

# 2023년 에너지경제연구원 연례 정책세미나

합리적인 에너지믹스 구축과 에너지안보

2023. 9. 25.(월) 14:00 - 17:00

한국광고문화회관 2F 그랜드볼룸

Carbon

%



# Program

13:30-14:00	등록	
14:00-14:20	<p>오프닝 세션</p> <p><b>개회사</b> 김헌제 에너지경제연구원 원장</p> <p><b>축사</b> 반기문 보dana은미래를위한 반기문재단 이사장</p> <p><b>축사</b> 정해구 경제·인문사회연구회 이사장</p> <p><b>축사</b> 천영길 산업통상자원부 에너지정책실장</p>	
14:20-15:30	<p>주제: 탄소중립 달성과 SMR의 역할</p> <p><b>발표자</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- 박우영 에너지경제연구원 전력정책연구본부장</li></ul> <p><b>토론자</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- 임채영 (한국원자력연구원 원자력진흥전략본부장)</li><li>- 이희범 (두산에너지빌리티 상무)</li><li>- 노동석 (한국에너지정보문화재단 원전소통지원센터장)</li><li>- 최광식 (혁신형 SMR 기술개발사업단 사업운영실장)</li></ul>	좌장: 정태용 (연세대 국제학대학원 교수)
15:30-15:50	휴식	
15:50-17:00	<p>주제: 에너지 안보와 공급망 강화전략</p> <p><b>발표자</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- 김진수 한양대학교 자원환경공학과 교수</li></ul> <p><b>토론자</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- 정준환 (에너지경제연구원 에너지산업연구본부장)</li><li>- 박현규 (한국석유공사 비축사업본부장)</li><li>- 조강철 (한국가스공사 해외사업단장)</li><li>- 김윤경 (이화여대 경제학과 교수)</li></ul>	좌장: 강성진 (고려대 경제학과 교수)
17:00	폐회	

# Contents

## 주제 탄소중립 달성과 SMR의 역할 01

- 발표자: 박우영 에너지경제연구원 전력정책연구본부장

- 토론자료\_임채영 18
- 토론자료\_이희범 20
- 토론자료\_노동석 23
- 토론자료\_최광식 26

## 주제 에너지 안보와 공급망 강화전략 29

- 발표자: 김진수 한양대학교 자원환경공학과 교수

- 토론자료\_정준환 40
  - 토론자료\_박현규 43
  - 토론자료\_조강철 46
  - 토론자료\_김윤경 49
-



에너지경제연구원

# 에너지경제연구원 연례 정책세미나

합리적인 에너지믹스 구축과 에너지안보

주제

## 탄소중립 달성과 SMR의 역할

- 발표자: 박우영 에너지경제연구원 전력정책연구본부장



2023 에너지경제연구원 연례 정책세미나

에너지경제연구원

# 탄소중립 달성과 SMR의 역할

2023. 09. 25.

박우영 선임연구위원

## Contents

목차

- I. 탄소중립과 원자력
- II. SMR 기술개발
- III. 국내외 원전 및 SMR 정책 동향
- IV. 향후 과제

탄소중립 달성과 SMR의 역할

## I. 탄소중립과 원자력

Carbon

%



## 탄소중립정책 전개 양상

- 2015년 파리협정 체결 이후, 전 세계 모든 국가는 온실가스 감축 의무
- 세계 경제는 RE100과 ESG 경영을 확대
- 미국, EU, 영국 등은 탄소중립을 추진하면서도 자국 내 산업경쟁력을 유지 또는 확보하기 위한 노력도 병행
  - ✓ 특히, 미국은 물가안정 및 기후변화대응과 함께 자국 내 기업을 보호할 목적으로 2022년 8월 인플레이션감축법(Inflation Reduction Act)을 제정·시행
  - ✓ EU는 환경규제가 미비한 국가의 생산 제품에 수입관세를 부과하는 것을 골자로 한 탄소국경조정제도(Carbon Border Adjustment Mechanism: CBAM) 도입 합의
    - 유럽의회가 2024년 4월 25일 이를 최종 승인
    - EU 탄소국경조정제도는 2026년부터 철강, 알루미늄, 시멘트, 비료, 수소 등 6개 업종에 적용될 예정
  - ✓ 영국도 2022년 4월 '에너지안보전략'을 통해 탄소중립 달성, 에너지 해외 의존도 축소, 저가의 안정적인 청정 전력 공급 확보를 위한 세부 목표와 방안 제시
    - 2050년까지 원전을 지금의 3배를 초과하는 24GW로 확대하는 목표 포함
- 결국, 선진국들은 세계적 목표(기후변화대응)와 국가적 목표(경제적 이득 극대화)를 동시에 추구하는 전략적 선택

## 탄소중립 달성에 필요한 에너지원은?

➢ 탄소배출량이 없거나 배출되는 탄소를 저장할 수 있는 기술 (무탄소에너지)

➢ 에너지 트릴레마에서 균형 유지

✓ 에너지 트릴레마(energy trilemma)는 지속가능한 미래사회에 필요한 에너지는 에너지 안보, 형평성, 환경성 간의 균형이 필요함을 의미

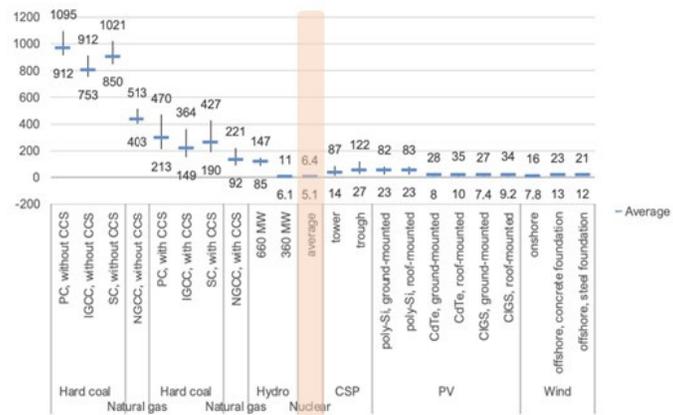
1. **에너지 안보(energy security, reliability):** 경제성장 등에 필요한 에너지를 안정적으로 확보하는 등에 관한 가치, 에너지 공급측면
2. **에너지 형평성(energy affordability):** 에너지를 필요로 하는 모든 주체들이 합리적인 가격에 에너지를 사용할 수 있는 가치, 에너지 소비측면
3. **환경 지속가능성(environmental sustainability):** 에너지사용에 따른 환경적 충격이 환경, 생태계, 건강 등의 지속가능성을 훼손하지 않는 것



## 원자력 발전은 무탄소 전원!

➢ 2021년 9월 UNECE(UN's Economic Commission for Europe)

- ✓ 원전의 온실가스(CO<sub>2</sub>eq) 배출량은 5.1~6.4 g /kWh
- ✓ 모든 저탄소 기술 중에서 가장 낮은 탄소배출



## 핵분열반응과 우라늄(U-235)

### ▶ 핵분열 반응(Nuclear fission reaction)

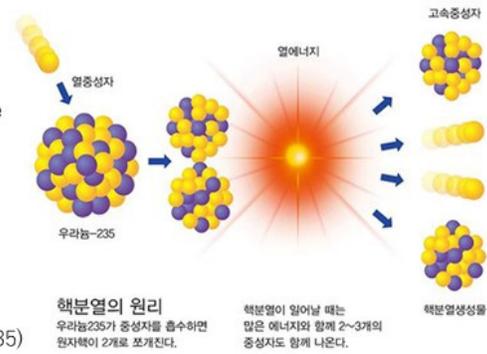
- ✓ 원자핵이 중성자와 충돌하면 두개로 분리, 2~3개의 자유중성자와 에너지 생성:
  - $E = mc^2$

### ▶ 자연상태의 우라늄은 : U-235 (0.7%), U-238 (99.3%)

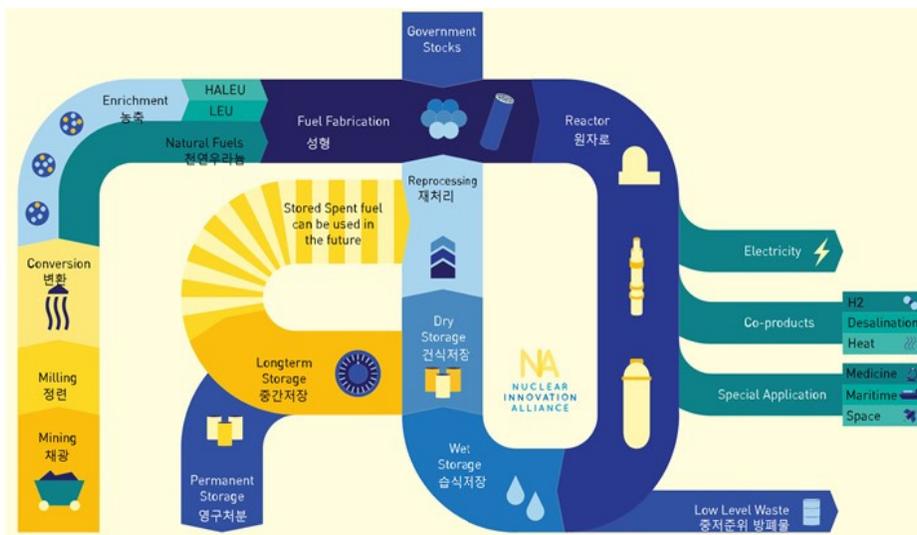
- ✓ U-238는 자연계에 가장 많이 존재하는 우라늄 동위원소, non-fissile
- ✓ U-235는 유일한 핵분열 동위원소, 자연계에 극미량 존재

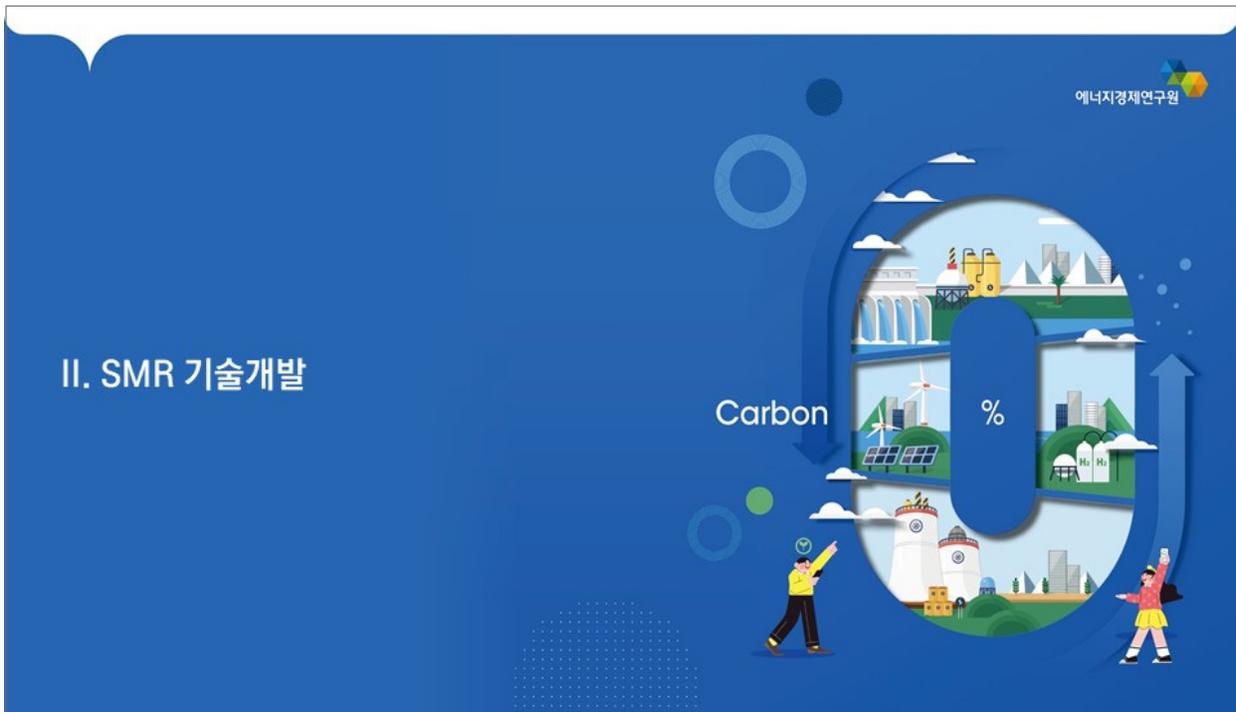
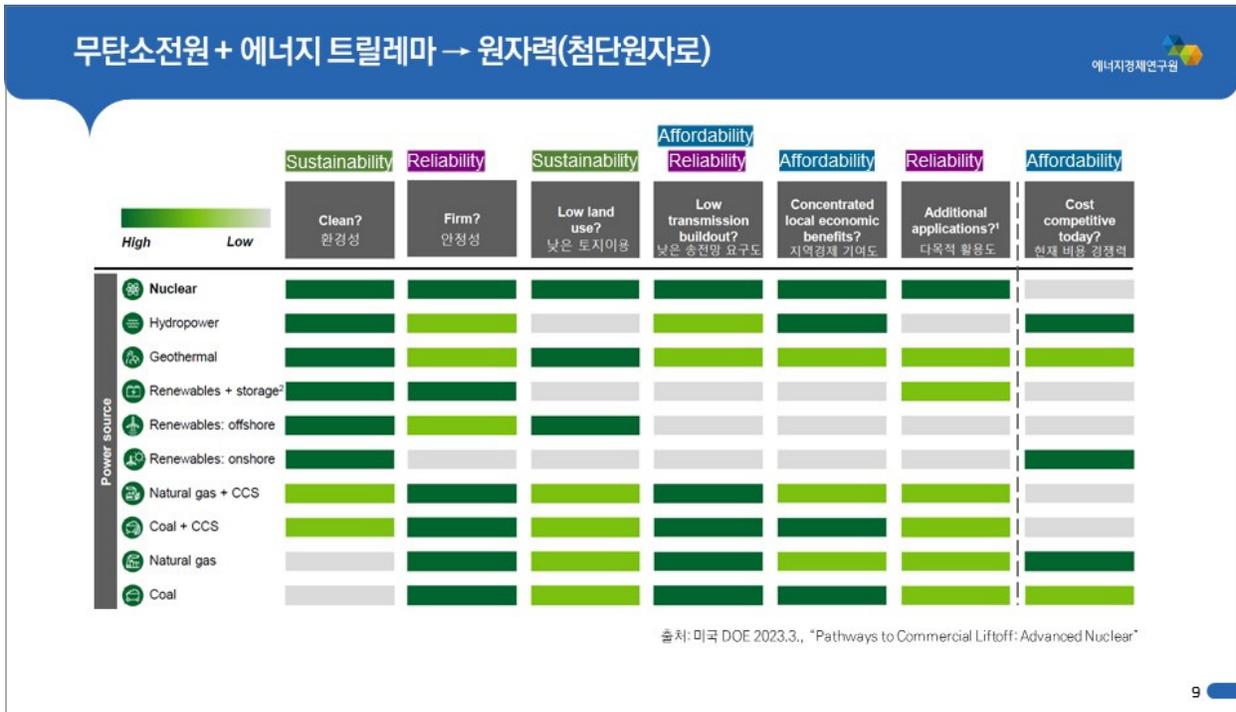
### ▶ 핵분열 반응을 얻기 위해 U-235의 농도를 농축하여 이용

- ✓ 핵무기: 고농축 우라늄(90% of U-235 or Pu-239);
- ✓ PWR: 저농축 우라늄 (2~5% of U-235)
- ✓ Advanced reactor: 고순도저농축우라늄 (HALEU, 5~20% of U-235)



## 원전의 핵연료주기(Nuclear Fuel Cycle)





## 소형모듈원전(SMR)이란?

### ▶ 소형(Small)

- ✓ SMR은 전기출력과 물리적 크기에서 기존 상용원전보다 작음.
- ✓ SMR은 전기출력이 300MWe 이하인 원자로를 의미
- ✓ 10MWe 이하의 출력을 가진 MMR(micro modular reactor)

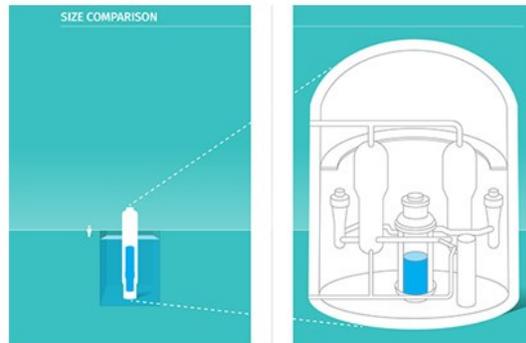
### ▶ 모듈형(Modular)

- ✓ SMR은 모듈식 제조, 공장 생산, 이동성 및 확장성 고려 설계
- ✓ 반복/연속 생산에 유리



### ▶ 원자로(Reactor)

- ✓ SMR은 핵분열 반응을 이용하여 직접 사용할 수 있는 열 또는 전기를 생성
- ✓ SMR에도 대형원전 수준의 multiple physical barriers와 defense-in-depth 개념 적용



11

## SMR의 특성

### ▶ 안전성

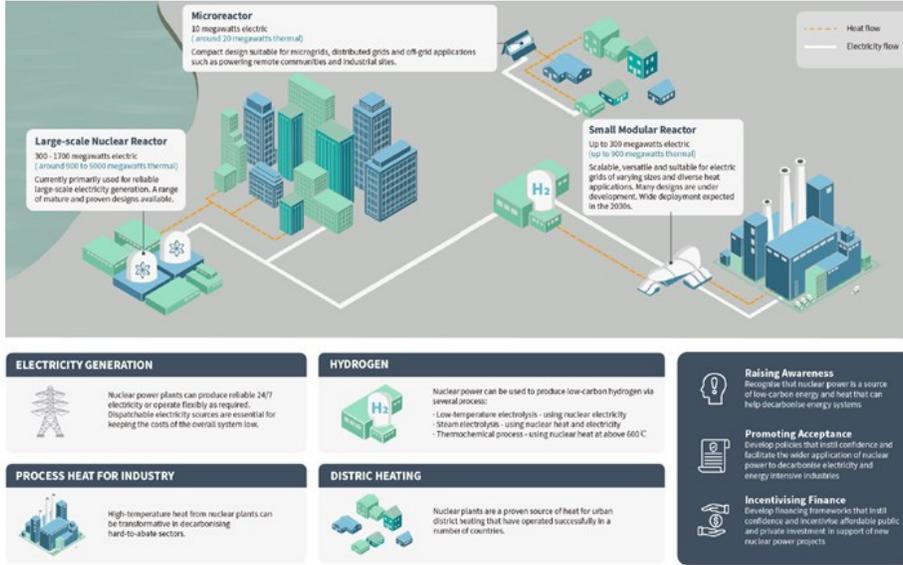
- ✓ SMR은 설계 시 피동형 안전 개념을 적용
  - 원전의 중지를 위해 적극적인 개입 또는 백업 전원이 필요하지 않음을 의미
- ✓ 낮은 출력과 작은 노심으로 SMR은 피동형 안전 시스템의 효율성 증가
- ✓ 설계 단순화로 경제성 향상
- ✓ 피동형 안전설비와 함께 핵분열생성물의 노심재고량이 적기 때문에 소외 비상대응계획구역(EPZ)의 범위를 줄일 수 있음.
  - 이는 발전소 위치 결정을 용이하게 하고, 전력망 요건을 완화하여 경제성을 개선

### ▶ 유연성

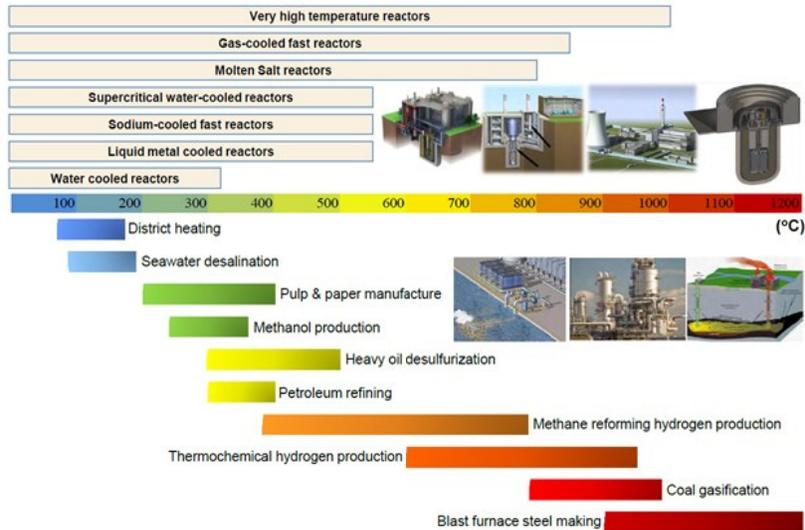
- ✓ SMR은 가변성 재생에너지의 비중이 높은 계통에 필요한 유연성을 제공하도록 설계
  - SMR은 고유 설계 기능과 여러 모듈 단위의 운영 최적화를 통해 향상된 부하 추종 기능을 제공
- ✓ SMR은 기존 대형원전과 다르게 입지에 대한 제약이 낮고, 다목적 활용이 가능 (예: 열과 전기 생산의 결합)

12

## SMR의 활용

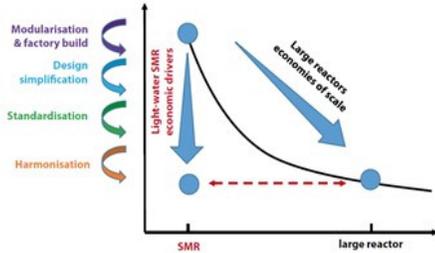


## 원자로 설계별 출구온도와 산업공정 활용가능성

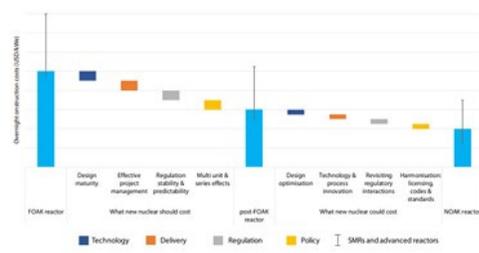


## SMR의 경제성

➤ 규모의 경제(Economies of Scale) → 연속생산경제(Economies of Serial Construction)

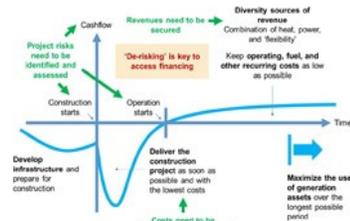


Source: NEA (2021b).



➤ SMR은 사업의 단계별로 경제적 이슈에 직면 → SMR의 경제성 확보 전략 필요

- ✓ 단계별 리스크 요인 파악
- ✓ 계획된 스케줄에 공사 완료 → 공사비 절감
- ✓ 안정적 수입구조 확보



➤ 사업 리스크관리가 자금조달 및 경제성 확보의 핵심

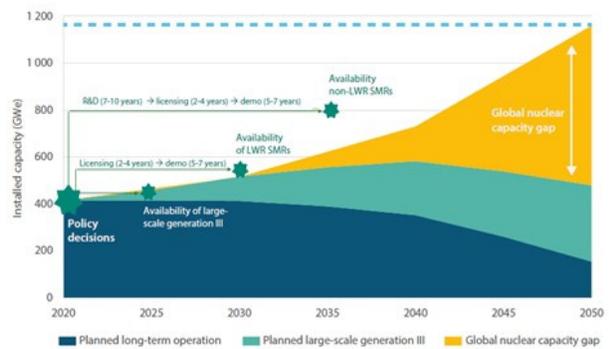
## 탄소중립을 위해 원전 확대 필요

➤ 2050년 까지 IPCC 1.5°C 목표 달성을 위해 전세계에 1160GW 원자력발전 설비 필요(현재 약 400GW)

➤ SMR은 원전의 필요용량 격차 해소와 탈탄소화 목표 지지에 중요한 역할

- ✓ NEA는 가장 도전적인 시나리오에서 2050년 까지 375GW(필요용량 격차의 50%)의 SMR이 설치될 수 있다고 전망 (NEA, 2022)

➤ SMR은 탈탄소화 달성이 어려운 분야에 적용 가능



Source: NEA (2022a).

## SMR 시장규모



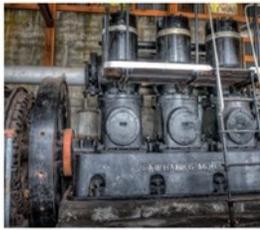
### On-grid, 석탄대체

Replace coal-fired power generation

- SMRs can further transition the power sector away from coal
- Even in a 2-degree scenario IEA projects 1100GWe
- Potential market over \$100B/year

Remote island nations and off-grid communities

- Large potential in over 70k communities
- \$30B/year market



### Off-grid, 광산

Heat and power for mines

- SMRs powering of new mines between now and 2040 could yield total global value of \$3.5B/year market

Steam for heavy industry

- Potentially \$12B per year global market. Joint project from Idaho NL and NREL identified 850 facilities where SMRs could provide steam for US heavy industry.



### Off-grid, 오지

### Off-grid, 중공업 증기

출처: A Canadian Roadmap for Small Modular Reactors(2018,11.)

## SMR 노형 개발 현황



▶ IAEA(2022) 보고서, 전세계 약 80여종 이상의 소형원자로 확인. 러시아와 중국에는 가동 및 건설 중인 SMR 존재



※ 출처 : Advances in Small Modular Reactor Technology Developments, IAEA (2022)

## SMR 개발 노형(경수형) 비교

Country of Origin	CAREM Argentina	ACP100 China	NUWARD France	I-SMR Republic of Korea	SMART Republic of Korea and Saudi Arabia	Rolls-Royce SMR UK	VOYGR USA	BWRX-300 USA and Japan
Design organization(s)	CNEA	CNNC (NPIC)	EDF	KHNP&KAERI	KAERI, K.A.CARE	Rolls-Royce SMR Ltd.	NuScale Power Corporation	GE Hitachi & Hitachi GE Nuclear Energy
Reactor Type / Primary Circulation	Integral PWR / Natural Circulation	Integral PWR / Forced Circulation	Integral PWR / Forced Circulation	Integral PWR / Forced Circulation	Integral PWR / Forced Circulation	3-loop PWR / Forced Circulation	Integral PWR / Natural Circulation	BWR / Natural Circulation
Fuel type/assembly array	UO <sub>2</sub> pellet / hexagonal	UO <sub>2</sub> pellet / 17x17 square	UO <sub>2</sub> pellet / 17x17 square	UO <sub>2</sub> pellet / 17x17 square	UO <sub>2</sub> pellet / 17x17 square	UO <sub>2</sub> pellet / 17x17 square	UO <sub>2</sub> pellet / 17x17 square	UO <sub>2</sub> pellet / 10x10 array
Number of fuel assembly	61	57	76	69	57	121	37	240
Coolant	Light water	Light water	Light water	Light water	Light water	Light water	Light water	Light water
Moderator	Light water	Light water	Light water	Light water	Light water	Light water	Light water	Light water
Thermal output, MW(t)	100	385	2 x 540	540	365	1358	250	870
Electrical output, MW(e)	30	125	2 x 170	170	107	470	77 (gross)	270 - 290
Core inlet temp., °C	284	286.5	280	295.5	296	295	249	270
Core outlet temp., °C	326	319.5	307	320.9	322	325	316	288
Enrichment, %	3.1	< 4.95	< 5	< 5	< 5	< 4.95	≤ 4.95	3.81 (avg) / 4.95 (max)
Refuelling cycle, months	14	24	24 (half core)	24	30	18	18	12 - 24
Reactivity control	Control rods	Control rods + Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> solid burnable + soluble boron acid	Control rods + solid burnable	Control rod + burnable absorber rod + moderator temperature	Control rods + soluble boron	Control rods + moderator temperature	Control rods + soluble boron	Rods + solid burnable absorber (B <sub>4</sub> C, Hf, Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
Reactor Vessel's height/diameter, (m)	11 / 3.2	10 / 3.35	15 / 5	23 / 5	18.5 / 6.5	7.9 / 4.2	17.7 / 2.7	26 / 4
Design status	Under construction	Under construction	Conceptual Design	Conceptual Design	Detailed Design	Detailed Design	Equipment Manufacturing in Progress	Detailed Design

※ 출처 : Advances in Small Modular Reactor Technology Developments, IAEA (2022)

## SMR 개발 단계



※ 출처 : Advances in Small Modular Reactor Technology Developments, IAEA (2022)

## SMR 개발 현황: i-SMR(한국)



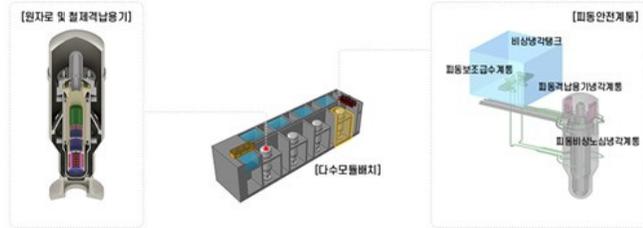
### ▶ 혁신형 소형모듈원자로(i-SMR) 기술개발사업 사업 추진

- ✓ 사업기간 : 2023년~2028년 (총 6년간 진행)
- ✓ 총사업비 : 3,992억 원 (과기정통부 1,510억/산업부 1,237억/민간 1,245억)
- ✓ 개발주체 : 한국원자력연구원, 한국수력원자력, 유관 산업체



### ▶ i-SMR 개념(인)

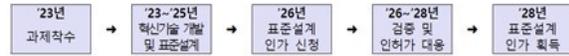
- ✓ 일체형 가압경수로
- ✓ 출력: 170MWe (540MWth)
- ✓ 이용률: 95% 이상
- ✓ 연료 재장전 주기: 24개월 이상
- ✓ 내진설계: 0.5g
- ✓ 4개 모듈 기본배치
- ✓ 무봉산 노심설계



< 혁신형 소형모듈원자로 개발 목표 >

구분	혁신형 소형모듈원자로 (개발 목표치)	경정노형 (미 Nucleo 목표치)	대형원전 (APR1400)
안전성	노심손상빈도 10억년에 1번 (1.0X10 <sup>-9</sup> /RY)	10억년에 1번 (1.0X10 <sup>-9</sup> /RY)	100만년에 1번 (1.0X10 <sup>-6</sup> /RY)
경제성	발전단가(MW당) 건설단가(KW당)	65불 3,800불	50불 3,000불
유연성	탄력운전범위(최저~최대)	20~100%	50~100%

< 연구개발 일정(안) >



## SMR 개발 현황: Sodium(미국)



### ▶ TerraPower와 GE-Hitachi가 Sodium 기술 개발 중

- ✓ (인허가) 미 NRC와 사전인허가(pre-licensing) 진행중
- ✓ (부지) 미 서부 전력회사 PacificCorp은 와이오밍 주 Kemmerer시에 위치한 Naughton석탄화력발전소 대체를 위해 Sodium을 선택
  - Naughton 발전소는 3기 석탄발전기(192MW, 256MW, 384MW)로 구성
  - 2024년 착공 예상
- ✓ (자금조달) TerraPower는 미 DOE의 ARDP에 선정, 8천만 달러 초기 지원
  - ARDP는 Sodium 원자로 실증 사업(demonstration)에 약 20억 달러 지원
  - TerraPower와 파트너 기업들은 Sodium 실증사업에 matching fund로 20억달러 확보
- ✓ (공급망) 엔지니어링, 조달, 건설 관련 공급망 확장 중
- ✓ (협력관계) TerraPower는 약 10개 미국 전력회사로 구성된 자문위원회 운영
  - 일본 원자력청(JAEA), 미쓰비시 중공업, SK그룹 등과 고속로 기술 개발 MOU 체결

### NATRIUM

- 345 MWe reactor
- Gigawatt-hour-scale energy storage (capacity of 500 MWe output for 5.5+ hours)
- Cost-competitive, flexible technology that supports load following, energy storage and industrial process heat applications

**NATRIUM DEMONSTRATION PROJECT TEAM**

- Bechtel Power Corporation
- GE Hitachi Nuclear Energy Americas, LLC
- PacificCorp, a subsidiary of Berkshire Hathaway Energy
- Energy Northwest
- Duke Energy Carolinas, LLC
- American Centrifuge Operating, LLC (Centrus Energy Corporation)

**Global Nuclear Fuels Americas, LLC**

- Orano Federal Services
- Argonne National Laboratory
- Battelle Energy Alliance, LLC (Idaho National Laboratory)
- Los Alamos National Laboratory
- Oak Ridge National Laboratory
- Pacific Northwest National Laboratory
- North Carolina State University
- Oregon State University
- University of Wisconsin

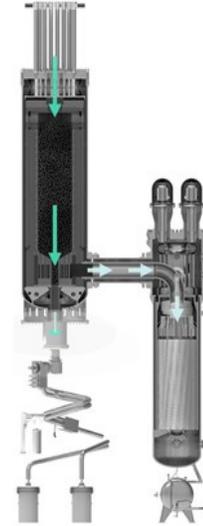
## SMR 개발 현황: X-energy(미국)

### ➤ Xe-100는 4세대 원전인 고온가스로나(High-Temperature Gas-cooled Reactors; HTGR)

- ✓ 헬륨을 냉각재로 사용; 60년 운영 설계; 가동 중 연료 재장전(refueling)으로 이용률 95%
- ✓ 고온의 헬륨 가스는 565°C의 증기를 생산, 전력 생산 효율이 높고, 담수, 지역난방, 세일가스 추출, 수소 생산 등에 활용성이 높음.
- ✓ Xe-100(80MWe급; 200MWth)는 4개의 모듈이 합쳐진 320MWe로 건설 목표

### ➤ X-energy가 개발한 TRISO-X(TRIstructural-ISotropic) 핵연료 장전

- ✓ 3중 코딩 핵연료 입자를 테니스 공 크기로 제작, 원자로 당 220,000개 장전
- ✓ 초고온에서도 녹지 않고, 노심 용융이 발생하지 않아 안전성 강화



### ➤ 두산에너지빌리티가 주기기 제작설계 업체로 계약 체결('21년 8월)

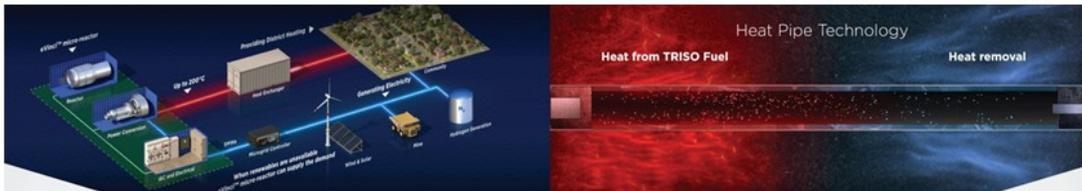
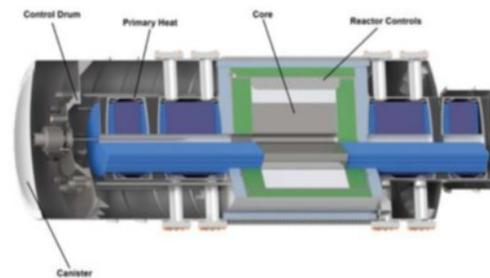
## SMR 개발 현황: eVinci(미국)

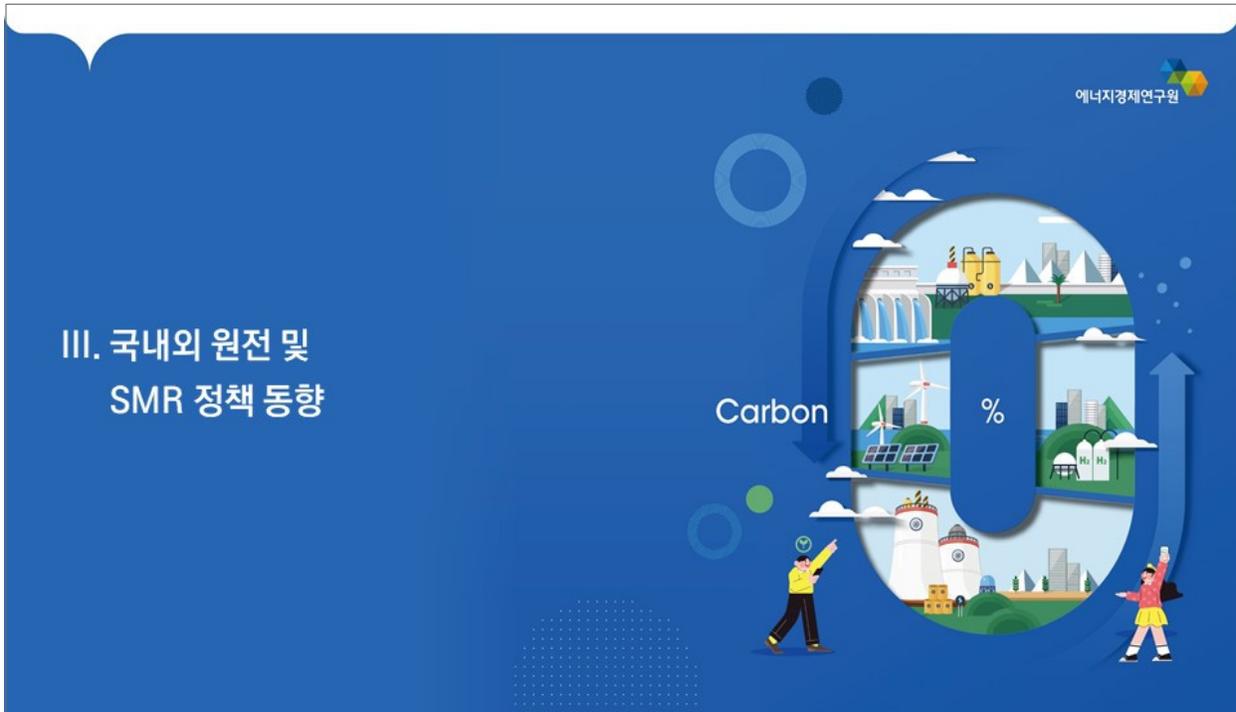
### ➤ Westinghouse는 eVinci(5MWe)에 대한 개념설계 및 개발계획 수립 완료

- ✓ TRISO 핵연료 사용하며, 설계수명은 40년
- ✓ 핵연료 재장전주기는 6년 또는 9년으로 개발 진행 중
- ✓ 30일 이내 현장 설치 가능

### ➤ eVinci 초도호기의 상업운전을 '27년 개시 예상

- ✓ 현재 미국 및 캐나다 인허가 기관이 eVinci 설계 검토 중





### 주요국 SMR 정책 및 기술개발 동향

에너지경제연구원

- (미국)청정에너지로 SMR 제시, 정부차원의 지원 확대(ARDP 등)

  - ✓ NuScale은 '26년 착공 목표로 개발중. 민간 기업들 중심의 경수형 SMR 개발중
    - GEH社(BWRX-300, 캐나다 건설 추진), Holtec社(SMR-160, 상세설계 진행중)
  - ✓ 2035년까지 모든 전기를 재생 에너지와 원전을 활용한 무탄소에너지로 100% 전환 목표
  - ✓ 기존 원전의 조기폐쇄를 막고 일자리를 보전하기 위해 Civil Nuclear Credit(CNC) 프로그램 가동. 2차 CNC 프로그램에는 60억달러 투자
    - CNC 프로그램은 1.2조 달러의 예산을 집행하는 미국의 일자리법(IJA)의 일환
  - ✓ IRA를 통해 기존/신규원전에 세액공제, 연구개발 지원 등 시행
  - ✓ 원자력 기술을 개발하는 국가에 SMR 등 첨단 원자력 기술 역량 구축 지원 프로그램 FIRST(Foundational Infrastructure for Responsible Use of Small Modular Reactor Technology) 운영
- (유럽)'22.7월 EU Green Taxonomy에 원자력 포함. 주요국, SMR 개발 추진중

  - ✓ 프랑스 및 영국을 중심으로 다수의 국가가 개발 추진 중
  - ✓ EDF社(Nuward, 기본설계 중), Rolls-royce社(UK-SMR, 설계 및 사전인허가 중)
- (캐나다) CNSC는 Vendor Design Review를 통해 각국의 SMR 설계를 검토하고, 그 결과를 바탕으로 연방/주정부 차원에서 자국내 도입 추진

  - ✓ (VDR) 9개 SMR 유형의 VDR 진행중; 경수형 2개
- (중국) 14차 5개년 계획('21~'25), 다수의 SMR 개발 및 상용화계획 포함

  - ✓ 20기 설치를 목표로 약 90억달러 투자계획 발표
  - ✓ 자국 경수로 노형인 ACP-100 국내착공('26년 준공목표)

25

## 정부의 원전관련 정책 동향

### ➢ 2022.7.5., '새정부 에너지 정책 방향' 발표

- ✓ (비전) 기후변화 대응, 에너지안보 강화, 에너지 신산업 창출을 통한 튼튼한 에너지 시스템 구현
- ✓ (목표) 원전비중 확대, 화석연료 수입의존도 감소, 에너지혁신벤처기업 성장

### ➢ 2023.1., '10차 전력수급기본계획' 발표

- ✓ 기존 원전 계속운전 및 신규원전 준공 반영
- ✓ '36년까지 신재생 108.3GW, 원전 31.7GW로 확대
- ✓ 원전은 '30년 32.4%, '36년 34.6%로 증가할 전망

### ➢ 신한울 3·4호기는 2024년 착공할 예정

- ✓ 2023. 3. 29., 한국수력원자력과 두산에너지가 신한울 3·4호기 주기기 계약 체결

### ➢ 2023.4., '탄소중립·녹색성장 국가 전략 및 제1차 국가 기본계획(안)' 수립

- ✓ (근거법) 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(탄소중립기본법)
- ✓ 2021.10., 우리나라 2030년 NDC를 2018년 대비 26.3%에서 40%로 상향
- ✓ 1차 타기본은 감축수단별 이행 가능성 등을 고려하여 부문간 감축목표 일부 조정

< 전원별 발전량 및 비중 전망 (단위 : TWh) >

연도	구분	원자력	석탄	LNG	신재생*	수소 암모니아	기타	계
'30년	발전량	201.7	122.5	142.4	134.1	13.0	8.1	621.8
	비중	32.4%	19.7%	22.9%	21.6%	2.1%	1.3%	100%
'36년	발전량	230.7	95.9	62.3	204.4	47.4	26.6	667.3
	비중	34.6%	14.4%	9.3%	30.6%	7.1%	4.0%	100%

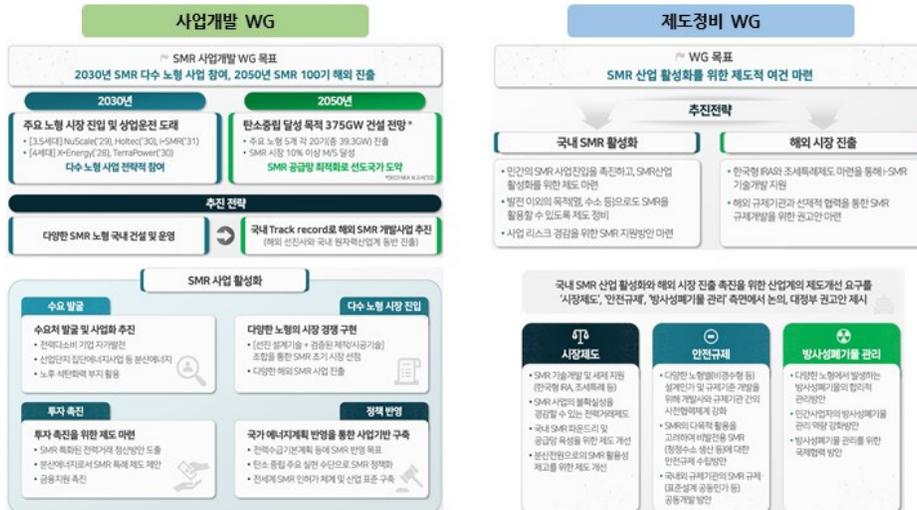
\* 태양광·풍력 출력제어 후 발전량 비중(출력제어 전 '30년 22.1%, '36년 33.0%)

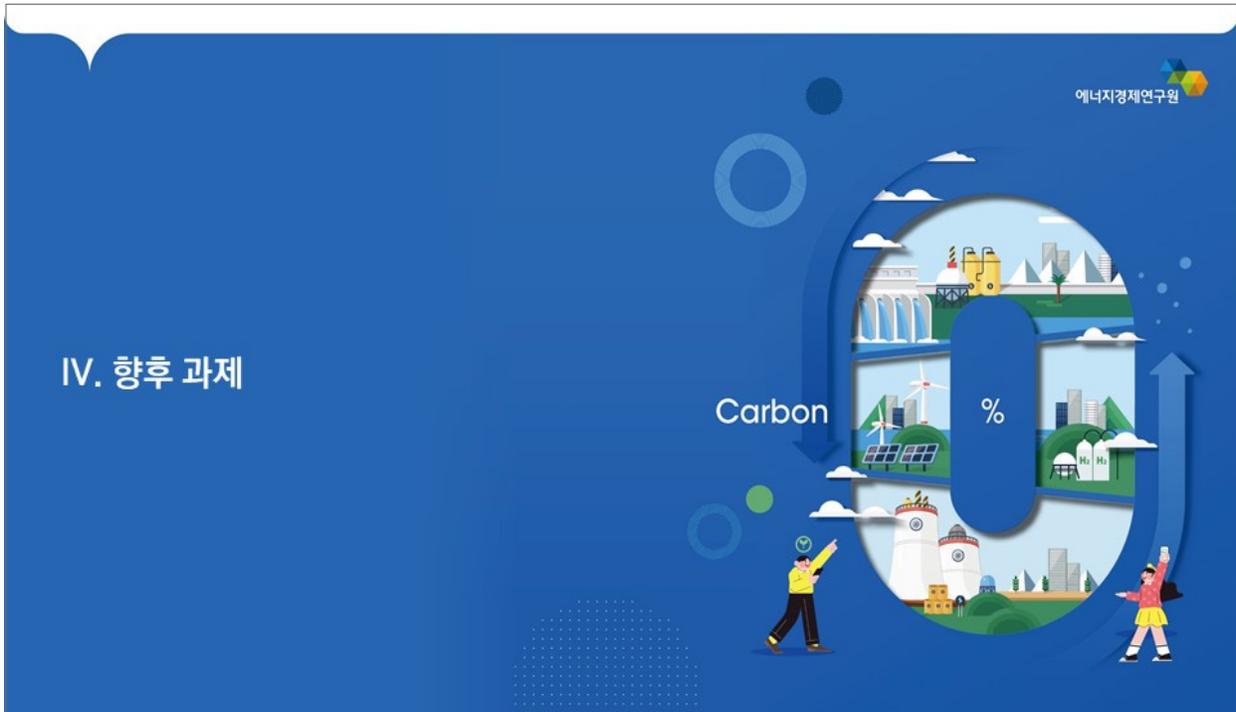
(단위: 백만톤 CO<sub>2</sub>e, 괄호는 '18년 대비 감축률)

구분	부문	2018년 배출량	2030 목표	
			기존 NDC (21.10)	수정 NDC (23.3)
배출	배출량 합계	727.6	436.6 (40.0%)	436.6 (40.0%)
	전 환	269.6	149.9 (44.4%)	145.9 (45.9%) <sup>1)</sup>
	산 업	260.5	222.6 (14.5%)	230.7 (11.4%)
	건 물	52.1	35.0 (32.8%)	35.0 (32.8%)
	수 송	98.1	61.0 (37.8%)	61.0 (37.8%)
	농축수산	24.7	18.0 (27.1%)	18.0 (27.1%)
	폐기물	17.1	9.1 (46.8%)	9.1 (46.8%)
	수 소	(-)	7.6	8.4 <sup>2)</sup>
흡수·제거	합계	5.6	3.9	3.9
	흡수원	(-41.3)	-26.7	-26.7
	CCUS	(-)	-10.3	-11.2 <sup>3)</sup>
계	국제감축	(-)	-33.5	-37.5 <sup>4)</sup>

## 민관협력 SMR 얼라이언스 출범(2023.7.4.)

### ➢ SMR분야 국가 경쟁력 강화를 위해 SMR 사업개발과 제도정비 전략 수립





### SMR 상용화 이슈

- SMR 기술 조기 개발

  - ✓ SMR 기술 개발 활성화를 위한 지원제도(한국형 IRA, 조세특례 등) 강화
  - ✓ SMR 기술 개발 및 사업 리스크 감소를 통해 민간의 적극적 투자 유도
  - ✓ 개발자와 규제기관에 SMR개발 단계에서부터 인허가 요건 등 공동 개발
- SMR의 경제성 확보

  - ✓ 연속 또는 반복 생산을 통한 제작 및 건설비용 절감을 위해 “프로젝트(project) 기반”에서 “제품(product) 기반”의 사업 구조로 전환 모색
- SMR의 다목적 활용(수소, 열 등)을 위한 안전규제

  - ✓ SMR은 전력생산 뿐만 아니라 수소, 열 공급 등 다목적으로 활용하고, 심층탈탄소화(deep decarbonization)에 기여할 수 있지만, 이에 대한 안전규제 미비
- 방사성폐기물 관리 정책 미비에 따른 문제점 개선

  - ✓ 민간사업자 관점에서 다양한 방폐물의 합리적 관리 및 방폐물 관리 정책의 효과성 개선 필요

30

...

# 감사합니다

  
에너지경제연구원

## 세션1 탄소중립 달성과 SMR의 역할 토론회

토론자: 임채영

### ❖ 탄소중립을 달성하는데 원자력의 역할이 재조명되는 것은 에너지 시장환경의 변화에서 비롯된 것임

- 재생에너지 중심의 탄소중립을 추구하는 과정에서 가교 역할을 할 것으로 기대했던 천연가스의 구조적인 공급 불안정, 중국 주도의 재생에너지와 배터리 공급망 형성에 대한 우려 등
- 따라서 이러한 구조적인 요인이 해소되지 않는한 원자력 발전에 대한 선호는 지속될 것으로 전망됨

### ❖ 가장 크고 가시화된 SMR 시장은 미국과 캐나다이므로 이 시장에 접근할 수 있는 사업 모델과 기술개발, 실증이 이루어져야 함

- 미국은 그동안 침체되었던 원자력 산업을 부흥시켜서 원전 종주국의 위상을 되찾고 세계시장 지배력을 유지하기 위해 소형모듈원자로의 개발과 건설을 촉진하는 다양한 지원정책을 시행중
- 특히 새로운 기술을 적용하는 원전이 신속하게 시장에 진입할 수 있도록 자금을 지원하고 규제 환경을 개선하는 한편 핵 연료 공급망 강화를 적극 추진중
- 캐나다 연방정부는 투자기금을 마련하여 신기술 실증을 지원하고 있고 주정부는 소형 모듈원자로 건설 프로젝트를 지원하고 있음. 이러한 우호적인 지원 환경과 유연한 규제 제도 덕분에 다수의 SMR 개발사들은 캐나다를 SMR 기술 실증의 테스트베드로 활용하기 위해 사업을 진행중

---

❖ 러시아가 세계 원자력 시장과 공급망에서 배제되면 다양한 측면에서 세계 원자력산업에 영향을 미칠 것임. 글로벌 원자력 산업의 상호 연결된 특성으로 인해 이러한 영향은 전 세계 원자력 산업의 지형을 재편하는 단초가 될 수 있으므로 이에 대한 대비가 필요함

- 러시아는 현재 고순도 저농축 우라늄(HALEU)을 상업적으로 공급할 수 있는 유일한 나라이므로 러시아의 배제는 SMR 기술간의 경쟁에 영향을 미칠 수 있음
- HALEU를 연료로 사용하는 비경수형 SMR의 경우 핵연료 농축도를 낮추거나 상용화 시점을 늦추는 등 조정이 필요함

❖ SMR은 단순히 기존의 대형원전의 출력이 작아진 것이 아니라 사업모델과 시장이 다른 새로운 상품이므로 새로운 틀이 필요함

- 사업화 방식, 안전 규제, 공급망 구축 등에서 새로운 접근이 필요함

## 세션1 탄소중립 달성과 SMR의 역할 토론회

토론자: 이희범

### ▣ 두산의 SMR 사업 참여

#### ○ 참여 배경

- 탈원전으로 인한 매출 하락 및 수주 포텐셜 감소
- 새울 3,4호기 (신고리 5,6호기) 제작이 막바지 단계에 다다르며 공장 부하가 '22년 30% 이하로 하락하며 대규모 미회수 고정비 발생
- 두산은 지난 정부의 에너지 전환 정책으로 예견된 위기를 극복하고자 SMR 사업 진출을 새로운 성장동력으로 적극 추진하였음
- 두산은 SMR 사업 진출을 계획하며 아래와 같은 특징을 발견하였음
  - 1) 기존 Major 원전 업체보다 스타트업 개발 업체의 강세(미국에서는 '12년부터 미 정부의 SMR 개발 프로그램에 따라 다수의 업체들이 정부 Funding 경쟁에 있었는데, BWXT나 Holtec, Westinghouse 같은 대형 업체들이 아닌 NuScale이 최종 지원 대상으로 선정되었으며 이후 ARDP (Advanced Reactor Development Program)에 지원 노형으로 선정된 테라파워사와 X-energy사 또한 스타트업임)
  - 2) 스타트업으로 이루어진 SMR 개발사들은 노형 개발이라는 회사 미션의 특성 상 엔지니어링 업체로 Fabless 기업의 비율이 굉장히 높음
  - 3) SMR 개발사들은 개발 중인 SMR의 제작성 및 경제성 확보를 위해 개발 단계에서부터 제작사와의 파트너십을 통해 설계 완성도 제고를 추진
- 두산은 이러한 점을 감안하여 NuScale, X-energy 등과의 협력을 통해 주요 노형의 기자재 공급권을 확보하였음

## SMR 사업의 특징

### ○ 기자재 제작의 특수성

- SMR은 작은 원자로이지만 기자재의 크기는 대형원전 기자재를 능가하는 수준(77 MWe의 NuScale이 APR1400 원자로보다 1.5배 넘게 큰 수준임)
- 따라서 원전 기자재 제작 업체라고 SMR 기자재를 모두 제작할 수 있는 것은 아니며 충분한 설비와 사전 준비가 필수적임
- 또한, SMR의 구조는 다양한 기기와 배관이 하나의 원자로 모듈로 통합된 만큼 매우 복잡한 수준으로 제작 난이도가 최상급임
- 대형 소재를 핸들링하고 용접할 수 있는 역량 뿐만 아니라 협소부위 특수 용접 제관 기술이 요구되며, 증기발생기 또한 Helical Type으로 되어 있어 3D Bending 기술과 코일링 기술이 필요함
- 가장 큰 문제는 대부분의 SMR 들이 경쟁력을 확보하기 위해 건설기간을 2년 또는 3년 등 타이트한 일정을 목표로 하고 있는데 반해 SMR의 기자재 제작은 대형원전의 기자재 제작 (통상 50개월 전후)보다 더 오래 걸린다는 사실임
- 결국 SMR이 상업적으로 성공하기 위해서는 대형원전보다 건설기간을 단축할 수 있는 제작 기술이 뒷받침 되어야 하며, 반대로 이야기한다면 SMR 기자재의 제작기간을 혁신적으로 단축할 수 있는 업체가 있다면 전세계 SMR 시장을 선점할 수 있다고 설명할 수 있음
- 우리나라는 한수원의 뛰어난 사업관리 능력과 더불어 기자재 제작 Supply Chain에 강점이 있기 때문에 적기에 기술 확보만 될 수 있다면 향후 SMR 시장에서 주도권을 획득할 수 있을 것으로 전망함

### ○ SMR의 사업적 특성

- 대형원전은 미국, 프랑스, 일본, 러시아, 중국, 그리고 우리나라 등 6개국의 제한된 업체들이 세계 시장에서 경쟁을 펼치고 있어 국가 대항전 성격의 경쟁을 하고 있음
- 반면 SMR의 경우 아직 상용화를 위한 경쟁이 본격화되지 않았지만 아래와 같은 특징을 가짐

- 1) 국가 대항전보다는 다국적연합군의 경쟁이 될 가능성이 높음. 현재 개발되고 있는 SMR들이 자국 정부의 지원과 이를 위한 Matching Fund를 확보하는 과정에서 여러 국가의 업체/기관으로부터 투자를 유치하였음.
- 2) 노형 자체의 경쟁력도 중요하지만 SMR 사업에서는 사업개발 역량이 매우 중요해질 것으로 보임. SMR의 경우 다양한 용량과 다양한 설계 특성을 가지고 있어 건설 부지의 특징이나 환경에 따라 필요한 노형이 달라질 수 있어 자사 노형에 맞는 부지를 찾고 사업 개발을 하는 것이 확산에 중요한 요소가 될 것을 보임
- 3) 기존 사업과는 다른 사업 방식을 고민할 필요가 있음. 두산은 SMR Foundry를 준비하면서 향후 시장의 확대 가능성을 분석하는 과정에서 필요한 투자계획과 이를 절감하기 위한 방안을 모색하고 있음. 최근 내부적으로는 어느 정도의 꾸준한 수요만 확보된다면 기존의 발주 방식과 다르게 미리 원자로 모듈을 만들어 놓고 판매하는 방식은 어떻냐는 의견이 나올 정도로 새로운 사업 방식에 대한 고민이 활발하게 이루어지고 있음

## 세션1 탄소중립 달성과 SMR의 역할 토론편

토론자: 노동석

### ❖ 탄소중립 달성을 위해 원자력의 활용이 불가피함

- 탄소중립 달성을 위해서는 에너지소비의 합리화, 산업·수송·건물 부문의 화석연료 소비를 전기로 대체(전기화), 전력수요는 무탄소 전원으로 공급해야 함.
- 우리나라는 최종에너지 소비중 약 92%를 화석연료에 의존하고 있음.
  - 최종에너지 소비 중 전력비중이 20%이고 이중 재생e와 원자력을 합한 무탄소 전력은 40%에 불과함.
- 우리나라의 에너지수급 여건을 고려할 때 탄소배출 저감 대안으로서 원자력의 활용은 불가피함.

### ❖ 이전 정부의 탈원전 정책을 폐기한 윤석열 정부는 '실현가능하고 합리적인 에너지믹스 재정립'을 공약으로 제시

- '21년 우리나라는 '18년의 온실가스 배출량을 '30년까지 40% 감축하겠다는 것을 국제 사회에 약속한 바 있으며 '50년 탄소중립을 발표했다.
  - 이에 따라 전환부문은 '30년의 발전 중 재생e 비중을 9차 전기본의 20% 수준에서 30%로 상향 조정했음.
- 탈원전 폐기후 수립된 10차 전기본에서는 재생e 비중을 21.6%로 NDC 상향안에 비해 하향 조정하고, 재생e 비중 감소에 의한 전력량을 원자력 발전의 확대에 대응기로 함.
  - 2030까지 계속운전 대상 원전 (10기, 8.2GW)

**SMR은 대형원전과 화석연료 발전을 대체하여 탄소배출을 저감할 수 있는 유력한 대안으로서 각국은 기술개발에 열중하고 있음.**

- 전세계에서 80종 이상의 SMR이 개발 중임
  - SMR은 사고 확률 저감 및 피동안전 기능, 주기기의 공장제작과 모듈방식 건설, 탄력적 증감발로 부하추종운전이 가능하여 재생e의 변동성을 보완할 수 있을 것으로 기대됨.
  - 반면 미국, 영국 등 해외 주요국과 달리 우리나라에서 SMR의 발전비용은 대형원전에 비해 높을 것임.
- 전세계 SMR 시장규모는 '35년까지 65~85GW(영국) 또는 '30~'40년 기간 중 연간 146조원(캐나다)으로 평가되고 있음.
- SMR 선두주자인 Nuscale power의 주가는 과거 4년여간('18~'22.6) \$10 수준에서 변동이 없다가 '22.8 \$15로 정점을 찍은 후 '23.9 \$5~6로 하락했음.
  - 각국의 투자자들은 SMR의 불확실성이 증가하고 있다고 판단하는 것으로 추정됨.
- SMR의 성공가능성은 아직 불확실성이 높다고 할 수 있음.

**우리나라는 '23.2 앞으로 6년간 i-SMR 기술개발을 담당할 사업단, SMR 산업 기반 구축과 정책 방향 수립을 위한 소통의 장으로써 '민관합동 SMR 얼라이언스'를 '23.7 출범했음.**

- '28년 기술개발 완료, '31년 최초 모듈 완공 목표
  - 기술개발과 인허가 절차 병행 필요
- '국내 고유기술 적용'과 '반복 건설 및 다수 모듈 고려'가 중요함.
  - 지적재산권의 소유와 여러 개의 모듈 생산이 보장되어야 함.
- SPC(특수목적법인) 설립, 연구와 홍보, 마케팅 공동 수행 등

## i-SMR 성공의 몇 가지 조건

### ○ 실증 모듈의 국내 건설

- i-SMR은 수출을 전제로 개발되는 것이라는 산업부의 입장은 공식적으로 철회된 바가 없음.
- 우리가 개발한 원자료를 우리는 활용하지 않고 수출만 한다는 것은 이치에 맞지 않음.
- '28년까지 i-SMR 부지 확보 필요

### ○ SPC의 설립

- GS, SK, 두산 등 우리나라를 대표하는 대기업들은 해외 SMR 개발사에 거액을 기투자, 투자조건은 주기기 제작, EPC(설계, 조달, 시공), 디벨로퍼 등
- 우리가 개발하는 기술의 문호를 개방하고 더 높은 메리트가 있음을 보이면 국내 기업은 물론 해외 자본들도 투자를 마다할 이유가 없음.

### ○ 기술개발 초기단계에서부터 물량 확보 노력 필요

- 대량 생산이 보장되지 않는다면 i-SMR의 경제성은 확보될 수 없음.

## 세션1 탄소중립 달성과 SMR의 역할 토론회

토론자: 최광식

### ❖ 혁신형 SMR 기술개발 현황

#### ○ 추진경과 및 향후일정

- 혁신형 SMR 개발은 2019년부터 산학연 공동 SMR 개발방안 협의로 시작
- 2021년부터 3년간 한수원 주도로 혁신형 SMR 기본설계 과제 진행중
- 2021년 4월부터 혁신형 SMR 국회포럼 4회 개최(국회의원 20여명 참여)
  - \* (1차, 2021. 4.14.) SMR 필요성 및 개발 방향
  - (2차, 2021. 9.15.) 개발 전략 및 수출환경 조성
  - (3차, 2022. 4.18.) 세계 SMR 개발 이슈 및 성공 전략
  - (4차, 2023. 2. 2.) i-SMR 성공적 개발 및 사업화 추진방안
- 2022년 정부 예비타당성조사 통과, 2023년 사업단\* 발족 및 사업착수
  - \* 2023.2.6. 법인 설립, 대전시 위치, 사업단장 등 29명(파견 16명, 채용 13명)
- 2023년, 혁신기술(개발/제조/검증) 11개 과제 착수, 2028년 개발 완료
- 2024년, 표준설계 24개 과제 착수, 2025년 개발 완료
- 2026년부터 3년간, 표준설계인가 심사

#### ○ 혁신형 SMR 특성 및 개발전략

- 가압경수형(PWR), 전기출력 170 MWe, 설계수명 80년, 내진설계 0.5g
- (일체형 원자로) 위협적인 대형 냉각재 상실 사고 원천적 배제, 공장 생산 및 현장 조립에 최적화
- (피동형 안전계통) 전력 및 조작이 필요 없는 피동 안전계통, 단순화로 공장요소 및 정비수요 저감, 현재 대비 사고가능성 1/1000 이하

- (무봉산 운전) 액체 폐기물 발생량 저감, 장기적인 피동냉각 가능, 내장형 제어봉 구동 장치로 이탈사고 방지
- (복수모듈 설치) 통합 주제어실, 대형 기기 및 계통 공유, 운영 인력 최소화
- (다양한 활용) 전기 생산, 수소, 열, 담수 등이 가능한 설계 구현

## 혁신형 SMR 성공을 위한 과제

### ○ 안전에 대한 국민 수용성

- 혁신형 SMR 성공의 첫 번째 조건은 안전한 원자로를 개발하는 것
- 얼마나 안전해야 충분히 안전하다고 할 수 있는가?
- 기술적 or 사회적 관점에서 안전에 대한 국민 수용성 확보 전략 필요

### ○ 안전성과 더불어 경제성도 동시에 확보

- 원전산업은 안전성과 경제성이 반비례, 규모의 경제가 유효한 산업
- 혁신형 SMR이 규모의 경제를 극복하는 방안으로 ‘혁신기술\*’ 적용이 필수

#### \* 피동안전계통 적용으로 설계를 단순화

원자로 모듈 설계 및 공작 제작으로 건설물량 대폭 축소

혁신적인 제작기술 적용으로 주기기 제작기간 단축

AI/IoT, 원격운전/예측진단 등 활용, 운영인력 최소화

### ○ 혁신형 SMR에 맞게 안전규제 제도 개선 필요

- 현행 원자력안전법 규제요건은 기존 대형원전을 기준으로 하고 있어, SMR 혁신설계와의 차이로 인한 인허가 지연요소 발생 가능
- \* (설계) 무봉산운전, 방사선원향, 안전등급 전력계통(능동-피동 안전계통)  
(운영) 운전원 최소인원수, 원격/자동제어(탄력운전)  
(제도) 통합인허가(건설/운영허가), 4개 원자로모듈 건설/운영허가 일괄 승인

- 원안위는 미국의 Pre-Application Review, 캐나다의 Vendor Design Review 등과 유사한 '사전설계검토'를 새롭게 마련
- 표준설계인가 전, 기초설계자료 등을 바탕으로 현행 규제기준 적용 여부를 검토하여, 표준설계인가 심사기반\*을 조기에 구축해 나갈 예정임
  - \* (규제정비) SMR 특성을 반영한 법령, 규칙, 고시 제/개정 추진  
(심사활용) 표준설계인가 심사시 직접적으로 적용가능한 심사지침 등 개발
- 사업단과 개발자는 양질의 사전설계검토 대상서류\*를 적기에 제출할 계획임
  - \* 설계특성설명서, 격차분석보고서, 설계기술보고서(7개 기술주제)

○ 최초호기 건설 준비

- 혁신형 SMR이 세계시장을 선점하기 위해서는 기술개발과 병행하여 최초호기 건설을 위한 준비를 조기에 착수해야 함
  - \* (전원계획) 전력수급기본계획 반영 및 건설부지 확보
    - (건설준비) 표준설계인가 심사와 건설허가 신청서류(PSAR, RER 등) 준비 병행, 비예타과제, 건설 최적화 설계 조기 확정/개발 착수, 주기기 등 조기 발주(최초 제작 고려, 제작/검증에 충분한 시간 필요), 사업화를 위한 지재권 문제 해결
    - (사업자) 사업화 추진기관의 조속한 결정 및 건설준비 조직 조기 발족
    - (해외사업) 현지 인허가제도 분석, 부지확보/사업구조/자금조달 등 비즈니스 모델 구체화

# 에너지경제연구원 연례 정책세미나

합리적인 에너지믹스 구축과 에너지안보

주제

## 에너지 안보와 공급망 강화전략

- 발표자: 김진수 한양대학교 자원환경공학과 교수



2023 에너지경제연구원 연례 정책세미나

에너지경제연구원

# 에너지 안보와 공급망 강화전략

2023. 09. 25.

한양대학교 김진수

A large graphic on the right side of the slide. It features a central circular area containing various energy-related icons: a dam, wind turbines, solar panels, a city skyline, and a power plant. The word 'Carbon' is written to the left of the circle, and a percentage sign '%' is inside it. Two stylized human figures are positioned at the bottom of the circle, one pointing upwards and the other pointing downwards. The background is dark blue with some abstract circular patterns.

Contents  
목차

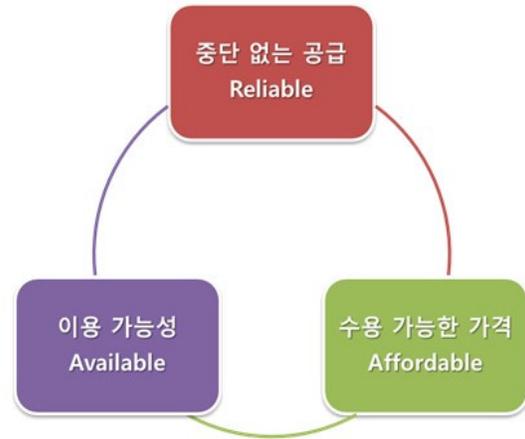
- 1 에너지 안보와 전력 안보
- 2 한국의 에너지 안보 현황
- 3 에너지 안보와 공급망 강화전략

에너지 안보와 공급망 강화전략

## 에너지 안보와 전력 안보 / 에너지 안보 정의

### 에너지 안보 확보 조건

- 안보(安保): “편안히 보전됨” 또는 “안전 보장”을 줄여 이르는 말로, 안전 보장은 외부의 위협이나 침략으로부터 국가와 국민의 안전을 지키는 일 (국립국어원 표준국어대사전)
- 즉, 에너지 안보는 에너지 공급에 대한 외부의 위협으로부터 안전을 지키는 일이며, “안전”은 에너지가 원활하게 공급되지 않아 경제활동과 주거, 이동 등 일상생활을 영위하지 못하게 되는 위험이 생길 염려가 없는 상태
- IEA(2001)는 다음과 같이 에너지 안보 확보의 조건을 설명: Availability of a regular supply of energy at an affordable price



3

## 에너지 안보와 전력 안보 / 전력 안보 개념

### 시스템 중심의 안보 개념(IEA, 2021)

- Operational security
  - 어떠한 종류든 사건 발생 후 전력 시스템이 정상 상태를 유지 또는 곧바로 정상 상태로 회복하는 능력(ability)
- Adequacy
  - 전력 수요에 맞추어 언제나 정상적인 운영 조건으로 전력을 공급하는 능력(ability)
- Resilience
  - 단기적인 충격이나 장기적인 변화가 발생했을 때 그것을 흡수하고, 수용하여 회복하기 위한 시스템(또는 시스템 일부의) 능력(ability)
  - 충격은 정상 상태를 벗어나는 변화를 의미

4

## 에너지 안보와 전력 안보 / 전력 안보 개념

### 시스템 중심의 안보 개념(계속)

- Reliability
  - 한 지역의 모든 조건을 고려한 전력 공급의 신뢰성(역사적 & 미래 이용 가능성, metric)
- Robustness
  - 전력 시스템의 극단적인 부정적영향 회피 능력(capability)
  - 회피 능력이지만 반드시 수용(adapt)할 필요는 없다는 측면에서 Resilience와는 다름
- Stability
  - 균형 운영 상태를 유지하고 아주 짧은(초 단위 이하) 장애로부터 회복하는 전력 시스템의 속성 (property)
  - 공급 장애와 균형 복귀 만을 의미한다는 측면에서 operational security와는 다름

5

## 에너지 안보와 전력 안보 / 미래의 에너지 안보



6

## 한국의 에너지 안보 현황 / 중단 없이 이용 가능한 공급

### 중단 없는 공급을 위한 다양한 수단 추진 중

- 한국은 전통적인 에너지안보 위기 대응 수단 중에서 “증산” 사용 불가능
  - 연료 전환 수단도 제한적
- 이를 보완하기 위하여 해외자원개발이나 수입 다변화, 국제 협력 등 활용
- 이외에 보조 수단으로 비상대응체계 구축과 R&D를 통한 기술역량 확보 고려 가능
- 석유 비축은 100일 이상(한국석유공사), 천연가스 비축은 9일(한국가스공사) 시행 중
- 비축 외에 다른 수단은 안보 대응 역량 후퇴



7

## 한국의 에너지 안보 현황 / 수용 가능한 가격

### 가격 측면에서 위기 대응 역량 약화

- 2022년 에너지 수입의존도 94.3%, 수입액 2,164억\$
  - 총 에너지 중 석유 비중 38.3%, 석탄 25.6%, 가스 19.8%/석유, 천연가스, 유연탄은 전량 수입
- 해외자원개발은 유용한 가격 위기 대응 수단
  - 수직 통합(vertical integration) 효과
  - 자원개발률 10% 내외로는 효과 미약 (일본은 현재 40%, 2030년 목표 50%)
- 수입다변화와 비상대응체계로 일부 대응 가능하나 보조 수단
- “경쟁적” 가격결정 구조 유지가 핵심
- 국내 산업구조도 가격 위기에 취약



8

## 한국의 에너지 안보 현황 / 지속 가능성

### 환경적 지속 가능성과 경제적 지속 가능성

- 지속 가능성(sustainability): 에너지안보 환경 변화로 새롭게 대두된 안보 개념
- 크게 환경적 지속 가능성과 경제적 지속 가능성으로 구분 가능
- 환경적 지속 가능성
  - 에너지 공급 시스템이 기후변화 문제로부터 얼마나 자유로운가(편안하게 보전되는가)
  - 기후 외 환경적 지속 가능성: 수자원, 대기오염, 생물다양성 등
- 경제적 지속 가능성
  - 에너지 공급 시스템이 자원 고갈 문제로부터 얼마나 자유로운가
  - 에너지 위기 대응력 강화에 소요되는 비용을 회수(조달)할 수 있는 구조인가

➔ 현재 우리나라는 두 가지 지속 가능성 모두 매우 취약

9

## 한국의 에너지 안보 현황 / 전력 안보

### 전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준

자료: 전력거래소(2022)

평가항목	기준					
	예비력	주파수제어 700MW	1차 1,000MW	2차 1,400MW	3차 1,400MW	운영예비력 4,500MW
주파수	평상시			60 ± 0.2Hz		
	고장시	발전기 1기			59.7Hz 이상	
		발전기 2기/SPS 동작			59.2Hz 이상	
전압			765kV	345kV	154kV	
	전압조정목표	745~785kV	336~360kV	152~164kV		
	전압유지기준	726~800kV	328~362kV	139~169kV		

⊕ 전력계통 신뢰도 지표

- 심각위험지표(SRI), 전력공급신뢰도(ROS), 설비 고장정지율(DGL, DTL), 선로 고장

10

## 안보와 공급망 강화전략 / 법적 근거와 거버넌스

### 에너지안보 강화를 위해 필요한 과제는 명확

- 과제 이행의 출발점으로 법적 근거 마련과 거버넌스 정립이 선행되어야 함
- 자원안보 특별법안 국회 계류 중
  - 정책의 안정성 및 지속성 확보 → 산재되어 있는 에너지안보 관련 법제의 통합 관리
  - 단, 전력 안보를 포괄하는 법제는 미비
- 에너지 시스템의 변화는 거버넌스 변화를 수반: 공급 방식의 다양화/분산화, 수요 관리의 중요성 증가, 에너지 시스템 통합
  - 주체별 권한과 의무 정립 필요



11

## 안보와 공급망 강화전략 / 공급망 강화

### 공급망/공급사슬 강화

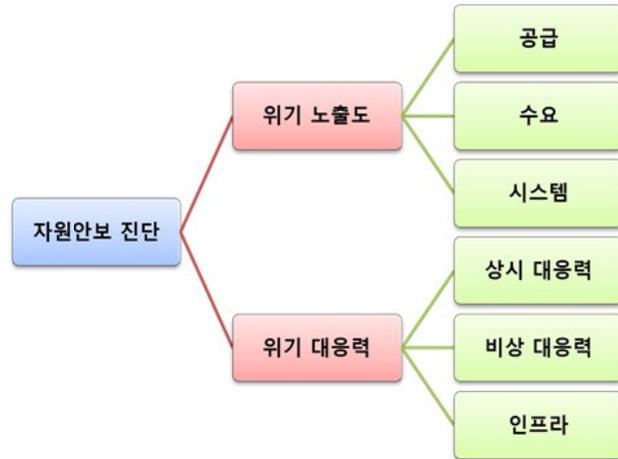
- 에너지 안보 패러다임의 근본적 변화
  - 실물 재화(석유, 천연가스) → 기술/설비(태양광, 풍력)
  - 안정적인 에너지 공급의 필요 조건 자체가 변화
- 해외자원개발과 핵심광물 공급망 확보
  - 해외자원개발은 “중산”의 대리 실현 수단이며 비상시 반입을 위해서도 필수적
  - 에너지안보에 있어서 핵심광물의 중요성이 높아진 만큼, 광물자원 공급망 확보 필요
- 기술과 설비의 독립이 에너지 안보 강화의 관건
  - 에너지 공급 설비와 인프라의 수입의존도가 높으면 결국 연료를 수입하는 현재와 같은 처지
  - 다만, 모든 가치사슬(공급사슬)을 국내에 갖추는 것은 비효율적
- 재활용 및 재자원화 산업 육성 필요

12

## 안보와 공급망 강화전략 / 공급망 강화

### 공급망 강화를 위한 진단·평가 체계 수립

- 에너지 안보 현황의 진단과 대응력 평가
  - 현황 진단과 대응력 평가는 에너지안보/공급망 강화 정책 수립의 출발점
  - 새로 정립된 에너지 안보 개념을 종합적·다면적으로 진단하고 평가할 수 있는 체계 마련
  - 조기경보체계 도입 검토



## 안보와 공급망 강화전략 / 공급망 강화

### 공급망 취약성 분석 필요

- 안보 진단과 공급망 분석
  - 안보 진단은 중장기적 관점의 대응 수단과 정책 대안 마련이 목표
  - 공급망 분석은 취약점 식별과 위기 발생 가능성 분석이 목표
  - 안보 진단과 공급망 분석을 연계하여 빈틈 없는 위기 대응 전략 수립 필요

〈공급망 분석예시: 풍력〉

핵심원료(광물)	1차 품목	2차 품목	유통 및 설치	최종재	사용 후 재활용
유리 섬유 탄소 섬유 케블라, 폴. 에탄트 발사 나무 철 흑수강 구리, 동 태오디올(디스프로슘 합금, 알루미늄) 흑수강 흑수강 구리 흑수강 백금족 금속 강철 콘크리트 강철 흑수강 아연 알루미늄 구리	회부 기어박스(중속기) 발전기 배어양 변도계	블레이드 터빈 타워 기초 구조물 허우 구조물 계통연계	육상 풍력: 도로/철도, 운송, 크레인 해상 풍력: 항구, 선박	풍력 발전 시스템	전통 금속 회수: 강철, 철, 구리, 알루미늄 재활용 골재: 콘크리트 신 재활용 기술: 유리 섬유, 탄소 섬유, 회로류 금속

자료: 한국자원경제학회(2023)

## 안보와 공급망 강화전략 / 전력 안보

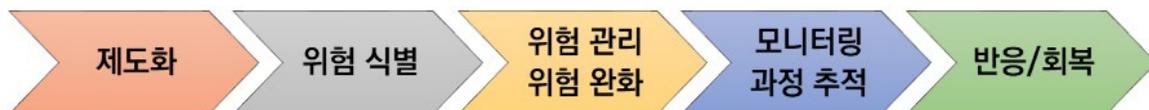
### ■ 상시적인 대응력과 신뢰성 확보

- 전력 위기 대응 거버넌스 정립
  - 컨트롤 타워 구축, 전력 신뢰성 기구 신설, 거버넌스 재정립
- 전력 안보 현황의 진단과 대응력 평가
- 시스템 유연성 확보, 수요 관리
- 연료 공급 안정성 강화
- 연구개발 및 국제협력
- 시장 혁신
- 전력계통 혁신투자
- 제도화 / 전력 안보를 위한 법적 근거 마련

15

## 안보와 공급망 강화전략 / 전력 안보

### ■ 에너지 전환기의 전력 안보 점검



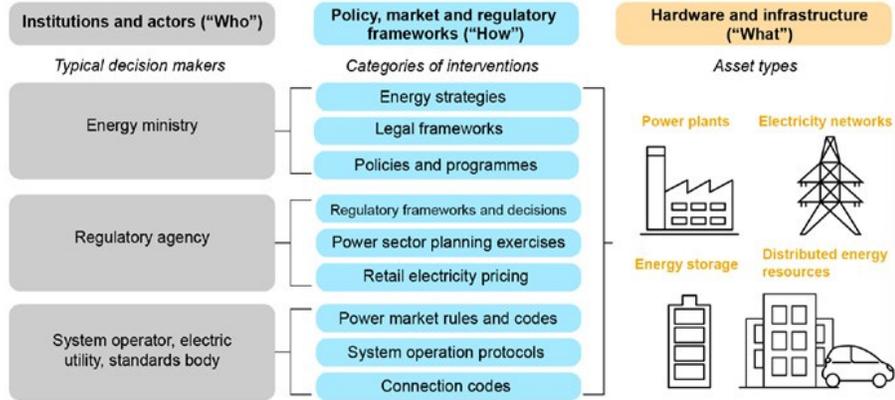
- System adequacy / Stability
- Investment signal
- Market design
- Flexibility
- Real-time system balancing
- Cyber security for supply chain, service provider, networks, and smart grid

16

## 안보와 공급망 강화전략 / 전력 안보

### 시스템 유연성 확보

- 전력 시스템 유연성 확보 체계



자료: IEA(2019)

## 안보와 공급망 강화전략 / 에너지 로드맵과 안보

### 원칙에 대한 고려 - (참고) 미국의 에너지 안보 원칙

- 유연하고 투명하며 경쟁적인 에너지 시장
- 에너지·연료원 및 경로 다변화 및 국내 에너지 공급 장려
- 온실가스 배출 감소 및 저탄소 경제로의 전환 가속으로 에너지안보 강화
- 수요와 공급 모두의 에너지 효율 향상 및 수요자원관리(demand response management)
- 청정하고 지속가능한 에너지 기술개발·적용 및 지속적인 연구개발·혁신 투자
- 에너지 인프라 현대화 및 수급 정책을 통해 구조적 충격 및 사이버공격에 강건한 에너지 시스템 대응력 구축
- 전략 비축, 연료 대체를 포함한 위기 대응 체계로 주요 에너지 공급 차질에 대비

## 안보와 공급망 강화전략 / 에너지 로드맵과 안보

### ■ 핵심 가치의 공유와 가치에 기반한 원칙 수립 필요

- 위기 자체를 회피할 수는 없으며, 결국 얼마나 적은 피해로 빠르게 회복하는가 가 중요(resilience)
- 안보는 중요한 가치이나 유일한 가치가 될 수는 없음 → 구성원 다수가 동의하는 핵심 가치의 설정과 공유 필요
- “조화로운” 에너지 포트폴리오 구축이 미래 에너지 시스템과 안보 측면에서 매우 중요



19

...

# 감사합니다

## 세션2 에너지 안보와 공급망 강화전략 토론문

토론자: 정준환

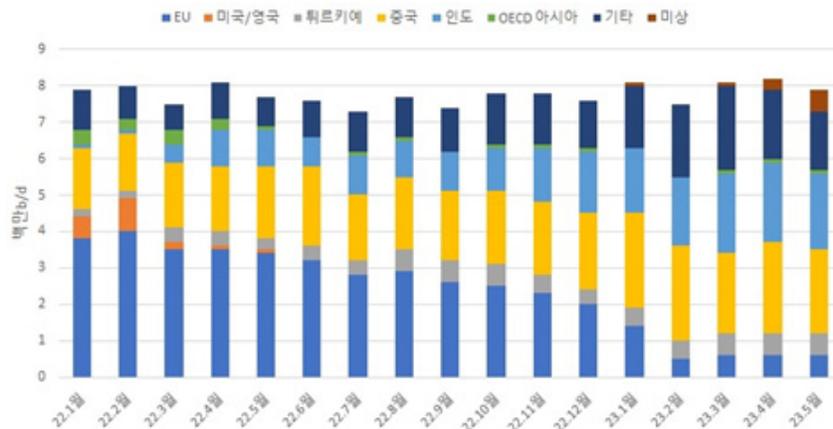
### ❖ 코로나19와 우크라이나 사태를 겪으면서, 국제 에너지시장의 공급위축과 불안정성 심화로 각 국가의 에너지확보 경쟁이 심화

- 우크라이나 사태가 당초 예상보다 장기화되면서 서방-러시아 간 상호 에너지 및 경제 분야의 제재가 확대되고 있음
- 우크라이나 사태가 종료되어도 서방의 러시아에 대한 경제 및 에너지 제재는 장기간 유지될 것으로 전망됨

### ❖ 러시아와 중국, 인도 등의 에너지 교역이 증가하면서 안보중심의 글로벌 에너지 공급망 재편이 진행되고 있음

- (석유) EU 및 OECD 아시아 국가들에 대한 러시아의 석유 수출량은 감소하는 반면, 對중국 및 인도 수출량은 급등
  - 對EU 수출 비중은 49%(1~2월)에서 28%(11월)까지 감소. 반면 對인도 수출량(10만 →100만b/d 이상)은 10배 이상 증가하며 수출비중이 급격히 증가

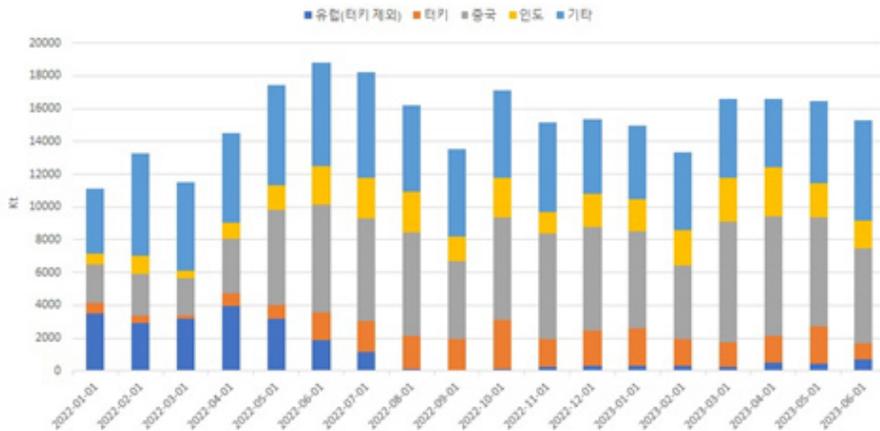
〈러시아산 석유 국가별 수출 추이〉



자료: IEA, Oil market report(2023.06)

- (천연가스) 러시아 PNG 공급축소에 대응해 유럽이 LNG 수입을 확대함에 따라 세계 LNG 시장에서 유럽의 비중은 20% 내외에서 30% 이상으로 빠르게 상승
- (석탄) 러시아의 對EU 석탄 수출량은 점차 감소하는 반면, 對중국, 인도, 튀르키예 석탄 수출량은 급증

〈러시아산 석탄 국가별 수출 추이(해상물량 기준)〉



자료: Refinitiv(2023.07)

### 📦 국제 에너지가격은 러시아의 우크라이나 침공이 촉발한 공급불안 요인으로 변동성이 확대됨

- 세계 석유시장은 '23년 상반기까지 수급 균형을 이루다가 OPEC+의 감산과 러시아 석유 금수 시행 등으로 계절적 수요가 증가하는 올해 하반기부터 초과수요 발생이 예상됨
- 국제 천연가스 가격은 신규 프로젝트 가동이 시작되는 '25~'26년 이전까지는 계절적 수요에 따라 등락을 반복하며 높은 변동성이 지속될 것으로 전망됨

### 📦 에너지안보를 위해서는 비축, 수요관리, 해외자원개발, 수입선다변화, 국제협력, R&D 및 비상대응역량 강화가 필요함

- 과거 우리나라 에너지안보 정책은 비축과 해외자원개발 중심으로 추진되었지만, 에너지 전환이라는 흐름을 고려하면 비축과 해외자원개발 정책의 패러다임 변화가 예상됨

- 미래 에너지믹스는 재생에너지, 원자력, 수소와 같은 무탄소에너지 중심으로 재편될 것으로 예상함
- 향후 에너지안보 강화를 위해서는 과거 중요도가 낮았던 국내자원개발, 자원의 재활용 및 재자원화, 효율향상과 같은 정책들에 대한 재점검이 필요함
  - 에너지안보 강화는 우리나라가 자체적으로 생산 가능한 에너지자원을 확보하는 것이 중요함
- 국가 전체적으로 조화로운 에너지 포트폴리오를 구성하는 것도 에너지안보를 제고할 수 있는 유용한 방안이 될 수 있음
  - 특정 에너지원에 집중하는 정책은 과거 석유위기처럼 에너지안보 위기를 초래할 가능성이 높아짐
- 에너지안보를 강화하더라도 에너지위기가 발생하는 경우에는 사회적 취약계층의 고통이 가중될 가능성이 있으며, 에너지복지를 강화하는 것도 에너지안보와 같이 고려될 필요가 있음
  - 취약계층에 대한 소득지원 강화, 에너지 형태별 지원 차별화, 계층별 지원 범위 및 수준의 차등화 논의가 필요함

## 세션2 에너지 안보와 공급망 강화전략 토론편

토론자: 박현규

❖ 발표 내용 중 에너지 안보 측면에서 두 가지(환경·경제) 지속 가능성과 조화로운 에너지 포트폴리오 구축이 중요하다는 점에 특히 공감함

❖ 탄소중립 기조 속에서도 석유자원의 수요·공급은 '50년까지 지속될 것

- IEA는 '50년까지 신재생에너지가 증가하더라도 석유 및 가스의 비중이 지속적으로 유지될 것으로 예상하며, 미국 및 유럽 등 다른 국가 사례를 보면 재생에너지의 확대가 석유수요 감소로 연결되지 않음을 알 수 있음
  - (미국) 재생에너지 발전량 2000년 72Twh → 2021년 624Twh로 약 8배 증가, 석유 소비 1,960만 → 1,870만b/d로 4% 감소
  - (유럽) 재생에너지 발전량 2000년 65Twh → 2021년 946Twh로 약 14배 증가, 석유 소비 1,620만 → 1,350만b/d로 16% 감소
- 석유화학제품 원료로 활용되는 석유 수요('22년 기준 58%)는 현재 기술로 대체 불가능하고 항공 및 선박용 연료도 대체 자원이 거의 없으며 전기차의 내연기관차 대체 역시 장기간 소요될 것으로 예상
  - IEA 탄소중립 시나리오에 따르면 2050년 내연기관 차량은 전체 중 60%를 차지
- 석유·가스는 기저 에너지원으로서 수급 불안 발생 시 전반적인 에너지 비용이 상승하므로 에너지 전환을 저해할 수 있음. 향후 오랜 기간 석유·가스가 신재생에너지의 간헐성과 고비용을 보완하는 역할을 수행할 예정

## ❖ 러-우 전쟁 이후 에너지 안보가 중요 이슈로 떠오름에 따라 세계 각국에서 에너지 다변화 및 자국화 움직임 확산 중

- 주요국들은 신재생에너지 비중을 높이면서 전통에너지도 확보하는 전략 추구
  - (미국) IRA(Inflation Reduction Act) 등으로 신재생에너지 확대를 추진하는 동시에 자국 내 석유생산을 독려하며 최대 생산량 경신 예상
  - (유럽) RePowerEU 등으로 신재생에너지 확대 추진 중이며 러시아 의존도를 줄이기 위해 석유·가스의 공급원 다변화 추진
- 서유럽은 국내 에너지위기 타개를 위하여 자국내 에너지기업들 국유화하는 등 적극적인 정책 추진(EDF 국유화(佛, '22.7월), Uniper 국유화(獨, '22.9월))

## ❖ 우리 공사는 저탄소 에너지원 확보뿐만 아니라 석유 안보에도 만전을 기하며 에너지 전환시기에도 에너지 안보의 핵심적 역할을 수행할 예정

- (비축) 전국 9개 비축기지에 IEA 기준 127일분의 비축유를 확보하고 있으며 이는 IEA 회원국 중 4위에 해당. 러-우 사태에 따른 수급위기가 발생하였을 때 국제사회 공조를 통해 1,485만B을 방출하는 등 국내수급 안정화에 기여 중
  - 향후 수소·암모니아의 수요 증가 시 비축기지 및 에너지허브 시설을 전환하여 수소 화합물(암모니아 등)을 비축하며 에너지 안보를 실현할 예정
- (E&P) 에너지 자급자족을 목표로 국내대륙붕 탐사·개발 계획인 “광개토 프로젝트”를 시행 중이며, 공급망 다변화를 위해 중동 외 지역(동남아, 호주 등)에서 신규사업 계획 중. 안정적인 석유자원 공급망을 확보하여 에너지 무기화 대비
  - “광개토 프로젝트”로 확보한 이산화탄소 저장소는 CCS 사업을 추진하며 국가 탄소 중립 달성에 기여할 예정. 또한 글로벌 E&P사와 협력하여 수소/암모니아 생산·도입 사업에 참여하는 등 저탄소 에너지원 공급망을 선점할 계획

## ❖ 환경적 제약으로 신재생에너지 잠재량이 낮은 우리나라의 경우, 미래 에너지 안보를 위해 심도 깊은 논의 필요

- 정부 탄소중립 시나리오에 따르면, '50년 수소수요는 27.9백만톤으로 추정되며 재생 에너지 국내여건을 고려하여 80% 이상을 수입할 예정. 이는 미래에도 현재 석유·가스 상황과 같이 공급불안정을 우려할 가능성이 높음
- 탈세계화의 기조 속에서 안정적인 공급을 위한 자주개발률을 높이는 것은 더욱 더 힘들어질 것이라 판단되며, 에너지 자립을 위하여 공급망 강화 외에 에너지 효율 개선 및 절약 등 다른 방안도 고민 필요
- 또한, 국민 대다수가 동의하는 방향으로 나아가기 위해서는 경제성 확보가 우선되어야 하므로 신재생에너지의 확대는 더디게 진행될 것이고 오랜 기간 다양한 에너지원이 공존하는 에너지 다원화 시대를 예상
  - 신재생에너지가 확대되더라도 에너지원 편향은 위험. '21년 북해 바람이 멈추자 풍력 발전에 의존하던 英전기값은 7배 급등했으며 이러한 사례는 기후 변화로 인해 빈번히 발생할 것으로 예상
- 따라서, 에너지 포트폴리오를 구성할 때 어떻게 에너지 믹스를 구성할 것인지도 함께 논의하여야 하며, 이는 한 번에 끝나는 것이 아니라 탄소세, 수급안정 등의 조건들을 주기적으로 검토하여 상황에 맞게 변화하는 유연성을 갖춰야 함

## ❖ 조화로운 포트폴리오로 에너지 전환기에는 에너지 자립이 가능하길 희망

## 세션2 에너지 안보와 공급망 강화전략 토론문

토론자: 조강철

### ❖ 해외자원개발은 한국의 에너지 안보 위기 극복을 위한 최선의 수단

- 에너지 빈국인 한국의 열악한 여건 속에서 국가 에너지 안보를 위한 노력의 수단으로 해외자원개발 추진 필요
  - 최근 예기치 못한 러-우 전쟁에 따른 글로벌 에너지 수급 불균형으로 전 세계는 가스 가격 급등 및 에너지 위기에 직면함에 따라 에너지 안보의 중요성이 대두되고 있음
- 주요 수단으로서의 해외자원개발 추진을 위한 3가지 조건\* 충족을 위하여 에너지 업계의 협력 및 정부의 지속적인 지원이 필요

\* ① 중단 없는 공급, ② 수용 가능한 가격, ③ 이용 가능성

### ❖ (① 중단 없는 공급, Reliability) 지속적인 해외자원개발 추진으로 안정적인 공급필요

- 국가간 대립, 유가 변동성, 범국가적 자원 블록화 등 불확실한 시장 환경 변화 속에서 국내 에너지 산업의 전반적인 신규사업 투자방향에 대한 일관성 미흡
  - 과거 국내 해외자원개발 열풍이 종료된 이후, 유가하락\* 및 高 사업 리스크로 인해 지속적으로 신규 투자 위축\*\* 경향
    - \* '13년 평균유가(Brent) \$108/bbl → '14년 \$50/bbl대로 하락, '17년 \$50/bbl대 유지 → '20년 \$40/bbl대 (4월 \$9/bbl까지 추락)→ '21년 \$70/bbl대
    - \*\* 국내 해외자원개발 사업 수 : '13년 193개 → '17년 131개 → '21년 110개
  - 가스공사의 경우, 과거 10년동안 신규사업 투자는 2건\*에 불과함
    - \* ① '17년 모잠비크 Coral South FLNG, ② '18년 LNG Canada 추진
- 장기적인 안목으로 일관성 있는 해외자원개발 신규 사업 추진이 필요

## ❖ (② 수용 가능한 가격, Affordable) 경쟁력 있는 해외자원개발은 에너지 안보강화와 국내 가스가격 안정화 기여 가능

○ 한국은 에너지 수입의존도가 높은 국가로 '22년 2월, 러-우 사태로 촉발된 글로벌 에너지 대란으로 가스 가격 급등\* 따른 영향이 큼

\* LNG 시장가격(JKM 년평균) : '13년 \$16.21/mmbtu → '16년 \$5.58/mmbtu → '22년 \$34.87/mmbtu

○ 경쟁력 있는 해외자원개발은 에너지의 안정적 국내 공급으로 에너지 안보 강화 기여할 뿐만 아니라 국내 가스가격 안정화에 기여 가능

- 천연가스의 경우, 해외자원개발 참여를 통한 안정적인 물량 확보는 물론, 규제사업에 따른 가스요금 인하 효과\*로 국민 편익에 기여 가능

\* 가스공사의 경우, 해외사업의 수익 중 일부, 약 1.8조원은 국내 가스요금 인하 재원으로 활용

## ❖ (③ 이용 가능성) 해외자원개발 물량은 수급상황에 중요한 역할을 담당

○ Availability(이용가능성)는 해외개발물량을 물리적으로 국내 도입가능성과 국내 수요처의 수용가능성으로 볼 수 있는데 다음은 수용가능성 부분을 고찰

○ 10차 전력수급기본계획에 의거, '36년까지 원자력은 기저부하 담당, Net-Zero를 위해 신재생 발전량은 증가하나, 석탄발전 폐지, 수소·암모니아 혼소 등으로 석탄, LNG 발전량은 감소할 전망

- '36년 신재생 에너지 발전량은 30.6%, LNG 발전은 9.3%로 전망

### 〈 전원별 발전량 및 비중 전망 〉

(단위: TWh)

연도	구분	원자력	석탄	LNG	신재생	수소 암모니아	기타	계
'30년	발전량	201.7	122.5	142.4	134.1	12.0	8.1	621.8
	비중	32.4%	19.7%	22.9%	21.6%	2.1%	1.3%	100%
'36년	발전량	230.7	95.9	62.3	204.4	47.4	26.6	667.3
	비중	34.6%	14.4%	9.3%	30.6%	7.1%	4.0%	100%

출처: 제10차 전력수급기본계획

- 탄소중립을 위해 원전과 신재생에너지를 적극 활용하여 실현가능하고 균형 잡힌 전원 믹스로 구성되어 있다고 평가 되고 있음

○ 탄소중립시대에 에너지 안보 차원의 자율처분권을 보유한 LNG 물량확보에 대한 니즈는 더 증가

- 우리나라는 중동, 호주, 미주에 비해 신재생 에너지 개발 및 생산에 대한 지리적 환경이 상대적으로 취약
- 신재생 에너지는 날씨에 의한 태양광 및 풍력발전의 간헐적인 공급 여력 특성으로 천연가스 발전으로 보완 필요로 자율처분권을 보유한 LNG 필요성은 더욱 증대되고 있음
- 자율처분권을 보유하지 못한 LNG 물량은 이용에 제한적이므로 수급상황 변동에 유연한 공급가능 물량이 필요, 해외개발물량이 중요한 역할을 담당할 것으로 기대됨

#### 지속 가능한 에너지 확보를 위해 정부의 제도적 지원 필요

- 해외자원개발 사업은 고도의 기술력 요구 및 높은 사업 리스크 등으로 타 산업분야에 비해 진입장벽이 높음
- 초기 탐사평가 단계에선 성공률이 현저히 낮고(메이저 기업 탐사성공률 평균 약 30%), 대규모 투자와 더불어 생산까지 오랜 개발기간(10~15년)이 소요
- 자원안보를 위해 주요 에너지 정책\*을 통한 국내기업의 해외자원개발 진출을 장려하는 제도적 장치 마련 필요

\* 자원 확보를 위한 세제·재정지원 강화('23년 경제정책방향, '22.12)

## 세션2 에너지 안보와 공급망 강화전략 토론문

토론자: 김윤경

발표에서는 에너지안보와 전력안보를 모두 고려하고 있지만, 본 토론에서는 에너지 안보에 초점을 맞추어서 제안함.

### 기존 생산방식의 한계점 발현

- 그동안 세계는 비용효과성을 기준으로 각국이 분업하는 세계적 공급망을 형성하였고, 보다 저렴한 비용으로 대량생산과 대량소비를 만끽함. 그러나 COVID-19, 러시아-우크라이나전쟁 등을 경험하면서 많은 국가들이 자국 우선의 경제활동체제로 전환함.
- 전세계에 걸친 공급망을 갖는 최종재화의 경우에 중간 단계의 생산공정이 존재하더라도, 1차 재료를 생산하지 못해서 반입하지 못하면 공급망의 첫단계가 시작되지 못하므로 다음 단계의 생산을 진행할 수 없음. 생산되었더라도 항만까지의 수송이나 항만에서의 작업 등에서 근로자가 부족하면 해외로 수송할 수 없음. 자국에서의 생산공정은 문제가 없더라도 해외에 의존하는 부분, 즉 다른 나라의 생산에서의 문제가 자국의 생산에 까지도 영향을 미침.
- 최근 2~3년에 공급망에서 체험한 문제들은 기존의 생산방식이 갖고 있던 한계점을 드러낸 것임.

### 우리나라의 여건을 고려한 에너지 안보

- 해외의 여러 나라들이 에너지안보에 대응하더라도 우리나라의 입장에서 필요하지 않다면 대응할 필요는 없음. 그렇지만, 우리나라의 여건, 즉 해외보다 부존자원이 없고 수출입 의존도가 높은 우리나라의 경제체제를 고려하면 공급망 차질은 결국 경제 전체를 불안하게 함.
- 그리고 해외의 자국 공급망 강화는 우리나라의 여건에서는 또 하나의 장벽임. 우리의 수출대상국들이 자국 공급망을 증시하는 것에 대비해야 함.

## 공급망 불안의 전조를 꾸준히 모니터링하는 기능

- 에너지수급 또는 공급망 위기는 어떤 계기로 시작되고 시차를 가지면서 확산되어 나타남. 시차는 재화 유형, 해외 의존 정도, 위기를 만든 계기의 수준에 따라서 다르겠지만, 일반적으로 체감까지는 시차가 있음.
- 위기가 발생하여 공급망이 단절되고 파급이 미칠 때는 공급망에 대해서 논의하고 대처하지만, 위기는 상시적으로 존재하는 것이 아니기 때문에 위기가 사라지면 자연스럽게 공급망의 중요성은 잊혀짐.
- 그러나 위기는 언제 발생할지 모르기 때문에 꾸준히 공급망을 모니터링하고 대비해야 위기 시의 충격을 완화할 수 있음. 위기가 발생하니까 모니터링하는 것이 아니라, 위기가 언제 발생할지 모르기 때문에 모니터링해야 함. 공급망은 우리의 일상생활에 관련하므로 일시적인 문제로 다룰 수 없음.

## 경제주체별 장점을 살린 공급망 강화 전략

- 정부가 다수의 재화의 다수의 생산공정에 잠재하고 있는 위험요소들을 속속들이 파악하거나, 해당 재화의 국내외 시장, 투입요소들의 국제시장 거래와 동향을 모두 파악하기는 어려움. 이를 가장 잘 아는 것은 해당 산업에서 사업을 하는 기업들이므로 정부의 역할에 한계가 있다는 점을 인식하고 민간부문과 협조하면서 각 경제주체의 장점을 살려 상호 보완하는 공급망 강화가 필요함.
- 민간부문은 해당 산업에서 사업을 하고 있기 때문에 국제시장의 동향을 보다 빨리 파악함. 정부 정책이라는 것은 내부시차와 외부시차를 갖기 때문에 정책이 적시에 실행되어 효과를 얻으려면 해외시장의 동향에 민감해야 함. 따라서 민간의 시장 정보 파악 능력을 활용해야 함.
- 시차를 고려하여 평시부터 꾸준히 모니터링하는 과정에서 시장 동향에 밝은 민간부문과의 협조로 위기의 전조를 파악한다면, 경제활동에 대한 충격을 완화시키고 위기에 의한 피해비용을 저감시킬 수 있음.

## 앞으로의 모습을 감안한 공급망 강화 전략의 진화

- 공급망을 관리할 때는 우리나라의 미래 모습 및 발전방향 등과 연계시켜야 함. 위기와 상관없이 앞으로의 우리의 삶이 어떻게 될 것인가를 전망하고, 그 속에서 필요한 재화와 용역들을 가늠하고, 이를 생산하고 소비할 때에 어느 정도의 물량이 필요하고, 공급망의 어느 단계가 취약한가를 파악해야 우리의 앞으로의 모습과 연결되는 진정한 의미의 공급망 관리로 진화할 수 있음.

## 에너지안보와 공급망 관리의 비용 고려

- 에너지안보 및 공급망을 관리하고 강화하는 것에는 비용이 소요됨.
- 해외의존도가 높은 공급망을 국내생산으로 바꾸면, 그동안 세계 공급망으로 누렸던 비용효과성을 포기하게 됨. 비용을 더 지불하면서 안정적인 공급망을 확보한다는 상충관계를 이해해야 함. 안보를 지키는 것에는 비용이 지불될 수 밖에 없다는 것을 인지해야 하고, 이러한 부분이 국민들에게도 전달되어 비용의 추가 지불에 대한 수용성을 갖도록 해야 함.