

처분 기술과 파이로프로세싱

2017년 02월 08일

송기찬



Contents

1. Nuclear power & SNF issues
2. Basic schemes for HLW management
3. HLW disposition
4. Pyroprocessing

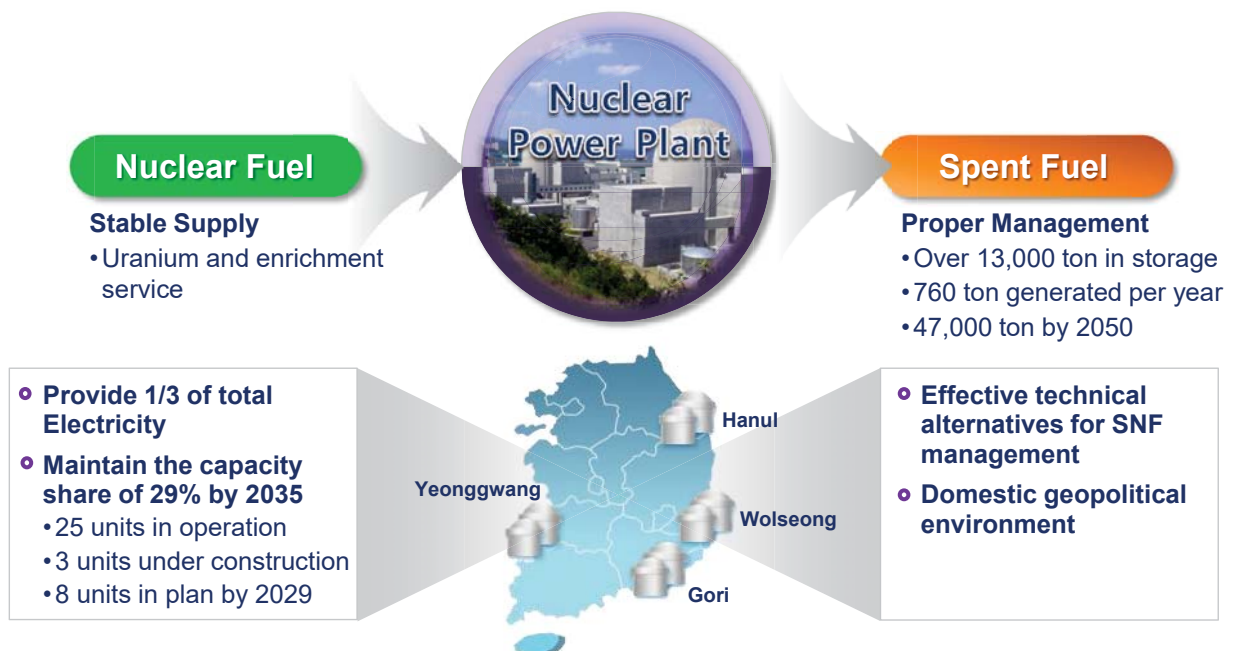




2

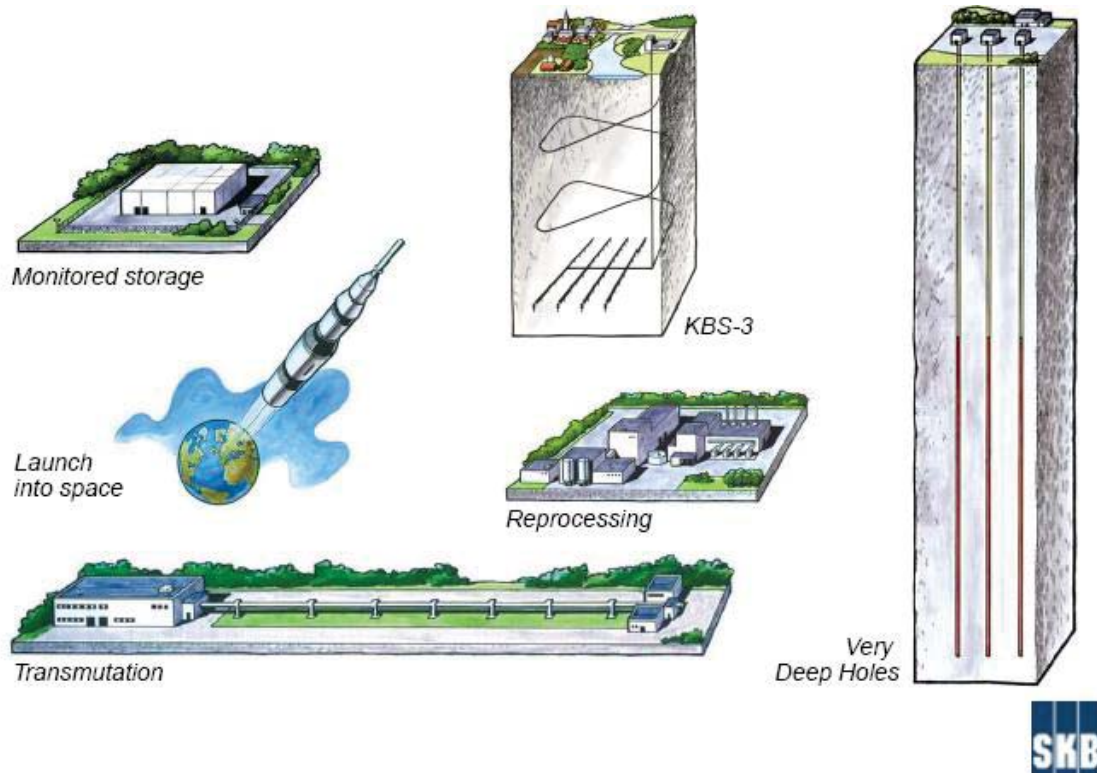
Nuclear Power & Spent Nuclear Fuel

- ❖ Pursuing nuclear energy due to energy security and global warming
- ❖ Securing solutions for the front- and back-end of the fuel cycle



3

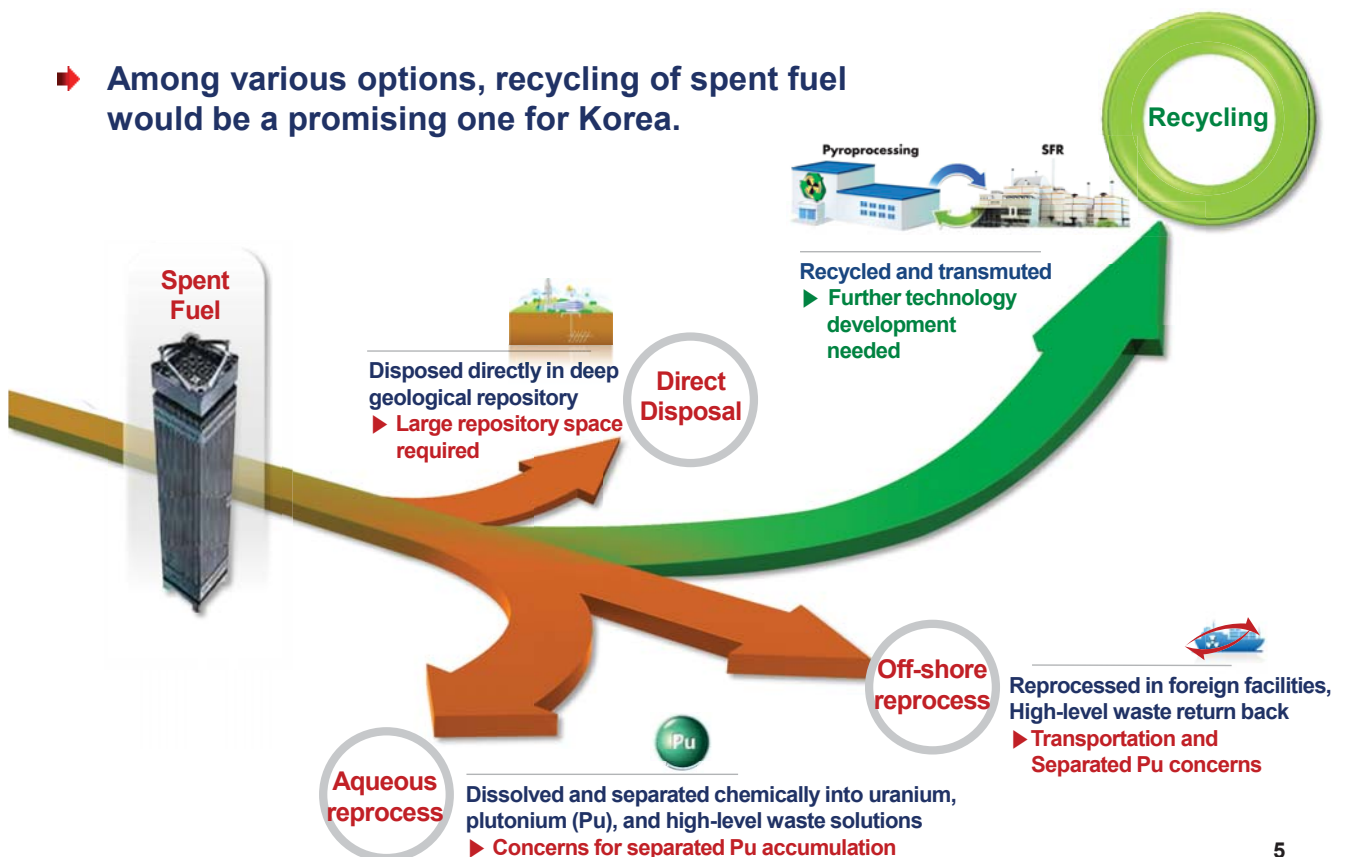
SNF 관리의 다양한 개념



4

Long-Term Management Alternatives

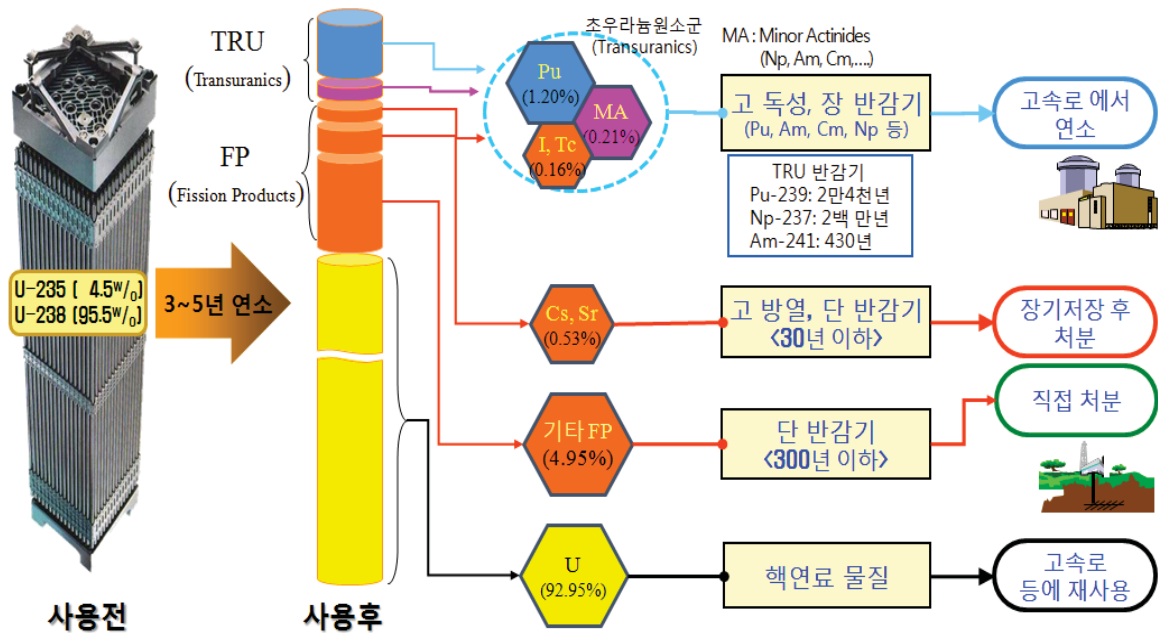
- ➡ Among various options, recycling of spent fuel would be a promising one for Korea.



5

파이로-고속로 미래원자력시스템

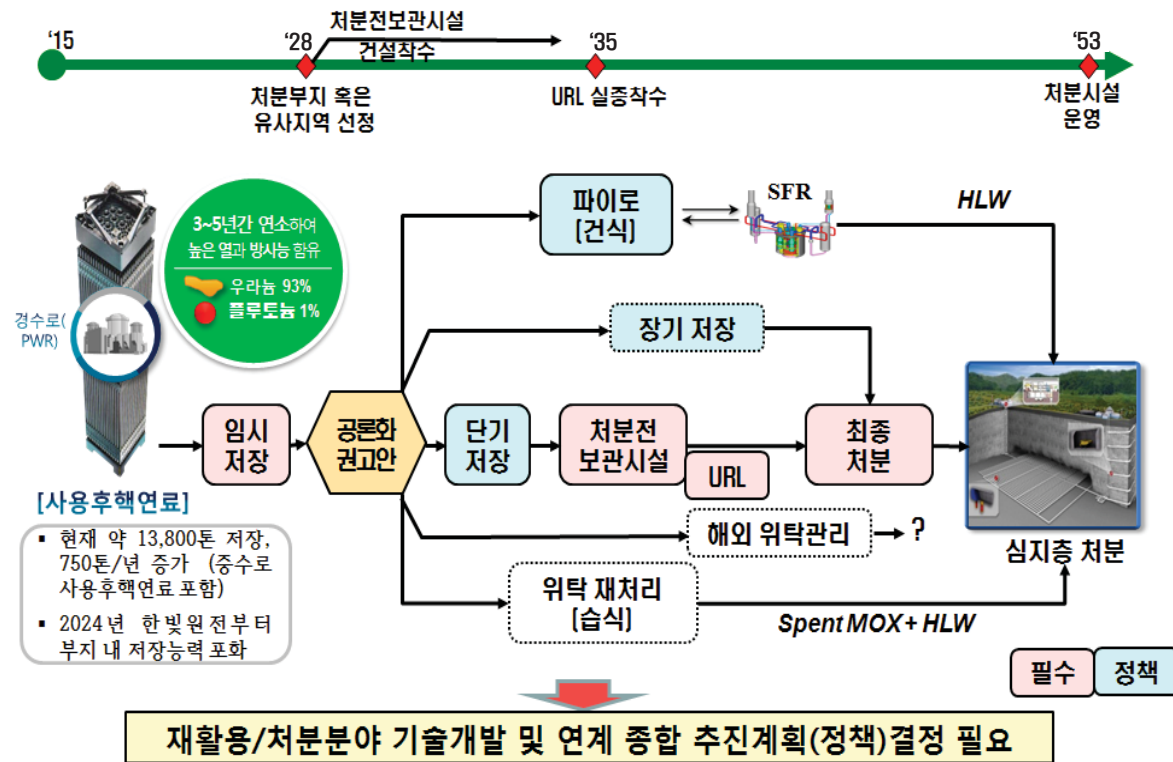
- ❖ 고준위폐기물량 감축
 - ❖ 고준위폐기물 처분면적 축소
 - ❖ 방사성 독성 감소기간 감소
- U, TRU 회수
Cs, Sr 별도 저장
TRU 핵변환



6

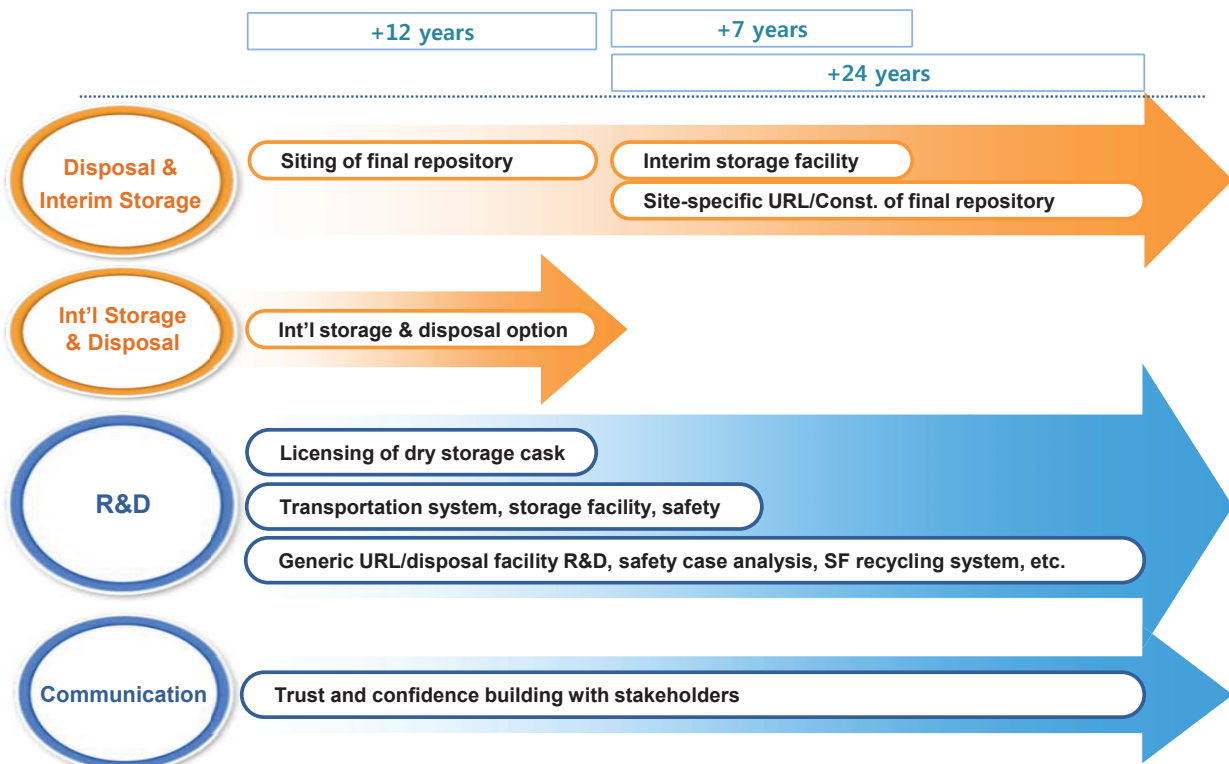


사용후핵연료공론화위원회 권고안



8

Strategy for HLW Management

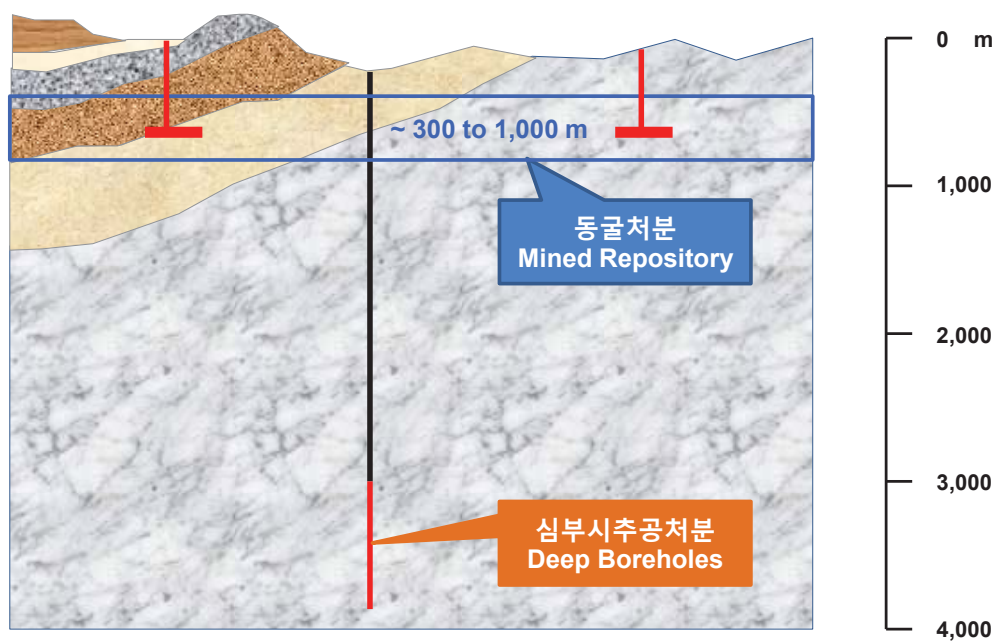


9



ATALANTE2016

심지층 처분 개념

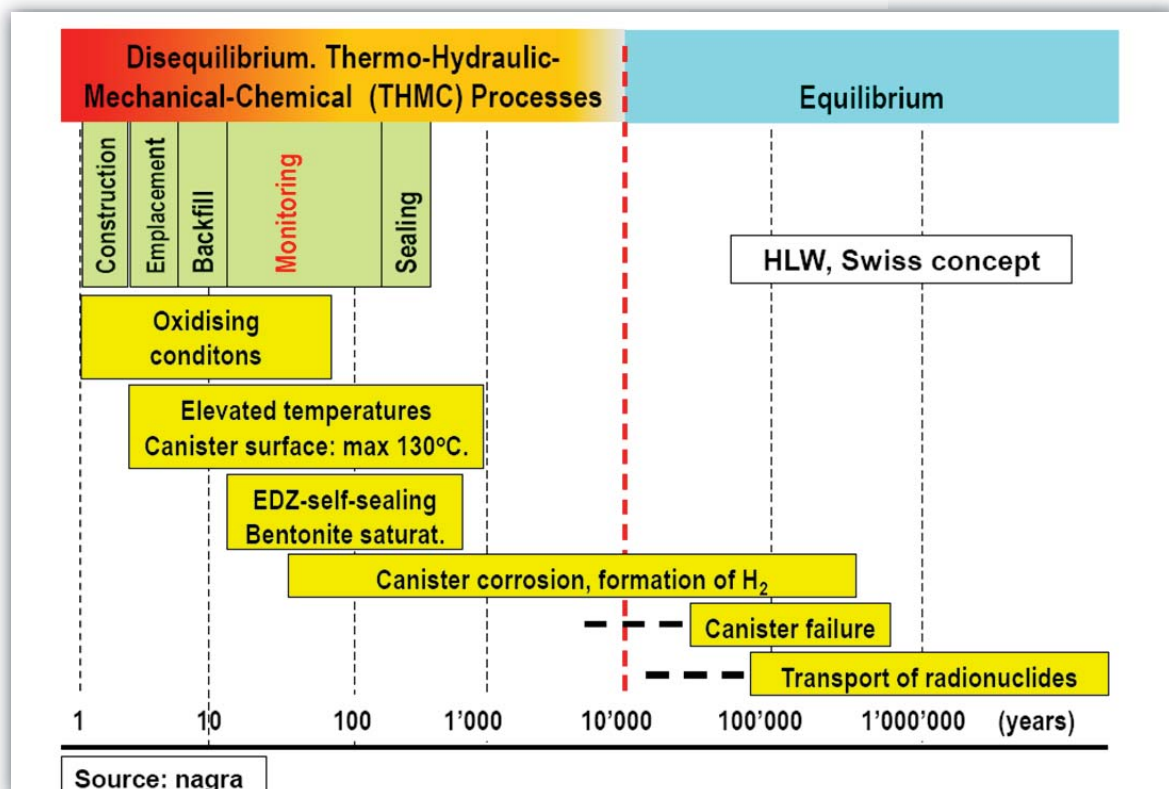


심지층 동굴처분 방식의 특징

- ◆ 입증된 기술
- ◆ 사용후핵연료 회수 가능
- ◆ 다중방벽시스템 (Multi-Barrier System)
 - ▶ 공학적 방벽 기능 (Engineered Barrier System)
 - ▶ 천연 방벽 기능 (Natural Barrier System)

12

심지층 동굴처분시스템의 진화 과정



13

심부시추공처분 방식의 특징

- ◆ 동굴처분방식 대비 처분장 면적, 안전성, 처분비용, 국민수용성 탁월
- ◆ 사용후핵연료 회수 불가, 인허가 쉽지 않음 (* 해외 추이 주시 필요)
- ◆ 장기적인 기술개발과 실증 필요

14

해외 현황

- ◆ (핀란드) 2015년 11월, 핀란드 정부 Olkiluoto 지역에 세계 최초 심지층 동굴처분장 건설 승인 → 2023년 운영 예정
- ◆ (스웨덴) 2009년 Forsmark 지역 최종부지 확정, 2018년 심지층 동굴처분장 건설허가 취득 예상 → 2030년 경 운영 예정
 - ▶ 최종 부지 결정은 수용성보다는 **안전성 우선**
- ◆ (미 국) 유카산 프로젝트 중단 이후, 다양한 옵션 재 검토
→ 한미고위급위원회(HLBC)에서 SFMWG 협력
- ◆ (프랑스) 점토층 심지층 동굴처분기술 실증 완료, 2017년 처분장 건설허가 신청 예정 → 2028년 운영 예정
- ◆ (일 본) 부지 선정 정부 개입 → scientifically suitable areas 지정 예정,
연구용 URL 부지 반환 문제 봉착
- ◆ (중 국) 1986년 부지 선정 착수 → 2016년 Beishan 지역에 **Area-specific URL 건설 결정** (GMZ 벤토나이트 산지 인접, 매장량 1.6억톤 추정)
→ 2017년 URL 건설 착수

15

해외 사례의 시사점

- 상용화까지 50여 년의 기술개발 소요 기간 (핀란드, 프랑스, 스웨덴)
 - 1970년대 기초 연구 착수 → 30년 이상 기술개발, 자국의 지질 조건에 적합한 처분시스템을 개발 → URL에서 안전성과 성능 실증 → 2020년대 처분장 운영 예정
- 기술개발 장기간 소요 이유
 - 처분시스템의 안전 성능 요구 기간이 수 십만 년 이상
→ 공학적인 처분 시스템의 안전 성능 실증에 장시간 소요
 - 최종적인 방어막인 지하 지질 상태 파악이 어렵고, 불확실성 해결에 장시간 소요
 - 처분 기술 수준의 향상에 따라 지속적인 신기술 개발 필요
 - 국민이 과학적 증거를 이해할 수 있도록 지속적으로 교육과 홍보 필요

16

국내 직접 처분의 2가지 난제

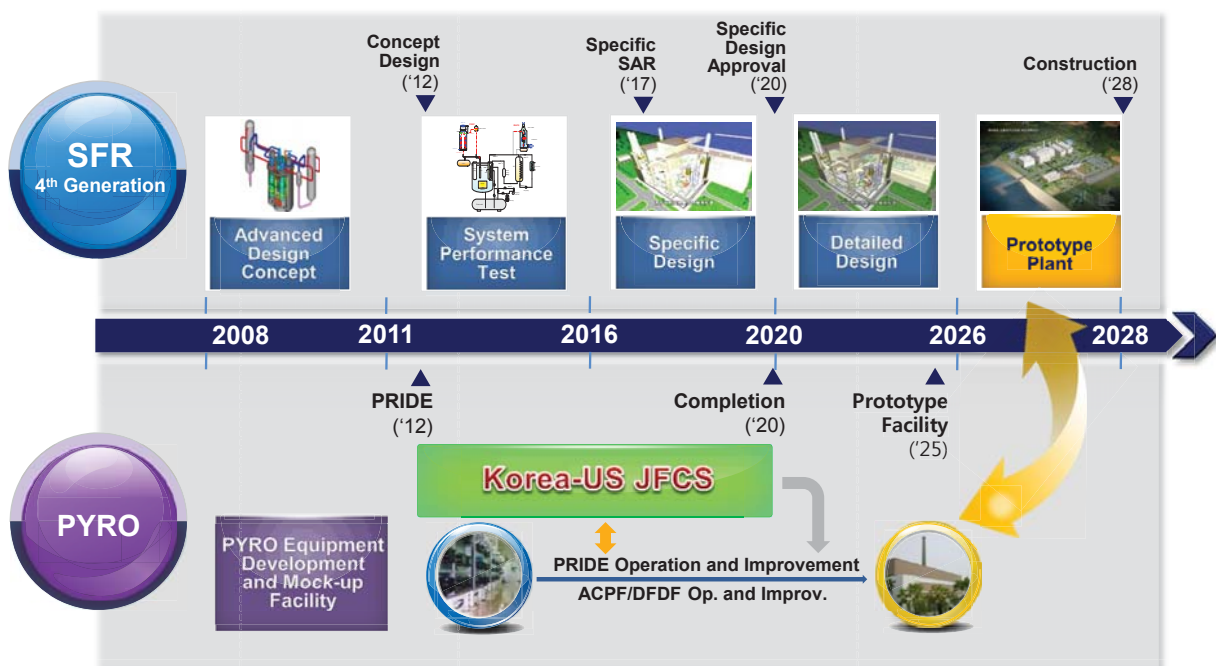
- ◆ (처분 면적) 핀란드-스웨덴보다 더 어려운 상황
 - ▶ 원전의 지속적 이용 (* 원전 설비 비중 29% 유지 시) SF 발생량: 2100년 약 77,000톤 예상 [스웨덴: 12,000톤]
 - ▶ 높은 지온 경사[우리나라: 30℃/km, 스웨덴-핀란드: 11 ~ 13℃/km]
 - ▶ 고연소도 사용후핵연료 비중 증가: 높은 붕괴열
- ◆ (장반감기 핵종들의 방사성독성도) 구리-주철 용기로 해결 가능
- ➡ 스웨덴 방식으로 직접 처분할 경우, 처분면적은?

17



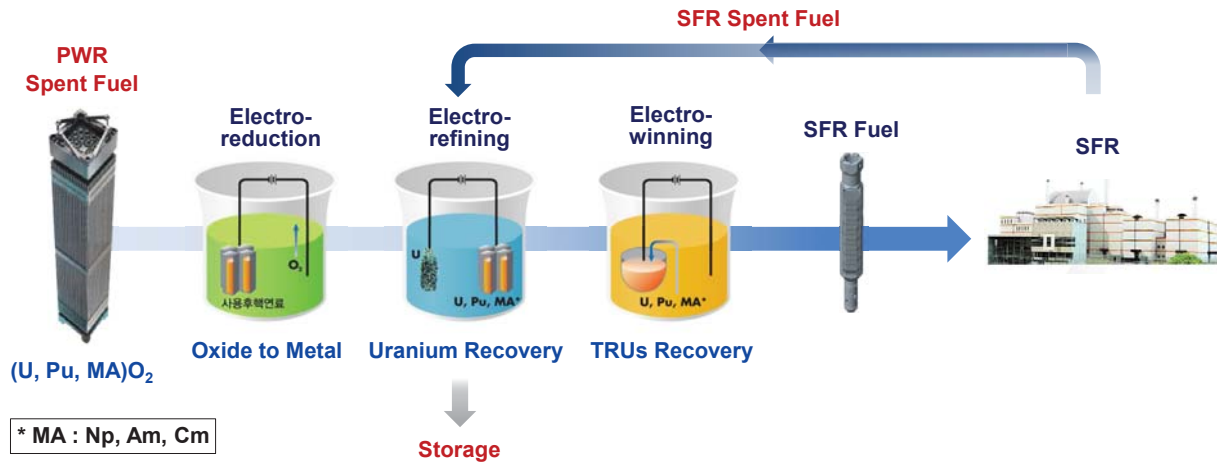
Long-Term R&D Plan

◆ Long-term R&D Plan for PYRO-SFR Fuel Cycle Development



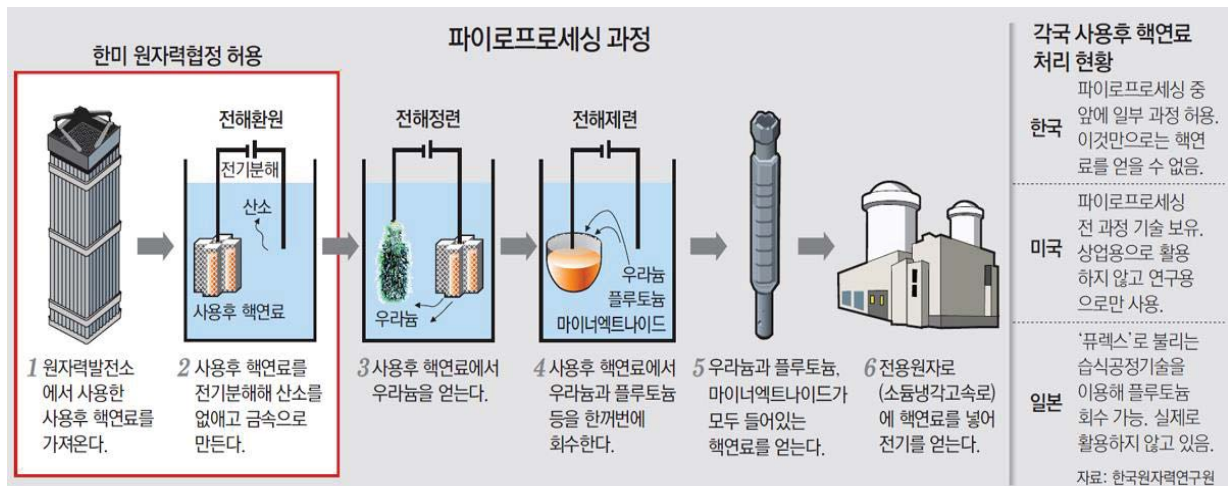
Pyroprocessing

- ◆ Group recovery of reusable material from spent fuel using electro-chemical reaction in high temperature(500~650 °C) molten salt electrolyte



20

한미 원자력협력협정(2015.11.25 발효)과 파이로 공정

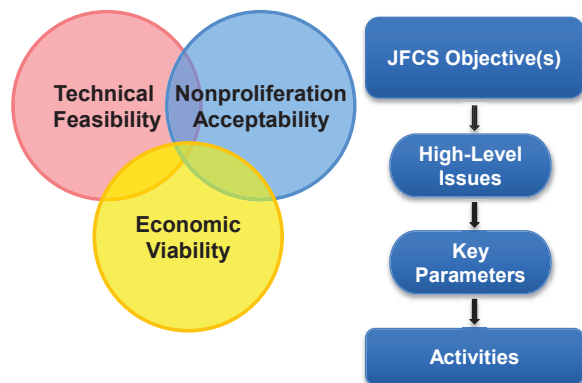


- ◆ 파이로 모든 공정이 아닌 전해환원까지만 국내에서 소규모로 수행
 - ➡ 추가 핫셀 시설 건설 없이 원자력(연) 기존 시설(조사재시험시설, IMEF) 이용
 - ➡ 실험 원료물질 준비(M6 핫셀), 전해환원 실험(M8 핫셀)

21

Joint Fuel Cycle Study

◆ High-Level Objectives



➔ **Joint Assessment
at the end of JFCS**

◆ Time Frame : '11~'20 (10 years)

- **Phase I (2 yrs)**
Evaluation of the laboratory-scale feasibility of electrochemical recycling
- **Phase II (5 yrs)**
Determination of reliable integrated process operation with used LWR fuel
- **Phase III (3 yrs)**
Evaluation of the irradiation performance of fuel fabricated from recycled LWR fuel

◆ Progress

- Steering Committee Meeting ('11.4, '11.10, '13.1, '13.11)
- CRADA between KAERI and INL / ANL ('11.7)
- Phase I (g-scale feasibility test) completed
- Phase II (kg-scale integrated recycling test) in progress



22

Pyro Tech. Issues and Achievements

◆ Higher throughput, efficiency, scalability and waste minimization

- Combination of U tests at PRIDE and hot tests at INL through JFCS
- Performance test of head-end/oxide reduction process at ACPF/DFDF hot-cells
- **Achievements**
 - Development of planar electrode modules of oxide reducer: 35 kg simulated porous pellets/batch, max. current: 1,300 A, reduction yield: ~ 99%
 - Verification of self-scraping property of uranium deposit with graphite cathodes for a electrorefiner
 - Scale-up of process equipment from laboratory-scale (~ 5 kg/batch) to engineering-scale (~ 50 kg/batch) at PRIDE
 - Waste salt regeneration through crystallization and precipitation

◆ Effective safeguards system for enhancing proliferation-resistance

- Incorporated effective safeguards system during the facility design stage
- **Achievements**
 - Development of safeguards approach for REPF (REference Pyroprocessing Facility) in collaboration with IAEA
 - Test of promising NDA technologies for future IAEA authentication and it's performance at JFCS

23



Path Forward

Leverage for Success

- Successful completion of Joint Fuel Cycle Study
- Consolidating national nuclear plans
 - Implementing R&D and demonstration plan for fuel cycle system (including sites and resources)
- Expanding a nuclear cooperation in depth and variety
 - Building a collaboration network among the government, laboratories, universities, commercial vendors and general public
- Strengthening contribution to the nuclear nonproliferation and security regime
 - Enhancing the nonproliferation confidence and transparency