



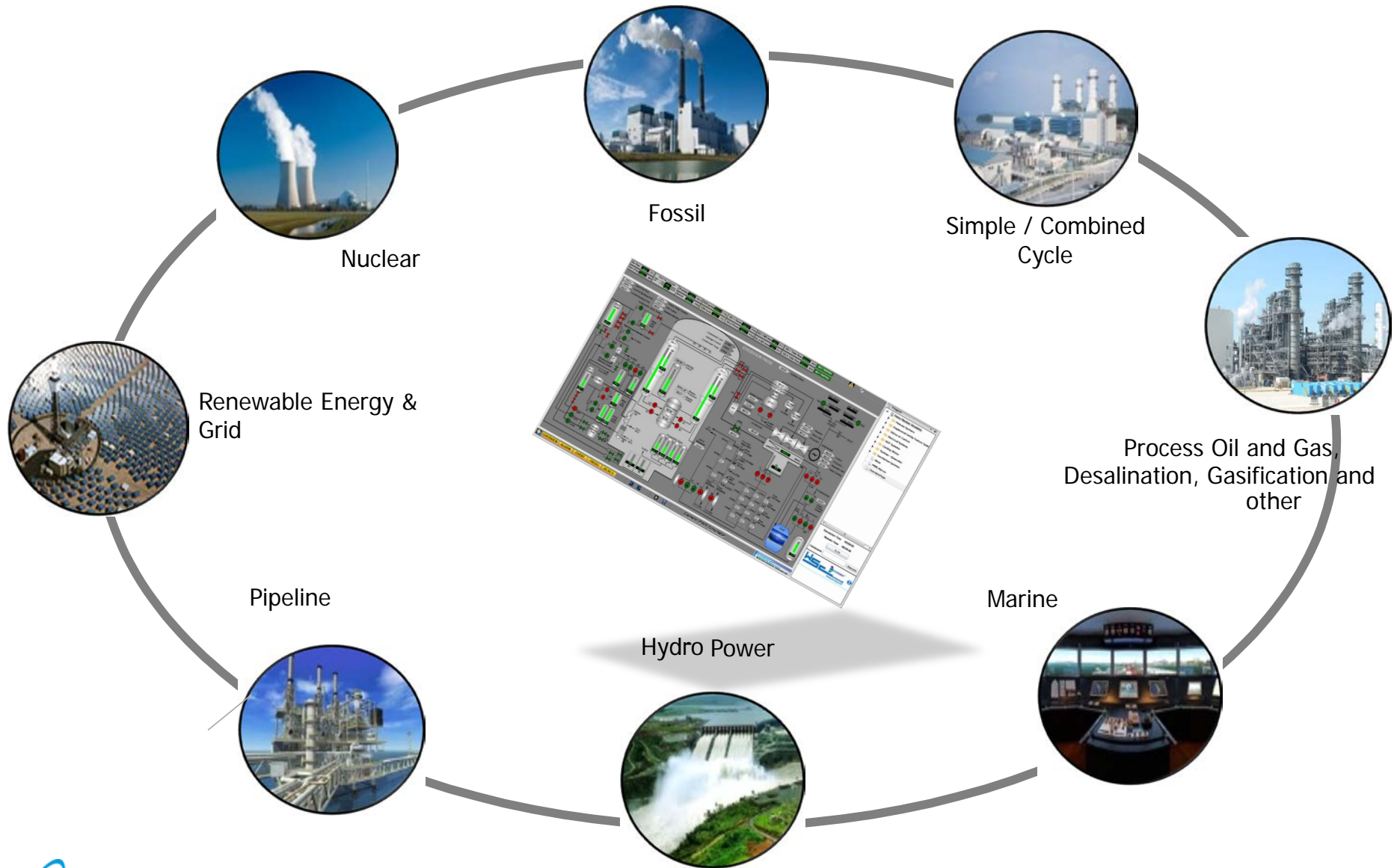
Beyond Training, Simulation Assisted Engineering with the New Designed Reactor

May 8, 2024

KYUNGDOO KIM (kdkim@kaeri.re.kr)

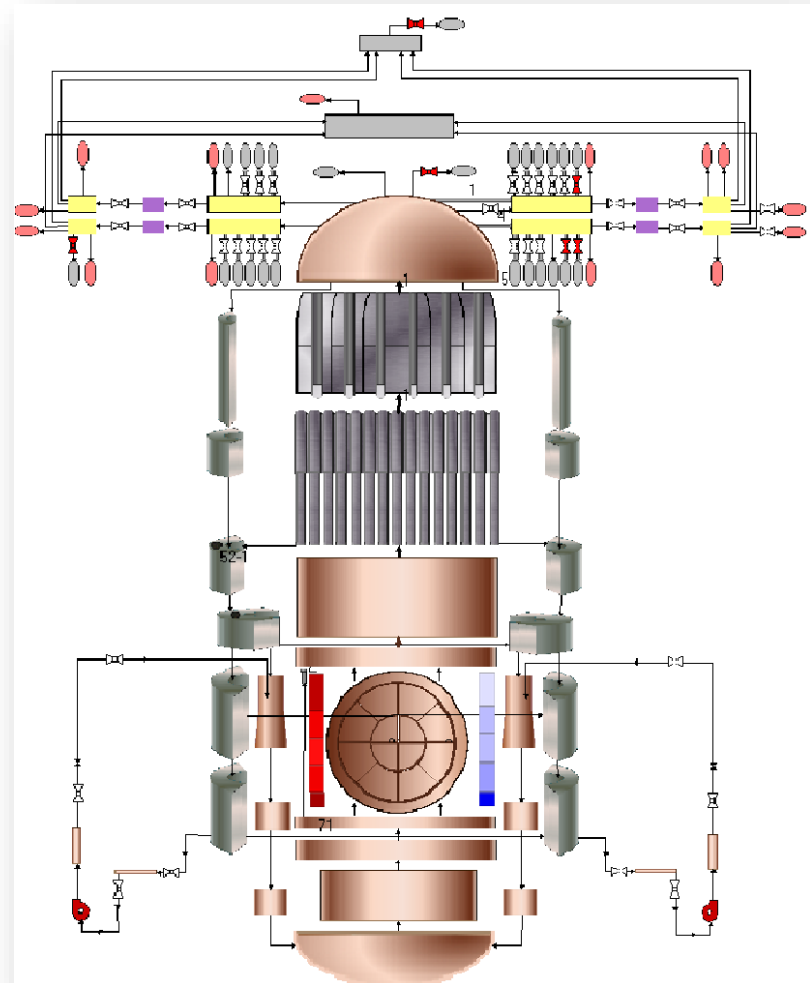
(prepared with assistance from Ashy Oussama of WSC)

Diverse Applications using Simulators



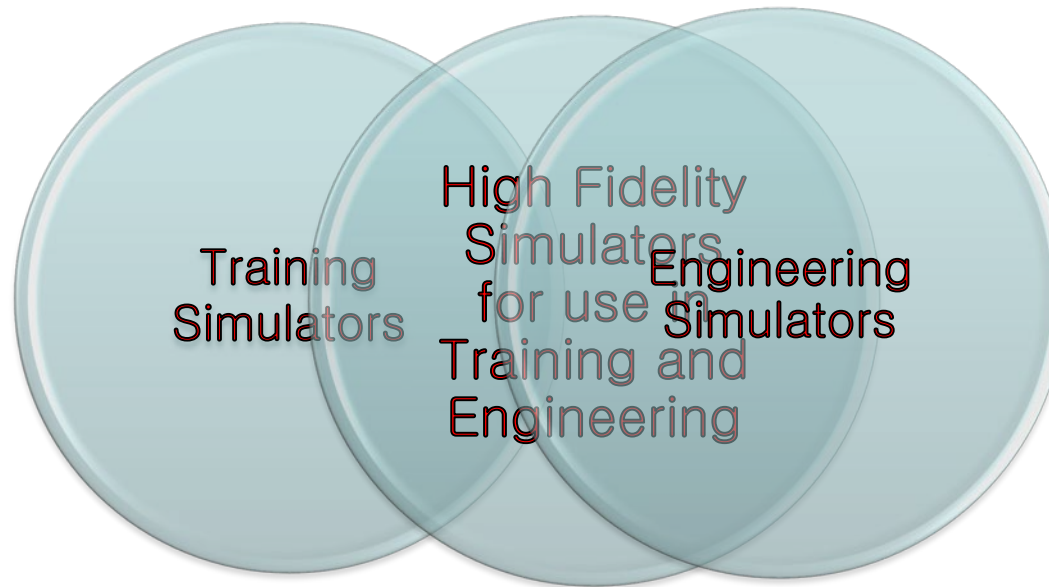
Simulator Platform

- ◆ The simulator has a level of accuracy in power plant design engineering.
- RELAP5 / TRACG / **MARS** Thermal-Hydraulic Codes
- NESTLE / S3R Neutronic Models
- MELCOR / MAAP Severe accident models.
- 2-Phase flow network model tool with graphical modeling capabilities
- Electrical network tool
- Logic & Control and Relay Tools



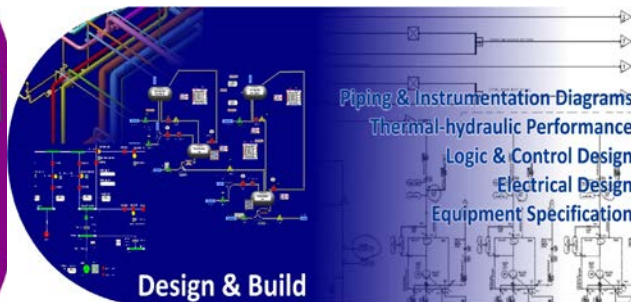
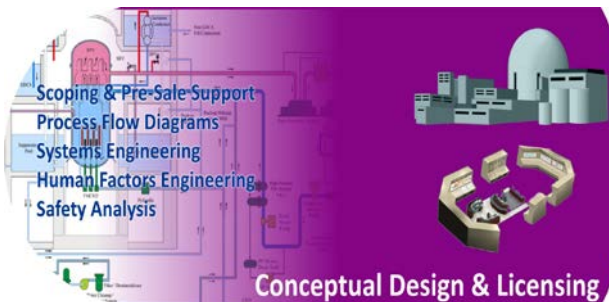
Simulator's Scope of Use

- ◆ 시뮬레이터는 원전 운전원 교육을 위해 시작되었지만, 엔지니어링 수준까지 정확도가 향상되면서 사용 범위가 확대되고 있음.



Simulation Assisted Engineering

SAE는 **개념 설계부터 건설, 시운전**에 이르기까지 프로젝트 실행의 모든 단계에서 원자력 발전소와 같은 복잡한 발전소에 대한 효과적인 테스트 베드를 제공할 수 있음.



SAE Enables Insight Throughout the Engineering Process

SAE 기능은 신규 건설 플랜트 및 업그레이드를 포함하여 발전 시설의 수명주기에서 중요한 구성 요소임.

New Builds

Conceptual Design & Licensing

- SAE simulator platform은 결과가 불확실하고 잦은 설계 변경 환경에서 발전소 설계를 최적화할 수 있는 시뮬레이션 도구를 제공함.
- 이를 통해 모든 운전조건과 변경된 조건에서 설계를 테스트할 수 있어 잠재적인 현안을 해결하여 비용을 크게 절감할 수 있음.

Design & Build

- 보고서를 자동생성하고 데이터를 추적하여 오류를 사전에 발견하고 문제점을 설계 및 건설 단계로 되돌려 최종 제품 품질을 크게 향상시킴.
- P&ID, 논리 및 제어 및 전기 diagram과 같은 엔지니어링 결과물을 개발하고, 기기의 크기 및 용량 등의 사양을 개발하고, 공학적안전설비 설계를 지원하고 중복 설계를 보장함.

Upgrades

Testing & Commissioning

- 전체 통합 플랜트의 가상 시운전 및 검증을 통해 소프트웨어 플랫폼에서 운전 현안을 도출하고 해결할 수 있음.
- 설계자, 운영자는 안전을 위협하거나 장비의 손상, 재작업 및 비효율성을 초래하지 않고 근본 결함을 발견하고 해결방안 도출할 수 있음.
- 결과적으로, 잘못 진단된 문제와 해결방안으로 인해 고비용의 장기간의 가동 중단이나 수리 기간 연장에 대한 위험이 감소됨

SAE Key Benefits



Accurate and high-fidelity modeling of systems



Resolve problems earlier and faster



Higher efficiency



Infinitely scalable



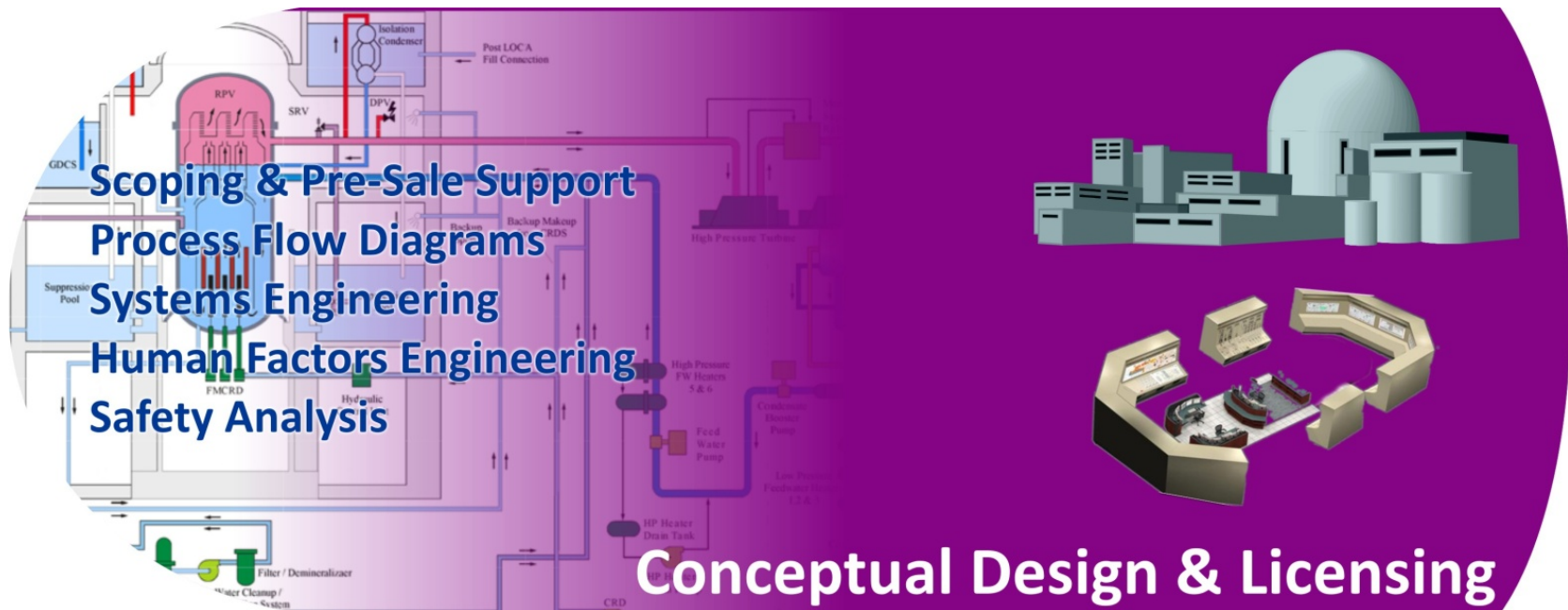
Ease of use for end-users



Multi-user, parallel project development

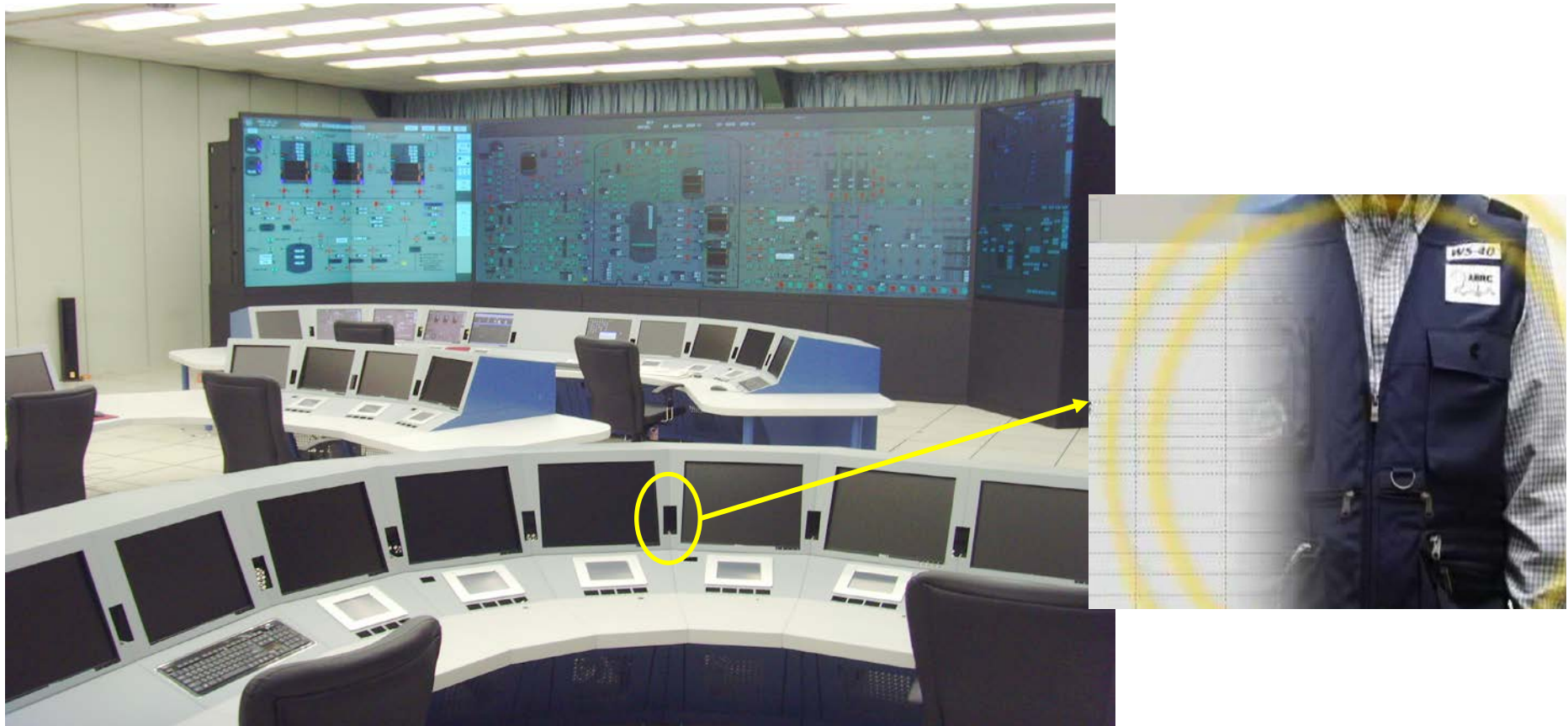
SAE – In Conceptual Design and Licensing

- 장비의 공정 흐름도 및 설계 운전변수 개발
- 주요 운전 조건에서 계통의 경계 및 통합을 위한 변수 정의
- 인간공학 연구 수행 및 HMI 설계 개발
- 단일 또는 복합 고장에 대한 예비 안전 분석 연구 수행



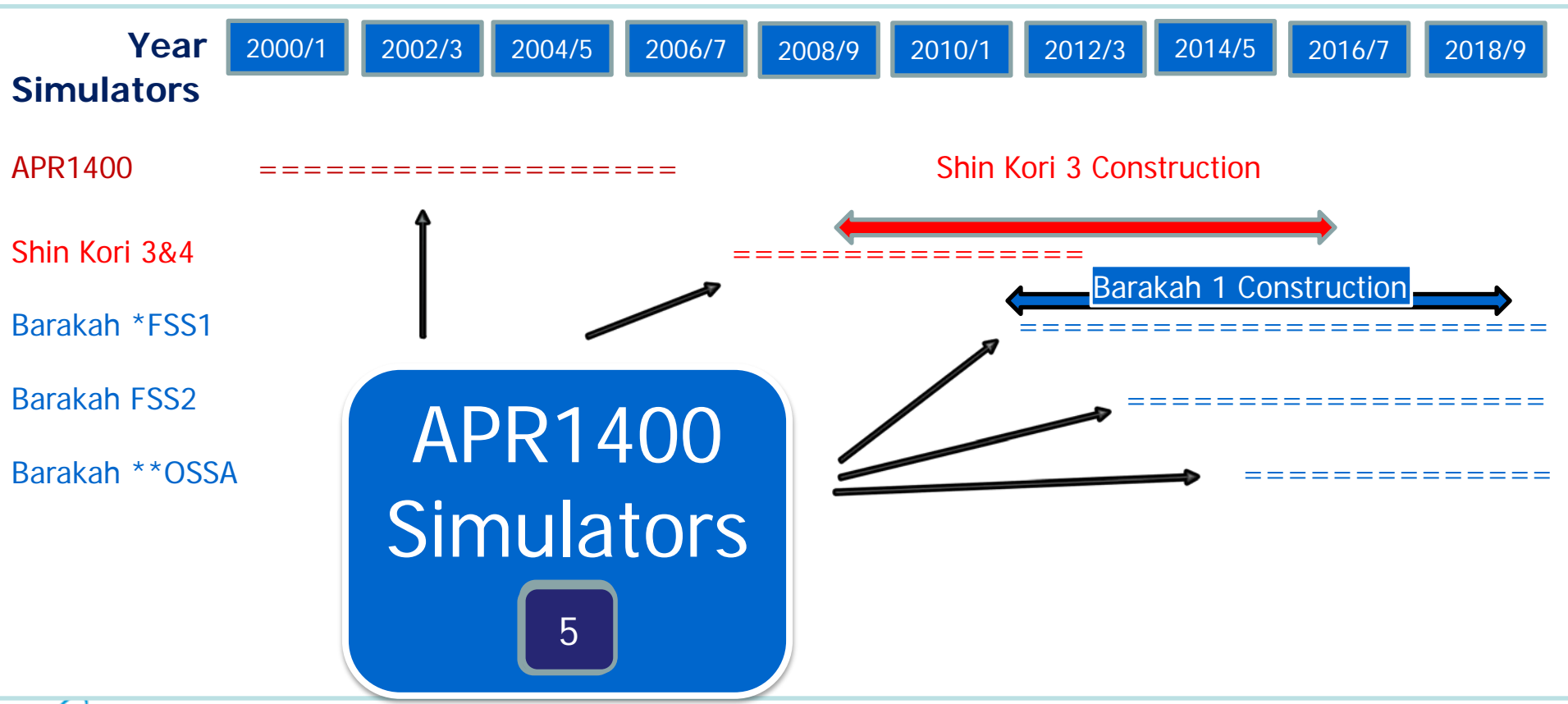
Example: APR1400 Control Room Simulator

- ◆ Control room simulator was used for HFE studies.
 - Cameras and Operator Action sensing equipment. Eye movement, heart beat, head and hand movement



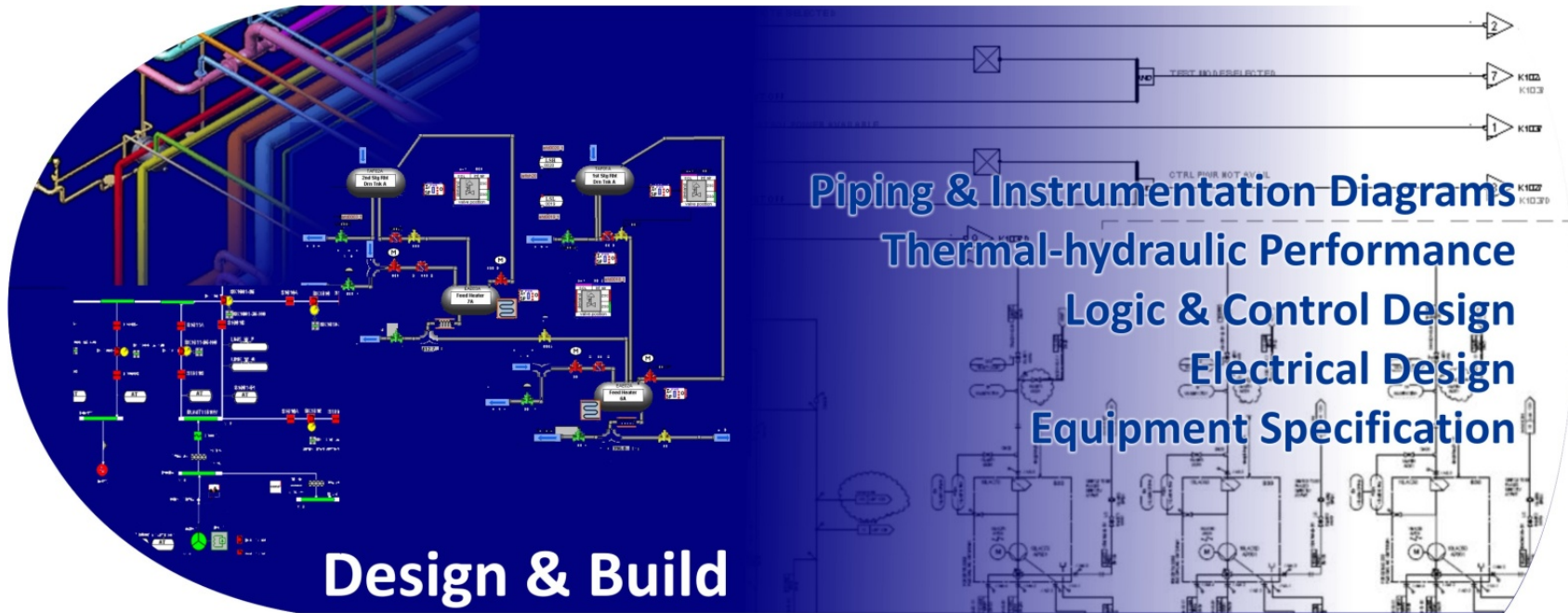
APR1400 was chosen by UAE before completion of construction

- ◆ Barakah 1 began construction before the Shin Kori 3 nuclear power plant was completed.
- The simulator played a key role in gaining confidence in the APR1400.



SAE – In Design and Build

- ◆ Systems engineering objects 개발 — P&IDs, Logic & Control and Electrical Diagrams
- ◆ Developing equipment sizing and capacity specifications
- ◆ Engineered safety features and redundancy design



Example: The Virtual SAE Plant

Piping and Instrumentation

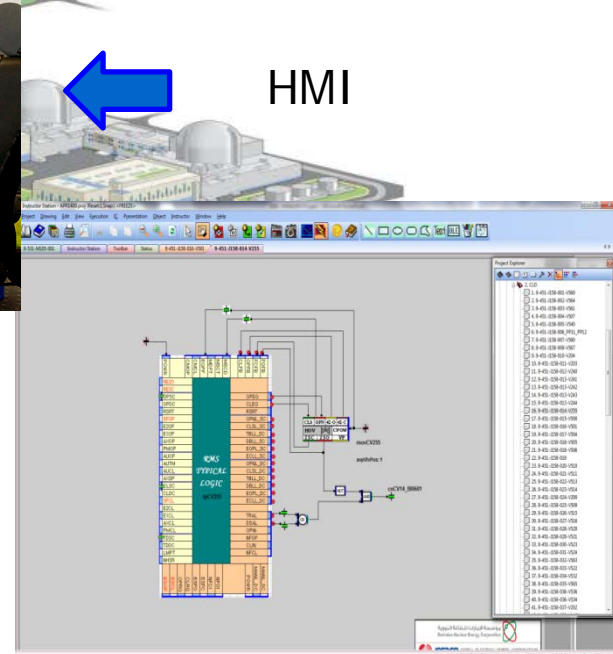
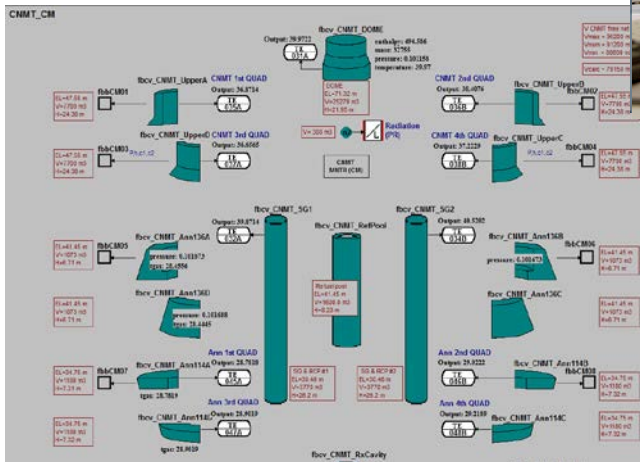
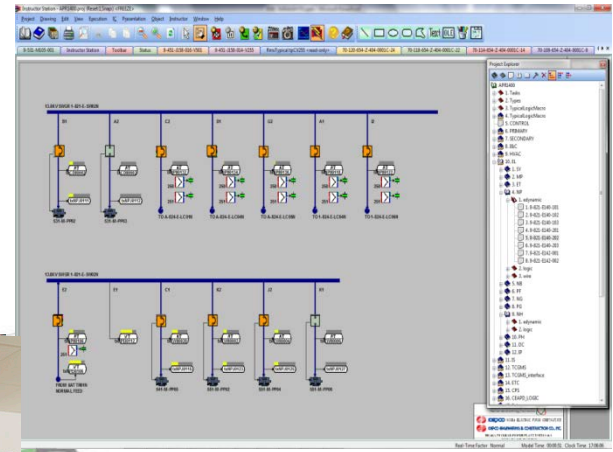
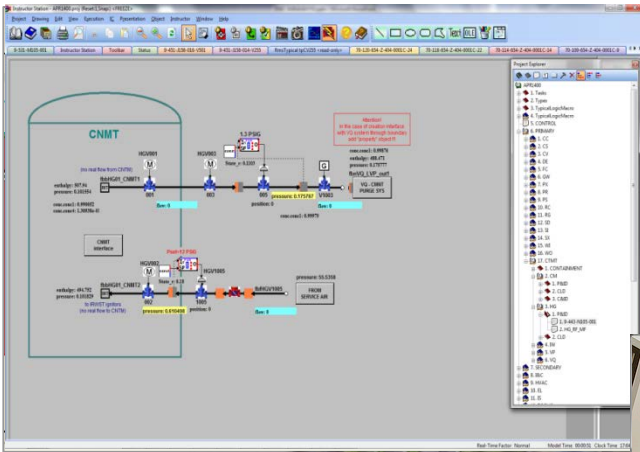
Electrical

Control

HMI

Isometrics

Instrumentation



The Virtual SAE Plant Development Process

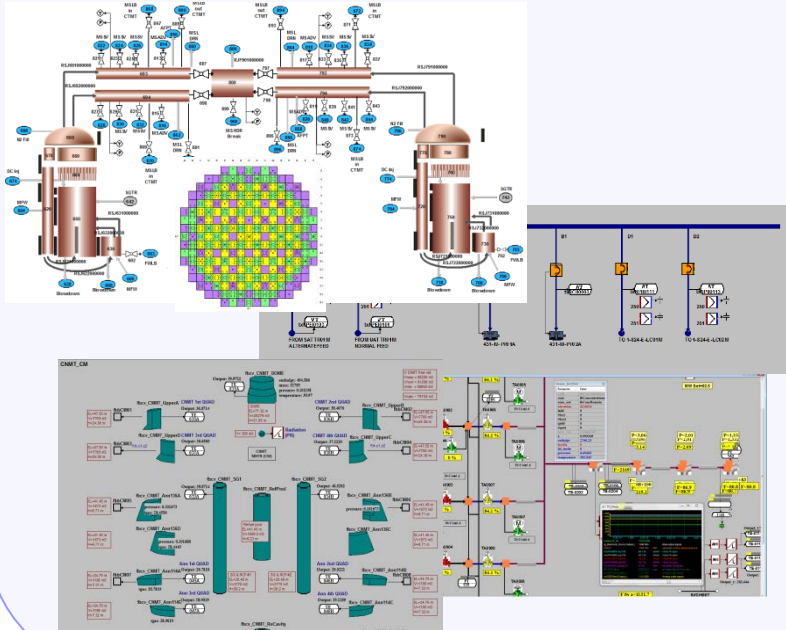
Approach:

- Integrate simulation into design process
- Identify defects and performance gaps
- Iterate to optimize & validate

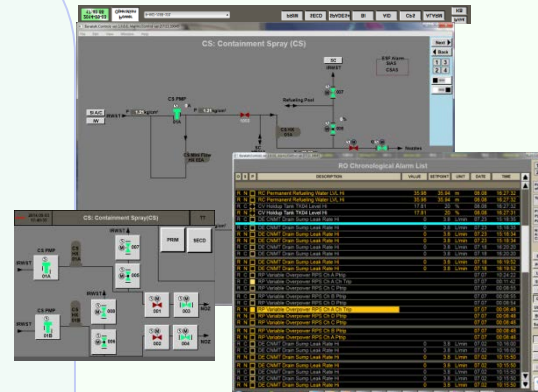
Virtual SAE Plant



Physical Models



Control Models



Benefits:

- Simplify design process
- Minimize overall defects and reduce rework for plant



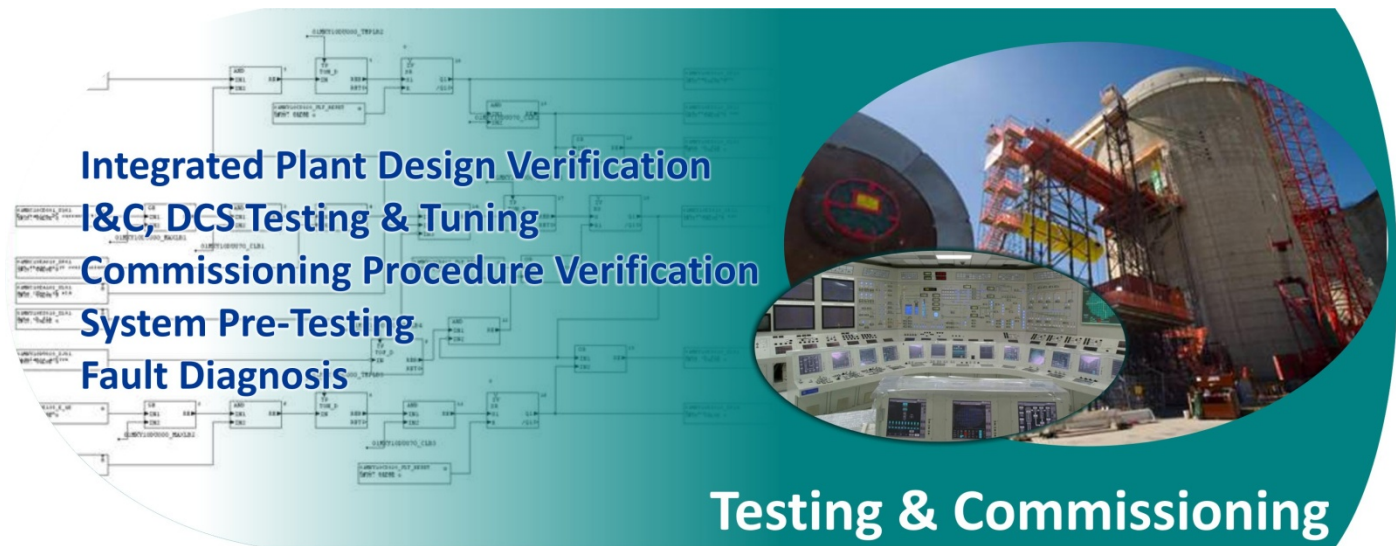
Integrate BOP and NSSS after independent development

Example



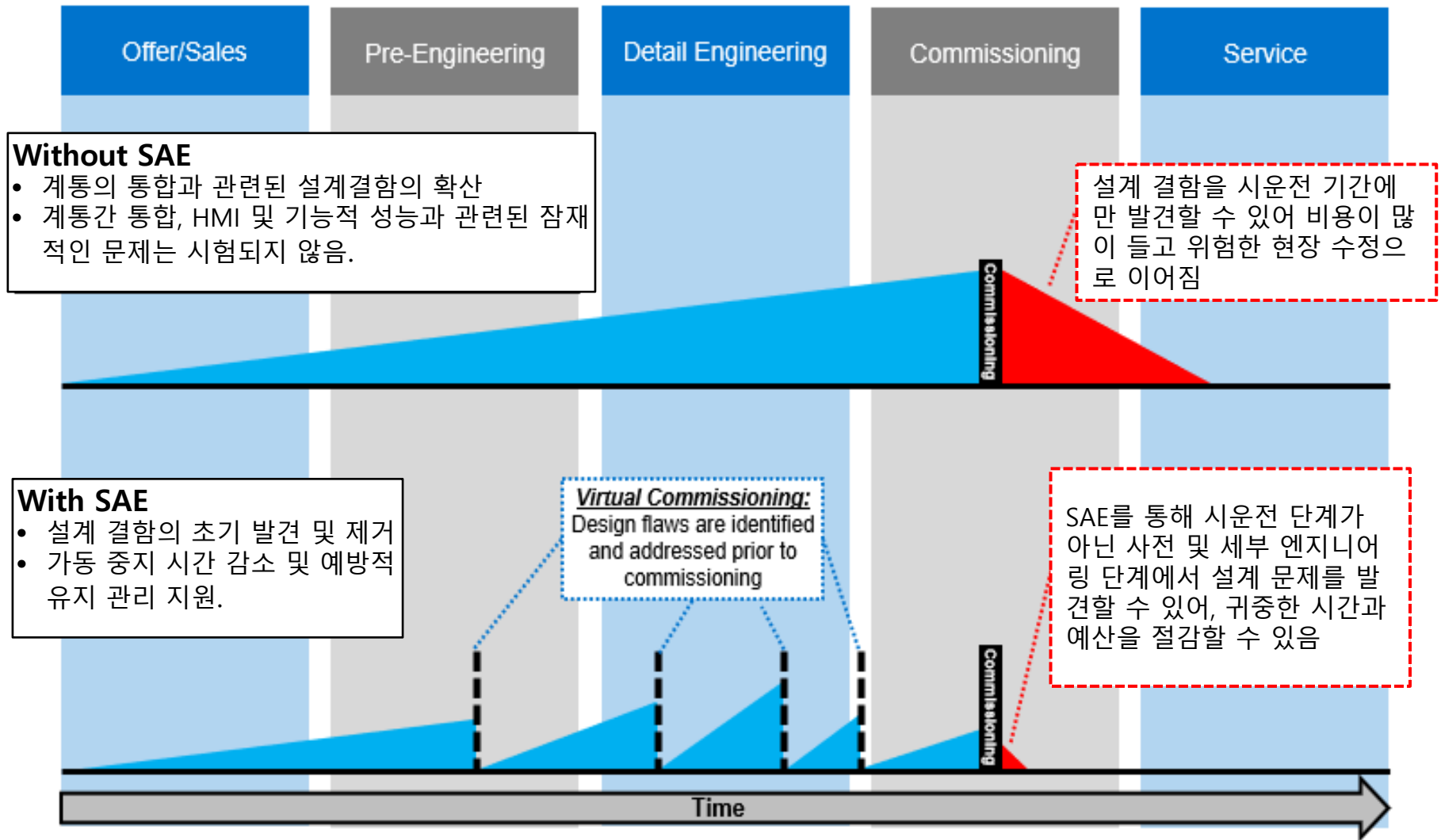
SAE – In Testing and Commissioning

- 시뮬레이터 환경의 전체 통합 플랜트에서 가상 시운전 및 검증
- Digital Control System의 기능 및 민감도 테스트 수행 및 튜닝
- 시험 및 운전 절차 검증
- 고장 및 결함에 대한 대응 확인
- 문제를 식별, 진단하고 해결책 모색



SAE Integrated Engineering Process Vision

SAE은 실제 플랜트 시운전에 앞서 플랜트 설계 및 건설의 각 단계에서 문제를 감지하고 수정하는 효율적이고 비용 절감할 수 도구임.



(예) SAE Experiences saving commissioning time

- ❑ Digital Control System 시운전 중에 발견되는 전형적인 설계 오류
 - ✓ 시운전 기간 중에 DCS I&C diagrams 의 50%가 수정됨
 - ✓ DCS 그래픽 페이지의 70% 이상이 매핑, 색상 및 인체공학적 오류 또는 개선으로 인해 개정됨
 - ✓ 5-10 % 연계 및 I/O 오류
- ❑ 시뮬레이션을 통해 이러한 오류를 해결할 수 있는 테스트 베드를 제공함
- ❑ 엔지니어링 등급의 전범위 시뮬레이터의 사용으로 운전원 교육의 기본 기능 뿐만 아니라 설계에 도움을 주는 엔지니어링 도구로 활용할 수 있음.

American National Standard - Nuclear Power Plant Simulators for Use in Simulation-Assisted Engineering and Non-Operator Training

Potential Benefits include:

- ✓ 원자로 모든 출력범위에서 원자로 설계 개선 및 검증을 통해 원자력 안전 위험 수준을 낮출 수 있음.
- ✓ 발전소 엔지니어링의 품질 향상/user friendliness/설계 최적화.
- ✓ 운전원의 발전소 설계/수정 수용성 향상.
- ✓ 규제 기관, 외부 조직 및 독립검토자의 신뢰도 향상 (NRC, INPO, WANO, other utilities, etc.).
- ✓ 감독자 및 부서장을 대상으로 시뮬레이터 교육을 제공하여 특히 신규 원전에서 관리 프로세스 최적화



ANSI/ANS-3.5.1.202x Draft SAE Standard (not yet approved)

(continued)

- ✓ 상대적으로 저렴한 비용으로 각 발전소에서 사용할 수 있는 시뮬레이터 수를 늘려 더 많은 그룹이 시뮬레이터 사용 이점을 활용할 수 있게 함.
- ✓ 발전소 건설 전에 플랜트 설계 결함 발견:
 - 일반 대중과 발전소 작업자의 건강과 안전을 보호함 (예: 부상, 방사선 노출, 사망 등).
 - 장비 고장 및 손상 방지 (예: 터빈, 주 급수 펌프 등)
 - 계획되지 않은 발전소 정지 및 발전소 가동 중단 연장 방지
 - 결함의 조기 발견 및 수정으로 발전소 테스트 및 시운전에서 발견하여 수정하는 것보다 비용을 훨씬 절약할 수 있음.

Benefits and Application of Recent Simulators

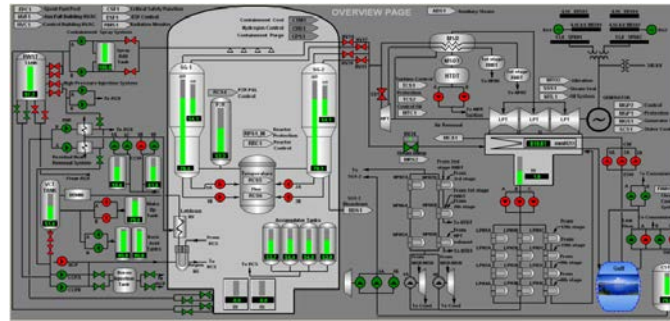
Training

MCR Operator Training

Field Operator Training

Engineers Training

Plant Management Training



Engineering Support

Operating Procedures

Modifications

R&D

PR

Public Visits

Demonstrations

Education

Universities

TSO

Regulatory Body

Q & A