

# 사용후핵연료 관리분야 연구개발 현황 및 추진방향



2022. 5. 18(수)

핵주기환경연구소  
구 정 회



한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute



# 목 차 / CONTENTS

1. 사용후핵연료 특성/관리정책
2. 사용후핵연료 운반저장기술 현황
3. 사용후핵연료 처분기술
4. 파이로프로세싱 및 한미공동연구
5. 대안처분기술
6. 핵연료주기 현안 및 추진방향
7. 결언

# KNS 2022 Spring 춘계학술발표회



## 1. 사용후핵연료 특성/관리정책



한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute



### » 사용후핵연료는 국민의 안전한 삶을 위해 국가적으로 반드시 해결해야 할 원자력의 최대/시급 현안임.

- 사용후핵연료에는 오래가는 고방사성 원소가 포함되어 안전관리(직접처분 또는 분리·소각 후 처분) 필요

※ 사용후핵연료는 '78년 원전 가동 이후 40년 이상 누적. '21.12월 현재 약 18,300톤이 원전 부지 내 저장 중으로, 제9차 전력수급기본계획에 따르면 총 36,300톤 발생 예상

### » 과기부는 직접처분 외에 환경부담 최소화를 위해 사용후핵연료 내 고독성·장수명 원소를 분리·소각하여 처분하는 '사용후핵연료 처리\*' 기술을 개발 중

- 한미 양국 정부는 파이로의 기술성, 경제성 및 핵비확산성의 연구 성과를 담은 '한미 원자력연료주기공동연구(JFCS) 10년 공동연구 보고서'를 승인함<sup>(21.7)</sup>

\* 사용후핵연료 부피·독성을 저감하여 환경 부담과 방사성폐기물 위험 최소화

### » (세계) 탄소중립 실현을 위한 원자력 이용 확대와 함께 지속가능한 원자력을 위한 폐기물 소멸과 우라늄 자원 안보에 재활용 확산

- EU는 원자력을 폐기물 대책 수립을 전제로 녹색에너지로 EU Taxonomy 포함. 우리나라가 향후 원전 수출 및 對 유럽 협력을 위해서는 폐기물 대책 수립 중요

# 1-2 국내 사용후핵연료 발생현황

사용후핵연료 관리분야 연구개발 현황 및 추진방향

2021년 6월 기준

부지	가동중 (MWe)	건설중 (MWe)	합계 (MWe)
고리	7 (7,350)	2 (2,800)	9 (10,150)
월성	5 (4,100)	-	5 (4,100)
한빛	6 (5,900)	-	6 (5,900)
한울	6 (5,900)	2 (2,800)	8 (8,700)
합계	24 (23,250)	4 (5,600)	28 (28,850)

• 고리1호기 영구정지('17.06.18), 월성1호기 영구정지('19.12.24)

2020년 12월말 기준

(단위: 다발)

Sites		저장용량	저장량	포화율	포화시점 추정*
경수로	고리	8,038	6,599	82.1%	2031
	새울	1,560	296	19.0%	2065
	한빛	9,017	6,566	72.8%	2029
	한울	7,066	6,072	85.9%	2030
	신월성	1,046	520	49.7%	2042
	소계	26,727	20,053	75.0%	-
중수로	월성	489,952	474,176	96.8%	2022.3

\* 환경공단/방폐학회 등이 참여한 '고준위방폐물 관리 기초자료 확보' 결과

24 NPPs are operating (2021.06)



- 경수로 SF 약 8,600톤
- 중수로 SF 약 9,100톤
- 합계 약 17,700톤

총 38,400 tHM\* 발생 예상

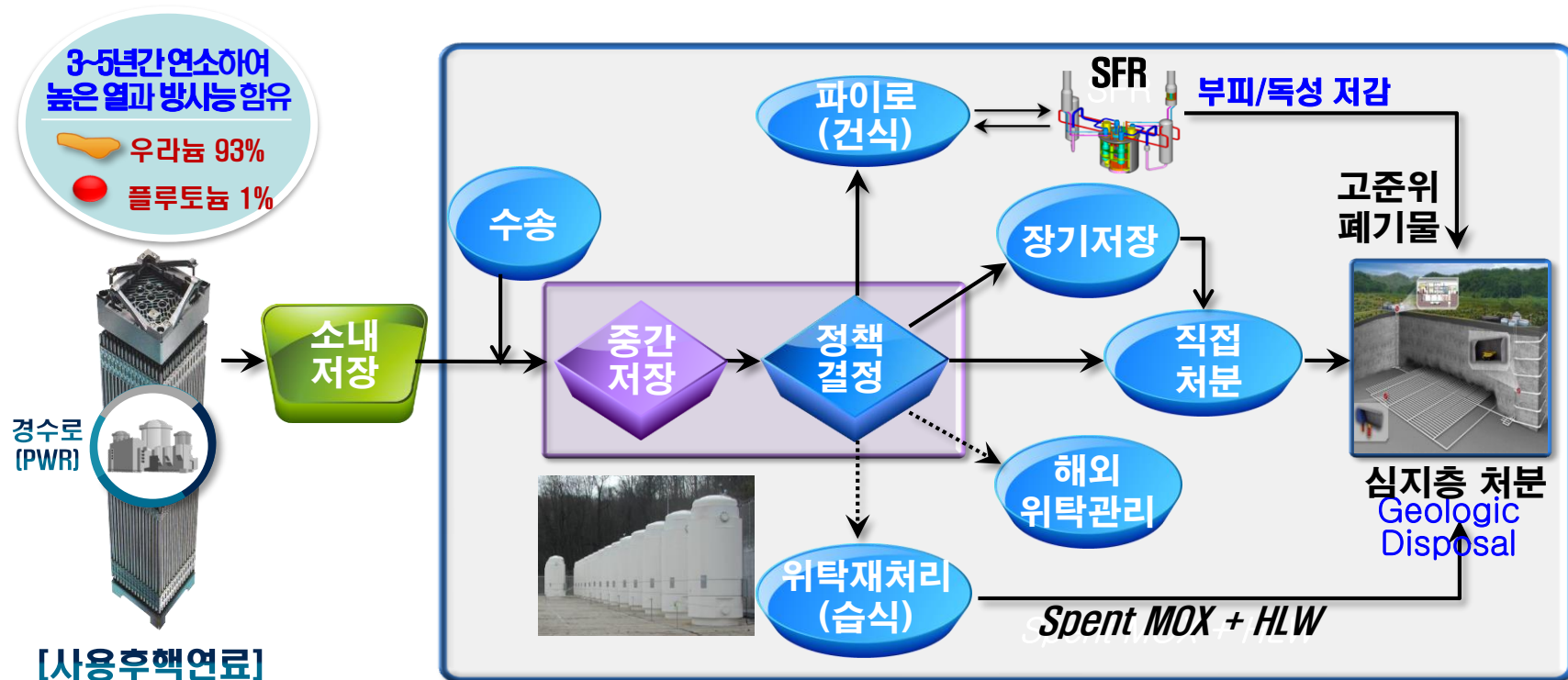
(제8차 전력수급계획 기반)

# 1-3 사용후핵연료 관리 및 처분옵션

사용후핵연료 관리분야 연구개발 현황 및 추진방향

## ❖ 사용후핵연료 최적 안전관리를 위한 다양한 기술 대안 확보

-사용후핵연료 관리는 **고비용**, **장기간 관리**, **광범위한 사회적 영향**으로 인해  
현 세대의 정책 결정 과정에서 **다양한 방안** 모색할 필요 있음



## 핵주기환경연구소의 미션 및 역할

- 사용후핵연료의 운반/저장~처리/처분까지 최적 처리방안에 대한 국가 정책결정을 위한 모든 기술적/정책적 솔루션 제공
- 국가 연구기관에 걸맞는 역할과 솔루션을 도출하는 사용후핵연료 처리/처분 기술 개발의 Global Leader 역할 수행

## ❖ 세계 각국의 사용후핵연료 처리/처분 정책

<b>직접처분</b> (10개국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>미국, 핀란드, 스웨덴, 스위스, 스페인, 캐나다, 독일, 루마니아, 슬로바키아, 대만</li> </ul>
<b>재처리 후 처분</b> (6개국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>프랑스, 일본, 러시아, 인도, 중국, 영국 [일본을 제외한 5개국은 핵무기보유국]</li> </ul>
<b>정책결정 유보</b> (18개국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>벨기에, 체코, 남아공, 한국, 아르헨티나, 아르메니아, 브라질, 불가리아, 헝가리, 이란, 이탈리아, 카자흐스탄, 리투아니아, 멕시코, 네덜란드, 파키스탄, 슬로베니아, 우크라이나</li> </ul>

※ 출처: 사용후핵연료 관리정책 의견수렴 속의자료집

## ❖ 사용후핵연료 관리 정책과 기술개발

- 사용후핵연료 관리정책과 무관하게 사용후핵연료의 안전관리를 위해서는 운반, 저장, 처리 및 처분에 관련된 다양한 기술을 개발해야 함.
- Wait and See 정책을 선택하는 가장 중요한 이유는 관련 기술의 개발현황을 고려한 최선의 관리방안을 선택할 수 있게 하기 위한 것임.



# KNS 2022 Spring 춘계학술발표회



## 2. 사용후핵연료 운반·저장기술 현황



한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute





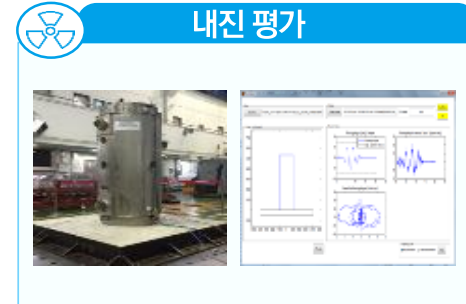
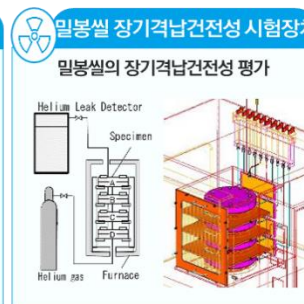
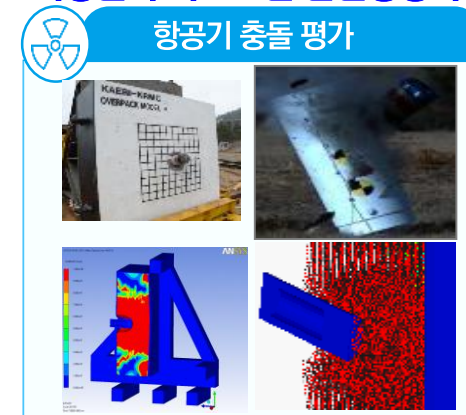
## » 사용후핵연료 및 방사성물질 운반저장 기술연구

- 운반저장 시스템 핵심기술(설계, 안전성 평가 시험 및 해석)개발
- 사용후핵연료 운반저장 안전성 확보방안 연구 및 기반기술 확보
- 사고조건(지진, 비행체 충돌 등) 거동평가 및 기술적 대처방안 연구

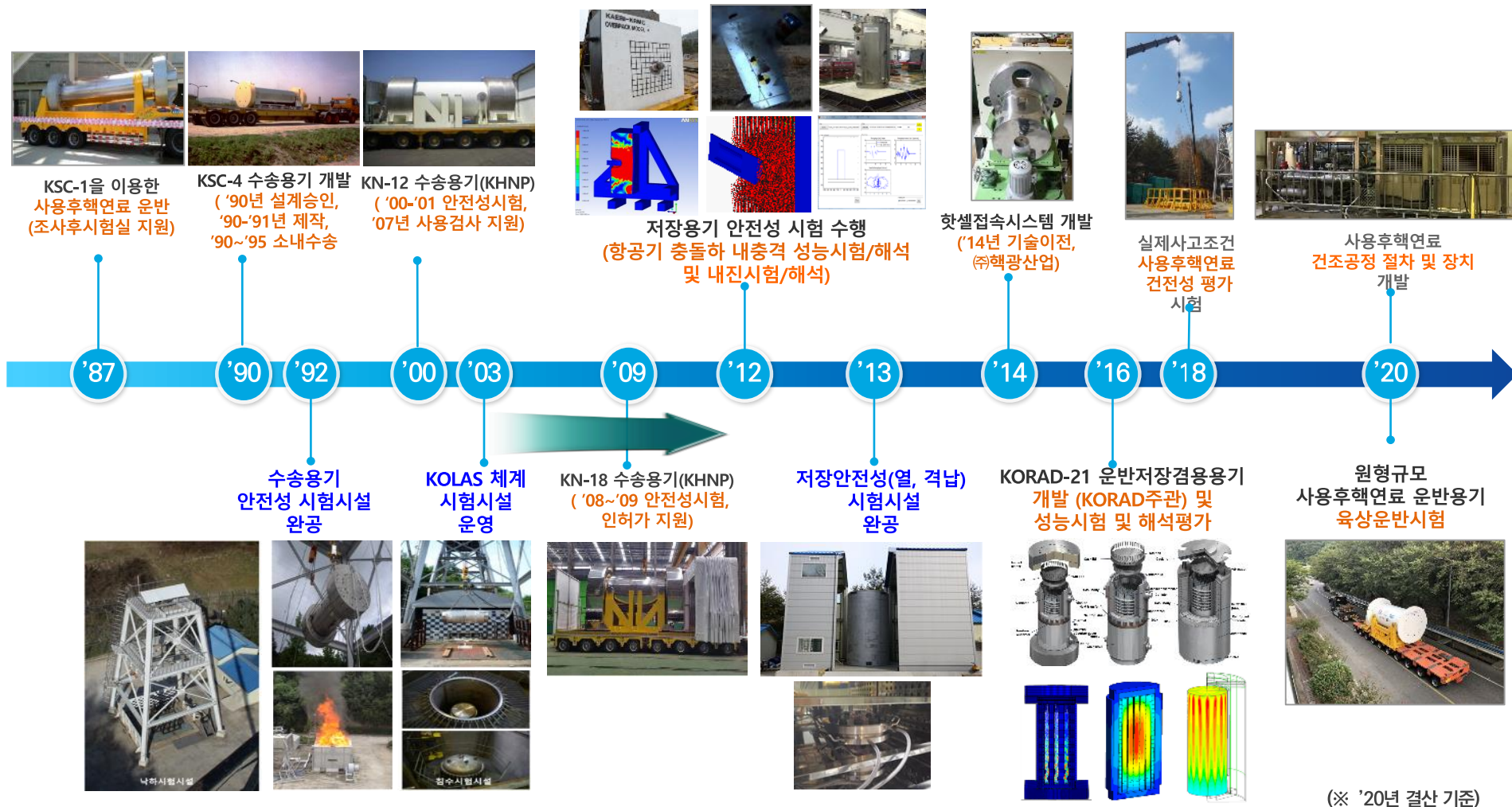
### <국내 유일 수송용기 안전성평가 시험시설 구축>



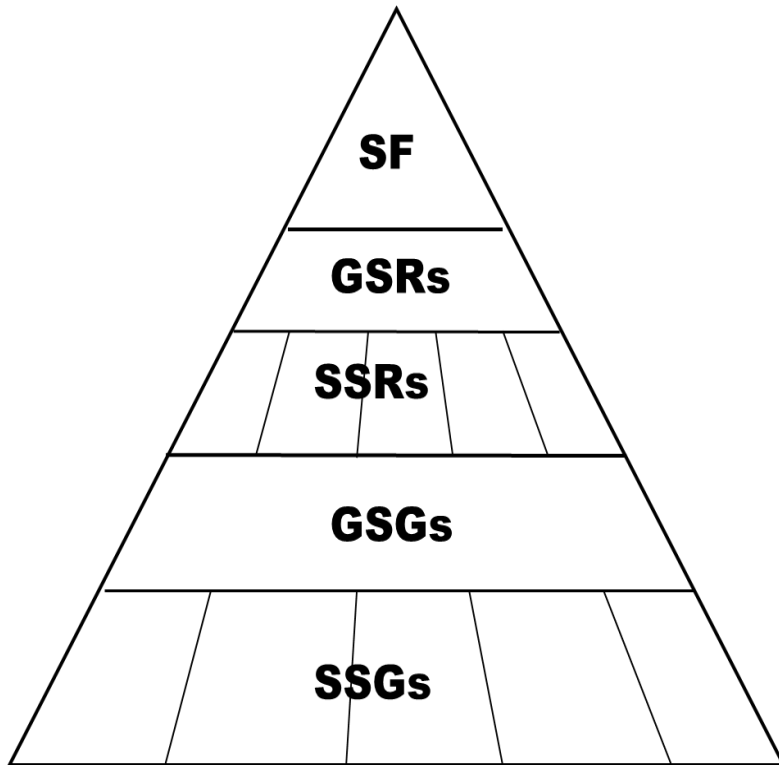
### <저장분야 사고조건 안전성평가>



## » 주요 연구개발 실적('87~현재)

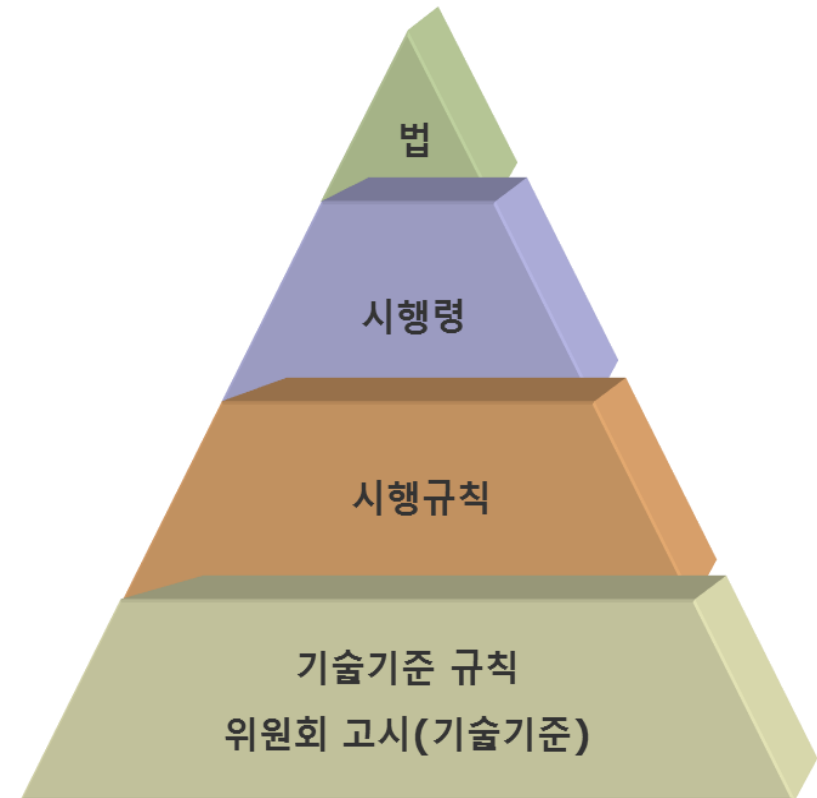


### ▪ IAEA Safety Standards Categories



- Safety Fundamentals
- General Safety Requirements
- Specific Safety Requirements
- General Safety Guides
- Specific Safety Guides

- 국내 규제 기준 및 심검사 지침



원자력안전위원회고시 제 2021-2호  
[방사성물질등의 포장 및 운반에 관한 규정]

### ▪ IAEA Safety Standards for Spent Fuel Transport and Storage

#### IAEA Safety Standards

for protecting people and the environment

Regulations for the  
Safe Transport of  
Radioactive Material  
2012 Edition

Specific Safety Requirements  
No. SSR-6



#### IAEA Safety Standards

for protecting people and the environment

Advisory Material for the  
IAEA Regulations for the  
Safe Transport of  
Radioactive Material  
(2012 Edition)

Specific Safety Guide  
No. SSG-26



#### IAEA Safety Standards

for protecting people and the environment

Storage of  
Spent Nuclear Fuel

Specific Safety Guide  
No. SSG-15



## 2-3 국내 사용후핵연료 운반용기 개발현황

사용후핵연료 관리분야 연구개발 현황 및 추진방향

구분	KSC-1	KSC-4	KN-12	KN-18	KORAD-21
개발기관	KAERI	KAERI	한수원	한수원	환경공단
운반용량	1다발	4다발	12다발	18다발	21다발
총중량	28톤	37톤	84톤	127톤	120톤
연료형태	WH형	WH형	WH형	CE형	WH 및 CE형
최대연소도 (MWD/MTU)	45,000	38,000	50,000	55,000/7년 60,000/9년	45,000
최대농축도 (%wt)	3.5	3.2	5.0	5.0	4.5
냉각기간	1년	3년	7년	7년/9년	10년
용기형상					
비고	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 원전-KAERI 운반</li> <li>· 사용검사 및 인허가 갱신 중</li> <li>· KAERI 보관 중</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고리 소내 운반</li> <li>· 사용검사 및 인허가 갱신 미시행 → 현재 사용중지</li> <li>· KAERI 보관 중</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 소내 운반</li> <li>· 사용 중 (고리, 울진, 영광)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 소내 운반</li> <li>· 사용 중 (울진, 영광)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 소내외 운반</li> <li>· 사용 예정</li> <li>· 인허가 진행 중</li> </ul>



## » 운반용기별 사용후핵연료 운반 현황



KSC-1 Cask (발전소 → 원자력연구원)

- 운반 횟수 및 운반 양
- 집합체
    - 1987~2002 : 8 회, 8 다발
  - 연료봉
    - 1996~2013 : 13 회, 130 봉

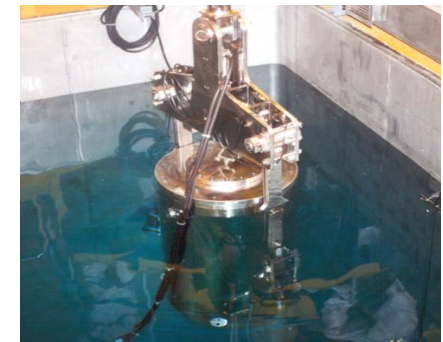


월성 CANDU Canister용기 Silo 이송



KSC-4 Cask (4 PWR SF) (고리 1호기 → 고리 3,4호기)

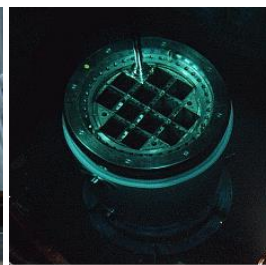
- 운반 횟수 및 운반 양
- 1990~1991 : 39 회, 156 다발
  - 1993~1995 : 39 회, 156 다발
  - 2000 : 10 회, 40 다발
  - 2001 : 6 회, 24 다발
  - 2002 : 12 회, 48 다발
  - Total : 106 회, 424 다발



하나로 SF 운반저장



KN-12 Cask (12 PWR SF) / KN-18 Cask (18 PWR SF)



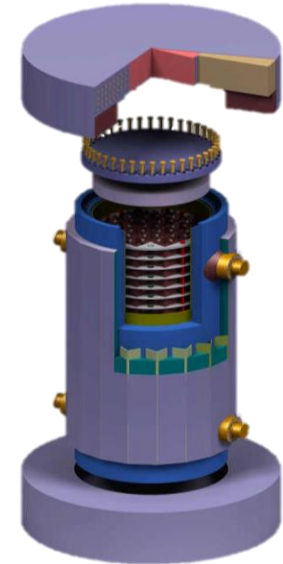
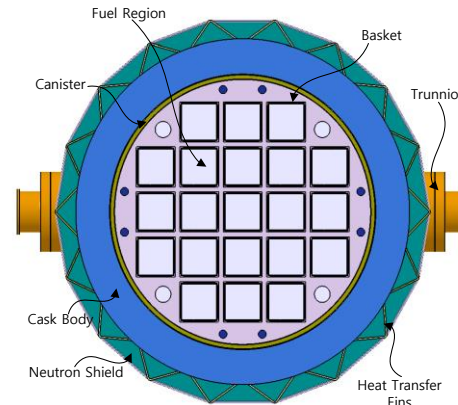
- 운반 횟수 및 운반 양\*
- KN-12
    - (고리) 2002~2019 : 129 회, 1548 다발
    - (한빛) 2009~2012 : 19 회, 228 다발
    - (한울) 2008~2019 : 77 회, 924 다발
  - KN-18
    - (한빛) 2016~2019 : 11 회, 198 다발
    - (한울) 2017~2019 : 13 회, 234 다발
  - Total : 249 회, 3132 다발

## 2-5 국내 사용후핵연료 운반·저장 용기 개발 현황

사용후핵연료 관리분야 연구개발 현황 및 추진방향

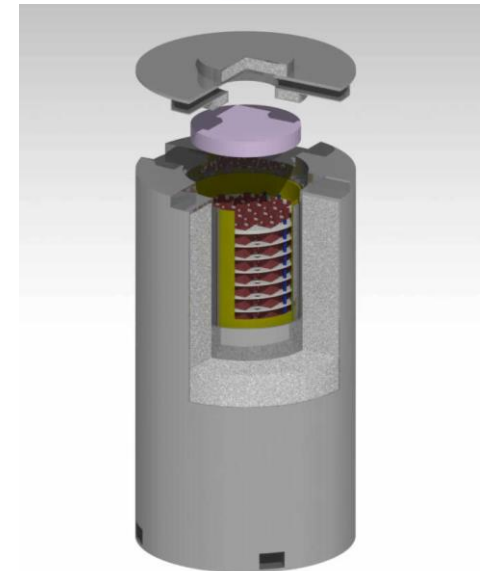
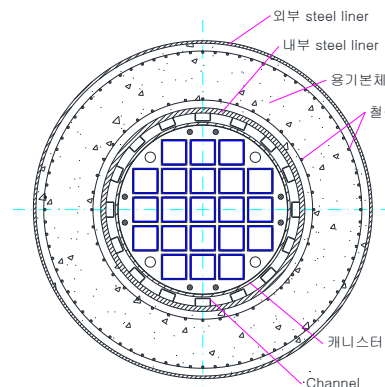
### ■ 국내개발 경수로 사용후핵연료 운반·저장 겸용용기 개발 → KORAD21 (Dual purpose metal cask)

Items	Description
Capacity	21 PWR F/A(WH & CE)
Design Basis Spent fuel	- BU : 45,000 MWD/MTU - Enrichment : 4.5wt.% U235 - Cooling time : 10 yrs - Decay heat : 16.8 kw/ canister
Dimensions	- Cask: O.D. 2,216 mm X 5,285 mm L - Canister: OD. 1,686 mm X 4,880 mm L
Weight	- Cask : 104.7t (with loaded canister) - Canister : 33.0t (with loaded fuel)
Material	- Cask : Forged carbon steel - Canister : Stainless steel, BORAL(B <sub>4</sub> C+Al) or METAMIC




### ■ 국내개발 경수로 사용후핵연료 저장용기 개발 → KORAD21C (Concrete storage cask)

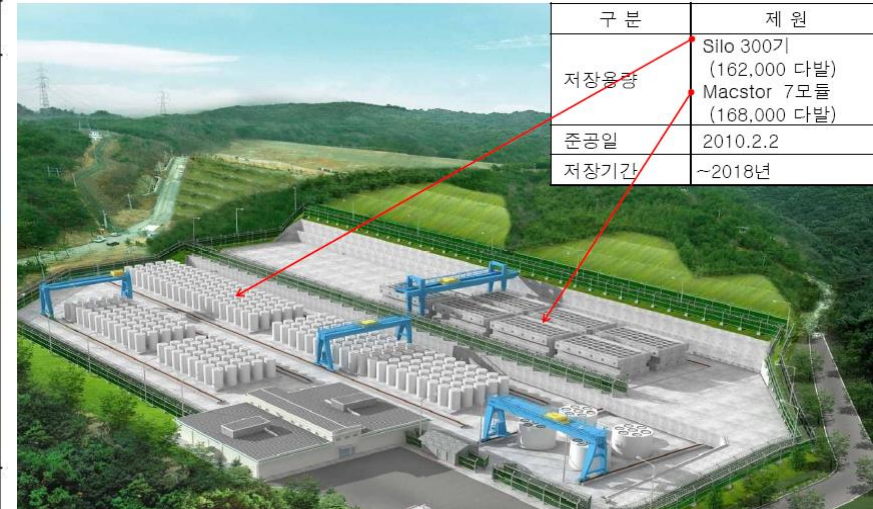
Items	Description
Design Life time	50 yrs
Dimension	O.D. 3,266 mm X 6,030 mm L
Weight	143.8t (with loaded canister)
Material	- Concrete, - Carbon steel
Cooling type	Natural Convection(4 inlets/outlets)





## ▪ 국내 월성발전소 중수로 사용후핵연료 건식저장시설

명 칭	사일로(캐니스터)	맥스터
설치수량	300기	7기
유 형	콘크리트 원통형 내부에 탄소강 저장실린더 1개 	콘크리트 직육면체 내부에 탄소강 저장실린더 40개 
설치이력	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 1차 : `91.05.~`92.04. (60기)</li> <li>■ 2차 : `97.05.~`98.06. (80기)</li> <li>■ 3차 : `00.08.~`02.12. (60기)</li> <li>■ 4차 : `05.08.~`06.11. (100기)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ `07.09.~`09.12. (7모듈)</li> </ul>
저장용량	162,000 다발	168,000 다발



## 2-6 해외 사용후핵연료 건식저장 시스템

사용후핵연료 관리분야 연구개발 현황 및 추진방향

Metal Cask	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 사용후핵연료를 담은 캐니스터를 금속 용기에 저장하는 방식</li> <li>· 고비용, 용량 확장 용이, 구조적 건전성 확보, 유연성 우수</li> </ul>
Vault	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 외부 콘크리트 건물은 방사선 차폐체 역할</li> <li>· 건물 내부의 금속 튜브에 사용후핵연료를 장입, 밀봉 후 공기, 질소, 헬륨 기체를 충전하여 저장하는 방식</li> </ul>
Horizontal Module	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 콘크리트 구조물에 사용후핵연료를 포장하는 캐니스터를 장입하여 저장하는 방식</li> <li>· 가장 저렴한 비용, 용량 확장 용이</li> </ul>
Concrete Cask	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 사용후핵연료를 담은 캐니스터를 콘크리트 용기에 저장하는 방식</li> <li>· 저렴한 비용, 용량 확장 용이, 근거리 운반 가능</li> </ul>
Dry Well	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 사용후핵연료를 담은 캐니스터를 지하의 모듈에 저장하는 방식</li> <li>· 지하 매립 깊이에 따라 피폭선량 변함, 깊이가 깊어질수록 차폐 능력 우수</li> </ul>



Metal Cask



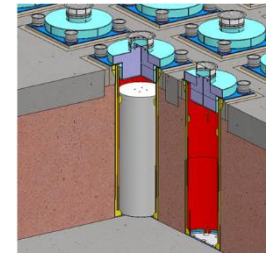
Vault



Horizontal Module



Concrete Cask



Dry Well

# KNS 2022 Spring 춘계학술발표회



## 3. 사용후핵연료 처분기술

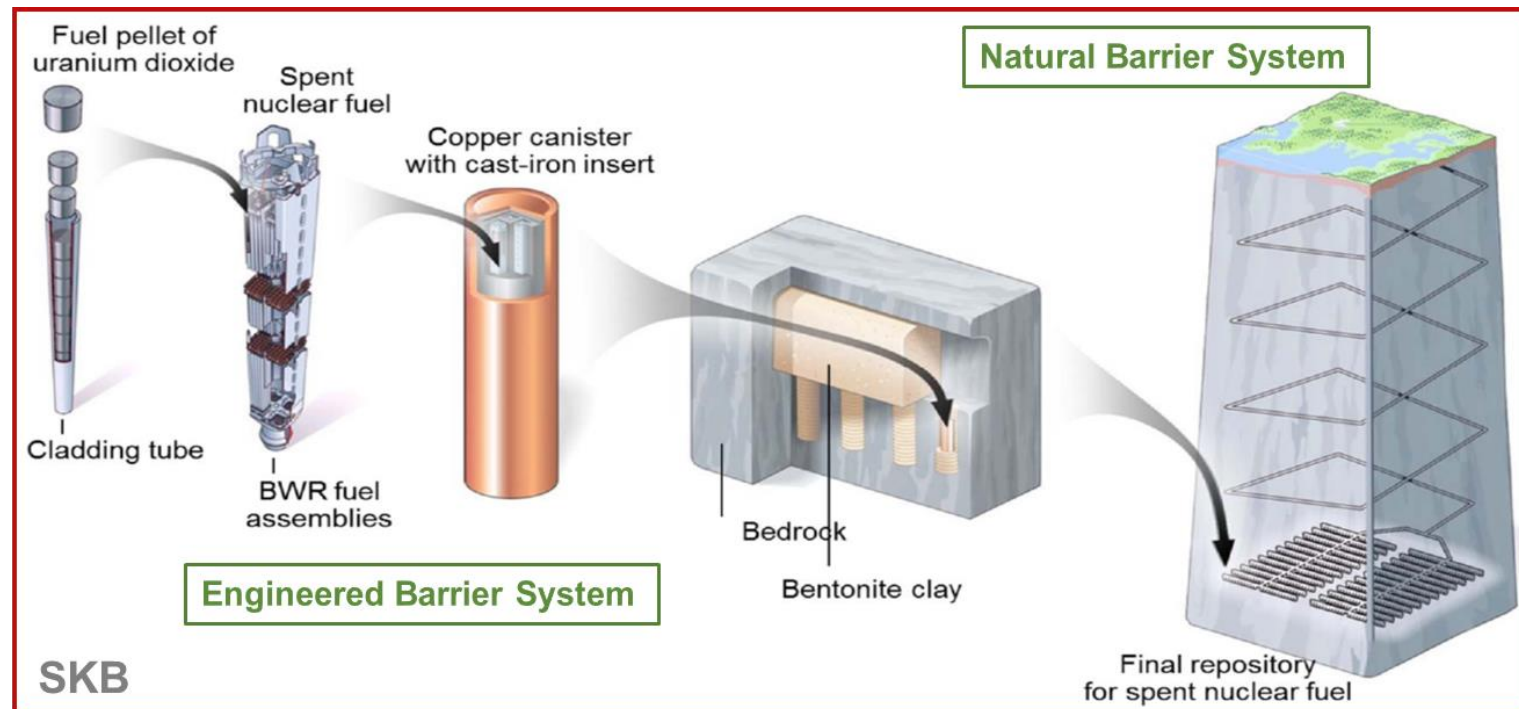


한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute



### » 심층처분(Deep Geological Disposal)의 기본 개념

- 다중방벽 개념 : copper canister → bentonite buffer → natural bedrock  
⇒ 사용후핵연료로부터 방사성핵종 물질이 지표면으로 나올 수 없게 함
- 지하 500 m 깊이의 화강암반 층에서 지하수의 포화상태

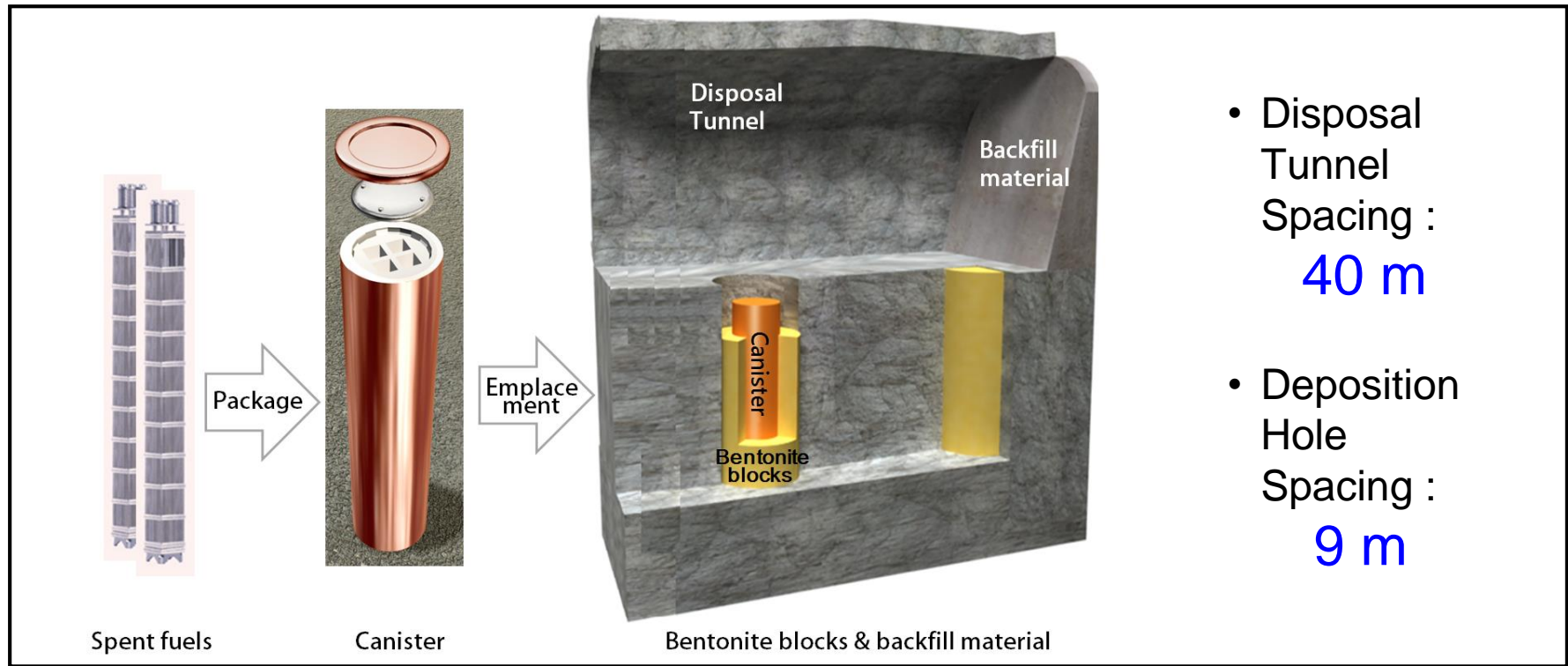


▶ 사용후핵연료가 공학적 방벽과 이를 둘러싼 자연방벽에 의해 보호됨



### » KRS 심층처분(DGD)의 설계기준

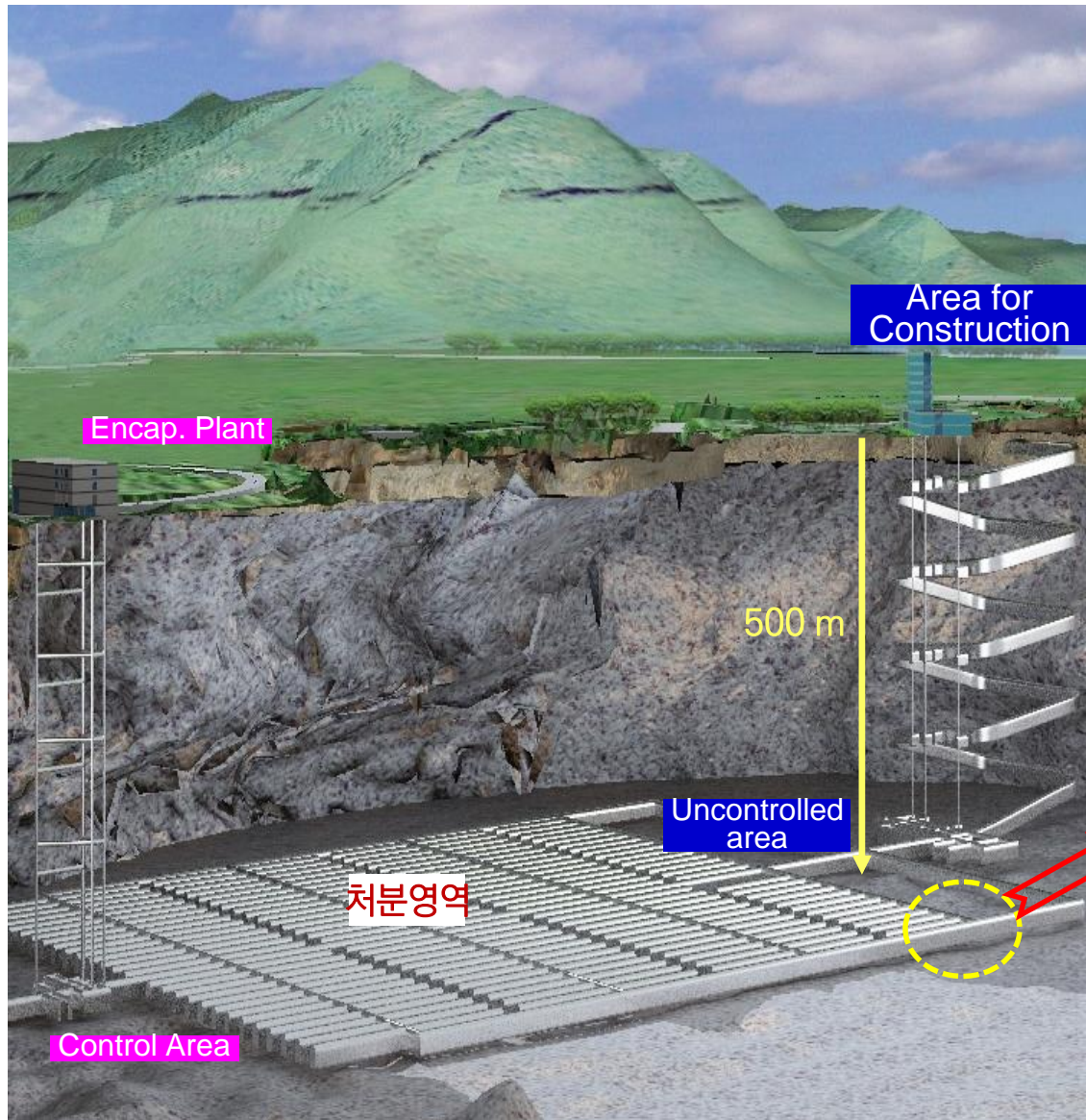
- Reference Spent Fuels : 4.5 wt.%, 55 GWd/tU, Cooling time - 40 yrs
- Canister : Cast Iron(Inner Vessel) + Copper(Outer shell)
- Design Requirement : Max. temperature of Bentonite Block < 100 °C



\* KRS : KAERI Reference disposal System for spent nuclear fuels

# 3-2 KAERI의 사용후핵연료 심층처분(DGD) 개념

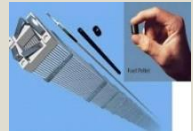
사용후핵연료 관리분야 연구개발 현황 및 추진방향



## 《 처분용기 》



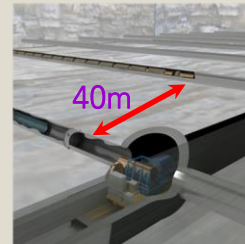
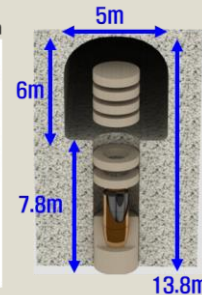
- ✓ 직경 : 1.02 m
- ✓ 높이 : 4.83 m
- ✓ 용기당 집합체 4다발
- ✓ 주철(내부)/구리(외부) 이중용기



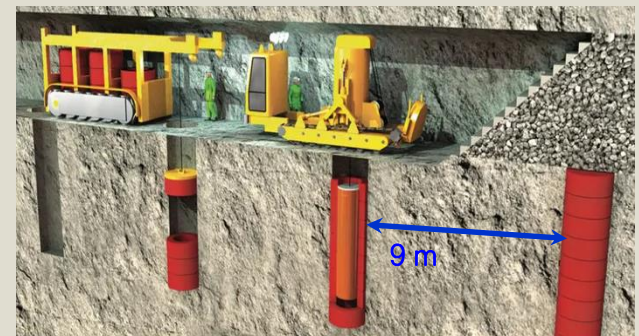
※ 8차 전력수급계획('17년)에 따른 처분 대상 경수로 사용후핵연료  
 ⇒ 총 26,700톤 (61,694 다발)  
 ▶ 처분 용기 수량 : 15,488개

## 《 처분터널 》

✓ 터널 : 높이 6m, 폭 5m



《 처분터널 내 처분공 ▶ 처분공 간격 9 m 》



# KNS 2022 Spring 춘계학술발표회



## 4. 파이로프로세싱 및 한미공동연구

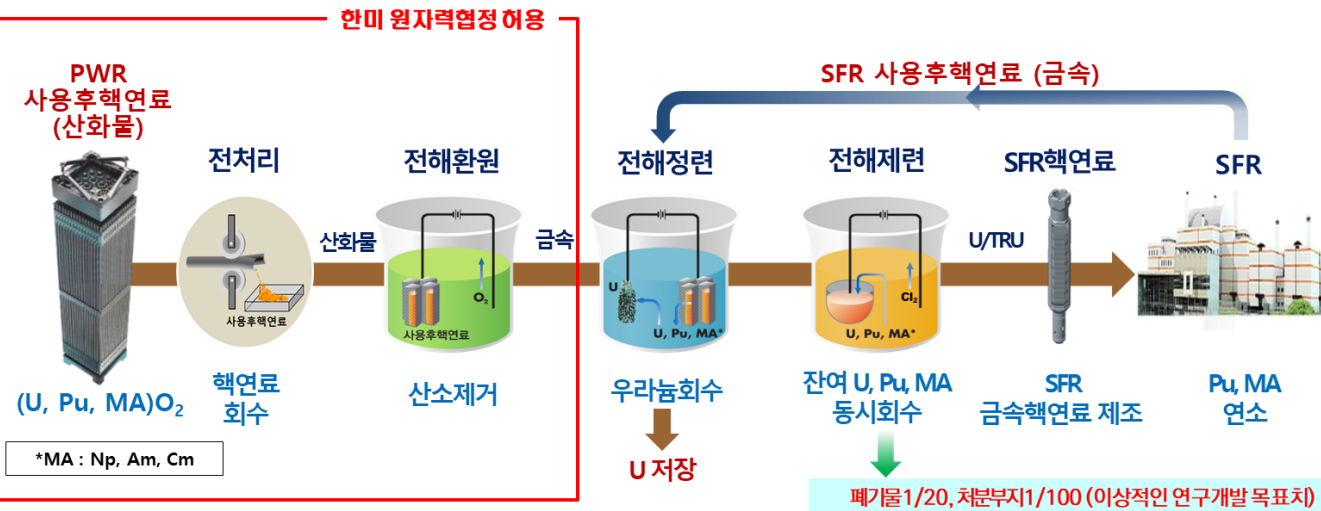


한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute





## 사용후핵연료 관리분야 연구개발 현황 및 추진방향



23


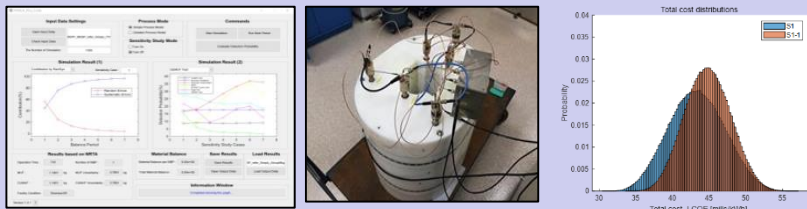

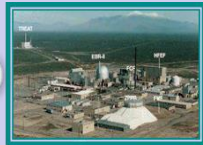

# 4-3 KAERI의 파이로프로세싱 연구 현황

사용후핵연료 관리분야 연구개발 현황 및 추진방향

## Key Tech. Development (Lab. Scale Research) (‘97 ~ ‘06)

## Eng. scale Development (Eng. Scale Equipment) (‘07 ~ ‘11)

## Eng. scale Feasibility Verification (Joint Fuel Cycle Study, ‘11 ~ ‘20) (‘12 ~ ‘20)

Acquisition of Eng.-scale process technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>(PRIDE) Eng.-scale performance with depleted uranium(DU) and simulated fuel (50 kg/batch)                     <ul style="list-style-type: none"> <li>» decladding, off-gas capture, porous pellet fabrication, carbon anode, tungsten cathode, salt waste minimization, noble waste form, equipment automation</li> </ul> </li> </ul>	 <p>Porous pellet fabrication</p> <p>Electro-reduction Metallic product</p> <p>Electro-refining/winning U ingot/(U+RE) metal</p> <p>FPs separation Clean salt/FPs residue</p>
Assessment of nonproliferation and economics	<ul style="list-style-type: none"> <li>Development of Eng.-scale safeguards approach for pyroprocessing</li> <li>Economic assessment and advanced nuclear fuel systems</li> </ul>	
Verification feasibility (JFCS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verification of Eng.-scale(2~4kg/batch) integrated pyroprocessing using LWR spent fuel                     <ul style="list-style-type: none"> <li>» decladding, electro-reduction, electro-refining, electro-winning, distillation, fuel fabrication, critical gap(crucible, off-gas capture, waste form, new electrode et al.)</li> </ul> </li> </ul>	<div>   </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>Technical feasibility</li> <li>Economic viability</li> <li>Nonproliferation acceptability</li> </ul> 

# 4-4 파이로프로세싱 한미공동연구(JFCS) 추진

사용후핵연료 관리분야 연구개발 현황 및 추진방향

- ✓ 한미 양국 정부 주관하에 파이로의 기술적 타당성, 경제성 실현 가능성, 핵비확산 수용성을 공동 검증하는 한미 원자력연료주기 공동연구를 수행('11.4 착수)



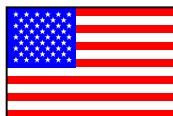
## ◆ 공동연구 단계

- 제1단계 (2 년)  
전기화학적 재활용기술의 실험실 규모 타당성 평가
- 제2단계 (5 년)  
혼합산화물 사용후핵연료를 이용한 파이로 일관 공정 운전, 조사시험을 위한 TRU 확보
- 제3단계 (3 년)  
금속핵연료 조사시험을 통한 재활용 연료 성능 평가, 경수로 사용후핵연료 파이로 공정 운전 신뢰성 검증

## ◆ 공동연구 수행 방식

- 연구성과 확인(운영위원회 개최: 총 10회)
- KAERI와 INL/ANL간 협약(CRADA 방식, '11.7)
- NTT 협정에 의한 민감기술 공유

25



미래창조과학부  
Ministry of Science, ICT and  
Future Planning



MOTIE  
MINISTRY OF  
TRADE, INDUSTRY & ENERGY

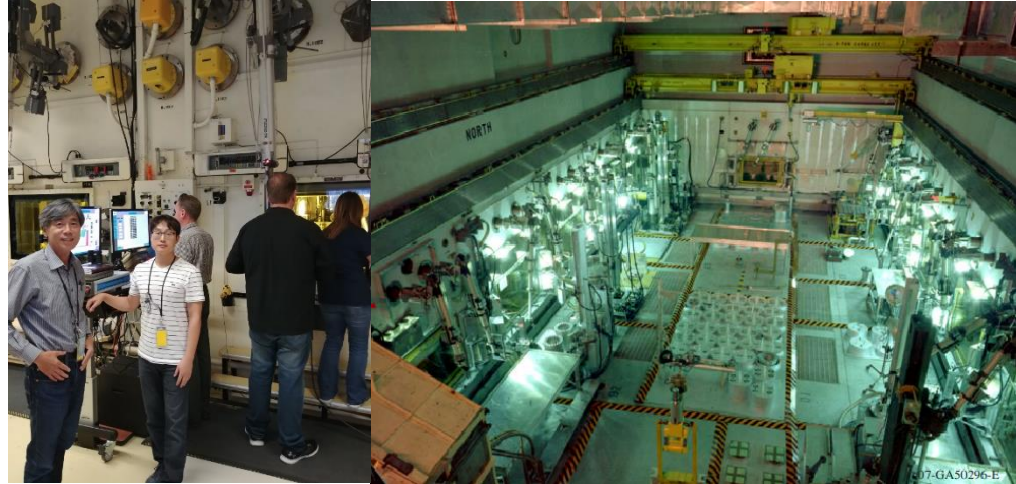


NUCLEAR SAFETY AND  
SECURITY COMMISSION

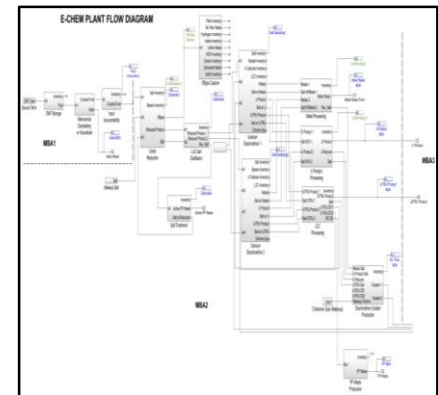
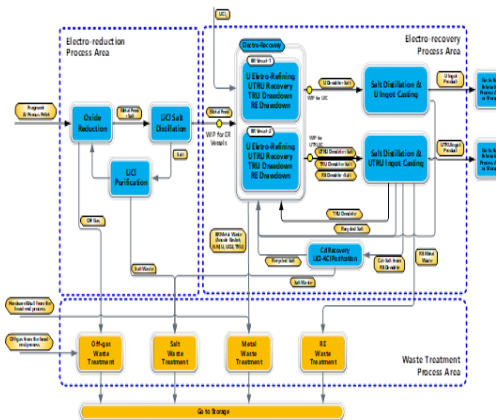




## INL HFEF: Integrated Pyroprocessing Using Spent Fuels



## REPF+: Model of 30MT/yr process for SG analysis



# KNS 2022 Spring 춘계학술발표회



## 5. 대안처분기술

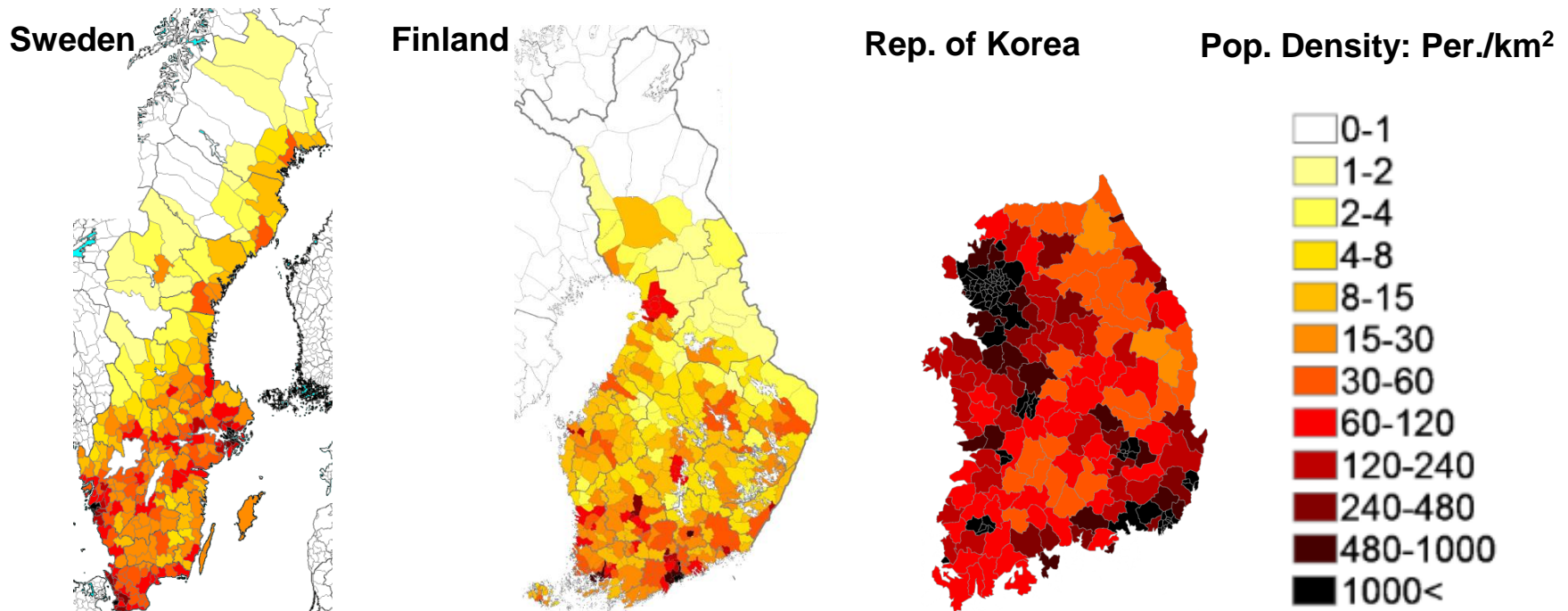


한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute



## » 직접처분 국가들과의 비교 → 스웨덴/핀란드와는 처분장 소요면적과 인구밀도가 다름

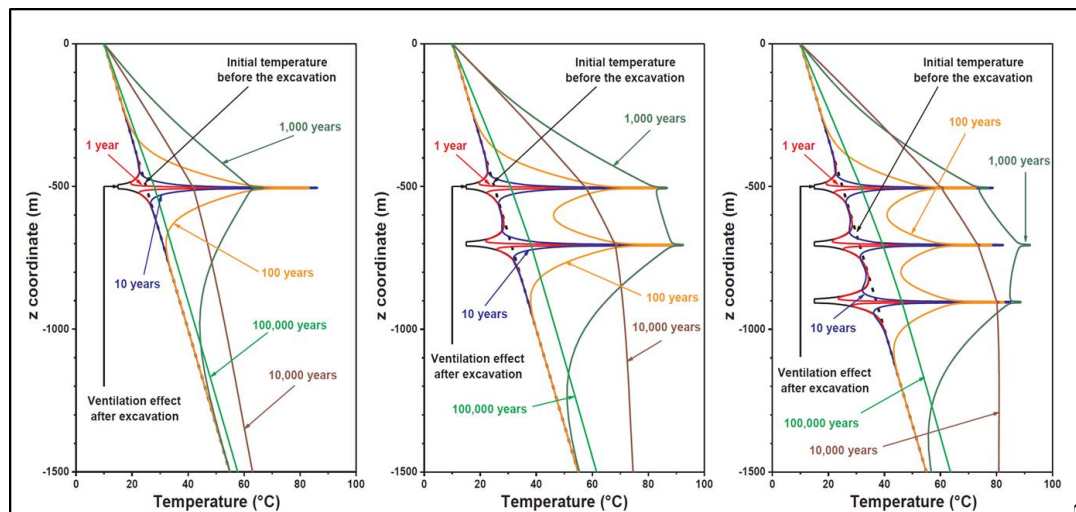
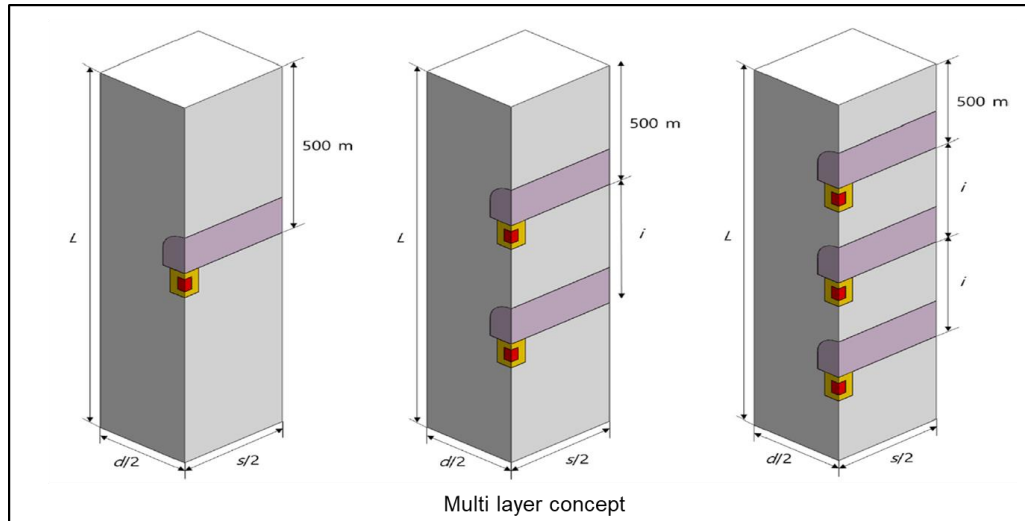
Country	Area for HLW disposal in DGD (km <sup>2</sup> )	Total land area (km <sup>2</sup> )	Population density (people/km <sup>2</sup> )
Sweden	3.6 (12,000 tU)	450,295	23
Finland	2.0 (9,000 tU)	338,424	16
Korea	4.6 (about 27,000 tU of PWR) (Disposition area only)	100,363	507





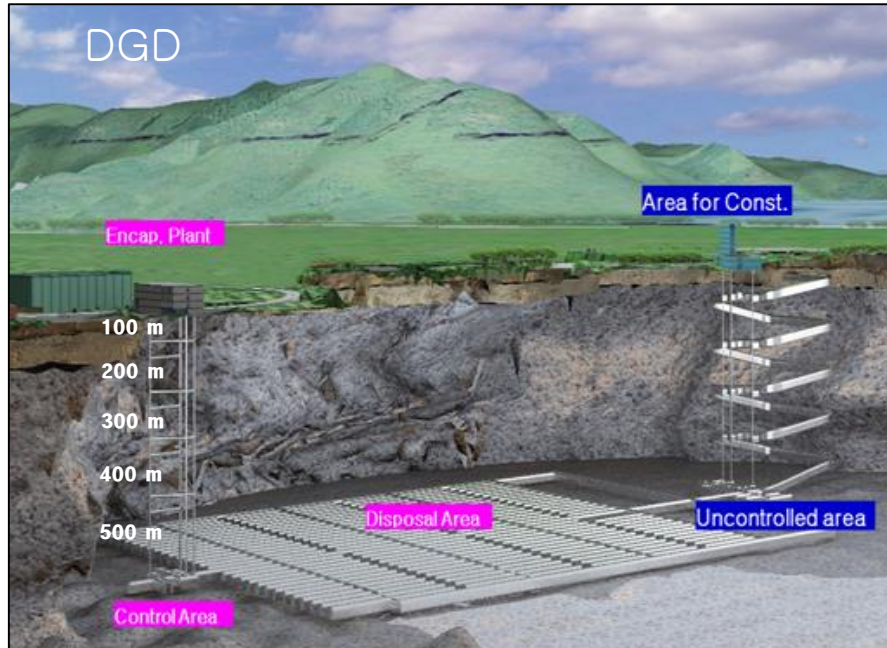
## » 복층 처분 방안

- 처분장 효율성을 강화하고 처분 밀도를 향상시켜 처분소요면적을 축소

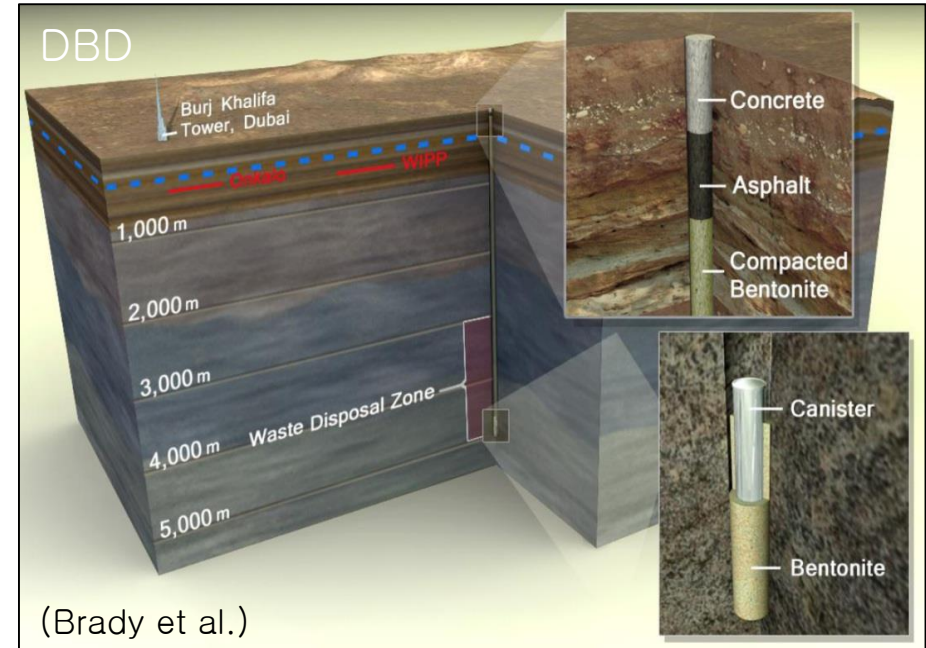




### » 심지층처분(DGD) vs. 심부시추공처분(DBD) 비교



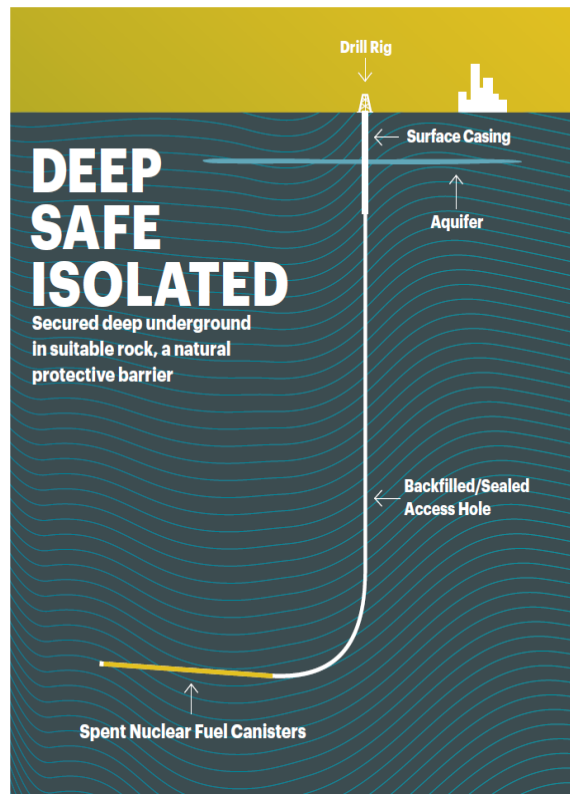
- Concept : Disposal of HLW in the disposal tunnel at the depth of 500 m
- Reference Concept for HLW Disposal



- Concept : Drilling a deep borehole to the depth of 5 km and disposal of HLW at the lower part of the borehole(3~5 km)
- Alternative Concept

### » Deep Isolation Technology

- 적절한 처분 암반층에 1km 정도의 수평 홀을 굴착한 후 처분
- 이미 기술적으로 입증된 굴착기술임



### Engineered Barrier

- Corrosion-Resistant Canisters
  - Ni-Cr-Mo alloy\*
  - \* stable in the hot, reducing environments, provide an engineered barrier expected to last for thousands of years.



- Casings, Backfill and Seals
  - Casing : Carbon steel
  - Backfill : Bentonite
  - Seal : Cements

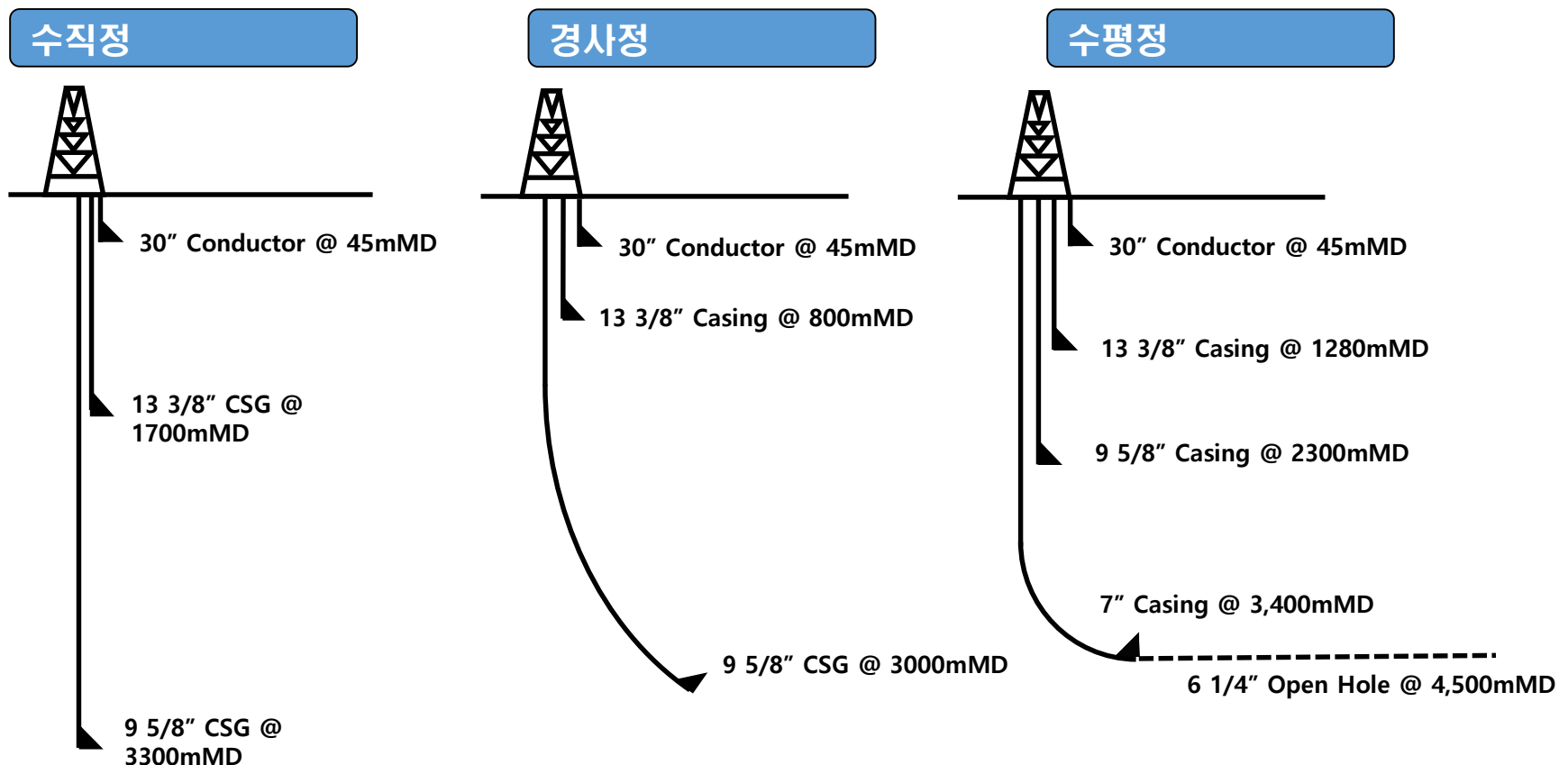
### Benefits

- Can be isolated from the surface for millions of years
- Provide safety against inadvertent intrusion
- Disposal costs are lower than DGD
- Significant safety benefits
- Can be retrieved using standard retrieval technology



### » 한국석유공사의 심부시추공정

- 시추공의 모양에 따라 수직정, 경사정, 수평정으로 나뉨
- 시추 목적(탐사, 생산, 주입), 암상 및 저류층 특성에 따라 구경 및 궤적 변경



- 석유공사 홈페이지([www.knoc.co.kr](http://www.knoc.co.kr)) 사업소개/개발사업 참조

### » DBD 처분방식의 어려움 ☞ 집합체 단위의 처분!!!

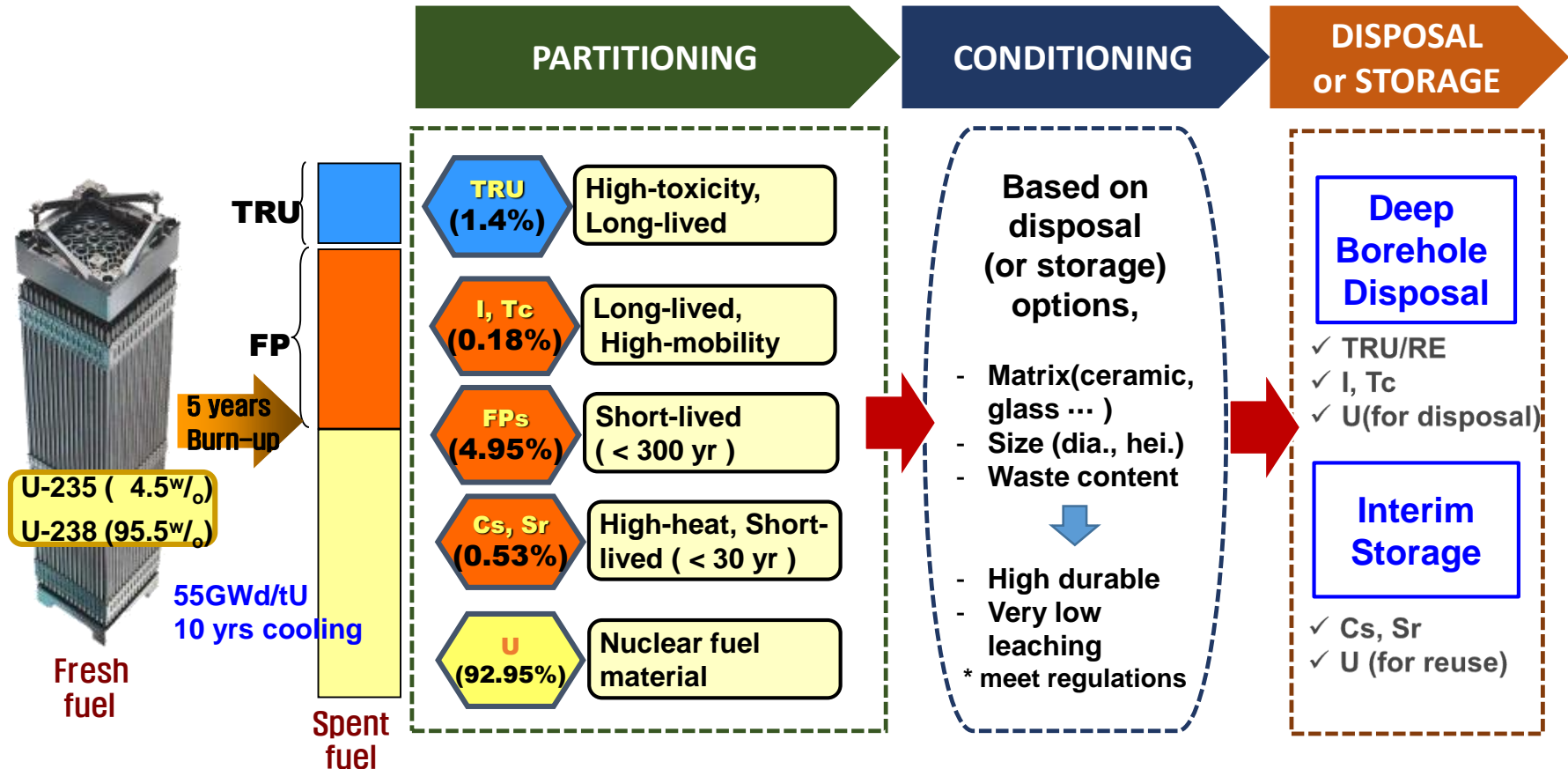
- 심부시추공 직경의 크기 제한됨 → 직경의 증가에 따라 비용도 급격히 증가
- 심부시추공 환경에 적합한 재질과 4.8m 길이에 맞는 처분용기 필요

### » 파이로 처리방식(FPs separation)과 DBD 방식을 결합

- **사용후핵연료로부터 고방열, 장수명, 고이동성, 고독성 핵분열생성물을 분리**
  - ▶ heat generating, long-lived, high-mobility, high-toxicity
  - ※ using pyroprocessing technology for separating ⇒ *Spin-off of pyroprocessing*
- **분리된 핵분열생성물을 고화체로 가공 후 처분용기에 담아 DBD 처리**
  - ▶ conditioned waste form for best DBD ; proper size
- 핵종별 분석을 통하여 일부 핵종은 바로 직접처분 대신 일정기간 저장 후 처분



## » 하이브리드 방식의 공정 흐름도



- ✓ 처분 소요면적을 줄이고 안전성을 향상시킴
- ✓ DBD뿐만 아니라 DGD 처분방식에도 활용 가능
- ✓ 분리기술(FPs separation) → 거의 모든 파이로프로세싱 기술이 활용 가능

# KNS 2022 Spring 춘계학술발표회



## 6. 핵연료주기 현안 및 추진방향



한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute





# 윤석열정부 110대 국정과제



제20대  
대통령직인수위원회

[약속01] 상식과 공정의 원칙을  
바로 세우겠습니다.

1. 코로나19 피해 소상공인·자영업자의 완전한 회복과 새로운 도약
2. 감염병 대응체계 고도화
3. 탈원전 정책 폐기 및 원자력산업 생태계 강화
4. 형사사법 개혁을 통한 공정한 법집행
5. 민간주도 성장을 뒷받침하는 재정 정상화 및 지속가능성 확보

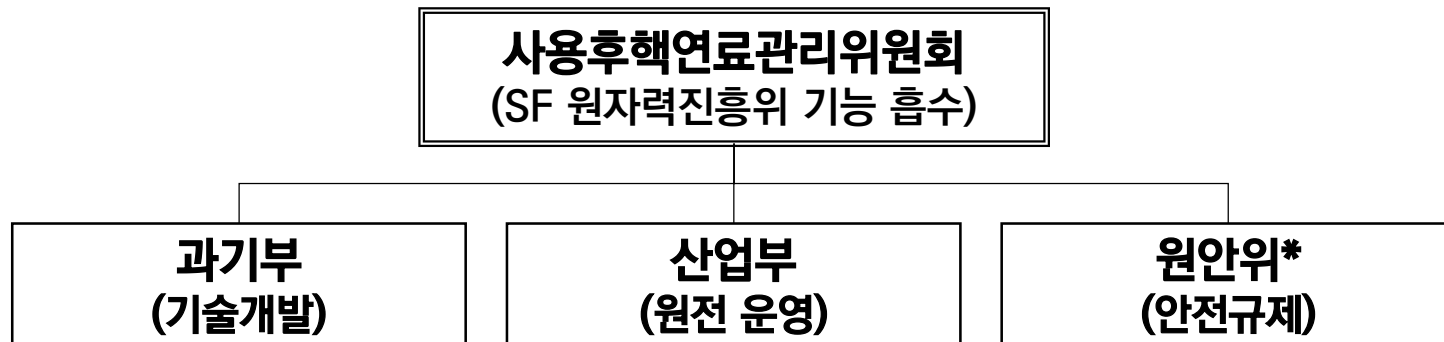
성·공공성 확립 및 국민 신뢰 회복

### 03 탈원전 정책 폐기, 원자력산업 생태계 강화 (산업부)

- (원자력 협력 외교 강화) 한미 원전동맹 강화, SMR분야 한미협력 구체화, 파이로프로세싱 한미 공동연구(JFCS) 마무리 및 향후 계획 대미 협의
- (방폐물 관리) 고준위 방폐물 처분을 위해 관련된 절차·방식·일정 등을 규정한 특별법 마련 및 컨트롤타워로 국무총리 산하 전담조직 신설 추진



- » (현안) 사용후핵연료 관련 새로운 기술개발을 주도하는 과기부와 원전 운영 및 사용후핵연료를 관리하는 산업부로 **관할 부처의 이원화로 정책 불일치 발생**
  - 과기부 주도로 사용후핵연료 처리 기술개발이 진행 중이나, 산업부 주도의 제2차 기본계획에는 처리 분야 누락
- » (추진방향) 대통령/국무총리 직속 상설 **사용후핵연료관리위원회 신설**로 사용후핵연료 **정책 총괄, 부처간/기관간 칸막이 제거 및 효율적/체계적 사용후핵연료 관리**
  - (정책의 효율성/일관성 확립) 부처간/기관간 칸막이를 넘는 사용후핵연료 정책 컨트롤타워 신설을 통한 사용후핵연료 저장, 운반, 처리, 처분 등 기술개발과 규제기준개발 및 방폐기금운용 등 체계적 관리정책 확보

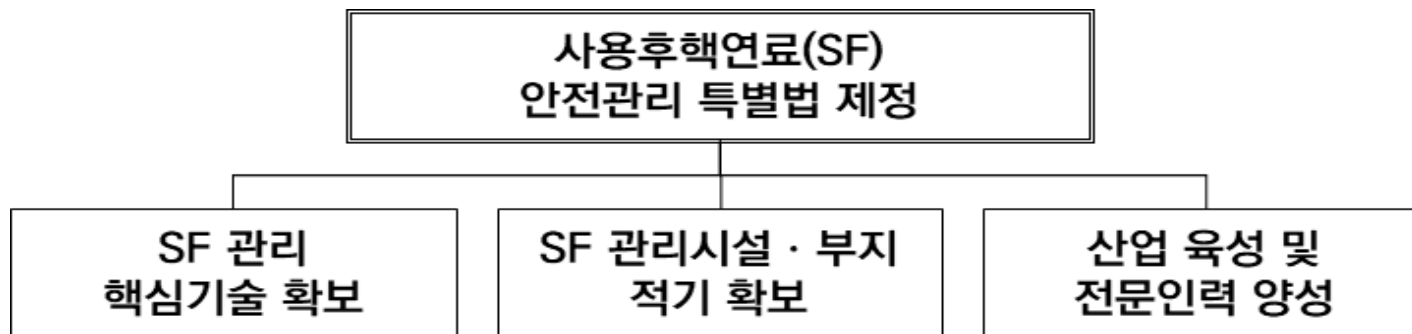


\* 사용후핵연료 관리위원회에서는 원안위의 독립성을 해치지 않도록 규제정책 부분만 취급

- » (현안) 現 사용후핵연료 관리정책은 **사용후핵연료 처리기술이 미포함되는 등** 직접처분 외에 **다양한 기술적 대안이 고려되지 않은 상황**
- 제2차 고준위폐기물관리 기본계획은 처리기술을 직접 언급하지 않고, “6대 관리원칙”에 향후 고려할 수 있다는 취지의 **모호한 문구\***만 반영
  - **기술발전 가능성**과 안전성에 관한 여건 변화 등을 감안하여 **의사결정의 가역성**과 고준위 방폐물의 **회수 가능성**을 고려
  - 직접처분이 안전한 기술로 평가되나, 처분부담을 줄일 수 있는 보다 효율적 기술필요

- » (추진방향) **사용후핵연료 안전관리 국가 로드맵 재정비 및 특별법을 제정**을 통한 체계적인 업무 추진
- (사용후핵연료 관리 국가 로드맵 수립) 사용후핵연료 저장·운반·처리·처분 등 관리를 체계적으로 추진하기 위한 **사용후핵연료 안전관리 국가 로드맵**을 수립하고 이를 뒷받침하는 법제화 필요

※ 기술개발 일정, 주요 점검사항, 최종 정책결정 방법, 예산/부지 확보 계획 등



## 6-3 사용후핵연료 처리기술 장기동의 확보 및 국내실증

사용후핵연료 관리분야 연구개발 현황 및 추진방향

- » (현안) 우리나라는 한미 원자력연료주기공동연구(JFCS, '11~'21)를 통해 미국 현지에서 파이로 기술의 타당성을 확인하였으나, **국내 실증 및 활용을 위해서는 한미 원자력협정에 따라 미국의 장기동의 필요**

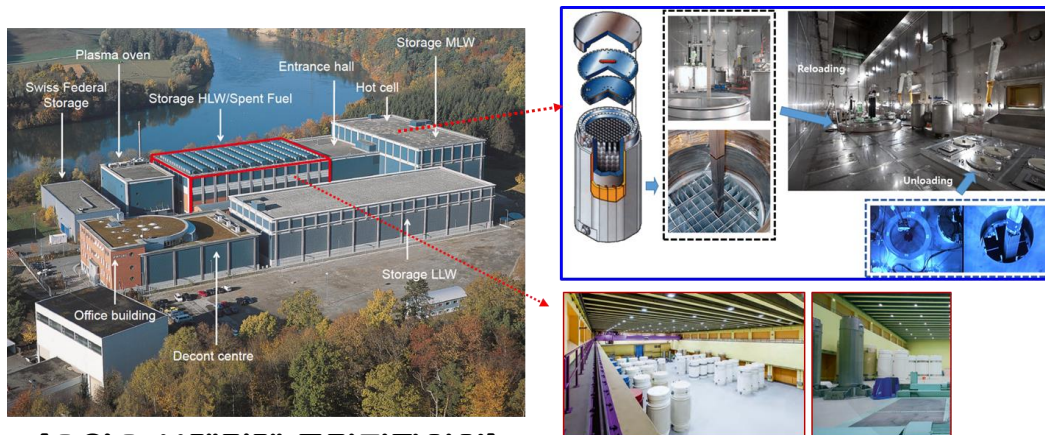
※ 2015년 한미 원자력협정 개정 시, 미국과 장기동의 협의 절차는 합의했으나 미국은 민감기술 확산 우려 등으로 장기동의 부여에 유보적 입장 유지

- » (추진방향) 한미 원자력협정에 규정된 장기동의 협의 절차에 따라 **미국과의 협상을 추진**하여 국내 사용후핵연료 처리기술 실증에 대한 미국의 장기동의 확보 및 국내 실용화연구시설 구축을 통한 사용후핵연료 처리기술 검증

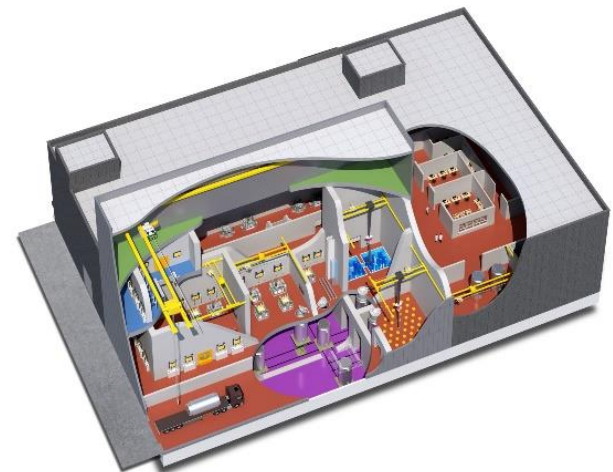
### → 범정부 차원의 다각적 노력 필요

※ 장기동의 협의 절차: JFCS 완료 후 양국 간 원자력 고위급위원회(HLBC)에서 협의

※ 파이로 기술 실증을 위해서는 SF 취급이 가능한 고방사능 환경의 특수 시설(Hot cell) 필요



[스위스 뵐렌겐 중간저장시설]

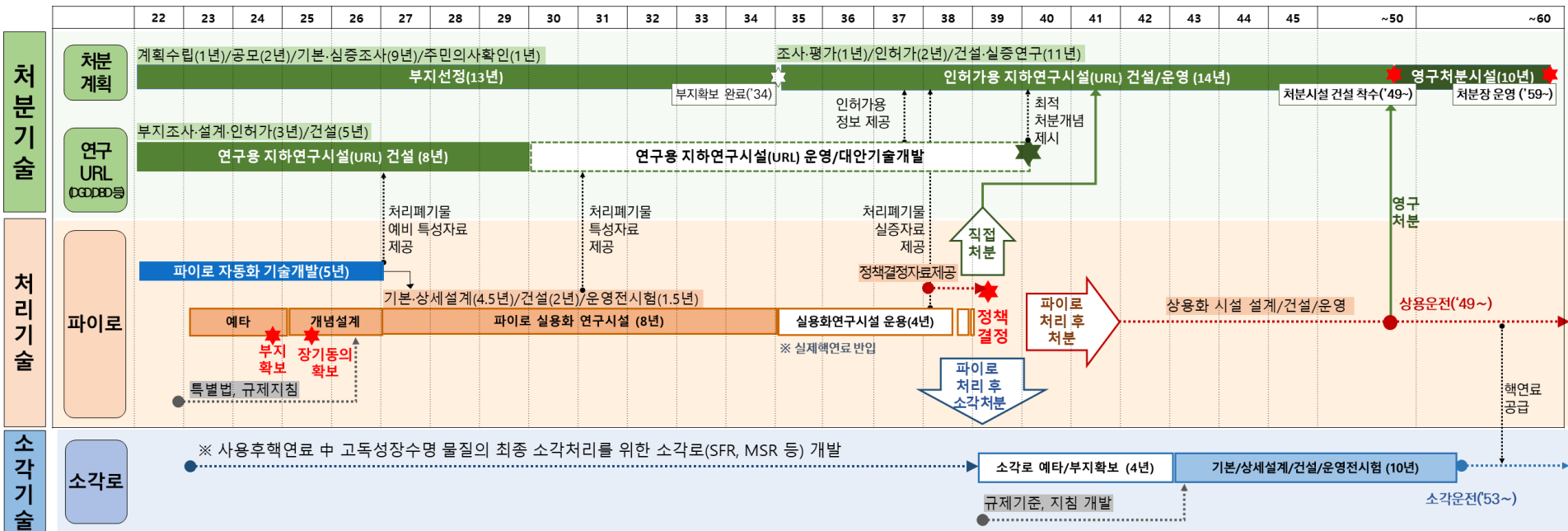


- » (현안) 현재 '사용후핵연료 관리사업'에는 심지층처분방식(DGD)만 포함되어 있고, 사용후핵연료 특성분석 등이 포함되지 않음.
  - 사용후핵연료 저장/처분을 기술개발을 추진하는 예타사업에 사용후핵연료의 특성을 분석하는 내용과 심부시추공처분(DBD) 등 대안기술에 대한 내용이 빠져 있음.
  - 직접처분/처리 후 처분 모두 사용후핵연료 특성분석기술 확보는 매우 중요. 다양한 종류의 핵연료에 대해 아무 검증결과 없이 코드해석 결과만 갖고 처분할 수는 없음.
- » (추진방향) 사용후핵연료 안전관리를 위한 예타 사업에 심부시추공처분방식(DBD) 등 대안 기술과 사용후핵연료 특성 분석에 대한 내한 내용을 추가하고, 특별법에도 이를 반영하여, 정책결정시 해당 내용을 검토할 수 있도록 사용후핵연료 관리 국가 로드맵 보완 필요
  - 직접처분(DGD)과 처리 후 처분(DGD/DBD) 방식 모두 사용후핵연료 및 폐기물 고화체 특성 분석 기술 확보 및 처분 규제기준 확보는 매우 중요
  - 처리/처분 관련 인허가 소요 기간이 예측 가능하도록 인허가 시스템 전면 개선 필요 (인허가 소요기간 예측이 불확실하면 국가 로드맵 수립이 불가능함)
  - 가장 시급한 현안인 저장문제는 바로 해결할 수 있도록 인허가 체계 조기확립 필요

# 6-4 사용후핵연료 안전관리 기술개발 장기 로드맵

사용후핵연료 관리분야 연구개발 현황 및 추진방향

## 사용후핵연료 안전관리 기술개발 장기 로드맵 (안)



※ 산업부가 추진 중인 제2차 고준위폐기물 관리 기본계획의 직접처분의 일정에 차질이 없도록 직접처분과 파이로 연구를 병행하고, 2038년까지 정책결정에 필요한 파이로 기술 연구결과를 제공하여 정부가 가장 좋은 처분방안을 선택/결정할 수 있도록 함.

- 2039년에 1) 직접처분, 2) 파이로 처리 후 처분, 3) 파이로+소각 후 처분 세 가지 방안 중 어떤 정책으로 갈지 최종결정을 할 수 있으며, 어떤 것을 선택한다 해도 기존의 직접처분을 위한 모든 게 그대로 활용되므로 처분일정에 차질이 없음.
- 위와 같은 전체 기술개발 및 정책결정 일정과 방법 등을 담는 사용후핵연료 특별법 기반의 업무 추진 필요



# KNS 2022 Spring 춘계학술발표회



## 7. 결언



한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute



### » 윤석열 정부에서의 체계적인 사용후핵연료 정책 및 효율적 운영체계 확립 필요

- 국가 사용후핵연료 관리정책을 체계화한 특별법을 제정하고, 부처/기관간 역할을 합리적/체계적으로 수행하도록 하여 국력낭비 방지 및 원자력의 국민신뢰도 강화
- 대통령 직속의 상설기구 설치를 통해 국민 신뢰도 제고 및 체계적인 정책수립 추진 → 현 정부 임기 내에 사용후핵연료 관리 정책결정을 할 수 있는 제반 자료 제공 필요

### » 2030년대 말 국민이 안심할 수 있는 검증된 사용후핵연료 관리방안 확보

- 국가적으로 체계화된 관리방안을 확립하고, 사용후핵연료의 운반·저장·처리·처분의 핵심 기술의 개발과 검증의 적기 완료 및 국민수용성을 확보하고, 사용후핵연료 문제를 해결하여, 지속가능한 원자력 이용에 기여 → 현 정부 임기 내에 적기 기술확보 및 정책결정 일정 확립 필요
- 조속한 처리·처분기술의 실증을 통해 사용후핵연료의 부피·독성을 저감하여, 방사선 사고 위험 해소와 최종 처분 부담을 획기적으로 감소시켜 고준위 방사성폐기물 처분장 확보에 기여

### » 사용후핵연료 안전관리 방안이 · 포함된 국가계획의 수립을 바탕으로 향후 K-Taxonomy에 원자력 포함에 기여

- EU 경제분류체계(Taxonomy)와 같이 사용후핵연료 처리기술을 포함한 방사성폐기물 대책 수립을 통해, K Taxonomy에 원자력이 지속가능한 녹색에너지로 포함되는데 기여

더 나은 세상을 위한 원자력기술  
세계가 따라 배우는 원자력연구원

감사합니다



한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute