

원자력 지속가능성에 대한 **NEXFO 워크숍**

체코원전 수주와 우리나라 원자력이 나아갈 길

2024. 09. 24. 화요일
서울대학교 호암교수회관 PM 1:00 – 6:00



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

전체진행

프로그램 안내

시간	주요 내용		
12:30 – 13:00	등록 및 참가자 확인		
	개회식		
	개회사 심형진 원자력정책센터장		
13:00 – 13:30	축사 이은철 자문위원장 노백식 한국원자력산업협회 부회장 기념촬영		
	전체 진행		
13:30 – 13:50	미국 대선 결과의 한미관계 영향 전망 –핵 비확산 및 원자력 협력 분야 신동익 NEXFO 위원		
13:50 – 14:10	토의		
14:10 – 14:30	원전수출 경쟁력 제고를 위한 원전산업거버넌스 재정립방안 이종호 NEXFO 위원		
14:30 – 14:50	토의		
14:50 – 15:10	Coffee Break		
	분과1 안전·규제	분과2 미래기술	분과3 에너지정책 및 후행핵주기
15:10 – 15:30	원자력산업 제도개선 : 계속운전의 비교법적 고찰 황재훈 NEXFO 위원	원자력산업 중장기 발전전략 박석빈 NEXFO 위원	우리나라 핵연료주기 과제와 전략 최성열 NEXFO 위원
15:30 – 15:50	토의	토의	토의
15:50 – 16:10	국내 가동원전 규제감독 체계 및 문제점 분석 오성현 NEXFO 위원	원전부지확보 관련 이슈와 해결방안 박석빈 NEXFO 위원	11차 전력수급기본계획(잠정안) 분석 및 시사점 이종호 NEXFO 위원
16:10 – 16:30	토의	토의	토의
16:30 – 16:50	미국의 10 CFR Part 53 규칙 제정 현황 및 NEI 역할 분석 박찬오 NEXFO 위원	SMR 국내외 동향 분석 및 대응 오근배 NEXFO 위원	탄소중립을 고려한 에너지믹스 예비 모형구축 이만기 NEXFO 위원
16:50 – 17:10	토의	토의	토의
17:10 – 17:30	원자력 바로알기 이창노 NEXFO 위원		사용후핵연료 건식저장시설 설치 필요성 및 현황 황해룡 NEXFO 위원
17:30 – 17:50	토의		토의
17:50 – 18:00	맺음말 및 폐회		
18:00 – 19:30	만찬		

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍



미국 대선결과의 한미관계 영향 전망 -핵 비확산과 원자력 협력 분야

신동익

2024. 9.24

서울대학교 원자력정책센터

dongikshin81@gmail.com

서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

NIFTEP
서울대학교 원자력에너지기술정책연구소

CONTENTS

- I. 미국 대선 전망
- II. 공화, 민주 양당의 대외 정책 차이
- III. 양 후보의 대북정책 입장 차이
- IV. 한·미 동맹 및 한국의 핵무장 문제
- V. 한·미 원자력협정 문제
 - 미 신행정부와 원자력 분야 협력 강화
- VI. 정책적 고려사항 (미 대선 이후)

1. 미국 대선 전망 (2024.11.5)

가. D. Trump 전 대통령 공화당 후보 확정(7.14)

- o 공화당 부통령 후보: J.D. Vance
- o 보수 성향을 더 강화한 선거 전략



나. J. Biden 대통령 선거 사퇴(7.21)

- o 고령으로 인한 사퇴 압박
- o Harris 부통령을 대통령 후보로 지지

다. K. Harris 부통령 민주당 후보 확정(8.3)

- o 민주당 부통령 후보: T. Walz
- o 서민적이고 진보적 성향으로 중도층 확보 전략

라. 양 후보간 치열한 경합 중: 결과 예측 불허

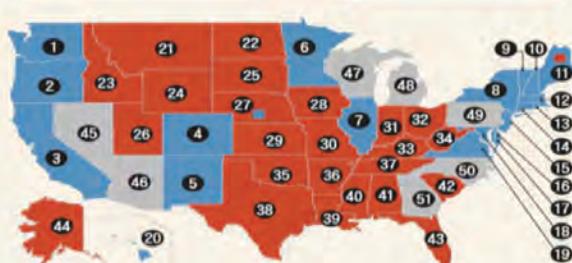
- o 펜실베니아, 조지아, 위스콘신, 미시간, 네바다, 애리조나, 노스캐롤라이나 등 7개 주(Swing States) 가 승리 관건 (1% 내외 박빙)

3

(미국 선거인단 숫자: 총 538 명) *승리에 필요한 과반: 270

미 대선 전국 판세 및 경합주

민주당 우세 선거인단	경합	공화당 우세 선거인단
226	93	219



민주당 우세 선거인단

- ① 워싱턴 12명
- ② 오리건 8
- ③ 캘리포니아 54
- ④ 콜로라도 10
- ⑤ 뉴멕시코 5
- ⑥ 미네소타 10
- ⑦ 일리노이 19
- ⑧ 뉴욕 28
- ⑨ 버몬트 3
- ⑩ 뉴햄프셔 4
- ⑪ 메인 3
- ⑫ 매사추세츠 11
- ⑬ 로드아일랜드 4
- ⑭ 코네티컷 7
- ⑮ 뉴저지 14
- ⑯ 멜라웨어 3
- ⑰ 메릴랜드 10
- ⑱ 워싱턴 DC 3
- ⑲ 버지니아 13
- ⑳ 하와이 4
- ㉑ 네브래스카 1

경합

- ㉓ 네바다 6
- ㉔ 애리조나 11
- ㉕ 위스콘신 10
- ㉖ 미시간 15
- ㉗ 펜실베니아 19
- ㉘ 노스캐롤라이나 16
- ㉙ 조지아 16

공화당 우세 선거인단

- ㉚ 메인 1
- ㉛ 몬태나 4
- ㉜ 노스다코타 3
- ㉝ 아이다호 4
- ㉞ 와이오밍 3
- ㉟ 사우스다코타 3
- ㉞ 유타 6
- ㉞ 네브래스카 4
- ㉙ 아이오와 6
- ㉚ 캔자스 6
- ㉞ 미주리 10
- ㉛ 인디애나 11
- ㉜ 오하이오 17
- ㉞ 켄터키 8
- ㉞ 웨스트버지니아 4
- ㉜ 오클라호마 7
- ㉞ 이칸소 6
- ㉞ 테네시 11
- ㉞ 텍사스 40
- ㉙ 루이지애나 8
- ㉞ 미시시피 6
- ㉞ 앨라배마 9
- ㉙ 사우스캐롤라이나 9
- ㉛ 플로리다 30
- ㉙ 알래스카 3

*총 선거인단 538명
승리에 필요한 최소
선거인단 270명
자료=270투표

2020년 대선 결과

4

2. 공화, 민주 양당의 대외 정책 차이

가. Trump 전 대통령(공화당): 고립주의(Isolationism)

- 미국 우선주의(MAGA: Make America Great Again)
 - 국경강화, 보호무역을 통해 미 국민 및 경제 우선주의
 - 국가간 상호 이익(interest) 보다 일방적 이윤(profit) 추구
 - 우크라이나 전쟁 종식, 해외 미군 주둔 축소 예상
 - 재임시(2017-2021) 주한미군 축소 수차 언급
 - 미국의 부담이 되는 국제합의 거부 또는 철회
 - 기후변화협정(2017), 이란 핵합의(2018), WHO(2020) 탈퇴



나. Harris 부통령(민주당): 국제주의(Internationalism)

- 미국의 국제 리더쉽 회복 노력(Biden 2) 전망
 - 동맹 중시, 협력을 통한 국제질서 복원 노력
 - 우크라이나 지속 지원, NATO와 군사협력 확대
 - 아시아 우방국들과 연대 강화
 - 한미 동맹, 한미일 협력, QUOD, AUKUS, IPEF 등



2. 공화, 민주 양당의 대외 정책 차이

다. 민주, 공화당 정책 비교

정책이슈	민주당	공화당
무역·전략산업정책	전략산업의 리쇼어링	
대중국	전략적 경쟁자	
해외개입·중동	지속적 개입 지양	
기후	최우선순위	강한 반대
에너지	신재생에너지 지지	화석연료·원자력 지지
동맹과 우방	자산	무임승차자
국제기구	개혁·유지	무시·훼손

(출처: EFCR: ecfr.eu)

[Trump]: 반 환경, 친 에너지 정책	[Harris]: 친 환경, 저탄소 에너지 정책
<ul style="list-style-type: none">◦ 파리기후협약 탈퇴, 환경청 폐지 계획◦ 에너지 지배력의 발휘 (Unleash Energy Dominance)◦ 석유, 천연가스(화석연료) 재활성화, 원자력 에너지 확대	<ul style="list-style-type: none">◦ 파리기후협약 재가입, 기후변화 국제 리더쉽 회복◦ 석유, 가스 보조금 폐지, 원자력 산업 (SMR 등) 확충◦ 글로벌 청정에너지 및 핵심 광물 공급망 구축



3. 양 후보의 대북 정책 입장 차이

가. Trump 전 대통령

- 2018년(싱가포르), 2019년(하노이) 김정은과 정상회담 개최
- 하노이 정상회담 실패 만회를 위해 3차 미.북정상회담 시도 가능
- 최근 '푸틴, 김정은과 잘 지내는 것은 현명한 일'로 언급
- 김정은 입장에서 Trump 대통령이 당선되는 것을 선호
 - Trump와 비핵화가 아닌 핵군축(핵보유국 인정) 협상



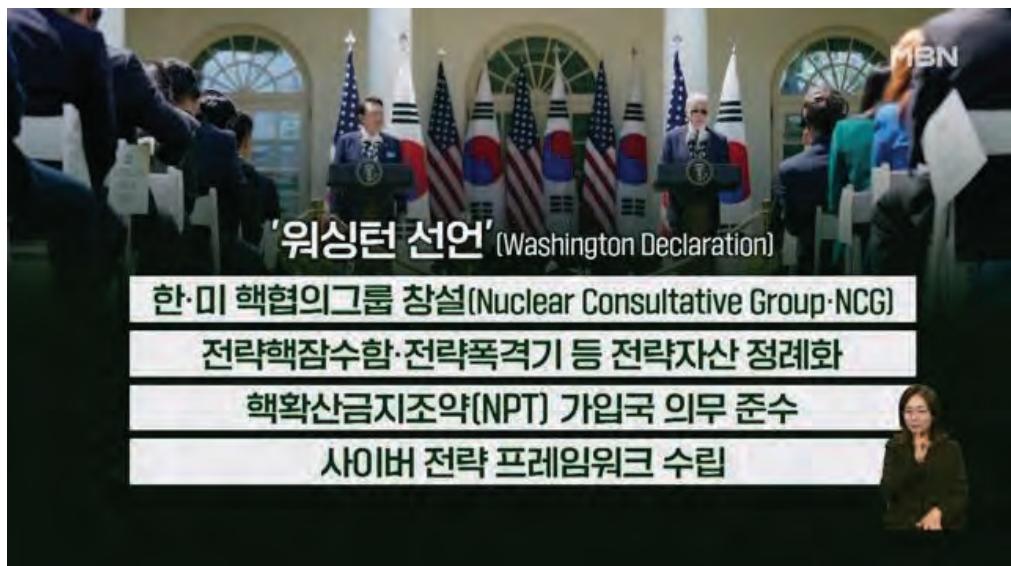
나. Harris 부통령

- Obama, Biden 대통령의 '전략적 인내(Strategic Patience)' 지속 예상
 - 북한의 비핵화 의도 표명 시 협상, 대북 핵 억제력 강화
- 2022.9. Harris 부통령 DMZ 방문 시 강력한 대북 메시지
- 최근 '김정은과 같은 독재자에게 비위 맞추지 않을 것'이라고 강조
 - 북핵과 함께 인권 문제도 우선 과제



4. 한.미 동맹 및 한국의 핵무장 문제

가. Harris 당선 시 2023년 '워싱턴 선언' (2023.4.26) 지속 이행



A. '워싱턴 선언' 요지 (2023.4.26)

국제비확산체제의 초석인 (1)‘핵확산금지조약(NPT)’ 상 의무에 대한 한국의 오랜 공약 및 (2)한.미 간 ‘원자력의 평화적 이용에 관한 협력 협정’ 준수를 재확인 (Reaffirmed the ROK’s longstanding commitment to its obligations under (1)the ‘Nuclear Nonproliferation Treaty(NPT)’ as the cornerstone of the global nonproliferation regime as well as to (2)the ‘U.S.-ROK Agreement for Cooperation Concerning Peaceful Uses of Nuclear Energy’)



양 정상은 확장억제를 강화하고, 핵 및 전략 기획을 토의하며, 북한의 위협을 관리하기 위해 새로운 ‘핵 협의그룹(NCG)’ 설립을 선언 (Announced the establishment of a new ‘Nuclear Consultative Group’ (NCG) to strengthen extended deterrence, discuss nuclear and strategic planning)



미국은 향후 예정된 미국 전략핵잠수함의 한국 기항을 통해 증명되듯, 한국에 대한 미국 전략자산의 정례적 가시성을 한층 증진시킬 것임 (Enhance the regular visibility of strategic assets to the Korean Peninsula, as evidenced by the upcoming visit of a U.S. nuclear ballistic missile submarine(SSBN) to the ROK)

9

B. 윤석열 대통령 하바드대 연설 (2023.4.28)

- 한국은 핵 개발을 위한 충분한 기술적 능력 보유
- 그러나 핵 개발시 잃게될 다양한 가치와 국가이익 존재
- ‘워싱턴 선언’을 통해 한국은 NPT를 준수, 미국은 확장 억제 제공 합의
*(NPT 2조): 비 핵당사국은 핵무기나 핵폭발장치를 양도 받거나 제조하지 않음
- NCG를 통한 한미동맹 강화는 NATO의 NPG 보다 더 효과적



C. ‘한반도 핵억제 핵작전 지침’ 공동성명 채택 (2024.7.11)

- 한미 동맹을 핵 기반 동맹으로 강화한 ‘워싱턴 선언’을 재확인
- 한.미 정상, 북한의 핵 도발에 강력히 대응하기 위한
‘한미 한반도 핵억제 핵작전 지침*’에 관한 공동성명 발표

*Guidelines for Nuclear Deterrence and Nuclear Operations on the Korean Peninsula



10

[핵 협의그룹(NCG) 구조도]

확장억제 강화 방안 '워싱턴 선언' 주요 내용



한미, 핵협의그룹(Nuclear Consultative Group NCG) 창설

미국이 확장억제계획을 한국에 공유하고,
한국이 미국의 확장억제 계획 구상 과정에 관여하는 정기적 양자 협의 기구



미국 전략자산, 보다 빈번한 한반도 전개

- 핵탄두 탑재 탄도미사일 발사 가능 전략핵잠수함(SSBN)* 포함
전략자산 한국 방문
- 연합훈련·연습 및 모의 활동 강화

*1980년대 초반 이후 처음

한국, 핵확산금지조약(NPT) 의무 이행 약속 재확인

미국이 확장억제를 강화해 제공하는 대신
한국은 자체 핵무기 개발하지 않기로 지속적인 약속



11

나. 한반도 비핵화와 한국 핵무장 문제에 대한 입장

- o 민주, 공화 양당 모두 공식적으로 한반도 비핵화 추구
 - 표현의 차이는 있지만 남·북한의 핵무기 보유 불허
- o 2023 '워싱턴 선언'상 한국의 NPT 준수 약속으로 핵무장 포기 간주
 - * 한국의 핵무장 허용 시 이란, 사우디, 일본 등으로의 확산 우려

[Harris 부통령]: 한국의 핵무장 반대(Biden 2)

- 민주당은 전통적으로 철저한 핵 비확산 원칙 견지
- 한국의 핵무장 추진시 상응하는 제재조치 부과 예상
 - * 한미 원자력 협정에 근거한 양자 차관과 유엔 안보리 제제 포함
- * 제재 효과는 천천히 오지만 피해가 확실히 나타남 (slowly but surely)



[Trump 전 대통령]: 확장 억제(핵우산) 상시 제공 불확실

- Biden 행정부의 '워싱턴 선언'을 계속 준수할지 불투명
- 재임 1기 때처럼 엄청난 분담금 및 전략자산 비용 요구 예상
 - * 미 국민 세금으로 부유한 국가를 지켜줄 필요가 없다고 언급
- 한국의 핵 무장 추진시 주한미군 감축 등 한·미 동맹 약화 전망
- 주한미군 없이 한국의 자체 국방력을 강화를 위해 천문학적 예산 소요



12

5. 한·미 원자력협력 문제

가. 한·미원자력협정 준수(워싱턴 선언)

- 1974년 발효, 2015년 개정된 ‘한·미원자력협정 (Agreement for Cooperation Concerning Civil Use of Atomic Energy)’
 - 2035년 까지 유효(만료 전 연장 협상 필요)
 - 미국산 우라늄 이용 20% 미만의 저농축이 필요하면 사전 협의 통해 추진
- * 한미 ‘양자 고위급위원회(High Level Bilateral Commission: HLBC)’ 가동



[제11조: 농축, 재처리 및 그 밖의 형상 또는 내용 변경]

1. 이전된 특수핵분열성물질의 재처리 또는 그 밖의 형상 또는 내용의 변경은, 그러한 활동이 수행될 수 있는 시설에 관한 사항을 포함하여 당사자들이 서면으로 합의하는 경우에만 이루어질 수 있다.
2. 이전된 우라늄, 장비 이용을 통해 생산된 우라늄은,
 - (가) 제18조제2항에 따라 실립될 ‘양자 고위급 위원회(HLBC)’를 통한 협의를 통해 그리고 당사자들의 적용가능한 조약, 국내 법령 및 인허가 요건에 합치되게 농축을 하기 위한 약정에 서면으로 합의하고,
 - (나) 우라늄 235 동위원소가 오직 20퍼센트 미만인 경우에 한하여 농축될 수 있다.

13

5. 한·미 원자력협력 문제

○ 한국이 군사용 목적으로 농축·재처리를 시도할 경우, 협정 전면 위반

- 미국은 한국에 대한 원자력 기술과 핵연료 제공 중단 등의 포괄적 조치 가능

[제13조: 폭발 또는 군사적 적용 금지]

협정에 따라 이전된 핵물질, 감속재 물질, 장비 또는 구성품 이용을 통하여 생산된 모든 핵물질, 감속재 물질, 또는 부산 물질은 무기 또는 어떠한 핵폭발 장치, 어떠한 핵폭발 장치의 연구 또는 개발이나 어떠한 군사적 목적을 위해서도 이용되지 아니한다.



나. 미국의 대외 비확산법 (123 Agreement)

- 1954년 제정된 미국 원자력에너지법 (AEA: Atomic Energy Act) 제123조
 - (외국과의 협력): 미국의 핵물질, 기자재, 기술을 사용하려는 국가와 미국간 사용조건과 절차*를 명시
 - *(Gold Standard): 사용후 핵연료의 재처리와 우라늄 농축을 금지하는 내용을 지침
- 한국의 군사용 목적 농축·재처리시도는 123 Agreement에 위배
 - 미국(정부 및 의회)의 제대 대상



14

5. 한·미 원자력협력 문제

(123조에 규정된 9가지 핵 비확산 조건: 비 핵보유국 의무)

1. 이전 핵물질과 기자재는 영구 사찰대상임
2. 모든 주요 원자력 시설에 대하여 IAEA의 전범위 (full scope) 사찰 수용
3. 이전 핵물질, 기자재, 기술의 핵무기 개발 또는 군사목적에 전용 금지
4. 비핵보유국이 핵실험을 하거나 IAEA의 사찰규정을 어길 경우 이전물을 미국에 반환
5. 핵물질이나 보안자료를 재이전시 미국의 등의 필요
6. 이전 또는 생산된 핵물질, 시설은 충분한 물리적 방호 필요
7. 20% 미만의 농축이나 재처리시 미국의 사전 동의가 필요
8. 20% 이상 농축이나 재처리시 새로운 협정을 통한 미국의 사전 승인 필요
9. 상기 8개 핵비확산 조건은 핵물질, 생산시설, 이용 시설에 공히 적용

○ 미국은 현재 49개국(대만 포함) 및 국제기구(IAEA)와 원자력협정 체결

[주요국과의 협정]

*일본과의 협정

- 1988년 체결, 농축 재처리 허용(롯카쇼 핵재처리장)

*인도와의 협정 (Hyde 법)

- 2006년 체결, NPT 비당사국과의 협정으로 농축과 재처리 허용

*UAE와의 협정

- 2009년 체결, 농축과 재처리 포기(Gold Standard)

*한국과의 협정(2015년 개정)

- 농축, 재처리(20% 미만) 사전 협의의 조건부 허용

*사우디: 농축, 재처리 권리문제로 협정 체결 지연

- 미국은 123 Agreement, AP 서명 요구



15

5. 한·미 원자력협력 문제

다. 신 행정부와 한·미 원자력 협력 강화

(1) 한·미 원자력협정 이행 양자 고위급위원회(HLBC) 개최

o 2018년 이후 중단된 양자 고위급위원회 조기 재개

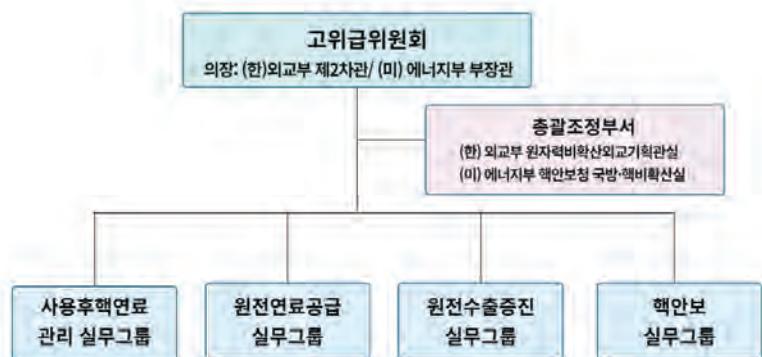
- 고위급위원회의 4개 분과별 실무그룹 활성화 (기존 메커니즘 활용)

*사전 협의를 통해 저농축은 가능하나 현재까지 미 시행

o 핵주기(농축, 파이로프로세싱 등) 완성을 위한 실질적 문제 논의 필요

*(협정 전문) 평화적 목적을 위한 원자력의 연구, 생산 및 이용을 개발할 수 있는 NPT 당사국의 불가양의 권리 확인

(한미 원자력 양자 고위급위원회 구조)



16

5. 한·미 원자력 협력 문제

(2) 탄소중립 목표(Net Zero) 달성을 위해 양국간 협력

- 양국 모두 에너지 전력의 안정적 공급을 위해 원자력은 필수
- 원자력(CF)과 재생에너지(RE)로 Net Zero 달성을 위한 공조

(3) 소형모듈원자로(SMR) 등 공동 연구·개발

- 한미 정부, 업계들간 보완적 협력을 통해 개발 및 건설
- 고순도 저농축우라늄(HALEU) 신기술 등 공동 연구

(4) 제3국 원전 공동 진출 모색

- 체코 원전 수출 기회로 '웨스팅하우스'와 특허권 문제 원만한 해결
- 중,러 등과의 경쟁 속에 원전 동맹인 한·미의 제3국 공동 진출 추진



* (2022.5.21 한미정상회담 공동성명-원자력 협력)

- 원자력 협력을 더욱 확대하는 한편, 수출 진흥과 역량개발 수단을 공동으로 사용하고 보다 회복력 있는 원자력 공급망을 구축함으로써 선진 원자로와 소형모듈형원자로(SMR)의 개발과 전 세계적 배치를 가속화하기로 공약
- 미국, 한국, 해외 원전 시장에서 한미 원전기술 이전 및 수출 협력에 관한 양해각서와 사용후 핵연료 관리, 원자력 수출 진흥, 연료 공급 확보 및 핵안보를 위한 협력을 심화하기 위하여 '원자력 고위급위원회(HLBC)'와 같은 수단을 활용하기로 약속

17

6. 정책적 고려 사항(미 대선 이후)

가. 한미 정상회담 기준 합의사항 이행

- 2021년 이후 매년 한·미 대통령이 합의한 공동 성명 이행
 - 2023년 '워싱턴 선언'을 통해 NPT와 원자력협정 준수 약속
- 2025년 1월 시작하는 미 신행정부와의 새로운 신뢰관계 구축 중요

나. 2027년 시작하는 한국 신정부의 친원전 정책 유지 필수적

- 탈원전 정책 회귀 방지를 위한 제도적 장치 마련과 국민 인식 제고 필요

다. 핵잠재력 논의는 한미원자력 협력에 부정적 요소

- 핵무장 문제는 국내 여론과 관계없이 현실적 제약으로 실현되기 어려움
- 핵잠재력(latency)은 핵무기 개발을 전제로 한 용어이므로 자제 필요
 - 핵잠재력 보다 NPT상 주권적 권리인 핵 연료주기(fuel cycle) 능력으로 표현



18

6. 정책적 고려 사항(미 대선 이후)

라. 향후 원자력협정 개정 협상을 위한 사전 준비 철저

- 미국과의 협상을 위해서는 실현 가능한 목표 설정이 중요
- 농축·재처리 권리 확보를 우선 목표로 논리적 설득 준비
 - *선행(농축)-아궁이는 잘 만드나 사용할 땐 감(연료)가 없음
 - *후행(재처리, 재활용)-원전에는 사용후핵연료와 폐기물(화장실)이 꽉 차있음
- 2035년 한미원자력협정 유효기간 종료 전 협상 시작(2027년 경 예상)

마. 정상 차원에서도 농축·재처리 권리 문제 제기 필요

- 실무협상과 함께 고위급, 정상차원에서 전 방위적으로 전개
 - top-down과 bottom-up 협상 방식의 병행
- 1988년 '나카소네' 일본 총리의 '레이건' 미 대통령 설득 사례 참고
 - 체계적이고 끈질긴 협상으로 동맹에 기반한 '포괄적 사전 동의' 확보

한-미 원자력협정과 미-일 원자력협정 비교

구 분	한-미 원자력협정(2015년) 주요 내용	미-일 원자력협정(1988년) 관련 내용
조사후시험·전해환원 장기 등의 확보 (미국산 핵물질의) 해외위탁 재처리 허용	사용후핵연료	우리농·농축과 핵연료 재처리 등 원자력 프로그램 전반에 대한 '포괄적 동의'로 자율성 확보
우라늄의 20% 미만 저농축은 고위급위원회 통해 합의 가능	월전연료 공급	
핵물질, 원자력 장비·부품의 제3국 재이전 경기 등의	월전 수출	언급없음
40년에서 20년으로 단축	유효기간	20년

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

원전수출 경쟁력 제고를 위한 원전산업 거버넌스 재정립 방안

이종호
2024. 9. 24.

서울대학교 원자력정책센터
jhleeyy@naver.com

서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

NIFTEP
서울대학교 원자력정책기술정책연구소

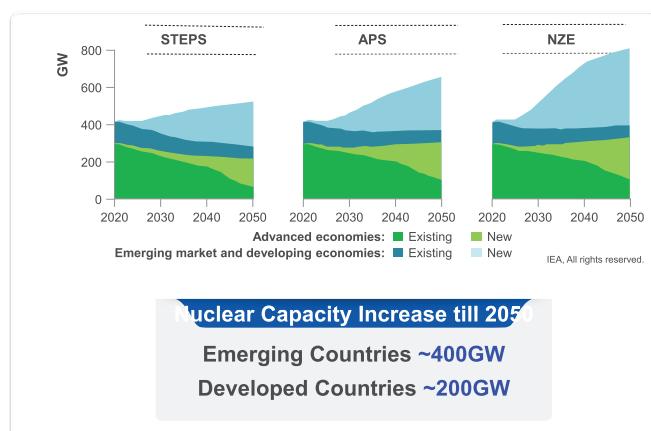
CONTENTS

-
- I. 탄소중립을 위한 신규 원전건설 전망
 - II. 원전 수출 추진 경위
 - III. 원전산업 산업체계 변천 과정 및 현 체계의 문제점
 - IV. 외국의 원전산업체계 현황
 - V. 바람직한 원전산업체계 개편 방안
 - VI. 개편방안에 대한 추진전략
 - VII. 참고자료 : 원전공사화 추진 검토

2050년 세계 신규원전 건설 전망 : 300~1000GW

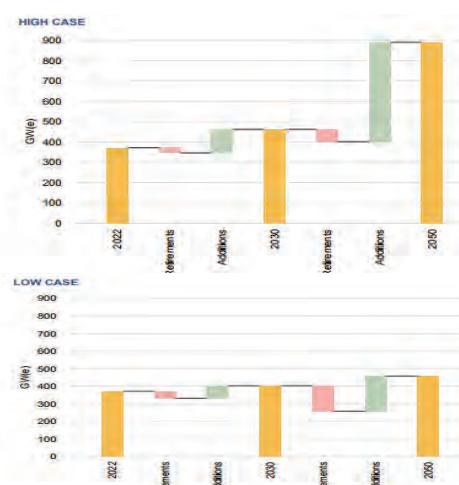
□ 국제에너지기구(IEA) : 2021 World Energy Outlook

- 총 800GW(신규원전:300~600GW)



□ 국제원자력기구(IAEA, 2023) : 총 900GW 전망

- 신규원전 : 300~600GW



□ UAE COP28('23. 12) : 2050년 까지 원전규모 3배로 확대

- 신규원전 : ~1000GW

3

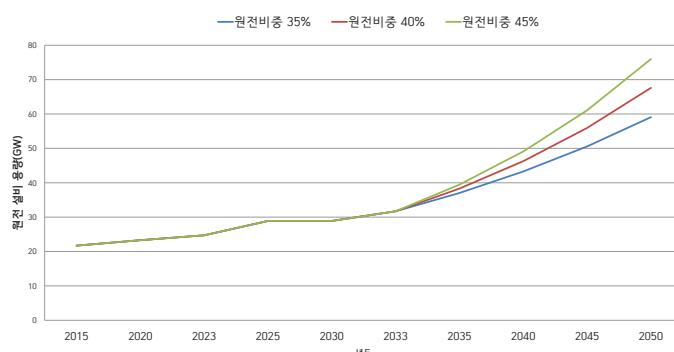
2050년 국내 신규원전 건설 전망

표. 2050년 에너지 믹스 시나리오별 설비량

(단위 : GW)

시나리오 (원전:재생E:수소)	원전		재생에너지*		수소
	필요	(신규)**	태양광	풍력	
I (35 : 45 : 20)	59.1	(△27.5)	294.7	75.4	~47
II (40 : 40 : 20)	67.6	(△36.0)	247.7	75.4	~45
III (45 : 35 : 20)	76.0	(△44.4)	200.7	75.4	~43

그림. 2050 탄소중립 시나리오별 원전 전망



4

원전 수출 추진 경위

□ 1990년대 중국, 베트남 등 원전수출 추진(OPR1000)

□ 2000년대

- KEDO 원전 사업, 중국, 베트남 인도네시아 등 추진
- '08년부터 APR1400 마케팅 체계(핀란드, 우크라이나 등) : 한수원
- '09 : APR1400, UAE 4기 수출

□ 2010년대

- 한수원 : 핀란드(2014년까지), 체코, 폴란드 등 유럽 중심으로 추진
- 한전 : 터키, 영국, 사우디 등 추진

□ 2020년대

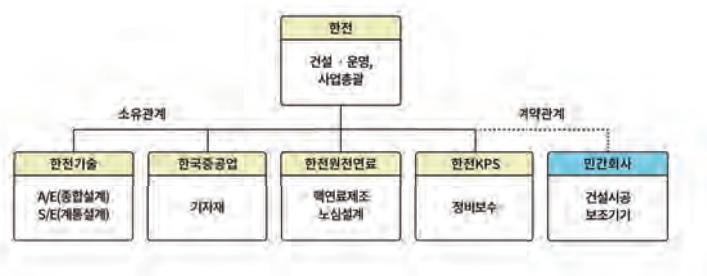
- 한수원 : 체코, 폴란드, 이집트, 루마니아, 네덜란드, 스웨덴, 필리핀 등
- 한전 : 영국, UAE, 사우디 등

□ 2024년 7월 : 체코 원전 2기 우선협상대상자로 선정

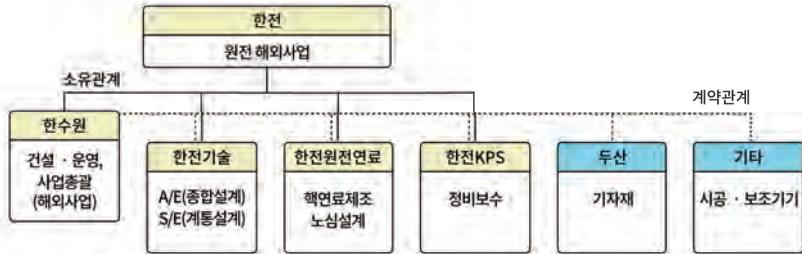
- 15년만의 성과(원전산업 경쟁력 입증, 수십 기 원전 수출 교두보 확보)

원전 산업체계 변화 추이

□ 전력산업 구조조정(2001) 이전 : 기술자립 목표로 역할분담



□ 전력산업 구조조정(2001) 이후 : 원전산업 리더십 혼란



원전 수출체계의 문제점

□ 원전산업체계의 비효율성

- 역할분담이 되어있는 구조인데 컨트롤 타워가 모호- 기관 간의 연계
- 기술자립에 편리하게 구축된 산업구조를 수출 시에도 그대로 유지

□ 원전 수출체계의 이원화에 따른 비효율

- 낮은 정보공유도, 기술적 수준의 차이
- 이중구조에 따른 비효율(UAE 사업)

□ 공기업의 안주경향 및 사업 마인드 부족

□ 과도한 규제, 정책의 일관성 결여 등 산업경쟁력 유지에 장애

- 기술역량 저하, 산업생태계 붕괴
- 운영실적은 더 이상 선진국이 아님

□ UAE 원전수출 : "On Time, On Budget"으로 대표되는 원전산업 경쟁력의 상징

7

관련기관 종사자 설문조사

◆ 설문일시 : '24.5.14~ 5.24

◆ 설문조사 대상 기관

- 한국전력공사, 한국수력원자력, 한전원자력연료, 한국전력기술,
두산에너빌리티, 현대, 삼성

◆ 전체 응답자 : 36명

◆ 응답자 구분

<직급>

- 고위급(임원, 본부장, 처장) : 15명
- 실무급(부장, 차장) : 21명

<공공 : 민간 > = 23 : 13

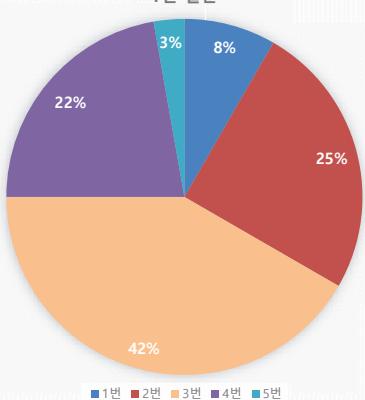
8

관련기관 종사자 설문조사 결과(1)

1. 2050년 탄소중립 달성을 시 까지 국내 원전건설 전망은?

- ① 11차 전력수급기본계획 이후 추가 건설이 어렵다
② 11차 수급계획 이후 8기(취소된 영덕, 삼척) 부지에만 건설 예상
③ ②안에 추가하여 신규 산업단지 내 SMR 건설 예상
④ ③안에 추가 석탄화력 부지에 SMR 건설, 2050 발전량의 40% 원전건설
⑤ ④안에 추가 2050년 발전량의 50% 정도까지 원전건설 예상(대형원전+SMR)

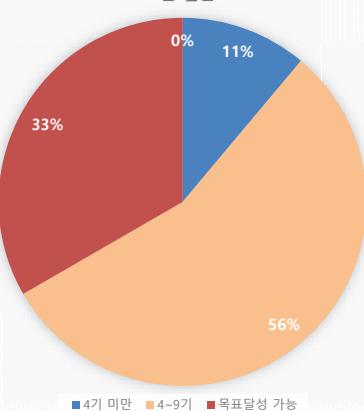
1번 질문



2. 현 정부는 2030년까지 10기의 원전 수출을 목표로 추진 중입니다. 2030년까지 우리나라의 원전 수출 가능성은 어떻게 보십니까?

- ① 4기 미만 ② 4~9기 ③ 목표달성 가능 ④ 11~14기 ⑤ 14기 초과

2번 질문



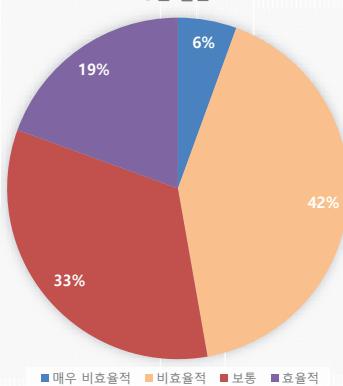
9

관련기관 종사자 설문조사 결과(2)

3. 원전수출 등과 관련하여 우리나라 원전산업체계의 효율성은 어떠하다고 생각하십니까?

- ① 매우 비효율적이다 ② 비효율적이다 ③ 보통이다 ④ 효율적이다
⑤ 매우 효율적이다

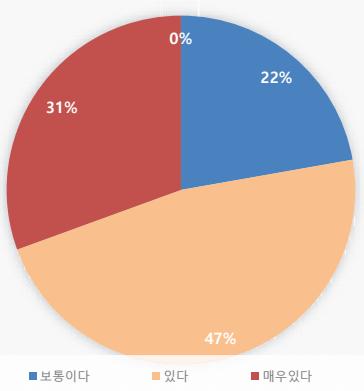
3번 질문



4. 현재 우리나라 원전산업체계의 수출경쟁력은 어느 정도?

- ① 매우 없다 ② 없다 ③ 보통이다 ④ 있다 ⑤ 매우 있다

4번 질문



10

관련기관 종사자 설문조사 결과(3)

5. 가까운 미래에 원전산업체계의 개편이 필요하다고 보십니까?

- ① 전혀 필요없다 ② 필요없다 ③ 보통이다 ④ 필요하다 ⑤ 매우 필요하다



6. 현재의 원전산업체계로 원전수출을 추진할 때 어떠한 점이 문제라고 생각하십니까? (복수대답 가능)

- ① 수출체계 이원화(한전/한수원) ② 종사자의 역량 ③ 공기업 주도의 한계
④ KOREA ONE-Team 내의 소통부족 ⑤ 정부정책 지속성 부족

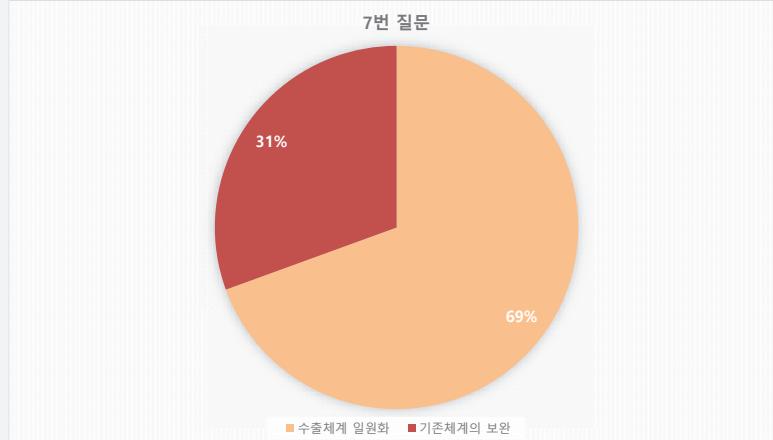


11

관련기관 종사자 설문조사 결과(4)

7. 러시아와 중국은 정부 또는 준정부 기관이 원전 수출을 주도하고 있고 프랑스는 공기업인 EDF가, 그리고 미국, 일본은 민간이 주도하고 있습니다. 우리나라도 개편을 하게 된다면 어떠한 방향으로 가야한다고 생각하십니까?

- ① 수출체계 일원화(7-1 질문으로) ② 기존체계의 보완(7-2의 질문으로)



12

관련기관 종사자 설문조사 결과(5)

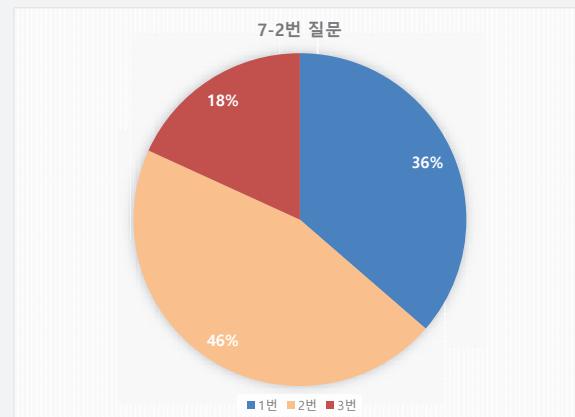
7-1. 어떠한 방향으로의 일원화가 필요하다고 생각하십니까?

- ① 원전산업 내 일사불란한 체계를 구성하는 방향으로 일원화
- ② 전력산업 내 일관성을 유지하는 방향으로 일원화
- ③ 공공주도의 원전수출회사를 별도로 설립하는 방향으로 개편
- ④ 공공과 민간이 공동으로 참여하는 원전수출회사를 별도로 설립
- ⑤ 기타 의견이 있으면 8번 항목에서 기술



7-2. 기존체계는 어떤 식으로 보완해야 한다고 생각하십니까?

- ① 소통을 더욱 강화해야 한다
- ② 민간 주도방식을 도입해야 한다
- ③ 사업개발과 사업추진으로 기능을 구분해야 한다
- ④ 기타 의견이 있으면 8번 항목에서 기술



13

관련기관 종사자 설문조사 결과 요지

1. 국내 원전건설 전망 : 취소된 부지(영덕, 삼척) 및 산업단지내 SMR 건설 : 67%

2. 2030년까지 10기 수출

- 목표달성 33%, 9기이하 : 67%, 목표 이상 : 없음

3. 원전산업체계의 효율성

- 효율적 : 19%, 보통 : 33%, 비효율적 및 매우비효율적 : 48%

4. 원전산업체계의 수출경쟁력 : 있다 +매우 있다 : 78%

5. 원전산업체계의 개편 필요성 : 필요하다+ 매우 필요하다 : 86%

6. 수출 시의 문제점

- 수출체계 이원화 > 정책 지속성 > 내부 소통부족, 공기업 주도 > 종사자 역량

7. 원전산업체계의 개편방향

- 일원화 : 69%, 기존체계 보완 : 31%

7-1. 일원화 시 : 원전산업체내 수직계열화(64%), 별도 원전수출회사(20%)

7-2. 기존체계 보완 시 : 사업개발과 사업추진 분리(46%), 민간방식 도입(36%)

14

외국의 원전산업 체계(러시아)

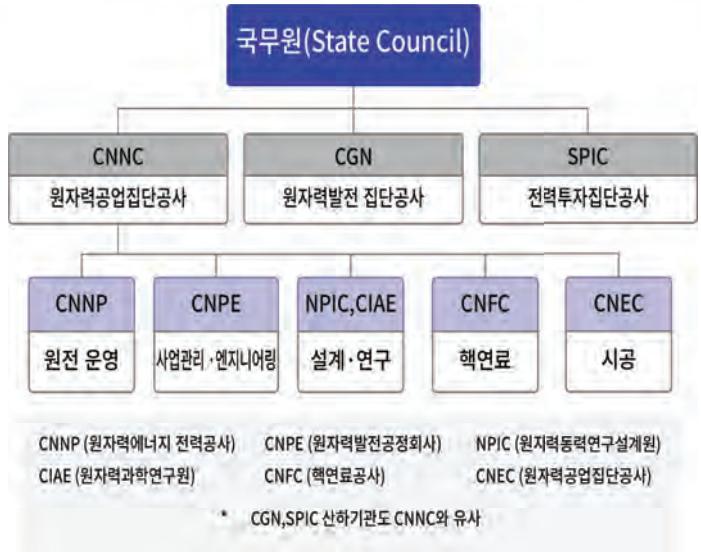
- 1954 : 러시아 최초 원전(Obninsk 1gh기) 가동
- 1964 : 최초의 PWR(VVER형 모델) 가동
- 1986 : 체르노빌 원전 사고
- 1993 : 미-러 협정 (고농축우라늄 원전 사용)
- 2000 : “러시아 원자력발전개발의 전략” 수립
 - 2020년 까지 원전비중 25~30% 목표
- 2007 : ROSATOM 개편 및 아톰에네르고프롬(공사) 출범
- 2020 러시아 에너지전략 2035 발표
 - 35년까지 원전비중 22~23%로 확대



15

외국의 원전산업 체계(중국)

- 1972 : 상해핵공정연구소 설치, 상업용 원자로개발 착수
- 1986 : 첨단산업 기술개발계획(863계획) 수립
 - 중국개방과 함께 원자력산업 육성
- 1994 : 자체개발 노형인 CNP-300 가동
- 2007 : 원자력발전 중장기 발전계획 수립(05~20년)
 - 20년까지 40GW 운영, AP1000, EPR 건설 및 국산화 병행
- 2016 : 13차 에너지발전계획(16~20년)
 - 20년까지 58GW 운영, AP1000, HPR1000 및 CAP1400 건설
- 2021 : 14차 에너지발전계획(21~25년)
 - 25년까지 70GW 운영, HPR1000 및 CAP1400 건설



《참고 : 미국》

- 원전 운영회사(발전회사)와 원전공급사는 별개의 사기업
- 원전공급사 (WEC, GE...) : 원자로 설계, 주기기 공급 및 핵연료 설계, 제작 공급
 - 엔지니어링, 시공은 협력기관 선정하여 추진

16

외국의 원전산업 체계(프랑스-1)

프랑스 정부

- 1960 : 미국과 합작으로 Framatome 설립, 설계·제작 공급
- 1980 : 원전기술 독립
 - Framatome 국유화(미국 지분 100% 인수)
- 2000년경 : 독일 지멘스사와 합병 AREVA로 개편
- 2018 : EDF산하로 원전기업 수직계열화
 - 핀란드 및 자국의 원전건설 사업 실패가 원인
- 2021 : 프랑스-2030 Re-industrialization 플랜
 - 2050까지 신규 6기 건설, 8기 추가 건설 검토

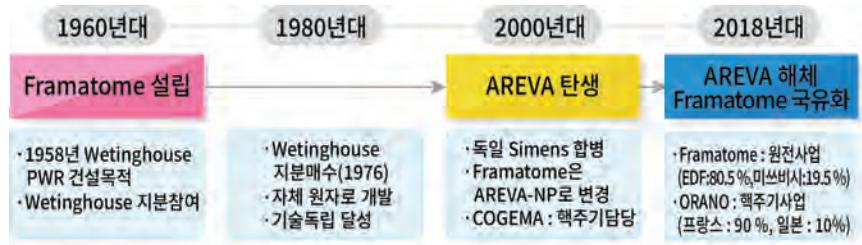


17

외국의 원전산업 체계(프랑스-2)

EDF: 프랑스 전력공사

- EDF는 발전사업이 주업무인 공사
 - 송전, 배전회사는 지분 소유
 - 판매회사는 별도의 회사
 - 화력발전이 한수원과 차이
- EDF산하로 원전기업 수직계열화
 - EDF 원전수출 주관
 - Framatome이 원전 설계, 제작



18

경쟁국 원전산업체계와의 비교

경쟁국 원전산업체계와의 비교

국가	한국	프랑스, 중국, 러시아	미국, 일본
지배구조	- 전력공사가 주주 - 수평적 구조	- 중국, 러시아 ; 원자력공사 - 프랑스 : 발전주도 공기업 - 수직 계열화	- 민간 공급자 형태 - 단일회사로 내부 계열화
수출체계	- 이원화 (전력회사, 원전회사)	- 일원화 ● 프랑스 : 발전주도 공기업 ● 러시아, 중국 : 원자력공사	- 일원화 - 공급자가 주도 (설계, 주기기 공급)
수출보증	- 공사 및 시장형 공기업 - 간접적 정부 보증	- 정부 보증	- 정부보증 없음

19

원전산업체계 변화 방향

- 세계 원전건설 시장 활성화에 대비한 규모와 체계를 구축해야 함
- 원전산업체 내 최대한 시너지를 도출할 수 있도록 일사분란한 체계(수직계열화)이어야 함
- 국제경쟁력 확보를 위하여 재무적, 정책적 안정성을 유지할 수 있어야 함
- 공기업의 제약이나 한계를 보완할 수 있어야 함
- 공공과 민간이 유기적인 협조체계가 강화되어야 함

20

원전 수출체계 단계별 개편 방향

□ 1단계 : 공공분야는 외국 경쟁사처럼 지배구조나 의사결정 구조가 일사불란한 체계(수직계열화)로 개편

- 해외사업 이원화 체계를 일원화체계로 변화
- 원전사업 컨트롤 타워 강화를 위한 수직계열화
- NSSS 설계와 핵연료 설계와의 연계 등 기관별 역할분담 조정을 통한 시너지 강화

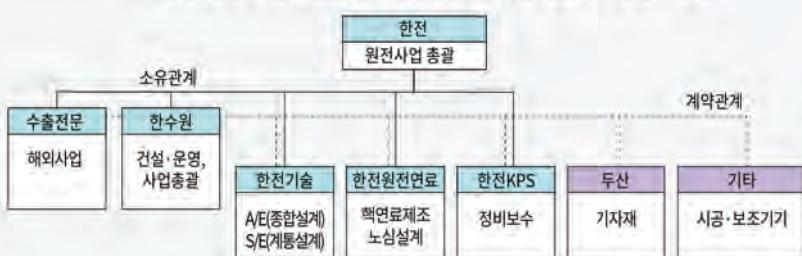
□ 2단계 : 원전의 역할 확대를 반영하고 공기업체계의 한계를 극복하기 위해 민간 참여 방안 마련

- 탄소중립을 위해 기존 대형원전에 더해 SMR 활용 등 원전의 역할 확대 예상
- 최근 SMR에 참여하고 있는 대기업에 국내 사업 참여 기회 불확실
- SMR 사업 등의 분야에 민간 참여는 민간의 적극성과 진취성 발휘 가능
- 다수의 원전사업자가 원전산업의 지속가능성 확보를 가능케 함

➤ 대형원전 수출 : 공공 주도, SMR 수출 : 민간주도로 다양화

원전 산업체계 개편(안)-1

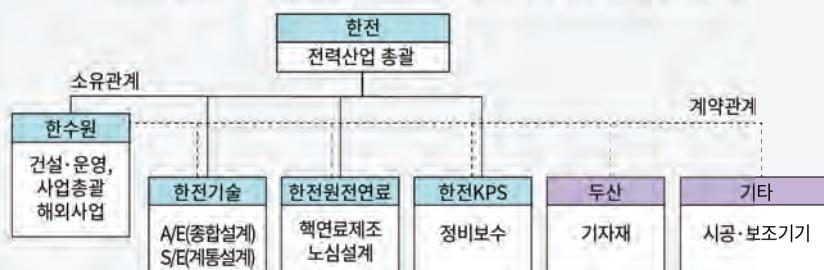
제1안: 한전에 별도 원전 해외사업 전문자회사를 설립하여 통합하는 안



□ 제1안

- 한전 산하 별도 해외사업 전문회사 설립
- 한수원과 한전의 해외사업 기능 이관
- 한수원의 건설·운영 조직과 연계 어려움
- 일원화는 가능하나 수직계열화와는 거리

제2안: 해외사업 기능을 통합하여 한수원 산하조직으로 운영하는 안

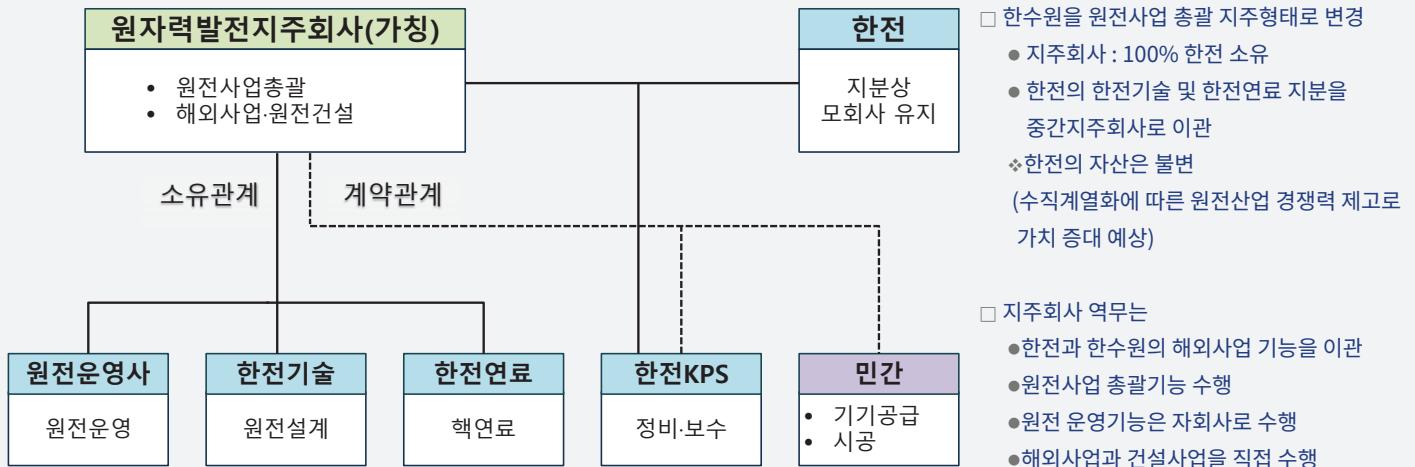


□ 제 2안

- 한전의 해외사업 기능을 한수원으로 이관
- 한수원내 부사장급 조직으로 운영
- 원전 산업체간의 리더십 문제 여전
- 일원화는 가능하나 수직계열화와는 거리

원전 산업체계 개편(안)-2

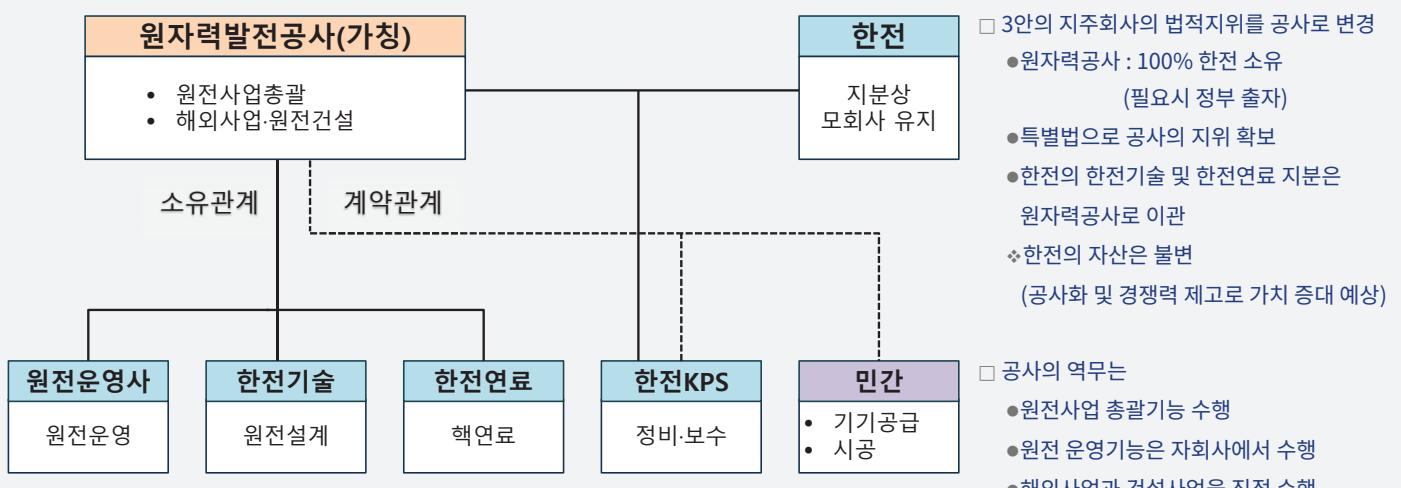
제3안:한전 산하에 원전사업을 총괄하는 중간 지주회사를 설립하는 안



23

원전 산업체계 개편(안)-3

제4안:한전 산하에 공사형태의 원전사업을 총괄하는 회사를 설립하는 안



24

개편 대안별 장단점 비교

대안	장점	단점
1안 (한전산하로 일원화)	- 일원화로 업무 혼선 제거	- 원전운영·건설회사와의 인력 및 기술 연계 어려움 - 자회사로 운영 시 일사분란한 조직체계 미흡
2안 (한수원으로 일원화)	- 전문성 강화 및 일원화로 업무 혼선 제거 - 원전운영·건설회사와의 인력 및 기술 연계 용이	- 여전히 기존의 한수원과 같이 원전산업분야 일사불란한 조직체계 미흡 - 대형조직의 한 기능으로 유지 시 민첩성 및 전문성 부족 우려
3안 (원전 지주회사 설립)	- 중간지주회사가 원전분야 모회사 역할(수직계열화) - 일원화에 따른 비효율 및 업무 혼선 제거 - 지주회사가 사업총괄 기능 및 국내·해외 건설사업 자체 수행 시 한수원은 운영기능 집중으로 안전성 및 경제성 제고 가능(러시아, 중국 형) - 지주회사와 자회사간의 기술 소통 및 인력 활용 용이 - 별도의 법제화 없이 시행 가능	- 대규모 개편으로 컨센서스 형성과 정부의 추진력 필요 - 상법상의 회사로서 정부의 적극적 지원에 법적인 한계가 있음
4안 (원자력공사설립)	- 원전사업의 컨트롤타워 역할 수행 가능(수직계열화) - 일원화에 따른 비효율 및 업무 혼선 제거 - 공사 자격으로 사업총괄 기능 및 국내·해외 건설사업 자체수행(공사로서의 법적 신뢰성 확보) - 한수원은 운영기능 집중으로 안전성 및 경제성 제고 가능(러시아, 중국 형) - 지주회사 기능의 공사와 자회사 간의 기술 소통 및 인력 활용 용이	- 대규모 개편으로 컨센서스 형성과 정부의 추진력 필요 - 법제화를 위한 정치적 추진력 필요

25

개편방안에 대한 추진전략

□ 개편방안

- 원전산업 경쟁력 강화를 위해서는 강력한 추진체계 원자력발전공사로 개편하는 안이 최적
- 다만, 사회적 합의가 어려울 시 원자력발전지주회사 설립 방안으로 추진하여 원자력산업의 경쟁력 제고
 - 공사로서의 재무 보증 정도는 약하나 시장형 공기업으로서 간접적 재무 보증 가능
 - 수직계열화로 원자력사업의 컨트롤타워 기능 수행 가능

□ 추진전략(안)

- 1차적으로 원자력발전공사(안)으로 컨센서스 추진
 - 탄소중립 대비 및 원전수출 시장 확대 등으로 원전산업체계 개편 필요
 - 우리의 산업체계는 40년간 불변, 경쟁국은 지속적인 구조개편으로 강력한 체계 구축 등 설득
 - 다만, 원자력발전공사 설립을 위한 별도의 법 제정 또는 관련 입법(예: 원자력산업 지원 특별법)이 필요
- 원자력발전공사(안) 추진이 어려울 시 대안으로 원자력발전지주회사 설립 방안으로 추진
 - 정부의 추진의지만 있으면 한전의 이사회 결의로 가능
 - 한전 주주의 이익에도 부합되어 추진에 어려움은 없을 것으로 예상(단, 한전 경영진에 대한 설득 필요)
- 신설회사 IPO 추진으로 현 한전의 과다한 부채 해결 방안으로도 활용

26

참고. 원전공사화 추진 검토(배경 및 필요성)

□ 배경

- 원전수출, 대형원전 지속건설, SMR 건설, 노후원전 해체 등 원전 사업이 확대되고 있음에 비해 현 체계는 추진력, 역동성 등에 한계가 있음
- 원전사업을 주관하는 한수원이 자회사 형태로 원전사업 컨트롤 타워 기능 취약
 - 수직 계열화 되어야 할 관련 원전산업체내의 통제력 미약
 - 선도적 기술개발 역량 저하, 경쟁력 우위 지속에 한계
 - 자금조달 등에서 경쟁사에 의해 대외 공신력도 낮을 수 밖에 없는 구조

□ 필요성

- 원전사업 수직계열화를 통한 경쟁력 제고로 원전사업 컨트롤 타워기능 복원
 - 2001년 전력산업구조 조정 이전의 구조
 - 외국 경쟁사(프랑스, 중국, 러시아)는 원전핵심기업은 모두 공기업으로 수직계열화
* 미국, 일본은 민간기업이 수행
- 해외사업 일원화로 업무 연계강화, 혼선 제거 및 사업역량 제고
- 공사로서 신뢰도 제고로 자금조달 등 사업 환경 개선

27

참고. 원전공사화 추진 검토(추진 방법)

□ 공사화 요건

- 정부가 50%이상의 지배권을 소유하고 공사로서의 법적 지위(?)를 가질 것
- 사례 : 한전, 한국도로공사, 한국가스공사 등은 특별법으로 탄생
 - 한국전력공사 : 산업은행(32.9%), 정부(18.2%)
 - 한국가스공사 : 한국전력공사(20.5%), 정부(26.2%), 국민연금공단(7.65%)
- 기존 회사를 법적 근거를 마련하여 공사화
 - 지역난방공사는 집단에너지사업법 제29조에 의거 1992년 5월 공사로 전환
 - 한국전력공사(19.6%), 정부(34.6%), 한국에너지공단(10.5%), 서울시(10.4%)

□ 법제화 방안

- 원자력공사 특별법 제정 또는 관련법(가칭 : 원자력산업지원특별법)을 제정하여 원자력공사 포함
- 정부의 정책적 지원 및 감독 관련 조항과 수출 및 산업 경쟁력 제고를 위한 조항 포함
 - 예시 : 사채 발행, 금융지원, 연구개발 지원 등 포함
 - 수출 시 규제(국가를 상대로 한 계약 등) 완화

28

참고 : 원전공사화 추진 검토(공사화 효과)

영역	As-is(시장형 공기업)	To-be(공사)
법무적	<ul style="list-style-type: none"> 정부의 직접적인 지원에 대한 당위성 부족 정부가 채권의 원리금 상환 미보증 	<ul style="list-style-type: none"> 공사로서 정부출자기업으로 지정되면 정부지원 기반 마련 특별법을 통해 정부가 채권의 원리금 상환 보증 가능
재무적	<ul style="list-style-type: none"> 민간기업과 동일한 수준의 자금조달 금리책정/신용평가 시 상대적으로 불이익 사채 발행한도는 이사회 의결로 결정 	<ul style="list-style-type: none"> 정부 재정지원이 가능한 구조 투자가가 금리책정/신용평가 시 상대적 유리 특별법을 통해 사채 발행한도 인정 및 제한
사업적	<ul style="list-style-type: none"> 원전사업의 컨트롤타워 부재 선도적 기술개발, 신속한 신사업영역 진출 한계 일반 공기업 지위로 고객관점에서 경쟁사 대비 공신력 저하 	<ul style="list-style-type: none"> 원전사업의 컨트롤타워 기능 확보 및 강화 선도적 기술개발 가능, 적극적 신사업 영역 개척 등 경쟁력 제고 정부소유의 공사로서 공신력 상승

29

참고 : 원전공사화 추진 검토(이해관계기관에의 영향)

□ 정부

- 국정과제(원전정책)의 추진동력 제고
- 대내외적인 원전사업 강화 시그널 제공
- 한전의 재무구조 개선을 통한 부채문제 조속 해결

□ 한전

- 한수원 기업가치 재평가 → 한전의 재무 건전성 제고
- 한수원 지분 매각을 통한 자금조달로 재무구조 개선 가능

□ 원자력산업(공사 및 원전 자회사)

- 원전산업 컨트롤타워 기능 확보 및 강화
- 체계적이고 일관성 있는 선제적 기술개발 추진 및 신속한 신사업 진출 가능.
- 기술역량 및 인력 확보 용이
- 사업환경 강화로 원전산업의 재도약 기반 구축

30

- 이해관계자, 오피니언 리더 의견 수렴 및 컨센서스 형성
 - 원자력업계, 에너지 업계의 컨센서스 형성
 - 정부, 국회, 언론 등과의 소통 방안
 - 필요한 법제화 방안 등
- 거버넌스 체계 변화를 위한 법률 세부 검토 및 조치사항 제시
 - 중간지주회사 설립 시 법률검토 및 조치사항
 - 공사화 추진 시 법률검토 및 조치사항
- 원자력발전공사 또는 중간지주회사 설립 시 업부 분담 및 인력교류 방안 수립
 - 원자력발전공사 또는 중간지주회사와 원전운영회사의 세부 기능 분리 방안
 - 해외사업 및 건설사업 추진시 공사 또는 지주회사와 자회사간의 인력 교류 방안
 - 원전사업 총괄기능, 연구개발 기능의 효율적 수행방안

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center



서울대학교 원자력에너지기술정책연구소
NIFTEP

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

시의 적절한 원자력 정책 현안 대응

박상덕

2024. 9. 24.

서울대학교 원자력정책센터
spark3388@snu.ac.kr



CONTENTS

완료된 과제

- 22-01 한빛 4호기 재가동
- 23-01 고리2호기 계속운전
- 23-03 10차 전력수급기본계획
- 23-04 김기현 망언:완료
- 23-06 고리3,4호기 계속운전
- 23-03 원자력계 국회 진입:실패

진행중 과제

- 23-02 사용후핵연료 특별법
- 23-05 후쿠시마 방류수
- 23-07 11차 전력수급기본계획
- 24-01 한빛1,2호기 계속운전
- 24-02 친원전 공익신고자
- 24-04 월성원전 계속운전과 증수

23-02 사용후핵연료 특별법

■ 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

■ 주요활동 : 국회 입법 활동



[EE칼럼] 사용후핵연료 해결 출발점은 특별법 제정

에너지경제신문 | 입력 2023.02.10 14:51

가 ▶

| 문주현 단국대학교 에너지공학과 교수

[自由칼럼] 원전 관련, 사사건건 틀린 말만 하는 민주당

A 박상덕 서울대 원자력정책센터 수석연구위원 | Ⓛ 입력 2022.12.21 14:16 |
© 수정 2022.12.21 17:06 | Ⓜ 댓글 0

3

23-02 사용후핵연료

■ 원자력계 요구사항

- 최종 처분장 운영 2050년 명시
- 원전 부지 내 사용후핵연료 저장용량 한도 : 계속운전 고려
- 발전소 간의 사용후핵연료 이송 가능

기획·언제

사용후핵연료 건식저장시설 안전우려 과도 [기고]

입력 2023.03.19 16:01:52

[정범진 경희대 교수]

[기고] 사용후핵연료 문제, 법으로 지역주민들과 약속해야

김경희 월성원전·방폐장 민간환경감시기구 원전소위원장

■ 문제 및 대책

- 탈원전 세력의 지속적인 탈원전 요구
- 21대에 합의된 내용을 바탕으로 일부 미합의 쟁점 해소 필요

오피니언 : 송종순의 미래를 묻다

다시 선택한 원전 시대, 폐기물 처리 본격 고민해야

중앙일보 | 입력 2022.07.04 00:44

기획·언제

"사용후핵연료 95% 재활용 가능...고리 2호기 수명 40년? 미국은 80년"
[인터뷰]

정용훈 KAIST 교수 인터뷰

[기고] 고준위방폐물법 제정 서둘러야

입력 2023-03-13 06:00:29 | 수정 2023.03.13 06:00:29

박수정 행정개혁시민연합 사무총장

4

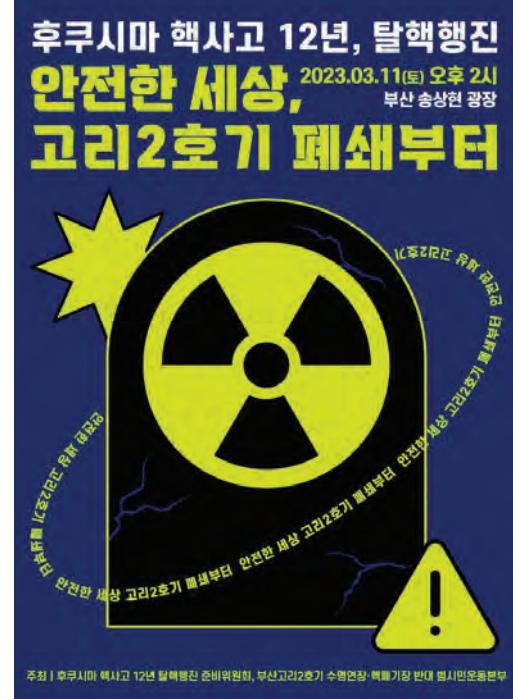
23-05 후쿠시마 방류수

- 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

5

23-05 후쿠시마 방류수

- 초기 반핵 세력 움직임



6

23-05 후쿠시마 방류수

▪ 맞불집회



▪ 대책

- 과학적 사실을 지속적으로 전달
- 탈핵 무당 맞불 집회 지속

7

23-05 후쿠시마 방류수

▪ 민주당 등 반대 세력의 주요 활동

- 23년 3월 30일, 윤재갑 더불어민주당 의원이 국회 본관 앞에서 수입 반대와 대일 굴욕외교 규탄대회에서 삭발
- 23년 4월 5일, **주한일본대사관**을 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 한국노총 간부의 경찰의 진압과 연계
- 23년 6월 5일 **원내 대책단** 출범
- 23년 6월 12일 민주당 **전원 성명서** "후쿠시마 오염수 투기 저지"
- 23년 6월 17일, 인천에서 **장외 집회**
- 23년 6월 20일 윤재갑 의원이 **단식투쟁**, 26일 우원식, 이정미 합류, 7월 8일 중단
- 23년 7월 1일, 서울 승례문일대, 후쿠시마 오염수 해양투기 규탄 **범국민대회**
- 23년 7월 5일, **결의문 발표**: IAEA 보고서가 오염수 해양투기의 면죄부가 될 수 없다
- 23년 7월 6일, 1박2일간 일본의 후쿠시마 원전 오염수 해양 방류 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 진정 서명 운동**
- 23년 8월 지구당 별 **각개 활동**
- 23년 8월 16일 민변, 日오염수 방류 헌법소원...청구인 '고래·해녀' 등 4만여명

23-05 후쿠시마 방류수

■ 각계 활동

후쿠시마 오염수 방류 영향에 관한 지역 과학소통 토론회 추진현황

23. 8. 4. 과총 정책연구부

구분	일시/장소	주최/주관	주요 역할자
경남권 토론회 (부산, 울산, 경남)	8.9.(수) 15시/ 부산호에스호텔5층 회의 룸스诉讼	과총 /과총 부산지역연합회 회장남지역연합회	진성호 과총 부산출신지역연합회 회장 김경배 부경대 교수(사회) 정재준 부산대 기계공학부 교수(발제1) 김성숙 부경대 식품과학부 교수(발제2) 이용태 과총 경남지역연합회 회장(위원장) 이종철 부산대 기계공학부 교수(토론) 목동수 국립수자원과학원 식염수생성기(공장)과장(토론) 박성현 부산대 경공동연법 향촌(거포동) 구자상 부산시민방輿(여)자연동조합 이사장(토론) 이수환 경남도민일보 사회부장(토론)
경북권 토론회	8.21(화) 14시 30분/ 김산농협 본점 3층 대 회의실 (경북 김산시 소재)	과총 /과총 경북지역연합회	서성근 과총 경북지역연합회 회장 한병선 과총 경북지역연합회 회장(사무총장)(사회) 김정식 주 미래사회정책연구원 대표(사회) 백현일 한국원자력학회 회장(기조 강연) 이종운 경북지역연합회(인천경인연합회)acre@naver 이종석 전 한국수력원자력 홍보관(토론) 재경 규 대구대 교수(토론)
충청권 토론회 (충남, 대전, 충북)	8.22.(화) 14시 30분 청주국제컨벤션센터	과총 /과총 대전지역연합회 회, 충남지역연합회, 충북지역연합회	김용은 과총 충북지역연합회 회장 이승원 과총 대전지역연합회 회장(발제 회장) 한근희 과총 충남지역연합회 회장(토론 회장) 박무운 과총 충북지역연합회 수석부회장(사회) 박영양 충북대 재약학과 교수(발제) 김경우 충북대 환경공학과 명예교수(토론) 박근주 충북경제신문 취재1국장(토론) 방재기 및 폐널토론 삽외 등
강원권 토론회	8.23.(수) 14시 춘천 베어스호텔	과총 /과총 강원지역연합회	구성 중
호남권	개회 겸토 중		

소비자와 함께하는 수산물 소비위축 대응 권역별 세미나

1 배경 및 필요성

- 계속되는 일본 원전 오염수 방류 이슈로 수산물 소비위축이 우려
- 일본 원전 오염수에 대해 소비자와 전문가가 함께 알아보고 전단 해보는 소비자 대상 권역별 현장 소통의 장 마련

2 추진계획

- (주제) 소비자와 전문가가 함께 알아보는 원전 오염수 현장 소통 세미나
- (일시/장소) '23.8.28.(월) 14:00 / 포항복합문화센터
- (주최/주관) 경북도청 / 한국수산과학총연합회·한국원자력학회

3 일정(안)

시간(분)	행사내용
13:30~13:55	* 프로그램 시간 및 질의자는 '신청'에 따라 활용될 수 있음 등록 및 참석자 배석 (사회) 충규원 한국해양수산개발원 전문연구원
13:55~14:00	⑤ 개회사 : (경북도장)
14:00~14:15	④ (기제) 일본 원전 오염수 문제 개요 및 해양 평가 (박상익 서울대 워터리더십정책센터 수석연구위원)
14:15~14:30	④ (기제) 일본 원전에서 누출되는 핵증 및 주요 핵증별 특징 (김기현 서울대학교 교수)
14:30~14:45	④ (기제) 후쿠시마 원전 오염수가 일제에 미치는 영향 (임승오 세명기독병원 핵의학과 교수)
14:45~15:00	⑤ * 원전 오염수 방류에 따른 수산물 영향 (김영록 부경대학교 교수)
15:00~15:15	④ * 수산물의 영향과 건강 (심길보 부경대학교 교수)
15:15~15:25	④ 자리 청돈(Coffee Break)
15:25~15:55	④ 소비자와 전문가가 함께하는 Q&A (미덕한 서강대학교 명예교수) (유병서 한국연안여업인증연합회 사무총장) (이하 발표자)
15:55~16:00	⑤ 마무리

9

23-05 후쿠시마 방류수

■ 각종 활동

제목	배포일	2023년 6월 20일	매수	3매
6월 20일(화)부터 보도하여 주시기 바랍니다.				
[문의] 한국원자력학회 사무국 (042-826-2614) 이수원장 정범진 경희대 교수(010-9043-1753)				

후쿠시마 오염수 처리후 방류의 한국 영향에 관한 한국원자력학회의 입장

- 정상 처리 배출되는 오염수가 우리 바다와 수산물에 미치는 영향은 무시할 수준 -
- 방류 과정과 우리 해역 방사능 감시를 통해 우리 수산물 안전 확보 가능 -
- 한국원자력학회는 국민불안 해소와 수산업계 피해 예방을 위해 적극 활동 예정 -

[공지] 후쿠시마 원전 처리수 방류에 대한 대한방사선방어학회의 입장

문제자 : 서강대 | 2023.07.23.09:05:04

첨부파일(1)

후쿠시마 처리수 방류: 어떻게 볼 것인가?

대한방사선방어학회의 입장

제212회 한림원탁토론회

후쿠시마 오염수 처리 후 방류의 국내 영향

일시 : 2023년 7월 6일(목) 15:00

장소 : 코리아나호텔 7층 로얄룸

※ 온·오프라인 동시 개최

(사)한국해양학회(회장 강동진 한국해양과학기술원 책임연구원)는 5일 후쿠시마 원전 방류수 문제에 대한 과학적인 이해를 돋기 위해 "후쿠시마 원전 방류수 확산에 대한 과학적 이해" 섬포지엄을 서울대학교 호암교수회관에서 개최하였다.

10

23-05 후쿠시마 방류수

▪ 각종 기고 및 인터뷰

[인터뷰] 정범진 교수가 말하는 '후쿠시마 원전 오염수'의 진실

"후쿠시마 원전 오염수 논란? 과학적 수치에 담이 있다"

2023.06.26. 보화체육관광부/김책주간지 <K-글감> 710호



정용훈 카이스트 교수 "日오염수 방류 후 100년 살아도 영향 없다"

종제/마약 IT | 일자 2023.06.20 15:19
오장연 기자 dhqkddnl@daejonilbo.com



사이언스조선 과학

SCIENCE Chosun

백원필 vs 서균렬…유튜브서 후쿠시마 오염수 장외 대결 펼치는 원자력 전문가들

[기고] 후쿠시마 오염 처리수, 과학적 접근 필요하다

입력: 2023-06-20 16:08:09 수정: 2023-06-21 17:42:40



- 가 +

이현철 부산대 기계공학부 원자력시스템 전공 교수

[포럼] 후쿠시마 방류수 문제와尹정부 과제

문화일보 | 입력 2023-04-19 11:37

프린트

댓글 0 IT 폰트 공유

■ 정재준 부산대 기계공학부 교수·원자력시스템 전공

동아사이언스

오피니언

[이덕환의 과학세상] '가짜' 과학에 찌들어버린 사회

2023.07.18 13:44

11

23-05 후쿠시마 방류수

▪ 각종 활동

한무경 의원, '후쿠시마 고담과 우리 수산물 대책' 토론회 개최



야권의 '후쿠시마 고담 어떻게 확산되나?'...공언련 2차 국회 토론회



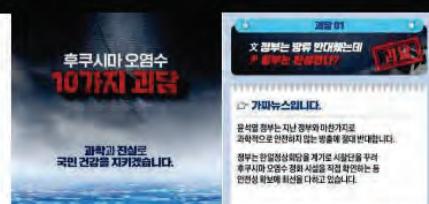
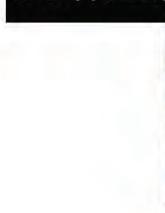
후쿠시마 방류에 대처하는 우리의 과제 토론회

고령증 기획 03 일자 2023.05.16 11:30 글 주제 2023.05.16 12:37 글 구분 0



국민의힘, '후쿠시마 원전 오염 처리수 긴급 토론회'

승원영 기자별 스토리 • 1개월



23-05 후쿠시마 방류수

■ 방류 경과

* 일본정부 안전 기준 허용치의 1/40

** 3Km 이내 14개 지점 (원인조사: 350Bq, 방류 중단: 700Bq)

	방류 시기	방류량	삼중수소 총 배출	최대 헤더 농도 (< 1500Bq)	최대 해수 농도**	비 고
1차 방류	23.08.24~23.09.11	7888톤	1조2440억 Bq	220 Bq/L	1.5 Bq/L	
2차 방류	23.10.05~23.10.23	7810톤	1조2511억 Bq	188 Bq/L	16 Bq/L	
3차 방류	23.11.02~23.11.20	7729톤	1조 1239억 Bq	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	1조 7,979억 Bq	267 Bq/L	7.6 Bq/L	

13

23-05 후쿠시마 방류수

■ 22대총선겨냥 탈핵무당 움직임



김기현 · 국민무용총장 ALPS가 걸려있지 못하는 삼중수소가 유통 유출 국회에서 유통되는 오염수는 2020년 오염수 국장은 '뇌파상'	김기현 · 국민무용총장 오염수 충단을 요구하는 데는 공산주의 국가 밖에 없다	김기현 · 국민무용총장 경우엔, 사드를 승진 당이 우리 사회에 퍼뜨릴 저지 여당이 과학 치연하고 글로 조장 국정원 훈련과 나서면서 분위기 조성하는 고교·시·시	박혁桐 · 국민무용총장 오염수 반전부역에 오염수 반대활동 지원을 내리는 것으로 파악하고 있다
김기현 (국민의힘, 울산 국회의원) 국회에서 유통되는 오염수는 2020년 오염수 국장은 '뇌파상'	김기현 (국민의힘, 울산 국회의원) 오염수 충단을 요구하는 데는 공산주의 국가 밖에 없다	김기현 (국민의힘, 울산 국회의원) 경우엔, 사드를 승진 당이 우리 사회에 퍼뜨릴 저지 여당이 과학 치연하고 글로 조장 국정원 훈련과 나서면서 분위기 조성하는 고교·시·시	박혁桐 (국민의힘) 총석 보은군 육군기병 출신 군인으로 오염수 해안투기로 인한 국군 출 신을 막을 책 강모를 높이며 경우에 사드와 항해 모두 차별적으로 차부령
김영선 · 국민무용총장 총선 2021년에 핵발전장지 폐쇄 국회에서 유통되는 오염수는 2020년 오염수 국장은 '뇌파상'	김영선 · 국민무용총장 국회에서 유통되는 오염수는 2020년 오염수 국장은 '뇌파상'	김영선 · 국민무용총장 국회에서 유통되는 오염수는 2020년 오염수 국장은 '뇌파상'	김영선 (국민의힘) 총석 보은군 육군기병 출신 군인으로 오염수 해안투기로 인한 국군 출 신을 막을 책 강모를 높이며 경우에 사드와 항해 모두 차별적으로 차부령
박대중 · 국민무용총장 국회에서 유통되는 오염수는 2020년 오염수 국장은 '뇌파상'	박대중 · 국민무용총장 국회에서 유통되는 오염수는 2020년 오염수 국장은 '뇌파상'	박대중 · 국민무용총장 국회에서 유통되는 오염수는 2020년 오염수 국장은 '뇌파상'	박대중 (국민의힘, 경남 진주 국회의원) 국회에서 유통되는 오염수는 2020년 오염수 국장은 '뇌파상'
조경태 · 국민무용총장 2006년에 경우엔, 사드 전자파 관련 국회에서 유통되는 오염수는 2020년 오염수 국장은 '뇌파상'	조경태 · 국민무용총장 2006년에 경우엔, 사드 전자파 관련 국회에서 유통되는 오염수는 2020년 오염수 국장은 '뇌파상'	조경태 · 국민무용총장 2006년에 경우엔, 사드 전자파 관련 국회에서 유통되는 오염수는 2020년 오염수 국장은 '뇌파상'	조경태 (국민의힘, 서울 강남구 국회의원) 경우엔, 사드 전자파 관련 국회에서 유통되는 오염수는 2020년 오염수 국장은 '뇌파상'
태영호 · 국민무용총장 후쿠시마 오염수 방류 문제를 정치적인 의제로 활용하는 세력은 세계에서 폭넓은 노동당, 중국공산당 그리고 대한민국에 다불안주한 분이다	태영호 · 국민무용총장 후쿠시마 오염수 방류 문제를 정치적인 의제로 활용하는 세력은 세계에서 폭넓은 노동당, 중국공산당 그리고 대한민국에 다불안주한 분이다	태영호 · 국민무용총장 후쿠시마 오염수 방류 문제를 정치적인 의제로 활용하는 세력은 세계에서 폭넓은 노동당, 중국공산당 그리고 대한민국에 다불안주한 분이다	태영호 (국민의힘, 서울 강남구 국회의원) 경우엔, 사드 전자파 관련 국회에서 유통되는 오염수는 2020년 오염수 국장은 '뇌파상'

14

23-05 후쿠시마 방류수

▪ 22대총선겨냥 탈핵무당 움직임



15

23-05 후쿠시마 방류수

SBS
NEWS

일본 후쿠시마 원전 오염수 방류 1년...논란은 '현재 진행형'

유영규 기자 작성 2024.08.22 07:48 조회 269

프린트 글자 크기 +

연합뉴스

<https://www.yonhapnews.co.kr/view/AKR202408029300073>

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 ...

이데일리

<https://www.edaily.co.kr/News/Read?newsId=01968006638989944>

한동훈 "민주당, 후쿠시마 처리수 고 담정치...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 ...

MBC PICK · 2주 전 · 네이버뉴스

후쿠시마 오염수 방류 1년..대통령실 "야당의 고담과 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. 정혜진 대통령실 대변인은 "지난 1년 ...

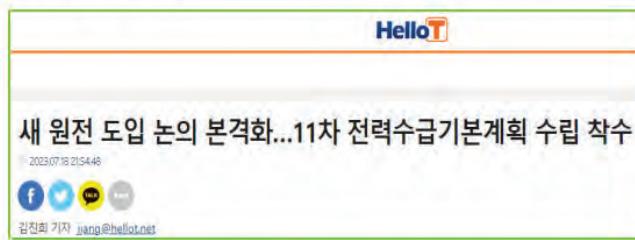
후쿠시마 방류후 1년간 식품방사능 모두 '적합'

3일 오전 서울시내 한 대형마트에서 시민이 수산물을 고르고 있다. 서울시는 지난해 후쿠시마 원전 오염 처리수 방류 이후 1년간 총 2만600여 건의 식품방사능검사 결과 모두 안전 기준에 '적합'한 것으로 나타났다...

16

23-07 11차 전력수급기본계획

- 7월 10일 에너지위원회에서 조속히 11차 전기본 수립에 착수할 필요가 있다는 다수 위원들 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



23-07 11차 전력수급기본계획

전기신문

11차 전기본 '신규원전' 쉽지 않네. 사업 일정 단축 절실

노동석 센터장 "2038년까지 들어오려면 공기 단축 필요"

11차 전기본에는 2038년까지의 발전설비계획이 포함

신규원전 건설은 통상 15년 가량 소요

▲부지확보 3년 ▲사업 준비 49개월
▲건설 준비 22개월 ▲시공·시운전 74개월

[이슈분석] 11차 전기본 초안 공개, 계속해서 미뤄지는 이유는?

에너지경제신문 | 입력 2024.01.19 10:43

11차 전기본 총괄위원장인 정동욱 중앙대 교수도 최근 본지와의 인터뷰에서 "신규원전 건설은 아직 정확한 답을 갖고 있지 않다. '무조건 반영한다' 혹은 '반영하지 못 한다' 둘 다 불확실하다"

대통령실에서 산업부에 신규 원전 10기를 11차 전기본에 반영하라는 지시를 했다는 언론 보도가 나온 바 있다.

원전 민간단체 “11차 전기본에 원전 10기 반영하라”

에너지경제신문 | 입력 2024.02.07 17:33

가



“제11차 전기본에 신규원전 10기 적극 반영하라”

▲ 이석우 기자 | Ⓛ 입력 2024.02.07 14:08 | Ⓜ 댓글 0

원자력신문



19

■ 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 넷 제로 뉴클리어 이니셔티브(Net Zero Nuclear Initiative)에서 2050년 까지 원자력발전용량을 2020년 대비 3배 이상 늘리겠다고 다짐했다.

- 중략-

태양광, 풍력발전소의 전기생산은 기후와 날씨에 따라 천차만별이다. 믿을 수 없는 전원이다. 석탄과 가스는 모두 해외에서 수입해야 한다. 어떤 상황에서도 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, 수소경제 시대를 위해 반드시 필요한 과제다. **정부는 제11차 전력수급기본계획을 통해 획기적인 원전 확대 청사진을 제시하라.**

2024. 1. 29

원자력지지시민단체협의회 - (사)사실과과학네트워크, (사)에너지와 여성, (사)에너지의미래를 생각하는법률가포럼 (사)원자력산업환경진흥협회, (사) 한국원자력국민연대, (사)한국원자력문화진흥원, (사)환경운동실천협의회, 기후환경에너지실천연대, 사실과과학문화행동, 에너지과학도시군산사랑모임, 원자력실리기국민행동, 원자력정책연대, 행동하는자유시민, CFE코리아 -사단법인 우선, 한글 자모순

20

24-01 한빛 1,2호기 계속운전

■ 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

21

24-01 한빛 1,2호기 계속운전

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

22

24-02 아직도 핍박 받는 공익신고자



보호 못 받는 공익신고 민간 지원재단 만든다

회사서 보복·직위해제... 강창호 한수원 노조위원장 회견

장혜원 기자 [기자페이지](#)

입력 2024-02-04 19:00:00



월성1호기 부폐행위신고자 활동 경과

공소장에 드러난 월성 원전 폐쇄 결정 과정

2018년 4월 2일 문 대통령, 靑 내부 시스템에 '월성 1호기 임구 기동 중단은 언제 결정할 계획인가요' 댓글 게시



체희봉 비서관, 댓글 보고한 행정관에게 '산업부에 대통령 하문(下問) 전달하고 입장 받아라' 지시



4월 3일 정모 산업부 과장, 백운규 장관에게 '월성 1호기 조기 폐쇄하되 원안위 허가까지 2년 6개월 더 가동 필요' 보고. 백 장관, "너 죽을래" 질책



- ① 2020.1월: 월성1호기 부폐행위 감사실, 겸찰 신고
- ② 2020.2월: 한수원이 신고자를 직위해제
- ③ 2021.1월: 권익위 신고자 보호 결정 및 직위해제 취소 주문
- ④ 2021.2월: 한수원이 서울행정법원에 권익위 결정에 대한 취소소송
- ⑤ 2022.3월: 한수원 감사실이 신고자를 혐사고발
- ⑥ 2022.9월: 서울행정법원, 고등법원 모두 한수원이 폐소하여 신고자 직위해제 취소
- ⑦ 2023.11월: 한수원 감사실에서 고발한 사건이 기소됨

23

24-04 월성 원전 계속운전과 증수



최신기사 정치 북한 경제 마켓+ 산업 사회 전국 세계

뉴스홈 | 최신기사

한수원, 중국 친산원전에 중수 80t 수출

송고시간 | 2023-09-28 09:03 中文



NewsRoom Exclusive 월간조선TV

NewsRoom Exclusive

시민단체, 한수원 '중수' 수출 관련 경영진 업무상 배임 고발
"국가전략물자 월성원전 중수 중국에 헐값 매각"

24

홈 > 오피니언 > 자유칼럼

[自由칼럼] 월성원전에 숨어있는 슈레딩거의 고양이

▲ 박상덕 서울대 원자력정책센터 수석연구위원 | Ⓛ 입력 2024.08.12 12:58 | Ⓜ 수정 2024.08.12 15:22 | Ⓝ 댓글 1

1호기와 2, 3, 4호기의 양상은 다르지만 죽었는지 살았는지 또는 죽일 것인지 살릴 것인지 불분명

1. 계속운전을 위한 주기적 안전성 보고서는 원안위에 제출되어 서류적 합성이 검토 중
2. 월성원전 2~4호기 폐쇄계획 유지
3. 월성원전에 2000톤급 중수로 저장탱크를 설치 계획 공개

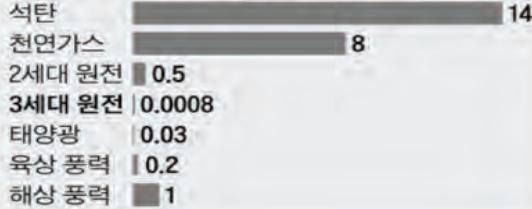
: 2000톤은 월성 1~4호기의 중수 총량

25

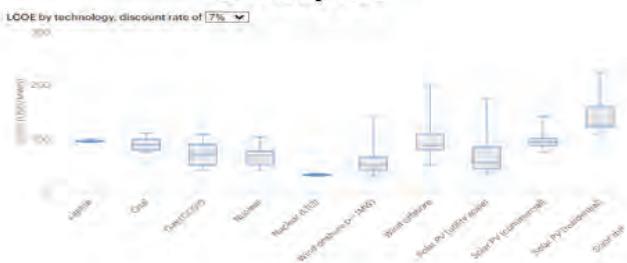
원자력에 대한 과학적 사실

에너지원별 중대 사고 치명률

단위: 명. 전력 생산 1조 kWh당 사망자 수

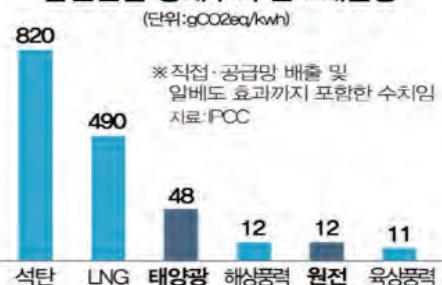


LCOE by IEA



발전원별 생애주기 탄소배출량

(단위: gCO2eq/kwh)
※ 직접·공급망 배출 및 일베도 효과까지 포함한 수치임
자료: IPCC



100만kW급 연료 필요량(연간)



26



활력에너지, 행복에너지
원자력 !

27



원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다

분과1

안전·규제



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

원자력산업 제도개선 계속운전의 비교법적 고찰

황재훈

2024. 9. 24.

서울대학교 원자력정책센터
zaehun@snu.ac.kr



계속운전의 법적쟁점?



- ◇ 운영허가가 기간의 정함이 있는지 여부
- ◇ 운영허가에 관한 기간의 정함이 없던 원전에 종기를 후발적으로 정하는 법개정에 따른 사업자의 재산권 침해
- ◇ 심사적체에 따른 사업자의 운전정지의 방지와 운전이 정지되었을 경우에 이에 대한 구제방안
- ◇ 운영허가기간이 안전과 관련된 것인지? 아니면 에너지정책과 관련된 것인지?
- ◇ 적시의 신청을 놓친 계속운전과 관련한 평가기준일은 어떻게 정하는가?
- ◇ 재차 계속운전 및 추가 계속운전에 따른 경제적 이익을 어떻게 경제성평가에 포함시킬 것인지?
- ◇ 계속운전에 관한 공청회를 누가 주관해야 하는가?

1. 일본의 계속운전

핵원료 물질, 핵연료 물질 및 원자로의 규제에 관한 법률

[1957년 법률 제166호] [2025. 6. 1. 시행]

제43조의3의32(운전 기간 등) ① 발전용원자로설치자가 그 설치한 발전용원자로를 운전할 수 있는 기간은 당해 발전용원자로에 대하여
최초로 제43조의3의11 제3항의 확인을 받은 날부터 기산하여 **40년으로 한다.**

- ② 전항의 기간은 그 만료 시에 원자력규제위원회의 인가를 받아 1회에 한하여 연장할 수 있다.
- ③ 전항의 규정에 의하여 연장하는 기간은, 20년을 초과하지 않는 기간으로 정령으로 정하는 기간을 초과할 수 없다.
- ④ 제2항의 인가를 받으려는 발전용원자로설치자는 원자력규제위원회규칙에서 정하는 바에 따라 원자력규제위원회에 인가 신청을 해야한다.
- ⑤ 원자력규제위원회는 전항의 인가의 신청에 관련된 발전용원자로가, 장기간 운전에 따라 수반되는 원자로 및 그 외의 설비의 열화의 상황에
근거하여 제2항의 규정에 쫓아 연장하려 하는 기간에 있어 안전성을 확보하기 위한 기준으로서 원자력규제위원회규칙에서 정하는 기준에
적합하다고 인정할 때에 한하여 동항의 인가를 할 수 있다.

탈탄소 사회 실현을 위한 전기 공급 체계 확립을 도모하기 위한 전기사업법 등의 일부를 개정하는 법률안
(脱炭素社会の実現に向けた電気供給体制の確立を図るための電気事業法等の一部を改正する法律案)

원자력 발전의 운전 기간에 관한 규율의 정비(전기사업법) : 전기사업법 개정안을 살펴보면, 원자력발전의 운전기간은 원칙적으로
40년으로 한 후, 안정공급 확보, GX(Green Transformation) 추진 전략에의 공헌 등의 관점에서 경제산업대신의 인가를 받은 경우에 한하여
운전기간의 연장을 인가한다.
그러므로 '운전기간은 최장 60년으로 제한한다'는 현행의 들은 유지되는 것이다. 그럼에도 원자력사업자로부터 보고 자신의 귀책사유없이
외적요인에 의해 운전이 정지된 기간을 60년의 운전기간에 산입하지 않는 방식으로 실질적인 연장방안을 마련하는 것에 주목해야 한다.
운전기간의 제한은 동일본 대지진 이후에 추가된 제도로서, 원래는 경쟁정책상의 규제로 도입된 미국의 제도에서 참고했던 것을 새롭게
도입하여 법률로 정한 것이다.
원자로의 운전기간은 운전 개시때부터 40년까지로 하고, 원자력규제위원회의 인가를 받은 경우에는 1회에 한하여 20년까지 연장을
가능하게 하는 것이다. 대신 사업자는 고경연화 기술평가에 더해 격납용기 등에 대해서 추가적인 열화평가(특별점검)도 실시한다.
원자력규제위원회는 이러한 평가결과를 확인하고 기술기준에 적합하다고 인정하는 경우에는 운전연장을 인가한다.

전기사업법(電氣事業法) [2025. 6. 6. 시행예정]

제27조의29의2(원자력발전공작물인 발전용원자로의 운전기간) ① 원자력발전사업자[이하 원자력을 원동력으로 하는 발전용 전기공작물(이하 '원자력발전공작물'을 말한다)을 그 발전사업의 용도로 이용하는 발전사업자를 말한다]가 그 발전사업 용도로 사용하기 위해, 발전용원자로(1957년 법률 제166호, 제4항, 제54조 및 제112조의3 상의 「원자로 등 규제법」을 말한다)를 운전이 가능한 기간(이하 '운전기간'이라 한다)은 해당 발전용 원자로에 대하여 최초로 제47조 제1항의 검사에 합격한 날로부터 기산하여 40년으로 한다.

② 원자력발전사업자는, 그 발전사업 용도로 사용하기 위해, 전항의 40년을 초과하여 발전용원자로를 운전하려는 때에는, 미리, 경제산업대신[經濟産業大臣 산업부 장관]의 인가를 받아, 운전기간을 연장할 수 있다.

③ 전항의 인가를 받으려는 원자력발전사업자는, 다음 각호의 사항을 기재한 신청서를 경제산업성령(산업부 부령)에서 정하는 서류를 첨부하여 경제산업대신에게 제출해야 한다.

가. 성명 또는 명칭과 주소 및 법인의 경우 그 대표자의 성명

나. 운전기간을 연장하려는 발전용원자로를 설치하는 영업소의 명칭 및 소재지

제27조의29의2(원자력발전공작물인 발전용원자로의 운전기간) ④ 경제산업대신은 제2항의 인가 신청이 있는 경우, 해당 신청이 다음 각 호 모두에 적합하다고 인정하는 때에 한하여 동항의 인가를 할 수 있다.

마. 1. 신청 발전용원자로와 관련된 발전사업에 관한 법령이나 1993년 법률 제88호 「행정절차법」 제2조 제8호 나목 심사기준이나 동호 다목의 처분기준의 제정이나 개정 또는 해당 법령의 해석이나 운용기준의 변경에 대응하기 위해 그 원자력발전사업자가 신청 발전용원자로의 운전을 정지한 기간으로 인정되는 기간

2. 전조에서 준용하는 제27조 제1항 또는 제40조의 규정에 따른 처분, 「원자로 등 규제법」 제43조의3의20, 제43조의3의23 또는 제64조 제3항의 규정에 따른 처분 또는 2004년 법률 제112호 「무력공격사태 등 있어서 국민의 보호를 위한 조치에 관한 법률」 제106조(동법 제183조에서 준용하는 경우를 포함한다)의 규정에 따른 처분(이러한 처분을 한 행정청이나 심사청구에 대한 재결에 의하여 취소된 것, 이러한 처분의 취소 또는 부존재 확인의 판결이 확정된 것 또는 심사청구에 대한 재결에 의하여 이러한 처분의 내용이 변경된 것에 한한다)에 따른 의무를 이행하기 위해 신청발전용원자로의 운전을 정지할 필요가 없었다고 인정되는 기간.

3. 행정지도에 따라 신청발전용원자로의 운전을 정지한 원자력발전사업자는 해당 행정지도에 따라 신청발전용원자로의 운전을 정지한 기간으로 인정되는 기간

4. 가처분명령[채권자가 그 신청을 취하한 것 또는 1989년 법률 제91호 「민사보전법」의 규정에 따라 보전이의신청에 대한 결정 또는 동법의 규정에 의한 보전항고에 대한 결정(이하 본목에서 '보전이의의 신청 등에 의한 결정'이라 한다) 또는 동법의 규정에 의한 보전취소의 신청에 관한 결정에 의하여 취소된 것 또는 보전이의신청 등에 관한 결정에 의하여 변경된 것으로서, 그 보전이의신청 등에 관한 결정 또는 보전취소의 신청에 관한 결정에 대하여 항고할 수 없는 것에 한한다]을 받아 신청발전용원자로의 운전을 정지한 원자력발전사업자의 경우에는 그 정지한 기간 중 해당 가처분명령에 따른 의무를 이행하기 위해 신청발전용원자로의 운전을 정지할 필요가 없었다고 인정되는 기간

5. 제2목에서 규정하는 처분 이외의 다른 법률의 규정에 의거한 신청발전용원자로에 관한 처분으로서 그 취소판결이 확정되거나 기타 원자력발전사업자가 신청발전용원자로와 관련된 발전사업 수행상 예견하기 어려운 사유로서 경제산업성령으로 정한 것에 대응하기 위해 그 원자력발전사업자가 신청발전용원자로의 운전을 정지한 기간으로 인정되는 기간

**2022년 10월 5일 제42회 원자력규제위원회
(원자력규제위원회 2022년도 제42회 원자력규제위원회 의사록 참조)**

○ 마쓰야마전력(松山電力) 가스사업부장의 설명(발췌) : 우리가 지금 검토하고 있는 것은 에너지의 이용, 발전용원자로라는 것을 어떻게 활용해 나갈 것인가 하는 이용정책의 관점에서 에너지의 공급면, 탈탄소화라는 관점에서 어떻게 이 운전의 긴 기간을 연장해 나갈 수 있는가. 그러기 위해서는 어떤 틀이 필요한가 하는 것을 생각해야 한다라고 생각하고 있습니다. 에너지 이용의 관점에서 제도 설계의 기본방향이 어떻게 되는가에 관계없이 높은 독립성이 있습니다. 원자력규제위원회에 의해 안전성의 확인이라는 것이 이루어지지 않는 한, 발전소의 운전을 할 수 없는 구조라는 것은 이것만은 이미 대전제 줄의 대전제라고 생각하고 있습니다.

○ 야마다카(山中)위원장 : 운전기간에 대해서는 2020년 7월 원자력규제위원회에서 발전용원자로의 이용을 어느 정도의 기간동안 인정하기로 할지, 원자력의 이용 방식에 관한 정책판단에 다른 아니어서 원자력규제위원회가 의견을 밝힐 사항이 아니라는 견해를 이미 내놨습니다. 오늘 자원에너지청의 설명에 의하면, 우리의 견해를 바탕으로 이용정책 측의 법체계 내에서 이용정책의 관점에서 제도를 검토하겠다고 했습니다. 그렇다면, 자원에너지청의 검토 자체에 원자력규제위원회가 의견을 개진할 입장이 아니라고 생각합니다만, 위원 여러분의 견해도 그것으로 괜찮을지 2020년 7월 원자력규제위원회에서의 결론을 바탕으로 의견을 듣고 싶습니다. 어떠신가요? 이의는 없으신가요?

○ 반(伴)위원: 이 2020년 7월의 해법은 지금도 달라지는 것은 아니라고 생각합니다.

2. 프랑스의 계속운전

○ 투명성 및 원자력분야에서 안전에 관한 2006. 6. 13.자 법률 제2006-686호 제29조에서 원자력시설에 대한 10년 주기의 재평가 제도를 도입한 이후로 이를 전반적으로 실시하고 있다. 이에 따라 환경법전 제L.593-18조 제1항은 “원자력기본시설의 운영자는 모범적인 국제실무를 고려하여 자신의 시설을 주기적으로 재조사하여야 한다”라고 밝히고 있으며, 동조 제3항 제1문에서는 “이 재검사는 10년마다 행해진다. 단, 허가 데크레로 그 시설의 특성이 정당화한다면 이를 다르게 정할 수 있다.”라고 하여 원칙적으로 10년마다 원자력기본시설인 원자로의 주기적 안전성평가를 하도록 한다.

○ 프랑스의 원자로 역시 주로 40년을 설계수명으로 했으며, 환경법전 제L593-8조 제2항에 따르면, ASN이 발급하는 설치 및 운영에 관한 허가는 기간을 정해야 한다. 그럼에도 프랑스에서 원자로의 운영허가기간의 종기를 정한 경우는 없었으며, 여전히 극히 예외적인 경우를 제외하면, 원자력발전소의 설치 및 운영에 관한 데크레는 아무런 기간을 정하지 않고 있으며, 다만, 데크레 형식의 해체허가를 통해 설치 및 운영허가가 종료된다.

○ 원자력발전소의 운영허가는 기간의 정함도 없으므로 주기적안전성평가는 운영허가를 갱신해주는 것이 아니며, 운전의 전제조건도 아니다. 대신 ASN은 환경법전 제L.593-22조에 따라 원자력시설에 심각하고(grave) 즉시적인(imminent)한 위협이 있는 때에는 언제든지 시설의 운전을 정지시킬 수 있다.

9

○ 10년마다 거치는 ASN의 주기적안전성평가는 처분성이 없다. 2016. 2. 22. 국사원(Conseil d ' Etat)의 재판(Conseil d ' État, 6ème / 1ère SSR, 22/02/2016, 373516)은 ASN의 주기적안전성평기에 관한 관계 장관의 의견(avis)은 처분성이 없다고 했다. 제네바(Geneve)주 등은 Bugey 2, 4호기의 계속운전에 대해 프랑스 ASN과 관계 장관의 의견 및 결정을 취소하여 원자로를 정지시켜 달라는 청구를 하였으나, 국사원은 주기적안전성평가 자체로는 원자력발전소의 운전을 허용하지 않으므로 청구를 각하했다.

○ 다만, 4번째 주기적안전성평가는 특별한 의미를 가지며, 법적으로 절차도 하나 더 거쳐야 한다. 이는 환경법전 제L.593-19조 제2항이 “원자로가 운전한지 35년이 경과한 후의 재조사에 있어서는, 본조 제1항의 보고서를 목적으로 하는 공청회를 실시하여야 한다”라고 하기 때문이다. 환경법전상 공청회는 행정법원(tribunal administratif)과 지역정보위원회 등이 관여한다.

○ 2020년도부터 개별심사를 개시한 900MWe급 Tricastin 1에 대해서도 2022년 1월 13일부터 같은 해 2월 14일까지 한 달 동안 공청회가 개최되었다. 공청회에 앞서 EDF는 2021. 10. 5. 공청회 자료를 ASN에 제출하였고, 같은 달 20일, ASN은 이 자료를 Drôme과 Vaucluse 道에 송부하였다. 같은 해 12월 20일, 두 도에서 공청회에 대한 의견을 제출하였다. 공청회 이후로는 2022년 2월 25일 공청회의 질의사항이 EDF로 전달되었으며, 같은 해 3월 11일 EDF는 이에 대한 답변을 제출하였다. 같은 달 15일 위원회보고서가 각 도에 제출되었다. 이후 2022년 연말부터는 Bugey 2, 4, 5호기에 대한 공청회가 2023년 2월 6일부터 3월 8일까지 이어졌는데, EDF에서 다수호기에 대한 합동공청회(enquêtes publiques conjointes)를 제안하고, 이를 관련 지자체인 도(道)에서 수용하여, 3기에 대한 공청회가 한 번에 진행되었다.

2014년도 <원자로의 조기폐쇄 비용: 페센하임의 예시>라는 국회보고서 제2014-2233호는 여기에 바로 기회상실이론을 적용하여 결론을 내리고 있음. 전문가들은 다양한 가설을 통해 다양한 범위의 손해의 추정치를 제시했지만, 최종적으로 프랑스 전력공사에 40억 유로를 보상하는 방안이 유력하게 제시됨. 해당 결과는 연간 수익을 2억 유로 추산한 다음, 원자로의 최대수명을 60년으로 가정하여, 폐쇄시 점인 2017년부터 2040년까지 가동을 예정하였음. 이 가정에 따르면 프랑스 전력공사가 최대 약 47억 유로의 수익을 달성할 수 있다고 평가됨. 그러나 해당 수익은 완전히 보장되는 것이 아니므로, 여기에 사업자가 2040년까지 사업을 계속할 수 있는 확률을 곱한 금액을 최종 보상 추정치로 제시했음, 전문가들이 평가한 2040년까지의 운영 연장 가능성은 85% 임. 그리하여 약 40억 유로의 보상액이 추산됨.



이를 역으로 활용하면, 경제성평가에서 재차 계속운전시 얻을 수 있는 경제성을 반영할 수 있을 것으로 판단됨.
즉, 재차 계속운전에 따른 이익을 일정비율로 반영하여 경제성평가를 실시할 수 있음.

3. 미국의 계속운전

○ 사업자는 갱신을 통해 20년을 상한으로 하는 새로운 운영허가를 받을 수 있으며, 이는 "갱신된 허가도 모든 요건에 꽂아 이어서 갱신될 수 있다."고 정한 10 CFR 54.31 (d)에 따라 두 번까지 가능하다. NRC는 재갱신을 위해 2017. 7. 추가적인 노후화를 다루는 기술보고서의 최종안을 마련했으며, 향후 갱신허가기간이 20년을 초과하는 방안으로의 규정변경도 고려하고 있다.³⁹⁾ 1985년부터 NRC 의장의 추진으로 시작된 원자력발전소 장기운전에 관한 논의 끝에, 20년의 갱신허가기간이 상한으로 결정됐다. 미국이 20년을 상한으로 정한 이유 중 하나는 사업자에게 장기계획수립을 통해 효율적인 사업전략을 추구하도록 돋기 위해서였다.

○ 10 CFR 2.109(b)에 따르면, 사업자는 설계수명기간이 만료되기 20년 전부터 5년 전 까지의 기간 사이에 운영허가갱신을 신청한다. 운영허가갱신의 신청시기가 운영허가기간 만료 20년 전부터이고, 갱신 허가기간은 20년을 한도로 하고 있으므로, 기산점을 갱신운영허가의 발급 시부터 기산하는 대체허가(supersession license) 방식이 아니라, 기존운영허가의 만료 이후부터 기산하는 현행의 첨부허가(tack-on license) 방식에 따르더라도 운영허가 갱신 시로부터 갱신 된 운영허가의 종료 시까지는 40년을 넘지 않는다.

○ 사업자가 위 기간 동안 갱신을 신청한 경우, 이 신청은 適時更新申請(timely renewal application)이다. 이 '適時'更新申請에 대해서는, NRC가 운영허가기간의 만료 시까지 결정을 내리지 못할 경우에 臨時운영허가가 부여되는데, 이는 미국행정절차법의 원칙(APA, USC 558(c)(2))을 구체화한 사례다.

○ 사업자가 신청기간을 지키지 못했더라도 갱신신청권이 소멸하는 것은 아니다. 사업자가 위 기간을 놓치더라도, 운영허가기간 만료 전에 운영허가갱신을 신청하고, 갱신허가가 발급된 경우에는 계속적인 운전도 가능하다. 그러나 운영허가의 발급이 운영허가기간 만료 후에 이뤄진다면, NRC의 별도의 조처가 없는 한, 사업자는 운영허가기간 만료 시에 원자로의 운전을 일단 멈추고 NRC의 결정을 기다려야 한다. 마찬가지로, 운영허가기간 만료 후에 이뤄진 새 운영허가 신청도 무방하다. 하지만, 사업자는 유효한 운영허가가 없기 때문에, 해당 신청은 발전소의 가동을 멈춘 상태에서 이뤄진다.

○ 2024. 9. 4. NRC는 비발전 및 이용시설(NPUF)에 대한 staff이 요청한 허가갱신 규칙 개정안(SECY-19-0062)에 따르면, 연구용 원자로와 의료용 시설은 계속 운전을 위하여 허가갱신 신청을 하지 않아도 된다.

4. 우리나라의 제도

원자력안전법 제103조(주민의 의견수렴) ① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자(이하 이 조에서 "신청자"라 한다)는 제10조제2항 · 제5항, 제20조제2항 또는 제63조제2항에 따른 방사선환경향평가서를 작성할 때 제3항에 따른 방사선환경향평가서 초안을 온라인 정보공개 및 관련 지방자치단체 제공을 통하여 공람하게 하여야 하며, 공청회 등을 개최하여 위원회가 정하는 범위의 주민의 의견을 수렴하고 이를 방사선 환경영향평가서의 내용에 포함시켜야 한다. 이 경우 주민의견수렴 대상지역을 관할하는 지방자치단체의 장 또는 대통령령으로 정하는 범위의 주민의 요구가 있으면 공청회 등을 개최하여야 한다.

<개정 2015. 1. 20., 2020. 12. 22.>

2. 발전용원자로 및 관계시설의 설계수명기간이 만료된 후에 그 시설을 계속하여 운전하기 위하여 제20조제1항 후단에 따른 변경허가를 받으려는 자

[시행 2015. 7. 21.] [법률 제13078호, 2015. 1. 20., 일부개정] 개정이유 : 발전용원자로 및 관계시설의 설계수명기간이 만료된 후에 계속하여 운전하기 위하여 변경허가를 받으려는 경우에 방사선환경향평가서 초안에 대해 주민의견을 수렴하도록 함(제103조).

원자력안전법 시행령 제36조(주기적 안전성평가의 시기 등) ④ 발전용원자로운영자가 원자로시설의 설계수명기간이 만료된 후에 그 시설을 계속하여 운전(이하 "계속운전"이라 한다)하려는 경우에는 제2항에도 불구하고 설계수명기간 만료일(그 후 10년마다 10년이 되는 날을 포함한다. 이하 이 조에서 같다)을 평가기준일로 하여 평가기준일이 되기 10년 전부터 5년 전까지의 기간 내에 평가보고서를 제출해야 한다.

<개정 2022. 12. 30.>

Q. 제출기간을 지키지 못한 경우에는 어찌나? 평가기준일은 어떻게 정해야 하나?

Q. 영구정지 이후에 계속운전을 하려는 때에는, 평가기준일은 어떻게 정해야 하나?

계속운전의 법적쟁점

- ◇ 미국과 후쿠시마 사고 후 일본은 운영허가기간이 있고, 프랑스와 우리나라는 기간의 정함이 없다.
- ◇ 기간의 정함이 없던 운영허가에 기간을 정하면 재산권인 운영허가에 대한 제한이 발생한다.
- ◇ 미국은 간신제도에 있어서 심사적체로 인한 사업자의 피해를 막기 위해 임시허가를 부여한다.
- ◇ 운영허가기간 여부, 간신 횟수 제한 등은 에너지정책의 문제이고, 안전의 문제는 아니다.
- ◇ 시행령이 예정하지 않은 경우에는 평가기준일은 규제기관의 재량에 따르면 된다. 다만, 평가기준일은 안전의 문제와는 무관한 기술적인 문제로 사업자가 제안하는 평가기준일을 반영하면 충분하다.
- ◇ 재차 계속운전 또는 그 이상의 추가 계속운전에 따른 경제적 이익은 당해 기간 때까지 나올 이익에 대하여 그 계속운전의 확률을 곱해서 경제성평가에 반영하면 된다.
- ◇ 계속운전에 관한 공청회를 사업자가 주관하는 것은 부적절하므로 원안위가 진행하는 방향으로 제도를 개편할 필요가 있다.

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다

서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

NIFTEP
서울대학교 원자력정책기술정책연구소

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

국내 가동원전 규제감독 체계 및 문제점 분석

오성현

2024. 9. 24.

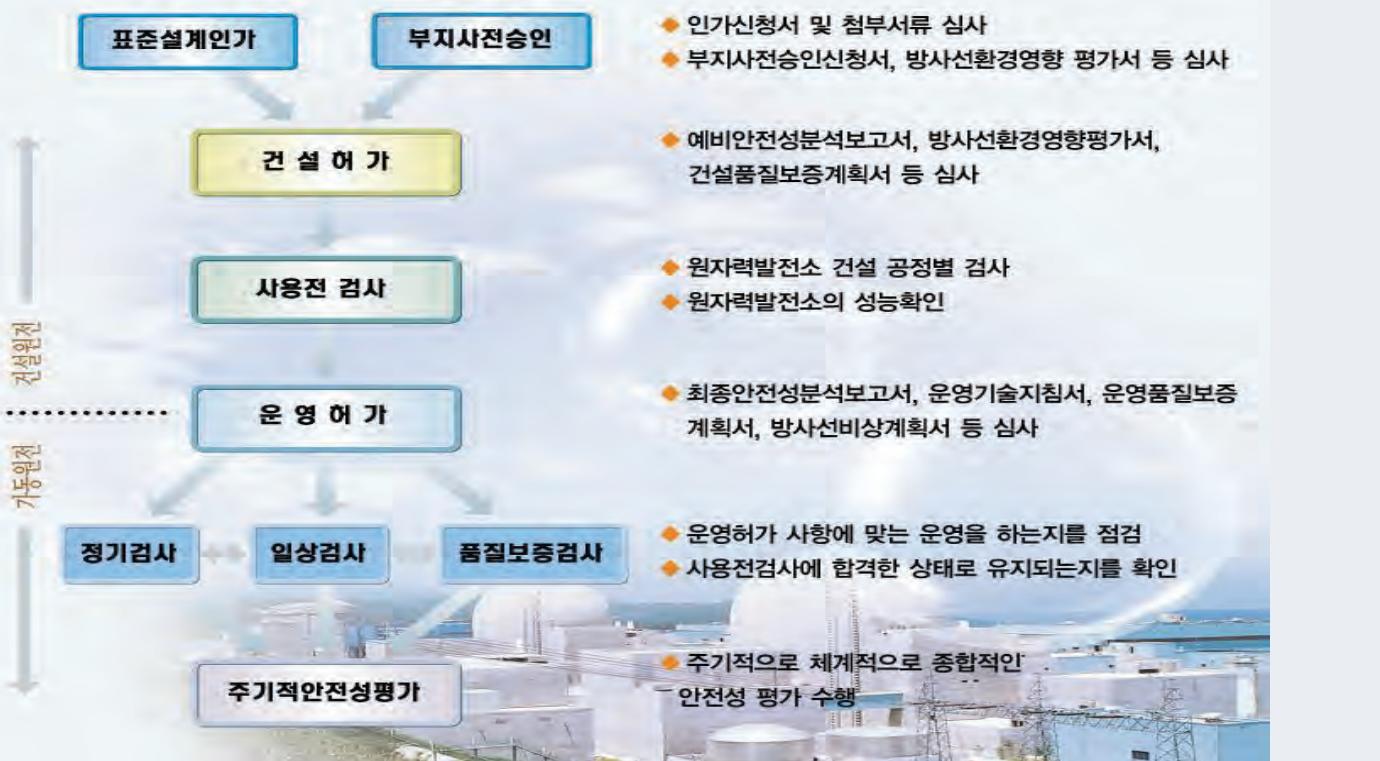
서울대학교 원자력정책센터
ko67osh@snu.ac.kr



CONTENTS

- I. 원자력발전소 안전규제 활동
- II. 정기검사제도 현황 및 문제점 분석
- III. 가동원전 규제감독제도 및 차등 접근법
- IV. 가동원전 규제감독 체계 개선 방향 제언

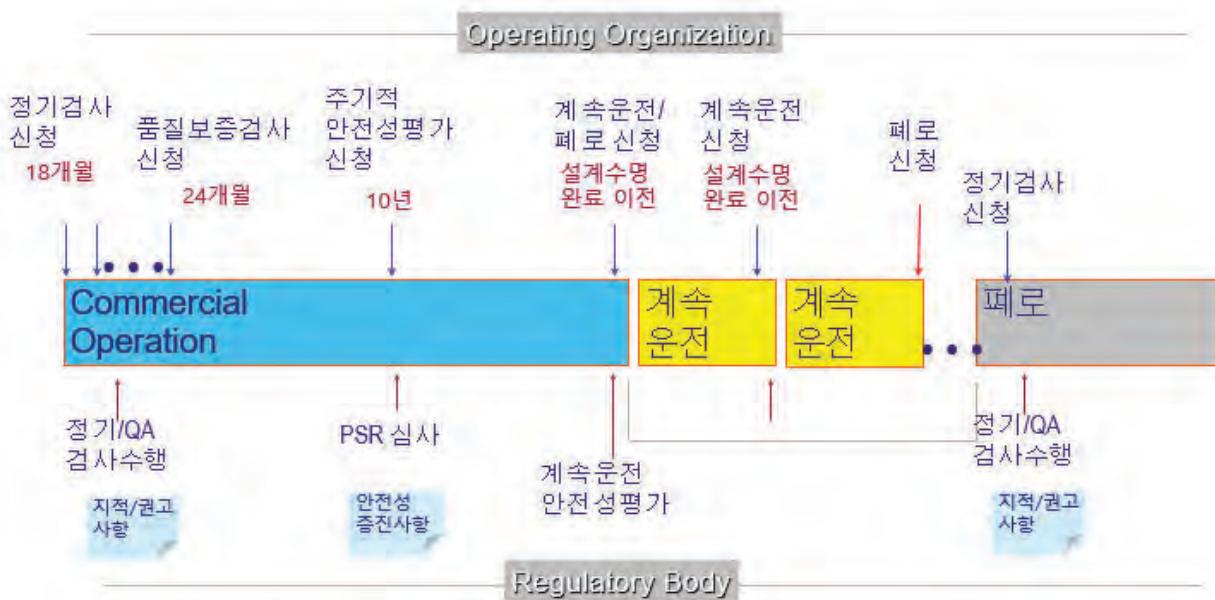
원자력시설 주요 규제단계 - I. 원자력발전소 안전규제 활동



원자력시설 주요 규제단계 - II. 원자력발전소 안전규제 활동

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

가동원전 안전관리 - I. 원자력발전소 안전규제 활동



5

가동원전 검사제도 수립 배경 및 현황 - II. 정기검사제도 현황 및 문제점 분석

- ❖ 1980년대 초반에 국내 원자력 규제검사체계를 수립하기 위하여 해외 사례를 조사하고 이를 참고하여 가동원전 검사체계를 마련함
 - 당시 일본에서 수행하던 정기검사를 중심으로 한 원전의 규제검사가 유럽(프랑스, 스웨덴)에 비하여 규제기관이 보다 능동적으로 원전 시설에 대한 검사 및 시험에 관여하는 방식이라고 판단함
 - 그 결과, 일본의 검사제도를 도입하고, 미국의 일부 제도를 도입하여 가동원전에 대한 정기검사와 품질보증검사체계를 마련하여 수행하고 그 동안 변화를 추진함
- ❖ 최근까지 원자력발전소 정기보수기간(Overhaul, OH)에 집중된 원전 검사체계는 우리나라와 일본만 시행중/시행한 유일한 제도임
 - 일본은 2011년 발생한 후쿠시마 원전사고 이후 검사체계를 미국 NRC의 원자로규제감독(Reactor Oversight Process, ROP)체계를 벤치마킹하여 2020년 4월부터 신검사제도를 마련하고 시행 중
 - 우리나라는 최근 OH 기간에 집중하여 수행하였던 정기검사를 원안법시행규칙을 개정하여 상시검사체계로 개편하고, 2024년 4월부터 새울 2호기기에 시범 적용 중

6

가동원전 검사제도 수립 배경 및 현황 - II. 정기검사제도 현황 및 문제점 분석

❖ 원자력안전법 시행규칙 제19조(정기검사) 변경 전·후 비교(위) / 가동 원전 검사체계(아래)

구분	내용
기존	영 제35조제1항에 따른 정기검사는 정기정비 기간 또는 핵연료의 교체를 위하여 원자로를 정지한 날부터 전출력(全出力)운전을 재개하는 날까지의 기간 동안 실시한다.
개정	영 제35조제1항에 따른 정기검사는 종전 핵연료의 교체를 위하여 원자로를 정지한 후 전출력(全出力)운전을 재개하는 날부터 다음 핵연료의 교체를 위하여 원자로를 정지한 후 전출력(全出力)운전을 재개하는 날까지의 기간 동안 실시한다

구분	내용	비고
수시검사	안전에 영향을 미치는 사업자의 시설 및 운영에 대한 현장 규제 감독	NSSC 지역사무소가 KINS 파견 주재원과 함께 수행
정기검사	원전의 운영 및 성능이 허가기준에 맞게 운영되고, 사용전 검사 합격상태로 유지되고 있는지를 확인	호기별 OH 기간에 11개 시설의 성능유지 여부를 확인하고, 5개 운영 기술능력 분야 확인
품질보증검사	품질보증계획서에 따라 품질보증 활동이 적합하게 수행되고 있는지를 확인	발전소별로 운전·정비 기간에 관계없이 18개 QA요건에 따른 QA 활동의 적절성 여부 확인

7

현행 검사제도 문제점과 한계 - II. 정기검사제도 현황 및 문제점 분석

❖ 가동 원전에 대한 상시검사체계를 마련하여 '24년 4월부터 시범적용 중에 있으나, 여전히 대부분의 검사는 시설 설비의 성능 확인 및 유지에 집중하여 종합적인 안전성 확인에 한계가 있음

- 사용전검사 합격 상태 유지 및 출력운전에 대한 안전성 확보시 정기검사 합격으로 간주함
 - 이는 사업자의 안전성 확보 수준과 규제 부합성 확인을 검사의 목적으로 하는 해외 사례와 대비됨

❖ 가동원전 상시 검사 체계 ('24. 4 ~ 시범 적용 중)

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

8

- ❖ 원자력시설의 비안전설비 까지를 포함한 SSC 성능 확인에 중점을 둔 검사 이행으로 안전중요도와 위험도에 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 위험도 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 집중됨에 따라 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

- ❖ OH중에 개별 기기의 성능시험에 중점을 둔 검사만으로는 원전의 종합적인 안전성 수준 확인에 한계가 있음
 - 검사항목이 설비 중심으로 구성되어 있어 사업자의 업무·활동(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 수행으로 안전에 중요한 SSC·업무활동 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

현행 검사제도 문제점과 한계 - II. 정기검사제도 현황 및 문제점 분석

❖ 다양한 검사제도 개선 시도가 있었으나 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 안전성능평가를 수행하고 원전을 등급화하여 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 <u>결정론적 근거에 의해 선정</u>	결정론적 근거, <u>안전성 중요도, 성능실적 등을 종합적으로 고려하여 선정</u>
검사내용	기술지침서 점검요건	기술지침서 점검요건 및 노심손상 방지 능력을 종합적으로 종합하여 특성에 맞게 선정
수행방법	검사항목에 대해서 <u>동일한 중요도로</u> 검사 수행	<u>안전중요도에 따라</u> 검사항목, 검사내용 및 투입인력을 차등화하여 검사 수행

- 인적오류 예방차원에서 **인적수행도 정기검사**(Human Performance Periodic, HuPI) **시도**('07)

- 기존 검사내용을 그대로 유지하면서 인적수행도를 확인하기 위한 업무를 추가하여 수행 → 정기검사 업무 부담 및 검사 필요성이나 검사방법에 대한 공감대 부족 등의 이유로 1년여의 시범 이행으로 중단

11

현행 검사제도 문제점과 한계 - II. 정기검사제도 현황 및 문제점 분석

❖ 상시검사체계 마련으로 기존 검사에서 문제점으로 지적되었던 다음 사항은 일정 부분 해소될 수 있을 것으로 기대함.

- 가동원전 검사 종류(일상검사, 정기검사, 품질보증검사)간 체계적인 연계 부족
- 사업자의 OH기간에 한정된 정기검사를 인해 충분한 검사기간 확보 및 운전 중 시험·검사의 어려움
- OH기간 중심으로 문제점을 확인하고 사후에 조치를 취할 수 밖에 없는 경우가 많아, 평상시 이상징후에 대해 사전에 확인·조치할 수 있는 기회 부족

그러나, 기기의 성능시험 확인을 검사의 주 목적으로 이해하는 문제점은
검사에 참여하는 요원들의 인식의 문제로서 검사 목적에 대한 인식 전환이 필요한 것으로 판단

12

자동원전 규제감독제도 비교 - III. 자동원전 규제감독제도 및 차등접근법

❖ 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 성능과 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

13

일본 NRA 규제검사제도 개선 전후 비교 - III. 자동원전 규제감독제도 및 차등접근법

1. 사업자 스스로의 개선 활동을 촉진함

개정 전	사업자의 개선을 촉진하지 않는 체계	<ul style="list-style-type: none"> 사업자가 안전확보라는 일차적 책임을 지고 있다는 것이 불명확함 규제기관의 보증주의에 빠질 우려가 있음
개정 후	사업자의 책임을 명확히 하여 스스로의 개선을 촉진하는 체계	<ul style="list-style-type: none"> 사업자 스스로 검사 의무 등을 부과하고, 규제기관의 역할은 사업자의 노력을 확인하는 역할로 전환

2. 모든 안전활동이 모니터링 대상임을 명확히 함

개정 전	사업자의 모든 안전활동을 감시하지 못함	<ul style="list-style-type: none"> 중복된 복수 및 혼잡한 형태의 검사 법령에서 검사 대상과 검사 시기가 세밀하게 정해져 있음
개정 후	규제기관의 점검이 꼼꼼하게 이뤄지는 구조	<ul style="list-style-type: none"> 규제기관의 모든 검사를 하나의 체계로 일원화 검사 대상은 사업자의 모든 안전 활동

3. 리스크 관점을 도입한 검사

개정 전	안전상 중요한 것에 집중하기 어려운 체계	<ul style="list-style-type: none"> 미리 정해진 항목의 적합성 여부를 확인하는 이른바 체크리스트 방식
개정 후	안전상 중요한 것에 집중할 수 있는 체계	<ul style="list-style-type: none"> 안전상 중요도에 따라 검사 중점을 설정 리스크 정보 활용 및 안전실적지표(Pi) 반영 등을 도입한 체계 안전확보 관점에서 평가를 실시하여 다음 검사 등에 피드백

4. 현장의 실태를 확인하는 운용

개정 전	사업자의 관점에 영향을 받을 수 있음	<ul style="list-style-type: none"> 사업자의 검사 대응 부서를 통한 도면, 기록물 확인, 현장 순시 중심
개정 후	규제기관의 주도적인 검사 수행	<ul style="list-style-type: none"> 검사관이 필요하다고 판단할 때 현장 실태를 직접 확인하는 운영 규제기관이 필요한 정보 등에 자유롭게 접근할 수 있는 체계를 효과적으로 운영

14

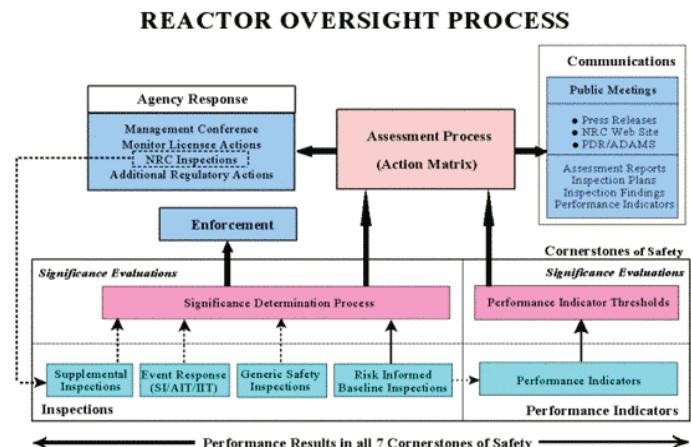
ROP(Reactor Oversight Process) - III. 가동원전 규제감독제도 및 차등접근법

❖ ROP 개요

- 발전소의 안전성 수준은 "Licensee Performance"에 의해서 결정된다고 전제
- ROP는 발전소 안전성 수준 평가 프로세스로써, 발전소의 안전성수준에 대한 답변을 하기 위해 시행
- ROP에 의한 차등규제는 보다 정확하게 "안전성 수준을 평가" 하기 위한 것임

❖ 발전소 성능(성과, 실적)을 평가해서 등급을 매기는 이유 :

- 규제결과를 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)



▪ 가장 중요한 이유:

"지금 가동되고 있는 발전소가 안전한지에 대한 규제기관의 객관적인 판단"을 규제자, 사업자 및 국민에게 제시하기 위함

15

차등 접근법(Graded Approach) - III. 가동원전 규제감독제도 및 차등접근법

❖ IAEA 기본 원칙 및 요건

SF-1: Fundamental Safety Principle

- 모든 시설 및 활동에 대해 차등 접근법에 따라 안전을 평가해야 한다.
- 규제기관은 안전 관리에 차등 접근법의 원칙을 적용해야 하고, 잠재적 위험에 비례하여 안전규제 관리를 하여야 한다.
 - 이는 규제 요건과 감독을 다양한 시설 및 활동의 위험 수준에 맞춰 조정하여 불필요한 부담 없이 최적의 안전 결과를 달성하는 것을 포함한다.
- 차등 접근법은 자원의 효율적 배분을 위해 매우 중요하며, 가장 높은 위험 활동에 가장 많은 관심을 기울이는 동시에 낮은 위험 활동에 대해 과도한 규제를 피함으로써 균형 잡힌 효과적인 안전 관리 시스템을 유지하여야 한다.

GSR Part 1 : Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety

요건 26: 시설 및 활동의 검토와 평가	검토 및 평가는 시설 또는 활동과 관련된 방사선 위험에 비례하여 차등 접근방식(graded approach)에 따라 수행되어야 한다.
요건 29 : 시설 및 활동의 검사	시설 및 활동의 검사는 시설 또는 활동과 관련된 방사선 위험에 비례하여 차등 접근방식에 따라 수행되어야 한다.

16

차등 접근법(Graded Approach) - III. 가동원전 규제감독제도 및 차등접근법

❖ IAEA 기본 원칙 및 요건

GSR Part 4 : Safety Assessment for Facilities and Activities	
안전 평가	<ul style="list-style-type: none">차등 접근법은 안전 평가를 수행하는 데 중요한 방법론으로 이는 안전 평가의 깊이와 엄격함이 시설 또는 활동과 관련된 복잡성과 잠재적 위험에 비례한다.<ul style="list-style-type: none">- 고위험 활동은 저위험 활동에 비해 더 상세하고 엄격한 안전 평가가 필요하다.
독립적 검증	<ul style="list-style-type: none">검증 과정에서도 차등 접근법을 따라야 하며, 검증에 투입되는 자원과 노력은 평가되는 시설 또는 활동의 위험과 안전 중요성에 비례해야 한다.

❖ IAEA 지침

GSG-13 : Functions and Processes of the Regulatory Body for Safety	
	<ul style="list-style-type: none">규제기관은 다양한 시설 및 활동과 관련된 방사선 위험에 비례하여 차등 접근법을 적용해야 한다.<ul style="list-style-type: none">- 이 접근법은 가장 중요한 위험에 자원을 집중시켜 전반적인 안전 효율성을 향상시킨다.
	<ul style="list-style-type: none">규제 프로세스에 차등 접근법을 적용하여 규제 자원의 할당 균형을 맞추어야 한다.<ul style="list-style-type: none">- 이 접근법은 잠재적인 안전 영향에 따라 규제 노력의 우선순위를 두어 더 높은 위험 활동에 더 많은 관심을 기울이도록 한다.

17

차등 접근법(Graded Approach) - III. 가동원전 규제감독제도 및 차등접근법

❖ IAEA 지침

GSG-13 : Functions and Processes of the Regulatory Body for Safety	
	<ul style="list-style-type: none">모든 안전관련 규제활동을 포함하여 허가, 검토·평가, 검사 및 집행은 활동과 관련된 위험에 비례하여 조정되어야 한다.<ul style="list-style-type: none">- 이를 통해 저위험 활동에 대해 과도한 부담을 주지 않으면서 고위험 활동에 충분한 규제 조치가 취해지도록 하여야 한다.
	<ul style="list-style-type: none">차등 접근법을 지원하는 규제 프레임워크의 구축이 필요하며, 법적 및 조직적 구조가 다양한 시설 및 활동의 특정 상황과 위험에 비례적으로 안전요건이 적용될 수 있도록 마련되어야 한다.
	<ul style="list-style-type: none">핵심 규제기능(허가, 검토 및 평가, 검사 및 집행)은 차등 접근법을 적용하여 수행되어야 한다.<ul style="list-style-type: none">- 고위험 활동에 대해서는 검사가 더 빈번하고 자세하게 이루어져야 하며, 저위험 활동에 대해서는 덜 집중적인 감독이 필요할 수 있다.

18

❖ 검사활동에 대한 인식 전환 필요

- 규제검사는 “안전성 확인” 이 목적이지만, 실제는 “안전하지 않은 발전소” 를 찾아내는 것이 주된 목적이 되어야 한다는 점 인식 필요

“원전의 안전성 저하 여부를 파악” 하는 것이 규제목적을 달성하기 위한 검사의 가장 핵심 기능이라는 인식 공유 필요

❖ SSC 성능 및 리스크 정보에 기반한 차등규제로의 자동원전 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 자동원전 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

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

미국의 10CFR53 규칙제정 현황 및 NEI 역할 분석

박찬오

2024. 9. 24.

서울대학교 원자력정책센터
copark5379@snu.ac.kr

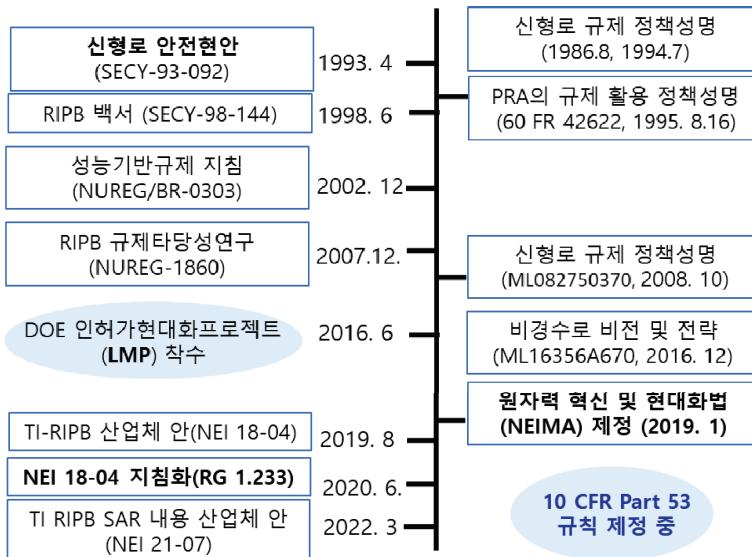


CONTENTS

- I. 10 CFR Part 53 규칙제정 배경
- II. 규칙 제정 추진 개요
- III. 규칙 문안 개발 경과
- IV. NEI 및 USNIC 제기 문제점 및 제시 방안
- V. 위원회 결정 사항 및 시사점
- VI. 요약

10CFR53 규칙 제정 배경 : 정책동향

신형로(Advanced Reactor) 규칙제정은
위험도정보활용 성능기반(RIPB) 규제에 대한
수십년의 NRC 선행 작업에 기반



비경수로 규제 수요 발생

기존 규제체계

미래 규제체계

경수로 중심

Deterministic

Technology-Inclusive

Risk-Informed

Prescriptive

Performance Based

10CFR53 규칙 제정 배경 : NEIMA

● 원자력 혁신 및 현대화법 (NEIMA)

- The term "advanced nuclear reactor" means a nuclear fission with significant improvements compared to commercial nuclear reactors including improvements such as
 - additional inherent safety features; significantly lower LCOE;
 - lower waste yields; greater fuel utilization; enhanced reliability; 등
- The term "regulatory framework" means the framework for reviewing requests for certifications, permits, approvals, and licenses for nuclear reactors.
- The term "technology-inclusive regulatory framework" means a regulatory framework developed using methods of evaluation that are flexible and practicable for application to a variety of reactor technologies, including, where appropriate, the use of risk-informed and performance-based techniques and other tools and methods.

● Section 103(신형로 프로그램) (a)(인허가)(4)항

Not later than December 31, 2027, the Commission shall complete a rulemaking to establish a technology-inclusive, regulatory framework for optional use by commercial advanced nuclear reactor applicants for new reactor license applications

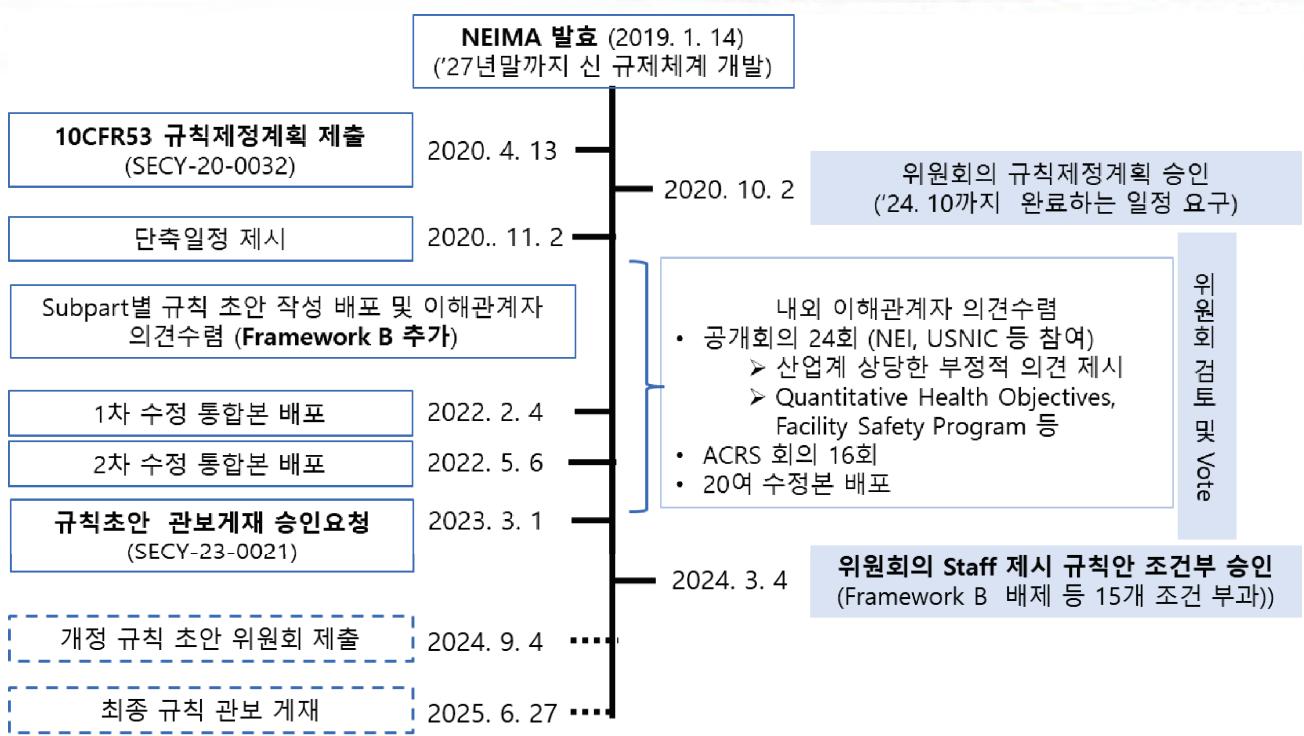


NEIMA는
초당적 의회 지지로
가결되고 2019년 1월
대통령 서명으로 발효



'16년 12월 비경수로에 대한
'NRC 비전과 전략'의
법적 기반 마련

10CFR53 규칙 제정 추진 개요



5

10CFR53 규칙 문안 제정 경과 (1)

● 10CFR53 규칙제정 계획 (SECY-20-0032) 제출

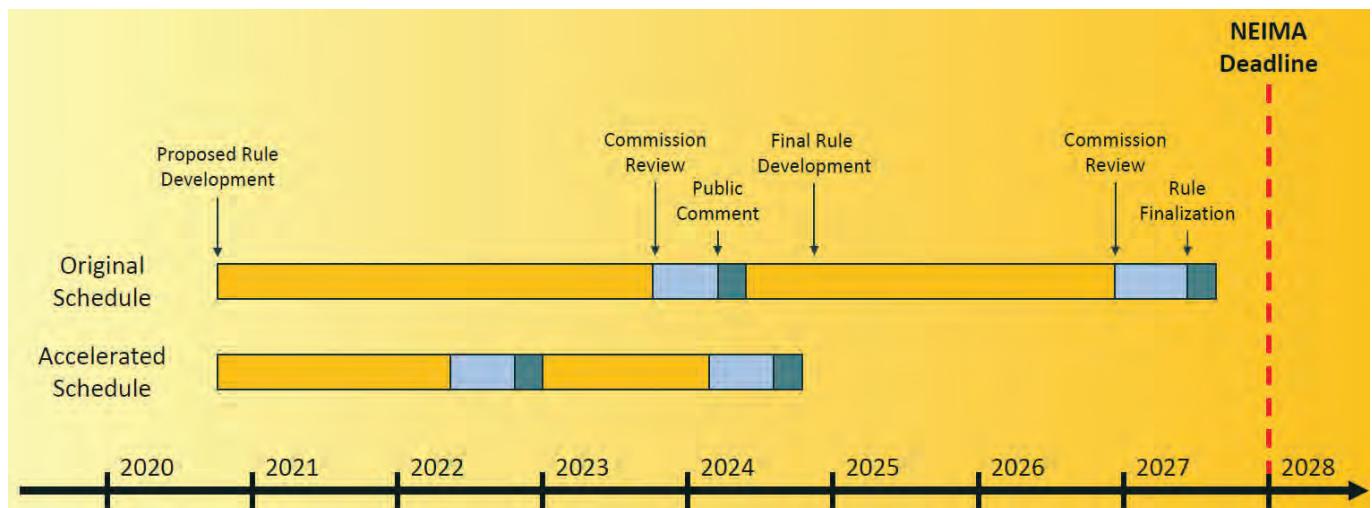
- 제정 방향
 - 공공의 건강과 안전의 충분한 보장; 규제 안정성, 예측성, 명확성 증진
 - 기존 규제 요건에 대한 면제 요청 감소
 - 비경수로 기술에 대한 새로운 규제요건 수립; 원자로 설계의 기술진보 인정
 - 가상사고시 신행로 특성 (느린 과도 반응 시간, 상대적으로 적고 느린 핵분열 생성물 방출) 인정
- 위험도정보활용 기능 요건(functional requirements) 제정에 초점
 - 기존 NRC 요건, 정책성명 및 **LMP 방법론(NEI 18-04)** 등 최근 활동에 기반
- 기존의 Part 50 및 Part 52와의 연관을 가급적 최소화 (교차 참조 최소화)
- 내·외부 이해관계자 의견 수렴 확대
- 일정
 - 규칙 초안 발간 2025. 4
 - 최종 규칙 발간 2027. 8

6

10CFR53 규칙 문안 제정 경과 (2)

● 위원회의 규칙제정 일정 단축 지시 (SRM-SECY-20-0032)

- 위원회는 규칙 제정 일정 단축을 요구 (2027. 8 → 2024 10)
- Staff는 위원회에 가속 일정을 제출 ('20. 11. 2)



7

10CFR53 규칙 문안 제정 경과 (3)

10CFR53 체계(안) 발표 (2021. 7)

- Subpart A, General Provisions
- Subpart B, Technology-Inclusive Safety Objectives
- Subpart C, Design and Analysis
- Subpart D, Siting Requirements
- Subpart E, Construction and Manufacturing Requirements
- Subpart F, Requirements for Operation
- Subpart G, Decommissioning Requirements
- Subpart H, Applications for Licenses, Certifications and Approvals
- Subpart I, Maintaining and Revising Licensing Basis Information
- Subpart J, Reporting and Administrative Requirements

확률론적 위험도 평가
(PRA)가 중심적 역할

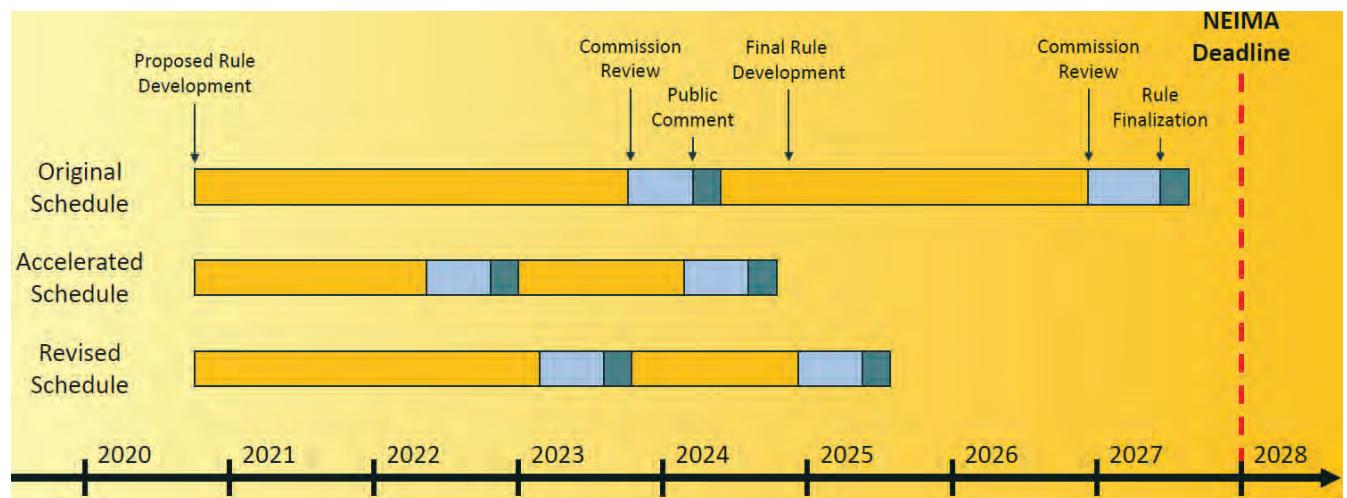
PRA 기반 인허가
척도(QHO 등) 요건 추가

신규 운전 프로그램 요건
(FSP 등) 추가

일부 외부 이해관계자가 결정론 기반의 기술범용적 위험도 평가 규칙 제정을 요구,
NRC는 PRA 기반 체계 외에 추가로 이를 제정(Part 5X)하기로 결정

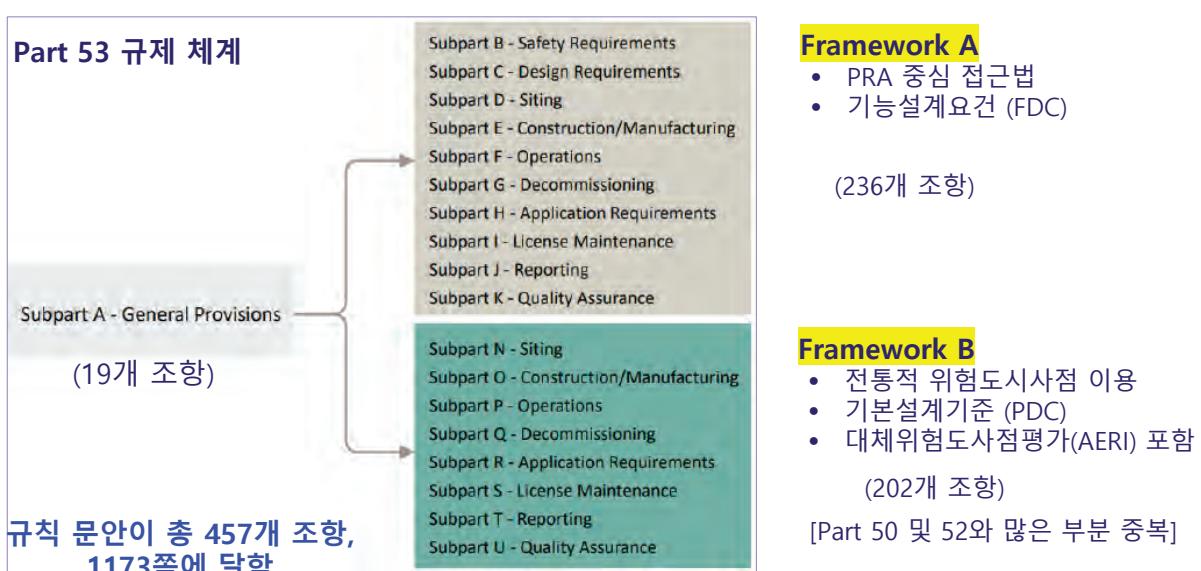
8

2개 Framework 제정에 따른 Staff의 규칙제정 일정 연장 요청을 위원회가 승인 (2021. 11)



Framework B는 Part 50/52 요건을 활용, 국제기준과의 조화를 고려,
전통적 risk-insights(RI)/Alternate Evaluation RI(AERI)/PDC 등의 규칙 문안을 포함

Part 53 규칙 초안에 대한 관보통지(FRN) 승인을 위원회에 요청 (SECY-23-0021, 2023. 3)



Part 53 규칙 문안 개발 과정에서 외부 이해관계자는 서면 및 공개회의를 통하여 우려 표명

지나치게 복잡

- 2개 framework, 규칙 문안 페이지 과다
- 지침 수준의 지나치게 세밀한 규칙 문안
- 이전에 사용하지 않은 새로운 용어 사용
- 기존 규칙을 인용하지 않고 복제

과도한 규제 부담

- 새로운 규제기준 도입 (예 QHO)
- 새로운 운전프로그램 도입 (예, FSP)
- 새로운 설계 요건 도입 (예, ALARA)
- 규정적 해석 및 프로그램 요건

편익은 제한적

- Part 50/52 요건 복제
- LMP 이용 이상의 개선 사항이 불분명
- 규제 면제가 여전히 필요할 것으로 예상
- 인허가 일정 개선을 기대하기 어려움

NEI 실시 산업체 설문조사 응답자 21곳 중 18곳이 Part 53 사용에 부정적

NEI 역할 분석 (1)

NEI와 USNIC(미국원산)가 산업체 의견을 취합하고 대변

- 산업체 의견을 서면으로 11차례 제출 -

일자	제출자	제목
'22. 8. 31	NEI/USNIC	Comprehensive Industry Comments on the NRC's Rulemaking on 10 CFR Part 53, "Risk-Informed, Technology-Inclusive Regulatory Framework for Advanced Reactors"
'21. 11. 5	NEI/USNIC	Comprehensive Industry Comments on NRC's Rulemaking on TIRIPB Regulatory Framework for Advanced Reactors
'21. 9. 28	NEI	NEI Paper on Licensing Approaches for the NRC's Rulemaking on TIRIPB Regulatory Framework for Advanced Reactors
'21. 8. 31	NEI	"NEI Comments on the Preliminary Language for the Physical Security and Cyber Security Requirements included in the Proposed TIRIPB Regulatory Framework for Advanced Reactors Rule"
'21. 7. 16	NEI	NEI Paper on Manufacturing License Considerations for Part 53, TIRIPB Regulatory Framework for Advanced Reactors
'21. 7. 15	USNIC	"USNIC Comments on NRC's Rulemaking on Risk-Informed, Technology Inclusive Regulatory Framework for Advanced Reactors"
'21. 7. 14	NEI 외 다수	Unified Industry Position on the NRC's Rulemaking on TIRIPB Regulatory Framework for Advanced Reactors
'21. 2. 11	NEI	Industry's Concerns about NRC Proposed Approaches to Part 53, and Alternative Discussion Draft for the NRC's Rulemaking on TIRIPB Regulatory Framework for Advanced Reactors
'21. 2. 3	USNIC	USNIC suggested update to Part 53 NRC Preliminary Language - Subpart B
'20. 12. 23	NEI	NEI Input on the NRC Rulemaking on Risk-Informed, Technology-Inclusive Regulatory Framework for Advanced Reactors
'20. 10. 21	NEI	NEI Input on the NRC Rulemaking Plan on, Risk-Informed, Technology-Inclusive Regulatory Framework for Advanced Reactors

NEI 역할 분석 (2)

NEI/USNIC 제시 6개 핵심 문제점 및 해결방안 (2022. 8. 31)

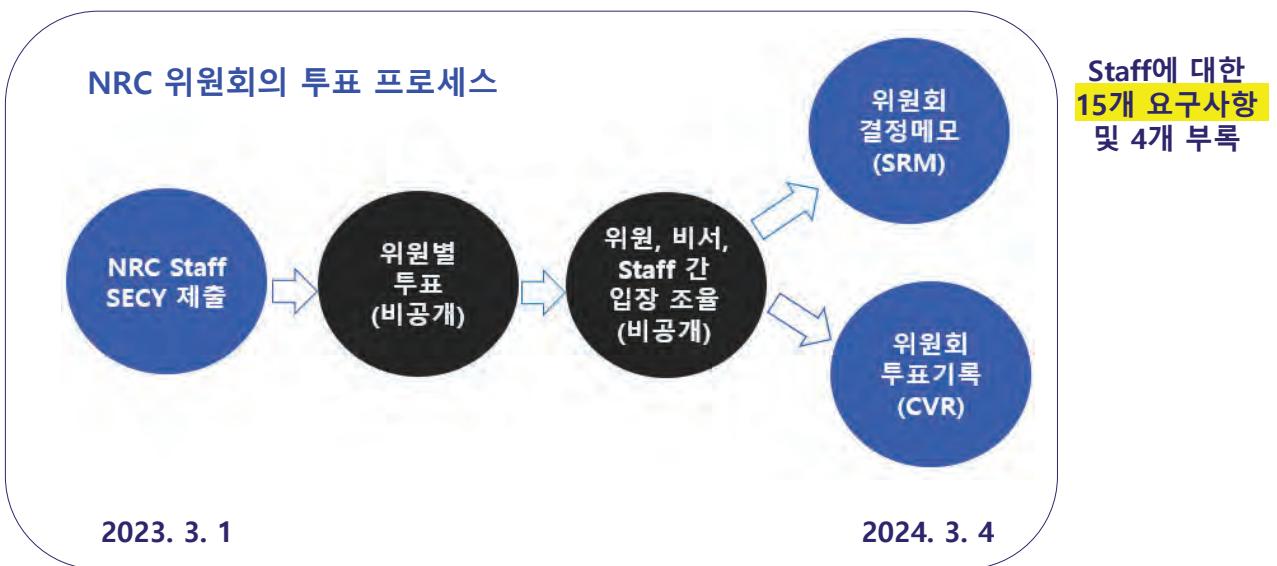
문제점	제시 방안
1. 2개의 Framework로 복잡성을 증가시키고 규제 명확성과 예측 가능성을 감소	단일 framework로 Part 53을 재편 <ul style="list-style-type: none"> 인허가 기반 및 PRA 접근 방식에 대한 유연성을 가지면서 framework A의 기술 범용적인 이점을 포함 단일 framework이 개발 시간 및 자원을 줄여 결과적으로 더 명확하고 예측 가능한 규칙이 될 것임
2. 정책 선언문의 정량적 건강 목표(QHO)를 성과 지표로 규칙에 포함하는 것은 예상치 못한 새로운 문제를 불필요하게 야기	QHO를 규칙에서 제거 <ul style="list-style-type: none"> 성능 측정 기준으로서 선량 기준이 충분함 PRA의 지침 수준의 규정적 상세 사용 요건을 규칙에서 제거 이는 유지 관리(50.65) 및 위험도정보활용 처리(50.69)와 같은 다른 위험도정보활용 규칙과 일치함
3. 주관적인 성능 기준인 ALARA의를 설계 요건화는 ALARA를 운전 고려사항으로 사용하고 있는 현재 접근방식과 배치	ALARA 설계요건을 규칙에서 삭제 <ul style="list-style-type: none"> ALARA가 Part 20 요건으로 이미 취급 ALARA를 전체 발전소 설계에 적용하지 않아야 할 것임.
4. 설계기반조사건(BDBE)을 설계기준에 포함하는 것은 Mitigation of BDBE Rulemaking에 관한 위원회 결정과 배치	Part 50 및 52와 일관되게 BDBE를 기술 <ul style="list-style-type: none"> 기술범용적 성능 기반의 사고 완화 요건으로 대체
5. Framework A의 시설안전프로그램(FSP)은 다른 NRC 요구 프로그램과 대부분 중복	FSP 요건을 규칙에서 삭제 <ul style="list-style-type: none"> 공공의 보건과 안전보호와 무관
6. 원자력법(AEA)과 일치하지 않는 새로운 안전기준 설정은 중복 프로그램의 확산을 초래	53.200(안전 목표)을 AEA와 일치하도록 변경 <ul style="list-style-type: none"> AEA는 Part 50 및 52 포함 모든 Part에서 사용 Part 50 및 52의 프로그램과 중복되는 프로그램 제거 Part 50 및 52에도 있는 규제 개념 관련 용어는 일관성 유지 동시에 보다 기술범용적 성능 기반 기술정보활용이 되도록 세부 사항을 변경.

그러나, 산업계 의견은 2023년 3월 위원회 제출 초안까지 반영되지 않음

13

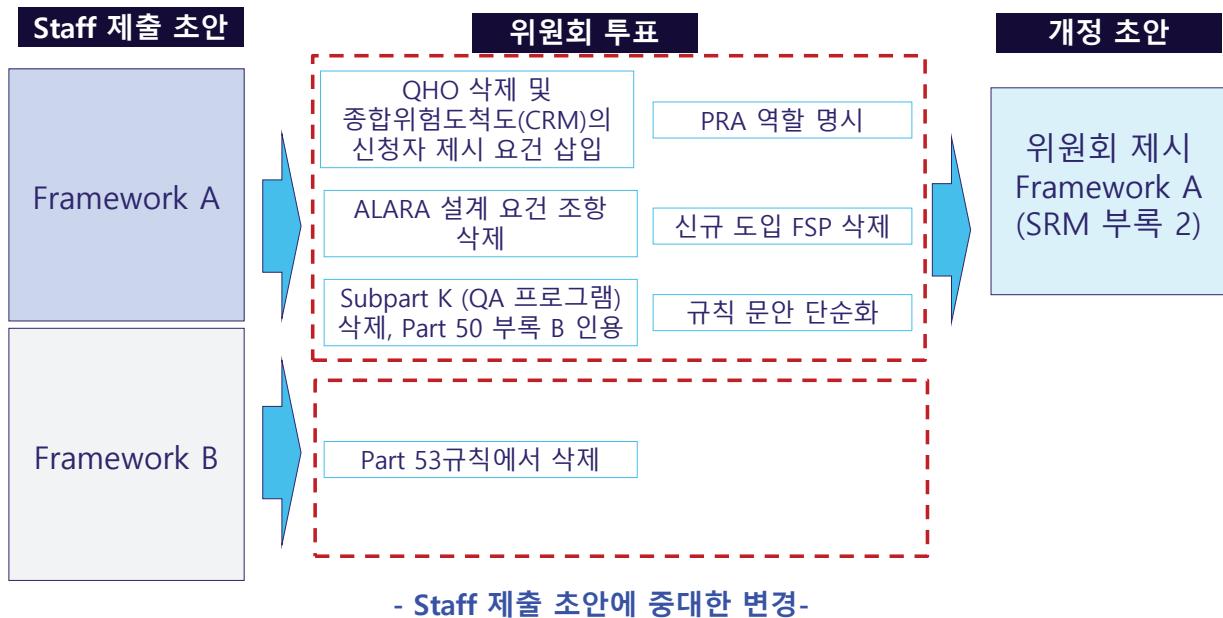
위원회 결정사항 및 시사점 (1)

NRC 위원회는 Staff 제출 규칙 초안에 대한 검토 및 투표(voting)를 약 1년간 실시



14

NRC 위원회 투표 및 주요 결정 사항 (SRM-SECY-23-0032, 2024. 3. 4)



15

위원회의 15개 결정 사항 (2024. 3. 4)

- ① Framework B를 규칙에 포함하지 말 것
- ② 정량적보건목표(QHO)를 규칙에서 요건화 하지 말 것
- ③ Consensus PRA Standard를 PRA 허용 결정 기준으로 하지 말 것
- ④ ALARA를 설계요건화 하지 말 것
- ⑤ 시설안전프로그램(FSP)를 규칙에 포함하지 말 것
- ⑥ 외부재해 및 발전소 위험도 감독 방안을 전문에 기술할 것
- ⑦ Part 50.34(f)에 대응하는 설계경험프로그램 요건을 추가할 것
- ⑧ 공장내 핵연료장전 요건을 규칙에 포함할 것
- ⑨ 보안관련 사건에 대한 고려사항을 다를 것
- ⑩ 품질보증기준(Subpart U)을 규칙에 포함하지 말 것
- ⑪ 53.200에서 안전목표를 포함하지 말 것
- ⑫ 설계표준화 요건(53.1470) 대한 외부 의견을 구하는 설문을 연방관보통지(FRN)에 포함할 것
- ⑬ 본 위원회 결정 방향과 일치하도록 초안, 규제분석, 관보통지 내용을 변경할 것 (위원회보좌진과 정례 진도회의를 할 것)
- ⑭ 2024년 9월 4일까지 연방관보통지용 최종본을 위원회에 제출할 것
- ⑮ 첨부 4로 제시한 Part 50, 51 및 52의 오류 및 불일치 사항의 개정가능성을 검토할 것

16

규칙 초안에 대한 산업계 요구와 위원회 결정 사항 비교 - 대부분의 산업계 요구 사항을 수용 -

산업계 제시방안	위원회 결정사항
1. 단일 framework로 Part 53을 재편	• Framework B 삭제
2. QHO를 규칙에서 제거	• QHO 내용 삭제
3. ALARA 설계 요건을 규칙에서 삭제	• ALARA 설계 요건 삭제
4. Part 50 및 52와 일관되게 BDBE를 기술	• 53.220(DBA 와 LBE 안전기준)은 유지하되 누적위험도 기준 삭제 및 신청자가 기준 설정
5. FSP 요건을 규칙에서 삭제	• FSP 요건 삭제
6. 53.200(안전 목표)을 AEA와 일치하도록 변경 Part 50 및 52의 프로그램과 중복되는 프로그램 제거 규제 개념 관련 용어는 Part 50 및 52와 일관성 유지	• 53.200(안전목표) 삭제 • Subpart U(QA 기준) 삭제 • 기능설계기준(FDC) 용어 유지

시사점

- 산업계 의견이 위원회에서 수용될 가능성이 낮을 것으로 예상 했으나,
 - 2개의 Framework 추진이 위원회 승인(2021. 11)하에 진행
 - 산업계가 지속적으로 제기한 중요 문제점이 위원회 제출 초안(2023. 3)까지 미반영
- 위원회 결정(2024. 3)은 산업계 의견을 대부분 수용
 - 단일 Framework, QHO 기준 및 ALARA 설계요건 삭제, FSP 요건 삭제 등

● 초당적 지지로 제정된 ADVANCE 법이 위원회 결정에 작용 추정

- 2023년 3월 발의, 2024년 6월 의회 통과, 2024년 7월 대통령 서명으로 발효
- 원자력 산업 활성화, 에너지 안보 강화, 글로벌 원자력 시장 우위 선점을 위한 전방위적 조치를 담음
- 특히 신형로 배치 가속화를 위한 NRC의 인허가 절차 간소화 및 신청인의 인허가 부담 감소 조항이 위원회 결정에 영향 추정

시사점 (ADVANCE 법의 규제개선 및 NRC 효율화 관련 주요 내용)

● 규제 개선 (Title II : 신 원자력 기술 개발 및 배치)

- Sec. 201 : 인허가 수수료 감면
- Sec. 203 : 원자력의 비발전 이용 관련 인허가 고려사항
- Sec. 206 : 석탄화전(Brownfield) 부지의 규제 이슈
- Sec. 207 : 신규 원자로 COL 발급 일정 개선
(DC 취득자의 COL 신청서 접수 후 18개월 내 RSE 발행, 25개월 내 COL 발급 여부 결정,
90일 이상 지연 시 의회에 보고)

● NRC 효율 개선 (Title V)

- Sec. 501 : NRC 강령(Mission Statement)을 1년 내 개정

인허가 및 규제가 “효율적이며, **불필요하게 민간의 원자력 이용과 이를 통한 사회적 혜택을 제한하지 않는 방식으로 수행된다**”는 내용이 포함되도록 NRC 강령을 개정

- Sec. 502 : NRC 인력 강화
- Sec. 503 : 위원회 운용 비용
- Sec. 504 : 성과 척도 및 일정
- Sec. 505 : 원자력 인허가 효율화
- Sec. 506 : 원자로 환경 평가 현대화
- Sec. 507 : 감독 및 검사 프로그램 개선

요약

● 원자력 혁신 및 현대화법(NEIMA)에 따라 기술포용적 규칙(10CFR53) 초안 작성

- 2020. 3. 14 규칙제정계획 (SECY-20-0032) 제출
- 2020. 11. 2 가속일정 제출 및 규칙 문안 발표
- 공개회의 및 서면을 통한 이해관계자와의 소통 및 의견 수렴
- 2023. 3. 1 규칙 초안의 위원회 제출 (SECY-23-0021)

● NEI 및 USNIC는 산업계의 우려와 해소방안을 취합하여 NRC에 제출

- 공개회의 및 서면을 통하여 산업계의 우려 사항을 전달하였으나 2023년 위원회 제출 초안까지 반영되지 않았음
- Framework 단일화와 규제부담 요건(QHO, ALARA, FSP) 삭제가 핵심 요구 사항이었음

● 산업계 의견을 대폭 수용한 위원회 결정 (SRM-SECY-23-0021) 2024. 3. 4

- 예상과 달리 산업계 의견을 대부분 수용
- 위원회 결정 배경
 - ① 미국의 글로벌 원자력 리더십 회복에 대한 의회의 초당적 지원 분위기
 - ② 최근 제정된 ADVANCE Act의 규제 개선과 NRC 효율화 조항이 적용

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다

서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

NIFTEP
서울대학교 원자력정책기술정책연구소

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

원자력 바로 알기

이창노

2024. 9. 24.

서울대학교 원자력정책센터
crlee01@snu.ac.kr

서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

NIFTEP
서울대학교 원자력대학원 기술정책연구소

CONTENTS

-
- I. 원바로 활동 내용
 - II. 대중의 원자력에 대한 인식 조사 결과 검토
 - III. PA 개선을 위한 시사점

1. 원바로 활동 내용

원바로
@user-ge8mh5wl3g · 구독자 1,56천명 · 동영상 181개
원자력에 대한 여러 사실과 정보를 쉽고 정확하게 알리드립니다...[더보기](#)
채널 맞춤설정 동영상 관리

홈 동영상 Shorts 라이브 커뮤니티

최신순 인기순 날짜순

원자력상식 Best7 ~느린 속도 버 2:11 원자력상식 Best7 1:47
원자력상식 Best7 ~느린 속도 버 조회수 57회 · 1개월 전 원자력상식 Best7 ~의외로 잘 모르는 원자력 상식 Best7 조회수 29회 · 2개월 전
원자력상식 Best7 ~의외로 잘 모르는 원자력 상식 Best7 조회수 29회 · 2개월 전
친환경 자동차 세조에 방사선기술이 이용된다... 4:50 ISABELLE BOEMEKE 11:45
친환경 자동차 세조에 방사선기술이 이용된다... 조회수 1,3천회 · 2개월 전
원자력은 화석연료를 대체하는 최고의 희망입니다. 이사벨 보메크 TED강의 조회수 189회 · 2개월 전
원자력은 화석연료를 대체하는 최고의 희망입니다. 이사벨 보메크 TED강의 조회수 189회 · 2개월 전
원자력, 탄소없는 미래로 가는 길 7:00 NUCLEAR POWER
원자력, 탄소없는 미래로 가는 길 조회수 88회 · 7개월 전
탄소중립 2050 4:38
탄소중립 2050 조회수 37회 · 7개월 전
지구를 구하는 원자력 4:17
지구를 구하는 원자력 조회수 149회 · 7개월 전
토양의 수분과 상태를 우주광선 증성자 센서로 측정이 가능해요! #원자력 #IAEA #증성... 2:57
토양의 수분과 상태를 우주광선 증성자 센서로 측정이 가능해요! #원자력 #IAEA #증성... 조회수 20회 · 8개월 전

3

1. 원바로 활동 내용

서울대원자력정책센터 좋아요 2.7천개 · 팔로워 3천명
관리하기 수정 광고하기

게시물 정보 언급 리뷰 릴스 사진 더 보기

소개
서울대학교 원자력정책센터(SNEPC)는 지속 가능한 원자력 이용을 위한 포괄적
소개 수정

페이지 · 과학, 기술, 엔지니어링
서울시 관악구 관악로 1 서울대학교 36동 411호, 서울
snepc.snu.ac.kr 웹사이트 품보하기

82% 추천(리뷰 45개)

상세 정보 수정
대표 사진 추가

사진
자력미 벳지 신청마감
2100년 원자력의 미래! 마을ят 상상하라!
사진 모두 보기

대표 콘텐츠
무슨 생각을 하고 계신가요?
라이브 방송 사진/동영상 릴스

서울대원자력정책센터 5월 23일
· 원자력을 화석연료를 대체하는 최고의 희망입니다. - 이사벨 보메크(Lsabelle Boemeke)...
서울대원자력정책센터 2023년 2월 9일
지구온난화가 계속되는 상황에 전세계에서 저탄소 운동을 벌이고 있습니다....

게시물
필터 게시물 관리
리스트 보기 그리드 보기

4

2. 원자력에 대한 대중의 인식 조사 결과 검토

2.1 한국인의 원자력 인식

(한국인의 에너지인식; 탈원전과 재생에너지, 박지영/외교안보센터 & 강충구/연구부문, 아산정책연구원, 2020년 9월)

[표 1] 연령대 및 에너지 관련 인식에 따른 에너지의 중요 차원(%)

	경제	환경	검정값
전체 (n=865)	49.0	51.0	-
20 대 (n=148)	39.2	60.8	
30 대 (n=138)	30.4	69.6	
연령대	40 대 (n=179)	45.8	54.2
원자력	50 대 (n=176)	45.5	54.5
인식	60 세 이상 (n=224)	72.3	27.7
에너지원	금정 (n=411)	66.7	33.3
	중립 (n=206)	60.7	
	부정 (n=229)	76.4	
	태양광 (n=292)	70.5	
	원자력 (n=271)	74.9	25.1

$\chi^2=75.099$,
 $df=4$, $p<.001$

$\chi^2=118.202$,
 $df=2$, $p<.001$

$\chi^2=140.195$,
 $df=6$, $p<.001$

[표 2] 연령대 및 이념성향에 따른 원자력 에너지 인식 (%)

	긍정	중립	부정	검정값
전체 (n=1,000)	48.5	22.5	26.0	-
연령대	20 대 (n=167)	51.5	21.6	26.9
원자력	30 대 (n=157)	40.1	28.7	31.2
인식	40 대 (n=192)	39.6	22.4	38.0
에너지원	50 대 (n=197)	48.2	25.4	26.4
	60 세 이상 (n=254)	65.0	19.7	15.4
	진보 (n=262)	31.3	23.2	45.6
	이념성향	중도 (n=379)	47.9	30.0
	보수 (n=310)	67.6	14.7	17.6

$\chi^2=45.448$,

$df=8$,
 $p<.001$

$\chi^2=100.585$,

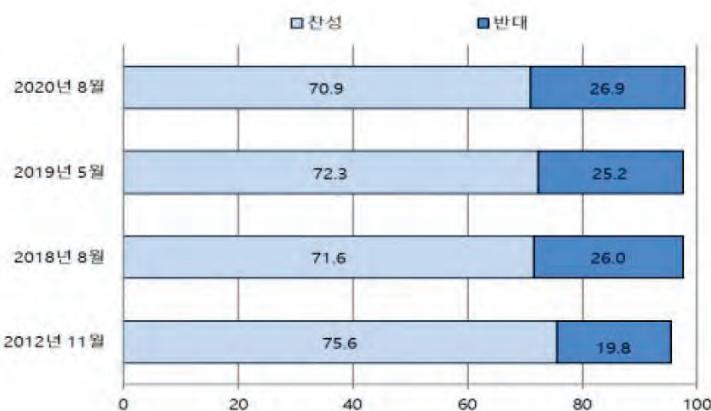
$df=4$,
 $p<.001$

2. 원자력에 대한 대중의 인식 조사 결과 검토

2.1 한국인의 원자력 인식

(한국인의 에너지인식; 탈원전과 재생에너지, 박지영/외교안보센터 & 강충구/연구부문, 아산정책연구원, 2020년 9월)

[그림 2] 원자력발전을 이용한 전력생산에 대한 의견 (%)



[표 4] 원자력 발전을 이용한 전력생산에 반대하는 이유(%)

	2012년 11월 (%)	2020년 8월 (%)
원전사고의 위험이 있어서	49.2	38.0
방사능 노출 문제 때문에	31.2	31.5
폐기물 처리 문제 때문에	13.5	25.3
핵무기로 이용될 위험이 있어서	2.2	2.7
기타/모름/무응답	3.9	2.5

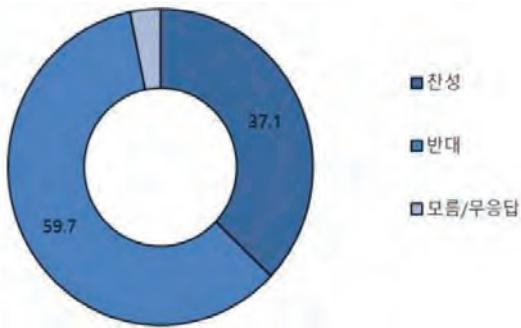
2. 원자력에 대한 대중의 인식 조사 결과 검토

2.1 한국인의 원자력 인식

(한국인의 에너지인식; 탈원전과 재생에너지, 박지영/외교안보센터 & 강충구/연구부문, 아산정책연구원, 2020년 9월)

[표 5] 에너지 전환 정책 인식에 따른 원자력 발전의 비중에 대한 의견 (%)

[그림 4] 원자력 발전 시설 수용도 (%)



	원자력 발전 비중			검정값
	늘려야 한다 (n=396)	유지해야 한다 (n=256)	줄여야 한다 (n=286)	
에너지 전환 정책	찬성 (n=607)	23.7	<u>32.5</u>	<u>43.8</u>
	반대 (n=331)	<u>76.1</u>	17.8	6.0

[표 6] 에너지 전환 정책에 대한 의견¹³(%)

	2017년 6월	2018년 6월	2019년 1월	2020년 8월
찬성	<u>84</u>	72	64	<u>61.3</u>
반대	12	15	24	33.4
모름/무응답	4	13	12	5.3

2. 원자력에 대한 대중의 인식 조사 결과 검토

2.1 한국인의 원자력 인식

(한국인의 에너지인식; 탈원전과 재생에너지, 박지영/외교안보센터 & 강충구/연구부문, 아산정책연구원, 2020년 9월)

- 한국인의 에너지 인식이 환경과 경제로 양분되고 있음
- 원자력 발전에 대한 선호도는 높게 유지되어 왔으나, 장기적 환경 영향에 대한 우려
- 환경 중시 집단은 태양광을, 에너지의 안정적 공급과 경제 중요시 집단은 원자력을 선호
- 에너지 비용이 증가하더라도 환경 가치를 중시하며 친환경 에너지 전환을 지지
- 신재생 에너지를 선호하나, 산림훼손 등 환경문제로 인해 에너지 전환 정책에 대한 우려 증가
- 신재생 에너지의 전력수급 한계와 급격한 에너지 전환 정책에 따른 대외 의존성 심화 우려

2. 원자력에 대한 대중의 인식 조사 결과 검토

2.1 한국인의 원자력 인식

(Positive or negative? Public perceptions of nuclear energy in South Korea: Evidence from Big Data, Eunil Park*, Department of Interaction Science, Sungkyunkwan University, Seoul, Republic of Korea, 2018 October, Nuclear Eng'g & Tech))

언어 사용빈도에 따른 원자력에 대한 심리 분석

Table 1

Top keywords that are related to nuclear energy after positive and negative events.

Events	Rank	Keywords (English)	Keywords (Korean)
PE1	1	Export.	수출
	2	Economic growth	경제성장
	3	Jordan	요르단
PE2	1	Reactor order	원전 수주
	2	The Netherlands	네덜란드
	3	Business in Europe	유럽진출
PE3	1	Korean model	한국형
	2	Success	성공
	3	Leap	도약
PE4	1	Publicizing	공론화
	2	Resumption of Construction	건설재개
	3	Shin-Gori	신고리
NE1	1	Fukushima	후쿠시마
	2	Radioactivity	방사능
	3	Cause of accident	사고 원인
	4	Damage	피해
NE2	1	Corruption	비리
	2	Delivery	납품
	3	Safety	안전
NE3	1	Contamination	오염
	2	Leak	누출
	3	Concealment	은폐

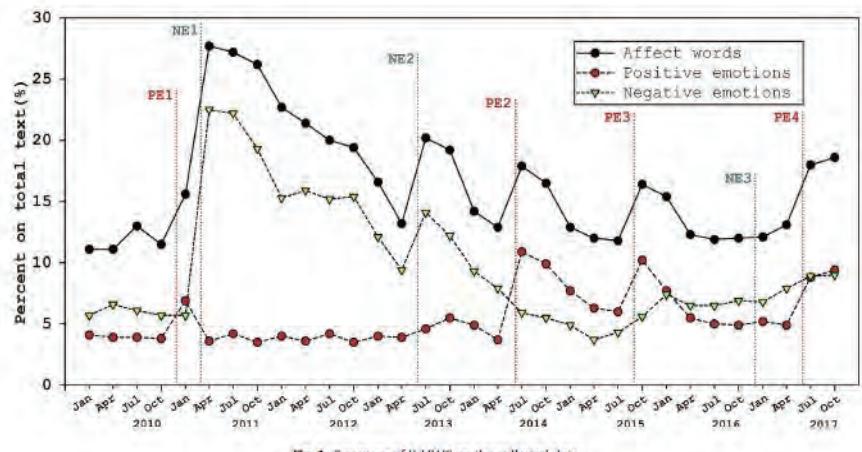


Fig. 1. Summary of K-LIWC on the collected data.

● K-LIWC : 언어사용 방식이 어떤 심리적 기제에 의하여 작동되는지를 연구하는 심리학 프로그램

2. 원자력에 대한 대중의 인식 조사 결과 검토

2.2 PA 관련 4개국 워크샵 내용

(Public Perception and Acceptance of Nuclear Power: Stakeholder Issues and Community Solutions, ERIA* Research project report 2020, No.08)

*ERIA : Economic Research Institute for ASEAN and East Asia

▶ 배경

- 아세안 국가들은 기후 변화에 대응하고 에너지 안보 측면에서 원자력 에너지 도입을 검토했으나,
- 후쿠시마 원전 사고 이후 원전 도입에 부정적 인식 확산으로 사회적인 합의 부족으로 대부분 보류
- 원전 운영 중인 선진국의 지역 및 여론 주도자들을 초빙하여 PA 개선 필요사항 논의
- 원전 프로젝트는 장기간 소요되어 조속한 PA 개선 정책 제안 필요

▶ 목적

- PA 사안과 설명자와 수신자 간 인식의 공통점 및 차이점을 명확히 하고, 정책 제안들을 정리

2. 원자력에 대한 대중의 인식 조사 결과 검토

2.2 PA 관련 4개국 워크샵 내용

(Public Perception and Acceptance of Nuclear Power: Stakeholder Issues and Community Solutions, ERIA* Research project report 2020, No.08)

➤ 참석 국가

- 미국: 가장 많은 원자력 에너지 사용
- 핀란드: 세계 최초로 영구처분장 건설 수용
- 영국: 정부의 원자력 발전 지원 및 촉진
- 일본: 후쿠시마 원전 사고이후에도 정부는 원자력 촉진 추구

2. 원자력에 대한 대중의 인식 조사 결과 검토

2.2 PA 관련 4개국 워크샵 내용

(Public Perception and Acceptance of Nuclear Power: Stakeholder Issues and Community Solutions, ERIA* Research project report 2020, No.08)

➤ 미국

- 1986년 소련 체르노빌 4호기 사고로 반대가 지지 주월
- 1995년 고베 대지진과 몬주 원전 화재로 지지도 하락
- 2011년 후쿠시마 원전 사고 후 원자력에 대한 국민의 지지 하락
- 다만, 외국의 대형 사고에도 국민 인식에 영향은 미미함

Figure 2.1: Percent Who Favour and Oppose Nuclear Energy, 1983–2016 (%)



Source: Nuclear Energy Institute (2016). 'Fall 2016 National Public Opinion Tracking Survey Memo'. <https://www.nei.org/CorporateSite/media/filefolder/resources/reports-and-briefs/national-public-opinion-survey-nuclear-energy-201610.pdf> (accessed 26 November 2019).

2. 원자력에 대한 대중의 인식 조사 결과 검토

2.2 PA 관련 4개국 워크샵 내용

(Public Perception and Acceptance of Nuclear Power: Stakeholder Issues and Community Solutions, ERIA* Research project report 2020, No.08)

▶ 핀란드

- 1986년 소련 체르노빌 4호기 사고로 반대와 지지 격차 증가
- 만성적인 전기 수입 및 온실 가스 배출 감소 목표 준수 위해 원전 지지
- 2011년 후쿠시마 원전 사고 후에도 지지가 반대보다 많음
- 원자력 규제기관에 대한 신뢰가 높음
- 자연방사능이 높아 원자력 발전에 의한 방사능 영향에 대해 심각하게 생각하지 않음

Figure 2.2: Evolution of Public Acceptance of Nuclear Power in Finland



Source: 'What People Really Think About Nuclear Energy' (2017), ATW-International Journal for Nuclear Power, 62(3), 157–163. https://www.kernenergie.de/kernenergie-wAssets/docs/fachzeitschriften/atw/2017/atw2017_03_157_What_People_Really_Think.pdf (accessed 26 November 2019).

2. 원자력에 대한 대중의 인식 조사 결과 검토

2.2 PA 관련 4개국 워크샵 내용

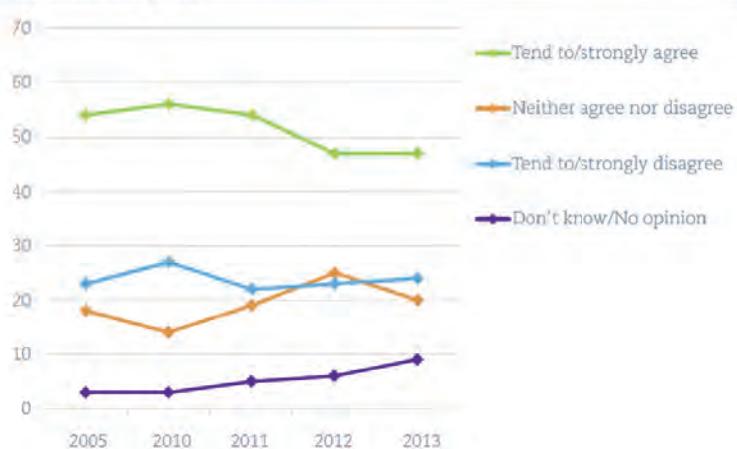
(Public Perception and Acceptance of Nuclear Power: Stakeholder Issues and Community Solutions, ERIA Research project report 2020, No.08)

(Public Attitudes to Nuclear Power and Climate Change in Britain Two Years after the Fukushima Accident - Synthesis Report (UKERC: London) by Poortinga, W., Pidgeon, N.F., Capstick, S. and Aoyagi, M. (2014))

▶ 영국

- 후쿠시마 사고 이후에도 원자력에 대한 지지와 반대 간 균형
- 핵폐기물의 저장과 원자력 발전소 사고에 대한 우려
- 원자력에 대한 지지도는 크게 변하지 않은 반면, 반대는 감소하고 양가적 반응이 증가
- 정치적인 차이와 정권에 무관한 일관된 정책

Figure 5. Willingness to accept the building of new nuclear power stations if it would help to tackle climate change (in %)



2. 원자력에 대한 대중의 인식 조사 결과 검토

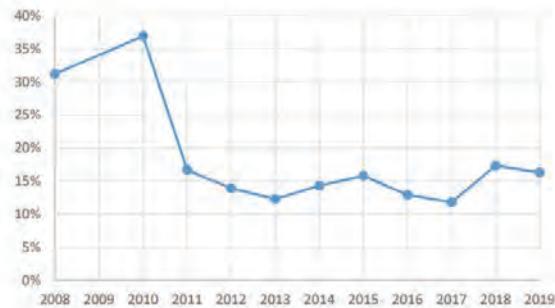
2.2 PA 관련 4개국 워크샵 내용

(Public Perception and Acceptance of Nuclear Power: Stakeholder Issues and Community Solutions, ERIA Research project report 2020, No.08)

➤ 일본

- 1980년 60% 지지가 1986년 체르노빌 사고와 1995년 고베 지진과 몬주 원전 화재로 30%대로 낮아짐
- 2011년 후쿠시마 원전 사고 후 원자력에 대한 국민의 지지 추락
- 사고 지역의 제염 및 사고 발전소 잔존 폐기물 처리 장기화로 대중의 우려 지속
- 반면, 정부는 원전 재가동 등 원전 촉진 정책 추진

Figure 2.3: Percentage of Respondents Who Would Like to Use Nuclear Energy in the Future



Source: Japan Atomic Energy Relations Organization (2020), 'Opinion Research on Nuclear 2019'.
<https://www.jaero.or.jp/data/01jijigou/tyousakenkyu2019.html> (accessed 18 March 2020)
(in Japanese).

2. 원자력에 대한 대중의 인식 조사 결과 검토

2.2 PA 관련 4개국 워크샵 내용

(Public Perception and Acceptance of Nuclear Power: Stakeholder Issues and Community Solutions, ERIA Research project report 2020, No.08)

➤ PA 정책 제안

❖ 신뢰에 관한 사항

- 정부는 일관성 있는 국가 에너지 정책 추진
- 기후 변화, 에너지 안보 및 관련 경제 문제에 대한 사실을 지역사회와 공유
- 정부와 사업자는 국민이 요구하는 정보를 정직하게 공개
- 정보는 신뢰할 수 있는 기관이 제공해야 하고, 독립적인 제3자가 커뮤니케이션에 참여
- 안전 및 위험을 설명하는 데 기술 용어 사용 자제
- 장기적으로 같은 위치에 머무를 수 있는 커뮤니케이션 전문가 임명
- 서로 다른 다양한 의견을 존중
- 주민은 의사결정에 참여하며, 정책집행을 거부할 권리 부여

❖ 경제발전에 관한 사항

- 원자력과 다른 부문의 사업기회 간의 연계를 통해 지역에서 다양한 사업으로 확대

2. 원자력에 대한 대중의 인식 조사 결과 검토

2.3 일반대중의 원자력에 대한 태도

(Public Attitudes to Nuclear Power, OECD 2010, NEA 6589)

Table 4: To what extent do you trust information about energy related issues from the following sources?

Source	Poll	Trust %
Scientists	Energy	71
Environmental protection organisations or consumer associations	Energy	64
National nuclear safety authorities	Nuclear	51
Energy companies that operate nuclear power plants	Nuclear	46
TV, radio, newspapers	Energy	31
National Government	Energy	29

❖ Socio-demographic matters

Nuclear energy is supported more by **males, the better educated, those to the right of the political spectrum and those who are older.**

3. PA 개선활동을 위한 시사점

- 대중이 요구하는 정보를 정직하게 공개
- 안정적인 방사성 폐기물 처리(저장) 기술 또는 방안 필요
- 안전하고 사고 시 위험을 통제할 수 있는 기술 개발
- 과학자, 환경 및 소비자 단체 등 독립적이고 신뢰받는 제3자 활용
- 원전 지역사회 경제 활성화를 위한 연관 사업기회 창출 (Benefit > Risk)
- 에너지원에 대한 환경, 경제적 장단점 분석과 장기 에너지 수급 예측치에 기반한 보다 정교한 정책의 추진 (기후변화를 막기위해 원자력이 필요한가?)

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다

서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

NIFTEP
서울대학교 원자력정책기술정책연구소

분과2

미래기술



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

원전산업 중장기 발전 전략

박석빈

2024. 9. 24.

서울대학교 원자력정책센터
h107626@snu.ac.kr



CONTENTS

- I. 연구 계획 및 진도 현황
- II. 원전산업 발전 전략 현황 조사·분석
- III. 향후 연구 계획

연구 계획 및 진도 현황



연구 목표:

원전산업 분야의 기술개발, 산업정책 분야 발전 전략을 수립하여 정부가 2024년 중에 작성하는
합리적인 탄소중립 달성을 위한 2050 원전 중장기 로드맵에 참고 자료로 제공

○ 연구 필요성

- ▷ 원전산업은 장기간에 걸쳐 추진되는 사업으로 정부의 정책에 좌우되며 정책적 지원이 필요한 산업
- ▷ 외국도 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
- ▷ 사업 시행 기간이 길어서 중장기적 정책이 선행되어야 하는 산업
 - 원전 건설은 부지획보부터 15년, 원자로 개발은 설계 검증 과정 등을 포함한 10년, 사용후핵연료 관리는 공론화부터 30년 이상 소요
- ▷ 지난 정부의 탈원전 정책 등으로 최근에는 원자로 개발 전략 등 원전산업 정책이 거의 부재한 상태임
 - APR+ 이후 대형 원전의 원자로 개발 전략이 부재하고 원전 기술 개발계획은 2010년 NUTECH-2012 수립 이후 유명무실화
- ▷ 국정과제인 원전 최강국 건설을 위해 원전산업 지속성 제고 및 주력 수출산업 도약을 위한 중장기 발전 전략 모색 필요
 - 중장기적인 대형원전 및 SMR 개발 등 기술개발 전략 및 원전 산업계의 생태계 복원 포함 중장기 원전산업 발전 전략 필요

3

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

4

원전산업 발전 전략 수립 현황 조사·분석

5

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 달성을 목표 제시
 - 플랜트 설계(한국전력기술), 원자로 계통설계 및 경수로 핵연료 설계와 증수로 핵연료 제작(한국원자력연구원), 원자로 및 터빈 등 주기기 생산 설계 및 제작(두산에너빌리티), 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

6

원전 기술자립기(1987-1997)

• 한빛3,4호기 원전건설사업

- ◆ 시설용량: 1,000MW X 2기
- ◆ 사업기간: 1987. 4. 7. ~ 1996. 1. 1.
 - 3호기 상업운전: 1995. 3. 31. / 계획공기 준수
 - 4호기 상업운전: 1996. 1. 1. / 3개월 공기 단축
- ◆ 사업 특성: 기술자립의 달성
 - 국내업체 주도로 사업추진
 - 원전건설 기술자립의 달성
 - 기술전수 조건으로 외국공급자 선정
 - 설계, 기기공급 계약과 별도로 기술도입계약 체결
 - 설계기술 자립을 위해 외국협력사와 공동설계수행
 - 국내 참여 증대

구 分	공급범위	계 약 방 식	
		주계약	하도계약
설 계	풀랜트 설계	한전기술	S&L
기자재	원자로 설비	한국중공업	한원연, ABB-CE
	터빈 발전기	한국중공업	GE
	핵 연료	한국원전연료	한원연, ABB-CE
	보조 기기	한국중공업 및 국내외 전문업체	
시 공	주설비 시공	현대 건설	
시운전	시운전	한국전력	

7

한빛 3,4호기 기술자립

1. 목 표

가. 기본목표

영광원자력 3,4호기와 동일 기종의 원전을 주어진
공기 및 예산 내에서 품질요건에 맞게 독자설계,
제작, 건설할 수 있는 기술능력 95% 확보

2. 추진방법

나. 기술자립 목표율

구 분	가중치	목 표 ('95년도)
설 계	종합사업관리	15 98.0%
	풀랜트종합설계	21 95.3%
	원자로계통설계	7 95.0%
	핵연료설계	2 100%
	소 계	30 95.5%
	N S S	24 87.0%
제 작	T / G	11 98.0%
	소 계	35 90.4%
	핵연료제조	3 100%
시 공		17 100%
총 합 계	100	95.0%

주1) 기술자립 목표율 산정기준
 - 종합사업관리 및 설계: 영광 3,4호기 참조 소요인력 기준
 - 제작: 제조 및 시공 : 영광 3,4 참조, 금액 기준
 2) 보조기기: 다음 사유로 종합기술자립 목표율 산정시 제외
 - 품목별 공급업체 다수
 - 국내시장 동향에 따라 국산화가 유동적



8

원전 기술자립기(1987-1997) (계속)

○ 경수로 핵연료 국산화

- ▷ 제26차 경제장관회의에서 한국핵연료개발공단이 제안한 핵연료 국산화 계획 중 경수로 핵연료 국산화가 국책사업으로 추진 타당성이 인정되어 경제적 타당성 검토
- ▷ 제31차 경제장관회의에서 연산 200톤 규모로 1988년부터 국내 수요 핵연료 전량 공급 결정
- ▷ 한빛 3, 4호기에 장전할 핵연료는 한전원자력연료가 주계약자/한국원자력연구원이 설계 수행
(미국의 CE와 한빛 3, 4호기 노심 및 핵연료 공동설계 계약 체결)
- ▷ 경수로 핵연료 국산화 방침에 의거, 독일 SIEMENS-KWU와 경수로 핵연료 기술도입계약 체결 및 한국과 독일 정부 간 서명

○ 발전로 계통설계 사업 기술자립

- ▷ 미국 CE와 한빛 3, 4호기 공동설계 계약과 NSSS 및 핵연료 설계 기술도입 계약 체결
- ▷ 공동설계를 위한 국내외 훈련 개시 및 미국과 한국에서 동시에 수행하는 공동설계 착수
 - 미국 현지에서 공동설계 센터 운영, 이후 국내로 이전하여 설계조직의 국내 정착 및 설계 경험 확산
 - 한빛 3, 4호기 공동설계 결과 및 경험자료와 기술자료 4,639종, CE 전산 코드 98종 및 상용 전산 코드 15종 입수, 국내 검증과 설치 완료
 - 공동설계 과정에서 심층 기술의 습득을 위하여 305명 CRT 참여, 195명 OJT 과정 이수
 - 설계 인력이 CE가 진행 중인 SYSTEM80+ 및 NUPLEX80+ 개발프로그램에 참여하여 차세대원자로 개발 능력 축적

9

기술도입계약(Technology Transfer Agreement, TTA)

○ 한빛 3, 4호기 기술도입계약 중 NSSS 계통설계, 초기노심설계 및 관련 사업관리 기술 분야는 한국원자력연구원이 기술도입 추진.

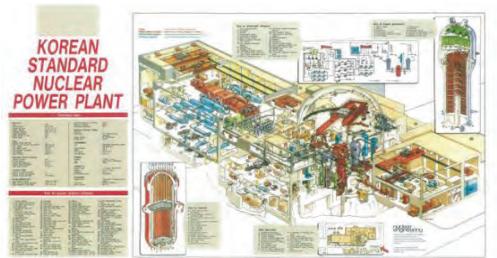
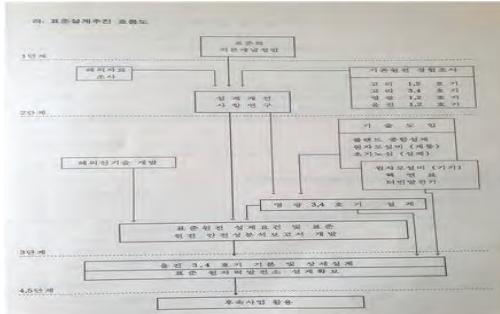
- ▷ NSSS 계통설계는 Reactor Engineering 분야, Fluid System Engineering 분야, Mechanical Design & Analysis 분야, Material & Chemistry Engineering 분야, Instrumentation & Controls(I&C) System Design & Component Design 분야, Safety Analysis 분야 포함
- ▷ 핵연료 및 노심 설계기술은 Nuclear Design & Core Follow 분야, Core Thermal & Hydraulic Design 분야, Fuel Rod Design 분야, Fuel Assembly Mechanical Design 분야, Fuel Materials Design 분야, Fuel Related Safety Analysis & Licensing 분야, Fuel Management 분야, Research & Development(R&D) On Fuel Materials Including Manufacturing Issues 분야 포함

○ 동시에 NSSS 기기설계, 제작 및 사업관리 기술은 두산에너빌리티가 기술도입 추진

- ▷ Reactor Vessel(RV), Reactor Internal(RI), Steam Generator(SG), Pressurizer, Control Element Drive Mechanism(CEDM), Reactor Coolant System(RCS) Piping, RCS Component Support 포함

KSNP 및 OPR1000 개발

- KSNP 개발

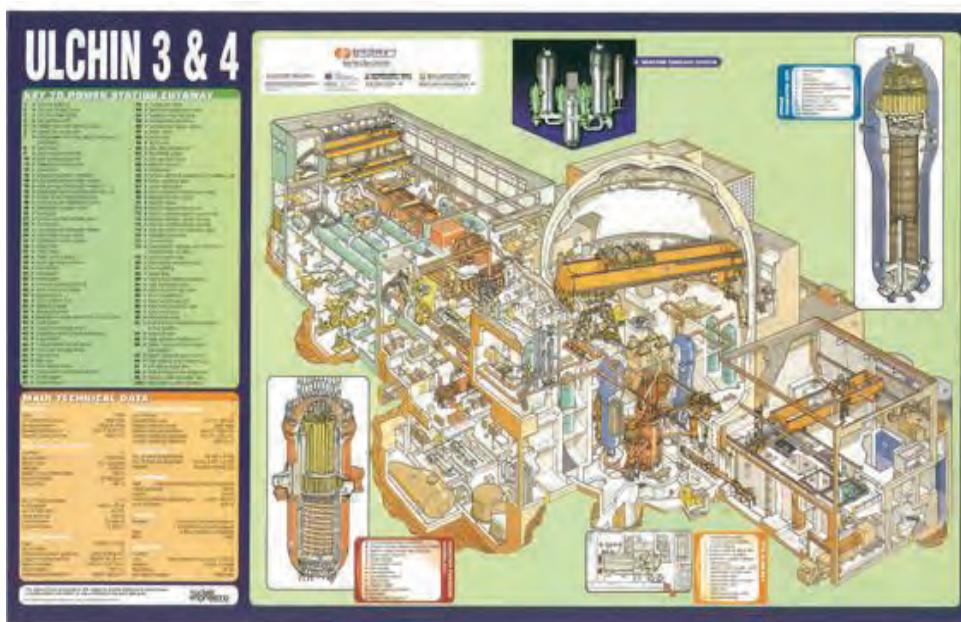


구분	당초 계획	변경 계획
표준화 내용 및 범위	노형 및 용량	기압경수로 900 MWe급을 기본으로 하고 기압중수로 600 MWe급을 보완적으로 고려
	주기기	주기기는 원전 설계와 별도로 한국산업 실정(제작 능력, 기자재 규격 등)에 맞도록 표준화 추진
	표준화 범위	원전 설계(발전소 배치/주요 계통 등) 표준화, 주기기(NSSS)의 선택적 수용이 가능
수행 일정	3단계	표준 원전 설계 요건 및 표준 원전 안전성분석보고서 개발(1988.4~1990.3)
	4단계	기본설계(한울 3, 4호기 사업으로 직접 추진)
	5단계	상세설계(한울 3, 4호기 사업으로 직접 추진)

11

KSNP 최초 호기(한울 3, 4호기) 건설

- KSNP 후속기로 한빛 5, 6호기, 한울 5, 6호기 및 KEDO 사업 수행



12

OPR1000 개발

○ OPR1000 개발은 안전성을 전제로 한 경제성 향상, 시공성과 운전 편이성 및 유지보수성 향상, 차립 기술에 기반한 원전 설계 고도화, 원전수출 기반 확충에 중점

○ 설계, 구매, 건설 및 운전 경험, 설계에 반영하여 설계개선 과제 도출

▷ 채택한 설계개선의 주요 특성: 건물 배치 최적화, 계통설계 최적화 및 국산화, 구조물설계 최적화, 건설 공기 단축

○ OPR1000 최초 호기(신고리 1, 2호기) 건설



13

차세대원자로 기술개발

○ 기술사용협정(LICENSE AGREEMENT, LA) 체결 배경 및 목적

▷ 1987년 6월 체결된 양 주체 간의 TTA계약이 1997년 6월에 만료됨에 따라 만료 이후에도 원전사업 수행을 위해 기존의 도입해 활용하고 있던 원전기술의 지속적인 사용권한 확보 및 1995년부터 국가적으로 신형원전인 APR1400(당시는 KNCR)을 개발하기로 함에 따라 CE로부터 신형원전설계인 System 80+ 기술에 대한 활용권한(실시권) 확보 필요

- 도입기술 활용, 공동 설계한 KSNP원전은 한울 3,4호기, 한빛 5,6호기와 한울 5,6호기 원전 건설 중
- 이를 개선한 OPR1000을 신고리 1,2호기와 신월성 1,2호기에 추가 건설 예정
- 한국 원자력산업계는 건설기술자립과 국내 원전 건설 경험을 바탕으로 중국, 베트남 등 해외에 원전수출 시도
(자유로운 해외진출과 협상 필요 - 확보 원전기술의 제약 없는 활용)

○ LA 체결 목적: 기존 TTA 만료 후에도 국내 원전사업 및 신형원전 개발의 원만한 추진과 향후 원활한 해외사업 추진 여건 조성

- 기존의 TTA 만료에 따른 제약조건 해소, 원활한 원전사업 추진 및 새로운 원전기술 도입을 통한 신형원전 자체 기술개발에 활용
- 해외 진출조건 개선, 제3국 기술이전 권리 확보 등 해외사업 추진기반 조성
- 본 협정 이후에는 어떠한 기술료도 지불하지 않고 제약이 없는 기술독립 추구

14

차세대원자로 기술개발(계속)

○ 기술사용협정(LICENSE AGREEMENT, LA) 체결 전략

- ▷ 확보 기술에 대하여 이 협정 기간인 1997년 6월부터 2007년 6월까지는 물론 협정 만료 이후에도 기술료 없이 사용하도록 하는 것
- ▷ 수출용 기술 이전 관련, 우리가 원전 사업을 통해 생산한 모든 기술문서에 대하여 해외고객이 사용할 수 있도록 제공할 수 있는 권리 확보
 - 도입 기술에 대한 저작권(COPYRIGHT)을 어떻게 해결하느냐가 문제
- ▷ 기술 독립을 위해, 기술고유화 및 자체 핵심기술 확보
 - 핵심기술 자체 개발한다는 방침 아래, 그 전략에 적합하도록 협약 체결

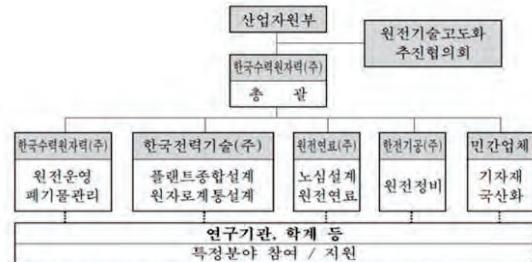
구 분	내 용	제한사항	전략 및 과정
도입 기술	기술 서류	저작권	협상으로 해결 <ul style="list-style-type: none"> - 자체 생산 기술문서에 대한 저작권 확보 - 수출통제 준수 조건 부과 및 미국 진출 제한은 수용(원천기술 사용 인정)
	미정부제한코드 /CE 코드	사용권, 저작권	자체 개발
미도입기술	RCP, MMIS	-	자체 개발

15

차세대원자로 기술개발(계속)

• 차세대 원전(APR1400) 개발

단 계	1단계	2단계	3단계
기 간	'92. 12 ~ '94. 12	'95. 3 ~ '99. 2	'99. 3 ~ '01. 12
내 용	노형선정 및 개념설계	기본설계 및 표준안전성분석 보고서 작성	설계최적화 표준설계인가
투 자	198억 원(실적)	1,529억 원(실적)	619억 원(계획)



주) 원전산업체 구조개편 이후에는 해당기능 보유기관에서 계속 추진

- 새울 1, 2호기 원전건설에 최초 적용
 - (이후 신한울 1, 2호기, 새울 3, 4호기, 신한울 3, 4호기 등 총 8기 건설, 새울 1, 2호기와 신한울 1, 2호기 이미 상업운전 중)
- 한국 최초 원전수출의 모델로 적용
 - (UAE의 바라카 원전 1, 2, 3, 4호기에 적용, 건설 완료 및 상업운전)
- NRC DC취득
- EU의 EUR 인증 심사 통과

구 분	OPR1000	차세대원전
설 비 용 량	1,000MWe	1,400MWe
설 계 수 명	40년	60년
설 계 기 준 범 위	설계기준사고+α	설계기준사고+중대사고
노 심 손 상 빈 도	$8.3 \times 10^{-6} / RY$	$2.4 \times 10^{-6} / RY$
안정성 강화설비		
-비상노심냉각	2 계열 저온관주입	4 계열 용기직접주입
-핵연료저장수조	격납건물 외부	격납건물 외부
-내진설계기준	0.2g	0.3g
가 동 률	87%	90%
작업자피폭선량	연간 150렘•인 미만	연간 100렘•인 미만
핵비등 여유도	8% 수준	10% 이상 수준
부하추종능력	단순 일일부하 추종운전	자동 일일부하 추종운전

16

기술고유화(2007-2017)와 원전수출

○ 원전기술발전방안(NU-TECH 2015/2012)

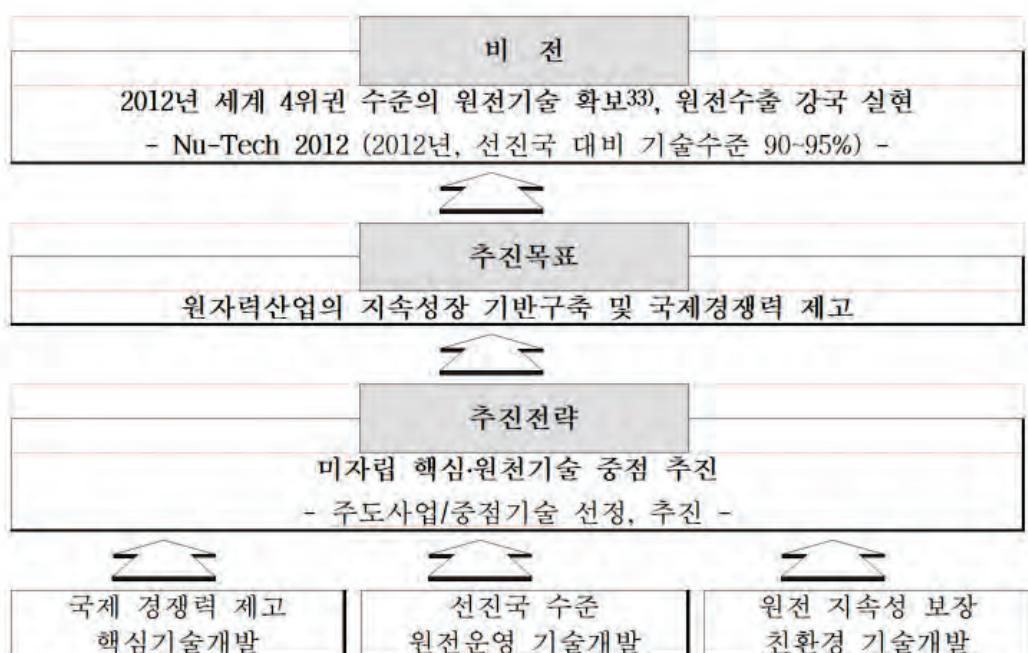
- ▷ RCP와 MMIS 뿐만 아니라, APR+(Advanced Power Reactor Plus) 기술 개발과
원전설계핵심코드 등의 핵심원천기술 개발을 통해 원전수출 제약요인 완전 해소 및, 원전수출의 신성장동력원 육성
- ▷ APR+는 원전 선진국과 대등하게, 또는 그 이상으로 안전성 및 경제성 대폭 향상
 - 원전수출 주력 노형으로 개발하여 APR1400과 OPR1000 등에도 적용 가능한 공통핵심기술과 1500MWE급 원전의
독자설계를 통한 고유기술 확보 가능
- ▷ 원전수출 핵심기술 개발(RCP/MMIS/코드)은 원전수출을 위해 필요 원천기술 개발
- ▷ APR1400의 수출시장 다변화를 위한 시장맞춤형 기술개발 포함
 - 세계 원전시장의 절반 이상 차지하는 유럽 기준 만족을 위한 기술개발 동시 추진

○ 원전기술 국가 로드맵(NU-TECH 2030)

- ▷ 2030년까지 세계 3대 원전 수출 강국으로 도약
 - 한국형 원전의 세계 경쟁력을 보완, 강화하기 위해 지속적인 기술 혁신
 - 일본 후쿠시마 원전사고로부터 배운 교훈 포함
 - 원전 장수명화와 원전 건설 공기 단축, 원전 안전성 향상 등 세계 최고 수준의 안전성, 경제성, 운전 성능을 갖춘
명품원전(PPP: PREMIUM POWER PLANT) 개발

17

원전기술발전방안(Nu-Tech 2015/2012) 비전 및 추진 목표



18

원전수출을 위한 노력

○ APR1400, 미국 원자력규제기관(NRC) 설계인가(DC) 취득

Issued Design Certification – Advanced Power Reactor 1400 (APR1400)

Who: Korea Electric Power Corporation (KEPCO) and Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd. (KHNP)

What: Application for Standard Design Certification for the Advanced Power Reactor 1400 (APR1400), a 4,000-MWe pressurized-water reactor (PWR).

When: KEPCO and KHNP submitted the Standard Design Certification Application on December 23, 2014. The staff of the U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) is currently performing a detailed review of that application.

Where: See our map showing locations of projected new nuclear power reactors.



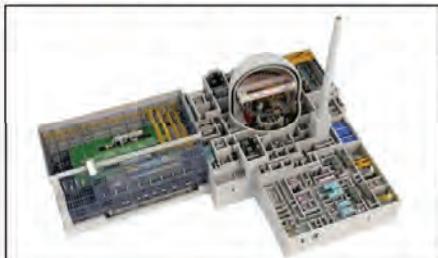
Appendix F to Part 52—Design Certification Rule for the APR1400 Design

○ 수출시장에서 APR1400 신뢰도 증가

설계/건설 비용 절감 및 건설기간 단축 가능

인허가 위험 현격하게 감소

○ EU-APR 개발 및 유럽사업자요건 인증(EUR CERTIFICATE) 취득



APR1400 EUR Certificate 취득

Korea Hydro & Nuclear Power's (KHNP's) APR1000 reactor design has been formally certified as compliant by the European Utility Requirements (EUR) organisation - a technical advisory group for European utilities on nuclear power plants. (02 March 2023, WNN)

○ 원전 수출시장 다각화

EUR 요구하는 유럽, 남아공, 이집트 등의 국가에 원전 수출 가능

원전수출을 위한 노력(계속)

○ 사업협력협정(BUSINESS COOPERATION AGREEMENT, BCA) 체결

- ▷ 한전과 UAE의 ENEC 간 Barakah 원전 공급계약 체결 후, 한전은 성공적인 Barakah 원전건설 및 추가 해외 원전사업을 위해, Westinghouse와 상호 협력 합의
- ▷ 협정 유효 기간: 2010년 3월 22일(협정 유효일)부터 2020년 3월 21일까지 10년간 현재 협정기간이 만료되어 효력 정지 상태

○ UAE 원전수출의 교훈

- ▷ 국가별 맞춤형 수출전략 구사
 - UAE와 같은 신규 원전도입국에 대해, 정부 간 협력을 통해 원전수출 지속 추진
 - 원전도입 기반이 취약한 국가에 대해, 인력 양성 등 지원체계 구축을 통한 원전도입 기반 조성
- ▷ 원전수출 우위 지속을 위한 핵심 원전 기술인력의 확보 및 유지
- ▷ 프리미엄 원전으로 업그레이드하기 위한 R&D 투자 지속 유지
- ▷ 우리나라의 약점인 안정적인 원전연료(우라늄)의 확보를 위해, 적극적인 관련국 외교와 함께 관련 사업체에 대한 지분인수도 추진
- ▷ 원전수출 관련 공급국가와의 상호 협력적인 외교관계와 사업 공동 참여 방안 강화
(특히, 미국과 긴밀한 관계 유지 필요)

독자기술 확보 방안

- 원전을 독자 수출하려면, 한빛3,4호기 원전건설 시에 함께 도입된 CE 기술이 우리나라가 독자개발한 원전기술에 사용되었다는 주장에 대해 타당한 반론 제시 필요

▷ 지적재산권(Intellectual Property Rights, IP)은 인간의 창조적 활동 또는 경험 등을 통해 창출하거나 발견한 지식·정보·기술이나 표현, 표시 그 밖에 무형적인 것으로서 재산적 가치가 실현될 수 있는 지적창작물에 부여된 재산에 관한 권리

- 국내법상, 지적재산권은 특허권, 실용신안권, 디자인권, 상표권과 같은 산업재산권과 저작권, 컴퓨터프로그램저작권, 반도체집적회로배치설계권, 영업비밀 등 포함

▷ 지적재산권 침해 분쟁 사례

- 저작권 분쟁 관련 IBM & 후지쓰(FUJITSU) CASE

- ◇ IBM의 OS SYSTEM/360과 후지쓰의 IBM 호환 메인프레임 M 시리즈 OS 간 분쟁

- ◇ IBM과 후지쓰 당사자들은 분쟁을 소송보다 협상 하기로 결정

- ◇ 후지쓰는 저작권 침해 관련, 유죄 불인정, 단 IBM에게 후지쓰 프로그램의 사용에 대한 일시불 지불 합의

- APPLE INC. V. SAMSUNG ELECTRONICS CO. IP 분쟁

- ◇ 디자인 특허와 관련된 케이스와 화면의 경우로 한정

- ◇ 삼성전자는 애플에 일부 배상금 지급하는 것으로 최종 합의

- 시사점

- ◇ 서로 경쟁상대가 되었을 경우, 유사 내용에 대한 침해 소송 제기

- ◇ 타사 기술과의 호환성 유지는 기술 종속 가능성 내재(분쟁의 대상)

- ◇ 유사 기술 독자 개발의 경우, 고유하고 우월적인 기능이 없는 기술의 유사한 기능 제공 시, 이전된 기술 활용 파생기술로 평가

- ◇ 유사 기술에 대한 친제권 침해 소송 제기 시, 침해한 측이 패소

21

독자기술 확보 방안(계속)

- 원전을 독자 수출하려면, 한빛3,4호기 원전건설 시에 함께 도입된 CE 기술이 우리나라가 독자개발한 원전기술에 사용되었다는 주장에 대해 타당한 반론 제시 필요(계속)

▷ CE기술의 영구 사용권에 대한 기술료 지불 완료

- 도입기술 관련, 자체생산 기술문서에 대한 저작권 확보

- 수출통제 준수 조건 부과 및 미국 진출 제한은 수용(원천기술 사용 인정)

▷ Westinghouse는 지재권 소송 불가 - LA 내용에 명시

▷ 수출통제는 Westinghouse를 통해서만 가능하다는 주장에 대한 반론

- 미 수출통제는 미국 국적인 자(개인 또는 법인)에 한하여 제출 의무 발생

- 한수원과 WESTINGHOUSE는 경쟁사 관계임.

- 기술 이전의 필요 시, 한수원은 우선 WESTINGHOUSE를 통해 수출허가 신청 필요

- 수출허가 신청이 미 정부에 전달되지 못하는 경우, 미국 국적인 자를 통해 이의 신청 제기

- 한국 정부와 미국 정부간 사전 협의 필요

- 미국법 FEDERAL TRADE COMMISSION ACT와 ANTI-TRUSTY LAW에 따라, 경쟁사가 고의로 수출 허가 신청을 지연시키는 행위는 충분히 불-公正 행위로 간주됨.

- 한국형 원전 개발과정 홍보 필요

- 우리나라 원전의 개발은 정부의 정책적 의지와 산학연의 일치된 노력으로 달성된 것으로 평가

- 한국의 원전수출 경쟁력

- ◇ 국제적으로 기술성 및 경제성이 입증된 노령 보유

- ◇ 지속적 신규원전 건설로 세계 최고수준의 건설 및 운영 역량과 더불어 인정적인 공급망 유지

22

독자기술 확보 방안(계속)

- 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

23

한국 원전수출 전략

• 한국 원전수출 SWOT 분석

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

24

○ 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 흥
- ▷ 금융조달 능력 등 약점 보완
- ▷ 강화된 통합역량의 우수성 전파
- ▷ 선진 원전공급국(특히 미국)과의 전략적 제휴를 통한 선택과 집중 전략 구사

독자 수출의 한계

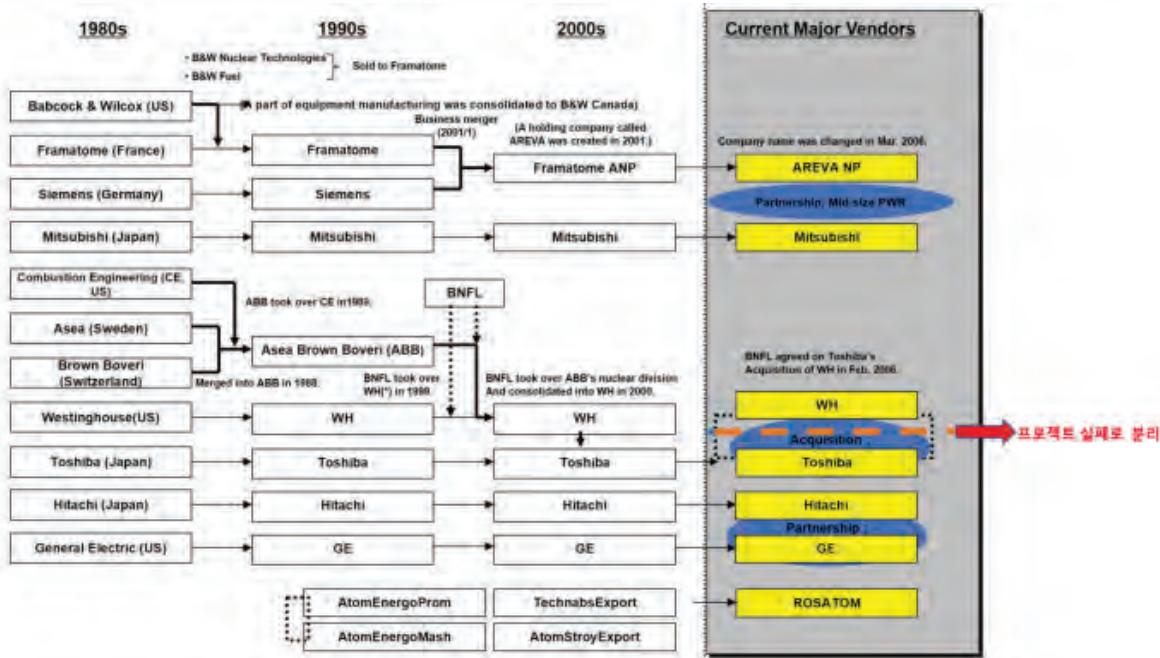
○ 아직 우리나라는 농축과 재처리를 하지 않는다는 자발적 비핵화 선언에 따라 해당 기술의 기술이전 불가능

○ 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

원자력 선진기업들의 인수합병(M&A) 현황



27

향후 계획

28

- 원전산업 발전 전략 수립 현황 조사·분석(사용후 핵연료 분야 제외 완료)
 - ▷ 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 (하반기 추진)
- 2050 탄소중립 실현을 위한 주요 원전산업 기술개발 방안 수립(하반기 추진)
 - ▷ 대형 원전 기술개발 전략 방안 제시 (전문가 그룹 1)
 - ▷ 다양성, 민간 참여를 고려한 SMR 기술개발 방안 제시(전문가 그룹 2)
- 원전수출, 사용후핵연료 관리 등 원전산업 발전 전략 제시(전문가 그룹 1,2,3)
 - ▷ 원전수출 본격화 대비 수출 전략 방안 검토 및 원전산업 민간 참여 활성화 방안 제시
 - ▷ 현행 사용후핵연료 관리 기본계획 개선 방안 검토(전문가 그룹 3)
- 한미동맹 강화 등 국제협력 방안 검토(전문가 그룹 4)
 - ▷ 한미동맹 강화를 통한 수출 증대 방안
 - ▷ 수출 저변 확대를 위한 원전 도입국과의 국제협력 방안

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

원전부지확보 관련 이슈와 해결방안

박석빈

2024. 9. 24.

서울대학교 원자력정책센터

h107626@snu.ac.kr

서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

NIFTEP
서울대학교 원자력에너지기술정책연구소

필요성 및 배경

1차 연도 연구 결과

- 원전의 건설 및 운영 사업은 최고 수준의 인력, 기술, 그리고 약 100만 개의 많은 기기와 부품이 필요한 거대 산업
- 원전의 안전한 운영을 위해서는 숙련된 기술자 및 엄격한 품질 관리 요건에 부합하도록 신뢰성을 갖춘 원전 부품을 지속적으로 공급받을 수 있는 공급처 확보가 필수
- 원전의 핵심부품인 원자로 제작에는 상당히 복잡하고 정교한 고종량의 대규모 단조품이 필요하고, 이런 원자로를 설계, 제작, 공급할 수 있는 공급자는 우리나라를 포함하여 전 세계적으로 매우 한정
- 원전건설 사업의 성공을 담보하기 위해서는 원자로 외에도 수많은 부품들의 원활한 적기 조달이 필수적 요건
- 이러한 원전산업 생태계를 활성화하려면, 현재 최고의 경쟁력을 가지고 있는 대형원전의 지속적인 건설 필요
- 약 3년 주기의 신규 원전건설이 바람직한 것으로 확인



따라서, 지속적인 원전건설을 위해서 원전부지의 확보에 문제점들이 없는지 조사 및 분석 필요

- 확인된 문제점들을 해결하는 방안 도출

적기 해소해야 지속적인 원전건설을 통한 원자산업 생태계 활성화 가능

우리나라의 원전부지확보와 관련된 이슈들에 대해 조사 및 분석하여 해결방안 제시

- 이러한 이슈들에 기술적 이슈들과 지역적, 사회적인 이슈들이 함께 혼재해 있는 것으로 추정되며, 해외의 사례들의 조사를 병행하여 타산지석으로 고려



원전 부지 확보 관련 이슈 정리

이슈 1: 부지확보의 어려움

지리적 제약 요인 고려 부지 선정: 부지는 지진, 홍수 및 기타 자연재해의 위험 최소화 필요. 부지 선정에 대한 지역 사회의 의견 수렴 및 적극적인 대화를 통해 사회적 지지 확보 필요

이슈 2: 환경 영향

환경영향평가 실시 후, 결과 공개하여 환경 문제에 대한 투명성 유지 필요. 가능한 한 친환경 기술과 방법 채택하여 환경 영향 최소화 방안 제시

- ▷ 지진 및 지질 조건: 지진 활동 및 지질 조건을 고려하여 지진의 가능성과 토지 안정성 평가
- ▷ 물 공급 및 냉각 수원: 주변의 수원 자원과 지역 기후 조건을 고려하여, 충분한 물 공급 확보 및 냉각을 위한 수원 보유 필요.
- ▷ 인구 밀도 및 주민 이동성: 주변 지역의 인구 밀도와 주민 이동성 평가 필요

이슈 3: 안전 및 보안 / 에너지 공급 안정성 / 방사성폐기물 관리

원전 건설 시, 함께 포함되어야 하는 부지 관리

1. NS-R-3 "Site Evaluation for Nuclear Installations": <ul style="list-style-type: none">원전 부지의 평가에 대한 포괄적인 접근 방식 제공부지 선정과 관련된 기술적 요소와 안전성 평가에 중점지질학적, 기상학적, 수문학적 조건 뿐만 아니라 인구학적 요소와 사이트 주변의 환경 영향도 고려	2. SSR-1 "Safety of Nuclear Power Plants: Design": <ul style="list-style-type: none">설계 안전성 기준으로, 부지 특성이 원전 설계에 어떻게 반영되어야 하는지에 대한 지침 제공자연재해나 인간이 유발한 사건으로부터 원전을 보호하기 위한 설계 기준 포함	3. SSR-2/1 "Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation": <ul style="list-style-type: none">원전의 운영과 관련된 안전 기준 제시부지 조건이 운영 중 안전성에 미치는 영향 평가
4. GS-G-1.1 "Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations": <ul style="list-style-type: none">지진 위험 평가와 관련된 구체적인 지침 제공지진이 원전 부지 선정과 설계에 미치는 영향 평가 방법론 제시	5. NS-G-3.2 "Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation for Nuclear Power Plants": <ul style="list-style-type: none">원전 사고 시 방사성 물질의 확산 평가인구 분포 고려 부지 선정 기준	

EPZ 최소화 검토

- SMR과 같은 첨단 원자력 기술의 개발은 비상계획구역(EMERGENCY PREPAREDNESS ZONE, EPZ)을 최소화할 수 있음.
- 해당 기술은 고급 안전 기능 내재 안전 설계를 통해, 사고 발생 시 방사성 물질의 방출 가능성을 획기적으로 줄이는 것이 목표
- 기존의 대형원전에 비해 축소된 EPZ 가능, 이론적으로는 원전 부지 내로 EPZ 제한 가능

가장 최소화된 EPZ를 가진 SMR 예시

- NUSCALE POWER: NUSCALE의 SMR 설계는 고유의 안전 특성 보유, USNRC로부터 설계 인증 획득
 - 원전 부지 내, 방사선 방출 제한 가능하다는 분석 자료, 규제 기관 제출, NUSCALE EPZ의 원전 부지경계로 제한 가능
 - SAFETY EVALUATION FOR NUSCALE TOPICAL REPORT, TR-0915-17772, "METHODOLOGY FOR ESTABLISHING THE TECHNICAL BASIS FOR PLUME EXPOSURE EMERGENCY PLANNING ZONES AT NUSCALE SMALL MODULAR REACTOR PLANT SITES," REVISION 3
 - 원전 부지의 최종 EPZ의 크기와 범위는 특정 NUSCALE SMR 부지에 대한 NRC의 최종 승인 과정에서 결정
- NUSCALE 설비의 공공 열 이용자, 사업체나 주택 등의 활용 시설 근접에 배치 가능
- 비상계획 소요 비용 크게 절감





규제 승인:

EPZ를 줄이기 위한 모든 노력은, 각 국가의 규제 기관이 안전성 평가와 공공 보호 기준에 대한 자체적인 접근 방식을 가지고 있기에, 해당 국가의 원자력 규제 기관의 승인 필요.



공공의 신뢰와 수용성

원전 시설, 특히 인구 밀집 지역 근처에 있는 원전 시설에 대한 공공의 신뢰와 수용성은 중요한 고려 사항이기에, EPZ의 크기를 줄이는 것은 기술적인 검증 뿐만 아니라, 공공과의 두명한 소통과 참여가 필요.



비상 대응 계획:

비상 대응 계획은 여전히 필요하며, 사고 시 대응을 위해 지역 사회, 지방 정부 및 비상 대응 기관과의 협력 중요.

1. 특수한 운영 환경: 원자력 항공모함은 이동성이 요구되며, 종종 공해상에서 활동

이러한 환경은 고정된 민간 원전 시설과는 다른 운영 및 안전 요구 사항 존재.

2. 군사적 요구 사항: 군사적 목적의 원자력 항공모함은 전략적 유연성, 신속한 대응 능력, 및 군사 작전 수행 능력 항시 유지 필요

해당 요구 사항은 민간 원자력 시설의 운영 목적과 구별되는 요인.

3. 군사 규제 및 프로토콜: 원자력 항공모함은 국가의 군사 규제 및 프로토콜에 따라 운영

- 비 공개 원칙
- 해당 규제는 민간 원자력 규제 기관의 규제와 차이
- 군사 작전의 안전성과 효율성 보장에 초점

4. 안전 및 보안 조치: 군사용 원자력 시설은 높은 수준의 보안과 함께 엄격한 안전 조치 시행

· 민간 시설의 안전 기준과 다르게 적용 가능, 때로는 더 엄격

군사적 목적상 EPZ의 "완화"라기보다는 군사적 요구와 작전 환경에 적합한
안전 및 대응 기준의 "적용"이라고 이해하는 것이 적절

- EPZ 설정은 주관적 판단만을 기반으로 하는 것이 아니라, 객관적이고 과학적인 데이터, 분석, 그리고 안전 기준을 근거로 함.
- 해당 분석과 판단 과정을 통해, EPZ 설정은 과학적 근거와 체계적인 접근 방식을 기반으로 하며, 주관적 판단보다는 객관적이고 신뢰할 수 있는 데이터와 분석에 의존
- 그러나 모든 안전 관련 결정과 마찬가지로, EPZ 설정에는 전문가의 판단과 평가가 포함되며, 때로는 불확실성을 관리하고 최선의 대응 전략을 선택하는 과정에서 주관적 요소가 일부 포함 가능
- 원자력 관련 중대 사고의 발생 가능성이 극히 낮은 원자로의 경우, EPZ 최소화 가능
 - 고도 안전 설계, 고급 안전 기술 적용, 엄격한 운영 프로토콜 및 사고 방지 시스템 등을 통해 달성 가능
 - 그런데도, 원자력 시설에서 사고 발생 가능성을 완전히 배제할 수는 없다고 주관적인 결정을 한 상황이므로, 원자력 시설의 설계와 운영에 있어 안전성을 최대화하고, 사고 발생 시 피해를 최소화할 수 있는 충분한 예방 조치와 대응 계획이 항상 필요

- EPZ 설정은 주관적 판단만을 기반으로 하는 것이 아니라, 객관적이고 과학적인 데이터, 분석, 그리고 안전 기준을 근거로 함.
- 해당 분석과 판단 과정을 통해, EPZ 설정은 과학적 근거와 체계적인 접근 방식을 기반으로 하며, 주관적 판단보다는 객관적이고 신뢰할 수 있는 데이터와 분석에 의존
- 그러나 모든 안전 관련 결정과 마찬가지로, EPZ 설정에는 전문가의 판단과 평가가 포함되며, 때로는 불확실성을 관리하고 최선의 대응 전략을 선택하는 과정에서 주관적 요소가 일부 포함 가능
- 원자력 관련 중대 사고의 발생 가능성이 극히 낮은 원자로의 경우, EPZ 최소화 가능
 - 고도 안전 설계, 고급 안전 기술 적용, 엄격한 운영 프로토콜 및 사고 방지 시스템 등을 통해 달성 가능
 - 그런데도, 원자력 시설에서 사고 발생 가능성을 완전히 배제할 수는 없다고 주관적인 결정을 한 상황이므로, 원자력 시설의 설계와 운영에 있어 안전성을 최대화하고, 사고 발생 시 피해를 최소화할 수 있는 충분한 예방 조치와 대응 계획이 항상 필요
- 소행성 충돌과 원자력 시설의 중대사고 발생 확률을 비교할 때 고려해야 할 중요한 점은 두 사건의 본질적 차이와 인류가 대응할 수 있는 능력
 - 소행성 충돌은 매우 낮은 확률의 사건이지만, 그 영향은 지구 전체 또는 광범위한 지역에 걸친 재앙
 - 반면, 원자력 시설의 중대 사고는 비록 발생 확률이 낮더라도, 발생 시 그 영향이 지역적으로 제한되고, 사전에 준비와 대응을 할 수 있는 사건으로 고려
 - 실제로 국제적 차원에서는 소행성 충돌 위험에 대비한 노력이 이루어지고 있다. 예를 들어, NASA의 PLANETARY DEFENSE COORDINATION OFFICE는 지구에 접근할 수 있는 NEO를 추적하고, 잠재적 충돌 위험을 평가하는 작업을 수행
 - 기술적 제한과 자연재해의 불확실성으로 인해 완전 대비 불가

- 예측/제어 가능 원자력 시설의 위험을 관리하기 위한 실용적이고 책임 있는 접근 방식으로 윤리적으로 결정된 사안
- 인간이 조치할 수 있는 한 조치해야 한다는 윤리적 예방 및 대응 조치의 일부
- 소행성 충돌과 같은 극히 낮은 확률의 불가항력적인 자연재해와는 다른 맥락에서 이해 필요
- 위험 관리와 안전 기준 설정에 있어서 '어느 정도까지 관리해야 하는가?'
- 리스크 평가, 공중 보건, 안전 기준, 사회적 수용성 등 여러 요소 고려 결정 필요
- 원자력 시설의 중대사고 발생 확률이 극히 낮다 하더라도, 잠재적 영향의 심각성 고려 필요

. 리스크 관리의 원칙:

- ALARA: 리스크를 합리적으로 달성 가능한 가장 낮은 수준까지 줄이는 것을 목표로 하며, 비용, 기술적 가능성, 사회적 요구 고려 결정.
- 예방 원칙: 잠재적 위험이 크지만 발생 확률이 낮은 사건에 대해, 사전 예방 조치를 취하는 것이 중요하다는 윤리적 판단
 사회적, 경제적 비용과 잠재적 피해 비교 조치 결정.

1. 원자력 시설의 중대사고 발생 확률이 소행성 충돌 확률보다 작다 할지라도, 사고 발생 시의 잠재적 영향과 사전에 대응할 수 있는 능력을 고려하여, EPZ 설정과 같은 안전 조치 필요

2. 리스크 관리는, 사회적 수용성, 공중 보건 보호, 그리고 가능한 최선의 예방 조치를 구현하는 것을 목표로 해야 한다는 윤리적 근거하에 결정

· 발생 확률 뿐만 아니라, 사건의 잠재적 영향과 대응 가능성을 모두 고려하여 종합적으로 조치 결정.

· EPZ의 원자로 경계로 제한하려면, 원자로의 설계와 운영이 극도로 높은 안전성 확보 필요

· (사고로 인한 방사선 누출 가능성을 사실상 제로에 가깝게 만들어야 함을 의미)

1.. 내재 안전성: 원자로는 내재 안전성 보유 필수.

2. 피동 안전 시스템: 원자로는 외부 전원이나 인간의 개입 없이도 안전하게 운영될 수 있는 피동 안전 시스템 포함 필수

3. 디중 방호: 방사성 물질을 안전하게 격리하기 위해 디중 보호장벽 구현 필수

4. 고장 허용 설계: 원자로는 고장 허용 설계 원칙에 따라 제작 필요

5. 엄격한 운영 및 유지보수 프로토콜: 원자로 운영진은 엄격한 훈련을 받아야 하며, 정기적 유지보수/검사

6. 심층 방어: 사고를 예방하고, 발생할 경우 영향을 최소화하기 위해 다양한 안전 층위를 포함하는 심층 방어 전략 채택

상기 요건들은 현재의 원자력 기술과 미래의 혁신적인 원자로 설계에서 시현 가능

따라서 EPZ를 원자로 경계로 제한한다는 것은 기술적으로 달성 가능 목표

원자로의 모든 측면에서 최고 수준의 안전성 확보 필수

규제 기관과 공중의 안전에 대한 기대치 충족 필요

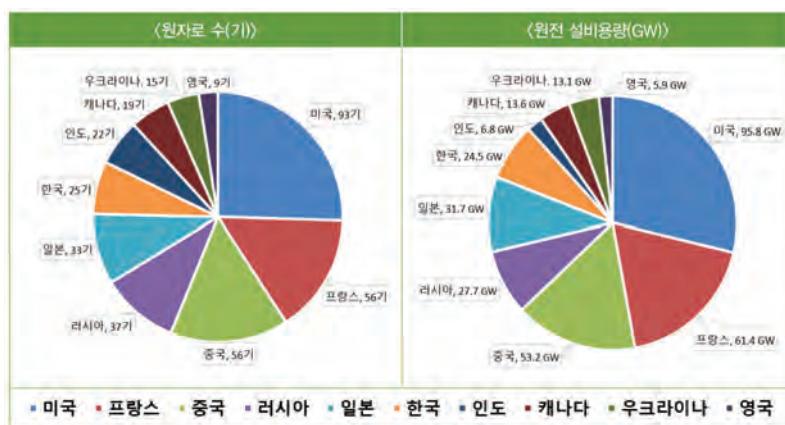
> 광범위한 검증, 시뮬레이션, 및 안전 평가 필요.

세계 원전부지 확보 현황 조사 및 시사점

13

세계 원전 운영 현황

- 2023년 4월 19일 기준, 전 세계 32개 국가에서 436기의 원자로가 운영 중
 - 총 설비용량 390.2GW
 - 지역별로, 극동아시아가 116기, 북미 112기, 서유럽 93기, 중앙&동유럽 74기, 중동 및 남아시아 32기, 남미 7기, 아프리카 2기 운영 중
 - 노형별로, PWR 306기, BWR 60기, PHWR 47기, LWGR 11기, GCR 8기, FBR 3기, HTGR 1기 운영 중
 - 국가별로, 미국 93기(95.8GW), 프랑스 56기(61.4GW), 중국 56기(53.2GW), 러시아 37기(27.7GW), 일본 33기(31.7GW), 한국 25기(24.5GW) 순



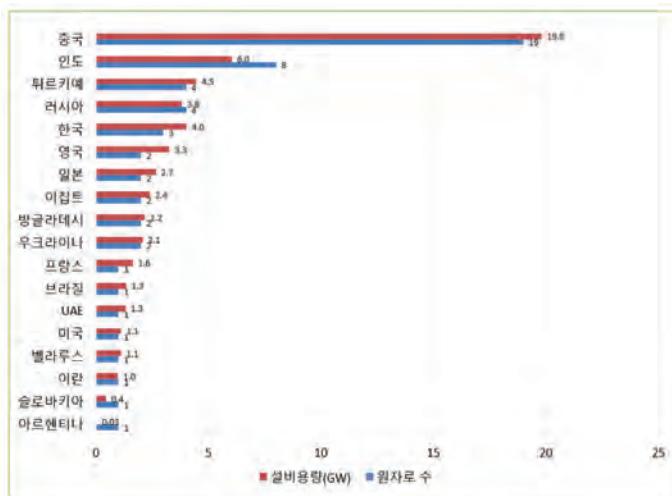
14

세계 원전 건설 현황

- 2023년 4월 19일 기준, 전 세계 18개 국가에서 56기의 원자로가 건설 중

➢ 총 설비용량 58.6GW

➢ 중국 19기(19.8GW), 인도 8기(6.0GW), 터키 4기(4.5GW), 러시아 4기(3.8GW), 한국 3기(4.0GW)



구분	국가	원자로 설비용량	설비용량		원자로 설비용량	원자로 설비용량	원자로 설비용량
			설비용량	원자로 수			
미국	93	96,835	1	1,117	41	19,976	
태평소	56	61,393	1	1,630	14	5,549	
중국	92	82,001	10	18,901			
리사리	37	27,727	4	3,809	10	3,967	
일본	33	31,679	2	2,663	27	17,119	
한국	25	24,489	3	4,020	2	1,237	
인도	22	6,798	8	6,028			
카타르	19	6,798			4	2,142	
우크라이나	15	13,107	2	2,070	4	3,615	
영국	9	5,883	2	3,260	36	7,756	
스페인	7	7,123			3	1,067	
스웨덴	6	6,937			7	4,064	
체코	6	3,934					
파라과이	6	3,265			1	90	
핀란드	5	3,258			3	2,054	
만민드	5	4,394					
슬로바키아	5	2,308	1	440	3	909	
스위스	4	2,973			2	379	
헝가리	4	1,916					
아르헨티나	3	1,691	1	25			
나이지	3	4,019	1	1,310			
대만	2	1,874			4	3,178	
불가리아	2	2,006			4	1,632	
브라질	2	1,884	1	1,340			
남아프리카공화국	2	1,884					
멕시코	2	1,522					
리마니아	2	1,300					
엘살부르	1	1,110	1	1,110			
이란	1	915	1	974			
슬로베니아	1	668					
네덜란드	1	482			1	55	
아르헨티나	1	416			1	376	
신규 원전 건설 국가			4	4,456			
발달국가			2	2,160			
미국			2	2,386			
미국					33	26,236	
미국					2	2,370	
미국					1	52	
미국			436	350,220	56	58,695	209
미국							105,095

15

전세계 신규 부지 확보 현황



2023년 3월 1일, 미국 화학기업인 Dow는 고온가스로를 개발 중인 X-energy와 Gulf Coast에 위치한 부지 한 곳에서 Xe100(80MW) 4기의 개발 및 실증을 위한 공동개발 협약(Joint Development Agreement, JDA) 체결



2023년 1월 9일, TerraPower는 소듐냉각 고속로 Natrium의 신규 건설 부지로 West Virginia주 Glasgow에 있는 폐쇄된 석탄화력발전소 고려 중, Wyoming주 Kemmerer시에 위치한 석탄화력발전소 대체 또한 추진 중



2023 1월 27일, 캐나다 OPG가 Darlington 원전 부지 인근에 GEH의 BWRX-300 건설 계약 체결



터키, 지중해 동부 연안 Mersin 주에서 러시아 VVER-1200 1~4호기로 구성된 Akkuyu 원전 (총 4,456MW, PWR) 건설 중
(총 4,456MW, PWR) 건설 중



이집트, 2017년 12월 이집트 북부에 VVER-1200 총 4 기로 구성된 El Dabba 원전(총 4,800MW) 건설 중



2023년 4월, 인도 정부, 4개 주(Kaiga, Gorakhpur, Chutka: 각 2기씩 건설, Mahi Banswara: 4기 건설)에 각 700MW 규모 원자로 10기 건설 승인

인도정부, Westinghouse와 협력 통한 Kovvda 부지에 원전 6기 도입 논의

16

전세계 신규 부지 확보 현황(계속)



2022년 6월, 카자흐스탄 정부, 첫 번째 신규 원전 건설 부지로 동남부에 위치한 Almaty 지역 Balkhash 호수 부근의 Ulken 지구 선정

2022년 8월, 카자흐스탄 정부, 두 번째 신규 원전 건설 부지 후보지로 동북부에 위치한 러시아 접경지역인 Irtysh 강 유역의 Kurchatov 지역을 후보지로 발표



2011년, 영국 정부, 2025년 말까지 신규 원자로 건설을 위한 8개의 부지
(Bradwell, Hartlepool, Heysham, Hinkley Point, Oldbury, Sizewell, Sellafield, Wylfa) 확정



2022년 11월, Rolls-Royce SMR은 자사 SMR 보급을 위해 원자력 해체청(NDA) 소유의 4개 후보 부지 선정
후보 부지 중 2개 부지는 Trawsfynydd 및 Sellafield 지역 인근에 위치하며,
나머지 2개는 NDA가 제3자(Horizon Nuclear Power)에 임대한 Wylfa 및 Oldbury 부지



프랑스 정부, 2027년 5월 이전 EPR2 2기 착공 및 2035~2036년 가동 목표로, Penly 원전, Gravelines 원전, Tricastin 또는 Bugey 원전에 각각 2기 건설 계획



2021년 9월, Rosatom, 1970년대에 건설된 기존 원전을 2035년까지 신규 원자로 15기
(각 1200MW, 3세대+)로 대체 계획 발표 – 기존 원전 부지 활용

17

전세계 신규 부지 확보 현황(계속)



2023년 2월, Rosatom, 2045년까지 373TWh 규모의 신규 원전 29기 건설(2035년까지 12기 및 2045년까지 17기 추가 건설 완료) 계획 발표

- ▷ BREST-OD-300(납냉각고속로): 사용후핵연료의 재처리를 목표로 하는 Proryv 프로젝트의 일환으로 시범실증전력단지(ODEK) 건설 중, 고속로용 우라늄-플루토늄 질화물 연료 제조 시설, BREST-OD-300 원자로, 사용후핵연료 재처리 시설로 구성, 2026년 완공 목표, 액체상태 납냉각제 사용 세계 최초의 원전으로 전망
- ▷ Kursk-II 원전 (기존 원전 대체): VVER-T01노형 적용, 현재 설계 수명에 도달하는 Kursk 원전의 RBMK (흑연감속 비등경수 압력관형 원자로) 3기 대체용 건설 중
- ▷ Baltic 원전: 2021년 7월, Rosatom, 현재 건설 중단인 Baltic 원전 프로젝트 재추진 입장 표명



스웨덴 전력회사 Vattenfall은 향후 전력 수요 급증에 대비해 Ringhals 원전 인근에 SMR 최소 2기 건설 용 타당성 조사 2022년 6월 시작 및 SMR 공급업체와 논의 진행 중.

체코, Dukovany 원전부지에 최대 2기(각 1000MW급) 건설 추진

- ▷ 2022년 3월, 체코 국영기업 ČEZ은 자국 최초 SMR 건설을 위해 Temelin 원전 부지 중 일부 할당 계획 발표
- ▷ 2023년 2월 27일, Dětmarovice와 Tušimice 석탄발전소 두 곳도 우선 건설 후보지로 지정
 - Dětmarovice 석탄발전소는 폴란드와 접한 국경에 인접하여 800MW의 발전설비를 활용해 지역난방 공급 중.
 - Tušimice 석탄발전소는 보헤미안 주 북쪽에 위치하며 2007년~2012년 동안 설비 개선 공사를 거쳐 800MW 설비 운영 중.
 - 2023년 기말까지 추가 조사와 모니터링을 지속할 계획이며 인허가 신청까지 3~5년 소요

18

전세계 신규 부지 확보 현황(계속)

2022년 10월, 폴란드 정부는 Lubiatowo-Kopalino 지역에 자국 최초 원전 건설

- ▷ 사업자로 미국 Westinghouse 선정
- ▷ Westinghouse의 AP1000 PWR 3기 건설 예정
- ▷ 2022년 10월 31일, 폴란드 국영 전력공사 PGE/민간 발전사 ZE PAK/한수원은 Patnow 지역 내 석탄 발전소 부지에 APR1400 노형 기반의 두 번째 원전 건설 협력의향서 체결
 - 2023년 11월 한수원은 Patnow 부지에 대한 지질공학, 내진, 환경조건 분석 등 부지조사 착수
- ▷ 2023년 4월, 폴란드 정유·화학 대기업 PKN Orlen은 26개 후보지역 발표, 2028년 최초호기 착공,
2038년까지 26개 지역에 76기 SMR 건설 전망

2023년 1월, Nuclearelectrica의 자회사인 RoPower Nuclear과 미국 NuScale Power는 NuScale의 VOYGR SMR(462MW, 총 6기 모듈) 활용 FEED 중 1단계 계약 체결

- ▷ 약 8개월 동안 대상 부지인 Doicești의 지표지질조사·환경영향평가 관련 하도급 계약서 발급, SMR 표준설계 개발을 위해 현장별 요구되는 사항 평가, 단계별 비용 전망 도출 등 진행 예정.

네덜란드, 기존 Borssele 원전부지에 2035년까지 원전 2기 신규건설원전(1,000~1,650MW, LWR) 추진

2023년 1월, 불가리아 정부, 2027년과 2029년까지 가동되는 Kozloduy 5-6호기의 영구정지로 발생할 전력손실을 사전에 대비하기 위해 Belene 1. 2호기 신규 건설 및 Kozloduy 부지의 7-8호기 증설 계획 발표

19

해외 원전 부지 현황 조사에서 확인된 시사점

전세계적인 탄소중립 달성을 노력에 더해 러시아-우크라이나 전쟁으로 촉발된 에너지 위기로
저탄소 전원으로써 원전 활용에 대한 관심이 전쟁 이전보다 높아졌으며, 이는 몇몇 국가에서
신규원전추진으로 반영

- ▷ 신규 부지 확보에 최선을 다하는 여러 국가 확인됨
- ▷ 기존 발전소 부지에 신규 원전건설을 추진하는 국가들이 상당수
- ▷ SMR 부지에 대한 거부감은 매우 적은 것으로 평가



20

원전부지 확보 관련 이슈 파악 및 방안 제시

21

원전 부지 확보 절차 – 실시계획 승인

• 실시계획의 승인은 원전 건설 관련 부서의 일괄처리 지원

➤ - 실시계획 승인: 전원개발촉진법 제5조에 근거, 산업통상자원부 장관 승인

구 분	내 용	근거규정	비 고
전원개발 사업예정 구역지정 고시	<ul style="list-style-type: none"> -지정신청 (전기사업자→산업부) -관계 중앙행정기관 협의 (산업부→12개 중앙부처) -전원개발사업추진위원회 심의 (위원장: 산업부 차관, 위원: 12개 중앙부처 국장급) -지정 -지정내용 고시 	<ul style="list-style-type: none"> <전원개발촉진법> ·제11조 제1항 ·제11조 제3항 ·제11조 제3항 ·제11조 제1항 ·제11조 제2항 	<ul style="list-style-type: none"> 원전건설 입지 사진확보 시에 필요하므로 이미 획보하여 추가 불필요
환경영향 평가	<ul style="list-style-type: none"> -평가서 초안 작성 제출 (사업자→산업부, 환경부, 해당 지자체, 지방환경청) -주민의견 수렴 -공고 및 공람: 사업자→주민 -공청회: 시장·군수 개최통지→사 업자 개최→주민 -환경영향평가 협의 (사업자→산업부→환경부) -협의 내용 통보 (환경부→산업부→사업자) 	<ul style="list-style-type: none"> <환경영향평가법> ·제12조 제13조 제3절(제16~21조) 	<ul style="list-style-type: none"> 대상: 제9조3항 에너지 개발에 관한 계획

구 분	내 용	근거규정	비 고
전원개발 사업 실시계획 승인·고시	<ul style="list-style-type: none"> -실시계획 승인 신청 (전기사업자→산업부) -전원설비개요, 사업구역 위치면적, 사업시행기간, 소요자금 조달, 공공시설설치, 국토자연환경보전, 지적도, 위치도, 토지명세 -지방자치단체 의견조회 (산업부→해당 지방자치단체) -관계 중앙행정기관 협의 (산업부→12개 중앙부처) -전원개발사업추진위원회 심의 (위원장: 산업부 차관, 위원: 12개 중앙부처 국장급) -승인 -승인내용 고시 	<ul style="list-style-type: none"> <전원개발촉진법> ·제5조 제1~3항 ·제5조 제4항 ·제5조 제4항 ·제5조 제4항 ·제5조 제1~2항 ·제5조 제5항 	<ul style="list-style-type: none"> 선택제도 (의무절차 아님)
전기사업 허가	-전기사업 허가	<ul style="list-style-type: none"> <전기사업법> ·제7조 	기획특
전기설비 공사계획 인가	<ul style="list-style-type: none"> -공사계획 인가 (전기사업자 신청→산업부 인가) - 1만kW이상 발전설비 - 200kV이상 송·변전설비 	<ul style="list-style-type: none"> <전기사업법> ·제61조 제1항 	

22

원전 부지 확보 절차 – 실시계획 승인

- 환경부가 주관하는 환경영향 평가는 <환경영향평가법> 32조에서 **대통령령이 정하는 기간 이내**라고 규정하고 해당 대통령령 28조에는 **5년으로 규정**하고 있어, 실시계획 승인신청 시에, 원전부지확보에의 필수 선행 요건임.

- 실시계획의 승인이 있어야 실질적으로 **원전부지 인근의 주민들에게 혜택이 돌아갈 수 있는 지원**이 활발해지는 바, 원전부지의 적기 확보는 산업부 장관의 신속한 실시계획 승인이 필요한 상황임.

23

원전 부지 확보 절차 – 환경영향 평가

사전 상담 및 범위

원전사업자는 환경부(MOE) 및 한국원자력안전기술원(KINS) 등 기타 관련 정부 기관과 협의

환경영향 평가 보고서 내용

- 데이터 수집 및 기준 연구: 제안된 부지의 현재 상태를 이해하기 위해, 환경 기준 데이터(대기 질, 수질, 토양 구성, 수문학, 지진, 생물 다양성(동식물) 및 지역 기후 조건 포함) 수집
- 모델링 및 영향 예측: 과학적 모델을 사용하여 원전이 환경에 미치는 잠재적 영향(인근 수역의 멀 오염, 방사선 위험, 지역 동식물에 대한 영향, 토지 이용 변화, 방사성 폐기물을 처리 영향 포함) 예측
- 공공 알선 및 건강 고려 사항: 방사선 노출 및 비상 대비 계획으로 인해 대중(인근 지역 사회, 근로자 및 응급 구조대원 포함)에 대한 잠재적 위험 평가

이해관계자 협의 및 대중 참여

▷ 공지 및 공개 ⇒ 공청회 및 지역사회 참여 ⇒ 피드백 통합

상세 영향 분석

- 대기 및 수질 분석: 원전 운영이 대기 및 수질에 미치는 잠재적 영향 평가
- 지진 및 지질 위험성 평가: 지질 안정성에 대한 상세 분석
- 방사성 폐기물 관리: 제안된 방사성 폐기물 관리 전략(사용후핵연료의 단기 처리와 장기 처분 계획 포함) 및 방사선 누출의 위험과 환경에 대한 잠재적 영향 평가
- 생태적 영향 평가: 원전의 악영향 등을 서식지, 동식물, 보호종 포함 지역 생태계에 미치는 영향(이주 패턴과 생태학적 균형에 대한 잠재적인 혼란 포함) 평가

- **완화 조치 및 대안: 최종 부지 선택 사유 정당화**
- 인허가 당국 및 독립 전문가의 검토
- **최종 보고 및 결정 - 환경 허가증 발급**
- 승인 후 모니터링 및 규정 준수 - 원전 운영자는 원전 환경 및 발생 가능 사고에 대
- 해 정기 보고서 제출

24

원전 부지 확보 절차 – 원전부지 인근의 주민 혜택 지원

원전 주변지역 지원에 관한 법률: 원전 주변 지역에 혜택 제공 및 안전, 복지, 발전 보장

▷ 재정적 보상, 개발 프로그램 및 안전 조치 제공을 통한 원전 주변의 지역사회 지원

▷ 투명한 소통과 협력을 통해 정부와 원전업계, 지역주민 간의 상호신뢰 도모

지원 조치: 재정적 보상, 생활수준 향상 지역개발사업 추진, 지역주민의 일자리 창출

안전 및 환경 보호: 원전 주변의 환경 모니터링 및 긴급상황 대비

지역사회 참여: 공청회 및 협의, 정보 공유

지원 재원: 원전지원금, 원전 지역 특별세

정기적인 검토 및 수정: 정기적인 정부 검토, 개정 필요 시 법 개정

협력

▷ 중앙정부는 법의 광범위한 시행 감독 및 원자력 안전 규정의 시행 보장

▷ 지방 정부는 보상 분배 관리 및 지역 사회의 개발 프로젝트 주도

▷ 원전지역 주민의 생활환경 개선과 지속 가능한 발전을 위해 정부와 원전운영자 간 협력 장려

원전 부지 확보 관련 해결 방안

· 중앙정부가 원전 부지 확보에 최선의 노력 필요

▷ 부지 관련 환경영향 평가의 신속한 절차 진행

- 관련 법의 합리적 개선 필요 (반복적인 환경영향 평가 보다 과거 평가기준 개선 분석)

- 환경 영향 평가의 장기화에 대한 합리적 개선 모색

▷ 지역 주민 혜택에 관한 합리적 개선안 제시

- 지역 주민에게 실질적 혜택이 되는 지원 방안 모색

· 지방정부의 해결방안 모색 필요

▷ 지자체 사업의 일환으로서의 원전 사업 모색

▷ 부지 확보 방안의 다양성 추구

- 해안 지역이 아닌 원전 부지에 대한 제안

- SMR 부지 확보를 통한 분산전원 증대

지자체 원전 사업 검토

- 지방자치단체는 공공의 이익을 위해 다양한 사업 시행 가능하며,
이에는 원전 건설 및 운영도 포함 가능

▷ **지방자치법 및 관련 법률:** 지방자치단체는 공공 목적을 위한 사업 가능. 전력 생산과 같은 대규모 사업에 참여하려면 지방자치법, 전기사업법, 에너지 관련 법률 등을 준수 필요. 지방자치단체는 직접 원전을 운영하거나 사업주가 될 수 있으며, 이를 위해 지방 공기업 설립 가능

▷ **지방공기업 설립:** 지방자치단체는 지방공기업법에 따라 공공시설을 관리하거나 사업을 수행할 목적으로 지방공기업 설립 가능. 원전 운영과 같은 대규모 사업도 이 범주에 포함 가능.

▷ **사업 타당성 검토 및 승인:** 원전 사업을 추진하려면 해당 사업이 공공의 이익에 부합하는지, 경제적 타당성이 있는지 등을 검토해야 하며, 추진 시, 중앙 정부 또는 관련 부처의 승인 필요.

▷ **민간 사업자와의 협력:** 지방자치단체가 직접 원전을 운영하지 않고, 민간 사업자와 협력하여 발전소를 운영하는 방식도 가능. 이 경우 지방자치단체는 민간 사업자와 합작투자 형태로 참여 가능.

- 대한민국에서 지방자치단체가 원전의 사업주가 되는 것은 법적으로 가능

▷ 관련 법률 및 절차의 엄격 준수 필요

▷ 공공 이익 사업으로 타당성 인정 필요

27

지자체 원전 사업 검토(계속)

· 관련 법규 근거

- ▷ 「지방자치법」 제9조, 제 130조
- ▷ 「지방공기업법」 제2조, 제 4조, 제 7조
- ▷ 「전기사업법」
- ▷ 「에너지법」
- ▷ 「원자력안전법」

· 중앙 정부의 협력, 특히 인허가 등의 필요

· 주민 의견 수렴

- 지방자치단체가 원전을 건설하여 지역 주민들에게 값싸고 안정적인 전력 공급을
직접적으로 제공하는 것은 현실적으로 많은 제약

▷ 지방자치단체가 관할 구역 내에서 독자적으로 전력 공급을 하겠다고 할 때, 한전이 관여할 법적 근거는 주로
「전기사업법」과 「한국전력공사법」에 규정

- 이 법률은 전력 생산, 배급, 공급, 판매 등에 대한 권한과 책임 규정
- 전력망 운영의 통일성을 보장하기 위해 한전의 역할 명시

28

지자체 원전 사업 검토(계속)

독립 발전 사업자(INDEPENDENT POWER PRODUCER, IPP)는 한국 전력 시장에서 독립적으로 전기를 생산하고 이를 판매할 수 있는 사업자로, 지방자치단체가 전력 공급을 독립적으로 하려는 것과는 다른 맥락에서 허용되고 운영

- ▷ 중앙 정부의 감독: IPP는 발전사업자로서 사업 수행 허가 취득 및 전력 생산과 관련된 규제 준수
- ▷ 전력망 안정성: IPP 생산 전력은 전력망을 통해 분배, 전력망 운영과 관련된 부분에서 한전과 협력
- ▷ 발전과 송배전의 분리: IPP는 전력 생산에만 집중, 송배전과 전력 판매는 한전이나 전력거래소를 통해

· 법적으로 한전만 송배전 독점권이 있는 것은 아님.

- ▷ 중앙정부, 특히 산업부는 한전이 사실상 송배전을 독점적으로 운영하도록 허용

▷ 진입 장벽: 송전망과 배전망은 대규모 자본 투자와 기술적 인프라 필요

- 전국적으로 통합 시스템 운영에 있어, 한전이 장기간 구축해 온 인프라와 경험은 다른 사업자가 새로 진입하는데 큰 장벽
- 경제성 문제: 송배전망 새로 구축 시, 막대한 비용이라는 경제적 이유로 한전 외의 다른 사업자가 송배전 사업에 진입에 애로
- 국가 에너지 정책: 산업부는 에너지의 안정적 공급과 효율적 관리를 위해, 전력망을 중앙 집중적으로 관리, 한전 독점 하에 송배전망 관리하는 것이 합리적이라는 판단

▷ 특정 지역에서의 제한적 가능성: 특정 조건이 갖추어진 지역(예: 신규 산업단지나 특정 경제자유구역 등)에,

제한적인 독립 송배전망 운영 가능

- 국가 전력망과의 연계 및 안정성 유지 측면에서 철저 관리 필요.

지자체 원전 사업 검토(계속)

지자체 원전 사업의 성사

▷ 중앙정부의 허가 필요

- 전기사업법에 따른 인허가
- 국가 전력망과의 연계성 분석

▷ 경제적 타당성 검토

- 송전 및 배전망 독립 구축 및 운영을 위한 경제성 평가
- 기존 전력망과의 호환성 평가

▷ 정책적 지원과 주민 동의

- 지방자치단체의 전력 독립 추진은 중앙정부의 정책적 지지 필요
- 지역 주민의 동의: 전력 요금, 전력 공급의 안정성, 환경적 영향 등에 대한 주민들의 우려 해소 필요

▷ 지방자치단체가 중앙정부의 허가를 받아 한전과 별도로 송배전 운영 가능

- 중앙정부의 허가 절차 통과
- 경제적, 기술적, 정책적 도전
- 법적 규제 준수
- 주민 동의

APR1000 원전 부지 검토

체코 두코바니 지역에 계획된 APR1000과 동일 원전의 한강 유역 건설 검토

▷ 부지 타당성 평가

- 환경영향평가: 한강 생태계, 주변 지역사회, 지역 아생동물에 대한 잠재적 영향 평가, 광범위한 환경영향평가 실시, 수자원, 방사선 누출 가능성, 홍수나 지진과 같은 자연 재해에 대한 재해 대비 중점.
- 지질조사: 한강유역은 원자로의 무게와 구조를 지원하고 지진 활동을 견딜 수 있는지 확인하기 위해, 구조적 건전성 확인용 토양과 기반암 시험 포함, 지질 안정성 평가 필요
- 수문학 및 물이용: 한강은 필수적인 수자원이므로, 원전의 물 냉각 요구 사항이 강의 기준 용도에의 영향이 없는지 확인하는, 하류 사용자나 수생 생태계에 심각한 피해 방지에 대한 분석/평가 필요

▷ 규제 및 법적 고려사항

- 원자력 규정 준수: 프로젝트는 원전 감독 원자력안전위원회 및 산업통상자원부가 정한 모든 규정 충족
- 공개 협의 및 동의: 지역 사회, 정부, 환경 단체 포함, 원전에 가까운 인구 밀집 지역과 공개 협의 필요

▷ 설계 및 엔지니어링

- 동일한 APR1000 설계: 한수원이 체코에 공급하려는 APR1000은 1000MWE 용량의 가압경수형 원자로이므로, 체코에 계획된 원전과 동일한 설계 사양이 한강 프로젝트에 적용되어, 핵심 냉각 시스템 및 격납 구조를 포함한 모든 안전 기능의 체코/한강 통합 적용 필요
- 현장별 차별화: 한강의 수문학적 조건에 적합한 흥수 방어 및 추가 냉각 시스템 포함, 한강의 기후, 풍경 및 도시 근접성으로 인한 현장 상황에 따른 수정 필요

▷ 연계 기반 시설 함께 개발

- 계통 통합 및 전송: APR1000에서 발전된 전력이 에너지 수요를 충족하도록 효율적으로 분배될 수 있도록 하는 국가 전력망에 대한 연결 방식 검토 필요
- 운송 및 물류: 원자로 압력 용기와 같은 APR1000의 주요 중량물 기기들의 현장 운송 관련 중장비 운송 계획은 지역 당국과의 긴밀 협의/조정 필요
- 냉각수 시스템: 한강의 물을 사용하는 원전의 냉각 시스템은 물 사용 및 배출 시스템이 열오염을 최소화하고 강의 온도와 수위가 부정적인 영향을 받지 않도록 설계

31

APR1000 원전 부지 검토(계속)

체코 두코바니 지역에 계획된 APR1000과 동일 원전의 한강 유역 건설 검토(계속)

▷ 안전 및 재해 대비

- 지진: 원전은 첨단 내진 기술로 설계 및 건설됨.
- 홍수 안전 대책: 한강과의 근접성으로 인해 제방, 저수지, 수문을 포함한 완벽한 홍수 피해 방지 설비 구축 필요
- 비상 대비: 지역 및 국가 당국과 협력하여 개발되는 잠재적인 원자력 사고에 대한 비상 대응 절차(공공 대피 프로토콜, 방사선 억제 전략, 방사선 노출에 대한 의료 체제 포함) 구비

▷ 경제성 평가

- 비용 평가: APR1000의 건설비용은 기존 해안기에 건설하는 원전보다 클 것으로 추정되므로, 이에 대한 합리적 경제성 논리 필요
(예: 지역 전력 공급 안정 및 탈탄소화)

▷ 운영 계획 및 유지 관리

- 운영 중 관리 철자: 정기적인 안전 점검, 환경 모니터링 및 규정 준수 감사
- 폐기물 관리: 방사성 폐기물을 처리에 대한 안전규제당국과 지역사회가 허용하는 관리 계획 필요

해외 선진국에서 애용하는 강 유역의 원전 설설 및 운영의 도입으로 원전 부지의 추가 확보

32

SMR 부지 검토

SMR은 EPZ의 부지내로 최소화 시, 부지 확보에 애로 없음.

(SMR 사업화 이슈) 수요, 지자권, 주민수용성, 공급망

(SMR 수요 확보)

(석탄 발전소 대체)

(데이터센터 및 반도체 단지 전력 공급)

(철강·석유·화학·수소산업 전력·열 공급, SMR SMART NET-ZERO CITY(SSNC) 조성)

(지식재산권)

(1) 소유권 양수 (2) 실시권 확보 (3) 실시 위임을 받거나, (4) 개발기관이 지자권을 기술신탁 - 4가지 방안 상정 가능

2024년도 I-SMR 기술개발사업 신규과제 신청 지침(과기부/산자부 공동 공고); 사업단 또는 SPC가 연구개발성과의 우선 실시권 획득의 협약 체결 고지

(I-SMR의 건설 및 수출을 위해 공동 활용 필요 시)

(주민수용성)

주민참여형 SMR 사업모델: 협동조합 형태(인근 주민 사업소유 가능), 펀드 참여(인근 제외 해당 지자체 주민) 방식 고려

제도적으로 신재생발전의 주민참여 유인 제도와 유사한 수준의 기반 마련 필요

원자력공급인증제(NEC) 또는 무탄소에너지공급인증제 신설(주민참여비율에 따른 REC 가중치와 유사하게 적용)

신재생과 유사 수준의 금융지원과 함께 지역민 우선고용 및 지역기업 우대하는 방안 검토 필요

(공급망)

2020년 SMR 원공 러시아/중국 사례 적용 필요: 자국내 업체 90% 이상 활용하여 건설, 후속 사업에 축적 경험 반영

현재의 1차축 및 주기기 중심 연구개발과 함께 2차축과 정비운영 관련 기기 병행 개발 추진 필요

33

EPZ 최소화 검토

· SMR과 같은 첨단 원자력 기술의 개발은 비상계획구역(EMERGENCY PREPAREDNESS ZONE, EPZ)을 최소화할 수 있음.

· 해당 기술은 고급 안전 기능 내재 안전 설계를 통해, 사고 발생 시 방사성 물질의 방출 가능성을 획기적으로 줄이는 것이 목표

· 기존의 대형원전에 비해 축소된 EPZ 가능, 이론적으로는 원전 부지 내로 EPZ 제한 가능

가장 최소화된 EPZ를 가진 SMR 예시

NUSCALE POWER: NUSCALE의 SMR 설계는 고유의 안전 특성 보유, USNRC로부터 설계 인증 획득

- 원전 부지 내, 방사선 방출 제한 가능하다는 분석 자료, 규제 기관 제출, NUSCALE EPZ의 원전 부지경계로 제한 가능

- SAFETY EVALUATION FOR NUSCALE TOPICAL REPORT, TR-0915-17772, "METHODOLOGY FOR ESTABLISHING

THE TECHNICAL BASIS FOR PLUME EXPOSURE EMERGENCY PLANNING ZONES AT NUSCALE SMALL MODULAR REACTOR PLANT SITES," REVISION 3

- 원전 부지의 최종 EPZ의 크기와 범위는 특정 NUSCALE SMR 부지에 대한 NRC의 최종 승인 과정에서 결정

NUSCALE 설비의 공정 열 이용자, 사업체나 주택 등의 활용 시설 근접에 배치 가능

비상계획 소요 비용 크게 절감

34

- 현재, 우리나라는 원전 부지 확보에 어려움을 겪고 있음.
- 원전 부지 확보와 관련하여, 기술적 사항들은 혁신적으로 개선 되고 있음.
- 이와 관련하여, 우리나라의 중앙정부, 특히 산업부의 역할이 매우 중요함이 확인됨.
- EPZ 최소화 관련 기술적 규제 요건은 국내에도 신속 도입 필요
- 원전 부지 확보에, 환경영향 평가와 실시계획 승인의 중요성이 부각되며, 과도한 규제 행정은 합리적으로 개선 필요
- 지방정부가 독자적으로 원전 사업하는 경우, 법적 제한이 없기에 중앙정부와 협의 필요
- APR1000은 체코 뿐만 아니라 국내 강가에도 건설하자
- SMR은 부지 제한에서 벗어날 수 있는 방안으로 고려됨.

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

SMR 국내외 동향 및 대응방향

오근배

2024. 9. 24.

서울대학교 원자력정책센터

kboh0818@gmail.com



CONTENTS

목차안내

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

I-1. 세계 SMR 개발 현황



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

3

I-2. SMR의 새롭게 떠오르는 수요



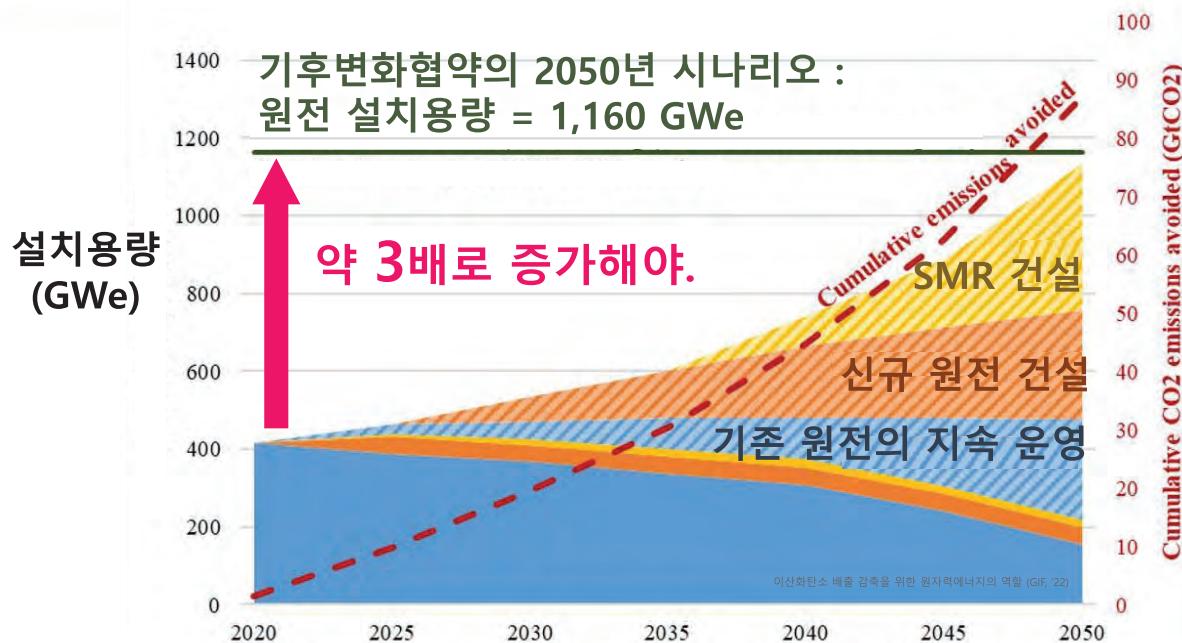
※ 대상상의 제주포럼, 이종호 장관 발표자료

소형모듈원자로(SMR)로 효과적으로 대응

주요기기를 모듈화하여 공장제작이 가능한 전기출력 300 MWe 이하의 소형 원자로							
현재보다 100배 이상 안전	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 배관이 없어 중대사고를 실질적 배제 ✓ 자연현상을 노심 냉각에 활용 						
신재생에너지와 유연하게 연계 가능	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 태양광, 풍력 발전과 연계하여 수요에 맞는 출력 구현 ✓ 수요지 인근 분산형 에너지 제공 						
건설기간을 대폭 줄이고 투자용이성 확보	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 공장제작/현장설치 강화로 건설비용 저감 ✓ 부대설비 및 인력 최소화 						
다양한 분야의 무탄소 에너지원으로 활용 가능	<table border="1"> <tr> <td>전력</td> <td>산업</td> <td>수송</td> </tr> <tr> <td>소듐냉각고속로</td> <td>고온가스로</td> <td>용융염발자로</td> </tr> </table> <p>석탄화력 대체 장거리 전력 공급 무탄소 산업 공정열 공급 부유식 해양시스템 및 선박 추진</p>	전력	산업	수송	소듐냉각고속로	고온가스로	용융염발자로
전력	산업	수송					
소듐냉각고속로	고온가스로	용융염발자로					

4

I-3. 또 다른 SMR 수요: 탄소중립



5

I-4. 우리나라의 에너지 정책방향

제11차 전기본 실무안 ('24~'36)

전력수요 전망

$$\text{목표수요 (129.3GW)} = \text{①모형수요 (128.9GW)} + \text{②추가수요 (16.7GW)} - \text{③수요관리 (16.3GW)}$$

< 전력수요 산정 과정(말호안은 '38년 기준) >

전력공급 계획 (원자력)

$$\text{③신규 필요설비 (10.6GW)} = \text{목표수요 (129.3GW)} \times (1+예비율(22\%)) - \text{②확정설비 (147.2GW)}$$

(신재생 보급전망 반영)

< 필요설비 산정 과정(말호안은 '38년 기준) >

- '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)

6

I-5. 우리나라의 SMR 개발 방향

[개발 전략] 민간기업-정부(공공기관) 간 개발 협력 강화

민간주도 SMR 산업



용융염원자로

한원(연) + 현대건설, 삼성중공업, 삼성엔지니어링, HD한국조선해양

고온가스로

한원(연)+포스코E&C, SK에코플랜트, 롯데케미칼, 대우건설, 스마트파워

7

I-6. SMR개발 로드맵

[개발 시기] 2030년 초·중반 실물화 목표

	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
혁신형 SMR	표준설계 (5년)				산업부 계획 등에 따라 상용로 건설									
	기본설계 완료		표준설계 완료		표준설계인가 획득									
소듐냉각 고속로	계통 개념 개발		기본 설계(4년)			상세 설계 및 건설 (5년)			운영전 시험 (3년)					
	부지 조사 및 건설 허가 준비				건설허가 신청		건설 착수		건설완료/운영허가		시운전 개시			
고온 가스로	기본 설계 (4년)			상세 설계 및 건설 (6년)				운영전 시험 (3년)						
	부지 조사 및 건설 허가 준비				건설허가 신청		건설 착수		건설완료/운영허가		시운전 개시			

국가과학기술자문회의 제8회 심의회의, 차세대 원자력 확보를 위한 기술개발 및 실증 추진방안, 2024.6.4

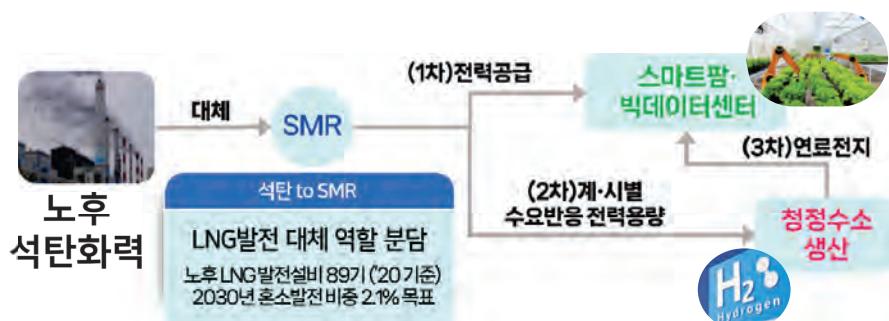
8

지역별 전력 불균형 심화

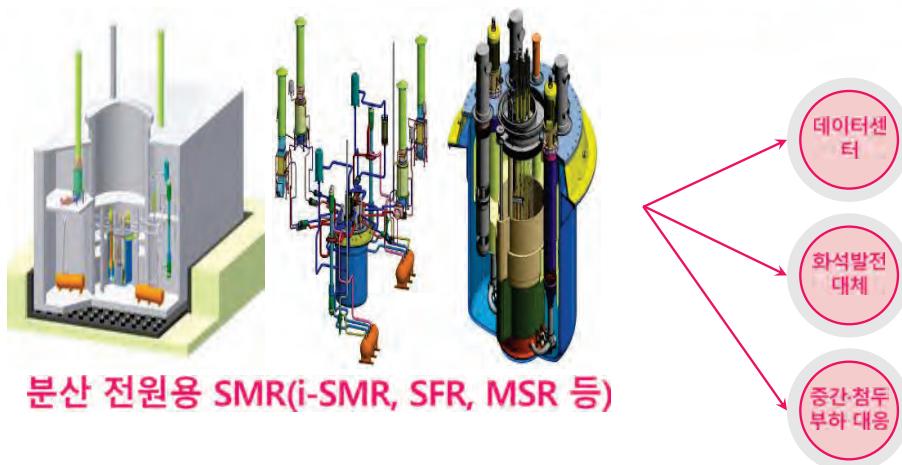


분산 에너지원으로 활용 가능성

- ✓ 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



II-3. SMR의 분산 전원으로 활용성(2)



- 모듈형 탑입의 중소형(급) 원자로로서 **분산전원**으로 보급 가능
- 피동 냉각 및 자연순환냉각 방식으로 **입지자유도가 높고** 중대사고발생률 저조
- 낮은 사고 확률로 비상계획구역을 최소화 하여 주민 수용성 확보 용이

11

II-4. SMR 그외 활용성

❖ SMR 특성 : 다목적 활용

- **모듈 형태로** 공장 제작, 현장 이송 및 조립 건설: 건설공기 단축 및 건설비용 절감 가능, 증설 용이
- 소형인 특성으로 **다양한 지역, 다양한 목적에** 따라 활용 가능
 - 격지, 오지 에너지원, 기후변화 대비 노후 석탄·화력발전 대체 및 수요지 인근 **분산형 전력망** 제공 가능
 - 안정적 기저전력원 역할 외 산업 공정열 공급, 수소생산, 해수 담수화 등 다양한 **분야**에 활용 가능

화력 발전 대체
(on-grid)
(용량 ~350 MWe)



증공업/오일샌드
증기/전력 공급
(용량 20~200
MWe)



오지
열/전력 공급
(off-grid)
(용량 ~10 MWe)



광산 지역
열/전력 공급
(off-grid)
(용량 ~20 MWe)



12

II-5. 국내 개발 경수형 SMR의 미래

SMART



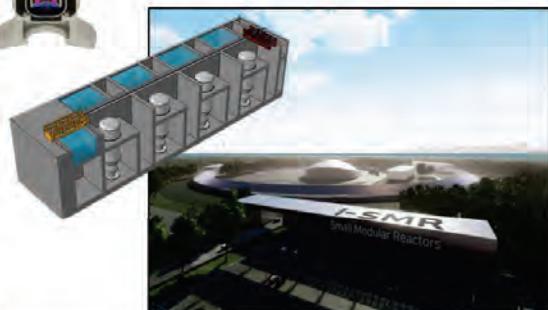
- ✓ 110 MWe급 일체형 SMR
- ✓ 세계 최초 표준설계인가 획득 ('12.7.)
- ✓ 설계가 완성된 국가 전략 상품
- ✓ 해외시장 진출 노력 중 (캐나다, 우즈벡 등)



혁신형 SMR (i-SMR)



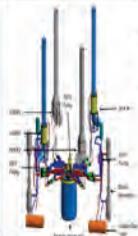
- ✓ 680 MWe급 일체형 SMR (170 MWe×4)
- ✓ 세계 최고수준의 경쟁력을 갖춘 SMR
- ✓ 산학연 역량을 총결집하여 개발 중
- ✓ 목표 : 2028년 표준설계인가 획득



13

II-6. 국내 개발 비경수형 SMR의 미래

소듐냉각고속로



- ✓ 고독성·장수명 방사성 물질 소각 가능
- ✓ 20년 장주기 100 MWe급 고속로 개발 중

용융염원자로



- ✓ 35 MWe급 액체 핵연료 사용 원자로
- ✓ 부유식 해양시스템 및 선박추진용 원자로 원천기술 개발 중

고온가스로



- ✓ 750°C 이상 고온 열 생산 가능
- ✓ 90 MWt 산업공정열 공급용 가스로 개발 중

히트파이프 원자로



- ✓ 초소형 원자로
- ✓ 국방, 우주 등 국가전략적 가치
- ✓ '30년대 중반 달 기지용 전력원' 목표

14

[참고] 소듐 냉각재 현안 대응 방안

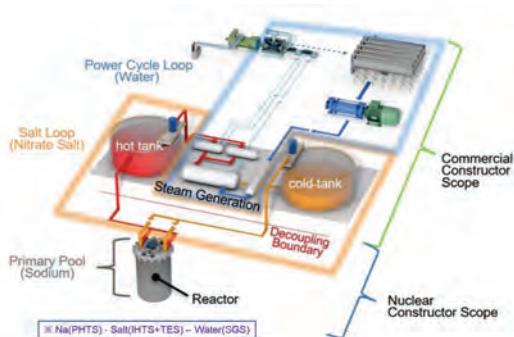
- › 소듐 위험도(소듐 화재 및 소듐-물 반응)를 저감하기 위한 기술적 해결 방안 및 효과 제시
 - 소듐화재와 소듐-물 반응 최소화를 위한 기술적 대안 확보 (소듐누설 사고 방지용 이중배관 개념)
 - 소듐-물 반응 극소화 증기발생기 개념 개발 및 설계 적용



<이중배관 개념>



<소듐-물 반응 극소화 개념>



<SFR + 용융염 열저장시스템 실증 개념>

- 용융염 루프 열저장 개념 도입으로 소듐-물 반응 대처설비의 완전 제거
- 열저장장치 도입으로 전력 수요 대응을 위한 탄력적인 운전 강화에 기여

15

[참고] 고온가스로 현안 대응 방안

» 핵연료 해외 수입 확정

- NRC의 인증을 받은 UCO TRISO 수입 필수

» 기기 관련 기업 적극 참여

- 민관합작사업에 기기 설계 업무 미포함

» 운영사 및 부지 조기 선정

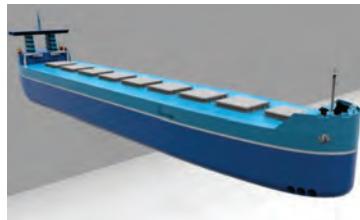
- 울진 원자력수소 단지 혹은 경주 감포
- 원자로 운영사 참여 필요: KHNTP 혹은 KAERI 참여
- 비 원자력부지의 경우 장기간의 부지 선정 절차 요구(수용성)

» 인허가 체계

- 비발전로 분류로 연구용 원자로 인허가 체계 적용 필요
- 선진원자로 인허가 체계 적용은 실증 자연 예상

16

[참고] 해외 용융염 원자로 개발 동향



"美항모보다 크네?" 中 초대형 핵추진 상선 설계에 쓸리는 눈

[출처] 머니투데이



TerraPower-CorePower,
Molten Chloride Fast
Reactor

[출처] CorePower

"중국이 이번에 공개한 핵추진 컨테이너 선 설계는 4세대 용융염원자로를
컨테이너선에 달아 증기 터빈을 돌려서 배를 전진시키는 개념이다.
전기로 움직이는 배는 배터리로 움직이는 배보다 훨씬 더 저렴하다.
배출가스가 사실상 거의 없다."



Reuters

World ▾ Business ▾ Markets ▾ Sustainability ▾ Legal ▾ Breakingviews ▾ Technology ▾ Investing

Climat & Energy | Sustainable Markets | Grid & Infrastructure | Nuclear | Climate Change

Maersk agrees to study nuclear-powered container shipping

By Reuters

August 15, 2024 5:05 PM CDT (2 hours ago)

A screenshot of a news article from Reuters titled "Maersk agrees to study nuclear-powered container shipping". The article discusses Maersk's agreement to study the feasibility of using nuclear power to drive cargo ships.

17

III-1. 국내 SMR 개발 활성화 방안

민관 협력 활성화

① 정부-민간상시소통을 위한 협의체 구성

「원자력 열 이용 협의체」 발족식

SMR 얼라이언스
SMR 협의체
열 이용 협의체

② 민관 합작 차세대원자로 실증 프로젝트

- ✓ 수요 맞춤형 원천기술 공동 개발
- ✓ 민관 산업체 육성 및 역량 강화
- ✓ 차세대원자로 산업 생태계 활성화
- ✓ 글로벌 사업화 등

인프라 구축

③ 적기 인허가 등을 위한 제도적 지원

규제자-개발자 간 조기 소통

정부 및 국회
정책지원 그룹

지원 법안 발의

산학연 & 규제자 네트워크

SMR-Net

연구개발 및
사업추진 그룹

의견수렴, 규제준비에 참고

규제 및 외부기
그룹

④ R&D, 인력양성, 산업 거점 구축



제조 거점

SMR 국가산단

감포 부지

18

III-2. 바람직한 대응 방향

다양한 원자로 개발은 시장 경제 논리에서 필연적

✓ 해외와 경쟁하는 시대에 하나에만 집중하는 것은 모든 것을 잃는 것과 마찬가지

○ 과거에는 전기생산 만을 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 극복 가능

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

NIFTEP
서울대학교 원자력에너지기술정책연구소

분과3

에너지 정책 및 후행핵주기



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

우리나라 핵연료주기 과제와 전략

최성열

2024. 9. 24.

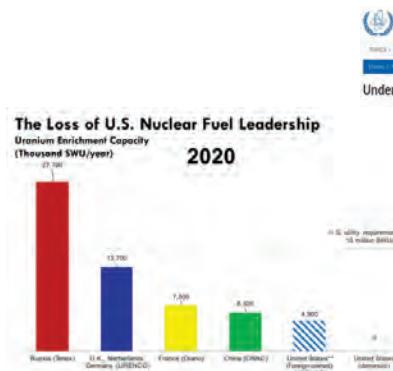
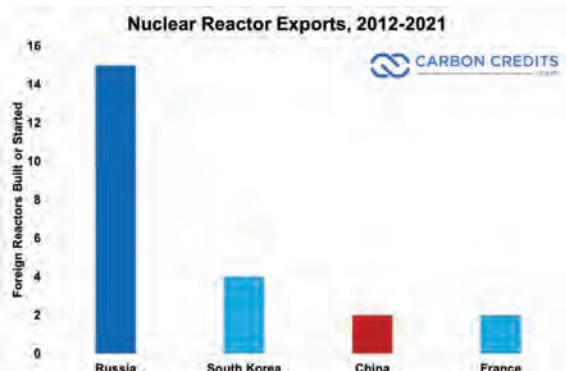
서울대학교 공과대학 원자핵공학과
choisys7@snu.ac.kr

서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

NIFTEP
서울대학교 원자력정책기술정책연구소

핵연료주기 역량이 장기적 수출경쟁력

- 러시아가 2012-2021년 사이 원전 수출에 65%를 차지
 - 러시아-우크라이나 전쟁 이전에 러시아가 20년 가까이 전세계 원전시장 지배
 - 러시아 원전 기술의 경쟁력은 한국, 프랑스보다 낮게 평가받으나 수출시장에서 선호는 오히려 더 높았어
- 러시아는 원전 기술의 우수성보다 핵연료주기 역량으로 수출 시장 지배
 - 선행핵연료주기에서 농축 시장 공급능력의 절반 이상 차지
 - 사용후핵연료 반환 프로그램 제공으로 후행핵연료주기 솔루션도 원전과 함께 수출 패키지화



사용후핵연료가 원자력 지속가능성 결정

- 원전 계속운전과 사용후핵연료 부지내 저장 확보
- 고준위방폐물 관리 특별법 제정 난항
- EU 택소노미, K-택소노미에서도 사용후핵연료 해법 요구
- 사용후핵연료는 미래세대에 넘기지 말아야할 부담
- 선진원자로의 LEU+, HALEU 사용으로 새로운 후행핵연료주기 기술 필요



3

경수로형, 비경수로형 SMR의 부상

- SMR의 전세계적인 관심과 함께 원자력 시장 다변화 추진

- Coal to Nuclear, 수소 생산, 극오지 전력/난방, 선박추진, 산업단지 에너지 공급, 해수 담수화 등



Frederik Reitsma, Gen-IV Webinar 43, 2020.

핵연료 다변화 및 다양한 사용후핵연료 특성

- U, TRU 핵연료 장전 가능
- 장주기 운전 가능, 연소도 증가

비경수형 SMR 고온 운전 가능(500°C 이상)

- 열효율을 증대
- 고온 수전해 수소 생산 가능

운전의 용이성

- 장주기동안 핵연료를 바꾸지 않고 운전 가능
- 오지나 극지, 해양 등에 이용 가능

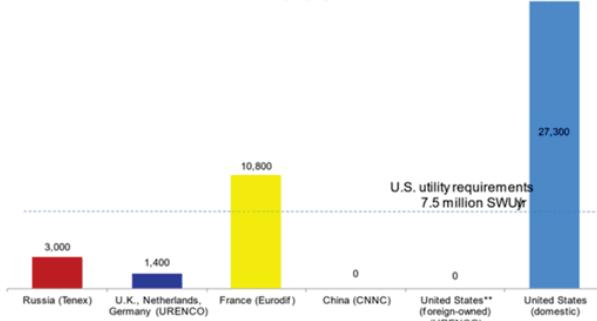
4

우라늄 농축은 어디서 하나요?

- 미국의 잃어버린 30년: 농축 핵연료 공급 보장 못하는 국제 핵비확산 리더
 - 원자력 평화적 이용과 핵비확산 체제 유지의 전제조건은 핵연료 공급 보장
 - Megatons to Megawatts Program, 농축 시장 민영화, 설비 노후화, 레이저 농축에 역량 분산, 무리한 원심분리기 기술 목표

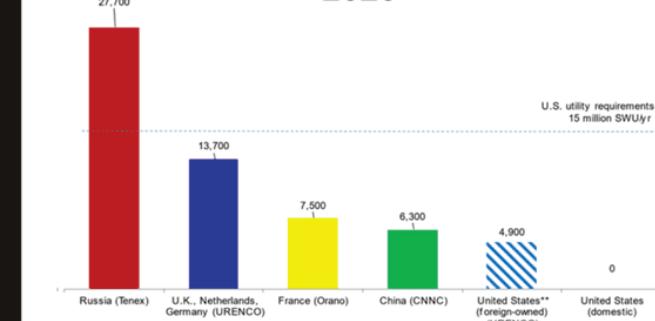
The Loss of U.S. Nuclear Fuel Leadership
Uranium Enrichment Capacity
(Thousand SWU/year)

1985



The Loss of U.S. Nuclear Fuel Leadership
Uranium Enrichment Capacity
(Thousand SWU/year)

2020



<https://www.canarymedia.com/articles/nuclear/the-us-may-soon-get-its-first-new-source-of-nuclear-fuel-in-70-years>

5

EU Taxonomy: 사용후핵연료 관리과 새로운 무역장벽

- EU taxonomy는 European Green Deal의 ‘지속가능한(sustainable)’ 투자 기준을 제시
 - 6대 환경 목표 중 하나 이상에 실질적으로 기여
 - 다른 목표에 중대한 피해를 주지 말 것 (Do no significant harm, DNSH)

The EU Taxonomy encompasses a standard set of definitions for sustainable activities centered around six environmental objectives:



한국형 녹색분류체계 초안

EU Taxonomy(유럽연합)

2025년부터 사고저항성핵연료 적용

사고저항성
핵연료

- 2050년까지 고준위 방사성폐기물을 처분시설 기동 위한 문서화 된 세부계획
- 중 저준위 방사성폐기물을 처분시설 보유

방사성폐기물을
처분시설

- 고준위 방사성폐기물의 안전한 저장과 처분 위한 문서화 된 세부계획이 존재하여 계획 실행을 담보할 수 있는 법률제정
- 중 저준위 방사성폐기물을 처분시설 보유

신규건설 시 최적기기율 적용

최적기기율
(BAT)

- 신규: 2045년까지 건설허가 받은 원전
- 계속: 2040년까지 계속운전 허가 받은 원전

신규건설 시 최신기술기준* 적용

- 온실가스 100g CO2eq/kWh 이내 배출
- 온실가스
- 온실가스 100g CO2eq/kWh 이내 배출

- 방사성폐기물 관리기금 및 원전해체비용 보유
- 방사성폐기물 관리기금 및 원전해체비용

방사성폐기물 관리기금 및
원전해체비용

- 신규: 2045년까지 건설허가 받은 원전
- 계속: 2045년까지 계속운전 허가 받은 원전

인정기한

- 핵폐기물 발생을 최소화하는 연구개발·실증 적용
- 연구개발활동

원자력 핵심기술 연구개발·실증

* 원자력안전법, 원자력안전위원회 규칙 및 고시, 내 최신 기술 기준을 모두 준수

자료: 환경부

6

프랑스의 적극적인 재활용 기반 신형 핵연료 공급 제안

ORNL DIFFUSION NORMALE / UNRESTRICTED

Proposed Fuel Cycle Benefits

- A plentiful resource (LWR UNF) can be utilized to fuel advanced reactors with MOX/TRU while also reducing the inventory of UNF at existing LWRs and potentially:
 - Reducing the volume of waste requiring disposal;
 - Producing waste forms designed for disposal;
 - Reducing the need for extended interim storage of LWR UNF while eliminating potential issues arising from the non-self-protecting nature of "old" UNF;
 - Increasing the amount of domestic sourced material while reducing the need for mined material;
 - Degrading the Pu isotopic vector and hence making the material less attractive from a proliferation standpoint;
 - Improving the utilization of the originally enriched uranium;
 - Moving towards closing the fuel cycle; and
 - Reducing the quantity of Pu in the overall fuel cycle.



Orano/Oklahoma Advanced Reactor Fuel Cycle Considerations/GABI Triilateral Nuclear Energy Dialogue/August 23, 2023

ORNL DIFFUSION NORMALE / UNRESTRICTED

7

미국 ARPA-E 프로그램

- 사용후핵연료 내 핵물질 재활용을 포함하여 경제성 향상, 핵확산저항성 증진에 목적을 두고 연구개발

CURRENT DEVELOPMENTS IN THE FUEL CYCLE	핵융 분리재순환	폐기체 포집	안정 고체폐	저장/처분	연전조치	기술평가
경제성 확보	INL 파이로 전해증류 원자력원 (\$2,859,677) ANL 고체를 전송하는 기술 (\$4,900,000) ANL 침침형 분체 PACER (\$1,520,000) ORNL 원자력 시설 상법 (\$1,000,000)	Florida Institute of Technology (\$195,800) Stony Brook Univ. TRIG SF 처리기술 Univ. Utah 파이로 환원반연 단일반증기 (\$1,454,074)	Univ. of Illinois Urbana-Champaign (\$37,249,673) Mainstream Eng. 습식폐자 폐기체 포집 (\$1,580,774)	Rutgers Univ. Center for Environmental Biotechnology (\$4,700,000)	Deep Isolation 처분기술	ORNL 경수로-SI 재활용 기술 (\$2,796,545) Univ. Illinois Urbana-Champaign 기술 출판 (\$1,500,000)
부하제거	TerraPower 핵융 분리재 순환 기반 SF 처리 (\$8,550,000) Stony Brook Univ. TRIG SF 처리기술 (\$5,000,000)		Clemson University, 영화물 고체 폐자 처리기술 Rutgers Univ. Center for Environmental Biotechnology (\$4,000,000)			
저장/처분체계화 확보			ORNL Information, 영화물 고체 폐자 처리기술 Rutgers Univ. Center for Environmental Biotechnology (\$10,000,000)	Deep Isolation-저장폐기물 처리기술 (\$1,000,000) Univ. of Illinois Urbana-Champaign (\$100,000) ORNL 폐기물 처리기술 (\$10,000,000)		
핵물질 재활용 (HALEU 대안)	ORNL CURIO NuCycle 습식폐자 (\$5,000,000) ORNL 후행복주기 사업 Univ. Alabama 경영학과 교수회					
고부가가치 핵융 재활용	ORNL CURIO NuCycle 습식폐자 TerraPower 핵융 분체 생산 ORNL 후행복주기 사업					
핵확산저항성 증진	ORNL CURIO NuCycle 습식폐자 INL 규속 SF 구역제작 설비 (\$2,076,443) Brigham Young Univ. 2단계 생화물 처리기술 (\$1,000,217) Univ. Alabama 경영학과 교수회 (\$1,844,998)			GE RADARSIS 재민관리 기술 (\$4,279,463) GE MAYER 체이저 측정 (\$6,449,997) Nuvition Eng. 물질개량 물류 (\$4,715,163) Duke University 물류망 보 내기 기술 (\$2,711,342) Univ. Colorado Boulder 운송 (\$1,994,663)		
기초연구	UCONN 핵연석 재민화 및 양자 선택률 연구 ACCEPT, SACCESS					
합계(USD)	38,305,209	3,830,347	7,711,292	6,558,399	20,370,628	3,796,545

8

핵연료주기 과제와 전략

- 시장 다변화 노형 다양화를 위한 핵연료주기 통합관리 기술 필요
- 달성목표:
 - 단일 처분장으로 다양한 종류의 사용후핵연료, 고준위방사성폐기물 처분 가능
 - 현행 원자력발전사후처리충당금 수준에서 상용화 가능
 - 방사성폐기물의 저장효율성, 처분적합성 증진으로 부지 요건에 대한 부담 저감
 - SMR과 함께 패키지로 수출가능한 후행핵연료주기 솔루션 확보
 - 사용후핵연료 저장, 운반, 물리적 변형, 화학적 처리 (저장, 처분적합성 등 관련) 중 안전조치 확보
 - 사회적 소통, 갈등관리, 집단의사결정 등 지역과 상생할 수 있는 다학제적 융합연구
- 세부제안
 - 1. 사용후핵연료 저장효율성 향상 기술
 - 2. 한국형 맞춤형 고효율 처분 개념 개발
 - 3. SMR 사용후핵연료 대상 수출형 처분기술
 - 4. 차세대 핵주기시스템 노형 공존 대비
 - 5. 중저준위폐기물 발생저감(배기체 포함) 기술
 - 6. 후행핵연료주기 전주기 안전조치 기술
 - 7. 핵물질 확보에 대한 장기 대안
 - 8. 원자력 시설 입지를 위한 연구
 - 9. 원전 해체 방향성 재정립
 - 10. 핵연료주기 기반 마련 (핵물질, 연구로, 한미 협정)

9

제안 1: 사용후핵연료 저장 포화는 최우선 당면과제

- 사용후핵연료 부지내 저장 포화 ↔ 계속운전
 - 부지내 건식저장 시설 확보 (경제성 공간효율성 고려!)
 - 부지내 저장수조 용량 추가 확보 (rod consolidation, 산화물 전처리, 위탁재처리 등)
 - 위탁재처리, HALEU 대안 핵연료 단기 확보 수단 될 수 있나? (비경수형 선진원자로 실증)
 - KHNTP 부지내 건식저장과 KORAD 중간저장 표준화 연계
- 사고저항성핵연료 사용후핵연료 저장 이슈도 확인 필요
 - HANAP이복관-Cr 코팅 조합이 습식저장, 건식저장에 미치는 영향 검토
 - LEU+ 고연소도 사용후핵연료의 운반, 저장, 처분 과정에서 열제거, 임계, 차폐, 부식 영향 검토
 - 부하추종 운전이 사용후핵연료 건전성에 미치는 영향 검토 및 평가
 - 건식저장 핵연료 온도 제한치 상향을 위한 연구 (기존, ATF 모두)
 - EPRI, 데이터 불확실성을 줄여서 최대 피복관 온도 상향 시도: 400 → 450°C (500°C)

10

제안 1: 사용후핵연료 저장효율성 향상 기술

- SMR 발생 사용후핵연료의 고효율 (습식)저장기술 개발

- 대형 원전 경험에 따르면, 부지내 건식저장 시설확보는 사회적 갈등비용 상당
- 다양한 입지가 예상되는 시장에 유연하게 대응하려면 부지내 건식저장 필요성 제거도 고려 필요
- 안전조치 단순화, 건식저장 비용 소거 등 경제성 강화와 함께 운영 인력 감소 노력 필요
- 1970~1980년대, 미국을 중심으로 습식저장도 포화 해결을 위해 건식저장, 이중 적층 저장, 핵연료봉 밀집저장 (rod consolidation), 조밀액 저장 등 다양한 옵션이 고려
- 핵연료봉 길이가 짧은 경수로 SMR 사용후핵연료는 다양한 고효율 습식저장 적용 가능성 높아
- 비경수형 SMR 사용후핵연료도 고효율 저장방안 확보 필요

11

제안 2: 처분, 북유럽 카피 넘어서 우리 맞춤형으로

- 고준위방폐물 사업 추진의 지속성 확보

- 고준위방폐물 특별법 추진 동력 유지 (KNS-KRS, KORAD-KAERI 소통 필요)
- 원자력 학계를 넘어선 행정학 법학 정치학 학계 등과 융합연구
- 핵심기술 연구개발과 대규모 실증 시설 마련 사이 공백 극복
 - 특별법 제정이 generic URL 구축의 전제조건일 필요 없어

- 고효율 사용후핵연료 처분 전략 개발

- 고효율 고정밀 ([과도한 보수성 제거](#)) 심지층 처분시스템 연구개발 강화
 - 구리용기, 벤토나이트 등 공학적 방벽의 경제성 강화 도모
 - 처분장 성능평가 기준 시나리오에 대한 재고려
 - 사용후핵연료의 연료봉 단위 고속 안전조치 방안 마련
 - 비용 절감을 위한 일부 사용후핵연료의 [습식저장](#) 후 [처분](#) 전략 검토

- 고준위방폐물 사업 추진에 원자력 이용 지속/확대에 대한 고려 없어 ([처분 물량](#) 등)

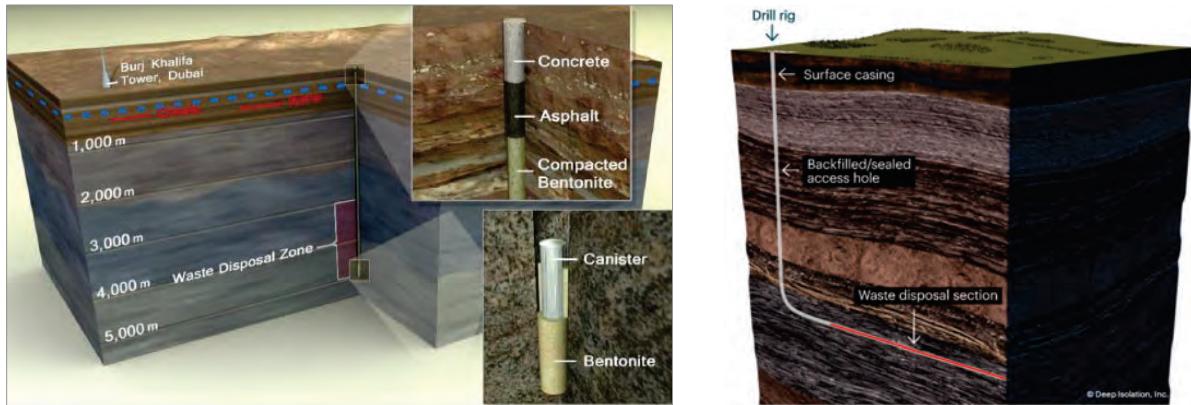
- 현재 장기 에너지기본계획 부재로 추진 근거 빈약 → 장기 에너지 수급 시나리오 개발

12

제안 3: 러시아는 핵주기 역량으로 수출시장 지배

• 원전(SMR) 수출에 따른 사용후핵연료 관리 패키지 제시

- 소규모 사용후핵연료를 위한 수출형 처분기술 개발(심부시추공 등)
- 비경수형 SMR 중저준위폐기물 저감
- 수입국에 사용후핵연료 관리 솔루션을 함께 제공(EU 택소노미 등 만족)



13

제안 4: 차세대 핵주기시스템 노형 공존 대비

• 사용후핵연료 재활용 기술 연구개발 기반 유지

- 실제 사용후핵연료를 활용한 연구개발 분위기 조성
- 비경수형 SMR과 연계한 핵연료 공급 및 방사성폐기물 관리방안 연구
- 용융염원자로 추진 산업계와 연계한 용융염 응용 연구 활성화

• SMR 사용후핵연료의 경제적인 관리 방안 미리 고민 (LEU+/HALEU 신형 핵연료)

- 신형 핵연료의 처분 적합성 검토 및 향상 방안 고민 (용융염, TRISO, 금속핵연료)
- 사용 후 고농도 잔류 핵분열성물질에 따른 운반, 저장 기술 개발
- 이동형 초소형원자로의 조사 후 원자로+핵연료 운반 방안 개발
- 분산형 SMR 도입에 따른 사용후핵연료 통합 관리 전략 수립
 - SMR is intended to be distributed power sources. Can its waste be distributed?

• 미래 원자로 핵주기시스템 옵션 연구 강화

- 한 국가가 open 또는 closed nuclear fuel cycle 중 하나를 선택해서 간다는 풍념이 여전히 유효한가?
- 다양한 경수형, 비경수형 원자로가 공존하는 시스템에서도 최종처분장은 단일화 가능한 전략 수립

14

제안 4: 저장-운반-처분 연계 캐니스터 기술

- **분산형 SMR 사용후핵연료의 통합관리를 위한 다목적 캐니스터 확보**
 - SMR은 분산형 전원으로 다양한 지역에 설치 예정이나, 폐기물도 분산하여 저장이 가능할지 미지수
 - 경수형, 비경수형 (LMFR, VHTR, MSR) 적용 가능하여 제조에서 규모의 경제 달성이 가능한 캐니스터 필요
 - 사용 후 고농도 잔류 핵분열성물질을 고려한 운반, 저장 기술 개발
 - 기존 운반저장 겸용 용기가 시장에서 어려움이 높은 가격임을 고려하면 경제성 확보가 핵심 목표

15

제안 4: 고화체 제조 및 처분적합성 향상 기술

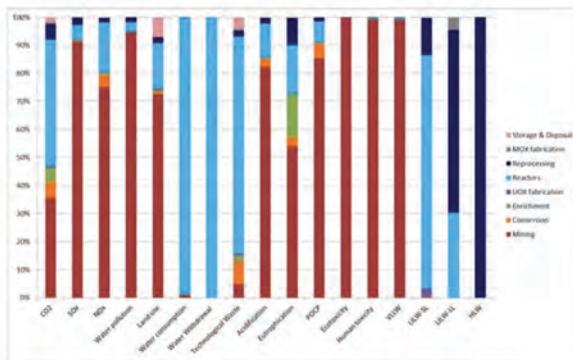
- **4.1: 새로운 유형의 사용후핵연료 대부분이 처분적합성 향상을 위한 처분 전 처리 필요**
 - TRISO 핵연료: 별도의 처리 없이 처분 가능하나, microbial 활동에 따른 C-14 폐기물 안전성 이슈 남아있어
 - 금속핵연료: Na-bonded 연료이므로 별도의 처리 필요
 - 용융염핵연료: 염 형태이므로 별도의 처리 필요
 - 별도의 처리를 통해 고강도 불용성 고화체로 전환 필요
 - 높은 폐기물 loading rate 달성으로 부피저감 가능 고화체 필요
- **4.2: 위탁재처리 폐기물 관리 기술 (고화체 제조 연계)**
 - 위탁재처리로 발생할 수도 있는 반환 폐기물 관리 기술도 기술 4.1과 연계하여 개발 가능

16

제안 4: 후행핵연료주기 옵션 생애주기 종합평가

- 시장 다양화 노형 다변화는 필연적으로 후행핵연료주기의 복잡성 증가 유발
 - 한 국가가 open 또는 closed nuclear fuel cycle 중 하나를 선택해서 간다는 통념이 여전히 유효한가?
 - 다양한 경수형, 비경수형 원자로가 공존하는 시스템에서도 최종처분장은 단일화 가능한 전략 수립
 - 시장 다양화 노형 다변화에 따라 경제성, 안전성, 핵확산저항성을 종합적으로 평가하는 기술평가 연구 필요
 - EU 택소노미 등에서 전기주에 걸친 영향을 평가할 것을 요구

Example of the French EPR case study



17

제안 5: 중저준위폐기물, 처분장 있는데 왜 처분 못하나?

- 원전 부지내 중저준위폐기물의 신뢰할 수 있고 신속한 처분
 - 방폐장 운영 후 처분 지연 → 주민 신뢰 무너질 수 있어
 - 원전 부지내 폐기물 반출 및 처분 계획 수립
 - 2-3 단계 처분장 조속 확보
 - 중저준위폐기물 인수기준 개선
- 중준위폐기물에 대한 처분장 효용성 증진
 - 차등적 안전성평가 시나리오 (1, 2, 3 단계 차별화)
 - 중준위폐기물 제염으로 저준위화 및 중준위폐기물 부피 저감
- 극저준위폐기물 부피저감으로 처분장 활용성 증진
 - 극저준위폐기물 소각(플라즈마 처리) 등 처리 방안 마련
 - 극저준위폐기물 제염 후 재활용, 자체처분 시나리오 개발
 - 영국, 제염 후 일반 폐기물로 매립 사례 등 참고

18

제안 5: 중저준위폐기물 발생저감(배기체 포함) 기술

- 비경수형 SMR에서 발생하는 중저준위폐기물 발생 저감 기술

- 비경수형 SMR의 경우 기존 원전 산업이 경험하지 못한 다양한 방사성폐기물 발생 예상
- 고온 가스로의 경우 C-14 포함 폐기물의 대량 발생에 대한 대응방안 필요
- 용융염원자로의 경우 Cl-37 재활용을 통한 염폐기물 발생저감 필요
- 용융염원자로는 용융염 휘발성이 높아 off-gas 관리과정에서 폐기물 저감에 대한 고려 필수
- 고속중성자로는 고속 중성자 방사화에 따라 중준위폐기물 발생 저감 연구 필요
- Near zero-release 기술 개발 (기체/에어로졸 포집, 실시간 모니터링, EPZ)

19

제안 6: 후행핵연료주기 전주기 안전조치 기술

- 사용후핵연료 저장, 운반, 처분전처리, 처분 등 전주기에 필요한 안전조치 기술 개발

- SMR은 안전조치 대상시설 개념 다양화
 - Item handling: PWR, BWR (visible coolant); SFR, LFR (invisible coolant)
 - Bulk handling: MSR (with or without online refueling)
 - Semi-item handling: VHTR with TRISO fuels (online refueling)
- 분산형 SMR (격오지, 이동형 등) 적용가능한 안전조치 기술 요구
 - 안전조치 사찰주기 사찰비용 감소를 위해 containment & surveillance 강화
 - Containment & surveillance 강화에 따른 온라인 감시 시스템의 사이버 보안
 - IAEA 안전조치를 지원할 수 있는 자동화 시스템으로 운전원 수 감소 달성

20

제안 7: 핵물질 확보가 에너지 안보 확보, 핵물질 확보 장기 대안

- 국내 핵물질 공급 능력 확대로 에너지 안보 증진
 - 해수 우라늄 추출 기술개발
 - CANDU의 에너지 안보 측면에서 가치 재조명
 - 국외 농축 회사 (또는 국제 공동) 시설 설립 추진 (또는 농축 시설 지분 투자)
 - 성장하는 아시아 원자력 시장에서 중러의 우라늄 농축 공급 비중 약화 도모
 - 우라늄 가격변동 → 장기계약/지분투자 확대, 한미일호주 동맹, 아시아 핵연료 은행 등 의제 설정 주도
- LEU+/HALEU 국제 네트워크 참여
 - 영국, 일본 등 잉여 Pu 활용 논의 시도해볼 수도
 - COP28에서 미캐프일영의 G7 5개국은 러시아 영향에서 자유로운 핵연료 공급망 확충 투자 계획 발표
- HALEU 대안 확보가 비경수형 원전 수출경쟁력 확보
 - SMR 수출경쟁력 증진을 위한 핵연료 공급 기술로 **HALEU 대안** 기술도 고려 필요
 - HALEU 대안: ORANO 사업모델 활용(위탁재처리), 잉여 핵물질 활용 국제 협력, 국내 파이로 처리 기술 등
 - 미국 CURIO와 TerraPower, 사용후핵연료의 핵분열생성물 자원 재활용 추진
 - 한미원자력협력협정 개정의 중요 아젠다로 미국과 파트너십 추진

21

제안 8: 원자력 시설 입지, 설명을 원하는 사회

- 원전 신규 부지, 사용후핵연료 시설 부지 확보가 원자력 지속가능성 결정
 - 국가에 대한 신뢰 저하, 정치적 대표성 약화, 정치적 해결 역량 부재
 - 시민참여는 이제 선택 아닌 필수, **칼자루는 지역사회가 줘고 있다**
 - 삼척시 사례: 주민투표법에 해당되는 경우가 아닐 수도 있었지만, 1심, 2심, 대법원 모두 주민투표 정당성 지지
 - 정보 흥수 시대 → 확증편향 강화 → 평등편향, “나도 너만큼 알아”
 - 협상 주체 변화: 시민(환경)단체 영향력 약화 → 지역주민이 협상의 주체 → **민민 갈등** 양상에 대한 대응 전략
 - 보상에 대한 기대감 고조, 상대적 박탈감 (절차적 공정성, 분배적 공정성)
 - 원자력 시설의 이슈는 철저하게 지역 이슈로 접근 필요
 - 사안에 따라서 **일반국민과 지역주민 목소리 구분**해서 다른 중요도로 들어야 (공적인 필요성 vs. 사적인 피해)
 - 50년 동안 공존은 했으나 친구가 되지 못함? 원자력계는 50년 소통에 대한 아카이브 부재
 - 원자력소통법('21 제정) 주민 피드백 받아봐야 (정보공유센터, 안전협의회의, 공청회)

22

제안 8: 원자력 시설 입지는 우리 문제, 내 문제

- 원자력계, 부지확보/시설운영과 지역참여에 대한 새로운 유형의 **연구** 필요
 - 정책 주체로서 시민, 지식에 기반한 정책 결정 참여
 - 사용후핵연료 시설 부지: 보상금 협상이 아니라 **도시계획, 공공의사결정 차원 접근**
 - 부지조사 지원금 받으면 도시계획 의무화 → 도시계획 결과 문서화, 지방선거 공약에 활용 가능성도 열려
 - 잠재적 위험 보상하는 제도 → 비전 공유하고 이익 함께 창출
 - 금전적 보상 → 금전적 보상 + 비금적 보상(명예 및 참여로 정치적 효능감)
 - 지역사회가 참여하면 에너지원간 이익에 대한 합리적 배분 가능성 열릴 수도



23

제안 9: 원전 해체 방향성 재정립

- 해체 산업 육성 모멘텀 유지
 - 고속 해체와 폐기물저감으로 해체 경제성 확보
 - 고속 해체를 통한 원자력 신기술 개발 선순환 구조 확립
 - 우리나라 정책의 연속성과 정합성 있는가? 중소 산업계의 국가정책 신뢰도 악화
- 천연공용용매 등 친환경기반 단순한 원전 해체 기술 개발
 - 원전 해체에서 발생하는 방사성폐기물을 금속, 콘크리트, 토양 등으로 종류가 이질적이라 제염제도 다양
 - 표준화가 어려운 제염장치, 복합적인 안전관리 이슈, 다양한 2차 폐기물과 최종폐기물 등
 - 단순화, 표준화, 모듈화, 자동화, 스마트화, 친환경화 등 새로운 혁신을 만들어내는 데 제한
 - 유해성 화학물질의 사용을 배제하여 안전성, 경제성, 처분적합성, 재활용 가능성을 동시에 향상

24

제안 10: 핵물질, 연구로 부족한 우리 대학

- **연구개발 및 신기술 개발 인프라 마련**
 - 사용후핵연료 방사능 수준 취급 가능 Hot Cell (핵물질 포함)
 - 연구용 URL
 - 감마선/중성자 조사시설
 - 핵물질과 동위원소 사용가능 가속기 및 synchrotron radiation 설비
- **대학 교육**
 - 기술공학 사회과학 **융합** 인력양성 → 다양한 분야 진출 도모
 - 원자력 분야 주도의 **교양** 과목 (예: 안전한 삶, 에너지 안보와 환경 등)
 - 교육용 핵물질 취급 규제의 현실화
 - 원자력공학 있는 대학(학과)에서부터 학내 **핵물질, 연구로** 원해야 인식 달라져

25

제안 10: 미래를 결정하는 한미협정과 규제 선도화

- **한미원자력협력협정 개정 전략에 대한 논의 시작 필요**
 - 한미원자력협력협정은 우리 30~50년 미래를 결정하는 경계 조건
 - 한미고위급위원회 재가동과 전략적 어젠다 수립
 - 외교부, 산업부, 과기부 등 주무부처 의지가 약한 상황에서 전문기관이 더 추진력 가져야
 - 원전 지재권, 선진원자로, 사용후핵연료, 핵연료 공급보장 등 중요 이슈들 대타협 이루어질 수 있을까?
 - 미국도 농축, 재처리 확산 우려 다시 고민 (2000년대 원자력 르네상스와 GNEP)
- **안전/안보 규제**
 - 원자력은 규제가 만들어져야 실행이 되는 산업이다
 - 새로운 다양한 유형의 노형, 핵물질, 방폐물 도입에 따른 충격에 대비해야 생존 가능
 - 특히, 규제를 선도하고 국제표준을 주도해야 경쟁력 확보 가능 (택소노미로 새롭게 생기는 무역장벽 등)
 - **규제 샌드박스 등 시행착오가 긍정적 노력**으로 여겨지는 문화와 제도 확립 필요
 - 연구개발, 규제개발 다부처 과제는 많으나 규제를 소규모로 적용해보는 그 다음 단계 과제 부족

26

- **발표에 대한 요약**

- 대중수용성과 주민수용성 구분이 필요하다. 지역과 상생은 생존의 문제다.
- 부지확보와 운영 과정에서 지역참여 방안도 우리가 공부하고 연구할 주제다.
- 사용후핵연료 관리 기관 사이 소통 더 필요하다 (KHNP-KORAD-KAERI-KINS, KNS-KRS).
- 핵물질 확보, 핵주기 역량 강화가 에너지 안보와 수출경쟁력 모두에 중요하다.
- 중저준위폐기물도 소통에 중요한 시급한 이슈다.
- 원자력은 규제가 만들어져야 실행이 되는 산업이다. 규제 선도국이 원자력 산업도 지배한다.
- 한미협정이 우리 원자력 기술의 미래 결정한다. 이제 준비 시작해야한다.

- **원자력 이슈 키워드**

- 계속운전, 부하추종 운전, 원전(SMR 포함) 수출
- 신규 원전 건설, 신규 원전 부지, 경수/비경수 SMR 실증과 인허가, 비발전시장 진출
- 사용후핵연료, LEU+/HALEU 핵연료
- 한미원자력협력협정, 전력산업 구조, 규제 샌드박스
- 후쿠시마
- 탄소중립, 에너지 안보, 수소경제, 에너지믹스(전기본, 에기본, 탄기본)
- 우수 인재 유입

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

11차 전력수급기본계획(잠정안) 분석 및 시사점

이종호

서울대 원자력정책센터

2024.09. 24 (화)



CONTENTS

-
- I. 11차 전력수급기본계획(잠정안) 개요
 - II. 11차 전력수급기본계획 (잠정안) 분석
 - III. 11차 수급계획(안) 분석의 시사점

I. 11차 전력수급기본계획(잠정안) 개요

3

2038년 전력수요 및 설비 전망

● 2038년 수요 전망 : 129.3 GW

- ① 경제성장률·인구전망 등을 반영한 계량모형을 통해 도출한 수요에
- ② 데이터센터, 전기화 수요 등 모형이 고려하지 못한 추가수요를 계산하여 합산한 후
- ③ 수요관리량을 차감

$$\text{목표수요 (129.3GW)} = \text{①모형수요 (128.9GW)} + \text{②추가수요 (16.7GW)} - \text{③수요관리 (16.3GW)}$$

● 2038년 목표 : 157.8 GW

- 목표 수요에 예비율 (22%)을 고려하여 연도 별 목표 설비 도출
- 기 계획된 설비 건설 및 폐지, 신재생에너지 보급 등을 고려 확정설비 도출
- 연도별 신규 필요설비 도출

$$\text{③신규 필요설비 (10.6GW)} = \frac{\text{목표수요 (129.3GW)}}{\text{x} (1+\text{예비율}(22\%))} - \text{②확정설비 (147.2GW)}$$

(신재생 보급전망先반영)
①목표설비(157.8GW)

4

발전설비 공급 계획

- 최대 전력수요 : '23년 대비 31.0 GW 증가 (98.3 → 129.3)
- 필요설비는 157.8 GW, 확정설비는 147.2 GW (실효용량)
 - 확정설비(2038년)에서 태양광/풍력은 구체적인 수치까지 제시 + 원자력 및 화력은 계획 제시
- 확정설비 상세
 - '30년 태양광·풍력 설비에 관한 현재 보급전망은 61.1 GW (기본보급경로)
 - NDC 달성을 위한 향후 정책을 반영하여 72.0 GW로 상향 (가속보급경로)
 - 이에 따라 '38년 태양광·풍력 설비를 115.5 GW로 전망, (신재생에너지 전체 : 119.5 GW)
- 화력 발전 : '36년까지 노후설비를
LNG로 전환, 이후에는 무탄소 전원으로 전환
- 원자력 발전 : 26.1 → 36.5 GW
 - 기준 : 새울 3·4호기, 신한울 3·4호기 준공
 - 추가 : APR1400 3기 및 SMR 1기

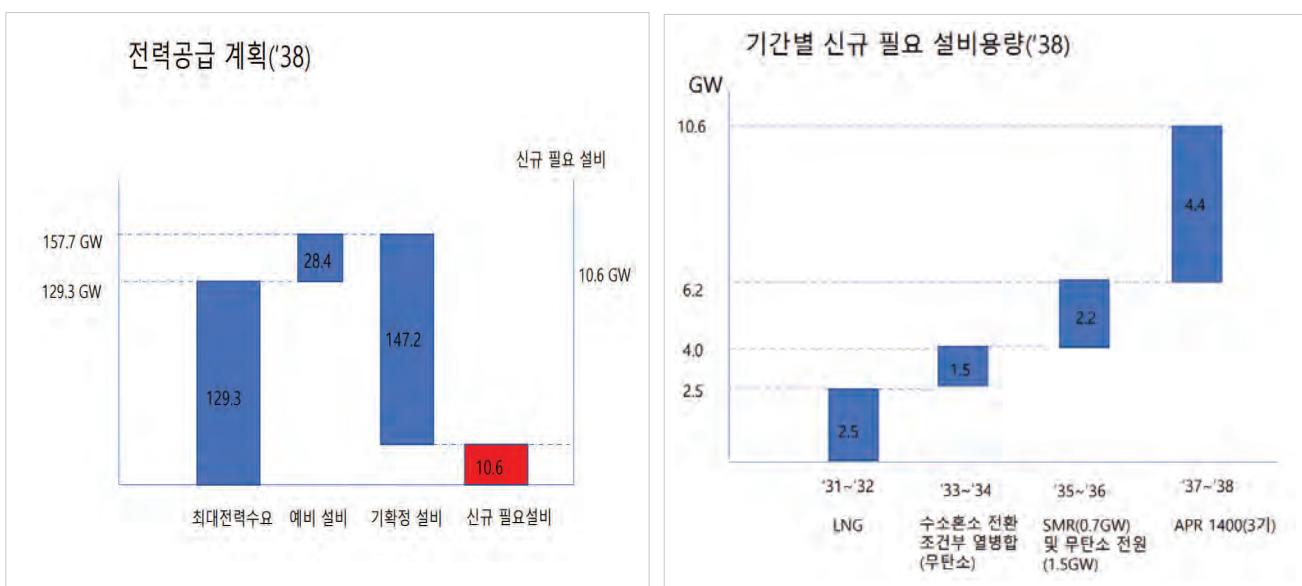


5

11차 수급계획(안) 연도별 설비 확충계획

● 원전 설비 : 4.9 GW 확충

- '35년 경 : SMR(0.7GW) 추가, '37~'38 : APR1400 3기 추가



6

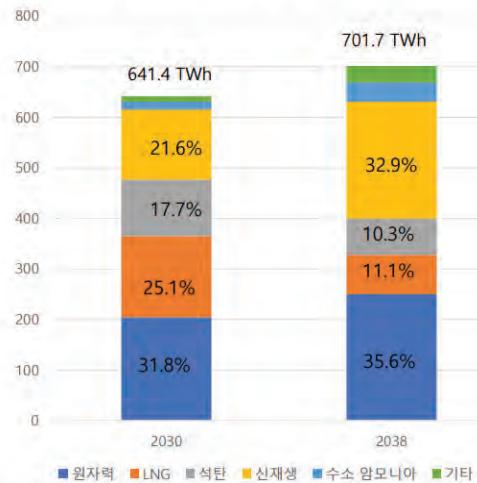
10차 수급계획과의 비교

10차 전기본과의 비교(30년)



'30년 발전량은 10차 전기본 대비 3.2% 증가
전원별 점유율은 거의 비슷하나 석탄 감소, LNG 증가

11차 전기본 발전량 전망(30, '38)



-'38년 원전 점유율은 '30년에 비해 약간 확대되었지만 신재생 점유율은 '30년에 비해 대폭 확대
- 무탄소 점유율은 '30년 52.9%에서 '38년 70.2%로 큰 폭 상승

NDC 달성방안 및 발전량 전망

- 2030년 무탄소전원 52.9% 전망으로 전환부분의 NDC는 달성 전망
 - '23년 : 무탄소에너지 40% 이하
- 2038년 무탄소전원은 70.2%로 전망
 - 2050 탄소중립을 위해서는 30%에 가까운 화석연료 발전의 Phase Out이 과제

< 발전량 및 발전비중(안) (단위: TWh, %) >

구분	원전	석탄	LNG	신재생	수소 암모니아	기타	합계	탄소	무탄소
2030년	204.2 (31.8%)	111.9 (17.4%)	160.8 (25.1%)	138.4 (21.6%)	15.5 (2.4%)	10.6 (1.7%)	641.4 (100%)	301.9 (47.1%)	339.4 (52.9%)
2038년	249.7 (35.6%)	72.0 (10.3%)	78.1 (11.1%)	230.8 (32.9%)	38.5 (5.5%)	32.5 (4.6%)	701.7 (100%)	209.1 (29.8%)	492.6 (70.2%)

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

국가별로 다양한 형태로 탄소중립 이행

- 각국은 자기 나라의 부존자원을 활용
- 수력이 풍부한 국가가 상대적으로 용이
- 스위스는 풍력 자원을 활용하지 않음
- 한국을 제외하고 태양광 발전이 최고 비중을 차지하는 나라는 없음
- 원전 비중이 큰 나라가 탄소중립 근접
- 우리나라의 재생에너지 비중은 OECD 국가 중 최 하위권 ⇒ ?

표. 2022년 기준 발전원별 및 무탄소 전원 비중

국가	원자력	재생에너지					무탄소전원
		풍력	태양광	수력	기타	소계	
스위스	37.1	0.2	5.7	52.0	4.3	62.2	99.3
핀란드	35.1	16.7	0.5	18.7	18.5 (16.5:바이오)	54.9	89.5
프랑스	62.0	8.0	4.3	10.7	4.0	27.0	89.0
덴마크	0.0	54.0	6.3	0	23.2 (17.9:바이오)	83.5	83.5
영국	14.7	24.7	4.3	2.3	12.5	43.8	58.5
독일	5.9	21.3	10.3	4.0	9.7	44.9	50.8
이태리	0.0	7.2	9.8	10.5	9.2	36.7	36.7
한국	27.6	0.5	4.5	1.1	2.8	8.9	36.5

9

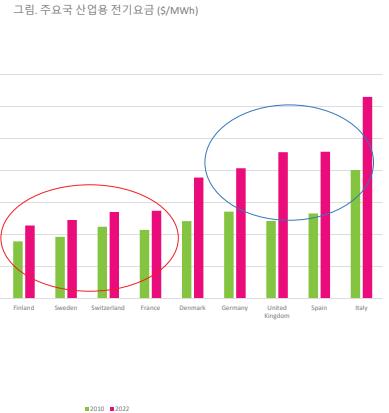
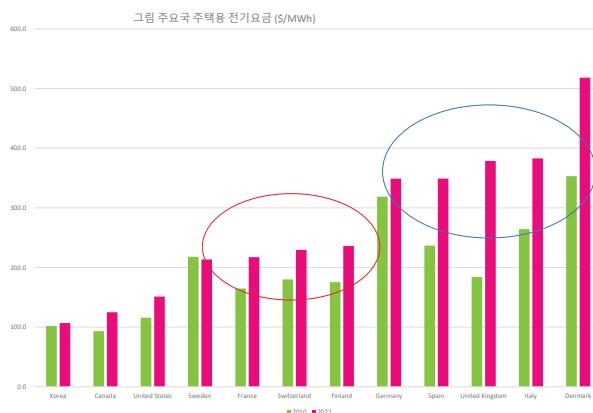
OECD 주요국가의 전력요금

- 무탄소전원(원전,수력)이 풍부한 나라(프랑스,핀란드, 스위스)가 상대적으로 전력요금 저렴

- 에너지전환에 따른 비용 증가도 낮음

- 변동성 재생에너지가 주력인 국가의 전력 요금은 상대적으로 높음

(덴마크, 스페인, 독일, 이태리, 영국)



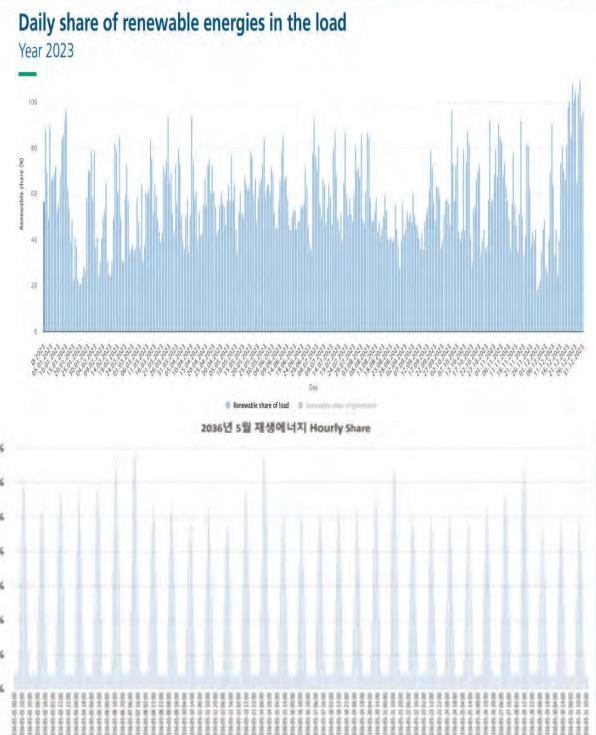
10

II. 11차 전력수급기본계획(잠정안) 분석

11

참고 : 2023년 독일과 2036년 한국의 예상 전력수급 비교

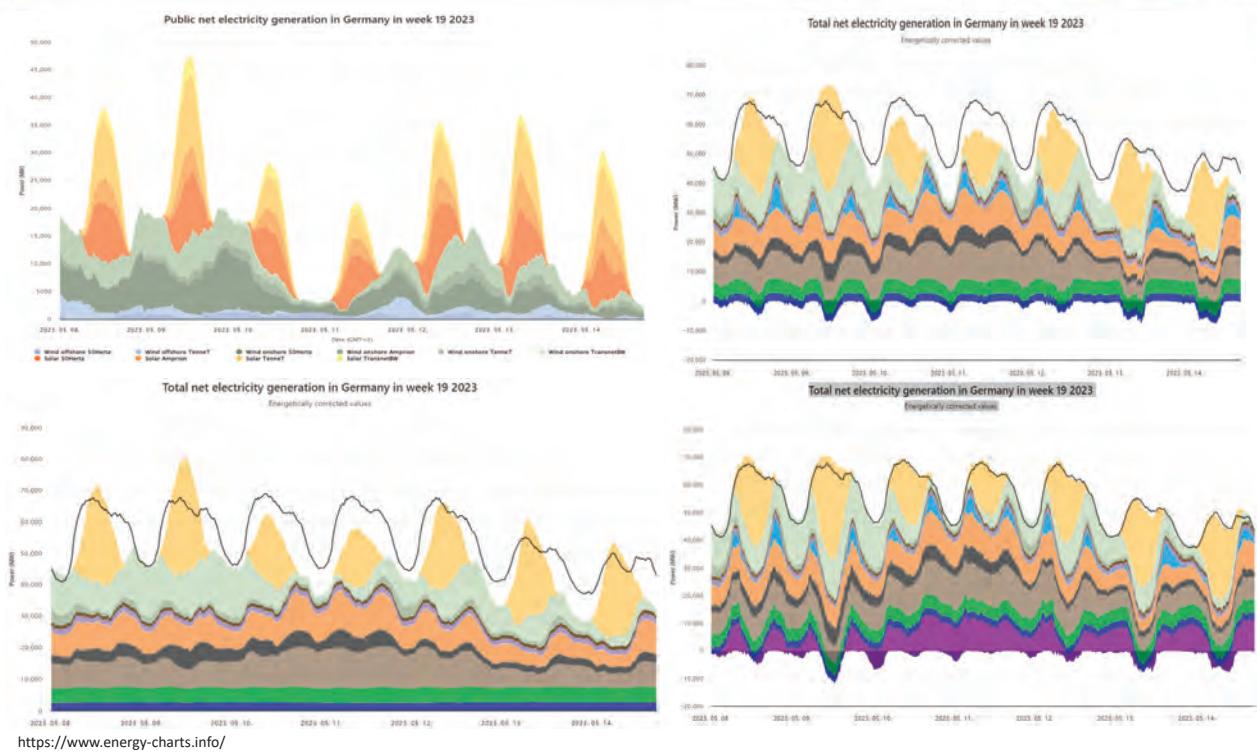
- 2023년 독일과 2036년 한국의 전력수급 비교
 - 태양광 비중 : 한국이 독일의 1.5배
 - 가변적 재생에너지 : 한국과 독일이 비슷
- 독일 2023년 재생에너지 일일 비중이 100% 이상 발생
- 한국도 봄철(5월) 재생에너지 시간비중은 거의 100% 이상



국가	원자력	재생에너지				화석 에너지	총계	
		태양광	풍력	기타	소계			
한국 (2036)	발전량 (TWh)	230.7	122.6	81.8	26.6	231.0	158.2	667.3
	비중(%)	34.6	18.4	12.2	4.0	34.6	23.7	100
독일 (2023)	발전량 (TWh)	6.7	59.9	139.8	63.1	262.8	193.3	462.8
	비중(%)	1.4	12.9	30.2	13.6	56.8	41.8	100

12

참고 : 2023년 독일의 전력계통 운영현황(<https://www.energy-charts.info>)



<https://www.energy-charts.info/>

13

탄소중립 시대의 전원믹스 방법론

- 기존의 에너지 믹스는 LDC (Long Duration Curve)를 활용하여 산정함.
- 그러나 신·재생에너지 설비 증가로 인해, 미래의 전력 계통은 신재생의 간헐성과 경직성으로 LDC를 기반으로 모사 불가능

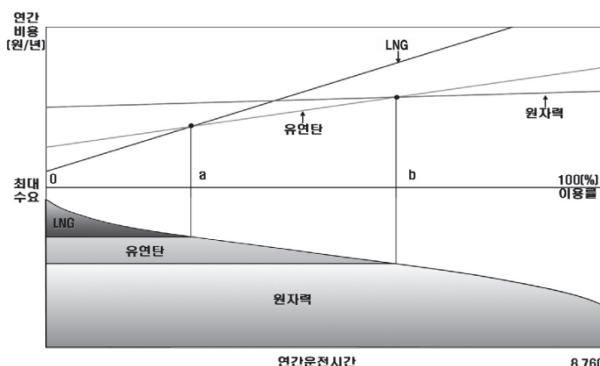


그림. 기존 Screening Curve 방법론



그림. Duck Curve가 음의 수요인 경우 발생

14

주간 평균 전력수요-공급모형 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

* NET, 2024.3., "Electricity mix scenarios simulation for Korean carbon neutrality in 2050". 주필현, 최성렬, 이종호
 * 서울대 원자력정책센터, 2023.10., "CF100 이행을 위한 원전의 역할과 경제분석 : 부록, 2050 탄소중립 달성을 위한
 바람직한 원전/재생에너지 구성비 연구", 이종호, 주필현.

그림. 2050년 계절별 총수요 패턴

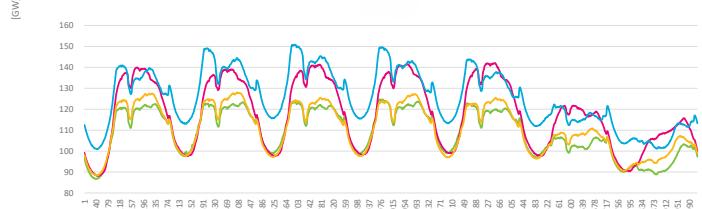
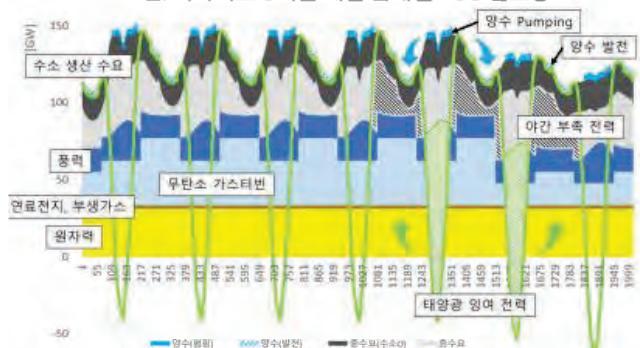


그림. 시나리오 3기준 개발 단계별 ESS 필요량



15

2038년 전력수급 시나리오 분석

- 시나리오 1 : 재생에너지와 원자력만 고려**
 - 봄철 대부분의 경우 원전/재생에너지만으로도 주간에 수요 초과 발생
 - **봄철 주말은 재생에너지 단독으로도 수요 초과**
 - **여름, 겨울철은 주말의 경우만** 원전/재생에너지만으로도 주간에 수요 초과 발생
 - 가을의 경우는 평균적으로 태양광 피크 시간대인 주간에 수요 초과
- 시나리오 2 : 재생에너지 간헐성에 대처하기 위해 배터리 및 양수고려**
 - 2038년 장주기 ESS설비는 총 21.5GW(양수 : 배터리 = 4:6으로 가정)
 - **주말은 제외하고 모든 계절에서 원전/재생에너지 발전보다 수요가 많음**
 - 봄철 및 일부 주말에서 유연성 전원(가스터빈 등) 부족으로 계통 안정성 유지 곤란

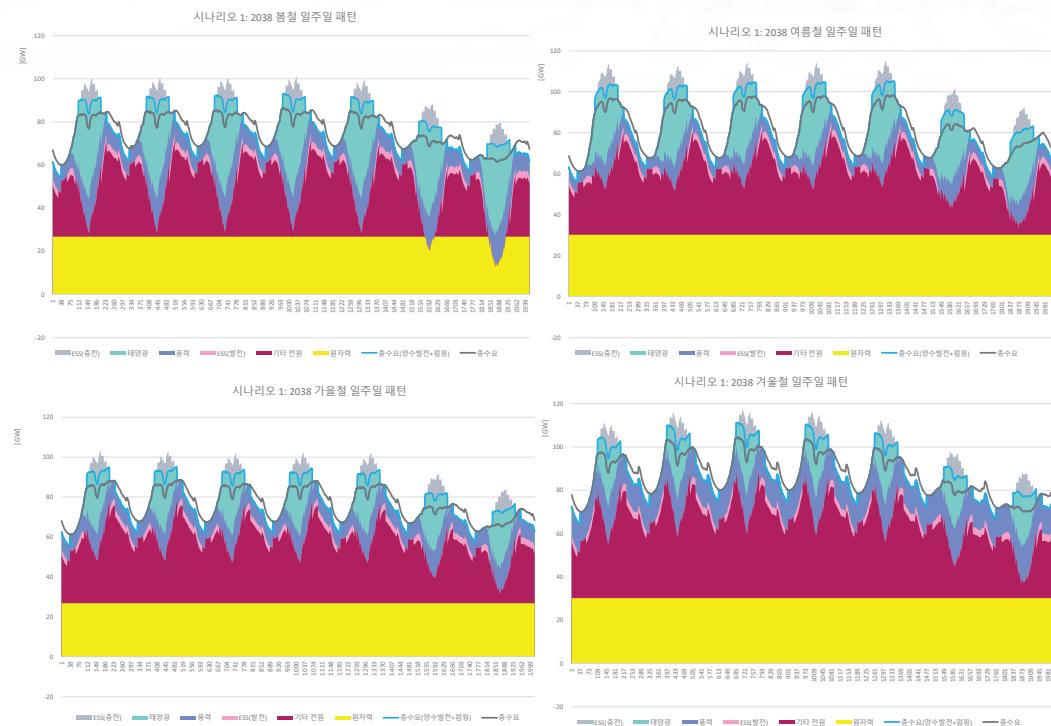
16

2038년 계절별 부족, 과잉 전력 수급 패턴



17

2038년 계절별 ESS(배터리) 및 양수를 고려한 전력 수급 패턴



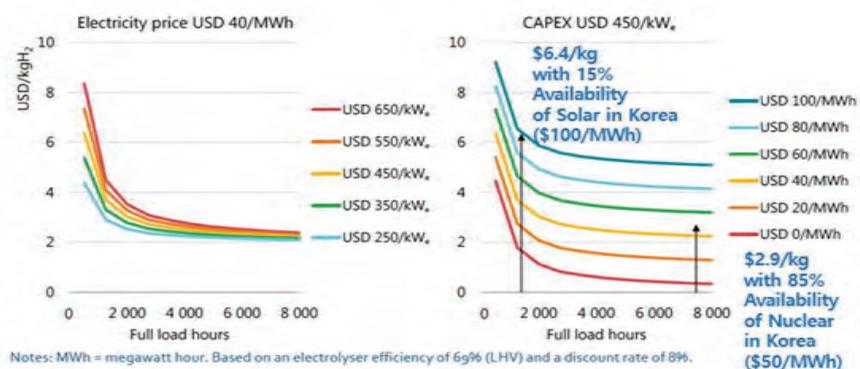
18

2038년 수소생산을 고려한 계절별 전력수급

- 계절별, 요일별 차등 수소 생산설비 운영

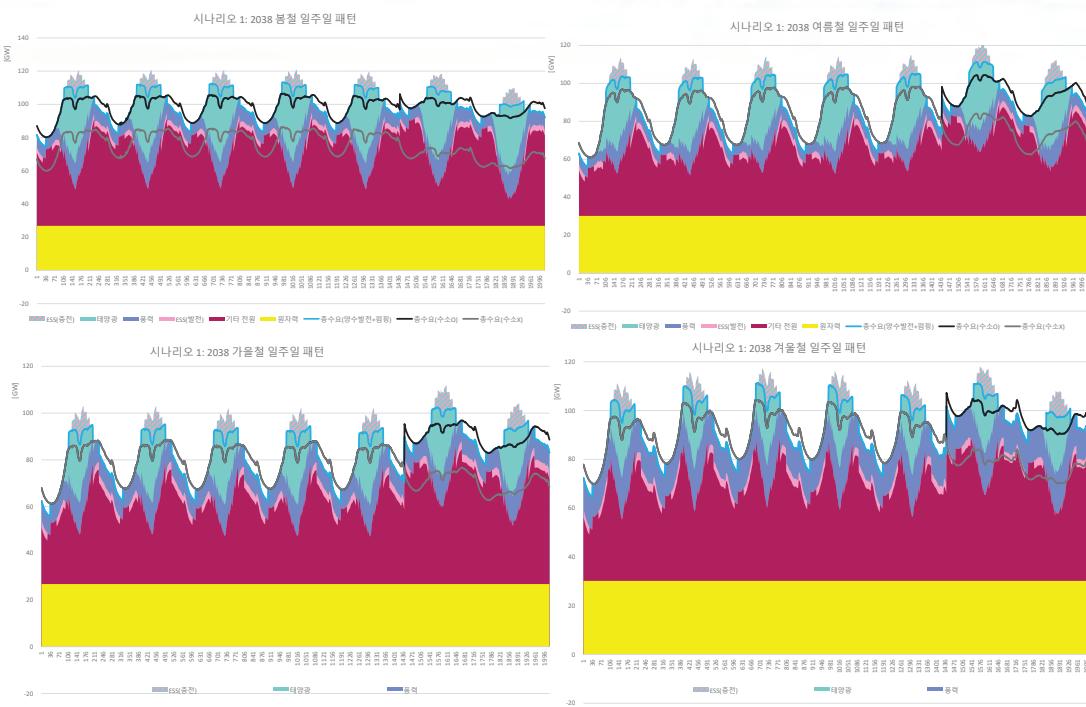
- 1년 총 수소 생산량 : 200만톤(88.7 TWh), 2050년 수소 생산량 : 550만톤(235.3 TWh)
- 봄철 주종 및 여름, 가을, 겨울 주말 : 20.203GW, 봄철 주말 : 30.203 GW
- 수소 생산설비 평균 가동률 : 45% 내외

- 분석 결과 : 모든 계절에 계통안전을 위한 유연성 설비 충분



19

2038년 수소생산을 고려한 계절별 수급 패턴



20

- 저장장치(배터리와 양수)내의 적정 구성비 검토
- 원자력 수소와 저장장치(배터리, 양수)의 적정 배분 시나리오 분석
 - 안정적 무탄소 전원인 원전이 증가시키면 안정적이고 경제적인 계통 운영 가능
 - 재생에너지 변동성 영향 감소로 배터리 필요량 감소
- 수소생산과 발전은 향후 중요한 전력수급 안정화 수단으로 전망
 - 재생에너지 계절별 차등 해소의 수단(태양광 : 겨울철 발전량의 봄철 발전량의 50% 수준)
- 원전 부하 추종의 확대 및 영향 검토
 - 과잉-부족 전력 완화로 배터리 필요량 감소로 비용 절감 가능

III. 11차 수급계획(안) 분석의 시사점

● 세계적으로 보기 드문 탄소중립을 위한 전력계통 환경 ⇒ 우리에 적합한 전력수급 체계 설계

- 독립된 계통으로 주변국으로부터 전력 유통이 어려움
- 태양광이 가장 많은 재생에너지 자원으로 전력 공급의 간헐성, 변동성이 큼
- 비용의 상당부분을 재생에너지 간헐성 제어를 위한 배터리 비용이 차지

● 수급안정화 차원 및 시장원리에 기반화 수요와 공급체계를 조속히 구축해야

- 수소 발전 및 수소 생산을 통한 수급 안정, 데이터 센터, 산업단지 등 분산형 전력수급 체계 구축
- 바람직한 수요공급 유도가 가능한 전력시장의 조속한 구축 및 민간 등 다양한 주체 참여 유도

● 원전의 비중확대를 위한 주민 수용성 제고를 위한 노력 필요

- 대형원전 부하추종 적용성 강화 필요, SMR의 조기 상용화를 통한 부하추종 능력 제고
- 안정성이 대폭 향상된 SMR의 조기 개발, 대형원전의 지속적인 안전성 개선 등으로 원전 주민 수용성 획기적 개선

● 안정적이고 경제적인 전력계통 구축을 위한 다각적인 연구개발 활성화 필요

- 특이하고 복잡한 전력계통 환경임에도 불구하고 관련 분야 심도 있는 연구는 빈약
- 조화로운 중장기 재생에너지/원전 믹스, 국가 송전망 구축, 전력시장 설계 분야 등의 미래 연구개발 활성화 필요

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center



서울대학교 원자력에너지기술정책연구소
NIFTEP

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

탄소중립을 고려한 에너지믹스 예비 모형구축

이만기

2024. 9. 24.

서울대학교 원자력정책센터

mklee5@snu.ac.kr

서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

NIFTEP

서울대학교 원자력미래기술정책연구소

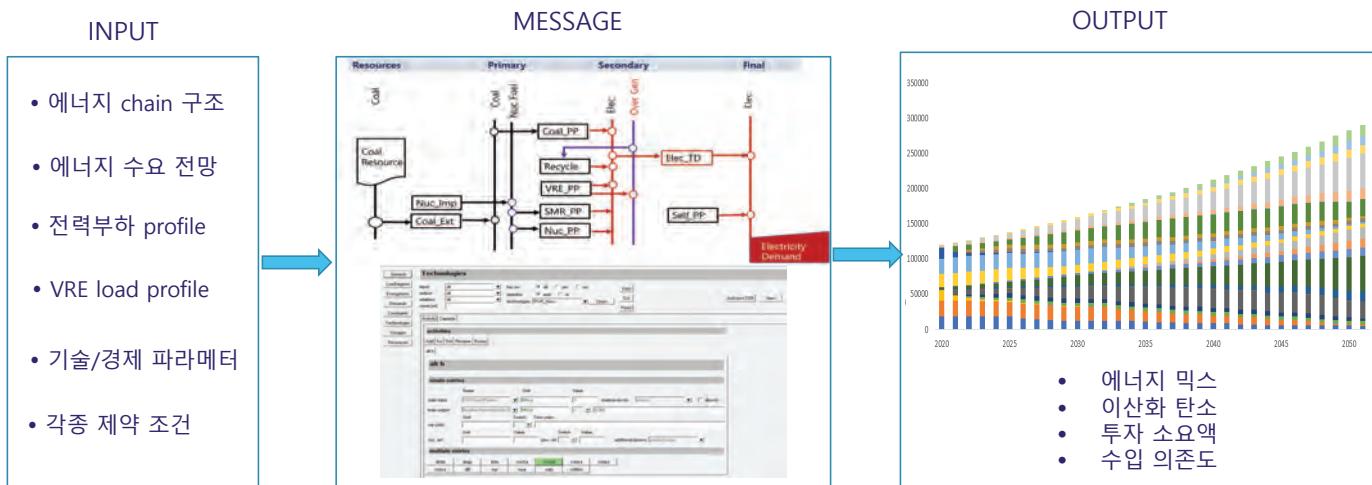
CONTENTS

목차안내

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

에너지 믹스 분석 모형: MESSAGE

- IIASA에서 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



❖ MESSAGE: Model for Energy Supply Strategy Alternative and their General Environmental Impacts

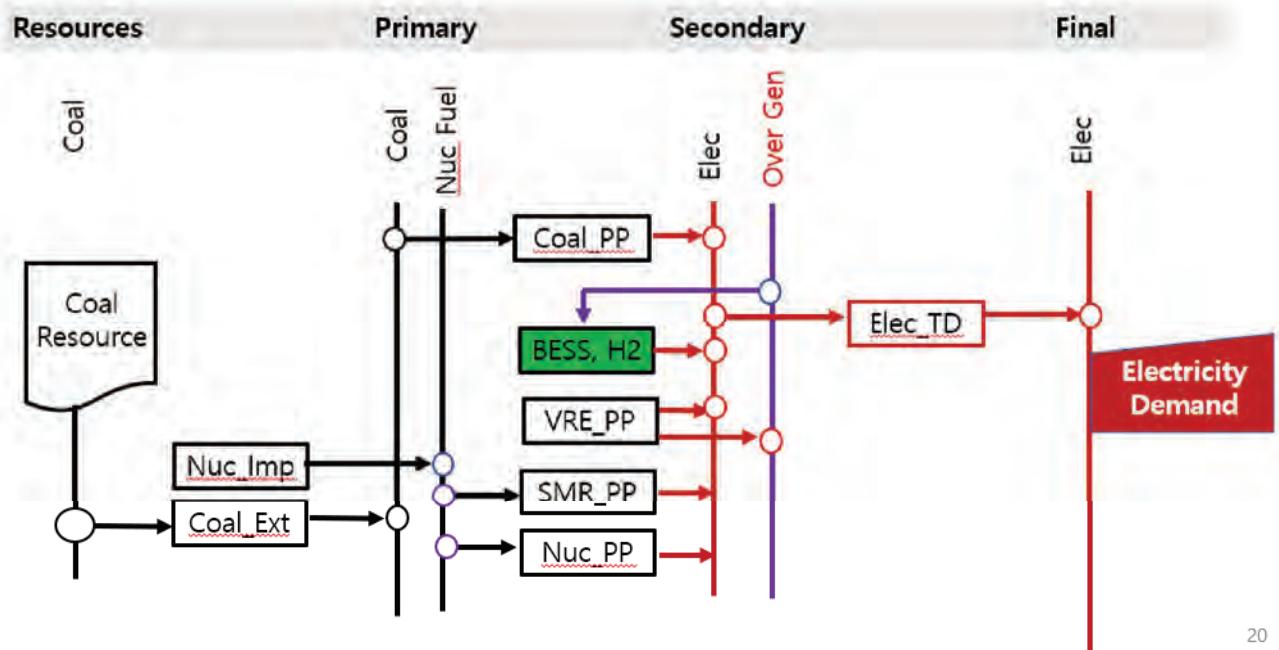
3

목 차

- I. Reference Energy System
- II. 전력수요
- III. 발전원별 입력자료
- IV. 재생에너지 간헐성
- V. 제약조건
- VI. 시뮬레이션
- VII. 맷음말

4

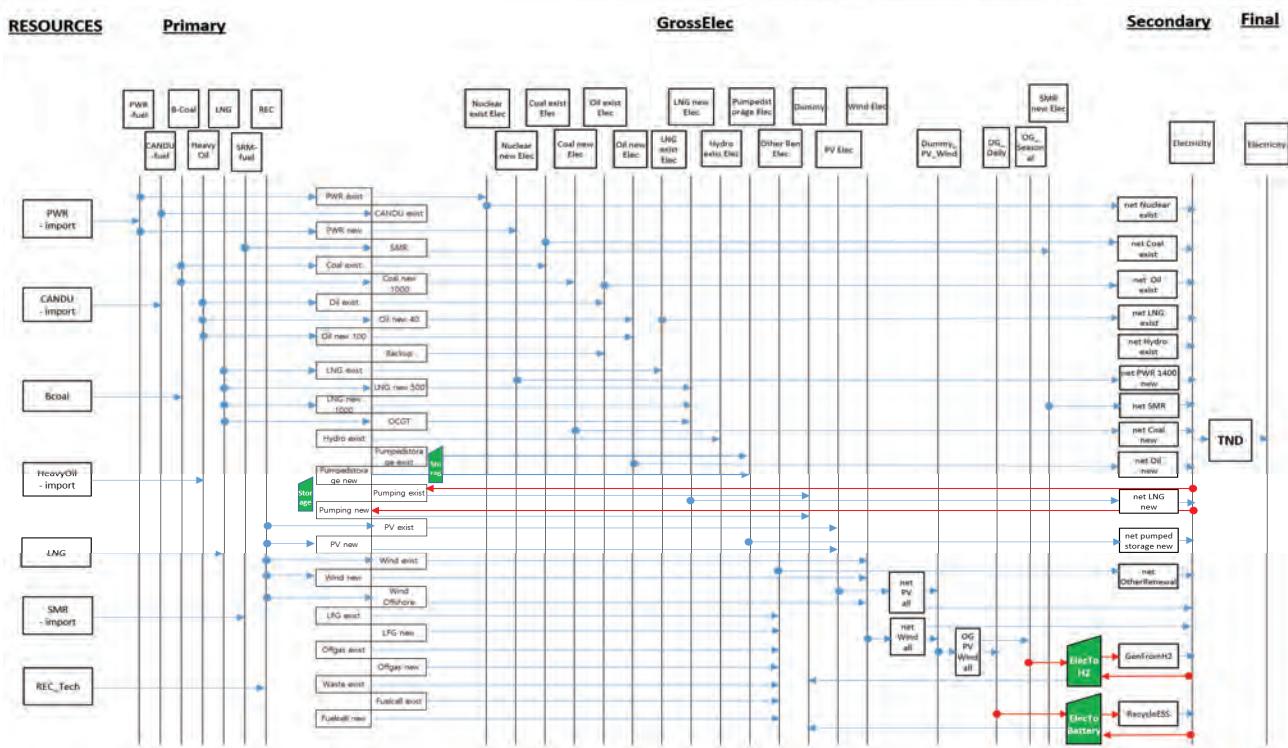
Reference Energy System 개관



20

5

Reference Energy System (과제 모형, `24.09)

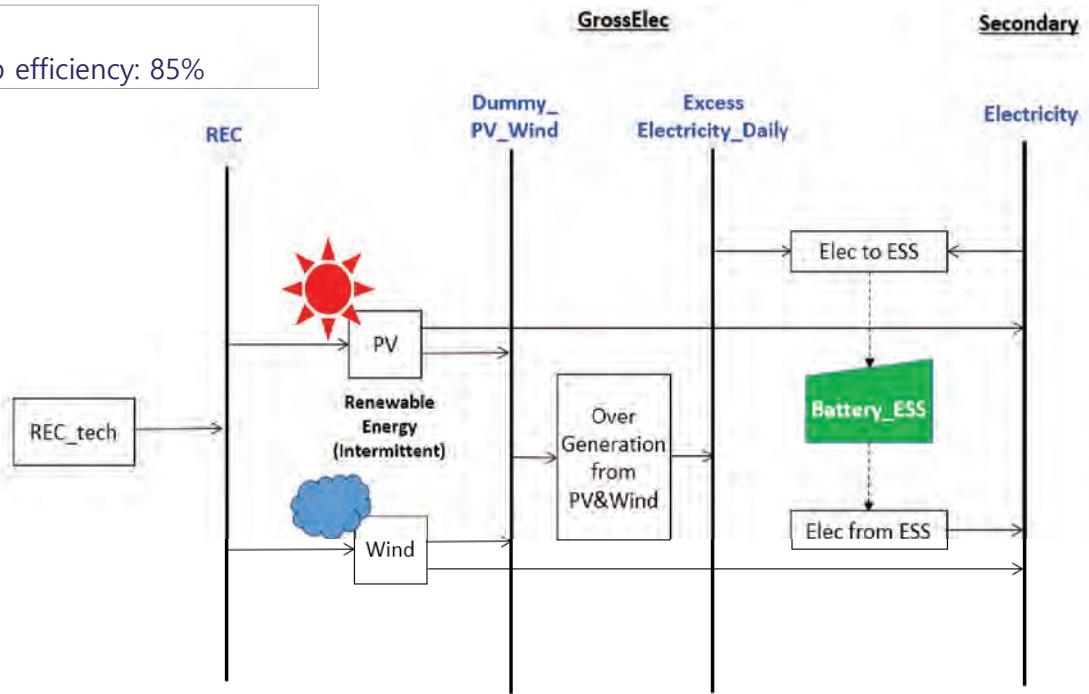


6

저장기술 모델링: 배터리(BESS)

✓ 배터리

- Round-trip efficiency: 85%

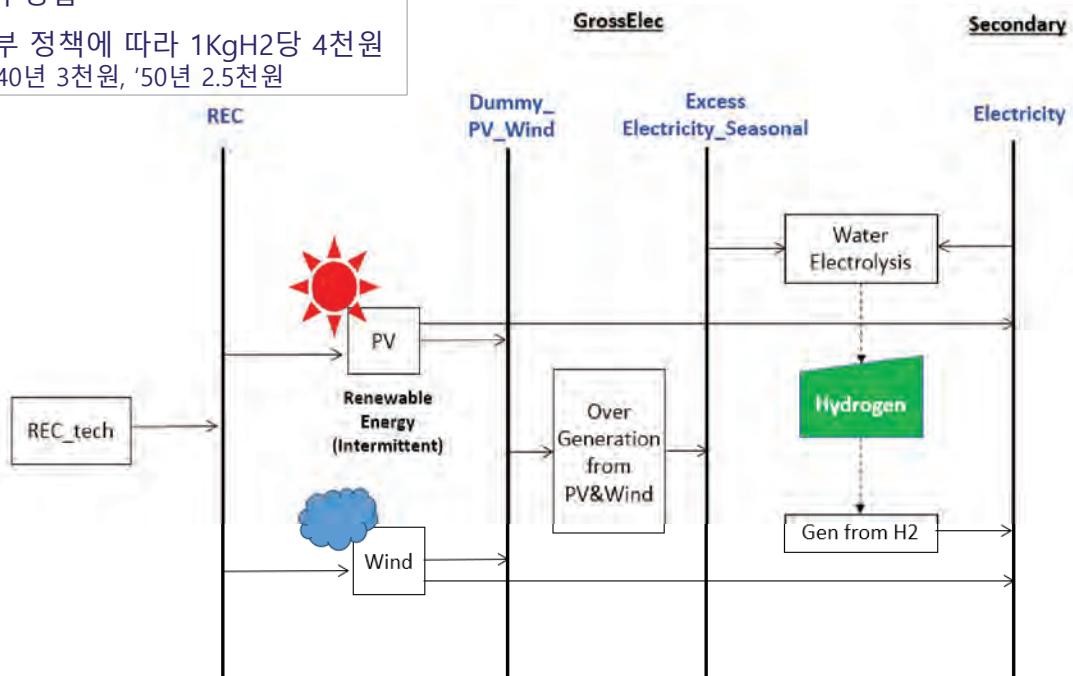


7

저장기술 모델링: 수소 기반 전력 공급

✓ 수소 기반 전력 공급

- 수소 가격: 정부 정책에 따라 1KgH₂당 4천원
- '30년 3.5천원, '40년 3천원, '50년 2.5천원



3

저장기술 모델링: 양수발전

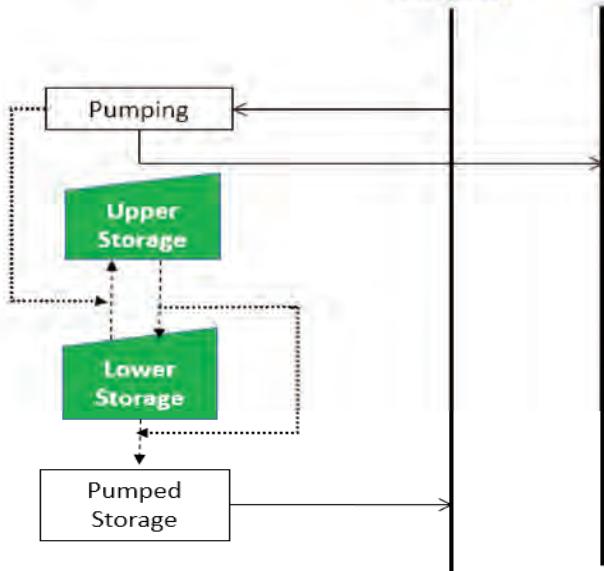
✓ 양수발전

- 무주양수발전 300MW 참고

GrossElec

Secondary

Electricity Dummy



9

목 차

I. Reference Energy System

II. 전력수요

III. 발전원별 입력자료

IV. 재생에너지 간헐성

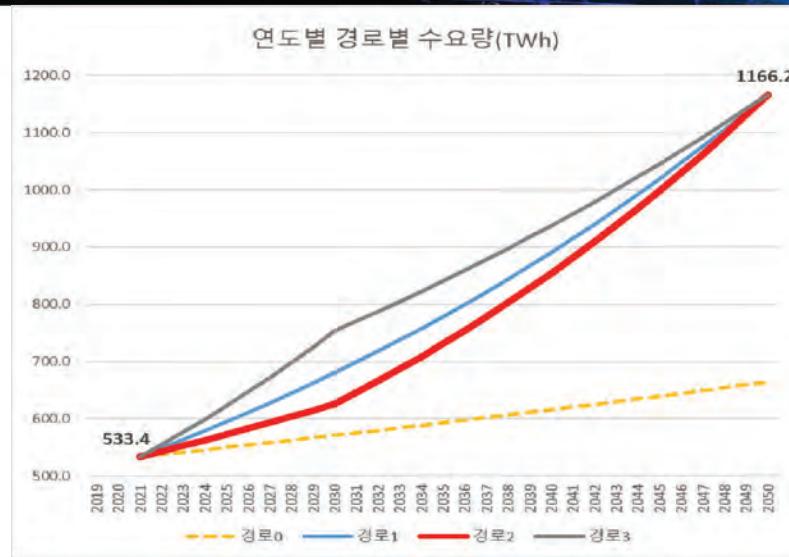
V. 제약조건

VI. 시뮬레이션

VII. 맷음말

10

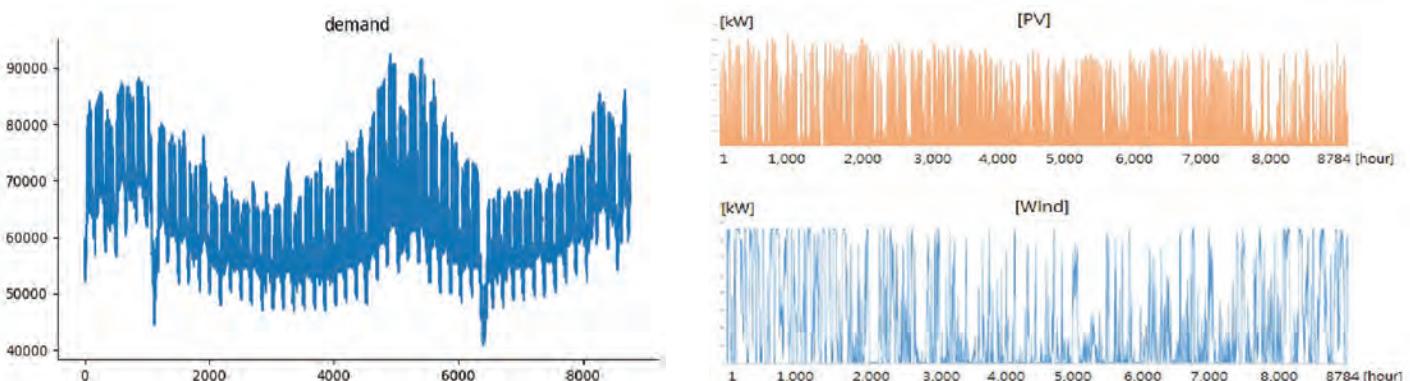
전력수요 전망



- (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

11

시간단위 부하패턴



➤ 2018년 전력수요 시간대별 실적

➤ 국내 연간 전력 부하패턴의 특징

- 혹한/혹서 기간인 8~9월/1~2월에 전력 수요가 많음
- 설날/추석과 같은 특정 연휴 기간의 전력 수요는 1년 중 가장 낮음
- 평균전력(64,480MW), 최대전력(92,478MW), 최저전력(40,878MW), 부하율(69.9%)

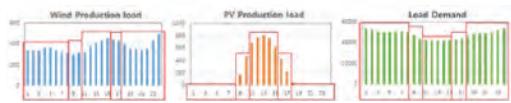
➤ 태양광·풍력 시간대별 발전량

12

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 주중(Work day)과 주말/휴일(Saturday, Sunday & holiday)로, 하루를 5개의 영역(Part type)으로 구분



- 전력 수요 및 재생에너지 전력 생산 데이터의 효율적 분석을 위해 Python 활용 코드 개발 (input data of MESSAGE)

< 코드 개발 과정 >

1. Peak & Base 찾기

- 계절별 demand의 최소값과 최대값을 찾음
- Base 2일: min 값을 갖는 날짜를 기준, 직전날과 다음날을 비교하여 더 낮은 날을 추가
- Peak 2일: max 값을 갖는 날짜를 기준, 직전날과 다음날을 비교하여 더 높은 날을 추가

2. 부하구간 설정

- 계절에 따른 24시간 구분(5개의 파트)

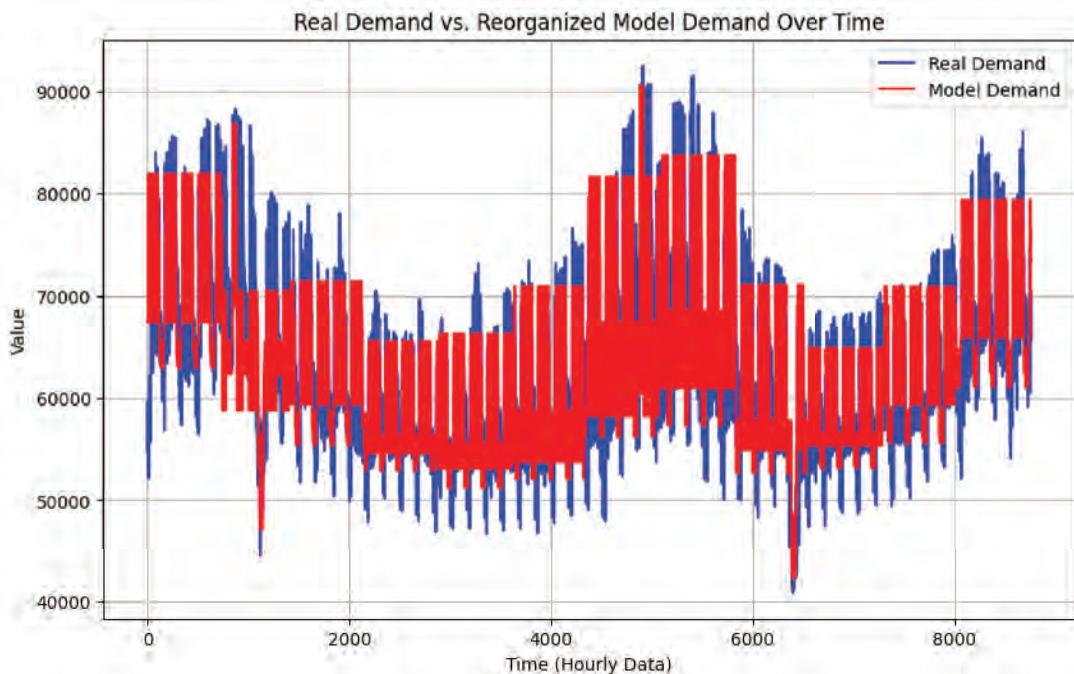
3. 부하구간에 따른 부하패턴 분석

	min, and max:
	season month day hour weekday W/SSH D/N demand label
0	W1 2 16 18 Fri 0 D 44473.0 B1
1	F 9 24 12 Mon 0 D 40878.0 B2
2	W1 2 17 15 Sat 1 D 48868.0 B1
3	F 9 25 4 Tue 0 N 41171.0 B2
4	W1 2 6 10 Tue 0 D 88238.0 P1
5	Su 7 24 17 Tue 0 D 92478.0 P2
6	W1 2 5 11 Mon 0 D 87623.0 P1
7	Su 7 23 17 Mon 0 D 90695.0 P2

Season 1: [(1, 9), (10, 11), (12, 14), (15, 16), (17, 24)]
 Season 2: [(1, 8), (9, 10), (11, 15), (16, 17), (18, 24)]
 Season 3: [(1, 8), (9, 10), (11, 15), (16, 17), (18, 24)]
 Season 4: [(1, 7), (8, 9), (10, 14), (15, 17), (18, 24)]
 Season 5: [(1, 7), (8, 9), (10, 16), (17, 18), (19, 24)]
 Season 6: [(1, 7), (8, 9), (10, 16), (17, 18), (19, 24)]
 Season 7: [(1, 7), (8, 9), (10, 16), (17, 18), (19, 24)]
 Season 8: [(1, 8), (9, 10), (11, 16), (17, 18), (19, 24)]
 Season 9: [(1, 8), (9, 10), (11, 15), (16, 17), (18, 24)]
 Season 10: [(1, 8), (9, 10), (11, 14), (15, 16), (17, 24)]
 Season 11: [(1, 8), (9, 10), (11, 14), (15, 16), (17, 24)]
 Season 12: [(1, 9), (10, 11), (12, 14), (15, 16), (17, 24)]
 Season 13: [(1, 8), (9, 10), (11, 16), (17, 19), (20, 24)]
 Season 14: [(1, 7), (8, 10), (11, 15), (16, 18), (19, 24)]
 Season 15: [(1, 8), (9, 12), (13, 15), (16, 17), (18, 24)]
 Season 16: [(1, 7), (8, 9), (10, 13), (14, 17), (18, 24)]

13

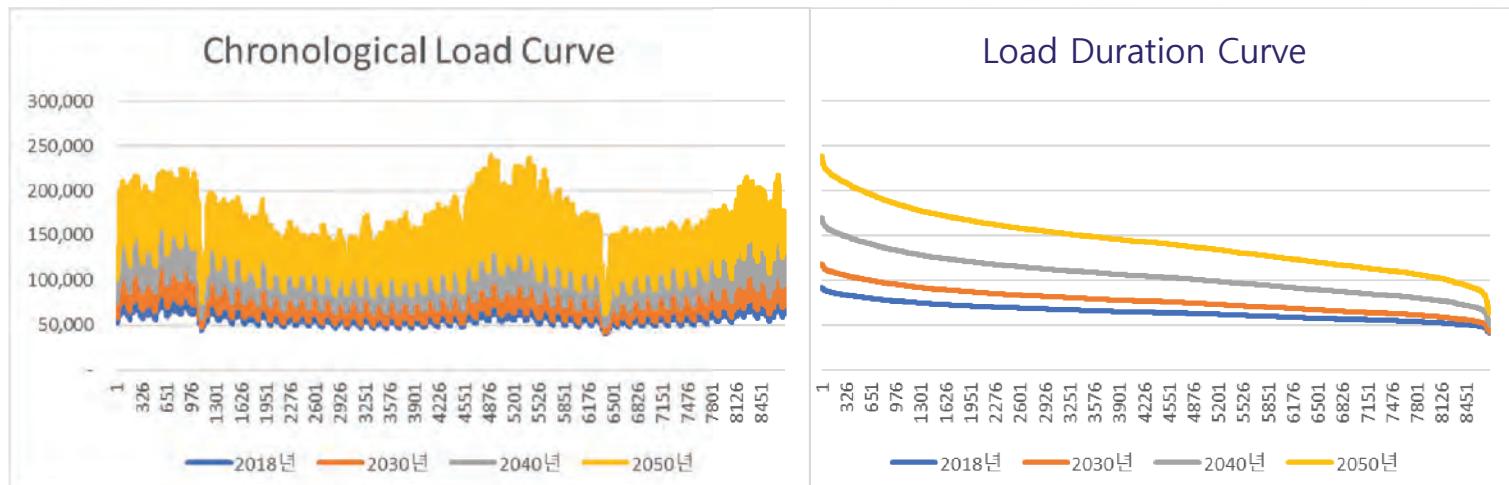
전력부하패턴 비교: 실적과 추정



평균 오차율: 5.14%

14

부하율을 고려한 부하패턴 실적 및 전망



	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

15

목 차

- I. Reference Energy System
- II. 전력수요
- III. 발전원별 입력자료
- IV. 재생에너지 간헐성
- V. 제약조건
- VI. 시뮬레이션
- VII. 맷음말

16

발전원별 기술적 파라미터

Technology		기술명	Plant life	Plant factor	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
화력	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	(0.176)	-
저장기술	양수	양수 발전	50	(0.15)	5
	배터리	BESS	15	0.167	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

17

발전원별 경제적 파라미터

	fixed O&M (천원/kW-year_gross)	var. O&M (천원/kWyr_gross)	비고
Coal	52.3	45.2	
CCGT(LNG)_500	54.4	43.7	
CCGT(LNG)_1000	40.1	32.4	
Nuclear	81.8	71.9	대형원전 LTO 투자비 520\$/KW

❖ 출처: Projected Costs of Generating Electricity 2015, 2020 (OECD NEA)

Battery	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%

❖ 출처: Annual Technology Baseline 2022 (National Renewable Energy Lab, NREL)

18

	태양광		육상풍력		해상풍력	
	용량 (MW)	순건설비 (\$/kW)	용량 (MW)	순건설비 (\$/kW)	용량 (MW)	순건설비 (\$/kW)
미국	100	1,072	100	1,637	600	2,350
일본	2	2,006	20	2,282	100	4,039
한국	3	1,226	15	1,982	99	3,520

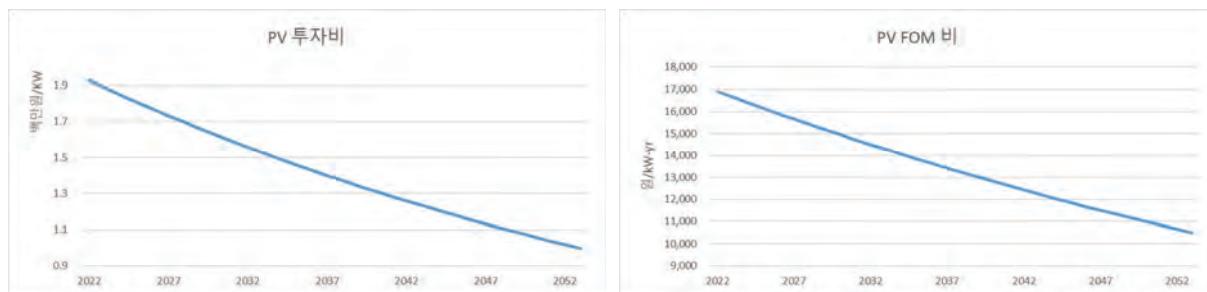
❖ 출처: Projected Costs of Generating Electricity 2020 (OECD NEA)

- 용량 크기를 고려할 때 우리나라의 순건설비는 미국과 일본에 비해 너무 저렴
- 본 연구에서 순건설비를 태양광 43%, 육상풍력 14%, 해상풍력 33% 각각 상향 조정

재생에너지 경제적 파라미터

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

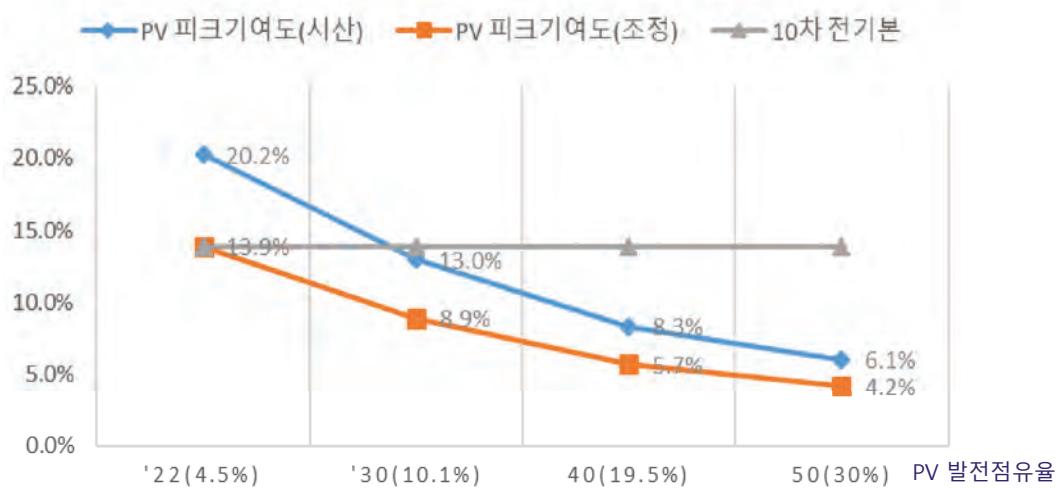
	Investment cost (천원/kW)	연평균 증감률	Fixed O&M cost (천원/kW-Yr)	연평균 증감률
PV	1,927	-2.10%	17	-1.53%
Wind_육상	2,478	-2.06%	62	-0.86%
Wind_해상	5,165	-1.19%	129	-1.32%



- I. Reference Energy System
- II. 전력수요
- III. 발전원별 입력자료
- IV. 재생에너지 간헐성
- V. 제약조건
- VI. 시뮬레이션
- VII. 맷음말

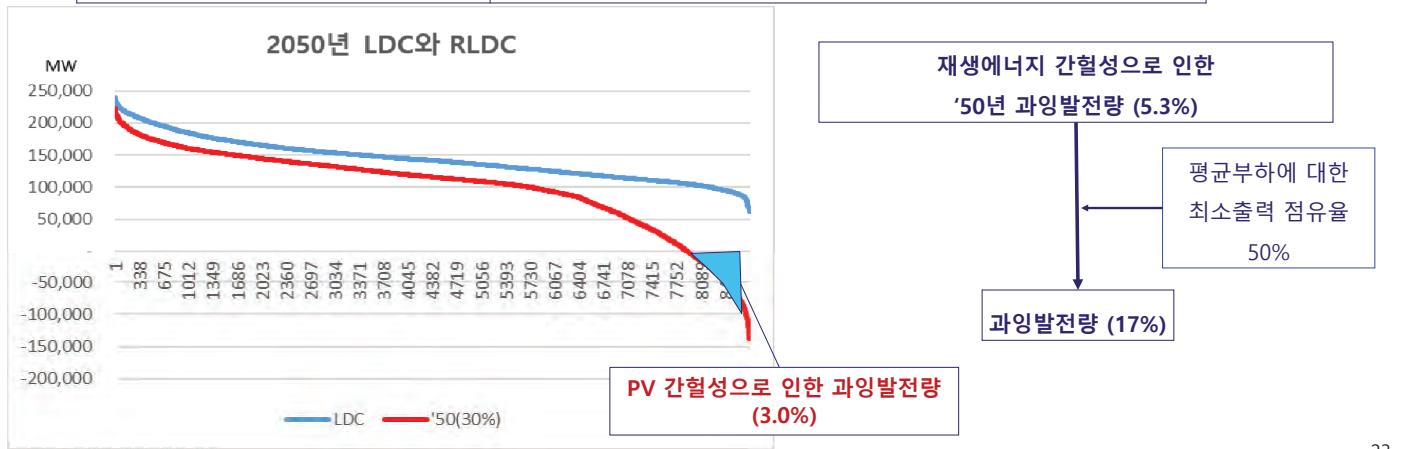
태양광 피크기여율

연도별 발전점유율에 따른 PV 피크기여도



재생에너지 과잉발전량

	과잉발전량비율 (재생발전량에 대한 비율)			
	2018년	2030년	2040년	2050년
재생발전 점유율	6%	17%	33%	50%
부하율	70%	65%	62%	60%
평균부하에 대한 최소출력 점유율	20%	0.0%	-0.1%	-6.3%
	30%	0.0%	-0.6%	-9.6%
	50%	-0.02%	-4.6%	-19.7%
				-34.0%



23

목 차

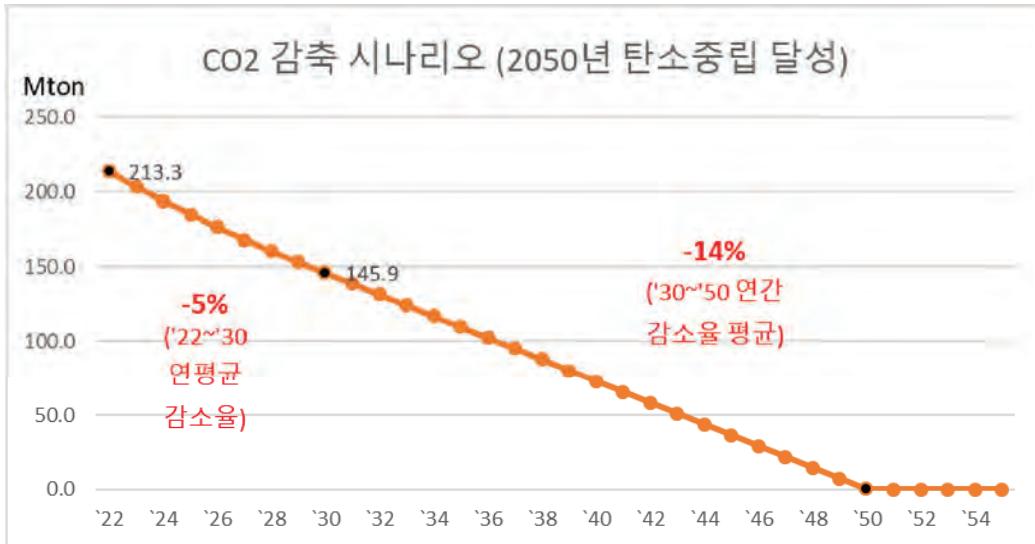
- I. Reference Energy System
- II. 전력수요
- III. 발전원별 입력자료
- IV. 재생에너지 간헐성
- V. 제약조건
- VI. 시뮬레이션
- VII. 맷음말

24

이산화탄소 제약

< 전환부문의 온실가스 감축목표 >

- NDC : 296.6백만톤('18년) ⇄ 145.9백만톤('30년)
- 탄소중립 : 탄소 배출 Zero('50년)



25

기타 제약

- 설비예비력: 최대 전력의 22%
- 재생에너지 과잉발전량
- 태양광 풍력 비율: 8:2 → 6:4(2030년 이후)
- 해상풍력: 2028년 이후 전체 재생에너지의 1/3 점유
- 재생에너지 점유율: 2050년 50%

	태양광	풍력	재생비율
22년	4.5%	1.1%	6%
30년	10.1%	7%	17%
40년	19.5%	13%	33%
50년	30%	20%	50%

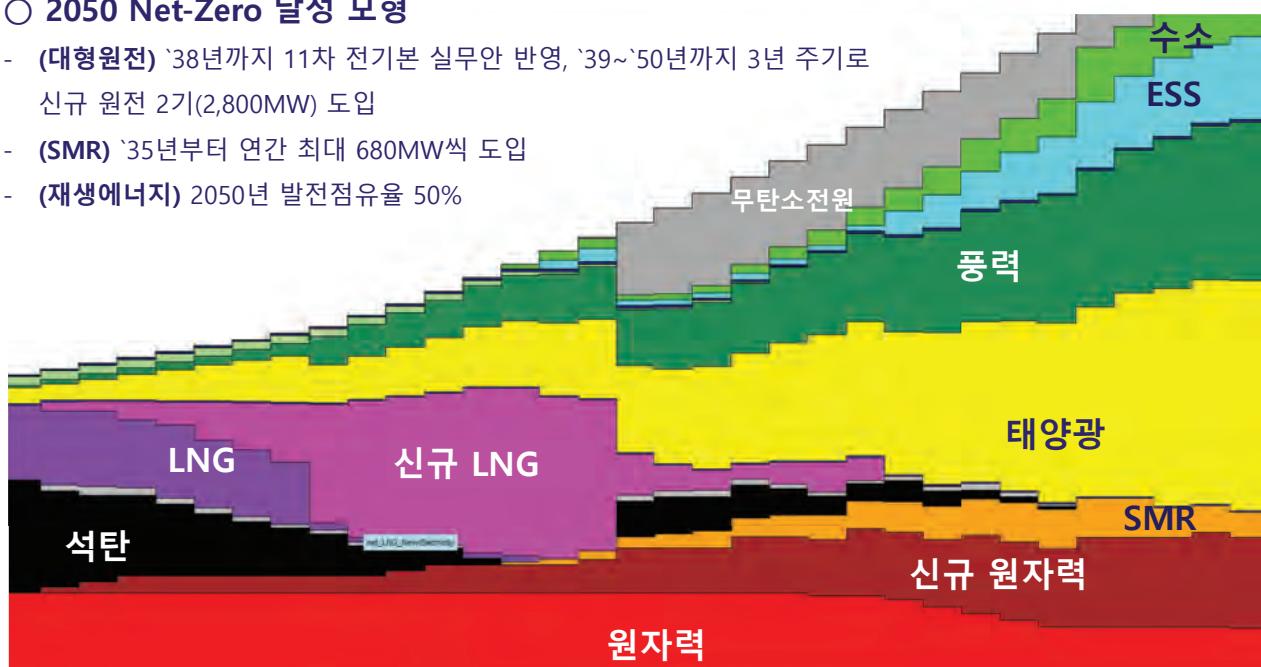
26

- I. Reference Energy System
- II. 전력수요
- III. 발전원별 입력자료
- IV. 재생에너지 간헐성
- V. 제약조건
- VI. 시뮬레이션
- VII. 맷음말

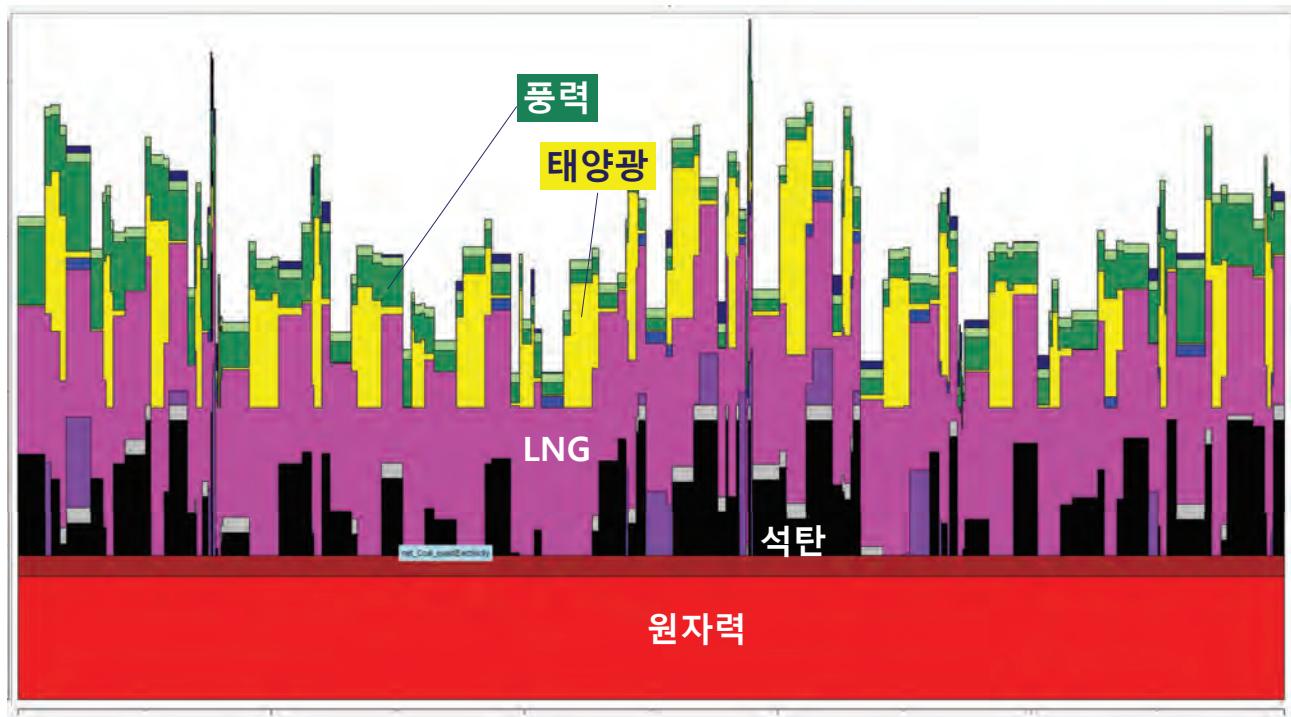
발전원별 발전량 전망(22-'50)

○ 2050 Net-Zero 달성을 모형

- (대형원전) '38년까지 11차 전기본 실무안 반영, '39~'50년까지 3년 주기로 신규 원전 2기(2,800MW) 도입
- (SMR) '35년부터 연간 최대 680MW씩 도입
- (재생에너지) 2050년 발전점유율 50%

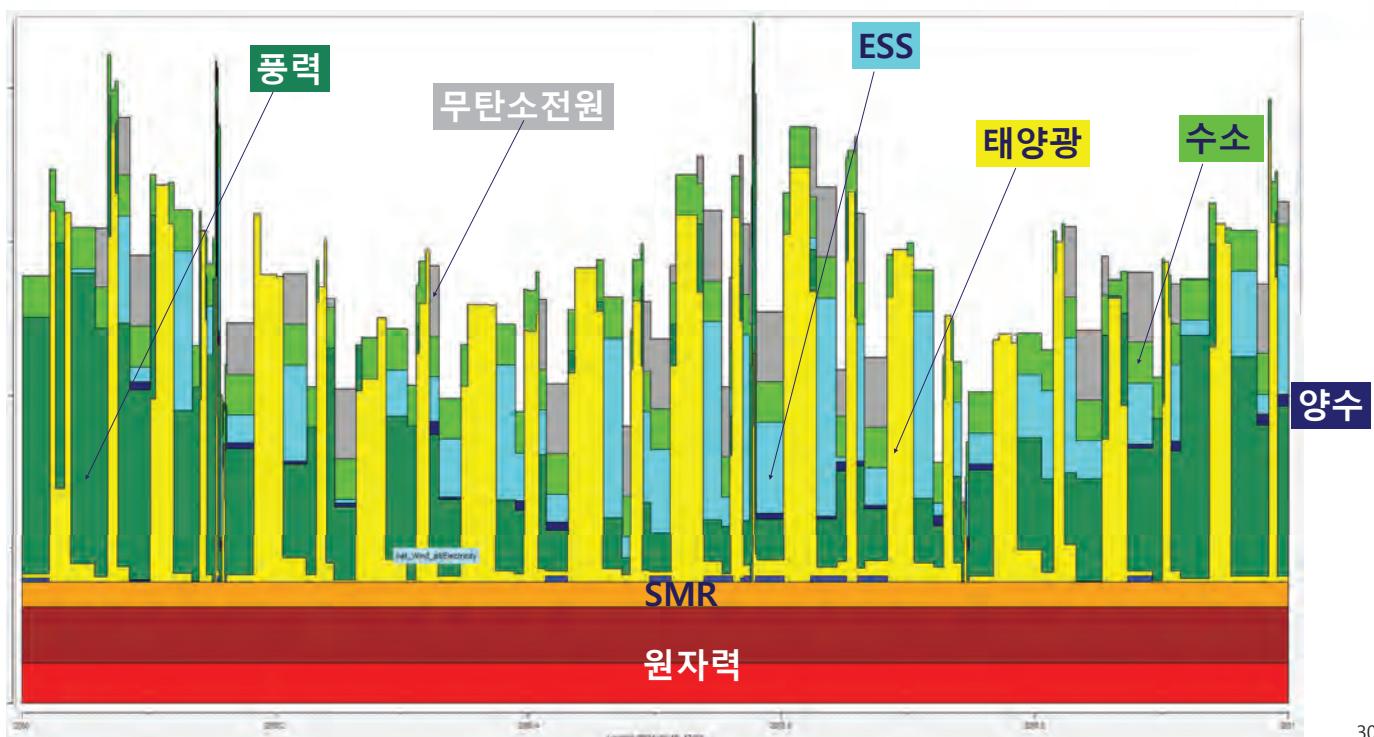


2030년 발전원별 발전량 전망



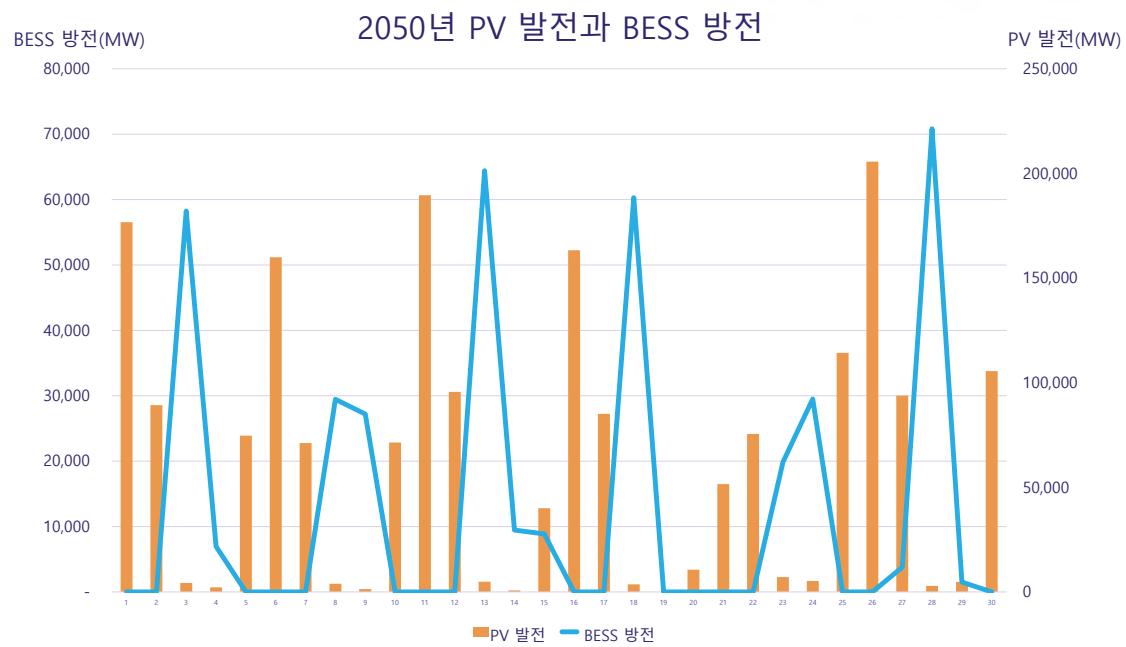
29

2050년 발전원별 발전량 전망: Net Zero



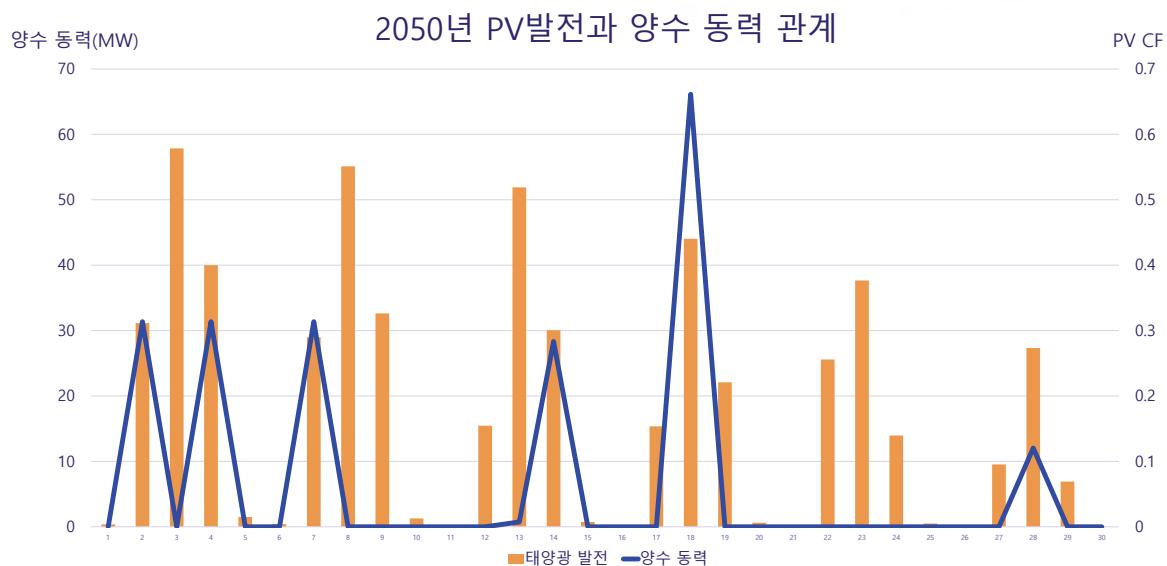
30

태양광 발전과 배터리의 관계: 2050년 한 시즌(가을)



31

태양광 발전과 양수 동력의 관계: 2050년 한 시즌(봄)



32

맺음말

✓ 탄소중립 달성을 위한 국내 에너지믹스 예비모형 구축

✓ 향후 작업

◇ 비용자료 Update

◇ 에너지믹스 모형 Calibration

- 모형의 정합성 제고
- 주요 입력 parameter 민감도 분석
- 11차 전기본 시뮬레이션 등

◇ 탄소 중립 시나리오 개발 및 분석

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

사용후핵연료 건식저장시설 설치 필요성 및 현황

황해룡

2024. 9. 24.

서울대학교 원자력정책센터
sidragon@snu.ac.kr



CONTENTS

- I. 필요성
- II. 사용후핵연료 저장 인허가 체계 해외 사례
- III. 독일 사용후핵연료 저장소
- IV. 독일 사용후핵연료 건식 저장
- V. 우리나라 사용후핵연료 저장 법규
- VI. 부지내 임시 건식저장시설 건설
- VII. 건식저장시설의 안전성 평가 항목
- VIII. 사용후핵연료 건식저장시설 현황

01

2030년부터 한빛 원자력발전소를 시작으로 경수로 사용후핵연료 누적 발생량의 저장용량 초과가 예상됨

02

사용후핵연료 처리 처분에 대한 후행 핵연료 주기 정책이 결정되기 전까지 사용후핵연료를 원자력발전소 부지 내에서 안전하게 저장 관리하기 위한 사용후핵연료 건식저장시설이 절실히 필요한 실정임

03

정치권과 산업계는 원전 가동으로 발생하는 고준위 방사성폐기물(사용후핵연료)의 영구 처분시설을 마련하기 위한 '고준위 방폐물 관리 특별법'에 대한 논의를 벌이고 있지만, 찬반으로 엇갈린 의견에 좀처럼 결론을 짓지 못하고 있음

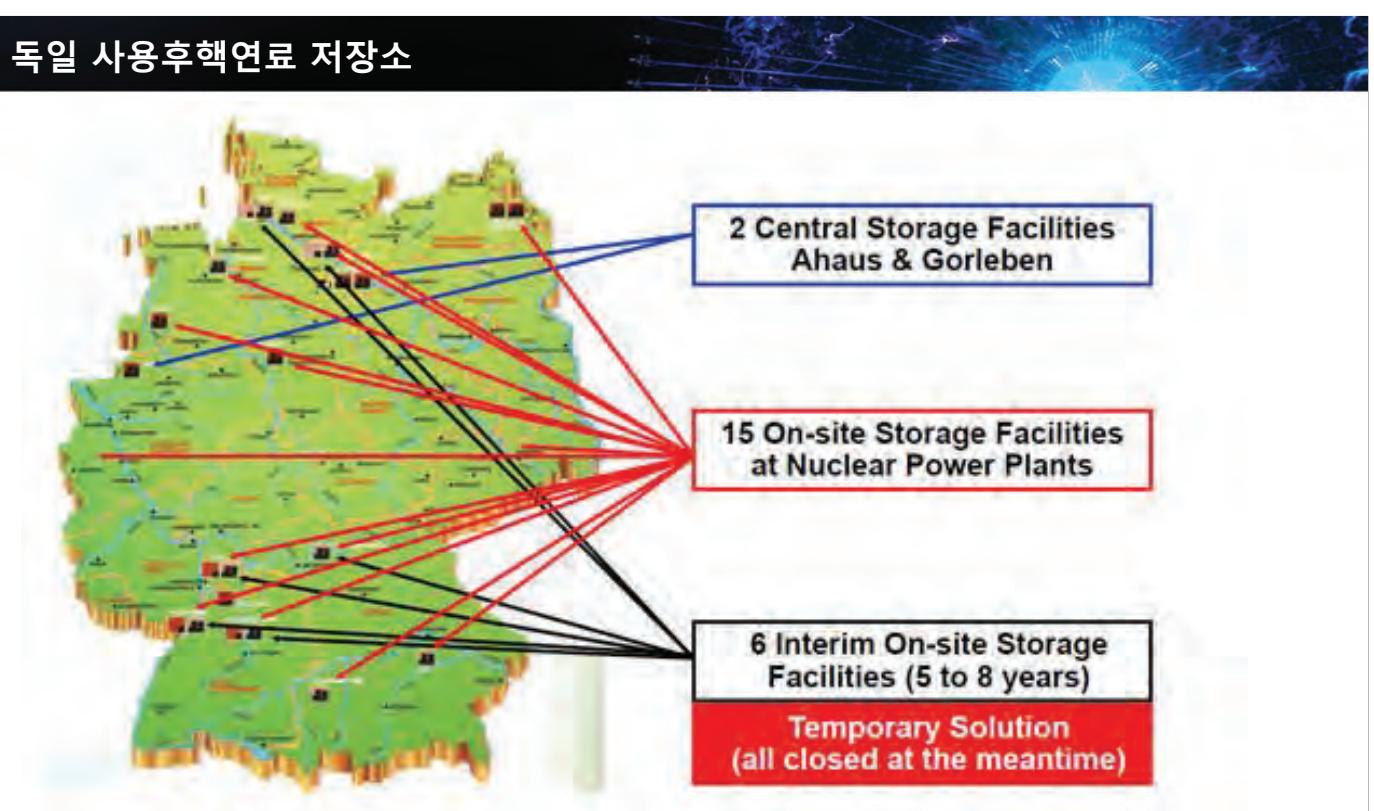
04

원전별로 부지 내 독립 저장하는 독일의 경우가 환경단체와 일반 대중의 입장을 반영하여 사용후핵연료의 저장방법을 결정한 대표적인 사례가 될 수 있음

사용후핵연료 저장 인허가 체계 해외 사례

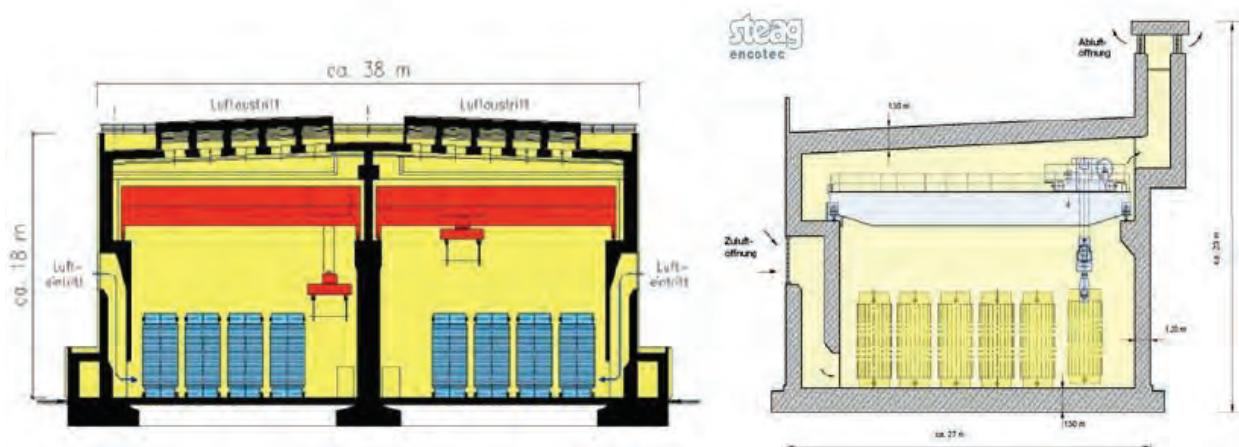
구 분	허가체계	사례	비 고
일본	원자로설치허가 변경	후쿠시마 제1발전소 공용 습식저장시설 및 건식저장시설 등	부지내 시설은 원자로 관계시설로, 부지외 시설은 저장시설로 허가
미국	10 CFR 72에 따른 일반허가	Maine Yankee 등 65개소	NRC가 사전 승인한 저장용기를 사용시, 자체평가, 사전신고 및 용기 등록을 통해 사용을 허가
	10 CFR 72에 따른 부지별허가	Calvert Cliffs 등 15개소	부지외 저장시설과 동일한 인허가 체계
독일	사용후핵연료 저장시설 별도 허가	12개 원전부지 건식저장시설	Obrigheim 원전의 원자로건물 외부 습식저장시설은 원전허가 관계시설로 허가 받음
캐나다	방사성폐기물관리시설 허가 별도 발급	Pickering Waste Management Facility, Darlington Waste Management Facility 등	Nuclear Safety and Control Act에 따라 원전부지에 추가시설에 대해 별도 허가
핀란드	원전 건설허가의 변경	Lovisa 보조건물내 습식저장시설 Olkiluoto 원전 별도건물 습식저장시설	

독일 사용후핵연료 저장소



5

독일 사용후핵연료 건식 저장



이중 용도 캐스크(MPC)의 중간저장을 위한 저장건물(왼쪽: WTI 개념, 오른쪽: STEAG 개념)

6



우리나라의 경우 사용후핵연료 저장에 대한 최종 저장 방안이 확정되지 않아 관련 법규가 완전히 확립되지 못한 실정임



다만 사용후핵연료 중간저장 시설, 방사성폐기물 관리시설 등에 대한 원자력안전위원회의 규칙 또는 고시가 다음과 같이 제정되어 있음

- ◇ 방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙 [원자력안전위원회규칙제50호, 2023. 9. 25., 일부개정.]
- ◇ 사용후핵연료 중간저장시설의 위치에 관한 기술기준 [원자력안전위원회고시 제2021-18호, 2021. 7. 13., 일부개정.]
- ◇ 사용후핵연료 중간저장시설의 구조 및 설비에 관한 세부기술기준 [원자력안전위원회고시 제2021-20호, 2021. 7. 13., 일부개정.]
- ◇ 방사성폐기물관리시설등의 화재위험도분석에 관한 기술기준 [원자력안전위원회고시 제2021-25호, 2021. 7. 13., 일부개정.]
- ◇ 방사성폐기물을 처리설비의 구조 및 설비에 관한 기술기준 [원자력안전위원회고시 제2021-24호, 2021. 7. 13., 일부개정.]
- ◇ 방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙 [원자력안전위원회규칙 제50호, 2023. 9. 25., 일부개정.]

부지내 임시 건식저장 시설 건설

부지내 건식저장시설에 대한 안전심사 지침이 현재로서는 없고, 현행 법령에 따르면 「원자력안전법」 제20조에 따라 원자로 및 관계시설의 운영허가를 받은 자가 원자로시설의 운영으로 발생한 사용후핵연료를 “핵연료물질의 취급시설 및 저장시설”(같은 법 시행령 제9조제3호) 또는 “원자력발전소 안에 위치한 방사성폐기물의 처리시설, 배출시설 및 저장시설(같은 시행령 제9조제4호)”로 안전하게 관리하여야 함

부지내 건식저장시설은 원전 부지내 위치하고 원전의 건설허가 및 운영허가와 관련된 시설로서 원자력안전법 시행령 제10조(원자력이용시설) 제1호에 따라 “원자로 및 관계시설”로 구분하며, 원자력안전법 시행령 제9조(관계시설) 제3호 “핵연료물질의 취급시설 및 저장시설”로 구분하는 것이 타당하다고 평가될 수 있음

현행 법령하에서, 건식저장시설에 저장되는 사용후핵연료는 방사성폐기물이 아닌 핵연료물질로 간주하여 건식저장시설의 신축(설계변경사항)은 원자력안전법 제20조(운영허가) 및 동법 시행령 제34조(변경허가 신청)에 따른 운영변경허가 대상 또는 경미한 사항 변경신고 대상으로 조치하는 것이 가능하다고 판단될 수 있음

부지내 임시 건식저장 시설 건설

다만, 사용후핵연료 저장시설이 안전법 시행령 제9조의 제3호에 적용받기 위해서는 사용후핵연료가 "핵연료물질"로써 정의될 수 있는지에 대한 법적 요건이 확인되어야 함

원자력안전법 시행령 제2조 제 10호에서 기술한 바와 같이 사용후핵연료는 원자로 내에서 연료로 사용된 '핵연료물질'이며, 원자력안전법 제33조 제14호에서 기술하고 있는 것처럼 사용후핵연료 내에는 '핵연료 물질'이 남아있어 이를 물리·화학적으로 분리하는 것을 '사용후핵연료 처리'로 정의하고 있음. 또한, 원자력안전법 제45조에 따라 '핵연료 물질' 사용허가를 득한 핵연료 물질 사용자는 핵연료 물질 사용시설에 대한 시설검사를 받도록 규정하고 있는데 이때 해당하는 사용시설에 대하여 '100 Ci 이상인 사용후핵연료'를 제시하고 있음. 발전용 원자로 시설에서 발생하는 사용후핵연료 1다발에 포함된 방사능은 경수로와 중수로에 상관없이 100Ci 이상이기 때문에 현행 상업용 원자력발전소 내에 저장 중인 사용후핵연료는 '핵연료물질'을 포함하고 있으므로 원자력안전법 시행령 제9조(관계시설) 중 제3호인 '핵연료물질의 취급시설 및 저장시설'로 보는 것이 타당함

2016년 4월 26일 한국수력원자력(주)가 신청한 월성 1~4호기 사용후핵연료 2단계 조밀건식저장시설 건설을 위한 운영변경 신청은 원자력안전법 시행령 제9조(관계시설) 중 제3호인 '핵연료물질의 취급시설 및 저장시설'에 해당한다고 하였으며, 원자력안전위원회는 원자력안전법 제20조 및 원자력안전위원회 회의 운영에 관한 규칙 제7조에 따라 심의를 거쳐 운영변경허가를 2020년 1월 10일 의결하였음

9

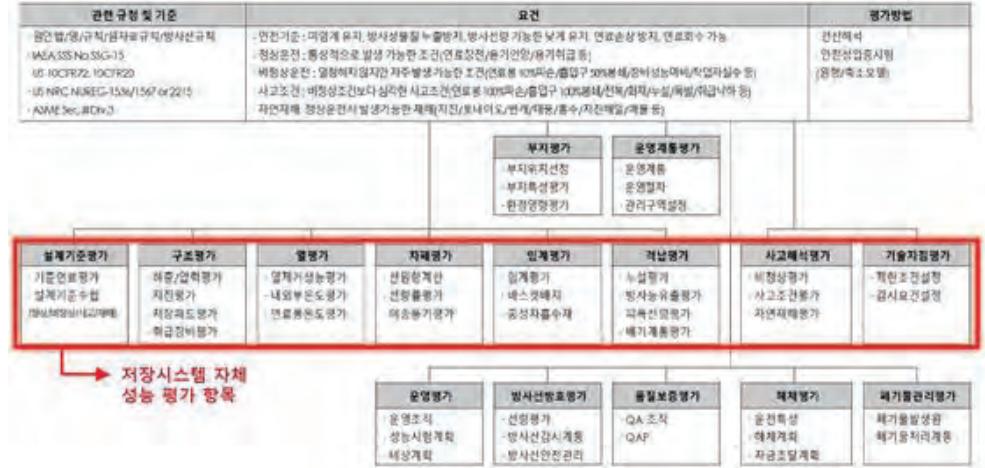
부지내 임시 건식저장 시설 건설

현재 부지내 건식저장시설에 대한 안전심사지침은 없으나 결국 변경 인허가 심사 시 원자로시설 등의 기술기준을 우선 적용하고, 중간저장시설에 대한 기술기준을 준용할 것으로 추정됨

이 경우 사용후핵연료 중간저장시설 안전성분석보고서 작성 지침(원자력안전위원회고시 제2021-19호)과 원자력안전위원회고시 제2021-20호인 사용후핵연료 중간저장시설의 구조 및 설비에 관한 세부기술 기준을 준용할 것으로 예상됨



건식저장시설의 안전성 평가 항목



사용후핵연료 건식저장시설 현황(한수원)

● 고리본부 건식저장시설 확보 계획

- 형식: 건물(철근콘크리트)내 저장용기 보관방식
- 용량:
- 부지: 본부 내(부지고: 침수 가능성이 없는 해발 10m 이상지역)
- 면적: 약 33,000m²

● 참조시설

- 독일원전 부지내 건식저장시설 (WTI 또는 STEAG 방식) 참조
- 필요시 취급설비는 미국 원전부지 내 건식저장시설의 캐尼斯터 기반 용기 취급을 위한 구조물, 기기, 계통 등을 참조

● 영광, 울진 부지도 유사함



원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다



