



Biweekly 격주간  
2024 04.19

# 세계원전시장 인사이트

## 현안이슈

### 계통 관성에 대한 이해와 주파수 안정성 확보 방안 고찰

1. 들어가며
2. 계통 관성의 기본 개념
3. 주파수 안정성의 결정 요인
4. 계통 관성 감소 대응 방안
5. 시사점

## 주요단신

### 북·남미 14

- 미국, 일본과 정상회의 통해 원전 등 청정에너지 확대 방안 논의 및 관련 협력 강화
- 미국, 정상회담 통해 필리핀의 원자력 역량 강화 방안 모색하며 일본과도 공동협력키로
- 미국 NRC, Florida 주 Turkey Point 원전 3-4호기 2차 계속운전을 위한 최종 환경영향평가보고서 발행
- 미국 Oklo, 자국 데이터센터-에너지 기업과 장기 전력구매 의향서 체결
- 미국 X-energy, 캐나다 Alberta 주 화석연료발전소 부지 Xe-100 보급 위한 타당성 연구 파트너십 체결
- 캐나다 Saskatchewan 주 정부, 2024-2025년 탄소가격 부과금 수입 SMR 지원에 활용할 계획
- 브라질, Angra 3호기 EPC 재개 위한 입찰절차 개시
- 아르헨티나 정부, 긴급재정으로 SMR 개발 포함한 원자력위원회 예산 삭감
- 기타단신

### 유럽 24

- 프랑스 EDF, 원자력 사업 효율성 개선 위한 조직개편 단행
- 프랑스 의회, ASN과 IRSN 통합하는 원자력 안전 거버넌스 법안 최종 승인
- 영국 원자력규제청(ONR), 신규 원전 사업을 위한 조기 규제 참여 절차 발표
- X-energy와 Cavendish Nuclear, 영국 정부로부터 약 58억 원 규모의 지원금 확보
- 체코 ČEZ, EDF 요청으로 Dukovany 신규 원전 입찰서 접수 기한 연장
- Westinghouse, 폴란드 최초 원전 건설 관련 현지 공급업체 선정 및 경제 효과 추정결과 발표
- 스위스 방폐물 전담기관 Nagra, 심지층처분시설 전담 자회사 설립 예정
- 기타단신

### 아시아 32

- 한국, 신한울 2호기 상업운전 시작
- 중국, Fangchenggang 원전 4호기 최종임계 달성 후 전력망 연결
- 중국, 4세대 원전 Shidaowan 고온가스냉각로 열수송망 연결된 후 가동 시작
- 일본 도쿄전력, 가시와자키 가리와 7호기 이례적으로 재가동 준비 서둘러...원자로 가동 직전까지만 검사 우선 진행
- 일본 대법원, 후쿠시마 사고 국가 배상 책임 불인정
- 기타단신



세계원전시장

**인사이드**

Biweekly 격주간

2024 04.19

**발행인** 김현재

**편집인**

|     |                     |              |
|-----|---------------------|--------------|
| 조주현 | joohyun@keei.re.kr  | 052-714-2035 |
| 김창훈 | hesedian@keei.re.kr | 052-714-2210 |
| 신재정 | jjshin@keei.re.kr   | 052-714-2054 |
| 김선진 | sunjin@keei.re.kr   | 052-714-2018 |
| 유석중 | sjryu@keei.re.kr    | 052-714-2257 |
| 정진영 | jy_jeong@keei.re.kr | 052-714-2081 |
| 한지혜 | jhhan@keei.re.kr    | 052-714-2089 |
| 김유정 | yjkim@keei.re.kr    | 052-714-2294 |
| 이유경 | rglee@keei.re.kr    | 052-714-2283 |

**디자인·인쇄** 효민디앤피 051-807-5100

※ 본 간행물은 한국수력원자력(주) 정책과제의 일환으로 발행되었습니다.

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

## 현안이슈

# 계통 관성에 대한 이해와 주파수 안정성 확보 방안 고찰

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



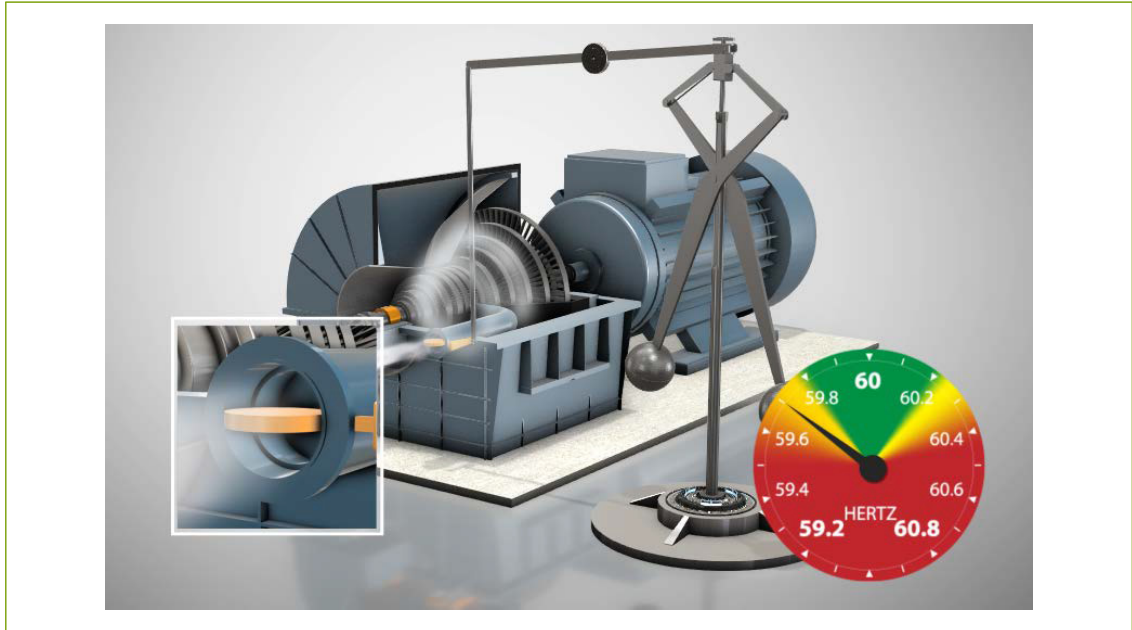
## 1 들어가며

- 재생에너지 보급이 확대됨에 따라 전통적 전력 시스템에서 당연하게 여겨졌던 계통 관성(grid inertia)에 대한 이해의 필요성과 대응 방안에 대한 관심이 증가하고 있음.
  - 계통 관성은 기존 화석연료·원자력·수력 발전소의 대형 회전 발전기 및 일부 산업용 모터 등에 저장된 에너지를 말하는 것으로, 대규모 발전소에 고장이 발생할 경우 저장된 에너지로 손실된 전력을 일시적으로 보충할 수 있어 계통 안정성에 도움이 됨.
  - 그러나 풍력, 태양광, 배터리저장장치(ESS) 등과 같이 본질적으로 관성을 제공하지 않는 인버터 기반 자원(inverter-based resources, IBR)의 보급이 확대되면서 계통 관성의 감소 현상에 대한 대응책 마련이 화두가 되고 있음.
- 이에 본고에서는 미국 NREL(National Renewable Energy Laboratory)이 2020년 5월에 발간한 “Inertia and the Power Grid: A Guide Without the Spin”에 담긴 계통 관성에 대한 체계적인 소개와 설명을 되짚어봄으로써 주파수 안정성(frequency stability) 확보에 초점을 맞춘 계통 안정화 방안을 종합적으로 고찰해보고자 함.
  - 계통 관성의 기본 개념을 알아보고(2장), 주파수 안정성을 결정하는 주요 요인들을 살펴본 다음(3장), 계통 관성 감소에 대한 대응 방안을 종합적으로 고찰한 후(4장), 향후 변화 방향에 대한 시사점을 정리함(5장).

## 2 계통 관성의 기본 개념

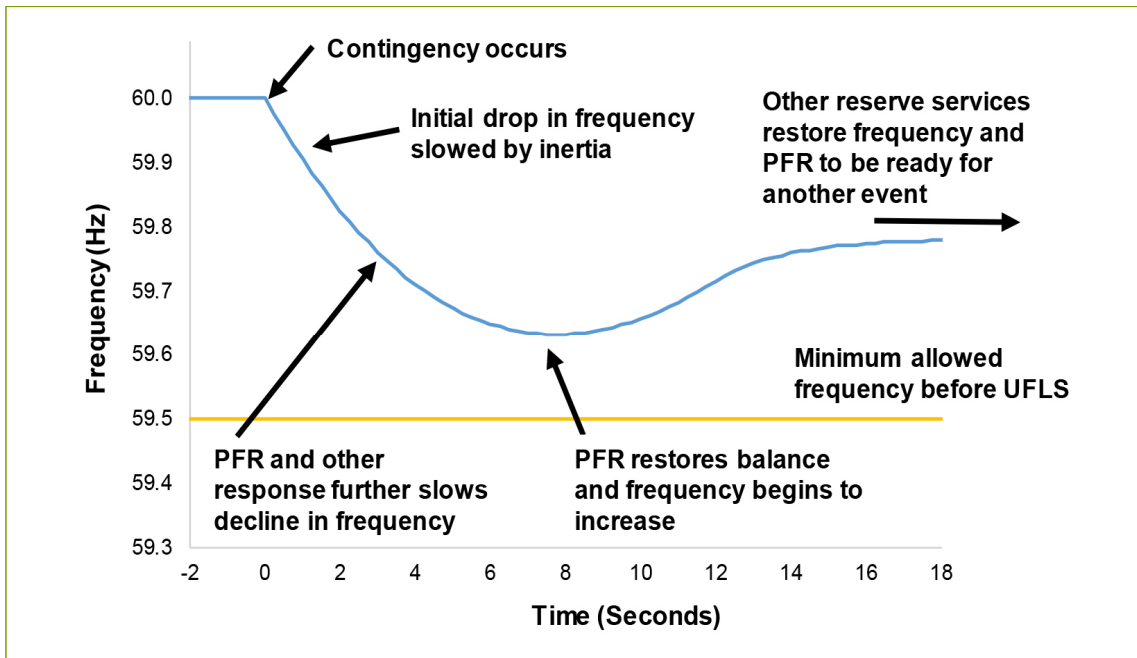
- 계통 관성은 주파수 변화에 저항하는 속성이 있으며, 이를 통해 발전소 고장으로 인한 상정사고(contingency)가 발생할 경우 계통 운영자가 전력 수요와 공급의 균형을 재조정할 수 있는 시간적 여유를 제공해 줌.
  - 전력망 내에서는 동기화된 수백 또는 수천 개의 발전기가 모두 동일한 주파수로 회전하는데, 계통 관성은 이와 같이 동일 주파수로 회전하는 발전기에 저장된 운동 에너지를 의미하는 것으로, 이로 인해 자전거나 자동차의 페달을 밟지 않을 때도 계속 움직이려는 것과 같이 주파수를 유지하려는 경향을 나타내게 됨.
  - 미국의 경우 대부분 지역에서 59.5Hz, 텍사스에서는 59.3Hz 아래가 되면 수급을 맞추기 위해 수용가 부하가 일부 차단되는데 이를 저주파수 부하 차단(underfrequency load shedding, UFLS)라고 하며, 이럴 경우 계통 운영자는 재정적인 패널티를 부여받게 됨.
- 주파수를 유지하고 UFLS를 방지하기 위해 계통 운영자는 상정사고에 대응할 수 있는 다양한 프로세스를 사용하는데, 그 중 하나가 PFR(primary frequency response)임.
  - 전통적인 기계식 PFR에서는 주파수가 일정 수준(〈그림 1〉에서 60Hz) 미만으로 떨어지면 발전소 샤프트에 부착된 플라이볼 조속기(flyball governor) 속도가 느려지면서 밸브를 여는 레버를 움직여 터빈에 더 많은 증기를 공급하여 발전기 속도를 증가시킴.
  - 동기(synchronous) 발전기에 사용되는 조속기는 전자센서로 대체되었으나 에너지 공급과 출력 조절에는 여전히 밸브 및 기계 시스템에 의존하고 있어 응답에 시간이 걸림.
    - 이러한 기계 시스템의 제한된 응답 속도로 인해 현재의 전력 계통에서 주파수 저하 속도를 늦추고 UFLS를 방지하려면 적절한 양의 관성이 필요함.
  - 〈그림 2〉의 계통 주파수를 시간 함수로 나타낸 예시는 상정사고 발생 후 주파수 저하를 저지하면서 정상 주파수로 회복하는 모습을 나타냄.
    - 한 발전기에서 상정사고가 발생하면 발전량 감소로 인한 수급 불균형에 대응하기 위해 계통에 연결된 다른 발전기들이 회전 운동 에너지(rotational kinetic energy)를 관성 응답(inertial response)이라 불리는 실제 발전으로 변환하며, 이로 인해 발전기 속도가 느려지고 주파수는 하락함.
    - 관성 응답이 다른 발전기가 주파수 변화를 감지하여 PFR이 시작할 수 있는 시간을 제공한 후, PFR로 발전기 출력이 증가하면서 수급 불균형은 해소가 되고 주파수 하락은 중지되며, 이후 몇 초 또는 몇 분 안에 계통 운영자는 특정 발전소에 급전지시를 내려 주파수를 원상태로 완전히 복원하게 됨.

**그림 1** 플라이휠 조속기에 의한 기계식 PFR의 작동 원리 설명(주파수 하강 시)



출처: NREL, Inertia and the Power Grid: A Guide Without the Spin, 2020.5, p.6

**그림 2** 상정사고 후 주파수 회복 성공 예시



출처: NREL, Inertia and the Power Grid: A Guide Without the Spin, 2020.5, p.7

### 3 주파수 안정성의 결정 요인

- 변동성 자원의 확대에 얼마나 많은 관성이 필요한지에 대한 논의가 활발해지고 있으나, 이와 관련한 논의는 관성의 상호작용과 계통의 상정사고 대응능력을 결정하는 요인들을 포함해야 함.
  - 계통 주파수 안정성을 결정하는 주요 요인들을 정리하면 <표 1>과 같음.

표 1 주파수 안정성 결정 요인

| 요인                  | 각 요인의 크기 증가 시 발생하는 결과 |
|---------------------|-----------------------|
| 계통 규모               | 주파수 하락 속도 지연          |
| 부하 관성 및 감쇠(damping) | 주파수 하락 속도 지연          |
| 상정사고 규모             | 주파수 하락 속도 증가          |
| UFLS 설정             | 주파수 회복을 위한 여유시간 제공    |
| PFR 속도              | 주파수 하락 시 반응속도 향상      |

출처: NREL, Inertia and the Power Grid: A Guide Without the Spin, 2020.5, p.8

#### ■ 계통 규모

- 계통에 연계된 발전기 중 하나에 장애가 발생할 경우 전력 수요와 공급 차이만큼 다른 발전기들의 관성에서 추출되게 되며, 그 결과 전체 시스템의 주파수가 하락함.
  - 예를 들어, 1,000MW 출력의 30개의 동일한 발전기 중 하나가 고장이 나서 1,000MW의 전력 부족분이 발생할 경우 이를 29개의 발전기가 분담해야 하므로 각 발전기는 저장된 관성 에너지에서 추가로 약 34MW의 전력을 끌어와 총 1,034MW를 공급하게 됨.
  - 60Hz로 회전하는 각 발전기에 약 4GW·s(1.1MWh)의 에너지가 저장된 것으로 가정하고 이로부터 상정사고 후 첫 1초 동안 각 발전기가 34MW·s만큼 에너지를 내어놓는다면, 전체 시스템으로 볼 때는 115GW·s의 저장 에너지와 60Hz 주파수에서 출발하여 1초 후에는 약 1GW·s의 에너지가 추출되면서 주파수가 59.7Hz로 떨어짐. 그 결과 이 예시에서는 시스템이 UFLS 기준 59.5Hz 아래로 떨어지기 전까지 약 2초의 시간을 제공하는 것으로 가정됨(<그림 3> (a)의 녹색 선).
- 계통 규모가 커진다면 발전기 수 증가에 따른 관성도 증가하여 주파수 회복을 위한 대응 시간을 더 많이 제공할 수 있음.
  - 위의 예시에서 계통 규모가 두 배로 증가하면(부하와 발전기가 동시에 두 배로 증가) 계통 관성이 두 배로 증가하며 UFLS 전까지 더 많은 시간을 제공할 수 있음(<그림 3> (a)의 적색 선).

- 주의할 점은, 발전기에서 사용할 수 있는 관성의 양은 전력 출력 수준과는 무관하게 동일하며, 오직 계통 연계여부와 계통 주파수로 회전하는 지에만 의존함.

## ■ 부하 관성 및 감쇠(damping)

- 부하 관성은 부하 측 회전체에 저장된 운동 에너지를 말하는 것으로, 이것도 계통에 관성을 추가할 수 있음(<그림 3> (b)의 적색 선).
- 부하 감쇠는 주파수 변화에 따라 발생하는 전기 수요의 변화를 말하는 것으로, 산업 공정에 사용되는 모터 등에서 회전 주파수가 하락하면서 자연스럽게 전력 소비량이 감소하게 되어 계통이 UFLS 수준에 도달하는 시간을 늦출 수 있음(<그림 3> (b)의 청색 선과 적색 선 차이).
  - 미국에서는 이러한 관계를 감쇠 상수(damping constant)로 정량화하고 있으며, 일반적인 추정치는 1에서 2 사이로서 주파수 1% 하락 시 부하가 1%~2% 하락함을 의미함.

## ■ 상정사고 규모

- 상정사고 규모가 커지게 되면 계통이 반응할 수 있는 시간이 줄어들음.
  - 예를 들어, 위의 예시에서 사고 규모가 2,000MW로 확대되면 훨씬 더 빠른 주파수 하락이 일어나면서 약 1초 만에 UFLS 수준에 다다름(<그림 3> (c)의 적색 선). 반대로 사고 규모가 500MW의 경우 응답 가능한 시간으로 약 6초가 확보됨(<그림 3> (c)의 청색 선).

## ■ UFLS 설정

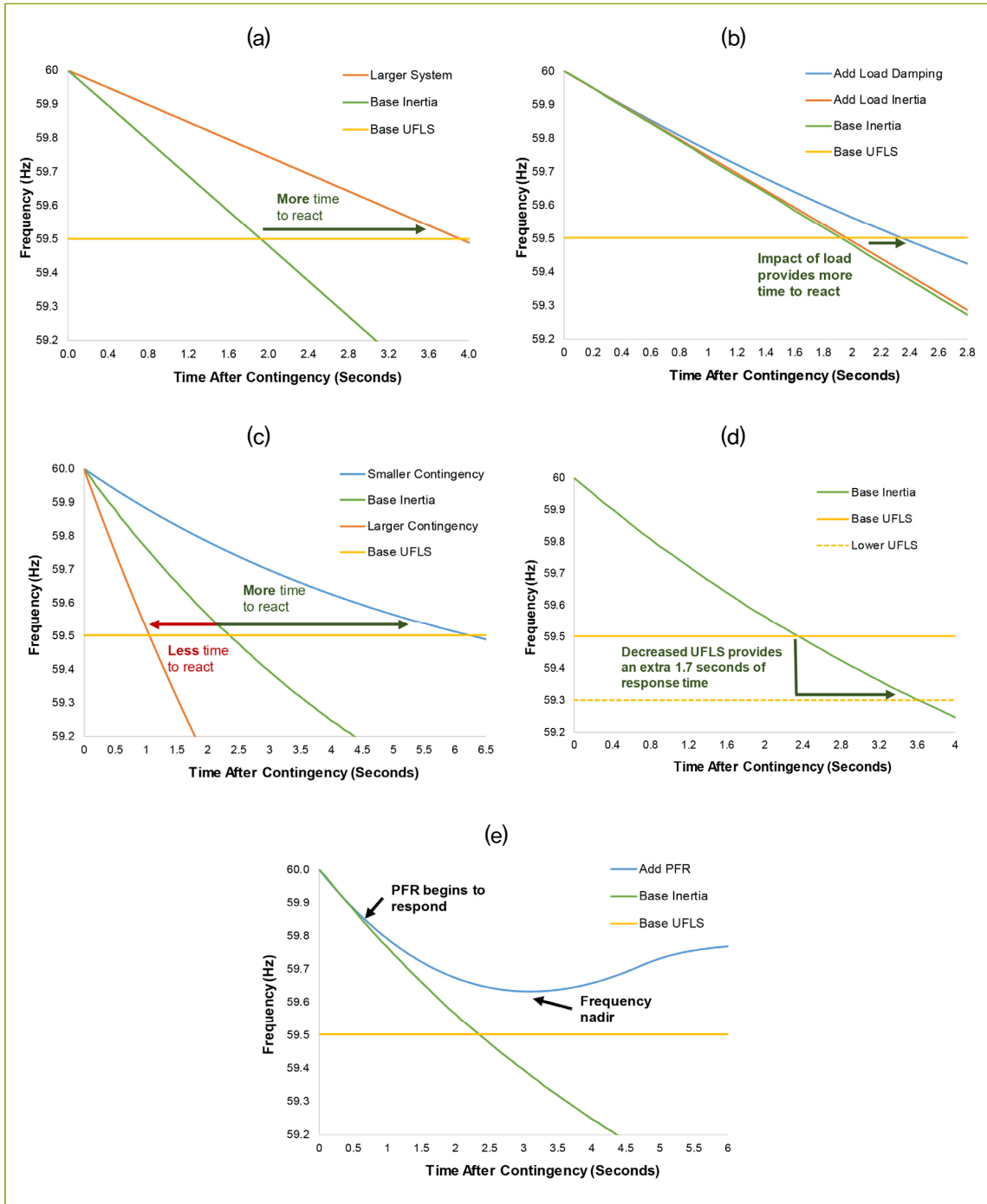
- 초기 UFLS의 설정을 어떻게 하느냐도 계통의 응답시간 확보에 영향을 미침.
  - UFLS 프로토콜에 따라 주파수가 일정 수준 아래로 떨어지면 경고 없이 신속하게 회로 차단기에 의해 계통의 특정 부분이 자동으로 연결 해제되며, 주파수가 점점 낮아지면서 점점 더 많은 부하를 줄이는 설정을 가지고 있음.
  - 상대적으로 적은 양의 부하가 차단되는 기준인 초기 UFLS 설정을 위의 예시에서 59.3Hz로 낮출 경우 응답을 위한 여유 시간이 약 1.3초 증가함(<그림 3> (d) 점선).

## ■ PFR 속도

- 발전기의 PFR 속도는 주파수 회복 속도에 직접적인 영향을 미침.
  - 일반적인 응답 속도의 범위는 증기터빈과 같은 경우 초당 0.3%인 반면 특정 가스터빈의 경우는 초당 2%로서, 100MW 발전소의 경우 초당 0.3MW에서 2.0MW가 됨(위 예시에서 이를 반영한 결과는 <그림 3> (e)에 나타냄).

- 이를 위해서는 발전기가 최대출력 미만으로 가동되면서 헤드룸(headroom)을 확보해야 하고 조속기가 활성화되어 있어야 하며 일정 시간 동안 출력을 유지할 수 있어야 함.

**그림 3** 요인별 영향 도식(a: 계통 규모, b: 부하 관성 및 감쇠, c: 상정사고 규모, d: UFLS 설정, e: PFR 속도)



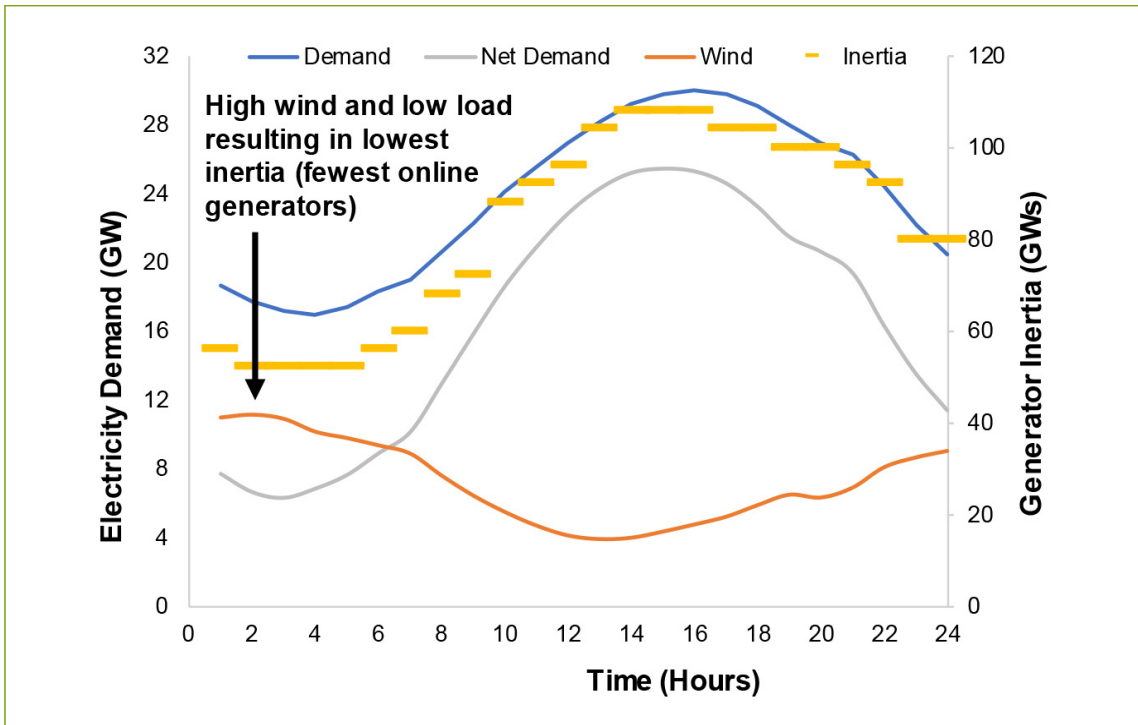


## 4 계통 관성 감소 대응 방안

■ 변동성 자원과 배터리저장장치 등 IBR이 상당한 양의 동기 발전기를 대체하면 일반적으로 부하 감소 시간대에 나타나는 현상과 유사하게 총 관성이 감소하게 됨.

- <그림 4>에서는 풍력이 총 수요의 30%를 차지하는 경우 시간대별 급전 프로파일을 보여 주고 있는데, 풍력 발전량이 최대인 새벽시간에 관성이 감소하여 UFLS의 위험성이 상존하게 됨.

**그림 4** 풍력 비중 30% 가정 시 시간대별 IBR이 계통 관성에 미치는 영향



출처: NREL, Inertia and the Power Grid: A Guide Without the Spin, 2020.5, p.20

- 전통적인 관성의 가용성을 감소시키는 IBR의 확대에 대응하여 기존 기계식 PBR이 전자 기반 장치로 대체되는 등 주파수 응답 소스가 변화되고 있음.
  - 이는 재생에너지의 증가 때문만은 아니며, 어떤 경우에는 새로운 기술이 더 저렴하고 더 효율적이기 때문이기도 함.
  - 미국의 경우 이러한 노력은 대표적으로 미국 텍사스 주 ERCOT 전력망에서 최근 가장 활발하게 이루어지고 있음.

■ 미국 텍사스 주는 서부 전력망(Western interconnection, WI)과 비교할 때는 가용 관성이 절반 미만, 동부 전력망(Eastern interconnection, EI)과 비교할 때는 15% 미만이며, 최대 상정사고 규모는 WI와 유사한 수준임.

- 이는 ERCOT가 WI 대비 절반 미만의 관성으로 동일 수준의 사고 발생에 대비해야 함을 의미하는 것으로, 이에 ERCOT는 전통적인 관성 자원 및 PFR의 대안을 찾기 위해 노력하였음.

**표 2** 미국 3개 전력망의 주요 파라미터 요약(2018년 기준)

| 구분      | 2018년 계통 규모<br>(GW, 피크/평균) | 최대 상정사고 규모<br>(MW) | 최대 상정사고<br>평균부하 비중(%) | UFLS 설정<br>(Hz) |
|---------|----------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|
| Western | 168/100                    | 2,626              | 2.6                   | 59.5            |
| Eastern | 556/354                    | 4,500              | 1.3                   | 59.5            |
| ERCOT   | 73.5/43.0                  | 2,750              | 6.4                   | 59.3            |

출처: NREL, Inertia and the Power Grid: A Guide Without the Spin, 2020.5, p.22

- 이에 대응하여 ERCOT는 10년 넘게 부하 측에서 주파수 변화에 응답하는 ‘부하 자원(load resources)’에 주로 의존하여 왔음.
  - 이는 주파수가 특정 수준으로 떨어지면 자동으로 부하가 차단되도록 프로그래밍된 센서를 특정 대형 산업용 부하에 장착하는 것으로, 일반적으로 비자발적인 UFLS와 달리 자발적으로 참여하며 중요도가 덜한 특정 부하를 대상으로 함.
- 한편 ERCOT는 대규모 풍력발전 설치로 풍력의 비중이 급증했는데, 2019년 기준으로 ERCOT의 발전량 중 변동성 전원(주로 풍력)의 비중이 20%였으며, 비중이 최대 57.9%에 달하기도 하였음.
  - 이로 인해 ERCOT는 변동성 전원 보급으로 발생할 수 있는 관성의 추가 감소에 대한 대응 방안을 찾기 위한 노력을 주도해 왔는데, 이하에서 그 중 일부를 확인할 것임.

**표 3** 주파수 안정성 확보를 위한 방안

| 구분                               | 세부 방안                          |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 관성 유지                            | 계통 운영                          |
|                                  | 동기 재생에너지 발전                    |
|                                  | 동기 조상기(synchronous condensers) |
| 응답시간 확보                          | 상정사고 규모 축소                     |
|                                  | UFLS 하향 조정                     |
| FFR<br>(Fast Frequency Response) | 부하 자원                          |
|                                  | 풍력설비 운동에너지 추출                  |
|                                  | IBR 급전                         |
|                                  | PFR 개량 및 추가                    |

출처: NREL, Inertia and the Power Grid: A Guide Without the Spin, 2020.5. p,25

■ 관성 유지

- (계통 운영) 전통적으로 관성은 계통 운영자가 모니터링하지 않았으나, 관성 가용량을 임계 수준 이상으로 유지하기 위해 특정 발전기를 계속 가동할 수 있음.
  - 그러나 이런 조치는 가동되는 발전소 수를 늘리고 부분 출력으로 운영하며 변동성 자원의 출력을 줄여야 하는 등 경제적 측면에서는 부정적일 수 있음.
- (동기 재생에너지 발전) 수력, 지열, 집광형태양열, 바이오매스 등의 재생에너지나 원자력, 탄소포집 화석연료, 양수, 압축공기 등 동기 발전기를 사용하는 저탄소 에너지를 보급할 수 있음.
- (동기 조상기(synchronous condensers)) 동기 발전기와 동일한 방식으로 계통에 전력을 공급할 수 있는 동기 모터 및 발전기로서의 역할을 제공할 수 있음.
  - 폐쇄된 발전소의 발전기를 개조하거나 재생 연료를 사용하는 동기 발전기에 클러치를 장착하여 구현할 수 있음.

■ 응답시간 확보

- (상정사고 규모 축소) 특별히 관성이 낮은 시간동안 대규모의 발전소 출력을 줄임으로써 상정사고 규모를 조정할 수 있음.
- (UFLS 하향 조정) 주파수 응답을 위한 시간 제공을 위한 것으로, 예를 들어 ERCOT는 UFLS 설정이 59.3Hz이며, 퀘벡 전력망은 초기 UFLS 설정이 58.5Hz로 현저히 낮음.

■ FFR(fast frequency responses): 낮은 관성으로 인한 주파수의 급격한 하락에 직접적으로 대응하여 보다 빠른 응답속도를 가지는 자원을 확보

- (부하 자원) 기계식 계전기(relays)는 0.5초 이내에 부하를 감소시킬 수 있으며, 최대 용량 미만으로 작동시켜야 하는 PFR와 비교할 때 산업부문의 중요도가 덜한 부하(대형 냉각장치 등)를 가끔씩 감소시키도록 하는 것이 경제적으로도 이득이 됨.
  - ERCOT는 2018년부터 부하 자원이 주파수 응답 서비스의 최대 60%를 제공하도록 허용하였으며, 이는 ERCOT에 풍력설비가 확대되도록 한 주요 요인 중 하나였음.
- (풍력 운동에너지 추출) 풍력터빈은 동기 발전기를 사용하지 않아 전통적 의미의 관성을 제공하진 않지만, 블레이드, 샤프트 및 발전기에 운동에너지를 가지고 있어 주파수 하락이 감지되면 제한된 시간(약 0.5초) 내에 정상 상태(steady-state) 풍속이 지원할 수 있는 수준 이상으로 출력을 높이도록 프로그래밍할 수 있음.
- (IBR 급전) 풍력의 경우 블레이드 피치 각도 변경으로 출력을 줄여 헤드룸을 확보한 가운데 출력을 빠르게 증가시켜 주파수 응답 서비스를 제공할 수 있으며, 태양광의 경우 전력 전자장치로 인버터에 출력을 줄였다가 급격히 늘리도록 명령할 수 있음.
  - 캐나다 퀘벡 전력망에서는 2009년부터 풍력을 통한 주파수 응답 서비스를 제공해왔고, ERCOT는 2012년부터 풍력발전기에 주파수 응답 기능을 의무화했으며, 미국 연방에너지 규제위원회(FERC)도 2018년에 신규 유틸리티급 풍력 및 태양광 발전소에 주파수 응답 기능을 의무화했음.
  - 풍력은 출력을 초당 25%까지 증가시킬 수 있고 태양광은 1초 이내에 전 범위에 걸쳐 출력 조절이 가능하며, 변동성 전원으로 인해 관성이 가장 낮은 시간대가 바로 변동성 전원 발전량의 대량 공급이 가능하여 출력제한 가능성도 높은 때임.
  - ESS는 1초 이내에 전 범위에 걸쳐 출력을 조절할 수 있으면서 충전과 방전 간 빠른 전환으로 추가적인 유연성을 제공할 수 있음.
- (PFR 개량 및 추가) 시장 메커니즘을 통해 발전사업자에 응답속도를 유지하거나 향상시키도록 인센티브를 제공하고, 더 빠르게 응답하는 동기 발전기의 가치를 포착하도록 할 수 있음.

## 5 시사점

- IBR 보급 확대에 따라 전통적 개념의 계통 관성은 감소하고 있으나, 신규 주파수 응답 자원은 기존 자원보다 훨씬 빠르게 반응하므로 실제로 필요한 관성의 양을 줄일 수 있음.

- 따라서 계통 관성의 감소는 변동성 자원 확대에 대한 본질적인 장벽은 아니므로, 관성 측면에서는 기존 기술을 바탕으로 변동성 자원을 보다 크게 확대할 수 있음.
- 인버터가 기존의 그리드 추종(grid-following) 방식에서 인버터 자체가 전압 및 주파수를 설정하고 유지하는 그리드 형성(grid-forming)으로 발전함에 따라 이와 같은 가능성은 더욱 커질 수 있음.
- 향후 대규모 전력망에서는 응답 속도가 빠른 IBR과 저탄소 에너지를 사용하는 동기 발전기의 조합으로 진화할 것으로 보이며, 소규모 전력망은 전통적인 관성 자원에서 탈피하여 거의 IBR로만 이루어진 시스템이 될 것으로 보임.

■ 변동성 자원이 확대되고 있는 우리나라에서도 관성 및 주파수 안정성 관점에서 장기적인 계통 안정성 확보를 위한 연구 활성화와 대책 마련이 필요할 것임.

- 전통적인 계통 관성 감소에 대응할 수 있는 다양한 방안과 해외 사례를 고찰하여 가장 비용을 효율적으로 전력 계통을 혁신할 수 있는 방안을 모색해야 함.



#### 참고문헌

- NREL, Inertia and the Power Grid: A Guide Without the Spin, 2020.5.

주요단신

북·남미

North and South America



## ■ 미국, 일본과 정상회의 통해 원전 등 청정에너지 확대 방안 논의 및 관련 협력 강화

The White House Statements and Releases 2024.04.10., Ministry of Economy, Trade and Industry 2024.04.11., World Nuclear News 2024.04.11., 2024.04.12., Nuclear Engineering International 2024.04.16.

- 2024년 4월 10일 미국 Biden 대통령과 일본 Kishida 총리는 백악관에서 정상회담 후 공동성명 발표를 통해 전력망·원전 등 에너지 인프라 확대를 위한 협력, 원전해체 관련 연구 협력을 위한 파트너십 발족, 핵연료 공급망 민간투자 추진 등을 통해 협력을 강화하기로 합의함.

- 미 백악관의 성명서에 따르면 양국은 청정에너지 보급 목표 달성을 위해 전력망과 에너지 인프라에 투자를 늘리고, 양국의 전력망 현대화(modernization)를 위한 모범 사례 공유 방법을 모색할 계획임.
  - 구체적으로 양국은 전력집약산업에서의 탈탄소화 목표 달성을 위한 대형 원자로 및 선진·소형 원자로(AMR, SMR) 보급과 함께 청정에너지 활용 지원을 위한 기업 및 산업 단위 전력구매계약(Power Purchase Agreements, PPA)을 확대할 예정임.
  - ※ 2023년 12월 UAE 두바이에서 개최된 제28차 유엔 기후변화협약 당사국총회(COP28)에서 미국과 일본은 원전 설비 용량을 2020년 대비 3배로 확대하는 내용의 선언문에 서명한 바 있음.
  - 양국 정상은 기후 목표 달성을 위해서는 민간 원자력(civil nuclear power)이 중요함을 인지하고 있으며, 10년간 선진 원자로 보급을 위해 파트너십 지속을 다짐함.
- 양국 정상에 따르면 후쿠시마 원전의 연료 잔해(fuel debris) 제거를 위한 연구 협력을 목표로 도쿄전력과 미국 국립연구소가 후쿠시마 원전 해체 파트너십(Fukushima Daiichi Decommissioning Partnership)을 출범시킬 계획임.
- 양국 정상은 에너지 전환 가속과 함께 에너지안보를 강화하는 데 원자력이 중요함을 강조하고, 러시아산 우라늄 수입 없이 농축 우라늄(enriched uranium) 생산 능력을 확대하기 위한 민간 투자(public-private investment)를 추진하기로 함.

- 같은 날, 미국과 일본 양국의 관련 기관 간에 양국 청정에너지 정책 간 시너지 제고 방안 논의와 함께 고농축우라늄 반환 완료 선언, 핵융합에너지 개발을 위한 파트너십 체결 등이 이루어짐.

- 미국 John Podesta 기후특사와 일본 Saito Ken 경제산업상은 양국의 에너지 전환 진전을 가속화하고 청정에너지 공급망 촉진 및 산업 경쟁력 향상 공동 목표를 위해 미국의 인플레이션 감축법안(Inflation Reduction Act, IRA)과 일본의 GX(Green Transformation) 전략 간의 시너지를 극대화하기 위한 방안을 협의함.
  - 양국 대표는 해상풍력 및 태양광 발전, 수소와 수전해(electrolyzers), 암모니아, 히트펌프, 선진 원자로와 탄소관리 기술 등의 개발 및 보급을 위한 협력 강화 방안을 논의함.
- 미 에너지부 국가핵안보청(National Nuclear Security Administration, NNSA)은 일본 원자력연구개발기구(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)의 임계실험을 위한 연구용 원자로(Japan Materials Testing Reactor Critical Assembly, JMTRC)에 남아 있던 고농축우라늄(HEU)을 예정된 기간보다 2년 앞당겨 모두 미국으로 반환(repatriate)했다고 밝힘.
  - ※ JMTRC는 1965년에 건설되어 1996년에 해체된 후 2003년부터 2009년까지 해당 원자로에 있던 HEU를 미국으로 반환해 옴.
- 미 에너지부 David Turk 차관과 일본 문부과학성 Masahito Moriyama 대신은 핵융합 에너지 실증과 상용화 가속을 위한 전략적 파트너십(strategic partnership)을 체결함.
  - 양국이 발표한 이번 파트너십은 미국의 상업용 핵융합에너지를 위한 10년간의 비전(US Bold Decadal Vision for Commercial Fusion Energy)과 핵융합발전의 새로운 국제 파트너십을 위한 전략(Strategy for International Partnerships in a New Era of Fusion Development), 그리고 일본 핵융합에너지 혁신 전략(Japan Fusion Energy Innovation Strategy) 등을 중심으로 추진해 나갈 계획임.

## ■ 미국, 정상회담 통해 필리핀의 원자력 역량 강화 방안 모색하며 일본과도 공동 협력기로

The White House Statements and Releases 2024.04.11.

- 2024년 4월 11일 Biden 대통령과 필리핀 Marcos 대통령은 백악관에서 정상회담을 개최하고 양국 간의 에너지 협력, 원자력 프로그램 기반 인력 양성, 국방 및 안보 강화 등을 위한 협력을 확대하기로 함.
  - 양국 정상은 2023년 11월 양국 간 체결한 123 협정(123 Agreements)을 바탕으로 양국 간의 에너지 협력을 촉진하고, 기후 및 청정에너지 전환 목표 지원과 함께 필리핀의 미래 에너지원 확보에 노력할 것임을 밝힘.

- 또한 이번 회담에서 필리핀 에너지부는 필리핀의 민간 원자력 분야 지원을 위해 필리핀-미국 교육 재단과 미 국무부의 국제 교류 프로그램인 ‘Fulbright Program’의 장학금과 학술교류 기회를 바탕으로 한 역량 강화 및 인력 양성을 위한 양해각서(MOU) 체결 의향을 표명함.

■ 2024년 4월 11일 Biden 대통령은 백악관에서 Kishida 총리, Marcos 대통령과 함께 최초로 3자 정상회의를 열고 정부 전반에 걸쳐 3국 간의 원자력 분야 협력을 더욱 확대하고 분야별 협력을 강화할 계획임을 밝힘.

- 3국 정상들은 필리핀의 에너지 수요 대응 및 에너지 전환을 위해 청정에너지 기술 보급과 관련한 3국 협력 확대를 모색해나갈 계획을 발표함.
  - 이어 3국 정상들은 기술자와 전문 인력 등 필리핀의 추가 인력 양성과 함께 민간 원자력 역량 강화를 위한 파트너십 확대를 모색해 나갈 계획임을 언급함.
- 구체적으로 미국과 일본은 FIRST(Foundational Infrastructure for Responsible Use of Small Modular Reactor Technology) 프로그램에 따라 필리핀을 포함한 FIRST 협력국의 원자력 전문가를 대상으로 일본 원자력 연구 투어(study tour)를 공동 개최할 예정임.
- 이날 정상들은 핵비확산조약(Nuclear Non-Proliferation Treaty, NPT)을 초석으로 삼아 원자력 위협 감소를 위한 실질적인 대화에 나설 것이며, 더 나아가서 핵무기 확산 방지와 핵분열성 물질 생산 중단 및 규제를 위한 핵분열물질생산금지조약(Fissile Material Cut-off Treaty, FMCT) 합의 도달을 위한 협상을 즉각 개시할 것을 촉구한다고 밝힘.

■ 미국 NRC, Florida 주 Turkey Point 원전 3·4호기 2차 계속운전을 위한 최종 환경영향평가보고서 발행

NRC News 2024.03.29., Ux Weekly 2024.04.01., U.S. NRC 2024.04.08.

- 2024년 3월 29일 미국 원자력규제위원회(NRC)는 미국 Florida 주 남부에 있는 Turkey Point 원전 3·4호기(총 1,658MW, PWR)의 2차 계속운전(Subsequent License Renewal, 이하 ‘SLR’)을 위한 최종 환경영향평가보고서(Final Environmental Impact Statement, FEIS)를 발행함.



- NRC에 따르면 이번 FEIS는 Turkey Point 원전의 운영사인 Florida Power & Light가 2022년 6월에 제출한 수정된 환경보고서를 기반으로 하며, SLR 기간 동안 Turkey Point 3·4호기에서 발생할 수 있는 모든 환경 영향을 평가함.
- NRC의 원자력안전인허가위원회(Atomic Safety Licensing Board, ASLB)는 환경 검토 (environmental review)를 진행 중이며, 해당 검토 이후 ASLB는 Turkey Point 3·4호기의 SLR에 대한 최종 결정을 내릴 계획임.
  - Turkey Point 3·4호기의 SLR 승인 시 각각 2052년 7월과 2053년 4월까지 가동이 가능해짐.
- NRC는 2019년 12월 4일 Turkey Point 3·4호기의 SLR을 승인한 바 있으나, 2022년 2월 NRC는 2018년 1월 해당 원자로 2기의 SLR 허가 신청 시 제출한 자료가 1차 계속 운전 인허가 신청 자료를 재사용하는 등 인허가 갱신을 위한 광범위한 환경영향평가 (Generic Environmental Impact Statement, GEIS) 기준을 반영하지 않았다는 이유로 기존에 허가한 Turkey Point 3·4호기의 SLR 결정을 번복함.
  - 구체적으로 NRC는 GEIS가 Turkey Point 3·4호기 1차 계속운전 기간 동안의 환경영향만을 분석했으므로, 이는 이후의 SLR에 동일하게 적용되지 않는다고 결론을 내림.
  - 이에 따라 Turkey Point 3·4호기는 현재로서는 각각 1차 계속운전 기간인 2032년 7월 19일과 2033년 4월 10일까지 가동이 가능함.

## ■ 미국 Oklo, 자국 데이터센터·에너지 기업과 장기 전력구매 의향서 체결

Ux Weekly 2024.04.08., Oklo 2024.04.08., World Nuclear News 2024.04.09., Nucnet 2024.04.09.

- 2024년 4월 5일 미국 초소형모듈원자로(MMR) 개발사 Oklo는 미국 디지털 인프라 기업 Equinix 데이터센터에 자사의 초소형원자로 Aurora를 활용한 전력 공급을 목표로 하는 20년 전력구매계약(Power Purchase Agreement, PPA) 내용이 포함된 의향서(Letter of Intent, LOI)에 서명했다고 밝힘.
  - LOI에 따르면 Oklo는 PPA를 바탕으로 20년간 Aurora에서 생산한 최대 500MW의 전력을 Equinix의 데이터 센터에 제공할 것이며, 추가로 20년 계약 연장이 가능한 옵션이 제공됨.
  - Equinix는 Oklo에 지분 확보 목적으로 2,500만 달러(약 348억 원)<sup>1)</sup>를 투자하며 Oklo는 Equinix에 총 1.5~1.9%의 지분을 제공할 수 있는 내용이 LOI에 포함됨.

1) 북남미 단신 기사 내용 모두 2024년 4월 19일 환율 기준 적용(1달러=1,392원)

- 2024년 4월 8일 Oklo는 미국 Texas 주 Midland에 본사를 둔 에너지 기업 Diamondback Energy Inc.(이하 ‘Diamondback’)와 Aurora를 활용한 전력 공급을 위해 20년 장기 PPA를 목표로 LOI를 체결했다고 발표함.
  - LOI 체결의 주목표는 Oklo의 Aurora 원자로를 사용하여 Texas 주 남서부 지역 Permian Basin에 위치한 Diamondback의 석유 및 천연가스 생산시설에 탄소배출이 없는 안정적인 전력을 공급하는 것임.
  - 이날 체결된 LOI에 따르면 Oklo는 Permian Basin 지역의 생산시설에 Aurora 원자로 호기당 50MW의 전력을 20년간 제공함.
    - 이번 LOI에는 구체적인 원자로 보급 호기 수는 명시되어 있지 않음.
    - Aurora 원자로는 약 19%로 농축된 금속 우라늄-지르코늄(metallic uranium-zirconium) HALEU 연료를 사용하고, 15MW부터 최대 50MW의 전력을 생산할 수 있으며, 연료 재장전 없이 40년 동안 가동하도록 설계되어 PPA 갱신이 가능함.

## ■ 미국 X-energy, 캐나다 Alberta 주 화석연료발전소 부지 Xe-100 보급 위한 타당성 연구 파트너십 체결

X-energy 2024.04.02., Nucnet 2024.04.03., World Nuclear News 2024.04.03., Nuclear Engineering International 2024.04.04.

- 2024년 4월 2일 미국 X-energy는 캐나다 Alberta 주 발전사 TransAlta와 Alberta 주에 있는 화석연료발전소에 2030년대 초까지 자사가 개발 중인 고온가스냉각로 Xe-100(80MW) 보급을 목표로 타당성 연구를 위한 파트너십을 체결했다고 발표함.
  - 이번 파트너십 체결로 양사는 화석연료발전소 부지 Xe-100 보급의 경제성과 규제 영향, 인허가 요구사항, 일정을 포함한 전반적인 적합성을 평가하고, 연구를 바탕으로 화석연료발전소 부지의 용도변경(repurposing) 타당성을 평가할 계획임.
    - Xe-100 보급 타당성 연구는 Alberta에 기반을 둔 공급업체 및 파트너를 파악하고, 이를 바탕으로 공급망을 구축하는 데 중점을 둘 것임.
  - 타당성 연구는 Alberta 주의 탄소배출 감소를 위한 기술개발과 솔루션을 촉진하고자 Alberta 주 정부가 2017년에 설립한 비영리 기관 ERA(Emissions Reduction Alberta)로부터 자금 지원을 받음.
    - 연구의 원활한 수행을 위해 양사는 캐나다에 본사를 둔 Hatch Ltd., Kinectrics Inc., PCL Nuclear Management Inc.를 포함한 원자력 및 엔지니어링 기업의 지원을 받게 됨.

## ■ 캐나다 Saskatchewan 주 정부, 2024-2025년 탄소가격 부과금 수입 SMR 지원에 활용할 계획

Ux Weekly 2024.04.08.

- 2024년 4월 3일 캐나다 Saskatchewan 주 Scott Moe 총리는 2024-2025년 전력부문에 부과되는 생산기반 성능기준(Output-Based Performance Standards, 이하 ‘OBPS’)의 예상수입인 3억 2,630만 캐나다 달러(약 3,291억 원) 중 일부를 SMR 지원 및 투자에 적극 활용할 계획이라고 밝힘.
  - 2023년부터 Saskatchewan 주는 산업 부문에서 온실가스 배출량을 줄이기 위한 정책인 OBPS를 시행 중으로, 비전력부문까지 포함한 총 예상수입은 3억 5,130만 캐나다 달러(약 3,543억 원)에 달함.
    - 기술 혁신과 환경적 지속 가능성 촉진을 위한 기술기금(Technology Fund)에 7,040만 캐나다 달러(약 710억 원), Saskatchewan 주 전력사인 SaskPower 지원을 위한 청정전력 전환 보조금에 1억 4,000만 캐나다 달러(약 1,412억 원), 그리고 전력 부문 SMR 투자 펀드(SMRIF)에 1억 4,090만 캐나다 달러(약 1,421억 원)가 할당됨.
  - SaskPower의 Rupen Pandya CEO에 따르면 Saskatchewan 주 Estevan 지역에 미국 GE Hitachi의 BWRX-300(300MW, BWR) 2기와 Elbow 지역에 BWRX-300 4기를 건설하는 것을 고려 중이나, 자금조달 조건에 따라서 건설될 총 호기 수는 증가할 수 있음.
    - 2024년 1월 SaskPower는 미국 GE Hitachi와 관련 협약을 체결한 바 있음.

## ■ 브라질, Angra 3호기 EPC 재개 위한 입찰절차 개시

Ux Weekly 2024.04.01.

- 2024년 4월 1일 브라질 국영 원자력 기업 Electronuclear는 Angra 3호기의 엔지니어링·조달·시공(EPC) 재개를 위해 국제입찰절차(international tender process)를 시작했다고 보도됨.
  - Angra 3호기는 2010년 5월에 착공했으나 브라질 재정 위기에 따른 자원 부족으로 건설 중단과 재개를 반복하다가, 2022년 11월 Electronuclear가 Angra 3호기 건설 재개 추진을 7년 만에 발표하면서 2026년 말까지 상업운전 시작을 목표하였음.
    - 이번 입찰 문서에 따르면 Angra 3호기의 공정률은 약 67%이며, Electronuclear는 2024년 4월 26일까지 공개협의(public consultation) 절차를 진행함.

- 브라질 국영 경제사회개발은행(National Bank for Economic and Social Development, 이하 'BNDES')이 작업 중인 자문(consultation) 내용에 따르면 Angra 3호기(1,405MW, PWR) 완공까지 39억 5천만 달러(약 5조 5천억 원)가 필요할 것으로 예상됨.
  - Electronuclear에 따르면 해당 자문은 Angra 3호기 건설 프로젝트 발전을 위해 필요한 단계이며, 최종 선정절차(final selection process) 시작 전 기금을 모으는 것이 목표임.
- Angra 3호기 프로젝트와 관련한 브라질 정부의 비용예측(cost projections)에 따르면 2029년부터 2044년까지는 전력 1MWh당 약 145달러(약 20만 원)가 되다가 이후 45달러(약 6만 원)로 하락할 것으로 추정되었음.
  - 이는 Angra 3호기 초기 15년 동안의 발전비용이 브라질의 수력발전 비용보다 약 3배 더 높다는 것으로, 해당 기간 남미지역 전력요금에 영향을 미칠 것으로 정부는 전망함.

## ■ 아르헨티나 정부, 긴축재정으로 SMR 개발 포함한 원자력위원회 예산 삭감

Buenos Aires Herald 2024.03.30., Ux Weekly 2024.04.01.

- 2024년 3월 28일 아르헨티나 Javier Milei 정부는 경제난 극복 및 정부지출 축소를 위한 긴축 재정 정책의 일환으로 아르헨티나에서 개발 중인 CAREM-25 SMR과 RA-10 의료 동위원소(medical isotopes) 생산 원자로 건설 프로젝트를 포함한 아르헨티나 원자력위원회(CNEA)의 예산을 삭감함.
  - 아르헨티나 정부의 영향을 받는 CNEA는 32MW의 가압경수로형 SMR인 CAREM-25를 개발 중으로 2014년 실증로 건설이 시작되었으며, 암 진단 및 치료에 활용되는 방사성 동위원소를 생산하는 RA-10 다목적 원자로도 2016년부터 개발 중임.
  - CNEA의 Adriana Serquis CEO에 따르면 CAREM-25 실증로의 건설 프로젝트 중단 여부가 확실치 않으나, 해당 프로젝트의 건설업체 중 한 곳이 자금 부족으로 69명의 근로자를 해고함으로써 실증로 건설은 불가피하게 중단될 것으로 보임.
    - CNEA는 정부로부터 2024년 예산을 배정받지 못해 2023년 예산을 사용 중으로 2024년 5월 또는 6월까지지만 버틸 수 있을 것으로 예상함.

## 기타 단신

## ■ 미 에너지부, 폐쇄 석탄발전소의 원전 대체(Coal to Nuclear) 관련 안내서 발간

Office of Nuclear Energy 2024.04.01., Nuclear Newswire 2024.04.03.

- 2024년 4월 1일 미 에너지부는 폐쇄 예정이거나 폐쇄된 석탄발전소를 원자력발전소로 대체하려는 지역에 경제적인 측면에서 도움을 주기 위한 안내서(information guide)를 발간함.
  - 안내서는 석탄발전소에서 원자력발전소로 전환 시 지역 사회에 미치는 경제적 영향과 인력 전환 고려사항, 정책 및 자금 정보와 관련된 내용 제시와 함께 기업들이 고려해야 할 전력 요구사항과 프로젝트 범위 및 일정, 인프라 재사용 등의 개요가 포함됨.
    - 해당 안내서는 석탄발전소에서 원자력발전소로 전환할 경우 더 높은 보수의 일자리 창출과 함께 지역 사회에 수백 개의 일자리 창출로 인해 수익과 경제활동을 촉진할 수 있다는 기술적인 연구를 기반으로 함.
    - 미국의 석탄발전소 30%가 2035년까지 폐쇄될 것으로 안내서는 전망함.

## ■ 미국 연방항소법원, Holtec의 New Mexico 주 사용후핵연료 중간저장시설 인허가 취소 명령

Nuclear Newswire 2024.04.03.

- 2024년 4월 3일 미국 제5연방 항소법원(5th Circuit Court of Appeals)은 New Mexico 주 남동부 지역 Lea County에 Holtec의 사용후핵연료 및 고준위 방폐물 저장을 위한 중앙 집중형 중간저장시설(Consolidated Interim Storage Facility, 이하 'CISF') 건설 및 운영을 위해 미 원자력규제위원회(NRC)가 2023년 5월 발급한 인허가를 취소하는 명령을 내림.
  - 2024년 3월 27일 세 명의 판사로 구성된 패널(panel)이 NRC가 발급한 Holtec의 CISF 인허가를 취소하라는 명령을 내렸으며, 이는 이전에 제5연방 항소법원이 내린 Texas 주 CISF 판결에 따른 것임.
    - 2023년 8월 Texas 주를 관할 구역으로 하는 제5연방 항소법원은 Texas 주 서부 Andrews County에 CISF 운영허가를 취소하면서, 원자력법이나 방사성폐기물정책법(Nuclear Waste Policy Act)에 따라 NRC가 CISF 인허가 권한이 없다고 판결함.

- 당시 Holtec의 CISF 인허가에는 Holtec이 2017년부터 최대 500개의 캐니스터(canister)를 저장 및 소유와 이전할 수 있는 내용이 포함되었음.

## ■ 미국 Kentucky 주 주지사, 원전사업 지원 법안 최종 승인 거부

AP News 2024.04.05., Ux Weekly 2024.04.08.

- 2024년 4월 4일 Kentucky 주 Andrew Beshear 주지사는 Kentucky 주의 원자력 사업 활성화 및 원자력 개발청 설립을 위한 상원 법안 198(Senate Bill)과 관련해 Kentucky 원자력 개발청(Kentucky Nuclear Energy Development Authority, 이하 'KNEDA')의 구성 위원 선정 방법에 문제가 있음을 제기하며 법안 최종 승인을 거부함.
  - 2024년 2월 Kentucky 주 상원은 SB 198을 만장일치로 통과시켰으며, 같은 해 3월 22일 Kentucky 주 하원도 해당 법안을 만장일치로 통과시킴.
    - SB 198에는 Kentucky 주에서의 원자로 관련 시설 부지 탐색과 적합성 조사 착수 및 해당 지역에 적용할 수 있는 기준 설정 내용과 함께 Kentucky 주 내 원자력 에너지 개발 및 관련 문제를 다루는 비규제기관인 KNEDA 설립 내용이 포함됨.
  - Beshear 주지사는 에너지 전략의 일환으로 원자력을 지지한다는 입장을 밝혔으나, 민간 부문의 관계자들이 주지사의 허락 없이 위원들을 임명하는 것을 허용하는 법안의 내용에 비판하면서 권력이 위임될 수 없다고 밝힘.

## ■ 미국 전력사 PSEG, New Jersey 주에 있는 원자로 3기 2차 계속운전 신청 계획 발표

Nucnet 2024.04.04., AP News 2024.04.04., Nuclear Newswire 2024.04.05.

- 2024년 3월 28일 미국 전력사 PSEG Nuclear LLC(이하 'PSEG')는 미 원자력규제위원회(NRC)에 New Jersey 주 Salem County에 있는 Salem 원전 1·2호기(총 2,454MW, PWR)와 Hope Creek 1호기(1,240MW, BWR)의 2차 계속운전 추진 관련 의향서(letter of intent)를 제출했다고 밝힘.
  - 의향서에 따르면 PSEG는 2027년 2분기에 NRC에 원자로 3기의 2차 계속운전 신청서를 제출할 것으로 예상됨.

- PSEG는 NRC에 2009년 8월 18일 Salem 1·2호기와 Hope Creek 1호기의 1차 계속운전을 신청하고 각각 2011년 6월 30일과 2011년 7월 20일에 1차 계속운전 허가를 받음.
  - Salem 1·2호기는 각각 1977년 6월 30일과 1981년 10월 13일에 상업운전을 시작하였으며, Hope Creek 1호기는 1986년 12월 20일에 상업운전을 시작함.
  - NRC의 2차 계속운전 승인 시 Salem 1·2호기와 Hope Creek 1호기는 순서대로 2056년, 2060년, 2066년까지 가동이 가능함.

## ■ 미국 토륨기술 개발 기업 Clean Core, CANDU 원자로용 연료 사전인허가 평가(VDR) 1단계 완료

World Nuclear News 2024.04.10., Nuclear Engineering International 2024.04.11.

- 2024년 4월 11일 미국 토륨기술 개발 기업인 Clean Core Thorium Energy(이하 ‘Clean Core’)는 CANDU 원자로에 사용하기 위해 개발된 ANEEL(Advanced Nuclear Energy for Enriched Life) 연료가 캐나다 원자력안전위원회(CNSC)의 사전인허가 평가단계(pre-licensing phase)인 공급자설계평가(Vendor Design Review, 이하 ‘VDR’)의 3단계 중 설계 요건을 판단하는 1단계를 완료했다고 밝힘.
  - Clean Core에 따르면 ANEEL 연료는 토륨과 우라늄을 함께 사용해 PHWR과 CANDU 원자로에 적용하기 위해 개발되었으며, 설계 변경 없이 현재 사용되는 천연 우라늄(natural uranium) 연료 다발을 ANEEL 연료 다발로 교체해 생애주기비용(life-cycle operating costs)과 방폐물 양을 줄임으로써 안전과 사고 저항성(accident tolerance)을 높일 수 있음.
  - VDR 1단계에는 9개 중점 분야와 관련한 자료 검토가 포함되며, 이는 ANEEL 연료의 인허가 기반과 안전 사례를 구축하는 데 주안점을 두고 있음.
    - ANEEL은 CNSC의 VDR 1단계를 통과한 최초의 토륨 기반 연료임.

주요단신

유럽 Europe



## □ 프랑스 EDF, 원자력 사업 효율성 개선 위한 조직개편 단행

EDF 2024.03.29., Sfen 2024.04.03., Nuclear Engineering International 2024.04.05.

■ 2024년 3월 29일 EDF는 프랑스 정부의 원자력 분야 투자 계획에 따라 자사의 원자력 사업의 효율성 제고를 목적으로 4월 1일부로 기존 2개의 부서(화력·원자력 발전 부 및 엔지니어링·신규 원자력 프로젝트부)를 4개의 부서(department)와 1개의 사업부(division)로 재편한다고 공식 발표함.

- EDF에 따르면, 이번 부서 재편은 기존 원전의 40년 이상 계속운전, 신규 EPR2 건설, NUWARD SMR 등 원전 사업 수행을 위해 자사의 전문 지식과 기술을 분류해 사업 성과를 개선하고 여러 전문성을 가진 직원들 간의 협력(cross-functional) 강화를 목표로 함.
  - 2023년 6월 EDF를 100% 전면 국유화한 프랑스 정부는 EDF에 건설 프로젝트 관리 및 원자력 발전 확대를 최우선 과제로 부여함. 이에 따라 2022년 11월에 취임한 Luc Remont CEO는 원전 발전량 회복을 위해 2개의 기존 원자력 부서를 2024년 초에 5개 부문으로 재편한다는 계획을 발표한 바 있음.
- 이에 따라 4개의 신규 원자력 부서(전략·기술·혁신·개발부, 프로젝트·건설부, 엔지니어링·공급망부, 원자력·화력발전부)와 1개 신규 사업부(산업·서비스 사업부)로 재편됨.
  - ① 전략·기술·혁신·개발부(원전 프로젝트 관리, 글로벌 원자력 사업 수행, 기술)
  - ② 프로젝트·건설부(안전, 품질, 비용, 기한 목표에 맞춰 신규 원자력 프로젝트 관리)
  - ③ 엔지니어링·공급망부(신규·기존 프로젝트 추진 방안과 제품·공정 참고 표준 통합, 품질·비용·납기 요건을 준수한 연구, 기자재, 서비스 제공)
  - ④ 원자력·화력발전부(기존 원전·화력 발전소의 운영, 유지보수, 해체)
  - ⑤ 산업·서비스사업부(원자력 증기 공급계통, 연료, 계측·제어 계통의 설계, 연구, 제조)
- 이와 함께 EDF는 프랑스와 유럽지역을 대상으로 한 3세대 원자로(EPR) 도입 목표를 10년에 1~2기씩에서 연간 2기 도입으로 재설정함.



- 현재 부채(544억 유로(약 80조 원)<sup>2)</sup>)에 허덕이고 flamanville 3호기(EPR) 가동에 차질을 빚고 있는 EDF 상황을 감안할 때 신규 원자로 도입은 쉽지 않은 과제로 평가됨.

## ■ 프랑스 의회, ASN과 IRSN 통합하는 원자력 안전 거버넌스 법안 최종 승인

connaissancedesenergies, Nucnet 2024.04.11., Sfen 2024.04.11./16.

- 2024년 4월 9일 프랑스 의회는 원자력 안전규제기관인 원자력안전청(ASN)과 기술지원기구 역할을 담당해왔던 방사선방호·원자력안전연구소(IRSN)를 통합하는 원자력 안전 거버넌스 법안을 최종 표결을 통해 승인함.
  - 해당 법안은 하원(찬성 340표, 반대 173표)과 상원(찬성 235표, 반대 109표)의 지지로 통과되었으며, 최종 승인을 위해 Macron 대통령에게 전달될 예정임.
    - Agnès Pannier-Runacher 에너지전환부 장관이 각료회의에 제출(2023년 12월 20일) 한 해당 법안은 수정을 거쳐 1차 독회에서 상원 채택(찬성 228표, 반대 98표/2024년 2월 13일), 하원 채택(찬성 260표, 반대 259표/2024년 3월 19일), 공동위원회(CMP)에서 상·하원 최종 문건 합의(2024년 4월 3일)에 이름.
  - 이번 원자력 안전 거버넌스 법안의 채택으로 2025년 1월 1일부로 ASN과 IRSN의 임무를 통합·간소화한 원자력 안전 및 방사선방호청(ASNRF)이라는 독립적인 행정기관이 설립될 예정임.
    - ASN(직원 530명)은 독립 행정기관으로, 정부에 기본 원자력시설(INB)의 운영 허가에 대한 의견을 제시하며, 각 시설에 대한 10년 주기 검사 후 가동 중인 원자로에 대한 운영 허가 갱신 여부를 결정함. ASN은 전용 예산을 투입하는 IRSN의 분석과 의견에 의존함.
    - IRSN(직원 1,740명)은 여러 부처의 감독을 받는 산업·상업적(EPIC) 성격의 공공기관으로, 원자력시설에 대한 통제 조치와 방사선 방호에 대한 연구·작업·교육을 수행함. 특히 근로자와 주민의 건강 또는 환경에 영향을 미칠 수 있는 과도한 방사능 배출 가능성 감지를 위해 영구적인 모니터링을 실시함.

## ■ 영국 원자력규제청(ONR), 신규 원전 사업을 위한 조기 규제 참여 절차 발표

ONR, Nuclear Engineering International 2024.03.28.

- 2024년 3월 26일 영국 원자력규제청(ONR)은 웨일스 환경청(NRW), 영국 환경청(EA)과 협력해

2) 유럽 단신 기사 내용 모두 2024년 4월 19일 환율 기준 적용(1유로=1,475원, 1파운드=1,723원, 1즈워티=340원)

일반설계평가(GDA)에 앞서 신규 원전 도입을 희망하는 원자로 공급업체, 사업자, 기타 이해관계자들을 대상으로 한 조기 규제 참여 절차를 발표함.

- 조기 규제 참여 절차는 원자로 공급업체(SMR · AMR 포함)가 공식 규제 절차에 앞서 규제 조언과 지침을 제공 받아 후속 단계에서 발생할 수 있는 위험을 줄이는 한편, 규제 당국이 사업자의 상황을 파악해 규제 자원의 우선순위를 지정 · 관리하도록 지원함.
- 조기 규제 참여 방식은 총 3단계인 ① 일일 참여(One day engagement), ② 규제 절차 및 기술 참여(Regulatory process and technical engagements), ③ 예비 설계 검토(Preliminary design review)로 이루어짐.
  - ① 일일 참여: 규제 기관이 영국의 규제 체계(GDA, 인허가, 승인 체계 개요) 및 활용 방안과 위험과 기회를 설명하는 단일 이벤트(대면 회의 형식으로 심층 이해를 위한 정보 교환)
  - ② 규제 절차 및 기술 참여: 신청자와 규제 기관이 합의할 관심 주제(기술 설계 개요 및 주요 특징, 안전성 분석 등)에 대해 논의하며, 일일 참여를 토대로 특정 관심 사항 설명(최대 10회의 워크숍 개최, 각 2~4시간 소요)
  - ③ 예비 설계 검토: 신청자가 규제 기관과 합의한 관심 주제에 관한 보고서를 토대로 설계 측면에 대한 기술 검토(최대 6개의 규제 관련 보고서 검토)

## ■ X-energy와 Cavendish Nuclear, 영국 정부로부터 약 58억 원 규모의 지원금 확보

World Nuclear News 2024.04.04., NuclearNewswire 2024.04.05.

- 2024년 4월 4일 미국 X-energy UK Holdings와 영국 Cavendish Nuclear는 영국 내 최대 40기의 Xe-100 고온가스냉각로(200MWt/80MWe, HTGR) 도입 계획과 관련해 영국 정부가 조성한 미래원자력활성화기금(Future Nuclear Enabling Fund, FNEF)에서 334만 파운드(약 58억 원)를 지원받았다고 발표함.

※ X-energy UK Holdings는 미국 SMR 개발업체인 X-Energy Reactor Company가 전액 출자한 자회사이며, Cavendish Nuclear는 영국 방위산업체인 Babcock International이 전액 출자한 자회사임.

- X-Energy UK Holdings는 Xe-100 AMR의 일반설계평가(GDA)와 공급망 개발 지원을 목적으로 영국 정부에 FNEF을 신청한 바 있음.
  - 2022년 5월 조성된 1.2억 파운드(약 2,072억 원) 규모의 FNEF는 신규 원자력 프로젝트 추진 가속화를 지원하는 정부 기금으로, 원자력 업계가 프로젝트 위험을 줄여 향후 최종 투자 결정을 내릴 수 있도록 보조금을 지원함.

- X-Energy UK Holdings는 영국 정부 지원금 금액과 동일한 334만 파운드(약 58억 원)를 매칭하여 총 668만 파운드(약 115억 원)를 영국 내 제조 및 공급망 기회 평가, 시공성 및 모듈화 연구, 핵연료 관리 등 HTGR 도입 계획 개발에 사용할 예정임.
  - 같은 날 두 업체는 시공성과 공급망 분석을 위해 영국의 건설 및 인프라 서비스 제공 기업인 Kier Group와 파트너십 체결을 발표함.
- X-energy와 Cavendish Nuclear는 2030년대 초까지 Hartlepool 부지(잉글랜드 북동부) 인근에 12기로 구성된 발전소 건설을 계획하고 있으며, 장기적으로는 최대 40기의 Xe-100 건설을 통해 3,200MW 규모의 전력 및 8,000MW 규모의 다목적 고온 열 및 증기 공급을 목표로 하고 있음.

## ■ 체코 ČEZ, EDF 요청으로 Dukovany 신규 원전 입찰서 접수 기한 연장

ct24.ceskatelevize.cz 2024.04.04., Nuclear Engineering International 2024.04.05.

- 체코 국영기업 ČEZ는 입찰 후보업체인 EDF의 요청으로 Dukovany 5호기를 포함한 최대 4기의 원자로(Dukovany 6호기 및 Temelin 3·4호기) 건설을 위한 구속력 있는 입찰서 접수 기한을 당초 계획한 4월 15일에서 30일로 2주 연장했다고 밝힘.
  - ČEZ는 EDF가 내부 승인 절차로 인해 입찰서 제출 기한 연장을 요청했으며, 기간 연장이 프로젝트 일정(Dukovany 5호기 2029년 착공, 2036년 가동)에 영향을 미치지 않을 것으로 판단해 이를 승인했다고 밝힘.
    - ČEZ는 과거에도 입찰 참가 기업의 요청으로 입찰서 제출 기간연장을 승인한 바 있다고 밝히며, 자사의 목표는 후보업체로부터 최상의 조건을 갖춘 구속력 있는 입찰서를 받는 것이라고 덧붙임.
    - ČEZ는 오는 6월 15일까지 입찰 평가서를 체코 정부에 제출할 예정이며, 체코 정부는 한달 간의 검토를 통해 해당 평가서에 대한 의견을 제시할 예정임.
  - 체코 산업·무역부에 따르면 신규 원전 건설은 체코 기업의 참여 여부가 낙찰자 결정에 중요한 요소로 작용할 전망이다.
    - EDF와 한국수력원자력은 신규 원전 프로젝트에 대한 체코 기업의 참여율 최대 65%가 가능하다고 밝힘. 현재 체코 기업 ZAT는 입찰 기간 동안 EDF 및 한국수력원자력과 접촉해 제어 시스템 제공 서비스를 통한 체코 신규 원전 건설 참여 의사를 표명함.

## ■ Westinghouse, 폴란드 최초 원전 건설 관련 현지 공급업체 선정 및 경제적 효과 추정결과 발표

money.pl 2024.04.09., World Nuclear News 2024.04.10., Uxweekly 2024.04.15.

- 2024년 4월 9일 Westinghouse는 폴란드 Lubiatowo-Kopalino 최초 원전 프로젝트를 추진을 위해 7개의 폴란드 공급업체를 선정하는 동시에, 6기의 AP1000 PWR 도입에 따른 경제적 효과를 설명한 글로벌 회계컨설팅 기업인 PricewaterhouseCoopers LLC(PwC)의 보고서(The Economic Impact of a Westinghouse AP1000 Reactor Project in Poland)를 공개함.
  - Westinghouse는 지난 2년간 Betchel과 함께 폴란드 공급망 구축 작업을 진행해왔으며, 이에 따라 개별 모듈 작업을 즉시 시작할 수 있는 7개의 폴란드 업체를 최종 선정했다고 밝힘.
    - 상기 7개 업체는 Polimex Mostostal Siedlce(철 구조물 제조업체), Baltic Operator(항만 또는 발전소용 철 구조물 생산·재하역 부품 제조업체), Mostostal Kielce(인프라 건설 전문업체), Mostostal Krakow(철 구조물 생산·조립업체), ZKS Ferrum(용접 구조물 제조업체), Famak(재장전 부품 생산업체), Energomontaz-Polnoc Gdynia(원전용 철 구조물 생산업체)임.
    - Westinghouse에 따르면, 공급업체 선정 절차는 1차 계통에 적용되는 품질 보증 요건을 고려해 투명하고 경쟁적인 방식으로 진행되었음. 선정된 업체들은 폴란드를 비롯해 불가리아·우크라이나 등 기타 유럽 프로젝트에 참여 기회가 주어짐.
  - 한편, PwC의 보고서는 AP1000 6기의 제조·엔지니어링·건설 단계에서 GDP 1,183억 PLN(약 40조 원) 이상의 경제적 효과 유발과 12만 명 이상의 직접 고용 창출을 전망함.
    - AP1000 프로젝트와 관련된 일자리, 국내총생산(GDP), 노동 소득, 세수를 평가하였으며, 해당 프로젝트가 기술, 훈련·개발, 지역 산업 클러스터 지원, 폴란드 기후 목표 달성, 안전 표준 준수 등에 미치는 영향에 중점을 둠.

## ■ 스위스 방폐물 전담기관 Nagra, 심지층처분시설 전담 자회사 설립 예정

Uxweekly 2024.04.05., Nuclear Engineering International 2024.04.10.

- 스위스 방사성폐기물 전담기관 Nagra는 심지층처분시설(DGR)과 사용후핵연료·고준위방폐물 밀봉처리시설의 건설·운영을 담당할 2개의 자회사(Nagra gTL AG, Nagra BEVA AG) 설립 계획을 발표함.

- Nagra가 100% 출자하는 공개 유한회사(publicly limited companies)인 Nagra gTL AG와 Nagra BEVA AG는 각각 DGR과 사용후핵연료·고준위방폐물 밀봉처리시설을 담당할 예정임.
  - Nagra는 두 자회사 설립을 2024년 중반까지 완료할 예정이며, 두 자회사는 향후 몇 년 동안만 한시적으로 운영될 예정임.
  - Nagra는 올 가을에 DGR과 사용후핵연료·고준위방폐물 밀봉처리시설에 대한 일반 인허가신청서를 스위스 연방에너지국(SFOE)에 제출할 예정임.
- 2022년 9월 Nagra는 독일 국경 인근의 북부 지역인 Nördlich Lägern를 DGR 부지로 선정하였고, Würenlingen에 소재한 Zwiilag 중앙 집중식 저장시설에 사용후핵연료·고준위방폐물 밀봉처리시설 건설을 계획한 바 있음.
  - 현재, 스위스의 고준위 방사성폐기물은 대부분 Zwiilag 중앙 집중식 저장시설에, 일부는 Beznau 원전에 보관 중임.

## 기타 단신

### ■ 영국, 핵 역지력 관련 방산부문 약 3,447억 원 투입 및 인력양성 위한 민간 투자 조성 계획

Gov.UK 2024.03.25., Nuclear Engineering International 2024.03.27., NuclearNewswire 2024.04.02.

- 2024년 3월 25일 Rishi Sunak 영국 총리는 핵 역지력 강화와 민간 원자력 산업 지원을 목적으로 2억 파운드(약 3,447억 원) 규모의 공적 자금 투입 계획을 발표하며, 2030년까지 4만 개의 신규 일자리 창출을 목표로 제시함.
  - 이에 따라, 영국 정부는 Astute·Dreadnought급 핵추진 잠수함의 본거지인 Barrow-in-Furness(잉글랜드 북서부 컴브리아주에 속한 도시)에 10년간 2억 파운드(약 3,447억 원) 이상을 투입해 일자리, 주택, 교통망 등 인프라 시설을 확충할 계획임.

- 또한 영국 정부는 방산업체인 BAE Systems · Rolls-Royce · Babcock 및 EDF와 민관 협력을 통해 2030년까지 차세대 원자력 전문가 양성을 위한 기술 · 일자리 · 교육에 최소 7억 6,300만 파운드(약 1.3조 원)(정부 자금 3억 5천만 파운드(약 6,035억 원) · 산업계 자금 4억 1,300만 파운드(약 7,121억 원))를 투자할 예정이라고 밝힘.
  - 영국 정부는 이를 통해 8천개 이상의 일자리 창출, 원전 견습생 · 졸업생 수 2배 증가, 전문 과학 · 핵분열 박사 학위 수 4배 증가를 계획함.

## ■ 영국 SMR 개발사 Newcleo, 프랑스 내 납냉각고속로 도입 위해 CEA와 파트너십 협약 체결

Uxweekly 2024.04.15., Nuclear Engineering International 2024.04.09./11.

- 2024년 4월 9일 영국 SMR 개발사 Newcleo는 프랑스 내 납냉각고속로(Lead-Cooled Fast Neutron Reactor, LFR) 도입을 위해 프랑스 원자력·대체에너지 위원회(French Alternative Energies and Atomic Energy Commission, CEA)와 LFR 개발 파트너십 협약을 체결함.
  - Newcleo에 따르면, 이번 파트너십 협약은 프랑스 내 LFR 개발 · 도입 관련 시나리오 개발, 연료 자격인증, 계산 방식, 재료, 계측 · 제어 등에 중점을 두고 있음.
    - Newcleo는 “프랑스 2030” 투자 계획의 일환으로 프랑스 정부가 주관하는 혁신적 원자로 프로젝트 공모에 선정(2023년 12월)되어, 2030년까지 프랑스 내 30MW 규모의 소형 LFR 실증로(LFR 30) 및 혼합산화물(MOX) 연료제조시설 구축을 계획 중으로, Newcleo에 따르면 두 프로젝트에 총 30억 유로(약 4.4조 원)가 투입될 예정임.
  - 한편, 올해 4월 초 영국원자력산업협회(NIA)는 2033년까지 영국 내에 Newcleo의 최초의 상업용 납냉각고속로(LFR-AS-200) 도입과 관련한 사업 정당화 결정(justification decision) 신청서를 영국 정부에 제출하였음.
    - 정당화 결정은 전리 방사선(ionising radiation)과 관련된 신규 사업 전에 정부 결정을 요구하는 규제 과정으로, 향후 진행될 규제 절차의 전단계로서 허가나 승인의 성격은 아님.

## ■ 핀란드 SMR 개발사, TVO와 지역난방용 SMR 발전소 개발 협력 협정 체결

World Nuclear News, TVO 2024.04.11.

- 2024년 4월 11일 핀란드 LDR-50 SMR 개발사인 Steady Energy는 컨설팅 기업인 TVO

## Nuclear Services(TVONS)와 운영·안전성 계획에 중점을 둔 지역난방용 SMR 발전소(열 출력 50MW) 개발을 위한 협력 협정을 체결함.

※ TVONS는 Olkiluoto 원전 소유주인 핀란드 전력사 TVO가 전액 출자한 컨설팅 회사임.

- 이번 협정을 통해 Steady Energy는 TVO로부터 원전 프로젝트에 대한 계획·실행은 물론 운영·정비·수명 관리에 대한 전문 지식을 전수받게 됨.
- 2023년 핀란드 VTT 국가기술연구센터에서 분사한 Steady Energy는 2030년까지 자국 내 지역난방용 LDR-50 SMR 건설을 목표로 하고 있음.
- 2020년부터 VTT에서 개발 중인 LDR-50 지역난방용 SMR의 운전온도와 압력은 약 150℃, 145psi 미만임. 해당 원자로 모듈은 이중 압력용기로 구성되며 두 압력용기 사이의 공간에 일정 부분 채워진 물이 보조적인 피동 열전달 경로를 구성함.

주요단신

아시아 Asia

아  
시  
아

## ■ 한국, 신한울 2호기 상업운전 시작

한수원 보도자료 2024.04.08., World Nuclear News 2024.04.08., Nuclear Engineering International 2024.04.10.

- 2024년 4월 8일 한국수력원자력(이하 ‘한수원’)은 국내 자체 기술로 개발한 APR-1400 원자로를 적용한 신한울 원전 2호기(1,400MW, PWR)가 7개월간의 시운전을 마치고 4월 5일에 상업운전을 시작했다고 발표함.
  - 신한울 2호기는 2023년 9월 7일 원자력안전위원회로부터 운영허가를 받은 후 연료를 장전하고 단계별 출력상승시험과 원자로 및 터빈발전기의 성능시험을 통해 최종 안전성을 확인함.
    - 해당 원자로는 2013년 6월 19일 착공하여 2023년 12월 6일 최초임계 달성 후 같은 해 12월 21일 전력망에 연결됨.
  - 한편, APR-1400 노형인 새울 1·2호기(총 2,979, PWR)와 신한울 1호기(1,455MW, PWR)가 현재 운영 중이며, 추가로 새울 3·4호기(총 2,800MW, PWR)는 건설 중, 신한울 3·4호기는 건설될 예정임.

## ■ 중국, Fangchenggang 원전 4호기 최초임계 달성 후 전력망 연결

World Nuclear News 2024.04.09., 2024.04.11., Nucnet 2024.04.10.

- 2024년 4월 3일 중국 CGN은 Guanxi 성에 위치한 Fangchenggang 4호기(1,180MW, PWR)가 최초임계에 달성했으며, 4월 9일 전력망에 연결되었다고 발표함.
  - Fangchenggang 4호기는 중국 CGN이 건설 중인 Hualong one(HPR1000)의 실증로 두 기종 두 번째 원자로로 2016년 12월 23일에 착공함.
    - 중국 국가원자력안전청(China's National Nuclear Safety Administration, NNSA)이 2024년 2월 27일 Fangchenggang 4호기의 운영허가를 발급하였으며, 연료장전은 2024년 3월 2일에 완료됨.



- Fangchenggang 3·4호기는 CGN이 61%, Guangxi Investment Group이 39%의 지분을 소유하고 있음.
- CGN은 Fangchenggang 4호기의 상업운전 시작 전 원자로의 다양한 성능을 추가로 검증하기 위해 후속 절차가 진행될 것이며, 2024년 상반기에 상업운전이 시작될 예정이라고 언급함.
- Fangchenggang 원전은 총 6기로 구성되며 1·2호기(총 2,172MW, PWR)는 CPR-1000, 3·4·5·6호기(총 4,720MW, PWR)는 HPR1000 노형을 적용함.
- Fangchenggang 1·2·3호기는 각각 2016년 1월 1일, 2016년 10월 1일, 2023년 3월 25일에 상업운전을 시작했으며, 5·6호기는 건설을 계획 중임.

## ■ 중국, 4세대 원전 Shidaowan 고온가스냉각로 열수송망 연결된 후 가동 시작

World Nuclear News 2024.04.02., Nucnet 2024.04.04.

- 2024년 4월 2일 중국 국영 전력사 Huaneng은 Shandong 성에 위치한 4세대 원전인 Shidaowan 고온가스냉각로(HTR-PM)를 활용해 원자력 난방 열을 생산하는 프로젝트가 열수송망(heating grid)에 연결된 후 가동을 시작했다고 발표함.
  - 해당 프로젝트는 발전소의 증기 시스템에서 추출한 고온의 증기로 열 교환기(heat exchanger)에서 물을 가열하고, 고온의 물이 열교환소(heat exchange station)로 흘러가 2차 열교환(secondary heat exchange)을 거쳐 주거용 난방열(residential heating)이 됨.
  - Huaneng은 원자력 난방 생산 프로젝트로 인해 매년 겨울 3,700톤의 석탄 대체와 함께 6,700톤의 이산화탄소 배출량을 감축하고, 1,850가구의 난방 수요를 충족할 수 있다고 언급함.
    - Huaneng에 따르면 열수송관(heating pipeline)은 2024년 3월 22일에 완공되어, 같은 해 3월 27일 열수송망에 연결됨.
    - Shidaowan 1호기(211MW, HTGR)는 2001년 프로젝트에 착수해 2012년 12월 9일 착공, 2021년 9월 12일 최초임계 도달을 거쳐, 같은 해 12월 14일 전력망에 연결된 이후 2023년 12월 6일 상업운전을 시작함.
      - HTR-PM은 210MW 규모의 증기터빈 구동을 위해 100MW의 HTR-PM 원자로 2기로 구성되며 냉각재로 헬륨을, 감속재로 흑연을 사용함.

## ■ 일본 도쿄전력,가시와자키 가리와 7호기 이례적으로 재가동 준비 서둘러 …원자로 가동 직전까지만 검사 우선 진행

세계원전시장 인사이트 2021.04.30., 東京電力 ‘使用前事業者検査について’ 2020.08.08.,  
東京電力 ‘使用前事業者検査に係る工事の工程について’ 2024.03.28.,  
東京電力 ‘柏崎刈羽原子力発電所 7 号機に係る試験使用の承認について’ 2024.04.15., 東京新聞 2024.04.15.,  
朝日新聞 2024.04.15./04.16., 電気新聞 2024.04.16., 毎日新聞 2024.04.16./04.18.

■ 일본 도쿄전력은 4월 15일 가시와자키 가리와 7호기(1,356MW, ABWR)의 연료 장전부터 시운전을 위한 원자로 가동 직전 단계까지 설비의 건전성을 확인하는 ‘사용전사업자검사’ 절차의 일환으로 연료 장전을 시작함.

- 사용전사업자검사\*는 신규제 기준 적합성심사를 모두 통과한 후 진행되는 재가동을 위한 후속 절차로 도쿄전력은 3월 28일 규제위에 검사 관련 신청서를 제출하여 4월 15일 승인받았음.

- 가시와자키 가리와 7호기는 후쿠시마 사고 후인 2011년 8월 운전 정지함. 도쿄전력이 2013년 9월 적합성 심사를 신청했고, 2020년 10월 적합성 심사를 모두 통과함.

※ 사용전사업자검사는 사업자가 주체가 되어 설비 건전성 확인을 진행하므로, 해당 기간 중에는 일정 빈도로 규제위가 확인·감시하는 별도의 검사를 받게 됨.

- 도쿄전력은 약 2주간에 걸쳐 연료 872다발을 모두 장전한 후 물이 담긴 압력용기의 누출 발생 여부와 원자로의 출력을 조절하는 제어봉의 정상 작동 여부 등을 확인할 예정임.

- 도쿄전력은 이번 검사가 ‘시운전을 위한 원자로 가동’ 직전까지만 진행하며 재가동 시기는 미정이라고 밝힘.

- 시운전을 위한 원자로 가동은 지역의 재가동 동의 후 진행하고, 동의가 없을 시에는 원자로에 연료가 장전된 상태를 유지함.

■ 한편, 일본 언론은 도쿄전력이 서둘러 ‘시운전을 위한 원자로 가동’ 직전까지만 재가동 절차를 진행하는 방식이 이례적이며 지역이 재가동에 동의하면 신속히 원자로를 가동해 경영 실적을 개선하기 위한 행보로 분석함.

- 도쿄신문은 지금까지 재가동한 6개 원전에서 지역의 재가동 동의 후 검사를 진행했고, 검사 범위도 연료 장전 후 제어봉을 인출하는 ‘시운전을 위한 원자로 가동’까지 포함해 그대로 상업 운전을 시작했다며 이례적인 강행이라고 보도함.

- 마이니치신문은 도쿄전력에 따르면 가시와자키 가리왕원전이 재가동할 시 1기 당 약 1,100억 엔(약 9,827억 원)<sup>3)</sup>의 수익 개선 효과가 있다며, 1기 약 1,100억 엔의 수익 개선 효과는 도쿄전력 입장에서 가치가 크다고 분석함.
- 아사히신문은 2024년 이내 재가동을 목표로 하는 주코쿠전력의 시마네 2호기(820MW, BWR), 도호쿠전력의 오나가와 2호기(825MW, BWR)가 지역의 재가동 동의를 받았지만 연료는 장전하지 않았으며 이례적 행보의 이유에 대해 “동의 후 신속히 가동해 경영 재건으로 삼기 위해서”라는 도쿄전력 관계자의 의견으로 대신함.

## ▣ 일본 대법원, 후쿠시마 사고 국가 배상 책임 불인정

朝日新聞, 時事通信, 毎日新聞, NHK 2024.04.11.

- 일본 대법원은 4월 10일 후쿠시마현 이와키시 주민 등 1,300명이 후쿠시마 원전 사고로 겪은 정신적 고통을 이유로 국가와 도쿄전력에 약 13억 5천만 엔(약 120.6억 원)의 손해배상을 제기한 소송에 대하여 국가의 배상 책임을 인정하지 않은 센다이고등법원의 2심 판결을 확정함.
  - 2021년 후쿠시마 이와키지원은 1심에서 국가가 도쿄전력에 지진해일 대책을 세우도록 명하지 않은 것은 위법이라며 국가, 도쿄전력 양측에 총 약 2억 엔(약 17.8억 원)의 배상을 명함.
  - 하지만 2022년 항소심인 센다이고법 판결에서 도쿄전력에 약 3억 3천만 엔(약 29.4억 원)의 배상을 명했지만, 국가의 배상 책임은 인정하지 않아 주민 측이 국가의 배상 책임에 대해서만 대법원에 상고함.
    - 고법은 국가가 원전 사고 발생까지 적절한 권한을 행사 하지 않았다는 책임은 중대하지만, 국가가 필요한 조치를 했으면 사고를 반드시 방지할 수 있었다고 단정할 수는 없다며 국가의 배상 책임을 인정하지 않았음.
  - 대법원에서는 상고가 가능한 이유에 해당하는 헌법 위반 등의 사안이 없다며 원고 측의 상고를 기각해 센다이고법의 2심 판결을 확정함.
  - 후쿠시마 사고와 관련해 2022년 6월 동종 소송에서 대법원이 도쿄전력의 배상 책임은 인정하고 정부의 책임은 인정하지 않은 이후 재차 동종 소송이 대법원에서 확정되는 것은 이번이 처음임.

3) 일본 단신 기사 내용 모두 2024년 4월 18일 환율 기준 적용(100엔= 893원)

## ■ 방글라데시 총리, Rosatom CEO와 Rooppur 원전 부지에 2기 원자로 추가 건설 논의

World Nuclear News 2024.04.03., The Daily Star 2024.04.03., Bdnews24.com 2024.04.03., Nuclear Engineering International 2024.04.04.

- 2024년 4월 2일 방글라데시 Sheikh Hasina 총리는 Ganabhaban에서 Rosatom Alexey Likhachev CEO와의 회담 후 건설 중인 Rooppur 원전(총 2,400MW, PWR 2기) 부지에 2기의 원자로 추가 건설을 위한 신규 프로젝트 논의를 했다고 밝힘.
  - 이번 회의에서 Hasina 총리는 2기의 원자로 추가 건설 프로젝트 진행 전에 기술 조사가 필요할 것이며, 신규 2기의 원자로는 기존에 건설 중인 Rooppur 원전 1·2호기의 프로젝트 완료 후 시작할 계획임을 언급함.
    - Hasina 총리에 따르면 현재 Rooppur 원전의 건설 작업이 85% 완료되었으며, 2025년에 상업 운전을 시작할 계획임.
    - 1호기는 2017년 11월 30일에 착공했으며, 2호기는 2018년 7월 14일에 착공함.

## ■ 인도 원자력위원회, 2047년 원전 설비용량 100GW 비전 담은 보고서 발표

The Economic Times 2024.04.03., Nucnet 2024.04.05.

- 2024년 4월 3일 인도 원자력위원회의 Ajit Kumar Mohanty 위원장은 2047년까지 자국의 원전 설비용량을 100GW로 늘리는 계획이 포함된 ‘인도의 탄소중립 가능성을 위한 에너지 전환 보고서 (Synchronising Energy Transitions Towards Possible Net Zero for India)’를 발표함.
  - 해당 보고서에는 인도가 향후 30년 이내에 석탄발전의 단계적 감축 계획과 함께 재생 에너지 통합 지원을 위해 전력망 인프라 구축 및 원자력과 같은 대체 에너지원의 적절한 인프라 개발이 필요하다는 내용이 포함됨.
    - Mohanty 위원장은 100GW 원전 설비용량 확대와 관련하여 고속증식로(Prototype Fast Breeder Reactor, PFBR)에서 3GW, 경수로 17.6GW, PHWR이 40-45GW 규모를 차지할 것이라고 전망함.

- 2024년 2월 인도 원자력공사(NPCIL)는 2032년까지 원전 설비용량을 22.4GW로 확대한다는 목표를 제시한 바 있음.

## ■ 일본 이바라키현, 원전 사고에 대비한 방재 앱 운용 시작

日本經濟新聞 2024.04.02., NHK 2024.04.03., 朝日新聞 2024.04.13.

- 일본 광역자치체인 이바라키현은 현 내 도카이 제2 원전(1,100MW, BWR)의 중대사고 발생에 대비해 주민들에게 거주지에 따라 맞춤형 대피 경로와 대피처를 신속히 안내하고 10분마다 현 내 각 지역 공간 선량을 알려주는 전용 앱인 ‘이바라키원자력방재앱’ 운영을 시작함.
  - 원전 반경 5km 내의 주민은 즉시 대피하지만, 5km 밖의 주민은 우선 실내 대피하는 등 거주지에 따라 대피처와 대피 경로가 상이함.
  - 앱 개발 사업비는 약 2,500만 엔(약 2.2억 원)으로 정부 교부금을 전액 활용함.

## ■ 미·영·일 원전 활용 설문 동시 조사 결과, 일본은 찬반 의사 밝히지 않는 비중 많아

読売新聞 2024.03.31.

- 3월 31일 요미우리신문은 일본 나가오카 기술과학대학교의 야마가타 히로시 교수가 미·영·일 3개국에서 원전 관련 여론 조사를 동시에 실시한 결과, 일본에서는 원전 활용에 대한 찬반 의사를 밝히지 않는 경우가 많고 이러한 현상은 청년층일수록 더욱 심했다고 보도함.
  - 기존 원전의 이용과 원전 신설에 대해 찬반을 묻는 문항 모두 ‘어느 쪽이라 말할 수 없다’를 답변한 일본인의 비중은 40%로 미·영의 약 2배에 해당하는 수치였음. 기존 원전 이용에 대해 찬반 의사를 밝히지 않은 비중은 70대 이상에서 28%, 50대에서는 42%, 20대에서는 48%이었음.
  - 지금까지 원전 관련 여론 조사는 국가별로 시행되어 서로 간 결과 비교가 불가능했던 것과 달리 야마가타 교수는 2023년 2월 미·영·일에서 15세부터 99세까지 일본 2,600명, 미·영 각 1,300명을 대상으로 동일한 설문 조사를 시행해 최근 그 비교 결과를 발표함.

## ■ IAEA, 일본 가시와자키 가리와 원전 방호 대책 개선 여부 확인

東京新聞 2024.04.02.

- 4월 2일 IAEA 전문가팀은 도쿄전력의 의뢰로 3월 25일부터 시작한 가시와자키 가리와 원전 (총 7기, 총 8,212MW, BWR)의 보안 대책 개선 상황 조사를 마쳤으며, 조사 결과 핵물질 방호 시스템이 개선된 것을 확인할 수 있었다고 평가함.
  - 조사는 원전 설비 확인과 핵물질 방호 담당자를 대상으로 한 청취 조사 등으로 진행됨.
  - 향후 IAEA 전문가팀은 해당 조사와 관련된 보고서를 정리해 도쿄전력에 제출할 예정임.

## ■ 일본 도쿄전력, 2024년도 후쿠시마 오염수의 1차 해양 방류 시작

日本經濟新聞 2024.04.17., 東京新聞 2024.04.19.

- 일본 도쿄전력은 2024년도(2024.4~2025.3) 후쿠시마 제1원전 오염수 1차 해양 방류를 4월 19일 시작했으며 5월 7일까지 약 7,800톤 방류할 예정임.
  - 도쿄전력은 2024년도에 7회에 걸쳐 총 5만 4,600톤의 오염수를 방류할 계획임.
    - 2023년도 오염수 해양 방류는 8월 24일부터 4번에 걸쳐 총 3만 1,145톤을 방류함.

World Nuclear Power Market  
**INSIGHT**



**세계원전시장  
인사이드**