

# 핀란드-스웨덴 방식 그 이후

## - 국외 대안 처분 개념 개발 현황 -

2026 한국원자력학회 춘계학술대회 Workshop C  
고효율 처분기술의 가치: 2026 고준위 방사성폐기물 Safety Case Workshop

2026년 5월 6일

지 성 훈



Korea Atomic Energy  
Research Institute

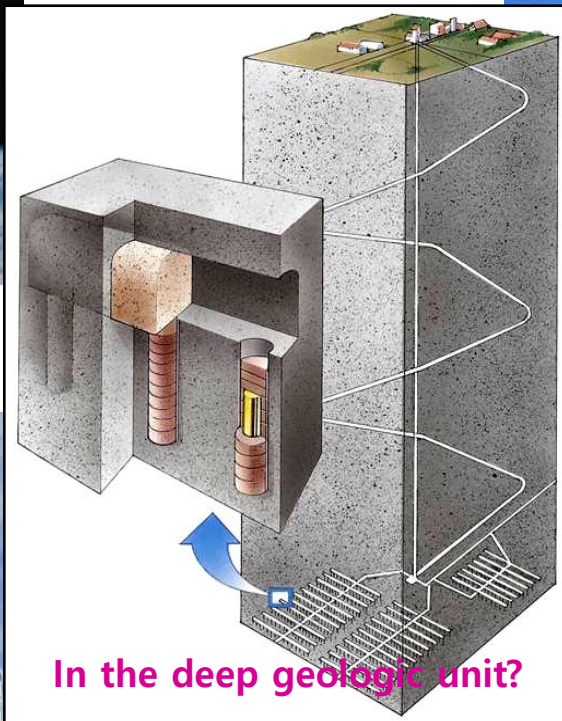
# 1. 고준위 방사성폐기물의 처분



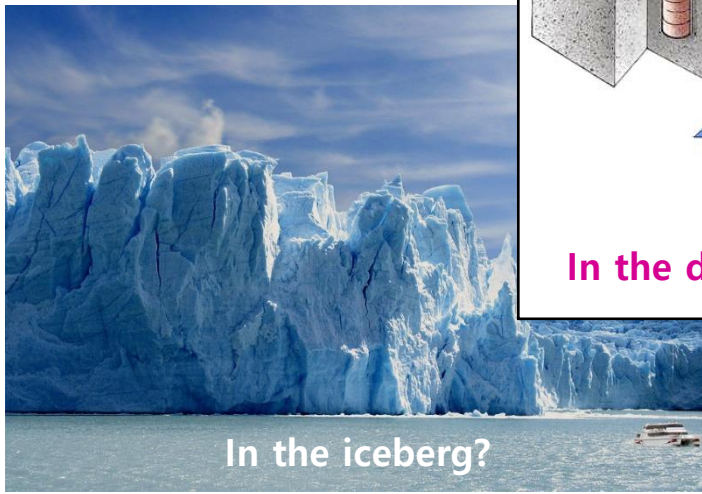
To the space?



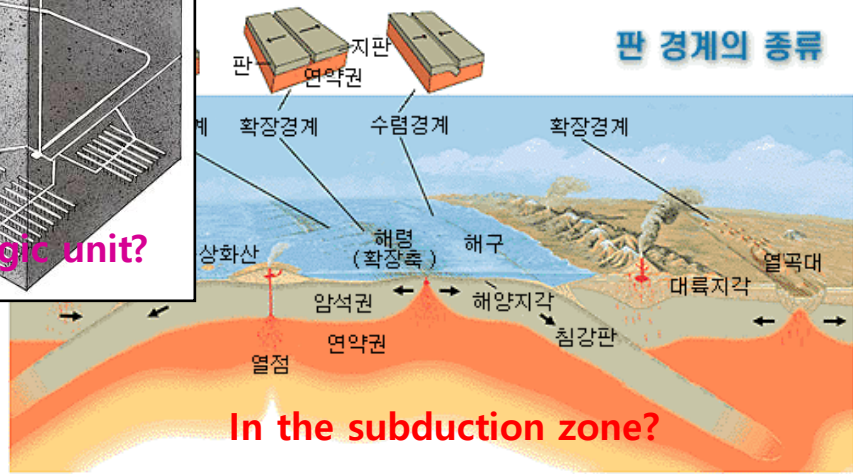
In the deep sea?



In the deep geologic unit?



In the iceberg?

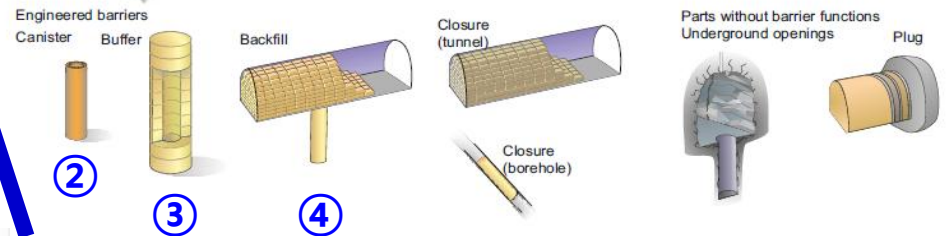
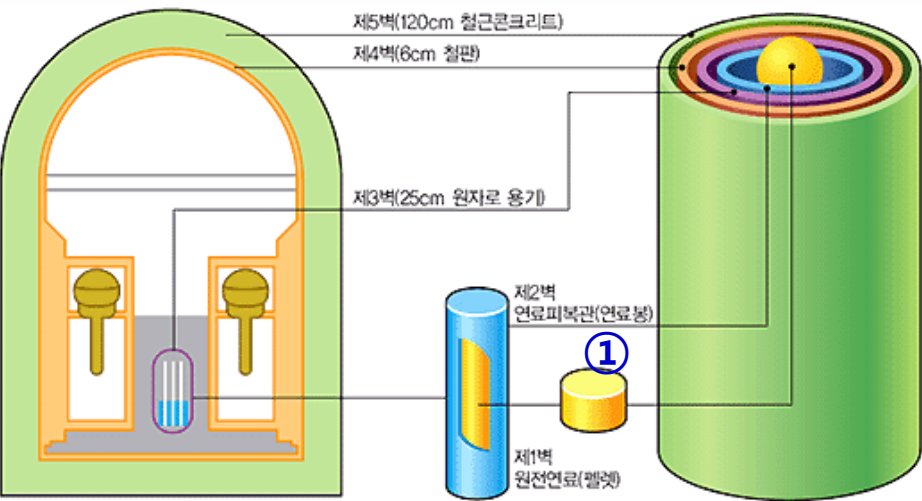
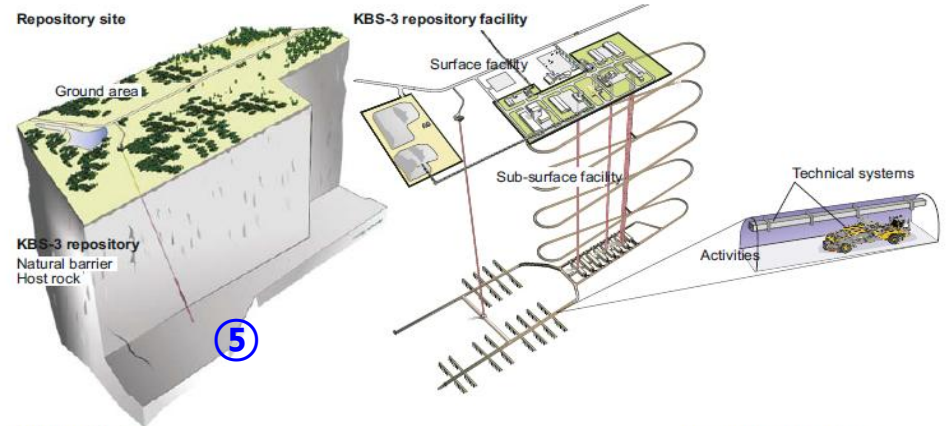


In the subduction zone?

# 2. 심층처분시스템(1/2)

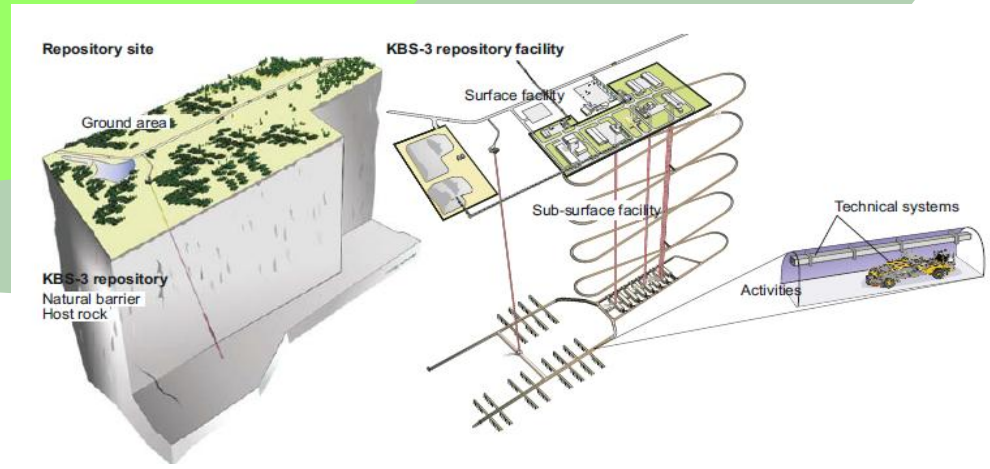
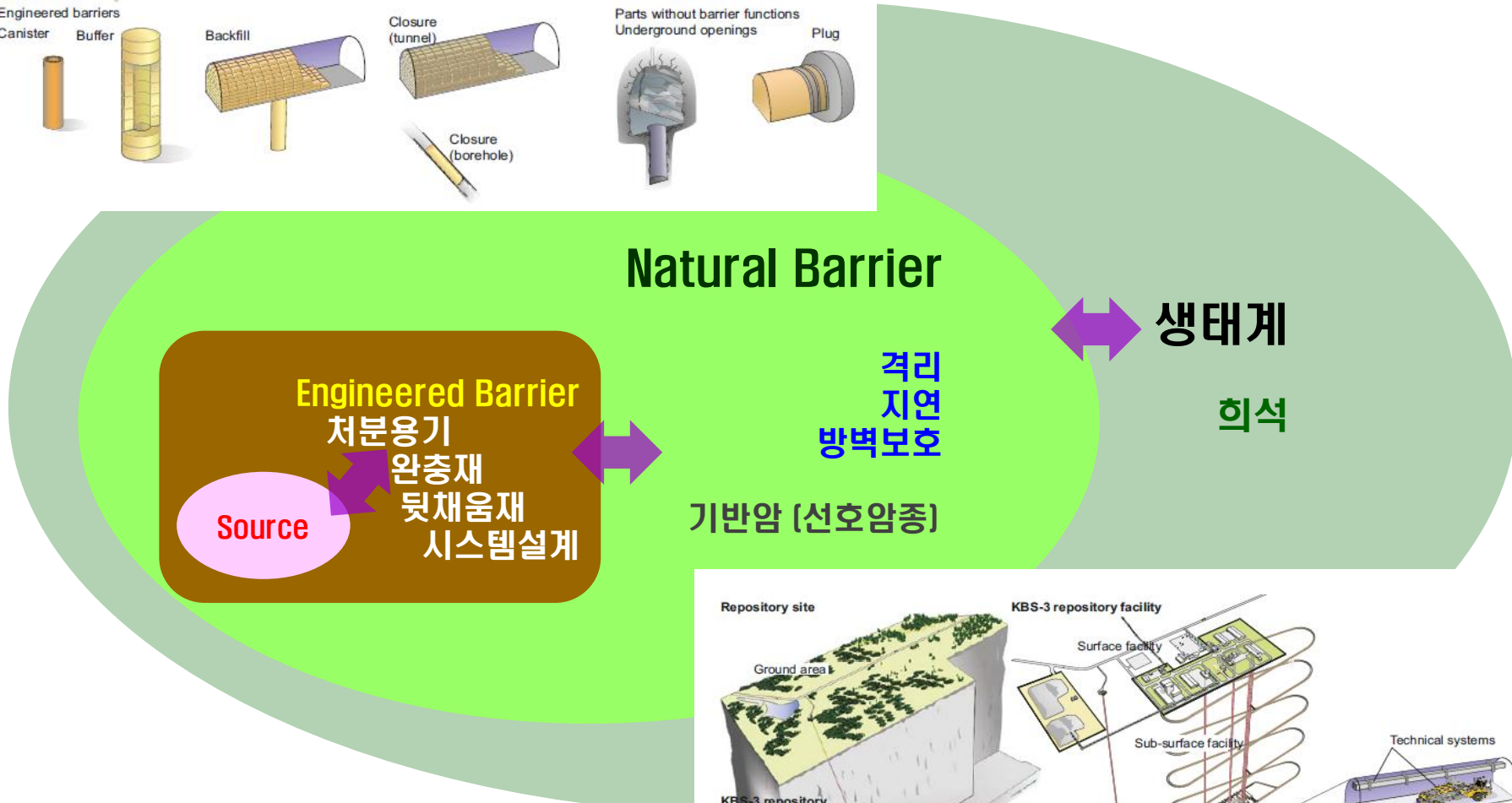
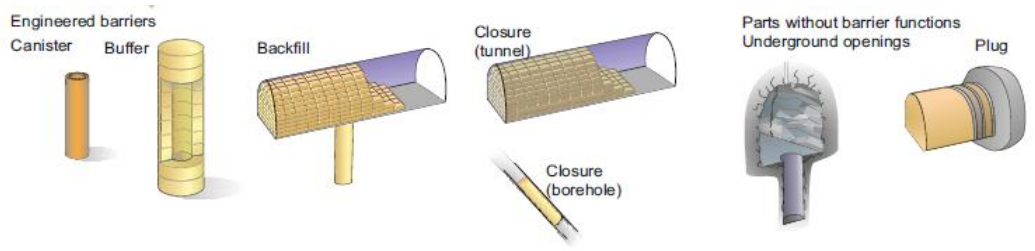


## 시스템의 안전성·성능 요건 Performance & Safety Requirements



**다중방벽 안전성·성능**

# 2. 심층처분시스템(2/2)



### 3. 기준 처분시스템 vs. 대안 처분 개념



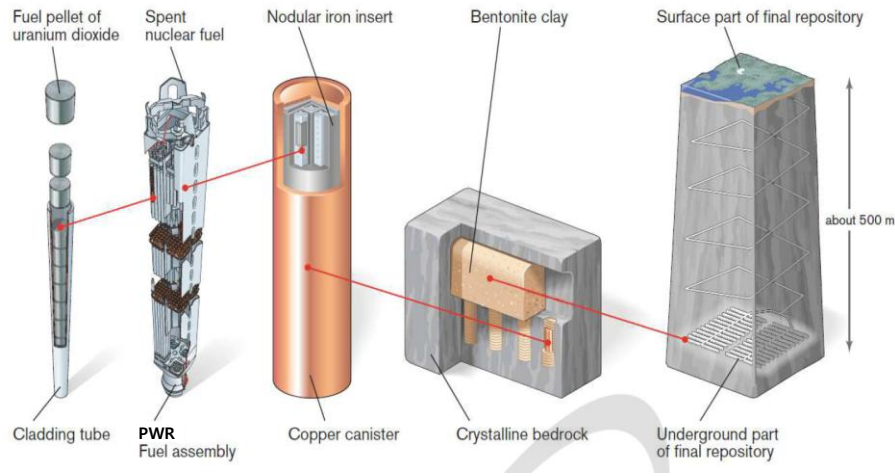
- » **기준 처분시스템 (Reference disposal system):** 고준위 방폐물 처분시설의 안전성을 입증하고 실제 건설·운영하기 위한 '설계의 기준'이 되는 핵심 개념
- » **대안 처분 개념 (Alternative disposal concept):** '기준 처분시스템' 외에, 기술적, 지질학적, 경제적 요인을 고려하여 검토되는 또 다른 처분 방식을 의미
- » **대안 처분 개념의 필요성**
  - 핀란드는 대안 처분 개념인 DAWE에 대해 스웨덴과 공동으로 Äspö 지하연구시설에서 실 규모로 실증 실험을 하고 이를 처분장 건설 인허가 문서 및 운영 인허가 문서에 포함시켜 기준 처분시스템과 함께 인허가를 받음
  - DAWE에 대한 실증 실험 시 열의 영향은 고려하지 않는 등 시스템의 모든 성능을 기준 처분시스템 수준으로 실증하지는 않음
  - 처분사업은 장기 사업이므로 기술 발전 및 환경 변화 등 만약의 상황을 대비해 인허가 시 기준 처분시스템과 대안 처분 개념을 함께 인허가를 받음

# 4-1. 해외 사례 - 스웨덴(1/2)

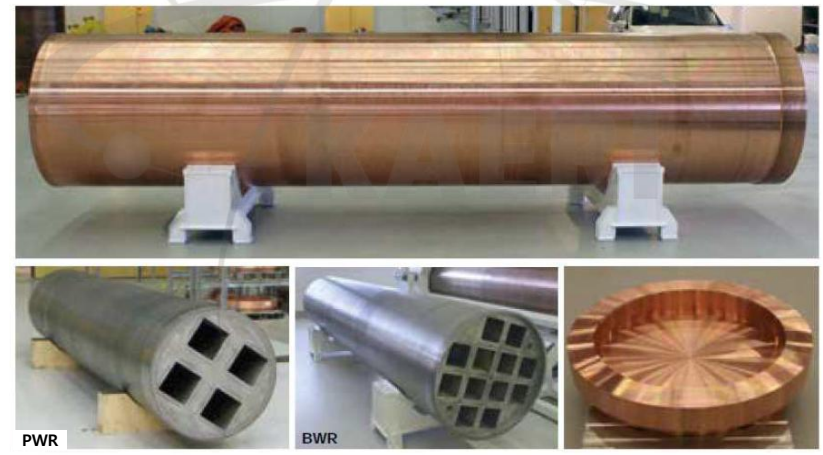


## » 기준 처분시스템: KBS-3(KBS-3V)

### 처분개념



### 사용후핵연료 처분용기



### 연구개발 및 사업추진 현황

- 1983: 초기처분개념설정/안전평가서(KBS-3개념)
- 1990: HRL(Aspo) 건설 개시
- 1992: SKB 연구개발 실증계획수립(RD&D-92)
- 2009: 처분장 부지선정(포스마크)**
- 2022: 처분장 건설 승인
- 2040: 처분장 정상운영 개시 예정**

### 특이사항

- 포화대 심부 화강암반에 사용후핵연료 처분

**처분대상물**  
사용후핵연료

**후보지층 (심도)**  
화강암 (500~700m)

**처분장 지하수 조건**  
포화

**기초/기반연구 시점**  
1970년

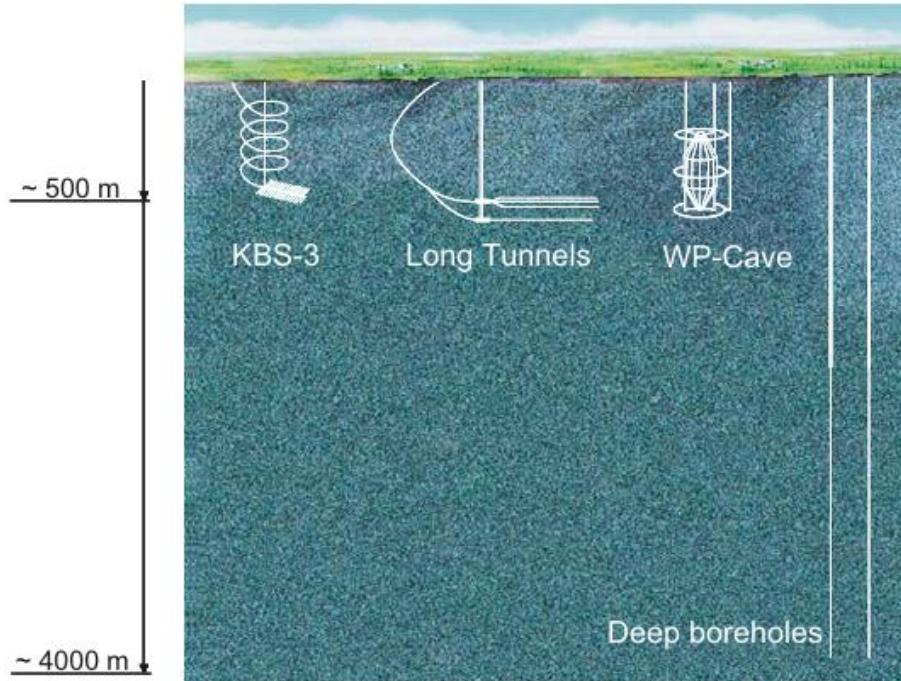
### 지하연구시설 (실증,홍보)

- 1982-1992 스트리파 시설운영
- 1996 - Aspo지하 연구시설 운영 중(화강암)

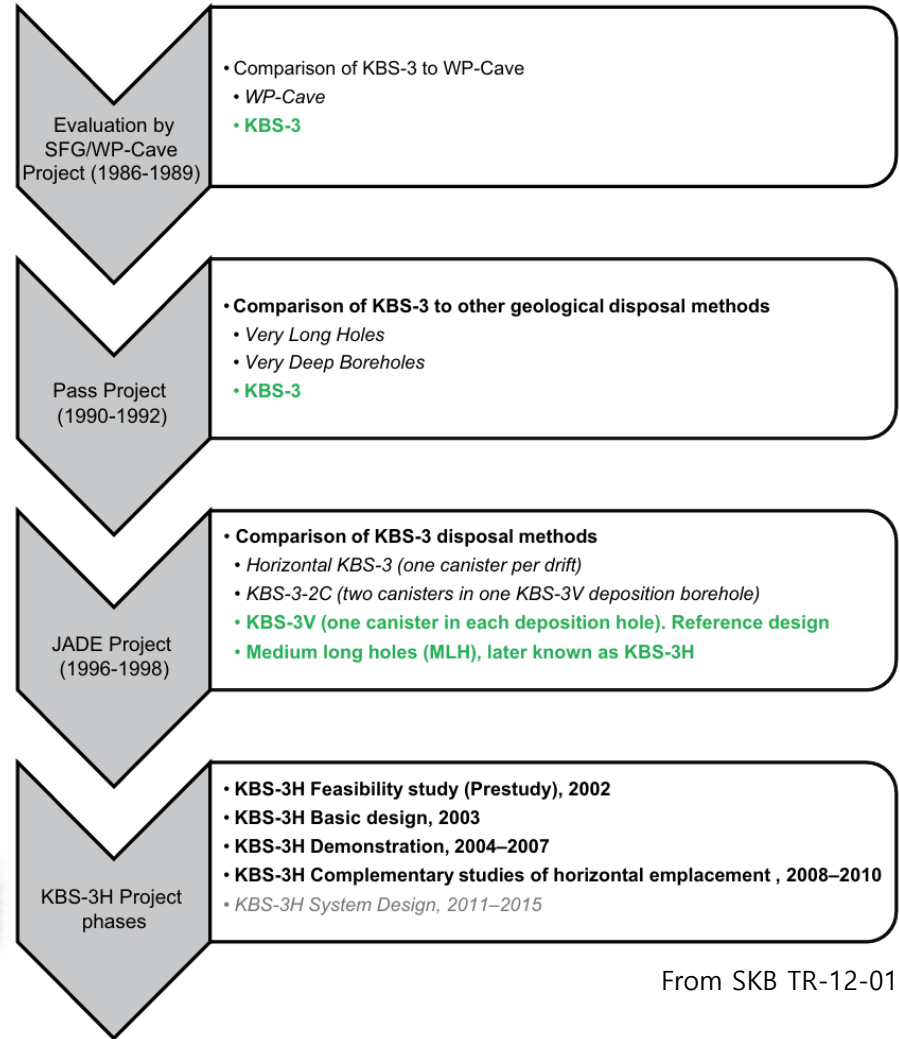
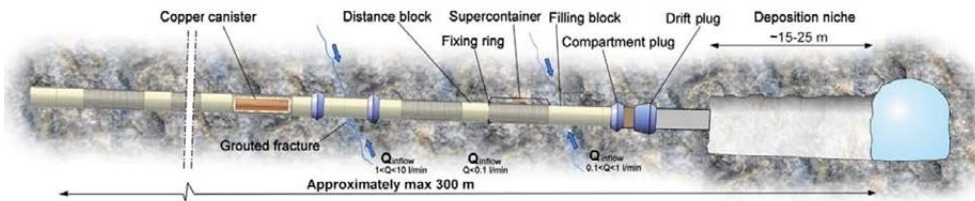
# 4-1. 해외 사례 – 스웨덴(2/2)



## » 대안 처분 개념: VLH, MLH(KBS-3H), VDH, WP-Cave



From SKB P-10-47



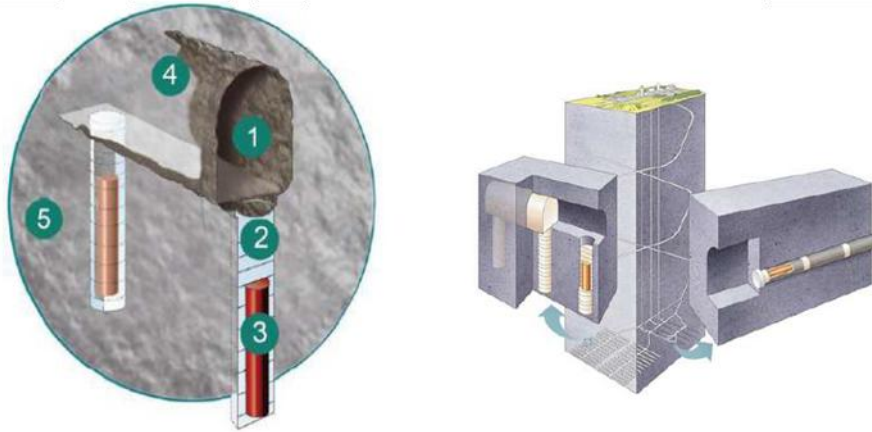
From SKB TR-12-01

# 4-2. 해외 사례 – 핀란드(1/2)



## » 기준 처분시스템: KBS-3(KBS-3V)

### 처분개념



(1: 처분터널, 2: 완충재, 3: 처분용기, 4: 뒷채움재, 5: 암반)

처분대상물
사용후핵연료

후보지층 (심도)
화강암 (500m)

처분장 지하수 조건
포화

기초/기반연구 시점
1970년대

지하연구시설
2001-2003년 설계완료 후 2004년 올킬루토 현장 (화강암) 부지에 건설 착공

### 사용후핵연료 처분용기



### 연구개발 추진방향

- 1978: 처분 관련 R&D 추진 시작
- 1983: 2000년까지 중장기처분연구 프로그램 개시
- 2001: 올킬루오토 지역을 SF처분 부지로 선정
- 2004: 처분부지 암반특성화시설(RCF) 착공
- 2012: 처분장 건설허가 신청
- 2026: 처분장 운영(예정)

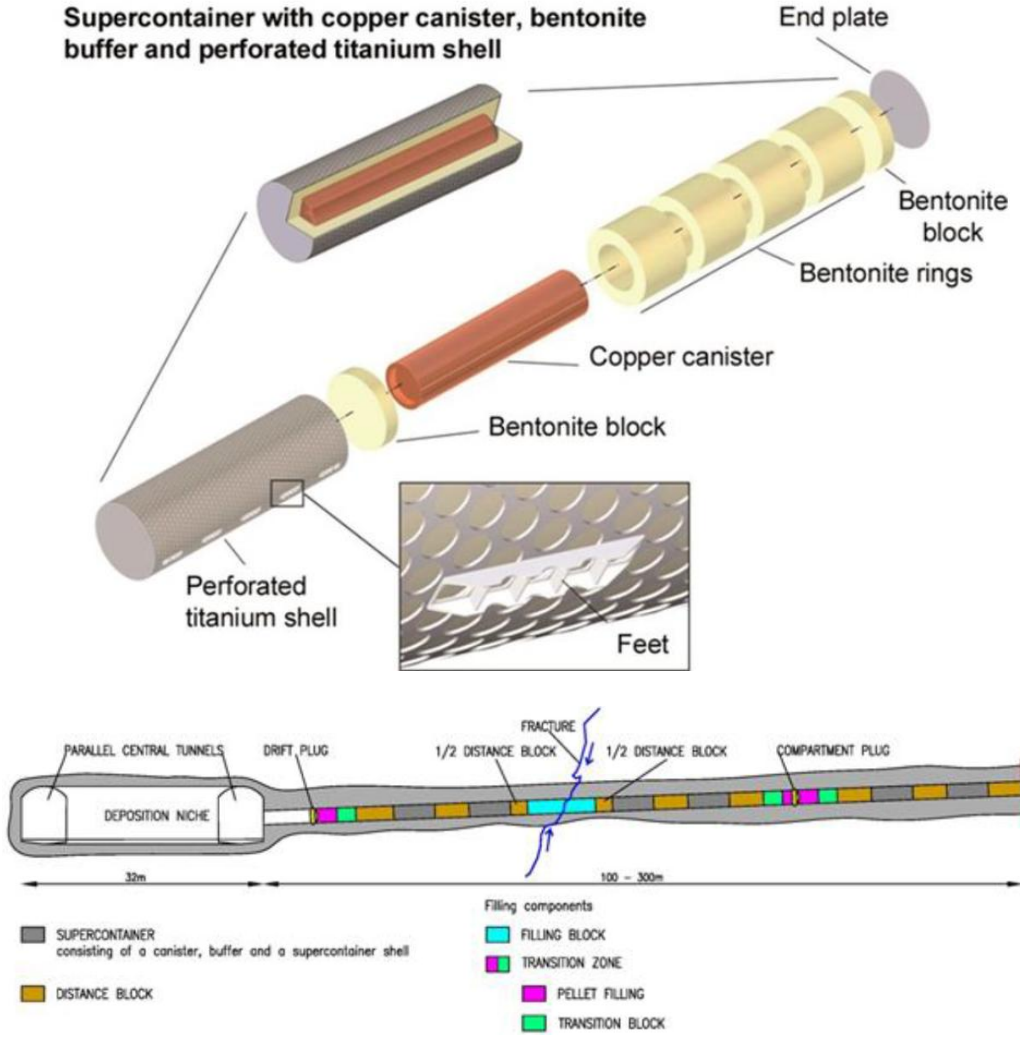
### 특이사항

- 포화대 심부 화강암반, 처분장 운영 임박

# 4-2. 해외 사례 – 핀란드(2/2)



## » 대안 처분 개념: VLH, MLH(DAWE), VDH, WP-Cave



From POSIVA 2012-50

Evaluation by SFG/WP-Cave Project (1986-1989)

- Comparison of KBS-3 to WP-Cave
- WP-Cave
- **KBS-3**

Pass Project (1990-1992)

- Comparison of KBS-3 to other geological disposal methods
- Very Long Holes
- Very Deep Boreholes
- **KBS-3**

JADE Project (1996-1998)

- Comparison of KBS-3 disposal methods
- Horizontal KBS-3 (one canister per drift)
- KBS-3-2C (two canisters in one KBS-3V deposition borehole)
- **KBS-3V (one canister in each deposition hole). Reference design**
- **Medium long holes (MLH), later known as KBS-3H**

KBS-3H Project phases

- KBS-3H Feasibility study (Prestudy), 2002
- KBS-3H Basic design, 2003
- KBS-3H Demonstration, 2004-2007
- KBS-3H Complementary studies of horizontal emplacement, 2008-2010
- KBS-3H System Design, 2011-2015

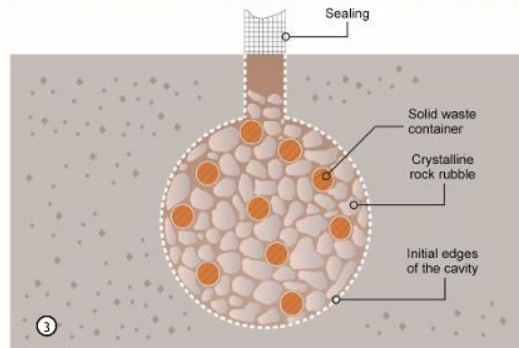
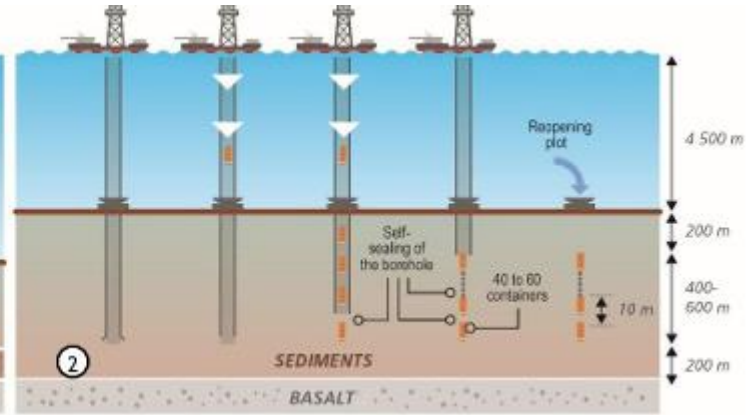
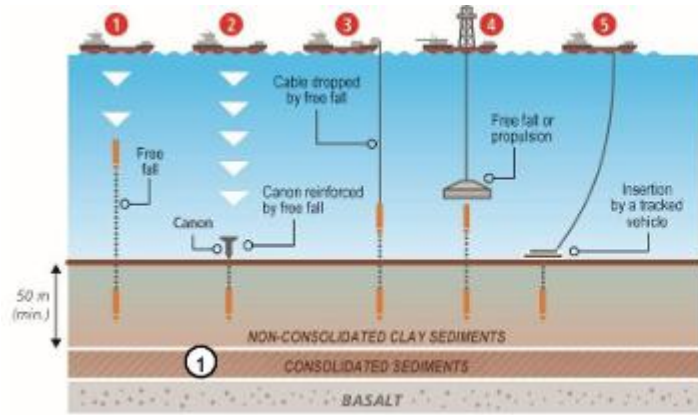
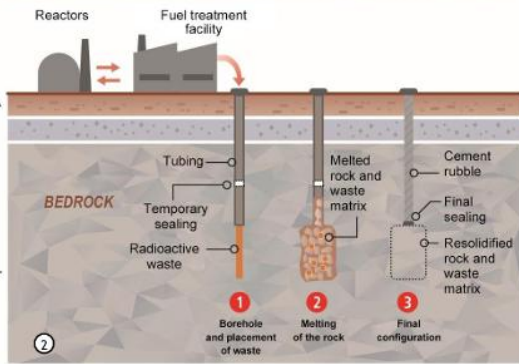
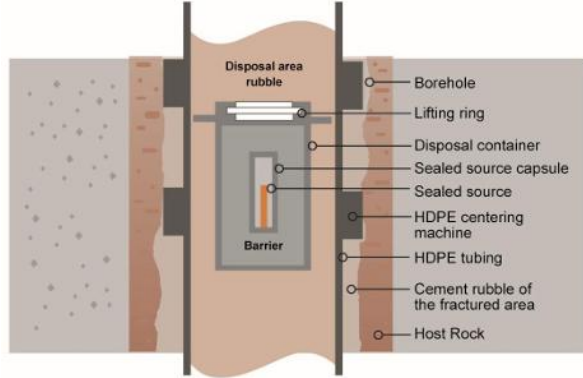
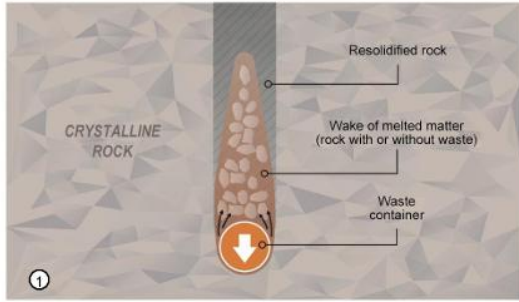
From SKB TR-12-01



# 4-3. 해외 사례 – 프랑스(2/2)



## » 대안 처분 개념: 시추공 처분, 해저 지하 처분



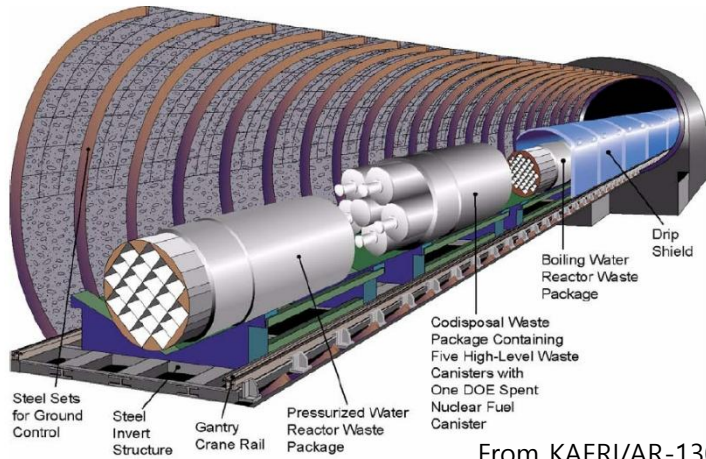
From IRSN Report/2019-00318

# 4-4. 해외 사례 - 미국(1/2)



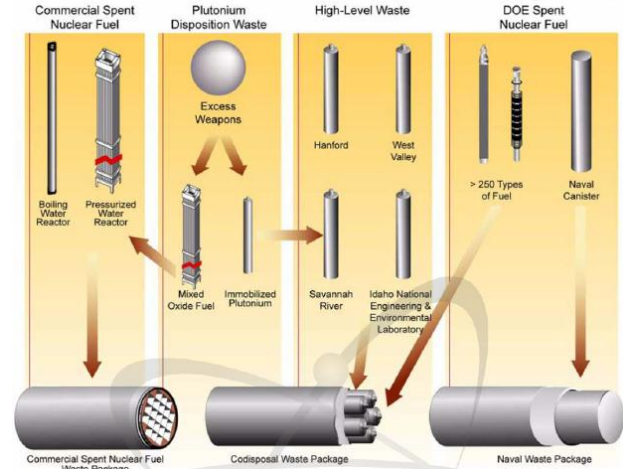
## » 기준 처분시스템: YMP

### 처분개념



From KAERI/AR-1303/2020

### 사용후핵연료 처분용기



### 연구개발 및 사업추진 현황

- 1987: 유카산을 처분장 부지로 선정
- 2008: 원자력규제위원회에 건설허가 신청
- 2009: 오바마 정부 유카산 사업 백지화 발표**
- 2012: 블루리본위원회 권고보고서 제출
- 2013: DOE 관리전략 발표(2025 중간저장시설 운영, 2048 심층처분장 운영)**

### 특이사항

- 불포화대 응회암에 사용후핵연료 처분

처분대상물
사용후핵연료

후보지층 (심도)
응회암 (약 200~500m)

처분장 지하수 조건
불포화

기초/기반연구 시점
1950년대

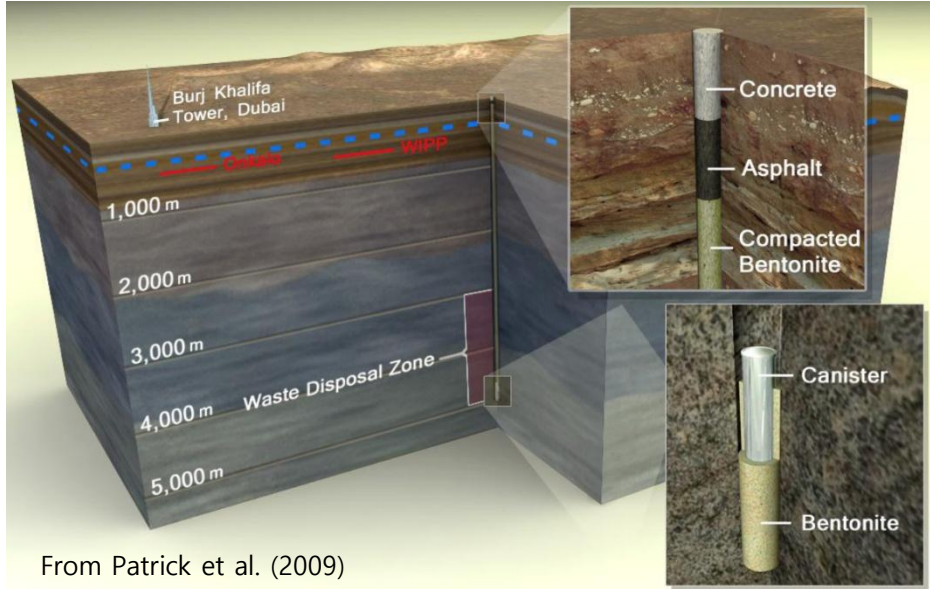
### 지하연구시설 (실증, 홍보)

1994	유카산 부지에 ESF 건설 착수
1997 - 2009	지하 약 300m의 ESF에서 연구 수행

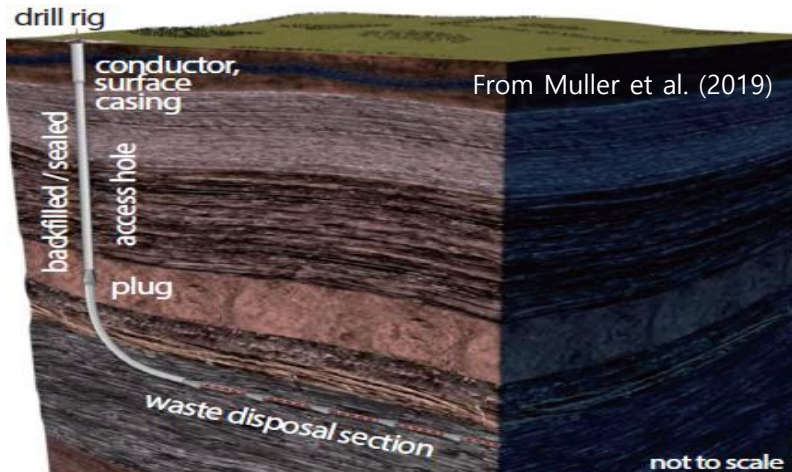
# 4-4. 해외 사례 – 미국(2/2)



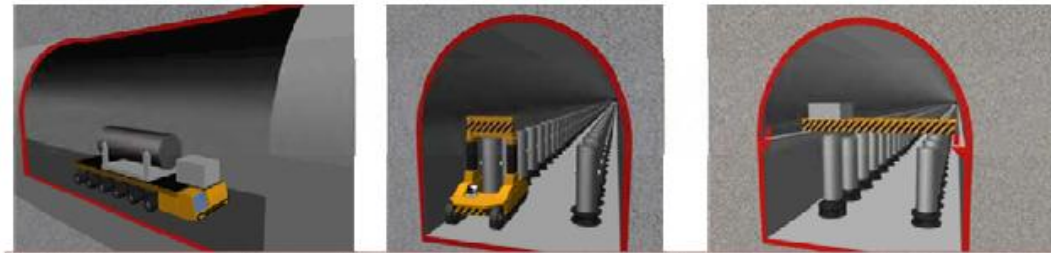
## » 대안 처분 개념: 심부시추공처분(DBD), 수평시추공처분, CARE



From Patrick et al. (2009)

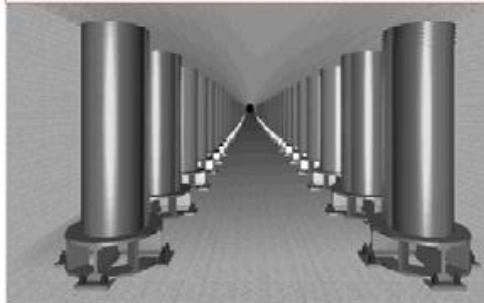


From Muller et al. (2019)

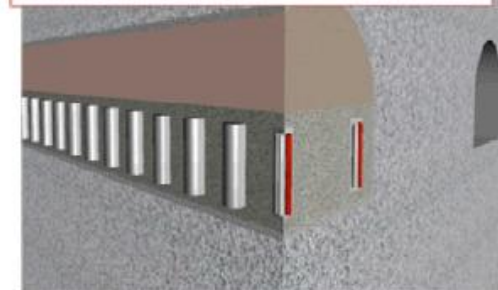


A Initial Emplacement Phase of storage casks In CARE uses standard technology which can be tele-operated

B During the extended **Storage Phase**, casks in CARE are fully inspectable and can be easily retrieved for reprocessing or moved to allow cavern refurbishment

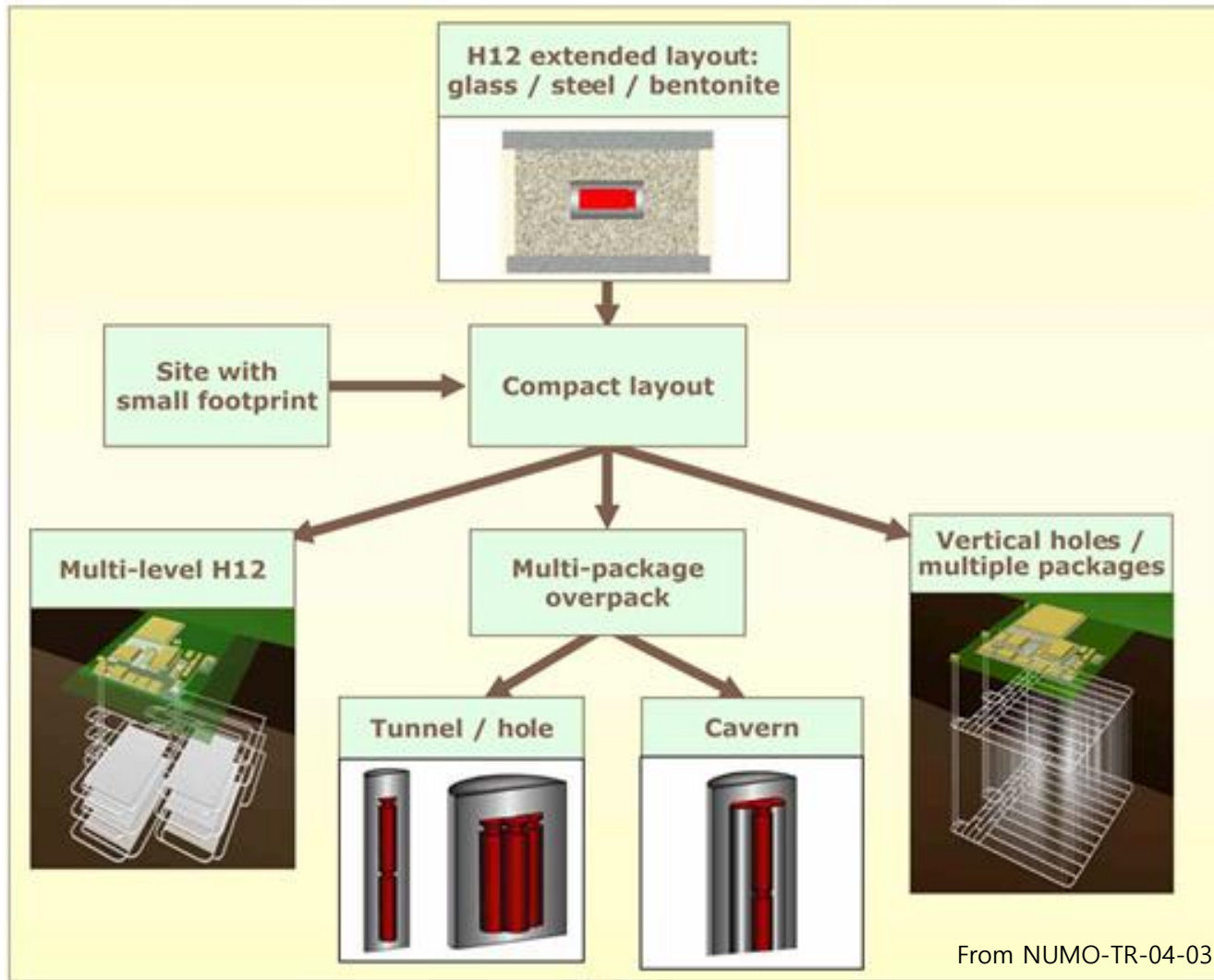


C. When a decision is made for a final **Disposal Phase**, the CARE facility can be backfilled and sealed with safety barriers similar to those in a conventional repository



From EPRI (2010)

# 4-5. 해외 사례 - 일본



# 5. 국내 사례(1/3)



## » 기준 처분시스템: KORADIS

### 처분개념

수직형 처분방식(KORADIS-V)



수평형 처분방식(KORADIS-H)



처분대상물
사용후핵연료

후보지층 (심도)
결정질암 (약 500m)

처분장 지하수 조건
포화

기초/기반연구 시점
1997년

지하연구시설 (실증,홍보)	
2006-	KURT(심도 약 120m) 운영
2026 -	태백 부지 URL(심도 500m) 건설 착수 예정

### 사용후핵연료 처분용기



① KORAD 처분용기

From Moon (2026)

### 연구개발 및 사업추진 현황

- 1997: 사용후핵연료 처분기술 연구개발 착수
- 2006: 사용후핵연료 기준처분시스템(KRS) 제시
- 2012: 파이로폐기물 처분시스템(A-KRS) 제시
- 2016: KURT 기반 개념개발단계 SCR 발간
- 2021: KORADIS 개발 착수**
- 2021: 처분 다부처 공동예타사업 착수

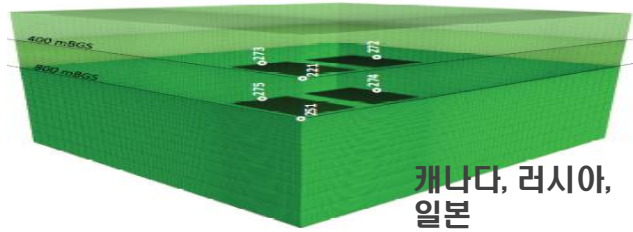
### 특이사항

- 포화대 심부 결정질암반에 사용후핵연료 처분

# 5. 국내 사례(2/3)



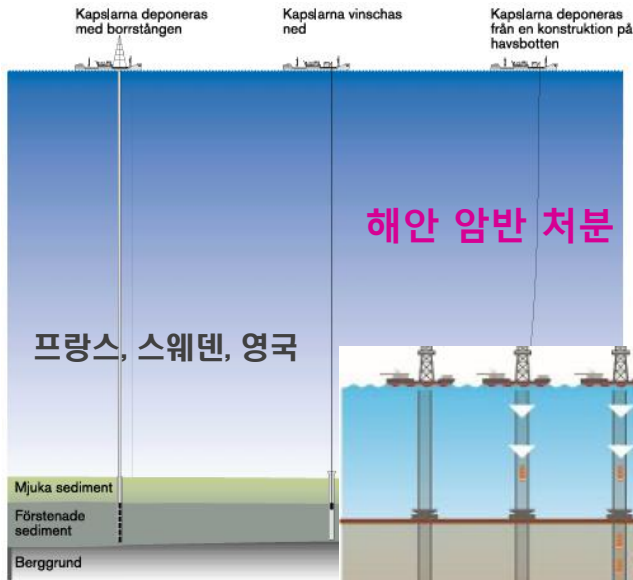
## » 대안 처분 개념



캐나다, 러시아,  
일본

Point	Location
221	Centre of Repository - Upper Level
251	Centre of Repository - Lower Level
272	Edge of Panel - short edge - Upper Level
273	Edge of Panel - long edge - Upper Level
274	Edge of Panel - short edge - Lower Level
275	Edge of Panel - long edge - Lower Level

다층처분



해안 암반 처분

프랑스, 스웨덴, 영국

From Laverov et al. (2016)

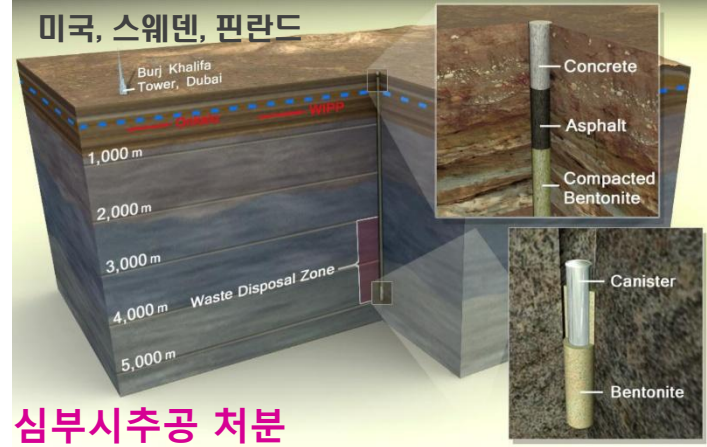
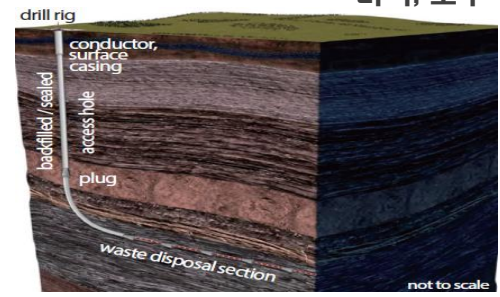


러시아, 독일,  
일본, 영국

행렬식 심부시추공 처분

수평시추공 처분

미국, 호주



심부시추공 처분

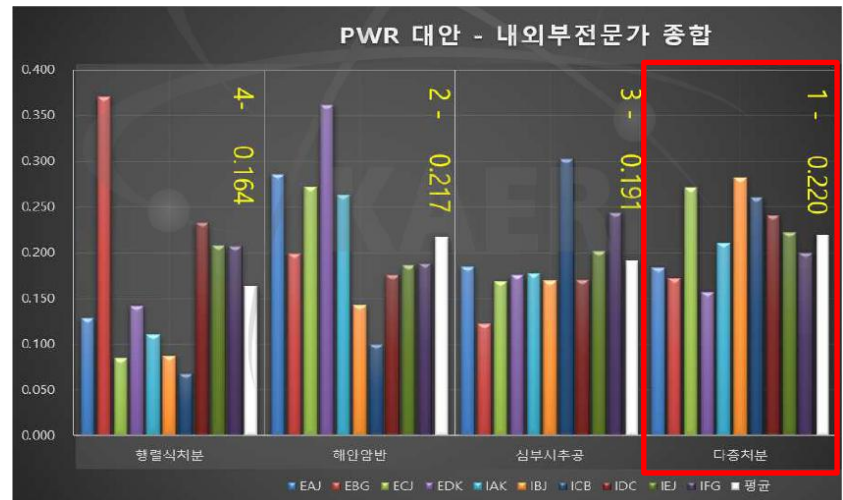
# 5. 국내 사례(3/3)



## » 대안 처분 개념

평가기준	세부 평가지표	비고 (참고자료 참조)
주민 수용성	- 육지 처분 면적 - 회수성 비교 (핵비확산성 포함)	- 정량적 평가 - 전문가 판단
안전성	- 운영 안전성 - 처분용기 수명 - I-129의 공학적방벽 및 압만균열 이동 시간 - 인간 침입 확률	- 정량적 평가 (용기취급 횟수 및 지하시설까지 운반거리/방식에 따른 사고위험) - 정량적 평가 - 정량적 평가 - 전문가 평가 (정량적 기반)
경제성	- 수명주기비용 기반 평가 인자 - 평가의 불확실성	- 정량적 평가 (지상시설 투자비/운영비, 지하시설 투자비/운영비, 해체비) - 전문가 판단
기술 완성도	- 기술성숙도 - 인허가 난이도	- 전문가 판단 (TRL, 해외 사례) - 국내 연구개발 경험 - 전문가 판단 (해외 사례/기술기준 등)
환경성 (자원 제약성)	- 구리 소요량 - 벤토나이트 소요량	- 정량적 평가 - 정량적 평가

	주민수용성 기준 선호도(PWR)		안전성 기준 선호도(PWR)	
	선호도	순위	선호도	순위
행렬식처분	0.167	3	0.160	3
해안암반	0.250	2	0.199	2
심부시추공	0.145	4	0.326	1
다층처분	0.296	1	0.152	4



## 6. 결론



- ▶ 고준위 방폐물의 기존 처분시스템은 처분대상 물질과 처분장 모암의 암종에 따라 결정
- ▶ 처분 사업의 특성(긴 준비기간과 사업기간)에 따라 기존 처분시스템 외 대안 처분 개념 필요
- ▶ 수평처분, 다층처분, 해안 암반 처분, 행렬식 심부시추공 처분, 심부시추공 처분, 수평시추공 처분 등 많은 대안 처분 개념 존재
- ▶ 원자력연구개발사업을 통해 현 세대에서 발생한 방폐물은 미래 세대에 부담이 가지 않도록 현 세대가 책임져야 한다는 기본 원칙 하에 주민수용성, 안전성, 경제성, 기술완성도, 자원제약성 등을 고려해 대안 처분 개념들을 비교·평가
- ▶ 최종적으로 다층처분 개념을 국내 여건 상 최적의 대안 처분 개념으로 선정

# Thank you for your attention

Ji, Sung-Hoon | [shji@kaeri.re.kr](mailto:shji@kaeri.re.kr)

