

# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향

2025년 3월 6일 목요일 PM 13:00~18:30  
서울대학교 38동 글로벌공학교육센터 5층 대강당





# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향

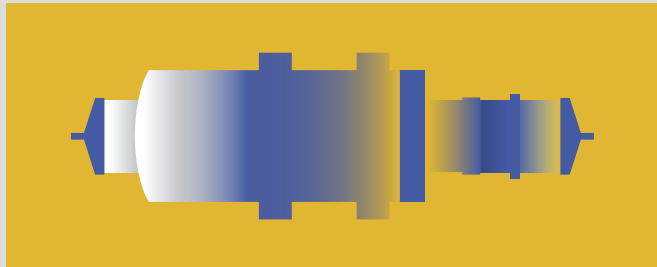
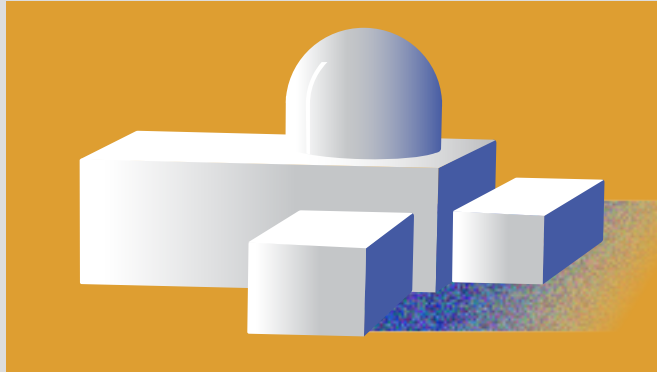
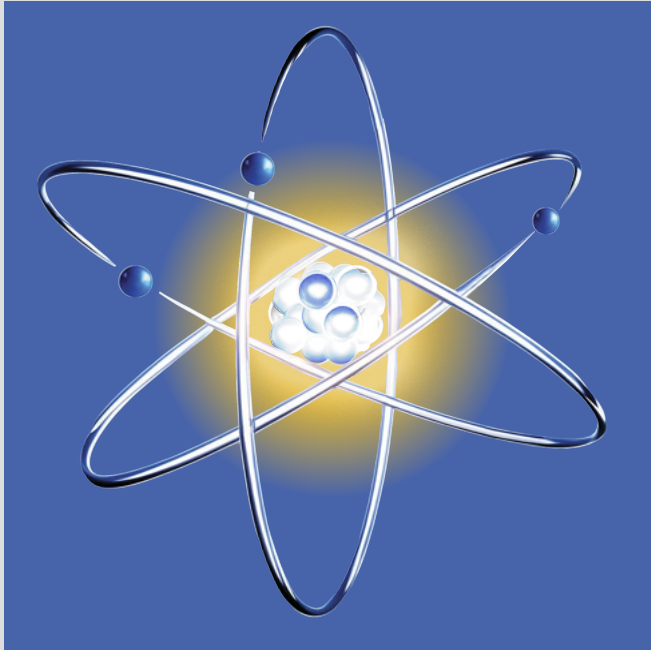
## 프로그램 안내

시간	주요내용		
12:30 - 13:00	등록 및 참가자 확인		
	개회식		
13:00 - 13:20	개회사 <b>심형진</b>   원자력정책센터장		
	축사 <b>이은철</b>   자문위원장		
	전체 진행		
13:20 - 13:40	<b>시의적절한 원자력 정책 현안 대응</b> <b>박상덕</b>   NEXFO 위원장		
13:40 - 14:10	토의		
14:10 - 14:30	<b>원자력 발전의 지속가능성 제고를 위한 과제</b> <b>장문희</b>   NEXFO 위원		
14:30 - 15:00	토의		
	기념촬영		
	<b>안전규제</b> <b>미래기술</b> <b>에너지정책 및 핵주기</b>		
15:15 - 15:35	<b>고준위방사성폐기물 관리에 관한 비교법적 고찰과 시사점</b> <b>황재훈</b>   NEXFO 위원	<b>원전산업 중장기 발전전략</b> <b>박석빈</b>   NEXFO 위원	<b>사고저항성핵연료(ATF) 개발 및 규제 동향과 과제</b> <b>박찬오</b>   NEXFO 위원
15:35 - 16:05	토의	토의	토의
16:05 - 16:25	<b>계속운전 관련 규제제도 개선방안</b> <b>방창준</b>   NEXFO 위원	<b>원전산업 지속 가능 성장을 위한 정책방안 공론화</b> <b>박석빈</b>   NEXFO 위원	<b>사용후핵연료 재활용 이슈와 해결 방안</b> <b>조건우</b>   NEXFO 위원
16:25 - 16:55	토의	토의	토의
16:55 - 17:15	<b>가동원전 규제감독 체계 선진화</b> <b>오성현</b>   NEXFO 위원	<b>해외 원전 수출을 위한 인적역량 제고방안</b> <b>이종호</b>   NEXFO 위원	<b>탄소중립을 고려한 에너지믹스 예비 모형구축</b> <b>이만기</b>   NEXFO 위원
17:15 - 17:45	토의	토의	토의
17:45 - 18:05	<b>원자력 바로알기</b> <b>이창노</b>   NEXFO 위원	<b>SMR의 국내외 현안 및 동향분석</b> <b>오근배</b>   NEXFO 위원	<b>계절기준 계통분석 모형을 통한 2050 적정 믹스 분석</b> <b>이종호</b>   NEXFO 위원
18:05 - 18:10	토의	토의	토의
18:10 - 18:30	맺음말 및 폐회		
18:30 - 20:00	만찬		



# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향



## 원자력 정책 현안 대응

박상덕

서울대원자력정책센터 연구위원





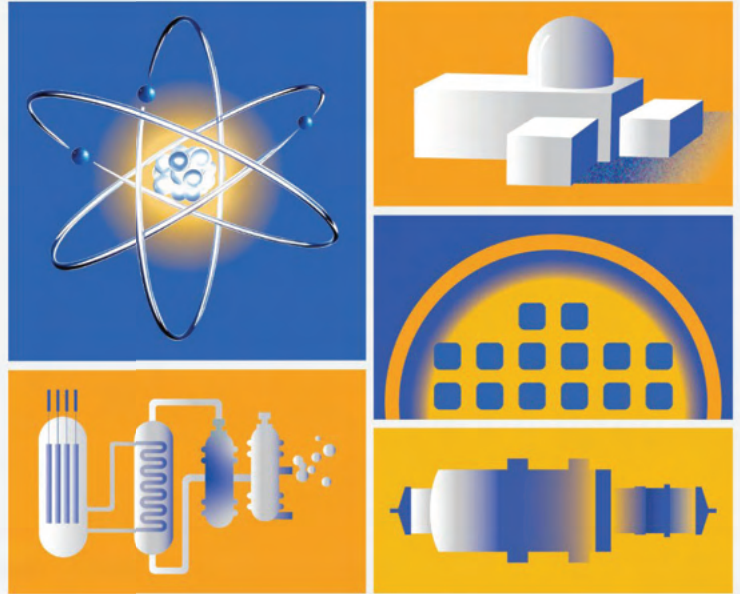
# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 원자력 정책 현안 대응

2025. 3. 6.

박상덕 서울대원자력정책센터 연구위원

spark3388@snu.ac.kr



시작하면서

지금 나의 원자력활동은 어떠한가?

문재인 정부 이전과 같다면  
탈원전을 부르고 있는 것이다.

**완료된 과제**

- 22-01 한빛 4호기 재가동
- 23-01 고리2호기 계속운전
- 23-03 10차 전력수급기본계획
- 23-04 김기현 망언
- 23-06 고리3,4호기 계속운전
- 24-02 친원전 공익신고자
- 24-03 원자력계 국회 진입

**진행중 과제**

- 23-02 고준위방사성 폐기물특별법
- 23-05 후쿠시마 방류수
- 23-07 11차 전력수급기본계획
- 24-01 한빛1,2호기 계속운전
- 24-04 월성원전
- 24-05 체코원전 수주에 어깃장
- 24-06 원안위 대상 공익 감사 청구
- 25-01 민주당이 달라질 수 있나?

**23-02 고준위 방폐법**

• 주요경과

- 2015년 6월 공론화위원회 권고안 마련
- 2021년 4월 재검토위원회 권고안 마련
- 2022년 8월 원자력학회 특별법 제정 촉구
- 2024년 5월 3개 법안 계류 중에 21대 국회 종료
- 2024년 9월 22대 국회에 4개 법안 발의
- 2024년 2월 산자위 상임위 통과

• 주요활동



**[E칼럼]사용후핵연료 해결 출발점은 특별법 제정**

에너지경제신문 | 입력 2023.02.10 14:51

| 문주현 단국대학교 에너지공학과 교수



**[自由칼럼] 원전 관련, 사사건건 틀린 말만 하는 민주당**

A 박성덕 서울대 원자핵공학센터 수석연구위원 | © 입력 2022.12.21 14:16 |  
 © 수정 2022.12.21 17:06 | 댓글 0

• 주요활동



• 문제점

전기신문 since1964

고준위法 저장용량 족쇄 유탄 맞았다.

정세영기자(cschung@electimes.com)

입력 2025.02.20 15:50 수정 2025.02.20 18:06

부지 내 저장시설의 사용후핵연료 저장용량을 원전의 설계수명 기간 발생하는 양으로 제한

애초 발의된 고준위법에는 '여건 변화가 있을 경우 고준위방폐물 관리위원회 심의·의결로 저장 용량을 달리할 수 있다'는 단서 조항이 있었으나 상임위 통과안에는 삭제

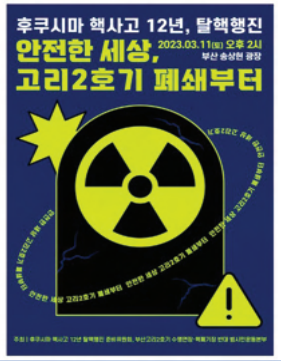
▪ 방류 일지

- 2013년 3월 29일, ALPS 시운전 개시. 삼중수소 외 62개 핵 물질 대부분 제거 가능
- 2013년 9월, 차수벽 설치 등 오염원에 대한 빗물·지하수 접근 차단 포함 오염수 관련 종합 대책 발표. 2014년 5월 하루 540t 규모에서 2020년 평균 하루 140t으로 오염수 감소
- 2013년 12월, 일본 경제산업성 산하 오염수 전문가(9명) 회의(작업부회)가 발족
- 2016년 6월, 처분 방법으로 해양방류, 대기(수증기 증발) 및 전기분해(수소·산소) 방출, 지층주입, 지하매설 등 5가지 검토안 가운데 해양방류가 '최단기간에 가장 저렴한 비용'으로 시행할 수 있는 안이라고 의견제시
- 2016년 11월, 일본 정부 전문가(13명) 회의 'ALPS 처리수 취급에 관한 소위원회' 발족
- 2019년 8월 8일, 도쿄전력이 2022년 여름에 오염수 저장탱크(증설분 포함 137만t)가 가득 찰 것이라는 추산 의견을 발표
- 2020년 10월 22일, 일본 원자력규제위원장이 처리 후 배출하면 기준치에 충족하다고 판단
- 2021년 8월 25일, 도쿄전력이 원전에서 약 1km 떨어진 바닷속에 처리수를 희석방류하기로 결정
- 2023년 6월 26일, 도쿄전력이 오염수 해양 방류용 해저터널 공사 완료
- 2023년 7월 7일, 일본 원자력규제위원회가 도쿄전력에 해양 방류 설비 합격증 교부
- 2023년 8월 24일, 방류 시작



# 23-05 후쿠시마 방류수

## 초기 반핵 세력 움직임



## 22대총선거날 탈핵무당 움직임



## 22대총선거날 탈핵무당 움직임

# 23-05 후쿠시마 방류수

## 맞불 집회



## 각계 활동

후쿠시마 오염수 방류 방지에 관한 국제 과학자 회의 후원위원회

구분	일시/장소	주최/주관	주요 활동
일본 방류수	6.15(수) 13:00 일본	후쿠시마 핵사고 13주년 기념 후쿠시마 핵사고 13주년 기념	후쿠시마 핵사고 13주년 기념 후쿠시마 핵사고 13주년 기념
일본 방류수	6.22(수) 13:00 일본	후쿠시마 핵사고 13주년 기념 후쿠시마 핵사고 13주년 기념	후쿠시마 핵사고 13주년 기념 후쿠시마 핵사고 13주년 기념
일본 방류수	6.22(수) 13:00 일본	후쿠시마 핵사고 13주년 기념 후쿠시마 핵사고 13주년 기념	후쿠시마 핵사고 13주년 기념 후쿠시마 핵사고 13주년 기념
일본 방류수	6.22(수) 13:00 일본	후쿠시마 핵사고 13주년 기념 후쿠시마 핵사고 13주년 기념	후쿠시마 핵사고 13주년 기념 후쿠시마 핵사고 13주년 기념

소회자와 함께하는 수산물 소비확대 대응 대책 세미나

1. 제목 및 목적

- 제목: 일본 원전 오염수 방류 이후의 수산물 소비확대 대응
- 목적: 일본 원전 오염수에 대해 소비자와 생산자의 이해 증진과 함께 정책적 대응 방안을 모색하는 토론회를 개최한다.

2. 주최/주관

- 주최: 소비자경제연구원, 한국농수산식품유통공사
- 주관: (주)농수산물유통공사, 한국농수산식품유통공사

3. 일시/장소

- 일시: 2023. 6. 23(금) 14:00 / 서울특별시 중구
- 장소: (주)농수산물유통공사 14층 / 국제회의장

4. 참가인원

- 인원: 100명 (사전 신청 접수)
- 대상: 소비자경제연구원, 한국농수산식품유통공사, 소비자경제연구원, 한국농수산식품유통공사

## 각종 활동

비핵화 국제지력학회

4월 20일(목)에 개최되었습니다.

후쿠시마 오염수 처리 후 방류의 한국 영향에 관한 한국원자력학회의 입장

후쿠시마 오염수 처리 후 방류: 어떻게 볼 것인가?

제212회 한일합의위원회

후쿠시마 오염수 처리 후 방류의 국내 영향

일시: 2023년 7월 6일(목) 15:00  
장소: 코리아호텔 7층 대회의실

## 각종 활동

후쿠시마 방류에 대처하는 우리의 과제 토론회

국민의힘, '후쿠시마 원전 오염수 긴급 처리수 긴급 토론회'

후쿠시마 오염수 107만 리터



### ■ 각종 활동

**대한민국지력학회** | 2023년 6월 20일 | 화수 | 3회

6월 20일(화)부터 보도재역 후시기 바랍니다.  
 본회의 한국원자력학회 사무국 (042-3026-2614)  
 이수위(총장) 정병민(경의대 교수)090-9040-1753)

**후쿠시마 오염수 처리후 방류의 한국 영향에 관한 한국원자력학회의 입장**

- 정상 자리 해를되는 오염수가 우리 바다와 수산물에 미치는 영향은 무시할 수준.
- 방류 과정과 우리 책도 방사능 감시를 통해 우리 수산물 안전 확보 가능.
- 한국원자력학회는 국민 불안 해소와 수산물적 피해 예방을 위해 적극 활동 예정.

후쿠시마 처리수 방류, 어떻게 볼 것인가?  
 대한원자력학회학회의 입장

제212회 한림원학토론회  
**후쿠시마 오염수 처리 후 방류의 국내 영향**

일시 : 2023년 7월 6일(목) 15:00  
 장소 : 코리아호텔 7층 로얄룸  
 ※ 온 오프라인 동시 개최

### ■ 각종 기고 및 인터뷰

**[인터뷰] 정범진 교수가 말하는 '후쿠시마 원전 오염수'의 진실**

"후쿠시마 원전 오염수 논쟁? 과학적 수치가 답이 있다"

2023.06.25 | 문화체육관광부 | 46-1100-17100

**정용훈 카이스트 교수 "日오염수 방류 후 100년 살 이도 영향 없다"**

2023.06.25 | 연합뉴스 | 02-203-0100-1111

**[포럼] 후쿠시마 방류수 문제와尹정부 과제**

2023.06.25 | 연합뉴스 | 02-203-0100-1111

**[기고] 후쿠시마 오염수 처리수, 과학적 접근 필요하다**

2023.06.20 | 연합뉴스 | 02-203-0100-1111

**[이덕환의 과학세상] '가짜' 과학에 찌들어버린 사회**

2023.07.18 13:44

■ 민주당 등 반대 세력의 주요 활동

- 23년 3월 30일, 윤재갑 더불어민주당 의원이 국회 본관 앞에서 수입 반대와 대일 굴욕외교 규탄대회에서 **삭발**
- 23년 4월 5일, **주한일본대사관을 찾아 일본 후쿠시마 원전 오염수 방류에 대한 우려 전달**
- 23년 4월 6일~8일 원전오염수 방류 저지 대응단, **일본 방문**, 6월 22일 정의당 일본 방문
- 23년 5월 26일 후쿠시마 원전 오염수 해양투기 및 수산물 수입 반대 **국민서명운동 발대식**
- 23년 6월 3일 부산에서 원전 오염수 방류에 반대하는 대규모 **장외 여론전**
  - 망루 농성 한국노총간부의 경찰의 진압과 연계
- 23년 6월 5일 **원내 대책단 출범**
- 23년 6월 12일 민주당 **전원 성명서** "후쿠시마 오염수 투기 총력 저지"
- 23년 6월 17일, 인천에서 **장외 집회**
- 23년 6월 20일 윤재갑 의원이 **단식투쟁**, 26일 우원식, 이정미 합류, 7월 8일 중단
- 23년 7월 1일, 서울 송레문일대, 후쿠시마 오염수 해양투기규탄 **범국민대회**
- 23년 7월 5일, **결의문 발표**: IAEA보고서가 오염수 해양투기의 면죄부가 될 수 없다
- 23년 7월 6일, 1박2일간 일본의 후쿠시마 원전 오염수 해양방류 반대를 위한 **밤샘 농성, 17시간 필리버스터**
- 23년 7월 10일, 야권 의원단 일본 방문
- 23년 8월 8일 오염수 **아동 간담회**
- 23년 8월 9일 민주당, '후쿠시마 오염수 문제' **유엔인권이사회에 진정서명 운동**
- 23년 8월 지구당 별 **각계 활동**
- 23년 8월 16일 민변, **日오염수 방류 헌법소원...청구인 '고래-해녀' 등 4만여명**

## 23-05 후쿠시마 방류수

### 방류 결과

\* 일본정부 안전 기준 허용치의 1/40  
 \*\* 3Km 이내 14개 지점 ( 원인조사: 350Bq, 방류 중단: 700Bq )

	방류 시기	방류량	최대 헤더 농도 ( < 1500Bq )	최대 해수 농도**
1차 방류	23.08.24~23.09.11	7888톤	220 Bq/L	1.5 Bq/L
2차 방류	23.10.05~23.10.23	7810톤	188 Bq/L	16 Bq/L
3차 방류	23.11.02~23.11.20	7729톤	190 Bq/L	8.8 Bq/L
4차 방류	24.02.28~24.03.17	7800톤	254 Bq/L	7.7 Bq/L
5차 방류	24.04.19~24.05.07	7800톤	266 Bq/L	6.3 Bq/L
6차 방류	24.05.17~24.06.04	7892톤	234 Bq/L	7.0 Bq/L
7차 방류	24.06.28~24.07.16	7800톤	252 Bq/L	8.8 Bq/L
8차 방류	24.08.07~24.08.25	7897톤	267 Bq/L	7.6 Bq/L

25년 4월 12차 방류를 시작으로 12월 중 17차 방류 예정

## 23-05 후쿠시마 방류수

### 방류 1년

**연합뉴스**  
<https://www.yna.co.kr/view/AKR20240908029300073>  
**日정부, 후쿠시마 오염수 방류 1년 ... "사람·환경 영향 없었다"**  
 월 3시간 전 · 도쿄전력은 작년 8월 24일 오염수 해양 방류를 시작한 뒤 1년간 6만2천600톤 (t)가량의 오염수를 바닷물과 희석해 후쿠시마 원전 앞바다에 내보냈다. 일본 정부는 ...

**MBC PICK · 2주 전 · 네이버뉴스**  
**후쿠시마 오염수 방류 1년..대통령실 "야당의 괴담과 싸워왔다"**  
 내일(24일)이면 일본 정부가 후쿠시마 원전 오염수를 방류한 지 1년이 되는 가운데, 대통령실이 "과학적 근거 없는 황당한 거짓선동이 드러났다"면서 야당을 강하게 비판했습니다. 정혜전 대통령실 대변인은 "지난 1년 ...

**이데일리**  
<https://www.edaily.co.kr/News/Read?newsId=01968006638989944>  
**한동훈 "민주당, 후쿠시마 처리수 괴담정치...어민들만 피해봐"**  
 월 2024년 8월 22일 · 한동훈 국민의힘 대표는 22일 "후쿠시마 원전처리수가 방류를 시작한지 1년이 지났다"며 "당시 더불어민주당이 말한 게 실현됐다면 우리 바다는 오염돼 있어야 하고 ...

**후쿠시마 방류후 1년간 식품방사능 모두 '적합'**  
 3일 오전 서울시내 한 대형마트에서 시민이 수산물을 고르고 있다. 서울시는 지난해 후쿠시마 원전 오염 처리수 방류 이후 1년간 총 2만6000여건의 식품방사능검사 결과 모두 안전 기준에 '적합'한 것으로 나타났다...


▪ 25년 1월 중국 입장

**YTN**  구독

### 중국 "후쿠시마 오염수 첫 검사...이상 없어"

입력 2025.01.23. 오후 6:51 · 수정 2025.01.23. 오후 6:52 기사원문

 강정규 기자

 추천  댓글     

중국 원자력 당국은 일본 후쿠시마 원자력발전소 오염수가 방류된 해양에서 첫 번째 테스트를 벌인 결과 이상이 발견되지 않았다고 발표했습니다.

중국 국가원자력기구(CAEA)는 "샘플 중 삼중수소와 세슘-137, 스트론튬-90 등 핵종 활성농도에 이상이 발견되지 않았다"고 밝혔습니다.

이어, 이번 검사는 2024년 10월 중순 중국 전문가가 후쿠시마 제1원전 오염수 배출구 부근 해역의 해수 샘플을 처음으로 채취해 진행했다고 설명했습니다.

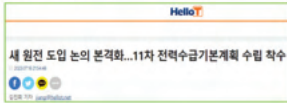
▪ 요약과 교훈

- 공적기능 유지가 관건 (광우병 선동 때는 공적 기능이 무너졌음)
  - 전문가들이 적극적 참여하여 정부와 국민에게 바른 정보 전달
  - 친원전 시민 사회 단체와 정치권의 반격 가세
- 일반인에게는 원자력 이해 증진 기회 (원전 지지율 증가)
- 탈핵 세력의 투쟁 수단 파악하는 기회 (얼마나 다양하고 치사한지)
- 앞으로
  - 끊임없는 정보 전달 필요 : 특히 저선량 방사선
  - 다른 전문가 단체와의 연계
  - 시민사회단체 참여 또는 양성 지원



주요경과

- 7월 10일 에너지위원회에서 조속히 11차 전기본 수립에 착수할 필요가 있다는 다수 위원들의 의견 제시
- 7월 18일 '2023년 제4차 전력정책심의회'에서 제11차 전력수급기본계획 추진방향 보고.
- 제11차 전기본 워킹그룹에서는 장기 전력수요를 과학적 방식을 동원해 정밀하게 예측
- 안정성, 효율성, 탄소중립 등의 정책목표가 조화된 전원믹스를 도출할 계획
- 전력수요 확대 요인 : 반도체·이차전지 등 첨단산업 신규투자, 데이터센터 확대, 전기차 확산 등 전기화
- 국가온실가스감축목표(NDC)의 적기 달성을 위해 무탄소전원을 적정 조합으로 활용
- 전력기금이 신재생에너지 등 특정분야에 편중되지 않도록 하고, 원전생태계 강화, 취약계층 지원, 에너지신산업 연구개발(R&D) 등 기금의 목적에 맞게 운용 할 예정

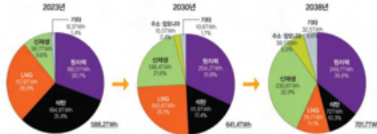


24년 5월 31일 실무안 공개

- 신규원전은 무탄소를 우선하여, '38년 발전량 중 무탄소 비중 70%
- 태양광-풍력은 '30년까지 '22년 실적 23GW 대비 3배 이상인 72GW 전망
  - '38년까지 재생에너지 120GW 보급 전망
- 신규 대형원전은 4.2GW(3기)까지 가능, SMR은 0.7GW(1기) 실증반 반영

24년 9월 26일 공청회 실시

- 실무안 원안대로 확정



6전기신문  
11차 전기본 '신규원전' 쉽지 않네.  
사업 일정 단축 절실

노동성 센터장 "2038년까지 들어오려면 공기 단축 필요"  
11차 전기본에는 2038년까지의 발전설비계획이 포함  
신규원전 건설은 통상 15년 가량 소요  
▲부지확보 3년 ▲사업준비 49개월  
▲건설준비 22개월 ▲시공·시운전 74개월

[이슈분석] 11차 전기본 초안 공개, 계속해서 미뤄지는 이유는?

11차 전기본 총괄위원장이 정동욱 중앙대 교수도 최근 브리핑의 인터뷰에서 "신규원전 건설은 아직 정확한 답을 갖고 있지 않다. '무조건 반영한다' 혹은 '반영하지 못한다' 둘 다 불확실하다"

대통령실에서 산업부에 신규 원전 10기를 11차 전기본에 반영하라는 지시했다는 언론 보도가 나와 바 있다.

원전 민간단체 "11차 전기본에 원전 10기 반영하라"



"제11차 전기본에 신규원전 10기 적극 반영하라"



원자력지지시민단체협의회 성명

원자력발전소의 대대적 증설을 촉구한다

인공지능이 문명전환을 예고하고 있다.

세상 모든 사람이 인공지능의 혜택을 받지는 못할 것이다. 인공지능을 이용하기 위해선 고성능 반도체와 풍부한 전력이 필요하다. 이 두 가지를 모두 갖춘 나라는 많지 않다.

대한민국은 문명전환에 동참할 수 있는가?

대한민국의 사정은 어떤가? 다행히 삼성전자와 SK하이닉스가 고성능 반도체를 생산할 능력을 보유하고 있어 인공지능을 활용할 기본적 여건은 갖추었다.

그러나 인공지능의 본격적 활용을 위해 2,30년 내에 엄청나게 증가할 전력수요를 뒷받침할 인프라는 준비돼 있는가?

금년 다보스포럼에서는 인공지능의 활성화, 데이터센터 전력수요 급증 등으로 오는 2050년 전력수요가 상상할 수 없는 수준으로 폭증할 것이라는 예측이 제시됐다.

제28차 유엔기후변화협약 당사국총회 COP28에서 대한민국은 넷제로 뉴클리어 이니셔티브(Net Zero Nuclear Initiative)에서 2050년까지 원자력발전용량을 2020년 대비 3배 이상 늘리겠다고 다짐했다.

- 중략 -

태양광, 풍력발전소의 전기생산은 기후와 날씨에 따라 천차만별이다. 믿을 수 없는 전원이자. 석탄과 가스는 모두 해외에서 수입해야 한다. 어떤 상황에서든 믿을 수 있는 에너지원은 원자력발전소다. 우리 안보를 지키는 에너지는 원자력이다. 정부는 안보를 위해 원자력발전소를 대대적으로 증설하라.

정부는 수소경제시대를 위해서 오는 2030년부터 매년 2천2백만 톤의 수소를 해외에서 수입하겠다는 계획을 세우고 있다. 이게 현실적인 계획인가? 국내 원자력발전소에서 수소를 생산해야 환경과 경제, 안보를 지킬 수 있다. 정부는 수소경제시대를 대비해 원자력발전소를 대대적으로 증설하라.

원자력발전소의 대대적 확충은 인공지능, 기후변화 대응, 경제, 안보, 수소경제시대를 위해 반드시 필요한 시급한 과제다. 정부는 제11차 전력수급기본계획을 통해 획기적인 원전 확대 청사진을 제시하라.

2024. 1. 29

원자력지지시민단체협의회 - (사)사실과과학네트워크, (사)에너지와 여성, (사)에너지미래를생각하는법률가모임 (사)원자력산업환경진흥협회, (사)한국원자력국민연대, (사)한국원자력문화진흥원, (사)환경운동실천협의회, 기후환경에너지실천연대, 사실과과학문화행동, 에너지과학도시군산사람모임, 원자력살리기국민행동, 원자력정책연대, 행동하는자유시민, CFE코리아-사단법인 우선, 한글 자모순

## 23-07 11차 전력수급기본계획

- 난장판을 만들려는 탈원전 단체 주장 : "11차 전기본, RE100 역행"
- RE100은 '기후정의', '정의로운 에너지 전환'에 역행 (탄소중립기본법)에 따르면
- "RE100으로는 탄소 중립불가능, 태양광, 원전보다 5배 비싸" 인식 확산 필요



## 23-07 11차 전력수급기본계획

뉴스1 · www.news1.kr > economy

### '11차 전기본' 역대급 지연...기약 없이 미뤄지는 국회 보고

1주 전 하지만 야당이 신규 원전 건설에 반대하고 재생에너지 비중 확대를 요구하면서 정부는 이달 초 원전 1기를 축소하고, 2038년까지 태양광 2.4GW(기가와트)를 확대하는 내용으로 수정안을 제시했다. 수정안 제안...

#### 보도자료

2025.01.09.



#### (사)한국원자력학회

[문의] 회장 이기복 KAERI 책임연구원(010-5389-8753)  
[문의] 부회장 문주현 단국대 교수(010-3428-0135)

**산업부는 신규원전 규모 축소 계획을 즉각 철회해야 한다.**

지난 7일 산업통상자원부 고위 관계자가 국회에 방문하여, 11차 전력수급기본계획(이하 '전기본'이라 함)의 신규원전 건설 계획을 축소하는 방안을 제안했다는 기사가 8일 보도되었다. 전기본은 국회 보고 후 전력정책심의회회의 이결을 거쳐야 확정되는데, 야당의 반대로 기약 없이 미뤄지는 국회 보고 절차는 더 이상 미룰 수 없기에 내용은 교육적책이라는 설명이다.

### 원자력학회, 여·아에 현실적 정책 제시 요구



(사)한국원자력학회  
KOREAN NUCLEAR SOCIETY

[인사이트에너지뉴스] (사)한국원자력학회(회장 이기복)가 14일 여·아에 원자력 정책에 대한 명확한 입장을 공개하고, 국가 에너지 안보를 위한 현실적인 정책을 제시하라고 요구하고 나섰다.

### 더민당과 산업통상자원부는 RE100이 가능하다고 믿는가? 재생에너지 카르텔의 원전건설 계획 축소를 규탄한다.

#### 제1차 전력수급기본계획에서 원전축소는 어디로 갔는가?

산업통상자원부(이하 산자부)는 지난 9월 20일 제11차 전력수급기본계획(이하 전기본)의 방향을 통해 2038년까지 원전까지 생산시설을 75GW, 원자력 발전설비는 4,900MW로 유지하기로 하였다. 산자부는 "원자력 발전설비는 대용량(심해) 원전(Small Modular Reactor, 소형원전) 1기에 해당하며, 발전용량으로 같은 기간 증설하기로 한 재생에너지 시설에 비하면 75%에 불과하다"고 밝혔다. 그러나 산자부는 지난 9월 20일 전력수급 대책회의에서 시정용량 1,400MW 추가하고 원전시설은 대용량 원전 1기(1,400MW)를 축소하겠다고는 조종안을 국회에 보고했다. 대용량 원전 1기를 생략하는 전기본 산자부에서는 대차면적인 개념인 소형원전의 비율을 강요한다.

우리는 산자부 수정안이란 내용과 불합치 비율을 줄이고 재생에너지 비중을 높이는 대용량원전의 생산과 운영에 대한 계획을 제시하고 있다. 우리는 대용량 원전 500MW 이상에서 원자력 발전용량 1GW를 넘는 것을 강력히 요구한다.

#### RE100(Renewable Energy 100%)이 가능한가? 대한민국 최초로 2038년 달성할 수 있는 원전 정책은 어떤가?

제1차 전력수급기본계획에서는 원전 1기를 축소하고 재생에너지 비중을 확대하는 방향으로 수정안을 제시했다. 그러나 '기후정의'와 '정의로운 에너지 전환'을 위한 RE100은 불가능하다. 원전 1기를 축소하고 재생에너지 비중을 확대하는 방향으로 수정안을 제시했다. 원전 1기를 축소하고 재생에너지 비중을 확대하는 방향으로 수정안을 제시했다.

#### 2010년 드디어 RE100을 달성했다며 떠돌아다니는 논쟁을 하러 가자

대형 풍력발전기 2기는 지난 여름부터 풍량이 갑자기 늘고 있다고 있다. 대형 풍력발전기 2기는 지난 여름부터 풍량이 갑자기 늘고 있다고 있다. 대형 풍력발전기 2기는 지난 여름부터 풍량이 갑자기 늘고 있다고 있다.

#### 기후도 중립되는 시점은 언제인가? 그리고 원전과 재생에너지 비중을 늘리는 방안은 어떤가?

기후도 중립되는 시점은 언제인가? 그리고 원전과 재생에너지 비중을 늘리는 방안은 어떤가? 기후도 중립되는 시점은 언제인가? 그리고 원전과 재생에너지 비중을 늘리는 방안은 어떤가?

기후도 중립되는 시점은 언제인가? 그리고 원전과 재생에너지 비중을 늘리는 방안은 어떤가? 기후도 중립되는 시점은 언제인가? 그리고 원전과 재생에너지 비중을 늘리는 방안은 어떤가?

기후도 중립되는 시점은 언제인가? 그리고 원전과 재생에너지 비중을 늘리는 방안은 어떤가? 기후도 중립되는 시점은 언제인가? 그리고 원전과 재생에너지 비중을 늘리는 방안은 어떤가?

기후도 중립되는 시점은 언제인가? 그리고 원전과 재생에너지 비중을 늘리는 방안은 어떤가? 기후도 중립되는 시점은 언제인가? 그리고 원전과 재생에너지 비중을 늘리는 방안은 어떤가?

기후도 중립되는 시점은 언제인가? 그리고 원전과 재생에너지 비중을 늘리는 방안은 어떤가? 기후도 중립되는 시점은 언제인가? 그리고 원전과 재생에너지 비중을 늘리는 방안은 어떤가?

더민당과 산자부는 국민에게 왜 원전 비중을 강요하는가? 2023년 기준 15GW 원전 가동률을 보면 원자력은 55%, 재생에너지는 25%이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다.

원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다.

원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다.

원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다.

원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다.

원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다.

원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다.

원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다.

원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다.

원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다.

원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다.

원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다.

원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다.

원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다.

원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다. 원자력 비중을 늘리는 것은 기후변화를 막기 위한 것이다.



일렉트릭파워 · www.epj.co.kr · news

**원자력지지시민단체협의회, "제11차 전기본 원전건설계획 원안 복구하라"**

3시간 전 박종권 국민의힘 국회의원과 원자력지지시민단체협의회는 2월 18일 국회 기자회견을 통해 제11차 전기본 원전건설계획 축소 규탄 성명을 발표했다. 원자력지지시민단체협의회는 사실과과학네트웍, 한전발전연구원, 에너지안보환경협회, 에너지와여성, 에너...



유니콘뉴스

PICK ①

**[단독] 정부 원전 감축 졸속결정에... 건설비 6조·전기료 年3835억 더 든다**

입력 2025.02.19 오전 5:01 · 수정 2025.02.19 오전 6:40 · 기사원문

교체 비용 합치면 60년간 40조 더 들어

태양광 20년, ESS 15년인 교체 주기까지 고려하면 부담은 더 커진다. 원전의 최초 가동 연한인 60년만 따져도 태양광은 2차례, ESS는 3차례 더 교체해야 해 추가로 33조6000억원 더 들면서 원전 1기 건설 때와 전체 건설·시공비 차이는 40조원에 달하게 된다.

연합뉴스 · 21시간 전 · 네이버뉴스

**무탄소 전기로 첨단산업시 대비...11차 전기본 국회문턱 넘어**

국회 산업통상자원중소벤처기업위원회는 19일 전체회의를 열고 2024~2038년 적용되는 11차 전기본 보고를 받았다. 15년간 적용되는 전기본은 2년마다 업데이트돼 새로 마련된다. 장기 수급 전망을 바탕으로 발전 설...

▪ 반성

원자력계는 최선을 다했나?

■ 주요경과

- 23.06.30 한빛1호기 계속운전 주기적 안정성평가보고서 원안위 제출
- 23.10.10 방사선환경영향평가서 원안위와 지자체 제출, 공람
  - 광역지자체 2곳(전라남도, 전라북도), 기초지자체 6곳(영광군, 함평군, 장성군, 무안군, 고창군, 부안군)
- 23.10.19 무안/장성 공람 시작, 영광/함평/고창/부안 등 주민 공람보류
- 24.01.17 한수원, 영광/함평/고창/부안 상대 '부작위 위법 확인' 행정소송 제기
- 24.01.25 고창군은 법적 대응 예정, 다른 군은 공람 중



탈핵신문입력 2023.10.13

영광군 : 주민 피폭선량 평가와 중대사고 결과를 초안에 반영  
 부안군 : 각 면별 주민총피폭선량 표기  
 함평군 : 기상조건을 추가해 방사성 물질 이동예측 평가 보완, 계절별 변화를 고려한 온배수 확산 사고시 주민 안전을 위한 방재내용을 보완  
 고창군: 최신 기술 수준을 적용해 초안을 재작성  
 한수원 : '평가서 초안은 규정에 따라서 작성했다'는 입장

■ 주요경과

- 24.08.12 영광군을 시작으로 전북 고창, 전남 함평 무안 장성에서 주민공청회를 열 예정이었으나 환경단체의 반대로 무산
- 24.09.11 영광군을 시작으로 공청회 재시작

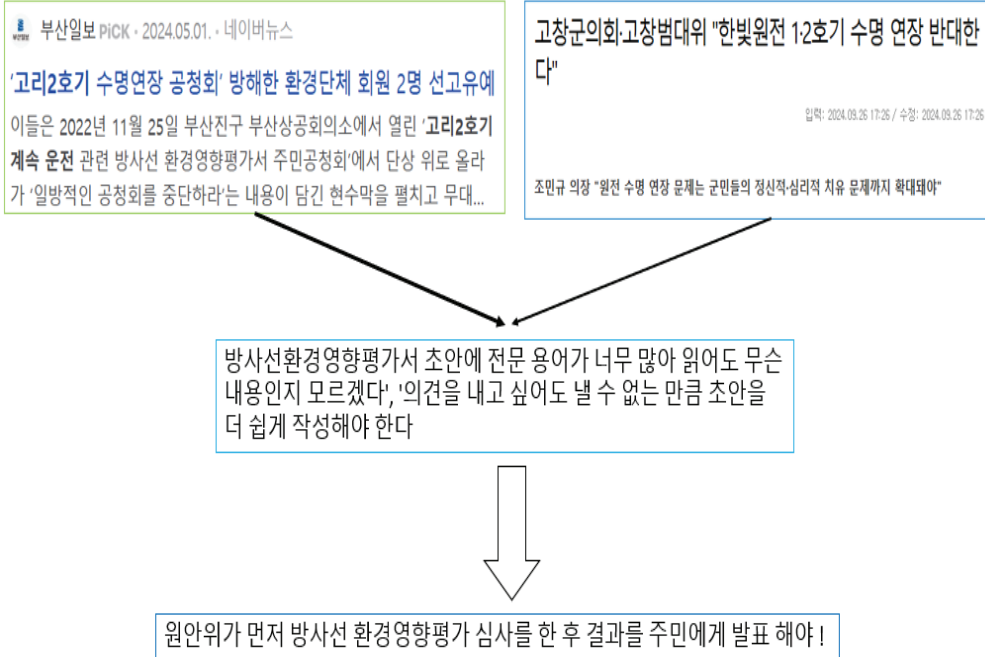


- 24.09.26 고창군의회 수연연장 반대 성명
- 24.10.29 공청회 마무리



## 24-01 한빛1,2호기 계속운전

### 공청회 개선점



23

## 24-04 월성원전

### 24년도 정기국정감사 문제 제기

항목	현황	대책
계속운전	주기적안전성 보고서 제출	방사선환경영향평가 공람 중(2/28까지) 경제성평가 보고서 개정 필요
월성1호기 불법 폐쇄	비용보존신청 핑퐁 중 (산자부-한수원)	?
	1심 재판 5년 계류 중	공판 참여 및 시위
중수	중국 친산 원전에 80톤 수출	?

24





## '체코 원전수주' 환호 속에 묻힌 4대 문제와 진실

에너지전환포럼 체코원전 특집 브리핑

2024.7.23

에너지전환포럼 석광훈 전문위원  
에너지전환포럼 황수민 연구원

산업부 "체코원전 금융지원 약속?  
악의적 왜곡... 전혀 사실 아냐"

<https://m.news.nate.com/view/20240927n28332>

## [자유廣場] 탈원전 앞잡이, 에너지전환포럼의 어깃장

\* 박상덕 서울대 원자력정책센터 수석연구위원 | © 입력 2024.10.21 13:30 |  
© 수정 2024.10.21 17:39 | #댓글0

## 에너지플랫폼뉴스 ENERGY PLATFORM NEWS since 1997

\* 박병인 기자 | © 입력 2024.11.08 16:15 | © 수정 2024.11.08 16:25

### 비합리적 규제 지속 남발... 원자력지시민단체협의회, 원안위 대상 공익감사 청구

성명서 통해 '원안위, 탈원전 정책 이후 원자력산업계에 피해 초래'  
신한울 1,2호기 운영허가 지연으로 국가경제에 '막대한 손실'  
한빛 4호기 공극으로 인한 가동 중단으로 5조원의 외화 낭비 발생  
안전성 확인된 새울 3,4호기에 비합리적 규제 적용해 설계변경 강요  
원안위원장 경질·대통령 직속 원자력진흥부서 신설 등 정부에 요구





## 24-06 원안위 대상 공익감사 청구

- 감사청구 이유 : 원자력안전위원회가 원전건설과 운영을 고의로 방해함으로써 LNG수입을 크게 늘리고 기업,국민의 전기요금 부담을 가중시킴.

2024. 11. 8

1. 문재인 정부의 탈원전정책에 동조해 원전가동 억제
2. 원전 가동율을 강제로 떨어뜨려 원전 경제성을 추락시킴
3. 신한울1,2호기 운영허가 심사 지연으로 인한 경제적 손실
4. 한빛4호기 5년7개월간 가동정지로 인한 국민경제 부담
5. 신고리5.6호기(새울3,4호기)에 대한 원안위의 설계변경에 따른 손실
6. 신한울 3,4호기 건설허가 지연에 따른 손실
7. 고리원전 2,3호기 가동 중단에 따른 손실

29

## 25-01 민주당이 달라질 수 있나?



한국경제

<https://www.hankyung.com> > article

### 이재명 "원전 멈출 이유없어"...탈원전 출구 찾는 민주당 - 한경닷컴

2024년 10월 15일 · 이재명 대표는 최근 전남 영광군수 재선거 유세에서 내년부터 순차적으로 설계 수명이 만료되는 한빛 1·2호기를 두고 "안전성이 확보된다면 가동 중인 원전을 멈추거나 ...



중앙일보

<https://www.joongang.co.kr> > article

### '탈원전' 외치던 野, 이젠 "원전 연장"...그뒤엔 이재명 기본소득

2024년 10월 19일 · 이재명 대표는 영광군수 재선거 유세에서 "안전성이 확보된다면 가동 중인 원전을 멈추거나 재가동을 막을 이유가 없다"며 "민주당은 원리주의 정당이 아니라 실용주의 ...



경북일보

<https://www.kyongbuk.co.kr> > news > articleView.html

### [사설] 민주당 "원전 멈출 이유 없다"면 고준위법 처리하라

2024년 10월 16일 · 이 대표가 영광군수 재선거 유세에서 내년부터 순차적으로 설계 수명이 만료되는 한빛 1·2호기를 두고 "안전성이 확보된다면 가동 중인 원전을 멈추거나 재가동을 막을 ...

30



아시아타임즈

<https://www.asiatime.co.kr> > article

### [박상덕 칼럼] 이재명 대표의 계속운전 지지 발언, 일단 환영한다

2024년 10월 29일 · 이재명 대표가 최근 영광군 보궐선거 유세에서 한빛 1·2호기를 두고 "안전성이 확보된다면 가동 중인 원전을 멈추거나 재가동을 막을 이유가 없다"라고 발언했다. 선거를 앞둔 ...

MBC NEWS

### 이언주 "민주당, 더 이상 '탈 원전' 기조 유지하고 있지 않아"

입력 2025.02.19. 오후 3:27 · 수정 2025.02.19. 오후 3:37 기사원문



이지선 기자

뉴스 · 1일

### 교섭단체 대표연설 하는 이재명 대표

[서울=뉴스1] 권창희 기자 = 이재명 더불어민주당 대표가 10일 오전 서울 여의도 국회에서 열린 제422회 국회(임시회) 제2차 본회의에서 교섭단체 대표연설을 하고 있다. 2025.02.10.

E. Energy 에너지. 23년 기준 우리의 에너지믹스 현황은 원자력 29%, 재생에너지 9%, 천연가스 28%, 석탄 33%입니다. 에너지 공급은 안정성, 친환경성, 경제성이 핵심입니다.

우리나라는 에너지원 대부분을 수입하고, 전력망이 고립된 사실상의 섬이어서, 에너지자립과 에너지 안보가 무엇보다 중요합니다. 석탄 비중은 최소화하고 LNG 비중도 줄여가되, 재생에너지를 신속히 늘려야 합니다.

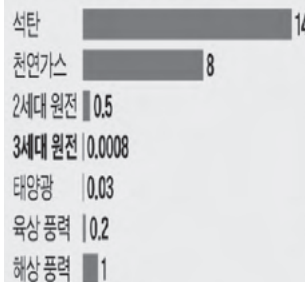
어디서나 재생에너지를 생산할 수 있도록 에너지 고속도로를 건설해야 합니다. 전력 생산지의 전력 요금을 낮춰 바람과 태양이 풍부한 신안, 영광 등 서남해안 소멸 위기 지역을 에너지산업 중심으로 발전시켜야 합니다.

### 원전 환경영향평가 결과

자료=EU 합동연구센터

#### 에너지원별 중대 사고 치명률

단위: 명, 전력 생산 1조 kWh당 사망자 수

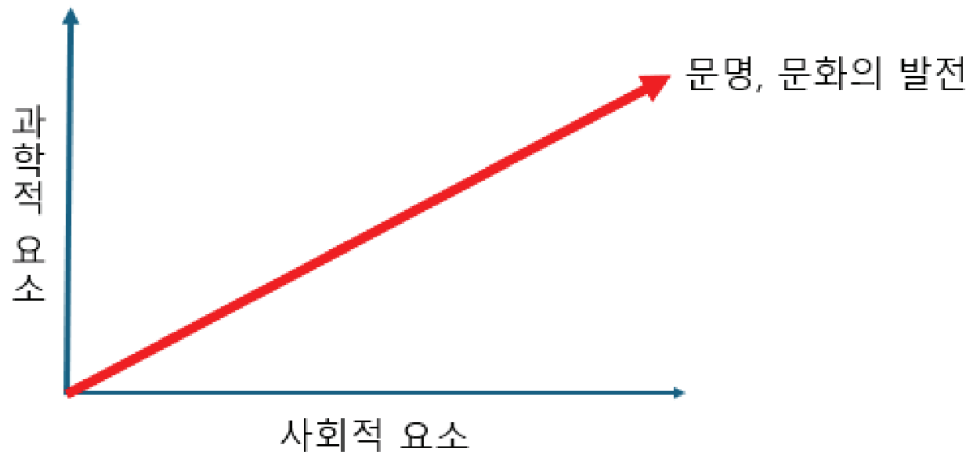


#### 에너지원별 온실가스 배출량

단위: GWh당 t



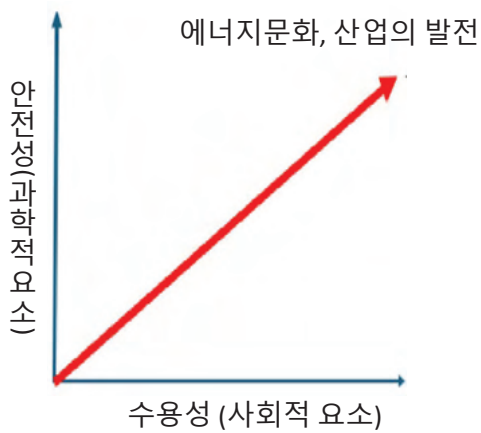
## 문명/문화의 발전



33

## 에너지문화/산업의 발전

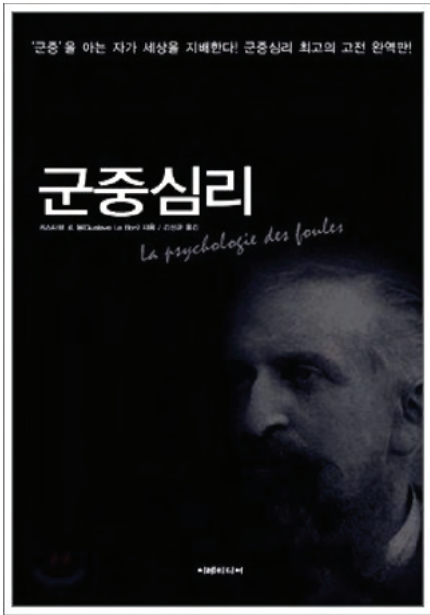
원자력 안전성은  
다른 분야와 비교 시  
충분히 과도,  
결국은 수용성!



Risk Matrix (Illustrative)

Likely > 10 <sup>-2</sup>	Intolerable	Intolerable	Intolerable	Intolerable	Intolerable
Unlikely 10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-2</sup>	Tolerable (Intolerable if Fatality > 10 <sup>-3</sup> )	Tolerable (Intolerable if Fatality > 10 <sup>-3</sup> )	Intolerable	Intolerable	Intolerable
Very Unlikely 10 <sup>-6</sup> - 10 <sup>-4</sup>	Tolerable	Tolerable	Tolerable	Tolerable	Intolerable
Remote 10 <sup>-8</sup> - 10 <sup>-6</sup>	Broadly Acceptable	Broadly Acceptable	Tolerable	Tolerable	Tolerable
Probability	Single Fatality	2-10 Fatalities	11-50 Fatalities	50-100 Fatalities	100+ Fatalities

34



‘구스타프 르 봉’

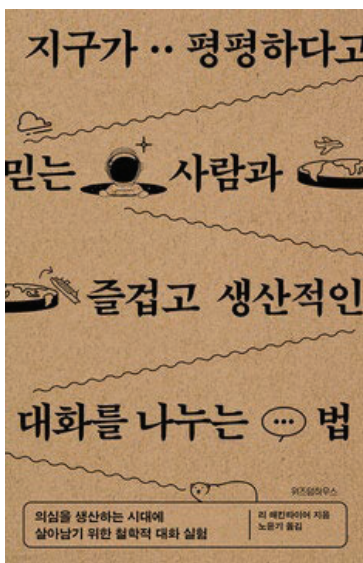
- 군중 심리
  - 군중속에서는 개인의 자아(기준)를 잃고 무의식적, 충동적, 과장적, 편협적으로
  - 집단적 동조현상이 발생
- 군중 설득 방법
  - 이미지(상징, 프레임)로 상상 자극
  - 확신에 찬 모습으로
  - 반복적으로

- 노력 장벽 : 진위 확인이 상대적으로 어려운 경우
- 정보 공백 : 정보가 없는 경우 **처음 얻은 정보**를 기준으로 판단
- 순환 고리 : 여러 곳에서 같은 정보를 얻을 때
- 믿고 싶은 마음 : **나에게 이익이 되는 경우**
- 자존심의 뒷 : 틀렸다는 사실을 인정하기 싫어하는 마음
- **무관심** : 진위 자체가 중요하지 않거나 애써봐도 소용없다고 생각
- 상상력 부족 : 스스로 생각하려 하지 않음



▪ 나치(괴벨스)가 파악한 집단광기 심리

- 분노와 증오는 대중을 열광시키는 가장 강력한 힘
- 대중은 설득시키는 것이 아니고 도취 시키는 것이다.
- 거짓말은 처음에는 부정하고 다음은 의심하나 계속하면 믿게 된다
- 거짓과 진실의 적절한 배합이 100% 거짓보다 더 효과가 크다
- 대중은 작은 거짓말보다 큰 거짓말을 잘 믿는다. 그리고 그것은 진실이 된다.
- 승리한자는 진실을 말했느냐 따위를 추궁 당하지 않는다.
- 이성을 제압하여 승리를 거두는 가장 손쉬운 방법은 공포와 힘이다.
- 국민들에게 불쾌한 뉴스를 무조건 숨기는 것은 심각한 실수다.



- 과학 부정론의 5가지 공통적 특징과 후쿠시마 선동 비교
  - 체리피킹 방식의 증거 수집 : '방류수가 돌아온다' 만 강조
  - 음모론을 신뢰 : 토착 왜구 !
  - 진짜 전문가 무시 : 원자력 전문가는 돌팔이 !
  - 논리적 오류 : 세습 물고기
  - 과학은 완벽해야 (과학 철학) : 저선량도 위험하다.



인터넷 때문에 소수의 의견이 다수의견 처럼 과장되는 세상  
나답게 살아가게 못하고 집단이 만든 규율에 따라 살아가게 하는 세상

**‘집단 착각’의 저자 토드 로즈의 제언**  
--원자력 수용성에 적용--

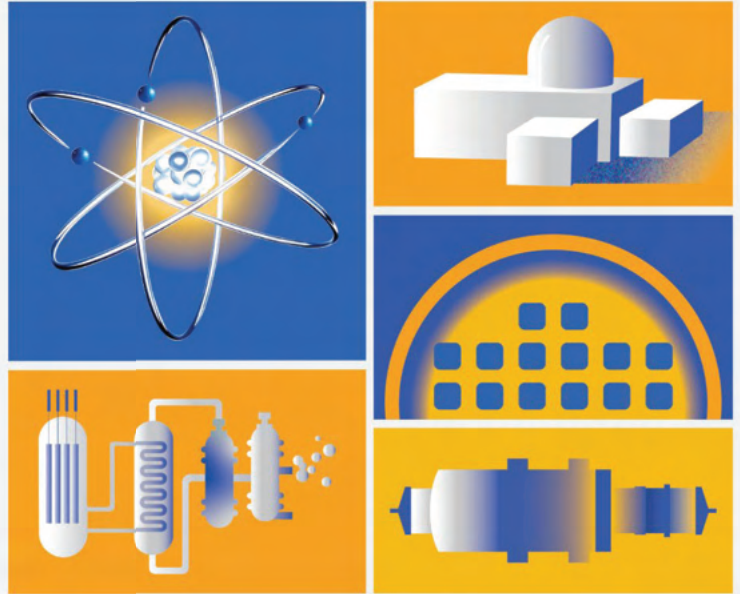
- 착각의 발생은 남의 시선을 의식(눈치)하는데 있음을 알려  
본인이 가지고 있는 지식을 의심하게 하고
- 원자력의 과학적 데이터를 확신(자신감)을 갖고 전달
- 스스로 생각하도록 유도

# 원자력 미래는 나의 행동으로부터



## 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

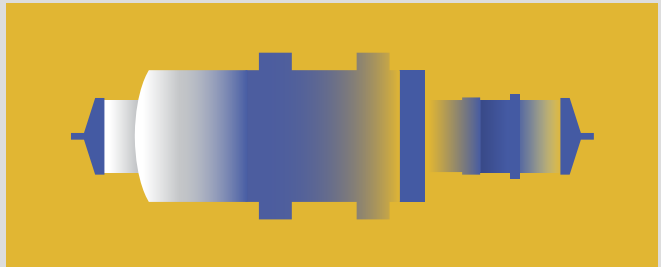
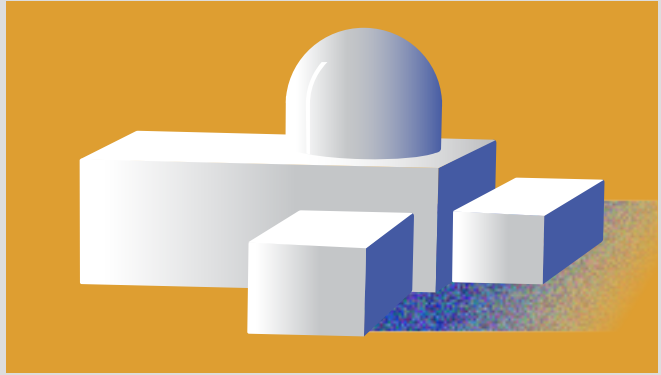
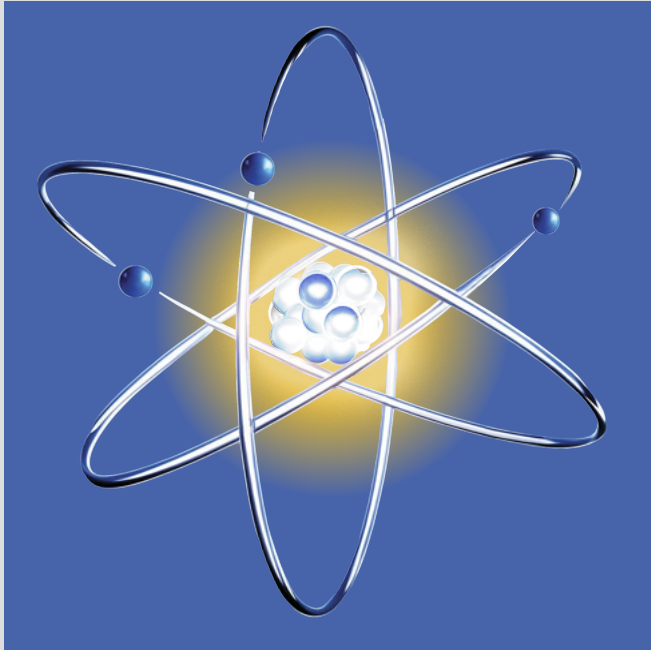
감사합니다.





# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향



## 원자력발전의 지속가능성 제고를 위한 과제

장문희

서울대원자력정책센터 연구위원

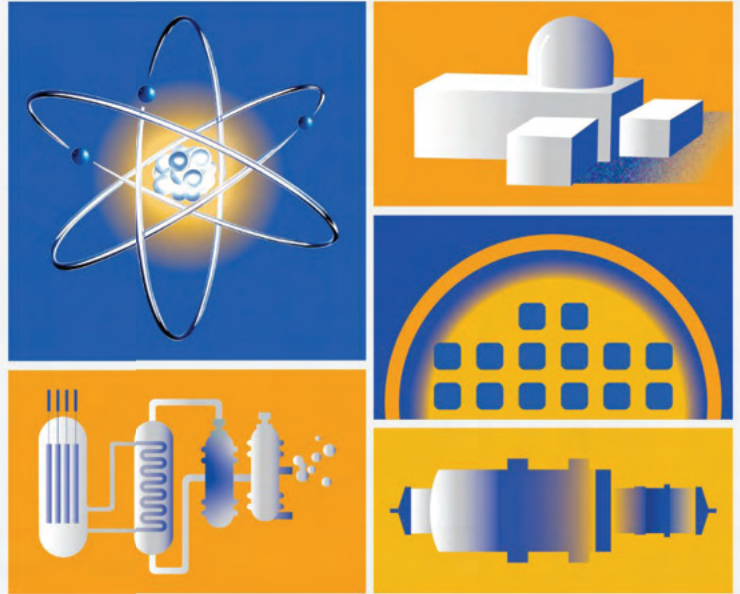


# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

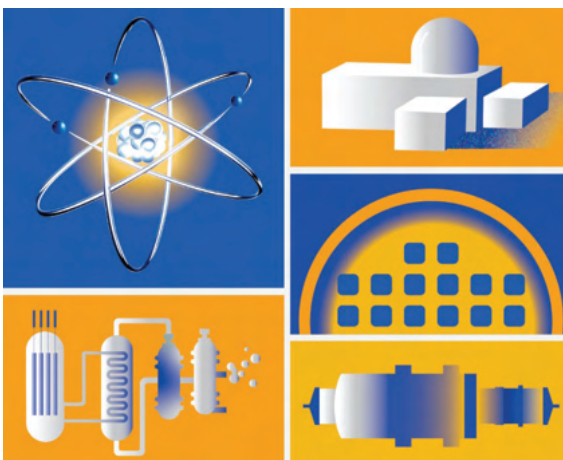
## 원자력 발전의 지속가능성 제고를 위한 과제

2025. 3. 6.

**장문희** 서울대원자력정책센터 연구위원  
mhchang1124@gmail.com



## 목 차



- I. 지속가능성의 의미에 대한 이해
- II. 원전 시대의 부활
- III. 에너지원의 지속 가능 조건
- IV. 원자력發電 지속 가능 도전 과제
- V. 타산지석(他山之石)에서 배우자
- VI. 원자력 - 대한민국의 미래 리더십 에너지

### [지속 가능성] 사전적 의미

- 현재의 필요를 충족시키고 미래 세대의 필요를 충족할 수 있는 능력을 해치지 않도록 하는 상태
- 자원이나 환경, 사회적 시스템 등이 장기적으로 안정적 상태를 유지하며 발전할 수 있는 가능성을 의미

### [에너지원 지속 가능] 현실적 의미

- 결과물 이용 비용이 **경제적으로 싸고**, 인간과 환경에 **피해를 주지 않고**  
안전한 관리가 가능하고, 에너지원이 **안정적으로 공급**될 수 있는 상태

## 2. 원자력 전기, 그리고 원전 시대의 부활

## 02 原電 시대의 부활 - 원자력 전기 [국격과 삶의 질 변화]



6.25 전쟁 폐허의  
광화문



관슬불과 오롱불

### 우리나라 국격



### 삶이 화려한 서울 야경



## 02 原電 시대의 부활

- 제28차 기후변화당사국총회, COP28 (두바이, 2023.11.30~12.13)
  - + 25개국 2050년까지 세계 원전 발전용량 2020년 대비 3배 확대 합의 (현재 31개국)
- 유럽 원자력 정상회의(브뤼셀, 2024.3.21)
  - + 34개국/IAEA "원전으로 유턴" 선언문 채택 - 현재 진행형
  - + EU 집행위원장
    - "원전 가동 연장은 청정에너지원을 대규모로 저렴하게 확보하여 탄소중립을 이루는 비용 대비 효과가 가장 좋은 방법"
    - "원전에 대규모 투자와 SMR 등 기술 혁신 노력 필요"
- EU 그린 택소노미(Taxonomy)
  - + EU 집행위원회는 EU-JRC 기술평가(원자력 환경영향 평가), EU 의회 의결을 거쳐 (2022.7.6) 원자력을 그린 Taxonomy로 인정·시행(2023.1.1)
  - + 원전 활동(건설, 운영)을 녹색 경제활동으로 인정하고 녹색 금융 투자 길 open
    - 폴란드 원전 건설(3.75GW) 자금 지원 승인(2025.1)/미국 EXIM 금융 이용 가능
- 글로벌 금융 기관 14곳 원전 3배 확대 지지 - 대출/프로젝트지원/채권 주선
  - + BoA, 모건 스탠리, 골드만 삭스 등

## 02 原電 시대의 부활

- 지구촌 脫원전 발원지인 유럽이 脫“脫원전”의 성지(聖地)가 되었다.
  - + 원인: 에너지안보(러-우 전쟁), 기후변화대응/탄소중립, AI發 전력 수요 등
  - + 재생에너지원(태양광, 풍력) 태생적 불구성(간헐성, 유동성, 불안정성) 확인
  - + 원전: 낮은 연료 의존도, 무탄소 발생, 높은 안전성과 경제성 인정 등

국가	정책 동향	국가	정책 동향
미국	폐쇄원전 재가동/노후 원전 조기폐쇄 방지 위한 재정 지원, 원전 배지 가속화법 발효	벨기에	2022년 원전 2기 2035년까지 계속운전 연장 결정
영국	2050년까지 최대 8기 추가건설 원전 비중 15%에서 25% 확대	폴란드	2043년까지 6기 건설
프랑스	2050년까지 신규 8기 건설계획 법안 반영	체코	2040년까지 최대 4기 추가 건설 추진
불가리아	노후 원전 2기 대체 신규 2기 건설 추진	핀란드	신규 원전 1기 가동 개시 가동 중 원전 2기 계속운전 추진
튀르키예	2035년까지 원전 12기 건설 예정		
스위스	가동 중 원전 4기 수명 2060년까지 연장 계획 신규 건설 원자력법 개정 예정	스웨덴	탈탈원전 정책으로 전환 2045년까지 10기 추가 건설 계획

7

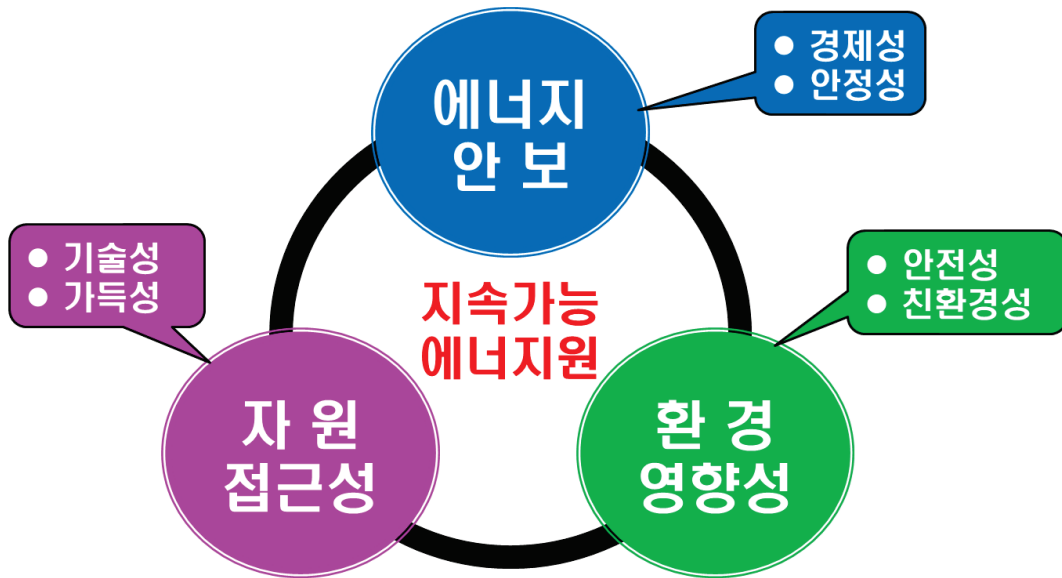
## 3. 에너지원의 지속 가능 조건

8

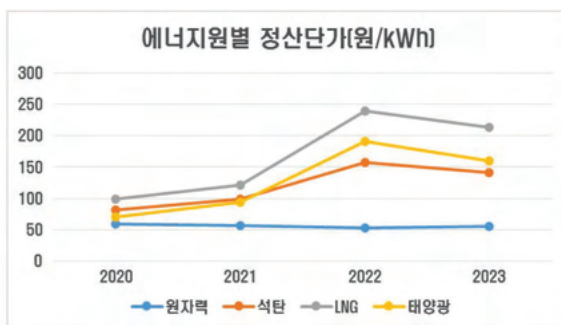
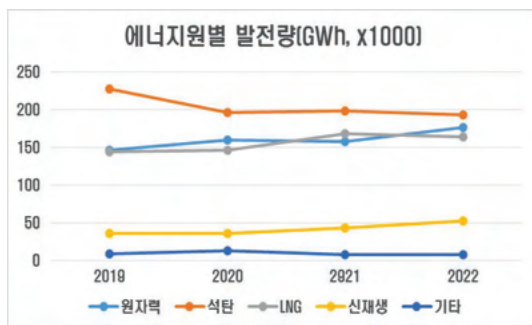


### 03 에너지원의 지속 가능 조건

거시적 요건, 미시적 요건



### 03 에너지원의 지속 가능 조건 - 에너지원별 지속 가능성



출처: 전력통계/전력시장동계

거시적 조건	미시적 조건	원자력	석탄	LNG	신재생
에너지 안보	경제성	0	Δ	X	X
	안정성	0	Δ	Δ	X
자원 접근성	기술성	0	0	0	Δ
	가득성	Δ	X	X	Δ
환경 영향성	안전성	0	0	0	0
	친환경성	0	X	X	0

◆경제성 조건을 제외하고 나머지 5개 미시적 조건에 대해서는 **정성적으로 상대성 평가**

### 03 에너지원의 지속 가능 조건 -에너지원별 과세 현황

구분	과세 물건	세 목	원자력	유연탄	LNG	근거
국 세	발전 연료	개별 소비세	-	30원/kg	60원/kg	개별 소비세법
		관세	-	-	11.8원/kg	관세법/FTA
		수입 부담금	-	-	24.24원/kg	석유 사업법
부담금	별도 산정	소계	-	30원/kg (11.94원/kWh)	96.04원/kg (12.92원/kWh)	-
		안전 규제비	0.39원/kWh	-	-	원자력안전법
		원자력 보험	0.22원/kWh	-	-	손해 배상법
	전력 생산	사후 처리비	8.64원/kWh	-	-	방폐물법
		원자력 연구기금	1.2원/kWh	-	-	원자력진흥법
		지역협력 사업비	0.25원/kWh	-	-	발주지법
지방세	지역자원 시설세	1.0원/kWh	0.3원/kWh	0.3원/kWh	지방세법	
합 계			11.70원/kWh	12.24원/kWh	13.22원/kWh	

자료: 한수원(주), 2015년 기준

◆기타 준조세 성격 비용: 폐로 원전 해체비용 적립

## 4. 원자력發電 지속 가능성 도전 과제

## 04 원자력發電 지속 가능성 도전 과제

1. 고준위 방사성폐기물(사용후 핵연료) 관리
2. 발전용 연료 저농축 우라늄 확보
3. 신규 원전 건설 부지 확보
4. 전력망(송전망) 확보
5. 원전 계속운전 정책
6. 원자력 전문 인력 확보

- ◆ 원자력發電의 안전성/경제성은 입증된 이슈로 제외함
- ◆ 인허가규제 과도·지연 영향에 대해 in-depth 연구 필요

13

## 04 원자력發電 지속 가능성 도전 과제 - 원자력發電의 사회성과 지속 가능성

- ◆ 원자력發電의 지속가능 사회성 요건에 대한 가치 평가
  - + 원자력發電의 사회성에 대한 대중의 평가: 지속 가능 요건(요소)에 대한 가치관에 따라 달라진다.
  - + 지속 가능 요건에 대한 일반 대중의 가치관

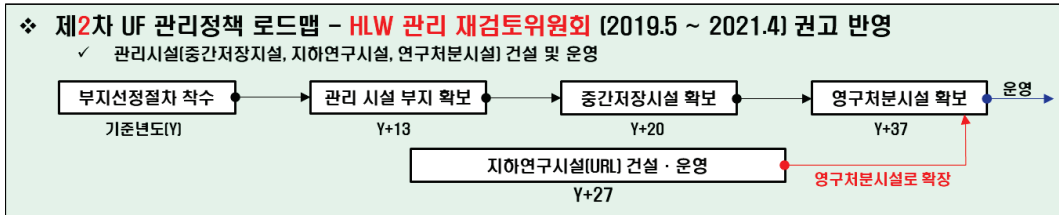
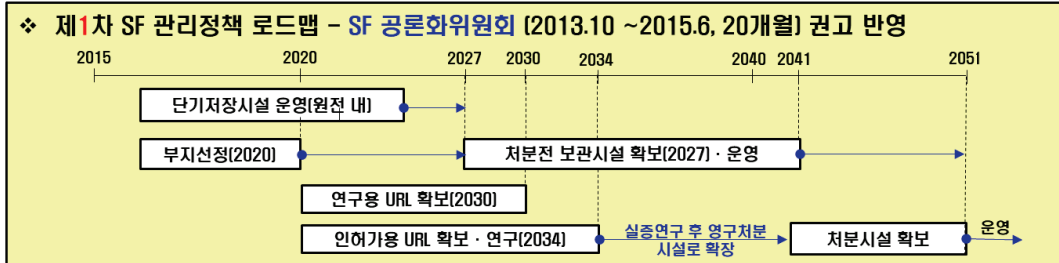
안전성: 삶의 안전에 영향을 미치는 절대적 가치  
경제성: 삶의 복지에 영향을 미치는 상대적 가치 (에너지원 환경에 따라 달라짐)  
나머지 요건의 가치에 대해서는 일반적으로 무관심

- ◆ 사회성이 원자력發電 지속 가능성에 미치는 영향
  - + 사회성(사회적·정서적 감성) 이유 ≫ 기술적(합리적·이성적) 이유에 의한 영향
  - + 기술성은 안전성과 경제성에 직접 영향 → 안전성/경제성은 사회성에 영향

14

## 04 원자력發電 지속 가능성 도전 과제 - (1) 고준위 방사성폐기물(사용후 핵연료) 관리

원전 부지	사용후핵연료 임시 습식 저장조 포화 시점						비고
	고리	새울	한빛	한울	월성(경)	월성(중)	
년도	2032	2066	2030	2031	2042	2037	제10차 전력수급계획 (2022~2036) 기준



## 04 원자력發電 지속 가능성 도전 과제 - (1) 고준위 방사성폐기물(사용후 핵연료) 관리

◆ 고준위 방폐물관리 특별법(안) 핵심 차이점 및 최종 결정 내용(2025.2.21 산업통상자원부)

구분	여 1(안)	여 2(안)	여 3(안)	여 4(안)	야 1(안)	비고
시설 운영 목표 시점	중간 '50 이전 처분 '65 이전	중간 '51 이전 처분 '61 이전	중간 '45 이전 처분 '60 이전	중간 '50 이전 처분 '60 이전	중간 '50 이전 처분 '60 이전	야 1(안) 으로 합의
원전 내 건설 저장 규모	삭제	[설계수명 기간+여변 변화 반영 의결] 발생 예측량			설계수명 기간 발생 예측량	야 1(안) 으로 합의

**도전 과제 해결 방안**

◆ SF를 영구 처분할 준비는 되어 있다.

- + 경주 중 저준위 방폐장 확보에 19년 소요(1986~2005), 그 후 또 19년을 보냈다 - 에너지문제 정치화
- + SF 처분 기술과 처분 로드맵은 준비되고 있다. 이전 특별법안 준비되면 로드맵을 이행만 하면 된다.
- + 원자력계 - 특별법(안)의 최소 요구 조건에 동의하여 법제화 완성 후 필요 시 추후 법 개정 전략 필요
- + SF 영구처분장 마련까지 원전 부지 별도 필요 임시저장(건식저장 등) 확장 노력

## 04 원자력發電 지속 가능성 도전 과제 - (2) 발전용 연료 저농축 우라늄 확보

- ◆ **신규 원전 건설 확대 - 에너지 안보 확보, 탄소 중립 달성, 전력 수요 급증 등에 대응**
  - + 2050년까지 세계 원전 용량 **2020년 대비 3배 확대**(COP28, 2023년) 지지 동참 국가 **31개국**
  - + 대용량 원전 전망(WNA)
    - 2024년 9월 현재 전 세계에서 운영 중(439기), 건설 중(64기), 계획확정(88기), 검토 중(344기)
    - 특히 **중국**은 현재 건설 중 30기, 11기 건설 승인(2024년), 2035년까지 100기 건설 승인 예상
  - + SMR 시장 전망 - 2035년 600조원 규모 시장 전망, **2050년 신규 원전 50%가 SMR** (~70GW)
  - + 저농축 우라늄(LEU) 가격 및 예상 수요 급등 → 1SWU 당 **56\$**(2022년)에서 **100\$ 이상** 급등(2025년 1월)
  - **신규 원전 증가 규모와 농축우라늄 생산 규모의 mismatch로 LEU 공급 부족 전망**

- ◆ **발전용 연료 저농축 우라늄 공급 시장 현황 및 전망**
  - + 시장 점유(2023년) - 러시아(로사톰, 44%), 영국(URENCO, 29%), 중국(CNNC, 14%), 프랑스(Orano, 12%)
  - + 러시아 - 농축우라늄 최대 공급 국가(시장 점유 40% 이상), 전 세계 농축 시설의 약 50% 보유
  - + 미국 - 러시아 농축우라늄 수입금지(2028년부터), Centrus사 **농축시설 확장** 2028년 가동 예정, 유타/아리조나/와이오밍 주 우라늄광산 재개 추진(**환경 정의/원주민 자치권 보호법**으로 지연)
  - + 프랑스 - Orano사 2028년 가동 목표로 **농축 설비 확충** 착수, 몽골 우라늄광산 개발 계약
  - + EU - 러시아산 농축우라늄 의존도 감소 추진 (2022년 사용 우라늄 약 30% 러시아에서 수입)
  - + 중국 - **LEU 대미 수출 확대**, 발전용 저농축 우라늄 블랙홀 현실화 전망(입도선매 전략)
  - + 카자흐스탄 - Yellow Cake 시장 40%로 세계 1위, 지속적 생산 감소(지정학적 불안감 **서방 투자 중단**)
  - + 캐나다(Cameco) - **우라늄 생산량 확대**(생산량 세계2위)

17

## 04 원자력發電 지속 가능성 도전 과제 - (2) 발전용 연료 저농축 우라늄 확보

- ◆ **우리나라 발전용 연료 LEU 확보 현황 및 전망**
  - + 2025년 현재 26기 가동 중, 4기 건설 중, 4기 건설 계획(~2038년)
  - + 공급 의존도 - (2020~2024년 5년 평균) 프랑스(38%), 러시아(32%), 영국(25%), 중국(5%)
  - + 한수원 - 3년 치 우라늄 비축량 및 추가 3년 치 계약분 확보, 2035년까지 물량 보유 주장  
Centrus사(미)와 **시설확장 조건 10년**(2031-2040년) 간 LEU 공급 **수익계약** 체결  
Orano사(프) 농축 설비 확장 후 LEU 수급 대기 국가(기관)로 등록됨
  - + 11차 전기본 계획 → 2038년 국내 LEU 수요량은 2025년 소요량 **1.5배** 전망
  - + 글로벌 수요 증가, 지정학적 이유, 한미동맹 영향 → 러시아산 LEU 수급 전망 매우 불확실, 중국산 의존도 증가 전망(최저입찰제도 영향), 미국산 장기 도입 협력 확대 예상

### LEU 확보 전략과 정책 제안

- ◆ **국내·외 정치·외교적 환경 변화에 따른 LEU 수급 불확실성 극복 방안 강구 필요**
  - + 우라늄 **자원 외교**를 강력하게 추진 - 국내 정치 상황 극복 **정치중립적 가치 확보** 노력
    - 해외 우라늄 정광(광산) 투자, 변환 및 농축에 지분 투자
    - 우라늄 공급사 Orano(프), Urenco(영), Centrus(미) 농축 설비 확장에 **투자자 참여**
  - + **한·미 원자력협력파트너십** 위상 및 **한미동맹 가치** 적극 활용
    - 한미원자력협력협정의 LEU 안전공급 보장 조항을 실제적으로 활용
    - 한미 합작으로 **LEU 농축 설비 미국(미국령 포함)에 건설하여 공동 운영**(협정 개정)

18

## 04 원자력發電 지속 가능성 도전 과제 - (3) 신규 원전 건설 부지 확보

### ◆ 원전 부지 확보/해지 역사

- + 박정희 정부 - 원전 2기 건설 (장기전원개발계획, 1967년), 경남 양산군(부산시 기장군)
- + 전두환 정부 - **9개 지역** 원전 부지 후보지로 지정·고시 (울진 산포, 삼척 덕산, 해남 외립, 신안 송공, 보성 비봉, 여천 이목, 장흥 신리, 고흥 장계, 울진 직산)
- + 김영삼 정부 - 후보지 여건 변동 여부 조사 후 위 **9개 지역 우선 순위 부여**(1996년)
- + 김대중 정부 - 지역 주민의 반대로 **삼척을 제외**하고 **8곳 모두 백지화**(1999년 12월)
- + 문재인 정부 - 삼척(2기), 영덕(2~4기) **부지 지정 후**(2018년) **탈원전 정책으로 지정 해지**

### ◆ 현재까지 신규 원전 건설 전략

- + 기존 원전 부지(고리, 새울, 월성, 한빛, 한울) 에 **다수기 건설** - 새울 부지는 고리에서 분리

원전 부지	원전 부지별 가동 및 건설 중 원전 수						비고
	고리	새울	한빛	한울	월성(중)	월성(경)	
가동(건설)	5	2(2)	6	8(2)	2	3	계속 운전 중인 고리 2,3 호기는 기동원전 분류

- + 현재 고리 원전 부지(신규 2기 가능?) 외에는 신규 원전 건설 부지 난망(영덕 재지정?)

19

## 04 원자력發電 지속 가능성 도전 과제 - (3) 신규 원전 건설 부지 확보

### ◆ 필요한 신규 원전 부지

- + 제11차 전기본 → 신규 원전으로 대용량 원전(APR1400) 2기, i-SMR 1기

### 부지 확보 전략과 정책 제안

#### ◆ 단기 전략

- + 제11차 전기본 → **대용량 원전 2기**(고리 부지 활용 또는 영덕/삼척 부지 재지정), **i-SMR 1기** (분산전원특별법 활용, 폐쇄 석탄발전소 부지 활용)

#### ◆ 중·장기 전략

- + 원전 부지 확보는 철저히 대상 지역의 **지역적인 이슈**로 접근
  - 부지 협의에 대상 지역 주민 목소리와 일반 국민 목소리와 의견을 분명히 구분
  - 지역과의 논의에서 시민(환경)단체의 개입을 철저히 배제 (성주 THAAD 이슈 참조)
- + 부지 협의에서 이해당사자인 **지역 주민과 지자체를 주체**로 해야 함
  - 주민과 지자체가 결정한 중·저준위 방폐장(경주) 사례 참조
  - 원전 지역 주민들의 원전 필요성 이해 89.5%(에너지정보문화재단 자료) 참조
- + 국익과 공익에 호응하는 지역은 확실한 **보상과 혜택** 제공, 타 지역과 차별성 체감하도록
  - 사회적·경제적 지원은 당연, 차등 전기요금을 실질적으로 적용
  - 원전 건설·운영 시 **창출 일자리 중 최대 70%**를 지역 주민에게 제공(교육/훈련 포함)
  - 지역 주민의 지방세 감면 (원전이 지자체에 지원하는 지역발전지원금 반대 급부)

\* **지역 혜택 전략과 지원 정책은 지역 인구를 늘려 지역 소멸 방지에 매우 큰 효과**

20



## 04 원자력發電 지속 가능성 도전 과제 - (4) 전력망(송전망) 확보

### ◆ 국가 생명 유지를 위한 전력망 - 발전소(심장), 전기(피), 송전망(핏줄)

- + 현재 **송전해야 할 전력량은 송전망 용량 초과** 상태 → 현장에 피가 공급되지 않는다.
  - 몰류 확대로 도로가 정체되면 도로를 확장 또는 신설해야 한다.
  - 발전소 건설 계획·추진과 송전 계획·추진의 mismatch 결과(지역 갈등 문제)
- + 송전망은 발전 에너지원(원자력, 재생, 석탄, LNG 등) 종류와 관계없이 필요하다.
- + 송전망 구축 요소 - 비용, 시간, 지역 협조(송전망 구축 결정적 걸림돌 요소)
- + 송전망 구축 지연 사례 (출처: 한국전력, 2024년 5월)

사업	지연 기간	사업	지연 기간	사업	지연 기간
북당진-신당정	150개월	당진화력-신송상	90개월	동해안-신가평	88개월
신시흥-신송도	66개월	신당진-북당진	54개월	고덕-서안성	13개월

### ◆ 동해안-수도권 송전망 상황

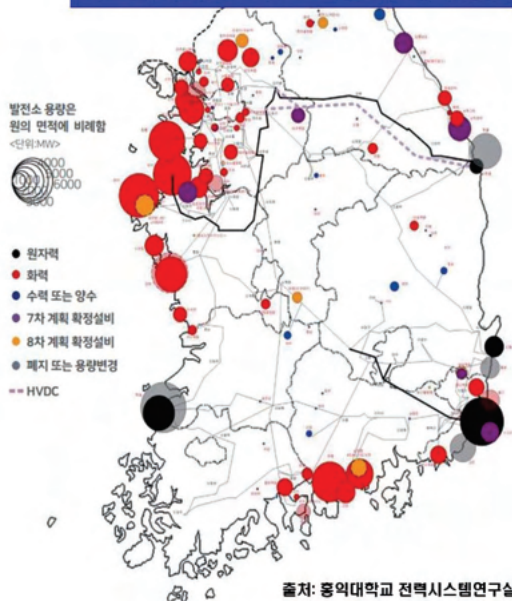
- + 동해안 지역 **발전량 15.1GW**(원전 8.7GW, 석탄 6.4GW, 신규 석탄 1기 건설 중), **송전망 11GW**
- + 송전망 제한으로 석탄발전소 8기 가동 중단 또는상시 출력 감발 운전(2024.5)
- + **신규 4GW 송전망 2개** → 2021/2022 준공 예정이었으나 2022.10월 겨우 착공

### ◆ 용인 반도체 메가클러스터(국가산업단지) 전력 수요

- + 전력 수요 → 0.4GW(2029년 말), ~7GW(2042년), ~10GW(2047년), ~14.7GW(2053년)
- + 자체 LNG 3GW(~2036년), 동해안 전력 7GW HVDC 공급(~2037년), 호남 재생전력 HVDC 공급

## 04 원자력發電 지속 가능성 도전 과제 - (4) 전력망(송전망) 확보

### 우리나라 발전소 분포/전력망



## 04 원자력發電 지속 가능성 도전 과제 - (4) 전력망(송전망) 확보

### 전력망 확보 전략과 정책 제언

- ◆ 국가기간 전력망 확충 특별법(전력망 특별법) 입법·시행 필요 - 상임위 소위 통과(2025.2.17)
  - + 전력망 위원회(국무총리실 소속) 설치
    - 국가기간망 기본계획(5년 단위, 30년 주기) 수립, 정부 차원 수용성 제고 갈등 중재
    - 각종 인허가 특례, 입지선정·예비타당성조사 등 특례, 주민보상·지원 특례 등
- ◆ 송전망 구축은 정부가 직접 주도 또는 민간 참여, 한전의 사업 이행 실질적 역량 제한적임
  - + 공익을 위한 토지 수용/주민 이해, 경제적 보상, 행정력 동원 등 정부가 사업 이행의 당위성 확보
  - + 한전(국내 유일 전력망 사업자)은 관련 업무를 위임 받은 공기업에 불과하며 200조 적자 기업
  - + 송전망 설치에 협조적 주민/지자체 - 인센티브로 보상/지역 지원비 상향
  - + 송전망 사업자로 관심 있는 민간 참여 필요 - 용지확보/인허가/설계/시공/책임관리
- ◆ 주민 갈등 지역(주민 협조 불가능 지역)을 우회하여 송전망 건설 방안 검토
  - + 국유지/공유지 활용, 최적 경로에 비해 경제성은 낮겠지만 산업·경제활동 필요 전력 공급 용이
  - + 신설 도로·철도 계획과 연계하여 송전망 건설(지하화 용이) → 갈등 해소 및 비용 절감
- ◆ 대규모 전력 수요 산업 단지를 대단위 원전 지역에 조성·공급하여 산업 유치
  - + 별도의 송전망 구축 불필요, 인구 밀도가 낮아 주민 수용성 용이
  - + 지역에 산업 유치로 지역경제 발전, 산업의 수도권 집중 해소, 인구 유입 지방소멸 저지 효과 등
- ◆ 분산전원 특별법 활용 전력 수요지(AI 데이터센터 등)에 SMR 원전 배치 - 송전망 불필요
  - + 당장 실효성은 낮지만 장기적으로 접근해 볼 수 있는 유용한 방안

23

## 04 원자력發電 지속 가능성 도전 과제 - (5) 계속 운전

### ◆ 세계 원전 운영 주요 국가들의 계속 운전 전략/현황 (원자력산업협회, 2024.1.1.기준)

- + 계속 운전 목적 - 안전성 확보 아래 경제적 이득 추구
  - 원전 안전 목표 유지 위한 설비 개선 비용(2000억~6000억) 및 시간 << 신규 원전 건설 비용(>5조) 및 시간
  - 미국 및 일본 (1회 연장 20년), 유럽 및 캐나다 (1회 연장 10년)

❖ EU 집행위원장 - "원전 가동 연장은 청정에너지원을 대규모로 저렴하게 확보하여 탄소중립을 이루는 비용 대비 효과가 가장 좋은 방법"

- + 세계 가동 원전 439기 중 239기 계속 운전 승인(2024.9 현재)
  - 가동 원전 40%(173기) 가동 연수 40년 초과로 70~80년 계속 운전 세계적 추세(2025.1. IAEA)
  - AI주도 전력 수요 급등에 효율적 대응, 에너지 안보 및 탄소중립 달성 등
- + 미국 - 94기 중 78기 1회(20년) 계속 운전 허가, 6기는 2회(40년) 계속 운전 허가
  - 원전 수 68%(64기)가 수명 40년 초과 (평균 수명 42년)
  - 최초 허가 시 운영허가기간 설정(예:40년), 운영 허가 기간 만료 20년 전부터 추가 20년씩 계속 운전 신청
  - 기기수명평가(LER) 및 방사선환경평가(RER)와 필요 시 설비 보강 후 운영 허가 갱신 신청
  - 현재 최대 80년 간 운전 가능하며 이를 100년으로 확대하는 연구 진행 중
- + 프랑스 - 56기 중 32기 계속 운전(10년 단위) 허가
  - 최초 허가 시 운영허가기간 미 설정, 매 10년마다 주기적안전성평가(PSR) 실시로 가동 기간 10년씩 연장함
- + 일본 - 33기 중 6기 계속 운전 허가, 원전 운영은 원칙적으로 40년, 최장 60년 운영 허가
  - 심사 기간은 재가동 허용기간에 불 포함시켜 원전을 20년간 실효적으로 운전 가능하도록 함
- + 캐나다(19/19), 영국(4/9), 벨기에(5/5), 스페인(7/7), 러시아(24/34) 등

24



## 04 원자력發電 지속 가능성 도전 과제 - (5) 계속 운전

### ◆ 계속 운전이 보증하는 실체적 진실과 실효적 효과

- + 해당 원전이(적용기술 및 설계 포함) 안전하다는 것을 규제기관이 확인·보증했다는 뜻이다.
- + 계속 운전을 한다는 것은 원전 운영 회사가 경제적으로 이익을 얻고 있다는 것이다.
  - 원전의 성능과 품질이 우수하다는 것을 방증하는 것이며, 수출 시장에서 강력한 경쟁력으로 이어진다.

### 제도적 문제점과 개선 방안

- ◆ 2029년까지 원전 10기(8.51GW) 운영허가 만료 - 만료 시기와 계속 운전 허가 시기 불일치 시
  - + 고품질 전력 공급 불가능 → 첨단 산업 피해, 에너지 안보 불안, 탄소 중립 불가능 등
  - + 경제적 손실 → OPR1000 1기 1년 운전 정지 시 4천 억 원 손실, 2027년까지 약 5조원 누적 손실(한수원)
- ◆ 우리나라 계속 운전 심사제도기준 세계에서 가장 엄격(진흥 억제/규제 우선) - **진흥 없이 규제 없다!**
  - + 프랑스 모델과 미국 모델을 중복으로 적용(이중/중복 규제), 그러나 허가 기간은 단 10년!
    - 기술·품질 발전/운영 경험·기술 know-how 축적/수시 안전성 점검·부품교체 등 고려하여 **규제 간소화해야!**
  - + 운영허가 만료 10~5년 전까지 안전성평가보고서(PSR) 제출해야!
    - 미국(갱신신청 접수 후 22~30개월 심사), 한국 42개월 심사(PSR 18개월 + 운영변경허가(LE/RER) 24개월 심사)
    - 10년 계속 운전 운영허가 취득 즉시 다음 10년 허가 신청 준비해야.
  - + 계속 운전 허가 후 실시하는 설비 개선 소요 시간 - 원전 운영허가 기간에서 제외해야!
    - 원전 설비 개선은 운영변경허가 후 이행 - 최단 시간 적용해도 운영허가 만료 1.5년 전부터 설비 개선 가능, 운영허가 기간 단축 불가피 (중수로 원전 설비개선/압력관 교체 등에 5년 소요)
- \* **심사제도 선진화(간소화, 합리화, 속도화, 비정치화)로 글로벌 원전기술 강국 위상 제고/공고화**
- ◆ 더불어 민주당 - 한빛 원전 1.2호기 설계 수명 만료와 관련(2024.10월, 영광군수 재선거 유세에서)
  - 안전성이 확보되고 주민이 동의한다면 충분히 융통성 있게 대응하겠다.
  - 안전성이 확보된다면 가동 중인 원전을 멈추거나 재가동을 막을 이유가 없다.

25

## 04 원자력發電 지속 가능성 도전 과제 - (6) 전문 인력 확보

- ◆ 원자력 에너지는 삼과 곡괭이가 아니라 머리(두뇌)로 캐낸 에너지이다
  - + 어느 에너지원 기술보다 많은 전문가가 필요하다 - 설계, 엔지니어링, 제조, 제작, MRO 등
  - + 다양한 전공, 기술, 계층 영역에서 전문가가 필요하다 - 일은 인재(전문가)가 한다.
- ◆ 전문 인력 확보 관련 문제점
  - + 낮은 출생률(합계출생률 0.72명)과 초고령화(인구 20%가 65세↑)로 인적 자원(Resource) 근본적으로 부족.
  - + 탈원전 정책과 에너지 정책 혼신으로 원자력산업 생태계 불안정 상황과 기술직 인력 지속 감소 초래
    - 정치논쟁(급변하는 에너지 정책)에 원자력공학은 미래가 불확실한 영역으로 학생들이 기피하는 분야가 되었음.
    - 이로 인해 전공 지원 학생 감소 추세
      - 산업 전문 인력의 빠른 퇴직 연령 문제 - 경험(know-how/know-why)축적 고급 전문 인력 조기 손실
      - 고급 기술 인력/퇴직 전문 인력 → 해외(발전회사, 기업, 연구소 등)로 이직은 전문 인력과 고급기술 망실 초래
  - + 원자력산업 공기업 규제와 경기 침체로 원자력 산업계의 인력 수요 감소 및 수요 전망 불확실
    - 원자력 공기업에 대한 정부 통제(예산, 인력, 경영)로 인력 확보(우수 인재 유치 포함)에 큰 어려움 직면
    - 원자력산업 공기업의 강제 지방 이전에 따른 인력 확보 문제 - 취업 인력의 남방 한계선(판교 지역)
  - + 인력수급 불일치 - 기초 전문 인력(대학) 전문 영역(discipline)과 산업 현장 수요 영역 불일치(mismatch)
    - 대학에서 학문적 커리큘럼과 산업적 커리큘럼 간의 공급 조절 유연성 부족
    - 산업 현장에서 전문 영역 별 수요 전망(예측)이 없다(?) - 기초 전문 인력 공급 전략 수립이 어렵다.
  - + 에너지 정책의 정치화 - 특히 원자력 분야의 정치적 논쟁과 불안정한 환경은 현재 진행형이다.
    - 제1차 전기본 (원전과 재생에너지원의 갈등), 고준위 방폐물관리 특별법 입법 지연, 2050 중장기 원전 로드맵 수립 지연 등

26

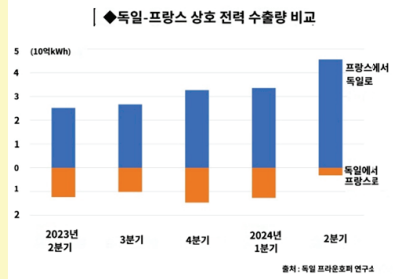
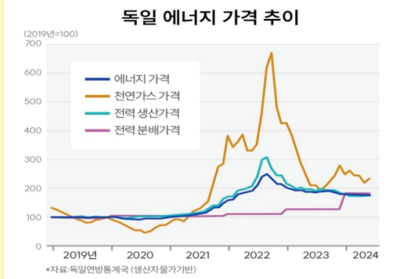
전문 인력 확보 정책 제안

- ◆ 고 경력/경험 축적 **퇴직 예정 전문가**를 일정 기간 **계속 고용하는 제도 도입 활용**  
+ 현장 전문가 공백 방지, 고급 기술(know-how, know-why) 보호, 후진 양성 가능
- ◆ 대학의 기초 전문 인력 후보를 원자력산업 **기업의 장학생**으로 선발·지원 제도 도입  
+ 60~70년 대에 한전 장학생 제도가 원자력산업 전문 인력 양성에 크게 기여  
+ 현재 전자 산업계가 IT/반도체/AI 분야 등에서 기초 전문가 양성 계약 제도를 폭넓게 활용 중
- ◆ 고령화 시대 고려 **퇴직 연령을 상향 연장**하여 전문가의 산업 활동 지속 기회 제공  
+ **인적 자원이 감소**하는(저출산, 초고령화) 환경에 대응할 수 있는 가장 실효적인 제도
- ◆ 원자력계(산업, 연구)의 미래(~수 년) **인력 수요 전망(예측) 정보 공개**  
+ 전문 영역별/분야별 **거시적 수요를 예측·제시**하여 기초 전문 인력 양성/교육 안정성 제고
- ◆ 대학 간 교류 및 대학의 기초 전문 인력 **교육 시스템의 환경 적응 유연성 제도 도입**  
+ 산업 현장 수요 영역/분야와 해당 영역/분야 인력 공급 간의 균형적 안정화 효과  
+ 대학 간 학점 교류·승인 제도 확대·보강으로 학교 별 학습 영역/분야 차이(커리큘럼 등) 해소와 학생의 전공 영역/분야 확대 기회 제공 → **전공 영역 현장 수요 대응 유연성 제고**

## 5. 타산지석(他山之石)에서 배우자

◆ 독일과 EU의 에너지 환경 및 정책 변화에서 배워야 한다

- + 독일의 재생 전력 환경의 **Dunkelflaute**와 **전력 수입**(유럽 광역 전력망)으로 **脫선진국 화** 진행
  - 17기 원전 폐쇄 탈원전(2023년 4월), 탈석탄/재생에너지로 기후변화 대응 강국 에서 **에너지안보 취약 국가**로
  - 재생에너지 비중 확대(2024 59% → 2030년 80% → 2035년 100% 목표) → **Dunkelflaute** (녹색정전) 경험,
  - 전기 요금(OECD 평균 2배), **전기 수입국**(프랑스 원자력 전기, 덴마크·스위스·노르웨이) → 경제/에너지안보 위기,
  - 제조업 강국(유럽의 기관차) 위상 급속 약화/**산업 공동화 우려**(기업 40% 독일 내 생산축소/해외 이전 검토),
  - **가스 발전 확대** 천명(INDC 목표 달성 난망), **Euro Zone 정치·경제·외교적 위상 약화**



+ EU의 에너지 환경 변화와 원자력에 대한 재인식

- 태양광/풍력 배치 가속화로 역내 **전력망 한계와 에너지 저장시설 부족** 직면 및 전력 가격 불안정성 증가
- 전력 가격 불안정/수익률 저하로 재생에너지 관련 투자 감소, 국가 간 전력 가격 차이로 **전력 networking 갈등**,
- **원자력이 Green Taxonomy**에 포함됨으로써 원자력산업에 글로벌 금융 투자/지원 수혜 가능

◆ 에너지 자급률(2022년) - 12.6% (원자력발전 감소)

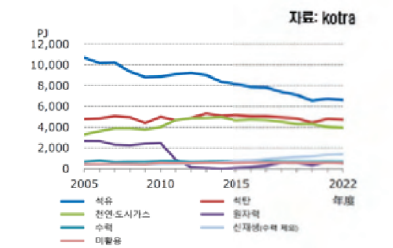
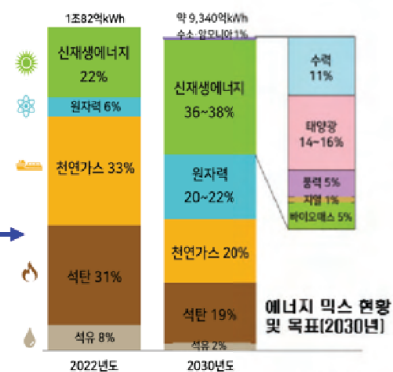
- + 후쿠시마 사고 후 5년 간 **무역수지 적자** - 에너지원 수입
- + **에너지원 수입** - 석유(99.7%), 석탄(99.7%), LNG(97.8%)
- + 산업이 전체 에너지 **61%** 소비 (이중 제조업이 약 70%)

◆ 에너지 정책

- + <S+3E> 개념 → SAFETY, ENERGY SECURITY, ECONOMIC EFFICIENCY, ENVIRONMENT
- + 탄소중립(2050년), 2040년 2013년 대비 **73%** 감축
- + 2030년 - 비탄소 에너지(신재생, 원자력, 수소) 최대 60%
- + 녹색전환 "**Gx(GREEN TRANSFORMATION) 전략**" (2023년)
  - 탄소감축 지속가능 공급망, 새로운 사회경제 구조
- + 국가 수소 기본 전략(2017년), 수소사회 추진법(2024년)
- + 에너지 기본계획(2025.2.18) → 재생에너지원(최대 전원), '2040년까지 원전 최대 활용(원전 회귀)'

◆ 원전 재가동(원전 회귀) 정책

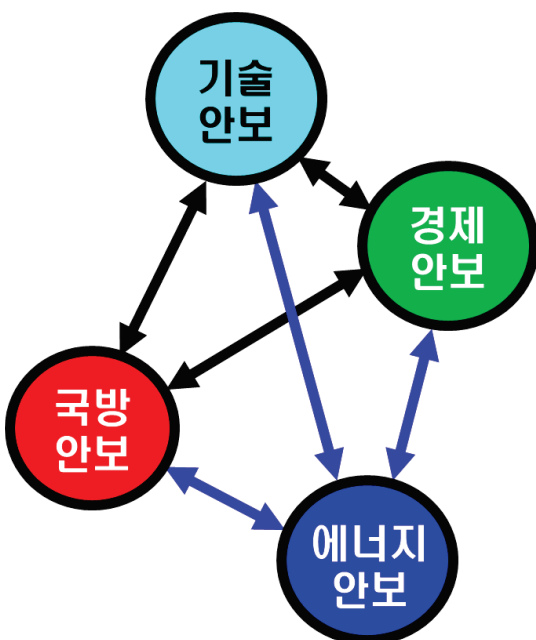
- + 2026년 2월 현재 가동 중(14기), 계속 운전(6기), 건설 중(2기), 영구 정지(27기)
- + 노후 원전 교체, 신형 원전 규제 대폭 완화
- + 2040년 원전 발전 비중: 20% 수준



## 6. 원자력 - 대한민국의 미래 리더십 에너지

31

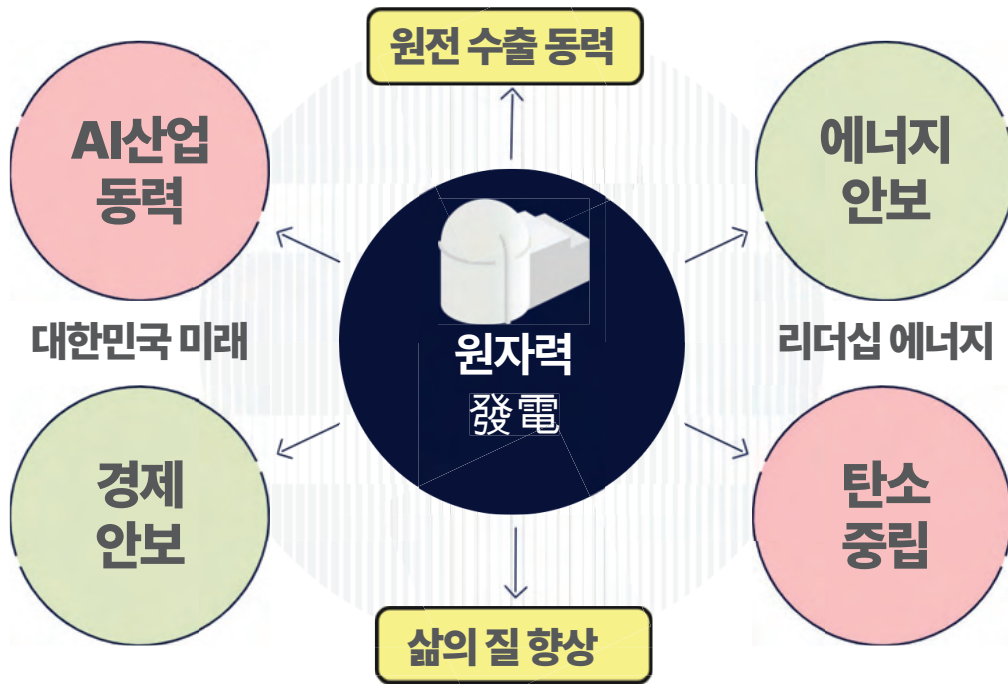
### 06 원자력 - 대한민국의 미래



- ◆ 세계화(Globalization) 시대
  - ▶ 핵심 가치(안보)를 글로벌 전략적, 상호의존적 협력관계 유지로 확보·공생
- ◆ 기술패권(미·중 패권) 시대 및 보호주의 시대
  - ▶ 보호주의가 세계화 붕괴 **촉발**
  - ▶ 트럼프 2기 - 보호주의(**MAGA**) 강화
- ◆ 미·러 충돌(新 냉전), 러-우크라이나 전쟁
  - ▶ 세계화 붕괴 **가속**, 에너지 안보 위협
  - ▶ 개별 국가의 핵심 안보 총체적 위협

➔ **에너지 안보 없이 국가의 핵심 가치(안보) 확보와 지속 불가능**

32



출처: M. H. Chang

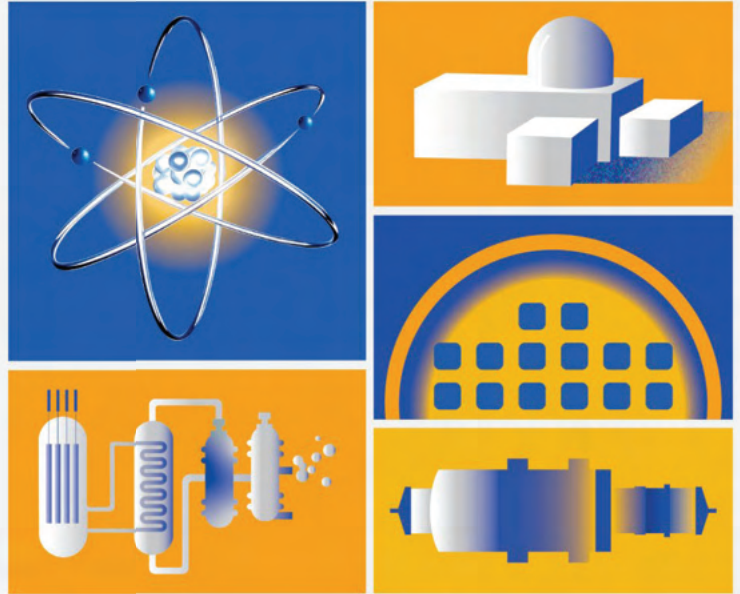
원자력은 대한민국의 지속가능 발전을 위한 ESG에 가장 부응하는 에너지원이다!

- E** Environmental 친 환경성이 매우 탁월하고,
- S** Social 사회적으로 안정성과 공공성이 뛰어나며,
- G** Governance 운영에서 가장 투명하고 윤리적이다.



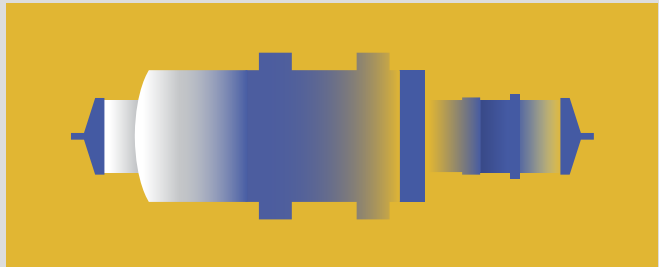
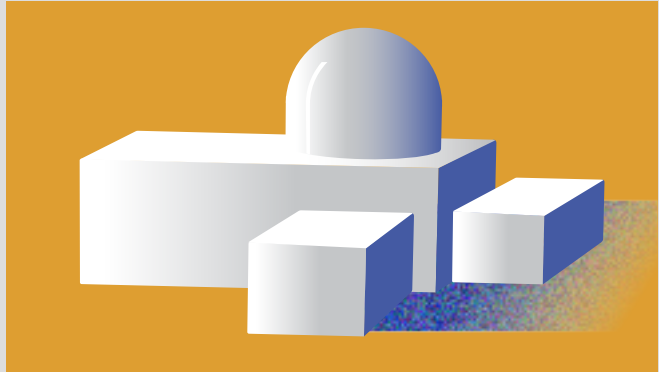
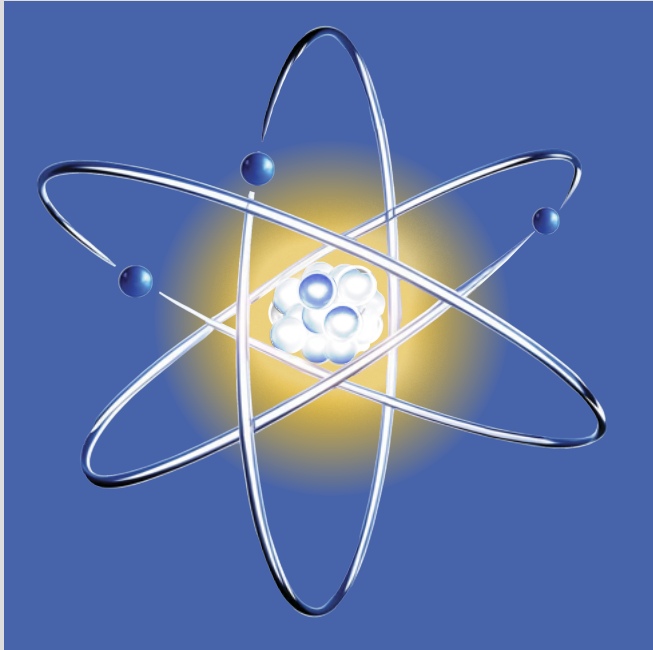
## 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.



# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향



## 고준위방사성폐기물 관리에 관한 비교법적 고찰과 시사점

황재훈

서울대원자력정책센터 연구위원





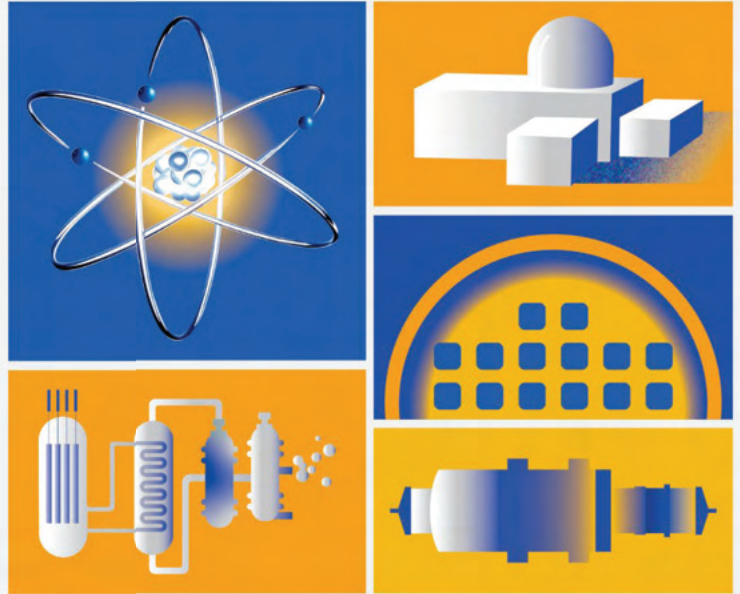
# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 고준위방사성폐기물 관리에 관한 비교법적 고찰과 시사점

2025. 3. 6.

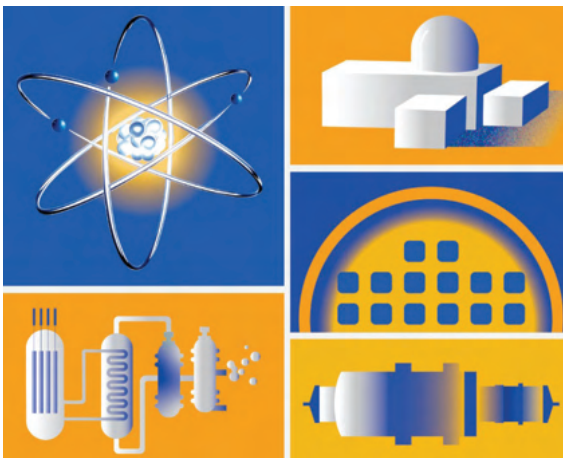
**황재훈** 서울대원자력정책센터 연구위원

zaehun@snu.ac.kr



## Contents

### 목 차



- I. 선진국(美, 日, 佛)의 방사성폐기물법
- II. 「고준위방사성폐기물 특별법」제정에  
대한 쟁점 정리
- III. 제도의 개선점

## 선진국(美, 日, 佛)의 방사성폐기물법

### 미국의 방사성폐기물법

- 1980년 저준위방사성폐기물정책법(Low-Level Radioactive Waste Policy Act) 제정, 저준위방사성폐기물을 고준위방사성폐기물, 초우라늄방사성폐기물(Transurani waste), 사용후핵연료 또는 1954년도 원자력에너지법(Atomic Energy Act) Section 11 e.(2)에서 정의된 부산물로 분류되지 아니한 방사성폐기물로 정의
- LLRWPA Section 4.(a)(1)(A) 각 주는 국방장관의 국방활동이나 연방의 연구개발 활동의 결과로 발생한 폐기물을 제외하고, 주 경계 내에서 발생한 저준위방사성폐기물의 처리를 위해 주 안팎에서 용량의 가용성을 제공할 책임이 있다.
- 42U.S.C.§2021e(d)(2)(C)는 1993. 1. 1. 이후로도 주가 고유의 처분장 또는 지역협약을 통해 저준위방사성폐기물을 처리할 수 없는 때에는, 저준위방사성폐기물의 발생자 또는 소유자의 신청에 따라 그 폐기물의 소유권을 취득하고 이를 인수해야 할 의무를 부담하게 된다.
- New York v. United States, 505 U.S. 144 (1992) 판결에서는 수정법(Low-Level Radioactive Waste Policy Amendments Act of 1985)에서 각 주에게 금전적인센티브를 주거나, 저준위방사성폐기물 반입을 금지하는 조항에 대해서는 합헌판결을 내렸으나, 권리취득조항에 대해서는 연방정부가 주정부의 권한을 침해하였다고 보아 수정헌법 제10조에 위배되었다고 판단내용

3

## 선진국(美, 日, 佛)의 방사성폐기물법

### 미국의 방사성폐기물법

- 미국 내 발생 고준위방사성폐기물은 대부분 국방활동에서 유래함. 이들은 DOE의 관할로 Hanford 및 Savannah River 부지에 저장, 일부는 유리화를 거침. 이외에도 아이다호국립연구소(Idaho National Laboratory)에서도 국방관련 고준위방사성폐기물을 관리 중
- 방사성폐기물정책법(Nuclear Waste Policy Act)은 사용후핵연료 지층처분을 위해 1982년 제정. NWPA는 방사성폐기물처리에 관한 연구·개발 프로그램도 함께 규정하고 있으나, 주와 연방 사이에 부지의 최종결정에 대한 권한과 절차를 규정함으로써 고준위방사성폐기물처분장 건설의 부지확보시기를 정함
- 42 U.S.C. §10131(a)(4): 연방정부는 공중보건, 안전 및 환경을 보호하기 위해 처분될 고준위방사성폐기물 및 사용후핵연료의 영구 처분장을 제공할 책임(responsibility)이 있고, 그 처분에 드는 비용은 해당 폐기물 및 사용후핵연료의 발생자(generators)와 소유자(owners)가 부담한다
- 42 U.S.C. §10222(a)(1)은 에너지부 장관에게 고준위방사성폐기물 또는 사용후핵연료의 발생자 또는 소유자와의 사이에 처분을 위한 인수에 관한 계약을 체결할 권한을 부여하면서, 그에 대한 비용으로 kWh당 1,000분의 1을 책정
- 42 U.S.C. §10222(a)(5)(B)는 에너지부 장관에게 늦어도 1998. 1. 31.부터는 계약상대방으로부터 고준위방사성폐기물 또는 사용후핵연료의 처분을 위한 인수를 개시하도록 함

4



## 선진국(美, 日, 佛)의 방사성폐기물법

### 미국의 방사성폐기물법

- DOE와 사업자가 체결하는 계약은 표준처분계약(Standard Disposal Contract), 자세한 내용은 10 CFR Part 961에서 살펴볼 수 있음
- SDC 제6조는 인수절차(Acceptance Procedures)를 정함. DOE가 제공하는 연간 처분용량을 실제 발생용량이 초과하는 경우를 상정하여 사용후핵연료 및 고준위폐기물 사이에 인수절차 및 우선순위를 정함. 여기에는 OFF(Oldest Fuel First)원칙이 적용되나, 영구정지가 이뤄진 원자로에서 인출된 사용후핵연료에 대해 우선권이 부여될 수 있음. 10기의 해체가 완료된 발전소의 사용후핵연료를 우선하여 인수한다면, 운영 중인 발전소로부터의 사용후핵연료 인수는 처분시설이 운영을 개시하고도 15년 이후에 가능
- SDC 제7조 : DOE가 처분을 승인한 모든 사용후핵연료 또는 고준위방사성폐기물에 대한 소유권(title)은 본 계약 제6조에 규정된 대로 사업자의 부지에서 DOE로 이전. DOE는 소유권을 이전받은 모든 물질의 감독에 전적인 책임을 짐. DOE는 자신이 소유권을 이전받은 어느 사용후핵연료 또는 고준위방사성폐기물을 적합하다고 판단하는 대로 처분할 권리가 있음. 사업자는 그 사용후핵연료 또는 고준위방사성폐기물과 관련하여 DOE 또는 정부에 대해 권리를 주장할 수 없으며, DOE 또는 정부는 해당 물질에 대해 사업자에게 보상할 의무가 없음
- 1998. 12. 31. 즉, 계약이 정한 날까지도 DOE는 부지확보 못함. 이에 계약위반에 따른 소송 발생 Northern States Power社 및 Maine Yankee Atomic Power社 등이 연방정부를 대상으로 한 소송에서 에너지부의 채무불이행이 인정됨. 2008년도까지 70건 이상의 소송이 제기되었음. 특히 해체가 완료된 10기의 각 원자로를 운영하던 사업자들은 1998년부터 2004년도 사이에 모두 소를 제기하였음. 2020년도에 연방정부가 처분장 운영을 개시하더라도, 예상되는 총 손해액은 110억 달러에 이를 것으로 추산 됨(2008년도 산정기준)

## 선진국(美, 日, 佛)의 방사성폐기물법

### 일본의 방사성폐기물법

- 저준위폐기물은
  - ① 중심도처분(中深度處分), ② 피트 처분(ピット處分)
  - ③ 트렌치 처분(トレンチ處分)으로 나눔. 발전소 해체 시
    - ① 방식 2%, ② 방식 16%, ③ 방식 82%
- 원전 저준위폐기물은 일본원연주식회사(日本原燃株式会社) 룩카쇼무라
  - ① 1호 매설시설: 40,960 m<sup>3</sup>(200리터 드럼 204,800개 분량),
  - ② 2호 매설시설: 41,472 m<sup>3</sup>(200리터 드럼 207,360개에 해당),
  - ③ 3호 매설시설: 42,240 m<sup>3</sup>(200리터 드럼 211,200개에 해당) 운영 중
- 연구관련 폐기물은 일본원자력연구개발기구(日本原子力研究開発機構)가, 스스로 발생시킨 연구시설 등의 폐기물과 함께, 다른 연구기관이나 대학 등의 발생자로부터 위탁 받은 연구시설 등 폐기물과 함께 처분



## 선진국(美, 日, 佛)의 방사성폐기물법

### 일본의 방사성폐기물법

- 2000. 법률 개정으로 부지 밖 사용후핵연료 저장가능
- 도쿄전력홀딩스(80%)와 (주)일본원자력(20%)이 리사이클루연료저장주식회사(Recyclable-Fuel Storage Co., Ltd.)를 설립하기 위한 공동투자. RFS의 자본금은 30억 엔, 2024. 6. 기준 직원 87명
- 2023년 주고쿠전력(中国電力)은 원전건설예정부지였던 혼슈 서부 아마구치현 가미노세키(上關)에 사용후핵연료를 중간저장시설 건립을 추진 중. 2023. 8.부터 문헌조사를 실시, 이후 시추조사 통해 지질구조를 파악



7

## 선진국(美, 日, 佛)의 방사성폐기물법

### 일본의 방사성폐기물법

- 원자력규제위원회는 2020. 6. 24. 시코쿠전력주식회사(四国電力株式会社)의 이카타(伊方) 3호기 발전소 부지 내에 사용후핵연료 건식저장시설(우라늄 500톤 규모) 건설계획을 승인. 동 건식저장시설은 도쿄전력의 후쿠시마 제1원전 사고 이후, 새로운 기준에 의거하여 처음으로 승인.
- 시코쿠전력주식회사는 2018. 5. 24. 「원자로 등 규제법」제43조의3의 8 제1항에 근거하여 이카타 3호기의 설비변경허가신청(設置變更許可申請)을 접수.
- 임시저장시설은 관계시설에 관한 변경허가로 충분히 가능하다는 의미로 해석됨

原子力発第18065号  
平成30年 5月25日

原子力規制委員会 殿

住 所 高松市丸の内2番5号  
申 請 者 名 四国電力株式会社  
代 表 者 氏 名 取締役社長 佐伯 勇 人

伊方発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書  
(3号原子炉施設の変更)

核燃料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第43条の3の8第1項の規定に基づき、下記のとおり伊方発電所の発電用原子炉設置変更許可の申請をいたします。

記

一 此名又は名称及び住所並びに代表者の氏名  
名 称 四国電力株式会社  
住 所 高松市丸の内2番5号  
代表者の氏名 取締役社長 佐伯 勇 人

二 変更に係る工場又は事業所の名称及び所在地  
名 称 伊方発電所  
所 在 地 愛媛県西宇和郡伊方町

- 1 -

8

## 선진국(美, 日, 佛)의 방사성폐기물법

### 일본의 방사성폐기물법

- 原子力基本法 제2조의3 제5항 국가에 최종처분에 관한 필요한 시책의 강구 책무를 부여
- 特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律 제1조(목적) 이 법은 발전(発電)에 관한 원자력의 적절한 이용에 기여하기 위해 발전용원자로의 운전에 따라 발생한 사용후핵연료의 재처리 등을 실시한 후에 발생하는 특정방사성폐기물의 최종처분을 계획적이고 확실하게 실시하기 위해 필요한 조치 등을 강구
- 特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律 제2조 제2항 "최종처분(最終処分)"이란, 지하 300m 이상의 시행령(政令)에서 정한 깊이의 지층에서, 특정방사성폐기물 및 이로부터 오염된 물질이 비산(飛散), 유출 또는 지하로 침투하지 않도록 필요한 조치를 강구하여 안전하고 확실하게 매립하는 것으로, 특정방사성폐기물을 최종적으로 처분하는 것을 말한다.

특정방사성폐기물의 최종처분에 관한 법률  
[2000년도 법률 제117호] [2025. 6. 1. 시행]

#### 목 차

제1장 총칙 (제1조 ~ 제2조)
제2장 기본방침 등 (제3조 ~ 제5조)
제3장 개요조사지구 등의 선정 (제6조 ~ 제10조)
제4장 최종처분의 시행 등
제1절 거출금(拠出金) (제11조 ~ 제15조)
제2절 최종처분의 실시 (제16조 ~ 제20조)
제3절 최종처분시설의 보호 (제21조 ~ 제33조)
제5장 원자력발전환경정비기구
제1절 총칙 (제34조 ~ 제38조)
제2절 설립 (제39조 ~ 제43조)
제3절 관리 (제44조 ~ 제55조)
제4절 업무 (제56조 ~ 제62조)
제5절 재정 및 회계 (제63조 ~ 제68조)
제6절 감독 (제69조 ~ 제70조)
제7절 기타 (제71조 ~ 제74조)
제6장 지정법인 (제75조 ~ 제83조)
제7장 기타 (제84조 ~ 제86조)
제8장 벌칙 (제87조 ~ 제94조)
부칙

9

## 선진국(美, 日, 佛)의 방사성폐기물법

### 일본의 방사성폐기물법

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律

- 제12조(기구의 명칭 등의 신고) 발전용원자로설치자는 그 발전용원자로설치자가 된 날로부터 15일 이내에 경제산업성령으로 정하는 바에 따라 제11조 제1항의 규정에 따라 거출금을 납부할 기구의 명칭 및 주소를 경제산업대신에게 신고해야 한다.
- 제13조(변경절차) ① 발전용원자로설치자 또는 재처리시설등설치자(이하 '발전용원자로설치자 등'이라 한다)로서 전조 제1항 또는 제2항의 규정에 따라 신고를 한 자가 제11조 제1항의 거출금 또는 제11조의2 제1항의 거출금을 납부할 기구를 변경하려 할 때에는 경제산업대신의 승인을 받아야 한다.
- 제34조(목적) 기구는 발전에 관한 원자력의 적절한 이용에 이바지하고, 발전용원자로의 운전에 따라 발생한 사용후핵연료의 재처리등을 한 후에 발생하는 특정방사성폐기물의 최종처분 실시등의 업무를 수행함으로써, 발전에 관한 원자력에 관련된 환경의 정비를 도모하는 것을 목적으로 한다.
- 제36조(명칭) ① 기구는 그 명칭 중에 "원자력발전환경정비기구(原子力発電環境整備機構)"라는 문자를 사용하여야 한다. ② 기구가 아닌 자는 그 명칭 중에 "원자력발전환경정비기구"라는 문자를 사용하여서는 아니된다.



## 선진국(美, 日, 佛)의 방사성폐기물법

### 프랑스의 방사성폐기물법

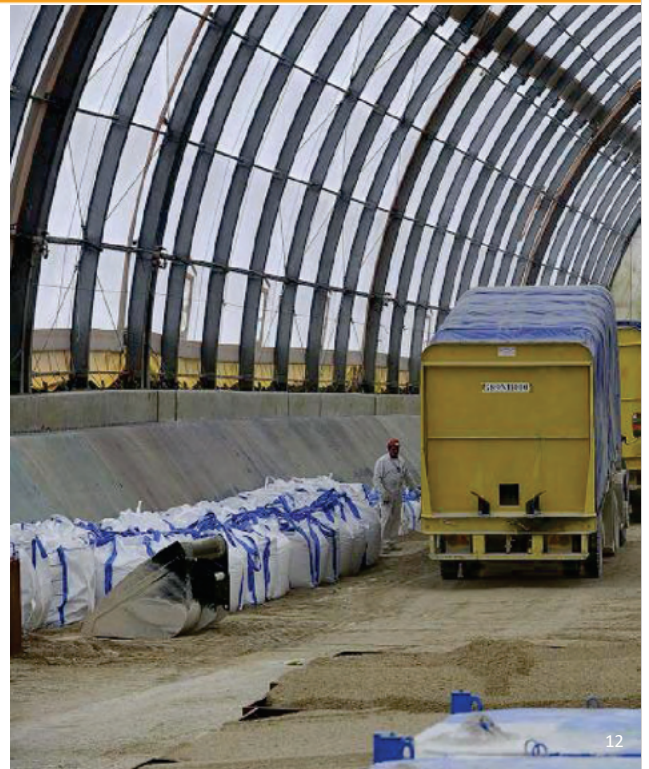
- 프랑스의 방사성폐기물의 분류는 '방사선농도'와 '반감기'라는 두 개의 기준에 따라 크게 나눔
- 방사선농도에 대해 100 Bq/g 미만인 극저준위(TFA), 100 Bq/g 이상 1,000,000 Bq/g 미만의 저준위(FA), 수백만 배크렐 수준의 중준위(MA), 수십억 배크렐 단위의 고준위(HA)로 나눔. 저준위와 중준위를 합해 'FMA'라 함.
- 반감기가 100일 미만인 극단기(VTC), 31년 이하의 단기(VC), 31년 초과와 장기(VL)

Période radioactive* Activité**	Vie très courte (VTC) (période < 100 jours)	Principalement vie courte (VC) (période ≤ 31 ans)	Principalement vie longue (VL) (période > 31 ans)
Très faible activité (TFA) < 100 Bq/g	YTC Gestion par décroissance radioactive	TFA Stockage de surface (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage)	
Faible activité (FA) entre quelques centaines de Bq/g et un million de Bq/g		FMA-VC Stockage de surface (centres de stockage de l'Aube et de la Manche)	FA-VL Stockage à faible profondeur à l'étude
Moyenne activité (MA) de l'ordre d'un million à un milliard de Bq/g		MA-VL Stockage géologique profond en projet (projet Cigéo)	
Haute activité (HA) de l'ordre de plusieurs milliards de Bq/g	Non applicable	HA Stockage géologique profond en projet (projet Cigéo)	

## 선진국(美, 日, 佛)의 방사성폐기물법

### 프랑스의 방사성폐기물법

- TFA는 폐기물 중 34%의 용량비중. 방사성 비중으로는 0.0001%를 차지. 2003년부터 운영중인 집결, 저장 및 처분 공업시설(Cires)에서 처리 중. Cires는 원자력기본시설(INB)이 아닌 환경보호지정시설(ICPE)
- FA-VL는 2019년말 기준 총 93,600m<sup>3</sup>로 전체 방사성폐기물 중 부피비중은 5.9%, 방사능 비중으로는 0.14%. FA-ML 방사성폐기물은 초기기체냉각흑연감속로(Uranium naturel graphite gaz)의 해체, 비발전분야 등에서 발생. ANDRA가 FA-VL 처분시설을 확보할 때까지 방사성폐기물 발생자의 부지에서 저장 중, 비발전용 방사성폐기물에 대해서는 Cires에 저장하기도 함.
- 해체관련저장시설로 ICEDA가 있음. 2005. 9. 29. EDF社は 1세대 원자로 및 Superphénix 원자로 해체를 위해 활성폐기물의 포장 및 저장시설(ICEDA)의 건설허가 신청. 2010. 4. 원자력기본시설 설치허가발급. 2020. 7. 28.자 ASN 결정 제2020-DC-0691을 통해 운영에 돌입



## 선진국(美, 日, 佛)의 방사성폐기물법

### 프랑스의 방사성폐기물법

- 사용후핵연료는 원칙적으로 습식저장. 부지내 습식저장(sous eau sur site)과 습식중간저장시설(sous eau centralisé)로 구분 가능. 다만, 재처리시설에 중간저장시설이 포함된 허가가 데크레의 형식으로 발효
- 원자력기본시설 제116호는 1981 5. 12.자 Cogema社 아그(La Hague) 지사에 경수로에서 발생하는 방사화된 핵연료의 처리공장(공장의 명칭은 "UP 3-A"라 한다) 설치를 허가하는 데크레 』에 따라 설치. 습식중간저장시설에 대해서는 동데크레 제2조 제1항 제2호에서 방사화 이전 우라늄과 플루토늄 총량 기준으로, 수조D에는 4,600톤, 수조E에는 6,200톤이 한도. 원자력기본시설 제117호는 1981 5. 12.자 Cogema社 아그(La Hague) 지사에 경수로에서 발생하는 방사화된 핵연료의 처리공장(공장의 명칭은 "UP 2-800"이라 한다) 설치를 허가하는 데크레 』에 따라 설치. 수조C에는 4,800톤이 한도.

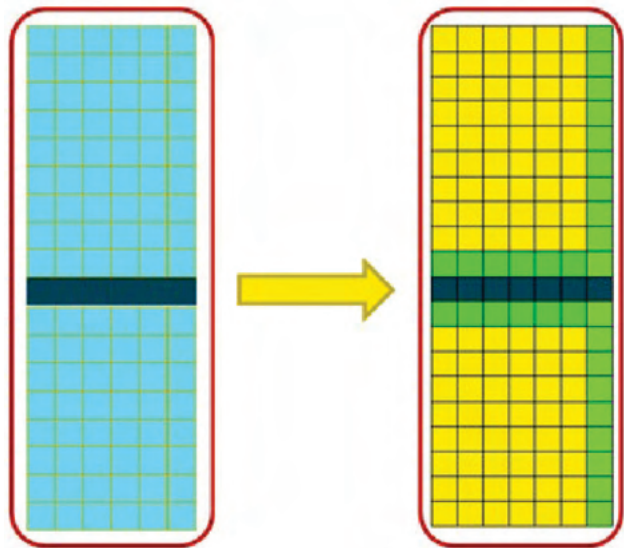


13

## 선진국(美, 日, 佛)의 방사성폐기물법

### 프랑스의 방사성폐기물법

- 재처리용량은 그 상한이 정해져있어 사용후핵연료 중간저장시설의 포화를 막기 위한 여러 가지 방안이 추진 中.
- 첫 번째 방안은 Orano Recyclage社가 수조 C, D, E를 물리적으로 변경하지 아니하고, 저장밀도를 높여 30% 정도 사용후핵연료 저장용량을 증대시키는 방안.
- 두 번째 방안은 EDF社에 의해 추진되는 방안으로 재처리와 별개로 습식중간저장시설을 별도로 추진하는 방안. EDF社의 수조프로젝트(Le projet Piscine)는 애초에는 Belleville-sur-Loire 지역을 상정하고 추진되었지만, 지역의 반대로 인해 무산되었고, Orano社의 아그(La Hague) 부지 내 6,500톤 규모의 습식중간저장시설을 설치하는 방향을 적극적으로 추진



14



## 선진국(美, 日, 佛)의 방사성폐기물법

### 프랑스의 방사성폐기물법

- 「 방사성폐기물 관리의 연구에 관한 1991. 12. 30.자 법률 제91-1381호(LOI n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs (1)) 」, 소위 Bataille 법률 제1조는 “고준위-장기(HA-VL) 방사성폐기물의 관리는 자연, 환경 및 건강의 보호를 존중하고 미래세대의 권리를 고려하여 보장되어야 한다.”라고 함
- 동법 제13조 제1항에서 “산업, 연구 및 환경을 담당하는 장관 하에 ‘국가방사성폐기물관리청 (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs)’이라는 상공업영조물을 설립한다”라고 하여 CEA 내에 위치해있던 ANDRA를 독립 기관으로 승격
- 동법 제14조에서는 각 지하연구시설 유치지역마다 지역정보위원회(un comité local d ' information et de suivi)를 설치하여 주민들의 지하연구시설 수용성을 높임
- 1994년도부터 지질조사를 시작하여, 1998년도에는 Meuse/Haute-Marne의 Bure 을 적합한 부지로 선정
- 「 방사성물질 및 폐기물의 지속적 관리에 관한 계획에 관한 2006. 6. 28.자 법률 제2006-739호 」 제3조는 ‘회수가능한 심층처분의 원칙을 명시 2022. 7. 7.자 데크레 제2022-993호로 Cigéo 프로젝트의 수용절차 진행개시. 2023. 1. 16. ANDRA의 Cigéo 건설허가를 ASN에 접수. Cigéo는 HA 및 MA-VL 총 83,000m<sup>3</sup> 수용예정.
- 2035년 내지 2040년에 운영이 개시되면 이 때부터 방사성폐기물을 수용개시.
- 2150년에는 폐쇄에 관한 법률 제정이 예정

15

## 「고준위방사성폐기물 특별법」제정에 대한 쟁점 정리

### 「고준위방사성폐기물 특별법」제정에 대한 쟁점 정리(1)

1. 의사결정의 가역성(reversibility): 처분사업의 최초단계 또는 이전단계로 되돌리거나 재고할 수 있는 능력
2. 회수가능성(retrievability): 방사성폐기물의 처분 이후에 안전성 또는 기술개발의 사유로 처분 전 관리상태인 저장상태로 방사성폐기물 또는 포장된 방사성폐기물을 되돌리는 능력
3. 용어정리: 고준위 방사성폐기물 발생자, 방사성폐기물-사용후핵연료 관계
  - 사용후핵연료가 방사성폐기물로 분류되는 시점 ① 인출시설, ② 처분결정시설, ③ 인수시설
  - 사용후핵연료가 방사성폐기물로 변경된다는 변경설, 처리를 결정하면 방사성폐기물의 성질을, 처분을 결정하면 핵연료물질의 성질을 상실한다는 검유설
4. 사용후핵연료 재처리에 대한 고려는 반영되었는가?
5. 중간저장은 반영되었는가?
5. 최종처분은 국가의 독점사업인가?
6. 중간저장은 국가의 독점사업인가?
7. 국가에게 언제부터 사용후핵연료의 인수무가 발생하는가?
  - ① 임시저장시설 포화시설, ② 설계수명만료시설, ③ 운영허가종료시설, ④ 관리시설운영개시시설

16

## 「고준위방사성폐기물 특별법」제정에 대한 쟁점 정리

### 「고준위방사성폐기물 특별법」제정에 대한 쟁점 정리(2)

8. 사용후핵연료의 인수지연으로 사업자의 임시저장시설을 증축비용 및 유지비용이 추가됨
  - ① 부지내저장시설 건설비부터 국가가 부담해야 한다는 설(국가전부부담설),
  - ② 설계수명기간 또는 계속운전에서 총 발생한 사용후핵연료를 보관하기 위한 추가시설 및 운전종료시까지의 관리비용은 사업자가 부담하고, 영구정지 또는 해체 이후에 발생하는 관리비용은 국가가 부담한다는 설(영구정지 등 이후 국가부담설),
  - ③ 어느 경우에도 국가는 인수이행 지연으로 인한 추가비용은 부담하지 않는다는 설(사업자전부부담설)
9. 사용후핵연료의 소유권이 사용후핵연료발생자로부터 방사성폐기물 관리자에게 이전되는지? 즉, 인도를 통해 이전되는 물권(物權)이 방사성폐기물의 점유권인지, 소유권인지 여부가 불분명
10. 2024. 6. 18.자 산업부 공고는 연구용 지하연구시설에 사용후핵연료를 반입하지 않는다고 밝힘
11. 해외에서 발생한 사용후핵연료를 국내의 처분시설에 반입하여 처분할 수 있을 것인지 규율할 필요성

17

## 제도의 개선점

### 고준위특별법의 개선점

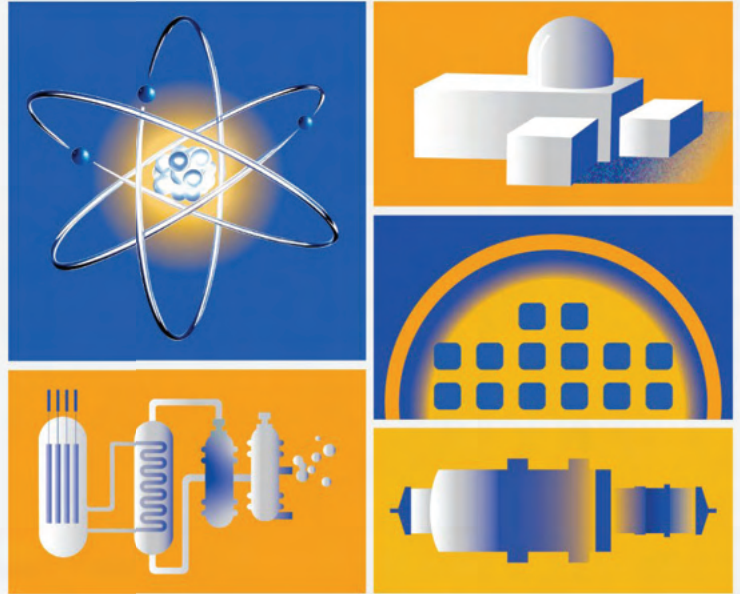
1. 책임관계의 명확화
2. 사용후핵연료의 소유권
3. 사용후핵연료간 저장·처분 순위
4. 민간진출 가능성

의안번호	의안명	제안일자
2202778	고준위 방사성폐기물 관리에 관한 특별법안(김성환의원 등 29인)	2024. 8. 13.
2200729	고준위 방사성폐기물 관리시설 등에 관한 특별법안(정동만의원 등 20인)	2024. 6. 20.
2200149	고준위 방사성폐기물 관리시설의 설치·운영 및 주민지원 등에 관한 특별법안(김성환의원 등 11인)	2024. 6. 5.
2200044	고준위 방사성폐기물 관리에 관한 특별법안(이인선의원 등 13인)	2024. 5. 30.
2200006	고준위 방사성폐기물 관리 및 유치지역 지원에 관한 특별법안(김석기의원 등 12인)	2024. 5. 30.
2117121	고준위 방사성폐기물 관리 및 유치지역 지원에 관한 특별법안(이인선의원 등 21인)	2022. 8. 31.
2117065	고준위 방사성폐기물 관리시설 등에 관한 특별법안(김영식의원 등 11인)	2022. 8. 30.
2112578	고준위 방사성폐기물 관리에 관한 특별법안(김성환의원 등 24인)	2021. 9. 15.

18

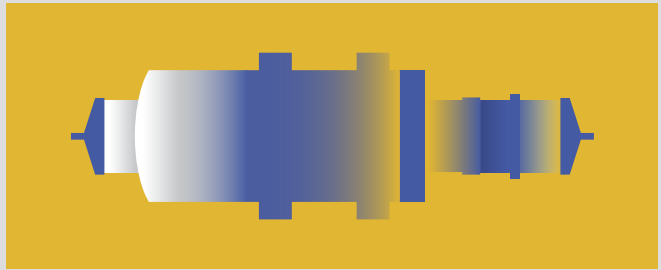
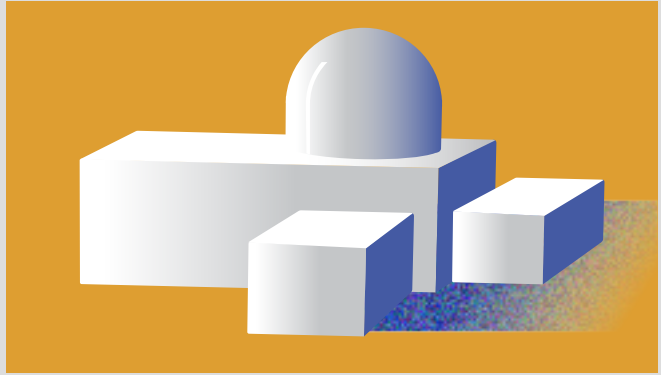
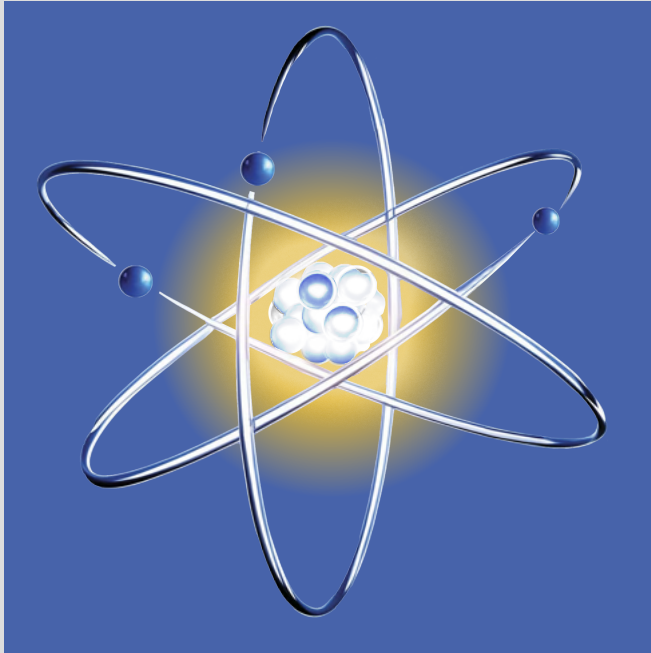
## 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.



# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향



## 계속운전 관련 규제제도 개선방안

방창준

서울대원자력정책센터 책임연구원





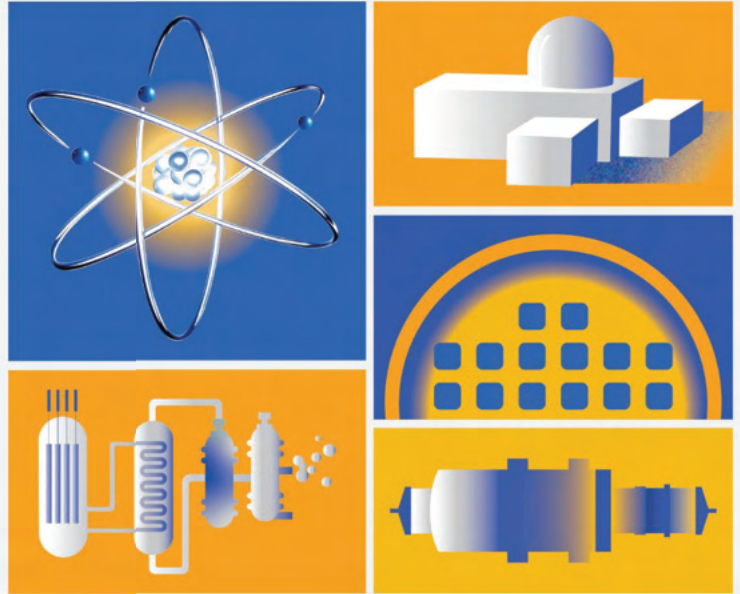
# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 계속운전 관련 규제제도 개선방안

2025. 3. 6.

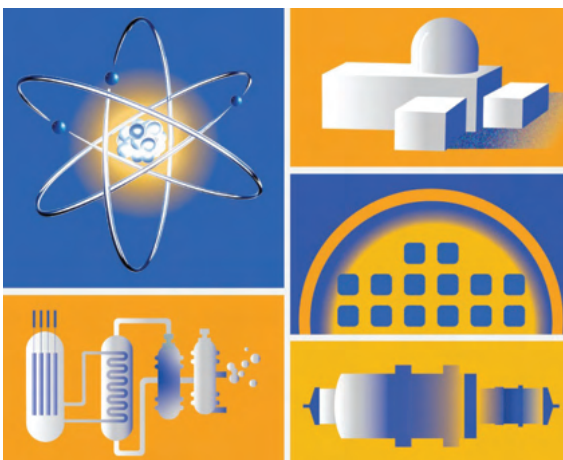
**방창준** 서울대 원자력정책센터 책임연구원

Bang.changjoon@snu.ac.kr



## Contents

### 목 차

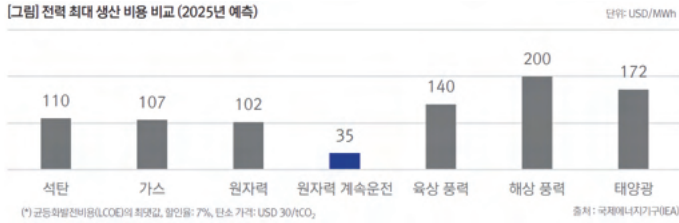


- I. 계속운전 배경
- II. 계속운전 정의 및 현황
- III. 계속운전 현행 제도
- IV. 제도개선 사항
  1. 계속운전 기간 변경(10년 -> 20년)
  2. 안전성평가 효율성 증대
  3. 허가심사 지연 리스크 최소화
- V. 기타 논의사항
- VI. 마무리(결론)

## 01 계속운전 배경

### 계속운전의 필요성 증가

1. 원전의 계속운전은 탄소중립, 에너지안보, 전력수요폭증 등 에너지 이슈의 대안으로 우수한 경제성과 함께 무탄소 에너지원으로 부상



2. 우리나라도 2030년 이전 수명완료 원전 10기\*에 대해 계속운전 추진 중

\* 고리#2~4 / 한빛#1,2 / 한울#1,2 / 월성#2~4

## 02 계속운전 정의 및 현황

### 계속운전 정의

#### 계속운전 이란?

운전허가기간에 도달한 원전이 관련 법령에서 요구하고 있는 안전기준을 만족하여 운전허가기간 이후에도 계속해서 운전하는 것



## 02 계속운전 정의 및 현황

### 운전허가기간이란?

#### ● 미국원자력규제위원회(NRC)의 운전허가기간에 대한 설명

The Atomic Energy Act and NRC regulations limit commercial power reactor licenses to an initial 40 years but also permit such licenses to be renewed.

This original 40-year term for reactor licenses was based on economic and antitrust considerations -- not on limitations of nuclear technology.

번역

원자력에너지법과 원자력규제위원회 규정은 상업적 용도로 사용되는 원자력에너지를 40년 동안 운영하도록 제한했지만 동시에 허가를 갱신할 수 있도록 허용했다.

본래 40년 허가기간은 원자력 기술력에 제한이 있어서가 아니라 경제적 상황과 독점 금지 등을 근거로 제한된 것이다.

출처: US NRC 홈페이지 <<http://www.nrc.gov/reactors/operating/licensing/renewal/overview.html>>

USNRC

한국수력원자력㈜ 홈페이지

미국 원전의 운영허가기간이 40년으로 제한된 것은 원래 기술적 제한이 아니라 당초 투자자금의 회수 등을 고려하여 60년을 주장한 전력사업자의 주장과 독점 금지의 이유로 20년을 주장한 법무부 주장 간 타협의 산물이다

## 02 계속운전 정의 및 현황

### 계속운전 세계현황



한국수력원자력㈜ 홈페이지

## 02 계속운전 정의 및 현황

### 주요국 계속운전 제도 비교

구분	국가	연장기간 (허가기간)	신청시기	특이 사항	횟수
PSR + 운영허가변경	한국	10년 (30/40/60년)	수명만료 10~5년전	계속운전 안전성평가보고서 (PSR, LER, RER) 심사 + 운영변경허가의 2단계 심사	제한없음
운영허가 갱신(LR)	미국	20년 이내 (40년)	허가 만료 20년 전~	적기 계속운전 신청 시 임시 계속운전 가능	제한없음 (총40년)
	일본	20년 이내 (40년)	허가 만료 1년 이전	운영허가 만료 전 심사 완료 필요	제한없음
PSR	프랑스	10년(없음)	-	2단계 PSR (노형별/호기별)	제한없음
	캐나다	10년(10년)	-	조건부 승인 후, 시설투자	제한없음

7

## 02 계속운전 정의 및 현황

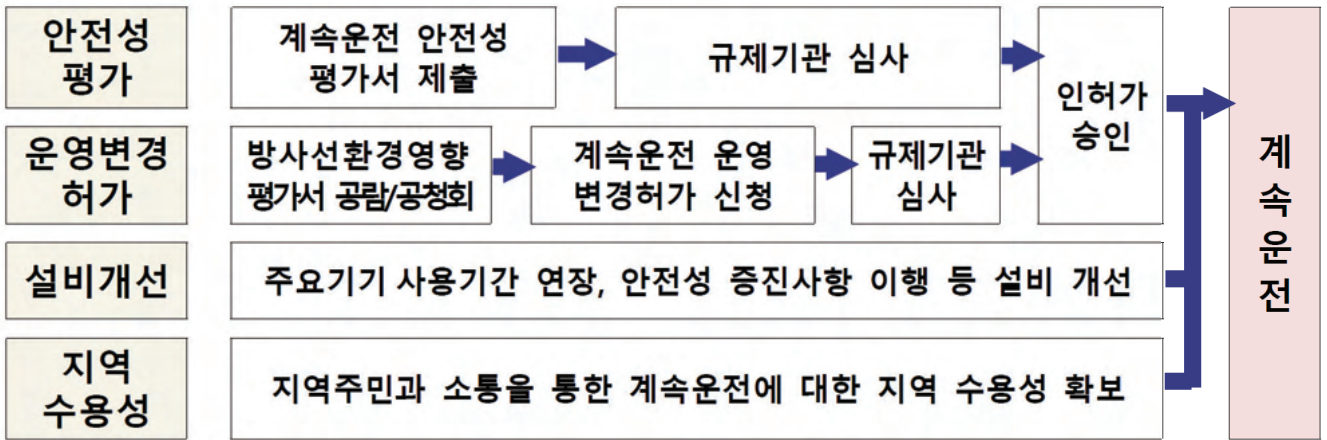
### 국내 계속운전 추진현황

구분	안전성평가		방사선환경영향평가서 주민의견수렴	운영변경허가 신청
	평가서 제출	본심사		
고리2	'22.4	'22.12~	'22.12	'23.3
고리3,4	'22.9	'23.5~	'23.7	'23.11
한빛1,2	'23.6	'24.1~	'24.10	'25.
한울1,2	'23.10	'24.5~	'24.6	'24.9
월성2,3,4	'24.4	'24.12~	준비중	준비중

8

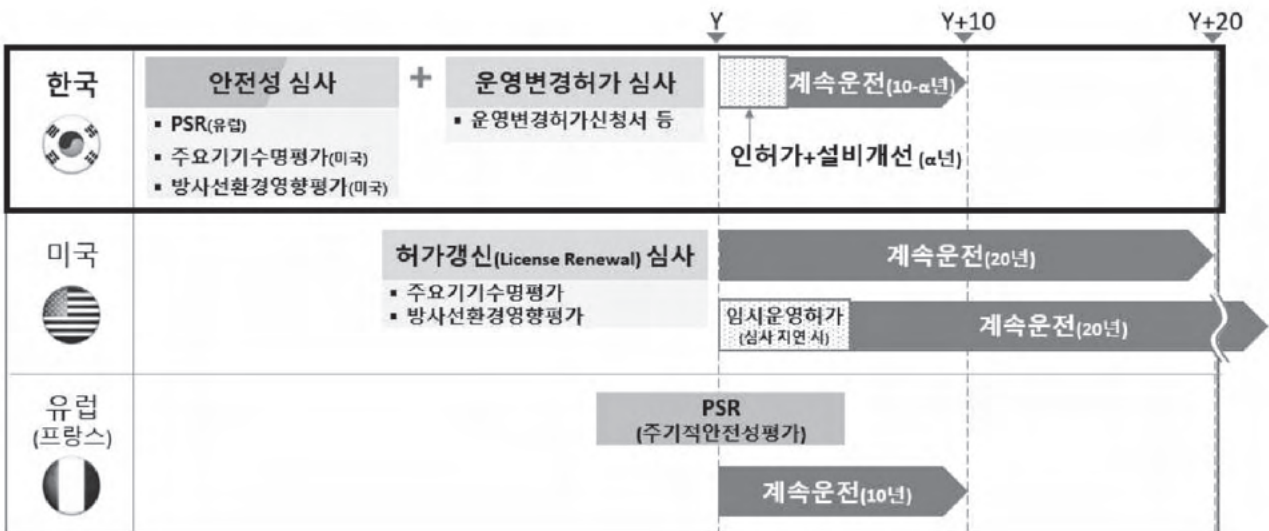
### 03 계속운전 현행 제도

#### 계속운전 프로세스



### 03 계속운전 현행 제도

#### 계속운전 프로세스 비교

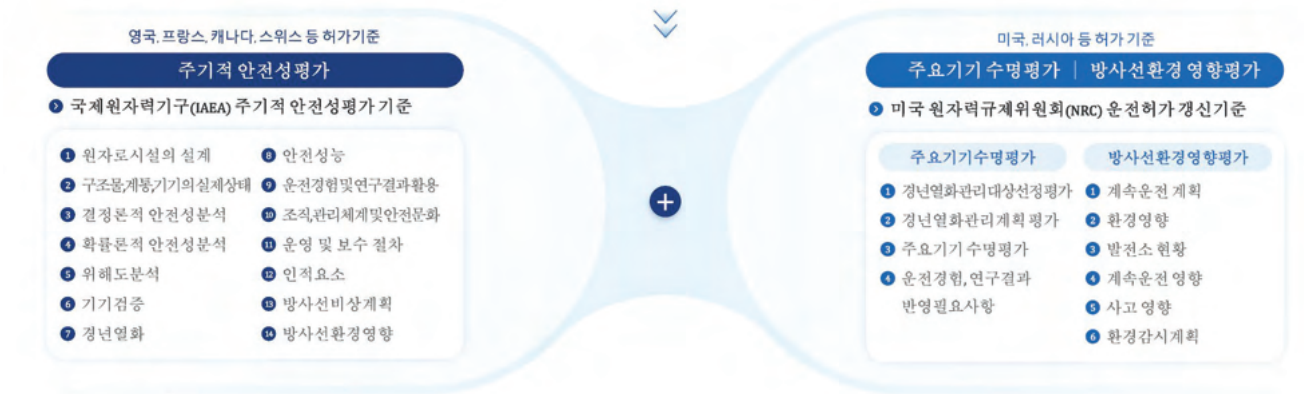




### 03 계속운전 현행 제도

#### 계속운전 안전성 평가기준

✔ **한국 계속운전 안전성 평가기준**      우리나라의 계속운전 안전성 평가는 IAEA가 권고한 주기적 안전성평가에 미국 운전허가 갱신기준인 주요기기수명평가, 방사선환경영향평가를 추가 적용한 기준 적용



한국수력원자력㈜ 홈페이지

### 03 계속운전 현행 제도

#### 최근 개정된 원자력안전법(2026년 1월1일 시행 예정)

현행	개정내용
제21조(허가기준) ①·②(생략) <신설>	제21조(허가기준) ①·②(현행과 같음) ③ 발전용원자로 및 관계시설의 설계수명기간이 만료된 후에 그 시설을 계속하여 운전(이하 "계속운전"이라 한다)하려는 경우에는 제23조제1항에 따른 주기적 안전성평가를 실시하여 그 결과를 위원회에 제출하고, 제20조제1항에 따라 변경허가를 받아야 한다.
제23조(주기적 안전성평가) ① 발전용원자로 운영자는 대통령령으로 정하는 바에 따라 발전용원자로 및 관계시설의 안전성을 주기적으로 평가하고, 그 결과를 위원회에 제출하여야 한다. 다만, 제21조제2항에 따라 변경허가를 받고 영구정지한 발전용원자로 및 관계시설의 주기적 안전성평가에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다. ②(생략) ③ 제1항에 따른 평가방법 및 평가내용 등에 관한 사항은 대통령령으로 정한다.	제23조(주기적 안전성평가) ① 발전용원자로 운영자는 대통령령으로 정하는 바에 따라 발전용원자로 및 관계시설의 안전성을 주기적으로 평가하고, 그 결과를 위원회에 제출하여야 한다. 다만, 설계수명기간이 만료되어 제21조제2항 및 제3항에 따라 변경허가를 받고 영구정지하거나 계속운전을 하고자 하는 발전용원자로 및 관계시설의 주기적 안전성평가에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다. ②(현행과 같음) ③ 제1항에 따른 주기적 안전성평가의 평가기준, 평가방법 및 평가내용 등에 관한 사항은 대통령령으로 정한다.

## 04 제도개선 사항

### 계속운전 제도 개선점

#### 1. 최소 20년 단위의 계속운전 (제도적) 보장

- 10년 단위의 계속운전으로 안전성 향상을 위한 **투자 리스크 상존**(교체기기의 수명은 30~40년)
- 잦은 계속운전으로 인한 **사회적 갈등 초래**(주민, 환경단체 등)
- 제한된 인력으로 잦은 계속운전 심사를 위한 **규제 부담**
- 국가에너지 **정책** 및 전력수급계획의 **불확실성**

#### 2. 계속운전 안전성 평가 효율성 제고

- 유효성 평가\*의 범위 등이 모호하여 **계속운전 안전성 평가 부분과 중복** 수행 가능성
- 계속운전 안전성 평가와 유효성 평가의 심사시기가 중복될 경우 **계속운전 심사기간 지연** 우려

##### ● 유효성 평가 법적사항

- (원안법 시행령 제36조) 주기적 안전성평가의 시기 등 ⑤항 (2022.12.30 개정)
- 계속운전을 위해 평가기준일이 되기 10년~5년 전까지의 기간 내에 평가보고서를 제출한 후 **평가결과의 유효성(계속운전을 하기 위한 평가결과가 유지되는 지를 말함)을 확인**하는 평가보고서를 평가기준일이 되기 3년~1년 6개월 전까지의 기간 내에 **또** 제출
- ※ 2030년 이후 수명만료 도래 원전인 한빛3,4호기 이후부터 적용

#### 3. 계속운전 심사지연으로 인한 리스크 최소화

- 사업자는 **가동중지 예상**, 규제기관은 심사지연으로 인한 **책임 부담**

13

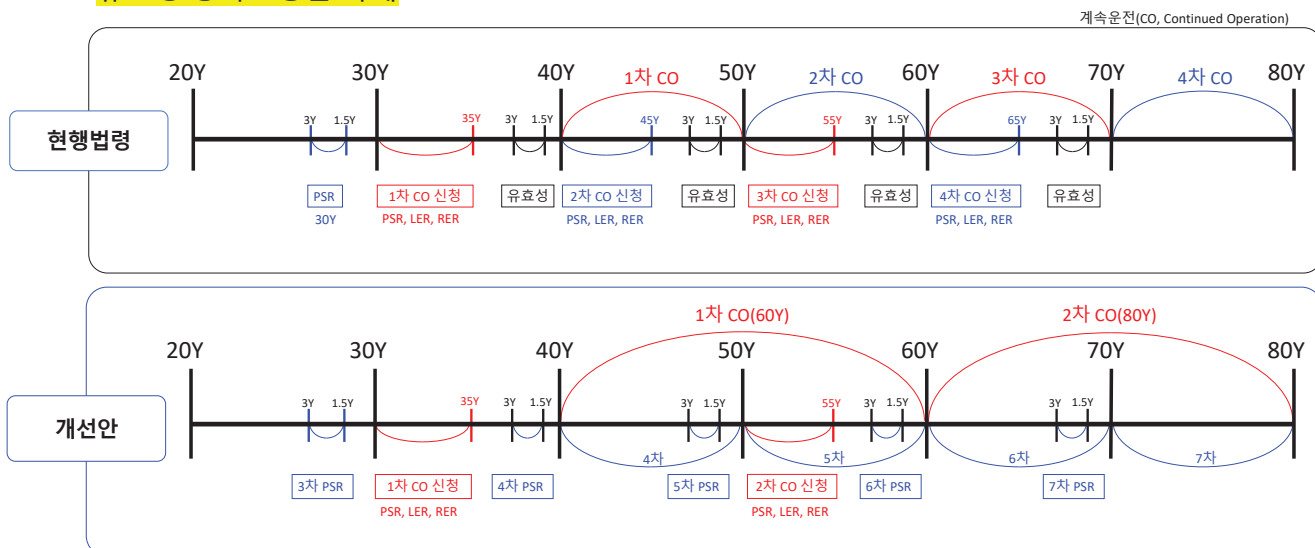
## 04 제도개선 사항

### 계속운전 기간 변경 및 평가 효율성 개선

#### 1. 계속운전 허가기간은 20년으로 연장 [단, 주기적 안전성평가(PSR)는 10년 주기로 계속 수행]

- 주요기기 수명평가(LEP)와 방사선환경 영향평가(RER)의 유효기간은 20년 보장

#### 2. 유효성 평가조항은 삭제



14

## 04 제도개선 사항

### 원자력안전법 시행령 개선(안) 제안

현 행
제36조(주기적 안전성평가의 시기 등) ① ~ ③ (생략) ④ 발전용원자로운영자가 원자로시설의 설계수명기간이 만료된 후에 그 시설을 계속하여 운전(이하 “계속운전”이라 한다)하려는 경우에는 제2항에도 불구하고 설계수명기간 만료일(그 후 <b>10년마다 10년</b> 이 되는 날을 포함한다. 이하 이 조에서 같다)을 평가기준일로 하여 평가기준일이 되기 10년 전부터 5년 전까지의 기간 내에 평가보고서를 제출해야 한다. ⑤ 계속운전을 하려는 발전용원자로운영자는 제4항에 따른 평가보고서를 제출한 후 제37조제1항 각 호 및 같은 조 제2항 각 호에 대한 평가결과의 유효성(계속운전을 하기 위한 평가결과가 유지되는 것을 말한다. 이하 같다)을 확인하는 평가보고서를 제4항에 따른 평가기준일이 되기 3년 전부터 1년 6개월 전까지의 기간 내에 제출해야 한다.
개 정(안)
제36조(주기적 안전성평가의 시기 등) ① ~ ③ (생략) ④ 발전용원자로운영자가 원자로시설의 설계수명기간이 만료된 후에 그 시설을 계속하여 운전(이하 “계속운전”이라 한다)하려는 경우에는 제2항에도 불구하고 설계수명기간 만료일(그 후 <b>10 20년마다 10 20년</b> 이 되는 날을 포함한다. 이하 이 조에서 같다)을 평가기준일로 하여 평가기준일이 되기 10년 전부터 5년 전까지의 기간 내에 평가보고서를 제출해야 한다. <b>이 경우 제37조 제2항 각 호에 따른 평가보고서에 대해서는 유효기간을 계속운전으로 인한 운영변경 허가기간인 20년으로 한다.</b> ⑤ (삭제)

15

## 04 제도개선 사항

### 20년 계속운전시 안전성 평가 영향

#### ● 주기적 안전성평가(PSR)

안전인자	20년 고려 시 변경 항목
1장 원자로시설의 설계	평가시, 기간 고려 없음 ⇒기존과 동일
2장 SSC 실제상태	
3장 결정론적 안전성분석	
4장 확률론적 안전성평가	
5장 위해도분석	
6장 기기검증	6.1(내환경검증)의 EQ대상기기 운전 가능여부 평가기간 변경(기존 50년 ⇒ 60년)으로 조치대상 및 내용 변경
7장 경년열화	계속운전 종료시점이 고려된 일부항목* 추가평가 또는 기술내용 변경 필요 * 과도상태 발생횟수, Rx 최대흡수에너지 등
8장 안전성능	평가시, 기간 고려 없음 ⇒기존과 동일
9장 운전경험 및 연구 결과 활용	
10장 운영 및 보수 등의 절차서	
11장 조직, 안전문화	
12장 인적요소	
13장 비상계획	
14장 방사선환경영향	

#### ● 주요기기 수명평가(LER)

평가항목	20년 고려 시 변경 항목
1장 경년열화관리 대상선정 평가(고시* 제5조)	평가시, 기간 고려 없음 ⇒기존과 동일
2장 경년열화관리계획 평가(고시 제6조)	평가시, 기간 고려 없음 ⇒기존과 동일
3장 시간제한 수명 평가(TLAA)(고시 제7조)	계속운전 종료시점을 기준으로 허용기준 만족여부 평가 ⇒20년 추가운전 고려 평가 필요(20년 경과시 예측 열화정도와 기준치 비교)
4장 운전경험, 연구결과 반영 필요사항(고시 제8조)	평가시, 기간 고려 없음 ⇒기존과 동일

#### ● 방사선환경 영향평가(RER)

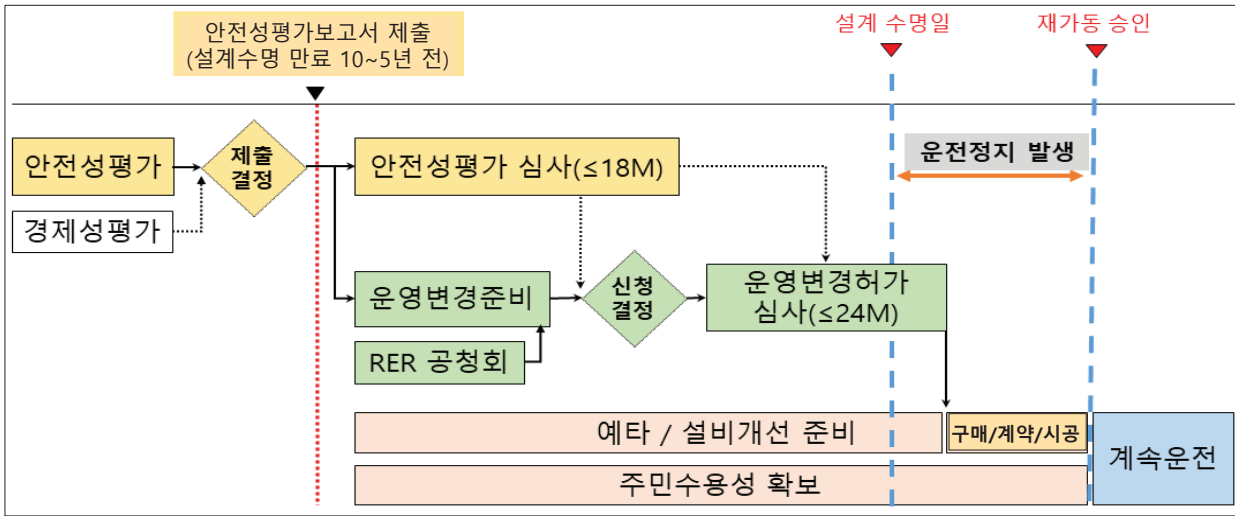
평가항목*	20년 고려 시 변경 항목
1장 계속운전 계획	평가시, 기간 고려 없음 ⇒기존과 동일
2장 환경영향	미래 인구 추정(27절) 시 계속 운전 종료시점을 기준 추정을 20년 추가운전 고려 필요
3장 발전소 현황	평가시, 기간 고려 없음 ⇒기존과 동일
5장 계속운전 영향	주민총피폭선량(5.2절) 계산 시 계속운전 종료시점 추정인구 반영 ⇒20년 추가운전 고려 필요
6장 사고영향	주민총피폭선량(6.4절) 계산 시 계속운전 종료시점 추정인구 반영 ⇒20년 추가운전 고려 필요
7장 환경감시계획	평가시, 기간 고려 없음 ⇒기존과 동일

\*4장은 건설로 인한 영향으로 기술사항 없음

16

## 04 제도개선 사항

### 심사지연으로 인한 운전정지 리스크 개선



## 04 제도개선 사항

### 미국 운영허가 갱신 관련 규제

#### 10 CFR 2.109 Effect of timely renewal application

(b) If the license of a nuclear power plant licensed under 10 CFR 50.2(b) or 50.22 files a sufficient application for renewal of either an operating license or a combined license at least 5 years before the expiration of the existing license, the existing license will not be deemed to have expired until the application has been finally determined.

#### 10 CFR 2.109 적시 갱신 신청의 효과

(b) 10 CFR 50.2(b) 또는 50.22에 따라 면허를 받은 원자력 발전소의 면허소지자가 기존 면허 만료 최소 5년 전에 운영 면허 또는 통합 면허 갱신을 위한 충분한 신청서를 제출하는 경우, 기존 면허 갱신 신청이 최종적으로 결정될 때까지 만료된 것으로 간주되지 않는다.

## 04 제도개선 사항

### 일본/프랑스 계속운전 관련 규정

#### 일본

- 일본의 원전 운영허가는 별다른 기한이 없었으나, 후쿠시마 사고 이후, 『원자로 등 규제법』에서 ‘40년의 운전기간’을 정함. 이후에 ‘운전기간’은 에너지 정책에 관한 것으로 원자력규제위원회가 관여하는 것이 부적절하다는 의견이 주목받으면서, 전기사업법으로 ‘운전기간’에 관한 규정을 옮김.(2025. 6. 6. 시행예정)
- 전기사업법(안) 제27조 29의 2에 따르면, 기본 40년 가동 후 경제산업대신이 안정적인 공급확보, GX (Green Transformation) 관점에서 검토하여 20년 계속운전을 인가. 단 원자력발전사업자 자신의 귀책사유가 아닌 외적요인, 즉 원전 안전 규제에 관한 대응과 행정 지도 등으로 가동 정지한 기간은 20년 계속 운전 기간에 산입하지 않으므로 **실질적으로 60년의 기간동안 운전을 보장함.**

#### 프랑스

- 원자력발전소의 운영허가는 기간의 정함이 없고 **주기적 안전성평가는 운영허가를 갱신해주는 것이 아니며, 운전의 전제조건도 아님.** 대신 규제기관(ASN)은 환경법전 제L.593-22조에 따라 원전시설에 심각하고(grave) 즉시적인(imminent) 위험이 있는 때에는 언제든지 시설의 운전을 정지시킬 수 있음

황재훈, 원자력산업 제도개선 계속운전의 비교법적 고찰, 2024 NEXFO 워크샵

19

## 04 제도개선 사항

### 원자력안전법 시행령 개선(안) 제안

현 행
제39조(주기적 안전성평가보고서의 심사처리기간) ① 위원회는 제36조제2항 및 제5항에 따른 평가보고서를 제출받은 경우에는 12개월 이내에, 같은 조 제4항에 따른 평가보고서를 제출받은 경우에는 18개월 이내에 심사하고 그 결과를 신청인에게 통보해야 한다. ② 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 기간은 제1항에 따른 심사처리기간에 산입하지 아니한다. 1. 평가보고서의 보완 또는 수정에 필요한 기간 2. 그 밖에 안전성 확인을 위한 실험 등 부득이한 사유로 인하여 추가로 필요한 기간

개 정(안)
제39조(주기적 안전성평가보고서의 심사처리기간) ① 위원회는 제36조제2항 및 제5항에 따른 평가보고서를 제출받은 경우에는 12개월 이내에, 같은 조 제4항에 따른 평가보고서를 제출받은 경우에는 18개월 이내에 심사하고 그 결과를 신청인에게 통보해야 한다. ② 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 기간은 제1항에 따른 심사처리기간에 산입하지 아니한다. 1. 평가보고서의 보완 또는 수정에 필요한 기간 2. 그 밖에 안전성 확인을 위한 실험 등 부득이한 사유로 인하여 추가로 필요한 기간 ③ 발전용원자로운영자가 36조 4항에서 정한 기간내에 변경허가신청서를 제출하고 위원회가 계속운전 심사를 위한 서류 적합성 검토를 인정한 경우, <b>심사가 최종적으로 결정될 때 까지 기존의 운영허가는 유효한 것으로 본다.</b> (신설)

20



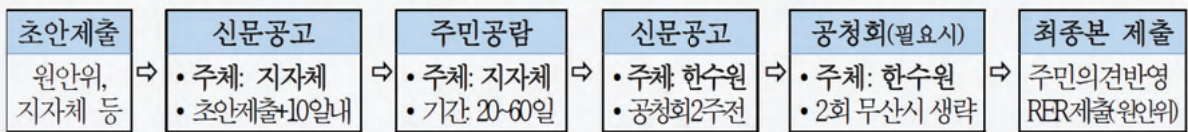
## 05 기타 논의사항

### 방사선환경영향평가서 주민의견수렴(공청회)

#### ▪ [근거] 원안법 제103조(주민의 의견수렴)

- ① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자는 방사선환경영향평가서를 작성할 때 초안을 온라인 정보공개 및 지방자치단체 제공을 통하여 공람하게 하여야 하며, 공청회 등을 개최하여 위원회가 정하는 범위의 주민의견을 수렴하고 이를 방사선환경영향평가서의 내용에 포함시켜야 한다.

#### [방사선환경영향평가서 초안에 대한 주민의견수렴 절차]



## 05 기타 논의사항

### 공청회를 사업자가 주관함으로 인해

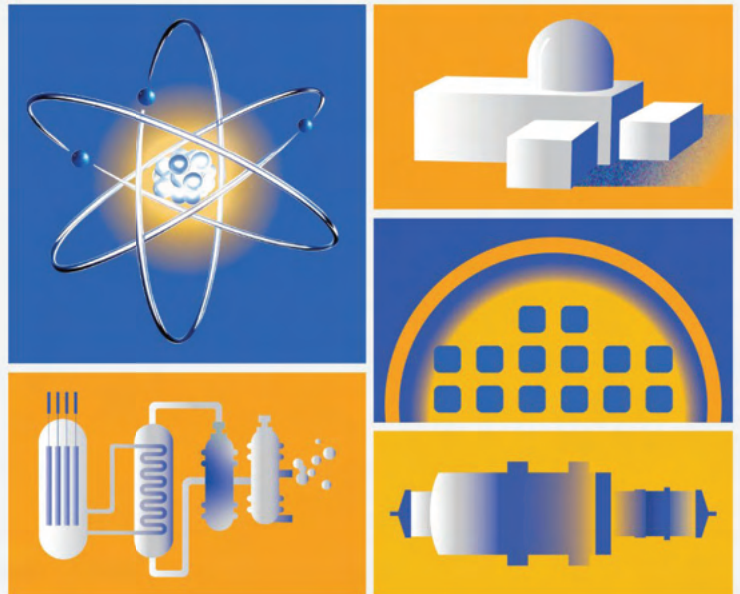
1. 계속운전 찬반 결정을 위한 공청회로 오해
2. 평가결과에 대한 불신 팽배로 이해관계자 간 갈등이 지속되는 실정
  - 주민 ↔ 주민, 환경단체 ↔ 주민, 환경단체 ↔ 지자체, 환경단체 ↔ 사업자 등
3. 미국, 프랑스의 경우 규제기관이 심사 후 주민설명회 시행
  - 미국 10 CFR Part51.73에 따라 NRC가 주관
  - 프랑스 환경법전 제L.123조 내지 제L.123-18조에 따라 ASN이 주관(행정법원과 지역정보위원회 관여)

합리적인 리스크 관리를 위한 제도개선 제언

1. 계속운전 허가기간을 10년에서 20년으로
2. 유효성 평가 조항 삭제
3. 심사지연으로 인한 가동중지 방지책 마련
4. 실질적인 계속운전 기간을 보장
5. 정부(규제기관)가 공청회를 주관하여 갈등 최소화

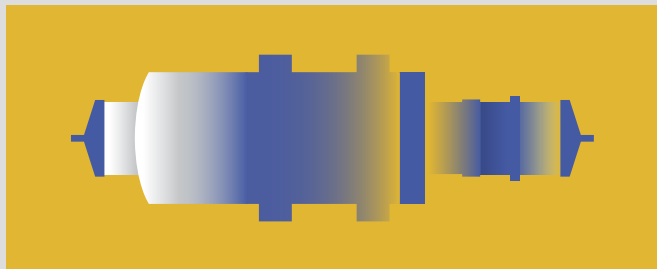
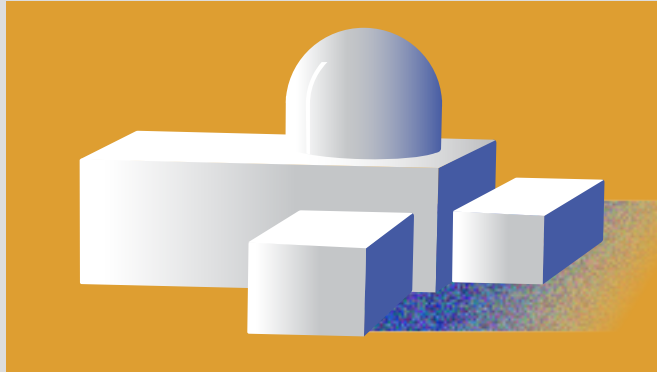
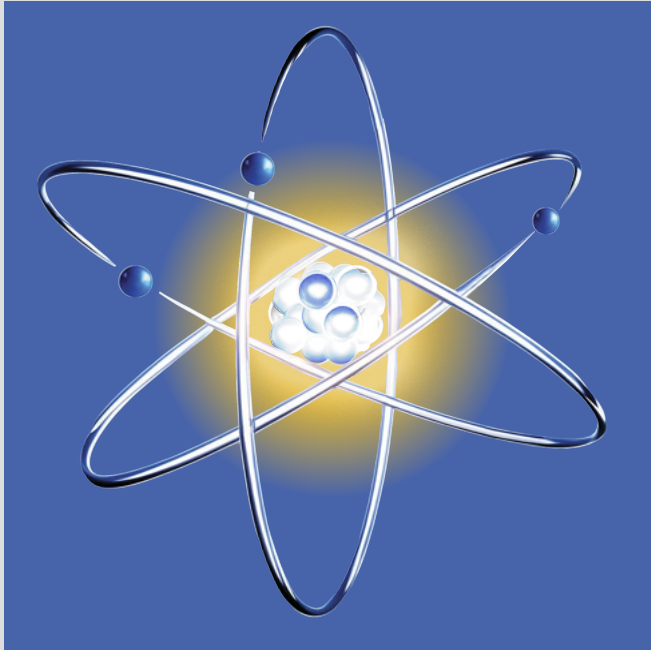
원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.



# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향



## 가동원전 규제감독 체계 선진화

오성헌

서울대원자력정책센터 연구위원



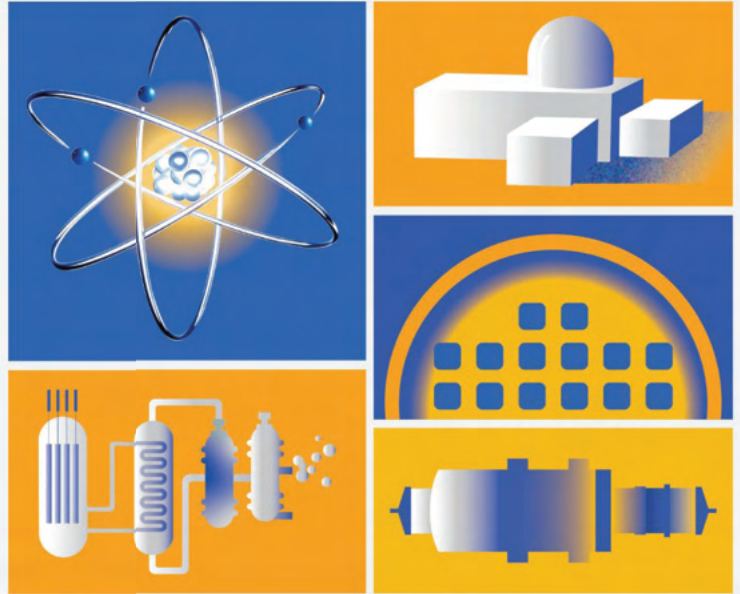


# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 가동원전 규제감독 체계 선진화

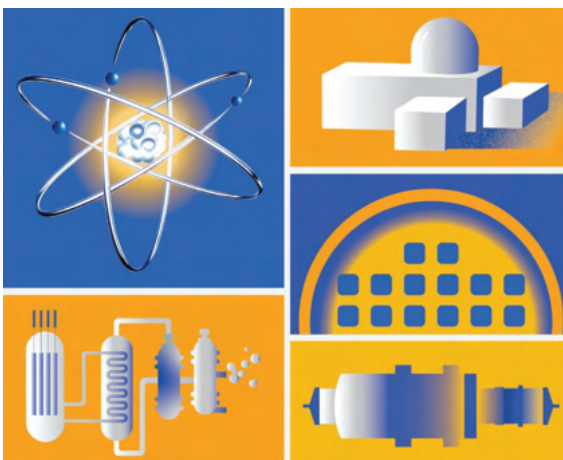
2025. 3. 6.

오성헌 서울대원자력정책센터 연구위원  
k067osh@snu.ac.kr



## Contents

### 목 차



- I. 개요
- II. 원자력발전소 안전규제 활동
- III. 가동원전 규제검사 현황 및 문제점
- IV. 규제검사 관련 국제기준 및 지침
- V. 가동원전 규제감독 제도 비교 분석
- VI. 가동원전 규제감독 체계 개선 방안

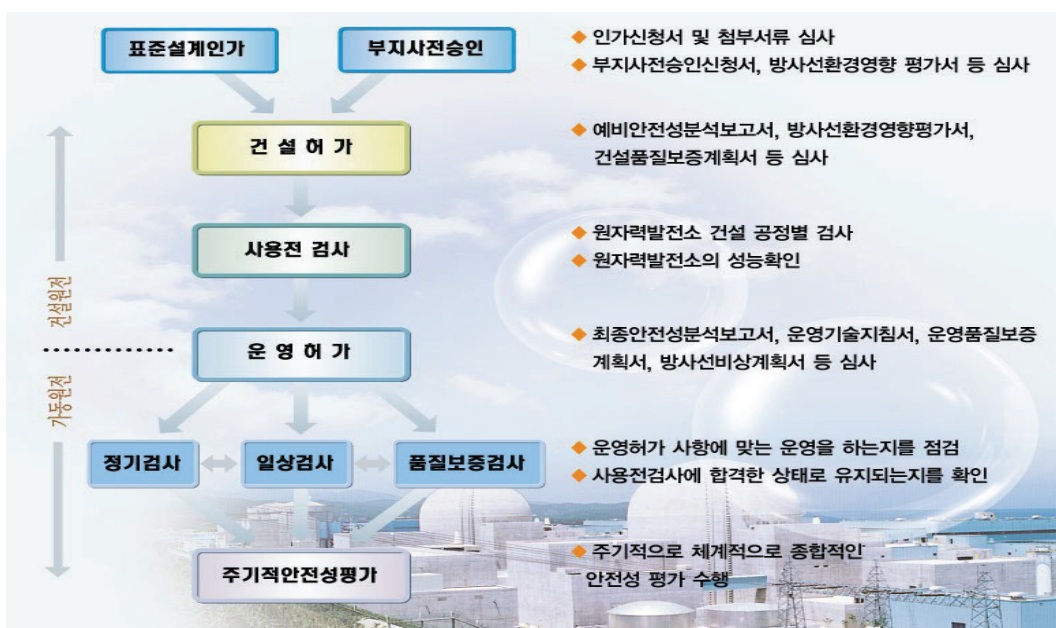


## 01 개요

- ❖ 1980년대 초반에 해외 검사 사례를 조사하고, 이를 참고하여 가동원전 검사체계를 마련
  - 일본의 검사제도를 도입하고 미국의 일부 제도를 추가
  - 가동원전에 대한 정기검사와 품질보증검사 체계를 마련·시행
  - 다양한 검사체계 개선을 위한 연구와 변화 노력을 추진
- ❖ 국내외 원자력 산업 및 규제환경의 변화, 규제의 역할과 감독에 대한 패러다임 변화
  - 후쿠시마 원전 사고 이후 국제규범 이행의 중요성 강조
  - 원자력 안전관리에 있어 사업자 책임 강화
  - 사후적 확인·조치 → 사전에 문제를 파악하고 근본원인을 확인·조치(예방적 안전규제)
  - 규정 중심 규제(Prescriptive regulation) → 리스크·성능기반 규제(RIPB regulation)
  - 시설의 SSC 성능 확인 → 안전 운영관리 역량 등 확인
  - 규제의 효과성·효율성 향상을 위한 차등 규제접근 및 적시 규제 의사 결정
- ❖ 국내 가동원전 검사체계 문제점 분석과 해외 사례 검토 등을 통한 규제감독체계 개편·선진화 필요

## 02 원자력시설 주요 규제단계

### (II. 원자력발전소 안전규제 활동)



사용전 검사	<ul style="list-style-type: none"> <li>원자로시설의 건설단계에서 시설의 공사 및 성능이 허가기준 등 건설허가 사항과 일치하는지를 확인하고,</li> <li>완공된 시설이 수명기간 동안 안전하게 운전될 수 있는지를 확인하기 위해 수행</li> </ul>
정기검사	<ul style="list-style-type: none"> <li>원자로시설이 운영허가를 받은 사항에 일치하게 운영되고 있는지를 점검하고, 시설의 운영 및 성능이 기술기준에 맞게 운영되고 있으며,</li> <li>원자로시설의 성능이 내압, 내방사선 및 기타 성능이 사용전 검사에 합격한 상태로 유지되는지를 확인하기 위해 수행</li> </ul>
품질보증 검사	<ul style="list-style-type: none"> <li>원자로시설의 설치자 및 운영자의 품질보증활동이 시설의 설계, 건설 및 운영단계에서, 승인된 품질보증계획서와 일치되게 수행되는지를 확인하기 위해 수행</li> </ul>
공급자검사	<ul style="list-style-type: none"> <li>안전관련설비의 설계·제작·성능검증 관련 사항이 허가기준에 적합한지를 확인하기 위해 수행</li> </ul>
지역사무소 일상/수시검사	<ul style="list-style-type: none"> <li>원자력안전위원회와 한국원자력안전기술원에서 파견한 지역사무소 요원들에 의한 현장 안전운전 감시활동</li> </ul>
특별검사	<ul style="list-style-type: none"> <li>각종 사건 발생시 안전성확인 또는 향상을 위해 수행</li> </ul>

03 가동원전 규제검사 현황 및 문제점

- ❖ 최근까지 원자력발전소 정기보수기간(Overhaul, OH)에 집중된 원전 검사체계는 우리나라만이 갖고 있는 유일한 제도임
- ❖ 우리나라는 최근 OH 기간에 집중하여 수행하였던 정기검사를 원안법시행규칙을 개정, 상시검사체계로 개편하고, 새울 2호기기에 시범 적용 중 (2024. 4 ~)

구분	내용
기존	<ul style="list-style-type: none"> <li>영 제35조제1항에 따른 정기검사는 정기정비 기간 또는 핵연료의 교체를 위하여 원자로를 정지한 날부터 전출력(全出力)운전을 재개하는 날까지의 기간 동안 실시한다.</li> </ul>
개정	<ul style="list-style-type: none"> <li>영 제35조제1항에 따른 정기검사는 정기정비 또는 핵연료 교체 후 전출력(全出力)운전을 재개한 날의 다음 날부터 다음 정비 또는 핵연료 교체 후 전출력(全出力)운전을 재개하는 날까지의 기간 동안 실시한다</li> </ul>

### 03 가동원전 규제검사 현황 및 문제점

#### ❖ 가동 원전 검사 종류

구분	내용	비고
수시검사	<ul style="list-style-type: none"> <li>안전에 영향을 미치는 사업자의 시설 및 운영에 대한 현장 규제 감독</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>NSSC 지역사무소가 KINS 파견 주재원과 함께 수행</li> </ul>
정기검사	<ul style="list-style-type: none"> <li>원자로시설의 운영 및 성능이 허가기준에 맞게 운영되고, 사용전검사 합격상태로 유지되고 있는지를 확인</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>원자로냉각재계통시설 등 11개 시설의 성능유지 여부를 확인하고, 5개 운영기술능력 분야 확인</li> </ul>
품질보증검사	<ul style="list-style-type: none"> <li>품질보증계획서에 따라 품질보증 활동이 적합하게 수행되고 있는지를 확인</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>발전소별로 운전·정비 기간에 관계없이 18개 QA요건에 따른 QA 활동의 적절성 여부 확인</li> </ul>

### 03 가동원전 규제검사 현황 및 문제점

- ❖ 가동 원전에 대한 상시검사체계는 여전히 대부분의 검사는 시설 설비의 기능·성능 확인 및 보수활동에 집중된 검사 수행
- ❖ 가동원전 상시 검사 체계 ('24. 4 ~ 새울 2호기 시범 적용 중)

구분	기반검사	심층검사
검사내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>운전 중                             <ul style="list-style-type: none"> <li>운전 중에 확인 가능한 SSC 시험 및 검사항목에 대한 검사</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>운영능력                             <ul style="list-style-type: none"> <li>현 정기검사 항목 중 운영기술능력 분야(5개)의 검사 (예, 운영조직, 자격훈련, 운영절차, 인적요소, 운전경험)</li> </ul> </li> <li>기술능력                             <ul style="list-style-type: none"> <li>운영허가 사항으로 운전 중 사업자가 수행하는 프로그램 (예, 경년열화, 가동중검사, 가동중시험, 보수교체 등)</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>정비 중                             <ul style="list-style-type: none"> <li>OH 기간 중 확인 가능한 SSC 시험 및 검사항목에 대한 검사</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>현안점검                             <ul style="list-style-type: none"> <li>보수교체·사건·사고·고장 등 안전현안 발생 시 집중 확인이 필요한 점검</li> </ul> </li> <li>사고관리계획</li> </ul>

### 03 가동원전 규제검사 현황 및 문제점

#### ❖ 원자력시설의 비안전설비 까지를 포함한 SSC 기능·성능 확인에 중점을 둔 검사 이행

→ 안전중요도와 리스크에 기반한 차등규제 접근법(Graded Approach) 미 적용으로 국제기준에 미흡

- 상시검사체계로 전환 이후에도 기반검사에는 기존에 확인하던 검사항목을 운전중 및 정비중으로 구분하여 모두 포함하고 있음
- 검사항목 선정 등에 안전중요도 및 리스크 등을 고려하지 않고, 안전, 비안전 SSC에 동일한 검사 자원을 투입
- 성능저하 원전 또는 취약분야 대상에 대해 선별적 차등적 검사체계를 운영하는 해외 사례와 대비됨

#### ❖ 설비의 성능확인 및 미비점 시정에 규제검사가 집중

→ 원전시설의 안전운영에 대한 사업자의 책임 인식 및 역할 약화

- 원전 안전운영의 중요 요소인 “안전설비의 문제점 파악 및 시정”에 대한 사업자 스스로의 노력이 약화되는 등 부작용 발생
- 시설성능이나 안전관리 수준에 관계없이 동일한 검사 및 검사 자원 투입으로 사업자의 안전성능 향상 유인책 미흡

#### ❖ 검사결과는 SSC의 시험 및 보수에 대한 평가에 국한

→ 발전소 전체의 안전성 평가 이루어지지 못함

9

### 03 가동원전 규제검사 현황 및 문제점

#### ❖ 개별 기기의 기능·성능시험에 중점을 둔 검사 → 원전의 종합적인 안전성 수준 확인에 한계가 있음

- 검사항목이 설비 중심으로 구성되어 있어 사업자의 관리활동(인적·조직요인, 안전중시 업무환경 등) 등에 대한 검사가 상대적으로 미비함
- 개별 지적사항에 대한 시정조치 요구·확인 외 검사 결과의 종합·활용체계가 미비함

전체 시설 계통 목록을 세분화하여 검사항목을 선정한 현행 검사방식은 검사결과(finding) 및 성능지표 등에 기반한 종합적인 안전성 수준 평가에 어려움이 존재

#### ❖ 개별 기기에 대한 전수검사 개념의 정기검사 수행 → 안전에 중요한 SSC 및 안전관리활동 등의 검사에 효과적으로 집중할 수 있는 유연성이 부족함

#### ❖ 규제 환경변화 측면에서 체계적·선제적 대응과 경험 반영이 제한된 구조

- 검사의 대상과 시기, 방법 및 항목이 법령에 정해져 있어 검사 수행 방식에 유연성을 발휘하는데 어려움
- 국내외 사건·사고 경험 및 국제 안전기준 변화를 반영한 유연한 대응에 한계

10

### 03 가동원전 규제검사 현황 및 문제점

❖ 현장 규제활동 강화를 위한 지역사무소 인력 증원 → 인력 활용 및 검사활동 연계 미흡

- 기존 수시검사(운전 중 원전 규제감독)는 지역사무소가 KINS 파견 주재팀과 공동으로 수행
  - KINS 주재 검사팀 역할 및 DOR 불분명
- 정기검사가 상시검사체계로 전환되면서 운전중 주기 시험 등에 대한 확인·점검은 KINS가 수행
- 지역사무소 주요 업무는 수시검사의 일환으로 발전소 운영현황 파악, 분기별 발전소 계획검사 등
- 계획검사 범위 및 내용 등이 운전중 상시검사에 포함된 기반검사와 중복, 규제자원의 비효율적 활용 및 수시 검사와 정기검사 연계 미흡 등 문제점 야기
  - NRC, NRA 등 ROP 수행 규제기관에서는 지역사무소의 Resident Inspector가 운전 중 기본검사 업무 등 수행

※ 지역사무소 인원 현황

지역사무소	NSSC	KINS	총 인원
고리	10명 (소장 1, 사무관 4, 주무관 4)	8명 (팀장 1, 검사원 7)	18명
월성	8명 (소장 1, 사무관 4, 주무관 3)	7명 (팀장 1, 검사원 7)	15명
한빛	7명 (소장 1, 사무관 3, 주무관 3)	5명 (팀장 1, 검사원 7)	12명
한울	9명 (소장 1, 사무관 4, 주무관 4)	8명 (팀장 1, 검사원 7)	17명
총 인원	34명	28명	62명

### 03 가동원전 규제검사 현황 및 문제점

❖ 다양한 검사제도 개선 시도 → 의도한 목적을 충분하게 달성하는데 한계

- 전 노형 리스크정보활용 정기검사(Risk Informed Periodic Inspection, RIPI) 시범 적용('06~'07)
  - 각 원전별로 리스크 및 성능정보를 활용하여 종합 안전성평가를 수행하고 원전을 등급화 하여 차등 정기검사(Graded Periodic Inspection, GPI)를 목적으로 추진
  - 노심손상빈도에 영향이 큰 공통원인고장, 운영능력 중심의 검사내용 등이 포함된 19개 정기검사항목을 선정하고, 기존 검사내용에 이를 추가하는 형태로 시범 운영 → 검사업무 부담 및 수용성 저하로 중단

구분	정기검사	리스크정보활용 정기검사
검사대상	• 사고해석, 기술지침서 등 결정론적 근거에 의해 선정	• 결정론적 근거, 안전성 중요도, 성능실적 등을 종합적으로 고려하여 선정
검사내용	• 기술지침서 점검요건	• 기술지침서 점검요건 및 노심손상 방지 능력을 종합적으로 종합하여 특성에 맞게 선정
수행방법	• 검사항목에 대해서 동일한 중요도로 검사 수행	• 안전중요도에 따라 검사항목, 검사내용 및 투입인력을 차등화하여 검사 수행

- 인적오류 예방차원에서 인적수행도 정기검사(Human Performance Periodic, HuPI) 시도('07), 중단
- SSC의 성능에만 치우친 정기검사 관행의 문제점을 해소하기 위한 검사제도 개선 노력
  - 제도적 개선 없이 검사내용만 추가하는 방식으로 실질적인 변화를 이끄는데 한계



### 03 가동원전 규제검사 현황 및 문제점

❖ 규제검사 주요 문제점 및 한계 요약

현황	주요 문제점 및 한계
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시설 설비의 기능·성능 및 보수활동 확인에 집중된 검사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 종합적인 안전성 수준 확인 및 평가에 한계</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비안전 설비까지 포함한 SSC의 기능·성능 확인 위주 검사 수행</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 안전중요도와 리스크에 기반한 차등규제 접근법 미 적용으로 국제기준에 미흡</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설비의 기능 성능 확인 및 미비점 시정에 규제검사 집중</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원전 안전운영에 대한 사업자 책임인식 및 역할 약화</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 개별 기기에 대한 전수검사 개념의 정기검사 수행</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 안전에 중요한 SSC 및 안전관리 활동 등의 검사에 집중할 수 있는 유연성 부족</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현장 규제활동 강화를 위한 지역사무소 인력 증원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인력활용 및 검사활동 연계 미흡</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다양한 검사제도 개선 시도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 의도한 목적을 충분하게 달성하는 데 한계</li> </ul>

### 04 규제검사 관련 국제기준 및 지침

❖ 차등 접근법: IAEA 기본 원칙 및 요건

SF-1: Fundamental Safety Principle	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모든 시설 및 활동에 대해 차등 접근법에 따라 안전을 평가해야 한다.</li> <li>• 원전 안전에 대한 기본적이고 본질적인 책임은 사업자에게 있다.</li> </ul>	
GSR Part 1 : Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety	
<p><b>요건 1:</b> 안전에 대한 국가 정책 및 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정부는 국가의 시설 및 활동과 관련된 방사선 위험에 따라 차등 접근방식을 적용하여야 하며, 이를 통하여 안전목표를 달성하고 안전기본원칙을 준수하여야 한다.</li> <li>• 규제기능의 수행은 차등 접근방식에 따라 시설 및 활동과 관련된 방사선 위험에 비례해야 한다(GSR Part.1 4.3항)</li> </ul>
<p><b>요건 26:</b> 시설 및 활동의 검토와 평가</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 검토 및 평가는 시설 또는 활동과 관련된 방사선 위험에 비례하여 차등 접근방식(graded approach)에 따라 수행되어야 한다.</li> </ul>
<p><b>요건 29:</b> 시설 및 활동의 검사</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시설 및 활동의 검사는 시설 또는 활동과 관련된 방사선 위험에 비례하여 차등 접근방식에 따라 수행되어야 한다.</li> </ul>
<p><b>요건 31:</b> 시정조치 요구</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 규제요건 및 인허가 조건 위반에 대한 대응은 차등접근법에 따라 안전 중요도에 비례해야 한다.</li> </ul>

## 04 규제검사 관련 국제기준 및 지침

### ❖ 시설 및 활동 검사 - GSR Part 1 및 GSG-13 (Functions and Processes of the Regulatory Body for Safety)

#### 주요 내용

- 규제기관은 시설 및 활동에 대한 검사를 수행해야 함 (GSR Part 1. 요건 27)
- 규제 검사는 사업자의 안전에 대한 주된 책임을 약화시킬 수 없으며, 사업자가 수행해야 하는 관리, 감독 및 검증 활동을 대체할 수 없음
- 검사를 수행할 때 규제기관은 다음 사항을 포함해야 함:
  - 안전에 중요한 구조물, 시스템, 구성품 및 재료;
  - 관리 시스템 (management system);
  - 운영 활동 및 절차, 운영 활동 기록 및 감시 결과;
  - 직원의 역량;
  - 안전 문화;
- 시설 및 활동의 검사는 해당 시설이나 활동과 관련된 방사선 위험에 비례하도록 차등적 접근 방식에 따라 이루어져야 함 (GSR Part 1. 요건 29)
- 검사의 우선순위와 빈도는 방사선 리스크, 시설 또는 활동의 복잡성, 사고 발생 시의 잠재적 결과, 검사에서 발견된 규제 불이행 유형 및 빈도에 따라 결정되어야 함

15

## 04 규제검사 관련 국제기준 및 지침

### ❖ 규제검사 목적 (1/2) - GSR Part 1 및 GSG-13

#### 주요 내용

- 규제 검사는 안전 목표를 준수하고 있음을 확인하기 위해 수행되며, 다음 사항을 확인하여야 함:
  - 사업자가 적용 가능한 법률, 규정 및 인가 조건, 지침, 사양 및 관행을 준수하고 있는지 확인;
  - 사업자가 효과적인 관리 시스템, 강력한 안전 문화 및 자체 평가 시스템을 갖추고 있는지 확인;
  - 안전에 중요한 항목 및 활동에서 요구되는 품질과 성능이 달성되고 유지되고 있는지 확인;
  - 사업자(계약자 포함)가 시설 또는 활동을 수행하기 위한 필수 역량을 갖추고 있는지 확인;
  - 사업자가 결함 및 비정상적인 상태를 식별하고 이를 신속하게 평가하여 해결하고 있는지 확인;
  - 인가 조건에 명시되지 않았거나 규정에서 다루지 않은 기타 안전 문제가 식별되고 적절히 해결되고 있는지 확인;
  - 식별된 안전 교훈이 다른 사업자, 공급업체 및 규제기관에 적절히 전파되고 있는지 확인
- 규제기관은 규제요건 및 인가 조건 준수를 확인하기 위해 시설 및 활동의 검사 프로그램을 개발하고 구현해야 함 (GSR Part 1)
- 검사 프로그램에는 규제 검사 유형(예: 정기 검사 및 사전 통보 없는 검사), 검사 빈도, 검사 영역 및 프로그램을 차등 접근 방식에 따라 명시해야 함

16

## 04 규제검사 관련 국제기준 및 지침

### ❖ 검사 프로그램 (1/2) - GSR Part 1 및 GSG-13

#### 주요 내용

- 규제기관의 검사 프로그램은 다음의 주요 사항을 포함해야 함:
  - 차등 접근 방식에 따라 검사의 우선순위를 정하는 시스템;
  - 현장 검사
  - 운영사건 조사 및 후속 조치
  - 규제요건 준수 확인
  - 사업자가 제출하는 주요 운영 안전 변수에 대한 정보
  - 사업자의 리더십 및 관리 체계와 인적, 기술적, 조직적 요인 확인을 포함해야 함
  - 시설 또는 활동의 안전 성과를 나타내는 지표를 확보할 수 있어야 함
- 규제기관은 사업자가 안전 성능 저하 지표에 주의를 기울이도록 감독해야 함
  - 지표와 근본적인 성능 문제에 대한 집중은 사업자 내부에서 강력한 안전 문화를 강화하는 데 기여함
- 검사 프로그램 및 관련 우선순위를 수립하거나 수정하는 데 규제기관은 다음 사항을 고려해야 함:
  - 이전 검사 결과;
  - 사업자가 수행한 안전 분석과 규제 검토 및 평가 결과;
  - 성능 지표 또는 사업자의 안전 성과 평가를 위한 체계적 방법;
  - 시설 운영 또는 활동 수행, 유사 시설 및 활동에서의 운영 경험과 교훈, 연구 개발 결과

17

## 04 규제검사 관련 국제기준 및 지침

### ❖ 검사 프로그램 (2/2) - GSR Part 1 및 GSG-13

#### 주요 내용

- 검사 대상 기술 분야별로 검사 주기와 검사에 투입되는 업무활동 수준은 다음 요인에 따라 달라져야 함
  - 시설 또는 활동의 유형;
  - 검사 대상 기술 분야의 안전 중요성;
  - 검사 방법 및 접근 방식(예: 상주 검사관의 활용 여부가 검사 간격, 범위 및 깊이에 영향을 미칠 수 있음);
  - 사업자와 시설의 성과/성능 기록(예: 규제요건의 불이행, 인가 조건 위반, 결함, 사건 발생 수, 대응 검사 횟수 등)

### ❖ 집행 - GSR Part 1 및 GSG-13

#### 주요 내용

- 규제기관의 법률 및 규정에는 차등 접근 방식에 따른 규정 집행 관련 조항이 포함되어야 함
- 사업자가 규제 요건 또는 인허가 조건을 준수하지 않을 경우 이에 대응하기 위한 집행 정책을 법적 체계 내에서 수립하고 구현해야 함
- 규제 집행 활동은 규제 책임의 모든 영역을 포함해야 하며, 집행 조치는 차등 접근 방식을 적용해야 함

18

## 05 미국 NRC 규제감독 제도

### (V. 가동원전 규제감독제도 비교 분석)

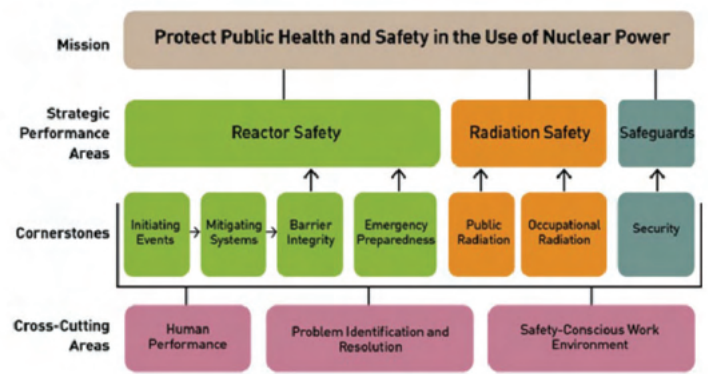
#### ❖ ROP(Reactor Oversight Process)

- NRC는 법령에 명시된 임무 수행을 위해 가동 원전 감독체계를 전략성능분야, 안전초석, 공통영역으로 구성
  - “안전운영 성능 저하 여부에 대한 판단”을 위한 시설과 활동의 기본 요소로 7개 안전초석 및 3개 공통영역을 설정
  - 안전초석 및 공통영역은 “안전 목표” 달성을 위해 원전 운영자가 관리해야 하는 핵심적인 업무영역을 의미
    - NRC는 전략성능분야와 안전초석 별로 안전 목표와 성과 목표 및 지표를 설정하고 매년 달성도를 확인
    - 안전초석 전반에 영향을 미치는 인적·조직적 요소의 효과적 관리와 안전 위해요소의 체계적 식별·관리를 목적으로 공통영역을 설정

#### ▪ Cross-Cutting Areas

Category	Description
<b>Human Performance</b>	This element monitors the licensee's decisionmaking process, availability and adequacy of resources to ensure nuclear safety, coordination of work activities, and personnel work practices.
<b>Problem Identification and Resolution</b>	This element monitors the licensee's corrective action and operating experience programs, and the licensee's self- and independent- assessments.
<b>Safety-Conscious Work Environment</b>	This element monitors an environment in which workers feel free to raise nuclear safety concerns without fear of harassment, intimidation, retaliation, or discrimination.

#### Reactor Oversight Framework



19

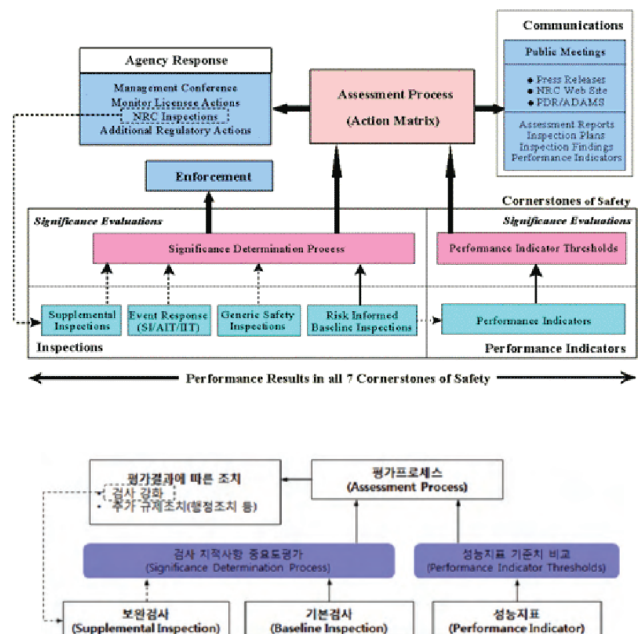
## 05 미국 NRC 규제감독 제도

### (V. 가동원전 규제감독제도 비교 분석)

#### ❖ ROP(Reactor Oversight Process) (계속)

- NRC는 가동 원전 규제체계를 기반으로 호기별 안전운영 여부를 주기적으로 감시·평가 하고, 평가 결과에 따라 규제 대응조치 수준을 결정하는 ROP를 개발·시행 (2000. ~)
- ROP는 NRC의 각종 검사와 사건조사 등 규제행위의 결과 및 사업자의 안전운영 실적(SPI)의 평가 결과를 종합하여,
  - 원전별 안전운영 등급을 결정하는 평가 프로세스와 후속 대응 및 소통 절차로 구성
- ROP에서는 원자로별로 7개 안전초석에 대해,
  - 각 초석별 발견사항(finding)의 중요도 및 성능지표 평가 등급을 종합하여 안전 운영 등급을 4단계 등급(Green, White, Yellow, Red)으로 결정하여 사용
- 등급 평가 결과를 종합하여 원자로별 후속 대응을 ‘추가적인 규제조치가 불필요한 등급’ 부터 ‘운전이 허용되지 않는 등급’ 까지 5단계로 구분하여 조치

#### REACTOR OVERSIGHT PROCESS



20

❖ ROP 핵심

- 발전소의 안전성 수준은 사업자의 안전운영 수준, "Licensee Performance"에 의해서 결정된다고 전제
- ROP는 발전소 안전성 수준 평가 프로세스로서, 발전소의 안전성 수준에 대한 답변을 하기 위해 시행
- ROP에 의한 차등규제는 보다 정확하게 "안전성 수준을 평가" 하기 위한 것임
  - 발전소의 안전성을 확보하기 위한 검사 (X)

❖ 발전소 성능(성과, 실적)을 평가해서 등급을 매기는 이유 :

- 규제결과를 일반 국민이 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위함 (**common language**)
- 규제자원을 효율적으로 활용하기 위함 (**graded regulation**)
- 안전성이 떨어지기 시작하는 발전소를 조기에 식별하기 위함 (**performance based regulation**)
- 등급 평가 핵심 이유:

" 가동 중인 원전이 안전한지에 대한 규제기관의 객관적인 판단 " 을 규제자, 사업자 및 일반 국민에게 제시하기 위함

❖ ROP는 다음 목표를 달성하기 위해 마련 및 시행

No	Description
(1)	• <b>Maintain safety</b> by establishing a regulatory oversight framework that provides assurance that plants continue to be operated safely by plant operators. Maintaining safety is the NRC's overarching mission.
(2)	• <b>Enhance public confidence</b> in the NRC's regulatory program by increasing the predictability, consistency, objectivity and transparency of the oversight process so that all parties will be well served by the changes taking place.
(3)	• <b>Improve the effectiveness, efficiency, and realism</b> of the oversight process by focusing both agency resources and utility resources on those issues with the most safety-significance.
(4)	• <b>Reduce unnecessary regulatory burden</b> by using a more efficient and effective process.

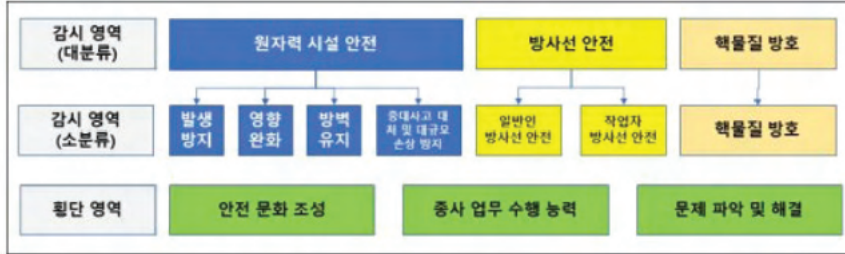
❖ Baseline inspection program:

The baseline inspection program, based on the cornerstone areas, focuses on activities and systems that are "risk significant" (in other words, those activities and systems that have a potential to trigger an accident, can mitigate the effects of an accident, or can increase the consequences of a possible accident).



❖ NRA의 새로운 검사제도는 미국 NRC의 ROP 체계를 벤치마킹하여 시행 ('20.4월 )

- NRC의 규제감독 체계와 유사하게 감시영역을 구분(원자로안전, 방사선안전, 핵물질 방호)하고, 7개 감시영역과 3개 횡단영역으로 구성되는 감독체계를 마련하여 시행



<NRA 가동원전 규제감독 체계>

❖ 검사

- 기본검사 및 별도로 필요에 따라 추가검사, 특별검사 실시
- NRA에 의한 일상검사와 일정 주기로 실시되는 전문지식을 갖춘 팀 검사 실시

❖ 안전실적 지표(Performance Indicator, PI)

- NRA의 원자력 검사관의 검사와는 별도로 사업자 스스로 지표를 설정하여 시설의 안전 상태를 보고

❖ 안전 중요도 평가

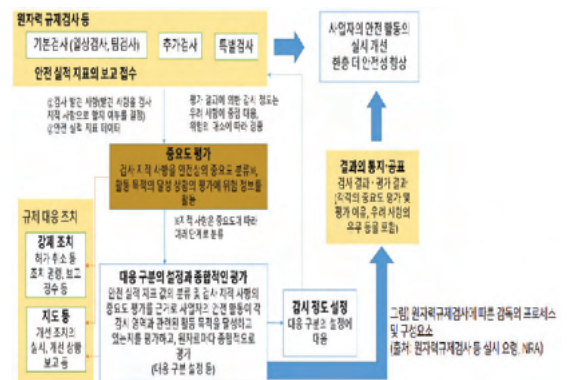
- 검사에서 지적사항이 발견되거나 안전실적지표가 지정된 임계치를 초과한 경우에는,
  - 사업자의 검사대상 안전활동의 저하상태를 평가하여 4단계(Green, White, Yellow, Red)로 표시

❖ 규제 대응 조치

- 사업자의 안전활동의 저하상태 평가와 병행하여 필요에 따라 규제 대응조치를 취함

❖ 종합적인 평가

- 원칙적으로 연 1회 검사 대상의 안전활동 상태에 대해 종합적인 평가를 실시하고 5단계로 구분하여 사업자에게 통지 및 공표



<NRA 가동원전 규제감독 프로세스>

❖ 기존 검사제도 재검토 결과 문제점

- 사업자가 안전을 확보하는 일차적 책임을 지고 있다는 것이 불명확 → 규제기관의 승인주의에 빠질 우려가 있음
- 중복되고 혼잡한 형태의 검사가 다수 존재하고, 법령에서 검사 대상과 검사 시기가 세분화 → 모든 사업자의 안전 활동을 세심하게 살피지 못함
- 체크리스트 방식의 검사 → 안전상 중요한 것에 집중하기 어려운 체계로 되어 있음
- 규제기관의 검사관이 독자적으로 수행하는 것이 아니라 사업자의 검사 대응 부서를 통한 도면, 기록 확인 및 현장 순시 위주 → 사업자의 관점에 영향을 받는 검사가 될 가능성이 높음

❖ 신 규제검사의 특징

- 「언제」, 「어디서나」, 「무엇이든」 NRA의 철저한 점검이 가능한 검사
- 안전확보 관점에서 사업자의 대처상황을 평가
- 이를 통해 사업자가 스스로 안전확보 수준을 향상시키는 노력을 촉진

❖ 규제검사제도 개선 전후 비교

구분	전/후 비교	
사업자 스스로의 개선 활동을 촉진함	전	<b>사업자의 개선을 촉진하지 않는 체계</b> • 사업자가 안전확보라는 일차적 책임을 지고 있다는 것이 불명확함 • 규제기관의 보증주의에 빠질 우려가 있음
	후	<b>사업자의 책임을 명확하게 하여 스스로의 개선을 촉진하는 체계</b> • 사업자에게 검사 의무를 부과하고, 규제기관의 역할은 사업자의 노력을 확인하는 역할로 전환
모든 안전활동이 모니터링 대상임을 명확히 함	전	<b>사업자의 모든 안전활동을 감시하지 못함</b> • 중복된 다수의 혼잡한 형태의 검사 • 법령에서 검사 대상과 검사 시기가 세밀하게 정해져 있음
	후	<b>규제기관의 점검이 꼼꼼하게 이뤄지는 구조</b> • 규제기관의 모든 검사를 하나의 체계로 일원화 • 검사 대상은 사업자의 모든 안전 활동으로 정함
리스크 관점을 도입한 검사	전	<b>안전상 중요한 것에 집중하기 어려운 체계</b> • 미리 정해진 항목의 적합성 여부를 확인하는 이른바 체크리스트 방식
	후	<b>안전상 중요한 것에 집중할 수 있는 체계</b> • 안전상 중요도에 따라 검사 중점을 설정 • 리스크 정보 활용 및 안전실적지표(PI) 반영 등을 도입한 체계 • 안전확보 관점에서 평가를 실시하여 다음 검사 등에 피드백
현장의 실태를 확인하는 운용	전	<b>사업자의 관점에 영향을 받을 수 있음</b> • 사업자의 검사 대응 부서를 통한 도면, 기록물 확인, 현장 순시 중심
	후	<b>규제기관의 주도적인 검사 수행</b> • 검사관이 필요하다고 판단할 때 현장 실태를 직접 확인하는 검사 운영 • 규제기관이 필요한 정보 등에 자유롭게 접근할 수 있는 체계를 효과적으로 운영

❖ 제도화 및 종합 안전성 확인 체계

국가	내용
미국 NRC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 검사-평가-조치(집행)가 연계된 원자로규제감독프로세스(ROP) 제도 운영 ('00~)</li> <li>• 3개 성능분야, 7개 안전초석, 3개 공통영역으로 구성된 규제 체계를 설정하고, 안전초석과 연계하여 40여개의 검사분야를 설정</li> <li>• 원전 안전성 수준을 5등급으로 평가하고, 안전성 저하 수준에 따라 차등화된 규제검사와 조치 수행</li> </ul>
일본 NRA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 6개 검사 유형을 '원자력 규제검사'로 통합하고, NRC와 유사한 규제감독 체계 도입 ('20~)                         <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존에는 국내 검사제도와 유사하게 시설 성능확인 중심의 유사한 검사제도 운영</li> </ul> </li> <li>• 미국 ROP와 유사하게 7개 감시영역과 3개 횡단영역으로 구성된 규제 체계를 설정</li> <li>• 5등급의 원전 종합 평가체계를 도입하여, 안전성 저하 수준에 따라 원전별 규제 차등화</li> </ul>
한국 NSSC	• -

❖ 사업자 책임 및 역할

국가	내용
미국 NRC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 규제정책·지침 문서에 사업자의 책임 및 역할사항을 명확히 기술                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원전 운영자에게 원전의 안전한 운영에 대한 1차적인 책임이 있음 (원전 운영에 관한 정책성명)</li> <li>- 규제대상 활동을 수행하는 개인과 조직은 안전(safety)과 보안(security)에 대한 1차적인 책임이 있음 (안전문화 정책성명)</li> </ul> </li> </ul>
일본 NRA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원자로등규제법에 책임과 역할 명시, NRA 요령과 하위 지침에 규제감독 프로세스와 방식 기재</li> <li>※ 원자로등규제법 제57조 제8항 '원자력 사업자 등의 책무'</li> </ul>
한국 NSSC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1994년 공표한 원자력안전 정책성명에서 다음 사항을 제시                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원자력시설의 안전에 대한 궁극적인 책임은 사업자에게 있음</li> <li>- 정부/규제기관은 원자력의 개발 및 이용에 수반되는 방사선위해로부터 국민과 환경을 보호하는 포괄적인 책임이 있음</li> </ul> </li> <li>• 원자력안전법령 등에 사업자 책임사항 미 명시</li> </ul>

❖ 사업자 안전관리 체계에 대한 규제 접근방식

국가	내용
미국 NRC	• 3개 공통영역(인적 성능, 문제 파악 및 해결, 안전 중시 업무환경)을 ROP에 접목
일본 NRA	• 공통요소인 횡단영역(cross-cutting area)에 종사자 업무수행 능력, 문제파악 및 해결, 안전문화 조성 활동 영역을 포함
한국 NSSC	• 정기검사에서 다음 사항에 대한 운영 및 기술능력을 확인 • 운영조직, 자격 및 훈련, 운영절차서, 인적요소의 관리, 운전경험의 반영, 시험·감시·검사 및 보수 • NRC, NRA와 같은 공통영역요소 미 포함

❖ 사업자 제공 정보-활용 방식

국가	내용
미국 NRC	• 원전 안전성능지표(SPI)를 규제감독에 직접 활용하며, SPI로 확인이 어려운 안전초석 분야에 대해 검사에서 확인함
일본 NRA	• NRC의 ROP 제도를 도입하였기 때문에 SPI를 규제감독에 직접 활용하고 있음
한국 NSSC	• SPI 정보를 제출받고 있으나 규제활동에 활용하고 있지 않음 • NRC의 SPI 체계를 따르고 있으나 SPI를 규제활동의 일부 또는 보완 수단으로 활용하고 있지 않음 ※ 원자력안전에 대한 소통 목적으로만 활용

❖ 주요 국가 규제감독제도 비교

구분	한국	미국	일본
검사종류	• 정기검사	• 기본검사 + 보충검사	• 기본검사 + 추가검사
검사대상	• 시설별 성능(11개 시설, 95개 항목)	• 영역별 성능 및 운영능력 (8개 영역 41개 검사분야)	• 영역별 성능 및 운영능력(8개 영역 50개 검사분야)
검사기간	• 정비(OH) 및 운전기간	• 연간 주기	• 연간 주기
차등체계	-	• 적용 (5등급) - 등급별 보충검사 추가	• 적용 (5등급) - 등급별 추가검사 추가
ROP	-	• 시행	• 시행
합격기준	• 사용전검사의 성능상태 유지	• 1 ~ 4등급 : 운전 허용 • 5등급 : 운전정지	• 1 ~ 4등급 : 운전 허용 • 5등급 : 운전정지

❖ 주요 시사점

- 해외 규제기관은 원자력시설의 성과 사업자의 주요 운영 능력을 상시 확인하고 있음
- 운영실적과 안전 성능저하 수준에 따라 검사 종류나 빈도를 변경하는 등 검사의 유연성을 확보하고 있음
- 안전관리 수준을 체계적으로 평가, 취약한 부분에 규제자원을 집중하는 리스크·성능 확인 관점의 검사 수행

## 06 가동원전 규제감독 체계 개선 방안

### ❖ 검사활동에 대한 인식 전환과 원전의 안전성 저하 여부를 파악하는 검사체계로의 전환 필요

- 규제검사는 "안전성 확인" 이 목적이지만, 실제로는 "안전하지 않은 발전소" 를 찾아내는 것이 주된 목적이 되어야 한다는 점 인식 필요
- 개별 SSC에 대한 기능·성능 및 보수활동 결과를 정기적으로 확인하는 것을 검사의 주된 목적으로 인식 지양

‘원전의 안전성 저하 여부를 파악’하는 것이 검사의 가장 핵심 기능이므로 이를 충족할 수 있는 검사체계 마련 필요

### ❖ SSC 성능 및 리스크 정보에 기반한 차등규제로의 가동원전 규제감독체계 개편 필요

- 발전소에서 발견된 문제점 및 설비 성능 저하 정보 등을 종합하여 안전성 수준이 얼마나 떨어지는지 평가하고, 규제조치 수준 결정

현행 SSC에 대한 항목 기반 검사를 리스크 정보와 성능에 기반한 가동원전 규제감독체계로 개편 필요

- 현행 항목 위주의 SSC 기능·성능확인 검사체계에 검사내용을 추가하는 방안은 지양
- 새로운 검사체계 도입을 우선시하고, 그 동안의 개선 노력 결과 등을 활용

31

## 06 가동원전 규제감독 체계 개선 방안

### ❖ 가동원전 규제감독 기본 방향

- 리스크 정보활용(Risk-informed):
  - 규제활동은 위험도(리스크)가 높고 안전에 중요한 곳에 집중
  - 규제 의사결정에 결정론적/확률론적 분석 방법 등을 상호보완적으로 활용
- 성능기반(Performance-based):
  - 사업자의 안전관리활동 결과를 나타내는 성능지표(Safety Performance Indicator, SPI)를 감시 및 평가하고,
- 차등적 접근(Graded approach):
  - 규제 대응 조치와 감시/검사 정도는 사업자의 안전운영 수준에 따라 차등적으로 접근
- 원전 안전성 수준을 종합적으로 확인하고, 사업자의 안전운영 수준에 대한 객관적인 평가 및 평가 결과에 상응하는 후속조치를 부과하고 이를 관리하는 가동원전 규제감독 체계 도입
  - 미국 NRC ROP, 일본 NRA 신검사제도 도입 사례 등 해외 안전규제 감독체계를 참고하여 국내 실정에 맞는 규제체계를 개발
- 리스크 정보를 활용한 성능기반의 종합적인 차등 규제감독체계 마련

Risk informed, performance based, Graded Regulatory Oversight Process  
(RIPB-GROP)

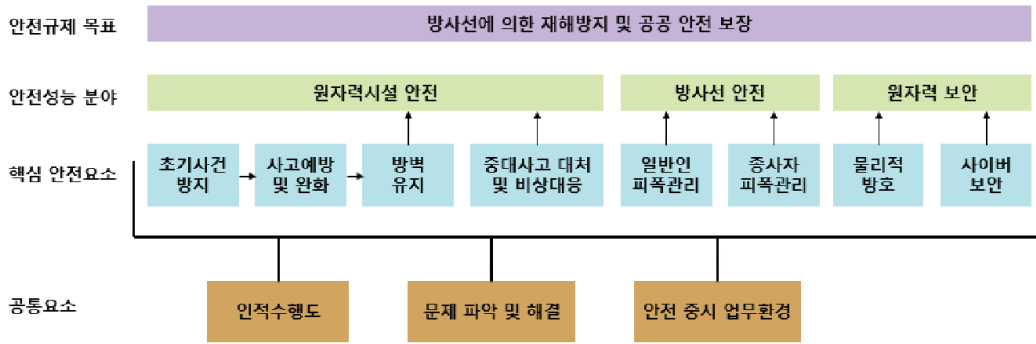
32



## 06 가동원전 규제감독 체계 개선 방안

### ❖ 가동원전 규제감독 체계 (안)

- 안전성능 분야:
  - 원자력시설 안전: 사고에 의한 재해 방지
  - 방사선 안전: 방사선으로부터 보호
  - 원자력 보안: 악의적인 의도에 의한 보호
- 공통요소 영역:
  - 인적 수행도: 사업자의 의사 결정 과정, 자원의 가용성과 적절성 등 확인
  - 문제 파악 및 해결: 사업자의 CAP 및 OEF 등 확인
  - 안전 중시 업무환경: 종사자가 원자력 안전에 대한 우려 사항 등을 자유롭게 제기할 수 있는 환경 확인
- 핵심 안전요소: 초기사건 방지 등 8개 요소

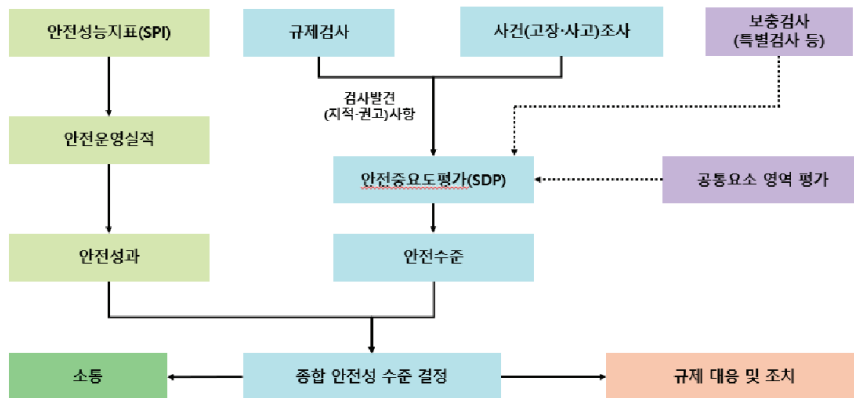


<가동원전 규제감독(RIPB-GROP) 체계>

## 06 가동원전 규제감독 체계 개선 방안

### ❖ 가동원전 규제감독 수행 프로세스 (안)

- 감시·검사: 사업자의 원전 안전성 수준을 평가하기 위한 객관적 정보를 감시·확인하는 감시·검사 프로세스
- 평가·결정: 규제검사 결과와 사업자의 시설 운영실적 등 가용한 안전운영 관련 정보에 근거하여, 원전 안전성 수준을 객관적으로 평가하고 결정하는 평가·결정 프로세스
- 대응·조치: 안전성이 저하된 것으로 평가된 원전에 대하여 그에 상응하는 시정조치를 부과하여 체계적으로 관리하고, 그 과정 및 결과를 투명하게 공개하는 대응·조치 프로세스



<가동원전 규제감독(RIPB-GROP) 프로세스>

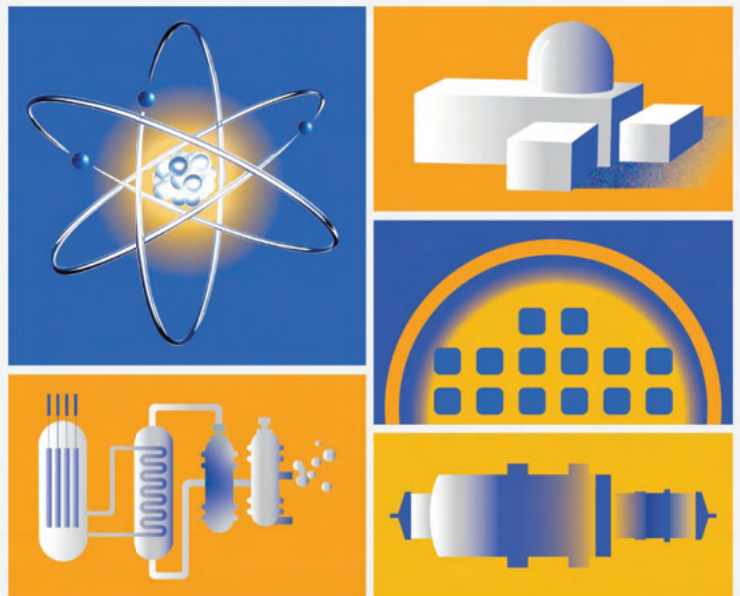
## 06 가동원전 규제감독 체계 개선 방안

### ❖ 가동원전 규제감독 이행 방안

- (제1단계): 규제감독 체계 개편 선언
  - 가동원전 규제감독 체계를 원자력안전위원회 보고·심의를 거쳐 RIPB-GROP 체계로의 개편 선언
- (제2단계): RIPB-GROP 준비
  - 규제기관, 규제전문기관 및 사업자에 대한 수용성 확보 방안 마련 및 시행
  - 선행 연구·이행 결과(SDP, SPI, RIPI 등) 활용·통합 및 RIPB-GROP 체계·프로세스 마련
    - 일본 NRA 등 ROP 벤치마킹 사례 등 검토·활용 고려
  - 검사(기본, 보충)분야 및 공통영역 요소 관련 검사절차서·매뉴얼 검토 및 마련
  - SDP를 현행 검사 지적사항 등에 적용·평가, 현행 SPI체계와 접목, 발전소 안전성 수준 예비 평가
  - 규제기관 및 규제전문기관 규제요원 RIPBR 역량 강화를 위한 교육 프로그램 마련 및 시행
- (제3단계): 시범 적용
  - 특정 호기를 선정하여 시범 적용·평가하고, 미비점을 보완하여 전 원전 확대 적용 준비
- (제4단계): 확대 적용
  - RIPB-GROP를 전 원전에 확대 적용하고, 주기적으로 적용 유효성을 평가하여 지속 보완

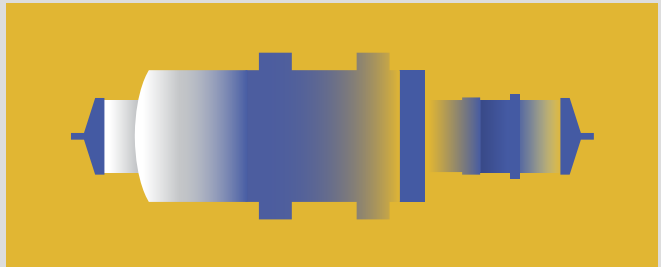
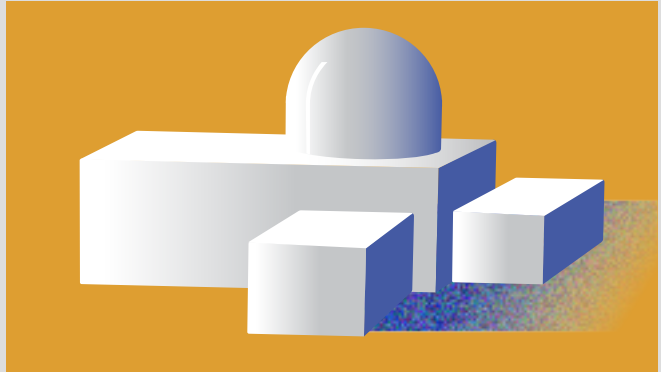
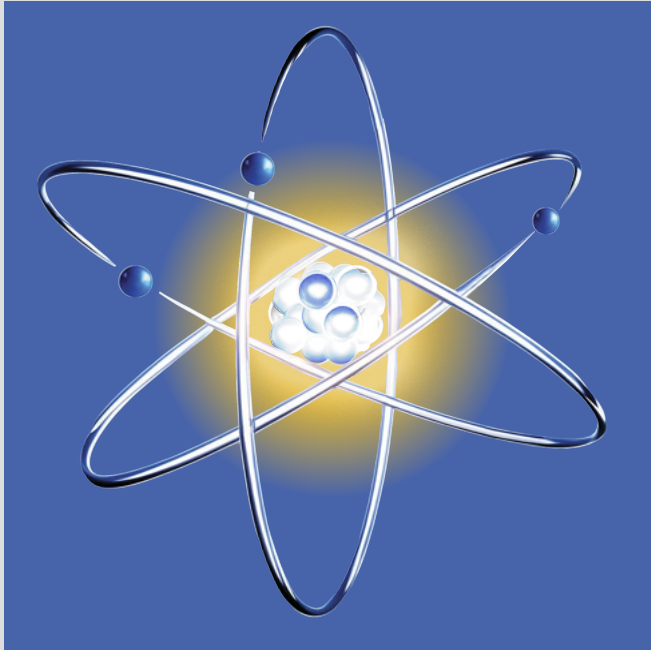
## 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.



# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향



## 원자력 바로알기 원자력 지속가능성과 과제

이창노

서울대원자력정책센터 연구위원





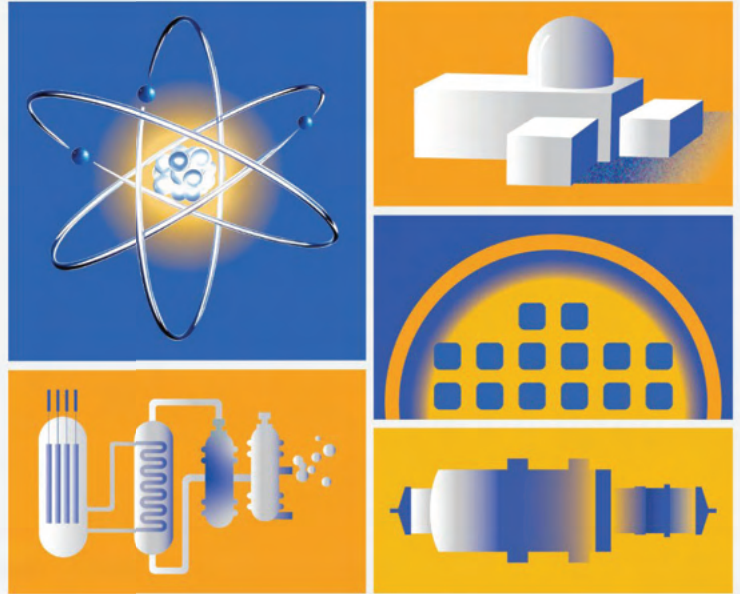
# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 원자력 바로 알기 원자력 지속가능성과 과제

2025. 3. 6.

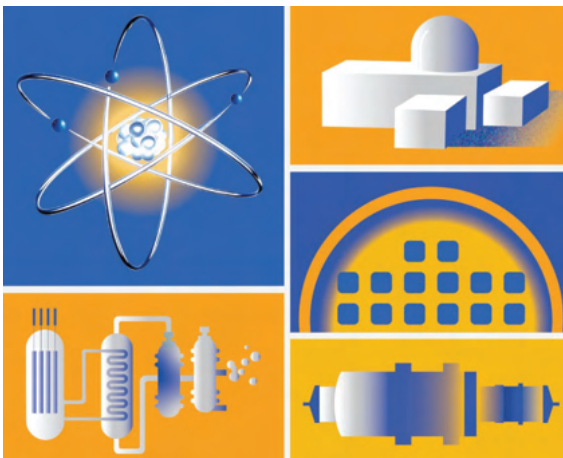
이창노 서울대원자력정책센터 연구위원

crlee01@snu.ac.kr




### 원자력 바로 알기

#### 목 차



- I. 원바로 활동 내용
- II. COP 합의사항
- III. 제11차 전력수급기본계획
- IV. 지속가능한 원자력의 과제

# 01 원자력 바로 알기 활동 내용




**원자로**

@원자로 · 구독자 1.55천명 · 동영상 199개

원자력에 대한 여러 사실과 정보를 쉽고 정확하게 알려드립니다. ...더보기

홈
동영상
Shorts
라이브
재승록


최신순
인기순
날짜순



42:09

[2024 제2회 안전규제의 미래 워크숍] - 패널 : 정구영 한국원자력안전기술원 연구원


조회수 82회 · 1개월 전



45:55

[2024 제2회 안전규제의 미래 워크숍] - 패널 : 트이2


조회수 32회 · 1개월 전



45:12

[2024 제2회 안전규제의 미래 워크숍] 신진현 : 자르 인허가를 위한 리스크정보활용 규제체...


조회수 36회 · 1개월 전



44:29

[2024 제2회 안전규제의 미래 워크숍] 원전산 : 업 경쟁력 제고를 위한 규제합리화의 필요성...

조회수 26회 · 1개월 전



54:44

[2024 제2회 안전규제의 미래 워크숍] 원전안 : 전규제의 지향점은? - 패널로희1


조회수 34회 · 1개월 전



28:49

[2024 제2회 안전규제의 미래 워크숍] 계속은 : 전, 규제자와 사업자의 역할 - 김군태 한국원...


조회수 34회 · 1개월 전



37:18

[2024 제2회 안전규제의 미래 워크숍] 계속은 : 전 진행 현황 및 문제점 - 윤봉호 한국수력원...

조회수 52회 · 1개월 전



50:15

[2024 제2회 안전규제의 미래 워크숍] 원자력 : 안전규제의 나아갈 길 - 김우현 보광공과대...

조회수 51회 · 1개월 전

# 01 원자력 바로 알기 활동 내용



11:44

[2024 제2회 안전규제의 미래 워크숍] 축사 : 조희수 41회 · 1개월 전



5:07

[2024 제2회 안전규제의 미래 워크숍] 인사말 : 조희수 31회 · 1개월 전



3:37

2024년 하반기 NEXFO 워크숍 스페셜 영상 : 조희수 45회 · 3개월 전



6:15

제11차 전력수급기본계획 소개 및 평가 : 조희수 756회 · 3개월 전



2:11

원자력 상식 Best7 - 느린 속도 버 : 조희수 62회 · 7개월 전



1:47

외외로 알으려는 원자력 상식 Best7 : 조희수 40회 · 8개월 전



4:51

친환경 자동차 제조에 방사선기술이 이용된다 : 조희수 1.3천회 · 8개월 전



11:45

원자력 상식 Best7 - 느린 속도 버 : 조희수 62회 · 7개월 전



7:30

원자력, 탄소없는 미래로 가는길 : 조희수 87회 · 1년 전



4:38

탄소중립 2050 : 조희수 42회 · 1년 전



4:17

지구를 구하는 원자력 (우리나라에서는 지구 : 조희수 157회 · 1년 전



2:57

도양의 수분과 상태를 우주광선 측정자 센서 : 조희수 21회 · 1년 전



## 02 COP 논의 및 합의 내용

### 1. COP21(2015년 12월 12일 프랑스 파리)

- 산업화 이전과 비교하여 지구평균기온 상승을 2°C 보다 상당히 낮은 수준으로 유지하고, 지구평균 기온 상승을 1.5°C 이내로 제한하기 위한 노력을 추구한다는 목표를 제시
- 기후변화에 대응하기 위해 **원자력 에너지원의 사용 제안** (Side Event (NEA & IAEA))

### 2. COP28(2023년 11월 30일 아랍에미리트 연합 아부다비)

- 화석연료로부터 멀어지는 정의롭고 질서있는 전환
- 2030년까지 **재생에너지 설비용량을 22년 대비 3배 확대**하고 에너지 효율을 2배로 증대
- 탄소의 포집·활용 및 저장(CCUS), 원자력 등 저탄소 기술 개발 가속화에 합의
- **2050년까지 원자력을 세배 확충**하는 'Net Zero Nuclear Initiative' 선언문에 22개국 참여 ([https://www.mofa.go.kr/eng/wpge/m\\_5657/contents.do](https://www.mofa.go.kr/eng/wpge/m_5657/contents.do))

### 3. COP29(2024년 11월 21일 아제르바이잔 바쿠)

- 2030년까지 22년대비 ESS용량 6배 확대
- **Nuclear Initiative 참여국 31개국으로 증가** ([www.e-kna.org/web/home.php?go=Emenu\\_01&num=8132](http://www.e-kna.org/web/home.php?go=Emenu_01&num=8132))

5

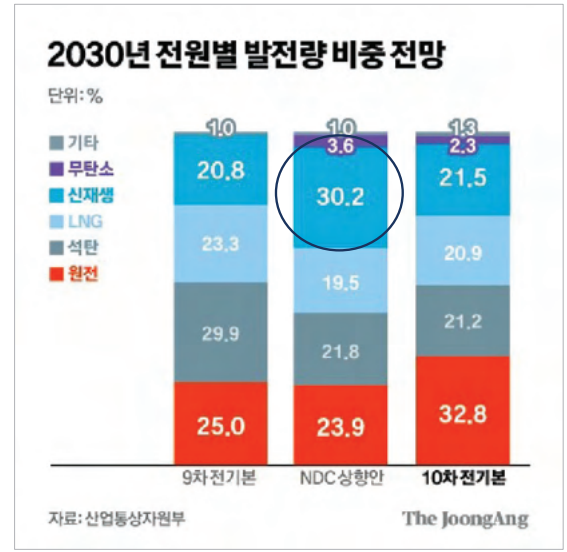
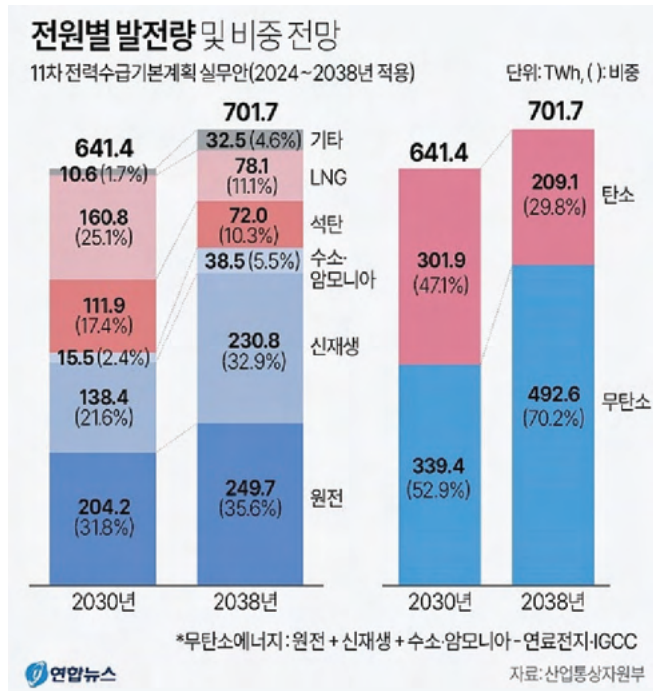
## 03 제11차 전기본 기본계획

산업자원부 11차전력수급기본계획(안) 2024.9

1. 2038년 국내 최대 전력수요는 129.3기가와트(GW)로 전망하고 **적정 예비율 22%**를 적용, 2038년 발전 설비 용량을 157.8GW로 산출
2. 2038년까지 '무탄소 전기' 비중을 70%까지 높이기 위해 태양광·풍력을 2030년까지 3배 확충, **신규 원전 최대 3기 건설**하고 2035년 소형모듈원자로(SMR) 1기 투입
3. 2030년까지 태양광·풍력 설비 목표를 72GW(**22년 기준 태양광·풍력 설비 23GW 대비 2030년까지 3배 확충**)로 2038년 목표를 115.5GW(**총 설비용량(266GW) 기준 43.4%**)
4. 주요 무탄소 전원인 원전과 신재생에너지 **발전 비중은 2030년 31.8%, 21.6%로 하고, 2038년에는 35.6%, 32.9%로 높임**

6

### 03 제11차 전기본 기본계획

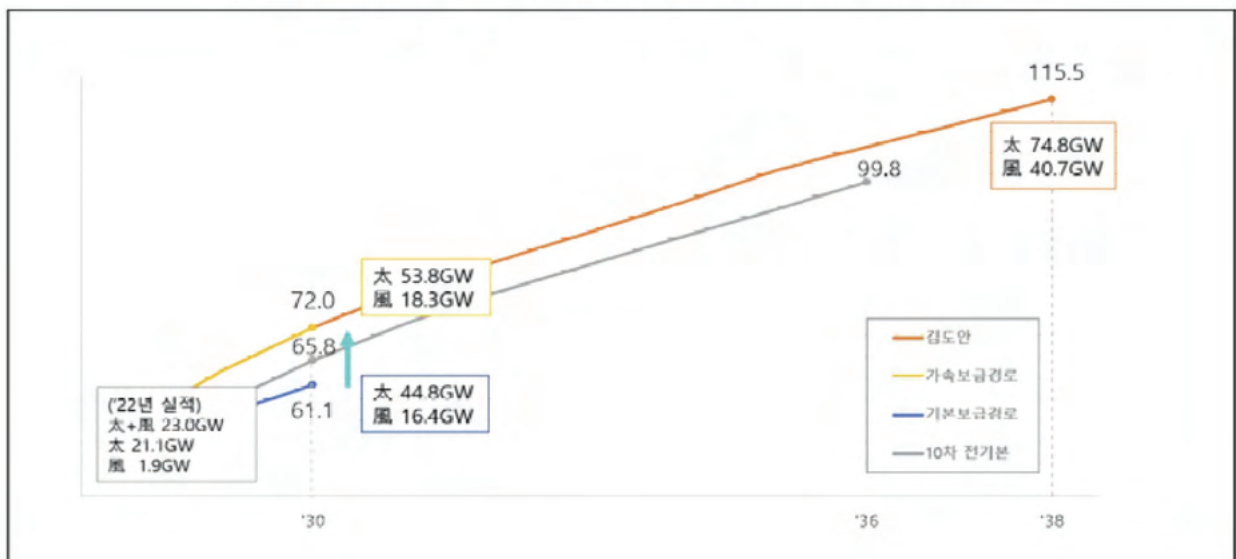


국내 지형 특성상 태양광·풍력 설비 등을 대폭 늘리기 어렵고, 원전 대비 불안정한 비용 문제나 인근 주민들의 거부감 등이 여전히 크기 때문

### 03 제11차 전기본 기본계획

산업자원부 11차 전력수급기본계획(안) 2024.9

< 태양광·풍력 설비 보급전망 (연말 정격기준, 단위: GW) >



### 03 제11차 전기본 기본계획

산업자원부 11차전력수급기본계획(안) 2024.9

< 11차 전기본 설비용량 전망(안) (단위: GW / 연말, 정격용량 기준) >

연도		원전 (SMR 포함)	석탄 (암모니아 혼소 포함)	LNG (수소 혼전소 포함)	신재생	재생	양수	기타	무탄소 시장 및 유보	합계
	비중	17.1%	27.1%	30.0%	21.7%	20.8%	3.3%	0.8%	-	100.0%
'30년	용량	28.9	31.7	58.8	78.9	76.1	5.2	0.7	-	204.2
	비중	14.1%	15.5%	28.8%	38.7%	37.3%	2.5%	0.3%	-	100.0%
'38년	용량	36.6	22.2	69.5	123.5	119.5	10.4	0.7	3.2	266.0
	비중	13.7%	8.4%	26.1%	46.4%	44.9%	3.9%	0.2%	1.2%	100.0%

\* 원전에는 SMR 포함, 석탄에는 '암모니아 혼소' 포함, LNG에는 '수소 혼전소' 포함

\* '31년 이후 신규 필요수량 10.6GW의 경우, ①열병합 2.5GW, ②SMR 0.7GW 및 대형원전 3기 (4.2GW) 전제, ③무탄소시장 1.5GW 및 유보 1.7GW로 반영

9

### 03 제11차 전기본 기본계획

산업자원부 11차전력수급기본계획(안) 2024.9

< 11차 전기본 발전량 및 발전비중(안) (단위: TWh, %) >

연도	원전	석탄	LNG	신재생	재생	수소 암모니아	기타	합계	탄소	무탄소
'30	204.2 (31.8%)	111.9 (17.4%)	160.8 (25.1%)	138.4 (21.6%)	119.7 (18.7%)	15.5 (2.4%)	10.6 (1.7%)	641.4 (100.0%)	301.9 (47.1%)	339.4 (52.9%)
'38	249.7 (35.6%)	72.0 (10.3%)	78.1 (11.1%)	230.8 (32.9%)	204.4 (29.1%)	38.5 (5.5%)	32.5 (4.6%)	701.7 (100.0%)	209.1 (29.8%)	492.6 (70.2%)

\* 무탄소에너지 : 원전 + 신재생 + 수소·암모니아 - 연료전지·IGCC

\*\* 2030년 발전비중 : 신재생 21.6% = 재생 18.7% + 연료전지 2.6% + IGCC 0.3%

10

## 04 지속가능한 원자력의 과제

### 1. COP합의와 11차 전기본 발표 후 환경단체의 입장

#### ◆ 기후솔루션은 2030년 재생에너지 발전 비중이 21.6% 그대로인 것에 대해

- "한국은 2030년에도 경제협력개발기구(OECD) 회원국 중 재생에너지 비중 최하위를 이어갈 예정"이라며 "OECD 회원국 중 한국과 국내총생산(GDP)이 가장 유사한 **멕시코는 2030년까지 재생에너지 비중을 33%로 높이기로 했다**"
- "연구에 따르면 2050년 탄소중립 달성하기 위해서는 2030년에 110~199GW의 재생에너지가 필요하다. 2030년 72GW는 그 어떤 연구기관의 **탄소중립 시나리오에도 부합하지 않는 적은 수치**"라고 비판

#### ◆ 녹색연합은

- "핵발전은 재생에너지와 뉘일 게 아니라 **'지속가능하지 않고 위험한 발전원'**으로 화석연료 발전과 뉘여야 한다"

출처: 2038년 신재생·원전으로 '무탄소 전기' 70%...기후단체 "거꾸로 가는 정부" 비판, 뉴스트리, 이재은 기자 / 기사승인: 2024-05-31 16:27:01

#### ◆ Aviel Verbruggen, and Yuliya Yurchenko ( [https://doi.org/10.1007/978-3-658-25987-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-658-25987-7_4) )

- In reality they are **mutually exclusive** in fully decarbonized power generation systems. They are **hard to match technically** while their major mutual impact is that **they undermine the economic case for each other.**

11

## 04 지속가능한 원자력의 과제

### 1. COP합의와 11차 전기본 발표 후 환경단체의 입장

출처: 한겨레 신문, '핵발전 알박기' 11차 전기본... "확정되면 대대로 부작용" 우려 탄핵 국면에 조삼모사식 정부 '조정안' "국가 에너지정책 전면 재검토 필요"  
박기용기자 수정 2025-01-17 11:51 등록 2025-01-16 05:00

전기본에서 이처럼 건설기간이 긴 원전의 비중을 늘려놓은 결과, 온실가스 감축 효과도 줄어든다. 2030년 석탄과 액화천연가스를 합한 '화석연료' 발전 비중은 11차 전기본에서 42.2(조정안)~42.5(실무안)%인데, 이는 문 정부 시절 수립한 2030년 국가 온실가스 감축 목표의 화석연료 발전 비중 41.3%를 웃도는 수준이다. 건설기간이 상대적으로 짧은 **재생에너지 비중을 줄이고 17년 이상 걸리는 원전 비중을 늘린 탓에, 그 기간만큼 화력발전이 유지된 결과**다. 온실가스 감축 효과도 더디게 나타나고, 한국의 누적 배출량도 늘어난다.

**신규 원전이 17년 뒤인 2042년 이후에나 전력을 생산하는 터라, 경제성도 문제**가 된다. 별도의 연료가 필요없는 재생에너지 발전 단가는 계속 하락하고 있기 때문이다. 블룸버그 뉴에너지파이낸스가 예상한 우리나라 태양광·풍력 발전 단가는 2023년 메가와트시(MWh)당 40달러(약 5만8천원)에서 2030년 20달러로 떨어진다. 이 과정에서 2027년에는 석탄화력보다 발전 단가가 싸진다. 원전을 제치는 건 2030년(에너지경제연구원)에서 2035~2047년(한국경제연구소)으로 예상된다.

12



## 04 지속가능한 원자력의 과제

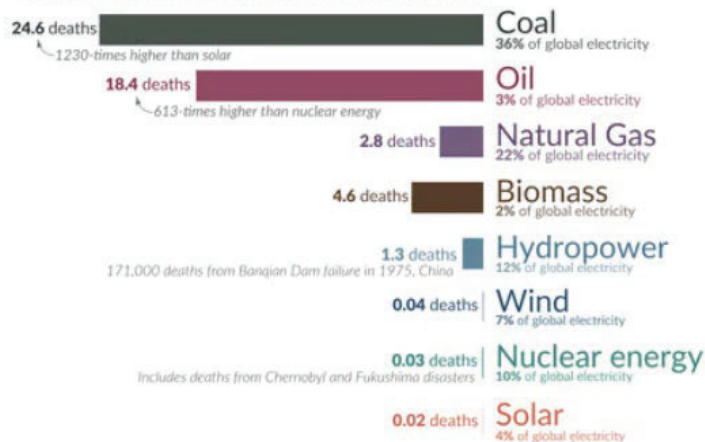
### 2. 원자력과 재생에너지 비교

재생에너지	원자력
◆ <a href="#">운전 중 무탄소 &amp; 무온실가스 에너지원 (Clean Energy)</a>	◆ 전 중 무탄소 & 무온실가스 에너지원 (Clean Energy)
◆ <b>에너지 변환의 간헐성 (Low Reliability)</b>	◆ <b>에너지 밀도가 높고 일정한 에너지 생성 (High Reliability)</b>
◆ 낮은 이용률(태양광: 23.3%, 풍력: 33.5%, 2023년 미국)	◆ 높은 이용률 (93% 미국)
◆ 경직성 에너지원	◆ 경직성 에너지원
◆ 무한한 자원	◆ 한정된 우라늄 자원
◆ <a href="#">환경 훼손</a>	◆ 고준위방사성폐기물 생성

## 04 지속가능한 원자력의 과제

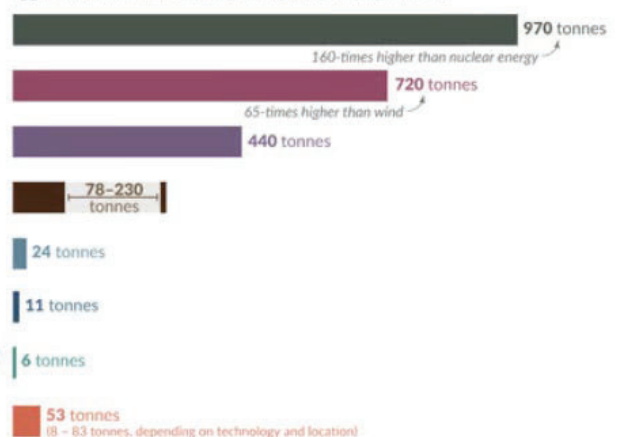
# What are the safest and cleanest sources of energy? Our World in Data

**Death rate from accidents and air pollution**  
 Measured as deaths per terawatt-hour of electricity production.  
 1 terawatt-hour is the annual electricity consumption of 150,000 people in the EU.



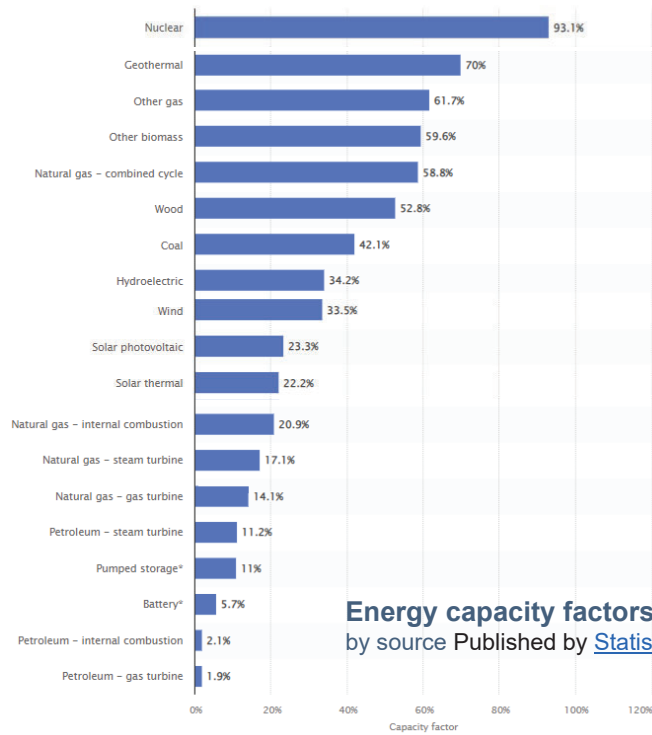
**Greenhouse gas emissions**

Measured in emissions of CO<sub>2</sub>-equivalents per gigawatt-hour of electricity over the lifecycle of the power plant.  
 1 gigawatt-hour is the annual electricity consumption of 150 people in the EU.



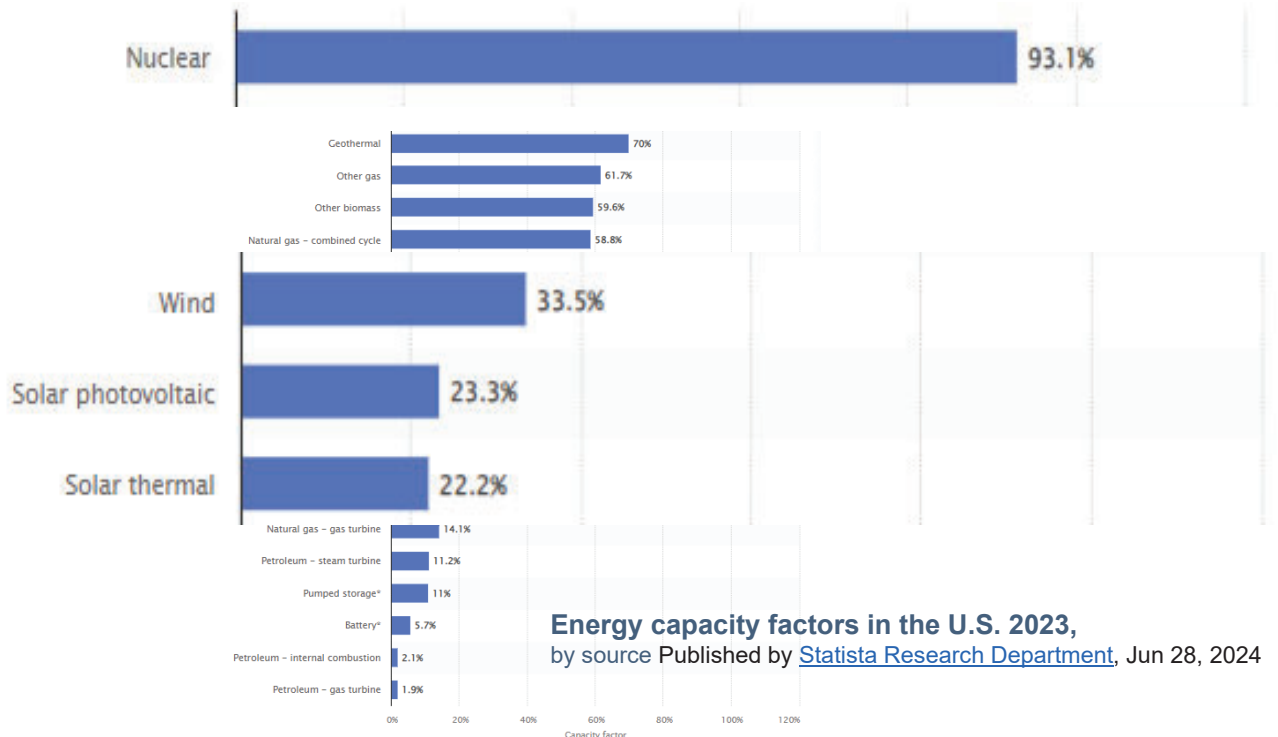
Death rates from fossil fuels and biomass are based on state-of-the-art plants with pollution controls in Europe, and are based on older models of the impacts of air pollution on health. This means these death rates are likely to be very conservative. For further discussion, see our article: [OurWorldinData.org/safest-sources-of-energy](https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy). Electricity shares are given for 2021. Data sources: Markandya & Wilkinson (2007); UNSCEAR (2008; 2018); Sovacool et al. (2016); IPCC AR5 (2014); UNECE (2022); Ember Energy (2021). OurWorldinData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems. Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

## 04 지속가능한 원자력의 과제



Energy capacity factors in the U.S. 2023, by source Published by [Statista Research Department](#), Jun 28, 2024

## 04 지속가능한 원자력의 과제



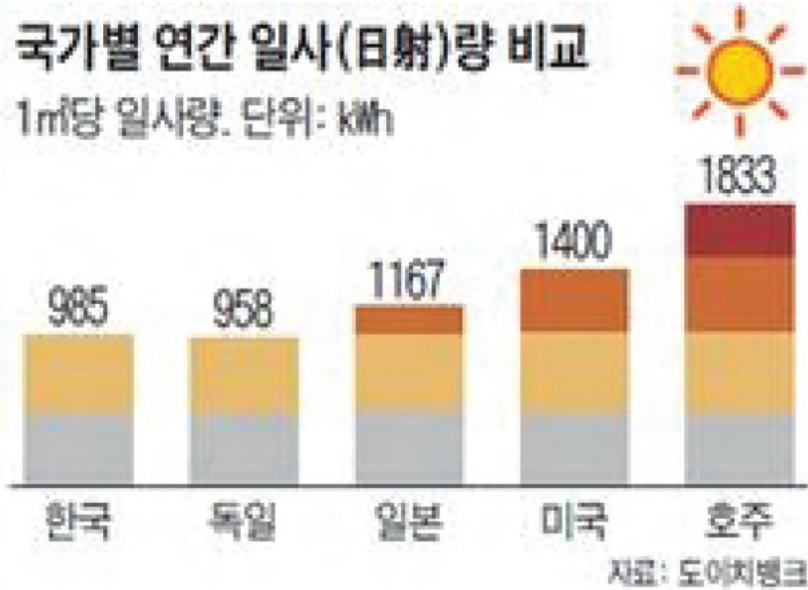
Energy capacity factors in the U.S. 2023, by source Published by [Statista Research Department](#), Jun 28, 2024



## 04 지속가능한 원자력의 과제

### 국가별 연간 일사(日射)량 비교

1㎡당 일사량. 단위: kWh



한 시간 동안 1㎡ 땅에 내리쬐는 연간 일사량이 한국은 985kWh이지만 미국은 1400kWh. 연 일조(日照) 시간은 우리는 2312시간, 미국은 3055시간.

평균 설비 이용률(24시간 가동했을 때 최대 설계 전력량 대비 실제 전력량)은 15%. 미국(21%)과 중국(17%)

1GW 전력을 만드는 데 축구장 1300개 넓이인 10km²에 태양광 패널을 깔아야 한다. 정부 구상대로 태양광 설비를 29GW로 늘리려면 서울 면적 절반가량인 290km²가 필요

출처: 조선BIZ, 2017.08.12

## 04 지속가능한 원자력의 과제

〈표 7〉 산지 태양광 발전사업의 환경적 편익 및 손실 비교 분석 결과(1ha 기준)

구분		사업 추진 (산지 태양광 발전)	사업 미추진 (산림 존치)
직접 편익	전력 생산	<ul style="list-style-type: none"> <li>1,196백만원</li> <li>연차별 태양광에너지 발전량 × SMP 가격(95원/kWh)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>해당 없음</li> </ul>
간접 편익/ 손실	이산화탄소 감축	<ul style="list-style-type: none"> <li>130백만원</li> <li>연차별 이산화탄소 감축량 × 배출권 가격(24,000원/톤)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>12백만원</li> <li>(이산화탄소 저장량 + 흡수량) × 배출권 가격(24,000원/톤)</li> </ul>
	미세먼지 저감	<ul style="list-style-type: none"> <li>111백만원</li> <li>연차별 초미세먼지 저감량 × 초미세먼지의 사회적 비용 (2.77억원/톤)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>357백만원</li> <li>산림 1h의 초미세먼지 흡수량* × 초미세먼지의 사회적 비용 (2.77억원/톤)</li> <li>* 20년간 총 흡수량</li> </ul>
	산림의 공익가치	<ul style="list-style-type: none"> <li>△277백만원</li> <li>연간 산림의 공익가치 × 20년</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>277백만원</li> <li>연간 산림의 공익가치 × 20년</li> </ul>
소 계		<ul style="list-style-type: none"> <li>△36백만원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>645백만원</li> </ul>

출처: 국립산림과학 태양광발전 사업의 환경적 편익 및 손실 비교분석, 한희, 유동훈, 배재수, KINX2019085826, NIFoS 산림정책이슈 제122호 2019.2.15

- 탄소배출권 가격: 24,000원/tCO<sub>2</sub> (2018년 K-ETS 인증실적의 평균 거래 가격)
- 초미세먼지 배출의 사회적 비용: 2.77억원/톤 (한국환경·정책평가연구원 2015)
- 1ha 산림의 연간 공익가치: 18.1 백만원 ※ 온실가스흡수 및 대기질 개선기능제외값(국립산림과학원 2016)

#### 환경영향

- 태양광: 벌목, 산사태, 수질 오염(조류분변 세척), 농지·염전 등 전용으로 불용 토지 증가)
- 풍력발전기: 소음, Shadow flicker, 경관 훼손, 새와 박쥐 충돌, 네오디뮴 자석 등 희토류 채굴 과정에서 막대한 환경오염, 제작 과정에서 유리섬유로 인한 환경 오염 및 유해물질 발생, 20년 수명 후 폐기물 처리, 대형 자재 이송을 위한 작업로 확보로 인한 환경 훼손, 넓은 부지 필요

주1. SMP: System Marginal Price (계통한계가격), 전력생산 편익은 SMP만 적용하여 산출하였으며, 각종 비용을 제외하지 않은 수치임.

주2. 모든 편익과 손실의 화폐가치는 순현재가치로 산출(이자율 3% 적용)

## 04 지속가능한 원자력의 과제

### 3. 지속가능한 원자력의 과제

- ◆ 한정된 우라늄 자원의 가용성 확대
- ◆ 가동 원전의 안전하고 지속적인 활용
- ◆ 장기간(~15년)소요되는 건설 기간 단축
- ◆ 건설 비용 저감 등 경제성 우위 확보
- ◆ 분산형 전원으로 활용 가능
- ◆ 부하 추종 운전 기술
- ◆ 고준위방사성물질의 안정적인 처분

## 04 지속가능한 원자력의 과제

### 3-1. 고속중성자로 개발 - 우라늄 가용성 증대 및 고준위폐기물 발생량 감소

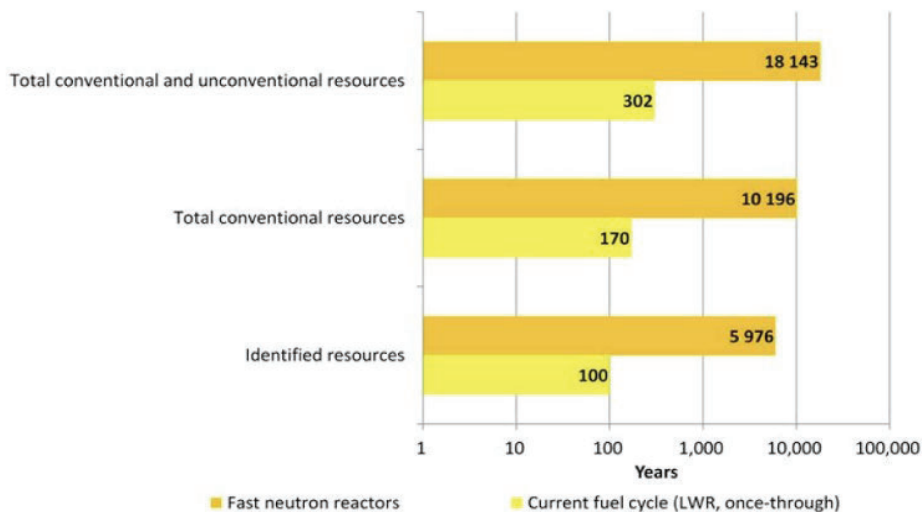


FIG. 12. Physical resources for nuclear fuel in years of resource availability (below US \$130/kg) at the 2013 utilization level. Source: Based on Refs [33, 35]. Note: LWR — light water reactor.

## 04 지속가능한 원자력의 과제

### 3-2 가동 원전의 안전성과 지속가능성 증대를 위한 기술개발 - 미국 에너지부

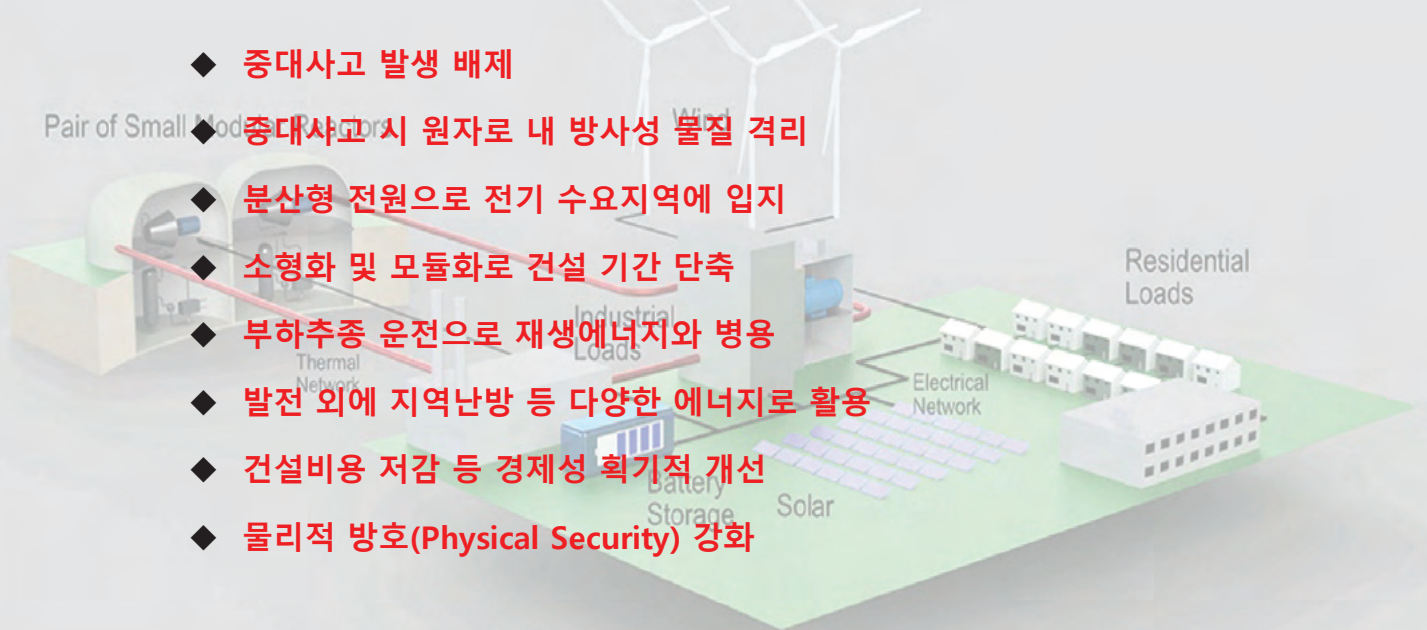


21

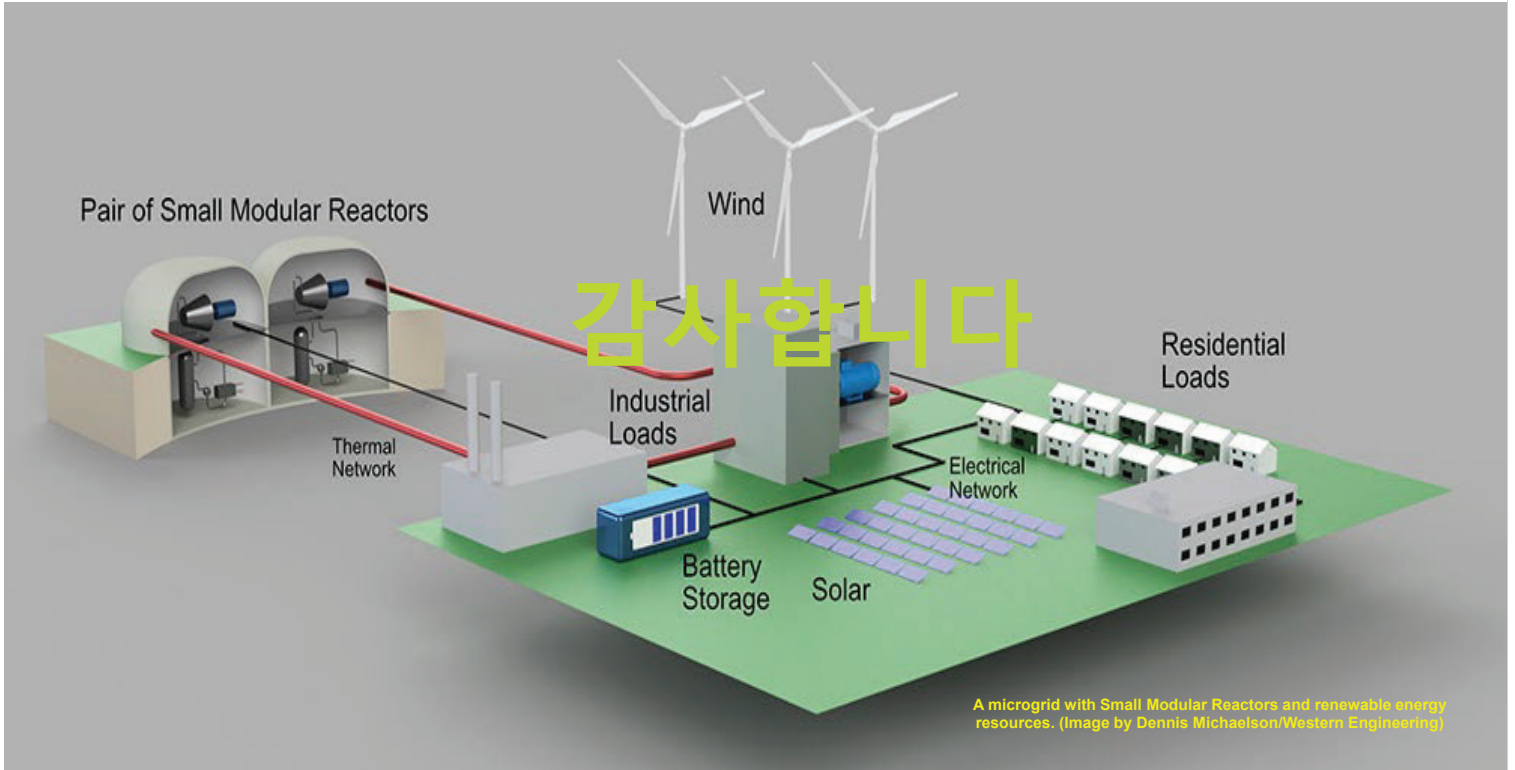
## 04 지속가능한 원자력의 과제

### 3-3 소형 모듈 원자로(SMR) 개발 - 사회적 수용성 확대 및 경제성 확보

- ◆ 중대사고 발생 배제
- ◆ 중대사고 시 원자로 내 방사성 물질 격리
- ◆ 분산형 전원으로 전기 수요지역에 입지
- ◆ 소형화 및 모듈화로 건설 기간 단축
- ◆ 부하추종 운전으로 재생에너지와 병용
- ◆ 발전 외에 지역난방 등 다양한 에너지로 활용
- ◆ 건설비용 저감 등 경제성 획기적 개선
- ◆ 물리적 방호(Physical Security) 강화

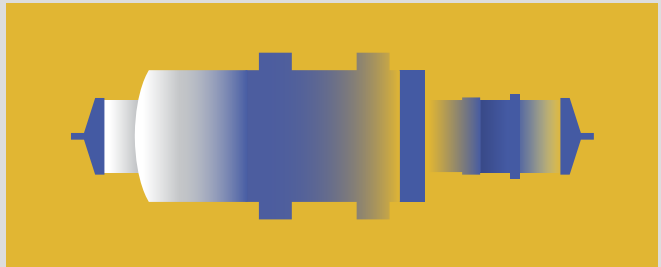
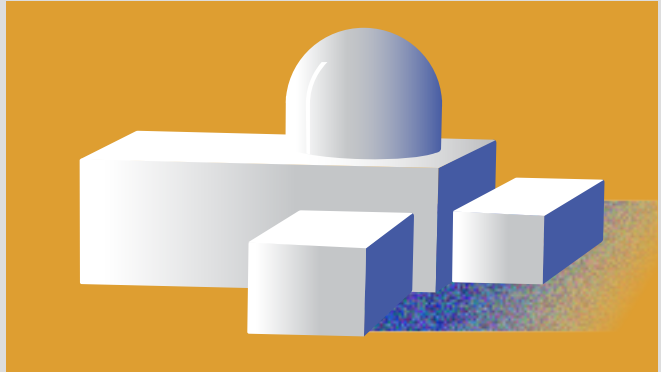
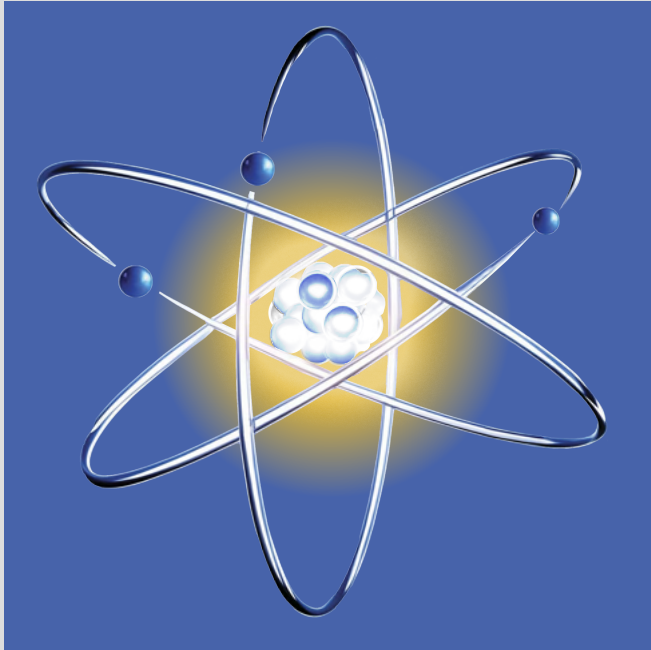


22



# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향



## 원전산업 중장기 발전 전략

박석빈

서울대원자력정책센터 연구위원



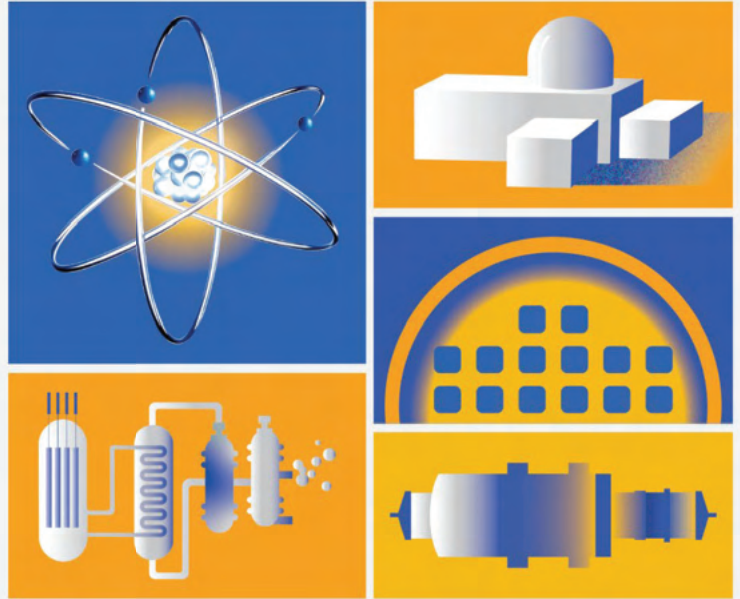


# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

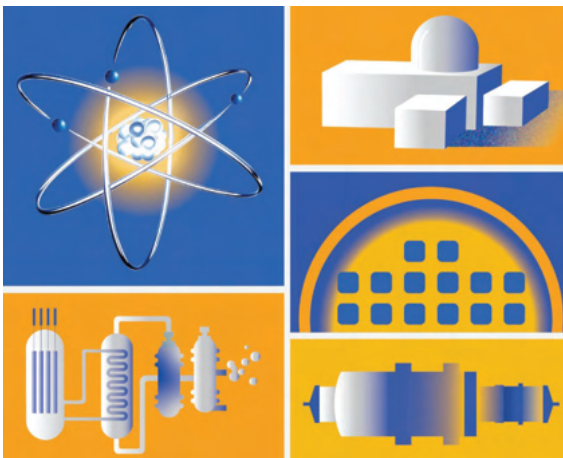
## 원전산업 중장기 발전 전략

2025. 3. 6.

박석빈 서울대원자력정책센터 연구위원  
h107626@snu.ac.kr



## 목 차



- I. 연구 목표 및 필요성
- II. 원전산업 발전 전략 현황 조사·분석
- III. 2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발
  - > 대형원전 기술개발전략
  - > 다양성, 민간 참여를 고려한 SMR 기술개발방안
- IV. 원전수출을 통한 원전산업 발전 전략
  - > 한미 동맹 강화를 통한 수출 증대
  - > 수출 저변 확대를 위한 원전 도입국과의 국제협력
- V. 현행 사용후핵연료 관리 개선 방향
- VI. Next Step

# 01. 연구 목표 및 필요성

## 01 연구 목표 및 필요성

### □ 연구 목표

- 원전산업분야의 기술개발, 산업정책 분야 발전전략을 수립하여 정부가 금년 중에 작성하는 ‘합리적인 탄소중립 달성을 위한 2050 원전 중장기 로드맵’에 참고자료로 제공

### □ 연구 필요성

- 원전산업은 장기간에 걸쳐 추진되는 사업으로 **정부의 정책에 좌우되며 정책적 지원이 필요한 산업임**
- 외국의 경우도 원전산업을 주도하는 주체는 다르나 **정부가 R&D 자금 및 인센티브 제도 등 정책적 지원**
  - 러시아, 중국은 정부나 준 정부 성격의 기관이 주도, 프랑스는 공공기관(EDF)이 주도하고 미국, 일본은 민간기업이 주도
- 사업시행 기간이 길어서 **중장기적 정책이 선행되어야 하는 산업**
  - 원전 건설은 부지확보부터 15년, 원자로 개발은 설계 검증 과정 등을 포함한 10년, 사용후핵연료관리는 공론화부터 30년 이상 소요
- 지난 정부의 탈 원전정책** 등으로 최근에는 원자로개발전략 등 **원전산업정책이 거의 부재한 상태임**
  - 원전 APR+ 이후 대형원전의 원자로 개발전략이 부재하고 원전기술개발계획(NuTech)은 2010년 NuTech-2012 수립 이후 유명무실화
- 국정과제인 **원전최강국 건설을 위해 원전산업 지속성 제고 및 주력 수출산업 도약을 위한 중장기 발전 전략 모색이 필요함**
  - 중장기적인 대형원전 및 SMR 개발 등 기술개발 전략과 원전 산업계의 생태계 복원을 포함한 중장기 원전산업 발전전략이 요구됨

## 01 연구 내용

- **이제까지의 원전산업 발전 전략 수립 현황 조사·분석**
  - 원전 기술 자립, 차세대 원전 개발, SMR 등 원자로형 전략
  - NuTech-2015 등 원전산업 기술개발 전략
  - 원전수출 추진 경위 및 추진 전략과 해외 주요국 원전산업 정책 동향
  - 사용후핵연료 관리계획 등 기타 원전산업 전략
- **2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발 방안 수립**
  - 대형 원전 기술개발 전략 방안 제시
  - 다양성, 민간 참여를 고려한 SMR 기술개발 방안 제시
- **원전수출, 사용후핵연료 관리 등 원전산업 발전 전략 제시**
  - 원전수출 본격화 대비 수출 전략 방안 검토 및 원전산업 민간 참여 활성화 방안 제시
  - 현행 사용후핵연료 관리 기본계획 개선 방안 검토
- **한미동맹 강화 등 국제협력 방안 검토**
  - 한미동맹 강화를 통한 수출 증대 방안
  - 수출 저변 확대를 위한 원전 도입국과의 국제협력 방안

## 02. 원전산업 발전 전략 수립 현황 조사·분석

## 02 원전 기술자립

### • 경위

- 원전 기술자립 핵심 계획(표준원자력발전소 설계 사업 추진계획) 확정
- 한빛 3, 4호기 건설을 국내업체 주도형으로 전환, 국내업체에 기술이전하는 외국기업을 협력업체로 선정하도록 발주 방식 변경 결정
- 10년 안에 95% 기술자립 달성 목표 제시
  - ✓ 플랜트 설계(한국전력기술), 원자로 계통설계 및 경수로 핵연료 설계와 중수로 핵연료 제작(한국원자력연구원), 원자로 및 터빈 등 주기기 생산 설계 및 제작(두산에너지빌리티), 경수로 핵연료 제작(한전원자력연료), 사업 총괄관리(한국전력)로 업무 분장하여 기술자립
  - ✓ (전력그룹협력회) 구성 - 한전사장 대표, 관계 기관의 장들로 구성하여 상호 협력
- 개선형 표준 원전 개발
- 차세대 원전 개발
- 원전기술발전방안(Nu-Tech 2012) 등의 후속 업무

**원자력 기술자립 목표 달성 및 해외에 원전수출까지 한 원자력 모범 국가로 자타가 인정하는 위치에 도달**

## 02 독자기술 확보

• **APR+ 원전 기술은, 사업추진 방향의 주요 사항인 기술고유화가 달성된 것으로 평가**

• **APR+의 건설 및 수출 등과 관련하여 WEC로부터 지적재산권 관련 어떠한 이의제기도 있을 수 없는 고유노형 기술로 규정 필요**

## 02 한국 원전수출 전략

### • 한국 원전수출 SWOT 분석

<p><b>S(강점)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국제적으로 안전성/경제성/건설성이 입증된 노형 보유</li> <li>• 풍부한 경험을 가진 자체 supply chain 보유</li> <li>• UAE 원전수출 성공 사례</li> <li>• 경쟁국 대비 금융조달 능력 열세</li> </ul>	<p><b>W(약점)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 에너지전환정책으로 국내 원전건설 중단</li> <li>• 한국에서 건설 중단된 원전의 해외홍보에 대한 당위성 부족</li> <li>• 수출 가능한 공급범위 한정적</li> </ul>
<p><b>O(기회)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 저탄소 에너지원 필요성 증대</li> <li>• 에너지수요의 지속적 성장(신흥국)</li> <li>• 중소형원전 시장 수요 점진적 증가</li> <li>• 원전 운영/정비기술 고도화 필요 증가</li> <li>• 노후 및 폐로 원전 점진적 증가</li> <li>• 서방 일부 공급사의 사업환경 악화</li> </ul>	<p><b>T(위협)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 러시아, 중국 등 정부가 강력히 지원하는 경쟁국들의 공격적 수주 추진</li> <li>• 원전 안전성 강화 요구 증대 세계적 추세</li> <li>• 신규원전 도입국의 패키지딜 요구 증대</li> <li>• 국내 원전건설 중단에 따른 supply chain 붕괴 우려</li> <li>• 우수 원전력의 이탈 증가 및 신규유입 감소</li> </ul>

## 02 한국 원전수출 전략

### • SWOT 분석에 따른 전략 방향

- **【SO전략】** 선택과 집중의 역량발휘 - 해외 신규원전 건설사업 참여 적극 추진
- **【WO전략】** 수출상품 다양화 및 신규사업기회 포착 - 원전의 운영 및 정비기술 활용사업 개발
- **【ST전략】** 위협요인의 전략적 극복 및 미래대비 철저 - 해외 유력 관련사와 전략적 제휴 강화
- **【WT전략】** 수출경쟁력 강화를 위한 취약점 보완 - 사업 금융조달 역량 확보 및 강화

### • 전략 제안

- 전 세계적인 저탄소 에너지원에 대한 수요 증가로 해외 원전시장의 확대 예상
  - ✓ 일부 국가에서 신규원전 건설과 노후원전의 대규모 유지정비 등 수요 발생
- 안정된 원전산업 기반 하에, 국내외 원전건설/운영 경험, 적기건설 능력의 강점 홍보
- 금융조달 능력 등 약점 보완
- 강화된 통합역량의 우수성 전파
- 선진 원전공급국(특히 미국)과의 전략적 제휴를 통한 선택과 집중 전략 구사

## 02 독자 수출의 한계

- 아직 우리나라는 농축과 재처리를 하지 않는다는 자발적 비핵화 선언에 따라 **해당 기술의 기술이전 불가능**
- 농축과 재처리 이외의 기술은 모두 자립한 것으로 평가되나, 동 핵심기술의 이전 때에도 기술보유국들이 함께 합의한 **원자력공급자그룹 가이드라인은 준수 필요**
- 이는 기술의 이전 시, 외교 수준의 국제 협의 필요
  - 원전수출과 관련된 기술이전 시, **미국과의 적극적인 협의 필요**
    - ✓ 미국 기업과의 동반진출이 전략적으로 필요
  - **APR+**는 미국수출통제대상이 아닌 **우리의 독자기술**
    - ✓ 미국정부와 우리나라 정부가 정부간 협의에 따라 원전수출 방향성 결정 필요

## 03. 2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발



### 03 2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발

#### • 대형원전의 장점

##### ➢ 저렴한 발전 단가

- ✓ 화전 대비 연료비가 낮고 변동성이 적어, 운영 중 발전 단가 낮음.
- ✓ 규모의 경제를 통해 단위 발전 비용이 더 감소하는 경향 존재.

##### ➢ 장기적 안정성

- ✓ 원전 가동 시, 40~60년 이상의 장기 운전 가능하여, 안정적인 전력 공급 가능.
- ✓ 연료(우라늄) 조달 비용(발전 비용에서 차지하는 비중) 및 글로벌 에너지 가격 변동 영향 적음.

##### ➢ 대규모 전력 공급

- ✓ 고출력 용량(1,000MW 이상)으로 전력망 안정화 및 대규모 산업 수요 충족에 효과적.

##### ➢ 온실가스 배출 저감

- ✓ 발전 과정에서 CO2를 거의 배출하지 않아, 탄소중립 목표 달성을 위한 친환경 에너지원

#### • 대형원전의 현안

##### ➢ 높은 초기 투자비 및 리스크

- ✓ 설계, 건설, 인허가 절차에서 막대한 비용(수십억~수백억 달러)이 필요.
- ✓ 프로젝트 지연이나 규제 강화로 인해 초기 비용이 증가할 위험 존재.

##### ➢ 사회적 비용

- ✓ 원전에 대한 사회적 수용성이 낮을 경우, 프로젝트가 지연되거나 추가적인 보상비용 발생 가능.



### 03 2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발

#### • 국가별 대형원전 운영 사례 비교

##### ➢ 프랑스

- ✓ 대형 원전을 주력 에너지원으로 사용하며, 전력 생산 단가 낮게 유지
- ✓ 신규 원전 건설 프로젝트(예: 플라망빌 원전)에서 비용 초과와 일정 지연 문제 발생

##### ➢ 미국

- ✓ 기존 원전의 수명 연장을 통해 경제성 극대화 달성
- ✓ 신규 원전 건설에서는 경쟁력 저하 경험

##### ➢ 한국

- ✓ 원전 기술(APR1400 등) 개발과 운영 경험을 활용해 비교적 저렴한 단가로 원전 운영
- ✓ 경쟁력 있는 원전수출(예: UAE 바라카 원전)

#### • 대형원전 경쟁력 제고 방안

- 기술 혁신: 혁신적인 기술개발로 초기 투자비와 운영비 절감.
- 프로젝트 관리 개선: 건설 일정 단축 및 비용 관리 최적화.
- 폐기물 관리 솔루션 강화: 방사성 폐기물 처리 기술의 효율성 증대.
- 탄소 가격 정책 활용: 온실가스 감축에 따른 원전의 경제적 가치를 높이는 정책 도입.

### 03 2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발

• 전세계 신규 대형원전 건설의 경제성 수치 비교

항목	미국	핀란드	프랑스	중국	한국
사업명	Vogtle 3&4	Olkiluoto Unit 3	Flamanville Unit 3	Hualong One	신한울 1&2호기
원자로 유형	AP10000	EPR	EPR	중국 자체 개발 PWR	APR1400
초기 예상 비용	~ 140억불	~ 32억 유로	~ 33억 유로	비공개	~60억불
최종 예상 비용	300억불 이상	~ ~ 110억 유로	120억 유로 이상	비공개	~60억불
특이사항	건설 지연 및 비용 증가	기술 문제 및 규제 강화로 지연 발생	건설 지연 및 비용 초과	표준화 설계 및 대량 생산을 통한 비용 절감	건설기간 및 비용 준수

### 03 2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발

• 국가별 원전 발전단가 구성 비교

노형	국가	원자로	착공 연도	초기 건설소요 예정 기간(년)	실제 건설소요 기간(년)	출력 (MWe)	초기 건설비용 예산 (USD/KWe)	실제 건설비용 (USD/KWe)
AP 1000	중국	Sanmen1,2	2009	5	9	2 × 1000	2044	3154
	미국	Vogtle 3,4	2013	4	8/9*	2 × 1117	4300	8600
APR 1400	한국	신고리 3,4	2008	5	8/10	2 × 1340	1828	2410
EPR	핀란드	Olkiluoto 3	2005	5	16*	1 × 1630	2020	> 5273
	프랑스	Flamanville 3	2007	5	15*	1 × 1600	1886	8620
	중국	Taishan 1,2	2009	4.5	9	2 × 1660	1960	3222
VVER 1200	러시아	Novovoronezh II 1,2	2008	4	8/10	2 × 1114	2244	**

\* 추정치, \*\* 자료 부재

자료 : Projected Costs of Generating Electricity, 2020, Edition

## 03 2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발

### • 기타 영향 비교

#### ➢ 금융비용

- ✓ 서구권: 높은 금리와 민간 투자 의존도로 금융 비용 상승
- ✓ 아시아권: 정부 지원과 낮은 금리로 금융 비용 절감

#### ➢ 규제 환경

- ✓ 서구권: 복잡한 규제로 인한 비용 및 시간 증가
- ✓ 아시아권: 상대적으로 유연한 규제로 신속한 진행 가능

### • 종합

- 대형 원전의 경제성은 기술 표준화, 건설 경험, 규제 환경, 금융 구조 등에 따라 크게 달라짐.
- 한국과 중국은 효율적인 프로젝트 관리와 정부 지원을 통해 경제성을 확보하고 있으며, 미국과 유럽은 비용 초과와 지연으로 어려움을 겪고 있음.

### • 대형원전의 경제성과 원전수출의 연계

- 우리의 대형 원전은 경제성과 기술적 우수성을 인정받아 원전 수출에서도 성과 진행중.
- 원전 수출은 정치적, 경제적, 그리고 외교적 요인에 따라 복합적인 과제임.
- 맞춤형 협력 모델 개발
- 국제 협력 네트워크 확대(예: 한.미 공동 진출)

## 03 2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발

### - 다양성, 민간 참여를 고려한 SMR 기술개발방안

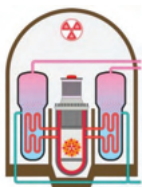
#### • SMR로의 전환 필요성

#### ➢ 대형 원전 경제성 악화

- ✓ 건설비와 금융 비용 상승: 최근 대형 원전 프로젝트에서 비용 초과와 건설 지연이 빈번하게 발생.
- ✓ 사회적 수용성 감소: 대형 원전 건설에 대한 환경 및 안전 문제 우려로 공공의 지지가 악화.

#### ➢ SMR의 장점

- ✓ 경제성: 소규모로 생산과 조립이 가능해 초기 투자비와 건설 기간을 줄일 수 있음.
- ✓ 유연성: 전력망이 부족하거나 대규모 발전소가 부적합한 지역에 적합.
- ✓ 안전성: 자연 대류를 이용한 수동 냉각 시스템 등 혁신적 기술로 사고 위험 감소.
- ✓ 다목적 활용: 발전 외에도 수소 생산, 지역난방, 해수 담수화 등에 활용 가능.



대형 원전 주  
기기  
및 격납건물

SMR

(Small Modular Reactor)

\*약 100분의 1이하  
수준으로 축소

### 03 2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발

#### - 다양성, 민간 참여를 고려한 SMR 기술개발방안

##### • SMR로의 사업 대체 예상 시점

- **국내 시점:** 2035년 이후, 대형 원전 프로젝트의 감소와 SMR의 점진적 대체.
  - ✓ 신규 대형 원전 건설은 제한되고, 노후 원전 해체 이후 SMR이 주요 대안으로 자리잡을 가능성.
- **글로벌 시점:** 2030~2040년, SMR 시장 확대 및 2040년 이후 SMR이 전 세계 원전 시장의 주류로 전환.

##### • SMR로의 전환을 위한 과제

- **기술 개발 / 정책 및 규제 지원 / 시장 창출 / 기존 대형원전과의 균형**
- **SMR의 기술 발전 및 상용화**
  - ✓ 표준화와 대량 생산 / 연료 및 운영 비용 절감
  - ✓ 대형 원전의 경제성 하락: 건설 비용 증가, 폐기물 관리 및 해체 비용 증가, 사회적 수용성 감소
- **시장 요구 변화**
  - ✓ 유연성의 중요성 증가 / 다목적 활용
- **정부 및 글로벌 지원**
  - ✓ 탄소중립 목표를 달성하는 데 중요한 기술로 인식되고 있어, 정부와 국제 사회의 지원 확대 가능.
  - ✓ 금융 지원과 정책적 우대는 SMR의 경제성 제고 가능

### 03 2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발

#### - 다양성, 민간 참여를 고려한 SMR 기술개발방안

##### • SMR이 대형 원전을 추월할 시나리오

- **기술 및 비용 격차 감소:** 상용화 성공, 생산 규모 확대를 통한 비용 절감 효과
- **전력망 구조 변화:** 분산형 에너지 시스템 확대
- 정책 및 시장 지원
- 대형 원전 신규 건설 감소

##### • 현실적 제약 요인

- SMR 기술 상용화 지연 가능성
- 재생에너지와의 경쟁
- 사회적 수용성

### 03 2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발

#### - 다양성, 민간 참여를 고려한 SMR 기술개발방안

- SMR 개발 현황: IAEA ARIS Database: 총 68종

- 경수로 22종: 육상 14, 부유식 6, 초소형원자로 2
- 비경수로 46종: 고온가스로 14, 용융염 11, 액체금속냉각고속로 10, 초소형 11

- 대표적인 SMR: SMR 전문 기관 중복 선정 모델(\*)

Name	Design Organization	Coolant	Moderator	Design Status	Type	Net Power (MWe)
Aurora	Oklo	Liquid Metal	-	Detailed Design	Others	15.5
BWRX-300	GE-Hitachi	H2O	H2O	Detailed Design	BWR	300
Natrium	Terra Power	Na	-	Detailed Design	SFR	345
NuScale	NuScale Power	H2O	H2O	Regular Review	PWR	77
SMR-300	Holtec	H2O	H2O	Detailed Design	PWR	300
Xe-100	X-energy	He	Graphite	Basic Design	GCR	82.5

(\*) UxC(2020.8), DOE(2021.3), The Breakthrough Institute(2023.7), BIS Research(2024.12), C3(2024.12), Small-Modular Reactor.org(2025.1)

### 03 2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발

#### - 다양성, 민간 참여를 고려한 SMR 기술개발방안

- 국내 민간 기업 SMR 투자 상황

외국 SMR 기업	국내 기업	투자 현황 (단위: 달러)	사업 협력 현황
Terra Power	SK(주) SK 이노베이션	2억 5000만	국내와 동남아 등에서 상용화 사업 공동 추진 계획
	HD 한국조선해양	3000만	용융염 원자로 공동개발 위한 기술 교류
NuScale	두산에너지빌리티	1억 4000만	모델 제작성 검토 참여, 기자재 제작 준비 등
	삼성물산	1억 400만	SMR 활용 수소생산 연구 및 실용화 연구 협력
X-energy	GS 에너지	4000만	울진 산단 사업 타당성 검토
	두산에너지빌리티	500만	주기기 제작 설계 용역 계약 체결, 주기기 제작 방안 및 설계 최적화 방안 연구, 시제품 제작 등 수행 중
	DL 이엔씨	2000만	글로벌 SMR 플랜트 사업 개발 추진 중

➢ 기타:

- ✓ 삼성중공업 & 덴마크 Seaborg: 부유식 SMR 공동 개발
- ✓ 현대건설 & 미국 Holtec: SMR-160 Palisades 부지 건설 착수 계획

### 03 2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발

- 다양성, 민간 참여를 고려한 SMR 기술개발방안

• 국내 민간 기업 SMR 사업 참여 유도

- **정부의 일관된 SMR 관련 정책:** SMR 개발 로드맵 지속, 관련 제·개정 필요
- **친 SMR 전력시장:** 재생에너지 PPA 적용 SMR 생산 전기로 확대
- **개선된 인허가 과정:** SMR 선진국 인·허가 제도 적극 도입
- **정부 재정 지원 확대**(아래 (예) 참조)
  - ✓ **미국 ARDP:** 기업과 매칭펀드식 지원, 지식재산권 기업에 할당
  - ✓ **영국:** SMR 컨소시엄 구성(8개 민관단체), 2019년 이후 5억2300만 파운드 지원
  - ✓ **캐나다:** 정부와 민간 사업자간 위험분배, 해외 개발사 실증로 건설 자금 지원

### 03 2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발

- 다양성, 민간 참여를 고려한 SMR 기술개발방안

• 국내 민간 기업 SMR 사업 방식

- **독자 모델 개발:** 현재 기술 수준, 자원 등 문제
- **i-SMR 개발 참여:** 지적재산권 문제 선결 필요
- 해외 선진 SMR 개발사에 투자 참여
- **EPCM:** Engineering, Procurement, Construction, Management
- **SMR 활용 산업:** 수소생산, 지역난방 등 집단에너지사업, 탄소중립도시 사업 등



## 04. 원전수출을 통한 원전산업 발전 전략

### 04 원전수출을 통한 원전산업 발전 전략 - 한미 동맹 강화를 통한 수출 증대

#### • 원전산업 증장기 발전 전략의 방향

##### ➤ 시장 주도 전략(시장이 최고)

##### ➤ 국가 정책의 명확성과 투명성 확보

- ✓ 예) 일본의 SFR 건설 지속과 MOX 핵연료 사용을 위한 Hugen 원전 건설 사업의 추진  
→ 핵연료 주기의 자립 추진, 미국과의 협상에 활용

##### ➤ 기술력 확보 이후에 외교 협상

##### ➤ 농축 및 재활용 방향

- ✓ 우크라이나/러시아 전쟁 여파로 HALEU 핵연료 부족 발생
- ✓ 다수의 SMR은 HALEU 필요
- ✓ 이러한 환경의 변화를 농축 산업 확보에 활용
- ✓ 방사광/중이온 가속기 기술의 발전과 연결된 재활용 방안의 강구
- ✓ 전 단계 파이로 프로세스와 가속기 변환 기술의 접목을 통한 핵연료 주기의 완성 추진

## 04 원전수출을 통한 원전산업 발전 전략 - 한미 동맹 강화를 통한 수출 증대

### • 원전산업 중장기 발전 전략의 방향

#### ➤ 미국이 필요로 하는 기술과 자원의 제시

- ✓ 논리보다는 실리를 앞세우는 트럼프 정권이 정책과 부합되는 정책의 추진
- ✓ 일본이 미국에 노력한 수준 정도의 협력 노력
- ✓ 원전 도입국과 원자력 협력 협정의 체결 시, 미국이 중시하는 AP 요건의 준수 명기
- ✓ 미국 필요 핵심 분야 공유를 통한 협력 정책 수립 후 전략 전개
- ✓ 조속한 한·미 원자력 고위급 회담의 정상화

#### ➤ 상시 일관된 입장에서 미국과 협의할 수 있는 기구 상설화

- ✓ 외교 채널 100% 활용 범위
- ✓ 종합관리(장기 관리 포함) 수준
- ✓ 여론 조사(예: 핵무장) 프레임에 대한 수정
- ✓ 일본 사례 철저 분석 및 Benchmarking

## 04 원전수출을 통한 원전산업 발전 전략 - 수출 저변 확대를 위한 원전 도입국과의 국제협력

- 원전수출 **Road Map** 수립(2050년까지)
- 원전수출 산업화 **Working Group** 구축 (원전 수출국은 대상이 아님)
- 120GW 시장 규모의 **20% 정도 수주 목표** 제안
- **경제성 확보** 추구가 최우선 정책 방향
- EPC 수준의 프로젝트도 중요하지만, 정비 및/또는 중소기업을 위한 원전 시장 구축도 필요

## 05. 현행 사용후핵연료 관리 개선 방향

### 05 현행 사용후핵연료 관리 개선 방향

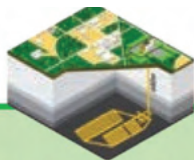
- 미국 사용후핵연료 관리 현황
- 우리나라 사용후핵연료 관리 현황
- 국내 사용후핵연료 현안 진단 / 대응 방안
- 차세대 원자로 사용후핵연료 관리

## 05 미국 사용후핵연료 관리 현황

- 수십 년 동안 사용후핵연료(SNF)를 매우 정밀하게 추적하면서, 생활 환경으로부터 격리된 상태로 안전하게 관리해 왔음. SNF는 현재 원전 부지 내의 시설에 보관되어 있지만, 장기 보관을 위해 기존의 접근 방식 뿐만 아니라 새로운 접근 방식도 지속적으로 모색하고 있음. 생산되는 에너지 양에 비해 SNF의 양이 상대적으로 적기 때문에 원자력 에너지 생산을 크게 확대하고, SNF를 안전하게 관리하자는 정책을 유지함.
  - **안전성:** 상업용 SNF는 수십 년 동안 미국에서 안전하게 보관되어 왔으며, 35개 주에 보관되어 있는 상업용 원자력 연료로 인해 피해를 입은 사람은 없음.
  - **양:** 미국에서 생산되는 SNF의 총량은 에너지 부문의 다른 부분에서 발생하는 폐기물과 비교할 때 매우 적으며, 생산되는 에너지의 양과 비교할 때도 매우 적음. 65년 이상의 운영 기간 동안 미국 원자력 산업 전체가 약 90,000톤의 SNF를 생산했는데, 이는 풋볼 경기장 한 개를 약 10야드 깊이로 덮을 수 있는 양임. 반면, 석탄 화력 발전소는 매년 1억 톤 이상의 석탄재를 생산함.  
(예) 한 사람이 평생 동안 소비하는 전력량에 해당하는 원전으로 생산되는 SNF의 양은 캔 음료수 한 개로 채울 수 있는 양임.
  - **관리:** SNF는 현재 미국 전역의 원자로 부지에 건식 캐스크 또는 습식 저장고에 안전하게 보관되어 있으며, 정밀하게 추적 및 관리되고 있음. 따라서 관련 원자력 산업은 폐기물의 모든 측면을 모니터링 및 관리하고, 그것이 대중에게 부정적인 영향을 미치지 않도록 하는 데 전적으로 책임지는 유일한 산업임.

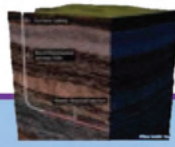
## 05 미국 사용후핵연료 관리 현황

- **SNF 처분의 방식**
  - 현재 미국의 SNF 관리 시스템은 안전하고 효과적이지만, 단기 및 중기적 해결책에 불과함. 원자력 폐기물정책법(NWPA)에 따라 미국 에너지부(DOE)는 상업용 원전 부지에서 나온 폐기물을 장기 저장 시설에 보관할 책임이 있음. DOE는 아직 이 책임을 구현하지 못하고 있으나, SNF는 결국 영구적인 저장 시설에 보관되어야 함. SNF를 안전하고 영구적으로 처리하는 데 도움이 되는 해결책이 이미 존재하고 있으며 다음과 같은 방법이 있음



### Geological Repositories

A geological repository is an underground facility designed for safe permanent disposal of SNF. Geological repositories are being implemented in several countries, including **Finland and Sweden** through successful consent-based siting implementation



### Deep Boreholes

Deep borehole technology would use advanced drilling techniques to safely store SNF deep underground in multiple boreholes. These boreholes could be easier to site and can be placed much deeper underground than mined repositories. Private companies like Deep Isolation, which recently received funding from ARPA-E, are already exploring this innovative solution.



### Recycling

DOE is investing heavily into two SNF recycling programs to reduce the total amount needed to be stored and to provide fuel for advanced reactors. These include Optimizing Nuclear Waste and Advanced Reactor Disposal Systems (ONWARDS) and Converting SNF Radioisotopes Into Energy (CURIE). Projects within CURIE were recently **awarded \$38 million in funding**.

## 05 미국 사용후핵연료 관리 현황

### • 임시 저장소(Interim Storage)

- ▶ 영구적인 해결책은 아니지만, DOE는 하나 이상의 임시 저장 시설을 설립하는 방안을 고려하고 있으며, 임시 저장소를 선정할 때 사용할 consent-based siting process를 개발하는 과정에 있으며, 2023년 12월 대학, 비영리 단체, 민간 부문 단체를 대상으로 2,600만 달러의 기금을 지원하는 consent-based siting process 컨소시엄을 설립했음.

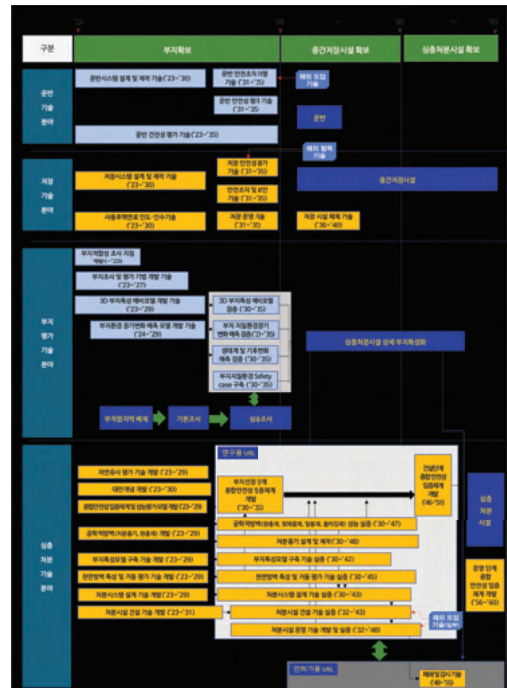
### • Consent based siting process

- ▶ 사람과 지역사회의 참여와 필요를 우선시하고, 지역사회에서 프로젝트를 수용하기 위한 정보에 입각한 동의를 구하는 시설 입지 선정 접근 방식임
- ▶ DOE는 의미 있고 포괄적인 대중 참여를 가능하게 하고, 지역사회의 복지와 필요를 해결하며, 형평성과 환경적 정의를 핵심 가치로 삼는 하나 이상의 연방 통합 임시 저장 시설을 입지 선정하는 데 동의 기반 접근 방식을 확고하게 적용하고 있음
- ▶ 유연하고, 반복적이며, 적응력이 있어야 하고, 지역사회의 우려에 부응할 수 있어야 함. 따라서, 동의 기반 부지 선정 과정은 지역사회, 원주민, 지방, 주, 연방 차원의 선출직 공무원, 기타 이해관계자들과의 지속적인 교류를 통해 발전하고 강화 될 것임
- ▶ 건강과 안전의 우선순위화 -> 경적 책임 -> 규제 요건 -> 원주민과의 가치 관계 -> 환경적 정의 -> 정보에 입각한 참여 -> 동등한 대우와 영향에 대한 완전한 고려 -> 지역사회의 복지 -> 자원봉사 및 철회할 권리 -> 투명성 -> 단계적이며 협력적인 의사 결정
- ▶ 세 가지 광범위한 단계에 걸쳐 단계적으로 진행
  - ✓ 계획 및 역량 강화(2-3년)
  - ✓ 사이트 심사 및 평가(4-7년)
  - ✓ 협상 및 실행 단계 (운영까지 4-5년)

## 05 우리나라 사용후핵연료 관리 현황

### • 고준위 방사성폐기물 R&D 로드맵

- ▶ 산업통상자원부(2022.7.20)R&D 로드맵('23~'60)은 운반, 저장, 부지, 처분 등 고준위 방폐물 관리 4대 핵심분야에 대해 ①요소기술, ②국내 기술수준, ③기술개발 일정.방법, ④소요 자원 등 포함.
- ▶ 104개 요소기술과 343개 세부기술 확보에 1.4조 원(방폐기금) 투자



## 05 국내 사용후핵연료 현안 진단 / 대응 방안

### • 현안 진단

- 정책적 차원에서, 임시저장 이후 **중간저장, 처분** 등 정부의 계획은 있지만, 아직 관리 사업 미착수
- 신규원전 도입국, EUR Rev.E(APR1000) 인증 시 국내 **사용후핵연료 관리 기술 수준** 문의와 확인 요청이 있었으나 대응할 만한 **전략 체계 미흡**
- 기술적 차원에서, 저장, 처리 및 처분에 필요한 제반 핵심 기술들이 개발되고 있으나, 국민 신뢰 확보를 위해 **실규모에서의 실증이 필요**
- **사용후핵연료 관리 부담 최소화**와 원자력 지속가능성 담보를 위해 안전성 확보와 함께 경제적 **효율성 고려**도 필요
- **고준위 방폐물 처분**이 원자력이 **녹색에너지원**으로 인정받기 위한 조건 중 하나로 제시되면서, 국내 처분 사업 일정에 **영향을 줄 수 있는 변수**(특별법 제정 무산, 2050 탄소중립, EU-Taxonomy, EU의 탄소국경조정세 도입 등)가 많아짐
- 사용후핵연료 관리 사업에 필요한 안전성평가 및 인허가 획득을 위해 **사용후핵연료 특성평가 자료가 필요**하나 관련 사업이 착수되지 못함

## 05 국내 사용후핵연료 현안 진단 / 대응 방안

### • 대응 방안

- (법적 측면) 사용후핵연료 관리에 관한 **특별법 제정 필요**
- (정책 측면) **원전부지 내 건식저장시설 건설이 지연될 경우에 대비한** 해외 위탁재처리 정책 및 **처리 기술의 실증**을 위해 **미국의 장기동의 확보** 필요
- (기술 측면) '24년 2월 원진위 승인 고준위 방폐물 관리 **R&D 로드맵의 충실한 이행 및 주기적 갱신** 필요
  - ✓ 관리 단계별 사용후핵연료 인도/인수 요건 수립과 사용후핵연료 **특성평가 체계** 구축 추진 필요
  - ✓ DPC 활용 등 **운반·저장을 유기적으로 연계한** 관리 옵션 제시
  - ✓ 현재와 미래의 고준위 방폐물을 하나의 처분시설에 처분할 수 있도록 **부피, 열부하 저감을 위한 처리 기술개발** 추진
  - ✓ 처분 선도국 경험 활용, 실증 집중 기술/실증 병행 기술 등을 구분한 기술개발 추진 등 효율적인 기술개발을 추진하고 **연구용 URL을 적극 활용하여 처분 일정을 앞당기기 위한 노력** 필요
  - ✓ **고효율 처분시스템의 공학규모 및 현장시험 통한 검증** 추진
- (재정/인력 측면) **연구용 URL의 조속한 확보**를 위해 방폐기금 및 원기금 적극 활용, **전문인력 양성 및 안정적 수급 방안 마련** 필요



## 05 국내 사용후핵연료 현안 진단 / 대응 방안

### • 대응 방안

- 고준위방폐물관리특별법에 대한 요구

### • 특별법은 다음 사항들을 고려하여야 함

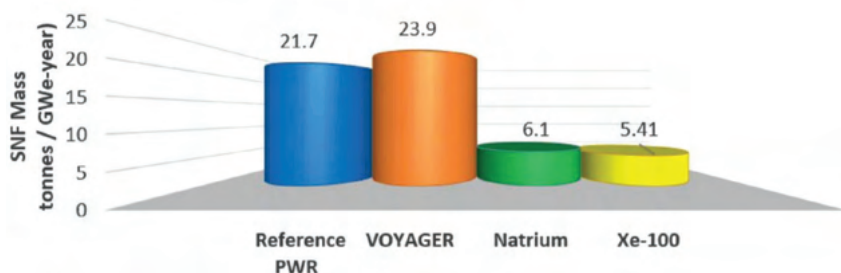
- 해당 법은 원전 지속가능성 제고와 2050 탄소중립 현실화 등의 현안 해결에 도움을 주어야 함  
해당 법의 주목적은 관리시설 부지의 원활한 선정이므로 부지 선정에 필요한 항목들이 포함되어야 함
- 해당 법은 고준위 방폐물 관리에 관한 2차례 공론화의 결과가 반영되어야 함

### • 특별법에 대한 요구

- 관리시설 부지 선정 절차와 주체, 유치 지역 지원 방안 포함  
관리정책 결정 및 시행을 위한 독립적 행정위원회 신설 방안 포함
- 원전 부지 내 임시저장시설의 용량 제한에 관한 항목 삭제
- 원전 부지 지역주민 및 국민의 신뢰성 확보를 위해 고준위 방폐물 관리 일정에 관한 마일스톤 포함  
수용성 제고를 위해 고준위 방폐물 안전 관리를 위한 연구개발 지원 의지 포함

## 05 차세대 원자로 사용후핵연료 관리

- 차세대 원자로에 대한 다른 기회를 제공함. 오클로의 Aurora Power House 원자로와 같은 수많은 차세대 원자로에 기존의 SNF 비축물에서 재활용된 연료를 사용함.
- 또한, 차세대 원자로에 일반적으로 더 높은 효율성과 더 나은 핵연료 활용을 제공하여, 생산되는 에너지 단위당 SNF가 생성 비율을 줄이고 있음.
  - 아르곤 국립연구소와 국립 아카데미의 최근 연구에 따르면, SMR과 MMR에서 생산되는 SNF의 양은 기존 원자로에서 생산되는 양과 비슷할 것으로 나타났음.
  - 아래 표는 아르곤 국립 연구소 연구에서 분석된 여러 SMR에서 생산된 SNF의 부피와 질량을 기존 PWR과 비교한 것임. 각 SMR의 SNF 양은 고유한 설계에 따라 다르지만, 일반적으로 참조 PWR과 비슷하거나 훨씬 적음



## 05 차세대 원자로 사용후핵연료 관리

- 차세대 원자로 역시 녹색에너지원으로 인정받기 위해서는 고준위 방폐물의 안전한 처분이 전제.
- 다양한 차세대원자로 SNF는 물리적 및 화학적으로 적절한 처리 후, 안전한 관리 가능
- 하지만 우리나라는 현재 차세대 원자로 개발 관련, 핵연료주기 관리기술 개발 미고려로 관련 기술 부재

- (기술 측면) **선진원자로 개발 단계부터 다양한 사용후핵연료 특성별**

- 맞춤형안전관리를 위한 **기술개발 로드맵 수립 및 이행**

- ✓ 선진원자로 사용후핵연료 및 방폐물 처분시스템 개발 병행이 필요하며, 이를 위해선진원자로 기원 방폐물 특성 분석과 처분 예비개념 개발 추진
    - ✓ 선진원자로 사용후핵연료 및 고준위 방폐물의 안전 처분을 위한 처리 기술 개발 추진
    - ✓ √ 다양한 농축도에 따른 선진원자로 사용후핵연료(LEU+, HALEU)의 운반, 저장, 처분에 미치는 영향 평가
    - ✓ √ 향후 개발될 선진원자로의 연료 관련, 중장기 차원에서 자체 공급 방안이 필요할 것이므로, 국내 HALEU 대용 연료 자체 생산 옵션 확보

- (정책 측면) **비경수형 선진원자로 사용후핵연료 처리의 국내 실증을 위해**

- 미국의 장기동의 확보 필요

## 05 차세대 원자로 사용후핵연료 관리(제언)

- 차세대 원자로 역시 녹색에너지원으로 인정받기 위해서는 고준위 방폐물의 안전한 처분이 전제.
- 다양한 차세대원자로 SNF는 물리적 및 화학적으로 적절한 처리 후, 안전한 관리 가능
- 하지만 우리나라는 현재 차세대 원자로 개발 관련, 핵연료주기 관리기술 개발 미고려로 관련 기술 부재

- (기술 측면) **선진원자로 개발 단계부터 다양한 사용후핵연료 특성별**

- 맞춤형안전관리를 위한 **기술개발 로드맵 수립 및 이행**

- ✓ 선진원자로 사용후핵연료 및 방폐물 처분시스템 개발 병행이 필요하며, 이를 위해선진원자로 기원 방폐물 특성 분석과 처분 예비개념 개발 추진
    - ✓ 선진원자로 사용후핵연료 및 고준위 방폐물의 안전 처분을 위한 처리 기술 개발 추진
    - ✓ √ 다양한 농축도에 따른 선진원자로 사용후핵연료(LEU+, HALEU)의 운반, 저장, 처분에 미치는 영향 평가
    - ✓ √ 향후 개발될 선진원자로의 연료 관련, 중장기 차원에서 자체 공급 방안이 필요할 것이므로, 국내 HALEU 대용 연료 자체 생산 옵션 확보

- (정책 측면) **비경수형 선진원자로 사용후핵연료 처리의 국내 실증을 위해**

- 미국의 장기동의 확보 필요

## 05 원자로 사용후핵연료 관리(제언)

- 원전 내 임시저장수조 포화 문제 해결을 통한 원자력의 지속가능성 담보와 2050 탄소중립의 현실화를 위해 부지내저장 이후 관리 사업의 조속한 착수 추진 필요
- 사용후핵연료 관리에 관한 특별법 제정 필요
- 국가 차원에서 처리기술 확보를 위해 대형 핫셀 구축을 포함한 R&D 로드맵 수립 및 이행과 미국의 장기동의 확보 추진 필요
- 2024년 2월 원진위가 승인한 고준위 방폐물 관리 R&D 로드맵의 충실한 이행과 최신 동향을 반영한 주기적 갱신 필요
- 개발 중인 선진원자로의 경제성 및 수출경쟁력 확보를 위해 선진원자로 기원 방폐물 관리 기술 개발 병행 추진 필요
- 선진원자로 개발 단계부터 다양한 사용후핵연료 특성별 맞춤형 안전관리를 위한 기술개발 로드맵 수립 및 이행 필요
- 비경수형 선진원자로 사용후핵연료 처리의 국내 실증을 위한 미국의 장기동의 확보 필요

## 05 원자로 사용후핵연료 관리 (제언)

- 한미 원자력 관계 정립에 아래와 같은 핵연료 관리 정책 수립 필요
  - 20% 이하 농축 가능
  - 파이로 프로세스 추진 가능
- 중간 저장, 위탁 재처리를 포함하여 아래와 같은 사안 협의 가능한 한미

### 사용후핵연료 관리 실무협의 그룹 필요

- 한미 원자력 협정의 고위급 회담 재개 필요 (분과별 현안 협의 포함)
- 장기 동의 요구 사항 협의
  - ✓ 차세대 원자로의 SNF 관리에 대한 장기 동의 필요 여부 (본 과제의 범위 이상으로 고려되어 차기 과제에서 수행 제안)
- 파이로 프로세스 관리에 대한 정책 방향

## 05 원자로 사용후핵연료 관리 (제언)

- 최종 처분 저장 요건 완화 내용 포함 필요
- 원전산업 발전의 대전제 중의 하나로 SNF 관리 정책 필요
  - 원전 관리 위주에서 핵주기 관리 위주로 변경 필요
  - 정부 주도에서 민간 주도로 변경 필요
- 국산화 우선 정책 방향에서 Dual Track(기술, 국제 협력) 정책 필요하며, 두 분야의 균형 필요 (기술 개발의 명분으로 고려)
  - 장기 발전의 목표 모델 설정 필요: 프랑스형(처리후 처분) 또는 미국형(직접 처분)

## 05 원자로 사용후핵연료 관리 (제언)

- 원전수출 관련
  - 사업화 이후 고려 필요 (예: 루마니아 수출 사례)
  - 핵주기 관련 Governance 체제 검토 필요
  - SNF 처분 지역 관련 해외 지역도 검토 필요 (다자간 협력 포함)
- SNF 특성 시험 설비 추가 필요
- 차세대 원자로형 별 SNF 관리 필요
- ATF 관련 내용 포함(핵주기 비용 저감 관련) 필요

## 06. NEXT STEP

### 06 원전수출 전략(심화) 수립 및 이행

- 체코 원전수출 이후 전략 방향
- 한.미 원자력 협력 방향
- 국제 원자력 협력 상호 호혜 원칙

- 대형원전에서 SMR로의 전환 시기 및 방안 검토
- 진정한 기술자립과 국제협력 필요성
- 국민과 함께 하는 원자력 방향

### 참고: Consent based siting process

- DOE developed "Draft Consent-Based Siting Process for Consolidated Storage and Disposal Facilities for Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste " in January 2017
- direction provided by Congress
  - Consolidated Appropriations Act, 2021
  - Consolidated Appropriations Act, 2022
  - Consolidated Appropriations Act, 2023
- DOE issued a request for information (RFI) on "Using a Consent-Based Siting Process to Identify Federal Interim Storage Facilities" (86 FR 68244) in December 2021
- DOE issued CONSENT-BASED SITING PROCESS for Federal Consolidated Interim Storage of Spent Nuclear Fuel in April 2023



## → **PLANNING AND CAPACITY BUILDING STAGE** (ANTICIPATED REMAINING DURATION 2-3 YEARS)

### PHASE 1A: PLANNING (COMPLETE)

- ✓ Receive authority and funding
- ✓ Initiate outreach and engagement
- ✓ Issue request for information (RFI)
- ✓ Issue RFI summary analysis report
- ✓ Issue revised consent-based siting process
- ✓ Prepare for Phase 1B

### PHASE 1B: BUILD CAPACITY (2-3 YEARS)

- ✓ Issue Funding Opportunity Announcement (FOA) to provide resources to communities interested in learning more
- Conduct robust outreach and engagement
- Enable mutual learning
- Refine consent-based siting process
- ★ **DOE is not looking for volunteer hosts in this phase**

## **SITE SCREENING AND ASSESSMENT STAGE** (ANTICIPATED DURATION 4-7 YEARS)

### PHASE 2: SITE SCREENING AND ADDITIONAL CRITERIA DEVELOPMENT (1-2 YEARS)

- Conduct robust outreach and engagement
- Issue list of screening criteria and assessment criteria
- ★ **DOE issues national call for volunteers**
- Issue FOA for community-led development of additional site-specific criteria

➡ Qualified and interested communities decide to proceed (or not) to next phase

### PHASE 3: PRELIMINARY ASSESSMENT (1-2 YEARS)

- Conduct robust outreach and engagement
- Issue FOA for DOE-led preliminary assessment evaluation of sites in collaboration with communities

➡ Qualified and interested communities decide to proceed (or not) to next phase

### PHASE 4: DETAILED ASSESSMENT (2-3 YEARS)

- Conduct robust outreach and engagement
- Issue FOA for DOE-led detailed assessment evaluation of sites in collaboration with communities

➡ Qualified and interested communities decide to proceed (or not) to next phase



## NEGOTIATION AND IMPLEMENTATION STAGE (ANTICIPATED DURATION TO INITIAL OPERATION READINESS 4-5 YEARS)

### PHASE 5: SITE(S) SELECTION AND NEGOTIATION (1 YEAR)

- Conduct robust outreach and engagement
- Issue FOA for communities to develop and negotiate terms and conditions of consent agreement(s)
- Consent agreement(s) are signed between hosts and DOE

### PHASE 6A: LICENSING AND CONSTRUCTION (3-4 YEARS)

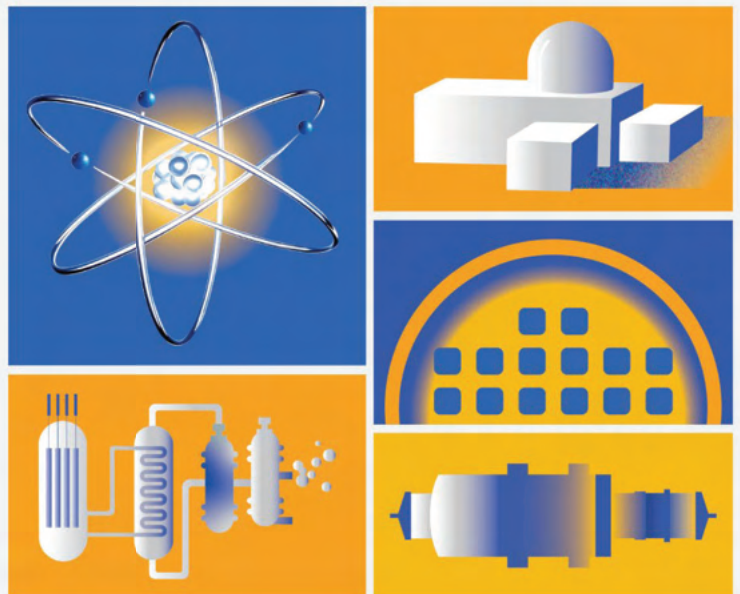
- Conduct robust outreach and engagement
- License and construct facility
- ★ Facility ready to operate

### PHASE 6B - FACILITY OPERATION, CLOSING, AND DECOMMISSIONING (LENGTH OF OPERATION DEPENDS ON NEGOTIATED AGREEMENTS WITH HOST COMMUNITIES AND THE TIMELINE FOR PERMANENT DISPOSAL CAPABILITY).

- Conduct robust outreach and engagement
- ★ Facility starts operation
- Complete construction of additional expansion phases as needed
- Complete closure and decommissioning

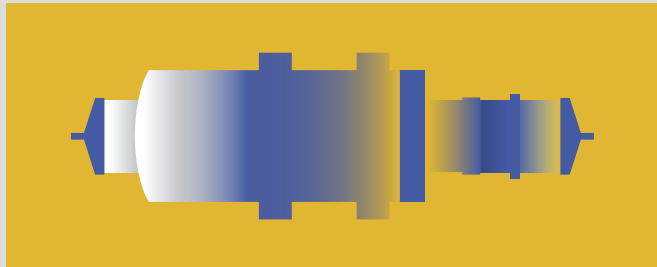
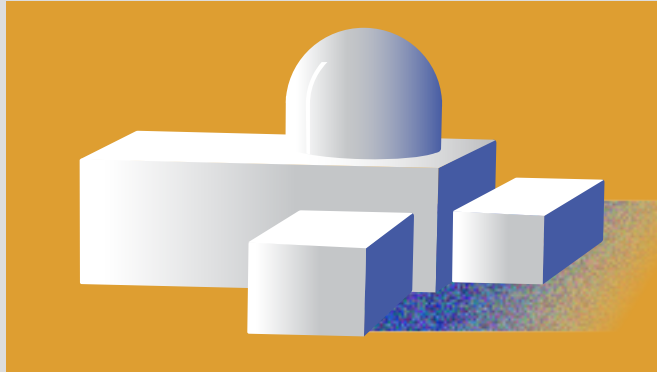
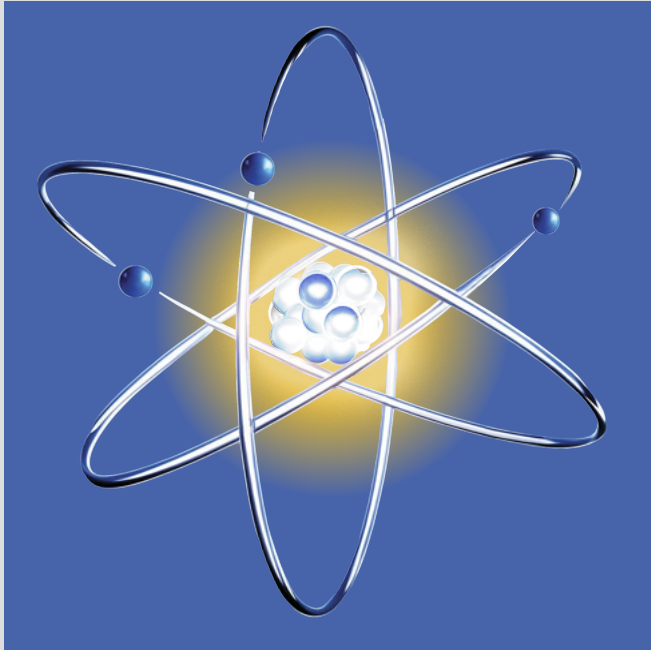
## 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.



# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향



## 원전산업 지속성장 공론화

박석빈

서울대원자력정책센터 연구위원



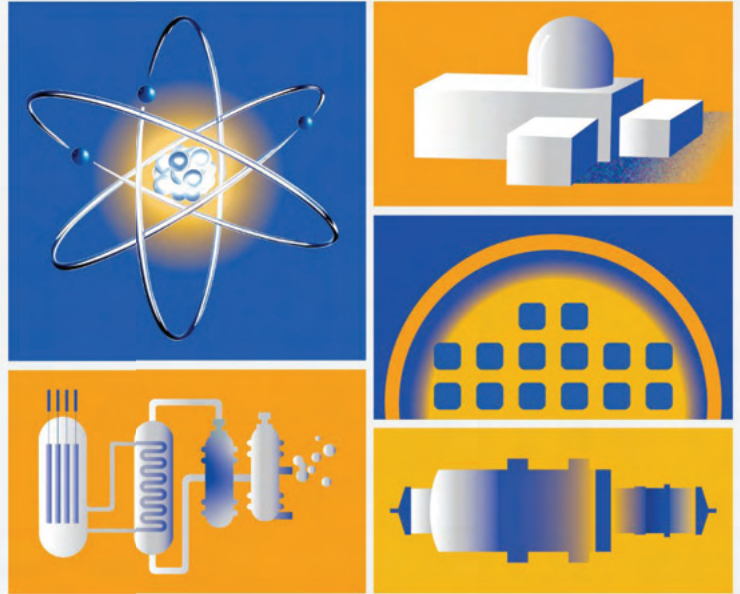
# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 원전산업 지속가능 성장을 위한 정책방안 공론화

2025. 3. 6.

박석빈 서울대원자력정책센터 연구위원

h107626@snu.ac.kr



### 그동안 해온 일들

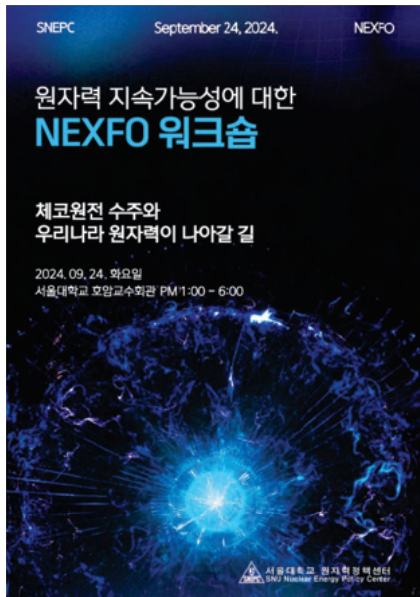
#### • 1차년도(원자력 지속 가능성)



- 탄소중립 달성과 안정적 에너지 수급을 위한 최적 에너지믹스
- 원전산업 생태계 회복 및 경쟁력 강화
- 해외 원전수출을 위한 수주 경쟁력 제고 및 정부 지원방안
- 미래 원자력기술 시장전망과 시장 진입 방안(SMR을 중심으로)
- 원전을 활용한 청정수소 생산 실증방안
- 사용후핵연료 관리 정책 분석 및 제안
- NEI 원자력 인허가 지원활동 분석 및 국내 적용성 연구
- 원자력 바로 알리기
- 시의적절한 원자력 현안 대응



• 2차년도(체코원전 수주와 우리나라 원자력이 나아갈 길)



- 미국 대선결과의 한미관계 영향 전망
- 원전수출 경쟁력 제고를 위한 원전산업 거버넌스 재정립 방안
- 시의적절한 원자력 정책 현안 대응
- 원자력산업 제도개선-계속운전 비교법 고찰
- 국내 가동원전 규제감독 체계 및 문제점 분석
- 미국의 10cfr53 제정현황과 분석
- 원자력 바로 알기
- 원전산업 중장기 발전 전략
- 원전부지확보 관련 이슈와 해결방안
- SMR 국내외 동향 및 대응
- 우리나라 핵연료주기 과제와 전략
- 사용후연료건식저장시설 설치 필요성 및 현황

• 2차년도(체코원전 수주와 우리나라 원자력이 나아갈 길)

- 원자력 산업의 지속가능한 성장을 위한 정책적 방안에 대한 공론화는 매우 중요한 이슈
- 원자력은 저탄소이며 안정적인 에너지를 제공하지만 안전, 경제성 및 환경 영향에 대한 우려는 포괄적인 사회적 논의 필요
- 여러 이해관계자의 의견을 수렴하고 투명한 의사결정 과정을 통한 사회적 합의 필요



## 원자력 안전 관리 강화

- **안전 기술 개발:** 원자력 안전을 강화하는 기술 개발을 위해 정부 및 민간 부문의 지원 필요
  - 사고 발생 시 피해를 최소화하고 피해를 완화할 수 있는 시스템 구축 중요.
- **방사성 폐기물 관리:** 방사성 폐기물 관리는 지속 가능한 원자력 산업의 중요한 구성 요소
  - 장기적이고 안전한 저장 및 폐기 기술의 개발은 공개 담론에서 중요한 논의 주제

5

## 공공의 신뢰 구축

- **투명한 정보 공개:** 원자력 운영의 위험 및 안전 조치를 투명하게 공개하는 것은 대중의 신뢰를 얻는 데 필수
  - 이를 통해 공론화 과정에서 정부, 전문가, 시민단체 간의 신뢰 구축 가능.
- **국민참여 확대:** 원전 지역 주민들의 의견을 반영한 의사결정 구조 운영
  - 지역 사회가 의사 결정 과정에 적극적으로 참여하고 상호 이익이 되는 해결책을 모색할 수 있는 기회 보장이 매우 중요.

6

## 타당성과 Net Zero 에너지 전환

- **에너지 믹스 정책:** 원자력은 재생 에너지와 함께 Net Zero 에너지 믹스의 핵심적인 역할 가능.
  - 원자력과 재생에너지의 균형 발전 전략과, 이를 뒷받침할 수 있는 정책 수단 필요.
- **경제적 지속가능성:** 원자력 산업의 경쟁력 보장을 위해 원전의 비용 구조 개선, 재정 지원, 경제적 영향 분석 등 다양한 방안 논의 필요.

7

## 기술 개발 및 인력 교육

- **차세대 원자력 기술:** SMR과 같은 원자력 산업의 미래를 위한 핵심 기술 개발에 대한 정부 지원과 연구 개발에 대한 투자 확대 필요.
- **인력 훈련:** 원자력 산업에 필요한 전문 인력 양성을 지원하기 위한 교육 프로그램 강화 및 관련 정책 개발

8

## 국제 협력 및 규정 국제화

- **국제 원자력 협력:** 원자력 안전 및 기술 공유를 위한 국제 협력 확대 필요.
  - 핵 비확산, 안전관리, 기술표준화 등의 분야에서의 협력을 통해 국제적 신뢰 구축.
- **규정 국제화:** 전세계가 동일한 규제 시스템을 유지하도록 공조하여 원자력의 안전하고 효율적인 운영 보장 필요.

9

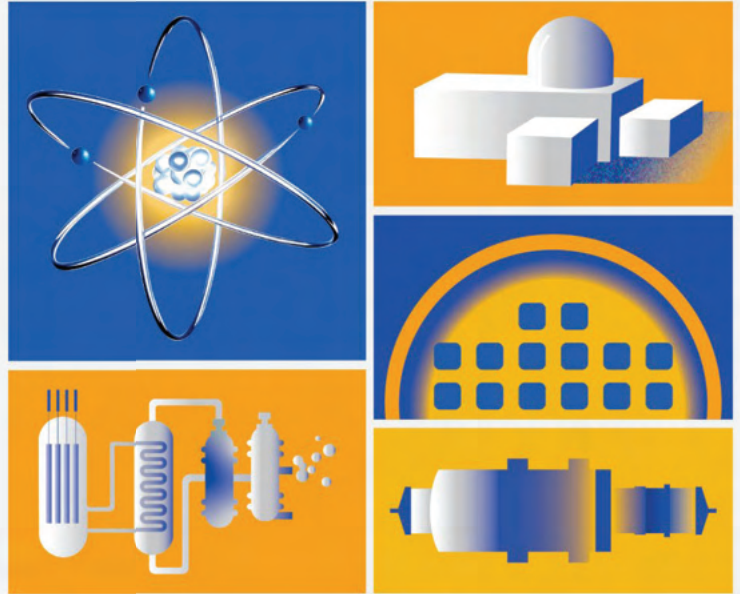
## 정리

- 원자력 산업의 지속가능한 성장을 위해서는 안전성 제고, 합리적인 경제성, 대국민 신뢰 구축, 기술개발, 국제협력 등 **다양한 측면의 정책 논의 진행 필요**
- **공론화 과정**은 투명하고 민주적인 사회적 합의에 도달하는 데 매우 중요하며, **미래 원자력 산업 지속성에 필수.**
- **정부의 원자력 정책**은 정치적 리더십의 변화에도 불구하고 안정적으로 유지될 수 있도록 **장기적인 일관성 유지 필요.**
- 원자력을 위한 **연구개발과 인프라에 대한 재정적 투자**는 필수

10

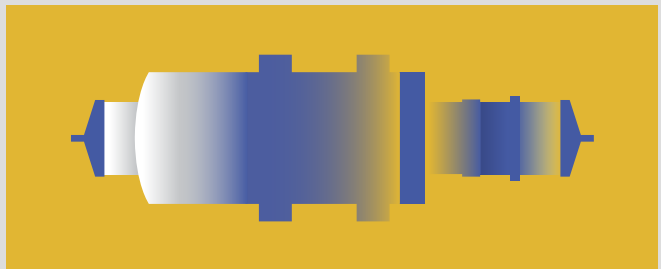
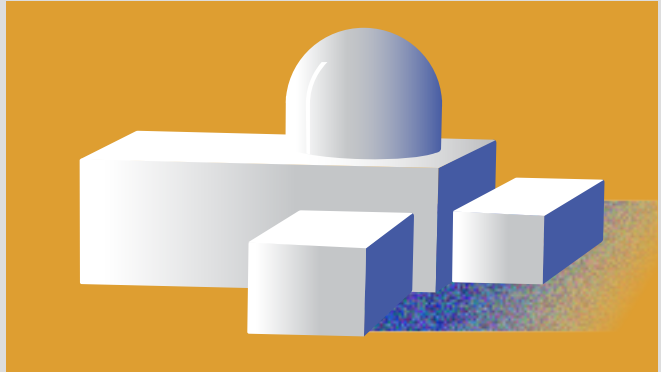
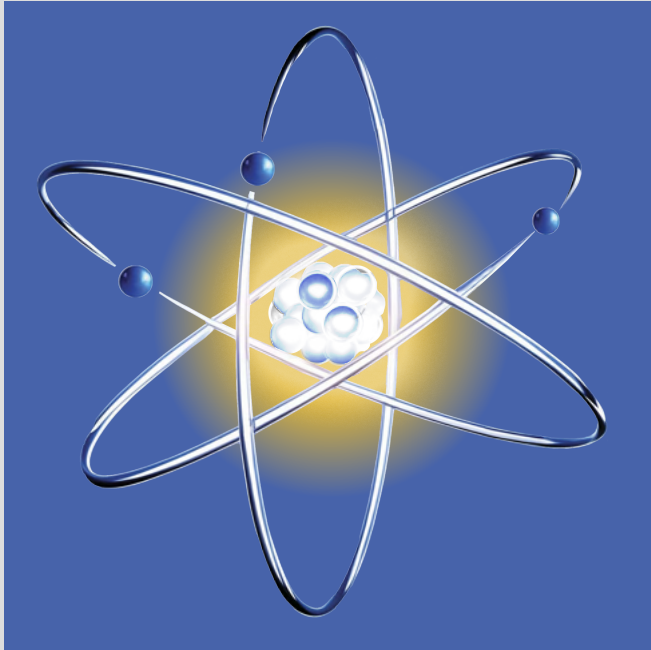
## 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.



# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향



## 원전수출을 위한 인적역량 제고방안

이종호

서울대원자력정책센터 책임연구원



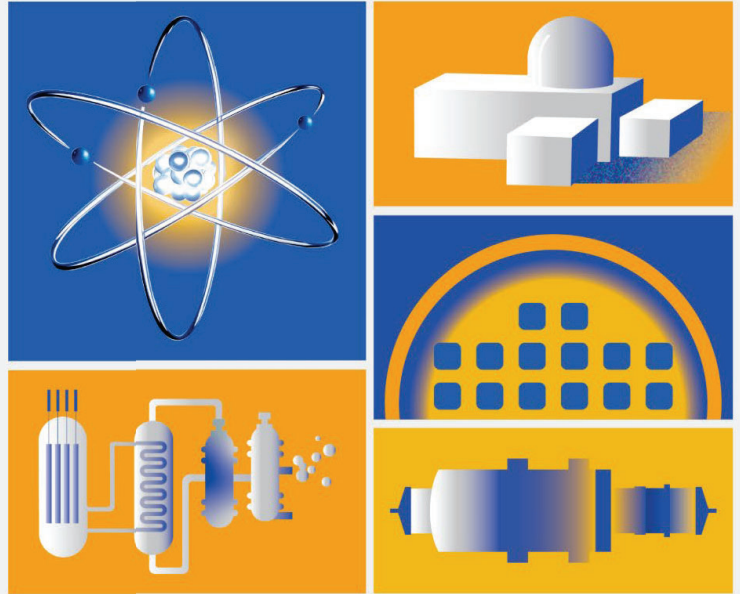


# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 해외 원전 수출을 위한 경쟁력 제고방안

2024. 03. 06.

**이종호** 서울대원자력정책센터 책임연구원  
Jhlee6108@snu.ac.kr



### 발표 내용

1. 사업개요
2. 추진방법·전략
3. 세부추진일정
4. 추진실적
5. 토의 주제

## 1. 사업 개요

- 소과제명 : 원전수출경쟁력 제고를 위한 인적역량 강화방안 연구
  - 두산에너지빌리티 과제 : 원전산업의 인적 역량 제고 방안 수립
- 주관기관 : 원자력정책센터(원전산업수출협회 총괄, 지원)
- 참여기관 : 한국전력기술
- 사업기간 : 2024. 10. 01 ~ 2025. 09. 30
- 사업예산 : 두산에너지빌리티 : 약 3천만원  
원전산업수출협회 : 총 3.7억원(현물 : 2.55억원 제외)
- 참여기관 사업수행 내용 :
  - 원전 설계 및 사업관리 인력의 역량과 향후 공급 전망 분석
  - 중장기 역량강화 방안 제언 등

## 1. 사업 개요

### 추진배경

- ❖ 세계적으로 원전의 중요성 증대 및 최근 체코 원전 우선협상대상자 선정 등 **해외사업의 급격한 증가 예상**
- ❖ 반면, 탈원전정책 및 베이비붐 세대 등 경험 인력의 급격한 은퇴로 **원전 사업 인적역량이 취약**해질 우려가 있음
- ❖ 따라서, 우수경험인력의 효과적이고 체계적인 활용체계를 구축하여 **원전 수출 인적 기반을 강화**하고자 함



UAE 바라카 원전 수주 이후 15년 만에 원전수출 가시화



중동에 이어 상용원전의 발상지인 유럽시장 진출 교두보 마련

## 2. 추진방법·전략

### 추진방향

- ❖ 정년 등 한국의 근로 체계에서 숙련된 우수 전문인력의 활용할 수 있는 새로운 방안을 제안하여 원전수출의 인적역량 제고
  - 외국기업의 경우 전문인력은 회사의 니즈와 본인들의 의사에 따라 자유롭게 활용
- ❖ 우선 인력부족이 심각하게 예상되는 원전 설계 분야와 사업관리 분야를 대상으로 추진
- ❖ 숙련된 전문인력이 효과적으로 수행할 수 있는 분야를 선정
- ❖ 아울러 신입인력에 대한 인규베이팅을 통한 경험 및 기술전수 기능도 수행
- ❖ 기존 조직과 연계해 체계적이고 시너지를 높일 수 있는 경험인력 활용 방안 제시 및 조직 운영체계 제안

## 2. 추진방법·전략

### 추진내용

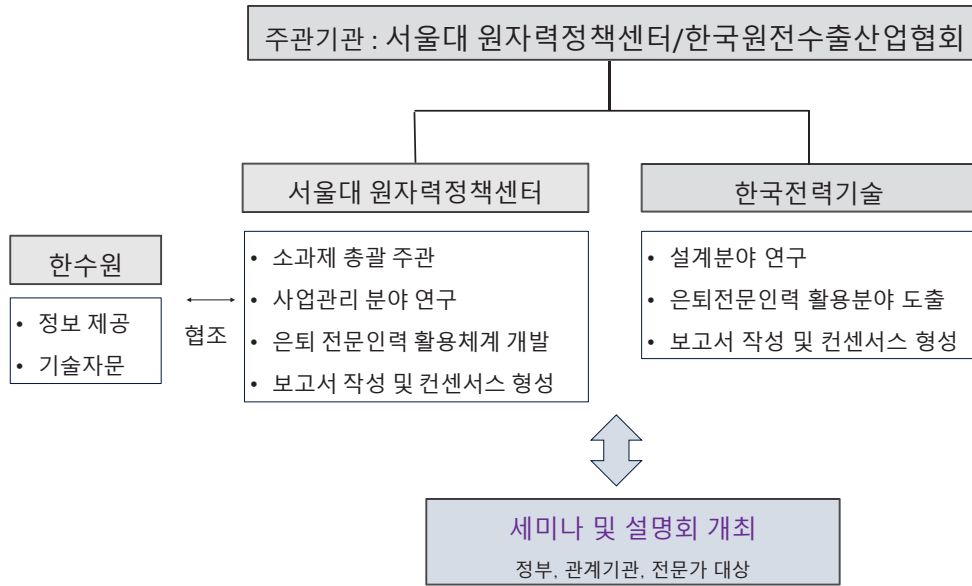
- ❖ 현재 및 향후 퇴직 예상 인력을 감안한 인력 수급 현황 분석
- ❖ 원전건설 공정에 따른 단계별 적정인력 투입 규모 조사
- ❖ 숙련된 경험인력이 기존 조직과 연계하여 추진, 효율적인 업무 분야 선정
- ❖ 신입인력에 대한 인규베이팅을 통한 경험 및 기술전수 방안 제시
- ❖ 기존 조직과의 연계한 조직 구성 및 운영체계(안) 제시

### 추진방법

- ❖ 서울대 원자력정책센터와 한국전력기술이 사업수행 주도
- ❖ 관련분야 (원전 사업관리 및 설계)의 현황조사(수출협회 행정 지원)
- ❖ 관련분야 담당자 및 전문가 자문을 통해 의견수렴
- ❖ 원자력정책센터 NEXFO 전문가 활용
- ❖ 세미나 개최를 통하여 의견 반영 및 컨센서스 형성(정부 및 관련기관)

## 2. 추진방법·전략

### 추진전략



## 3. 세부추진일정

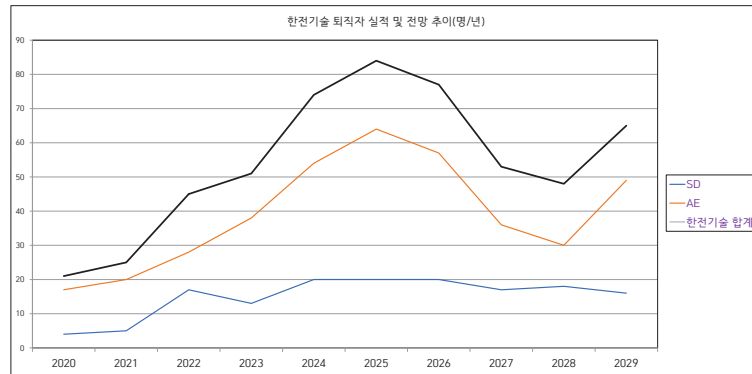
연구추진 내용	1분기 (25.1~4)	2분기 (25.4~6)	3분기 (25.7~9)	4분기 (25.10~12)	주관기관
<b>1. 원전사업 현황 및 전망, 인력수급 추이분석</b>					센터
- 원전사업(국내+해외) 시나리오 설정					센터
- 사업관리분야 기술인력 수급추이 분석					센터
- 설계(AE)분야 기술인력 수급추이 분석					한기
- 해당업무 분류 및 전문성 분석 (기능별, 흐름별)					공통
- 단위 프로젝트기준 단계별 소요 인력					공통
- 전문인력 활용사례 조사					공통
<b>2. 우수 전문인력 활용분야 도출</b>					한기
- 분야별 취약분야 도출					공통
- 은퇴 전문인력 활용분야 도출					공통
- 해당분야 인적역량 강화방안 도출					
- 관련기관 경험 및 의견 반영					센터

### 3. 세부추진일정

연구추진 내용	1분기 (25.1~4)	2분기 (25.4~6)	3분기 (25.7~9)	4분기 (25.10~12)	주관기관
<b>3. 우수 전문인력 활용 체계 개발</b>					센터
- 전문인력 활용 기관 기능 및 역할 제시					공통
- 신입인력 활용 및 연계 운영방안 제시					
- 기관 운영방안 개념 설계					공통
- 기존기관과의 연계관계 등 운영방안 제시 (인사, 노무, 보안체계 등)					공통
<b>4. 보고서 작성 및 컨센서스 형성</b>					공통
- 보고서 초안 작성					공통
- 관계기관 및 이해관계자 의견 수렴 (세미나 개최 등)					공통
- 최종보고서 작성					공통

### 4. 추진실적

#### 설계 분야 퇴직인력 현황자료 수집



AE 원자력본부						AE 원자력본부						
구분	2020년도	2021년도	2022년도	2023년도	2024년도	구분	2025년도	2026년도	2027년도	2028년도	2029년도	
현원	1,119명	1,129명	1,073명	1,032명	1,018명	현원	1,100명	1,100명	1,100명	1,100명	1,100명	
퇴직자	1월 1일 기준	5명	12명	16명	14명	25명	1월 1일 기준	27명	37명	15명	15명	24명
	7월 1일 기준	12명	15명	12명	24명	29명	7월 1일 기준	37명	20명	21명	15명	25명
	소계	17명	27명	28명	38명	54명	소계	64명	57명	36명	30명	49명
SD 원자력본부						SD 원자력본부						
구분	2020년도	2021년도	2022년도	2023년도	2024년도	구분	2025년도	2026년도	2027년도	2028년도	2029년도	
현원	369명	359명	350명	324명	319명	현원	360명	360명	360명	360명	360명	
퇴직자	1월 1일 기준	3명	1명	8명	9명	11명	1월 1일 기준	12명	7명	8명	10명	10명
	7월 1일 기준	1명	4명	9명	4명	9명	7월 1일 기준	8명	13명	9명	8명	6명
	소계	4명	5명	17명	13명	20명	소계	20명	20명	17명	18명	16명

\*2026 ~ 2029 년도 현원은 미정이므로 2025년도와 동일하게 가정

\*2026 ~ 2029 년도 현원은 미정이므로 2025년도와 동일하게 가정

### 3. 추진실적

#### 한수원 협조 요청 사항(1/2) : 진행 중

- 건설경험인력 퇴직현황 및 전망 추이
  - 대상프로젝트 : 새울1~4, 신한울1~4호기
  - 분야 : 건설본부, 건설현장 부서단위 인력
  - 구분 : (1그룹)1965~1974 현직자,(2그룹)1958~1964 퇴직자

구분		연도별 퇴직예정(1그룹)										연도별 既퇴직자(2그룹)							
		34	33	32	31	30	29	28	27	25	25	24	23	22	21	20	19	18	
본사	건설처																		
	건설기술처																		
현장	신한울1.2																		
	신한울3.4																		
	새울1.2																		
	새울3.4																		

☞ 본사처실과 현장을 세분하여 부서단위별 세부내역 작성 필요

### 3. 세부추진일정

#### 한수원 협조 요청 사항(2/2) : 진행 중

- 건설경험인력 숙련도 분포
  - 대상프로젝트 : 새울1~4, 신한울1~4호기
  - 분야 : 건설본부, 건설현장 부서단위 인력
  - 구분 : (1그룹)1965~1974년 현직자,(2그룹)1958~1964 퇴직자
  - 분류 : 5년미만, 숙련자(5~10년), 전문가(10~20년), 고급전문가(20년이상)
  - 기준시점 : 2025.1.1기준

구분		2025~2034년 퇴직예정자(1그룹)				2018~2024년 既퇴직자(2그룹)			
		5년 미만	5~10년	10~20년	20년 이상	5년 미만	5~10년	10~20년	20년 이상
본사	건설처								
	건설기술처								
현장	신한울1.2								
	신한울3.4								
	새울1.2								
	새울3.4								

☞ 국내건설(본사, 현장)과 해외건설 등 건설분야 근무기간을 숙련도 기간으로 포함

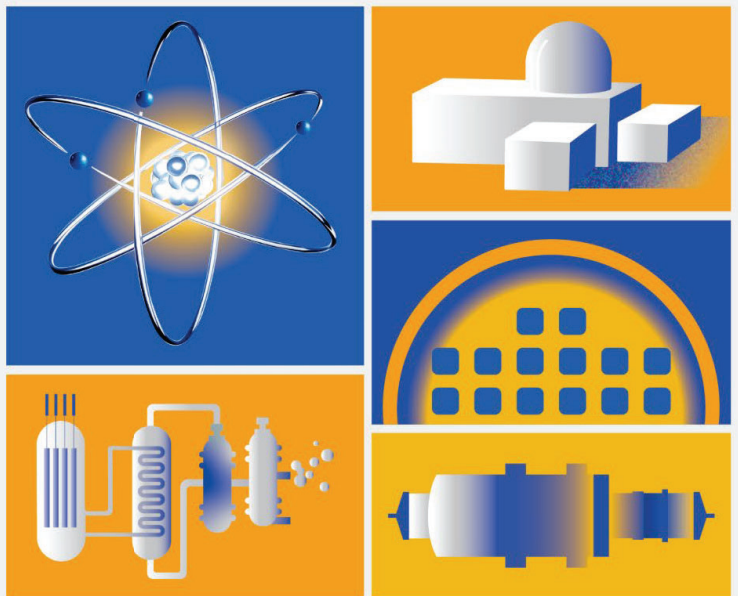


## 5. 토의 주제

- ❖ 우수 은퇴전문인력 활용이 필요한가?
- ❖ 기존 기관 및 정부가 환영할 것인가?
- ❖ 은퇴 전문인력을 활용할 적합한 분야는?
- ❖ 신입인력과의 연계방안은?  
(원전기술인력의 유인, 인규베이팅, 기술전수 등)
- ❖ 안정적으로 원전산업 인력인프라에 기여하는 방안은?  
(조직 형태, 근무조건, 기존 조직과의 연계)

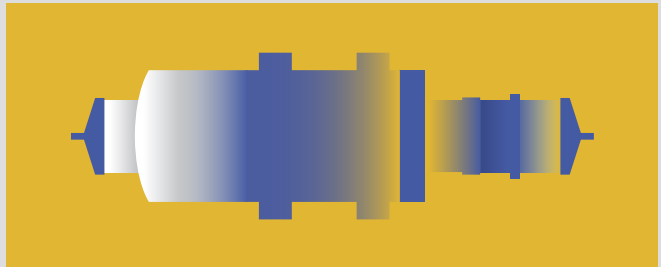
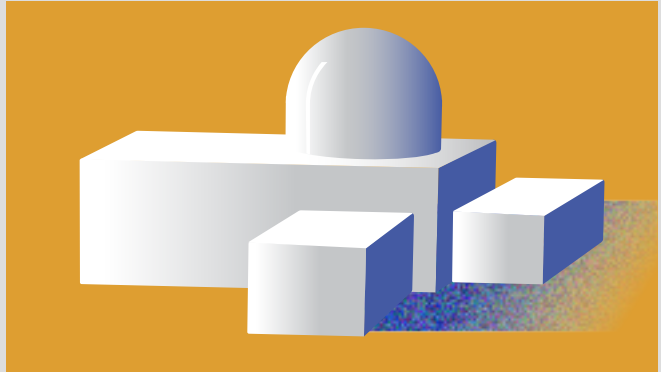
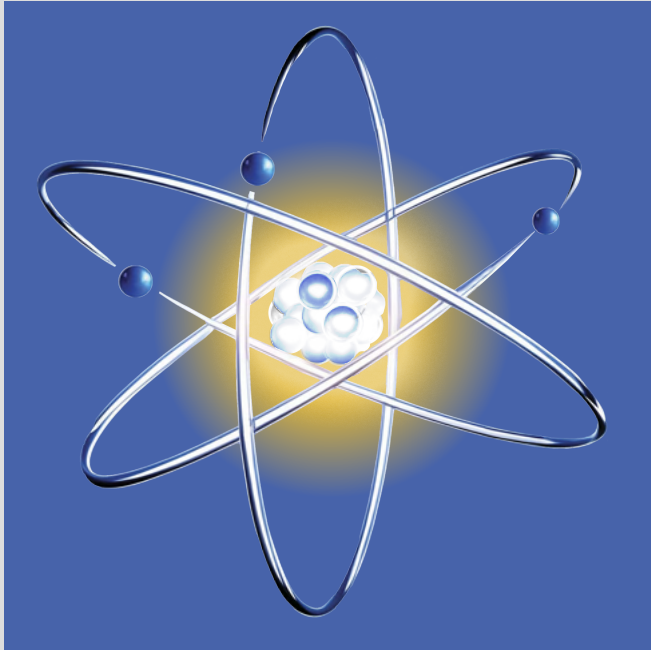
## 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.



# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향



## SMR의 국내외 현안 및 동향분석

오근배

서울대원자력정책센터 연구위원





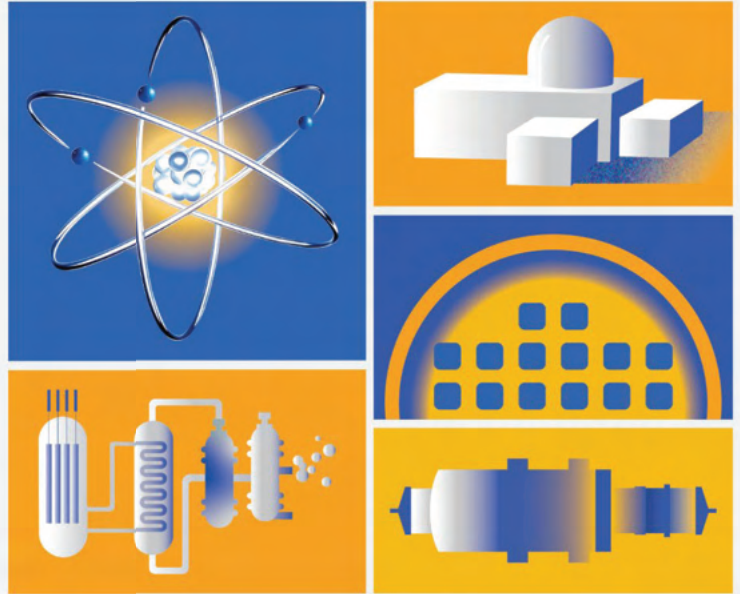
# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## SMR 국내외 현안 및 동향 분석

2025. 3. 6.

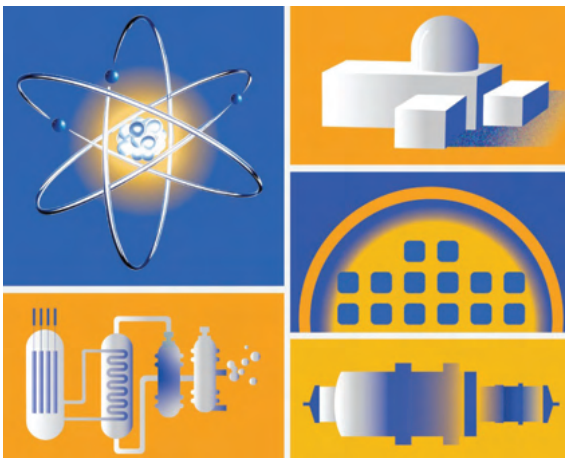
오근배 서울대원자력정책센터 연구위원

kboh0818@gmail.com



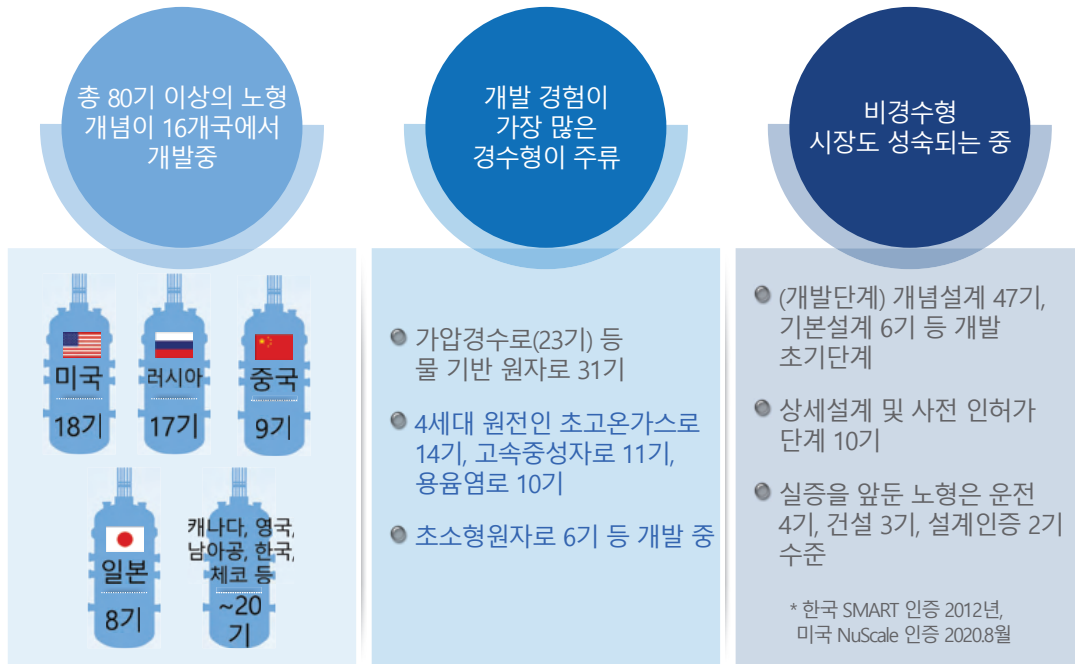
## Contents

### 목 차



- I. SMR 개발 국내외 동향
- II. 최근 이슈
- III. 대응 방향

## 01 I-1. 세계 SMR 개발 현황



※ IAEA 「Advances in Small Modular Reactor Technology Developments」 (‘20.9월)

## 01 I-2. SMR의 새롭게 떠오르는 수요



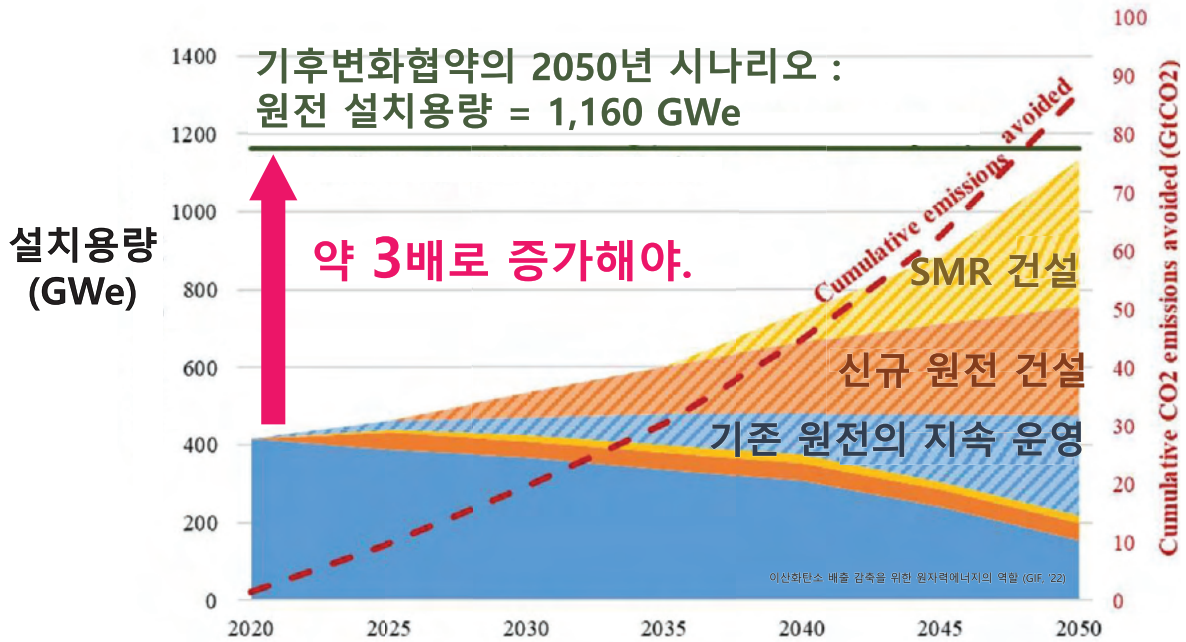
※ 대상상의 제주포럼, 이종호 장관 발표자료

### 소형모듈원자로(SMR)로 효과적으로 대응

주요기기를 **모듈화**하여 공장제작이 가능한 전기출력 300 MWe 이하의 소형 원자로

<b>안전성</b>	<p>현재보다 100배 이상 안전</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 배관이 없어 중대사고를 실질적 배제</li> <li>✓ 자연현상을 노심 냉각에 활용</li> </ul>						
<b>유연성</b>	<p>신재생에너지와 유연하게 연계 가능</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 태양광, 풍력 발전과 연계하여 수요에 맞는 출력 구현</li> <li>✓ 수요지 인근 분산형 에너지 제공</li> </ul>						
<b>경제성</b>	<p>건설기간을 대폭 줄이고 투자용이성 확보</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 공장제작/현장설치강화로 건설비용 저감</li> <li>✓ 부대설비 및 인력 최소화</li> </ul>						
<b>다목적성</b>	<p>다양한 분야의 무탄소 에너지원으로 활용 가능</p> <table border="1"> <tr> <td>전력</td> <td>산업</td> <td>수송</td> </tr> <tr> <td>소용량고속로</td> <td>고온가스로</td> <td>용융염원자로</td> </tr> </table> <p>석회력대체장주기전력공급    무탄소산업공정열공급    부유식 해양시스템 및 선박추진</p>	전력	산업	수송	소용량고속로	고온가스로	용융염원자로
전력	산업	수송					
소용량고속로	고온가스로	용융염원자로					

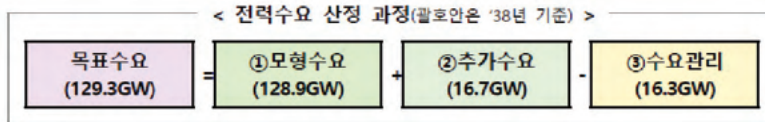
01 I-3. 또다른 SMR 수요: 탄소중립



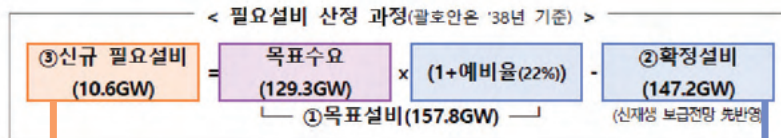
01 I-4. 우리나라의 에너지 정책방향

제11차 전기본 실무안 ('24~'36)

전력수요 전망



전력공급 계획 (원자력)



- '35~'36년: 0.7 GW SMR 할당
- '37~'38년: 4.4 GW 신규 대형원전 할당 (3기)

- 10차 전기본의 준공계획 및 계속운전 계획 반영 (새울 3,4호기, 신한울 3,4호기 등)
- 현재 원전 26기 → 30기 가동 ('38년)



[개발 전략] 민간기업-정부(공공기관) 간 개발 협력 강화

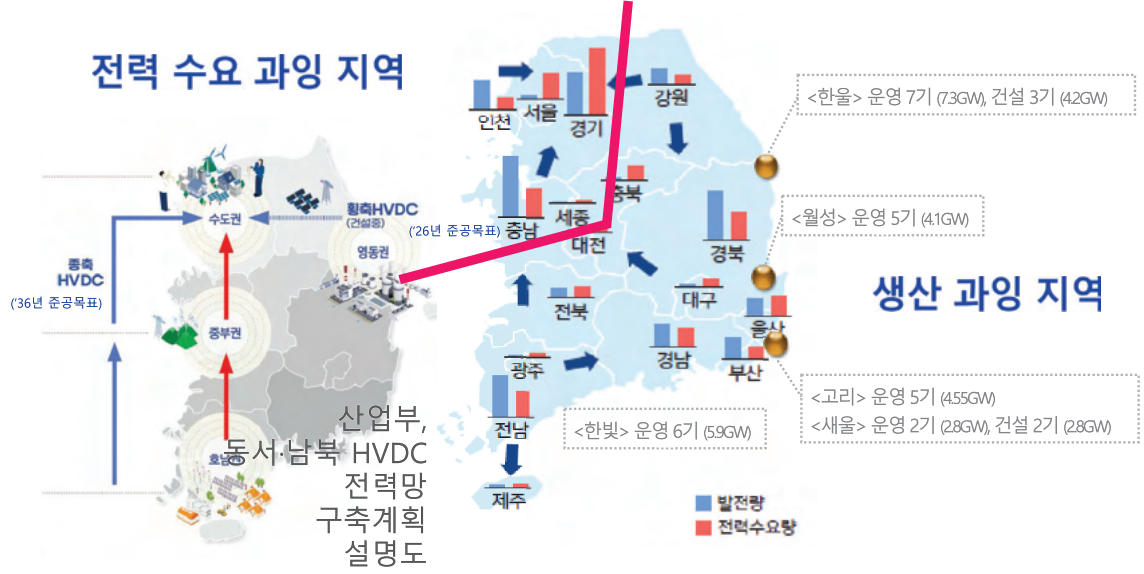
민간주도 SMR 산업



- 신규 밸류체인 참여기업 확대
- ▶ 첨단 제조 기술
    - > 3D 프린팅
    - > 소부장 뿌리기술
  - ▶ 디지털 기술
    - > 통신, 보안
    - > AI, 로봇, 컴퓨팅
  - ▶ 파생·융합 기술
    - > 수소생산 연계
    - > 해양·우주 연계
  - ▶ 거대 패키지 사업
    - > 데이터센터
    - > 해상 도시

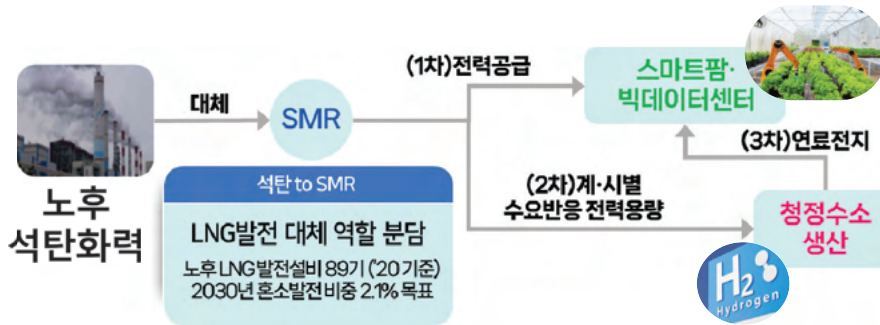
- 용융염원자로** 한원(연) + 현대건설, 삼성중공업, 센추리, HD한국조선해양
- 고온가스로** 한원(연)+포스코E&C, SK에코플랜트, 롯데케미칼, 대우건설, 스마트파워

지역별 전력 불균형 심화



## 분산 에너지원으로 활용 가능성

- ✓ 제10차 전력수급기본계획: 분산형 전원 목표('36년 총 발전량의 23%) 제시
- ✓ 「분산에너지 활성화 특별법(23.6)」: '중소형원자로 발전사업' 포함
- ✓ 청정 열에너지 민간수요 급증: 제철·석유화학·수소생산 등



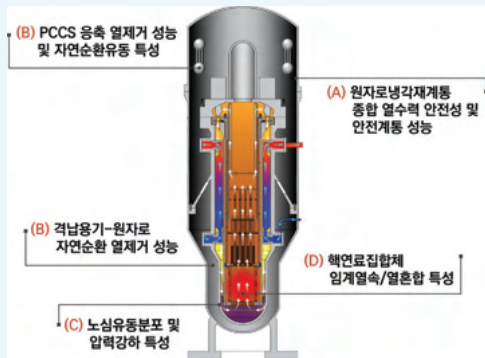
## 02 II-1. 노형별 이슈 및 개발방향 - 혁신형 SMR

### i-SMR 표준설계 사업 적기 수행이 관건

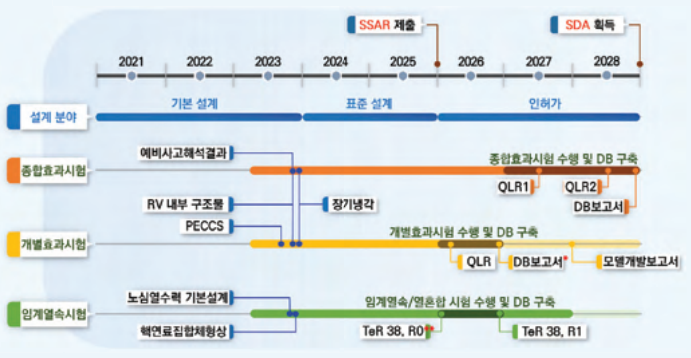
- ▶ 혁신형 SMR의 열수력 안전성 검증 기술
  - 혁신형 SMR 원자로냉각재계통과 안전계통의 성능 평가
  - 혁신형 SMR 노심 안전성 평가
  - '28년도 표준설계인가 획득을 위한 핵심 실험 DB 구축 및 안전해석코드 검증



#### ▶ 혁신형 SMR의 열수력 안전성 검증 목록



#### ▶ 표준설계인가 대응 및 지원



## 02 II-2. 노형별 이슈 및 개발방향 - 소듐냉각고속로

### 추진경과

KALIMER-600 → PGSFR → SALUS-100

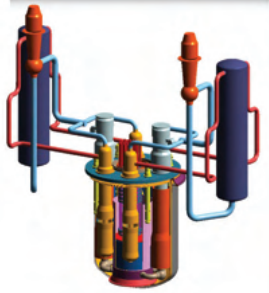
- ① 한국형 SFR 참조노형 → KALIMER-600 개념설계
- ② TRU 소각성능 실증 → PGSFR 공학설계
- ③ 장주기 발전용 SFR → SALUS-100 설계 개발 중 (SFR기반 장주기 선진 소형원자로)

### 추진성과

소각로 개념의 SFR과 발전로 개념의 장주기 SFR 모두 보유

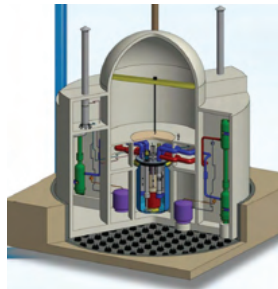
#### ① KALIMER-600

GIF SFR의 대표 노형 중 하나로 선정



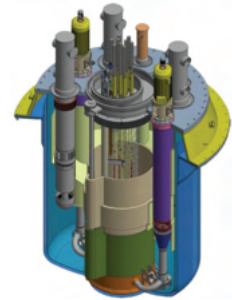
#### ② PGSFR

특정기술주제보고서(TR) 규제전문기관 인증



#### ③ SALUS-100

IAEA 설계 안전성 독립 검토 (IAEA-TSR)

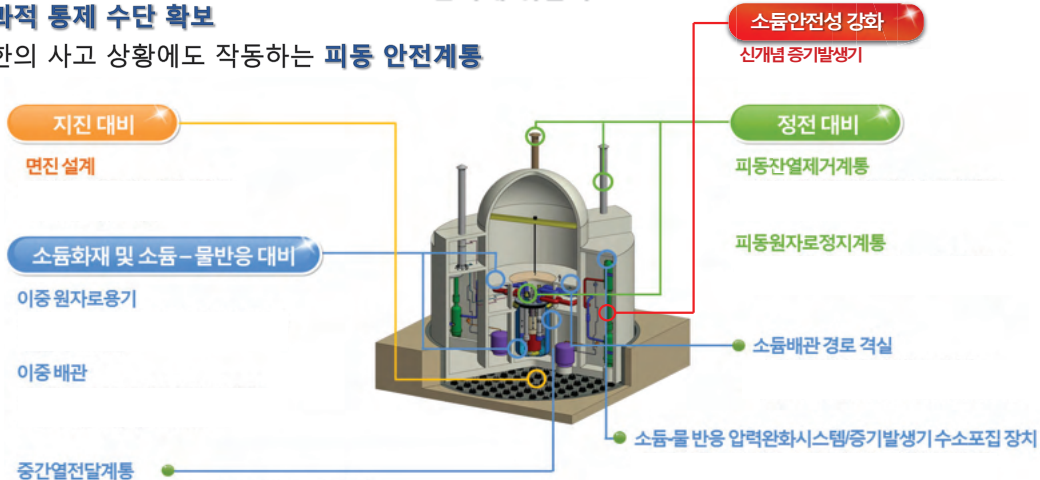


11

## 02 II-2. 노형별 이슈 및 개발방향 - 소듐냉각고속로

### 안전성 확보

- 금속연료 → **고유안전성** 확보
- **소듐-물반응 극소화** 증기발생기 적용으로 안전성 향상
- 이중 배관, 첨단 용접 및 스마트 센서로 **소듐화재 위험의 효과적 통제 수단 확보**
- 극한의 사고 상황에도 작동하는 **피동 안전계통**



12

세계 비전력분야 원자력 이용 현황

- ❑ 지역 난방 : 43기, ~500 reactor years
- ❑ 담수화 : 17기, ~250 reactor years
- ❑ 산업공정열: 7 기



**캐나다 Bruce A CANDU 원자로 4기**  
 →중수 생산설비 (인접 플랜트)  
 →Bruce 에너지 산업센터(알코올, 플라스틱, 온실)  
 →5,350 MWth('81~'97), 현재는 LNG로 대체

R. Sadhankar, NEANH Workshop, GIF Industry Forum, Toronto, Canada, 2002



**KKG Gosgen 경수로 1기**  
 →'79년 이후 제지공장용 중압 증기 생산, 45 MWth  
 →35톤/시간의 증기 공급  
 →2020년 243GWh 공급 (석유 23k Ton)

www.kkg.ch/upload/cms/user/gb\_2020.pdf

Haiyang begins commercial-scale district heat supply

20 November 2020



China's Haiyang nuclear power plant in Shandong province has officially started providing district heat to the surrounding area. A trial of the project - the country's first commercial nuclear heating project - was carried out last winter, providing heat to 700,000 square metres of housing, including the plant's dormitory and some local residents.



A nuclear energy heater stands near the Haiyang plant, China.

IAEA - "Opportunities for Cogeneration with Nuclear Energy" NP-T-4.1, 2017

IAEA - "Guidance on Nuclear Energy Cogeneration" NP-T-1.17, 2019

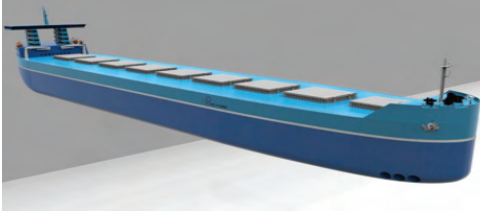
NEA - "Beyond Electricity: The Economics of Nuclear Cogeneration", 2022

개발 전략

- » 국내 고유 고온가스로 노형 개발
- » 민관합작사업으로 추진
- » 공정열 공급 전용으로 개발 추진
- » 수요기업을 포함한 다수의 민간기업 참여 ('24.7~)
  - ▶ POSCO E&C(사업관리, BOP설계), 대우건설(폐기물관리, 방사선방호), SK에코플랜트(수소생산), 롯데케미칼(석유화학), 스마트파워(전기계장)
  - ▶ 사업의 진행과 함께 민간기업의 사업 참여 및 관심 확대
- » 후속 사업 기획 추진하여 민간기업 참여 확대 및 실증 신속화 기대



개발 배경



TerraPower-CorePower, Molten Chloride Fast Reactor

[출처] CorePower



"美항모보다 크네?" 中 초대형 핵추진 상선 설계에 쏠리는 눈

[출처] 머니투데이



“중국이 이번에 공개한 핵추진 컨테이너선 설계는 4세대 용융염원자로를 컨테이너선에 달아 증기 터빈을 돌려서 배를 전진시키는 개념이다. 배출가스가 사실상 거의 없다.”



원자로 특성

열/전기 출력 : ~ 100 MWth /35 MWe

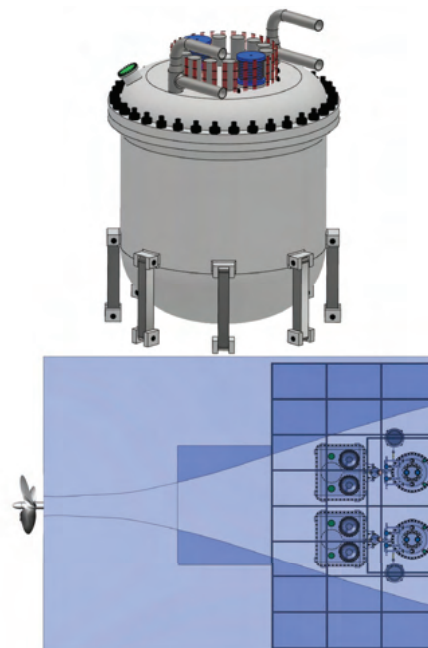
- 15,000 TEU급 컨테이너선 엔진 (K-MSR 2 모듈)

노심 출구온도 : 600 °C 이상

- 전기 및 수소 생산, 열 공급

연료염 : NaCl-KCl-UCl<sub>3</sub>

- 선박 운영기간(약 30년) 동안 핵연료 교체 없음
- 요오드, 세슘 등 핵분열생성물이 안정한 화합물로 존재



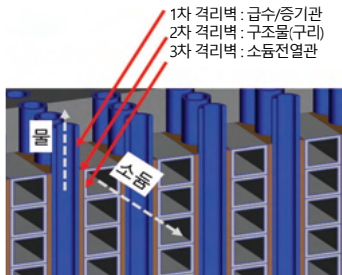
### 03 III-1. 노형별 현안 대응 방안 - 소듐냉각고속로

#### ▶ 소듐 화재 및 소듐-물 반응 저감 방안

- 소듐누설 방지용 이중 배관
- 소듐-물 반응 극소화 증기발생기 적용



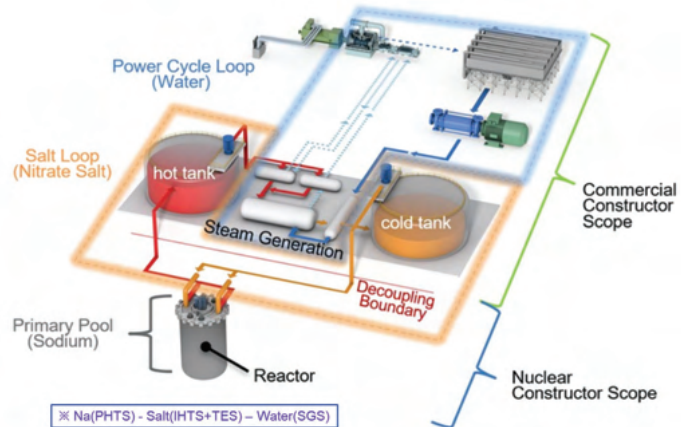
<이중배관 개념>



<소듐-물 반응 극소화 개념>

#### ▶ 소듐-물 반응 배제 방안

- 용융염 열저장 도입으로 소듐-물 반응 완전 배제
- 열저장을 이용하여 탄력적인 운전성능 강화



<SFR + 용융염 열저장시스템 실증 개념>

### 03 III-2. 노형별 현안 대응 방안 - 고온가스로

#### » 핵연료 확보를 국제적 노력 추진

- NRC의 인증을 받은 UCO TRISO 수입 필요

#### » 기기 관련 기업 적극 참여 유도

- 민관합작사업에 기기 설계 업무 포함 필요

#### » 운영사 및 부지 조기 선정

- 부지: 울진 원자력수소 단지 혹은 경주 감포
- 원자로 운영사 참여 필요

#### » 유연한 인허가 체계

- 비발전로 분류로 연구용 원자로 인허가 체계 적용 필요



03 III-3. 노형별 현안 대응 방안 - 용융염원자로



**KIMS** Korea Institute of Materials Science  
주요기기 및 구성품 제작 기술 협력 MOU

**INL** Idaho National Laboratory  
용융염의 물리화학적 특성 분석

“국내 중소중견기업 및 해외 기관과 공급망 지도 구축 예정”

< 원자력·조선·해양 분야 산·학·연 협력체계 구성 >

03 IV. 바람직한 대응방향

**다양한 원자로 개발은 시장 경제 논리에서 필연적**

- ✔ 해외와 경쟁하는 시대에 하나에만 집중하는 것은 모든 것을 잃는 것과 마찬가지

  - 과거에는 전기생산만을 위한 대형 발전소 개발 위주여서 선택과 집중이 가능했음
  - SMR은 주로 민간 주도 개발이므로, 정부는 다양한 민간 기업의 활성화 지원 필수
- ✔ 국가 탄소중립 목표 달성을 위해서는 목표지향적 여러 노형의 SMR이 개발되고 상용화되어 각 분야에서 핵심 역할을 수행해야 함

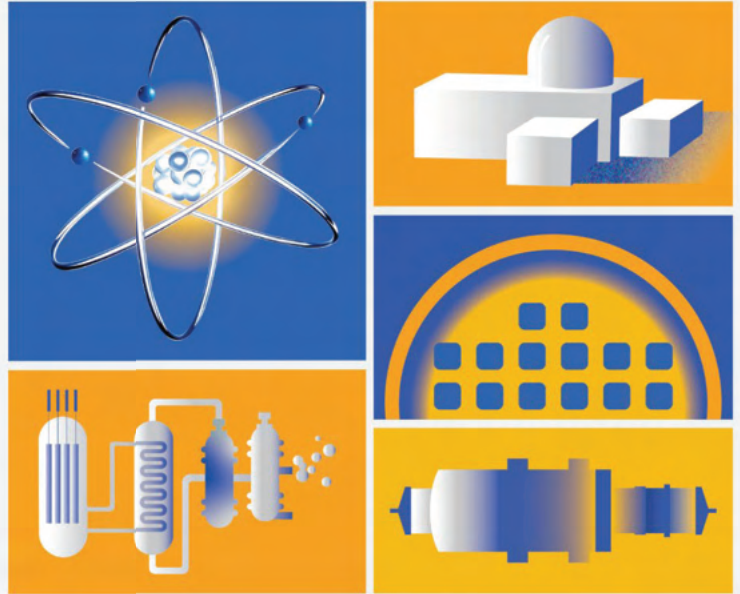
  - 우리나라 온실가스 배출의 분야별 구성은 전환(발전) 33%, 산업 38%, 수송 15% 등
  - 모든 영역에서 무탄소 에너지 지원이 필요하나, 재생에너지 만으로는 한계
  - 특히 AI, 데이터센터 등 고(高)전력 산업의 대두로 무탄소에너지의 대폭 확대가 필요하나, 기존의 무탄소 에너지원은 이러한 수요를 충족하기 어려운 기술적 한계 존재
  - \* 재생에너지: 부지/간헐성 등, 대형원전: 부지/송전망 등, 수소: 청정수소 자급 가능성 등



**원자력계가 한 목소리로 지지해야 외부 위협 극복가능**

## 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

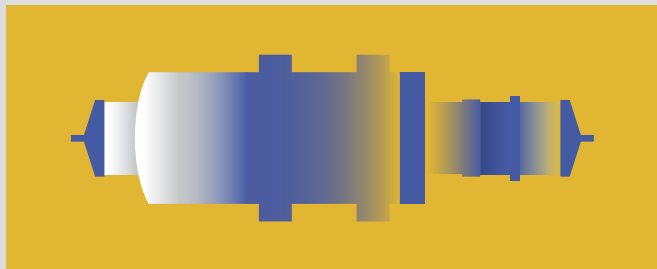
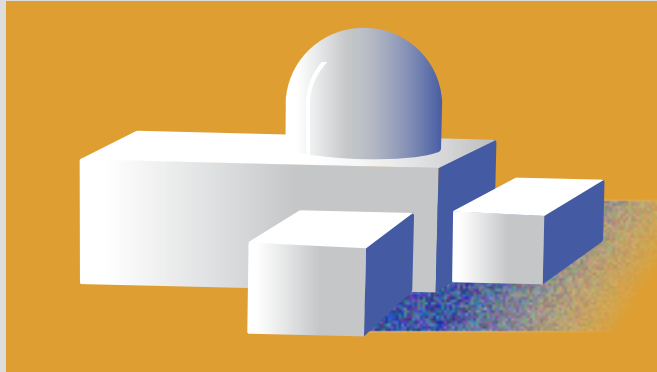
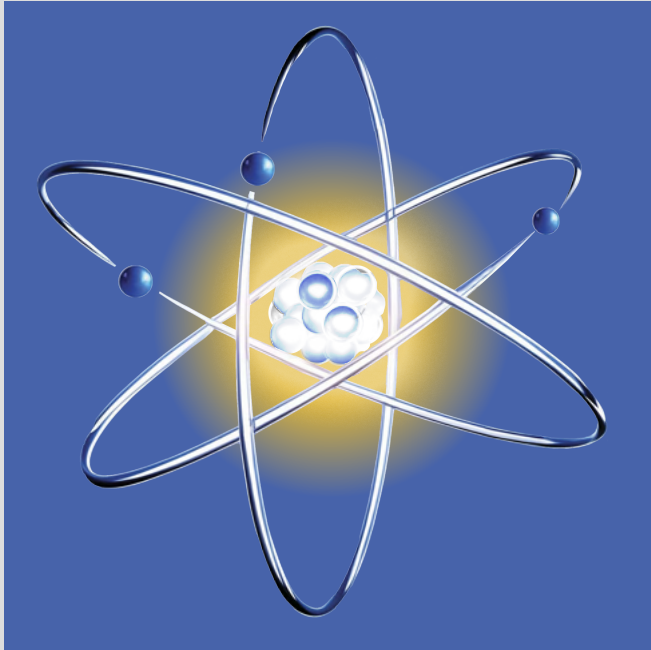
감사합니다.





# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향



## 사고저항성핵연료 (ATF) 개발 및 규제 동향과 과제

박찬오

서울대원자력정책센터 연구위원



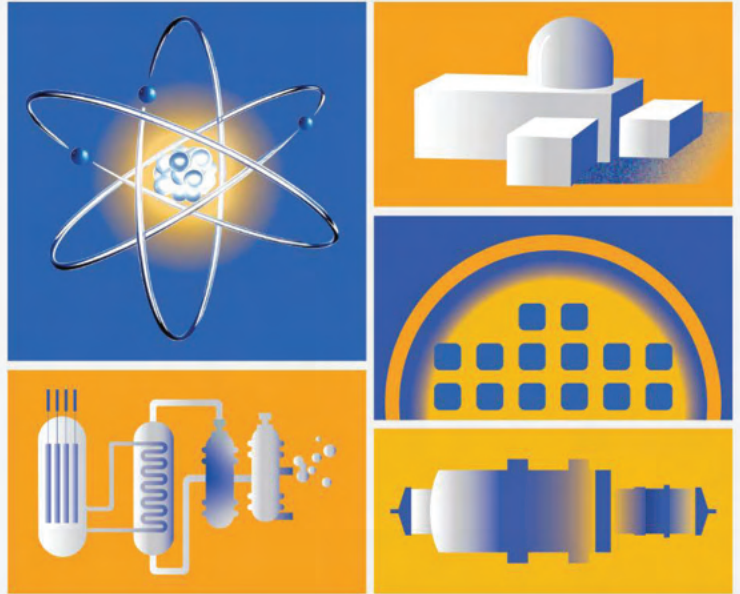
# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 사고저항성핵연료(ATF) 개발 및 규제 동향과 과제

2025. 3. 6.

**박찬오** 서울대원자력정책센터 연구위원

copark5379@snu.ac.kr



## 1. ATF 개발 배경 및 현황

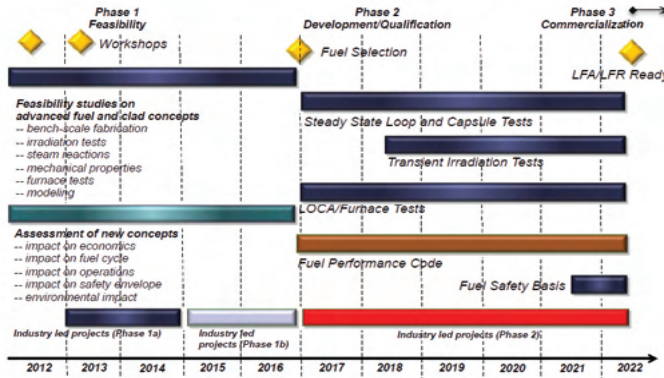




## ATF 개발 배경 (1)

### 1. 후쿠시마 사고 Feedback

- 후쿠시마 사고 시 노내 생성 수소는 고온 증기와 Zr 기반 핵연료 피복관과의 반응에 의한 피복관 산화에 기인
- 미 의회는 2012년 종합세출예산법을 통하여 에너지부에 ATF (사고저항성핵연료) 개발을 요구하고 5천9백만 달러 예산 책정
- 미 에너지부는 2022년까지 LTA/LTR 장전을 목표로 개발 프로그램 수립



**금속-증기 반응**  
 피복관 소재인 Zr은 고온(>1000°C)에서 증기와 급속히 산화 반응하여 수소를 발생

$$\text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZrO}_2 + 2\text{H}_2 + \text{heat}$$

고온에서 Zr 대비 산화 반응이 느린 소재에 주목  
**Cr, FeCrAl, SiC**

(출처) US DOE, Development of LWR Fuels with Enhanced Accident Tolerance, Report to Congress, April 2015

## ATF 개발 배경 (2) : 미국

### 2. 미국의 글로벌 원자력 리더십 회복 정책

미국의 선행핵주기 산업 붕괴로  
 농축 핵연료 공급 보장 못하는 국제 핵비확산 리더

트럼프 대통령 지시('19.7)로 '국가 핵연료워킹그룹' 구성  
 및 보고서 발간('20. 4)

The strategy recommends:

- Taking **immediate and bold action** to strengthen the uranium mining and conversion industries and **restore the viability of the entire front-end of the nuclear fuel cycle.**
- Utilizing American technological innovation and advanced civil nuclear RD&D investments to consolidate technical advances and **strengthen American leadership in the next generation of civil nuclear technologies.** (HALEU, 신형로, SMR, VTR)
- Ensuring that there will be a **healthy and growing nuclear energy sector** to which uranium miners, fuel cycle providers, and reactor vendors can sell their products and services.
- Taking a whole-of-government approach to **supporting the U.S. nuclear energy industry in exporting civil nuclear technology in competition with state-owned enterprises.**

### RESTORING AMERICA'S COMPETITIVE NUCLEAR ENERGY ADVANTAGE

A strategy to assure U.S. national security



U.S. DEPARTMENT OF ENERGY

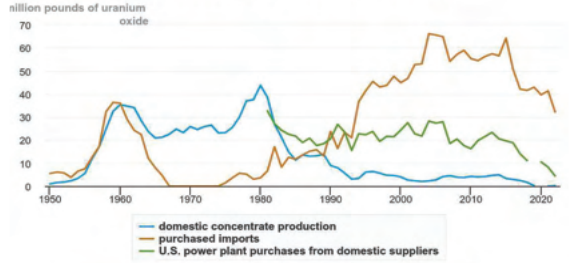
## ATF 개발 배경 (3) : 미국

### 2. 미국의 글로벌 원자력 리더십 회복 정책

러시아산 우라늄 수입 금지법(PRIUA) 발효(2024.8)  
**Energy Act of 2020** (HALEU 등 신형 핵연료 가용성 보장)  
 [DOE는 CETRUS사의 HALEU 농축사업 자금 지원]

- 원광
  - '80년을 정점으로 지속 감소하여 '22년 기준 해외 비중이 95%
- 변환
  - Honeywell Metropole Works(15,000 tU 용량)가 미국내 유일한 변환 시설
  - '17년 11월 부터 운영 중단 상태였다 시장 호전으로 '23년부터 재가동
- 농축 및 HALEU 생산
  - URENCO USA의 LES(LEU 생산)와 Centrus의 ACP(HALEU 생산) 시설이 가동 중
  - URENCO USA-LES가 미국 농축 수요의 1/3을 공급 중이며 LEU+ 및 HALEU 인허가 갱신 및 시설 확장을 계획 중
  - Centrus ACP가 HALEU 생산이 가능한 미국 내 유일 시설 ('23년 말 20kg의 HALEU 최초 생산)

Sources of uranium for U.S. nuclear power plants, 1950-2022



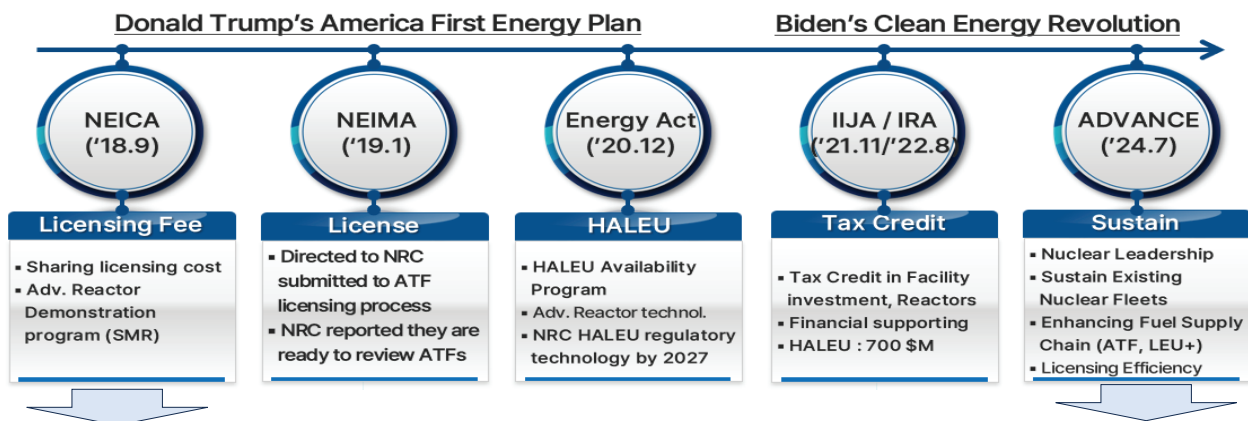
Data source: U.S. Energy Information Administration, Monthly Energy Review, Table B.2, June 2023  
 Note: Data withheld for U.S. power plant purchases from domestic suppliers in 2019 and for domestic production in 2020 to avoid disclosure of individual company data.

시설명	소재지	회사	시설 용량	인허가 만료일자
ACP (American Centrifuge Plant)	오하이오주 Piketon	Centrus Energy Corp	-	2037.04.13
LES (Louisiana Energy Services)	루이지애나주 Eunice	Urenco-USA	460만 SWU/yr	2040.06.09

[출처: US NRC]

## ATF 개발 배경 (4) : 미국

### 2. 미국의 글로벌 원자력 리더십 회복 정책



#### NEICA 근거한 ARDP

[실증단계] Natrium 19.8억불, Xe-100 12.3억불  
 [위험저감단계] Kairos Power, WH, BWXT, Holtec  
 [개념개발 단계] 4세대 SMR 개발 기관 3개

#### NRC 효율화 및 강령 개정

[Sec. 207] DC 취득자의 신청서 접수 후 25개월 내 COL 발급 여부 결정, 90일 이상 지연 시 의회 보고

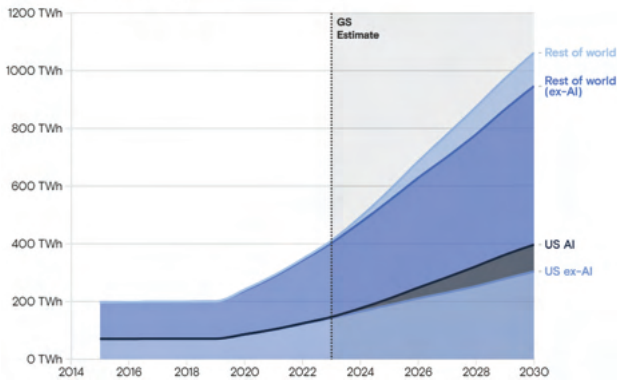
[Sec. 501] NRC mission statement 개정 (2025. 1월 개정)

[New Mission] The NRC protects public health and safety and advances the nation's common defense and security by enabling the safe and secure use and deployment of civilian nuclear energy technologies and radioactive materials through efficient and reliable licensing, oversight, and regulation

## ATF 개발 배경 및 경과 (5)

### 3. AI 데이터센터 촉발 전력 수요 급증에 따른 원자력 특히 SMR 수요 증가

데이터 센터 전력 수요



AI Post 기사 (골드만삭스)

#### 미국 빅테크 기업

**Google** : 불소염냉각 SMR 개발 Kairos Power와 전력구매 의향서

**Amazon**: 고온가스냉각 SMR(Xe-100) 개발 X-energy와 협약

**Open AI**: 소듐냉각 SMR(Aurora) Oklo와 협약

**Microsoft**: TMI 2호기 재가동(16억 달러)



France tempts AI firms with its nuclear electricity

Tuesday, 11 February 2025

영국의 AI Cloud 기업 Fluidstack, 프랑스에 원자력 전기 이용 데이터센터 건설 1단계 100억 유로 투자

## ATF 개발 배경 (5)

### 4. 실용적 ATF로 진화 : 농축도 상향(LEU+, HALEU) ATF

#### 가동 원전

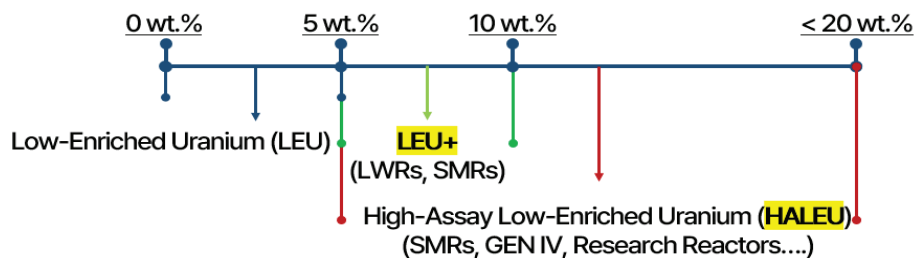
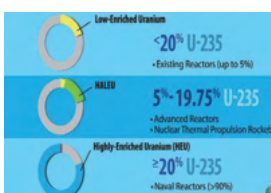
- 원전 경제성 향상 수요 (장주기 운전, 고연소핵연료)
- ATF 채택 소재로 인한 반응도 손실 보상

#### SMR

- SMR의 노심 크기 감소에 의한 중성자 누설 증가에 따른 반응도(주기길이) 손실 보상
- 소형 노심에 따른 **사용후 핵연료 발생량 증가** 대책
- ATF 채택 소재로 인한 반응도(주기길이) 손실 보상
- 비경수로(HTGR, SFR, MSR 등) 노심 특성상 5% 이상 농축도 수요
- 고속로 초기노심에서 HALEU가 Pu 대체재로 활용

#### 규제 이슈

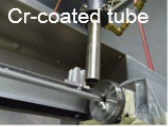

- 5% 상한 농축도 규정 (핵물질 운송, 저장, 가공시설 임계사고)
- 방출연소도 상한 규정(우리나라 60, 미국 62 GWD/MTU)
- 고연소 핵연료 건전성(LWR LOCA FFRD) 및 선원향 이슈
- 피복관 코팅 등 ATF 소재 건전성



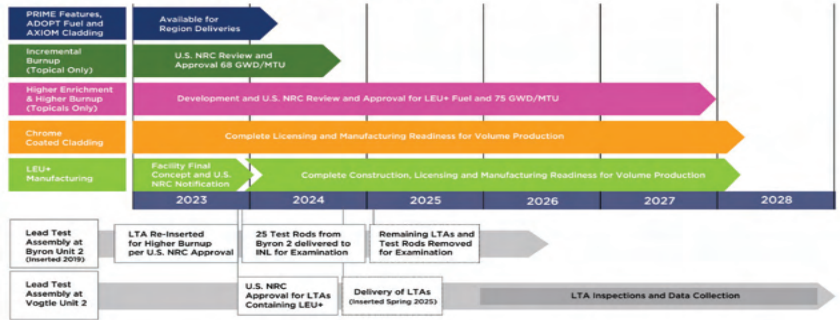
## ATF 개발 현황 : 해외

**Westinghouse EnCore® Fuel**  
We're changing nuclear energy... again

- Advanced Zr alloy tube (AXIOM®)
- Cr-coated AXIOM™ tube
- CrAl-doped UO<sub>2</sub> pellet (ADOPT™)
- PRIME™ Fuel Assembly Features

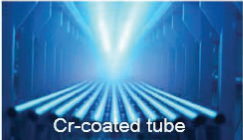

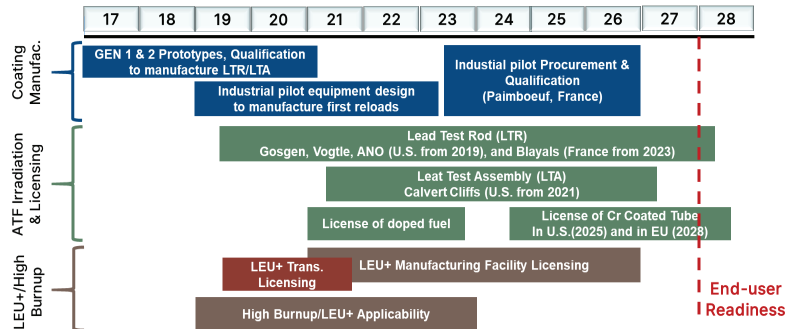



### Program Schedule for Licensing, Testing, and Volume Protection



**framatome PROtect**


- Advanced Zr alloy tube (M5™)
- Cr-coated M5™ tube
- Cr-doped UO<sub>2</sub> pellet

## ATF 개발 현황 : 국내(1)

### KNF

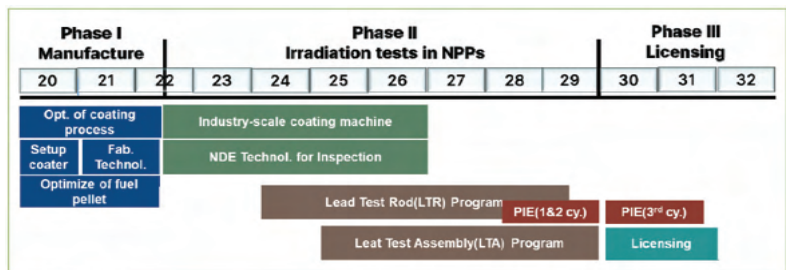
#### 사고저항성 피복관




고유 소재 고성능 피복관 (HANA™)

**독자 Cr 코팅 공정 기술 확보**  
(세계 최초 4m Arc Ion Plating 개발)  
✓ 산화 저항성 10배 향상  
✓ 해외 기술 대비 우수한 생산성

6차 원자력종합진흥종합계획에 따라 '가동원전 안전성 향상 핵심기술 개발 사업'의 일환으로 **KNF 주관으로 한수원 및 KAERI 협력 ATF 상용화 기술 개발 과제** 진행 중



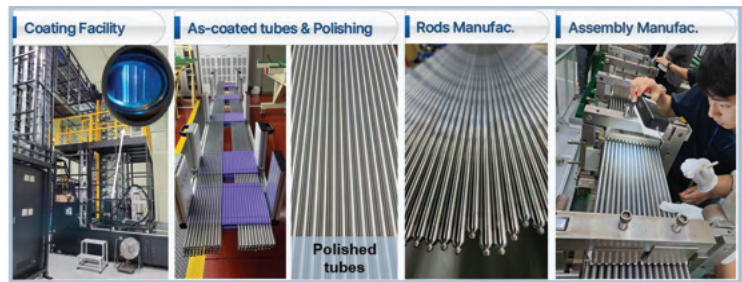
#### 사고저항성 소결체



고유 안전강화 형상

고유 첨가 소재 (LAS) 개발 (피복관 응력 저감)  
✓ 핵분열 기체 방출 30% 저감  
✓ 고온 변형률 3배 이상 향상

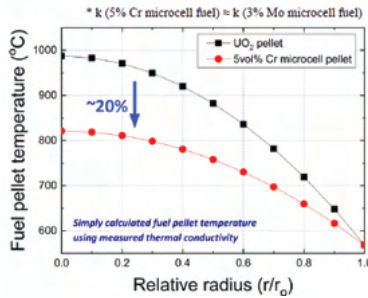
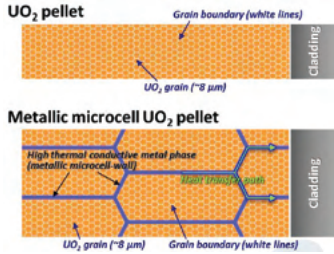
Las: La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>





KAERI

열전도도 향상 ATF 금속 미소셀(microcell) 소결체 개발



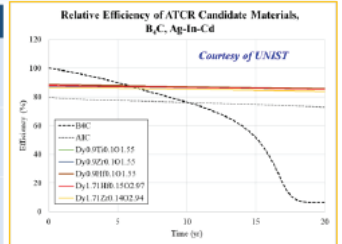
- 3.5 vol% Mo 미소셀 소결체의 경우 열전도도가 100% 향상
- 핵연료 온도가 약 20% 감소
- 핵분열 기체에 의한 봉내압 감소 등

사고저항성 제어봉(ATCR) 개발

제어봉 흡수체 안전성 및 경제성 이슈

- 제어봉 B<sub>4</sub>C와 피복재 공응 반응(1080°C 부터) 발생
- 산소/수증기 분위기에서 산화반응(약 600°C 부터) 및 수소 발생
- 사고 시 제어봉 손상이 핵연료 보다 먼저 발생 가능성
- 응용사고 시 재입계 도달 가능성
- 상시 제어봉 삽입 운전 SMR 경우 B4C 연소에 따른 치수 변형으로 제어봉 사용 수명 제한

소재 후보군 선정 전략	
Neutronic worth	• 조성별 neutronic worth 계산 비교 평가 ➢ B <sub>4</sub> C 및 Ag-In-Cd 대체
Fabrication Feasibility	• 조성별 시험 제조 및 제조성 평가 ➢ 단일 상 고밀도 소결체 제조 이슈 확인
Irradiation Stability	• Fluorite structure 조성 상세 설계 ➢ 중성자 조사 광윤 안정성 확보

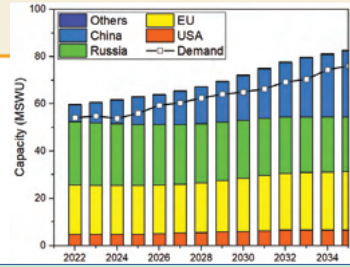
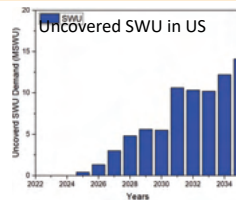
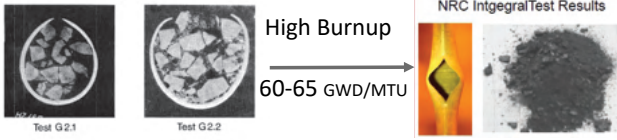


희토류 계열(Eu, Dy, Hf 등) 산화물 기반 중성자 흡수체 소재 개발

2. 미국의 ATF 규칙 개정 동향



# 미국의 ATF 현안



## 1. FFRD at High Burnup

- Fuel Fragmentation, Relocation, and Dispersal (FFRD) is critical barriers for extension of licensed burnup
- Two strategies
  - ① No burst cladding, ② Eliminate FFRD requirement
- For ②, two alternative approaches in U.S.
  - FFRD Consequence evaluation
  - Risk-informed analysis with xLPR tool

## 2. LEU+ Supply Chain

- Only Russia (+China) can produce LEU+ fuel
- Energy Act of 2020 directed to start HALEU availability program
- Biden's executive order 14017 directed to DOE a strategy to secure the supply chain.
- Centrus Produced first 20 kg HALEU and expanding their production capacity (~ 6 ton/yr)

## 2. Extended Power Uprates (~ 20%)

- U.S. Utilities are interested to increase power
- Performance-based criteria might give additional operational flexibility and more thermal margin
- They are actively discussing the change of T/H analysis methodology to Time at Temperature (TaT) in stead of Departure from Nucleate Boiling(DNB)
- Several R&D to establishing a elaborate strategy and test matrix.

## 4. Lack of Regulatory Basis and Guidelines

- U.S. directed to NRC build regulatory infrastructure for adv. fuel technology under NEIMA, Energy Act of 2020 by Dec. 2027
- NRC issued project plan for ATF and reviewed LEU+/HBU applicability to existing regulatory infrastructure
- Several PIRTs and public meeting with stakeholders to accelerate licensing efficiency.

# 미국의 ATF 규칙 개정 동향 : 개요

## ATF 규칙 제·개정

NEIMA 발효  
(2019. 1)

- 2019. 10 — ATF 규제준비 사업계획(Ver. 1.1)
- 2021. 9 — ATF 규제준비 사업계획(Ver. 1.2)
- 2022. 3 — SRM-SECY-21-0109 (경수로의 ATF 농축도상향 규칙 제개정 계획)
- 2022. 5 — 현 규제체계의 ATF 적용성 평가 (격차분석 보고서)
- 2023. 6 — ATF 규제준비 로드맵
- 2023. 9 — ATF 규제 기준서
- 2024. 1 — ATF 규제준비 로드맵(Rev. 1)

FFRD: Fuel Fragmentation, Relocation, Dispersal  
RIL: Research Information Letter

## ATF 주제별 규칙·지침

### Cr 도포 피복관

- 2019. 6 — PIRT
- 2020. 1 — ISG (ATF-ISG-2020-01)
- 2023. 10 — RG 1.183(선원항) Rev. 1

### 농축도 상향

- 2021. 4 — 중대사고PIRT
- 2021. 12 — FFRD RIL 2021-13
- 2021. 12 — SECY-21-0109 (경수로의 기존 연료 및 ATF의 농축도 상향 규칙 제개정 계획)

### 첨가제 소결체

- 2023. 10 — RG 1.183(선원항) Rev. 1

### 고연소도

- 2021. 4 — 중대사고PIRT
- 2021. 12 — FFRD RIL 2021-13



## 미국의 ATF 규칙 개정 동향 : NEIMA

### 원자력 혁신 및 현대화법 NEIMA (2019. 1)

#### ● '신형원자로' 및 '신형원자로연료'의 정의 (Section 3)

The term **"advanced nuclear reactor"** means a nuclear fission or fusion reactor, including a prototype plant with **significant improvements compared to commercial nuclear reactors** under construction as of the date of enactment of this Act, including improvements such as—

- (A) additional inherent safety features; (B) significantly lower levelized cost of electricity;
- (C) lower waste yields; (D) greater fuel utilization; (E) enhanced reliability; (F) increased proliferation resistance;
- (G) increased thermal efficiency; or (H) ability to integrate into electric and nonelectric applications.

The term **"advanced nuclear reactor fuel"** means fuel for use in an advanced nuclear reactor or a research and test reactor, including fuel with a low **uranium enrichment level of not greater than 20 percent**.

#### ● ATF의 정의 (Section 107)

In this section, the term "accident tolerant fuel" means a new technology that—

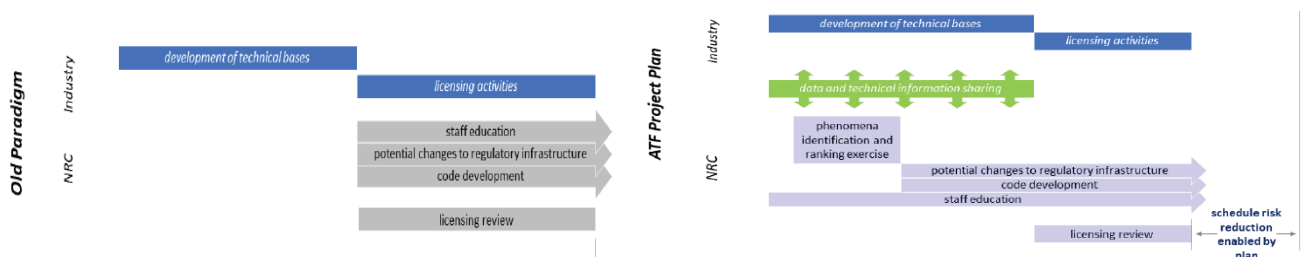
- (1) makes an existing commercial nuclear reactor **more resistant to a nuclear incident** (as defined in section 11 of the Atomic Energy Act of 1954 (42 U.S.C. 2014)); and
- (2) **lowers the cost of electricity** over the licensed lifetime of an existing commercial nuclear reactor.

## 미국의 ATF 규칙 개정 동향 : 규제 준비 사업계획

### ATF 규제 준비 사업계획(\*) ('21. 9)

#### ● 주요 내용

- 새로운 Paradigm (사업자/NRC 인허가 신청전 접촉)



- 정례적인 사업자와의 회의 + 산업체 인허가 추진 일정 요구
- 원자로 관련 규칙 검토 및 개정(Part 50, 52, 100)
- 핵주기 관련 규칙 검토 및 개정(Part 70, 71, 72)
- PRA 활동
- 독립적인 확인 계산 능력

(\*) Project Plan to Prepare the US NRC for efficient and effective licensing of ATF  
Version 1.2 ('21. 9)

## 미국의 ATF 규칙 개정 동향 : 규칙 개정 계획

### '농축도 상향 LWR 핵연료 규칙 개정 계획'을 위원회에 제출 (SECY-21-0109, '21. 12)

- 배경
  - 5% 이상 농축 핵연료 사용 수요가 발생 함.
  - 현행 규칙은 Sec. 70.24(임계사고 요건) 적용 면제 조건으로서 Sec. 50.68에서, 그리고 71.55((핵분열 물질 포장의 일반요건) (g)(4)에서 **5% 상한을 규정** 함.
  - 규칙 제·개정을 통하여 면제 신청을 줄임으로써 규제 효율성 향상 필요
- 범위 및 일정
  - 상기 **50.68 및 71.55조 개정** 및 이의 영향 검토·개정 (기존 연료 및 ATF)
  - 기간은 위원회 승인후 **42개월** (규제기준 18개월, 개정문안 제시 12개월, 최종 문안 12개월)

### 위원회는 상기 SECY 개정 계획을 2022년 3월 승인 (SRM-SECY-21-0109)

- ATF로 국한할 것
- FFRD(Fuel Fragmentation, Relocation, Dispersal) 이슈를 **규제기준(Basis)**에서 다를 것
- 위험도정보활용(Risk-informed) 접근법을 취할 것
- 이해관계자와 신속하게 협의 할 것
- 일정 단축을 검토할 것

## 미국의 ATF 규칙 개정 동향 : 규제체계 격차분석(1/2)

### 현행 규제 체계의 ATF 적용성 평가 보고서 ('22. 5)

- 현행 규칙·지침의 ATF 적용성 및 격차 분석
  - 연소도 상향 (68 및 75GWD/MTU),
  - 농축도 상향,
  - 크롬 도포 피복관,
  - 첨가물 추가 소결체 각각
- 평가 대상 규칙 및 지침 (총 39 종)
  - RG 1.183 (설계기준사고 평가를 위한 대체 선원항)
  - RG 1.195 (설계기준사고의 방사능 결말 평가 방법 및 가정)
  - RG 1.236 (PWR 제어봉 이탈 및 BWR 제어봉 낙하사고)
  - RG 1.157 최적 ECCS 성능 평가계산, RG 1.203 과도 및 사고해석 방법
  - RG 1.240 신 및 사용후 핵연료 수조 임계 해석
  - DG 1.222 (이탈 산화 거동에 대한 정기적 시험 수행)
  - DG 1.223 (Testing for post quench ductility),
  - NUREG: standard TS, SRP, 선원항, LOCA 후 피복관 거동, 등
  - 10 CFR 50.46(규정적 LOCA 해석요건), 50.67(사고 선원항), 50.68(임계사고 요건), Part 50 App. K(ECCS 평가 모델)
  - 10 CFR 51.21 (환경평가), 51.51(우라늄 주기 환경평가 자료), 51.52 (연료 및 폐기물 운반의 환경 평가)
  - 10 CFR 70.24 (임계사고 요건)



Regulatory Framework Applicability Assessment  
and Licensing Pathway Diagram  
for the Licensing of ATF-Concept, Higher Burnup,  
and Increased Enrichment Fuels

MAY, 2022

## 미국의 ATF 규칙 개정 동향 : 규제체계 격차분석(2/2)

### 현행 규제 체계의 ATF 적용성 평가 보고서 ('22. 5)

#### ATF 규제 적용성 평가 예시

#	Guidance Document Regulation	Burnup to 68 GWd/MTU	Burnup to 75 GWd/MTU	<sup>235</sup> U Enrichment beyond 5.0 wt%	Chromium-coated Zirconium Cladding	Doped UO <sub>2</sub> Fuel Pellets
6	10 CFR 50.46 LOCA Prescriptive Analytical Requirements	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fully applicable</li> <li>Note: 50.46 does not address recent HBU LOCA findings documented in NUREG/CR-7219. 50.46c rulemaking is being conducted to address HBU phenomena in the regulations. Ideally, industry submittals should discuss the</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fully applicable</li> <li>Note: 50.46 does not address recent HBU LOCA findings documented in NUREG/CR-7219. 50.46c rulemaking is being conducted to address HBU phenomena in the regulations. Ideally, industry submittals should discuss the</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fully applicable</li> <li>No data gaps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Not fully applicable</li> <li>Reason: 50.46(a)(1)(i) only speaks to zircaloy and ZIRLO clad fuel. Closure: An applicant will need to meet the analytical requirements. Exemption requests may have to be submitted</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fully applicable</li> <li>No data gaps</li> </ul>
10	10 CFR 50.68 Criticality Accident Requirements	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fully applicable</li> <li>No data gaps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fully applicable</li> <li>No data gaps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fully applicable</li> <li>Note: 5 wt% enrichment limit (without criticality monitoring system) explicitly stated, thus, licensees can submit exemption requests or, as stated in 50.68, adopt 70.24. See</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fully applicable</li> <li>No data gaps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fully applicable</li> <li>No data gaps</li> </ul>

[참고] 미국의 5% U235 농축도 제한 규칙 조항

- 10 CFR Part 50 Sec. 50.68(임계사고 요건)
- 10 CFR Part 71 Sec. 71.55(핵분열 물질포장 요건) (g)(4) 항

[참고] Sec. 50.68의 5% 상한은 Sec. 70.24의 임계사고 모니터링 요건을 면제해주는 조건의 하나임

## 미국의 ATF 규칙 개정 동향 : 규제 기준서(Regulatory Basis Document)

### 농축도 상향 ATF 규제 현안의 NRC 규칙 개정 방향

#### 규칙개정을 위한 공개 의견수렴용 규제기준서(Regulatory Basis Document) 발표 (NRC-2020-0034, '23. 9)

- 개정 대상 규칙은 Part 50(생산 및 이용시설의 국내 허가), Part 51(국내 허가 및 관련 규제기능을 위한 환경보호) 및 Part 71(방사능 물질의 포장 및 운송)임
- Sec. 50.67(사고선원항), 50.68(임계사고요건), 51.51(우라늄 핵주기 환경자료, 표 S-3), 51.52(연료 및 폐기물 운송의 환경영향, 표 S-4) 등개정 제안

10CFR	Title	Issues	Recommendation
50.67	Accident source term	Small margin to control room design criteria with IE/HBU	Rulemaking to revise the control room design criteria
50.68/72.24	Criticality accident requirement	50.68 is an alternative to 70.24 if the enrichment of U-235 is less than 5 wt.% (50.68(b)(7))	Remove Specific Enrichment Limit and replace with Tech. Spec. Design Feature Limits
51.51/51.52	- Environmental data for Uranium fuel cycle - Environmental data for transportation of fuel and waste	Currently no approved assessment of environmental impacts related to the NPP's operation licensing or transportation of fresh fuel with > 5 wt.% U-235.	Pursue the necessary environmental analysis to justify continued use of Table S-3 & Table S-4 NUREG-2266 supported these tables bound for 8 wt.%
71.55	General requirements for fissile material packages	An exception to 71.55(b) according to 71.55(g) 5 wt.% limit	No action (An exception to 71.55 (b) or (g))
50.46	Emergency criteria	Implementation of FFRD	Additional feedback requested

- 5 FFRD Alternatives : 1. No Action, 2. Redefine LBLOCA, 3. Develop FFRD Regulation  
4. Post FFRD Consequence, 5. Risk-Informed LOCA

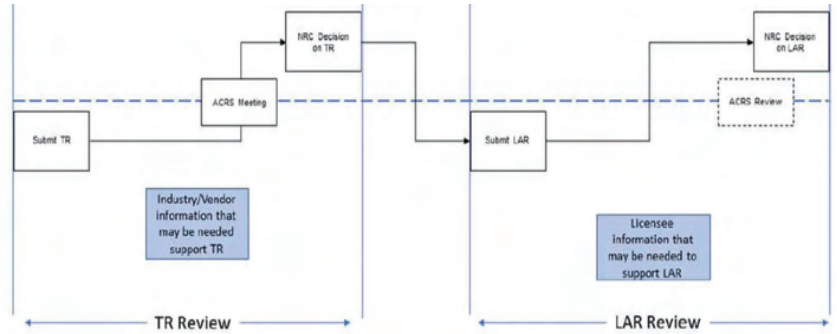
## 미국의 ATF 인허가 동향 ('25. 2. 1 기준)

### ATF 인허가 활동 : 총 46건

- 도포 피복관(\*) : 5건
- 첨가물 추가 소결체 : 12건
- FeCrAl 피복관 : 2건
- 고연소도 : 8건
- 농축도 상향 : 17건
  - 원자로 내 5건
  - 운송 6건
  - 핵주기 시설 6건
- 기타 2건

(\*) Cr 도포 피복관 규제심사는 임시규제지침에 따름(ATF-ISG-2020-01, January 2020)

### 대표적 ATF 인허가 경로



### ATF 인허가 조치 형태

- License Amendment Request(LAR)
- Topical Report(TR)
- License Review(LR)
- Certificate Compliance Revision

## 3. 우리나라의 ATF 관련 현안 및 과제



## 우리나라의 ATF 관련 현안 및 과제 (1)

### 농축도 상향/고연소도(>60GWD/MTU) ATF를 위한 규제 체계 완비?

- 우리나라는 5% 상한 농축도를 명시적으로 규제하지 않음
- 핵연료 건전성과 시설의 안전성 기준은 그러나 이에 준하여 규정됨

➔ ATF 규제 이슈 특히 LOCA 시 고연소 FFRD 평가 방법론(LB-LOCA 재정의, 위험도정보활용 LOCA 해석 포함) 및 규제 기준 개발 필요

### ATF 정의에 대한 합의 및 규정화가 되어있지 않음

- ATF의 공식적 정의나 성능 기준이 부재함 (다만, K-Taxanomy에서 기술선별 기준으로 사용)
- ATF 성능이 사고배제연료(Accident Free)로 과잉 인식시 국민 수용성에 역효과 우려

➔ 미국과 같이 법제화(NEIMA) 하거나, ATF 규제 지침 또는 K-Taxanomy 등에서 정의하는 방안 검토 필요 (안전과 주기경제성 향상을 균형있게 정의 필요)

## 우리나라의 ATF 관련 현안 및 과제 (2)

### ATF 개발 일정 및 적용 시점의 국내외 Taxonomy 적용 요구 시점 충족 방안은 ?

- 신한울 3,4 및 11차 전기본의 신규 원전 설계는 ATF 연료를 적용? 적용한다면 ATF 사양은?
- '24년 온실가스 감축 관련 한국형 녹색채권 발행액이 3조 479억 원( K-Taxonomy 보완 '24. 12 정부합동)
- 체코 원전 설계에 ATF 적용?

#### EU Taxonomy

- 원자력관련 경제활동
  - 1) 제4세대 원자력기술 개발
  - 2) 제3+세대 원전 건설/운영 (2045년까지 건설허가시)
  - 3) 가동원전의 계속운전 (2040년까지 승인시)
- 기술선별기준
  - a) 2025년부터 ATF 적용
  - b) 2050년까지 고준위 방사선패기물 처분시설을 마련 계획 제시 (타국 인도 허용)
  - c) 2045년까지 건설허가받은 신규원전에 최신기술 적용

#### K-Taxonomy

- 원자력관련 경제활동
  - 1) 제4세대 원자력기술 개발
  - 2) 제3+세대 원전 건설/운영 (2045년까지 건설허가시)
  - 3) 가동원전의 계속운전 (2045년까지 승인시)
- 기술선별기준
  - a) 신규원전 : ATF 적용  
계속운전 : 2031년부터 ATF 적용
  - b) 고준위 방사선패기물 처분시설 : 문서화된 세부문서 존재
  - c) 2045년까지 건설허가 받은 신규/계속 원전에 최신기술 적용

#### ATF 적용 일정 일치 방안 모색 필요

- 예시(ATF 성능의 점진적 확장)
  - 1단계
    - 고성능 고유 소재(HANA) 피복관
    - LAS-Doped UO<sub>2</sub> 소결체
    - 농축도 < 5%
  - 2단계
    - Cr 코팅 HANA 피복관
    - LAS-Doped UO<sub>2</sub> 소결체
    - 농축도 LEU+ (<~7%)
  - 3단계
    - Cr 코팅 HANA 피복관
    - 금속 미소셀 소결체
    - 농축도 LEU+ (<~10%)

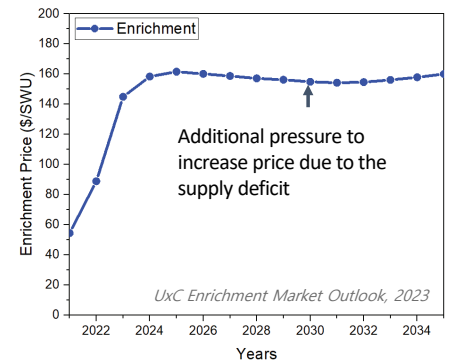
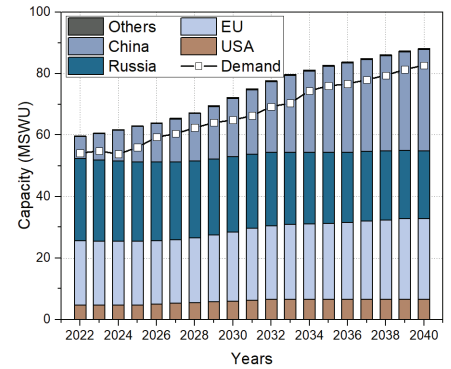
## 우리나라의 ATF 관련 현안 및 과제 (3)

### LEU+ 및 HALEU 공급 보장 ??

- 탈탄소를 위한 원전 확대 추세와 러-우 전쟁에 따른 에너지 안보 위기로 농축 우라늄 시장의 안전성이 흔들리고 있음
  - 특히, 5% 이상 농축 우라늄을 상업적으로 공급할 수 있는 국가는 러시아(일부 중국)가 유일함
  - LEU+ 및 HALEU 공급을 위한 해외사의 시설 확충은 자국 수요가 우선함으로 우리나라의 신형로 개발 일정과 불일치 가능성 상존
- 미국 정부의 러시아산 농축 우라늄 수입 제한 확대(PRUIA 발효 '24.8, Rosatom 제재법 추가 발의) 정책이 미국내 기업(TerraPower 등)의 사업일정이 영향 받듯이 우리나라도 직·간접으로 영향 가능성 상존

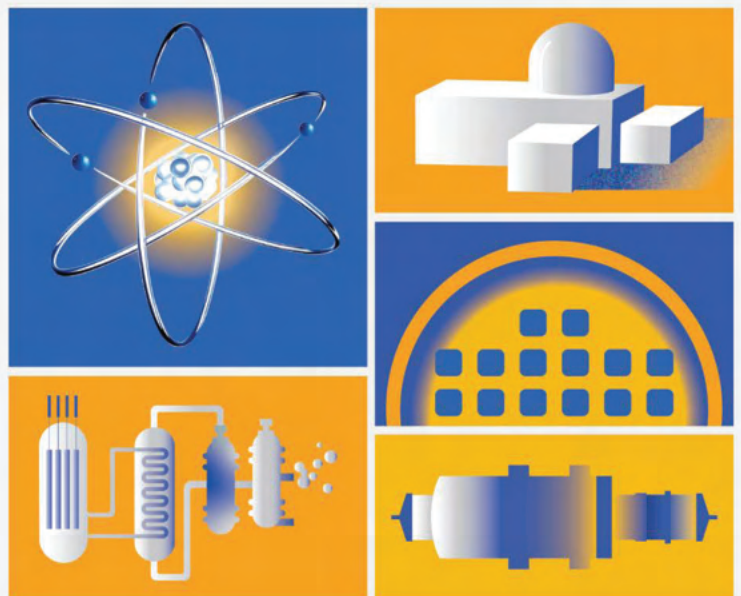
세계 5대 원전 운영국이며 수출 추진국인 우리나라도 에너지 안보 및 수출 경쟁력 차원에서 **국내 농축 시설 구축 및 일정 비율 구입 의무화제 도입** 검토 필요

- 2035년 한미 원자력협력 협정 개정과 연계하여 추진
- 해외 우라늄 광산 개발 및 해외 농축사 지분 투자 검토



## 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.

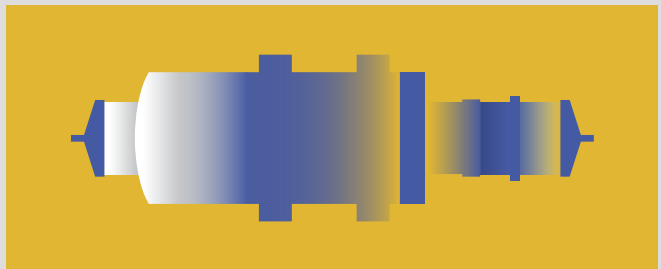
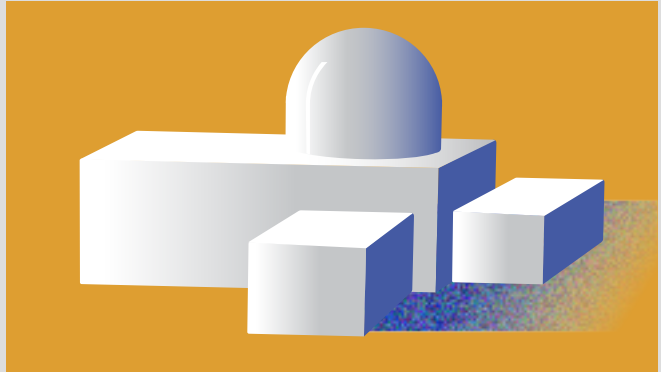
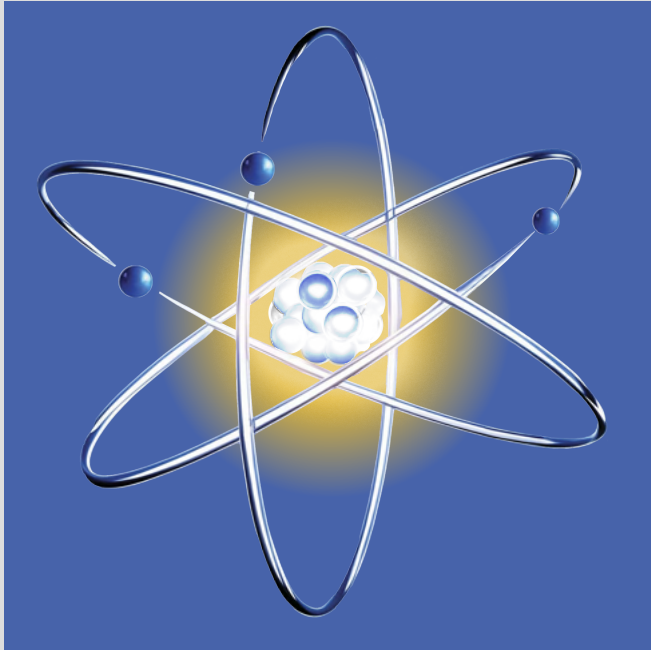






# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향



## 사용후핵연료 재활용 이슈와 해결 방안

조건우

서울대원자력정책센터 연구위원  
한국과학기술원 KAIST



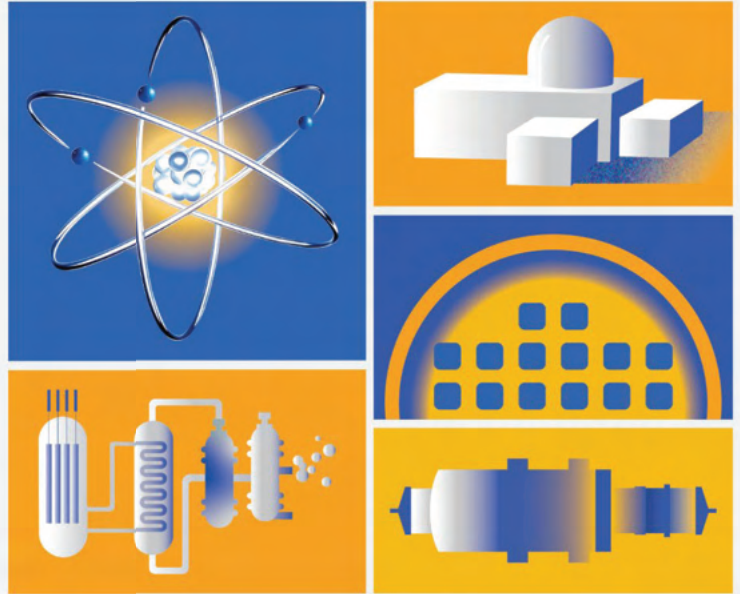
# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 사용후핵연료 재활용 이슈와 해결방안

2025. 3. 06.

조건우 서울대원자력정책센터 연구위원  
한국과학기술원 KAIST

nrsmpg@kaist.ac.kr



## 사용후핵연료 관리 정책 분석 및 제언

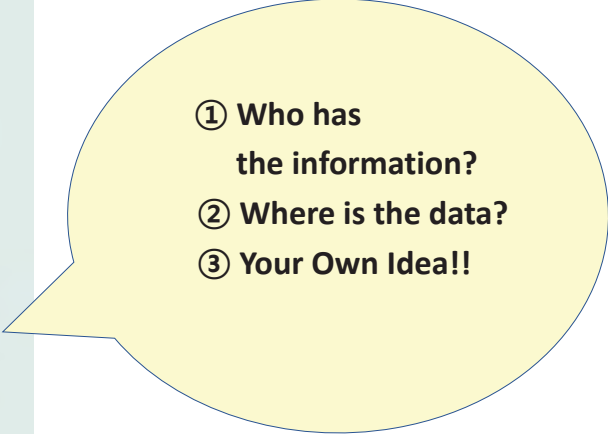
원자력정책연구센터 연구계획서			
사업명	원자력 기술정책연구 출연사업		
과제명	국문	사용후핵연료 관리 정책 분석 및 제언	
	영문	Analysis and Suggestions of Used Nuclear Fuel Management Policy	
연구책임자	(이름)	박 석 빈 (소속기관 및 부서) 서울대학교 원자력정책센터	
	(e-mail)	h107626@snu.ac.kr (전화번호-휴대폰) 010-2041-8036	
총연구기간	2022.10.01.- 2025.9.30 (36 개월)	총연구비	10,500만 원
당해연도연구기간	2024.10.01.- 2025.9.30 (12 개월)	당해연도연구비	xx.xxx만 원

과 제 명	사용후핵연료 관리 정책 분석 및 제언
최종목표 및 당해연도 연구목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내 사용후핵연료 관리 계획 분석과 최근 활발하게 연구개발 중인 새로운 원자로 노형과 신형 핵연료 기술을 분석하여 우리나라 사용후핵연료 관리 정책을 제언</li> <li>• <b>사용후핵연료 재활용 방안에 대한 정책 제언 (당해연도)</b></li> </ul>
당해연도 연구역무 및 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>역무 1: 국내 사용후핵연료 재활용 현황 및 이슈 분석</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 사용후핵연료 재활용 및 관련 인프라 현황 파악</li> <li>- 재활용 관련 법적 및 사회적 이슈 분석</li> </ul> </li> <li>▪ <b>역무 2: 사용후핵연료 재활용 이슈 해결 방안 모색</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 해외 사례 조사 및 국내 적용성 검토</li> <li>- 해결 방안 모색</li> </ul> </li> <li>▪ <b>역무 3: 사용후핵연료 재활용 방안 정책 제언</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 사용후핵연료 재활용 이슈 해결 방안의 적합성 분석</li> <li>- 재활용 방안 정책 제언</li> </ul> </li> </ul>

1. 서론
2. 사용후핵연료의 재활용 현황
3. 사용후핵연료 재활용을 위해 필요한 인프라
4. 주요 도전 과제
5. 법적, 제도적, 사회적 이슈와 해결 방안
6. 해외 사례와 적용 가능성 검토
7. 재활용 방안의 적합성 분석
8. 결론 및 제언



**Help  
me  
please!**

- 
- ① Who has the information?
  - ② Where is the data?
  - ③ Your Own Idea!!

## 사용후핵연료 관리 정책 분석 및 제언 보고서 (초안)

### 1. 서론

1.1 사용후핵연료의 정의 및 문제 (고준위 방폐물 vs SNF 등)

1.2 원자력발전소와 사용후핵연료의 관계

### 2. 사용후핵연료의 재활용 현황

2.1 현재 관리 방식 (임시저장시설, 건식 저장시설 등)

2.2 재활용 기술 현황 (파이로, 재처리 등)

2.3 국제협력 현황 (한미, IAEA 등)



### 3. 사용후핵연료 재활용을 위해 필요한 인프라

- 3.1 저장 및 관리 시설 (중앙집중식 저장, 최종 처분장 등)
- 3.2 재활용 기술 개발 인프라 (파이로, 고속로 등)
- 3.3 사회적 인프라 (법적 제도적 지원, 사회적 합의 등)

“대용량파이로처리기술, 파이로공정 중간부산물 최소화기술, 건식/습식/직접처분 경제성비교평가기술 등”

### 4. 주요 도전 과제

- 4.1 경제성 문제
- 4.2 기술적 한계 (파이로, 고속로 등)
- 4.3 규제 및 국제적 제한 (한미 원자력 협정 등)

### 5. 법적, 제도적, 사회적 이슈와 해결 방안

- 5.1 법적 이슈 (특별법 등)
- 5.2 제도적 이슈 (저장 vs 재활용 정책 등)
- 5.3 사회적 이슈 (지역 주민 의견 및 참여, 투명성, 공론화 등)

### 6. 해외 사례와 적용 가능성 검토

- 6.1 해외 사례 (프랑스, 일본, 미국 등)
- 6.2 우리나라 적용 가능성 (각 나라 모델의 교훈과 한계, 적용 등)

## 7. 재활용 방안의 적합성 분석

7.1 적합성 평가 (법적 체계, 경제성, 사회적 수용성 등)

7.2 적합성을 고려한 정책 제언

- 가. 법적 체계 확립
- 나. 경제적 지원 확대
- 다. 사회적 공론화
- 라. 기술적 지원

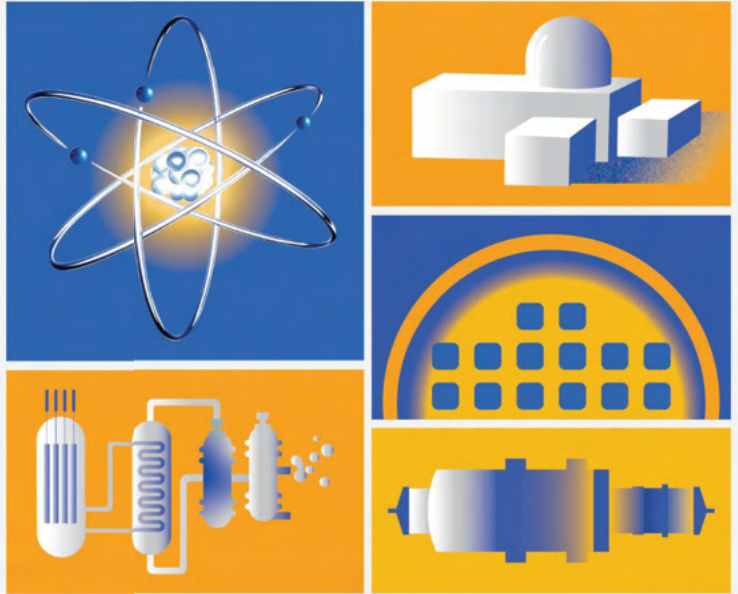
## 8. 결론 및 제언

- 정부, 학계, 산업계, 지역사회의 협력
- 지속가능한 방안



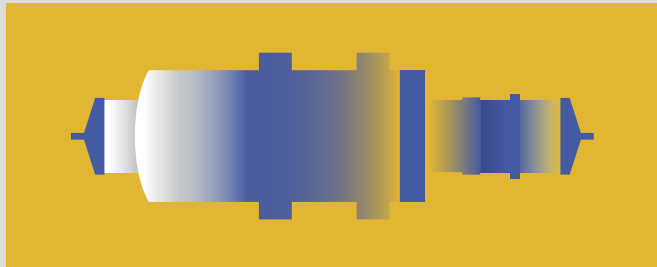
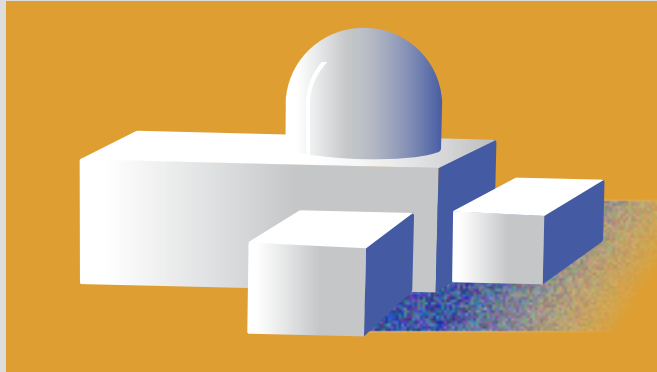
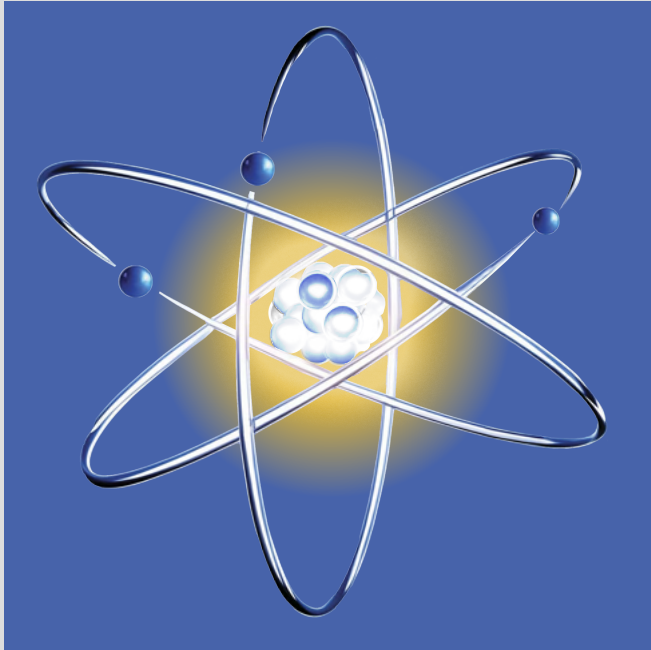
## 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.



# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향



## 탄소중립을 고려한 에너지믹스 예비 모형구축

이만기

서울대원자력정책센터 연구위원

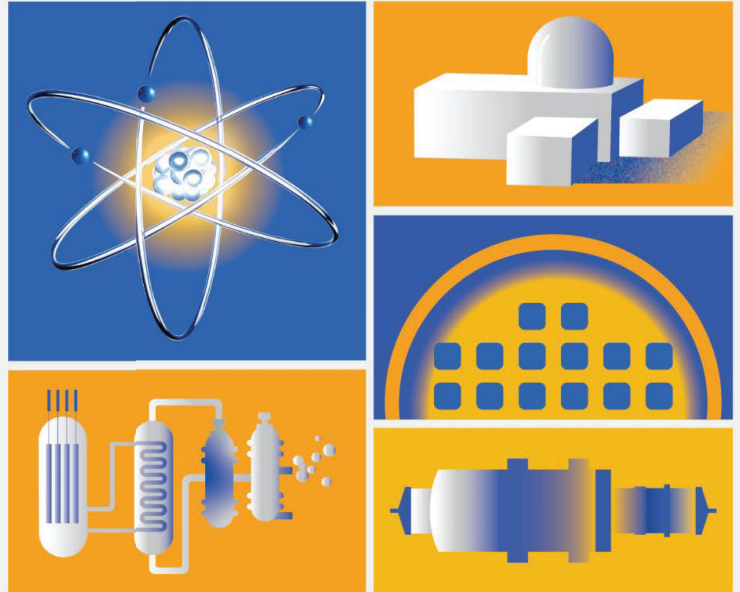


# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 탄소중립을 고려한 에너지믹스 예비 모형구축

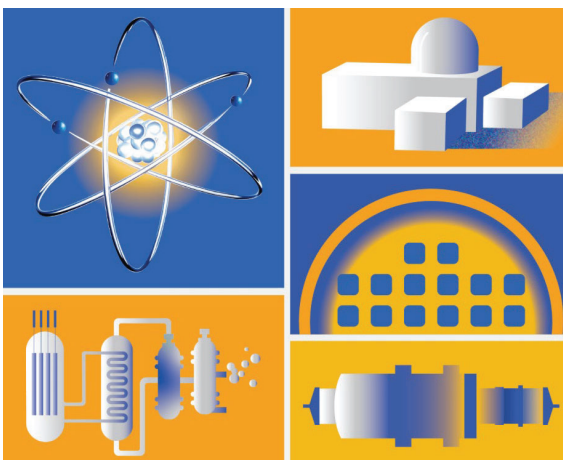
2025. 03. 06

**이만기** 서울대원자력정책센터 연구위원  
mkleee5@snu.ac.kr



## Contents

### 목 차



- I. Reference Energy System
- II. 전력수요
- III. 발전원별 입력자료
- IV. 재생에너지 간헐성
- V. 제약조건
- VI. 시뮬레이션
- VII. 시나리오 설정 및 분석
- VIII. 맺음말



# 1. Reference Energy System

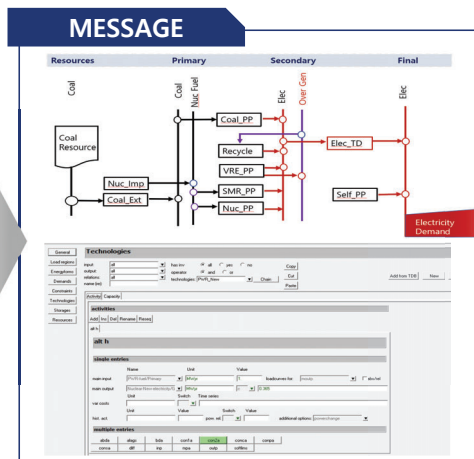
## 01 에너지 믹스 분석 모형: MESSAGE

- IASA에서 개발(1974년, IAEA 교류)
- Bottom up 모형(총비용 최소)
- 장기 에너지 시스템 모형
- IAEA 주력 에너지 모형
- IAEA 회원국 에너지 계획 수립
- IPCC 보고서 시나리오 작성

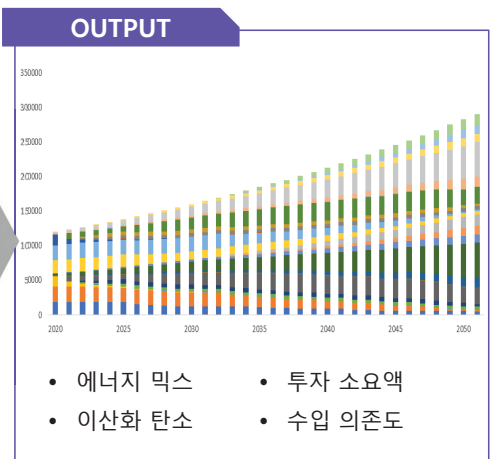
### INPUT

- 에너지 chain 구조
- 에너지 수요 전망
- 전력부하 profile
- VRE load profile
- 기술/경제 파라미터
- 각종 제약 조건

### MESSAGE

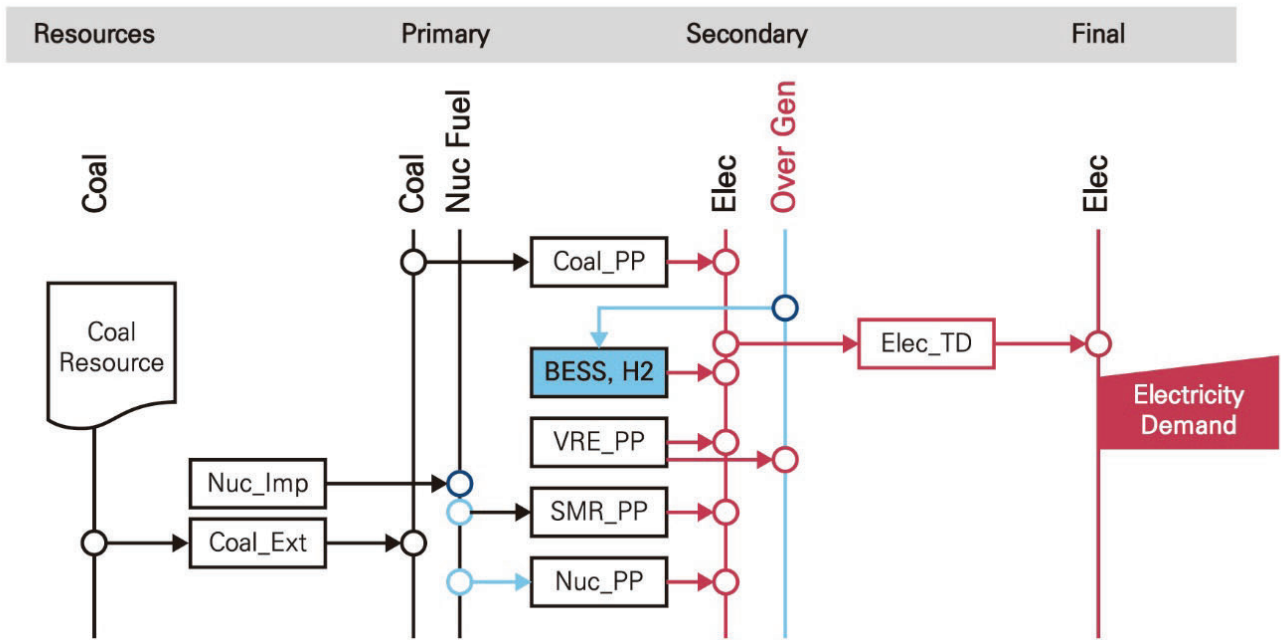


### OUTPUT

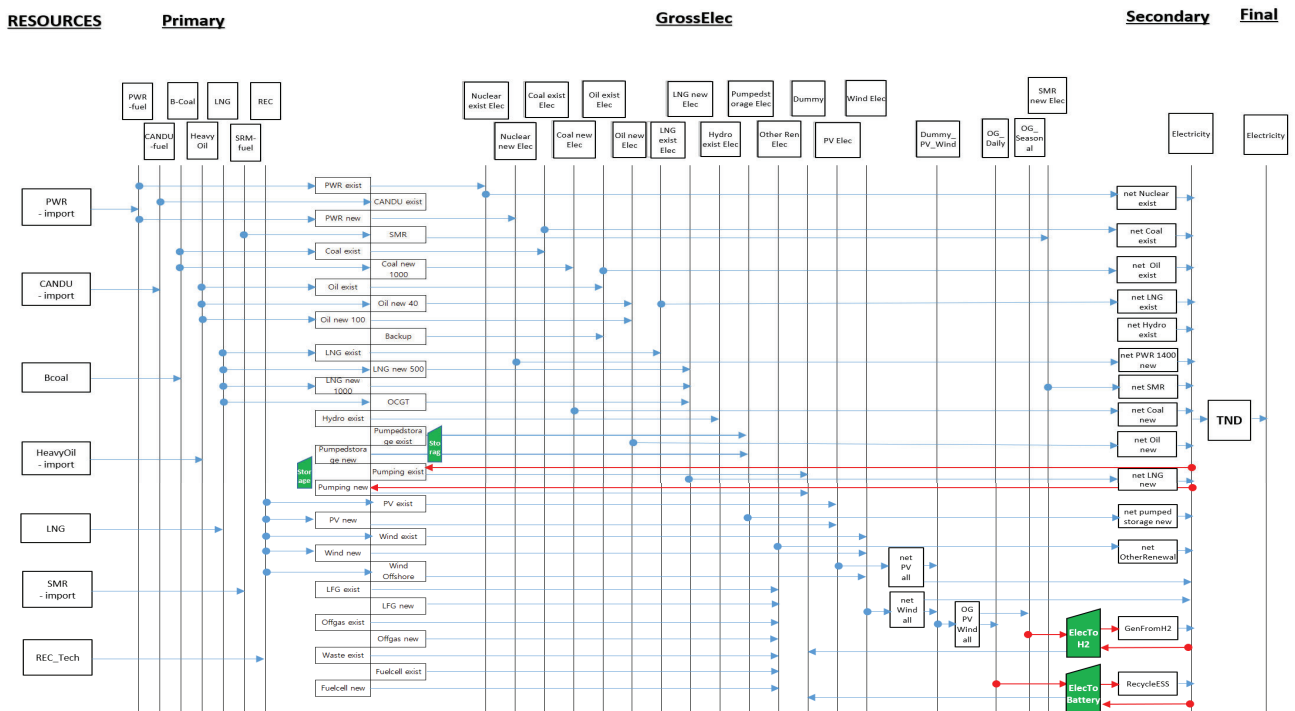


- 에너지 믹스
- 이산화 탄소
- 투자 소요액
- 수입 의존도

# 01 Reference Energy System 개관



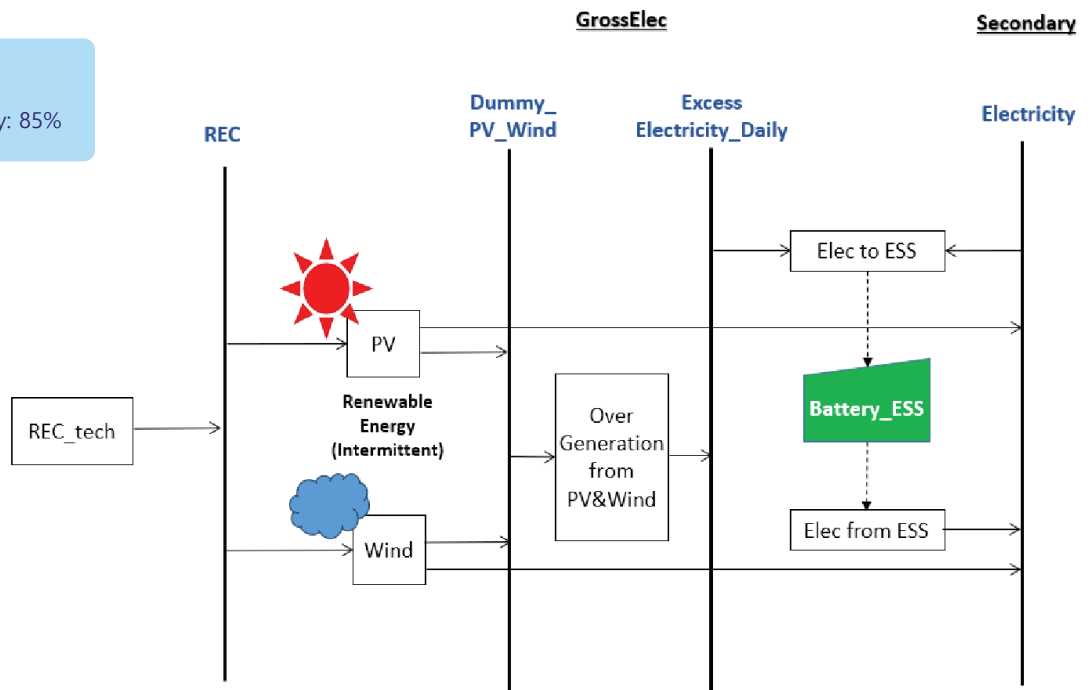
# 01 Reference Energy System (과제모형)



## 01 저장기술 모델링 예시: 배터리(BESS)

### ✓ 배터리

- Round-trip efficiency: 85%



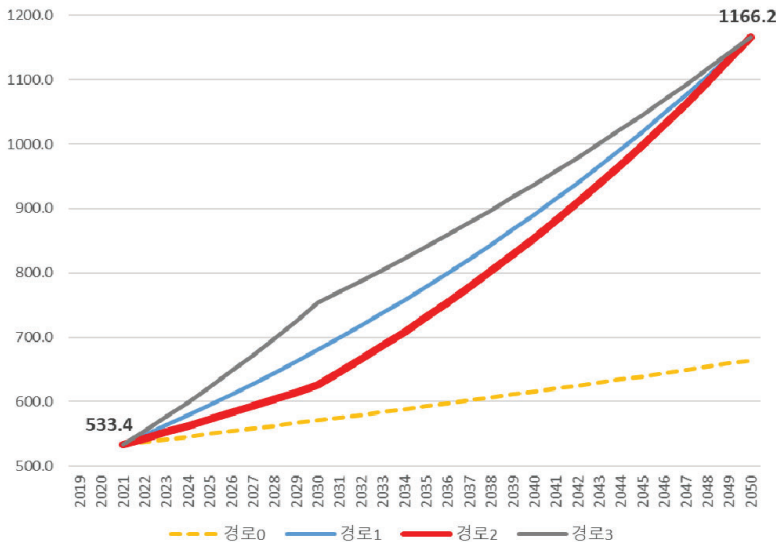
7

## 2. 전력수요

8

## 02 전력수요 전망

연도별 경로별 수요량(TWh)



(수요) '30년 NDC 및 '50 Net-Zero를 고려하여 설정

- ① **경로 0** : 10차 전기본 전력수요 증가율 '50년까지 유지
- ② **경로 1** : '21~'50년 기간 중 매년 동일한 증가율로 전기화
- ③ **경로 2** : '30년 전력수요를 10차 전기본과 경로 1의 중간값으로 가정한 후, '50년까지 일정률로 증가
- ④ **경로 3** : '30년 비전력 부문 전기화가 경로 1의 1.5배로 증가한다고 가정한 후, '50년까지 일정률로 증가

## 02 부하구간 설정 및 부하패턴 분석

본 연구에서는 국내 전력 수요와 재생에너지 전력 생산 패턴을 고려하여 1년을 총 140개의 load region으로 구분

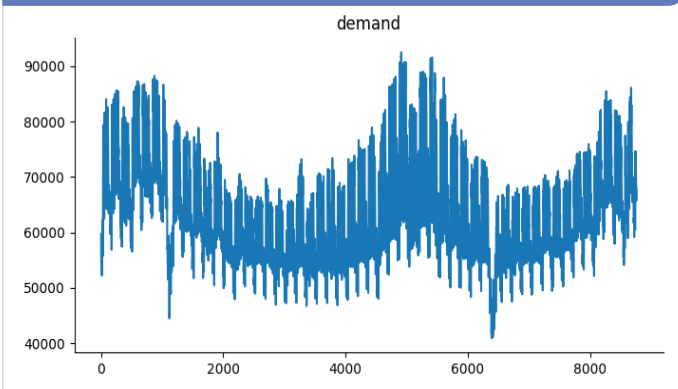
총 16개(1~12월, Peak 2개, Base 2개)의 계절로 구분하였으며  
이를 주중과 주말 2일, 하루를 5개의 시간대(Part)로 구분

전력 수요 패턴 및 재생에너지 전력 생산 패턴에 관한  
모형 입력자료 산출을 위해 Python 활용 코드 개발

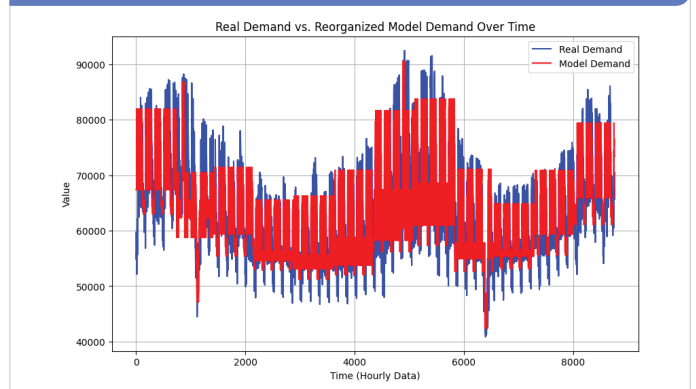
- 매년의 8,760개의 부하구간으로 이루어진 전력수요 및 재생에너지 전력생산 패턴 자료를 140개의 부하구간을 갖는 자료로 변환
- 분석 모형의 입력자료 format에 부합하는 자료 생산

## 02 2. 시간단위 부하패턴

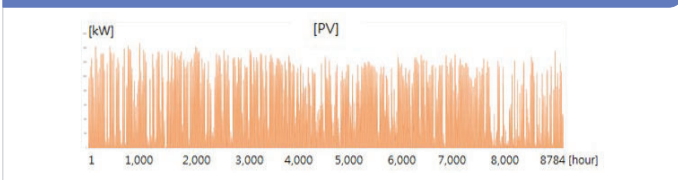
2018년 전력수요 시간대별 실적



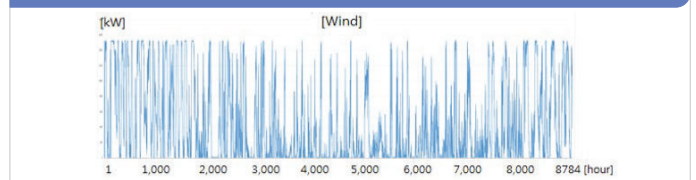
전력부하패턴 비교 : 실적과 추정(평균오차율: 5%)



태양광 시간대별 발전량

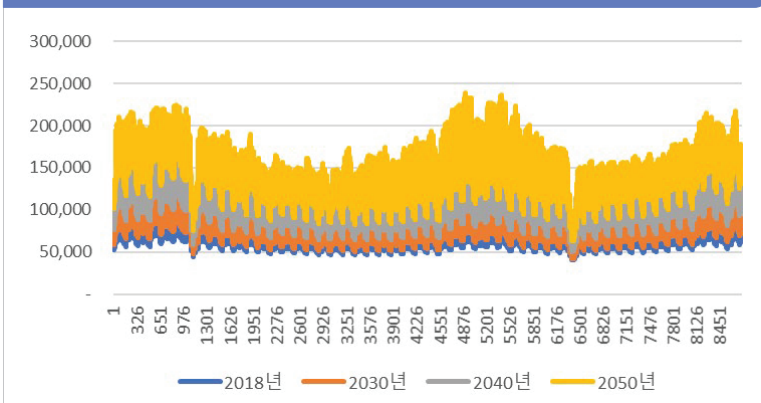


풍력 시간대별 발전량

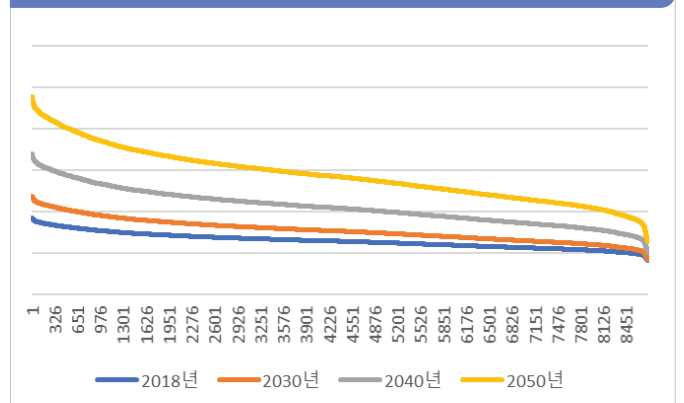


## 02 부하율을 고려한 부하패턴 실적 및 전망

Chronological Load Curve



Load Duration Curve



	2018년	2030년	2040년	2050년
최대전력(MW)	92,478	118,497	169,632	239,346
평균전력(MW)	64,481	77,023	105,172	143,607
부하율(%)	70	65	62	60

### 3. 발전원별 입력자료

#### 03 발전원별 기술적 파라미터

Technology		기술명	Plant life	이용률	Cons. time
원자력	경수로	기존 대형원전	40+20	0.85	-
		기존 대형원전(1400MW)	60+20	0.85	-
		신규 대형원전	60+20	0.85	6
		SMR	60	0.85	3
	중수로	CANDU	30+20	0.85	-
화력	유연탄	기존 석탄발전	30	0.85	-
		신규 석탄발전	40	0.85	4
	가스	LNG 발전	40	0.85	-
기타	수력	수력 발전	80	0.18	-
저장기술	양수	양수 발전	50	0.15	5
	배터리	BESS	15	0.17	2
재생에너지	태양광	PV_exist	25	0.15	-
		PV_new	25	0.15	2
		Wind_exist	25	0.23	-
	풍력	Wind_new	25	0.23	2
		Wind_offshore_new	25	0.30	2



### 03 발전원 경제적 파라미터

발전원	순건설비* (천원/kW)	운전유지비*		열량단가** (원/Gcal)
		고정비(천원/kW-년)	변동비(천원/kWyr)	
원자력	2,246	81.8	71.9	2,492
석탄	1,208	52.3	45.2	33,497
LNG	905	40.1	32.4	73,647

\* Projected Costs of Generating Electricity 2015, 2020 (OECD NEA)

\*\* <https://epsis.kpx.or.kr>

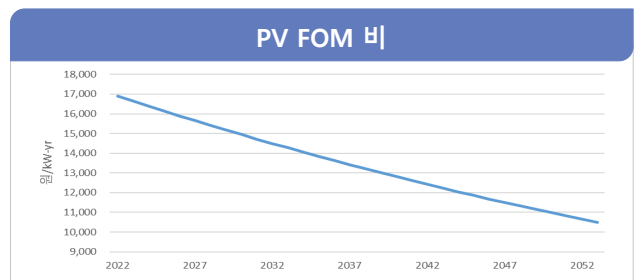
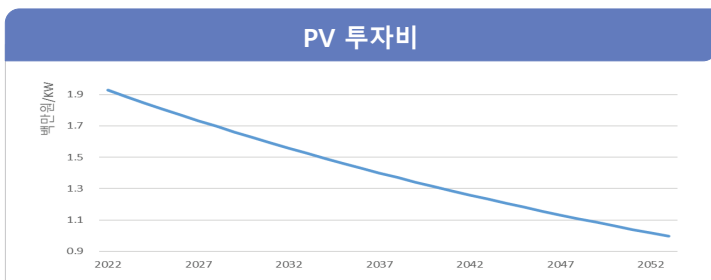
배터리*	Utility Scale (LIB, 4 hour battery storage, 60MW, 240MWh)	CAPEX (\$/kW)		연평균 증감률	O&M cost (\$/kW-Yr)		연평균 증감률
		'22년	'50년		'22년	'50년	
		1,371	671	-2.5%	34	17	-2.5%

\* Annual Technology Baseline 2022 (National Renewable Energy Lab, NREL)

### 03 재생에너지 경제적 파라미터

- 재생에너지 비용 전망을 위한 연평균 증감률은 NREL(National Renewable Energy Lab.) 참고
- 태양광, 풍력에 REC 75원/kWh 외생적 추가

	Investment cost (천원/kW)	연평균 증감률	Fixed O&M cost (천원/kW-Yr)	연평균 증감률
PV	1,927	-2.10%	17	-1.53%
Wind_육상	2,478	-2.06%	62	-0.86%
Wind_해상	4,443	-1.19%	129	-1.32%

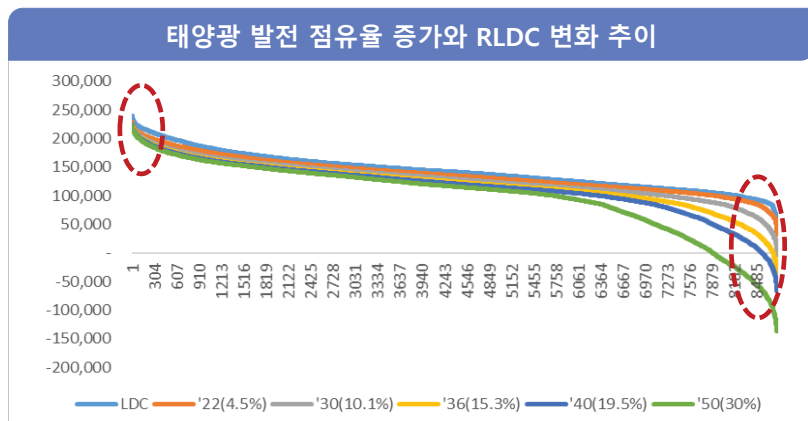


## 4. 재생에너지 간헐성

### 04 태양광 피크기여율 추정

(기준안)

	'22	'30	'40	'50
태양광 점유율	4.5%	10.1%	19.5%	30%
피크 기여율	13.9%	8.9%	5.7%	4.2%



## 04 재생에너지 과잉발전량 추정

- 재생에너지 과잉발전량에 영향을 미치는 factor
  - 재생에너지 점유율, 전력시스템 부하율, 최소출력 비율

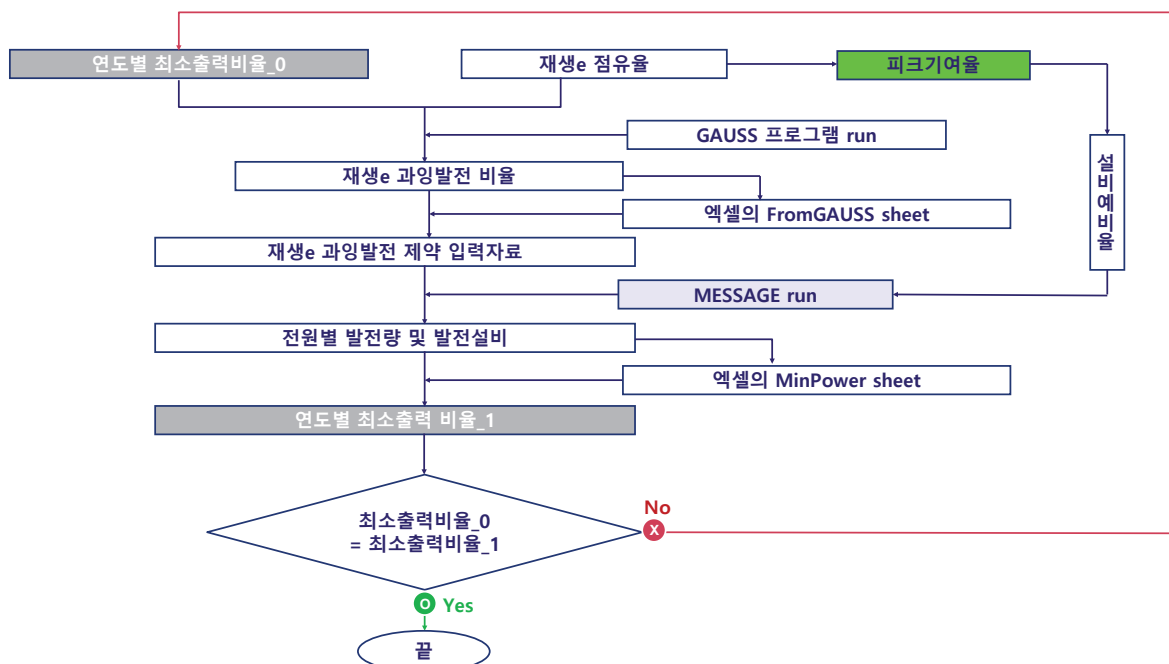
(기준안)

	2018년	2030년	2040년	2050년
재생발전 점유율	6%	17%	33%	50%
부하율	70%	65%	62%	60%
평균부하에 대한 최소출력 비율	50%	40%	30%	20%
재생 발전의 과잉발전 점유율	0.0%	3.4%	11.2%	17.0%

※ 일반발전기는 재가동시 더 많은 비용이 발생하므로 최소 출력 유지 필요  
 - 대형원전 용량의 70%, 석탄 용량의 50%, 가스 용량의 30%, SMR 용량의 30%를 최소출력으로 전제

19

## 04 모형 run 순서도(재생e 과잉발전 비율 및 피크기여율 반영)

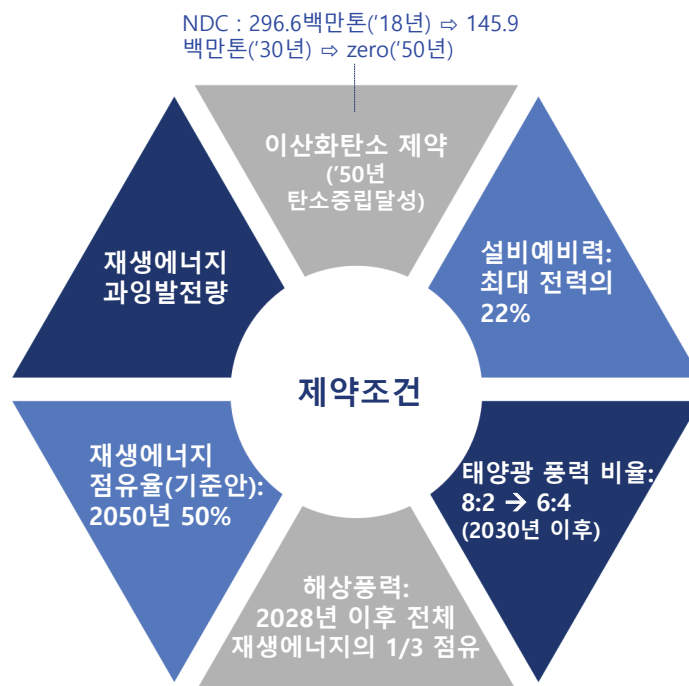


20

## 5. 제약조건

21

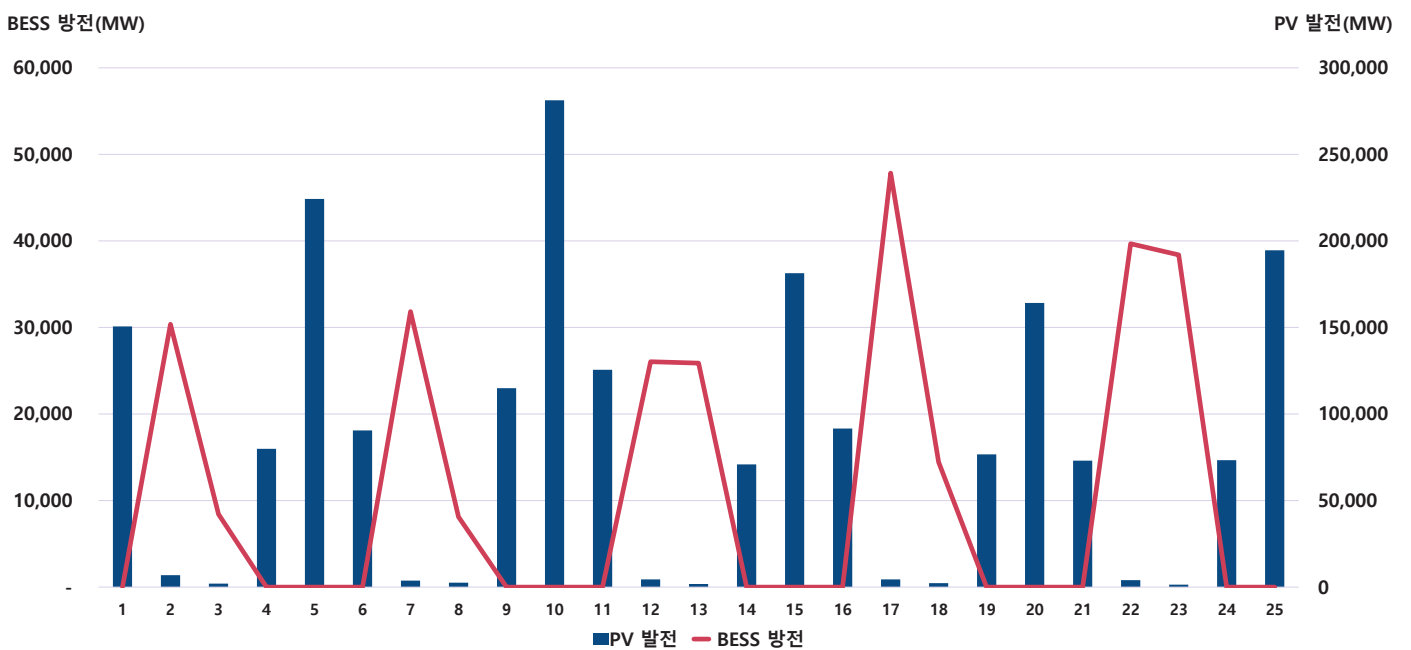
### 05 제약 조건



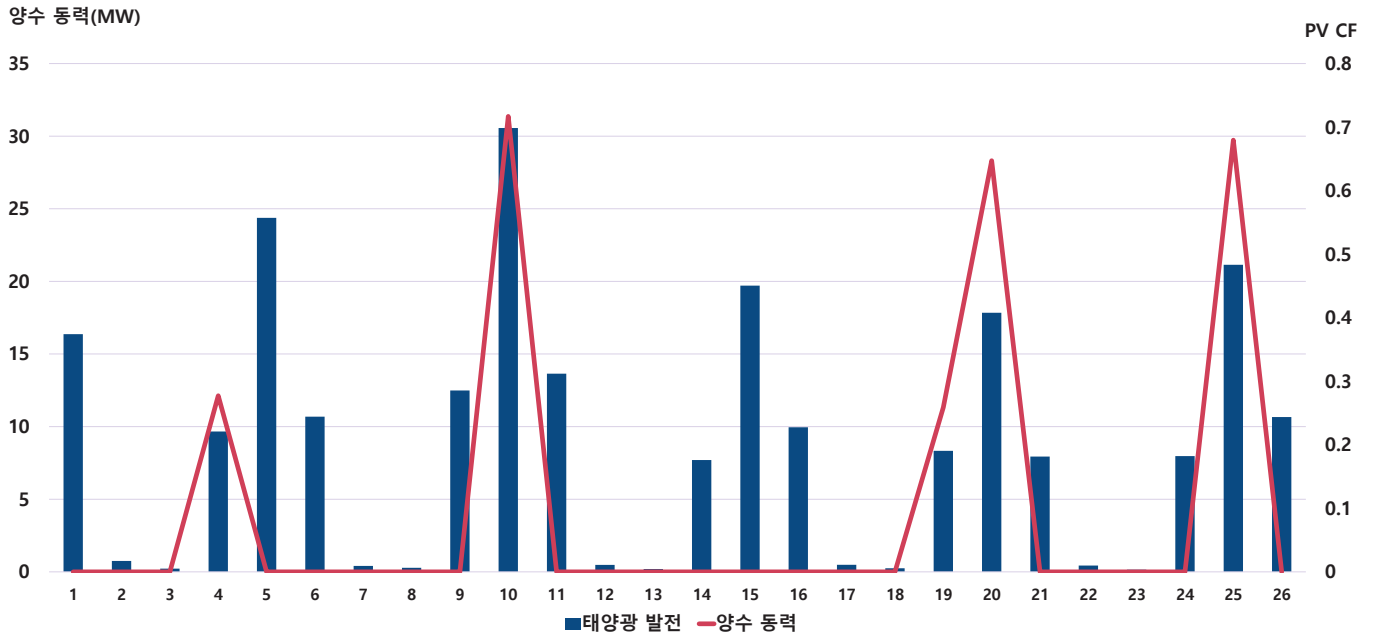
22

## 6. 시뮬레이션

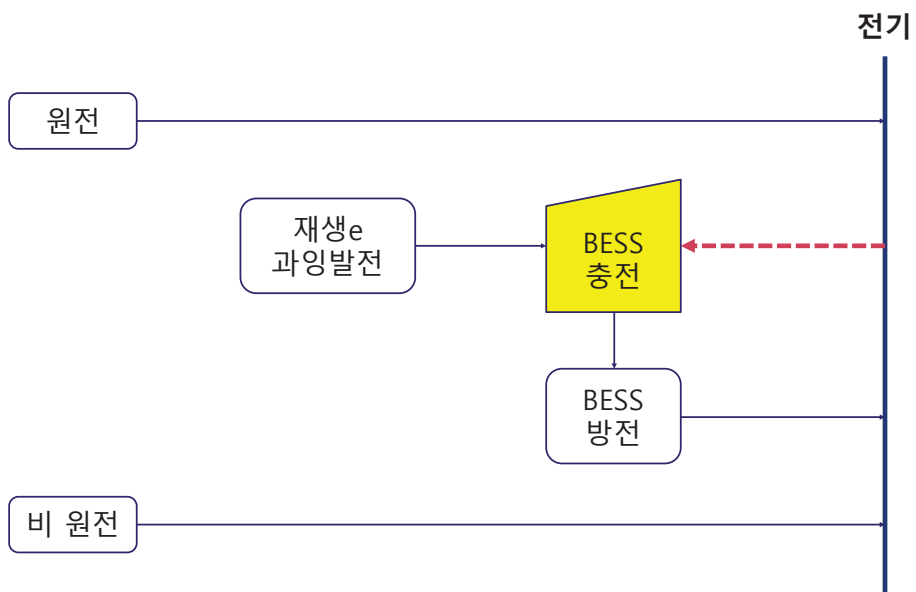
### 06 태양광 발전과 배터리의 관계: 2050년 한 시즌(가을)



## 06 태양광 발전과 양수 동력의 관계: 2050년 한 시즌(가을)



## 06 BESS 충전에 기여하는 발전원 확인 방법 모델링





## 06 Grid를 통한 BESS 충전 전력을 원전이 공급

Gross 발전량기준(기준안)

	Grid를 통한 BESS 충전 허용	Grid를 통한 BESS 충전 불허	차이	Grid를 통한 BESS 충전 허용	Grid를 통한 BESS 충전 불허	차이
	총발전량(MWyr)	총발전량(MWyr)	MWYr	원자력발전량(MWYr)	원자력발전량(MWYr)	MWYr
2022	66,644	66,644	0	20,953	20,953	0
2023	67,871	67,871	0	22,143	22,143	0
....	.....	.....	....	.....	.....	....
2043	113,442	113,442	0	37,502	37,502	0
2044	117,452	117,057	395	40,460	40,065	395
2045	121,472	120,590	882	40,231	39,349	882
2046	125,240	124,095	1,144	39,194	38,049	1,144
2047	130,066	127,951	2,115	40,749	38,634	2,115
2048	134,257	131,800	2,457	39,925	37,468	2,457
2049	138,820	135,757	3,063	39,100	36,037	3,063
2050	144,050	140,043	4,007	42,058	38,051	4,007

- 원전이 BESS를 통해 피크수요 충족

## 7. 시나리오 설정 및 분석

## 07 시나리오 설정

	PWR	SMR	재생e	LTO	원전 CF	비고
기준안	'39~: 2기/3년	'35~: 680MW/년	~'50: 50%	20년	85%	-원전: 연간투입 상한제약 -재생e: 연간 점유율 고정 -LTO: 521\$/kW(10년)

### 원전 활성화(누적 시나리오)

	PWR	SMR	재생e	LTO	원전 CF	비고
대안1	기준안과 동일	'35~'40: 680MW/년 '41~: 1360MW/년	기준안과 동일	기준안과 동일	기준안과 동일	SMR활성화
대안2	상동	상동	상동	30년	상동	LTO30 추가
대안3	상동	상동	상동	상동	90%	원전 CF90 추가
대안4	'39~: 4기/2년	'35~'40: 680*3 MW/2년 '41~: 680*5 MW/2년	~'50: 35%	상동	상동	원전이 재생e 대체

### 원전 투입 경감 시나리오(누적 시나리오)

	PWR	SMR	재생e	LTO	원전 CF	비고
대안1	기준안과 동일	기준안과 동일	기준안과 동일	10년	기준안과 동일	LTO10
대안2	'39~: 2기/5년	'35~: 680MW/2년	상동	상동	상동	원전 추가 투입 상한 기수 하향 조정

29

## 07 발전원별 점유율 및 총발전량(2050)

	원자력			재생e	ESS 및 H2 등	신규무탄소	총발전량	과잉발전 점유율
	대형	SMR	계					
기준안	21%	6%	27%	53%	9%	11%	1,385TWh	9%

- 모든 시나리오에 있어서 원전을 upper limit까지 모형이 수용하는 것으로 확인

### 원전 활성화

	원자력			재생e	ESS 및 H2 등	신규무탄소	총발전량	기준안 대비 비용 증분 비율
	대형	SMR	계					
대안1(SMR활성화)	21%	9%	30%	52%	11%	7%	1,391TWh	-0.1%
대안2(LTO30 추가)	24%	9%	33%	51%	13%	3%	1,435TWh	-1.7%
대안3(CF90 추가)	26%	10%	36%	51%	12%	1%	1,450TWh	-3.9%
대안4 (원전의 재생e 대체)	40%	13%	53%	36%	4%	2%	1,363TWh	-12.4%

- 동일한 전력수요 하에서 시나리오별로 발전량 차이  
 • BESS와 같이 그리드로부터 충전하는 발전기술의 역할이 시나리오별로 다르기 때문  
 - 동일한 재생에너지 점유율 하에서 원자력 발전량이 많을 수록 총발전량 증가, 총시스템비용 감소

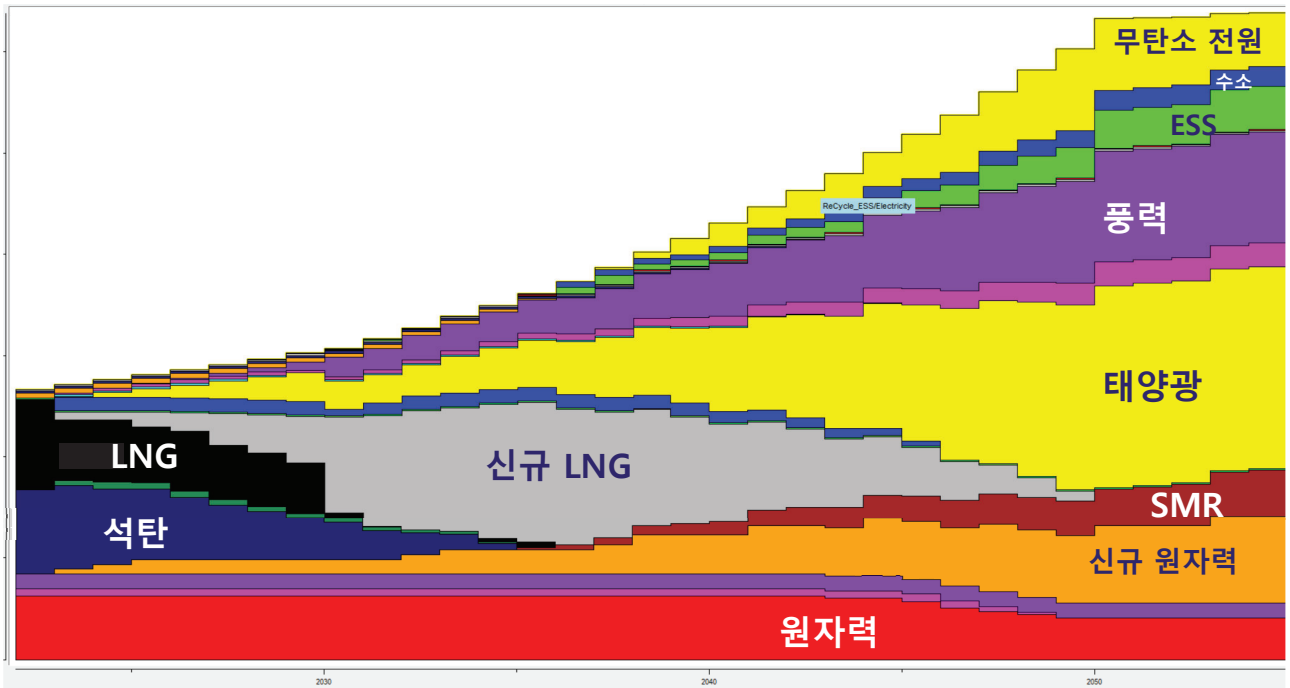
### 원전 투입 경감

	원자력			재생e	ESS 및 H2 등	신규무탄소	총발전량	기준안 대비 비용 증분 비율
	대형	SMR	계					
대안1(LTO10 대체)	19%	6%	25%	52%	9%	14%	1,359TWh	2.8%
대안2(원전 투입경감)	16%	3%	19%	54%	8%	19%	1,338TWh	4.6%

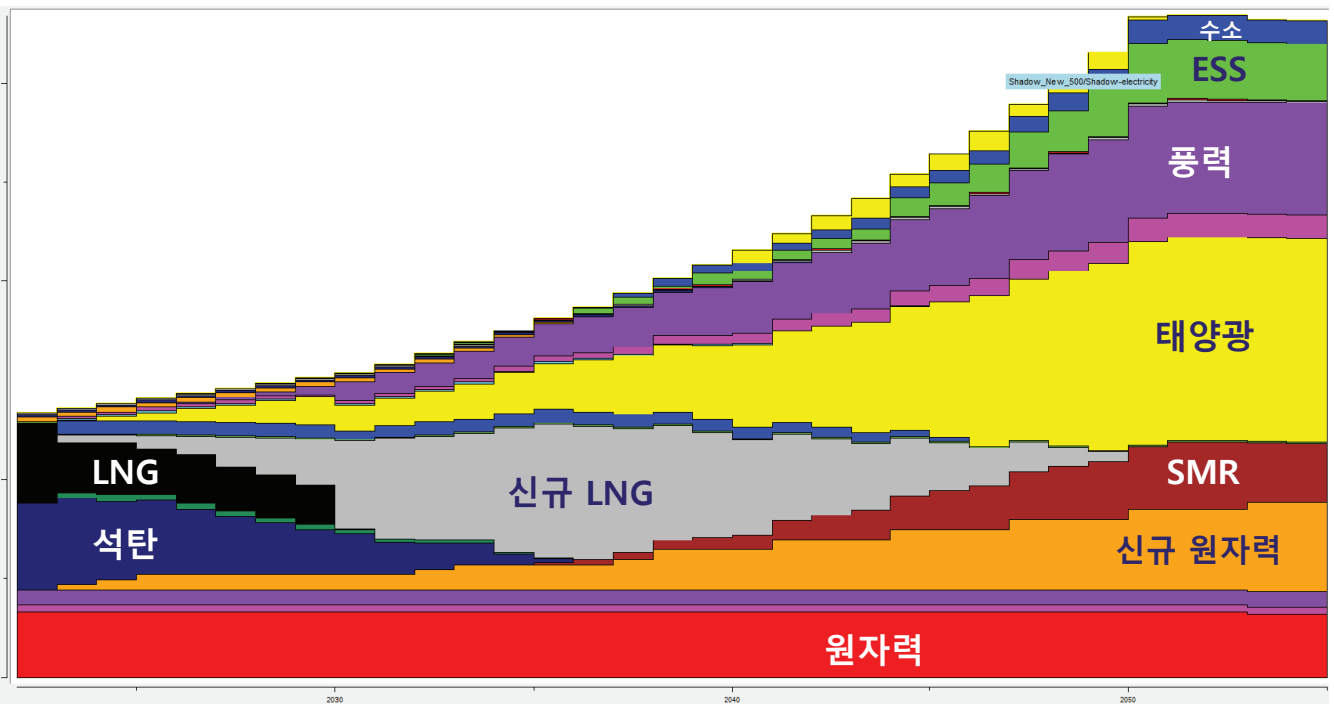
- 신규무탄소 전원은 실질적인 전력 공급 부족분을 의미  
 - 과잉발전 점유율  
 • 대부분의 시나리오에서 8~9%  
 • 원전의 재생e 대체의 경우 4.5%

30

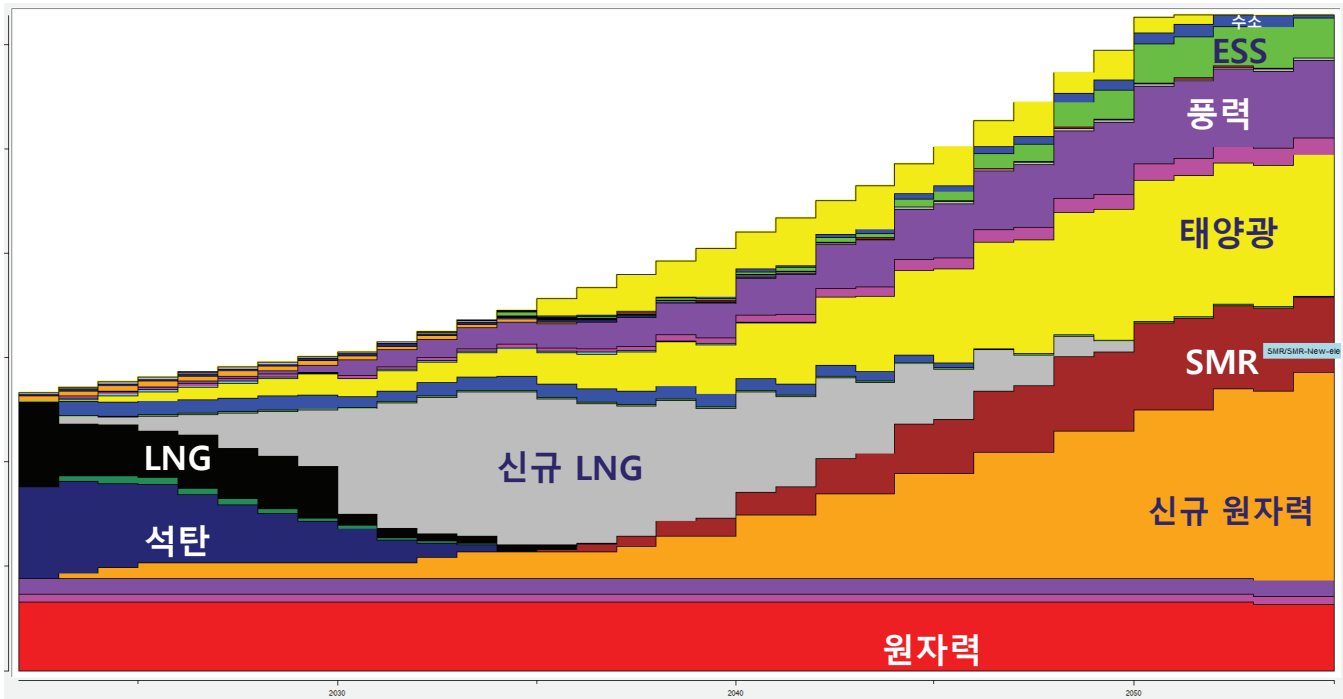
07 발전원별 Gross 발전량 전망(기준안, ~`50)



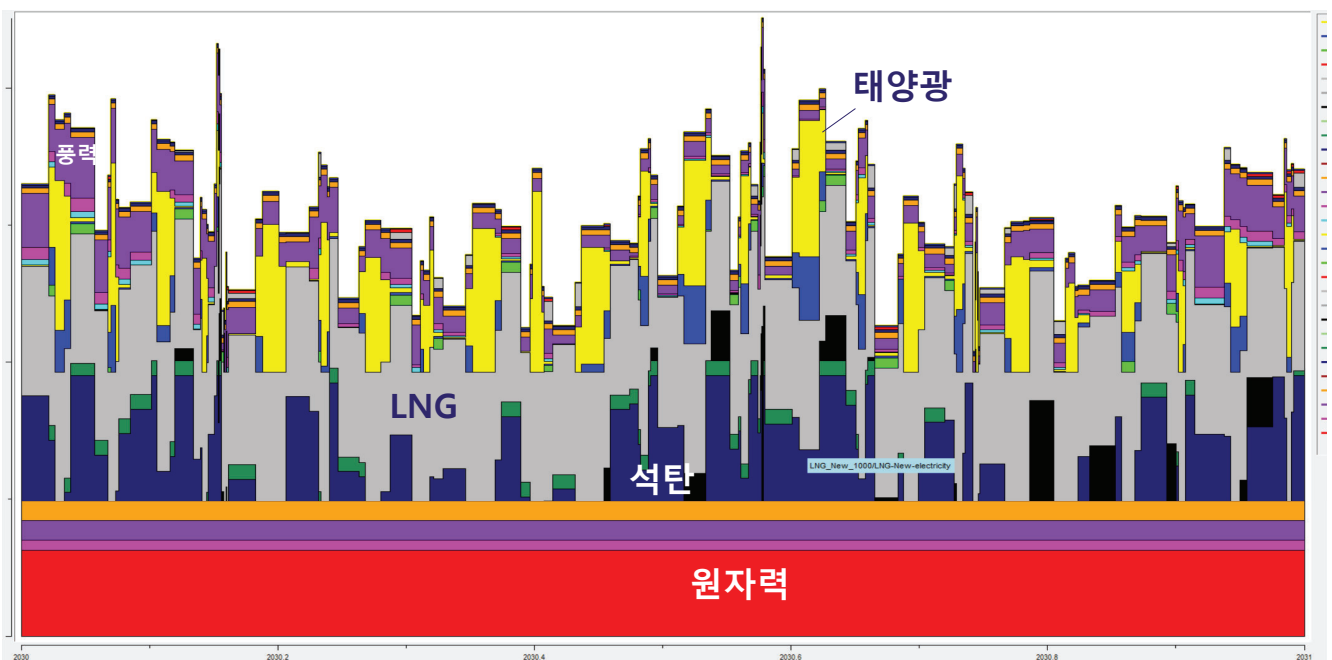
07 발전원별 Gross 발전량 전망(원전 활성화- 대안3 ...원전CF90, ~`50)



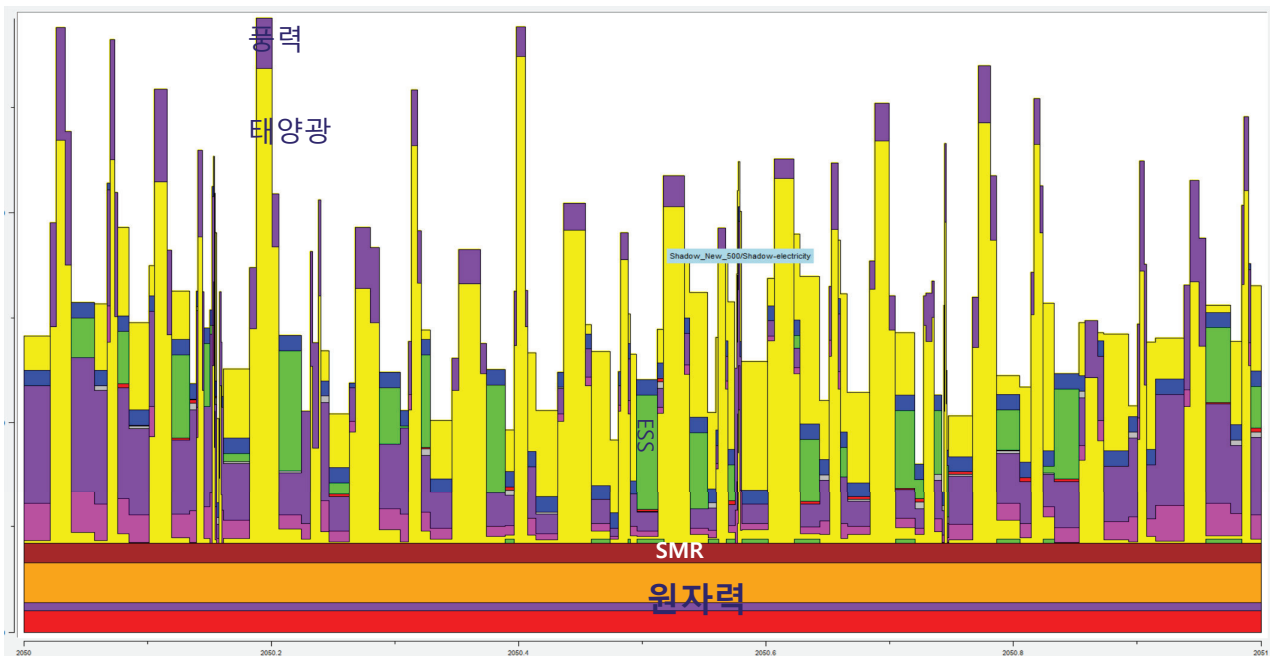
07 발전원별 Gross 발전량 전망(원전 활성화- 대안4 \*\*원전의 재생e 대체, ~`50)



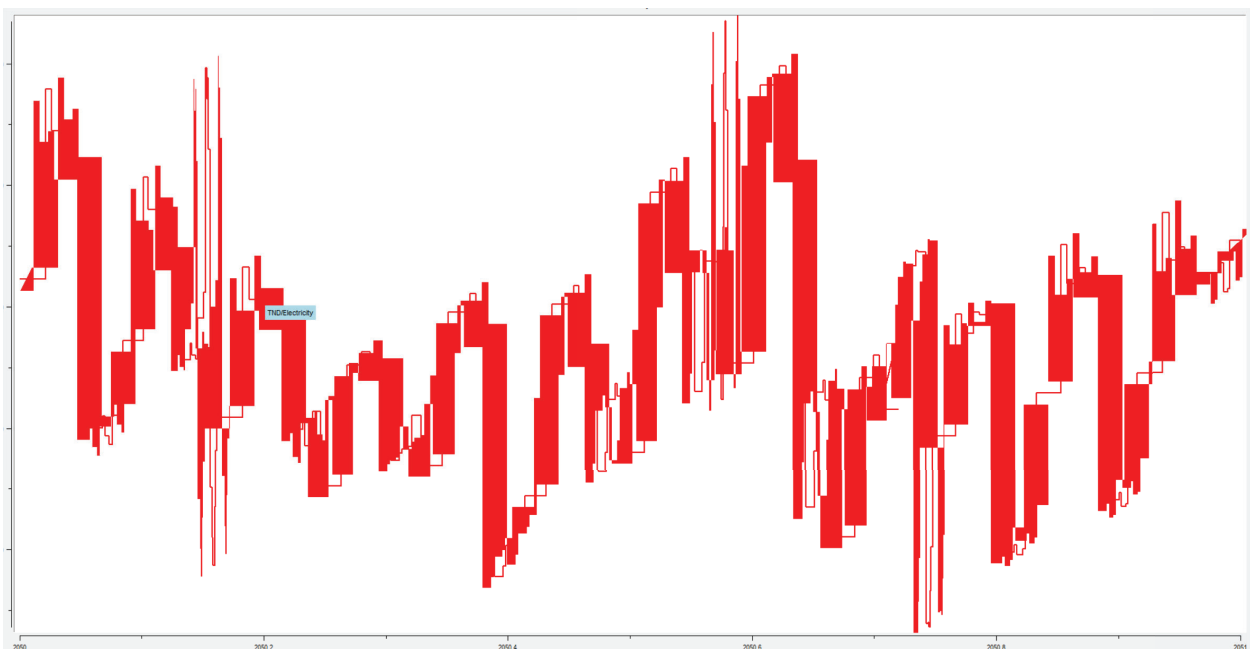
07 2030년 발전원별 Gross 발전량 전망(기준안)



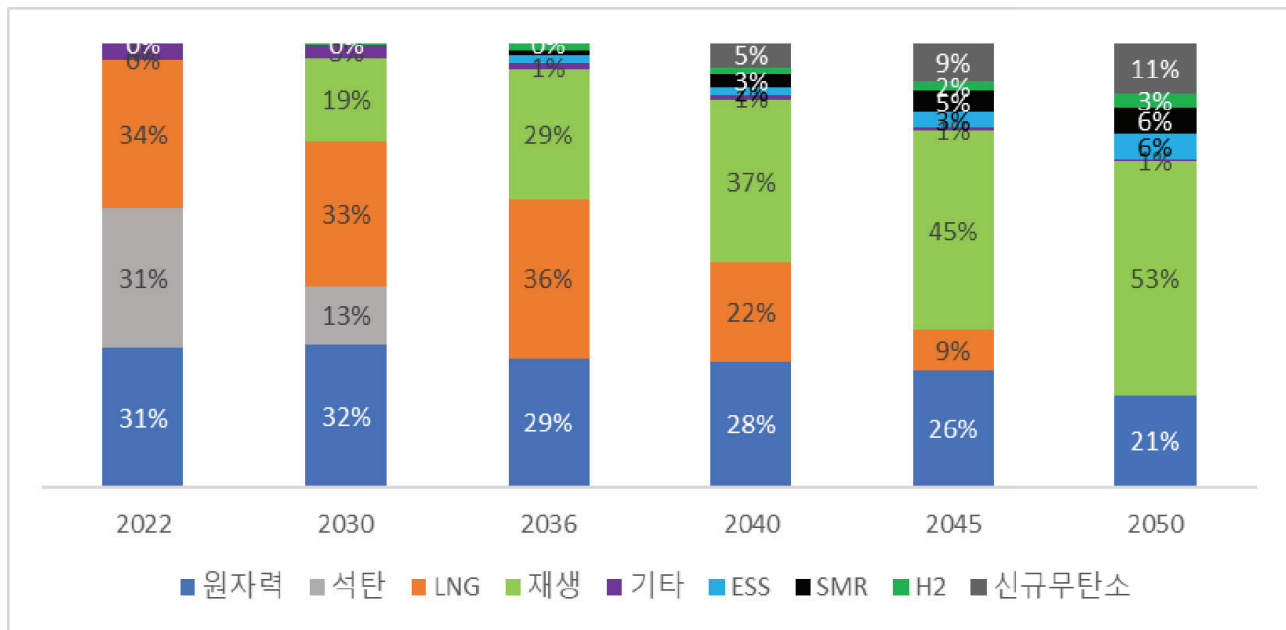
07 2050년 발전원별 Gross 발전량 전망(기준안): Net Zero



07 2050년 전력수요 pattern

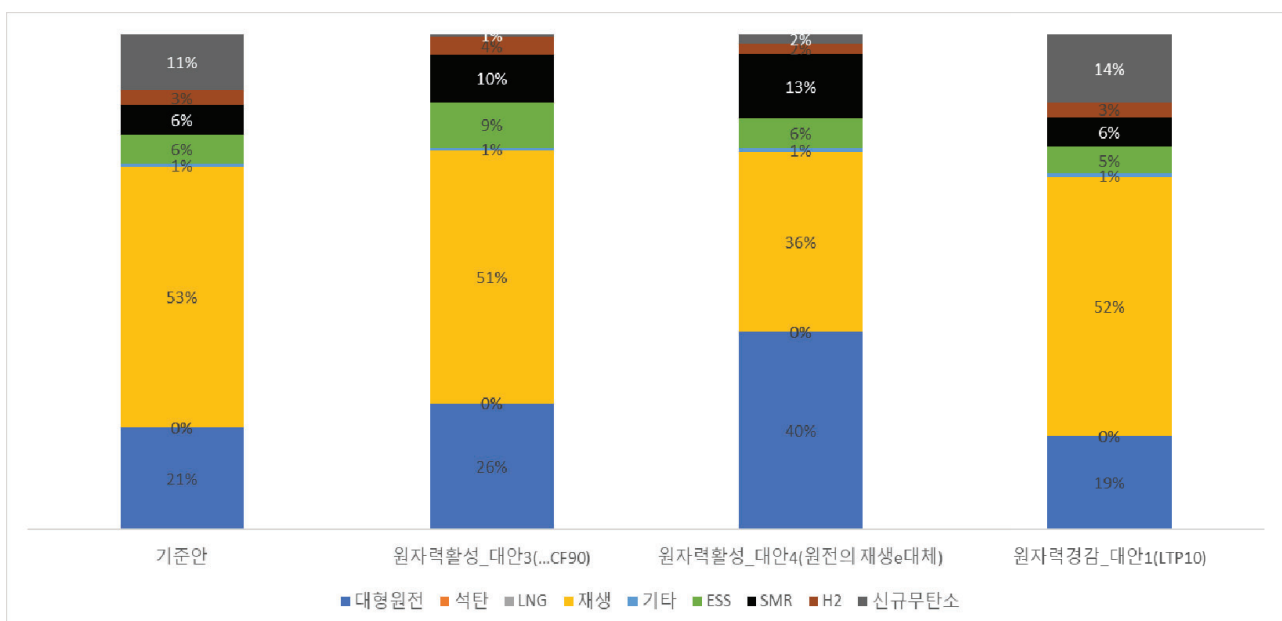


## 07 발전량 구성 비율(기준안)



37

## 07 시나리오별 발전량 구성 비율('50)



38

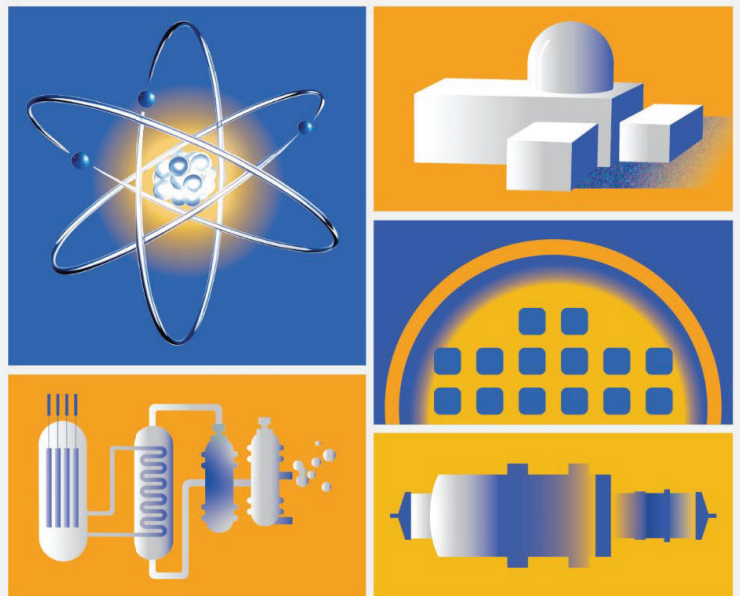
✓ 탄소중립 달성을 위한 국내 에너지믹스 예비모형 구축

✓ 향후 작업

- 11차 전력수급기본계획을 반영한 입력자료 Update
- 에너지믹스 모형 Calibration을 통한 모형 개선
  - 모형의 정합성 제고

## 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

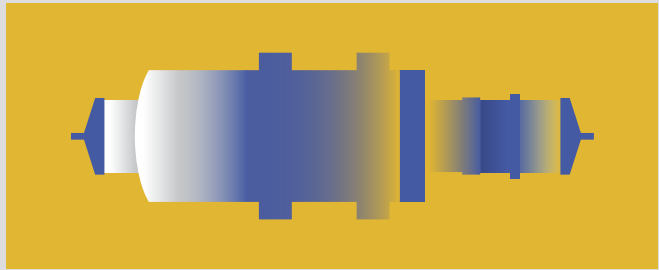
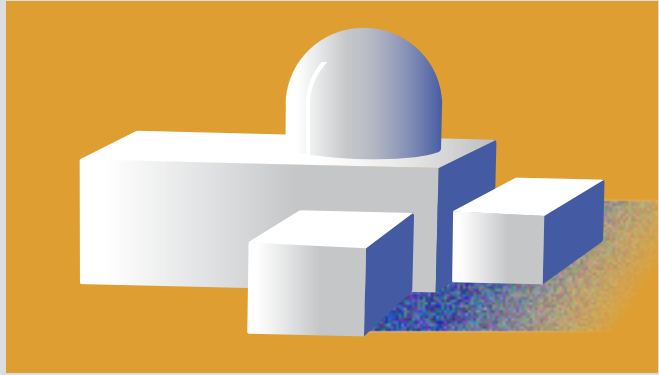
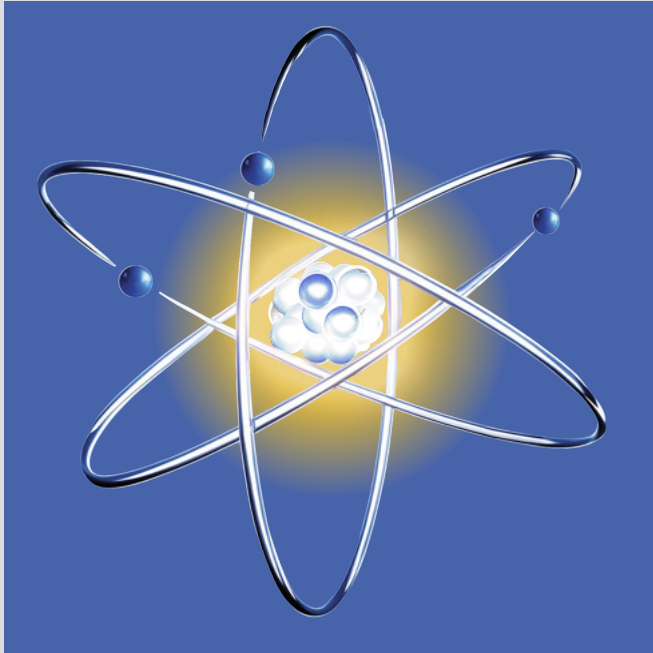
감사합니다.





# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

리스크를 고려한 에너지(원자력) 정책 방향



## 계절-주간 계통분석 모형을 통한 2050 적정 믹스 분석

이종호

서울대원자력정책센터 책임연구원

주필현 박사과정 · 최성열 교수

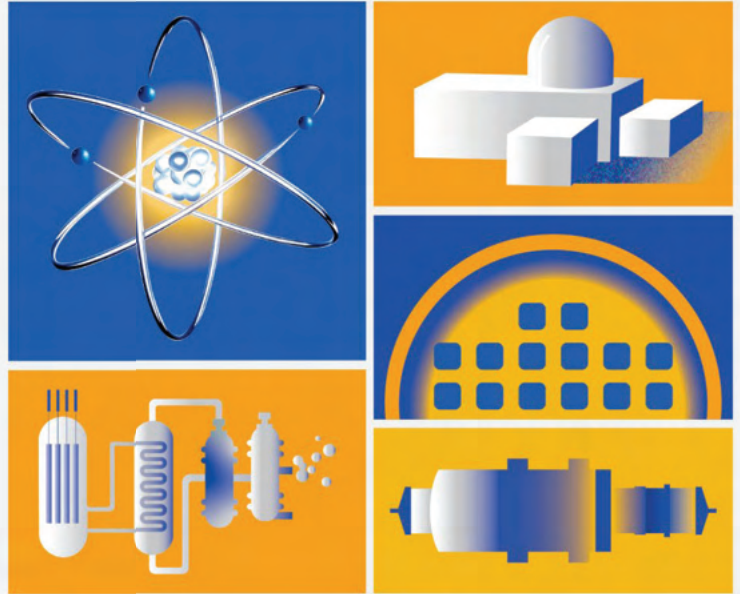


# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

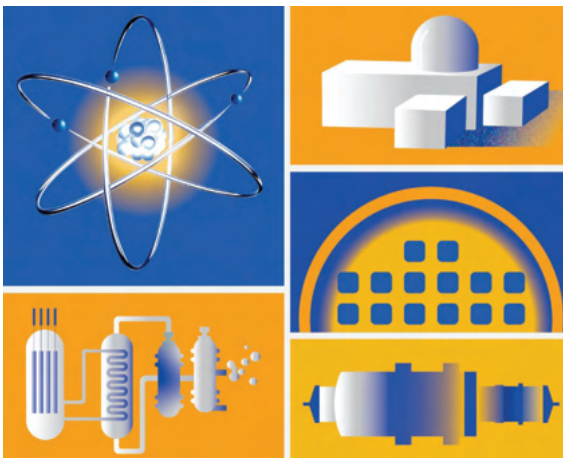
계절기준 계통분석 모형을 통한  
2050 적정 믹스 분석

2024. 03. 06.

**이종호** 서울대원자력정책센터 책임연구원  
**주필현** 박사과정  
**최성열** 교수  
Jhlee6108@snu.ac.kr



## 목 차



- I. 개발 배경
- II. 전력계통 분석모형 개발
- III. 2050 탄소중립 시나리오 분석
- IV. 전원별 민감도 분석
- V. 맺음말

## 01 개발 배경

- ◆ 2021년 10월, 이전 정부에서 2050 탄소중립 시나리오안 발표
  - 2018년(526.1 TWh)에 비해 연간 총수요의 급격한 증가 전망: 221.7 ~ 230.7%
    - 원자력, 석탄 및 LNG 발전의 축소 및 신재생에너지 대폭 확대(2050, 원전 : 재생에너지 = 6% :71%)
- ◆ 2022년 05월, 윤석열 정부 120대 국정과제 : 에너지 안보 확립 및 에너지 신산업·신시장 창출
  - 원전, 재생에너지 조화 등을 고려, 에너지믹스를 합리적으로 조정
    - 제10차, 제11차 전력수급계획 발표(2038, 원전 : 재생에너지 = 35% :29%)

표1. 2050 탄소중립 시나리오

시나리오	원자력	석탄	LNG	신재생	연료전지	동북아 그리드	무탄소 가스터빈	부생가스	합계
A	76.9 (6.1%)	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)	889.8 (70.8%)	17.1 (1.4%)	0.0 (0.0%)	270.0 (21.5%)	3.9 (0.3%)	1,257.7 (100.0%)
B	86.9 (7.2%)	0.0 (0.0%)	61.0 (5.0%)	736.0 (60.9%)	121.4 (10.1%)	33.1 (2.7%)	166.5 (13.8%)	3.9 (0.3%)	1,208.8 (100.0%)

표2. 11차 전기본 발전량 및 발전비중(안) (단위 : TWh, %)

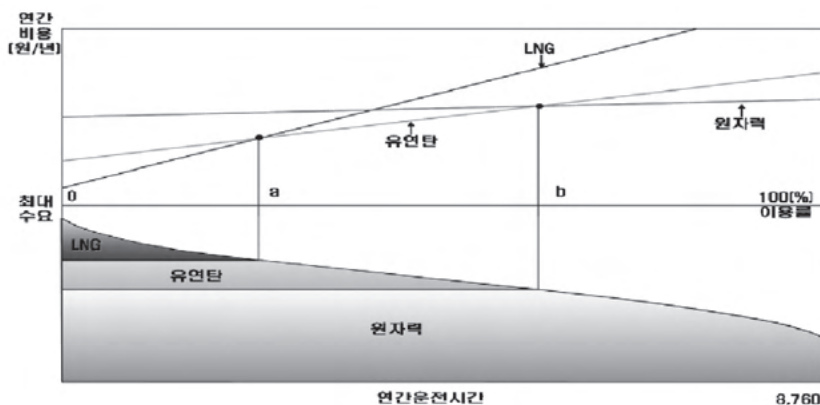
연도	구분	원전	석탄	LNG	재생e	신e	청정수소 암모니아	기타	합계	탄소	무탄소
'23년	발전량	180.5	184.9	157.7	49.4	7.2	-	8.3	588.0	358.2	229.9
	비중	30.7	31.4	26.8	8.4	1.2	-	1.4	100.0	60.9	39.1
'30년	발전량	204.2	110.5	161.0	120.9	18.7	15.5	11.8	642.6	302.0	340.6
	비중	31.8	17.2	25.1	18.8	2.9	2.4	1.8	100.0	47.0	53.0
'38년	발전량	248.3	70.9	74.3	205.7	26.4	43.9	34.9	704.5	206.7	497.8
	비중	35.2	10.1	10.6	29.2	3.8	6.2	5.0	100.0	29.3	70.7

3

## 01 개발 배경

- ◆ 신재생의 확대 도입에 따른 계통 내 간헐성 증가 : 주야간 전력수급 불균형 심화
  - 2023년 독일의 사례 : 신재생 60.66% (태양광 13% 및 풍력 33%, 바이오 15% 등 )
- ◆ 기존 모델 : 미래 전력 수급 패턴(네거티브 수요, 충전-발전 패턴) 모사의 어려움 존재
  - 8,760 시간 부하지속곡선(Load Duration Curve), 심사곡선법(Screening Curve)
    - 일일 주야간 수급 불일치 모사에 한계 존재

그림 1. 11차 전기본 발전량 및 발전비중(안) (단위 : TWh, %)



4

# 01 개발 배경(독일사례)

그림 2. 24년 20주 수요, 경직성 전원 발전량 및 재생에너지 발전비중 (단위 : TWh, %)

Public net electricity generation in Germany in week 20 2024

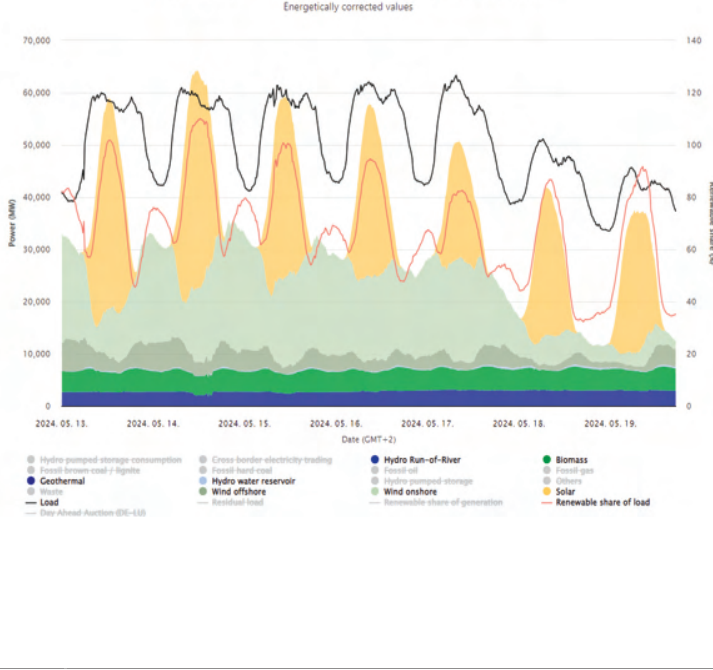
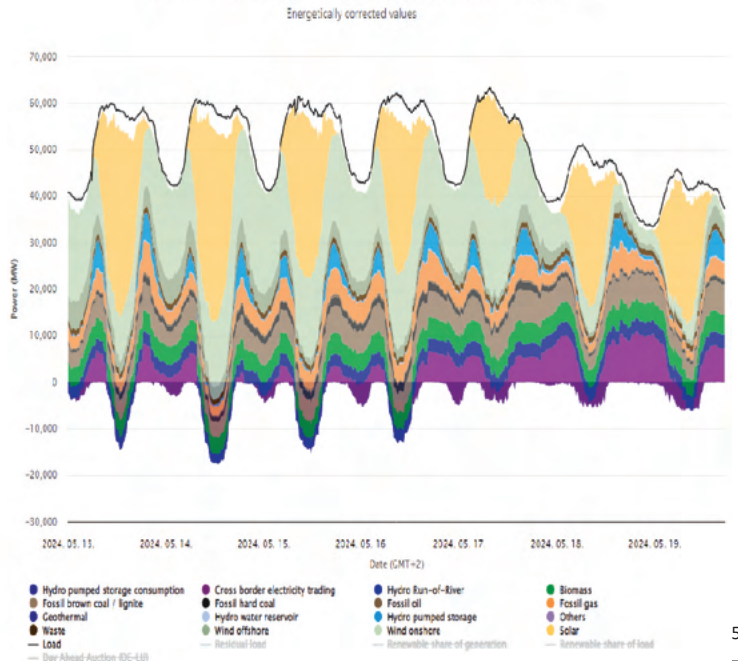


그림 3. 24년 20주 수요 및 발전량 (단위 : TWh) : 전력 수출입 포함

Public net electricity generation in Germany in week 20 2024



# 02 계절-주간 전력계통 분석모형 개발

## ◆ 비대칭성이 확대된 실제 전력 수급 패턴에 대한 모사 및 분석이 이루어질 필요성 증대

- (2022년) 계절별 '일일' 평균 전력 수급 시뮬레이션 모델 개발
- 그러나 주중, 주말의 수요 차이를 반영하지 못하고, 낮 잉여 전력'만으로 수소를 생산한다는 단순한 가정으로 인한 실제 전력계통 운영 상황을 반영하지 못함

## ◆ 본 연구는 각 계절-주간(Weekly)' 평균 전력 수급 시뮬레이션 모형을 개발

- 주야간 전력 수급 패턴의 반영은 물론 주중, 주말 수급패턴, 원전 부하 추종 및 수소 생산 패턴을 반영할 수 있는 모형 개발

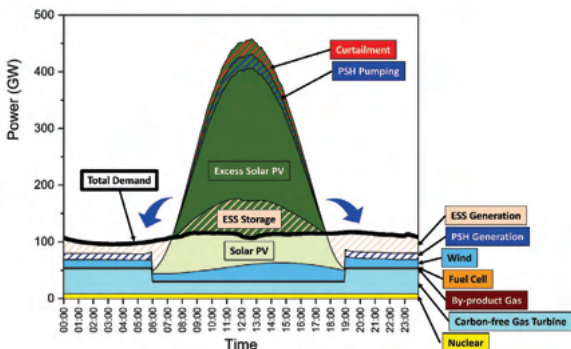


그림4. 계절별 일일 평균 전력 수급 시뮬레이션 모델 개념도[6].

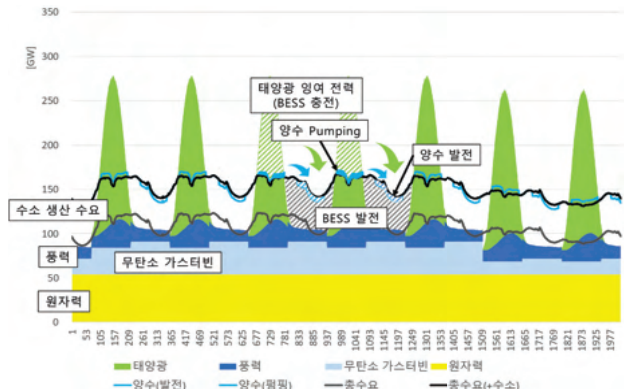


그림5. 계절-주간 평균 전력 수급 시뮬레이션 모델 개념도.

## 02 계절-주간 전력계통 분석모형 개발

### ◆ 단순화된 가정을 적용한 계절별 주간 평균 전력 수급 시뮬레이션 모델

- 총수요 패턴: 2017년 실제 총수요 패턴<sup>[1]</sup>을 이용한 계절별 평균값 활용
- 경직성 전원: 원자력, 신재생(태양광 및 풍력)
  - 원자력: 기저 부하로 적용하되, 계획적 부하 추종 운전 적용
  - 신재생: 2017년 실제 발전 패턴<sup>[2]</sup>을 이용한 계절별 평균값 활용
- 유연성 전원: 무탄소 가스터빈 양수, 배터리(BESS)
  - 무탄소 가스터빈: 주중/주말 및 주/야 간 차등 운전
  - 양수: 주/야 전력 수요의 급격한 변화에 대응
  - **배터리: 주/야 잉여 및 부족 전력 대처 → 시나리오별 필요량 계산**

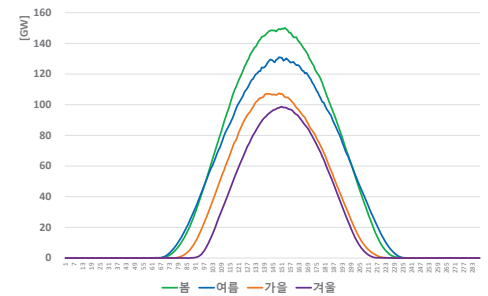


그림 7. 2050년 예상 계절별 주간 태양광 발전 패턴.

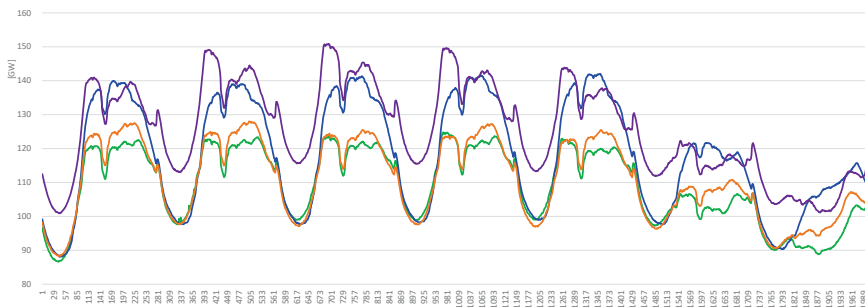


그림 6. 2050년 예상 계절별 주간 평균 전력 수요 패턴.

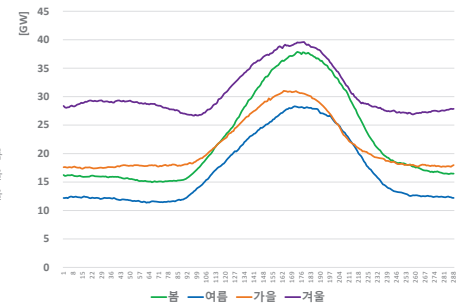
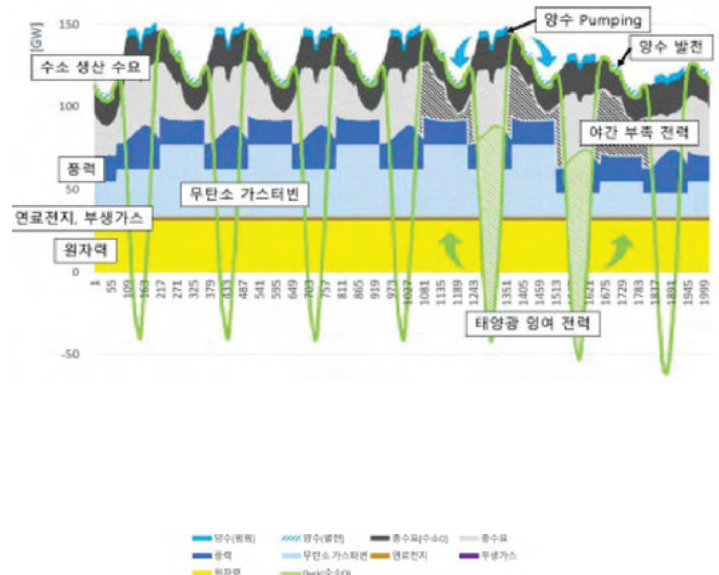


그림 8. 2050년 예상 계절별 주간 풍력 발전 패턴.

## 02 계절-주간 전력계통 분석모형 개발

- ◆ 각 계절별 주간 평균 전력 수요 공급 모형
  - ◆ 시나리오별 발전 구성비 입력
  - ◆ 주야간, 주말-주중 발전량 차이를 보완하는 ESS량 계산
  - ◆ 발전설비 운전 방식 입력
    - 원자력 : 기저 및 계획 부하추종
    - 무탄소 가스터빈 : 주야간, 주중-주말 차등 운전
    - 양수 : 주야간 수요 급변 대처
- ⇒ **배터리(ESS) 필요량 계산**

그림 9. 시나리오 3기준 개발 단계별 ESS 필요량

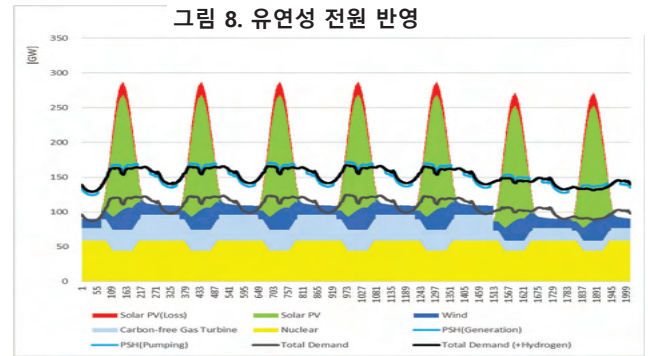
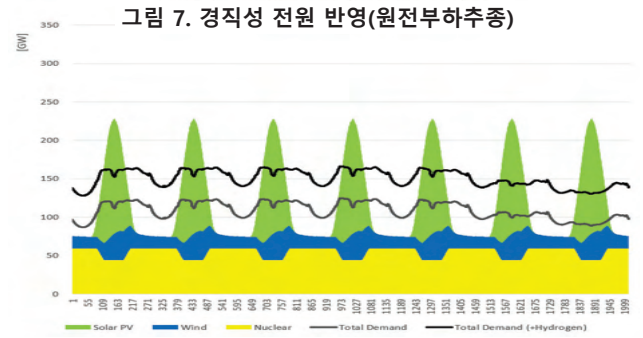
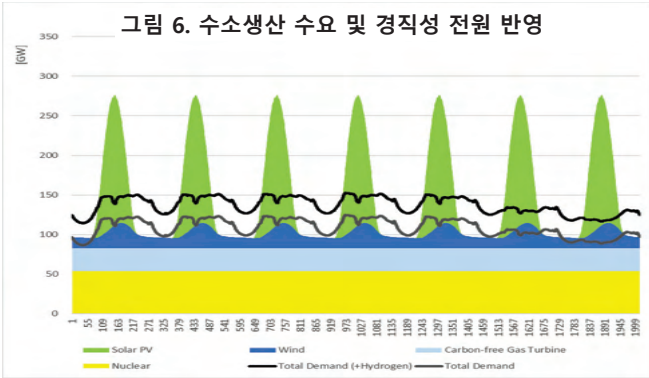




## 02 계절-주간 전력계통 분석모형 개발(운전방식)

### 분석모형에서의 운전방식

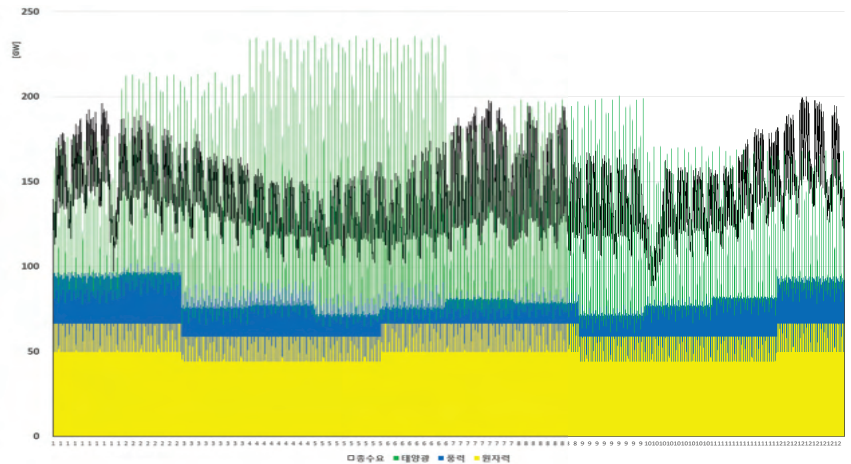
- ◆ 경직성 전원 : 재생에너지 및 원자력(단 부하추종으로 보완)
  - 원전은 부하 추종으로 보완  
(2-6-2 시간 50%까지 감발가능한 것으로 가정)
- ◆ 유연성 전원
  - 무탄소 가스터빈, 양수발전 및 펌핑으로 대응하고 부족분은 BESS(배터리)로 충방전으로 대응(운전세부방식 : 논문 참고)
- ◆ 수소생산은 개질 별로 잉여전력을 균등하게 배분



## 02 계절-주간 전력계통 분석모형 개발(검증계산)

- ◆ 모델 검증 방법론: 1년을 5분 단위 실 수급 패턴으로 확인(시나리오 3 기준)
  - 계산된 유연성 전원 설비량이 1년 단위 간헐성을 감당할 수 있는가?
- ◆ (1) 경직성 전원 및 수요 패턴 적용
  - 경직성 전원: 원자력(부하추종 운전 적용), 신재생(태양광 및 풍력: 월 단위 실제 발전 패턴)
  - 수요 패턴: 2050년 총발전량(실제 총수요 패턴)
- ◆ (2) 유연성 전원으로 대처
  - 부족 전력: 발전
    - 무탄소 가스터빈
    - 양수
    - BESS
  - 잉여 전력: 수요 증가 및 충전
    - 수소 생산(수요)
    - 양수
    - BESS

그림 9. 연간 수요 및 경직성 전원 발전량

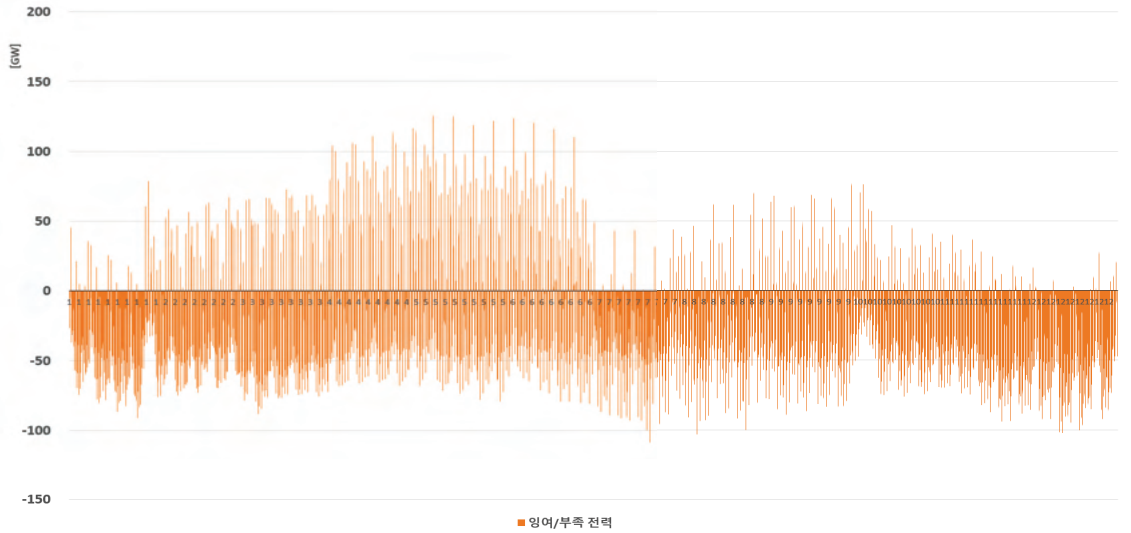




## 02 계절-주간 전력계통 분석모형 개발(검증계산)

### ◆ 1년간 전력 수요와 경직성 전원간 잉여/부족 전력(2050년)

그림 10. 연간 수요 및 경직성 전원간 잉여/부족 전력 추이 발전량(2050년)



11

## 02 계절-주간 전력계통 분석모형 개발(검증계산)

### ◆ 잉여/부족 전력 피크 시 가용 가능한 전체 유연성 전원 설비량과 비교

- 최대 수소 생산 설비량: 45.922 GW
- 최대 무탄소 가스터빈 설비량: 95.715 GW
- 최대 가용 양수설비량(발전량 기준): 20.000 GW

### ◆ 유연성 전원 최대 가동 시 필요한 BESS량

- BESS 필요량(최대 잉여-부족 차이): 241.732 GWh  
→ (80.0% 하루 이용률 고려 시) 최대 302.165 GWh
- 시나리오 3의 BESS 필요량은 675.087 GWh로 충분히 피크시도 대처 가능

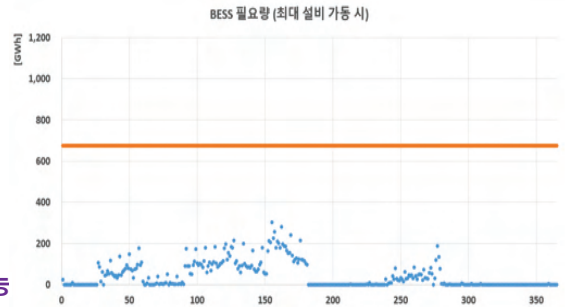
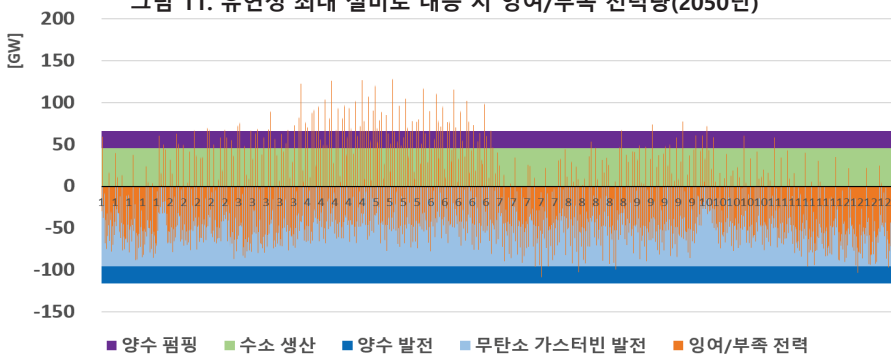


그림 12. 유연성 최대 설비로 대응 시 일간 BESS 필요량(2050년)

그림 11. 유연성 최대 설비로 대응 시 잉여/부족 전력량(2050년)



■ 양수 펌핑 ■ 수소 생산 ■ 양수 발전 ■ 무탄소 가스터빈 발전 ■ 잉여/부족 전력

12

## 02 계절-주간 전력계통 분석모형 개발(검증계산)

### • 분석모형의 유연성 전원 운전패턴가정 시

- BESS 필요량 보다 더 많은 요구되는 경우 : 19%(69일)
- 80.0% 하루 이용률 고려 시 최대 1,077.309 GWh이나 다른 유연성 설비(무탄소 가스터빈 등)로 대처 가능

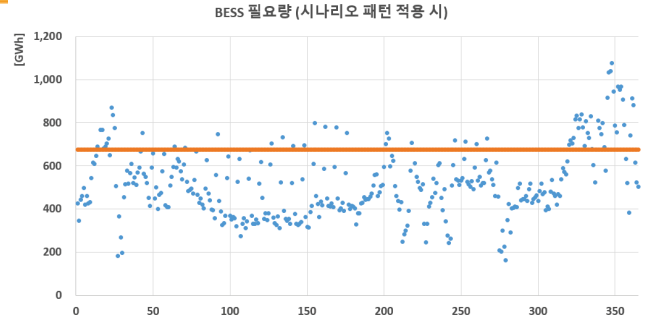
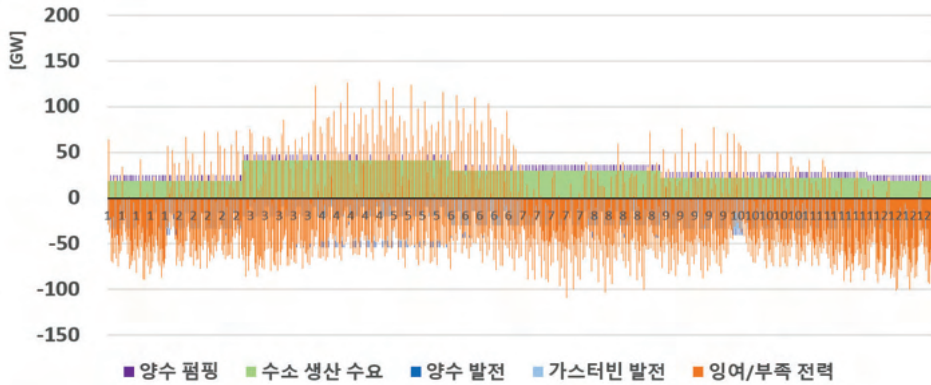


그림 14. 유연성 전원 운전패턴 가정 시 일간 BESS 필요량(2050년)

그림 13. 유연성 전원 운전패턴 가정 시 잉여/부족 전력량(2050년)



## 03 2050 탄소중립 시나리오 분석

### ◆ 시나리오 구성: 경직성 전원 및 유연성 전원

- 경직성 전원: 원자력 및 신재생(태양광 및 풍력)
  - 원자력 및 신재생: 총발전량의 30% : 50% (1안) ~ 50% : 30% (5안) 차등 적용
  - 신재생: 태양광 및 풍력 비율을 6 : 4로 고정 적용
- 유연성 전원: 무탄소 가스터빈 및 양수, BESS
  - 무탄소 가스터빈: 총발전량의 20%로 고정 적용
  - 양수: 총설비량 20 GW로 적용
  - BESS: 잔여 잉여/부족 전력 커버

단위: TWh

시나리오	원자력	신재생			무탄소 가스터빈	총합
		태양광	풍력	합계		
1 (30:50)	377.3 (30%)	377.3	251.5	628.9 (50%)	251.5	1,257.7
2 (35:45)	440.2 (35%)	339.6	226.4	566.0 (45%)	251.5	1,257.7
3 (40:40)	503.1 (40%)	301.8	201.2	503.1 (40%)	251.5	1,257.7
4 (45:35)	566.0 (45%)	264.1	176.1	440.2 (35%)	251.5	1,257.7
5 (50:30)	628.9 (50%)	226.4	150.9	377.3 (30%)	251.5	1,257.7

### 03 2050 탄소중립 시나리오 분석 : 전원별 균등화 발전비용(LCOE) 산정 근거

- ◆ 전력 생산 예상 비용에 대한 2020년 IEA 보고서 값을 기준으로 전원별 LCOE 산정
- ◆ 무탄소 가스터빈과 연료전지의 경우 '수소' 연료에 대한 연료비 적용
  - 2050년 목표 수소 생산단가인 2,500원/kgH<sub>2</sub>의 2배로 계산하여 139.5원/kWh로 적용

에너지원	균등화 발전비용 산출 방법 및 근거 (Projected Costs of Generating Electricity 2020)
원자력(New)	85% 설비 이용률에 대한 한국의 7% 값 적용
원자력(LTO)	20년, 85% 설비 이용률에 대한 스위스/프랑스/스웨덴/미국의 7% 평균값 적용
무탄소 가스터빈	50% 설비 이용률에 대한 한국의 소형 CCGT(순 용량 491 MWe)의 7% 값 적용 연료비는 수소로 가정하고 생산비의 2배로 가정하여 적용 탄소 배출 비용은 0으로 가정
부생가스 LNG	50% 설비 이용률에 대한 한국의 소형 CCGT(순 용량 491 MWe)의 7% 값 적용
태양광	한국의 상업용(Commercial) 및 다목적용(Utility Scale)에 대한 7% 평균값 적용
풍력(Onshore)	한국의 7% 값 적용
풍력(Offshore)	한국의 7% 값 적용
양수	수력(reservoir, ≥ 5 MW)에 대한 이탈리아/일본/노르웨이/인도의 7% 평균값 적용
연료전지	프랑스의 가장 큰 용량(15 MWe)에 대한 7% 값 적용 연료비는 무탄소 가스터빈과 동일하게 적용

### 03 2050 탄소중립 시나리오 분석 : 기준발전원가(2023) 산정 근거

- ◆ 발전단가 계산에 참고한 문헌
  - IEA 보고서<sup>[1]</sup>: "Projected Costs of Generating Electricity 2020 Edition"
- ◆ 2023년 발전단가 산출 LCOE 산출 근거

에너지원	LCOE 산출 방법 및 근거 (IEA 보고서)	LCOE 산정 결과 [KRW/kWh]
원자력	(58-59p) 85% 설비 이용률에 대한 한국의 7% 이자율 값 적용, LTO 대신 New로만 동일하여 적용	58.683
석탄	(70-71p) 50% 설비 이용률에 대한 한국의 7% 이자율 값 적용	98.275
LNG	(70-71p) 50% 설비 이용률에 대한 한국의 소형 CCGT(Net Capacity = 491 MWe)의 7% 이자율 값 적용	121.594
석유	LNG와 동일하게 가정 및 적용	121.594
양수	(64-65p) Hydro(reservoir, ≥ 5 MW)에 대한 이탈리아/일본/노르웨이/인도의 7% 이자율 평균값 적용	89.330
기타(신재생 외)	석탄과 동일하게 가정 및 적용	98.275
수력	(64-65p) Hydro(Run of River, ≥ 5 MW)에 대한 이탈리아/일본/독일의 7% 이자율 평균값 적용	111.282
태양광	(60-61p) 한국의 Commercial 및 Utility Scale에 대한 7% 이자율 평균값 적용	107.177
풍력	(62-63p) 한국의 7% 이자율 값 적용, Offshore 대신 Onshore로만 동일하여 적용	124.776
해양에너지	수력과 동일하게 가정 및 적용	111.282
바이오	(66-67p) 이탈리아의 7% 이자율 평균값 적용	182.395
연료전지	(68-69p) 프랑스의 가장 큰 용량(15 MWe)에 대한 7% 이자율 값 적용, 연료비는 수소로 가정하고 생산비(2,500원/kgH <sub>2</sub> )의 2배로 가정하여 적용(=139.5원/kWh) + 탄소 배출 비용은 0으로 가정	213.300
IGCC	LNG와 동일하게 가정 및 적용	121.594

[1] International Energy Agency, Nuclear Energy Agency, Projected Costs of Generating Electricity, OECD, Paris, France, 2020.

[2] Department of Management & Innovation, Statistics of Electric Power in Korea (No. 93), Korea Electric Power Corporation, Naju, Republic of Korea, 2024.

### 03 2050 탄소중립 시나리오 분석 : 기준발전원가(2023) 산정 근거

표 3. 2023년 전력 믹스 (한국전력통계<sup>[1]</sup>)

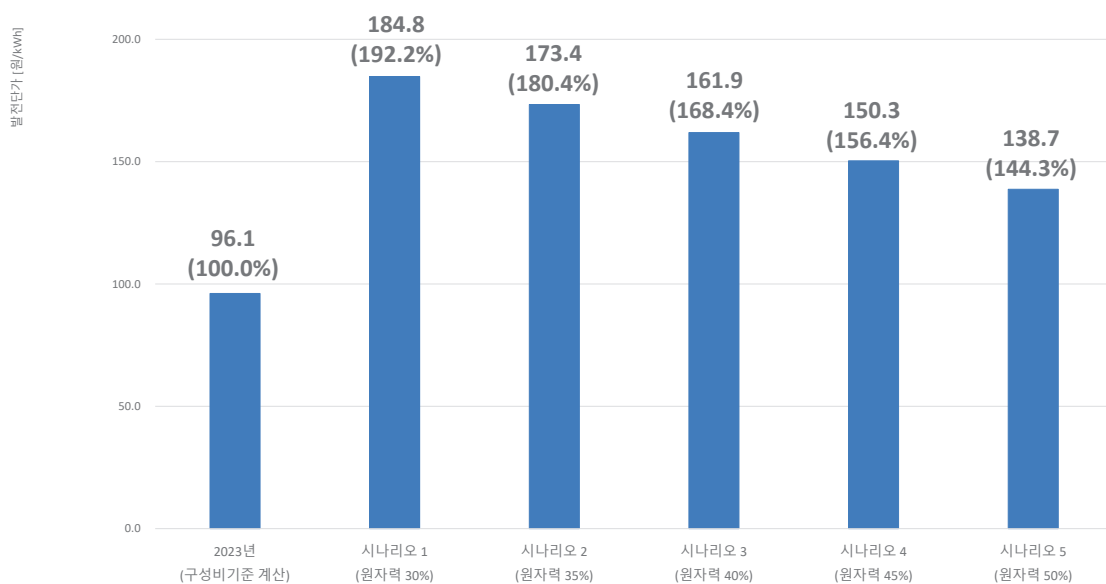
에너지원	연 발전량 [TWh]	비율
원자력	180.494	30.7%
석탄	184.927	31.4%
LNG	157.749	26.8%
석유	1.487	0.3%
양수	3.784	0.6%
기타(신재생 외)	3.044	0.5%
수력	3.716	0.6%
태양광	29.288	5.0%
풍력	3.382	0.6%
해양에너지	0.438	0.1%
바이오	12.577	2.1%
연료전지	6.164	1.0%
IGCC	0.997	0.2%
총합	588.047	100.0%

◆ 2023년 전원구성비를 기준으로 2020년 IEA 전  
원별 LCOE를 기준으로 2023년 발전원가 산정

- 96.1원/kWh으로 계산됨
- 향후 발전원가와 비교 목적

[1] Department of Management & Innovation, Statistics of Electric Power in Korea (No. 93), Korea Electric Power Corporation, Naju, Republic of Korea, 2024.

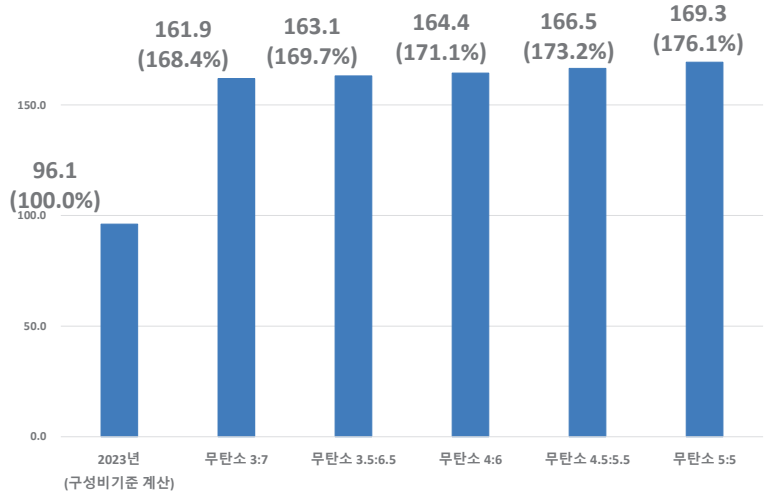
### 03 2050 탄소중립 시나리오 분석 : 결과



## 04 전원별 민감도 분석 : 무탄소 가스터빈

### ◆ 무탄소 가스터빈 Daily 패턴 변경

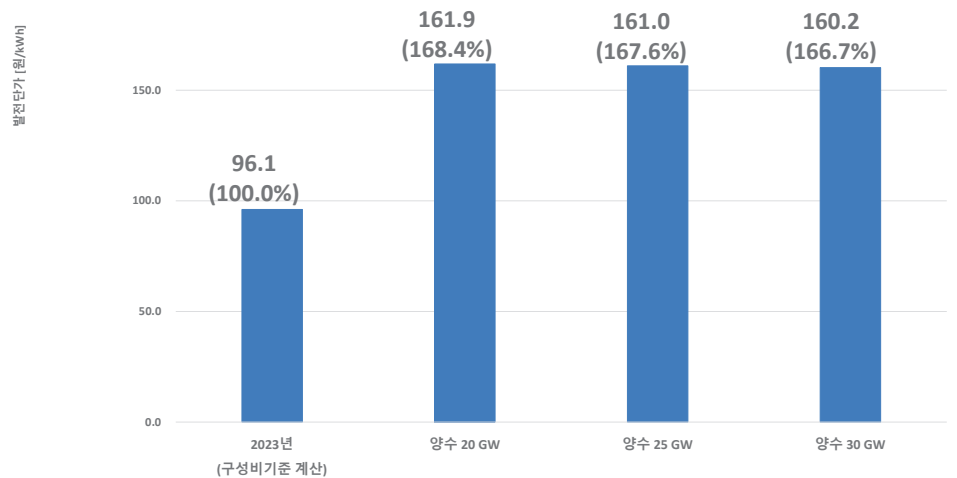
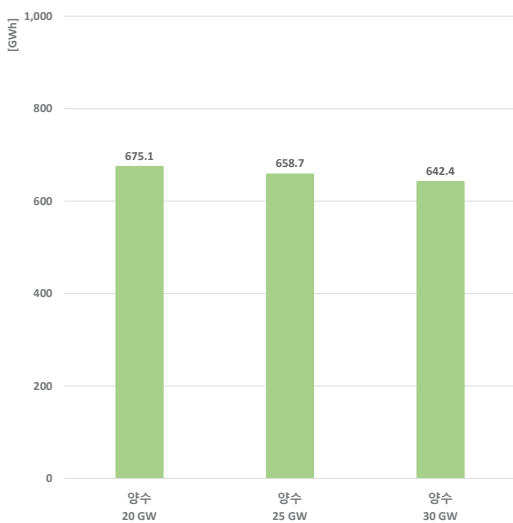
- 낮 : 밤 = 3 : 7 / 3.5 : 6.5 / 4 : 6 / 4.5 : 5.5 / 5 : 5
- 패턴 변화에 따른 비용 큰 차이 없음 → 현 분석 모델링의 무탄소 가스터빈 발전 패턴은 적정



## 04 전원별 민감도 : 양수 발전량

### ◆ 양수 발전량 변경: 20 GW ~ 30 GW

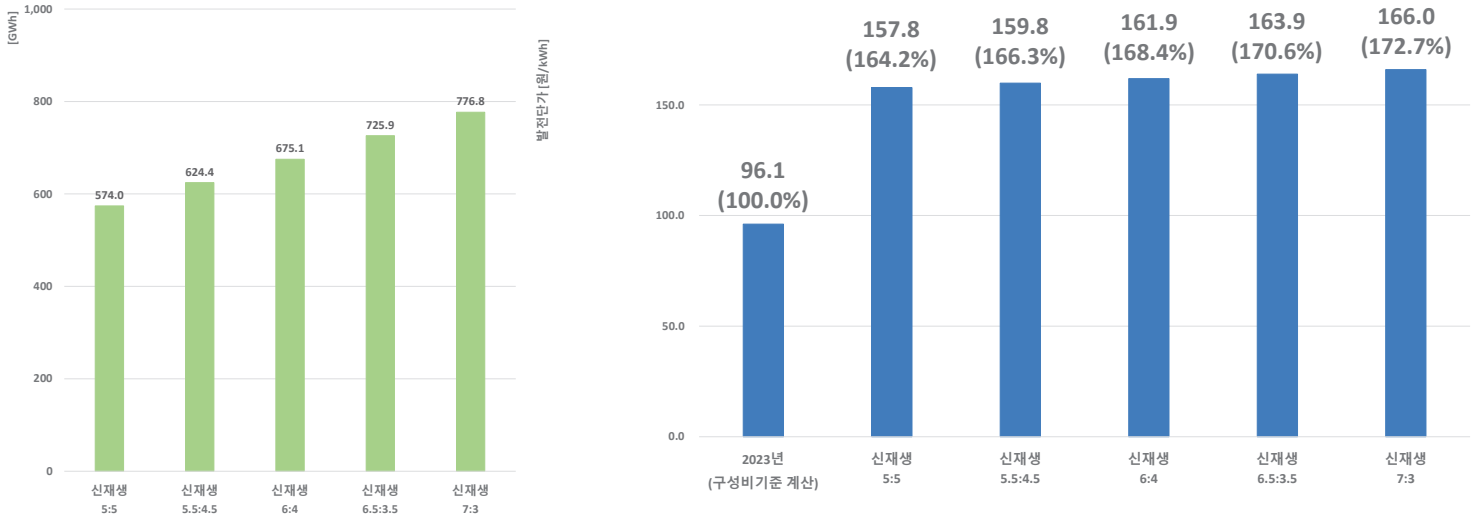
- ESS 필요 설비량 및 발전단가 모두 차이가 미미함



## 04 전원별 민감도 : 신재생 발전 비율

### ◆ 신재생(태양광 및 풍력) 발전 비율 변경

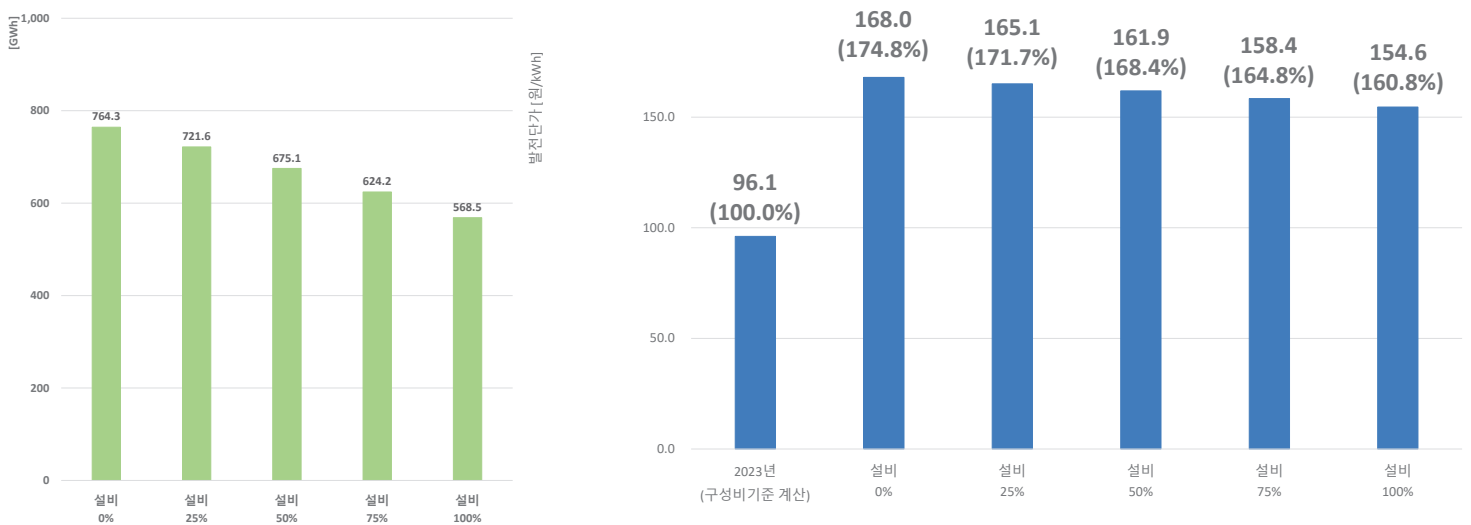
- ESS 필요 설비량에는 차이가 크게 발생,  
→ 태양광 비중 증가 : BESS 필요량 증가로 발전단가 증가



## 04 전원별 민감도 : 원자력 부하 추종

### ● 원자력 발전소 전체 설비 중 부하 추종 참여율 변경: 0% ~ 100%

- 출력 감발 비율은 50%로 고정
- ESS 필요 설비량 감소 ⇒ 발전단가 저감(부하추종 어느 정도 가능한지)



- ◆ 개발된 계절-주간(Weekly) 평균 전력 수급 시뮬레이션 모형이 피크 수요와 공급 상황을 적절히 수용할 수 있음을 보여줌
  - 계절 평균 모형이지만 주어진 설비로 수급 피크 발생시도 충분히 대응 가능
- 본 계절-주간(Weekly) 평균 전력 수급 시뮬레이션 모형을 통해 다양한 전원믹스 분석이 가능
  - 재생에너지 간헐성에 의한 마이너스 수요(Duck Curve 관점)가 발생하는 전력계통 모사 가능
- 2050 적정 믹스는 원전 비중이 증가할수록 비용은 절감됨
  - 원전비중을 30%로 하면 2050년 현재보다 92% 요금 상승, 50%로 하면 44%만 상승
  - 적정믹스는 원전 부지 확보, 재생에너지의 경제적 자원 규모, 주민 수용성 등에 영향
- 동일 구성비에서 전원별 민감도 분석결과, 풍력발전의 비중과 원전 부하추종의 영향이 큼
  - 양수발전의 증가로 BESS는 감소시킬 수 있으나 비용효과가 크지 않음
  - 태양광 보다 풍력발전이 유리하며 원전 부하추종도 효과가 있음

## 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.

