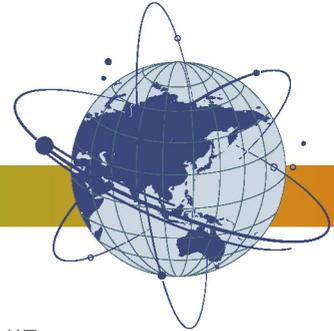


세계원전시장 인사이트

World Nuclear Power Market INSIGHT



현안이슈

선진원자로 방사성폐기물 특성 및 관리방안

1. 서론
2. 선진원자로 개발 및 추진 현황 분석
3. 선진원자로 방사성폐기물의 특성 및 관리 방안
4. 경수로 대비 선진원자로 방사성폐기물 특성 비교
5. 요약 및 시사점

주요단신

북미 16

- 미국 Prairie Island 원전, 계속운전에 필요한 건식저장시설 확충 위해 지역지원금 연간 131억 원까지 상향
- 해체 중인 미국 Pilgrim 원전, 미 환경보호청에 방사성 오염수 해양 방류 허가 신청
- 미국 상원 에너지-공공사업위원회, 선진 원자로 상용화 촉진을 위한 법안 발의
- Holtec, 조기 폐쇄된 Palisades 원전 재가동을 위해 NRC와 규제 절차 논의
- 캐나다 정부, 원자력 및 청정에너지 지원을 위한 연방 예산안 초안 발표
- 기타단신

아프리카 23

- 남아공 Eskom, Koeberg 원전 계속운전 추진 위한 터빈 부품 교체

유럽 24

- 불가리아, 미국 프랑스와 신규 원전 건설 사전단계인 FEED 추진 예정
- 영국 환경청, Sizewell C 신규 원전에 대한 3가지 환경허가 승인
- 운영년수 40년 다가오는 스페인 Trillo 원전, 계속운전 위한 운영허가 갱신 신청 예정
- 독일 환경부, 4월 15일까지 가동 중인 3기 원전 영구정지 확정
- 독일 EnBW, 4월까지 연장운영되는 Neckarwestheim 2호기 해체 허가 취득
- 영국 원자력청, 한국-일본과 핵융합 기술개발 위한 협력 협정 체결
- 기타단신

아시아 32

- 일본 원자력문화재단 여론조사에서 향후 원전 활용에 대해 당분간 이용 및 점진적 폐쇄 가장 많은 선택 받아
- 일본 경제산업성 전문가위원회, 하계 공급예비율 안정적인 것으로 전망
- 일본 경제산업성, 원전 관련 지자체 지원 및 소통 위한 회의 등 신설
- 일본 활동중 여부 확인 중인 쓰루가 2호기, 자료 미비로 재가동 심사 재차 중단
- 이집트, El Dabba 3호기 건설 허가 승인
- 인도네시아, 최초의 원전 건설을 위한 부지 조사 착수
- 용융염원자로 개발사 ThorCon, 인도네시아 원자력규제기관과 실증 원자로 인 허가를 위한 협력 예정
- 인도, Kudankulam 원전 부지 내 사용후핵연료 저장시설 운영 시작
- 중국, 프랑스와 원자력 분야 강화를 위한 협력 협정 체결

세계 40

- IAEA, 일본 후쿠시마 제1원전 처리오염수 방류 관련 4차 중간보고서 발표

세계원전시장

인사이트

World Nuclear Power Market **INSIGHT**

Biweekly 격주간 2023 04.14

※ 본 간행물은 한국수력원자력(주) 정책과제의 일환으로 발행되었습니다.

발행인 양의석

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.

선진원자로 방사성폐기물 특성 및 관리방안

한국원자력연구원 국제전략사업부 글로벌전략실 남효온 책임연구원 (hnam@kaeri.re.kr)

1. 서론

- 세계 각국은 기후변화 위기 대응 및 에너지 안보를 위해 원자력을 발전원으로 활용하는 정책을 추진하고 있음. 특히 화력 발전을 대체하기 위한 목적으로 소형모듈원자로(SMR) 등 선진원자로(Advanced Reactor)를 적극 개발, 실증을 추진하고 있음.
 - 미국의 경우 2050년 넷제로(Net-zero) 목표를 달성하기 위한 탈탄소 시나리오 분석을 통해 원자력 발전용량을 현재의 100GWe에서 2050년 300GWe까지 200GWe 이상 확대하는 것을 목표로 하고 있음.
 - 선진원자로는 원자로 출력과 무관하게 기존 경수로 대비 안전성이 대폭 증진되고, 경제적 이면서, 전력 생산 외 산업 공정열·수소·담수 생산 등을 통해 산업계의 탈탄소를 지원하기 위한 새로운 원자력 시스템으로 정의할 수 있음.
 - SMR 등 선진원자로는 재생에너지의 간헐성과 변동성을 보완하는 저탄소 청정 전력원으로써 현재의 화력 발전을 대체할 수 있을 것으로 기대하고 있음.
- 전 세계적으로 70여 종 이상의 소형모듈원자로 설계가 개발 중이며, 3세대 경수 냉각 원자로를 개선한 Gen III+ 선진원자로뿐만 아니라, 액체금속, 가스, 용융염 등을 냉각재로 사용하는 Gen IV 선진원자로의 개발이 적극 추진되고 있음.
 - 이처럼 선진원자로는 경수를 냉각재로 사용하며 저농축우라늄(LEU)을 연료로 사용하는 Gen III+ 원자로와 비경수 냉각재와 고수준저농축우라늄(HALEU, High Assay LEU)을 연료로 주로 사용하는 Gen IV 원자로로 크게 구분할 수 있음.

- 미국의 경우 CFPP(Carbon Free Power Project)를 통해 경수 기반 원자로인 NuScale社의 VOYGR와 ARDP(Advanced Reactor Demonstration Program)를 통해 TerraPower社의 Natrium과 X-energy社의 Xe-100 선진원자로 개발 및 실증에 46억 달러 예산을 지원 중임.
- 그러나 소형모듈원자로를 포함한 선진원자로의 기술성과 경제성에 대한 연구는 광범위하게 진행 되었으나, 선진원자로로부터 발생하는 사용후핵연료 및 방사성폐기물의 발생량과 방사화학 특성 평가 및 폐기물 관리 방안에 대한 연구는 기술성과 경제성 연구에 비해 부족한 실정임.
- 본 고에서는 선진원자로 방사성폐기물의 특성 및 관리 방안을 살펴보고 시사점을 정리하고자 함.
 - 2장에서는 선진원자로 종류별 방사성 폐기물의 특성을 살펴보기 위해 전 세계에서 개발 되고 있는 다양한 선진원자로 개발 현황을 미국을 중심으로 정리함.
 - 3장에서는 주요 선진원자로 종류별 발생 가능한 방사성폐기물 종류와 각 폐기물의 특성, 그리고 관리 방안을 정리함.
 - 4장에서는 대표적인 선진원자로 디자인에 대한 방사성폐기물의 발생량 및 방사화학 특성 등을 현재 가동 중인 경수 기반 대형 원전의 방사성폐기물과 비교한 자료를 정리함.
 - 마지막 5장에서는 전체 내용을 요약하며 마무리함.

2. 선진원자로 개발 및 추진 현황 분석

- 선진원자로는 이전 세대 원자로 대비 경제성, 안전성, 방호, 폐기물 관리 및 다용성 등을 개선하기 위해 새로운 기술 및 물질을 활용하여 개발되고 있음.
 - 이를 위해 고유 안전성, 단순화 또는 모듈식 설계, 부하추종 기능의 향상, 고온 안전성, 고속 중성자 스펙트럼 이용, 폐쇄형(Closed) 핵연료주기 등이 적용되고 있음.
 - 선진원자로는 핵융합 원자로를 제외하면 냉각재에 따라 두 그룹으로 구분할 수 있음.
 - (경수 냉각 원자로) 대형 원전에서 입증된 경수 기반 기술에 단순화된 설계, 소형화된 크기, 효율성 향상과 같은 혁신을 적용
 - (비경수 냉각 원자로) 원자로 냉각재로 물 대신 나트륨 및 납과 같은 액체금속, 헬륨 및 이산화탄소와 같은 가스, 용융염을 사용하는 원자로
 - 그 외에도 선진원자로 설계는 냉각재, 중성자 스펙트럼, 감속재, 핵연료 물질, 핵연료 형태, 핵연료주기, 원자로 출력에 따라 다양한 특성을 가질 수 있음.(<표 1> 참고)

〈표 1〉 선진원자로 기술 주요 설계 변수

냉각재	중성자 에너지	감속재	핵연료 물질	핵연료 형태	핵연료주기	원자로 출력
경수	열중성자	경수	LEU	산화물	열린 핵주기	마이크로
중수	고속중성자	중수	HALEU	TRISO 페블	고연소도	SMR
소듐		흑연	플루토늄	기타 TRISO	닫힌 핵주기	대형
납			토륨	연료 염(Fuel Salt)		
용융염				금속		
헬륨				탄화물		
이산화탄소				세라믹 매트릭스		

자료: “Advanced Nuclear Reactors: Technology Overview and Current Issues”, Congressional Research Service, 저자 일부 수정

■ 미국 내에서 민간 개발사에 의해 개발되어 실증이 계획되었거나 실증 예정인 선진원자로로는 대부분 300MWe 이하의 소형모듈원자로이며, 다양한 출력, 냉각재, 핵연료 물질 및 형태가 고려되고 있음. (〈표 2〉 참고)

- 냉각재에 따라 Gen III+ 원자로인 경수 냉각 SMR과 Gen IV 원자로인 소듐냉각고속로 (SFR), 고온가스냉각로(HTGR), 용융염원자로(MSR) 등으로 구분할 수 있음.
- SFR은 금속 연료를 주로 사용하고, 헬륨 냉각재를 사용하는 HTGR은 대부분 고온 특성이 우수한 TRISO 연료를 사용하며, MSR은 고체 핵연료를 이용할 수도 있지만 핵연료 물질이 냉각재에 녹아 있는 연료 염(Fuel Salt)이 사용되고 있음을 확인할 수 있음.

〈표 2〉 미국 내에서 실증 예정인 선진원자로

개발사	원자로	출력(MWe)	기술	냉각재	핵연료
NuScale	VOYGR	77	경수 냉각 SMR	경수	산화물
TerraPower	Natrium	345	소듐냉각고속로	소듐	금속
X-energy	Xe-100	80	고온가스냉각로	헬륨	TRISO
Westinghouse	eVinci	5	마이크로원자로	히트파이프	TRISO
BWX Tech	BANR	17	고온가스냉각로	헬륨	TRISO
Kairos Power	KP-FHR	140	불화염냉각고온로	불화염	TRISO
Holtec	SMR-160	160	경수 냉각 SMR	경수	산화물
TerraPower	MCFR	-	염화염냉각고속로	염화염	연료 염
General Atomics	FMR	50	고온가스냉각고속로	헬륨	산화물
Terrestrial Energy	IMSR	195	용융염원자로	불화염	연료 염
GE Hitachi	BWRX-300	300	경수(BWR) 냉각 SMR	경수	산화물
USNC	MMR	15 MWth	고온가스냉각로	헬륨	TRISO

자료: “Advanced Nuclear Reactors: Technology Overview and Current Issues”, Congressional Research Service, 저자 일부 수정

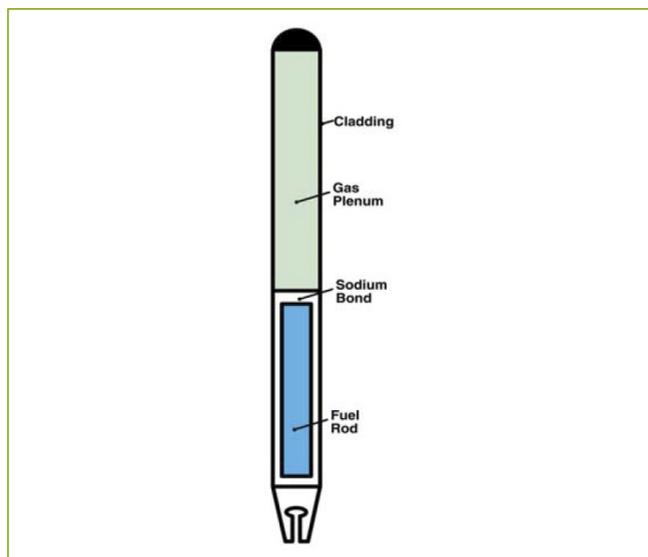
■ 본 고에서는 선진원자로를 ① 경수 냉각 SMR, ② 소듐냉각고속로(SFR), ③ 고온가스냉각로 (HTGR), ④ 용융염원자로(MSR)로 나누어 특성을 살펴보고자 함.

- 우선 경수 냉각 SMR은 대형 경수로 대비 출력이 줄어든 것 외에 핵연료 물질과 형태, 냉각재, 연소도 등 다른 설계 변수들이 크게 변하지 않기 때문에 원자로 특성 및 폐기물 특성이 크게 다르지 않을 것으로 추정됨. 상세 내용은 4장에서 기술함.

■ 소듐냉각고속로(Sodium Cooled Fast Reactor)

- Gen IV 포럼의 주요 노형 중 하나인 SFR은 액체 소듐을 냉각재로 사용하는 우라늄 또는 플루토늄 연료 고속로 개념이며, 증식로 또는 악티나이드 연소로로 설계될 수 있음.
 - 액체 소듐을 냉각재로 사용함으로써 경수로와 비교할 때 더 작은 노심의 기하학적 구조와 더 높은 전력 밀도를 얻을 수 있으며, 소듐의 높은 끓는점은 대기압 근처에서 저압 운전을 가능하게 하여 냉각수 손실 사고 가능성을 줄여줌.
- 반면 소듐은 공기 및 물과의 반응성이 크기 때문에 사고를 방지하기 위한 추가적인 공학적 설계 개념의 적용이 필요함.
- 또한 SFR 금속 핵연료는 연소 시 핵분열 생성물로 인해 연료 요소가 팽창되고 다공성 연료가 되기 쉬워 연료와 피복관 사이의 갭(Gap)에 소듐 본드(Sodium bond)를 넣어 열전달 효율을 높인데, 소듐 본드의 반응성을 고려하여 최종 처분 전 별도의 처리 과정이 필요함.

[그림 1] 소듐냉각고속로(SFR)의 핵연료 개략도

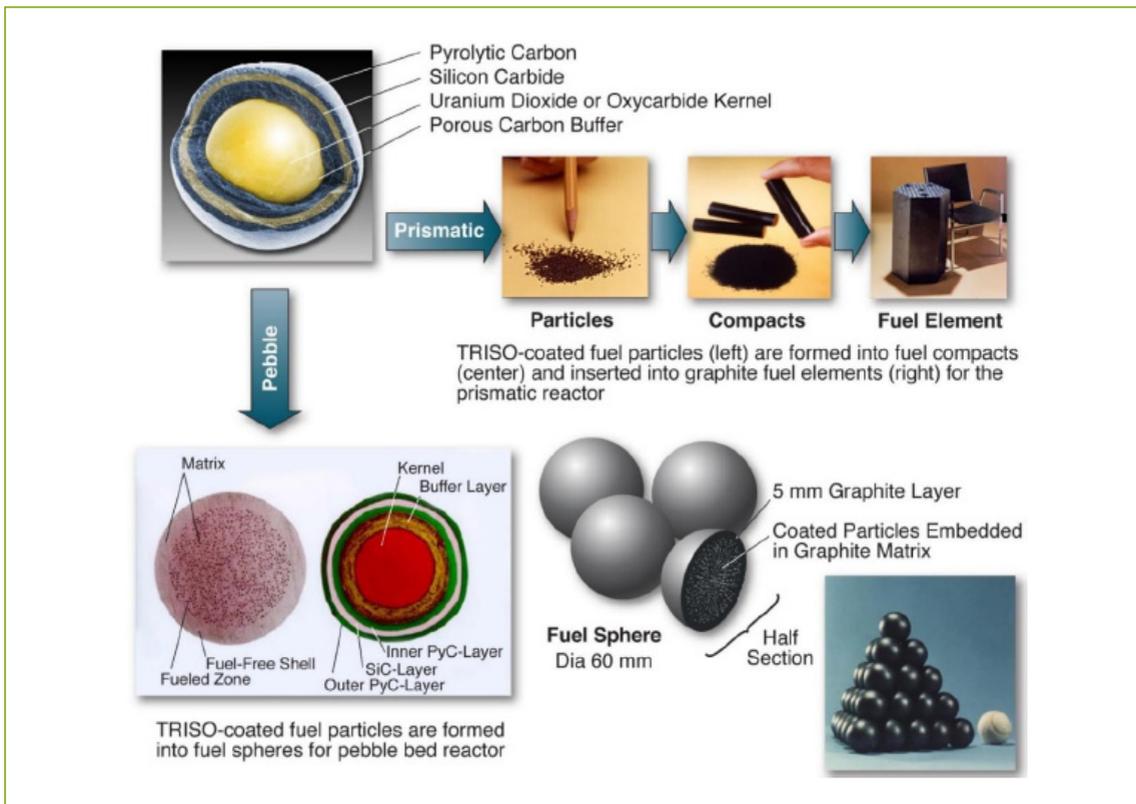


자료: INL, Preferred Disposition Plan for Sodium-Bonded Spent Nuclear Fuel (2007)

■ 고온가스냉각로(High Temp Gas Cooled Reactor)

- 고온가스냉각로(HTGR)는 매우 높은 노심(Core) 출구 온도를 갖는 우라늄 연료, 가스 냉각, 흑연 감속 원자로이며, 헬륨이 주로 냉각재로 사용되고 있음.
 - HTGR의 연료는 직경 0.6mm의 핵연료 물질을 탄소 및 PyC(Pyrolytic carbon) 완충층, SiC 코팅층으로 3중 코팅하여 직경이 약 1mm인 TRISO(Tristructural isotropic) 핵연료로 만들어 사용함으로써 고온 건전성을 유지함.
 - 고온의 냉각재 특성으로 수소 생산 등 전력 생산 외 다양한 산업적 활용이 전망됨.
- 이 때 TRISO 입자를 흑연 매트릭스에 구형으로 뭉친 자갈 형태의 핵연료를 펄블(Pebble)형 핵연료라고 하며, TRISO 입자를 펠릿 형태로 성형 후 이것을 육각기둥 모양의 흑연 블록에 넣은 핵연료를 각기둥(Prismatic) 블록형 핵연료라고 함.
 - 전 세계에 건설 운영된 7개의 프로토타입 HTGR 원자로 중 4기는 블록형 연료를 사용하고, 나머지 3기는 펄블형 연료를 사용

[그림 2] 고온가스냉각로(HTGR) TRISO 핵연료



■ 용융염원자로 (Molten Salt Reactor)

- 용융염원자로(MSR)는 LiCl, KCl과 같은 염화물과 LiF, BeF, NaF, KF, ZrF와 같은 불화물 용융염을 냉각재로 사용하는 선진원자로 개념으로 고속 중성자 또는 열중성자 스펙트럼에서 운전이 가능하며, 증식으로 또는 연소로로 설계될 수 있음.
 - 증식로의 경우 토륨(Th) 또는 U-238이 연료로 사용될 수 있으며, 보통은 핵분열성 물질인 U-235와 플루토늄이 연료로 사용됨.
- MSR은 핵연료 물질이 용융염에 녹아 있어 냉각재와 연료를 겸하는 연료 염(Fuel Salt) MSR과 용융염을 냉각재로만 사용하는 고체 연료 MSR로 구분할 수 있음.
- Li 기반 염의 경우 Li-6의 중성자 포획반응으로 생성되는 삼중수소를 제한하기 위해 Li-7의 농축을 99.9% 이상 필요함.
- 염화물 기반 용융염의 경우 Cl-35의 중성자 포획 반응으로 생성되는 Cl-36의 반감기가 30만 년으로 매우 길기 때문에, 처분 안전성에 영향을 미치는 Cl-36 생성을 제한하기 위해 Cl-37 농축이 필요함.

3. 선진원자로 방사성폐기물의 특성 및 관리 방안

■ 소듐냉각고속로 (Sodium Cooled Fast Reactor)

- 소듐 본드가 포함된 사용후핵연료를 직접처분하려는 경우 반응성 소듐을 물리적으로 분리하고 화학적으로 비활성화하는 별도의 처리 과정이 필요함.
 - (소듐 제거 없이 직접처분) 처분 시설이 소듐과 같은 반응성 물질을 수용하도록 설계된 경우에만 가능한 옵션으로 일반적인 표준 처분 용기에 심지층에 안전하게 처분하는 방안임.
 - (소듐 제거 후 직접처분) 처분 전 소듐 본드를 제거하기 위해 용해 및 감압 현상을 이용하는 MEDEC(Melt-Drain-Evaporate-Carbonate) 기술을 사용할 수 있으며, 소듐을 제거하기 위해 피복재를 손상시키기 때문에 소듐을 제거하고 남은 사용후핵연료는 별도의 용기로 포장하여 핵물질을 격납한 후 처분 용기에 담아 처분함.
 - (소듐 제거 후 용융 및 희석) MEDEC 공정을 통해 소듐을 제거한 후 남은 연료 요소를 용해 후 금속 고화체로 만들어 처분하는 방안도 적용 가능함.
- SFR 핵연료는 직접처분하는 방안 외에도 미국의 SFR 실험로인 EBR-II의 사용 후 구동(Driver) 연료와 증식에 활용된 블랭킷(Blanket) 연료와 같이 전기화학 처리(파이로프로세싱)하여 핵분열생성물만 중저준위 폐기물로 처분하는 방안도 적용 가능함.

- (전기화학 처리 공정(파이로프로세싱)) 사용후핵연료에서 우라늄과 초우라늄(TRU) 원소를 분리하고 남은 핵분열생성물을 고준위 폐기물로 고화체로 만들어 처분하는 방법이며, 소듐은 사전 분리 없이 전기화학 처리 공정 중 소듐 염화물로 산화되어 용융염에 녹게 됨.
- (소듐 및 피복재 제거 후 습식 재처리) 전기화학적 처리 외에도 사용후핵연료로부터 소듐과 피복재 제거 후 통상적인 습식 재처리 기술을 적용하여 핵분열생성물을 유리 또는 다른 형태의 고화체로 안정화 후 처분하는 방안도 가능함.
- 냉각재로 사용된 소듐과 사용후핵연료에서 분리한 소듐, 배관 및 기타 구성 요소의 잔류 소듐은 소듐 폐기물로 관리가 필요함.
 - SFR 냉각재인 소듐은 세슘 등을 추가 제염 후 재사용을 고려할 수 있으며, 제염 과정에서 발생하는 폐기물은 저장 후 고준위 폐기물(HLW) 또는 중저준위 폐기물(LiLW)로 처분함. 세슘 등을 제거한 대량의 소듐은 고체 형태인 무수 수산화 나트륨(Anhydrous sodium hydroxide)로 변환하여 저장할 수 있음.
 - SFR 폐로 시 소듐과 맞닿은 1차 냉각 루프 배관, 원자로 용기에는 잔류 소듐이 남아 있기 때문에 이 소듐은 수소 가스 축적 방지를 위해 화학적으로 비활성화 하거나 물리적으로 제거해야 함.
 - MEDEC 공정 등을 이용하여 SFR 사용후핵연료로부터 분리한 소듐 본드는 장수명 고이동성 방사성 핵종인 아이오딘, 세슘 등의 용해도가 높아 처분 전 이를 추가적으로 제거하기 위한 과정이 필요할 수 있음.
- 기타 방사성 폐기물에는 스테인레스강 구조재, 배관, 운영, 제염, 해체 폐기물이 포함되며, 일반적으로 이러한 폐기물은 다른 원자로에서 발생하는 유사한 폐기물과 동일한 방식으로 처리, 처분할 수 있으며, 일부가 있을 수 있지만 대부분은 LILW로 분류됨.
 - 운영 폐기물은 오염된 장비, 고형화된 액체 폐기물, 개인 보호 장비, 수지 및 필터, 폐기물 정화 수지, 글러브 박스 장갑 등이 포함됨.

■ 고온가스냉각로(High Temp Gas Cooled Reactor)

- TRISO 사용후핵연료의 가장 간단한 처분 방법은 핵연료 블록 또는 폐블을 그대로 직접 처분하는 것임.
 - HTGR 사용후핵연료는 많은 양의 흑연을 포함하고 있어 붕괴열 부하가 낮으며, 그 자체로 경제적인 대형 폐기물 포장재의 역할을 할 수 있음. 따라서 HTGR 사용후핵연료는 적절한 처분 용기에 담아 처분장 폐기물 수용 기준을 만족시킨 후 안전하게 직접처분이 가능함.
 - 일부 HTGR 연료 설계의 경우 흑연이 연료 요소(Fuel element)의 최대 95%를 차지하기 때문에, 외부 흑연을 제거하여 폐기물의 부피를 감소시킨 후 처분하는 방안도 적용 가능함.

- 반면 TRISO 핵연료의 연속적인 흑연 구조 층을 제거하는 복잡한 처리 방법도 존재하는데, 처리 옵션에 따라 고준위 폐기물의 양을 줄일 수 있지만 방사성폐기물의 전체 부피가 증가한다는 단점이 있음.
 - 방사성 폐기물 처분장의 가용성 및 폐기물 수용 기준에 따라 방사화된 흑연을 LILW로 처분할 수 있는 가능성 및 그 과정의 리스크와 전체 비용 등을 고려해 공정 옵션 선택이 필요함.
 - HTGR 사용후핵연료의 재처리는 일반적인 습식 재처리 기술을 적용 가능하며, 파이로프로 세싱으로 알려진 전기화학적 분리 기술의 적용 가능성도 확인되었음.
- 재처리 공정을 통해 분리된 핵분열 생성물은 폐기물 처분 허용 기준을 만족하는 유리 또는 다른 형태의 고화체로 안정화 후 처분함.
 - 핵연료 재처리를 위해서는 탄소와 탄화규소(SiC)의 연속적인 층을 제거해야 함. 이 단계가 끝나면 재처리 공정을 통해 우라늄, 플루토늄 등 핵분열성 물질을 핵분열생성물로부터 분리하여 회수함.
- 회수한 흑연 및 탄소 폐기물은 별도의 처리 없이 직접처분하거나, 흑연 가스화하거나, 제염 후 재활용하는 방안을 고려할 수 있음.
 - 방사선 조사된 흑연에서 주의가 필요한 방사성 동위원소는 탄소-14(^{14}C)와 삼중수소(^3H)임. 탄소-14는 흑연에 흡수된 질소(^{14}N)와 자연적으로 존재하는 탄소-13(^{13}C)이 방사화되어 생성되며, 삼중수소는 흑연 내 불순물인 리튬이 방사화되어 생성됨.
 - 경우에 따라 탄소-14의 방사화 정도는 미국 연방 규정(10CFR 61)에 명시된 클래스 C 저준위 폐기물의 제한치인 $8\text{Ci}/\text{m}^3$ 보다 높아, GTCC(Greater Than Class C) 폐기물로 분류될 가능성이 있음. 삼중수소 생성량은 클래스 A 폐기물 제한보다 훨씬 적을 것으로 추정됨.
 - 흑연 가스화는 산소 또는 증기를 이용하여 흑연을 CO_2 로 전환하는 공정을 얘기함. 폐기물의 양을 줄일 수 있다는 장점은 있으나, 온실가스(CO_2)가 발생하여 포집기술을 필요로 한다는 단점이 있음. 또한 가스화 과정에서 탄소-14와 삼중수소가 CO , CO_2 , H_2O 로 바뀌기 때문에 방사성 가스를 별도 포집해야 하며 그 과정에서 폐기물의 양이 다시 증가함.
 - HTGR의 모든 흑연을 재사용할 수 있는 것은 아님. 연료 블록의 흑연은 방사화가 많이 되어 재사용에 적합하지 않음. 반면 흑연 반사체와 구조물의 흑연은 방사화된 표면 제염 후 재사용 가능함.
 - 흑연 폐기물은 적절한 공정 과정을 거쳐 핵분열생성물로 인한 추가 오염을 피하는 경우 중저준위 폐기물로 분류될 수 있음.

- 기타 방사성 폐기물에는 스테인레스강 구조재, 배관, 운영, 제염, 해체 폐기물이 포함되며, 일반적으로 이러한 폐기물은 다른 원자로에서 발생하는 유사한 폐기물과 동일한 방식으로 처리, 처분할 수 있으며, 일부 HLW가 있을 수 있지만 대부분은 LILW로 분류됨.

■ 용융염원자로 (Molten Salt Reactor)

- 본 고에서는 연료 염(Fuel salt)을 사용하는 MSR을 대상으로 분석을 수행함.
- 용융염 전체도 직접처분이 가능하며, 안정화 후 고준위 폐기물로 심지층 처분이 필요함.
 - 직접처분을 위해서는 연료 염에 포함된 특정 방사성 핵종의 물 용해도가 크기 때문에 방사성 핵종의 지하수로의 용출을 방지하기 위해 고정화가 필요함.
 - 연료 염에 포함된 특정 방사성 핵종을 고정화하여 직접처분할 수 있는 고화체 매질은 존재하지만, 연료 염 내 모든 방사성 핵종들을 고정할 수 있는 만능의 고화체 매질은 없음.
- MSR은 연료 염의 조성을 조절하기 위해 원자로 가동 중 실시간으로 용융염의 처리를 진행하는 것도 고려되고 있기 때문에, 용융염 내의 서로 다른 특성의 방사성 핵종들을 별도의 폐기물 흐름으로 분리하여 특성에 맞게 재활용 및 처분하는 재처리 방안이 선호됨.
 - 재처리 공정의 복잡성에도 불구하고 핵분열생성물을 제거하고 우라늄, TRU를 재활용할 수 있으며, 용융염에 사용되는 Li-7, Cl-37 생산이 어렵고 고비용이기 때문에 재활용 옵션이 선호됨.
 - 배기가스에는 휘발성 핵분열생성물과 붕괴 딸 핵종, 미립자, 삼중수소, 물, 산화물, 질화물, 할로젠화물, 에어로졸 형태의 미량의 염 및 비활성 기체를 포함하며, 대부분의 배기체 폐기물은 중저준위 폐기물로 분류될 가능성이 높음.
- 악티나이드와 핵분열생성물을 함유한 염폐기물은 고준위 폐기물로 분류될 가능성이 크며, 따라서 심지층 처분이 필요함.
 - 핵분열생성물을 함유한 폐기물 흐름은 고준위 폐기물로 분류되며, 악티나이드만 함유된 폐기물은 TRU 폐기물로 분류. 기타 폐기물 흐름은 중저준위 폐기물로 분류되어 고준위 폐기물 부피를 크게 저감 할 수 있음.
- 기타 방사성 폐기물에는 스테인레스강 구조재, 배관, 운영, 제염, 해체 폐기물이 포함되며, 일반적으로 이러한 폐기물은 다른 원자로에서 발생하는 유사한 폐기물과 동일한 방식으로 처리, 처분할 수 있으며, 일부 HLW가 있을 수 있지만 대부분은 LILW로 분류됨.

4. 경수로 대비 선진원자로 방사성폐기물 특성 비교

■ 2022년 11월 미국 아르곤국립연구소(ANL)와 아이다호국립연구소(INL)는 “Nuclear Waste Attributes of SMRs Scheduled for Near-Term Deployment” 보고서를 통해 세 가지 다른 SMR의 방사성폐기물 특성을 비교 분석한 결과를 발표함.

- 상기 보고서는 2030년 이전 도입될 것으로 예상되는 대표적 SMR 디자인인 NuScale社의 VOYGR, TerraPower社의 Natrium, X-energy社의 Xe-100을 선정하여 기준 경수로의 방사성폐기물 특성과 비교 분석함.
 - VOYGR는 가압 경수로 설계를 기반으로 하는 경수 기반 SMR
 - Natrium은 소듐 냉각 방식이며, 금속 핵연료를 이용함.
 - Xe-100은 헬륨 가스 냉각 방식이며, 페블베드 형태의 TRISO 핵연료를 이용함.
- 기준 경수로 대비 3가지 선진원자로 디자인의 설계 파라미터는 아래와 같음.

〈표 3〉 대표적 SMR 디자인의 설계 파라미터

구분	기준 경수로	VOYGR	Natrium	Xe-100
출력(MWe)	1,175	77	345	80
열효율(%)	34	31	41	40
연소도(GWd/톤)	50.0	49.5	146	169
우라늄 농축도(%)	4.5	4.95	16.5	15.5
핵연료 형태	UO ₂	UO ₂	U-Zr 금속	TRISO 페블
원자로 수명(년) / 이용률(%)	60 / 90	60 / 90	60 / 90	60 / 90

자료: “Nuclear Waste Attributes of SMRs Scheduled for Near-Term Deployment”, ANL/NSE-22/98, 저자 일부 수정

- 각 SMR 디자인 별로 원자로의 노형, 출력, 냉각재, 연료의 형태 및 물리·화학적 제원, 연료 교체 주기 등이 사용후핵연료의 무게, 부피, 방사능, 붕괴열, 방사성독성과 같은 폐기물 특성에 미치는 영향을 기준 경수로와 비교 분석한 결과는 아래와 같으며, 원자로 해체 시 발생 되는 중저준위 방사성폐기물의 양도 함께 분석하였음.

〈표 4〉 SMR 디자인 별 방사성폐기물 비교 지표

구분		기준 경수로	VOYGR ⁽³⁾	Natrium ⁽³⁾	Xe-100 ⁽³⁾
사용후 핵연료	무게(톤/GWe-년)	21.7	23.9 (1.10) ⁽³⁾	6.10 (0.28)	5.41 (0.25)
	부피(m ³ /GWe-년)	9.58	5.41 (0.25)	5.56 (0.58)	118 (12.3)
	방사능(Ci/GWe-년) @ 10 ¹ , 10 ² , 10 ³ , 10 ⁴ , 10 ⁵ 년		(1.07, 1.08, 1.04, 1.05, 1.08)	(0.63, 0.71, 0.63, 1.40, 1.17)	(0.79, 0.80, 0.45, 0.38, 0.58)
	붕괴열(kW/GWe-년) @ 10년	40.6	42.2 (1.04)	24.5 (0.60)	32.2 (0.79)
	@ 100년	9.76	10.3 (1.05)	4.65 (0.48)	6.36 (0.65)
	방사성독성($\times 10^8$ Sv/GWe-년) @ 10,000년 @ 100,000년	1.21 0.0860	1.27 (1.06) 0.0912 (1.06)	1.78 (1.47) 0.127 (1.48)	0.413 (0.34) 0.0406 (0.47)
해체 폐기물	저준위폐기물 ⁽¹⁾ (m ³ /GWe-년)	645.3	573 (0.9)	-	-
	중준위폐기물 ⁽²⁾ (m ³ /GWe-년)	0.13	0.72 (5.7)	0.0 - 0.55 (0.0 - 4.4)	0.0 - 24.5 (0.0-193.1)

자료: "Nuclear Waste Attributes of SMRs Scheduled for Near-Term Deployment", ANL/NSE-22/98, 저자 일부 수정
 (1) 미국 폐기물 분류 기준 클래스 A, B, C; (2) 미국 폐기물 분류 기준으로 GTCC(Greater Than Class C) 폐기물;
 (3) 괄호 안 수치는 기준 경수로 수치와의 비율을 나타냄.

- VOYGR는 기준 경수로 대비 사용후핵연료가 약 10% 많이 발생되며, 사용후핵연료의 방사능, 붕괴열, 방사성독성도 약간 높은 것으로 분석되었음.
- Natrium은 연소도가 높고, 열효율이 좋기 때문에 사용후핵연료의 무게는 72% 적게, 부피는 42% 적게 발생 되지만, 반감기가 긴 플루토늄이 다량 생성되면서 장기 방사능 및 독성이 증가하는 것으로 분석되었음.
- Xe-100은 사용후핵연료의 무게 기준 75% 적게 발생하며, 붕괴열 등 방사화학 특성도 낮을 것으로 분석되었으나, TRISO 페블베드 핵연료 특성상 다량의 흑연 감속재와 비연료 매트릭스 및 SiC 코팅을 포함하고 있어 사용후핵연료의 부피는 약 12배 이상 많이 발생 될 것으로 분석되었음.
- 해체 폐기물의 경우 전체 폐기물 중 1% 이하는 중준위 폐기물로 분류될 가능성이 있음.
 - VOYGR는 경수 기반 SMR이기 때문에 해체 폐기물의 양은 약 10% 적은 수준으로 유사할 것으로 예상됨.
 - Natrium과 Xe-100 디자인의 경우 설계 정보가 제한적이기 때문에 해체폐기물의 발생량 추정은 불가함. 반면 Natrium의 반사체(Reflector assembly)와 Xe-100의 흑연 블록의 교체 주기에 따라 중준위폐기물로 분류될 가능성이 있는 해체폐기물은 경수로 대비 크게 증가될 가능성이 있을 것으로 추정함.

- 상기 결과들을 살펴볼 때 전반적으로 상업적 규모의 대형 경수로에서 발생하는 방사성 폐기물과 비교해 선진원자로에서 발생하는 방사성폐기물의 관리에 추가적으로 중요한 문제는 없을 것으로 판단함.

■ 반면, 2022년 5월 스탠포드 대학과 브리티시 컬럼비아 대학이 주도한 연구 논문(“Nuclear Waste from Small Modular Reactors”)은 SMR이 기존의 원자로보다 더 많은 방사성폐기물을 발생시킬 것으로 상반된 결과를 제시하였으나 결과의 신뢰성에 대한 문제 제기가 있는 상황임.

- 해당 논문은 NuScale社의 iPWR(160MWth), 도시바社의 4S-30(Sodium-cooled fast reactor, 30MWth), Terrestrial Energy社의 IMSR(Integrated molten salt reactor, 400MWth) 3개의 SMR에서 웨스팅하우스의 AP1000(3400MWth) 대비 얼마나 많은 방사성폐기물이 발생하는지 분석함.
- SMR 설계상 작은 크기로 인해 중성자 누출이 상대적으로 커 핵연료 연소도가 AP1000 대비 줄어들기 때문에 상대적으로 사용후핵연료 발생량이 늘어날 것으로 예측함.
- 그러나 NuScale은 해당 논문의 가정 사항들에 대해 SMR 개발자들의 검토를 거치지 않았다는 사실과 가정한 수치들의 오류를 지적하며 결과의 신뢰성에 문제를 제기함.¹⁾
 - NuScale은 iPWR의 연소도가 45MWd/kg으로 기존 경수로 대비 더 많은 사용후핵연료를 생성하지 않는다고 반박

5. 요약 및 시사점

- 세계 각국은 기후변화 위기 대응 및 에너지 안보를 위해 소형모듈원자로(SMR) 등 선진원자로를 적극 개발, 실증을 추진하고 있음.
- 선진원자로 디자인은 냉각재, 중성자 스펙트럼, 감속재, 핵연료 물질, 핵연료 형태, 핵연료주기, 원자로 출력에 따라 다양한 특성을 가질 수 있음.
- 아르곤 및 아이다호 국립연구소의 공동 연구 보고서는 선진원자로는 핵연료 연소도가 높고 열효율이 좋기 때문에 단위 전력 당 발생하는 사용후핵연료의 양이 대형 경수로 대비 많지 않을 것으로 평가하였으며, 선진원자로에서 발생하는 방사성폐기물의 관리에 추가적으로 중요한 문제는 없을 것으로 판단함.

1) <https://www.ans.org/news/article-4013/nuscale-responds-to-smr-critique/>

- 다만 선진원자로는 경수로와 상이한 냉각재, 핵연료 특성(물질, 형태, 제원, 연소도, 교체주기)을 갖기 때문에 다양한 노형의 선진원자로가 도입되는 경우 방사성폐기물 관리의 복잡성이 증가하고, 노형별 방사성폐기물 관리 기술 개발이 필요할 것으로 판단됨.
 - SFR의 반응성이 큰 소듐 관리 방안, HTGR의 연료 요소의 대부분을 차지하는 흑연의 분리 여부 및 관리 방안, MSR 연료 염의 실시간 처리 기술 및 방사성 핵종별 안정화를 위한 고화체 기술 개발 등에 대한 지속적인 연구가 필요함.
- 선진원자로는 개발 중인 기술로 가용한 자료가 부족하며 기술에 대한 이해가 부족하기 때문에 분석 결과는 불확실성을 내포하고 있음. 따라서 선진원자로의 후행 핵연료주기 관리방안에 대한 지속적인 관심이 필요함.
- 민간 주도로 다양한 선진원자로가 개발되고 있는 상황이나, 향후 성공적으로 시장에 진입하는 선진원자로를 중심으로 선택과 집중을 통한 효과적인 예산 투자 및 선진원자로와 연계한 핵연료 주기 분야 연구개발 수행이 필요할 것으로 판단됨.

참고문헌 

- “Advanced Nuclear Reactors: Technology Overview and Current Issues”, Congressional Research Service (2023)
- “Pathways to Commercial Liftoff: Advanced Nuclear”, DOE (2023)
- Evans D. Kitcher, “The White Paper: Disposition Options for Sodium-Cooled Fast Reactors”, INL/EXT-20-59581 (2020)
- Evans D. Kitcher, “A White Paper: Disposition Options for a High-Temperature Gas-Cooled Reactor”, NRIC 20-SDD-0002 (INL/EXT-20-59157) (2020)
- Evans D. Kitcher, “A White Paper: Potential Disposition Options for a Liquid-Fueled Molten Salt Reactor at INL”, INL/EXT-20-57831 (2020)
- INL, “Preferred Disposition Plan for Sodium-Bonded Spent Nuclear Fuel”, (2007)
- T.K. Kim, et al., “Nuclear waste attributes of SMRs scheduled for near-term deployment”, ANL/NSE-22/09, Revision 1 (2022)
- Lindsay M. Krall, et al., “Nuclear waste from small modular reactors”, PNAS, Vol. 119, No. 23 (2022)

주요단신

북미
North America

○ 미국 Prairie Island 원전, 계속운전에 필요한 건식저장시설 확충 위해 지역지원금 연간 131억 원까지 상향

MinnPost 2023.03.29., Uxc Spent Fuel 2023.03.31.

- 3월 29일 Minnesota Post에 따르면 Minnesota 주에 위치한 Prairie Island 원전(총 1,126MW, PWR 2기)의 운영사인 Xcel Energy는 해당 원전의 2차 계속운전에 따른 사용후핵연료 추가 발생분을 기존 건식저장시설에 저장하기 위해 2003년부터 지불하던 연간 지원금 규모인 250만 달러(약 32억 7천만 원)²⁾에서 1,000만 달러(약 131억 원)까지 증액하기로 합의함.
 - Prairie Island 1호기와 2호기는 각각 1973년 12월 16일과 1974년 12월 21일에 상업운전을 시작하여 NRC로부터 2011년 6월 27일에 1차 계속운전 허가를 받았으며, 현재 2차 계속운전을 준비 중임.
 - 1호기와 2호기는 각각 2033년과 2034년까지 운영할 수 있으며, Xcel Energy는 해당 원전의 20년 계속운전을 위한 2차 계속운전(Subsequent License Renewal, SLR) 신청 계획을 준비 중임.
 - 현재 해당 원전의 습식저장조(저장용량: 1,386 다발)에는 1,047개의 사용후핵연료 다발이, 건식저장시설에는 TN-America(현 Orano)에서 제작한 총 50개의 캐니스터에 2,000개의 사용후핵연료 다발이 보관 중임.
 - 해당 원전은 Prairie Island 인디언 보호구역에 인접해 있으며, 해당 지역의 인디언 자치정부인 Prairie Island Indian Community(PIIC)가 협의회 역할을 함.
 - PIIC는 Mississippi 강을 따라 1889년에 형성되었으며, 2020년 기준 310명이 거주하고 있는 것으로 알려짐.

2) 북미 단신 기사 내용 모두 2023년 4월 13일 환율 기준 적용(1달러=1,313원)

- 금번 인상 합의는 Xcel Energy가 Prairie Island 원전의 계속운전 추진의 일환으로 추진했으며, 2003년 합의된 캐스크(cask) 당 5만 달러(약 6천 6백만 원)의 단가가 적용됨.
- PIIC의 Johnny Johnson 회장은 PIIC가 사용후핵연료 저장시설과 밀집해있는 지역 사회라는 점을 고려했을 때 해당 지역 내 거주하는 주민들의 건강과 안전에 대한 책임을 질 수 있는 재정적인 지원이 필요하다고 언급함.
- Xcel Energy는 Prairie Island 원전의 계속운전을 통해 발전사가 기후 목표와 함께 2040년까지 무탄소 전력망 구축을 할 수 있도록 지원하기를 원한다고 밝힘.

◎ 해체 중인 미국 Pilgrim 원전, 미 환경보호청에 방사성 오염수 해양방류 허가신청

Capeandislands 2023.04.04.

- 4월 4일 Massachusetts 주에 위치한 Pilgrim 원전(711MW, BWR)의 해체를 담당 중인 Holtec은 해당 원전 사용후핵연료 저장수조에 보관 중인 방사성 오염수를 Cape Cod Bay로 방류 신청서를 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)에 제출함.
 - Pilgrim 원전은 원전 운영사 Entergy가 약 48년간 운영한 후 2019년 5월 31일 영구 정지했으며, 같은 해 8월 Holtec은 해체 작업의 권한과 사전에 적립된 해체기금 약 10억 3천만 달러(약 1.3조 원)를 인수함.
 - 해당 원전은 1968년 8월 26일에 착공하여 1972년 6월 16일 최초임계 달성, 1972년 7월 19일 계통망에 연결된 이후 1972년 12월 1일 상업운전을 시작함.
 - EPA에 따르면 오염수가 방사성 물질을 포함하고 있으나, EPA에 제출된 신청서는 비방사성 오염물질만 다루고 있음.
 - Holtec의 오염수 방류안과 관련하여 Save Our Bay 등 일부 지역 환경 단체 및 지역 주민들은 해당 기업이 오염수를 방류하는 것 이외의 다른 선택지가 있음에도 불구하고 연방 정부에 신청서를 제출했다는 사실은 오염수를 방류할 의도가 분명하다고 주장하며 이에 대한 반대 입장을 내비침.
 - Holtec은 오염수를 방류하는 방법 이외의 다른 방안 세 가지를 제시함. 여기에는 오염수를 외부 처리 시설로 이송하는 방법, 소내에서 오염수를 증발시키는 방법, 그리고 소내 오염수를 보관하고 장기간 부식시키는 방법이 있다고 밝힘.
 - 한편, 환경 당국은 Holtec이 연방 허가를 신청한 Pilgrim 원전이 현재 해체 작업 중으로 오염수를 방류할 수 없기 때문에 방류하기 위해서는 허가안 개정이 필요하다고 밝힘.

- Holtec의 대변인 Patrick O'Brien은 지표수 방류 허가를 위해 주 차원에서 허가 신청서도 제출할 필요성이 있으므로, 연방정부와 주 정부가 허가 작업을 공동으로 진행할 계획임을 언급함.
 - Massachusetts 주 공공보건환경부(Department of Public Health)와 환경보호부(Department of Environmental Protection)는 Pilgrim 원전의 방사성 오염수가 방류 기준에 충족하는지 점검하기 위해 샘플을 채취하여 검사를 진행할 예정임.

◎ 미국 상원 에너지·공공사업위원회, 선진 원자로 상용화 촉진을 위한 법안 발의

U.S. Senate Committee on Environment & Public Works Newsroom 2023.04.03.,
Nucnet 2023.04.05., The Breakthrough Institute 2023.04.06.

- 4월 3일 미 상원 에너지·공공사업위원회(Energy and Public Works, EPW)는 선진 원자로 기술 채택의 가속화를 포함한 규제기관 간의 선진 원자로 기술 협력 등 차세대 원전 개발과 관련한 초당적 지원을 바탕으로 한 새로운 법안인 ‘Accelerating Deployment of Versatile, Advanced Nuclear for Clean Act (이하 ‘Advance Act’)를 도입함.
 - Advance Act는 원자력 에너지의 보급 확대에 따른 인력 확보의 필요성, 석탄 발전소에서 원자력 발전소로의 전환, 그리고 사용후핵연료 관리 등의 내용을 골간으로 하는 법안으로서 깨끗하고 신뢰할 수 있는 원자력 에너지 사용 활성화 방안 모색에 중점을 둬.
 - 또한 해당 법안은 기후변화 해결 및 에너지 안보와 미국의 지정학적 이익을 강화하기 위한 원자력 기술 지원에 초점을 맞추고 있음.
 - EPW의 Shelley Moore Capito 상원의원을 필두로 한 공화당 상원의원 5명과 민주당 상원의원 5명으로 구성된 상원의원 대표 위원회(bipartisan group of senators)는 새로운 법안 도입이 자국의 원자력 리더십과 새로운 원자력 기술의 개발 및 보급을 가속화하고, 더 나아가서 에너지 기술을 보급하는데 미국이 선도적 역할을 할 것이라고 밝힘.
 - 해당 법안은 미국 원자력규제위원회(NRC)가 선진 원자로 프로그램 개발에 대한 지원을 원활하게 하는 새로운 연방 정부 추진체(initiative)를 수립하고, 미국의 선진 원자로 보급을 위한 재정 및 규제 경로를 간소화하는 데 도움을 줄 것으로 평가됨.
 - 구체적으로 Advance Act는 선진 원자로와 관련 연료를 안전하게 보급하는 데 필요한 확실성을 제공하고, NRC가 새로운 원자력 기술을 효율적으로 검토할 수 있는 인력과 수단 확보를 보장할 것이라고 밝힘.

● Holtec, 조기 폐쇄된 Palisades 원전 재가동을 위해 NRC와 규제 절차 논의

Holland Sentinel 2023.03.22., South Haven Tribune 2023.03.26.

- 3월 20일 Palisades 원전(805MW, PWR)의 해체를 담당 중인 Holtec은 미국 원자력 규제 위원회(Nuclear Regulator Commission, 이하 'NRC')와의 공개회의를 열고 해당 원전의 재가동을 위한 규제 절차(regulatory path)에 대해 논의함.
- Holtec은 Palisades 원전 재가동을 위해 2022년 5월 경제성을 이유로 해당 원전과 관련하여 제출한 영구정지와 연료인출에 대한 허가 취소(면제) 요청 계획을 밝힘.
 - 2개의 요청에 대한 면제가 승인되면 Holtec은 Palisades 원전 재가동을 위해 개정 허가 신청을 준비할 것임을 덧붙임.
 - 신청 서류에는 해당 원전 시설의 개정된 운영 허가과 기술 사양(technical specification) 및 비상 계획이 포함됨.
- Palisades 원전이 위치한 Allegan 카운티의 Jim Storey 의장은 해당 원전의 운영 재개에 찬성을 표하였으며, Michigan 주에 에너지 투자를 지원하기 위해서는 원전을 활용한 에너지 공급이 필요하다고 강조함.
- 한편, Holtec의 Kelly Trice 대표는 Palisades 원전을 재가동하기 위해서는 NRC의 인허가 외에도 미 에너지부 대출사무국(LPO)의 자금 요청 승인, 해당 원전 재가동을 위한 Michigan 주의 입법 승인, 사기업과의 전력구매계약(Power Purchase Agreement, PPA) 체결을 선결과제로 제시함.
 - Holtec의 Trice 대표는 올해 3월 미 에너지부 대출사무국에 신청한 자금 지원 결과에 따라 올해 여름까지 해당 원전의 재가동 결정을 내리는 것이 목표라고 밝힘.

● 캐나다 정부, 원자력 및 청정에너지 지원을 위한 연방 예산안 초안 발표

Canadian Nuclear Association News Release 2023.03.28., Nucret 2023.03.29.

- 3월 28일 캐나다 정부는 2023년 연방 예산안(Federal Budget 2023) 발표를 통해 자국 내 에너지 안보 강화와 청정에너지 전환에 필요한 계획을 제시함. 여기에는 SMR 및 모든 규모의 원전에 적용할 수 있는 세액공제, 원전에서 생산된 전력에 대한 생산 세액 공제, 그리고 청정 기술의 제조 및 기자재 공급이 포함됨.

- 이번에 새로 도입된 투자세액공제(Investment Tax Credit, ITC)에 따라 SMR과 대형 원전 건설 및 주요 설비개선 프로젝트에 대해 설비 규모와 관계없이 15%의 투자세액공제를 받을 수 있으며, 이는 2022년에 도입된 청정기술 투자세액공제(Clean Technology Investment Tax Credit)와는 별개임.
 - ITC는 공기업과 사기업에 모두 적용할 수 있으며, 지역 간 송전망 연계를 위한 투자에도 적용됨.
 - 기존의 청정기술 투자세액공제는 SMR을 포함한 무탄소 배출 전원 발전 기술과 에너지 및 자원 관리 등 다양한 분야에서 적용될 수 있는 기술에 최대 30%의 세액공제가 제공되며, 해당 기술을 개발하거나 사용하는 기업을 대상으로 적용됨.
- 또한 해당 예산안에는 청정 기술의 제조, 핵심 광물의 추출과 가공 및 재활용에 대한 30% 투자세액공제를 새롭게 추가함.
 - 여기에는 원전기자재 제조와 핵연료의 처리 및 재활용을 포함함.
- 캐나다 원자력협회(Canadian Nuclear Association, CNA)는 이날 발표된 예산안 초안이 원자력에 대한 정부의 지원과 함께, 자국 에너지 안보 보장 및 청정에너지로의 전환에 필요한 전반적인 가이드라인을 제시한다고 밝힘.
 - 또한, 협회의 John Gorman CEO는 해당 예산안 발표가 자국의 원자력 활용에 대한 전망을 보여주는 계기가 될 것으로 기대하며, 더 나아가서 저탄소 에너지 전환을 위해 원자력을 적극 활용해야 한다고 언급함.

기타단신

◎ Vogtle 3호기, 전력망 연결

World Nuclear News 2023.04.03., Nuclear Engineering International 2023.04.06.

- 4월 1일 Georgia Power는 Vogtle 3호기(1,250MW, PWR)가 전력망에 연결되어 최초로 발전을 시작했다고 발표함.
 - Georgia Power는 현재 Vogtle 3호기의 상업운전 일정을 올해 5월 또는 6월로 예상함.
 - 또한 Georgia Power는 3월 21일 Vogtle 4호기(1,250MW, PWR)의 고온기능시험(Hot Functional Testing)에 착수했다고 발표한 바 있으며, 해당 호기는 2023년 말 또는 2024년 초에 가동될 것으로 WNN을 포함한 현지 언론 등은 예상함.

◎ X-energy, 자사 고온가스로 성능 검증을 위한 상업규모 헬륨 시험설비 확보를 위해 캐나다 기업과 협력 체결

X-energy Newsroom 2023.03.30., World Nuclear News 2023.04.03.

- 3월 30일 X-energy는 자사가 개발 중인 소형 고온가스냉각로 Xe-100의 중요 시스템 및 부품의 성능 검증을 위해 북미에서 첫 상업 규모의 헬륨 시험설비(Helium Test Facilities, 이하 'HTF')의 설계와 운영을 목적으로 캐나다 원자력 엔지니어링 기업 Kinectrics와 파트너십을 체결했다고 발표함.
 - HTF는 헬륨 기반 고온·고압 환경에서 X-energy의 SMR인 Xe-100 원자로의 주요 구조물과 시스템 및 부품의 성능을 테스트하고 검증함.
 - HTF에서의 테스트를 통해 수집된 데이터는 Xe-100 가동과 시운전 절차를 개선하고, 원자로 유지보수, 직원 교육 등의 정보 제공을 목적으로 함.
 - X-energy의 J.Clay Sell CEO는 HTF의 경우 예상 운영 원자로 시스템 및 구성 요소를 시험하고, 안전성과 신뢰성을 검증하는 데 중요한 부분임을 밝힘.
 - 양사는 2023년 여름에 HTF 부지 발표 계획을 밝힘과 동시에, 2025년 설비 운영을 목표로 연내 시설의 세부적인 설계 완료 계획을 공유함.

- HTF의 시험 및 설계 검증은 X-energy가 미국 에너지부의 차세대 원자로 실증 프로그램 (Advanced Reactor Demonstration Program, ARDP)에 참여하는 일환으로, Dow사 시설부지 내 한 곳에 Xe-100 원자로 설치 계획을 지원함.

◎ 미국 MMR 개발사 USNC, 폴란드 기업·대학과 초소형모듈원자로 연구시설 건설을 위한 협약 체결

Ultra Safe Nuclear Corporation Press Release 2023.03.29., Nucnet 2023.03.30.,
World Nuclear News 2023.03.31., Nuclear Engineering International 2023.04.05.

- 3월 29일 미국 초소형모듈원자로(MMR)의 개발사인 USNC는 폴란드 화학기업인 Groupa Azoty Police와 폴란드 West Pomeranian University of Technology와 함께 MMR 기술을 기반으로 한 원자력 연구 시설을 공동으로 개발 및 건설하기 위해 협약을 체결함.
 - 금번 협력 협약은 2021년 2월 양국 정부 간에 의해 공식적으로 수립된 미국-폴란드 협력 프레임워크를 기반으로 함.
 - 이날 발표된 협약을 바탕으로 3개 기관은 향후 6개월 동안 MMR 기술을 기반으로 한 광범위한 연구 과제를 준비하고, MMR의 건설과 운영 및 보수를 위한 계획을 공동으로 개발하게 됨.
 - 공동 연구의 첫 번째 단계에는 연구 및 시험 시설로 활용될 30MW급의 MMR 건설을 포함하며, 이는 Groupa Azoty Police의 기존 에너지 인프라와 연계되어 무탄소 발전원으로 MMR을 연구 및 시험 시설로 운영할 예정임.
 - 또한, 이번 협력을 통해 궁극적으로는 Groupa Azoty Police의 화학 공정에 전력을 공급하고 공정열과 수소를 생산할 수 있는 상업규모의 MMR을 구축할 계획임.

주요단신

아프리카 Africa



◎ 남아공 Eskom, Koeberg 원전 계속운전 추진 위한 터빈 부품 교체

Nuclear Engineering International, 2023.03.21., World Nuclear News 2023.03.22.

- 2023년 3월 21일 남아공 원전운영사인 Eskom은 2045년까지 Koeberg 원전(930MW, PWR 2기)을 20년 간 계속운전하기 위한 준비 작업으로 Koeberg 1호기의 증기발생기 교체를 완료했다고 밝힘.
 - 1호기의 증기발생기 교체 작업은 당초 2021년 2월과 6월 사이, 2호기의 경우 2022년 1월과 5월 사이로 계획되었지만, 두 호기의 가동 정지로 인한 전력 공급 부족 가능성으로 인해 해당 작업이 연기되어왔음.
- 한편, Koeberg 1·2호기는 남아공에서 가동 중인 유일한 원전으로, Eskom은 2045년까지 두 호기를 20년씩 계속 운전할 계획임.
 - 1·2호기(설계수명 40년)는 각각 1984년과 1985년에 상업운전을 시작해 현재 남아공 전체 전력의 약 5%를 공급중임.
 - 2021년 Eskom은 남아공 원자력규제기관(National Nuclear Regulator, NNR)에 2024~2025년에 운영기간이 만료되는 Koeberg 원전에 대한 계속운전 신청서를 제출했으며, 2022년 7월에는 추가로 장기 운전의 안전사례 보고서를 제출함.
 - NNR은 해당 보고서를 검토한 결과 안전상 문제는 없는 것으로 확인해 2024년에 계속운전을 승인할 것으로 전망됨.

주요단신

유럽 Europe



○ 불가리아, 미국·프랑스와 신규 원전 건설 사전단계인 FEED 추진 예정

Seenews, World Nuclear News 2023.03.28.

- 2023년 3월 28일 불가리아 국영 통신사인 BTA에 따르면 에너지부는 신규 원전 건설을 위해 미국 Westinghouse 및 프랑스 EDF와 각각 Kozloduy 원전 증설과 Belene 원전 신규건설을 위한 선행주기 엔지니어링·설계(Front-End Engineering and Design, FEED) 프로젝트 계약을 체결할 예정으로 알려짐.
 - Elenko Bozhkov 에너지부 차관은 Westinghouse와 Kozloduy 원전 부지에 AP1000 PWR 2기를, EDF와 Belene 부지에 러시아 Rosatom이 Belene 원전용으로 납품한 기가재를 활용해 1,000MW PWR 2기 건설을 위한 FEED 계약을 체결을 시행할 계획이라고 밝힘.
 - 지난 3월 Westinghouse는 자사와 불가리아 Kozloduy 부지에 신규원전 건설 추진을 위해 설립된 Kozloduy NPP-Newbuild와 AP1000 노형을 건설하기 위한 공동 워킹그룹을 설립하기로 하고, 이를 위한 양해각서를 체결했다고 발표한 바 있음.
 - Belene 신규원전 건설은 2006년 러시아와 불가리아가 2GW 규모의 원전 건설 협약을 체결하고 일부 기가재를 선발주 하였으나, 최종계약을 체결하지 못한 채 2009년에 사업이 중단됨. 이후 2018년에 건설이 다시 추진되어 2020년에는 Rosatom, EDF, GE는 공동사업 추진을 위한 양해각서를 체결한 바 있음.
 - Bozhkov 에너지부 차관은 FEED 프로젝트 결과는 차기 정부와 의회에 제출되어, 정치적인 요인이 아닌 기술적·경제적 지표를 기반으로 신규 원전 건설 프로젝트 추진에 대한 최종 결정이 내려질 것이라고 밝힘.
- 불가리아는 2009년 중단된 Belene 원전 건설 계획을 2018년부터 다시 추진해왔으나, 최근 2년간 5번의 총선을 치르는 동안 해당 원전 추진 방향이 변화해 옴.

- 불가리아는 2009년에 중단된 2012년 Belene 원전 건설을 철회하고 2017년 Rosatom에 6억 유로³⁾(약 8,625억 원)를 지급하고 Belene 원전용으로 제작된 기자재를 자국으로 운송해 옴.
 - 이후 2018년 불가리아 의회가 Belene 원전 건설 재개를 승인하자, 2019년 불가리아 정부는 전략적 투자자 후보 3개 업체(Rosatom, CNNC, 한국수력원자력)와 기기 공급업체 후보2개 업체(Framatome, GE)를 선정하 바 있음.
 - 당시 자금 보증이나 전력판매 계약 체결 등의 지원은 없다는 입장을 밝힘.
 - 2022년 2월 불가리아 정부는 해당 원전 건설 계획을 철회하고 대신 Kozloduy 원전에 최소 1기의 신규 원전 증설 계획을 발표함.
 - 2023년 1월 불가리아 정부는 Belene 1·2호기 신규건설과 더불어 Kozloduy 부지의 7·8호기 증설 계획을 발표함.
 - 이는 2027년과 2029년까지 가동되는 Kozloduy 5·6호기의 영구정지에 따른 전력손실을 사전에 대비하고자 함임,
- 한편, 불가리아는 Kozloduy 5·6호기(총 2,006MW, PWR)를 가동해 전체 전력의 약 3분의 1을 공급하고 있으며, Kozloduy 1~4호기(1,632MW)를 EU 가입 조건으로 영구 정지함.

◎ 영국 환경청, Sizewell C 신규 원전에 대한 3가지 환경허가 승인

World Nuclear News, Gov.UK 2023.03.28.

- 2023년 3월 28일 영국 환경청은 Sizewell C 프로젝트를 담당하는 NNB Generation Company (SZC) Ltd(이하 NNB GenCo)에 Sizewell C 신규 원전(총 3.2GW, PWR 2기)에 대한 방사성폐기물 처분·비상발전기 사용·방사성유출물 배출 관련 환경허가를 승인함.
 - NNB GenCo는 EDF Energy Holding Ltd(80%)와 GB Gas Holding Ltd(20%)의 합작 기업인 NNB Holding Company Ltd의 자회사로, Sizewell C 원전의 설계, 조달, 제조, 건설, 시운전, 운영, 해체와 관련된 인허가 취득을 담당함⁴⁾.
 - 영국 환경청이 실시하는 신규 원전의 평가 및 인허가 절차는 일반적으로 일반설계평가(GDA) 및 환경허가로 구성되며, 이번 허가는 후자에 해당함.

3) 유럽 전체 기사 2023년 4월 14일 환율 기준 적용(1 유로=약 1,437원)

4) EDF Energy, NNB GENERATION COMPANY LTD Company Document

- 환경청은 GDA를 통해 원전 설계의 환경적 측면, 환경허가를 통해서 부지 조사·준비, 건설 작업 진행, 원전 운영·해체 사안을 평가함.
- 해당 환경허가건은 NNB GenCo가 2020년 5월 환경청에 접수했으며, 같은 해 7월부터 10월까지 공문화를 거쳐 2022년 7월부터 9월까지 환경허가 승인 초안을 작성함.
- 환경청은 이번에 승인한 환경허가는 Sizewell C 원전 운영에 필요한 규제상의 허가로, 시운전, 가동, 해체 상황 시 환경 보호를 위해 NNB GenCo의 의무 사항을 포함하고 있다고 설명함.
 - 환경청은 이번 결정이 프로젝트 초기 추진 단계부터 주민과 환경을 보호하면서 해당 원전의 설계, 조달, 시운전에 긍정적인 영향일 미칠 수 있을 것으로 전망함.
 - 또한, NNB GenCo는 이번 환경허가 취득으로 Sizewell C 원전 가동·방사성폐기물 처분·디젤발전기(열출력 227MWth, 총 12기)를 이용한 비상발전계통 가동·액체 방사성유출물의 복해 배출이 가능하게 되었다고 밝힘.
- 환경청은 NNB GenCo가 부지 조사 및 건설 작업, 근로자 숙소와 관련된 기타 환경허가 신청서를 추후 제출해야한다고 덧붙임.

◎ 운영년수 40년 다가오는 스페인 Trillo 원전, 계속운전 위한 운영허가 갱신 신청 예정

세계 원전시장 인사이트 2023.03.17., Foronuclear 2023.3.29., Nucnet, 2023.04.04.

- 스페인 원전운영사 CNAT(Centrales Nucleares Almaraz-Trillo)는 현재 자국에서 운영 중인 원전 중 가장 빨리 운영허가 만료시점이 다가오는 Trillo 원전(1,003 MW, PWR)을 2034년까지 10년간 계속운전을 시행하기 위해 생태전환·인구 문제부(Ministry for the Ecological Transition and the Demographic Challenge, MITECO)에 운영허가 갱신을 신청하기로 함.
- CNAT는 Trillo 원전의 10년 계속운전 시행 계획은 열화 평가 및 관리 통합 계획(PIEGE)과 주기적안전성평가(PSR) 결과를 토대로 한다고 밝히며, 원전이 안정적인 전력 공급을 보장하는 근본적이 기술이라는 입장을 밝힘.
 - 스페인은 원전의 설계 수명을 40년으로 설정하고 있지만, 주기적안전성평가(PSR)를 토대로 10년 단위로 운영허가 갱신이 가능해 실제로는 40년 이상 계속 운전이 가능함.
 - 스페인은 운영 허가 기간을 사전에 설정하지 않고 사례별로 결정함. 1999년부터는 10년 주기로 인허가 갱신을 승인함. 이와 유사하게 계속운전 기간은 사전에 결정되는 것이 아니라 사례별로 평가됨.⁵⁾

5) OECD-NEA, legal frameworks for long-term operation of nuclear power reactors(2019)

- CNAT는 Trillo 원전의 운영허가 만료일(2024년 11월 17일) 전에 MITECO로부터 운영허가 갱신을 취득할 것으로 예상함.
 - MITECO는 계속운전 승인을 포함해 최초 승인과 운영허가 갱신 승인을 담당함. 승인은 장관령(Ministerial Orders)을 통해 이루어짐.

■ 스페인은 2023년 4월 기준 7,123MW 규모의 총 7기의 원전(Almaraz 1·2호기, Vandellós 2호기, Ascó 1·2호기, Cofrentes, Trillo 1호기)을 가동 중이며, 7기 모두 운영된 지 40년 이상이 되어 계속운전 중이며, 2028~2035년 사이에 계속운전 허가가 만료됨.

- 스페인 정부는 2020년 1월에 발표한 에너지 및 기후 계획안(National Integrated Energy and Climate Plan 2021~2030) 초안을 통해 2027년부터 2035년까지 단계적 원전 폐쇄(총 7기)를 명시한 바 있으나, 올해 3월 최근 스페인원자력학회(Sociedad Nuclear Espanola)는 자국 원전의 계속운전을 촉구함.
- 학회는 Almaraz 1·2호기, Ascó 1호기, Cofrentes 원전이 영구 정지될 경우 2027년과 2030년 사이에 4GW 규모의 설비 용량(스페인 전체 발전량의 12%)이 감소해, 이로 인한 관련 일자리 감소와 경제적 손실이 발생할 것을 우려함.

〈스페인 원전 운영 현황〉

원자로	노형	용량(MW)	상업운전 시작 시기	운영허가 만료 시기	폐쇄 예정 시기
Almaraz 1호기	PWR	1,011	1983.09.	2027.11.	2027
Almaraz 2호기	PWR	1,006	1984.07.	2028.10.	2028
Ascó 1호기	PWR	995	1984.12.	2030.10.	2029
Ascó 2호기	PWR	997	1986.03.	2031.10.	2033
Cofrentes	BWR	1,064	1985.03.	2030.11.	2030
Trillo 1호기	PWR	1,003	1988.08.	2024.11.	2035
Vandellós 2호기	PWR	1,045	1988.03.	2030.07.	2034

자료 : Foronuclear 및 CincoDias⁶⁾

6) CincoDias, 2019.02.11., https://cincodias.elpais.com/cincodias/2019/02/08/companias/1549647160_807281.html
<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/energia-nuclear-en-espana/>

◎ 독일 환경부, 4월 15일까지 가동 중인 3기 원전 영구정지 확정

Clean Energy Wire 2023.03.31.

■ 2023년 3월 Steffi Lemke 독일 환경부 장관은 단계적 원전 폐지에 관한 기자회견에서 현재 가동 중인 3기의 원전(Isar 2호기, Neckarwestheim 2호기, Emsland)을 4월 15일까지 영구정지할 계획이라고 발표함.

- 독일은 우크라이나 전쟁 여파로 인한 에너지 위기 상황 속에서 원전을 동절기 예비전력 설비로 활용하기 위해 2022년 말에 영구정지될 예정이었던 3기의 원전을 올해 4월까지 연장운전하기로 함.
- Lemke 장관은 원자력의 시대는 종료되었지만, 자국 전역에 위치한 약 30기의 원전을 완전히 해체하고 방사성폐기물 처분 방식을 결정하는 데는 수십 년이 걸릴 것이라고 전망함.
 - Lemke 장관은 자국의 3세대는 원자력 사용의 혜택을 누렸으나 미래의 약 30,000세대가 원전 가동으로 발생한 방사성폐기물의 영향을 받을 것이라고 우려하며, 고준위 방사성 폐기물 최종 처분장 후보부지 선정이 매우 어렵지만 피할 수 없는 작업이 될 것이라고 강조함.
 - 독일은 2013년에 제정된 고준위 방사성폐기물 최종 처분시설 부지선정법(Site Selection Act)에 따라 2031년까지 최종 처분시설 부지 선정, 2051년 가동을 목표로 하고 있음. 최종 선정된 부지에는 고준위 방사성폐기물이 1,900개의 저장용기에 담겨 처분될 예정임.
- 또한 Lemke 장관은 인접국가의 오래 가동한 원전과 전쟁으로 인한 우크라이나 원전의 내부 손상과 같은 원자력 사고의 위험이 여전히 존재한다고 우려를 표명함.
 - 연방방사선방호청(BfS)은 현재 자국 국경 100km 반경에 인접국가의 7기의 원전이 가동되고 있어 자국 주민들에게 위험이 되고 있다고 밝히며, 단계적 원전 폐쇄 시행으로 모든 원전 사고의 위험이 사라진 것은 아니라고 지적함.
- 한편, 올해 초 독일 Volker Wissin 교통부 장관은 3기 원전의 4월 이후 가동을 주장하며, 이에 대한 결정을 전문가위원회에 위임할 것을 제안하였으나, Robert Habeck 에너지부 장관은 추가 가동 제안을 거부함.⁷⁾

7) 세계 원전시장 인사이트 2023.01.13.

◎ 독일 EnBW, 4월까지 연장운영되는 Neckarwestheim 2호기 해체 허가 취득

EnBW 2023.04.05., Nuclear Engineering International, 2023.04.11.

- 2023년 4월 5일 독일 전력기업 EnBW는 바덴뷔르템베르크(Baden-Württemberg) 주정부 환경부로부터 이달에 영구정지될 예정인 Neckarwestheim 2호기(1,400MW, PWR)의 해체 및 철거 허가를 취득함.
 - Neckarwestheim 2호기는 1989년에 상업운전을 시작하여, 2022년 약 11TWh 이상의 전력을 생산한 바 있음.
 - EnBW는 Neckarwestheim 2호기 해체 허가 취득 후 Baden-Württemberg 주에 소재한 다섯 번째이자 마지막 원전에 대한 해체 프로그램이 원자력법 상에서 승인되었다고 언급하며 해체 기간을 약 10~15년으로 전망함.
 - Neckarwestheim 2호기의 해체·철거 신청서는 2016년에 제출됨.
 - EnBW는 자사가 운영했던 Neckarwestheim 1호기, Obrigheim 원전, Philippsburg 1·2호기에 대한 해체 허가를 이미 취득함.

◎ 영국 원자력청, 한국·일본과 핵융합 기술개발 위한 협력 협정 체결

Gov.UK, Nuclear Engineering International 2023.03.23./27., World Nuclear News 2023.03.28.

- 영국 원자력청(United Kingdom Atomic Energy Authority, UKAEA)은 핵융합 개발을 위해 한국 연구기관 및 일본 스타트업 기업과 각각 핵융합 관련 협력을 체결함.
 - ※ UKAEA는 영국의 핵융합에너지 및 기술을 연구하는 정부 산하 연구기관으로 2016부터 핵융합 로봇 센터인 RACE를 개소하여 극한 환경에서 활용되는 로봇 기술을 연구 및 개발함.
 - 3월 27일 UKAEA는 한국핵융합에너지연구원(KFE)과 유럽공동핵융합장치의 원격 유지보수에 필요한 기술개발을 위한 협력 양해각서를 체결함.
 - UKAEA가 운영하는 유럽공동핵융합장치인 JET(Joint European Torus)는 국제핵융합 실험로(ITER) 설계와 유사하며 로봇을 통한 원격 유지보수가 시행됨. KFE는 ITER와 같은 초전도 기술을 이용한 유일한 토카막 방식의 한국형핵융합로인 KSTAR(Korea Superconducting Tokamak Advanced Research)를 운영 중으로, 두 기관 모두 원격 유지보수에 대한 지식이 필요함.

- 양측은 이번 협력을 바탕으로 위기 기반의 연구 개발 우선순위 설정, 용접·긴장재(tendon) 방식의 로봇팔 작동·강력한 전자부품 개발·기술 이전 지식을 강의, 세미나, 워크숍을 통해 공유할 예정임.
- 이에 앞서 3월 23일 UKAEA는 일본 핵융합기업 Kyoto Fusioning(KF)과 핵융합 재료 개발에 관한 협력협정을 체결해 핵융합 기계 내부에 구조재(structural material)로 사용하기에 적합한 ‘융합-단계(fusion-grade)’ 탄화 규소 복합체(SiC/SiC) 개발 프로젝트를 공동 작업하기로 함.
 - ※ KF는 2019년에 교토에 설립된 스타트업 기업으로, 영국 Reading과 미국 Seattle에 지사를 두고 있으며, 자이로트론 시스템(gyrotron systems), 삼중수소(tritium) 연료 주기 기술, 삼중수소 생산 및 발전용 증식 블랭킷(breeding blankets)과 같은 상업용 핵융합로의 첨단 기술 개발에 주력하고 있음.
 - 핵융합 기계 증식블랭킷(breeder blanket) 내부에 고온에서 작동하고 중성자 손상(neutron damage)에 잘 견디는 물질인 탄화 규소 복합체(SiC/SiC)를 사용하면 핵융합장치의 효율성과 상업성(commercial viability)을 높일 수 있음.
 - KF는 탄화 규소 복합체의 원료 제조 경험과 탄화규소 물질 설계, 실험, 제조의 전문성을 보유함.
 - KF는 전문지식과 서비스를 제공하기 위해 UKAEA와 여러 차례 계약을 체결했으며, 특히 2022년 8월에 핵융합 실증로인 STEP(Spherical Tokamak for Energy Production) 엔지니어링 기업 컨소시엄의 회원으로 선정됨.

기타단신

◎ 프랑스 EDF, NUWARD SMR 본격 개발 위한 자회사 설립

EDF 2023.03.30., Nuclear Engineering International, 2023.04.05.

- 2023년 3월 30일 EDF는 자사가 개발 중인 NUWARD SMR(각 170MW, PWR 2기) 개발을 가속화하기 위해 전액 출자 자회사인 NUWARD를 설립함.
 - NUWARD SMR 프로젝트는 원자력·대체에너지위원회(CEA)·EDF·Naval Group(방산기업)·TechnicAtome(원자로 설계·정비기업) 컨소시엄이 2019년 9월부터 추진한 사업으로, 2022년에 Framatome(프랑스 원자력 기업) 및 Tractebel(벨기에 엔지니어링 기업)도 이에 합류함.
 - EDF는 NUWARD의 전문 인력을 2024년까지 약 150명으로 늘릴 예정이며, 파트너기업의 직원을 포함하여 총 600명 이상이 SMR 개발에 참여할 것으로 전망함.
 - 이는 NUWARD의 설계·안전 보고서(DOS)가 오는 7월에 프랑스 원자력안전청(ASN)에 제출되며, 이후 관계기관과의 논의를 통해 최초의 참조 원전 부지를 평가 및 하고 선정할 계획에 대응하기 위함임.

주요단신**아시아** Asia

○ 일본 원자력문화재단 여론조사에서 향후 원전 활용에 대해 당분간 이용 및 점진적 폐쇄 가장 많은 선택 받아

原子力産業新聞 2023.03.28., 日本原子力文化財団 웹사이트 최종 검색 2023.04.10.

- 3월 일본 원자력문화재단은 2022년 10월 전국 15~79세 남녀 총 1,200명을 대상으로 시행한 원자력에 관한 여론조사[※] 결과를 웹사이트에 공개함. 조사 결과, 향후 일본의 원전 이용에 대한 답변으로 ‘당분간 이용하지만 점차 폐쇄해야 한다.’가 44%를 차지해 가장 높은 응답률을 보임.

※ 원자력에 관한 여론 조사는 2006년부터 매년 시행되며 조사원이 조사 대상자에게 설문지를 직접 방문 전달하고 차후에 설문지를 회수하는 유치 조사 방법으로 진행되었음.

- 향후 원전 이용에 대해 두 번째로 높았던 응답률은 ‘모르겠다.’로 약 29%를 기록했으며, 이후 ‘동일본대지진 이전의 원전 수준을 유지해야 한다.’가 12%, ‘원전을 확대해야 한다.’가 5.4%, ‘즉시 폐쇄해야 한다.’가 약 5%이었음.

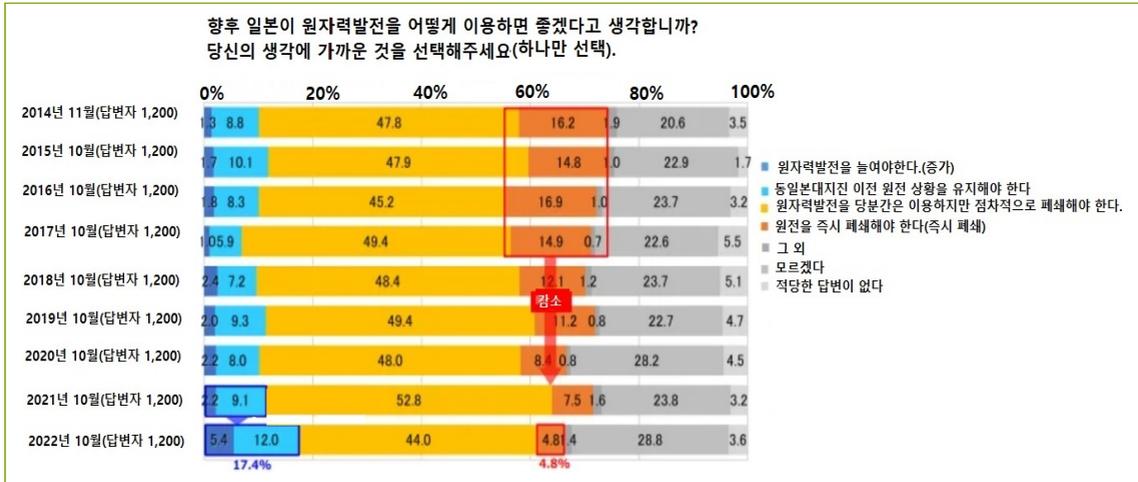
- 2021년에도 원자력을 당분간 이용하지만, 점차 폐쇄해야 한다가 52.8%로 가장 많았고, 동일본대지진 이전 원전 수준을 유지가 9.1%, 즉시 폐쇄가 7.5%, 원전 확대 2.2%이었음. 2022년에 즉시 폐쇄를 선택한 답변은 2014년 16.2%와 비교하여 감소함.

- 원전 재가동에 대한 답변은 ‘국민의 이해를 얻지 못했다.’가 46%로 가장 많았고, 이어서 ‘안정적인 전력 공급을 생각하면 재가동은 필요하다.’가 약 35%를 차지함.

- 2022년에는 처음으로 오염수 및 처리, 해양 방류, 삼중수소 정보에 대한 지식수준을 묻기 위한 항목을 설문에 포함했고 응답 분석 결과 오염수 해양 방류에 대한 지식 정도가 낮은 것으로 나타남.

- 오염수의 정의, 삼중수소 제거의 어려움 등 오염수 해양 방류 관련 정보를 제시하고 다른 사람에게 설명할 수 있는 것을 선택하도록 하자 어느 것도 설명할 수 없다가 83%이었음.

〈향후 원전 이용에 대한 설문 결과의 추이(2014~2022)〉



자료: 原子力文化財団, 原子力に関する世論調査 Summary(2023.03.)를 토대로 편집·작성

◎ 일본 경제산업성 전문가위원회, 하계 공급예비율 안정적일 것으로 전망

세계원전시장 인사이트 2022.06.24./07.22., 調整力及び需給バランス評価等に関する委員会 事務局 2023.03.22., 資源エネルギー庁, 日本経済新聞, NHK 2023.03.29., 毎日新聞 2023.03.30., 原子力産業協会 최종 검색 2023.04.10.

■ 일본 경제산업성 전문가위원회가 3월 29일 공개한 2023년 하계 공급예비율 분석 결과 모든 지역에서 안정적인 전력 공급에 필요한 설비를 확보한 것으로 분석됨.

- 하계 설비예비율은 10년에 한 번 빈도로 발생할 폭염을 가정하며, 이에 따른 최대전력 수요를 기반으로 분석됨.
- 2022년 8월에는 후쿠시마 사고 이후 재가동한 원전 10기 중 예방 정비 등으로 실제 가동 한 원전이 6기*였으나 2023년 8월에는 10기가 가동할 예정이며 건설중인 화력도 운전을 개시할 계획이므로 전체 공급력이 증가할 것으로 전망됨.

* 8월 초에는 7기가 가동했지만 8월 23일 1기가 예방정비에 들어가 8월 한 달 내내 가동한 원전은 6기임.

■ 예비율이 가장 낮은 도쿄구역도 7월 안정적인 전력 공급에 최소로 필요한 예비율 3%를 확보할 것으로 예측되지만, 경제산업성은 최근 몇 년간의 예상 밖 폭염 발생 이력과 재택 근무 보급으로 전력 수요 역시 증가 추세를 고려하여 추가 공급력 공모를 검토할 예정임.

- 2022년 6월 도쿄구역에서는 이례적인 폭염이 발생한 상황에서 예방 정비 중인 발전소도 많아 충분한 공급력 확보가 어려울 것으로 예측되어 경제산업성이 추가 공모로 공급력을 확보해 도호쿠, 도쿄, 주부 3개 구역의 7월 공급예비율 3.7%를 확보한 바 있음.

- 2022년 6월 일본 정부는 7년 만에 처음으로 7~9월까지 가정과 기업에 절전을 요청했음.

〈2022년과 2023년 하절기 일본 공급예비율 예측〉

<2022년 6월 기준 공급예비율 예측치>				<2023년 3월 기준 공급예비율 예측치>			
구역	7월	8월	9월	구역	7월	8월	9월
홋카이도	21.4%	12.5%	23.3%	홋카이도	8.6%	10.9%	20.0%
도호쿠				도호쿠			19.3%
도쿄			6.2%	도쿄	3.0%	3.9%	5.3%
주부				주부			11.4%
호쿠리쿠	3.7%	5.7%		호쿠리쿠		13.6%	
간사이				간사이	11.7%		12.9%
주고쿠			6.4%	주고쿠			
시코쿠				시코쿠		14.4%	
규슈				규슈		13.6%	18.5%
오키나와	28.2%	22.3%	19.7%	오키나와	22.3%	18.7%	21.6%

자료: 資源エネルギー庁, 電力需給対策について(2022.06.30.), 電力需給対策について(2023.03.29.)를 토대로 편집·작성

◎ 일본 경제산업성, 원전 관련 지자체 지원 및 소통 위한 회의 등 신설

原子力関係閣僚会議 2022.12.23., 経済産業省 2023.04.06., NHK 2023.04.06., 朝日新聞 2023.04.07.

■ 일본 경제산업성은 4월 6일 원전 입지지역 기초지자체 장들과 소통을 목적으로 한 ‘원자력정책 지역회의’와 각 원전 입지 지역에 대한 지원을 일괄적으로 추진하는 ‘지역지원팀’을 신설했다고 밝힘.

• ‘원자력정책지역회의’는 정부와 원전 입지 기초지자체 장들이 소통하기 위해 설치되었으며 원전 정책 실현과 지역 과제 해결을 목표로 함.

- 구성원은 경제산업 대신, 자원에너지청, 지역경제산업그룹, 일본 9개 지역에 설치된 경제산업국*과 원전이 입지한 기초지자체 25곳의 장임.

* 경제산업국은 경제산업성의 지방 지국으로 일본 전역을 9개 관할로 나누어 9개 지역에 설치되어 있음. 지역 사회와 경제산업성을 연결하는 역할을 담당함.

- 첫 회의는 4월 6일 비공개로 개최되었고, NHK의 4월 6일 보도에 따르면 고준위 방폐물 최종 처분 실현과 관련해 회의 참석자들로부터 국민적인 논의가 필요하다는 의견이 제시된 것으로 알려짐.

■ 경제산업성 내에 설치한 ‘지역지원팀’은 자원에너지청과 각지에 있는 경제산업국 직원 약 100명으로 구성됨. 원전 입지 지역의 실정과 니즈를 파악하면서 원전 정책에 대한 이해 활동, 지역 진흥을 위한 지원, 지역 상담 등을 일괄적으로 수행함.

◎ 일본 중단층 여부 확인 중인 쓰루가 2호기, 자료 미비로 재가동 심사 재차 중단

読売新聞, 日本経済新聞, 埼玉新聞 2023.04.05., 電気新聞 2023.04.06., 京都新聞 2023.04.11.

- 일본 원자력규제위원회는 4월 5일 쓰루가 2호기(1,160MW, PWR) 적합성 심사 자료에서 오류가 계속 발견되어 쓰루가 2호기의 심사를 재중단하고 일본원자력발전에 8월 말까지 자료 보완·수정을 요구하기로 결정했으며, 일본원자력발전은 4월 11일 규제위의 결정에 따르겠다고 밝힘.
- 일본원자력발전은 2015년 11월 쓰루가 2호기의 재가동을 위한 적합성 심사를 규제위에 신청하였으나 2019년 규제위에 제출한 지진과 지진해일 대책 자료 중 1,000군데 이상에서 오류가 발견됨.
- 이후 2020년에는 쓰루가 2호기 부지 내 지질 관측 일부 기록이 무단으로 수정된 사실을 규제위가 확인해 규제위는 약 2년간 심사를 중단한 후 2022년 12월 심사를 재개함.
- 하지만 심사 재개 후에도 자료 중 157곳에서 오류가 발견되었고, 2023년 3월 심사 회의에서는 추가로 8곳에서 오류가 재차 발견되자 원자로의 지진·지진해일 심사를 담당하는 위원이 심사 지속 여부를 규제위원회에서 논의하겠다고 밝혔음.

◎ 이집트, El Dabba 3호기 건설 허가 승인

세계 원전시장 인사이트 2022.07.08., Ahramonline 2023.03.29., World Nuclear News 2023.03.31., Nuclear Engineering International 2023.04.04.

- 3월 29일 이집트 원자력 규제청(Egyptian Nuclear and Radiological Regulatory Authority, ENRRA)은 러시아와 협력을 통해 자국에 건설 예정인 El Dabba 3호기(1,200MW, PWR) 건설을 허가함.
- 이집트 원자력발전청(Nuclear Power Plants Authority, NPPA)은 ENRRA의 모든 규제 요건을 충족하고 원자력 안전 기준에 도달했으며, 종합검사(comprehensive inspection)를 거쳐 3호기 건설의 안전성을 확인한 뒤 건설 허가를 내린 결정이라고 밝힘.
- 2017년 12월 이집트는 러시아와 원전 건설 계약을 체결한 바 있으며, 2026년 최초 호기 가동을 목표로 러시아의 1,200MW급 VVER-1200 노형 4기로 구성된 El Dabba 원전 건설을 추진 중임.

- 총 건설비용 약 300억 달러(약 39.5조 원) 중 250억 달러(약 32.9조 원)는 러시아 재무부로부터 차관 형식으로 제공받고, 나머지 50억 달러(약 6.5조 원)는 민간 사업자 유치를 통해 자금을 조달함.
- Rosatom은 해당 원전 운영 기간에 걸쳐 핵연료 공급과 함께 인력 교육 및 양상, 그리고 10년 동안 원전 운영과 유지보수를 지원할 계획임.
- 이집트는 2030년까지 해당 노형 4기 건설 완료를 추진 중이며, 원자력이 자국 내 전력 공급의 9%를 차지하는 것을 목표로하고 있음.
- 한편, El Dabba 1호기의 경우 2022년 6월에 건설 허가를 취득해, 2022년 7월에 착공하였으며, 2022년 9월 기초 작업이 완료됨. El Dabba 2호기의 경우 2022년 10월에 건설 허가를 취득한 후, 2022년 11월에 착공함.
 - 4호기의 건설은 2023년 후반에 시작될 것으로 예상됨.

◎ 인도네시아, 최초의 원전 건설을 위한 부지 조사 착수

Bloomberg 2023.03.31.

- 3월 31일 인도네시아 정부는 새로운 수도 Nusantara의 근처에 있는 West-Kalimantan과 Bangka-Belitung 지역에서 자국 최초 원전 건설을 위한 부지 조사를 진행 중임을 밝힘.
 - 조사 대상 지역은 지진 위험이 낮고 지방 정부 지원과 전력 수요가 비교적 낮은 곳으로 알려짐.
 - 2023년 3월 미국 무역개발처(USTDA)는 인도네시아 정부와 미국이 SMR 개발 합의각서(MOA) 체결 당시 SMR 건설을 위한 탐사지역으로 언급된 West Kalimantan을 대상으로 한 부지 조사, 예비 환경 및 사회 영향 평가 등에 필요한 100만 달러(약 13억 원)를 인도네시아 전력공사에 지급함.
 - NuScale Power와 해당 기업의 대주주인 Flour Corp는 일본의 엔지니어링 기업인 JGC와 함께 인도네시아 West-Kalimantan에 462MW급 원자로 건설을 지원할 계획임.
 - 에너지 광물자원부의 관계자는 현지 인터뷰를 통해 원자력 사용의 확대는 지열 및 수력과 같은 수준의 기저 발전 공급을 자국 내 가능하게 하고, 안정적인 에너지 공급망에 크게 기여할 수 있을 것이라는 기대감을 표함.
 - 한편, 인도네시아의 정부는 2045년까지 자국 내 최초의 원전 건설을 위한 청정에너지 법안(clean energy bill)을 추진 중임.

〈인도네시아에서 진행 중인 원전 부지 조사 현황〉



자료: IAEA Country Nuclear Power Profiles Indonesia (2023.04.07.)

◎ **용융염원자로 개발사 ThorCon, 인도네시아 원자력규제기관과 실증 원자로 인허가를 위한 협력 예정**

World Nuclear News 2023.04.05., Nuclear Engineering International 2023.04.06.

■ 4월 5일 미국 용융염원자로 개발사인 ThorCon의 현지법인인 PT ThorCon Power 인도네시아 (이하 ‘ThorCon 인도네시아’)는 인도네시아 원자력규제기관(Bapeten)과 ThorCon이 개발 중인 500MW 규모의 TMSR-500 실증시설 인허가에 필요한 방호조치(safeguard)협의를 위한 협정을 체결함.

- 이번 협의에는 구체적인 일정, 역할 및 책임, 적용 가능한 법률 및 규정, 그리고 인허가 신청서에 포함되는 기술 및 행정 문서 범위를 규정하는 로드맵 작성과 함께 설계 준비에 대한 평가가 포함됨.
 - 또한, 이번 협의에는 TMSR-500 생산을 위한 기본계획 문서 검토와 해당 원자로의 원형로 (prototype) 및 NTP(Non-Fission Test Platform) 설비 관련 로드맵 협의와 기술 및 비 기술 문서 작성, 인허가 발급에 필요한 NTP 관련 협의, 그리고 TMSR-500의 설계 승인 논의 등이 포함됨.
 - 해당 협의 기간은 1년 정도 걸릴 것으로 예상되며, ThorCon 인도네시아는 협의가 마무리 된 이후 인허가 신청서를 제출할 계획임.
- ThorCon 인도네시아는 2029년까지 자국 Bangka-Belitung 주의 Kelasa Island에 TMSR-500 시범시설의 허가·건설·운영할 계획이라고 밝힘.

- Bapeten은 재생에너지 발전 기술의 연구 개발 장려를 바탕으로 기후 변화를 줄이고 탄소 중립 달성을 위한 에너지전환 정책 시행 가속화 계획과 함께, 현재는 원전이 전무하나 2035년까지 8GW, 2050년까지 35GW의 원전 도입을 목표로 함.
- 한편 Throcon은 자사의 TMSR-500이 착공부터 계통연계까지 24개월밖에 소요되지 않으며, MSR-500 2기 건설에 약 12억 달러(약 1.6조 원)가 필요할 것으로 예상함.
 - 또한 자사의 생산설비 운영이 본격화될 경우 연간 10GW의 원자로 생산이 가능하다고 전망함.

◎ 인도, Kudankulam 원전 부지 내 사용후핵연료 저장시설 운영 시작

World Nuclear News 2022.12.01., The Times of India 2023.04.06.

- 4월 6일 인도 원자력부(DAE)는 Tamil Nadu에 위치한 Kudankulam 원전(총 6,000MW, PWR 6기) 부지 내에 해당 주 주정부의 반대에도 불구하고 사용후핵연료 저장시설을 완공했다고 발표함.
 - 인도 원자력부의 Jitendra Singh 장관은 자국이 사용후핵연료 가운데 연료로 활용할 수 있는 물질을 재처리하거나 재활용하는 폐쇄형 연료주기 정책(closed fuel cycle policy)을 채택했으며, 이에 따라 사용후핵연료가 재처리 시설로 이송될 때까지 이번에 완공된 저장시설에서 보관될 것이라고 밝힘.
 - 한편, Kudankulam 원전 1호기와 2호기는 각각 2014년 12월과 2017년 3월에 상업운전을 개시함.
 - 또한, 3호기와 4호기는 2017년에 착공되어 건설이 진행 중이며 연내 말까지 완공될 것으로 전망됨. 해당 원전 5호기와 6호기는 2021년에 착공되어 2027년에 완공될 것으로 예상됨.

◎ 중국, 프랑스와 원자력 분야 강화를 위한 협력 협정 체결

CNNC News Release 2023.04.07., CGTN 2023.04.07., World Nuclear News 2023.04.11.

- 4월 6일 Beijing 인민대회당에서 중국과 프랑스 양국 대통령이 참석한 가운데 중국 핵공업집단(China National Nuclear Corp, CNNC)의 Yu Jianfeng 회장과 프랑스 EDF의 Luc Rémont 회장 겸 CEO는 저탄소 에너지 개발에 대한 양해각서(MOU)를 체결함.

- 해당 MOU는 Macron 대통령의 중국 국빈 방문기간 동안 체결되었으며, 양사의 저탄소 에너지 개발 지원을 위한 원자력 사용에 중점을 두고 있음.
- 양국은 원자력 분야에서의 기술 발전 방향과 함께 시장 동향과 관련한 공동연구를 수행하고, 기후변화 대응과 에너지 문제 해결에 대한 양국 기업의 공통된 의지를 보여주는 총괄보고서를 발행할 예정임.
- 같은 날 개최된 중국-프랑스 간 기업가 위원회(Sino-French Entrepreneurs Committee)에 참석한 CNNC의 Yu 회장은 중국과 프랑스 원자력 기업이 기술 분야에서의 협력을 강화하고 원자력 에너지 개발을 촉진해야 한다고 밝힘.
 - 해당 회의에서 중국과 프랑스 36개 기업 대표들은 원자력 시설의 연구 개발과 설계 및 조달, 그리고 운영 및 유지보수 협력을 강화하기 위한 방안을 논의하고 신에너지 분야를 포함한 18개의 분야에서의 협력 협정을 체결함.

■ 한편, 4월 7일 중국 Xi Jinping 국가주석과 프랑스 Emmanuel Macron 대통령은 Beijing 인민대회당에서 정상회담을 가지고 양국 간 원자력 분야의 협력 협정(cooperation agreements)을 체결함. 이에는 무탄소 에너지 시스템으로의 전환, 원자력의 평화적 이용, 그리고 민간 원자력 분야에서의 협력 등이 포함됨.

- 양국은 중국 원자력청(Atomic Energy Authority of China)과 프랑스 대체에너지·원자력 위원회(French Alternative Energies and Atomic Energy Commission)와의 협정을 바탕으로 차세대 연구개발의 일환인 원자력 협력을 지속하기로 합의함.
 - 양국은 특히 방사성폐기물 재처리 문제에 대한 양사의 산업 및 기술 협력 강화 연구를 지원하기로 함.

주요단신**세계** world

● IAEA, 일본 후쿠시마 제1원전 처리오염수 방류 관련 4차 중간보고서 발표

IAEA 2023.04.05., World Nuclear News 2023.04.06.

■ 2023년 4월 5일 국제원자력기구(IAEA)는 도쿄전력의 후쿠시마 제1원전 ALPS(다핵종제거 설비) 처리 오염수의 안전과 관련된 4차 보고서⁸⁾를 공개하며, 도쿄전력의 오염수 방류 계획이 안전 측면에서 진전이 있었다고 평가함.⁹⁾

- IAEA는 2021년 4월 후쿠시마 오염수 처리 및 방출계획과 관련한 총체적인 검토를 시작한다고 밝힌 이후, 다국적 전문가로 구성된 모니터링 대책위원회(이하 모니터링 'TF')를 구성해 현재까지 두 차례 일본을 방문했으며, 총 4차례의 중간평가 보고서를 발행해옴.

- TF가 검토하는 8개 항목은 ① 포괄적인(Crosscutting) 안전 요건·권고사항, ② 오염수 및 방사선원항(source term) 특성, ③ 오염수 방류 관리 시스템 및 공정의 안전성, ④ 방사선 환경영향평가(REIA), ⑤ 오염수 방류 규제관리 및 허가, ⑥ 선원(Source) 및 환경 모니터링 프로그램, ⑦ 이해관계자 참여, ⑧ 작업자의 방사선 방호임.

- 이번 4차 중간 보고서는 2022년 11월 IAEA 모니터링 TF가 3차 방일 시 후쿠시마 원전 현장방문과 도쿄전력·일본 경제산업성을 만나 실시한 8개 분야에 대한 진행상황 및 평가, 향후 과제 제시 등을 담고 있음.

- TF는 3차 방일 기간 동안 후쿠시마 원전을 방문해 ALPS 처리 오염수 방류를 위한 해저 터널 공사 진행 상황을 검토함.

8) 도쿄전력의 후쿠시마 제1원전 ALPS 처리 오염수에 대한 안전성 리뷰(2022년 11월), IAEA Review of Safety Related Aspects of Handling ALPS-Treated Water at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

9) <https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-issues-new-report-on-safety-of-japans-plan-to-discharge-alps-treated-water-from-fukushima-daiichi-site?>

- TF는 포괄적인 안전요건 및 권고사항과 관련해, IAEA 국제안전표준과 관련된 안전 요건들(정부 체계, 안전에 대한 책임·근로자 및 대중 보호 및 안전 최적화 등)은 본질적으로 전면적이고 포괄적이기 때문에, 다른 주제들을 검토하면서 해당 사안을 다룰 계획이라는 입장을 밝힘.
 - TF는 최종 결론을 도출할 시 포괄적인 안전 요건에 대한 최종 결과를 함께 도출할 예정이며, 해당 결과는 ALPS 처리 오염수 방류 전 종합 보고서에 담길 예정이다.
- 오염수 및 방사선원항 특성에 관해서 TF는 구체적으로 도쿄전력이 수정한 실측기반의 ALPS 처리 오염수의 핵종 특성분석 방법론이 충분히 보수적이면서도 현실적이라고 평가하면서도, 도쿄전력이 사용한 세부 방법론에 대해 추후 질문과 의견을 제시할 가능성을 제시함.
 - 지난해 2월 미션에서 TF는 도쿄전력이 제시한 ALPS 처리 오염수에 대한 핵종 특성에 대한 추가 설명을 요구하며, 핵종 특성과 선원 및 환경 모니터링 프로그램 설계가 연관성이 깊다고 강조함. 당시 도쿄전력은 ALPS 설비를 통해 제거되는 방사성핵종 62개를 파악하는데 사용된 방법론을 제시하고, 해당 62개의 핵종과 ALPS 설비로 제거되지 않는 삼중수소, 탄소(C-14)를 방사선환경영향평가(REIA)의 선원항에 포함함.
 - TF는 일본원자력규제위원회(NRA)이 최종 승인한 선원항을 고려한다는 입장임.
- 또한, TF는 ALPS 설비운용을 통한 오염수 처리의 안전성과 관련해 도쿄전력이 2022년 진행한 방류계획이 최신 개정되어 처리 오염수 방류와 관련된 시설물을 이해하는 데 유용했다고 평가함.
 - 특히 TF는 도쿄전력이 ALPS 설비에 견고한 공학적 제어설계를 적용하고, 매우 낮은 확률의 예상치 못한 사고 발생에 대비한 충분한 안전 기능을 고려했으며, 사고 시나리오 및 결과에 대해 적절한 분석을 수행하여 승인을 위해 일본원자력규제위원회(NRA)에 제출한 후쿠시마 원전 오염수 해양방출 실시계획 수정본에 포함시켰음을 파악함.
 - TF는 2차 방일 당시 도쿄전력이 사용한 방법론과 자료 등 안전성 평가를 위해 고려된 모든 사안을 모두 문서화할 것으로 예상하며, 설비 고장 가능성을 고려한 포괄적인 평가를 시행하는 것과 ALPS 처리 실패로 희석되지 않은 오염수 배출이 발생할 수 있는 다양한 요인을 파악하는 것이 중요하다고 밝힌 바 있음.
- 오염수의 방사선환경영향평가(REIA)와 관련하여, TF는 도쿄전력에 가정과 방법론에 대한 추가적인 정당화 또는 설명이 필요하다고 지적했지만, 이러한 사항이 IAEA가 도쿄전력의 오염수 방류 계획의 안전성 관련 국제기준 준수 여부에 대한 결론을 도출하는데 문제가 되지 않을 것이라는 견해를 보임.

- TF는 오염수 방류 기간 동안 일반인의 피폭 선량 추정에 대한 명확한 설명, 오염수 방류 지점부터 해안 3km 근해에서 잡힌 어류 섭취에 대한 선량 수치 제외 이유, 유기삼중수소(OBT) 형성 과정에 대한 명확한 설명, 환경영향 시뮬레이션 영역 경계에 있는 해수 속의 요오드(I-129), 탄소(C-14) 및 기타 핵종 농도 추정치 제시 등을 요구함.
- 마지막으로, TF는 도쿄전력이 환경 모니터링 프로그램을 포괄적으로 갖추었으며, 신뢰할 수 있고 지속 가능한 작업자 방사선 방호 프로그램도 운영하고 있으며, 이는 ALPS 설비 및 장비 운영과 관련된 작업자의 피폭 통제 조치 및 모니터링 조치 이행에 대한 도쿄전력의 점검방식에서 확인가능하다고 평가함.
- TF는 4차 중간 보고서에서 도쿄전력이 2022년 2월 1차 방일 시 제기된 이슈들을 반영해 ALPS를 활용한 오염수 처리 및 방류 실행 계획을 보완했다고 평가했으며, 금번 3차 방일 이후 추가로 보완될 사항은 일본원자력규제위원회(NRA)의 후쿠시마 오염수 해양방류 실시계획 최종 승인 후 안전성 검토의 일환으로 평가될 예정이라고 밝힘.

World Nuclear Power Market
INSIGHT



세계원전시장
인사이트