

세계원전시장 인사이드

World Nuclear Power Market INSIGHT



현안이슈

**미 DOE가 제시한 선진원자로 비용경쟁력
강화 방안과 대규모 보급을 위한 제안점:
Pathways to Commercial Liftoff를 중심으로**

1. 들어가며
2. 미국의 첨단원자로 개발 현황 및 2050년 설비 전망
3. 최초호기의 비용절감과 반복건설을 통한 비용하락 전망
4. 2050년까지 선진원자로 대규모 산업화를 위한미 에너지부의 제안
5. 시사점

주요단신

북미 13

- 미 MMR 개발사 USNC, 제조시설 건설을 위해 Alabama 주에 약 3천억 원 투자 계획 발표
- NRC·CNSC, SMR에 사용할 TRISO 핵연료 관련 공동 규제 보고서 발표
- 미 에너지부, 선진 원자로 기술 지원 위해 원자력 연구개발 투자비의 20% 지원 발표
- Vistra, Energy Harbor 소유의 3개 원전 등 인수 예정
- Brookfield 부동산산 운용, 자사 소유 건물을 원전 포함한 무탄소 전원으로 전력공급 예정
- 기타단신

유럽 19

- 스웨덴 의회, 재생에너지 100%에서 비화석연료 100%로 정책 변경
- 프랑스 EDF, 이사회 결정에 따라 신규 Penly EPR2 원전 건설 절차 시작
- Framatome 개발 중인 ATF, EDF가 운영 중인 원자로에 시험 적용 예정... 프랑스 내 최초
- 프랑스 ASN, Bure 지역에 고준위방폐물 처분시설 건설위한 신청서 검토 시작
- 프랑스·스페인·슬로바키아 기업, EDF 원전 사업 수출 지원 위한 합작투자회사 설립
- 벨기에 정부, 운영사 ENGIE와 Doel 4호기·Tihange 3호기 10년 계속운전 위한 세부조건 확정
- 노르웨이 SMR도입 타당성 조사위해 노르웨이·핀란드 에너지기업 협력 추진
- 기타단신

아시아 27

- 일본 선진원자로 개발, Mitsubishi중공업이 총괄 예정
- IAEA, 일본에 후쿠시마 제1원전 오염수 방류 관련 최종보고서 전달 및 발표
- 일본 원자력규제위원회, 후쿠시마 오염수 방류 설비 사용 전 최종 검사 완료
- 일본 계통운영기관, 전문가 활용해 중장기 조정력 확보방안 검토 시작
- 일본 경산성, 고준위 방폐물 최종처분장 후보지에 대한 문헌 조사 최종안 발표
- 카자흐스탄, Almaty 지역 원전 건설에 최대 16조 원 소요 예상
- 튀르키예, 제3원전 건설 위해 중국과 논의 중
- 기타단신



세계원전시장 인사이트

World Nuclear Power Market **INSIGHT**

Biweekly 격주간 2023 07.07

※ 본 간행물은 한국수력원자력(주) 정책과제의 일환으로 발행되었습니다.

발행인 김현재

편집인

박우영	parkw@keei.re.kr	052-714-2271
조주현	joohyun@keei.re.kr	052-714-2035
남경식	ksnam@keei.re.kr	052-714-2192
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.

미 DOE가 제시한 선진원자로 비용경쟁력 강화 방안과 대규모 보급을 위한 제안점: Pathways to Commercial Liftoff를 중심으로

에너지경제연구원 원전정책연구팀 조주현 연구위원 (joohyun@keei.re.kr)

1. 들어가며

- 미국 에너지부 (DOE_NE)에서는 탄소중립 달성에 큰 기여를 할 수 있으나, 현재 개발단계에 있는 4개의 기술의 빠른 상업화를 위한 기술개발 및 규제적 측면 등에서 선결되어야 할 과제와 이에 대한 해결책을 제시하는 Pathways To Commercial Liftoff 시리즈를 발간함¹⁾.
 - 현재 Advanced Nuclear, Carbon Management, Clean Hydrogen, Long Duration Storage가 포함되었으며, 추후 상황에 따라 추가적인 분야에 대한 보고서도 발간될 예정이다.
- 본 고에서는 “Pathways to Commercial Liftoff: Advanced Nuclear” 보고서에서 제시한 선진원자로(Advanced Reactor)의 2050년까지의 대규모 보급 및 상업화를 위해 어떠한 과제들이 존재하며 이를 해결하기 위한 방안을 제시함.
 - 2장에서는 분석대상이 된 첨단원자로에 대한 소개와 보고서에서 예측한 2050년의 변동성 신재생 발전원 규모 및 선진원자로 설비 규모를 용량을 제시함.
 - 3장에서는 선진원자로가 비용경쟁력을 갖추기 위한 요소들을 최초호기와 반복생산으로 나누어 제시함.
 - 4장에서는 2050년까지 선진원자로의 대규모 상업화를 위한 3가지 단계별 제언을 요약해 제시함.

1) <https://liftoff.energy.gov/>

- 마지막으로 5장에서는 이번 보고서의 시사점에 대해 짧게 기술함.

2. 미국의 첨단원자로 개발 현황 및 2050년 설비 전망

- 본 보고서에서의 선진원자로(Advanced Reactor)에 포함되는 분석대상은 크게 5개 종류로 설정됨. 이에는 Gen III+ 중 대형 및 SMR, Gen IV 중에서는 고속로 및 금속·용융염 기반 냉각재 활용 원자로, 초소형원자로(microreactor)가 포함됨. (<그림 1 참고>)
 - Gen III+의 경우 현재 운영 중인 대부분의 대형원전과 같이 경수를 냉각재로 사용하고 저농축우라늄을 연료로 사용해, 이를 기반으로 한 원자로는 다른 노형에 비해 비교적 조기에 보급이 가능할 것으로 평가함.
 - Gen VI의 경우 전력생산 외 다른 생산물과 추가적인 안전성 특징이 있으며, 해당 노형의 대부분이 농축도가 5% 이상인 고순도저농축우라늄(HALEU)을 사용할 계획임.
 - 본 보고서에서 대형원전은 1,000MW 이상, SMR은 50~300MW, 초소형원자로는 50MW 이하로 분류함.
 - 타 연구에서는 초소형원자로의 경우 5MW 이하로 분류하는 경우도 다수 있음.

<그림 1> Lifftoff 보고서에서의 첨단원자로(Advanced Reactor) 대상

	Gen III+		Gen IV		
	Large Light Water	Light Water SMRs	High Temperature Gas Reactors	Metal/Salt Cooled	Micro
Power output	~1+ GW	~70-300 MW	~80-270 MW	~200-800 MW	~1-50 MW
Typical fuel	LEU	LEU	HALEU	HALEU	HALEU
Coolant	Water	Water	Gas, e.g., helium	Metal or salt	Various
Select programs (reactor developer)	LPO loan guarantees for Vogtle Units 3 and 4 (Westinghouse)	Carbon Free Power Project (NuScale)	Advanced Reactor Demo. Program (X-energy)	Advanced Reactor Demo. Program (TerraPower)	DOD Project Pele (BWXT), Eielson Air Force Base RFP (TBD)

출처: Figure 12: Categories of advanced nuclear reactors as referenced in this report, Pathways to Commercial Lifftoff: Advanced Nuclear, P16

- 현재 미 에너지부는 여러 민-관 비용분담 형식을 통해 첨단원자로 실증을 지원중이며, 그 규모는 4천 6백만 불(약 6조 원)임. (<그림 2> 참고)

- 에너지부는 크게 선진원자로 실증 프로그램(Advanced Reactor Demonstration Program)과 탄소중립전력 프로젝트(Carbon Free Power Project)를 통해 총 3개의 노형 개발을 지원중임. 이에는 TerraPower의 Sodium, X-energy의 고온가스로, NuScale의 VOYGR가 포함됨.
- 공통적으로 민간기업이 개발 중인 선진원자로에 비용분담 형식으로 지원중이며, 그 비중은 TerraPower와 X-energy의 경우 50%, NuScale의 경우 28%임. 또한 지원기간 또한 중장기간으로 6~10년간에 걸쳐 지원하고 있음.
- 그러나, 보고서는 이와 같은 실증사업들에 대해 발전사업자와 다른 잠재적 투자자들은 이러한 실증사업의 투자규모가 2030년 중반 이전에 SMR 상업화 규모의 보급을 달성 하기에 충분하지 않다고 평가함.

〈그림 2〉 미국 에너지부의 신규원자로 개발 재정지원 내역

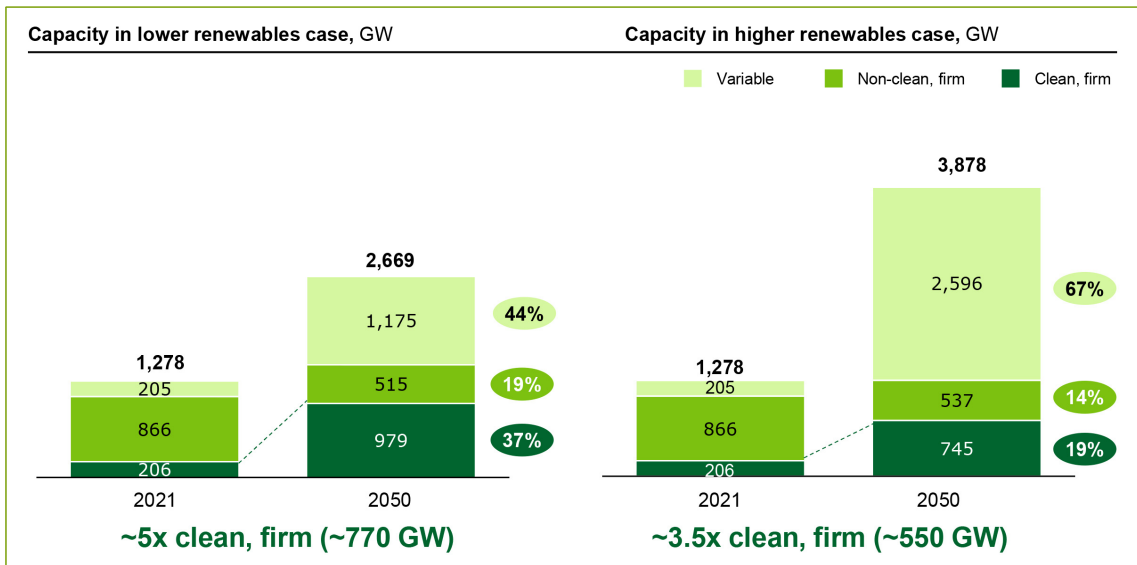
Program	Reactor developer	Reactor type	Years of award	Awardee cost-share	DOE cost-share	DOE cost-share (%)
Advanced Reactor Demonstration Program (ARDP)	TerraPower	Sodium fast reactor	2021-2028	\$2.0B	\$2.0B	50%
ARDP	X-energy	High temperature gas reactor	2021-2027	\$1.2B	\$1.2B	50%
Carbon Free Power Project (CFPP)	NuScale	Light water reactor	2020-2030	\$3.6B	\$1.4B	28%

출처: Figure 13: Summary of DOE financial support programs for new reactor demonstrations, Pathways to Commercial Liftoff: Advanced Nuclear, P16

- 보고서에서는 2050년까지 탄소중립을 달성하기 위해서는 신재생 발전설비 및 계통제약에 따라 550~750GW의 출력조절이 가능한 무탄소설비(clean firm power)가 추가되어야 하며, 그 중 선진원자로가 200GW가 필요하다고 전제함. (〈그림 3〉 참고)
- 2021년 약 1,278GW의 발전원 중, 205GW가 변동성재생발전원(Variable Renewable Energy, VRE)이 차지함.
- 만약 2055년까지 VRE의 규모가 현재수준의 5배 정도 증가한다면, 출력조절이 가능한 무탄소 발전원(clean and firm)의 경우 현재 대비 5배 증가해 약 980GW가 필요할 것으로 전망됨. (〈그림 3〉의 좌측 참고)

- 만약 2055년까지 VRE의 규모가 현재수준의 10배 정도까지 증가한다면, 청정하면서 출력 조절이 가능한 발전원은 현재 규모 대비 약 3.5배 증가한 745GW가 필요할 것으로 전망 됨. (<그림 3>의 우측 참고)
- 보고서에서는 지난 2년 동안 송전망 연결, 부지사용을 위한 인허가, 광역송전망 간 연계 등의 제약을 반영한 재생발전원 보급 추정치를 연구한 다수의 연구에서 신규원전이 2050년 까지 상당 부분 필요하다는 결론을 내렸다고 평가함.

<그림 3> Lifftoff 보고서에서 제시한 재생발전원 증가를 고려한 미국의 2050년까지의 설비 전망



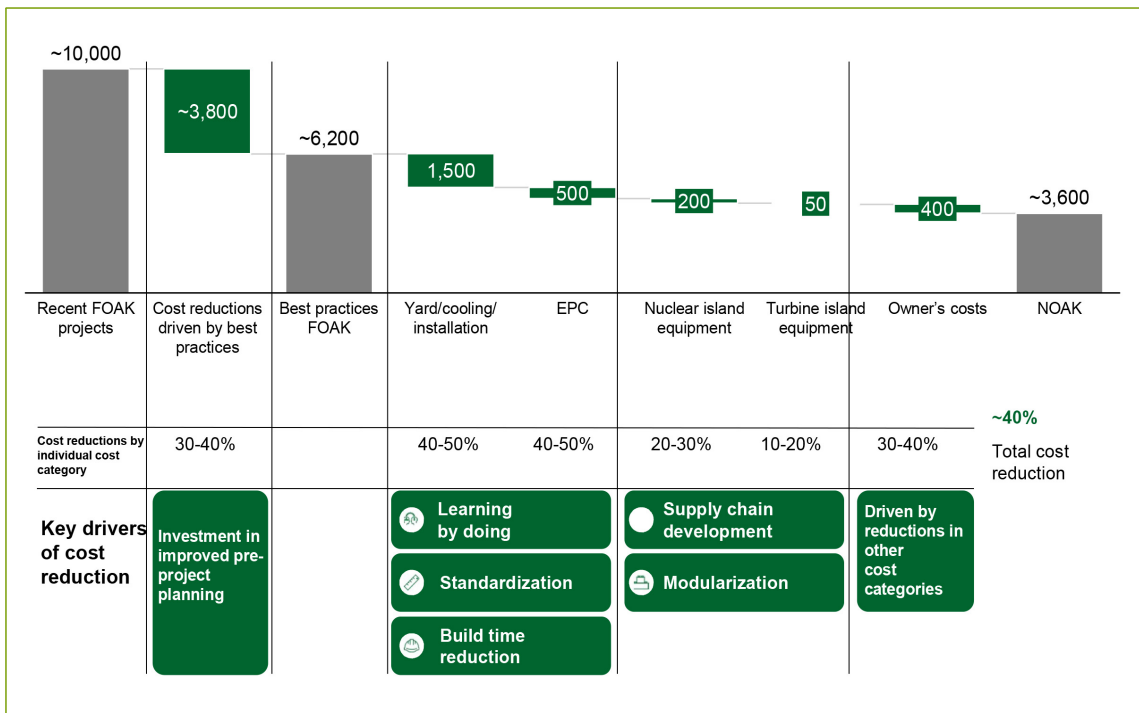
출처: Figure 3: Additional capacity sources in a decarbonized grid in renewables scenarios, Pathways to Commercial Lifftoff: Advanced Nuclear, P6

3. 최초호기의 비용절감과 반복건설을 통한 비용하락 전망

- 최초호기의 사전계획단계 투자를 통한 비용절감과, 이후 반복생산 단계에서 학습효과, 표준화, 공기단축, 공급망 개발, 모듈화를 통해 N번째 호기(Nth-Of-A-Kind)의 비용은 상당히 하락할 수 있을 것으로 보고서는 평가함.
- 우선, 선진원자로 최초호기(First-Of-A-Kind)의 순건설비용(overnight cost)은 2023년 기준으로 kW당 \$6,000~\$10,000 수준으로 추정되며, 최선의 노력을 통해 최초호기의 단가를 \$6,200까지 낮아질 것으로 보고서는 전망함. 이후 반복생산 과정에서 발생할 수 있는 비용절감 요인들을 충분히 활용한다면, N번째 호기의 건설단가를 \$3,600까지 낮출 수 있을 것으로 전망함. (<그림 4> 참고)

- 우선 최초호기의 경우 kW당 건설단가를 \$10,000에서 사전 계획 개선에 대한 투자를 통해 \$6,200/kW까지 낮출 수 있음.
- 이후 반복생산 과정에서 각 분야에서의 여러 요인들을 활용한다면 최대 \$3,600 수준까지 단가를 낮출 수 있을 것으로 분석함.
 - 구체적으로 부지정지 및 주요 구조물 설치분야 분야(yard/cooling/installation) 및 EPC 분야에서는 학습, 표준화, 공기단축이 비용감소에 주요한 역할을 할 것임.
 - 원자로 및 터빈부분 제조에 있어서는 공급망 개발 및 모듈화 적용이 비용 절감에 주요한 역할을 할 것으로 평가함.

〈그림 4〉 선진원자로의 최고호기 대비 반복호기의 비용 절감 잠재성 분석 (단위: \$/kW)

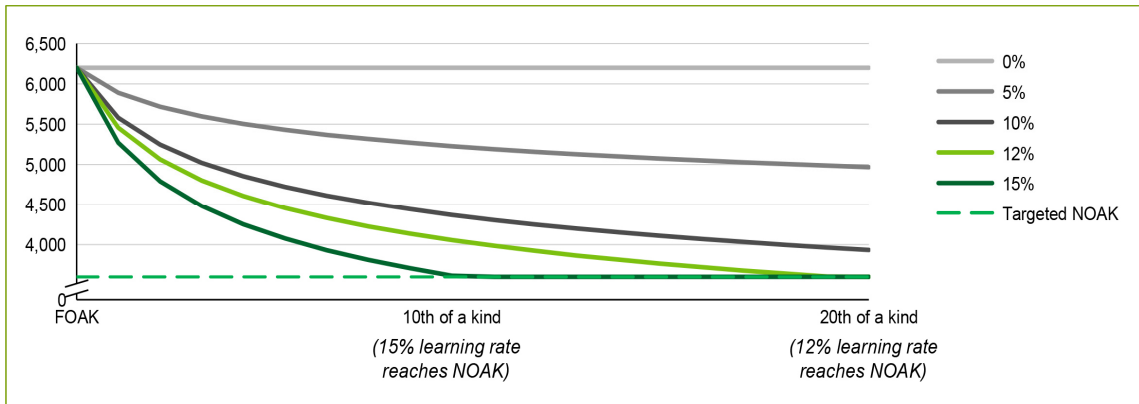


출처: Figure 15: Categorizations for how advanced nuclear costs could decrease from FOAK to NOAK deployments, Pathways to Commercial Liftoff: Advanced Nuclear, P19

- 동일한 최초호기 건설비용이라도 반복생산을 통한 학습에 따른 단가하락 정도에 따라 10기, 혹은 20기 반복생산 시 단가에서 차이가 발생하게 될 것으로 예상됨. (〈그림 5〉 참고).
- 우선, 동일한 10기를 생산할 경우에도 학습효과에 따른 비용 절감률 차이에 따라 단가 하락 정도도 다르게 나타남.

- 예를 들어 10% 절감률을 경험할 경우 10번째 호기에서 약 kW당 \$4,500 수준의 단가를 보이나, 15% 절감률을 경험할 경우 이미 목표한 N번째 호기의 단가에 도달하게 됨²⁾.
- 이러한 절감률의 차이는 반복생산이 계속될 경우에 수렴하게 되는 단가수준을 결정하게 됨. 예를 들어 절감률 5%의 경우 20번째 생산 호기의 단가는 여전히 \$5,000/kW이 수준이나, 10% 절감률의 경우 20번째 호기 생산 시 이미 \$4,000/kW를 달성하게 됨.
- 단, 원자로마다 학습효과에 따른 비용절감 효과는 다를 수 있음.

<그림 5> 학습에 따른 비용감소정도에 따른 N번째 호기의 순건설비용 차이 (단위: \$/kW)



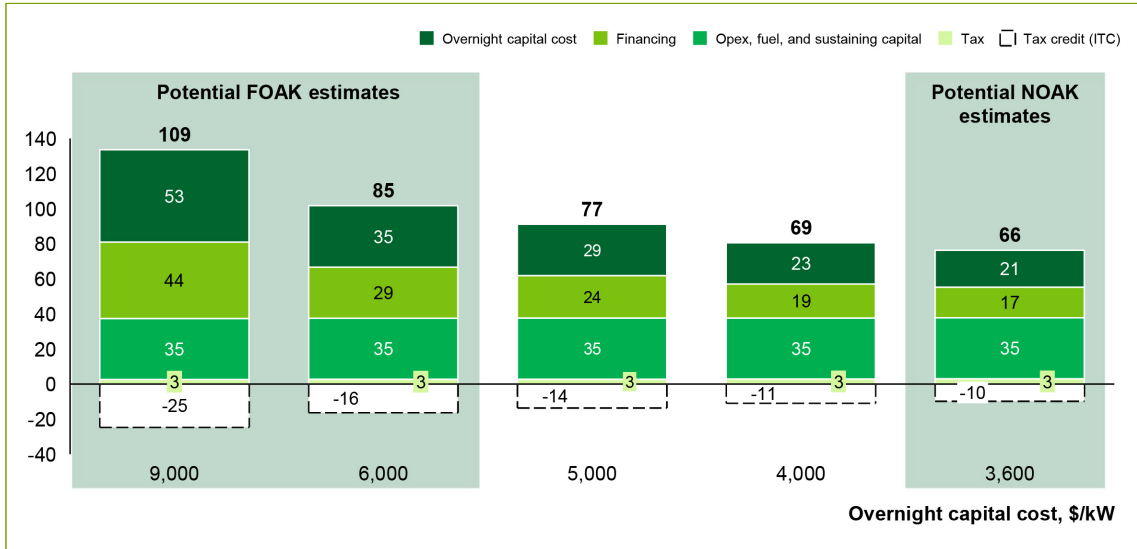
출처: Figure 16: The number of reactors it would take to reach NOAK overnight capital costs depends on the learning rate achieved by the nuclear program, Pathways to Commercial Liftoff: Advanced Nuclear, P20

■ 상기와 같이 하락한 건설단가에 금융비용과 운영자본, 세제혜택을 반영한다면, 보고서는 선진 원자로의 LCOE는 최대 MWh당 \$66까지 낮아질 수 있을 것으로 전망함. (<그림 6> 참고)

- 구체적으로 최초호기의 경우 건설단가가 kW당 \$6,000까지 낮아질 경우 LCOE는 MWh당 101불을, 이후 반복생산을 통해 단가가 kW당 \$3,600까지 낮아질 경우 LCOE는 \$76에 다다를 것으로 전망됨.
- 이에 IRA에 따른 세제 혜택이 적용될 경우 N번째 호기의 LCOE는 MWh 당 \$66까지 낮아질 수 있을 것으로 보고서는 평가함.

2) 보고서에 따르면, 12% 절감률은 한국이 1978~2017년 간 원전 반복건설을 통해 경험한 수치이며, 15% 절감률은 가스 복합발전 1980~1988년 사이에서 보여준 수치임.

〈그림 6〉 순건설비용 및 변동비용 변화에 따른 선진원자로 LCOE 전망 (단위: \$/MWh)

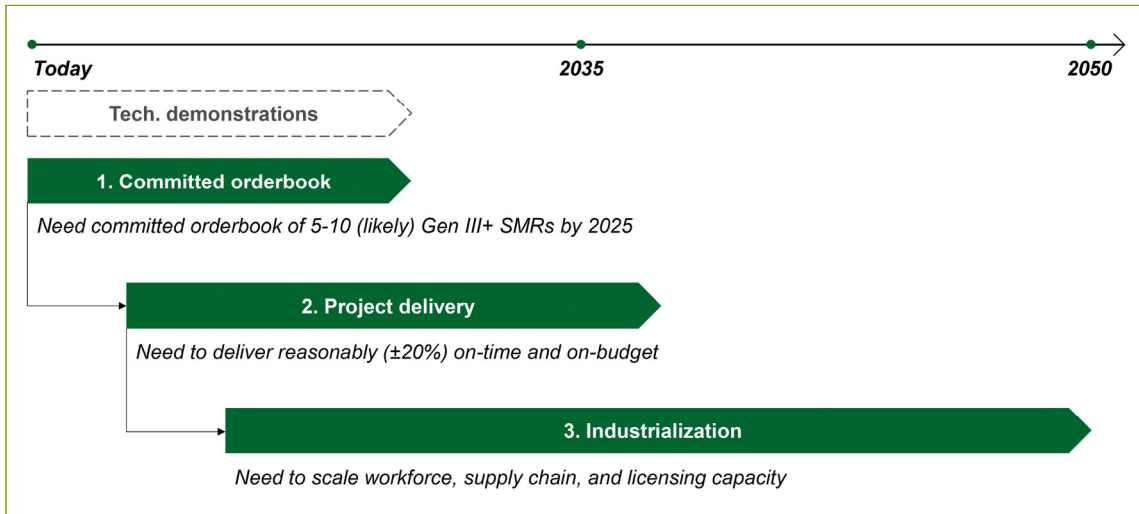


출처: Figure 17: Estimated LCOE from FOAK to NOAK ranges assuming 60-year plant lifetime, including the 30% Investment Tax Credit from the IRA (48E) (note this does not include either 10% adder, which would create an effective 50% ITC) Pathways to Commercial Liftoff: Advanced Nuclear, P21

4. 2050년까지 선진원자로 대규모 산업화를 위한 미 에너지부의 제언

- SMR을 2050년까지 대규모로 보급을 위해서는 민간과 공공분야 모두의 장기간에 걸쳐 신중한 결정과 집행이 필요하며, 대규모 보급을 달성하기 위해 중요한 세 가지 단계와 각 단계별 과제를 제시함. (〈그림 7〉 참고)
 - 우선 현재 진행 중인 실증추진과 더불어 사전계약 확정(committed orderbook) 이후 최초호기 건설(project delivery), 대규모 산업화(industrialization) 단계가 필요하다고 제시함. (〈그림 7〉 참조)

〈그림 7〉 미 에너지부가 제시한 선진원자로 대규모 보급경로에서의 주요 단계



출처: Slide 6. Pathways to Commercial Liftoff: Advanced Nuclear

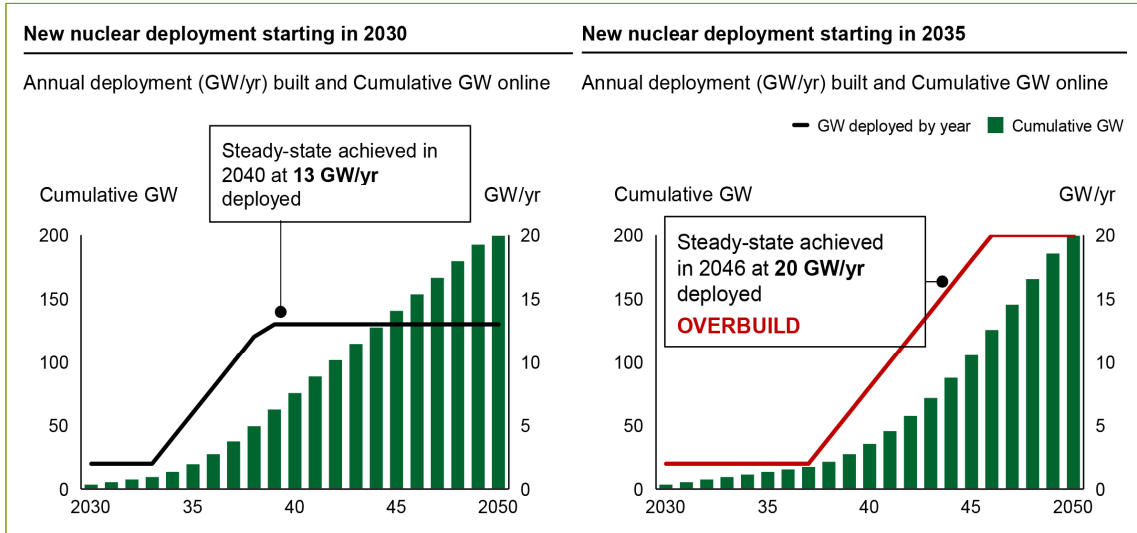
- 사전계약 단계에서는 2025년 경 까지 SMR 별 5~10개의 계약이 확보되어야 하며, 이를 촉진하기 위해서 완공까지의 위험관리를 지원할 수 있도록 비용초과 대응, 개발비 지원 제도 변화, SMR 공급 및 에너지 판매에서의 적극적인 역할을 제안함.
 - 비용초과의 위험에 대응하기 위해 초과분 중 일부를 정부 혹은 민간 보험사가 이를 보전하는 방법을 제시함.
 - 지원금에 가중치를 적용해 먼저 시장에 진입하는 노형에 더 많은 재정지원 제공하여 빠른 시장 진입을 유도하고, 이에 따라 빠른 진입이 가능한 노형에 대한 투자를 유도될 수 있는 방안을 제시함.
 - 정부가 소속기관을 통해 실제 선진원자로 컨소시엄에 참여해 사전계약 추진, 혹은 정부 청사 등에서 사용할 목적으로 선진원자로에서 생산된 에너지에 대한 전력구매계약 계약 체결
- 최초 상업호기 건설 단계에서는 적기완공 및 예산 내 지출(on-time, on-budget)을 제시하며, 만약 이에 변동이 발생하더라도 이를 20% 이내로 관리해야한다고 제시함. 또한, 이를 위해 아래의 구체적인 사항을 원고함.
 - 이를 위해 착공 전 설계를 반드시 완료하거나 적어도 70% 이상의 설계를 착공 혹은 모듈 생산 전에 완료
 - 건설가능성 검토를 통해 건설이 최대한 효율적으로 진행될 수 있는 방안 마련

- 달성 가능한 통합건설스케줄 수립과 프로젝트 관리방안 마련
- 품질보증(QA), 품질관리(QC) 문서표준화가 투명하고 일관성 있게 진행되도록 지원
- 프로젝트 진행기간 동안 지속적인 위험요소 평가 수행, 투명한 주인의식을 갖고 위험요소 발견 및 우선순위에 따른 조치방안 실행, 발견된 위험요소에 대한 정기적인 평가
- 프로젝트 초기에 비 원자력 전문인력 활용을 위한 기술 및 건설과정에 대한 적극적인 훈련 투자
- 마지막으로 대규모 상업화를 위해서는 인력, 연료공급, 기자재 공급망, 인허가, 사용후 핵연료 관리 분야에서의 과제를 제시함.
 - (인력) 총 200GW의 선진원자로 건설 및 운영을 위해 최대 37만 5천명의 숙련 및 비숙련 근로자들이 필요할 것으로 분석함.
 - (연료공급) 현재 공급역량에 추가적으로 최대 연간 5,000MT의 성형가공 용량이 필요하며, 이를 위해 50,000MT의 우라늄 원광, 65,000MT 변환, 30M SWU의 농축설비가 추가적으로 필요하다고 분석함.
 - (기자재) 현재 가장 시급한 분야인 단조(forging)를 포함해 200GW 보급을 위해서는 자국의 기자재분야에서 실질적인 성장이 뒷받침되어야 한다고 제시함.
 - (인허가) NRC의 현재 연간 인허가 역량인 0.5GW를 대폭 강화해 향후 예상되는 연간 13GW의 인허가 수요에 대응할 수 있는 역량강화가 필요하며, 인허가 진행이 막힘없이 진행되기 위해서는 NRC와 산업계 모두의 세심한 집행이 필요하다고 제시함.
 - (사용후핵연료) 중앙집중형 저장시설(Consolidated Interim Storage)과 영구처분시설 확보를 위한 노력을 계속해야하며, 연방 차원에서 해당 시설 마련을 위한 제도가 마련되어야 한다고 제시함.

■ 특히 2050년까지 필요한 선진원자로 용량을 확보하기 위해서 2030년대 초부터 본격적인 보급 필요성을 강조함.

- 2030년 초부터 보급이 시작될 경우 공급망의 생산능력이 점차 증가해 2040년부터는 연간 제조능력이 13GW 정도에 도달하게 되어, 비교적 산업이 안정화될 것으로 전망함.
- 그러나, 2035년 이후부터 본격적인 보급이 시작될 경우 2050년 목표를 달성하기 위해서는 매년 시장에 진입해야 하는 설비규모가 증가되어야 함. 또한 이를 뒷받침하기 위해 SMR 제조 역량 또한 급속도로 증가하여야 하며, 2045년부터는 연간 20GW를 생산해야 2050년 보급 목표에 도달할 수 있을 것으로 전망함.
 - 이 경우 SMR 제조분야의 설비과잉 및 투자비 소요액 증가(50%)를 우려함.

〈그림 8〉 본격적인 보급시기 차이에 따른 2040년 이후 연평균 보급규모(GW/yr) 비교



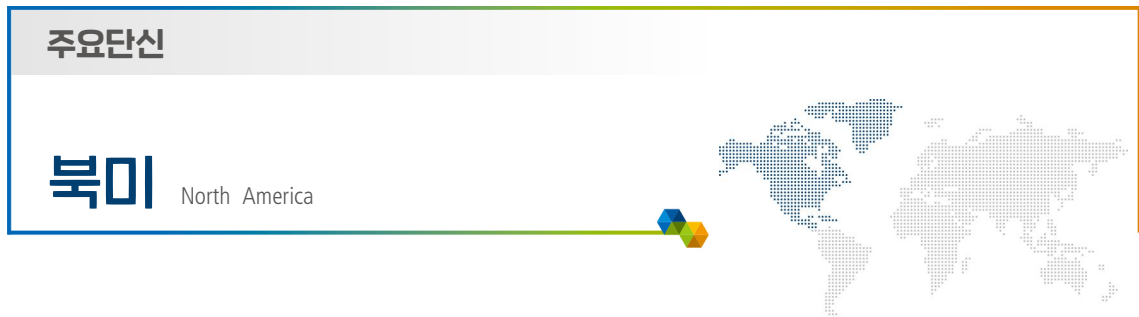
출처: Figure 22: Build-out scenarios and implications for maximum industrial-base capacity requirements Pathways to Commercial Liftoff: Advanced Nuclear, P25

5. 시사점

- SMR을 포함한 선진원자로에 대한 관심이 높아지고 있는 가운데, 이번 보고서는 향후 건설 및 반복생산 시 효과적인 비용절감이 가능한 요소들을 제시하고, 대규모 상업화를 달성하기 위한 각 단계별 과제를 제시했다는 데에 의의가 있다고 볼 수 있음.
- 보고서에서 언급된 바와 같이 필요한 목표한 시점까지의 보급을 위해서는 조기에 최초호기를 시장에 진입시켜 최종 목표 달성 시기까지 충분한 기간 확보가 SMR의 안정적인 성장을 이끌 수 있는 주요한 요인이 될 것으로 보임.
 - 이를 위해 보고서에서 강조한 사전계약물량 확보가 중요할 역할을 할 것으로 보임.
 - 또한, 목표 달성시기까지 기간을 충분히 확보함으로써 얻을 수 있는 비용 절감과 산업 기반 조성할 수 있는 기회를 활용해 경제성을 갖춘 SMR을 대규모로 보급할 수 있는 전략의 필요성을 제시한다고 볼 수 있음.



- Pathways to Commercial Liftoff: Introduction, U.S. Department of Energy
- Pathways to Commercial Liftoff: Advanced Nuclear, U.S. Department of Energy
- Pathways to Commercial Liftoff: Advanced Nuclear 발표자료, U.S. Department of Energy



○ 미 MMR 개발사 USNC, 제조시설 건설을 위해 Alabama 주에 약 3천억 원 투자 계획 발표

World Nuclear News 2020.06.10., Nuclear Newswire 2023.06.23., UxC SpentFuel 2023.06.23.

- 6월 21일 초소형 원자로 개발을 진행 중인 미국 USNC는 Alabama 주에 위치한 Gadsden 시에 2억 3,200만 달러(약 3,100억 원)³⁾를 투자해 MMR 제조·조립·테스트·검사를 진행할 수 있는 제조시설 건설 계획을 밝힘.
 - USNC에 따르면 5만 4천 제곱미터 규모인 초소형모듈원자로(MMR) 제조시설은 2024년에 건설을 시작하여 2027년에 운영이 시작될 것으로 예상됨.
 - USNC는 해당 시설에서 연간 최대 10기의 MMR을 생산할 수 있으며, 시설 운영에는 약 250명의 전문 인력이 필요할 것이라고 설명함.
 - USNC는 MMR 제조 시설 건설을 위한 부지 선정을 위해 1년간 16개 주의 부지를 대상으로 적합성 및 인프라, 인력 확보, 그리고 전반적인 경제성을 포함한 평가 요소를 바탕으로 Gadsden 부지를 선택했다고 밝힘.
 - MMR 제조시설의 Ted Coulter 책임자는 Gadsden 지역 내 인력 확보를 통해 안전성과 효율성을 극대화할 수 있으며, 시설이 제조 및 조립이 중점이므로 2027년에 운영이 되면 수백 개의 일자리 창출이 가능할 것이라는 기대감을 포함.
- 한편, USNC는 2011년에 설립된 SMR 및 연료 개발 기업으로 MMR, TRISO 기반의 FCM (Fully Ceramic Microcapsulated) 연료 생산, 우주탐사용 원자력 추진 기술 개발 등을 진행 중임.

3) 북미 단신 기사 내용 모두 2023년 7월 6일 환율 기준 적용(1달러=1,306원)

- 현재 USNC는 캐나다 Ontario 주에 있는 Chalk River 부지와 미국 Illinois 대학교 내 MMR 건설 계획을 추진 중임.
 - Chalk River 부지에서 MMR 건설 계획을 진행하기 위해 USNC와 Ontario Power Generation(OPG)은 합작기업 GFP(Global First Power)를 설립하고 캐나다 CNL(Canadian Nuclear Labs)에서 SMR을 개발 중임.
 - USNC는 2026년까지 Chalk River 부지에 GFP의 고온가스냉각로 MMR 1기(5MW)를 가동할 계획임.

◎ NRC·CNSC, SMR에 사용할 TRISO 핵연료 관련 공동 규제 보고서 발표

World Nuclear News 2023.06.30.

- 6월 30일 미국 원자력규제위원회(NRC)와 캐나다 원자력안전위원회(CNSC)는 첨단 원자로 및 SMR 기술의 인허가 시 필요한 TRISO(Tristructural isotropic, 삼중구조 피복관)* 핵연료 품질 조건(qualification)에 대한 공동 규제 보고서(regulatory joint report)를 발표함.
 - ※ TRISO 핵연료는 이산화우라늄핵을 탄소와 탄화규소(SC) 세라믹으로 삼중 피복한 것으로 직경이 약 1mm임.
- 해당 보고서는 2019년 8월 두 규제기관이 서명한 첨단 원자로 및 SMR 기술 협력 각서(MOC)⁴⁾에 따라 수립된 일부로, 펠릿 형태의 TRISO 연료를 규제 검토에서 수용할 수 있음을 입증함.
 - MOC는 SMR 및 첨단 원자로 기술에 대한 효율적인 검토를 지원할 수 있도록 기술적 문제와 관련한 정보를 양 기관이 공유할 수 있는 기회를 제공함.
 - 해당 MOC에는 양 기관의 협력 활동 범위 및 목표 제시와 함께 기존 지식을 기반으로 TRISO 연료 품질 조건에 대한 공동 규제를 확립하고, 선진 원자로 인허가 신청 시 TRISO 연료 사용을 가능하게 하기 위해 해결해야 할 문제와 관련해 협력하는 것을 목표로 함.
- 또한 이번 보고서는 현재의 정보를 기반으로 TRISO 연료에 적용할 수 있는 연료 품질 조건 관련 항목에 대한 규제 결과 지원을 위해 근거를 제공하고, TRISO 연료 자격심사 영역 식별 및 추가 정보, 그리고 연료시험과 같은 규제 승인 지원에 활용될 예정임.

4) U.S.NRC, <https://www.nrc.gov/docs/ml2317/ml23172A242.pdf>

◎ 미 에너지부, 선진 원자로 기술 지원 위해 원자력 연구개발 투자비의 20% 지원 발표

U.S. DOE News Release 2023.06.26., Nucnet 2023.06.27., Nuclear Newswire 2023.06.28.

■ 6월 26일 미 에너지부(DOE)는 혁신적인 원자력 상용화 가속화 및 민간 산업체의 선진 원자로 개발 활동 지원이 목적인 Gateway for Accelerated Innovation in Nuclear(이하 ‘GAIN’) 추진체가 총 7개의 민간 기업을 대상으로 원자력 연구개발 투자비의 최소 20%에 해당하는 자금 지원을 위해 바우처(voucher)를 지급한다고 밝힘.

- GAIN은 2015년 기존 원전의 안전하고 효율적인 운영 지원과 함께 선진원자로 개발 시 필요한 기술 · 규제 · 재정적 지원을 위해 미 에너지부 원자력국이 설립함.
- GAIN 바우처 프로그램을 통하여 7개의 기관은 DOE 산하 국립 연구소와 협력하여 전문 지식과 연구 역량 등 프로젝트의 원활한 진행을 지원받게 됨.
 - 국립연구소는 Idaho(INL), Oak Ridge(ORNL), Argonne(ANL), Pacific Northwest(PNNL), Los Alamos(LANL)가 참여하고 있음.
- GAIN 바우처의 경우 미 에너지부가 국립 연구소에 자금을 제공하여 기업이 기술 및 상업화를 진행할 수 있도록 지원함.
- 이번 지원 프로그램의 발표는 2023 회계연도에 지급되는 GAIN 프로젝트의 세 번째 라운드(round)로, 첫 번째와 두 번째 라운드는 각각 2022년 12월과 2023년 3월에 발표된 바 있음.

〈미 에너지부의 선진원자로 기술 지원 관련 7개 프로젝트 지원 대상 및 지원 내용〉

프로젝트 선정 기업	협력 연구기관	연구 내용
ARC Clean Technology, Inc.	ANL, INL	ARC-100 원자로 설계에 사용되는 금속 우라늄 기반 합금 연료(alloy fuel)에 대한 연료와 피복재(cladding) 사이의 보호피막(protective coating)을 개발
Alpha Tech Research Corp	ANL, LANL	용융염 원자로와 관련한 이트륨 수소화물(yttrium hydride) 기반 감속재(moderator)를 개발
General Atomics	ORNL	조사된 탄화규소(irradiated silicon carbide) 복합 표본 재료 거동(material behavior)을 조사
Kairos Power, LLC	PNNL	Kairos Power의 불화염냉각기(fluoride salt-cooled reactor) 원자로에서 사용하기 위해 생산된 농축 리튬에서 리튬 동위원소 비율 분석을 위한 운영 절차와 하드웨어 구성(hardware configurations)을 개발

프로젝트 선정 기업	협력 연구기관	연구 내용
Moltex Energy USA LLC	ANL	용융염 원자로에서 연료핀과 냉각수 사이의 열전달 관련 모델링
Ultra Energy	ORNL	중성자선속 검출기(neutron flux detector) 개발을 지원하는 고온원자로 설계
Westinghouse Electric Company LLC	PNNL, INL	두 개의 다른 피복재 공정에서 발생하는 피복재의 부식 및 수소 거동에 중점을 두고 크롬 코팅(chromium-coated)의 사고저항성 핵연료(incident-tolerant fuel) 조사후시험(post-irradiation examination)을 수행

자료 : U.S. Department of Energy, GAIN 2023 3rd Round Voucher Announcement(2023.06.26.)

● Vistra, Energy Harbor 소유의 3개 원전 등 인수 예정

Utility Dive 2023.03.07., 2023.06.26.

- 6월 26일 미국 발전사 Vistra는 Energy Harbor가 운영 중인 Pennsylvania 주에 있는 Davis Besse 원전과 Perry 원전, 그리고 Ohio 주에 있는 Beaver Valley 원전(총 4,048MW)을 34억 3천만 달러(약 4.5조 원)에 인수하는 계획을 밝힘.
 - Vistra는 자회사 Luminant를 통해 미국 12개 주에서 약 39GW의 설비를 운영 중이며, 원전은 유일하게 Texas 주에 위치한 Comanche Peak 원전(총 2,300MW, PWR)을 운영 중임.
 - 해당 계획은 2023년 3월에 Vistra가 발표한 Energy Harbor 인수 계약에 따른 것으로, 인수거래에는 양사의 원자력 및 소매 사업과 Vistra의 탄소제로 및 재생에너지 저장 프로젝트를 자회사인 Vistra Vision에 포함하는 내용이 명시됨.
 - 양 사는 미 연방에너지규제위원회(FERC)에 올해 7월 17일까지 거래를 승인할 것을 요청함.
 - 양 사는 이번 거래가 전기 요금 인상을 초래하거나 규제 감독을 감소시키지 않을 것이라고 주장하나, PJM의 외부 시장감시기구인 Monitoring Analytics의 분석에 따르면 해당 인수거래가 승인될 경우 PJM 에너지 시장과 용량 시장에서 시장지배력을 증가시킬 것으로 전망함.

◎ Brookfield 부동산 운용, 자사 소유 건물을 원전 포함한 무탄소 전원으로 전력 공급 예정

ESG Today 2023.06.28.

- 6월 28일 미국의 부동산 서비스 회사인 Brookfield Properties⁵⁾(이하 ‘Brookfield’)는 2024년까지 New York과 Washington DC에서 운영 중인 자사 건물의 전력소비량 중 65% 이상을 무탄소 전원으로 공급하고, 2026년까지는 미국 내 자사 소유의 부동산에 무탄소 발전원에서 생산된 전력을 공급할 것이라고 밝힘.
 - Brookfield에 따르면 이번 전환으로 인해 자사는 미국 내 무탄소 전원을 사용하는 최대의 상업용 부동산이 될 것이며, 무탄소 전원으로 약 600GWh 전력을 공급함으로써 연간 26만 톤 이상의 이산화탄소를 줄이는 것과 동일한 효과를 얻을 수 있음.
 - Brookfield는 에너지 조달 계획과 관련하여 전력의 49%를 수력에서, 33%는 태양열과 풍력, 그리고 18%는 원자력에서 조달할 계획을 밝힘.
 - 또한 Brookfield는 85% 이상의 전력을 직접 구매하거나 신재생에너지 공급인증서(REC) 또는 전력구매계약(Power Purchase Agreement, PPA) 방식을 통해 조달할 것임을 덧붙임.

5) Brookfield Properties는 2022년까지 Westinghouse의 최대 주주였던 Brookfield Business Partners의 자회사임

기타단신

◎ 미 NRC, Centrus의 HALEU 생산시설 운영허가 발급

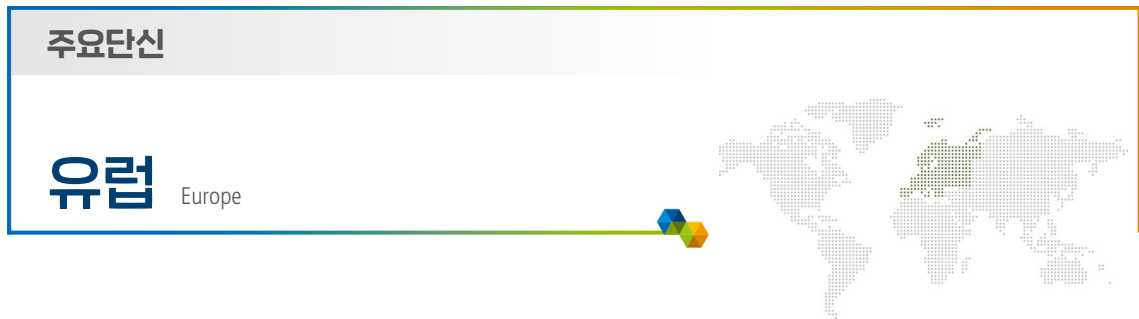
Nuclear Engineering International 2022.06.20., Nucnet 2023.06.21., Office of Nuclear Energy 2023.06.21.

- 6월 20일 미 원자력규제위원회(NRC)는 Ohio 주 Piketon에 위치한 우라늄 농축 및 첨단원자로 연료 제조사인 Centrus 농축 시설에서 미 에너지부(DOE)의 최초 HALEU 실증사업을 위한 시범 생산 시작을 허가함.
 - 2019년 Centrus는 미 에너지부와 캐스케이드(cascade) 방식의 HALEU 생산을 위한 공동투자 계약을 맺고 캐스케이드 생산시설 건설을 시작함.
 - 2022년 Centrus의 자회사인 American Centrifuge Operating LLC(이하 'ACO')가 미 에너지부와 HALEU 생산설비 구축 및 생산을 위한 최종 계약을 체결한 바 있음.
 - 기본 계약금은 약 1.5억 달러(약 1,965억 원)이며, 2024년까지 두 단계에 걸쳐 지급될 예정임.
 - ACO와 미 에너지부가 체결한 최종 계약에는 기본 계약기간 이후 최대 9년간 추가 생산을 의뢰할 수 있는 조건이 포함되어 있으며, 계약실행 여부는 의회의 예산 배분 가능 규모에 따라 결정될 예정임.

◎ 캐나다 NSERC·CNSC, SMR 연구 프로젝트에 3년간 94억 원 지원금 지급

Nuclear Engineering International 2022.06.23.

- 6월 23일 캐나다 자연과학 및 엔지니어링 연구 위원회(NSERC)와 캐나다 원자력안전위원회(CNSC)는 SMR 연구 지원금 추진체(Initiative)의 첫 번째 단계에서 29개 연구 프로젝트를 지원하기 위해 3년간 713만 달러(약 93억 원) 지원금 지원을 발표함.
 - 해당 보조금 지원의 목표는 SMR 보급을 지원하고 규제 결정 시 필요한 연구 및 지식을 강화하기 위한 것임.
 - 또한 연구 프로젝트 지원을 바탕으로 환경 보호, SMR 원격 보급 시 위험 및 사이버안보 솔루션 관리, SMR에 의해 생성된 핵물질에 대한 이해, 그리고 SMR 관련 인적 요인 영향 등 다양한 연구과제와 해당 분야의 정보격차를 다룰 예정임.



◎ 스웨덴 의회, 재생에너지 100%에서 비화석연료 100%로 정책 변경

Reuters 2023.06.21.

- 2023년 6월 20일 스웨덴 의회는 2045년까지 ‘재생에너지 발전 100% 시스템’에서 ‘비화석 연료 발전 100% 시스템’으로의 에너지 정책 변경을 승인함.
 - 스웨덴은 건설 중인 원전은 없는 가운데 2023년 7월 기준 6기의 원자로(6,937MW)를 가동 중이며, 7기의 원자로(4,054MW)가 영구 정지되었음.
 - 스웨덴은 1979년 미국 TMI 원전 사고 이후 국민투표를 통해 단계적 원전 폐지를 결정(1980년)했지만 의회가 이를 철회하고 신규 원전 건설을 허용하는 법을 개정하였으며(2010년), 2040년까지 재생에너지 발전 비중 100%를 목표로 설정하면서도 해당 목표가 원전의 단계적 폐쇄를 의미하는 것은 아니라고 명시함(2016년).⁶⁾
 - 2022년 9월에 출범한 우파 연정(온건당 · 스웨덴 민주당 · 기독교민주당 · 자유당)은 ‘재생 에너지 발전 100% 시스템’을 ‘비화석 연료 100% 발전 시스템’으로 변경해 원전 확대 계획을 밝혔으며, 올해 1월 신규 원전 건설을 허용하는 환경법 개정안을 발표한 바 있음.
 - 신정부는 기존 환경법에 명시된 운전 가능한 원전 기수 제한(10기), 신규 부지에 원전 건설 금지 조항을 삭제하고, SMR 건설 · 도입을 위한 규정을 수립한다는 계획을 표명함.
 - Elisabeth Svantesson 재무부 장관은 의회의 에너지 정책 변경 승인으로 신규 원전 건설이 가능한 여건이 조성되었다고 밝히며, 청정 전력의 안정적인 공급이 필요하다고 밝힘.
 - 2045년까지의 100% 비화석 연료 전력 시스템 전환은 2040년까지 300TWh의 전력 수요 증가 충족 및 2045년까지 탄소 중립 달성을 목표로 하는 우파 연정의 핵심 계획임.

6) 원문 The 2040 target is 100% of electricity generated from renewable sources. This is a target, not a deadline for banning nuclear energy; nor is it a policy decision to stop generating nuclear energy.(NECP Sweden 2020.01, p7 (https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-03/se_final_necp_main_en_0.pdf))

- 현재 스웨덴의 발전사업자인 Vattenfall은 향후 급증하는 전력 수요 충족을 위해 Ringhals 원전 인근에 최소 2기의 SMR을 건설하기 위한 타당성 조사를 진행 중에 있으며 올해 말 또는 내년 초까지 이를 완료할 것으로 예상함.
- Vattenfall은 영구정지된 Ringhals 1·2호기 교체 가능성, 기존 전력망 인프라 보유, 지역 주민의 원전 수용성을 갖춘 Ringhals 원전 인근 부지를 SMR 건설 부지로 적합하다고 판단함.

○ 프랑스 EDF, 이사회 결정에 따라 신규 Penly EPR2 원전 건설 절차 시작

EDF, Les Echos 2023.06.29., World Nuclear News 2023.06.30.

- 2023년 6월 29일 EDF는 자사 이사회가 신규원전 추진 결정에 따라 프랑스 북부 노르망디의 Penly 부지에 신규 원전(EPR2) 2기 건설에 필요한 인허가를 비롯해 완공·계통연계와 관련된 행정절차를 밟기 시작했다고 밝힘.
 - EDF 이사회가 프랑스 에너지전환부에 Penly 신규 원전 건설을 위한 설치승인법령 (creation authorisation decree, DAC) 제출을 승인함에 따라, EDF는 프랑스 원자력 안전청(ASN)이 담당하는 DAC(약 3년 소요)와 환경 당국이 담당하는 환경 허가(약 1년 소요) 취득과 관련된 행정 절차에 착수함.
 - EDF에 따르면 이번 이사회가 승인 결정은 2022년 10월 27일부터 2023년 2월 27일까지 진행된 Penly 신규 원전에 대한 공론화 결과 분석을 토대로 함.
 - EDF는 환경 허가 취득 시 2024년 여름부터 3년 6개월 간 토공작업을 포함한 부지 정비 작업 수행, 2027년 DAC 취득 시 첫 호기에 대한 콘크리트 타설 작업 착수, 2035년 시 운전 계획을 수립함.
- 프랑스 정부는 2022년 2월 원자력부흥정책을 통해 최대 14기의 신규원전 건설 계획을 발표한 바 있으며, EDF는 이에 따라 Penly, Gravelines, Tricastin 또는 Bugey 부지에 각 2기씩 총 6기의 원전을 건설할 계획임.
 - 2022년 2월 Macron 대통령은 원자력 부흥 정책의 일환으로 최대 14기의 EPR2 신규 원전 건설(6기 건설 및 추가 8기 증설 검토)과 기존 원전의 계속운전을 통한 50년 이상 운영계획을 발표함.
 - 또한 프랑스 정부는 2027년 5월 이전에 Penly 원전 착공 및 2035~2036년 가동을 목표로 하고 있으며, 나머지 원전도 순차적으로 건설할 계획임.

- EDF는 총 6기의 신규 원전 건설을 통해 연간 30,000개의 일자리와 가동 단계에서 10,000개 이상의 일자리를 제공할 것이라고 전망함.

◎ Framatome 개발 중인 ATF, EDF가 운영 중인 원자로에 시험 적용 예정... 프랑스 내 최초

Framatome 2023.06.29., World Nuclear News 2023.06.30.

- 2023년 6월 29일 Framatome은 자사가 개발 중인 사고저항성연료(ATF)인 PROtect를 EDF가 프랑스에서 운영 중인 원자로에 시험 적용하기 위해 EDF와 협력 협정을 체결하고, 올해 말까지 EDF의 원전 중 하나에 시범연료집합체(Lead Fuel Assemblies, LFA) 4 다발을 장전하기로 함.
 - Framatome의 PROtect는 크롬 코팅 지르코늄 합금(zirconium alloy) 피복관과 크로미아 강화 연료 소결체(chromia-enhanced fuel pellet)를 특징으로 하며, 원전의 비상노심냉각 기능이 상실된 상태에서도 사고 대응 시간을 늘리고, 수소 발생량을 억제해 원전의 안전성을 강화함.
 - Framatome은 시범연료집합체(LFA)를 자사의 핵연료 시설에서 제조할 예정이라고 밝히며, 자국 원전에 대한 ATF의 성능을 확인하는 EDF의 조사(irradiation) 시험을 통해 프랑스 원자력안전청(ASN)으로부터 최종 승인을 취득할 것으로 전망함.
- Framatome은 미 에너지부(DOE)의 ATF 연구개발 사업과 EDF, 프랑스 대체에너지·원자력 위원회(CEA)와 협력해 크롬 코팅 피복재(chromium coated cladding) 개발에 참여하고 있으며, 현재까지 유럽과 미국의 상업원전에서 자사의 PROtect 적용 시험을 진행해 옴.
 - 유럽에서는 2019년 스위스 Gosgen 원전(1,010MW, PWR)에 크롬코팅 연료봉 10개와 크롬 강화 소결체로 구성된 실규모 모형 시범연료집합체를 적용함.
 - 미국의 경우 2019년 Vogtle 2호기(1,152MW, PWR)에 집합체 중 일부를 자사의 ATF로 적용하였고, 특히 2021년 11월에는 Calvert Cliffs 2호기(860MW, PWR)에 크롬 강화 펠릿과 크롬 코팅 연료봉으로 구성된 AFT 완전체를 장전함.
 - 또한 2019년 Arkansas Nuclear One 1호기(836MW, PWR)에 크롬 코팅 연료봉이 포함된 핵연료다발을 장전하고, 2021년 3월 Xcel Energy와 Monticello 원전(691MW, BWR)에 시험용 ATF 공급 계약을 체결한 바 있음.

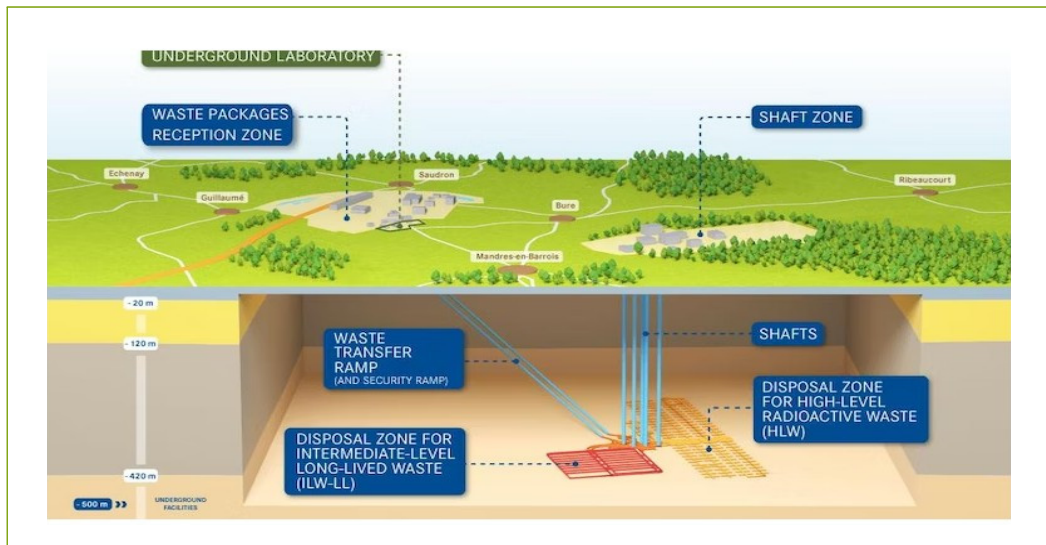
◎ 프랑스 ASN, Bure 지역에 고준위방폐물 처분시설 건설위한 신청서 검토 시작

ASN 2023.06.22., UxSpentfuel 2023.06.23., Nuclear Engineering International 2023.06.28.

- 2023년 6월 22일 프랑스 원자력안전청(ASN)은 방사성폐기물관리청(Andra)이 Meuse/Haute Marne 주 Bure 지역에 고준위방사성폐기물 처분장을 건설하기 위해 제출한 건설허가 신청서에 대한 공식적인 기술 평가를 수행한다고 발표함.
 - Andra는 Meuse/Haute Marne 주에 위치한 Bure 지역 점토층 지하 500m에 중·고준위 폐기물을 처분하는 고준위 방폐장을 건설할 계획임.
 - 해당 시설은 EDF, Framatome, 프랑스 대체 에너지·원자력위원회(CEA)가 비용을 조달하고 Andra가 83,000m²의 장수명 고준위·중준위 방폐물을 처분할 예정임.
 - 2023년 1월 Andra는 10,000페이지 분량의 예비 안전 보고서, 위험 관리 연구, 환경 보고서 등 23개의 문서로 이루어진 고준위 방폐장 건설 허가 신청서를 프랑스 에너지 전환부에 제출했으며, 2023년 3월 에너지전환부는 ASN에 기술 평가를 위임함.
 - 프랑스의 고준위 방폐장 건설 승인 절차는 ASN 주도 하에 프랑스 방사선방호·원자력 안전연구소(IRSN) 및 국가평가위원회(CNE2)가 각각 참여하는 기술 평가, 이해관계자와의 협의, 공론화, ASN의 최종 결론으로 이루어져 있음.
 - 기술 평가 단계에서 ASN은 IRSN에 안전성 관련 평가 수행을 요청하는 동시에, 폐기물 및 플랜트 전문가 그룹을 소집해 3개 사안(해당 문서에서 사용된 기본 가정 및 자료, 고준위 방폐장의 운영 기간 안전, 폐쇄 후 장기적 안전)을 검토할 예정임. 소요기간은 3년임.
 - 기술 평가와 병행해 CNE2는 해당 신청서에 대한 의견을 작성해 의회에 전달할 예정임.
 - 기술 평가 이후 환경 당국·지역 정보 위원회·지역 수도 위원회·지방 당국·유럽연합 집행위의 협의 후 공론화가 시행될 예정이며, 이를 종합한 ASN의 최종 결론이 긍정적으로 판명날 경우 고준위 방폐물 시설 건설을 승인하는 법령이 발표될 예정임.
 - Andra는 이 프로젝트가 Bure 지역의 지하 연구소에서 20년간 심지층 처분을 위한 연구를 진행한 것을 포함해 국내외 연구 지원을 받아 30년 이상 연구한 결과물이라고 밝히며, 2027년 고준위 방폐장 착공, 2035~2040년 고준위 방폐장 시험 운영허가 발급, 2040~2050년 정식 운영허가 발급을 전망하고 있다고 덧붙임.
- 프랑스는 1991년 방사성폐기물관리연구법 제정을 통해 고준위 방폐물 부지 탐색을 본격 추진해 왔으며, 2006년 방사성폐기물 관리계획법을 제정해 Andra가 2015년 건설허가 취득, 2025년 운영을 목표로 고준위 방폐장의 설계·건설을 담당하도록 함.

- 2012년 Andra는 고준위 방폐장에 대한 개념 설계안을 제출함. 이후 2013년 공론화에 이어 2016년 해당 시설의 건설을 위한 세부적 요건을 정의하는 법안이 제정됨.
- 2022년 7월 프랑스 정부는 상기 프로젝트를 공공사업으로 발표한 바 있음.

〈Bure 지역 고준위 방폐장 개념도〉



자료: Andra

● 프랑스·스페인·슬로바키아기업, EDF 원전 사업 수출 지원 위한 합작투자회사 설립

World Nuclear News 2023.06.21., Nuclear Engineering International 2023.06.22.

■ 2023년 6월 21일 프랑스 Assystem, 스페인 IDOM, 슬로바키아 VUJE는 EDF의 대형원전 및 SMR 사업지원과 EU·영국 시장 진출을 위해 합작투자회사인 NUCEAL를 설립함.

- NUCEAL은 EU 내 12,000명 이상의 직원을 보유하고 원자력 부문의 전문성을 갖추고 있어, EDF가 프랑스·영국에서 추진 중인 원전 사업을 지원하고, 폴란드·체코·네덜란드 등에서 향후 원전건설이 시작될 경우 이를 지원할 계획임.
 - NUCEAL은 Assystem 지분 60%, IDOM 지분 20%, VUJE 지분 20%로 구성됨.
- 설립에 참여한 3사는 각각 원전분야에 오랜 기간 원전 분야에 경험을 갖춘 것으로 알려짐.
 - 프랑스 Assystem은 1966년부터 자국 원전의 설계, 시공, 유지보수, 해체를 담당해왔으며, 영국, 터키, 핀란드, 중국, UAE에서 원전 설계, 건설, 시운전을 지원한 바 있음.

- 스페인 IDOM은 원자력 부문에 대한 컨설팅·엔지니어링·운영 및 유지보수·후행핵 연료주기·핵융합 서비스를 제공하며, 사용후핵연료저장시설(CSFSF), 사용후핵연료 건식 저장시설(ISFSI) 등 핵연료주기시설 프로젝트와 국제핵융합실험로(ITER), 유럽공동핵융합 실험장치(JET)와 같은 핵융합 프로젝트에 참여해왔음.
- 슬로바키아 VUJE는 원전 설계·시운전·송배전 계통 설계·변전소 유지보수·원전용 장비 개발·해체 등을 전문으로 하며, 46년 이상 중·동부 유럽에서 원전 사업 경험을 갖추고 있음.

● 벨기에 정부, 운영사 ENGIE와 Doel 4호기·Tihange 3호기 10년 계속운전 위한 세부조건 확정

World Nuclear News, ENGIE 2023.06.29.

- 2023년 6월 29일 벨기에 정부와 원전 운영사 ENGIE는 Doel 4호기(1,090MW, PWR) 및 Tihange 3호기(1,020MW, PWR)의 10년 계속운전을 위한 신규회사설립, 차액정산계약(CfD) 적용, 방폐물처리비용 설정 등에 관한 구속력없는 계약(non-binding contract)을 체결함.
 - 벨기에 정부는 러시아-우크라이나 전쟁 여파에 따른 에너지 가격 상승과 화석연료 의존 축소를 위해 2022년 3월 Doel 4호기와 Tihange 3호기를 2035년까지 10년 계속운전하기로 결정함.
 - 이에 따라 벨기에 정부는 ENGIE와 두 호기의 계속운전 관련 타당성 및 조건 설정에 관한 구속력 없는 의향서(Letter of Intent) 체결(2022.7), 두 호기의 계속운전 연구 계약 체결 및 연구 시작을 골자로 한 구속력 없는 신규 계약 체결(2023.1)을 이행한 바 있음.
 - 이번 계약은 2023년 1월에 체결한 계약을 구체화한 후속 조치로서, ① 전력공급 안정성 강화를 위해 2026년 11월 초 또는 재가동 관련 규제 완화 시 빠르면 2025년 11월 초 두 호기의 재가동 시행, ② 두 호기를 담당하는 합작투자회사(지분 50:50) 설립을 통한 양측의 이익 조정, ③ 발전차액보조계약(CfD) 체결을 통한 양측의 위험 분담, ④ 방사성 폐기물 처분 비용 책정(총 150억 유로(약 21조 원)⁷⁾)을 명시함.
 - ENGIE는 총 150억 유로(약 21조 원)에 달하는 방폐물 처리 비용을 각각 2024년(심지층 처분용 고준위 방폐물) 및 2026년(표층 처분용 저준위 방폐물) 2차례 걸쳐 정부에 지급할 계획이며, 방사성폐기물 관리 책임이 벨기에 정부로 이전되었기 때문에 향후 방폐물 처리 비용이 변동될 경우에도 추가 지출은 없을 것이라고 밝힘.

7) 유럽 단신 기사 내용 모두 2023년 7월 6일 환율 기준 적용(1유로=1,416원)

- 상기 계약은 ENGIE 이사회와 벨기에 정부가 승인함. 계약 이행은 7월말 예정이며, 이후 의회의 비준 동의 절차를 거칠 예정임.

◎ 노르웨이 SMR도입 타당성 조사위해 노르웨이·핀란드 에너지기업 협력 추진

World Nuclear News, Nucnet 2023.06.23.

- 2023년 6월 22일 노르웨이 가스·석유 기업인 M Vestt의 자회사 Norsk Kjernekraft는 핀란드 원전운영사 TVO의 자회사인 컨설팅 기업 TVO Nuclear Services(TVONS)와 노르웨이 내 SMR 도입 타당성 공동 조사를 골자로 한 의향서를 체결함.
 - 2022년에 Norsk Kjernekraft(노르웨이 원자력)는 SMR 부지 확인, 국내 규정·국제 기준에 따른 인허가 신청 준비, 금융기관과의 협력을 통한 자금 조달 등을 담당할 예정임.
 - Norsk Kjernekraft에 따르면 원전의 안전 운영과 관련한 TVO의 전문성과 방사성폐기물 관리 기업 Posiva의 대주주인 TVO의 건설부터 해체까지 원전 전 주기 경험이 활용될 예정임.
 - 또한 양측은 노르웨이 Aure, Heim, Narvik, Vardø 지자체를 대상으로 SMR 도입 적합성 및 효율성 평가도 시행할 예정임.
 - Norsk Kjernekraft는 올해 5월과 6월에 각각 Aure·Heim·Narvik 지자체 및 Vardø 지자체와 SMR 도입 가능성 조사를 위한 협약을 체결하고, 해당 지자체 내 1기 이상의 SMR 도입을 위한 기술·재정·안전성 측면을 조사 중임.
 - 노르웨이는 상업용 원전은 부재하지만 의료용 동위원소 생산 및 연구용으로 연구로 2기를 가동한 바 있음.
 - 2021년 노르웨이의 총 발전량은 157.3TWh를 기록했으며, 수력 91%, 풍력·태양광·지열 8%, 바이오매스 1% 등으로 구성됨.

기타단신(유럽/아프리카)

◎ 러시아 Rosatom, 극동 Chukotka 자치구와 초소형원자로 도입 계약 체결

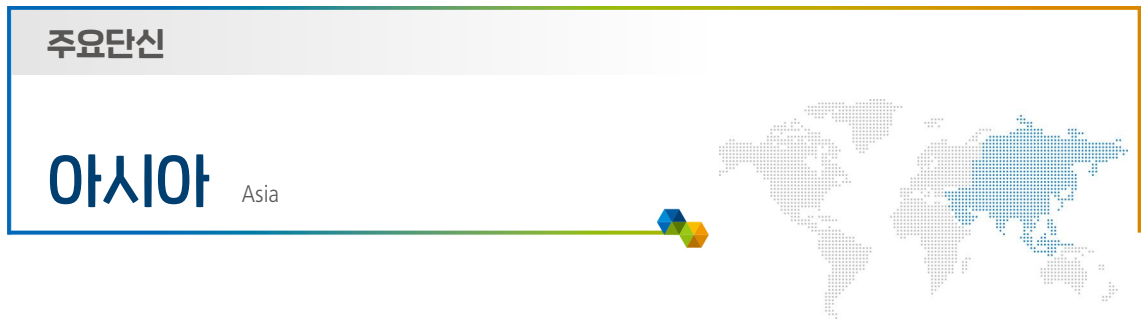
Nucnet 2023.06.20.

- 2023년 6월 15일 러시아 Rosatom은 극동지역 추코트카(Chukotka) 자치구와 초소형 Shelf-M SMR(설계수명 60년, 최대 10MW) 기반의 초소형원자로 도입·운영을 골자로 한 계약을 체결함.
 - Rosatom에 따르면 이번 계약은 Savoye 금 매장지 및 추코트카(Chukotka) 자치구에 안정적인 전력공급을 목적으로 함.
 - 현재 추코트카(Chukotka) 자치구에서는 SMR 기반의 최초 부유식 원전인 아카데미 로모 소노프(Akademik Lomonosov, 35MW 규모 KLT-40S 노형 2기)가 전력망에 전력을 공급하고 있으며, 2028년 가동을 목표로 RITM-200 기반의 지상형 SMR 건설이 진행 중임.
 - Rosatom은 2030년 초소형원자로 가동을 목표로 2024년까지 해당 노형 및 관련 부품 설계를 완료할 예정임.
 - Rosatom 산하 연구개발원인 NIKIET이 Shelf-M SMR의 기술 설계를, 해외 원전 건설을 담당하는 Rusatom Overseas가 프로젝트 관리를 담당함.

◎ 남아공 SMR 개발업체, 초고온가스 실증로 건설 추진 의사 표명

World Nuclear News 2023.06.23.

- 2023년 6월 15일 남아공 4세대 SMR 개발업체인 Stratek Global은 400MW 규모의 초고온 가스로 개발 경험을 활용해 향후 5년 내로 35MW 규모의 실증로(HTMR-100) 건설을 추진할 의사를 밝힘.
 - Stratek Global의 CEO이자 전 남아공원자력공사 사장인 Kelvin Kemm은 HTMR-100 실증로는 산업·공정 열 또는 담수화에 활용될 수 있으며, TRISO 구형 연료는 장거리와 거친 도로에서 이송이 편리한 장점을 갖추고 있다고 설명함.
 - Kemm 대표에 따르면 해당 노형의 초기 진출 시장은 아프리카 대륙, 환태평양 지역, 아시아임.
 - 남아공 정부는 1993년부터 고온가스로인(Pebble Bed Modular Reactor, PBMR) 실증로 건설 사업을 진행해 왔지만, 2010년 경제적 이유로 해당 사업 투자를 중단한 바 있음.



◎ 일본 선진원자로 개발, Mitsubishi중공업이 총괄 예정

NHK, 読売新聞 2023.07.05.

- 7월 5일 요미우리신문의 보도에 따르면 경제산업성은 Mitsubishi중공업을 선진원자로인 고온가스로와 고속로 개발에서 설계를 총괄하는 핵심 기업으로 선정할 예정이며 가까운 시일 내 해당 내용을 발표할 계획임.
- 2022년 경제산업성 전문가회의가 선진원자로 개발을 주도하는 핵심기업을 선정하도록 정부에 제언함. 이에 따라 일본 정부는 2023년 봄 공모를 실시했으며 응모 기업의 제안 내용, 기술력을 검토한 결과 Mitsubishi 중공업이 선정될 전망이다.
- 고온가스로와 고속로 개발에서 핵심 기업은 기기와 부품업체, 종합건설업체를 총괄하는 역할을 담당하며, 규제당국과 소통, 공정 관리, 지역 대응을 담당하는 선진원자로 개발의 상부 조직과 연계하게 됨.
- 일본 정부는 고온가스로와 고속로 개발을 위해 2023년도 이후 3년간 총 900억 엔(약 8,152억 원)⁸⁾의 예산을 확보했으며, 고온가스로는 2030년대, 고속로는 2040년대 실증로 가동을 목표로 함.

◎ IAEA, 일본에 후쿠시마 제1원전 오염수 방류 관련 최종보고서 전달 및 발표

IAEA, 經濟産業省, 外務省 웹사이트 2023.07.04.

- IAEA 사무총장은 7월 4일 일본 기시다 총리에게 후쿠시마 제1원전의 오염수 방류 계획을 포괄적으로 검증한 종합보고서를 전달하고, IAEA 웹사이트에도 종합 보고서를 공개함.

8) 일본 단신 기사 내용 모두 2023년 7월 6일 환율 기준 적용(1엔=9.06원)

- 종합 보고서에서 IAEA는 후쿠시마원전에서 발생한 오염수를 도쿄전력의 방사성 핵종 정화 장치인 ALPS(Advanced Liquid Processing System) 등으로 처리한 오염수(이하 '오염수')에 대해 일본 정부·원자력규제위원회·도쿄전력의 관련 대응과 활동은 국제적인 안전기준에 부합한다고 밝힘.
- 포괄적 평가 결과 IAEA는 도쿄전력이 현재 계획 중인 오염수 방류가 인간과 환경에 대한 방사선 영향이 무시할 수 있는 수준이라고 결론 내림.
- 또한, IAEA는 오염수 방류 개시 이후에도 국제 안전 기준에 적합한지 여부를 평가하기 위하여 IAEA검증단을 통한 검토와 평가된 기술적인 사항을 다양한 시기에 재차 검토할 필요가 있다고 강조함.
- IAEA와 IAEA검증단은 앞으로도 후쿠시마 오염수 방류 관련 업무를 지속하며, 후쿠시마 원전 현장 점검도 계속 진행해 후쿠시마원전에서 실시간·준 실시간 모니터링·자료를 제공하고 국제사회가 이해할 수 있도록 향후에도 자료를 공개하겠다고 밝힘.
- 더불어 예정 중인 추가 검증, 모니터링 활동도 국제 안전 기준을 준수해 국제사회가 안심할 수 있도록 투명성을 더욱 강화하겠다고 밝힘.

◎ 일본 원자력규제위원회, 후쿠시마 오염수 방류 설비 사용 전 최종 검사 완료

産経新聞 2023.06.24., 電気新聞 2023.06.29., NHK 2023.06.30., 2023.07.05., テレビュー福島 2023.07.07.

- 7월 7일 일본 원자력규제위원회는 도쿄전력에 오염수 해양 방류 설비에 대한 사용 전 검사 결과 성능에 문제가 없다고 인정하는 검사 종료증을 발급함.
 - 규제위는 6월 28일부터 6월 30일까지 오염수 해양방류 설비에 정화처리된 오염수 대신 해수 등을 통과시켜 설비 성능 검사를 시행했으며, 방사선량에 문제가 있을 시 방류를 긴급 차단하는 밸브의 성능도 확인함.
 - 도쿄전력은 후쿠시마 제1원전에서 발생한 오염수를 자체 정화설비인 ALPS(Advanced Liquid Processing System) 등으로 처리한 후 해양 방류하기 위한 설비의 설치 공사와 시운전을 6월 26일까지 완료한 바 있음.
- 한편, 6월 24일 산케이신문 보도에 따르면 도쿄전력은 후쿠시마 제1원전 해체 작업에 대한 일반 인의 이해 증진을 목적으로 7월 이후부터 일반인을 대상으로 한 시찰 투어를 시작할 예정임.

- 지금까지 지역주민, 관계자, 연구목적 단체만 후쿠시마 제1원전의 시찰이 가능했지만, 7월 이후에는 후쿠시마현의 승인을 받은 여행사를 통해 일반인 시찰도 가능하게 됨.
- 일반 코스의 경우 부지 내를 버스로 이동하며 ALPS나 정화 처리된 오염수의 저장 시설 설치 구역을 시찰하고 노심용융과 수소폭발이 발생한 1~4호기 원자로 건물은 약 100m 떨어진 고지대에서 하차해 관람함.
 - 시찰 중에는 도쿄전력이 정화 처리된 오염수의 샘플을 활용해 오염수에 대한 설명도 진행할 예정임.
 - 투어는 약 2시간 반 소요되며 피폭선량은 약 0.03SV 수준으로 시찰 참가자는 긴 팔·긴 바지를 착용하고, 신분증을 지참해야 하며, 임신부·중학생 이하는 참가할 수 없음.

◎ 일본 계통운영기관, 전문가 활용해 중장기 조정력 확보방안 검토 시작

전력거래소 전력시장운영규칙 2023.06., 電氣新聞 2023.06.29.

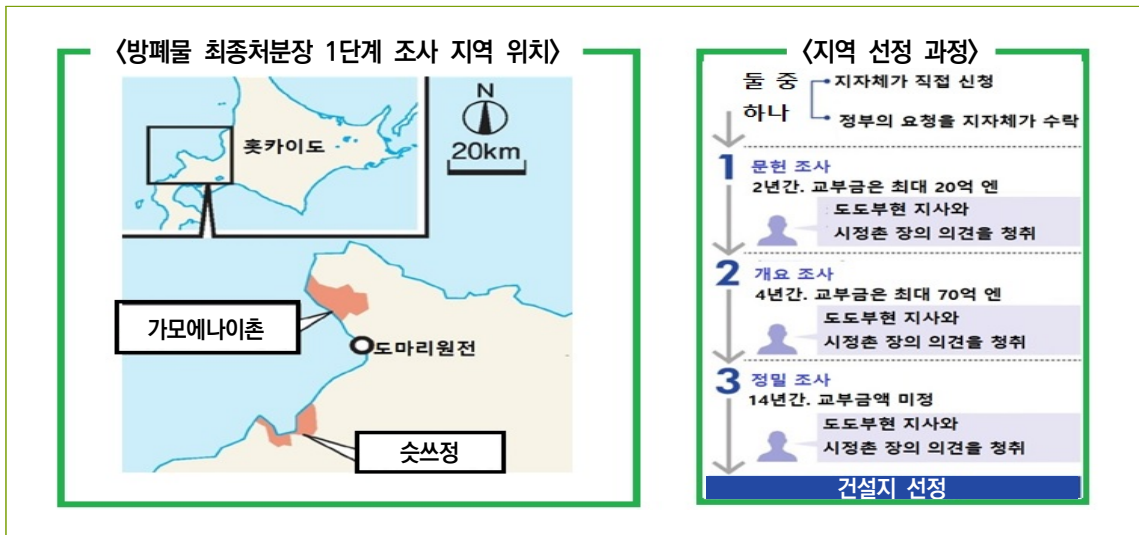
■ 일본 광역계통운영기관(Organization for Cross-Regional. Coordination of Transmission Operators, OCCTO)은 6월 28일 전문가 회의에서 중장기 조정력* 확보 형태에 대한 검토를 시작함.

- ※ 일본의 조정력은 정전 등을 피하기 위한 전력수급 조정 시 활용되는 전력을 의미하며, 한국의 속응성 자원과 유사한 개념임. 한국의 속응성 자원은 운영예비력과는 별도로 중앙급전발전기 중 20분 이내에 융통하여 4시간 이상 출력을 유지할 수 있는 발전력을 의미함.
- OCCTO는 재생에너지 확대로 조정력의 역할이 중요해짐에 따라 용량 시장 제도와 상충되지 않으면서 설비를 확보할 수 있는 제도와 필요한 조정 기능 등에 대해 심층 검토를 진행할 방침임.
 - 일본 OCCTO의 용량시장은 4년 후의 설비 확보를 위해 개설됨. 현재 용량시장에서는 설비의 조정력 유무 정도만 파악하고 있어 주파수 응답(Frequency response)이나 부하 주파수 제어(Load Frequency Control) 기능을 갖추고 있는지 등은 파악할 수 없다는 한계가 존재함.
- 향후 전문가 회의에서는 ① 설비 확보 방법, ② 필요한 기능, ③ 구체적인 설비 규모라는 3가지 논점을 중심으로 검토를 진행할 예정임.

◎ 일본 경산성, 고준위 방폐물 최종처분장 후보지에 대한 문헌 조사 최종안 발표

세계원전시장 인사이트 2020.12.04., NHK, 北海道新聞 2023.06.22.

- 일본 경제산업성 방사성폐기물 WG는 고준위방사성폐기물 최종 처분장 선정과 관련해 활단층과 화산 활동 기록 등 문헌 조사에서 평가해야 하는 최종 기준안을 정리했으며, 향후 일반인 의견 수렴 후 정식으로 확정할 예정임.
 - 일본은 고준위방폐물을 지층 처분할 계획으로 최종처분 사업자인 NUMO(Nuclear Waste Management Organization of Japan)는 2020년부터 홋카이도의 슛쓰정과 가모에나이촌에서 방폐물 최종처분장 부지 선정 절차의 첫 단계인 문헌 조사를 진행하여 현재 수집 자료를 분석 중임.
 - 일본 방폐물 최종처분장 건설부지*는 1단계 문헌 조사, 2단계 개요 조사, 3단계 정밀 조사를 통해 선정됨.
 - * 일본 방사성폐기물 최종처분장에는 고준위방폐물과 지층처분이 필요한 저준위 방폐물(일본 방폐물 분류 기준)이 처분될 예정임. 한국 중·저준위 방폐물은 일본의 저준위 방폐물에 포함됨.
 - 문헌조사는 2000년 부지 선정 과정을 규정한 최종처분법 시행 이래 최초로 실시되며 지질도, 논문 등을 토대로 슛쓰정과 가모에나이촌의 지층 상황을 2년간 확인함. 문헌조사 지역에는 2년간 연간 최대 10억 엔(약 90.5억 원)의 교부금이 지급됨.
 - 의견수렴예정인 문헌 조사 평가 최종 기준안에서는 활단층, 화산활동 등 처분장 입지로 부적합한 기준을 정리함.
 - 구체적으로 단층·화산 활동·침식·퇴적층 관련 조건과, 광산 위치 유무 등이 제시됨.
 - 해당 기준안이 정식으로 확정되면 NUMO는 슛쓰정과 가모에나이촌의 문헌 조사에 대한 보고서를 정리해 2단계 조사인 개요 조사에 대한 계획을 수립하게 됨. 또한 두 지역에서 2단계 조사를 진행할지 여부는 기초지자체의 장과 광역지자체 장의 동의를 얻어야 함.



자료: 朝日新聞 (2020.09.11./2020.11.18.)를 토대로 편집·작성

최종처분장으로 피해야 할 주요 장소	
단층 등	약 12~13만 년 전에서 최근까지 활동을 부정할 수 없는 활동층
화산 활동(마그마 관입 · 분출 등)	약 258만 년 전~현재 활동한 화산의 중심에서 약 15km 이내
침식	과거 10만년 정도를 거슬러 올라갔을 때 처분장의 깊이를 초과하는 침식이 발생했던 장소
약 258만 년 전~현재까지 지층 중 미고결 (암석화되지 않은 것을 의미) 퇴적층이 있는 것	약 258만 년 전~현재까지 지층 중 암석화 정도가 낮은 모래 성분이 많은 흙이 있는 것 등
광물 자원	현재 운영 중 또는 최근에 운영했던 광산(탄전, 유전, 가스전 포함)

자료: 北海道新聞(2023.06.22.)을 토대로 편집·작성

● 카자흐스탄, Almaty 지역 원전 건설에 최대 16조 원 소요 예상

세계 원전시장 인사이트 2023.04.28., The Economic Times 2023.06.18.

- 6월 18일 현지 언론에 따르면 카자흐스탄은 남동부 Almaty 지역의 Lake Balkhash 호수 부근에 위치한 Ulken 부지에 추진 중인 자국 최초 원전에 최대 120억 달러(약 16조 원)⁹⁾가 소요될 것이며 2034~2035년에 공사가 시작될 것이라고 전해짐.

9) 아시아 단신 기사 내용(일본 제외) 모두 2023년 7월 6일 환율 기준 적용(1달러=1,306원)

- 카자흐스탄 에너지부의 원자력담당 Gulmira Mursalova 부국장은 자국 내 신규 원전 건설 시 지반 강화 및 기반 시설 확충 등을 고려할 때 100~120억 달러가 소요될 것으로 예상함.
- 2020년 카자흐스탄 Kassym-Jomart Tokayev 대통령은 2060년까지 탄소중립에 도달하겠다는 목표를 발표하면서, 2035년까지 자국 에너지 중 재생에너지와 원자력 비중을 12%로 늘리겠다고 언급한 바 있음.
- 한편, 2022년 8월 카자흐스탄 에너지부는 두 번째 신규 원전 건설 후보지로 동북부에 위치한 카자흐스탄 북부 러시아 접경지역인 Irtysh 강 유역의 Kurchatov 지역을 언급한 바 있음.

◎ 튀르키예, 제3원전 건설 위해 중국과 논의 중

ZAWYA 2023.06.22., UxC Weekly 2023.06.26.

- 6월 22일 UxC에 따르면 튀르키예 정부는 자국에 제3원전 건설과 관련하여 중국 원자력 공급 업체와 논의 중이며, 구체적인 원전 후보지로 Thrace 지역의 북서쪽 Kırklareli 주를 검토 중인 것으로 알려짐.
 - 2015년 튀르키예는 제3원전 부지와 관련하여 Thrace 지역에 위치한 İğneada를 후보지로 검토 중임을 언급하였으나, 지역 주민의 극심한 반대 및 시민단체의 소송 등으로 무산된 바 있음.
 - 에너지천연자원부의 Sari Salih 원자력 인프라 책임자는 2053년까지 기후 목표 달성을 위해 20GW의 추가 발전 설비가 필요하며, 현재 제4원전 프로젝트를 위한 부지 조사도 추진 중임을 언급함.
 - 제4원전과 관련한 구체적인 부지는 언급되지 않음.
 - 또한 2023년 4월 튀르키예는 올해 말까지 Sinop에 위치할 제2원전 건설 관련 협상을 마무리할 예정임을 밝힌 바 있음.
 - 튀르키예는 지중해 동부 연안 Mersin 주에서 Rosatom의 VVER-1200 Akkuyu 원전 (총 4,800MW, PWR 4기)을 건설 중이며, 1호기는 2024에 상업운전을 시작할 것으로 예상됨.

기타단신

◎ 일본 주부전력 사장, 하마오카원전 조기 가동 추진

あなたの静岡新聞 2023.06.29.

- 일본 주부전력 사장은 6월 28일 정기 주주총회에서 현재 적합성 심사 중인 하마오카 3·4호기 (각 1,100MW·1,137MW, BWR)에 대해 안전성 확보를 전제로 조기 재가동을 위해 노력할 것이라고 강조함.
- 하마오카 3호기는 1987년 7월, 4호기는 1993년 9월 각각 상업운전을 시작했으며, 주부 전력은 2014년 2월에 4호기, 2015년 6월에 3호기의 적합성심사를 신청함.
- 사장은 원전 재가동으로 화력발전 연료 사용량이 절감된다면 해당 절감분만큼 고객에게 혜택을 줄 계획이라고 밝히며, 에너지 가격 변동이 심한 현 상황 탈피와 현실적인 탄소 중립 달성 방법 중 하나로 원전은 필요불가결하다고 강조함.

World Nuclear Power Market
INSIGHT



세계원전시장
인사이트