*Korean Nuclear Society Spring Meeting,*
*Jeju, Korea, May 18-20, 2022*

# Risk Management of Micro Nuclear Reactor Projects

# 초소형 원자로 개발 사업의 위험 경영

이 태 준

한국원자력연구원

KAERI Korea Atomic Energy Research Institute

# 목 차


- 서론
- 연구 방법
- 초소형로 사업 공급 위험
- 초소형로 사업 수요 위험
- 초소형로 사업 전략 경영
- 결 론


KAERI 한국원자력연구원 Korea Atomic Energy Research Institute

# 1. 서 론: 연구 배경 및 목표

❑ 초소형로 (정의): 매우 작은 규모의 원자력 시스템

O (통상)30 MWe 이하의 전기 출력 또는 100MWth 이하의 열 출력 생산

O (본고) 5 Mwe급의 전기 출력, 60년 설계수명

미국 국방부는 5~10 MWe의 초소형로,

캐나다 온타리오주 북부 광산에는 5MWe급 이하의 초소형로 적합 판정

영국 에너지및산업전략부(BEIS)용 초소형로 시장분석 5 MWe급 초소형로 가정

KAERI 한국원자력연구원 Korea Atomic Energy Research Institute

❑ 초소형로 개발 동향: 원전 태동기 부터 미국과 러시아가 개발 선도

O 원격지, 극지 및 군사기지용으로, 주로 경수로 기반의 초소형로 개발 이용

O 후쿠시마 원전사고를 전후에서 초소형로 개발 국가 증가

- 미국, 러시아 뿐만 아니라 캐나다, 중국, 일본이 초소형로 개발 시작

더욱 최근에는 영국, 스웨덴, 한국이 초소형로 개발에 합류

# 1. 서 론: 연구 배경 및 목표

❑ 초소형로 기술 동향: 세계적으로 **5**가지 유형이 개발 중

**O** 경수로형(**3**세대); 고온가스로형, 고속로형, 용융염로형(**4**세대); 열전도관형

**O** 경수로 기반의 초소형로 개발이 가장 상용화에 근접 (러시아 주도)

**O** **4**세대 개념 중에는 고온가스로 상용화 가능성이 가장 높게 전망

- 최상의 안전성 및 높은 인허가 획득 가능성 때문 (미국 주도, 영국, 캐나다)

❑ 초소형로 사업 세계 현황 (2021년 현재)

| | 미 국 | 러 시 아 | 한 국 | 일 본 | 캐 나 다 | 영 국 | 스 웨 덴 | 계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 경수로형 | 1 | **5** | **1** | **1** | | | | **8** |
| 고온가스로형 | **2** | **2** | **1** | | **1** | **1** | | **7** |
| 고속로형 | **2** | **1** | **2** | **2** | | | **1** | **8** |
| 용융염로형 | **1** | **1** | | | **1** | | | **3** |
| 열전도관형 | **4** | | | | | | | **4** |
| 계 | **10** | **9** | **4** | **3** | **2** | **1** | **1** | **30** |

한국원자력연구원
Korea Atomic Energy Research Institute

# 1. 서 론: 연구 배경 및 목표

❑ 초소형로 수요: 사회적 수용성 관건 (~2035년) (이태준, 2021)

O 사회적 시나리오: 원격지와 군사용으로 제한 **2,125MWe (5 MWe 425기)**

O 경제적 시나리오: 원격지와 군사용 수요 증대 및 신규 시장 창출 **5,495MWe (1,099기)**

| Potential market | | NUVIA(2016) | | Lee (2021) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | MWe | unit | MWe | unit |
| Industrial Facilities | Data Centers | 250 | 50 | 500 | 100 |
| | Desalination | 125 | 25 | 125 | 25 |
| | Sub-total | 375 | 75 | 625 | 125 |
| Remote Sites | Remote Islands | 250 | 50 | 500 | 100 |
| | Remote Mines (HV) | 125 | 25 | 250 | 50 |
| | Remote Mines (LV) | 150 | 30 | 150 | 30 |
| | Sub-total | 525 | 105 | 900 | 180 |
| Military Sites | Military Facilities | 300 | 60 | 1,225 | 245 |
| Power Generation | 분산형계통전원 | 500 | 100 | 500 | 100 |
| | 발전소비상전원 | 1,150 | 230 | 1,860 | 372 |
| | 화력발전대체 | 0 | 0 | 385 | 77 |
| | Sub-total | 1,650 | 330 | 2,150 | 430 |
| Total | | 2,850 | 570 | 5,495 | 1,099 |

한국원자력연구원 KAERI Korea Atomic Energy Research Institute

# 1. 서 론: 연구 배경 및 목표

❑ 초소형로 사업 현안: 기술부터 시장 확보까지 매우 높은 불확실성

O 개발 현황: 7개국에서 약 30개 개념 개발중

O 연구개발/기술혁신 현황: 대부분 개념설계 단계

- 최초 실증/상용 배치 전망: 2020년대 후반/2030년대 초반 미국과 캐나다

O 기술혁신 현안:

- 공급 위험: 신개념 실증 위험, 인허가 취득 (기술성에 보다 의존) 위험
- 수요 위험: 사회적 수용성, 시장, 정부정책 변화, 손해배상 및 복구

❑ 초소형로 사업의 위험 경영 필요성

O 초소형로 사업 성공 선결 조건: 투자 위험 해소

❑ 연구 목표 및 용도

O 공급과 수요측면의 투자 위험과 해소방안 검토

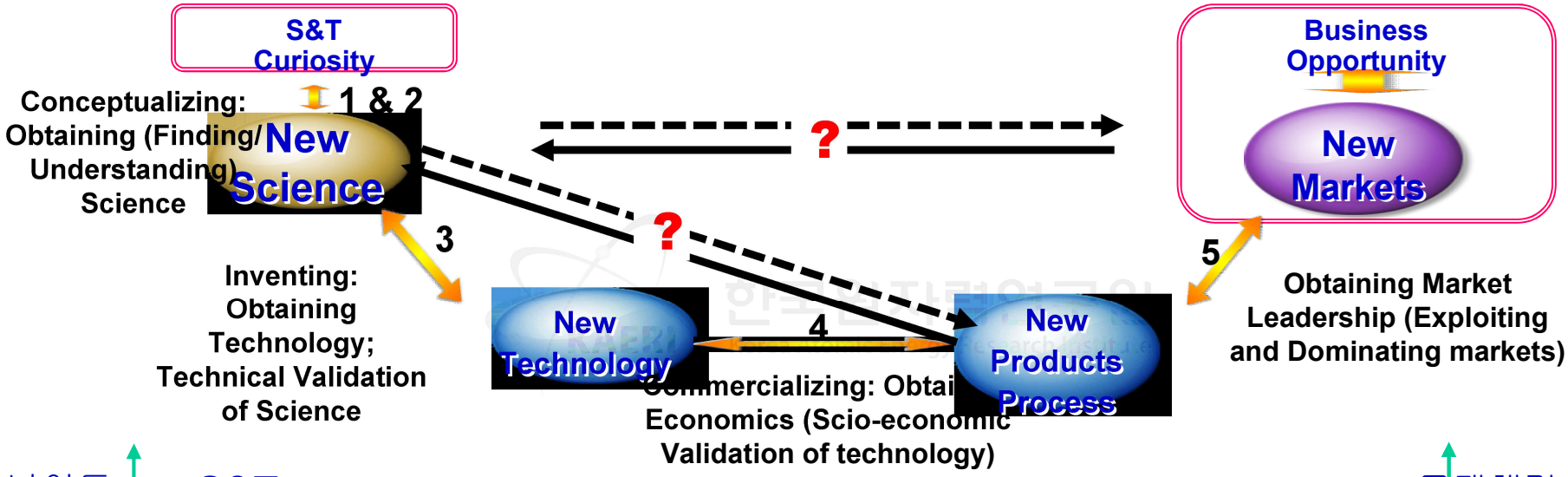
O 초소형로 사업 성공을 위한 전략 개발 및 경영에 활용

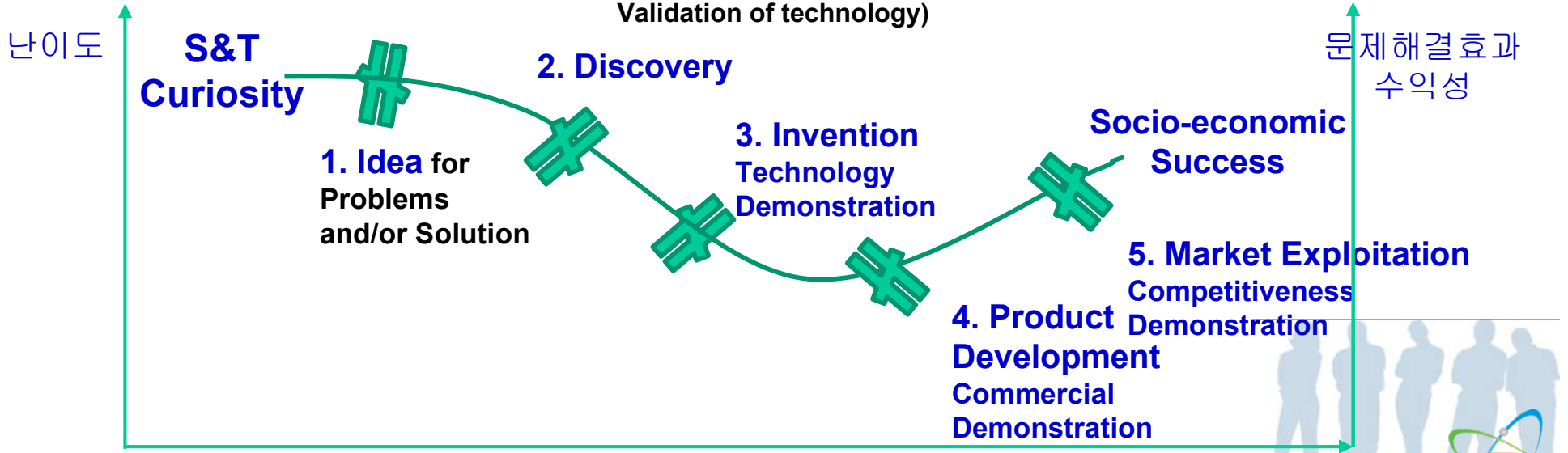
# 2. 연구방법: 초소형로 사업 위험

## ❑ Schumpeter: 신 산업 창출 원천 기술혁신 위험

### "Five Death Valleys"

* 원천기술혁신은 **새로운 문제, 이를 해결하기 위한 과학, 기술과 잠재적 시장에 대한 정보,** 그리고 이를 수행하는 데 필요한 역량과 활동을 **matching** 시키는 매우 복잡하고 어려운 과정을 거쳐야 함 **(Freeman, 1982: 10).**



# 2. 연구방법: 초소형로 사업 위험 및 극복 방안

## ❑ 신 산업 창출 원천 기술혁신 위험과 극복 방안

| 문제 - 죽음의 계곡 - 해결 | | 극복 방안 | | |
|---|---|---|---|---|
| 단계 | 핵심 활동 | 산출물 | 성과 | 증명 |
| 문제 발견 | 새로운 문제 파악 | | | |
| 계곡 1<br>새로운 원리 발견 정립<br>(기초 연구) | 새로운 개념 정립<br>새로운 과학적 원리 발견, 규명 및 이해 | 새로운 가설, 법칙, 이론, 이들의 조합 | (과학 실증)<br>개념(과학) 변화: 새로운 작동 원리 제시 with 새로운 가설, 법칙, 이론 발견/정립: 기존의 대안(대형경수로) 또는 경쟁자(eVinch) 대비 (핵심)개념 (원리) 차이점 | 논문<br>(세계수준) |
| 계곡 2<br>새로운 원천 기술 발명<br>(응용 연구) | 새로운 개념 기술화<br>새로운 개념 (과학 원리)의 실제적 응용 완성 및 실증 (TRL5) | 발명 시 제품/원형 공정, 관련 설계/공정 문서/도면 | (기술 실증)<br>기술 변화: 새로운 시(험)제품(prototype product),<br>시(험)/원형 공정(pilot plant) | 특허(삼극),<br>??(비밀) |
| | | 기존 대안(대형경수로) 또는 경쟁자(eVinch) 대비 (핵심) 기술 대안의 기술적 기능/성능 차이 | | |
| 계곡 3<br>새로운 상품 개발 (개발) | 새로운 개념 상품화<br>실증된 기술의 상용화 (경제성) 실증<br>(현실/시장 환경) | 상용 시제품/공정,<br>관련 설계/공정 문서/도면 | (상품 실증)<br>상품 변화: 신 상품 또는 신 생산공정 | 상품<br>기능/성능 실증 |
| | | 기존의 대안(대형경수로) 또는 경쟁자(타 초소형로 또는 타초소형에너지원(신재생, 디젤발전 등) 대비 상품 대안의 문제해결 능력 (경제성, 환경성, 사회성) 차이 차이 | | |
| 계곡 4<br>새로운 시장 개척 (판매) | 새로운 상품<br>생산·판매 | 최초 고객 확보 | (시장 실증)<br>기존 시장 진입 또는 신 시장 개척 | 최초 고객 확보 |
| 계곡 5<br>새로운 시장 지배<br>(원천기술 혁신) | 새로운 성장 동력화<br>수익창출·확대<br>시장 지배 및 강화 | 시장 지배 제품 또는 동등한 과점 지위 확보 | 투자 대비 수익 창출 및 증대<br>(혁신 실증) | 수익 창출 및 증대 |
| | | 기존의 대안(대형경수 로) 또는 경쟁자(eVinch) 대비 상품대안의 문제해결/시장 변화 성과 (수익률, 매출규모, 시장 점유율) | | |
| 문제 해결<br>(산업 활동)<br>(예: 경제적 문제; 새로운 시장 확보) | 문제 해결 완료<br>기술변화 효과 창출<br>(예: 경제적 문제; 경쟁우위 확보 및 수익 창출) | 문제해결 효과 최종수단<br>(예: 문제 해결에 동원된 신 상품의 수량 (예: 수익 창출, 시장 매출 및 점유율) | (문제해결 실증)<br>문제 변화/시장 변화: 신 시장 창출 또는 기존 시장 특성·구조 변화 (예: 경제적 문제의 경우, 시장 변화) | 문제해결 효과<br>(예) 경제적 문제: 시장 매출/ |

# 2. 연구방법: 초소형로 사업 위험 특징

## ❑ 대형로와 초소형로의 사업 위험

**O 사업의 투자 위험: 투자 금액을 회수하지 못할 위험**

**= (투자 금액을 회수하지 못할 경우 발생할 손실) * (투자금액 회수 못할 확률)**

| | 대형로 | 초소형로 |
|---|---|---|
| 채무 불이행시 손실 규모 | 매우 큼<br>. 경수형 대형(GWe급) 원전 (2기의 원자로) 사업의 투자비용(순 건설비용)은 110억 달러<br>. 미국 원전 회사들의 연평균 매출액(약 130억 달러)의 약 90%를 차지 | 작음<br>. SMR 프로젝트의 투자비용(순 건설비용)은 약 30~55억불 |
| 채무 불이행 확률 | 상대적으로 매우 낮음. 합리적 예측 가능<br>. 상대적으로 매우 성숙된 기술 및 인허가 과정, 충분한 시장 경험, 국내외 관련 제도 잘 정립 | 매우 높음<br>. 기술적 성공과 인허가 획득 및 시장성공 불확실성이 높음 |

한국원자력연구원 Korea Atomic Energy Research Institute

# 3. 초소형로 사업 공급 위험

## (1) 기술 실증 위험 및 대처방안

O 위험: 신(Discontinuous) 개념 설계 기술 실증 불확실

- 2021년 말 현재 초소형로는 대부분 TRL 5이하 단계
- 대형원전과는 근본적으로 다른 혁신적(discontinupus) 기술 개념 도입·적용

O 대처 방안: 설계 완성도 제고

- 표준/상세 설계: 신 개념 기술 기능/성능이 제작 요건, 사용자 요건 및 규제기관의 인허가 요건을 충족시켜야 함
- 설계 개발을 위한 정부 지원 확보 필요

* 참고로 미국의 경우 SMR의 설계 개발비용은 최대 10억달러로 추정

## (2) 상용화 위험 및 대처 방안

O 위험: 최초호기 상용화 불확실

- 고객, 투자자본 및 생산 시설 확보 불확실
- 대형로 보다는 낮지만_ 여전히 우려되는 사회적 수용성, 시장 불확실성, 막대한 초기 자본 투자, 장기 자본 회수 기간 때문

• 초소형로 공급업체는 초기 모듈을 시장가격으로 판매하고 이익을 창출할 수 있을 정도로 충분한 수의 원자로(모듈)이 판매될 때까지 손실을 감당할 수 있어야 함

한국원자력연구원
Korea Atomic Energy Research Institute

# 3. 초소형로 사업 공급 위험

O 대처방안: FOAK 상용화 위한 고객 확보 미 정부와 공급망의 투자 위험 공유

- 상용개발 및 시설 구축에 충분한 고객주문 확보
- 민간자본을 유인할 수 있는 정부의 정책적 지원 확보 필요
- 공급망 내에서 투자위험 공유: 원자로 설계 개발, 모듈 제조 및 기타 전후방주요 공급업체, 유틸리티 회사간 상용화 자본 투자 분배 필요

## (3) 인허가 위험 및 대처 방안

O 위험: (초)소형로 인허가 경험 없고 방식 미확립

- 비경수형 신 개념의 경우에는 불확실성이 더욱 높음
- 인허가 불확실성은 기술개발과 경제성에 중대한 영향

* 초소형로 설계, 제작, 건설이 지연될 수 있으며, 이로 인한 막대한 경제적 손실 초래

O 인허가 위험 대처 방안: 인허가 신청 전에 설계 완성도 제고

- 특히 표준설계 인증 신청시 상세설계 완성도 제고
- 규제기관의 인허가 요건 및 프로세스 개발 지원: 규제기관의 신 개념 설계 및 제작 방법에 대한 이해도 제고 지원

한국원자력연구원 KAERI Korea Atomic Energy Research Institute

# 3. 초소형로 사업 공급 위험

## (4) 전용 제작 설비 위험 및 해소 방안

○ 위험; 상용로 제작 전용 시설 구축에 필요한 막대한 재원 확보 불확실

- 초소형로는 공장 제작 전제로 사업 모델 개발, 경제성이 제조 공정 효율성에 크게 의존

  * 공장 제작 과정에서 약 10~20% 경제성 향상 추정 (NEA, 2020)

○ 대처 방안: 충분한 고객/주문 확보

- 공급업자는 정부의 재정적 지원없이 정책 지원(시장 조성 정책 등)만으로 충분한 주문을 확보해야, 제조 공장 구축을 위해 민간 자금 조달 유리

* 수요(주문)이 적으면 투자금액의 회수 가능성이 낮아져서공장 건설 자금 확보 곤란

* EPIC(2011)에 따르면, (초)소형로 NOAK의 경제성 확보 위해 최소 18기의 모듈필요
  ; 최대 학습 효과는 54개의 SMR 모듈 제작 후 달성 추정

- 전용 제작 공장 설계 개발 및 구축 비용 합리적 산정 필요

* 생산성을 극대화 하기 위한 신 공정 개발과 합리적 비용 산정으로 투자 유인 필요

# 3. 초소형로 사업 공급 위험

## ❑ 대형로 사업 공급 위험: 공기, 건설비 약 2배 증가

| 노형 | 국가 | 호기 | 출력 (MWe) | 착공 | 사전 추정 공기 | 사후 실제 공기 | 초기 산정 건설비 (USD/kWe) | 사후 건설비 (USD/kWe) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AP1000 | China | Sanmen 1, 2 | 2×1000 | 2009 | 5 | 9 | 2044 | 3154 |
| | United States | Vogtle 3, 4 | 2×1117 | 2013 | 4 | 8/9* | 4300 | 8600 |
| APR1400 | Korea | Shin Kori 3, 4 | 2×1340 | 2012 | 5 | 8/10 | 1828 | 2410 |
| EPR | Finland | Olkiluoto 3 | 1×1630 | 2005 | 5 | 16* | 2020 | >5723 |
| | France | Flamanvile 3 | 1×1600 | 2007 | 5 | 15* | 1886 | 8620 |
| | China | Taishan 1, 2 | 2×1660 | 2009 | 4.5 | 9 | 1960 | 3222 |
| VVER 1200 | Russia | Novovo-ronezh II-1&2 | 2×1114 | 2008 | 4 | 8/10 | 2244 | ** |

출처) NEA (2020), Redcost.
Notes: MWe=megawatt electrical capacity, kWe=kilowatt electrical capacity

## ❑ 초소형로 사업 공급 위험: 대형로 보다는 최소한 높을 전망

KAERI 한국원자력연구원 Korea Atomic Energy Research Institute

# 4. 초소형로 사업 수요 위험

## (1) 수요-시장 위험 및 대처 방안

O 위험: 초소형로의 수요-시장 여전히 불확실

- 초소형로의 신개념 실증과 경제성 확보 모두 성공해야 수요-시장 확보 가능

O 대처 방안: 합리적 수요-시장 예측, 기술실증, 원천특허, 정부 지원 확보

- 상품(신 개념 원자로)의 수요-시장-경쟁력에 대한 객관적 예측 필요

* 시장 시점, 위치 (Niche 또는 기존 시장), 크기 및 수명 주기/성장성

- 신 개념 기술과 경제성 실증 (TRL 6 성공)이 관건: 원자력 단점 해결 입증

- 원천 기술 발명 및 특허 확보 중요: 시장 수익 극대화 및 경쟁자 복제 대비

- 정부의 지원확보: 특히 초기 시장 위한 정부의 직접 구매/임대는 구매 수요 촉진하여 시장 위험 경감 및 민간 투자 유도; 원자력을 청정기술로 제도화

# 4. 초소형로 사업 수요 위험

## (2) 최초고객 위험 및 대처 방안

O 위험: 최초호기 (FOAK) 경제성(LCOE) 낮아서 경쟁우위 확보 어려움

- FOAK는 신 개념 제품의 소규모 생산으로 경제성이 NOAK 비해 약 50-60% 높음
- 여전히 대규모 투자비용, 장기 회수기간 (약 20년)도 최초 구매 제약

  * SMR (순 건설비용, 약 30~55억불)보다 적지만 여전히 대규모 자본 필요

- 기술적 그리고 시장의 불확실성으로 민간자본 유치 더욱 곤란

O 대처 방안: 최초 구매 유도 위한 정부지원 확보 및 목표 시장 구체적으로 설정

- 정부의 지원확보: 특히 초기 시장 위한 정부의 직접 구매/임대는 수요 촉진, 시장 위험 경감 및 민간 투자 유도; 원자력을 청정기술로 제도화
- 정밀하게 표적화된(targeted) 진출 시장 파악 및 사업 모델 발굴·이행

한국원자력연구원 KAERI Korea Atomic Energy Research Institute

# 5. 초소형로 사업 전략 경영

## (1단계) 수요-시장-PA 예측

### 1-1) 수요와 시장 예측

O 수요: 소형 석탄화력 대체, 분산형 on-grid, 원격지 및 전략시설
O 시장: 국내 또는 해외 (선진국, 중진국, 개도국, 또는 ~)

★ 중점고려사항

- SMR 수요와 초소형로 수요 차별화
- 수요/용도별 핵심 기능/성능 요건 (범위)파악
- 국내외 시장별 경쟁 상황, 경쟁 우위 요건 파악

### 1-2) 사회적 수용성 예측

O 수요-시장별 사회적 수용성 예측
- 안전성: 원격지 뿐만 아니라 도심내 시장확보를 위한 수용성
- 핵비확산성: 원격 분산, 이동 운전에 따른 핵확산/테러 취약성에 대한 수용성

★ 중점고려사항

- 안전성: 전주기(선행-원자로-후행) 수용성 파악 및 확보 방안 탐색
- 핵비확산성: 제도적 한계 파악 및 기술적 해결 가능성 최대 모색
- 높은 불확실성 고려 시나리오 개발: 사회적 vs 경제적 시나리오

KAERI 한국원자력연구원 Korea Atomic Energy Research Institute

# 5. 초소형로 사업 전략 경영

## ❑초소형로 수요-시장 분석틀 (Taxonomy, 요건 및 규모)

| 시장 / 수요 | 한국 | 미국 캐나다 (?) | 중국 러시아 (?) | 동유럽 | 중동 | 동남아 오세아니아 | 아프리카 중남미 | 공통 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 화력발전 대체 | | | | | | | | # |
| 분산형 전원 | | | | | | | | # |
| ``` | | | | | | | | # |
| | | | | | | | | # |
| 군사시설 | | | | | | | | # |
| 원격지 에너지원 | | | | | | | | # |
| 공통 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | $ |

한국원자력연구원
KAERI Korea Atomic Energy Research Institute

# 5. 초소형로 사업 전략 경영

(2단계) (수익 창출 수요-공급) 범용/표준 사업 모델 개발

O 목표 수요-시장 및 PA 수준 설정

- 수요-시장 선정 및 경쟁 목표 (선도 개척, 후발 진입, 시장 점유율)
- 해당 수요-시장의 PA 확보 목표 수준 설정

O 수요-시장- PA 확보 위한 공급 기능/성능 요건 도출 및 충족 전략 개발

(3 단계) 사업 모델 구현 위한 범용/표준 원천 설계/기술 발명 (TRL 5-6)

O 공유 발명 (TRL5)-상용화 모델 개발 (TRL6)

O 시스템 개념요건 규명 – 핵심 요건 (요소기술 단위) 실증- 시스템 개념설계

-하위 시스템별 실증-종합 요건 실증-실험로 실증-상용 원형로 실증

* Terra power MSFR: 요소기술 실증-종합실증-실험로 개발실증(발명: 개념확인)

-실증로 개발 실증(상용화 및 상품성 확인)

★ 중점고려사항

- 다목적 표준(공유)로 설계 개발 및 실증
- 인허가 확보: 규제기관 신 개념 설계 이해 및 인허가 방법 개발 지원

# 5. 초소형로 사업 전략 경영

(2단계) (수익 창출 수요-공급) 범용/표준 사업 모델 개발

O 목표 수요-시장 및 PA 수준 설정

- 수요-시장 선정 및 경쟁 목표 (선도 개척, 후발 진입, 시장 점유율)
- 해당 수요-시장의 PA 확보 목표 수준 설정

O 수요-시장- PA 확보 위한 공급 기능/성능 요건 도출 및 충족 전략 개발

(3 단계) 사업 모델 구현 위한 범용/표준 원천 설계/기술 발명 (TRL 5-6)

O 공유 발명 (TRL5)-상용화 모델 개발 (TRL6)

O 시스템 개념요건 규명 – 핵심 요건 (요소기술 단위) 실증- 시스템 개념설계

-하위 시스템별 실증-종합 요건 실증-실험로 실증-상용 원형로 실증

* Terra power MSFR: 요소기술 실증-종합실증-실험로 개발실증(발명: 개념확인)

-실증로 개발 실증(상용화 및 상품성 확인)

★ 중점고려사항

- 다목적 표준(공유)로 설계 개발 및 실증
- 인허가 확보: 규제기관 신 개념 설계 이해 및 인허가 방법 개발 지원

# 5. 초소형로 사업 전략 경영

## (4단계) 최초 고객, 투자자 확보

O 원천 발명 성능 실증을 토대로 고객 및 (민간) 투자자 확보

★ 중점고려사항: 학습효과 달성에 필요한 충분한 고객 확보

- FOAK Niche 확보 위한 정부 지원 (정부용 직접구매 및 환경 조성) 확보

## (5단계) 상용 생산-공급/배치 모델 개발

O 고객요구사항 충족한 상용로 기능/성능 파악

O 초소형로 생산함수 고려한 수익 창출 (손익분기점, 가격)전략 수립

O 공급망 구조 파악 및 확보 전략 수립

★ 중점고려사항: 대형로와 초소형로 생산함수 차이

| 노형 / 변수 | 대형로 | 초소형로 |
|---|---|---|
| economy of scale | 전기 생산 관점 | 원자로 생산 관점 |
| 생산 품목 | 소품목 (전기) | 다품목 |
| 생산 방식 | 소량 현지생산 | 대량 공장생산 |

## (6 단계) 상용 공장 구축, 제작-납품 및 사후관리

★ 중점고려사항: (표준)상용 생산 공장 설계 개발 및 공장 설계-건설 인가

KAERI 한국원자력연구원 Korea Atomic Energy Research Institute

# 6. 결 론

## ❑ 초소형로 사업 위험 경영 기본 전략

★ 수요-공급 전주기 동태적 불확실성 고려

[1] 공급(기술개발 Doing)중심에서 수요(문제해결 Earning) 중심

★ 국가와 인류의 어떤 문제를 언제? 얼마큼? 얼마나 해결?

(국가적 차원의 기회비용 최고 대안 발굴)

한국원자력연구원
Korea Atomic Energy Research Institute

[1-1] SMR과 MNR(초소형로) 시장 세분화

o 시장이 다르면 - user requirements와 시장 경쟁요건 다르고,

따라서 공급 기술의 기능과 성능이 달라짐

o (현황) SMR의 경제성 평가시 MNR 시장 대부분 포함하여 합리성 결여

o (대책) SMR과 MNR의 상용 사업 모델 차별화

- SMR: 일반적으로 중대형(모듈형) 및 소형(단일 원자로) 발전 시장
- MNR 초소형로: 초소형 규모 발전 시장 (모듈화 감안 5 ~ 50MWe 이하).

# 6. 결 론

**[전략1-2]** 원자로만이 아닌 사용후핵연료 포함 총체적 시스템 경쟁력 확보

**o (초)소형로는 광범위한 지역에 분산, 도심내 수요지 내에 설치**

- 사용후핵연료 관리문제 해결 없이 원자로 배치 거의 불가

o (현황) 초소형로 원자로의 안전성은 획기적으로 향상될 것으로 기대,
SF문제에 대한 근본적인 해결책이 제시되지 못함 (용융염로 제외)

O (문제점) 사용후핵연료 처리 안전성의 불확실성이 그대로 잔존하여,
궁극적으로 PA얻기 어렵고, 지속적인 PA와 경제성 논란이 시장 제약

o (대책) (초)소형로의 표준설계 인가 신청시점까지
SF 방사선 피폭위험 제거 대책 마련

[전략1-3] 원자로만이 아닌 원자로와 제작 공정/공장 동시 개발

o (초)소형로의 경제성은 제작 공정의 생산 효율성에 의해서 크게 좌우
-일본 자동차는 포디즘 넘는 'lean production' 개발하여 세계시장 제패

o (현황) NuScale은 상용로 표준설계 이전 공급망 확보 노력

O (문제점) 초소형로 개발 전략이 상품(원자로) 중심

o (대책) 실험로 또는 상용 실증로 개발 표준설계 인증까지, 공정/공장 설계 개발
- 제작 공장 설립 기간 단축으로 상용 생산 및 시장 진출 효율성 제고 필요

KAERI 한국원자력연구원 Korea Atomic Energy Research Institute

# 6. 결 론

## [2] 목표달성 중심에서 위험관리 중심

★ 고위험 사건 중심으로 **milestone** 설장하고 stage-gate 관리

O NASA TRL & Sys Eng'g: 9개 연구개발 단계 위험 관리
O DOE Stage Gate: 선행단계 실패시 후속단계 수행 불허

O 시카고대학 에너지정책연구소(**EPIC, 2011**)는 **SMR** 상용화 **5**단계 제시함
- 초점: 수요/시장 확보, 경제성 확보, 학습효과 제고
- 방식: DOE의 Stage-gated decision-making (down-selection) process를

* 5단계: 상용로 상세 설계 개발 – 최초 고객확보 및 FOAK 배치 – 제작 공장 건설
  – 매출 확대 및 최상 생산성 확보(학습 효과, 규모의 경제) – NOAK 시장경쟁력 확보

**O LEE (2022): 타당성 분석/전략 기획 부터 6단계 제시**

*** 6단계: 수요-시장-PA 확보, 사업모델 개발-범용 원천기술 발명-최초고객, 투자자 확보 -고객기반 상용 사업모델 개발-제작공장 건설-생산-납품-AS**

## [3] 선택과 집중대신 (선의의) 경쟁과 협력 중심

★ 치열한 경쟁으로 최선 대안 창출 & 지식/경험 공유 시너지화

O 경쟁후 winner를 중심으로 협력 장려/제도화
- Up-stream 불확실성 높고 개발 저비용, 경쟁 장려
- Down-stream 불확실성 낮아지고 고비용 협력 유도

O DOD는 상세설계 개발을 위해 3개의 모델 경쟁

# 감사합니다
# Thank you for your Attention.

한국원자력연구원
KAERI Korea Atomic Energy Research Institute

이태준
책임연구원, 미래전략연구부, 한국원자력연구원
**tjlee@kaeri.re.kr, +82-42-868-2149, +82-10-9015-2112**