

# SMR의 미래, 우리는 무엇을 준비하여야 하나?



김무한  
포항공과대학교 특임교수  
경상북도 K-과학자

장소/일시



한국원자력학회 춘계 학술대회  
2026. 05. 06

KEY FRAMING

기술+인력+정책+공방

# 왜 지금 SMR인가?



SMR은 “기술” 만이 아니라 인허가·금융·공급망이 결합된 산업 시스템 경쟁.  
FOAK 실증 데이터가 NOAK 확산 속도를 좌우

01



탄소중립

전력계 탈탄소화 가속 → 무탄소 기저전원의 재평가

02



AI·데이터센터 전력수요

24/7 고신뢰 전력 요구 증가 → 전력 경쟁력=산업 경쟁력

03



대형 원전의 한계

CAPEX·리드타임 부담 → 모듈화·표준화로 리스크 분산

04



획기적으로 안전한 원전을 위한 글로벌 경쟁

미국·중국·유럽의 실증 가속 → 인허가·표준 선점 경쟁



골든타임

향후 5~10년이 시장·표준을 결정→ 지금의 준비는 '30년대 수출 경쟁력으로 귀결.

\* FOAK: First-of-a-kind

\* NOAK: Nth-of-a-kind

# SMR의 미래 가치: 전력 그 이상의 가능성

SMR은 '원전'이 아니라 '에너지 허브'다

⚡ 전력(MWh) 판매를 넘어 열(°C)·물(m<sup>3</sup>)·수소(kg) 등 다중 산출물(Outputs)로 수익모델을 다변화  
가치는 LCOE 단일 지표가 아니라, 분산형·다목적 활용에서 발생하는 시스템 가치(System Value)로 평가

01



유연한 에너지원(부하 추종)

재생 변동성 보완 · 계통 안정성 강화

재생에너지 변동성 보완: 출력 조정으로 계통 안정성 강화  
주파수·예비력 등 계통서비스 가치까지 확대

02



비발전 활용(열·물·수소)

전력 외 수요를 '탈탄소'로 전환

담수화·공정열·수소 생산으로 전력 외 수요를 '탈탄소'로 전환  
코제너레이션 가치로 경제성 프레임 전환

03



분산형 전원(수요지 인접)

산단/데이터센터 직접 공급 · 품질 강화

송전망 포화·입지 제약 완화: 산업단지/데이터센터에 직접 공급  
Behind-the-meter로 전력 품질·안정성 강화

04



에너지 허브(시스템 통합)

'단일 설비' → '플랫폼' 전환

전력·열·수소·저장 통합 운영: '단일 설비'에서 '플랫폼'으로  
디지털트윈/AI 최적화로 가용도 ↑ · OPEX ↓

\* LCOE: Levelized Cost Of Energy  
\* OPEX: Operational Expenditure

# 글로벌 SMR 경쟁 현황

기술만큼 중요한 것은 실증(FOAK) · 규제 · 공급망 · 금융의 동시 성숙

💡 먼저 돌린 나라'가 데이터 · 표준을 선점 — 실증(FOAK) · 규제 · 공급망 · 금융을 동시에 성숙시킨 국가가 시장 구조를 정의

 미국  
TerraPower / NuScale

 중국  
ACP100 '링롱원'

 유럽/영국  
Rolls-Royce SMR

## 대표 노선

차세대 원자로 노선 + 경수로 SMR 사업 재편

## 진척도

허가/착공/실증 진행

## 차별화

민간투자+규제 혁신 연계, 수요처 모델 조기 확보

## 리스크

FOAK 비용 · 금리 민감, 일정 변동

## 시사점(한국)

산단 · 데이터센터 오프테이크 모델을 조기 설계

## 대표 노선

PWR SMR 중심, 국가 주도 실증 · 상용화

## 진척도

운전/상업운전 임박

## 차별화

국가 주도 공급망 동원, 표준화 · 양산 지향

## 리스크

투명성 · 국제 신뢰 이슈, 규제 호환성

## 시사점(한국)

실증 속도가 표준을 좌우 → 데이터 확보 우선

## 대표 노선

부지 선정 + 공급망 패키지 구축(양산 지향)

## 진척도

개발/설계 · 제도 구축

## 차별화

유럽 규제와 제조 기반 결합, 패키지형 공급망

## 리스크

투자결정 지연 가능, 다국가 조달 · 정치 변수

## 시사점(한국)

코드 · 규격 표준 주도 + 상호인정 협력

# 사례 분석: 중국 링롱원(ACP100)

세계 최초 육상 상업용 SMR 운전 단계 진입이 갖는 기술·제도적 시사점

“상업운전 데이터(FOAK)가 곧 규제·금융·표준의 언어가 된다” — 실증 속도와 증거 구축이 핵심 경쟁력

핵심: 다중 산출물(Outputs) 설계가 수요처·계약 구조를 넓힘

## 핵심 스펙 & 시사점



### ACP100 ‘링롱원’ FOAK

핵심 스펙 (공개 사양 기준)

형식: PWR SMR

출력: 약 125 MWe

진척: 2026 상반기 상업운전 목표

활용: 전력 + 난방 + 증기 + 담수화

공개 자료 기반 요약(일정·출력은 프로젝트별 변동 가능)



### FOAK 데이터 선점이 ‘표준’이 된다

운전·정비·공급망의 실측 데이터가 후속 호기 확산을 가속

운전·정비·공급망의 실측 데이터가 축적되면, 후속 호기(NOAK)에서 비용·일정 예측 오차가 급감합니다.

결과적으로 인허가·보험·금융이 요구하는 증거 기반(Evidence-based) 패키지를 선점하게 됩니다.



### ‘다목적’은 시장 확장의 레버리지

전력 단가(LCOE) 프레임을 넘어 수익모델 다변화

전력 단가(LCOE)만이 아니라 열·수(水)·증기를 함께 판매해 경제성 프레임을 전환합니다.

수요지 인접 배치로 적용성을 확대하고, 표준화된 “에너지 허브”로 패키지 수출 시 정책·금융·서비스까지 동반 확장합니다.

# 한국 i-SMR 개발 현황(개요)

i-SMR은 '설계'가 아니라 '산업 시스템'으로 완성된다 — 기술(TRL) + 인허가(SDA) + 공급망(제조) + 수요처(PPA/산단)


## 인허가 마일스톤(계획)


✓ 2026 SDA 신청  
표준설계인가 절차 착수


🚩 2028 SDA 인가 목표  
심사·검증 고도화 연계

\* SDA: 표준설계인가(Standard Design Approval)  
(일정은 정책·사업 구조에 따라 변동 가능)

## 기술 개념(요약) — 4가지 특징

01  일체형 PWR  
주요 기기를 용기 내 집적 →  
계통 단순화·시공 리스크↓

02  피동형 안전  
무전원·무개입 열제거 경로 →  
안전여유 확대

03  모듈화 제작  
공장 제작·표준화로 리드타임 단축  
및 품질 일관성↑

04  디지털 I&C / 운영  
디지털트윈·AI 운영 +  
사이버보안 내재화

## 실증·사업화 준비



제조 인프라(제작지원센터) + 수요처 파일럿(데이터센터/산단) + Behind-the-meter 모델 검토  
제조 기반 강화(주요기기·모듈 제작/시험·품질)와 오프테이크(PPA/공정열) 동시 설계

# SMR 특별법(2026.2)과 제도적 기반 (소형모듈원자로 개발 촉진 및 지원에 관한 특별법)

기술개발을 ‘사업화·실증’으로 연결하는 법적 패스트트랙: 계획·거버넌스·지원·실증 기반을 제도화

법 제정은 출발점 — 실증부지·인허가 디테일·금융을 결합해 FOAK를 실제로 착수시키는 것이 다음 과제

이제 관건은 ‘집행력’과 ‘실증 속도’

법안 한눈에 보기 (타임라인)

**STEP 1** 2026.02 국회 통과  
R&D → 실증 → 사업화까지 연속 지원 체계를 법으로 고정

**STEP 2** 2026.09.11 시행 예정  
실증부지·규제 디테일·금융(PPA/보증)과 결합해 FOAK 착수로 연결


**STEP 3** 5년 주기 기본계획 + 연차 집행  
예산·인프라·인력의 일관성 확보, 연차 점검으로 리스크 조기 관리

거버넌스 · 지원 패키지

 거버넌스  
장관급 위원회 중심 범정부 추진체계

부처 간 R&D·실증·산업정책 연계, 민간 참여(투자·엔지니어링) 촉진

핵심: 원팀 운영 · 집행력

 지원 패키지  
R&D · 실증 · 사업화

- 특구: 규제·인프라 집중(시험·검증 환경)
- 인력: 규제과학·QA·IV&V·사이버보안
- 민관협력: 공급망·투자·수요처 모델 연계

# 장밋빛 뒤의 현실: 우리가 풀어야 할 과제

핵심 리스크는 “기술”이 아니라 경제성·규제·수용성·공급망·금융의 동시 성숙

⚠️ FOAK를 ‘사업’으로 만들려면 리스크를 ‘설계’해야 한다

우선순위 프레임

⚡ High leverage  
인허가·금융을 먼저

⚙️ Execution  
공급망·부지·수요처 동시

5대 과제 = 상용화 병목(Bottlenecks) 체크리스트

01 경제성  
FOAK → NOAK 전환

공장제작·복제효과로 단가/일정 불확실성 축소  
관건: 조달 표준화 (Procurement)

02 인허가  
RIA 기반 규제체계

혁신설계(피동형 등)를 반영하는 SMR 전용 기준·검증도구  
핵심: 성능기반·데이터 심사

03 수용성/부지  
‘안전’에서 ‘안심’으로

투명 데이터·모니터링 공개, 지역 이익공유 및 절차 설계  
목표: FOAK 를 가장 효율적으로 건설 운영할 수 있는  
곳을 찾아야 한다

04 공급망/연료  
병목 제거·품질보증(QA/QM)

주기기·단조품·계측제어·연료의 생산능력과 품질 체계를 동시 확보  
결과: 리드타임·변동성 감소

05 금융(프로젝트 파이낸스)  
리스크배분 설계

PPA·CfD·보증 등으로 높은 CAPEX·금리 민감도를 완화  
FOAK는 특히 자본비용이 LCOE를 좌우

🎯 과제는 독립적이지 않습니다 — 인허가·금융이 해결되면 공급망 투자와 NOAK 전환 속도가 함께 빨라집니다.

\* CfD: Contract for Difference  
\* CAPEX: CAPital EXPenditure


# 기술적 우수성과 안전성(핵심 포인트)


 안전성은 ‘기술’이 아니라 검증 데이터로 완성된다


기술 패키지 — 안전(피동형) · 단순화(일체형) · 유연성(부하추종) · 디지털(운영/보안)


01  통합 원자로 시스템  
설계 단순화 + 표준화로  
품질·검증 효율 ↑

02  피동형 안전  
무전원 열제거로  
안전여유 확보

03  일체형·모듈형  
주요기기 집적 + 시공 리스크 ↓  
→ 리드타임 개선

04  디지털 I&C · 보안  
자동화·감시·진단으로 운전 신뢰성 ↑, 사이버보안 내재화

05  부하 추종 운전  
재생 변동성 대응 + 열·전기 하이브리드로 계통 가치 확대

 실증·운영 데이터로 완성 (Validation)  
열수력·노심·계통 통합 성능 + RIA 인허가 + QA/QM + 운영절차(SAMG) 정교화  
안전성 ‘주장’ → 안전성 ‘증명’ → 실증·운영 데이터로 규제·수용성·금융을 연결

# 글로벌 리더십 전략 로드맵('26~'35)

SDA 확보 → FOAK 실증 → NOAK 양산·수출: 시간과 증거(데이터)를 선점하는 실행 로드맵

⚡ '실증 속도'가 곧 표준·시장 지배력 — SDA/허가·데이터·계약·국제 상호인정을 동시에 선점

성과 기준

① SDA/허가 리드타임 ② FOAK 운전·정비 데이터 ③ 수요처 계약(PPA/열·수) ④ 국제 상호인정/표준  
\* 수치/목표값은 사업 구조에 따라 상이

3단계 실행: 인가(SDA) → 실증(FOAK) → 양산(NOAK)

'26  
~'28



제도·실증 착수  
SDA 확보·부지/인허가

조달·QA 선행 구축으로 FOAK 불확실성 최소화  
핵심: 착수 가능성을 결정

'28  
~'31



FOAK 실증  
건설·시운전·데이터 축적

수요처 파일럿(DC·산단)로 학습곡선 확보  
핵심: 증거(데이터) 축적

'31  
~'35



양산·수출  
NOAK 양산·패키지 수출

전력+열+담수+서비스 System Export  
핵심: 신뢰 → 계약 전환

국제 공조 패키지



공동 인허가/상호인정·코드·규격·IV&V  
공동 실증·시험/검증+데이터 공유 체계  
목표: 상호인정 기반의 리드타임 단축

전 기간 공통 성공요인(Enablers)



규제·검증  
RIA·데이터



공급망·QA  
단조품·I&C



금융 구조  
PPA·보증  
·CfD



수요처

# 인재 양성과 융합 역량

원자력 엔지니어링을 디지털·규제·금융과 결합해 설계→인허가→사업화 전 주기 역량을 만든다

🎯 인허가·QA·금융을 이해하는 “시스템 인재”가 SMR 속도를 결정

핵심 역량 맵(융합)



3단계 파이프라인 = 교육(Entry) → 전문화(Deepening) → 현장 확산(Scaling)

Stage 01 Entry  
학부(기초)

인공지능 및 인공지능을 이용한 교육으로의 개편  
산학 프로젝트로 문제정의 훈련

Stage 02 Deepening  
대학원(전문화)

전문 분야 교육과 함께  
인허가 및 규제, 보안 및 관련 법과 금융 교육 필요

Stage 03 Scaling  
재직자(Upskill)

QA/QM·코드/규격, 인허가 문서화, EPC·프로젝트관리, 공급망·조달 혁신

핵심: 현장 표준화가 NOAK를 만든다



# 결론: SMR은 전기를 만드는 기술이 아니라, 표준·데이터·신뢰를 수출하는 국가 전략 인프라

골든타임(5~10년) 안에 실증 데이터·규제 프레임·수요처 모델을 선점해야 표준과 시장을 주도

⚡ 속도 = 안전·경제성·수출의 동시 달성 조건

🕒 Golden Time  
5~10년 내 FOAK 착수·운전 데이터

🚩 National Strategy  
에너지 안보 × AI 주권 — 전력 경쟁력=산업 경쟁력

실행 과제 3가지 = 실증(증거) · 규제(속도) · 수출(사업 모델)

01 Action 01 · 실증 가속화  
FOAK 착수

실증부지 선정/인허가 패스트트랙 + 시험·검증(IV&V) 강화  
목표: 운전·정비 데이터로 NOAK 학습곡선 확보

02 Action 02 · 규제혁신  
RIA 기반·성능기반 심사

혁신설계(피동형·일체형)를 반영하는 기준 + SDA/검증도구  
고도화  
원칙: 안전 타협 없이 리드타임 단축

03 Action 03 · 수출 패키지화  
System Export

전력+열+담수+서비스를 묶고, 수요처(산단·DC)와 PPA·보증·CfD 결합  
핵심: 표준·금융·운영까지 포함

산·학·연의 역할: “기술 리더십” 과 “사회적 신뢰” 동시 구축

실증(증거)  
데이터 공유·IV&V 고도화  
운전·정비 데이터로 신뢰 구축

규제(속도)  
규제과학·문서화 표준  
성능기반·데이터 심사 정착

수요처(사업)  
산단·DC 계약·금융 결합  
PPA/CfD/보증으로 자본비용 완화

# 결론: 성공을 위해서는 긴밀한 협력이 필요하다

기술·인허가·금융·공급망을 하나의 실행체계로 연결하는 “협력 거버넌스”가 FOAK→NOAK를 좌우

핵심 메시지



Golden Time

FOAK 착수·운전 데이터 확보를 위한 실행 협력의 골든타임



National Strategy

부처·지역·민간·산학연이 ‘원팀’으로 움직일 때 국가 경쟁력으로 전환

01

부처 협력 정렬

(법정부 실행력)

R&D·인허가·산업정책·인력·수출금융을 단일 일  
정표로 정렬하고, 데이터/검증(IV&V)·QA·표준을  
공동 운영

핵심: 원팀 거버넌스

02

중앙-지방-사업자

(부지·수요처·사업화)

실증부지 선정·지역 수용성·인프라·계약(PPA 등)  
을 패키지로 설계해 “실증→확산” 경로를 고정

핵심: 부지/수요처 동시

03

산·학·연 연계

(기술·검증·인재·공급망)

실증 데이터 축적·모델 V&V·품질보증(QA/QM)·  
제조 역량을 공동 강화하고, 융합 인재를 양성

핵심: 데이터 기반 신뢰

FOAK 는 연구 개발, 건설, 운영 및 수요처가 가장 효율적으로 연결, 보완되도록 준비

항상 행복하십시오

감사합니다



연락처

mhkim@postech.ac.kr