

해체 핵심기술 개발 현황 및 기술 실용화



2018. 10. 24.(수)

서 범 경(bumja@kaeri.re.kr)

CONTENTS



01 국내외 원전 현황

02 해체 핵심기술 개발 현황

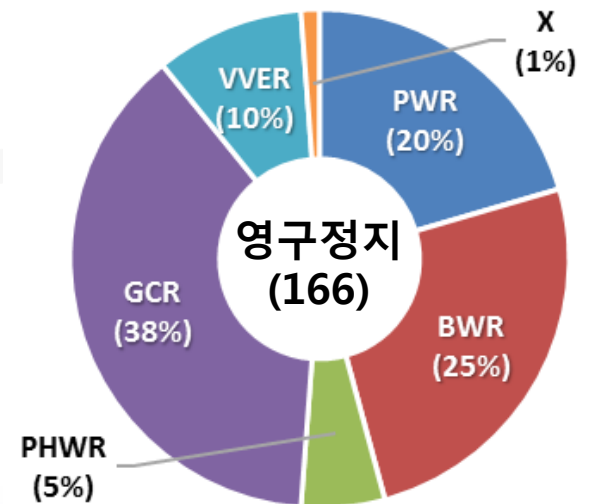
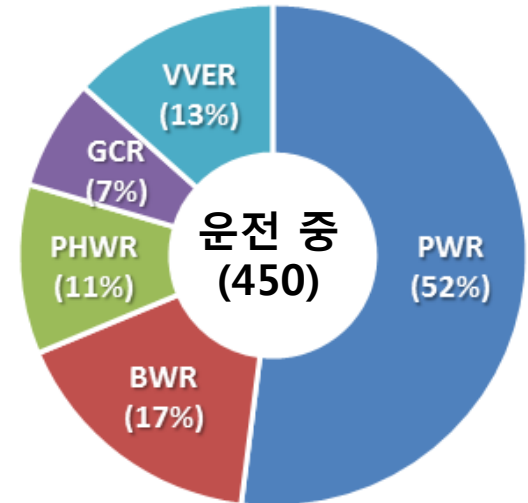
03 해체 핵심기술 실용화

세계 원전 현황(1/4)

(2018. 5. 기준)

구분	포함 노형	호기 수
PWR	PWR	234
PHWR	PHWR, SGHWR	49
BWR	BWR, HWLWR	75
GCR	GCR, LWGR, FBR, HTGR, HWGCR, LWGR	32
VVER	VVER	60
총 합계		450

구분	포함 노형	호기 수
PWR	PWR	34
PHWR	PHWR, SGHWR	9
BWR	BWR, HWLWR	42
GCR	GCR, LWGR, FBR, HTGR, HWGCR, LWGR	63
X	기타	2
총 합계		166

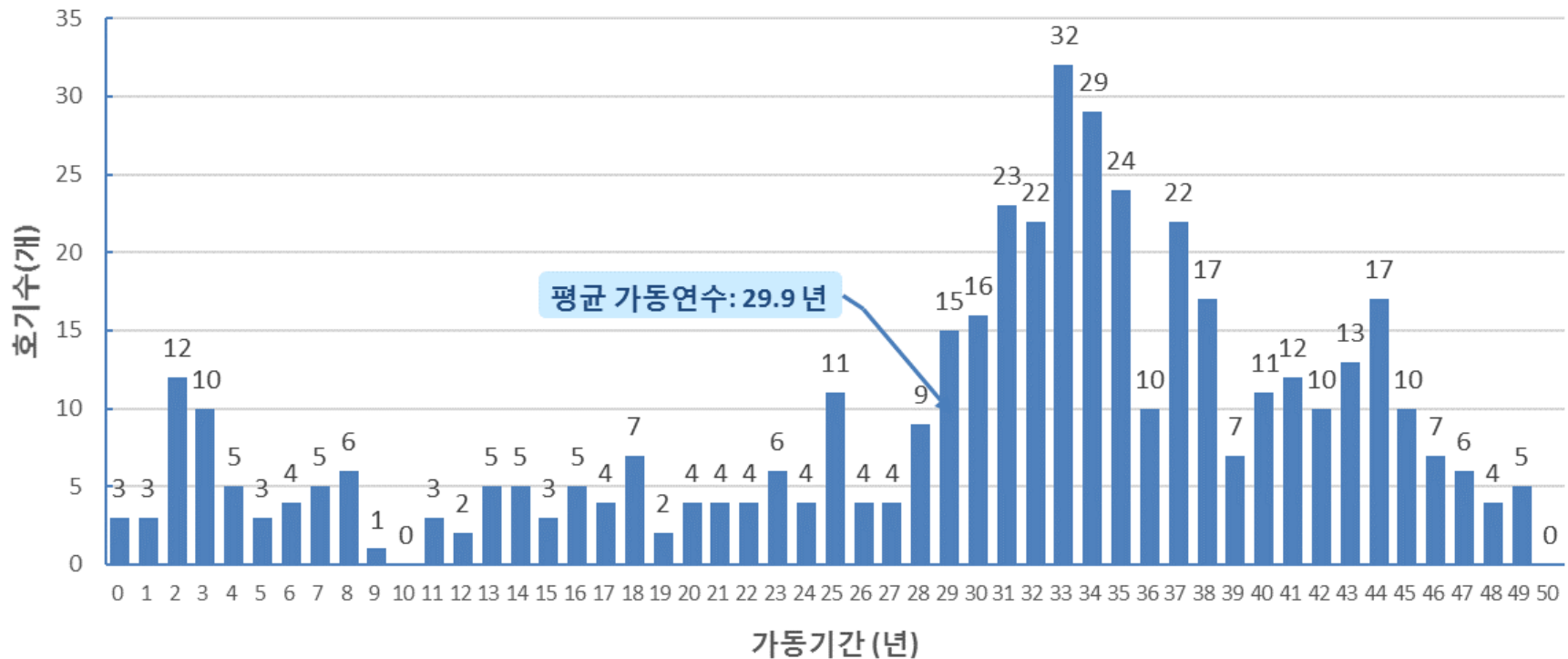


세계 원전 현황(2/4)

- 세계 원전 현황(전체 616기)

- 가동 중 450기 및 영구정지 166기(해체 중 109기 + 해체 완료 21기 = 130기)
- 평균 가동기간 29.9년(30년 이상 원전이 총 297기로 약 66%)

* IAEA PRIS (<https://pris.iaea.org/>) (검색일: 2018. 5. 2.)



국내 원전 현황(3/4)

- 가동 중 원전 **24기**, 영구정지 **1기**(고리1호기)
- 2029년까지 총 **127기** 원전 영구정지 예정

PWR			System 80		KSNP		OPR 1000		APR 1400		CANDU	
WH(USA) Framatome(FRA)			ABB-CE(USA)		Korea Standard Nuclear Power						AECL(CAN)	
(8)			(2)		(6)		(4)		(1)		(4)	
Kori 1-4	Hanbit 1-2	Hanul 1-2	Hanbit 3-4		Hanbit 5-6	Hanul 3-6	ShinKori 1-2	ShinWolsong 1-2	ShinKori 3		Wolsong 1-4	

No.	Site Name	MWe	Begins at	First Criticality	Design Life Time	Shutdown (expected)
1	Kori	#1 587	'78. 04. 29.	'77. 06. 19.	30 + 10	'17. 06. 18.
2	Wolsong	#1 679	'83. 04. 22.	'82. 11. 21.	30 + (??)	'20. ?? . ??.
3	Kori	#2 650	'83. 07. 25.	'83. 04. 09.	40	'23. 04. 08.
4	Kori	#3 950	'85. 09. 30.	'85. 01. 01.	40	'24. 12. 31.
5	Kori	#4 950	'86. 04. 29.	'85. 10. 26.	40	'25. 10. 25.
6	Hanbit	#1 950	'86. 08. 25.	'86. 01. 31.	40	'26. 01. 30.
7	Hanbit	#2 950	'87. 06. 10.	'86. 10. 15.	40	'26. 10. 14.
8	Wolsong	#2 700	'97. 07. 01.	'97. 01. 29.	30	'27. 01. 28.
9	Hanul	#1 950	'88. 09. 10.	'88. 02. 25.	40	'28. 02. 24.
10	Wolsong	#3 700	'98. 07. 01.	'98. 02. 19.	30	'28. 02. 18.
11	Hanul	#2 950	'89. 09. 30.	'89. 02. 25.	40	'29. 02. 24.
12	Wolsong	#4 700	'99. 10. 01.	'99. 04. 10.	30	'29. 04. 09.

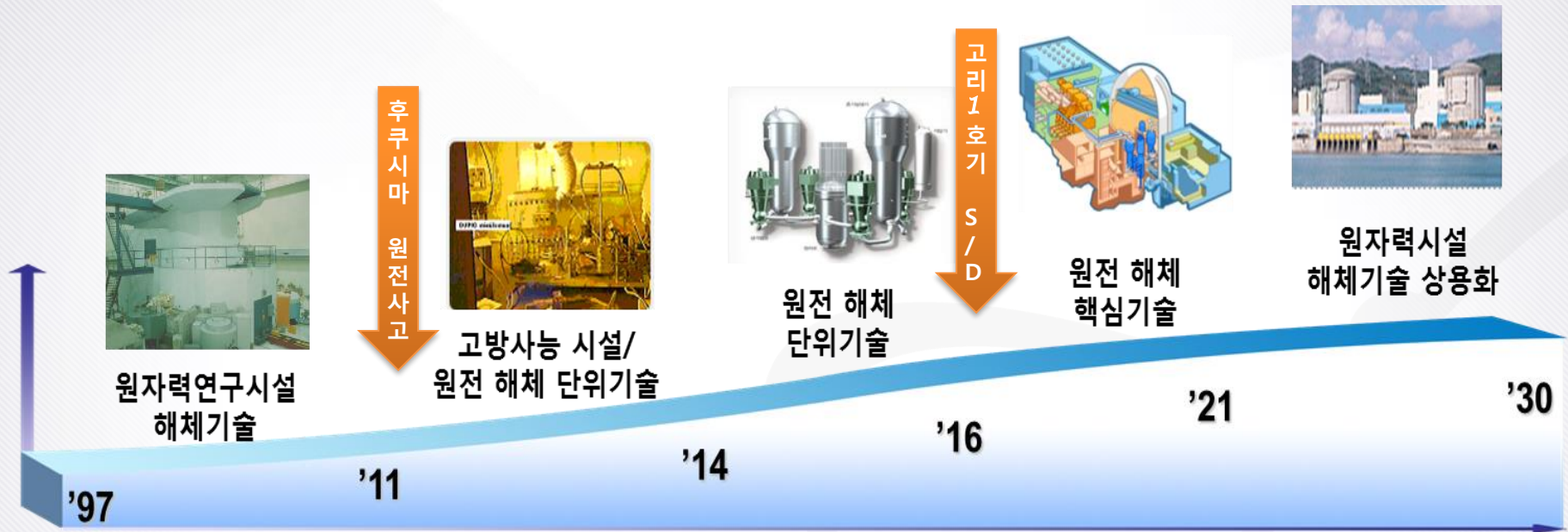
No.	Site Name	MWe	Begins at	First Criticality	Design Life Time	Expected shutdown
13	Hanbit	#3 1,000	'95. 03. 31.	'94. 10. 13.	40	'34. 10. 12.
14	Hanbit	#4 1,000	'96. 01. 01.	'95. 07. 07.	40	'35. 07. 06.
15	Hanul	#3 1,000	'98. 08. 11.	'97. 12. 21.	40	'37. 12. 20.
16	Hanul	#4 1,000	'99. 12. 31.	'98. 12. 14.	40	'38. 12. 13.
17	Hanbit	#5 1,000	'02. 05. 21.	'01. 11. 24.	40	'41. 11. 23.
18	Hanbit	#6 1,000	'02. 12. 24.	'02. 09. 01.	40	'42. 08. 31.
19	Hanul	#5 1,000	'04. 07. 29.	'03. 11. 28.	40	'43. 11. 27.
20	Hanul	#6 1,000	'05. 04. 22.	'04. 12. 16.	40	'44. 12. 15.
21	ShinKori	#1 1,000	'11. 02. 28.	'10. 07. 15.	40	'50. 07. 14.
22	ShinKori	#2 1,000	'12. 07. 20.	'11. 12. 27.	40	'52. 12. 26.
23	ShinWolsong	#1 1,000	'12. 07. 31.	'12. 01. 07.	40	'52. 01. 06.
24	ShinWolsong	#2 1,000	'15. 07. 24.	'15. 02. 08.	40	'55. 02. 07.
25	ShinKori	#3 1,400	'16. 12. 20.	'15. 12. 29.	60	'75. 12. 28.

국내 원전 현황(4/4)

해체 대상 / 년도	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
고리1호기																											
고리2호기																											
고리3호기																											
고리4호기																											
월성1호기																											
월성2호기																											
월성3호기																											
월성4호기																											
한빛1호기																											
한빛2호기																											
한울1호기																											
한울2호기																											
										해체준비/인허가					제염/절단-철거/폐기물처리					복원							



해체 핵심기술 개발 - 개요



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

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 해체문제 해결을 위해 해체 핵심기술 자립 및 집중 투자 필요

- 미확보 해체 핵심기술 위주의 전략적 연구개발
- 국내 해체기술 자립을 위해서는 정부차원에서 최소 10년 정도의 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 - 목표

비전

원자력시설 해체기술 자립 및 해체시장 진출 토대 제공

목표

2021

미확보 11개 핵심기술
개발(기확보 27개)

2020 중반

국산 기술로 국내
원전해체 착수

2030년대

세계 해체 시장
진출 토대 제공

중점과제

① 핵심 기술
개발

② 인프라/실용
화 기반 구축

③ 해체 전문
인력 양성

④ 국제 기술
협력 확대

해체 핵심기술 개발 - 주요 연구분야

1. 방사선학적 특성평가 기술 개발

- 해체 전주기 특성평가 관리기술 개발
- 난분석 핵종 측정 자동화 기술 개발

2. 일차계통 및 대형기기/시설 제염기술 개발

- 원전 일차계통 화학제염 기술 개발
- 대형기기/대면적 복합유체제염 기술 개발

3. 원전 핵심설비 원격절단 기술 개발

- 원격조작 상호연동 기술 개발
- 로봇 및 레이저 연계 원격절단/취급 기술 개발
- 해체공정 시뮬레이션 및 평가 기술 개발

4. 해체 폐기물 처리 및 재활용 기술 개발

- 해체 콘크리트폐기물 고감용 기술 개발
- 난처리성 폐기물 열화학적 처리 기술 개발
- 유동입자성 폐기물 안정화/고화 기술 개발

5. 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

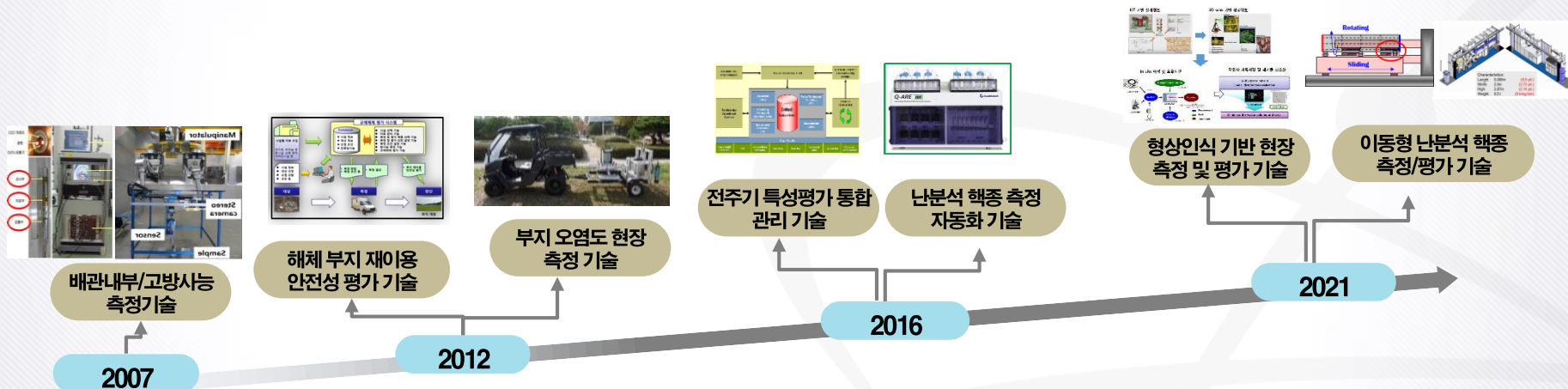


1. 방사선학적 특성평가(1/3)

» 추진 현황

◆ 해체 시설 및 부지의 방사선학적 오염 특성을 고려한 측정 및 평가기술 개발

- 배관 내부 및 고방사능 오염도 측정기술 개발, 해체 부지 오염도 현장 측정기술 개발, 난분석 핵종 측정 자동화 및 이동형 측정 기술 개발 및 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

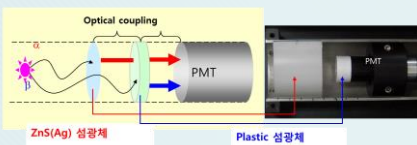
- >> 해체대상 형상정보 인식 기반 현장(in-situ) 측정 핵종 재고량 측정 기술
- >> 고방사능 난분석 핵종 측정 이동형 통합 측정 및 평가기술 개발

1. 방사선학적 특성평가(2/3)

» 주요 성과

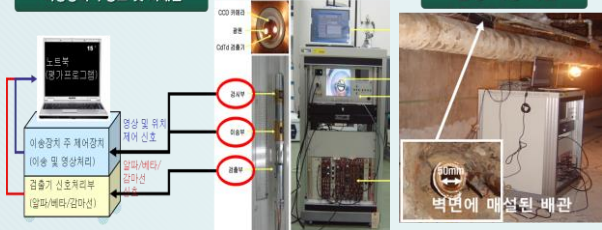
배관내부 오염도 측정기술

배관 내부 오염도 검출 개념



측정장비 구성도 및 시제품

현장 적용 시험



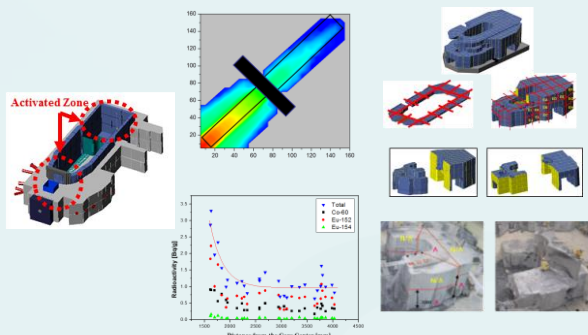
배관내부오염도 측정시스템

해체 배관 내부 오염도 측정

기술
이전

- 연구로(TRIGA MARK I & II) 및 우라늄변환시설 해체폐기물 대량 발생
- 배관의 재활용 및 처분을 위해서는 정확한 방사성 오염도 측정 필요
- 기존의 측정법(직접법 또는 간접법)으로는 배관 내부의 오염도 측정이 어려움
- 직경 2" 배관 내부 오염도 측정용 장치 개발
- 연구로 2호기의 액체폐기물 이송관의 내부 오염도 측정

방사화 재고량 측정기술



연구로 수조콘크리트 측정/평가 기술

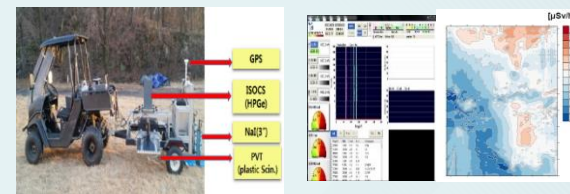
연구로 수조 콘크리트 재고량 측정 기술

- 연구로 수조 콘크리트 해체를 위한 방사화 핵종 재고량 측정
- 코어시추 시료 분석을 통한 방사화 분포 평가
- 수조콘크리트 해체폐기물 저감(1/2 이상 저감)

핵종 재고량 평가 및 척도인자 기술

- 수조콘크리트 방사화 핵종 재고량 측정/평가
- 현장 측정 결과 및 전산모사(MCNP+ORIGEN) 이용 계산 결과 비교 평가
- 난분석 핵종(H-3, C-14, Fe-55)과 Co-60 핵종 상관성 분석을 통한 척도인자(Scaling Factor) 개발

부지 오염도 현장 측정시스템



부지 오염도 통합 측정시스템

깊이 분포 측정

저준위 측정



부지 오염도 현장 측정 기술

- GIS 기반 부지 오염도 신속/정확 측정시스템 구축
- 조사기간 50% 이상 단축
- 부지 방사능 깊이분포 현장측정 평가 체계 구축
- 연구로 해체 부지 적용성 평가 상대오차 10% 이하
- 대면적 플라스틱섬광체와 HPGe 검출기 이용 컴프턴억제형 저준위 측정시스템 구축
- 백그라운드 저감(50%) 검출하한값 0.01 Bq/g

1. 방사선학적 특성평가(3/3)

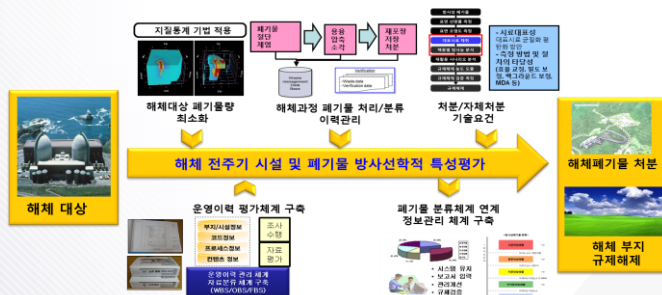
» On-going R&D

해체 전주기에 요구되는 해체 대상 및 폐기물의 방사선학적 특성평가 기술 개발

- 해체 대상 및 폐기물을 효율적으로 관리하고, 처리/처분 용이성 확보를 위한 **특성평가 통합관리 시스템** 개발
- 난분석 핵종 신속.정확한 측정을 위한 **이동형 난분석 핵종 측정 자동화** 기술 개발

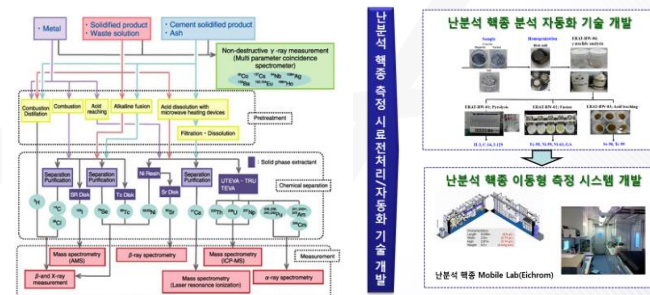
특성평가 통합관리 기술

- 해체 대상 및 폐기물의 방사선학적 특성평가 통합관리 기술 활용 해체폐기물 관리 최적화
 - 폐기물 이력관리, 폐기물량 최소화, 폐기물량 평가 및 처리/처분 용이성 확보

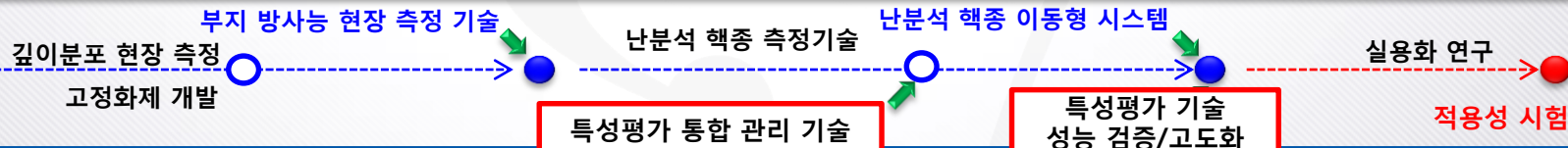


난분석 핵종 측정기술 개발

- 난분석 핵종 신속분석 및 이동형 자동 측정기술 개발을 통한 해체 폐기물 신속/정확 분석
 - 폐기물 방사선학적 특성 신속 측정, 2차폐기물/작업자 피폭저감, 처리/처분 용이성 확보



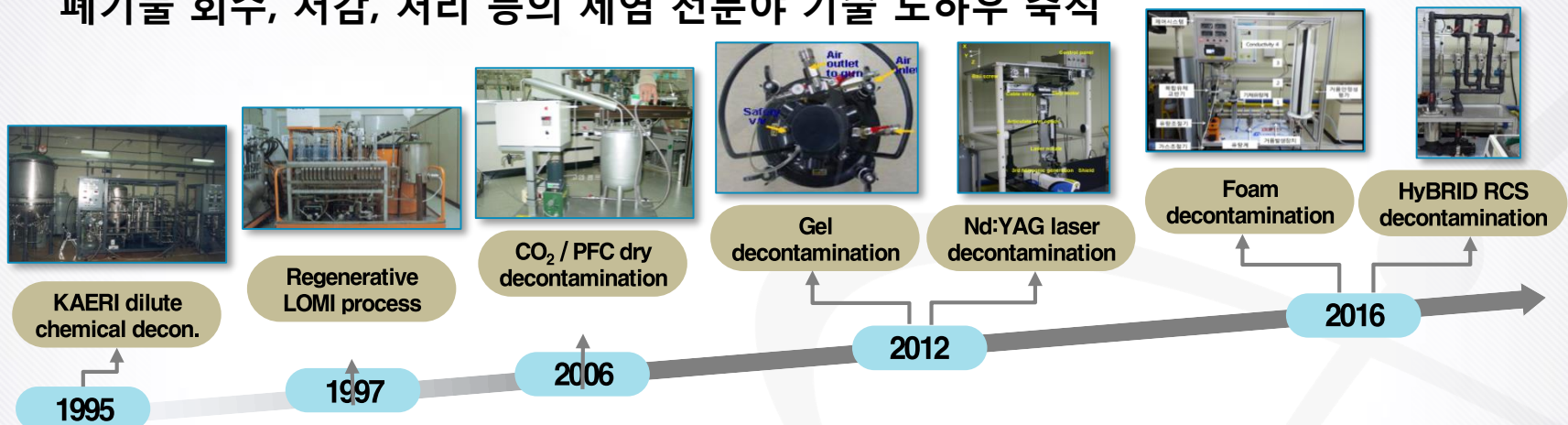
'13 '14 '15 '16 '17 '18 '19 '20 '21 '22 '30



2. 제염 기술 개발(3/1)

» 추진 현황

- ◆ 일차계통 제염, 기기제염, 고방사성 설비 제염, 대면적 표면 제염 및 제염에 의한 이차 폐기물 회수, 저감, 처리 등의 제염 전분야 기술 노하우 축적



- 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

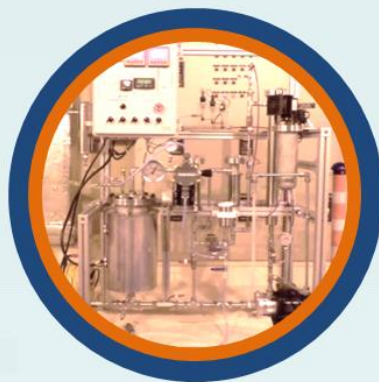
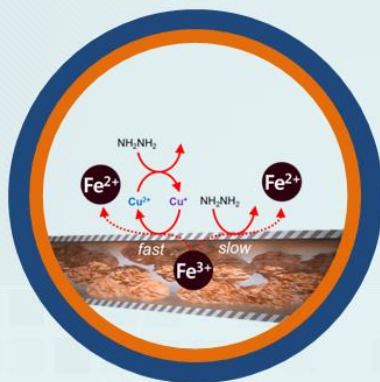
연구계획

- >> 중수로 열교환/감속재 계통 오염/부식특성 평가 및 제염기술 개발
- >> 원격제염을 위한 레이저 스케블링 및 제염로봇 개발

2. 제염 기술 개발(2/3)

» 주요 성과

원전 일차계통 HyBRID 화학제염기술

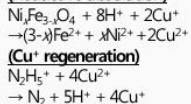


국내 독창적 화학제염제 개발

1 무기산 기조 HyBRID* 제염기술 개발(국내외 특허 등록)

- ▶ Cu이온 함유 제염성능 보장
- ▶ 처분안전성 향상
- ▶ 제염 폐기물발생량 저감

Fe & Ni 주성분의 부식산화환원 용해 및 Cu* 재생 (Reductive dissolution)

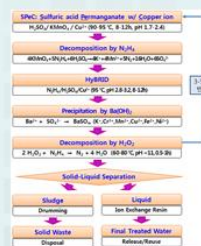


2 제염 폐기물 저감을 위한 폐액처리공정 (국내외 특허등록)

HyBRID 기술 현장적용성 확보

1 벤치규모 제염공정 시험장치** 구축

- ▶ FL 시험제염 (CF > 200)
- ▶ FL 계통 제염 (공간선량 45% 이상 감소)
- ▶ 고리원전인출 I600 제염 (CF > 5)
- ▶ 한울원전인출 SS-316 제염 (CF > 20)

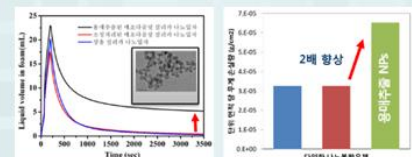


대형기기/대면적 나노복합유체 제염기술



나노복합유체 제염제 개발

- 1 용매추출 메조다공성 실리카 함유 복합유체 기술 (국내 특허 등록)
- 2 안정성 및 제염성능 향상(20%↑)

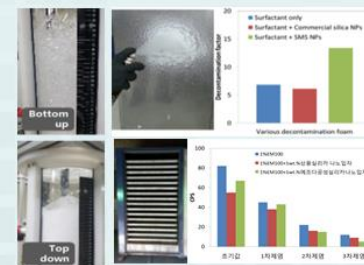


- 3 Ce 함유 신 나노복합유체 제염제 개발 (국내 특허 출원)
- 4 산화제 양립성 계면활성제 포함 공정 개발을 통한 제염성능 향상 2배 이상 향상

나노복합유체제염 적용성 평가

- 1 벤치규모 복합유체 시험장치* 구축
- 2 방사성 오염표면 제염성능평가 수행

- ▶ CS 오염표면 제염(핵종제거 > 98%)
- ▶ SS304 오염표면 제염(핵종제거 > 80%)
- ▶ 연구로 폐기물 제염(CF > 13)



*Hydrazine Based Reductive metal Ion Decontamination

** 성능평가항목: 농도, 온도, pH, 유속, 제염유료, S/V 등

*성능평가항목: 거품 제조량, 안정성, 제염 성능, 회수율

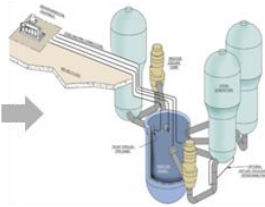
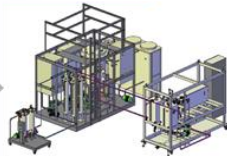
2. 제염 기술 개발(3/3)

» On-going R&D

원전 일차계통 화학제염 기술의 공학적 검증 및 공정시스템 확보를 통한 실용화 수준의 기술완성

- 가압경수로 일차계통 화학제염공정 시스템 확보 및 공학검증
- 대형기기/대면적 복합유체 제염공정 시스템 확보 및 공학검증
- 중수로 원전 열교환 및 감속재 계통 제염 시스템 개발

일차계통 화학제염기술

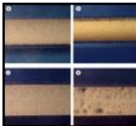
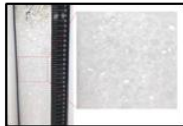


무기산기조 HyBRID 공정 고도화

- 공정 스케일업 유효 모델 개발
- 공정 안전성 평가기술 개발
- 일차계통 통합제염공정 시스템 개발**
 - 통합제염공정 공학검증 설비 구축 및 성능평가
 - 통합제염공정 제어/자동화 시스템 개발

이차폐기물 및 난처리성
이온교환수지 발생량이
최소화된 일차계통 제염기술의
공학검증을 통한 공정 시스템
확보

대형기기/대면적 복합유체 제염기술

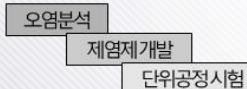


복합유체 제염공정 시스템 개발

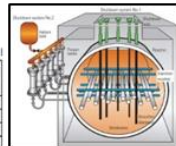
- 충전형 제염공정 공학검증 설비구축/성능평가
- 분사형 제염기술개발 및 타당성 확보
- 복합유체 동적순환제염 기술 개발**
 - 동적순환공정 수치해석적 모델 개발/검증
 - 동적순환제염공정 타당성 확보

나노입자에 의해 제염성능이
향상된 대형기기/대면적
복합유체 제염기술 공학검증을
통한 공정 시스템 확보

중수로 열교환/감속재 계통 제염기술



	oxide	hydroxide	general salt	general salt	general salt	general salt	general salt	general salt
	Fe ₂ O ₃	Fe(OH) ₃	Fe ₂ (SO ₄) ₃	Fe ₂ (NO ₃) ₆	Fe ₂ (CO ₃) ₃	Fe ₂ (C ₂ O ₄) ₃	Fe ₂ (C ₂ O ₄) ₃	Fe ₂ (C ₂ O ₄) ₃
Ca ²⁺	33.8	0	0	(1+3)-100	33.3	0	0	0
Fe ³⁺	88.6	88.6	0	(1+3)-100	0	0	0	0
Na ⁺	0	33.3	100	(1+3)-100	0	33.3	0	0
Cl ⁻	0	0	0	(1+3)-100	88.6	88.6	100	0



중수로 계통 제염기술 개발

- 열교환/감속재 계통 오염특성 평가
- 중수로 계통 화학제염제 formulation 개발
- 중수로 계통 제염 단위공정 기술개발

중수로 원전 열교환 및 감속재
계통 오염특성 분석 및
화학제염 단위공정 개발

HyBRID 화학제염 단위공정 평가
충진형 나노복합유체 안정성 확보

벤치규모 기술개발

HyBRID 제염 공정시스템
확보 및 공학검증

중수로 열교환/감속재 계통 제염기술
개발 착수

HyBRID 통합제염
시스템 확보

충진형 나노복합 유체 제염
기술 확보

분사형 복합유체
제염 기술 확보

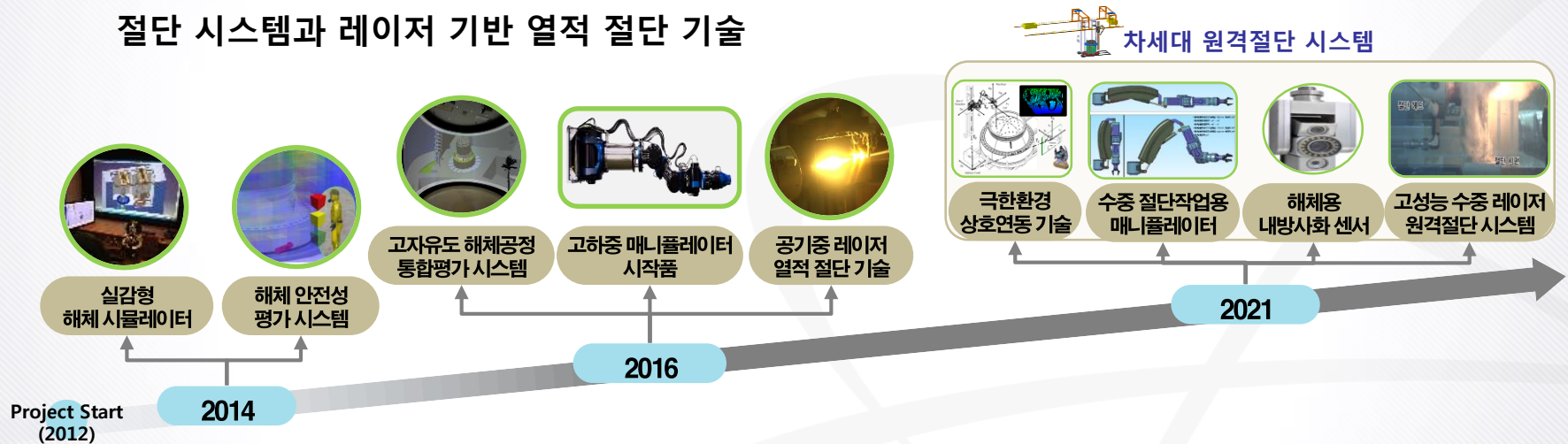
동적순환형 복합
유체 제염기술 개발

3. 원격 절단/제어 기술 개발(3/1)

» 추진 현황

◆ 원전 핵심설비 절단/철거 공정의 안정성과 경제성을 극대화하기 위한 원격절단 핵심 기술 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 매니퓰레이터 기반의 원격 절단 시스템과 레이저 기반 열적 절단 기술



연구현황

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

연구계획

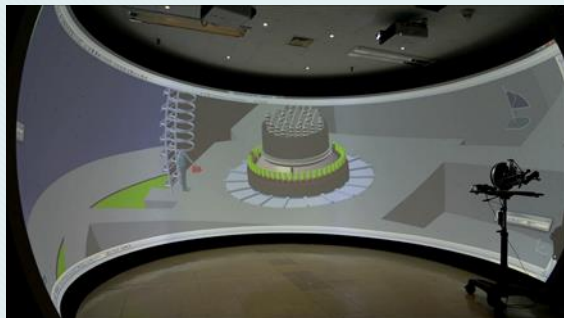
- >> 차세대 원격절단 단위 시스템 통합 및 성능평가
- >> ICT 기반 해체 사이버-물리 시스템(CPS) 및 원격자율형 복합 해체 플랫폼으로 ICT기반 신기술 융합 추진

3. 원격 절단/제어 기술 개발(2/3)

» 주요 성과

해체공정 통합평가 시스템

실용화
과제



해체공정 통합평가 시스템

해체공정 통합평가 단위기술

- CAD Kernel 기반 실시간 절단 공정 시뮬레이션 기술
- Mental transform을 최소화한 실감형 조작 기술
- 대용량 공간선량 데이터 CAD 기반 가시화 기술
- 원격절단 평가인자 도출을 통한 경제성 평가 체계
- 공정 시뮬레이션 기반 해체비용 및 안전성 평가 기술

기술
이전

해체공정 통합평가 시스템

- 해체공정 통합평가를 위한 단위기술이 실시간 연동되는 통합 시스템 구축
- 다양한 해체 시나리오에 대한 통합평가 시스템의 검증 수행

고하중 취급 고정밀 매니퓰레이터



고하중 취급 매니퓰레이터

고하중 매니퓰레이터

- 모듈형 유압 구동 매니퓰레이터 개발
- 가반하중 250kg, 총길이: 3.2m
- 모터-센서 일체형 유압 구동 액추에이터

고정밀 원격 제어 시스템

- 고하중 취급 매니퓰레이터의 제어 시스템 개발
- 250kg 가반하중 하에서 궤적 추종 오차: < 1mm

고성능 레이저 열적 절단 기술



공기 중 레이저 절단

100mm 두께
탄소강/SUS 절단

고성능 레이저 절단 헤드

- 광섬유 기반 고성능 절단 헤드 개발
- 고출력 대응(>10 kW), 장초점 광학계 사용
- 소형/경량화 지향 (7 kg)

레이저 원격 절단 시스템

- 6kW 광섬유 대응 원격 절단 시스템 개발 완료
- 공기중 절단 공정 최적화 기술 개발
- 100mm 두께 금속 (SUS/탄소강) 후판 절단 시연
- 직경 165mm 금속 파이프 단일 방향 절단 시연

3. 원격 절단/제어 기술 개발(3/3)

» On-going R&D

기존 절단해체 기술의 한계를 극복할 수 있는 극한환경 적용 핵심 단위기술(원격조작, 고자유도 해체장비, 고효율 절단)의 개발과 통합-연계 시스템 구축

- 극한환경 3차원 환경정보 피드백 기술을 통한 원격조작 상호연동 기술
- 부하 대비 중량비가 높은 수중 절단작업용 모듈형 해체 매니퓰레이터 기술
- 장초점 광학계에 기반하여 동일출력 대비 우수한 절단성능의 수중 레이저 절단 기술
- 개발 해체장비에 특화된 해체용 요소부품 내방사화 기술

수중 절단작업용 모듈형 매니퓰레이터 기술 / 해체용 요소부품 내방사화 기술

- 부하대비 고중량 취급 모듈형 수중절단 작업용 매니퓰레이터 및 정밀 원격제어 시스템 개발
 - 고방사능 해체환경 작업을 위한 내방사화 센서 개발
- 고방사성 해체환경 내 원격절단 작업준비 및 설치 효율성, 작업 성능 및 공정 효율성 제고

극한환경 상호연동 기술

- 3차원 극한환경 정보 인식을 통한 디지털 시뮬레이션 환경 기반 환경정보 피드백 기술
 - 조작 난이도 저감을 위한 원격조작 상호연동 시스템 기술
- 대형 원자력시설의 고방사성 핵심설비의 원격 절단해체 현장과 가상 디지털 시뮬레이션 공간의 상호연동성능 강화

난삭제 수중 레이저 절단 기술

- 장초점 광학계 기반 고성능 레이저 수중 절단 핵심 기술 및 레이저 기반 원격절단 시스템 개발
- 우수한 절단 성능과 원격조작성을 기반으로 작업종사자 피폭 및 2차 폐기물 발생량 저감시켜 원격 절단/철거 과정의 경제성과 안전성 확보

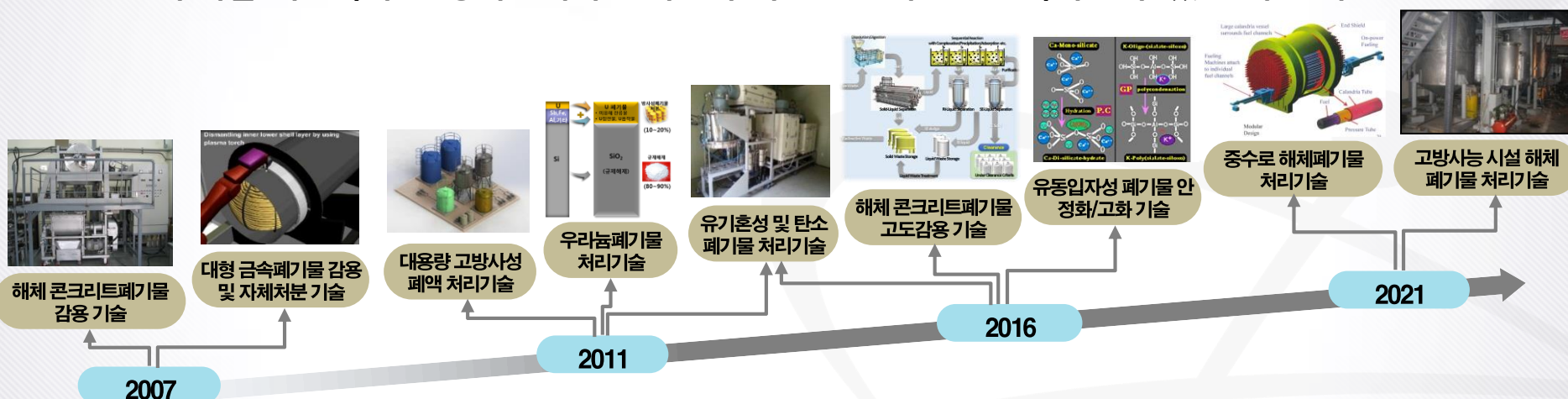


4. 해체 폐기물 처리 기술 개발(1/3)

» 추진 현황

◆ 원자력시설 해체폐기물 감용 및 처분적합화 처리기술 개발

- 원자력시설 해체의 전 과정에서 발생하는 방사성 해체폐기물의 제염/감용 처리를 통해 처분 부피를 최소화하고, 방사성폐기물 처분이 적합한 형태로 안정화시킬 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

4. 해체 폐기물 처리 기술 개발(2/3)

» 주요 성과

해체폐기물 고도감용 기술



방사성 핵종 고도분리 공정

해체 콘크리트 폐기물 감용 기술 개발

- 해체 콘크리트 폐기물 대상 열적/기계적 처리에 의한 효율 평가 및 최적화
- 용액화학적 분리기술 적용을 통한 고도감용 개념 도출
 - ▶ 국내 특허 출원 및 등록

고방사성 폐기물 처리 공정 도출

- 중대사고 시 고방사성 폐액 비상처리 신개념 도출 (10m³/hr 규모 실시설계 완료)
- 고방사성 2차폐기물 감용/안정화 기술 개발
 - ▶ 국내외 특허 출원 및 등록

유기혼성 및 탄소폐기물 처리 기술



벤치규모 유기혼성 폐기물 처리 장치

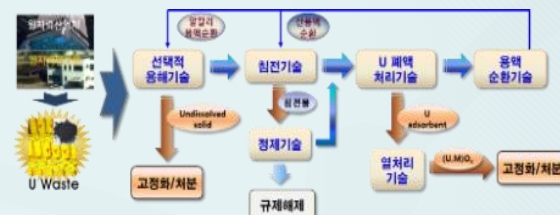
유기혼성 폐기물 처리기술 개발

- 벤치규모(1kg/h) 수증기개질 처리 조합계통 설치
- TBP 분해효율 >99.9%, 감용비 >20 (선진국대비 2배 향상)
 - ▶ 산업체 기술이전(2건) 및 기술지도(2건)

탄소폐기물 처리기술 개발

- 탄소폐기물 내 휘발성 핵종 특성 규명 및 가스화 조건 도출
- 폐활성탄 및 폐수지 열화학적 감용처리 공정 도출

우라늄 복합폐기물 처리 기술



우라늄 복합폐기물 처리 공정도

우라늄 복합폐기물 부피감용 공정 개발

- 우라늄 스크랩, 슬러지, 폐촉매 등의 처분 부피 감용 (부피감용율 >50%)
- Target-specific 우라늄복합폐기물 처리공정 개발
 - ▶ 국내외 특허 출원 및 등록

우라늄폐기물 처리 실용화과제

- 국내 현안의 감손우라늄 폐기물의 부피감용 처리 파일럿 기술검증 완료
- 기업체와 공동으로 수행하여 기술이전 및 실용화 준비중

4. 해체 폐기물 처리 기술 개발(3/3)

» On-going R&D

해체폐기물의 안전한 처분과 처분비용 절감을 위한 고감용/안정화/고화 기술 개발 및 검증

- 용액화학 분리공정 기반의 방사성 콘크리트 폐기물 고감용 처리기술 개발
- 폐활성탄 및 탄소폐기물과 같은 난처리성 해체폐기물 열화학적 처리기술 개발
- 유동입자성 폐기물 대상 안정화/고화 처리를 통한 처분적합화 기술 개발

콘크리트폐기물 고도감용 기술

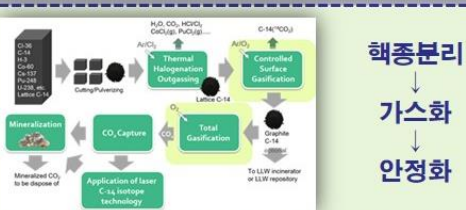
- 방사화 및 오염 콘크리트 폐기물 대상 고감용 분리기술 및 폐액 처리기술 최적화
- 고도감용을 통한 처분비용 절감

용액화학 분리 공정



난처리성 폐기물 열화학 처리기술

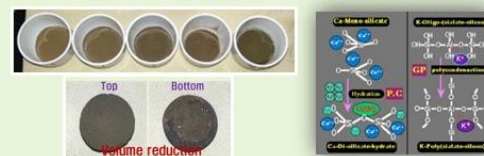
- 폐활성탄 및 탄소폐기물 열화학적 제염/핵종 분리/가스화/전환/안정화 기술
- 처분 안전성 향상 및 부피 감용



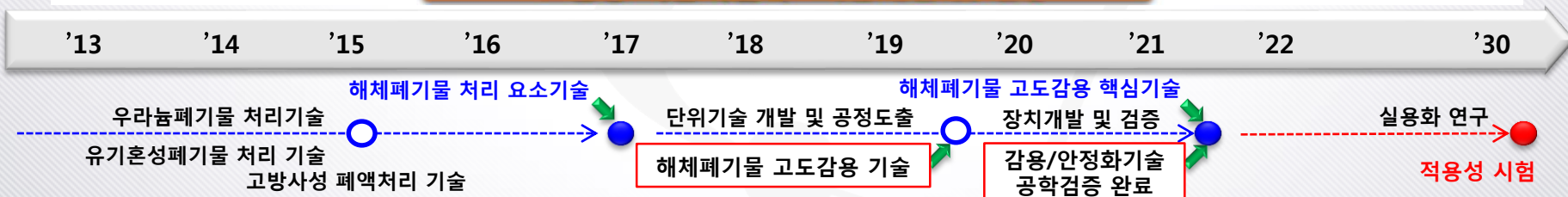
유동입자성 폐기물 고화 기술

- 해체 발생 분산상 폐기물 및 악티늄 폐기물 대상 안정화/고화 매질 개선 및 신매질 개발
- 해체폐기물의 처분 적합화

시멘트 매질개선/무기고분자/세라믹



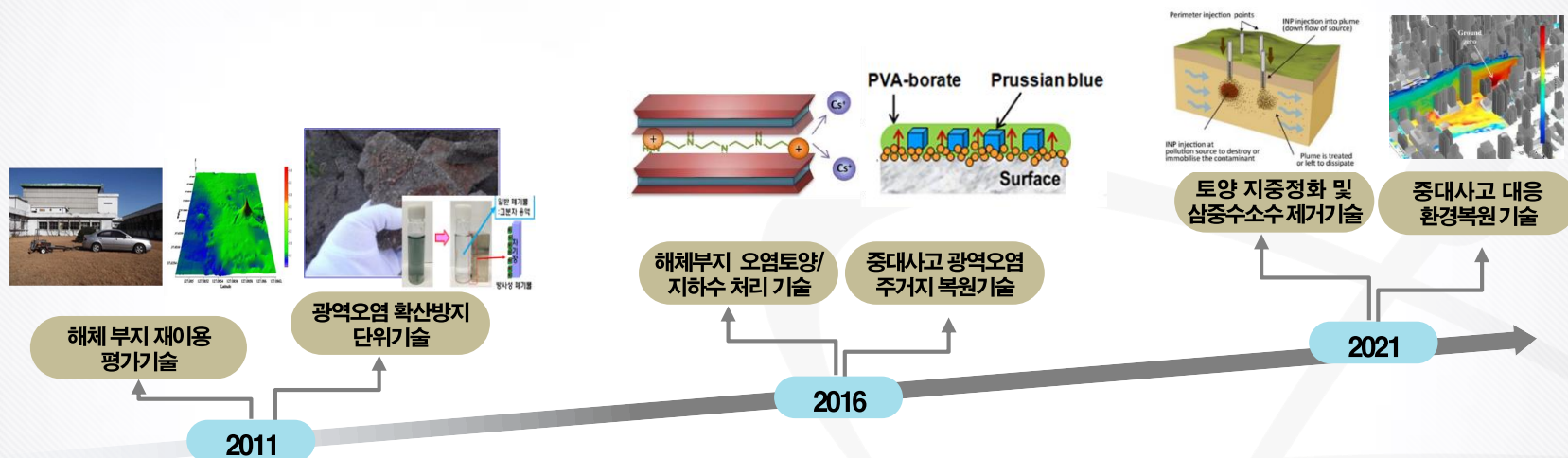
해체폐기물의 안전한 처분과 처분비용 절감을 위한
“고감용 처분적합화” 기술개발 및 검증



5. 환경복원 기술 개발(1/3)

» 추진 현황

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



연구현황

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

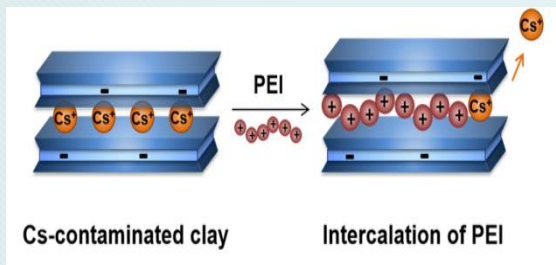
연구계획

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

5. 환경복원 기술 개발(2/3)

» 주요 성과

팽창형 점토광물내 세슘 제거기술



국내 원자력시설 주변 토양 분석

- 국내 원자력 시설 주변 (고리, 월성, 영광 등) 토양 분석
- 점토/실트 비율: 10~30%
- Cs 선택적 점토광물 함유: illite, mica, vermiculite, hydrobiotite

팽창형 점토광물 내 세슘 제거기술

- 팽창성 점토광물 내 Cs 제거 특성 분석
- 층간 삽입식 탈착기술 도출: 양이온성 고분자 전해질 등

나노자석흡착제 및 복원소재제조기술



나노자석이용 방사성폐액 내 세슘제거기술

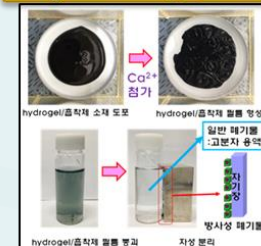
- 프로시안 블루 혹은 메탈-페로시아나이드가 접목된 자성입자
- 흡착제 10mg으로 오염수 100 ml에서 99.76%의 제거
- Advanced in engineering의 '주목해야할 연구' 선정

환경친화적 복원소재 제조 원천기술

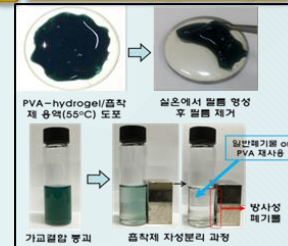
- 중대사고 초기에 신속한 오염의 확산 억제 및 효율적 복원이 가능한 환경친화적 복원소재 제조 원천기술 확보
- 처분 안전성과 2차 폐기물 처리가 가능한 오염 토양 고정화 기술 확보 (고정화율 : 95% 이상)

오염표면제거 복합신소재개발

Alginate 기반 소재



PVA 기반 소재



Alginate 기반 소재

- 천연고분자인 Alginate hydrogel 기반 복원소재
- 95%의 높은 제거율, 자성분리 이용 방사성폐기물 저감

PVA 기반 소재

- PVA-borate hydrogel 기반 복원소재
- Hydrogel 가역적 필름 형성인자 조절하여 현장 적용성 향상 (온도 및 PVA 함량)

5. 환경복원 기술 개발(3/3)

» 주요 성과

국내 해체부지 환경에 적합한 오염 토양 복합 처리 시스템 및 현장형 지하수 복원 공정 개발

- 난처리성 점토/실트를 효율적으로 제거할 수 있는 기술 및 전체 오염토양 복합처리 시스템 개발
- 지하수 내 다핵종/삼중수소 제거 소재 및 현장적용 기술 개발
- 중대사고 대비 주거지 오염 복원기술 공정 개발 및 검증

해체 부지내 오염 토양 복원 기술

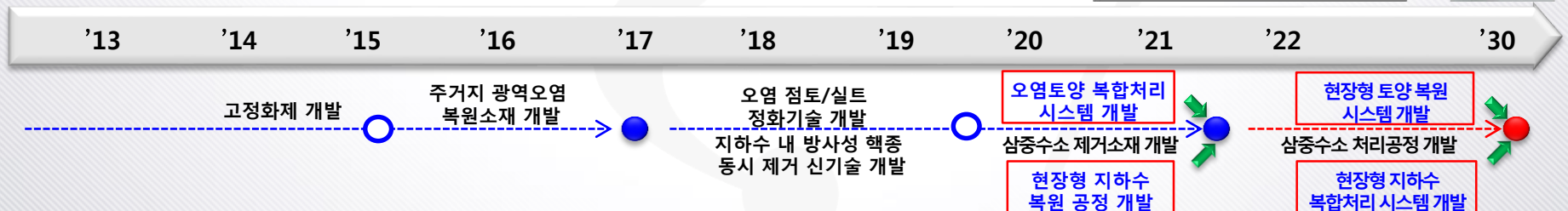
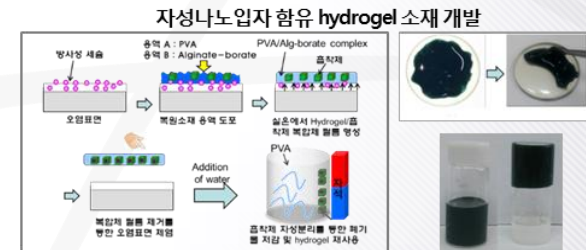
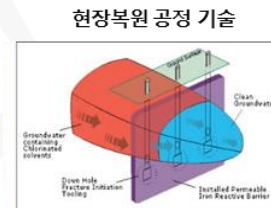
- 방사성 오염 토양 내 난처리성 점토/실트 정화기술 개발 및 토양 폐기물 복합처리 시스템 개발
- 난처리성 토양 기술 확보 및 토양 폐기물 처분 비용 절감

지하수 복원 신매질 및 현장 적용기술

- 지하수내 다핵종 제거용 신매질과 현장형 공정 개발 및 삼중수소 제거 핵심 기술 도출 및 매질 제조 기술 개발
- 지하수 복원기술 및 삼중수소 제거 원천기술 개발

주거지 광역 오염표면 복원 기술

- 주거지 복원소재 성능 향상과 건전성 확보 및 표면오염 복원 시스템 개발
- 친환경, 저비용 복원소재 개발



국내 해체 핵심기술 확보 현황

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

➢ 해체 작업의 **안전성** / **경제성** / **효율성** 향상 : 작업자 **피폭 저감**, 폐기물량 **저감**, 해체공정 **단축** 등

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	 고방사성 폐기물 안정화 기술
 해체 안전성 평가 기술	 대형기기 나노 복합염체 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 수증기 개질 처리 기술	 우리농 폐기물 처리 기술
 표면오염도 측정 기술	 분사염마 제염 기술	 열적 절단 기술	 금속 폐기물 절단 및 제염 기술	 콘크리트 폐기물 재활용 기술
 핵종 분석 기술	 전해염마/화학침수 제염 기술	 고자율도 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)

국내 해체 핵심기술 확보 계획

미확보 10개 핵심기술 '21년 개발 완료 목표



해체 핵심기술 독자 확보

'21년 선진국 대비
100% 달성

해체기술 실용화

산업체 참여 기술 검증 및
이전

해체 인프라 구축

해체기술 종합 시험시설
구축 및 인력양성

고리 1호기 등 국내 원전 해체시 국산 기술 적용
글로벌 원전해체 시장 진출, 북핵 시설 해체 능력 확보 및 적기 대응

주요 연구성과 및 활용방안

방사선학적 특성평가



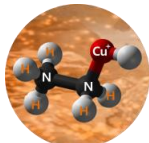
특성평가
통합관리
시스템

난분석 핵종
측정 시스템

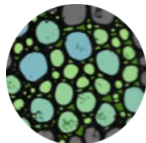
해체 대상 시설 및 폐기물
특성평가 및 난분석 핵종
현장 측정 기술 확보

원전 해체 시 방사선학적
특성평가 기술로 활용

제염



HyBRID FSD
화학제염

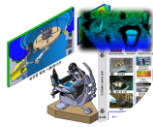


나노복합유체
대형기제염

무기산 기조 화학제염
기술 및 나노입자 함유
거품제염 기술 확보

원전 일차계통/대형기기
해체 제염기술로 활용

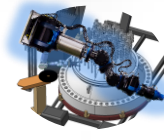
원격절단



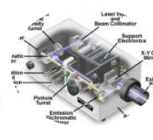
극한환경 원격조작
상호연동 시스템



난삭재수증 레이저
절단 시스템



수증 절단용 모듈형
매니퓰레이터



해체용
내방사화 센서

원자력시설 차세대
원격절단 시스템 구축

원자력시설 핵심설비
원격절단 기술로 활용

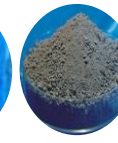
폐기물 처리



콘크리트
폐물



폐활성탄/
탄소폐기물

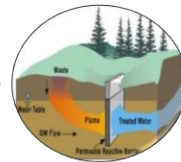


유동입자
성폐물

난처리성 해체폐기물
고감용/안정화/고화기술
확보

해체폐기물의 안전한
처분과 처분비용 절감을
위한 처리기술로 활용

환경복원



오염 토양/지하수 복원

해체 부지 오염 토양
지하수 복원 기술 및
시스템 확보

국내 해체부지 오염 토양
및 지하수 복원기술로 활용

해체 핵심기술 개발을 통한 원자력시설 **해체기술 자립** 및
글로벌 해체 시장 진출 기반 구축

해체 핵심기술 실용화(1/8)

» 추진배경

- 산업체 참여를 통한 기 확보 해체 핵심기술의 검증 및 기술이전

» 추진전략

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

» 추진방법

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

해체 핵심기술 실용화(2/8)



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)



해체 핵심기술 실용화(3/8)

» 해체 핵심기술 실용화 과제

과제명	확보 기술명	연구 내용
해체 시설 및 부지 잔류오염도 측정 실용화 기술 개발 (미래와 도전)	<ul style="list-style-type: none"> 표면오염도 측정기술 부지 규제해제 평가기술 해체부지 복원 최적평가기술 	<ul style="list-style-type: none"> 시설 표면오염도 자동측정시스템 구축, 성능평가 해체 부지 잔류방사선/능 측정시스템 구축, 성능평가 및 실증
원전 일차계통 HyBRID 화학제염 실용화 기술 개발 (한전 KPS)	<ul style="list-style-type: none"> 제염에 의한 재료건전성 평가기술 일차계통 화학제염제(HyBRID) 	<ul style="list-style-type: none"> 가압경수로 일차계통 RCP 제염실증 및 적용성 평가 가압경수로 일차계통 전계통 제염(FSD) 실증 및 원전 현장 적용성 검증
원전 핵심설비 해체공정 시뮬레이션 실용화 기술 개발 (두산중공업)	<ul style="list-style-type: none"> 해체공정 평가기술 고자유도 원격절단 통합평가기술 실감형 원격절단 시뮬레이터 	<ul style="list-style-type: none"> 해체공정 통합평가 체계 구축 및 시뮬레이션 사용자 환경 구축 고리 1호기 핵심설비 해체공정 통합평가 자료 구축 및 해체공정 설계/검증
해체폐기물 처리 실용화 기술 개발 (오르비텍/선광T&S)	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 재활용, 감용, 안정화 기술 금속 용융 기술 유기혼성폐기물 처리기술 	<ul style="list-style-type: none"> 해체 콘크리트/금속 폐기물 처리 기술 공학 검증 (저준위) 오염 폐수지 처리 기술 실증

해체 핵심기술 실용화(4/8)

» 해체 시설 및 부지 잔류오염도 측정

■ 최종목표

- ▶ 해체시설 표면오염도 자동 측정 및 해체 부지 잔류방사선/능 측정 시스템 구축과 기술 실증



시설 표면오염도 자동 측정 시스템



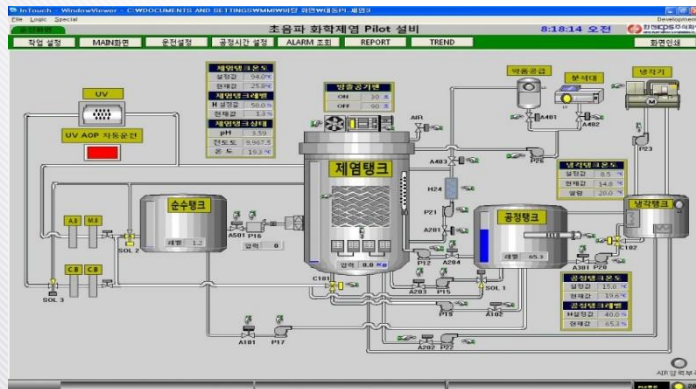
부지 잔류방사선/능 측정 시스템

해체 핵심기술 실용화(5/8)

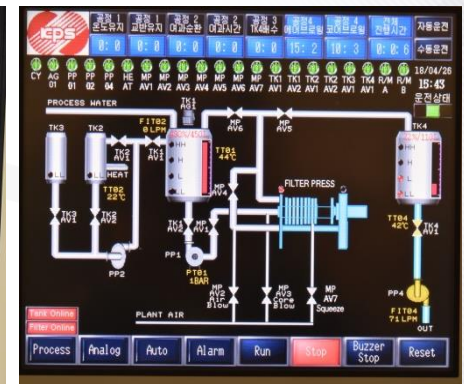
» 일차계통 화학 제염

■ 최종목표

▶ HyBRID 일차계통 화학제염 기술의 성능 검증과 기술 실용화 기반 구축



HyBRID 화학제염 설비



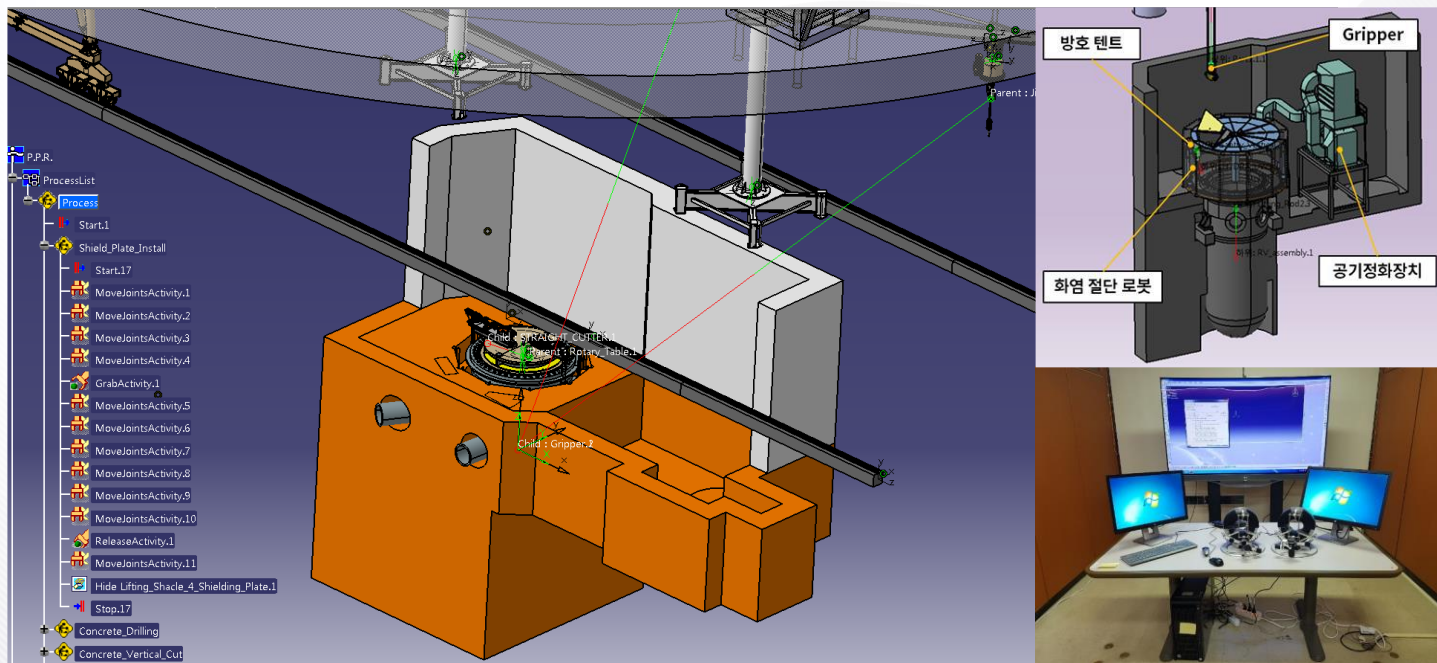
폐액 처리 설비

해체 핵심기술 실용화(6/8)

» 해체 공정 시뮬레이션

■ 최종목표

- ▶ 원전 핵심설비의 최적 해체공정 설계를 위한 해체공정 시뮬레이션 실용화 기술 개발
 - 해체공정 통합평가 체계 구축 및 시뮬레이션 사용자 환경 구축
 - 고리 1 호기 핵심설비 해체공정 통합평가 자료 구축 및 해체공정 설계/검증



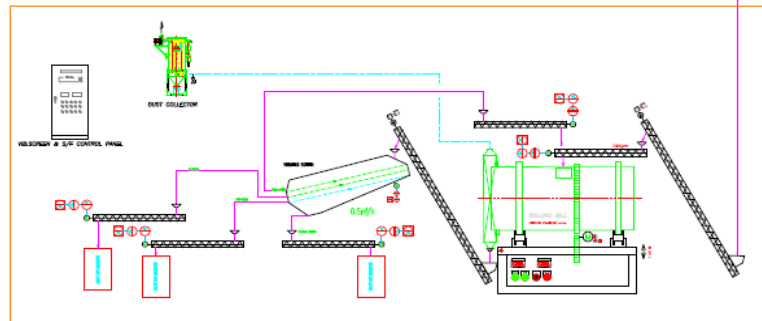
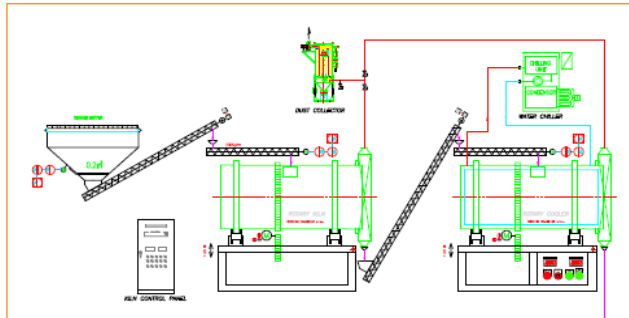
RV 해체공정 시뮬레이션 환경

해체 핵심기술 실용화(7/8)

» 콘크리트 및 금속 폐기물 처리

■ 최종목표

- ▶ 콘크리트 폐기물 가열분쇄 감용 및 안정화 기술 공학 검증
- ▶ 금속폐기물 용융 시스템 구축 및 공학 검증



콘크리트 가열분쇄 장치 제작

금속폐기물 용융 장치

해체 핵심기술 실용화(8/8)

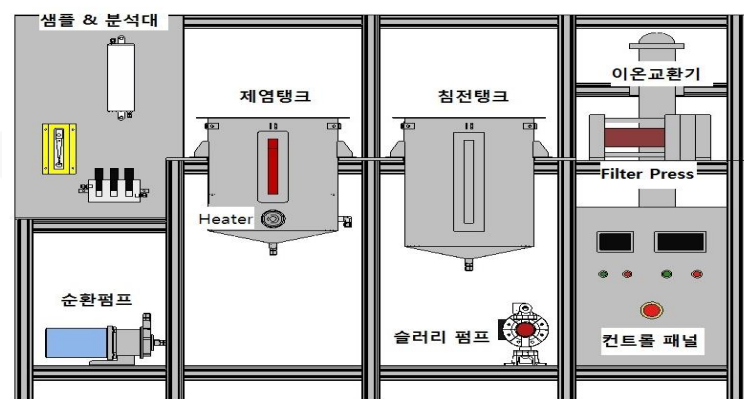
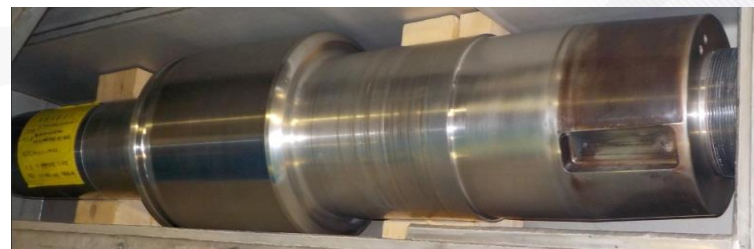
» 폐수지 처리 및 현장 제염 실증

■ 최종목표

- ▶ 저준위 폐수지 열화학적 처리 기술의 공학규모 검증 및 실증
- ▶ HyBRID 다단계 화학 제염 기술의 현장 실증실험 및 평가



폐수지 열화학적 처리 장치



RCP shaft 현장 제염 장치 개념



감사합니다.