

# 원자력시설 해체 핵심기술 개발 및 실용화 현황

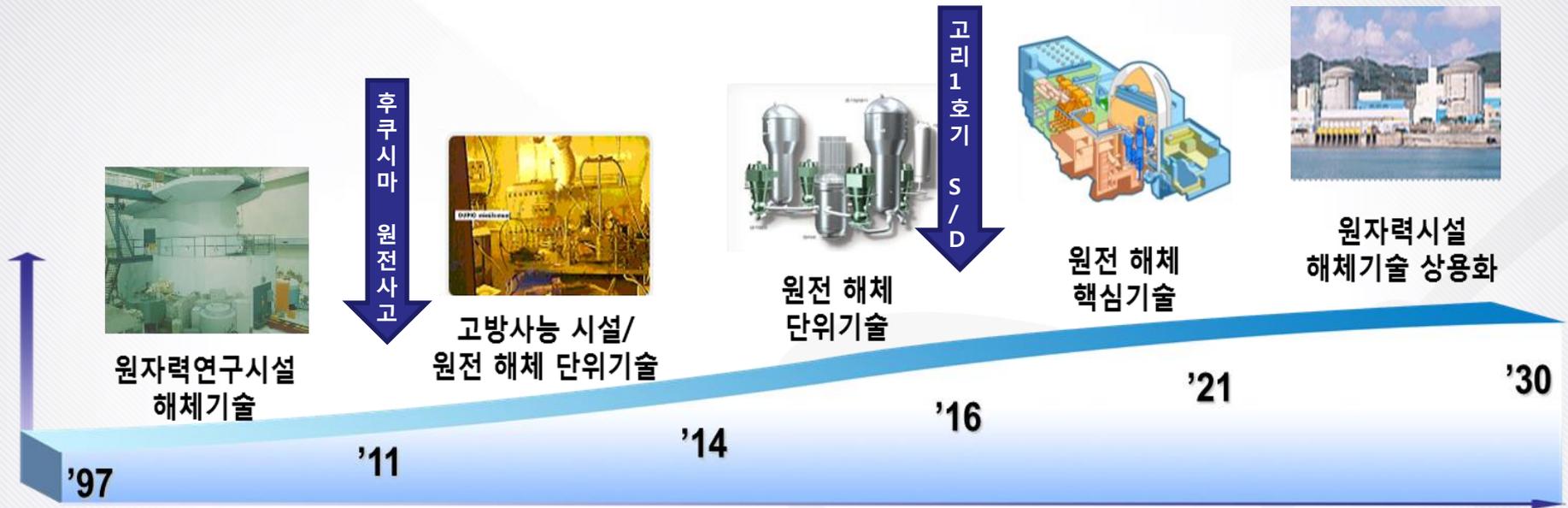


2019. 08. 27.(화)

**서 범 경**  
(bumja@kaeri.re.kr)

# 01 해체기술 개발 개요

# 해체기술 개발 추진 현황



## 해체 단위기술

- 원자력연구시설 해체 적용 기술 (연구로1&2/변환시설)
- 고방사능 시설 제염/해체 단위 기술

## 해체 핵심 기술

- 방사선학적 특성평가 시스템
- 원전 일차계통 제염기술
- 원격 절단 및 해체 시스템
- 해체 폐기물 처리 시스템
- 부지복원 시스템

기술  
고도화  
및 검증

## 기술 실용화

- 해체기술 이전
- 산학연 협력강화
- 국내 원전 해체
- 해외 시장진출

# 원자력연구시설 해체 현황

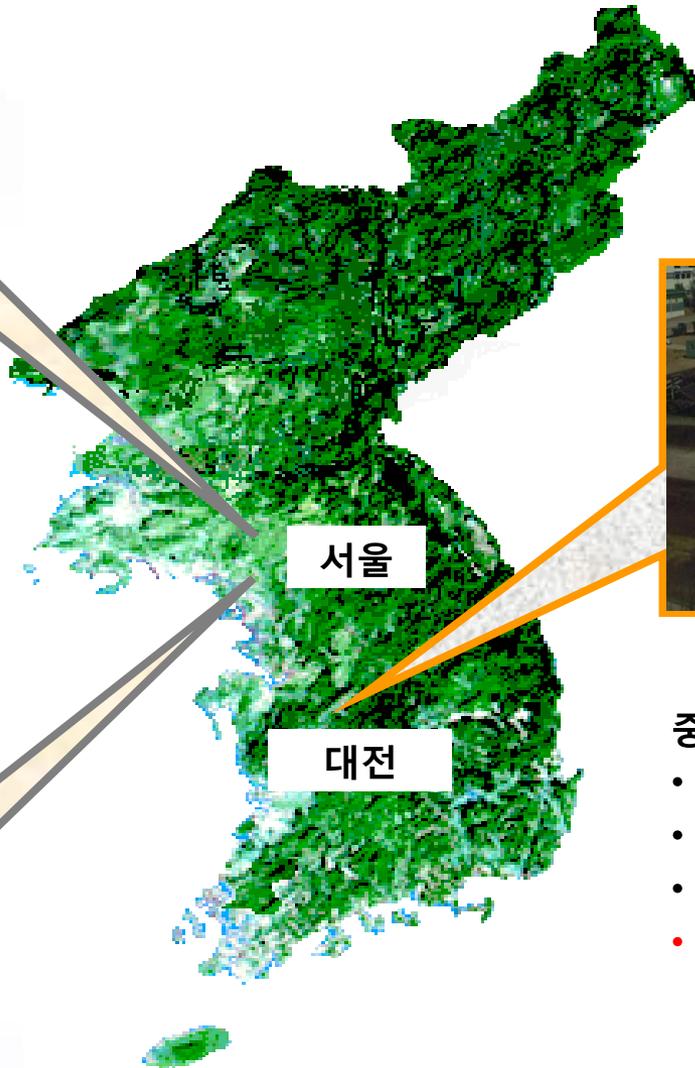


## 연구로 1호기

- 용량: 0.25 MWt
- 운전: 1962 ~ 1995
- 제염해체: 2011 ~ 2014

## 연구로 2호기

- 용량: 2 MWt
- 운전: 1972 ~ 1995
- 제염해체: 1997 ~ 2009
- 부지복원 중(~2021)



서울

대전



## 우라늄 변환시설

중수로용  $UO_2$  생산

- $UO_2$  생산: 100 t/yr
- 운전: 1988 ~ 1992
- 제염해체: 2001 ~ 2011
- 원자력시설로 재이용

# 연구로 해체 사업

## ◆ 1차 사업

- ▶ 기간: 1997.01 ~ 2008. 12
- ▶ 사업예산: 197 억원
- ▶ 사업내용
  - 연구로 2호기 및 부대시설 해체

## ◆ 2차 사업

- ▶ 기간: 2011.01 ~ 2015. 12
- ▶ 사업 예산: 41 억원
- ▶ 사업내용
  - 연구로 1호기 해체
  - 방사성폐기물(516드럼) 처분장 이송

## ◆ 3차 사업

- ▶ 기간: 2016.01 ~ 2021. 12
- ▶ 사업 예산: 112 억원
- ▶ 사업내용
  - 환경복원 및 부지 규제해제 (Green Field)
  - 연구로 1호기 기념관화 및 부지 이관

- 위 치 : 서울시 노원구 공릉동
- 운 전 개 시 : 1962/1972
- 운 전 정 지 : 1995. 1.31/ 12.31
- 부 지 면 적 : 47,417 m<sup>2</sup>
- 건물 연면적 : 7,834 m<sup>2</sup>

	연구로1호기	연구로2호기
▪ Type	: TRIGA Mark-II	Mark-III
▪ 운전시간(hr)	: 36,000	55,000
▪ 총출력(MWh)	: 3,700	69,000
▪ 농축도(%)	: 20	70
▪ 냉각재	: H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O



# 우라늄변환시설 해체 사업

- 사업기간 : 2001 ~ 2012
- 사업 예산 : 120 억원
- 사업 내용
  - ✓우라늄변환시설 해체
  - ✓라군 슬러지 폐기물 처리
  - ✓건물은 규제해제 후 PRIDE 시설로 재활용

- ➡ 위치 : 대전시 유성구 덕진동
- ➡ 시설 준공 : 1982
- ➡ 공정개선보완 : 1985 ~ 1988
- ➡ 핵연료 생산 : 1989 ~ 1992 (320톤)
- ➡ 시설 휴지 : 1993
- ➡ 건물 연면적 : 2,950 m<sup>2</sup>
- ➡ 라군시설 : 액체폐기물 저장조  
우라늄함유 슬러지폐기물 300톤



# 해체 핵심기술 개발 - 개요

## 핵심기술 확보

- ◆ 국내 원자력시설 해체 **핵심기술 독자 확보 및 기술 검증**을 통한 해체 역량 강화와 미래 해체시장 준비
  - ❖ 원자력시설 **해체 핵심 기반기술 개발**계획 수립(원자력진흥위, '12.11)
  - ❖ 안전하고 경제적인 원전해체와 원전**해체산업 육성**을 위한 정책방향 수립(원자력진흥위, '15.10)

### ➤ 당면한 국내 해체 문제 해결을 위해 해체 핵심기술 자립 및 집중 투자 필요

- 미확보 해체 핵심기술 위주의 전략적 연구개발
- 국내 해체기술 자립을 위해서는 정부차원에서 집중투자 필요

### ➤ 해체 산업 역량강화를 위한 인프라 구축 및 인력 양성 지원 필요

- 인력 양성을 위한 제도 준비 및 산/학/연 역할 정립
- 해체 핵심기술 이전 및 기술 검증을 통한 산업체 활성화 지원 필요

# 해체 핵심기술 개발 - 분야

## » 주요 연구분야

- ❖ [1-2] 해체 엔지니어링 및 특성평가 기술 개발
  - 해체 전주기 폐기물 특성평가 관리기술 개발
  - **난분석 핵종** 측정 자동화 기술 개발
- ❖ [3] **일차계통** 및 대형기기/시설 제염기술 개발
  - 원전 일차계통 화학제염 기술 개발
  - 대형기기/대면적 복합유체제염 기술 개발
- ❖ [4] 원전 핵심설비 **원격절단** 기술 개발
  - 원격조작 상호연동 기술 개발
  - 로봇 및 레이저 연계 **원격절단/취급** 기술 개발
  - 해체공정 시뮬레이션 및 평가기술 개발
- ❖ [5] 해체 폐기물 처리 및 재활용 기술 개발
  - 해체 **콘크리트폐기물** 고감용 기술 개발
  - 난처리성 폐기물 열화학적 처리 기술 개발
  - 유동입자성 폐기물 안정화/고화 기술 개발
- ❖ [6] 부지복원 및 재이용 안전성 평가 기술 개발
  - 해체 부지 **오염토양** 복원기술 개발
  - **지하수 복원** 신매질 및 현장 적용기술 개발
  - 원전사고 대비 주거지 오염표면 복원기술 개발



# 해체 핵심기술 실용화(1/2)

## » 추진 배경

- 연구 과정에서 산업체 참여를 통한 해체 핵심기술의 **검증 및 이전**

## » 추진 전략

- 원전 해체 필요기술 중 KAERI-산업체 시너지 효과를 창출할 수 있는 공동연구 과제 도출
- 원자력 연구시설 해체 경험과 원전 해체 시에 사업 참여가 가능하고 잠재능력을 보유한 산업체를 발굴하여 지속적인 실용화 프로그램 개발
  - 핵심기술 공학규모 검증(KAERI-산업체 공동) 및 폐기물을 이용한 기술 실증(산업체 주도)

## » 추진 방법

- 해체 핵심기술 개발 및 실용화 과제 병행 추진
  - KAERI 주도 **핵심기술 개발** 과제
  - 산업체 주도 **기술검증**을 통한 실용화 과제
- 기술 검증 및 실용화를 위한 종합시험시설 구축(동남권 원전해체연구소 등 활용)

# 해체 핵심기술 실용화(2/2)

해체 준비	제염	절단	폐기물 처리	환경 복원
해체 공정 평가 기술	원전 일차계통 화학제염 기술	원격 해체 장비 내방사화 기술	방사화 탄소 폐기물 처리 기술	저준위 부지 방사능 현장 측정 기술
해체 안전성 평가 기술	대형기 나노 복합유체 제염 기술	고하중 취급 원격 정밀 제어 기술	악티늄 함유 폐기물 처리 기술	대용량 고방사성 폐액 처리 기술
방사능 재고량 평가 기술	제염에 의한 재료건전성 평가 기술	3D Human Machine Interface 기술	유기혼성 폐기물 수증기개질 처리 기술	우라늄 폐기물 처리 기술
표면오염도 측정 기술	분사연마 제염 기술	열적 절단 기술	금속 폐기물 절단 및 제염 기술	콘크리트 폐기물 재활용 기술
핵종 분석 기술	전해연마/화학침수 제염 기술	고자유도 원격 절단 통합평가 기술	금속 용융 기술	콘크리트 폐기물 감용 기술
환경영향 평가 기술		실감형 원격 절단 시뮬레이터	금속체 방사능 평가 및 재활용 기술	콘크리트 폐기물 안정화 기술
방사선 안전관리 기술		기계적 절단 기술		
품질 보증 기술				

2012~2017년 확보

확보기술(28개)  
미확보기술(10개)

### 해체 공통기술(7개)

방사능 재고량 평가 기술  
환경영향 평가 기술  
방사선 안전관리 기술  
품질 보증 기술  
기계적 절단 기술  
금속체 방사능 평가 및 재활용 기술  
콘크리트 폐기물 재활용 기술

### 실용화 완료기술(7개)

해체 안전성 평가 기술  
제염에 의한 재료 건전성 평가 기술  
분사연마 제염 기술  
전해연마/화학침수 제염 기술  
금속 폐기물 절단 및 제염 기술  
우라늄 폐기물 처리 기술  
오염 토양 처리 기술

### 중대사고 대응기술(3개)

대용량 고방사성 폐액 처리 기술  
고방사성 폐기물 안정화 기술  
광역오염 확산 억제 기술

## 기확보 해체 핵심기술(28개)

- 공통기술 : 7개
- 실용화 완료 : 7개
- 중대사고 관련 기술 : 3개
- 실용화 대상 기술 : 11개

## 해체 핵심기술 실용화 과제(4개분야)

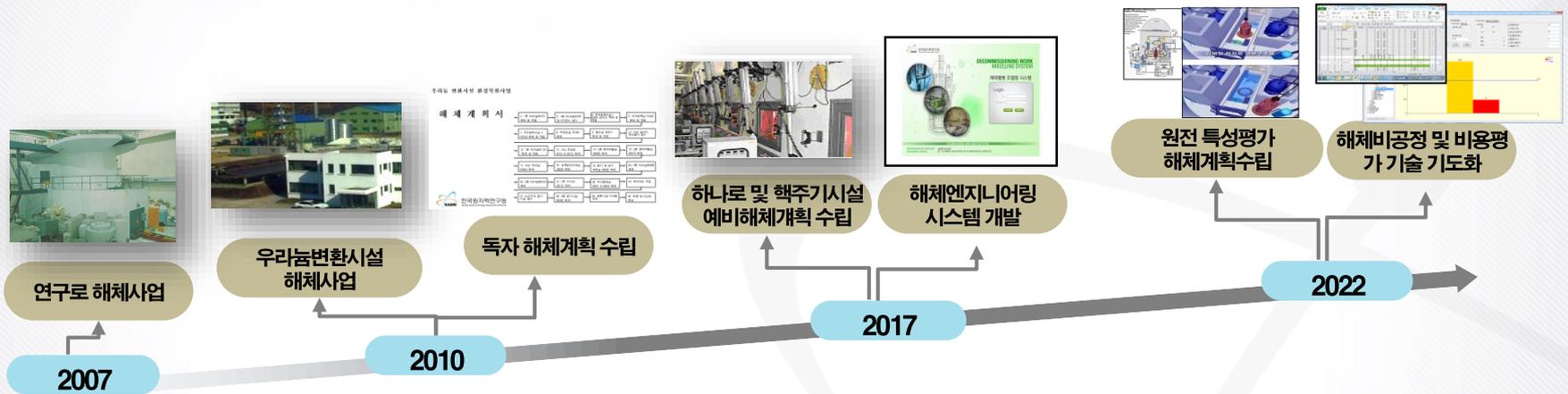
<h3>해체 부지오염도 측정 시스템</h3>	<h3>일차계통 방사성 오염 제염 장치</h3>	<h3>원전해체 시뮬레이터</h3>	<h3>콘크리트 폐기물 가열 분쇄 장치</h3>
--------------------------	----------------------------	---------------------	----------------------------

# 02

## 기술개발 및 실용화 추진 현황

# [분야 1] 해체 엔지니어링 - 추진 현황

- 해체 계획 수립에 요구되는 다양한 자료관리(운영이력, 시설특성 등) 방안 구축, 해체폐기물의 방사선학적 특성 정보에 대한 체계적인 이력관리, 처분 적합성 및 자체처분 용이성 확보를 위한 체계적인 관리기술 개발



## 연구현황

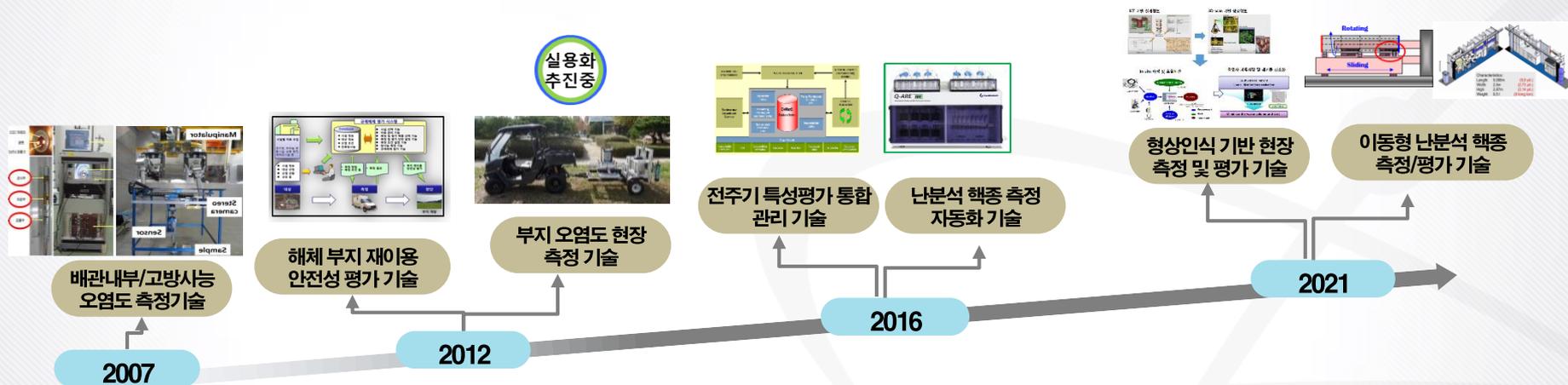
- >> 해체 경험 자료 분석 및 평가를 통한 해체계획 수립 기술 확보
- >> 해체 계획 수립 및 비용평가를 위한 엔지니어링 시스템 개발

## 연구계획

- >> 해체 전주기 특성평가 통합관리 기술 개발
- >> 폐기물의 발생 최소화, 이력관리, 처리/처분 용이성 확보를 위한 통합관리 기술 개발

# [분야 2] 방사선학적 특성평가 - 추진 현황

- 해체 시설 및 부지의 방사선학적 오염 특성을 고려한 측정 및 평가기술 개발
  - 배관 내부 및 고방사능 오염도 측정기술 개발, 해체 대상 방사선/능 **현장 측정기술** 개발, **난분석 핵종 측정 자동화 및 이동형 측정 기술** 개발, 해체 전주기 특성평가 통합관리 기술 개발



## 연구현황

- >> 해체 전주기 특성평가 통합관리 기술 개발
- >> 난분석 핵종 신속 정확한 측정을 위한 이동형 측정 자동화 기술 개발

## 연구계획

- >> 해체대상 형상정보 인식 기반 현장(in-situ) 측정 핵종 재고량 측정 기술
- >> 고방사능 난분석 핵종 측정 이동형 통합 측정 및 평가기술 개발

# [분야 2] 방사선학적 특성평가- 적용 사례

## 연구로 해체 현장 측정

### » 수조 방사화 콘크리트 측정

- ▶ 연구로 수조 콘크리트 방사화 분포 측정
  - 주요 핵종 : Co-60, Eu-152/154, 최대 150 Bq/g
  - 연구로 Exposure room 깊이분포 평가



### » 해체폐기물 측정

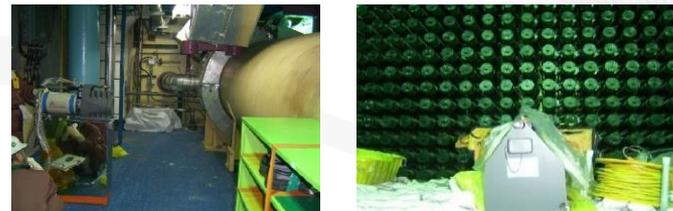
- ▶ 해체 시 발생하는 다양한 폐기물 현장 측정
  - 포장 용기별 총 방사능량 현장 측정
  - 현장 측정 핵종 재고량 측정 용이성 및 타당성 검증



## 원전 내부 구조물 측정

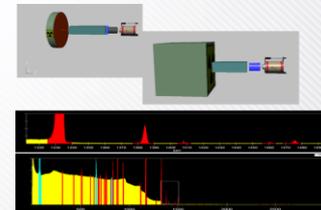
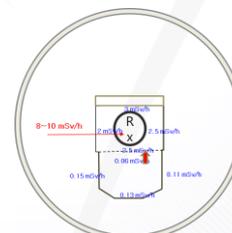
### » 중수로 주요기기 측정

- ▶ 중수로 원전 주요기기 재고량 측정
  - 주요기기 교체를 위한 핵종 재고량 측정
  - 기술적용 : 원자로심, 열교환기 등



### » 경수로 방사화 콘크리트 측정

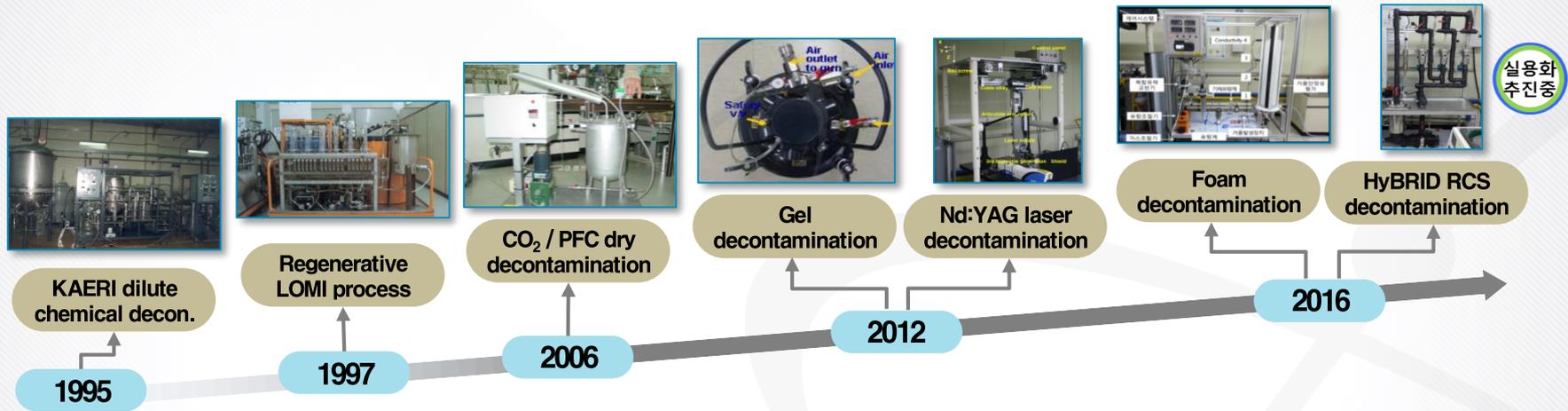
- ▶ 고리1호기 방사화 콘크리트 현장 측정
  - 해체 준비 폐기물량 예측 현장 측정
  - 기술적용 : 주요기기, 차폐 콘크리트 등



고리1호기 수조 공동구

# [분야 3] 제염 - 추진 현황

- 일차계통 제염, 기기제염, 고방사성 설비 제염, 대면적 표면 제염 및 제염에 의한 이차폐기물 회수, 저감, 처리 등의 제염 전분야 기술 개발



- 연구로 해체 시 요구되는 제염 및 일부 제염대상에 특화된 제염기술 개발(화학침수, 분사연마 등)
- 후쿠시마 사고 이후 국내외 원전 해체 시 요구되는 제염기술 개발 착수(HyBRID, 거품 제염 등)

## 연구현황

- >> 일차계통 HyBRID 화학제염기술 및 대형기기 거품제염 벤치규모 성능평가 완료
- >> 일차계통 HyBRID 화학제염 공정연구 및 실용화를 위한 파일럿 규모 성능검증 수행 중

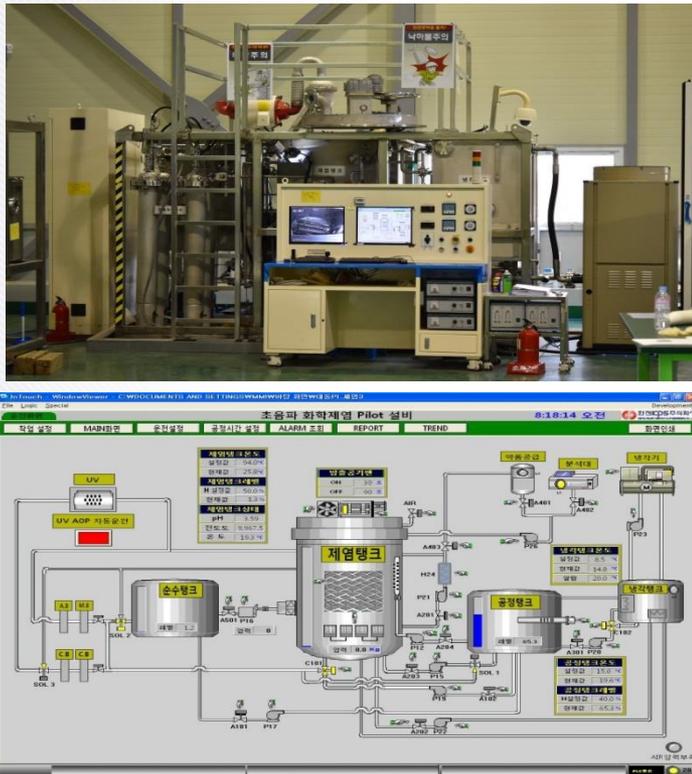
## 연구계획

- >> 중수로 원전 열교환/감속재 계통 오염/부식특성 평가 및 제염기술 개발
- >> 일차계통 제염 용이성 향상을 위한 해체 수화학 연구 및 삼중수소 분리 공정 최적화 연구

# [분야 3] 제염 - 적용 사례

## » 기술 검증 및 실용화

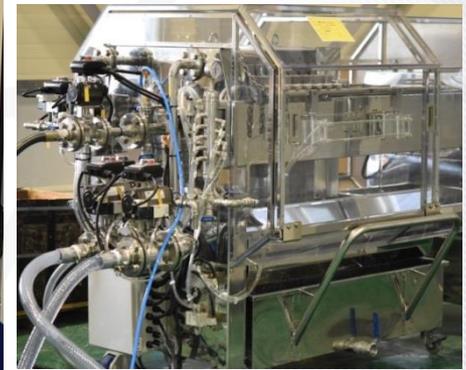
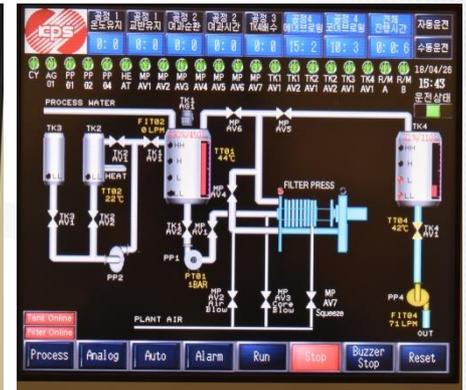
### ▶ HyBRID 일차계통 화학제염 기술의 성능 검증과 기술 실용화 기반 구축



HyBRID 화학제염 설비



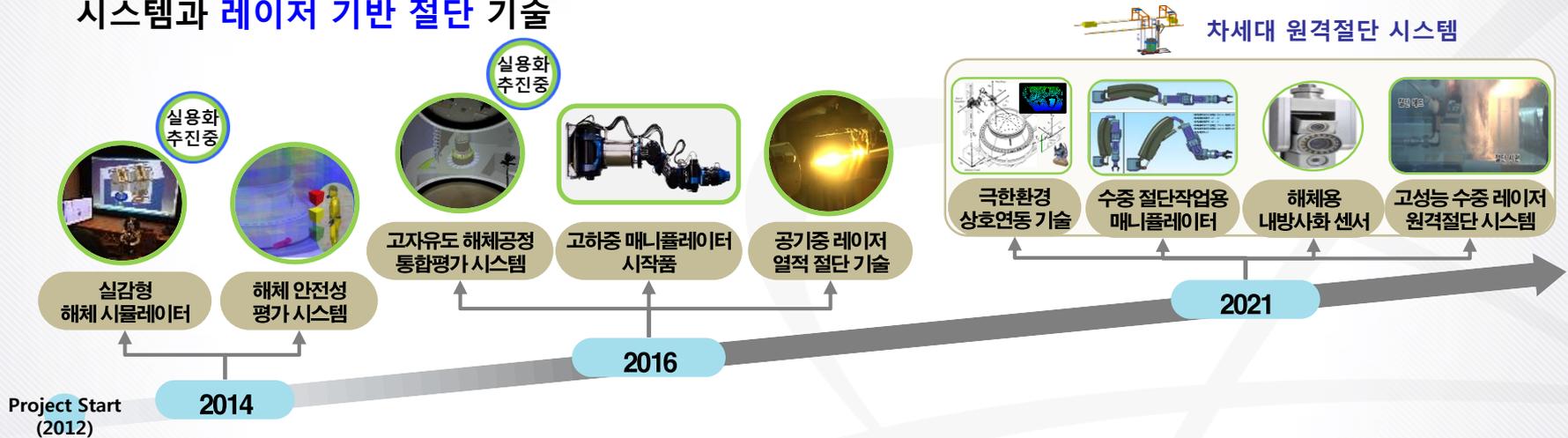
폐액 처리 설비



# [분야 4] 절단/철거 분야 - 추진 현황

## 원전 핵심설비 절단/철거 공정의 안정성과 경제성을 극대화하기 위한 원격절단 핵심기술 개발

- 공정의 안전성 및 경제성 극대화를 위한 3차원 실시간 시뮬레이션 기반의 핵심설비 절단/철거 공정 계획 및 평가, 유연한 공정 적용 및 2차 폐기물 저감을 위한 고하중 매니플레이터 기반의 원격절단 시스템과 레이저 기반 절단 기술



### 연구현황

- >> 극한환경 상호연동 단위 기술 개발 진행
- >> 수중 원격작업용 매니플레이터 및 내방사화 센서 단위 기술 개발 진행
- >> 수중 레이저 열적 절단 공정 최적화 기술 개발 진행

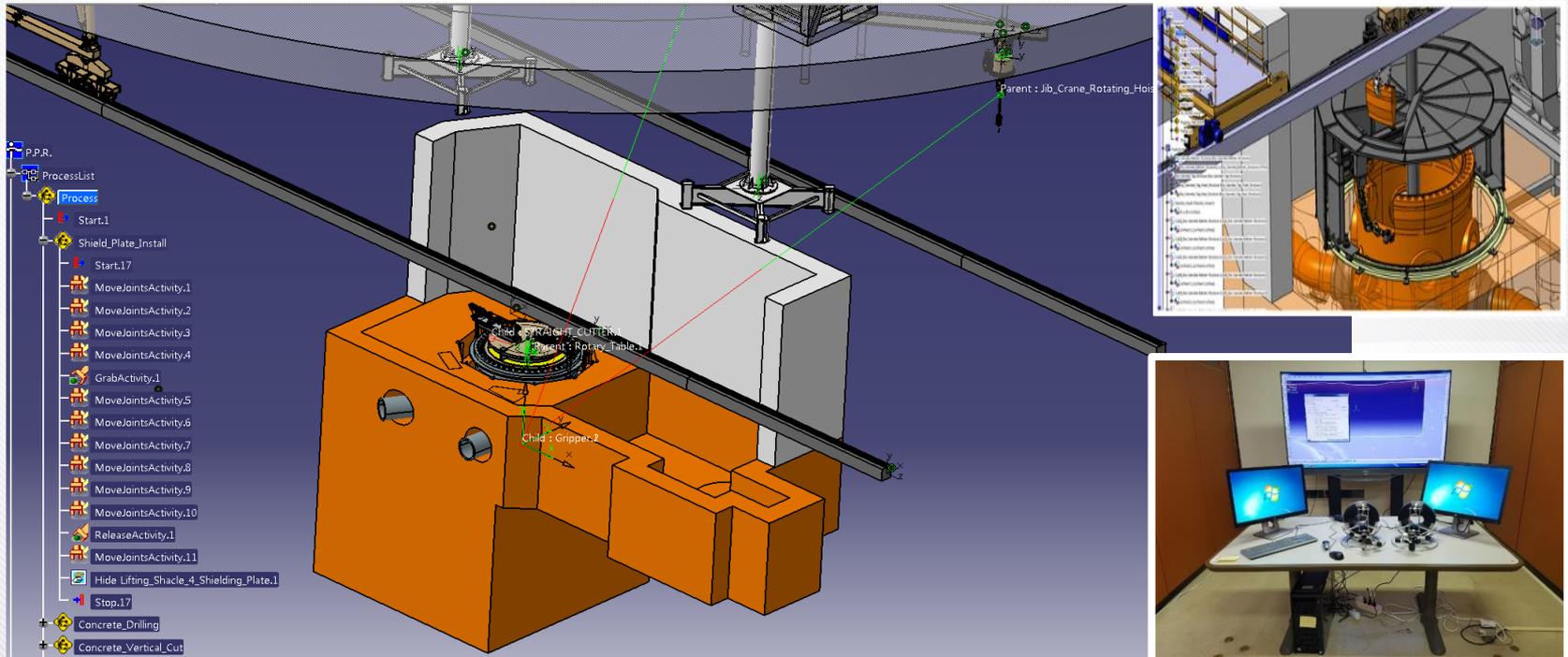
### 연구계획

- >> 차세대 원격절단 단위 시스템 통합 및 성능평가
- >> ICT 기반 해체 CPS 및 원격자율형 복합 해체 플랫폼 개발

# [분야 4] 절단/철거 - 적용 사례

## » 기술 검증 및 실용화

- ▶ 고리 1호기 핵심설비(RV/RVI) 해체를 위한 해체 공정 설계 시뮬레이션 시스템 개발
  - 원전 핵심설비 해체 공정 통합 평가 체계 구축 및 시뮬레이션 사용자 환경 구축
  - 원전 핵심설비 해체 공정 통합 평가 자료 구축 및 핵심설비 해체 공정 설계
  - 시뮬레이션 시스템 구축 및 검증

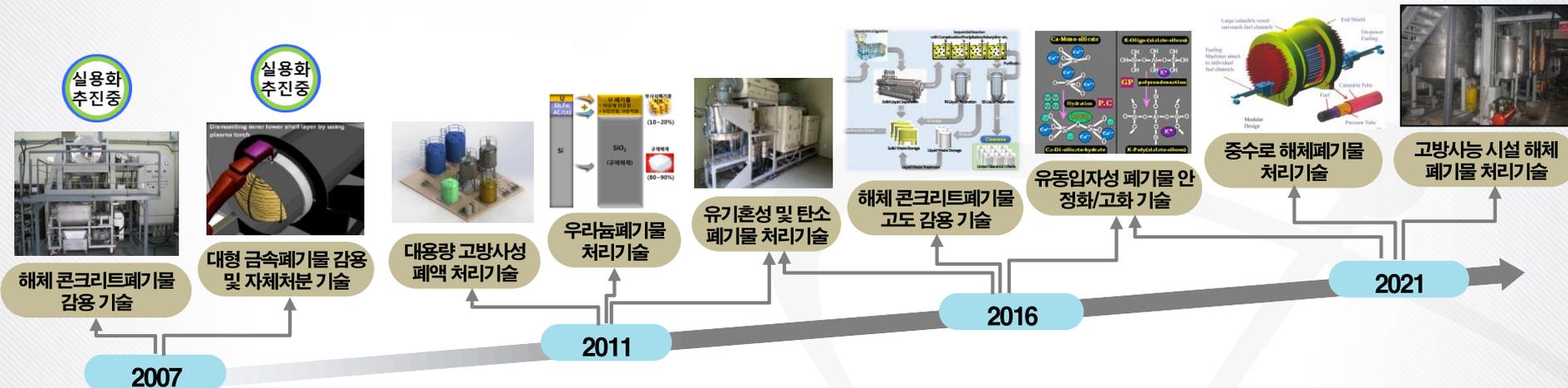


RV 해체공정 시뮬레이션 및 사용자 환경

# [분야 5] 해체 폐기물 처리 - 추진 현황

## 원자력시설 해체폐기물 감용 및 처분 적합화 처리기술 개발

- 원자력시설 해체의 전 과정에서 발생하는 방사성 해체폐기물의 제염/감용 처리를 통해 **처분 부피를 최소화**하고, 방사성폐기물 **처분이 적합한 형태로 안정화**시킬 수 있는 기술 개발



### 연구현황

- >> 해체 금속 및 콘크리트폐기물 처리 핵심기술 개발 및 실용화 연구
- >> 해체 특수폐기물(우라늄, 탄소성 폐기물 등) 감용 및 처분적합화 처리기술 개발

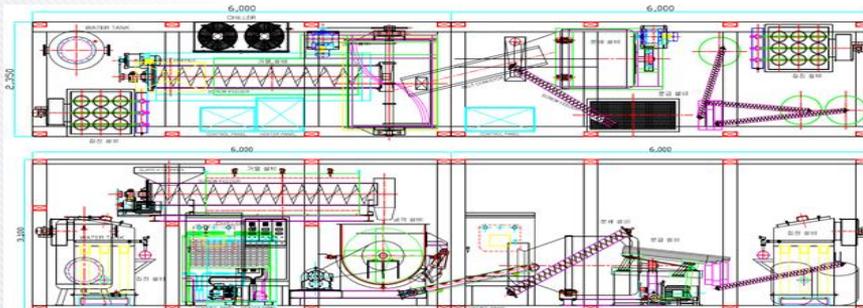
### 연구계획

- >> 중수로 해체폐기물 처리기술 개발
- >> 고방사능 시설 해체폐기물 처리기술 개발
- >> 해체폐기물 재순환 융복합 기술 개발

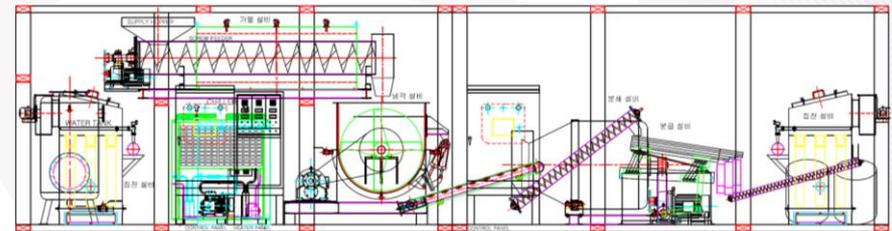
# [분야 5] 해체 폐기물 처리 - 적용 사례

## » 기술 검증 및 실용화

- ▶ 콘크리트 폐기물 가열/분쇄 감용 및 안정화 기술 공학 검증(반응조 크기 200L)
  - 시멘트/오염 핵종 분리 및 공정 효율을 최적화한 **복합공정 장치**
- ▶ 금속폐기물 용융 시스템 구축 및 공학 검증(처리용량 100kg/batch)
  - 안전성이 극대화된 **VIM(Vacuum Induction Melting) 시스템**



콘크리트 폐기물 처리장치



배기체  
배출허용기준 만족

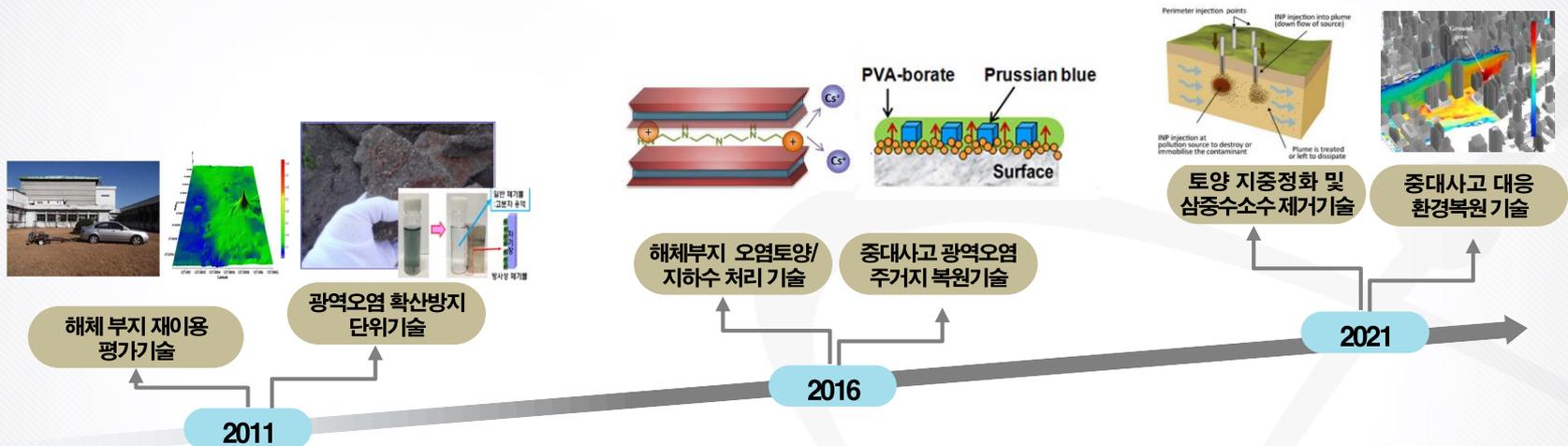


대표시료 채취

금속폐기물 용융 장치

# [분야 6] 환경복원 - 추진 현황

- 해체부지 재이용 안전성 측정/평가 기술 개발, 해체 부지 내 방사성 오염 토양 및 지하수 복원, 중대사고 시 광역오염 확산 방지 및 복원 등 환경복원 기술 개발



## 연구현황

- >> 해체부지 방사성 오염 토양 및 지하수 복원 기술 개발
- >> 중대사고 광역오염 주거지 복원기술 개발

## 연구계획

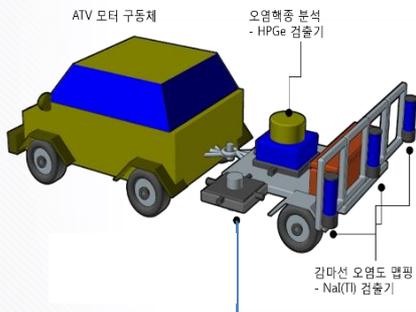
- >> 해체부지 토양 지중정화 및 삼중수소수 제거 기술 개발
- >> 중대사고 대응 환경복원 기술 개발

# [분야 6] 환경복원 - 적용 사례

## 부지 오염도 측정

### » 서울 연구로 부지 최종현황 조사

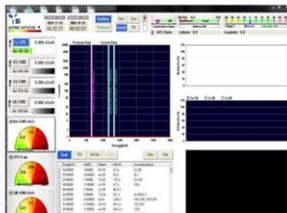
- ▶ GIS 기반 부지 오염도 측정 시스템 개발
  - 광역부지 신속 조사 : 조사기간 단축(50%)
- ▶ 부지 베타선 오염도 현장 측정 시스템 개발
  - 대면적 오염도 현장 측정: 검출효율 30% 향상



베타선 오염도 측정



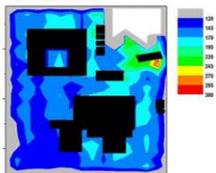
부지 오염도 측정용 장비



오염도 mapping 및 평가 프로그램



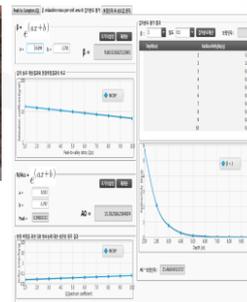
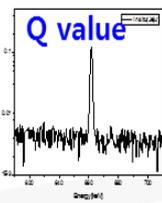
연구로 부지 및 측정 결과



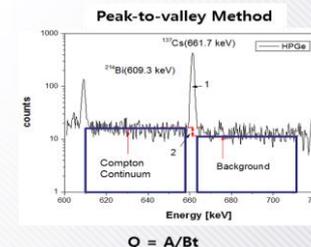
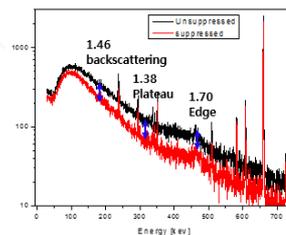
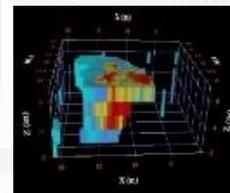
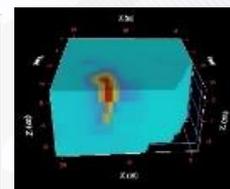
## 방사능 깊이분포 측정

### » 비파괴 방사능 깊이분포 현장 측정

- ▶ 연구로 부지 3D 오염분포 측정
  - 연구로 오염 부지 방사능 깊이분포 측정
  - 지질통계 기법 적용 3차원 오염분포 가시화



깊이분포 평가



$$Q = A/Bt$$

저준위 방사능 깊이분포 측정

## 정책 및 제도

- 국가 해체 정책 및 규제 제도 조속 확립 필요
    - 해체 정책 및 규제 제도는 해체 시장의 성장 잠재력과 산업 경쟁력 제고에 큰 영향
    - 궁극적으로 사용후핵연료 관리 대책(중간저장시설 확보)과 연계 필수
- 

## 인력 및 인프라

- 전문 사업 인력 및 경험 부족
    - 연구로 해체 경험을 보유한 일부 전문 인력을 보유하고 있으나, 해외 선진국에 비해 절대 부족
    - 연구로 및 우라늄 변환시설 등 소규모 연구시설에 대한 해체 경험이 있을 뿐 다양한 시설에 대한 해체 경험 부족
  - 원전 해체기술 실증시설 등 연구 인프라 부재
    - 동남권 원전해체연구소와 연계하여 기술 검증
-

# [참고] 국내 해체기술 개발 현황

구분		전체	확보	미확보
과기부	핵심 기반기술(KAERI)	38	28	10
산업부	상용화 기술(KHNP)	58	41	16
합계		96	69	26

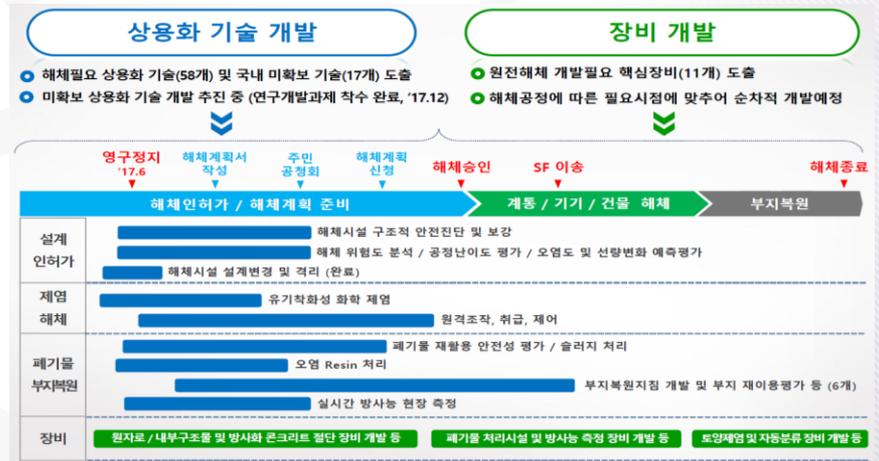
## » 해체 핵심 기반기술 현황

글로벌 해체 시장 진출 등 국제 경쟁력 확보를 위한 국내 독자/원천 기술 개발 중



## » 해체 상용화 기술 현황

해체단계별로 현장 활용성 등 상용화를 위한 기술 개발 중심으로 미확보 기술 개발 추진 중



감사합니다