

안전한 사용후핵연료 관리를 위한 과학기술인 워크숍

사용후핵연료 영구처분 분야

2018. 5. 16.

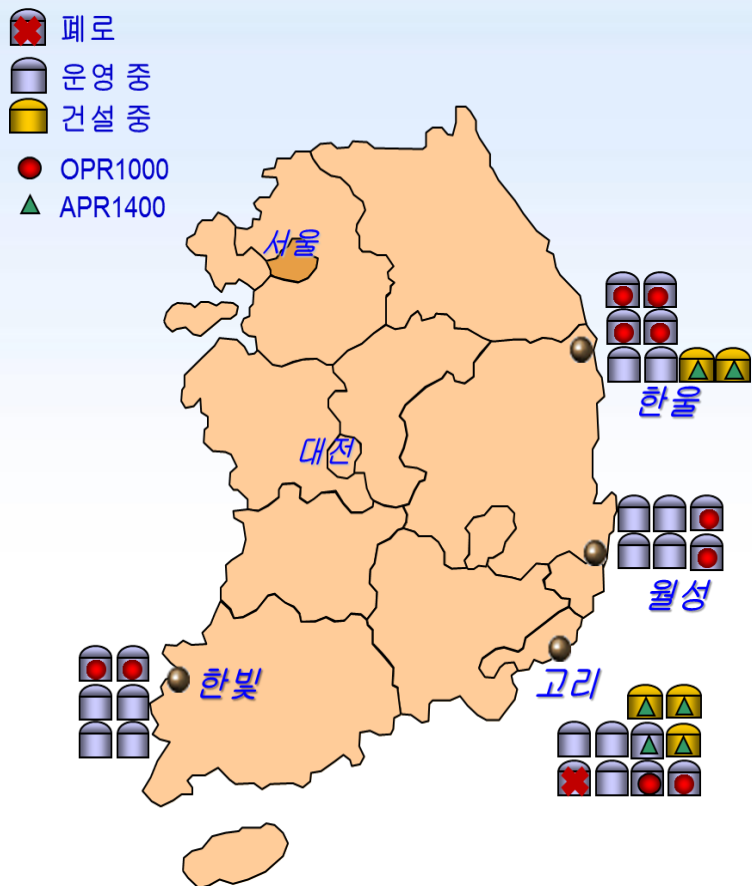
백 민 훈
방사성폐기물처분연구부



한국원자력연구원
Korea Atomic Energy Research Institute

목 차

- ① 서 론: 사용후핵연료 관리 동향
- ② 처분기술 개발 동향
- ③ 처분기술 개발 전략
- ③ 결 론



현재 운영 중인 원전

24기

▶ 고리 1호기 폐로 결정 '17.06

현재 임시 저장 중인 사용후핵연료

약 **16,000** 톤

▶ 경수로 7,628톤, 중수로 8,243톤

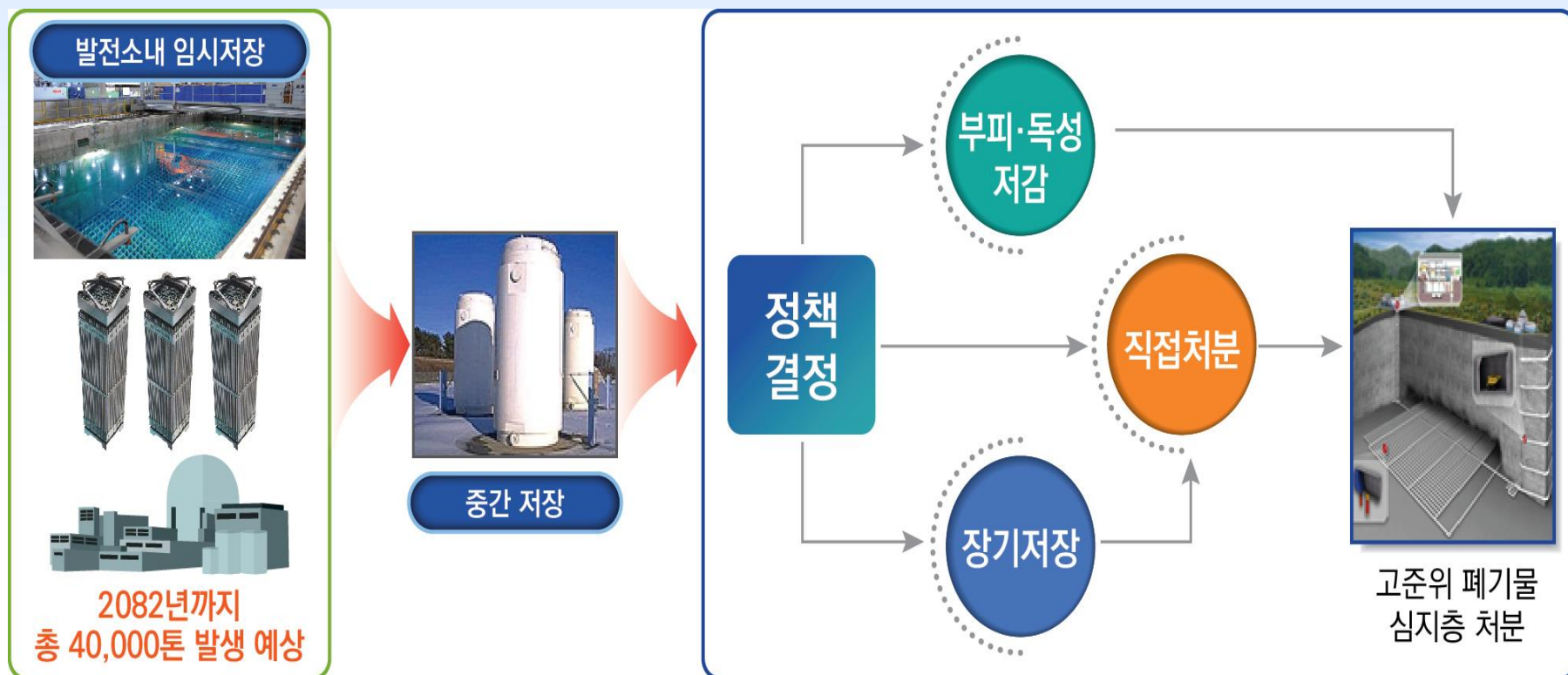
'에너지전환 정책' 완결 시, 총 누적량

약 **40,000** 톤

▶ 경수로 27,192톤, 중수로 12,562톤

➔ 사용후핵연료는 약 15,000톤 누적, 매년 760톤 발생 (2016년 말 기준)

- ◆ 사용후핵연료는 고독성·고방열 물질을 포함하고 있기 때문에 **직접처분** 또는 **부피·독성 저감 후 처분** 등 안전관리 방안 필요



➡ 처분은 필수적인 최종 관리 방안 !

- ◆ **관련 분야:** 사용후핵연료의 **특성 규명, 처리, 운반, 저장 등 복합적**
- ◆ **관련 단체:** 사업자(implementer), 규제자(regulator), 연구개발자, NGO
- ◆ **사업의 특징**
 - 과학기술적 내용 + 사회문화적 내용 → 과학사회학적 관점
 - 대국민 수용성 필요
 - 정부(+국회)의 의지 → 사회적 책임성
 - 다양한 과학과 기술이 혼재 (융합과학의 대표적 예)
 - 과학기술적인 불확실성이 내재
 - 상식적으로 예측 가능한 시간적 범위를 초월
 - 규모는 크나 지속성이 없는 단발성 사업
 - 그 외...

◆ 기술 분야

- **처분부지** : 부지선정, 부지조사(심부환경), 부지특성화(DB)
- **처분시스템 설계** : 개념시스템, 기준(표준)시스템, 인허가처분시스템
- **안전성(성능)평가** : 종합평가체계(도구, DB 등), Safety Case 개발
- **공학적방벽 성능(THMCR) 평가 및 실·검증**
- **천연방벽 특성과 성능 평가**
- **폐기물/핵종 특성 및 거동특성 평가**
- **URL 건설/운영 및 실 · 검증**

◆ 기술의 특성

- **기술개발에 장기간 소요**: 선진국의 경우 40년 이상 소요
- **단계적 기술개발 필요**: 실험실 → 공학규모(Field) → (연구용) URL → (인허가용) URL
- **높은 불확실성**: 공간적/시간적 제약성으로 인해 고유의 불확실성 존재
- 사회적/정치적 요인에 영향을 많이 받음
- 기술 공유에 개방적

◆ 해외 사업 동향

- 미국 :YMP 프로젝트 재개 움직임 → DOE에서 인허가관련 예산 책정
- 핀란드: 2016년 12월 Onkalo 처분장(화강암반) 건설 착수
- 스웨덴: 처분장 인허가 신청 중, 2018년 인허가 취득 예상
- 프랑스: 2018년 처분장 건설허가 신청 예정
- 스위스: 부지선정 절차 진행 중
- 일본: 부지 선정절차 재 착수

◆ 해외 연구개발 동향

- **부지**: 결정질 화강암 또는 점토층에 심층처분하는 방식이 보편적
- **처분용기**: 주철+구리, 스테인레스 스틸, 니켈합금 → 신물질 개발
- **완충재**: 벤토나이트 → 열적기준 상향(100℃ → 150, 200℃)
- 단순 안전성평가가 아닌 **Safety Case 개발**이 대세
- 처분장 **장기진화 특성** 고려 → 장기 안전성
- **불확실성** 해석, 평가, 저감 → 복합현상, 프로세스 모델

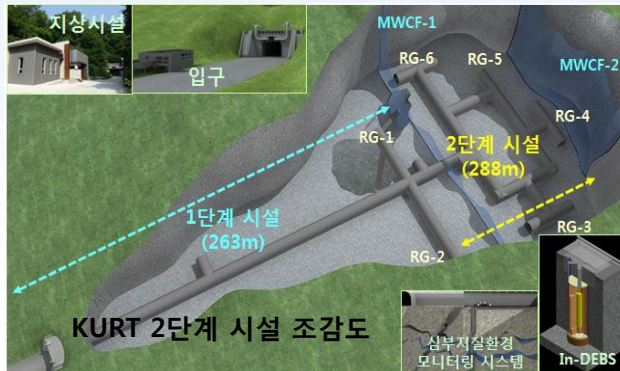
◆ 국내 연구개발 추진 경과

- 1997년부터 원연사로 KAERI에서 고준위폐기물 처분연구 착수
 - 2006년 SF 직접처분 **KRS 시스템** 개발
 - 2012년 파이로공정폐기물 처분 **A-KRS 개발**, 2016년 **AKRS-16** SC 보고서 발간
 - 2004년 KURT 건설, **2014년 KURT 확장**(심도 120, 총 연장 551m)
- 2009년 원자력환경공단 설립 → 방폐물 운반·저장, 처분 사업/연구개발
 - 처분분야 : '한반도 지질환경특성 평가('11 ~ '15)' 과제만 수행

◆ 국내 연구개발 동향

- **2018년부터 KAERI에서 SF 처분을 위한 KRS+ 개발** 착수
 - 심부시추공 처분도 대안기술로 고려하여 개발 중
 - KURT 기반으로 장기진화를 고려한 SF 처분시스템 성능 검증기술 개발
 - 프로세스 기반의 종합성능평가체계(APro) 개발 중
- 다부처공동기획사업 "**사용후핵연료 관리 표준화 시스템 예비모델 개발**" 예타 준비중
- **연구용 URL RD&D 프로그램** KORAD, KIGAM, KAERI 공동 작성 중

구 분	1단계	2단계(확장)	총계
구축기간	2003년-2006년	2012년-2014년	총연장: 551m
총 길이/최고깊이	263m/90m	288m/120m	심도: 120m
터널 형상	<ul style="list-style-type: none"> 말굽형 단면(6mx6m) 및 6개 연구모듈 경사 10% 하향 직선 및 환형터널 395m 		



분야	시험 내용 및 주요 시험조건	연구 모듈		연구기간						
		1단계	2단계	12	13	14	15	16	17~21	
지구과학 분야	① 터널굴착 중 지하지질조사	-	-							
	② 부지특성모델링	-	-							
	③ 지하수체계 장기 모니터링	모듈-1								
천연방벽 지연특성 분야	④ 지하수주유동로 수리지질특성평가	모듈-1								
	⑤ 지하수주유동로 추적자시험	모듈-1								
	⑥ 산화-환원 교란에 의한 지화학적 거동특성실험	모듈-1								
	⑦ 심부처분환경에서 현장 모의핵종의 수탁 및 확산실험	-	모듈-4							
공학적 방벽 격리특성 분야	⑧ 처분용기 재료 장기 부식시험	모듈-1	연결터널 활용							
	⑨ 공학적방벽 수리-역학 거동특성 예비시험 (K-LOT)	모듈-2	모듈-2							
	⑩ 공학적방벽 열-수리-역학 복합 장기 거동특성 시험 (In-DEBS-KURT)		모듈-5							
	⑪ 암반손상대(EDZ) 특성 연구	모듈-2								
국제협력연구	⑫ KAERI-SNL(미국샌디아국립연구소) 한미공동연구	모듈-1	모듈-6							

◆ 배경

- 차질 없는 처분 사업 진행을 위해 **사용후핵연료 관리시설 개념**의 조속한 확정이 필요
- 국내 고유의 사용후핵연료 관리 표준화 시스템 (용기, 시설, DB 등)에 대한 규제기관의 사전인지, 규제요건 정비, 독립 검증체계 적기 구축, 상호협력과 성과 공유를 통한 **사용후핵연료 관리의 안전성 및 효율성 제고**의 정책 실현 필요

◆ 필요성

- 전 단계에 걸쳐 취급공정(운반, 재포장 등)이 적을 수록 안전하고 경제적이므로 관리 단계별 연계성을 고려한 **표준화 관리시스템 개발** 필요
- 현재까지는 **사용후핵연료 관리 단계별 연계성**에 대한 종합적인 검토 없이 기관별로 시스템 개발·도입이 추진되고 있는 상황

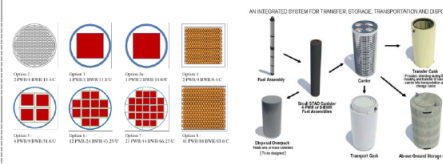
사업 목표

“사용후핵연료 관리 표준화 시스템 개발 및 규제체계 구축”

사업 I

사용후핵연료 운반·저장·처분연계 표준화 시스템 개발

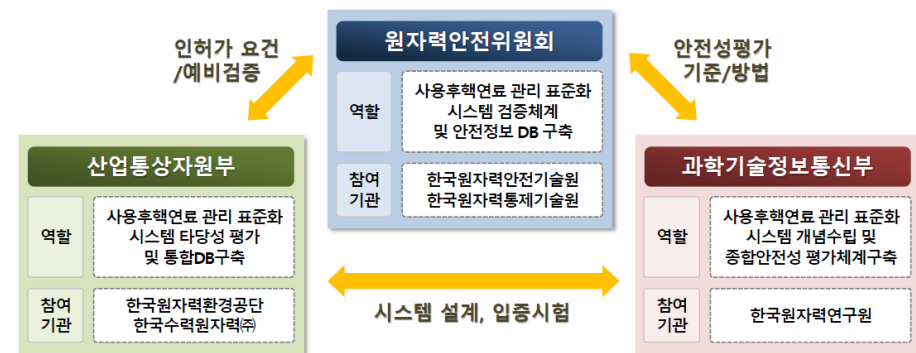
- 표준 운반/저장/처분 시스템의 공학적/기술적 적합성 평가 및 종합안전성 입증 시험 수행
- 표준화 시스템 검증 체계 고도화
- 표준화 시스템 기본설계/인허가 기초자료 생산



사업 II

사용후핵연료 통합정보 DB 구축 및 운영

- 사용후핵연료 관리 전주기 표준화 정보체계 수립
- 사용후핵연료 통합 안전정보 DB 구축



원안위

사용후핵연료 관리 표준화 시스템 규제연구현안 검토 및 검증기술 개발

과기부

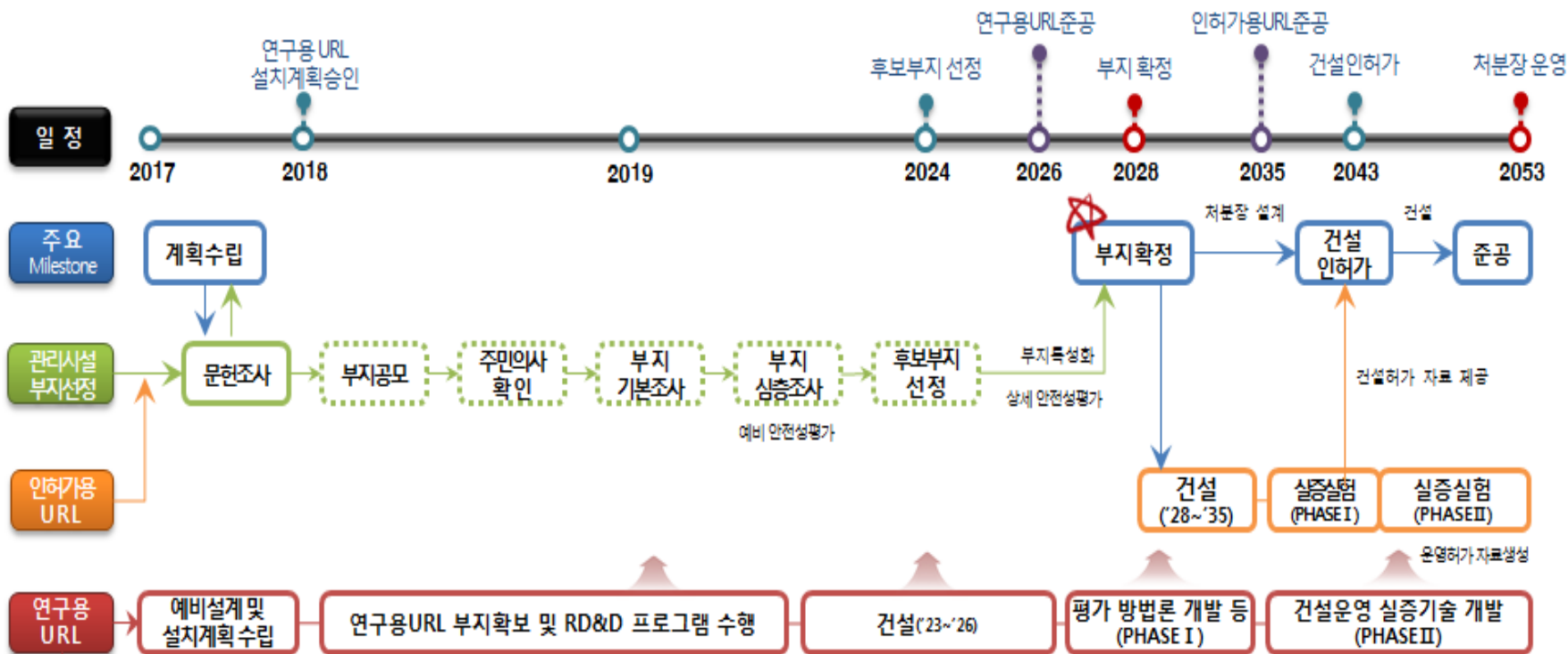
사용후핵연료 표준 캐니스터·모듈 개념수립 및 종합안전성 입증(시험) 기술 개발

산업부

사용후핵연료 관리 표준화 시스템 타당성 평가 및 표준 시스템 설계기술 개발

◆ 배경

- KORAD는 고준위방폐물 처분사업을 위해 **연구용 URL 구축**을 위한 준비 필요
- 연구용 URL RD&D 프로그램의 정교화를 위해, KORAD가 전문가 워킹그룹 운영을 제안
- '17년 11월 KORAD 방사성폐기물연구소에서 **워킹그룹(KORAD, KIGAM, KAERI)** 착수 회의
- 현재 연구용 URL RD&D 프로그램 작성을 거의 완료하고, 기획위원회 구성 중



◆ 배경 및 진행사항

- 방폐물관리기술개발사업 (KETEP 주관) 일몰에 따른 재기획 예타 추진 중
- 원자력연구개발사업 (NRF 주관) 일몰에 따른 재기획 예타 추진 중
- 부처 및 기관 간에 차별성 부각과 상호 협력 분야 도출이 필요
- 방폐사업은 KETEP 기획위원회를 통해 과제를 발굴, 기획준비 중
- 원연사는 NRF 사용후핵연료 전문분과위원회 구성, 운영 중

에너지전환 로드맵 확정(제45회 국무회의, '17.10)

원전 신규 건설계획(추가 6기) **백지화**, 노후원전은 **수명연장을 금지**,
'17년 23기에서 '38년 14기 등으로 **단계적 감축** (제45회 국무회의, '17.10)

⚙️ 사용후핵연료 발생량 변화가 예상되어, 후속조치로 공론화를 통해
고준위방사성 폐기물관리 기본계획 재검토 예정

원자력연구개발사업 R&D 방향 전환(과기부, '17.12)

에너지전환정책을 뒷받침하기 위하여 원자력이용개발전문위원회
검토를 거쳐 **'미래원자력발전전략'** ('17.12, 과기부) 수립

미래
원자력
발전전략

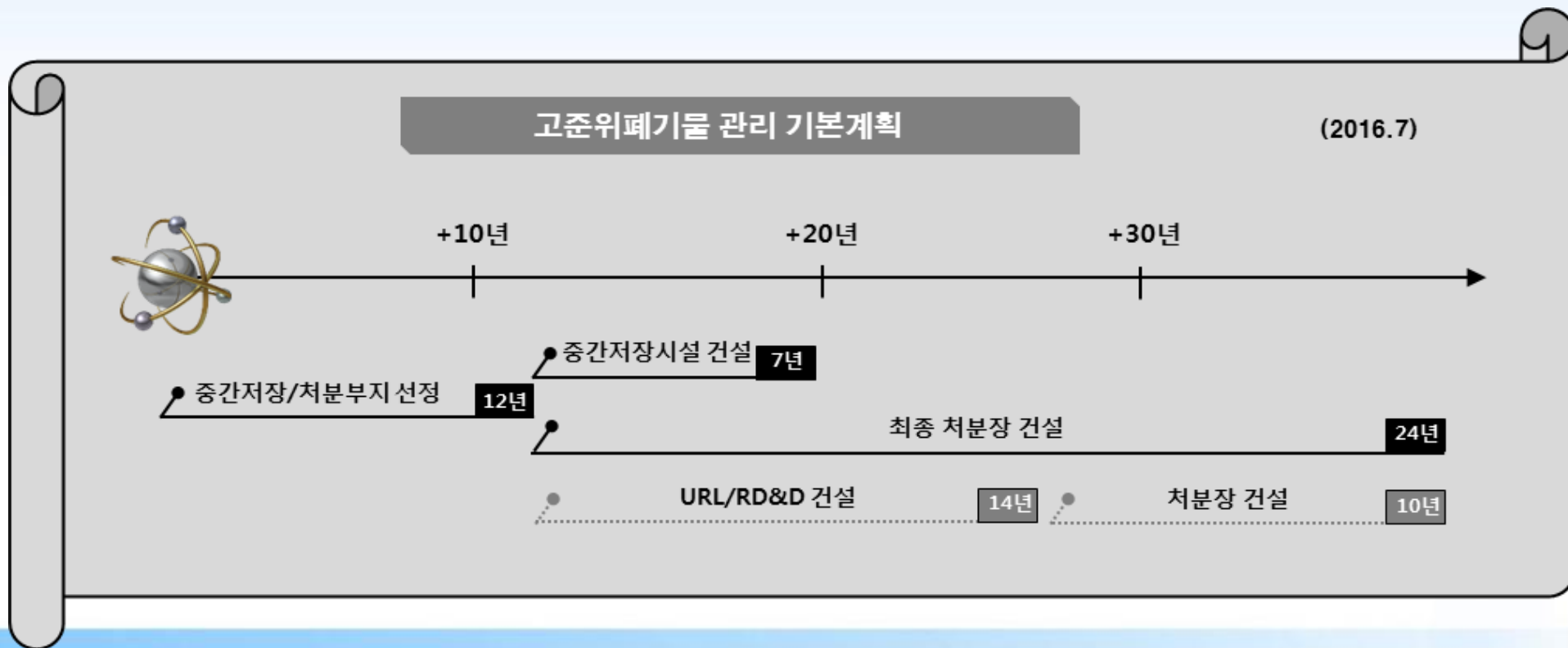
- ⚙️ 원자력R&D 패러다임을 경제성장 지원 중심에서 **국민 생명과 안전 중심으로 전환**
- ⚙️ 사용후핵연료의 **전주기적 안전기술** (운반저장용기의 성능 고도화, 방사성폐기물 복층처분장, 처분부하 최소화 기술 등) **개발 추진계획**

장거리운반·중양 집중식
중간저장·영구 처분을
위한 **상용화 목적
기술개발 사업**은
산업부 방폐물관리
기술개발사업에서 주관

상용화의 뿌리에
해당하는 **기초·
기반기술**과 상용기술
의 **안전성향상** 또는
대안기술에 해당 되는
기술은 **과기부** 원자력
연구개발 사업에서 수행

부처 간 협업을 통해
HLW 관리 기본계획
('16.07)의 단계적 이
행에 요구되는 사용후
핵연료 관리기술 적기
개발 필요

- 고준위방사성폐기물 관리 기본계획(안) 확정 (2016.7.25)
- KORAD에서 시행계획(안) 작성 중
- 정부에서는 사용후핵연료관리 재검토 추진 (2018년 하반기 착수)
- 원전 운영/해체를 위해서 사용후핵연료 저장시설(소내/중간저장) 확보가 시급
→ 최종 관리방안인 처분시설 확보방안의 수립이 전제되어야 함



◆ 고준위방폐물 관리 기본계획 재검토

- 이해관계자의 **다양한 의견 수렴** 필요
- **국가 정책 방향** 및 **국민의 안전 의식** 반영
- 합리적이고 **실현 가능한 추진일정** 수립
- **과학기술적 정보자료**를 활용한 정책수립 필요 → **정치사회적 결정**의 교훈(경주 중·저준위방폐장)

◆ 기술개발과 사업 추진의 연계성 강화

- 사업 추진이 안되면 **기술개발**도 중단? (RD&D 종합기술 관리 프로그램 필요)
- 부처간 (기관간) **역할 분담 및 협력 강화**
- 관련 기술간의 연계성 강화, 기술개발과 사업활용성에 대한 엄밀한 검토 필요

◆ 처분 안전성/효율성 향상을 위한 기술개발 필요

- **처분안전성 입증**을 위한 다양한 기술 개발 필요 → 향후 인허가에 결정적 영향
- 국내환경을 반영한 **처분효율성 향상** 기술 개발 필요 (단순 기술 도입은 문제)
- 관련 **국내 산업환경 조성**이 시급

◆ 성공적인 사용후핵연료 처분사업 추진을 위해서는

- 신뢰할 수 있는 기술개발과 다양한 정보자료의 구축을 통한 합리적인 정책 결정
- 처분안전성 관련 과정들의 심도 있는 이해와 적기의 기술 개발
- 국민이 안심할 수 있는 처분안전성 실현을 위한 안전성 입증 및 향상 기술 개발
- 일반 대중을 포함한 이해당사자와의 지속적인 의사소통 노력
- 기술개발과 사업 추진의 공정성과 투명성 확보

❖ 현 세대에서 발생한 방사성폐기물은 **현세대가 책임져야** 한다는 방사성폐기물 관리의 기본 원칙하에 **국민이 안심할 수 있는 사용후핵연료 관리 정책 확보**를 통해 안전성에 근거한 공정하고 **투명한 사실과 논거들**을 바탕으로 이해당사자들과 원활하게 **소통**해야 하며, 이러한 과정을 통해 이해당사자들과의 **신뢰**를 구축해야 할 필요가 있다.



감사합니다!