



Biweekly 격주간  
2024 01.19

# 세계원전시장 인사이트

## 현안이슈

### ‘유럽 SMR 파트너십’의 역내 SMR 공급망 진단과 제언

1. 들어가며
2. SMR 공급망이 갖춰야할 특징
3. 유럽 SMR 공급망 진단
4. 공급망 발전을 위한 제언
5. 시사점

## 주요단신

### 북미 15

- 미 정부, IRA 청정수소 생산 세액공제 대상에 기존 원전은 제외할 방침
- 미 에너지부, HALEU 공급 안정화 목적의 두 번째 제안요청서 제시
- 미국 NuScale, 인원 감축 등 사업성 개선 조치 계획 발표
- 미국 MMR 개발사 Oklo, 개발 중인 Aurora 원자로 부품 공급을 위해 Siemens Energy와 MOU 체결
- 미 NRC, V.C. Summer 비상발전기 관련 점검 결과 안전상 중요도 낮은 것으로 결론
- 기타단신

### 유럽 20

- 영국 정부, 2050년까지 최대 24GW 규모의 원전 설비 확보 위한 로드맵 발표
- 프랑스 정부, 에너지주권법 초안을 통해 신규 EPR2 8기 건설 제안
- 핀란드 Fortum, Loviisa 원전 핵연료의 러시아 의존도 저감 방안 제시
- 루마니아, Cernavoda 삼중수소제거설비 건설 위해 유럽투자은행과 대출 계약 체결
- 러시아 원자력규제기관, Leningrad 7·8호기 건설허가 발급
- 기타단신

### 아시아 31

- 중국 국무원, Taipingling 3·4호기 및 Jinqimen 1·2호기 신규 원전 건설 프로젝트 승인
- 인도 외교부, 러시아와 Kudankulam 7·8호기 건설을 위한 협정 서명
- 카자흐스탄 Kazatomprom, 황산 공급 불안으로 우라늄 정광 생산 차질 전망
- 일본 JAEA, 로봇 활용한 원전 해체 작업 경진대회 개최
- 기타단신



# 세계원전시장 인사이트

Biweekly 격주간  
2024 01.19

**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 간행물은 한국수력원자력(주) 정책과제의 일환으로 발행되었습니다.

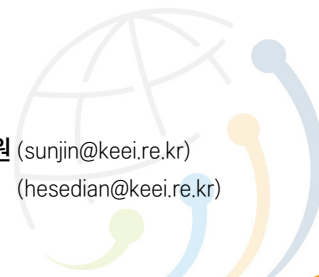
본 「세계원전시장 인사이트」에 포함된 주요내용은 연구진 또는 집필자의 개인 견해로서 에너지경제연구원의 공식적인 의견이 아님을 밝혀 둡니다.

## 현안이슈

# ‘유럽 SMR 파트너십’의 역내 SMR 공급망 진단과 제언

에너지경제연구원 원전정책연구실 김선진 부연구위원 (sunjin@keei.re.kr)

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



## 1 들어가며

- 2021년 6월 EU 집행위원회(European Commission, EC)가 개최한 ‘EU 소형모듈원자로 (SMR) 워크숍(EU Workshop on Small Modular Reactors)’에서 유럽지역의 정책 입안자, 규제기관, 산업계 이해관계자, 연구 및 기술 조직, 관심 있는 고객을 포함하는 협력 체계 (collaboration scheme) 형태의 유럽 SMR 파트너십(European SMR Partnership) 수립이 제안됨.
  - 파트너십의 1단계(pre-Partnership)가 운영위원회(Steering Committee, SC)에 의해 조직되어 SMR 도입 및 보급 촉진을 위한 로드맵 방향을 제시하였으며, 이를 지원하기 위한 5개 세부분과(Working Stream) 활동이 개시되었음.
    - 5개 세부분과는 시장 통합 및 전개(market integration and deployment), 인허가(licensing), 자금 조달 및 파트너십(financing and partnership), 공급망 적응 및 혁신(supply chain adaptation and innovation), 연구 개발(research and development) 등임.
  - 이와 같은 활동은 2023년 11월 7일 EU 집행위원회(EC)가 유럽 SMR 파트너십 행사에서 공식 발표한 2024년 초 ‘SMR 산업 연합(Small Modular Reactor Industry Alliance)’ 출범 계획으로 이어짐.
- 2023년 6월 및 7월에 그동안의 SMR 파트너십 1단계 활동을 각 세부분과별로 요약하고 정리한 ‘European SMR pre-Partnership Reports’ 시리즈가 작성되었음.

- 보고서 작업에는 SMR 설계사, 원자로 운영사, 공급망 대표, 금융·경제기관, 정책 입안자, 대규모 사용자, 규제 기관, 연구 및 혁신 조직 등 다양한 이해관계자를 포괄하는 백여 명의 전문가들이 참여함.
- 이에 상기 보고서의 내용 중 시장 수요, 공급망, 인허가 및 자금조달 등에 대해 진단하고 제안한 내용을 정리하여 연재하고자 함.
  - 그 중 본고에서는 유럽지역의 SMR 공급망 현황을 진단하고 대응 방향을 제시한 내용을 소개하고자 함.
  - SMR 공급망이 갖춰야할 특징에 대해 조사한 내용(2장)과 유럽지역 SMR 공급망에 대한 진단 결과(3장)를 소개하고 역내 공급망 발전을 위해 제안한 내용을 정리한 후(4장) 시사점을 짧게 기술함(5장).

## 2 SMR 공급망이 갖춰야할 특징

- SMR 원자로의 크기와 용량이 작아지면서, 전력수요 증가세에 대응하기 위해 대형원전 시대보다 더 많은 원자로와 부품을 제조해야 함.
  - 안전과 비용절감을 위해 부품을 단순화할 경우 부품 생산량은 줄어들 수 있으나, 그럼에도 불구하고 SMR은 종래의 발전수요뿐만 아니라 공정열 및 지역냉난방에도 사용될 수 있으므로 부품 수요가 증가할 것이라 예상하는 것이 합리적임.
  - 기존 연구에 따르면 SMR 관련 주요 이슈는 제품의 표준화, 모듈화, 통합모듈과 이를 생산할 수 있는 전용 공장, 모듈 조립을 통한 현장 건설, 규제의 초점이 건설현장에서 모듈생산공장으로 이동, 모듈 운송 체계 등으로 나타남.
- 미래 유럽 SMR 공급망에 대해 연구하기 위해 6개 SMR 제조사들에 대하여 설문을 시행함.
  - 대상 업체는 EDF, FALCON 컨소시엄(Ansaldo Nucleare, ENEA, RATEN-ICN), GE-Hitachi, Rolls-Royce, VTT, Westinghouse 등임.
    - 설문 응답 결과를 다음 표와 같이 정리함.

II SMR 제조사 설문 응답 결과

제조사	ROLLS ROYCE	GE HITACHI	EDF	WESTINGHOUSE	FALCON Cons.	VTT
노형	RR SMR (PWR)	BWRX-300	NUWARD (PWR)	W-LFR	ALFRED (LFR)	LDR 50 (PWR)
경쟁력을 갖추기 위한 주요 특징은?	<ul style="list-style-type: none"> <li>모듈 공장 제작 인증 및 공장 내 시운전</li> <li>표준 PWR 기술</li> <li>원자재 기반 대량 조달</li> <li>모듈식 발전소 조립</li> <li>등급별 접근방식을 통한 상용 제품 사용</li> <li>디지털 트윈기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>검증된 저농축연료 활용</li> <li>사고발생시 폐쇄회로 냉각</li> <li>강철콘크리트 복합 패널 및 모듈화된 공장건설</li> <li>산업표준품목 활용</li> <li>현지산업 참여</li> <li>소프트싱킹 기술 활용</li> <li>내진인증을 용이하게 하는 깊게 파인 원자로 건물(심부매설형)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>모듈식 설계 및 제조</li> <li>표준설계 및 시리즈 효과</li> <li>전체 설계 간소화</li> <li>전 세계 배포에 맞게 조화롭게 조정된 설계</li> <li>전략적 자금 조달</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>규모 축소 및 경제성 향상에 따른 평준화된 비용 최적화</li> <li>안전관련 부품 수 감소 및 원자력 관련 플랜트규모 축소 (기존 원전 격납 필요 없음)</li> <li>플랜트시스템의 최대 50% 제거 또는 축소</li> <li>공기냉각식 열 제거를 통한 고효율 및 고전력밀도</li> <li>(선택사항) 통합 에너지 저장 및 원자로 기반 부하추종</li> <li>직접연료공급</li> <li>모듈화 구현도 우수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>간소화된 안전 기능 및 높은 안전 표준</li> <li>단위 전력 당 높은 잠재 에너지 및 컴팩트한 냉각수 시스템</li> <li>모듈화 및 운송성</li> <li>첨단제조기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>저온 열 생산을 위한 작은 크기와 최적화된 설계로 투자비용 절감</li> <li>시스템단순화, 부품 수 감소, 신속한 구현, 프로젝트 일정에 따른 위험 감소</li> <li>주요 원자력부품 및 제조의 모듈화</li> <li>열에너지 시장 부문 전문성 확보</li> </ul>
시리즈 효과: 최적 비용 달성을 위해 몇 개의 모듈을 예상하는가?	정치 수는 가장 중요한 경제적 요소가 아님. (설계접근방식이 전체 발전소의 모듈화, 공장 제조 및 관련 학습 곡선에 초점을 맞추고 있기 때문)	각 전력 블록은 300MW이며, 동일한 부지에 여러 개의 발전소를 건설하여 NOAK의 혜택을 누릴 수 있음.	모듈의 대규모 시리즈 생산/표준화된 설계와 모듈식 접근 방식을 통해 공장 및 현장에서 시리즈 효과를 추구 (프로젝트 파이프라이언에 대한 중장기적인 가시성을 확보하면 목표 NOAK비용을 최대한 빨리 달성하는데 도움이 됨.	LFR의 예상 비용 절감은 대규모 발전소에서 볼 수 있는 전형적인 절감을 넘어가지 않음. 예상 NOAK 비용은 통상 8번째 유닛 근처에서의 비용을 대표함. 추가 효율이 가능하지만, 비즈니스 모델에 고려되지 않음.	상업용 원자로의 학습 곡선 이점은 8~10번째 원자로 근처에서 볼 수 있는 대형원자로와 유사한 이점으로 설명될 크기가 작기 때문에 제한된 지역에 여러 대를 배치하여 더 빠르게 비용을 최적화할 수 있음.	목표는 지역 난방 네트워크에 따라 최적의 크기인 난방 플랜트에 최대 50MW모듈을 설치하는 것임. 초기평가에서 100~200MW 규모의 발전소가 운영비용 (OPEX)측면에서 적절한 타협안으로 제시되었음. 25개의 모듈을 사용하면 상당한 비용절감이 가능함.
가용성과 품질 요구 사항 측면에서 혁신적이고 중요한 특수 구성품은? 구성품과 관련하여 공장의 총 투자비용 중 얼마의 비율을 예상하는가?	가능한 경우 특수 부품을 사용하지 않음. 1차 계통 내에서는 적절히 관리하지 않으면 위험경로가 될 수 있는 특수부품을 제한적으로 사용함.	BWRX-300은 검증된 부품과 소재를 최대한 사용함. 원자로 압력용기 및 내부의 재료는 이미 사용되고 있음.	소형 증기 발생기 (CSG)와 제어봉 구동 메커니즘(CPDM)을 단일 기압 부품으로 통합한 통합형 원자로 압력 용기(RPV), 물이 채워진 폴에 위치한 유닛격납, 사람의 개입 없이 자동으로 작동하고 장시간 작동하는 패시브 안전냉각시스템(잔열제거시스템, RFP).	특수 구성품은 공장의 총 투자 비용(연료 제외)에서 대략 6%를 나타냄. 예를 들어, 원자로 압력용기 및 두껍, 가스용기, 원자로 냉각펌프, 증기발생기 / 주요열교환기, 원자로 내부, 제어봉 구동 메커니즘, 다양한 센서 및 여과매체	첨단 부품을 사용하며, 추후 실증 프로그램에서 더 발전된 부품을 도입할 계획임. 최고의 경쟁력을 확보하려면 납의 부식성을 증가시키는 높은 냉각수 온도가 필요한데, 특수 부품을 위한 보호기술과 소재를 개발하는 것이 과제임. 특수부품은 overnight 자본비용의 약 10%를 차지함.	주요 구성품은 압력 용기(PWR)의 시스템 압력이 15MPa인 것에 비해 LDR-50의 예상 시스템 압력은 1MPa 보다 훨씬 낮음. 1차 열교환기 및 용기 내 제어봉 구동 메커니즘인 2차 계통이 없기 때문에 원자로 모듈 비용의 상대적 비율이 전체 발전소 보통 수준 보다 높으며, 실무적인 추정치는 50%임.
일반적으로 공장의 총 투자 비용 중 안전 관련 구성품 (Safety Class 1-2-3) 비율은?	품질에 대한 등급별 접근 방식을 취하며, 안전등급 구성품의 비중은 한 단계에서는 추정할 수 없음.	안전 등급 1 시스템은 전체 공사 자본비용의 20~30%를 나타냄.	특정되지 않음 위 간을 참조.	내재된 안전 기능으로 인해 안전 관련 구성품, 즉 상업적 목적이 없는 구성품은 최소이며 overnight 비용의 1% 미만으로 추정됨.	특수 구성품 외의 안전 관련 구성품은 최소한의 기여를 함	위를 참조.

제조사	ROLLS ROYCE	GE HITACHI	EDF	WESTINGHOUSE	FALCON Cons.	VTT
노형	RR SMR (PWR)	BWRX-300	NUWARD (PWR)	W-LFR	ALFRED (LFR)	LDR 50 (PWR)
공급망의 역량과 핵심 부품의 생산 능력에 문제가 있는가?	위험은 역량이 아닌 용량 요건을 달성하는데 있음.	처음 몇 개의 BWRX-300 프로젝트는 기존 공급망과 캐나다에서 개발 중인 공급망으로 구현할 수 있음.	목표는 견고하고 다각화된 유럽 공급망을 확보하는 것임.	모든 구성품은 유럽 공급업체로부터 조달 가능.	루마니아, 이탈리아, 영국에 있는 FALCON 회선사가 구축한 연구 인프라를 통해 프로토타입 및 산업 표준 부품의 주요 공급업체와 시너지를 창출할 수 있었음.	낮은 작동 압력을 고려할 때 현재 일반 RPV 제조업체 이외의 공급업체의 잠재력이 논의되고 있으며, 고압 원자로에 비해 필요한 내식성 금속의 양이 현저히 적음.
유럽에서 원자재 또는 반제품 부품의 가용성에 문제가 있는가?	원자력분야에 국한하지 않고 규제환경 경험에 있는 공급업체를 고려한 원자재 가용성 및 생산 능력의 변동이 예상되며, 이에 대한 완화책이 마련되어 있음.	또한 공급과 수요의 균형을 맞추기 위해 여러 지역의 공급망을 확대하는 카탈로그 구성품을 최대한 활용할 함.	공급업체 풀을 비핵 분야로 확대할 수 있는 가능성을 신중하게 평가 중임.	1차열교환기(하이브리드 마이크로채널 열교환기)는 공급업체가 가장 적은 구성품일 가능성이 높음. 전반적으로 유럽에서는 수많은 납냉각 원자로 기술개발 덕분에 공급망이 잘 지원되고 있음.	설계 및 시공은 원자력 설계코드를 기반으로 충분히 견고함. 이탈리아 및 루마니아의 현지 원자력 부품 제조업체와 함께 대형부품의 제작성 및 운송성을 평가하였음.	
특수 부품의 제조 시간은? 플랜트건설의 중요 경로에 미치는 영향은? 부품을 미리 제작해야 한다는 가정은?	특별한 효과 없음; 이러한 성격의 특수 부품을 의도적으로 사용하지 않음.	첫 번째 BWRX-300의 건설 기간은 약 3년임. 원전건설 시작 전에 원자로 압력용기를 포함한 여러 구성품을 주문하여 전체 일정을 달성해야 함.	정의하기에는 너무 이쁨.	가장 긴 납 부품은 용기, 가드 용기, 투경 및 내부 부품일 가능성이 높음. 이러한 구성품은 건설 전 단계에서 주문할 수 있으며 중요경로에 큰 위험이 되지 않음.	일부 단조 원자로 용기 및 덮개를 제외하고는 특수 구성품으로 인해 일정이 제한되는 것을 것으로 예상됨. 고품질 부품으로 가공할 반제품 자재와 관련된 주문은 건설 초기 단계에 발주해야 함.	원자로 압력 용기는 무거운 단조가 예상되지 않으므로 리드타임이 긴 품목이 아닌. 열이 교환기를 통해 전달되고 터빈이 없기 때문에 2차 측에도 리드타임이 긴 품목이 없을 것임.
전용 공장이 필요한가?	필요한 모든 모듈의 생산 및 조립을 위한 전용 공장을 보유 중인 모듈의 일부인 특수 부품을 위한 맞춤형 공장이 필요하지 않음.	전용 공장은 필요하지 않음. 그러나 추가 용량을 제공하기 위해서는 공급망 파트너와의 협력이 필요함. 설계 프로세스는 연속적으로 생산되는 산업 표준 부품의 사용을 극대화 함.	이는 전적으로 가능하지만 현 단계에서 평가하기에는 너무 이쁨. EDF와 파트너사의 기존 산업 역량을 활용할 수 있다면 유럽 최초 발전소 건설에 큰 차이가 없을 것임.	가장 중요한 전용 공장은 LFR에 필요한 연료, 즉 FALCON UO2 또는 MOX를 생산할 수 있는 연료 제조 시설임.	현재로서는 전용 공장이 필요하지 않을 것으로 예상됨. 제조업체가 FALCON 실험 프로W 그림에 조기에 참여하면 제조역량과 용량을 업그레이드하기 위한 투자를 미리 계획할 수 있음.	일부 구성품에 대한 전용 생산라인은 원자력 QA 요구 사항을 준수해야 할 가능성이 높음.
모듈화 활용 여부는?	예, 전체 RR SMR 플랜트(1차 계통, 2차 계통, 보조설비, 냉각 시스템 등)를 모듈화할 계획임.	예, GEH와 글로벌 얼라 이언스 파트너인 히타치 GE 원자력 에너지 (HGEN)는 원자력 분야에서 모듈화에 대한 광범위한 경험을 보유하고 있으며, ABWR을 여러 구조에서 최적으로 모듈화한 바 있음.	예, 시스템의 상당 부분을 공장에서 제조하여 스킵드에서 조립하거나 사전 테스트하는 것이 목표이며, 토목공사에서도 모듈화가 고려 될.	예, LFR은 전체 발전소에 기계 모듈과 구조 모듈을 모두 사용할 것임. 또한 LFR의 건물구조는 반복되는 소수의 서로 다른 구조모듈 요소로만 구성되도록 설계될 예정이며, 이는 웨스팅 하우스의 3세대 모듈화 설계기술을 대표함.	건설 시간과 비용 단축을 확실하게 보장하기 위해 기계, 전기 및 구조 모듈을 핵심으로 고려하고 있음. 이는 원전의 모든 부분에 적용될 것임.	예, 일체형 원자로 용기의 모듈화가 예상되며, 1차 계통 구조물도 모듈화할 수 있음.
기타 비용절감 요소는 무엇인가?	다양한 환경 조건과 내부 및 외부 위험에 대한 입력 데이터를 통해 표준 제품의 배포 기회를 극대화한 설계에 내진 베어링을 사용하여 재설계가 필요한 위험을 최소화함.	BWRX-300은 다양한 규제 및 현장 조건을 충족시키도록 설계 되었음. 표준설계는 50Hz 및 60Hz 진비를 모두 수용 할 수 있으며 다양한 토양조건과 외부위험을 처리할 수 있음.	프랑스, 체코, 핀란드 안전당국의 공동 초기 검토를 통한 표준화로 여러 국가에서 간소화된 인허가 접근방식을 달성하고자 함. 또한 연속 생산된 표준 장비를 사용하면 조달, 제조, 유지보수 프로세스가 간소화되는 동시에 양호한 작동 조건과 노후화 관리가 보장됨.	전력 변환 열 제거를 위해 공랭식 콘덴싱을 기본으로 사용하면 현장마다 발생하는 문제를 일부 완화할 수 있을 것으로 예상됨. 또한 훨씬 더 많은 현장에 적용할 수 있음.	ALFRED의 부지 조건은 유럽 표준(유로코드)에서 파생되었음. 또한 후보 부지수를 늘리고 부지별 준비 작업을 줄이기 위해 최근에는 열 제거를 위한 공랭식 콘덴싱 옵션이 ALFRED 플랜트 설계의 보조설비에 도입되었음.	설계는 현재 사용 중인 지역별 플랜트 시스템을 활용해야 함. 잠재적으로 조립식 대형구조부품을 사용하면 표준시공이 용이 할 것임.

제조사	ROLLS ROYCE	GE HITACHI	EDF	WESTINGHOUSE	FALCON Cons.	VTT
노형	RR SMR (PWR)	BWRX-300	NUWARD (PWR)	W-LFR	ALFRED (LFR)	LDR 50 (PWR)
어떤 종류의 연료 및 연료 공급 방안을 고려하는지?  고농축 우라늄 (HALEU)의 공급망 문제를 해결할 계획이 있는지?	규제 위험을 최소화 하고 기존 연료 공급 망과 사용후연료 폐기물 관리 인프라의 활용을 극대화하기 위한 산업 표준 UO2 연료를 고려 중인 RR SMR은 새로운 연료 유형이 허가를 받고 생산에 들어가면 제공할 수 있는 잠재적 이점을 인식하고 있음.	표준을 고려함. BWRX-300은 5% 미만의 저농축우라늄 (U-235) 연료인 GNF2를 사용하며, 현재까지 25,000개 이상의 번들이 원자로에 성공적으로 활용 되었음.	표준을 고려함. 기존 PWR 원자로에 사용 되는 연료와 동일한 유형이며, 길지만 짧아 질 뿐임. 업스트림과 다운스트림 모두 연료사이클은 이미 숙달되고 산업화 되어 있음.	단계적 접근 방식을 고려함. 첫 번째 단계 에서 고순도 이산화 우라늄연료로 시작하여 잠재적으로 성숙도는 낮지만 예상 성능이 더 높은 연료 (질화우라늄)로 이어짐. 여러 연료가 고려되고 있음에도 연료전환과 관련된 내부변화를 제거 하거나 최소화하기 위해 노심 / 용기 구조는 동일 하게 설계되었음. 5% 이상의 농축에 대해 LFR 외에 LWR에 대해서도 관심이 있으나 5~10% 수준에 그침.	혼합 산화물 연료를 고려함. 과거 제조 및 재할용 경험으로 인해 MOX가 연료사이클의 지속 가능성 측면에서 후보연료로 선정됨. MOX 공급망의 재 구축은 SNETP의 일환 으로 ESNE에서 다루고 있으며, 장기적인 개선을 위해 대체연료 (예: U/PUN)를 고려하고 있음.	절단된 PWR 연료(활성 길이 약 1m, 연료 농축률 5% 미만)를 고려함. HALEU가 필요 없음.
공급/공급업체의 표준화?  표준화와 현지 공급망 사용에 대해 어떻게 생각하는가?	필요한 경우 용량을 추가하기 위해 유사한 구성품에 대해 여러 공급업체를 사용한 단일 또는 단독 공급원 공급 옵션의 완화는 RR SMR 공급망 전략의 핵심요소임.	레이아웃, 구성품 및 구조를 표준화하여 비용을 절감하고 NOAK 효율성을 빠르게 달성 할 수 있음. 시장수요로 인해 처음 몇 기를 제외하고는 단일 공급업체를 활용 하는 것이 비현실적 이기 때문에 전 세계적 으로 각 구성품에 대해 여러 공급업체를 개발 하고 있음. 현지 공급이 중요한 역할을 할 것 이며 공통사항과 도면이 표준화를 보장하는데 도움이 될 것임.	산업 전력과 유럽 전역의 산업 성숙도에 따라 발전소의 상당 부분이 다른 공급 업체에 의해 제조될 것이며, 국가 산업 전략은 지역 산업전략 으로 대체될 필요가 있음.	경험에 따르면 표준화된 플랜트에서도 부품을 단독으로 조달하는 것은 거의 불가능함. 현지 콘텐츠가 필요한 경우가 많음. 설계를 하나의 특정 구성품 모델에 묶는 것은 원자력 / 원자력 안전시스템 외에는 일반적이지 않음.	설계 변경에 대한 유연성을 유지하면서 표준화를 기존 공장 으로 확장할 수 있음. 단일 소스 공급업체는 지역 시장에 대한 초기 참여에 유리할 수 있음. 공급업체 다각화와 물량의 균형은 지역별 배모 기회에 따라 달라 짐. 표준화를 극대화하면 공급업체를 다변화하고 연속 생산에서 비용을 최적화할 수 있음.	공급망 현지화는 현지 시장이 여러 개의 발전소를 허용하지 않는 한, 소규모 MW급 화력 발전소에는 적합 하지 않음. 자생산업, 도시연결, 건설자업단계 및 현장 부품조립의 현지화를 고려해야함.
유럽 표준을 사용하는가?	RR SMR은 높은 품질 및 안전 요건을 갖춘 구성품에 대해 ASME 표준에 따라 설계된 다른 구성품의 경우 European Harmonised 표준이 적용됨.	BWRX-300에 대한 수요가 있는 유럽 국가 들은 표준 설계에 적용 되는 주요 표준인 ASME, IEC, ASCE 및 AISC를 인정하고 있음. 다양한 코드 및 표준에 대해 GE와 파트너는 동등성 평가를 수행한 경험이 있음.	주로 개념 설계에 AFCEN 코드가 사용됨. 특정 CSG에 대해서는 특정기술 참조가 필요 할 수 있음. 선택한 코드 및 표준은 국가규정과 호환되어야 하며 주요 이해관계자가 숙지하고 있어야함.	유럽 규격과 표준이 유럽 지역 LFR에 사용 될 것이며, ASME III & RCC 규격 활용이 예상 됨. LFR 실증로가 ASME 규격 하에 설계되나 사고 및 고온 활용에서는 적용 사례(code cases)가 요구됨.	IAEA 및 EUR 표준과 유럽에서 널리 통용되는 기타 설계 코드 및 표준 (예: ASME, IEC, AISC, 유로코드를 기반으로 하며, 공급망 스펙트럼의 폭을 최대화하기 위해 향후 다른 표준(특히 RCC-MRx)과의 조화도 고려함.	압력장비에 대한 주요 지침으로 유럽 압력장비 지침을 사용하는 것을 목표로 함. 설계의 단순성은 진화 하는 코드 및 표준에 맞게 조정할 수 있음. 연구대상인 1등급 원자력 부품에 대해 고객/규제기관에서 요구 하는 경우 ASME 또는 RCC-M 코드를 적용함.
새로운 표준이 필요한가?	그럴 필요 없음.	기존 규격과 표준은 격납건물용 강철 콘크리트 복합재(SC)의 사용 및 기타 몇 가지 사소한 측면 외에는 BWRX-300의 모든 측면을 다룸. GE는 현재 격납용 SC를 포함하기위한 ASME 코드 케이스를 진행 중임.	아직 연구 중이며 정의되지 않았음.	새로운 소재(알루미늄 합성 오스테나이트 스테인리스강)의 코드화가 필요할 수 있음.	재료 개발, 코팅 산업화 및 프로토타입 부품의 인장은 원자력 설계 코드의 적용사례로 이어질 수 있음.	그럴 필요 없음.

출처: European SMR pre-Partnership Reports, Workstream 4 - Supply Chain Adaptation, Appendix 1, Summary of Vendor answer analysis.

- 설문결과를 바탕으로 SMR 비즈니스 모델에서 공통적으로 나타나는 부분과 차이를 나타내는 부분이 다음과 같이 식별됨.
  - 공통 접근 방식: 표준화, SMR 안전 규제의 국가간 공조, 학습 효과 추구, 모듈식 건설, 공급망 확장 경향, 바로 적용할 수 있는 연료 기술
  - 차이점: 단순화 vs 통합설계 및 첨단제조, 표준화된 모듈을 조립 vs 특별 설계된 대형 모듈, 토목 구조물 모듈화에 대한 이견
- AMR(4세대)의 경우에는 요구조건이 높아 공급망 구성이 더 어려울 것으로 예상됨.
  - 고유/수동 안전 기능을 극대화하는 것이 관건이며, 이를 위해 안전 관련 구성 요소의 수를 최소화하면서 이를 통합하는 설계가 필요함.

### 3 유럽 SMR 공급망 진단

#### ■ 공급망을 평가하기 위해 우선 SMR 관련 제품 체계를 식별함.

- 이를 위해 Nuclear Engineering International(NEI) 구매자 가이드에서 사용한 383개 분류를 활용하였음.
- 각 SMR 관련 구성품에 대해 질적 관련성을 1~3순위까지 부여함.
  - 1순위: SMR 개념 개발 및 엔지니어링과 밀접하게 관련되거나 관련 기술 보유 공급업체의 수가 제한될 경우 부여함.
  - 2순위: SMR 개념 개발 및 엔지니어링과 일부 관련되거나 공급업체의 공급능력이 충분한 경우 부여함. 즉 대부분 원자력 관련 자격을 쉽게 취득할 수 있거나, 비원자력 부문 산업을 활용할 수 있는 경우임.
  - 3순위: SMR 설계와 반복생산 측면에서 공급과 관련하여 이슈가 발생하지 않을 것으로 예상되는 분야로서, 일반 엔지니어링 서비스 및 분석을 포함함.
  - 현 분석에서 기자재 공급과 직접적으로 관련되지 않은 후속 단계(시운전, 유지보수, 해체) 분야는 제외하였음.
- 분류 결과, 383개 분야 중 73개 구성품이 1순위인 것으로 나타났음.

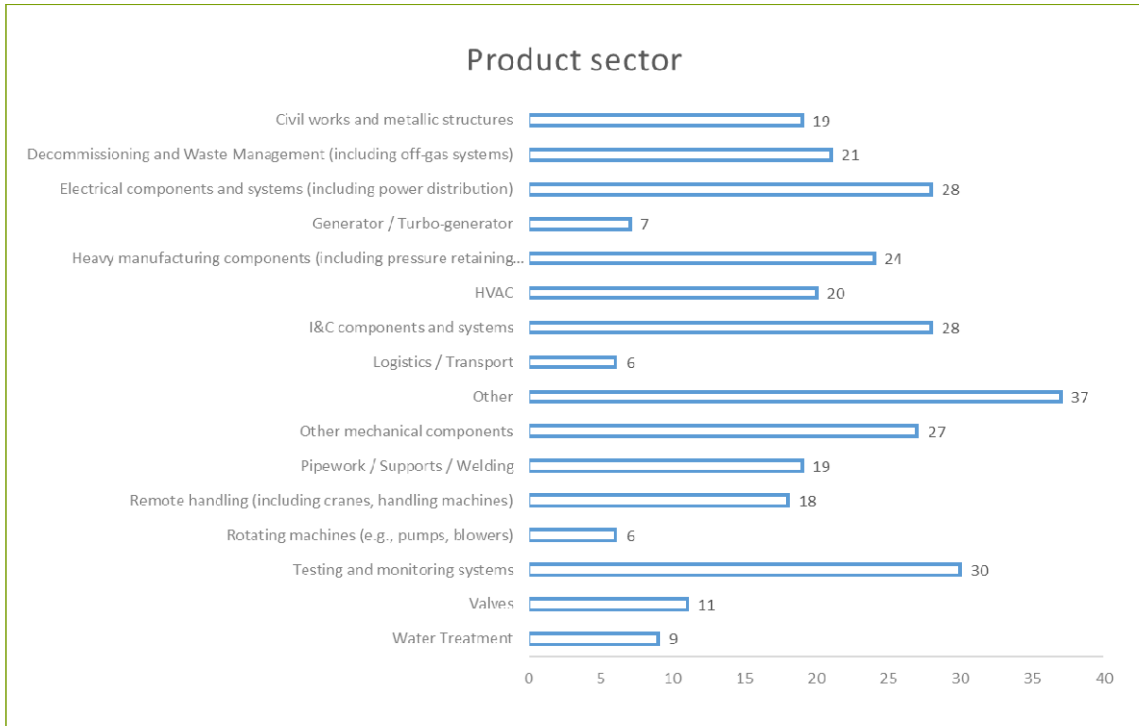
#### ■ 다음으로 공급업체에 대한 DB를 Nuclear Europe 회원 대상 설문(91개사 응답)과 공개 자료(NEI 제공 원자력 국제 데이터베이스, 118개 회사 자료)를 이용해 구축함.

- 200개 공급업체 자료를 수집하였으며, 대부분의 조사대상 공급업체는 원자력 부문 실적이 있는데 70% 이상이 원자력 산업 분야에서 1개 이상의 고객과 협력한 실적이 있음.



- 설문지는 일반 개요, 공급 역량(capability), 공급 용량(capacity)의 세 가지 영역으로 구성하여 32개 문항을 질문함.
  - 유럽 10개국(스페인, 영국, 체코 등) 91개 공급업체가 이에 답변하였으며, 응답한 공급업체 구성은 다음 그림과 같음.

**그림** 설문 참여 공급업체 구성



출처: European SMR pre-Partnership Reports, Workstream 4 - Supply Chain Adaptation, p.9

■ 첫 번째로, 공급업체의 ‘공급 역량’에 대해 분석한 결과는 다음과 같았음.

- 다양한 기술과 전문분야 경험
  - 불확실성이 큰 혁신 설계 및 현지화 요구에 대한 유럽 공급망의 유연성을 평가하기 위해, 공급업체들의 원자력 기술(PWR, BWR, HTGR, LFR, SFR, 연료시설, 해군원자로, 핵융합로 등) 경험에 대해 평가함.
  - 분석 결과 공급업체의 60% 이상이 1개 기술 이상을 경험했으며 약 30%는 2개 이상 기술을 경험함. 대부분은 LWR 및 핵융합로 기술 경험을 가지고 있었으며, AMR(LFR, SMR, HTGR) 경험 역시 많았음.
  - 상당수의 기업들은 혁신 설계를 적용할 수 있는 개념설계 능력 및 엔지니어링 역량을 보유

하고 있음. 약 80%의 업체는 건설현장에서 자사 제품(서비스)의 현장 활동을 감독할 수 있는 내부 전문 지식을 보유하고 있으며, 비슷한 비율의 업체들이 제품 판매 후 장기 서비스 계약을 통해 유지관리 서비스를 제공할 수 있음.

- 원자력 관련 규격 및 표준(Codes and Standards) 경험

- 공급업체들은 국제표준(IEC/IEEE/ISO 등)이나 원자력 압력용기 코드(AFCEN, ASME 등)를 경험하였음. 그러나 미국 혹은 프랑스 표준을 따르는 지에 대한 차이가 존재함.
- 50% 이상의 업체들이 설문에서 제시한 표준 중 1개 이상을 경험했다고 응답함. 응답 업체 중 15%는 원자력 품질 시스템 활용 경험이 없거나 사업에서 이러한 경험이 필요하지 않다고 답함.
- 국가 규제체계 차이로 인해 비용이 발생할 것으로 예상됨에도 불구하고, 응답 업체 중 50% 이상은 국가 규제 간 차이로 인한 조정 역량(reconciliation capability)에 대해 크게 우려하지 않는다고 답함.

- 제품 혁신

- 응답 업체의 약 70%는 적층제조, 증강현실, 자율로봇, 빅데이터 분석, 사이버 보안, IoT, AI, 머신러닝 및 디지털 트윈 모델링 등과 같은 특정 기술을 적극 활용중이거나 해당 분야에 투자할 계획이라고 응답함.
- 따라서 규제기관과 SMR 라이선스 발급 대상자, 그리고 SMR 표준 개발기구는 이러한 기술을 적극 고려해야 함.

■ 두 번째로, 공급업체의 '공급 용량'에 대해 분석한 결과는 다음과 같았음.

- SMR 원자로 크기가 감소함에 따라 대형원전에 비해 더 많은 수량의 기자재 및 부품을 납품할 가능성이 있음.

- 안전등급이 낮은 분야에 비원자력 부문 산업체가 광범위하게 참여할 수 있으며, 안전 등급이 높은 분야도 부품 크기가(혹은 단조품의 규모가) 작아짐에 따라 기존 업체들이 더 쉽게 참여할 가능성이 있음.

- 생산규모 적응능력

- 공급업체의 60% 이상은 현재 생산능력을 바로 적기에 확장할 수 있다고 응답하였으나, 이러한 준비상태는 제품분야에 따라 가변적이기에 추가 조사가 필요함.
- 응답자들은 기자재 물류 및 운송에 대해 큰 어려움을 예상하지 않았지만, 이러한 문제가 실제 대두되지 않았기 때문에 아직 미지수라는 점을 고려해야함.

- 소재 및 원자재 제조

- 방사능 관련 표준 소재가 필요하며, AMR의 경우 특수재료 요구사항이 추가로 존재함.
- 설문응답 업체는 원자재 가용성, 반제품(semi-finished components) 가용성, 특정 첨단 부품 가용성, 전문인력 가용성, 가격 인상 등의 다섯 가지 공급 문제를 예상하였는데, 해당 문제들은 CAPEX와 납기에 영향을 미칠 수 있으므로 신속히 검토될 필요가 있음.
- 응답기업의 약 절반은 현장 설치 일정을 단축하기 위해 자동 조립/용접, 통합 작업테스트를 위한 보조시스템, 인력, 검사, 공장 부설 지역, 가공능력, 자재 모니터링, 운송/물류 등의 분야에 투자해야 한다고 답함.
- 대부분의 업체들은 원자력과 관련하여 해당 분야에서 낮은 수준에 머물고 있어 상당한 양의 투자가 필요한데, 실제 투자는 SMR 사업이 가시화된 이후 시행될 가능성이 높음.

#### ■ 세 번째로, 공급업체의 ‘연료주기 문제’에 대해 분석한 결과는 다음과 같았음.

- SMR 기술 종류에 따라 고려해야 할 연료주기 문제가 다르며, 동일 기술이라도 다양한 측면을 고려해야함.
- 선행주기 측면에서 LEU, HALUE, U/Pu 기반 신규 핵연료 수요가 발생할 전망이며, ATF(사고방지 핵연료) 개발 노력 역시 선행주기에 영향을 미칠 것으로 예상됨.
- 후행주기를 고려한 R&D 및 혁신 프로그램도 필요함.
  - TRISO 연료, 특히 HTR과 같은 일부 설계에 관심을 기울여 모든 사용후핵연료 유형에 대해 안전하고 기술경제적이며 사회적으로 허용 가능한 폐기물 관리 솔루션을 개발해야함.
- 신규 핵연료 및 사용후핵연료를 고려하는 물류 솔루션 역시 발전시켜야함.
- 미래 핵연료주기는 안전, 핵비확산, 경제성, 장기적 공급 안보의 4가지 주요 요소를 다루어야함.

## 4 공급망 발전을 위한 제언

### ■ (방향1) 주요 병목현상의 해결

- 설문조사에 따르면 유럽에서 공급망 미비로 인해 어려움을 겪을 수 있는 제품 부문은 원자력 등급 펌프, 원자력 등급 밸브 등이며, 해당 부품에서 이슈가 되는 부분은 주조 및 단조 관련 품질 수준임.
  - 발전기 및 터보 발전기는 시장이 제한되어 있어 문제가 생길 수 있는 것으로 나타남.

- 또한 NEI 데이터베이스에 따르면, 제어봉, 코어, 리액터, 그리드, 연료 요소, 임계도 감시 시스템, 내방사선 전자기기, 우라늄 농축, 압력용기 플랜지, 압력용기 노즐, 분무 노즐 등은 공급업체가 거의 없거나 한 곳뿐인 것으로 파악되었음.
- 조사 대상 200개 공급업체 중 원자력 등급 펌프/밸브 및 발전기의 공급업체는 각각 소수(4~7개)에 불과한 것으로 보임.
  - 다만 기술적으로 진보된 타 산업의 제품 및 기술을 원자력 공급망에 활용할 수 있을 것으로 예상되는데, SMR 크기가 작아짐에 따라 더 많은 공급업체(단조품 및 제철소 등)가 공급망에 참여할 수 있는 가능성이 존재함.
- 이러한 문제를 해결하기 위해 다음 두 가지 사항을 고려해야함.
  - 제조사별 공급망 구성: 특별 품목들은 일반적으로 제조사 차원에서 구성하는 자체 공급망을 통해 제조됨. 유럽에서 지속가능한 SMR 공급망을 달성하기 위해서는 1) 유럽 SMR 시장에서 해당 제조사의 설계가 적용된 SMR이 있어야 하고, 2) (심지어 비유럽 제조사의 경우에도) 유럽공장에서 현지 생산을 최대화해야 하며, 3) 반제품이나 특수 하위제품을 공급하는 유럽 하위 공급업체들의 참여를 촉진해야함.
  - 타 산업에서 조달: 기술적으로 진보된 타 산업에서 활동하는 유럽 업체의 원자력 참여를 촉진해야함. 이를 위해 1) 제조사와 잠재적 공급업체 간의 교류를 촉진하고, 2) 반복생산되고 있는 고품질 산업 표준 부품 사용을 장려하며, 3) 필요한 경우 신규 진입 기업의 초기 투자를 지원함(품질 모니터링 및 테스트 도구 등).
- 추가적으로 지난 20년간 얕아진 인적자원 역량, 기술별 분석, 엔지니어링 및 설계 기술 서비스 등으로 인해 발생할 수 있는 병목현상 가능성에 대한 연구가 필요함.

## ■ (방향2) 가치사슬의 진화

- SMR 비즈니스 모델의 특징이 원자력 가치사슬에 미칠 영향에 대해 고려할 필요가 있음.
  - 모듈화: 생산활동을 건설현장에서 제조공장으로 이동시킬 것이며, 이에 따라 공장의 건설 단계부터 품질관리 및 인증이 필요함.
  - SMR 제조의 새로운 도구 및 방법: 공장에서 검사 및 시운전이 증가하는 대신 현장에서의 시운전이 줄어들 수 있음. 이를 위해 특정 시설(유체 회로의 압력/유량 테스트, 전용 제어 시스템의 작동 테스트)을 통해 공장에서 검사를 수행할 수 있는 능력을 확보해야 함.
  - SMR 뿐만 아니라 일반적으로 생산성을 높일 수 있는 전자빔 용접, 혁신 NDE 기술 등을 도입하여 제품의 질과 유럽 공급망의 경쟁력을 향상시킬 수 있음.
  - SMR과 AMR을 위한 혁신적이고 향상된 연료 성능 요구에 따라 연료 제조 및 취급에서 발생하는 부가가치가 증가할 수 있음.

- SMR 비즈니스 모델은 원자력과 재생에너지를 잘 조화하도록 설계되어, 원자력계를 넘어 ESS 솔루션, 수소 생산 등으로 원자력 가치사슬을 확장시킬 수 있음.
- 따라서 EU 차원에서 SMR 분야 투자를 결정할 때 재생에너지 분야에 대한 SMR의 기여를 고려할 필요가 있음.

#### ■ (제언1) SMR 제조사와 공급업체 간 협력 촉진

- SMR 경제성 달성에 있어 반복생산이 중요하므로, 이를 위해 제조사와 공급업체가 적극 협력해야 함.
  - 이러한 협력은 각 업체가 목표로 하는 자국시장을 중심으로 형성될 것으로 예상됨.
  - SMR 개발 및 프로젝트 시작부터 EU의 다양한 국가의 공급업체에 동등한 기회를 제공하여 불확실성을 제거하고 유럽의 부가가치를 극대화해야 함.
- 이를 위해 유럽 파트너십은 첫 번째 단계로 'EU 공급망 데이터베이스'를 생성하고 제조사와 데이터베이스에 참여한 공급업체 간 협력행사를 개최할 수 있음.

#### ■ (제언2) 규제 문제에 대한 논의 및 협력 촉진

- SMR의 대규모 건설을 위해 EU 국가들이 표준 규제체계를 채택해야 하며 이를 위한 국가 간 협력이 필요함.
  - 규제 중 특정 부분에 한해서라도 규제기관들이 동일한 결론에 도달하여 서로 다른 제조사들이 안전요건 간 동등성을 증명해야하는 수고를 줄여줄 필요가 있음.
- 공장 제조로 인해 공장에 대한 규제체계가 도입될 경우, SMR 도입국가와 공장 소재 국가가 달라질 수 있고, 국가 간 언어가 달라 문제가 발생할 수 있으므로 이를 위한 사전 협력이 필요함.

#### ■ (제언3) 정책 약속 강화로 공급업체의 불확실성 제거

- SMR 산업 참여를 위해 공급업체는 상당한 투자가 필요하므로 불확실성을 제거해 공급업체의 생존 가능성에 대한 확신을 줄 필요가 있음.
- 물류를 포함한 연료 선·후행주기에 대한 투자 결정이 개발단계 초기에 이루어져야하기 때문에 이를 촉진하기 위한 확실한 신호가 필요함.

## 5 시사점

- 유럽 SMR 공급망의 고유한 특징을 식별하고 기존 격차를 분석하며 기술적인 문제를 극복할 수 있는 방법을 제시함.
  - SMR 제조의 주요 특징을 분석하고 다양한 SMR 구성품 범주에 대한 현황을 진단함.
  - EU 공급망이 SMR 도입에 따른 향후 과제를 충족시킬 방안을 식별함.
- '유럽 SMR 파트너십'을 통해 향후 유럽 SMR 공급망 가치사슬을 활성화시킬 수 있는 가능성이 확인됨.
  - 제조사와 공급업체 간 협력시작 및 촉진, 유럽 국가 규제기관 간 협력 촉진 및 규제조항 해석 합의, 불확실성 제거를 위한 정책 약속 강화 등이 당면과제로 제시됨.



### 참고문헌

- European SMR pre-Partnership Reports. Workstream 4 - Supply Chain Adaptation.
- European SMR pre-Partnership Reports. Workstream 4 - Supply Chain Adaptation. Appendix 1. Summary of Vendor answer analysis.

주요단신

북미  
North America

## ■ 미 정부, IRA 청정수소 생산 세액공제 대상에 기존 원전은 제외할 방침

Huffpost 2023.12.17., U.S. Department of the Treasury 2023.12.22.,  
The Verge 2023.12.23., World Nuclear News 2024.01.10.

- 2023년 12월 22일 미 재무부와 국세청은 2022년 인플레이션 감축 법안(IRA)에 따라 제정된 45V 청정수소 생산 세액공제 규정 발표를 통해 청정수소 생산업체가 1kg당 최대 3달러의 세액 공제를 받을 수 있는 세부 기준을 제시하였으며, 지원 대상으로 신규 원전에서 생산된 수소만 포함하도록 규정할 예정임을 밝힘.
  - 재무부가 제시한 지침은 납세자가 청정 전력 구매를 입증하는 에너지 속성 인증서 (Energy Attribute Certificate, EAC)를 바탕으로 특정 세액공제 단계의 자격을 평가하고 문서화하기 위한 방법을 설명함.
  - 제시된 지침에 따른 세액공제 수혜 대상으로 수소 설비 서비스 시작 시점에서 3년 이내에 가동을 시작한 청정 발전설비만 자격을 부여하도록 규정하고 있으며, 신규 설비용량 추가(증설)로 인한 발전량도 새로운 청정 전력 공급원으로 간주됨.
  - 세액공제 혜택은 2033년 이전에 건설을 시작하는 프로젝트를 대상으로 하며, 수소 생산 시설이 가동되는 날로부터 10년간 적용이 됨.
  - IRA는 수소 생산 공정의 배출 강도에 따라 청정 수소 생산 세액공제 수준을 4단계로 차등화했으며, 일반 임금 수준 및 등록된 견습 요구사항(apprenticeship requirements)을 충족하는 수소 생산 시설의 경우 수소 생산의 수명주기 배출량에 따라 생산된 수소 1kg 당 0.60달러에서 3달러까지 다양함.
    - 수명주기 온실가스 배출량은 45VH2-GREET 모델에 따라 결정됨.
  - 해당 지침은 12월 26일 연방관보에 게재되었으며, 향후 60일간 업계 의견 수렴과 공청회 등을 거쳐 확정될 예정임.
- 이에 Constellation Energy(이하 'Constellation')는 기존 원전을 활용한 수소 생산이 아닌 신규

건설된 설비를 통한 수소 생산을 세부 기준으로 확정할 경우 세액공제 혜택을 받을 수 없는 데 대해 우려를 표명함.

- Constellation은 2023년 10월 13일 Biden 행정부의 청정수소 허브(H2Hubs) 프로그램의 자금 일부인 9억 달러(약 1조 2,018억 원)<sup>1)</sup>를 지원받아 Illinois 주에 위치한 LaSalle Clean Energy Center 원자력 수소 생산시설 건설에 사용할 계획을 발표한 바 있음.
- Constellation은 Biden 행정부가 청정수소 생산 보조의 세부 지침을 추진할 경우 수소를 생산하려던 계획을 취소하고 소송도 제기할 예정임을 밝힌 바 있음.

## ■ 미 에너지부, HALEU 공급 안정화 목적의 두 번째 제안요청서 제시

Office of Nuclear Energy 2023.11.28., 2024.01.09., World Nuclear News 2024.01.10., Nucnet 2024.01.10., Nuclear Newswire 2024.01.11., Nuclear Engineering International 2024.01.11., Power Magazine 2024.01.11.

■ 2024년 1월 9일 미 에너지부는 자국 내 고순도저농축우라늄(HALEU) 공급망 구축을 통한 에너지 안보 강화와 신뢰할 수 있는 연료 공급을 목적으로 우라늄 농축 관련 제안요청서(RFP)를 발표함.

- 2023년 11월 28일에 발표된 첫 번째 RFP는 우라늄 원료를 최대 19.75% 핵분열성 U-235로 농축할 수 있는 내용과 함께, 농축 우라늄을 선진 원자로의 연료로 사용되는 금속, 산화물 및 기타 형태로 재변환(deconversion)하는 내용에 중점을 두고 있음.
  - 해당 제안서의 제출 기한은 2024년 1월 30일 까지임.
- 이번에 발표된 RFP는 육불화우라늄(UF6)의 확보 · 저장 · 운송의 내용에 중점을 두고 있음.
  - 두 번째 제안서의 제출 기한은 2024년 3월 8일 까지임.
- 두 건의 RFP 모두 2023년 6월 발표된 초안에 산업계의 피드백이 반영된 것이며, 이는 2022년 8월 16일 Biden 대통령이 서명한 인플레이션 감축 법안(Inflation Reduction Act of 2022, IRA)에서 제시된 핵연료 안정적 공급방안과 연계된 것임.
  - IRA에 따라 HALEU 농축 계약 및 농축된 우라늄의 재변환 서비스에 최대 5억 달러(약 6,682억 원)를 지원함.
- RFP에 선정된 계약자는 최대 10년까지 유효한 HALEU 농축 계약에 따라 정부가 계약 업체에 최소 200만 달러(약 26억 7,280만 원)에 해당하는 생산 비용을 지원할 예정이며, 농축 및 저장은 미국 내에서 실행되어야 하고 국가 환경 정책법을 준수해야 함.

1) 북미 단신 기사 내용 모두 2024년 1월 19일 환율 기준 적용(1달러=1,335원)



- 미 에너지부에 따르면 이번 RFP 발표는 2050년까지 탄소중립 달성과 함께 에너지 안보 강화와 일자리 창출, 자국 경쟁력 강화 측면에서 큰 도움이 될 것이며, 국내 HALEU 공급을 활성화함으로써 미국 내 선진 원자로 개발 및 보급에 진전이 있을 것임.
- 한편 기존의 미국 대형 원전에는 U-235를 최대 5%까지 농축한 연료를 사용하나, 미국에서 개발 중인 대부분의 선진 원자로에는 5%~20% 농축된 HALEU가 필요함.
  - 현재 미국에서 HALEU의 상업적 사용은 금지되어 있으며, 미 에너지부의 보유고를 제외하면 러시아산으로만 조달 가능함.

## ■ 미국 NuScale, 인원 감축 등 사업성 개선 조치 계획 발표

NuScale News Release 2024.01.08., World Nuclear News 2024.01.08., Power Magazine 2024.01.08.

- 2024년 1월 8일 NuScale은 SMR 기술 공급업체로서의 기업 입지 강화 및 성장을 촉진하기 위해 R&D 분야에서 사업화 전환을 위한 계획과 함께 관련 상업적·재정적 조치를 발표함.
  - NuScale이 발표한 전략적 계획에는 SMR 사업 강화와 수익 창출 프로젝트 진전 및 신규 수주 확보와 장기적인 성공을 위한 자사의 포지셔닝이 포함됨.
  - 또한 NuScale의 사업성 개선을 위한 전략적 조치에는 연간 약 5천만 달러(약 666억 9,500만 원)에서 6천만 달러(약 800억 3,400만 원)의 비용 절감을 위한 154명의 인력 감축이 포함됨.
  - 2023년 11월 8일 NuScale은 미국 유타주공공전력공급자연합(UAMPS)과 함께 자사의 77MW급 SMR 6기(총 462MW)를 Idaho 국립연구소 부지에 건설하기로 계획한 CFPP (Carbon Free Power Project)를 비용 증가 문제로 인해 종료하기로 합의 한 바 있음.
  - NuScale의 John Hopkins 대표는 자사의 77MW급 SMR을 빠른 시일 내 보급하기 위해 필요한 작업을 포함한 미래의 투자를 지속하고 있다고 언급함.
    - NuScale의 VOYGR SMR은 미국, 루마니아, 폴란드를 포함한 여러 국가에서 건설을 검토 중임.
  - 한편, NuScale은 2023년 3월 두산에너지빌리티에 CFPP를 위한 첫 번째 모듈의 상부원자로 용 압력용기 생산을 발주한 바 있음.

## ■ 미국 MMR 개발사 Oklo, 개발 중인 Aurora 원자로 부품 공급을 위해 Siemens Energy와 MOU 체결

Oklo News Release 2023.12.19., Nuclear Engineering International 2024.01.02.

- 2023년 12월 19일 미국 초소형모듈원자로(MMR) 개발사 Oklo는 자사가 개발 중인 Aurora (1.5MW, FNR)의 전력변환장치(power conversion system) 회전기기(rotating equipment)의 우선 공급자 및 원자로 설계 지원업체로 독일 Siemens Energy와 양해각서(MOU)를 체결함.
  - Oklo는 초소형 원자로인 Aurora를 개발 중으로, 해당 원자로는 밀폐된 히트파이프(sealed heat pipe)와 수동형 공랭식(air-cooling system) 시스템을 갖춘 실험용 증식로-II(Experimental Breeder Reactor-II)의 기술을 활용함.
  - Oklo는 에너지 기술 분야의 선두 기업인 Siemens Energy와 협력함으로써 증기터빈 발전기 공급과 함께 Aurora의 설계 보완 및 전력변환장치의 설계와 통합을 지원하는 컨설팅을 제공 받을 예정이다.
    - 이번 협약을 바탕으로 Oklo는 Siemens Energy의 비용효율적이고 검증된 부품을 공급 받음으로써 자사 원자로의 보급 확대 및 신뢰성 제고를 통해 깨끗하고 신뢰할 수 있는 비용효율적인 에너지원 필요성을 제시하는 계기가 될 것이라고 전망함.
  - Siemens Energy의 산업용 증기 터빈과 발전기 담당 Tobias Panse 수석 부사장은 선진 원자로로 생산된 청정 전력은 탄소중립에 도달하기 위한 핵심 단계 중 하나로, Oklo의 우선 공급자로서 선진 원자로 보급 및 탄소중립 목표에 더욱 가까워질 수 있는 기회를 제공할 것이라고 밝힘.

## ■ 미 NRC, V.C. Summer 비상발전기 관련 점검 결과 안전상 중요도 낮은 것으로 결론

NRC News Release 2023.12.28., Nuclear Newswire 2024.01.03.

- 2023년 12월 28일 미국 원자력규제위원회(NRC)는 South Carolina 주 Fairfield County의 Jenkinsville 시에 위치한 V.C. Summer 원전(1,006MW, PWR)의 비상발전기 관련 점검 결과 안전기준 준수(White Safety)로 최종 확정했다고 발표함.
  - 2023년 10월 NRC는 V.C. Summer 원전의 반복되는 배관 균열 문제를 지적하면서 전력 손실과 관련된 해당 원전의 비상 상황의 우려를 제기하며 Dominion Energy에 안전 위반행위 예비 경고를 발령한 바 있음.

- 이후 NRC의 점검 회의에서 V.C. Summer 원전의 운영사 Dominion Energy는 비상 발전기가 비상시 6시간 동안 작동 가능하다는 분석 정보를 제공하였으며, NRC는 발전기에 대한 운영사의 추가 정보를 바탕으로 비상발전기 배관 문제의 안전 중요성이 초기에 평가된 것보다 낮다고 결론을 내림.
  - White Safety 점검 결과는 안전상의 중요도가 낮거나 중간 정도임을 뜻함.
  - 다만 NRC는 Dominion Energy가 해당 원전에서 발생한 문제의 원인을 분석하고 동일 문제 재발 방지를 위한 효과적인 시정조치를 이행했는지 확인하기 위해 추가 검사를 실시할 계획을 밝힘.

## 기타 단신

### ■ 캐나다 CNSC, CNL의 방폐물 처분을 위한 천층처분시설 건설 승인

Government of Canada 2024.01.09., World Nuclear News 2024.01.10., Nuclear Engineering International 2024.01.11., Canadian Nuclear Laboratories 최종 검색일 2024.01.15.

- 2024년 1월 9일 캐나다 원자력안전위원회(CNSC)는 Ontario 주에 있는 캐나다 원자력연구소(CNL)의 일부인 Chalk River 연구소의 원자력 연구 및 시범운영 허가서를 개정함으로써 저준위 방사성 폐기물에 대한 천층처분시설(Near-Surface Disposal Facility, NSDF)의 건설을 승인함.
  - CNSC는 2012년 캐나다 환경평가법에 따라 NSDF의 건설이 환경적 악영향을 초래할 가능성이 없다고 결론을 내리고, CNL이 지역사회와의 지속적인 환경평가(EA) 예측을 위한 환경 모니터링을 포함해 후속 모니터링 조치 시행 시 심각한 기상 이변 및 지진 활동과 기후 변화의 영향에 문제가 없다고 판단함.
    - CNSC의 이번 승인은 NSDF 프로젝트 건설에만 적용되며, 해당 시설을 운영하기 위해 별도의 인허가를 신청해야 함.
    - 2017년 CNL은 CNSC에 NSDF 건설을 허가받기 위해 Chalk River 연구소의 원자력 연구 및 시범운영 인허가 관련 개정안을 신청하였으며, 개정된 인허가는 2028년 3월 31일까지 유효함.
  - NSDF 프로젝트는 Ontario 부지에서 65년 동안 운영되면서 나온 과거의 폐기물(legacy waste), 오염된 토지의 복구 폐기물과 Chalk River 기반 시설의 해체 활동 잔해를 포함해 최대 100만m<sup>3</sup>의 저준위 방사성 폐기물을 안전하게 처리하는 것을 목표로 함.
  - 한편 Chalk River 연구소에서 추진 중인 중인 프로젝트에는 SMR 보급, 차세대 의료용 동위원소의 생산 및 보급과 관련된 연구, 환경 개선 프로젝트 등이 있음.

주요단신

유럽  
Europe

## ■ 영국 정부, 2050년까지 최대 24GW 규모의 원전 설비 확보 위한 로드맵 발표

Nucnet, Gov. UK, World Nuclear News 2024.01.11.

■ 2024년 1월 11일 영국 정부는 2050년까지 최대 24GW 규모의 원전 설비를 확보하기 위한 민간 원자력 로드맵 2050(Civil Nuclear: Roadmap to 2050)을 발표함.

- 영국 정부가 발표한 상기 로드맵은 에너지 자립 강화 및 탄소 배출 목표 달성을 위해 70년 만에 수립한 최대 규모의 원자력 확대 계획으로, 신규 원전 건설, 최첨단핵연료 생산, 규제 개혁, 인허가 간소화, 원자력 인력 양성, 공급망 개발 등 에너지 안보 개선을 위한 여러 방안을 제시하고 있음.
  - 영국 정부는 2022년 발표한 에너지 안보 전략을 통해 2050년까지 목표설비규모(원전 설비 기준 7GW → 2050년까지 최대 24GW로 확보)를 제시하고, 이에 필요한 투자결정 시행, 대형원전 및 SMR에 대한 투자계획을 제시한 바 있음.
- 영국 정부는 해당 로드맵을 통해 향후 12개월에 걸쳐 다음과 같은 주요 조치를 취할 예정임.
  - AMR의 상용화를 위한 대체 경로 활성화 및 2025년 이후 건설될 신규 원전 부지 선정 협의 시작
  - 원자력 기술 태스크포스 보고서 및 핵방어 사령부 보고서 발간
  - 대영원자력(GBN) 주도로 SMR 기술개발 지원사업 공모 완료 및 2029년까지 최종투자결정(FID) 위해 노형 발표
  - 이번 의회 임기 말까지 Sizewell C 원전에 대한 최종투자결정(FID) 시행
  - Sizewell C 원전 외에 대형 원전 프로젝트 개발 노력 지속
  - 신규 원자력 프로젝트에 대해 2030년부터 2044년까지 5년마다 1~2기의 신규 원자로 건설 승인 계획
    - ※ 신규 원전 후보 부지(북부 웨일스 Anglesey, 에섹스 Bradwell, 잉글랜드 북동부 Hartlepool 등)
  - AMR 상용화를 위한 대체 경로 논의 후 AMR 공급업체 지원을 위한 정책 개발
  - 원전해체 및 방사성폐기물을 포함한 방사성물질 관리에 관한 협의에 대한 답변 발표

■ 해당 로드맵은 각 분야별로 다음의 세부적인 내용을 담고 있음.

① 부지 및 토지 이용 : 2011년에 국가정책지침(National Policy Statement, NPS)을 발표해 2025년까지 대형 원전(GW 규모) 개발을 위한 8개 부지를 확정하였으나, 2050년까지 최대 24GW 규모의 원전 설비 구축을 위해 대형 원전과 함께 SMR 및 AMR 도입 촉진을 위한 NPS 수립 필요

※ 상기 8개 부지는 Bradwell, Hartlepool, Heysham, Hinkley Point, Oldbury, Sizewell, Sellafield, Wylfa 임.

- 신규 NPS에 대한 협의를 거쳐 부지 선정에 대한 유연한 접근 방식 개발 예정
- 지역사회 참여를 부지 선정 과정의 핵심 요인으로 설정

② 원자력 개발의 규제 간소화 : 규제의 유연성과 최적화를 위해 신규 원전의 일반설계평가(GDA) 완료 기간을 최대 50%까지 단축하면서, 안전·보안 기준(원자력규제청(ONR) 관할) 및 환경 보호 유지(영국 환경청(EA), 웨일스 환경청(NRW), 스코틀랜드 환경보호청 관할) 가능

※ GDA는 ONR과 EA가 공동으로 담당하는 신규 원전 프로젝트 허가 과정의 일부로, 신규 원자로 설계의 안전성, 보안, 환경보호, 폐기물 관리 등을 평가하며 완료까지 통상 48개월이 소요됨.

- 더욱 신속하고, 친환경적이고, 공정하고, 유연한 계획 시스템을 구축해 영국의 미래 인프라 수요를 지원하기 위한 국가주요인프라사업(NSIP) 개혁 단행
- 전략적환경평가(Strategic Environmental Assessment, SEA)와 환경영향평가(Environmental Impact Assessment, EIA)로 구성된 기존 환경 평가 절차를 간소화한 환경결과보고서(Environmental Outcomes Reports, EOR)로 대체 추진

③ 자금조달 모델 : 높은 초기 건설 비용과 긴 건설 기간으로 신규 원자력 개발의 큰 과제 중 하나가 자금조달임을 인지해, 투자자와 개발자가 사용할 수 있는 자금 조달 모델의 적합성에 대해 소통하도록 하고, 원자력손해보충배상협약(Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage, CSC) 가입 의지 표명

- 신규 원자력 프로젝트 사업자는 발전차액정산(CfD) 및 규제자산기반(RAB) 자금조달 모델의 적합성과 관련해 정부와 협의 가능

※ CfD는 민간 투자자가 대형원전의 건설비용을 모두 감수하는 모델이며, RAB는 민간 투자자가 소비자 및 납세자와 건설비용을 분담하는 모델임.

- 원자력손해보상체제(nuclear third party liability) 제도 강화 및 해당 부문의 투자 지원을 위해 원자력손해보충배상협약(CSC) 가입 모색
- 녹색금융체계(Green Financing Framework)상에서 원자력 포함 여부를 협의해 신규 투자 지원을 받도록 할 예정

- ④ 핵연료주기 : 안전한 핵연료 공급을 위해 국내 핵연료주기 역량 개발 계획
- 2030년까지 러시아산 잔여 핵연료 제거 및 우라늄 공급 중단, 이와 더불어 국제 파트너와 협력해 러시아에 대한 국제 의존도 종식 및 탄력적인 동맹 공급망 구축
  - 산업계와 공동으로 최대 3억 파운드(약 5,095억 원)<sup>2)</sup>를 투자해 고순도저농축우라늄(HALEU) 자체 생산 계획(2030년대 초 가동 예정)
  - ※ HALEU(우라늄 235를 5%~20% 농축한 연료)는 현재 개발 중인 대부분의 차세대 원자로 설계에 필요한 첨단 핵연료로 사용됨. 현재 러시아와 중국만이 HALEU 생산 인프라를 갖추고 있음.
  - 영국 내 다른 첨단 핵연료 제조를 위한 기술과 부지 개발을 위해 1,000만 파운드(약 170억 원) 추가 할당
  - 핵연료기금(Nuclear Fuel Fund, NFF) 중 최대 1,000만 파운드(약 170억 원)를 투자하는 핵연료주기 프로젝트(연료 제조 역량 및 전문지식 개발, HALEU 역변환(deconversion) 포함) 이행 촉진
- ⑤ 원자력혁신 및 연구개발 : 다양한 원자력 인프라 보유를 감안해 원자력 역량 개발 및 연구개발 지속 추진
- 2030년대까지 고온가스로(HTGR) 실증 목표 설정
  - 연구·의료용 방사성 핵종 공급을 위한 연구로 및 양성자 공급원(proton source)의 중요성을 인식해 차기 재정운영계획(Spending Review) 수립 전 투자 고려
- ⑥ 해체 및 폐기물 관리 : 원전 관리와 더불어 추가적으로 발생할 방사성폐기물 처리를 위한 전략 추진
- 최대 24GW 규모의 원전에서 발생할 방폐물 수용이 가능한 심지층처분시설(GDF) 건설
  - 원전 해체와 방사성폐기물을 포함한 방사성물질의 관리를 위한 국가 정책 체계 개정보 발표
  - 신규 원전에 적합하고 미래 세대에 해체 비용을 부과하지 않는 해체 프로그램 정책 검토
- ⑦ 미래 원자력 부문 인력 : 국방 및 원자력 부문의 숙련된 근로자 양성을 위해 2023년 출범한 원자력 기술 태스크 포스(Nuclear Skills Taskforce, NST)에 이어 원자력 기술 파이프라인 개발 과제 해결과 다양한 원자력 부문의 인력 확보를 위한 전략 추진
- 원자력 기술 파이프라인 개발을 위해 원자력·국방·교육 부문 담당자와 긴밀한 협력 추진
  - 주요 이해관계자와 협력해 인력 채용 확대 및 미래 지도자 육성, 원자력 부문의 일자리 촉진 및 인지도 개선을 위한 의사소통과 협력, 인력의 다양성 및 원자력 부문 경력의 이점 강화(특히, 사회·경제적 수준이 낮은 지역 대상)

2) 유럽 단신 기사 내용 모두 2024년 1월 19일 환율 기준 적용(1유로=1,454원, 1파운드=1,697원, 1달러=1,336원)

⑧ 원자력 공급망 개발 : 원자력 목표 달성 위해 신규 원전 도입 및 원전 해체 관련 역량을 갖춘 탄력적인 공급망 확보가 필요

- 산업계와의 협력을 통해 진입 장벽 파악 및 공급망 접근 기회 창출에 필요한 정책 개발
- 자국 기업이 국내외에서 더 많은 기회를 가지고 경쟁할 수 있도록 산업계의 혁신적인 작업 방식 개발 및 보급 지원

## ■ 프랑스 정부, 에너지주권법 초안을 통해 신규 EPR2 8기 건설 제안

Actu Environment, Nuclear Engineering International 2024.01.09., Nucnet 2024.01.08./11.

■ Agnes Pannier-Runacher 프랑스 에너지전환부 장관은 프랑스 경제신문 La Tribune Dimanche와의 인터뷰(2024.1.7.)에서 기존에 발표한 6기의 EPR2 외에 8기의 EPR2를 추가 건설하는 것을 제안한 에너지 주권 법안(Projet de loi relatif à la souveraineté énergétique) 초안을 작성했다고 밝힘.

- 2022년 2월 프랑스 정부는 최대 14기의 EPR2 원전 건설(6기 건설 확정 및 추가 8기 증설 검토) 계획을 발표하고, 노르망디 지역 Penly 원전에 2기, 북프랑스 지역 Gravelines 원전에 2기, Bugey 원전에 2기의 EPR2 노형을 적용한 원전 건설 계획을 확정하 바 있음.
- Pannier-Runacher 장관에 따르면 해당 법안은 2035년까지 화석연료 비중 감축(기존 60% → 40%)과 무탄소 전원인 원자력 및 재생에너지 도입을 목적으로 함.
  - 해당 법안은 최소 63GW의 원자력 발전설비용량 유지를 목표로 하며, 2026년까지 최소 9.9GW 규모의 신규 원자로 건설계획을 확정하고 그 이후에 13GW 규모의 신규 원자로 계획을 추가적으로 확정한다는 목표를 제시함.
  - 그러나 제시된 법안에서는 재생에너지(특히 풍력 및 태양광)에 대한 구체적인 목표가 언급되지 않은 상태로, 에너지전환부는 향후 목표를 제시할 계획이라고 밝힘.
- 해당 법안 초안은 내각 투표를 거쳐 다음 달 의회에 제출될 예정으로, Pannier-Runacher 장관은 에너지를 탈탄소화하고 경쟁력 있는 가격으로 전력 공급을 보장하기로 합의한다면 의회에서 합의점을 찾을 수 있을 것으로 전망함.
- 한편, Pannier-Runacher 장관은 1월로 예정된 원자력정책위원회(NPC) 회의에서는 수익 유로가 투입되는 핵연료 재활용 인프라가 논의될 예정이며, 오는 2월 상원에서 프랑스 원자력규제기관인 ASN과 기술 부속기관인 IRSN의 합병 사안이 논의될 예정이라고 덧붙임.

- Pannier-Runacher 장관은 해외 사업에 관한 질문에 대해서는 체코와 인도를 방문할 예정이라고 밝히면서, EDF가 원자로 수출 계약을 체결하기를 희망하는 두 국가이지만 미국 Westinghouse와의 경쟁이 치열하다고 언급함.

## ▣ 핀란드 Fortum, Loviisa 원전 핵연료의 러시아 의존도 저감 방안 제시

Nuclear Engineering International 2024.01.03., BNN 2024.01.05., SB news 2024.01.09.

- 2023년 12월 21일 핀란드 전력기업 Fortum은 러시아산 핵연료 의존 탈피를 목적으로 하는 VVER-440 노형 Loviisa 원전의 핵연료 조달 보고서를 경제고용부에 제출함.
  - 핀란드 정부는 2023년 2월 Fortum이 가동 중인 Loviisa 1·2호기(각 531MW, PWR)에 대해 2050년까지의 계속운전 허가를 승인하면서, 2023년 12월 31일까지 Fortum에 Loviisa 원전의 비러시아산 핵연료 조달 방안을 수립하도록 지시한 바 있음.
    - Loviisa 원전은 핀란드에서 최초로 건설된 원전으로, 1호기는 1977년부터, 2호기는 1980년부터 상업운전을 시작해, 각각 2027년 말과 2030년 말에 운영허가 만료를 앞두고 있었음.
  - Fortum은 상기 보고서를 통해 2027년과 2030년 이후의 VVER-440 노형용 핵연료 조달을 위한 입찰을 시행할 계획을 밝히면서, Westinghouse와 맺은 계약과 핵연료 재고 덕분에 입찰 절차까지 Loviisa 원전에 핵연료를 공급할 수 있다고 언급함.
    - Fortum이 러시아 TVEL과 체결한 핵연료 구매 계약은 각각 2027년 말(1호기)과 2030년 말(2호기)까지 유효함.
    - 2022년 11월 Fortum은 Westinghouse와 Loviisa 1·2호기의 핵연료 개발 및 공급 계약을 체결한 바 있음.
  - Nuclear Engineering International에 따르면, 현재 잠재적인 후보업체로 프랑스 원자력 기업 Framatome이 유력함. Framatome은 VVER-440 노형을 적용한 원전을 가동 중인 헝가리와 최근 핵연료 공급 계약을 체결한 바 있음.
- 한편, 핀란드는 러시아로부터의 에너지 독립을 추진하면서도 러시아산 핵연료가 EU의 대러 제재 대상이 아니라는 점을 밝히면서, 핵연료 제재에 관한 관련 지침이 발표되기 전까지 러시아 핵연료의 이송을 지속하기로 결정함.
  - 핀란드 방사선·원자력안전청(STUK)에 따르면 러시아산 핵연료는 2022년 가을에 이송을 시작해, 2023년에 여러 차례 이송되었으며, 가장 최근 이송은 2023년 12월에 이루어짐.



- STUK는 작년 12월 러시아와 핀란드 사이의 국경이 폐쇄된 상황에서의 핵연료 이송 방식에 대한 자세한 내용은 밝히지 않았지만, 핀란드 동부의 Vainikkala 검문소는 철도를 이용한 운송이 계속되고 있으며 해상 운송 방식도 있다고 언급함.

## ■ 루마니아, Cernavoda 삼중수소제거설비 건설 위해 유럽투자은행과 대출 계약 체결

Nuclearelectrica 2023.12.22., World Nuclear News 2024.01.05.

- 2023년 12월 22일 루마니아 원전운영사 Nuclearelectrica는 Cernavoda 원전에 유럽 최초로 삼중수소제거설비를 건설하기 위해 EU 정책금융기관인 유럽투자은행(European Investment Bank, EIB)과 1억 4,500만 유로(약 2,110억 원)의 대출 계약을 체결함.
  - 삼중수소제거설비는 원전의 냉각재와 감속재로 사용 중인 중수에서 촉매반응을 통해 삼중수소를 포집 및 처리해 재활용할 수 있도록 안전한 특수 용기에 저장하는 설비로, 방사성폐기물의 양을 대폭 줄이면서 환경 보호 및 주민·작업종사자 안전을 강화할 수 있음.
    - Nuclearelectrica는 해당 설비가 건설될 경우 원전의 정기적인 유지보수, 설비개선, 해체가 보다 쉽고 안전하며 효율적으로 수행될 수 있다고 밝힘.
  - Nuclearelectrica에 따르면, 루마니아 과학 연구·기술 개발 기관인 루마니아 국립 극저온 및 동위원소 기술 연구소가 개발한 기술이 적용되는 Cernavoda 삼중수소제거설비는 세계에서 세 번째이자 유럽 최초의 설비가 될 것이며, 루마니아는 해당 설비를 활용해 향후 핵융합로의 연료로서 삼중수소의 생산 및 수출국으로의 입지를 굳힐 수 있음.
    - 삼중수소제거설비에는 액상 단계 동위원소 분리(liquid phase isotopic separation), 액화 증류(cryogenic distillation) 및 고진공 작동(high-vacuum operation) 등 여러 첨단 기술이 사용될 예정임.
  - 현재 루마니아는 Cernavoda 1·2호기(각 706MW·705MW, PHWR)를 가동 중이며, Cernavoda 3·4호기(각 706MW·705MW, PHWR) 건설 작업을 진행 중임.
    - Cernavoda 1호기는 1996년, Cernavoda 2호기는 2007년에 상업운전을 시작함. Cernavoda 1호기(설계수명 30년)는 설비개선 작업을 통해 2060년까지 추가 30년 가동될 예정임.
- 2023년 6월 한국수력원자력은 Nuclearelectrica와 2억 달러(약 2,674억 원) 규모의 Cernavoda 삼중수소제거설비 EPC(설계, 조달, 건설) 계약을 체결한 바 있음. 해당 사업 완료 일정은 50개월로 예상됨<sup>3)</sup>.

- 한수원의 월성발전소는 이미 삼중수소제거설비를 가동 중에 있음.

## ■ 러시아 원자력규제기관, Leningrad 7·8호기 건설허가 발급

World Nuclear News, Rosatom 2024.01.09.

- 2024년 1월 9일 러시아 환경기술원자력안전청인 Rostekhnadzor는 Rosatom에 VVER 1200 노형이 적용된 Leningrad 7·8호기(Leningrad-II 3·4호기, 각 1,170MW PWR 2기)의 건설 허가를 발급함.
  - Rosatom은 해당 허가의 유효기간이 15년이라고 밝히며, 몇 년 내로 약 150개의 건물과 구조물을 건설해, Leningrad 7·8호기의 연료장전(각각 2029년과 2031년)과 상업운전(각각 2030년과 2032년)을 시작할 계획이라고 설명함.
    - 2023년 6월 Rosatom은 원전운영사인 Rosenergoatom에 Leningrad 7·8호기 건설의 1단계 착수 허가를 발급하였고, 같은 해 9월 Leningrad 7호기의 원자로계통에 대한 기초 굴착공사를 완료함.
  - Leningrad 원전측은 두 호기 건설이 관련 원자력 규범 및 규정을 준수해 시행될 예정이며, 작업량, 기자재 품질, 설계 작업 문서 등이 전문가에 의해 감독될 것이라고 밝힘.
  - 현재 Leningrad 원전은 3·4호기(각 1,000MW, RBMK 2기)와 5·6호기(Leningrad-II 1·2호기, 각 1,188MW, PWR)를 가동 중임.
    - Leningrad 5·6호기는 RBMK-1000 노형이 적용된 Leningrad 1·2호기(각 1,000MW, LWGR)를 교체한 것임. Leningrad 1호기는 1974년 11월 상업운전 개시 44년 만인 2018년 12월 영구정지되었으며, 2호기는 1976년 상업운전에 들어가 2020년 11월에 영구정지됨.

## 기타 단신

## EDF Energy, 영국 5개 원전의 계속운전 위한 약 2.2조 원 규모 투자 계획 발표

Nuclear Engineering International 2024.01.09.

- 2024년 1월 9일 영국 원전운영사 EDF Energy는 전력 공급 안정성을 위해 가동 중인 5개 원전에 2024~2026년 동안 13억 파운드(약 2.2조 원)를 추가로 투자한다는 계획을 발표함.
  - EDF는 이번 투자금을 포함해 2009년부터 지금까지 영국 원전 운영에 총 90억 파운드(약 16조 원)가 투입되었다고 밝힘.
  - 현재 EDF는 5개 원전(Heysham A, Hartlepool A, Torness, Heysham B(AGR), Sizewell B(PWR))을 가동 중이며, 3개의 원전(Hunterston B, Hinkley Point B, Dungeness B)을 해체 중에 있음.
  - EDF는 검사 및 규제기관의 승인을 전제로 4개의 AGR 원전(Heysham A, Hartlepool A, Torness, Heysham B)의 계속운전을 목표로 하고 있으며 올해 말 최종결정을 내릴 예정임.
    - EDF Energy는 2024년 3월에 영구 정지될 예정이었던 Hartlepool A 원전 및 Heysham A 원전을 2026년 3월까지 추가로 2년간 계속운전을 시행할 계획이며, Heysham B와 Torness이 경우 2028년 3월까지 계속운전을 시행할 예정임.
    - Sizewell B 원전의 경우 2055년까지 20년 계속운전을 시행할 계획임.

## EDF Energy, 영국 Hinkley Point C 원전 염습지 조성 계획 수립

World Nuclear News, EDF Energy 2024.01.04.

- 2024년 1월 4일 영국 원전운영사 EDF Energy는 잉글랜드 남서부의 Somerset주에 위치한 Hinkley Point C(HPC) 신규 원전(각 1,720MW, PWR 2기) 인근 Parrett 강에 3,237,485㎡ 이상의 염습지(saltmarsh)를 조성하는 계획을 수립함.
  - 해당 계획은 음향을 이용한 어류 차단 시스템 구축에 대한 대안으로 영국 비부처공공기관인 Natural England, 웨일스 환경청(NRW), 영국 환경청(EA)과 함께 개발 중임.

- 음향을 이용한 어류 차단 시스템은 280개의 스피커를 사용해 HPC 원전 가동기간(60년) 동안 지속적으로 점보제트기보다 더 큰 소음을 발생시키는 방식임.
- EDF Energy는 제안된 염습지가 어류와 동물을 위한 신규 서식지 조성, 지역 수질 개선, 홍수 예방과 같은 생물다양성 증가 및 보호에 도움이 될 것이라고 밝힘.
- HPC 원전의 신규 서식지 조성 및 기타 변경 사항(사용후핵연료 저장 방식 변경 포함)은 2024년 1월 9일에 시행되는 공개 협의에 포함될 예정임.
- HPC 원전은 20년 만에 영국에 건설되는 신규 원전으로 영국 전체 전력의 약 7%를 공급할 예정임. 1호기(1,720MW, PWR)는 2027년에, 2호기(1,720MW, PWR)는 2028년 전력망에 연결될 예정임.

## ■ 네덜란드 Zeeland주, 연방정부에 신규 원전 건설을 위한 전제 조건 제시

Binnenlands Bestuur 2023.12.20, UxWeekly 2024.01.01.

- 2023년 12월 21일 네덜란드 통신사 ANP 보도에 따르면 Zeeland 주정부는 가동 중인 Borssele 원전(515MW, PWR) 부지에 신규 원자로 2기 건설을 위한 전제 조건을 연방정부에 제시함.
  - Zeeland 주정부가 제시한 전제 조건은 기존 원전과 Borssele 마을 사이에 위치한 녹지대 (Sloerland) 유지, 신규 냉각탑과 고압 송전철탑 설치 불허, 작업 중 발생할 과도한 소음이나 교통량을 피하기 위한 완충 장치 마련, 신규 원자로 건설 정보를 제공할 안내소 설치 등임.
    - 신규 원전 건설 장소와 시기는 연방정부가 최종적으로 결정하지만, 주정부는 요청 사항이 반영되지 않을 경우, 연방정부의 신규 원전 건설 계획을 저지할 가능성이 있음.
  - 또한, Jo-Annes de Bat Zeeland 주정부 부총리는 신규 원자로 건설 사업의 신속화를 위해 연방정부가 전체 건설 과정을 감독할 지역 담당자를 임명할 것을 촉구함.
  - 네덜란드 정부는 온실가스 감축 목표 달성을 위해 Borssele 원전 계속운전 시행 결정 및 신규 원전 2기 건설 자금 50억 유로(약 7조 원) 확보(2021년), 2035년 완공을 목표로 제3세대+ 신규 원전(1,000~1,650MW, LWR) 2기 건설 계획 발표 및 후보부지(Borssele 원전) 결정(2022년)을 진행한 바 있음.
    - 현재 네덜란드 정부는 신규 원자로 2기 건설을 위해 한국수력원자력, Westinghouse, EDF와 협의 중인 것으로 알려짐. 네덜란드 정부는 2025년에 최종 원자로 공급업체를 선정해 2030년대 중반에 신규 원전을 가동할 계획임.

## ■ 폴란드 원자력규제청, NuScale SMR 설계 자국 규제조건 충족 확인

World Nuclear News 2024.01.02.

- 2023년 12월 22일 폴란드 원자력청(PAA)은 자국 광산·제련업체 KGHM가 2022년 7월 제출한 미국 NuScale의 NPM-20(77MW) SMR 설계 검토서를 평가한 후, 해당 노형 설계가 폴란드 원자력안전 및 방사선방호 표준을 준수한다는 일반 의견을 발표함.
  - PAA는 원자로 제어실, 원자로 노심, 부속 설비(전력 공급 계통, 명령 및 제어 계통, 화재 방지 계통, 원자로 냉각 계통, 보조 계통), 방사성폐기물 및 사용후핵연료 관리, 원자로 격납건물 등의 설계에 관련된 가정(assumption)을 평가했으며, SMR의 설계 및 운영 측면 등도 분석함.
    - PAA의 일반 의견은 사전 인허가 절차의 일환으로 원자력안전 및 방사선방호 사안에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 설계·기술·구성 측면 방식과 투자자가 수립한 계획에 반영이 가능함.
  - PAA의 결론은 폴란드에 건설될 NuScale SMR의 표준 및 상세 설계 단계에서 반영될 예정임.
    - KGHM은 2023년 7월 폴란드 정부로부터 NuScale의 VOYGR SMR 6기(총 462MW) 건설에 대한 공식 승인을 취득한 바 있으며, 향후 부지·건설 허가 등 추가 인허가 신청서를 제출할 계획임.
  - 한편, PAA는 2023년 5월 SMR 개발사인 Orlen Synthos Green Energy(OSGE)가 2022년 7월에 제출한 BWRX-300 SMR 설계검토서 평가 결과 해당 노형이 자국 원자력 안전 및 방사선방호 요건을 충족한다는 검토 의견을 발표한 바 있음.

## ■ 러시아 원자력규제기관, Balakovo 4호기 계속운전 승인

UxWeekly 2024.01.01.

- 2023년 12월 22일 러시아 환경기술원자력안전청인 Rostekhnadzor은 2051년까지Balakovo 4호기(1,000 MW, PWR)의 계속운전을 승인함.
  - 1993년 12월에 상업운전을 시작한 Balakovo 4호기의 계속운전 승인 유효기간은 28년임.
  - Balavoko 원전은 각각 1985년, 1987년, 1988년, 1993년에 가동을 시작한 4기의 VVER-1000 노형으로 구성됨.

- 2016년 Balakovo 1호기는 설비개선 작업을 완료하고 2045년까지 운영 허가를 받았음.
- Rostekhnadzor의 이번 승인은 원자력 개발을 위한 연방 목표 프로그램의 일환으로 시행됨.
- Balakovo 원전측은 해당 원자로의 설계가 최신 기준과 요건을 충족하고 있으며, 기자재의 기술적 조건이 충족되어 계속운전 동안 안전 운전이 가능하다고 강조함.

주요단신

아시아 Asia



## ■ 중국 국무원, Taipingling 3·4호기 및 Jinqimen 1·2호기 신규 원전 건설 프로젝트 승인

Yicai Global 2024.01.02., World Nuclear News 2024.01.03., Nuclear Engineering International 2024.01.03., Nucleon 2024.01.03., Power Technology 2024.01.04., Global Construction Review 2024.01.04.

- 2023년 12월 29일 중국 국무원은 남부 Guangdong 지역에 위치하게 될 Taipingling 3·4호기와 동부 Zhejiang 지역의 Jinqimen 1·2호기 건설 프로젝트를 승인함.
  - 이번 신규 원자로 4기 건설은 중국이 2021년 3월 발표한 제14차 5개년 계획에 따라 2025년까지 원전 설비용량을 70GW로 확대하기 위한 계획의 일환임.
    - 4기 모두 HPR 1000(Hualong One) 노형을 적용함.
  - 중국 국무원에 따르면 Taipingling 3·4호기의 건설비용은 약 56억 달러(약 7조 4,726억 원)<sup>4)</sup>가 소요될 것이며, 호기당 발전용량은 1,209MW로 알려짐.
    - Taipingling 1·2호기는 각각 2019년 12월 26일과 2020년 10월 15일에 착공하였으며, 1호기는 2025년에 상업운전이 시작될 예정이며 2호기는 2026년에 상업운전 시작을 목표로 함.
  - 2023년 6월 중국 생태환경부(Ministry of Ecology and Environment)는 Jinqimen 1·2호기의 종합안전성평가(Comprehensive Safety Assessment Review)를 완료함으로써 건설 진행을 승인하고, 1호기는 2028년까지 상업운전을 시작하는 것을 목표로 하고 있음.
    - Jinqimen 1·2호기의 구체적인 프로젝트 비용은 제시되지 않았으나, 통상적으로 Hualong One 호기 당 약 28억 달러(약 3조 7,374억 원)의 비용이 소요되는 것으로 알려짐.
  - 한편 2023년 8월 중국 국무원은 총 6기의 신규 원자로 건설을 승인한 바 있어, 이번 4기 건설을 포함하면 2023년에 총 10기의 신규 원자로 건설을 승인함.

4) 아시아 단신 기사 내용(일본 제외) 모두 2024년 1월 19일 환율 기준 적용(1달러=1,335원)

- 중국 국무원은 2023년 8월에 Fujian 지역에 Nindge 5·6호기와 Shandong 지역에 Shidaowan 1·2호기, 그리고 Liaoning 지역에 Xudabao 1·2호기 등 총 투자액 168억 달러(약 22조 4,179억 원) 규모의 신규 원자로 6기 건설을 승인함.

## ■ 인도 외교부, 러시아와 Kudankulam 7·8호기 건설을 위한 협정 서명

Business Standard 2014.12.12., World Nuclear News 2024.01.03., Nuclear Engineering International 2024.01.03.

### ■ 2023년 12월 25일 인도 외교부 Subrahmanyam Jaishankar 장관은 러시아 Denis Manturov 부총리와의 경제 협력 회담에서 Kudankulam 7·8호기 건설을 위한 협정에 서명함.

- Kudankulam 7·8호기는 러시아 VVER 노형의 최신 버전인 1,200MW급 3세대 원자로 AES-2006을 적용함.
- Kudankulam 원전은 인도 Tamil Nadu 지역에 위치하고 있으며, 1~6호기(총 6,000MW, PWR 6기)는 러시아의 VVER-1000 노형을 적용하여 2002년에 건설을 시작해 1·2호기가 각각 2014년 12월 31일, 2017년 3월 31일에 상업운전을 시작함.
  - Kudankulam 원전 사업은 양국의 정부가 1988년 11월에 체결한 협정을 바탕으로 함.
  - 인도 과학기술부의 Jitendra Singh 장관에 따르면 3호기와 4호기는 2017년에 착공되어 건설이 진행 중으로 2023년 말까지 완공을 예상하며, 해당 원전 5호기와 6호기는 2021년에 착공되어 2027년에 완공 후 상업운전을 시작할 것으로 예상됨.
- 인도 Jaishankar 장관은 러시아가 자국의 원전 사업뿐만이 아니라 원자력, 안보, 우주 등의 분야에서 신뢰성이 높은 협력 국가라고 밝힘.
  - 2014년 12월 양국은 인도의 증가하는 에너지 수요 충족을 위해 총 12개의 신규 원자로를 20년 동안 건설하기로 합의한 바 있음.
  - 인도와 러시아 교역 규모는 2년 연속 증가 중으로 현재 500억 달러(약 66조 7,350억 원)로 급증하였으며, 우크라이나 전쟁 이후 서방 제재에도 불구하고 인도는 러시아 원유를 대량 수입함.
- 한편 인도 현지 언론에 따르면 인도와 러시아는 SMR 분야에서의 협력도 논의했으며, 러시아가 75~300MW 용량의 SMR 개발을 위한 기술 공유 의지를 밝힘.



## ■ 카자흐스탄 Kazatomprom, 황산 공급 불안으로 우라늄 정광 생산 차질 전망

Kazatomprom News Release 2024.01.12., World Nuclear News 2024.01.12., Nucnet 2024.01.12.

- 2024년 1월 12일 세계 최대 우라늄 채굴기업이자 카자흐스탄 국영 기업인 Kazatomprom은 2024년 인도 의무(delivery obligations)를 준수할 것이나, 황산의 가용성 문제와 새로 개발된 광상(deposits)에서의 건설 작업 지연 등의 요인으로 인해 2024년 우라늄 정광 생산 지침을 조정할 것으로 예상함.
  - 2022년 8월 Kazatomprom 이사회는 2024년 우라늄 생산량을 지하자원 사용계약 (Subsoil Use Agreements) 대비 90%로 늘리겠다는 Kazatomprom의 계획을 승인함.
    - Kazatomprom은 당시 2분기 보고서에서 2024년 우라늄 채광량을 2천 톤에서 3천 톤 가량 늘릴 예정이라고 밝힌 바 있음.
  - 현재 Kazatomprom의 운영 성과에 대한 구체적인 영향 평가가 진행 중이며, 늦어도 2024년 2월 1일까지 2023년 4분기 우라늄 거래량과 함께 2024년의 우라늄 생산 지침(guidance)과 관련한 업데이트 내용이 발표될 예정임.
  - 그러나, Kazatomprom에 따르면 우라늄 원광에서 우라늄을 추출하는데 필요한 황산 공급 부족으로 인해 대체 황산 공급 방안을 추진 중이나, 현재 예상으로는 2024년 목표하는 기준치만큼의 생산량 공급이 어려울 것임.
    - 구체적으로 Kazatomprom은 농업 및 산업 부문에서의 황산 수요 증가로 2024년에 필요한 황산보다 더 적은 양의 황산을 확보했다고 덧붙임.
  - Kazatomprom은 황산 공급 부족으로 우라늄 생산이 기대치에 못 미칠 경우 2025년의 생산에도 차질이 지속될 수 있을 것이라고 전망함.
    - 2023년 9월 Kazatomprom은 2025년 우라늄 생산 계획 발표를 통해 2025년 우라늄 채광 목표량은 약 30,500tU에서 31,500tU에 이를 것으로 예상한 바 있음.

## ■ 일본 JAEA, 로봇 활용한 원전 해체 작업 경진대회 개최

NHK 2023.12.23., 廃炉創造ロボコン 최종 검색 2024.01.15.

- 2023년 12월 23일 일본원자력연구개발기구(Japan Atomic Energy Agency) 등은 후쿠시마 현에서 학생들이 제작한 로봇의 해체 작업 능력을 비교하는 경진대회를 개최함.

- 해당 경진대회는 문부과학성의 원자력과학기술·인재육성추진사업의 일환으로 후쿠시마 원전 해체 작업에 대한 젊은 층의 관심을 유도하고 로봇제작을 통해 학생들의 창의력·과제해결 능력을 향상하고자 2016년부터 매년 개최되어 옴.
  - 이번 대회에는 오사카, 홋카이도 등 14곳의 고등전문학교\*에서 총 17팀이 참가함.
  - ※ 고등전문학교는 고등학교와 전문대학과정이 통합된 5년제 학교 형태임.
- 대회에서는 원격으로 로봇을 제어해 후쿠시마 제1원전 부지 내 고선량 구역에서의 제약 작업을 가정하여 경기를 진행함.
  - 경진대회에 참가한 팀들은 원격으로 로봇을 조정해 오염 구역으로 가정된 높이 2,700mm, 폭 1,000mm의 벽 상부를 빈틈없이 칠해야 하며, 이를 통해 각 로봇의 작업 정밀도를 평가함.
  - 또한, 참가팀들은 자신의 로봇을 단차 등의 장애물이 설치되어 있는 경로를 따라 칠 작업 장소까지 이동시키며, 작업 후 출발 위치로 복귀시켜야 함.

## 기타 단신

## ■ 일본 시카 원전 지진 이후 현황

毎日新聞 2024.01.12. 東京新聞 2024.01.13., 中日新聞 2024.01.14., 共同通信, 産経新聞 2024.01.15.

- 1월 12일 호쿠리쿠전력은 1월 1일 노토반도 지진 발생 후 시카원전(1호기 540MW·BWR, 2호기 1,206MW·ABWR)의 완전한 복구에 최소 반년 이상 소요될 것으로 전망함.
  - 해당 원전은 지진 발생 당시 정지 중이었지만 1·2호기의 변압기 배관이 파손되어 외부 전원 5개 회선 중 2개 회선이 사용이 불가능해졌으며, 변압기에서는 약 2만 리터의 기름이 누유되어 그중 일부는 바다에 유출됨.
    - 호쿠리쿠 전력은 처음 누유 양을 약 3천 500리터로 발표했으나, 이후 약 2만 리터로 정정함. 부지 내에 도달한 지진해일도 처음에는 수위계 변동이 없었다고 설명했지만 이후 1~3m의 지진해일이 원전 부지 내에 도달한 것으로 정정한 바 있음.
- 한편, 1월 10일 원자력규제위원회 위원장은 현재 재가동을 위한 적합성 심사 중인 시카 2호기에 대해 단층 확정예 연 단위의 기간이 필요하므로 심사는 그 이상의 기간이 소요될 것으로 전망함.

## ■ 신한울 2호기 전력망 연결

한수원 보도자료 2023.12.22., Nuclear Engineering International 2024.01.04.

- 2023년 12월 21일 한국수력원자력(이하 ‘한수원’)은 국내 자체 기술로 개발한 APR-1400 노형을 적용한 신한울 2호기가 전력망에 연결되었다고 발표함.
  - 신한울 2호기(1,400MW, PWR)는 2013년 6월 19일에 착공하여 2023년 9월 20일 연료 장전이 완료된 이후 같은 해 12월 6일 최초임계에 도달함.
    - 해당 원자로는 2023년 9월 7일 원자력안전위원회로부터 운영허가를 받음.
  - 이번 전력망 연결은 연료 장전 완료 이후 진행된 고온기능시험 등 각종 시운전 시험을 수행한 결과임.
  - 한수원에 따르면 신한울 2호기는 시운전 기간 동안 경북도 연간 가정용 전력소비량의 27.2%에 해당하는 시간당 평균 약 70만kWh의 전력을 생산해 겨울철 전력수급에 기여할 수 있을 것임.

## ■ HD한국조선해양, 한전기술·Zodiac·Lloyd's Register와 원자력 추진선 공동개발 위한 MOU 체결

Offshore Energy 2023.12.19., World Nuclear News 2024.01.03., Nuclear Engineering International 2024.01.05.

- 2023년 12월 19일 HD한국조선해양은 경기도 성남에 위치한 HD현대 글로벌 R&D센터에서 영국 해운사 Zodiac Maritime(이하 'Zodiac'), 영국 로이드선급협회(Lloyd's Register), 한국전력 기술(KEPCO E&C, 이하 '한전기술')과 원자력 추진용 선박 설계 개발을 포함한 컨테이너선 및 벌크선 연구를 위한 양해각서(MOU)를 체결함.
  - 공동 개발 프로젝트에 따라 HD한국조선해양과 한전기술은 미래 선박 및 원자로 설계를 제공하고 로이드 선급협회는 안전운전과 규제준수 모델에 대한 규칙 요구사항을 평가하며, Zodiac은 원자력 추진선 사양과 항해 고려사항을 평가할 수 있도록 지원하는 것을 목표로 함.
    - 탄소 배출이 없는 원자력 추진선은 '탄소중립 선박'보다 절반 이하의 수명주기비용(Life Cycle Cost)으로 설계하는 것이 가장 중요한 목표임.
  - 이번 MOU 체결은 해운업계가 에너지 전환과 탈탄소화 목표에서 원자력을 미래 해양 연료로 검토하는 가운데 이뤄짐.
    - MOU를 바탕으로 해당 기업들은 기존의 육상 원자력 기술을 선박에 적용하는 방법 및 원자력 추진과 관련된 과제를 해결하기 위해 노력할 것임.
  - 2023년 10월 4일 HD한국조선해양과 한전기술은 미국선급협회(ABS)로부터 양사가 공동으로 개발한 부유식 SMR 설계에 대한 기본승인(Approval in Principle, AIP)을 획득한 바 있음.
    - 부유식 SMR(240MW)은 해상 발전 역할을 목적으로 설계되었으며, 4기의 SMR(각 60MW)을 탑재함.

## ■ 중국 국영조선사, 세계 최대 원자력 추진 컨테이너선 설계 계획 공개

Nucnet 2024.01.05.

- 2024년 1월 5일 중국 국영조선사(CSSC) 산하 Jiangnan Shipyard는 토륨 기반의 4세대 용융 염원자로로 가동되는 세계 최대 규모 핵추진 컨테이너선(KUN-24AP) 설계 계획을 밝힘.

- CSSC에 따르면 해당 선박은 2만 4천개의 대형 컨테이너 탑재가 가능한 규모로 4세대 용융염원자로를 컨테이너선에 달아 증기터빈을 가동시키는 시스템으로 배출가스가 적어 탄소중립에 달성할 수 있도록 설계됨.
  - CSSC는 현재 군함에 동력을 공급하기 위해 사용되는 우라늄 원자로보다 더 안전하고 효율적일 것이라고 덧붙임.
- CSSC는 원자로가 고온과 저압에서 작동하기 때문에 안전성이 높아 노심용융이 발생하지 않는 안전성이 있으며 토륨의 풍부한 공급이 가능해 해운업 및 산업에 비용 효율적인 저탄소 대안이 될 수 있을 것으로 전망함.
- 참고로, 2021년 8월 중국은 북부에 있는 Gobi Desert에 첫 번째 실험용 토륨 기반 원자로 완공을 발표했으며, 2023년 6월 중국은 해당 원자로의 운영허가를 발급함.

## ■ 인도, 개발 중인 고속실증로와 연계할 연료재처리시설 완공

Business Standard 2024.01.03., World Nuclear News 2024.01.04.

- 2024년 1월 2일 인도 Narendra Modi 총리는 인도 Tamil Nadu 주 Chengalpattu 지역 Kalpakkam에 위치한 Indira Gandhi 원자력 연구센터(IGCAR)에서 열린 고속실증로 연료재처리시설(Demonstration Fast Reactor Fuel Reprocessing Plant, 이하 'DFRP') 공식 개관식에 참석함.
  - 인도 원자력청에 따르면 DFRP 개발에 약 4,800만 달러(약 640억 9,920만 원)가 투자되었으며, 고속로에서 나오는 탄화물과 산화물 사용후핵연료를 모두 처리할 수 있는 세계 최초의 산업 규모 시설임.
  - 인도는 세계 최대의 토륨 매장량(약 107만 톤)의 이점을 최대한 활용하기 위해 고속로를 적극적으로 개발해 왔으며, 이번 DFRP의 건설은 이의 핵연료주기 완성의 일환임.
    - IGCAR는 1985년부터 시험용 고속증식로(Fast Breeder Test Reactor, FBTR)를 시험가동해 왔으며, 2004년 10월 인도는 자체적으로 개발한 500MW 규모의 고속증식로(Prototype Fast Breeder Reactor, PFBR)의 건설에 착수하여 2010년 9월에 완공을 계획했으나 수차례 일정이 지연되면서 2024년 12월 가동을 목표로 함.
    - 2017년 IGCAR는 인도 건설사 Hindustan Construction에 PFBR의 사용후핵연료 재처리를 위한 고속로 핵연료주기시설(Fast Reactor Fuel Cycle Facility, FRFCF) 건설 계약을 76억 4천만 달러(약 10조 1,963억 원)에 발주함.

World Nuclear Power Market  
**INSIGHT**



**세계원전시장  
인사이드**