



고방사능 시설 제염 및 환경복원 연구

Research on Decontamination and Environmental Restoration of Highly-Radioactive Nuclear Facilities

경북대학교, 원자력연구원, 경희대학교, 조선대학교, 부산대학교

한국원자력학회 워크샵, 2018.10.24.

1. 센터 필요성

- 현재 국내 제염/해체연구는 ‘고리 1호기’ 해체에 집중되어 있음. 미래 원자력연구센터는 ‘미래를 대비하여 경쟁력있는 선진기술을 개발하고 고급인력을 양성하며 신지식을 확산시키는 센터’ 임. 따라서 국제적 경쟁력있는 기술개발과 인력양성이 필요하며, 이는 ‘해결하기 어려운 고방사성 오염시설의 제염/해체’ 연구를 통해 얻어질 수 있음.
- 미래에 한국이 북한핵시설 제염에 참여할 가능성이 매우 높아, 미래세대에게 이를 대비할 고방사성 오염시설에 대한 제염, 폐기물관리, 환경복원에 관련된 연구역량을 키워줄 필요가 있음.
- 고방사성 오염시설의 예:
 - Hanford site 오염시설/부지
 - 후쿠시마 원전사고 현장
 - 북한 핵시설 (재처리시설, 가스원자로)
 - 기타 고방사성 오염시설 (체르노빌 원전)
- 대상 연구:
 - 고방사성 오염시설 제염, 고농도 염/용액의 제염, 고방사성 오염부지 제염, 고방사성 관련 폐기물 관리, 오염시설/부지 환경복원.
- 미래원자력연구센터의 국제경쟁력 확보, 인력양성 강화, 정책제안 활성화를 위한 프로그램 필요:
 - 인력양성 프로그램
 - 국제협력 프로그램
 - 정책자문단 운영

2. 고방사성 오염시설 현황

Hanford site



Manhattan Project 일환으로 1943년 설립. 9개의 원자로, 5개의 재처리시설, 6만개 이상 핵무기 제조. 200,000 m³의 고방사능 폐기물이 177개 탱크에 저장. 탱크결함으로 토양오염. 오염 주요 핵종은 Cs-137, Sr-90이며 고염, 고산성, 고방사성 액체폐기물로 존재. 미국내 최대 환경정화 사업으로 관심대상.

후쿠시마 원전사고 시설/부지



일본 경제산업성(METI)예상 21.5조엔 예상(피해자보상 7.9조엔, 제염비용 4조엔, 중간저장비용 1.6조엔, 해체비용 8조엔). 후쿠시마 및 주변도시 총정리 비용은 420억엔으로 예상. 높은 준위의 삼중수소, Cs, Sr 함유 오염수 발생. 총 777,000ton 폐기물 발생 확인.

2. 고방사성 오염시설 현황(계속)

북한 핵시설



순	시설명	소재
1	평산우라늄 광산	황북 평산
2	순천우라늄 광산	평남 순천
3	평산우라늄 정련시설	황북 평산
4	박천우라늄 정련시설	평북 박천
5	핵연료가공시설	평북 영변
6	교육용 미임계시설	평양 김일성대학
7	IRT-2000 연구로 및 임계시설	
8	5MWe 흑연로	평북 영변
9	50MWe 흑연로	
10	200MWe 흑연로	평북 태천
11	동위원소 생산시설	
12	방사화학실험실	
13	폐기물시설	평북 영변
14	우라늄 농축시설	
15	100MWt 실험용 경수로	
16	핵실험장	황북 김주군 풍계리
17~18	1000MWe 경수로	함남 신포 금호지구

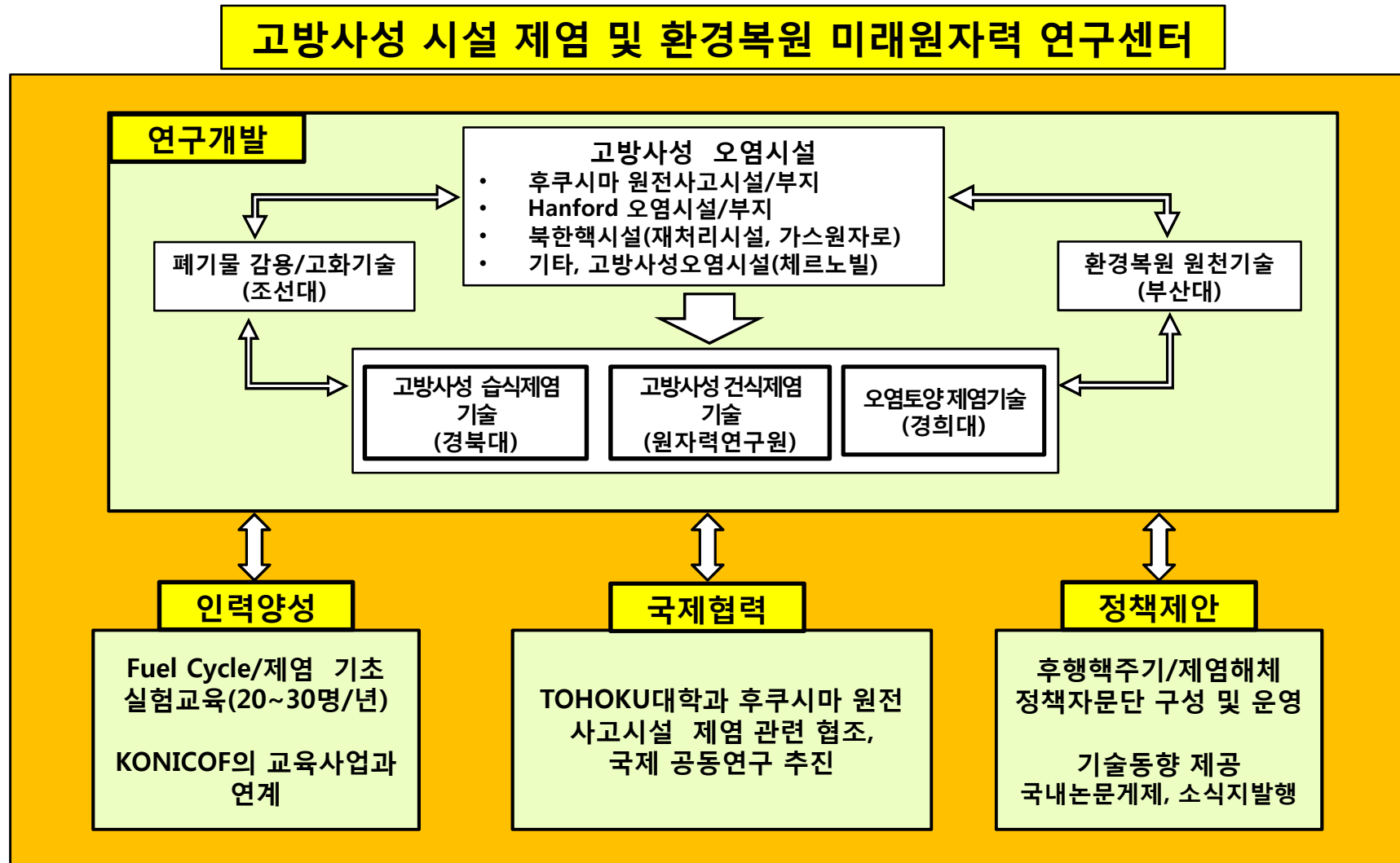


북한은 1990년대 초부터 우라늄 채광, 제련, 정련, 변환, 가공, 재처리, 폐기물관리 등 모든 핵연료 주기분야에서 산업적 규모의 시설을 운영. 영변의 핵시설 해체가 중요한 이슈지만, 한국의 적극적 참여없이 안전하고 완전한 해체는 불가능. 이를 위해 핵시설 제염/해체 관련기술 확보가 필수적으로 요구됨. 제염/해체 대상은 방사화학실험실(재처리시설), 영변 5MWt가스원자로, 실험용 원자로(IRT2000), 핵연료 제조시설 등임. 예상 제염/해체 비용은 아래와 같음.

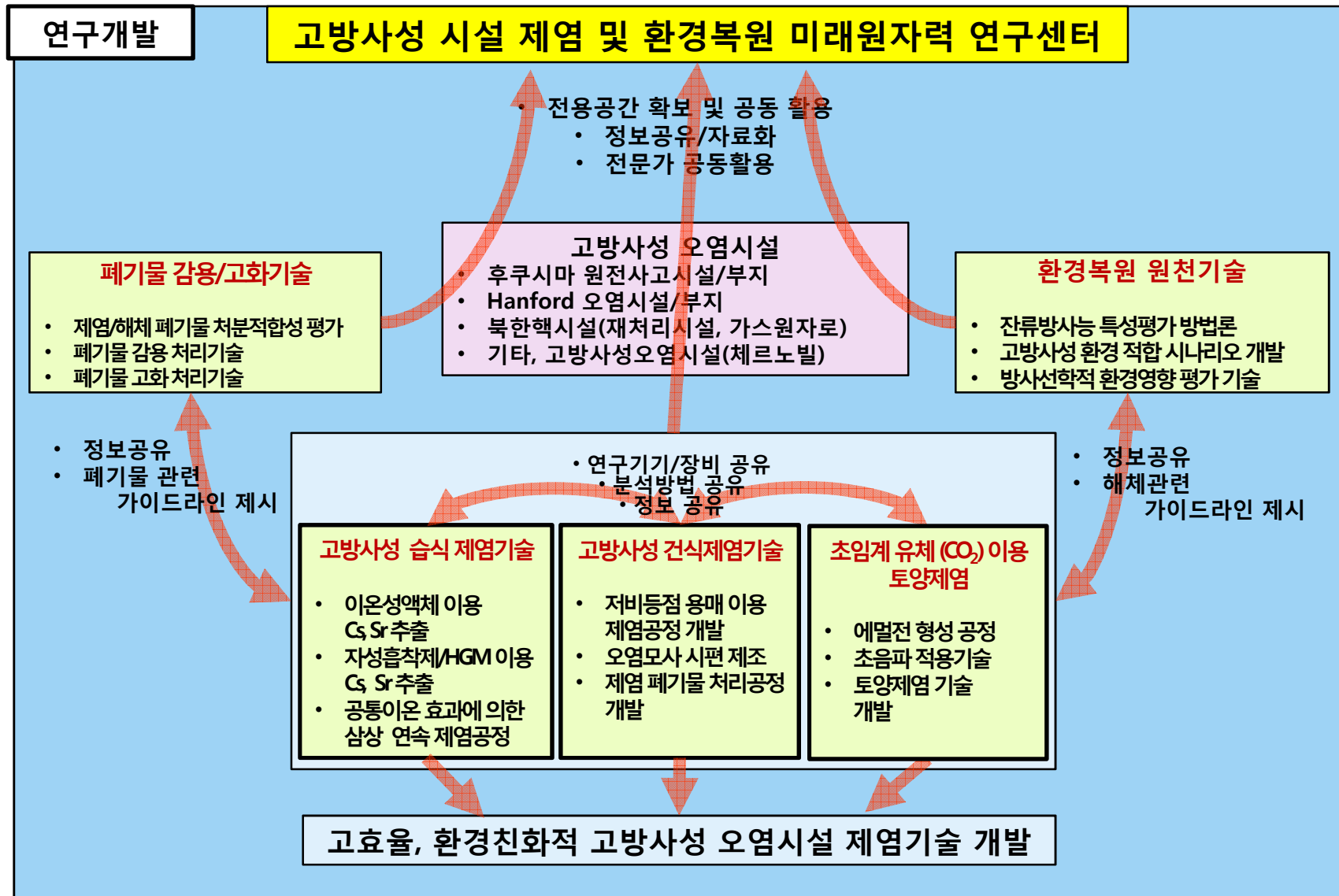
종류	시설명	비용(억원)
채광 및 정련 시설	평산 우라늄광산	120
	순천 우라늄광산	120
	평산 우라늄 정련시설	120
	박천 우라늄 정련시설	120
핵연료 생산	핵연료 제조시설	500
원자로	IRT-2000연구로	200
	5MWe 원자로	1,700
재처리 시설	방사화학실험실	14,550
	폐기물 처분/저장 시설	(9,700)
계		17,430 (+9,700)

정운수, '북한 핵시설 제염/해체 방안연구', 원자력연구원

3. 고방사성 시설 제염 및 환경복원 미래원자력기구센터 개요



3.1. 미래 원자력연구센터: 연구개발



3.1. 미래원자력연구센터: 연구개발(계속)

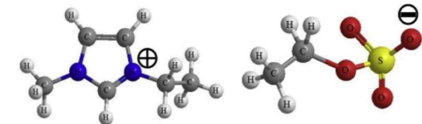
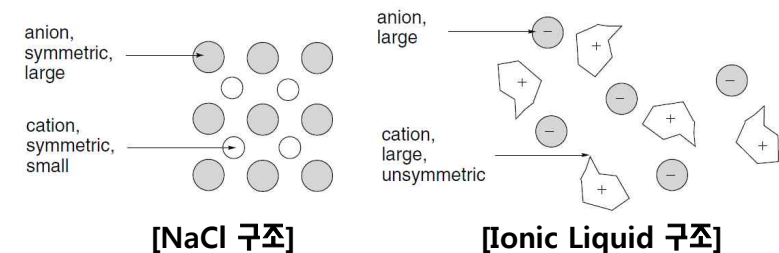
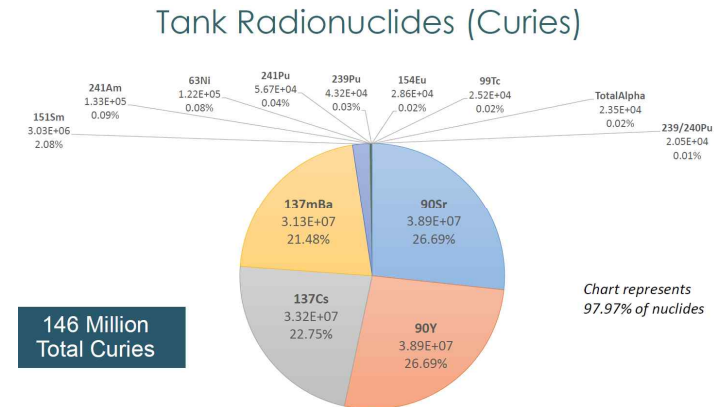
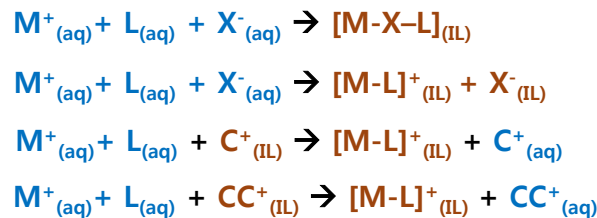
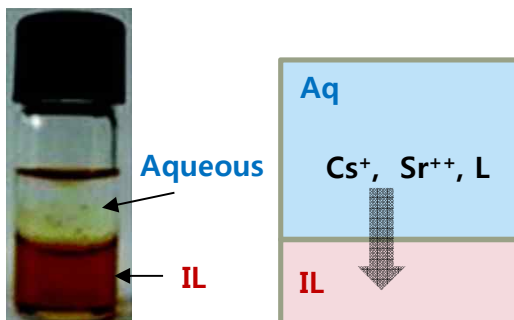
3.1.1. 고방사성 습식제염 원천기반기술 개발 (제1세부, 경북대학교)

고방사성 오염시설의 주요 제염대상

- Hanford 핵개발 고준위폐기물(204,000m³)은 저연소도 핵연료에서 Pu를 추출한 폐기물로서, 대부분 제염대상 원소는 고농도 염, 산에 존재하는 Cs, Sr임.
- 북한 영변 재처리 폐기물은 Hanford 핵개발 폐기물과 유사할 것으로 예상. Cs, Sr 제염 원천 기술개발 필요
- Fukushima 사고시설에선 바닷물에 섞인 Cs, Sr 처리 필요.
- 경북대학교는 지난 10여년간 고염 함유 Cs, Sr 분리 제염 연구로 관련 원천 기술 특허 11건 보유

이온성 액체 (Ionic Liquid - IL)

- 액체상태의 염으로, 열적 안정성, 극저 증기압, 설계에 따라 특성, 특히 소수성(hydrophobic)조절 가능한 **환경친화적 청정 용매**. 현재 IL는 바이오, 배터리, 폴리머, 나노입자, 분리추출 분야 등에 **미래의 청정용매**로 연구가 활발히 진행중.
- IL을 이용한 분리추출 (액-액 분리추출):



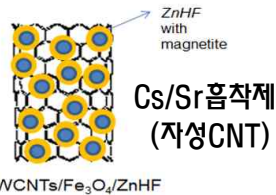
3.1. 미래원자력연구센터: 연구개발(계속)

(제1세부, 경북대학교)

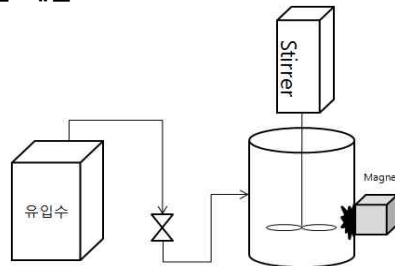
연구목표

- **원천기술** 기반의 Cs, Sr의 선택적 제염 기술의 개발:
 - (1) 이온성액체를 이용한 액-액, 고-액추출 제염, (2) HGM 자성흡착 복합처리 제염, (3) 공통이온 효과를 이용한 액-액, 고-액 추출 3상 연속분리 제염
- Hanford 고준위 폐기물 같은 고염 조건에서 미국 UOP사 Ionsiv IE-911, SuperLig644수준 이상,
→ Fukushima 핵사고 조건(염분 및 불순물 등)에서 미국 KURION 사의 SARRY 수준 이상
- 기술 활용 목표: 북한 HLW 저준위화, 원전 핵사고 냉각수 제염, 원전 해체폐기물 극저준화

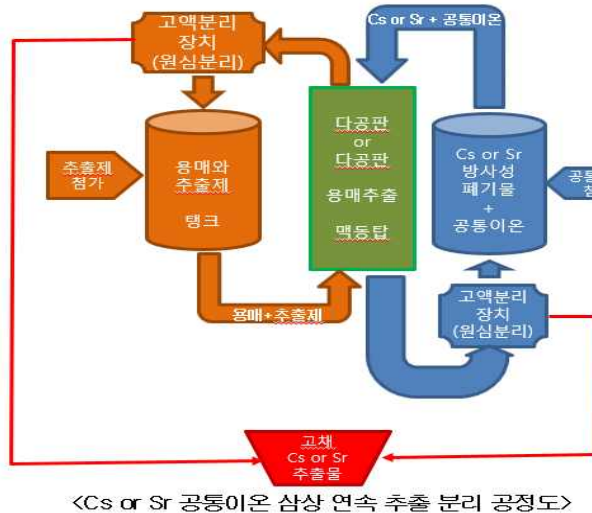
HGM 자성 흡착 복합처리



자성 흡착제를 HGM(High Gradient Magnetic separation)기술을 이용해 분리 후 회수가 용이한 공정화 기술 개발



공통이온효과에 의한 3상 연속분리 기술

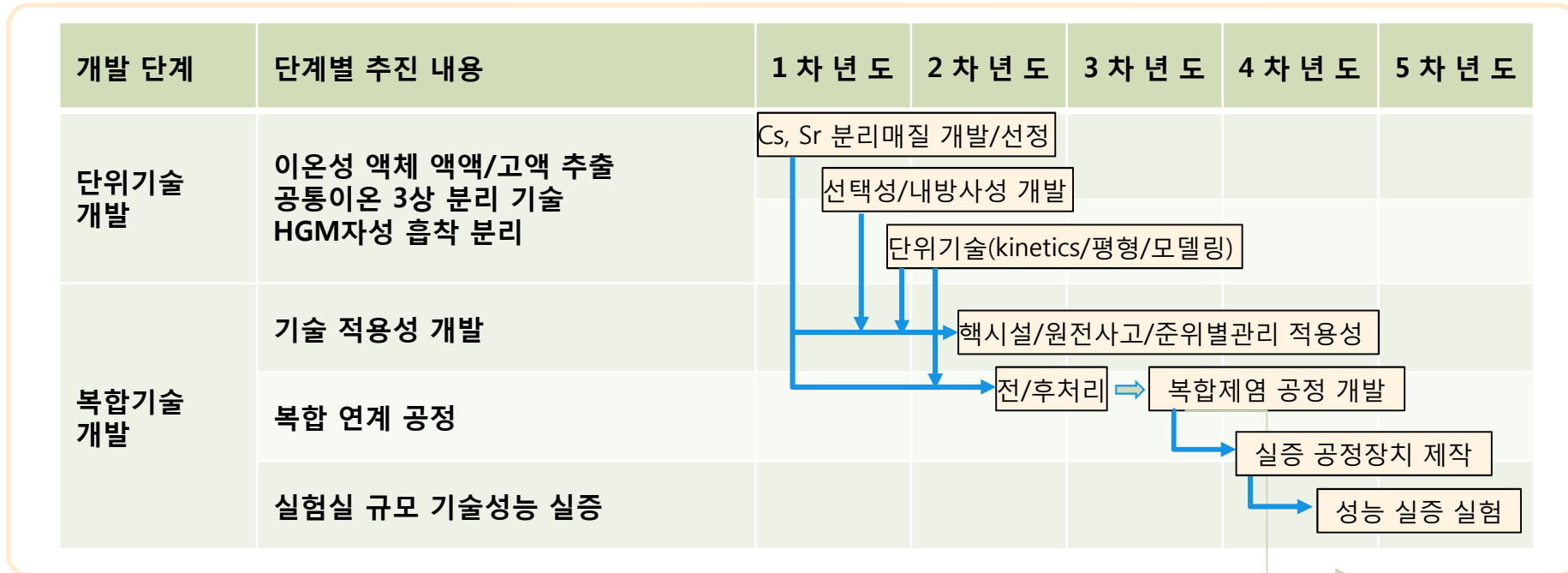


- 공통이온효과를 이용한 제염은 대상 이온인 Cs, Sr을 [Cs/Sr-추출제]의 고체 침전물 형태로 분리함.
- 공통이온 삼상분리 기술은 공정도처럼 Pulse Column의 연속식 제염 및 고액분리 공정화가 가능함.
- 삼상추출은 폐액 속 Cs, Sr농도에 무관하게 일정한 효율로 분리 추출이 가능함. 그러나 흡착제 또는 이온교환 분리기술은 폐액 내의 Cs, Sr농도가 낮아지면 제염되는 Cs, Sr 양이 급격히 줄어듬.

3.1. 미래원자력연구센터: 연구개발(계속)

(제1세부, 경북대학교)

단계별 추진체계 및 추진 일정



성과, 활용성 목표 및 평가 착안점

개발기술의 성능 및 기술 활용성 평가		정량적 성과 평가 지표
기술 성능 평가 지표	<ul style="list-style-type: none"> 다음 단위기술 및 복합적용 원천 기반기술 개발 및 실험실 규모 성능 실증 (1)이온성액체 액액/고액 추출, (2)공통이온 삼상연속추출, (3)HGM 자성흡착분리 고염조건(3w% NaCl해수, 5M NaNO3 재처리폐액,..)에서 DF>100이상 Cs, Sr 제염성능 * 미국 UOP사 Ionsiv IE-911, IBC사의 SuperLig644수준 이상의 Cs, Sr 제염성능 	<ul style="list-style-type: none"> 국외 SCI 급 논문 연간 2건 이상 게재 국내외 학술대회 연간 10회 이상 발표 박/석/학사 학위배출 연간 2명이상 배출 장/단기 연수 5년간 총 2명 이상 지원
기술 활용 평가 지표	1) 북한 영변 재처리시설 고방사성 습식제염 으로 고준위폐기물의 저준위화에 기술활용성 2) 후쿠시마 같은 원전 핵사고 대비기술로 해수함유 냉각수 제염 기술로 활용성 3) 원전 해체폐기물의 준위별관리 기술활용성: 중준위>저준위화>극저준위화>자체처분화	

3.1. 미래원자력연구센터: 연구개발(계속)

3.1.2. 고방사성 건식제염 원천기반기술 개발 (제2세부, 원자력연구원)

연구개발의 목표

- 환경 친화적, 고효율 건식제염 요소기술 개발
- 건식 제염 폐기물 처리 요소기술 개발

개발된 기술의 특징

- 낮은 비등점, 비 가연성, 비 폭발성, 비 독성, 비극성 용매(예, PFC*)를 제염제로 사용하여 제염제 재활용 및 환경 친화성 제염 기술 구현
- 오염물 및 방사성 원소의 특성에 따른 선별 처리로 제염 폐기물 발생량 최소화

주 연구 내용

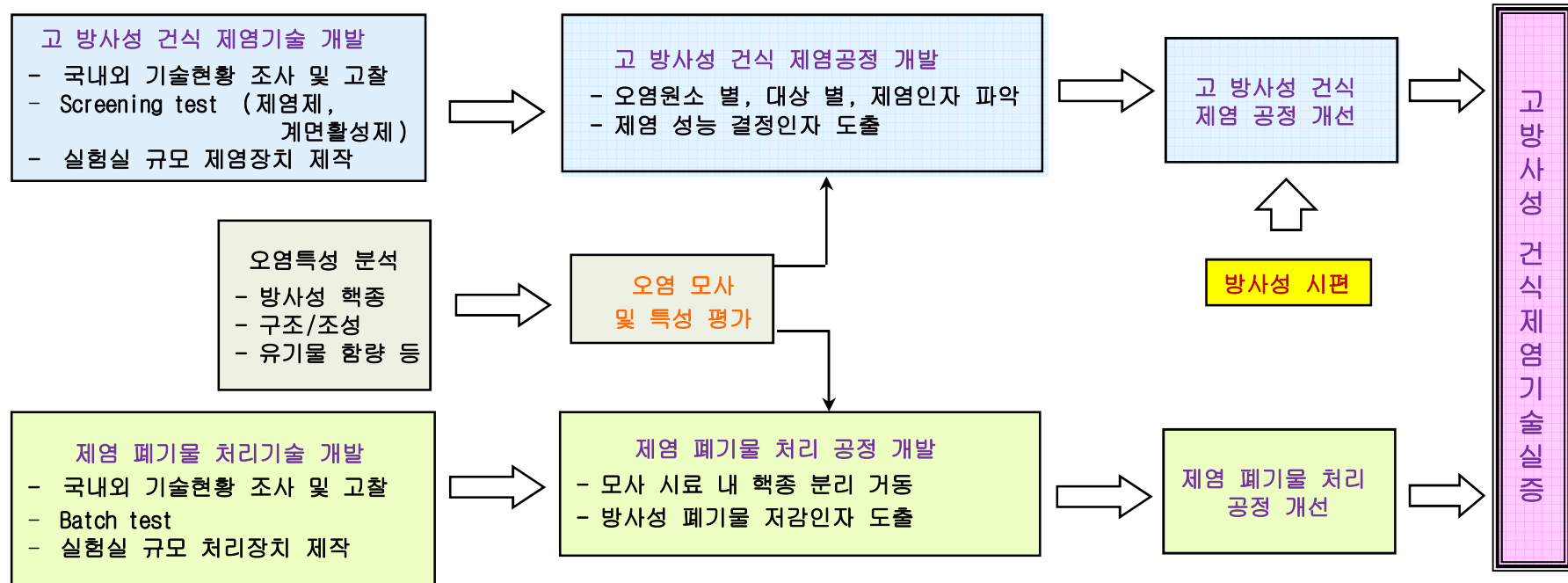
- 건식 제염제의 선정, 오염에 따른 최적 제염방식(계면 활성제 첨가), 제염제 회수 및 여과
- 오염특성 평가에 의한 오염물 분류 및 오염 모사
- 열처리(예, 고온수증기), 용매 추출에 의한 처리 및 오염 원소별 분리

*PFC(perfluorocarbons): Perfluorinated alkyl/aryl halides, Fluorochloroalkenes, Perfluoroethers,...

3.1. 미래원자력연구센터: 연구개발(계속)

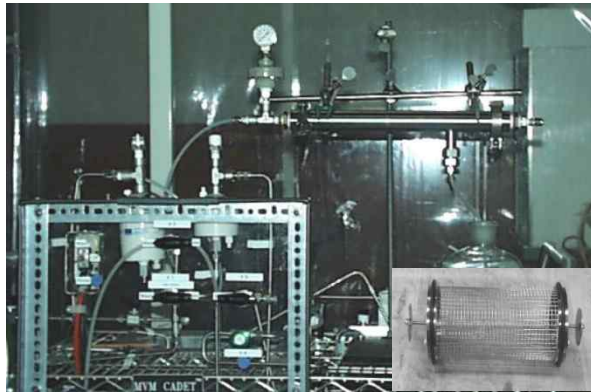
(제2세부, 원자력연구원)

연구내용 개발체계

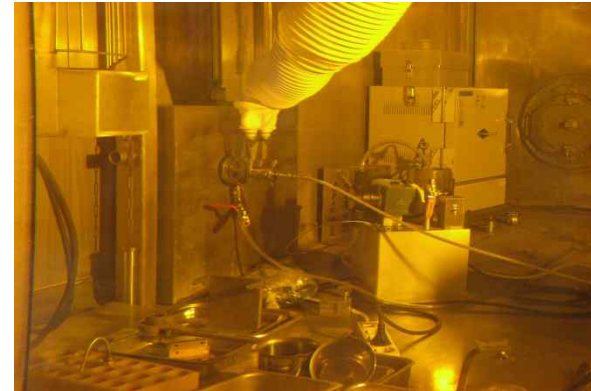


3.1. 미래원자력연구센터: 연구개발(계속)

(제2세부, 원자력연구원)



<미국 Pu 오염부품 건식제염 반응기와 여과 장치>



<Hot cell 건식제염 실증용 분사형 장치>

연구개발 성과의 활용방안

- 개발된 기술을 파일럿 규모의 실증을 통해 핵시설 폐쇄/원전 해체에 적용, 상용화 및 일자리 창출
- ‘제염 폐기물 처리기술’은 악티늄 원소의 특성 연구에 활용 가능하며 핵 사고시 다량 발생되는 토양 폐기물의 저감화에 기여
- 논문 게재를 통해 객관적 타당성 입증, 특허출원으로 산업재산권 확보 후 국내 산업체 기술 이전

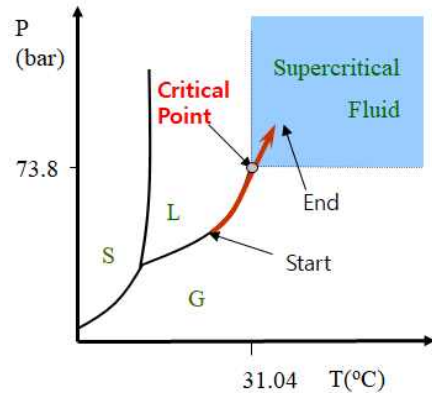
최종목표의 평가기준

- 건식 제염기술의 고 방사성 조건 하에서의 성능 및 적용성 (제염계수 > 10)
- 건식 제염 폐기물 처리기술의 성능 (감용율 > 2 , 방사성원소 분리의 우수성)

3.1. 미래원자력연구센터: 연구개발(계속)

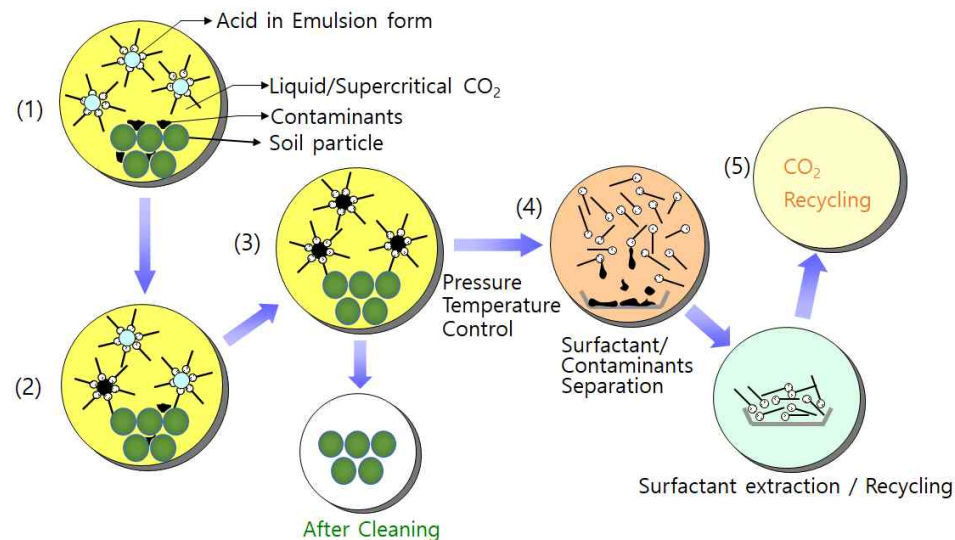
3.1.3. 초임계유체 토양제염 원천기반기술 개발 (제3세부, 경희대학교)

초임계 이산화탄소



- 초임계 상태의 CO₂는 액체의 용해도와 기체의 침투력을 갖는 유용한 환경친화적 용매임. 특히 표면장력이 거의 없어 기공도가 높고 복잡한 형태의 대상물(예, 토양)에 침투가 매우 용이함.
- 압력을 공정변수로 사용하면 간단하면서 매우 효율적인 시스템을 구축할 수 있음(예, 액체/초임계-->기체). 2차 폐기물의 발생을 원천적으로 없앨 수 있음.

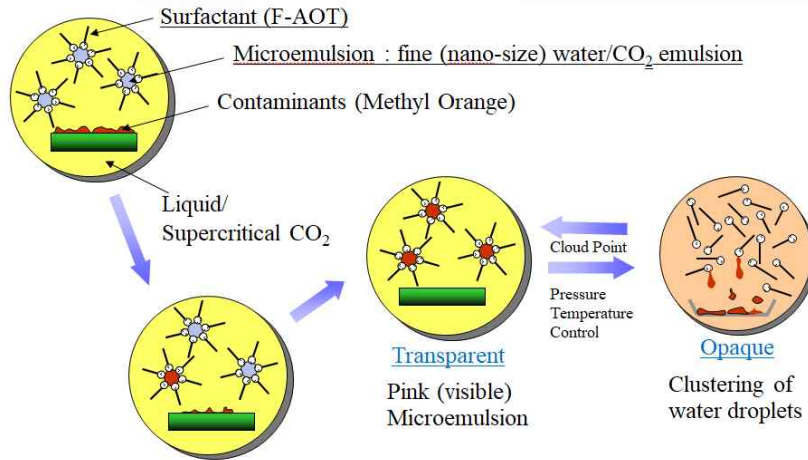
초임계 CO₂를 이용한 제염공정



3.1. 미래원자력연구센터: 연구개발(계속)

(제3세부, 경희대학교)

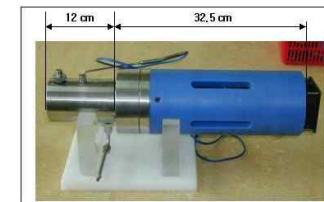
마이크로에멀전 형성과 산화우라늄 제염(동영상)



제3세부과제 연구목표:

초임계CO₂를 이용하여 고방사성 핵종에 오염된 토양 및 시설의 제염기술 개발.

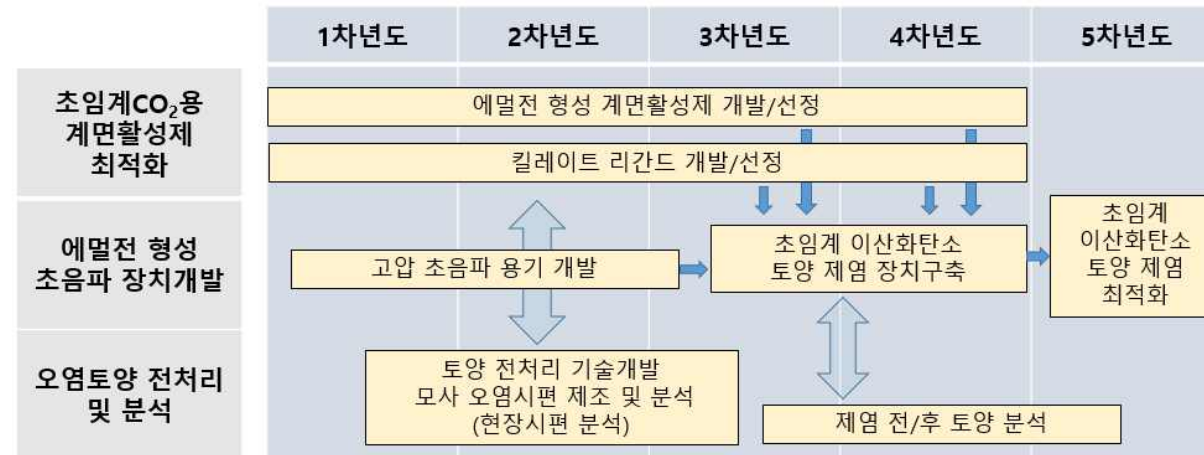
1. 대상 원소: 핵분열생성물(Cs, Sr), 액티나이드(U)
2. 토양제염을 위한 초임계 제염매질 개발
 - 이산화탄소-물 에멀전 형성을 위한 계면활성제 개발: AOT계열, NP계열, 기타 상용계면활성제
 - 이산화탄소-킬레이트트리간드형 에멀전: Catechol계열, Phosphate 계열 등
3. 초음파혼 탐재 반응용기 개발
4. 초임계CO₂용 제염제에 의한 토양제염 특성 평가
 - 초임계CO₂를 이용한 제염에 적합한 전처리 기술 개발
 - 토양 미세구조 분석, 토양 제염효율 측정법 개발



3.1. 미래원자력연구센터: 연구개발(계속)

(제3세부, 경희대학교)

연구개발 추진 일정/체계

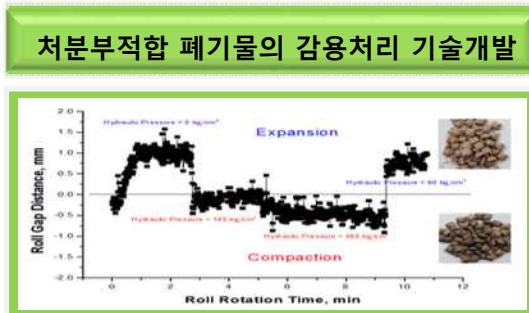
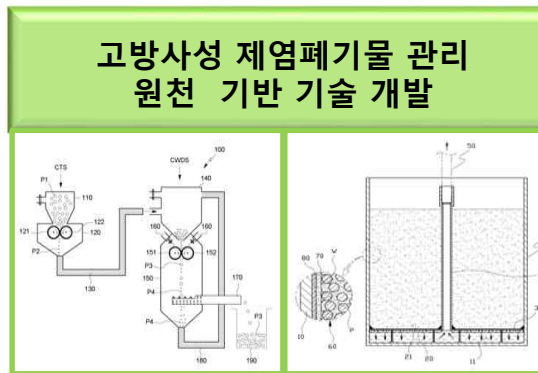


제3세부과제 연구개발 내용 및 평가 착안점:

세부 연구목표	세부 연구개발 내용	평가목표 및 착안점
초임계CO ₂ 용 킬레이트 계면활성제 개발	기개발 계면활성제 성능분석	- 특허출원
	최종 선정 물질 자료구축 및 제염 특성분석	- 최종 후보물질 도출 및 자료구축 여부
초임계CO ₂ 용 마이크로에멀전 계면활성제 개발	기개발 계면활성제 성능분석	- 특허출원
	최종 선정 물질 자료구축 및 제염 특성분석	- 최종 후보물질 도출 및 자료구축 여부
초음파 탑재 초임계이산화탄소 토양제염 장치 개발	초음파혼 탑재 제염반응 용기 개발	- 초음파혼 탑재 반응용기 개발여부(특허출원)
	토양제염에 최적화된 장치개발	- 반응용기의 제염 특성 분석 자료
초임계이산화탄소 이용 오염토양 제염공정 개발	오염토양 전처리 방법 개발	- 토양특성에 따른 전처리 방안제시여부
	초임계이산화탄소 토양제염 공정 최적화	- 최종 제염계수, 100 이상

3.1. 미래원자력연구센터: 연구개발(계속)

3.1.4. 고방사성 제염폐기물 관리 원천기반기술 개발 (제4세부, 조선대학교)



- ✓ 처분부적합 폐기물: 농축폐액, 슬러지, 슬러리, 등.
- ✓ 단위시간당 처리량
- >35kg/hr
- ✓ 제염해체폐기물별 감용평가
- 분말기준, >3.0

※ 국내외 비교대상 기술이 없으므로 감용비 평가 기술은 농축폐액의 시멘트 고화기술로 기준
※ 처분장 인수기준(WAC), "처분 안전성을 위한 인수기준 시험방법" 기준 충족 여부

제염해체폐기물 고화체의 종합평가 기술개발

구분	시험 항목	관련 기준	번호	시험 항목	판정 기준	
					강성 고화체	영장 고화체
구조적 안정성	압축강도 시험	원전의 경우: KS F 2405 연장의 경우: KS F 2281	1	압축강도 시험	시편의 수직변형률이 3% 이하 일 때 0.41 MPa(60 psi) 이상	시편의 수직변형률이 3% 이하 일 때 0.41 MPa(60 psi) 이상
	장수시험	INRC/Technical Position on Waste Form, Rev.1	2	장수시험에 압축강도 시험		
	열충격시험	ASTM B952	3	열충격시험에 압축강도 시험		
	유리수 측정	ANS 56.15의 유사한 방법 적용	4	방사선조사시험후 압축강도 시험		
	방사선조사시험	INRC/Technical Position on Waste Form, Rev.1	5	원충시험		
	침출시험	ANS 16.1	6	유리수 측정		

Table 1: 처분 안전성을 위한 인수기준 시험 방법 Table 2: 처분 안전성을 위한 폐기물 고화체 판정 기준

- ✓ 처분 적합성/안전성 종합평가
- ※ 2가지의 "처분 인수 기준 시험" 충족 여부를 통한 적합성 판정



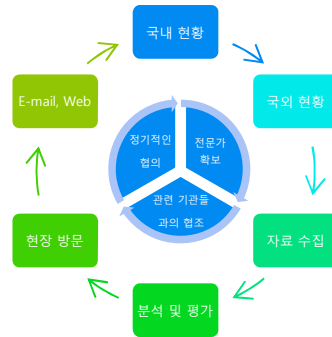
- ✓ 고화대상 폐기물: 운영폐기물, 해체폐기물, 기타폐기물
- ✓ 최적 고화매질의 안전성
- ✓ 고화체의 감용비 평가
- 고화체 기준, >2.0
- ✓ 고화체의 강도 평가
- 최종 목표, >71 kg/cm²
- ※ 국내외 비교대상 기술이 없으므로 감용비 평가 기술은 농축폐액의 시멘트 고화기술로 기준
※ 처분장 인수기준(WAC), "처분 안전성을 위한 폐기물 고화체 판정 기준" 충족 여부

3.1. 미래원자력연구센터: 연구개발(계속)

(제4세부, 조선대학교)

제염해체 폐기물 자료조사/현황분석

- 국내의 각종 원자력관련기관 자료 수집, 분석 및 평가 수행
- 외국의 제염해체현황 및 제염해체에서 발생된 폐기물 관련 자료 수집



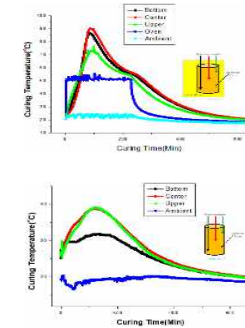
고감용화 및 고화처리 기술 모듈화

- 전문가 그룹의 활용
 - 기술개발에 대한 사전 문제점 도출
 - 사전 문제점에 대한 해결
- 제염해체폐기물 종합 특성 평가
 - 처분장 및 국가 규정준수 입증
- 기술 개발의 활용
 - 규제기관 설명회 등을 통한 인허가
 - 수요 업체와의 운영 절차 수립



제염해체 고감용화 처리장치 설계/제작

- 고화 처리 전 폐기물 부피 감용 기술 개발
 - 처분부적합 제염해체폐기물의 고감용
- 고 감용 상태의 제염해체폐기물에 대한 새로운 방식의 고화처리기술 개발
- 특수 고화매질 개발
 - 고화체의 내 침출성 증진 및 고강도 향상



제염해체 폐기물 고화체 종합평가 기술개발

- 제염해체 폐기물 고화체의 정량적 기술 목표 선정
 - 처분장 인수기준(WAC)기준
- 처분안전성을 위한 “인수기준 시험” 방법
- 처분안전성을 위한 “폐기물 고화체 판정” 기준
- 제염해체 폐기물 고화체 종합 평가
 - 인수기준 시험 및 고화체 판정 기준 충족에 따른 최종 평가

제4세부과제 연구목표:

1. 처분부적합 폐기물의 처분장 수용성 향상 기반기술 개발
 - 처분장 수용성 향상을 위한 제염해체폐기물의 고도 감용화처리 기술개발
 - 처분부적합 제염해체 방사성폐기물의 고화처리 기술개발
2. 처분부적합 제염해체폐기물의 감용화를 위한 처리·처분 기술 확립

*1 감용비는 원시료 부피를 펠렛성형체(또는 고화체) 부피로 나눈 값으로 무차원임.

*2 국내외 비교대상 기술이 전혀 없음. 따라서 고화체 감용비의 평가기술은 농축폐액의 시멘트 고화기술임

*3 처리량과 감용비는 매우 중요하지만 표준 인증 방법이 없으므로, 처리량은 원시료와 성형물의 결과치 비교 평가, 감용비는 원시료와 성형체 및 고화체의 상대 부피평가를 통해 공인기관으로부터 평가 추진

*4 처분장 인수기준(WAC, Waste Acceptance Criteria), “처분 안전성을 위한 인수기준 시험방법”, “처분 안전성을 위한 폐기물 고화체 판정기준” 참조

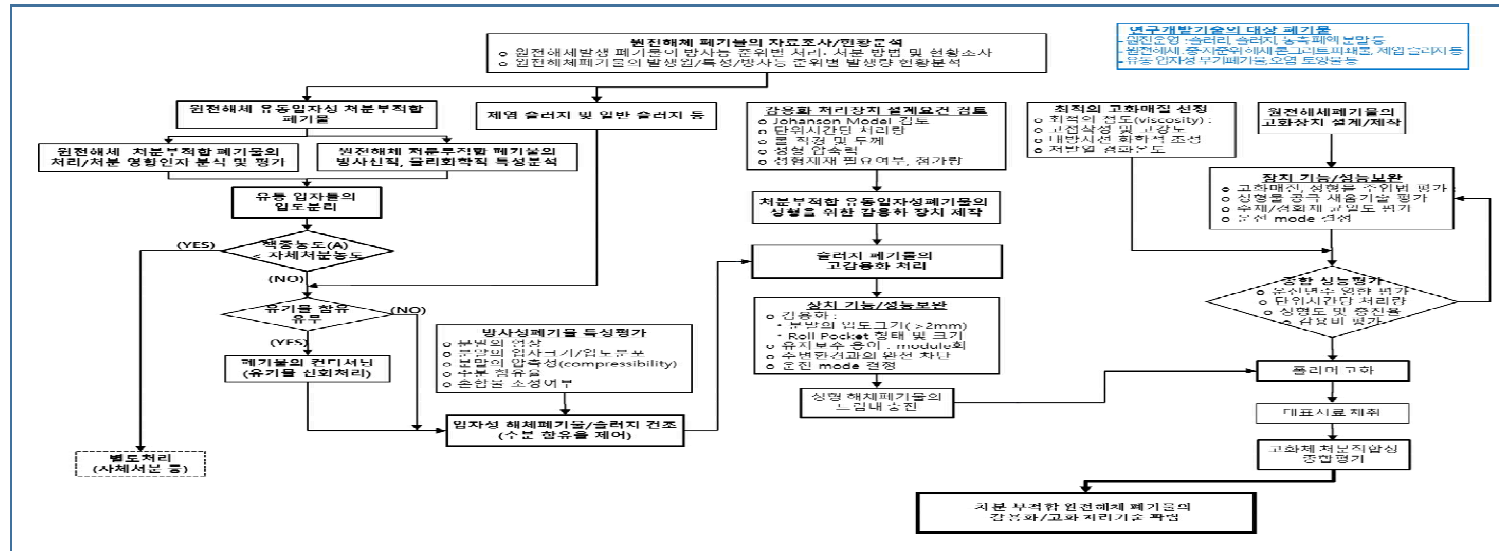
평가항목 (주요성능 Spec ¹⁾)	단위	전체 항목 에서 차지하는 비중 ²⁾ (%)	세계최고 수준 보유국/ 보유기업 (미국/DTS) 성능수준	연구개발 선 국내수준 성능수준	개발 목표치 목표	표준 · 인증 기준 ³⁾	기준 설정 근거 ⁴⁾
1.단위시간당 처리량	kg/ hr	20	*2	*2	>35	*3	일반적 사항
2.감용비 (분말기준)	*1	10			>30		일반적 사항
3.감용비 (고화체기준)	*1	30			>20		일반적 사항
4.고화체 강도	kg/ cm ²	10	35.2	35.2	>71	KSF2405	처분장 인수기준
5.처분 기준 (WAC)	*4	30	-	-	적합	WAC*4	처분장 인수기준

<정량적 기술 목표 항목>

3.1. 미래원자력연구센터: 연구개발(계속)

(제4세부, 조선대학교)

연구개발 추진 일정/체계



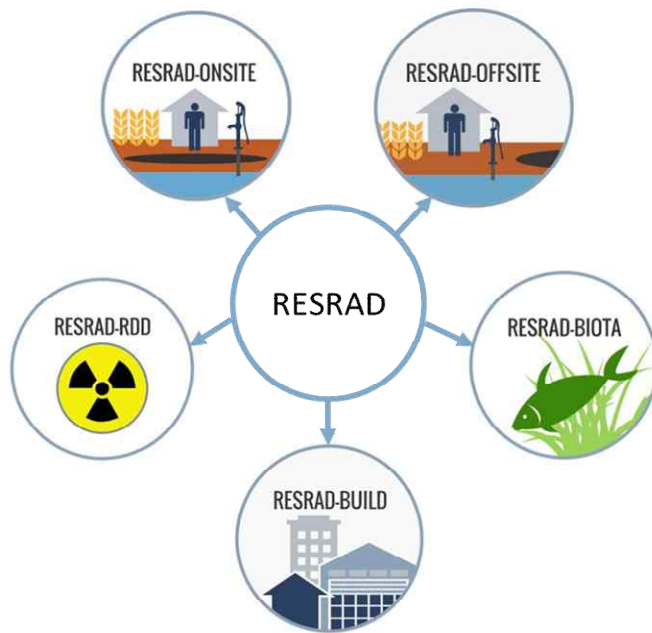
제4세부과제 연구개발 내용 및 평가 착안점

세부 연구목표	평가의 착안점	평가의 기준
저분부적합 폐기물 감용처리 기술개발	제염해체폐기물 성형물의 강도	- 처분장 인수기준 (Waste Acceptance Criteria-WAC), 처분안전성을 위한 "인수기준 시험 방법" 기준 충족여부
	단위시간당 처리량	
	제염해체폐기물별 감용 평가	
원전 해체 폐기물 고화처리 기술개발	최적 고화매질의 안전성	- 처분장 인수기준 (WAC), 처분 안전성을 위한 "폐기물 고화체 판정" 기준 충족여부
	고화체의 균질성 평가	
	원전 고화체의 감용비 평가	
제염해체폐기물 고화체 종합평가 기술개발	처분 적합성/안전성 종합평가	- 처분 인수기준 충족을 통한 적합성 판정

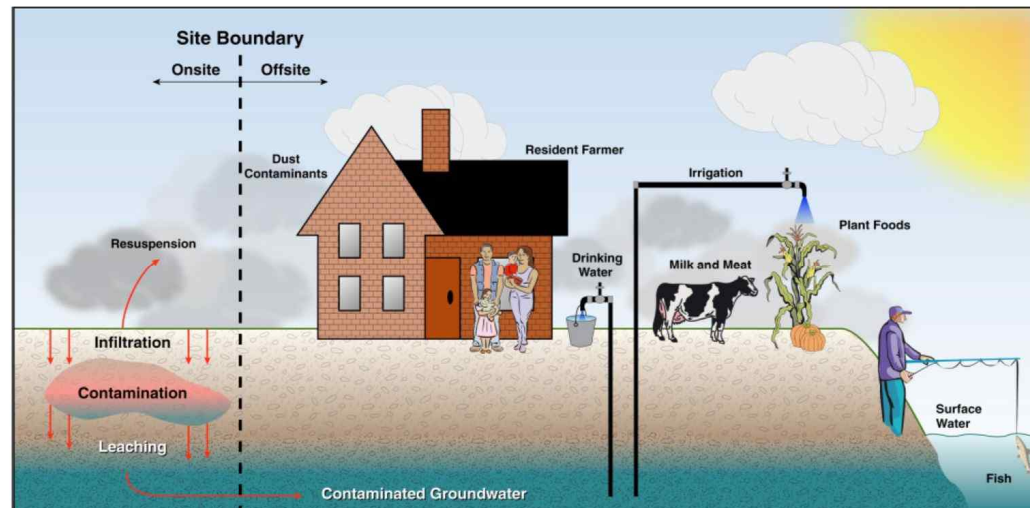
3.1. 미래원자력연구센터: 연구개발(계속)

3.1.5. 고방사성 환경복원 원천기반기술 개발 (제5세부, 부산대학교)

RESRAD 코드



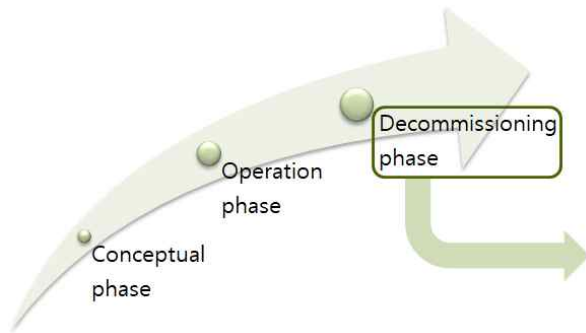
- 부지 복원 및 개방을 위한 환경영향평가(피폭선량, DCGL등의 유도)에 사용되는 컴퓨터 코드
- U.S.DOE, U.S.NRC, EPA, State Agencies 등의 미국 정부 규제 기관들의 승인 완료
- 미국 원자력 시설 해체에 범용적으로 사용되는 코드
- 부지 특정(Site-Specific) 매개변수 및 시나리오 적용을 통한 해체 공정 최적화 가능(비용, 시간, 노력 감소)



3.1. 미래원자력연구센터: 연구개발(계속)

(제5세부, 부산대학교)

부지 품질 관리 수명주기

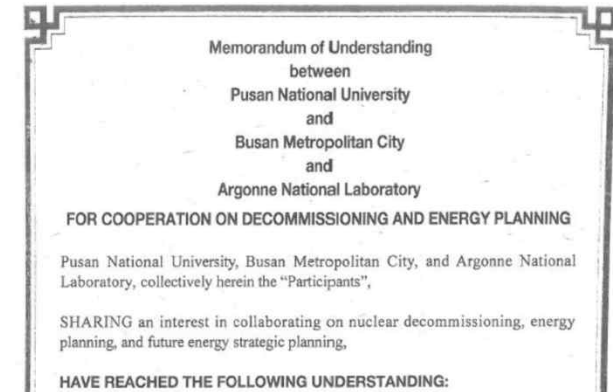


- 전 단계에 걸친 정보 활용해 고 방사성 핵시설 부지 품질 관리
- 해체 단계에서 RESRAD 활용해 고방사성 시설 피폭 선량 및 DCGL 평가(MARSSIM 적용)
- 최종적으로 해체 부지 재이용을 위한 개방(무제한/제한)

제3세부과제 연구목표:

RESRAD 활용한 고방사성 시설 해체 부지 재이용관련 환경영향 평가 기반기술 개발

1. 대상 부지 : Hanford, 후쿠시마 원전, 북한 핵시설 등의 고방사성 시설 부지
2. 부지 재이용을 위한 환경영향평가 방안 개발
 - 작업자, 인근 주민 등 수용체(Receptor)에 대한 피폭 선량 계산 필수
 - 고방사성 시설 적용을 위한 매개변수, DCGL 개발
3. 고방사성 환경에 적합한 재이용 시나리오 개발



3.1. 미래원자력연구센터: 연구개발(계속)

(제5세부, 부산대학교)

연구개발 추진 일정/체계



제5세부과제 연구개발 내용 및 평가 착안점:

세부 연구목표	세부 연구개발 내용	평가목표 및 착안점
국내, 외 잔류방사능 특성 평가 방법론 분석	잔류방사능 특성 방법론 분석 고방사성 환경오염 측정 및 평가 기술 분석	• 국내, 외 잔류방사능 특성 평가 방법론 분석 여부
고방사성 환경 적용 방법론 특이점 분석	기존 핵시설과 고방사성 환경에 적용된 방법론 특이점 분석	• 고방사성 환경 적용 방법론 특이점 분석 여부
고방사성 환경에 적합한 재이용 시나리오 개발	국내 특성을 고려한 다양한 재이용 시나리오 개발 비교 및 평가를 통한 평가 모델 수립	• 고방사성 환경에 적합한 재이용 시나리오 개발 여부
개발 시나리오 RESRAD 적용 피폭 선량 계산	국내 실정을 반영한 재이용 시나리오의 RESRAD 적용 피폭선량 평가 시나리오 및 관련 매개변수 민감도 분석 등의 영향 평가	• 개발 시나리오의 RESRAD 적용한 피폭 선량 계산 여부
잔류 방사능 계측 및 해체 관련 방사선/능 조사절 차 및 방법론 개발	MARSSIM 근거 잔류 방사능 계측 설계 적용 및 한계점 분석 국내 상황 고려한 고유의 해체 관련 방사선/능 조사절차 및 방법론 개발	• 잔류 방사능 계측 및 해체 관련 방사선/ 능 조사절차 및 방법론 개발
재이용 시나리오에 따른 방사선학적 환경영향 평가 기술 개발	RESRAD 적용 작업자, 주민 피폭선량 및 DCGL 도출 국내 방법론 개발 및 적용	• 재이용 시나리오에 따른 방사선학적 환 경영향 평가 기술 개발 여부

3.2. 미래원자력연구센터: 인력양성

- 2009년 연구재단 미래연구자 인력양성사업으로 TOHOKU대학에 학부생/대학원생을 보내 ‘기초 핵주기 실험교육’ 실시시작. 인력양성 사업은 중단(일몰)되었고, 현재는 KONICOF 주관 ‘원자력 글러벌 연구자육성 프로그램(핵주기분야)’로 8명의 대학원생을 선발하여 TOHOKU대학에서 민감물질을 다루는 ‘고급 핵주기 실험교육’ 실시중.
- 2017년 누적 실험교육 인원 138명으로 성공적으로 수행된 실험교육임.
- 미래원자력연구센터 주관기관인 경희대학교에 ‘기초 핵주기 실험교육’ 관련 장비를 구축하였음. 따라서 기초핵주기 실험교육은 미래원자력연구센터를 통해 국내에서 실시(연 20-30명). 그리고 기초 핵주기 실험교육을 이수한 학생을 대상으로 8명을 선발하여 TOHOKU대학에서 고급 핵주기 실험교육 실시(KONICOF와 의견공유).
- 기초 핵주기 실험교육

우라늄 용해/추출/산화/환원/구조해석



TBP이용 U/FP혼합용액에서 U분리



3.2. 미래원자력연구센터: 인력양성(계속)

- 미래원자력연구센터(경희대학교) 구축장비



출입통제장비



오염검사장비



TG/DSC



XRD



LSC



Ge-Detector



방사화학 실험장비



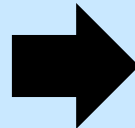
RI 전용 HOOD

인력양성

현 재

KONICOF 주관
대학원생 선발

기초교육(이론) 후
TOHOKU 대학에서
고급 핵주기 실험교육 실시



미래원자력연구센터의 기초실험교육을 통한 인력양성

미래원자력
연구센터 주관

핵주기/제염
기초실험교육
(연 20~30명)

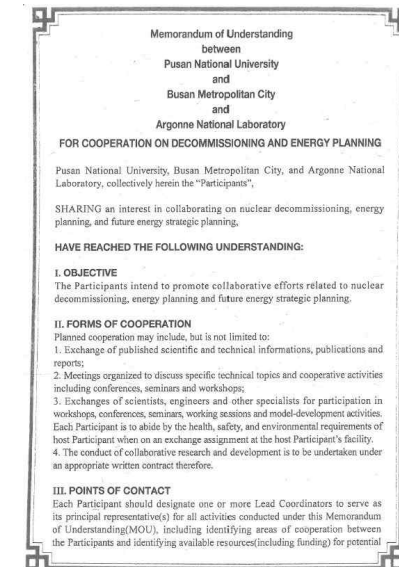
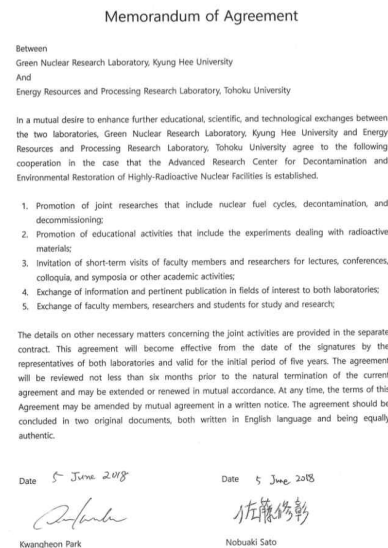
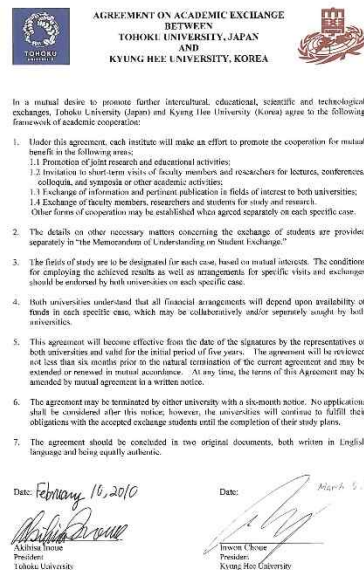
8명
선발

KONICOF 주관

TOHOKU 대학
고급핵주기
실험교육

3.3. 미래원자력연구센터: 국제협력

- 미래원자력연구센터 주관기관인 경희대학교와 TOHOKU대학간 맺은 교류협정을 바탕으로 TOHOKU대학과 국제협력.
- 연 1회이상 본 센터와 TOHOKU대학과 국제 Workshop 시행. 상대기관은 Center for Mineral Processing and Metallurgy /TOHOKU 대학.



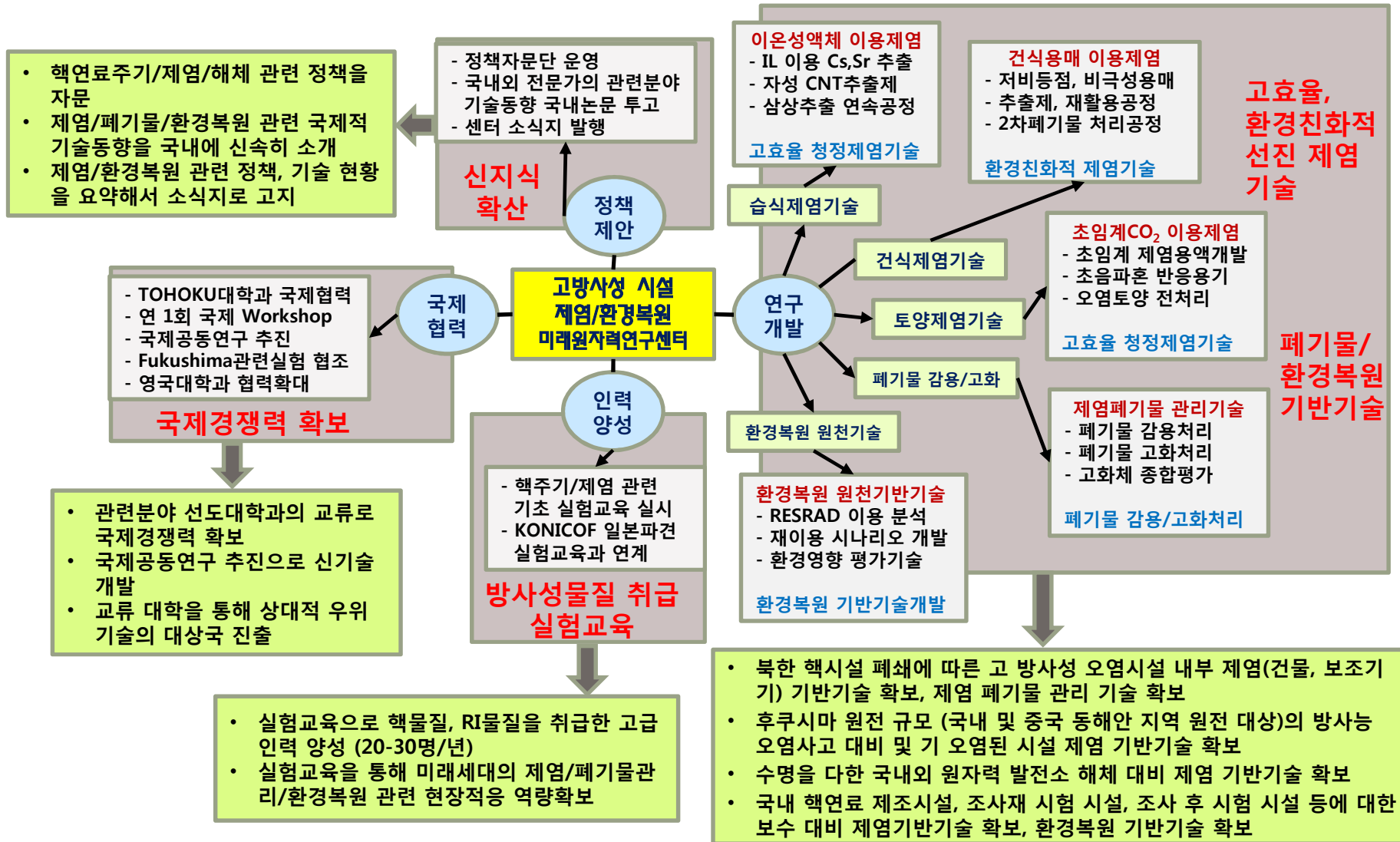
- TOHOKU대학 RI Lab.의 협조로 후쿠시마 원전사고 시설 제염실험 참여.
- 고방사능 오염시설 제염관련 TOHOKU대학과 국제공동연구 추진.
- 후행핵주기/제염 관련 실험교육 공동개발.
- 국제협력 기관확대: 영국 U.Sheffield(MIDAS), U.Manchester, Imperial College.
미국 Argonne National Lab. ...

3.4. 미래원자력연구센터: 정책제안, 기술동향 제공

- 미래원자력연구센터는 원자력 전략기술 분야에 대한 정보제공 및 기술정책을 지원할 의무가 있음.
- 본 센터에 ‘후행핵주기/제염해체 정책자문단’ 을 구성/운영하여 전략기술에 대한 정보제공 및 기술정책을 지원하려 함.
- **분기별** 1회 모임. 정책자문 회의록. 현안발생시 보고서 작성.
- 자문위원 명단(주후 계속 영입예정)
 - 황주호 (경희대학교 원자력공학과 교수)
 - 송기찬 (원자력연구원)
 - 박한규 (경희대학교 국제대학원 교수)
 - 김상국 (경희대학교 명예교수, 전 국가과학기술위원회 정책전문위원장)
- 기술동향 제공: 본 센터에 관련된 기술/연구의 동향 및 현황을 **분기별**로 국내/외 전문가에게 논문형태로 국내논문집에 투고의뢰. 대상 논문집: 방사성폐기물학회, 표면공학회. **연 1회** 센터 소식지 발행.

4. 활용방안 및 기대효과

• 활용방안:



원자력연구기반확충사업
미래원자력연구센터



THANK YOU