



# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 원자력 지속가능성 공론화의 재정립

정책 변화 · 원전지역 이익공유 · 주민수용성 확보 방안

박석빈

서울대학교 원자력정책센터 NEXFO 연구위원

2026년 9월 16일



## 목 차

**01. 확정된 사실들: 11차 전기본 · 영덕/기장 선정 · 다가오는 시한**

**02. 진단: 수용성은 조건의 함수 -> 국내 실증과 해외 사례, 현행 제도의 한계**

**03. 제안: 이익공유 4축 패키지와 조건 협상형 공론화 6단계, 법정 지역사회계약**

# 01. 확정된 사실들

공론화의 출발점은 찬반이 아니라, 이미 내려진 결정



# 3년간 확정된 것들 정책 환경

---

2025. 2. 21

## 제11차 전력수급기본계획 확정

신규 대형원전 2기(각 1.4GW) + SMR 1기(0.7GW) — 국회 협의로 초안 3기→2기 축소

2025. 2. 27

## 고준위 방폐물 특별법 국회 통과

찬성 190 · 반대 8 · 기권 27 — 중간저장 2050, 영구처분 2060 목표 법정화

2026. 3

## 신규 부지 유치 공모 마감

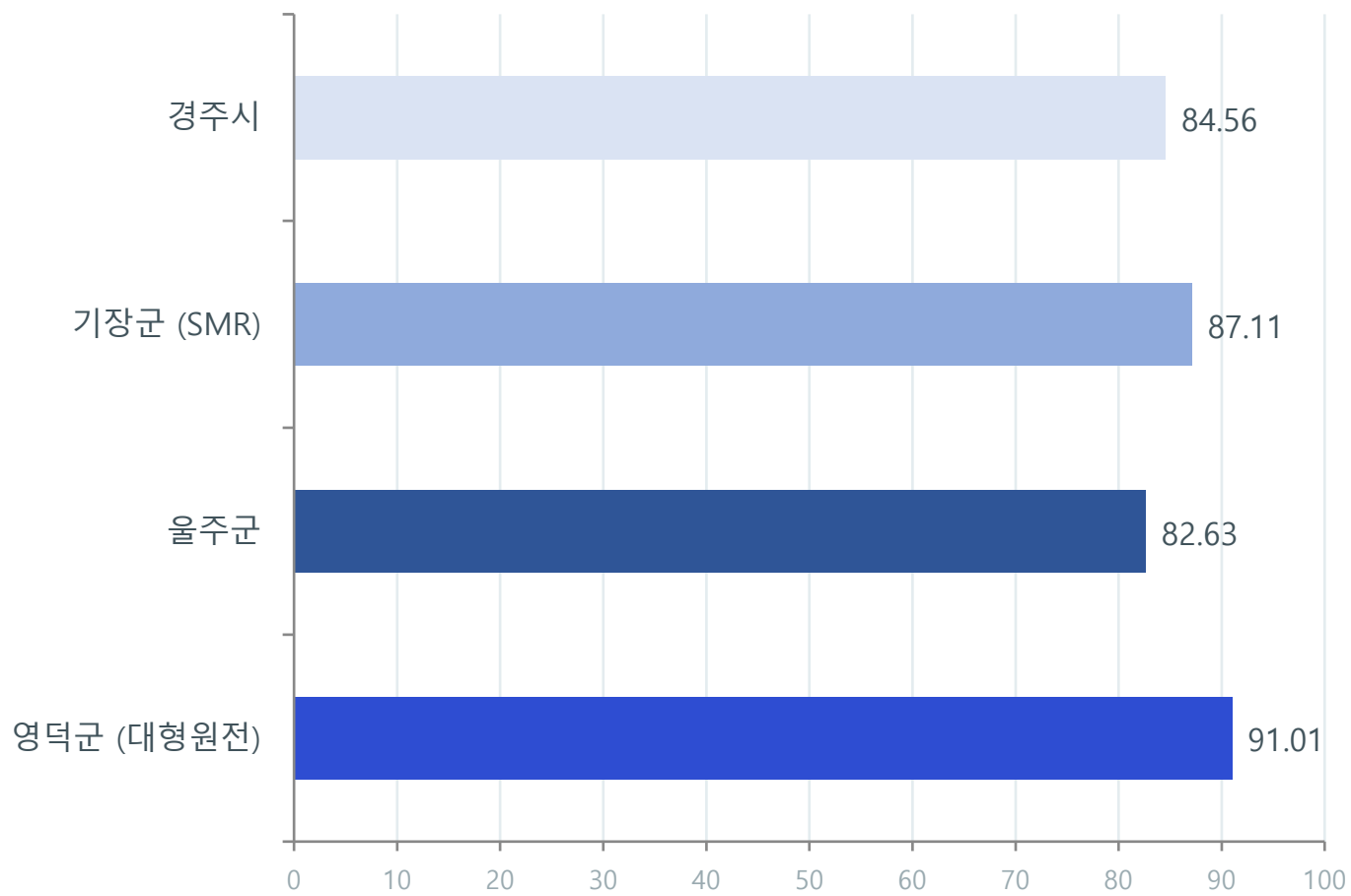
대형원전: 영덕·울주 신청 / SMR: 경주·기장 신청 — 하향 지정에서 공모 경쟁으로

2026. 6. 17

## 부지 최종 선정

대형원전 영덕군, SMR 기장군 — 평가 배점 중 주민수용성 25점이 결정적

# 주민수용성 결정한 승부 부지 선정



25점

총 배점 중 주민수용성 항목 배점 — 평가의 최대  
변별 요소

86.18%

영덕군 군민 여론조사 찬성률 (2026 유치 공모 국  
면)

# 11년 만의 반전 — 같은 영덕에서

## 핵심 데이터

2015년 주민투표

**반대 91.7%**

천지원전 하향식 지정에 대한 반발  
(투표율 32.5%로 법적 효력 미달)  
※ 2014 삼척: 투표율 67.9%, 반대 84.9%



2026년 여론조사

**찬성 86.18%**

공모·경쟁·보상 패키지 방식의 유치 신청  
69년간 약 2조 원 법정지원금 전망  
(건설기 연 358억, 운영기 연 305억)

수용성은 상수가 아니라 조건의 함수 -> 조건이 바뀌면 결과도 변화, 반대 방향으로도.

# 얼마 남지 않은 신뢰의 시간 다가오는 시한

2028~32

2035

2037~38

2050

2060

## 습식저장조 포화 시작

고리 2028/2032 · 한빛 2030 ·  
한울 2031 — 부지 내 건식저장  
불가피

## SMR 준공 목표

기장 0.7GW

## 대형원전 준공 목표

영덕 1.4GW × 2기

## 중간저장시설 확보 목표

고준위특별법 법정 목표

## 영구처분시설 확보 목표

부지선정: 지자체 신청 → 조사  
→ 주민투표

**격차의 의미:** 처분장 목표(2060)와 현장 포화(2028~32) 사이 약 30년

- ➔ 입지 지역은 원전 수용을 넘어 저장 부담까지 포함하게 됨.
- ➔ 이 부담을 반영한 별도의 보상·감시 체계 필요.

# 02.진단 수정되어야 하는 질문

“원전이 안전한가” 하나의 질문에서,  
결정·검증·권리·편익의 복수 질문으로



# 찬반 계량에서 조건 협상으로 공론화의 재정립

| 전환 전     | 전환 후         | 관리 지표         |
|----------|--------------|---------------|
| 찬반 비율    | 조건부 수용의 내용   | 조건 충족률        |
| 설명회 횟수   | 숙의·협상·동의 절차  | 정보 이해도·신뢰도    |
| 일회성 지원   | 권리 기반 이익공유   | 가구 체감·지역경제 효과 |
| 사후 민원 대응 | 독립 감시와 연례 검증 | 이행률·분쟁 해결기간   |

공론화 = 사업 지연 절차가 아니라, 사후 갈등·소송·계획변경 비용을 줄이는 선행 투자

# 신고리 5·6호기 공론화(2017)가 남긴 것 국내 실증

471명

시민참여단

무작위 추출·숙의 참여

33일

숙의 기간

학습·토론·4차례 조사

59.5 : 40.5

건설 재개 : 중단

오차범위  $\pm 3.6\%$ 를 넘는 유의미한 격차

**주목할 점: 결과는 단순 찬반이 아니라 '조건부 권고'**

① 건설 재개 ② 원전 비중 축소 방향의 에너지정책 ③ 시민참여단이 제안한 보완조치의 조속한 이행

→ 숙의는 찬반 비율이 아니라 '수용의 조건' 도출.

우리는 이미 그 경험을 하였음.

# 동의 기반 부지선정 — 4개국의 검증된 수치 해외 사례

## 영국 GDF — 참여 자체에 투자

파트너십 구성 즉시 연 최대 £100만 → 시추 단계 £250만. 3년간 £1,000만+/260개 지역사업. 유치 실패해도 역량 잔존.

## 캐나다 NWMO — 동의 방식을 지역이 설계

22개 후보지 → 14년 뒤 2024.11 선정. Ignace와 WLON 두 지역 모두 스스로 설계한 주민투표로 동의 확인.

## 핀란드 온칼로 — 지방의회에 실질 거부권

2000.1 유라요키 의회 찬성 의결 → 2000.12 정부 원칙결정 → 2001.5 의회 159:3 비준. 지역 의사에 법적 효력.

## 프랑스 뷔르 (반면교사) — 규모보다 거버넌스

데파르트망당 연 3,000만 유로, 누적 약 11억 유로 — 그러나 배분 불투명·선심성 논란 지속. 기금 규모가 신뢰에는 한계.

# 지금도 지원되고 있는 자금 **현행 제도**

| 제도      | 근거      | 산정 기준               | 비고                        |
|---------|---------|---------------------|---------------------------|
| 기본지원사업  | 발주법 시행령 | 전전년도 발전량 kWh당 0.25원 | 지자체 시행 (소득증대·복지·전기요금보조 등) |
| 사업자지원사업 | 발주법     | 발전량 kWh당 0.25원      | 한수원 시행 (장학·지역경제·환경개선 등)   |
| 지역자원시설세 | 지방세법    | 발전량 kWh당 1원         | 광역지자체 세입 (화력은 0.6원)       |
| 특별지원금 등 | 발주법·특별법 | 건설 시 일시 지원          | 영덕: 69년간 약 2조 원 전망        |

적용 권역: 발전기 반경 5km 이내 읍·면·동 (발주법 기준) — 이 경계가 곧 갈등의 경계

# 현행 구조의 다섯 가지 한계 진단의 결론

---

1

**경계의 경직성** 반경 5km 기준은 피난경로·생활권·비상계획구역(최대 30km)과 불일치

2

**발전량 단일 연동** 저장·해체·비상계획 등 '가동과 무관하게 존재하는 부담'을 반영 못함

3

**가구 체감성 부족** 지자체 사업 중심 집행 — 개별 가구가 편익을 확인하기 어려움

4

**권리 아닌 시혜** 지원의 내용·규모가 행정 재량과 연도별 협상에 좌우

5

**감시·검증 부재** 주민이 안전·건강·이행을 독립적으로 검증할 제도적 장치 없음

# 03. 제안 권리 기반 사회계약

지역은 보상의 수령자가 아니라 설계·협상·검증·감시의 공동 당사자



# 이익공유 4축 패키지-하나만 크면 반드시 실패 제안 개요

1

직접형

**에너지 환원 크레딧**

고지서 자동 차감 · 취약계층 보정

목적: 가구 체감성

2

공동체형

**3원 연동 법정 기금**

발전량+설비+저장 부담

연동 · 참여예산

목적: 공동체 자기결정

3

경제형

**기업·인력·정주**

안전인증 결합 역량투자 · 청년 정주

목적: 장기 경제 기반

4

권리형

**정보·감시·분쟁조정**

독립검증 예산 · 감시기구

— 현행 부재

목적: 신뢰·검증

모든 항목에 자원·대상·기간·성과지표를 문서화 — 하나의 '지역사회계약' 로 연결

# 에너지 환원 크레딧-요금제가 아니라 정책 크레딧 제안 ①



## 직접 수용권역

높은 기본액 · 주민배당 검토



## 비상계획권역

중간 크레딧 + 피난 인프라



## 광역 영향권

인프라·일부 지원



## 취약 보정

권역과 별도 가중 (에너지빈곤·고령)

## 산식은 주민 검증 가능

크레딧

= 기본액 × (거리 + 피난부담 + 저장부담 계수) + 취약성 보정액  
계수의 근거자료·재검토 주기 공개

## 설계 원칙

- 전국 단일 요금체계와 충돌 없음 — 고지서 자동 차감형 지원
- 집행(판매 시스템)과 재원(부담금·국비·기금)의 분리
- 발주법상 '전기요금보조사업'이 제도적 접점 → 법정 권리로 격상
- 영덕·기장 시범 후 기존 원전지역 확대

# 3원 연동 기금 + 안전과 보상의 분리 제안 ②③

## 3원 연동 법정 기금

- 기본 재원 — 설비용량 연동 (가동률 변동에도 안정)
- 변동 재원 — 발전량 연동 (운영 성과와 연결)
- 장기 계정 — 저장·해체 부담 연동 (2028~32 포화 대비)
- 산식·집행 전면 공개, 독립 산식검증위원회

계정 분리:

- ✓ 필수(피난·의료)
- ✓ 성장(인재·기업)
- ✓ 참여(주민예산)
- ✓ 안정(장기 적립)

## 안전과 보상의 분리 원칙

- 금전적 편익은 안전심사와 대체 불가
  - ✓ 안전권·감시권은 거래 대상이 아님
- 주민 측 독립검증 예산 — 주민이 전문가를 선정·추천
- 감시기구: 환경방사선 + 건강·피난훈련·의료·기금집행까지
- 협약문에 위반 시 시정·재협상·분쟁 절차 명시

'안전 매수' 비판에 대한 제도적 응답

- ✓ 혜택을 받아도 질문할 권리 유보

# 조건 협상형 공론화-6단계 운영모델 제안 ④



준거: 신고리 숙의 설계(③) · NWMO 지역 정의 동의(⑤) · GDF 상설 파트너십(⑥) — 동의확인은 끝이 아니라 계약의 시작

# 법정 지역사회계약과 추진 로드맵 제안 ⑤

## 이층 구조의 법제화

- 법정 최소권리 — 정보·검증·감시·기금 (전국 공통)
- 지역 자율 — 세부 사업·우선순위 (지역사회계약)
- 서명 당사자: 중앙정부 · 지자체 · 사업자 · 주민대표
- 측정 가능한 의무로 작성 — 책임주체·기한·위반 시 조치

입법 선례: 고준위특별법의 유치지역 지원계획·지원위원회 법정화(2025)

0~6개월

정보 백서 · 이해관계자 지도 · 공론화 설계

6~12개월

독립검증 · 권역/산식/협약 초안 공개토론

1~2년

법률 정비(발주법·지방세법 등) · 협약 체결

2~3년

영덕·기장 시범(크레딧·기금·감시) · 외부평가

장기

연례 공개·재협상 · 저장/해체 단계 연동 보정

# 결론 86.18%는 도달점이 아니라 출발점

2015년의 91.7% 반대가 2026년의 86.18% 찬성이 되었는데,  
약속이 이행되지 않으면 그 반대 방향의 반전도 언제든지 가능.

1 에너지 환원 크레딧 — 법·요금체계 적합성 검토 후 영덕·기장 시범

2 발전량·설비·저장 3원 연동 장기기금 표준 산식

3 주민검증 예산 + 독립 감시기구 우선 도입 (안전·보상 분리 명문화)

4 6단계 조건 협상형 공론화 표준안 제정

5 4자 서명 지역사회계약의 법정화

부지는 선정되었고, 한계 시한으로, 신뢰를 설계할 시간은 바로 지금.

# Q & A

질의응답 15분 · 이하 백업 슬라이드 (예상 질문 대비)



보충자료

# 한국형 원자력 에너지 크레딧(NEC) 제도화 및 시행 방안

원전 소재지역 주민의 체감 혜택을 법정 권리로 전환하는  
발전량 연계형·비거래형 지역상생 모델

정책설계 발표자료

주민 직접혜택 · 지역공동체 계정 · 안정화 준비금

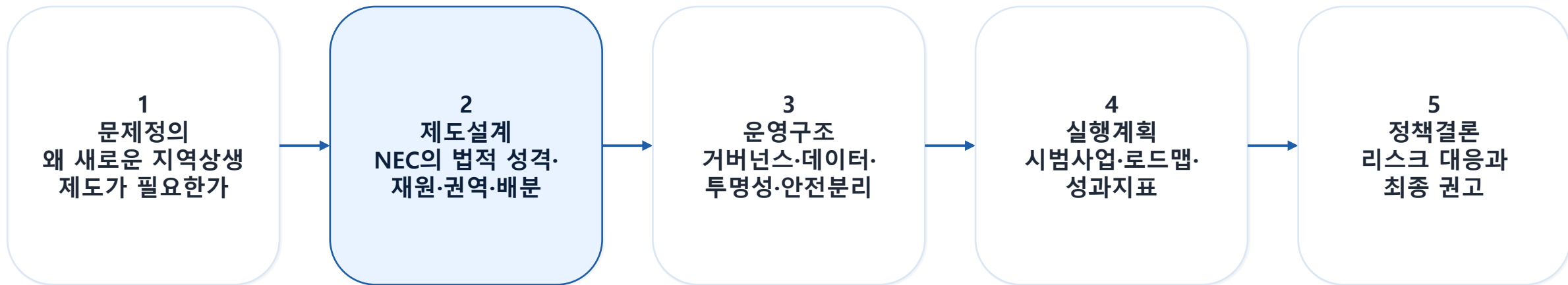
# NEC

Nuclear Energy Credit

발전량  
×  
상생부담률  
→  
법정 혜택



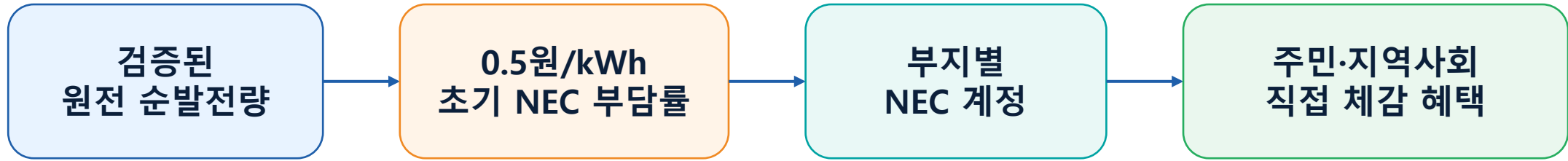
# 논의 흐름



법률·재원·지급·감사까지 포함한 시행 가능한 제도 설계안

핵심 질문: 원전의 장기 생산가치를 어떻게 주민의 장기 권리로 전환할 것인가?

# NEC는 보상금이 아니라 발전량 연계형 법정 권리



## 법정권리

적격 주민에게 객관적 산식으로 발생하는 개별 권리

## 추가성

기존 지원사업·지방세·보상금을 대체하지 않음

## 비조건성

원전 찬성·민원 철회·소송 포기를 조건으로 하지 않음

## 안전분리

안전규제와 혜택 지급을 제도적으로 분리

NEC는 원전 수용지역 주민을 지원 대상에서 이익공유의 당사자로 전환하는 장치

# NEC의 경계: 무엇이고, 무엇이 아닌가

## NEC의 본질

- 1 NEC = 주민·지역사회 혜택 1원
- 검증된 원전 순발전량에 비례해 발생
- 주민 직접혜택과 지역공동체 계정으로 배분
- 양도·거래·담보 제공 불가

## NEC가 아닌 것

- 전력 그 자체 또는 전력 소유권
- REC·탄소배출권·K-ETS 크레딧
- RE100·청정에너지 인증수단
- 발전사업자의 임의 기부금

정책 설계상 NEC는 환경상품이 아니라 지역상생 공적급여로 규정 필요

거래 가능한 인증서로 만들면 지역상생 목적이 흐려지고 금융·세제·그린워싱 위험 상승

# 이미 NEC를 얻을 수 있는 제도 기반 존재

발전소주변지역 지원법  
반경 5km 읍·면·동 중심의 법정 지원지역

기본지원사업  
전력산업기반기금 기반 / 전기요금 보조 포함

사업자지원사업  
한수원 등 발전사업자 재원으로 시행

지역자원시설세  
원전 발전량 1원/kWh 구조의 지방세 기반

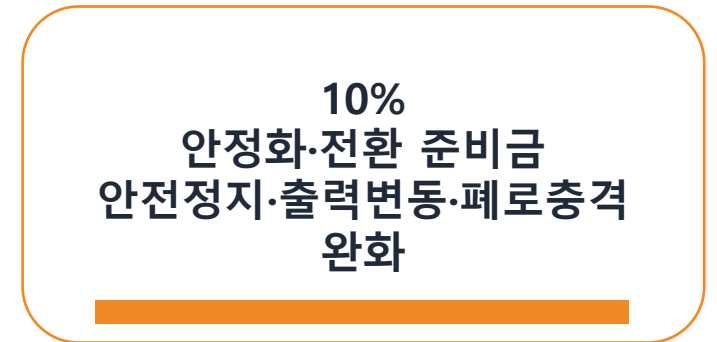
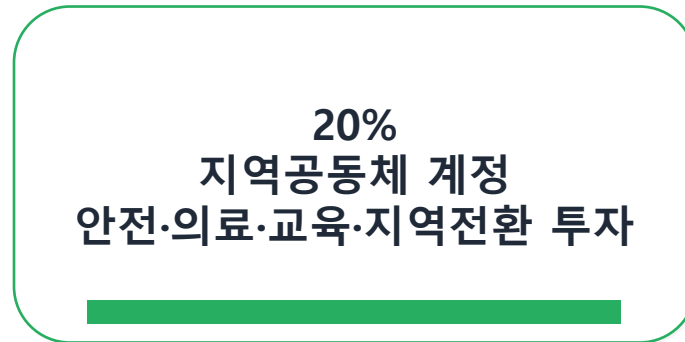
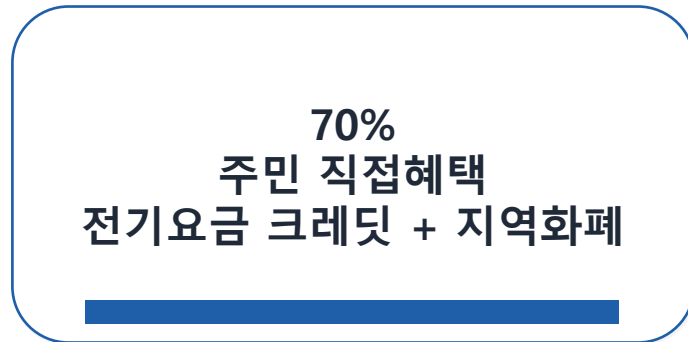
NEC 추가 도입  
기존 제도를 대체하지 않는 주민 직접 권리

도입 원칙  
폐지·통합이  
아니라  
추가·가시화

주민이 체감하기 어려운 프로젝트 중심 지원을 보완하여, 발전량과 직접 연결되는 분기별 혜택의 제도화.

NEC는 기존 지원사업을 대체하지 않고, 주민이 직접 확인할 수 있는 추가 계정으로 설계.

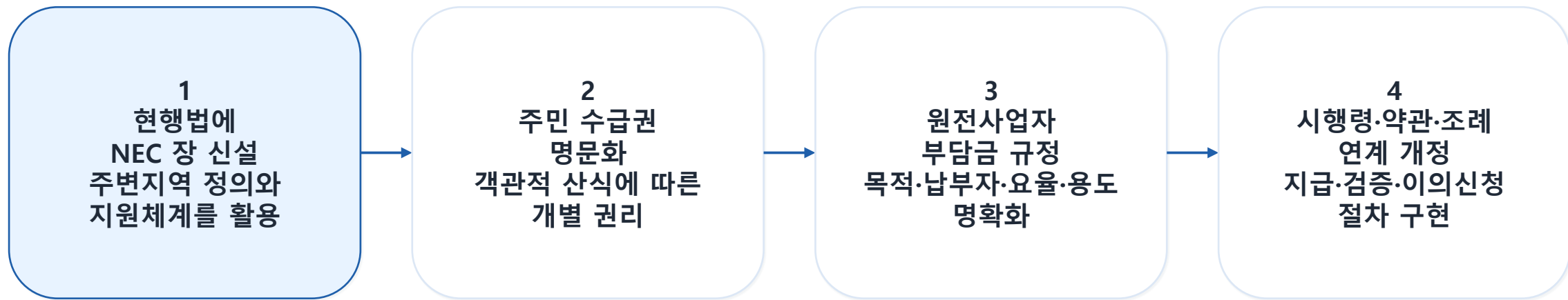
# 0.5원/kWh × 70:20:10 배분 구조



초기 부담률 0.5원/kWh, 법정상한 1.0원/kWh, 3년마다 재검토

단순하고 반복 가능한 산식이 있어야 주민 신뢰와 행정 효율 동시 확보 가능.

# 별도 신법보다 「발전소주변지역 지원법」 개정이 우선이다



## 증장기 확장 옵션

송전선로·해상풍력·수소단지·사용후핵연료 시설까지 확장 시엔, 별도 「에너지시설 지역상생법」 검토 가능

1단계는 기존 법 개정으로 빠르게 도입하고, 2단계는 국가 에너지시설 상생법제로 확장.

# NEC 신뢰를 만드는 5개 핵심 조항

정의  
비양도성 금전 혜택 / 환경속성  
아님

수급권  
적격 주민의 개별 법정 권리

추가성  
기존 지원·지방세·보상 대체 금지

NEC  
법정 권리

책임분리  
손해배상·안전조치 권리와 분리

비조건성  
원전 찬성·민원 철회 조건 금지

주민이 NEC를 신뢰하려면 얼마를 받는가보다 어떤 권리인가의 명확화 필요.

# 법률 하나만으로는 작동하지 않고, 4개 연동 장치 필요

## 전기사업법

시범사업 행정비·등록시스템·평가·균형조정 근거

## 부담금관리 기본법

신규 부담금 심사: 목적·요율·용도·불복절차 명확화

## 세제·복지 처리

비과세 공적급여 · 복지소득 산정 제외 · 전기요금 총당 시 VAT 문제 차단

## 전기공급약관

청구서 별도 표시·미사용 이월·아파트 관리비 처리

## 지방조례

실거주 확인·지역화폐·협의회·정보공개·감사

NEC는 법률 조"과"전기요금·지역화폐 지급 인프라"가 동시에 갖춰질 때 제도화 가능.

# 원전사업자의 추가 부담금으로 조성하되, 기존 지원은 보호

$$\text{NEC 부담금} = \text{검증된 송전단 순발전량(kWh)} \times 0.5\text{원}$$

## 부과 기준

발전소 내부소비를 제외한 순발전량

## 부담률

초기 0.5원/kWh · 법정상한 1.0원/kWh

## 검토주기

물가·주민혜택·시장영향을 고려해 3년마다 검토

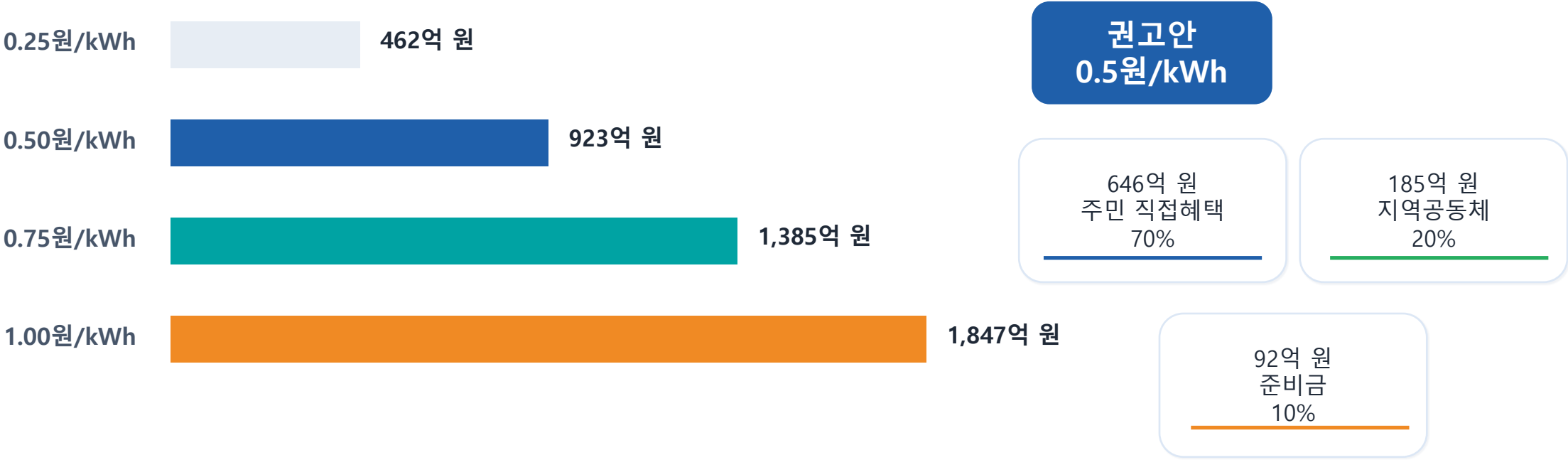
## 금지 원칙

- 기존 사업자지원사업 차감 금지
- 전력산업기반기금 기본지원 감액 금지
- 지역자원시설세 공제 금지
- 소재지역 주민에게 별도 할증 금지

비용 인정 여부는 전력시장·요금 규제절차에서 투명하게 결정

주민 신뢰 확보의 핵심은 추가 부담금과 기존 지원 보호를 법률에 동시에 명시화.

# 0.5원/kWh 적용 시 전국 연간 약 923억 원 규모



전국 전체 발전량에 단순 분산하면 약 0.16원/kWh 수준의 제도비용

가정: 2025년 원전 발전량 184,693GWh 기준, 단순 산술 예시

0.5원/kWh는 주민 체감성을 확보하면서도 전국 전력비용 관점에서는 제한적인 초기 수준.

# 5km 경계의 급격한 단절을 완화하는 A/B/C 3권역 구조

C권역: 확대 방사선비상계획 지역  
원전 소재지가 아니더라도 긴급보호조치계획구역에 포함되는 지자체

B권역: 원전 소재 지방자치단체의 나머지 지역  
행정·재정·기반시설·지역 이미지 부담을 인정

A권역: 핵심 원전 소재지역  
현행 반경 5km 법정 주변지역 / 가장 높은 1인당 혜택

주민 직접혜택 계정 내 권역별 배분

A 60%

B 25%

C 15%

가까운 지역에 더 두텁게 배분하되, 비상계획·행정 부담이 있는 주변지역도 단계적으로 인정.

# 소유자가 아니라 “실제 거주자”가 혜택의 기본 단위다

## 기본 자격

- NEC 대상권역 주민등록
- 분기 기준일 전 6개월 이상 실제 계속 거주
- 다른 원전 부지와 중복 수급 불가
- 세입자·세대원·미성년자·공공임대 거주자 포함

## 위장전입 방지

- 6개월 대기 후 지급 개시
- 분기별 자격 판정
- 허위 등록 시 환수와 행정제재
- 위험기반 표본조사
- 출생·가족합류 등은 예외 처리

주택 소유 여부는 요건이 아님

임대인이 세입자 NEC 보유 불가

NEC는 토지·주택 보상이 아니라 생활권 부담에 대한 이익공유이므로 실제 거주자 중심으로.

# 권역 내부에서는 세대·인원·취약성 함께 반영

50%  
세대별 균등금액

가구별 고정 에너지 비용 반영

30%  
주민 1인당 균등금액

세대원 수 반영

20%  
에너지 취약계층  
가산금

저소득·고령·장애·의료  
전력의존 지원

## 취약계층 가산 대상 예시

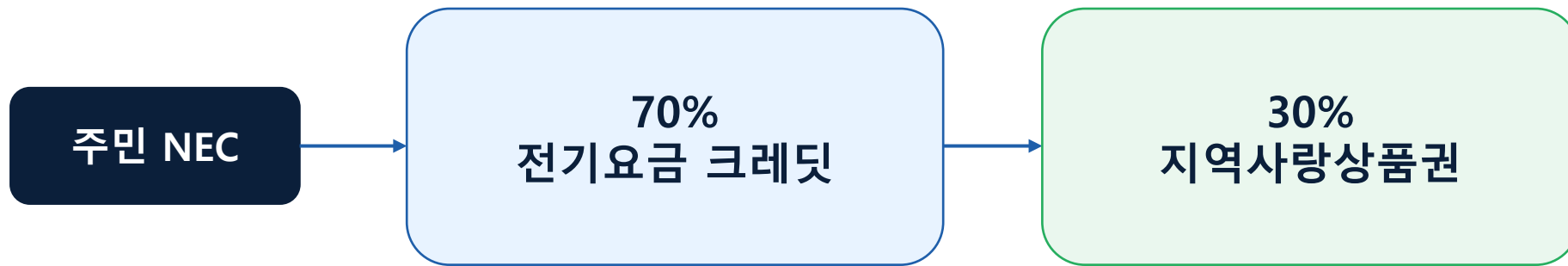
- 기초생활수급자·차상위계층
- 독거노인·중증장애인·한부모가정
- 전기요금 체납가구
- 의료기기 등 전력사용 필수 가구

## 연간 개인별 상한

초기 전국 시행 단계에서는 1인당 연간 약 50만 원 상한을 두고, 초과분은 지역공동체·미래세대·전환 준비금으로 이전

균등성과 취약계층 보호를 함께 넣어야 수용성과 공정성을 동시 확보 가능.

# (전기요금 차감 70% + 지역화폐 30%) 기본값으로 설정



## 주민 선택권

- 기본 70:30 방식
- 전기요금 크레딧 100%
- 전기계정이 없는 경우 지역상품권 100%
- 저소득가구는 전기요금 100% 선택 가능

## 특수 청구형태 처리

- 아파트 종합계량·관리비 통합청구
- 임대인 명의 전기계정
- 요양시설·기숙사·공동생활시설
- 자가용 태양광·마이크로그리드

전기요금 절감과 지역소비 유도를 결합하되, 주민에게 선택권 부여.

# 주민 혜택이 안전운전 의사결정을 왜곡하지 않도록 설계

## 문제

발전량이 줄면 주민 지급액이 즉시 감소하는 구조는 정비·검사·안전정지에 대한 지역 반발 유발 가능.

## 사업자 부담금

월별 실제 순발전량 기준으로 적립

## 주민 지급액

최근 3년 이동평균과 안정화 계정으로 계산

## 안전정지

규제기관 명령 시 즉시 감액하지 않음

## 영구정지

5년간 100→80→60→40→20% 단계적 축소

안전규제기관은 혜택 지급 미관리

NEC는 안전규제를 강화하는 방향이어야 하며, 정비·검사 반대 유인이 없도록 설계.

# 20%는 장기 회복력과 지역전환에 투자

## 허용되는 사업

- 비상대응시설·대피 기반시설
- 지역 의료·공공보건 역량
- 독립 환경감시
- 저소득층 에너지효율 개선
- 장학·직업훈련·원자력 교육
- 지역산업 다변화·창업지원
- 해체·폐로 이후 지역전환 계획

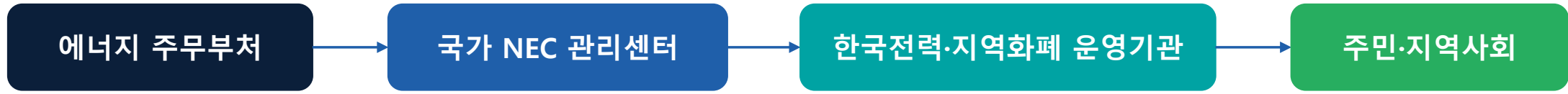
## 금지되는 지출

- 일반 인건비·일반 채무상환
- 정치광고·선거기간 임의 보조금
- 선출직 이름·사진이 들어간 홍보물
- 특수관계인 이익사업
- 사업자가 부담해야 할 안전비용 대체
- 독립 검토 없는 대형 전시성 사업

주민참여예산 또는 시민참여단 권고: 지역공동체 계정의 최소 20%

지역공동체 계정은 단기 행사비가 아니라 안전·보건·미래산업·폐로전환에 집중 필요.

# 국가 산식은 중앙에서, 지역 우선순위는 부지별 협의회에서



원전사업자

부담금 납부 · 계량자료 제공 · 수혜자 선정권 없음

원자력안전위원회

방사선비상계획구역 등 기술자문만 수행 · 지급업무 불개입

부지별 NEC 협의회

주민대표 5 · 지자체 2 · 독립전문가 2 ·  
청년/미래세대 1 · 복지/소비자 1 ·  
중앙정부 1

주민대표 절반 이상은  
무작위 시민추첨 권고

운영권한은 분산하되, 부담률·배분산식·안전요건은 지역 정치로부터 분리.

# 계량자료에서 청구서까지 추적 가능한 등록시스템 필요



## 공개 대시보드

- 월별·연간 검증 발전량
- 부담률·납부금·계정별 배분액
- 권역별 수혜자 수와 평균 지급액
- 사업 선정·조달·감사 결과

## 개인정보 보호

- 가명식별자와 최소정보 원칙
- 신원정보와 계산DB 분리
- 역할기반 접근통제·접근기록
- 사업자에게 개인자료 제공 금지

주민 수용성은 혜택 규모만이 아니라 누가, 어떻게, 왜 받았는지의 투명성에서 확보 가능.

## 2개 부지에서 법적·행정적 작동성 검증

시범 부지 1

인구가 비교적 많거나 도시화된 원전 부지

시범 부지 2

농어촌형이며 여러 지방자치단체에 영향이 미치는 원전 부지

실제 지급

현행 법적 근거가 명확한 A권역 중심으로 실시

모의산정

B·C권역은 실제 지급 없이 인구·재원·경계효과를 계산

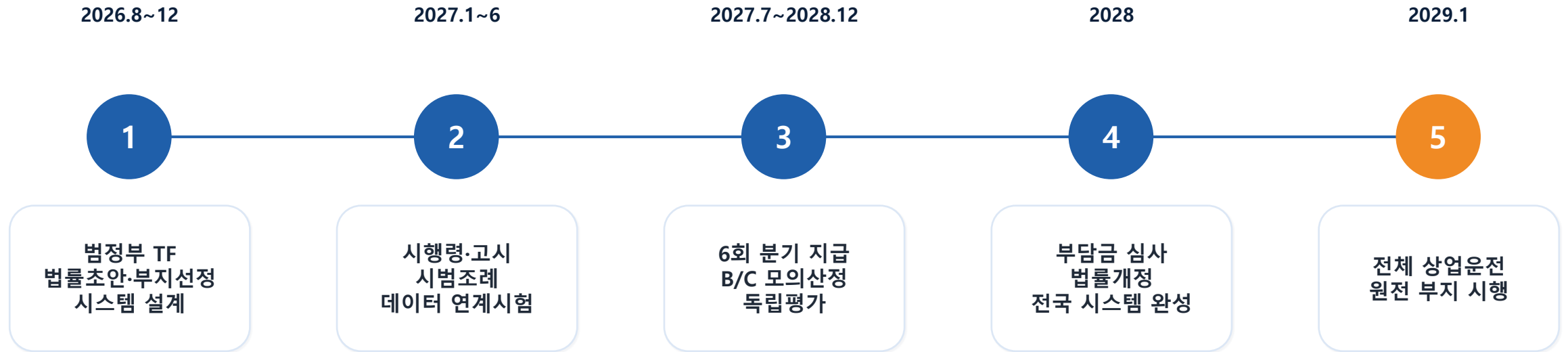
시범 재원 구조  
원전사업자 0.25원  
/kWh 상당  
+ 중앙정부 0.25원  
/kWh 상당  
+ 기존 지원 전액 유지

시범사업은 혜택 수준뿐 아니라 법적 권한, 지급 인프라, 주민 이해도까지 검증 필요.

# 2026년 설계 → 2027~2028년 시범 → 2029년 전국 시행

## 전국 시행 전 필수 게이트

부담금 신설 심사 · 기존 지원 감액 0% 검증 · 개인정보 영향평가 · 독립평가 결과 공개



NEC는 곧바로 전국 시행하기보다, 지급시스템과 주민 이해도를 검증한 뒤 법정화 필요.

# 시범사업은 찬성률보다 제도 신뢰성과 행정 정확성이 우선

## 정확성

자동등록률 98% 이상  
오지급률 0.5% 미만  
예정기간 내 지급 99% 이상

## 효율성

행정비용 2% 미만  
30일 내 이의신청 처리 90% 이상  
정보공개 준수 100%

## 효과성

지역화폐 지역 내 잔존율 70% 이상  
NEC 이해도 80% 이상  
취약계층 체납 감소 평가

## 지역수용성 평가는 별도 수행

시범 전후 설문 · 비시범지역 비교 · 사업자/지자체/안전규제기관 신뢰도 분리 측정 · 부정적 결과도 공개

NEC의 성공은 단순한 원전 찬성률 상승이 아니라 공정성·투명성·에너지비용 완화로 판단 필요.

# 제도 도입 전부터 오해·왜곡·남용 가능성 차단 필요

기존 지원 재포장

법정 추가성 + 매년 비교감사

정치적 동의 대가 오인

비조건성 조항 + 선거기간 홍보 제한

안전정지 반대 유인

이동평균 지급 + 안정화 준비금

5km 경계 형평성

A/B/C 3권역 차등배분

개인정보 침해

가명화·최소정보·사업자 접근 금지

지역 정치적 포획

산식 직접지급 + 시민추천 협의회

가장 중요한 방어선: 원전사업자와 안전규제기관은 수혜자 선정·지급액 결정에 미개입

NEC는 신뢰제도이므로, 제도 남용을 막는 안전장치가 혜택 규모만큼 중요.

# 1,000MW 원전 1기, 이용률 85% 기준 연간 약 37.2억 원

$$1,000\text{MW} \times 8,760\text{시간} \times 85\% = 7,446,000\text{MWh}$$

7,446,000MWh = 74억 4,600만kWh

× 0.5원/kWh

= 약 37.2억 원

70%  
주민 직접혜택  
약 26.1억 원

20%  
지역공동체 계정  
약 7.45억 원

10%  
안정화·균형조정  
약 3.72억 원

3개 권역 적격 주민 3만 명 가정 시, 가중치 적용 전 직접혜택 평균은 약 8.7만 원/인·년

다수 호기가 있는 부지는 재원이 커지므로 개인상한·지역공동체 계정·균형조정 장치 필요.

# NEC 장 신설 시 포함할 조문 체계 예시

| 조문군 1  |               | 조문군 2   |              | 조문군 3              |                |
|--------|---------------|---------|--------------|--------------------|----------------|
| 제2조의2  | 정의 및 법적 성격    | 제10조의6  | 대상권역 및 주민 자격 | 제10조의11            | 부지별 NEC 협의회    |
| 제10조의2 | 주민 NEC 수급권    | 제10조의7  | 주민 배분 산식     | 제10조의12            | 자료처리·개인정보 보호   |
| 제10조의3 | 원전사업자 NEC 부담금 | 제10조의8  | 전기요금·지역화폐 사용 | 제10조의13            | 정보공개·감사·보고     |
| 제10조의4 | 부과기준·요율·징수    | 제10조의9  | 지역공동체 계정     | 제10조의14            | 추가성·비조건성       |
| 제10조의5 | 부지별 계정·국가 준비금 | 제10조의10 | 국가 NEC 관리센터  | 제10조의15/제18<br>조의2 | 안전정지·영구정지·이의신청 |

## 핵심 실체조항

“원자력발전사업자는 검증된 순발전량에 대통령령으로 정하는 부담률을 곱한 금액을 NEC 계정에 납부하여야 하며 , 적격 주민은 이 법에 따라 배분되는 NEC를 지급받을 권리를 가진다.”

법률은 산식·권리·추가성·비조건성·데이터 처리까지 한 장 안에 완결 필요.

# 한국형 NEC는 원전 지속가능성 공론화의 새로운 축 가능성 존재

- 1

주민의 법정 권리로 설계

사업자 기부나 일회성 보상이 아니라 객관식 산식에 따른 권리
- 2

기존 지원 위에 추가

기본지원·사업자지원·지방세를 대체하지 않는 추가성 보장
- 3

3권역 차등 인정

5km 핵심지역을 두텁게 하면서 소재 지자체와 비상계획권역을 반영
- 4

전기요금 + 지역경제

70% 전기요금 크레딧과 30% 지역화폐로 가계·상권 효과 결합
- 5

안전규제와 완전 분리

혜택 지급이 정비·검사·안전정지를 왜곡하지 않도록 설계

권고안: 0.5원/kWh, 70:20:10, A/B/C 권역, 2개 부지 시범 후 2029년 전국 시행

주요 근거: NEC 제도설계안, 발전소주변지역 지원체계, 전기사업·부담금·지방세·방재 관련 법제 검토, 한수원 발전량 예시

# “특정 지역 퍼주기 아닌가 / 안전을 돈으로 사는 것 아닌가” 백업 ①

## 형평성 반론에 대해

- 국가 기반시설의 부담은 구조적으로 비대칭
  - ✓ 전국이 전력 편익, 입지 지역이 위험·피난·저장·이미지 비용
- 차등 지원의 정당성은 '공개 산식과 권역 기준'에서 도출
- 외부효과가 큰 기반시설(공항·매립지 등)에 공통 적용되는 원칙 — 원전 특별대우가 아님

## 안전 매수 비판에 대해

- 안전 판단은 독립 규제기관의 몫 — 이익공유와 제도적으로 절연
- 혜택을 받으면서 동시에 반대·비판·감시할 권리를 강화하는 설계
- 영국 GDF: 투자기금과 안전심사·동의확인의 기능 분리 운영이 정례

# “재원은 어디서? 요금체계와 충돌하지 않나” 백업 ②

## 집행 창구

전기 판매 시스템(고지서 자동 차감) — 신규 행정망 불필요

## 재원 구성

발전량 연동 부담금 + 국비 + 법정 기금 — 집행과 분리 설계

## 요금 규제

차등 '요금제'가 아닌 정책 '크레딧' — 전국 단일 요금체계 유지

## 기존 접점

발주법 기본지원사업에 '전기요금보조' 용도 기존재 — 개정 부담 최소화

## 검증 경로

비용 귀착·형평·규제기관 역할을 시범사업(영덕·기장)에서 실측

참고 규모: 현행 제도만으로 영덕 69년간 약 2조 원 — 신설분은 최소·기준·확대 시나리오와 민감도 분석 공개

# 해외 사례 상세 수치 백업 ③

| 사례       | 핵심 수치                                                                         | 출처                            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 영국 GDF   | 파트너십 연 최대 £100만 → 시추 단계 £250만 / 3년간 £1,000만+, 260개+ 사업 / 첫 25년 4,000+ 일자리     | Nuclear Waste Services (2025) |
| 캐나다 NWMO | 2010년 22개 후보지 → 2024.11.28 WLON-Ignace 선정 / Ignace 2024.7 · WLON 2024.11 주민투표 | NWMO · CBC (2024)             |
| 핀란드      | 유라요키 의회 2000.1.24 찬성 → 정부 원칙결정 2000.12.21 → 의회 비준 2001.5.18 (159:3)           | OECD/NEA · Posiva             |
| 프랑스 뷔르   | GIP 2개(2000 설립) / 2010년부터 데파르트망당 연 3,000만 유로 / 누적 약 11억 유로, 배분 투명성 논란         | Andra · Basta! (추산)           |

# 고준위 방폐물 특별법(2025) 상세 백업 ④

## 표결

2025.2.27 본회의 — 재석 225, 찬성 190, 반대 8, 기권 27 · 3.25 공포

## 목표

중간저장시설 2050년 · 영구처분시설 2060년 확보

## 부지선정

기초지자체 신청 → 기본·심층 부지적합성조사 → 주민투표

## 거버넌스

국무총리 소속 관리위원회(9인) · 유치지역지원위원회

## 유치지역 지원

특별지원금 포함 폭넓은 지원 (보도 기준 3,000억 원+ $\alpha$ )

## 부지 내 저장

의견수렴·지원 법제화, 규모는 설계수명 내 발생 예측량으로 제한

시사점: 유치지역 지원의 '법정화'가 이미 입법 선례로 존재 — 본 제안(지역사회계약 법정화)의 현실성 근거

# “지역 내부 갈등은 어떻게 하나” 백업 ⑤

---

## 전제

지역은 단일 이해집단이 아니라 — 직접 수용지 vs 인근, 고령층 vs 청년, 기존 주민 vs 이주민

## 예방

이해관계자 지도 작성(1단계)으로 누락 집단·상이한 부담 먼저 도출

## 배분

권역별 기준·취약성 보정의 사전 공개 + 이의제기·주기적 재산정 절차

## 참여

선출직 대표 + 무작위 시민패널 + 취약계층 대표의 조합 — 소수 의견 기록·보존

## 해결

상설 조정·중재 창구 — 분쟁 해결기간을 성과지표로 관리

# 핵심 수치 총괄 및 출처 백업 ⑥

|         |                                                       |                         |
|---------|-------------------------------------------------------|-------------------------|
| 신규 설비   | 대형 2기(1.4GW×2, 2037·38) + SMR 1기(0.7GW, 2035)         | 산업부 11차 전기본 (2025.2)    |
| 부지 평가   | 영덕 91.01 · 울주 82.63 · 기장 87.11 · 경주 84.56 / 주민수용성 25점 | 한수원 공모 결과 보도 (2026.6)   |
| 수용성 반전  | 영덕 2015 반대 91.7%(투표율 32.5%) → 2026 찬성 86.18%          | 프레시안(2015) · 비즈한국(2026) |
| 법정지원금   | 영덕 69년 약 2조 원 (건설기 연 358억 · 운영기 연 305억)               | 뉴스핌 (2026.6.18)         |
| 현행 단가   | 기본 0.25원 + 사업자 0.25원 (발주법) / 지역자원시설세 1원 (지방세법, kWh당)  | 발주법 시행령 별표2 · 지방세법      |
| 신고리 공론화 | 시민참여단 471명 · 33일 · 재개 59.5% vs 중단 40.5% (±3.6%p)      | 공론화위 · 정책브리핑 (2017)     |
| 저장 포화   | 고리 2028/32 · 한빛 2030 · 한울 2031 (재산정 시 1~2년 단축)        | 전기신문 · 서울경제             |

전체 22개 출처는 보고서 「원자력 지속가능성 공론화의 재정립 — 근거기반 상세보고서」 참고문헌 수록

# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.



원자력의 미래를 향한 새로운 10년·기념 워크숍



# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 글로벌 핵연료주기 동향과 국내 과제

최 성 열

서울대학교 원자핵공학과 교수

서울대학교 융합전공 지속가능 고준위방폐물 관리 주임교수

2026년 9월 16일



# 한국, 핵연료주기 논의의 새로운 전환점

## 한미 공동 팩트시트

미국, 한국의 평화적 재처리 및 농축 추진  
프로세스를 공식 지지  
"양국 협정 및 미국 국내법 요건 범위 내"

## 체코 원전 수출

대형 원전 수출 (체코), 연구로 수출  
(미주리대학교) 및 수출 경쟁 치열

## 고준위 방폐물 관리 특별법 통과

2050년 중간저장시설 운영  
2060년 심층처분시설 운영 목표 설정

## 러시아-우크라이나 전쟁

농축 핵연료 수급과 사용후핵연료 관리  
정책의 불확실성 증대

## JFCS 2026년 종료 예상

한미핵주기공동연구 종료 후 성과 활용  
및 HLBC 논의 재개 전망

## SMR 특별법 통과와 핵연료 다양화

SMR과 선진원자로 개발로 다양한 핵연  
료 수요와 사용후핵연료 발생 예상

대원칙: 비확산 원칙의 엄정한 준수와 검증 가능한 투명성은 협상 성과의 선택지가 아닌 필수 조건  
군사적 의제(핵추진 잠수함 등)와 상업적 재처리·농축 논의는 제도적·메시지 차원에서 철저히 분리

# 대한민국, 핵연료주기 국가전략이 없다

미·일·중·프는 이미 국가전략산업으로 재편 완료 — 한국만 전략적 공백 지속

① 한미 협상 불확실성을 이유로  
전략적 공백 장기화

② 부처별 기능 분산으로  
통합 추진 체계 부재

③ 사용후핵연료 정책과  
미래 원자로 전략 간 연계 부족

④ 원전 수출과 핵연료주기 서비스를  
연계하는 패키지 전략 부재

⑤ 독립적인 핵연료주기  
통합 R&D 체계·예산 부재

⑥ 핵연료주기 핵심 기술의  
실증 인프라 부재

⑦ 핵연료주기 장기 전문인력  
양성 체계 미흡

강점 세계 최고 원전 역량 **한계** 핵연료주기 국가전략 부재

# 원자력 시장의 구조적 토대

---

- NPT(1970)의 세 축: 핵군축, 핵비확산, 원자력의 평화적 이용

- 평화적 이용 권리와 핵비확산 의무 사이의 경계가 원자력 시장의 규범적 토대를 형성

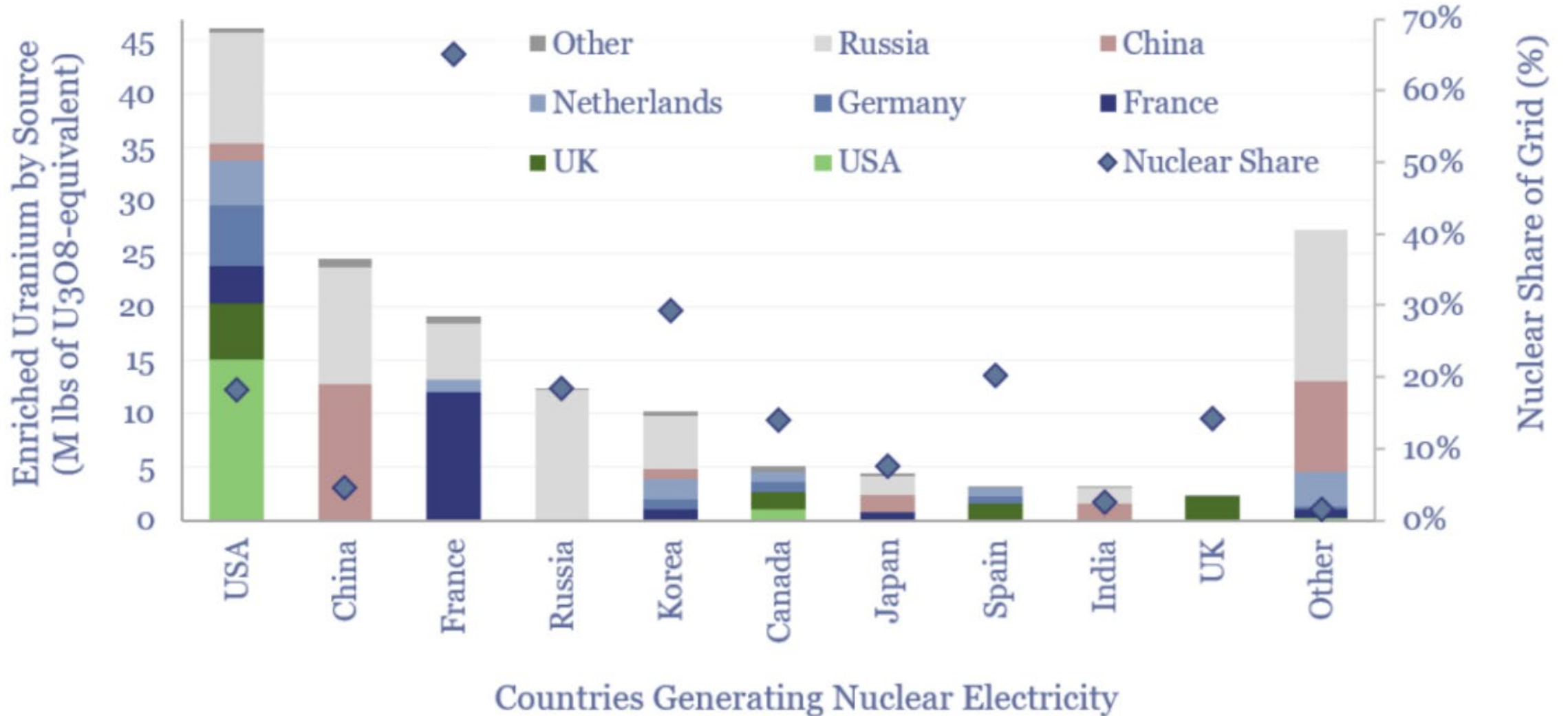
- 다층적 비확산 체제 형성 → 핵연료주기 기술 제한

- 1974년 인도 핵실험 이후 농축·재처리 기술 이전에 대한 국제적 제한 본격화
- NSG: 핵관련 품목·기술 수출 통제의 다자 레짐
- 미국 123협정 등 양자 협정을 통한 농축과 재처리의 실질적 제약

- 그럼에도 유지된 시장 안정성

- 독과점 체제지만 글로벌 농축 서비스 공급 체제가 수십 년간 안정적으로 유지
- 수요 측 억제: TMI(1979), 체르노빌(1986), 후쿠시마(2011) 사고에 따른 원전 시장 팽창 위축
- 공급 측 확대: 미·소 핵군축 이행에 따른 무기급 HEU 다운블렌딩 물량 시장 공급 (Megatons to Megawatts)
  - HEU 500톤 → LEU 14,446톤, 미국 전력 10% 20년간 공급

# 원자력 시장의 구조적 토대



# 러·우 전쟁, 원자력 시장 토대의 균열

## ■ 농축 핵연료 시장의 공급 불안정성

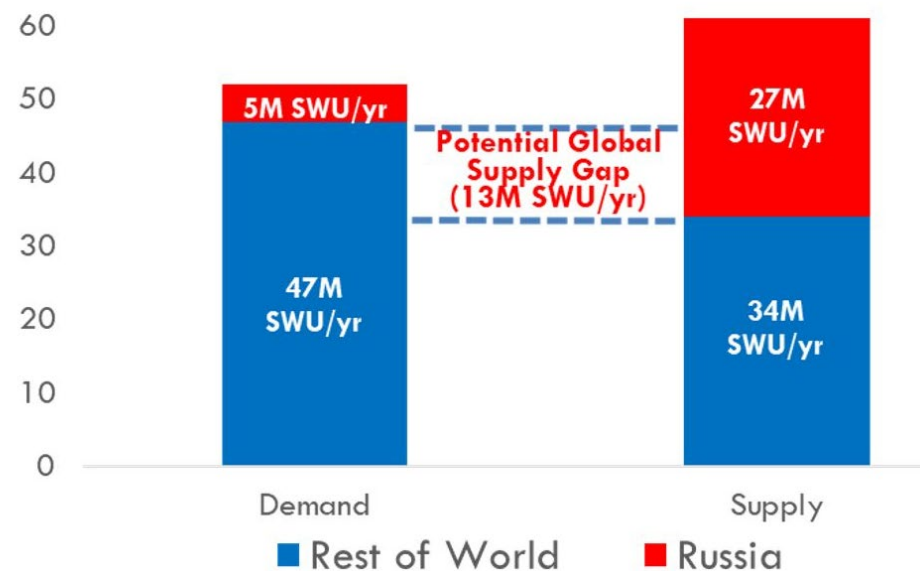
- 러시아(TENEX), 글로벌 농축 시장의 약 44% 점유
- 러시아 의존도: 한국 ~1/3, EU ~38%(2023), 미국 ~20%(2024)
- COP28 원자력 3배 목표(2050) + SMR 확산 → LEU+, HALEU 등 농축도 상향 수요 본격화

## ■ 후행핵연료주기 관리 시장의 혼란

- 러시아, 원전 수출국 대상 사용후핵연료 반환 서비스 사실상 중단
- 대안 부재: 단기 건식저장, 장기 직접처분/재처리로 각자 대응
  - 동유럽: 기존 양자협정으로 재처리 권한 확보 → 유연한 대응 가능
  - 권한 미보유국: 선택지 제한, 건식저장 장기화 불가피

Enrichment  
(Million SWU/yr)

## Global Demand vs Supply



# SMR 부상과 핵연료주기의 다양화

## ■ SMR 수요의 급격한 확대

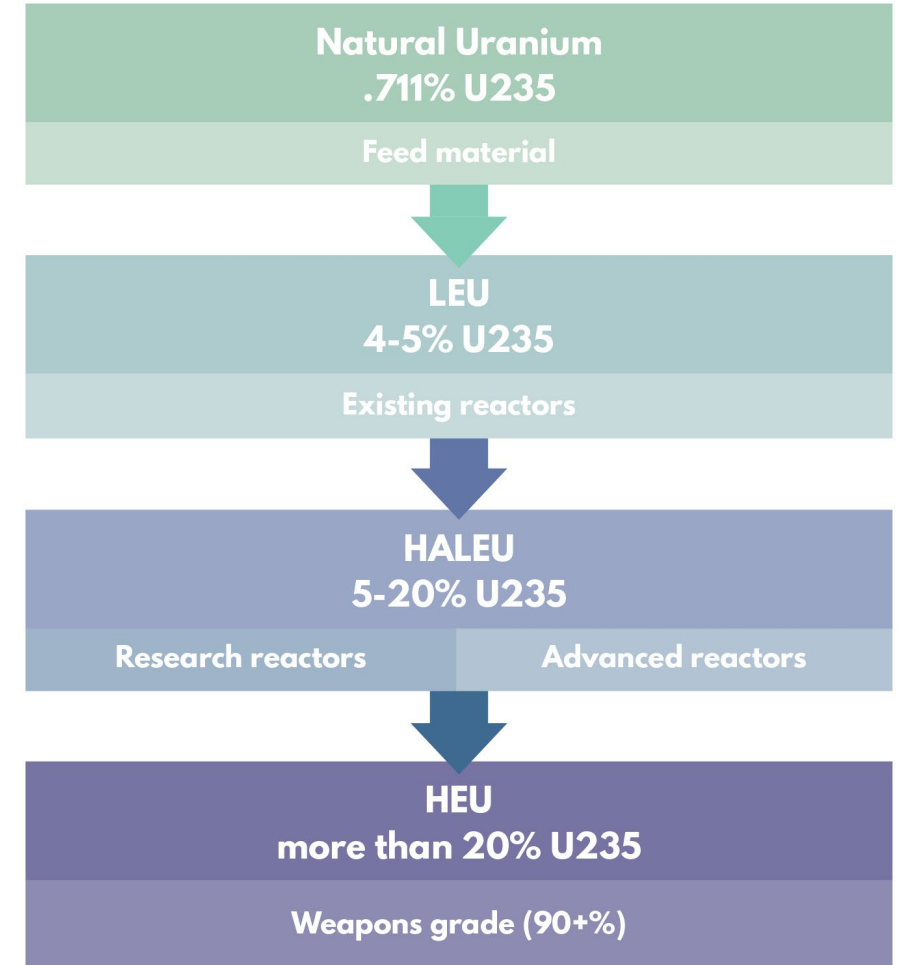
- AI·데이터센터의 전력 수요 급증 → 무탄소 전원으로서 원자력 재부상
- 대형 원전 중심 시장에서 SMR 및 선진원자로로 다변화

## ■ 핵연료의 다양화

- 기존 경수로: LEU(5% 미만) 중심의 단순한 연료 시장
- SMR 및 선진원자로: LEU+(5~10%), HALEU(10~20%) 수요 본격화
- 기존 농축 공급망으로는 대응 불가 → 새로운 농축 인프라 필요

## ■ 사용후핵연료의 다양화

- 사용후핵연료: 금속, 염, 세라믹 등 기존 경수로와 물리화학적 특성 상이
- SMR의 분산 배치 특성상 사용후핵연료 관리 체계의 표준화 필요



# 미국의 원자력 활성화 법령 및 행정명령

---

## ■ 주요 입법 (2022~2024)

- IRA(2022): 원자력 세액공제 도입, HALEU 공급망 구축 지원
- ADVANCE Act(2024): NRC 인허가 간소화, 차세대 원자로 규제 현대화, 중국산 핵연료 조립체 보유 금지 추가
- Prohibiting Russian Uranium Imports Act(2024): 러시아산 농축우라늄 수입 금지
- Nuclear Fuel Security Act(2023): 자국 및 동맹국 중심 공급망 구축 지원

## ■ 트럼프 행정명령 (2025년 5월): 수동적 규제 → 능동적 산업 전개

- 첨단 원자로 배치: 미국 정부를 선도 고객으로, 군사 부지 배치 가속화
- NRC 개혁: 인허가 기간 법적 상한 설정, Part 53 technology-inclusive performance-based 체계로 전환
- DOE 원자로 시험 개혁: 국립연구소 시험 원자로 배치 절차 간소화
- 산업 기반 재건: 핵연료주기 통제를 전략적 자산으로 명시, 상업적 재처리 가능성을 열어

# 미국 농축 및 재처리 기업 현황

## ■ 농축 분야: 공급망 재건 본격화

- Centrus (Piketon, OH): HALEU, DOE 계약(연 900kg, ~2026년 6월, 최대 8년 연장), LEU 상업 생산 2029년 목표
- Urenco USA (Eunice, NM): 미국 유일 상업 농축시설, 2025년 10월 NRC로부터 LEU+(최대 10%) 생산 승인
- Orano USA: DOE LEU 농축 과제 \$900M 수주, 2026년 초 NRC 인허가 신청, LEU+(최대 10%), 2031년 생산 목표
- BWXT: NNSA 국방용 농축 파일럿 플랜트(DUECE) \$1.5B 계약, 테네시 건설 예정
- General Matter: DOE HALEU \$9억 투자, Paducah 부지 임차
- GLE: 레이저 농축기술 DOE \$28.5M 수주
- LIS Technologies: 레이저 농축기술로 DOE LEU 프로그램 선정, Oak Ridge K-25 부지
- Actinide: 15.38%농축도 HALEU를 calutron으로 생산

## ■ 재처리 분야: 상업 재처리 금지 해제 후 스타트업 급부상

- Oklo (Oak Ridge, TN): 파이로프로세싱 시설 \$1.68B 발표, NRC COLA 제출 준비 중
- CURIO Solutions: NuCycle 기술, 국립연구소 4곳 실험실 실증 완료, DOE \$19M 수주, 2027년 파일럿 목표
- SHINE Technologies: 수소화 처리 기반 재활용 공정, DOE \$19M 수주, Orano와 MOU 체결
- Alpha Nur: 연구로 사용후핵연료의 HEU 회수 및 HALEU 전환, DOE \$19M
- Flibe Energy: 파이로프로세싱 기반 사용후핵연료 재활용 전략, DOE \$19M

# 프랑스: 전주기 완성형 핵연료주기

---

## ■ 전주기 자립 구조 (Orano 중심)

- 변환 → 농축(Georges Besse II) → 연료 제조 → 발전 → 재처리 → MOX 제조 → 재사용
- 우라늄 자원 부재에도 재활용을 통한 자원 순환으로 에너지 자립도 제고
  - 재처리 MOX와 RepU 재농축을 통한 천연우라늄 소비 약 25~30% 절감 효과
- 선진원자로 상용화를 통한 전주기 완성이 과제

## ■ 재처리 (La Hague, 연간 ~1,700tHM)

- 사용후핵연료의 96% 회수: 우라늄 95% + 플루토늄 1%
- 고준위 폐기물 부피를 1/10 수준으로 축소
- MOX 연료 (Melox, 연간 최대 195tHM)
  - 회수 플루토늄 + 열화우라늄 제조 → 22개 원자로 공급

## ■ 재처리 우라늄(RepU)의 재농축

- La Hague 회수 우라늄 재농축 → 농축 핵연료 제조, Cruas-Meysse 원전 4기 사용 중

# 일본: 완성을 향한 핵연료주기, 지연의 연속

## ■ 전략적 목표

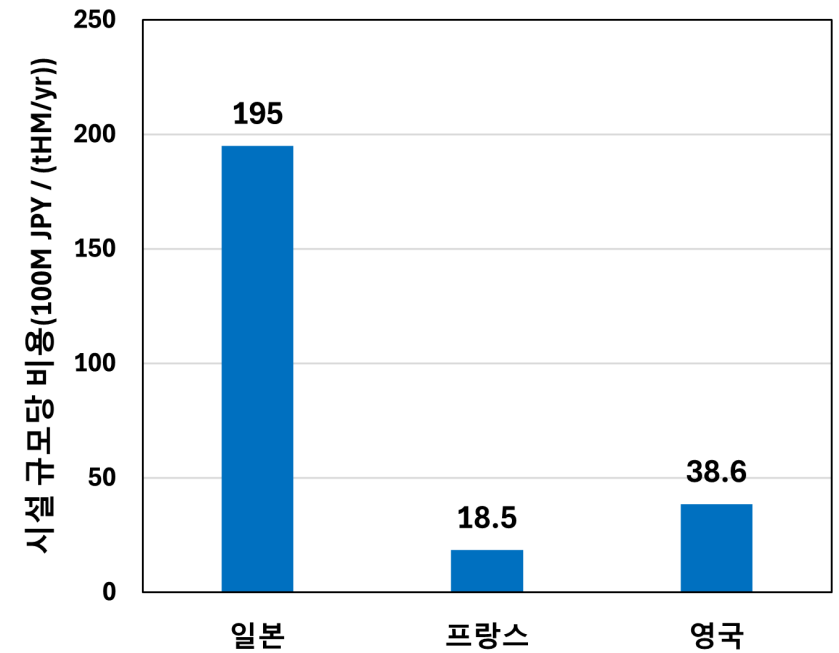
- 우라늄 자원 전무 → 재활용을 통한 에너지 자립도 제고
- 롯카쇼 복합단지: 농축·재처리·MOX 제조·폐기물 저장 단일 부지 집적

## ■ 농축 (JNFL 롯카쇼, ~1,050 tSWU/yr)

- 1992년 가동, 국내 수요의 약 30% 공급
- 비용은 러시아·서유럽 대비 20% 이상 높음

## ■ 재처리 (로카쇼, 설계용량 800tHM/yr)

- 1993년 착공, 완공 목표 1997년 → 27차례 연기 → 2026년 완공 목표
- 착공 시 7,600억 엔 → 수조 엔으로 비용 급증 주요
- 지연 사유: 유리화 폐기물 처리, 저장 수조 내진 보강(후쿠시마), Pu 재고 관리
- 분리 플루토늄 약 44톤 누적(국내 9톤 + 영국·프랑스 35톤) → 소비 수단 부족



**일본 = 프랑스 대비 10배**

공기 지연 32년이 비용 증가의 핵심 원인



**일본 = 영국 대비 5배**

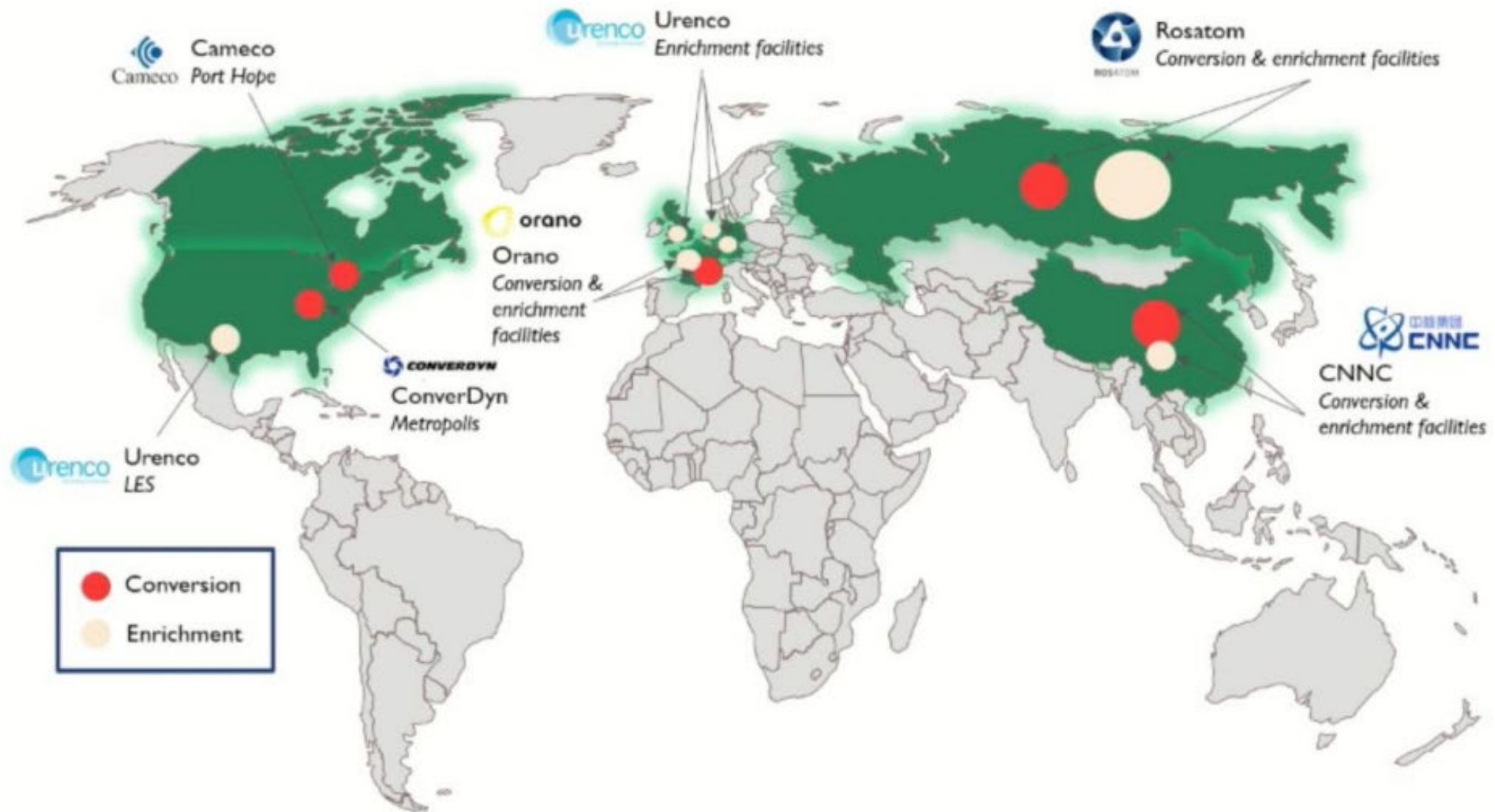
착공 7,600억¥ → 완공 예상 15.6조¥ (20배 증가)



**프랑스·영국**

계획 내 완공 → 경쟁력 있는 비용 수준 달성

# 글로벌 농축 시장의 급변



# 글로벌 농축 시장의 급변

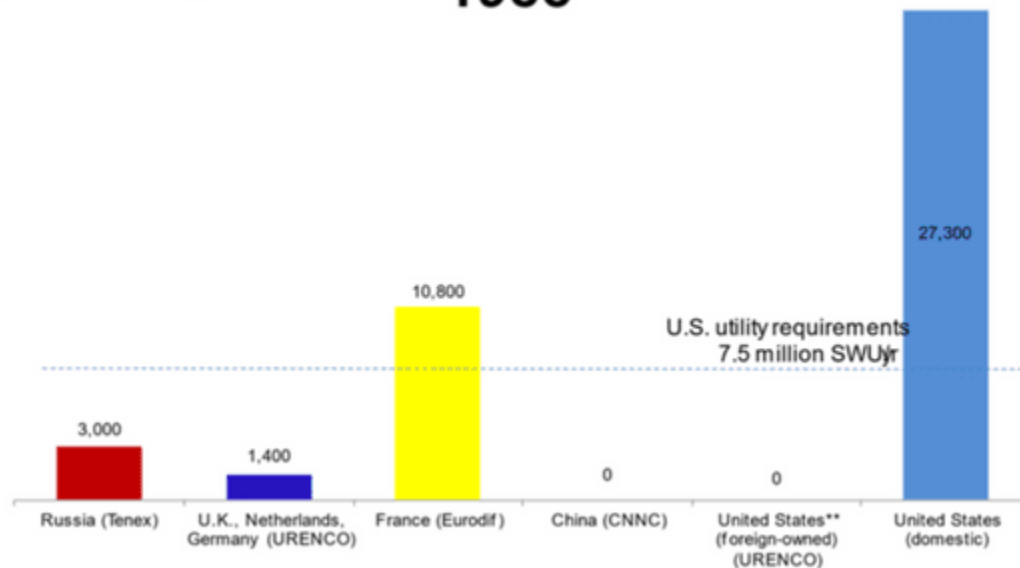
## ■ 미국의 잃어버린 30년: 농축 핵연료 공급 보장 못하는 국제 핵비확산 리더

- 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 목표로 적기에 시장 진입 실패

### The Loss of U.S. Nuclear Fuel Leadership

Uranium Enrichment Capacity  
(Thousand SWU/year)

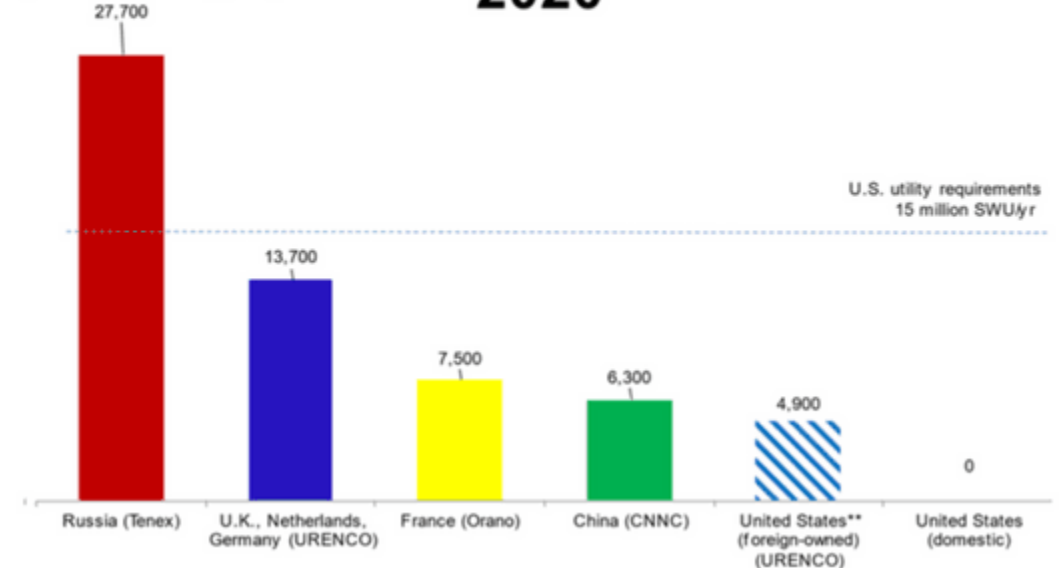
1985



### The Loss of U.S. Nuclear Fuel Leadership

Uranium Enrichment Capacity  
(Thousand SWU/year)

2020



# 글로벌 농축 시장의 급변: 중국의 부상

## ■ 현재 시장 구조 — 러·중 합산 57%의 구조적 취약성

- 러·우 전쟁 후 러시아 배제 압력 → 공백을 중국이 대체 우려
- 중국: 2030년 17,000 tSWU → 수출 여력 급증
- 농축 전 단계 변환 시설도 병목 가능성 증대

## ■ 중국의 역량 확대

- 아프리카 우라늄 광산 지분 확보
- 원전 수출에 농축 서비스 패키지 동반 가능성
- 서방 공급망 지연 시 아시아 수요는 중국으로 이동 불가피

## ■ 서방의 대응과 한계

- Sapporo 5 서약, 신규 시설은 북미·서유럽에 집중 (실행력 미지수)
- 아시아 역내 서방 연계 공급자 부재 → 한국의 전략적 역할 가능성

| Operator          | 2022          | 2025          | 2030          |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| CNNC*             | 8,900         | 10,000        | 17,000        |
| Orano             | 7,500         | 7,500         | 7,500         |
| Rosatom           | 27,100        | 27,100        | 27,100        |
| Urenco**          | 17,900        | 17,900        | 17,900        |
| Other (INB, JNFL) | 100           | 400           | 800           |
| <b>Total</b>      | <b>61,500</b> | <b>62,900</b> | <b>70,300</b> |

| Company | Country    | Mine             | Equity %          |
|---------|------------|------------------|-------------------|
| CNUC    | Niger      | Azelik           | 37.2 + 24.8 ZXJOY |
|         | Niger      | Imouraren        | 25+, more pending |
|         | Namibia    | Langer Heinrich  | 25                |
|         | Namibia    | Rössing          | 68.6              |
| CGN-URC | Namibia    | Husab            | 100               |
|         | Kazakhstan | Irkol & Semizbai | 49                |
|         | Kazakhstan | Central Mynkuduk | 49                |

# 글로벌 재처리 시장의 현황: 정체된 시장, 다시 움직이는 판도?

## ■ 현재 시장 구조: 극소수 국가의 독과점

- 프랑스(La Hague, ~1,700 tHM/yr): 사실상 유일한 상업 위탁 재처리 시장
- 영국(Sellafield): 상업 재처리 종료(2022), 레거시 폐기물 처리 중
- 러시아(RT-1, ~400 tHM/yr): 자국 및 일부 수출국 처리, 고속로 연계
- 고속로 프로그램 지연으로 전 세계 재처리 용량 증가세 둔화

## ■ 러·우 전쟁 이후 시장 혼란

- 러시아 원전 수입국의 사용후핵연료 반환 서비스 사실상 중단
  - 대안 부재: 자국 내 중간저장 또는 프랑스 위탁(고비용)뿐
- La Hague 저장 풀 포화 및 Melox 노후화로 프랑스 수용 여력도 제한적

## ■ 신규 진입자: 앞서가는 중국, 뒤따르는 미국

- 중국: 간쑤 파일럿(200 tHM/yr) 운영 중, 2030년까지 3,000 tHM/yr 목표
  - 중국산 원전 수입국 사용후핵연료 처리 연계 가능성 → 농축과 동일한 패키지화 우려
- 미국: Oklo, CURIO, SHINE 등 스타트업 진입 시도
  - 상업 규모까지 10년 이상 소요 전망 → 단기 공급 공백 해소 불가

World commercial reprocessing capacity<sup>2</sup>

|                      |                         |      |
|----------------------|-------------------------|------|
| LWR fuel             | France, La Hague        | 1700 |
|                      | Russia, Ozersk (Mayak)  | 400  |
|                      | Japan (Rokkasho)        | 800* |
|                      | Total LWR (approx)      | 2100 |
| Other nuclear fuels  | UK, Sellafield (Magnox) | 1500 |
|                      | India (PHWR, 4 plants)  | 260  |
|                      | Total other (approx)    | 1760 |
| Total civil capacity |                         | 3860 |

(tonnes per year)

# 글로벌 저장·처분 시장의 현황: 수십 년 표류 끝, 첫 삽 뜨는 나라들

---

## ■ 글로벌 누적 현황

- 전 세계 사용후핵연료 누적 ~40만 tHM, 연간 ~1만 2천 톤 추가 발생
- 대부분 원전 부지 내 임시저장 중

## ■ 중간저장 시장 확대

- 러·우 전쟁 이후 러시아 원전 수입국의 건식저장 수요 급증 → Orano, Holtec 등 시장 공략
- SMR 확산으로 분산형 사용후핵연료 관리 수요 증가 → 표준화 저장 솔루션 필요성 대두

## ■ 심층처분장(DGR): 세계 최초 사례 등장

- 핀란드(Onkalo): 세계 최초, 시험 운전 중, 운영 허가 심사 진행 중
- 스웨덴(Forsmark): 2025년 1월 착공, 2030년대 말 처분 개시 목표
- 프랑스(Cigéo)·스위스·캐나다·영국: 부지 선정 또는 허가 절차 진행 중
- 미국(Yucca Mountain): 정치적 교착으로 사실상 표류
- 한국: 고준위방폐물 특별법 통과로 부지 확보 계획 수립 중

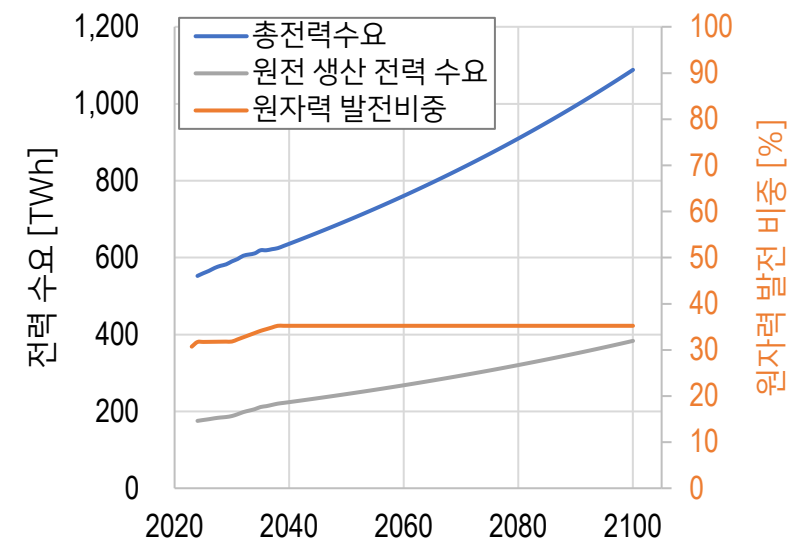
# 한국 핵연료주기 수요 예측: 시나리오 구성

## ■ 시나리오 및 계산 기간:

- 농축·재처리 포함, 전 핵연료주기 포괄한 수요 계산 사례가 전무하여, 통합한 시나리오를 구성하였음
- 계산기간: 2025-2100

## ■ 전력수요 (2025-2100)

- 2038년까지 제11차 전력수급기본계획(전기본)의 수요전망 적용, 이후 2100년까지 전기본 목표 수치인 연간 **성장률 0.9%**를 적용
- 2039년부터 원자력 발전비중을 35.2%로 고정 (11차 전기본의 2038년 발전비중)



## ■ 도입 노형

- 11차 전기본 (~2038) 이후 도입 노형으로 시나리오 구분
- PWR 시나리오: 발생 수요 모두 경수로로 감당
- 선진원자로 시나리오
  - 2038년 이후 PWR 26기 건설, SFR 12기 2045년부터 도입 (수요 발생 시 건설)
  - SFR 연료 공급 방식을 자연우라늄 농축(HALEU) 혹은 경수로 사용후핵연료 재처리(TRU)로 세분화

| 연료 구성              | LEU | HALEU      | TRU      |
|--------------------|-----|------------|----------|
| 농축도 / TRU 함량 [wt%] | 4.5 | 16.5 [1]   | 38.9 [2] |
| 연소도 [GWd/tHM]      | 55  | 149.74 [1] | 150      |

| 도입 노형 | 핵연료 종류               | 시나리오                            |
|-------|----------------------|---------------------------------|
| PWR   | LEU                  | PWR Only                        |
| SFR   | HALEU (Enrichment)   | PWR + SFR (only enrichment)     |
|       | TRU (Pyroprocessing) | PWR + SFR (with pyroprocessing) |
|       | HALEU and TRU        | PWR+SFR (HALEU+TRU mixed)       |

\* HALEU형 6기, TRU형 6기

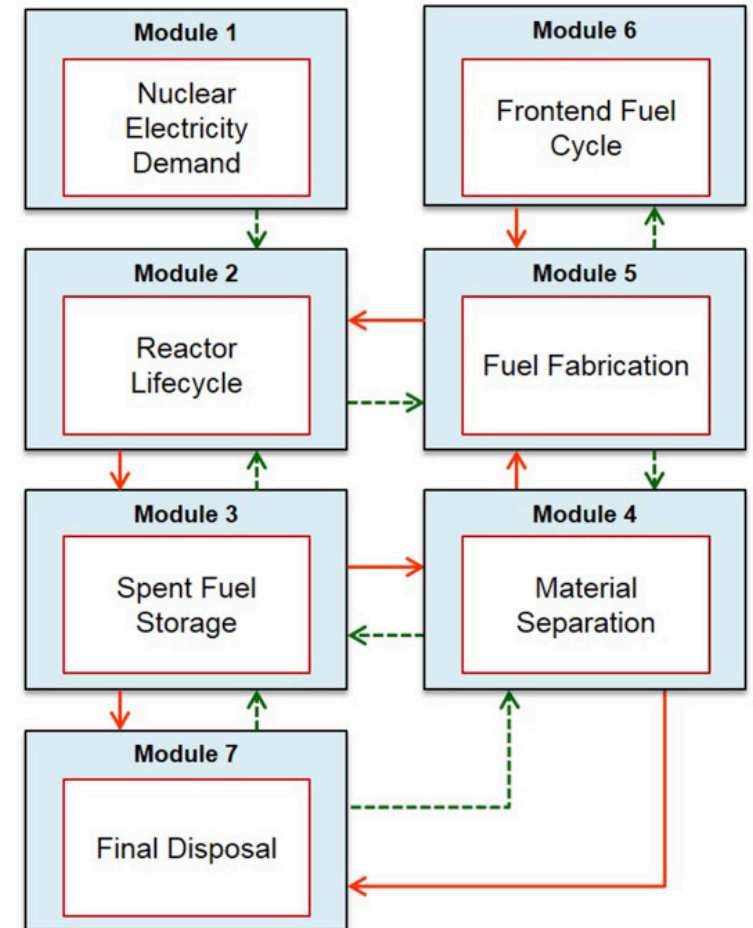
# 한국 핵연료주기 수요 예측: 계산 툴 소개

## ■ SNUCYCLE

- 서울대학교 핵연료주기 평가 코드  
(Seoul National University Nuclear Fuel Cycle Evaluator)
- 시스템 역학(System Dynamics)에 기반한 핵연료주기 시뮬레이션 코드
- 핵연료주기 각 단계를 모듈화하여 모듈 사이의 동적 질량 흐름을 계산
- 가동 개시 연도, 원자로 유형, 연료 유형, 분리 방식, 동위원소, 저장 방식 등을 기준으로 다차원 배열에 대한 계산을 수행
- 다양한 유형의 원자로 구현 및 계산 가능
  - 경수로, 중수로, MSR, SMR, SFR, VHTR, 가스 냉각 원자로 등

## SNUCYCLE

Seoul National University Nuclear Fuel Cycle Evaluator



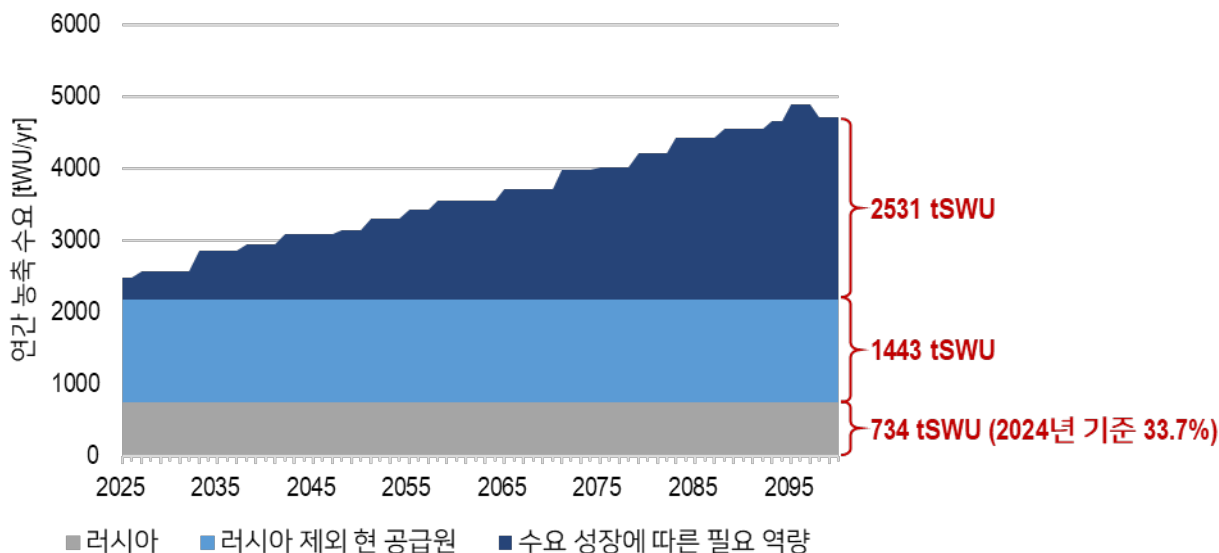
# 한국 핵연료주기 수요 예측: 경수로 중심 시나리오 농축 수요

## ■ LEU 경수로 이용 시 2100년도까지 4,980 tSWU/yr 확보 필요

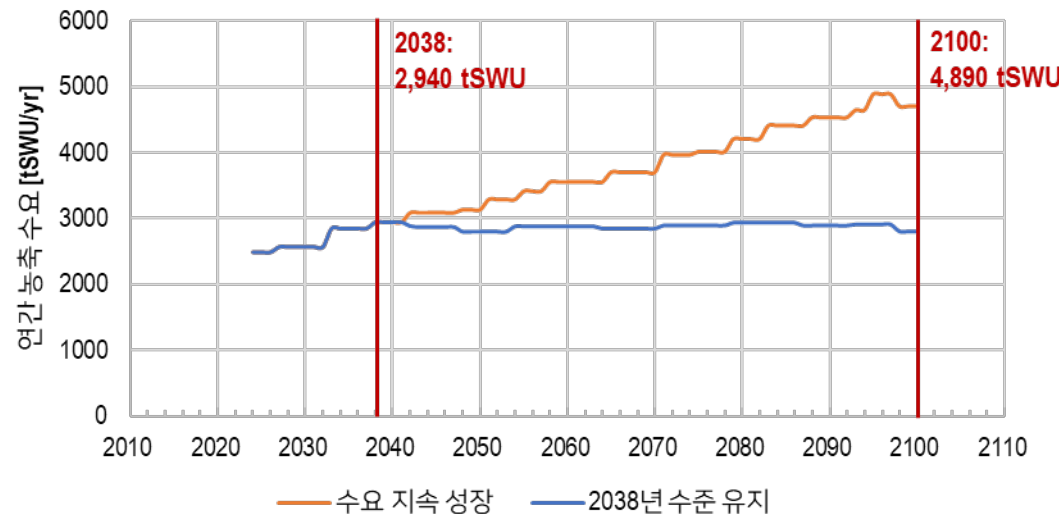
- 원심분리기 약 14만 대, 현재 수요 대비 1.67배
- Urenco의 네덜란드 Almelo 농축시설의 현재 규모(5,000 tSWU/yr)와 비등 (Urenco 기준 cascade 1개 당 70-175 tSWU/yr)
- 러시아 농축 시설로부터 자립을 목표로 할 경우  
→ 현 수치의 약 66% 필요 (3,265 tSWU/yr)

※ 원심분리기 기수 변환은 TC-12 기준 40 SWU/yr, 0.9 capacity factor 가정

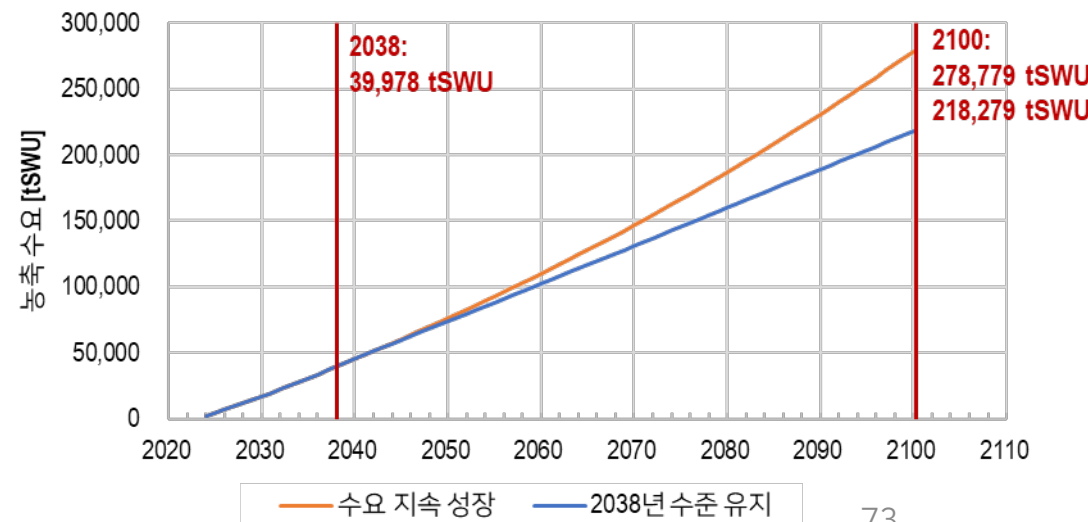
추가 확보 필요한 연간 농축 역량



원자력 전력 수요에 따른 PWR 시나리오 연간 농축 수요



원자력 전력 수요에 따른 PWR 시나리오 누적 농축 수요



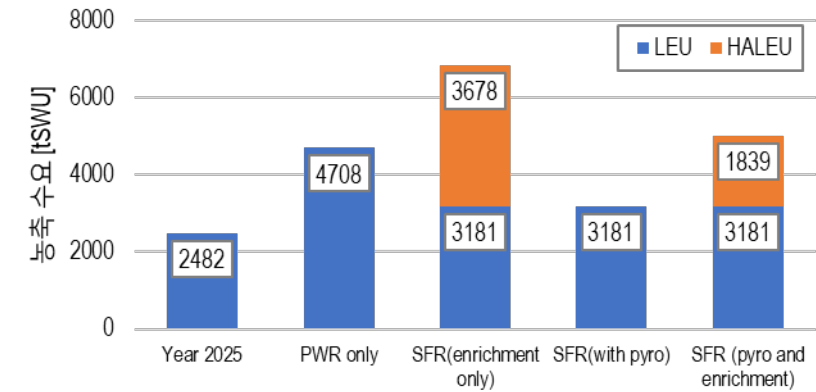
# 한국 핵연료주기 수요 예측: 선진 원자로 도입 시나리오 농축, 재처리 수요

## ■ 원자력 규모의 지속적 성장을 가정하였을 때,

### HALEU-SFR 시나리오의 농축 수요가 가장 높게 산출

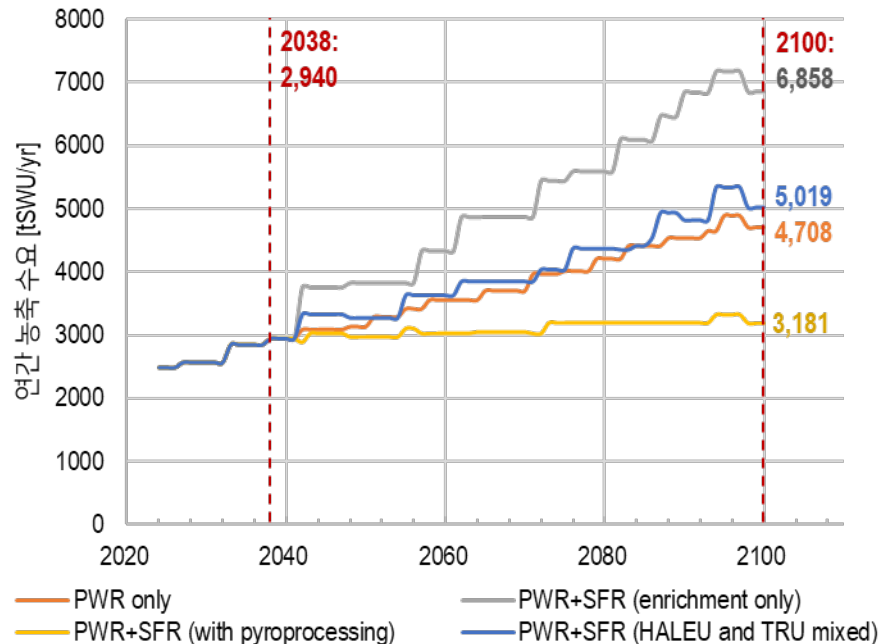
- 모든 시나리오 농축 수요는 Orano의 Georges Besse II 시설(7,500 tSWU/yr) 수준 미만
- 재활용 및 TRU-SFR 이용 시 농축 수요 감축, 그러나 재활용 수요도 2,000 tHM/yr에 달함
- PWR+HALEU-SFR 이용 시나리오: 2100년까지 6,858 tSWU, 원심분리기 약 19만 대 필요
  - HALEU 농축 수요가 총수요의 54% 차지

2025년 대비 2100년도 연간 농축 수요

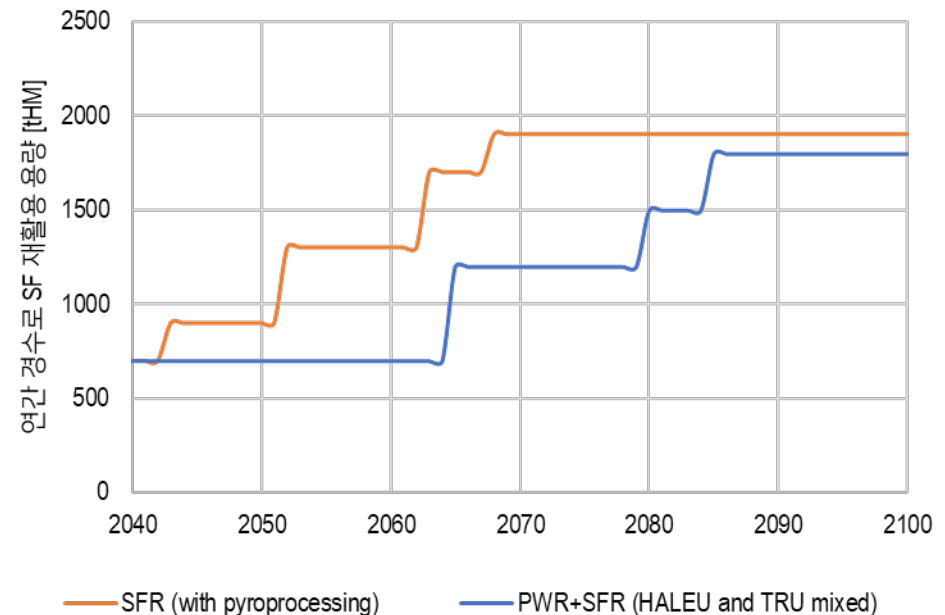


※ SFR 시나리오는 모두 PWR을 포함함

시나리오별 연간 농축 수요 (평활화)



연간 PWR SF 재활용 용량



# 농축 협상을 위한 한국의 과제

## ■ 농축 역량 확보의 국가적·산업적 필요성 명확히 제시

- 수요: 연 4,000 tSWU 이상 예상
- 에너지 안보: 단순한 수요 예측치 제시를 넘어서 러·중 의존도 단계적 축소 로드맵 제시
- 원전 수출: 원전·연료 패키지화 (미국 경쟁상대 인식 가능성 병행 관리)
- 도입 규모·목표 농축도 명확히 설정: LEU 우선
- 농축과 재처리가 둘 다 필요한 이유; 재처리 우라늄의 재농축을 통한 원료 물질 의존도 경감

## ■ 미국 설득 및 의회 승인 지원 전략 수립

- 러·중 의존 축소 기여 → 동맹 중심 공급망 강화 논리의 핵심으로 제시
- 한국의 안정적 수요 = 미국 농축 투자의 상업적 리스크 완화 근거
- 한국 기업의 미국 SMR 투자 → 전략적 산업 파트너로 포지셔닝
- 미국의 추가 요구에 대비한 협상 방어선 사전 마련

## ■ 국내 제도적 준비 선제적 완비

- 원자력진흥종합계획에 변환, 농축 장기 비전 명시 (부지확보와 사업모델 포함)
- 원자력안전법에 변환, 농축 시설 허가기준 마련
- 부처 간 역할 분담 명확화 및 유기적 협력 체계 구축
- 국내 기술 수준 평가 및 역량 확보 전략 수립
- 군사적 의제와의 철저한 분리 제도화

# 재처리 협상을 위한 한국의 과제

---

## ■ 국가적·산업적 수요 명확히 제시

- 고준위 방폐물 처분 부담 완화: 심지층처분장 면적 최대 1/50 감소
- 차세대 비경수형 SMR 연료: HALEU 대안으로 TRU 혼합물 활용
- 비경수형 원자로 사용후핵연료: 직접처분 곤란 → 재처리 연계 불가피
- 농축과 재처리가 둘 다 필요한 이유; 재처리 우라늄의 재농축을 통한 원료 물질 의존도 경감

## ■ 미국 의회 설득 전략 공동 수립

- HALEU 병목 완화 = 전략적 파트너 프레임
- 미국 재처리 산업계 투자협력으로 의회 설득 공간 확대
- JFCS 결과와 후속 논의 기회를 최대한 활용 (JFCS, 미국의 민감기술 공동연구 극히 드문 사례)
- HLBC 합의의사록 5개 조건 충족 전략 수립: 기술성·경제성·안전조치·비확산·TRU 과도 축적 방지

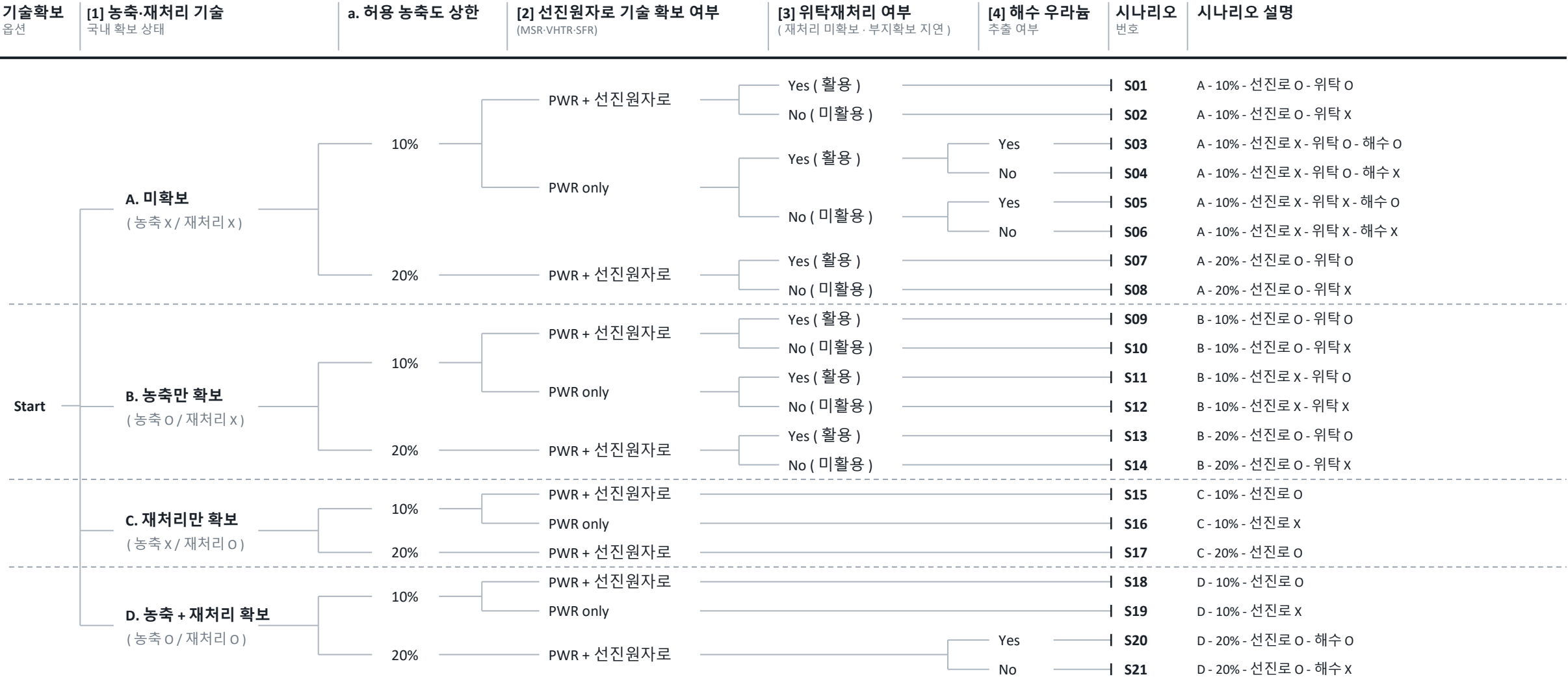
## ■ 국내 제도적 준비 선제적 완비

- 파이로프로세싱 실증 로드맵 재확정, 원자력진흥위원회 공식 승인 (부지확보와 사업모델 포함)
- 원자력안전법에 재처리 시설 허가기준 마련
- 고준위 방폐물 관리 특별법과의 정합성 확보
- 부처 간 역할 분담 명확화 및 유기적 협력 체계 구축
- 국내 기술 수준 평가 및 역량 확보 전략 수립
- 군사적 의제와의 철저한 분리 제도화

# 국내 핵연료주기 기술 옵션

| 구분             | 변수                                         | 주요 경우                                            |
|----------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 핵연료주기 역량 확보    | 농축·재처리 기술/권한 확보 여부                         | ① 농축만 확보, ② 파이로만 확보<br>③ 농축+파이로 모두 확보, ④ 둘 다 미확보 |
| 농축 범위          | 국내 농축 가능 농축도                               | LEU까지만 / LEU+까지 / HALEU까지                        |
| 재처리 방식         | 국내 또는 해외 재처리                               | 국내 파이로 / 해외 위탁재처리 / 재처리 없음                       |
| 선진원자로 기술 성공 여부 | SFR, MSR, VHTR 등 선진원자로 기술의 상용화 여부          | 성공 / 지연·실패                                       |
| 연료 수요 변화       | PWR 중심 유지 vs 차세대 원자로 (VHTR, MSR, SFR 등) 확대 | LEU 수요 / HALEU 수요 / 재순환 연료 수요 변화                 |
| 국제 공급망         | 해외 우라늄·농축 서비스 이용 가능성                       | 안정 / 제한·단절                                       |
| 러시아 변수         | 러시아 농축우라늄 또는 농축서비스 이용 가능 여부                | 가능 / 제한                                          |
| 원전 수출          | 원전 수출 증가에 따른 핵연료주기 산업 확대                   | 국내 수요 중심 / 수출시장 확대                               |
| 사용후핵연료 관리      | 중간 저장·최종 처분시설 확보 시점                        | 정상 확보 / 지연                                       |
| 위탁 재처리         | 해외 재처리 활용 가능성                              | PWR SF 직접처분 / MOX 또는 재활용 경로                      |
| 경제성            | 국내 생산과 해외 조달의 경쟁력                          | 국내 농축·재처리 유리 / 해외 조달 유리                          |

# 국내 핵연료주기 기술 시나리오 Event Tree



- Note**
- 허용 농축도 상한: 국내 농축 또는 해외 공급계약을 통해 확보 가능한 최대 농축도 수준 (20%: 선진원자로 HALEU 포함)
  - 상한 20% 경로에 선진원자로 미확보 분기가 없는 이유: 선진원자로가 없으면 10% 초과 농축 수요가 발생하지 않아, 상한 20%와 상한 10%의 end state가 동일하므로 병합
  - 위탁재처리 여부: 국내 재처리 기술 미확보 (A, B) 전 경로에서 분기 (재처리 미확보 상황에서 중간저장 및 최종처분 부지 확보가 지연될 경우 고려되는 사용후핵연료 관리 옵션)

## 전략적 유연성 확보

단일 기술 중심이 아닌 다중 경로(multi-path) 기반으로 복합 변수에 대응하는 적응형 전략체계  
최근 과기부 주도 “핵연료주기 국가전략” 제시를 위한 원자력 정책연구 착수

대응해야 할 복합 변수

한·미 협상 조건 변화

차세대 노형 다변화

사용후핵연료 관리 방향

최종처분장 확보 시기

AI·데이터센터 전력 수요

글로벌 공급망 재편

국제 비확산 규범 변화

원전 수출 환경 변화

### 다중 시나리오 전략

처분·재활용·저장 간 장기 균형 전략 구축, 특정 기술이 아닌 옵션 관리 체계로 접근

### 독립 R&D 체계

독립적 핵연료주기 통합 R&D 체계 및 미래 노형 대응 R&D 포트폴리오 구축

### 원전 수출 연계

원전 수출 전략과 연계 가능한 연료주기 서비스 패키지 옵션 검토

### 통합 추진 체계

부처 간 칸막이 제거, 범정부 핵연료주기 전략위원회 수준의 조정 체계 마련

# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## Thank You

Sungyeol Choi [choisys7@snu.ac.kr]  
Nuclear Fuel Cycle & Non-proliferation Lab [www.snunfc.com]

Seoul National University



원자력의 미래를 향한 새로운 10년·기념 워크숍

# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 분과 1 핵주기 및 안전규제





# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 사용후핵연료 관리정책 방향 및 정책 제안

- SMR MMR의 본격화 시대를 대비하며 -

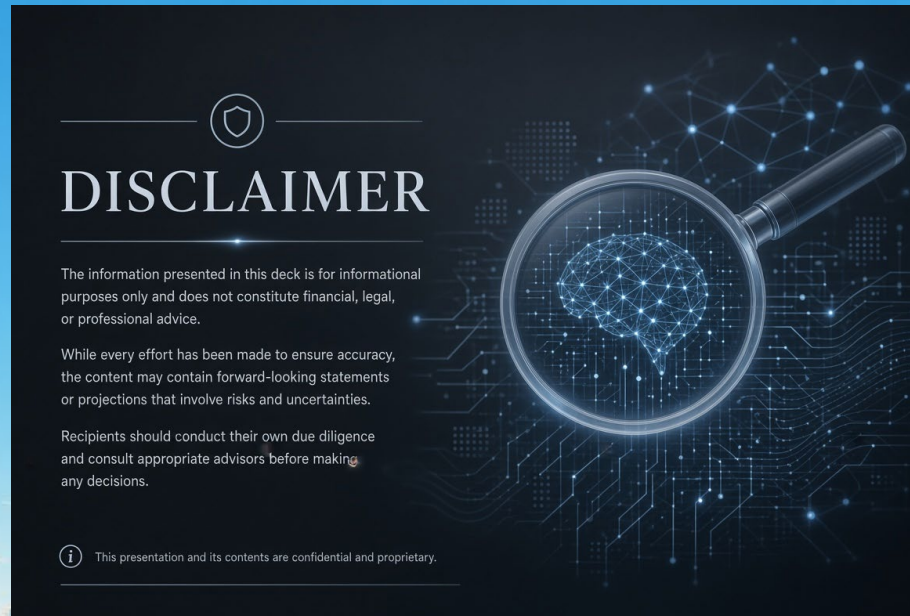
조 건 우

서울대학교 원자력정책센터 NEXFO 연구위원

2026년 9월 16일



“본 발표 내용은 AI를 활용해 도출한 결과를 바탕으로 구성되었습니다.  
아직 해당 분야 전문가의 검증과 사실 확인이 완료된 내용은 아님을 미리 밝혀 둡니다.  
본 내용에 대한 활발한 토론과 날카로운 지적을 기대합니다.”



# 왜 지금인가 — 두 일정의 중첩

제도 정비의 창구와 기술 배치의 준비기가 겹치는 구간

## 제도

2025.3.25



특별법 공포

2025.9.26



시행·위원회 출범

~2026.12



제3차 기본계획

2050



중간저장시설

2060



처분시설

## 기술

진행 중



i-SMR 설계인가

2030년대



상용 배치

미확립



폐기물 형태

미인증



운반용기

미평가



처분 적합성

제2차 고준위 방사성폐기물 관리 기본계획(2021.12)은 대형 경수로·중수로 전제  
— SMR·MMR 물량과 특성이 반영되어 있지 않음

기본계획 수립기에 SMR 변수를 반영하지 못하면, 향후 수십 년의 후단 체계가 기존 노형 전제 위에 고정된다.

# 논쟁 지형 — 무엇이 합의되었나

단일 문헌 인용은 편향 공격에 취약 — 세 문헌의 합의 영역만 정책 근거로 사용

Krall et al. (2022, PNAS)

중성자 누설 ↑ → 연소도 ↓  
폐기물 부피 2~30배 증가  
SMR은 순 불리하다

Kim et al. (2024, ANL/INL)

노형별로 결과 분화  
SNF 질량은 오히려 감소 사례  
GTCC는 4~193배 (교체전략 의존)

NASEM (2023)

Finding 16 : 후단 검토 미흡  
Finding 17 : 2차 폐기물 미해결  
Rec. K : 후단 부분최적화 방지

세 문헌의 합의 영역 — 정책 근거로 직접 활용 가능

임계안전 · 처분용기 기준 미충족

2차 폐기물 (반사체·흑연·소듐)

비경수형 폐기물 형태 미확립

후단 인프라 검토 부족

발생량 지표를 tHM 단일 기준에서 부피 · 붕괴열 · 핵분열성 농도의 다변수 체계로 전환해야 결론이 뒤집히지 않는다.

# 10대 제도 공백 조망

준비 리드타임과 가역성 기준

|                     |        |    |                |       |        |
|---------------------|--------|----|----------------|-------|--------|
| ① HALEU 임계안전·검증 데이터 | 10~20년 | 가능 | ⑥ 운반 체계·용기 인증  | 5~10년 | 가능     |
| ② 비경수형 폐기물 형태       | 15~25년 | 가능 | ⑦ 처분시스템 설계     | 30년+  | 불가     |
| ③ 조건화 기준·시설         | 15~25년 | 가능 | ⑧ 비용·재원·책임     | 즉시    | 소금 불가  |
| ④ 저장 전략(완충 상실)      | 5~10년  | 가능 | ⑨ 핵비확산·방호·안전조치 | 설계 단계 | SBD 불가 |
| ⑤ 부지 내 저장용량 조항      | 즉시     | 가능 | ⑩ 인허가 연계·수용성   | 즉시    | 가능     |

⑦⑧⑨는 되돌릴 수 없다 — 늦으면 비용이 늘어나는 것이 아니라 선택지가 사라진다.

5%는 물리적 한계가 아니라 후단 설비 전체가 전제해 온 인프라 경계

10~20년

가역 가능

### 현행 전제

초기 농축도 5% 이하

연소도 39 MWd/kg 초과 → 미임계 유지

처분용기 4집합체 이상 수납

### SMR·MMR에서 무너지는 것

iPWR 34 · SMART 36 MWd/kg → 기준 미달

고속로 농축도 13~19.5%

burnup credit 검증 데이터 부재

>1,000 kg

PWR 사용후핵연료  
임계질량

~200 kg

iPWR 사용후핵연료  
임계질량

<10 kg

소듐냉각 SMR  
임계질량

검증 데이터 부재 → 보수적 가정 → 캐니스터 장전량 축소 → 비용 전가. 조사후시험 데이터가 30년 뒤 비용을 결정

경수로 사용후핵연료가 직접처분 가능한 것은 정책 선택이 아니라 화학적 조건

15~25년

가역 가능

● TRISO · 흑연 기지

통째 처분 시 부피 12.3배 / 해체 시 SiC 장벽 상실

● 금속연료 잔류 소듐

자연발화성 → 처분 인수기준 미충족 (DOE 화학형태 전환 결정)

● 용융염 연료염

UF<sub>4</sub> 용해도 10<sup>-4</sup> M · 물과 반응 시 HF 생성

실증 선례 — MSRE (Oak Ridge)

고화 연료염의 방사선분해 → 휘발성 UF<sub>6</sub> 착물 형성 → 재임계 우려 → 잔여 염 처리 방법 부재 → DOE 현지 매몰 검토

처분 경로 없이 저장을 시작하면 저장물 자체가 변화하며 새로운 안전 문제를 만들고, 시간이 지날수록 선택지가 감소

### ③ 조건화 — 두 개의 공백

공정이 없는 것과, 공정을 판정할 기준이 없는 것은 다른 문제

15~25년

가역 가능

#### 공백 A — 기술 부재

금속연료를 무엇으로 전환할 것인가  
연료염을 어떤 매질에 고정할 것인가  
→ R&D 예산의 문제

#### 공백 B — 기준 부재

폐기물 형태 인증 절차·시험 표준 없음  
기준 물질·판정 절차 없음  
→ 법령·고시의 문제

#### 순환 구조 — 어디서 끊을 것인가

부지 미정



WAC 미확정



목표 사양 부재



기술개발 방향 부재



조건화 미확립

※ B(기준)가 없으면 A(기술)에 투자해도 인허가로 연결되지 않는다  
— 개발자는 목표를, 규제자는 심사 근거를 갖지 못함

부지가 없어도 잠정 목표 사양은 제시할 수 있다 — 이것이 순환을 끊는 최소 비용 개입 지점

습식저장조는 '원자로 먼저, 후단 나중'을 가능하게 한 시간 완충

5~10년

가역 가능

방출

습식저장 5~10년

건식저장 수십 년

중간저장

처분

경수형 SMR

공용 풀 구조 → 확장 탄력성 없음

소듐냉각로

습식 단계 자체가 불가  
→ 소듐 세정 시설 필요

고온가스로

조기 건식은 쉬우나 부피 12.3배

카트리지형

저장 문제가 사라지는 것이 아니라  
위치가 이동

삼중 제약 : 저장조 여유 없음 + 부지 내 건식 용량 제한(제36조 ⑥) + 부지 간 이동 금지(제36조 ⑦)

대형 원전은 저장조와 조밀저장으로 시간을 벌 수 있었으나, SMR은 그 완충 없이 동일한 제약을 받는다.

중간저장 가동 시점이 SMR 운영의 직접적 제약조건이 된다 — 건식저장 용기·시설이 원자로 가동 시점에 준비되어 있어야 함.

대형 원전 계속운전 관련 조항이 상정하지 않은 노형에 적용될 때

즉시

가역 가능

허용 저장용량 = f (설계수명, 발생률) — 그런데 SMR·MMR에서 '설계수명'이 무엇인가

원자로 용기 · 노심 수명 (Krall et al. Table 1)

4년

ThorCon

7년

IMSR-400

12년

CMSR

20년

Oklo

30년

4S (노심)

60년

iPWR·SMART

해석 하나로 15배 차이

용기 수명 기준 → 7년치만 허용

발전소 수명 기준 → 60년치 허용

그 밖의 적용 공백

모듈 증설 시 산정 기준 부재

비발전 MMR은 적용 대상 불명확

계속운전 논쟁과 분리하여 제기할 것 — '상정하지 않은 노형에 대한 적용 기준 정비'는 하위법령으로 가능

## ⑥ 운반 체계

제품 인증 + 국제 상호승인 체계 — 인증 용기가 없으면 아무것도 옮길 수 없다

5~10년

가역 가능

운반 소요의 곱셈 구조

부피 증가

×

용기당 장전량 감소

×

부지 수 증가

=

운반 횟수 급증

규제에서 비롯되는 증가

임계안전 평가의 보수성 → 임계안전지수 상승

적재 수량 제한 → 운반 횟수 증가

보수성의 근원은 burnup credit 검증 데이터 부재

시험 요건의 성격 전환

침수시험 : 방사선학적 → 화학반응 시험

화재시험 : 용기 내부가 발화원이 되는 시나리오

판정기준에 화학적 결과 반영 필요

카트리지 반납형은 규제 입장을 지금 표명해야 한다 — 벤더가 설계를 확정 한 뒤에는 재설계 비용이 발생

되돌릴 수 없는 유일한 항목 — 다중방벽의 첫 번째 방벽은 'UO<sub>2</sub> 사용후핵연료 자체'

30년+

비가역

## 노형별 병목 인자가 다르다

경수형 SMR : 임계안전 (처분공 수)

고속로 : 붕괴열 (이격거리)

고온가스로 : 부피 (굴착량)

## 이종 폐기물의 화학적 상호작용

할로겐 → 처분용기 부식 촉진

알칼리 → 벤토나이트 완충재 열화

탄산염(C-14) → UO<sub>2</sub> 용해도 상승

## C-14가 특별한 이유

유기 형태는 흡착되지 않아 지연 없음

가스상 이동 → 지하수 모델의 사각지대

생물권 진입 시 탄소 순환에 직접 편입

반감기 5,730년 → 규제 시간틀 안에 존속

## 국내 자산의 재발견 — A-KRS

파이로프로세싱 산물의 심층처분을 상정해 개발된 개념. 비 산화물 폐기물 형태의 용출 모델과 성능평가 프레임(GoldSim, SOAR·SR-Site 벤치마킹)은 SMR·MMR 폐기물 검토에 직접 전용 가능.

처분장은 한 번 지으면 되돌릴 수 없다 — 설계 확정 이전에 폐기물 목록이 확정되어야 하며, 그 시한은 생각보다 가까움.

소급이 불가능한 항목 — 부담금은 단일 대형 공기업 사업자를 암묵적 전제로 설계

즉시

소급 불가

현행 산정 구조 (방폐물관리법 시행령 별표2 · 산업부 고시 제11조의2)

|       |               |                         |
|-------|---------------|-------------------------|
| 부과 단위 | "다발의 수"       | → 액체·폐블·카트리지 적용 불가      |
| 발생 시점 | 재장전·인출 완료 시   | → 온라인 장전·카트리지 교체 미대응    |
| 노형 구분 | 경수로 / 중수로 2분법 | → SMR·MMR 범주 없음         |
| 추정비용  | 관리방식 가정 전제    | → 비경수형은 관리방식 미정 → 산정 불가 |
| 납부 주체 | 원자력발전사업자      | → 민간·비발전 사업자 미포섭        |

민간 MMR 도산 시 관리 책임은 국가로 전가된다 — 사업자가 사라진 뒤에는 재정보증을 요구할 수 없다

첫 SMR 인허가 이전에 (1) 부과 단위 다변수화와 잠정 단가, (2) 민간 사업자 재정보증을 제도화할 것

## ⑨ 핵비확산 · 방호 · 안전조치

국내 결정만으로 풀리지 않는 유일한 항목 — 매력도는 오르고, 검증은 어려워진다

설계 단계

SBD 불가역

### 방호등급

농축도 10% 경계를 넘는 노형 다수  
저연소도 → 자기방호 약화  
접근은 쉽고 내용물은  
매력적인 조합

### 안전조치 설계반영

용융염 : 항목계량 불가 → 벌크계량  
카트리지 : 봉인 내부 검증 불가  
계량 지점은 설계 후 추가 불가

### 한미원자력협정

20% 미만 농축도 서면합의 필요  
재처리 제약, 2035년까지 유효  
2026.6 후속 협의 1차 회의 개최

### 금속연료 딜레마

금속연료는 화학적으로 처리를 요구하는데(직접처분 불가), 협정은 처리를 제약한다.  
→ 직접처분 불가 · 국내 처리 제약 · 국외 위탁 미확립 · 무기한 저장은 MSRE 선례

국내에서 가능한 것(SBD 요구사항 제시·방호 지침)과 협상이 필요한 것을 분리하고, 전자를 먼저 확실히 할 것

"처분장이 없다"는 사실은 인허가를 실제로 멈출 수 있는 법적 리스크

즉시

가역 가능

## 미국 선례

New York v. NRC (2012) 로 Waste Confidence 규칙 무효화 → 최종 허가·갱신 발급 보류  
→ NUREG-2157 및 개정 10 CFR 51.23 발간(2014) 후 재개

약 2년  
인허가 중단

## 국내에 없는 것

2060년 미달성 시 규제적 판단 부재  
인허가 심사에 후단 검토 항목 없음

## 수용성 — 부담과 보상의 비대칭

부담(비상계획구역·방호구역)은 고정  
보상은 발전량 비례 → 소규모일수록 악화  
비발전 MMR은 자원 근거 자체가 부재

좌초 부지 · 운반 경유지역은 현행 지원 체계의 완전한 사각지대

후단 계획의 인허가 연계는 규제 부담이 아니라 법적 안정성 제고 장치이자 대(對)지역 신뢰 장치

# 종합 — 하나의 서류로 열 개의 공백에

①②③④⑥

후단 리드타임 정합성  
준비 기간이 원자로부터 길다

⑦⑧⑨

비가역성  
늦으면 선택지가 사라진다

⑤⑩

저비용 즉시 조치  
법 개정 없이 지금 가능하다

## 통합 실행 장치 — 「후단 관리계획서」 | 건설허가 신청 시 개념 수준으로 제출

발생      질량·부피·붕괴열·핵분열성 농도

저장      저장 경로, 최소 냉각기간, 용량 정합성

처분      처분 적합성 평가, 미확정 사항

방호·안전조치      SBD 반영 내용

폐기물 형태      직접처분 가능 여부, 조건화 계획

운반      예상 소요, 용기 인증 계획, 임계안전

재정      부담금 납부, 재정보증 수단

반출      부지 외 반출 계획과 기한

SMR 도입 찬반 어느 쪽에서도 반대하기 어렵다 — 추진한다면 병목을 미리 제거하고, 신중론이라면 실질적 안전장치가 된다.

# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.



원자력의 미래를 향한 새로운 10년·기념 워크숍



# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 원자력안전위원회 및 NRC 규제개선 동향

김균태

서울대학교 원자력정책센터 NEXFO 연구위원

2026년 9월 16일



# 발표 내용

## I 국내 원자력 안전규제 환경 동향

- 원안위 SMR 규제체계 구축 로드맵 — 배경·목표·전략, 추진과제
- 「원자로시설 부지의 위치제한에 관한 기준」 개정 — 선원항
- SMR 개발 촉진 및 지원에 관한 특별법(2026.9.11. 시행)

## II 미국 NRC 선진원자로 규제정책 동향

- NRC 선진원자로 규제정책 발전 경과, 10 CFR Part 53 — 구조·핵심개념·안전기준·심층방어, 관련 RG 개발 현황
- 10 CFR Part 57 — 마이크로원자로 전용 규정 제정배경, 선량·연료질량 진입기준, Subpart A~Q 구조
- Part 57 이행지침(SSC설계·사고분석 등 각 장 상세), 국내외 규제체계 격차 분석

## III 리스크와 원자력안전 규제

- 규제의 기본 원칙 — Framework for the Tolerability of Risk

## IV NRC 규제동향 분석 — AI 협업

- 목적 및 배경, 파이프라인 구조(수집→분류→요약→문서화), 주간 보고서 작업 절차
- 현재 산출물 — 선진원자로 개발현황표·E014300 이행과제 종합현황 및 상세 사례

## V 요약 및 시사점

- 국내 규제체계 동향·미국 NRC 규제동향 종합, 향후 전망

# 원안위 SMR 규제체계 구축 로드맵 – 배경·목표·전략

## 배경 및 필요성

- 전 세계적 SMR 개발 경쟁 가속화
- i-SMR 등 국내 다수 SMR 사업 '30년대 인허가 목표
- 현행 규제체계: 대형 경수로 기반 → 새로운 노형 적용 한계
- 근거: 원안위 제2026-2회 보고안건 (2026.2.12.) [1]

## 추진 목표 (2030년까지)

- ◇ 다양한 목적·설계를 포괄하는 인허가 체계 구축
- ◇ 고유 설계특성에 따른 안전성능 요건 적용·입증 방식 마련

## 기본 전략

- i-SMR 사전설계검토 경험·교훈 적용
- 국제 기준·규제 수준 부합 – 신뢰성 확보
- 소통·협업을 통한 혁신기술 대응 규제-설계 병행 개발

## 규제체계 개선 방향

| 구 분    | 현 행                  | 개선안 (~2030)                  |
|--------|----------------------|------------------------------|
| 인허가 대상 | 발전·연구·교육용, 경(중)수형    | 선박·열공급·수소생산용 등 + 비경수형 노형 포괄  |
| 규제기준   | 단일 대형 경수로 기반 기술기준 규칙 | SMR 기술기준 규칙 신설 (고유 설계특성별 허용) |
| 안전성 입증 | 단일 기준 부합 여부 입증       | 고유 기술기준 적합성 입증 (위험도정보 성과기반)  |

[1] 원자력안전위원회 제2026-2회 보고안건 제1호, "소형모듈원자로(SMR) 규제체계 구축 로드맵(안)," 2026.2.12.

## 로드맵 추진과제

### 과제 1

#### SMR 규제체계의 단계적 구축

- 1-1-1 법령 개편: 설계·운영 특성별 의무 해소 허용 (원자력안전법 개정, ~'28)
- 1-1-2 원자로 활용 범주 개편 — 다양한 목적의 원자로 규제를 마련 ('28)
- 1-2-1 「SMR 기술기준에 관한 규칙」 제정 — 성과중심·대체 적용 허용 (~'28)
- 1-2-2 RIPBR 방식 적용 기반 확충 ('26~)
- 1-2-3 정량적 단일기준 → 기준 세분화 또는 성과기반 개선 (EPZ·방사선원향 등, '25~)
- 1-3 안전·안보·안전조치(3S) 통합 안전성 확인체계 구축 ('27~)

### 과제 2

#### SMR 안전성 평가체계 구축

- 2-1 신규 노형 사전검토 제도 도입: 법적 근거 마련 및 세부기준 개발 (~'26) [2]
- 2-2 특정기술주제보고서(TR) 실효성 제고: 승인 대상 확대, 인허가 연계성 명확화 (~'27)
- 2-3 규제-설계 병행 개발: 노형별(SFR·MSR·HTGR) 이해관계자 참여 규제연구반 운영 ('26~)

i-SMR 대비 규제 개선 → 비경수형 선진원자로 규제 개선

[2] 원자력안전법 제100조의2(원자로 등의 설계에 대한 사전검토), 2026.5.19. 신설.

## 「원자로시설 부지의 위치제한에 관한 기준」제정

---

- 「원자로시설 부지의 위치제한에 관한 기준」(원자력안전위원회고시 제2026-7호)[3]
  - 2025. 9. 25. 제222회 원자력안전위원회에서 의결, 2026. 1. 20. 제정됨.
  - (제정 이유)현 위치고시는 미국 규정을 단순히 따르고 있어 구체적인 내용·범위 등에 대한 해석상 불명확성 해소, 최신 과학기술수준 및 국내 규제경험을 반영한 국내 안전기준 마련이 필요.
  - 심의 과정에서 이 고시를 소형모듈원자로에도 적용할 수 있음을 확인.
- 선원향과 관련하여 제5조제3항은 누출 분율과 누출 시간을 정하는 방법을 규정.

### 제1호 — 제시된 값을 그대로 쓰는 경로

- 68 GWd/MTU 이하의  $UO_2$  + 지르코늄 합금 피복 핵연료를 쓰는 가압경수로형 원자로의 대형냉각재상실사고에 대하여 [별표 1]의 값을 적용.
- 적용 대상이 조문 본문에 규정됨.

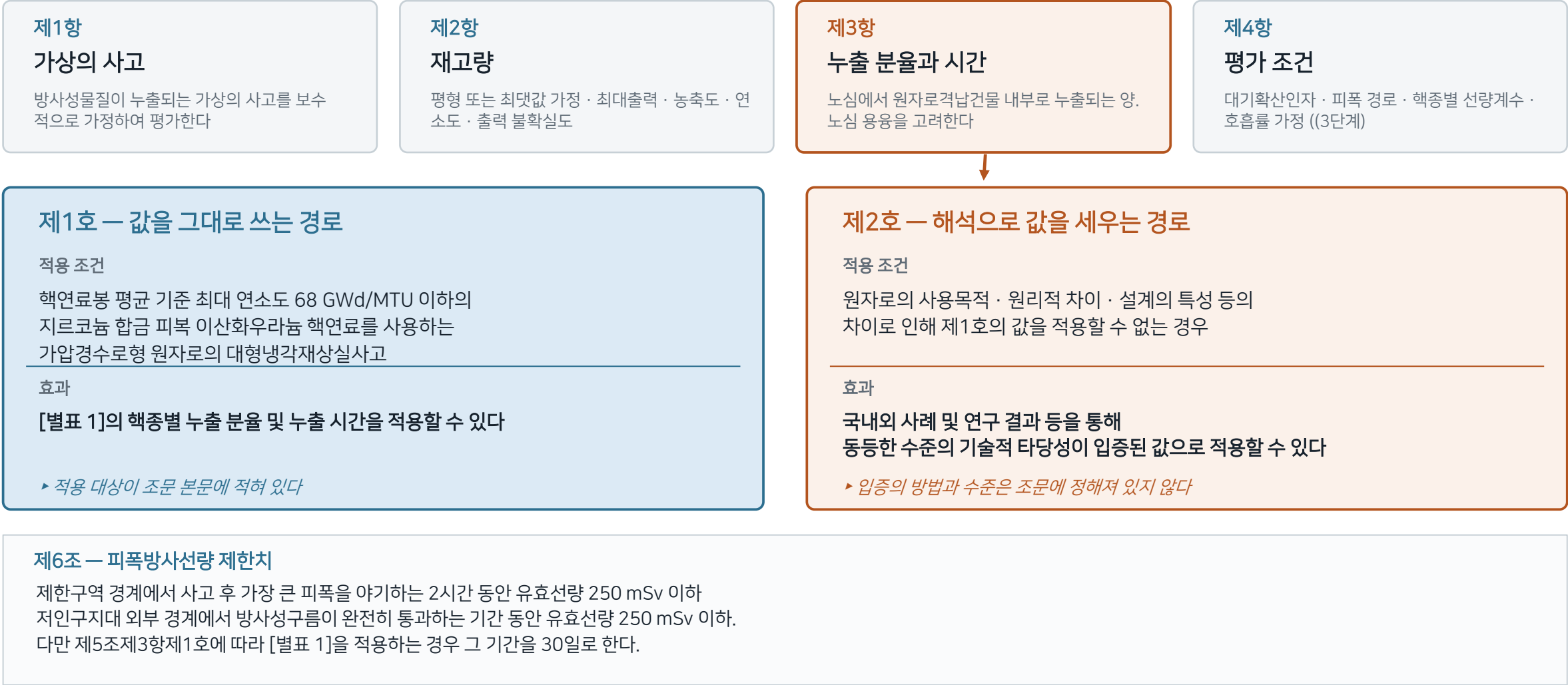
### 제2호 — 해석으로 값을 세우는 경로

- 제1호의 값을 적용할 수 없는 경우 「국내외 사례 및 연구 결과 등을 통해 동등한 수준의 기술적 타당성이 입증된 값」으로 적용할 수 있도록 규정.
- 입증의 방법과 수준은 조문에 정해져 있지 않음.

---

[3] 원자력안전위원회고시 제2026-7호 제5조 · 제6조 및 [별표 1] · [별표 2].

# 고시 제2026-7호 제5조의 구조와 제3항이 여는 두 경로



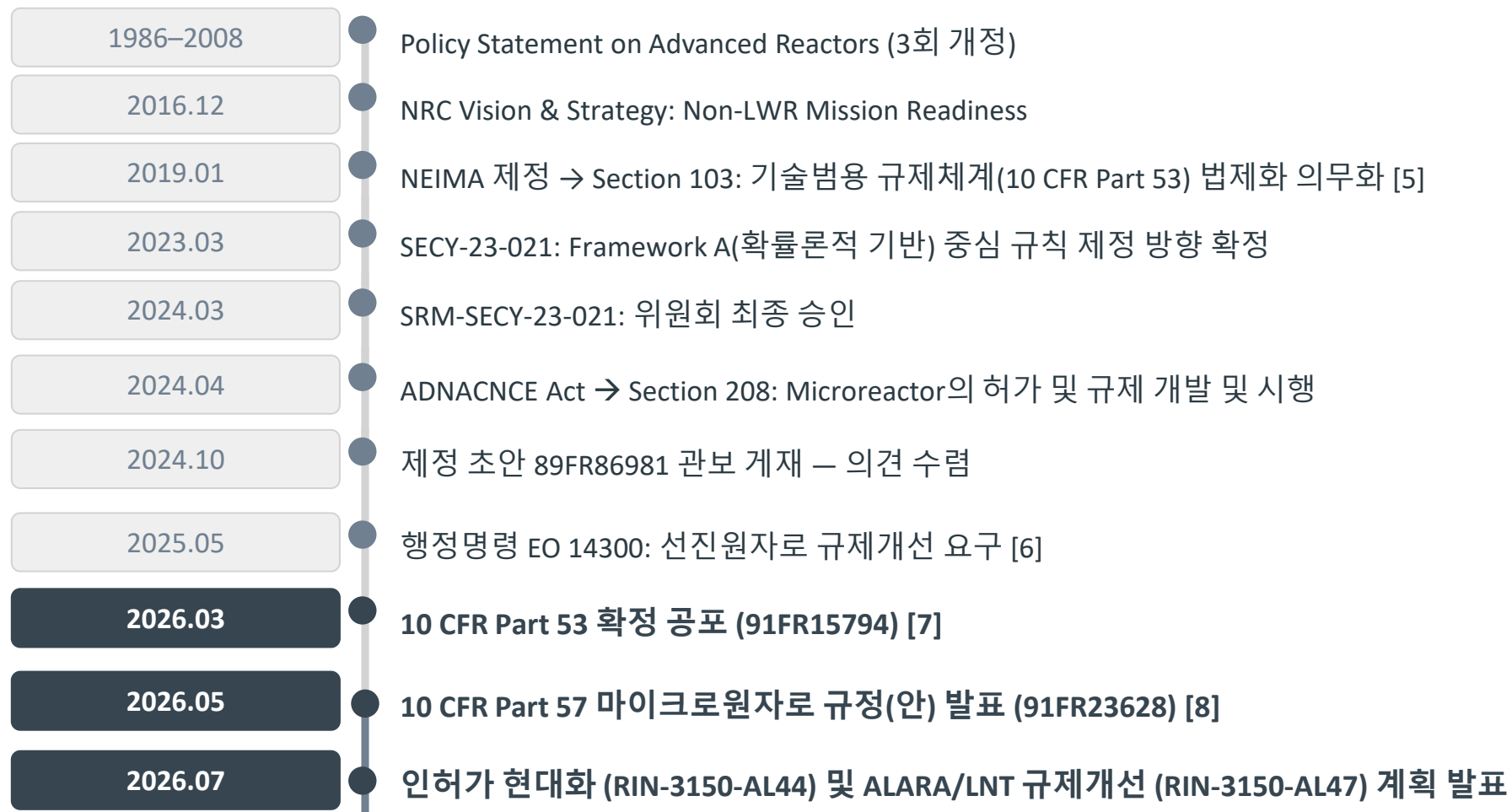
# SMR 개발 촉진 및 지원에 관한 특별법

법률 제21422호 | 제정 2026.3.10. | 시행 2026.9.11. [4]

| 조항           | 주요 내용                                                              |
|--------------|--------------------------------------------------------------------|
| SMR 정의 (제2조) | 모듈당 발전설비용량 300 MWe 이하 또는 열출력 1,000 MW 이하인 원자로 (대통령령으로 정하는 특성 갖춘 것) |
| 국가 책무 (제3조)  | 연구·개발·실증 촉진·지원 시책 수립·시행, 관련 제도 정비, 재원의 지속적·안정적 확충                  |
| 기본계획 (제5조)   | 5년 단위 수립: 소요자원·자원조달, 핵연료 공급망 체계, 국민 수용성 확보, 인력양성, 국제협력, 제도개선 등     |
| 제도개선 (제9조)   | 과기정통부 장관이 관계 기관에 협조 요청 및 제도개선 권고 가능<br>※ 제작허가 제도 도입 건의 경로로 활용      |
| 실증 지원 (제11조) | 부지·기반시설·건설·운영 및 필요 비용 등 실증 전반 지원                                   |
| 민간협력 (제12조)  | 민간기업·공공기관 등이 공동 출자하는 회사 설립 지원                                      |
| 특구 지정 (제13조) | SMR 연구개발 특구 지정 — 대학·연구소·기업이 집적·연계된 지역 우선                           |

[4] 소형모듈원자로 개발 촉진 및 지원에 관한 특별법, [시행 2026. 9. 11.][법률 제21422호, 2026. 3. 10., 제정]

## 미국 NRC 선진원자로 규제정책 발전 경과



[5] US Public Law No 115-439 "NEIMA," 2019.1.14. [6] Executive Order 14300, 2025.5.23. [7] 10 CFR Part 53, 91FR15794, 2026.3.30. [8] 10 CFR Part 57 (Proposed Rule), 91FR23628, 2026.5.1.

# 10 CFR Part 53 — 구조 및 핵심 개념

Risk-Informed, Technology-Inclusive Regulatory Framework for Commercial Nuclear Plants | 91FR15794, 2026.3.30.

## ■ Subpart 구조

| Subpart | 제목                              | 주요 내용                   |
|---------|---------------------------------|-------------------------|
| A       | General Provisions              | 적용 범위, LBE·안전기준 등 핵심 정의 |
| B       | Tech-Inclusive Safety Req.      | LBE/DBA 안전기준, 심층방어 요건   |
| C       | Design & Analysis Req.          | FDC, PRA, SSC 안전등급 분류   |
| D~G     | Siting / Const. / Op. / Decomm. | 부지·건설·운영·해체 단계별 요건      |
| H       | Licenses & Approvals            | 인허가·인증·승인 절차            |
| I~M     | Admin / Reporting / Enforcement | 행정·보고·집행 요건             |

## ■ LBE 인허가 기반 사건 — 4단계 분류



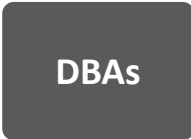
**예상사건**  
Anticipated Events | 발생 예상



**불가능에 가까운 사건**  
Unlikely Events | 낮은 빈도



**매우 불가능한 사건**  
Very Unlikely Events | 극히 낮은 빈도



**설계기준사고**  
Design Basis Accidents | 극단적 가정

※ 기존 Part 50 대비 핵심 차이: 발생빈도 기반 LBE 분류 체계 도입 → SSC 등급 분류 및 안전기준 연계

## Part 53 — 안전기준·심층방어·분석 요건

### 안전기준

- DBA (§53.210): 제한구역 경계 2시간 250 mSv
- 기타 LBE (§53.220): 심층방어 수단 확보, 위험도 성능목표 충족

### 안전기능 (§53.230)

- 1차 안전기능: 방사성 물질 방출 제한
- 추가 안전기능: 반응도 제어·열제거·화학반응 등

### 심층방어 (§53.250)

- 2개 이상 독립·중복 방어 계층 의무화
- 접근 통제, 물리적 방벽, 중복성·다양성 안전기능, 비상대응 조치

### 기능설계기준 (FDC)

- SSC 성능 지표 명시
- SR SSC → §53.210 안전기준 충족 입증
- NSRSS SSC → §53.220 안전기준 충족 입증

### 리스크 평가 (§53.450) — 핵심 의무 사항

PRA and/or SRE— 다음 목적에 활용:

1. LBE 선정
2. SSC 등급 분류
3. 심층방어 적절성 평가
4. 방사성 물질 방출 가능성 확인

※ PRA 또는 SRE(Systematic Risk Evaluation) 적용

- 정량적평가 외에 정성적 방법(FMEA 등)도 활용 가능 → RG 1.254 (Draft DG-1413) [13] 참조

- 주요 개념

- 53.020 Definitions.

- Licensing-basis events (LBEs) :

- Anticipated Events (AEs), Unlikely Events (UEs), Very Unlikely Events (VUEs),
      - Design basis accident (DBAs)

- **Safety criteria** means performance based metrics that establish a level of safety provided in requirements in §§ 53.210 and 53.220.

- **Defense in depth** means

- inclusion of **two or more independent and redundant layers of defense** in the design of a facility and its operating procedures to compensate for uncertainties such that no single layer of defense, no matter how robust, is exclusively relied upon.
      - Defense in depth includes, but is not limited to, **the use of access controls, physical barriers, redundant and diverse safety functions, and emergency response measures.**

- **Functional design criteria** means metrics for the performance of SSCs.

- **For SR SSCs**, these criteria define performance metrics necessary to demonstrate **compliance with the safety criteria in § 53.210.**
      - **For NSRSS SSCs**, these criteria define performance metrics necessary to demonstrate **compliance with the safety criteria in § 53.220.**

- 주요 개념

- Subpart B : Technology-Inclusive Safety Requirements.

- Safety Criteria : 53.210 및 53.220 요건에 따른 성능 지표

- (53.210) DBA : 제한구역 경계에서 2시간 동안 250mSv

- (53.220) LBE : 심층방어 수단 확보, 위험도 성능목표를 충족하는 포괄적 위험도 지표

- Safety Function (53.230)

- 1차 안전기능 : 정상운전 및 LBE에 대해 방사성 물질의 방출 제한

- 추가 안전기능 : 반응도 제어, 열생성 및 제거, 화학반응 등 방사성 물질 Retention을 위해 필요한 기능 (각 상업용 원자로시설별로 설정)

- 53.210 및 53.220을 충족하거나 53.470에 따른 더 제한적인 대안기준 충족

- LBEs (53.240)

- LBE 도출 및 평가 (53.450) : 안전요건 만족함을 입증

- SSC 오동작, 인적 실수, 내부 재해, 외부 재해의 영향 등의 조합을 해결

- Defense in depth (53.250)

- 안전 기준의 분석에서 불확실성을 보상하기 위해 심층방어 수단을 갖출 것

- DBA이외의 LBE에 대해서는 단일 방어에 의존하지 말 것

- 특정 방사선 영향 (53.260 및 53.270) : 정상운전 및 작업자 피폭 (10CFR20)

- 주요 개념

- Subpart C : Design and Analysis Requirements.
  - LBE를 위한 설비 (Design Features) (53.400)
    - 안전기준 (53.210, 53.220, 53.470 등)을 충족할 것
    - LBE 동안 안전기능(53.230)을 확보할 것
  - DBA에 대한 기능설계기준 (FDC; Functional Design Criteria) (53.410)
    - 53.400에 따른 DF에 대해 FDC를 정의하고, 안전기준 (53.210)을 충족함을 보일 것.
    - SSC의 성능 및 신뢰도를 확보 및 유지할 것(인적 조치 및 계획적 통제 등)
  - 외부재해 방지 (53.415)
    - SR SSC는 외부재해로부터 보호되거나 견딜 수 있을 것.
  - DBA외의 LBE에 대한 기능설계기준 (53.420)
    - 53.400에 따른 DF에 대해 FDC를 정의할 것.
    - 안전기준 충족 : 53.220, 53.450(e) 평가기준, 53.470 대체 안전기준 등
- 정상운전 및 작업자 방호 설비 및 기능설계기준 (53.425 및 53.430)

- 주요 개념

- Subpart C : Design and Analysis Requirements.

- 설계 요건 (53.440)

- 해석, 시험, 산업표준 등 SR 및 NSRSS SSC의 설계에 적용되는 요건을 기술 (14항)

- (예) (j) 대형항공기 충돌시, 하나 이상의 방벽을 유지하기 위한 DF 및 FDC를 정의

- 분석 요건 (53.450)

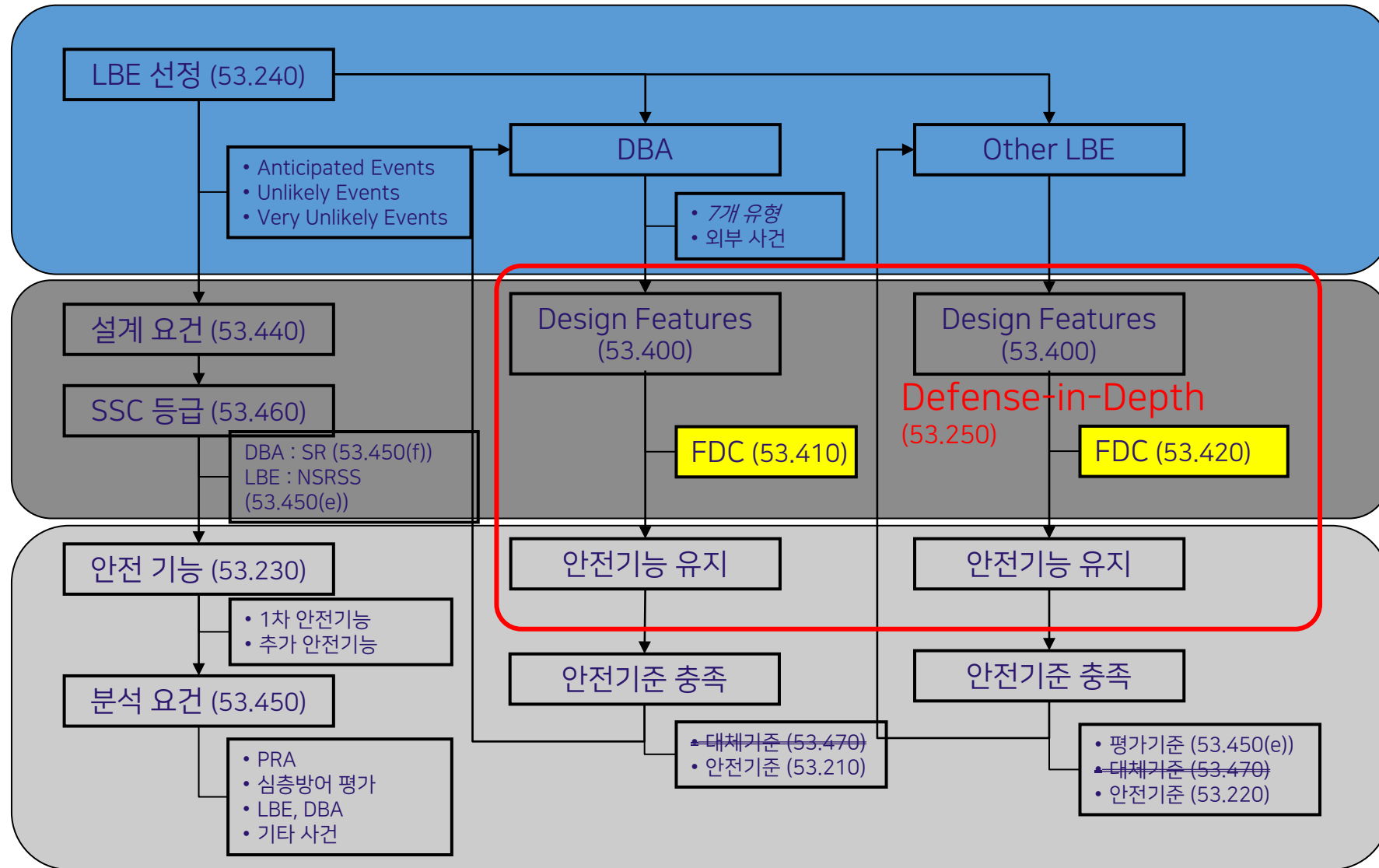
- PRA 또는 SRE 수행 : 안전기능에 영향을 줄 고장 등을 확인하기 위해 분석을 수행
      - PRA은 다른 체계적 방법과 함께 활용 : LBE 선정, SSC 등급 분류, 심층방어 수단의 적절성, 방사성 물질의 방출 가능성 확인 등
      - 분석결과와 유지 관리
      - 해석 코드
      - DBA외 LBE : LBE 선정 및 분류, 평가기준 설정 등
      - DBA : 결정론적 방법 (기존과 유사), SR SSC만 사용, 보수적 방법, 53.210 안전기준 등
      - 기타 : 화재, 항공기 충돌 등

- 안전등급 분류 및 특별 취급 (53.460)

- SSC의 안전중요도에 따라 분류 : SR, NSRSS, NSS 등
      - SR 및 NSRSS SSC : 안전기능 수행조건 확인과 특별 취급(품질보증 등)
      - (LBE 예방/완화에 필요한 인적 조치 확인 및 수행

- 운전 유연성을 위한 안전여유도 (53.470) : 대체 안전기준 설정

# Scheme of 10CFR53



## Part 53 관련 규제지침(RG) 개발 현황

RG 1.232 (Rev.1)

발효

### 비경수로 주요 설계기준(PDC) 개발 지침

기존 55개 GDC(10 CFR Part 50 Appendix A) 대응 PDC 개발 방법론 [9]

- SFR의 경우 나트륨 가열계통 등 10개 추가 기준 예시 제시

Draft RG 1.254  
(DG-1413)

초안

### 기술범용 인허가 사건(Licensing Events) 식별 지침

LBE 및 DBA 선정을 위한 정량적·정성적 방법론 지침 [13]

- PRA (Probabilistic Risk Assessment)
- SRE (Systematic Risk Evaluation)
  - FMEA 등 정성적 평가방법론도 허용

RG 1.253

발효

### Part 53 인허가 신청서 내용 지침

NEI 21-07 Rev.0 [12] 기반 — LBE 선정, SSC 등급 분류, 안전분석 보고서 작성 방법

- 비경수로 신청자의 SAR 작성 표준 참조 문서 [11]

Draft RG 1.255  
(DG-1414)

초안

### 위험도정보 활용 대안평가(AERI) 지침

외부 피폭선량 10 mSv 이하 시 AERI 방법론 적용 가능 [14]

- Part 57 MMR에도 직접 연계 적용

# "우리도 만들고 있습니까?"

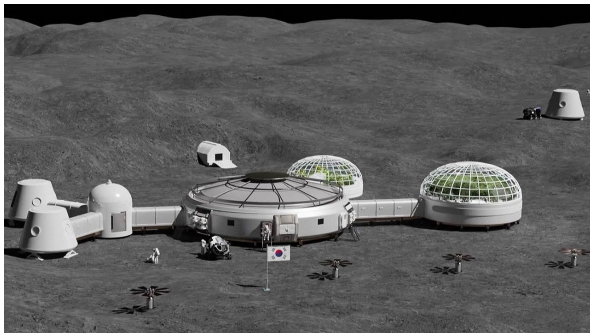
초소형모듈원자로(MMR) | 2026.06.02 국무회의 발언 → 과기정통부 현황 조사 → 추진전략 연구착수

## 발언 경위 — 2026.06.02 국무회의

- 이 대통령** 원자력안전위원회 업무보고 중 최원호 위원장에게 "MMR 개발 상황·관리 체계는 어떨냐" 질문
- 최원호 위원장** "현재 특별히 개발 중인 것은 없고, 한국원자력연구원이 기초연구 수행 중"
- 이 대통령** "군사·장비 분야에 필요 — MMR 개발 계획이 있느냐" 재차 질문
- 배경훈 부총리** "한국원자력연구원에서 연구하는 것으로 알고 있다. 확인해 보겠다"

## 한국 MMR 개발 현황 — 아직 초기 단계

- **한국원자력연구원** 2019년 설계기술 개발 착수. 2023년 달기지용 히트파이프 원자로 설계기술·기기 개발 진행 (창의형융합연구사업)
- **정부 계획** 과기정통부 : 2026년도 하반기 '산업 분야별 민간 수요 기반 MMR 개발목표 및 추진전략 수립 연구' 포함 (26.6.17.)



## MMR (Micro Modular Reactor) — 초소형모듈원자로 개요

**20~30 MWe**

1기 발전 용량  
(SMR의 약 1/10)

**수 톤**

본체 중량  
트럭·선박 수송 가능

**10년 이상**

연료 교체 없이  
연속 발전 가능

## 주요 활용 분야 — 대통령 발언 핵심

**군사**

군 요충지·전방 기지 독립 전원  
대통령 직접 언급 — "군사·장비 분야에 필요"

**우주**

달기지·우주기지 전원 공급  
미국 2030년 달 원자로 계획 연계

**극지**

북극·사막 등 인프라 없는 오지  
독립 전원·열 공급 동시 가능

**산업**

소형 데이터센터·AI 인프라 전원  
SMR 보다 빠른 설치·낮은 비용

## 시사점

- 기초연구 단계인 MMR을 대통령이 직접 의제화.
- 과기정통부·원안위 현황 점검 후 독자 개발 여부 결정 예상.
- 미국과의 우주·국방 협력 연계 시 히트파이프 원자로 기술이 핵심 협상 카드로 부상 가능.

## 10 CFR Part 57 — 제정 배경·적용 기준·6대 설계기준 속성

91FR23628 | 제안규정 2026.5.1. | 의견수렴 마감 2026.6.15. | 최종 게재 목표 2026.11.23. [15]

### 제정 배경

현행 Part 50/52/53은 표준화된 마이크로원자로의 대량·신속 배치에 부적합  
→ 설계 표준화를 최대 활용, 복수 인허가 경로 지원하는 간소화된 규제 구조 수립 [16][17]

### 진입기준 §57.25 — 두 가지 조건 동시 충족

선량  
§57.25(a)

**MHA/MCA 방법론** — 비제한 지역 개인의 사고 전 기간 TEDE  $\leq 1$  rem (10 mSv)

연료  
§57.25(b)

원자로당 토륨·우라늄·플루토늄 총 재고량  $\leq 10$  톤 (결정론적 기준)

### ■ §57.30 설계기준 속성 (6대 속성)

(a)

#### 반응도 제어

출력 제어, 즉시 정지, 음의 반응도 피드백

(b)

#### 열 제거

고신뢰 수동 붕괴열 제거 — 능동 냉각계통 불요

(c)

#### 핵분열생성물 격납

방사성 핵종 방출 제한 경계 보호 (연료/1차계통 경계 가능)

(d)

#### 차폐

운전·정지·운송 중 방사선 차폐 건전성 유지

(e)

#### 방사성 유출물 제어

환경 방사성 물질 제어·모니터링·방출 (10 CFR Part 20)

(f)

#### Security by Design

안전·보안 설계 내재화 — 운전원 상주 불필요 시 핵심

[15] 10 CFR Part 57 (Proposed Rule), 91FR23628, 2026.5.1. [16] ADVANCE Act (Public Law 118-67), 2024.7.9. [17] SRM-SECY-98-144, 1999.3.1.

## § 57.25(a) 선량 기반 진입기준

---

- 사고 조건에서 10 CFR 50.34(a)(1)(i)에 근거한 **1 rem TEDE 선량 기반 진입기준**
  - ✓ 10 CFR 50.34(a)(1)(i) 후단에 Part 100의 적용을 받지 않는 원자로의 경우 1 rem TEDE를 적용하도록 규정
    - 가상 사고 분석 및 안전 조치 개발의 기준으로 활용
    - **사고가 발생하더라도 일반인 어느 개인에게도 급성 방사선 피해가 발생하지 않는다는 합리적 보장**을 제공
- 신청자는 최대 가상 사고(MHA) 또는 최대 신뢰 사고(MCA) 방법론을 사용하여 원자로 설계가 § 57.25(a)의 1 rem TEDE 선량 기반 진입기준을 충족함을 입증해야 함.

MHA (Maximum Hypothetical Accident) : 확률과 무관하게 가정할 수 있는 최대의 사고

MCA (Maximum Credible Accident) : 물리적으로 가능한 최대의 사고

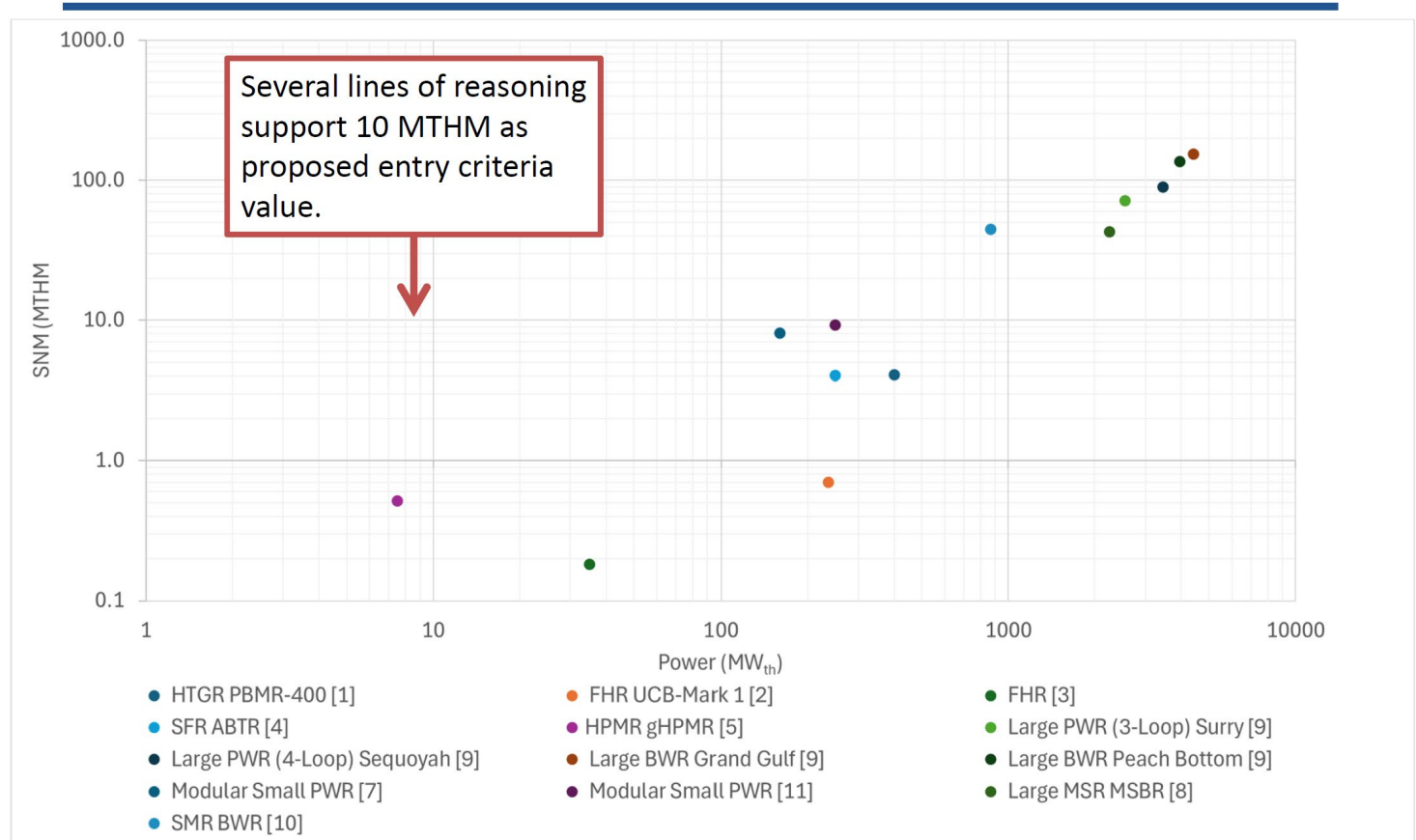
- 근거
  - NRC는 수십 년에 걸친 광범위한 적용 경험과 방사선 결과 분석에 적용된 보수성을 인정하여,
  - 선량 기반 수용기준의 부지 선정 및 설계 목적 사용이 적절함을 확인.
- 목적
  - 부지 특성화 및 완화형 안전 관련 ssc 규모 산정.

# 연료 질량 한도 (10 MTHM 근거)

- 10 MTHM이 진입기준 값으로 적절함을 뒷받침하는 논거
  - 출력(MW<sub>th</sub>) 대비 SNM(MTHM) 분포 분석에서 마이크로원자로 설계들이 10 MTHM 이하에 분포함을 확인
- 참조 원자로 설계:
  - HTGR PBMR-400 / SFR ABTR / FHR
  - FHR UCB-Mark 1 / HPMR gHPMR
  - 대형 PWR (Sequoyah, Surry)
  - 대형 BWR (Grand Gulf, Peach Bottom)
  - Modular Small PWR / SMR BWR
  - 대형 MSR MSBR 등

→ 마이크로원자로 설계는 대형 원자로에 비해 SNM 재고량이 현저히 낮으며, 10 MTHM 한도는 이러한 설계를 효과적으로 구분하는 기준이 됨

Fuel Mass Limit



# Subpart D — 제작허가

---

- § 57.145 ~ § 57.197 (12개 조항)
  - § 57.145 Scope.
  - § 57.150 Contents of applications for manufacturing licenses; general information.
  - § 57.155 Contents of applications; technical information in final safety analysis report.
  - § 57.160 Contents of applications; additional information.
  - § 57.165 Standards for review of applications.
  - § 57.170 Administrative review of applications; hearings.
  - § 57.172 Issuance of manufacturing license.
  - § 57.175 Finality of manufacturing licenses; information requests.
  - § 57.180 Duration of manufacturing license.
  - § 57.185 Transfer of manufacturing license.
  - § 57.190 Renewal of manufacturing licenses.
  - § 57.197 Manufacturing.

## Subpart D — 제작허가

---

- **제작허가(ML)**
  - 원자로의 제작 및 소유를 허가
  - CP와 OL에 대한 통합 신청에서 참조할 수 있도록 설계에 확정성을 부여.
    - 제작된 원자로의 최종 설계 정보와 제작 공정·조직·관리·검사에 관한 정보를 요구
    - 신청에 대한 청문회 기회 1회
    - 신청에 대한 ACRS 심사 1회
- **§ 57.160 신청서 내용; 추가 정보. 신청서는:**
  - 제작 공정, 조직, 관리 및 검사에 관한 정보를 반드시 포함해야 함
  - 표준 운전 프로그램을 포함할 수 있음
  - 핵연료 장전 및 임계 방지에 필요한 특성에 관한 정보를 포함할 수 있음
- **§ 57.197(d) 연료 장전.**
  - 제작허가 소지자는 Part 70에 따라 발급된 허가에 따라 제작된 원자로에 핵연료를 장전할 수 있음.
  - 단, 제작허가에 명시된 임계 방지 특성을 갖춘 경우에 한함.

# Subpart I — 운송 패키지 설계 인증

---

- § 57.319 ~ § 57.320 (2개 조항)
  - § 57.319 Purpose.
  - § 57.320 Applicability.
- 운송 패키지 인증을 위해 10 CFR Part 71("방사성 물질의 포장 및 운송")의 규정에 따름.
- 패키지 인증 평가 시 위원회가 승인한 위험정보 기반 접근법의 사용을 허용.
  - 예: SECY-24-0062, "미래 운반 가능 TRISO 기반 마이크로원자로 패키지 신청을 위한 위험도정보 방법론"
- 연료가 장전된 원자로 자체를 운송 패키지로 사용하는 조항을 포함.
- 연료가 장전된 원자로를 운송 패키지의 내용물로 사용하는 조항을 포함.
- 운송 중 임계 방지 특성이 갖추어져야함을 요구.

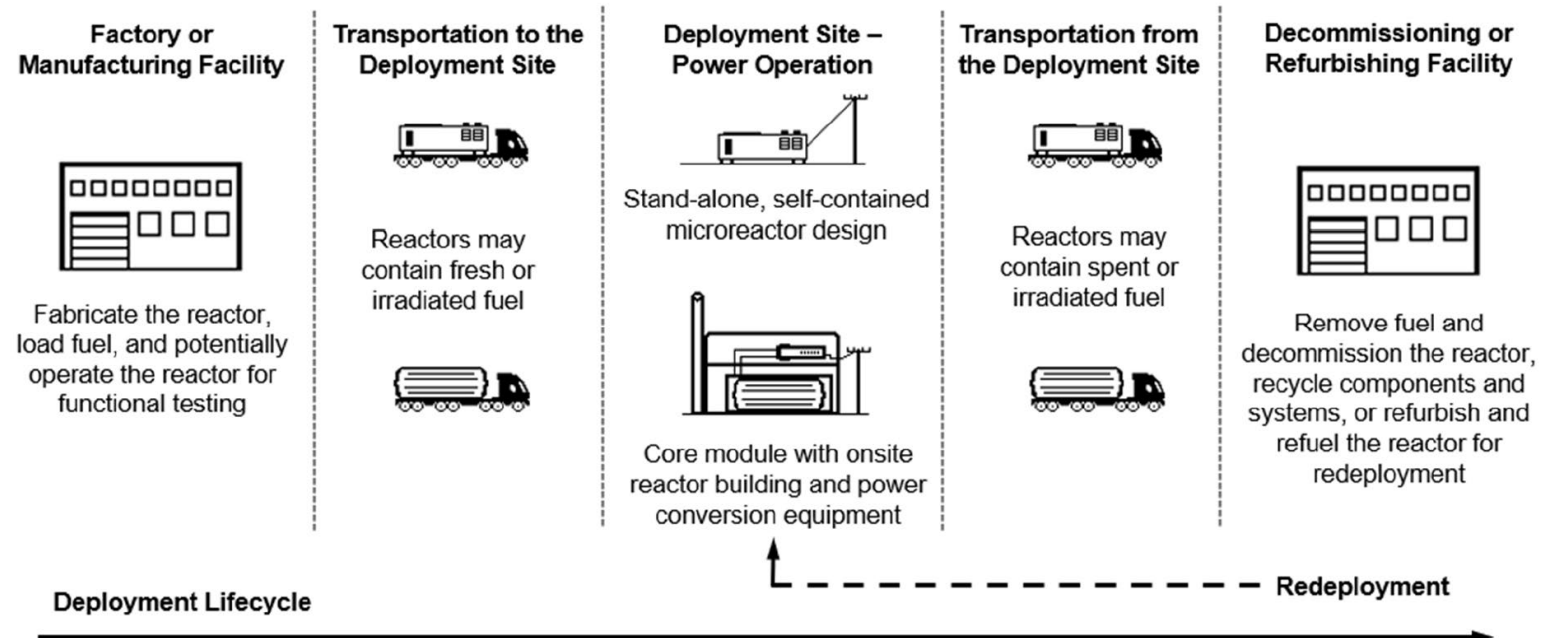
# Transportable 마이크로원자로의 개념적 배치 모델

- 공장 또는 제작 시설:
  - 원자로 제작, 연료 장전, 기능 시험
- 부지로의 운송
  - 신연료 또는 사용 연료 포함 가능
- 배치 부지에서의 운전
- 운전 종료후
  - 다른 배치 부지
  - 보관·집결 시설
  - 수명 말기 폐로 시설로 운송

## \* 이동형 마이크로원자로

- 둘 이상의 고정 위치에서 운전하도록 의도된 마이크로원자로.
- 이동 중 운전은 허가되지 않음.

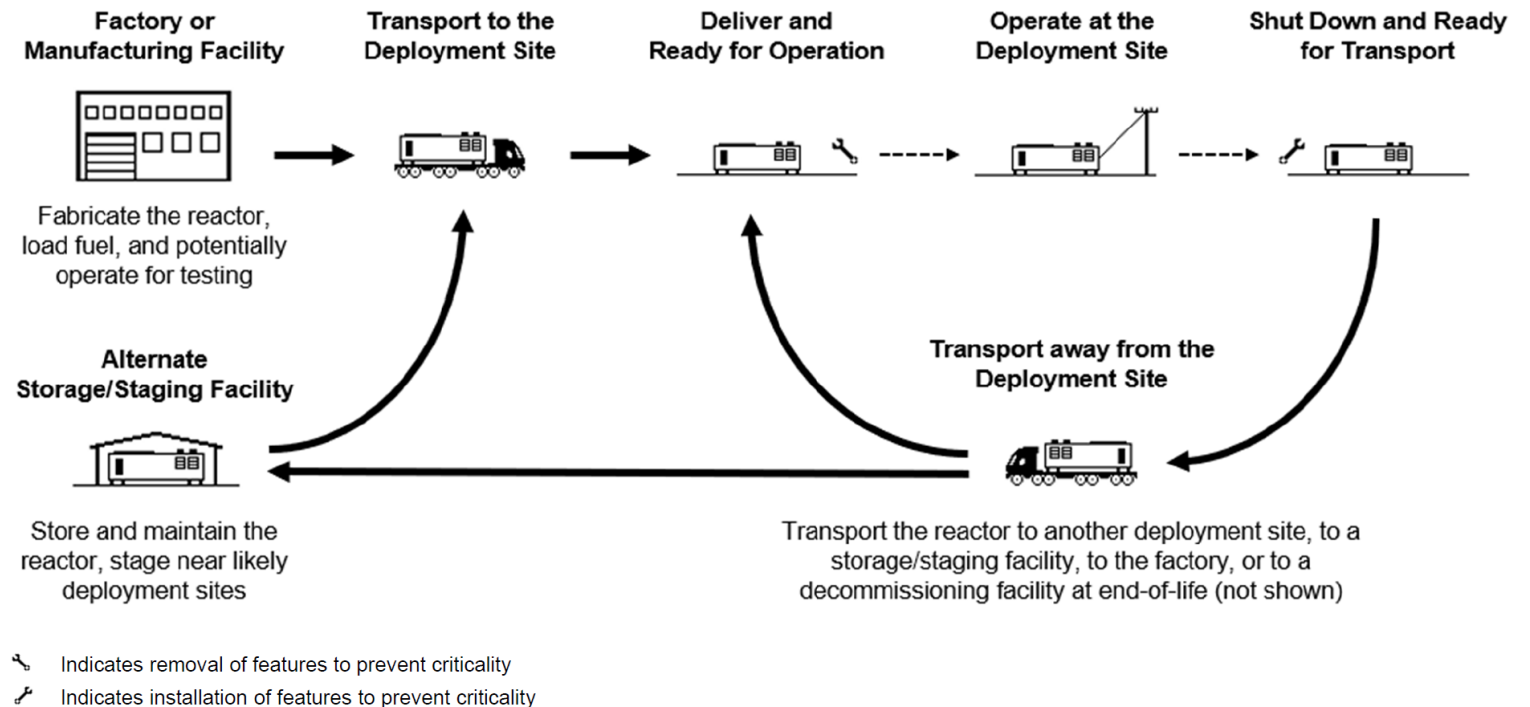
## Conceptual Deployment Model for Transportable Microreactors



# Mobile 마이크로원자로의 개념적 배치 모델

- 공장 또는 제작 시설:
  - 원자로 제작, 연료 충전, 기능 시험
- 배치 부지의 운송
  - 임계방지 장치 설치
- 인도 및 운전 준비
  - 임계방지 장치 제거
  - 배치 부지에서의 운전
- 운송 준비 완료 상태로 정지
  - 임계방지 장치 설치
- 운송
  - 다른 배치 부지,
  - 보관·집결 시설,
  - 공장, 또는
  - 수명 말기 폐로 시설로 운송

## Conceptual Deployment Model for Mobile Microreactors\*



\* A mobile microreactor would be a microreactor that is intended to be operated at more than one fixed location. Mobile microreactors would not be authorized to operate while in motion.

# Part 57 이행 지침

- 초안 NUREG-2271, "10 CFR Part 57에 따른 신청서 작성·심사 지침"
  - 상업 면허 발급을 위한 원자력법 제103조 요건 충족 지원
  - 기존 인허가 관행(비발전 생산·이용 시설) 및 지침(NUREG-1537)을 참고하여 작성
  - 신청자 지침과 심사 지침을 Part 57 제출물 개발·심사를 위한 단일 문서로 통합
  - DOE 승인 방법론과 일치하는 유연한 위험등급별 위험 분석 접근법 제공



NUREG-2271

## Guidelines for Preparing and Reviewing Applications Under 10 CFR Part 57

Draft Report for Comment

Office of Nuclear Reactor Regulation

# Part 57 이행 지침 (계속)

---

1. 시설 소개
2. 부지 특성화
- 3. SSC 설계**
4. 원자로 설명
5. 원자로 냉각재 및 냉각 시스템
6. 설계된 안전 특성
7. 계측 및 제어 시스템
8. 전력 시스템
9. 보조 시스템
10. 방사선 방호 및 폐기물 관리
11. 운전 수행 및 운전 프로그램
- 12. 사고 분석**
13. 기술사양서

14. 재정 자격
  15. 폐로 및 소유 전용 면허
  16. 환경 심사
  17. Part 57 인허가 경로
  18. 운전원 인허가 및 인적 요소 공학
- 부록 A: 선진 원자력 발전소의 안전 관련 용어
- 부록 B: 결정론적 SSC 분류
- 부록 C: 선진 원자로 선원향 개발 지침**
- 부록 D: Part 57 시설 폐로 계획 형식
- 부록 E: 환경 발전소 및 부지 매개변수 포락선 값
- 부록 F: Part 57 신청을 위한 부지 특성화 위험등급별 접근법**

# Part 57 이행 지침 제12장 – 사고 분석



## 결과 중심 프레임워크:

- Part 57은 신청자가 제12장 사고 분석을 통해 인허가 근거를 수립하도록 요구함으로써,
- 특정 설계 특성을 규정하는 것이 아니라 안전 성능이 입증되도록 결과에 중점을 둔다.



## 위험등급별 체계적 위험 평가:

- 위험정보 기반 위험등급별 접근법을 채택하여, 분석의 깊이와 엄격성이 사고의 잠재적 결과에 비례하도록 한다.
- (위험 분석 → 설계 기준 사건 → 설계 기준 사고 → MHA 또는 MCA)



## 유연한 위험 분석 방법:

- 신청자가 설계 및 사업 사례에 가장 적합한 위험 분석 방법론을 선택 가능
- 규제 목표를 충족하면서 혁신이 가능 (10 CFR 57.60(a)(12) 선택 위험 분석 방법 기술 요구)

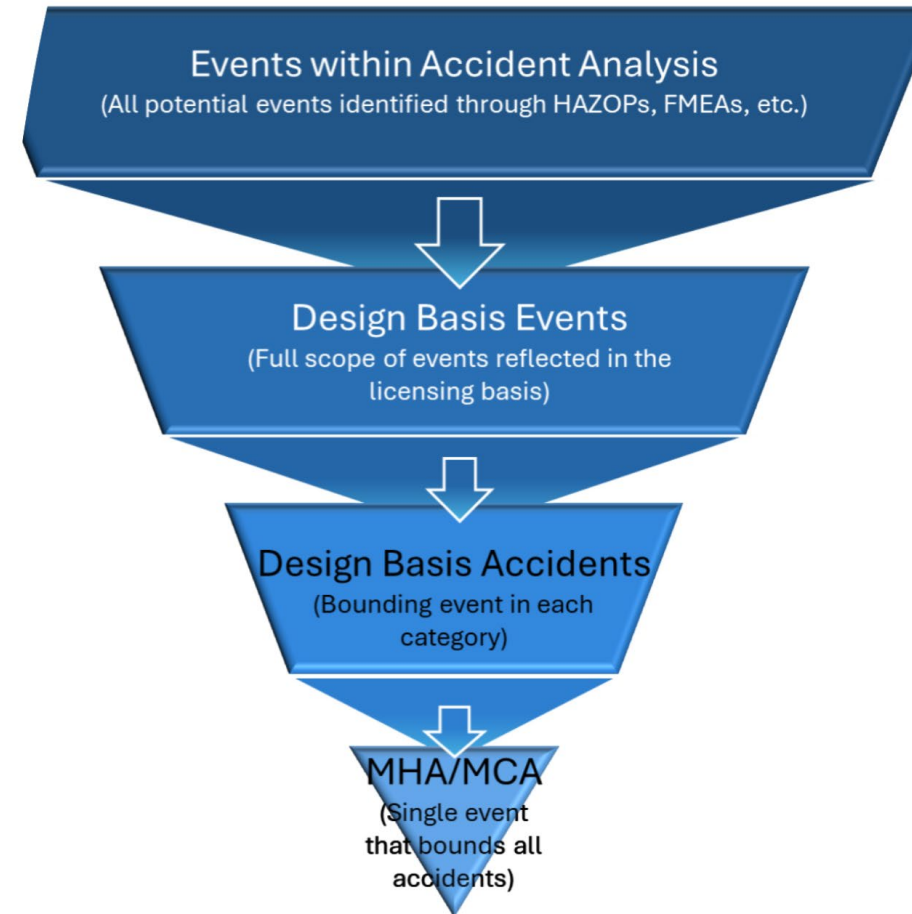


## 전통적 원자력 안전 프레임워크:

- 심층방어와 안전 여유도는 설계 기준 사고를 관리하고 안전 정지 조건을 달성하는 데 필요한 안전 관련 SSC에 초점을 맞춰 핵심 요소로 유지된다.

# Part 57 지침 제12장 – 사고 분석 (계속)

- 12.1 배경
- 12.2 사고해석 방법론
- 12.3 Credible DBE Categorization
- 12.4 설계기준 사고분석 및 결과
- 12.5 MHA 또는 MCA
- 12.6 심층방어 평가
- 12.7 요약 및 결론



From Figure 12-1 Relationship Between Event Groupings Within the Accident Analysis

# Part 57 지침 제12장 – 사고 분석 (계속)

## MHA 및 MCA

### 목적

- 원자로 또는 발전소의 부지 선정 및 부지 구역 경계 설정.

### 사고 선량 기준

- 신청자는 MHA 또는 MCA 방법론을 사용하여 원자로 설계가 10 mSv TEDE 이내 임을 입증해야 함

### 결과 분석 가정

- 노심 손상으로부터의 대규모 선원향, 최대 누설률, 불리한 기상 확산, 방호 없이 플룸 중심에 위치한 개인을 가정.

### 선원향 정의

- 57.3절에 따라, 핵종 구성, 물리적/화학적 형태, 방출시점, 재고량 분률 등 포함

## MHA 및 MCA 정의

- 가상의 최대 사고(MHA):
  - 확률에 관계없이 물리 법칙에 부합하는 심각한 방사성 물질 방출을 가정하는 매우 보수적인 가상 사고 시나리오.
  - 현실적 사건 순서를 반드시 반영하지 않으며 경계 사례를 나타냄.
  - 성능에 포함된 불확실도를 수용하는 경우에 유용
- 개연적 최대사고(MCA):
  - 개연성 있는 사고 조건 하에서 물리 법칙에 부합하는 가장 심각한 핵분열 생성물 방출을 가정.
  - MHA와 달리 과도하게 보수적인 가정에 의존하지 않음.
  - 시설 특정 안전 분석에 사용.

## Part 57 — 규정 구조·혁신 조항·기존 체계 비교

■ Subpart A~Q 핵심 구조

| Sub | 제목            | 핵심 내용                             |
|-----|---------------|-----------------------------------|
| B   | 자격 조건         | 진입기준(\$57.25)<br>+ 6대 설계기준 속성     |
| C   | 건설허가 및 운영허가   | CP+OL 통합 신청, 전단 집중 심사             |
| D   | 제작허가          | 공장 제작·연료 장전·기능 시험 허가              |
| E   | 표준 설계 승인(SDA) | 원자로 전체 또는 주요 부분의 표준 승인            |
| I   | 운송 패키지 설계 인증  | 연료 장전 원자로 = 운송 패키지,<br>임계 방지 의무   |
| J   | 물리적 보안        | Security by Design<br>— 간소화 보안 요건 |
| K   | 범주적 배제(NEPA)  | 최소 환경 영향 입증 시 EIS 면제              |
| P   | 운전원 인허가·인적 요소 | 일반면허 원자로 운전원(GLRO)<br>— 원격 복수 감독  |

■ Part 50 → Part 57 규제체계 진화

| 구분     | Part 50   | Part 53   | Part 57                |
|--------|-----------|-----------|------------------------|
| 대상     | 대형 LWR    | 모든 선진 원자로 | 마이크로·저위험 원자로           |
| 인허가    | CP+OL 2단계 | CP+OL 통합  | CP+OL+제작허가<br>+NOAK    |
| 심사 기간  | 5~10년+    | 2~4년 (예상) | 6~12개월 (목표)            |
| 방사선 기준 | 사고 25 rem | 사고 25 rem | 전 기간 1 rem             |
| 자율 운전  | 불허        | 부분 허용     | 명시적 허용<br>(GLRO)       |
| 제작 허가  | 없음        | 제한적       | 허용<br>Subpart D        |
| 운송 허가  | 없음        | 없음        | Subpart I<br>(원자로=패키지) |

# 국내외 규제체계 격차 분석

| 규제 영역            | 미국 (2026.05)                           | 국내 현황 및 격차                                                     |
|------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 기술범용<br>규제체계     | Part 53 발효(2026.04)<br>모든 비경수로 포괄      | 준비 중 (원안위 로드맵, ~'28~'30)<br>3~4년 격차                            |
| 마이크로원자로<br>전용 규제 | Part 57 제안(2026.04)<br>2026.11 최종 목표   | 관련 규정 전무<br>대통령 발언으로 검토 시작                                     |
| 제작 허가 제도         | Part 57 Subpart D<br>공장 제작·연료 장전·기능 시험 | 현행법상 제작허가 체계 부재<br>도입 필요 (SMR 특별법 제9조)                         |
| 자율·원격 운전         | Part 57 §57.60<br>명시적 허용, GLRO 제도      | 현행법상 허용 근거 없음                                                  |
| 이동형 원자로<br>운송    | Part 57 Subpart I<br>연료 장전 원자로 운송 허가   | 방사성 물질 운반 규정과 충돌<br>정비 필요                                      |
| 사전검토 제도          | 수십 년간 운영<br>다수 원자로 인허가에서 활용            | 법적 근거 마련 중 (원안위 로드맵 ~'26)<br>원자력안전법 §100조의2 신설(2026.5.19.) [2] |
| RIPBR            | Part 53 LBE 체계·PRA 중심<br>심사 본격 운영      | 기반 확충 추진 중 ('26~)<br>인허가 기반·문화의 차이                             |
| DOE-NRC<br>이중 경로 | RPP → NRC 상업화<br>연계 체계 확립              |                                                                |

[2] 원자력안전법 제100조의2, 2026.5.19. 신설. [7] 10 CFR Part 53, 2026.3.30. [8] 10 CFR Part 57 (Proposed Rule), 2026.5.1.

# 10 mSv를 문턱으로 삼는 조문과 그 효과

## 10 mSv의 의미

- 급성방사선증후군의 문턱(단시간 0.75 Gy)의 약 1/75
- 미국 보건물리학회가 정량적 위험 추정을 권고하는 하한(연간 50 mSv)보다 낮다
- EPA 방호조치지침이 최초 4일 이 값 미만에서 소개를 권고하지 않는다
- § 50.34(a)(1)(i) 각주 [2]는 비발전 생산·이용시설의 10 mSv 기준을 “is not a dose limit” 으로 적고, 그 기능을 “no acute radiation-related harm” 의 확인으로 적는다.

### § 50.33(g)(2)(i)(A) § 53.1109(g)(2)(i)(A)

#### 비상계획구역을 선량으로 정의

##### 조건

96시간에 걸쳐 10 mSv TEDE를 초과할 것으로 예측되고, 사전 결정된 즉각 방호조치가 필요한 영역이 비상계획구역이다

##### 효과

10마일 원칙 대신  
선량으로 비상계획구역을 정한다

### § 50.160(b)(1)(iv)(B)

#### 소외 계획활동의 발동 조건

##### 조건

“For a plume exposure pathway EPZ that extends beyond the site boundary”.  
10 mSv는 § 50.33(g)(2)(i)(A)를 경유한 간접 연결이다

##### 효과

비상계획구역이 부지경계를 넘지 않으면 소외 계획활동 9개 항목이 발동하지 않는다

### DG-1430 A-3.8 ② (초안)

#### 비상계획구역 미설정 판정

##### 조건

사고 스펙트럼의 모든 사건이 부지경계에서 10 mSv TEDE 미만

##### 효과

“then no EPZ is needed”

### 제안 § 57.25(a)

#### 규제체계 진입 자격

##### 조건

설계기준사고의 넓은 범위를 포괄하는 가정사고에 대하여 비제한구역의 어느 개인도 사고의 전 지속기간 동안 10 mSv TEDE를 초과하지 않을 것. (b)의 10 미터톤과 함께 걸린다

##### 효과

마이크로원자로용  
별도 인허가 경로

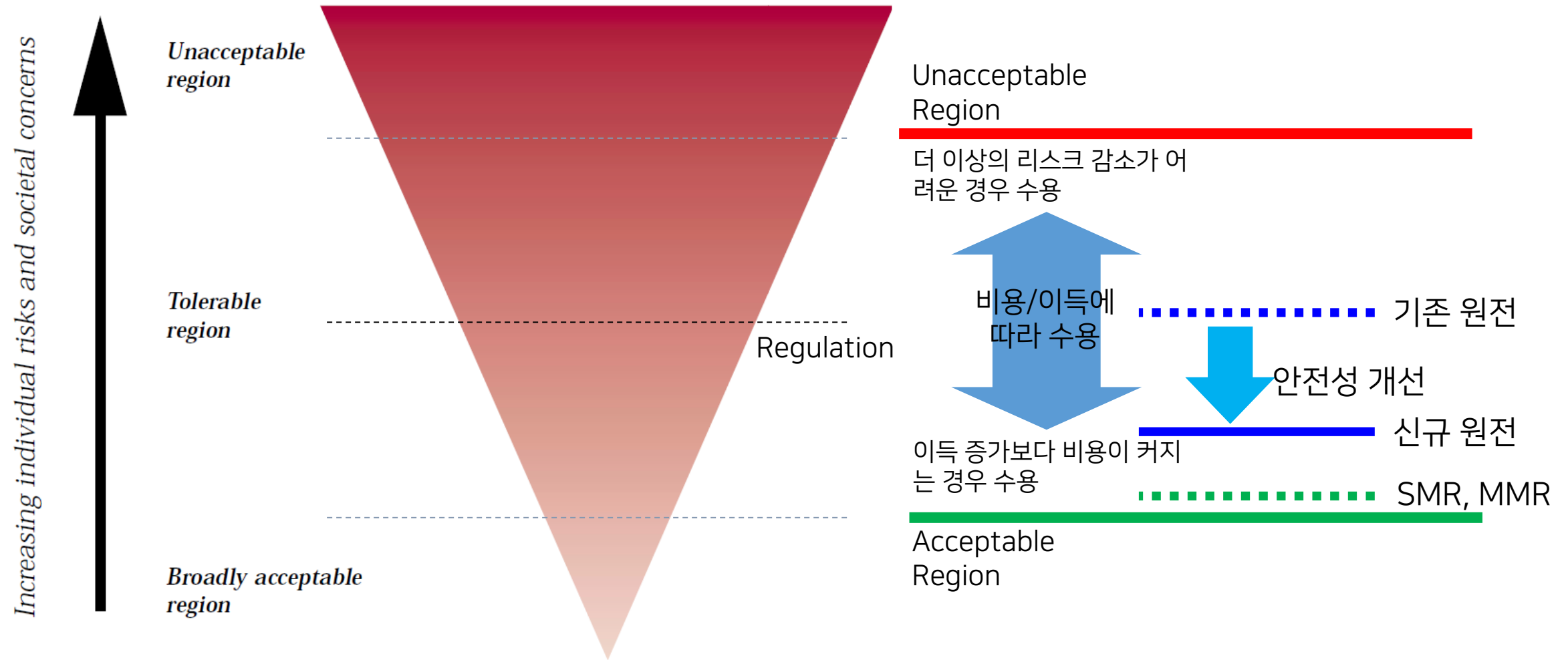
## 함께 두는 기준 — 250 mSv

부지 선량기준 250 mSv는 § 50.34(a)(1)(ii)(D) · § 53.210에서 값과 시간창이 유지되고, 제안 § 57.60(a)(8)(v)(A)(3)은 (D)(1)의 기준값을 사보타주 평가에 인용한다. 국내 고시 제6조의 250 mSv가 같은 값이다. 방호조치 불고려는 DG-1430 A-2(5)와 제안 Part 57 서문 두 문서가 각각 명시한다.

§ 50.160(b)(1)(iv)(B)의 조문 자체에는 10 mSv 수치가 없고, § 50.33(g)(2)(i)(A)의 판정을 경유한 간접 연결이다. § 53.1109(g)(2)(i)의 문언은 § 50.33(g)(2)(i)와 일치하며, (A)와 (B)는 「그리고」로 연결되어 선량 초과만으로 비상계획구역이 정해지지 않는다. 제안 § 57.25(b)의 10 미터톤 기준은 존치 여부가 확정되지 않았다.

확률론적안전성평가를 대신하는 경로에도 같은 문턱을 둔 제안이 있었다 — DG-1414(제안 RG 1.255, ML22272A045)는 위험통찰 대체평가(AERI)의 진입 조건으로 100 m 지점 최초 4일 10 mSv TEDE 이하를 든다. 발간일이 없는 초안이며, 근거 조문인 제안 Part 53 Framework B § 53.4730(a)(34)(ii)는 최종 Part 53(91 FR 15696)에 없다.

# 규제의 기본 원칙 : Framework for the Tolerability of Risk



# NRC 규제동향 분석 - 목적 및 배경

Claude(AI)를 실제 규제 업무에 어디까지 활용할 수 있는가

---

## 탐색 질문

- 데이터 수집부터 가공·분석·문서화까지, 실제 워크플로우를 AI와 함께 얼마나 자율적으로 운영할 수 있는가
- 결과물 하나가 아니라 매주 반복 운영 가능한 체계를 만들 수 있는가

## 시험 사례 — NRC/DOE 원자력 규제동향 모니터링

- 매주 수백 건씩 등록되는 문서 — 사람이 전량 검토하기 어려운 규모
- 단순 요약을 넘어 분류·추적·근거 확인까지 요구되는 다단계 작업
- 정확성이 곧 결과물의 가치 — 틀린 인용 하나가 보고서 전체의 신뢰를 무너뜨림

# NRC 규제동향 분석 - 파이프라인 구조

수집 → 분류 → 요약 → 문서화, 네 단계 자동화

---

1

## 수집

NRC ADAMS API(매주 500여 건) · DOE 5개 소스(RSS·크롤링·SEC EDGAR)

2

## 분류

topics\_v2.json 주제사전 + entity\_map.json 엔티티사전 + 도CKET번호 기반 태깅

3

## 요약

Claude API — ★3 등급 문서 한국어 3~5문장 요약 생성 → DB로 보관

4

## 문서화

docx-js / pptxgenjs — 주간보고서·백서·현황표 자동 생성

**매주 반복 실행** NRC\_Weekly\_Run\_v5.bat — 매주 실행하면 자료수집·요약·산출물 생성까지 자동 실행

# NRC 규제동향 분석 - 주간 보고서 작업 절차

작성 매뉴얼 v1.3 기준 — 0단계와 5단계는 이번 개정에서 명문화

---

- |   |           |                                                        |
|---|-----------|--------------------------------------------------------|
| 0 | 착수 전 확인   | STATUS.md(DB 반영범위·분류체계 버전·알려진 한계) · terms.md 최신본       |
| 1 | 로컬 자료 수집  | NRC_Weekly_Run_v5.bat → reportWReportData_YYMMDD.md 생성 |
| 2 | 핵심이슈 선정   | ★3 문서 중심 5개 안팎 · 별첨 필요 여부를 이 단계에서 함께 판단 (사용자 판단 개입)    |
| 3 | 작성 및 검증   | 본문 작성 → 인용 전건 원문 대조 → 4단계 검증(정독·사실관계·서술·근거)            |
| 4 | 부가 산출물 갱신 | 행정명령 4건(EO14299·14300·14301·14302) 이행현황 · 선진원자로 현황표    |
| 5 | 용어 반영     | 신규 확정 용어를 terms.md에 반영 제안 → 승인 후 갱신                    |

# NRC 규제동향 분석 - 현재 산출물

파이프라인을 통해 정기적으로 생성되는 결과물

## 주간 규제동향 보고서

NRC ADAMS + DOE 소스 · 매주

docx

## 반기 규제동향 백서

누적된 자료를 분석 · 반기

docx

## 원자로 개발현황표

NRC 경로 22기 + DOE 경로 5기

docx / pptx

## 행정명령 이행현황

EO 14300 등 4건 조항별 시한 21건 · 수시

docx / sqlite

**운영 인프라 — 그 자체가 산출물은 아니지만 위 네 가지를 지탱하는 기초 자료**

- **규제 배경지식 저장소** — NEIMA · Part 53 · Part 57 등 근거법·규정 원문. 서술의 근거를 대조하는 고정자산
- **검색결과 DB** — 매주 검색하여 요약한 자료를 저장
- **운영 상태 요약(STATUS.md)** — DB 반영범위·분류체계 버전·알려진 한계를 한 장에 유지. 작업 착수 전 반드시 확인

## NRC 경로 — 인허가 추진 중인 원자로 (22건)

| 원자로(유형)                 | 사업자                | 출력     | 부지             | 현재단계                  |
|-------------------------|--------------------|--------|----------------|-----------------------|
| Natrium (SFR)           | TerraPower         | -      | Kemmerer, WY   | 건설허가 발급(3/4)·시공중      |
| BWRX-300 (BWR-SMR)      | TVA(Clinch River)  | 300MWe | Oak Ridge, TN  | CP 발급권고·의무청문8/13      |
| Xe-100 (HTGR)           | X-energy           | -      | Long Mott, TX  | CP심사·청문9/22·ACRS9/1~2 |
| SMR-300 (PWR-SMR)       | Holtec             | 340MWe | Covert, MI     | 1부 상세심사·EIS스코핑        |
| AP1000×4 (PWR)          | Fermi/Matador      | -      | Carson Cty, TX | COL환경심사(초안8월)         |
| Eden Isotope (동위원소)     | Eden Radioisotopes | -      | -              | CP(Part50) 접수         |
| KRONOS MMR (MMR/HTGR)   | Nano Nuclear(UIUC) | -      | -              | 감사·청문 진행              |
| Kaleidos(R-50) (MMR)    | Radiant Nuclear    | -      | INL DOME       | TRISO수령·고출력시험         |
| Hermes 1 (FHR)          | Kairos Power       | -      | -              | CP개정(연장SER)           |
| Halo MMR (MMR)          | Hadron Energy      | -      | 미확정            | 사전신청·QAPD Rev. 3      |
| Aurora Powerhouse (SFR) | Oklo Inc.          | -      | INL            | DOE PDSA+NRC Part70착수 |

| 원자로(유형)                   | 사업자                   | 출력      | 부지             | 현재단계             |
|---------------------------|-----------------------|---------|----------------|------------------|
| XENITH (마이크로원자로)          | X-Energy              | -       | -              | 특정주제보고서 3종제출     |
| Thorium Atomics (HTGR)    | Thorium Atomics       | 250MWth | 미정             | 사전인허가 의향서        |
| ELYON-5 (히트파이프)           | EE Capital            | 5MWe    | 미공개            | Part53·FSAR19장구성 |
| EAGL-1 (LBE고속로)           | FANCO                 | 240MWe  | 미정(IN)         | 연료REP접수·원자로REP   |
| IMSR400 (MSR)             | Terrestrial Energy    | -       | 미확정            | PIE SER 발행(5/12) |
| eVinci (히트파이프)            | Westinghouse          | -       | INL DOME후보     | 핵설계방법론 SE(1/9)   |
| ARC-100 (SFR,금속연료)        | ARC Clean Tech        | 100MWe  | 미확정            | Part53표명·면진협의    |
| AP300 (PWR-SMR)           | Westinghouse          | 300MWe  | 미확정            | REP제출·인증 목표2027  |
| Rolls-Royce SMR (PWR-SMR) | Rolls-Royce SMR Ltd   | 470MWe  | 미확정            | 사전신청·기술 회의개시     |
| Blue Energy (BWRX-300)    | Blue Energy Global    | 300MWe  | TX(옵션계약)       | CPA1부·9/15제출예정   |
| Belews Creek (노형미정)       | Duke Energy Carolinas | -       | Stokes Cty, NC | ESP심사·공청회9/17    |

# DOE 경로 — 임계 달성 원자로 (5건)

| 원자로            | 사업자               | 유형       | 부지           | 단계                                   |
|----------------|-------------------|----------|--------------|--------------------------------------|
| Mark-0         | Antares Nuclear   | 히트파이프    | INL          | 임계 달성(2026.06.04.) — EO14301 목표 내 최초 |
| Ward 250       | Valar Atomics     | HTGR     | 민간부지(Utah)   | 임계 달성(2026.06.18.)                   |
| Unity          | Deployable Energy | 수감속·He냉각 | INL(NELP)    | 임계 달성(2026.07.01.)·NRC 인허가 소통 지속     |
| Aalo-X         | Aalo Atomics      | 소듐냉각     | INL          | 임계 달성(2026.07.04.)·PPE 특정주제보고서 사전협의  |
| Groves 동위원소시험로 | Oklo Inc.         | 동위원소시험로  | Lockhart, TX | 임계 달성(2026.08.06., DOE 승인 5번째)       |

참고: LANL의 ZiaCore(히트파이프 마이크로원자로)도 2026.08.06. 임계실험 성공이 확인됐으나, DOE 원자로파일럿프로그램(RPP)이 아닌 LANL 자체 연구예산(LDRD)으로 진행된 별도 트랙이라 이 표에 포함하지 않는다.

## EO 14300 개선 현황 종합표 — 27건

| 항목                  | RIN(3150-) | Phase        | 게재일/상태            |
|---------------------|------------|--------------|-------------------|
| ① 규칙관행 간소화          | AL54       | Complete     | 2025-11-26        |
| ② Sunset Rule       | AL39       | Complete     | 25-12-03/26-01-08 |
| ③ FOIA 규정           | AL14       | Final        | 2026-03-06        |
| ④ Sunset: 항공기충돌     | AL63       | Final        | 2026-04-08        |
| ⑤ 의무청문 유연화          | AL59       | Final        | 2026-04-15        |
| ⑥ 외국인 소유 예외(FOCD)   | AL32       | Direct Final | 26-04-23/07-07    |
| ⑦ FACA 정합성·접근·보안    | AL46       | Direct Final | 8/7확인·게재임박        |
| ⑧ DOD/DOE 인증설계 신속경로 | AL60       | Proposed     | 2026-04-02        |
| ⑨ Part57 마이크로원자로    | AL36       | Proposed     | 2026-05-01        |
| ⑩ 원자로 인허가 현대화★      | AL44       | Proposed     | 2026-07-16        |
| ⑪ 원자로 인허가·폐로·감독강화   | AL45       | Proposed     | 목표경과·미게재          |
| ⑫ ISR모니터링·폐로 적시성    | AL48       | Proposed     | 목표8/20·미게재        |
| ⑬ ACRS 기능 축소        | AL43       | Direct Final | 목표9/1·미게재         |
| ⑭ Cat1·2 물리적방호      | (미상)       | Proposed     | 2026-04-09        |

| 항목                     | RIN(3150-) | Phase        | 게재일/상태        |
|------------------------|------------|--------------|---------------|
| ⑮ Byproduct 규정         | AL49       | Proposed     | 2026-05-18    |
| ⑯ Materials Licensing★ | AL56       | Proposed     | 2026-06-24    |
| ⑰ 핵물질 허가 면제            | AL61       | Direct Final | 목표경과·미게재      |
| ⑱ 저준위폐기물 통합처분          | AI92       | Proposed     | 2026-07-01    |
| ⑲ ALARA/방사선방호★         | AL47       | Proposed     | 2026-07-15    |
| ⑳ NEPA 이행규정★           | AL38       | Proposed     | 2026-07-07    |
| ㉑ 보안규정 현대화★            | AL53       | Proposed     | 2026-06-26    |
| ㉒ FY2026 수수료           | AL12       | Final        | 최종 2026-06-16 |
| ㉓ 쟁점 심리 간소화            | AL58       | Proposed     | 2026-03-03    |
| ㉔ 의료용면허 장벽 완화          | AL50       | Proposed     | 2026-07-23    |
| ㉕ 포장인증 현대화             | AL62       | Proposed     | 2026-07-27    |
| ㉖ 수출요건 개정              | AL57       | Final        | 목표9/1·미게재     |
| ㉗ 조직개편 정합 개정           | AL52       | Final        | 목표11/23·미게재   |

## Modernizing Reactor Licensing & Radiation Protection Framework (2026.7.1.)

### ■ NRC 규제 현대화 (RIN 3150-AL44)

행정명령 14300 및 ADVANCE Act  
(2024)에 따른 규제 개편

10CFR 50, 52, 53에 걸친 포괄적 개정  
규제 철학의 전환

과거 : 일률적이고 보수적인 규제

현재 : 리스크활용, 성과기반, 기술포괄

최종 목표

- 선진원자로의 안전하고 신속한 배치 지원
- 가동원전의 효율적인 수명 연장, 운영 최적화

### ■ ALARA 규제 폐지 (RIN 3150-AL47)

기존 피폭선량 기준은 유지

ALARA 평가 결과 제출의무 삭제

### ■ 향후 일정

45일간 공개 의견수렴

2026.11. 최종 확정 계획

### 규제 현대화 주요 내용

| 조치               | 주요 내용                             | 현행 문제·변경 이유                              | 기대 효과                                 |
|------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|
| 건설 정의 현대화        | 비핵심 SSC는 건설허가 없이도 착공 허용           | 현행 '건설' 정의가 안전 무관 토목 공사도 허가 대상으로 포함      | 부지 토공·기초 공사 조기 착수 — 전체 일정 단축          |
| 일반면허 건설          | 설계 인증 취득 설계는 도CKET 수락 즉시 착공 가능    | 개별 건설허가 발급 대기(수개월~수년) 불필요                | 동일 설계 반복 건설 시 결정적 속도 이점               |
| PSAR 요건 현대화      | 경수로 처방 언어 → 기술포괄적 언어로 교체          | 비경수로 신청에 부적합한 경수로 특화 PSAR 요건 다수 존재       | 비경수로 건설허가 신청 부담 대폭 완화                 |
| 성능 기반 비상계획       | EPZ를 위험도 평가 기반 설계별 결정 — 전 노형 적용   | 대형 경수로 기준 10마일 고정 EPZ를 소형 원자로에도 동일 적용    | SMR 부지 경계 수준 EPZ 가능 — 도심 배치 가능성 확대    |
| Appendix T QA 신설 | ISO 9001 기반 성능 지향 QA 대안 자발적 선택 허용 | Appendix B가 1970년대 기준으로 국제 표준과 불일치       | 공급망 표준화·SMR 수출 경쟁력 강화                 |
| 2계층 부지 기준        | Tier 1(소형·저결과) / Tier 2(대형) 이원화   | 소형 원자로에도 대형 원전 수준 부지 조사 요구               | SMR 인구 밀집 지역 부지 허용 — 데이터센터·산업단지 전력 공급 |
| 제작 허가 40년 연장     | ML 최초 갱신 기간 15년 → 40년             | 공장 제작 SMR의 제품 수명 주기 대비 허가 기간 과소          | Oklo·Radiant·eVinci 사업 모델 투자 실현성 강화   |
| ESP 갱신 유연화       | 조기 부지 허가 갱신 시점을 사업자가 자율 결정        | 고정 20년 만기 갱신이 장기 프로젝트 파이낸싱과 불일치          | 장기 원자력 개발 프로젝트의 부지 확보 전략 유연화          |
| OL 갱신 기간 연장      | 운영허가 갱신 기간 연장 + 위험도 활용 대안 허용      | 현행 20년 갱신 기간이 국제 80년 운전 추세와 불일치 (40년 연장) | 기존 원전 장수명 운전 지원 — 탄소중립 기여             |
| 해체 자금 맞춤화        | 설계별 맞춤 해체 비용 추정 허용                | 대형 원전 기준 공식이 소형 원자로에 과도한 자금 예치 요구        | SMR 초기 사업화 단계 자금 조달 효율성 향상            |
| 선진 연료 지원         | HALEU·ATF 안전 요건 현대화               | 기존 요건이 표준 LEU 연료·경수로 전제로 설계              | 다종 연료 SMR 인허가 기반 마련                   |

# 요약 및 시사점

## I

### 국내 규제체계 동향

- 원안위 로드맵: 2030년까지 SMR 전용 기술기준 및 성과기반 RIPBR 체계 구축
- SMR 특별법 시행(2026.9.11.) — 법적 지원 기반 마련
- 사전검토제도 법적 근거 신설 (원자력안전법 §100조의2, 2026.5.19.)
- MMR 제작허가·이동형 원자로 등 신규 규제 수요 부상

## II

### 미국 NRC 규제 동향

- Part 53 발효(2026.4.29.): 모든 비경수로 포괄 기술범용 체계 정식 운용
- Part 57 제안(2026.5.1.): 마이크로원자로 전용 — 제작허가·자율운전·GLRO 도입
- RG 1.254/1.255: PRA 대신 FMEA·AERI 등 정성적 방법 허용
- 2026년: 비경수로 건설허가 복수 발행 — 규제 실효성 확인

## III

### 향후 전망

- Part 53: **PDC 설정** → LBE 선정(PRA/FMEA) → DBA 평가(기존과 유사)
- Part 57: (TEDE ≤ 1 rem) MHA·MCA 방법론으로 안전해석 대폭 단순화
- AI 활용 확대 전망: 자료수집 및 분석 → 인허가 검증·심사지원·검증계산 코드 개발

# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.



원자력의 미래를 향한 새로운 10년·기념 워크숍



# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 선진원자로 개발과 규제지원·정책협력기구의 역할과 과제

김만웅

서울대학교 원자력정책센터 NEXFO 연구위원

2026년 9월 16일



## 목차

---

- 1 원자력 환경변화 규제·산업의 거버넌스 역할 필요
- 2 미국의 원자력 규제·산업 거버넌스 : NEI NEI의 설립 배경, 기능, 활동 및 시사점
- 3 일본의 원자력 규제·산업 거버넌스 : ANTENA ANTENA의 설립, 배경, 기능, 활동 및 시사점
- 4 결 어 한국형 원자력 거버넌스 모델 제안

# 1. 환경 변화: 규제·산업간 '속도 차'가 커짐

## ‘환경 변화와 규제지원·정책협력기구의 필요성’



**AI 및 디지털 전환**

AI·SW 신뢰성 검증 및 새로운 안전평가 기준 마련 필요



**SMR 및 선진 원자로**

새로운 설계·운영 개념 도입에 따른  
선제적 규제 기준 및 인허가 체계 정립 필요



**복합 리스크 증가**

사이버보안, 복합재난 등 다중 안전 위험에 대한  
통합 규제 대응



**열린 규제 요구**

규제 의사결정의 투명성 확보 및  
국민·이해관계자 참여 확대

# 1. 환경 변화: 국제·국내간 '속도 차'

---

## 인공지능 기술 도입

**EU AI Act (2024. 8. 1)**

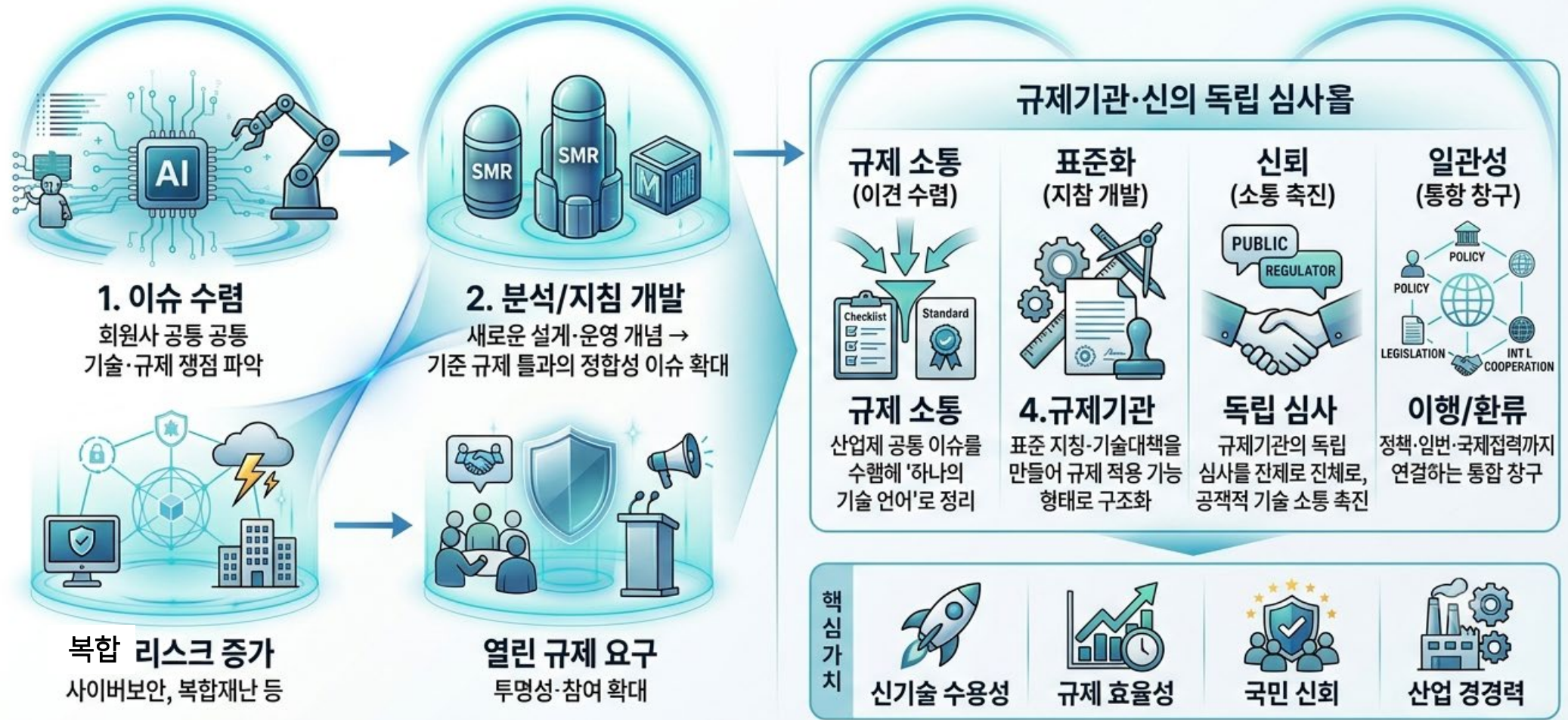
**인공지능기본법 26.1.22)**  
인공지능 발전과 신뢰 기반 조성 등  
에 관한 기본법

## 선진원자로 개발

원자력혁신역량강화법 (NEICA) (2018)  
원자력 혁신 및 현대화법 (NEIMA) (2019)

분산에너지활성화특별법 개정[25.12]  
집단에너지사업법(26.30)  
소형모듈원자로 개발 촉진 및 지원에 관  
한 특별법[26.3]

# 1. 환경 변화: 열린 규제 환경 요구



# 1. 환경 변화: 규제·산업간 거버넌스 역할의 강조

## 규제지원·정책협력기구의 핵심 역할 (Technology & Governance)



### 기술 (Technology)



- 공통 기술 쟁점 (Generic Issues) 도출
- Technical Guidance/지침 개발 및 표준화
- SMR/AI/디지털 I&C 등 신기술 선제 대응
- 운영경험 환류(LER 등)로 지침 지속 개선



### 거버넌스 (Governance)



- 규제기관-산업·국민 간 소통 채널 운영
- 투명성 공개·이해충돌 통제 체계 설계
- 정책·입법 지원 및 예산/제도 협력
- 국제 규제조화 및 해외 유관기구 협력

## 2. 미국의 원자력 규제·산업 거브넌스 : NEI

규제 현대화 논의 속에서 탄생한 산업계 통합 창구

1990년대 초

규제 효율성 개선 요구

NRC 예산 감축 및 조직 압박,  
성과 기반 규제 체계로의  
전환 필요성 대두

1994년

NEI 공식 출범

NUMARC 등 산재된 단체 통합  
산업계 역량 결집을 위한  
**Industry Hub** 구축

1995~1999

규제 패러다임 전환

Jackson 의장 주도하에  
'위험도 정보 활용(RI)'  
규제 도입 본격 가속화

1996년 전후

공동 대응 기능 강화

위험도 정보 기반 대응 체계 및  
산업계 공동  
**기술지침**  
본격 개발 착수



## 2. 미국의 원자력 규제·산업 거브너스 : NEI

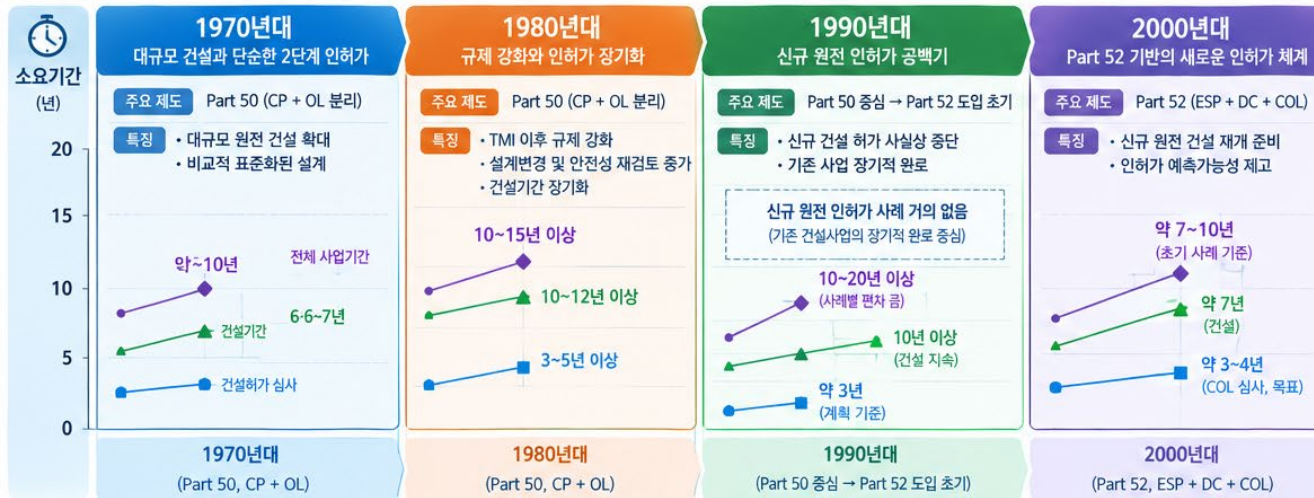


## 2. 미국의 원자력 규제·산업 거브넌스 : NEI

### 미국 인허가 소요 일정 변천 과정과 NEI 보고서 발간 현황의 비교

— 인허가 제도의 변화와 함께 NEI의 주요 보고서 발간이 규제 대응, 인허가 예측가능성 제고, 신규 원전 건설 재개를 지원 —

#### 1. 미국 신규 원전 인허가 소요 일정의 변천 과정



● 전체 사업기간  
● 건설기간  
● 건설허가 심사기간

#### NEI의 주요 역할과 기여



1994년 설립  
미국 원자력산업의  
통합된 정책·기술 기관



##### 산업계의 단일 창구 구축

- 분산된 산업계 의견을 통합하여 NRC 및 정부에 전달
- 규제기관과의 공식 협의창구 역할



##### 인허가 제도 개선 지원

- Part 52(ESP-DC-COL) 체계 정착 지원
- 인허가 절차의 예측가능성 제고를 위한 규제개선 제안



##### 공동 기술기준 개발

- 산업계 공통 기술지침(Industry Guidance) 마련
- NRC와의 협의를 통한 규제수용성 제고



##### 위험도 기반 규제혁신 촉진

- Reactor Oversight Process(ROP) 개발 협력
- 위험도·성능기반 규제체계 도입 지원



##### 신규 원전 건설 및 정책 환경 조성

- 원자력의 에너지안보·탄소저감 가치 제시
- 연방정부 및 의회 대상 정책 지원

#### 2. NEI 보고서 발간 현황과 주요 내용

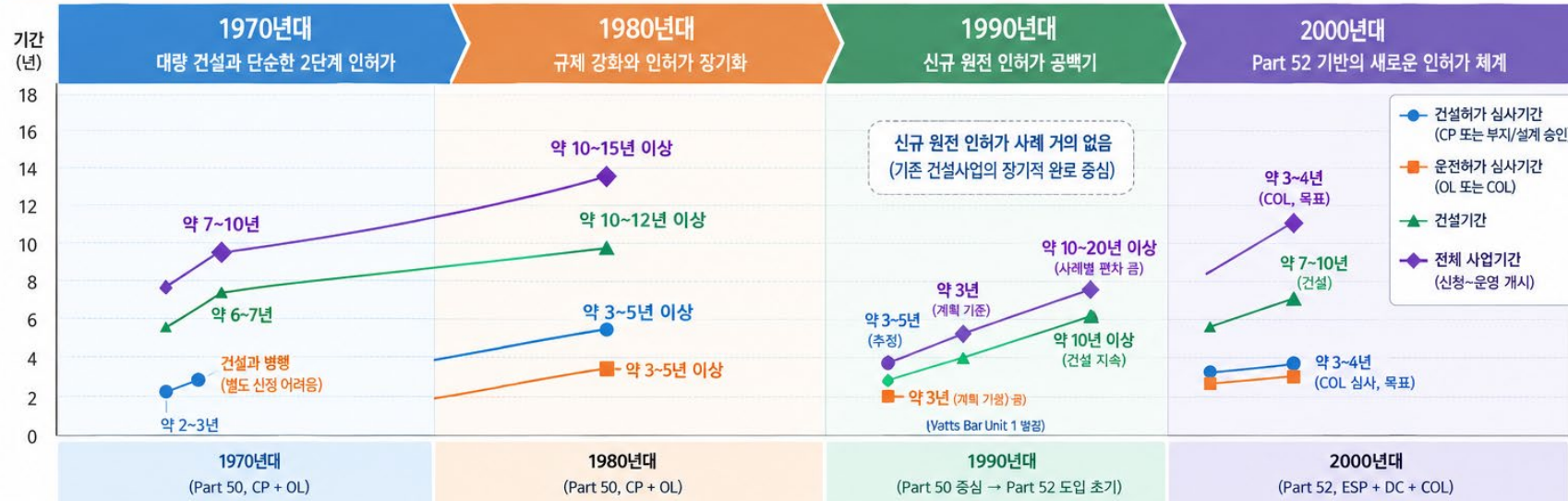


➡ 인허가 소요기간의 변화와 NEI의 보고서 발간은 서로 맞물려 있으며, NEI는 규제의 예측가능성 제고와 신규 원전 건설 재개를 위한 산업계의 핵심 협력 플랫폼으로 기능해 왔습니다.

## 2. 미국의 원자력 규제·산업 거브너스 : NEI

### 미국 신규 원전 인허가 소요 일정의 시대별 변화 (1970년대 ~ 2000년대)

— 인허가 제도의 변화와 함께 소요 기간도 점차 장기화되었으며, 2000년대에는 Part 52 체계로 예측가능성 향상을 목표로 하였습니다. —



#### 시대별 주요 인허가 소요기간 비교

| 구분                  | 1970년대             | 1980년대            | 1990년대                     | 2000년대                                          |
|---------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------------------------|
| 주요 인허가 제도           | Part 50 (CP + OL)  | Part 50 (CP + OL) | Part 50 중심 → Part 52 도입 초기 | Part 52 (ESP + DC + COL)                        |
| 건설허가(또는 부지/설계) 심사기간 | 약 2~3년             | 약 3~5년 이상         | 신규 사례 부족                   | 약 3~4년 (COL, 목표)                                |
| 운전허가 심사기간           | 건설과 병행 (별도 신청 어려움) | 약 3~5년 이상         | 약 3년 (계획 기준) (신규 사례 제한)    | 약 3~4년 (COL, 목표)                                |
| 건설기간                | 약 6~7년             | 약 10~12년 이상       | 약 10년 이상 (사례별 편차)          | 약 7~10년 (목표)                                    |
| 전체 사업기간 (신청~운영 개시)  | 약 7~10년            | 약 10~15년 이상       | 약 10~20년 이상 (사례별 편차)       | 약 3~4년 (인허가 단계, 목표) (전체 사업기간은 건설기간 포함 시 장기화 가능) |
| 신규 원전 시장 상황         | 대규모 원전 건설 확대       | 신규 건설 급감          | 사실상 신규 건설 중단               | 신규 원전 건설 및 COL 신청 증가                            |
| 핵심 특징               | 표준화, 대량 건설         | 규제 강화, 설계변경 증가    | 신규 인허가 공백                  | 인허가 예측가능성 회복 시도                                 |

#### 주요 변화와 시사점

- 1970년대**
  - CP 약 2~3년, 전체 사업 약 7~10년
  - 대규모 원전 건설 확대, 비교적 예측 가능
- 1980년대**
  - 규제 강화와 설계변경으로 인허가·건설 장기화
  - 전체 사업기간 10~15년 이상
- 1990년대**
  - 신규 원전 인허가 사실상 중단
  - 기존 사업의 장기적 완료 중심
- 2000년대**
  - Part 52 체계 본격 적용
  - COL로 인허가 통합, 예측가능성 향상 목표

미국의 원전 인허가는 단순한 심사 기간의 변화가 아니라, 규제 불확실성 해소와 예측가능성 확보를 위한 제도적 혁신의 과정이었습니다.

## 2. 미국의 원자력 규제·산업 거브넌스 : NEI

### 미국 신규 원전 인허가 소요 일정의 시대별 변화와 NEI의 역할·기여

— 인허가 제도의 변화와 함께 소요 기간도 점차 장기화되었으며, 2000년대에는 Part 52 체계로 예측가능성을 높이는 방향으로 전환되었습니다. NEI는 이 과정에서 산업계의 통합된 목소리를 대변하고, 규제기관과의 협력을 통해 규제혁신과 인허가 예측가능성 제고에 중요한 역할을 수행하였습니다. —



→ NEI는 미국 원자력산업의 분산된 기술·정책 역량을 결집하여, 규제기관과의 협력을 통해 규제혁신과 인허가 예측가능성을 높이는 데 핵심적인 역할을 수행하였습니다.

## 2. 미국의 원자력 규제·산업 거브넌스: NEI

### '소통 창구'의 작동 메커니즘 및 방화벽

#### NEI와 독립적 심사(NRC)의 엄격한 분리 체계

##### 01 이슈 수렴

회원사(유틸리티, 설계사 등)의 공통 기술·규제 쟁점 파악

##### 02 분석 및 지침 개발

NEI 주도로 최적의 이행 방법론(Technical Guidance) 도출

##### 03 규제 소통

NRC와 공개 회의를 통한 초안 검토 및 피드백 수렴

##### 04 NRC 독립 심사 (Endorsement)

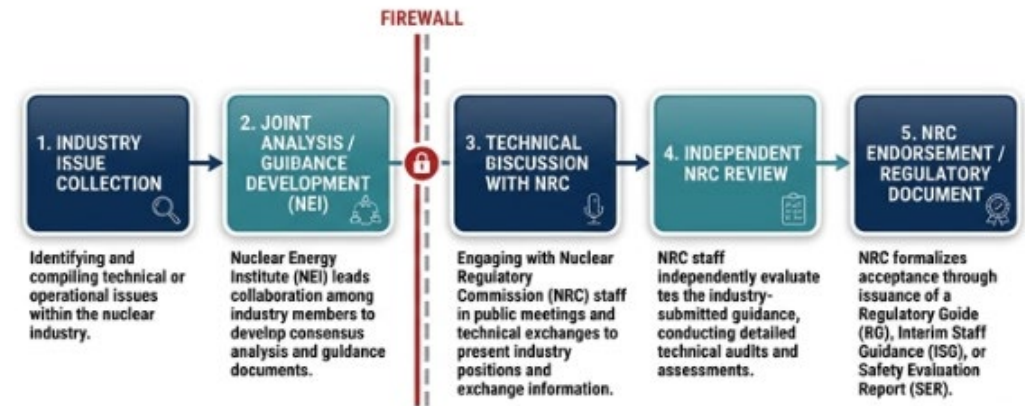
규제 요건 충족 여부를 NRC가 독립적으로 판단하여 채택

##### 05 이행 및 환류

사업자의 지침 이행 후 실제 경험을 지침 개정애 재반영

산업계의 자율적 지침 개발과 규제기관의 독립적 승인 사이의 명확한 '방화벽'을 유지함으로써 투명성과 공정성 확보

#### INDUSTRY-REGULATORY COMMUNICATION PROCESS



## 2. 미국의 원자력 규제·산업 거버넌스: NEI

### NEI 중심의 원자력 규제·산업 거버넌스 생태계

주요 이해관계자 사이의 가교 역할 (The Bridge)

#### REGULATORY & POLICY

규제 및 정책

NRC (규제) DOE (R&D)

#### INDUSTRIAL CORE

원자력 산업계

사업자 원자로 설계사 공급망

#### EXPERT ORGANIZATIONS

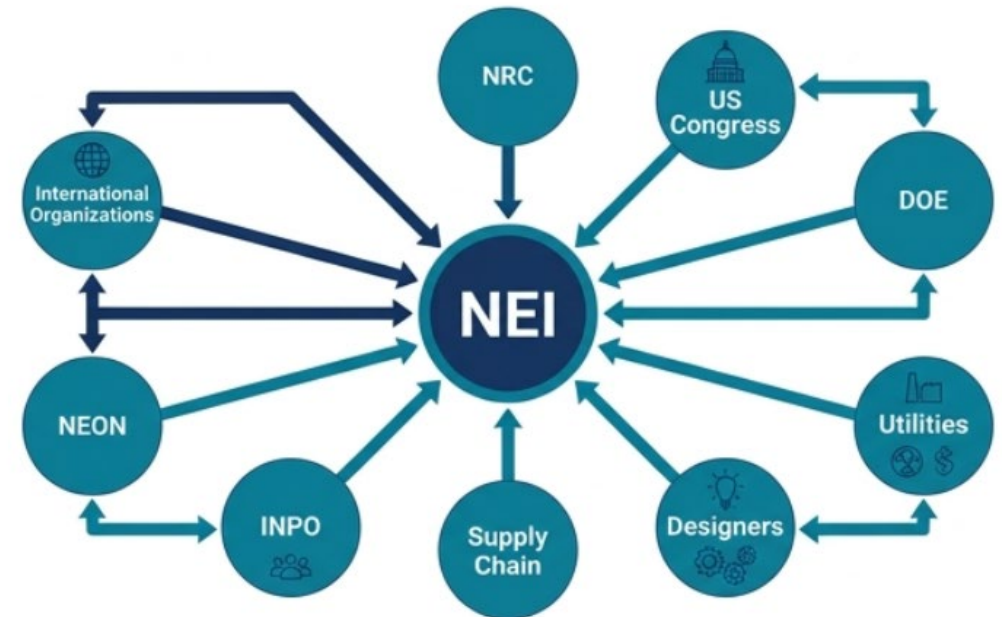
전문 기관

INPO (품질) EPRI (기술)  
컨설팅 펌

#### GLOBAL ALLIANCE

국제 협력

IAEA OECD/NEA 글로벌 협회



## 2. 미국의 원자력 규제·산업 거브넌스: NEI

### NEI 기능: 6대 핵심 영역

다각적 접근을 통한 원자력 산업의 지속 가능성 확보

01

#### 정책·입법 지원

원자력 혁신 법안 지원 활동

02

#### 규제 대응

인허가 프로세스 현대화 지원 및 공통  
기술 현안(Generic Issues) 해결

03

#### Industry Guidance

기술 표준화 및 규제 요건 이행을 위한  
산업계 표준 지침서 발간

04

#### 공동현안 WG 운영

노형별(SMR 등), 이슈별 전문가 실  
무 그룹 운영

05

#### 회원사 자문

최신 규제 변화에 대한 해석 및 개별  
사업자 맞춤형 대응 전략 지원

06

#### 대외·국제 협력

글로벌 시장 진출 지원 및 해외 유관  
기구와의 규제 표준화 공조

# NEI 문서 체계: 목적 및 사용자 정의

| 문서 유형      | 주요 목적                | 주요 대상        |
|------------|----------------------|--------------|
| Policy     | 제도의 근본적 개선 및 입법 제언   | 의회, 행정부, 기관장 |
| Technical  | 구체적인 엔지니어링 방법론 제시    | 엔지니어, 전문가    |
| Regulatory | 규제 요건 충족 논리 및 입증     | NRC 심사관, 법무팀 |
| Operation  | 현장 실무 이행 표준화 및 품질 유지 | 발전소 실무자      |

## 일관성 있는 생태계 유지

다양한 층위의 전문 문서를 통해 정책 결정자부터 현장 실무자까지 동일한 기준과 방향성을 공유합니다.

원자력 산업 전반의 표준화된 지침 제시로 규제 불확실성 해소 및 운영 효율 극대화

# 기술지침 개발 통계 (1994-2024)

산업계의 지속적인 역량 투입을 통한  
규제 현대화 가시화

전체 집계 **총 175건**



■ 신규 개발 (New)  
**92건**

■ 주요 개정 (Revised)  
**83건**

## GROWTH & INNOVATION

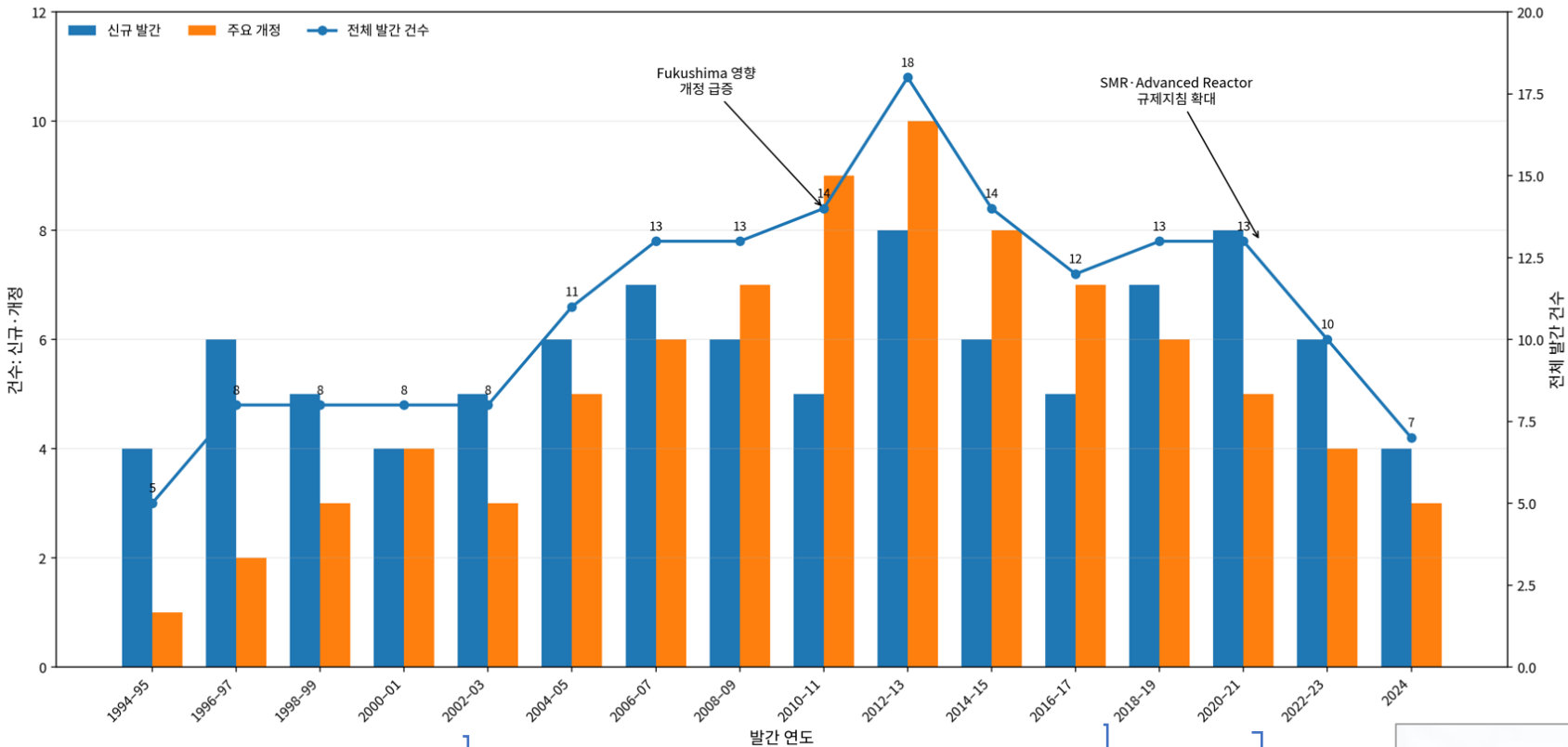
신기술(SMR) 및 새로운 규제 요건(사이버 보안 등)  
에 대한 선제적 대응 체계 구축

## MAINTENANCE & FEEDBACK

기존 기술 지침의 최신 표준화 및 실제 운영 경험  
(LER 등) 환류를 통한 규제 정교화

# NEI 기술지침 문서의 연도별 발간 추이

NEI 기술지침 문서 발간 추이 (1994-2024)



# 분야별 기술문서 포트폴리오

안전 관리와 신기술 도입에 집중된 산업계 역량

## 01 EOP·사고관리 19.6%

강화된 비상 대응 체계 구축 및 고도화

## 02 RI(위험도정보) 규제 17.4%

데이터 기반의 과학적 규제 효율화

## 03 SMR·선진로 15.2%

미래 시장 선점을 위한 규제 프레임워크

EOP / ACCIDENT 19.6%

RISK-INFORMED 17.4%

SMR / ADVANCED 15.2%

OTHERS 47.8%

\* 기타 항목은 사이버보안, 인허가 체계, 방폐물 관리 등을 포함함

# '문서→규제활용' 사례 분석

## 산업계 지침의 NRC 규제 문서 연계

NEI 96-07  
설비변경관리 지침



**NRC RG 1.187**  
운영 중 변경 표준 수용

NEI 99-01  
비상발령등급 분류



**NRC RIS**  
전국적 일관성 확보

NEI 18-04  
LMP 방법론 지침



**NRC RG 1.233**  
선진로 인허가 핵심 채택

## 규제 활용 프로세스

01

산업계의 최적 이행 방안 제안

NEI 문서 등 기술 지침 개발 및 제출

02

NRC의 독립적 타당성 검토

기술적 적합성 및 규제 요건 부합 확인

03

RG 등에 인용하여 공식 채택

Endorsement를 통한 규제 효력 부여

# SMR 및 선진원자로 지원 활동

NEI 18-04(LMP)와 RG 1.233

TI-RIPB(기술중립·위험도정보·성과기반)

차세대 규제 체계의 핵심 알고리즘

## LBE LICENSING BASIS EVENTS

설계기준 및 설계초과 사고 시나리오의 위험도정보기반 선정

## SSC SYSTEMS, STRUCTURES, COMPONENTS

계통 및 기기의 안전 중요도에 따른 등급 분류

## DID DEFENSE-IN-DEPTH

심층 방어 체계의 정합성 및 다중성에 대한 정량적 평가

Licensing Modernization Project (LMP) for Advanced Reactors



## KEY SIGNIFICANCE

- ✓ 산업계와 규제기관 간의 **공통언어** 구축으로 인허가 불확실성 획기적 감소
- ✓ 정성적 판단을 지양하고 정성적 판단을 지양하고 과학적리스크 데이터에 기반한 합리적인 의사결정 지원에 기반한 합리적 의사결정 지원

# SMR 및 선진원자로 지원 활동

| 핵심 이슈       | NEI 대응 및 활동                 | 규제적 의미 및 기대효과         |
|-------------|-----------------------------|-----------------------|
| 비상계획구역(EPZ) | 소형로 특성을 반영한 위험도 기반 구역 설정 제안 | 부지 활용도 제고 및 규제 합리화    |
| 운전 인력       | 다중 모듈 통합 제어 및 원격 감시 지침 개발   | 운영 비용 절감 및 휴먼 에러 방지   |
| 공급망 품질(QA)  | 상용급 부품 사용(CGD) 표준화 추진       | 공급망 확보 및 품질 보증 비용 효율화 |

 SMR 등 미래 원자력 기술 도입을 위한 선제적 규제 환경 조성

### 3. 일본의 원자력 규제·산업 거버넌스 : ANTENA

#### 후쿠시마 원전 사고 이후 '규제·산업 소통 거버넌스' 필요

 **사고 이후 조사 관점: 무엇을 원인으로 보았나**



 **독립 조사 (예: NAIIC)**  
규제체계/구조적 원인에 상대적으로 더 집중

 **정부 조사**  
사고 대응·관리 및 정책적 측면에 초점

 **사업자 조사**  
운영·기술적 원인 및 개선대책에 초점

 **민간/전문가 조사**  
다양한 관점과 사회적 영향 평가에 초점

**→ 결론: '기술대책'과 별개로, 거버넌스 설계·운영 개선이 필요**

 **거버넌스 취약점: 사고를 키우는 구조적 요인**

 **독립성 부족**  
→ 규제포획/이해상충 가능성 

 **전문성 부족**  
→ 위험평가·검증의 품질 저하 

 **감독 실효성 부족**  
→ 권고가 '이행'으로 연결되지 않음 

 **정보·소통 부족**  
→ 기관 간/대국민 신뢰 붕괴 

 **조직문화 문제**  
→ 문제제기 억제, 안전보다 관행 우선 

### 3. 일본의 원자력 규제·산업 거버넌스 : ANTENA



### 3. 일본의 원자력 규제·산업 거브넌스 : ANTENA

## 일본 ATENA

후쿠시마 이후 산업계 자율안전  
거버넌스의 구축과 기술 소통

#### 설립 배경 및 미션

- ❶ 자율적·지속적 안전 향상 (Self-directed CSI)
- ❷ 2011 사고 후 2012 NRA 출범, 2018 ATENA 설립

#### 거버넌스 생태계 (Stakeholders)

**NRA**

독립적 규제 및 최종 인허가 판단권 (규제기관)

**ATENA**

산업계 의견 조율 및 기술적 소통 창구 (전문 기구)

**산업계**

전력사, 제조사(Vendor) 등 지침 이행 주체

### 3. 일본의 원자력 규제·산업 거버넌스 : ANTENA

## 거버넌스 및 협력 구조

ATENA는 산업계 전체의 전문성을 결집하는 체계적인 의사결정 구조를 보유.

#### DECISION MAKING

##### Steering Committee

산업계 고위급이 직접 참여하여 원자력 분야의 공동 안전 이슈를 식별하고 전략적 방향성을 도출

#### TECHNICAL ANALYSIS

##### Working Groups

분야별 전문가 중심의 실무 그룹을 통해 정밀한 기술 분석과 구체적인 현장 문제 해결안을 마련

#### PARTNERSHIP NETWORK

##### 참여 및 유관 기관 협력

주요 제작사와 전력회사간의 기술 동맹을 구축하고, 대외 기구와 연계하여 안전 대책을 산업 전반으로 확산

##### 참여 제작사

미쓰비시중공업 히타치 도시바

##### 연계 협력

FEPC JAIF

### 3. 일본의 원자력 규제·산업 거브넌스 : ANTENA

## ATENA 역할

#### 설립 배경

-  후쿠시마 사고 교훈
-  규제기준을 넘어선 안전 향상 필요
-  산업계 공통 원안 대응
-  지식·경험의 효과적 활용
-  규제기관과의 지속적 대화 필요

01

#### 지속적 안전성 향상 필요성

후쿠시마 원전 사고 이후 규제 충족을 넘어선 자발적·지속적 안전 개선(Self-directed Continuous Safety Improvement) 요구 증대

02

#### 산업계 통합 플랫폼 출범

2018년 7월 1일, 개별 사업자 중심 대책에서 탈피하여 원자력 산업 전체의 기술과 경험을 공유하는 협력 체계 구축

03

#### 핵심 목표

세계 최고 수준의 원전 안전성을 확보하고, 투명한 운영을 통해 국민적 신뢰를 회복하는 것을 궁극적 목적으로 함

### 3. 일본의 원자력 규제·산업 거브넌스 : ANTENA

---

#### ANTENA의 3대 핵심 기능

##### 01 공동 안전 이슈도출 및 대응

- 잠재적 위험도 평가 및 개선안 도출

##### 02 안전 대책 이행 및 기술보고서 발간

- 공동 안전 지침 및 정책 공표

##### 03 산업 상태 평가 및 공지

- 회원사 안전 개선 이행 현황 점검 및 투명한 외부 공개

### 3. 일본의 원자력 규제·산업 거브넌스 : ANTENA

#### NRA(규제위원회)와의 상호작용

##### ATENA 측면

- 산업계 의견 대변 및 자율 안전 개선 성과 공유
- 규제 방향에 대한 기술적 논거 제공

##### NRA 측면

- 원자력 시설 안전규제 수립 및 규제 기준 집행
- 전문성에 기반한 독립적 안전성 평가 수행

#### 상호 보완적 관계

- ✓ ATENA 기술 분석 결과가 NRA의 규제 심사나 기준 해석에 중요한 참고자료로 활용됨

- ✓ ATENA Forum 등을 통해 광범위한 기술·정책 소통을 진행하며 신뢰 관계 구축

### 3. 일본의 원자력 규제·산업 거브넌스 : ANTENA

---

#### 보고서 체계



##### 기술보고서 (Technical Reports)

공동 기술 이슈에 대한 심층 분석 및 실질적인 개선방안을 제시하는 전문 기술 문서



##### 지침서 (Guideline Documents)

산업계 현장에서 즉시 적용 가능한 표준 운영 절차 및 기술 실행 지침 제공



##### 정책제안서 (Position Papers)

특정 기술 현안 및 정책 이슈에 대한 산업계의 공식적인 입장과 권고를 담은 문서

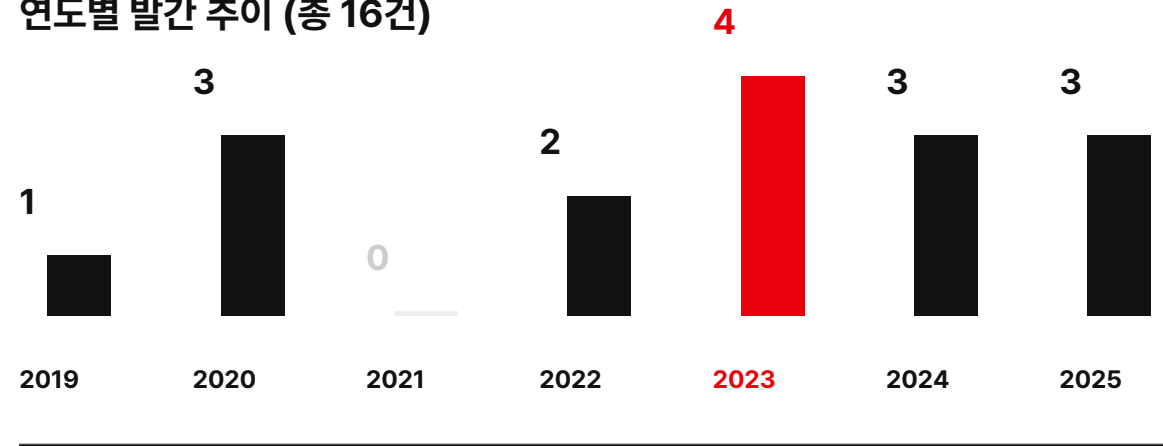


실무 현장에 즉시 적용 가능한 지식 인프라 역할을 수행하여  
원자력 산업계 전반의 기술 역량을 상향 평준화합니다.

### 3. 일본의 원자력 규제·산업 거브넌스 : ANTENA

#### 연도별 보고서 발간 통계 (2019~2025)

연도별 발간 추이 (총 16건)



#### 문서 유형별 발간 현황

08

기술보고서

공동 기술 이슈 분석 및  
개선 방안 제시

07

기술지침

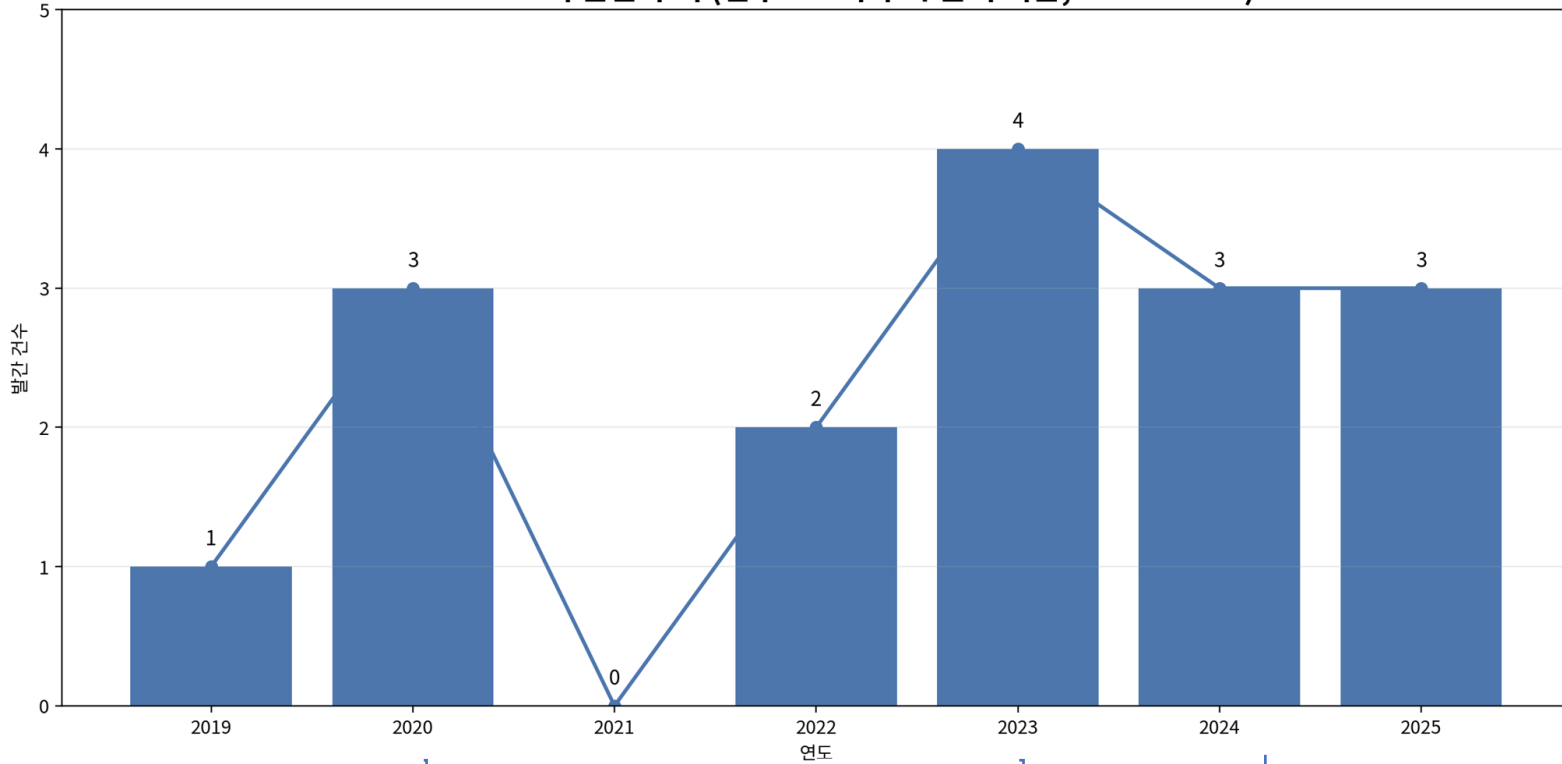
산업계 운영 및 절차 가  
이드라인 수립

01

정책입장

주요 기술·정책 이슈에 대  
한 대외 입장

ATENA 보고서 발간 추이 (첨부보고서 수록 문서 기준, 2019~2025)



## 보고서 발간 추이 (2019~2025)

**2020**

**소프트웨어 공동 결함 완화 대책**

디지털 안전계통의 신뢰성 제고를 위한 기술적 방안 수립

**2022**

**장기 운전 및 경년열화 지식 확장 가이드라인**

노후 원전의 안전한 계속 운전을 위한 열화 관리 체계 구축

**2023**

**규제 검사의 안전 실적 지표(PI) 가이드라인**

객관적 데이터를 기반으로 한 자율 규제 모니터링 체계 강화

**2025**

**지반 사태 도출 및 안전성 평가 방법 제시**

최신 지질학적 리스크를 반영한 원전 부지 안전성 평가 기준 마련

### 3. 일본의 원자력 규제·산업 거브넌스 : ANTENA

---

#### 산업적·정책적 기여

01 규제기준을 넘어서는 산업계 공동 자율안전 수준 제고

---

02 사업자와 제조사 간 공통 안전대책의 표준화 달성

---

03 규제기관(NRA)과 산업계 간의 기술적 상호이해 증진

---

04 운영기관의 장기운전 및 복합 재해 대비 역량 강화

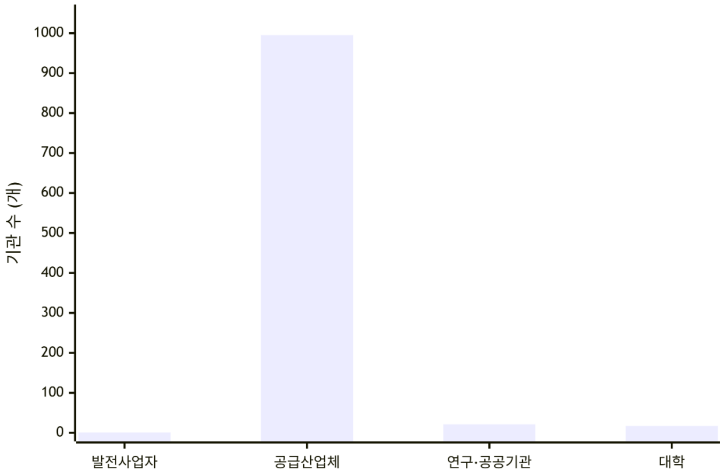
## 4. 결론 : 한국형 원자력 규제·산업 거브넌스 모델

“SMR 시대의 기술혁신과 원전 수출 경쟁에 선제적으로 대응하기 위해서 지금의 ‘규제기관-사업자’ 분리형 체계로는 효과적으로 대응하기 어려움

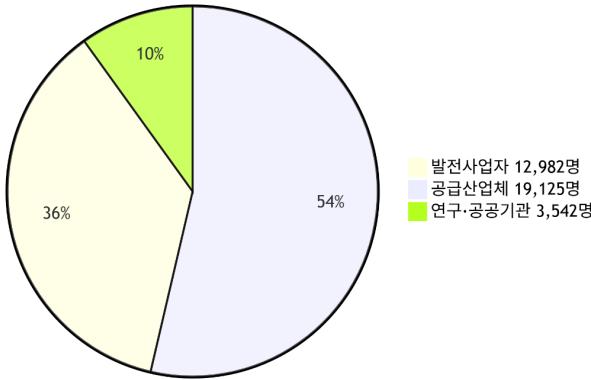
### 원자력 산업 생태계

| 분 류      | 기관 수(분률)    | 비고                           |
|----------|-------------|------------------------------|
| 원자력발전사업자 | 1 (0.1%)    | 한국수력원자력(주)                   |
| 원자력공급산업체 | 995 (96.2%) | 설계·건설·제조·무역·서비스업체            |
| 연구·공공기관  | 21 (2%)     | 한국원자력연구원 등                   |
| 원자력관련대학  | 17 (1.6%)   | 원자력 단일학과 10개, 다전공 통합학과(부) 7개 |
| 합계       | 1,034       |                              |

2022년 원자력 산업 기관 유형별 기관 수 (총 1,034개)



22년 원자력 산업 유형별 종사자 수 (총 35,649명)



## 4. 결론 : 한국형 원자력 규제·산업 거브넌스 모델

### K-NEI 모델 구축을 위한 제언

#### 01 공통 기술기준 개발

SMR 등 차세대 노형에 적합한 표준 지침 선  
제적 마련

#### 02 사전규제협의 플랫폼

인허가 전 기술적 쟁점을 투명하게 조율하는 장 상  
설화

#### 03 공급망 및 품질(QA) 지원

부품 품질 보증 및 공급망 강화를 위한 표준 가이  
드 보급

#### 04 국제 협력 및 공조

K-원전 경쟁력 강화를 위한 글로벌 규제 공조 리  
딩

#### 핵심 방화벽 (FIREWALL) 기능

- 규제 독립성 유지 및 침해 방지
- 소통 과정 투명성
- 외부 전문가 상시 검증 체계 가동

→ 미국 NEI 모델의 한국적 현지화는 기술 혁신 속도와  
규제 안전성의 간극을 메우는 핵심 전략이 될 것임

## 결론: 「변화에 대응하는 규제·산업 협력 거버넌스」

원자력 안전과 효율성을 동시에 견인하는 산업계-규제기관 간 소통의 힘

### 산업계 기술역량의 통합

파편화된 산업계의 기술적 역량을 단일 창구로 결집

### 기술에는 유연성, 안전에는 일관성

새로운 설계의 다양성을 허용하면서도 안전성 판단의 공통 원칙과 규제의 일관성은 확보

빠르게 변화하는 기술·산업·국제 환경에 효과적으로 대응하기 위해 「함께 모으고, 함께 소통하고, 함께 기준을 만들어 원자력의 안전과 경쟁력을 높인다」

# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.



원자력의 미래를 향한 새로운 10년·기념 워크숍



# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 원자력 설계·제작 및 공급망 관리 체계 개선

오성헌

서울대학교 원자력정책센터 NEXFO 연구위원

2026년 9월 16일



## 1. 현황 및 배경

---

## 2. ATENA 지침 특징

구조, 부적절 행위 유형 및 원인

---

## 3. 개선 방향

공급망 관리 시사점과 정책·제도 개선 방안

---

## 4. 국내·SMR 시사점

규제기관·사업자·제작사 역할과 SMR 적용 포인트

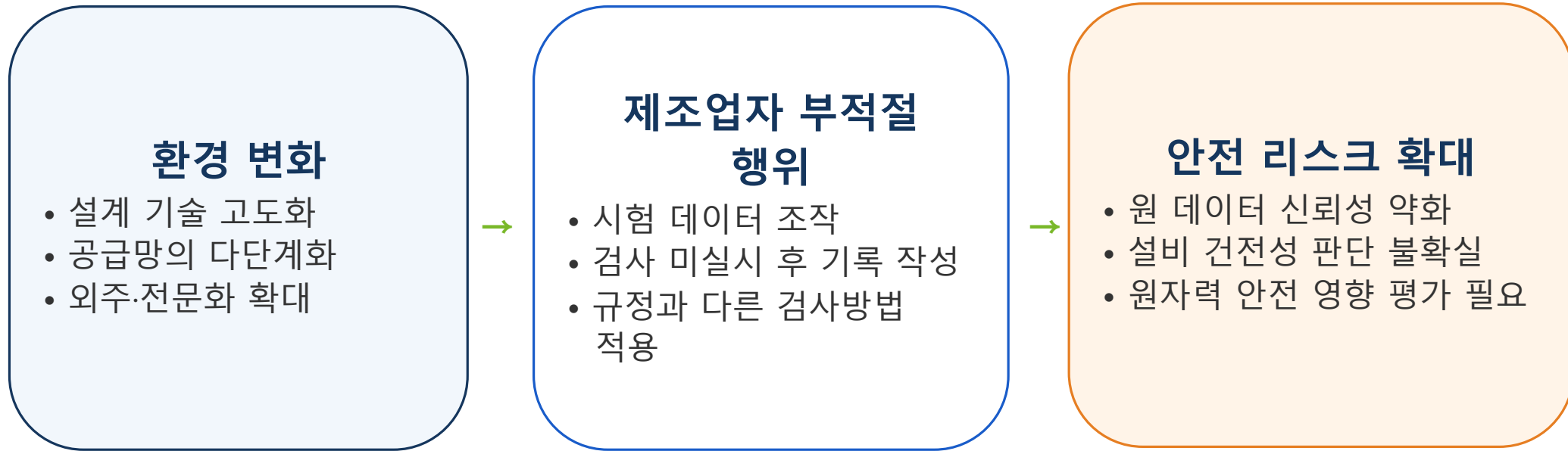
---

## 5. 맺음말

---

현황 및 배경 → ATENA 지침 → 개선 방향 → 국내·SMR 시사점 순으로 주요 내용 설명

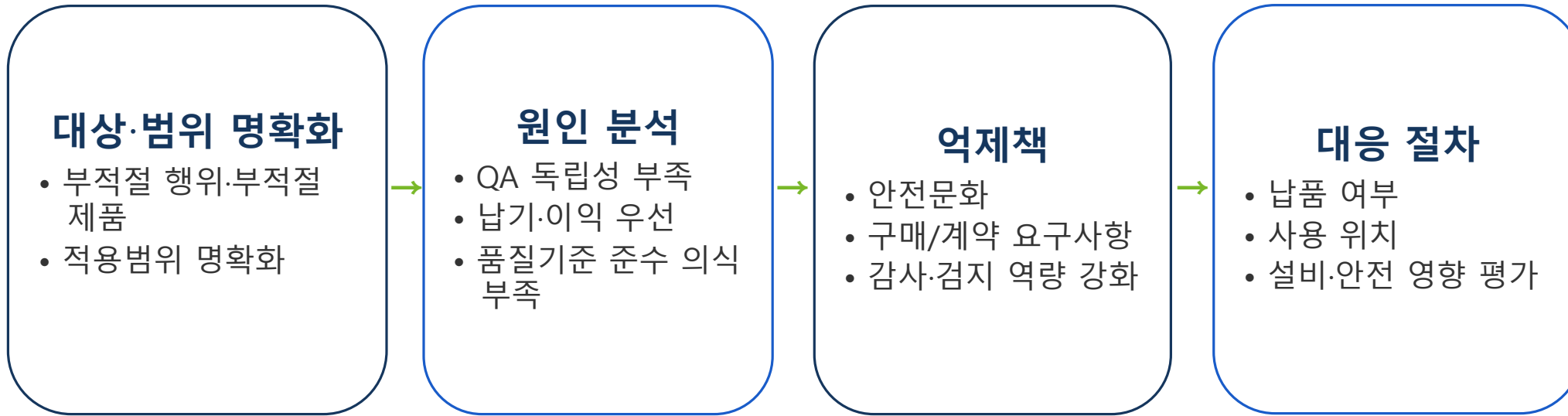
## 1. 현황 및 배경: 제조·공급망 품질 리스크의 확대



제조·시험 단계에서 발생한 품질문제는 안전성 판단의 근거를 흔들 수 있음

제조·시험 단계의 품질문제는 단순 불량이 아니라 원자력 안전 판단의 신뢰성 문제로 확대될 수 있음

## 2. ATENA 지침 특징



차별성: 사후 불량 처리 지침이 아니라 제조업자 행위와 조직문화, 하위 공급망까지 관리대상으로 하는 관리·대응 지침

ATENA 지침은 대상과 적용범위의 명확화에서 원인 분석, 예방 및 발생 시 대응까지를 하나의 일관된 관리체계로 제시함

### 3. 부적절 행위 유형

#### 검사결과 조작 (검사기록 변조)

- 불합격 또는 기준 미달 결과를 합격처럼 보이도록 수치 변경

#### 검사기록 허위 작성

- 실제 시험·검사를 하지 않고 수행한 것처럼 기록 작성

#### 승인되지 않은 검사방법 적용

- 고객 요구 또는 공인 규격과 다른 임의·자체 방법으로 검사

특히 허위 작성은 실제 품질 확인 근거를 훼손하여, 설비 건전성과 안전성 판단의 신뢰성을 저하시킬 수 있음

핵심은 제품 자체보다 품질을 입증하는 기록과 데이터의 신뢰성이 훼손된다는 점임

## 4. 발생 원인: 기술 문제가 아니라 조직·문화 문제

### QA 조직 독립성 부족

- 생산조직에 종속되면 견제 기능 약화

### 납기·이익 우선 문화

- 일정·수익 압박이 기준  
우회 유인

### 품질기준 준수 의식 부족

- 규격·절차보다 “기능상  
문제 없음” 우선

품질기준 준수: 규격, 고객 요구사항, 승인된 절차를 임의로 변경하거나 생략하지 않고 지키는 것

검사결과 확인만으로는 한계가 있으며, 제품 품질과 검사 신뢰성을 좌우하는 조직 구조와 문화까지 관리해야 함

## 5. 발생 시 대응절차: 납품 확인에서 안전 영향 평가까지



### 설비 건전성 평가

- 재시험, 원 데이터, 제조공정, 공정능력 확인
- 제품·설비가 요구 성능을 만족하는가?

### 원자력 안전 영향 평가

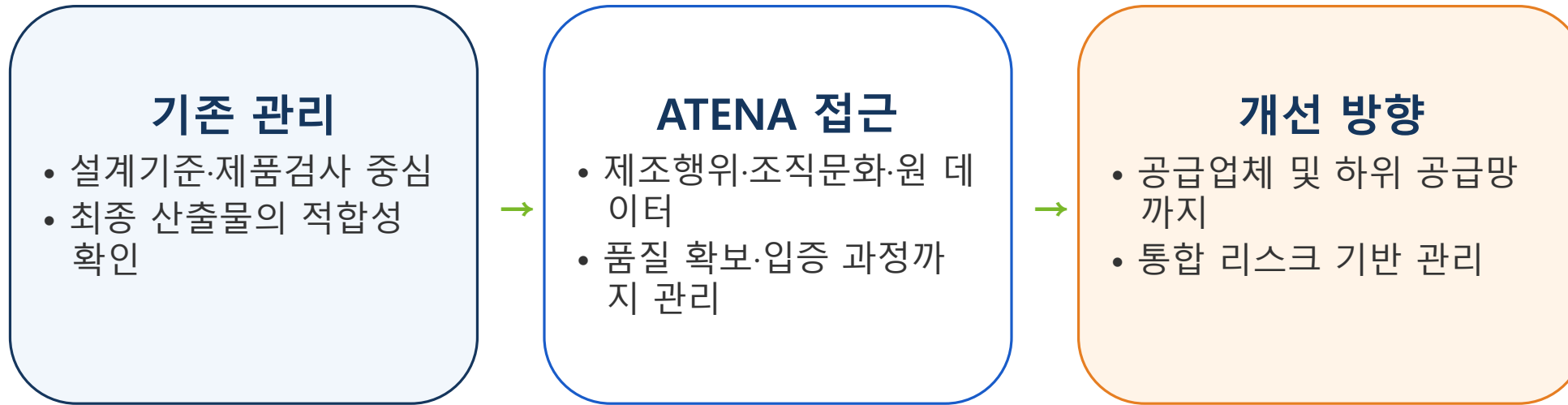
- 다중성·다양성·고장 영향 검토
- 문제가 안전기능에 영향을 주는가?

### 핵심 판단 기준

- 실제 납품·사용 여부
- 설비 건전성 영향 가능성
- 고장 시 원자력 안전 영향

부적절 행위 자체보다 실제 납품·사용 여부와 설비·안전 영향까지 단계적으로 연결해 판단하는 것이 핵심임

## 6. 공급망 관리 관점의 핵심 시사점



Supply Chain Integrity: 품질 데이터, 제조회, 조직문화, 하위 공급망 통제권이 공급망 전반에서 일관되게 유지되는 상태

관리의 초점은 최종 제품 적합성에서 공급망 전반의 무결성으로 이동함

## 7. 국내 적용 방향

### 협력업체 품질문제

- 하위 공급망까지 품질 리스크 전이 가능
- 공급업체 행위와 보고의무 관리 강화

### 시험 데이터 신뢰성

- 성적서 중심 확인의 한계
- 원 데이터 접근·대조·검증 필요

### QA 조직 독립성

- 생산 압박과 품질 판단 충돌 가능
- 독립성·견제 기능 확인 필요

### 안전문화·교육

- 규격 준수 인식 차이 가능
- 품질기준 준수 교육 강화

적용 방향: ATENA 접근을 국내 조달요구, 감사, 데이터 검증, 교육 체계에 단계적으로 반영

ATENA 접근은 국내 실정에 맞게 조달, 감사, 데이터 검증, 교육 체계에 단계적으로 반영할 수 있음

## 8. 정책 및 제도 개선 방안

### ① 공급망 리스크 관리 제도화

- 공급업체 평가 기준 강화
- 하위 공급망 포함 통합 관리

### ② 시험 데이터 신뢰성 확보

- 원 데이터 접근·검증체계
- 디지털 기록관리 도입

### ③ QA 조직 독립성 강화

- 생산부문과 품질판단 분리
- 규제검사 시 QA 독립성 확인 강화

### ④ 교육·안전문화 강화

- 품질기준 준수 교육
- 사례 기반 부적절 행위 발견·식별 역량 향상

사후 적발 중심이 아니라 공급망 리스크·데이터 신뢰성·QA 독립성·교육을 아우르는 예방 중심 체계가 필요함

## 9. 국내 시사점 개요: 역할별 개선 방향

### 규제기관

- 공급망 리스크 감독
- 데이터 무결성·QA 독립성 확인

### 사업자

- 구매·계약 요구사항 및 공급업체 관리
- 사건 발생 시 영향평가

### 제작사

- 현장 품질·원 데이터 관리
- 하위 공급망 통제

규제기관, 사업자, 제작사가 각자의 책임과 수단을 분명히 할 때 공급망 리스크를 효과적으로 줄일 수 있음

## 9.1 국내 규제기관에 주는 시사점

### 감독 범위 확대

- 공급자 등 검사체계를 기반으로 공급망 리스크·조직행위·데이터 신뢰성에 대한 감독 강화

### 데이터 무결성 확인

- 성적서뿐 아니라 원 데이터
- 변경이력·수동 입력 통제 기준 확인

### QA 독립성 감독

- 주요 제작사·공급업체의 독립적 품질판단 및 교육체계 점검

### 보고체계 제도화

- 부적절 행위 인지 시 보고 및 영향평가 착수 기준 명확화

규제기관은 설계·운전뿐 아니라 제작·검사·공급망 단계의 리스크까지 감독 시야를 넓혀야 함

## 9.2 국내 사업자에 주는 시사점

### 구매·계약 요구사항 강화

- 보고의무, 기록 접근권, 현장 확인권한을 구매 시방서·계약에 반영

### 공급업체 리스크 등급화

- 안전 중요도, 실적, 품목 특성을 반영해 감사·입회 수준 차등화

### 원 데이터 검증

- 성적서와 원 데이터 대조
- 검사방법 적정성 및 수동 입력 취약점 점검

### 발생 시 평가체계

- 납품 여부 → 사용 위치 → 설비 건전성 → 안전 영향 평가 절차 사전 정립

사업자는 조달 단계의 관리권한 확보와 사건 발생 시 신속한 영향평가 체계 마련이 핵심임

## 9.3 국내 제작사에 주는 시사점

### QA 독립성 확보

- 생산·납기 압박과 품질판단 분리
- 품질보증 부서의 견제 기능 강화

### 데이터 무결성 체계

- 검사 원 데이터 보존
- 수동 입력 통제, 성적서 자동연계, 변경이력 관리

### 하위 공급망 관리

- 2차·하위 공급처까지 품목·공정·기록·리스크 정보 추적

### 품질문화 내재화

- "기능상 문제 없으면 허용" 인식 배제
- 규격·고객요구 준수 교육 강화

제작사의 핵심은 현장 품질문화, 데이터 투명성, 하위 공급망까지 이어지는 추적성임

## 10. SMR 제작·배치 시사점

### 공장제작 확대

- 주요 모듈·기기 제작과 시험이 현장보다 제작 공장에 집중

### 반복·표준 생산

- 동일 설계 모듈이 다수 반복 생산되어 공통 결함 전파 가능

### 다중모듈 배치

- 단일 부지에 여러 모듈을 단계적으로 설치·운전할 가능성

### 운송·현장 통합

- 공장시험, 운송, 현장 설치·통합시험 간 형상 관리 중요

SMR에서는 제작공장 단계의 품질보증과 반복생산에 따른 공통 영향 관리가 더욱 중요함

## 10.1 SMR 역할별 시사점

### 규제기관

- 제작공장 검사·감독 기준 보완
- 공장시험 데이터 무결성 확인
- 반복생산 공통원인 결함 보고체계

### 사업자

- 모듈별 추적성 관리
- 동일 공급원 결함의 다중모듈 영향 평가
- 운송·보관·설치 형상관리

### 제작사

- 생산라인 QA와 독립검사 강화
- 동일 로트 영향평가
- 2차·하위 공급망 리스크 관리

동일 공급원·동일 로트·동일 공정의 문제는 여러 모듈에 공통 영향을 줄 수 있음

SMR에서는 동일 공급원·동일 로트·동일 공정의 문제가 여러 모듈에 미치는 공통 영향을 함께 확인해야 함

## 10.2 SMR 공급망 추적관리 시사점

### 사전 예방·관리

- 공장시험 원 데이터와 생산공정 기록의 신뢰성 확보
- 핵심·반복생산 품목 공급업체 관리 강화
- 로트·공정·공급망 정보를 사전에 추적 가능하도록 관리

### 문제 발생 시 영향범위 확인

- 문제가 발생한 제품의 사용 모듈 확인
- 동일 생산 로트 및 제조공정 제품까지 조사
- 동일 공급원의 다른 모듈 적용 여부 확인
- 공통 영향 가능성 평가

### 추적해야 할 주요 정보

적용 모듈 → 생산 로트 → 제조·검사 공정 → 공급업체·하위 공급망

SMR은 한 제품의 문제가 여러 모듈로 확산될 수 있어, 동일 로트·공정·공급원의 영향을 신속히 추적해야 함

### 요약

- 부적절 행위는 단순 제품 불량이라 아니라 안전 판단 근거와 공급망 신뢰성의 문제
- 관리대상은 최종 제품에서 제조공정·원 데이터·조직문화·하위 공급망까지 확대되어야 함
- 국내는 규제감독, 조달·공급업체 관리, QA 독립성, 데이터 신뢰성, 교육체계 보완이 필요
- SMR은 위 체계를 공장제작·반복생산 특성에 맞게 한층 정교하게 적용해야 함

최종 제품 적합성 확인을 넘어 공급망 무결성과 데이터 신뢰성, 역할별 책임이 결합된 체계로 발전해야 함

# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.



원자력의 미래를 향한 새로운 10년·기념 워크숍

# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 분과 2 에너지정책 및 미래기술





# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

## 미국의 원자력 대외정책 분석 및 시사점

이광석

서울대학교 원자력정책센터 NEXFO 연구위원

2026년 9월 16일



## 목차

- 01 들어가는 말
- 02 미국 원자력 대외정책의 기초
- 03 최근 정책 변화
- 04 평가 및 시사점

# 1. 들어가는 말

# 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」)

# 미국의 원자력 대외정책과 한국

## ① 한국 원자력 개발의 구조적 기반

원전 도입·기술이전  
U.S. Origin 문제

## ② 민감 핵연료주기의 제도적 관문

원자력협정 사전동의권,  
정치외교적 영향력

## ③ 원전수출·공급망의 전략 변수

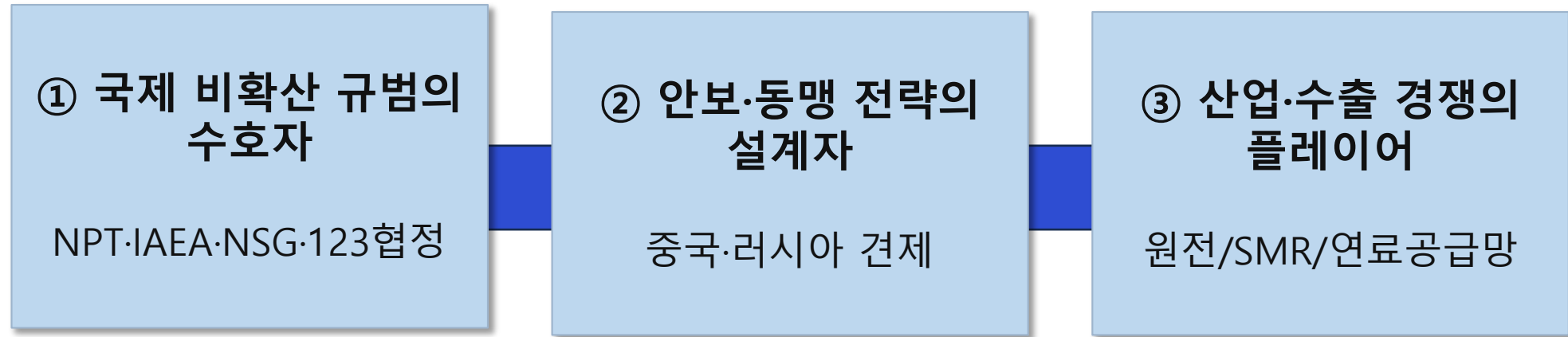
수출통제·안전조치  
동맹·안보·산업 연계

✓ 미국은 기술·제도·외교력을 모두 갖춘 국가로서  
한국의 원자력 개발 전 과정에 지속적으로 영향력을 행사해 왔음

✓ 한국은 이러한 규범과 제약을 정확히 이해하고,  
전략적 원자력 파트너십으로 전환하는 대미 전략이 필요

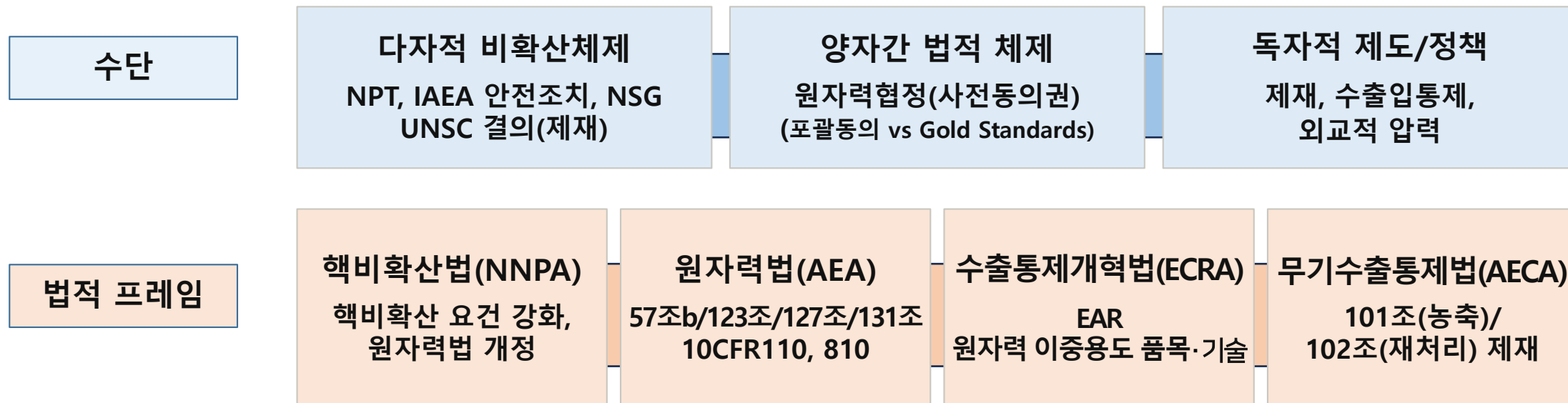
## 2. 미국 원자력 대외정책의 기초

# 미국 원자력 대외정책의 본질



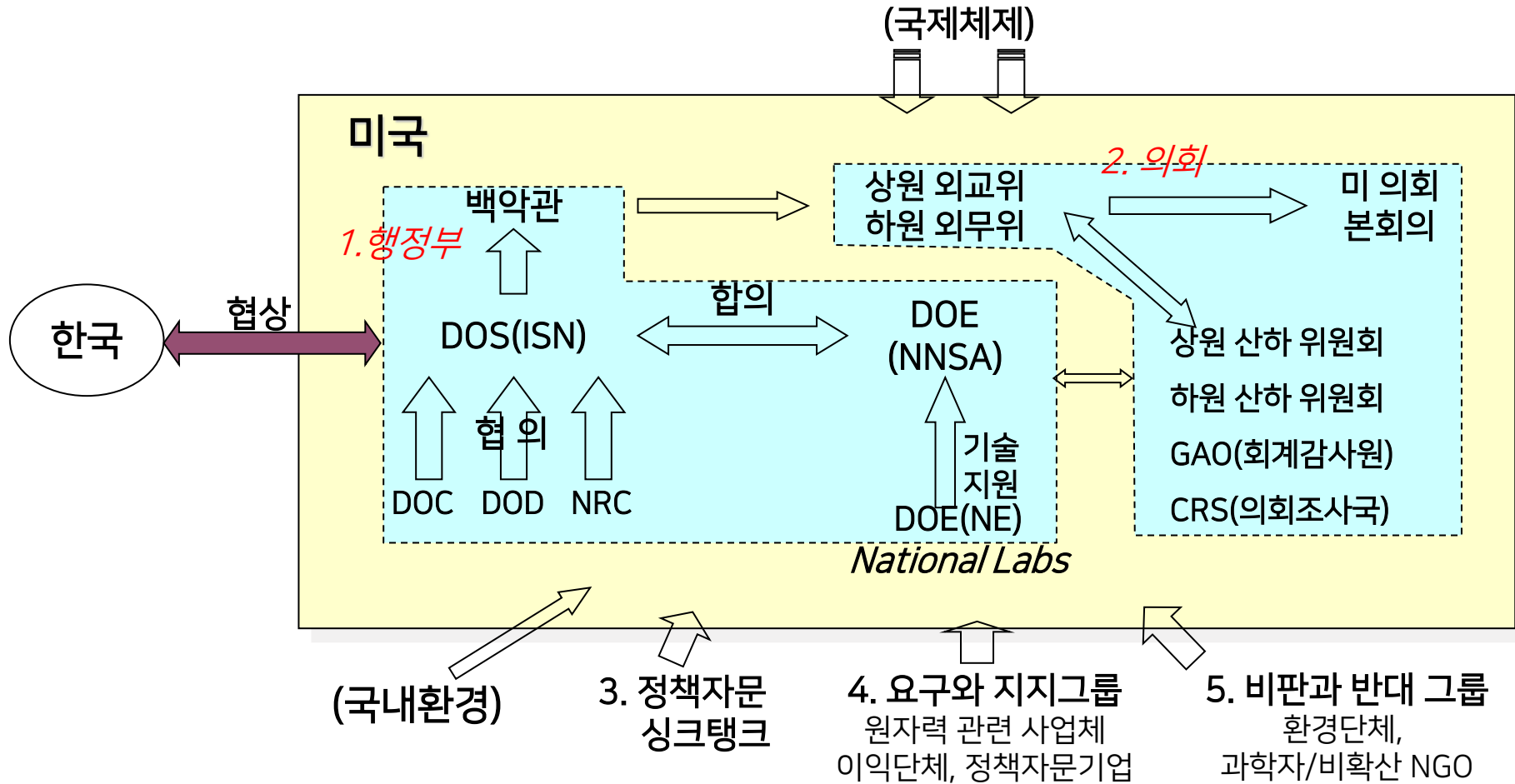
- ✓ 미국의 원자력 대외정책은 세 축이 상호 연계되어 작동하며, 시대와 상대국에 따라 세 요소의 상대적 비중이 달라짐

# 미국 원자력 대외정책의 수단과 법적 프레임



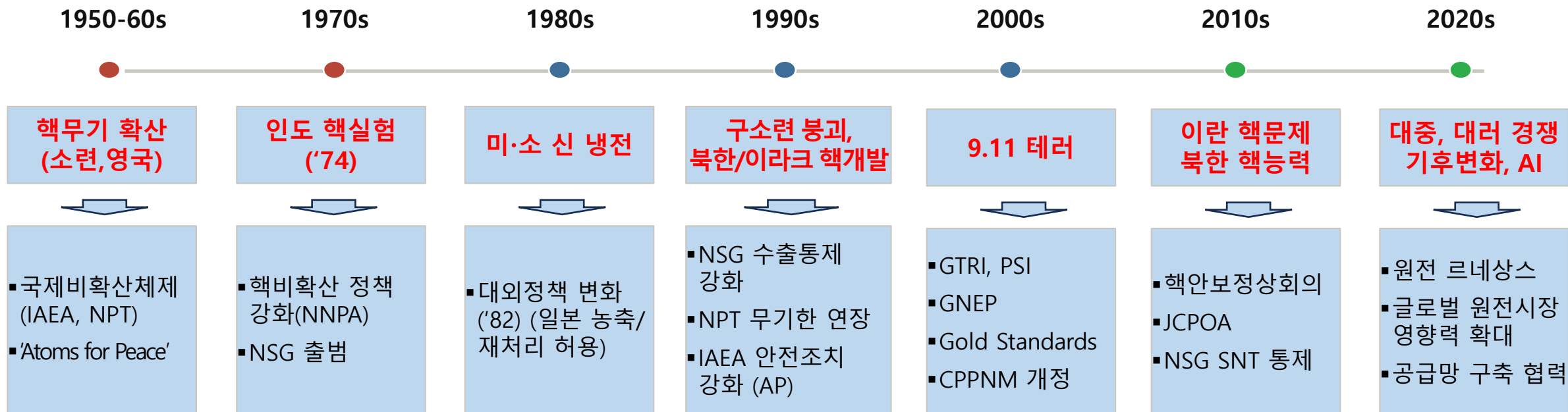
- ✓ 미국은 다자체제·양자협정·독자적 제재 및 수출통제를 중첩적으로 활용하며, 강력한 국내 법·제도가 이를 뒷받침하는 것이 대외 원자력정책의 핵심 특징

# 미국 원자력 대외정책 결정 Players



- ✓ 미국의 대외정책은 다양한 Player들의 참여하에, “부처간 협의” 및 “의회 견제”를 통해 느리지만 제도적으로 강한 결정을 만드는 구조

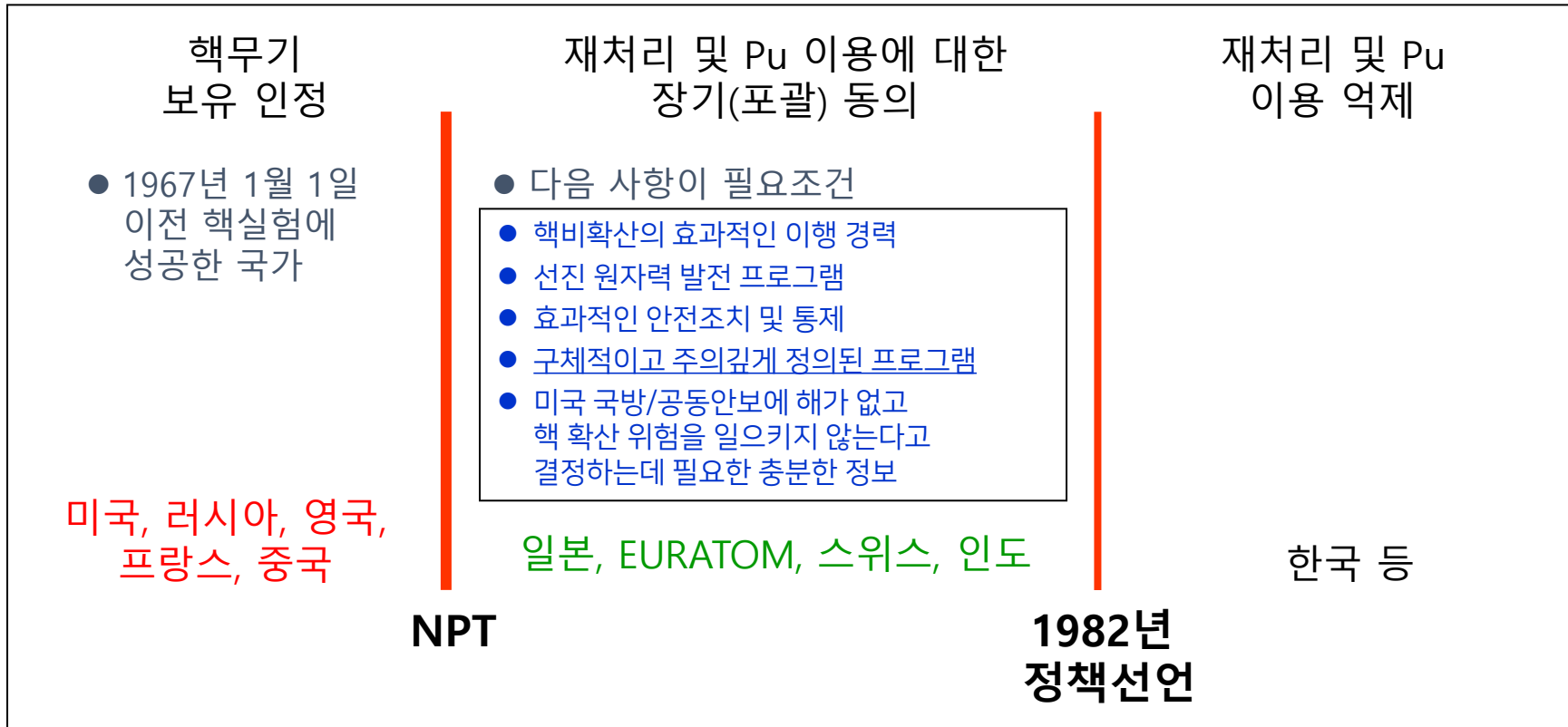
# 미국 원자력 대외정책의 변천



✓ **일관된 축** : 안전조치·수출통제·핵안보 기반의  
국제 비확산 체제(다자, 양자, 독자) 유지

✓ **변화된 축** : 탄소중립·에너지안보·AI 전력수요·대중/대러 경쟁  
→ 원자력 대외정책을 산업전략으로 확장

# 미국 원자력 대외정책의 두 마지노선



- ✓ 미국은 NPT를 1차, 재처리·Pu 이용 억제를 2차 마지노선으로 관리해 왔음
- ✓ 두 번째 영역에서는 비확산 신뢰도와 전략적 관계에 따라 제한적인 정책적 유연성을 적용

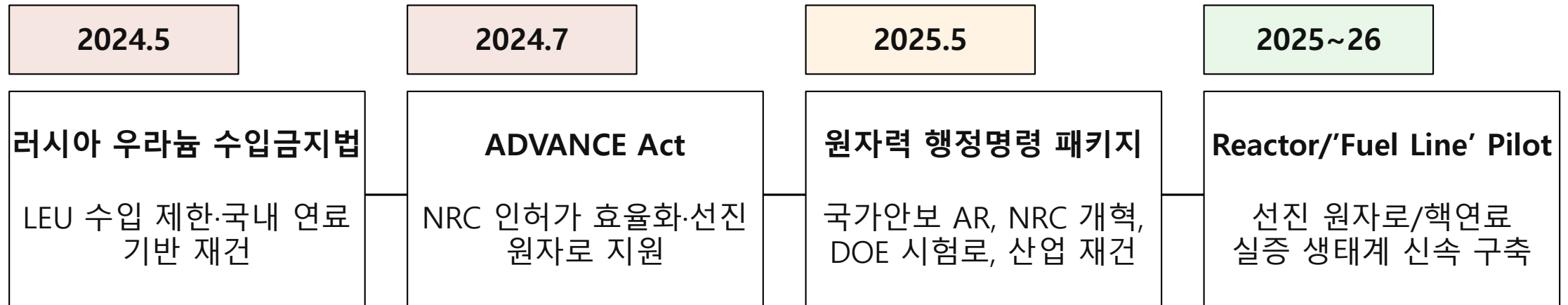
# 미국의 원자력협정 Spectrum

| 대상국의 니즈 반영 ← |                           |                          |                             | → 미국의 억제정책 반영                      |                        |                |             |
|--------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------|----------------|-------------|
| 대상국          | Long-term Advance Consent | Partial Advance Consent  | Conditional Advance Consent | Standard Prior Consent             | Silver Standard        | Gold Standard  | 미국          |
| 표현           | 정해진 시설에서 할 수 있다           | 미언급 (20% 이상 농축 사전동의만 규정) | 특정조건 합의 시 할 수 있다            | "합의하면 할 수 있다" 또는 "합의하지 않으면 할 수 없다" | ENR 정치적 포기 (서문)        | ENR 법적 포기 (조항) | 표현          |
| 사전동의 타결      | ●                         |                          | ●                           | ●                                  | ● ●                    | ● ● ●          | 미국산 핵물질 통제  |
| 정치외교적 영향력 타결 | ●                         | ●                        | ●                           |                                    | ● ●                    | ● ● ●          | 비미국산 핵물질 통제 |
| 대상국          | 일본, EURATOM, 스위스, 인도      | 브라질, 아르헨티나               | 한국 (신협정)                    | 일반 국가, 한국(구협정)                     | 베트남,멕시코, 필리핀, 싱가포르, 태국 | UAE, 대만        | 대상국         |
| 비 고          | 협정 체결 당시 대상국은 기술/시설 이미 보유 |                          |                             |                                    |                        |                | 비 고         |

✓ 미국의 양자간 원자력협정은 대상국과의 관계에 따라 차별적('case by case')으로 체결되어 왔음

### 3. 최근 정책 변화

# 미국 원자력 정책의 “르네상스” 전환



- ✓ 미국은 더 이상 “규제 우위”만으로는 세계 원자력 시장을 주도하기 어렵다고 판단하고,
- ✓ 국가안보·AI 전력수요·공급망 재편을 결합한 산업정책을 강화

# 미국 원자력 행정명령 주요 이니셔티브



(출처: 한국원자력연구원 국제전략포, “미국의 원자력 행정명령 1년 후: 이행 현황 및 평가,” 미국 원자력 정책 동향 시리즈 2026-09호, 2026.6)

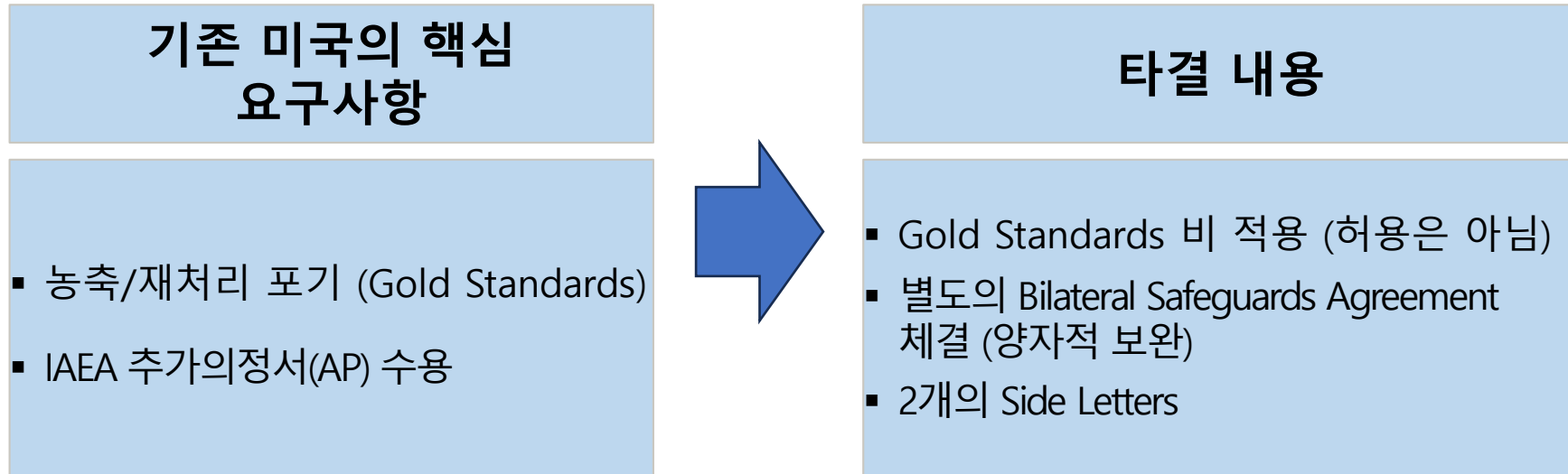
# 대외정책의 중심축 이동: '통제'에서 '경쟁'으로

| 의제        | 미국의 정책 방향                  | 대외정책적 의미                 | 한국에 대한 의미            |
|-----------|----------------------------|--------------------------|----------------------|
| LEU/변환/농축 | 대러시아 의존 축소,<br>국내 공급망 재건   | 동맹국 공급망 재편의 핵심           | 한수원·미국 연료기업<br>협력 확대 |
| HALEU     | 선진원자로 실증·상용화를<br>위한 공급 확보  | SMR/AR 시장 선점의<br>병목 해소   | SMR/AR 협력의<br>실질 조건  |
| 재처리/재활용   | 비확산 우려 속 제한적 R&D·<br>정책 논의 | 1982 정책선언의 적용/<br>유연성 쟁점 | 파이로·사용후핵연료 관리<br>의제화 |

✓ 미국의 공급망 재건은 한국에게 “제약”이 아니라, 전략적 투자·구매·공동시장 진출을 통해 민감분야 협의의 신뢰 기반을 넓히는 기회

# 미·사우디 원자력협정 체결

- 2012년부터 공식 협상 시작, 2025년말 정치적 타결, 2026년 7월 서명
  - ✓ 미 의회 절차 진행 중



✓ 사우디 사례는 국가별 상황에 따라 비확산 목적을 유지하면서  
제도적 유연성을 설계할 수 있음을 보여줌

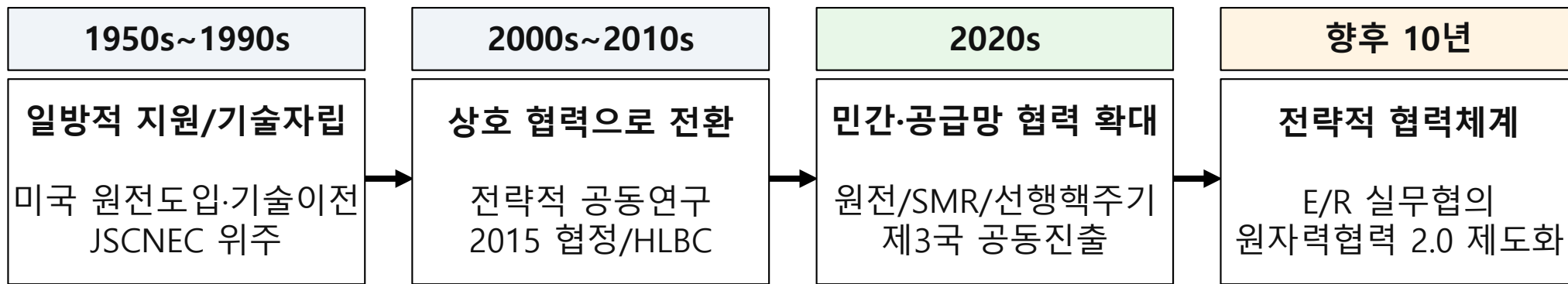
## 4. 평가 및 시사점

# 최근 동향 평가

---

- 미국 원자력 대외정책의 기조는 단기간에 급변하지는 않을 것으로는 보이나,  
2024~2026년 원자력 르네상스 흐름은 산업·공급망·안보 측면의 논리를 크게 강화
  - ✓ 특히 미·사우디 원자력협정 사례는 미국이 비확산 일변도에서 벗어나  
정책 공간을 조정하고 있음을 시사
- 한국은 “통제 대상”에서 “전략적 파트너”로 이동 중이나, 민감 핵연료주기 분야에서는  
여전히 사전동의권과 비확산 논리가 핵심 변수
- 한국의 핵심 과제는 미국 정책의 제약을 이해하고, 그 안에서 전략적 공간을 확장하는 것

# 한국의 위상 변화



- ✓ 한국은 더 이상 미국의 원자력 지원·통제 대상에 머무르지 않고, 글로벌 원전시장과 공급망에서 미국이 필요로 하는 전략적 파트너로 변화 중
- ✓ 이제 그 위상 변화를 제도적 권한과 협력 범위의 확대로 연결 필요

# 한국에 대한 시사점

| 구분     | 기회                           | 제약/리스크                 | 대응 방향                     |
|--------|------------------------------|------------------------|---------------------------|
| 원전 수출  | 미국 정치력·금융·규범과 한국 설계/제조/시공 결합 | IP, 수출통제, 제3국 정책 조율 부담 | 한·미 공동수출 패키지 및 역할분담 모델 정립 |
| SMR/AR | 미국 실증 생태계와 한국 공급망 역량 결합      | 노형 경쟁, 연료 확보, 규제 불확실성  | 투자·제작·실증참여 포트폴리오          |
| 핵연료주기  | 공급망 재건과 한국 구매/투자 수요 결합       | E/R에 대한 비확산 우려와 제도적 제약 | 투명한 R&D·연료공급·SF관리 로드맵     |
| 외교/안보  | 동맹 현대화와 산업안보 의제 확대           | 미국 내 정치·의회·NGO 반응      | 의회·싱크탱크 네트워크 병행           |

- ✓ 한국은 세계적 원전 산업 역량과 비확산 기록을 바탕으로 “전략적 원자력 파트너”의 위상을 제도화해야 함
- ✓ 기술 필요성뿐만 아니라, 미국의 원자력 르네상스·공급망 안보·대외경쟁에 기여한다는 논리로 대응

# 원자력 지속가능성에 대한 NEXFO 워크숍

감사합니다.



원자력의 미래를 향한 새로운 10년·기념 워크숍