

2019 KNS Workshop

SMART

2019. 11. 23
KINTEX, Korea

소형원자로 SMART 기술개발 현황 및 시장 전망



김 공 구

SMART 개발단
한국원자력연구원

I 원자력 에너지

II 소형원자로(SMR)

III SMART 개발

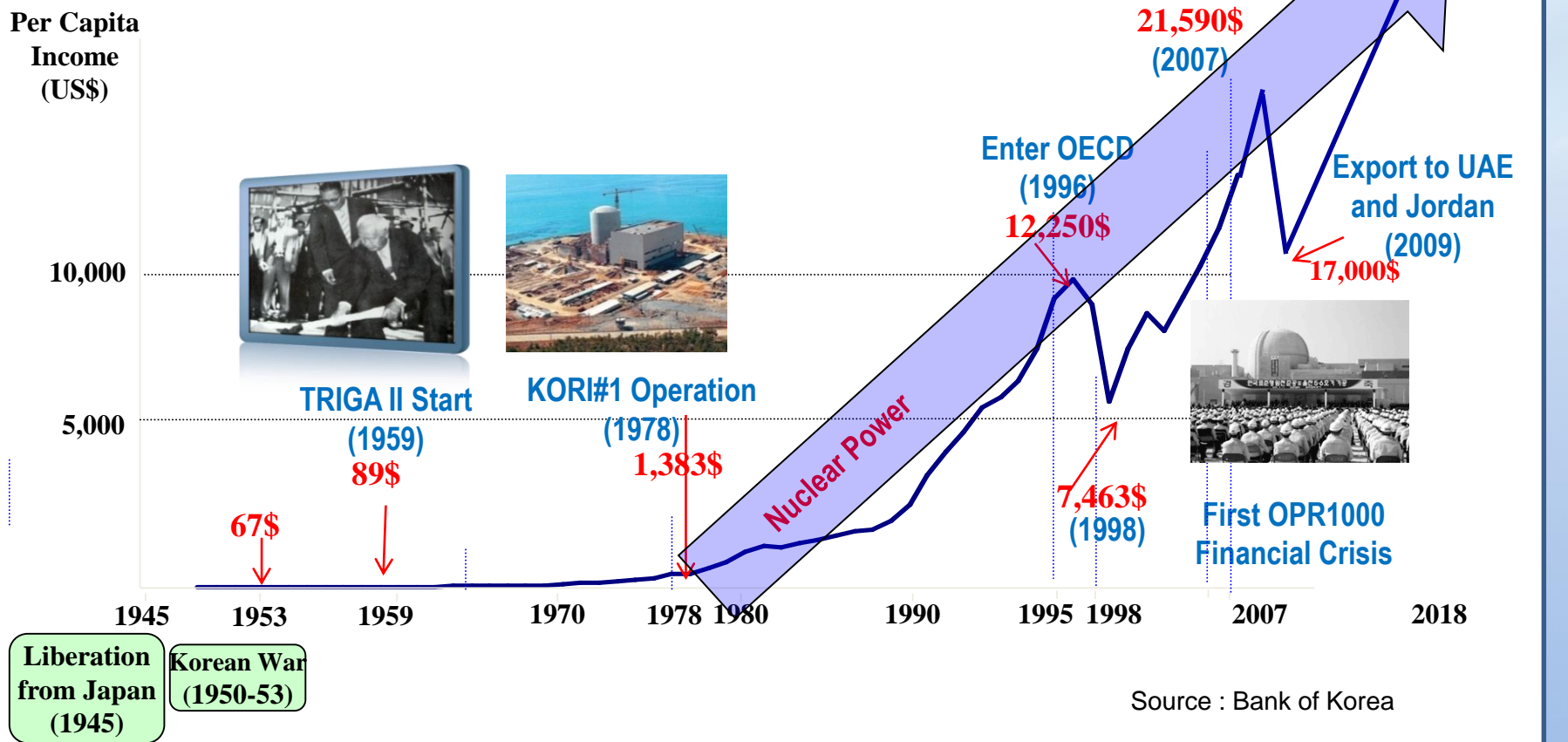
IV 한국-사우디 SMART 파트너십 협력

V 요약

I 원자력 에너지



Nuclear Energy: 머리로 캐는 에너지



원자력 에너지 → 한국 경제성장의 원동력

□ 1971년 건설 착수

- 건설비: 4.93억\$
 - 경부고속도로 건설비의 3.6배 1,560억
- 정부예산의 25%

□ 1978년 4월 상업운전 시작

□ 2017년 6월 18일 영구 정지

- 에너지 전환(탈원전) 선언

□ 총 발전량: 1,535억 kWh

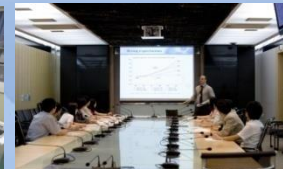
- 5.3조(평균전기요금 100원/kWh 기준)



Ⅱ 소형원자로 (SMR)

Small and Medium size Reactor

Small Modular Reactor



□ 주요 전력 에너지원

- 442기 운전중
- 타 에너지원 대비 경제성 확보
- 기술 집약적 에너지 (에너지 안보)

□ 규모경제(Economy of Scale)에 따른 대형화

- 700 MWe → 1,000 MWe → 1,400 MWe → 1,600 MWe

□ 대형원전은 제한된 국가나 지역에서만 활용

- 초기 건설비 과다
- 긴 사업 기간
- 장거리 고용량 송전선 필수



전력 인프라(송전선)

□ 전세계 운영 발전소

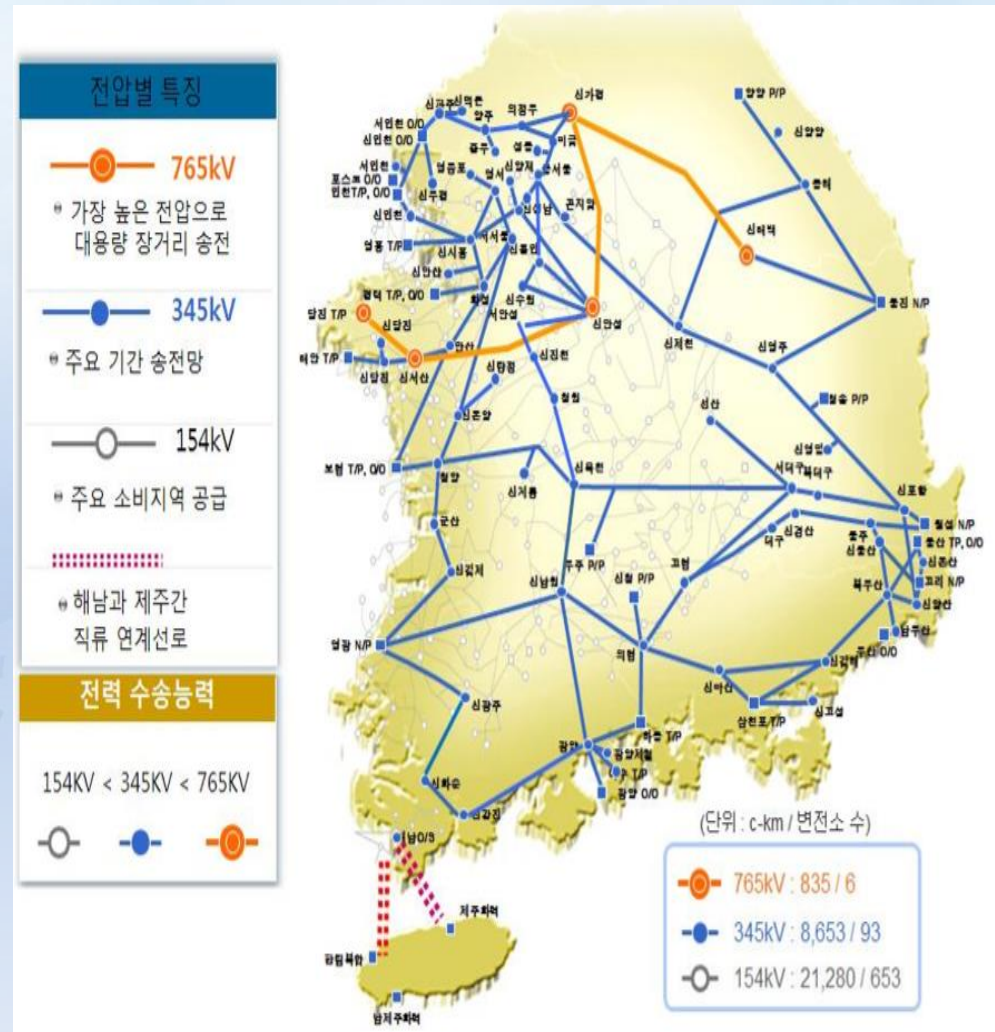
- 127,000여기
- 소형(300MWe 이하) 발전소 수 : 96.5%

□ 전기에너지

- 실시간 생산과 소비

□ 우리나라 송전선로

- 전선 연장 : 21.6만km
 - 765kV
 - 345kV
- 변전소



□ 안전성

- 피동안전계통, 고유안전성 구현 용이
- 소규모 방사선원

□ 경제성

- 소규모 초기투자 : 개도국의 건설재원 조달에 유리
- 표준화와 다수 호기 반복 건설
- 기존 전력 인프라(송배전망) 활용
- 수요증가에 탄력적 대응

□ 활용성

- 해수담수화, 지역난방

□ 매우 큰 잠재 시장

- 분산 전력 수요국 (칠레, 카자흐스탄), 소규모 전력망을 갖춘 국가



□ 신규원전 도입국

- WNA: 45 개국 신규원전 도입 검토중
- IAEA: 65 회원국이 원전도입 계획 추진 중

□ 소형 노후 화력 대체

- 기후변화 대응 및 환경오염을 방지하면서 노후화력 대체 가능
 - 미국: 약 27GWe 시장 수요 예상

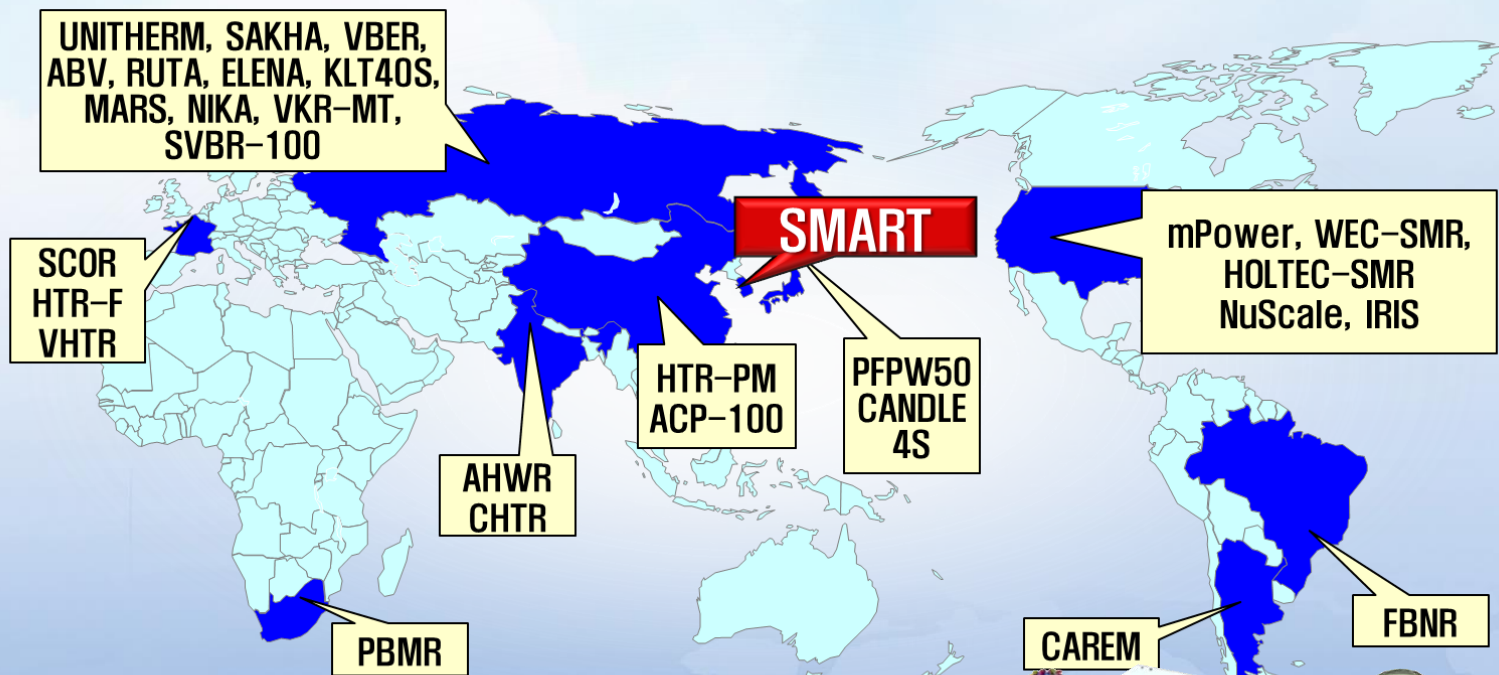
□ 원격지

- 러시아, 캐나다 등 원격지 개발에 필요한 에너지원

□ 시장 수요 예측

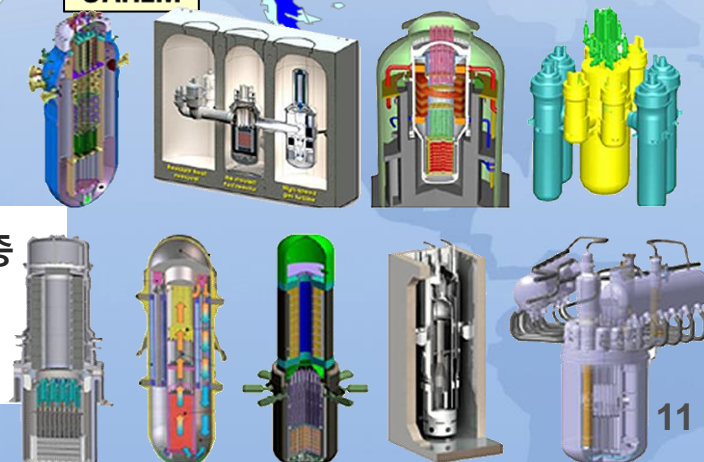
- US Navigant Report(2013, 6) : 2030년까지 18.2GWe(SMART: 182기)
- 지경부 SMR 기획보고서(2012, 8): 약 56.4GWe(SMART: 564기)
- US DOE(2007, 7) : 2050년까지 500 ~ 1,000기
- Japan CRIEPI (2006,7) : 2050년까지 450~850기

소형원전 개발 현황

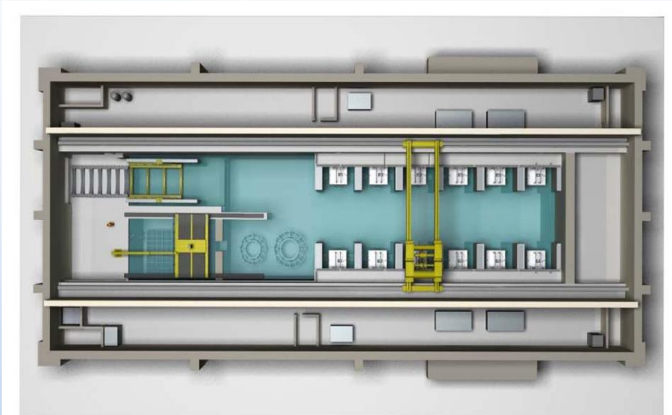


세계 각국이 개발중인 소형원자로

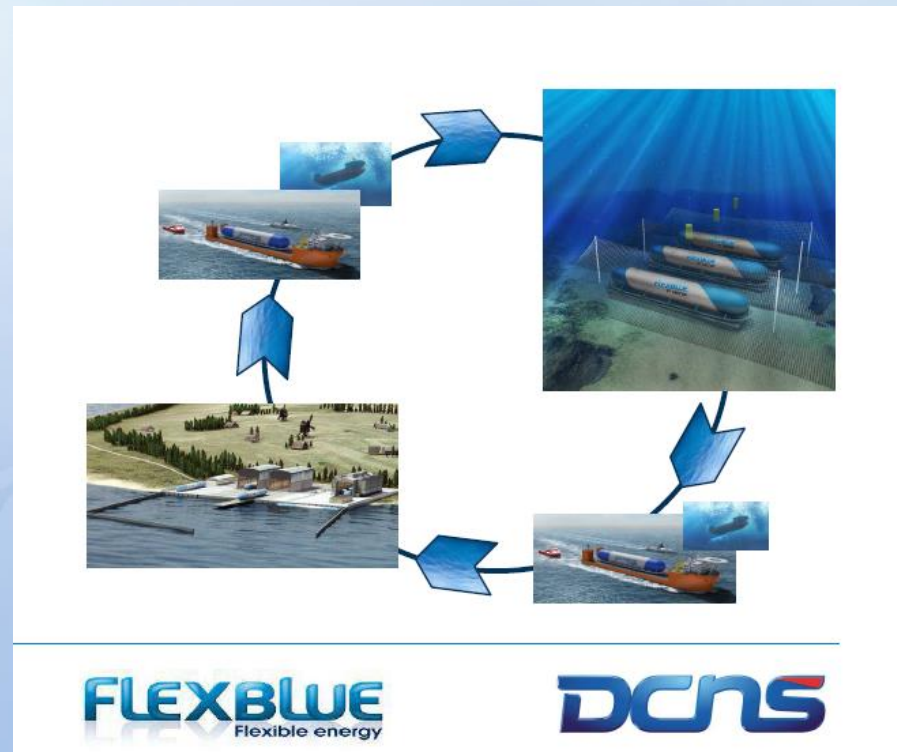
- 지난 10여년 경수로, 가스로, 소듐냉각고속로 등 여러 노형으로 개발 중
- 개발 완성의 기대 연도 및 개발의 정도가 상이
- 확정된 건설계획에 따라 개발이 진행중인 원자로는 소수



□ NuScale



□ FlexBlue



SMR 사업화를 위한 Challenges

❑ Technical Barriers

- 소형원전에 적용된 모든 기술 검증 및 인허가

❑ Commercial Hurdle

- 타 에너지원 대비 경제성 확보 및 운전유지보수 시현



□ 현재 까지 원자력 Project

- 대규모 초기 자본 투자를 필요
- 긴 사업기간
- 사업리스크 큼
- 원자력발전사업 추진을 주저함



□ 소형원전 개발시

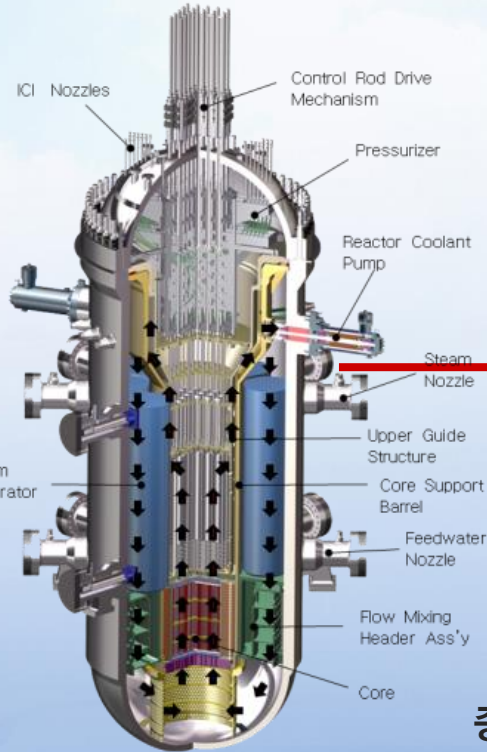
- 상대적으로 작은 초기자본 투자
- 짧은 건설공기
- 사업 리스크 저감
- 개도국은 물론 모든 국가가 원전 도입 추진 가능

III

SMART 개발



우리나라가 개발한 소형 원자로



열출력 : 365 MWt

● 전력 : 100 MWe

● 담수 : 40,000 t/day

증기변환기

전기

온수

Heat pipe

증기

해수

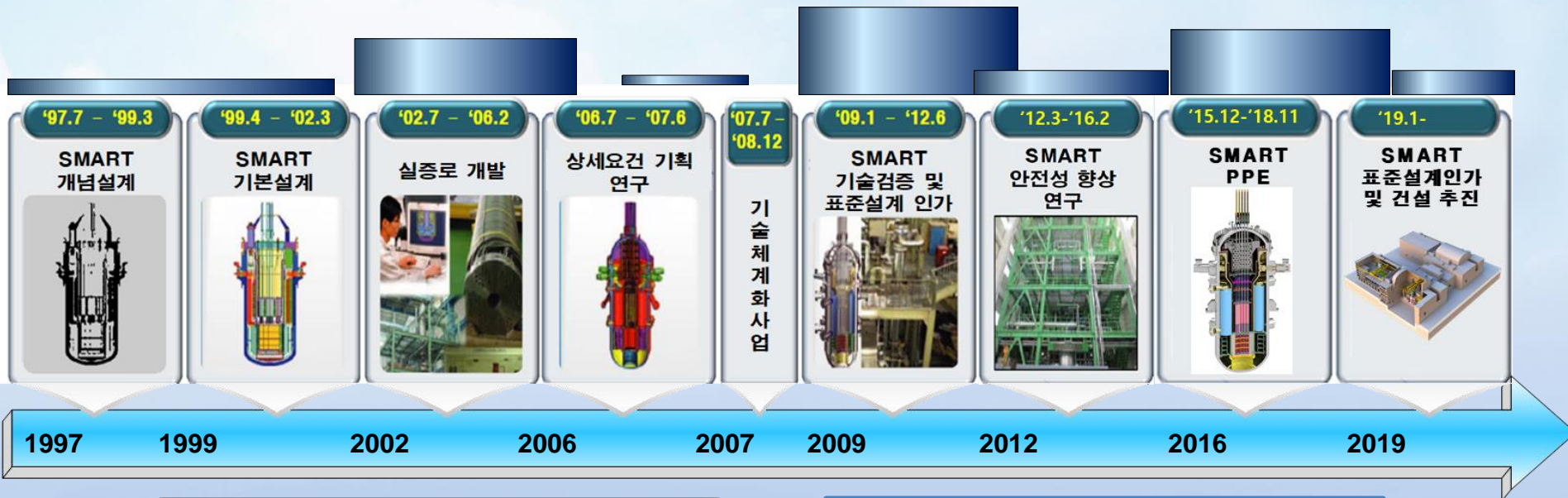
담수

해수담수화 플랜트

취수설비



SMART 개발 경과



SMART는 18년 연구개발의 결정체

- 1997년부터 연인원 1,700여 명 투입
- 3,447억 원 연구개발 예산 투입
- 50여 종 이상의 실증시험 수행

2012년 7월 4일 표준설계인가 획득

2012년 ~ 현재 : 후쿠시마 Action Plan 대비 안전성향상 연구 및 국제협력 추진

SMART는 혁신기술의 검증과 입증기술을 조화하여 인허가성을 확보

- SMART는 인허가 시현성, 제작 구현성, 유지보수 용이성 향상을 고려하여 입증된 기술을 최대한 활용

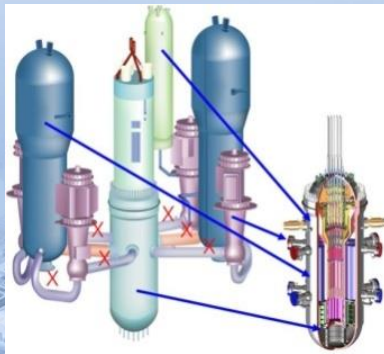
혁신 설계 개념과 검증된 기술의 융합을 통해 안전성 및 인허가성 확보

혁신적인 개념

- 모든 주요기기를 원자로용기 내부에 위치시킴
- 현장 설치 및 유지/보수 최소화를 위한 모듈화 공법
- 피동안전계통을 통한 안전성 향상
- 디지털 제어계통

검증된 기술

- 상용화된 17x17 저농축 UO_2 핵연료 기술
- 대형 콘크리트 격납건물
- 상용화된 제어봉구동장치
- 가연성독봉 및 수용성봉소를 활용한 반응도 제어



철저한 기술검증

Systems, Component, and Design Tools have been fully Developed and Licensed



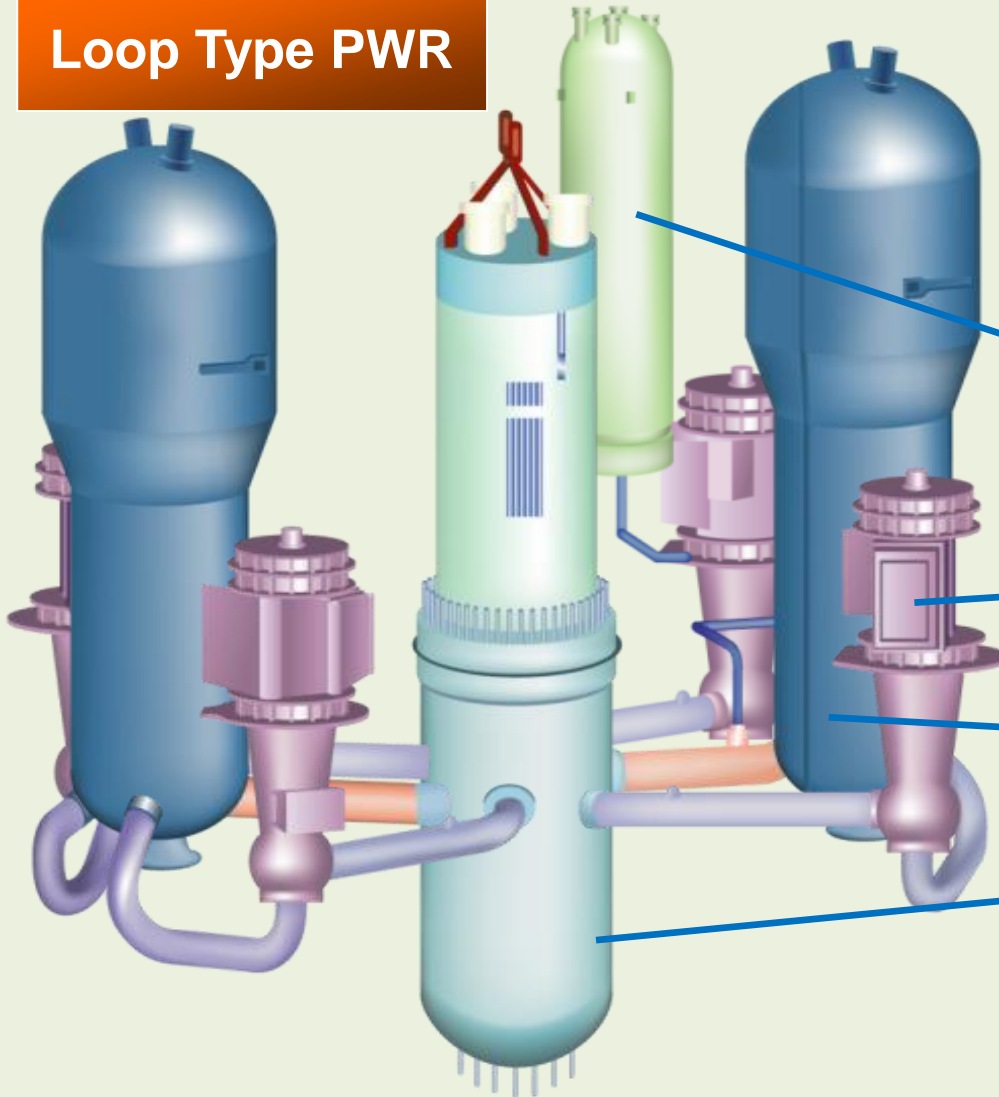
Separate Effect Tests

Integral Effect Tests

Component Development

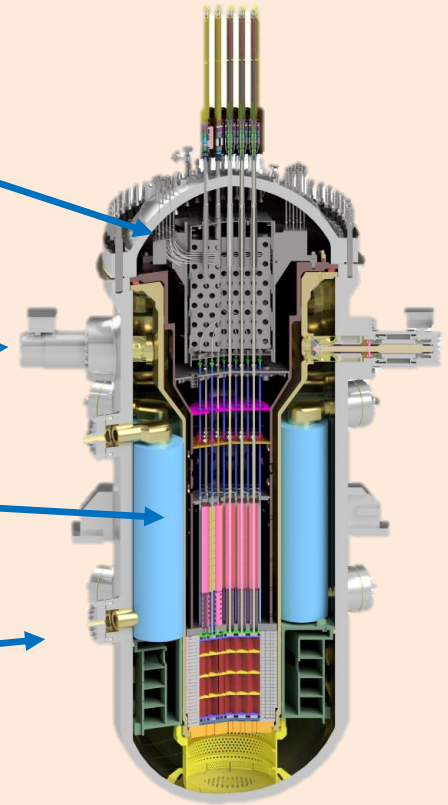


Loop Type PWR



SMART

System-Integrated Modular
Advanced Reactor



SMART 기술검증시험

Vibration TEST



TEST Fuel



Spacer Grid



PRHRS Heat Ex.



Pressurizer



Safety Injection



Steam Generator

Rx Coolant Pump



VISTA



Measurement



TEST Section



TEST Section

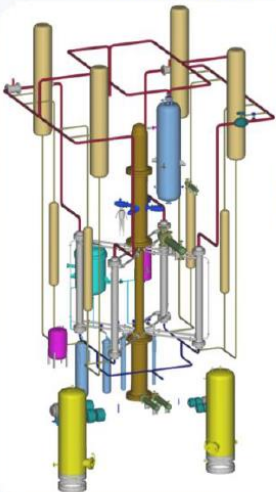


Fuel Performance Tests

CHF Measurement Test

- World's Unique and Largest Full Scope Accident Simulation
- 1:1 Height, 1/49 Volume

- Digital Main Control Room Validation
- FSDM (Full-scope Dynamic Mockup)



* It's Real Photo, not Graphics



Real Operators in FSDM

제 2 호

원자로시설표준설계인가증

법 인 명 : 한국원자력연구원/한국전력공사

소 재 지 : 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111/
서울특별시 강남구 영동대로 512번지

대 표 자 : 정 언 호/김 중 검

생년월일 : 1951년 10월 28일/1950년 2월 3일

원자로의 명칭 : 스마트 (SMART)

종류 : 일체형가압경수로

용량 : 330 MWt

위와 같이 원자력안전법 제12조·동법시행령 제22조
제1항 및 동법 시행규칙 제11조의 규정에 의하여 원자로
및 관계시설의 표준설계를 인가합니다.

2012 년 7 월 4 일

원자력안전위원회



3,447억원 투자

1,700MY 투입

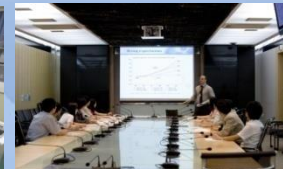
~50 여종의 기술검증 시험 수행

1.5년 동안 인허가 심사

2,000 여 개 이상의 질의 답변

현 한국의 인허가 규정 만족

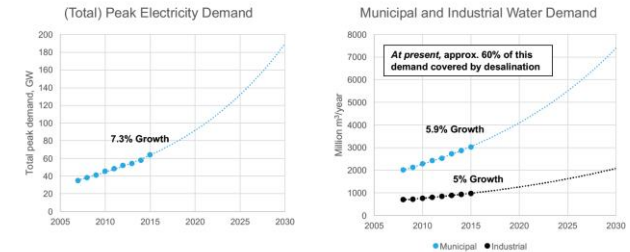
IV 한국-사우디 SMART 파트너십 협력



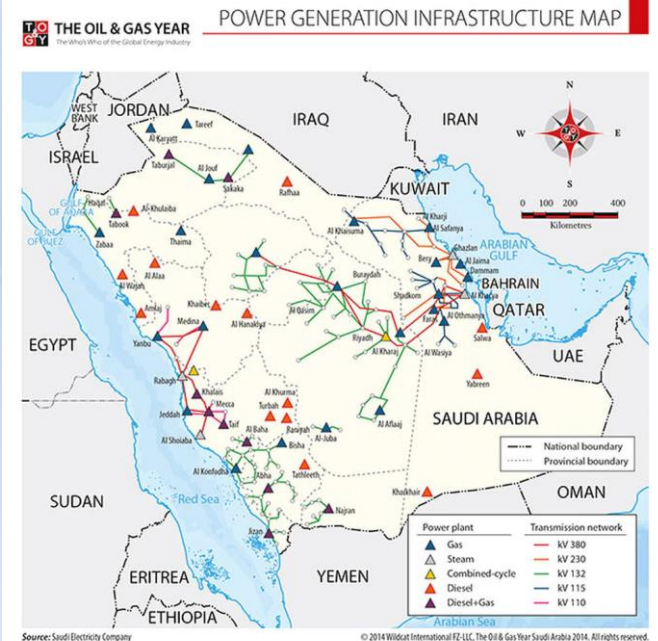
사우디 에너지 현황

- KAERI-K.A.CARE 공동타당성조사
 - 2014.1 ~ 2015.2
- 사우디 Oil 생산
 - 생산량(~1,000만 bbl)의 1/3을 자국 소비
 - 석유 수출 : 국민총생산의 45%
- 사우디 전기 에너지 수요 증가
 - 6%/년 이상
- 송전선로 편중
 - 송전선
 - 가스관
- 사우디 발전소 현황
 - 운영중인 발전소 : ~1,600 기
 - Oil Power Plant: 55% in Capacity
 - Gas Power Plant : 45% in Capacity

Projected Growth in Electricity and Water Demand



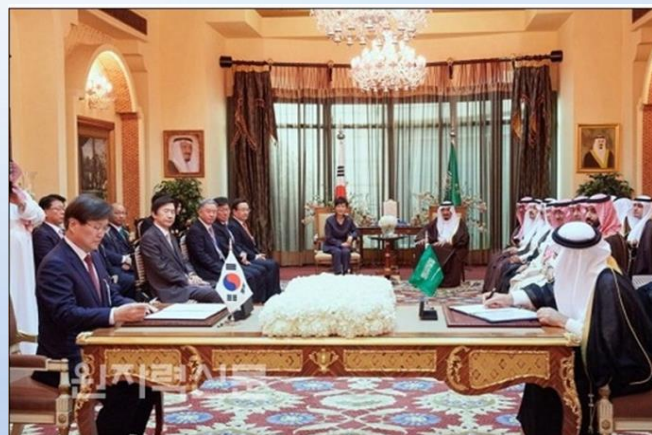
SAUDI NATIONAL ATOMIC ENERGY PROJECT 3



한-사우디 SMART 동반자 협력



SMART = سمارت



□ SMART 공동개발을 통해 IP를 공유하고 공동 상용화 추진

- 공동 개발 : 건설전설계사업(PPE)에 1억 \$ 투자
- 공동 상용화: 사우디 2기 건설을 발판으로 세계 소형원전 시장 공동 진출



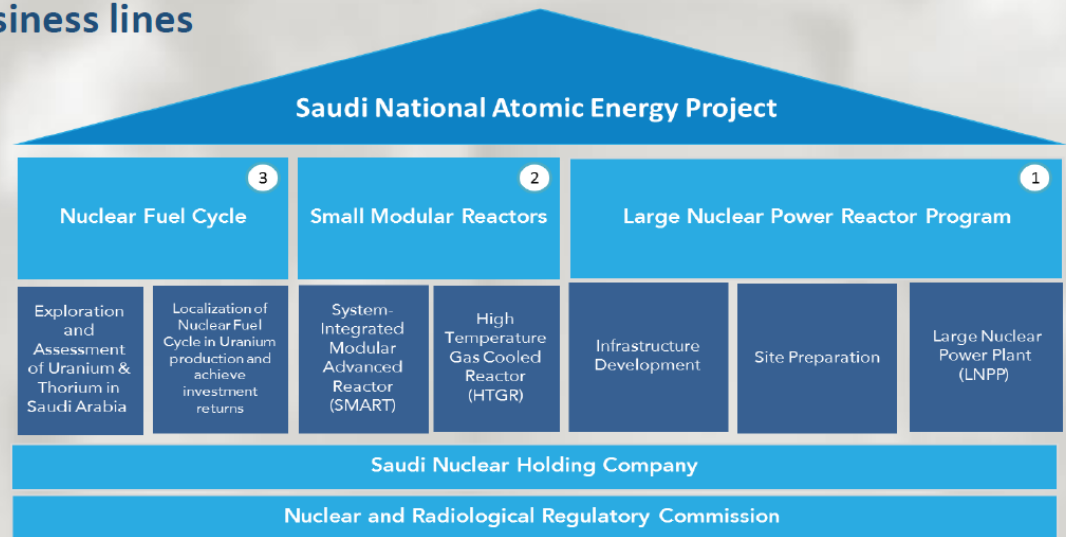
사우디 국가 전시관

- 사우디아라비아 Vision 2030[에너지]
 - 에너지의존도: 0%에서 원자력과 신재생에너지
 - 태양광 : 먼지 문제 해결 필요
- 사우디 국가 에너지 계획 (SNAEP)

In July 24th 2017, Saudi Government approved the SNAEP to implement a civil nuclear program focusing on three business lines

“The objectives of National Atomic Energy Program contribute to achieving Kingdom's Vision 2030”
H.E. MEIM Khaled Al-Falih, Aug 2017

“KSA always seeks to take well planned steps to ensure success of the Saudi National Atomic Energy Project as per the international best practices”
President K.A.CARE, Vienna Sep 2017



한-사우디 파트너십 개념

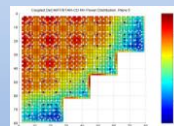
기술개발

상용화

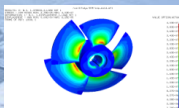
Korea

SMART Development

- SMART Standard Design
- Technology Validation
- Licensing
- Safety Enhancement for Post Fukushima Action Plan



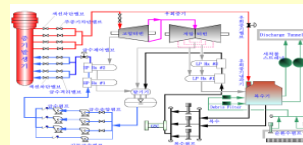
Design Documents



Korea & KSA

Pre-Project Engineering

- FOAK Engineering Design
- K.A.CARE HCB
- PSAR



KSA

FOAK Plant Construction

- 2 FOAK Plants Construction
- Licensing (CP, OL)



1997 ~ 2015

3 Yr

5~6 Yr

예산/인력/기간

- 예산 : 1,482억
- 기간 : 2015.12.1 ~ 2018.11.30 [3년]

참여기관

- 한국원자력연구원, SMART Power사, 한국전력기술, 포스코건설, 원전연료, 두산중공업, 수산E&S, BHI, 효성굿스프링스, 미래와도전 등

주요 수행 업무

- SMART 162호기 건설전 설계(FOAK Engineering)
 - SMART 공학설계 (FOAK Engineering Design)
- K.A.CARE 전문가 교육훈련[SMART NSSS Design Technology]
- SMART 162호기 건설 준비

SMART Plant FOAKE Design



- ❑ CRT-Basic (CRT1): 완료
 - 3개월 원자력공학 기본 강의
- ❑ CRT-Technical (CRT2): 완료
 - 3개월 KAERI-SMART 설계팀의 설계 기본 강의
- ❑ OJT : 완료
 - 6~12개월 SMART 설계 직무 교육
- ❑ OJP : 완료
 - 6~17개월 직무 참여 교육



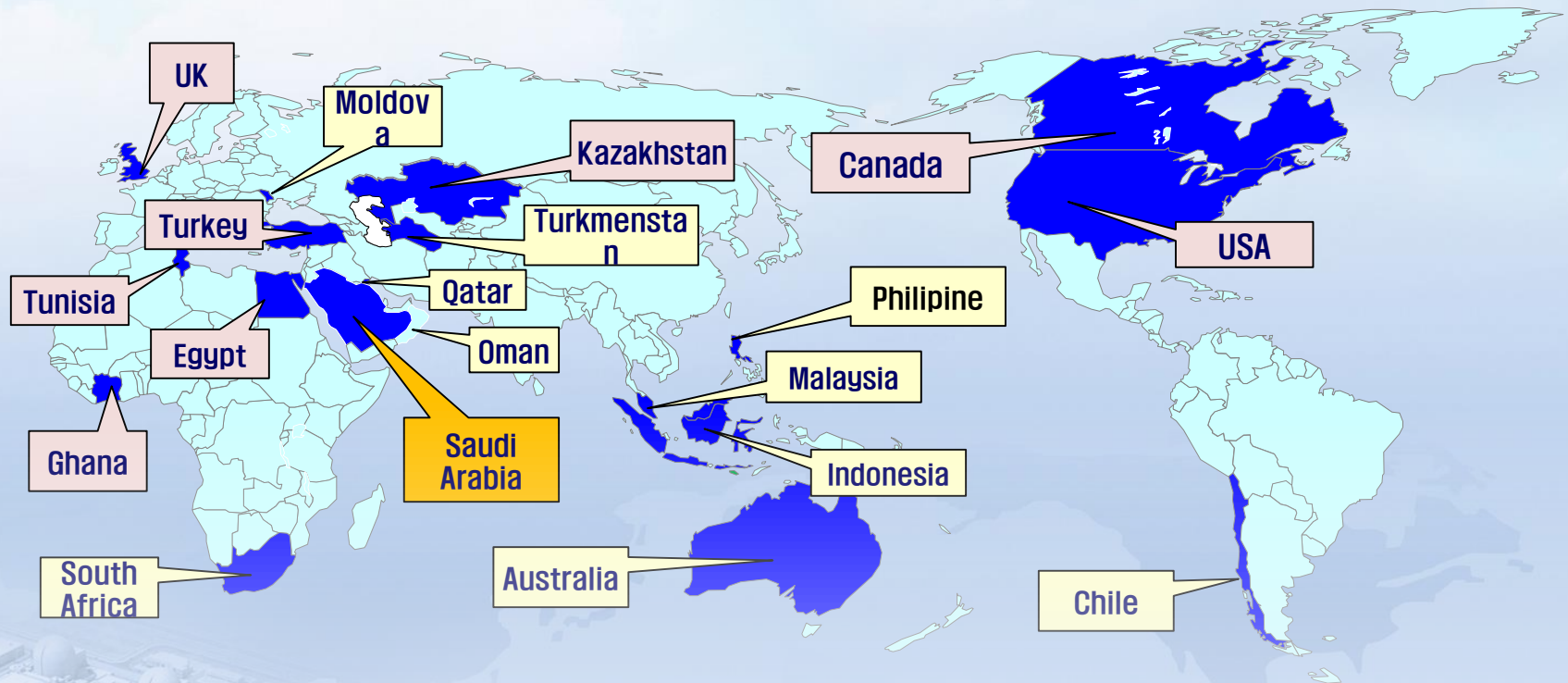
- ❖ 48 사우디 교육생 원자력연구원에 파견
- ❖ 사우디 교육생이 설계문서 생산

□ SMART 건설 부지: 안부(Yanbu)



- ## □ 사우디에 SMART 2기 건설제안서 제출
- 건설비, 일정, 사업 구도 등 포함

□ SMART 관심 국가



□ 중동 및 SMART 관심 국가 공동 진출

- 요르단, 필리핀과 SMART 공동건설을 위한 동등 타당성조사

□ 원전 도입을 위한 인프라

- IAEA: 19개로 분류하고 단계적 구축을 제안

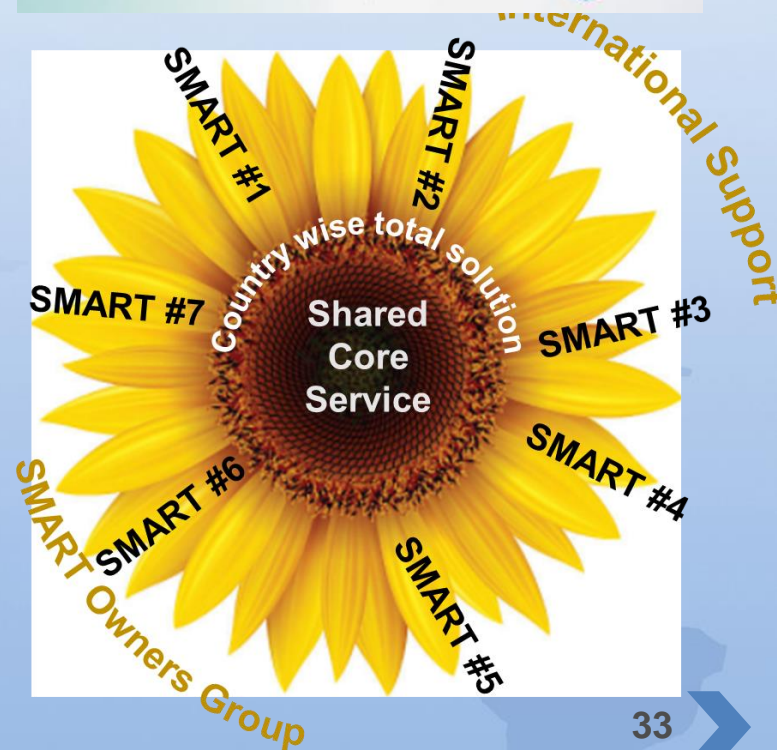


- 모든 나라가 원전 인프라를 구축하기에 어려움

□ 한국과 사우디는 SMART 파트너십 협력을 기반으로 주요 서비스 제공

- 유지보수
- 기술지원
- 운전원 교육
- 인허가 기술지원

□ 국가별 맞춤 서비스 제공



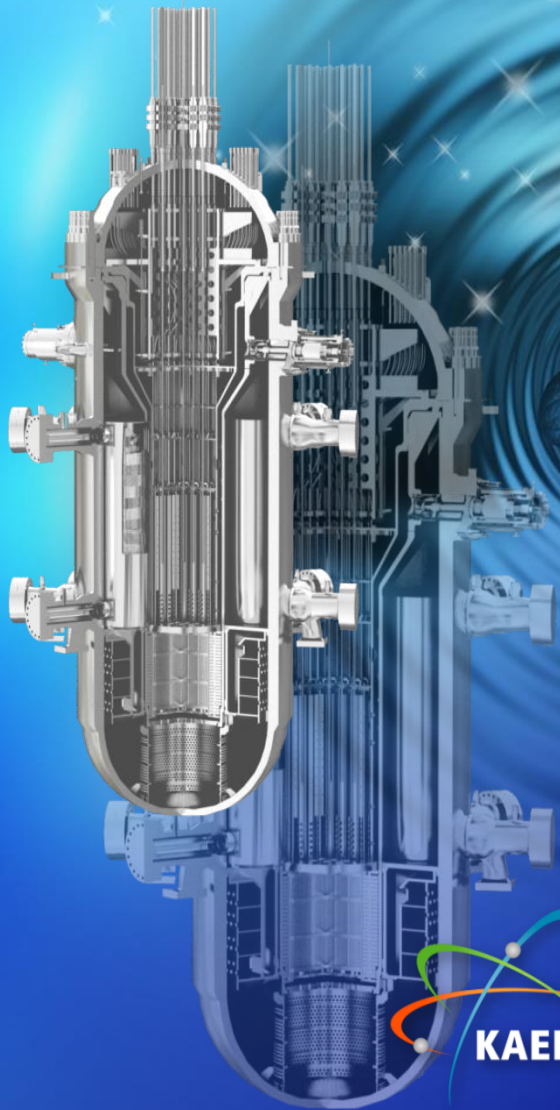
V

요약



- **한국의 원자력: 한국 경제발전의 원동력**
 - 에너지안보와 경제적인 전력 공급
- **소형원전(SMART): 시장의 잠재력이 매우 큼**
 - 소형원전 시장을 선점하여 시장 지배
- **SMART: 우리가 개발한 소형원자로**
 - 세계 최초로 인허가를 획득하고 및 상용화 추진중
 - 한-사우디 파트너십 협력은 원-원 전략
- **SMART 수출시장 개척: 원자력 산업체의 도약 기회**
 - 국내 건설시장을 뛰어 넘어 세계 시장 석권

SMART will open Small Reactor World 감사합니다.



Korea Atomic Energy
Research Institute

مدينة الملك عبد الله للطاقة
الذرية والمتجددة K.A.CARE

