

2023 한국원자력학회

# 춘계학술발표회

## 원자력, 다시 보기

Rethinking Nuclear Power in Korea



- I. 환경 변화
- II. 글로벌 동향
- III. 국내 원자력 다시 보기

# 01. 환경 변화

## I. 환경 변화

### 탄소중립과 에너지 안보 필요성 증대에 따라 원자력의 역할 재부각

#### Climate Change Is Speeding Toward Catastrophe. The Next Decade Is Crucial, U.N. Panel Says. (COP27, '22.11.)

A new report says it is still possible to hold global warming to relatively safe levels, but doing so will require global cooperation, billions of dollars and big changes.



#### Energy security, not climate change, is driving clean energy investment, IEA chief says ('22.10.)

PUBLISHED THU, OCT 27 2022-6:24 AM EDT | UPDATED THU, OCT 27 2022-9:17 AM EDT

Anmar Frangoul

##### KEY POINTS

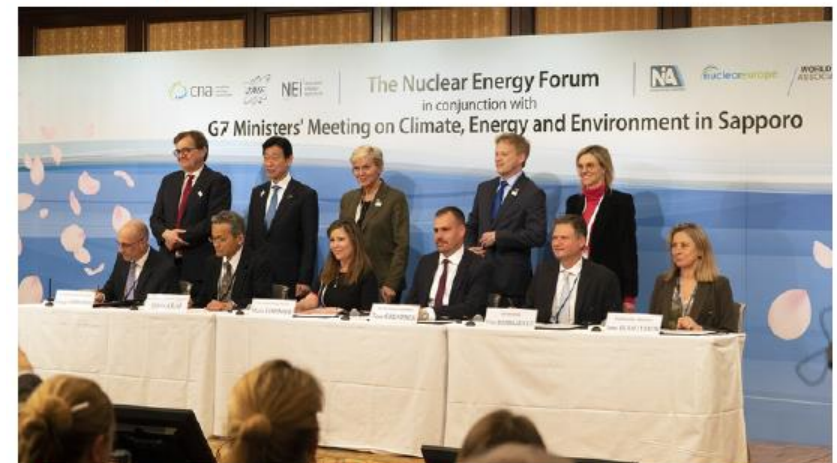
- The newest edition of the IEA's World Energy Outlook comes at a time of significant uncertainty and volatility in global energy markets.
- According to Fatih Birol, the IEA's executive director, the changes taking place appear to be seismic ones.
- "Energy markets and policies have changed as a result of Russia's invasion of Ukraine, not just for the time being, but for decades to come," he says.

Source: 언론기사(New York Times, 2023.3.20 / CNBC, 2022.10.27 / WNN, 2023.4.17)

#### Nuclear leaders issue call for action from G7 ('23.4.)

17 April 2023

World Nuclear Association and nuclear trade associations from Canada, Japan, Europe, the UK and the USA have issued a declaration calling on G7 governments to support the long-term operation of existing nuclear power plants and to accelerate the deployment of new nuclear power plants.



The declaration was signed by the leaders of the trade associations, watched by the ministers from Canada, Japan, the USA, France and the UK during a first-of-its-kind industrial forum (Image: World Nuclear Association)

The declaration was issued at the Nuclear Energy Forum, held in Sapporo, Japan, alongside the meeting of G7 ministers on climate, energy and environment which took place on 15-16 April. It was signed by the leaders of World Nuclear Association, the Canadian Nuclear Association (CNA), Japan Atomic Industrial Forum (JAIF), nucleareurope, Nuclear Energy Institute (NEI) of the USA and the UK's and Nuclear Industry Association (NIA), watched by ministers from five G7 nations.

## 02. 유럽 동향

### II. 글로벌 동향

## 유럽의 주요국은 환경변화를 고려하여 원전을 중심으로 한 에너지 정책 수립 중

### European Parliament backs nuclear and gas in EU taxonomy

06 July 2022

(‘22.7.)

The proposed inclusion of certain nuclear and gas activities within the European Union's list of officially approved "green" investments is set to become law after an attempt to block it fails in the European Parliament.



MEPs voted in parliament on Wednesday (Image: European Parliament)

The vote to object to the European Commission's taxonomy plan required the backing of a majority of all MEPs - so 353 of the 705 MEPs - with speculation in the run-up to the vote that the result would be too close to call.

### UK government takes 50% stake, confirms backing for Sizewell C (‘22.11.)

29 November 2022

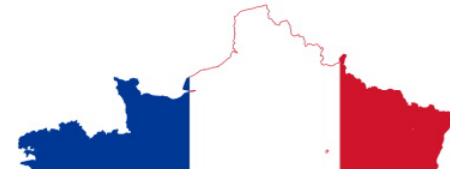
The UK is to invest GBP679 million (USD815 million) and become a 50% partner with EDF in the Sizewell C nuclear project. The money "allows for China General Nuclear's exit from the project, including buy-out costs, any tax due and commercial arrangements".

Source: 언론기사(WNN, 2022.7.6 / WNN, 2022.11.29 / WNN, 2023.2.6 / Reuters, 2023.2.27 - photo from Financial Times)

### French ministerial council prepares for nuclear revival (‘23.2.)

06 February 2023

The Nuclear Policy Council (*Conseil de Politique Nucléaire, CPN*) - headed by President Emmanuel Macron - met on 3 February to "take stock of the entire French nuclear dossier, both in the short and long-term". The council has called for a new skills development programme, as well as studies into how radioactive waste will be managed, in order for a nuclear new-build programme to be launched.



### France seeks pro-nuclear alliance for EU energy talks (‘23.2.)

By Kate Abnett ▾



STOCKHOLM, Feb 27 (Reuters) - France is planning a meeting on Tuesday with 12 other European Union countries, with the aim of building an alliance of states to advocate for nuclear power in EU energy policies.



## 03. 미국 동향

### II. 글로벌 동향

## 미국은 다양한 원자력 지원 프로그램을 도입하여 원자력 중심의 탄소중립 이행 계획

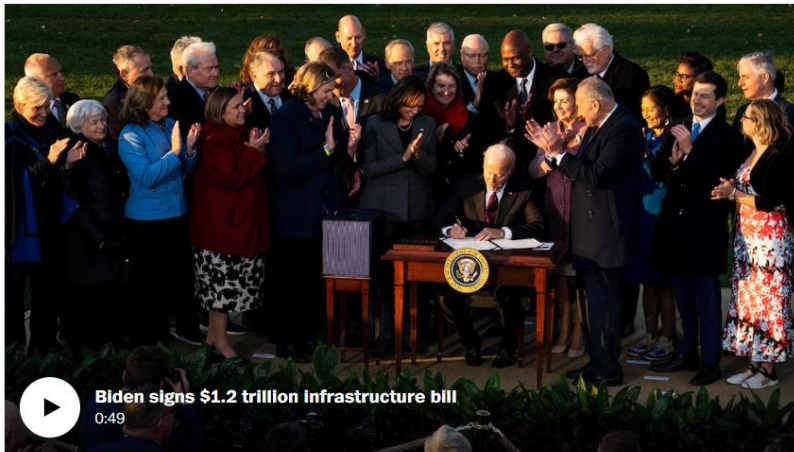
### Biden signs \$1.2 trillion infrastructure bill, fulfilling campaign promise and notching achievement that eluded Trump

By Seung Min Kim, Felicia Sonmez and Amy B. Wang  
November 15, 2021 at 8:51 p.m. EST

(‘21.11.)

원자력  
지원 내용  
(인플레이션  
감축법)

- (운영원전) 기존 운영원전 대상 청정전력생산세액공제<sup>3)</sup> 제공 (9년간)
- (신규원전) '25년 부터 가동되는 원전 세액공제 혜택
- (연구개발/인프라) 연료개발 및 국립 연구소 지원
- (지원규모) 의료, 청정에너지, 세제개선 관련 등 총 7,370억 달러 예산 지원 ('22.8월 대통령 서명)



On Nov. 15, President Biden signed the bipartisan measure, which aims to improve the nation's roads, bridges, ports and Internet access.  
(Video: The Washington Post, Photo: Demetrius Freeman/The Washington Post/The Washington Post)

원자력  
지원 내용  
(인프라투자  
및 일자리법)

- (ARDP<sup>1)</sup>) 선진원자로 실증프로그램 약 25억 달러 지원
- (CNC<sup>2)</sup>) 경제성 문제로 조기폐쇄 위기에 처한 미국 상업용 원전에 보조금 지원

### A new era for nuclear energy post Inflation Reduction Act ('22.12.)

By Ryan K. Lighty, Esq., and Kirstin Gibbs, Esq., Morgan, Lewis & Bockius LLP

DECEMBER 21, 2022

Nuclear power has been pushing electrons onto the U.S. energy grid since 1957, with little fanfare touting its steadfast reliability and carbon free attributes. However, with increasing focus on decarbonization initiatives and an influx of public and private-sector investments, nuclear energy is sharing the stage with wind, solar, and other low-carbon projects as an indispensable asset in the fight against climate change.

These crucial attributes have gone largely unappreciated in the last several decades. Indeed, except for a few niche applications, with meaningful "zero emissions" credits, nuclear features remain uncompensated in the carbon-free energy taxonomy in the United States. However, the Inflation Reduction Act of 2022, in which nuclear is squarely recognized as part of the carbon-free energy taxonomy.

The Inflation Reduction Act of 2022 ushered in a new paradigm in which nuclear is squarely recognized as part of the carbon-free energy taxonomy.

## 03. 미국 동향

### II. 글로벌 동향

## CNC(Civil Nuclear Credit) 프로그램으로 경제성이 없는 노후원전의 계속운전 등을 지원

### DOE Grants First-Round Civil Nuclear Credit Award —\$1.1B—to Diablo Canyon ('22.11.)

The Department of Energy's (DOE's) first round of funding from its \$6 billion Civil Nuclear Credit (CNC) Program is poised to go to Diablo Canyon Power Plant, California's only operational nuclear plant.

Pacific Gas & Electric (PG&E), Diablo Canyon's owner, could receive up to \$1.1 billion in credits to extend the 2.2-GW plant's operation for five years beyond its current license expiration in 2025 to bolster the state's energy system reliability while additional renewable energy and carbon-free resources come online, the DOE announced on Nov. 21.

### Holtec will try again to reopen Palisades nuke plant ('22.12.)

*The company previously said it understood that its bid to reopen the shuttered nuclear plant would be a challenge, as the reversal in operating status would have been a first for the industry.*

Kevin Clark  
12.21.2022

#### 근거

- 인프라 투자 및 일자리 법안  
(Infra Investment and Jobs Act, '21.11월 대통령 서명)

#### 기간/예산

- '22년~'26년(5년) 간 총 60억 달러  
(연간 약 12억 달러)

#### 기준

- 에너지부가 공모를 통해 폐쇄 위험도, 오염저감 기여도, 미국산 우라늄 활용 등을 기준으로 평가

#### 1차 공모

- (기간) '22.4.19. ~ '22.9.6.
- (선정결과) Diablo Canyon 원전 ('22.11.21., 2개 호기)
- (지원금액/기간) 약 12억달러 / 4년 ('23년 ~ '26년)

#### 2차 공모

- (공모기간) '23.3.2. ~ '23.5.31. (약 2개월)
- (지원금액/기간) 약 48억달러 / 4년('24년 ~ '27년)
- (전망) 既연구정지 원전은 Palisades가 유일하여 대상 선정 가능성이 높음

## 03. 미국 동향

### II. 글로벌 동향

# Coal to Nuclear 프로젝트 등 새로운 형태의 원전 활용을 위한 접근 시도

## DOE 주관 Coal to Nuclear 평가<sup>1)</sup>

### 전환 가능 규모

- 총 370여개 중 80%(250GW 규모)가 Coal to Nuclear 전환 적합 판정

1

### 탄소중립 기여

- 전력망의 안전성을 유지하면서 청정에너지를 제공(온실가스 배출 86% 감소)

2

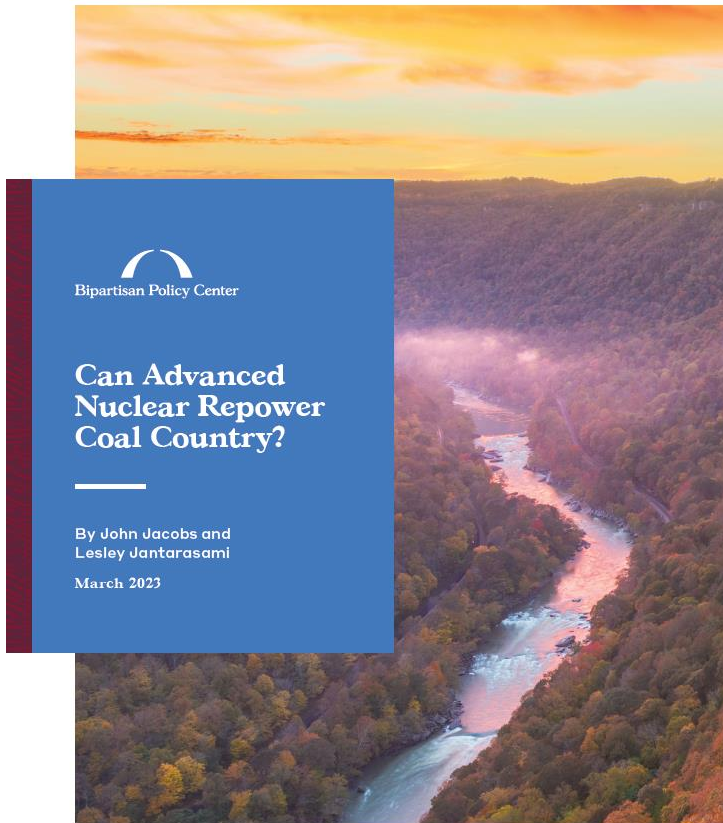
### 비용 절감

- 신규건설 대비 건설비용(28~35%) 및 LCOE(9~28%) 절감효과

3

### 지역 경제 긍정영향

- 석탄발전소 종사자 77%는 원자력발전소로 이전 가능
- 기존 일자리 외 650개 이상의 신규 일자리 창출 (경제효과 \$275M, 약 3,000억원)





## 03. 미국 동향

### II. 글로벌 동향

# SMR 시장 선점을 위해 국제적 협력 지원 프로그램 FIRST 운영

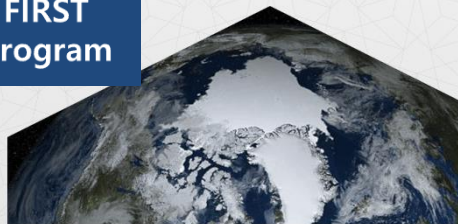
## US State Department launches SMR support programme ('21.4.)

29 April 2021

The US State Department has announced it is launching the *Foundational Infrastructure for Responsible Use of Small Modular Reactor Technology* (FIRST) programme, which will provide "capacity-building support to partner countries". As an initial investment, the department has committed USD5.3 million to support FIRST projects.



### FIRST Program



A key deliverable from President Biden's 2021 Summit on Climate, the **Foundational Infrastructure for Responsible Use of Small Modular Reactor Technology** (FIRST) Program is a multiagency U.S. government initiative that provides capacity building support to partner countries safely and responsibly build modular reactor (SMR) or other advanced reactor program.

FIRST helps partner countries:

- establish a nuclear power program under international standards for nuclear security and nonproliferation,
- take advantage of next generation nuclear innovations and technologies in their sustainable energy plans,
- meet their clean, reliable energy goals while protecting the global climate we all share

## FIRST 프로그램

### 개요

- IAEA 프로그램을 기반으로한 SMR 도입 인프라구축/역량강화 지원 프로그램('21.4월)

### 목적 및 주관

- (목적) 미국-우방국 간 장기 전략적 협력관계 구축  
→ 중·러 원자력 확장에 대응하여 서방권 원자력 안보동맹의 확대·강화
- (주관) 미국 국무부 국제안보핵비확산국

### 예산

- (예산) 미국 기여분 \$5.3M(최초배정) 및 대상국 1:1 매칭 펀드 형식

### 지원체계

Tier1	Tier2	Tier3
정책적 관여 정부간 컨설팅	기술적 관여 역량구축 지원	대상적 관여 기관주도로 전문가수준 지원

### 현황

- 공동선언, MoU 통한 공식참여 발표 국가 총 13개국 (신규 도입국 10개국, 기술공여국 3개국)

## 04. SMR

### III. 국내 원자력 다시 보기

세계적으로 7기<sup>1)</sup> 개발 중. NuScale은 실증로 없이 자금, 부지, 파트너 등 사업기반 확보

#### SMR 개발 현황



Name of Project	Company	Reactor Type	Capacity (MWe)	Capacity (MWth)	Developer Project Cost (\$)	Government Grant (\$)	Project Site	Location	Anticipated or Stated Project Deployment year
Natrium Plant	TerraPower	ARTES	345	840	\$2,100,000,000	\$1,900,000,000	Naughton Coal Plant	Kemmerer, Wyoming	2028
BWRX-300	GE-Hitachi	SMR	300	870			Clinch River	Roane County, Tennessee	2032
Xe-100	X-energy	HTGR	320	800	\$1,400,000,000	\$1,100,000,000	Energy Northwest's Columbia Nuclear Power Plant	Washington State	2027
NuScale SMR	NuScale	SMR	462	1542	\$2,245,000,000	\$1,355,000,000	Idaho National Laboratory	Idaho	2029
KP-X/Hermes	Kairos Power	ARTES	50		\$326,000,000	303,000,000	Technology Park, Oak Ridge National Laboratory	East Tennessee	2026
SMR-160	Holtec	SMR	160	525	\$31,500,000	\$116,000,000	Oyster Creek Nuclear Power Plant	Lacey Township, New Jersey	2030
Aurora	Oklo	SMR	1.5		\$35,000,000	\$30,000,000	Idaho National Laboratory	Idaho	2025
Micro-Modular Reactor (MMR)	Ultra Safe Nuclear Corporation	HTGR	5	15			University of Illinois at Urbana-Champaign	Urbana-Champaign, Illinois	2026

Source: McKinsey Future of Nuclear, US Assembly GAO

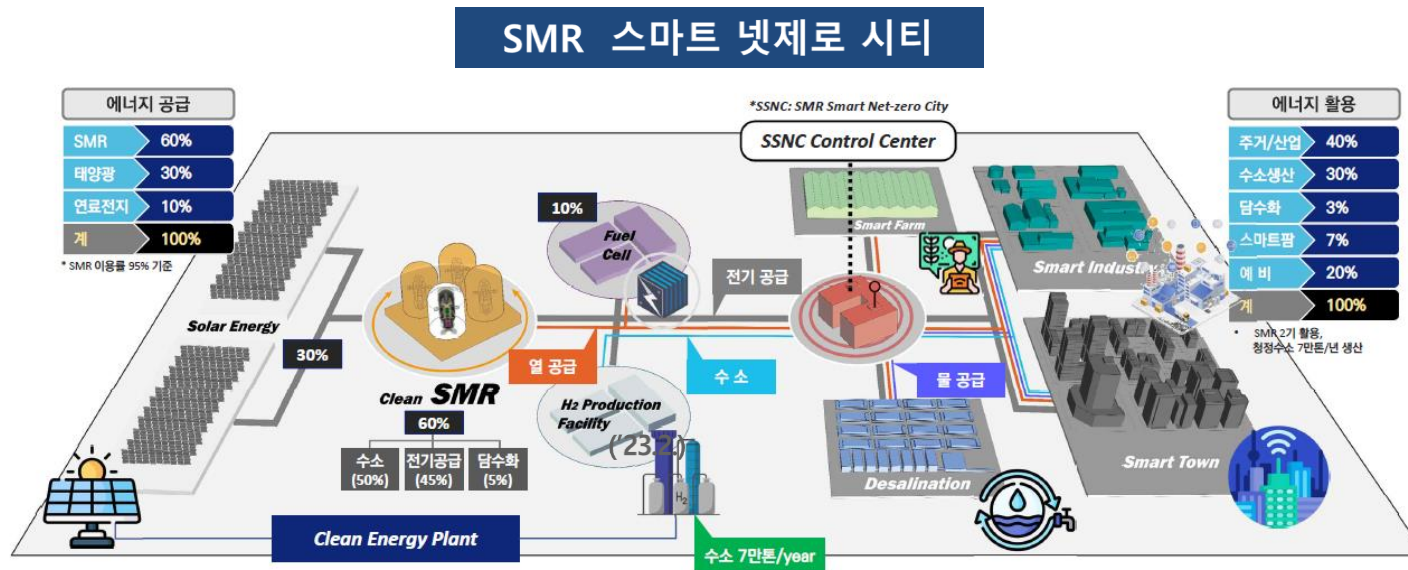
1) Global number of small modular reactor projects by status of development, 2022 (IEA, 2022.10.26)



## 04. SMR

### III. 국내 원자력 다시 보기

## 고객 니즈 관점의 확장성을 고려한 혁신형 SMR 개발, 사업화 병행 추진 필요



### Coal to Nuclear

## Smaller, safer, cheaper? Modular nuclear plants could reshape coal country. ('23.2.)

The Biden administration envisions dozens of 'modular' nuclear plants sprouting across the country. Why coal communities are so eager to be the staging ground for the risky endeavor.



By Evan Halper

February 19, 2023 at 6:00 a.m. EST

### 수소 생산

## US-Korean partners to build SMR-powered hydrogen production facility ('23.4.)

21 April 2023

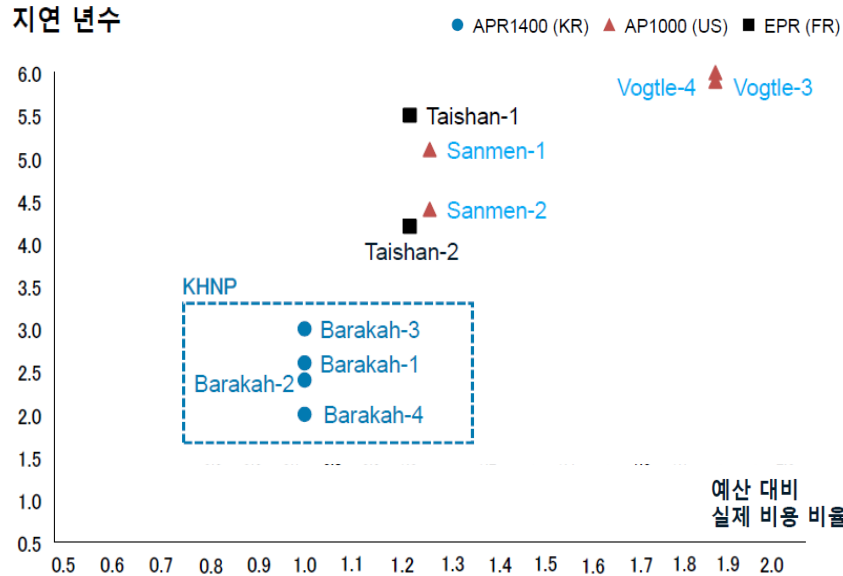
Ultra Safe Nuclear Corporation (USNC) of the USA has signed a memorandum of understanding with South Korea's Hyundai Engineering and SK E&C to conduct joint research and development commercialisation of Hydrogen Micro Hubs over the next five years.

# 05. 건설

## III. 국내 원자력 다시 보기

### On time On budget 강점이 있으나, 디지털화를 통한 체계적 비용절감, 공기 단축 필요

#### 주요 원전 건설비용 및 일정준수 비교



#### 5조원이던 원전 건설비, 11조원으로 경증 ('20.1.)



ⓒ 이상복 기자 | ⓒ 승인 2020.01.20 07:00 |

발전사 작성 원자력투자비 동향문건에 실투자비 적시  
원자력전문가 "전보다 많이 증가, 2기 기준 8~10조원"

#### 현장 감독하는 AI... 공사장엔 로봇개... 건설, 이젠 내게 맡기세요 ('23.3.)

이성훈 기자

업데이트 2023.03.09. 14:03 ~

작년 12월 현대건설의 수도권 제2순환고속도로 김포~파주 구간 공사현장에 지름 14m, 길이 125m, 무게 3184t의 초대형 원통형 장비가 등장했다. 암반을 뚫는 회전식 터널 굴진기로 '두더지'라는 별명을 가진 국내 최대 '샐드 TBM'이었다. 이 장비로 한강 밑을 지나는 국내 최초의 한강 하저터널을 뚫는다.

건설사들이 첨단 기술을 활용해 새로운 부가가치를 창출하고 있다. 토목·주책·플랜트를 단순히 짓는 것에서 벗어나 IT·로봇·친환경 관련 '스마트 기술'을 통해 건설 현장의 모습을 바꾸고, 사업영역을 확대하는 것이다.

DL이앤씨는 최신 IT기술을 앞세워 건설업의 디지털 전환을 이끌고 있다. 이미 2017년 '아크로 서울포레스트' 분양 당시, 고객들이 미래의 주거 공간을 미리 경험하도록 하는 가상현실(VR) 서비스를 도입했다. 건설현장엔 'AI 현장관리 솔루션'도 적용했다.

#### '스마트 기술'로 바뀌는 건설업

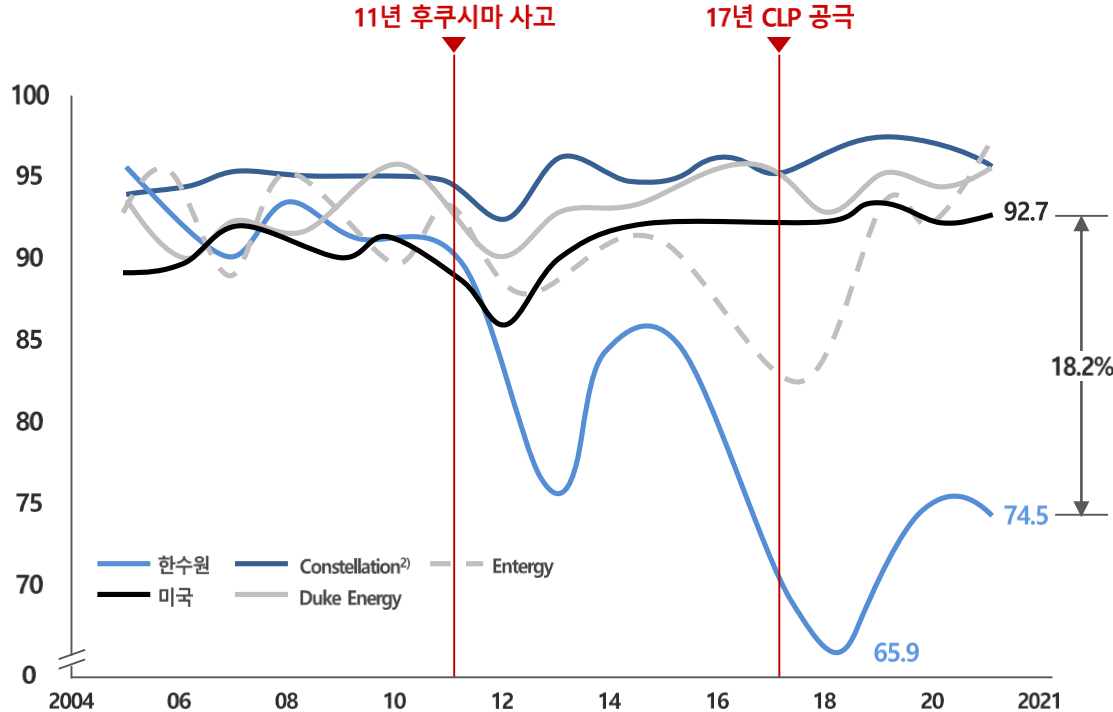
과거	미래
현장에서 회의·결정	참여자 간 협업 원격으로 수시 논의
작업자의 경험에 의존	작업 정밀도 데이터 기반 정밀시공
인력 중심의 반복 작업	작업 여건 첨단 기계로 효율화
추락 등 위험요소 산재	건설 안전 작업 기계화로 위험 최소화
현장 확인 통해 작업	유지 관리 디지털 트윈으로 사전 관리
철거 시 폐기물 발생	친환경 재활용 건축자재 사용
전통적 건설에 국한	신사업 양식업·에너지 등으로 확대

## 06. 운영

### III. 국내 원자력 다시 보기

## 미국은 다수호기 운영 표준화(SNPM)를 통해 90%대의 이용률 유지중

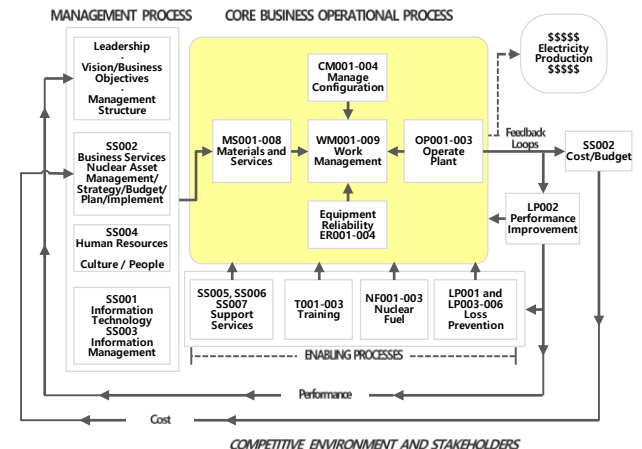
### 미국 원전운영사와의 이용률 비교<sup>1)</sup>



### Integrated Management System (Fleet management)



### Standard Nuclear Performance Model(SNPM)



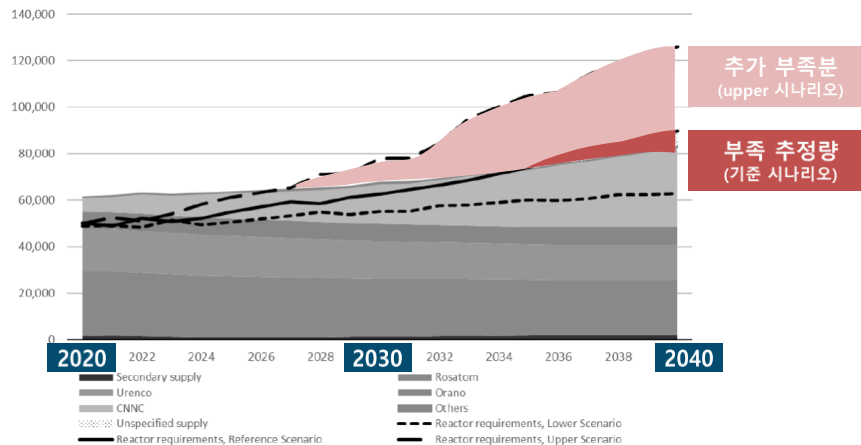
1) 2005~2021 IAEA 발표자료 활용  
2) 2022년 2월 Exelon사의 발전사업 부문 분사

## 07. 원전연료

### III. 국내 원자력 다시 보기

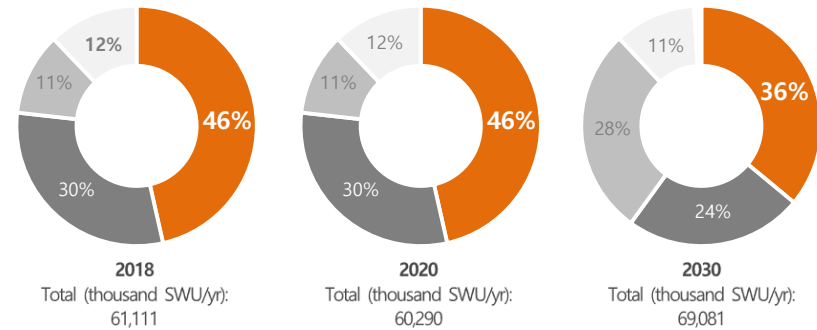
## 늘어나는 수요를 공급이 충족하기에는 어려움이 예상, 원전연료 에너지 안보 이슈화

### 농축부문 수급 전망



### 세계 우라늄 농축 설비 용량

Russia (Rosatom) U.K., Germany, Netherlands (Uranco)  
China (CNNC) United States (Orano) Other



## Nuclear revival buoys uranium sector, but new mines not on horizon ('22.11.)



A shortage of uranium amid a nuclear power resurgence could send ore prices up by about 25% by 2030, but skeptical miners may not aggressively expand production unless prices climb even higher.

## Nuclear Powers Pledge to Push Putin Out of Uranium Markets ('23.4.)

- G-7 countries pool nuclear-fuel capacity to challenge Russia
- Kremlin-led Rosatom dominates global nuclear supply chains

By Jonathan Tirone

2023년 4월 17일 오후 8:16 GMT+9

Nuclear powers within the Group of Seven nations pledged to end Russia's dominance over global atomic-fuel markets, potentially cutting off a critical source of geopolitical currency for Russian President Vladimir Putin more than a year after his invasion of Ukraine.

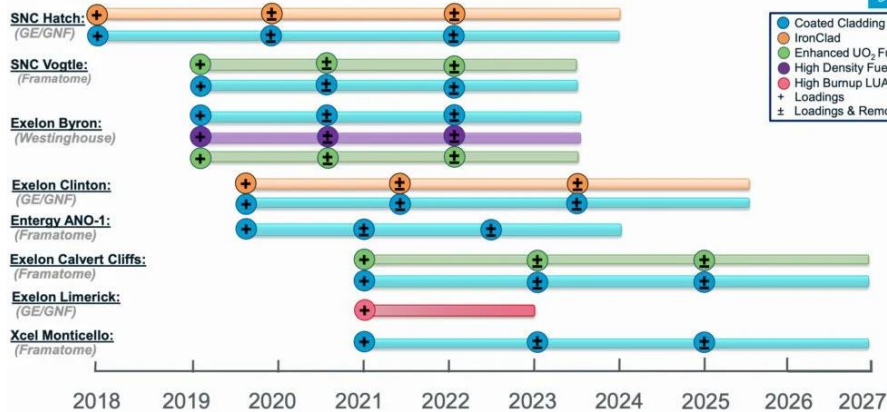


## 07. 원전연료

### III. 국내 원자력 다시 보기

## 차세대 원전을 위한 ATF<sup>1)</sup>, HALEU<sup>2)</sup>, TRU<sup>3)</sup> 준비 필요

### 미국의 ATF 연료 주요 일정



### URANIUM & FUEL

## US / DOE Awards \$38 Million For Used Nuclear Fuel Projects ('22.10.)

By David Dalton  
25 October 2022

*Aim is to advance recycling and reduce waste volume*

Projects funded through the programme will enable "secure, economical recycling" of the nation's use fuel and substantially reduce the volume, heat load, and radiotoxicity of waste requiring permanent disposal. These efforts will also provide a valuable and sustainable fuel feedstock for advanced reactors.

## Urgency Ramping Up to Commercialize Nuclear Accident Tolerant Fuels by 2025

6 minute read · February 16, 2023 7:59 PM GMT+9 · Last Updated 2 months ago

## U.S. ramps up advanced fuel production capabilities ('23.2.)

By Paul Day

- The United States is expanding its advanced fuel manufacturing capabilities through congressional appropriations and the creation of a dedicated taskforce.

## 해상 원자로 개발 본격화...올해 원자력 R&D 2675억 투입 ('23.2.)

머니투데이 | 김민한 기자

2023.02.05 12:00

연료 한 번 장착하면 20년 전기 생산하는 '용융염 원자로'(MSR)  
정부 올해 해상용 MSR 개발 등 미래 선진 원자로 연구개발 늘려

## 08. 원전 활용

### III. 국내 원자력 다시 보기

## 수소 생산, 장기간 에너지 저장(LDES) 등 다양한 에너지와의 collaboration

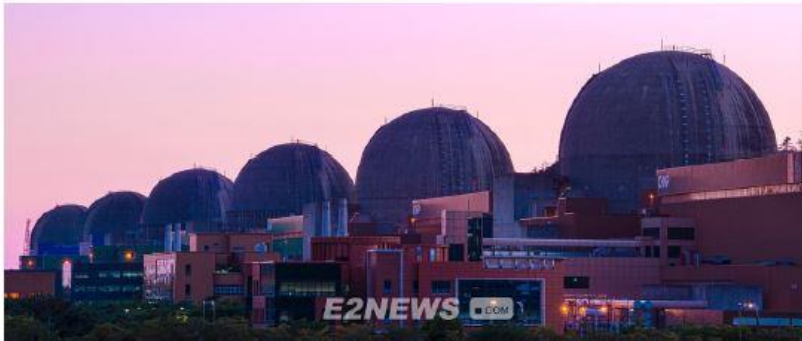
### 태양광 1GW 출력제어, 한숨 돌린 호남 원전 ('23.3.)

이상복 기자 | 승인 2023.03.24 15:10

### 태양광 늘어난 호남지역 원전 출력 낮춘다 ('23.3.)

이상복 기자 | 승인 2023.03.12 00:00

政, 신뢰도협의회 열어 봄철운영방안 검토키로  
초과전력 외부송전 제한 한빛원전 감발 불가피



▲전남 영광 한빛원자력발전단지 야경

[이투뉴스] 호남지역 소재 한빛원자력발전소(6GW)가 올봄부터 감발(減發) 운영이 불가피해졌다. 이 지역에 들어선 약 9GW(사업용 기준)의 태양광발전소 때문이다. 원전과 태양광

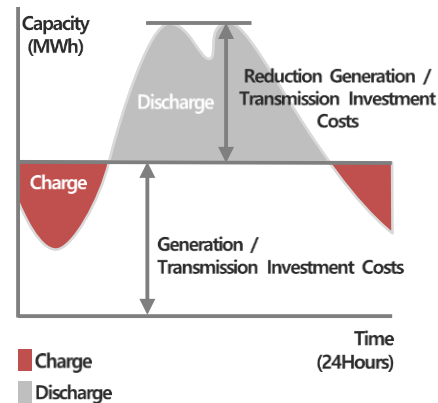
### 원전 활용 확장을 통한 재생에너지와 동행

LDES(Long Duration Energy Storage)  
연계한 원전 전력활용 확장

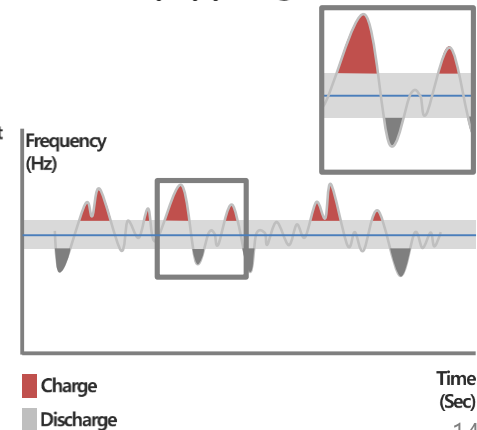


대용량 수전해 설비를 통한  
원자력 청정수소 생산

#### < 부하 조정 >



#### < 주파수 조정 >



# 09. CF100

## III. 국내 원자력 다시 보기

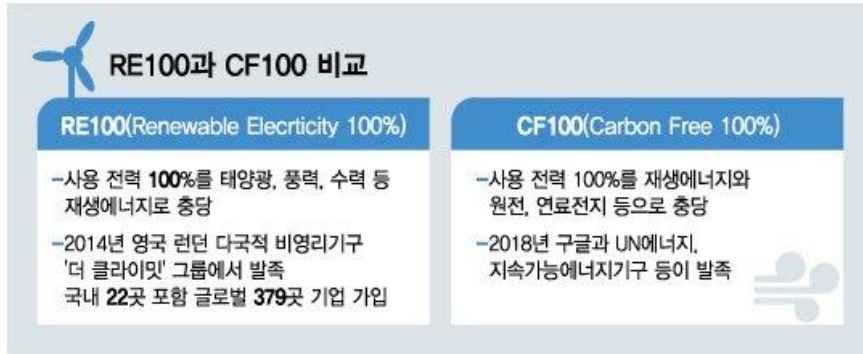
### 실질적 탄소중립 실현을 위해 CF100(Carbon Free 100%)으로의 확장 필요

#### RE100 과 CF100

**원전 비중 높은 韓, '힘겨운' RE100 대신 '현실적' CF100 뜬다** ('22.9.)

머니투데이 | 최민경 기자

VIEW 15,178 | 2022.09.06 05:58



RE 100

RE100의  
한계

- 재생에너지 구매, 조달을 통한 화력발전의 탄소배출량 '상쇄'를 인정하고 있어, 기업 전력의 100% 탈탄소화 달성에는 한계

24/7

CF100

- 2018년, UN Energy, UN 산하 지속가능 에너지기구(SE4ALL), 구글 의 합작 캠페인
- 공식명칭: **24/7 Carbon Free Energy**, 편의상 CF100으로 부름

#### 구글 사례

**How Google plans to use 100% carbon-free energy in its data centers by 2030** ('22.9.)

PUBLISHED WED, APR 13 2022 9:08 AM EDT | UPDATED WED, APR 13 2022 3:21 PM EDT

Catherine Clifford  
@IN/CATCLIFFORD/  
@CATCLIFFORD

Google's data centers around the world use about twice as much electricity as the city of San Francisco. The amount of energy Google uses is growing as overall internet usage and its business grows, said Michael Terrell, the Director of Energy at Google.

At the same time, Google has set out a notably aggressive goal to operate on 24-7 carbon-free energy by 2030: "Humanity's next big moonshot," as Alphabet and Google CEO Sundar Pichai has said.

Google

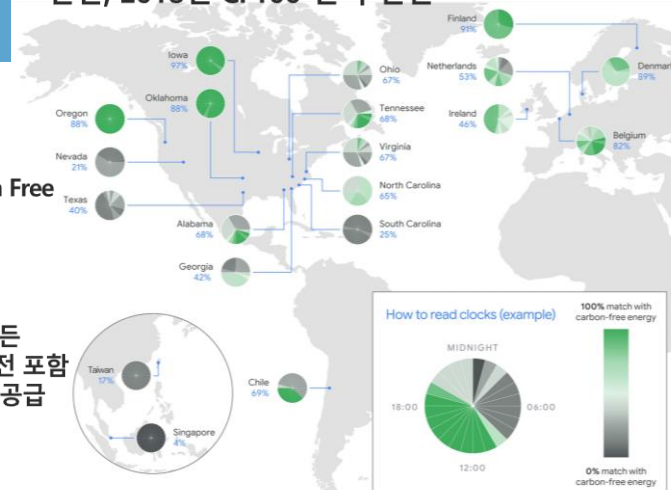
구글 사례

■ RE100 만으로는 실질적인 탈탄소가 어렵다고 판단, 2018년 CF100 전격 선언

2017 RE100 달성

2018 24/7 Carbon Free 전격 선언

2030 연중무휴, 모든 사업장에 원전 포함 무탄소 전원 공급



감사합니다.