

연구용 원자로 기술 개발 및 수출 현황

2023. 5. 17., 제주국제컨벤션센터

한국원자력학회 원자로시스템기술연구부회



# 가속기능을 갖는 원자로 안전정지장치 개발

2023. 5. 17.

한국원자력연구원 유 연식

# 목차

- ◆ 상향류 노심에서의 연구용 원자로 안전정지장치 개발의 배경 및 필요성
- ◆ 연구용 원자로 관련 기준
- ◆ 연구용 원자로 안전정지장치의 형태별 특징
- ◆ 국내외 연구용 원자로 안전정지장치 현황
- ◆ 가속기능을 갖는 연구용 원자로 안전정지장치의 개발 순서
- ◆ 가속기능을 갖는 연구용 원자로 안전정지장치의 설계요건
- ◆ 가속기능을 갖는 연구용 원자로 안전정지장치의 설계 및 개발
- ◆ 가속기능을 갖는 연구용 원자로 안전정지장치의 시험시설
- ◆ 맺음말 및 향후 기대효과

# 상향류 노심에서의 연구용 원자로 안전정지장치 개발의 배경 및 필요성

## ◆ 개발의 배경 및 필요성

- 현재 운영중인 전세계 연구용 원자로 250여기 중 60% 정도가 40년 이상 경과되어 교체, 개조 및 신규 건설 수요도 증가할 것으로 예상
  - 방글라데시는 의료용 동위원소 생산 및 미래 원자력 기술 입국을 위해 연구로 건설을 추진 중
  - 케냐는 발전로 도입을 위한 원자력 인력 양성 및 기술 인프라 구축을 위해 연구용 원자로 예비타당성 평가를 수행 중
  - 태국, 필리핀 등도 신규 연구용 원자로 건설 및 TRIGA 개조를 위한 타당성 평가 수행 중
  - 미국 미주리 대학은 연구용 원자로 MURR 대체를 위한 신규 연구용 원자로 건설 사업 추진 중
- 경쟁국 대비 미확보 핵심기술 개발의 필요성
  - 국내 기술에 기반한 JRTR 수출 완료 및 KJRR 건설을 수행 중이나 향후 연구용 원자로 수출을 위해서는 경쟁국 대비 부족한 핵심기술의 개발이 요구되는 상황임
  - 연구용 원자로의 이용 목적에 따라 다양한 유형의 연구용 원자로 시스템 설계에 필요한 핵심기술을 개발하여 수출에 유리한 환경을 조성할 필요성이 있음
- 연구용 원자로 안전정지장치
  - 하나로는 상향류 노심, 봉형 핵연료를 사용하고 있으며 상부설치형 안전정지장치를 적용하고 있으므로 이에 대한 핵심기술은 국내에 확보되어 있음
  - JRTR 및 KJRR은 하향류 노심, 판형 핵연료를 사용하고 있으며 각각 상부설치형 및 하부설치형 안전정지장치를 적용하고 있으므로 이에 대한 핵심기술은 국내에 확보되어 있음
  - 판형 핵연료를 사용하는 연구용 원자로에서 활용성 및 편의성을 향상시키기 위하여 20MW급 상향류 노심과 이에 대응할 수 있도록 하부설치형 연구용 원자로 안전정지장치 개발이 요구됨
  - 이에 본 연구에서는 판형 핵연료를 사용하는 상향류 노심에 적용가능한 하부설치형으로 가속기능을 갖는 연구용 원자로 안전정지장치 개발을 수행함

# 연구용 원자로(연구로) 관련 기준

## ◆ 관련 기준

### • IAEA Safety Standards

- SSR-3\_Safety of Research Reactors
  - Requirement 45: Provision of reactivity control
  - Requirement 46: Reactor shutdown system
- SSG-30\_Safety Classification of Structures, System and Components in Nuclear Power Plant
  - 안전성 평가에서 인정받은 기능(Function)을 4단계로 구분하고 이 기능이 수행되지 않을 경우 결과의 심각도(Severity)를 3단계(High, Medium, Low)로 나누어 각각에 대한 Safety Category를 1~3 및 NS로 규정
  - 안전성 평가 관련 기능을 수행하는 SSC의 경우 기능 상실의 심각도에 따라 Safety Class를 지정 가능

### • USNRC Standards

- 10 CFR 50, Appendix A\_General Design Criteria for Nuclear Power Plant
  - III. Protection and Reactivity Control System
- 10 CFR 50.55a\_Codes and Standards

### • 국내기준

- 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 [원안위규칙 제31호, '22.12.9 개정]
  - 제12조(안전등급 및 규격)
  - 제28조(반응도 제어계통)
  - 제36조(제어재구동장치)
- 원자로시설의 안전등급과 등급별 규격에 관한 규정 [원안위고시 제2022-6호, '22.12.9 개정]
  - 제7조(안전등급 3)
  - 제9조(등급별 규격)

# 연구용 원자로 안전정지장치의 형태별 특징

형태	장점	단점	적용사례
상부 설치형	<ul style="list-style-type: none"> <li>전자석-제어봉 직접연결 방식</li> <li>하나로/JRTR 경험으로 상대적 설계 용이</li> <li>제작 경제성</li> <li>운전중 접근성 및 보수 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>제어봉 구동장치 연결봉 및 가이드 등 수조내 구조물 복잡</li> <li>조사공 배치 및 활용 제한</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>HANARO</li> <li>JRTR</li> <li>FRM2</li> <li>TRIGA</li> </ul> 
하부 설치형	<ul style="list-style-type: none"> <li>수조내부의 간섭 감소</li> <li>조사공 활용도 증가</li> <li>노심내부 CAR 배열 용이</li> <li>새로운 기술 도입 및 다양한 설계기술 확보로 기술경쟁력 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전자석-제어봉 간접연결 방식</li> <li>누설방지기술 필요</li> <li>상대적 고가의 제작비</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>JRR3M, JMTR</li> <li>OPAL</li> <li>CARR</li> <li>JHR</li> <li>SAFARI</li> <li>KJRR</li> <li>PALLAS</li> </ul> 

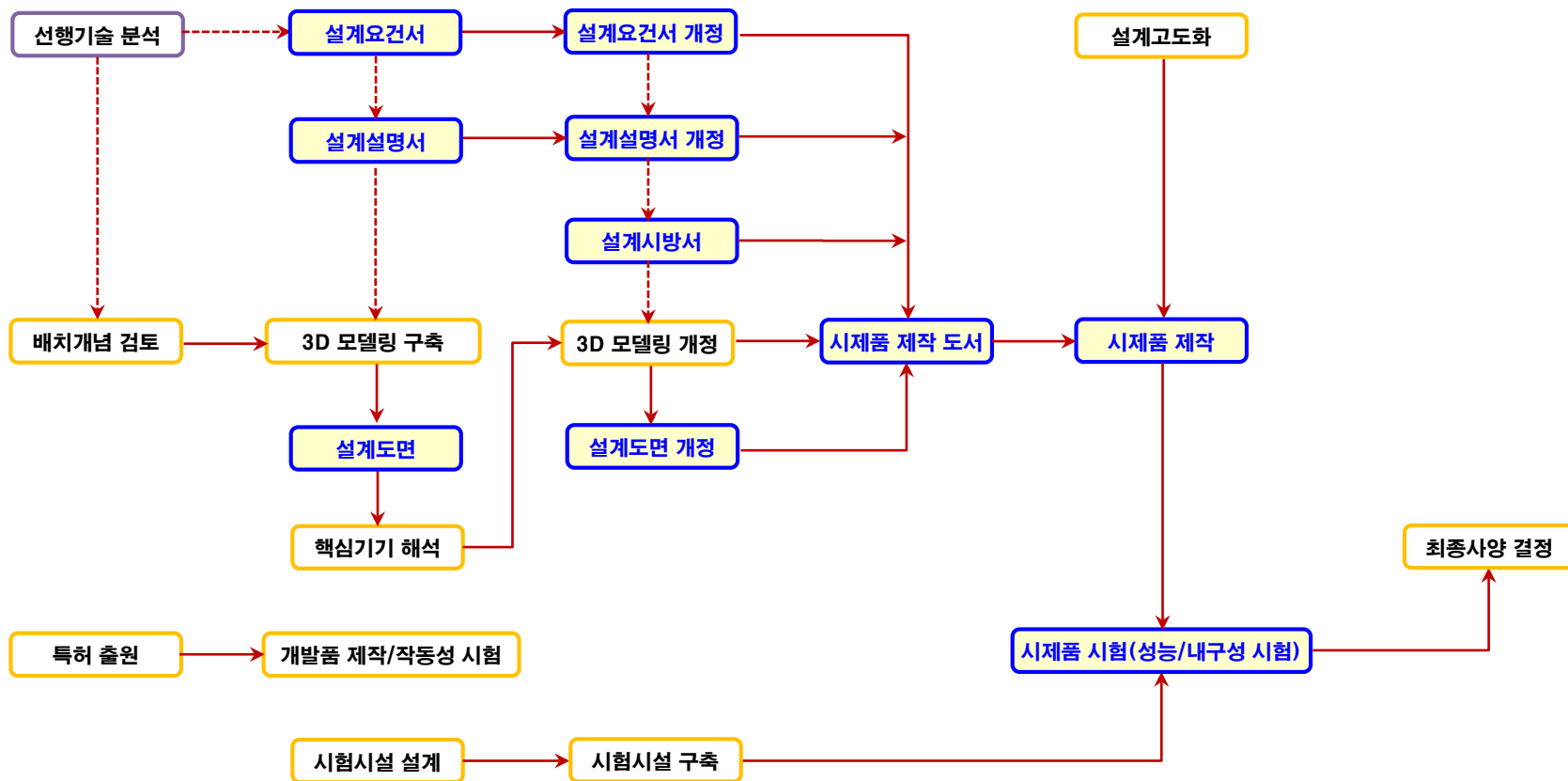
# 국내외 연구용 원자로 안전정지장치 현황

원자로명	국가	열출력 (MW)	핵연료 형태	냉각재 방향	안전정지장치
하나로	• 한국	• 30	• <b>봉형</b>	• <b>상향</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하프늄 제어봉 (4개)</li> <li>• 하프늄 정지봉 (4개)</li> <li>• <b>가속장치 없음</b></li> </ul>
JRTR	• 요르단	• 5	• <b>판형</b>	• <b>하향</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하프늄 제어봉 (4개)</li> <li>• B4C 정지봉 (2개)</li> <li>• <b>가속장치 없음</b></li> </ul>
KJRR	• 한국	• 15	• <b>판형</b>	• <b>하향</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하프늄 제어봉 (4개)</li> <li>• 하프늄 정지봉 (2개)</li> <li>• <b>가속장치 없음</b></li> </ul>
ETRR-2	• 이집트	• 22	• <b>판형</b>	• <b>상향</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하프늄 제어판 (6개)</li> <li>• 중수시스템</li> <li>• <b>공압가속장치</b></li> </ul>
OPAL	• 호주	• 20	• <b>판형</b>	• <b>상향</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하프늄 제어판 (5개)</li> <li>• 중수시스템</li> <li>• <b>공압가속장치</b></li> </ul>
RMB	• 브라질	• 30	• <b>판형</b>	• <b>상향</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하프늄 제어판 (6개)</li> <li>• 중수시스템</li> <li>• <b>공압가속장치</b></li> </ul>
RA-10	• 아르헨티나	• 30	• <b>판형</b>	• <b>상향</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하프늄 제어판 (6개)</li> <li>• 중수시스템</li> <li>• <b>공압가속장치</b></li> </ul>

# 가속기능을 갖는 연구용 원자로 안전정지장치의 개발 순서

## ◆ 개발 순서

  : QA 적용사안



# 가속기능을 갖는 연구용 원자로 안전정지장치의 설계요건

## ◆ 설계요건

### • 기능요건

- 가속장치 및 안전정지장치 기능의 독립성(가속장치는 주변 기기의 작동 및 기능에 영향을 주지 않아야 하며 안전정지장치 낙하부는 주변의 영향을 받지 않고 기능을 수행해야 함)
- 고장안전설계
- 주어진 시간 내에 반응도를 제어가 가능해야 함
- 낙하 시 충격 완화 장치 및 낙하 끝단의 위치 정보 지시를 위한 장치 구비
- 유지보수를 고려한 설계개념이 반영
- 각 구성품은 냉각수 환경, 방사선 환경 및 작동조건을 고려하여 해당재료를 선택
- 실제 원자로에 적용 시 내진성능이 보장되어야 함(운전기준지진 중 또는 후에 그 기능을 유지해야 하며, 안전정지지진에서 제어재가 낙하하여 특정 시간 내에 노심에 삽입할 수 있도록 해야 함)

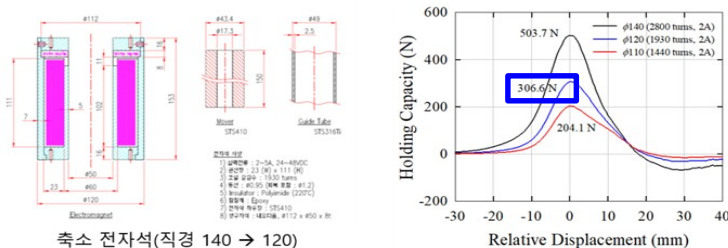
### • 성능요건

- 설계수명, 전기 부속 및 베어링 교체 주기 등
- 제어재 성능
  - 제어재 낙하길이, 낙하시간, 초기 지연시간, 감쇠 전 낙하시간, 전 낙하길이에 대한 낙하시간, 구동정밀도, 중성자흡수재 재료 등
- 시스템요건(실제 원자로 적용 시)
  - 주요 낙하지점(댐핑 개시전, 완전 낙하, 인출 등)의 위치정보를 원자로조절계통(RRS)에 전송
  - 제어재 낙하 관련으로 원자로보호계통(RPS), 자동지진정지계통(ASTS), 대체보호계통(APS)과 연계

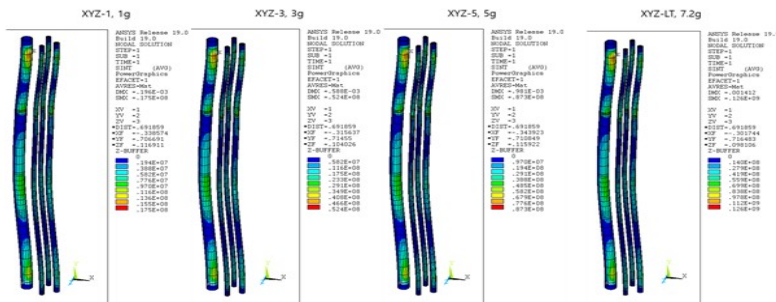
### • 그 외 구조적 연계요건, 강도 및 변형요건, 환경요건, 신뢰성요건, 유지보수요건, 주기적 검사요건 등



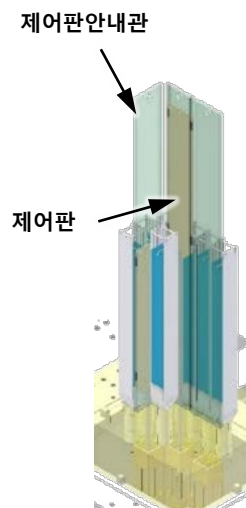
- 주변 구조물과의 간섭 회피를 통한 적용성 확대



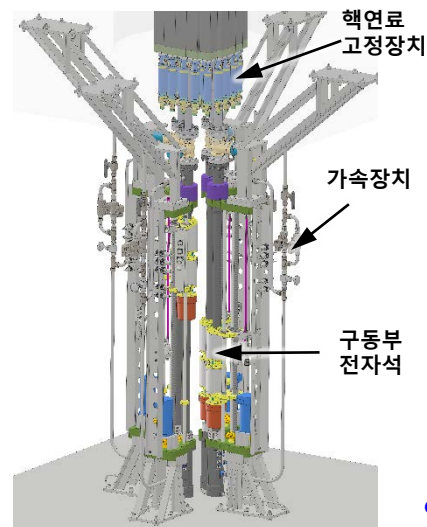
구동부 전자석 설계(전자기장 해석)



가동자 안내관 한계 지진하중(XYZ) 평가



## 노심 상부 형상



## 안전정지장치 하부 배치 형상



## 안전정지장치 형상

## 맺음말 및 향후 기대효과

### ◆ 맺음말

- 경쟁국 대비 미확보 핵심기술인 **판형핵연료**를 사용하는 **상향류 노심**에 적용가능한 원자로 안전정지장치 개발의 필요성을 인지하고 본 연구를 통하여 **하부설치형 가속기능을 갖는 원자로 안전정지장치의 개발**을 수행중에 있다.
- 본 연구는 실제 건설 및 운영허가를 위해 기존에 개발되어 왔던 연구용 원자로 핵심기술들에 적용된 개발 순서에 따라 수행되었다.
- 본 핵심기술은 경쟁국의 보유기술과는 다른 독자적인 방식으로 개발되었으며 연구 수행 중 국내 및 해외(3국)에 관련 특허를 출원하였다.

### ◆ 향후 기대효과

- 본 핵심기술은 20MW급 판형핵연료 상향류 모의 노심에 대하여 개발되었으나 원자로 출력에 대하여 폭넓은 적용성을 보유하고 있다.
- 본 연구결과로 경쟁국 수준의 다양한 연구용 원자로 안전정지장치 핵심기술을 보유하게 되었으며 이로써 향후 연구로 수출에 유리한 환경 조성이 가능하게 되었다.

# Thank You



Korea Atomic Energy  
Research Institute

