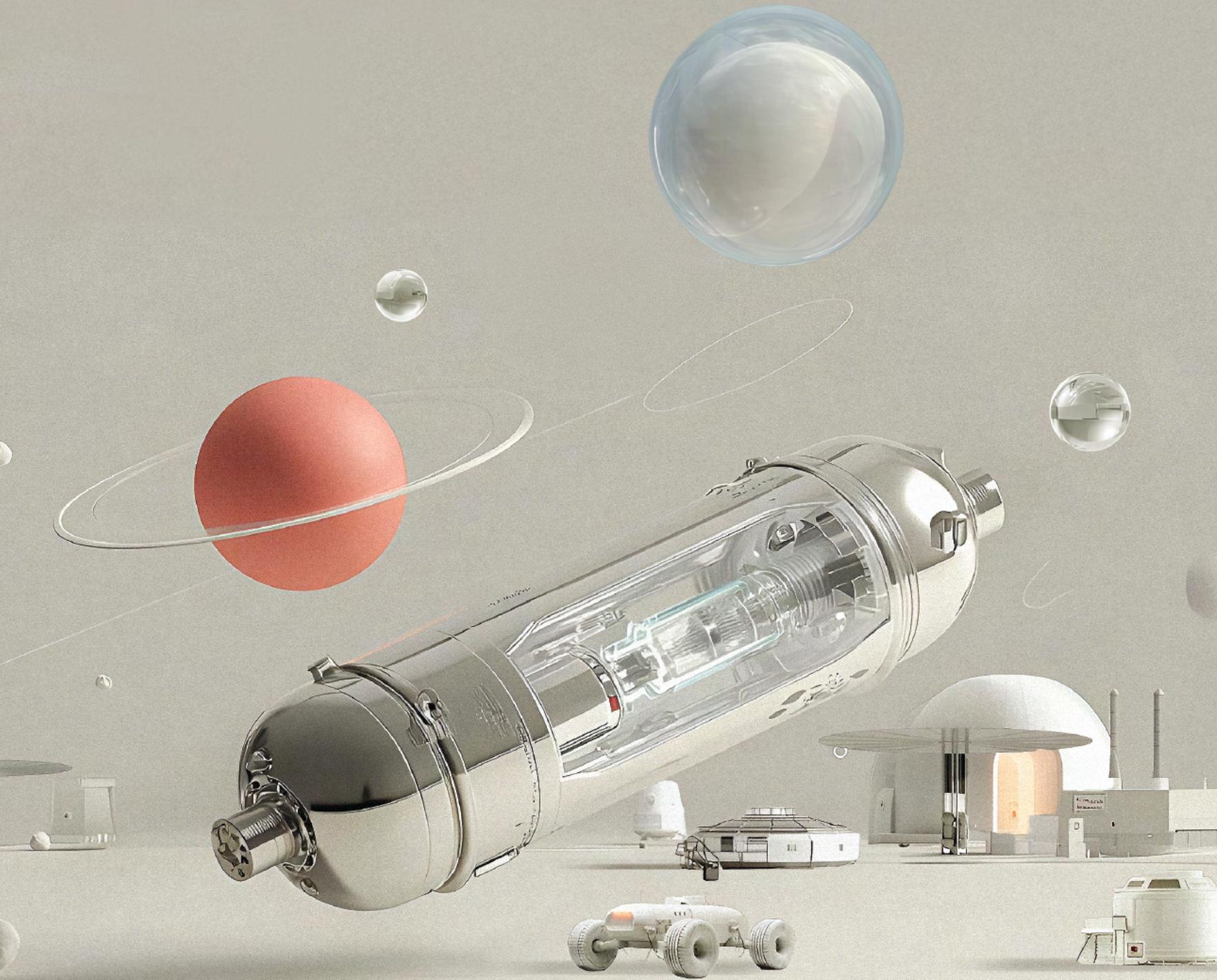


원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍



원자력 르네상스를 위한 대비

일시: 2026년 2월 24일 오후 1:00 - 7:30

장소: 서울대학교 38동 글로벌공학교육센터 5층 대강당



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

시간	주요내용	
12:00-13:00	등록 및 참가자 확인	
개회식		
13:00-13:20	개회사 축사	심형진 서울대 교수 이은철 NEXFO 자문위원장
전체진행		
13:20-13:40	원전 산업 활성화를 위한 국민 공론화 방향	박석빈 NEXFO 연구위원
13:40-14:10	토의	
14:10-14:30	한·미 원자력 협력 현황 진단 및 평가	이광석 NEXFO 연구위원
14:30-15:00	토의	
기념촬영 및 Coffee Break		
	분과 1 에너지정책 및 핵주기	분과2 미래기술
15:30-15:50	발전원의 경제성 분석과 시스템 LCOE 노동석 NEXFO 연구위원	해외 원자력 동향 정보 분석 및 DB화 체계 구축 박찬오 NEXFO 연구위원
15:50-16:20	토의	
16:20-16:40	탄소중립 달성과 안정적 에너지 수급을 위한 최적 에너지믹스와 원전 활용 방안 이만기 NEXFO 연구위원	차세대 원자력(SMR) 개발 동향 분석 및 수출산업화 방안 오근배 NEXFO 연구위원
16:40-17:10	토의	
17:10-17:30	사용후핵연료 관리 정책 방향 및 정책 제안 백승혁 NEXFO 연구위원	원자력 바로 알기 고범규 NEXFO 연구위원
17:30-18:00	토의	
18:00-19:30	만찬	





한·미 원자력 협력 현황 진단 및 평가

이광석

NEXFO 연구위원

한미 원자력협력 현황 - 진단 및 평가 -

이광석

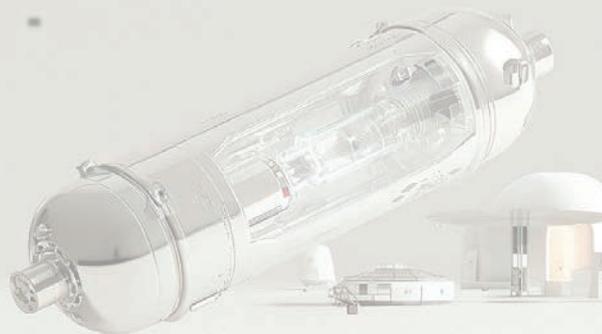
서울대원자력정책센터 연구위원

2026. 2. 24.



목차

- 01 들어가는 말
- 02 정부간 원자력 협력
- 03 민간 원자력 협력
- 04 종합평가



1. 들어가는 말

01 연구 개요

(과제명) 한·미 원자력 협력 강화방안 연구 - 기술·제도·외교의 통합 전략 분석

(최종 목표)

- 한·미 원자력 협력의 기술·제도·외교적 기반을 분석하고, 협력 강화 전략 및 실행 가능한 정책 제언을 도출함으로써 양국간 협력 시너지와 한국의 기술 자율성을 최대화할 수 있는 「한·미 원자력 협력 2.0」체제를 구축

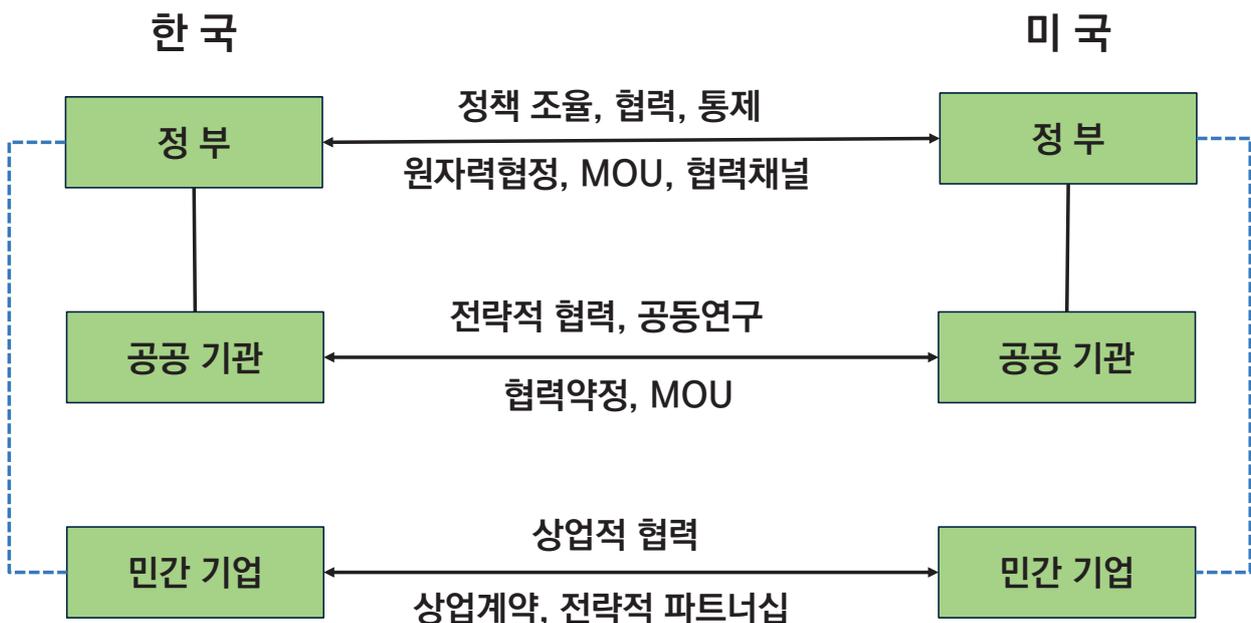
(당해목표)

- 한·미 원자력 협력의 기술·제도·외교적 현황 진단에 근거하여 구조적 특성과 제약 요인을 분석하고, 한·미 원자력 협력 강화 방향을 도출

(연구 내용)

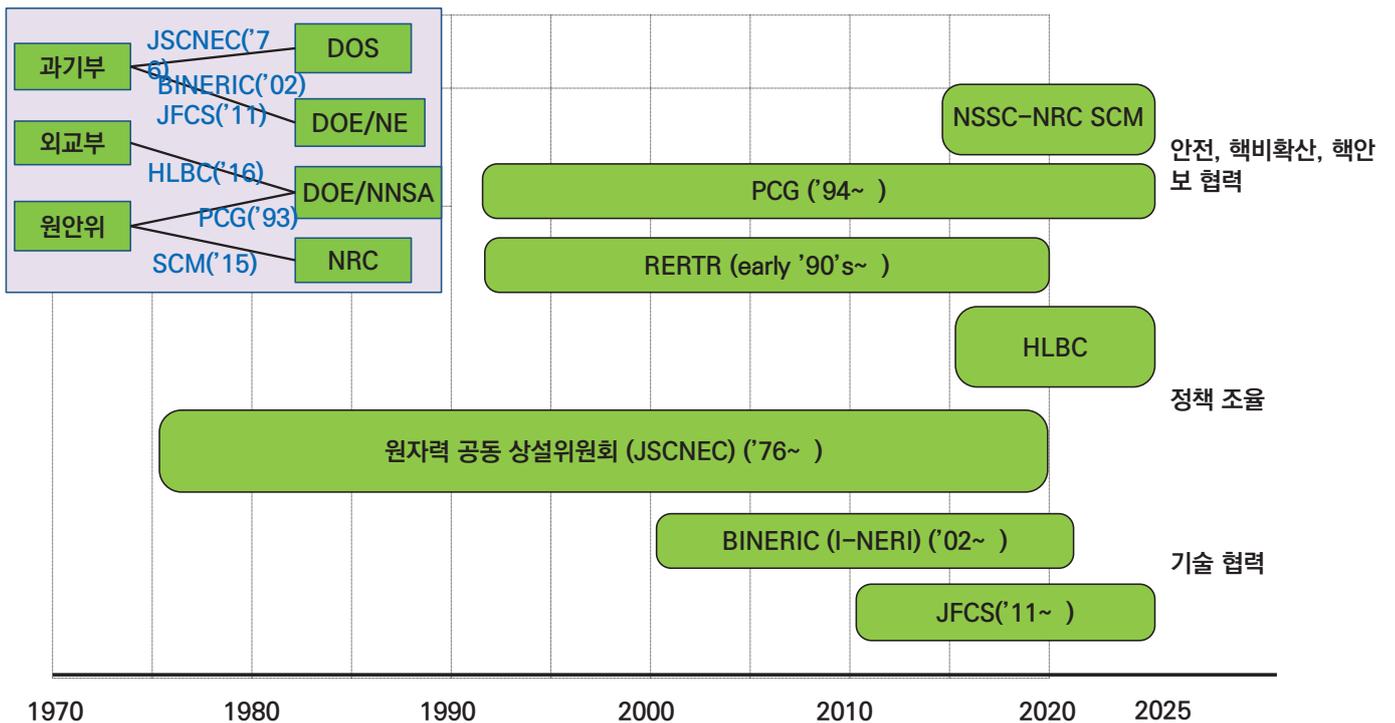
- 기술/산업 측면의 한·미 원자력 협력 현황 진단 및 평가
- 한·미 원자력 협력의 법적/제도적/정책적 측면 현황 분석
- 한·미 원자력 협력을 둘러싼 외교 환경 분석
- 한·미 원자력 협력 강화 방향 도출 (「한·미 원자력 협력 2.0」)

- 양국은 한국의 원자력 개발 초기부터 서로 맞물려 온 상태
 - 한·미 원자력협정('56), 미국의 기술적/재정적 지원, 핵물질/기술의 U.S. Origin 문제
- '70년대 중반부터 한·미 원자력협력을 위한 정부간 채널 구축 및 운영
 - JSCNEC, PCG, JFCS, HLBC, ...
- 한국의 발전에 따라 '00년대부터 일방적 지원에서 상호협력 관계로 변화
 - 원전 기자재 공급, 원자력 선진기술 개발(GEN-IV, I-NERI), 원전수출(UAE), ...
- 핵연료주기 분야에서는 애증관계
 - 미국의 정치외교적 압력: '70년대 재처리시설 포기, '80년대 TANDEM 주기 연구개발 중단
 - 한·미 원자력협정에 따른 미국의 사전동의권 (형상/내용 변경)
 - 기술협력: DUPIC('90년대), 파이로('00년대), JFCS('10년대)
- '10년대 말부터 웨스팅하우스-한수원간 IP 분쟁으로 정부간 원자력 협력 정체
 - '25년 1월 IP 분쟁 타결
- '20년대 들어오며 민간 원자력 협력 증대 (SMR, 대형원전)



2. 정부간 원자력 협력

02 한·미 원자력협력 채널



구분	1기(1976~1990)	2기(1991~1999)	3기(2000~2009)	4기(2010~2018)
	1차~12차	13차~20차	21차~29차	30차~37차
한미 관련 국내 원자력 개발	<ul style="list-style-type: none"> 원전 도입/기술자립 추진 핵연료 국산화 조사후시험시설 가동('85) 	<ul style="list-style-type: none"> 원전기술자립 달성 하나로/조사재시험시설 가동('95) 원자력진흥종합계획('97) 	<ul style="list-style-type: none"> ACPF 완공('06) 미래원자력시스템개발 장기계획('08) 원전/연구로 수출('09) 	<ul style="list-style-type: none"> 미래원자력시스템 개발 원안위 독립('11) PRIDE 완공('12)
한미 관련 주요 사건	<ul style="list-style-type: none"> 재처리시설 도입 포기('76) 한국, NPT 비준('75) 	<ul style="list-style-type: none"> 비핵화공동선언('91) 미북 기본합의('94) 한국, NSG가입('95) 	<ul style="list-style-type: none"> 핵물질 실험사건('04) 미국 GNEP 착수('06) 북한 핵실험('06) 	<ul style="list-style-type: none"> 핵안보정상회의('10-'16) 한미 원자력협정 개정('15) HLBC 설립('16)
주요 한미 협력	<ul style="list-style-type: none"> 교육훈련 미 국립연구소 연수 핵주기시스템 평가 미국 원전 도입 원전 기술 이전 	<ul style="list-style-type: none"> 한미 원자력정책세미나 DUPIC 공동연구 KEDO 사업 HEU 최소화(RERTR) 	<ul style="list-style-type: none"> I-NERI 공동연구 파이로 기술 개발 연구로 핵연료 개발 RERTR 	<ul style="list-style-type: none"> JFCS, PGSFR 협력 UAE 바라카 원전사업 HEU 최소화 (핵안보정상회의)
JSCNEC의 역할	<ul style="list-style-type: none"> 한국에 대한 미국 정부의 기술 지원 창구 	<ul style="list-style-type: none"> 양국간 기술협력 모색 및 모니터링 창구 	<ul style="list-style-type: none"> 양국간 기술협력 및 정책 조율 창구 	<ul style="list-style-type: none"> 양국간 원자력 정책 조율 창구

- 고위급위원회 출범 ('16.3.3), 제1차 전체회의 개최 ('16.4.14, 서울)
 - 양측 수석대표 : 조태열 외교부 2차관, Sherwood-Randall DOE 부장관
- 중간점검회의 ('17.1.9, 워싱턴DC)
- 제2차 전체회의 ('18.8.16, 워싱턴 DC) 개최
 - 양측 수석대표 : 조현 외교부 2차관, Dan Brouillette DOE 부장관
- 제3차 전체회의 ('20.10.16, 화상회의)
 - 양측 수석대표 : 이태호 외교부 제2차관, Mark Menezes DOE 부장관



02 한·미 원자력연료주기 공동연구 (JFCS)

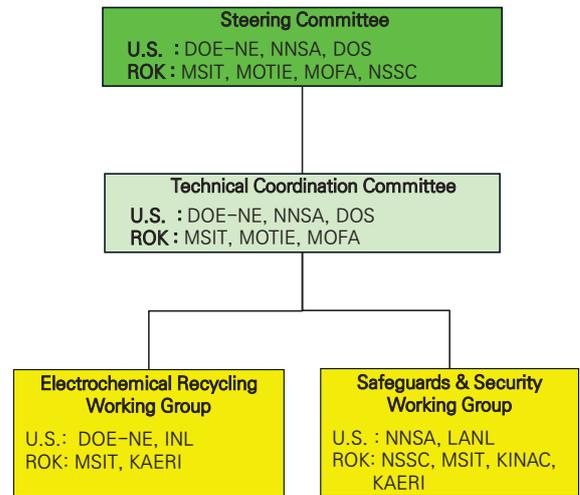
- '11.4 JFCS 출범
- 목적: 한·미 공동으로 파이로 전체공정 실증시험 및 파이로 기술성, 경제성, 핵비확산 수용성 검증
- 연구기간: 10년('11.7-'20.12, 당초계획)
 - 실질적 연구개발, KAERI 연구원 미국 파견
- 연구비 50:50 분담
- 고연소도 SF에 대한 추가 연구 수행 중



제1차 운영위원회 ('11.4, 미국 앨버커키)

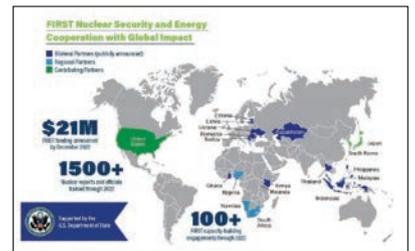


추진체계



02 기타 정부간 원자력 협력

- FIRST Program on SMR
 - 미 국무부 SMR 인프라구축지원(FIRST) 프로그램 착수 ('21년)
 - 한·미 정상 공동성명 ('22.5)
 - 미 국무부와 한국 외교부간 "MOA for Cooperation on Improving Global Security" 체결 ('23.2)
 - 외교부, 30만달러를 미 국무부에 기여
- 핵안보 분야
 - DOE/NNSA가 글로벌 HEU 사용 최소화 분야 KAERI의 기여에 대해 감사패 전달 ('19.10)
 - 한국 과기부와 미국 NNSA는 한·미 간 협력사업의 일환으로 핵확산저항성이 향상된 연구로 최적화 설계모델을 마련하기 위한 연구로 핵확산저항성 최적화 사업(PRO-X)을 추진하기로 합의 ('24.4)



- '10년대 말부터 정부간 원자력 협력 정체
 - JSCNEC, HLBC '18년 이후 회의 개최 못함
- 정부간 원자력 협력 채널의 역할 재평가 필요
 - '10년대 중반까지는 한·미 원자력 기술협력의 중개 역할을 담당
 - 국가 차원의 전략적 협력사업 추진
 - 한국의 기술 자율성 제고하는 전략적 논의 창구
 - 민간 원자력 협력을 위한 정책적, 제도적 지원 창구
- 정부간 원자력 협력 채널의 정비 필요
 - 그동안 중심적인 역할을 했던 JSCNEC은 이제 그 역할을 다한 것으로 평가
 - 기술협력 창구이었던 BINERIC은 종료된 상태로서 새로운 연구기관간 협력 채널 필요
 - HLBC를 중심으로 전체적인 틀을 재편하는 것이 바람직
- 2025년 한·미 정상회담 Fact Sheet에 따른 농축/재처리 협의
 - 한미 원자력협력 범정부 TF 출범 ('26.1)
 - 이를 현실화 하는 데는 대규모 투자, 각고의 노력과 긴 시간 필요

3. 민간 원자력 협력

• UAE 바라카 원전 건설사업

- UAE에 4기의 APR1400 원전을 건설한 약 220억 달러 규모의 초대형 사업
- 2021년부터 2024년까지 원전 4기가 순차적으로 상업운전에 들어감
 - APR1400의 안전성·경제성·건설능력을 국제적으로 입증
- 한국전력 컨소시엄에는 '팀코리아' 뿐만 아니라 미국의 웨스팅하우스사도 참여
 - 미국에게 재정적 수입과 일자리 창출 제공
- 한미 모두에게 도움이 되는 협력 모델

• APR1400 설계인증

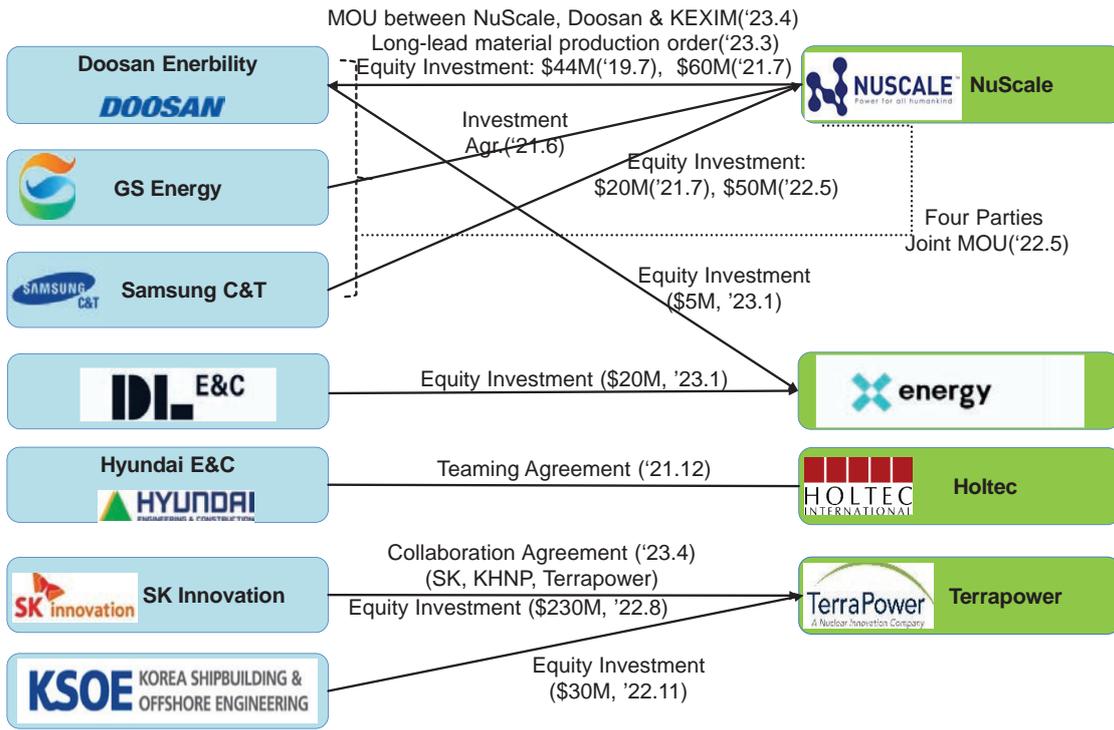
- 한전과 한수원은 2014년 12월 APR1400 표준설계인증 신청서 미국 NRC에 제출
- 2019년 8월 미국 NRC로부터 최종 설계인증(DC: Design Certification) 획득
- 이는 한국형 원전이 세계 최고 수준의 안전성과 신뢰성을 확보했음을 보여줌
 - 향후 글로벌 원전 시장에서 한국의 입지를 크게 강화하는 계기가 되었다고 평가



미국의 설계 기술과 한국의 세계적인 제조·시공 능력을 결합하여
미국 본토를 포함한 글로벌 시장에 공동 진출

한국 기업	미국 파트너	협력 내용 (주요 투자액/역할)	체결 시점
현대건설	Westinghouse	[불가리아] 코즐로두이 원전(AP1000) 신규 건설 우선협상대상자 선정 및 계약	2024.11
	Fermi America	[미국 본토] 텍사스 시 캠퍼스 대형원전(4기) 기본설계(FEED) 계약	2025.1
두산에너지빌리티	Westinghouse	[공급망] 폴란드-체코 등 글로벌 AP1000 프로젝트 주기자재 공급 협력	2024.07
	Fermi America	[미국 본토] 텍사스 시 캠퍼스 대형원전 주기자재 공급 및 기술 협력 MOU	2025.08
삼성물산	Fermi America	[미국 본토] 텍사스 시 캠퍼스 내 독립 전력 인프라(대형원전 포함) 건설 협력	2025.08
한수원	Westinghouse	[지재권 타결] 원전 수출 관련 지식재산권 분쟁 종결 합의 및 글로벌 공동 진출	2025.1
한전/한수원	미국 정부/기업	[제조업 르네상스] 범정부 차원의 원자력 전방위 협력(설계-제조-운영) 체계 구축	2025.08

03 SMR 분야 초기 협력 ('20년대 초반)



03 SMR 분야 최근 협력

국내 기업들이 단순히 '협력 관계'를 맺는 수준을 넘어, 실제 설계(FEED) 착수, 주기기 예약 계약, 그리고 해외 현지 착공 등 사업이 실질적인 궤도에 오름

한국 기업	미국 파트너	협력 내용 (주요 투자액/역할)	체결 시점
두산 에너지빌리티	X-energy	SMR 16대 분량의 핵심 주기자재 제작 예약 계약 체결	2025.12
	TerraPower	나트륨 SMR 주기기 제작성 검토 및 설계 지원 용역 계약	2025.05
현대건설	Holtec	미시간주 팰리세이즈 원전 내 SMR 2기 건설 착수	2025.02
SK 그룹	TerraPower	지분 일부를 한수원에 양도하며 'SK-한수원-테라파워' 협력체계 구축	2026.01
삼성물산	NuScale	루마니아 도이세슈티 SMR 프로젝트 FEED(기초설계) 착수	2024.07
	GE-Hitachi	에스토니아(Fermi Energia), 폴란드 SMR 사업 협력 (BWRX-300)	2024~2025
DL이앤씨	X-energy	노르웨이(Mongstad) SMR 개발 프로젝트 타당성 조사 착수	2024.09

- **한수원 - 농축분야**

- 2023년 4월 미국 워싱턴DC에서 산업통상자원부 주최로 열린 '한·미 첨단산업 청정에너지 파트너십' 행사에서 센트러스와 안정적인 원전연료 수급을 위한 양해각서(MOU) 체결
- 2025년 2월 센트러스와 농축 서비스 장기 공급계약을 체결하고, 서비스 공급물량을 확대하는 추가 계약을 2025년 8월 체결
- 포스코인터내셔널과 함께 센트러스와 우라늄 농축 투자 협력을 위한 3자간 MOU
- 농축 투자 협력 확대는 미국의 원전연료 산업을 재건하기 위해서 농축 능력 확보를 추진하고 있는 센트러스와 전략적인 협력관계 구축함으로써 한·미 원자력 협력 및 자원 안보 동맹 강화에도 기여할 것으로 기대



- **한수원 - 변환분야**

- 2025년 9월 미국내 유일한 변환시설 운영사인 컨버다인(ConverDyn)과 우라늄 변환 서비스 장기공급계약을 체결

- **대형원전 협력은 두 갈래로 확대 전망**

- (APR1400) '25년 1월의 한수원과 웨스팅하우스 간 MOU (IP 분쟁 종결)
 - 팀코리아에 웨스팅하우스가 동참
 - 원전산업의 경쟁력을 상실한 미국이 원천기술이나 정치력에 있어 아직도 강력한 힘 보유
 - 어떠한 조건으로 합의를 했던 향후 협력에 초점을 두고 나가는 것이 바람직
- (AP1000) 웨스팅하우스의 주관하에 국내 기업들 참여
- 국내 원자력 산업이 글로벌 리더로 나아갈 수 있는 절호의 기회

- **SMR 협력은 SMR이 건설 단계로 들어가면 더욱 구체화되고 확대 전망**

- 한국 기업들의 다양한 SMR 포트폴리오 및 선제적 지분 투자
 - 어떠한 SMR 노형이 세계시장에서 성공하든지 대처 가능
- 이와 함께 국내 SMART100이나 i-SMR과 미국 SMR 노형과의 경쟁 예상

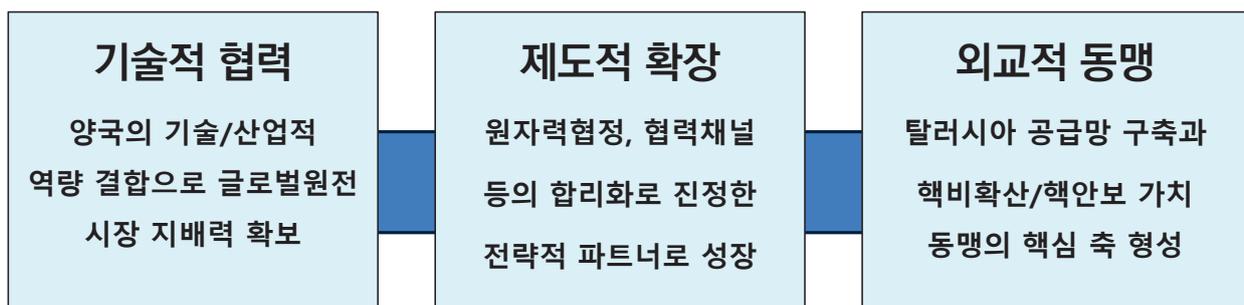
- **핵연료주기 분야에서 전략적 협력 확대 전망**

- 한국 원전연료 안정공급의 토대
- 이 분야의 재건을 노리고 있는 미국에게도 큰 도움이 됨
 - 한·미 간 전략적 협력의 토대가 될 것으로 평가

4. 종합 평가

03 종합 평가

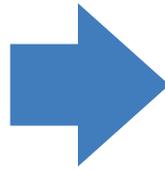
- 전체적인 한·미 원자력 협력의 분위기는 그 어느 때보다 밝음
 - APR1400 관련 양국 정부 및 산업체 간의 IP 분쟁 일단락
 - 민간 분야의 협력은 활발히 진행 중 (SMR, 대형원전, 핵연료주기 등)
 - 미국이 적극 추진중인 원전사업에 참여 가능성 증대 (한국을 필요로 함)
 - '25년 정상회담 Fact Sheet에 따른 농축/재처리 협의 진행 중
- 기술, 제도, 외교 차원의 통합적 접근으로 글로벌 리더로 도약할 절호의 기회



한·미 원자력협력 1.0

- 'Atoms for Peace'
- 양국간 차원
- 미국의 일방적 지원
- 정부 주도
- 한·미 원자력공동상설위원회 (JSCNEC)
- 민감영역(농축, 재처리) 금지
- 한미동맹 1.0

→ 원전기술 자립 및 수출



한·미 원자력협력 2.0

- 전략적 파트너십
- 글로벌 차원
- 양국간 동등한 협력
- 민간 주도, 정부 지원
- 원자력 양자간 고위급위원회 (HLBC)
- 민감영역 포함
- 한미동맹 2.0

→ 양국의 공동 이익 및 글로벌 리더십 제고

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

일시: 2026년 2월 24일 오후 12:00 - 7:30

장소: 서울대학교 38동 글로벌공학교육센터 5층 대강당

감사합니다

분과1
에너지정책 및 핵주기

탄소중립 달성과 안정적 에너지
수급을 위한 최적 에너지믹스와
원전 활용 방안

이만기

NEXFO 연구위원

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

탄소중립 달성과 안정적 에너지 수급을 위한 최적 에너지믹스와 원전 활용 방안

2026. 2. 24.

이만기

서울대원자력정책센터 연구위원

mklee5@snu.ac.kr

 서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

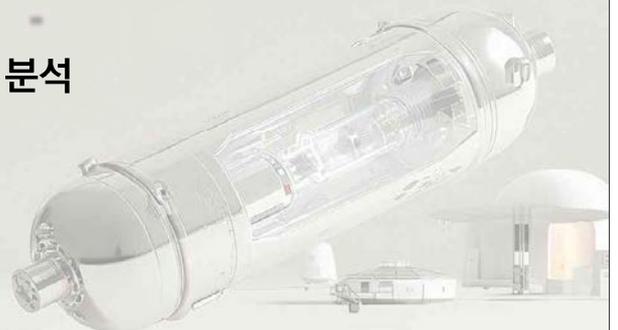


 서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

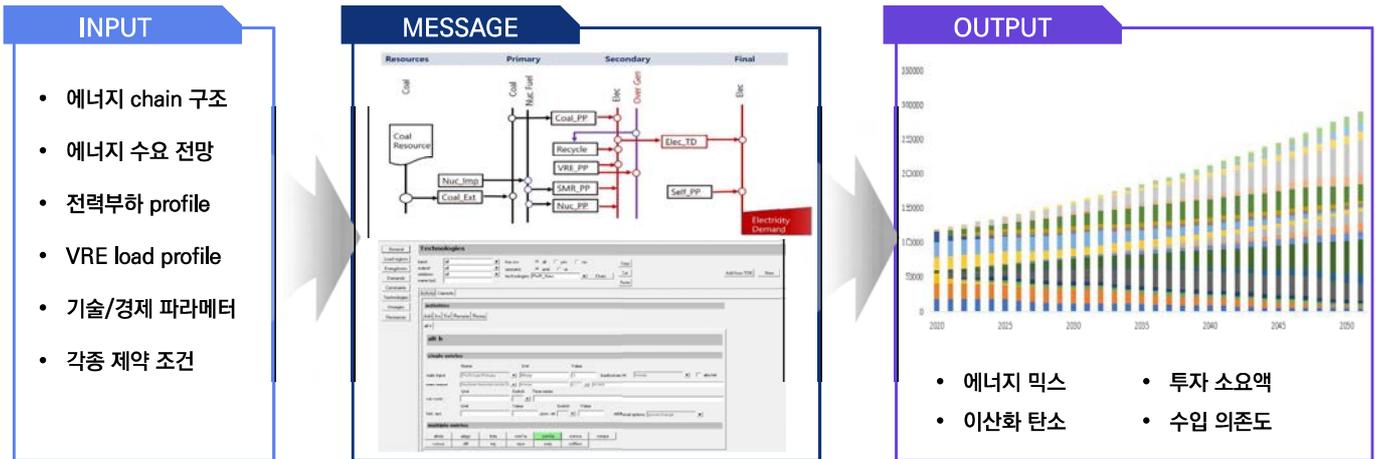
원자력 지속가능성에 대한
NEXFO 워크숍

목차

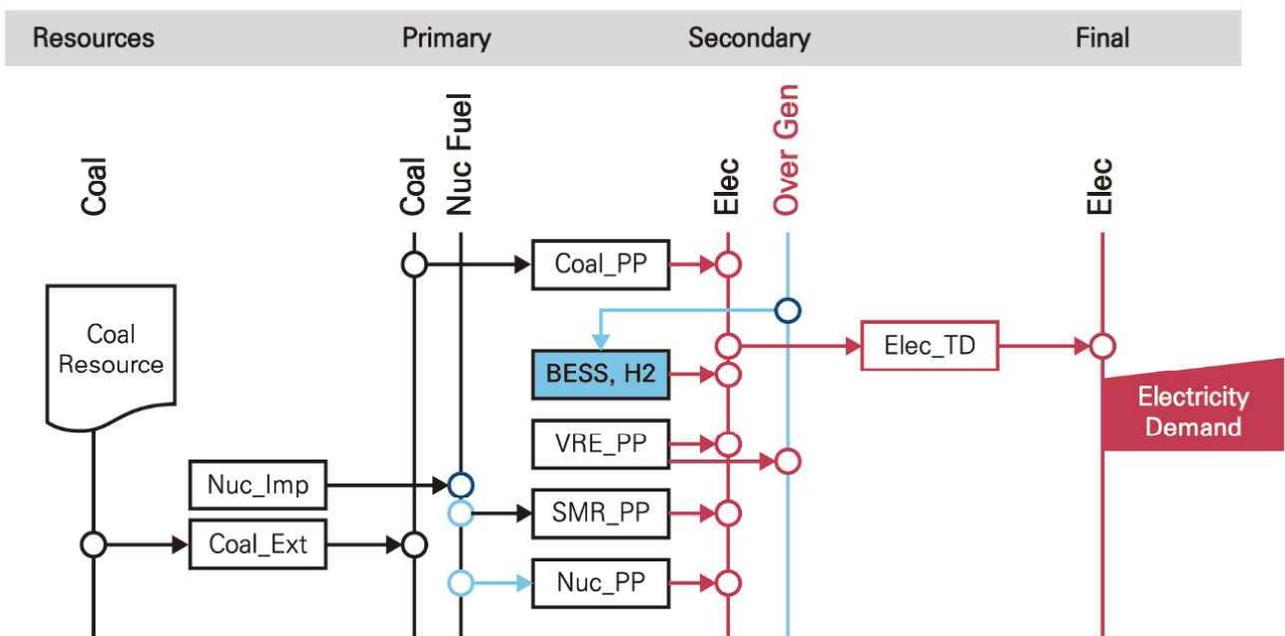
- 01 Reference Energy System
- 02 전력수요 전망 및 부하구간 설정
- 03 전원별 입력자료
- 04 제약조건
- 05 시나리오 설정 및 분석
- 06 맺음말



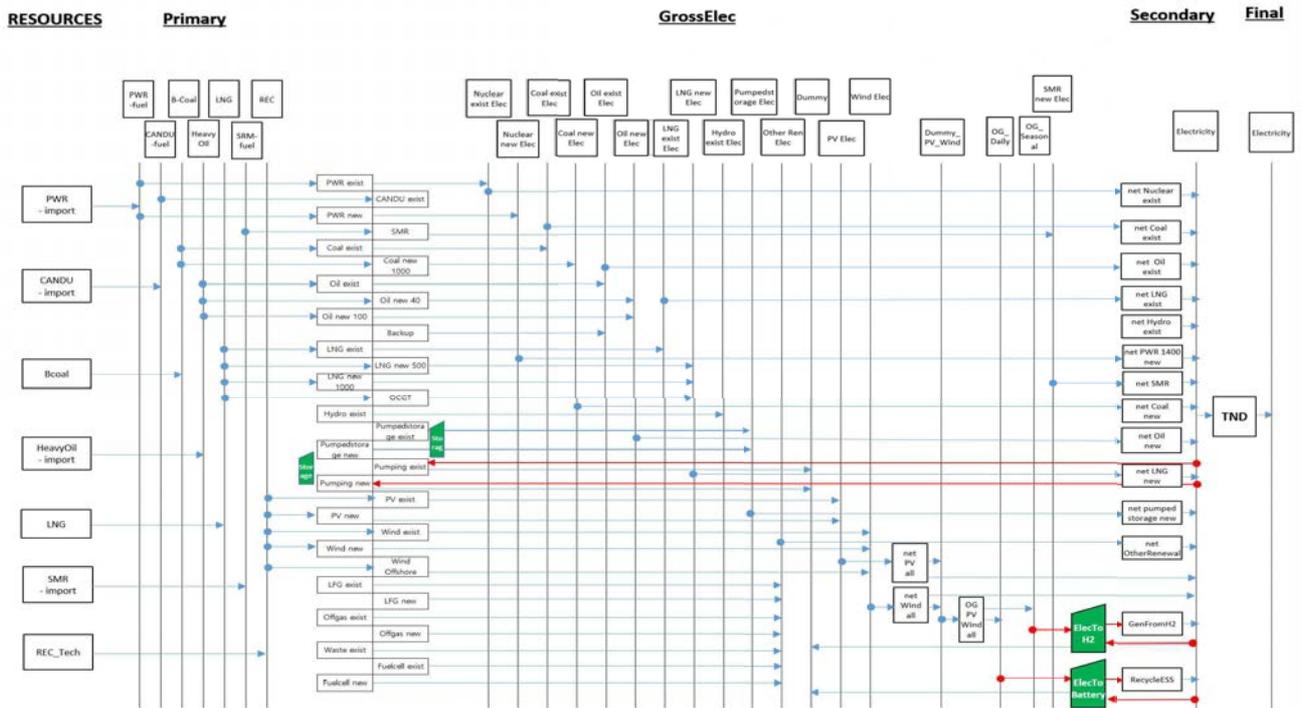
- IIASA에서 개발(1974년, IAEA 교류)
- Bottom up 모형(총비용 최소)
- 장기 에너지 시스템 모형
- IAEA 주력 에너지 모형
- IAEA 회원국 에너지 계획 수립
- IPCC 보고서 시나리오 작성



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

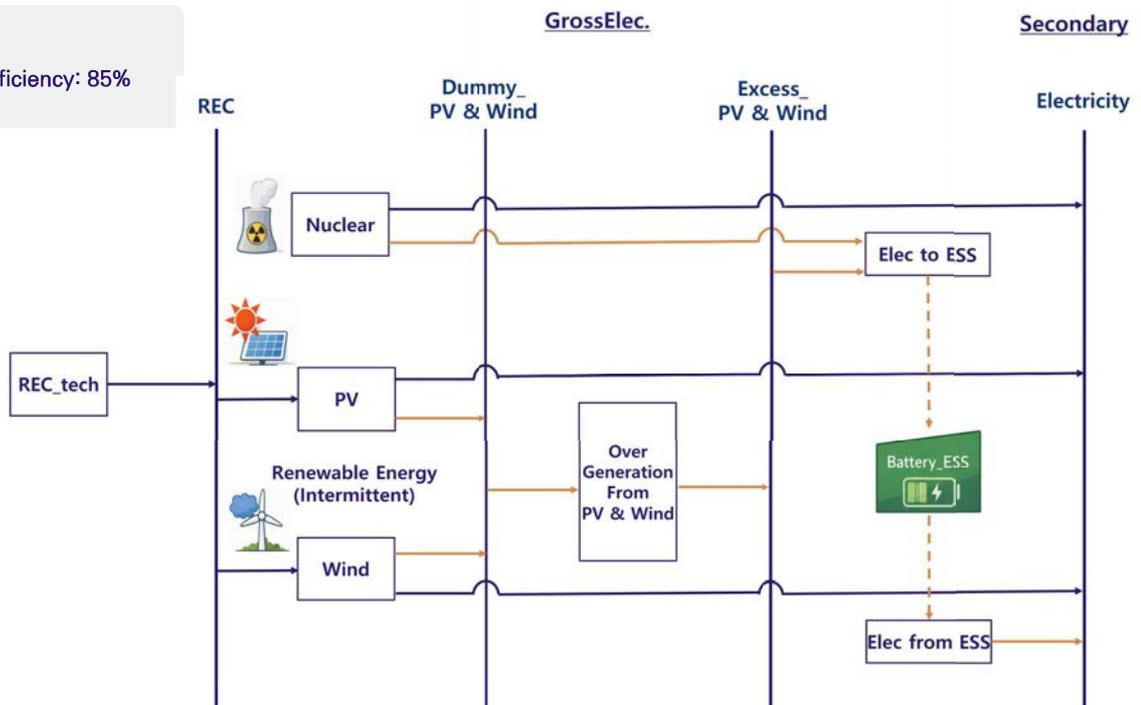


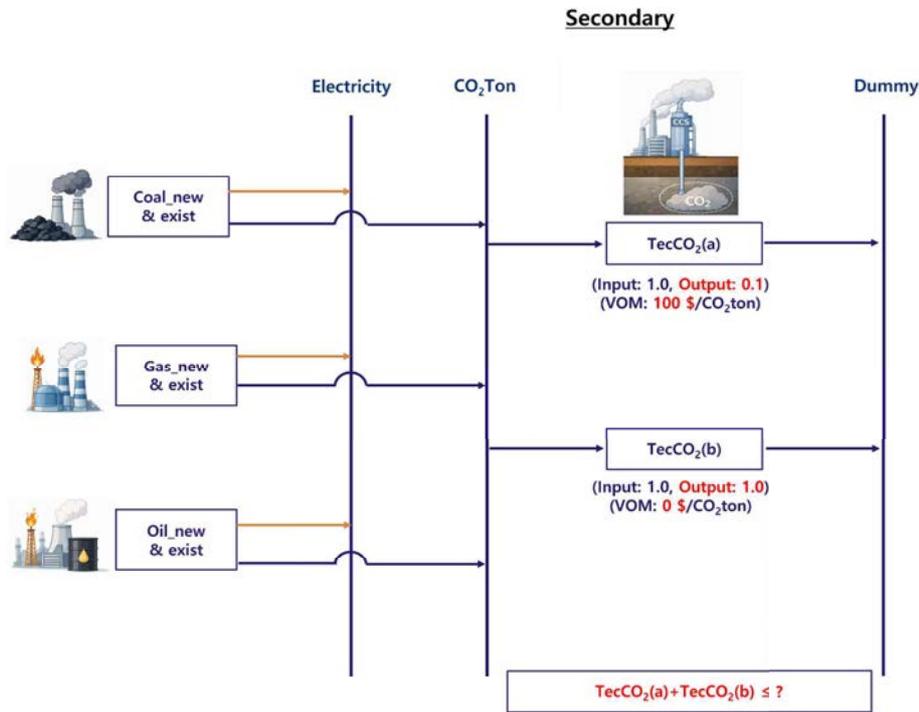
01 Reference Energy System (과제모형)



01 저장기술 모델링 예시: 배터리(BESS)

- ✓ 배터리
- Round-trip efficiency: 85%





02 전력수요 전망



(수요) 11차 전기분 및 '50 Net-Zero(2050 탄소중립 시나리오안)를 고려하여 설정

- ① 경로 0 : 11차 전기분 전력수요 증가율 '50년까지 유지
- ② 경로 1 : ~'38년까지 11차 전기분 수요, 그후 '50년(탄소중립)까지 일정을 증가
- ③ 경로 2 : ~'38년까지 11차 전기분 수요, 그후 경로 0과 경로1의 중간값

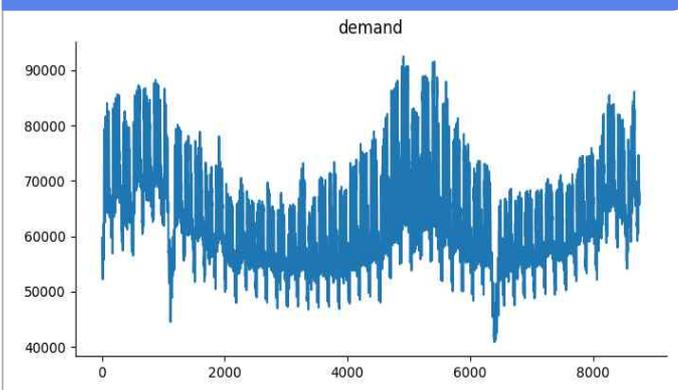
본 연구에서는 국내 전력 수요와 재생에너지 전력 생산 패턴을 고려하여 1년을 총 140개의 load region으로 구분

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

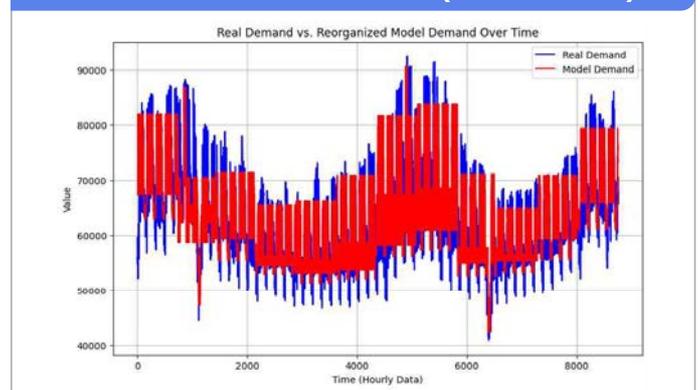
전력 수요 패턴 및 재생에너지 전력 생산 패턴에 관한
모형 입력자료 산출을 위해 Python 활용 코드 개발

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

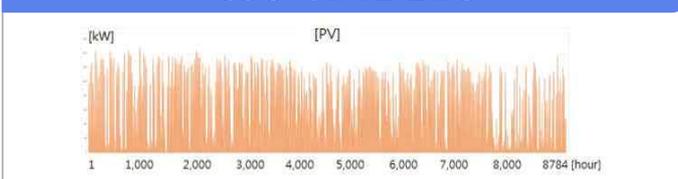
연간 전력수요 시간대별 실적



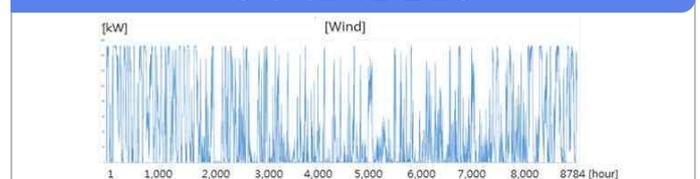
전력부하패턴 비교 : 실적과 추정(평균오차율: 5%)



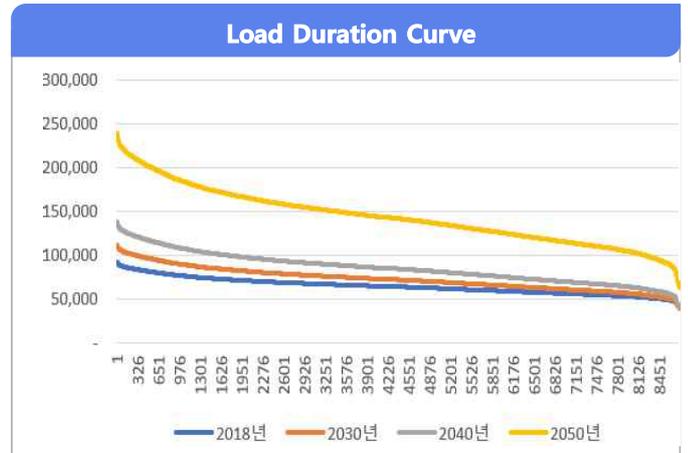
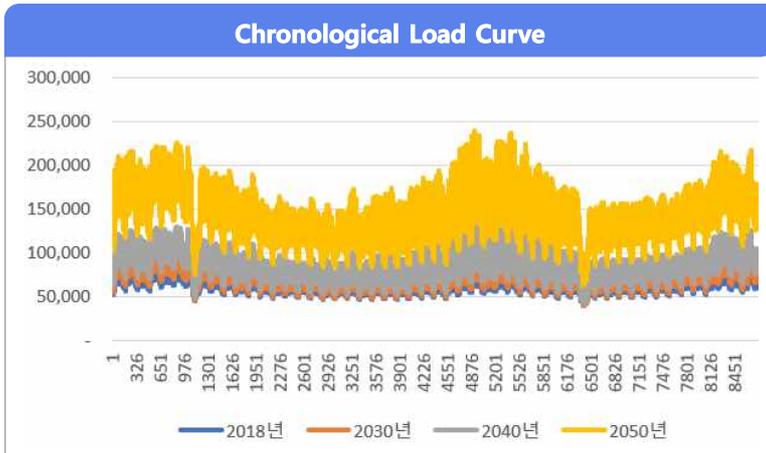
태양광 시간대별 발전량



풍력 시간대별 발전량



02 부하율을 고려한 부하패턴 실적 및 전망



	2018년	2030년	2040년	2050년
최대전력(MW)	92,478	111,797	137,640	239,346
평균전력(MW)	64,481	72,668	85,337	143,607
부하율(%)	70	65	62	60

03 발전원별 기술적 파라미터

Technology	기술명	Plant life	이용률	Cons. time
원자력	경수로	기존 대형원전	0.85	-
		기존 대형원전(1400MW)	0.85	-
		신규 대형원전	0.85	6
		SMR	0.85	3
	중수로	CANDU	0.85	-
화력	유연탄	기존 석탄발전	0.85	-
		신규 석탄발전	0.85	4
	가스	LNG 발전	0.85	-
기타	수력	수력 발전	0.18	-
저장기술	양수	양수 발전	0.15	5
	배터리	BESS	0.80	2
재생에너지	태양광	기존 태양광발전	0.15	-
		신규 태양광발전	0.15	2
	풍력	기존 육상풍력발전	0.23	-
		신규 육상풍력발전	0.23	2
		신규 해상풍력발전	0.30	2

03 발전원 경제적 파라미터

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

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

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

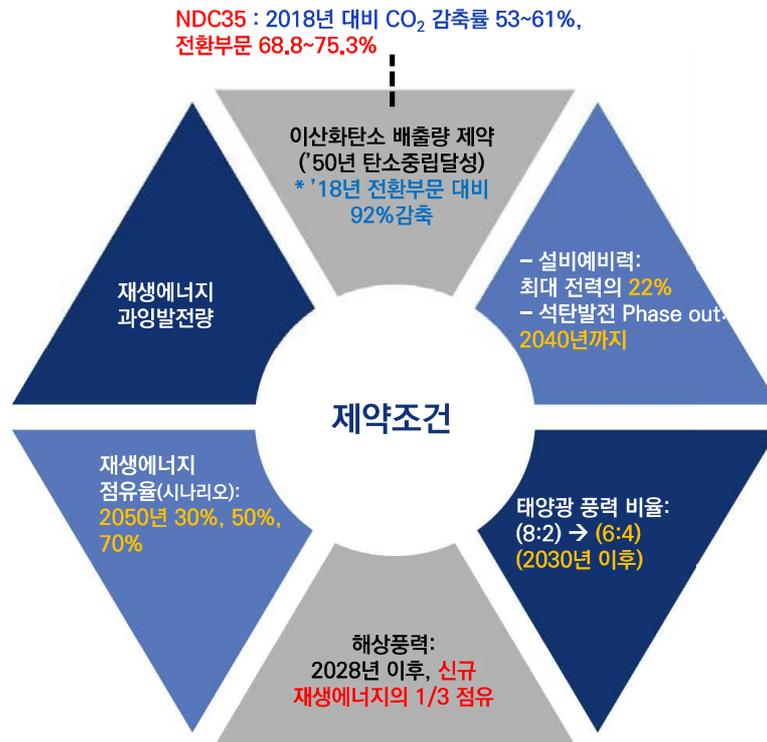
배터리*	Utility Scale (LIB, 4 hour battery storage, 60MW, 240MWh)	CAPEX (\$/kW)	O&M cost (\$/kW-Yr)
		1,371	34

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

03 재생에너지 경제적 파라미터

- 재생에너지 비용 전망: [Projected Costs of Generating Electricity 2020 \(OECD NEA\)](#) 참고
- 태양광, 풍력에 REC 75원/kWh 외생적 추가

	Investment cost (천원/kW)	Fixed O&M cost (천원/kW-Yr)
PV	1,349	17
Wind_육상	2,180	62
Wind_해상	3,872	129



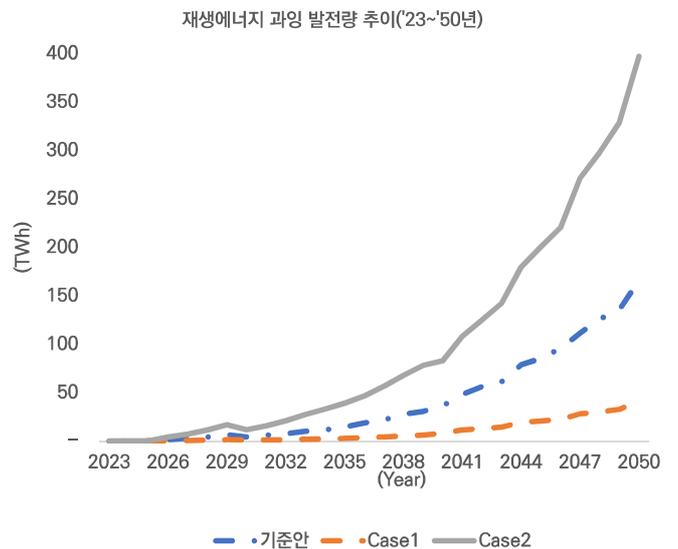
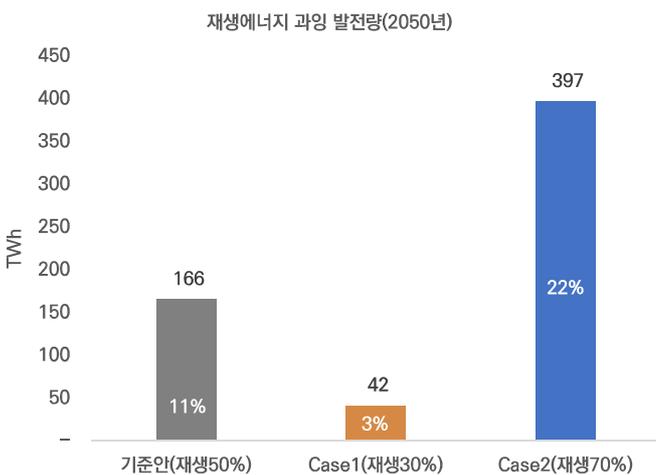
- Planning Period: ~2050
- Study Period: ~2055

	재생e	대형 원전	SMR
기준(안)	'50년 점유율 = 50%		
Case1	'50년 점유율 = 30%	-신규: 투입('39년~) ≤ 6기/3년 -기존: LTO(20년)	-'35~'40: 투입 ≤ 680MW/년 -'41~: 투입 ≤ 1,360MW/년
Case2	'50년 점유율 = 70%		

- 원전 연간투입 상한제약, 재생e 연간 점유율 고정, LTO 투자비 521\$/kW(10년)

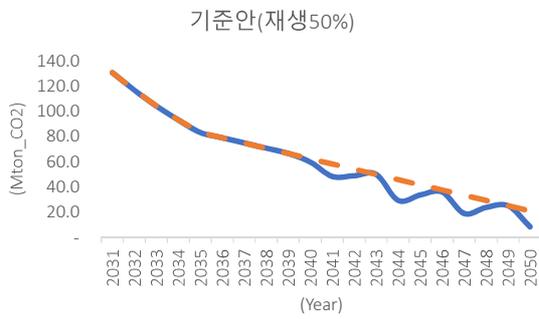
	기준안 (재생 50%)	Case 1 (재생 30%)	Case 2 (재생 70%)
원전	76.6 GW	76.6 GW	59.6 GW
재생에너지	483.5 GW	271.4 GW	780.3 GW

- 재생에너지 점유율이 높아져도 원전을 통한 기저부하 공급 전원의 확대가 탄소중립 달성에 필요

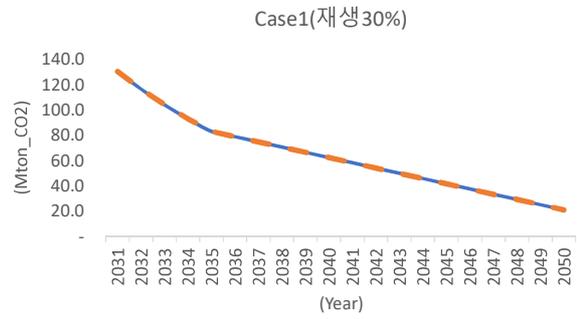


2050년	기준안 (재생 50%)	Case 1 (재생 30%)	Case 2 (재생 70%)
총 발전량	1,469 TWh	1,270 TWh	1,814 TWh
과잉발전량_재생 (비율)	166 TWh (11%)	42 TWh (3%)	397 TWh (22%)

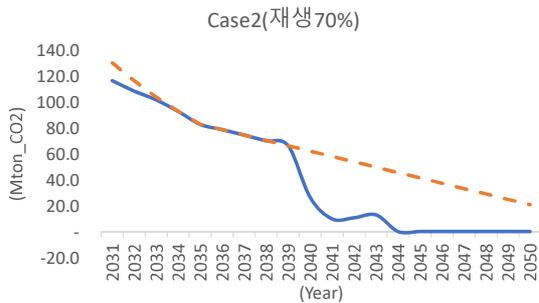
05 이산화탄소 배출량



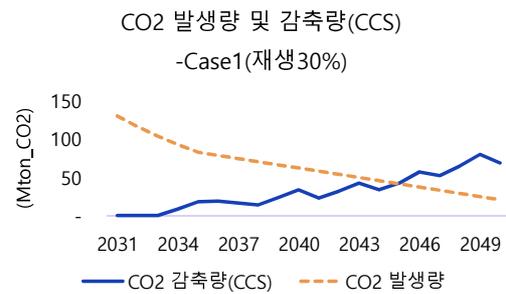
이산화탄소 배출량 이산화탄소 배출량 제약



이산화탄소 배출량 이산화탄소 배출량 제약

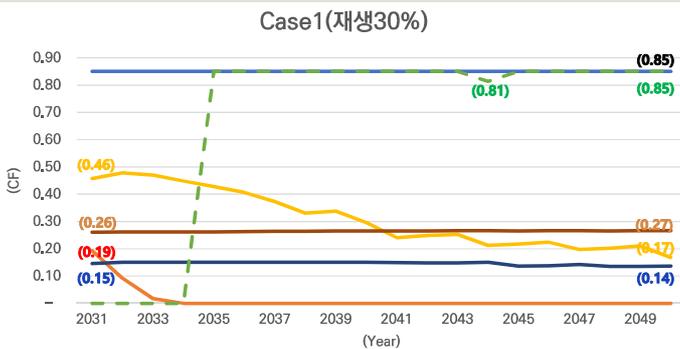


이산화탄소 배출량 이산화탄소 배출량 제약

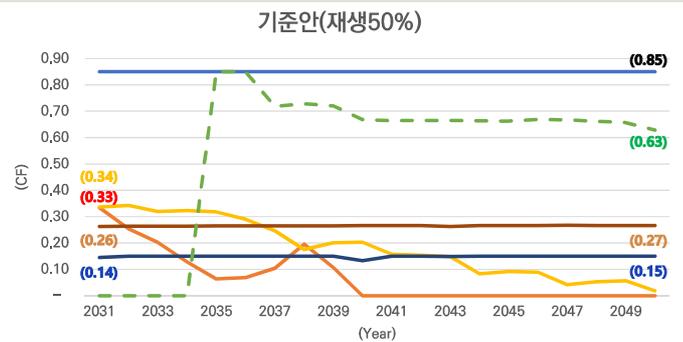


CO2 감축량(CCS) CO2 발생량

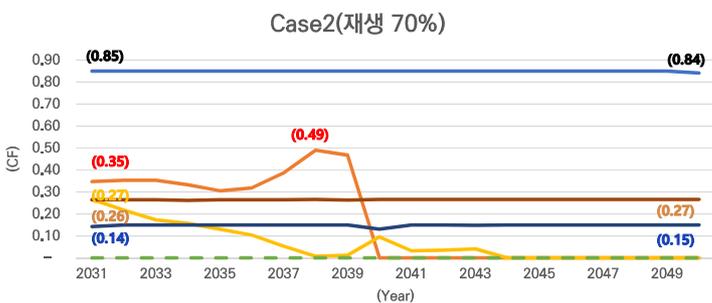
05 발전설비 이용률



Nuclear Coal LNG PV Wind SMR

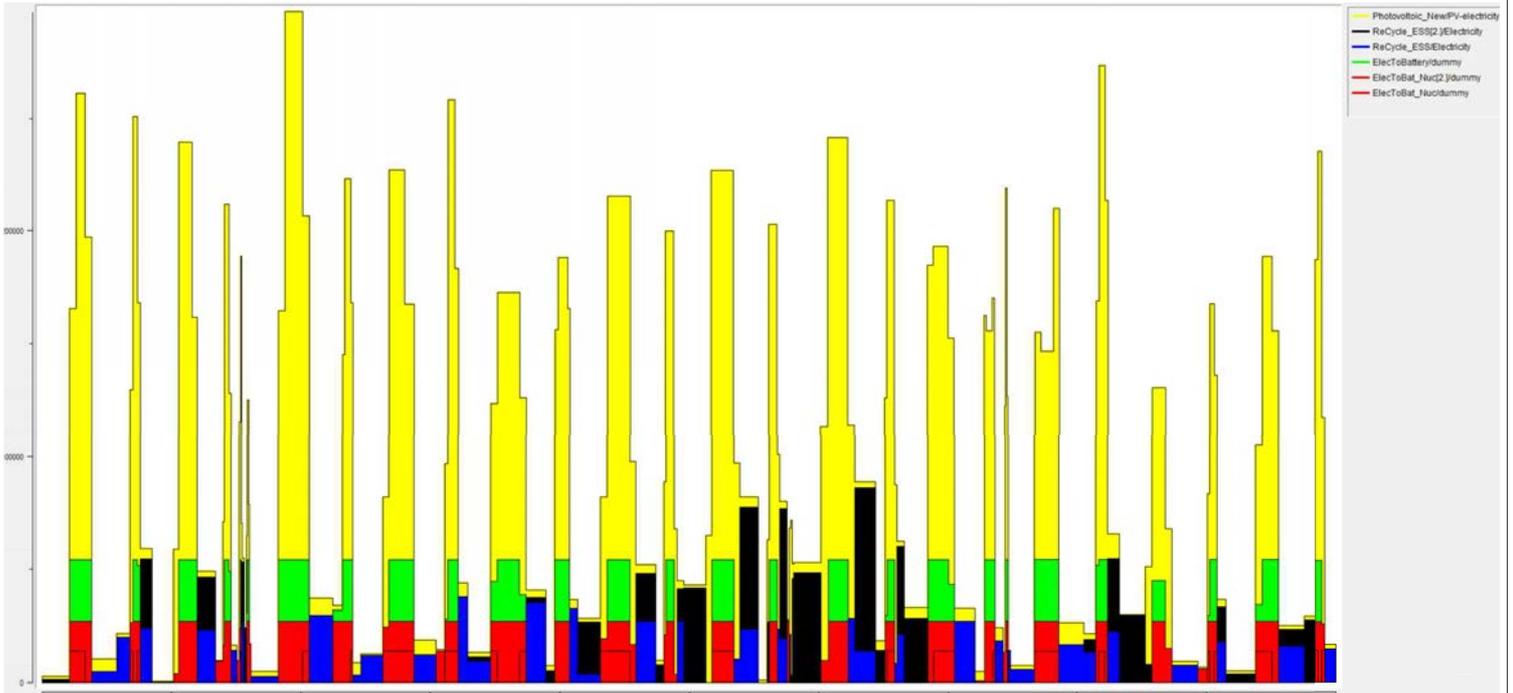


Nuclear Coal LNG PV Wind SMR



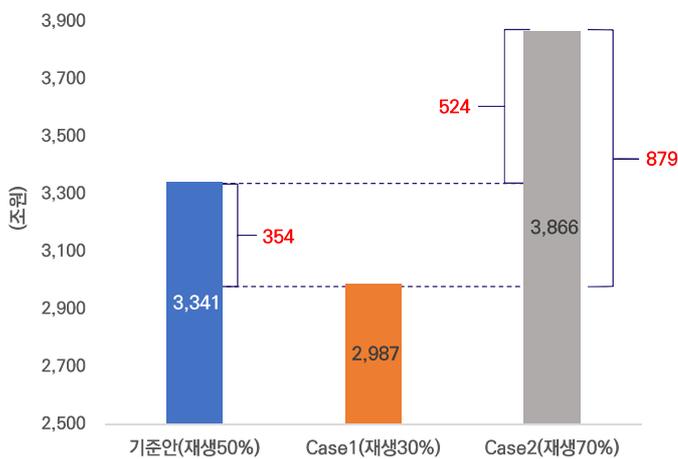
Nuclear Coal LNG PV Wind SMR

05 2050년 배터리 충전 및 전력공급 패턴(기준안)

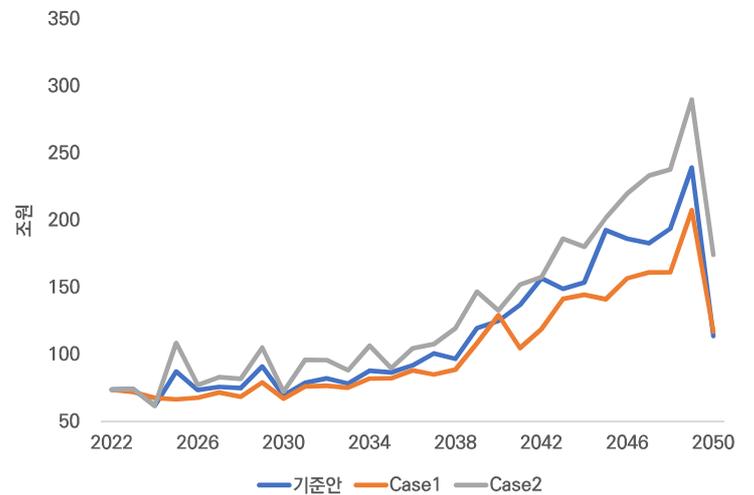


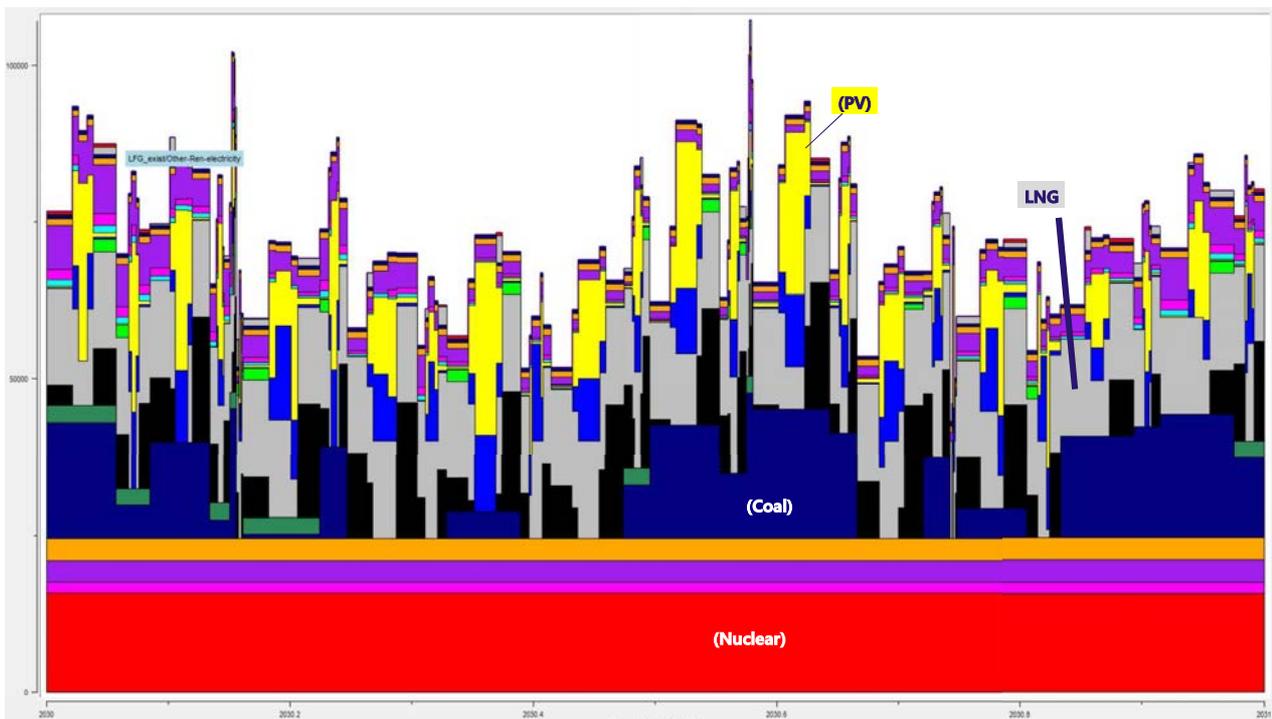
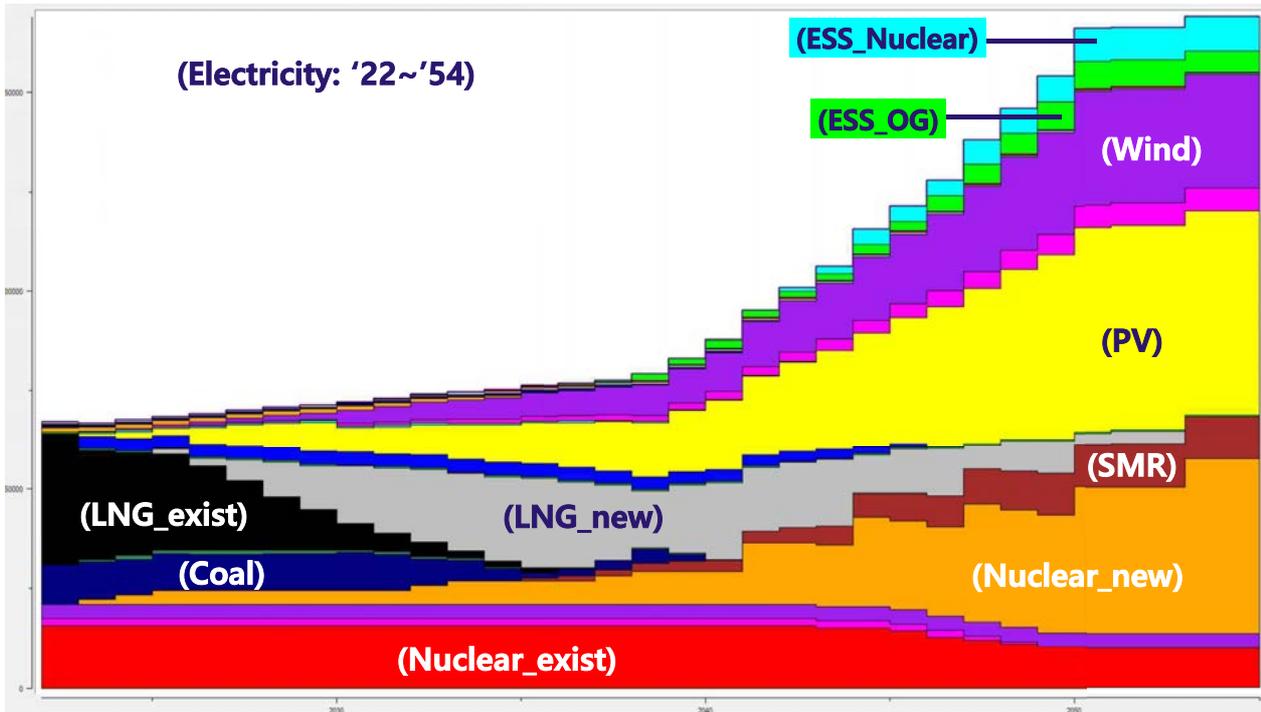
05 시나리오별 총 시스템 투자 및 운영비 비교

누적 시스템 총 비용('22~'50년)

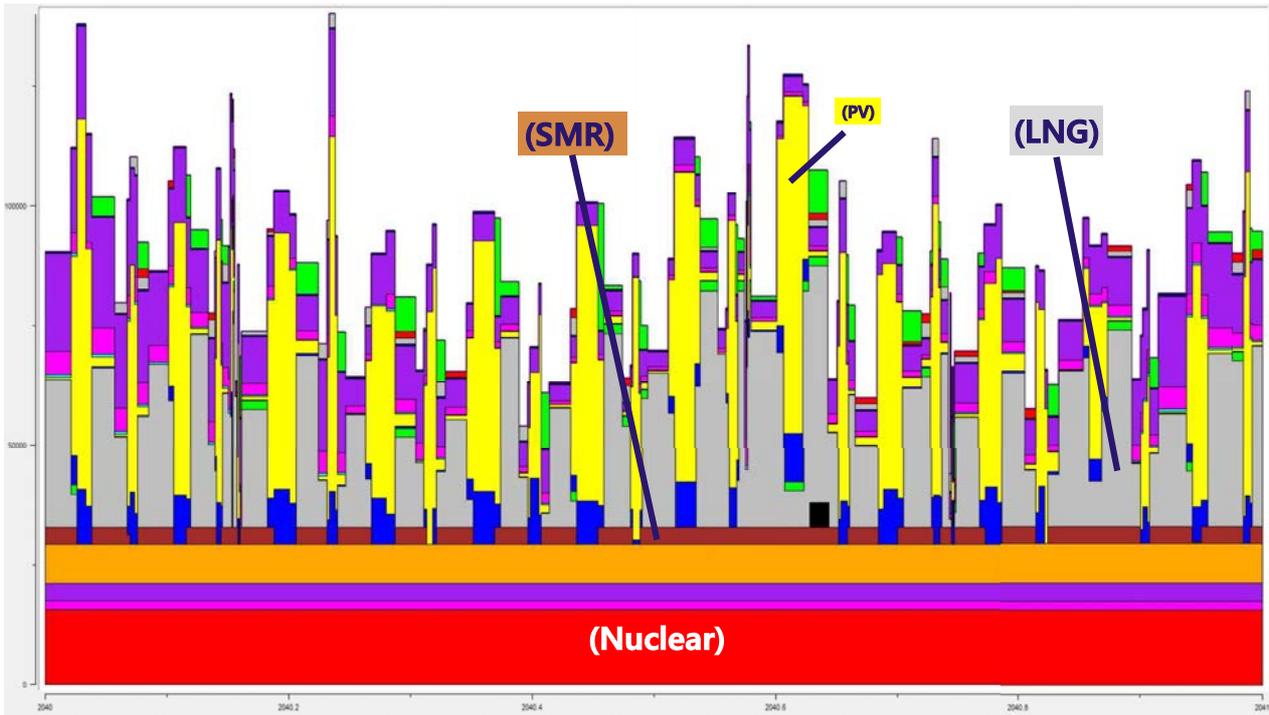


시스템 총비용 추이

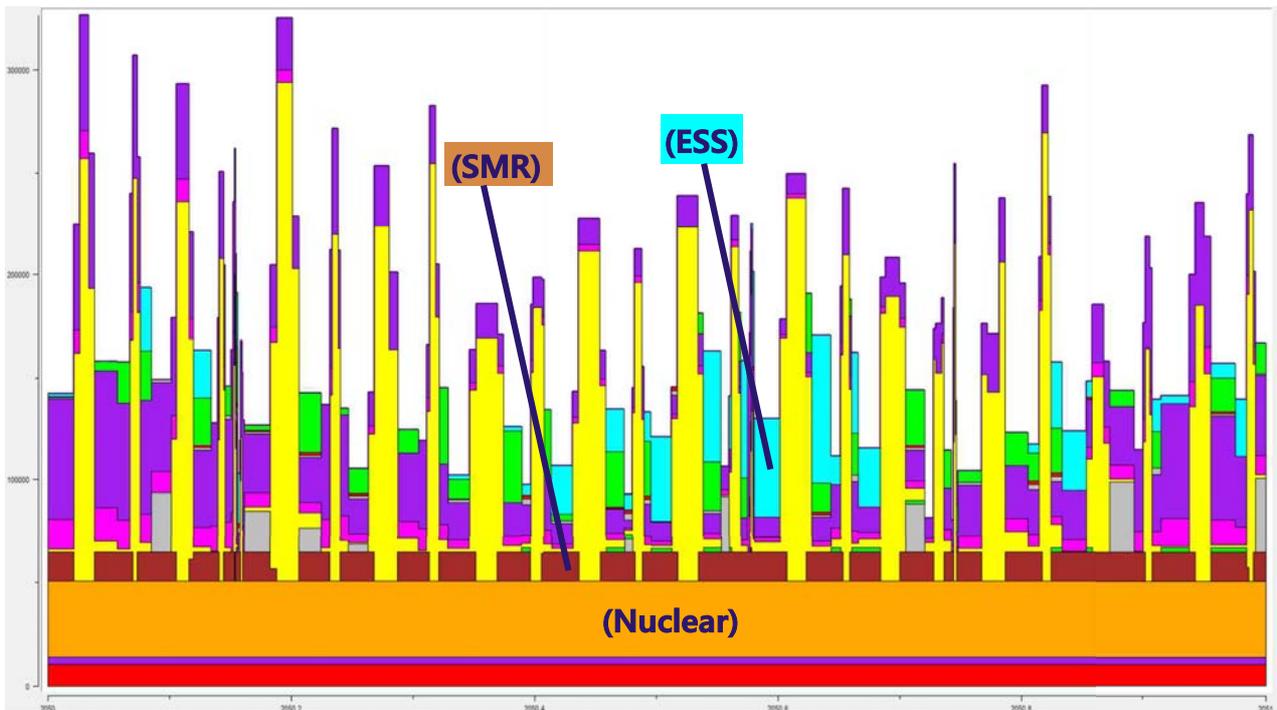




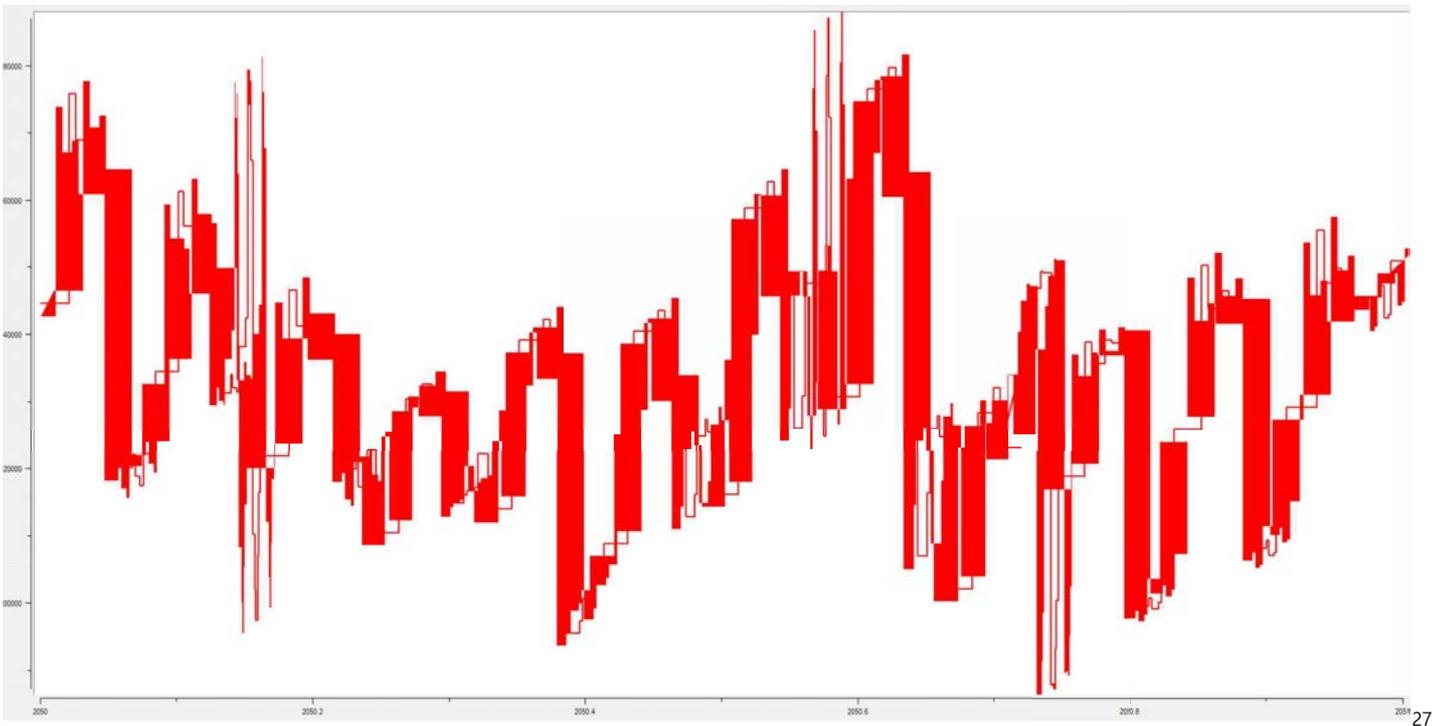
05 2040년 발전부하패턴(기준안)



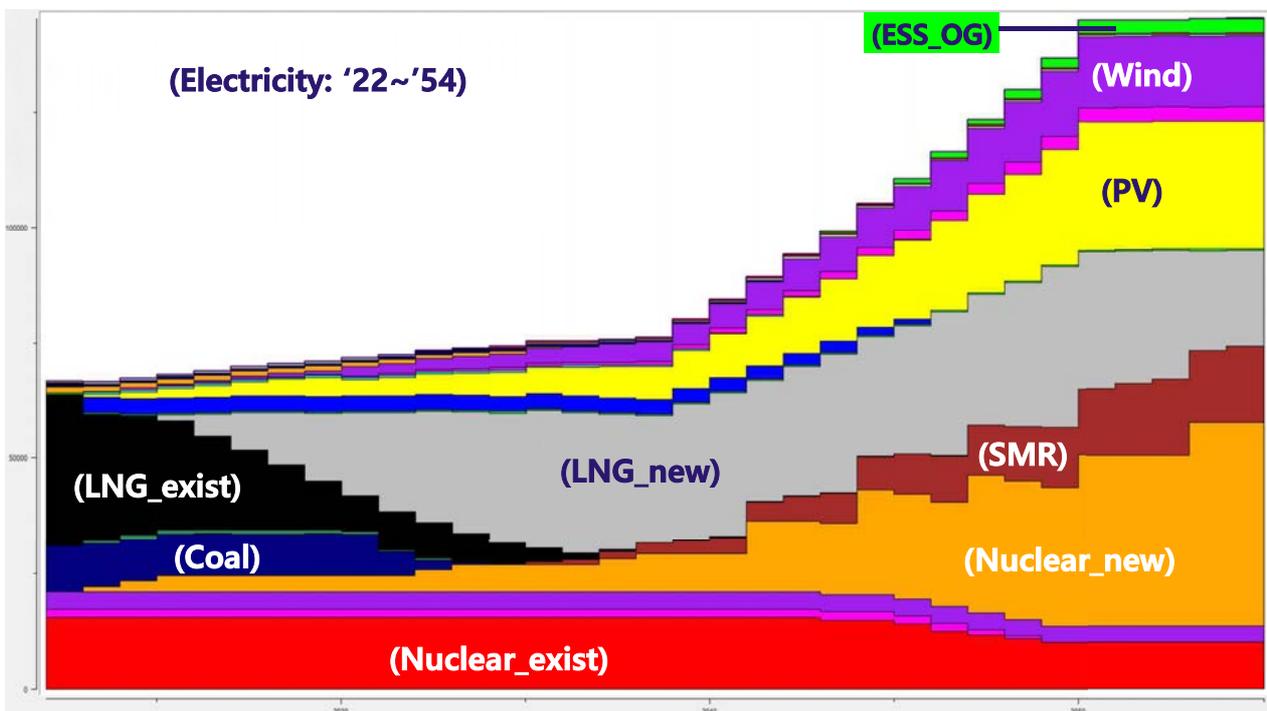
05 2050년 발전부하패턴(기준안)

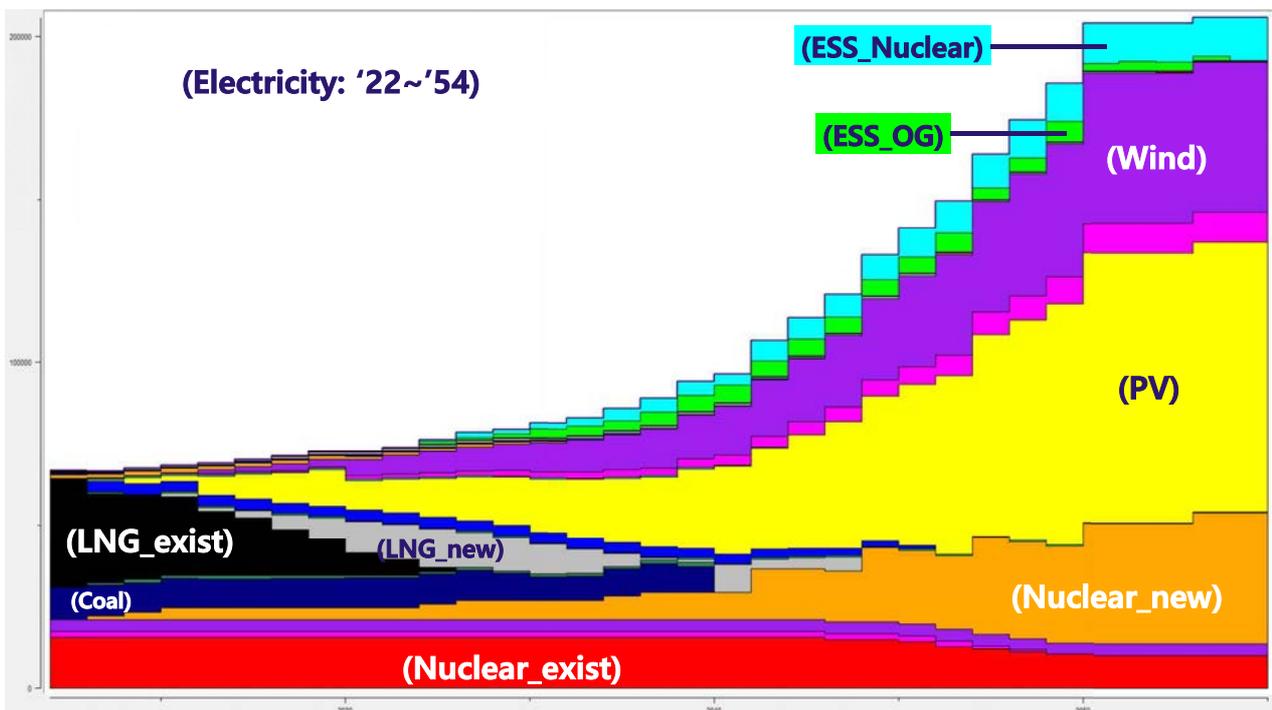
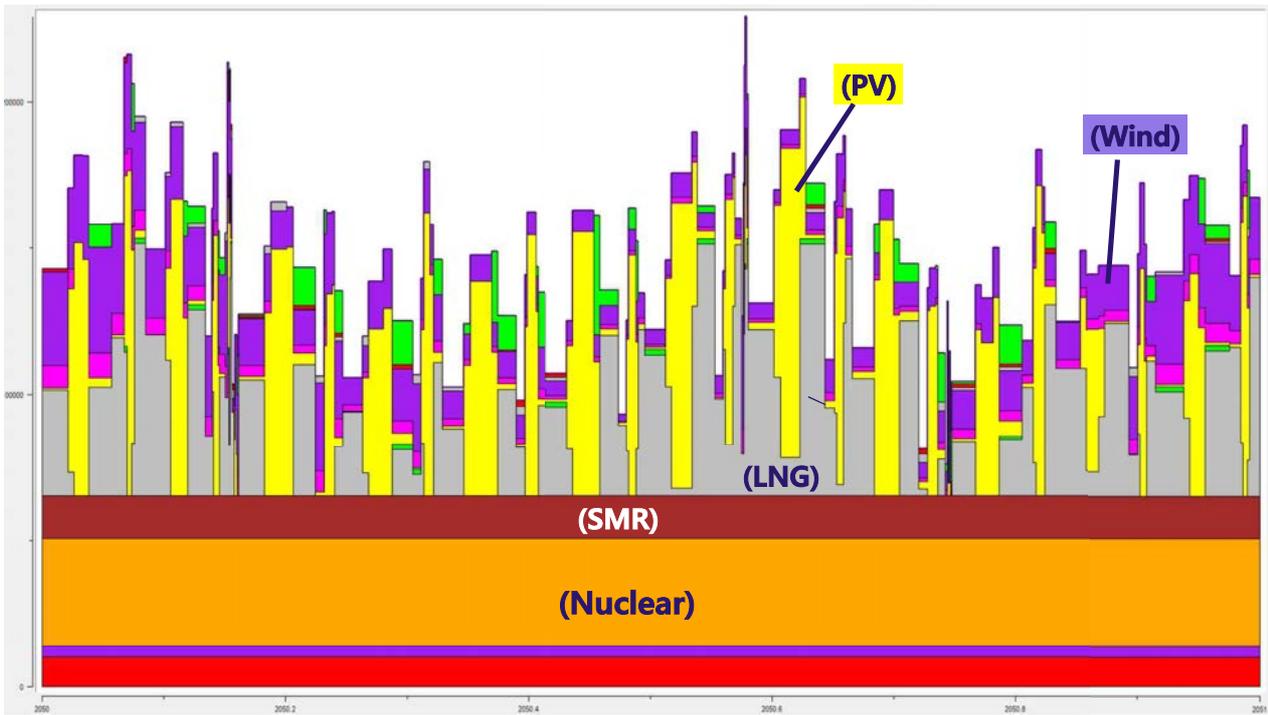


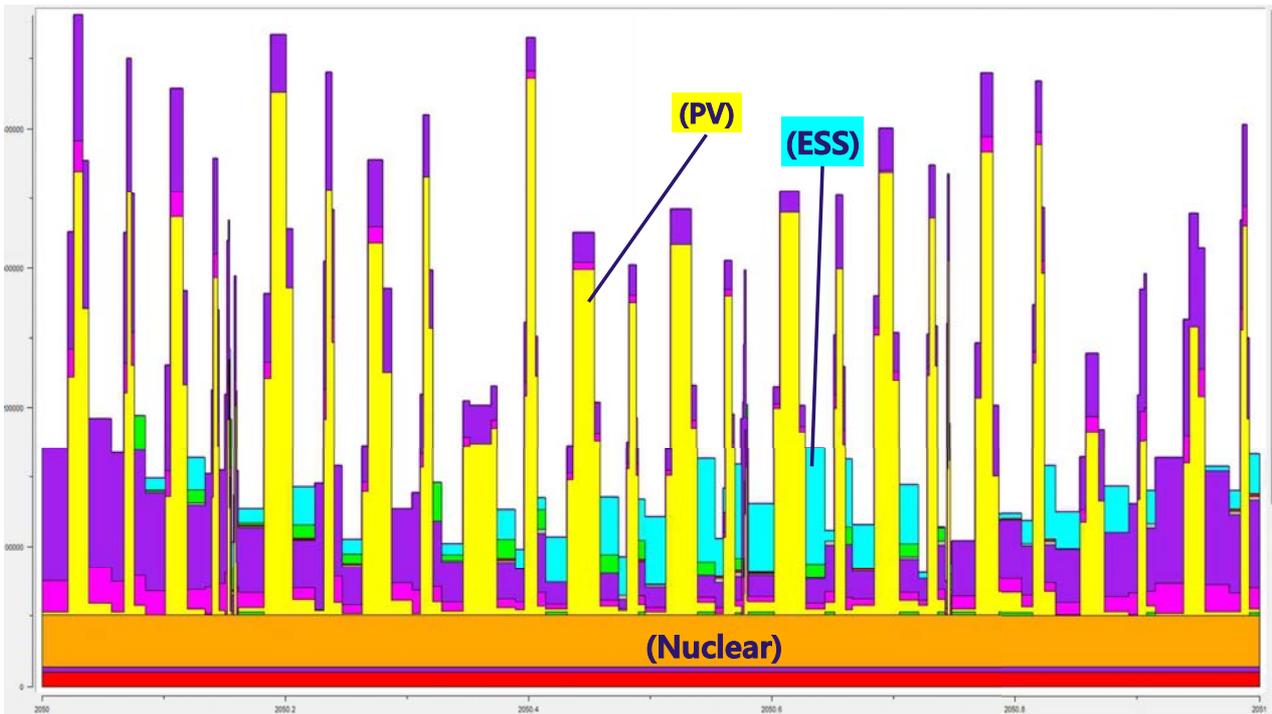
05 2050년 전력수요 pattern



05 에너지믹스(Case1)







✓ 탄소중립 달성을 고려한 에너지믹스 예측 모형 구축과 이를 통한 원자력의 역할 분석 수행

✓ 지속적인 에너지믹스 연구의 필요성

- 발전부문의 대표적인 무탄소 전원인 원전과 재생에너지의 합리적인 활용방안
- 에너지정책의 정치적 리스크에도 불구하고, 에너지믹스는 기술 중립적인 관점에서 지속적 수행 필요
- 이러한 노력을 통해 합리적 에너지 믹스의 필요성에 대한 사회구성원의 인식 제고에 기여

원자력 지속가능성에 대한
NEXFO 워크숍

일시: 2026년 2월 24일 오후 12:00 - 7:30

장소: 서울대학교 38동 글로벌공학교육센터 5층 대강당

감사합니다

분과1
에너지정책 및 핵주기

사용후핵연료 관리 정책 방향
및 정책 제안

백승혁

NEXFO 연구위원

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

사용후핵연료 관리 정책 방향 및 정책 제안

지속 가능한 에너지 미래를 위한 안전한 관리 체계 구축

2026. 2. 24.

백승혁

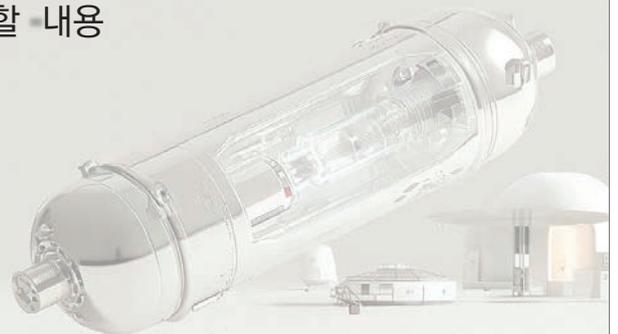
서울대원자력정책센터 연구위원



원자력 지속가능성에 대한
NEXFO 워크숍

목차

- 01 과제 개요
- 02 현재까지 연구 내용
- 03 '26년(1차년도) 연구할 내용



I. 과제 개요: 사용후핵연료 관리 정책 방향 및 정책 제안



01 연구배경 및 필요성: 기존원전 SNF

○ 문제 인식

- 원전 확대에 따라 사용후핵연료 발생량 지속 증가 → 처리·관리 전략이 에너지정책 핵심 과제로 부상

○ 국제 정책 동향

- 프랑스, 일본은 재처리·재활용, 핀란드, 스웨덴은 직접처분 정책, 미국은 최근 직접처분 → 재활용 검토
- 한국 현황: 직접처분 기조이나 재활용(파이로프로세싱) 연구를 미국과 지속

○ 재활용 관련 기술·정책 분석 필요성

- 재활용 기술은 핵비확산·경제성·안전·환경영향 등 다차원 쟁점이 결합
- 향후 정책 선택/수정 위해 기술 현황 분석 + 정책 수용성 평가 필수

○ 심층 처분의 시급성

- 핀란드(Onkalo), 스웨덴(KBS-3)은 건설·운영 단계 진입
- 다수 국가(한국 포함)는 입지 선정·수용성·기술 검증 문제로 지연

○ 심층 처분 관련 한국의 제도 현황 및 공백

- 「고준위방사성폐기물 관리 특별법(2025)」 제정, 2060년 영구처분시설 목표 설정
- 그러나 지질, 지하수 오염, 장기 모니터링, 법·제도 운영체계 등은 구체화 미흡
- 국제 동향 분석과 한국형 안전성 평가 모델·장기 관리 정책 지침서 마련은 정책적·기술적 시급성이 큼

○ SMR 사용후핵연료 연구 필요성

- 한국 2030년대 상용화를 목표로 SMART, i-SMR, ARA 등 개발 추진
- SMR 사용후핵연료는 기존 경수로와 특성이 달라 관리 정책·기술 분석 및 해결방안 마련이 필수

○ 예상 문제점

- 연료 특성 차이
 - HALEU, 금속·용융염 연료 등 사용, 고연소도·고열부하 가능 → 처분장 열부하 증가, 공간 제약 우려
 - 신규 폐기물 형태, 나트륨·용융염 등 새로운 방사성폐기물 경로 발생
 - 기존 건식저장·최종처분 정책 틀로는 관리 곤란 가능
- 제도적 공백
 - 「고준위방사성폐기물 관리 특별법(2025)」의 2050(중간저장)·2060(영구처분) 목표는 경수로 전제
 - SMR 연료·사용후핵연료 및 신규 폐기물 특성 반영 미흡
- 사회적 수용성
 - 월성·고리 등 갈등 사례처럼 SMR 도입 시 유사 문제 발생 가능성

○ 정책적 시사점

- SMR 상용화 이전에 SMR 사용후핵연료 관리정책을 선제적으로 설계해야 함
- 대안 미비 시 기존 경수로 문제와 중첩되어 정책 교착 위험 존재



○ 재활용 기술 분석

- 국내외 재활용 기술 현황 정밀 조사
- 기술별 경제성·안전성·환경 영향
- 한국형 최적 재활용 정책 도출



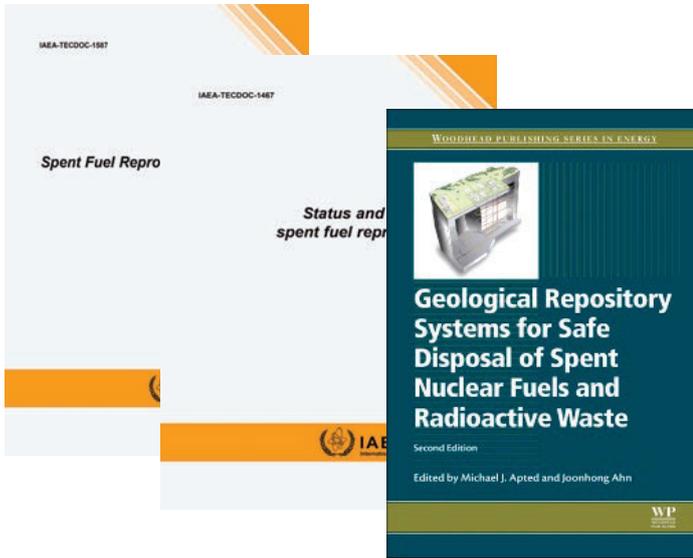
○ 영구 처분 기술

- 심층 처분 기술 및 안전성 종합 분석
- 장기 안전성 평가 모델 분석
- 처분시설 장기 모니터링 방안 도출

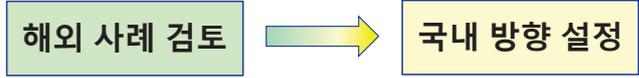


○ SMR SNF 관리 정책

- SMR 사용후핵연료 특성 파악
- 고준위방사성폐기물 관리 체계 도출



- 문헌/데이터 조사 : IAEA, OECD-NEA ,각국 기술 보고서 종합 분석
- 🌐 국제사례 연구 : 미국, 프랑스, 일본 등 선진국 정책 및 제도
- 🗨️ 과제 수행 방향 : 신규 개념·기술을 창출하는 데 초점을 두기보다, 국내외 서 이미 축적된 연구·정책·산업 동향을 체계적으로 조사, 정리하고, 이를 핵심 쟁점과 시사점 중심으로 요약해 보고서에 반영



구분	1차년도	2차년도	3차년도
역무 1 재활용 기술	기술현황 조사	방사성물질 안전성 평가	법적/제도적 장벽 조사
	경제성/환경영향 분석	환경 영향 평가	도입 정책 제안
역무 2 심층 처분	심층 처분 기술 동향	설계 기준 정립	장기 모니터링 지표 설정
	지질 안정성/오염 검토	장기 안전성 평가 모델 검토	관리정책 지침 개념 제안
역무 3 SMR SNF 관리	SMR 개발 동향 분석	법/제도 적합성 검토	한국형 관리 로드맵 제안
	연료 특성 및 위험도	관리 옵션 비용 분석	국제협력 전략 수립

세부 역무 /연구 내용	주요 산출물
국내외 사용후핵연료 재활용 기술 현황 분석	재활용 기술 현황 분석 결과
심층 처분 기술 동향 및 지질학적 안정성 분석	심층 처분 기술 안전성 검토 결과
SMR 개발 동향, 발생 시나리오 및 위험도 분석	SMR SNF 발생 동향 및 분석 결과
* 연말 주요 산출물: 중간 보고서 및 연차 보고서	

연구책임자

조건우

재활용 기술 정책

백승혁

심층 처분 기술 정책

조건우

SMR SNF 정책

박석빈

* 외부 자문 포함 전문 연구팀 구성



국가 에너지 정책의 기반 마련

- ✔ 정부의 사용후핵연료 관리 정책 수립을 위한 핵심 기초 자료 확보
- ✔ SMR 및 사용후핵연료에 대한 사회적 수용성 제고 기반 마련
- ✔ 관련 기업(처분용기, SMR 등)에서 즉시 활용 가능한 실무 데이터 제공
- ✔ 국제협력 강화를 통한 한국의 글로벌 원자력 정책 위상 제고



* 외부 자문 포함 전문 연구팀 구성

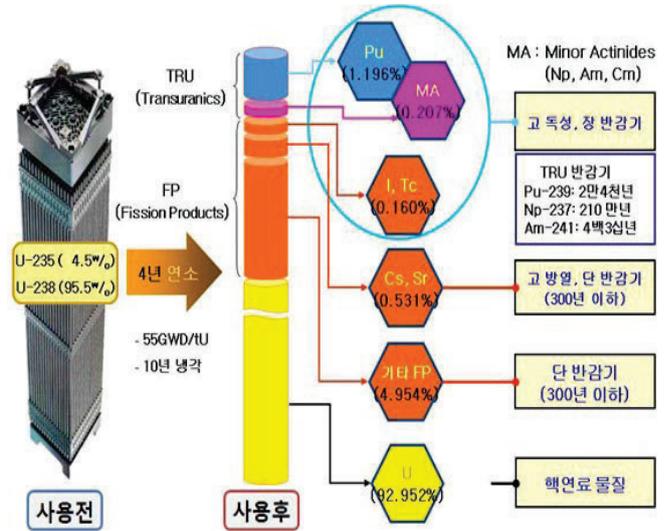
II. 현재까지 연구 내용



01 사용후핵연료 노형별 배출 특성(1/3)

1.1 경수로(LWR) 사용후핵연료 특성

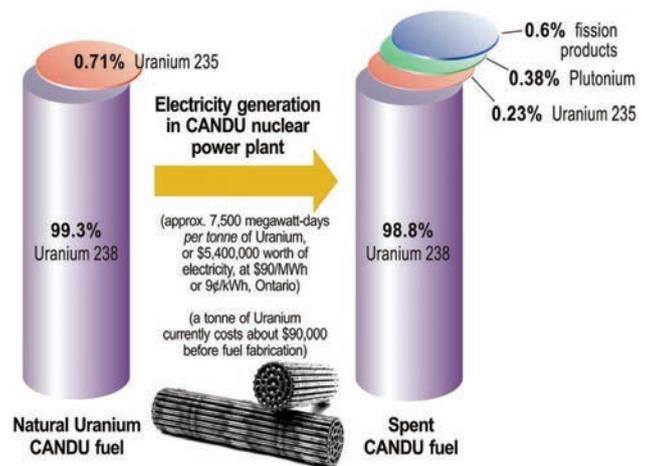
- 연료 형태는 지르코늄 합금 피복재에 담긴 UO₂ 펠릿사용, 노심 내에서 연료 집합체 형태로 지지
- 사용후핵연료 조성(50 GWd/tHM 연소도 기준)
 - 우라늄: 약 93% (이 중 U-235는 약 0.8% 포함)
 - 핵분열 생성물: 약 5.2% (방사능 및 붕괴열 발생을 지배)
 - 플루토늄: 약 1.2% (연료 1톤당 약 12kg)
 - 미량 초우라늄 원소: 약 0.2% (넵투늄, 아메리슘, 큐륨 등)



01 사용후핵연료 노형별 배출 특성(2/3)

1.2 중수로(CANDU) 사용후핵연료 특성

- CANDU는 천연우라늄(0.7% U-235)을 사용, 37개 연료봉이 다발(bundle) 형태로 묶여 있으며, 한 다발 무게는 약 24 kgU
- 경수로(50 GWd/tHM)에 비해 낮은 연소도(약 7~8 GWd/tHM). 단위 질량당 PWR 대비 약 2~3배 많은 SNF를 발생
- 사용후핵연료 조성(7~8 GWd/tHM 연소도 기준)
 - 우라늄-238: 약 98.0 %
 - 우라늄-235: 약 0.3~0.4 %
 - 플루토늄: 약 0.2~0.3 %
 - 미량 초우라늄(Np, Am, Cm): 약 0.01~0.02 %
 - 핵분열 생성물: 0.6~0.8 %



1.3 소형모듈형원자로(SMR) 사용후핵연료 특성

- 출력 약 300MWe 이하인 소형 원자로, NuScale, Natrium, Xe-100 등 다양한 설계
 - 이들 중 일부는 기존 경수로 기술을 소형화한 형태이며, 일부는 고온가스로, 납냉각로, 용융염로 등 차세대 원자로 개념을 도입
- PWR(1,175 MWe)과 비교했을 때, 경수로형 NuScale VOYGR(77 MWe)은 낮은 방출 연소도(discharge burnup)와 열효율로 인해 20% 더 많은 SNF 질량 생성
 - 반면, 비경수로(non-LWR)인 Natrium(345 MWe)과 Xe-100(80 MWe)은 더 높은 연소도와 열효율로 인해 SNF 질량이 약 4분의 1 수준으로 훨씬 적게 발생
- 비경수형 SMR은 기존 LWR에 비해 사용후핵연료의 화학적, 물리적 특성이 달라 핵분열성 농도(fissile content), 붕괴열, 장기 방사선 독성(radiotoxicity) 등이 다르다는 평가
 - 이러한 특성으로 인해 기존의 처분 기술과 개념과 호환이 되지 않을 가능성이 높아 관리 및 처분에 새로운 과제를 제기

02 사용후핵연료 관리 정책 제도 비교(1/6)

2.1 사용후핵연료 관리 정책

- 사용후핵연료 관리에 대한 국가별 정책은 **재처리와 직접 처분**으로 구분되며, 일부 국가는 관리 정책 결정을 유보
- **직접 처분(Once-Through Cycle)**: 사용후핵연료를 화학적 처리 과정 없이 직접 안정적인 심층 암반층에 영구적으로 격리
 - 직접 처분 방법으로는 지하 300m에서 1,000m 깊이의 심지층 처분이 주로 고려
- **재처리(Closed Fuel Cycle)**: 사용후핵연료에 남아있는 우라늄과 플루토늄 등 유용한 핵물질을 분리, 추출하여 새로운 핵연료로 재활용하는 방식으로 습식 재처리와 건식 재처리로 구분
 - 습식 재처리(예: PUREX 공정)와 건식 재처리(예: 파이로프로세싱)로 구분
- 사용후핵연료 관리는 단순한 기술적 폐기물 처리 문제를 넘어 **정치적 합의 및 주민 수용성, 경제적 가능성, 환경 안전성, 그리고 핵확산 위험과 깊이 얽혀 있는 다차원적인 복합성을 포함**

2.2 국가별 정책 선택에 영향을 미치는 요인

- 국가들의 사용후핵연료 관리 정책 선택에는 다양한 요인들이 복합적으로 작용
 - **자원의 재활용:** 우라늄과 플루토늄의 에너지 잠재력을 극대화하기 위해 국내 자원이 부족한 국가들은 재처리 정책을 선호
 - **폐기물 부피 감소 기여도:** 재처리는 폐기되는 방사성 연료의 양을 1/20로 줄여 최종 처분장의 공간을 최소화하여 폐기물의 장기적 부담을 경감
 - **핵 비확산:** 재처리는 본질적으로 이중 용도 기술로서, 에너지 생산과 군사적 활용이라는 양면성으로 인해 국제적인 핵확산 논란의 근본 원인
 - **정치 문화 및 국민 수용성:** 민주적인 절차, 투명성, 그리고 국민적 신뢰는 부지 선정 및 장기적인 정책 이행에 영향
 - **지질 조건:** 심층 처분을 위한 안정적인 지질 조건의 존재 여부는 직접 처분 정책 채택에 결정적인 기술적 요인
 - **기술 역량 및 성숙도:** 재처리 또는 처분 기술의 가용성과 성숙도
 - **경제적 고려 사항:** 시설 건설, 운영, 장기 관리 비용뿐만 아니라 재활용 연료의 경제성
- 이 외에도 각국의 역사적 배경, 지정학적 위치, 국내 정치 상황 등 복합적인 상호작용의 결과

2.3 제도적 차이

◆ 법률·규제 구조와 범위

- 직접 처분 국가의 법제는 주로 고준위방사성폐기물 관리법, 원자력법 등에서 심층처분 절차와 부지선정 요건, 장기 안전성 기준을 규정
- 재처리 국가의 법제는 한층 복합적으로 사용후핵연료 운반, 재처리 시설의 건설·운영, MOX 연료 제조, 플루토늄 회수, 그리고 최종 처분까지 핵연료주기 전 과정을 포괄적으로 규정

◆ 자원 조달 체계

- 두 정책 모두 전력 생산단계에 사용후핵연료 관리부담금을 부과하여 별도의 전용 기금을 조성하는 점은 공통이나 운영 메커니즘에 차이
 - 발전사 주도(핀란드, 스웨덴) vs 정부 관리 기금 (프랑스, 일본)
- 직접처분은 주로 처분장 건설·운영·사후관리와 사회적 수용성에 비용을 집중
- 재처리는 재처리와 MOX 제조, 플루토늄 관리, 최종처분까지 전주기 비용을 고려한 기금 운용이 필요
 - 재처리 국가는 장기계약, 국가 보증, 고정비 반영 등 더 복잡한 재정 설계가 요구

◆ 비확산

- 직접처분 국가는 사용후핵연료가 봉인된 상태로 저장·처분되기 때문에 비확산 리스크가 상대적으로 낮아, 표준적인 IAEA 안전조치(핵물질의 소재·형태·위치 확인)가 적용
- 재처리 국가는 플루토늄의 군사적 전용 가능성을 차단하기 위한 고도의 투명성 체계가 요구
 - 재고와 흐름에 대한 정기 보고, 국제 사찰관 상주, 영상 및 원격 감시, 이중 봉인, 무작위 검증 등 복합적이고 강화된 안전조치가 적용

◆ 사회적 수용성 확보 방식

- 직접처분 정책은 ‘부지선정 수용성’이 정책 성공의 핵심
 - 주민 동의 기반(Consent-based siting) 절차, 지역 모니터링 권한 부여, 장기 재정 지원, 투명한 정보공개를 법적으로 보장
- 재처리 정책은 처분장 입지뿐 아니라 재처리·MOX 제조시설, 폐기물 저장·수송 경로 등 다수 시설의 사회적 수용성을 동시에 확보 필요
 - 더불어 플루토늄 관리에 대한 국내외 신뢰 확보도 중요한 과제

2.4 잠재 위험요인

◆ 사회적 수용성 리스크

- 최종 처분장, 재처리 시설, MOX 제조시설, 중간 저장 시설 등의 부지 선정이 정책의 성패좌우
- 주민 반대, 환경단체의 법적 소송, 정치적 변동 등으로 수십 년 단위로 사업이 지연될 가능성 크며, 현재도 진행되고 있는 상황

◆ 장주기 안전성 리스크

- 심층 처분장은 수만 년에서 최대 10만 년 이상 안전성을 확보해야 하므로, 장기 지질 변화, 지진·화산 활동, 지하수 유동, 인위적 침입 등의 불확실성이 항상 존재
- 법률과 인허가 과정에서 장기 안전을 보장하고, 폐쇄 이후에도 모니터링을 장기적으로 지속하는 제도적 틀을 마련

◆ 정책 일관성 및 지속성 리스크

- 사용후핵연료 처리는 부지 선정부터 건설까지 약 40여 년이 소요되는 장기 사업
- 장기 국책사업의 특성상, 정책 일관성과 지속성은 중대한 도전 과제

◆ 재무·일정 지연 리스크

- 막대한 초기 처분장 건설비용, 특히 부지 선정 지연 등으로 기금이 고갈될 가능성 상존
- 이를 방지하기 위해 전력 단가에 연동된 부담금을 적립하고, 프로젝트 지연이나 원전 수명연장 시 기금 산출 기준을 재조정하는 제도를 마련할 필요
- 장기 계약, 국가 보증, 다단계 요금 설계 등을 통해 재정 안정성을 확보

◆ 비확산 및 보안 리스크

- 직접처분은 사용후핵연료가 봉인 상태로 보관·처분되므로, 표준적인 IAEA 안전조치(safe guard)만으로도 무단 전용 가능성을 억제
- 재처리하는 분리된 플루토늄의 군사적 전용 위험이 이론적으로 존재하므로, 강력한 안전조치와 보안 체계가 필요

3.1 심지층 처분 개념

- 심지층 처분시설은 인간의 장기적인 개입 없이 핵종을 안전하게 격리하기 위해 '천연방벽'과 '공학적 방벽'의 다중방벽 시스템에 의존
- '천연방벽'은 처분장을 포함하는 견고한 암반 자체를 의미. 이 암반은 핵종의 이동을 지연시키고 외부 환경으로부터 처분장을 보호하는 역할
- '공학적 방벽'은 인공적으로 구축된 시스템으로, 사용후핵연료가 저장된 용기, 용기를 둘러싸는 벤토나이트(Bentonite) 점토로 만든 완충재, 그리고 터널을 채우는 뒤채움재로 구성

3.2 심지층 처분시설의 설계 및 기술 현황

- 심지층 처분시설은 단순한 지하 굴착물이 아니라, 고온의 사용후핵연료를 수십만년 동안 격리하기 위한 매우 정교하고 특수한 공학적 설계가 요구
- 일반적인 지하 터널과는 다른 고유한 설계 원칙과 기술이 적용되며, 이는 각 국가의 지질학적 특성을 반영

국가별 심지층 설계 기준(例)

	캐나다	미국 유카마운틴	스웨덴
일반기준	<ul style="list-style-type: none"> 지표면으로 연결된 공동의 최소화 운전유연성 최대화 방사성, 비방사성 물질의 취급을 분리 모든 보조시설은 처분구역외부에 위치 적절한 환기 시스템 배수는 upcast shaft 쪽으로 수직터널은 처분장에서 200m이상 격리 처분밀도: 47.5kgU/m² 	<ul style="list-style-type: none"> 처분후 100년간 회수 가능 처분밀도: 20.5kgU/m² Type I fault에서 적어도 15m 이상 격리 	<ul style="list-style-type: none"> 폐쇄 전, 폐쇄 후 1000년 방사선 방호에 유의 다음 병하기(10000년)고려 처분밀도: 7.8kgU/m²
기계적 기준	<ul style="list-style-type: none"> 굴착비율 < 27% 평균강도 대 응력 비 > 2 	<ul style="list-style-type: none"> 굴착비율 < 30% 처분장 위 암반상승 < 1m 처분장 위 지표면 상승률 < 0.5cm/yr 변위 < 15cm/100년 변위속도 < 3mm/yr 	
열 기준	<ul style="list-style-type: none"> 용기표면온도 < 100°C 	<ul style="list-style-type: none"> 주위암반 온도 < 115°C 처분동굴표면 < 200°C 지표면 온도상승 < 2°C 동굴표면온도, 50°C 핵연료피복관 < 350°C Zeolite layer < 90°C 회수기간 중 < 50°C 	<ul style="list-style-type: none"> 용기표면온도 < 100°C
방사능 기준	<ul style="list-style-type: none"> 작업자 2rem/yr 일반주민 100mrem/yr 수학적 모델을 사용한 개인 위험 평가는 1만년을 초과할 필요 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 인공방벽을 통한 핵종 누출율이 폐쇄후 1000년 뒤 처분량의 1/100000이하 핵입계에 대한 통제기간: 1백만년 작업자; 500mrem/yr 일반주민: 15mrem/yr 	<ul style="list-style-type: none"> 용기표면선량 < 1 Gy/h
수리 기준		<ul style="list-style-type: none"> 지하수면에서 100m 이상 지하수의 가장 빠른 경로를 통한 이동시간 1000년 이상 	

3.3 국가별 설계 사례

- 스웨덴 (KBS-3 개념):
 - 화강암 지층을 활용하는 KBS-3 개념은 지하 500m 깊이에 처분시설을 구축
 - 처분 터널은 주 터널에 수직으로 연결되며, 터널 간격은 열적, 구조적 해석을 통해 40m로 결정
 - 포스마크 처분장은 약 500m 깊이에 12,000톤의 핵폐기물을 수용하는 6,000개의 캡슐을 매장할 예정
- 핀란드(온칼로 프로젝트):
 - 핀란드는 스웨덴과 유사한 지질 환경(화강암 지층)을 바탕으로 스웨덴이 개발한 KBS-3 심층 처분
 - 온칼로 처분장은 지하 420m~520m 깊이에 건설되며, 나선형의 진입 터널과 4개의 수직 갱도(인력, 캐니스터, 환기용) 통해 지상 시설과 연결
 - 2015년 세계 최초로 고준위방폐물 처분장 건설 허가를 획득했으며, 2016년 건설에 착수하여 2020년대 중반부터 운영을 시작할 계획



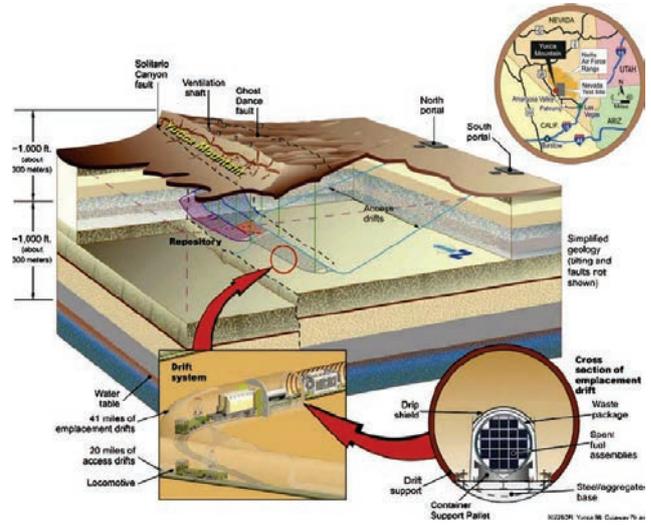
핀란드 온칼로 처분장

• 미국 (유카마운틴 프로젝트):

- 유카마운틴은 사막 지역의 응회암 지층을 활용하며, 지하수위가 처분장 심도(200~300m)보다 낮다는 특성을 이용
- 처분 방식은 터널 바닥에 용기를 수평으로 거치하는 '수평 처분 방식'을 채택했으며, 5.5m 직경 TBM(Tunnel Boring Machine)으로 터널을 굴착, 약 12,000개 용기 처분

• 프랑스 (시제오 프로젝트):

- 시제오(Cigéo)는 부르 지역 지하 500m의 점토암 지층에 건설될 예정
- 점토암의 낮은 투수성과 자가 복원 능력을 활용하여 핵종을 격리, 약 15km² 면적에 270km의 터널과 처분공으로 구성



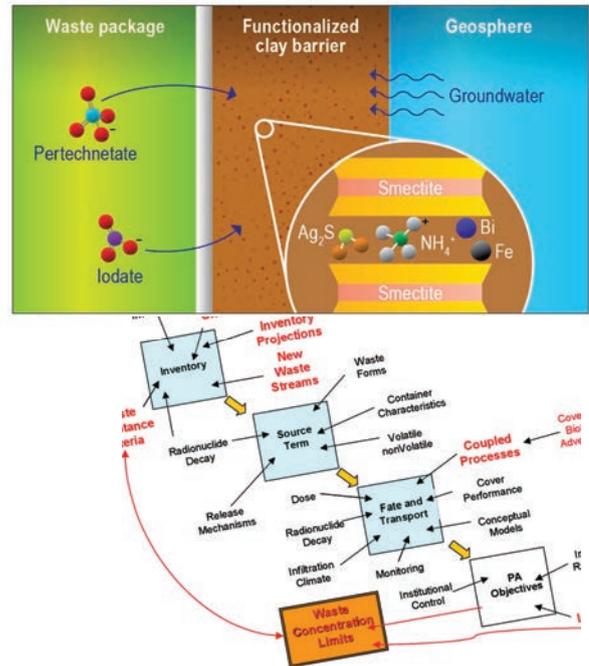
유카마운틴 처분 개념도

Ⅲ. '26년(1차년도) 연구할 내용



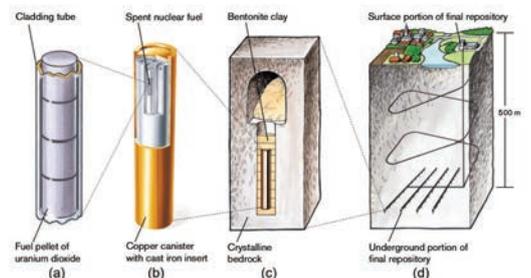
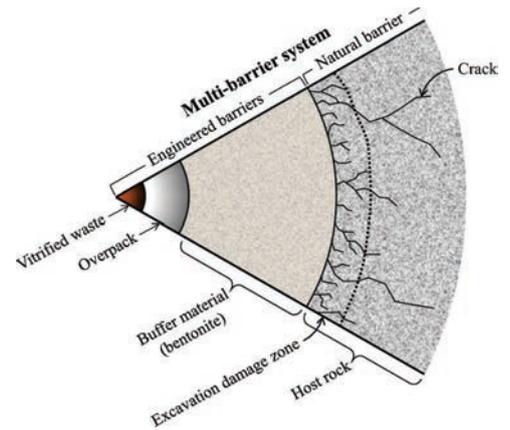
국내외 사용후핵연료 재활용 기술 현황 조사

- ◆ 사용후핵연료 특성
- ◆ 재활용 기술 개념
- ◆ 습식 재처리(용매추출) 계열 기술 현황
- ◆ 건식 재활용(전해·용융염) 계열 기술 현황
- ◆ 직접 재활용·저(低)분리 공정(Direct/Partial Recycle) 기술 현황
- ◆ 분리-변환(P&T)과 재활용의 통합



심층 처분 기술 및 안전성 종합 분석

- ◆ 심층 처분 부지 지질/지구환경 특성화 (Site Characterization)
- ◆ 다중방벽시스템(Multi-Barrier System) 설계 및 성능 평가
- ◆ 열-수리-역학-화학(THMC) 연계 거동 분석
- ◆ 방사성 핵종 용출·이동·지연 거동 평가
- ◆ 장기 안전성 평가 및 시나리오 분석 (Performance Assessment)
- ◆ 건설·운영·폐쇄 및 모니터링 기술



SMR 사용후핵연료 특성 파악

- ◆ 연소도·중성자 스펙트럼에 따른 핵연료 조성 특성
- ◆ 붕괴열(Decay Heat) 및 열발생 특성 분석
- ◆ 방사능 특성 및 핵종 방출 특성
- ◆ 핵연료 물리·기계적 건전성 및 열화 특성
- ◆ 저장·운반·처분 적합성 평가
- ◆ 재활용·처분 전략 연계 특성 분석



* 연말 주요 산출물: 중간 보고서 및 연차 보고서

원자력 지속가능성에 대한
NEXFO 워크숍

일시: 2026년 2월 24일 오후 12:00 - 7:30

장소: 서울대학교 38동 글로벌공학교육센터 5층 대강당

감사합니다

분과2
미래기술

해외 원자력 동향 정보 분석
및 DB화 체계 구축

박찬오

NEXFO 연구위원

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

해외 원자력 동향정보 분석 및 DB화 체계 구축

2026. 2. 24.

박찬오

서울대원자력정책센터 연구위원

copark5379@snu.ac.kr



원자력 지속가능성에 대한
NEXFO 워크숍

목차

- 01 배경
- 02 접근법
- 03 현황
- 04 향후 계획
- 05 요약



과제 개요

사업/과제명

사업명: 원자력분야 정보 조사·분석을 통한 정책 개발·제안 지원
과제명: 국내외 원자력 동향 정보 조사·수집·DB화 및 분석 체계 구축 및 운영 연구

기간/목표

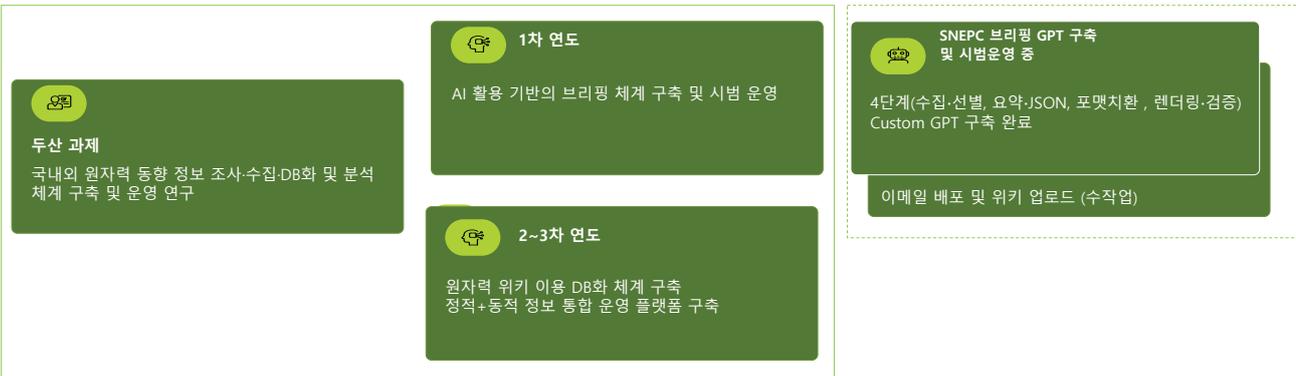
총 연구기간: 2025.10.01 ~ 2028.09.30 (36개월)
최종목표: 최신 동향 정보의 체계적 수집·DB화·분석·확산 체계 구축 및 운영

연차별 핵심 업무(요약)

- 1차 연도: 수집·DB화·확산 기반 정립 + AI 활용 일일 브리핑 체계 구축/시범 운영
- 2차 연도: 수집 대상 확대 + 월간/분기 브리핑 체계화 + 위키 아카이브 누적
- 3차 연도: 안정 운영 + DB 기반 대시보드/알림 연계 체계 구축

급변하는 원자력 정책·시장 동향과 현행 산발적 정보 체계의 한계

- 격변하는 원자력 사업 환경에서 팩트 기반의 최신 정보 수집·분석·배포가 요구됨
- 수집·분석된 정보는 DB화를 통하여 체계적으로 축적·활용·확산하는 체계가 필요함
- 기술 지식(정적)과 정책·시장 동향(동적)을 통합해 운영하는 플랫폼이 필요함



왜 “DB화 + 위키 연계”인가

현 상황

- 일일 브리핑 결과가 파일·문서 단위로 산발적으로 저장되어 검색·재활용·시계열 분석이 어려움
- 국가·이슈·원자로 유형별 시계열 분석을 위한 구조화 데이터가 부족함

Atomic Wiki(원자력위키) 자산

- 기술·개념 중심 문서 약 2,400건이 축적되어 있으나 동향(기사)과 연계되어 있지 않음
- 동향(동적)과 기술(정적) 연계 시 “기술 문서에서 최신 기사 자동 노출” 등 확장 가능

지향점 브리핑 결과물 → DB화(CMW/SMW) → 질의/대시보드 → 기술문서(TechArticle)와 연계(동향·기술 연계)

CMW: Cargo MediaWiki 템플릿-테이블-쿼리 기반의 미디어 위키 Extension. 설치 운영이 용이
 SMW: Semantic MediaWiki 속성-쿼리-탐색 기반의 미디어 위키 Extension. 설치 운영이 복잡(semantic modeling과 탐색이 강점)

GPT 제한/한계(운영 관찰)

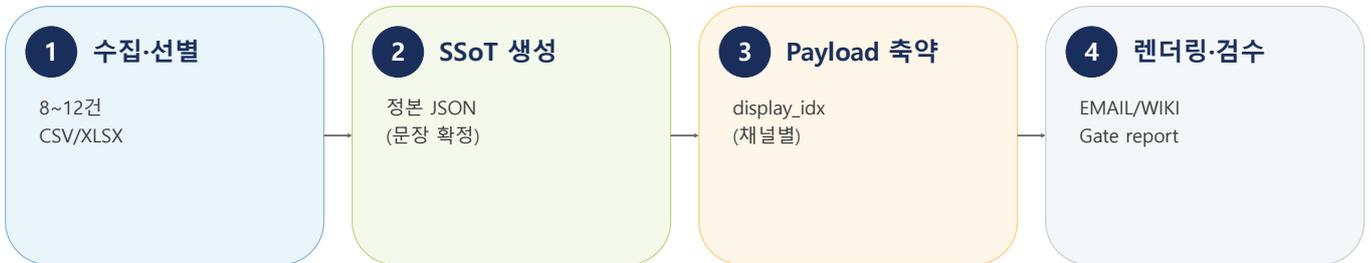
핵심 이슈

- 프롬프트/지침 길이 제약(예: 8천자 제한)으로 운영 규칙·예외·품질 기준을 단일 지침에 수용하기 어려움
- 확률 기반 생성 특성으로 재현성·일관성이 흔들려 품질 편차가 발생함(특히 동일 입력에서도 문장/구조 변동)
- 지침을 세분·심화할수록 충돌/과밀이 발생해 오히려 품질이 저하되는 경우가 존재함
- run-time 에러로 추정되는 세션 끊김이 간헐적으로 발생하며, 특히 “렌더링” 단계에서 빈도가 높게 관찰됨



SSoT 기반 4단계 접근법(개요)

목표: 세션 끊김에도 단계별 산출물로 즉시 재시작 가능한 운영 구조 확립



핵심: SSoT 문장은 Stage2에서만 확정하고, Stage3/4는 선택·배치·치환만 수행

JSON: JavaScript Object Notation 프로그래밍 언어와 무관하게 널리 사용되는 데이터 포맷

SSoT 개념 및 주요 규칙

SSoT(Single Source of Truth)

- Stage2에서 확정된 정보 JSON이 이후 단계의 유일 근거이며 Stage3/4는 선택·배치·치환만 수행
- Stage3/4는 문장 재작성 금지(선택·재배열·결합만 허용; display_idx로 제어)
- Gate(검증)로 날짜·형식·정합성 문제 위반을 탐지하고, 실패 시 단계별 되돌림(return_to) 적용

정책/필터링/출력물 규칙(예시)

- 시간 정책: 현지시간+KST 동시 보존, 시간 정보 없으면 date-only + precision 표기
- 출력물: Stage1 CSV → Stage2 SSoT JSON/Plaintext → Stage3 payload_compact → Stage4 EMAIL/WIKI + gate_report

Stage1 — 수집·선별(8~12건)

주요 기능

- 시간창 내 기사 후보 수집 → denylist 적용 → 중복 제거(직전 2일 기준) → 8~12건 확정
- 현지시간 + KST 환산시간 동시 확보(정확한 기간 필터 검증을 위한 근거)
- 화면 표 + CSV 동시 생성(세션 단절 시 재시작 포인트)

산출물(예)

- Screen table: Source | Published(KST) | Title(EN) | URL
- stage1_selected_YYYY-MM-DD_KST.csv (id/region/source/timestamps/title/url)

기간(KST): 2026-01-24 05:00 ~ 2026-01-26 05:05
 ※ 이변 창에서 allow/deny 기준을 적용해 수집된 '원자력 관련(직접/간접) 보도' 목표지 (8~12) 미만이라 window 확장 없이 coverage_low로 증표함. (Stage1 정책)

Stage1 — Select (Screen Table)

Source	Published (KST)	Title (EN)	URL
Reuters	2026-01-24 09:56	Trump says US VP headed to Azerbaijan, Armenia next month	https://www.reuters.com/world/azerbaijan-armenia-next-month-2026-01-24/
Neutron Bytes	2026-01-24	Nuclear Shutdown is Called "a Mistake" by German Chancellor	https://neutronbytes.com/2026/01/24/nuclear-shutdown-is-called-a-mistake-by-german-chancellor/

Stage2 — SSoT(정보) 생성

SSoT 정보 문장(기사별)

- headline_ko: 헤드라인 1문장(~200자 내외)
- summary_ko: 사실 중심 2~5문장(문장당 ~250자 내외)
- implications_ko: 시사점 1~2문장(문장당 ~180자 내외)
- 문체 규칙: 매체를 주어로 쓰지 않고 행위 주체(정부/기업/규제기관 등) 중심으로 기술

산출물

- ssot_rich.json (정본)
- output_plaintext.briefing_ko (JSON 문장 재사용)

```

"run_meta": {
  "run_id": "20260124T0846KST",
  "briefing_date_kst": "2026-01-24",
  "window": {
    "start_utc": "2026-01-22T20:00:00Z",
    "end_utc": "2026-01-23T23:46:09Z",
    "start_kst": "2026-01-23T05:00:00+09:00",
    "end_kst": "2026-01-24T08:46:09+09:00"
  },
  "selection_policy": {
    "target_count": {
      "min": 8,
      "max": 12
    },
    "dedupe": true,
    "denylist_applied": true
  }
},
"headline": [
  {
    "id": "20260124-01",
    "topic": "Policy",
    "headline_ko": "연마크 정부가 SBR 등 신형 원전 기술의 잠재력·위험과 1985년 원전"
  },
  {
    "id": "20260124-02",
    "topic": "Fuel",
    "headline_ko": "카이로스 피워가 태네시 오크리지 헤르메스 1 실증로 가동을 위한 H"
  },
  {
    "id": "20260124-06",
    "topic": "Safety",
  }
]

```

Stage3 — payload_compact + display_idx

핵심 개념

- Stage2 정본 문장은 그대로 유지(문자 단위 동일성)
- 채널별 노출 차이는 display_idx로만 제어(이메일: 요약 2~3문장, 시사점 1문장 등)
- EMAIL/WIKI의 6개 지역 섹션 코드를 통일(NA, EU_RU, CJK, IN_ME, OTH, GLOBAL_IO)

간단 예시(개념)

display.email.summary_idx = [0,1] → summary_ko[0], summary_ko[1]만 렌더링
(문장 텍스트는 변경하지 않고 "선택"만 수행)

```

}
},
"ssot_corpus": {
  "articles": [
    {
      "id": "20260124-01",
      "region": "EU",
      "category": "Policy",
      "source": "World Nuclear News",
      "title_ko": "덴마크, 원전 금지 해제 가능성 포함 '신형 원전' 도입 검토 착수",
      "title_en": "Denmark begins study on potential use of nuclear energy",
      "url": "https://www.world-nuclear-news.org/articles/denmark-begins-study-on-potent",
      "published": {
        "local_time": "2026-01-23",
        "local_tz": "Europe/London",
        "kst_time": "2026-01-23",
        "precision": "date_only"
      }
    },
    {
      "text": {
        "headline_ko": [
          "덴마크 정부가 SMR 등 신형 원전 기술의 잠재력·위험과 1985년 원전 건설 금지(모라토리엄) 해",
          "제"
        ],
        "summary_ko": [
          "덴마크 기후·에너지 공공서비스부가 SMR을 포함한 신형 원전 기술의 '잠재력과 위험' 및 원전",
          "안전"을 검토하는 1985년 원전 건설 금지 결의를 재검토했으나 2025년 5월 의회 표결에서 에너지 안",
          "정부는 대형 상용 원전을 덴마크에 적합한 해법으로 보지 않는다는 입장을 유지하면서도 EU 차",
          "별"
        ],
        "implications_ko": [
          "정책 검토가 '금지 유지'에서 '조건부 허용' 논의로 이동할 경우 규제·입지·계통 연계 기준 마"
        ]
      }
    }
  ]
}

```

Stage4 — 렌더링 + Gate 검증

EMAIL(OFT fragment)

- 템플릿
placeholder({DATELINE_RIGHT}/{TOPLINE_LI}/{REGION_BLOCK S})를 기계적으로 치환
- HTML 구조/문장 수정 금지(재현성 확보)
- 미치환 placeholder·필수 블록 누락 시 FAIL

산출물: stage4_email_fragment.html

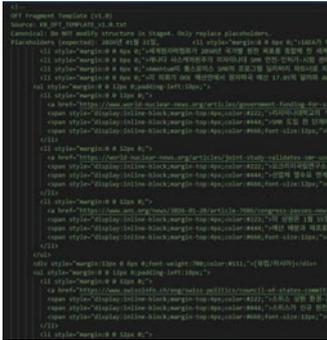
WIKITEXT

- 상단/하단 LOCKED 블록 유지(연도만 치환)
- <onlyinclude> Top-line 3~5개 + 6개 지역 섹션(0건 포함) 강제
- 금지 문법(<ref> 등)·섹션 누락·구조 위반 시 FAIL

산출물: stage4_wikitext.txt

Gate report: FAIL/WARN 코드로 문제를 분류하고 return_to(stage1~4)로 즉시 되돌림 경로를 제시

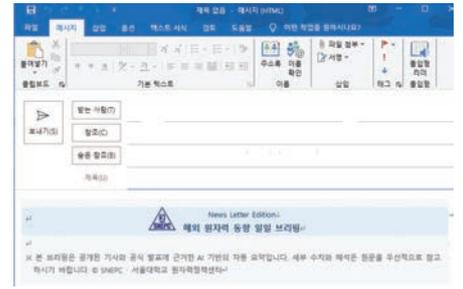
EMAIL HTML



HTML Chrome View



Outlook OFT Template 작업 및 배포



Mediawiki Text

Wiki 등재

GPT 4단계 자동 작업

수작업

```

[[분류:2026년]]
<span style="font-size: 1.3em;color:blue"> " "오늘의 헤드라인"</span>
----
<onlyinclude>
* IAEA가 이번의 60% 농축 우라늄 재고와 목적 피해 핵시설 3곳 사찰 보고가 지연되는 4
* 세계원자력협회가 2050년 국가별 원전 육입을 종합해 전 세계 원전 용량이 1,446GW에
* 캐나다 사스캐atoon이 리자이나 SMR 안전 인허가/시행 센터에 약 CAD6억만을 지
* Amertium이 플루토늄 SMR의 프로토타입 디미버리 피드백로 지형형 영구체로 사업으
* 인 의회가 DOE 예산안에서 원자력에 예산 17.85억 달러와 ARDP 지원 재포모집 31%
</onlyinclude>
== 핵미 ==
== [[https://www.world-nuclear-news.org/articles/government-funding-for-saskatche
<!--핵미-->
** 리자이나대학교의 'SMR Safety, Licensing and Testing Centre(SMR-GLT)'가 연방정부
식 SMR 일부 조건을 상세히 분석한 보고를 시범하는 연구 인력으로 설계됨.
** 자음 연방 PrairieCan을 통한 CAD1.96억의 캐나다 사스캐atoon 전력공기업 SaskPower
계 지원 등 현을 기여가 대체적 초기 운영/역량 구축을 뒷받침하는 구조임.
** SaskPower는 GE Hitachi의 BWRX-300을 설계 기술로 선정해 2030년에 중반 도입 가
개 원자로 대비 인허가/시행 센터에 지원할 수 있다고 언급함.
<!--중미 및 보도알-->
<!--사찰-->
** SMR 도입 전 단계에서 '시행 인허가-인력 인프라에 공급자금을 선투입하는 모델이 핵
학적인 계획의 연계 수준을 결정해 요소로 관리할 필요가 있음.
== [[https://world-nuclear-news.org/articles/joint-study-validates-smr-use-for-chemi
<!--핵미-->
* 오크리지 국립연구소(ORNL)와 NuScale은 DOE의 GAIN 프로그램 지원을 받아 실제 조
구상으로 남극에 KMC 개발 모델이 상용화 도입을 앞둔 것임

```



세션 끊김과 이메일/위키텍스트 형식 오류 이슈

GPT vs 결정론적 코드

GPT가 잘하는 단계

- 기사 요약·분석(정책/사업 시사점)
- 문장화/구조화(SSoT)
- 불확실성 표기·문체 통일

코드(Python)가 잘하는 단계

- 렌더링(HTML/Wikitext) — 동일 입력이면 동일 출력
- 치환/escape/형식 검증(gates)
- 배포·업로드 자동화(메일/위키 API)

개선 방향

GPT는 분석·문장확정(SSoT)을 담당하고 코드는 렌더링·검증·배포를 담당하여 "재현성 및 운영 안정성"을 확보

시범 운영: SNEPC 브리핑 GPT

정의

해외 원자력 동향을 수집→분석→일일 브리핑 자동 생성하는 전담 에이전트
정해진 범위·형식·절차·피드백 규칙을 기반으로 시범 운영

시범 운영 범위

기간: 2025.12 ~ 2026.05 (6개월)
대상: SNEPC 및 NEXFO 위원
운영: 매일 아침 브리핑 생성·배포

GPT 출력 형식

- TEXT: 내부 참고용 순수 텍스트(Word 복붙용)
- EMAIL: 배포용 본문(HTML fragment) — 현재는 수작업 배포 병행
- WIKITEXT: Atomic Wiki 등재용 위키 문법(템플릿/섹션 고정)
- JSON: 기계 가독 정규 스키마(후속 DB/시각화 연계의 핵심)

시범 운영

- 매일 05:00 기준 4단계 Custom GPT 실행(시범 운영)
- 단계별 결과물은 GPT 일관성/정합성 안정화 전까지 수작업 검수·수정 병행
- 이메일 배포(OFT) 및 위키 업로드는 수작업 수행(안정화 이후 자동화 추진)
- 시범 운영(2025.12~2026.05): 일일 브리핑 이메일·원자력위키 업로드·카톡 공유 병행
- 운영 지향점: GPT 안정화 우선 → 배포/등재 자동화는 단계적 확대

정의

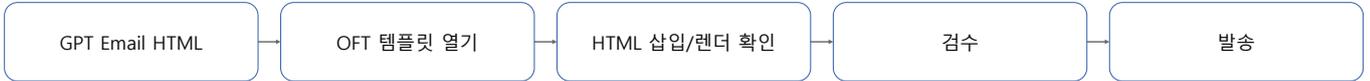
해외 원자력 동향을 수집→분석→일일 브리핑 자동 생성하는 전담 에이전트
정해진 범위·형식·절차·피드백 규칙을 기반으로 시범 운영

시범 운영 범위

기간: 2025.12 ~ 2026.05 (6개월)
대상: SNEPC 및 NEXFO 위원
운영: 매일 아침 브리핑 생성·배포

수작업 현황 ① 이메일 배포

작업 흐름



검수 포인트

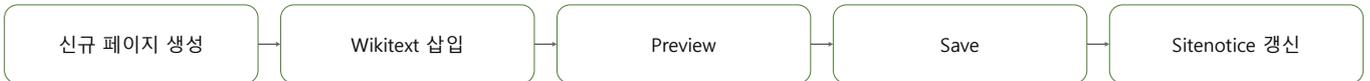
- 제목/수신자 확인
- 링크 유효성
- 문체·출바꿈·표 깨짐
- 기사 수/지역 섹션 누락 여부

역할 분담(현재)

- 사람: 최종 판단·검수·발송(품질 보증)
- GPT: 본문 생성 + 구조화(SSoT) + 템플릿 입력값 생성
- 이슈: 세션 끊김이 자주 발생하는 "렌더링"을 Python 기반 별도 실행으로 분리 추진

수작업 현황 ② 위키 업로드

작업 흐름



검수 포인트

- 내용 중복 여부
- 필수 섹션 누락(6개 지역/헤드라인)
- 링크 유효성
- 문체·내용 최소 수정

역할 분담(현재)

- 사람: 중복/깊이/문체 최종 검수 및 최소 수정
- GPT: 위키텍스트 구조 표준화 + 초안 생성 + 메타데이터

자동화·안정화 (단기)

렌더러 분리(Python)

이메일 렌더링을 Python 기반으로 분리하여 재현성 보장
세션 끊김(특히 렌더링 단계) 방지 체계 구축
필요 시 단계별 실행(재시도)으로 안정성 확보

Gate 고도화

형식/섹션/링크/길이/중복 게이트를 고도화
수작업 검수 부담을 단계적으로 축소
운영 지표/로그 기반 SOP 정립

배포·등재 자동화(단계적 확대)

안정화 이후: 메일/카톡 배포, 위키 업로드의 자동화를 단계적으로 확대
운영 우선순위: "GPT 안정화 → 배포/등재 자동화"



통합 플랫폼 구축 (중장기)

이미 구현된 GPT 생성 파이프라인(SSoT)을 기반으로, 저장·배포·모니터링을 자동화한 통합 운영체제로 전환

데이터베이스를 중심으로 CMW 지식 허브와 실시간 대시보드를 분리 결합하여, 정적 지식과 동적 동향을 Cargo 링크로 통합 탐색할 수 있는 플랫폼을 구축

04 향후 과제

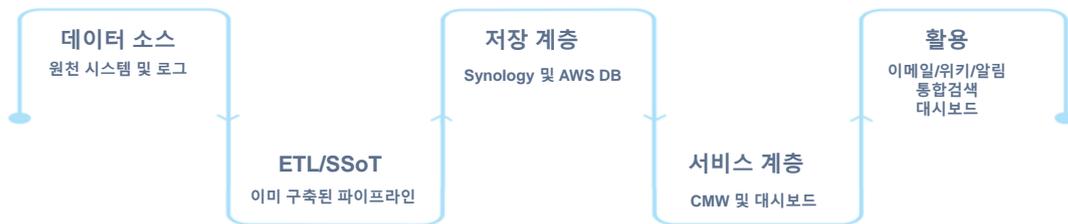
○ 현황

- Stage1: 기사 검색/선별
- Stage2: 정본 JSON(SSoT) 생성
- Stage4: 이메일 HTML/위키텍스트 렌더링
- 배포/업로드는 수동 중심

○ 통합 플랫폼 목표와 아키텍처 전환

이미 구축된 SSoT 생성 체계를 기반으로,
DB-CMW-Dashboard/알림을 분리 결합한 통합 운영 플랫폼으로 전환

- 정본 저장소(DB): PostgreSQL 기반 중앙 집중식 데이터 관리
- CMW 지식 허브: CMW를 통한 정적·동적 지식 연결 및 탐색
- Dashboard/알림: 준실시간 모니터링 및 규칙 기반 알림



05 요약

1. 급변하는 원자력 정책·시장 동향에 대응하기 위해, 최신 정보의 적시 수집·분석·배포를 넘어 **DB화 및 재활용 가능한 체계**가 요구됨
2. ChatGPT 기반의 일일동향 브리핑 4단계 파이프라인 구축 완료
 - Stage1 선별, Stage2 정본(SSoT) 확정, Stage3 노출/치환, Stage4 렌더링·검증(Gate)
 - 세션 끊김과 품질 편차에 대비해 Gate report 및 return_to로 재시도 지점을 명확화하고, 수작업 검증/수정 단계를 운영에 반영
 - 원자력 위키 업로드 및 이메일 배포 시범 운영 중
3. 향후 과제
 - 단기: 중복 제거·정합성 검증·링크/메타데이터 표준화 등 게이트 기준을 고도화하고, 배포(이메일/위키) 자동화를 강화
 - 중장기: 정본 DB-위키(Cargo/SMW)-대시보드/알림으로 연계해, 동향(동적)과 기술문서(정적)를 연결하는 지식 허브로 확장

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

일시: 2026년 2월 24일 오후 12:00 - 7:30

장소: 서울대학교 38동 글로벌공학교육센터 5층 대강당

감사합니다.

 서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

분과2
미래기술

차세대 원자력(SMR) 개발
동향 분석 및 수출산업화 방안

오근배

NEXFO 연구위원

SMR 국내외 동향 및 대응방향

2026. 02. 24

오근배

서울대원자력정책센터 연구위원



목차

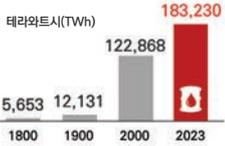
- 01 SMR 개발 국내외 동향
- 02 최근 이슈
- 03 대응 방향



원자력은 청정에너지 시대의 필수 요소

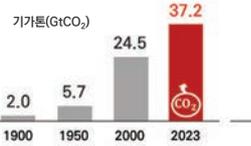
세계 경제 성장 및
에너지 소비 폭증

1차 에너지 소비



탄소감축 노력에도
여전히 CO₂ 배출 증가

에너지부문 CO₂ 배출



시 산업 성장 및
전력 수요 급증

데이터센터 전력 수요



대형원전, SMR의 빠른 확보 시도

Natrium 착공식 (2024. 6.)



Idaho Nat'l Lab, Sept. 22, 2025



빅테크 기업은 365일 안정적인 원자력에 투자

쓰리마일 원전 1호기 생산 전
력 20년 독점 구매 계약



MS

2027년 가동 목표 SMR기업
오클로(OKLO) 투자



오픈시

960 MW급 원전 기반 데
이터센터 인수



아마존

SMR기업 카이로스파워
500 MW 전력 구매 계약



구글

원자력 회사와 20년 전력
공급 계약 체결



메타

1-2 주요국 원자력 정책 변화



- 원자력을 친환경 경제활동으로 포함 (EU택소노미, '22)
- 2050년까지 원자력 발전 용량 3배 확대 선언 (브뤼셀, 원자력 정상회의, '23)



- '원자력발전법' 연방하원 통과: 차세대원전 개발 속도 가속 ('24.2.)
- 2050년까지 원전 4배 건설, 4개 행정 명령 서명 ('25.5.)



- 22년 만에 탈원전 정책을 폐기하고 '원전 부활'을 선언 ('25.5)
- 새로운 원자로 건설을 허용 의결



- 세계 최초의 '탈원전' 국가에서 원전 재도입 선언 ('24.7.)
- 원자력 에너지 로드맵 '25년 상반기내 발표 예정



- 45년만에 신규 원전 건설을 위한 공공자금 지원 법안 통과 ('25.5)
- '35년부터 원전 4기 또는 동일 규모의 SMR 건설 계획

원전 확대 기조 뚜렷해진 전세계



탈원전 유지



독일 2023년 4월 원전 모두 가동 중단.
62년 만에 탈원전 달성

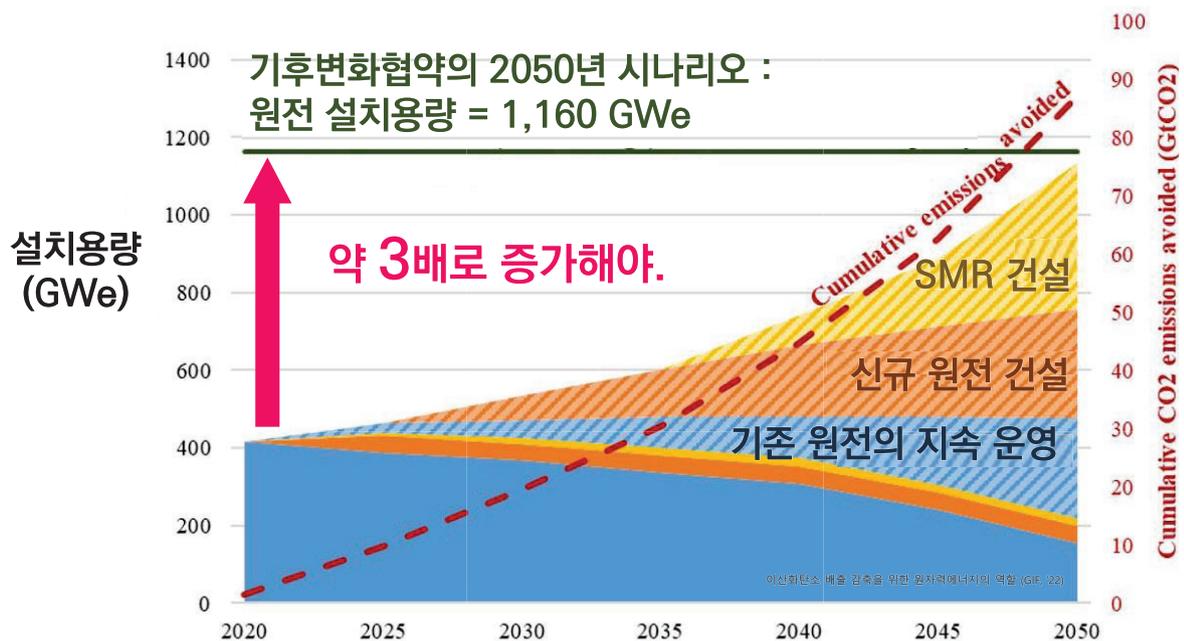
뉴스 라이브 2부
트럼프, 원전 빔장 풀었다

4개 행정명령

- ✓ 원자력규제위원회 개혁
- ✓ 원자력 에너지 연구 개혁
- ✓ 연방 정부 토지 내 원전 건립
- ✓ 미국 내 우라늄 채굴·농축 확대

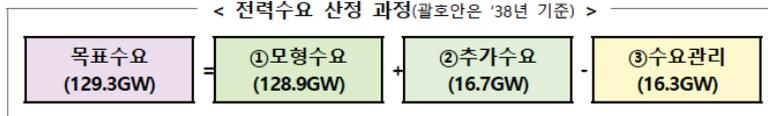


1-3 또다른 SMR 수요: 탄소중립

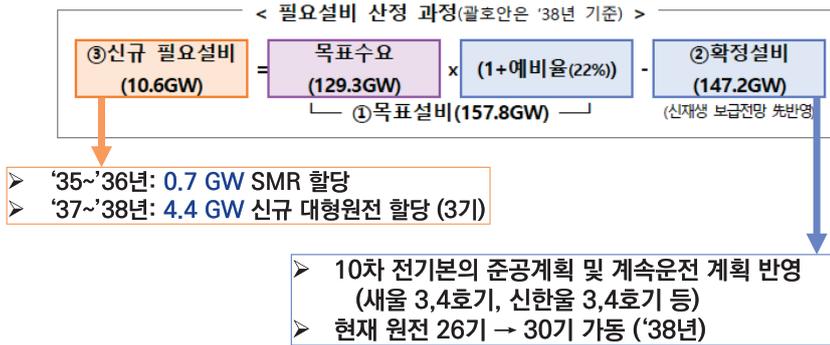


제11차 전기본 실무안 ('24~'36)

전력수요 전망



전력공급 계획 (원자력)



[개발 전략] 민간기업-정부(공공기관) 간 개발 협력 강화

[기존] 공공주도 경수형 대형원전 산업



[향후] 민간주도 SMR 산업



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

용융염원자로

한원(연) + 현대건설, 삼성중공업, 센추리, HD한국조선해양

고온가스로

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

SMART

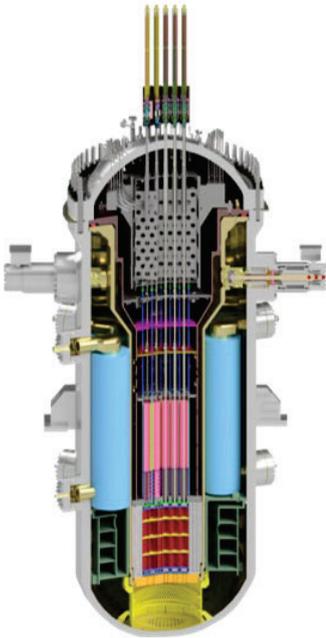
100 MWe급 가압경수로형 일체형 SMR

개발 현황

- 설계가 완성된 국가 전략 상품
- 일체형원자로 중 세계 최초로 표준설계인가 획득 ('12.7.) ('97년 개발 착수)
- 주요 성능 개선 (완전피동 안전계통, 출력 증강 등)
 - 원자력연-한수원-사우디 공동
- 개선 모델(SMART100) 표준설계인가 완료

사업화 추진

- 사우디아라비아에 담수와 전력생산 겸용 SMART 건설 실증
 - Partnership 구축 ('15.3.) 및 건설전설계 완료 ('18.11.)
 - 지난 정부 탈원전 정책과 사우디 여건 변화로 건설 실증 중단
- 캐나다 앨버타 주에 샌드오일 채굴 증기 공급용 SMART 건설 추진
 - AECL과 KAERI 간 SMART 캐나다 실증 MOU 체결 ('23.9.)

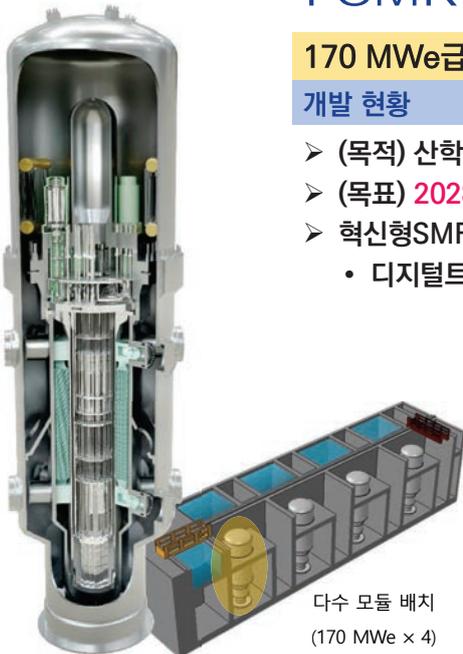


i-SMR

170 MWe급 가압경수로형 일체형 SMR

개발 현황

- (목적) 산학연 역량을 총결집하여 경쟁력 높은 SMR을 적기 개발해 글로벌 시장 진입
- (목표) 2028년 표준설계인가 획득
- 혁신형SMR기술개발사업단 중심으로 개발 중
 - 디지털트윈, 자율운전 등 4차 산업기술 적용으로 경쟁력 강화



건설가속화 기술 개발

「상용화 기술개발 사업(기자재, 성능 검증 등)」 조속 추진



2-1 노형별 이슈 및 개발방향; 소듐냉각고속로(SFR)

Natrium (미:Terrapower) 현재 가장 앞선 SFR

현재 건설 준비 및 FSAR 준비

- '25.12. NRC PSAR 심사 종료 (26년 상반기 CPA 예정)
- '24.06. 비원자력 부문 건설 착공
- '24.02. 건설허가 신청
- '23.08. PSAR 제출

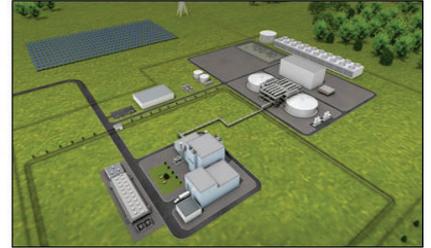
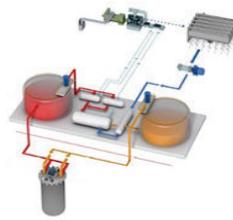
ARC-100 (카:ARC)

현재 캐나다 NB주 Point Lepreau 초도기 건설사업 추진

- '25.07. CNSC VDR Phase II 완료
- '24.05. 한수원-ARC MOU 체결 및 Joint Venture 추진
- '21.02. 캐나다 New Brunswick 지원금 \$2,000만 수령

Aurora (Oklo)

- '24.05. 뉴욕 증권시장 상장
- '24.01. INL 부지 핵연료 제조시설 Safety Design Strategy 승인



2-1 노형별 이슈 및 개발방향; 소듐냉각고속로(SFR)

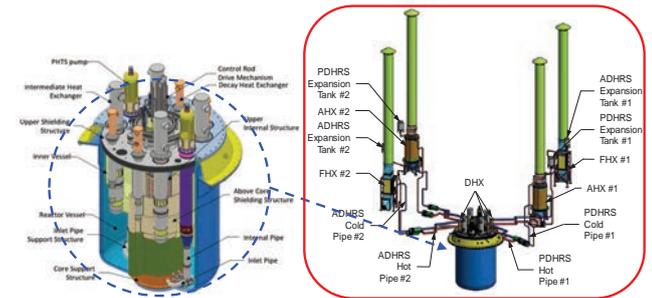
개발 성과 '소각로' 설계와 '발전로(SMR)' 설계 경험

개발 방향 분산전원용 장주기 SFR기반 SMR

주요 특징 월등한 부하추종 성능 / 적은 고준위폐기물 / 고유안전성

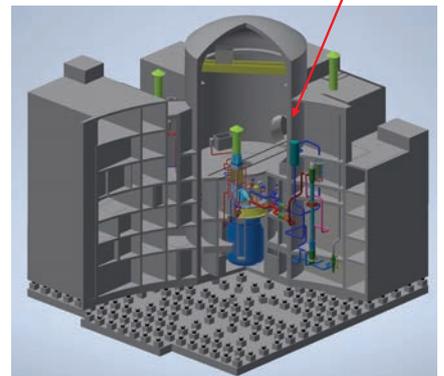
참여 기업 현대건설, 한전기술

현황 최상위설계요건 설정 완료 및 사업모델 개발 중



민관합작 선진원자로 수출기반 확보사업 장기 로드맵

연도	'97-'20	'21-'24	'25-'30	'31-'35	'36-'45
구분	국가 연구개발 사업	민관합작 선진원자로 개발 사업	민간 주도 SFR 개발 사업		
주관	정부-출연(연)	정부-출연(연)	정부 50% 민간 50%	민간 기업 (출연(연) 기술지원/협력)	
추진 내용	사용후핵연료 처리기술 적정성검토 위원회의의결(2차)	발전용 장주기 SFR 개발	장주기 선진 SFR 첫 호기 기본설계 완료	• 민간 분병드 SFR 설계 (발전용 / 소각로 / 연구로) • 상세설계 기술 확보 • 건설허가 / 운영허가 신청 가능	수출 / 시범화 / 상용화



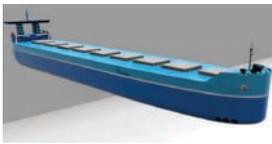
개발 배경

- 국제해사기구 원자력추진 상선 안전코드 개정 논의 착수
- 최적의 해양용 무탄소 에너지원으로서 용융염원자로 개념 부상



“美항모보다 크네?” 中 초대형 핵추진 상선 설계에 쏠리는 눈 [출처] 머니투데이

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



TerraPower-CorePower, Molten Chloride Fast Reactor

[출처] CorePower



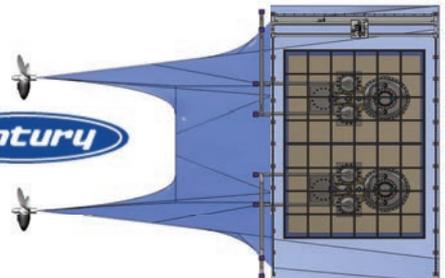
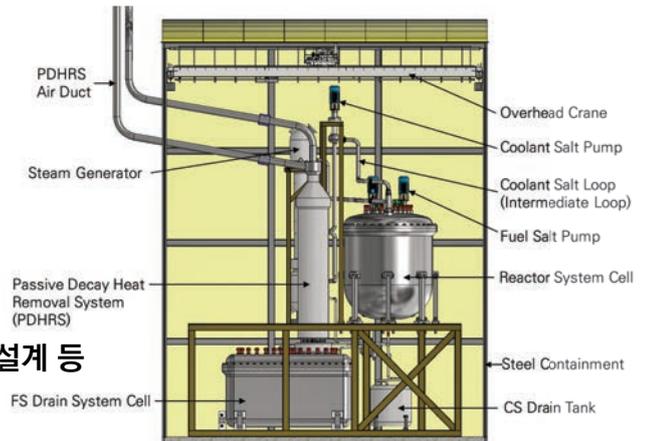
개발 방향

- 해운 산업계 수요 맞춤형
 - 15,000 TEU급 컨테이너선에 맞는 전기 출력 ~70 MWe
 - 개발 초기부터 선박 내 배치를 고려한 설계 추진

개발 현안

- 개발 초기단계: 용융염 물성치, 재료 부식 특성, 주요 기기 설계 등
 - 실험을 통한 개념 입증 및 설계 진행 중

참여 기업



❑ 우리나라 환경에 맞는 정책 수립

- 우리의 강점은 설계, 시공, 운영의 효율화
→ 미국보다 더 싸고 빠르게 만들 수 있음
- 우리의 약점은 규제의 경직성, 부지(수용성), 그리고 재원 확보

❑ 정부가 집중해야 할 분야

- 민간이 설계 기술 역량을 갖도록 지원
- 민간이 사업할 수 있도록 파격적인 제도 개선 (규제 혁신 포함)
- 핵연료 공급을 위한 외교적 노력과 기술개발의 병행



문무대왕과학연구소:



→ 세계 1등은 뛰고 있는데, 우리는 아직 출발선상에... 이제라도 뛰어야할 시기

원자력 지속가능성에 대한
NEXFO 워크숍

일시: 2026년 2월 24일 오후 12:00 - 7:30

장소: 서울대학교 38동 글로벌공학교육센터 5층 대강당

감사합니다

분과2
미래기술

원자력 바로 알기

고범규

NEXFO 연구원

원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

원자력 바로 알기

뉴미디어 시대, 원자력 수용성 증진방안

2025.02.24

고범규

서울대원자력정책센터 연구원

tiger7231@snu.ac.kr

 서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center



 서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

원자력 지속가능성에 대한
NEXFO 워크숍

목차

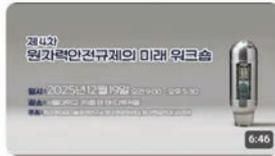
- 01 원자력 바로 알기 활동 내용
- 02 뉴미디어 시대, 원자력수용성 증진방안
- 03 객관적이고 정확한 원자력 정보 전달방안



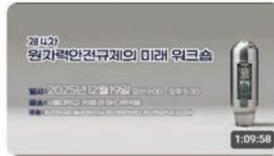
01 원자력 바로 알기 활동 내용



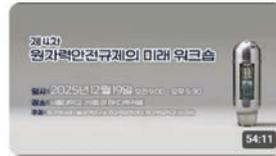
4. [제4차 안전규제의 미래 워크숍] - 제우성 위원님 발제
31 views • 4 weeks ago



1. [제4차 안전규제의 미래 워크숍] 개최사 및 축사
43 views • 1 month ago



7. [제4차 안전규제의 미래 워크숍] - 패널토의
16 views • 1 month ago



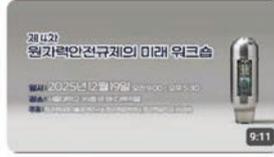
6. [제4차 안전규제의 미래 워크숍] - 김진수 위원님 발제
15 views • 1 month ago



5. [제4차 안전규제의 미래 워크숍] - 강한욱 위원님 발제
20 views • 1 month ago



3. [제4차 안전규제의 미래 워크숍] - Nadja Joergensen 발제
13 views • 1 month ago



2. [제4차 안전규제의 미래 워크숍] - 이은철 명예교수님 축사
17 views • 1 month ago



AI 시대의 필수 에너지, 원자력입니다.
101 views • 3 months ago



원자력은 위험하다? 사실은 가장 친환경적인 에너지!
108 views • 4 months ago



원전은 내외부의 위협에 어떻게 안전을 지킬까요?
93 views • 4 months ago



2025 제3차 원자력 안전규제 워크숍 -2부
65 views • 6 months ago



2025 제3차 원자력 안전규제 워크숍 -1부
80 views • 6 months ago

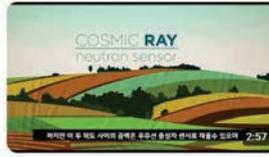
01 원자력 바로 알기 활동 내용



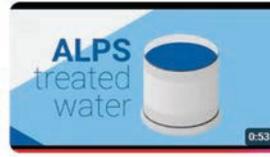
탄소중립 2050
49 views • 2 years ago



지구를 구하는 원자력 1편
164 views • 2 years ago



COSMIC RAY neutron sensor
24 views • 2 years ago



ALPS 처리수, 처리과정은 어떻게 될까요? #ALPS
53 views • 2 years ago



국내 원전 현황은 어떻게 될까요? #원자력 #팩트체크 #지구온난화 #설계수명 #원전 #미래에너지...
71 views • 2 years ago



도쿄 방사선량의 진실, 국제기준을 지키지 않는 일본 #원자력 #팩트체크 #방사선량
109 views • 2 years ago



원자력 톨아보기 #원자력 #팩트체크 #지구온난화 #사용후핵연료
17 views • 2 years ago



원자력에 대한 잘못된 선입견 바로잡기! #탄소중립 #지탄소에너지
64 views • 2 years ago



사용후핵연료 팩트체크 #사용후핵연료 #팩트체크 #원자력 #안전
53 views • 2 years ago



체르노빌사고, 대한민국은 안전할까? #원자력 #원전 #안전한원자력
26 views • 2 years ago



농업에서는 어떻게 탄소중립을 이룰까요? #탄소중립 #원자력 #동위원소
132 views • 2 years ago



[팩트체크] 후쿠시마 오염 처리수의 진실은?
105K views • 2 years ago

01 원자력 바로 알기 활동 내용

<p>SMR 경쟁, 스트레스 많이 받을거야.. 근데 돈 많이 ..</p> <p>1.5K views</p>	<p>원자력의 역사 4편 대한민국이 '이것'으로 굶주림을 극복했다? #역사</p> <p>3.8K views</p>	<p>전자빔을 맞으면... 골프공 비거리가 늘어난다구요?</p> <p>1K views</p>	<p>원자력의 역사 3편 서울한복판에 000가 있었다?</p> <p>3.6K views</p>	<p>그런데 서울의 북한산 화강암에는 이보다 훨씬 많습니다.</p> <p>4.9K views</p>
<p>우리나라의 '이것' 이외로 일본보다 높다?</p> <p>1.5K views</p>	<p>전기 양</p> <p>나 가우스 사자가 스 리가</p> <p>1.3K views</p>	<p>태양 에너지를 이제 만들 수 있다?</p> <p>710 views</p>	<p>원자력의 역사 2편 시술 러가 이승만 대통령에게 보여준 기회의 상자</p> <p>1.2K views</p>	<p>핵분열, 쉽고 짧게 설명한다! 에너지의 근원 핵분...</p> <p>1.1K views</p>

최신순
인기순
날짜순

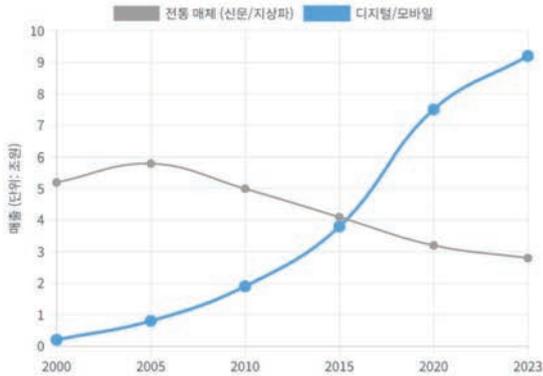
<p>원자력의 역사 4편 대한민국이 '이것'으로 굶주림을 극복했다? #역사</p> <p>조회수 3.8천회</p>	<p>전자빔을 맞으면... 골프공 비거리가 늘어났다구요?</p> <p>조회수 1천회</p>	<p>원자력의 역사 3편 서울한복판에 000가 있었다?</p> <p>조회수 3.6천회</p>	<p>그런데 서울의 북한산 화강암에는 이보다 훨씬 많습니다.</p> <p>조회수 4.9천회</p>	<p>우리나라의 '이것' 이외로 일본보다 높다?</p> <p>조회수 1.5천회</p>
--	--	---	--	---

02 뉴미디어 시대, 원자력 대중 수용성 증진방안

1. 레거시미디어의 위기와 지각변동 : 스마트폰과 인터넷 보급이후 신문과 지상파 TV등 전통적 미디어 영향력 하향세
2. 종이신문의 쇠락 : 2019년 기준 국내 종이신문 독보적 1위인 조선일보만 유료구독 116만부 달성, 나머지 신문 100만부 미만
3. 신문 열독률 추락과 세대 단절 : 2022년 기준 20대 신문열독률 3.5%, 30대 8%, 40대 10.2퍼센트로 열독률 감소

매체별 광고 매출 추이 (2000-2023)

전통 매체(신문, 지상파)의 매출은 하락세인 반면, 온라인/모바일 광고 시장은 기하급수적으로 성장하여 시장을 잠식했습니다.

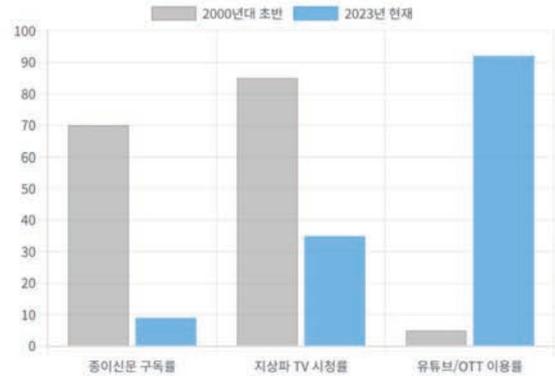


단위: 조 원 (KRW Trillion)

자료: 방송통신위원회/KOBACO 재구성

구독률 및 이용률 변화 비교

종이신문 구독률의 추락과 유튜브 이용률의 급상승은 정보 습득 경로가 완전히 뒤바뀌었음을 시사합니다.

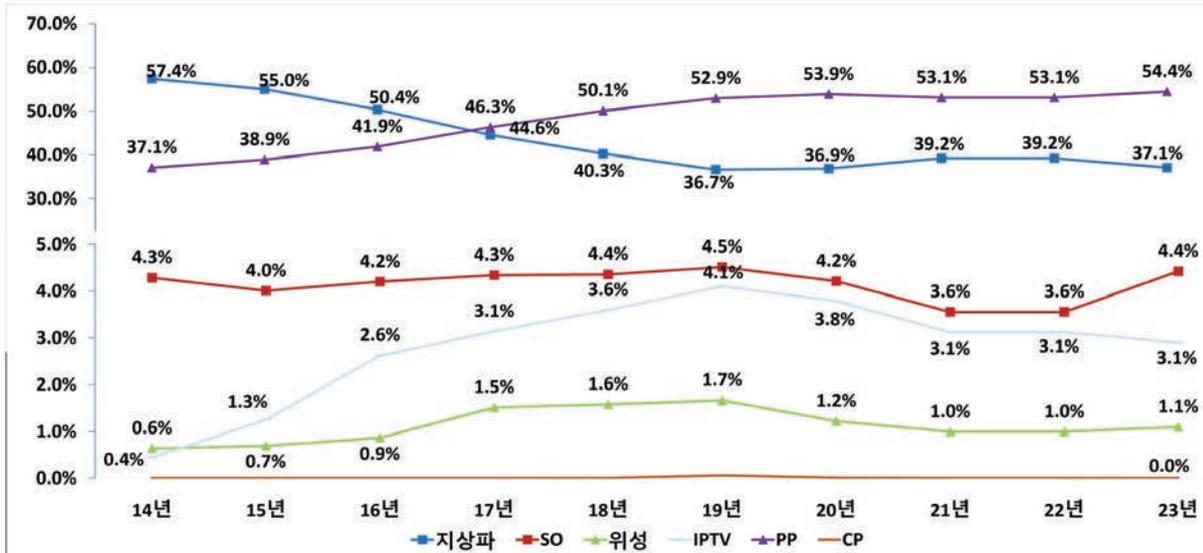


단위: % (응답 비율)

자료: 언론수용자 의식조사

02 뉴미디어 시대, 원자력 대중 수용성 증진방안

- 2014~2023년 전체 방송사업매출은 상승, 사업자 다변화에 따른 시장확대 효과로 해석
- 광고매출은 지상파에서 뚜렷한 하향세, 특히 방송 3사는 2002년 약 1조 9800억원에서 2023년 약 9300억원으로 감소

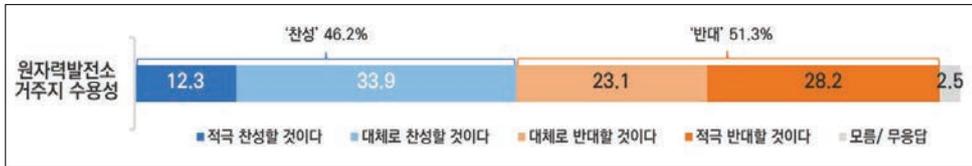
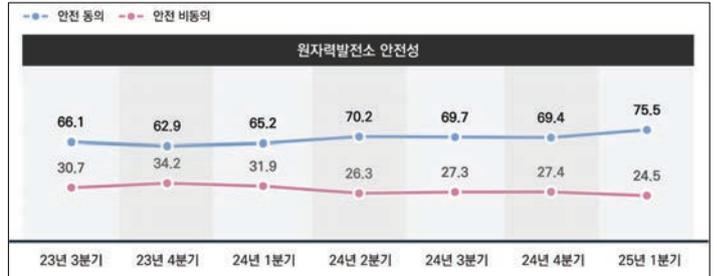
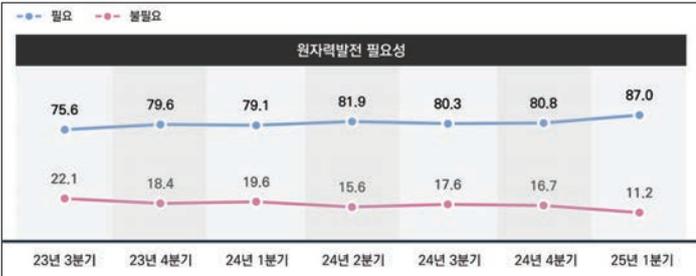


02 뉴미디어 시대, 원자력 대중 수용성 증진방안

1. 원자력 대중 수용성의 현주소

1.1. 대중 인식의 이중성 : “원전은 필요악”, “원전이 그렇게 좋다면 서울에 지어라”

- 지난해 여론조사에서 응답자의 87.5퍼센트가 “원자력은 필요하다”고 응답
- 동 여론조사에서 “원전은 안전하다”는 응답비율 역시 약 75.5%
- 반면 거주지역에 원전이나 고준위 방사선 폐기물 처분 시설 건설에 대한 수용성은 반대가 51.3%로 우세



출처: 에너지정보문화재단, 2025년 1차 에너지 국민인식조사, ㈜코리안리서치인턴내서빙

02 뉴미디어 시대, 원자력 대중 수용성 증진방안

1. 기존 소통 방식 및 구조의 한계

1.1. 결핍모델 : “대중이 원자력에 대해 무지하기 때문에 반대한다”는 생각 경계해야

- 전문가는 위험(Risk)에 대해 사건의 발생확률과 최대 크기의 곱으로 생각.
- 반면 대중은 ‘통제 불가능성’+’낮은 확률이라도 발생하면 끝장’이라는 인식이 지배

1.2. 정보 전달의 일방향성 : 레거시미디어를 통한 정보전달은 있었으나 양방향 소통은 명확한 한계

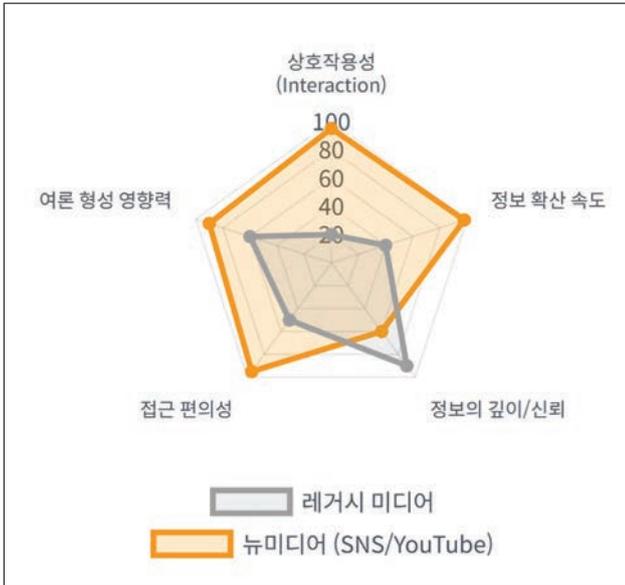
- ‘과학적으로 안전하다’는 사실전달 노력은 중요하나 후쿠시마 원전사고나 <판도라>와 같은 미디어 미디어 프레임에 취약



출처: 에너지정보문화재단, 2025년 1차 에너지 국민인식조사, ㈜코리안리서치인턴내서빙

02 뉴미디어 시대, 원자력 대중 수용성 증진방안

1. 매체별 소통 특성에 따른 투트랙 전략의 필요성



- 레거시 미디어는 정보의 깊이 및 신뢰 측면에서 상대적 우위
- 뉴미디어는 접근 편의성, 상호작용성, 정보 확산 속도, 여론형성 영향력 등에서 우위
- 각 미디어의 특성을 고려, 깊이와 신뢰가 필요한 콘텐츠 제작 (다큐 등)에서는 레거시 미디어 활용, 숏폼 길이 영상 제작이나 미디어 광고 제작 등에서는 뉴 미디어를 활용하는 투트랙 필요

- 뉴미디어 환경에서 “대중에게 더 많은 지식을 주입하면 찬성할 것이다” 는 믿음은 경계. ‘쓸모’와 ‘재미(밈 형성)’를 보여주는 콘텐츠 제작으로 전환 필요

02 뉴미디어 시대, 원자력 대중 수용성 증진방안

뉴미디어 소통의 성공 방정식



양방향성 (Interactivity)

일방적 보도가 아닌, 댓글과 라이브 방송을 통한 즉각적인 피드백 교환.



투명성 (Transparency)

편집되지 않은 원본 데이터와 과정을 공개하여 신뢰를 구축.



친밀성 (Intimacy)

딱딱한 기관의 이미지를 벗고, 전문가나 인플루언서를 통한 쉬운 해설.



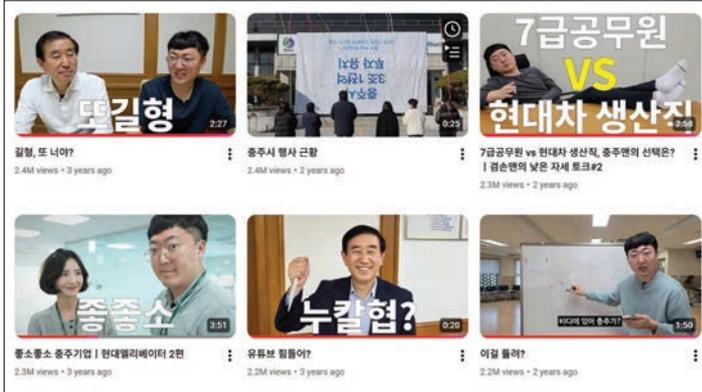
확산성 (Virality)

숏폼(Short-form) 콘텐츠 등을 활용한 자발적인 정보 공유 유도.

02 뉴미디어 시대, 원자력 대중 수용성 증진방안

1. 뉴미디어 시대 특징 : 성공사례

- 1.1. 양방향성과 상호 작용 : 콘텐츠 제작자와 시청자의 양방향 소통 가능
(예 : 라이브방송 채팅, SNS 소통창구 등등)
- 1.2. 탈권위와 B급 감성 : 영성하더라도 솔직하고 인간적 면모가 부각되면 성공 (예 : 충주시 공식 유튜브)
- 1.3. 팬덤과 덕질 : 과학 커뮤니케이션 채널 '긱블 채널'이나 종합격투대회사 '블랙컴벳'의 성공



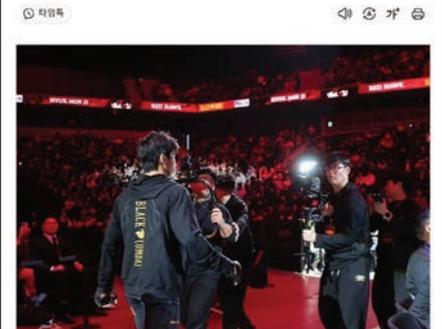
긱블 Geekble

Description

저희는 쓸모없는 작품만 만듭니다.
쓸모있는 물건은 이마트에서 찾으시는게 좋습니다.,
공돌이들이 모인 과학/공학 콘텐츠 제작소, 긱블
재밌게 봐주세요!

"블랙컴벳 UFC 부산 대회 넘었다"...유튜버가 만든 기적, 국내 첫 1만 관중 유치 성공

김민영 기자 · 2018.2.2.04:51



02 뉴미디어 시대, 원자력 대중 수용성 증진방안

1. 뉴미디어 시대, 대중 수용성 증진을 위한 혁신방향

- 1.1. 메이커(Maker) 협업 콘텐츠
 - 전과자(440만명 시청)와의 협업 콘텐츠와 같은 메이커 채널과의 협업
- 1.2. 대중적 밈과 생성형 시를 활용한 콘텐츠
 - 아이언맨의 아크 원자로 등 대중문화 코드의 적극 차용
 - 생성형 시를 활용한 케이팝 스타일 음악 및 애니메이션 제작
- 1.3. '원자력맨' 등의 캐릭터 육성 및 인간화
 - 실패에 좌절도 하고, 야근중 컵라면이 일상인 인간적
 - 이미지 부각
 - 이를 통해 "우리와 똑같이 안전을 걱정하는 사람들"이라는 정서적 동질감 형성 필요



“새로운 것은 받아들이고 낡은 것은 고치고 잘 해오던 것은 더 잘하자”

1. 에너지원별 장단점에 대한 정량화된 정보 전달의 필요성

1.1. 온실가스 감축원으로서의 장점은 대부분 동의

- 무탄소 에너지원 중 유일한 고밀도 에너지원
- 무탄소 에너지원 중 7/24 전력생산에 특화된 에너지원

1.2. ‘필요악’이라는 인식 극복 필요

- 대중은 여전히 원전이 재생에너지보다 위험하다고 생각
- 이러한 인식이 남아있는 한 정치권력 전환에 따라 원전 정책은 언제든지 바뀔 위험성 상존

1.3. 정량화된 에너지원별 장단점 전달의 필요성

- 유럽 연합의 경우 EU Taxonomy에 원자력 포함을 검토하는 과정에서 JRC가 ‘기술평가 보고서’ 작성
- 반면, 대한민국은 과학적이며 체계적 근거자료보다는 정부여당의 정치성향 및 대통령의 결단에 의존하는 구조

신고리 중단 재검토 논란에 “탈원전 후퇴 없다”

수정 20170604 21:46

고병욱 기자



김진표 국정기획자문위원장의 '신고리 5·6호기는 논의 검토해 결정'이라는 지난 2일 발언에 대해 국정기획위 관계자가 "이는 건설 중단을 전제로 한 말"이라고 밝혔다. 문재인 대통령의 공약인 신고리 5·6호기 건설 중단 등 탈(脫)원전 정책에 원자력업계 등이 반발하고 있지만 새 정부의 기조에는 큰 변화가 없을 것으로 전망된다.

기후부 장관 “신규 원전 2기 건설 안할수도... 위험한 건 사실”

동아일보 | 인터뷰 2025-10-14 21:51

12



03 객관적이고 정확한 원자력 정보 전달 방안

1. 에너지원별 장단점에 대한 정량화된 정보 전달의 예

1.1. 수명주기(LCA) 온실가스 배출량 정량화

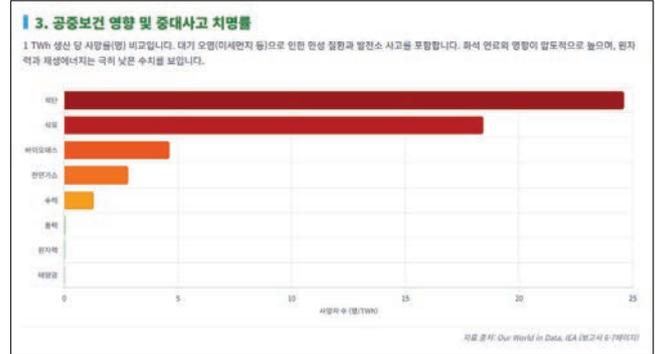
- 자원채굴, 발전설비의 수명기간 고려한 온실가스 배출량 평가에서 원전이 최우수 그룹

1.2. 산재사고 측면에서의 안전성 정량적 비교

- 원전도 설비건설 및 운영-정비 과정에서 산재사고 발생
- 산재유형은 탄산염과 마찬가지로 추락·전도·협착·감전 등 다양한 원인에 의해 발생
- 태양광 등 타 발전원에 비해 압도적으로 적은 산재사망

1.3. 공중 보건 측면에서의 안전성

- EU JRC 보고서 및 LANCET에 실린 논문등을 종합할 때 원전은 공중보건 영향 측면에서도 가장 안전한 에너지원



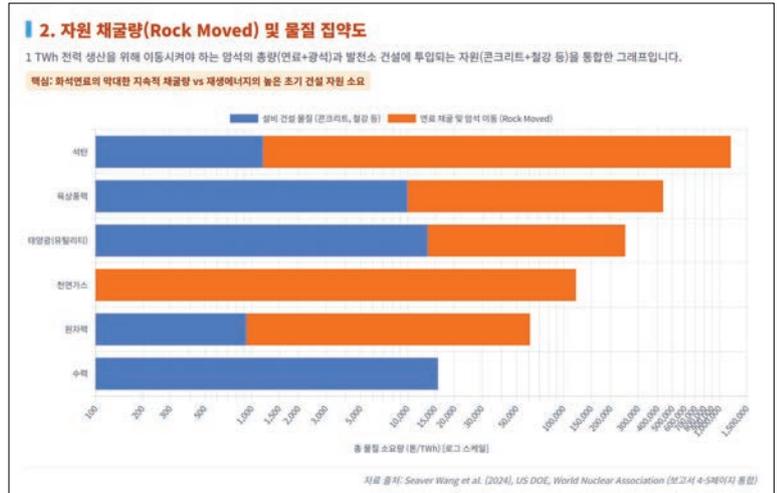
출처: 핵융합 위원회 2023년 국정감사, "10년간 태양광 산재사망 48명"

03 객관적이고 정확한 원자력 정보 전달 방안

1. 에너지원별 장단점에 대한 정량화된 정보 전달의 예

1.1. 자원채굴량 및 물질 집약도 측면

- 첨부 그림은 미국 기준, 국내의 에너지원별 자원채굴량-암석이동량-물질 집약도는 별도 평가 필요
- 우측 자료에서 수력의 암석이동량은 자료 부족으로 아직 미반영
- 각 에너지원별 1TWh 전력 생산량당 자원채굴량-암석이동량-물질 집약도를 정량적으로 평가해야



출처 1: Seaver Wang et al. (2024), Updated Mining Footprints and Raw Material Needs for Clean Energy

출처 2: US DOE, World Nuclear Association, Bright New World

03 객관적이고 정확한 원자력 정보 전달 방안

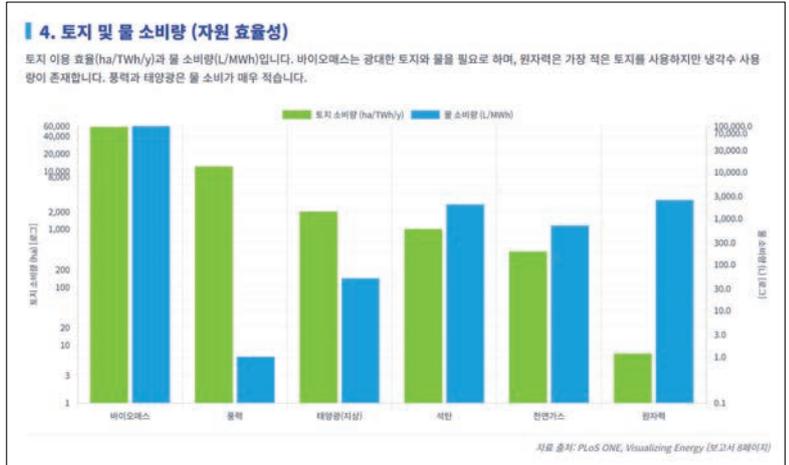
1. 에너지원별 장단점에 대한 정량화된 정보 전달의 예

1.1. 토지 사용량

- 현재 이뤄진 해외 연구조사 자료를 바탕으로 원전의 1TWh 전력 생산량당 토지소비량은 약 7.1ha로 최소 수준
- 풍력은 실제 필요 부지 범위를 터빈 설치 장소 및 도로만 반영하는 경우는 최소값인 130, 풍력 터빈이 설치되는 전체면적으로 볼 경우는 12,000ha
- 바이오매스는 전용 작물 재배 과정에서 필요한 토지면적 반영.

1.1. 물 사용량

- 재생에너지 대비 원자력이 거의 유일하게 열세를 보이는 영역은 물 사용량. 단 해수를 주요냉각수로 사용하는 국내 원자력의 여건 상 갈수기에 담수사용에 끼치는 영향은 미미/



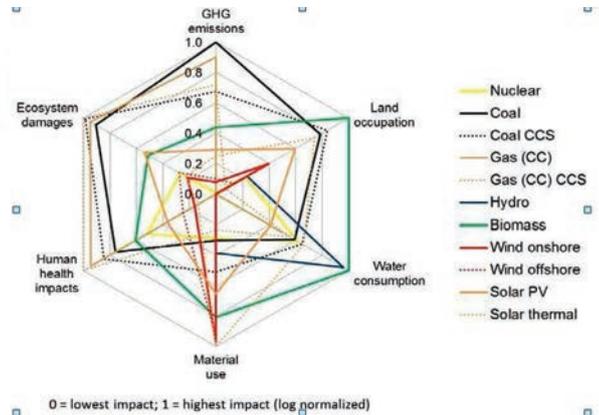
03 객관적이고 정확한 원자력 정보 전달 방안

어떠한 에너지가 친환경이냐 아니냐를 언급하고자 한다면 다양한 영역에 대한 사전 연구데이터에 기반해야

5. 발전원별 종합 환경성 평가 매트릭스

각 항목별 정량 데이터를 5점 척도로 환산한 종합 평가표입니다.
 * 5개: 영향 최소/매우 우수 (해: 배출량 최저, 사망률 최저) * 1개: 영향 최대/매우 미흡

발전원	온실가스 배출량	공중보건 안전성	자원 채굴 임계 이용량	물질 집적도 건설 자원	토지 효율성 소요 면적	수자원 보호 물 소비량
석탄 (Coal)	★☆☆☆☆ 최악 (820)	★☆☆☆☆ 최악 (24.6)	★☆☆☆☆ 최대 (1,184)	★★★★★ 우수 (중백회)	★★★★☆ 보통 (1,000)	★★★☆☆ 보통 (2,000)
가스 (Gas)	★★★★☆ 미흡 (490)	★★★★☆ 주요 (2.8)	★★★★☆ 양호 (120K)	★★★★★ 우수 (중백회)	★★★★☆ 양호 (410)	★★★★☆ 양호 (700)
태양광 (Solar)	★★★★★ 우수 (48)	★★★★★ 최우수 (0.02)	★★★★☆ 보통 (235K)	★★★☆☆ 최우 (13K)	★★★★☆ 보통 (2,000)	★★★★★ 최우수 (50)
풍력 (Wind)	★★★★★ 최우수 (11)	★★★★★ 우수 (0.04)	★★★★☆ 양호 (425K)	★★★☆☆ 양호 (9K)	★★★★☆ 보통 (12K)	★★★★★ 최우수 (1)
원자력 (Nuclear)	★★★★★ 우수 (12)	★★★★★ 우수 (0.03)	★★★★★ 최소 (60K)	★★★★★ 최소 (928)	★★★★★ 최우수 (7.1)	★★★☆☆ 보통 (2,500)
수력 (Hydro)	★★★★★ 우수 (24)	★★★★★ 양호 (1.3)	★★★★★ 양호없음	★★★☆☆ 최대 (15K)	★★★★☆ 보통 (기변)	★★★★★ 중량양 강
바이오매스	★★★★☆ 보통 (230)	★★★☆☆ 주요 (4.6)	★★★★★ 중용적음	★★★★★ 양호	★★★★☆ 최대 (58K)	★★★★☆ 최대 (100K)



원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

일시: 2026년 2월 24일 오후 12:00 - 7:30

장소: 서울대학교 38동 글로벌공학교육센터 5층 대강당

감사합니다

 서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center