

2024 하반기 유럽 선진원자력 시스템 및 방사성폐기물 관리 연구·정책 동향

작성자: 김경원(원자력 분야 KERCO 서포터즈)

본 2024 하반기 유럽 선진원자력 시스템 및 폐기물 관리 연구 정책 동향은 유럽 국가를 포함한 전세계적인 차세대 원자력에너지와 방사성폐기물 관리에 관한 2024년 하반기 연구 및 정책 현황을 살펴보았다.

소형 모듈식 원자로(small module reactor, SMR), 용융염 원자로(molten salt reactor, MSR)를 비롯한 선진 원자력 시스템에 관한 연구를 비롯해 **새로운 핵 연료 및 기존 사용후핵연료 처분 관련 연구**가 활발하게 이루어졌다. 또한 양 국가 및 다국가 간 원자력 에너지 협력 프로젝트가 활발하게 이루어져 전 세계적으로 협력하여 선진 원자력 에너지를 확대하고자 하는 움직임이 확산되었다. 세계 **최초 사용후핵연료 저장소인 핀란드 Onkalo(온칼로)**의 성공적인 시범 운영 현황을 통해 사용후핵연료 저장소, 처분장에 대한 안정성을 확보하여 향후 발생하는 사용후핵연료 및 고준위폐기물에 대한 처분에도 긍정적인 바람이 불 것으로 예상된다.

2011년 후쿠시마 원전 사고 이후 원자력에너지를 위험한 에너지로 여기고 반대하는 분위기였지만, **안정적인 전력 공급 및 저탄소, 탈산소, 친환경 에너지**의 필요성으로 원자력에너지를 찬성하는 추세이다. 이에 따라 차세대 원자력 에너지를 지원하고 운영 중인 원전의 수명을 연장하려는 국가들의 지원 및 정책을 통해 선진원자력 에너지 및 방사성폐기물 관리 분야가 더 빠르게 성장할 수 있을 것으로 전망한다.

<Key words> 원자력에너지, 소형 모듈식 원자로(SMR) 용융염 원자로(MSR), 사용후핵연료, 방사성폐기물

① 유럽의 선진원자력 시스템 및 방사성폐기물 관리 연구 동향

□ 선진원자력 시스템 연구 동향

- 소형 모듈식 원자로(small module reactor, SMR)
 - (유럽) 유럽 위원회에서 SMR 개발, 지원 및 상업화를 목표로 납냉각 고속로 2개를 포함한 9개의 SMR 연구 과제를 선정하여 European BWRX-300 SMR(OSGE), Rolls-Royce SMR(Rolls-Royce SMR Ltd), NuScale VOYGR SMR(RoPower

- Nuclear SA), Thorizon One 프로젝트(Thorizon) 등 SMR을 지원하는 프로젝트를 구성¹⁾
- (체코) 체코 원자력 발전소 운영사인 ČEZ가 SMR에 대한 공급업체 선정을 위한 보안 협정을 체코 정부와 체결, 기술 공급업체에 대한 옵션을 설정하고, 2030년 -2040년 운영을 목표로 45개의 부지 선정 및 투자 모델을 구축²⁾
- (영국) Great British Nuclear에서 영국 SMR 프로그램으로써 GE, Hitachi, Holtec, Rolls-Royce SMR, Westinghouse 업체의 SMR을 평가하고 심사하는 협상을 시작하였으며, 투자 결정을 2029년까지 최종 투자 결정을 할 것으로 추진³⁾
- (한국) 한국수력원자력 KHNP 중앙연구소에서 i-SMR의 운전 적합성을 검증하기 위한 시뮬레이터 초기 버전을 구축하고 표준 설계를 2025년 12월까지 진행하고 업데이트 작업을 진행해 2027년 상반기에 시뮬레이터를 완성하는 것을 목표로 개발 진행⁴⁾
- 용융염 원자로(Molten Salt Reactor, MSR)
 - (덴마크) Copenhagen Atomics와 스위스 Paul Scherrer Institute 간 협력 연구 계약을 체결하고 Onion core 원자로 설계를 위한 실험을 진행하여 토륨 용융염 원자로의 설계, 건설, 허가, 운영 및 해체에 있어 검증을 위한 데이터를 확보할 예정⁵⁾

□ 방사성폐기물 관리 및 핵연료 연구 동향

- (독일) 핵연료에 대한 크누센 방출 질량 분석 장비 구축⁶⁾
 - 카를스루에(Karlsruhe)에 핵연료를 사용할 수 있는 크누센 방출 질량 분석 (Knudsen Effusion Mass Spectrometry, KEMS) 장비를 구축하여 핵분열 생성물의 거동을 연구
 - 정상 조건, 사고 조건에서의 핵연료, 핵분열 생성물의 거동을 평가하고 원전 안전 평가 및 원자로 설계에 필요한 데이터 및 전문 지식을 제공하고 차세대 핵연료 및 사용후핵연료의 처리를 설계하여 사용후핵연료 관리를 개선하는 자료로 활용
 - 소형 모듈식 원자로(SMR)의 개발에 있어 용융염을 이용한 핵연료의 성능 및 안전성을 입증하는 자료를 기반으로 향후 차세대 원전에 관한 법령 및 규제에 필요한 정보를 제공
- (핀란드) 온칼로(Onkalo) 사용후핵연료 저장소 시범 운영 시작⁷⁾⁸⁾⁹⁾
 - 핀란드 폐기물 관리 회사인 포시바(Posiva)에서 사용후핵연료 저장소에 폐기용

1) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/first-smr-projects-selected-by-european-industrial-alliance>
 2) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/cez-czech-government-agreement-helps-pave-way-for>
 3) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/uk-smr-negotiations-begin-with-ge-hitachi-holtec-rolls-royce-smr-and-westinghouse>
 4) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/simulator-launched-for-development-of-korea-s-i-sm>
 5) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/copenhagen-atomics-enlists-psi-to-validate-reactor>
 6) https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/how-testing-materials-high-temperatures-contributes-nuclear-safety-and-carbon-free-future-2024-09-06_en
 7) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/trial-run-at-finnish-repository-starts>
 8) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/successful-start-to-trial-run-at-finnish-repository>
 9) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/test-elements-used-in-trial-run-of-finnish-repository>

캐니스터를 설치하는 시범 운영 시작

- 430m 깊이의 기반암에서 철-구리 캐니스터, 벤토나이트 완충재, 점토 매립재, 암석의 다중방벽구조로 처분
- 사용후핵연료 없이 모든 시스템과 장비의 공동기능을 테스트하여 실제 최종 처분 작업에 있어 안전한 최종 처분을 검증하는 과정으로 시범 운영 초기 단계 완료
- 3개의 캐니스터 용접 및 비파괴검사를 통해 캐니스터 밀봉의 안정성 및 무결성을 성공적으로 평가

○ (프랑스) 폐쇄 원자력 발전소 구리 회수 처리 기술 개발¹⁰⁾

- 프랑스 Veolia에서 오염된 구리 전선 케이블의 피복 플라스틱 코팅을 안전하게 처리하는 기술을 개발
- 오염된 플라스틱 코팅을 제거한 12톤의 케이블에 대한 테스트 결과 구리 전선 심부에 대한 방사능 검사 결과가 안전하며, 재활용 구리 4톤 회수 가능
- 폐쇄된 원자력 발전소의 구리 재활용을 통해 구리 광산에서의 황화구리 추출과 관련한 탄소 배출량을 85% 절감할 수 있으며, 재활용을 통한 구리 자원 순환에 기여

○ (영국) 뱀 모양 해체 구역 탐사 로봇 시험¹¹⁾

- 영국 Dounreay 부지에서 뱀 모양의 탐사 로봇 시험을 성공적으로 완수
- 방사선 감지 카메라, 조명, 선량계가 장착된 로봇으로 원자로 내부의 접근이 불가능한 내부 구조에 대한 조사를 통해 해체 전략 수립에 유용한 데이터 획득

○ (영국) 사용후핵연료저장소 공간 절약형 랙 설치 적용¹²⁾

- 영국 Thorp 재처리 공장의 첨단 가스냉각로 연료저장소에 공간 절약형 랙을 설치하여 높은 저장 용량 확보
- 무게 7톤, 높이 5.5 m의 스테인리스강 컨테이너로, 기존 랙의 20개의 연료 저장 용량보다 많은 63개를 저장할 수 있으며, 저장 연료 용량을 총 4,000톤에서 6,000톤까지 수용 가능
- 저장폴 부식 방지를 위해 pH 값 변경 및 추가 냉각 시설 설치 완료

□ 기타 연구 동향

○ (유럽) VERLIFE 지침서 발간¹³⁾

- WWER(water-water energy reactor) 유형의 원자력 발전소의 무결성 및 안정성을 평가하는 가이드라인인 VERLIFE 지침을 발표
- 15년간 9개국의 68명의 전문가가 참여해 협업하여 작성되었으며, 가압수형 원자로

10) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/veolia-develops-way-of-recycling-copper-wires-from-nuclear-power-plants>

11) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/slithering-robot-trialed-at-dounreay>

12) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/new-storage-racks-increase-thorp-pond-storage-capacity>

13) https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/verlife-guidelines-ensuring-safety-and-lifetime-nuclear-reactors-2024-10-01_en

에 사용되는 지침과 일치

- 원자로 용기 내부, 배관, 지지대 등의 방사선화로 인한 재료의 변형, 열, 충격으로 인한 안정성 평가와 같은 구성요소의 무결성 및 수명을 평가
- (유럽) Open Access 프로젝트, JRC 원자력시설에서의 연구 인프라 프로그램¹⁴⁾
 - 유럽연합의 JRC와 DG RTD(Directorate-General for Research and Innovation)의 협력 프로젝트로써, 방사성폐기물의 감소, 원자력에너지 효율성 개선, 핵의박 발전에 기여하는 기술을 개발할 수 있는 Open Access 프로젝트를 시행
 - 벨기에 Geel의 EUFRAT 연구실과 GELINA 입자 가속기를 활용한 핵반응, 방사능 및 방사선 연구에 대한 접근 용이
 - EUFRAT 연구실에서 Open Access 프로그램으로 교육 및 훈련을 제공하여 EU 회원국의 100명 이상의 연구자가 참여했으며, 그 중 25%의 학생 및 청년 연구자가 참여함
 - 네덜란드 Petten의 원자력 시설 및 독일 Karlsruhe의 원자력 시설에서의 연구에 대한 Open Access 프로그램도 진행 중으로, JRC가 시설 사용을 극대화하고 외부 연구자에게 연구의 기회를 제공, 혁신과 개발을 도모

② 유럽의 선진원자력 시스템 및 방사성폐기물 관리 정책 동향

□ 선진원자력 시스템 정책 동향

- 선진원자력 에너지 정책
 - (이탈리아) 2030년 이후 이탈리아에서 원자력발전 프로그램 재개할 가능성에 대한 평가 프로세스를 시작했으며, SMR의 구현 및 지속 가능한 원자력 기술을 기반으로 2050년까지 전력의 22%까지 충당할 수 있을 것으로 수행할 계획¹⁵⁾
 - (스웨덴, 미국) 원자력에너지 관련 기술의 산업 협력, 기술 개발, 연구 및 혁신을 추진하는 목표로 MoU를 체결해 SMR, 첨단 핵연료 개발, 방사성폐기물 관리, 핵 안전 및 보안에 관한 협력 도모¹⁶⁾
 - (영국, 미국) EU, 영국, 미국, 한국을 포함한 여러 회원국 간 고속로, 용융염 원자로, 등의 첨단 원자력 기술에 대한 정보 공유 및 자금 조달을 지원하는 제 4세대 원자력 협력 협정을 체결하여 차세대 원자력 에너지 시스템에 대한 연구 개발에 협력을 도모¹⁷⁾
 - (EU) 유럽 원자력 동맹 회원국이 차기 유럽위원회(European Commission)에 유럽 저탄소 정책에 있어 원자력 에너지 및 재생 에너지의 기여를 인정하고 EU 공통 전력망 및 전기 시장의 안정을 위해 2024~2029년 기간을 다루는 차기 프로그램에

14) https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/opening-door-nuclear-technology-tomorrow-2024-06-19_en

15) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/italy-s-electricity-could-be-20-from-nuclear-by-20>

16) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/sweden-usa-agree-to-nuclear-cooperation>

17) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/usa-and-uk-sign-civil-nuclear-collaboration>

서 원자력 에너지 발전에 대한 지원을 요청¹⁸⁾

- (핀란드, 영국) 핀란드, 영국 간 MoU를 체결해 원자력 에너지 과제, 프로그램, 연구 개발 및 정책과 관련된 양자 간 협력 프레임워크를 구축하고 기존의 원전, SMR을 포함한 기술 포괄 접근 방식을 통해 새로운 원자력 에너지의 배치에 대한 잠재력을 인지하고 협력할 전망이다¹⁹⁾
- (폴란드, 일본, 네덜란드) 원자력 에너지 부문에서 폴란드-일본 협력에 관한 양해각서를 서명하였으며, 폴란드 원자력규제기관(Poland's National Atomic Energy Agency, PAA)과 네덜란드 원자력규제기관(Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection, ANVS) 간 협력 협정을 체결해 원자력 규제 기관에 필요한 기술, 교육 및 정보 협력을 추구²⁰⁾

□ 방사성폐기물 관리 및 원자력발전소 정책 동향

○ 방사성폐기물 관리

- (이탈리아) 이탈리아 원자력 규제기관(ISIN, Ispettorato nazionale per la sicurezza nucleare e la radioprotezione)에서 Ispra 부지에서 발생하는 방사성폐기물의 규제에 대한 처분 절차를 승인하여, 해체 원자로 구역에서 발생하는 시멘트 물질과 200톤이 넘는 금속 폐기물에 대한 방사능 수치를 분석하고 위험이 없음을 보장한 후 처분, 재활용을 할 수 있는 폐기물로 규제할 수 있도록 승인²¹⁾

○ 원자력 발전소 정책

- (벨기에) 유럽 위원회에서 벨기에 원자력 발전소 2기 (Doel 4호기, Tihange 3호기) 수명 10년 연장에 대한 벨기에 국가 지원에 있어 EU 국가 지원 규칙에 부합하는지 심층 조사²²⁾
- (스웨덴) 2035년까지 총 출력 2,500 MWe 이상(대규모 원전 2기 출력)의 원자력 발전소 설치 로드맵에 있어 신규 원자력 발전소에 투자하는 기업에 대한 국가 지원을 제공하는 법안 제안²³⁾
- (스위스) 스위스 정부가 2018년부터 시행된 신규 원자력 발전소 건설 금지령을 해제할 것을 발표해 입법부 수준에서의 원자력에너지법 개정안을 제출해 원자력 에너지의 필요성 부각²⁴⁾

③ 시사점

- IAEA에서 SMR 배치에 대한 지침서를 발간하고, 원자력에너지 용량의 증가에

18) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/alliance-calls-for-support-from-next-european-commission>

19) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/finland-and-uk-to-work-together-under-new-nuclear-energy-pact>

20) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/poland-to-cooperate-with-japan-the-netherlands-on-nuclear>

21) https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/new-clearance-procedure-cut-radioactive-waste-production-decommissioning-activities-jrc-ispra-site-2025-01-10_en

22) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/eu-investigating-belgian-nuclear-extension-financi>

23) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/financing-model-proposed-for-new-swedish-reactors>

24) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/switzerland-moves-to-remove-ban-on-new-reactors>

- 대해 상향 조정 및 SMR의 차지 비중이 높을 것으로 전망함으로써 SMR, MSR 등의 차세대 원자력에너지에 대한 연구 및 기술 개발에 긍정적인 움직임을 보임²⁵⁾²⁶⁾
- 양자 간, 다국가 간 협약 및 프로그램을 통해 단순히 한 국가에서만 이루어지지 않고 협력하여 차세대 선진 원자력에너지 기술을 개발하는 추세이며, 기존 원자력에너지도 함께 활용하는 로드맵을 전망
 - 기존에 원전을 반대하는 국가들에서도 저탄소, 친환경 에너지원으로써 원자력 발전소를 확장하는 추세를 보이며 원자력에너지에 대해 긍정적으로 지원하는 추세
 - 선진원자력에너지와 더불어 발생할 수 있는 폐기물과 사용후핵연료 처분장에 관한 연구, 기술 개발 및 정책에도 좀 더 세심한 주의가 필요할 것으로 보임

25) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/iaea-updates-smr-guidance-for-newcomer-countries>

26) <https://www.world-nuclear-news.org/articles/iaea-raises-nuclear-growth-projections-with-smrs-taking-growing-share>