

세계원전시장 인사이트

World Nuclear Power Market INSIGHT



현안이슈

소형모듈원전 기술개발 및 사업화 현황

1. 서론
2. 주요 SMR 개발업체와 개발 및 국내 업체 협력현황
3. 결론 및 제언

주요단신

세계

14

- IEA, 기후변화 대응을 위한 추가적인 노력과 청정에너지 활용 주문
- 국제원자력기구, 원자력 기술의 6대 응용분야 제시

북미

17

- DOE, Palo Verde 원전 수소생산 실증설비에 약 240억원 투자
- Kairos SMR 컨소시엄, 초기 안전성보고서 NRC에 제출
- 미국 NRC, 중국 CGN을 대상으로 한 핵물질 수출 중단
- 미국 Georgia 주, Vogtle 3호기 건설비용 초과 시 연간 2천 6백억 원 추가 부담 발생 예상
- 캐나다 원자력 기업들, SMR 개발 지원 MOU 체결
- 기타단신

오세아니아

23

- 호주 광물위원회, SMR 도입 관련 보고서 발간

아프리카

25

- 한-이집트, 국회의장 면담에서 원자력 협력 논의

유럽

26

- 프랑스 마크롱 대통령, 원자력 개발 포함한 2030 투자 계획 발표
- 프랑스 EDF, 폴란드에 최대 6기의 EPR 건설 제안
- 스페인 정부, Asco 1·2호기 운영허가 각각 2030년, 2031년까지 연장
- 기타단신

아시아

32

- 일본, 제6차 에너지기본계획 발표
- 일본 규슈전력, 센다이원전 1·2호기 계속 운전 가능성 타진 위한 특별점검 시행
- 신전력 대기업 erex, 일본 최초 상용 수소발전소 연내 착공
- 일본 후쿠시마현·도쿄전력, 지역 소재 기업의 후쿠시마원전 해체 산업 진출 지원
- 기타단신



세계원전시장

인사이트

World Nuclear Power Market **INSIGHT**

Biweekly 격주간 2021 10.22

※ 본 간행물은 한국수력원자력(주) 정책과제의 일환으로 발행되었습니다.

발행인	임춘택		
편집인	박찬국	green@keei.re.kr	052-714-2236
	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
	김해지	kimhj@keei.re.kr	052-714-2090
	한지혜	jhhan@keei.re.kr	052-714-2089
	김유정	yjkim@keei.re.kr	052-714-2294
디자인·인쇄	효민디앤피		051-807-5100

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

소형모듈원전 기술개발 및 사업화 현황

두산중공업 원자력영업2팀 김세훈 차장 (sehun.kim@doosan.com)

1. 서론

- SMR(Small Modular Reactor, 소형모듈원전)은 경수로, 중수로, 고속로, 고온로 등의 다양한 중소형원전을 통칭함.
- 탄소 저감목표 달성, 노후화력 발전 대체, Off-Grid 전기수요 충족 등의 목적으로 총 16개 국가에서 SMR 건설을 논의 중이며, 북미, 유럽 중심으로 약 70개 업체가 다양한 SMR 노형을 개발 중임. SMR의 공통적인 특징은 다음과 같이 정리할 수 있음.
 - 일반적으로 피동형(Passive) 안전개념을 채택하며, 단순화된 설계를 추구함(SMR은 노심이 작고 일체형으로 설계되어 원자로 냉각재 배관 파손으로 인한 방사능 유출 가능성이 없음).
 - ※ 피동형 : 사고 시 외부전원 및 별도 조작 없이 안전성을 유지하는 기능
 - SMR은 특성상 내륙지역, 도서, 산간지역 등의 소규모 Grid에 적합하나, 필요에 따라 모듈 수를 유연하게 조절하여 대규모 발전도 가능함(내륙지역에도 건설 가능함).
 - 공장에서 모듈 생산 후 건설부지에 모듈을 일괄 설치하므로 건설 공사기간이 짧고 건설비용의 절감이 가능함. 또한 모듈을 연속 제작할 경우 추가적인 원가절감이 가능함.
 - 부하 추종 운전(Load following)을 통해 출력 조절이 가능하도록 설계되어 신재생에너지(풍력, 태양광)의 간헐성 문제를 보완하는 이산화탄소 배출 없는(Carbon-free) 백업전원으로 활용이 가능함.
 - SMR에서 생산되는 전기와 고온의 열을 활용하면 수소 생산 효율을 높여 경제성을 제고할 수 있으므로, SMR과 수소 경제를 연계하는 방안이 세계 각국에서 검토되고 있음.

〈대형원전 vs SMR(소형모듈원전) 비교〉

항목	대형원전	SMR(소형모듈원전)
안전성	체르노빌, 후쿠시마 등 대형사고 발생 이력이 있음.	소형화, 피동형으로 사고 발생위험을 낮춤.
운영 탄력성	대용량 출력이 고정됨. (기저부하)	Scalable & 부하추종운전이 가능함. (분산전원 및 신재생에너지의 백업 전원으로 활용 가능성)
건설 Risk	현장작업의 비중이 높음 (건설비 Risk ↑)	공장작업의 비중이 높음 (건설비 Risk ↓)
부지 면적	573m ² /MWe (APR1400 기준)	대형원전 대비 단위 출력 당 필요 부지면적 1/2
응용분야	발전용	담수, 수소생산, 정유, 선박 추진용

〈개발 진행 중인 주요 SMR 현황〉

노형	용량	Type	개발사
NuScale	77MWe x 12	경수로	NuScale Power, 미국
Rolls Royce	470MWe	경수로	Rolls Royce, 영국
KLT-40S	35MWe x 2	경수로	OKBM, 러시아
CAREM-25	25MWe	경수로	CNEA & INVAP, 아르헨티나
Xe-100	80MWe x 4	고온로	X-energy, 미국
HTR-PM	210MWe x 2	고온로	칭화대, 중국
MMR	5MWe x 2	고온로	USNC, 미국
Seaborg	100MWe x 2	용융염원자로	Seaborg, 덴마크
ThorCon	250MWe x 2	용융염원자로	ThorCon, 미국
USNC	5MWe	고온로	USNC, 캐나다
eVinci	5MWe	Heat Pipe 원자로	Westinghouse, 미국

- 본고에서는 해외 주요 SMR의 기술개발 현황과 사업화 계획을 전반적으로 살펴보고 향후 전망에 대해 논의하고자 함.

2. 주요 SMR 개발업체와 개발 및 국내 업체 협력현황

◎ NuScale (미국)

■ 기술개발 현황

- NuScale SMR은 검증된 상용 경수로 기술을 기반으로 안전성과 경제성을 획기적으로 향상시킨 노형임.
- 원자로, 증기발생기, 가압기와 같은 주기를 하나의 모듈(module)에 집약시키고, 대형 원전의 거대 콘크리트 돔(dome)인 격납 건물까지 모듈에 일체화함.
- 모듈 수를 조절하여 출력 조절이 가능하며(1개 당 77MWe, 최대 12 모듈 설치 가능), 터빈/발전기 및 I&C 설비도 독립적으로 모듈화해 원자로와 연결함.
- 피동형 설계로 외부 전력공급이 중단되어도 안전성을 유지할 수 있으며, 전력 수요에 따라 모듈 개수를 조절하여 운전이 가능함.
- 미국 원자력규제위원회가 최초로 SMR에 대한 설계인증을 승인하였음('20년 8월).
- NuScale은 다양한 실증시험을 통해 자사 SMR의 상용화 속도를 높이고 있음.

■ 사업화 계획

- 초도호기는 UAMPS가 Idaho National Laboratory 부지에서 '29년 상업운전 착수를 목표로 추진 중이며, 미국 에너지부는 \$1.4bil.(한화 약 1조 7천억 원) 지원책을 발표하였음('20년 10월).
- UAMPS는 EPC 업체이며 NuScale의 대주주인 Fluor와 EPC 계약(설계와 구매, 건설을 한 회사가 진행하는 민간부문의 건설 작업 계약) 준비를 위한 Development Agreement 체결하였음('20년 12월).

〈NuScale SMR〉



〈NuScale SMR 실증시험〉



NuScale Power Plant Control Room Simulator



NuScale Integral System Test (NIST-2) Facility



NuScale Upper Module Mockup (UMM) Facility

■ 두산중공업/NuScale 협력 현황

- 두산중공업은 IBK투자증권 등 국내 투자사들과 공동으로 NuScale에 \$44M(한화 약 520억 원) 규모의 지분 투자하여 NuScale과 전략적 협력관계를 구축하였음('19년).

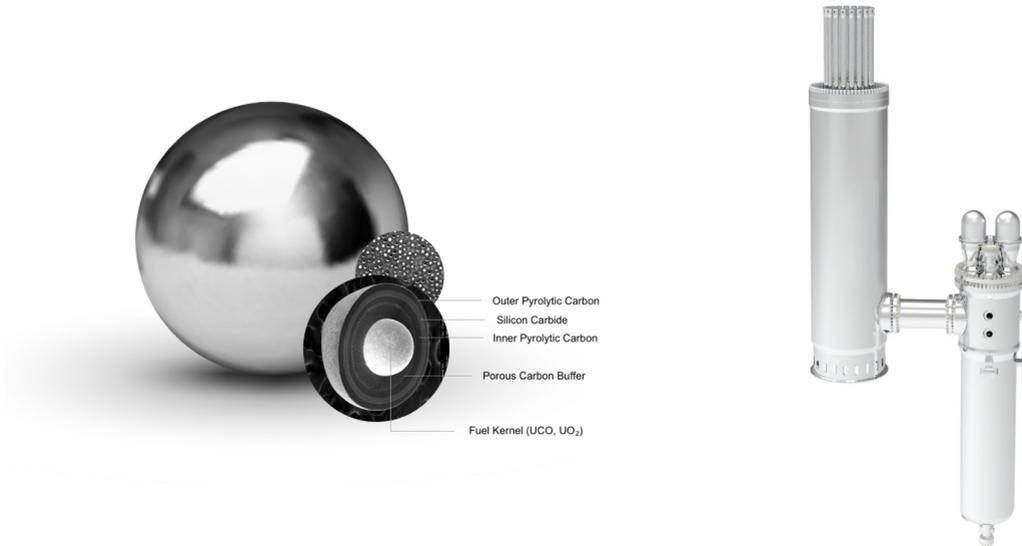
- 두산중공업은 NuScale 원자로 모듈에 대한 제작성 검토 연구를 '19년 8월부터 착수하여 '21년 1월에 성공적으로 완료하였으며, 현재 NuScale 주기기 제작을 준비 중임.
 - ※ 제작성 검토 연구란 설계 의도에 따라 용이하게 제작하는 방안을 검토하여 설계 최적화 방안을 제안하고, 제작공정을 수립하는 연구를 뜻함.
- 두산중공업과 국내 투자사들은 '21년 NuScale에 추가 \$60M(한화 약 712억 원)의 지분 투자를 실시함.
- 두산중공업은 '22년 UAMPS 초도호기용 원자로 모듈의 주단소재 제작에 이어, '23년 주요 기자재 제작에 착수할 예정이며, 미국 및 해외 NuScale SMR 프로젝트에서 두산중공업의 공급범위는 다음과 같음.
 - ※ 주단소재란 원자력 대형 압력 용기를 구성하는 단조 금속 소재를 의미함.
 - 대형 주단소재 공급
 - 원자로모듈 등 핵심기자재 제작/공급

◎ Xe-100 (미국)

■ 기술개발 현황

- 기존 3세대 원전인 가압경수로(Pressurized Water Reactor, PWR) 노형과는 달리, 4세대 원전인 X-energy의 고온가스로(모델명: Xe-100)는 물이 아닌 헬륨을 냉각재로 사용하며, 이에 750°C의 고온으로 운전 가능함. Xe-100은 80MWe급 원자로로, 4개의 모듈이 합쳐진 320MWe급 SMR을 목표로 함.
 - 고온의 헬륨 가스는 565°C의 증기를 생산하여 전력 생산 효율이 상대적으로 높을 뿐만 아니라 담수, 지역난방, 세일가스 추출, 수소 생산 등에 활용성이 높음.
- X-energy가 개발한 TRISO-X(TRIstructural-ISOtropic) 핵연료는 세라믹 등으로 3중 코팅된 핵연료 입자를 테니스 공 크기의 핵연료로 만든 것이며, Xe-100 원자로 1대에는 TRISO-X 핵연료가 220,000개 장전됨.
 - 초고온에서도 코팅 재질은 녹지 않을 뿐만 아니라 불활성 기체인 헬륨을 냉각재로 사용하므로 안정적이며, 노심 용융(melt down)이 발생하지 않아 안전성이 강화됨.

〈TRISO-X 핵연료 및 Xe-100 주기기〉



■ 사업화 계획

- 미국 에너지부(DOE)는 '20년 10월에 차세대 원전 실증로 건설 프로그램(ARDP)에 X-energy를 선정하였으며, 2027년까지 Xe-100 상업운전을 위한 개발 자금을 지원할 예정이다.

- X-energy는 '20년에 초기 지원금 \$80M(한화 약 950억 원)을 확보하였으며, 미국 에너지부는 2027년까지 총 \$1.2B(한화 약 1조 4천억 원)을 지원할 것으로 전망됨.

- 캐나다 발전사인 OPG(Ontario Power Generation)은 Darlington 부지에 건설할 SMR 후보 노형으로 X-energy, GE-Hitachi, Terrestrial Energy를 선정했다고 발표하였으며('20년 10월), '21년 말 최종 1개 노형을 선정할 예정이다.
- 미국 발전사인 Energy Northwest, Grant County PUD는 Columbia 원전 부지에(워싱턴주) Xe-100을 건설하기 위해 X-energy와 협력협약(MOU)을 체결함.

■ 두산중공업/X-energy 협력 현황

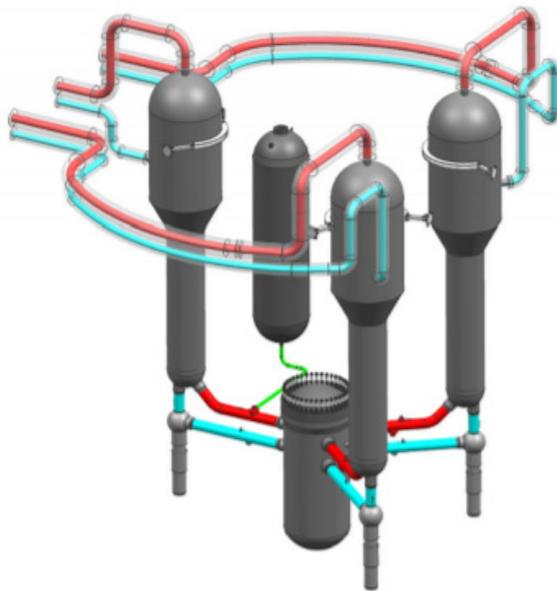
- 두산중공업은 X-energy와 주기기 제작설계 용역 계약을 체결함('21년 8월).
 - 두산중공업은 주기기의 제작 방안 연구, 시제품 제작, 설계 최적화 방안 연구 등을 수행하며 SMR 설계를 지원할 계획임.

◎ Rolls-Royce (영국)

■ 기술개발 현황

- Rolls-Royce는 1980년~1990년대 초 330MWe급 “SIR(Safe Integral Reactor)”을 개발 하였으며, 2015년부터 150여 명의 연구원이 신규 SMR을 개발 중임.
- Rolls-Royce가 주도하는 UK SMR 컨소시엄에는 현재 9개 업체가 참여 중이며, 영국 인허가 취득 준비 중임.
 - 참여업체 : Assystem, Atkins, BAM Nuttall, Jacobs, Laing O'Rourke, National Nuclear Laboratory, Nuclear Advanced Manufacturing Research Centre, Rolls-Royce 및 TWI.
- Rolls-Royce SMR은 3-Loop형 가압경수로로서, 전기출력은 470MWe, 설계수명은 60년임.
- Rolls-Royce는 원전운영사, 터빈설계사, 종합설계사, 연구기관 등 10개의 영국회사로 구성된 NAMRC(Nuclear Advanced Manufacturing Research Centre) 및 해외업체와 SMR의 개발 협력 중임.
- Rolls-Royce는 영국의 30개 대학과도 기술제휴 중이며, 대학의 연구 프로그램을 지원 하고 있음.

〈Rolls-Royce SMR〉



■ 사업화 계획

- Rolls-Royce는 '50년까지 자사 SMR을 16기 건설할 것으로 예상하고 있으며, 이로 인해 약 4만 명의 인력이 고용될 것으로 전망됨.
- Rolls-Royce는 정부에 500mil.(약 8150억 원) 예산 지원(50:50 Cost Share)을 요청하였으며, '19년에 36mil.(약 540억 원)의 정부지원금을 받았음.
- '20년 1월 SMR 설계를 위해 18M(한화 약 290억 원)이 지원되었으며, 인허가, 인력 고용, 건설부지 선정, 공장 선정 등을 위해 217mil.(약 3,540억 원)의 지원금이 투입됨.
- 영국 정부는 신규 SMR 건설을 위해 추가 지원금 제공을 검토하고 있으며, 규모는 총 1.5bil. ~ 2bil.(약 2.45조 원 ~ 3.26조 원) 수준이 될 것으로 예상됨.
- Rolls-Royce는 '30년부터 SMR을 상업 운전할 계획이며, '35년까지 영국 내 7GW의 SMR 수요가 있을 것으로 전망됨.

◎ Ultra Safe Nuclear Corporation (USNC, 캐나다)

■ 기술개발 현황

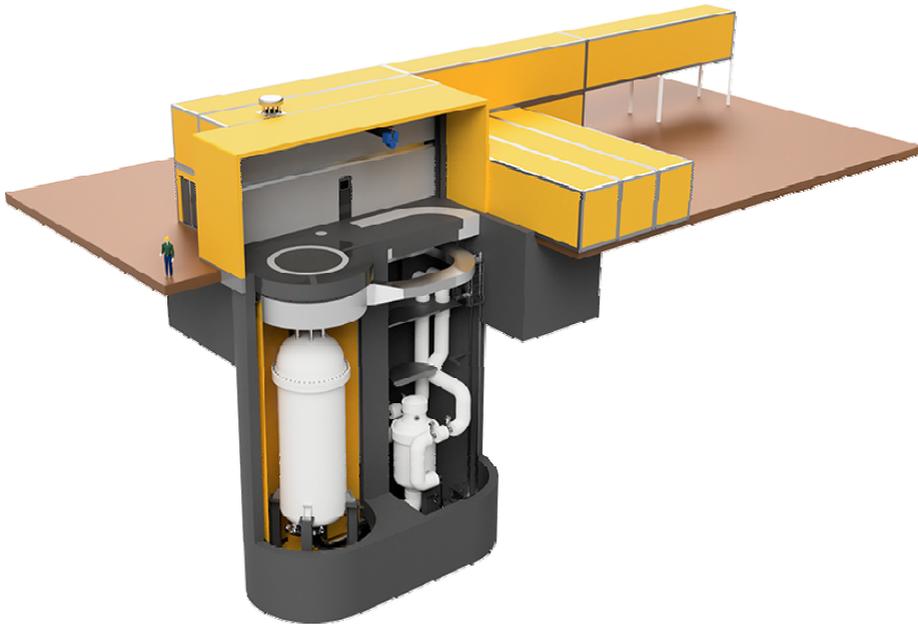
- '11년 설립된 USNC는 '15년부터 5MWe 급 Micro Module Reactor(MMR)를 기반으로 한 초소용 원자로 개발 진행 중임.
- TRISO(TRIstructural-ISotropic) 핵연료 입자를 사용하여 실리콘카바이드(탄화규소, SIC)로 핵연료 펠릿을 제작하는 특허를 보유함.
- 냉각재로 헬륨, 감속재로는 흑연이 사용되며, 건설기간은 36개월로 예상됨.

■ 사업화 계획

- USNC는 캐나다 유틸리티인 OPG(Ontario Power Generation)과 GFP(Global First Power)라는 합작회사를 설립했으며, 이 J/V는 USNC Demo Plant의 운영/인허가를 담당함.
- 캐나다 규제기관인 CNSC(Canadian Nuclear Safety Commission)는 USNC에 대한 VDR(Vendor Design Review) 1단계를 종료했으며, 건설부지에 대한 평가도 완료함.
- '21년 3월에 발행된 Canada SMR Feasibility Study에 따르면, USNC MMR은 2026년 상업운전을 목표로 함.

- 한국원자력연구원, 현대엔지니어링 및 USNC는 차세대 원자로 기술개발을 위한 MOU를 체결했으며('20년 7월), 무탄소 전력, 열, 수소를 생산/공급하는 USNC SMR의 기술을 강화하는 데 5년 간 협력할 예정임.

〈USNC MMR〉

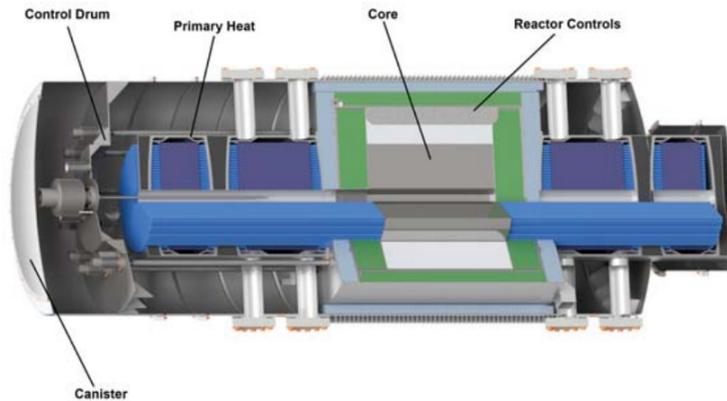


◎ Vinci (미국)

■ 기술개발 현황

- Westinghouse는 5MWe급 eVinci Micro Reactor에 대한 개념설계 및 개발계획 수립을 완료하였음.
- eVinci는 TRISO(TRIstructural-ISOtropic) 핵연료를 사용하며, 설계수명은 40년임.
 - 핵연료 재장전주기는 6년 또는 9년으로 개발 진행 중임.
- Container 내부에 공장제작품인 기기를 장착하여 건설비용을 최소화하고 30일 이내 현장 설치가 가능함.

<eVinci MMR>



■ 사업화 계획

- Westinghouse는 eVinci 초도호기의 상업운전을 '27년 개시할 것으로 예상됨.
- 현재 미국 및 캐나다 인허가 기관이 eVinci 설계 검토 중임.

3. 결론 및 제언

■ 현재 전세계적으로 다양한 SMR이 경쟁적으로 개발되고 있으며, 이러한 SMR들은 '30년대에 상용화되어 세계 발전시장을 주도할 것으로 예상됨.

- 미국(18개), 러시아(17개), 중국(8개), 일본(7개), 캐나다(4개), 영국(2개), 프랑스(1개) 등 많은 국가에서 약 70여 개의 다양한 노형을 개발 중임.
- 가압경수로(PWR)형이 가장 많은 23기이며, 4세대 원전인 초고온가스로 14기, 고속중성자로 11기, 용융염로 10기 등을 개발 중임.

■ SMR은 전력공급 용도뿐만 아니라 공정열 생산, 수소·담수 생산, 선박 추진 등 다목적 용도로도 적합하고, 기존 저용량 전력망 활용도 가능하다는 장점이 있어 각국은 SMR 도입을 적극적으로 검토 중임.

- 미국, 러시아, 일본, 중국 등은 SMR을 자국 내 대량 건설할 계획임.
- 사우디, 체코, 폴란드, 요르단, 남아공 등 다양한 국가들이 SMR에 관심을 갖고 도입을 검토 중임.
- 영국 국립원자력연구소는 SMR이 '35년까지 약 650~850기 건설될 것으로 전망하고

시장규모를 연간 150조 원으로 추산하는 등 다양한 기관들이 장기적으로 SMR이 에너지 시장을 주도할 것으로 전망하고 있음.

■ 전 세계의 원자력산업의 성장기회가 SMR로 옮겨갈 것으로 예상되므로, 국내 원전산업의 경쟁력 제고와 산업생태계 보호를 위한 방안으로 SMR 주요 기자재 기술 확보를 위한 지원이 요구되는 시점이라고 판단됨.

- SMR 사업에서 국제경쟁력을 확보하기 위해서는 기존 한국 원전산업의 강점인 강력한 공급망(Supply Chain) 유지가 필수적임.
- 국내 원자력업체들이 국제경쟁력을 갖추고 SMR 기자재를 수출 상품화할 수 있도록 정부 차원의 SMR 핵심 제작기술(용접기술, 벤딩 기술 등) 개발 지원이 필요함.
 - 다양한 SMR을 단기간에 양산하기 위해서는 혁신제작공법이 필요하며, 이와 같이 SMR 제작기간을 단축하고 품질을 높이기 위해 미국은 Advanced Method of Manufacturing Program을, 영국은 Nuclear Innovation Program을 운영 중임.
 - 제작기간을 기존 대비 50~90% 단축 가능한 용접방법과 3D 프린팅 기술들이 해외 각국에서 경쟁적으로 개발되고 있으며, 이에 따라 국제경쟁력 확보를 위해 국내에서도 이러한 기술개발에 본격적으로 단축 필요
 - 그러나 혁신 제작기술 개발/적용에는 대규모 투자가 요구되는 신규 설비·장비 설치가 필연적으로 수반됨. 따라서, 개인적으로는 국내 원자력업체들이 국제경쟁력을 갖출 수 있도록 정부 차원에서 이러한 제작기술 개발을 국책 과제화하여 지원하는 방안을 검토해 볼 수 있다고 사료됨.

주요단신

세계 world



○ IEA, 기후변화 대응을 위한 추가적인 노력과 청정에너지 활용 주문

International Energy Agency, 2021.10.13.

- 2020년 10월 19일 International Energy Agency(이하 “IEA”)에서 발간한 World Energy Outlook 2021(이하 “WEO”)에 따르면 각국이 공표한 탄소중립안 모두를 달성하더라도 2050년에 탄소중립과 기온 1.5도 상승억제를 달성하기는 어려우며, 2050년 탄소중립 실현을 위해 현재 제시된 감축안에 더해 각 국가들의 추가적인 노력이 필요하다고 밝힘.
 - WEO는 IEA가 매년 11월에 발간하는 보고서로, 세계 에너지 수요와 공급 추세에 대한 분석뿐만 아니라 에너지 안보와 환경보호에 대한 이슈들을 다룸.
 - 2021년판은 올해 11월 글래스고에서 열리는 제26차 유엔기후협약 당사국총회(COP26 Climate Change Conference, COP26)에 관련 정보를 제공하기 위해 관련내용을 추가하여 올해 10월에 발간함.
 - 기존정책을 고수하는 시나리오(Stated Policies Scenario, 이하 “STEPS”), APE, 2021년 3월에 IEA에서 발표한 2050년에 탄소중립을 달성하는 시나리오(Net Zero Emissions by 2050 Scenario, 이하 “NZE”)를 비교하여 탄소중립과 기온 1.5도 상승억제 달성여부를 분석함.
- 보고서에서는 1)기존정책을 고수하는 경우, 2)각국이 공표한 탄소중립안을 모두 달성하는 경우, 3)2021년 3월에 IEA에서 발표한 2050년에 탄소중립을 달성을 위한 시나리오 총 3가지의 경우에 탄소중립과 기온 1.5도 상승억제를 달성할 수 있는지 여부를 분석함.
 - 각 시나리오에 따른 2050년까지 에너지 총공급과 온실가스 배출량을 추산한 결과 각국의 공표안을 철저히 준수하는 것도 중요하지만, 2050 탄소중립을 달성하기 위한 추가적인 조치가 필요하다고 밝힘.
 - 또한, 2030년을 기준으로 기존정책을 고수하는 경우 2030년 기준 연간 2.6기가톤

(Gt)의 이산화탄소가 추가로 배출되고, 이중 90%는 선진국에서 배출될 것으로 예상되며, 각국에서 공표안이 완전히 이행될 경우에도 2030년까지 감축목표의 20%는 감축이 불가할 것으로 전망함.

■ IEA는 보고서에서 모든 시나리오에서 전력수요는 2050년까지 증가할 것으로 예상하며, 전력 수요 증가와 온실가스 배출 감소를 동시에 달성하기 위해서는 화석연료의 비중을 줄이고 재생 에너지 등의 저탄소 발전량의 증가 필요성을 제기함.

- 전력수요는 1차 에너지인 석유 및 LNG의 전력으로의 대체로 인해 증가할 것으로 예측함.
- 전력부문의 탄소감축을 위해서는 석탄발전의 대규모 축소 외에도 LNG 및 석유발전량 또한 감축해야 함을 언급함.
- 또한, 저탄소원의 전력 생산량을 기존 탄소중립 공표안보다 확대해야 하며 이를 위해 재생 에너지, 원자력 활용과 수소 생산 확대를 언급함.

■ 보고서에서는 2050 탄소중립을 달성하기 위해 원전의 발전량 증가는 필요하지만, 관련 정책과 시장상황은 불확실하다고 분석함.

- 현재 전세계적으로 2030년 이후까지 총 100GW 규모의 신규원전 건설이 전망되나, 기존 원전의 노후화로 인해 상당수의 원전이 영구정지 할 가능성이 있음.
 - 원전의 계속운전은 저탄소 전력을 추가 생산할 수 있는 비용효율적인 방법이지만, 안전상의 이유로 선진국에서 원전의 영구정지는 더욱 가속화될 가능성이 있다고 평가함.
- 영구정지되는 원전을 대체하여 SMR 등의 혁신형 원전은 인허가 및 건설에 소요되는 기간이 기존에 비해 단축될 수 있으며, 기존의 활용처인 발전 외에도 수소발전과 난방열 생산에도 활용될 가능성이 있다고 평가함.

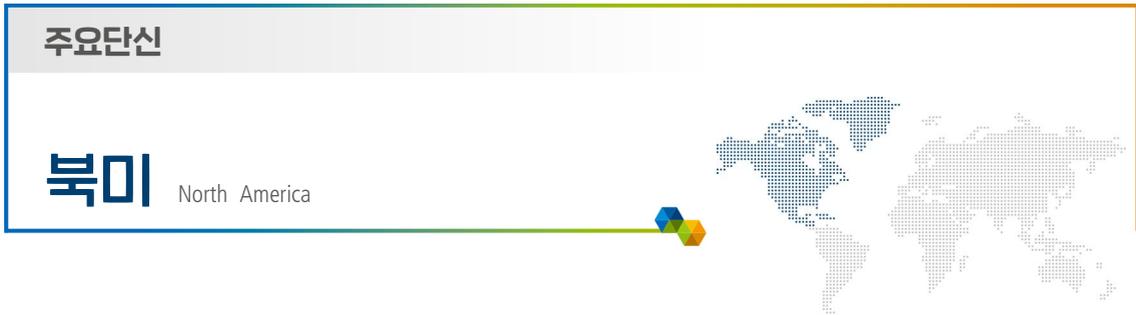
◎ 국제원자력기구, 원자력 기술의 6대 응용분야 제시

IAEA, 2021.10.14.

■ 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)는 기후변화 적응 및 복원력(Nuclear Science and Technology for Climate Adaptation and Resilience) 브로셔를 통해 원자력의 비 원전 6가지 응용분야를 제시함.

- 원자력 기술이 1) 지속가능한 토양 관리, 2) 기후스마트농업, 3) 식량생산 시스템, 4) 온실가스 배출량 분석, 5) 지속가능한 수질 관리, 6) 해안구조 및 해양생물 생태계 분석에 활용될 수 있다고 분석함.

- IAEA는 원자력 기술이 전통적인 기후 적응방법과 기후 과학기술 및 접근법의 보완책으로서, 기후변화의 원인과 영향을 다루는 통합적인 접근방법을 제시하고, 기후 적응 및 기후과학에 기여한다고 평가함.
- 우선, 낙진 방사성핵종 분석을 활용해 기후변화가 토양 건강성과 토지 황폐화, 해안 구조와 해양 생물 생태계에 끼치는 영향을 분석할 수 있음.
- 1950~60년대 핵무기 테스트 및 지질학적, 우주 방사성핵종에서 기원한 인공방사성 핵종의 동위원소를 분석해 짧은 시간 내 보다 정확한 토양 침식과 퇴적현황의 모니터링이 가능함.
- 동위원소 분석 및 방사능추적기법을 활용해 농약 투입량 모니터링, 작물 재배 및 가축 사육 중에 배출되는 온실가스 배출량 분석, 지하수 근원 및 지층의 수로분석 등이 가능함.
- 오염원의 기원에 따라 다른 동위원소 비율을 바탕으로 농약 등 오염원의 추적이 가능함.
 - 방사성탄소연대 측정으로 대기 중의 이산화탄소 농도 변화와 이산화탄소 배출원의 확인이 가능함. 가축 사육 중 탄소 동위원소 분석에 추가로 근적외선 분광광도계 기술을 적용해 가축의 영양균형을 분석하고, 불필요한 온실가스 배출량을 줄일 수 있음.
 - 동위원소를 활용해 수문학을 기반으로 물의 움직임을 추적해 습지 축조 및 지하수 재충전에 미치는 영향을 모니터링하며, 지하수의 연식을 분석하고 수질을 측정함.
- 방사선을 활용한 돌연변이를 활용한 교배를 통해 비 생물적 스트레스 상황에 적응한 작물 종자 개발과 곤충 및 해충 개체 수 조절이 가능함.
- 가뭄 및 내열성이 있는 작물 종자 개발로 식량생산 시스템의 혁신을 가능하게 함.
 - 불임 곤충 기술을 활용해 해충 및 질병을 조절할 수 있으며, 이는 유전적 생식능력이 없는 수컷 곤충을 대량 생산 살포하여 해충의 개체수를 줄이는데 기여함.
- 동위원소 연대 측정기법을 활용해 기후변화와 해양 변화가 해양생태계와 해변 구조에 미치는 영향의 결과 분석이 가능함.
- 우라늄-토륨 방사성핵종 및 수용체 결합 분석법을 활용해 해양 퇴적물의 변화양상 영향 요인을 확인할 수 있음.
 - 해양플라스틱 오염원의 추적을 바탕으로 해양 탄소 격리 및 해양 산성화, 온난화 및 탈산소화, 오염원 측정 등이 가능하고, 미세플라스틱의 해양 생태계 영향 분석이 가능함.



◎ DOE, Palo Verde 원전 수소생산 실증설비에 약 240억원 투자

DOE. 2021.10.07.

- 미국 에너지부(DOE)는 애리조나 주에 위치한 Palo Verde 원전을 활용한 수소생산 실증 프로젝트에 2천만 달러(약 240억 원)를 투자하기로 함.
 - Palo Verde 원전은 총 3기의 가압경수형원자로(각 1,311MW, 1,314MW 1,312MW)로 구성되어 있으며, 1·2호기는 1986년에, 3호기는 1988년에 가동을 시작함.
 - 해당 프로젝트는 전력회사 Pinnacle West의 자회사인 PNW Hydrogen LLC의 주도하여 프로젝트가 진행되며, DOE 원자력국(NE)에서 8백만 달러(약 96억 원), 수소연료전지 기술국(HFTO)에서 1천 2백만 달러(약143억 원)를 지원받음.
 - PNW Hydrogen LLC는 여러 산학연 및 주정부기관과 협력하여 프로젝트를 진행중임. 이에는 아이다호 국립연구소, 미국에너지기술연구소(NETL), 미국재생에너지연구소(NREL), 미국전력연구소(EPRI), 애리조나주립대학교, 캘리포니아어바인대학교, OxEon, 지멘스(Siemens), Xcel Energy, Energy Harbor, LA수도전력국 등이 포함됨.
 - 해당 프로젝트는 저온전기분해(low-temperature electrolysis) 시스템을 도입하여 수소를 생산함. 향후 Palo Verde 원전에서 생산되는 6톤의 수소는 약 200MWh의 전력 생산에 이용되거나 LNG 발전소의 연료, 화학물질 등 다른 원료로도 활용될 것으로 보임.
 - 이를 통해 DOE의 합리적인 수소 생산·운송·저장·활용을 통한 탄소 중립 실현을 목표로 하는 H2@Scale 및 10년 이내 1kg의 수소가격을 현재보다 80% 절감, 1달러에 공급하겠다는 계획인 Hydrogen Shot 목표 달성에 기여할 것으로 기대됨.

◎ Kairos SMR 컨소시엄, 초기 안전성보고서 NRC에 제출

WNN. 2021.10.05.

- 불화염냉각고온원자로(KP-FHR) SMR을 개발중인 Kairos Power는 테네시주 오크리지(Oak Ridge)에 건설될 Hermes 실증로 허가 신청을 위해 NRC에 초기 안전성보고서를 제출함.
 - KP-FHR(140MWe)은 Kairos Power의 첨단 원자로로 저압 불화염 냉각수와 결합된 페블 형태의 삼중구조 균등성 연료(TRISO)를 사용함.
 - Hermes 실증로는 35MWt의 열출력이 가능하며 2026년 가동을 목표로 함.
 - Kairos Power는 지난해에 오크리지 기체확산 우라늄 농축시설(K-33 Oak Ridge Gaseous Diffusion Plant)이 있었던 부지에 Hermes 실증로를 건설하겠다고 발표함.
 - Hermes 실증로는 저렴한 비용으로 열출력이 가능하므로 KP-FHR의 상업운전시의 비용을 사전에 분석할 수 있고 다른 원자로 대비 기술·면허·제조 및 건설 리스크도 완화시킬 수 있는 장점이 있음.
 - 한편, 미국 에너지부(DOE)는 Hermes 실증로 개발을 위해 보조금 3억 3천 3백만 달러 (약 4천억 원)를 지원함.
- Kairos Power는 Hermes 실증로 개발에 1억 달러(약 1,200억 원)를 투자할 계획이라고 밝힘. 또한, Materion사, 오크리지국립연구소, 아이다호국립연구소, 미국전력연구소(EPRI)와 협력하고 테네시강 유역 개발공사(TVA)와 공동 개발 협정(cooperative development agreement)을 체결하여 2030년 이전까지 실증로 개발을 목표로 함.

◎ 미국 NRC, 중국 CGN을 대상으로 한 핵물질 수출 중단

Nuclear Newswire 2021.10.04., Reuters. 2021.10.06.

- 미국 NRC는 10월 1일 중국 국영 원전 기업인 CGN과 CGN의 자회사 및 관련 기관들에 대한 방사성 물질(radioactive material)과 중수소(deuterium) 수출허가를 잠정적으로 중단하는 명령을 공표함.
 - 공표 이전까지 CGN은 10 CFR Part 110에 의해 부여된 일반허가(general license)를 기반으로 자국으로 방사성 물질과 중수소를 수입했으나, NRC는 해당 허가를 추후 통지가 있을 때까지 잠정 중단함.

- general licenses는 NRC에서 발급하는 핵물질 및 핵시설 수출입 관련 자격으로 발급에는 별도의 인허가 과정이 필요하지는 않지만, 해당 라이선스의 소지가 10 CFR Part 110의 모든 요구사항에 대한 면제를 의미하지는 않음.
- 관련 규정인 10 CFR Part 110에 따르면, 방사성 물질은 원료물질(source material), 부산물(byproduct material), 특수 핵물질(special nuclear material)을 의미함.
 - 원료물질은 특수 핵물질을 제외한 천연·감손 우라늄과 토륨을 의미함. 부산물은 특수 핵물질을 생산하거나 이용하는 과정에서 발생한 방사선에 노출됨으로써 생성된, 혹은 방사성이 된, 모든 방사성 물질(특수 핵물질은 제외)로 규정함.
- 마찬가지로, 중수소는 중수소를 포함하여 중수소 원자와 수소 원자의 비율이 1:5000을 초과하는 모든 중수소 화합물로 정의함.
- NRC는 이번 명령은 핵물질의 개발, 규제, 배출과 관련된 연방법인 Atomic Energy Act of 1954를 근거로 미국의 국방과 안보를 강화하기 위해 결정했다고 밝히며, 2018년에 트럼프 행정부가 제정했던 대중국 민간 핵기술 수출 제한을 확대한 것이라고 설명함.
 - 2018년 발효된 수출 제한 목적은 미국의 핵 관련 기술들을 중국이 군사적 혹은 승인되지 않은 목적으로 전용(轉用)하는 것을 막기 위함임.
 - 이 외에도 2016년과 2019년 미 정부는 국가 안보를 이유로 CGN에 직간접적으로 규제를 가한 바가 있음.
 - 2016년에는 미 정부는 CGN이 중국 내에서 특수 핵물질을 개발·생산하기 위해 대만계 미국인과 공모했다는 혐의로 2016년에 기소한 바 있음.
 - 또한 2019년 미 상무부(Department of Commerce)는 CGN을 미국의 선진 핵기술과 핵물질을 중국 내에서 군사용으로 전환하려는 시도를 근거로 블랙리스트(US Entity List)에 올린 바 있음.

◎ **미국 Georgia 주, Vogtle 3호기 건설비용 부과 시 연간 2천 6백억 원 추가 부담 발생 예상**

APNEWS.2021.10.15.

- AP 통신은 10월 15일 2022년 Vogtle 3호기 상업운전 시작과 함께 부과될 Vogtle 원전 건설 비용으로 인해 조지아 주 전력소비자들이 추가로 연간 2억 2천만 달러(약 2천 6백억 원)를 부담할 것이라고 보도함.

- Vogtle 3·4호기를 건설중인 Georgia Power는 올해 6월 15일 조지아주서비스공공위원회(GPSC)에 제출한 요금 조정 신청서에 3호기와 공용설비의 건설비 등의 회수를 위해 연간 2억 3천 5백만 달러를 추가로 징수하는 안을 요청함. 이후 위원회의 조사과정을 거쳐 2억 2천만 달러에 합의함.
 - 당초 제안된 2억 3천 5백만 달러에는 건설비용 외에 감가상각비, 수선유지비, 재산세, 해체적립금, 연료비, 가동시까지 납부가 이연된 세금 등이 포함됨.
 - 현재 GeorgiaPower는 조지아주의 15개 카운티 중 13개 카운티에 전력을 독점적으로 공급하고 있으며, 발전부문과 송배전부문이 분리되지 않음.
- 해당 인상분은 Vogtle 3·4호기 건설투자비 중 GeorgiaPower 부담분인 약 35.7억불 중 3호기와 공용설비 분인 23억불 회수를 목적으로 함¹⁾.
 - 부담분은 위원회에 의해 승인된 건설비용인 35.1억 불, 감리비용 580만 불, Westinghouse와 합의한 비용초과에 대한 분담금 5,440만 불로 구성됨.
 - GeorgiaPower가 부담하는 건설관련 총 비용은 92억 달러이며, 이에 추가적으로 32억 달러의 금융비용도 발생함.
 - 현재 Vogtle 3·4호기의 지분은 GeorgiaPower가 45.7%를 소유하고 있으며, 조지아 주의 소형전력사와 협동조합, 인근 플로리다 및 알라바마 주의 전력사들이 나머지 지분을 소유함. 향후 원전의 운영은 GeorgiaPower가 담당함.
- 11월에 예정된 공공서비스위원회 위원 투표에서 상기 안이 승인될 경우, Vogtle 3호기가 상업운전을 시작할 기준 차월부터 해당 비용 부과가 시작됨. AP는 기존 전력요금에 비해 약 3%(평균적인 가정용 전력 소비자의 경우 매월 3.78불)의 추가 부담이 발생할 것으로 보도함.
 - 참고로 내년 1월부터 전력품질개선 명목으로 연간 1억 5천 7백만 달러가 추가로 부과되며, 이로 인해 가정용 전력소비자를 기준으로 매월 약 2.8달러의 추가부담이 발생한다고 AP는 보도함.
- 2009년 건설 승인을 받은 Vogtle 3·4호기는 계속된 공기지연으로 3호기는 올해 11월에 준공, 2022년 2분기에 상업운전이 가능할 것으로 GeorgiaPower는 예상함.
 - 당초 각각 3호기는 2016년, 4호기는 2017년에 가동 예정이었으나, 비용초과, 원자로 공급사인 Westinghouse의 파산, 코로나-19 확산, 보강조치 등으로 인해 공기가 계속 지연됨.

1) Docket# 43838, Vogtle Unit3 and Common Costs Rate Adjustment Application

- 총사업비 또한 당초 140억 불(16조 5천억 원)에서 현재는 275억 불(29조 4천억 원)까지 상승함.

◎ 캐나다 원자력 기업들, SMR 개발 지원 MOU 체결

NUCNET. WNN.2021.10.14.

- **우라늄 공급사인 Cameco는 SMR 개발 업체인 Terrestrial Energy의 일체형용융염원자로 (ISMIR)의 개발을 지원하는 MOU를 체결함.**
 - 공동 성명에는 ISMR의 연료공급을 위한 Cameco의 Port Hope 우라늄 전환 시설 시찰이 명시되었음.
 - Terrestrial Energy는 ISMR은 4세대 원자로 기술 기반 SMR로 기존 원전에 비해 전력 생산 효율이 50%에 이른다고 밝힘.
- **미국 코네티컷의 Cross River Infrastructure Partners는 ARC Clean Energy Canada의 소듐냉각고속로 기술개발 자금지원을 위한 전략적 MOU를 체결함.**
 - Cross River사의 CEO Andrew Wilder는 소듐냉각고속로가 저비용으로 전력을 생산하고 고품질의 공정열을 발생시키는 장점이 있음을 밝히며 ARC의 기술 개발을 지원하기로 함.

기타단신

◎ 미국, 비원전사용 삼중수소 수출허가업무 NRC에서 상무부로 이관

NuclearNewswire. 2021.10.07.

- 미국 원자력규제위원회(NRC)는 10월 6일에 비원전사용 삼중수소 수출허가업무를 상무부로 이관하는 규정을 발표하였고 이를 12월 6일부터 적용할 것이라고 밝힘.
 - 이는 원전 이외 산업 및 연구 분야에서의 삼중수소 활용수요가 증가하는 추세를 반영한 것임.
 - 원자력 산업 초기엔 원자로에만 삼중수소를 이용하였으나, 현재 삼중수소는 전자제품 제조, 중수소화 용매·약품, 수소아크램프, 중성자발생기, 수문학·생물학·의학적 표지자(tracer)로도 활용됨.
- 단, 원전 활용을 위한 삼중수소 수출에 대한 통제는 계속해서 NRC가 담당함.

◎ 캐나다 Bruce 원전 3호기 가동 재개

BrucePower.2021.10.06.

- 캐나다원자력안전위원회(CNSC)의 Bruce 원전 3호기 재가동 승인문에 따르면, 7월 초, Bruce Power는 계획정비기간에 3호기 압력관의 활성수소농도(Heq)가 제한범위를 초과한 것을 확인하여 CNSC에 보고하였고 CNSC는 이에 대한 시정 조치를 내림.
 - Bruce Power는 CNSC에 해당 압력관의 결함이 없음을 입증하는 정성적·정량적 분석 자료를 제출하여 CNSC로부터 재가동 승인을 받음.

◎ 한수원-캐나다 원자력연, 기술협력 MOU 체결

KOREA IT TIMES.2021.10.15.

- 지난 14일, 한수원은 캐나다 원자력연구소(CNL)와 메타버스를 활용해 사용후핵연료 건식저장 및 원전 폐로 기술 확보를 위한 기술 협력 MOU를 체결하였음.
 - MOU를 통해 사용후핵연료 건식·습식저장기술 교류, 원전해체 경험 및 정보 교환, 원전 사후관리 분야 인력 양성, R&D 분야 기술 교류 등을 위한 협력체계를 구축할 예정임.
 - CNL은 중간저장기술 및 사용후핵연료 해체분야에서 경험이 풍부한 것으로 알려짐.

주요단신

오세아니아 Oceania



○ 호주 광물위원회, SMR 도입 관련 보고서 발간

NEI.2021.10.07, MCA.2021.10.06.

■ 10월 6일, 호주 광물위원회(MCA)는 원자력 전문가인 Ben Heard 박사가 작성한 'SMR in the Australian Context' 보고서를 발간함.

- 본 보고서는 Nuscale Power, GE Hitachi, Terrestrial Energy의 SMR 특징을 차례로 나열한 뒤, SMR이 호주 에너지 시장에 도입할 수 있는 이상적인 모형이라고 소개함.
 - SMR(Nuscale, 77MW)은 전력망에 대한 추가 투자없이 노후화된 기존 화력 및 가스 발전기(150MW)와의 대체가 용이함. 2030년대 호주의 석탄 및 가스발전소(12,000MW)의 폐로가 예정되어 있음.
 - 호주의 연평균 가정용 전기 소비량을 8,000kwh로 계산하였을 때, 4기의 SMR(300MW)은 평균 120만 가구에 전력을 공급할 수 있음.
 - 그 외 SMR은 기존 원전에 비해 건설비용 저렴하고 안전성·운반용이성·유연성이 뛰어나고 폐기물이 적은 장점이 있음을 강조함.
- 호주의 전력망은 3개 지역으로 나뉘어져 있으나 상호 연결이 부족하고 전력소비자가 분산되어 있기 때문에 발전 설비는 제한된 용량으로 신축적인 운영이 가능해야 함. SMR은 이러한 기준을 모두 충족함.
 - 호주의 발전설비는 대부분 300MW 미만임. 용량이 가장 큰 발전소는 퀸즐랜드에 위치한 Kogan Creek(750MW) 화력발전임.

■ 한편, MCA는 탄소 중립 실현을 위해 탄소포집·저장, 재생에너지와 함께 원자력 발전의 필요성을 지속적으로 피력했으나, 호주 정부는 현재까지 원자력 발전을 법적*으로 금지하고 있음.

* ① 환경 보호 및 생물 다양성 보존법(Environmental Protection and Biodiversity Conservation Act of 1999)

② 방사선 보호 및 원자력 안전법(Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Act of 1998)

- 따라서, 호주의 SMR도입은 경제·무역·보안·정책·기술 등 국가 전반의 변화가 우선되어야 하기 때문에 수년의 시간이 걸릴 것으로 예상됨.

주요단신

아프리카 Africa



○ 한-이집트, 국회의장 면담에서 원자력 협력 논의

국회보도자료. 2021.10.15., UxC Weekly.2021.10.11.

- 지난 10일, 박병석 국회의장은 압델 파타 알시시 이집트 대통령의 초청으로 이집트를 방문하여 카이로 대통령 궁에서 경제·국제안보 등에 대해 양국간 협력을 논의하였음.
 - 국회의장은 현재 이집트가 진행하는 4개의 대규모 프로젝트에 한국 기업의 참여 지원을 요청하면서 한수원의 UAE 원전 건설 기술 역량을 강조하며 El Dabaa 원전 사업 참여를 제안함.
 - 언급된 4개 대규모 프로젝트는 수에즈 운하 조선소 건설, 카이로 메트로 전동차 사업, K-9 자주포 패키지 수출, El Dabaa 원전사업(4기)임.

주요단신

유럽 Europe



● 프랑스 마크롱 대통령, 원자력 개발 포함한 2030 투자 계획 발표

LCI 2021.10.12., World Nuclear News 2021.10.13., Reuters, La tribune 2021.10.19.

- 2021년 10월 12일 마크롱 프랑스 대통령은 산업 경쟁력과 미래 기술 개발을 목표로 향후 5년간에 걸쳐 300억 유로(약 41조)를 투입하는 ‘프랑스 2030’ 투자계획을 발표하면서, 원자력을 핵심 과제 중 하나로 제시함.
 - 마크롱 대통령은 원자력이 탄소배출이 가장 적은 발전원이기 때문에, 이를 사용하는 것이 기회라고 설명하며 2030년까지 SMR 개발을 포함한 원자력 부문에 10억 유로를 투자할 계획이라고 밝힘.
 - 마크롱 대통령은 안전성 및 방사성폐기물 처리 기능이 개선된 소형모듈원자로(SMR) 개발과 원자력을 활용한 녹색수소 개발을 목표로 하고 있다고 설명함.
 - 프랑스는 2030년까지 방사성폐기물 처리 기능을 갖춘 SMR을 개발하고 2030년 그린 수소 부문에서 선도국 지위 확립(최소 2개의 전해시설 보유)을 계획함.
 - 현재, 프랑스 원자력·대체에너지위원회(CEA), EDF, Naval Group, TechnicAtome가 컨소시엄을 구성해 300~400MW 규모의 SMR 개발을 위한 Nuward 프로젝트를 준비 중임.
 - 2021년 4월 6일 EDF는 Nuward 설계를 공개하며 에너지 전환에 따른 석탄화력발전소를 대체하기 위해 2035년부터 시장 출시를 목표로 한다고 밝힘.²⁾
 - 프랑스 2030 투자 계획 대상 분야에는 에너지, 산업 공급망, 모빌리티, 보건, 문화가 포함됨.

2) Energeek, EDF DÉVOILE LE DESIGN DU SMR NUWARD, SON MINI-RÉACTEUR NUCLÉAIRE CIVIL, 2021.04.08.
<https://energeek.com/2021/04/08/edf-devoile-design-smr-nuward/>

■ 한편 프랑스 매체인 르피가로 보도(2021.10.18.)에 따르면 마크롱 대통령은 올해 크리스마스 전에 최대 6기의 신규 원전인 EPR2 건설 여부를 발표하기를 희망하고 있음.

- 당초 프랑스 정부는 2023년으로 예상되는 Flamanville 3호기 가동 전까지는 EPR2 건설 여부에 대한 결정을 내릴 수 없다는 입장이었으나, 지난 10월 1일 아녜스 파니에뤼나셰(Agnes Pannier-Runacher) 산업부 장관은 에너지 주권 확립을 위해 원자력과 재생에너지에 집중해야한다고 밝히며 기존 입장을 뒤집음.
 - 2019년 9월 프랑스 정부는 개선형(optimized) 유럽가압경수로인 EPR2 6기 건설을 위한 계획안 수립을 EDF에 요청함.
 - 2019년 10월 EDF는 프랑스가 신규 원전 건설을 준비하고 있으며, 비용 절감을 위해 3개 부지에서 3쌍의 원자로를 건설할 계획을 밝힘. 총 비용은 최소 460유로로 추산됨.
 - 2020년 말, EDF 이사회는 Penly 원전 부지, Gravelines 원전 부지, Rhône-Alpes(프랑스 동부 지방) 등을 EPR2 후보 부지로 공식 확인함.
 - 2021년 5월 EDF는 프랑스 정부에 6기의 EPR2 건설 계획을 제출하며 2035년 가동을 목표로 설정함.

■ 2022년 4월에 시행되는 대선을 앞두고 프랑스 대선 후보들 사이에서 원자력이 논쟁의 대상이 되고 있음.

- 프랑스 좌파는 풍력과 태양광과 같은 재생에너지에 대한 백업 전원으로 원자력을 간주하고 있으며, 안전성 및 방사성폐기물 처리 문제로 원자력 비중을 줄이려는 입장임.
- 프랑스 우파의 경우 원자력을 지지하고 있음. 중도 우파 후보인 발레리 페크레스(Valérie Pécresse)는 이번 달에 계획된 12기의 원자로 폐쇄를 중단하고 EDF에 신규 6기 원전 건설을 승인하겠다고 약속함.
 - 마크롱 대통령은 집권 초기에 14기의 원자로를 폐쇄하고 2035년까지 전원 구성에서 원자력의 비중을 기존 75%에서 50%로 축소한다고 발표했으나, 현재는 신규 원자력 프로젝트에 신속하게 투자한다는 계획을 밝힘.

〈프랑스 2030 투자 계획 내용〉

분야	내용
에너지	(80억 유로 투입) - 10억 유로: 원자력(SMR 포함) - 20억 유로: 녹색 수소(최소 2개의 전해시설 건설) - 50억 유로 :산업 탈탄소화(철강, 시멘트, 화학 부문)
운송 및 이동성	(40억 유로 투입) - 전기·하이브리드 자동차 200만 대 생산 - 최초 저탄소 항공기 생산
농업	(20억 유로 투입) - 지속가능하며, 원산지 표시된 건강 식품 개발 및 농업생산물 시스템 혁신 가속화
보건	(75억 유로 투입) - 암과 만성질환 치료용 20개 종류의 바이오의약품 및 의료기기 개발
문화, 우주, 심해 탐사	- 창의적인 콘텐츠 생산, 우주 모험(2026년까지 소형 위성 생산), 심해 탐사
재료 및 전자부품	(60억 유로 투입) - 재료 공급 안정성 보장(목재 산업 통합 및 금속 재활용 추진) - 2030년까지 전자부품 생산량 두배 확대
인력 개발	(25억 유로 투입) - 신규 산업 부문 훈련

자료: Lavoixdunord.fr(2021.10.12.)³⁾

● 프랑스 EDF, 폴란드에 최대 6기의 EPR 건설 제안

Enerdata 2021.10.14., Nuclear Engineering International 2021.10.15., UxWeekly 2021.10.18.

■ 2021년 10월 13일 프랑스 EDF는 폴란드 정부에 4~6기(총 규모 6.6~9.9GW)의 EPR 건설을 위한 구속력 없는 예비 사업제안서를 제출함.

- EDF는 비용 추산, 일정 개발, 발전소 설계, 지역 공급망 계획 등 을 포함하는 엔지니어링·조달·시공(EPC) 사업 시행을 통해 2~3개 부지에 4~6기의 EPR을 건설할 계획임.
- EDF는 2020년 10월 폴란드 정부가 채택한 폴란드 원자력 발전 프로그램을 지원하기 위해 EPR 건설을 제안했다고 밝힘.

3) <https://www.lavoixdunord.fr/1083257/article/2021-10-12/france-2030-decarbonation-hydrogene-sante-emmanuel-macron-devoile-un-plan-30>

- 지난 7월 EDF는 폴란드 원자력 시장 진입을 목표로 원전 건설 제안서를 준비하기 위해 바르샤바에 사무실을 개소한 바 있음.

■ EDF는 EPR 프로젝트를 통해 폴란드에 경제적 이익 창출, 에너지 자립, 산업 성장 기회를 제공할 수 있을 것으로 전망함.

- EDF에 따르면 EPR 원전 건설 시 폴란드 전력 수요의 40% 충족, 최소 60년간의 전력 공급, 연간 최대 5천 5백만 톤의 CO₂ 배출 방지가 가능함.
- EDF는 또한 EPR 2기 건설 단계에서 약 25,000개의 지역 일자리와 수만 개의 간접 일자리가 창출될 것이라고 추산함.

■ 현재 폴란드 정부는 3세대 또는 3세대+ PWR 기반의 6~9GW 규모의 신규 원전을 계획 중임.

- 폴란드 1호기(1~1.6GW)의 일반 계약자 선정은 2022년, 건설승인은 2025년, 착공은 2026년, 상업운전은 2033년으로 예정됨. 이후 2043년까지 2년마다 추가 5기의 원전이 가동할 계획임.

- 1호기 건설에 160~170억 유로(약 21~23조 원)⁴⁾의 비용이 소요될 것으로 추정되고 있으며 환경영향평가작업과 더불어 Żarnowiec(Choczewo) 또는 Lubiatowo Kopalino가 후보 부지로 논의되고 있음.

■ 한편, 폴란드 민간기업인 Synthos(화학기업), KGHM(광산·제련업체), Unimot(에너지 기업), PKN Orlen(정유 및 석유화학 대기업)은 SMR 건설도 추진 중임.

◎ 스페인 정부, Asco 1·2호기 운영허가 각각 2030년, 2031년까지 연장

Nucnet, Nuclear Engineering International 2021.10.11.

■ 2021년 10월 7일 스페인 생태전환연구과제부(MITECO)는 Asco 1·2호기(각 1,030MW, PWR)의 운영허가를 각각 2030년 및 2031년 10월 1일로 추가 10년 갱신했다고 발표함.

※ 스페인은 원전의 설계 수명을 40년으로 설정하고 있지만, 주기적안전성평가(PSR)를 토대로 10년 단위로 운영허가 갱신이 가능해 실제로는 40년 이상 계속 운전이 가능함.

- Ascó 1·2호기는 각각 1984년 12월과 1986년 3월에 상업운전을 개시함.

4) 2021년 10월 21일 기준 환율 계산

- 지난 7월 스페인 원자력안전위원회(CSN)는 Asco 1·2호기의 운영허가 갱신을 승인함.
 - CSN는 운영허가 갱신 승인이 해당 원전의 기능 검증과 계속 운전을 위한 안전성 유지, 현재 규제 요건에 맞춘 설비 능력 검증에 기반을 두고 있다고 밝힘.
- 원전운영사인 Ascó-Vandellós II Nuclear Association(ANAV)는 2011년 발생한 후쿠시마 사고 분석을 통해 시행된 발전소 설비 변경을 통해 격납건물 내 여과배기계통 및 피동 수소 재결합기 설치, 대체 비상 관리 센터 건설 등 진행함.
- 스페인 원자력산업인 Foro Nuclear에 따르면 Asco 원전은 스페인 자치주인 카탈로니아 전체 전력 생산의 35%, 스페인 전체 전력 생산의 6.2%를 차지함.

■ 스페인 생태전환인구과제부(MITECO)는 지금까지 총 3기의 원전에 대한 운영허가갱신을 승인 하였음.

- 2020년 3월 Almaraz 1호기(1,011MW, PWR), 2호기(1,006MW, PWR)는 각각 2027년 11월 1일과 2028년 10월 31일까지 계속운전 하도록 승인됨.
- 2020년 6월 Vandellos 2호기(1,045MWe, PWR)의 운영허가가 2030년 7월 26일까지 10년 연장됨. 해당 원전은 2034년에 영구 폐쇄될 예정임.

기타단신

◎ 영국, 폐쇄 예정인 원전부지를 SMR 건설 후보부지로 고려

Largs& Millport 2021.10.12.

- 스코틀랜드에 위치한 Hunterston B 원전이 2022년 1월에 조기 폐쇄를 앞둔 가운데 해당 원전이 위치한 North Ayrshire 지역의 보수당 의원인 톰 마샬(Tom Marshall)의 요청으로 SMR 건설 후보 부지로 제안됨.
 - Hunterston B 1호기(475MW, AGR), 2호기(485MW, AGR)는 각각 1976년과 1977년에 상업 운전을 개시하였으며 당초 2023년 3월까지 가동할 수 있도록 운영허가를 취득함.
 - 그러나 해당 원전은 원자로 노심 속 흑연 벽들에서 균열이 감지되어 조기 폐쇄가 결정됨. 원전운영사 EDF는 사용후핵연료 제거 작업에 3~5년이 소요될 것으로 예상함.

주요단신

아시아 Asia



○ 일본, 제6차 에너지기본계획 발표

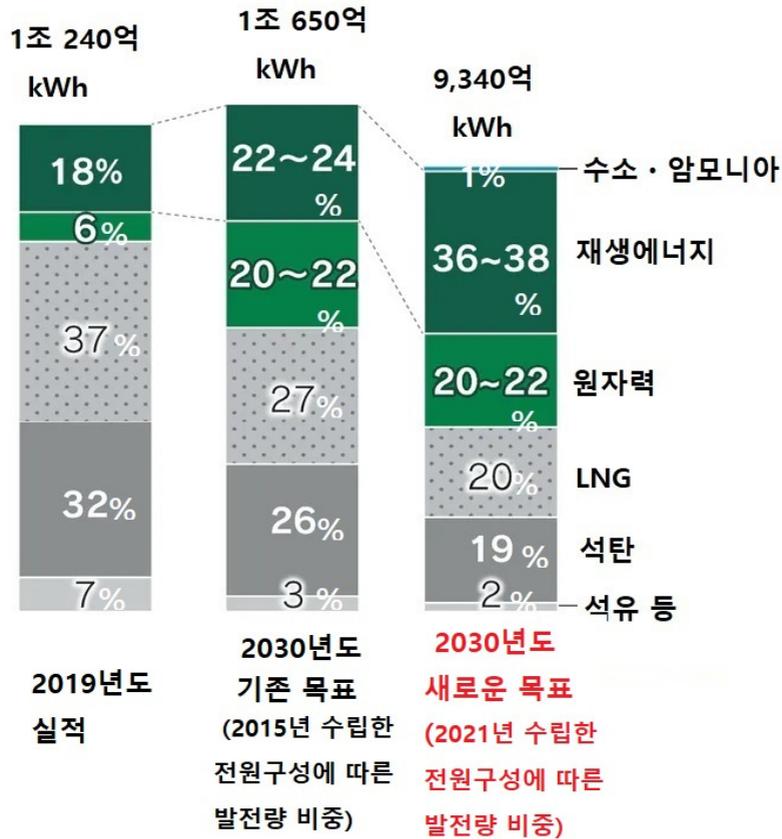
일본 경제산업성 2021.10.22., 일본경제신문 2021.10.22., 아사히신문 2021.10.22., 산케이신문 2021.10.22., 마이니치신문 2021.10.22.

- 10월 22일 일본은 2050년 탄소중립을 목표로 2030년도에 발전량에서 차지하는 재생에너지의 비중을 36~38%, 원자력 20~22%, 화력은 41%로 설정하는 내용을 포함한 제6차 에너지기본 계획(이하, 에기본)을 공식 발표함.
 - 에너지기본계획은 3년마다 개정되며 제6차 에기본은 2021년 7월 초안을 작성해 10월 4일 까지 의견 수렴 과정을 거쳐 결정됨.
 - 경제산업성은 제6차 에기본 최종본에 대한 의견 수렴 후 원전 사고에서 얻은 교훈을 바탕으로 위험도를 최소한으로 낮출 수 있도록 최선을 다해 대책을 추진하고, 만일 사고가 발생했을 때에는 정부가 책임지고 대처한다는 표현을 추가함.
 - 2030년도 전원 구성에 따른 발전량 전망은 6년 만에 수정됨.
 - 확정된 에기본에서는 재생에너지에 대해 주력 전원으로 삼아 최우선적으로 최대한 확대 하고, 원자력에 대해서는 중요한 기저 전원이며 실용 단계에 있는 탈탄소 전원이라 평가하며 필요한 규모를 계속 활용하지만 의존도는 가능한 한 낮추겠다고 명기함.
 - 또한, 현재 발전 비중(2019년도 실적 기준)의 76%를 차지하는 화력발전을 2030년도에 40%까지 축소시키며 특히 CO₂ 배출량이 많은 석탄화력은 19%까지 억제하고 노후 화력 축소를 추진함.
- 향후 일본 정부는 10월 말 영국에서 개최되는 제26차 유엔기후변화협약 당사국총회를 목표로 에기본을 토대로 한 온실가스 감축 계획을 정리해 유엔에 제출할 계획임.

〈일본 제6차 에너지기본계획 주요 내용〉

기본 내용	2050년에 탈탄소, 2030년도에 2013년도 배출량(14억 800만 tCO2 eq)대비 46% 감축을 목표로 향후 에너지 정책 추진 방향성을 제시함.
재생에너지 (36~38%)	철저하게 주력 전원으로 삼으며, 원칙적으로 재생에너지를 최우선으로 하여 확대함. 태양광 연간 발전량을 2030년도에 2배로 확대함.
원자력 (20~22%)	필요한 규모를 계속 활용함. 원전 의존도를 가능한 한 낮춤. 원전 증설, 대체 건설은 언급하지 않음. 핵연료 주기 정책 추진.
화력 (41%)	가능한 한 화력발전 비중을 낮춤. 2030년도 전원구성에 따른 석탄화력 발전량 비중은 19%로 설정.
수소·암모니아 (1%)	화력발전소에서 석탄 또는 가스와 혼합해 연료로 사용하며 차후에는 100% 연료 사용을 검토함. 안정적인 공급을 위해 해외의 저렴한 수소를 활용하고 일본 내 수소 생산 기반을 확립함.

(注) ()안의 수치는 2030년도 전원 구성에 따른 발전량 비중 목표임.



자료: 일본경제신문 2021.10.22. 자료를 토대로 편집·작성

◎ 일본 규슈전력, 센다이원전 1·2호기 계속 운전 가능성 타진 위한 특별점검 시행

세계원전시장 인사이트 2021.07.23., JAIF 2021.10.06., 규슈전력 2021.10.14., NHK 2021.10.14., 일본경제신문 2021.10.14., 요미우리신문 2021.10.15.

■ 일본 규슈전력은 10월 14일 가동 중인 센다이원전 1·2호기의 계속운전 가능성을 확인하기 위한 특별점검 시행 계획을 발표하며 점검 결과를 토대로 계속운전 신청 여부를 결정하겠다고 밝힘.

- 일본 원자로 등 규제법(原子炉等規制法)에서는 원칙적으로 원전을 최초 가동 개시일에서 40년 운전하고, 1회에 한정해 최장 20년 계속운전이 가능하다고 규정함.

- 원전 운영사는 가동 40년이 되는 해의 1년 전까지 규제위에 계속운전을 신청해야 하며 신청 시에는 ① 특별점검 결과 보고서, ② 계속운전 기간 동안의 원자로 그 외 설비의 성능 저하 상태를 기술적으로 평가하고 그 결과를 작성한 서류, ③ 계속운전 기간 동안의 설비 보수 관리와 관련한 방침을 기재한 서류를 제출해야 함.¹⁾

- 센다이 1호기는 2024년 7월에, 2호기는 2025년 11월에 가동 개시 40년을 맞이하며, 규슈 전력은 센다이 1호기는 10월 18일, 2호기는 2022년 2월 하순 특별점검을 시행할 계획임.

- 특별점검은 원자로 용기와 격납 용기 등의 노후화·부식 상태를 파악하기 위해 정기 검사에서 수집한 가동 35년 이후 자료를 토대로 원자로 용기와 격납 용기 등의 상태를 분석·평가하여 보고서를 작성하므로 원전 가동에 영향을 주지는 않으며 약 반년 소요됨.

- 센다이 1호기는 10월 17일 정기 검사를 위해 가동을 일시 정지하며 검사 기간 중 특별점검에서 사용할 자료 수집도 동시에 진행해 12월 하순 발전을 재개할 예정임.

■ 일본에서 40년 이상 계속운전 인가를 받은 원전은 후쿠이현에 소재한 미하마원전 3호기와 다카하마 1·2호기, 이바라키현에 소재한 도카이 제2원전 총 4기임. 이 중 미하마원전 3호기는 2021년 7월 27일 상업운전을 시작하였으며 10월 23일 테러 대책 설비 설치를 위해 정지할 예정임.

◎ 신전력 대기업 erex, 일본 최초 상용 수소발전소 연내 착공

Hydrogen Technology 株式会社 2021.04.22., 2021.09.16., RIEF 2021.04.22., PRTIMES 2021.09.16., 일본경제신문 2021.09.16., 일본 전기신문 2021.09.21., 환경비즈니스온라인 2021.04.23., 09.21.

■ 일본 신전력 대기업인 erex Co.,Ltd는 9월 16일 360kW 규모의 수소전소(全燒)발전소인 후지 요시다 수소발전소의 건설 및 운영 계획을 발표함.

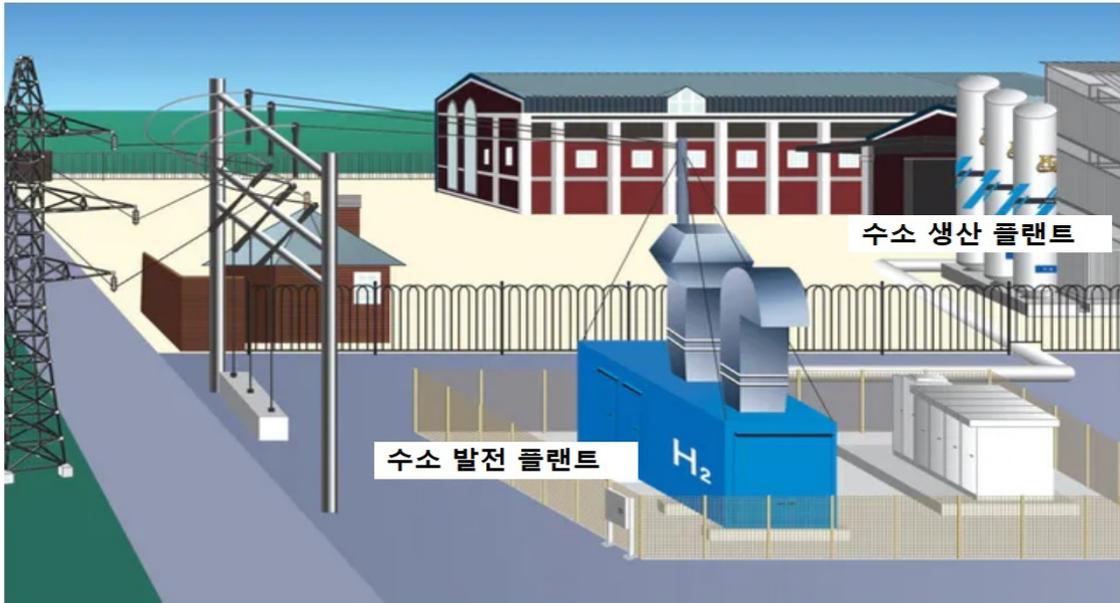
1) 일본 상용 발전용 원자로 설치·가동 등에 관한 규칙 113조

- 수소전소(全燒)발전소는 수소를 100% 연료로 사용하여 전력을 생산하며 erex는 약 3억 엔 (약 30억 원)을 투입하여 11월 1일 설비 공사에 착수해 내년 3월 하순 상업운전을 시작할 계획임.
 - erex는 1999년 설립했으며 2001년 전력 소매 사업을 시작함. 현재 일본 내 5곳에서 바이오매스발전소를 운영 중임.
- erex는 2021년 4월 MOU를 체결한 수소생산 스타트업 기업인 Hydrogen Technology(주)의 수소 공급·보수 기술과 erex의 발전소 운영·전력 소매 분야 지식을 활용해 수소발전소에서 생산한 전력을 전력소매사업에 활용할 계획임.
 - Hydrogen Technology(주)는 흑요석이나 감람암 같은 초고철질(마그네슘과 철이 풍부해 이산화규소가 45% 이하인 조암광물로 이루어진 암석)과 물을 반응시켜 수소를 생산하는 기술을 보유함.
- 후지요시다 수소 발전소에서는 Hydrogen Technology(주)의 수소생산설비에서 공급 받은 수소를 사용해 독일제 수소전소가스엔진을 활용하여 전력을 생산함. 발전소가 가동한다면 일본 최초 수소전소발전소의 상업운전이 될 것임.
- 2020년 12월 21일 자원에너지청의 자료²⁾에 따르면 현재 액화 수소 공급 가격은 약 170엔 (약 1,754원)/Nm³임. erex는 Hydrogen Technology(주)와 협업을 통해 가동 시 수소발전 연료비를 30엔(약 307원)/Nm³으로, 향후 발전소 대형화를 통해 1Nm³당 10~20엔 (약 102~205원)/Nm³까지 낮추는 것을 목표로 함.

〈후지요시다 수소발전소 개요〉

사업운영회사	erex Co.,Ltd.
소재지	아마나시현 후지요시다시
부지면적	약 225m ²
발전용량	360kW
연계출력(최대)	350kW
연료	수소
수소공급회사	Hydrogen Technology주식회사
발전설비공사착공	2021년 11월 1일(예정)
상업운전개시	2022년 3월 하순(예정)

2) 자원에너지청 ‘2050년 탄소 중립 실현을 위한 검토(2050年カーボンニュートラル実現に向けた検討)’, 2020.12.21.



자료: PRTIMES 2021.9.16.자료와 Hydrogen Technology 2021.09.16., 일본경제신문 2021.09.16.자료를 토대로 편집·작성

◎ 일본 후쿠시마현·도쿄전력, 지역 소재 기업의 후쿠시마원전 해체 산업 진출 지원

후쿠시마현 웹사이트 2020.06.29., 일본경제신문 2021.10.13., 전기신문 2021.10.13.

- 후쿠시마현과 도쿄전력 등으로 구성된 조직인 ‘후쿠시마 폐로 관련 산업 매칭 지원 사무국’은 10월 11일 해체 사업 진출을 희망하는 후쿠시마현 내 중소기업이 후쿠시마 제1원전 해체 담당 기업과 소통할 수 있는 ‘해체 관련 산업 교류회’를 최초로 개최함.
 - 교류회는 지역 중소기업과 원전 해체를 담당하는 대기업이 상생 협력 네트워크를 구축할 수 있도록 기업 간의 연결 구심점 역할을 함.
 - 10월 11일 교류회에서는 해체 사업 진출을 희망하는 후쿠시마현 내 기계, 건설, 소재 관련 중소기업 약 40개사가 후쿠시마 제1원전 해체를 담당 중인 중전기기 업체 ‘히타치 GE 에너지’, 건설 대기업 ‘가지마’ 등 7개사와 도쿄전력을 대상으로 자사의 기술과 상품을 홍보하였음.

기타단신

◎ 일본 방폐물 최종 처분장 후보지 슛쓰정· NUMO, 주민 학습 모임 개설

아사히신문 2021.07.08., 2021.10.14.

- 일본 원자력발전환경정비기구(The Nuclear Waste Management Organization of Japan, NUMO)와 방사성폐기물 최종 처분장 후보지인 홋카이도의 기초지자체 슛쓰정은 10월 12일 지역 주민과 최종 처분, 지역 미래에 대해 의견을 나누는 학습 모임을 최초로 개최함.
 - NUMO와 슛쓰정은 7월 고등학생 1학년 이상 주민을 대상으로 모임 구성원을 모집했고 30~90대 주민 17명이 최종 지원함.
 - 학습 모임은 구성원들이 학습 주제를 결정해 1년간 월 1회 활동하며, 비공개로 진행된 첫 모임에서는 향후 학습을 희망하는 주제에 대해 논의함.

◎ 일본 총리, 2050 탄소중립 달성 위한 녹색 에너지 전략 수립 의사 표명

원자력산업신문 2021.10.08.

- 일본 기시다 총리는 국정 현안과 관련해 기본 입장을 밝히는 10월 8일 연설에서 2050년 탄소 중립 실현을 위해 지구온난화 대책을 일본의 성장과 연결한 ‘녹색에너지 전략’을 수립해 실행하겠다고 밝힘.

◎ 일본 Kyoto Fusioneering, 영국 핵융합로 프로젝트 참여

House of Commons library, briefing paper New Nuclear Power, 2021.02.26.,
일본경제신문 2021.10.12., UKAEA 웹사이트 최종 검색 2021.10.19.

- 일본경제신문 10월 12일 보도에 따르면 교토대학에서 시작된 스타트업인 Kyoto Fusioneering (주) (이하, KF)이 상업 이용을 목적으로 한 영국 원자력에너지청(UKAEA)의 핵융합발전소 프로젝트에 참여함.
 - 영국은 핵융합 에너지 생산을 위해 구형 토카막(Spherical Tokamak for Energy Production,

STEP) 설계 프로젝트를 추진 중임. 영국 정부는 2019년 10월 STEP 설계를 위해 2억 2천만 파운드(약 3,568억 원)를 지원하겠다고 발표했으며, 2024년까지 기본 설계 완성, 2025년 착공, 2040년경 가동 개시를 목표로 함.

- KF는 UKAEA와 영국 기업 등 5개사와 공동으로 STEP 건설에 참여하는 계약을 체결했으며 융합로 설계를 담당함. 더불어 실증 플랜트의 부품도 수주해 2022년 납품할 예정임.
 - KF는 교토대학의 고니시 사토시(小西哲之) 교수 등이 2019년 10월 설립한 스타트업으로 융합로 설계 등 엔지니어링 사업과 운영 중 필요 부품 생산 작업을 수행함.

◎ 이란 대통령, 원전 10GW 규모로 확대 고려

eurasiareview.2021.10.09.

- 에브라힘 라이시 이란 대통령은 이란 원자력청(AEOI)에 원전 설비 규모를 10GW로 증설하는 안을 지시함.
 - 지난 8일, 이란 대통령은 Buser 원전을 방문하여 원자력에너지의 평화적 이용을 선언하며 이러한 정책기조를 지속할 것이라고 밝힘.
 - 현재 이란은 Buser 원전 1호기(915MW)를 운영 중이며 2호기(974MW)를 건설 중임.

◎ 방글라데시, 추가 원전 건설 계획 발표

WNN.2021.10.11.

- 지난 10일, 방글라데시 셰이크 하시나 총리는 Rooppur 1호기 압력용기 설치를 기념하는 행사 연설에서 제 2원전 건설 의지를 표명함.
 - 하시나 총리는 2030 지속가능한 개발 목표 달성과 2041년까지 산업화 국가로의 도약을 위해 원전의 중요성을 재차 강조하며 Rooppur 원전 완공 후 제 2원전 건설 계획 의사를 밝힘.
 - Rooppur 원전(VVER-1200, 2기)은 2017년 11월에 착공하여 각각 2023년, 2024년 완공 예정임.

World Nuclear Power Market
INSIGHT



세계원전시장
인사이트