

세계원전시장 인사이트

World Nuclear Power Market INSIGHT



현안이슈

미국 전력부문 탄소중립 달성을 위한 과제와 시사점

1. 들어가며
2. 미국의 전력부문 탄소중립 달성을 위한 과제와 기회
3. 미국 발전부문 2035년 탈탄소 시나리오 분석 및 주요 시사점

주요단신

북미 12

- SMR 기업 Terrapower, 실증로 건설부지로 Wyoming 주 선정
- 미 NRC, Exelon 분사 계획 승인
- 미 Humboldt Bay 원전, 해체 완료에 따른 운영 허가 종료
- 미 에너지부, 미래형 원전 상용화에 850만 달러 지원
- 캐나다 Brucepower, 세계 최초로 원전 설비개선 비용 조달을 위한 녹색채권 발행
- 기타단신

유럽 19

- 루마니아, Candu Energy와 Cernavoda 3·4호기 완공을 위한 계약 체결
- 영국 Rolls-Royce, GDA 절차 개시를 위해 영국 정부에 의향서 제출
- 네덜란드, 주요 정당 원전 투자 관련 논의 중 보도
- 우크라이나, 중앙집중형 SF 건식저장시설 가동 임박
- 기타단신

아시아 26

- 일본, 육수 활용된 돼지 뼈로 방사성물질 회수... 오염수 정화 활용 기대
- 일본 후쿠이현, 해체 방폐물 중 극저준위 이하 폐기물 처리 효율화 모색
- 일본 도쿄전력, 계획대로 후쿠시마 오염수 해양 방류 추진
- 일본 간사이전력 다카하마원전에 프랑스발 MOX연료 도착
- 일본 이카타원전 3호기, 1월 4일 상업 운전 예정
- 기타단신



세계원전시장 인사이트

World Nuclear Power Market **INSIGHT**

Biweekly 격주간 **2021 12.03**

※ 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.



미국 전력부문 탄소중립 달성을 위한 과제와 시사점¹⁾

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

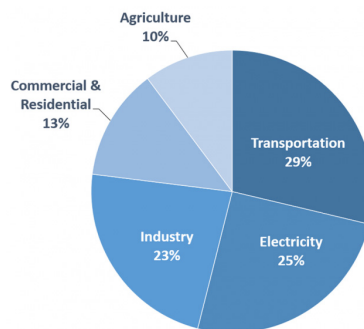
신재정 부연구위원 (jjshin@keei.re.kr)

1. 들어가며

■ 미국은 2021년 4월 NDC 개정안을 UN에 제출하며, 2030년까지 2005년 배출량 기준 50~52% 감축, 2035년까지 전력부문의 탈탄소화를 목표로 제시함.

- 2035년 전력부문 목표를 달성하기 위해서는 발전방식의 혁신적인 변화와 저탄소 및 탄소 무배출 전원으로의 급격한 변화가 필수적이라는 분석이 제시됨.
- 2019년 미국은 총 6,558.35 MMt CO₂eq.를 배출했으며²⁾, 전력부문에서의 온실가스 배출량은 2019년 전체 온실가스 배출량 중 25%를 차지하는 것으로 나타남.
 - 수송부문이 29%로 가장 큰 비중을 차지했으며, 전력부문 다음으로는 산업(23%), 상업 및 가정(13%), 농업 (10%) 순임.

[그림 1] 미국의 부문별 온실가스 배출비중 (2019년)



자료: <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks>

1) 본 원고는 미국 에너지, 자원 전문 think tank인 ICF International 에서 발간한 “Charting a pathway: Decarbonizing the U.S. power sector by 2035”를 요약, 번역함.

2) 국내의 최신자료인 2018년 배출량에서는 총 727.6 MMt CO₂eq.를 배출한 것으로 집계됨.(e-나라지표 중 국가 온실가스 배출현황 참고)

- 미국이 제출한 NDC 본문에서는 다양한 비용효율적인 기술과 투자 전략들이 탄소무배출 전력망을 달성할 수 있을 것이며, 이는 향후 10년 동안의 탄소배출량을 상당히 감소시킬 것이라고 평가하고 있음.
- 본고에서는 ICF International에서 작성한 “Charting a pathway: Decarbonizing the U.S. power sector by 2035”를 바탕으로 미국에서 2035년까지 전력부문의 탈탄소화를 달성하기 위한 과제와 경로분석을 제시하고, 이에 따른 국내 시사점을 제시하고자 함.

2. 미국의 전력부문 탄소중립 달성을 위한 과제와 기회

- 탄소무배출 전력부문으로의 전환은 청정발전설비를 통한 공급과 미래의 전력수요 사이의 균형을 맞출 수 있는 방법에 달려있음. 따라서 향후 설비와 수요 간의 균형을 찾는 데에 관련된 과제가 있지만, 그와 동시에 전력부문에서의 탄소무배출을 달성하게 되면 청정하고 안정적인 에너지 공급이라는 기회 또한 존재함.
- 보고서에서는 청정 기저설비 기술개발, 재생발전원 확대와 간헐성 문제, 송전망 개선 및 투자, 분산형전원과 대용량 저장장치를 활용한 부하관리 유연성 제고, 기후변화에 따른 설비 복원력 제고 등 크게 5가지 부문에 주목함.
- 우선, 청정 기저설비로는 탄소포집 및 저장(Carbon Capture and Storage, 이하 ‘CCS’) 활용과 수소기반의 기저설비, 장주기 전력저장장치가 안정적이고 유연한 탈탄소 전원구성에 핵심임을 제시함.
 - 배터리로 대표되는 전력저장장치의 기술이 지속적으로 발전하여 비용효과적이나 아직까지는 짧은 방전시간의 한계가 존재함. 또한 CCS, 그린수소, 신재생을 이용한 천연가스합성 등은 대규모 실증 및 활용단계에서는 천문학적 비용으로 인해 실질적인 활용이 어려움.
 - CCS는 현재 미국에서 상대적으로 비용이 높으며, 정책적인 지원도 크게 존재하지 않아 기술개발이 느리게 진행되고 있는 것으로 평가함.
 - 2010년 이래로 DOE는 9개의 실증프로젝트에 투자하였으나, 그 중 3개만이 성공한 것으로 판명됨. 그 중 전력부문과 직접적인 관련이 있는 Petra Nova CCS 프로젝트(석탄화력발전에서 발생한 온실가스 포집)조차도 경제성 악화를 이유로 2020년부터 휴지상태임.
 - 그럼에도, 산업부문에서 블루수소 활용으로 인한 잠재성이 증가함에 따라 CCS에 대한 채산성이 제고될 수 있을 것으로 전망됨.

- 수소의 경우 지속적으로 하락하는 생산단가와 생산효율성 향상으로, 계통의 탈탄소화와 무탄소에너지 시스템 구축에 주요한 역할을 할 것으로 기대됨. 특히, 그린수소의 경우 연료 혹은 저장을 통한 활용에 대한 잠재성이 큰 것으로 분석함.

- 수소터빈을 활용이나 기존 화력설비에 다른 연료와 혼소를 통해 연료로 바로 사용될 수 있으며, 향후 기술개발을 통해 장주기 저장장치에 활용되어 계절간 부하변동 평탄화 등 여러 목적으로 활용될 수 있는 잠재력 큰 것으로 판단함.

- 그럼에도, 이를 기술을 상용화하여 사용할 때까지는 인프라 구축, 인허가 통과, 시장진입 장벽, 정책적 유인 등 여러 난관들이 해결되어야 할 것으로 분석함.

■ **재생에너지의 경우 미국 내에서는 이미 대규모 전원으로서 시장에서의 활용도가 높으며, 재생 에너지 확대를 위한 규제적 정책적 틀이 잘 갖추어진 경우가 많음. 그럼에도, 기후 및 날씨로 인한 간헐성 문제는 피할 수 없음을 지적함.**

- 2035년까지 효율성 향상, 일 내 시간단위 출력예측의 정확성 제고 등을 통해 신뢰성이 개선된다면, 2035년 더욱 최적화된 활용이 가능할 것으로 전망함.

■ **송전선의 경우 기존과 같이 대규모 신규 재생에너지 진입에 따른 신규 송전망에 대한 투자는 필요할 것으로 보임. 이와 더불어 송전손실을 줄이기 위한 설비 개선, 지중화 등을 통한 극한날씨에 운영가능한 계통운영 전략 확보, 운송수단 및 타 부문의 전력화로 인한 최종전력소비 증가에 대비한 신규 송전망 필요를 제시함.**

- 이를 위해 계통 운영자, 각 주, 그리고 연방정부의 유관기관(FERC 와 DOC)차원에서의 다음 이슈들에 대한 고려가 필요함.

- 송전망 개선, 주(州)간 송전망(Interconnection)에 대한 비용분담방식, 신규 송전시설 건설에 필요한 부지확보 및 인허가

- 이를 바탕으로 대규모 재생발전원 개발 및 도입에 필요한 규제 및 정책을 구성할 수 있음.

■ **유연한 부하관리를 위한 전략에서는 대규모 재생발전원과 전력 수요가 동시에 상승함에 따라, 유연한 부하관리를 위한 수요-공급 균형을 유지할 수 있는 최적화가 필요함을 제시함.**

- 이를 위한 방안으로는 분산형 태양광, 시설에 설치되는 배터리 저장장치, 세부적인 에너지 효율화 목표, 시차 및 지역적인 특성을 고려한 수요반응을 제시함

- 유연한 부하관리를 통해 송배전망과 대규모 발전설비의 투자시기 지연, 계통혼잡(Grid congestion)완화, 수요단의 신뢰도 증가, 유연하고 양방향 접속 기능을 통한 계통의 전반적인 신뢰도 향상이 가능할 것으로 분석함.

- 분산형전원 확충계획 또한 계통 전반에 영향을 줄 수 있는 이슈이며, 건물의 전력화 및 전기자동차 증가로 인한 새로운 수요에 대한 관리방안도 첨두부하 관리에 주요한 전략으로 볼 수 있음.
 - 여러 가지 부하관리 방안 및 전략이 실행되고 있으나, 이를 확대하거나 전반적인 사용으로 펼치기에는 기존의 대규모 전력판매사와의 배전망 계통 연계 등 해결해야 할 문제들이 존재함.
 - 부하관리 전략들이 완전히 그 진가를 발휘하게 하기 위해서는 이미 FERC Order 2222와 같이 분산형전원이 전력도매시장에 직접 참여할 수 있는 규제근거를 마련하고, 수일 동안 충전하고 이후 수일 동안 방전할 수 있는 장주기 저장장치를 위한 시장제도 개선 등이 필요함.
- ※ FERC Order 2222:는 2020년 12월에 도입되었으며 분산에너지자원들이 시장에 기존 전원들과 동일하게 참여할 수 있고 이에 따른 보상 제도를 마련해야 함을 규정함.

■ 마지막으로 텍사스지역의 동절기 폭설, 캘리포니아 지역의 산불 확산, 동북부지역의 홍수, 동남부 지역의 빈번한 허리케인 발생으로 인해 광역정전이 발생했으며, 이는 기상이변에 대응할 수 있는 인프라의 필요성과 대응방안 마련이 필요함을 제시했다고 평가함.

- 특히 일련의 기상이변 관련 사건들은 에너지기업들의 시설 및 운영과정에서의 현재 취약성과 이에 대응하기 위한 목표 간의 격차가 존재함을 보여주고, 이를 보완하기 위한 여러 방안들에 대한 우선순위를 세우는 기회였다고 분석함.
- 현재 에너지기업들, 투자자, 연방 주 기초지자체들은 전력계통의 취약성을 분석하고 이에 대응하는 방안을 찾고 있으며, ICF의 자체적인 분석에 따르면, 2050년까지 기후 변화 위기와 변화하는 환경에 효과적으로 대응하기 위해 에너지 기업들이 50억 불 이상의 투자가 필요한 것으로 조사됨.
 - 이는 일반 운전유지비 외에 다양한 요인의 기후변화에 따른 시설보호를 위한 투자에 따른 것으로 분석되며,
 - 주요 기후변화 요인으로는 지구온난화로 인한 기온상승, 극한 눈폭풍 및 홍수, 해수면 상승, 가뭄 시기 장기화, 대규모 산불 발생 증가 등을 들 수 있음.
- 또한 기후변화로 인한 사건들이 소비변화와 시설에 대한 영향이 동시에 발생하는 특징이 있음을 지적함.
 - 일례로, 지구온난화로 인한 기온상승으로 인해 전력소비를 높이는 동시에 변압기와 선로 등 설비들의 효율성을 떨어뜨림. 이에 따라 소비증가와 효율저하를 모두 고려하여 배전망에 대한 추가 투자가 필요하면서도, 선로의 열을 제거하는 것은 더욱 어렵게 됨.

- 폭염 또한 같은 원리로 수요증가와 설비 효율 하락을 동시에 가져오며, 나아가 정전 발생 확률을 높임. 그로 인해 계통의 신뢰성을 유지하기 위한 추가적인 투자가 필요함.

3. 미국 발전부문 2035년 탈탄소 시나리오 분석 및 주요 시사점

■ ICF 보고서는 미래의 전력수요 증가에 대한 두 가지 가정을 바탕으로, 2035년까지의 발전 부문의 탈탄소 달성을 위한 두 개의 전력수요 시나리오를 제시함.

- 수요에 대한 가정은 미국 NREL에서 발간한 Electrification Future Study의 Reference case와 High case를 수요 추정치로 참고함.
- 첫 번째 시나리오는 2035년 수요가 2020년 대비 전력수요가 11%, 평균 피크 수요는 11% 증가할 것으로 가정한 “Reference pathway”임.
- 두 번째 시나리오는 동년 대비 전력수요가 30%, 평균 피크 수요는 35% 증가할 것으로 가정한 “Accelerated pathway”임.
 - 해당 시나리오에서는 건물·수송·산업부문의 급진적인 전력화와 에너지 효율화를 가정 하였으며, Reference보다 높은 전력수요 증가를 도출함.

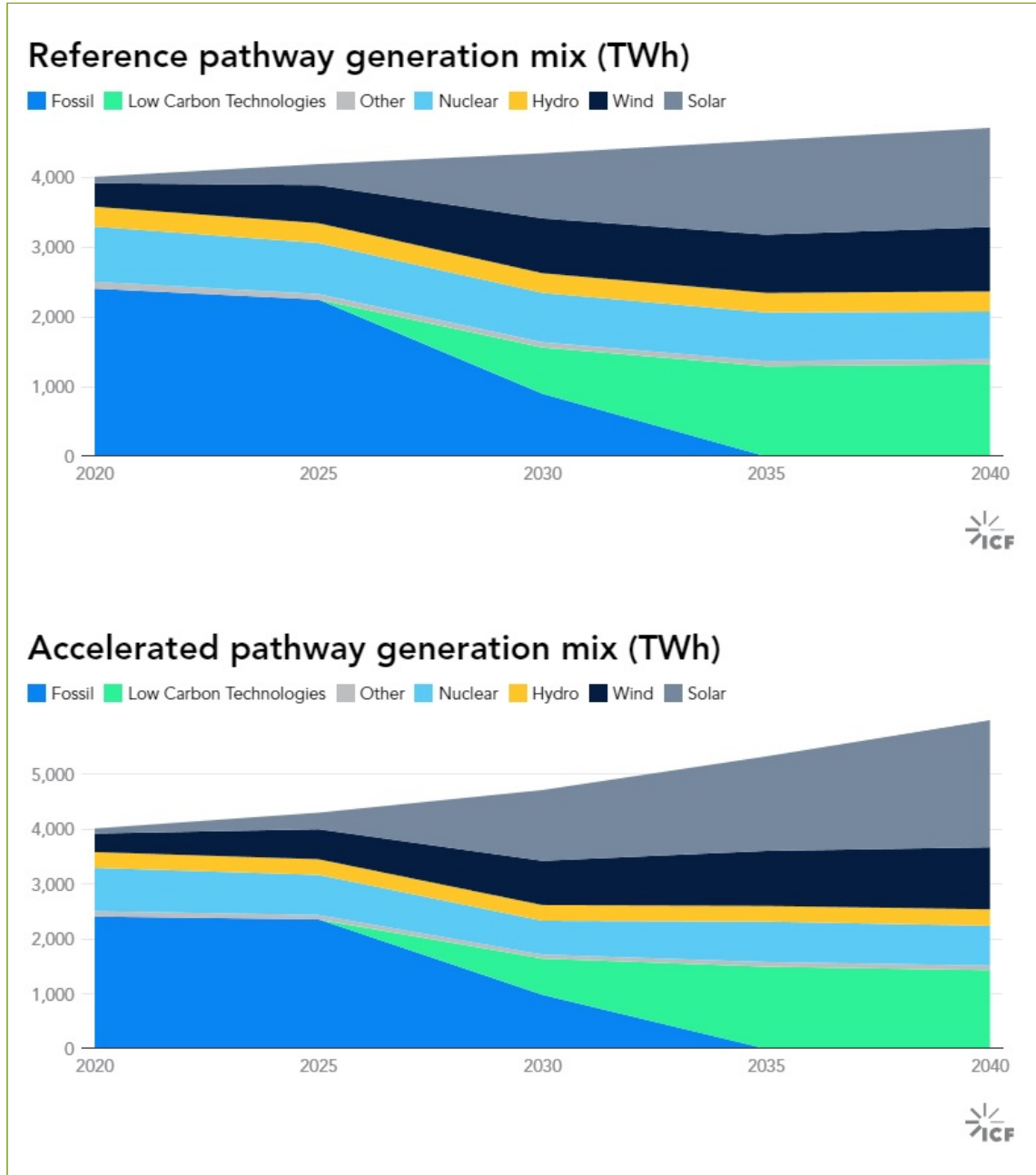
■ 해당 수요 시나리오들을 바탕으로 현재까지 가용한 발전설비를 활용하여 향후 발전량 추이와 관련 비용에 대해 분석함.

- 발전 설비로는 현재 활용중인 석탄화력, 저탄소 가스, 수력, 원자력, 풍력, 태양광 등을 포함함.
- 또한, 저탄소 전원으로는 CCS를 활용하는 천연가스발전, 그린 수소, 수소 저장, 재생 가능한 천연가스(RGS)가 포함됨.
- 저장장치로는 배터리 에너지 저장 시스템(Battery Energy Storage System, BESS)은 발전 설비로 간주되어 비용 분석에 포함됨.
- SMR과 같이 아직 상용화되지 않은 미래형 기저 발전원의 활용은 고려하지 않음.

■ ICF는, 2035년까지 재생 발전원의 발전량이 두 시나리오 모두에서 극적으로 증가해야 함을 보임.([그림-2] 참조)

- 이를 위해 상당량의 사업 계획 및 투자가 선행되어야 하며, 전통적으로 해오던 계통 개발 계획을 넘어서 발전사·규제당국·정책결정자 모두가 협동해 미래의 전력화에 따라 증가할 전력수요에 대처해야 할 필요성을 제시함.

[그림 2] 2040년까지 Reference 및 Accelerated pathway 하에서 미국의 발전량 구성

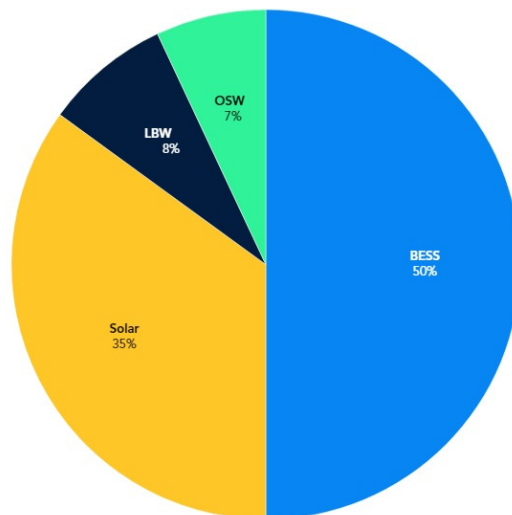


자료: 본 보고서, "Figure 2. U.S. generation mix through 2040 for the Reference and Accelerated pathways"

■ 두 시나리오 분석에서 공통적으로 미국이 2035년 이후 전력부문 탄소 무배출을 달성하려면 재생에너지 발전설비규모와 재생에너지 발전설비 및 전력저장장치 관련 자본 비용이 상당 수준 증가해야 함을 제시함.

- Reference pathway의 경우, 2035년 재생에너지 발전설비는 현재 미국의 총 재생에너지 설비의 4배인 약 765GW까지 증가해야 함. 이를 위해 5.75천억 달러의 투자비용 지출과 연평균 40GW의 신규 재생발전원 설비의 건설이 요구됨.
 - 더 높은 수요를 가정한 Accelerated pathway의 경우, 2035년 재생에너지 발전설비는 약 1,000GW까지 증가해야 함. 이를 위해 Reference pathway 의 투자비용에 추가로 2천억 달러가 더 필요하며, 연평균 50GW의 신규 재생발전원 설비가 필요함.
 - 재생발전원 및 전력저장장치 도입을 위한 총 투자 비용(CAPEX)은 Reference pathway 에서는 대략 1.2조 달러, Accelerated pathway에서는 대략 1.6조 달러로 늘어날 것으로 전망함.
 - 배터리저장장치 관련 투자 비용이 50%로 가장 큰 부분을 차지, 태양광 용량 관련 투자는 35%로 그 다음으로 큰 비중을 차지함. ([그림-3]참조)
- ※ 참고로 해당 투자 비용은 계통 간 상호연계비용(interconnection cost) 및 운영관리비용이 포함되지 않아 이 비용이 포함된다면 총 투자비용을 증가할 수 있을 것으로 전망함.

[그림 3] 2040년 탄소무배출 전원구성을 위한 요소별 필요투자비용 비중



자료: 본 보고서, "Figure 3.. CAPEX breakdown"

■ 재생에너지 발전원의 대규모 진입에 대비하여 발전원 간 안정성과 복원력을 확보하기 위해 재생에너지와 저탄소 기저 발전원을 포괄하는 다양한 전원으로 구성된 전원 구성의 필요함을 강조함.

- 시나리오 분석에서 원자력 발전은 청정 에너지를 생산하는 기저 발전으로서 전원 구성에서 유지됨.
- 두 시나리오에서 모두 공통적으로 재생에너지를 전체 발전설비 중 50% 수준으로 포함하고 있음.
- Accelerated pathway의 경우, 저탄소가스가 전원 구성의 약 30% 수준인 300GW 정도 필요할 것으로 예상됨.
 - 이는 향후 안정적인 전원공급을 담당하면서 기존 무탄소 기저 발전원인 원자력과 수력의 역할을 보완할 것으로 전망됨.

■ 전력망의 안정성과 복원력 확보를 위해서는 피크 수요 관리가 중요하며, 이를 위한 창의적이고 유연한 해결책들이 필요할 것으로 보임.

- Reference pathway의 경우, 앞서 설명한 4배 수준의 재생에너지 발전량 증대와 더불어 전력수요 자체적인 상승이 배터리 저장 용량의 상당한 증대가 필요할 것으로 분석함.
 - BESS의 경우, 2035년까지 총 전력 저장 용량의 30%를 차지할 것으로 보임. 이는 14년 동안 매년 35GW의 BESS가 추가되어야 달성 가능한 용량임.
- 비슷한 논리로 Accelerated pathway의 경우, Reference pathway의 BESS 용량보다 40% 더 많이 필요하고 이를 위해 매년 50GW의 BESS가 추가 건설되어야 함.
- 또한 재생에너지 발전과 수요사이의 균형을 맞추고, 전력망의 안정성과 복원력을 위해서는 단주기 및 장주기 배터리 저장(short- and long- battery storage)이 전력 시스템 전체 중 계통 연결지점, 배전단 계량기 등 여러 곳에서 활용될 수 있을 것으로 전망함.
 - 예를 들어 배터리를 EV 충전기와 함께 배치하면 전력망 수요에 미치는 영향을 완화할 수 있을 뿐만 아니라 전력망이 제한된 지역에 필요할 수도 있었던 송배전망 개선시기를 연기할 수 있음.
 - 또한 건물 현장에서 EV 충전기와 함께 배치된 배터리는 피크 수요 시간에 건물에 전력을 공급하거나 그리드로 방전하는 데 사용 가능함.

- 지능형 가상 발전소 및 그리드 인터랙티브 빌딩(grid-interactive building)과 같은 대규모 부하 관리 프로그램들을 피크 수요의 영향과 전력망 혼잡을 줄이는 동시에 보다 공평하고 유연한 양방향 전력망을 만드는 데 도움이 될 것으로 전망함.
- 이러한 부하 유연성을 위한 전략들은 전력 공급에서의 신뢰도 향상과 더불어 전력망 및 전기 소비자들의 비용 부담을 줄이는 데 큰 역할을 할 것으로 기대된다고 밝힘.

참고문헌

- Charting a pathway: Decarbonizing the U.S. power sector by 2035, 2021.11., ICF International
- 미국 EPA, <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks>
- 나라정책 포털 <https://www.index.go.kr/potal/main/>
- 제2차 수소경제위원회 안건 주요내용, 2020.10.15., 관계부처 합동

주요단신

북미

North America



◎ SMR 기업 Terrapower, 실증로 건설부지로 Wyoming 주 선정

Terrapower, DOE.2021.11.16.

- Terrapower는 현재 개발 중인 차세대 원자로인 소듐냉각고속실증로 건설 장소로 미국 Wyoming주 Kemmerer시를 선정하였다고 밝힘. 또한 Terrapower는 2023년 중반 NRC에 실증로 건설 허가 신청서를 제출하여 2024년에 건설 초기 작업을 진행할 계획이라고 덧붙임.
 - Terrapower는 실증로 건설 도시 선정을 위해 지역민의 지지, 부지 특성 조사, NRC 규정 확인, 이용 가능한 인프라 확인, 전력망 필요성 등 광범위한 평가 과정을 거쳤다고 밝힘.
 - Terrapower는 GE Hitachi와 공동으로 345MW급 소듐냉각고속로를 개발 중이며, Bechtel, PacifiCorp, Berkshire Hathaway Energy 자회사, Energy Northwest, Duke Energy와 협력함.
 - Wyoming주는 전체 발전량의 약 90%를 화력발전에 의존하고 있으며, 2025년에 Naughton 화력발전소(832MW)의 폐쇄가 예정되어 있기 때문에 이번 결정은 지역 경제 활성화 및 친환경 전력 생산으로의 발돋움을 내딛은 계기가 되었다고 평가함.
- 한편, 지난 15일 통과된 초당파 인프라 법안은 차세대 원자력 개발 프로그램(Advanced Reactor Demonstration Program, ARDP)에 25억 달러(약 3조원)를 지원하기로 결정하였음.
 - Terrapower는 2020년 10월에도 미 에너지부(DOE)로부터 차세대 원자력 개발 프로그램 지원금의 일환으로 8천만 달러(약 944억 원)를 지원 받은 바 있으며, 향후 5년간 운영 면허, 건설, 실증 등 고속로 개발을 위해 할당된 총 지원금은 약 20억 달러(약 2조 4천억 원)임.

● 미 NRC, Exelon 분사 계획 승인

THE MERCURY.2021.11.17., NRC.2021.11.18., Exelon.2021.09.30.,11.16.Baltimore Business Journal. 2021.12.01.

■ 지난 2월, 미국 Exelon은 원전을 포함한 자사의 자회사를 발전 부문과 전기·천연가스 유틸리티로 구성된 유틸리티 부문으로의 재편 및 발전 부문의 분사계획을 발표하였음.

- 구 Exelon은 에너지 산업의 빠른 변화속도에 대응하고 신재생에너지에 대한 소비자들의 수요를 신속하게 충족시키기 위해 유틸리티부문 신규 자회사 Exelon과 원전을 포함한 발전부문 신규 자회사 Constellation을 설립하여 2022년 1분기까지 구조개편을 마무리할 예정이라고 밝힘.

– 지난 9월, 유틸리티부문 신규 자회사 Exelon의 CEO는 구 Exelon의 CEO를 역임했던 Christopher Crane이 임명되었고, 발전부문 신규 자회사 Constellation의 CEO는 Exelon Generation CEO를 역임했던 Joseph Dominguez가 임명되었음.

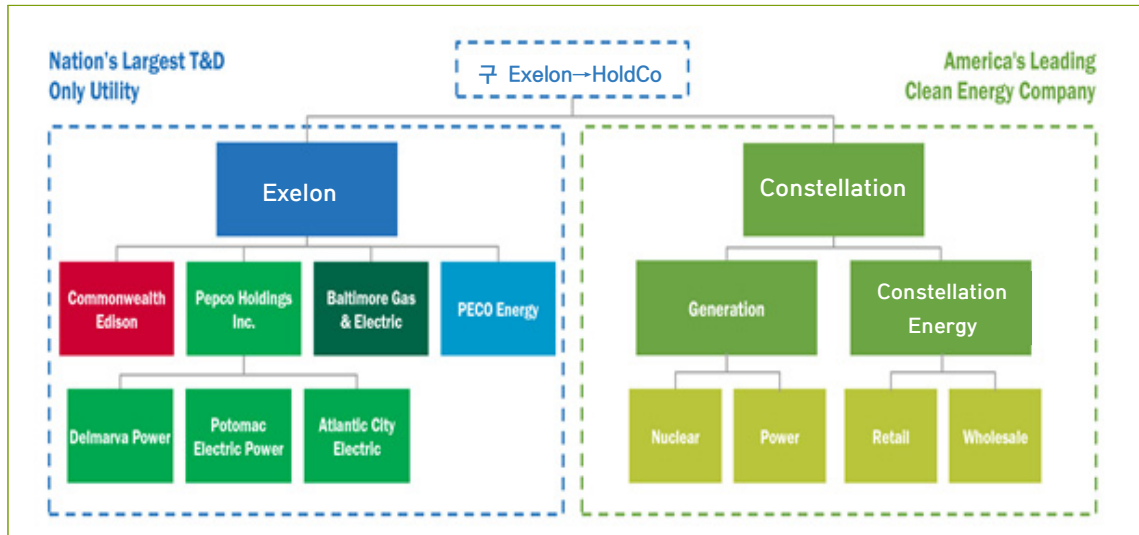
■ 11월 17일, 미국 NRC는 구 Exelon의 사업 재편 계획을 승인하였으며 이에 따라 구 Exelon은 원전 운영 허가를 신규 모회사인 HoldCo로 이전할 것이라고 밝힘.

- HoldCo로 이관되는 원전 운영 허가에는 구 Exelon이 운영 중인 23기의 원자로 운영과 해체 중인 원자로 5기의 허가, 사용후핵연료 저장소 건설 허가까지 포함됨.
- 또한, Exelon Generation 및 그 외 자회사도 모회사인 HoldCo로 이관될 원전 운영 허가에 의해 재정적, 기술적 사업을 시행할 수 있으며 원전 해체 자금 역시 이전되기 때문에 NRC의 원전 해체 비용 보장 요건을 충족한다고 밝힘.
- 신규 모회사인 HoldCo은 Constellation 및 신규 Exelon에 대한 전체 지분을 보유하며 Constellation 및 신규 Exelon은 지분 이전 전까지 소유한 원전 운영을 지속할 예정임.

■ 현재 Exelon사는 총 31.2GW의 설비용량을 운영 중으로 이중 원전의 설비용량은 18.8GW (총 23기)에 달하며 이는 미국 내 최대 규모임.

- 발전원별 비중은 원자력(61%), 천연가스(21%), 복합천연가스(6%), 수력(5%), 석유(4%), 풍력(2%), 태양광(1%)임.

〈Exelon의 분사 기업 구조〉



◎ 미 Humboldt Bay 원전, 해체 완료에 따른 운영 허가 종료

NRC.2021.11.18.

- Humboldt Bay 원전운영사인 Pacific Gas&Electric Co. (PG&E)은 해당 원전의 해체를 완료하여 지난 10월 NRC에 최종 현황 조사 자료를 제출하고 운영 허가 종료를 요청하였음. 이에 NRC는 11월 18일에 Humboldt Bay 원전의 운영 허가를 종료하고 해당 부지의 사용제한을 해제함.

- 캘리포니아 주에 위치한 Humboldt Bay 3호기(BWR, 63MW)는 1963년 8월 상업운전을 시작함.
- 1976년 7월에 연료재장전 및 내진설계 개선을 위해 일시 정지하였으나, 이전에 확인되지 않았던 지진 단층에 대한 우려와 Three Mile 섬 사고 후 강화된 규정에 따라 영구 정지가 결정되었음.
 - Humboldt Bay 발전소는 화력발전기 2기(1,2호기, 163MW), 원자로 1기(3호기)로 총 3기로 구성됨.
- PG&E는 2008년 12월에 사용후핵연료를 건식저장시설로 옮겼으며 2010년에 동 발전소의 화력발전기 2기와 함께 해체를 시작하였음.

- 한편, Humboldt Bay 원전의 사용후핵연료 저장소는 NRC가 기준 내에서 별도로 운영하기로 결정함.

- PG&E는 사용후핵연료가 현재 건식저장시설에서 다른 곳으로 이동 때까지 해당 시설의 보안 및 보호에 대해 책임보험에 따라 약 5,330만 달러까지 보장해야 하며 사용후핵연료 이동 후 저장시설도 해체해야 하는 책임이 있음.

● 미 에너지부, 미래형 원전 상용화에 850만 달러 지원

DOE.2021.11.18.

■ 11월 18일, 미 에너지부(DOE)는 미래형 원전 상용화를 위해 총 5개 분야에 850만 달러(약 100억 원)를 지원하겠다고 밝힘. 세부 분야로는 Puetto Rico 부지적합성 연구, 용융염원자로 관리 방법 개발, 해상실증프로젝트, 구성 모델 활용, 모델링 및 시뮬레이션 개발이 선정됨.

- Puetto Rico의 소형원자로(SMR) 및 초소형원자로(Micro reactor)건설에 대한 부지적합성 연구에 약 163만 달러(약 19억 2천만 원)를 투자하여 DOE의 미션인 도서 지역에서의 소형 및 초소형 원자로 상업화를 지원하고자 함.
 - Puetto Rico를 위한 미래형 원전 연구 및 교육 사업을 진행하는 비영리조직 Nuclear Alternative Project가 Puetto Rico의 부지적합성 조사를 수행함.
- 용융염원자로 허가 과정에서의 Off-Gas Modeling 및 불확실성 확산 방지에 약 300만 달러(약 35억 4천만 원)를 지원함.
 - Terrestrial Energy사는 DOE가 개발한 미래형 원자로 모델링과 시뮬레이션을 활용해 용융염원자로에 대한 설계 및 off-gas modeling의 불확실성을 관리하는 방법을 개발하고자 함.
- 미래형원자로기술의 신속한 상업화를 위해 해상실증프로젝트에 약 80만 달러(약 9억 4천만 원)를 지원함.
 - 미국선급협회(American Bureau of Shipping)는 미래형 원자로 기술의 신속한 상업화를 위해 해상 실증에 있어 문제가 될 법한 요인들을 해결하는 데 주력할 것이라고 함.
- 가속연료용 탄화규소 피복재 모델링 및 시뮬레이션을 통한 핵연료 디지털 트윈 개발에 약 270만 달러(약 31억 9천만 원)를 지원함.
 - General Atomics Electromagnetic Systems는 고온 가스 원자로용 탄화 규소 연료를 물리학 기반 구성모델을 통해 원자로의 상황에 따라 연료가 어떻게 작용되는지에 대한 실험 데이터를 제공하여 규제당국이 상업용 원자로 모델에 참고할 수 있도록 지원할 것임.

- 적정 규모 비상 계획 구역 규제 승인에 필요한 미래형 비등수형 경수로(BWR) 특성화 모델링 및 시뮬레이션 강화에 약 30만 달러(약 3억 5천만 원)를 지원함.
 - Pittsburgh Technical은 기존 핵분열생성물 운송 및 침착 모델 개선을 통해 미래형 비등수형 경수로(BWR) 모델링 및 시뮬레이션 강화를 지원함. 이는 궁극적으로 미래형 원자로의 적정 규모 비상 계획 구역 승인에 이용될 것임.

◎ 캐나다 Brucepower, 세계 최초로 원전 설비개선 비용 조달을 위한 녹색채권 발행

Investable Universe, Brucepower, Market Watch 2021.11.22.

- 캐나다 원전운영사 Brucepower는 기후변화대응 및 탄소중립 실현을 위한 핵심 에너지원인 원전의 수명 연장 및 발전량 증가 등 원전 설비 개선 지원을 위해 5억 캐나다달러 규모(약 4천 6백억 원)의 녹색채권을 발행하였다고 밝힘.
 - 녹색채권 발행주관기관은 북미에서 8번째로 큰 BMO Financial Group이며 해당 채권은 일반 회사채의 금리보다 조금 낮은 수준임.
- 해당 채권은 녹색 채권 적격성 심사 기구인 Cicero Shades of Green의 인증을 받았으며, 국제 자본시장협회(ICMA)의 녹색채권 약관과 대출시장협회(LSTA) 및 대출신디케이션거래협회(LSTA)의 녹색대출 약관에 따라 채권 발행으로 조달한 자금은 친환경적인 프로젝트에 대해서만 활용될 수 있도록 규정하였음.
- Mike Rencheck Brucepower CEO는 대규모 온실가스 감축 방안 중 하나였던 온타리오 주 석탄화력발전소의 단계적 폐지 계획에 따라 원전이 온타리오주의 에너지 수요 70%를 충당해야 한다고 밝히며 이번 녹색채권 발행을 통해 원전 설비 개선 자금 일부를 조달하고자 하는 의지를 드러냄.
 - Brucepower는 현재 총 6,358MW 규모의 원전 8기를 운영 중이며 캐나다 온타리오 주에 전력을 공급하고 있음.

기타단신

● 미 NRC, Vogtle 3호기 감독 강화

Reuter.2021.11.18.

- 로이터통신에 따르면 미 원안위(NRC)는 지난 6월 Southern Nuclear사가 건설 중인 Vogtle 3호기의 특별 점검에서 보고된 전력선로시스템 위반 사항 2건이 확정되어 Vogtle 3호기의 감독을 강화하기로 결정하였다고 보도함.
- NRC 감독관은 Southern Nuclear사가 Corrective action program에 대한 적절한 시정 조치를 취하지 않아 건설 품질 문제가 발생하고 광범위한 재작업이 시행되면서 품질 보증 문제가 발생하였음을 NRC에 보고함. 또한, 당사가 원자로 냉각재 펌프와 원자로를 안전하게 정지시키는 장비에 대한 설계 기준을 준수하지 않은 사실도 확인함.
- NRC는 Southern Nuclear사가 해당 문제에 대한 원인을 정확하게 파악하고 시정조치를 이행하였는지에 대한 추가 점검 일정을 잡을 것이라고 밝힘.

● 미 원안위, Milestone 원전 3호기 출력 증강 승인

NRC NEWS. 2021.11.18.

- 미 원안위(NRC)는 Dominion Energy Nuclear Connecticut사의 Milestone 원전 3호기 (1,210MW, PWR)의 1.6% 출력 증강 요청을 승인하였음.
- NRC는 정확한 급수 흐름 측정을 통해 Milestone 원전 3호기의 열출력을 안전하게 높일 수 있다고 판단하여 이를 승인하였고 Dominion Energy Nuclear Connecticut사가 2022년 봄까지 해당 호기의 발전용량을 약 20MW 높일 것으로 예상함.
- NRC의 출력 증강 안전 평가 요인은 원자력 증기 공급 시스템, 계측 및 제어시스템, 전력 시스템, 사고 평가, 방사능 영향, 화재 보호, 운영 및 훈련, 시험 및 기술 사양 변경 등임.

● 미 원안위, Davis Besse 원전 규정 위반사항 5건 중 2건 판결 미정

Pittsburgh post-gazette. 2021.11.23., Port Clinton News Herald. 2021.11.24.

■ 미 원안위(NRC)는 2019년 6월부터 2021년 6월까지 약 2년간 Davis Besse 원전의 디젤발전기의 고장에 대한 평가를 수행하여 명백한 위반사항 5건을 발표함. 이후 7월 초 발생한 원자로 정지 문제를 포함하여 7월 말 특별 조사단을 구성하여 10월 말에 점검을 마무리하였음. 그 결과 NRC는 5건 중 2건에 대한 안전 유의(safety significance) 등급을 확정짓지 못하여 추가 조사가 필요하다고 밝힘.

- 해당 2건은 비상디젤일반점화스위치(Emergency Diesel General Field Flash Selector Switch) 미점검, 비상디젤발전기가속스위치 미비임.
 - 그 외 3건은 “Very low safety significance”로 판정하여 NRC의 유의 평가 등급 중 가장 낮은 “green” 등급으로 분류됨.
- NRC는 위반사항을 고지한 11월 19일부터 90일 이내 미결된 2건에 대한 추가 조사를 실시할 예정이라고 발표하였으며 Davis Besse 원전운영사인 Energy Harbor에 30일 이내 시정을 요청함.

● 미 원안위, Kairos Power SMR 안전성평가보고서 초안 발표

DOE.2021.11.22., Nucnet. 2021.11.23.

■ 11월 22일, 미 원안위(NRC)는 Kairos Power가 개발 중인 불화염냉각고온원자로(KP-FHR)의 방사선원 방법론 기술보고서를 검토한 후 해당 원자로에 대한 안전성평가보고서 초안을 발표하였으며 최종평가보고서는 22년 2월 발행 예정이라고 밝힘.

- KP-FHR(140MWe)은 Kairos Power의 첨단 원자로로 저압 불화염 냉각수와 결합된 펄스 형태의 삼중구조 균등성 연료(TRISO)를 사용함.
- Kairos Power는 20년도 6월에 원자로 사고 발생 시 방출될 수 있는 방사성 물질 양을 계산한 “방사선원 방법론(Source term methodology)”에 대한 기술보고서를 NRC에 제출하였음.
 - 현재까지 Kairos Power는 NRC에 14개의 기술보고서를 제출하였고, 그중 5개의 보고서가 승인됨.

주요단신

유럽 Europe



● 루마니아, Candu Energy와 Cernavoda 3·4호기 완공을 위한 계약 체결

World Nuclear News 2021.11.26., Nuclear Engineering International 2021.11.29. .

■ 2021년 11월 25일 루마니아 원전운영사인 Nuclearelectrica의 자회사인 Energonuclear는 캐나다 원자로 설계·공급업체인 Candu Energy와 Cernavoda 3·4호기(각 720MW, PHWR) 공사 재개에 필요한 엔지니어링 서비스 제공을 위해 840만 달러 규모의 계약을 체결함.

- Cernavoda 3·4호기는 1991년 재원조달 문제로 건설이 중단되었다가 2002년 재개되었으며, 공정진행률은 각각 약 15%, 14%임.
- 이번 계약에 따라 Candu Energy는 Cernavoda 3·4호기 프로젝트 재개에 필요한 문서(인허가 기반 문서·안전성 설계 지침·원전 안전성 기능과 관련된 설계 변경사항이 담긴 문서) 개정 및 엔지니어링 서비스를 제공할 예정임.
 - Cernavoda 3·4호기 완공 프로젝트는 2021년 4월 Nuclearelectrica의 정기주주총회에서 승인되었으며, 1) 24개월의 준비 단계, 2) 18~24개월의 예비 작업 단계, 3) 69~78개월의 건설 시행 단계로 구성됨.
- Nuclearelectrica는 Cernavoda 3·4호기 완공을 각각 2031년, 2032년으로 보고 있으며, 두 호기 완공시 최대 19,000개의 간접 일자리 창출, 원자력 발전량 확대(기존 20%에서 36%로)를 전망함. 또한 Cernavoda 4기 모두 가동 시 연간 2천만 톤의 CO₂ 배출이 저감될 것이라고 덧붙임.

■ 이번 계약 체결은 루마니아 경제부와 미 에너지부가 체결한 루마니아 원자력 프로그램 확대 및 현대화를 위한 정부 간 협력협정(2020년 10월)과 루마니아 정부와 캐나다 정부간의 원자력 협력 강화 양해각서 체결(2021년 8월)을 바탕으로 함.

- 미국은 정부 간 협력협정을 통해 Cernavoda 3·4호기 완공 및 1호기 설비개선에 약 80억

달러를 지원하기로 함. 이후 2021년 7월 양국은 Cernavoda 3·4호기 완공과 Cernavoda 1호기 설비개선을 위한 협력 작업을 논의함.

- 지난 8월 루마니아와 캐나다는 Cernavoda 3·4호기 완공 및 1호기 설비개선을 포함한 원자력 분야 협력 강화를 위한 양해각서를 체결함.

■ 미-루마니아 정부 간 협력협정 후 미국 건설엔지니어링 기업 AECOM 주도의 컨소시엄이 Cernavoda 3·4호기 완공 및 1호기 설비개선 프로젝트를 진행 중임.

- 해당 컨소시엄에는 미국, 루마니아, 캐나다, 프랑스 업체가 참여하고 있음.
- 이에 따라 미국, 프랑스(2020년), 캐나다(2021년)는 각각 루마니아와 원자력 에너지분야의 협력을 강화하기 위한 양해각서(MOU)를 체결함.

〈루마니아 Cernavoda 3·4호기 완공 및 1호기 설비개선 추진 현황〉

구분	내용
2019. 05.	국영 전력기업 Nuclearelectrica, 중국 CGN과 Cernavoda 3·4호기 예비 투자자협정 체결
2020. 01.	루마니아 정부, CGN과 Cernavoda 3·4호기 협정 철회에 따른 신규 파트너 및 자금조달 모색 발표
2020. 10.	루마니아 정부, 미 에너지부와 Cernavoda 3·4호기 완공 및 1호기 설비개선 협력을 위한 양해각서 체결
2021. 06.	루마니아 상원, 2020년 미국과 체결한 Cernavoda 3·4호기 증설 및 1호기 설비개선 협력협정을 찬성 129표, 반대 1표, 기권 1표로 비준
2021. 07.	루마니아 정부, 미 에너지부 대표단과 실무 회의를 통해 Cernavoda 3·4호기 완공과 1호기 설비개선을 위한 협력 작업 개시
2021. 08.	루마니아 정부, 캐나다 정부와 Cernavoda 3·4호기 완공 및 1호기 설비개선을 포함한 원자력 협력 강화 양해각서 체결
2021. 08.	Nuclearelectrica, 캐나다 Laurentis Energy Partners 자회사인 Canadian Nuclear Partners에 Cernavoda 1호기 설비개선 프로젝트 발주
2021. 11.	Nuclearelectrica의 자회사인 Energonuclear, 3·4호기 완공을 위해 캐나다 원자로 설계·공급업체인 Candu Energy와 12개월의 840만 달러 규모의 계약 체결
2026.12.~ 2028.12.	Cernavoda 1호기 설비개선 작업 시행
2031	Cernavoda 3호기 상업운전 개시
2032	Cernavoda 4호기 상업운전 개시

자료: 세계 원전시장 인사이트 각 호 참고

● 영국 Rolls-Royce, GDA 절차 개시를 위해 영국 정부에 의향서 제출

World Nuclear News 2021.11.17., Nuclear Engineering International 2021.11.18.

- 2021년 11월 Rolls-Royce SMR Ltd는 Rolls-Royce SMR(1기당 설계수명 60년, 470MW) 보급의 적합성을 평가받기 위한 규제 절차인 일반설계평가(GDA) 절차 진입을 위해 영국 기업·에너지·산업전략부(BEIS)에 GDA 의향서를 제출함.

※ Rolls-Royce SMR Ltd는 영국 엔지니어링 기업 Rolls-Royce가 Rolls-Royce SMR 보급 및 상용화를 위해 설립한 특수목적법인임.

- GDA는 영국원자력규제청(ONR)과 환경국(Environment Agency)이 공동으로 담당하는 신규 원전 프로젝트 허가 과정의 일부로, 신규 원자로 설계의 안전성, 보안, 환경성 측면 등을 평가하며 완료까지 통상 4년이 소요됨.
 - GDA 절차 종료 후 영국원자력규제청은 설계승인확인서(Design Acceptance Confirmation)를, 환경국은 설계승인보고서(Statement of Design Acceptability)를 발급함.
- BEIS는 규제 기관의 공식적인 GDA 절차 개시에 앞서, GDA 의향서를 기반으로 사업자의 역량과 사업의 적합성 판단을 위한 초기 평가를 최대 4개월에 걸쳐 진행할 예정임.
 - GDA 신청자인 요청당사자(Requesting Party)는 프로그램 계획, 재원 계획, 재정 계획 및 보안 계획이라는 4가지 준비 계획을 마련하고, 장기적인 상업 계획을 설명해야 함.
- Rolls-Royce SMR Ltd는 사전 인허가 단계에서 이미 270개의 SMR 설계를 검토했다고 밝히며, 순조로운 GDA 절차 진행을 위해 약 300명의 직원이 투입될 것이라고 덧붙임.

- 지난 11월 Rolls-Royce는 민간 투자금(1억 9,500만 파운드)과 영국 정부 지원금(2억 1,000만 파운드)을 확보한 후 SMR 보급을 위해 Rolls-Royce SMR Ltd 설립을 발표함. 해당 컨소시엄은 2031년 최초호기 완공, 2035년까지 최대 10기 건설 등 향후 총 16기의 SMR 건설을 목표로 함.

- Rolls-Royce는 투자자인 BNF Resources UK Ltd와 미국 발전회사인 Exelon Generation Ltd와 협력해 약 3년간 1억 9,500만 파운드를 Rolls-Royce SMR Ltd에 투입할 계획임.
 - Rolls-Royce는 Rolls-Royce SMR Ltd의 약 80% 지분을 보유할 것으로 예상됨.

- SMR 1기 비용은 초기 22억 파운드에서 5기 건설 후 18억 파운드로 인하될 것으로 예상되며, 이후 추가적인 비용 절감이 가능할 것으로 전망됨.

● 네덜란드, 주요 정당 원전 투자 관련 논의 중 보도

Rtbr.be, Dutchnews 2021.11.12., Nucnet 2021.11.15. .

■ 네덜란드 일간지 Volkskrant 보도에 따르면 차기 연정 구성을 논의 중인 4개 정당인 자민당(VVD), 기민당(CDA), 민주66당(D66), 기독교연합당(CU)은 최소 1~2기의 신규 원전 건설을 논의 중에 있음.

- Volkskrant는 상기 4개 정당이 정부의 원전 투자 금액을 논의하고 있지만, 신규 원전의 개수와 보조금 지원 수준에 대해서 최종 결정을 내리지 않은 상태라고 전함.
- 현재 각 정당들의 원자력에 대한 입장은 상이함.
 - 원자력에 우호적인 자민당(VVD)과 기민당(CDA)은 8기의 신규 원전 건설을 희망하고 있으며, 이 가운데 1~2기의 원전 건설을 실현하기 위한 논의를 공식화함.
 - 중도파인 기독교연합당(CU)은 원칙적으로 원자력에 반대하지 않는 입장이지만, 사회자유주의 정당인 민주66당(D66)은 신규 원전의 필요성과 비용에 대해 회의적인 입장임.

■ 네덜란드에서는 2020년 집권 여당인 자민당(VVD)를 중심으로 의회가 정부 보조금 지원을 통한 신규 원전 건설 촉진을 지지하는 동의안을 통과시키면서 원전이 정치적 이슈로 등장함.

- 자민당(VVD)과 기민당(CDA)은 원전이 풍력 및 태양광과 마찬가지로 정부 보조금으로 건설되어야 한다는 입장을 표명함.
 - 자민당(VVD)은 2050년 기후 목표 달성을 위해 원자력이 절대적으로 필요하다는 입장을 표명해옴.
- 같은 해 12월 네덜란드 원전운영사인 EPZ는 자국의 에너지·기후 목표 달성을 위해 Borssele 원전(485 MW, PWR)의 계속운전과 신규 원전 2기 증설을 제안한 바 있음.
 - 네덜란드는 현재 Borssele 원전 1기 가동으로 전체 전력의 약 3.3%를 공급 중임.
- 2021년 7월 컨설팅 회사 KPMG가 네덜란드 정부의 용역을 받아 시행한 원자력에 관한 시장성 분석 보고서는 원자력이 2030년 이후로 온실가스 감축에 기여할 것이지만 이는 정부의 재정지원과 여론의 지지가 전제 조건임을 명시함.
 - Borssele 원전이 위치한 제일란트주(Zeeland)는 신규 원전 건설을 찬성하고 있으며, 노르트브라반투주(Noord-Brabant)도 특정 조건에서 신규 원전을 유치할 수 있다고 밝힘.

● 우크라이나, 중앙집중형 SF 건식저장시설 가동 임박

Nucnet, World Nuclear News 2021.11.18.

- 우크라이나 원전운영사 Energoatom은 체르노빌 원전 인근에 위치한 중앙집중형 사용후핵연료건식 저장시설(Central Spent Fuel Storage Facility, 이하 CSFSF)의 사전 시운전(pre-commissioning)을 진행 중으로, 2022년부터 우크라이나 원전에서 발생한 사용후핵연료를 CSFSF에 이송할 예정임.
 - CSFSF는 사용후핵연료를 이중벽을 갖춘 스테인리스강(강) 캐니스터(canister)에 보관하는 건식 저장 시설로, 사용후핵연료 총 16,530 다발(VVER-1000연료 12,010다발 및 VVER-440 연료 4,520 다발)을 저장하도록 설계됨.
 - CSFSF는 가동 중인 South Ukraine-Rovno-Khmelnitsky 원전(VVER-1000 7기, VVER-440 2기)에서 발생한 사용후핵연료를 향후 100년간 보관할 예정임.
 - Zaporozhe 원전은 2001년부터 부지 내 사용후핵연료 건식 저장시설을 별도로 가동 중임.
 - 미국 Holtec은 해당 시설의 건설을 위해 자사의 건식저장 설비인 HI-STORM 190 수직 환기 저장 시스템, HI-STAR 190 범용 운반 용기, HI-TRAC 190 이송 용기와 캐니스터를 선적·탈수·용접하기 위한 장비를 우크라이나로 이송함.
 - 용접된 건식 캐니스터는 HI-STAR 190 운반 용기에 적재되어 원전 부지에서 CSFSF로 이송된 후 저장을 위해 HI-STORM 190 수직 환기 저장 시스템에 배치될 예정임.
 - 최근 Rivne 3호기의 사용후핵연료 인출 시뮬레이션을 진행한 Energoatom은 Khmelnytsky 및 South-Ukrainian 원전에서도 관련 시험을 진행한 후, 규제 기관의 인허가 승인을 취득할 계획임.
- 우크라이나는 CSFSF 완공 시 매년 러시아로 사용후핵연료를 이송 및 재처리하는 데 소요되는 연간 미화 2억 달러를 매년 절감할 수 있게 될 것으로 예상됨.
 - 1993년 양국은 러시아가 우크라이나에 핵연료를 공급한 이후, 저장 및 재처리를 위해 사용후핵연료를 회수하는 협정을 체결함.

기타단신

● 체코 Skoda, 사용후핵연료 최종처분을 위한 캐스크 개발

Nuclear Engineering International, World Nuclear News 2021.11.25.

- 2021년 11월 15일 체코기업 Skoda는 Dukovany 원전과 Temelin 원전에서 발생한 사용후 핵연료의 최종처분을 위한 캐스크(저장용기) 개발을 완료했다고 발표함.

- Skoda JS는 독일 방사성폐기물 처리회사 GNS로부터 라이선스를 받아 CASTOR 캐스크를 원전에 공급했으나, 현재는 자사 고유의 Skoda 1000/19 및 Skoda 440/84 캐스크를 공급하고 있음.
- 사용후핵연료는 60년간 Skoda의 캐스크에 저장되었다가, 지하 처분시설용 패키지 다발로 이송될 예정임.
- 체코방사성폐기물처분청(Czech Radioactive Waste Repository Authority, SURAO)은 2030년까지 심지층처분시설 최종 부지 선정, 2065년 가동을 목표로 함.

● 아르메니아, Metsamor 2호기 계속운전을 위한 설비개선 작업 완료

World Nuclear News 2021.11.17., Nucnet 2021.11.22.

- 러시아 Rosatom은 지진에 대한 취약성과 안전문제로 1988년 가동이 중단된 Metsamor 2호기 (415 MW, PWR)의 현대화작업이 11월 16일에 완료되어 10년의 계속운전을 통해 2026년까지 가동이 가능해졌다고 밝힘.

- Rosatom은 전력 공급 계통 · 자동화 및 제어 계통 · 터빈홀 장비 교체 · 원자로압력용기 풀림(annealing)을 포함한 Metsamor 2호기의 현대화 작업을 진행하였다고 밝힘.
- 아르메니아 정부는 2036년까지의 Metsamor 2호기의 추가 가동과 신규 원전 건설 계획을 검토할 예정임.

● 루마니아 Nuclearelectrica, 자국 원전연료사 자산 인수를 통한 캐나다산 우라늄 수입 대체

Nucnet 2021.03.23., World Nuclear News 2021.11.19.

■ 루마니아 경쟁위원회는 원전운영사인 Nuclearelectrica의 우라늄 광산을 관리하는 국영우라늄 회사(Compania Națională a Uraniului, 이하 CNU)의 자산 인수를 승인할 예정이라고 밝힘. 이를 통해 캐나다로부터의 우라늄 수입분이 대체될 것으로 기대됨.

- 1997년에 설립된 CNU는 루마니아의 우라늄 자원 관리 및 개발 등을 담당해옴. 2016년 CNU의 매출 80%를 차지하는 Nuclearelectrica가 해외 시장에서 저렴한 우라늄을 구매해 CNU가 재정적인 어려움을 겪음.
 - CNU는 Crucea-Botusana 우라늄광산과 Feldioara 정련시설을 운영중이며, 정련된 우라늄은 Pitesti 성형가공시설에서 연료로 가공되어 Cernavoda 원전에 공급됨.
- 2021년 3월 Nuclearelectrica는 CNU가 보유한 우라늄 정광 정련 시설인 Feldioara의 토지 · 건물 · 설비 · 기계 · 장비를 포함한 자산을 900만 유로에 구매하는 계약을 체결함.

주요단신

아시아

Asia



◎ 일본, 육수 활용된 돼지 뼈로 방사성물질 회수... 오염수 정화 활용 기대

일본원자력연구개발기구·도쿄대학 대학원 자연계 연구과 연구팀 2021.02.04.,
이바라키신문 2021.02.05., 도쿄신문 2021.02.25., NHK 2021.04.18., Nikkei X-Tech 2021.11.11.

■ 일본 기술 전문 미디어인 Nikkei X-Tech는 도쿄대학교 대학원 자연계 연구과와 일본원자력 연구개발기구 공동 연구팀이 육수용으로 사용된 돼지 뼈로 방사성물질 스트론튬을 회수하는 고성능 흡착제인 ‘고탄산 함유 아파타이트’를 개발했다고 11월 11일 소개함.

- 연구팀은 뼈의 방사성물질 흡착 성질에 착안해 일본 라멘 가게에서 폐기된 돼지 뼈를 활용한 연구 결과, 뼈의 구성 성분인 아파타이트*에 포함된 탄산이 금속 흡착 성능에 크게 기여한다는 점을 발견함.

※ 아파타이트: 인회석이라고도 하며 인산칼슘을 주성분으로 하는 무기물질로 사람 뼈나 치아의 65%를 차지함. 플라스틱제인 인공 뼈, 인공 치아에 비하면 생체조직에 익숙해지기 쉬워 인공골재, 인공치근으로 많이 이용됨.

- 이 성질을 활용해 연구팀은 폐기된 뼈를 탄산 고농도 용액 처리한 ‘고탄산 함유 아파타이트’로 스트론튬 흡착력을 기존 흡착제인 천연 제올라이트보다 약 20배 높이는 데 성공함. ‘고탄산 함유 아파타이트’는 유해 금속인 카드뮴, 납에 대한 흡착 능력도 우수했음.
 - 탄산 고농도 용액은 저렴하고 무해한 탄산수소나트륨(베이킹소다)을 물에 녹여 간단히 제작함.
 - 자연에 존재하는 스트론튬과는 달리 원전 사고로 발생하는 방사성 핵종 중 하나인 스트론튬 90은 반감기가 28년으로 후쿠시마 오염수에도 포함됨. 인간 등 척추동물 체내에 침투되면 뼈에 축적되어 체외 배출이 어렵고 체내에서 방사선을 계속 방출해 골육종과 백혈병 발생의 원인이 됨.

- 천연 제올라이트는 분말이므로 흡착제 이용 시 고형 처리해야 하지만, ‘고탄산 함유 아파타이트’는 고형이므로 고형화 공정이 불필요한데다 폐기용 뼈를 활용해 비용이 저렴하고 가벼워 회수가 용이함.
- 연구팀은 해당 연구 성과를 올해 1월 ‘Journal of Environmental Chemical Engineering’에 게재함.
- Nikkei X-Tech는 후쿠시마 사고 후 방사성물질 유출·광역 확산 방지 기술이 중요한 가운데 ‘고탄산 함유 아파타이트’가 저비용에 흡착력이 우수하고, 대량 생산 가능해 향후 원전 해체 작업과 오염수 정화 시 활용이 기대된다고 전함.

〈폐기용 돼지 뼈로 제작한 고탄산 함유 아파타이트〉



출처: 일본원자력연구개발기구와 도쿄대학 대학원 자연계 연구과 공동 연구팀 공식 웹사이트 2021.02.04. 자료와 Nikkei X-Tech 2021.11.11.자료를 토대로 편집·작성

◎ 일본 후쿠이현, 해체 방폐물 중 극저준위 이하 폐기물 처리 효율화 모색

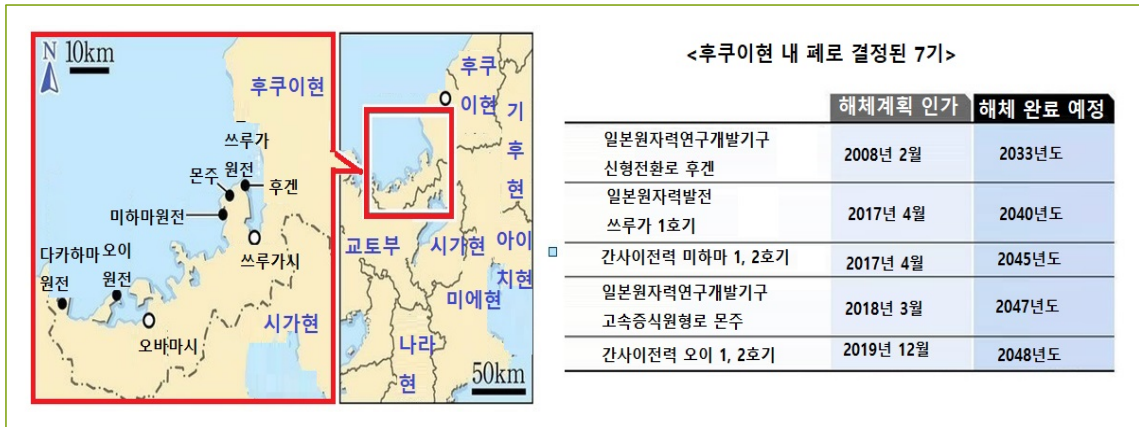
도쿄신문 2020.08.26., 마이니치신문 2021.11.23., 일간공업신문 2021.11.23., 아사히신문 2021.11.23.

■ 일본 후쿠이현의 ‘영남 E-coast 계획 추진회의’는 11월 22일 방사성폐기물로 취급할 필요가 없는 ‘규제해제(Clearance)폐기물’에 대해 용융 처리한 후 방사능을 측정하는 방식이 경제성이 있고, 폐기물 수용 능력도 향상된다는 의견을 제시함.

- 2020년 3월 후쿠이현은 향후 10년간의 에너지 정책인 ‘영남 E-coast 계획’을 수립했으며 계획에서는 원전 폐로 사업을 주요 역점시책으로 선정함. 현은 원활한 계획 추진을 위해 정부, 전력사업자 등이 집결한 ‘영남 E-coast 계획 추진회의’^{*}를 개최 중임.
 - 후쿠이현은 일본에서도 원전이 다수 집중된 지역임. 상용원자로 13기와 연구로 2기(고속 증식원형로 몬주, 신형전환로 후겐) 총 15기의 원전이 위치해 있으며, 이 중 7기(상용 원자로 5기, 연구로 2기)가 폐로 됨.
 - ※ ‘영남 E-coast 계획 추진회의’에서는 후쿠이현, 정부, 후쿠이현 내 지자체, 전력사업자, 대학, 산업계 대표 등 각 주체가 각 년도에 시행할 사업 등을 포함한 행동 방침을 결정하고 영남 E-coast 계획에서 정한 시책의 진행 상황을 확인·관리함.
- 이번 회의에서는 정부, 후쿠이현, 지역 기업, 전력회사 등 민관 협력을 통해 원전 해체 폐기물 분류 및 재처리 담당 회사를 설립할 경우 해당 회사가 원전 해체 폐기물을 처리하는 방식에 관한 안을 검토했음.
 - 2020년 회의에서는 전력회사별로 시행 중인 원전 해체 폐기물 분류·규제해제폐기물의 방사능 측정을 한 곳에서 집중적으로 처리한 후 폐기물을 재활용해 제품을 제작하는 폐기물 재활용 사업을 구상해, 민관이 협력하여 회사를 설립하자는 방향성을 제시함.
- 회의에서 후쿠이현은 규제해제폐기물로 추정되는 폐기물을 용융한 후 방사능을 측정하는 방식이 현재 시행 중인 발생 부위별 측정 방식보다 효율적이고, 폐기물 수용 용량도 확대된다고 밝혔으며, 원전 사업자는 이 의견에 대해 적극적인 협력 의사를 표명함.
 - 후쿠이현은 각 전력회사가 시행 중인 기존 방식은 민관 협력 회사 설립 후 운영 25년 만에 적자가 나지만, 여러 폐기물을 함께 용융 처리한 후 방사능 측정을 하면 35억 엔(약 364억 원) 흑자가 예상된다고 추산함.
 - 대신 이 방식은 용융시설 건설 등이 필요해 설비비가 기존 방식보다 2배 이상인 약 100억 엔(약 1,040억 원) 소요되고, 일본 내 시행 사례가 없어 원자력규제위원회와 인허가 방법 등 의견 조정이 필요하다는 단점이 있음.

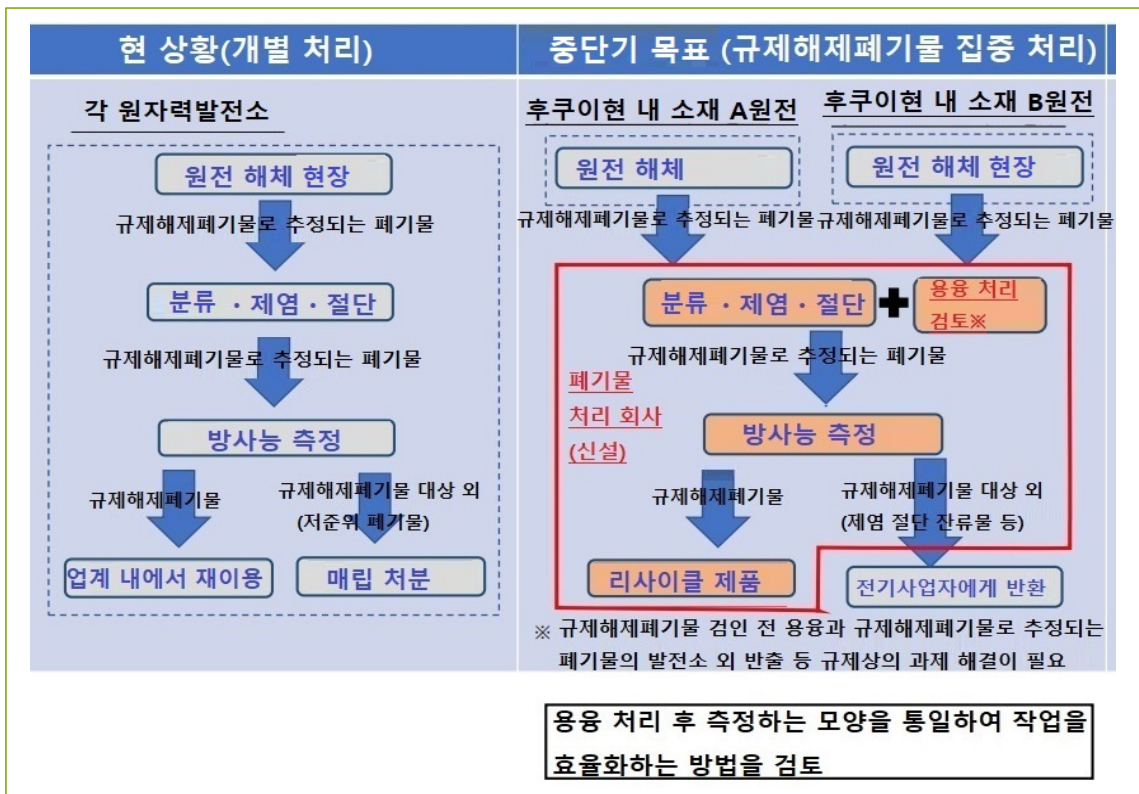
- 향후 후쿠이현은 이르면 12월 원전 운영사 등 실무자 약 10명으로 구성된 태스크포스 회의를 개최해 폐기물 용융방식을 포함한 다양한 방식을 기술적인 관점에서 상세 검토할 예정임.

〈후쿠이현 내 원전 현황〉



출처: 도쿄신문 2020.08.26, 자료를 토대로 편집·작성

〈민관 협력 기업 연합체 모델 안〉



출처: 2020년 제2회 E-coast 계획 추진회의 '기업연합체 모델 안' 2020.11.19. 자료를 토대로 편집·작성

◎ 일본 도쿄전력, 계획대로 후쿠시마 오염수 해양 방류 추진

일본경제신문 2021.11.17., 아사히신문 2021.11.17., 마이니치신문 2021.11.17.,
NHK 2021.11.17., 일본원자력산업신문 2021.11.18.

■ 도쿄전력은 11월 17일 후쿠시마원전 오염수를 계획대로 해양 방류했을 경우의 상황을 예측한 결과 해수와 모래사장에서 피폭되는 외부 피폭과 해산물 섭취를 통한 내부 피폭 모두 고려해도 인체와 환경에 미치는 영향이 매우 경미한 수준인 것을 확인했다고 주장함.

- 도쿄전력은 기상청 해양 자료를 활용해 후쿠시마 제1원전 해역 10km 범위에서 계획한 조건대로 오염수를 방류했을 때의 방사성물질 농도와 확산 상황을 예측함.
- 그 결과 트리튬 농도가 현재 해수 내 농도($0.1 \sim 1\text{Bq/L}$)보다 높은 곳은 원전 주변 2~3km 범위에 그쳤음. 해저 터널 출구 바로 위에서는 상대적으로 농도가 높지만, 범에서 정한 기준을 밑돌며 주변으로 신속히 확산해 농도가 낮아진다고 주장함.
- 또한, 연안 거주 어업자들의 연간 피폭량 추산 결과, 해산물 섭취량이 평균적일 경우 1년간 피폭량이 일반인의 연간 선량한도(1mSv)[※]에 6만분의 1~1만분의 1수준이라고 밝힘.
 ※ 선량한도: 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection)가 권고한 값을 기초로 설정된 개인의 피폭 방사선량의 상한치
- 도쿄전력은 방류 계획한 오염수보다 피폭 영향이 큰 핵종을 다수 포함한 오염수를 방류했을 때의 피폭량도 평가한 결과 피폭량이 일반인 연간 선량한도의 약 2,000분의 1~500분의 1수준으로 오염수 해양 방류가 미치는 영향은 극히 경미하다고 주장함.
- 도쿄전력은 상기 내용이 담긴 후쿠시마 제1원전 오염수 해양 방류에 관한 방사선영향 평가보고서를 11월 17일 발표함.

◎ 일본 간사이전력 다카하마원전에 프랑스발 MOX연료 도착

일본원자력산업신문 2020.12.18., 이니치신문 2020.12.17., 2021.09.09.,
NHK 2021.09.09., 아사히신문 2021.11.17., NHK 2021.11.17.

■ 프랑스에서 9월 출발했던 간사이전력 다카하마 4호기용 MOX연료 수송선이 11월 17일 다카하마원전에 도착했으며, 해외에서 MOX연료가 일본으로 수송된 것은 2017년 9월 이후 4년 만임.

- 다카하마 4호기(870MW, PWR)는 사용후핵연료에서 추출한 플루토늄을 우라늄과 혼합한 MOX연료를 이용해 발전함.
- 프랑스 연료가공회사인 Orano는 간사이전력의 사용후핵연료를 2020년 11월부터 MOX 연료로 제조하기 시작해 2021년 7월 제조 완료함. 2021년 9월 MOX연료 16다발을 적재한 수송선이 프랑스 북서부 Cherbourg항에서 일본으로 출항함.
- 2020년 12월 17일 일본 전력사로 구성된 전기연합사업회는 2030년도까지 MOX연료를 사용한 발전을 최소 12기의 원전에 도입할 계획이라고 밝혔음.
- 현재 일본에서 가동 재개한 원전 중 MOX연료로 발전 가능한 원전은 간사이전력 다카하마 3·4호기, 시코쿠전력 이카타원전 3호기, 규슈전력 겐카이원전 3호기 총 4기임.

◎ 일본 이카타원전 3호기, 1월 4일 상업 운전 예정

아사히신문 2021.11.23., NHK 2021.11.23., 일본경제신문 2021.11.23.,

■ 시코쿠전력은 11월 22일 이카타 3호기(890MW, PWR) 가동 일정에 대해 12월 2일 원자로 기동, 6일 발전 개시, 2022년 1월 4일 상업 운전 재개할 예정이라고 발표함.

- 이카타 3호기는 사용후핵연료를 재처리해 제조한 MOX연료를 사용하는 원전으로 2020년 12월 정기 검사 돌입 후 10월 가동할 예정이었지만 원전 관리 담당 직원의 무단 외출 문제로 가동 일정이 변경되었음.
- 이카타원전 3호기 가동 재개 시 일본의 재가동 원전은 총 10기임.

기타단신

◎ 사우디 에너지부 고위관료단, UAE 바라카 원전 방문

ENEC.2021.11.16., WNN.2021.11.17.

- 11월 16일, 압둘아지즈 빈 살만 알사우드(Abdulaziz bin Salman Al Saud) 사우디 에너지부 장관과 에너지 고위관리 대표단은 UAE 바라카 원전을 방문함.
- 사우디 에너지부 장관은 이번 방문은 지속가능한 개발 및 에너지원 다양화에 있어 원전의 중요성이 자명하기 때문이라고 밝히며 대표단은 UAE 원자력공사(ENEC) 및 ENEC 회사의 전문가팀과 면담을 가짐.
 - 현재 사우디아라비아가 보유한 원전은 없으나 2개의 대형원전 건설과 담수화를 위한 소형 원자로 건설 계획을 발표한 바 있음.

World Nuclear Power Market

INSIGHT



세계원전시장
인사이트