

세계원전시장 인사이트

World Nuclear Power Market INSIGHT



현안이슈

선진 원자로 보급 확대의 조건 1.

미래 에너지 시스템에서의 역할 측면

1. 들어가며
2. 미래 전력 시스템에서의 경쟁력
3. 비발전 분야 활용 가능성
4. 시사점

주요단신

북미

13

- TerraPower, 최초 Sodium SMR 첫 건설 위해 Wyoming 주의 석탄발전소 매입
- Vogtle 4호기 연료장전 시작...올해 말 또는 내년 초 상업운전 목표
- 미국 NRC, Kairos Power의 고온소형원자로 최종 환경영향평가보고서 발행
- 캐나다 연방정부, Saskatchewan 주 BWRX-300 도입 지원을 위해 약 700억 원 지원
- 기타단신

유럽

19

- 프랑스 Tricastin 1호기, 계속운전 허가로 자국 내 최초로 50년 간 운전 가능해져
- 프랑스 Orano, 니제르 군부 쿠데타로 인한 우라늄 공급 차질 없다는 입장 표명
- 폴란드 PEG PAK, 한국과 협력중인 두 번째 원전 건설위한 사전허가서 요청
- 영국 정부, 우크라이나에 핵연료 공급 위해 Urenco에 약 3천억 원 보증 제공
- 독일, 고준위방폐물 처분시설로 활용 추진하다 취소된 갱도에 소금으로 되매우기 작업(backfilling) 시작
- 기타단신

아시아

27

- 일본 도쿄전력, 후쿠시마 제1원전 오염수 해양방류 시작
- 일본 주고쿠전력, 사용후핵연료 중앙집중형 저장시설 후보지 조사 시작
- 일본에서 가장 오래된 간사이전력 다카하마1호기, 상업운전 재개
- 필리핀, 미국과 원자력 협력 심화 및 에너지 안보 향상을 위한 논의
- 기타단신



세계원전시장

인사이트

World Nuclear Power Market **INSIGHT**

Biweekly 격주간 **2023 08.31**

※ 본 간행물은 한국수력원자력(주) 정책과제의 일환으로 발행되었습니다.

발행인 김현재

편집인

조주현	joohyun@keei.re.kr	052-714-2035
김창훈	hesedian@keei.re.kr	052-714-2210
진태영	tyjin@keei.re.kr	052-714-2158
신재정	jjshin@keei.re.kr	052-714-2054
김선진	sunjin@keei.re.kr	052-714-2018
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 「세계원전시장 인사이트」에 포함된 주요내용은 연구진 또는 집필자의 개인 견해로서 에너지경제연구원의 공식적인 의견이 아님을 밝혀 둡니다.

선진 원자로 보급 확대의 조건 1.

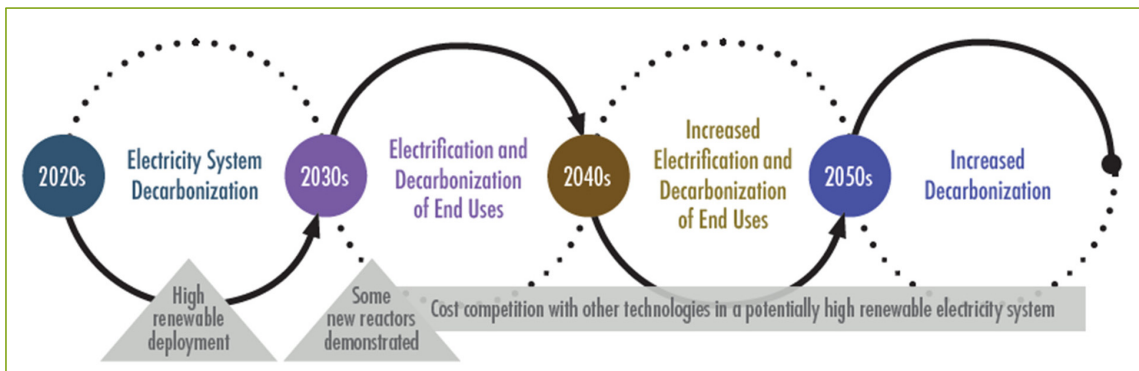
미래 에너지 시스템에서의 역할 측면

에너지경제연구원 원전정책연구실 김창훈 연구위원 (hesedian@keei.re.kr)

1. 들어가며

- 경제 전반의 탈탄소화가 수십 년에 걸쳐 진행되면서 전력 수요 증가로 장기적으로 선진 원자로¹⁾ 기술에 기회가 창출될 것이나, 선진 원자로의 사업화 기회와 보급 시나리오는 기존 발전용 경수로 (LWR)와 다를 것으로 전망되며, 이를 실현하기 위해 해결해야 할 여러 과제가 있음.

〈그림 1〉 장기적인 전력 수요 증가 양상 및 선진 원자로의 시장 기회를 표현한 개념도



출처: Laying the Foundation for New and Advanced Nuclear Reactors in the United States, p.2.

- 해결해야 할 과제로는 기술 실증, 비발전분야 활용 등 신규 사업모델 검증, 다른 저탄소 기술 대비 비용 경쟁력 확보, 기존 LWR 대비 건설 및 프로젝트 관리 개선, 시의적절한 규제 승인, 주민 수용성 확보, 안전보장 조치 및 안보 확보 등이 있음.

1) 본 고에서 “선진 원자로”는 “신형 및 선진 원자로(new and advanced reactor)”의 약칭으로 사용한다. 여기에는 소형 모듈형 원자로(SMR) 형태의 신형 경수로와 비경수 냉각재(나트륨, 용융염, 또는 헬륨)를 사용하는 선진 원자로가 포함되어 있으며, 분석 대상은 시험용/연구용/생산용 원자로가 아닌 발전용 원자로이다.

- 이에 전미과학공학의학한림원(National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, NASEM)은 에너지 시스템 전환에서 선진 원자로의 역할, 기회, 장벽을 분석하고 저탄소 미래 구현에 원자로 기술이 기여할 수 있는 방안을 제시하기 위해 Laying the Foundation for New and Advanced Nuclear Reactors in the United States를 발간함.
 - 이에 NASEM 보고서의 내용을 발췌하여 선진 원자로 시장 형성 초기 단계에 영향을 크게 미칠 이슈를 (1)에너지 시스템에서의 역할 측면, (2)경제성 및 프로젝트 관리 측면, (3)규제 및 국제협력 측면 등 세 가지로 나누어 시리즈로 다루고자 함.
 - 그 첫 번째 순서로 본 고에서는 미래 에너지 시스템에서의 선진 원자로의 역할을 다루고자 하며, 전력 시스템에서의 경쟁력(2장)과 비발전 분야 활용 가능성(3장)으로 나누어 살펴본 후 시사점을 짧게 기술함(4장).

2. 미래 전력 시스템에서의 경쟁력

- 변화하는 전력 시스템에서 선진 원자로가 경쟁력을 가지기 위한 조건은 (1) “회사의 사활을 건 대형 투자(betting the company)”가 아닌 적은 투자비용 소요, (2)재생 에너지 및 에너지 저장 등 다른 기술 대비 경제성 경쟁우위 확보, (3)사회적 수용성 확보로 주민들의 원자로 설치에 대한 거부감 완화, (4)수십 년 동안 대규모 투자를 할 전력회사에 대한 상업성 확보 등임.
- (수요와 공급 측면) 전력화 및 전반적인 수요 증가가 선진 원자로에 대한 가장 큰 시장 기회(단기적으로는 수송부문, 장기적으로는 난방 및 산업공정)를 제공할 것이나, 재생 에너지 및 에너지 저장 기술의 비용 하락과 수입 파쇄 등으로 저렴해진 천연가스로 인해 공급 측면 어려움 상존
 - 장기 에너지 믹스에서의 원자력 역할에 대한 EPRI(Electric Power Research Institute) 등의 연구에 따르면, 정책과 기술비용이 원자력 보급에 가장 큰 영향을 미치며, 탈탄소화 정책이 기존 원자력 발전을 지원하지만 상당한 비용 절감이나 용량 공급을 예외적으로 허용하는 carve-out 제도 등이 없으면 신규 원전 건설은 어려운 것으로 분석됨.
 - 미국에서의 최근 연구들에 따르면, 신규 원전 건설이 탄력을 받기 위한 비용 조건은 (1)\$2,000~\$4,000/kW인 경우에는 다른 요인과 상관없이 경쟁력 확보가 가능하고, (2)\$5,000/kW까지는 탈탄소 정책 시행과 함께 공급망이나 토지 가용성 문제 등으로 재생 에너지 및 송전망 확대가 제한될 경우 경쟁력이 있으며, (3)\$4,000~\$6,000/kW에서는 탈탄소 정책과 함께 수소, CCS, 장주기 에너지 저장 등 용량을 제공하는 다른 기술의 가용성이 제한될 때 경쟁력이 있는 것으로 분석됨.

- 이와 같이 자본비용이 원자력 보급의 주요 동인이지만, 미래 불확실성을 고려하거나 원자력의 내재된 가치를 반영하는 경우 경쟁력 확보 가능성이 있음.
- (계통 신뢰도 측면) NERC(North American Electric Reliability Corporation)는 예상 가능성 여부에 따라 신뢰도를 자원 적정성(resource adequacy)과 운영 신뢰도(operating reliability)로 구분하는데, 이를 지원할 저탄소 기술의 상용화 정도에 따라 원자력의 가치 결정
 - 자원 적정성은 소비자의 전력 총 수요를 충족시키는 전력 시스템의 능력을 뜻하는 것으로, 원자력은 LCOE(levelized cost of energy) 경쟁우위가 낮음에도 재생 에너지가 간헐성과 지역 편차성 등으로 인해 수요를 충족하지 못할 때 안정적 전력 공급이 가능함.
 - 운영 신뢰도는 갑작스러운 공급 장애를 견딜 수 있는 능력을 뜻하는 것으로, 최근 인버터 기술이 계통추종(grid following)에서 능동적으로 주파수와 전압을 형성하는 계통형성(grid forming)으로 발전 중이나, 아직 실증단계로 향후 원자력과 경쟁이 예상됨.
- (복원력 측면) 복원력(resilience)은 전력 공급 중단 상태에서부터의 복구에 초점을 두는 것으로, 특정 발전기 유형의 선택보다는 재해 후 신속한 현상 접근성과 관련된 표준 운영절차가 중요함.
 - 날씨에 대한 복원력이 우수한 원자력도 최근의 기상이변으로 극한 상황에 당면할 가능성이 상존하지만, 일반적으로 발전기는 상대적으로 복원력이 높으므로 투자자들은 전력 계통 복원력 강화를 위해 손상에 취약한 송전 및 배전 시스템을 우선 고려함.
- (규제 측면) 미국의 경우 FERC(Federal Energy Regulatory Commission)는 송전망 확대를 위해 잘 계획된 송전 시스템과 비용 할당 및 부지 선정 문제 해결을 위한 협력을 강조하며, 최근에는 FERC Order 2222에서 분산 에너지를 통합하여 전력시장에 참여할 수 있도록 함.
 - 소형 및 선진 원자로는 FERC Order 2222에 따라 (1)군사 시설 등의 분야, (2)혼잡한 전력망의 송·변전 설비가 부족한 지점에 설치하여 신규 송전 인프라 투자 부담 완화, (3)하이브리드 믹스로 가상 발전소(VPP)에 참여하여 지역사회에 인접한 원자로 부지를 선정할 때 발생할 문제의 완화 등을 기대할 수 있음.
- (가격 결정체계 측면) 일반적으로 시장에서 무탄소 발전원으로서의 원자력의 장점에 대해 가격이 책정되지 않는 문제가 있으나, 이를 해결하기 위해 미국 뉴욕주와 일리노이주는 원자력의 탄소 감축 및 안정성 유지의 역할을 고려하여 시장에서 원자력에 우선순위를 부여
 - IRA(Inflation Reduction Act)는 기존 원자력의 유효 수명을 연장하고 기저부하 원전의 경쟁력을 강화하며 선진 신형 원자로 개발을 촉진하기 위해 세금 공제 혜택을 제공

3. 비발전 분야 활용 가능성

- 선진 원자로 기술은 전기 이외의 다양한 에너지 서비스를 제공할 수 있는 잠재력을 가지고 있는데, 특히 여러 유용한 용도로 활용할 수 있는 대량의 열에너지의 생산이 대표적인 예임.
 - 원자력 발전으로 생산된 전기나 열에너지를 활용하여 수소, 암모니아, 기체 및 액체 탄화수소와 같은 합성 연료²⁾ 등의 산업용 제품을 생산할 수 있고, 지역난방에 활용할 수도 있으며, 담수화로 물을 생산할 수도 있음.

〈표 1〉 선진 원자로가 생산에 기여할 수 있는 분야

에너지 서비스 산업용 제품	기술 완성도	온도 범위(°C)
수소	여러 수소 생산경로 존재하나, 청정 수소 생산에 가장 성숙도가 높은 기술은 수전해임. 대표적인 수전해 기술은 알카라인 고분해 전해질(PEM), 고체산화물(SOEC) 수전해임. PEM 수전해는 전기가 필요하며 시스템 운전 온도는 ~100°C임. SOEC에는 전기와 열 둘 다 필요하며 시스템 운전 온도는 500~1000°C임. 수백 개의 고온 열화학 분해 사이클 온도(500°C and 2000°C)가 제안되었으며 이로 인해 비경수도에 적용하기 가장 용이한 기술이 되었음. 또한, 고온 시스템을 적용하기 위해서는 열교환기 성능개선이 필요함.	~100(PEM) 500~1000(SOEC) 500~2000(열화학분해)
연료로 CO ₂ 환원	탄소중립 합성 액체 연료(디젤, 제트 연료, 자동차 휘발유 등)은 CO ₂ 의 전기촉매 환원 반응, 수소, 물, 전기, 열이 필요함. 또한 원자로와 SOEC, Fischer-Tropsch 공정 또는 Mobil 공정 및 BoP(증류 장치 등)의 통합이 필요함.	500~1,000
고온 공정 열	암모니아 합성, 증기매탄개질에 필요함. 공정열 요구사항을 충족하기 위해서는 고온을 견딜 수 있는 열교환기 등의 재료와 부품 개발이 필요함.	>500
저온 공정 열	종이, 펄프 제조에 필요함. 여러 화학 응용 분야(다양한 분리 공정 등)는 250°C 미만의 열에너지를 필요로 함.	~300
철강 생산	철광석 펠릿(pellet)을 약 850°C로 예열하려면 열에너지가 필요함. 일부 선진 원자로로는 해당 온도로 직접 열을 공급하거나, 전기로 돌아가는 철강 생산 장비에 전원을 공급할 수 있음.	~850

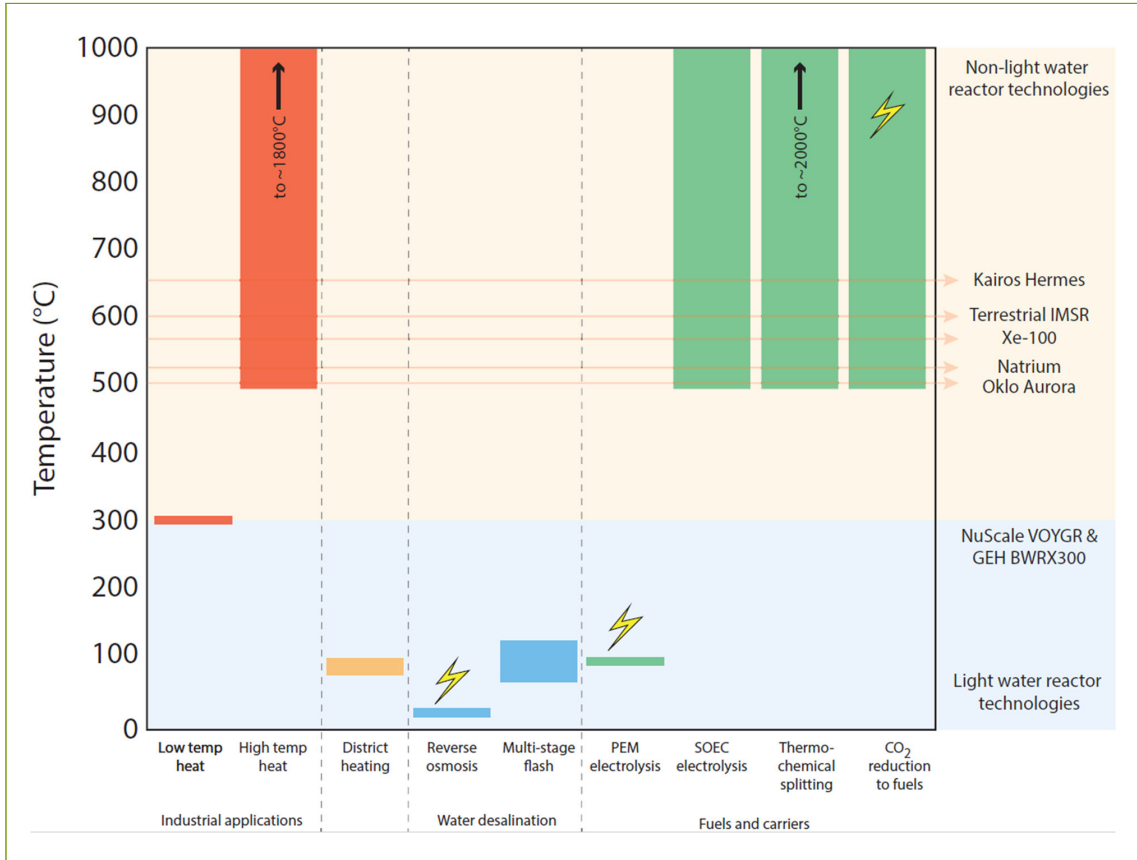
2) 합성 연료라는 용어에는 여러 가지 다른 정의가 있다. 보다 전통적인 정의의 합성 연료는 석탄, 천연가스, 바이오매스 원료에서 화학적 전환을 통해 생산되는 모든 액체 운송 연료를 말한다. 다른 정의에는 오일샌드 및 오일 셰일 합성 연료원과 산업 및 도시 폐기물도 포함된다. 문맥에 따라 수소, 암모니아, 메탄올, 에탄올도 합성 연료라고 할 수 있다.

에너지 서비스 산업용 제품	기술 완성도	온도 범위(°C)
시멘트 생산	시멘트 생산은 석회석 함유 원료를 변환하는 세 가지 단계, (1)실온에서 약 660°C로 예열, (2)약 900°C에서 탄산칼슘 하소(calcination), (3)하소 완료 후 최대 1450°C에서 산화칼슘 소결의 복잡한 공정을 거침. 선진 원자력 출력 열은 석회석 함유 물질을 예열하고 적합하며 하소 공정에 필요한 온도 범위와 거의 일치함. 하소, 소결 공정에 필요한 열에너지를 제공하려면 열 증강이 필요함.	660~1,450
집단 에너지	집단 에너지 네트웍 기술의 성숙도는 높으나 열을 장거리로 이동할 수 없기 때문에 커뮤니티와 근접성이 필수적임. 모든 원자로 개념은 저온 열 추출 순환계통에 적합함. 또는 지역난방과 온수공급에 원자력에서 나오는 대량의 저탄소 전력으로 전기를 공급할 수 있음.	70~130(MSF)
담수화	다중 담수화 시스템은 기술 성숙도가 높으며 가격이 감소하고 있음. 다단 증발법(MSF, Multi-stage flash distillation)에 필요한 온도는 70~130°C임. 역삼투(RO, Reverse osmosis)에는 열에너지가 아닌 전기가 필요함. RO 시스템 출력은 저온(<10°C)과 고온(>38°C) 모두에서 감소함. 저온 열 추출 순환계통에 모든 원자로 개념이 적합함.	70~130(MSF) (38(RO))

출처: Laying the Foundation for New and Advanced Nuclear Reactors in the United States, pp.84-85.

- 원자력의 비전력 서비스 제공 가능 여부 및 기술적으로 가장 적합한 원자로 유형의 결정은 주로 필요한 열에너지의 온도에 달려 있는데, 열은 장거리로 수송할 수 없고 부지가 제한될 수 있으므로 원자로와 산업/열 활용의 동위치화(collocation)가 필요함.
- 원자로가 열을 사용하는 인접 시설에 위협을 줄 수 있거나 위험물질을 사용하는 설비가 있다면 원자력 발전소 자체에도 위협이 될 수 있기 때문에 신중한 고려와 분석이 필요하며, 이와 관련하여 부지 선정, 방사선 비상계획 구역(EPZ) 개발 및 비상 대응과 관련된 추가적인 규제 문제를 야기할 수도 있음.

〈그림 2〉 선진 원자로로 제공 가능한 비전력 서비스의 온도 범위



주: 번개 표시는 열에너지가 아닌 전기에너지만 필요로 하는 프로세스를 의미함.

출처: Laying the Foundation for New and Advanced Nuclear Reactors in the United States, p.86.

■ 과거 “수소 경제” 구현에 원자력을 활용하고자 한 것에서 더 나아가, 최근에 일어난 관심은 일부 선진 원자로가 제공할 수 있는 더 높은 온도의 열에너지, 혁신적인 설계 및 제조 공정을 통한 잠재적인 비용 절감 기회, 가변 신재생 에너지의 비중이 증가하는 전력 시스템에서 원자로가 경쟁 우위를 가질 수 있는 비전력 에너지 서비스 통합 등에 집중되고 있음.

■ 미래의 원자로 보급에 비전력 응용 프로그램을 통합하는 여러 패러다임이 구상되고 있는데, 이는 원자로가 열/전기 이외의 서비스를 생산하기 위한 더 큰 시스템으로 결합되는 것을 의미하는 “통합 에너지 시스템(IES)”의 개념으로 표현됨.

- 원전은 전력을 전력계통에 급전하는 대신 에너지 서비스를 독점적으로 산업체 고객에게 공급하는 방식으로 운용될 수 있는데, 원자로를 열 생산(석유화학 설비용), 수소 생산(석유화학, 산업, 난방, 운송용), 암모니아 및 합성 연료 생산 전용으로 사용할 수 있음.

- 또는 통합 에너지 시스템에서 산업 공정에 대한 에너지 공급을 늘리거나 줄임으로써 전력 계통의 가격 신호를 활용하고 전력계통에 전기를 급전할 수 있는 유연성을 제공할 수 있는데, 이러한 부하 추종 기능은 전력계통 신뢰도를 향상시킬 수 있는 잠재력이 있으며 원자료가 수소와 같은 다른 제품을 판매하여 추가 수익원을 얻을 수 있도록 함.
 - 이러한 통합 에너지 시스템을 운용하려면 설비 간 조정 및 협응이 필요한데, 설비 중 일부는 다른(또는 경쟁하는) 회사가 소유주이거나 운영 주체일 수 있고, 서로 다른 산업 설비는 투자 및 개발 주기가 다르다는 점도 유념해야 함.
 - 예를 들어, 정유 공장의 수명은 100년이 될 수 있고 화학 공장도 수십 년이지만, 반면에 연료전지 스택의 수명은 짧으므로, 이를 감안하여 산업용 원전에 대한 공동 투자에 있어 회사의 이익에 부합하면서도 원자로의 긴 수명 동안 투자가 유지될 수 있어야 함.
- (수소 수요 측면) 전 세계적으로 대부분의 수소는 증기 메탄 개질을 사용하여 생산되는데, IEA에 따르면 전 세계 수소 생산으로 연간 8억 3천 만의 이산화탄소가 배출되어 에너지부문 배출량의 2.2%를 차지하는 상황으로, 다목적성이라는 원자력의 장점으로 인해 원자력을 통한 수소 생산은 산업, 운송, 건물 탈탄소화에 기여할 유망한 수단이 되고 있음.
- 원전에서 수소를 생산하여 전용 파이프라인이나 기타 운송 수단을 통해 최종 사용자에게 공급하거나, 원자료를 산업 고객의 설비와 같은 위치에 설치하여 수소를 현장에서 생산할 수 있는데, 향후 원자로의 소형화로 설치 공간이 줄어들고 비용이 절감되면 후자의 보급 시나리오의 가능성이 더 높아질 것으로 전망됨.
- (수소 생산기술 측면) DOE의 Light Water Reactor Sustainability 프로그램에서는 기술적으로 가장 완성도가 높고 비용적으로도 효율적인 원자력 수소 생산 방법은 수전해라는 결론을 내렸는데, 저온전기분해(LTE)에는 PEM(polymer electrolyte membrane) 수전해 기술이, 고온수증기 전기분해(HTSE)에는 주로 SOEC(solid oxide electrolysis cell) 기술이 사용됨.
- LTE는 원자력발전소의 전기만 필요한 반면, HTSE는 전기와 열이 모두 필요하며 시스템 운전 온도는 500~1000℃임. LTE는 HTSE처럼 원전의 열에너지를 이용하기 위해 복잡한 엔지니어링 설계와 시스템 통합을 필요로 하지 않지만, LTE에서 사용되는 PEM 수전해는 값비싼 촉매를 사용함.
 - 현재 SOEC 기반 HTSE 프로세스는 PEM 기반 LTE보다 기술 성숙도가 낮으나, HTSE를 사용한 수소 생산의 효율성이 더 높으므로(90% 이상, LTE는 65%), 기술의 안정성이 향상되고 비용 절감, 시스템 통합 문제가 해결되면 LTE보다 보급이 촉진될 수 있음.

- 기존 원자로의 자본 비용이 오래 전에 회수되었기 때문에 초기 수소 생산에서는 LWR 대비 선진 원자로와 SOEC의 결합이 경쟁 열위를 보일 것이나, 미래의 선진 원자로는 기술적인 관점에서 HTSE 기반 수소 생산과 통합하기에 훨씬 더 적합하며, 선진 원자로의 비용 절감과 SOEC 공정의 성능 향상으로 인해 경쟁력 확보가 가능함.
 - 선진 원자로로 가능해진 또 다른 저탄소 수소 생산 경로로는 열화학 분해 사이클이 있는데, 이는 원자로의 열만 필요로 하여 SOEC 경로에 비해 통합에 대한 부담이 적고 잠재적으로 전체 비용이 절감됨.
 - 황-요오드(SI) 공정을 통한 수소 생산을 위해 선진 원자로를 사용하는 파일럿 규모 사업 움직임이 있는데, 예를 들어 2019년 일본 JAEA(Japanese Atomic Energy Agency)는 SI 공정을 통해 30MW(t) 가스 냉각식 HTTR 시험로를 사용하여 연속 수소 생산을 성공적으로 실증했으며, 중국의 원자력 및 신에너지 기술 연구소(Institute of Nuclear and New Energy Technology)도 2025년 이전 수소 생산을 위해 SI 플랜트와 HTR-10(고온 가스 냉각 원자로)의 결합을 실증할 계획을 세웠음.
- (수소 정책 측면) 미국의 경우, 원자력 통합 에너지 시스템의 상업화 가능성을 높이는 것을 목적으로 하는 정부의 투자가 증가하고 있고, DOE는 2021년 6월에 청정 수소 생산 비용을 10년 내에 1kg당 1달러로 80% 절감하는 것을 목표로 하는 이니셔티브인 “Hydrogen Shot”을 시작했으며, 2021년 인프라 투자 및 일자리법(IIJA)은 생산, 처리, 수송, 저장, 최종 사용 등 각 단계별 기술을 개선하기 위해 최소 4개의 지역 청정수소 허브 구축에 약 80억 달러를 배정함.
- 최근 몇 년 동안 DOE는 원자력 발전소의 수소 생산 활용 확대 가능성을 실증하기 위해 몇몇 원자력 발전소와 계약을 체결했는데, Xcel Energy 프로젝트는 미네소타의 Monticello 및 Prairie Island 원전을 유지하는 데 도움이 될 사업 다각화 방안의 타당성 분석과 함께 150kW HTSE를 Prairie Island 원전과 통합하여 2024년부터 수소를 생산하는 실증사업을 수행하고, Constellation Energy는 뉴욕의 Nine-Mile Point 원전과 1.25MW LTE의 통합을 실증하고 있으며, Energy Harbor는 2MW LTE를 오하이오에 있는 Davis-Besse 원전과 통합하여 늦어도 2024년에 수소 생산을 시작할 계획임.
 - IIJA는 수소 허브 1곳은 원자력 발전원으로 전용되어야 한다고 규정함으로써 원자력-수소 상업화 경로에 대한 DOE의 지원 의지를 보여주고 있으며, 최근의 IRA는 사용된 수소 생산 경로의 탄소 집약도에 따라 킬로그램당 1.2~60센트 범위의 청정 수소 세액 공제를 제공하는데 이는 다른 공제액과 결합할 수도 있음.
- (수소 생산비용 측면) 미국의 경우, 원자력-수소 경로에 대한 Hydrogen Shot 이니셔티브의 목표는 선진 원자로가 아닌 기존 원전에 의해서만 실현될 수 있는데, 기존 LWR의 가동률이 높고

이미 비용을 회수했기 때문에 2027년부터 운영을 시작할 통합 LWR/HTSE 발전소에서의 수소 1kg 생산비용은 \$1.93(2020년 달러 기준)로 추정되었음.

- 천연가스 기반의 증기 메탄 개질 기술은 2022년에 나타난 것처럼 비용 변동성이 클 수 있는데, 최근 NEA(Nuclear Energy Agency)의 연구에서는 천연가스 가격이 MWh당 20달러(약 6달러/MMBTU)에서 100달러(약 30달러/MMBTU) 범위에 올랐을 때 2035년 CCUS를 통한 증기 메탄 개질의 LCOH(levelized cost of hydrogen)가 수소 1kg당 2달러에서 5.87달러 사이로 추정되었으며, CCUS를 사용한 증기 메탄 개질의 보급은 지질학적 제약이 수반된다는 점을 고려할 때 지역적으로 제한적으로만 사용될 수 있음.
- 신재생 에너지는 원자력에 비해 특정 시나리오에서 더 저렴한 전기를 제공할 수 있지만 일반적으로 가동률이 더 낮고 SOEC와 통합이 불가능한데, BNEF(Bloomberg New Energy Finance)에 따르면 현재 신재생 수전해 수소 생산 비용은 수소 1kg 당 \$4 이상이며 NREL(National Renewable Energy Lab)은 2030년에 풍력 및 태양광으로 생산된 가장 저렴한 수소 1kg당 가격을 \$2~\$3로 예측함.
- LWR/HTSE 경로는 10년 안에 수소 1kg당 \$1 목표에 도달할 수 있는 강력한 잠재력을 보이고 있는데, 현재는 스택 가격이 비싸고(SOEC 스택 자본비용은 현재 \$155/kW-dc) 상대적으로 수명이 짧으나(SOEC 스택의 사용 수명은 4년으로, 그 이후에는 수소 생산 용량이 67%로 감소), SOEC 제조 능력이 향후 몇 년 동안 계속 확장되면 2030년까지 \$27/kW-dc를 달성할 수 있으며 스택 열화율도 절반으로 감소할 것으로 예상됨.

■ (수소 기반 연료 생산 가능성) Haber-Bosch 기반 암모니아 합성 공정은 에너지 집약도가 높아 (400~500°C의 온도, 최대 약 200bar의 압력) 원자력이 암모니아 생산을 위한 주요 저탄소 에너지원이 될 수 있는데, 원자력과 HTSE 공정을 사용하여 수소를 생산하고, 수소와 질소는 원자력으로 구동되는 암모니아 합성 공장에 공급될 수 있으며, 암모니아 합성 공정은 발열 공정이기 때문에 생성된 열은 SOEC 스택의 높은 열에너지를 보완하기 위해 재활용될 수 있음.

- CO₂를 원료로 하는 합성가스(일산화탄소와 수소의 혼합물) 생성 및 합성 액체연료 제조 공정에서 나오는 배출물을 제거하기 위해 원자력과 같은 청정에너지를 사용할 수 있는데, 공전해(co-electrolysis)의 경우 CO₂가 SOEC 시스템에서 물과 반응하여 합성 가스를 생성한 후 Fischer-Tropsch 또는 Mobil 공정을 통해 연료로 전환될 수 있음.

■ (공정 열 활용 가능성) 원자료가 열에너지를 제공하기 때문에 탄소 규제가 강화되어 화석 연료 공급이 줄어들거나 가격이 올라갈 때 화학 산업이 원자로 도입에 관심을 가질 수 있으며, 그 밖에도 극저온 냉매 사이클, 클로르-알칼리(chlor-alkali) 공정 및 포름산 생산 등에 원자력이 활용될 가능성이 있음.

- (지역난방 활용 가능성) 지역난방에는 LWR의 비교적 낮은 온도(125°C)에서 생성된 열을 사용하나, 거주지 인근 설치와 관련한 주민 수용성 문제와 규제 문제 등이 해결되어야 함.
 - 중국 산둥성의 Haiyang 원전(AP1000 LWR)의 경우, 중국 최초의 상업용 원자력 난방 프로젝트인 Haiyang 프로젝트가 2019년 겨울에 시작되어 700,000m²의 주택에 열을 공급했으며, 2021년 말 현재 인구 약 200,000명의 Haiyang 시 전체에 지역난방 제공
- (담수화 활용 가능성) 최근 연구에서는 물 담수화에서 소형 모듈형 원자로가 천연가스에 확실한 경쟁우위를 보이려면 탄소 가격이 \$200/tCO₂로 상승해야 한다는 결론이 나왔으며, 대부분 지역에서 물 가격은 아주 저렴하기 때문에 원자력 확대에 도움이 되는 수준의 시장 형성 가능성은 낮음.

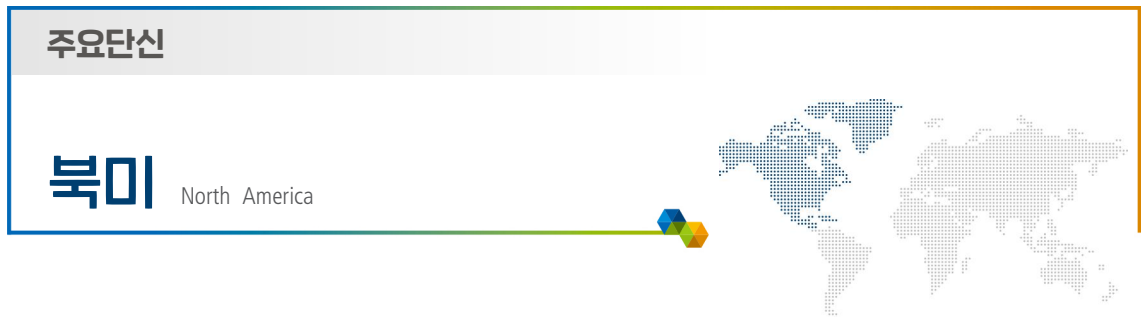
4. 시사점

- 미래 전력 시스템에서 선진 원자로가 경쟁력을 가지기 위해서는 공급 측면에서 자본비용 문제가 관건이며 또한 무탄소 발전원으로서의 장점에 대해 시장에서 가치를 평가받는 것이 중요함.
 - 또한 경쟁 에너지원들이 제공하지 못하는 신뢰도 관련 서비스와 분산 에너지원으로서 특화된 장점을 부각시켜야 함.
- 선진 원자로는 전기 이외에도 대량의 열에너지 등 다양한 에너지 서비스를 통합 에너지 시스템을 통해 수소 및 합성 연료 생산 등의 산업부문에 제공할 수 있어 이를 적극 반영할 필요가 있음.
 - 특히, 선진 원자로뿐 아니라 기존 LWR를 결합하여 청정 수소 생산의 경제성을 조기에 확보하려는 미국의 사례를 참고할 필요가 있음.



참고문헌

- aying the Foundation for New and Advanced Nuclear Reactors in the United States, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine



◎ TerraPower, 최초 Natrium SMR 첫 건설 위해 Wyoming 주의 석탄발전소 매입

세계 원전시장 인사이트 2022.12.30., 2023.02.03., TerraPower News Release 2023.08.16.,
Nuclear Street 2023.08.17.

- SMR 개발사 TerraPower는 자사의 소듐냉각 고속원자로인 Natrium 실증프로젝트 부지로 활용하기 위해 Wyoming 주의 폐쇄 예정인 PaciCorp. 소유의 Kemmerer 시에 위치한 Naughton 석탄발전소를 매입했다고 발표함.
 - 2021년 TerraPower는 Naughton 석탄발전소를 자사의 345MW 규모 Natrium 설비 및 용융염기반 에너지저장시스템으로 대체하겠다는 계획을 발표한 바 있음.
 - 해당 프로젝트는 건설과 관련한 1,600개의 일자리 창출과 운영을 위해 250명의 인력이 필요할 것으로 예상됨.
 - 그러나, TerraPower는 2022년 12월 러시아-우크라이나 전쟁 이후 러시아로부터 HALEU의 안정적인 조달 계획에 문제가 생기며 연료 생산이 어려워지자 해당 원자로 최초운전 시기를 2030년으로 2년 연기한 바 있음.
- 또한 TerraPower는 Natrium 추가 건설을 위해 폐쇄 예정인 석탄발전소 두 곳을 고려 중이며, 원전연료 확보를 위한 MOU 체결과 주요 협력업체 선정 등의 활동을 이어가고 있음.
 - 2023년 1월 TerraPower는 Natrium의 신규 건설 부지로 West Virginia 주 Glasgow에 있는 폐쇄된 석탄발전소를 추가로 고려 중임을 밝힌 바 있음.
 - 2023년 7월에는 우라늄 농축 및 첨단원자로 연료 제조사인 Centrus Energy와 Natrium 연료로 활용되는 고순도저농축우라늄(HALEU)의 자국 내 상업적 규모 공급망 구축을 위한 양해각서(MOU)를 체결함.

- 2023년 8월에는 Natrium 실증로의 운영 소프트웨어 개발 · 시뮬레이션 개발 · 구조시설 설계 및 건설 · 중간 열교환기 개발 · 원자로 보호시스템 개발을 위해 캐나다와 미국 4개사와 공급계약을 체결한 바 있음.
 - TerraPower는 이외의 기자재 공급계약이 진행 중인 상황이라고 밝힘.

◎ Vogtle 4호기 연료장전 시작… 올해 말 또는 내년 초 상업운전 목표

Westinghouse News Release 2023.08.17., World Nuclear News 2023.08.18., Nucnet 2023.08.18.

- 8월 18일 Georgia Power는 Vogtle 4호기(1,250MW, PWR)의 연료 장전을 시작했다고 밝힘.
 - Vogtle 4호기는 2013년 11월 19일에 착공했으며, 2023년 말 또는 2024년 초에 상업운전을 목표로 함.
 - Georgia Power의 모기업인 Southern Company는 2023년 7월 미국 원자력규제위원회(NRC)로부터 연료 장전에 대한 허가를 취득하였고 이에 따라 157개의 연료 집합체가 장전될 예정임.
 - 또한 Georgia Power의 발표에 따르면 연료 장전이 완료되면 원자로 내부 주요 냉각 시스템과 증기 시스템을 점검하는 초기 시험(Startup Testing)이 진행될 예정임.
 - 한편, 2023년 7월 31일 Vogtle 3호기(1,250MW, PWR)가 상업운전을 시작함.

◎ 미국 NRC, Kairos Power의 고온소형원자로 최종 환경영향평가보고서 발행

Kairos Power News Release 2021.11.30., NRC News Release 2023.08.17., World Nuclear News 2023.08.18.

- 8월 18일 미국 원자력규제위원회(NRC)는 Kairos Power의 Hermes 실증 용융염 원자로(35MWth)의 건설 허가 신청에 대한 최종 환경영향평가보고서(Final Environmental Impact Statement, FEIS)를 발행함.
 - NRC는 2018년 11월부터 Kairos Power의 사전인허가검토를 진행 중이며, Hermes 실증로는 페블 형태의 삼중구조 균등성 연료(TRISO) 및 저압 불화염 냉각수를 활용하는 KP-FHR 실증로(140MW)임.

- Tennessee 주 Oak Ridge에 위치한 Hermes 실증로는 2026년 상업운전을 목표로 하고 있음.
- Kairos Power에 따르면 이번 최종 환경영향평가보고서는 올해 말에 계획된 NRC 청문회를 지원하기 위한 최종 문서로 Hermes 실증로에 대한 건설 허가 신청 관련 환경 검토의 공식적인 결론임.
 - Kairos Power는 Hermes 원자로 운영 전 운영허가 신청서를 NRC에 제출하고 해당 기관의 승인을 받아야 함.
- 2021년 9월과 10월 Kairos Power는 NRC에 Hermes 실증로에 대한 인허가(Construction Permit Application, 이하 'CPA') 신청서를 두 파트로 나누어 각각 제출했으며, NRC는 같은 해 11월 해당 원자로 CPA를 승인한 바 있음.
 - 9월에는 예비안전성분석 보고서(Preliminary Safety Analysis Report, PSAR)를 제출했으며, 10월에는 환경 보고서(Environmental Report, ER)를 제출함.
- 또한 2023년 6월 NRC는 Hermes 실증로에 대한 최종안전성평가결과 보고서(Final Safety Evaluation Report, FESR)를 발행함으로써 실증로 건설 허가 관련 안전 측면에 이상이 없다는 결론을 내린 바 있음.

◎ 캐나다 연방정부, Saskatchewan 주 BWRX-300 도입 지원을 위해 약 700억 원 지원

Government of Canada 2023.08.19., World Nuclear News 2023.08.21., 08.25., Nucnet 2023.08.22., Nuclear Engineering International 2023.08.23., Nuclear Newswire 2023.08.24., Power Magazine 2023.08.24., Saskatchewan News Release 2023.08.24.

- 8월 19일 캐나다 연방정부는 Saskatchewan 주 전력사인 SaskPower가 해당 주 내 진행 중인 SMR 개발 및 보급 프로젝트 자금 지원을 위해 최대 7천 400만 캐나다 달러(약 723억 원)³⁾의 연방자금 지원을 승인함.
 - 이번에 발표한 캐나다 연방정부의 자금은 해당 프로젝트의 사전 엔지니어링 작업 및 기술 연구, 환경영향평가, 그리고 규제 연구와 지역주민들의 사업 참여 등 Saskatchewan 주의 다양한 프로젝트를 지원할 계획임.

3) 북미 단신 기사 내용 모두 2023년 8월 30일 환율 기준 적용(1캐나다 달러=976.48원)

- 자금 중 5천만 캐나다 달러(약 488억 원)는 캐나다 천연자원부(NRCAN)의 Electricity Predevelopment Program에서 출자되었으며, 나머지 2천 400만 캐나다 달러(약 234억 원)는 캐나다 정부의 Future Electricity Fund에서 출자됨.
- 2022년 6월 SaskPower는 Saskatchewan 주에서 활용할 SMR 노형으로 GE Hitachi의 BWRX-300(300MW, BWR)을 선정한 바 있음.
 - 2023년 4월 SaskPower는 SMR 건설부지 후보지로 Saskatchewan 주 남부에 있는 Diefenbaker 호수 근처로 고려 중임을 밝힌 바 있음.

■ 8월 24일 Saskatchewan 주 정부 공공사업 투자 담당 기관인 Crown Investments Corporation(CIC)은 해당 지역 기업들이 SMR 개발에 참여할 수 있는 기반 마련을 위해 Saskatchewan 산업·광산 공급업체 협회(SIMSA)와 해당 주 내 공급망 참여 가능 기업에 2년 동안 47만 9천 캐나다 달러(약 4억 7천만 원)를 지원할 예정임을 밝힘.

※ Crown Investments Corporation(CIC)은 Saskatchewan 주 정부의 다양한 분야인 전력, 천연가스, 정보 및 통신 기술 등 지역 주민들의 편의를 위한 주요 공공 서비스 제공과 함께 해당 주의 경제 활동을 지원함.

- 이번 지원 발표의 주목적은 Saskatchewan 주 내 SMR 공급망 개발을 목표로 함.
- CIC에 따르면 해당 지원금은 Saskatchewan 주 내 Regina 지역 비영리 단체인 First Nations Power Authority(FNPA)의 경제 발전 지원과 캐나다 원자력산업기구(OCNI)의 지역 공급업체 개발을 위한 프로그램인 'Ready4SMR'을 지원할 계획임.
 - OCNI의 Bill Walker CEO는 SIMSA, FNPA와 함께 Saskatchewan 주에서 'Ready4SMR' 프로그램 추진을 바탕으로 깨끗하고 신뢰할 수 있는 원자력 생산을 목표로한다고 밝힘.

기타단신

◎ 미국 Duke Energy, 2035년까지 North·South Carolina 주의 원전 계속운전 추진 및 SMR 2기 건설 고려 중

U.S. NRC 2023.04.06., Duke Energy News Center 2023.08.15., World Nuclear News 2023.08.17.

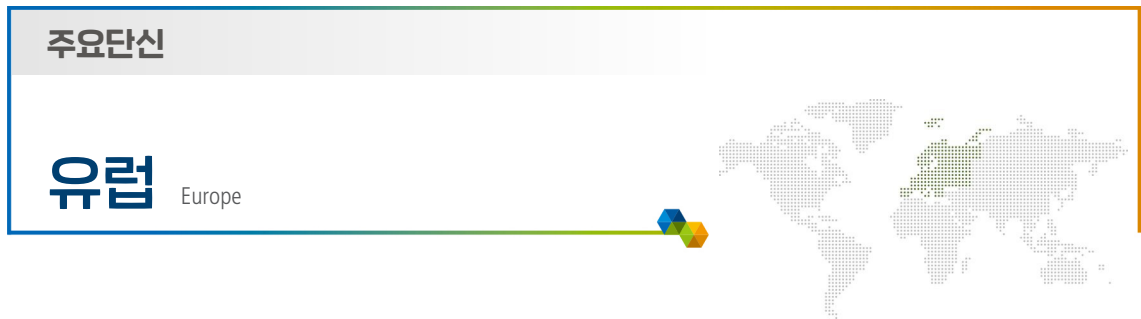
- 8월 15일 North Carolina와 South Carolina 주의 전력 및 가스공급을 담당하는 Duke Energy는 새로운 통합자원계획(Integrated Resource Plan, 이하 'IRP')에서 2035년까지 해당 2개 주에 가동 중인 원전의 계속운전 추진과 함께 SMR 2기 건설을 고려하고 있다고 밝힘.
 - Duke Energy는 IRP에서 선진 원자로 건설이 2050년까지 탄소중립을 달성하는데 중요하며, 2035년까지 최소 SMR 2기(총 570MW)를 건설해야 할 필요성을 제시함.
 - IRP에 따르면 SMR 건설을 위한 조기 부지허가(early site permit) 작업과 인허가 절차 완료 기간까지 모두 포함하여 2032년 중반쯤 SMR을 가동할 수 있을 것으로 예상됨.
 - 이번 IRP에서 구체적인 SMR 부지와 노형은 언급되지 않음.
 - 한편, 현재 Duke Energy는 North Carolina와 South Carolina 주의 6개 부지에서 총 11기의 원자로(총 10,773MW)를 운영 중임.
 - 2021년 6월 Duke Energy는 NRC에 South Carolina 주에 위치한 Oconee 1~3호기(총 2,682MW, PWR)의 2차 계속운전 신청서를 제출한 바 있으며, 해당 신청서에 대한 결정은 2024년 7월에 발표될 예정임.
 - 계속운전 신청이 승인되면 1·2호기는 2053년, 3호기는 2054년까지 가동이 가능함.

◎ Minnesota 주 공공위원회, Monticello 원전 사용후핵연료 저장을 위한 건식저장 시설 증설 승인

Xcel Energy News Release 2023.08.24., World Nuclear News 2023.08.25.

- 8월 24일 Minnesota 주 공공위원회(PUC)는 Xcel Energy가 Minnesota 주에서 운영 중인 Monticello 원전(691MW, BWR) 부지에 사용후핵연료 저장을 위한 건식저장시설 증설 신청을 승인함.
 - Xcel Energy는 Monticello 원전 계속운전에 대비하여 계속운전 시 추가로 발생할 사용후핵연료 저장을 위한 시설 증설을 추진 중임.

- 건식저장시설 증설 신청 시 Xcel Energy는 기존 사용후핵연료 저장시설 내부에 콘크리트 패드 건설과 모듈형 시스템, 그리고 캐니스터 14개가 추가로 필요하다고 밝힌 바 있음.
- 사용후핵연료 건식저장시설에는 Orano에서 제작한 총 30개의 캐니스터에 1,830개의 사용후핵연료 다발이 보관 중임.
- 한편, Monticello 원전은 1967년 6월 19일 착공하여 1970년 12월 10일 최초임계를 달성하고, 1971년 6월 30일 상업운전을 시작함.
 - 해당 원전은 2006년 11월에 1차 계속운전 인허가를 받았으며, 2030년 9월 운영허가가 종료됨.
 - Xcel Energy는 2022년 1월 해당 원전의 2차 계속운전을 신청했으며, 결정은 2024년 말에 발표될 예정임.



○ 프랑스 Tricastin 1호기, 계속운전 허가로 자국내 최초로 50년 간 운전 가능해져

ASN 2023.08.10., Nuclear Engineering International 2023.08.16., Le Monde 2023.08.22.

- 2023년 8월 10일 프랑스 원자력안전청(ASN)은 4차 주기적안전성평가(PSR)를 바탕으로 Tricastin 1호기(915MW, PWR)의 10년 계속운전 시행을 승인함에 따라, 해당 원자로는 최대 50년 가동 승인을 취득한 최초 원전이 됨.
 - 프랑스는 원전의 운영허가 기간의 제한을 두지 않고 있으며 10년마다 주기적안전성평가(PSR) 제도를 활용해 계속운전을 허용하고 있음.
 - PSR 제도는 동일 노형의 원자로에 대한 일반(generic) 단계를 거쳐 각 호기별 특정(specific) 단계로 순차적으로 수행됨.
 - Tricastin 1호기의 PSR과 관련해, ASN은 EDF이 수행한 10년 주기 검사(ten-year inspection) 보고서 및 안전성 개선 조치 사안을 검토한 후 해당 원전의 10년 계속운전을 허용하는 결정을 내렸지만, 안전성 부분에 대한 추가 요건(지진 및 폭염대응)을 설정함으로써 해당 원자로의 계속운전을 감독한다고 강조함.
 - 2019년 EDF는 1980년 12월 상업운전을 시작한 Tricastin 1호기의 4차 PSR의 일환인 10년 주기 검사를 시행한 후, 2020년 ASN에 안전개선사항을 담은 PSR 결과 보고서를 제출함.
 - EDF의 안전성 개선 조치 사안은 2022년 1월 13일부터 2월 14일까지 의견수렴을 거침.
- 2021년 2월 ASN은 900MW 규모의 32기 원자로에 대한 일반(Generic) 단계를 종료하고, 2031년까지 시행되는 특정(specific) 단계에서 각 호기에 안전성 개선 방안 및 추가 조치를 적용 시 해당 32기 노형의 10년 계속운전이 가능하다는 입장을 표명한 바 있음.

■ Tricastin 1호기의 10년 계속운전 시행은 EDF가 가동 중인 원전의 안전성 개선 및 40년 이상의 계속운전을 목표로 추진하는 약 660억 유로(약 95조 원)⁴⁾ 규모의 Grand Carenage 사업의 일환으로 진행된 설비개선 작업으로 가능해짐.

- 2022년 2월 Macron 대통령은 대선 공약으로 신규 원전인 EPR2 6기 건설 및 추가 8기 증설 검토 · 계속운전을 통한 기존 원전 60년 이상 가동을 제시한 바 있음.
- 2023년 2월 프랑스 정부는 전력 공급 안정성을 위해 ASN이 제시한 안전성 조건 충족을 전제로 기존 원전의 계속운전 시행을 위한 타당성 연구 시작을 승인함.

〈프랑스 PSR 대상 원전(900MW 규모) 현황〉

순번	호기명	노형	용량	설계수명	상업운전년도
1	BUGEY-2	PWR	910	40년	1979.03.01
2	BUGEY-3		910		1979.03.01
3	BUGEY-4		880		1979.07.01
4	BUGEY-5		880		1980.01.03
5	Blayais 1		910		1981.12.01
6	Blayais 2		910		1983.02.01
7	Blayais 3		910		1983.11.14
8	Blayais 4		910		1983.10.01
9	CHINON B-1		905		1984.02.01
10	CHINON B-2		905		1984.08.01
11	CHINON B-3		905		1987.03.04
12	CHINON B-4		905		1988.04.01
13	CRUAS-1		915		1984.04.02
14	CRUAS-2		915		1985.04.01
15	CRUAS-3		915		1984.09.10
16	CRUAS-4		915		1985.02.11
17	DAMPIERRE-1		890		1980.09.10
18	DAMPIERRE-2		890		1981.02.16
19	DAMPIERRE-3		890		1981.05.27
20	DAMPIERRE-4		890		1981.11.20
21	GRAVELINES-1		910		1980.11.25
22	GRAVELINES-2		910		1980.12.01
23	GRAVELINES-3		910		1981.06.01
24	GRAVELINES-4		910		1981.10.01
25	GRAVELINES-5		910		1985.01.15
26	GRAVELINES-6		910		1985.10.25
27	ST. LAURENT B-1		915		1983.08.01
28	ST. LAURENT B-2		915		1983.08.01
29	TRICASTIN-1		915		1980.12.01
30	TRICASTIN-2		915		1980.12.01
31	TRICASTIN-3		915		1981.05.11
32	TRICASTIN-4		915		1981.11.01

자료: WNA, IAEA PRIS(검색일: 2023.08.27.)

4) 유럽 단신 기사 내용 모두 2023년 8월 31일 환율 기준 적용(1유로=1,444원, 1파운드=1,681원, 1달러=1,321원)

◎ 프랑스 Orano, 니제르 군부 쿠데타로 인한 우라늄 공급 차질 없다는 입장 표명

Le Monde 2023.07.31., Euractiv 2023.08.01., Nucnet 2023.08.02.

- 프랑스 핵연료주기기업 Orano는 2023년 7월 26일 서아프리카 니제르에서 쿠데타를 일으킨 군부가 프랑스로의 우라늄 수출 중단을 선언한 상황에서 핵연료로 사용될 우라늄 공급에 차질이 발생하지는 않을 것이라는 입장을 발표함.

※ Orano는 국영 원자력기업 Areva의 사업재편성 결과로 2017년 설립되었으며, 우라늄 채광·변환·농축, 사용후핵연료 재활용, 원자력 물류, 해체 등 핵연료의 전 주기를 담당함.

- 지난 7월 26일 니제르에서 대통령경호대 사령관 Abdourahamane Tchiani 장군의 주도로 쿠데타가 발생해 Mohamed Bazoum 대통령을 구금하고 정권을 장악함.
- Orano는 현지 자회사인 SOMAÏR, COMINAK을 통해 약 50년간 니제르 북서부 지역에서 우라늄 광산을 운영해왔지만, 최근 몇 년간 우라늄 공급처 다변화의 일환으로 카자흐스탄과 캐나다에서 우라늄 채광 사업을 확장하고 있어 이번 사태로 우라늄 공급망 확보에 미치는 위협이 없음을 확인함.
 - Orano에 따르면 니제르의 공급량은 프랑스 전체 우라늄 수요의 약 10% 미만을 차지함.
- 또한 Orano는 니제르의 정치적 위기 상황을 면밀히 모니터링하면서 현지 우라늄 광산을 정상 운영하고 있다고 덧붙임.

- 한편, EU의 우라늄 조달을 담당하고 있는 유럽원자력공동체(Euratom)는 EU 회원국 전력사들이 3년치 비축분을 보유하고 있어 니제르가 우라늄 공급을 중단하더라도 단기적으로 EU의 원전 운영에는 차질이 없다고 밝힘.

- Euratom에 따르면, 2022년 니제르는 EU 전체 우라늄 공급량의 약 25.38%를 차지해 카자흐스탄(43%)에 이어 EU에 두 번째로 우라늄을 많이 공급한 국가로 자리매김함.

◎ 폴란드 PEG PAK, 한국과 협력중인 두 번째 원전 건설위한 사전허가서 요청

ENERGIANEWS 2023.08.16., World Nuclear News 2023.08.17.

- 2023년 8월 16일 폴란드 원전 건설을 담당하는 특수목적법인인 PGE PAK Energia Jądrowa (이하 PGE PAK)는 2035년 최초 호기의 상업운전 시작을 목표로 폴란드 중부 지역에 한국의

APR1400 2기를 도입하는 두 번째 원전 건설을 위한 사전허가 신청서(decision-in-principle)를 기후·환경부에 제출했다고 발표함.

- 폴란드 국영 에너지기업 PGE와 민간 발전사 ZE PAK가 공동 설립한 PGE PAK는 APR1400 원자로 2기 건설을 위한 타당성 조사, 환경영향평가수행, 부지 조사 등을 담당함.
 - 폴란드 제2원전 건설 프로젝트는 2022년 10월 폴란드·한국 3개 기업(PGE·ZE PAK·한국수력원자력)이 ZE PAK 소유의 Patnow 석탄 발전소 부지에 한국형 노형 건설을 위한 협력의향서(Letter of Intent)를 체결하며 시작됨.
- PGE PAK에 따르면 사전허가서에는 APR1400 노형 특징, 최대 설비용량, 운영기간, 자금조달 방식 등 폴란드 제2원전 프로젝트에 대한 특징이 포함됨.
 - 사전허가서는 사업자가 계획한 프로젝트 투자에 대한 정부의 공식 승인을 의미함. 사전허가서 취득 시 사업자는 부지 결정·건설 허가 등 추가 인허가 신청이 가능함.
- PGE PAK는 한국수력원자력과 타당성 조사, 프로젝트 자금 조달에 대한 합의 등을 담당할 폴란드-한국 특수목적법인 공동 설립과 관련과 논의 중이라고 밝히며, 최종 결정이 90일 내로 발표될 것으로 예상함.
 - 2023년 4월 PGE와 ZE PAK는 Patnow 부지에 한국의 APR1400 2기 건설을 위한 특수목적법인인 PGE PAK 설립을 발표하였으며, PGE는 한국수력원자력에 PGE PAK의 지분 중 49%에 투자를 요청한 바 있음.
- 이에 앞서, 올해 7월 폴란드 최초 원전 건설을 담당하는 국영 전력기업 PEJ와 SMR 도입을 추진하는 광산·제련업체 KGHM는 기후·환경부로부터 사전허가서를 취득함.
 - PEJ와 KGHM은 올해 4월 각각 Westinghouse AP1000 3기 도입과 미국 NuSclae의 VOYGR SMR 6기 도입을 위한 사전허가서를 제출한 바 있음.

◎ 영국 정부, 우크라이나에 핵연료 공급 위해 Urenco에 약 3천억 원 보증 제공

BBC, Gov.UK 2023.08.23., World Nuclear News 2023.08.16.

- 2023년 8월 23일 영국 에너지안보·탄소중립부(DESNZ)는 자국 우라늄 농축업체 Urenco가 우크라이나 국영 원자력기업인 Energoatom에 핵연료를 공급할 수 있도록 영국의 수출신용기관인 UK Export Finance(UKEF)를 통해 1억 9,200만 파운드(약 3,229억 원)⁵⁾ 규모의 대출 지급 보증을 제공한다고 발표함.

5) 유럽 단신 기사 내용 모두 2023년 8월 30일 환율 기준 적용(1파운드=1,672원/1달러=1,323원)

- 이번 지원은 Grant Shapps 영국 에너지안보부 장관의 우크라이나 방문 기간에 발표되었으며, DESNZ는 성명을 통해 우크라이나의 에너지 안보 강화 및 러시아산 핵연료 의존도 종식을 지원함으로써 Putin 대통령을 더욱 고립시킬 계획이라고 밝힘.
 - 영국 정부는 지난 6월 런던에서 열린 우크라이나 재건회의에서 우크라이나 전후 재건 사업을 위해 2027년까지 30억 달러(약 4조 원) 규모의 세계은행(World Bank) 대출을 보증하고, 2억 4천만 파운드(약 4,038억 원)를 추가 지원한다고 발표한 바 있음.
 - 이번 발표는 올해 4월 일본에서 열린 G7 기후·에너지·환경장관 회의에서 러시아산 핵연료 의존도 축소를 목표로 체결된 협력 협정의 후속 조치임.
 - 원전 가동국인 일본, 영국, 캐나다, 미국, 프랑스는 각국의 원자력 부문에서의 자원과 역량을 활용한 상업원전용 핵연료 시장 구축 및 우라늄 정련·변환·농축·성형가공 부문에서의 협력을 합의함.
 - DESNZ는 우크라이나의 농축 우라늄 수요의 상당량을 영국에서 공급하기 때문에 영국 북서 지역의 제조 부문 일자리 지원과 경제 성장에 기여할 것으로 전망함.
- 영국 정부의 핵연료 공급 지원으로 2009년부터 우크라이나에 핵연료를 공급해 온 Urenco는 Energoatom에 지속적으로 농축 우라늄을 공급할 수 있게 됨.
- Urenco는 2022년 2월 러시아 침공 이후 우크라이나의 에너지 공급 안정성을 위해 농축 우라늄 공급을 늘려왔으며, 현재 Energoatom과 장기 핵연료 공급을 논의 중이라고 밝힘.
 - Energoatom은 핵연료 집합체 공급선 변화로 기존 러시아산 핵연료 집합체를 미국 Westinghouse 핵연료 집합체로 전면 교체를 진행 중임.
 - 2022년 6월 Energoatom은 Westinghouse와 우크라이나 원전용 핵연료 공급 계약을 체결한 바 있으며, 올해 3월 Westinghouse의 기술을 활용해 2026년까지 핵연료의 자체 생산 계획을 밝힘.
 - 우크라이나는 현재 Khmelnytski, Rivne, South Ukraine 및 Zaporizhzhia 원전에서 총 15기(13.1GW)를 가동 중이며, 현재 총 2기(PWR, 2.1GW)의 원전을 건설 중임.

● 독일, 고준위방폐물 처분시설로 활용 추진하다 취소된 갱도에 소금으로 되매우기 작업(backfilling) 시작

BGE 2023.08.15., World Nuclear News 2023.08.16.

- 2023년 8월 15일 독일 연방환경부 산하 방사성폐기물 관리기관인 BGE는 과거 고준위 방폐물 최종처분시설 후보 부지로 고려되었던 니더작센주(Niedersachsen) 소재 Gorleben 암염광산의 폐쇄를 위해 독일 지하갱 채굴 전문기업 컨소시엄(Redpath Deilmann GmbH 및 Thyssen Schachtbau GmbH)과 소금을 활용한 광산 되매우기(backfilling) 작업 계약을 체결함.
 - Gorleben 암염광산은 1977년 니더작센 주정부가 고준위 방폐물 최종처분부지로 제안했고, 독일 연방방사선방호청(BfS)이 해당 부지에 대한 적합성 평가를 진행함.
 - 해당 광산은 1977년 고준위 방폐물 최종처분 부지로서의 적합성 평가를 위한 부지특성 조사가 시작됨. 이후 1983년 연방정부로부터 지하탐사작업을 승인받아 1986년 2개의 갱도 굴삭 작업이 이루어짐.
 - 그러나, 2000년 단계적 원전 폐쇄 정책 도입으로 일시적으로 작업이 중단되었으며, 2020년 지질학적 이유로 고준위 처분장 후보지역에서 제외되고, 2021년 공식적으로 폐쇄됨.
 - 2020년 9월 BGE는 고준위 방폐물 최종 처분시설 후보 부지에 관한 중간 보고서를 발표하면서, 지구과학적 요건에 부합되지 않는 Gorleben 암염광산을 후보부지에서 제외함.
 - BGE는 채굴 인허가 취득 시 1980년대 Gorleben 암염광산의 지질조사를 위해 하층토에서 추출한 소금을 충전재로 활용해 2024년 중반기에 되매우기 작업을 시작할 수 있다고 밝힘. 해당 작업에는 3년이 필요할 것으로 예상됨.
 - 현재 Gorleben 암염광산 인근에 약 40만 톤의 암염이 적재되어있음.
 - BGE에 따르면, 이번 작업에 이어 추후 계약 체결을 통한 갱도 되매우기 작업 및 폐광부지 재활용이 진행될 예정임.
 - 독일은 2017년부터 고준위 방사성폐기물 최종 처분시설 부지선정법(Site Selection Act)에 따라 고준위 방폐물 최종 처분시설 부지 선정 절차를 시작하였으며, 2031년까지 최종 처분시설 부지 선정, 2051년 가동을 목표로 하고 있음.
 - BGE는 2020년 고준위 방폐물 최종 처분시설 후보 부지에 관한 중간 보고서를 발표해 국가 전체 면적의 54%를 차지하는 90개의 후보 부지(sub-area)를 제시하였으며, 2023년 3월부터 2028년 말까지 8개 연구 기관과 함께 후보부지 탐색을 위한 지구물리학적 측정 방법론 개발 및 조사를 진행할 예정임.

기타단신

● 폴란드 PEJ, Pomerania주에 최초 원전부지 결정 승인 신청서 제출

PEJ, World Nuclear News 2023.08.22.

- 2023년 8월 22일 폴란드 국영 전력기업 PEJ는 Pomerania주 Choczewo 지자체 내에 위치할 최초 원전부지(Lubiatowo-Kopalino) 결정 승인 신청서를 Pomerania주에 제출함.
 - PEJ는 해당 승인 취득 시 육지 및 해상에 이르기까지 건설에 필요한 부지에 대한 권한을 확보할 수 있다고 밝힘.
 - PEJ에 따르면 상기 부지 결정 승인은 투자에 적용되는 자산 범위를 비롯해 기술, 환경 및 보존, 방재를 포함한 투자 이행 조건을 명시함.
 - Pomerania주지사인 Dariusz Drelich는 해당 원전부지 결정 승인은 즉시 발표될 예정이며, 이후 환경 부문에 대한 승인이 남아있다고 밝힘.
 - 폴란드 Lubiatowo-Kopalino 원전 프로젝트는 Westinghouse의 AP1000 노형을 적용한 원자로 3기를 2026년부터 건설하고 2033년에 첫 호기 운영을 목표로 하고 있음.
 - 올해 7월 폴란드 기후·환경부로부터 건설에 대한 사전허가서(decision-in-principle)를 취득해, 해당 프로젝트가 공익 및 국가 에너지 정책에 부합함을 확인받은 바 있음.

● 폴란드, 신규 중·저준위 방폐물 처분시설 부지 선정 절차 시작

World Nuclear News 2023.08.18.

- 2023년 8월 17일 폴란드에서 방사성폐기물 관리를 담당하는 ZUOP는 기후·환경부가 신규 중·저준위 단수명 방사성폐기물 천층처분시설 부지 확보를 위해 부지선정사업에 참여할 지자체를 모집 중이라고 밝힘.
 - ZUOP는 폴란드 정부로부터 방사성폐기물 수집·이송·저장·처리·관리 권한을 단독으로 위임받은 기관임.
 - 폴란드 기후·환경부에 따르면 ZUOP가 운영할 신규 중·저준위 방폐물 천층처분시설은 원전, 산업, 의료, 연구·개발에서 발생하는 중·저준위 방폐물과 방사성선원만을 수용하며, 지하시설이 필요한 고준위 방폐물이나 사용후핵연료는 제외됨.

- 폴란드 국립 방폐물 처분시설(NRWR)은 1961년부터 현재까지 62년간 운영되고 있음.
- 이번 신규 방폐물 부지 선정 기준은 폴란드 국경에서 최소 50km 거리 위치, 국립공원이나 자연보호구역 제외, 인구밀집지역 제외, 지진 또는 홍수 지역 제외 등이며, 매립 시설 및 보조시설 건설에 필요한 100 헥타르를 제공할 수 있는 지자체에게 우선 고려됨.
- 기후·환경부에 따르면 신청마감일은 오는 11월 15일까지이나 추후 연장될 가능성이 있음.

◎ 스웨덴 민간업체들, SMR 도입 타당성 조사 위한 협력 추진

Studsvik 2023.08.24., Nucnet 2023.08.25., UxWeekly 2023.08.28.

- 2023년 8월 24일 스웨덴 SMR 개발기업 Kärnfull Next는 스웨덴 원자력기술서비스공급업체 Studsvik와의 협력협정을 체결해 동부 해안에 위치한 Studsvik의 산업 단지 내 SMR 도입 타당성 조사 권한을 확보했다고 발표함.
- Kärnfull Next는 올해 5월부터 12월까지 Studsvik의 산업 단지 내 SMR 건설·운영 가능성 검토를 위해 재정·기술·환경·사회적 측면에서 타당성 조사를 수행할 예정으로, 초기 타당성 조사 결과 해당 부지가 SMR 건설에 유리한 조건을 갖추고 있다고 판단함.
 - 1947년 설립된 Studsvik는 핵연료·핵물질 기술, 원자로 분석 소프트웨어, 해체, 방사선 방호 서비스, 방폐물 처리·부피 감소 기술 등 첨단 원자력기술 서비스를 제공함.
 - Kärnfull Next는 스웨덴 환경보호기술 스타트업인 Kärnfull Future의 100% 자회사로, 2019년에 설립되어 SMR 프로젝트 개발을 담당하고 있음.
- 양측은 SMR 타당성 조사 결과가 긍정적(특히 지역 수용성)으로 평가될 경우, 2024년 하반기에 자금조달, 인허가, 장기전력구매계약(PPA)을 결정할 계획이라고 밝힘.
- Kärnfull Next는 자국 내 SMR 건설을 목표로 미국 GE Hitachi Nuclear Energy와 BWRX-300 SMR 도입을 위한 양해각서를 체결(2022년 3월)하고, 핀란드 Fortum과 자국 내 SMR 보급 가능성을 공동으로 탐색하는 양해각서(MOU)를 체결(2022년 12월)한 바 있음.

주요단신

아시아 Asia



○ 일본 도쿄전력, 후쿠시마 제1원전 오염수 해양방류 시작

세계원전시장 인사이트 2021.04.16./2023.03.03./07.07./08.04.,
TBSテレビ 2023.08.20., 東京新聞 2023.08.23./08.24, NHK, 電氣新聞 2023.08.25.,
도쿄전력 처리수 포털사이트, 경제산업성, 수상관저 웹사이트 최종 검색 2023.08.29.

■ 일본 도쿄전력은 후쿠시마 제1원전의 저장시설에서 보관 중인 정화 처리한 오염수를 8월 24일 오후 1시경 해양 방류했으며, 방류 완료까지 약 30년이 소요될 예정임.

- 도쿄전력은 후쿠시마 제1원전에서 녹아내린 핵연료의 냉각, 빗물·지하수 유입 등으로 발생한 오염수를 자체적으로 개발한 다핵종제거장비인 ALPS(Advanced Liquid Processing System) 등으로 다중 처리하여 부지 내 저장시설에서 보관 중임.
 - ※ 일본 원자력발전소 규제 기준에서는 국제방사선방호위원회(ICRP) 권고에 따라 액체·기체 폐기물에 포함된 방사성물질을 방출할 시, 방사성물질 종류별로 농도한도(濃度限度)가 정해져 있음.
 - 저장시설에는 ① 물과 화학적 성질이 같아 제거가 불가능한 삼중수소* 이외의 방사성물질이 안전규제기준치를 확실히 밑돌 때까지 정화 처리한 오염수와 ② 안전규제기준치 미달인 정화 처리 오염수 총 1,345,072m³를 보관 중이며 해당 양은 저장시설 용량의 98% 수준임.⁶⁾
 - ※ 도쿄전력은 삼중수소에 대해 물과 화학적 성질이 같아 제거가 불가능하므로 일본 법정 방류 기준의 40분의 1 미만으로 희석하여 방류함.
- 원전 부지 내 오염수 보관 저장시설 증설은 원전 해체 작업에 영향을 줄 수 있어 일본 정부는 2016년 9월 27일 전문가위원회를 설치해 저장시설에 보관 중인 정화 처리 오염수의 처분 방안을 논의했고, 2021년 4월 13일 정화 처리한 오염수를 해양 방류하기로 결정함.
- 2023년 8월 22일 일본 정부는 저장시설에 보관 중인 오염수를 8월 24일 해양 방류하기로 결정해 도쿄전력은 해당 오염수에 포함된 삼중수소 농도를 확인함.

6) 2023.08.24. 기준 저장량.

- 1ℓ 당 삼중수소 농도는 43~63Bq이었으며, 정부 기준인 6만 Bq과 도쿄전력의 자체 기준인 1,500Bq을 밑돌았음.

- 기시다 총리는 8월 20일 정화 처리한 오염수의 보관 상황을 확인하기 위해 후쿠시마 제1 원전을 방문한 후 8월 21일 수상 관저에서 전국어협 회장 등을 만나, 어업자들이 안심하고 생업을 유지할 수 있도록 지원하겠다고 밝혔음. 7월 19일에는 일본 부흥청*의 국무대신도 미야기현 어업관계자와 간담회를 진행해 오염수 방류에 대한 이해를 구한 바 있음.

※ 부흥청은 2012년 2월 동일본대지진 피해 수습과 재건을 목적으로 설치됨.

- 또한, 도쿄전력은 오염수 방류 당일 기준에 있던 오염수 정보 제공 웹사이트를 재구축하여 정화 처리한 오염수의 해양 방류에 대한 정보 제공을 강화함.

- 후쿠시마 제1원전 부지 지도를 웹페이지 최상단에 배치하여 저장시설에서 보관 중인 정화 처리한 오염수의 상황, 해양 방류 전 방사성물질을 측정·확인하는 저장시설과 희석·방류 설비 등의 상황, 오염수의 유량, 삼중수소 농도와 같은 수치를 확인할 수 있음.

■ 한편, 일본 정부는 오염수 해양 방류로 인해 수산물 소비 위축 등 지역에 발생할 수 있는 경제적 피해 보상을 위해 총 약 800억 엔(약 7,233억 원)⁷⁾의 기금을 마련했고, 보상금은 도쿄전력이 오염수 방류 전후의 도매시장과 정부 통계 자료 등을 활용해 피해 유무를 판단하여 지급함.

- 일본 정부는 2021년도 추경예산에서 300억 엔(약 2,713억 원)의 보상 대책 기금을 마련해 수산물 판로 확대를 위한 비용, 가격 하락에 따른 수산물 매입과 냉동보관 비용 등을 지원함.

- 2022년도 추경예산에서도 어업자의 생업 지원을 위한 500억 엔(약 4,521억 원)의 기금을 추가로 마련하여 새로운 어종과 어장 개척에 필요한 어구 관련 경비, 어선의 연료비 비용 등을 지원함.

◎ 일본 주고쿠전력, 사용후핵연료 중앙집중형 저장시설 후보지 조사 시작

세계원전시장 인사이트 2023.08.18., 時事通信, 日本經濟新聞 2023.08.02., 西日本新聞 2023.08.03., NHK 2023.08.02./08.18., 長周新聞 2023.08.13., 日本經濟新聞, 朝日新聞, 毎日新聞, 日刊スポーツ, yab山口朝日放送 2023.08.18., 朝日新聞 2023.08.25.

■ 일본의 기초지자체인 가미노세키정이 8월 18일 주고쿠전력의 사용후핵연료 중앙집중형 독립 저장시설(CISF) 건설을 위한 부지 조사에 동의해, 같은 날 주고쿠전력은 시설 건설을 위한 조사를 시작했다고 밝힘.

7) 일본 단신 기사 내용 모두 2023년 8월 30일 환율 기준 적용(1엔=9.04원, 1유로=1,435원)

- 주고쿠전력은 약 40년 전부터 가미노세키정에 원전 건설을 계획했지만 동일본대지진 이후 계획이 중단되자 가미노세키정은 주고쿠전력에 자원 확보를 위한 지역 진흥 방안을 마련해달라고 요청함. 이에 따라 주고쿠전력은 8월 2일 사용후핵연료 독립저장시설 건설 계획을 정에 제안함.
 - 주고쿠전력이 건설을 계획 중인 사용후핵연료 저장시설은 사용후핵연료를 재처리하기 전까지 일시적으로 보관하는 시설임.
 - 가미노세키정은 총면적 약 35km²로 약 2,310명이 거주하며 인구에서 차지하는 65세 이상의 인구 비율인 고령화율이 약 60%임. 정장은 후보지 조사 수용 조건으로 지역 주민·주변 지역에 관련 정보 제공, 구체적인 계획 수립 시 주민 설명회 개최 등을 요청함.
 - 주고쿠전력은 가미노세키정이 사용후핵연료 독립저장시설 건설지로 적합한지 지질과 지표, 굴착 조사와 문헌 조사를 약 반년간 시행해 자료를 수집하며, 독립저장시설 건설은 경제성을 고려해 간사이전력과 공동으로 추진함.
 - 부지 조사 후 전력사가 해당 지역이 시설 건설지로 적합하다고 판단하면 구체적인 건설 계획을 수립해 광역지자체인 현과, 기초지자체인 정에 동의를 구함.
 - 사용후핵연료 독립저장시설 건설 후보지 조사를 받는 지자체는 최대 연 1.4억 엔(약 12.6억 원)의 정부 교부금을 받을 수 있고, 시설 건설 시 광역지자체인 현의 지사가 건설에 동의하면 동의 후 2년간 최대 연 9.8억 엔(약 88.6억 원)의 교부금 수령이 가능함.
- 주고쿠전력 직원들은 8월 23일부터 가미노세키정에 포함되는 이와이섬을 제외한 1천 가구를 방문해 사용후핵연료 독립저장시설 후보지 조사에 대한 설명을 시작했으며, 이와이섬에는 자료 우편 발송을 검토 중임.
- 자료는 두 페이지로 구성되며 정의 후보지 조사 수용 경위, 향후 계획 등이 포함됨.
 - 구체적으로 향후 문헌 조사·지표 지질 조사·굴착 조사를 진행하며 굴착 조사에 반년 정도 소요될 것으로 설명함.
 - 더불어 사용후핵연료의 최종처분장과 독립저장시설의 차이점, 가미노세키정이 시설 건설을 수용할 시 사용후핵연료 보관 기간에 대해 논의하겠다는 내용이 담겼음.
- 한편, 일본에서는 사용후핵연료를 재처리하는 아오모리현 롯카쇼무라 재처리 공장의 가동 지연으로 각 원전 내에서 보관 중인 사용후핵연료가 증가 중임. 8월 2일 일본경제신문은 일본 전체 사용후핵연료 저장능력이 2만 4천t인데 이미 80%인 1만 9천t의 사용후핵연료를 보관 중이라고 전함.

- 2023년 3월 전기사업연합회 자료에 따르면 주코쿠전력의 시마네원전 사용후핵연료 저장 수조의 사용후핵연료 저장 용량 상한은 680t이며 사용후핵연료 보관량은 460t임.
- 포화율은 68%로 2021년 9월 15일 안전심사를 통과한 시마네 2호기(820MW, BWR)가 재가동한다면 해당 시점부터 약 10년 후 저장 수조가 포화할 것으로 전망됨.

◎ 일본에서 가장 오래된 간사이전력 다카하마1호기, 상업운전 재개

세계원전시장 인사이트 2021.04.30., 日本原子力規制委員会 2023.07.05., 資源エネルギー庁 2023.07.26., 日本原子力産業協会 2023.08.08., 日本経済新聞 2023.08.28., 原子力産業新聞 2023.08.29.

- 1974년 11월 상업운전을 시작한 일본 간사이전력의 다카하마 1호기(826MW, PWR)가 8월 28일 원자력규제위원회의 최종 검사를 마치고 약 12년 만에 상업운전을 재개함.
 - 다카하마 1호기는 후쿠시마 사고 후 적합성 심사 등 재가동을 위한 각종 절차를 통과하고 상업운전을 시작한 11번째 원자로이며, 간사이전력의 미하마 3호기(826MW, PWR)에 이어 40년 이상 운전할 수 있게 된 두 번째 원자로임.
 - 다카하마 1호기는 2011년 1월 예방정비에 들어가 정지한 후, 동일본대지진을 거쳐 2015년 3월 신규제 기준 적합성 심사를 신청했고, 2016년 4월 적합성 심사 중 안전심사를 통과하고 2016년 6월 공사계획 인가 심사, 2021년 2월 보안규정 심사를 통과함.
 - 적합성 심사는 ① 원자로 설치 변경 허가 심사(이하 ‘안전 심사’), ② 공사계획 인가 심사, ③ 보안규정 인가 심사로 구성됨. 심사 통과 후에도 가동 재개를 위해서는 지역 동의와 안전보장공사, 사용 전 사용자 검사 등 각종 후속 절차가 있음.
 - 2021년 4월 재가동에 대한 지역 동의를 받고, 안전대책 공사는 물론 테러대책설비 공사를 모두 완료함.

〈2023년 8월 29일 기준 일본 원전의 적합성 심사 현황〉

원전 보유 형태	후쿠시마 사고 직전 2011년 2월 말 기준 운영 원자로 수	영구 정지 및 적합성 심사 추진 현황		최종 결정 내역 (2023.8.29.)	
상업용 원자로 (총 57기)	총 54기	상업로 57기 중 영구 정지 결정 (24기)	후쿠시마 사고 이전 (3기)	-도카이 원전(1998.03.31. 폐쇄) -하마오카 1·2호기(2009.01.30. 폐쇄)	
			후쿠시마 사고 (2011.3.11.) 이후 (21기)	- 후쿠시마 제1원전(6기) - 적합성 심사 추진 없이 영구 정지 결정(15기)	
		2022년 4월 운영 중 원자로 (33기)	• 적합성 심사 신청(25기)	• 적합성 심사 통과(14기)	- 가동 재개(11기) ※가동 재개 : 상업운전 기준이며 적합성 심사 통과와 안전 대책 공사 완료, 사용 전 사용자 검사 확인, 지역 동의가 필요함. ※27(미하마 3과 다카하마 1)는 40년 이상 된 원자로임.
				• 적합성 심사 중(11기) ※ 적합성 심사는 안전 심사 허가, 공사계획 인가, 보안규정 인가로 구성됨.	- 가동 재개에 필요한 지역 동의 등 후속 절차 진행(3기) ※이 중 1기(다카하마 2)는 40년 이상 된 원자로이며 지역동의를 받아 2023년 9월 내 시운전 예정임
- 건설 중 원자로(총 3기)		• 적합성 심사 신청 미결정(8기)	- 안전 심사 통과 후 남은 심사 중(3기) ※1기(도카이 제2)는 40년 이상 된 원자로임.		
			- 안전 심사 미통과(8기)		
		• 적합성 심사 신청 미결정(8기)	- 가동 중단 후 처리 방침 미결정(8기)		
		• 적합성 심사 신청(2기)	- 오마 원전, 시마네 3호기		
		• 적합성 심사 신청 미결정(1기)	- 히가시도리 원전 1호기		

- ※ 후쿠시마 사고 후 일본 원전의 가동 재개 : 적합성 심사 원자로설치변경(통칭 안전 심사) 허가, 공사계획 인가, 보안규정 인가로 구성 통과와 안전 대책 공사 완료, 사용 전 사용자 검사 확인, 지역 동의 등의 절차를 통과해야 함.
- ※ 적합성 심사를 모두 통과한 원자로는 14기이며 이 중 11기는 재가동(간사이전력 다카하마 1·3·4호기, 오이 3·4호기, 미하마 3호기, 규슈전력 센다이 1·2호기, 겐카이 3·4호기, 시코쿠전력 이카타 3호기)했고, 3기[도쿄전력 가시와자키 가리와 7호기, 간사이전력 다카하마 2호기(40년 이상 경과했고 2023년 9월 시운전 예정), 오나가와(지역동의를 받았고, 안전대책공사 중으로 2024년 2월 재가동을 목표로 함)]는 재가동에 필요한 후속 절차 단계에 있음.
- ※ 적합성 심사 중인 11기 중 ① 안전 심사 통과 후 남은 심사 중인 3기는 일본원자력발전의 도카이 제2(40년 이상 경과해 계속운전 인가를 받은 원자로임), 도쿄전력의 가시와자키 가리와 6, 주고쿠전력의 시마네 2호기임. ② 안전 심사를 통과하지 않은 8기는 일본원자력발전의 쓰루가 2, 홋카이도전력의 도마리 1~3호기, 도호쿠전력의 히가시도리 1호기, 주부전력의 하마오카 3·4호기, 호쿠리쿠전력의 시카 2호기임.
- ※ 적합성 심사 신청을 미결정한 8기는 도호쿠전력의 오나가와 3호기, 도쿄전력의 가시와자키 가리와 1~5호기, 주부전력의 하마오카 5호기, 호쿠리쿠전력의 시카 1호기임.

자료 : 日本原子力産業協会 ‘原子力発電所の運転・建設状況(2023.08.08.)’⁸⁾, 日本原子力規制委員会 ‘新規基準適合性審査 運転期間延長及び廃止措置の現状(総括表)’(2023.07.05.)⁹⁾과 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(2023.07.26.), 日本経済新聞 2023.08.28., 原子力産業新聞 2023.08.29., 세계원전시장 인사이트 최신 자료를 토대로 작성

8) https://www.jaif.or.jp/cms_admin/wp-content/uploads/2023/08/jp-npps-operation20230808.pdf
 9) <https://www.nra.go.jp/data/000439948.pdf>

● 필리핀, 미국과 원자력 협력 심화 및 에너지 안보 향상을 위한 논의

U.S. Department of State Press Release 2023.08.19., Ux Weekly 2023.08.21., Power Philippines 2023.08.22.

- 8월 17일 필리핀 에너지부와 미 국무부 에너지자원국 대표단은 양국의 지속적인 경제 발전을 위한 에너지 협력을 목표로 에너지정책 대화(Energy Policy Dialogue, 이하 ‘EPD’)를 통해 원자로 건설 안전기준 강화 및 SMR 건설의 지속적인 협력을 논의함.
 - 이번 논의는 2022년 11월 미국 Harris 부통령의 필리핀 방문 시 논의한 원자력 협력 방안의 연장으로 에너지 안보와 청정에너지 전환에 대한 협력을 진전시키는 것을 목표로 함.
 - 양국은 원자력을 포함한 에너지 안보와 지속 가능한 인프라 개발을 위해 민간 원자력 분야 협력을 위한 123 협정(123 Agreements) 협상에 착수할 계획임을 밝힌 바 있음.
 - 123 협정의 주 내용은 미국이 원자력 원천 기술을 제공하는 대신 핵무기 확산 방지를 위해 우라늄 농축 금지, 사용후핵연료 재처리 금지, IAEA의 원전 시설 특별사찰 허용 등의 사항을 골자로 함.
 - 양국 대표단은 원자로 건설에 대한 안전기준을 강화하고 SMR 건설에 대한 지속적인 협력 및 원자력의 중요성을 재확인함.
 - 또한 이번 논의를 바탕으로 양국은 미국-필리핀 파트너십 강화를 위한 에너지 협력과 함께, 신재생에너지 보급 가속화 및 수입 화석연료 의존도 감소에 초점을 맞추어 필리핀의 현재 에너지 프로젝트 진행 상황을 검토 후 향후 협력 및 기술지원의 우선순위를 설정함.

기타단신

◎ Mitsubishi중공업, ITER용 코일 제작 및 납품

ロイタージャパン 2014.05.20., 原子力産業新聞, 日本経済新聞 2020.01.30., 電気新聞 2023.08.25.

- 일본 Mitsubishi중공업은 8월 24일 국제핵융합실험로(International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER)용으로 제작한 초전도 트로이달 자장 코일(Toroidal Field, TF)을 완성했다고 발표했으며, 8월 중 ITER 건설지인 남프랑스로 출하할 예정이다.
- ITER는 핵융합의 효율성 등을 조사할 목적으로 핵융합 실험로를 건설하는 국제공동프로젝트임. 한국, 유럽, 미국, 일본, 러시아, 중국, 인도 7개 국가·지역이 참여하며 건설비 총액은 약 200억 유로(약 28조 원)임.
- Mitsubishi중공업은 양자과학기술·연구개발기구로부터 TF코일 5개를 수주받아 이번에 마지막 5번째 TF코일의 제작을 완료함.
 - TF코일은 ITER의 주요 부품으로 D자형 초전도 코일이며, 1개당 높이 16.5m, 폭 9m, 중량 300t으로 설비투자를 제외한 제작비용은 약 100억 엔(약 904억 원)임.
 - ITER의 주요 부품인 TF코일은 예비용 1개를 포함해 총 19개가 필요하며, EU가 10개를 제작하고, 일본이 총 9개를 제작함. 9개 중 5개는 Mitsubishi중공업이, 4개는 도시바가 제작함.

◎ 일본 농림수산성, 스위스와 리히텐슈타인의 일본산 식품 수입 재개 발표

朝日新聞 2023.08.16.

- 일본 농림수산성은 8월 15일 스위스와 리히텐슈타인이 도쿄전력 후쿠시마 제1원전 사고 이후 지속해 온 일본산 식품에 대한 수입을 재개했다고 발표함.
- 농림수산성에 따르면 원전 사고 후 최대 55개 국가·지역이 수입을 규제했음. 현재는 한국, 중국, 러시아, 홍콩, 대만, 마카오, 프랑스령 폴리네시아 7개국·지역이 일본산 식품에 대한 규제를 유지 중임.

◎ 일본 원자력연구개발기구, 실험용 고속로 '조요' 재가동 2026년으로 2년 연기

NHK, 時事通信 2023.08.18.

- 일본원자력연구개발기구(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)는 8월 18일 실험용 고속로인 조요(열출력 100MW, FR)의 운전 재개 시기를 기존 2024년도 말에서 2026년도 중반으로 변경한다고 발표함.
- JAEA는 조요의 규제위 심사 과정에서 안전대책 공사 계획에 새로 추가된 배관 내진 강화와 전원 케이블 난연 성능 강화 공사에서 자재 확보에 추가적인 시간이 필요하다고 밝힘.
 - 조요는 일본 고속증식로의 기초 기술 실증, 연료·재료 조사 시험, 선진 원자로에 필요한 혁신 기술 검증을 위해 1970년 착공되었음. 1977년 첫 임계에 도달한 이후 약 71,000시간 운전했지만 2007년 실험 장치 문제로 정지한 이래 현재까지 정지 중임.

◎ 일본 간사이전력·도시바 ESS, EV 전지 건전성 진단하는 실증사업 시작

東芝 2023.08.18., 電氣新聞 2023.08.21.

- 간사이전력과 도시바 ESS는 8월 8일 전기자동차 전지의 건전성을 진단하는 실증사업을 시작했으며 2024년 3월까지 100대 규모로 실증 사업을 진행해 전지 수명 진단 기술을 향상할 계획임.
- 양사는 2024년도 내에 전기자동차의 적절한 갱신 시기를 제안하는 서비스를 시작할 예정으로 전지 수명을 최대화하기 위한 컨설팅 서비스도 진행할 예정임.

World Nuclear Power Market
INSIGHT



세계원전시장
인사이트