

원전 해체 기술

-제염 해체 산업 기술과 해체 사례-



김희령

February 10, 2017



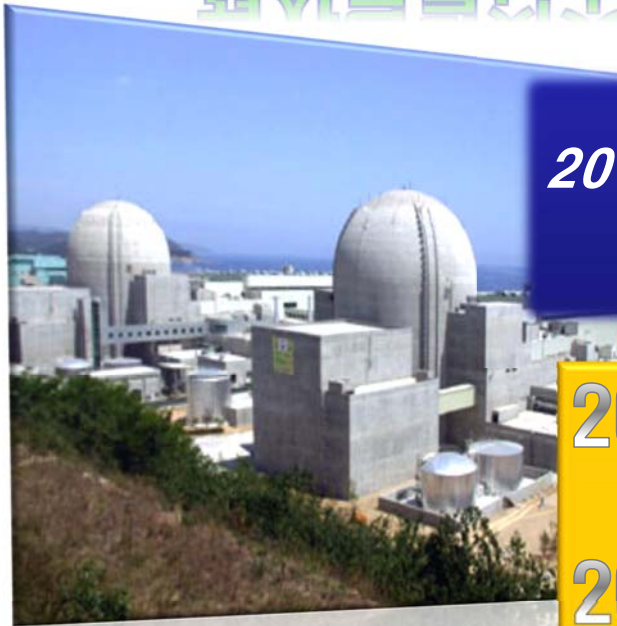
Ulsan National Institute of Science and Technology

목 차

- I. 제염해체의 개요
- II. 제염해체의 준비
- III. 제염해체 기술
- IV. 국내 원자로 해체 경험
- V. 확보 및 미확보 기술
- VI. 제염해체 기술 개발 기본 로드맵
- VII. 해외 제염해체 사업 실적
- VIII. 원전 해체 연구개발 전망

들어가며...

원자력발전소 해체 시장



2015년 6월 고리 1호기
폐로 결정!!

2030년 350조원?

2050년 1,000조원?

후쿠시마 폐로복구 265조원?

3

I. 제염해체 개요

◆ 제염해체의 정의

- IAEA
원자력시설의 고유기능 제거 시 작업자 및 일반 대중의 건강과 안전을 확보하고 환경을 보호하면서 원자력시설의 사용연한이 끝나는 단계에서 취해지는 일련의 모든 행위
- 유럽연합
원자력시설의 운영 정지 후, 작업자와 일반대중의 보건과 안전을 확보하고 환경을 보호하면서 시설의 철거를 위해 취해지는 일련의 모든 기술적 행정적 행위
- 미국
시설을 운영상태로부터 안전하게 해체하여 아무 제한 없이 사용이 가능한 수준까지 잔류 방사능을 감소시킨 다음 운영허가를 종결시키는 것
- 한국
시설의 운영을 영구적으로 정지한 후, 해당 시설과 부지를 철거하거나 방사성오염을 제거함으로써 법의 적용대상에서 배제하기 위한 모든 활동

4

I. 제염해체 개요

◆ 제염해체의 종류

▪ 즉시해체(Immediate Dismantling, DECON)

원자력 시설의 해체가 결정되고 시설의 운전이 영구 정지되면 운전 허가의 종료 가능한 정도까지 방사성 물질로 오염된 장비, 구조물, 시설 및 부지의 일부분을 해체하는 방법이다.

▪ 지연해체(Deferred Dismantling, SAFSTOR)

원자력 시설의 일부분을 안전하게 밀봉(Safe storage)하여 안전한 상태로 유지 보수하여 해체가 가능한 상태를 30 ~ 50년 유지한 후 해체하는 방법이다.

▪ 영구밀봉(ENTOMBMENT)

원자력 시설의 방사능을 띠고 있는 시설 일부를 화학적으로 안정적이며 구조적으로 장기간 견딜 수 있는 콘크리트와 같은 물질로 둘러싸고 더 이상의 해체행위를 하지 않는 방법이다.

5

I. 제염해체 개요

◆ 제염해체의 종류

	장점	단점
즉시해체	운전정지 후 바로 해체를 시작해 가능한 빠른 시일 내 해체작업을 완료하는 방식으로 유지비용과 안전관리비용이 적게 든다	방사선 피폭위험이 가장 큰 방식이며 해체 폐기물량이 많다
지연해체	방사성물질의 반감기를 고려해서 30~60년의 긴 시간 동안 시설을 폐쇄하는 것으로 안전한 방법이다	핵폐기물 처리가 상대적으로 어렵고 해당구역 통제를 위해 비용이 늘어 날 수 있다
영구밀봉	지연해체의 경우 최대 60년인 것에 비해 영구밀봉은 300년까지 보관기간이 연장되어 안전하다	장기간 보관 시 방사성물질이 자연으로 흘러갈 가능성이 높다

6

I. 제염해체 개요

◆ 제염해체의 종류



7

I. 제염해체 개요

◆ NRC 규제 하의 원자력 발전소 해체 현황

발전소	종류	위치	정지 일시	해체 전략
Crystal River 3	PWR	Crystal River, FL	02/20/13	자연해체
Dresden 1	BWR	Morris, IL	10/31/78	자연해체
Fermi 1	Fast Breeder	Monroe Co., MI	09/22/72	자연해체
GE VBWR	BWR	Alameda Co., CA	12/09/63	자연해체
Humboldt Bay 3	BWR	Eureka, CA	07/02/76	즉시해체
Indian Point 1	PWR	Buchanan, NY	10/31/74	자연해체
Kewaunee	PWR	Carlton, WI	05/07/13	자연해체
LaCrosse	BWR	LaCrosse, WI	04/30/87	즉시해체
Millstone 1	BWR	Waterford, CT	07/21/88	자연해체
N.S. Savannah	PWR	Norfolk, VA	11/70	자연해체
Peach Bottom 1	HTGR	York Co., PA	10/31/74	자연해체
San Onofre 1	PWR	San Clemente, CA	11/30/92	자연해체
San Onofre 2 and 3	PWR	San Clemente, CA	06/12/13	자연해체
Three Mile Island 2	PWR	Middletown, PA	03/28/79	자연해체
Zion 1 and 2	PWR	Zion, IL	02/21/97, 09/19/96	즉시해체

8

I. 제염해체 개요

◆ 각국의 원자력 발전소 해체 전략

국가	원전 해체 정책
미 국 (USA)	자연해체 방식에서 즉시해체 방식으로 전환
일 본 (Japan)	밀폐관리 후 즉시해체 방식
독 일 (Germany)	자연해체 방식에서 즉시해체 방식으로 전환
프랑스 (France)	자연해체 방식에서 즉시해체 방식으로 전환
영 국 (UK)	노형 특성상 자연해체 방식
캐나다 (Canada) 이탈리아 (Italy) 불가리아 (Bulgaria)	밀폐관리 후 즉시해체 방식

*출처: 한양대 김용수교수, 원전해체 기술교류회 세미나 및 원전해체 교육자료(2015)

9

I. 제염해체 개요

◆ 제염해체의 진행과정



- 정지부터 해체준비까지 5년, 제염에서부터 폐기물처리까지 10년, 부지 복원하는데 5년으로 총 20년 이상의 기간이 소요된다.
 - 초기(5년)**
사용후 핵연료 제거, 시설유지관리, 해체전략수립 및 기획, 시설특성조사, 해체계획수립, 인허가
 - 중간(10년)**
핵심설비 제염, 건물제염, 핵심설비해체, 2차 및 보조계통해체, 기타구조물/설비 해체, 폐기물처리, 포장 및 이송
 - 마무리(5년)**
최종현황조사, 부지복원 및 개방

10

I. 제염해체 개요

◆ 방사성 폐기물의 분류

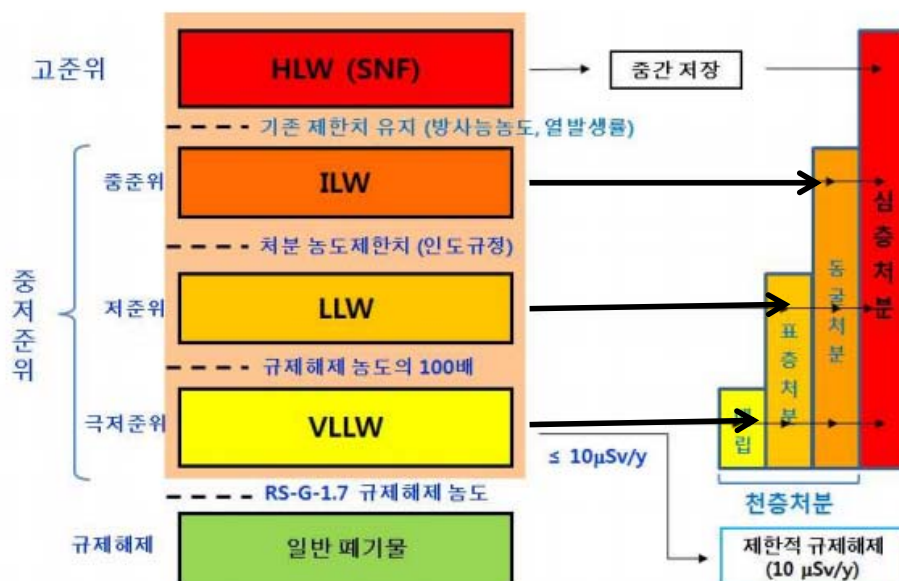
분류	기준	방사성폐기물 종류 및 발생량
고준위 폐기물	반감기 및 열발생률 (SNF)	<ul style="list-style-type: none"> 반감기 : 20년 이상 핵종 : 알파핵종 농도 : 4,000 Bq/g 열발생률 : 2 kW/m³
중준위 폐기물	저준위 기준 초과	<ul style="list-style-type: none"> 저준위폐기물 분류기준 이상 폐밀봉선원, 고방사능 폐수지 ※ 농도 범위는 넓지만, 폐기물의 양은 상대적으로 적음
저준위 폐기물	처분장 침입자 선량 연간 1 mSv 이하	<ul style="list-style-type: none"> 10핵종 및 전알파 기준* 이하 공단인수기준 충족 ※ 처분장의 처분시설별 인도기준은 사업자가 정하도록 규정
극저준위 폐기물	처분시 방호 기능 상실한 경우에도 1 mSv 이하	<ul style="list-style-type: none"> 규제해제의 100배 미만 반감기 20년 이상인 알파핵종은 농도와 관계없이 극저준위로 분류 ※ KNF의 불산폐기물 등은 무조건 규제 해제 하지 않음
규제해제 폐기물	연간 10 μSv 이하	IAEA RS-G 1.7에서 정한 기준 농도 또는 선량 이하의 모든 핵종

* 농도(Bq/g) : H-3(1.11×10^6), C-14(2.22×10^3), Co-60(3.70×10^4), Ni-59(7.40×10^4), Ni-63(1.11×10^7), Sr-90(7.40×10^4), Nb-94(1.11×10^2), Tc-99(1.11×10^3), I-129(3.70×10^1), Cs-137(1.11×10^6), 전알파(3.70×10^3)

11

I. 제염해체 개요

◆ 방사선 준위별 처분 방법



12

I. 제염해체 개요

◆ 방사선 준위별 처분 방법

- 저준위 방사성폐기물
 - 저준위 폐기물의 경우에는 방사선 위험도가 상대적으로 낮은 수준이므로, 폐기물을 격납하고 격리하는 기능이 크게 요구되지 않으며 주로 일반적인(공학적) 천층처분시설에 처분
- 중준위 방사성폐기물
 - 발전용 원자로 및 기타 핵주기시설 등과 같은 원자력시설에서 발생한 상대적으로 높은 수준의 방사능을 띤 폐기물(예, 폐수지, 폐필터, 방사화된 기기 및 구조물 등)로 일정 수준이상의 격납, 격리 성능이 요구되는 처분시설에 처분
- 고준위 방사성 폐기물
 - 원자로 내부 구조물 중 심하게 방사화된 물질을 뜻하며, 사용 후 핵연료 저장 수조에 저장 후 처분 방안이 결정되면 이에 따라 처리하나 대부분 핵연료와 동일하게 건식 중간 저장된다.

13

II. 제염해체의 준비

◆ 해체 과정

- 해체의 진행도를 나타내기 위하여 합의하에 정의하여 사용함
- 일반적인 해체 과정은 아래의 순서를 따름
 - 시설의 운전 영구정지
 - 해체 계획 수립
 - 인허가 및 해체 시방서 등의 작성
 - 제염 및 절단 공사
 - 폐기물의 처리
 - 부지 규제 해제
- 단, 기술적인 과정의 종류는 각 국가마다 매우 상이함으로 IAEA는 시설의 물리적 상황과 방사선 감시 계획의 정도로서 해체 단계를 정의하여 사용함

14

II. 제염해체의 준비

◆ IAEA 해체 단계

- 제 1 단계
 - 제 1 오염 방벽이 유지되나 방벽을 통한 모든 물리적인 연결 부분이 절단 및 차단됨
 - 주요 시설 내부의 방사선이 계속 감시되며 위험의 확산을 막을 수 있음
 - 주요 시설에 공급 및 배출되는 모든 배관이 차단됨
- 제 2 단계
 - 제 1 오염 방벽이 최소화됨 (원자로 기준 차폐 콘크리트 수준)
 - 용이하게 제거 가능한 모든 장치 및 시설이 절단, 제거됨
 - 방벽 이외의 부분은 목표치 이하로 제염되며 환기 시설이 불필요해야 함
- 제 3 단계
 - 오염지역에서의 모든 장비 및 시설이 제거되었으며 잔류 방사능의 양이 목표치 이하로 제염됨
 - 규제 해제를 받을 수 있을 정도로서 방사선 감시 및 시험 검사가 불필요함

15

II. 제염해체의 준비

◆ NRC 해체 단계

- NRC 기준으로 원자력 발전소의 조업 중단 결정 시 60년 내에 해체하여야 하며 이는 해체 계획 단계, 주 해체 업무 및 규제 해제로 나뉨
- 해체 계획 단계
 - 발전소의 운전 허가자는 운전 중지 결정일로부터 30일 이내에 NRC에 이를 통보함
 - 핵연료를 제거 및 신고하며 이후의 조치 사항을 보고함
 - 원자로의 정지 후 2년 이내에 해체계획서 (PSDAR)를 제출하며 아래의 내용을 포함
 - 계획된 해체활동에 대한 설명
 - 이들 해체 활동을 수행할 일정 계획
 - 예상되는 원가
 - 환경 영향에 관한 고려
 - 해체계획서 접수 후 90일 이내에 의무적으로 일반 주민을 대상으로 공청회를 개최하여 의견을 반영함

16

II. 제염해체의 준비

◆ NRC 해체 단계

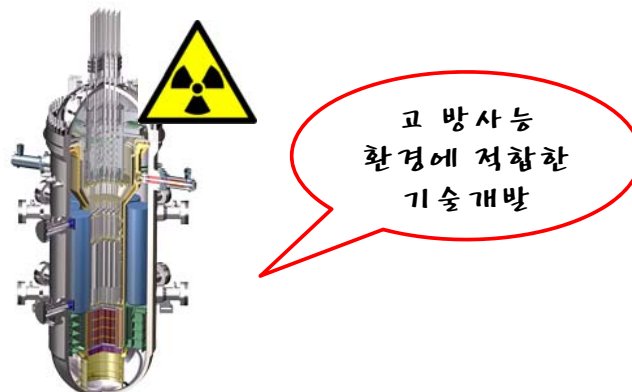
- 주 해체 업무
 - 해체 계획 단계의 절차가 완료되면 주 해체 업무를 수행 가능하지만 아래의 경우 이를 보류해야 함
 - 해체 작업에 부지의 무제한적 사용이 방해되는 작업이 포함된 경우
 - 환경에 상당한 영향이 고려되며 이에 대한 사전평가가 진행되지 않은 경우
 - 해체 소요 자금의 확보가 불투명한 경우
 - 해체하려는 시설에 따라 case-by-case 원칙으로 사업자가 기술적 설명서를 개발해야 함
 - 원자력 발전소의 구조물, 시스템 및 부품의 조건과 성능에 관하여 지속적인 관찰이 요구됨
 - 안전성 분석보고서를 지속적으로 제출해야 함
 - 방사성 물질의 누출과 확산을 염려하여 알맞은 방사선 방호 프로그램을 수립해야 함

17

III. 제염해체기술_원격 절단/철거 기술

◆ 원격 절단/철거 기술의 개요

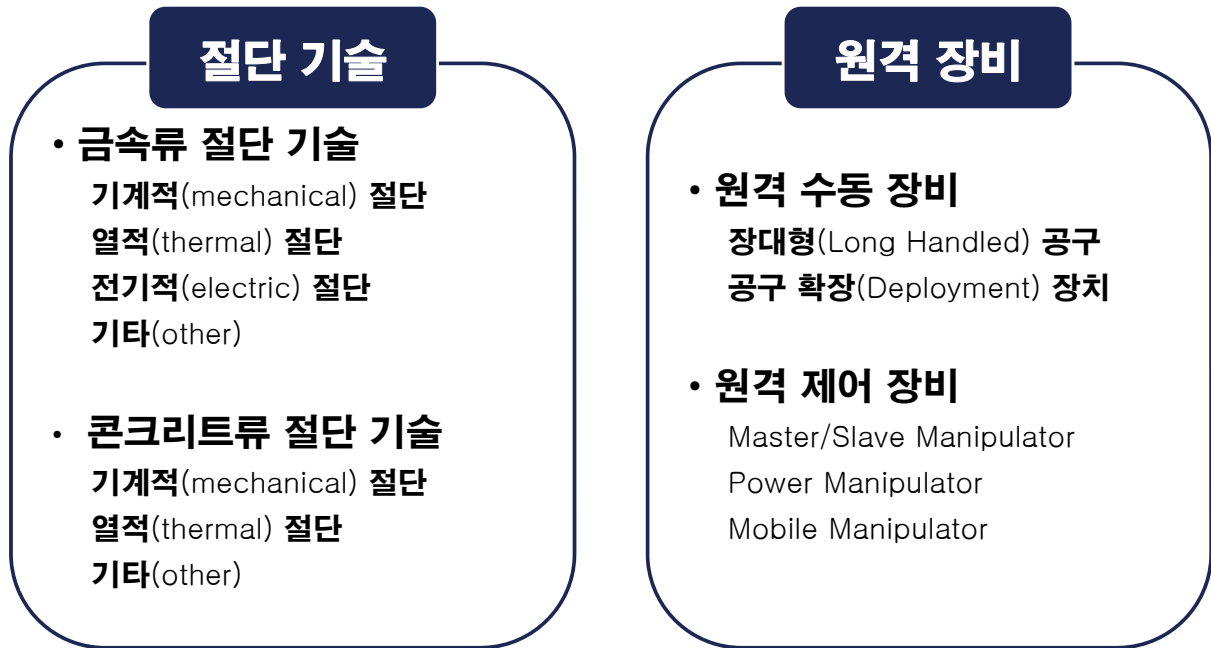
- 원자력시설의 설비나 구조물을 열적, 기계적, 전기적 절단 기술을 이용하여 제거하는 것
- 작업자의 접근이 곤란한 고 방사능 환경에서 해체 작업을 진행하기 위하여 원격 절단 혹은 철거 기술이 요구됨
- 요구되는 최종 상태에 따라 완전제거 또는 최소제거의 전략을 취할 수 있음
 - 완전 제거: 전체설비 완전 제거
 - 최소 제거: 방사능 오염 장비, 구조물만 제거



18

III. 제염해체기술_원격 절단/철거 기술

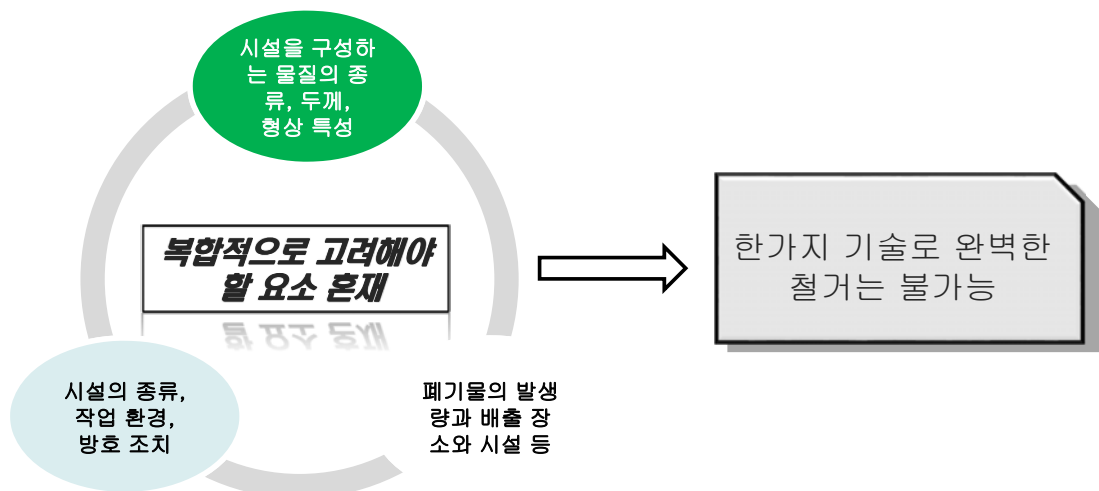
◆ 원격 절단/철거의 분류



19

III. 제염해체기술_원격 절단/철거 기술

◆ 원격 절단/철거 기술의 특징



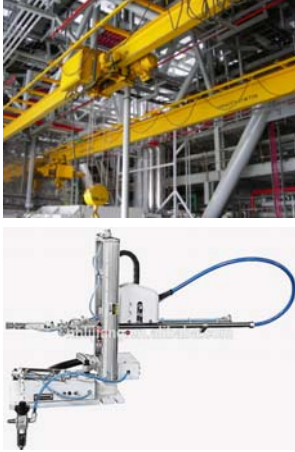
- 콘크리트 외벽, 터빈, 발전기, 원자로 냉각 계통 배관 등 다양한 시설이 철거 대상이 되며 따라서 각각의 재료, 환경, 폐기물 관리, 일정/공기/비용 등을 모두 고려해야 함

20

III. 제염해체기술_ 원격 절단/철거 기술

◆ 원격 절단/철거의 절차

해체 대상으로
절단 장비 이송



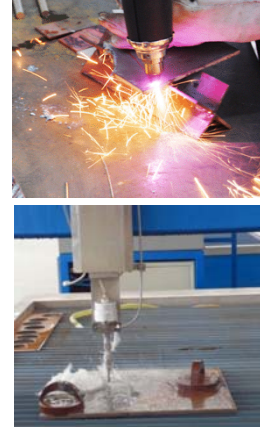
이송장비
 • 크레인
 • 호이스트
 • 텔레스코픽 기구
 • 바퀴 또는 트랙형 이동장비

절단 장비의
정밀 제어



매니퓰레이터
 • 유압 또는 전동
 • 작업하중 30~150 kg
 • 6 자유도 정교한 작업

절단 작업 수행



절단장비
 • 고압 워터젯
 • 플라스마 아크절단기
 • 밀링 절단기
 • 유압절단기 등

21

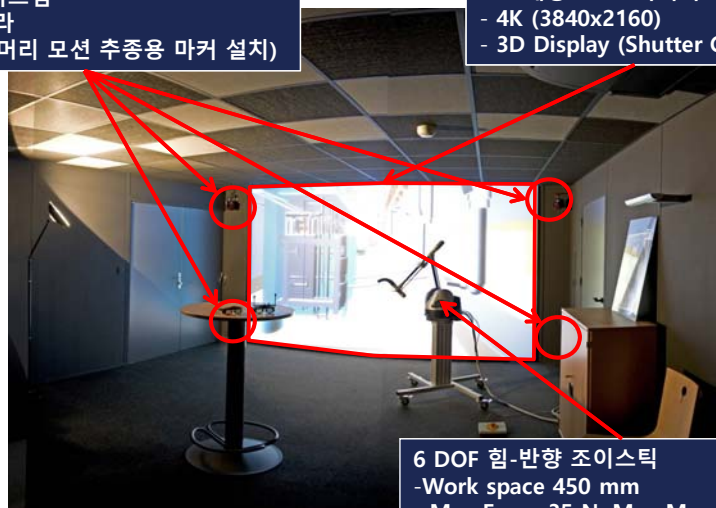
III. 제염해체기술_ 원격 절단/철거 기술

◆ 원격 절단/철거 기술 개발

- 실감형 원격절단 시뮬레이터

모션 캡처 시스템
 - 4 IR 카메라
 - 3D 안경 (머리 모션 추종용 마커 설치)

초고해상도 3D 가시화 시스템
 - 4K (3840x2160)
 - 3D Display (Shutter Glass)



6 DOF 힘-반향 조이스틱
 - Work space 450 mm
 - Max Force 35 N, Max Moment 3 mN

22

III. 제염해체기술_ 원격 절단/철거 기술

◆ 원격 절단/철거 기술 개발

- 원격절단 시스템 및 유압 매니플레이터



23

*참조: '국내 원전 제염해체 기술 개발 계획' 서범경

III. 제염해체기술_ 원격 절단/철거 기술

◆ 원격 절단/철거 기술 개발

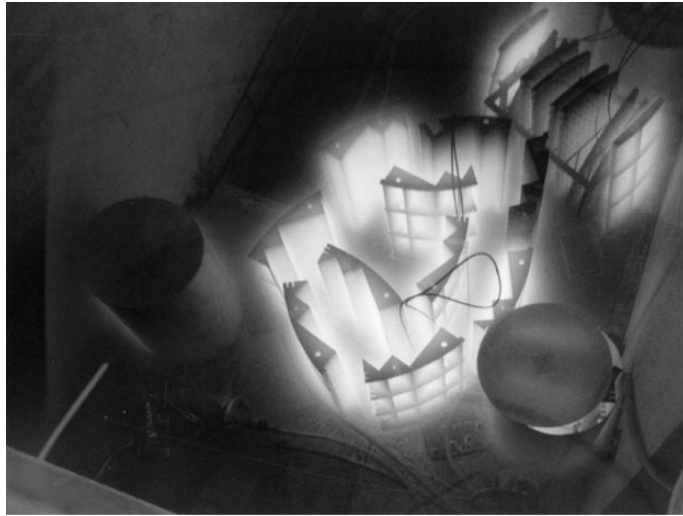
Laser Cutting	Abrasive Waterjet
<ul style="list-style-type: none"> 레이저 광선을 집광, 직접 절단부위에 조사하여 용융시키고 보조 가스로 용융부분을 불어냄으로써 절단하는 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 초고압의 물을 작은 구멍으로 통과시켜 재료에 충격을 가하여 절단하는 기술
 <p>100 mm 두께 절단 (8 kW)</p> <p>산업용 레이저 절단기</p>	 <p>Inlet Water Jewel Abrasive Guard Mixing Tube</p>
<ul style="list-style-type: none"> 좁은 절단면, 열 영향부, 공차범위, 정교한 절단윤곽 절단 자재의 뒤틀림 현상 최소화, 응력발생이 없는 점 높은 재생성 	<ul style="list-style-type: none"> 재료에 대한 변형 및 잔류 응력이 없음 대기 중에 분진의 비산이 적음 절단 반력이 작아서 노즐이동 용이, 원격 제어가 쉬움
<ul style="list-style-type: none"> 투자비용이 높고 에너지 소비량 대비 절단 효율성이 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> 다량의 오수와 연마재를 처리해야 함

24

*참조: '국내 원전 제염해체 기술 개발 계획' 서범경

III. 제염해체기술_ 원격 절단/철거 기술

◆ 원격 절단/철거 기술의 사례 - Maine Yankee



< Maine Yankee 가압용기 내부 분할 >

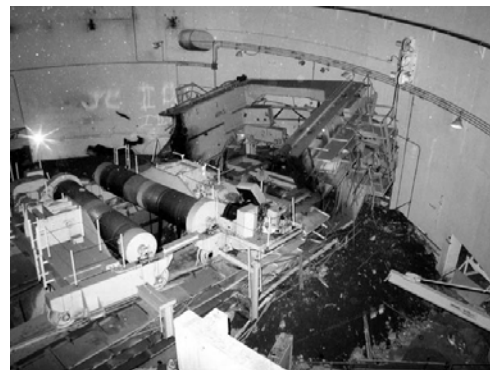
- 4-축 원격조종로봇 매니플레이터를 이용하여 water jet cutting을 원격으로 작업하여 가압용기 내부 절단을 진행하였음
- 사설 제작한 삭구 장비 (rigging equipment)를 사용하여 내부 구조체를 들어올리거나 위치를 잡음

25

III. 제염해체기술_ 원격 절단/철거 기술

◆ 원격 절단/철거 기술의 사례 - Maine Yankee

- 폭발물을 사용하여 원형천정크레인을 내려 앉힌 모습
- 격납 용기 내부에 사용후 핵연료 보관 수조에 영향을 끼치지 않기 위해 정밀하게 폭발을 설계하여 진행함.



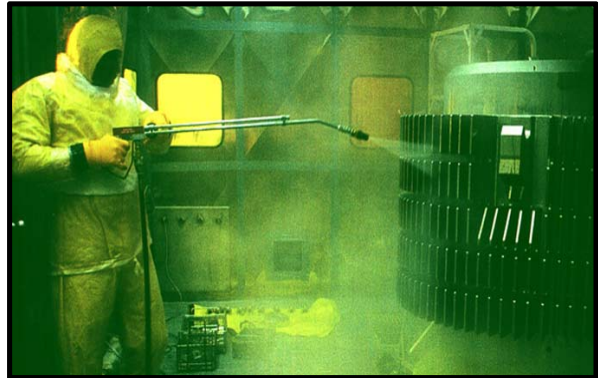
- 폭발물을 사용하여 격납 용기를 철거함.

26

III. 제염해체기술_ 제염 기술

◆ 제염이란?

- 원자로의 해체를 진행함에 있어 해체대상의 기기 등에 부착된 방사성물질 제거하는 작업
- 원자력시설의 해체 후 부지를 그린환경으로 복원하거나 최근 후쿠시마 원전 사고 환경 복원에 중요하게 적용되며 수명이 다한 원자력시설 해체 시 작업자의 방사선 피해를 방지하기 위해 위해서도 필수적인 기술



27

III. 제염해체기술_ 제염 기술

◆ 제염목표

- 제염 시점에 따라 해체 전 제염과 해체 후 제염으로 나뉨
 - 해체 전 제염: 해체작업현장의 공간선량을 낮추고 작업자의 피폭선량을 저감
 - 해체 후 제염: 폐기물의 보관 및 관리를 쉽게 하고 일부 폐기물의 재이용을 가능하게 하여 방사성폐기물의 저감을 도모

III. 제염해체기술_ 제염 기술

◆ 제염 시 주안점

- 방사선 및 다른 위험성 방지

효율

- 제염 목표에 맞는 높은 제염계수

비용

- 폐기물 처리와 처분 비용의 감소

폐기물 최소화

- 비용과 인력을 소모하는 추가적인 폐기물을 최소화

산업적 효용성

- 다루기 쉽게 하고 노동 강도를 낮춤

29

III. 제염해체기술_ 제염 기술

◆ 제염 대상의 특징

- 물질 종류가 다양 (Fe, Zr, 콘크리트)
- 표면 종류가 다양 (거침, 다공성, 페인트처리, 코팅 등)
- 오염 종류가 다양 (산화물, 침전물, 슬러지, 먼지 등)
- 오염물과 방사성 핵종의 구성이 다양
- 외부 및 내부 표면, 발전소 안과 밖에 따른 다른 접근성
- 2차 폐기물의 처리 및 수용 가능성...

다양한 제염 조건에 따라 알맞은 제염 방법 선정이 중요

30

III. 제염해체기술_ 제염 기술

◆ 제염 종류

화학적 제염

- 농축시키거나 희석시킨 화학 시약을 오염된 표면에 접촉시켜 오염 물질을 용해시킴
- 장기적이고 지속적으로 진행되며 넓게 오염되거나 복잡한 구조를 가진 물질을 제염하는데 효과적이지만 방사성 화학 폐액이 발생하는 것과 제염시간이 비교적 길어지는 문제가 있음

기계적 제염

- 부착된 오염물질을 긁어내거나 씻어내어 물리적으로 제거함
- 어떠한 형태의 표면에도 잘 적용할 수 있고 가볍게 부착한 오염물의 제거에 유효하지만 많은 먼지를 생산할 수 있음

전기화학적 제염

- 오염된 물질을 전해질 수조에 넣으면 전류가 양극용해를 일으켜 금속피막과 산화막을 제거함
- 비교적 단시간에 매우 높은 제염 효율을 보이지만 화학폐액이 발생하며 제염 대상이 수조 크기에 제한됨

융해 제염

- 복잡한 구조를 가진 작은 스크랩들을 용해시켜 주괴로 만들어 폐기물 크기를 줄이고 제염하기 쉽도록 만듦
- 오염물질이 주괴 전체에 골고루 분포되어 가워지기 때문에 복잡한 구조를 가진 물질을 제염할 때 마지막으로 수행됨

플라즈마 제염

- 오염 핵종과 반응하여 휘발성 화합물을 생성시키는 원소를 함유하는 플라즈마 기체를 발생시켜 오염원인 방사성 핵종과 선택적으로 반응시켜 기화 제거 하는 것
- 2차 폐기물 발생량이 매우 적은 친환경적인 기술이면서도 습식 기술의 화학 공정을 이용해 반응 속도가 매우 빠르나 제거 효율이 플라즈마의 종류, 가스 구성, 오염물의 화학적 특성 등에 많이 의존함

31

III. 제염해체기술_ 제염 기술

◆ 화학적 제염

- 일반적으로 달린 계인 주 회로의 제염에 사용되며 장기적이고 지속적으로 진행되며 넓게 오염되거나 복잡한 구조를 가진 물질을 제염하는데 효과적임
- 전체적인 화학 과정에 충분히 숙련된 사람이 필요하며 많은 양의 2차 폐기물을 생산
- 화학적 제염의 종류: 킬레이트화와 유기산, Can-Decon법, Ge-dilute법, LOMI법, 황산세륨법, TechXtract 등



32

III. 제염해체기술_ 제염 기술

◆ 기계적 제염

- 어떠한 형태의 표면에도 잘 적용할 수 있고 가볍게 부착한 오염물의 제거에 유효하지만 많은 먼지를 생산할 수 있음
- 거의 유일하게 다공성 표면을 제염할 수 있음
- 비슷한 형태의 다른 기술과 같이 결합하여 사용될 수 있음
- 기계적 제염의 종류: 초음파세정, 고압수제트법, 블라스트법, 스트리퍼블 코팅, 드라이아이스 분사 등



33

III. 제염해체기술_ 제염 기술

◆ 전기화학적 제염

- 탄소강, 스테인리스강 및 알루미늄 처리에 유용하며 상업적으로 유효하고 상대적으로 저렴하며 제염속도가 빠름
- 매우 높은 제염 효율을 보이지만 수조 크기에 제한되어 작은 크기 물질 제염에 주로 사용됨
- 전기화학적 제염의 종류: 전해연마법



34

◆ 용해 제염

- 오염물질이 주괴 전체에 골고루 분포되어 가워지기 때문에 복잡한 구조를 가진 물질을 제염할 때 마지막으로 수행됨
- 용해 과정에서 ^{137}Cs 은 제거되고 주괴의 주 방사성 핵종은 ^{60}Co 임
- 용해된 주괴는 준위에 따라 저장고로 가거나 핵시설에서 차폐체 등으로 재사용됨



III. 제염해체기술_ 제염 기술

◆ 국내 제염 기술 개발 현황

- 원전 일차계통 제염 기술
 - 미국, 독일, 프랑스 등 해외 기술 선진국에서 사용한 유기산 착화제가 포함된 화학제염기술 일부와 제염에 의한 일반부식, 틈새부식 및 부식응력 균열 등 평가기술 확보
- 대형설비/부품 제염 기술
 - 해체 후 금속부품의 저준위화 또는 재활용을 위한 분사연마, 전해연마 및 화학 침수 제염기술 등은 거의 선진국 수준이지만 복합유체 제염 기술은 아직 미흡

III. 제염해체기술_ 제염 기술

◆ 해외 제염 기술 개발

▪ Stade plant

독일의 원자력 발전소인 stade 원자력 발전소의 제염해체에서 스틸 그릿 블라스팅, 고압수 블라스팅, 화학적 세척 방법이 사용됨

- 스틸 그릿 블라스팅: 대상 물질에 철입자를 음속으로 분사하여 대상 표면의 오염물질을 벗겨냄
- 고압수 블라스팅: 대상 물질에 고압수를 분사하여 오염물질을 제거
- 화학적 세척: 화학 용액을 사용하여 오염물질을 제거

37

III. 제염해체기술_ 제염 기술

◆ 해외 제염 기술 개발

▪ Hanford Site

미국의 원자로 중 하나인 Hanford Site c 원자로의 제염해체에서 화학적 제염의 일종인 TechXtract을 사용하여 납 블록들을 성공적으로 제염함

➤ TechXtract

초음파와 화학 수조를 이용하여 오염을 제거하는 방식으로 제염 후에 발생하는 용액은 오염 물질을 제외하고는 유해물질이 없기 때문에 안전한 작업 환경을 만들 수 있고 소각, 고체화나 다른 방법을 사용하여 처리 가능

▪ Maine Yankee

미국의 원자력 발전소인 Maine Yankee 원자력 발전소에서는 Electric Power Research Institute (EPRI)와 계약한 Bradtec에서 개발한 DFD (Decontamination For Decommissioning) 방식을 사용하여 제염함

➤ DFD

희석된 플루오르붕산 (HBF_4)에 과망간산칼륨 (KMnO_4)과 옥살산 ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)을 첨가한 용액을 사용하여 화학적 제염을 수행하며 산화막을 녹이고 위에 배치된 마이크로 단위의 금속을 제거함으로써 높은 제염계수를 만들어냄

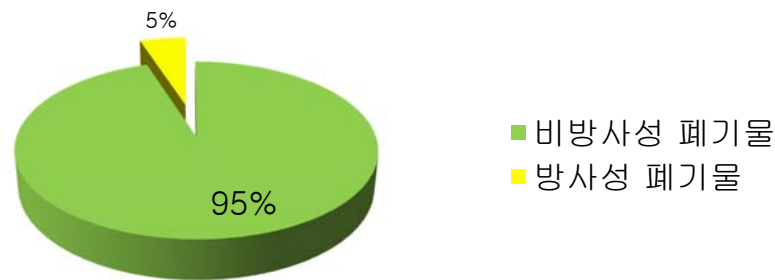
38

III. 제염해체기술_ 해체 폐기물 처리 기술

◆ 해체 폐기물 처리 기술의 개요

- 방사성 해체 폐기물의 정의
 - 원자력 시설 해체 시 발생하는 방사성물질 또는 그에 의하여 오염된 물질로서 폐기의 대상이 되는 물질
 - 95% 이상의 비방사성 폐기물과 5%이하의 방사성 폐기물로 나뉨
 - 방사성 폐기물의 경우 방사성 오염 폐기물과 방사화된 폐기물로 나뉨
- 해체 폐기물 발생량 (예측)
 - GCR(250 MWe) : 총 13,400 t
 - PWR(900~1300 MWe) : 총 6,200t

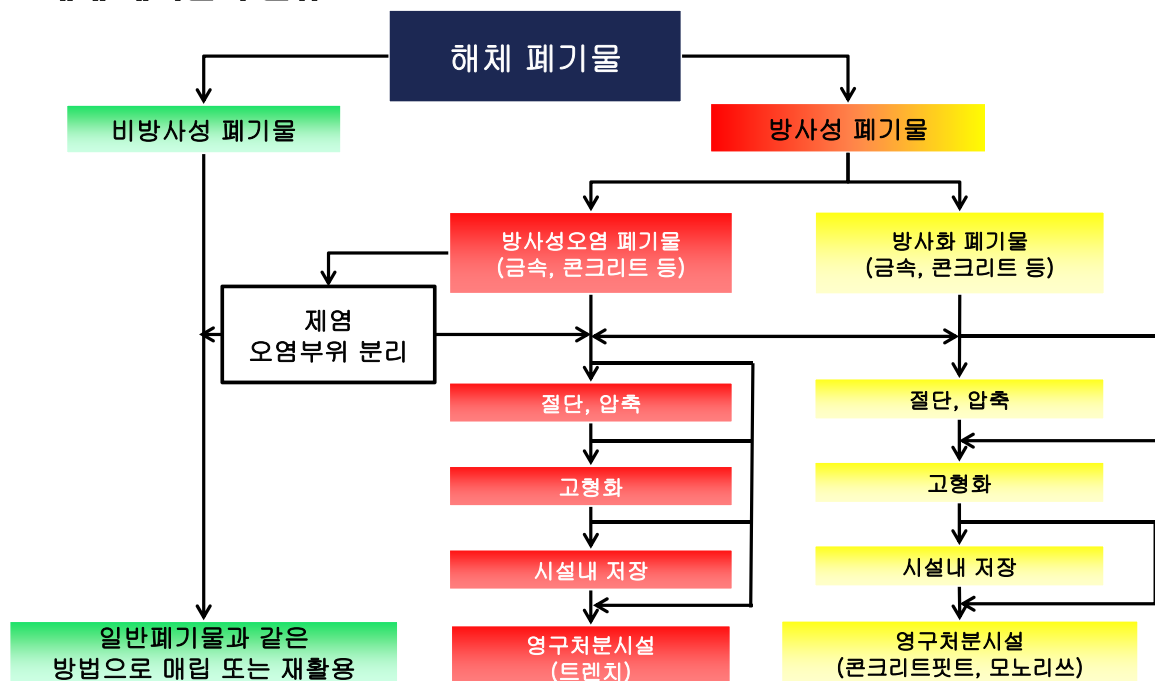
국내 해체비용은 총 6,033억으로 예측되며 그 중 폐기물처리 비용이 전체 비용의 41%(2,470억)을 차지하고 있다.



39

III. 제염해체기술_ 해체 폐기물 처리 기술

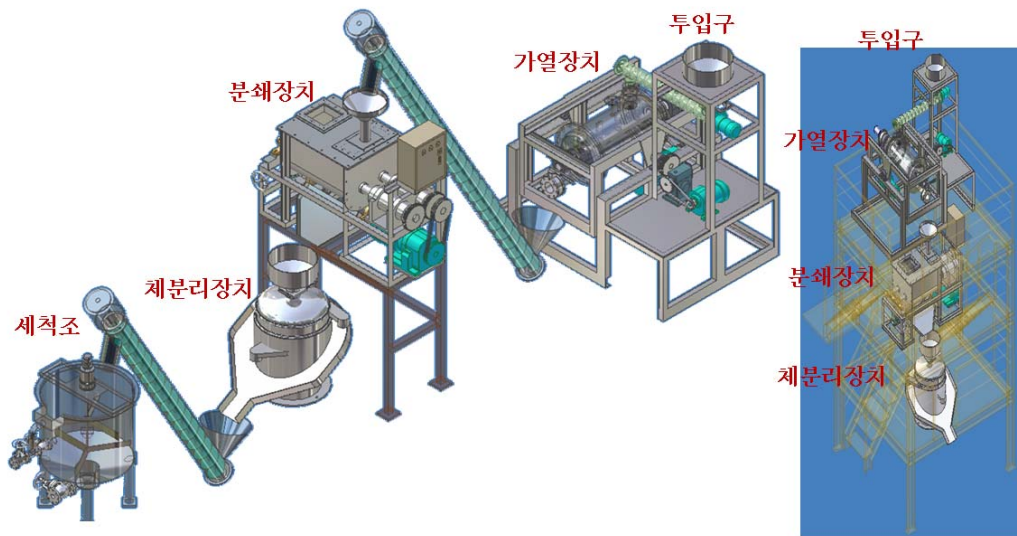
◆ 해체 폐기물의 분류



40

III. 제염해체기술_ 해체 폐기물 처리 기술

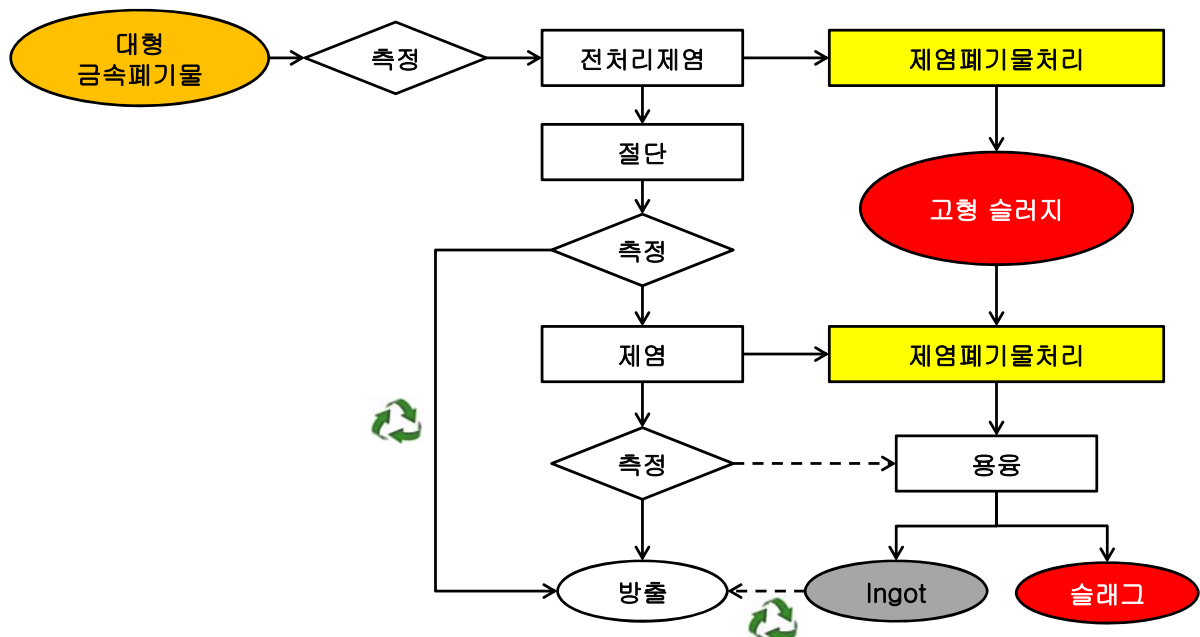
◆ 콘크리트 폐기물의 처리 과정 및 처리 시설



41

III. 제염해체기술_ 해체 폐기물 처리 기술

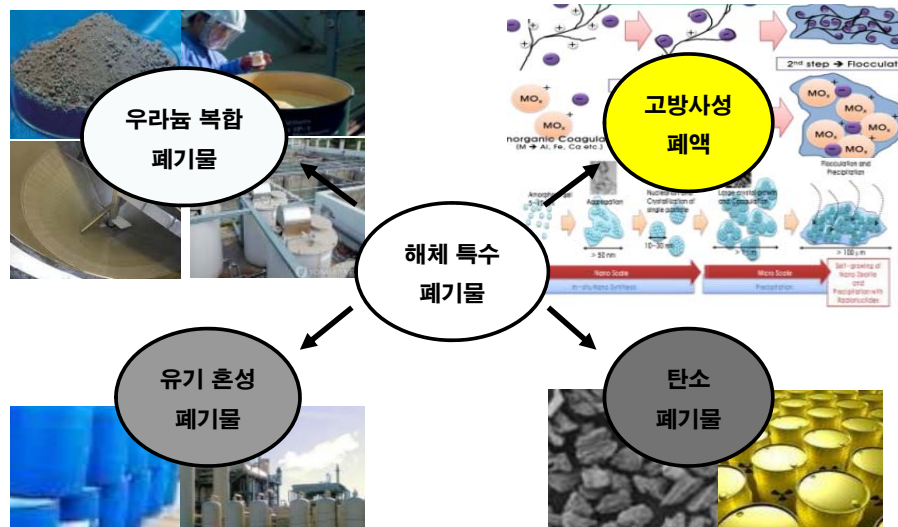
◆ 방사성 금속 폐기물 처리 기술



42

III. 제염해체기술_ 해체 폐기물 처리 기술

◆ 해체 특수 폐기물

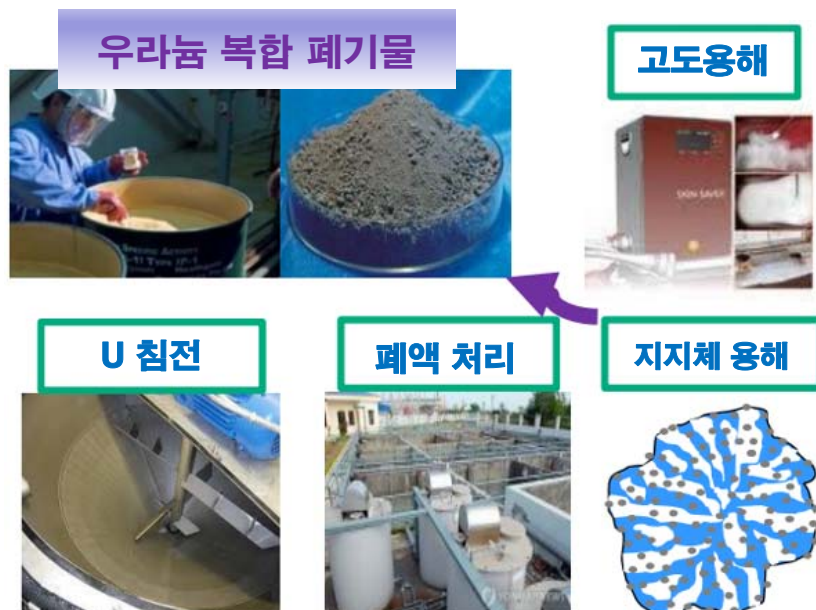


- 원자력 시설 운영/해체 시 발생하는 난처리성 해체 특수 폐기물의 친환경적 부피 감용 처리 기술 개발 필요

43

III. 제염해체기술_ 해체 폐기물 처리 기술

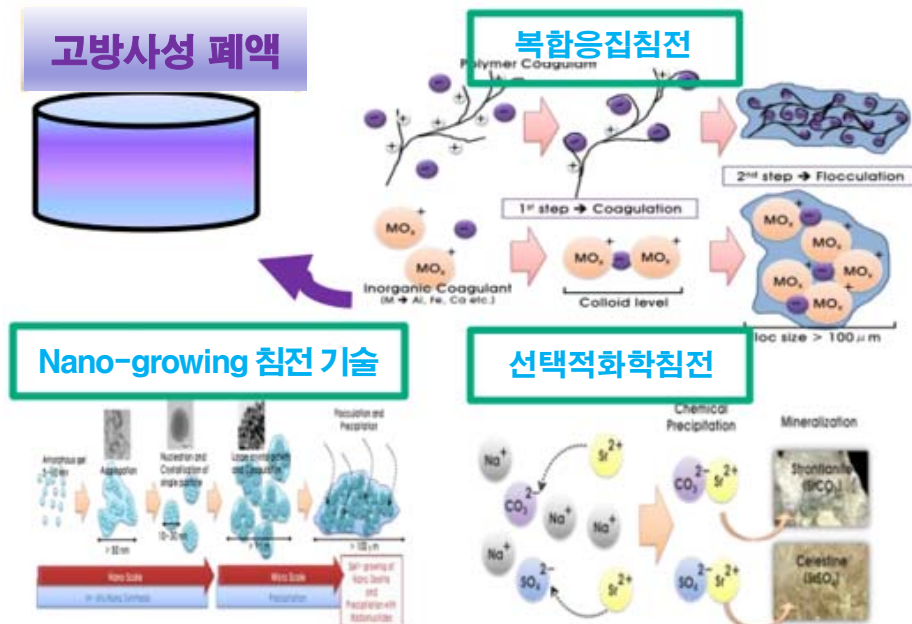
◆ 우라늄 복합 폐기물 처리 기술



44

III. 제염해체기술_ 해체 폐기물 처리 기술

◆ 고 방사성 폐액 폐기물 처리 기술

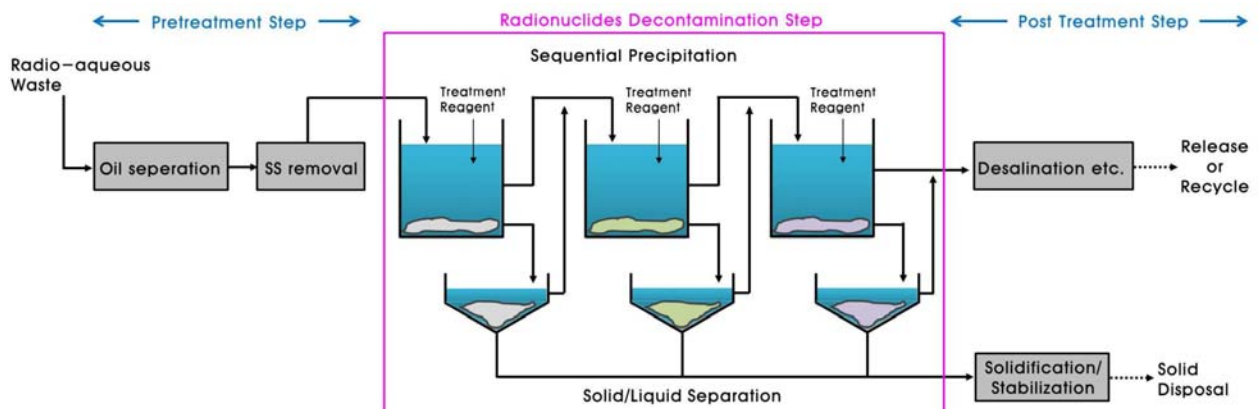


45

III. 제염해체기술_ 해체 폐기물 처리 기술

◆ 고 방사성 폐액 폐기물 처리 기술

■ 연속 핵종 침전 시스템



■ 고체 부유물 제거 효율을 높이기 위한 처리

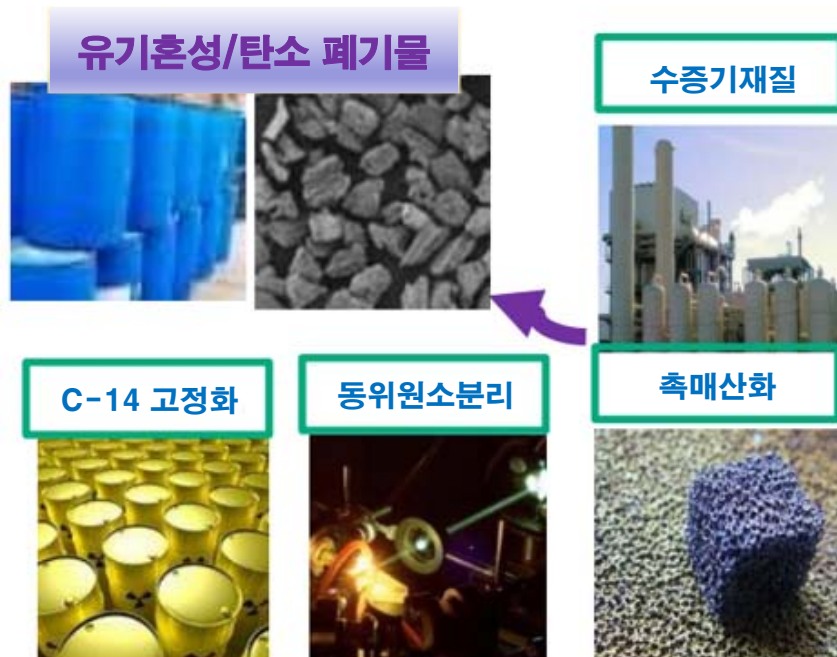
■ 핵종의 연속적인 화학/흡착/응고 침전을 통한 제거

■ 용액 담수화 및 재 활용
■ 폐기물의 고화 및 처리

46

III. 제염해체기술_ 해체 폐기물 처리 기술

◆ 유기혼성/탄소 폐기물 처리 기술

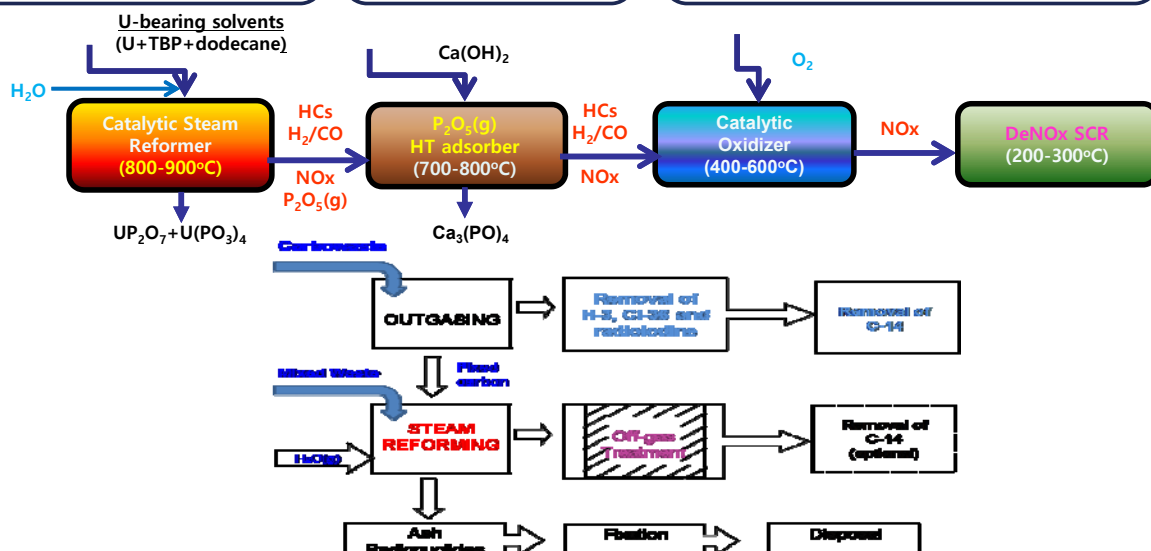


47

III. 제염해체기술_ 해체 폐기물 처리 기술

◆ 수증기 개질 - 유기 및 탄소성 폐기물 처리

- 사용 후 우라늄포함 용매 위한 불연성 촉매성 증기처리
- 인산 응결 전의 산화인 고온 흡착 처리
- 불완전 산화된 탄수화합물의 촉매산화 및 NOx의 선택적 촉매 환원



48

III. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 부지복원의 정의

- 원자력시설 이용의 최종 단계로서 수명을 다하여 해체가 완료된 부지를 최종개방하고 오염된 부지를 깨끗한 자연환경으로 되돌리기 위한 활동
- 원자력시설 해체의 최종 목표, 부지 및 건물을 재이용 목적에 맞도록 재이용

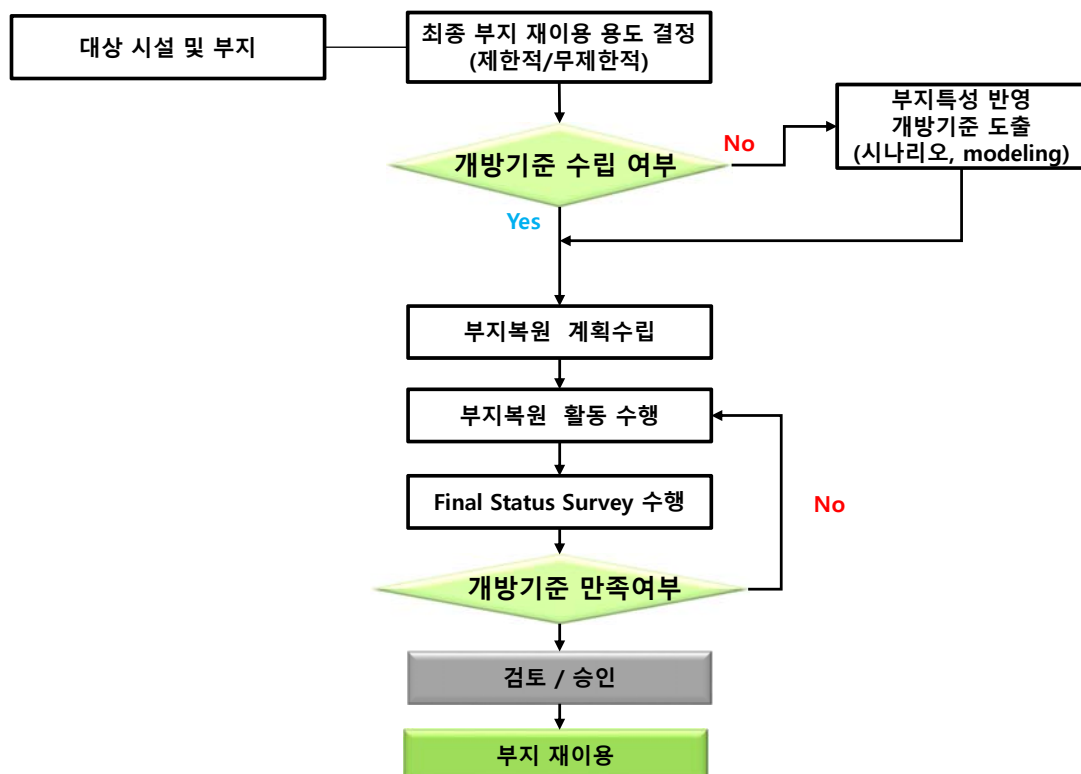
◆ 복지복원의 목적

- 원래의 자연환경으로 되돌리는 활동을 통해 방사성 오염 물질을 제거하고, 잔류방사선 조사를 통한 원자력 안전성을 확보
- 우리나라는 국토가 좁으므로 환경복원을 통해 원자력 시설로 이용되었던 부지를 재이용함으로써 활용성을 증대

49

III. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 부지복원 절차

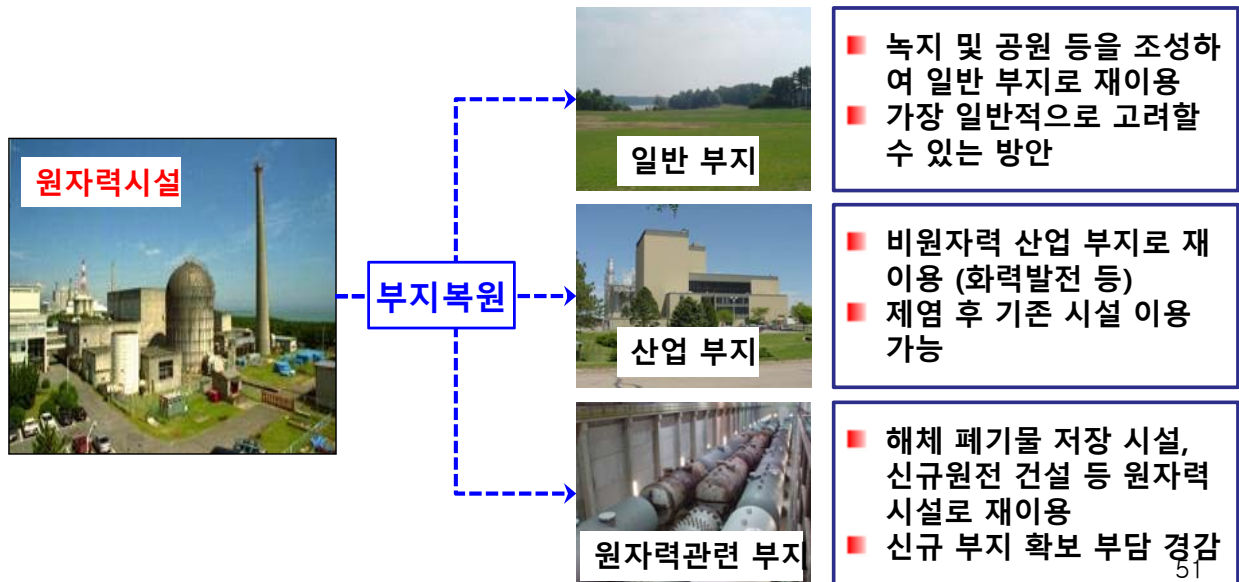


50

III. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 부지 재이용

- 해체완료 후 부지의 최종 이용 형태에 따른 환경복원 전략 수립 및 해체 범위 결정



III. 제염해체 기술_환경 복원 기술

부지 활용 전략

◆ 미국

- 해체 후 부지의 최종상태 조사 및 점검 후 제한적/무제한적 재이용
- 관련제도(LTP, FSSR 등) 및 조사 방법(MARSSIM) 정립

◆ 영국

- 해체 후 부지는 자연상태로 복원 후 규제해제
- 해체 후 제염된 부지는 방사선학적으로 주변과 상이하지 않음을 증명

◆ 일본

- 원자력발전소 해체 후 부지는 다른 원자력발전소 부지로 활용

부지 개방 기준

◆ IAEA

- 무제한적 재이용 선량 기준 : 10 ~ 300 $\mu\text{Sv/y}$ (국가별 상황 고려 선정)

◆ 미국

- NRC : 250 $\mu\text{Sv/y}$ (지하수 이용 포함), ALARA 개념 도입 최소화
- EPA : 150 $\mu\text{Sv/y}$ (지하수 40 $\mu\text{Sv/y}$)

◆ 국내

- 관련 기준 마련되지 않음, 부지 재이용 기준[안] 준비 중
- 유효선량 : 100 $\mu\text{Sv/y}$, ALARA 입증된 경우 최대 250 $\mu\text{Sv/y}$ 를 초과하지 않음

III. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 부지 규제해제 안정성 평가

- 원자력시설의 해체 완료 후 부지의 방사선학적 안정성 평가 방법을 확립하기 위해 부지 개방기준을 도출
- 해체 선진국에서는 방사선학적 안정성 평가 방법을 포함한 현장에서 직접 오염 분포 및 방사능을 측정할 수 있는 기술 개발에 주력함

■ 부지 개방을 위한 선량 평가

- 국내 부지 및 시설 특성을 반영한 시나리오 및 입력 변수 적용
- 피폭 평가 도구 : RESRAD (부지), RESRAD-Build (건물)
- 개방 기준 선량을 근거하여 DCGL 도출



■ 부지 개방 기준

- IAEA : 10 ~ 300 $\mu\text{Sv/y}$
- US. NRC : 250 $\mu\text{Sv/y}$
- U.S. EPA : 150 $\mu\text{Sv/y}$



국내 부지 개방 설정값

- 연구로 : 100 $\mu\text{Sv/y}$
- 우라늄 변환시설 : 100 $\mu\text{Sv/y}$

III. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 해외 부지 규제해제 안정성 평가 기술

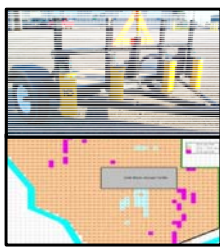
■ 미국

- 부지개방 기준을 평가하기 위하여 DOE에서 부지의 잔류 방사성 물질로 인한 작업자 및 거주자의 피폭선량을 평가할 수 있는 프로그램인 RESRAD를 개발함
- 최종현황조사를 위한 표준지침서인 MARSSIM(Multi Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual)을 개발함
- 코네티컷 양키, 메인 양키에 적용하여 성공적으로 수행함

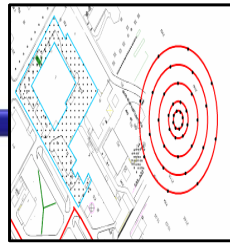
Ⅲ. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 최종잔류방사능 측정

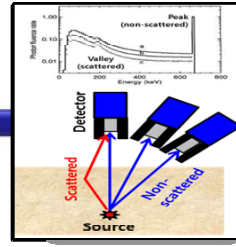
- 해체 완료 부지의 복원 활동 후 개방기준 판단을 위한 최종잔류방사능 측정
 - 광역 부지에서 시료 채취 후 방사능 분석을 위한 시료 대표성 평가 기술
 - 해체 부지의 오염도 mapping 및 부지 방사능 깊이 분포 측정 기술
 - 최종 부지 규제해체 검증용 방사능 현장 측정 기술



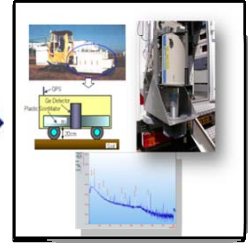
오염도
mapping



부지 시료
대표성 평가



방사능
깊이 분포 측정



부지 방사능
현장 측정

Ⅲ. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 해외 잔류방사능 측정 기술

- 유럽
 - EC(European Commission)에서는 MARSSIM을 기반으로 오염 부지 및 지하수의 조사절차를 제시한 EURSSEM을 개발함
 - 프랑스의 경우, 지질통계기법을 적용한 방사능 조사를 통해 부지 및 건물의 오염도 분포를 측정하고 폐기물 발생량을 예측 및 평가하는 소프트웨어를 개발함
- 일본
 - 해체 시에 건물 바닥 등의 표면오염을 자동으로 측정하는 장비를 개발함

III. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 오염 토양 복원 기술

- 일종의 오염 확산 억제기술이며, 부지 표면에 존재하는 방사성 오염물들을 고정화 시킴으로써 2차 오염을 방지
- 대부분 부지복원 기술은 제염 효율이 낮기 때문에, 실제적으로 주민의 거주가 가능한 낮은 준위까지 제염이 가능한 고효율의 기술 개발이 필요

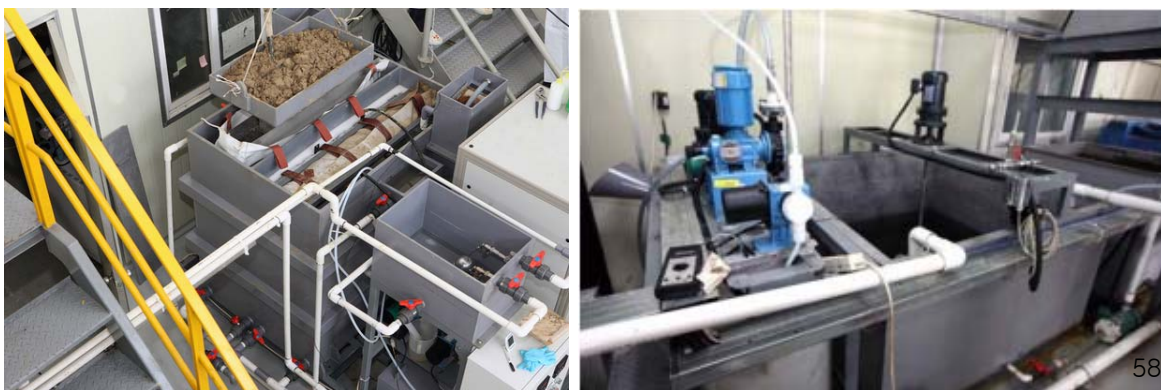


57

III. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 동전기 세정 기술

- 파워 서플라이를 사용해 음극과 양극에 전기를 가해 토양내의 방사성 핵종을 이온 이동, 전기삼투, 압력이동으로 음극으로 이동시켜 제거
- 국내 원자력 발전소는 단단한 사암 위에 건설되었기 때문에 발전소 주변 오염토양은 많은 모래를 포함하여 투수계수가 높아 동전기 세정 기술이 국토 특성에 적합한 기술로 평가



58

III. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 동전기 세정 기술 적용 사례

- 미국
 - 미국의 Hanford 부지의 우라늄 오염토양을 동전기 기술로 55일 동안 70% 가까이 제거함
 - 캘리포니아 NASWS Point Mugu 부지에 오염된 크롬과 카드뮴을 제거하기 위해 동전기 기술을 적용함
 - Oak Ridge Y-12 공장부지의 방사성 핵종을 제거하기 위해 동전기 기술을 적용하여 오염 부지를 복원함

59

III. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 토양세척기술

- 토양세척 제염기술: Scrubber 내에 방사성토양을 넣고, 적합한 제염용액으로 방사성 토양을 Scrubbing을 통해 세척하여 토양으로부터 방사성 핵종을 분리 한 후 토양 폐액을 제거하는 방법
- 방사성토양의 오염농도가 높은 경우 토양세척이전에 체 분리를 통해 입자가 미세한 토양을 제거함으로써 토양 오염농도를 낮춤
- 토양복원 시 가장 많이 사용되고 있지만 토양폐액 발생량이 많은 단점이 있음



60

III. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 토양 세척 기술적용 사례

- 미국
 - New Jersey의 MISS(Maywood Interim Storage Site)에서 우라늄, 토륨 그리고 라듐을 포함한 1000톤의 방사성 오염토양을 토양세척방법으로 복원함
- 벨기에
 - Olen과 Kleine Nete 부근의 라듐정련소 부지에 대한 토양세척 복원을 수행함

61

III. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 식물정화 기술

- 식물정화 기술은 식물을 이용하여 오염물질을 제거하거나 담아두고 전이시키는 기술으로, 크게 2가지 기술로 나눌 수 있다
 1. 식물 추출 기술(phytoextraction): 토양으로부터 오염물질을 뿌리나 열매, 줄기와 같은 식물 조직에 저장하고 수확하여 처리하는 기술
 2. 식물 고정화 기술(phytostabilization): 뿌리와 토양의 맞닿은 부분에서 토양의 화학적, 생물학적, 물리학적 성질을 변화시켜서 오염물질을 고정하는 기술
- 이 기술은 넓은 범위의 중-저준위 방사성 폐기물 지역에 적합한 방법으로, 다른 기술에 비해 시간이 오래걸린다는 점, 그리고 뿌리의 깊이만큼 밖에 정화를 시키지 못한다는 단점이 있다

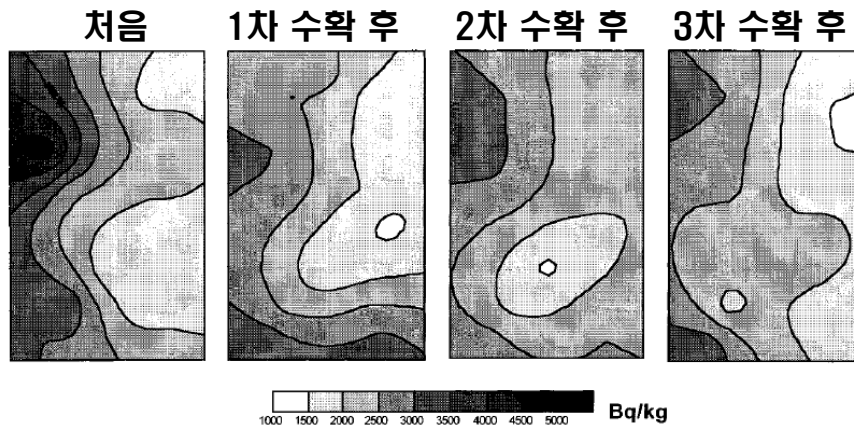
62

III. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 식물정화 기술 적용사례

- 러시아의 체르노빌 원전 사고지역에서 1996년에 토양오염을 복원하기 위하여 식물정화 연구를 시행하며 기술을 적용
- 해바라기와 갯을 심고 재배한 후 오염물질을 품은 그대로 수확하는 식물 추출 기술을 이용

갯을 이용한 토양복원(6주마다)

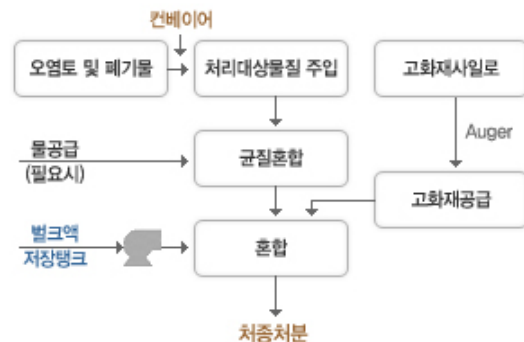
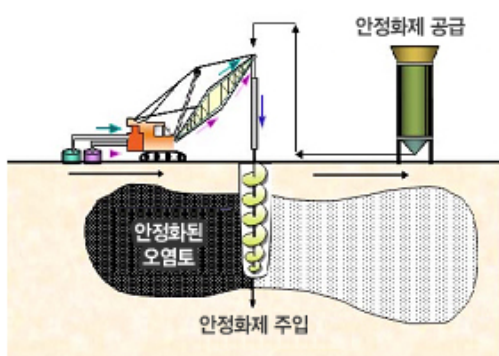


63

III. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 고형화/안정화 기술

- 미 고형화 및 안정화 기술은 토양에 고형화제 또는 안정화제를 첨가하여 물리적/화학적으로 오염물질의 유동성을 감소시키고 용해도를 낮추는 기술로써 in-situ 방법과 ex-situ 방법 모두 가능
- 다른 기술에 비하여 오염물질을 제어하는 효과는 뛰어나나 오염물질을 그 지역으로부터 제거하는 것이 아니라 오염물질의 용해도 및 유동성을 감소시키기 때문에 나중에 오염물질의 용출될 수 있음



64

III. 제염해체 기술_환경 복원 기술

◆ 고형화/안정화 기술

- 미국

Cincinnati에 있는 FUPF(Fernald Uranium Processing Facility)에서 7500 m³ 정도의 오염물질들을 ex-situ방법으로 처리하였다. 오염물질들을 80%의 시멘트와 20%의 오염물 비율로 고형화시켜서 다른 지역에 버리는 처리를 수행하였다

- 영국

BNFL(British Nuclear Fuels Limited)에서는 셀라필드 원자력 단지에서 나오는 토양 오염물질들을 500 리터 스테인리스 드럼에 고형화하여 처리한다

65

IV. 국내 원자로 해체 경험

◆ 연구용원자로 (KRR) 1&2 (TRIGA MARK II & III)

- 운영

- ✓ KRR-1 (250kW_{th}): 1962-1995, KRR-2(2MW_{th}): 1972-1995

- 해체

- ✓ KRR-2 : 2009년 완료

- ✓ KRR-1 : 기념관화

- 해체 참여 기관

- ✓ 한국원자력연구원, 두산중공업

사용된 기술

- ✓ 고온 고압 스팀 제염

- ✓ Electrolytic 제염

- ✓ 연마

- ✓ 스케블링

- ✓ 기계절단



66

V. 확보 및 미확보 기술

◆ 확보 기술

▪ 해체 준비

- ✓ 방사능 재고 평가
- ✓ 표면 제염
- ✓ 핵종 분석
- ✓ 환경영향 평가
- ✓ 방사선안전 관리
- ✓ QA

▪ 제염

- ✓ Jet 연마
- ✓ 전해연마
- ✓ 화학처리

▪ 절단

- ✓ 기계적 절단

▪ 폐기물처리

- ✓ 금속폐기물 제염
- ✓ 방사능 평가 및 금속 재활용
- ✓ 콘크리트 폐기물 재활용
- ✓ 금속 용융
- ✓ 콘크리트 폐기물 감용
- ✓ 콘크리트 폐기물 안정화

▪ 환경복원

- ✓ 부지 해제 평가
- ✓ 오염 토양 처리

67

V. 확보 및 미확보 기술

◆ 미확보 기술

▪ 해체준비

- ✓ 해체 안정성 평가
- ✓ 해체 공정 평가

▪ 제염

- ✓ 원전 주계통 화학 제염
- ✓ 대형 장비 나노 유체 제염
- ✓ 제염후 재료 건전성

▪ 절단

- ✓ 고 자유도 원격 절단
- ✓ 고하중 정밀 제어
- ✓ 원격 절단 모사
- ✓ 내방사선 원격 해체 장비
- ✓ 3D 인간-기계 interface
- ✓ 열적 절단

▪ 폐기물처리

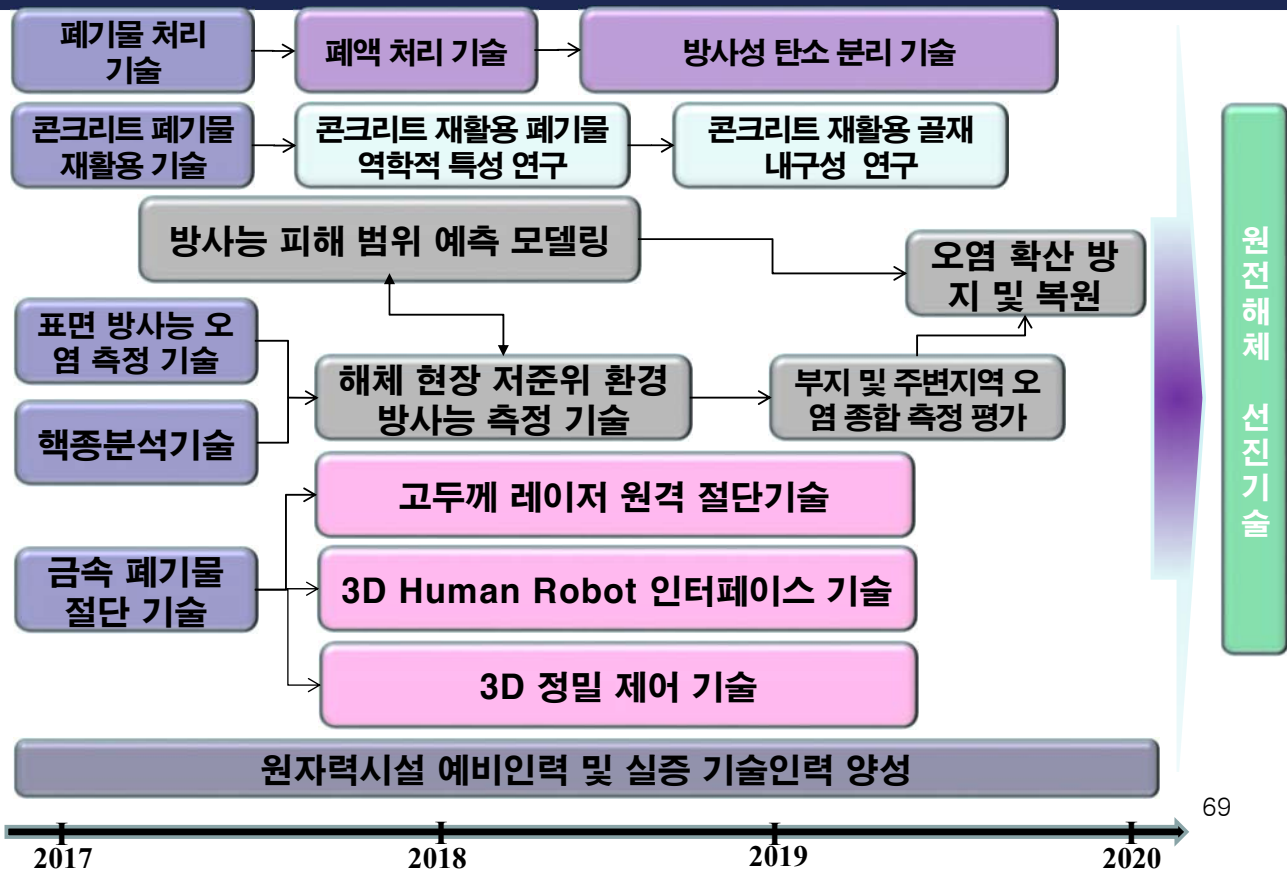
- ✓ 방사성 탄소 처리
- ✓ 우라늄 폐기물 처리
- ✓ 유기폐액 증기 처리
- ✓ 대용량 고방사능 액체폐기물 처리
- ✓ 고방사능 TRU 폐기물 안정화

▪ 환경복원

- ✓ 대면적 오염 확산 제어
- ✓ 거주지역 복원
- ✓ 해체 부지 복원 최적화 평가
- ✓ 저준위 부지 현장 측정

68

VI. 제염해체 기술 개발 기본 로드맵



69

VII. 해외 제염해체 사업 실적

국가별 원전해체 현황 및 원인

국가	해체 중 원전(완료)	용량(MWe)	국가	해체 중 원전(완료)	용량(MWe)
미국	28(15)	9,764	슬로바키아	3	909
영국	26(1)	3,301	스웨덴	3	1,210
독일	19(2)	5,879	리투아니아	2	2,370
프랑스	12	4,337	스페인	2	621
일본	9(1)	1,618	아르메니아	1	376
러시아	5	876	벨기에	1	10
불가리아	4	1,632	카자흐스탄	1	52
이탈리아	4	1,423	네덜란드	1	55
우크라이나	4	3,515	스위스	1	6
캐나다	3	478			
			계	129(19)	40,513

구분	기수	비고
수명만료	93	
정책적 결정	26	구 소련 원자로, 유럽의 원자력 Phase-out 정책
사고/고장	10	TMI-2, 후쿠시마 1/2/3/4, 체르노빌-4, 프랑스/슬로바키아/스페인/독일 각 1기
계	129	

70

*출처: 한국수력원자력(주) 기획기술처, “국내외 원자로 해체현황”, 2011.9

VII. 해외 제염해체 사업 실적

미국 원전해체 추진실적

- ❖ 2014년 현재 100기의 원전에 의해 전체 전력의 19%를 생산
- ❖ 정지 원전현황: BWR 10기, PWR 19기, PHWR 1기, FBR 1기, GCR 2기 등 총 30기
- ❖ 최종정지(폐쇄)한 비군사용 원자력발전소(출력 30 MWe 이상)
 - Indian Point(285 MWe, PWR), Dresden-1(210 MWe, BWR) 등 22기(1999년 12월 현재)
 - 이들 중 Shippingport-II, Pathfinder, Shoreham, Fort St. Vrain 원자력발전소는 이미 해체철거를 위한 작업이 종료
 - Elk River는 출력 30 MWe 이상의 원자력발전소에 해당되지 않으나 이미 해체 철거되어 폐지조치 완료
 - 1998년 정지한 Zion 1호기 및 2호기와 Millstone 1호기를 포함하여 9기가 1990년대에 경제성 등의 이유로 정지, 이 중 이미 6기가 즉시해체를 선택하여 해체 중
 - 3기는 안전저장을 위해 공사 중

71

VII. 해외 제염해체 사업 실적

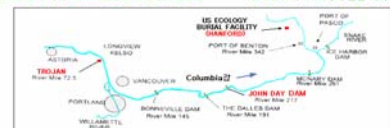
미국 : Trojan 원자력발전소 (PWR, 1178 MWe)

- Portland General Electric(PGE) 에서 소유하고 있는 Trojan 원자력발전소는 1993년 1월 영구적으로 폐쇄
- 이 원전 폐로를 결정함에 있어서 PGE는 가능한 한 빨리 대형부품 제거를 진행하는 것이 전체 폐로과정에서 비용 측면이나 전략적 측면에서 상당히 유리하다고 판단.
- 이 해체사업은 LCR (Large Component Removal) 프로젝트라고 불림.



재온창을 통하여 Columbia강을 항행하는 운반선

JOHN DAY DAM의 수문을 지나는 운반선



VII. 해외 제염해체 사업 실적

영국의 원전해체 추진실적

❖ 영국

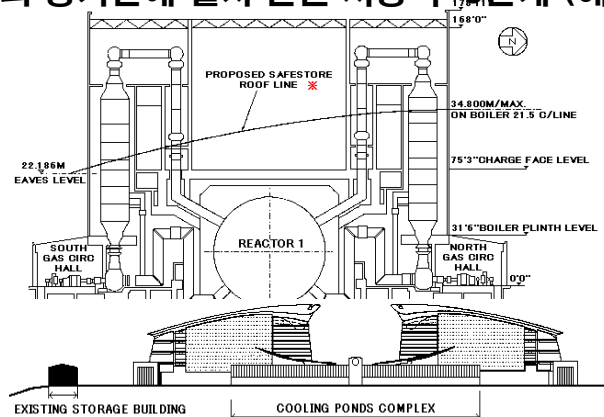
- 폐쇄 원전: GCR 26기, 중수감속경수냉각로(SGHWR) 1기 및 고속증식로 2기, 합계 29기; 8기의 GCR은 현재 장기안전저장을 위한 공사 진행 중
- 폐지조치방식: 노심부의 해체에 원격장치를 사용하지 않아도 쉽게 해체할 수 있을 때까지 안전저장(135년간)하고, 그 후 해체 철거한다는 전략 추구

73

VII. 해외 제염해체 사업 실적

영국 : Trawsfynydd 원자력발전소 (GCR, 235 MWe)

- 1964년에 운전 개시하여 약 28년간 운전, 강철제 압력용기의 취화로 인하여 1993년 7월에 폐쇄. 연료의 반출작업이 실시후 1995년 8월 해체 종료
- 국립공원 내에 설치되어 있어 주변 경관을 고려하여 원자로건물의 높이를 약 50 % 낮게 하여 안전 저장
- 열교환기는 절반으로 절단후 안전저장준비작업을 2002년부터 2004년까지, 원자로건물 이외 시설 철거 및 경관 복구를 2004년까지 실시
- 원자로본체는 2004년부터 125년간의 장기간에 걸쳐 안전 저장 후 3단계 (해체 철거) 추진



(b) 원자로2기를 안전저장하기 위한 건물설계도

※ 경관을 손상하지 않도록 안전저장 건물의 높이를 낮게하기 위해 원자로를 미선에서 절단한다.

트로스피니드 원자로 개략, 원자로건물(2기)의 안전저장개념도

[자료] A. T. Ellis, Decommissioning and Radioactive Waste Strategies for Trawsfynydd Power Station, ICM99 Nagoya p.3

VII. 해외 제염해체 사업 실적

독일 원전해체 추진실적

❖ 독일

- 폐쇄 원전: BWR 9기 및 구소련형 PWR형 (VVER형) 13기 등 29기
- 폐지조치로서는 전력회사가 즉시해체 또는 안전저장을 선택할 수가 있으나, 최종적으로는 안전해체 수행
- Niederaichbach 원자로 및 HDR(BWR형, 2.5만 KWe)의 해체, 녹지화를 각각 1997년, 1998년에 달성
- 칼스루에 센터에서는 고속로 KNK(2만 kWe), 다목적연구로(MZFR, 5.9만 KWe)의 해체 추진 중.
- 현재 파일럿플랜트 및 뷔르가센(Wuergassen)원자로 등 14기가 완전해체를 목표로 해체 중.
- Greifswald 부지에서는 세계 최대의 폐지조치 프로젝트 즉 VVER형 8기(44만 KWe/기, 그중 3기는 미완성)의 해체 본격화
- 또한 고온가스로 등 3기가 안전저장 중.

75

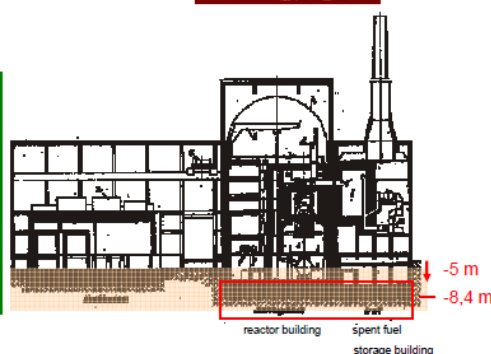
VII. 해외 제염해체 사업 실적

독일 : Neideraichbach 원자력발전소 (HWGCR, 106 MWe)

- KKN로(Kernkraftwerk Niederaichbach)는 중수감속 탄산가스 냉각 원자로로서 Karlsruhe원자력연구소가 1972년부터 1974년까지 운전
- 정격출력의 최대 40 % 가량 달성하였으며 전 부하일수 환산으로 18.3일에 상당
- 1986년에 해체 인허가 취득 후 1987~1993년 11월까지 원자로 해체 종료
- 1994년 8월 까지 제염 및 관리구역 해체제염을 위한 방사선 측정 실시
- 1995년 8월 건물 해체 종료 후 부지 복원

- Operation: 1972 – 1974
- Decommissioning finalised: 1995

→ green field



VII. 해외 제염해체 사업 실적

프랑스 원전해체 추진실적

❖ 프랑스

- 정지 원전: 가스냉각로 8 기, 경수로 1 기, 중수로 1 기 및 고속증식로 2 기 등 12 기
- 원전 해체 방식
 - ✓ 1차 계통 등의 해체철거를 하고 방사능이 높은 노심부만을 차폐격리하고 이 상태에서 약 40~50년간 방사능을 감쇠시켜 최종적으로 모두 해체 철거하는 장기적인 차폐격리방식을 기본전략으로 채택
 - ✓ 이 전략은 입지부지에 여유가 있으므로 경제성을 우선하고 또 작업자의 피폭경감, 방사성폐기물의 경감에도 기여

77

VII. 해외 제염해체 사업 실적

프랑스 : Super Phenix (FBR, 1200 MWe)

- 프랑스는 초기 가스로 개발후 상업용 PWR 건설
- 2013년 말 현재 PWR 58 기에 의해 전체 전력의 약 73 %를 점유
- 가스냉각로 8 기, 경수로 1 기, 중수로 1 기 및 고속증식로 2 기 등 12 기 정지
- 고속증식로 슈퍼피닉스는 경제성, 안전성 등의 이유로 1998년 12월 폐로 인허가 취득, 1999년 7월부터 18개월 동안 연료를 노심으로부터 인출
- 2001~2009년 동안 실험로인 랩소디 경험을 바탕으로 약 5,000 톤의 소듐 처리 후 차폐격리 추진

1200 MWe

1985 - 1998



VII. 해외 제염해체 사업 실적

일본 원전해체 추진실적

❖ 일본

- 후겐의 1978년부터 시작된 신형 열전환원자로는 2003년 3월 폐쇄되었고, 일본원자력연구개발기구(JAEA)는 폐기물 처리와 폐기비용을 포함, 총 700억엔을 들여 2029년까지 해체 완료 예정
- 추부전력의 하마오카 1호기와 2호기는 안전 관련 업그레이드를 위해 정지하였으나, 2007년 지진 이후 계속해서 폐쇄되어있는 상태에서 더 이상 재가동이 불가할 것으로 판단하여 해체 작업 중
- 2011년 3월 후쿠시마 제1원전의 1호기-4호기는 심각하게 손상을 입어 복구 대신 해체작업 추진

79

VII. 해외 제염해체 사업 실적

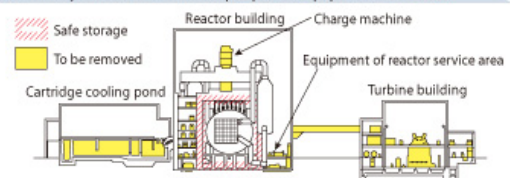
일본 : Tokai-1 원자력발전소(GCR, 166 MWe)

- 일본 최초의 상업원자로로서 1966년 7월~1998년 운전 후 폐로 진행 중
- 원자로 외부 주변기기부터 단계별 해체
- 방사능이 안전 수준까지 감쇄될 때까지 약 10년간 안전하게 저장된 후에 원자로 해체 예정
- 부지는 미래의 원자력발전소 부지로 활용 예정
- 열교환기 등 기타 기기 해체 중

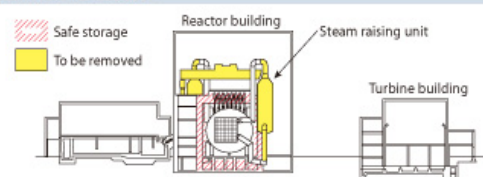


Decommissioning Overview

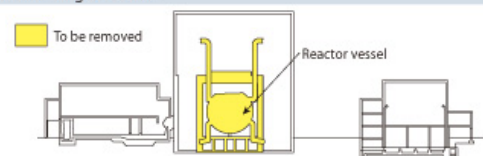
Preliminary work and removal of peripheral equipment 2001-2005



Removal of SRUs 2006-



Dismantling of reactor



VIII. 원전 해체 연구개발 전망

비전

- 글로벌 원전해체 선진 기술 밸리

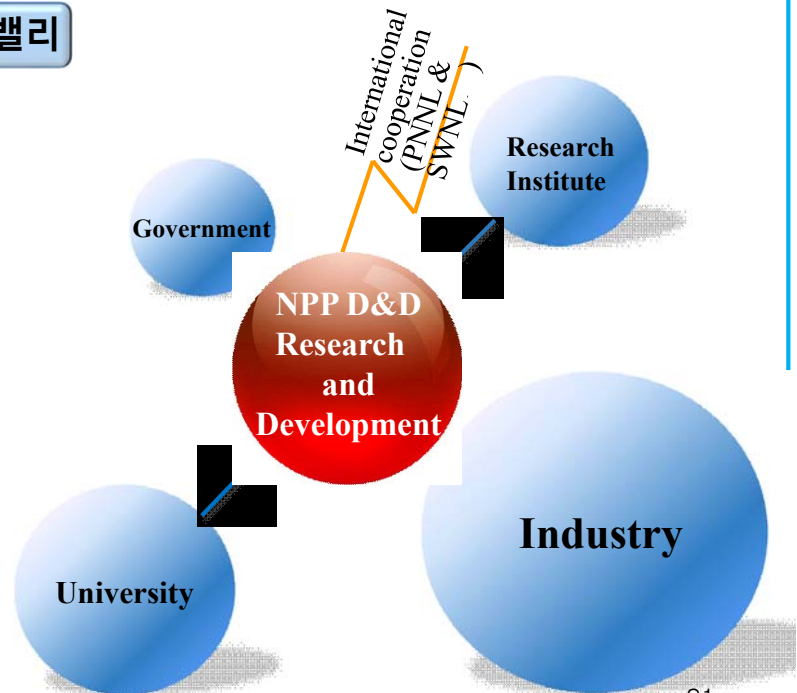
목표

- 국내 미확보 해체핵심기술개발
- 기술사업화를 통한 창조경제 구현
- 핵심인력양성 및 전문성 강화

요건

- 부지 등 인프라 확보
- 원전해체산업기반 확보
- 관련 학과를 통한 전문인력 확보

*미래부 및 산업부 : 6,000억원 규모 연구개발



81

맺으며...

미래 원전해체는 필수!

- ◆ 세계 원전 : 437기
- ◆ 가동 정지원전 : 약 150기
- ◆ 해체 완료 원전 : 19기 (미국 15기)
- ◆ 해체 계획 : 131기, 일본 후쿠시마 4기
 - 국내 12기 : 설계수명 도래 (~2030년)

- ◆ 국내 원전해체 소요 비용
 - 호기당 약 6,000억원 => 7조원 (12기)

- ◆ 세계원전 해체 시장 진입
 - 2050년까지 약 200조원? (군사시설을 포함한 접근불가 시설 등 제외)

BLUE OCEAN?

82

Thank you for your attention!

