



Biweekly 격주간
2024 04.05

세계원전시장 인사이트

현안이슈

중국의 SMR 및 선진 원자로 개발 현황

1. 중국 원전 산업 현황
 2. 주요 기관
 3. 중국의 대학 및 연구기관의 SMR 및 선진 원자로 R&D 개발
 4. 중국에서 개발-건설-운영 중인 SMR 및 선진 원자로 기술 개요
 5. 중국의 SMR 및 선진 원자로 전망 개요
- [원문]

주요단신

세계 25

- IAEA와 벨기에, 2024 원자력 정상회의(Nuclear Energy Summit 2024) 공동주최

북미 27

- 미국, 2024 회계연도 세출법안 통과로 원자력손해배상법 40년 연장
- 미 에너지부, Palisades 원전 재가동 위한 2조 원 규모 조건부 대출 보증
- 미 에너지부, GAIN 바우처 프로그램 2024년 2차 지원대상 발표
- 미 NRC, 선진 원자로 설계 인허가 절차 관련 신규 지침문서 발표
- 미국 Washington 주 의회, SMR 개발 위해 주 정부 2023-2025년 자본 예산안에 337억 원 배정
- 미국 TerraPower, 미 NRC에 Sodium SMR 건설허가 신청서 제출
- 미국 GLE, 미 에너지부의 HALEU 사업 참여 제안에 대해 보류 결정
- 미국 Constellation, 자국 최초로 원자력 프로젝트에 사용 가능한 녹색채권 발행
- 기타단신

유럽·아프리카 35

- 영국 Sizewell C 원전 개발사, EDF Energy로 부터 원전부지 매입 위한 계약 체결
- 프랑스 하원, 상원에 이어 원자력안전청(ASN)과 기술지원기구 IRSN 간 통합안 승인
- 프랑스 정부, 혁신원자로 개념설계개발 3차 공모에 자국 및 네덜란드 응용원자로 프로젝트 선정
- 독일 바이에른 주, Isar 2호기 해체-철거 허가 발급
- 독일 UfG 컨소시엄, 스위스 Mühleberg 원전의 원자로압력용기(RPV) 해체 계약 체결
- 러시아 Rosatom, Atomexpo 2024 행사 통해 협력관계 확대
- 케냐, 최초 원전 건설을 위한 원자력 프로그램 개발 전략 수립
- 기타단신

아시아 42

- UAE, Barakah 원전 4호기 전력망 연결
- 한수원, Urenco와 원전연료 장기 공급계약 체결
- 일본 주부전력, 하마오카1·2호기 해체 완료 시기 6년 연기
- 일본 JAEA, 고온실험로에서 냉각 불능 환경 가정한 안전성 실험 실시
- 일본, 재처리 시설 내 사용후핵연료 보관 시설 3분기에 재가동 계획 발표
- 일본 원자력문화재단, 2023년도 원자력 여론조사 결과 발표
- 일본 홋카이도전력, 도마리 원전 안전성 강화 위해 방조제 재건설 착수
- 일본, 2023년도 전력 소비 동일본대지진 이후 감소율 최대
- 기타단신



세계원전시장

인사이드

Biweekly 격주간
2024 04.05

발행인	김현제		
편집인	조주현	joohyun@keei.re.kr	052-714-2035
	김창훈	hesedian@keei.re.kr	052-714-2210
	신재정	jjshin@keei.re.kr	052-714-2054
	김선진	sunjin@keei.re.kr	052-714-2018
	유석종	sjryu@keei.re.kr	052-714-2257
	정진영	jy_jeong@keei.re.kr	052-714-2081
	한지혜	jhhan@keei.re.kr	052-714-2089
	김유정	yjkim@keei.re.kr	052-714-2294
	이유경	rglee@keei.re.kr	052-714-2283

디자인·인쇄 효민디앤피 051-807-5100

※ 본 간행물은 한국수력원자력(주) 정책과제의 일환으로 발행되었습니다.

본 「세계원전시장 인사이드」에 포함된 주요내용은 연구진 또는 집필자의 개인 견해로서 에너지경제연구원의 공식적인 의견이 아님을 밝혀 둡니다.

현안이슈

중국의 SMR 및 선진 원자로 개발 현황

Dr. John Kickhofel / Managing Partner, Apollo Plus GmbH¹⁾



1 중국 원전 산업 현황

■ 중국 원전 시장 개요

중국의 원전 시장은 상당한 정부 지원, 기술 개발, 국내 확장 및 해외 수출을 위한 명확한 전략을 바탕으로 탄탄한 성장 궤도에 있다. 원자력에 대한 중국의 의지는 에너지 안보를 달성하고 오염을 줄이며 기후 목표를 달성하기 위한 광범위한 전략의 핵심 요소이다.

중국의 제14차 5개년 계획(2021~2025)은 소형 모듈 원자로(SMR) 및 기타 혁신적인 원자로 설계를 포함한 선진 원자력 기술의 개발 및 보급에 중점을 두고 있다. 이 계획은 소형 모듈 원자로와 부유식 해상 원전의 개발을 명시적으로 장려한다. '에너지 기술 혁신을 위한 14차 5개년 계획'은 선진 원자로 설계, 모듈형 원자로 및 고온 가스 냉각 원자로에 중점을 두고 원자력 기술을 혁신의 핵심 영역 중 하나로 강조하고 있다.

■ 시장 성장 및 설비용량

중국의 원전 시장은 석탄발전으로 인한 대기오염을 줄이고 에너지 안보를 강화하기 위해 전체 에너지 믹스에서 원전이 차지하는 비중을 높이는 데 중점을 두고 빠르게 확대되고 있다. 2023년 9월 기준으로 중국의 원전 설비용량은 57GW에 달했으며, 건설 중인 24기의 총 용량은 27.8GW에 달하였다. 중국은 친환경 에너지 정책의 일환으로 연간 6~8개의 신규 원전 건설을 승인할 것으로 예상하고 있다. 2035년까지 원자력은 자국 발전량의 약

1) Zollikerstrasse 20, 8008 Zurich Switzerland, E-mail: jkickhofel@apolloplus.com

10%를 차지할 것으로 예상되며, 2060년까지 비중이 18%로 상승하여 총 발전 용량은 400GW에 이를 것으로 예상된다.

■ 정책 및 개발

중국의 원자력 정책은 ‘온건한 발전’에서 ‘적극적 발전’으로, 그리고 후쿠시마 이후에는 ‘안전한 안정적 발전’으로 진화했다. 중국의 2020년 원전 설비용량 목표는 가동 중 58GW, 건설 중 30GW였지만 실제 가동 중인 용량은 53GW로 약간 낮았다. 정부는 2025년까지 원전 설비용량을 70GW로 늘리겠다는 목표를 세웠고, 2035년까지는 약 150기의 신규 원자로를 건설해 원전 설비용량을 두 배로 증가시킬 계획이다.

■ 기술 및 수출

중국은 프랑스, 캐나다, 러시아, 미국으로부터 원자력 기술을 도입했으며 프랑스 기술을 기반으로 하여 상당한 국산화를 진행했다. Hualong One 원자로를 주요 수출 제품이 되었으며, 중국은 파키스탄, 루마니아, 이란, 터키, 이집트, 아르헨티나 등의 국가에서 원자력 기술을 적극적으로 수출하고 원자로를 개발하고 있다. 또한 중국은 아시아 태평양 지역에서 전체 원자력 에너지 소비량이 가장 많은 나라이다.

■ 산업 및 기자재 시장

중국의 원전 기자재 시장은 2023년부터 2028년까지 연평균 성장률(CAGR) 6% 이상으로 성장할 것으로 예상된다. 시장은 소수의 주요 업체들 간에 적당히 통합되어 있다.

■ 국제적 위상과 도전 과제

중국은 지난 10년 동안 원자력 발전량을 3배 이상 늘려 세계 최대 원전 보유국으로서 미국을 능가할 준비가 되어 있다. 그러나 중국은 원전과 관련한 야심찬 목표 달성과 원전 건설의 긴 공사기간 관리 등의 과제에 여전히 직면해 있다.

■ 경제적 영향

원자력을 포함한 청정에너지 부문은 2023년 중국 GDP 성장의 가장 큰 원동력으로 경제 성장의 40%를 기여했다. 청정에너지 부문은 2023년 중국 GDP의 9.0%를 차지했는데, 이는 전년도 7.2%에서 상승한 수치이다.

2 주요 기관

중국의 민간 원전 산업은 원자력 시설의 연구, 개발, 건설 및 운영에서 중요한 역할을 하는 기관들로 복잡하게 이루어진 네트워크의 지원을 받는다. 여기서는 선진 기술과 소형 모듈 원자로(SMR)에 대한 기여에 초점을 맞춰 일부 주요 기관에 대한 개요를 제공한다. 이들 기관은 중국의 야심찬 원자력 에너지 프로그램의 최전선에 있다. 이들의 노력은 원전 용량 확대, 에너지 안보 강화, 2060년 탄소중립 달성이라는 중국의 목표를 위해 매우 중요하다.

■ China National Nuclear Corporation (CNNC)

CNNC는 중국 원자력 에너지 부문에서 중심 역할을 하는 국영 기업이다. 우라늄 채굴, 연료 제조, 원자로 설계 및 건설을 포함한 전체 핵연료주기에 관여한다. CNNC는 여러 원전을 운영하고 있으며 3세대 가압경수로인 Hualong One과 ACP100 SMR을 포함한 선진 원자로 기술 개발에 깊이 관여하고 있다.

■ China General Nuclear Power Group (CGN)

CGN은 또 다른 국영 기업이자 중국의 주요 원전 운영사이다. 원전 개발, 건설 및 운영에 중점을 두고 있다. CGN은 국제적으로 사업 포트폴리오를 확장해 왔으며 Hualong One 원자로 건설 참여를 포함하여 선진 원자력 기술 개발에도 참여하고 있다.

■ State Power Investment Corporation (SPIC)

CPI(China Power Investment Corporation)와 SNPTC(State Nuclear Power Technology Corporation)의 합병으로 탄생한 SPIC는 중국 에너지 부문의 핵심 기업이다. 원자력을 포함한 다양한 사업 포트폴리오를 보유하고 있다. SPIC는 Westinghouse의 AP1000 기술을 기반으로 한 선진 가압경수로인 CAP1400 개발에 참여하고 있다.

■ State Nuclear Power Technology Corporation (SNPTC)

SNPTC는 SPIC에 합병되기 전 웨스팅하우스의 AP1000 등 3세대 원자력 기술에 중점을 두고 중국 원전의 기술 선정 및 이전을 담당했다. SPIC에 통합되면서 선진 원자력 기술 분야에서 기술적 역량이 강화되었다.

■ Nuclear Power Institute of China (NPIC)

CNNC의 자회사인 NPIC는 원자로 엔지니어링 연구, 설계, 테스트 및 운영을 통합하는 종합 R&D 기관이다. ACP100 SMR의 개발을 포함하여 중국 원전의 설계 및 건설에 중요한 역할을 했다.

■ State Power Investment Corporation Research Institute (SPICRI)

SPIC의 핵심 기관인 SPICRI는 SMILE(Small Modular Innovative Lead-cooled Reactor) 및 BLESS-D(납-비스무트 냉각 고속로) 프로젝트를 포함하여 중국의 선진 원자력 기술 개발에 중요한 역할을 한다.

■ China Huaneng Group Co., Ltd. (CHNG)

CHNG는 산둥성 Shidaowan 부지에 있는 HTR-PM(High Temperature gas-cooled Reactor Pebble-bed Module) 원전의 소유주이자 운영사이다. 중국의 대표적인 국영 발전사 중 하나이다. HTR-PM 프로젝트에서 CHNG는 칭화대학교 및 엔지니어링·조달·건설(EPC) 계약자이자 연료 제조업체 역할을 하는 CNNC와 협력했다.

■ Shanghai Institute of Applied Physics (SINAP)

중국과학원 산하 SINAP는 국가원자력안전청(NNSA)으로부터 2MWth급 TMSR-LF1(Thorium Molten Salt Reactor-Liquid Fuel 1)에 대한 운영허가를 받았다. TMSR-LF1의 건설은 간쑤성 Wuwei 시에서 2018년 9월 착공해 2021년 8월 완료됐다.

■ Shanghai Nuclear Engineering Research & Design Institute (SNERDI)

SNERDI는 원자력 부문의 최첨단 R&D, 엔지니어링 설계 및 관리로 잘 알려져 있다. 원전 설계에 있어 중요한 역할을 하며 선진 원자력 기술 발전에 기여해 왔다. SNERDI는 CAP200 또는 LandStar -V 및 초기 CAP150 설계와 같은 특정 SMR 프로젝트 개발에 직접 참여해 왔다.

■ Hainan Nuclear Power Co. Ltd.

CNNC의 자회사인 CNNP(China National Nuclear Power)의 자회사인 Hainan Nuclear Power Co. Ltd.는 하이난성 Changjiang 원전의 ACP100 SMR 실증 프로젝트의 소유자로서 중요한 역할을 하고 있다.

3 중국의 대학 및 연구기관의 SMR 및 선진 원자로 R&D 개황

중국의 대학은 원전 기술의 연구개발에 중요한 역할을 한다. 주로 기초연구, 인재양성, 신기술 개발에 참여하고 있다. 대학은 정부기관, 연구기관, 국영기업과 협력하여 중앙정부 계획 문서에 나열된 R&D 우선순위를 구현한다. 학술연구, R&D 인재 양성, 원자력 산업 계와의 협력을 통해 원자력 기술 발전에 기여하고 있다.

CIAE(China Institute of Atomic Energy), NPIC(Nuclear Power Institute of China) 등 중국 내 연구기관 및 연구소는 국가 R&D 센터 및 자체 핵심 연구소 역할을 하고 있다. 이들은 첨단 시험시설을 갖추고 원자로 엔지니어링 R&D, 핵연료 및 재료 연구, 원자력 응용기술 개발에 관여하고 있다.

■ 칭화대학교

칭화대학교는 산하기관인 INET(Institute of Nuclear and New Energy Technology)을 통해 HTR-PM 프로젝트 개발의 중추적인 역할을 담당했다. 연구개발은 물론 실증 프로젝트의 주요 구성품과 시스템 설계도 담당했다. 칭화대학교 INET 책임자인 Zhang Zuoyi 교수가 해당 프로젝트의 수석 과학자이자 수석 엔지니어이다.

■ Institute of Nuclear Energy Safety Technology

중국 과학원 산하 Institute of Nuclear Energy Safety Technology의 Qunying Huang 교수가 주도한 연구는 특히 4세대 원자로에 사용되는 납-비스무트 공융(lead-bismuth eutectic, LBE) 냉각재를 바탕으로 한 납 기반 원자로 재료의 부식 거동 및 메커니즘에 대한 중요한 성과를 얻었다. “Corrosion Science”에 발표된 이 연구에서는 LBE 부식성의 이중적인 특성과 구조 재료에 미치는 영향을 완화할 수 있는 보호 조치를 강조하였다. 이에 따르면, 산소 농도를 제어함으로써 구조 재료에 보호 산화물 스케일이 형성되어 부식 및 기계적 성능 저하를 줄일 수 있다. 그러나 이러한 보호는 장기간에 걸친 응력으로 인한 파열에 취약하므로 납 기반 원자로의 구조 설계 및 안전성을 향상시키기 위해 응력 하에서 이 산화물 층의 고장 거동에 대한 집중적인 연구가 필요하다. 이 프로젝트는 중국국가핵심 R&D프로그램과 중국국립자연과학재단의 지원을 받았다.

4 중국에서 개발·건설·운영 중인 SMR 및 선진 원자로 기술 개요

중국은 소형 모듈 원자로(SMR)와 선진 모듈 원자로(AMR) 개발을 통해 원전 역량 다각화를 위한 야심찬 발걸음을 내디뎠다. 표 1에는 수 냉각(지상 기반 및 해상 기반), 가스 냉각, 용융염 및 납/납-비스무트 냉각 원자로를 포함한 여러 원자력 기술에 대한 전략적 추진을 나타내는 일련의 원자로 프로젝트가 자세히 설명되어 있다. 중국은 다양한 에너지 수요와 시나리오를 해결하기 위해 광범위한 원자력 기술을 탐구하는 데 전념하고 있다. 이 중 ACP100 및 CAP200과 같은 수 냉각 SMR은 기본부터 세부 설계 단계에 이르는 프로젝트를 통해 전통적인 가압경수로(PWR) 기술이 발전된 것을 의미하며, ACP100과 같은 일부 프로젝트는 이미 건설 중에 있다.

이와 대조적으로, 가스 냉각 및 용융염 원자로의 개발은 중국이 더 높은 효율성과 안전성을 목표로 하는 4세대 기술에 대한 탐구에 나선 것을 의미한다. 가동에 들어가면서 잘 알려진 고온 가스 냉각 원자로인 HTR-PM은 중국이 선진 원자로 부문에서 중요한 성과를 거두었음을 의미한다. 한편, 개념 및 사전 개념 단계인 SMILE 및 smTMSR-400 프로젝트는 액체 금속 및 용융염 냉각을 사용하는 원자로 기술에 대한 지속적인 연구 및 초기 단계 개발을 나타낸다. 이러한 다양한 노력은 국내 원자력 포트폴리오를 확장하려는 중국의 의지뿐만 아니라 원자력 에너지 기술의 국제적 발전에서 급성장하는 리더로서의 중국의 역할을 부각시킨다.

표 1 중국에서 개발 또는 건설 중인 주요 SMR 및 AMR 기술

구분	모델명	노형	설계사	정격 출력	현황
수 냉각 SMR (지상 기반)	ACP100	PWR	CNNC	125MWe	건설 중
	DHR-400	PWR	CNNC	400MWt	기본 설계
	NHR-200II	PWR	CGN	200MWt	기본 설계
	HAPPY200	PWR	HIC	200MWt	상세 설계
	CAP200	PWR	SNEDI/SPIC	>200MWe	기본 설계
수 냉각 SMR (해상 기반)	ACP100S	PWR	CNNC	100MWe	기본 설계
	ACPR50S	PWR	CGN	50MWe	상세 설계
가스 냉각 SMR	HTR-PM	HTGR	THU-CHNG	2*100MWe	운영 중
용융염 원자로	smTMSR-400	MSR	SINAP, CAS	168MWe	사전 개념 설계
	TMSR-LF1	MSR	SINAP, CAS	2MWt	운영 중
납/납-비스무트 냉각 원자로	SMILE	액체 금속 냉각 고속로 (pool 형)	SPIC/SPIC	3MWt/ 1MWe	개념 설계
	BLESS-D	액체 금속 냉각 고속로 (pool 형)	SPIC/SPIC	300MWt/ 100MWe	기본 설계

■ APC100 및 ACP100+

ACP100은 CNNC가 개발한 Linglong One 이라고도 알려진 소형 모듈 원자로(SMR)로, 피동형 안전 기능을 갖춘 설계와 125MWe 용량을 특징으로 하며, 발전, 지역난방, 해수 담수화 등에서의 응용을 목표로 한다. 세계 최초의 육상 상업용 ACP100 건설은 CNNC, NPIC, China Nuclear Power Engineering Group 간의 합작투자 프로젝트로 2021년 7월 하이난성 Changjiang 원전 부지에서 시작되었다. 2010년부터 개발 중인 ACP100 설계는 SMR 최초로 2016년 국제원자력기구(IAEA) 안전성 검토를 통과한 것으로, 실증 설비는 착공 후 58개월 이내에 완공될 예정이다(2026년 상업운전 개시 목표).

CNNC는 ACP100에 대한 완전한 독자적 지적재산권을 보유하고 있다. CNNC는 RPV, once-through형 증기 발생기, 1차 냉각 펌프, 원자로 내부, 제어봉 구동 메커니즘, 가압기 등을 포함한 모든 주요 장비의 현지 제조를 설계하고 감독했다. ACP100은 CNNC가 설계하고 제작한 17x17 height-reduced 정사각형 연료 집합체인 CF3S 핵연료 집합체를 사용하고, 기존 표준 125MWe 터빈 발전기를 사용한다.

ACP100 설계의 실행 가능성을 입증하기 위한 주요 R&D 영역은 다음과 같다.

- 제어봉 구동계 냉간 및 고온 시험
- 제어봉 구동계 내진 시험
- 내부 진동시험 연구
- 핵연료 집합체 임계 열 유속 시험 연구
- 피동형 비상 노심냉각시스템 통합시험
- CMT 및 피동형 잔열제거시스템 시험연구
- 피동형 격납 열 제거 시험

그림 1 ACP100 노심냉각시스템 통합시험 및 피동형 잔열제거시스템 시험 수행을 위해 CNNC가 건설한 시설



ACP100의 차세대 설계인 ACP100+는 ACP100의 경쟁력 강화를 추구하기 위한 것으로 효율성 향상, 비용 절감 및 건설주기 단축에 중점을 둔다. 주요 전략에는 단위 당 출력을 385MWt/125MWe에서 425MWt/145MWe로 높이고 시스템 단순화에 대한 연구를 수행

하며 설계 및 건설 중 모듈 기능을 강화하는 것이 포함된다. 이러한 개선사항은 증가된 출력을 제공하는 동시에 경제 및 운영 효율성을 해결함으로써 ACP100+가 원전 부문에서 보다 매력적인 옵션으로 자리매김하도록 하는 것을 목표로 한다.

■ 중국의 다른 육상 기반 경수형 SMR과 ACP100 간 비교

중국은 ACP100 외에도 다양한 육상 기반 경수형 SMR 개발을 추진하고 있다. ACP100, CAP200, DHR400, HAPPY200, NHR200-II는 모두 중국 육상 기반 경수형 소형 모듈 원자로 설계이지만 몇 가지 눈에 띄는 차이점이 있다. DHR400, HAPPY200 및 NHR200-II는 모두 열 생산용으로 설계된 원자로이다. ACP100과 CAP200은 일체형 PWR이고 DHR400과 HAPPY200은 pool형 원자로이며 NHR200-II는 자연순환식 1차 냉각 일체형 PWR이다. 출력은 HAPPY200 및 NHR200-II의 200MWt부터 DHR400의 400MWt까지 매우 다양하며, 이들은 모두 열 공급 전용으로 설계되었다. ACP100은 385MWt/125MWe, CAP200의 경우에는 660MWt 및 200MWe 이상까지 올라간다.

1차 냉각 순환 방식도 ACP100, CAP200, DHR400, HAPPY200이 강제 순환 방식을 사용하는 반면, NHR200-II는 완전 자연 순환 방식을 사용한다. 연료 및 노심 설계는 대부분의 설계에서 표준 정사각형 PWR 연료 집합체를 사용하나, NHR200-II는 보다 컴팩트한 9x9 배열을 사용한다. 연료 농축도 범위는 대부분의 설계에서 5% 미만 수준이며 NHR200-II의 경우에는 1.8~3.4%까지이다. 연료 집합체의 수는 HAPPY200의 37개부터 NHR200-II의 208개까지 다양하다.

표 2 중국의 주요 육상 기반 경수형 SMR 기술(데이터 출처: IAEA ARIS)

구분	ACP100	CAP200	DHR400	HAPPY200	NHR200-II
1차 계통 순환	강제순환	강제순환	강제순환	강제순환 (펄프 2개)	자연순환
연료 유형 / 집합체 배열	UO ₂ / 정사각형 17×17	UO ₂ 펠릿 / 정사각형 17×17	UO ₂ 펠릿 / 정사각형 17×17	UO ₂ / 정사각형 17×17	UO ₂ 펠릿 / 정사각형 9×9
연료 농축도 (%)	< 4.95	4.2 (평균)	< 5	평균 2.76 / 최대 4.45	1.8, 2.67, 3.4
연료장전주기 (개월)	24	24	15	18	24
노심 출구 온도(°C)	319.5	313	98	120	280
특징	tube-in-tube once-through 증기발생기 일체형 원자로, 1차 계통 지하화	컴팩트형, 피동형 안전, 지하 격리	고유 안전성 / 경제성 / 열부하 추종능력	pool-loop 복합형 원자로, 열 생산	자연 순환, 피동형 안전

이러한 SMR 설계는 모두 피동형 안전 기능을 강조하지만 그 정도는 다양하다. ACP100, CAP200, DHR400 및 NHR200-II는 모두 완전 피동형 안전 시스템을 목표로 하는 반면, HAPPY200은 능동형 안전과 피동형 안전이 혼합되어 있다. 공통적으로 경수로 기술 기반과 향상된 안전성에 대한 초점을 가짐에도 불구하고 이들 중국의 SMR 설계는 출력, 목표 응용분야, 연료 및 노심 구성, 냉각수 순환 전략 및 안전 시스템 접근 방식에서 상당한 다양성을 보여준다.

■ HTR-PM

(1) 칭화대학교의 10MW(t) 펄베드 고온 가스냉각 시험로(HTR-10) 기술의 특성

- 가동 중 재장전 방식

- 각 코어에 420,000개의 핵연료 소자: 모든 핵연료 소자에는 7g의 중금속(8.5%wt)이 포함되고, 약 0.5mm 직경의 우라늄 커널은 3개의 열분해 탄소 층과 1개의 규소 탄소 층으로 코팅되어 있으며, 코팅된 연료 입자는 직경 5cm의 매트릭스 흑연에 분산되어 있음.

- 통합된 능동 및 피동 안전 시스템

- 원자로 노심 입구/출구의 헬륨 온도는 250/750° C이고, 증기터빈 입구의 증기 특성 파라미터는 13.25MPa/567° C임.

- 1차 헬륨 냉각재는 정격 질량 유량 96kg/s로 7.0MPa에서 작동함.

(2) 칭화대학교가 설계하고 CHNG가 건설한 실증 프로젝트 관련 사항

- 2012년 착공, 2021년 9월에 최초 임계 도달, 2021년 12월에 계통연계, 2022년 12월에 최초 최대 출력 도달

- 단일 터빈(210MWe)을 구동하는 이중 원자로 모듈(250MWt)은 타당성을 입증하기 위해 특별히 선택되었으며, 200MW, 600MW, 1000 MW 등의 여러 표준화된 원자로 모듈이 단일 증기 터빈에 연결되는 것을 상정함.

■ TMSR

TMSR-LF1은 중국 과학원 산하 SINAP가 주도하는 용융염 원자로(MSR) 기술 발전에 있어 중요한 프로젝트이다. TMSR-LF1을 포함한 토륨 용융염 원자로(TMSR) 프로젝트는 이전에 상하이 싱크로트론 방사선 시설 건설을 감독했던 Xu Hongjie가 주도하고 있다. TMSR-LF1은 다음과 같은 다양한 목표를 가진다.

- 토륨의 핵연료로서의 가능성 테스트

- MSR 기술의 효율성과 안전성 탐구
- 가동 중 파이로프로세싱의 타당성 입증
- 가동 중 재장전 및 연속 가스 제거의 타당성 입증

중국과학원은 2011년에 상당한 투자를 통해 TMSR 연구개발 프로젝트를 시작했으며, 이는 국가적 중요성 및 노력의 규모를 부각시켰다. TMSR-LF1의 설계는 역사적인 MSR 개발 노력, 특히 1960년대 미국 오크리지 국립연구소의 용융염 원자로 실험의 영향을 받았다. TMSR-LF1은 선진 원자력 기술 개발과 원전용 우라늄의 유망한 대안인 토륨에 대한 연구에 있어서 중요한 이정표를 나타낸다.

5 중국의 SMR 및 선진 원자로 전망 개요

중국은 자체 기술을 활용하여 원자로 설계 및 건설 분야에서 대부분 자급자족하는 것을 목표로 하고 있다. 중국은 R&D 설비 제조 분야에서 높은 수준의 현지화를 통해 탄탄한 원전 산업 공급망을 보유하고 있다. 이러한 국내 역량은 중국이 원자력 기술을 전 세계로 수출할 수 있도록 만드는 전략적 이점으로 간주된다.

SMR 및 선진 원자로 보급 및 건설과 관련한 국가 차원의 로드맵이나 계획은 아직 없다. 다만 선진 원자로 및 SMR이 개발됨에 따라 설계를 보유한 다양한 기관들이 최초의 프로젝트를 위해 여러 지방과 협의를 진행하고 있다. 이러한 계획은 정치적 및 재정적 여건이나 프로젝트 현실성에 따라 종종 변경된다. 현재 중국에서 선진 원자로 또는 SMR에 대한 건설 허가 발급 사례는 건설 완료를 앞두고 있는 ACP100(Linglong One) 원자로가 유일하다.

SMR 및 선진 원자로 개발에서의 중국의 미래는 혁신에 대한 강력한 의지, 연구개발에 대한 상당한 투자, 원자력 기술 분야의 글로벌 리더가 되기 위한 전략적 접근방식으로 특징지어진다. Linglong One 및 HTR-PM과 같은 프로젝트에서의 중국의 발전과 4세대 기술 탐구는 국내외적으로 원전의 미래를 형성할 수 있는 잠재력을 강조한다.

[원문]

1 Status of the nuclear power industry in China

■ Overview of the Chinese Nuclear Power Market

China's nuclear power market is on a trajectory of robust growth, with significant government support, technological development, and a clear strategy for both domestic expansion and international export. The country's commitment to nuclear energy is a key component of its broader strategy to achieve energy security, reduce pollution, and meet climate goals.

China's 14th Five-Year Plan (2021–2025) places a significant emphasis on the development and deployment of advanced nuclear technologies, including small modular reactors (SMRs) and other innovative reactor designs. The plan explicitly encourages the development of small modular reactors and floating offshore nuclear power plants. The 14th Five-Year Plan for Energy Technology Innovation highlights nuclear technology as one of the key areas for innovation, focusing on advanced reactor designs, modular reactors, and high-temperature gas-cooled reactors among others.

■ Market Growth and Capacity

China's nuclear power market has been expanding rapidly, with a focus on increasing the share of nuclear power in the overall energy mix to reduce air pollution from coal-fired plants and enhance energy security. As of September 2023, China's installed nuclear capacity reached 57 gigawatts (GW), with 24 units under construction totaling an additional 27.8GW. The country expects to greenlight six to eight new nuclear power units per year as part of its green energy drive. By 2035, nuclear is expected to contribute about 10 percent of power generation in the country, and by 2060, this contribution is projected to rise to 18 percent, with a total generation capacity of 400GW.

■ Policy and Development

China's nuclear policy has evolved from 'moderate development' to 'positive

development' and, post-Fukushima, to 'steady development with safety'. The country's nuclear capacity target for 2020 was 58 GW in operation and 30GW under construction, though the actual capacity in operation was slightly lower at 53GW. The government has set goals to increase nuclear power production to 70GW by 2025 and is planning to build around 150 new reactors to double its nuclear capacity by 2035.

■ Technology and Export

China has drawn nuclear technology from France, Canada, Russia, and the USA, with significant local development based on the French element. The Hualong One reactor has become the main export product, with China actively exporting nuclear technology and developing reactors in countries such as Pakistan, Romania, Iran, Turkey, Egypt, and Argentina. The country is also the largest overall nuclear energy consumer in the Asia-Pacific region.

■ Industry and Equipment Market

The China nuclear power plant equipment market is expected to grow at a CAGR of more than 6% from 2023 to 2028. The market is moderately consolidated among a handful for key players.

■ Global Position and Challenges

China is poised to surpass the U.S. as the world's top nuclear power producer, having more than tripled its nuclear power generation over the past decade. However, the country still faces challenges, such as meeting its ambitious targets for nuclear power and managing the long construction times for nuclear plants.

■ Economic Impact

The clean energy sector, including nuclear power, was the biggest driver of China's GDP growth in 2023, contributing 40% of the economic expansion. The sector accounted for 9.0% of China's GDP in 2023, up from 7.2% the previous year.

2 Key Organizations

China's civil nuclear power industry is supported by a complex network of organizations that play critical roles in research, development, construction, and operation of nuclear facilities. Here, we provide an overview of some key organizations, focusing on their contributions to advanced technologies and Small Modular Reactors (SMRs) where applicable. These organizations are at the forefront of China's ambitious nuclear energy program. Their efforts are crucial for China's goals of expanding its nuclear power capacity, enhancing energy security, and achieving carbon neutrality by 2060.

■ China National Nuclear Corporation (CNNC)

CNNC is a state-owned enterprise that plays a central role in China's nuclear energy sector. It is involved in the entire nuclear fuel cycle, including uranium mining, fuel fabrication, reactor design, and construction. CNNC operates several nuclear power plants and is heavily involved in the development of advanced reactor technologies, including the Hualong One, a third-generation pressurized water reactor, and the ACP100 SMR.

■ China General Nuclear Power Group (CGN)

CGN is another state-owned enterprise and a leading nuclear power operator in China. It focuses on the development, construction, and operation of nuclear power plants. CGN has been expanding its portfolio internationally and is also involved in the development of advanced nuclear technologies, including participation in the construction of the Hualong One reactors.

■ State Power Investment Corporation (SPIC)

Formed from the merger of China Power Investment Corporation and the State Nuclear Power Technology Corporation (SNPTC), SPIC is a key player in China's energy sector. It has a diverse portfolio that includes nuclear power. SPIC is involved in the development of the CAP1400, an advanced pressurized water reactor based on Westinghouse's AP1000 technology.

■ State Nuclear Power Technology Corporation (SNPTC)

Before merging into SPIC, SNPTC was responsible for technology selection and transfer for China's nuclear power plants, focusing on third-generation nuclear technology like the AP1000 from Westinghouse. Its integration into SPIC has bolstered the latter's technical capabilities in advanced nuclear technologies.

■ Nuclear Power Institute of China (NPIC)

A subsidiary of CNNC, NPIC is a comprehensive R&D base that incorporates reactor engineering research, design, testing, and operations. It has been instrumental in the design and construction of China's nuclear power plants, including the development of the ACP100 SMR.

■ SPICRI

State Power Investment Corporation Research Institute, a key entity within the SPIC, plays a significant role in the development of advanced nuclear technologies in China, including the SMILE (Small Modular Innovative Lead-cooled Reactor) and BLESS-D (a lead-bismuth cooled fast reactor) projects.

■ CHNG

China Huaneng Group Co., Ltd. (CHNG) is the owner and operator of the HTR-PM (High Temperature gas-cooled Reactor Pebble-bed Module) plant at the Shidaowan site in Shandong Province. It is one of China's leading state-owned power generation companies. In the HTR-PM project, CHNG has collaborated with Tsinghua University and China National Nuclear Corporation (CNNC), which acted as the Engineering, Procurement, and Construction (EPC) contractor and the fuel manufacturer

■ SINAP

The Shanghai Institute of Applied Physics (SINAP) of the Chinese Academy of Sciences has been granted an operating license for the 2MWth TMSR-LF1 (Thorium Molten Salt Reactor – Liquid Fuel 1) by the National Nuclear Safety Administration (NNSA). The construction of the TMSR-LF1 began in September 2018 in Wuwei city, Gansu province, and was completed in August 2021.

■ Shanghai Nuclear Engineering Research & Design Institute (SNERDI)

SNERDI is known for its cutting-edge R&D, engineering design, and management in the nuclear sector. It plays a crucial role in the design of nuclear power plants and has contributed to the development of advanced nuclear technologies. SNERDI has been directly involved in the development of specific SMR projects, such as the CAP200 or LandStar-V and the earlier CAP150 design.

■ Hainan Nuclear Power Co. Ltd.

Hainan Nuclear Power Co. Ltd., a subsidiary of China National Nuclear Power (CNNP), which in turn is a subsidiary of China National Nuclear Corporation (CNNC), plays a significant role as the owner of the ACP100 small modular reactor (SMR) demonstration project at the Changjiang nuclear power plant in Hainan Province.

3 Short overview of nuclear R&D in China, key universities or laboratories, where possible with links to small and advanced modular reactors

Universities in China play a crucial role in the research and development (R&D) of nuclear power technology. They are primarily involved in fundamental research, talent cultivation, and the development of new technologies. Universities work in conjunction with government agencies, research institutes, and state-owned enterprises to implement R&D priorities listed in central government planning documents. They contribute to the advancement of nuclear power technology through academic research, training of R&D talents, and collaboration with the nuclear industry.

Research institutes and laboratories in China, such as the China Institute of Atomic Energy (CIAE) and the Nuclear Power Institute of China (NPIC), serve as national R&D centers and house key laboratories. These facilities are equipped with advanced test facilities and are engaged in reactor engineering R&D, nuclear fuel and material research, and the development of nuclear technology applications.

■ Tsinghua University

Tsinghua University, through its Institute of Nuclear and New Energy Technology (INET), has played a pivotal role in the development of the HTR-PM (High Temperature gas-cooled Reactor Pebble-bed Module) project. It has been responsible for the research and development (R&D) as well as the main components and systems design of the demonstration project. Professor Zhang Zuoyi, the director of INET at Tsinghua University, is the chief scientist and chief engineer of the project.

■ Institute of Nuclear Energy Safety Technology

The research led by Prof. Qunying Huang at the Institute of Nuclear Energy Safety Technology, Chinese Academy of Sciences, has achieved significant insights into the corrosion behavior and mechanisms of lead-based reactor materials, specifically in the context of lead-bismuth eutectic (LBE) coolant used in Gen-IV nuclear reactors. Published in "Corrosion Science," the study highlights the dual-edged nature of LBE's corrosiveness and the protective measures that can mitigate its impact on structural materials. By controlling oxygen concentration, a protective oxide scale can form on structural materials, reducing corrosion and mechanical degradation. However, this protection is vulnerable to stress-induced rupture over long durations, necessitating a focused study on the failure behaviors of this oxide layer under stress to enhance the structural design and safety of lead-based reactors. This project received support from the National Key R&D Program of China and the National Natural Science Foundation of China.

4 Overview of domestic small modular and advanced reactor technology being developed, under construction, or in operating in China

China is taking an ambitious stride toward diversifying its nuclear power capabilities through the development of small modular reactors (SMRs) and advanced modular reactors (AMRs). Table 1 details an array of reactor projects, indicating a strategic push into multiple nuclear technologies including

water-cooled (both land-based and sea-based), gas-cooled, molten-salt, and lead/lead-bismuth-cooled reactors. China is committed to exploring a wide spectrum of nuclear technologies to address different energy needs and scenarios. Among these, the water-cooled SMRs, such as the ACP100 and CAP200, signify advancements in traditional pressurized water reactor (PWR) technology, with projects ranging from basic to detailed design stages, and some, like the ACP100, already under construction.

In contrast, the development of gas-cooled and molten-salt reactors marks China's exploration into Generation IV technologies, aiming for higher efficiency and safety. The HTR-PM, a high-temperature gas-cooled reactor, is notable for being operational, signaling a significant achievement in China's advanced reactor sector. Meanwhile, the conceptual and pre-conceptual stages of the SMILE and smTMSR-400 projects indicate ongoing research and early-stage development in reactor technologies using liquid metal and molten-salt cooling. These diverse endeavors highlight not just China's commitment to expanding its domestic nuclear portfolio but also its role as a burgeoning leader in the global advancement of nuclear energy technology.

Table 1 Major SMR and AMR technologies under development or construction in China.

	Model	Reactor Type	Designer	Rated Power	Status
Water-cooled SMR (Land-based)	ACP100	PWR	CNNC	125MWe	Under construction
	DHR-400	PWR	CNNC	400MMt	Basic Design
	NHR-200II	PWR	CGN	200MMt	Basic Design
	HAPPY200	PWR	HIC	200MMt	Detailed Design
	CAP200	PWR	SNEDI/SPIC	>200MWe	Basic Design
Water-cooled SMR (Sea-based)	ACP100S	PWR	CNNC	100MWe	Basic Design
	ACPR50S	PWR	CGN	50MWe	Detailed Design
Gas-cooled SMR	HTR-PM	HTGR	THU-CHNG	2*100MWe	In Operation
Molten-salt Reactor	smTMSR-400	MSR	SINAP, CAS	168MWe	Pre-Conceptual Design
	TMSR-LF1	MSR	SINAP, CAS	2MMt	In Operation
Lead/Lead-bismuth-cooled Reactor	SMILE	Liquid metal cooled fast reactor (pool type)	SPIC/SPIC	3MMt/ 1MWe	Conceptual Design
	BLESS-D	Liquid metal cooled fast reactor (pool type)	SPIC/SPIC	300MMt/ 100MWe	Basic design

■ APC100 and ACP100+

The ACP100 is a small modular reactor (SMR) developed by the China National Nuclear Corporation (CNNC), also known as Linglong One, featuring a design with passive safety features and a capacity of 125 MWe, aimed at applications such as electricity generation, district heating, and seawater desalination. Construction of the world's first land-based commercial ACP100 began in July 2021 at the Changjiang nuclear power plant site in Hainan province, with the project involving a joint venture between CNNC, the Nuclear Power Institute of China (NPIC), and China Nuclear Power Engineering Group. The ACP100 design, which has been under development since 2010, was the first SMR to pass a safety review by the International Atomic Energy Agency (IAEA) in 2016, and the demonstration plant is expected to be completed within 58 months from the start of construction (target COD in 2026).

CNNC has complete independent intellectual property rights for the ACP100. The organization has designed and overseen the local manufacturing of all main equipment including the RPV, once-through steam generator, shielded primary pump, reactor internals, control-rod drive mechanism, pressurizer, etc. The ACP100 uses the CF3S fuel assembly is a 17x17 height-reduced square fuel assembly designed and fabricated by CNNC. The reactor uses a conventional standard 125 MWe turbine generator.

The main R&D areas for demonstrating the viability of the ACP100 design were:

- Control rod drive line cold and hot test
- Control rod drive line anti-earthquake test
- Internals vibration test research
- Fuel assembly critical heat flux test research
- Passive emergency core cooling system integration test
- CMT and passive residual heat removal system test research
- Passive containment heat removal testing

Figure 1 Facility constructed by CNNC to perform core cooling system integration testing and passive residual heat removal system testing for the ACP100.



In seeking to enhance the competitiveness of the ACP100, the next generation design of the ACP100, the ACP100+, focuses on achieving higher efficiency, reducing costs, and shortening construction cycles. Key strategies include elevating the power output per unit from 385MWt/125MWe to 425MWt/145MWe, implementing research on system simplification, and enhancing the modular features during design and construction. These improvements aim to position the ACP100+ as a more attractive option in the nuclear power sector by offering increased power output while also addressing economic and operational efficiency.

■ ACP100 comparison to other Chinese land-based light-water SMR Technologies

China is pursuing various land-based light-water SMR technologies in addition to the ACP100. The ACP100, CAP200, DHR400, HAPPY200, and NHR200-II are all Chinese land-based light-water small modular reactor designs, but they have some notable differences. The DHR400, HAPPY200 and NHR200-II are all reactors designed for heat production. The ACP100 and CAP200 are integral PWRs, while the DHR400 and HAPPY200 are pool-type reactors, and the NHR200-II is an integral PWR with natural circulation primary cooling. The power outputs vary significantly, from 200 MWt for the HAPPY200 and

NHR200-II, to 400MWt for the DHR400, all of which are designed for heating-only and up to 385MWt / 125MWe for the ACP100 and 660MWt / >200MWe for the CAP200.

The primary coolant circulation methods also differ, with the ACP100, CAP200, DHR400, and HAPPY200 using forced circulation, while the NHR200-II relies on full natural circulation. The fuel and core designs span standard square PWR fuel assemblies for most designs, with the NHR200-II using a more compact 9x9 array. Fuel enrichment ranges from <5% for most designs down to 1.8–3.4% for the NHR200-II. The number of fuel assemblies varies widely from just 37 in the HAPPY200 to 208 in the NHR200-II.

Table 2 Selection of Chinese land-based light-water SMR technologies (Data source IAEA ARIS).

Parameter	ACP100	CAP200	DHR400	HAPPY200	NHR200-II
Primary circulation	Forced circulation	Forced circulation	Forced circulation	Forced (2 pumps)	Natural Circulation
Fuel type / assembly array	UO ₂ / Square 17×17	UO ₂ pellet / 17x17 square	UO ₂ pellet / 17x17 square	UO ₂ / Square 17x17	UO ₂ pellet / square 9×9
Fuel enrichment (%)	< 4.95	4.2 (Average)	< 5	2.76 avg / 4.45 max	1.8, 2.67, 3.4
Refuelling cycle (months)	24	24	15	18	24
Core outlet temperature (°C)	319.5	313	98	120	280
Distinguishing features	Integrated reactor with tube-in-tube once through steam gen., nuclear island underground	Compact layout; Passive safety; Underground containment	Inherent safety features / Economical / Heat load tracking capability	Pool-loop combined type reactor, heat generator	Natural Circulation, Passive Safety

All of these SMR designs emphasize passive safety features, but to varying degrees. The ACP100, CAP200, DHR400, and NHR200-II all aim for fully passive safety systems, while the HAPPY200 incorporates a mix of active and passive safety. Despite their common light water reactor heritage and focus on enhanced safety, these Chinese SMR designs exhibit significant diversity in their power outputs, targeted applications, fuel and core configurations, coolant circulation strategies, and safety system approaches.

■ HTR-PM

Based on the technology of 10MW(t) pebble bed high temperature gas cooled test reactor (HTR-10) by Tsinghua university

- On-line refueling approach
 - 420 000 fuel elements in each core: every fuel element contains 7grams of heavy metal, 8.5%wt. Uranium kernels of about 0.5mm diameter are coated by three layers of pyro-carbon and one layer of silicon carbon. Coated fuel particles are dispersed in matrix graphite, 5cm in diameter
- Combined active and passive safety systems
- The helium temperatures at the reactor core inlet/ outlet are 250/750°C, and steam parameters is 13.25 MPa/567°C at the steam turbine entrance.
 - The primary helium coolant works at 7.0MPa with the rated mass flow rate of 96kg/s.

Demonstration project is designed by THU, and constructed by CHNG

- FCD in 2012; first criticality on 2021.9; grid connection on 2021.12; reaching initial full power on 2022.12
- The twin reactor modules (250MWt) driving a single turbine (210MWe) configuration, was specifically selected to demonstrate its feasibility, units with multiple standardized reactor modules coupling to one single steam turbine, such as 200, 600 or 1000MW(e) are envisaged

■ MSR

The Thorium Molten Salt Reactor – Liquid Fuel 1 (TMSR-LF1) is a significant project in the advancement of molten salt reactor (MSR) technology, spearheaded by the Shanghai Institute of Applied Physics (SINAP), which is part of the Chinese Academy of Sciences (CAS). The TMSR project, including the TMSR-LF1, is led by Xu Hongjie, who previously oversaw the construction of the Shanghai Synchrotron Radiation Facility. The TMSR-LF1 serves multiple objectives:

- testing the viability of thorium as a nuclear fuel
- exploring the efficiency and safety of MSR technology
- demonstrate the feasibility of online pyroprocessing

- demonstrate the feasibility of online refueling, and continuous gas removal

The Chinese Academy of Sciences initiated the TMSR research and development project in 2011 with a substantial investment, highlighting the national importance and scale of the endeavor. The TMSR-LF1's design is influenced by historical MSR efforts, notably the 1960s Molten-Salt Reactor Experiment at Oak Ridge National Laboratory in the United States. The TMSR-LF1 represents a significant milestone in the development of advanced nuclear technologies and the exploration of thorium as a viable alternative to uranium for nuclear power generation.

5 Overview of domestic small modular and advanced reactor deployment plans (future-looking)

China aims to become largely self-sufficient in reactor design and construction, leveraging its indigenous technologies. The country has a well-established nuclear power industrial chain, with a high degree of localization in R&D equipment manufacturing. This domestic capability is seen as a strategic advantage that could enable China to export its nuclear technologies globally.

There is no national development roadmap and/or plan for Chinese SMR or advanced reactor deployment or construction. As advanced reactor technologies and SMRs are being developed, the various design authorities are in talks with different provinces for first-of-a-kind projects. These plans are often fluctuating and changing based on political, financial, and project realities. Currently, there is only one construction license issued for advanced or SMR reactors in China, for the ACP100 (Linglong One) which is nearing completion of construction.

China's future in SMR and advanced reactor development is characterized by a strong commitment to innovation, significant investment in research and development, and a strategic approach to becoming a global leader in nuclear technology. The country's progress in projects like Linglong One and HTR-PM, along with its exploration of fourth-generation technologies, underscores its potential to shape the future of nuclear power both domestically and internationally.

주요단신

세계 World



IAEA와 벨기에, 2024 원자력 정상회의(Nuclear Energy Summit 2024) 공동주최

World Nuclear News 2024.03.21., Nuclear Engineering International 2024.03.26.

■ 2024년 3월 21일 IAEA와 EU 의장국인 벨기에는 브뤼셀에서 2024 원자력 정상회의(Nuclear Energy Summit 2024)를 공동주최함.

- 이번 정상회의에 참석한 32개국(원전 가동·확대·도입국) 정상들은 기후 변화 대응과 에너지 안보 강화를 위한 원자력 보급 확대를 위해 자금조달·기술혁신·규제협력·인력양성 등의 조치를 약속하는 내용의 선언문을 채택함.

※ 32개국은 아르헨티나, 아르메니아, 방글라데시, 벨기에, 불가리아, 캐나다, 중국, 크로아티아, 체코, 이집트, 핀란드, 프랑스, 헝가리, 인도, 이탈리아, 일본, 카자흐스탄, 네덜란드, 파키스탄, 필리핀, 폴란드, 루마니아, 사우디아라비아, 세르비아, 슬로바키아, 슬로베니아, 대한민국, 스웨덴, 터키, 아랍에미리트, 영국, 미국임.

- 32개국 정상들은 선언문을 통해 온실가스 배출 감축, 에너지 안보 보장, 지속가능한 발전과 청정에너지 전환 촉진을 위한 글로벌 전략의 핵심 기술로 원자력의 역할을 재확인하고, 기존 원전의 계속운전, 신규 원전 건설, SMR 및 선진 원자로의 조기 도입 등을 위한 지원과 자금조달 조건 마련을 약속함.
- 특히 자금조달과 관련하여 각국 대표들은 향후 신규 원자력 프로젝트에 대한 공공 및 민간 투자 자금 동원을 촉진하기 위한 조치(공공 부문의 직접 조달, 투자자에 대한 보증, 수익 및 가격 리스크 공유 계획 등)를 지지하며, 다자개발은행, 국제금융기관, 지역 기구에 원자력 프로젝트에 대한 자금조달 지원 강화와 무탄소 전원에 대한 동등한 자금 지원을 촉구함.
- Grossi Rafael Grossi 사무총장은 국제 금융기관이 안전하고 비확산적인 방식으로 원자력에 대한 자금조달과 용량확대를 지원 및 보장해야 한다고 강조하며, 제28차 유엔 기후변화협약 당사국총회(COP28)가 원자력을 청정에너지 전환의 필수 전원으로 확인함에 따라 이번 정상회의는 원자력에 대한 금기가 깨졌음을 보여준다고 발언함.

- Alexander de Croo 벨기에 총리는 원전 폐쇄에서 계속운전으로의 원자력 정책을 변경한 자국의 사례를 언급하며, 탄소중립 목표 달성을 위해서 원자력이 재생에너지와 함께 전원 구성의 일부가 되어야 한다는 인식이 점점 더 커지고 있다고 밝힘.
 - Ursula von der Leyen EU 집행위원회 위원장은 1990년대 이후 EU의 원자력 발전 비중이 감소하고 있어 원자력의 미래가 확실하지 않다고 언급하면서도, 기후 문제 대응 측면에서 원자력의 기여도를 인정하며 신규 투자 확보 및 정부 지원을 촉구하는 동시에 SMR 개발과 원전의 계속운전 시행을 지지함.
- 한편, 이번 정상회의에서 캐나다원자력산업협회(CNA), 일본원자력산업협회(JAIF), 한국원자력산업협회(KAIF), 유럽원자력협회(NuclearEurope), 영국원자력산업협회(NIA), 세계원자력협회(WNA) 등 글로벌 원자력협회들도 기후 변화 대응, 에너지 안보 목표 달성을 위해 원전 설비 증가를 계획한 각국 대표들을 지지하는 산업계 성명서를 발표함.
- 상기 기관들은 성명서를 통해 각국 정부에 (1)원전 도입을 촉진하는 일관된 장기적인 정책 수립, (2)원자력 프로젝트용 자금 조달 및 자금 회수 메커니즘과 관련하여 투자자에게 명확성 제공, (3)원자력 개발을 위한 국·내외 기후 금융 조성 활성화, (4)다자간 금융기관의 투자 포트폴리오 내 원자력 포함 보장, (5)원자력 및 핵연료주기를 지속가능한 경제활동에 대한 투자로 정의, (6)공급망 개발 촉진 및 원자력 연구 투자 등을 촉구함.

주요단신

북미
North America

■ 미국, 2024 회계연도 세출법안 통과로 원자력손해배상법 40년 연장

Nuclear Newswire 2024.03.23., United States Senate Committee on Appropriations 2024.03.23.,
Nucnet 2024.03.26.

- 2024년 3월 23일 Biden 대통령은 2024 회계연도 본예산 중 여야 간 견해차로 처리가 지연됐던 나머지 6개 세출법안을 모은 미니버스 예산안(minibus packages)에 서명하였으며, 이로써 여기에 포함된 원자력손해배상법(Price-Anderson Act)의 40년 연장안이 가결됨.
 - 2025년 12월 31일에 만료 예정이던 원자력손해배상법은 원자력 산업과 관련된 사고 및 재해로 인한 재정적 리스크 관리를 위해 1957년에 제정된 법률로서, 특히 원자력 사고 발생 시 연방 규제당국이 원전 운영자에 대한 재정적 책임을 제한하는 내용이 포함됨.
 - 또한, 이번에 통과된 원자력손해배상법에는 미국 이외의 지역에서 발생한 원전 사고에 대해 미 에너지부가 제공해야 하는 보험 기준액을 기존 5억 달러(약 6,753억 원)²⁾에서 20억 달러(약 3조 원)로 상향하는 내용이 포함됨.
 - 허가된 원전 부지의 1차 보험 기준액 범위는 인플레이션에 따라 변동성이 있으므로 미 원자력규제위원회(NRC)가 주기적으로 설정 및 업데이트함.
 - 한편, 이번 미니버스 예산안은 하원에서 찬성 286표, 반대 134표로 통과된 후 상원에서 찬성 74표, 반대 24표로 가결됨.
 - ※ 미니버스 예산안(minibus packages)은 미 의회가 예산 절차를 간소화하고 효율적으로 연방 예산을 채택하기 위해 관련 예산 항목을 하나의 법안으로 묶은 것임.
 - 이번에 통과된 6개 세출법안 대상은 국토안보, 국방, 금융 서비스와 정부, 교육 및 보건 복지, 입법 부문, 외국 지원 프로그램 등이며, 나머지 6개 세출법안은 2024년 3월 8일에 통과됨.

2) 북미 단신 기사 내용 모두 2024년 4월 5일 환율 기준 적용(1달러=1,350원)

■ 미 에너지부, Palisades 원전 재가동 위한 2조 원 규모 조건부 대출 보증

Energy. Gov 2023.09.22., 2024.03.27., Power Magazine 2024.03.27.,
Nucnet 2024.03.27., World Nuclear News 2024.03.28.

- 2024년 3월 27일 미 에너지부 대출사무국(Loan Programs Office, 이하 'LPO')은 2022년 5월 조기 폐쇄된 Michigan 주의 Palisades 원전(805MW, PWR)의 복구 및 재가동을 위해 Holtec에 조건부로 최대 15억 2천만 달러(약 2조 원)의 대출을 보증한다고 발표함.
 - 이번 발표는 2023년 3월 Holtec이 Palisades 원전의 재가동을 위해 LPO에 자금지원을 신청한 데 따른 것으로, LPO의 지원 조건은 Palisades 원전이 미 원자력규제위원회(NRC)로부터 규제 승인을 받고 기술·법·환경·재무 등의 특정 요구사항을 충족하는 것을 전제로 함.
 - 규제 승인 시 Palisades 원전은 미 정부가 원전 재가동을 위해 대출 지원을 한 첫 사례가 될 것임.
 - 이번 지원은 2022년 8월 Biden 대통령이 서명한 인플레이션 감축 법안(IRA)에 근거한 것으로, IRA는 신규 대출 프로그램인 EIR(Energy Infrastructure Reinvestment) 프로그램을 추가하여 운영이 중단된 에너지 인프라 재정비·재가동·용도변경·대체 및 현재 운영 중인 인프라 효율성을 개선하고자 하였음.
 - 당시 에너지 및 기후 부문의 신규 대출 발행을 지원하기 위해 LPO에 약 117억 달러(약 16조 원)를 할당하였으며, 이로써 LPO의 기존 대출 프로그램 내 대출 권한(loan program authority)이 약 1,000억 달러(약 135조 원) 확대됨.
 - Palisades 원전은 경제성 등을 이유로 2022년 조기 폐쇄된 이후 부지 면허가 운영사인 Entergy에서 해체를 담당하는 Holtec으로 이관되었으나, 이후 Holtec은 2025년 말까지 해당 원전을 재가동하여 2051년까지 운영하기로 계획을 수정함.
 - 2023년 7월 Michigan의 Gretchen Whitmer 주지사는 해당 원전 재가동을 위해 1억 5천만 달러(약 2,024억 원)의 자금을 제공하는 Michigan 주 2024 회계연도 예산에 서명한 바 있음.
 - 2023년 9월 Holtec은 Michigan 주 Wexford 카운티 전력공급을 담당하는 비영리단체인 Wolverine 전력협동조합과 전력구매계약(PPA)을 체결하였으며, 같은 해 10월 Holtec은 2025년 8월까지 해당 원전의 재가동에 돌입하기 위한 인허가 절차를 공식적으로 시작하기 위해 관련 서류를 NRC에 제출했다고 발표함.

미 에너지부, GAIN 바우처 프로그램 2024년 2차 지원 대상 발표

Office of Nuclear Energy 2024.03.19., GAIN 2024.03.19.

- 2024년 3월 19일 미국 에너지부는 원자력 혁신기술 상용화 촉진 및 민간 산업체의 선진 원자로 개발 활동 지원이 목적인 Gateway for Accelerated Innovation in Nuclear(이하 ‘GAIN’) 프로그램의 2024년 회계연도 두 번째 라운드(round) 지원 대상 기업 세 곳을 선정했다고 발표함.

※ GAIN은 2016년 미 에너지부 원자력국(DOE Office of Nuclear Energy)이 출범시킨 것으로, 프로젝트 지원 대상 기업들에 직접적인 재정지원 대신 GAIN Nuclear Energy Voucher(이하 ‘GAIN NE 바우처’)를 연구개발비의 최소 20% 규모로 지급하고, 이를 바탕으로 실제 자금이 제공된 미 에너지부 산하 국립 연구소의 자원을 활용하도록 함.

- 이번 발표에 따른 지원 내용은 흑연감속재 생산공정, 초소형원자로 열저장 및 전력변환 연구, Oklo 선진 원자로 연료 로드맵 관련 시험설비 설계 지원 등임.

미 에너지부의 GAIN 바우처 프로그램 2차 지원 대상 및 지원 내용

프로젝트 선정 기업	협력 연구기관	연구 내용
Element Factory, LLC Cheyenne, WY	Idaho 국립연구소	흑연중성자 감속재(Graphite Neutron Moderator) 생산을 위한 스파크 플라즈마 소결(Spark Plasma Sintering) 공정개발 연구
Kanata America, Inc. Cheyenne, WY	Sandia 국립연구소	저비용 초소형원자로를 위한 초임계 이산화탄소 전력(sCO2 Power) 변환과 열에너지 저장 연구 및 열전달과 sCO2 전력 주기 평가
Oklo Inc. Santa Clara, CA	Idaho 국립연구소	Oklo의 선진 원자로 연료 로드맵 지원을 위한 시험 수단(Test Vehicle) 사전 개념 설계 개발 및 지원

자료: GAIN 2024 2nd Round Voucher Announcement(2024.03.19.)

미 NRC, 선진 원자로 설계 인허가 절차 관련 신규 지침문서 발표

Office of Nuclear Energy 2024.03.25., Nuclear Engineering International 2024.03.27.

- 2024년 3월 25일 미 원자력규제위원회(NRC)는 비경수로를 위한 설계 인허가 절차 간소화 내용을 담은 10건의 신규 지침문서(guidance documents)를 최종 확정하고 발표함.

- 이번에 발표된 문서에는 업계 주도의 TICAP(Technology Inclusive Content of Application Project)에 대한 승인(endorsement)이 포함됨.
 - TICAP는 건설·운영·제조 허가, 표준설계승인(standard design approvals), 설계인증 및 통합인허가(combined licenses) 신청에 필요한 모든 주제에 지침을 제공하는 NRC

주도의 대규모 프로젝트인 ARCAP(Advanced Reactor Content of Application Project)의 일부임.

- TICAP의 주목적은 선진 원자로 인허가 신청 지원을 목적으로 안전분석보고서(Safety Analysis Report, SAR)에 기술포용적(technology-inclusive) 검토를 제공하는 것으로, 이번 승인은 업계, NRC, 미 에너지부, 국립 연구소와의 6년간 협력의 결과임.
- 또한, 이번 발표에는 신규 인허가 신청자 및 일반인에게 인허가 절차를 투명하게 공개하기 위한 ISG(interim staff guidance)도 포함됨.
- 신규 지침문서는 안전에 가장 직접적인 영향을 미치는 설계 및 운영 부분에 중점을 두었으며, 비경수로 인허가와 관련해 비용 효율적인 접근 방식을 확립하기 위한 것임.
 - NRC는 규제 불확실성을 줄이는 데 도움이 될 것으로 기대하면서, 향후 5년간 신규 지침문서를 바탕으로 선진 원자로 개발 기업들이 인허가 신청을 할 것으로 예상함.

■ 미국 Washington 주 의회, SMR 개발 위해 주 정부 2023-2025년 자본 예산안에 337억 원 배정

Power Engineering 2024.03.14., American Public Power Association 2024.03.14.

- 2024년 3월 6일 Washington 주 의회가 SMR 개발을 목표로 2023-2025년 추가 자본 예산안(supplemental capital budget)에 2,500만 달러(약 337억 원)를 배정했다고 발표함.
 - 이번 예산안 배정은 Washington 주의 원전 사업자인 Energy Northwest의 미 에너지부 대출사무국(LPO) 프로그램 신청 참여를 위한 비연방 매칭(non-federal match)으로 제공되는 것임.
 - Washington 주 의회는 10여 년 만에 원전에 대규모 투자를 위한 추가 자본 예산안을 만장일치로 통과시켰으나, 예산안 확정을 위해서는 Washington 주지사의 서명이 필요함.
 - Energy Northwest는 Washington 주 Richland의 Columbia 원전 인근에 2030년까지 최초호기 가동을 목표로 최대 12기의 Xe-100(총 960MW) 보급을 계획 중임.
 - Energy Northwest는 X-energy와 2020년부터 Washington 주 내 Xe-100 원자로 보급 계획을 논의해 왔으며, 2023년 7월 19일 양사는 Columbia 원전 인근에 Xe-100을 도입하기로 하는 공동개발협약(Joint Development Agreement, JDA)을 체결한 바 있음.
 - 2024년 1월 10일 전력사 Puget Sound Energy는 Energy Northwest의 차세대 원자력 시설 개발 및 보급의 타당성 검토에 1천만 달러(약 135억 원)를 투자하는 내용의 협약(agreement)을 체결함.

■ 미국 TerraPower, 미 NRC에 Natrium SMR 건설허가 신청서 제출

Power Magazine 2024.03.19., TerraPower 2024.03.29., Power Engineering 2024.03.29.

- 2024년 3월 29일 TerraPower는 자사가 Wyoming 주 Kemmerer 시에서 개발 중인 소듐 냉각 고속원자로 Natrium(345MW, SFR) 실증을 위해 미 원자력규제위원회(NRC)에 건설허가 신청서를 제출했다고 발표함.
 - TerraPower에 따르면, NRC에 상업용 선진 원자로 건설허가 신청서를 제출한 기업은 TerraPower가 처음임.
 - TerraPower는 Natrium 실증 프로젝트에 약 10억 달러(약 1조 원)의 민간 자금을 유치하였으며, 미 정부로부터도 20억 달러(약 3조 원)를 지원받음.
 - 앞서 2024년 3월 18일 TerraPower의 Chris Levesque CEO는 2024년 6월 Natrium 원자로 건설 시작을 위해 준비 중이며, 2030년에 상업운전을 목표로 한다고 밝힘.
 - Levesque CEO에 따르면 초기 건설 작업은 원자력 활동(nuclear activity)과 관련 없는 원자로 설계 중심으로 진행될 것이라고 덧붙임.

■ 미국 GLE, 미 에너지부의 HALEU 사업 참여 제안에 대해 보류 결정

Silex Systems 2024.03.26., World Nuclear News 2024.03.26., Nuclear Engineering International 2024.03.29.

- 2024년 3월 26일 미국 우라늄 농축 기술 기업 Global Laser Enrichment(이하 'GLE')는 미 에너지부의 국내 고순도저농축우라늄(HALEU) 공급망 확립을 위한 우라늄 농축 서비스 제안요청서(Request for Proposals, 이하 'RFP') 검토 후 제안서를 제출하지 않기로 결정했다고 밝힘.
 - ※ GLE는 3세대 농축 기술인 Silex 레이저 우라늄 농축 기술의 독점 라이선스를 확보한 기업으로, 지분은 호주 Silex Systems Ltd(이하 'Silex')가 51%, 캐나다 Cameco가 49%를 소유함.
- 2024년 1월 미 에너지부는 자국 내 HALEU 공급망 구축을 위해 육불화우라늄(UF₆)의 확보·저장·운수에 중점을 둔 RFP를 발표한 바 있음.
- 이번 제안서 미제출 결정과 관련해 GLE는 미 정부가 보유 중인 감손우라늄을 재농축·변환하는 기존 사업계약에 집중하는 것이 리스크가 가장 적다고 판단하였다고 밝힘.
 - 2016년 미 에너지부는 GLE에 30년 동안 UF₆ 생산을 위해 GLE가 미국 Kentucky 주에 건설하는 Paducah 레이저 농축시설(PLEF)의 공급 원료(feedstock)로 약 20만 톤의

육불화감손우라늄(depleted uranium hexafluoride)을 판매하기로 합의했으며, 생산분은 전 세계 우라늄 시장에 판매할 수 있도록 함.

■ 한편, 2024년 3월 26일 미 원자력규제위원회(NRC)는 North Carolina 주 Wilmington에 위치한 GLE의 시험루프(Test Loop) 파일럿 시설의 안전운영에 대한 검사를 완료한 후 2024년 2분기에 예정된 TRL(technology readiness levels)-6 농축 시범 준비에 대비해 UF₆를 적재할 수 있도록 승인함.

- 이에 따라 GLE는 2024년 동안 TRL-6 기술 실증과 관련한 평가를 완료할 예정이며, 타당성 평가 등에 따라 이르면 2028년에 PLEF를 가동할 수 있을 것으로 예상함.

■ 미국 Constellation, 자국 최초로 원자력 프로젝트에 사용 가능한 녹색채권 발행

Constellation 2024.03.18., World Nuclear News 2024.03.19., Nucnet 2024.03.20., Nuclear Engineering International 2024.03.21.

■ 2024년 3월 18일 미국 최대 원전운영사 Constellation은 미국 최초로 원자력 프로젝트 자금 조달에 사용이 가능한 9억 달러(약 1조 원) 규모의 30년 만기 기업 녹색채권을 발행함.

- 미국에서 가장 많은 원전을 운영 중인 Constellation은 현재 14개 부지에서 21기의 원자로를 운영 중으로, 이번에 조달된 자금을 원전의 유지보수, 추가 원자로 건설, 계속운전 등의 투자에 사용할 계획을 밝힘.
 - Constellation의 Dan Eggers 수석부사장 겸 CFO는 원자력은 수십 년 동안 중요한 역할을 할 청정에너지 기술로 이에 대한 투자는 안전하고 장기적이며, 장기 자금조달의 일환으로 미국 내 최초의 기업 녹색채권을 발행했다고 언급함.
- 이번 녹색채권 발행은 Constellation이 개발한 신규 녹색 금융 프레임워크(green financing framework)를 기반으로 함.
 - 이에 따라 원전 출력증강, 청정수소 생산기술, 에너지 저장시스템, 풍력발전 성능개선(repowering) 및 무탄소에너지 활용 등 프로젝트를 위한 녹색채권 발행이 가능하게 됨.

기타 단신

■ 미국 Kentucky 주 하원, 원전사업 지원 법안 만장일치 통과

Spectrum News 1 2024.03.22.

- 2024년 3월 22일 Kentucky 주 하원은 해당 주에 원자력 개발청 설립 및 원자력 사업 활성화 기반 마련을 위한 상원 법안 198(Senate Bill)을 만장일치로 통과시키고 Andrew Beshear 주지사의 최종 승인을 요청함.
 - SB 198에는 Kentucky 주에서 원자력 개발을 촉진하기 위해 관련 시설의 부지 탐색 및 적합성 조사 착수와 함께 해당 지역에 적용 가능한 기준을 설정하는 내용이 포함됨.
 - 또한 해당 법안은 Kentucky 주 전역에서 원자력 개발에 기여 중인 30명의 위원으로 구성된 비규제기관인 Kentucky 원자력 개발청을 설립하도록 함.

■ 미국 철강사 Nucor, Google·Microsoft와 선진 원자로도 고려된 상업 프로젝트 개발 위한 협력 발표

Nucor 2024.03.19., World Nuclear News 2024.03.20.

- 2024년 3월 19일 북미 최대 철강제조업체인 Nucor는 Google, Microsoft와 함께 선진 원자로, 차세대 지열발전, 청정수소, 장주기 에너지저장(long-duration energy storage, LDES) 등을 포함한 초기 상업 프로젝트 비즈니스 모델 개발 및 전력 생태계 부문에서 협력하는 추진체(Initiative) 결성을 발표함.
 - 협력 업체들은 초기 상업 프로젝트를 위해 기술 구매계약 체결, 장기적인 생태계 개선을 위한 의견 개진, 새로운 요금구조 개발 등 세 가지 부문에 중점을 둔 프레임워크를 시범 운영할 예정으로, 2030년대 초까지 프로젝트 개시를 목표로 함.
 - 첫 단계로 각 기업은 구매계약(offtake)이 필요한 잠재적인 프로젝트를 위해 미국의 여러 지역에서 정보제공요청서(Request for Information, RFI)를 발행하고 관심 있는 기술 제공자와 개발자, 투자자, 전력사 등과 접촉할 계획임.
 - Nucor는 2023년 5월 16일 NuScale이 개발 중인 VOYGR SMR을 활용해 전기를 포함한 자사 제철시설의 전력 공급 및 자사 부지 인근 VOYGR 제조시설 건설에 대한 타당성 검토를 위해 양해각서(MOU)를 체결한 바 있음.

■ 캐나다 Prodigy Clean Energy, 원주민 지역 기업과 이동형 초소형원전 보급 위한 MOU 체결

Business Wire 2024.03.19., World Nuclear News 2024.03.20., Nuclear Engineering International 2024.03.21.

- 2024년 3월 19일 캐나다 Prodigy Clean Energy(이하 ‘Prodigy’)는 캐나다 Saskatchewan 주의 원주민지역 기업 Des Nèdhé Group과 이동형 초소형 원전을 활용한 광산 및 지역사회 대상 전력 공급 기회 발굴을 위한 양해각서(MOU)를 체결함.
 - 이번 MOU 체결로 양사는 이동형 원전(Transportable Nuclear Power Plant, 이하 ‘TNPP’) 프로젝트 탐색과 함께 원주민 지역사회인 First Nations와 Inuit, Metis 등이 TNPP 신규 건설에 대한 소유권을 가질 수 있는 방안과 TNPP 상용화 및 전략적 인프라 개발에서 주도적인 역할을 할 수 있는 방안을 확인함.
 - Prodigy에 따르면 TNPP는 현장에서 건설되는 SMR과 달리 조선소에서 제조되어 운송되므로 최소화의 부지 준비만 필요함.
 - 2024년 1월 23일 Prodigy는 2030년까지 Westinghouse가 개발 중인 초소형로 eVinci (5MW)에 맞춘 해양 기반 이동형 원전 설계 및 보급을 위한 협력 계획을 발표한 바 있음.

주요단신

유럽·아프리카 Europe·Africa



■ 영국 Sizewell C 원전 개발사, EDF Energy로 부터 원전부지 매입 위한 계약 체결

Sizewell C 2024.03.25., Nucnet 2024.03.26., Nuclear Engineering International 2024.03.29.

- 2024년 3월 25일, Sizewell C 신규원전을 위해 설립된 Sizewell C Ltd는 EDF Energy로 부터 Sizewell C 원전(3.2GW, PWR 2기)용 부지 매입 계약을 통해 해당 부지의 소유권을 취득했다고 발표함.

- 이번 발표는 올해 초 Sizewell C 원전 프로젝트가 본격적인 건설단계에 진입한 가운데 이루어졌으며, Sizewell C Ltd는 EDF Energy의 부지 매입을 통해 영국 원자력규제청 (Office for Nuclear Regulation)에 원전 부지 허가 신청서 제출이 가능해졌다고 밝힘.
- Sizewell C Ltd에 따르면, 영국 잉글랜드 남동부 Suffolk 해안에 위치한 부지에는 2기의 EPR이, 주변 지역에는 야생동물 서식지, 2,400명의 근로자 숙소, 임시 건설 부지가 들어설 예정임.
 - Sizewell C Ltd는 몇 주 내로 대규모 토목공사를 시행하기 위해 인력 채용을 서두르고 부지정지공사 착수 준비를 진행 중임.
 - Sizewell C Ltd는 해당 원전의 완공 시 부지의 일부를 초원, 황야지대, 텃밭, 낙엽림지 대로 복구해, 장기적으로 지역의 생물다양성을 19%까지 증가시킬 계획임.
- Sizewell C Ltd는 올해 말 최종투자결정(FID)이 내려질 예정이라고 전망하면서, 해당 프로젝트의 잠재적 지분 투자자와 논의를 진행 중이라고 설명함.
 - 현재 영국 정부는 25억 파운드(약 4조 원)³⁾를 투자한 Sizewell C 프로젝트의 대주주이며 EDF Energy는 과반이 조금 안되는 지분을 보유하고 있음. 올해 말 시행될 FID에서 영국 정부, EDF, 신규투자자가 각각 Sizewell C 프로젝트의 20%, 20%, 60%의 지분을 보유 할 것으로 전망됨.

3) 유럽 단신 기사 내용 모두 2024년 4월 5일 환율 기준 적용(1유로=1,463원, 1파운드=1,706원, 1달러=1,351원)

■ 프랑스 하원, 상원에 이어 원자력안전청(ASN)과 기술지원기구 IRSN 간 통합안 승인

UxWeekly 2024.03.18., Le Monde 2024.03.19.

■ 2024년 3월 19일 프랑스 하원은 원자력 안전규제기관인 원자력안전청(ASN)과 기술지원기구 역할을 담당해왔던 방사선방호·원자력안전연구소(IRSN)를 통합하는 원자력 안전 거버넌스 법안을 1표 차이로(찬성 260표, 반대 259표) 승인함.

- 해당 법안은 2025년 1월 1일부로 ASN과 IRSN의 임무를 통합 및 간소화하여 원자력 안전 및 방사선방호청(ASNR)이라는 신규 행정기관을 설립하는 것을 목표로 하고 있음.
 - 2023년 12월 프랑스 에너지·생태전환부는 ASN과 IRSN을 통합하는 법안을 각료회의에 제출했으며 올해 2월 프랑스 상원은 해당 법안을 찬성 228표, 반대 98표로 통과시킨 바 있음.
 - 프랑스 정부는 해당 법안의 최종 채택을 목표로 4월 3일에 상원·하원위원으로 구성된 공동위원회를 소집할 예정임.
 - ASNR이 창설되면 ASN 직원 530명과 IRSN 직원 1,740명이 통합될 예정임.
- ASN과 IRSN의 통합은 EPR2 신규 원자로 건설 가속화와 자국 원전의 계속운전 시행을 위해 원자력 규제 체계를 단순화하려는 Macron 대통령의 원자력 확대계획의 일환임.
 - 그러나, 환경 단체와 IRSN·ASN 노조는 두 기관의 통합에 따른 시스템 혼란, 전문가의 독립성 상실, 원자력 안전에 대한 대중의 투명성 상실을 이유로 해당 법안을 반대함.
- 프랑스는 1986년 체르노빌 원전 사고의 교훈으로 투명성 부족 문제가 제기되자 2000년대 초 ASN과 IRSN의 이중 체계를 구축해, IRSN이 원자력 안전 관련 전문지식을 갖추고 연구를 수행하도록 하고, ASN이 IRSN의 전문지식을 토대로 안전 규제에 관한 의사결정을 담당하도록 하였음.

■ 프랑스 정부, 혁신원자로 개념설계개발 3차 공모에 자국 및 네덜란드 용융염원자로 프로젝트 선정

Enterprises.gouv.fr 2024.03.21., World Nuclear News 2024.03.22., Sfen 2024.03.26., Nuclear Engineering International 2024.03.27.

■ 2024년 3월 21일 프랑스 핵연료주기기업인 Orano와 각각 컨소시엄을 구성한 용융염원자로 (MSR) 개발업체인 Thorizon(네덜란드)과 Stellaria(프랑스)는 ‘프랑스 2030 투자 계획’의

일환으로 프랑스 정부가 주관한 핵분열·핵융합 분야 혁신원자로 개념설계개발 프로젝트 3차 공모에 선정되어 각각 1,000만 유로(약 146억 원)를 지원받았다고 발표함.

※ 2021년 10월 Macron 대통령은 산업 경쟁력과 미래 기술 개발을 위한 5개년 계획인 300억 유로(약 44조 원)규모의 ‘프랑스 2030 투자 계획’을 발표하고, 원자력 부문에서 ① SMR 프로젝트(NUWARD), ② 핵분열 및 핵융합 분야의 혁신 원자로 개발, ③ 폐기물 관리 혁신, ④ 핵연료 처리 및 재활용, ⑤ 원자력 부문 훈련을 중점적으로 지원하기 위해 10억 유로(약 1.4조 원) 투자 계획을 밝힌 바 있음.

- Thorizon은 Orano, 프랑스 원자력·대체에너지 위원회(CEA), 프랑스 컨설팅 기업 Oakridge, 벨기에 엔지니어링 기업 Tractebel, 네덜란드 NRG-Pallas 연구소와 함께 250MWt/100MW 규모의 MSR를 개발 중으로, 2035년 전까지 프로토타입 원자로 구축을 목표로 하고 있음.
- Stellaria는 CEA, 프랑스 엔지니어링 기업 Technip Energies, 프랑스 에너지 관리 및 자동화 전문기업 Schneider Electric과 함께 250MWt/110MW 규모의 초소형 MSR를 개발 중으로, 2033년에 첫 번째 원자로 시운전과 빠르면 2035년에 후속 원자로 가동을 목표로 하고 있음.
- 프랑스 정부는 신규 원자력 스타트업이 주도하는 핵분열 및 핵융합 분야의 생태계 개발을 지원하기 위해, 3차례에 걸친 혁신원자로 개념설계개발 프로젝트 공모(AAP)를 시행해 총 11개 업체에 1억 2,990만 유로(약 1,902억 원)를 지원해옴.

표 프랑스 정부의 핵분열·핵융합 분야 혁신원자로 개념설계개발 프로젝트 지원 내용

구분	지원금 및 지원 대상
1차 공모 기업 선정 ⁴⁾ (2023년 6월 발표)	· 총 2,490만 유로(약 365억 원) ① Naaréa(프랑스): 80MWth/40MW 규모의 용융염로 개발 ② Newcleo(영국): 30MW 규모의 납냉각로 개발
2차 공모 기업 선정 ⁵⁾ (2023년 11월 발표)	· 총 7,720만 유로(약 1,131억 원) ① Jimmy Energy SAS(프랑스): 20MWth 규모의 고온로 개발 ② Renaissance Fusion SAS(프랑스): 1GW 규모의 스텔러레이터(stellarator) 유형의 핵융합로 개발 ③ Calogena(프랑스): 30MWth 규모의 경수로 개발 ④ HEXANA(프랑스): 300MW 규모의 소듐냉각고속로 개발 ⑤ Otrera Nuclear Energy(프랑스): 184MWth/110MW 규모의 소듐냉각고속로 개발 ⑥ Blue Capsule(프랑스): 150MWth/50MW 규모의 소듐냉각로 개발
3차 공모 기업 선정 ⁶⁾ (2024년 3월 발표)	· 총 2,780만 유로(약 407억 원) ① Stellaria(프랑스): 250MWth/110MW 규모의 초소형 용융염원자로 개발 ② Taranis(프랑스): 1000MWth 규모의 핵융합로 개발 ③ Thorizon(네덜란드): 250MWth/100MW 규모의 용융염원자로 개발

자료: THE DIRECTORATE GENERAL FOR ENTERPRISE 보도자료 정리, Sten 기사(2024,3,26.)

■ 독일 바이에른 주, Isar 2호기 해체·철거 허가 발급

PreussenElektra 2024.03.22., World Nuclear News 2024.03.25.

■ 2024년 3월 22일 독일 원전운영사 PreussenElektra는 바이에른주 환경·소비자보호부로부터 Isar 2호기(1485 MW, PWR)의 해체 및 철거 허가를 취득함.

- Isar 2호기는 독일 정부가 2023년 4월 15일에 영구정지한 마지막 3기 원자로(Isar 2호기, Neckarwestheim 2호기, Emsland) 중 하나로, 해체 준비를 위해 사용후핵연료 193 다발 인출과 1차 냉각회로의 제염작업이 시행되었음.
 - PreussenElektra는 2019년 7월 해당 원자로의 해체 및 철거 신청서를 제출한 바 있음.
- PreussenElektra는 첫 번째 철거 작업으로 냉각재 펌프 철거를 시행할 예정이며, 이와 동시에 원자로압력용기 내부 철거를 위해 냉각재 배관을 분리할 예정임.
 - PreussenElektra에 따르면, Isar 2호기 해체 작업은 2030년대 완료될 예정이며 해당 부지는 다른 용도로 활용될 수 있을 것으로 전망됨.
- PreussenElektra는 Isar 2호기를 포함해 총 7기의 원자로(Brokdorf, Grohnde, Isar 1호기, Stade, Unterweser, Würgassen)가 현재 해체 작업 중이라고 밝힘.

■ 독일 UfG 컨소시엄, 스위스 Mühleberg 원전의 원자로압력용기(RPV) 해체 계약 체결

World Nuclear News 2024.03.19., UxWeekly 2024.03.22.

■ 2024년 3월 21일 독일 UfG 컨소시엄(Uniper Nuclear Services GmbH, Framatome GmbH, GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH)은 스위스 원전운영사 BKW와 2019년 영구정지된 Mühleberg 원전(390MW, BWR)의 원자로압력용기(RPV), RPV 덮개, 제어봉 구동 하우징(drive housing), RPV 단열재 등을 절단 및 포장하는 내용의 계약을 체결함.

- UfG 컨소시엄은 프로젝트의 총 해체량은 약 270톤에 달할 것으로 전망하고 있으며, 2025년 말에 해당 원전 부지에서 작업을 시작할 예정임.

4) <https://www.gouvernement.fr/actualite/france-2030-accelere-le-nucleaire-de-demain-en-misant-sur-la-formation-et-l-innovation>

5) <https://www.entreprises.gouv.fr/fr/actualites/annonce-nouveaux-laureats-appel-projets-reacteurs-nucleaires-innovants>

6) <https://www.entreprises.gouv.fr/fr/actualites/appel-projets-reacteurs-nucleaires-innovants-annonce-des-nouveaux-laureats>

- Mühleberg 원전은 1972년 상업운전을 시작해 47년 가동 후 2019년 12월 영구정지되었으며, 스위스에 위치한 5기의 원전(Beznau, Goesgen, Leibstadt, Mühleberg, Lucens) 중 최초로 해체가 진행되는 원전임.
 - 해체는 2021~2024년까지 사용후핵연료 집합체 제거 및 수중 포장 작업(1단계), 2025~2030년까지 원자로 압력 용기, 격납고 부분, 사용후핵연료 저장조의 제염(2단계), 2031~2034년까지 원전의 일반 부대시설(conventional parts) 철거(3단계)로 구성되며, 2034년부터 해당 부지는 다른 용도로 재활용될 예정임.
 - BKW는 2022년 6월 말 스위스 원자력규제기관에 Mühleberg 원전 해체 2단계 신청서를 제출하였으며, 2023년 9월 해당 원전에서 발생한 사용후핵연료 인출 작업을 완료하였음. 현재 사용후핵연료는 Zwiilag 중간저장시설에 보관 중임.

■ 러시아 Rosatom, Atomexpo 2024 행사 통해 협력관계 확대

Rosatom 2024.03.27./28., Nuclear Engineering International 2024.03.28.

- 2024년 3월 25부터 26일까지 러시아 소치에서 열린 국제 원자력 포럼인 ATOMEXPO 2024에서 Rosatom은 여러 국가들과 다수의 협력 협정 및 양해각서(MOU)를 체결함.
 - Rosatom이 2009년부터 개최한 ATOMEXPO 국제 원자력 포럼은 원자력 산업 현황을 논의하고 국제 관계를 강화하기 위한 글로벌 원자력 전문 전시회임.
 - Rosatom에 따르면, 올해 13회를 맞이하는 이번 행사에 75개국 200개 이상의 기업 대표가 참가했으며 참가자수는 4,500명에 달함.
 - ATOMEXPO 2024 개최식에는 Alexey Likhachev Rosatom 사장, Rafael Mariano Grossi IAEA 사무총장(화상회의), Sama Bilbao-y-Leon 세계원자력협회(WNA) 사무총장 등이 참석함.
 - 이번행사에 아프리카 국가(부르키나파소, 말리, 니제르)와 이라크가 처음으로 참가함.
 - 이틀에 걸친 행사 동안 에너지, 산업, 생태학, 물류, 디지털, 보건, 과학, 교육 분야에서의 원자력의 활용이 30개 이상의 병렬 세션에서 논의되었으며, 러시아 원자력 산업의 전략적 과제로 SMR과 4세대 원자로를 포함한 혁신 원자로의 개발이 논의되었음.
 - Rosatom이 Atomexpo 2024의 일환으로 체결한 협력 협정 및 MOU는 다음과 같음.
 - (러시아 극동 지역) 3월 26일 프리모르스키 변경주(Primorsky Krai) 정부와 최대 4기의 부유식 원전(OFPU) 도입을 위한 타당성조사와 부지 선정에 대한 협정 체결

- (러시아) 3월 26일 러시아 석유·가스 전문 건설·엔지니어링 기업 TSS 그룹과 해외 시장 진출을 위해 부유식 원전 건설·운영을 위한 합작 투자 설립 협정 체결
- (세르비아) 3월 25일 세르비아 보건부와 핵의학 분야의 협력을 위한 MOU 체결
- (부르키나파소) 3월 25일 부르키나파소 에너지부와 인력 구축 및 원자력 인프라 개발을 포함한 원자력 발전을 위한 로드맵 수립 체결
- (중국) 3월 26일 Rosatom의 연료회사인 TVEL과 중국 회사인 Limac Company 및 Dalian Baoyuan Nuclear Equipment은 해체 및 방폐물 관리에 관한 MOU 체결
- (시리아) 3월 26일 시리아원자력위원회(AECS)와 원자력의 평화적 이용에 관한 MOU 체결
- (알제리) 3월 26일 알제리 에너지·광산부와 원자력의 평화적 이용에 관한 로드맵 수립을 위한 협력 협정 체결

■ 케냐, 최초 원전 건설을 위한 원자력 프로그램 개발 전략 수립

World Nuclear News 2024.03.22., Enerdata 2024.03.26.

- 2024년 3월 18일 케냐 원자력에너지청(Kenya Nuclear Power and Energy Agency, NuPEA)은 최초 원전 건설 준비 과정으로 향후 5년에 걸친 원자력 프로그램 개발에 관한 전략적 계획을 발표함.
 - NuPEA는 2023-2027 전략 계획을 통해 원자력 인프라 개발, 이해관계자 참여 및 지지, 에너지 연구 및 혁신, 에너지 역량 개발, 연구로 프로그램, 기관차원의 지속가능성 등 6가지 사안을 다루면서, 이를 실행하는데 약 2억 7,300만 달러(약 3,693억 원)가 소요될 것으로 추정함.
 - 특히 NuPEA는 최초 원자로 개발에 2027년까지 8,300만 달러(약 1,122억 원)가 소요될 것으로 추정함.
 - NuPEA에 따르면 케냐 최초 원전 로드맵은 2027년부터 착공 준비, 2030~2031년 착공, 2034년까지 건설·시운전으로 이루어져 있으며, Kilifi·Kwale 주가 후보부지로 결정됨.
 - 연구로(KNRR)의 경우 2030년대 초까지 시운전될 예정이며 Nairobi에서 64km 떨어진 Konza Technopolice 기술 허브에 건설될 예정임.

기타 단신

프랑스 국방부, 핵억지력 확보 차원에서 EDF와 삼중수소 생산 협력

Le Mond 2024.03.19., Euractiv 2024.03.20.

■ 2024년 3월 18일 Sébastien Lecornu 프랑스 국방부 장관은 핵억지력(nuclear deterrent) 확보의 일환으로 핵무기(수소·중성자 폭탄 등)에 사용되는 삼중수소 생산 및 재고 확보를 위해 EDF와의 협력을 발표함.

- EDF는 Civaux 원전(각 1,561MW, PWR) 가동으로 전력을 생산하는 동시에 리튬이 포함된 특수 물질에 대한 방사선 조사 서비스를 제공하기로 하였으며, 2025년으로 예정된 Civaux 원전의 계획예방정비 기간에 첫 테스트 작업을 수행할 수 있도록 원자력안전청(ASN)에 승인 요청서를 제출할 예정이라고 밝힘.
 - 방사선이 조사된 특수 물질은 삼중수소 제조를 위해 프랑스 원자력 과학·산업 연구 기관인 원자력·대체에너지 위원회(CEA)로 이송될 예정임.

체코 ČEZ, 지역난방업체와 Dukovany 원전 열 수송관 건설 위한 협약 체결

Nuclear Engineering International 2024.03.28.

■ 2024년 3월 25일 체코 국영기업 ČEZ는 지역난방 공급업체인 Teplárny Brno와 체코에서 두 번째로 큰 도시인 Brno에 Dukovany 원전(총 2,000MW, PWR 4기)에서 발생한 열 공급 목적으로 42km 길이의 지하 열수송관 건설을 위한 전략적 협약을 체결함.

- 이는 2023년 5월 양측이 동일한 내용으로 체결한 협력 협정에 이은 것으로, 해당 프로젝트는 2027년부터 4년에 걸쳐 진행될 예정이며, 비용은 약 8억 1,100만 달러(약 2조 원)로 EU 보조금 및 금융 기관의 대출 등이 고려되고 있음.
- 양측은 원전을 활용한 이번 프로젝트가 러시아산 천연가스에 80% 의존하고 있는 Brno의 가스 사용량 축소와 안정적인 열 공급에 기여할 것으로 전망함.
 - Petr Fiala 체코 총리는 해당 프로젝트가 Brno의 에너지 자급자족을 위한 중요한 단계라고 밝히며, 자국의 주요 전원으로 원자력을 활용한다는 방침에 부합한다고 발언함.

주요단신

아시아 Asia

아
시
아

■ UAE, Barakah 원전 4호기 전력망 연결

ENEC 2024.03.24., Nucnet 2024.03.25., World Nuclear News 2024.03.25.

- 2024년 3월 23일 UAE 원자력공사(ENEC)는 Barakah 4호기(1,417MW, PWR)가 전력망에 연결되었다고 발표함.
 - ENEC는 APR1400 4기로 구성된 Barakah 원전(총 5,668MW, PWR)은 UAE 전력수요의 최대 25%를 제공하여 UAE 전력 부문의 탈탄소를 지원할 것이라고 밝힘.
 - UAE는 Barakah 원전을 통해 연간 총 40TWh 이상의 전력을 공급하여 2천 2백만 톤의 탄소 배출을 줄이고자 목표함.
 - Barakah 4호기는 2015년 7월 30일 착공, 2022년 7월 고온기능시험을 완료하고, 2023년 11월 23일 UAE 연방원자력규제청(FANR)으로부터 해당 호기 운영 허가를 받은 후 2023년 12월 19일 연료장전을 완료함.
 - Barakah 1·2·3호기는 각각 2021년 4월 1일, 2022년 3월 24일, 2023년 2월 24일에 상업운전을 시작함.

■ 한수원, Urenco와 원전연료 장기 공급계약 체결

한수원 보도자료 2024.03.27., Nucnet 2024.03.26., World Nuclear News 2024.03.26., Nuclear Engineering International 2024.03.29.

- 2024년 3월 22일 한국수력원자력(이하 '한수원')은 벨기에 Brussels에서 우라늄 농축기업 Urenco와 10년 장기 원전연료 공급 계약을 체결했다고 밝힘.
 - 한수원은 1993년부터 Urenco에서 농축 우라늄을 수입하고 있으며, 이번 계약을 통해 장기적인 연료 수급 안정성을 높일 수 있게 되었다고 언급함.
 - ※ Urenco는 우라늄 농축 및 연료 부품을 공급하는 다국적 기업으로 영국과 네덜란드 정부 및 독일 주요 원전 사업자 그룹이 각각 3분의 1씩 지분을 소유하고 있으며, 영국·네덜란드·독일·미국에 농축 시설을 운영 중임.

- 한수원 황주호 사장은 한수원은 국내외 다수의 신규 원전 건설을 목표하고 있으며, 국제적으로 원전 수요가 증가함에 따라 Urenco와 같은 신뢰할 수 있는 파트너들과의 협력이 중요하다고 강조함.
- 한편, 2024년 3월 26일 Urenco는 네덜란드 Almelo에 있는 자사의 농축시설 용량 증설에 착수했다고 발표함.
 - Urenco는 2023년 12월 Almelo 시설의 용량을 15% 늘리는 계획을 발표한 바 있는데, Almelo 농축시설에 캐스케이드(cascades) 방식의 여러 개의 신규 원심 분리기를 추가하여 연간 약 750톤 SWU를 추가할 예정이며, 첫 번째 신규 원심분리기는 2027년경에 가동될 예정임.

■ 일본 주부전력, 하마오카1·2호기 해체 완료 시기 6년 연기

세계원전시장 인사이트 2023.04.28., 資源エネルギー庁 '原子力政策に関する直近の動向と今後の取組' 2023.12.19., 中京テレビNEWS, 日本経済新聞 2024.03.14., NHK 2024.03.15.

■ 3월 14일 일본 주부전력은 2009년부터 해체 작업 중인 하마오카 1·2호기(각 515·806MW, BWR)의 해체 계획 변경으로 인해 해체 완료 시기가 2036년에서 2042년으로 6년 연기되었다고 발표함

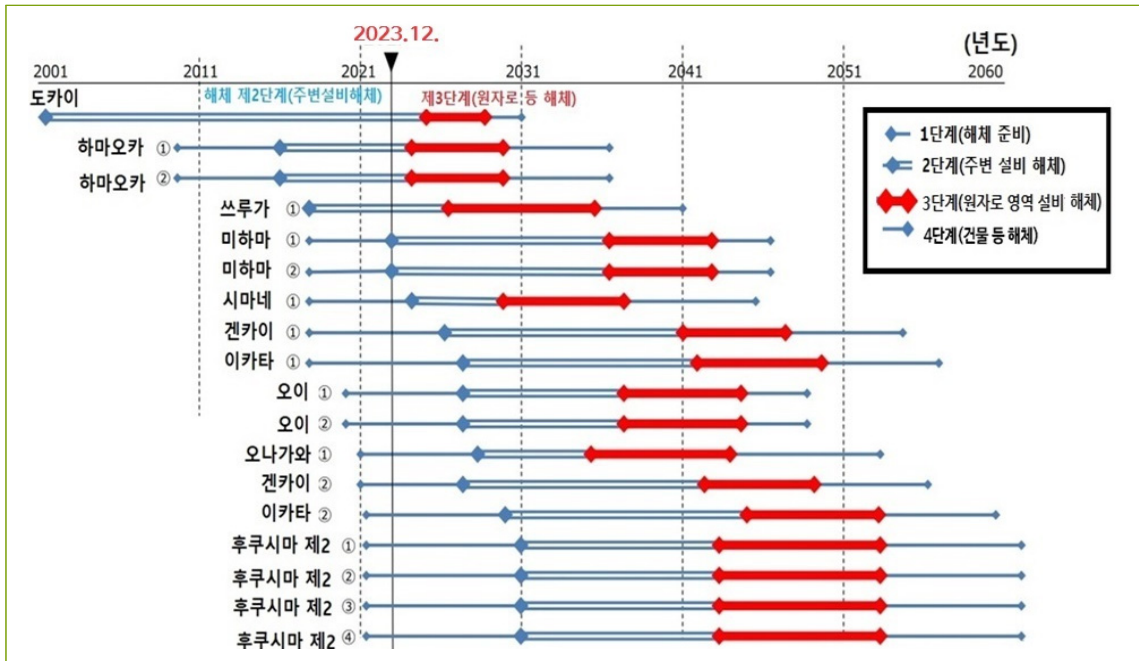
- 하마오카 1·2호기의 해체 3단계 공정*인 원자로 영역 설비 해체 작업을 두 호기 동시 진행에서 2호기 선 해체 후 1호기 해체로 변경해 전체 해체 완료 시기도 변경됨.
 - ※ 일본의 원전 해체 공정은 보통 총 4단계로 진행됨. 1단계에는 오염 상황 조사와 사용후핵연료 반출을, 2단계에는 주변 설비 해체를, 3단계에는 원자로 영역 설비 해체, 4단계에는 원자로 건물 등의 해체를 진행함.
- 하마오카 1호기는 1976년, 2호기는 1978년 상업운전을 시작해 2009년 영구 정지함. 2024년도에는 일본 상업로 중 최초로 해체 3단계 공정에 들어갈 예정임.
- 주부전력은 2호기를 선 해체해 관련 지식을 습득한 후 1호기를 해체하는 방식이 기존 계획 보다 안전하고 효율적이며, 계획대로 진행될 시 1호기의 해체 기간은 2호기의 해체 기간 보다 단축될 것으로 예상함.
- 두 호기의 해체 예상 비용은 기존과 동일한 총 약 840억 엔(약 7,466억 원)⁷⁾임.
- 주부전력은 2023년 3월에도 저준위 방폐물의 보관법 효율화 검토를 이유로 3단계 공정 착수 시기를 2023년도에서 2024년도로 수정함.

7) 일본 단신 기사 내용 모두 2024년 4월 3일 환율 기준 적용(100엔 = 888원)

■ 한편, 일본에서는 사고로 해체 중인 후쿠시마 제1원전(6기 총 4,696MW, BWR)을 포함해 총 24기의 상업로가 해체 작업 중임. 사고 원자로인 후쿠시마 원전을 제외한 18기 중에서 하마오카 1·2호기의 해체가 가장 빨리 진행되고 있음.

- 일본이 해체를 완료한 원전은 시험로인 JPDR(12MW, BWR) 1기가 유일함.

그림 일본 내 원전 해체 진행 상황



자료: 資源エネルギー庁 ‘原子力政策に関する直近の動向と今後の取組’(2023.12.19.)를 토대로 편집·작성

일본 JAEA, 고온실험로에서 냉각 불능 환경 가정한 안전성 실험 실시

原子力産業新聞 2021.07.30., 세계원전시장 인사이트 2021.08.20., 産経新聞 2024.03.27., JAEA 웹사이트 2024.03.28., 茨城新聞, 時事通信 2024.03.28., 毎日新聞 2024.03.29.

■ 3월 27일 일본원자력연구개발기구(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)는 30MW의 고온 실험로(High Temperature Engineering Test Reactor, HTTR)를 활용해 운전 중 냉각 기능이 상실된 상태를 재현하여 자연 냉각으로 원자로를 정지하는 실험을 실시함.

- HTTR은 연료로 1,600℃에도 녹지 않는 흑연과 세라믹을 사용해 950℃ 고온 가스로 가스 터빈을 구동하며 고온의 열을 이용해 수소를 생산할 수 있음. 일본에서는 HTTR을 고온가스로 실용화를 위한 각종 실험에 활용 중임.

- 금번 실험은 고온가스로의 높은 안전성을 입증하기 위해 진행됨. 내열성이 높은 HTTR 원자로의 특징을 활용해 냉각 불능 환경에서 출력이 자연적으로 떨어지는 것을 확인함.
 - 실험에서는 헬륨 순환기 3대의 운전을 순차적으로 정지하고, 제어봉의 기능도 중단해 전원 상실 상태를 재현함.
 - 그 결과 원자로 내 흑연의 축열 성능이 우수해 냉각재 유입이 중단되어도 점차 자연적으로 방열 되어 실험 시작 약 5분 만에 안전성이 유지되는 것을 확인함.
 - JAEA는 2010년과 2022년에도 출력의 30%에서 HTTR의 냉각을 중단해 안전성을 확인 하는 시험을 실시했으며, 이번에는 출력의 100%에서 시험을 시행함.

그림 일본 고온실험로 HTTR



일본에서 950℃열을 생산할 수 있는 고온가스로

원자로 출력	30MW
원자로 출구 온도	950℃ (최고)
1차 냉각재	헬륨
1차 냉각재 압력	4.0MPa
출력 밀도	2.5W/cc
연료 농축도	6%(평균)
초임계, 950℃ 달성	1998년, 2004년
안전성 실증 실험 연속 50일 950℃ 운전	2010년



자료: 原子力産業新聞(2021.07.30.)을 토대로 편집·작성

일본, 재처리 시설 내 사용후핵연료 보관 시설 3분기에 재가동 계획 발표

세계원전시장 인사이트 2021.04.30./2023.11.10./2024.01.05., 東京電力 ‘使用済燃料中間貯蔵施設に関する協定書’ 2005.10., むつ市企画政策部 ‘使用済燃料中間貯蔵事業に関する経緯と現状について’ 2021.07.15., 東奥日報 2024.03.27., ABAニュース, 朝日新聞 2024.03.28.

- 3월 27일 일본 RFS(Recyclable - Fuel Storage Company)는 아오모리현 무쓰시에 위치한 사용후핵연료 중간저장시설인 ‘리사이클연료비축센터’의 운영을 2024년 7~9월에 시작할 계획 이라고 밝힘.

- 중간저장시설 운영사인 RFS는 도쿄전력과 일본원자력발전의 공동 출자 회사임. ‘리사이클연료비축센터’는 일본에서 유일한 원전 부지 외 사용후핵연료 보관시설임.
 - 센터는 도쿄전력과 일본원자력발전에서 발생한 사용후핵연료를 재처리 전까지 건식 저장 방식으로 일시 보관하기 위해 건설함. 두 동으로 구성되고 총 5천 톤의 사용후핵연료를 보관할 수 있으며, 2010년 3천 톤을 보관 가능한 한 동을 우선 건설해 2013년 완공함.
 - 우선 건설된 1동은 동일본대지진 이후 새로 도입된 규제위의 적합성 심사를 2014년 1월부터 받아 2023년 8월 심사를 통과하고 현재는 후속 검사를 받고 있음.
 - ‘리사이클연료비축센터’에서는 2005년 10월 도쿄전력과 일본원자력발전, 아오모리현, 무쓰시가 체결한 협정에 따라 사용후핵연료를 50년간 보관[※]할 수 있음.
- ※ Mitsubishi 중공업, Hitachi-GE Nuclear Energy 등이 제작한 수송·저장 겸용 용기가 사용될 예정임.
- ‘리사이클연료비축센터’를 운영하기 위해서는 아오모리현과 무쓰시, RFS 3자 간 안전 협정을 체결해야 함. 안전 협정 체결 후 규제위로부터 시설 운영에 필요한 최종 검사를 통과하면 운영을 시작할 수 있음.
 - 현과 시는 6월을 목표로 각 의회에서 안전 협정 내용을 설명하고, 지역민들을 대상으로 한 설명회도 개최할 방침임.
 - 3월 27일 RFS는 2024년 7월 이후부터 3년간 가시와자키 가리와 원전(총 7기, 총 8,212MW, BWR)의 사용후핵연료 저장 용기 8기(총 552다발)를 반입하겠다는 저장 계획도 규제위에 제출함.
 - 도쿄전력의 가시와자키 가리와원전은 원전 보안 관리 부실을 이유로 규제위가 2021년 4월 핵연료 이동·장전을 금지하는 행정 처분인 시정 조치 명령을 내렸으나, 이후 원전 보안 관리 문제가 개선된 것을 확인해 2023년 12월 27일 해당 명령을 해제함.

■ 한편, 사용후핵연료 재처리공장 운영사인 JNFL(Japan Nuclear Fuel Limited) 사장은 3월 28일 재처리공장을 2024년 9월 완공하겠다는 기존 목표의 변경은 없다고 밝힘.

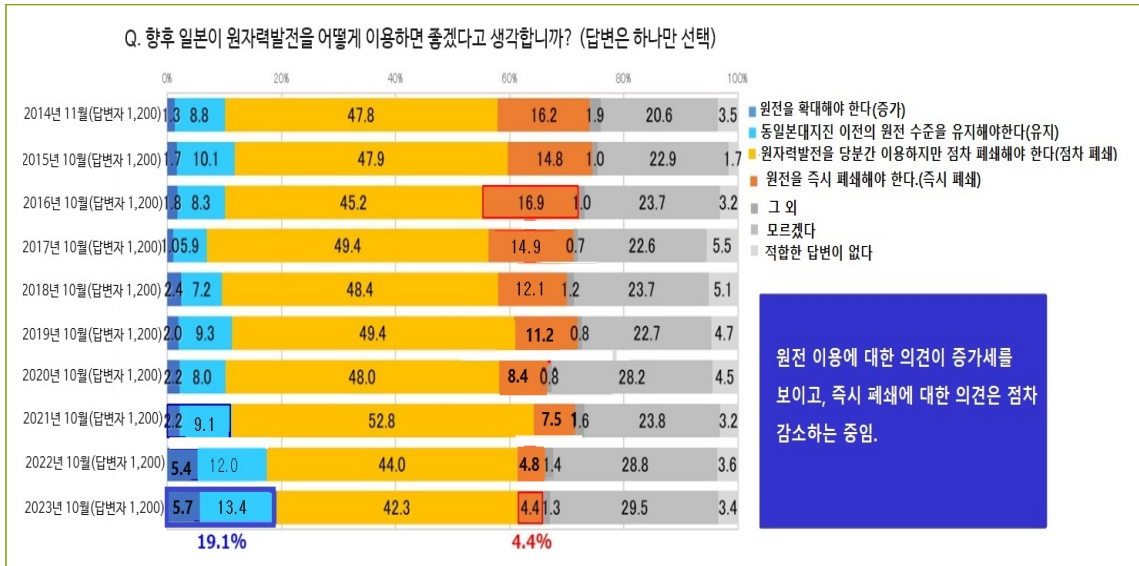
▣ 일본 원자력문화재단, 2023년도 원자력 여론조사 결과 발표

日本原子力文化財団 ‘2023年度 原子力に関する世論調査 サマリー’ 2024.03., 原子力産業新聞 2024.03.25.

- 일본 원자력문화재단이 3월 22일 발표한 원자력에 관한 여론조사 결과에 따르면 향후 일본의 원전 이용에 대한 답변이 ‘당분간 이용하지만, 점차 폐쇄해야 한다.’가 42.3%로 2022년도 조사 결과와 동일하게 가장 큰 비중을 차지함.

- 해당 조사는 원자력에 관한 여론 동향과 원전 정보를 받아들이는 수용자의 인식을 정확히 파악하기 위해 2006년부터 매년 시행함. 2023년도 여론 조사는 2023년 9월 30일부터 10월 30일까지 일본 내 15~79세 남녀 1,200명을 대상으로 실시함.
- 2023년도의 ‘당분간 이용하지만, 점차 폐쇄해야 한다.’의 응답률은 2022년도 동일 질문 응답률인 44%보다는 다소 낮은 42.3%로 65세 이상이 가장 많이 선택함.
- 이외 ‘모르겠다.’가 29.5%, ‘원전을 확대해야 한다.’와 ‘동일본대지진 이전의 원전 수준을 유지해야 한다.’를 합한 ‘증가+유지’가 19.1%, ‘즉시 폐쇄’가 4.4% 순이었음.
 - 2023년도에 ‘증가+유지’ 선택 비중과 ‘모르겠다.’를 선택한 비중은 최근 10년간 가장 높았음. ‘즉시 폐쇄’를 선택한 비중은 2016년부터 2023년도까지 점차 감소함.
 - ‘증가+유지’ 답변자는 25~44세가 가장 많았고, ‘모르겠다.’는 24세 이하가 가장 많아 해당 연령대를 대상으로 한 원전 정보 홍보가 중요한 것으로 나타남.
- 한편, 원전 재가동에 대한 답변은 ‘국민의 이해를 얻지 못했다’가 46.9%로 가장 많았고, 이어서 ‘안정적인 전력 공급을 생각하면 재가동은 필요하다’가 35.5%를 차지함.

그림 일본 원전 이용에 대한 인식 추이



자료: 日本原子力文化財団 (2024.03)을 토대로 편집·작성

■ 일본 홋카이도전력, 도마리 원전 안전성 강화 위해 방조제 재건설 착수

세계원전시장 인사이트 2023.06.23., 原子力規制委員会 ‘新規制基準適合性審査の進捗状況等について’ 2024.01.10., 原子力産業協会 2024.03.14., NHK 2024.03.22., 原子力産業新聞 2024.03.26., STVニュース 2024.03.28.

■ 일본 홋카이도전력은 3월 28일 도마리 원전(총 3기, 1·2호기 579MW, 3호기 912MW, PWR)의 지질 해일에 대한 안전성 강화를 목적으로 방조제 설치 공사를 시작함.

- 홋카이도전력은 2013년 7월 3일 도마리 1~3호기의 재가동을 위한 적합성 심사를 규제 위에 신청함. 심사에서 규제위가 기존 방조제의 지반이 액상화될 우려가 있다고 지적하여 홋카이도전력은 기존 방조제를 철거하고 암반 위에 새 방조제를 건설하기로 결정함.
 - 2012년 8월 홋카이도전력은 지진해일에 따른 침수 방지를 위해 해발 16.5m, 길이 약 1.2km의 방조제를 건설하여 2014년 12월 완공했지만 안전 대책 강화를 위해 방조제를 재건설하기로 결정하여 2022년부터 기존 방조제를 철거함.
 - 신설될 방조제는 해발 19m, 폭 30m, 길이 1.2km로 공기는 약 3년, 예상 공사비는 약 1,800억 엔(약 1.6조 원)임.
 - 현재 도마리 원전에서 3호기의 재가동 심사가 가장 빨리 진행되고 있으며, 홋카이도전력은 2026년 12월 도마리 3호기의 재가동을 목표로 함.

■ 일본, 2023년도 전력 소비 동일본대지진 이후 감소율 최대

電力広域的運営推進機関 ‘全国および供給ごとの需要想定’ 2024.01.24., 電気新聞 2024.02.28., 日本経済新聞 2024.03.09.

■ 3월 9일 일본경제신문은 광역계통운영기관(Organization for Crossregional Coordination of Transmission Operators, OCCTO)이 1월 24일 발표한 ‘전국 및 공급 구역별 수요 추정 보고서’를 바탕으로 2023년도 일본의 전력 소비 관련 내용을 보도함.

- 해당 보고서는 매년 1월 OCCTO가 송배전사업자가 제출한 전력 수요 예측치를 집계해 발표함.
- 2023년도 일본 전체 전력 소비량은 재택근무 실시 감소와 절전·에너지 효율화의 영향 등으로 2022년도보다 약 2% 감소한 802TWh로 추정함. 해당 수치는 2011년 동일본대지진 이후 가장 낮은 수준임.

- 가정의 전력 소비는 2022년도보다 약 3.5% 감소한 약 290TWh로 동일본대지진 이후 가장 적었음. 공장 등 산업 부분의 전력 소비도 생산 수준 회복이 지연됨에 따라 2022년도보다 약 1.2% 감소한 약 318TWh를 기록함.

- 한편, 도쿄전력 관계자는 일본경제신문과의 인터뷰에서 물가 상승에 따른 국민들의 절전 의식이 전력 소비 감소에 영향을 미쳤다고 밝힘.

기타 단신

■ 이라크, IAEA와 SMR 도입 포함한 원자력 활용 계획 논의

World Nuclear News 2024.03.19., Nucnet 2024.03.19.

- 2024년 3월 18일 IAEA Rafael Mariano Grossi 사무총장은 이라크 Baghdad에 방문하여 이라크 Mohammed Shia' Al Sudani 총리와 정부 고위지도자들을 만나 첫 상업용 원전 건설과 해체 진행절차 및 SMR 도입 등 원자력 활용 계획을 논의함.
 - 이라크는 에너지 안보와 담수화 프로젝트(water desalination projects)를 위해 SMR 도입을 검토하고 있으며, 민간 원자력을 운영하는 국가들이 기본적인 안전 원칙을 확립함으로써 높은 수준의 안전을 유지하도록 보장하는 원자력안전협약(The Convention on Nuclear Safety)의 계약 당사국이 되었다고 언급함.
 - 이라크는 1969년에 핵확산 금지조약(Nuclear Non-Proliferation Treaty)에 가입했으나, 1990년 국제사회로부터 핵무기 개발 의혹이 제기되면서 UN 안전보장이사회(UN Security Council)의 요구로 핵무기 개발 활동 중단 및 관련 기술과 핵물질의 생산 및 수입을 금지하고 IAEA의 감시 하에 원자력 시설을 운영하는 등의 조치가 1998년 이루어졌으며, 이후 이라크 전쟁 등의 여파로 대부분의 원자력 관련 시설이 파괴됨.

■ UAE 원자력공사, 미국 General Atomics와 선진 기술 및 기자재 사용 협력 위한 MOU 체결

ENEC 2024.03.22., Nucnet 2024.03.22.

- 2024년 3월 22일 UAE 원자력공사(ENEC)는 미국의 원자력 기술 기업인 General Atomics (GA)와 원자력 에너지 공급을 위한 선진 기술과 기자재 사용 협력 기회 모색을 위한 양해각서 (MOU)를 체결함.

- 양 기관은 신규 원전 개발과 관련한 ENEC의 경험과 GA의 비경수형 선진 원자로 기자재 생산 및 3D 제조 능력을 바탕으로 상호 협력하기로 함.
 - MOU의 일환으로 ENEC와 GA 산하의 General Atomics Electromagnetic Systems(이하 'GA-EMS')는 GA-EMS의 SIGA 탄화규소 피복(silicon carbide cladding)을 기존 원자로 및 차세대 모듈형 원자로 설계에 활용할 수 있도록 협업할 계획임.

▣ 일본 경제산업상, 가시와자키 가리와 원전 재가동에 대한 지역의 양해를 구해

毎日新聞, 原子力産業新聞 2024.03.22.

- 3월 22일 경제산업상은 기자회견에서 도쿄전력 가시와자키 가리와 원전(총 7기, 총 8,212MW, BWR)이 위치한 니가타현, 가시와자키시, 가리와촌과 소통해 원전 재가동에 대한 양해를 구할 수 있도록 노력하겠다고 밝힘.
 - 3월 21일 자원에너지청 장관은 니가타현 지사에게 경제산업상이 작성한 문서인 '가시와자키 가리와 6·7호기 재가동을 위한 정부의 방침'을 전달하며 동일본의 전력 수급 구조 강화와 기후 변화 대책에 원전 재가동이 필요하다고 강조함.
 - 지사는 재가동에 대해 ① 후쿠시마 제1원전 사고에 대한 현의 자체 검증 결과, ② 원자력 사업자인 도쿄전력의 적격성을 인정한 규제위의 판단, ③ 현 전문가 회의의 원전 안전 대책 확인, ④ 사고 발생에 대비한 피난과 안전 확보 과제 해결을 중심으로 심층 논의해 지역의 입장을 결정할 예정이라고 밝힘.

▣ 일본 자원에너지청과 일본원자력산업협회, 원자력 공급망 심포지엄 개최

資源エネルギー庁 '原子力政策に関する直近の動向と今後の取組' 2023.12.19., 原子力産業新聞 2024.03.18., 資源エネルギー庁 '原子力政策に関する直近の動向と今後の取組' 2024.02.20., NSCP 웹사이트 최종 검색 2024.03.22.

- 3월 14일 일본원자력산업협회와 자원에너지청은 제2회 원자력 공급망 심포지엄을 공동 개최함. 1부에서는 원자력 산업의 미래를, 2부에서는 원전 기자재 공급망 강화 대책을 ① 인재 양성·확보, ② 해외 프로젝트 참여, ③ 공급 단절 대책이라는 주제로 각각 논의함.
 - 해당 심포지엄은 2023년 3월 일본 정부가 원전 기자재 공급망 강화를 목적으로 설립한 조직인 NSCP(Nuclear Supply Chain Platform)* 활동의 일환으로 개최됨.

※ NSCP는 경제산업성의 지방 지국인 경제산업국과 일본원자력산업협회 등이 연계한 조직임. 원자력 인재 양성, 인재 확보 지원, 부품·소재 공급 단절 대책, 사업 계승 지원 등 원전 기자재 공급망 전반을 지원하며 2023년 11월 기준 약 80개 사가 회원으로 가입함.

■ 일본 도쿄전력, 후쿠시마 제1원전 1호기 내부 드론 촬영 영상 공개

時事通信, NHK 2024.03.18.

- 3월 18일 도쿄전력은 카메라가 탑재된 드론으로 후쿠시마 제1원전 1호기의 압력용기 바로 아래를 촬영한 영상을 공개함. 영상에서는 녹아내린 연료 잔해로 추정되는 고드름 형태의 물질이 처음으로 확인됨.

- 도쿄전력은 해당 영상을 녹아내린 연료 잔해 반출 방법 검토에 활용할 계획임.

■ 일본 규제위, 원전 방재 지침 재검토를 위한 검토팀 설치

読売新聞, 東京新聞2024.03.27.

- 원자력규제위원회는 3월 27일 원전 사고 시 실내 대피 관련 규정 검토를 위한 검토팀을 설치함. 검토팀은 4월부터 약 1년간 피폭 방지를 위한 실내 대피의 적정 기간 등에 대해 논의할 예정임.

- 현행 원자력 재해 대책 지침에서는 중대사고 발생 시 원전 반경 5km 내 주민은 피난하고, 반경 5~30km 내 주민은 대피소나 자택에 실내 대피하도록 규정되어 있지만, 실내 대피 유지 기간과 대피 해제 판단 기준 등이 명기되어 있지 않아 해당 내용을 상세히 검토할 예정임.

- 검토팀은 규제위 위원, 내각부 원자력 방재 담당자, 원전 입지 지자체 관계자, 방사선의학 전문가 등으로 구성됨.

■ 일본 도카이 제2원전 반경 30km 내 히타치시, 원전 재해 대응 계획 수립

세계원전시장 인사이트 2024.01.05., 日本經濟新聞 2023.11.29./2024.03.27.

- 일본 기초지자체 히타치시는 3월 27일 도카이 제2원전(1,100MW, BWR)의 중대사고 발생에 대비한 비상 대응 계획을 8년 만에 수립함.

- 수도권에 위치한 유일한 상업로인 도카이 제2원전의 반경 30km 내 14곳의 기초지자체에는 총 약 92만 명이 거주함. 히타치시는 14곳의 기초지자체 중 7번째로 비상 대응 계획을 수립함.
 - 후쿠시마 사고 후 원전 재가동을 위해서는 ① 원전 반경 30km 내 광역·기초지자체가 규제위의 원자력 재해 대책 지침을 토대로 비상 대응 계획을 의무적으로 수립해 내각부 원자력방재회의의 승인을 받아야 하고, ② 원전이 신규제 기준에 따른 적합성 심사를 통과해야 함.
 - 히타치시 이외에 비상 대응 계획을 수립한 곳은 가사마시, 히타치오타시, 히타치오미야시, 호코타시, 다이고정, 도카이무라임.

■ 일본 경제산업성, 2024년도 재생에너지 발전 촉진 부과금 전년 대비 1.5배 증가

세계원전시장 인사이트 2022.04.01., 經濟産業省 2023.03.24., 自然エネルギー財団 2023.03.28., REiVALUE News 2023.03.31., 朝日新聞, 時事通信, 日本經濟新聞 2024.03.19., OCCTO 웹사이트 최종 검색 2024.04.02.

- 3월 19일 경제산업성은 전기요금에 부과되는 2024년도 재생에너지 발전 촉진 부과금이 2023년도 대비 kWh당 약 2엔(약 17원) 인상된 3.49엔(약 31원)으로 결정되었다고 발표함.
 - 일본은 2012년부터 재생에너지 보급 확대를 위해 FIT(Feed-in Tariff) 제도를 도입함. 전력회사는 발전사로부터 재생에너지 전기를 일정 기간 고정가격으로 매입하고, 매입 비용은 전력회사가 전기요금 내 재생에너지 발전 촉진 부과금으로 회수함.
 - 부과금 단가는 일본 정부가 연간 재생에너지 증가 상황을 집계해 매년 결정함. 정부 추산에 따르면 2024년 4월부터 월 전기 사용량이 400kWh인 일반 가정의 부담액은 2023년도 전기요금에서 월평균 836엔(약 7,400원) 인상된 1,396엔(1만 2,400원)임.

World Nuclear Power Market
INSIGHT



**세계원전시장
인사이드**