자로로 개발
- 비경수형 SMR은 고효율 수소 생산, 공정열 공급, 우주-극지 등 비전력망지역 전력 생산, 사용후 핵연료 방사능 저감 등 경수형 SMR보다 더 다양한 목적으로 활용될 수 있는 원자로임

〈비경수로형 SMR 개발 동향〉

노형	한 국	미국 및 캐나다	러시아	중 국	유 럽	기 타
SFR	<ul style="list-style-type: none"> KAERI 주도 실증로 공학설계 완료 민관합작 장주기 선진 SMR 기본설계 진행('28) 	<ul style="list-style-type: none"> 테라파워의 NATRIUM '30년 건설완료를 목표로 USNRC에 건설허가 신청 ARC의 ARC-100 실증로 개념 설계 	<ul style="list-style-type: none"> 실험로 BOR-60 운영 및 MBIR 건설 실증로 운영 및 상용로 건설 계획 	<ul style="list-style-type: none"> '11년 러시아 기술 도입으로 실험로 운영 '23년 완료 목표로 실증로 CFR-600 건설 중(2호기) 	<ul style="list-style-type: none"> (프랑스) 원형실증로 개발 계획 수립 	<ul style="list-style-type: none"> (일본) Monju 원형로 폐로 후 신규 고속로 계획 중 (인도) '20년대 후반 상용로 2기 건설 계획
LFR	<ul style="list-style-type: none"> 대학에서 소규모 연구 수행 	-	<ul style="list-style-type: none"> NIKIET의 실증로 건설 허가 발급 및 '25년 완공 계획 	<ul style="list-style-type: none"> 실험로 건설 중(미임제로, '23년 예정, 100MWth) 	<ul style="list-style-type: none"> (벨기에) 실험로(미임제로) 개념설계 (EU, 스웨덴) 실험로 개념설계 	-
GFR	-	<ul style="list-style-type: none"> GA社の 실험로 개념설계 	-	-	<ul style="list-style-type: none"> (EU) 실험로 개념설계 	-
VHTR	<ul style="list-style-type: none"> KAERI 주도로 VHTR을 위한 핵심 기술 개발 민관합작 열생산 전용 고온가스로 설계 착수('24~) 	<ul style="list-style-type: none"> X-에너지의 실증로 운영 예정('30~) 상업규모 TRISO-X 공장 운영 예정('28~) BWXT의 실증로 개념 설계 USNC의 실증로 사업(~'26) 국방부의 초소형 원자로 실증(~'24) 	<ul style="list-style-type: none"> ROSATOM의 LNG 개질용 고온가스로 건설 완료 예정(~'32) 	<ul style="list-style-type: none"> 실험로 수소생산 연계 준비 '23년 이후 HTR-PM 상업운전 착수 후속사업 HTR-PM600 및 600S 진행 	<ul style="list-style-type: none"> (EU) 공정열 공급용 고온가스로 실증로 개념설계 (GEMINI) (폴란드) 고온가스로 시험로 (POLA) 개발 중 	<ul style="list-style-type: none"> (일본) 초고온실험로 HTTR 재가동('21~) 및 LNG 개질 연계 실증사업 착수(~'28) (영국) 산업부의 고온가스로 개발 중('21~), 달기지용 원자로 개발 중
MSR	<ul style="list-style-type: none"> 출연연-민간기업 공동 해양용 MSR 원천기술 개발 진행('23~) 	<ul style="list-style-type: none"> 미국 ARDP 프로그램을 통해 INL 부지 내 테라파워社 실험로 실증 지원 Terrestrial Energy社 실증로 캐나다 VDR 2단계 완료('23) 	-	<ul style="list-style-type: none"> 토륨기반 MSR 실험로 운영 허가 발급('23) 	<ul style="list-style-type: none"> (프랑스) 염소염 기반 MSR 개념설계 진행 중('21~) 	<ul style="list-style-type: none"> (영국) Moltex社 SSR-W 캐나다 VDR 1단계 완료('21)
HPR	<ul style="list-style-type: none"> 탐색 연구 착수('19~) 지상실증로 기술 인허가 준비('25~'29) 	<ul style="list-style-type: none"> 달기지 원자로 실증(~'29) 웨스팅하우스 eVINCI 원자로 제어시스템 승인('25) 	<ul style="list-style-type: none"> 러시아와 중국이 공동으로 달기지용 원자로 건설 예정('35) 		<ul style="list-style-type: none"> (EU) ESA요청으로 화성유인탐사 NEP 우주선 HPR 공동 개발 	

(참고) 개발 수준: 실험로 (기술 개발) < 실증로 (상용 수준 검증) < 원형로 (경제성까지 검증) < 상용로

나. 우리나라의 소형모듈원자로 개발 현황

□ 경수형 SMR 개발 현황 요약

- 우리나라는 열출력 330MW인 일체형 경수로 SMR인 SMART를 개발하여 2012년 세계 최초로 표준설계인가를 받았으나, 국내 건설이나 수출은 실현되지 않음
 - SMART는 전력 공급과 해수 담수화 겸용으로 개발되었으며, 사우디아라비아에 건설하여 실증하기 위한 공동설계를 수행하여(사우디에서 1억 달러 투자) 경제성과 안전성을 더욱 향상시킨 SMART100을 개발완료하고 표준설계인가 획득 완료('24.9.26.)
 - 사우디 건설계획은 본격 추진되지 못하고 있으나, 공동 연구 및 수출 노력 진행 중
 - '20년대 말 SMART 실증 및 수출을 위해 캐나다, 사우디 등 해외 시장 진출 기회 탐색 중
- 국내 원전 기술을 집대성하는 혁신형 소형모듈원자로(i-SMR) 개발이 추진되고 있음
 - '20년 말 원자력진흥위원회에서 향후 8년간 i-SMR 개발에 약 4,000억 원을 투입하는 계획을 확정하고, '21.9월에 이 사업에 대한 예비타당성조사 신청
 - ※ 범국가적 기술개발사업으로 산업통상자원부-과학기술정보통신부 공동 예타 신청하여 현재 1단계 사업 진행 중 (1단계-설계완성: '23~'25, 2단계-인허가: '26~'28)
 - i-SMR은 일반 대형원전에 비해 중대사고 확률을 1/1,000 이하로 사실상 배제하면서도 대형원전에 비견될 수준의 경제성을 확보하도록 개발 목표
 - ※ 안전성 목표: 노심손상빈도 $1.0 \times 10^{-9}/R \cdot Y$ 이하(일반 대형원전 $1.0 \times 10^{-5}/R \cdot Y$ 이하)
 - ※ 경제성 목표: 균등화발전단가 65 USD/MWh 이하 (태양광 106 USD/MWh, '20년 우리나라 기준)
 - SMART 기술을 바탕으로 미래시장요구사항을 i-SMR 혁신기술에 반영
(다음 쪽 주요특성 비교표 참조)

□ SMR 개발 관련 논의

- 주요 SMR 개발국가(미, 영, 프, 중, 러 등)는 SMR 조기시장선점을 위하여 20년대 초반부터 SMR 기술개발경쟁에서 상용화 경쟁으로 전환 중
 - 유럽(스웨덴, 체코, 루마니아등) 및 북미 시장에서 경수형 SMR 실증 및 건설사업 진행 중
 - ※ 스웨덴 바텐폴 사업('24.6월 최종 노형 2기 선정),
 - 체코 SMR 사업('24년 9월 롤스로이스 SMR 선정),
 - 루마니아 SMR 배치사업('24.10월 NuScale 첫호기 건설 위한 9,800만불 대출 승인)
 - 캐나다 달링턴 사업('28년 건설 완료, BWRX-300 4기 건설추진중)
 - AI연관 산업의 폭발적인 수요 증가에 따라 빅테크 기업(Meta, Google, Amazon)을 중심으로 20년대 안정적 저탄소 전력공급이 가능한 SMR 건설 촉진 사업 전개

- SMR 시장의 조기진입 및 시장선도를 위해 2020년말 건설 가능한 원자로, 30년대 시장 주도 원자로, 40년대 열 및 추진용 원자로등 체계적인 우리나라의 SMR 개발 전략 필요

※ 20년말 건설 가능 원자로: SMART100 ('24.9) 표준설계인가 완료

30년대 시장 선도 원자로: i-SMR ('28.12) 표준설계인가 획득 추진

- 탄소중립위원회의 '2050 탄소중립 시나리오'에 원전을 통한 전환 부문 감축이 계획되어 있는데, 재생에너지의 전력망 신뢰성 보장을 위해 SMR 기술이 더욱 확대되어야 함

- 운영 중 탄소가 발생하지 않는 발전원은 재생에너지와 원자력 밖에 없음

※ IPCC '지구온난화 1.5℃ 특별보고서' 기준 전주기 탄소발생량은 가스복합발전이 490g/kWh인 반면, 원자력과 태양광은 각각 12g/kWh 및 41g/kWh 수준임

- 태양광 및 풍력 발전 등 재생에너지는 기상 변화에 따라 발전출력이 수시로 변화하는 간헐성 문제가 존재

- SMR은 대형원전에 비해 부하추종운전 성능이 우수하고, 원자로의 운전여유도가 충분하여 원자로의 출력제어가 용이하며, 필요에 따라 가동 원자로 모듈 수를 제어하는 등 다양한 부하추종 운전전략이 가능(잠수함, 항공모함 등에서 출력조절 능력 입증)

- 금번 제11차 전력수급기본계획(2025.2.)에 SMR의 신규 건설(0.7 GW) 계획이 포함 되었음에 주목할 필요

- 현행 원자력 규제체계는 대형 경수로에 맞추어져 있어, i-SMR을 비롯한 다양한 미래형 원자로들은 개발 후 인허가 취득에 상당한 시간이 소요될 것으로 예측됨

- 미국은 자국내 SMR의 상용화를 위해 신형 원자로의 기술혁신 및 상용화 지원과 인허가 불확실성 완화 등을 위해, 초당적 협력으로 '원자력혁신역량법'(Nuclear Energy Innovation Capability Act of 2017, NEICA, 2018.9)과 '원자력혁신현대화법'(Nuclear Energy Innovation and Modernization Act, NEIMA, 2019.1) 제정

※ NEICA법 Section 3: 적용 전(pre-application) 및 적용(application)을 위한 인허가 심사 비용에 대해 비용분담보조금 제도를 만들어 인허가 비용 부담을 경감함

※ NEICA법 Section 958: SMR을 포함한 첨단 원자로의 혁신기술개발연구 활동 증진을 위해 민간 SMR 개발사업자가 국립연구소와 협력하여 국립연구소 부지 및 에너지부 부지에서 실증로를 건설할 수 있도록 지원하며, 민간사업자와 NRC와의 기술 및 지식 교류를 통해 첨단원자로의 기술 및 안전성 실증에 대한 협력 및 이해를 높이도록 함

※ NEIMA법 Section 103: 예측 가능하고 효율적이며 적기에 인허가 심사가 이루어질 수 있도록 원자력규제위원회(NRC)의 규제개선을 법으로 공식화함. 특히, 2027년 12월 31일 까지 원자력규제위원회는 신형원자로 인허가 신청자를 위한 신기술이 반영된 규제체계를 수립하도록 명시함

〈SMART와 i-SMR의 주요 특성 비교〉

계통/기기	SMART	i-SMR	기술 분류
핵연료/노심			
핵연료봉	UO ₂	UO ₂ (신형 핵연료 개발)	신기술
가연성독봉	B ₄ C, Gd ₂ O ₃	B ₄ C, Gd ₂ O ₃ (핵연료 내재형)	신기술
제어봉	B ₄ C	B ₄ C	동일기술
핵연료집합체	17×17 사각집합체	17×17 사각집합체	동일기술
제어봉구동장치	외장형	내장형	신기술
반응도 제어 봉산(액체)	사용	미사용	신기술
원자로계통			
원자로 배치	일체형원자로	일체형원자로	동일기술
원자로냉각재펌프	캔드모터펌프	캔드모터펌프(내장형)	개량기술
증기발생기	나선-관류형 증기발생기	나선-관류형 증기발생기	개량기술
가압기	증기가압기	증기가압기	동일기술
원자로용기 제작	기존 용접 방식	전자빔 용접	신기술
안전계통			
원자로비상정지	제어봉+안전주입+다양성	제어봉+반응도주입	개량기술
잔열제거계통	2차측 피동잔열제거	2차측 피동잔열제거	동일기술
안전주입계통	CMT, SIT (3일)	재순환밸브	신기술
격납용기냉각계통	IRWST 방출+열교환기	철제격납용기 표면	신기술
격납용기(물리적 방법)	콘크리트 벽체(철제라이닝)	철제격납용기+원자로건물	신기술
제어/보호/감시/운전			
원자로보호계통	RPS	MPS/PPS	신기술
공학적인안전설비작동계통	ESFAS	MPS/PPS	신기술
원자로제어계통	RRS	MCS	개량기술
플랜트제어계통	PCS	PCS	개량기술
제어실	1 MCR/Unit	1 MCR/4 Modules	신기술
운전원 수	4인/MCR	3 /MCR	신기술
부하추종	일일 부하추종	강화된 탄력운전	개량기술
종합설계/보조계통/터빈발전기			
터빈발전기	증기 터빈발전기	증기 터빈발전기	동일기술
주증기/급수계통	랭킨 사이클	랭킨 사이클	동일기술
화학및체적제어계통	수화학/봉산/체적 제어	수화학/체적 제어(모듈화)	개량기술
전력계통	안전/비안전 계통	비안전 계통	신기술
사용후핵연료 냉각방식	수냉각	수냉각	동일기술
원자로용기 배치	1 Rx/Unit	4 Modules/Unit	신기술
순차적 모듈화 가능	불가능	가능	신기술

(부록 8) 원자력에 의한 청정수소 공급

가. 수소경제 관련 국내외 동향

- (해외동향) 해외 주요국은 수소생산과정에서 탄소배출 없는 청정수소 중심의 로드맵을 발표함
 - EU 및 유럽 주요국과 호주 등은 청정수소 중심의 수소경제 전략 발표: 10년 내 청정 수소 설비 규모가 약 100~200배 성장하여 20~40GW 규모의 생산 능력 확보 예상
 - EU 집행위원회는 수소전략(2020.7)을 통해 2030년까지 청정수소 수전해 설비에 420억 유로(약 57조 원) 투자 발표
 - Hydrogen Europe은 'Hydrogen 2030: The Blueprint (2020.6)'을 통해 2030년 유럽 수소로드맵 달성을 위해 4,300억 유로(약 580조 원)의 투자와 1,450억 유로(약 196조 원)의 공적지원이 필요한 것으로 분석
 - 미국 바이든 행정부는 청정에너지 계획 공약(2020.07)으로 청정수소 사용 확대와 수전해 등을 활용한 청정수소 생산 추진 계획 발표
- (국내 동향) 2019년 수소경제 활성화 로드맵을 통해 수소경제 선도국가 도약 계획을 발표했으나, 에너지 안보, 경제성 확보 및 기후변화 대처에 유리한 방안 마련이 필요함
 - 2030년 재생에너지를 활용한 청정수소 생산 잠재량은 21만 톤 수준으로, 예상되는 수요(194만 톤/년)의 10.8%에 수준에 불과하여 대부분 해외로부터 수입에 의존할 수밖에 없어 에너지 안보에 불리
 - 국내의 높은 재생에너지 발전 비용으로 청정수소 생산의 경제성 확보가 어려움
 - ※ '30년 정부의 수소 판매 가격 목표는 4,000원/kg으로 생산단가 최소화 필요
 - 2040년 공급목표량의 30%인 연간 157만 톤의 수소를 수소추출로 공급할 경우, 이산화탄소 발생량은 1,250만 톤으로 기후변화 대처에 불리

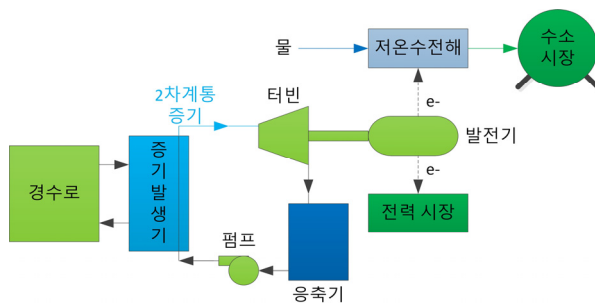
〈정부 수소경제활성화 로드맵('19)상의 수소 수요 및 공급방식〉

구 분	2018년	2022년	2030년	2040년
공급량(수요량)	13만톤/년	47만톤/년	194만톤/년	526만톤/년 이상
공급 방식	①부생수소 1% ②추출수소 99%	①부생수소 ②추출수소 ③수전해	①부생수소 ②추출수소 ③수전해 ④해외생산 ※ ①+③+④ 50% ② 50%	①부생수소 ②추출수소 ③수전해 ④해외생산 ※ ①+③+④ 70% ② 30%
수소 가격	(정책 가격)	6,000원/kg (시장화 초기가격)	4,000원/kg	3,000원/kg

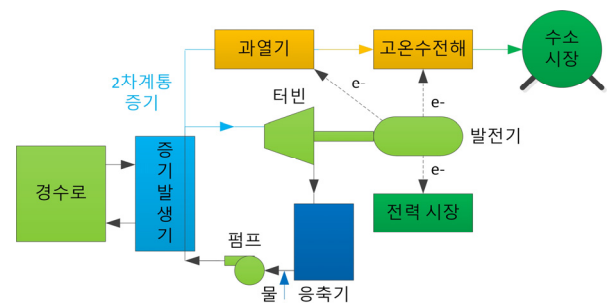
나. 원자력 이용 수소생산 기술

□ 원자력을 이용한 수소생산 기술 개요

- (경수로 이용) 원자력발전소에서 생산한 저렴한 전기를 사용하거나, 전기와 열을 함께 사용하여 수소를 생산하는 기술임
 - (저온 수전해) 100℃ 이하에서 물을 전기분해 하는 방식으로 Alkaline, PEM 등의 MW급 상용화 기술 존재
 - (고온 수전해) 650℃ 이상에서 고온의 수증기*를 전기분해하여 수소생산 효율을 높인 방식으로 SOEC(Solid Oxide Electrolysis) 기술이 상용화 초기 단계
- ※ 경수로의 열로 증기를 생산하고 이를 전기로 가열하여 650℃ 이상으로 가열

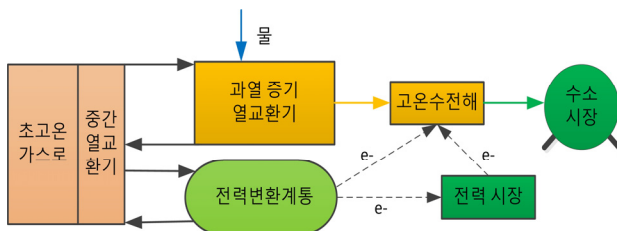


〈경수로 저온 수전해 수소 생산〉

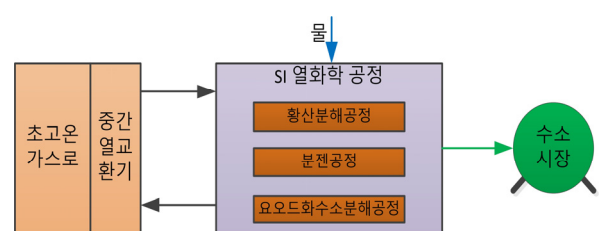


〈경수로 고온 수전해 수소 생산〉

- (초고온가스로(VHTR) 이용) 초고온가스로의 초고온열을 수소생산 공정에 사용하여 효율을 향상시키는 기술임
 - (고온 수전해) 초고온가스로가 생산한 고온증기를 고온수전해 공정에 공급하여 수전해수소를 생산하는 방식
 - (SI 열화학공정) 황산분해공정, 요오드화수소 분해공정, 분젠공정에 이용하여 물을 열화학 분해시켜 수소를 생산하는 방법으로 초고온 에너지 필요



〈초고온가스로 고온 수전해 수소 생산〉



〈초고온가스로 SI 열화학 수소 생산〉

□ 국내외 원자력 활용 수소생산 기술개발 현황

- 고효율 수소생산이 가능한 고온가스로 위주 연구가 진행돼 왔으나, 최근 수소경제 가시화에 따라 상용원전을 활용한 경제적 수소 대량생산에 관한 연구도 활발히 진행 중임
- (미국) 단기적으로 가동원전을 이용한 수소생산 실증을 지원하고, 장기적으로는 더 경제적인 수소생산에 활용할 수 있는 초고온가스로의 개발 및 실증을 추진함

- 미국 에너지부(DOE)는, Idaho National Lab 주도로 3개의 원전운영사(Xcel energy, Energy Harbor, APS)가 운영 중인 경수로 원전을 활용하여 수소생산을 실증하는 공동 연구를 지원
 - ※ DOE는 수소생산 실증을 위해 초기 자금 총 1,140만 달러 규모 지원
 - 미국 뉴욕주 Constellation의 나인마일포인트 원전에서 1MW 규모 PEM 원자력 청정 수소 생산 가동 착수
 - 블룸에너지와 퓨얼셀에너지사는 INL과 공동으로 가동원전에 설치할 각 사의 100kW급 이상의 고온수전해 모듈 성능 시험 완료
 - 2025년 1월 미국정부는 원자력 수소에 IRA 세액공제를 지급하는 가이드라인 발표
 - NuScale사는 Idaho National Lab.과 NuScale 원자로를 이용한 수소생산 타당성 연구를 통해 대규모 수소생산의 가능성 확인
 - X-energy는 초고온가스로를 이용한 Off-grid 지역의 수소생산 연구를 Canadian Nuclear Lab과 진행 중 (초기 80 M\$ 지원, 7년간 1.6 B\$ 투자)
 - Energy Infrastructure Act 법제화(2021.8)를 통해 수소 연구개발비 지원 예정
 - 장기적으로 수소 생산 효율 최적화를 목적으로 경수로-고온수전해와 초고온가스로를 연계하는 기술 개발
- **(프랑스)** 프랑스 정부는 70억 유로 규모의 원자력에너지를 포함한 청정수소 생산 정책을 2020년 9월에 발표하였고, 원전 운영사인 EDF는 영국의 가동원전을 이용한 수소생산 기술 개발과 사업화를 추진 중임
- EDF는 2019년 원자력과 재생에너지를 이용한 수소생산을 위해 자회사 Hynamics를 설립
 - H2H(Hydrogen to Heysham) 컨소시엄을 통해 영국 Lancashire 원전에서 수전해 수소 생산시설 실증을 추진 중이며, 영국 Sizewell C 원전에 수소생산 파트너 확보 중
- **(영국)** 수소전략보고서(2021.8)를 발표하여 2030년까지 5GW 규모의 저탄소 수소생산 설비 확보하는 데 원자력을 최대한 활용할 예정임
- 저탄소 수소생산설비의 상업화를 위해 2억 4천만 파운드의 탄소제로 수소 기금(Net Zero Hydrogen Fund)을 조성하였고 원자력 수소를 청정수소에 포함
 - 롤스로이스가 개발 중인 중형원자로 12기를 2020년대 후반까지 배치하여, 전기와 수소를 생산할 계획이며, 여기서 생산한 수소는 합성항공유 생산에 투입할 예정
 - 영국 BEIS(산업부)는 2021년 7월에 수소생산에 효율적인 초고온가스로형 소형모듈 원자로 개발 계획을 발표
 - ※ 영국 NNL은 일본 JAEA와의 국제협력으로 고온가스로 및 TRISO 제조시설 개발 중

- **(폴란드)** 현재 공정열을 생산하는 석탄플랜트를 고온가스로 대체하는 연구를 수행 중이며, 장기적으로 수소생산에 활용할 계획임
- **(러시아)** 러시아 정부는 2024년까지 ROSATOM의 원자력수소가 포함된 수소에너지 개발 계획을 승인함
 - 단기적으로 경수로 잉여전력을 활용한 수전해 생산 기술 개발
 - 장기적으로 초고온가스로의 열에너지와 탄소포집을 사용한 LNG 개질 기술 개발
- **(일본)** 1969년에 초고온가스로 개발을 착수하였으며, 2010년에 세계 최초로 초고온 시험로(출구온도 950℃)의 50일 연속운전에 성공
 - 미쓰비시社 요청으로 2030년까지 초고온가스시험로와 LNG 개질 공정을 연계한 수소 생산 실증 연구를 수행
 - 초고온시험로와 SI 열화학공정을 연계한 수소생산 실증은 장기적인 연구개발로 '40년까지 완료할 계획
- **(중국)** 2021년 8월에 세계 최초로 초고온가스로 HTR-PM 운영허가를 획득
 - 수소 생산에 적용성을 실증하기 위해 원자로 출구온도를 기존 750℃에서 950℃로 높이는 연구를 수행 중
 - 칭화대, CNNC, 철강산업체는 철강 제조 분야에 활용할 수 있는 원자력 수소 생산 기술 개발 협력을 추진 중
- **(한국)** 2004년부터 한국원자력연구원을 중심으로 초고온가스로를 활용한 물 분해 수소 생산 기술을 개발해옴
 - 2006년부터 원자력수소핵심기술 개발을 수행하여 원자력수소의 주요 핵심 기술을 확보하고, 수소 생산을 위한 SI 열화학공정의 연속운전 가능성을 확인
 - 2020년부터 초고온시스템 핵심기술 과제를 수행하여 수소생산에 활용 가능한 초고온 시스템 성능평가 기술, 재료성능 검증 기술, 고온수전해 연계기술을 개발하고 있고 2024년에 POSCO홀딩스와 공동으로 헬륨루프 연계 2Nm³/hr 규모의 고온수전해 수소 생산 성공
 - 산·학·연 협력을 통한 원자력 수소생산 기술 협력 추진 중
 - ※ 한국원자력연구원은 2020년 현대엔지니어링과 USNC社와 초고온가스로 개발을 위한 MOU를 체결했고, 2021년 현대엔지니어링, POSTECH, POSCO, 경상북도, 울진군 등과 원자력활용 고온 수소 생산 기술의 개발, 실증, 상업화를 위한 MOU를 체결, 2023년 8월 POSCO E&C, 롯데케미칼, SK에코플랜트, 경상북도 등과 원자력열이용협의체 설립, 2024년 6월 POSCO E&C와 고온가스로 개발을 위한 MOU 체결. 2024년 7월 POSCO E&C, SK에코플랜트, 롯데케미칼 등과 고온가스로 설계 민관합작사업 착수

□ 국내 원전과 연계한 수소생산 방안

- 원자력을 활용한 청정수소 생산방안이 에너지 안보와 경제성을 담보하면서 탄소중립과 수소경제를 달성하기 위한 최적의 수단을 제공함
 - 상온 수전해에 의한 수소 생산 비용이 태양광은 약 8,000원/kgH₂, 원자력은 약 3,800원/kgH₂인 것으로 평가
 - ※ 태양광 이용률 15%, 원자력 이용률 85%, 수소 1kg 생산 전력소요량 51kWh/kg 적용
 - ※ 고온수전해 적용 시 전력소비량 약 30% 절감
- 가동원전을 이용한 청정수소 생산기술 개발의 조속한 착수가 필요함
 - 상용화 개발기간과 투자규모를 고려하여 단기간에 기술을 개발하여 적용할 수 있도록 가동원전을 활용한 저온 수전해 수소 생산 기술을 우선적으로 개발하고, 향후 고온 수전해 공정을 적용시켜 수소생산 효율을 높이는 방향으로 추진
 - 한국수력원자력은 2027년부터 울산 울주군 새울 원전 근처에 10MW급 저온수전해 시설을 구축하여 울산 수소 배관에 원자력수소 공급 실증을 착수할 계획
 - 경북 울진군과 전남 영광군도 원자력수소 산단 유치 추진
 - 장기적으로 초고온가스로를 활용하여 수소 생산 효율을 더욱 향상시킬 수 있는 기술 개발을 병행
- 원자력 기술과 수소경제 활성화 로드맵을 연계하여 청정수소 대량 생산을 위한 실효성 있는 방안을 마련함
 - 원자력을 활용한 수소생산 기술 상용화를 통해 정부가 목표하는 수소 공급량과 가격을 충분히 만족시킬 수 있는 대량 청정수소 생산 체계 확보
 - 수소기술개발로드맵(2019.10)의 생산 분야 미래형 기술로 분류된 초고온가스로와 기존 경수로의 저렴한 전기를 활용하여 대규모 청정수소 생산 기술 실증에 활용
 - 2022년부터 도입 예정인 수소발전의무화제도(HPS)와 함께 도입 검토 중인 청정수소 생산 판매 의무화와 공공기관 수소 활용 의무화도 충실하게 이행할 수 있도록 지원
 - 실효성 있는 세계 최고 수준의 국내 원전산업을 수소 산업에 적용하여 수소 관련 산업을 육성하고 국제적으로 수소경제를 선도

□ 기대 효과

- 경제적인 청정수소의 대량 국내 생산으로 탄소중립 달성에 기여할 수 있음
 - 기존 LNG 추출을 통한 수소 생산을 대체하여 이산화탄소 발생을 감축하고, 생산된 수소를 에너지 저장수단으로 LNG 발전을 대체하며, 에너지 운반체와 수소 환원제철 등에 활용하여 2050 탄소중립 달성에 기여

※ APR1400 2기 해당 원전 용량으로 수소생산 시 LNG 개질 통한 생산 대비 약 330만톤 이상 탄소 감축 가능(추출수소 1kg 생산 시 이산화탄소 발생량은 8.6kg 수준)하며, 향후 기술개발을 통한 효율 향상으로 감축량 20% 이상 증가 전망

- 재생에너지 간헐성 보완 및 전력계통 안정성 향상에 기여함
 - 재생에너지의 확대에 수반되는 출력변동에 대응하여 잉여전력 발생 시 원전에서 생산한 전력 중 일부를 활용하여 에너지저장 수단으로 수소를 생산하고, 이후 피크 발생 시에 저장된 수소를 전력원으로 활용함으로써 전력계통의 안정성 향상
- 에너지 비축능력 향상으로 에너지 안보를 강화함
 - 에너지 비축능력이 뛰어난 원전과 연계하여 에너지안보 측면에서 유리
- 수소 및 원전 산업 국제 경쟁력 제고에 기여함
 - 세계 최고 수준의 국내 원전산업 기술을 수소 산업에 적용하여 국제적으로 수소경제를 선도할 수 있고, 원자력 발전의 적용 기술 확대로 원전의 수출 경쟁력 제고
- 수소경제 활성화 목표 실현을 촉진함
 - 청정수소 생산의 경제성을 확보하고, 수소의 저장, 공급, 다목적 활용 등 추가적인 사업모델을 통한 부가가치 창출로 수소경제 실현을 촉진

(부록 9) 방사선 기술 및 산업

가. 방사선 기술 개요

□ 방사선 기술 및 산업의 분류

○ 방사선 기술은 다음과 같이 분류할 수 있음

기능	분 류		적 용 예
방사선 발생	방사성 동위원소 생산	연구로	중성자를 조사하여 중성자 과잉 입자 생성 의료, 산업용으로 넓게 사용
		가속기 (사이클로트론 등)	양성자, 중양자 등을 조사하여 양성자 과잉 입자 생성 방사성의약품에 적용 범위가 넓음
	방사선 발생기기		인위적인 상호작용 등의 반응을 통해 방사선 발생 - 중성자 발생기, X-ray 발생기, 가속기 등
방사선 이용	방사선조사		산업소재 - 소재물성 개선, 우주·반도체 등 첨단소재 살멸균 - 농축산물, 목재, 미술품의 살균 및 멸균 육종 - 농업분야의 신품종 개발
	방사선 이용 기기		영상기기 - 의료용 영상장치 및 산업용 영상장치(비파괴) 보안기기 - 극초단파 전자파 이용 공항검색장비 등 방사선 발생기기/계측기 - 입자선/엑스선 발생장치, 방사선계측기
	방사선의학		기초방사선 - 방사선생물학, 방사선화학, 의학물리 임상방사선 - 방사선 종양학, 핵의학, 영상의학

○ 방사선 산업은 일반적으로 다음과 같이 분류함

대분류	소 분 류	내 용
방사선 기반기술 산업	방사성동위원소 산업	원자로나 가속기를 이용하여 방사성동위원소를 생산하는 산업
	방사선 발생기기 산업	전자선, 엑스선 등 방사선을 인공적으로 발생시키는 기기를 만드는 산업. 분류 방법에 따라 대형기기/소형기기, 입자발생/광자발생, 산업용기기/의료용기기로 분류할 수 있음
	방사선 계측기기 산업	방사선을 계측하기 위한 소재, 소자, 기기 또는 시스템을 만드는 산업
방사선 응용기술 산업	신소재 산업	방사선을 조사하여 무생물의 물성을 변화시켜 형질을 변화시키거나 새로운 소재를 만드는 산업
	생명공학 산업	방사선 조사로 발생하는 생물의 화학적 또는 유전적 변화를 응용하는 산업
	분석·검사 산업	방사선을 이용한 비파괴 검사나 성분 분석 등과 관련된 산업
방사선 의료기술 산업	영상기기 기술 산업	방사선을 영상 신호화하여 활용하는 것과 관련된 산업 분류 기준에 따라, 1차원/2차원/3차원, 엑스선/감마선/중성자선, 산업용/의료용 등으로 분류할 수 있음.
	핵의학 산업	방사성동위원소를 이용하여 신체의 해부학적 또는 생리학적 상태를 진단·평가하거나 치료하는 것과 관련된 산업 표지화합물 관련 산업, 진단 및 치료 관련 신기술의 활용 등
	방사선 치료 산업	의료용 가속기나 동위원소에서 발생하는 방사선을 환자에 쏘여 치료하는 산업. 엑스선 치료, 입자치료, 근접치료 등이 여기에 속함
방사선 의료기술 산업	영상 의학 산업	방사선을 이용한 진단이나 치료를 위해 영상을 합성하거나 분석하는 기술과 관련된 산업

□ 방사선 기술의 역할

- 방사선과 물질과의 상호작용을 기반으로 하는 방사선 기술은 그 특성상 다양한 분야에 응용되어 왔으며, 생명공학기술(BT), 환경공학기술(ET), 정보통신기술(IT), 우주항공기술(ST) 등 타 분야와 융합을 통해 고부가가치를 창출해왔음
- 우리나라는 방사선 기술의 활용성이 높고 연구기반이 있는 의료 및 농·생명 분야를 중심으로 소재·환경 등 다양한 분야의 기술개발을 지원하여 역량을 확보함
- 한국원자력연구원 등에 구축된 대형연구시설을 활용하고 있음



[국내 대형 방사선 인프라 현황]

□ 방사선 기술 및 산업 동향

- 「방사선 및 방사성동위원소 이용진흥법」에 따라, 원자력진흥종합계획 및 방사선진흥계획 수립 등 정책을 마련하고 투자 유지
 - 방사선기술개발사업(1997년~2019, 일몰), 방사선연구기반확충사업(2011년~2018, 일몰)
 - 제2차 방사선 진흥계획(2017년~2021) 고성장이 예상되는 분야를 중심으로 신산업 발굴, 지속가능한 성장을 위해 필요한 핵심 원천기술 확보 및 기술 국산화 계획
 - 미래원자력기술 발전전략(2017.12) 그간 발전(發電) 분야 중심으로 축적된 원자력 역량을 비(非)발전 분야로도 활용을 확대하는 원자력 R&D 혁신 추진 중

- **고령화 및 암 발병률의 증가와 의료 패러다임 변화로 인해 방사선 의료 산업도 성장**
예상(2015년 35.3조 원 → 2030년 79.9조 원 전망)
 - 연간 방사선기술을 이용한 진단 건수는 1,500만 건에 이릅니다
 - 연간 8만 2천 명 정도가 방사선을 이용한 종양 치료를 받고 있으며, 그 수는 매해 5% 정도씩 증가하고 있음
- **전 세계적으로 개방과 융합을 통한 혁신형 기술개발이 확대됨에 따라 첨단 기술과 융합한 방사선 이용 기술들이 주목받고 있음**
 - IT소재, 에너지 저장소재 등의 **신소재 개발**, 차세대반도체 제조, 초정밀 가공제품 품질 관리 등의 **공정기술과 방사선 기술을 융합**
 - ※ 이온빔 처리기술 등 방사선 조사를 활용한 전기차·차세대반도체 부품소재 개발, 방사광 가속기 등을 활용한 초정밀 진단 공정 등
 - **인공지능, 고정밀 센서를 활용하여 부작용의 최소화, 치료시간 단축, 정밀 진단 및 치료 등 방사선 의료기술의 고도화 진행 중**
 - ※ 인공지능 기반 방사선치료 솔루션, 면역항암제 등 차세대 암 치료 기술과 방사선 치료 기술융합, 나노기술 기반 동위원소 치료제 운반체 개발 등
- **4차 산업혁명, 사회적 변화(대외정세, 고령화 등)에 따라 제조업, 의·생명 산업 혁신이**
요구되고 있으며, 이에 따라 방사선 활용 시장*의 동반 성장 전망
 - ※ 산업소재·방사선기기·의료 분야가 세계 방사선 이용시장의 75% 이상
 - ※ (세계 방사선산업 시장규모) 2019년 1,282억 달러 → 2024년 1,815억 달러로 확대 전망
(국내 방사선 이용 경제) 2012년 14.8조 원 → 2018년 20.8조 원(연평균 5.8% 증가)
- **자동차, 에너지, 의료시장 등 기존 기술·산업 환경 변화 따라 미래시장 선도를 위한 각**
분야별 핵심 소재시장 확대
 - ※ **(방사선소재시장)** '20년, 전세계 시장 240조 원, 국내 1.7조 원 규모로 확대 전망
- **국내의 제조, 의료, 바이오산업 등의 방사선기술 이용 및 관련시장은 성장 추세이나 원천**
기술을 기반으로 한 자체 생산·제조는 미흡
 - 비파괴검사 업체를 포함하여 4만 9,000여 기관 및 업체가 방사성동위원소 또는 방사선 발생기기를 이용
 - 약 14만 6,000명이 방사선 이용기관이나 산업체에 종사
 - 2015년 방사선 제조기업 74개 중 30인 이하 43개, 매출 50억원 이하 29개로 대부분 영세
 - ※ 국내 방사선 및 RI 이용기관: 37,931개(2012) → 48,182개(2018)(연평균 4.3% 증가)

- 방사선제품 수입량은 지속적으로 증가하는 반면, 생산량은 불안정한 상태를 보여 국내 자급률 향상을 위한 기술 개발과 산업화를 위한 정책적 변화가 필요

□ 방사선 기술 및 산업 진흥 대책

○ (산업) 방사선이용 시장 성장세에도, 원천기술 보유 기업 부족

- 주무부처인 과기정통부의 방사선기술 관련 사업은 사업화 이전 연구개발 단계 사업 (TRL 7단계 이하)에 집중되어 있으며 **사업화 관련 사업은 일몰되었거나 타 부처에 비해 미미한 수준**
- 방사선 산업체가 이전받은 기술의 사업화 성공을 위해서는 추가적인 기술 개발, 예산 및 인력 지원 등을 필요로 하나 **국내 방사선 산업체의 대부분은 중소기업 혹은 영세 규모로 이루어져 있어, 이에 대한 자체 투자가 어렵고 더욱이 관련 정부지원 사업이 부족하여 외부지원을 받기도 어려움**
- 이로 인해 기술을 이전받은 기업이 기술을 상용화 하는 단계까지 필요한 투자와 지원을 확보하지 못하는 경우가 많아 **사업화를 포기하거나 사업화가 지연되는 경우 발생**
- ⇒ 방사선 이용 시장의 대부분을 차지하는 **소재·의료 산업 핵심 원천기술관련 기업의 기술 산업화를 위한 고부가가치 창출 지원 필요**
- ⇒ 기업체 자금지원을 위한 투자자 연결, 금융상품 혹은 기술보증 등 방사선 산업체를 위한 **정부 금융지원책 검토 필요**

○ (기술) 다양한 분야들에 대한 연구역량 확보 위주의 연구개발 추진

- ⇒ **산발적 연구개발 지원을 통한 공급자 역량 확보** 관점에서 벗어나, **산업 수요 혹은 사회적으로 해결할 문제 중심(Flagship Area)으로 연구역량(기초, 응용, 실용화, 사업화, 인프라 활용과 구축, 연구인력 등)을 종합 배치하여 사업간 연계성을 높이고 사업의 효과를 극대화하는 필요**

○ (사회) 대외정세 변화, 고령사회 진입 등 현안에 대한 적기대응 필요

- ⇒ 방사선 기술을 적용하여 **핵심소재 등의 자립화를 조기 달성하고, 의·생명분야의 기술도약이 가능한 R&D에 대한 전략적 지원 필요**

○ (규제) 방사선은 원자력안전법에 의거하여 까다로운 규제를 받고 있으며 이는 방사선 기술개발 및 사업화의 걸림돌로 작용하고, 규제 기준이 과거기술 수준에 맞추어진 경우가 대다수로 신기술 개발에 맞는 규제 개선이 느림

- 2018년 방사선 및 방사성동위원소 이용실태조사에서 진행한 설문조사를 살펴보면 산업체의 방사선(RI/RG)에 대한 이용이 감소한 이유로 **까다로운 법적 요구사항 (33.3%)을 들었으며 향후 이용 전망에 대해서도 변화가 없거나 감소할 것이라는 의견이**

88% 이상이었음. 또한 방사선 이용진흥을 위해서는 **각종 규제제도의 변화가 필요하다는 응답이 전체의 45.7%였음**

- 정부 부처 내에 분산되어 있는 원자력/방사선 안전 관련 법령을 일원화해서 모순되거나 누락된 규제 기준을 개정하고 효율적인 안전규제 체계를 확보하여 국민의 안전과 사업자의 영업활동 보장 필요
 - ※ 부처 간 관리의 중복과 기준 혼선 : 병원의 경우, 방사선치료와 방사선진단으로 분리되어 원자력안전위원회와 보건복지부가 별도 관리함
 - ※ 현재 월성원전이나 후쿠시마 오염처리수에서 중요한 삼중수소의 경우, 국내 음용수 기준이 마련되어 있지 않고 보건복지부 법령에 제한적인 '염지하수'라는 단 한 가지 항목에 대해서만 국제적으로 인정되지 않는 매우 낮은 기준치를 제시
- 원자력안전법에서 방사선이용 분야 사용자들에 대한 과도한 규제 해소 필요
 - ※ 원자력안전법이 원자력발전소를 기준으로 작성된 이후, 일부 보완이 되어 왔으나 방사선 이용 분야에서 적절한 규제기준을 마련하지 못하고 원자력발전소에 적용되는 규제기준을 준용함으로써 사용자들에게 과도한 규제 부담을 가하고 있음
 - ※ 방사선이용과 관련한 적절한 안전규제 기준이 마련되지 못하는 것은 방사선이용 산업을 위축시키고, 새로운 방사선 이용 산업 태동의 가능성을 제한하고 있음

○ **(방사성 폐기물)** 방사선분야의 기술개발, 제품생산, 및 폐기과정 등에서 발생하는 방사성 폐기물을 처리하는 것이 중요한 문제이나 현재 국내에서 일부 기업이나 대형기관을 제외하고는 **방사성폐기물 처리 및 처분은 매우 어려운 문제로 여기고 있음**

- 방사성동위원소 이용기관에서는 다양한 종류의 중저준위 방사성폐기물이 발생하며, 규모가 크지 않은 기업이 **현재 인수기준(처분장 처분기준과 거의 동일한 수준)을 만족시키는 것은 현실적으로 어려운 실정**
- 예를 들어, RP 폐기물 중 동물사체, 폐밀봉선원, 유기폐액, Tc-99m 제너레이터 폐 컬럼 등은 발생기관에서 처분사업자에게로 인도가 불가능하다고 어려움을 호소

○ **(기장 연구로 사업)** 2012년부터 부산시 기장군에 15MW 출력의 수출용 신형연구로를 건설하는 사업이 진행 중

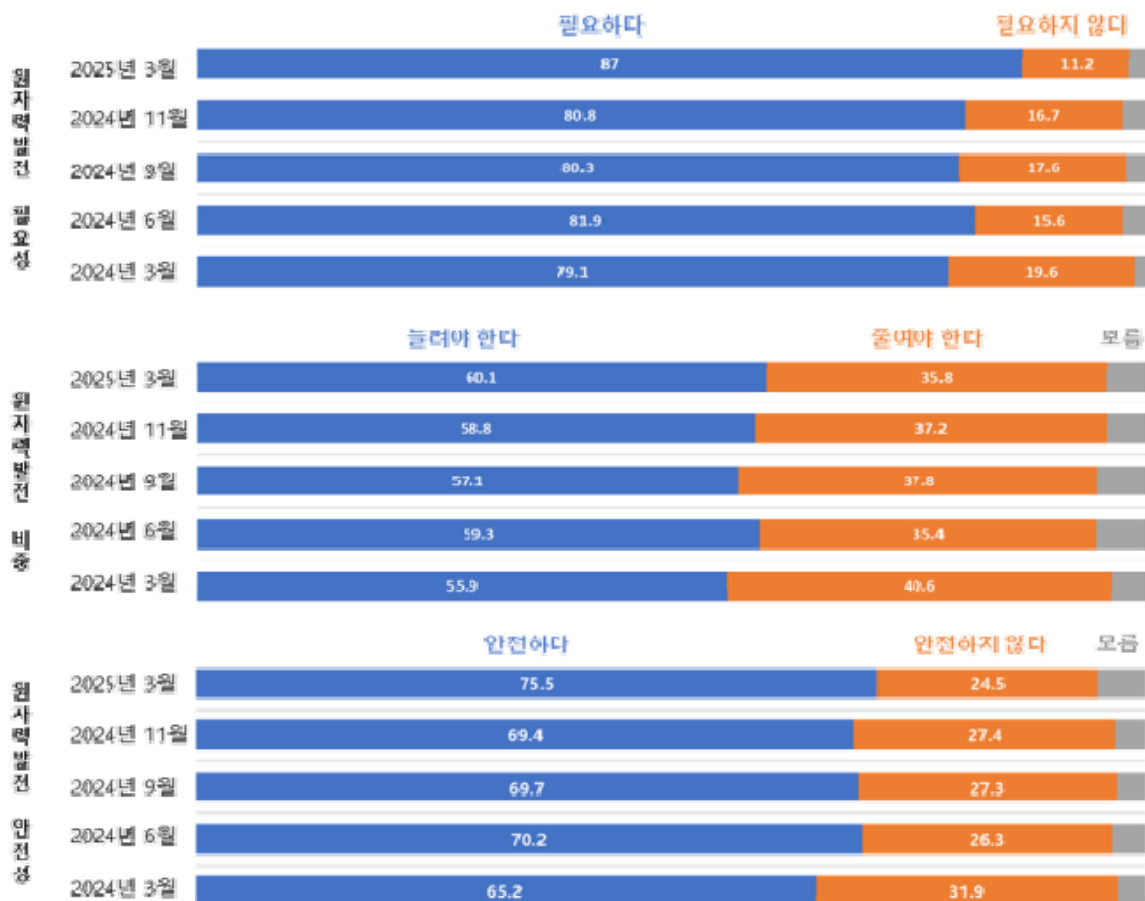
- 기장연구로 건설 목표는 Tc-99m 등 진단과 치료에 사용되는 방사성동위원소의 자급률 향상과 전력반도체용 소재 생산 능력 향상을 통한 전력반도체 분야 발전
- 2019년 5월에 건설허가 취득, 2027년 4월 첫임계 달성 계획

(부록 10) 원자력 발전에 대한 국민 인식조사 결과

□ 한국에너지정보문화재단은 여론조사 전문기관에 의뢰하여 2024년 총 4회 (3월, 6월, 9월, 11월), 2025년 1회 (3월)의 ‘에너지 국민인식 조사’를 실시하였음. 가장 최근인 2025년 3월에 실시된 조사의 주요 결과는 다음과 같음.

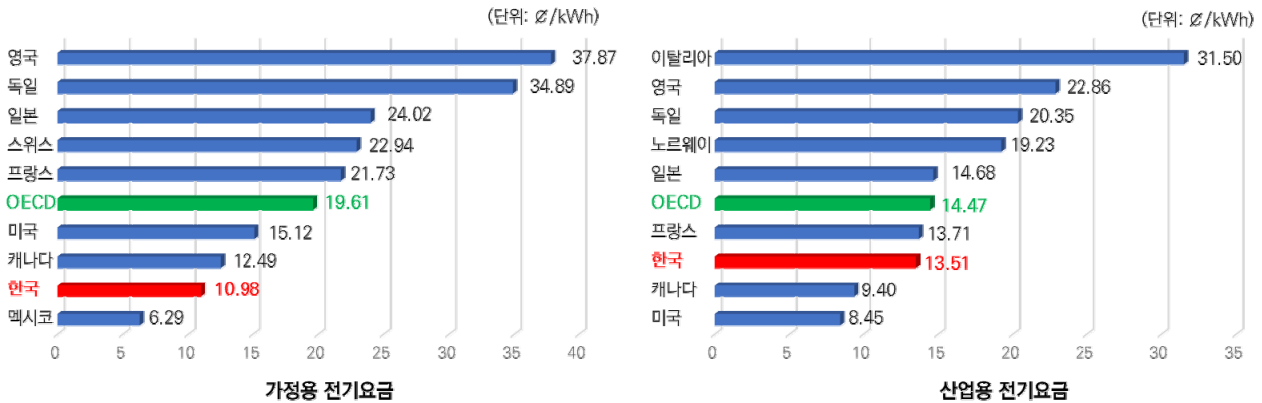
- (원자력 발전 필요성) 2024년, 2025년 조사에서 일관되게 국민 10명 중 8명은 원자력 발전이 필요하다고 인식하고 있으며, 2025년 3월에 실시된 조사에서는 87.0%가 원자력 발전이 필요하다고 인식하고 있고, 필요하지 않다(11.2%)는 응답보다 7배 이상 높은 것으로 조사되었음.
- (원자력 발전 비중) 원자력이 차지하는 발전량 비중을 늘려야 한다는 의견은 60.1% (대폭 증가 25.0%, 소폭 증가 35.1%)로 줄여야 한다는 의견 35.8% (소폭 감소 23.7%, 대폭 감소 12.1%)보다 월등히 높은 것으로 조사되었음. 특히, 18세~20대 젊은 층에서는 64.9%가 원자력 발전량을 늘려야 한다고 생각하는 것으로 나타났음.
- (원자력 발전 안전성) 원자력 발전이 안전하다고 생각하는 의견이 75.5% (안전하다에 매우 동의 20.3%, 동의 55.2%)로 안전하지 않다고 생각하는 의견 24.5%(안전하다에 부동의 19.3%, 매우 부동의 5.2%)보다 3배 이상 높게 조사되었음.

[2024년 조사의 주요항목 결과 요약]



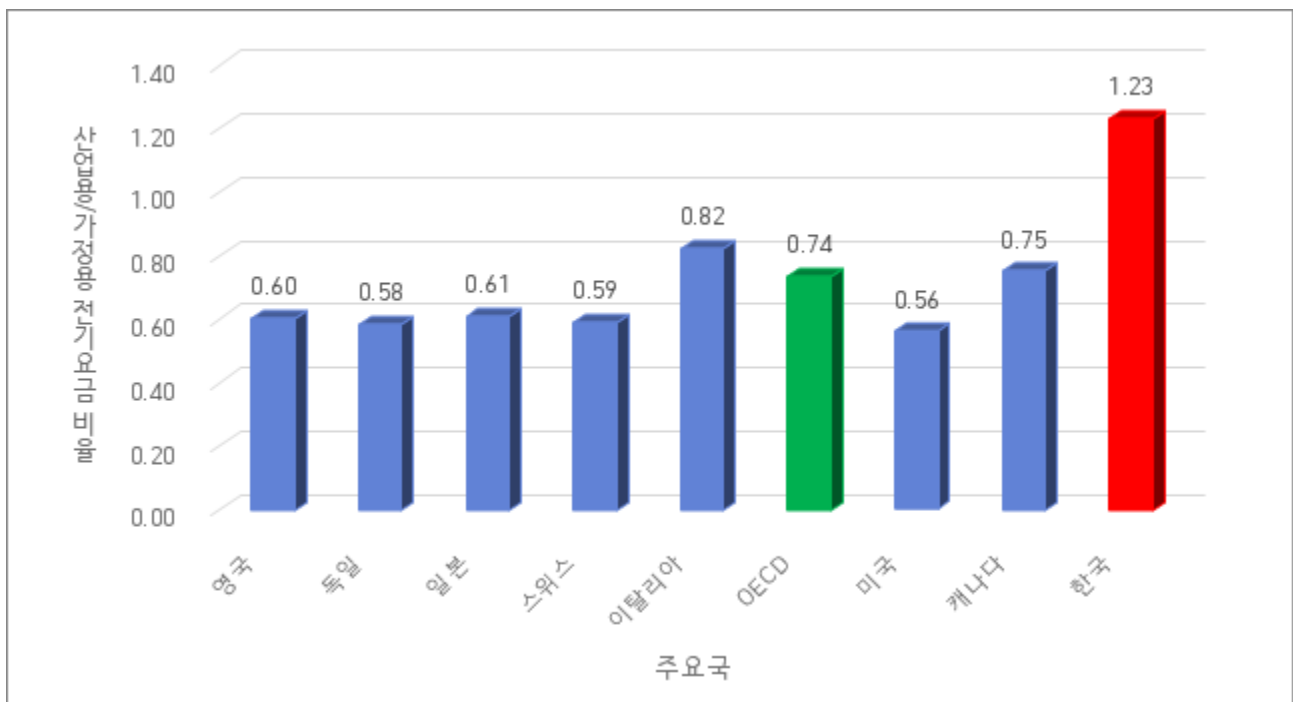
(부록 11) 주요국 전기요금 비교³⁹⁾

- OECD 국가 전체의 평균을 100이라 할 때, 한국의 가정용 전기요금은 56, 산업용 전기요금은 93정도임



〈OECD 국가들의 가정용·산업용 전기요금 비교〉

- 대한민국의 가정용 대비 산업용 전기요금 비율은 약 123%로 산업용 전기요금이 가정용 보다 비싼 소수의 국가 중 하나임



〈OECD 국가들의 가정용 대비 산업용 전기요금 비율 비교〉

39) IEA의 'Energy Prices and Taxes Statistics Database(2023.8월 기준)'의 데이터를 활용하였고, 한국 데이터는 한국전력 전력통계월보의 2025.2월 기준 데이터를 활용

국민경제와 미래세대를 위한
**국가 원자력 정책
제안서**

문의처

한국원자력학회 사무국

대전광역시 유성구 유성대로 794, 4층 (장대동, 뉴토피아빌딩)

Tel. (042)826-2613~2615/2677 | Fax. (042)826-2617 | kns@kns.org | <https://www.kns.org>