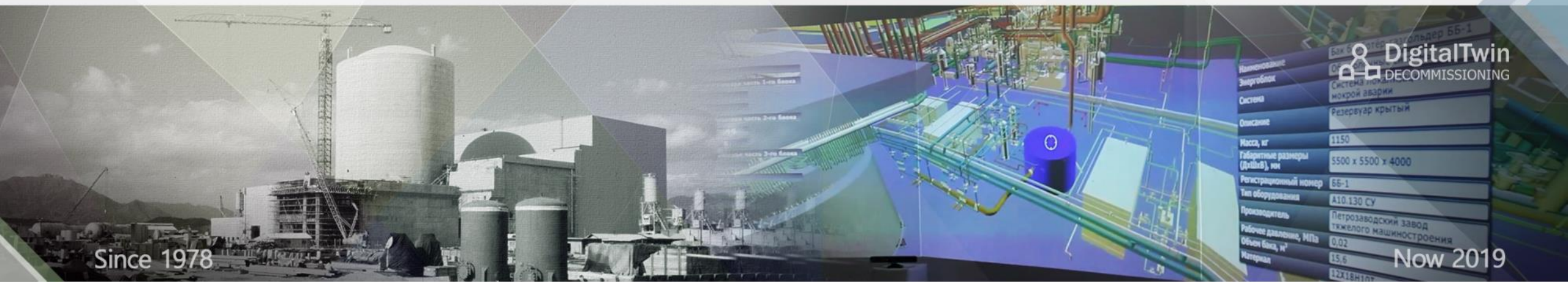


원전 해체 형상관리 플랫폼 개발

Configuration Management Platform for Decommissioning



주관기관 : (주)엔에스이

Content

I

원전 해체 형상관리의 개념

II

연구 목표

III

개발 내용

IV

원전 해체 연계 과제 소개



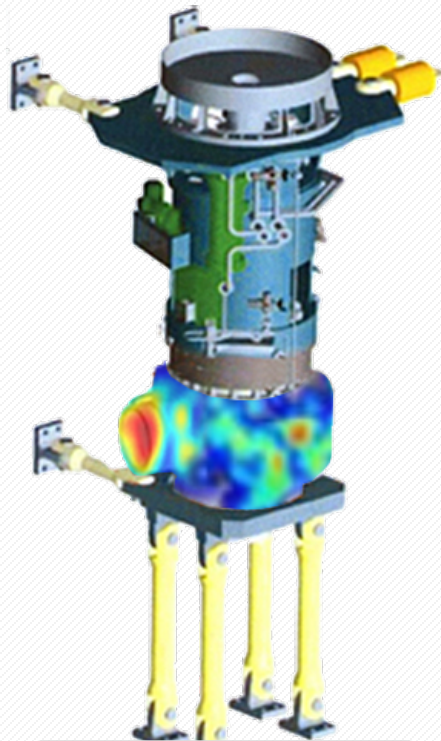
I. 원전 해체 형상관리의 개념





가동원전에서 형상관리는?

APR1400 원전용 국산 RCP 사양



원자로냉각재펌프
[RCP]

- 설계수명 : 60 년
- 정격 회전수 : 1,190 rpm
- 정격수두 및 유량 : 114.3 m, 7.672 m³/s
- 높이 및 무게(모터 포함) : 11 m / 156 ton
- 방사선 안전

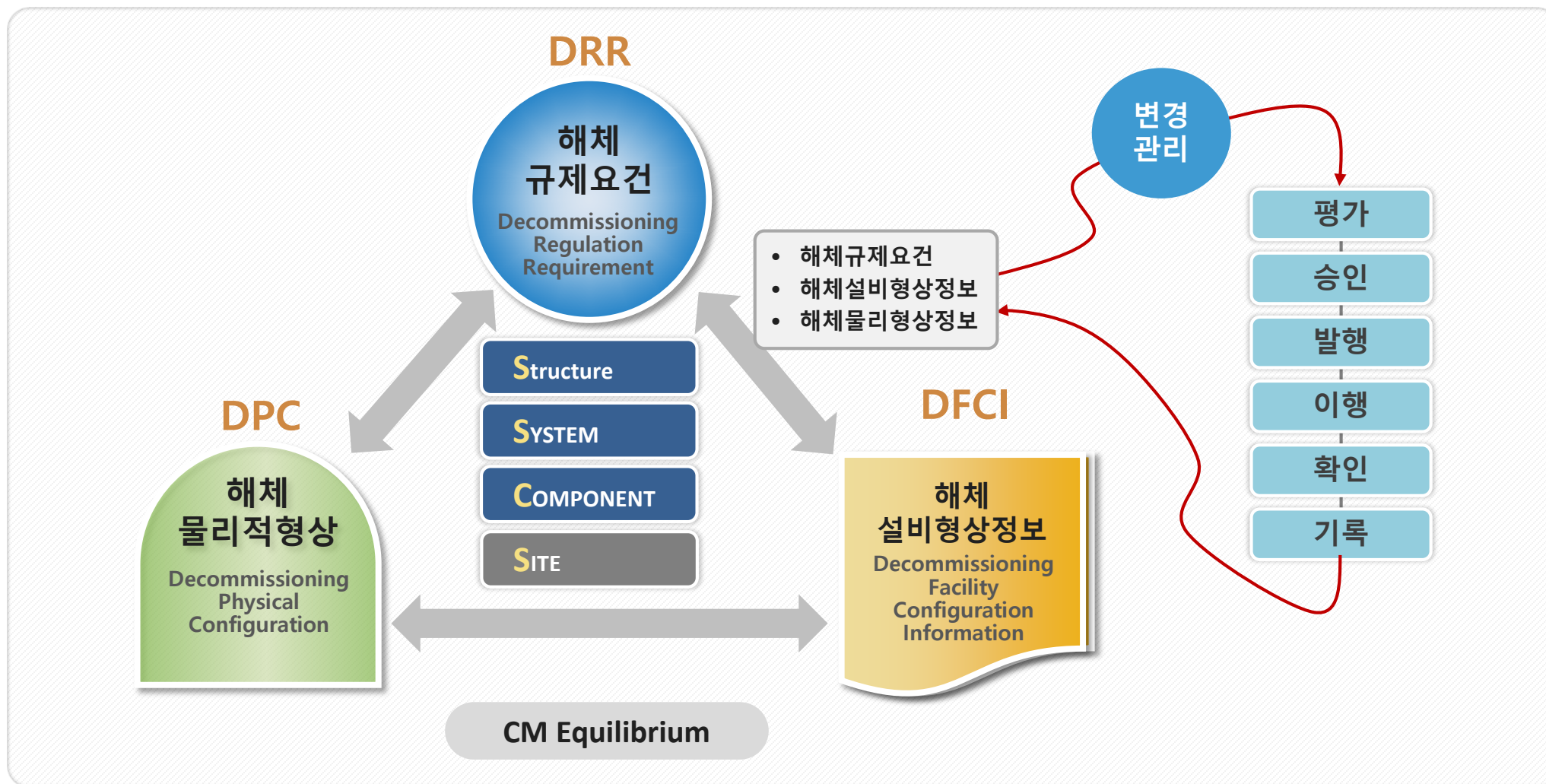


해체원전에서 형상관리란?

가동원전 형상(形狀)관리 : **안전 기능**

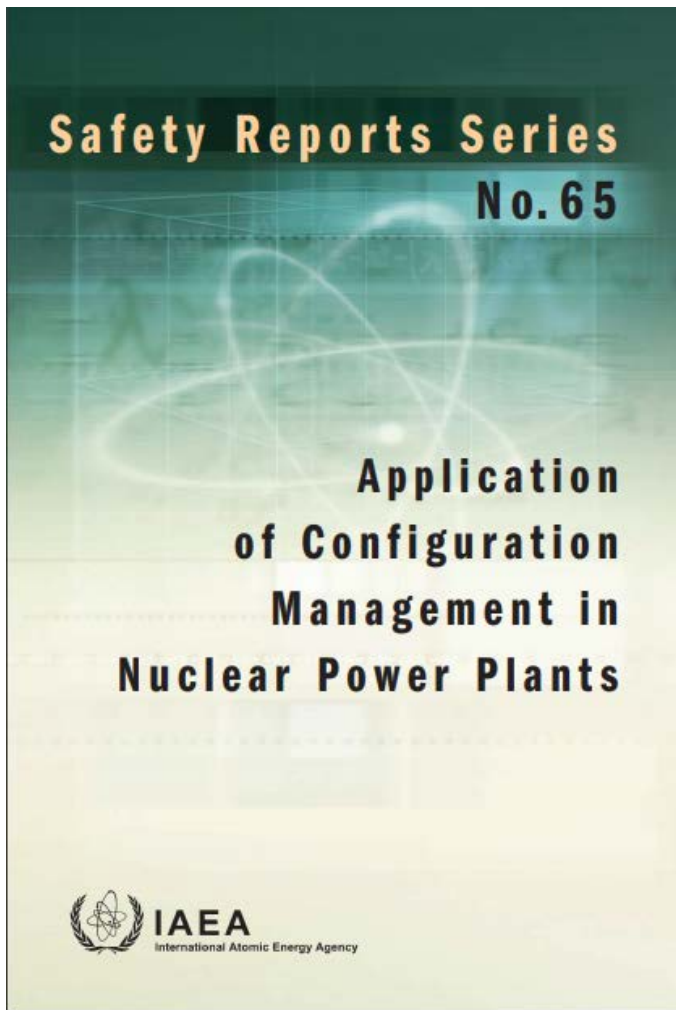


해체원전에서 형상관리란?





해체원전에서 형상관리란?



3.1.3. Facility decommissioning

❖ Typical Challenge

- 일부 계통이 여전히 운영이 되고 있고, 이에 따른 운영 장치에 여전히 필요한 시스템 수정이 필요함.
- 해체에 따른 운영인력 최소화 및 재배치로 인하여 숙련된 인력의 가용성이 낮아짐.
- 설계기준(Design Basis)의 Safety Function에 대한 변경이 필요함.
- 형상관리 요소의 제거에 따른 설계기준 구성 요소 및 시스템이 제거 될 때 설계 기준, 안전 기능 및 기타 관련 또는 공유 시스템에 미치는 영향을 고려해야 함. (고리2호기는 아직 운영 중임)

❖ Advice

- 시설해체 이전에 설계 및 운영 요구사항을 검토하여 수정해야 하며, 해체단계를 분석하여 요구사항 준수 여부를 확인하여야 함.
- 해체계획에서 인력배치 일정을 통합하여 숙련된 인력을 확보해야 함.
- 승인된 도면의 경우, 해체 경과에 따라 지속적으로 수정되어야 함.
- 공유되는 시스템이나 연결되어 있는 시스템을 분석하여 하나의 장치를 분해해도 인접한 장치에 악영향을 미칠 수 있지 않는지 검토해야 함.

가동원전 형상(形狀)관리의 **지속적인** 운영 필요



해외 사례 참고



Russia Neolant사와 기술협력 협약

Neolant사의 원전 해체 이력

LENINGRAD NPP

KURSK NPP

SMOLENSK NPP

BELOYARSK NPP

BILIBINO NPP

NOVOVORONEZH NPP

KOLA NPP

KOZLODUY NPP

이외 다수 원자력발전소 및 핵시설 해체 경험 보유

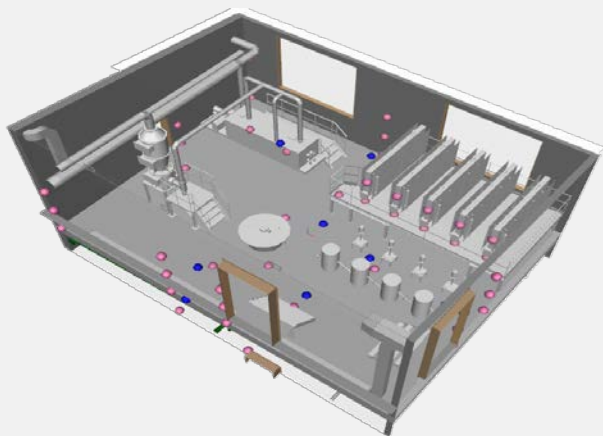




플랫폼 필요성

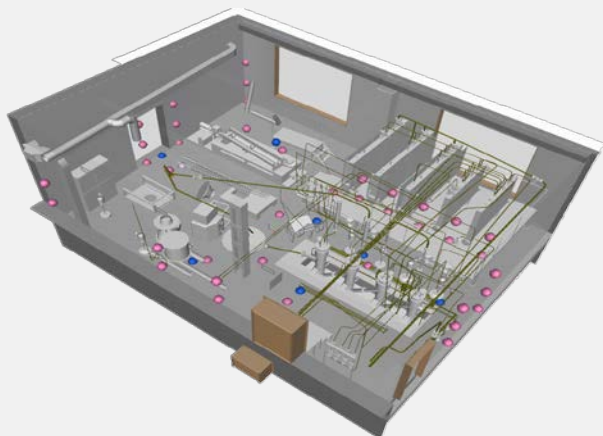
해체 형상관리 플랫폼의 역할은 무엇인가?

Radiation Survey + Documentation



Type	Q-ty	Mass, t
Metal constructions	2	1,08
Equipment	16	7,70
HVAC	65 m	0,64
Pipelines and fittings	no data	no data
Radioactive Materials (decontamination of constructions)	-	2.83

Digital Informational Model



Type	Q-ty	Mass, t
Metal constructions	16	4,22
Equipment	31	6,73
HVAC	31 m	0,29
Pipelines and fittings	284 m	1,05
Radioactive Materials (decontamination of constructions)	-	4,26

+290 %

-13 %

-55 %

Estimated

Estimated

Total

Cost for final storage

VLLW : **283.2** m³

216,000 \$

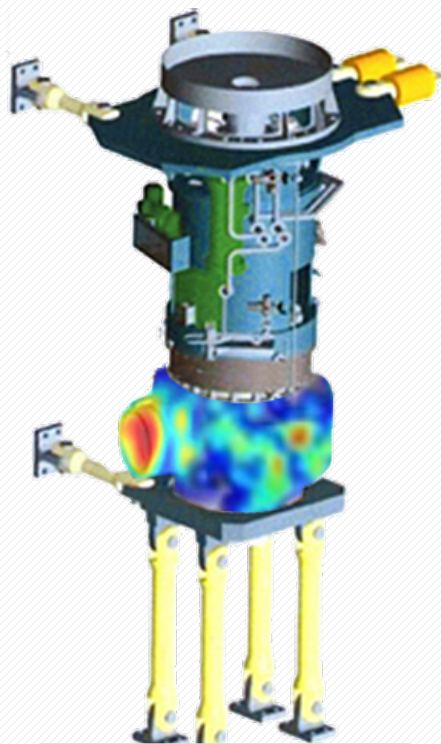
VLLW : **542.9** m³

417,000 \$



해체원전에서 형상관리는?

APR1400 원전용 국산 RCP 사양



원자로냉각재펌프
[RCP]

- 설계수명 : 60 년
- 정격 회전수 : 1,190 rpm
- 정격수두 및 유량 : 114.3 m, 7.672 m³/s
- 높이 및 무게(모터 포함) : 11 m / 156 ton
- 방사선 안전



해체원전에서 형상관리란?

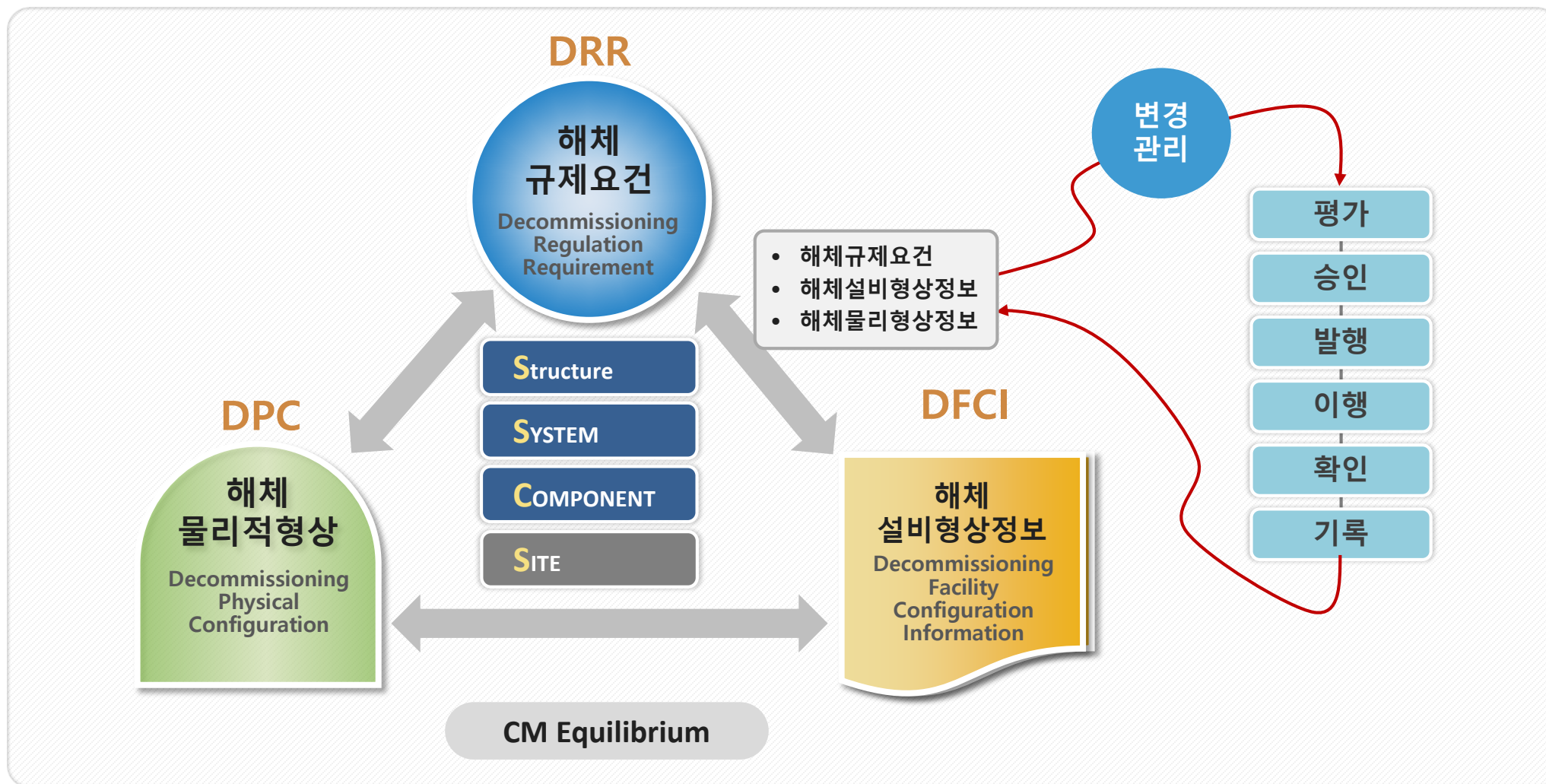
해체원전 형상(形象)관리 :

발전소 건물(SSCs)과 부지에 대한 안전한 해체

- 해체안전성 확보를 위한 모든 요건
- 해체 관련 모든 해체설계관련 정보·자료
- 구조물·계통·기기, 해체폐기물, 부지 및 잔존건물의 물리적특성



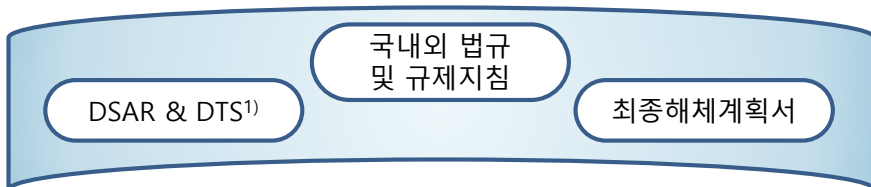
해체원전에서 형상관리란?



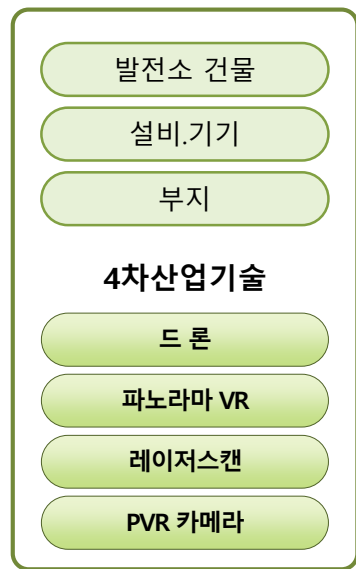


해체 형상관리 3요소

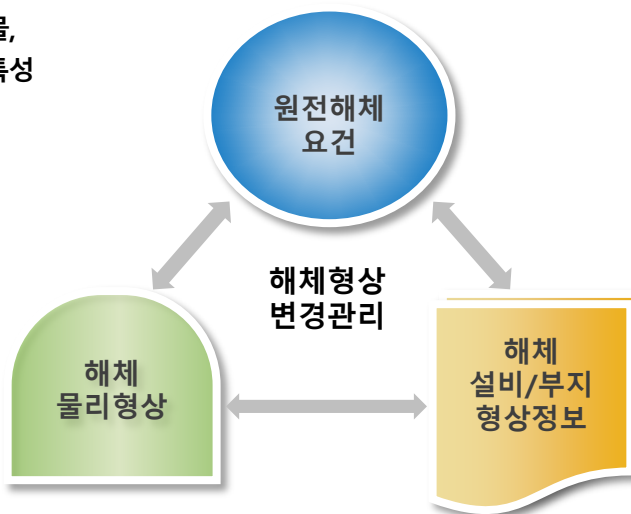
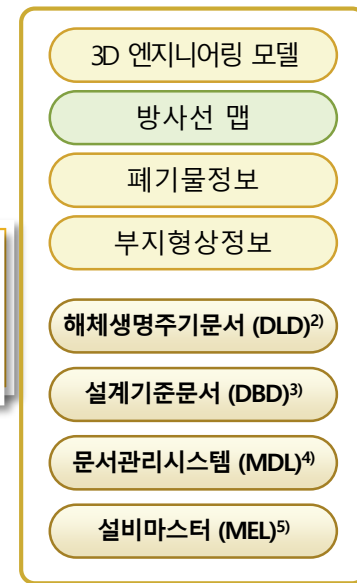
1 해체안전성 확보를 위한 모든 요건



3 구조물·계통·기기, 해체폐기물, 부지 및 잔존건물의 물리적특성



2 해체 관련 모든 정보·자료



단위플랫폼	정의	플랫폼 구성 기능
해체 요건	해체안전성 확보를 위한 모든 요건. 즉, 국내 법규 및 기술기준, DSAR, 최종해체계획서, 준용 해외기술기준	<ul style="list-style-type: none"> 해체단계에서 고려해야 하는 모든 요건에 대한 식별/조치 및 연계성(추적성) 확인을 지원하는 요건관리 플랫폼
해체 물리형상	구조물·계통·기기(SSCs), 해체 폐기물, 부지 및 잔존건물의 물리적 특성	<ul style="list-style-type: none"> 실제 발전소를 시스템으로 표현하기 위한 기술들(드론, 카메라, 레이저스캔)을 활용하여 취득한 정보를 설비형상정보 관리 플랫폼으로 전달하는 플랫폼
해체 설비/부지 형상정보	해체 전 과정에 걸친 요건문서 및 물리적, 방사화학적 특성 정보와 해체활동과정에 산출된 해체와 관련된 모든 정보, 자료	<ul style="list-style-type: none"> 문서, 설비, 방사선과 관련된 데이터를 기반으로 해체를 효과적으로 수행하기 위한 3D 모델 기반 Digital Twin을 생성하고, 이를 기반으로 4D 모델, 방사선량, 폐기물량 정보, 부지현황 등을 관리할 수 있는 플랫폼
해체 변경관리	해체와 관련된 주요 요건 문서에 대한 변경요청서 및 해체작업지시서/작업보고서를 기반으로한 변경관리	<ul style="list-style-type: none"> 변경과정에서 해체요건, 해체 설비형상정보, 해체 물리형상이 일치성을 유지 검증 지원 및 승인 가능한 플랫폼

1)Defueled SAR(Safety Analysis Report) : 운영원전 FSAR(Final SAR)와 영구정지 원전 구분

Defueled TS(Technical Specification) : 운영원전 TS와 영구정지 원전 구분

2)DLD (Decommissioning Lifecycle Documents): 해체 전주기동안 생성되는 문서

3)DBD (Design Bases Document): 가동원전형상관리시스템에서 관리되고 있는 설계기준문서

4)MDL (Master Document List): 주 저장소에 저장된 문서 정보 (LDM)

5)MEL (Master Equipment List): 주 저장소에 저장된 설비 정보 (설비마스터)



I. 연구 목표





혁신제품의 품목정의

품목1

원전해체 형상관리
플랫폼 구성(안) 및
해체사업 통합관리와
연계방안 구축

품목2

원전 해체
관련한 법규와
기술기준 등
요건관리

품목3

해체동안 물리적
형상변화 관리
기술 개발

품목4

해체동안 요건관리와
물리적·방사화학적
형상변화 관리를
위한 해체 정보관리

품목5

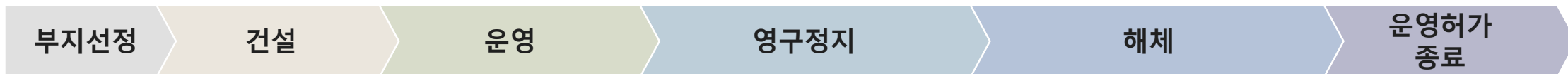
원전해체 형상관리
통합 프로그램
시제품 개발

품목6

원전해체 형상관리
산업기술기준
표준화(안) 작성



과제 제안범위



해체원전 법령 및 요건
Decommissioning Regulations and Requirements



방사선학적 특성평가
Radiological Characterization


+

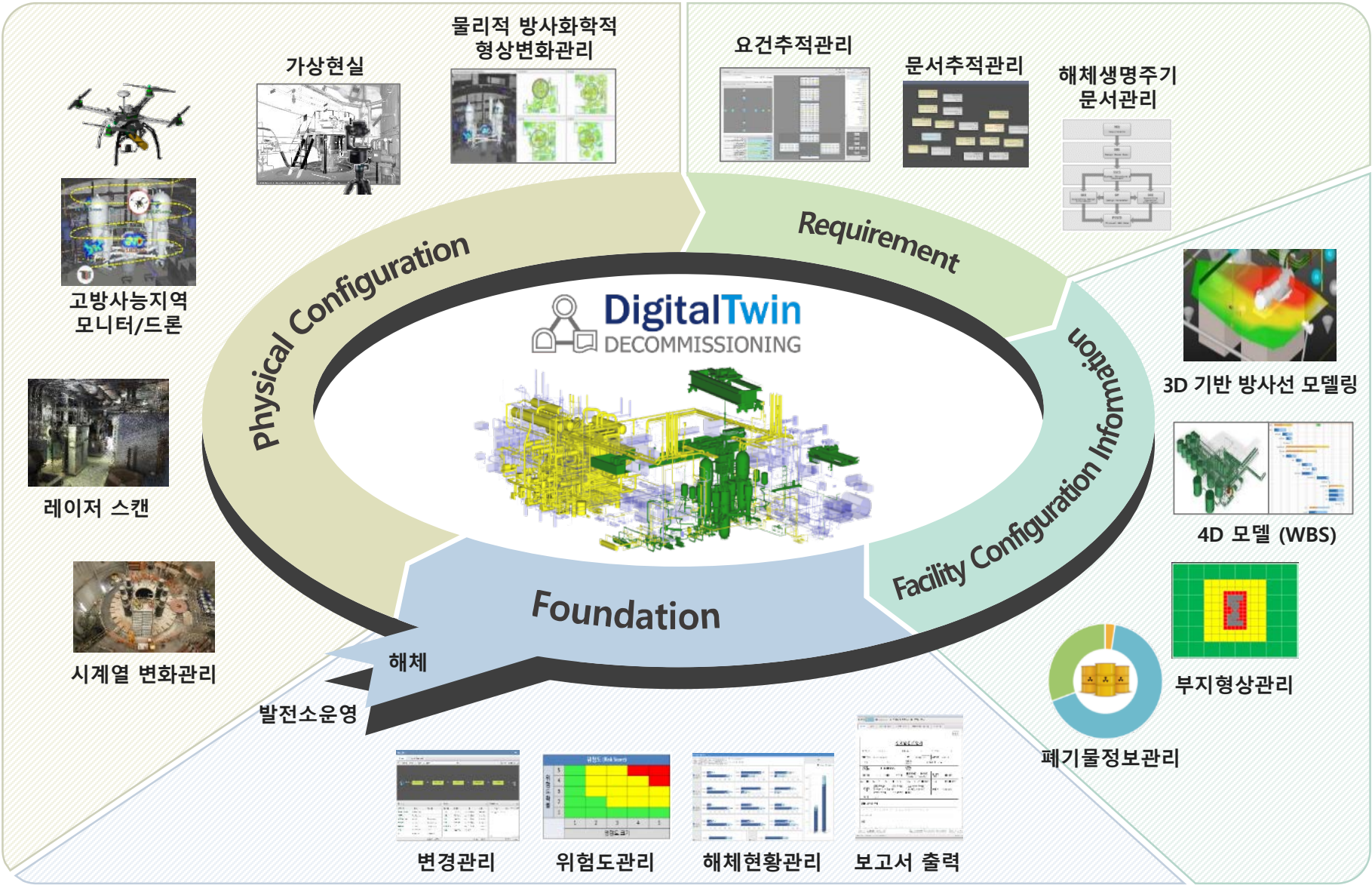
표준화

가동원전
형상관리



구조물,계통,기기 및 부지
Structure, System, Components and Site

혁신제품	핵심기능 및 특징
<div>  </div>	<div> <ul style="list-style-type: none"> • 해체설비 및 부지형상 정보관리 • 해체요건, 추적관리, 변경관리 및 해체 생명주기 문서관리 • 4차 산업기술기반 물리적·방사화학적 형상변화관리 • 부지 제염목표치 달성현황 및 폐기물 총량 정보제공 • Digital Twin기반 물리적·방사화학적 변화관리 • 부지관리를 위한 GIS • 3D 기반 방사선 모델을 통한 해체폐기물 관리 및 방사선 방호 기술지원용 정보제공 </div> <div> <ul style="list-style-type: none"> • 원자로시설(발전용 및 연구용원자로), 핵연료주기시설, 방사성폐기물관리시설, 핵연료물질 또는 방사성동위원소 등 허가사용기관 등 모든 원자력이용시설 해체에 적용 </div>





II. 개발 내용



품목1

품목명

원전해체 형상관리 플랫폼 구성(안) 및 해체사업 통합관리와 연계방안 구축

품목설명

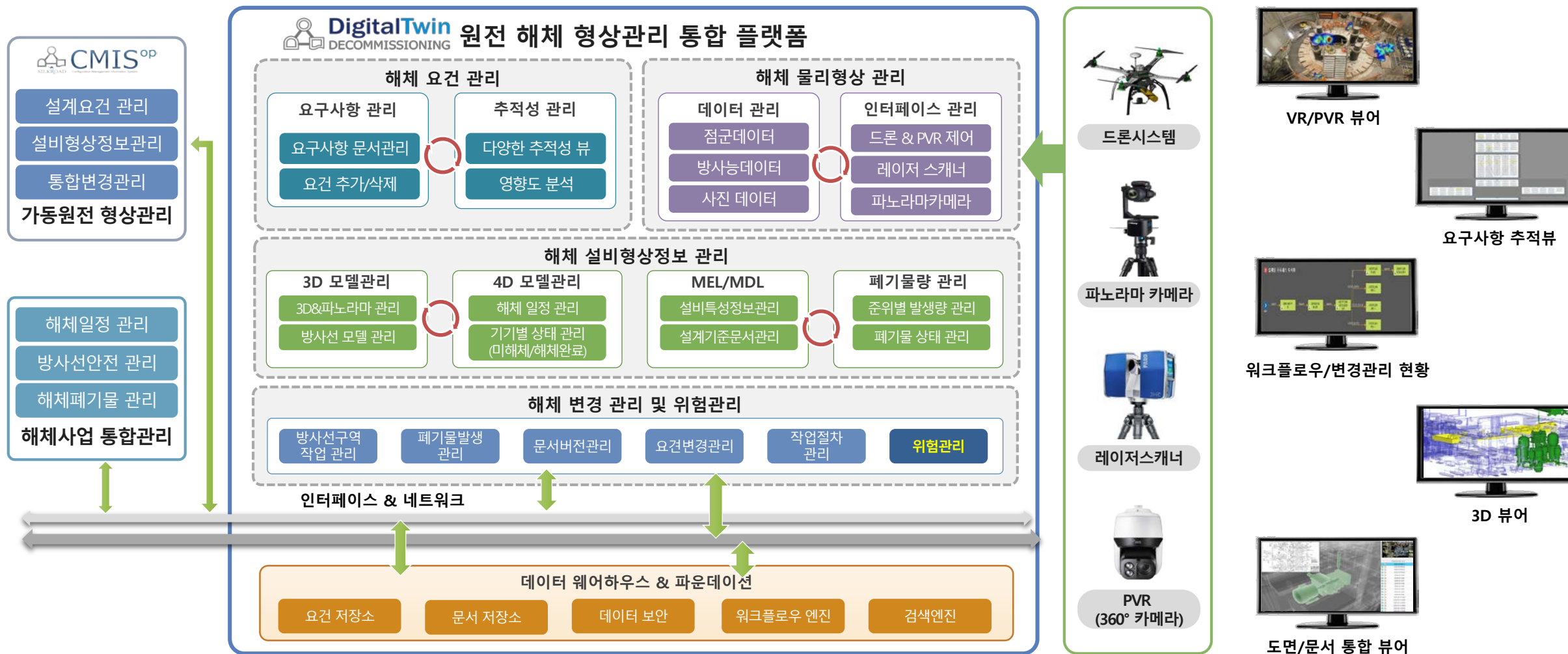
원전 해체 형상관리 플랫폼의 필수 요소를 식별하고, 해체사업 통합관리와 연계를 통하여 수행할 수 있는 기능을 개발함.

개발항목

- 1) 원전해체 형상관리 플랫폼 구성 방안 개발
- 2) 해체사업 통합관리와 연계방안 개발

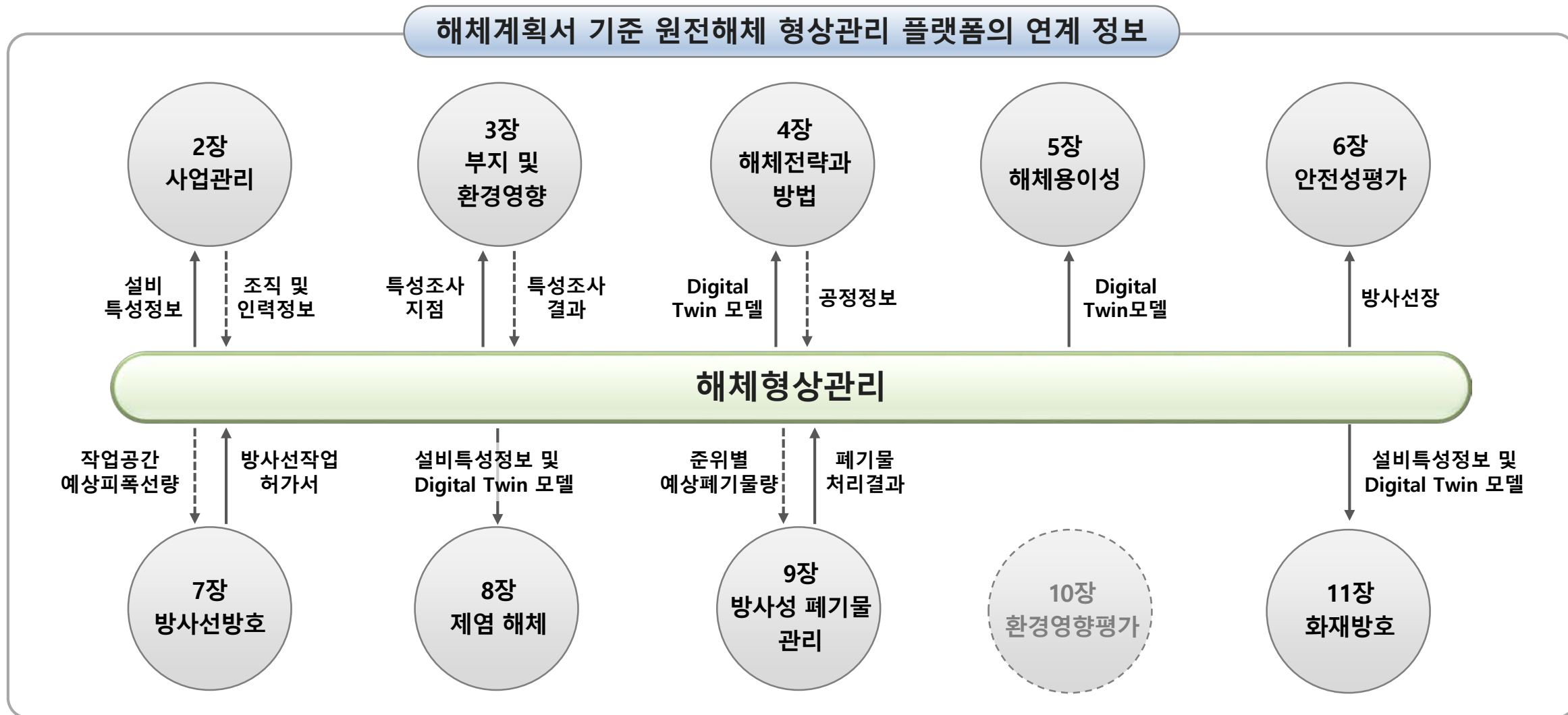


1 원전해체 형상관리 플랫폼 구성 방안 개발





2 해체사업 통합관리와 연계방안 개발





품목2

품목명

원전 해체 관련한 법규와 기술기준 등 요건관리

품목설명

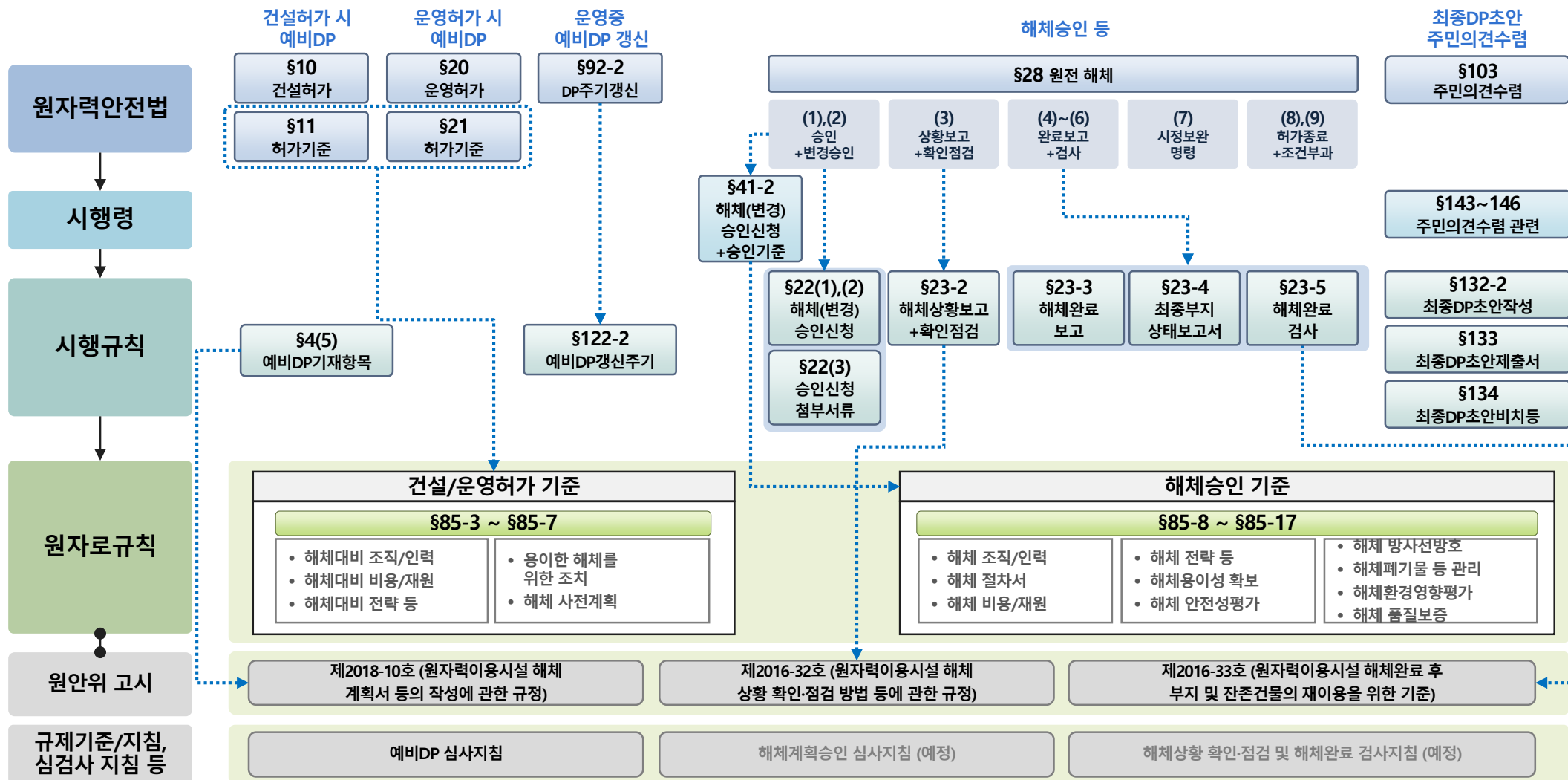
형상관리 3요소 중 하나인 요건관리에 대한 기능을 개발하며, 해체 단계에서 고려해야 하는 요건들을 식별함.

개발항목

- 1) 해체안전성 기반 요건 분석
- 2) 해체요건 관계성 분석
- 3) 해체요건 데이터베이스 구축
- 4) 해체요건 관리시스템 모델링 및 검증

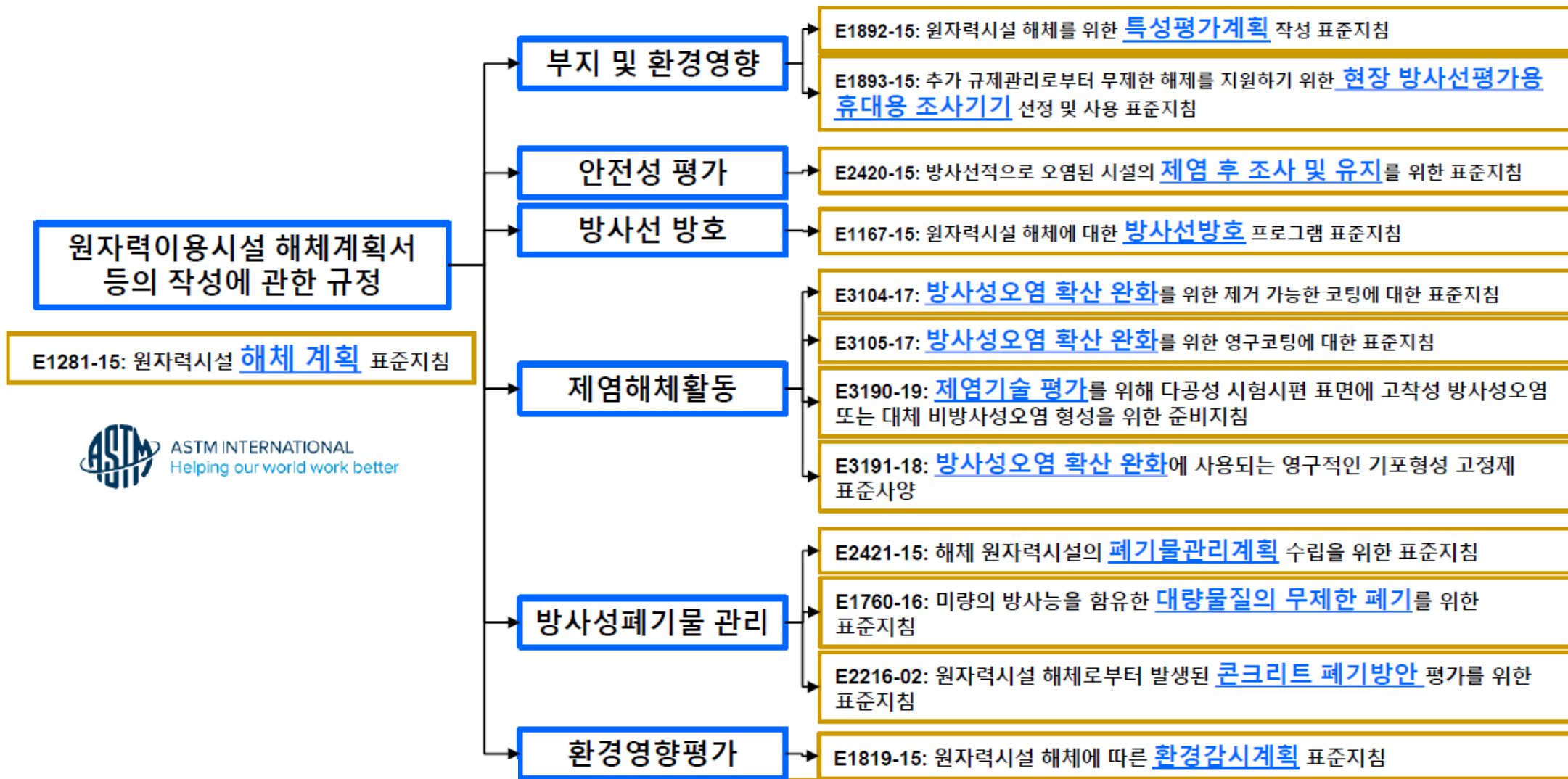


1 국내 원자력안전법령의 해체요건 구성체계





2 원전 해체 관련 ASTM 국제산업표준





3

IAEA GSR 요건과 관련 국내법령 비교 분석(일부 예시)

IAEA GSR Part 6 Requirement 6 해체에 대한 사업자의 책임		국내 관련 법령기준
§ 3.4	<1> 해체계획 수립 및 해체전략 선정	원자력안전법 제10조, 제20조, 및 제28조
	<2> 해체계획 및 갱신계획 제출	원자력안전법 제10조, 제20조, 제28조 및 제92조의2
	<3> 통합관리시스템 및 사업자 변경	원자력안전법 제19조(승계), 같은 법 시행규칙 개정안 제22조
	<4> 안전문화	N/A
	<5> 해체 및 방사성폐기물 관리를 위한 자원보장 메커니즘	방사성폐기물관리법 제14조
	<6> 영구정지 전 통보	원자력안전법 제21조제2항
	<7> 해체계획 제출	원자력안전법 제10조, 제20조, 제28조
	<8> 해체사업 관리 등	N/A
	<9> 운영폐기물 및 해체폐기물 관리	원자로규칙 제85조의15
	<10> 영구정지 후 과도기 안전관리	원자력안전법 제21조제2항
	<11> 해체 안전성평가 및 환경영향평가	원자로규칙 제85조의13 및 제85조의16
	<12> 비상계획	방사능방재법
	<13> 자격 및 역량 있는 인력활용	원자로규칙 제85조의8
	<14> 방사선조사 수행	원자력안전법 시행규칙 제23조의4부터 제23조의5까지
	<15> 해체완료상태 검증	원자력안전법 시행규칙 제23조의4부터 제23조의6까지



4 IAEA SRS No. 45 - 국내 고시 비교 분석(일부 예시)

(IAEA Safety Reports Series, No. 45 “Standard Format and Content for Safety Related Decommissioning Documents 와 원안위 고시 제2015-8호 “원자력이용시설 해체계획서 등의 작성에 관한 규정”의 비교 발췌

IAEA 기준 (SRS No. 45)	국내 원안위 고시 (제2015-8호)	
1. Introduction	1. 해체계획의 개요	1) 사업개요 2) 시설현황 3) 시설운영현황 4) 사고 및 방사능 누출 이력
2. Facility description 2.1 Site location 2.2 Building and system decription 2.3 Radiological status 2.4 Facility operation history	3. 부지 및 환경 현황	1) 부지현황 2) 환경현황 3) 방사선학적 특성
3. Decommissioning strategy 3.1 Alternatives considered 3.2 Rational for chosen strategy	4. 해체전략과 방법	1) 해체전략 2) 해체방법과 일정
4. Project management 4.1 Legal and regulatory requirements 4.2 Project management approach 4.3 Project management organization and responsibilities 4.4 Task management organization and responsibilities 4.5 Safety culture 4.6 Training 4.7 Contractor support 4.8 Schedules	2. 사업관리	1) 조직 2) 인력
5. Decommissioning activities 5.1 Contaminated structures 5.2 Contaminated systems and equipment 5.3 Soil 5.4 Surface and groundwater 5.5 Decommissioning schedule	8. 제염해체활동	1) 제염해체 방법 2) 구조물, 계통 기기의 제염, 해체 3) 토양, 지표수 및 지하수 복원

IAEA 기준 (SRS No. 45)	국내 원안위 고시 (제2015-8호)	
6. Surveillance and maintenance 6.1 Equipment and systems requiring surveillance and maintenance 6.2 Schedule for surveillance and maintenance	10. 환경영향 평가	1) 해체 전 환경감시 2) 해체 중 환경감시 4) 주민에 대한 영향
7. Waste management 7.1 Identification of waste streams 7.2 Solid radioactive waste 7.3 Liquid radioactive waste 7.4 Waste containing both radionuclides and other hazardous material	9. 방사성 폐기물관리	1) 방사성폐기물의 발생 및 특성 2) 고체 방사성폐기물 관리 3) 액체 방사성폐기물 관리 4) 기체 방사성폐기물 관리 5) 혼합폐기물관리 6) 운영중 발생 폐기물관리
8. Cost estimate and funding mechanisms 8.1 Cost estimate 8.2 Funding mechanisms	2. 사업관리	3) 비용 4) 재원확보
9. Safety assessment 9.1 Identification of relevant safety criteria 9.2 Operational limits and conditions 9.3 Hazard analysis of normal decommissioning activities 9.4 Hazard analysis of abnormal events and incidents 9.5 Assessment of potential consequences 9.6 Preventive and mitigating measures 9.7 Risk assessment 9.8 Comparison of analysis results with relevant safety 9.9 Conclusions	6. 안전성평가	1) 원칙과 기준 2) 피폭시나리오 3) 선량평가 4) 잔류방사능 5) 비정상사건 6) 위해도
10. Environmental assessment 10.1 Background data 10.2 Description of project 10.3 Environmental protection programme	10. 환경영향 평가	1) 해체 전 환경 감시 2) 해체 중 환경 감시 4) 주민에 대한 영향

품목3

품목명

해체동안 물리적 형상변화 관리 기술 개발

품목설명

형상관리 3요소 중 하나인 물리형상관리는 실제 발전소를 의미하지만, 이를 효과적으로 관리하기 위한 실제 발전소를 시스템으로 표현하기 위한 기술들을 개발함.

개발항목

- 1) 원전 해체용 드론 시스템 개발
- 2) 시계열 물리형상 변화관리용 모니터링 시스템 개발
- 3) 파노라마 VR 기반 물리형상 모델 개발
- 4) 해체원전 Digital Twin 생성을 위한 D-BIM 생성

물리형상관리 방안
별도 발표 예정



→ 물리적 형상변화 측정 방법



물리적 변화

- 드론 고해상도 카메라, 360도 고정형 카메라, 파노라마 카메라, 레이저 스캐너 영상 활용



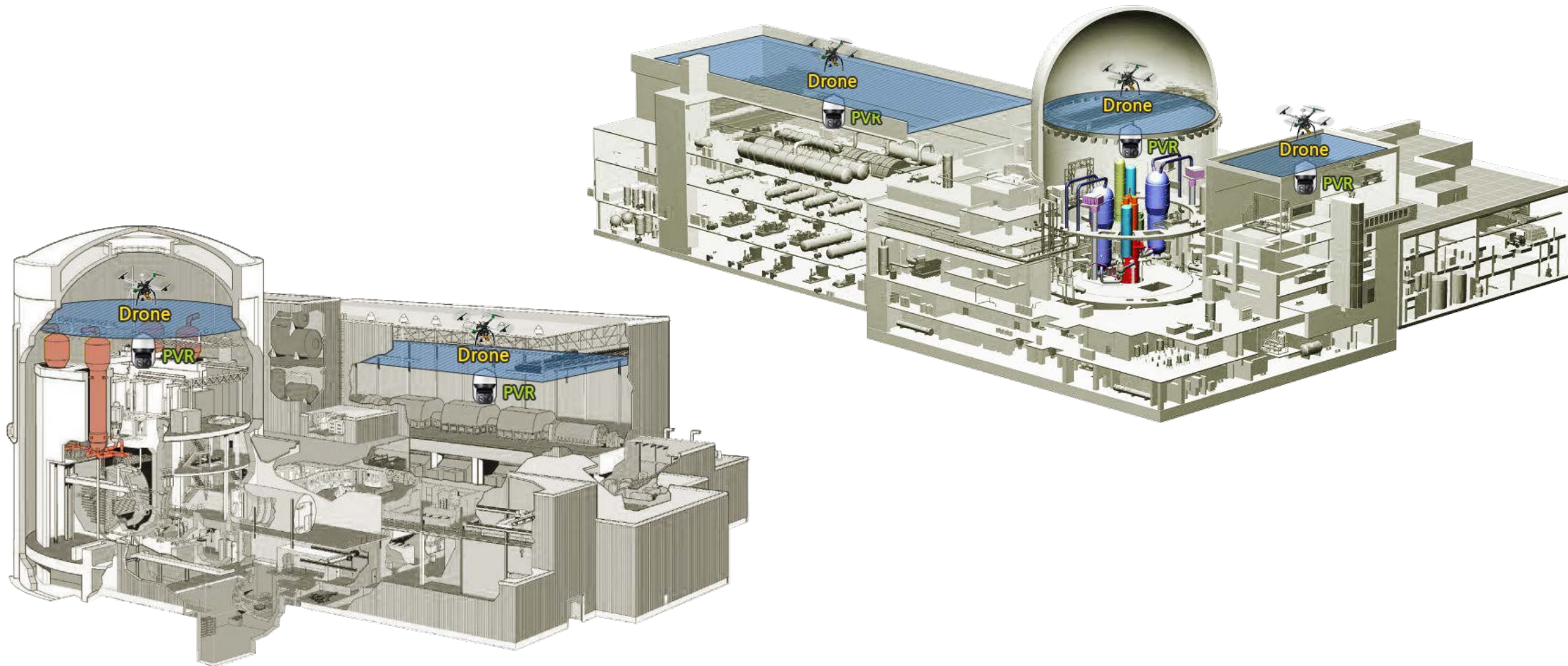
방사화학적 변화

- 방사선검출기 및 신호처리기를 통한 방사선 변화 측정

측정장치		물리적 변화	방사화학적 변화	설치	통신방법
드론	방사선 센서모듈		○	드론	무선통신
	고해상도 카메라	○		드론	무선통신
360° 고정형 카메라		○		고정형	유/무선통신
파노라마 카메라		○		이동형	유/무선통신
레이저 스캐너		○		이동형	유/무선통신

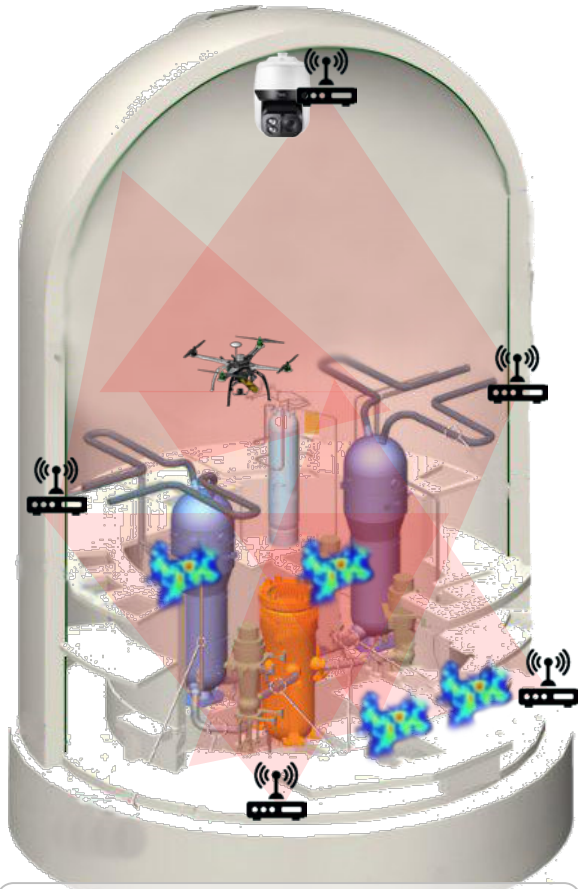


➔ 물리적 형상변화 관측지점 예시(드론 & PVR)

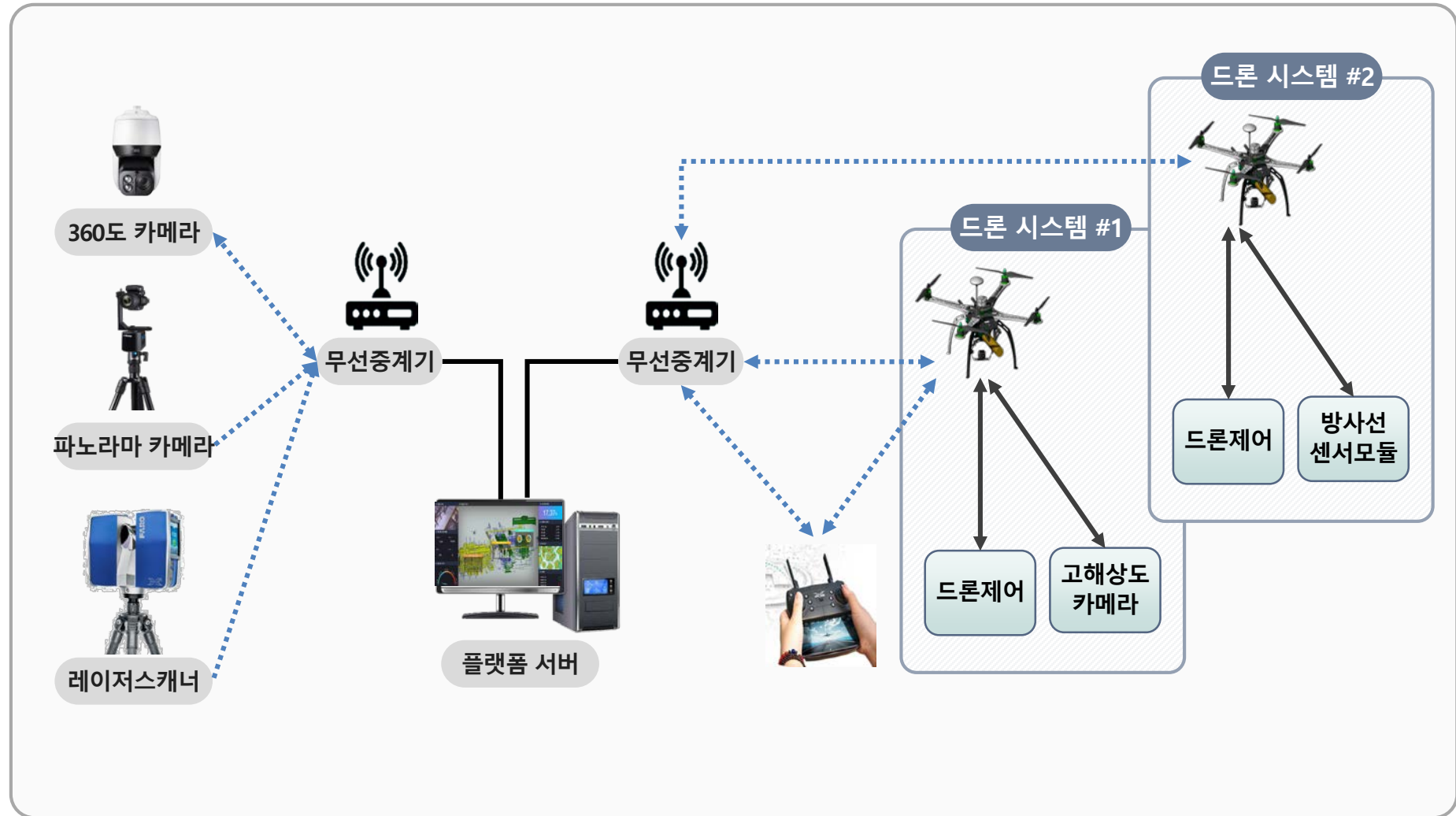




→ 물리적 형상변화 측정장치 연계방법



- 실내 환경이므로 출력 제약 및 간섭현상이 적음
- 네트워크 구축하여 효율적 데이터 전송 및 드론 제어





1. 원전 해체용 드론 시스템

→ 원전 해체용 드론 예시 : FLYABILITY(스위스)

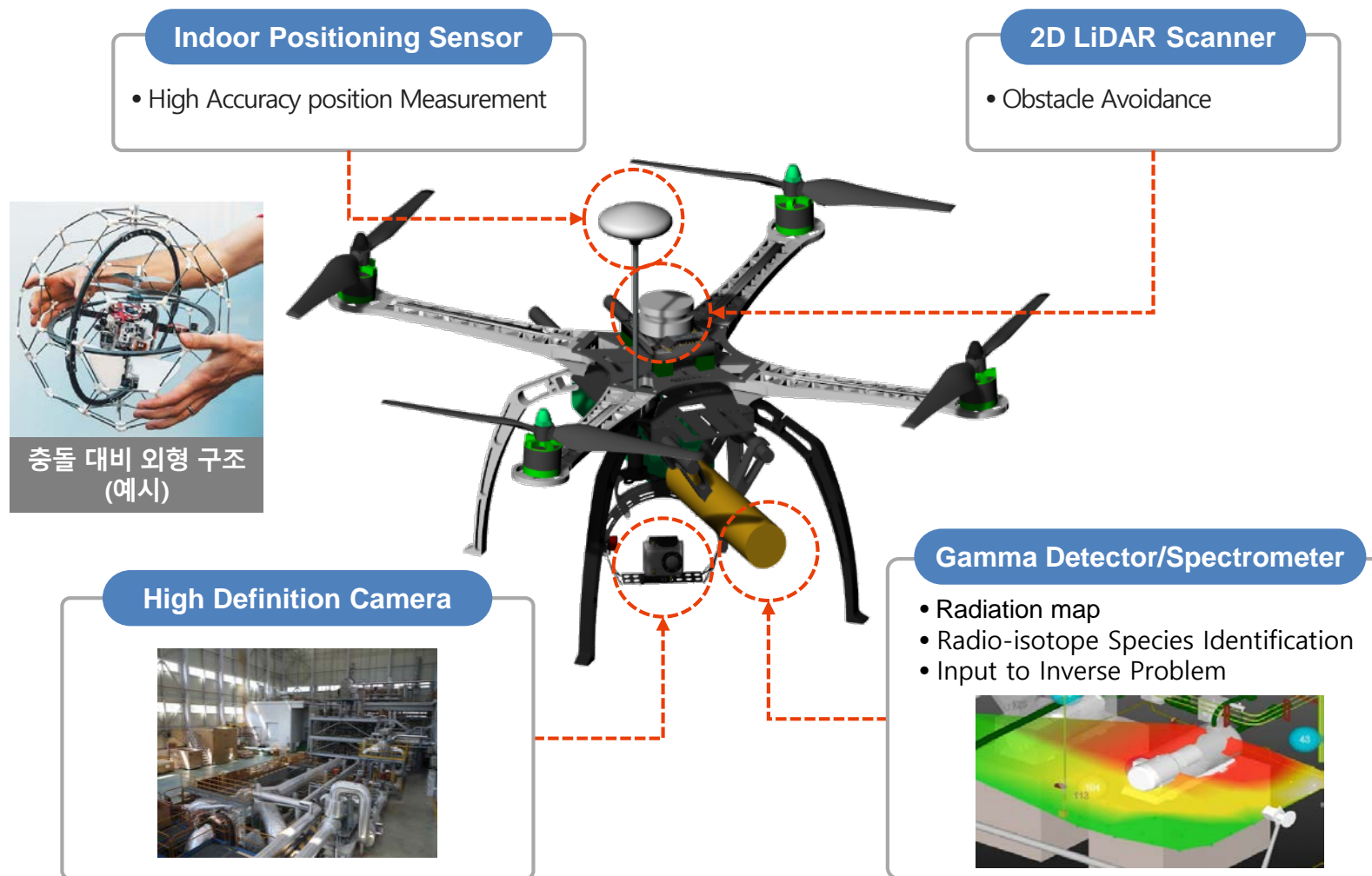




1. 원전 해체용 드론 시스템

Ⅲ. 개발 내용

→ 원전 해체용 드론 개발



▪ 원전 해체 동안 물리적·방사화학적 형상 변화를 조사하기 위한 원전 해체용 시제품 개발

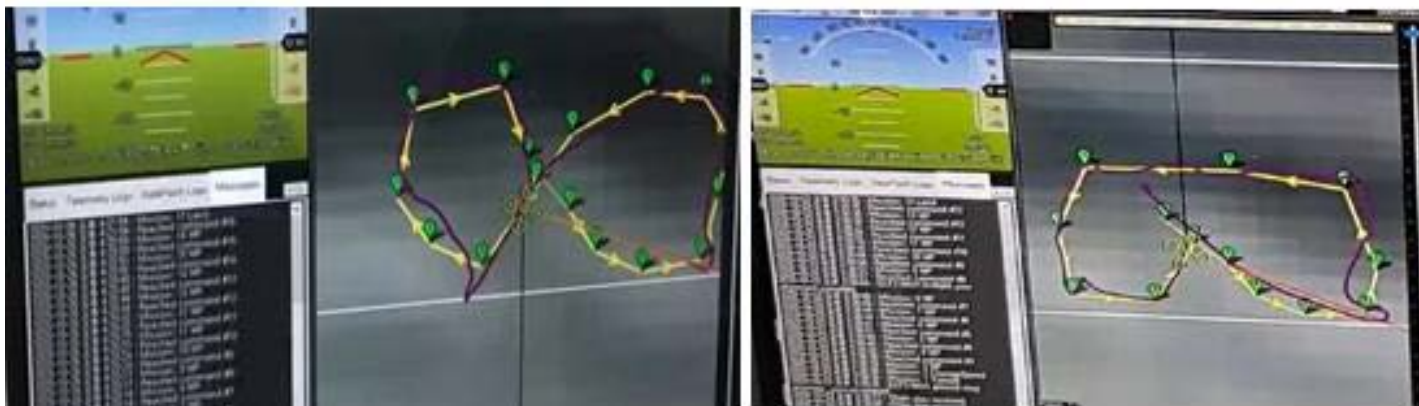
- 원전 해체 실내 환경에 안정적인 비행 제어가 가능한 드론 시스템 개발
- 실내 환경에서 반자율 비행이 가능하도록 실내 측위 센서 적용
- 고해상도 카메라를 활용하여 해체 작업 공정 및 절차에 따른 진행상황 확인
- 방사선 센서 모듈을 통해 시설 내 방사선 구역 매핑
- 시설물들과의 충돌을 대비한 외형 구조 채택



→ 원전 해체용 드론 개발



- 크기: 750 X 440 X 258mm
- 자중: 1565g
- 비행시간: 약 30분
- UWB기반실내측위





과업명 : 드론 탑재형 방사선측정 장치 개발

➤ 섬광체를 이용한 소형 방사선 측정 센서 구현

- 핵종분석이 가능한 섬광체 적용(CsI)
- 측정범위 : $0.1 \mu\text{Sv/h} \sim 10 \text{ mSv/h}$
- 누적 방사선량 범위 : $\sim 1\text{kSv}$ (= 1kGy)
- 에너지 분해능 : 20% 이하(^{137}Cs), 핵종판별 가능(1024ch)
- 드론 탑재 및 실용적인 측정을 위한 구조 설계(추후설계)



➤ 방사선 측정결과 무선 통신 Logic 구현

- Wi-Fi (필요시 Zigbee) 구성의 무선통신 기능
- pulse peak data 무선통신 기능

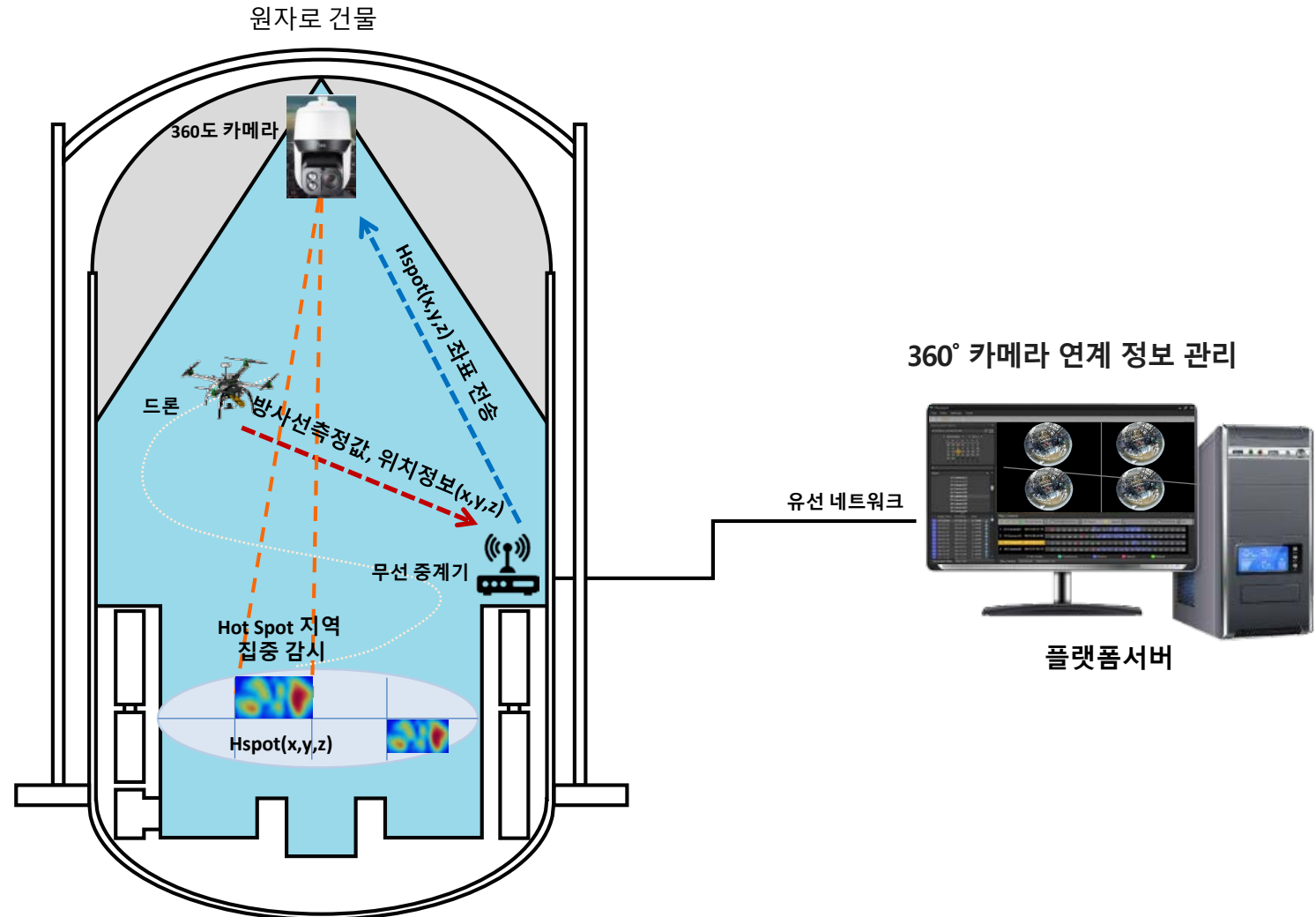
➤ 저전력 방사선측정 및 소형장치 구현

- 드론 배터리를 사용하여 저전력 방사선 측정 구현(추후설계)
- 드론 탑재용으로 방사선 측정 및 무선통신 모듈 소형 구현(추후설계)
- 검출기 자체 무게 (배터리, 차폐체 제외) : 100g 이내

→ 시계열 물리형상 변화관리용 모니터링 시스템 개발

■ 원전 해체 내·외부의 시계열 물리 형상 변화 기록 및 관리 시스템 개발

- IR PTZ 및 IR LED를 탑재한 고정형 **360° 고정형 카메라**
- 해체형상관리 플랫폼 및 드론 시스템과 연계하여 **Hot Spot 지역에 대한 집중 감시**
- 수동 제어 기능 제공

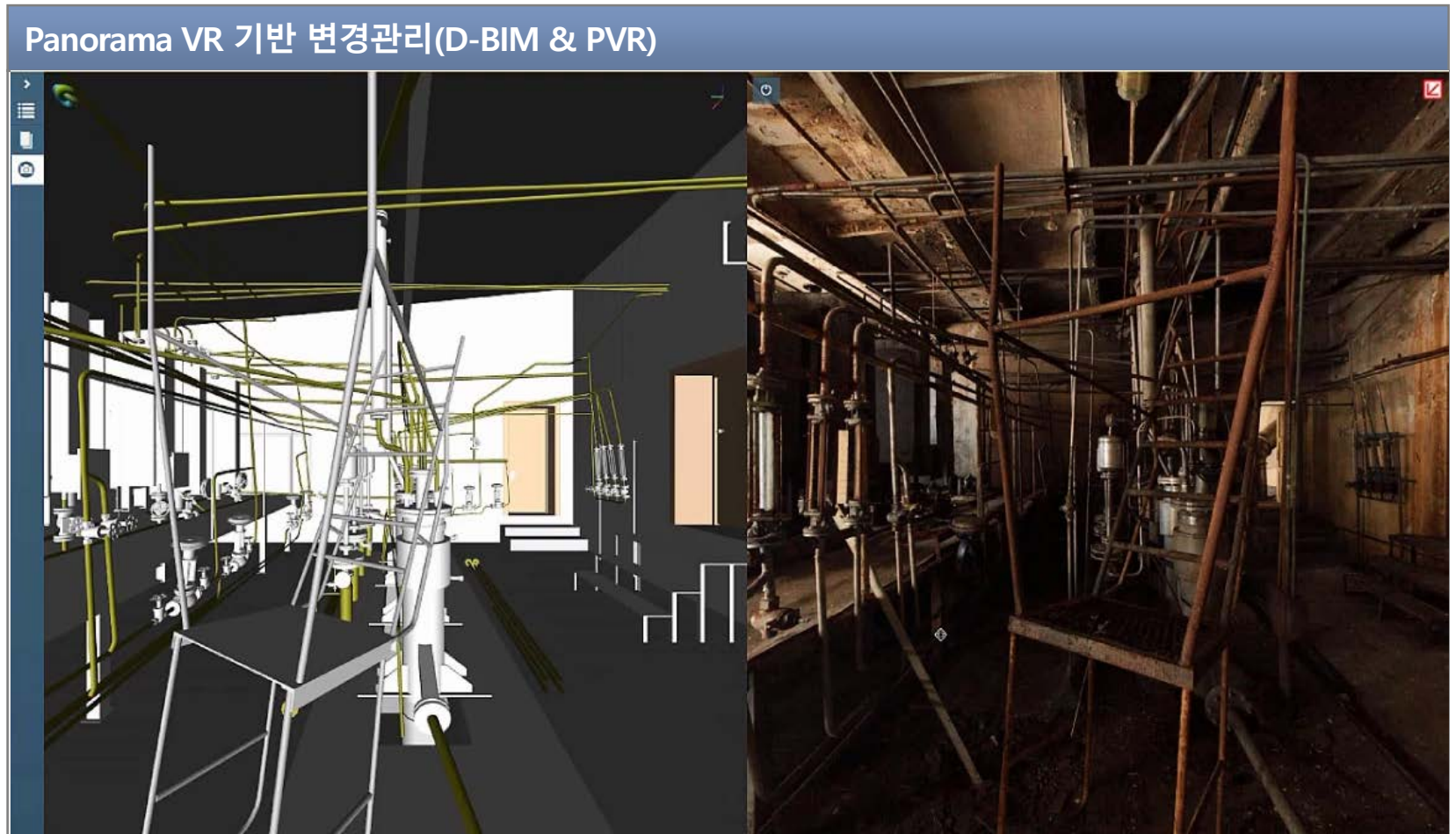




3. 파노라마 VR 기반 물리형상 모델 개발

→ 파노라마 VR 기반 해체과정 물리형상 변경관리(예시)

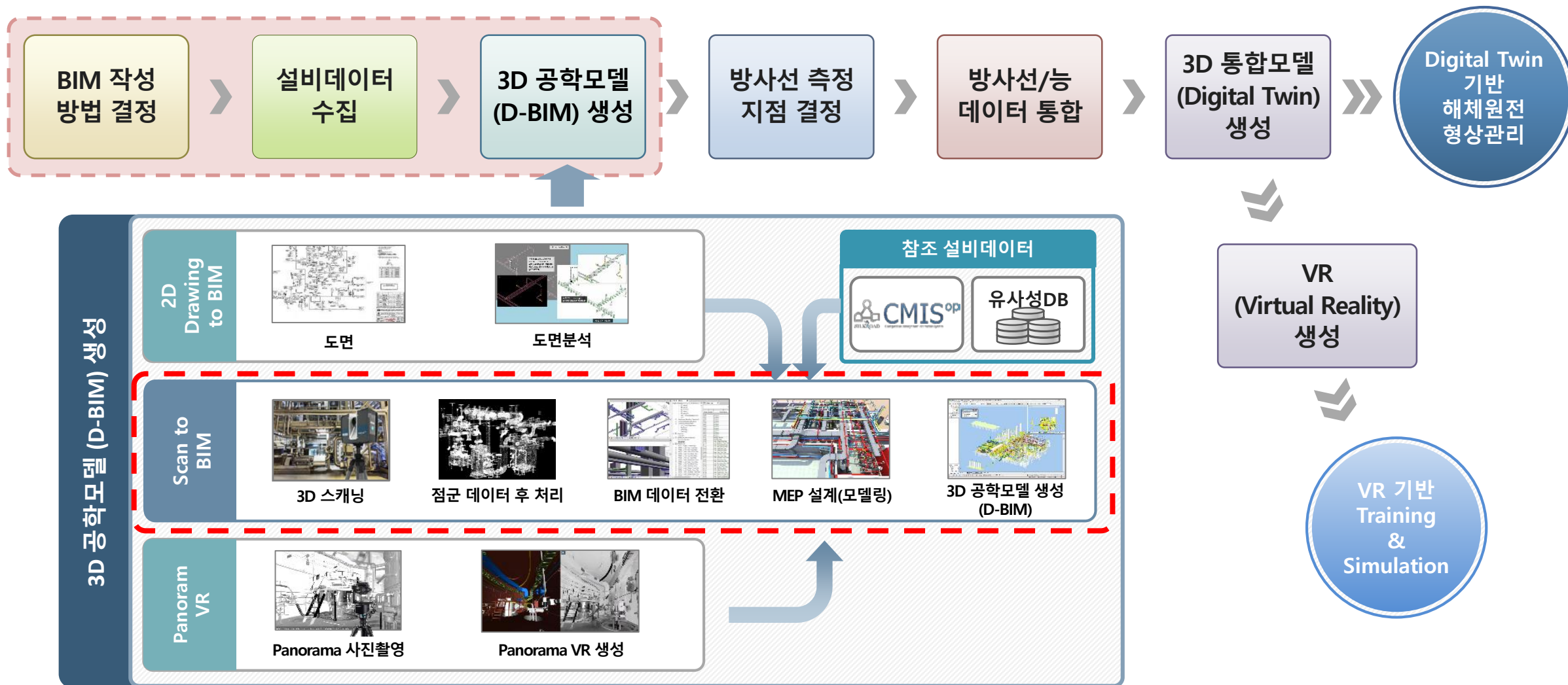
■ 파노라마 카메라





4. BIM 기반 물리적 형상변화 관리

→ 해체원전 Digital Twin 생성을 위한 D-BIM 모델링

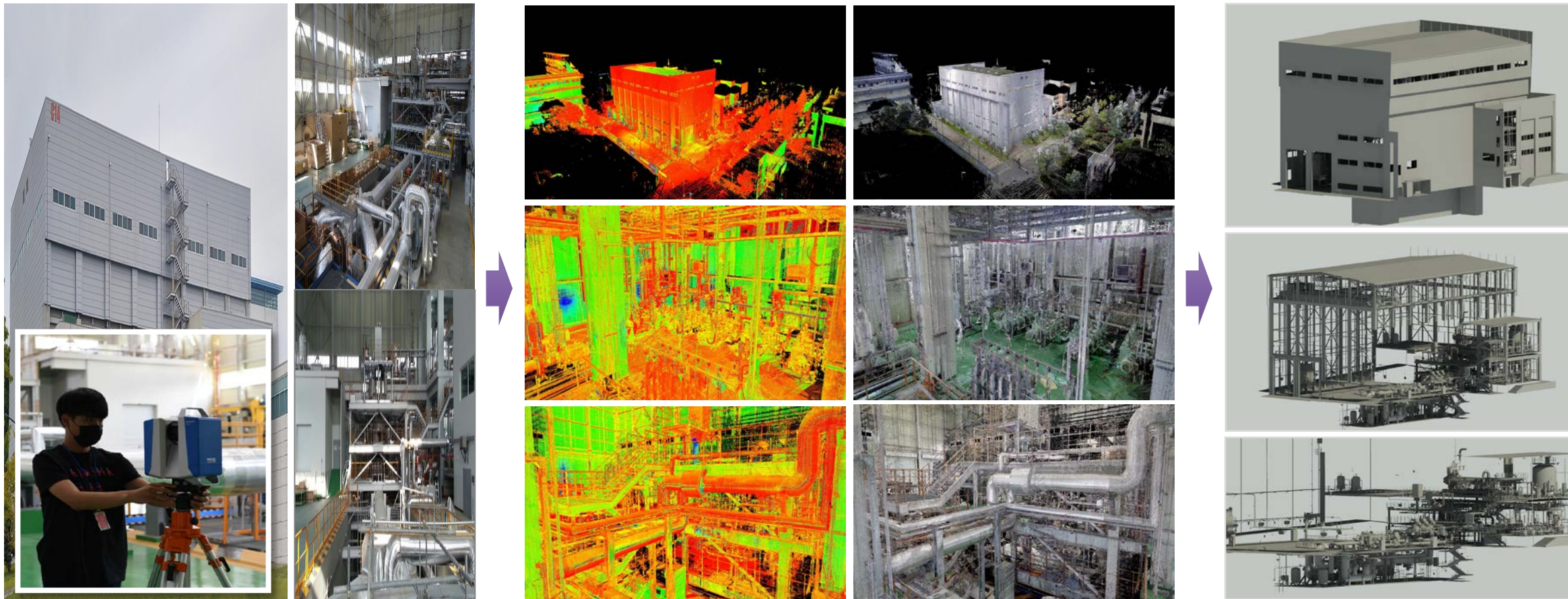




4. BIM 기반 물리적 형상변화 관리

→ SCAN to BIM 생성 과정

▪ 한국원자력연구원 RCP 실증시험시설 예시



✓ 레이저 스캔 장비로 현장 데이터 취득

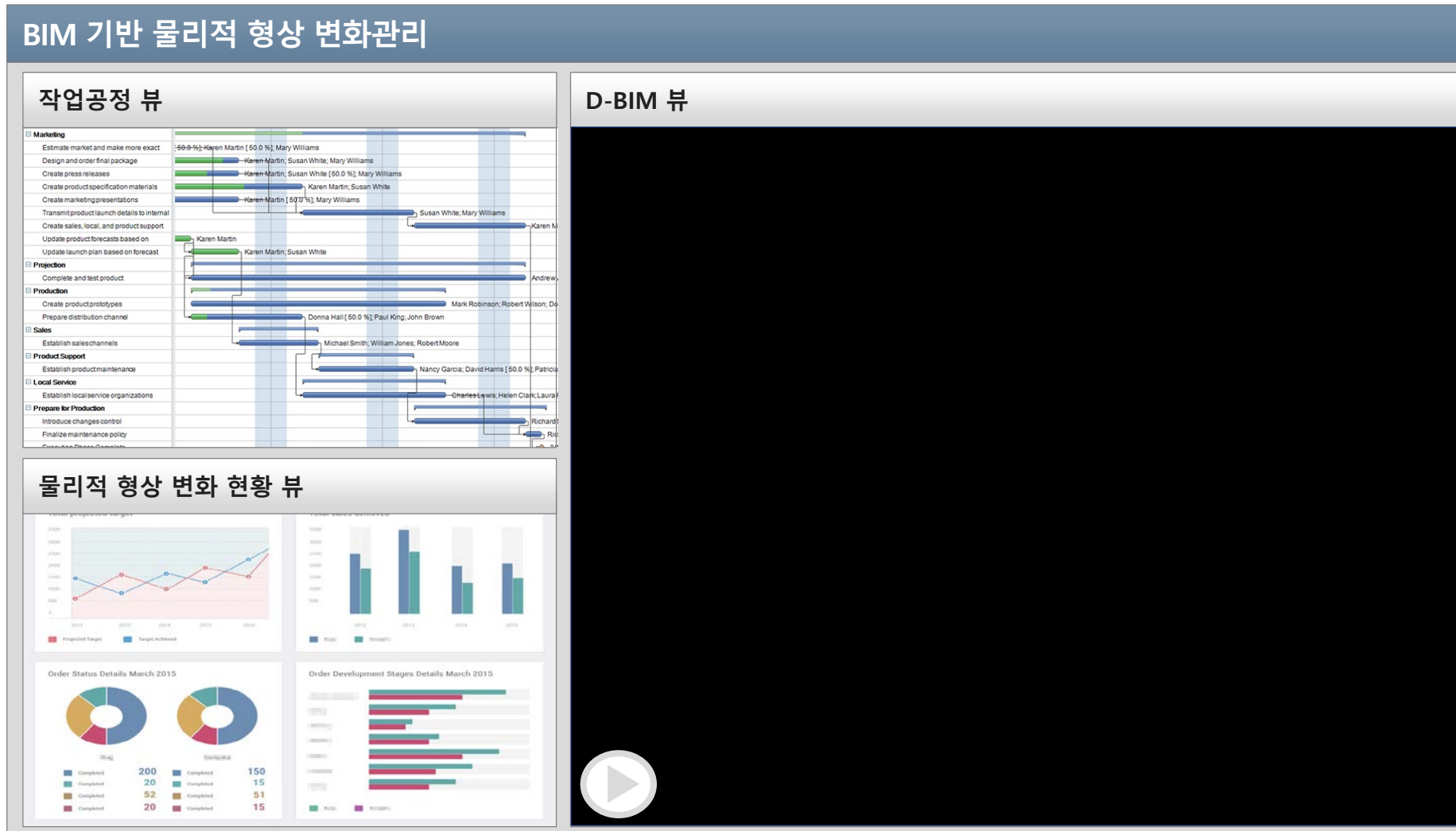
✓ 스캔 데이터로부터 모델링 및 정합

✓ 설비데이터 입력 및 BIM 생성



4. BIM 기반 물리적 형상변화 관리

→ BIM 기반 해체원전 물리적 형상변화 관리(예시)



품목4

품목명

해체동안 요건관리와 물리적·방사화학적 형상변화 관리를 위한 해체 정보관리

품목설명

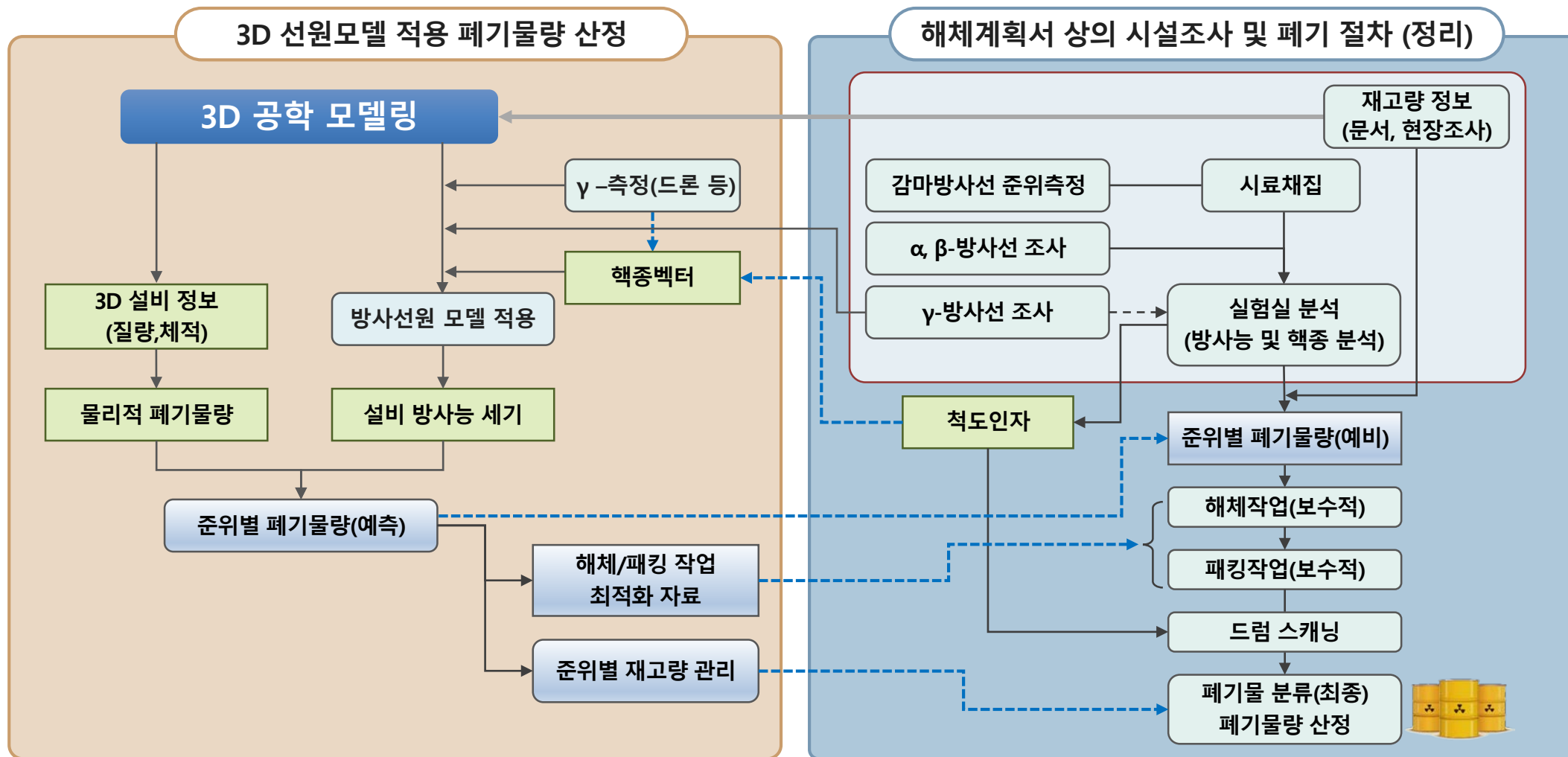
형상관리 3요소 중 하나인 설비형상정보에 대한 기능을 개발하며, 해체를 효과적으로 수행하기 위한 3D 모델링 지원, 방사선을 결합한 3D 통합모델, 폐기물량 정보 등을 통합적으로 관리할 수 있는 기술을 개발함.

개발항목

- 1) 해체 생명주기문서 관리 체계 개발
- 2) 폐기물량 산정을 위한 설비 객체분류체계(OBS) 구조 개발
- 3) 물리적형상변화 관리를 위한 3D 공학 모델 (D-BIM) 개발
- 4) 방사선원 평가를 위한 방사선원모델 개발
- 5) 방사선장 평가 기능 개발
- 6) 방사선원 모델을 적용한 3D 공학 모델 기반의 3D 통합 모델(Digital Twin) 개발
- 7) 3D 통합 모델을 이용한 방사능 준위별 폐기물량 산정 방법 개발
- 8) 해체폐기물 물질수지 추적관리 기능 개발
- 9) 부지형상관리 기능 개발

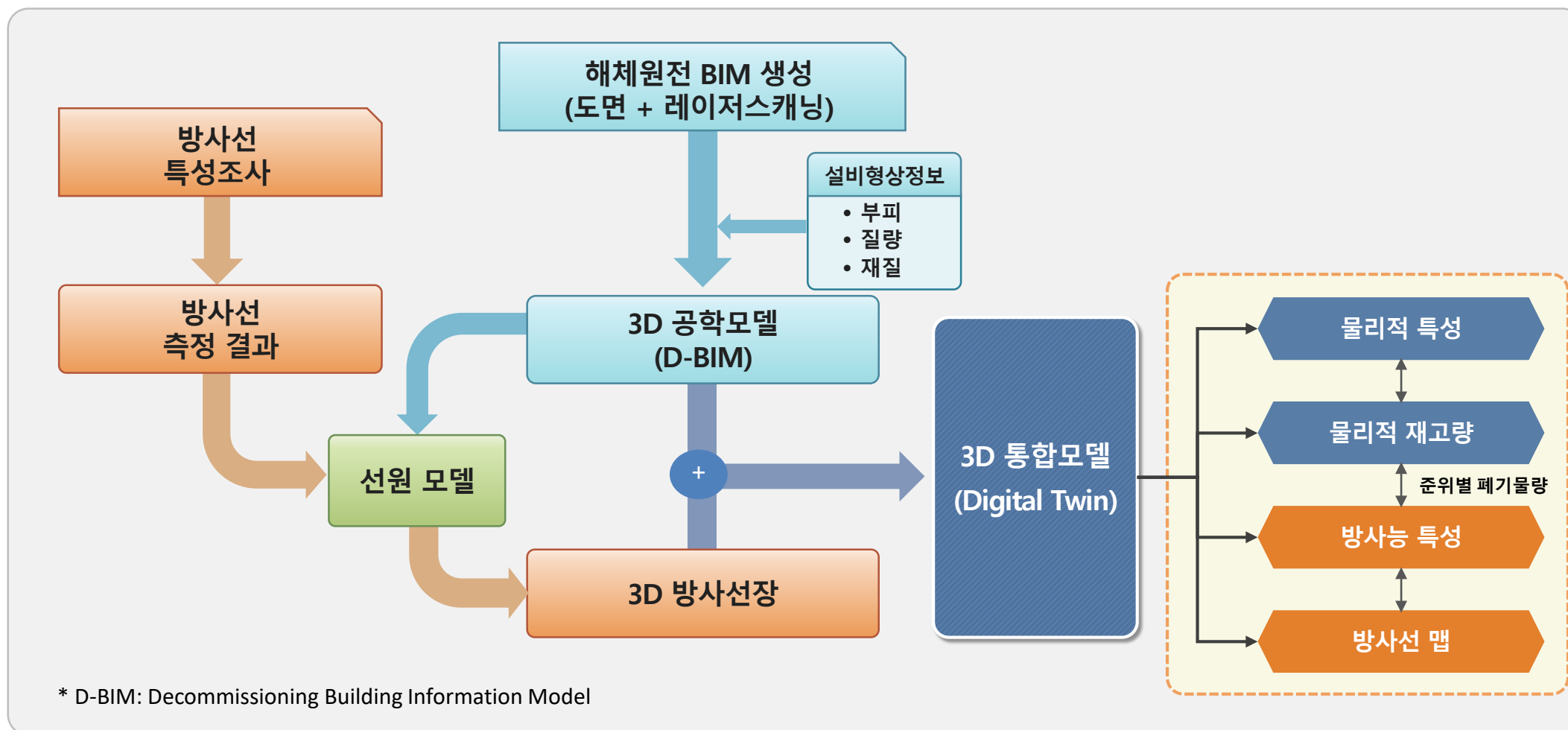


1 3D 통합 모델을 이용한 방사능 준위별 폐기물량 산정 절차



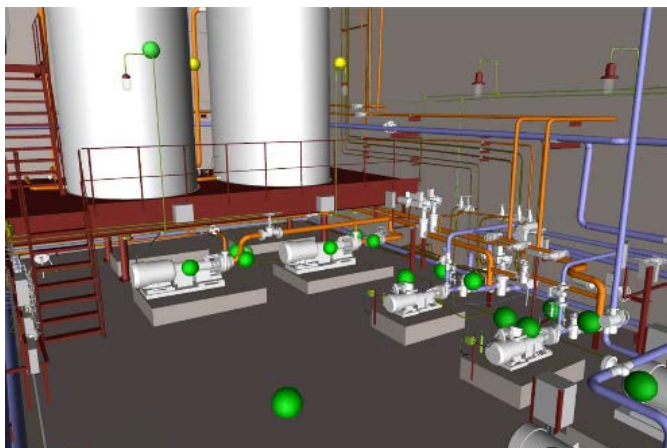


2 공학모델(BIM)과 방사선원 평가 모듈을 통합한 3D 통합 모델





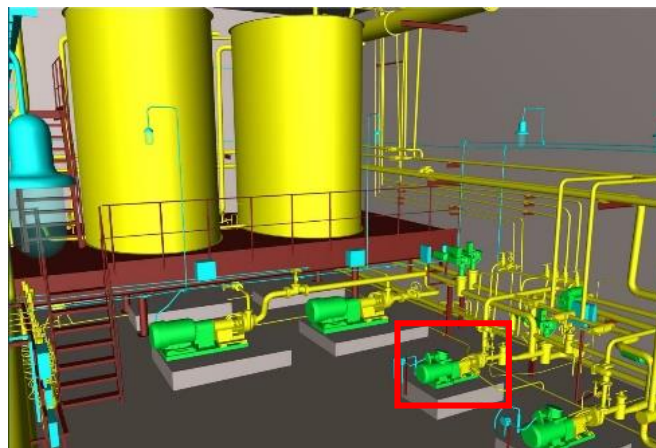
3 3D 통합 모델을 이용한 방사능 준위별 폐기물량 산정 방법 개발



BIM에 3D 선원모델 적용

선원항 역모델

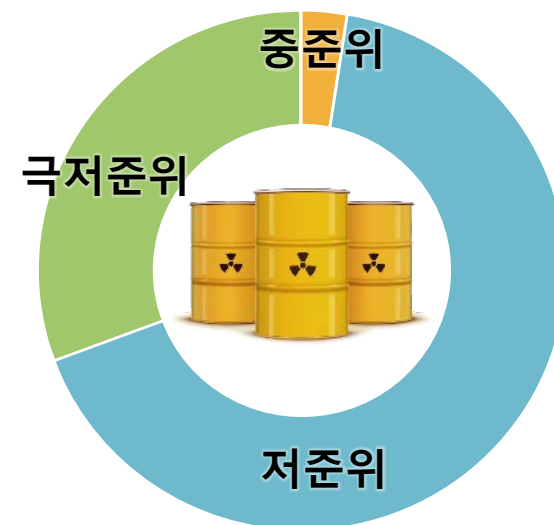
$$S = F^{-1}(D_m)$$



설비의 방사능 강도 예측 및 할당

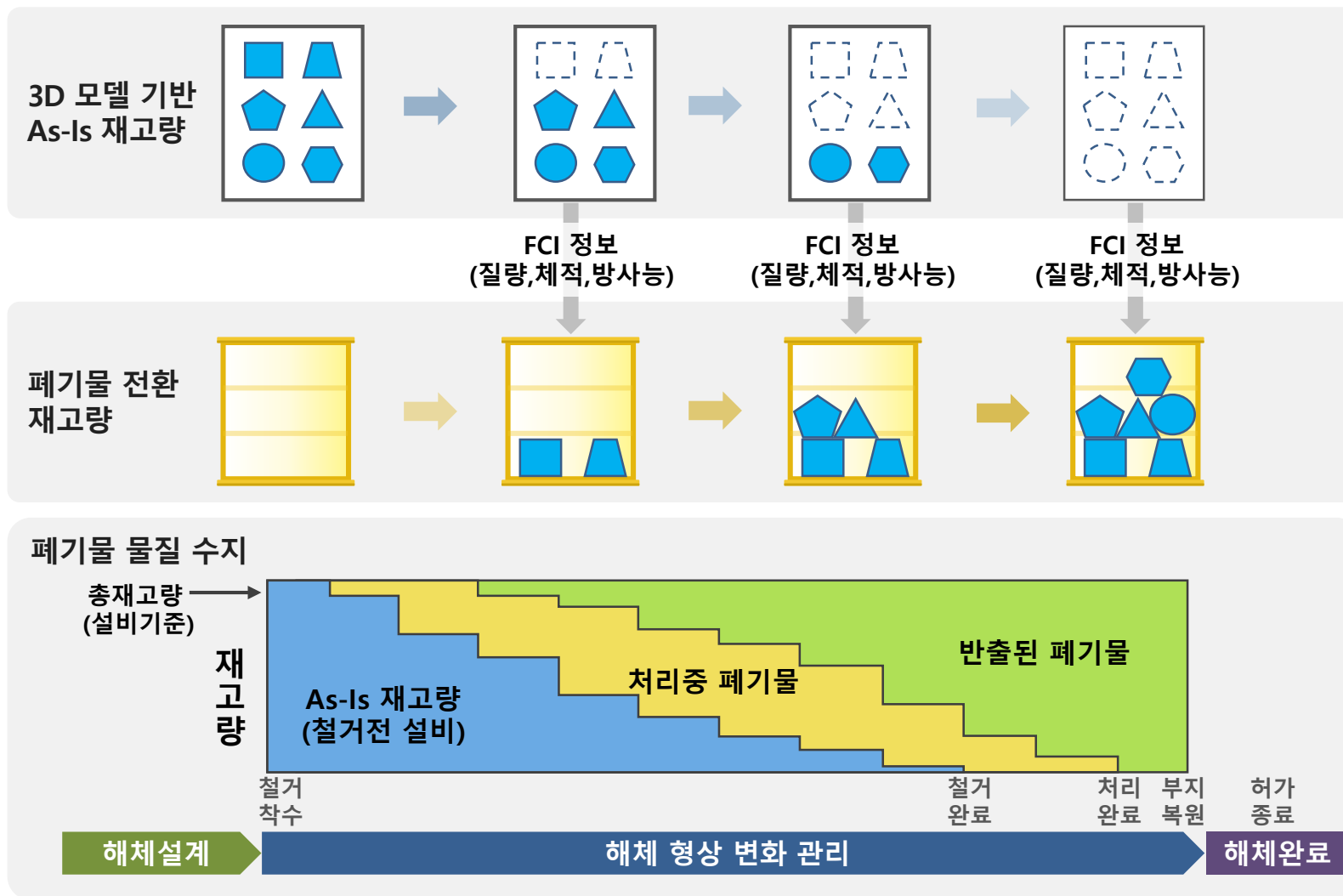
준위별 폐기물량 예측

1. 물리량 정보 결합
2. 방사능 준위 속성 필터 합산



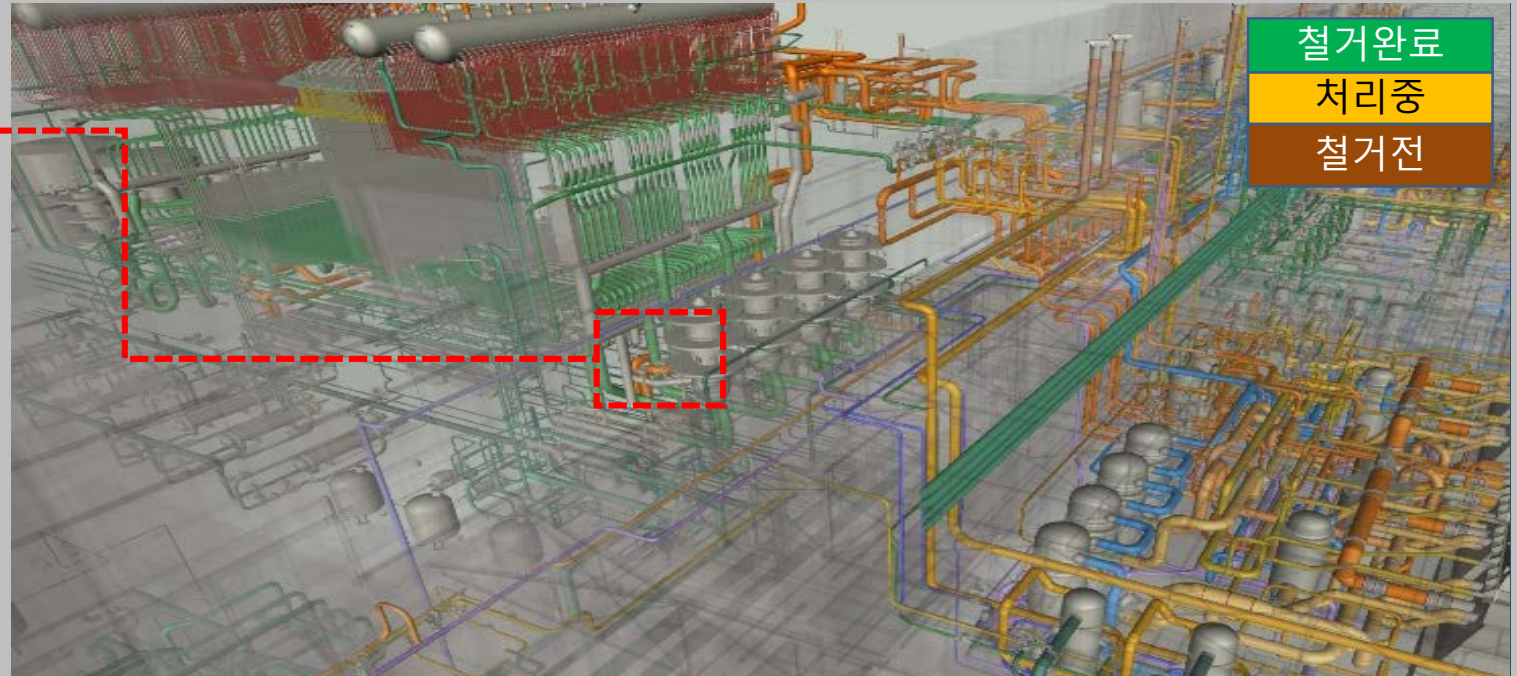
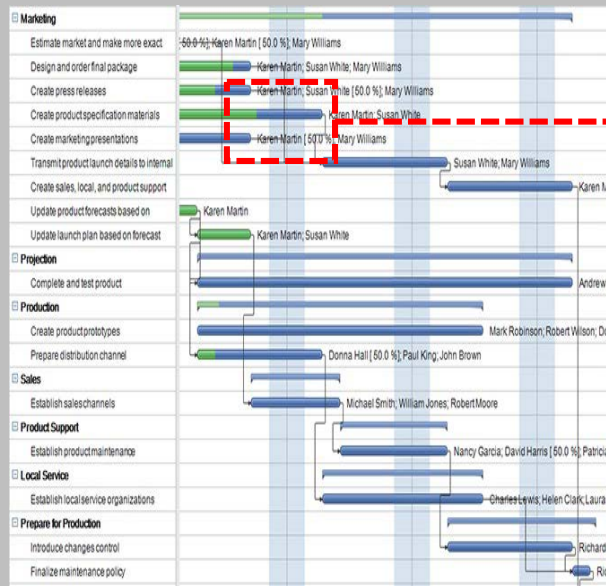


1 해체폐기물 물질수지 추적관리 개념





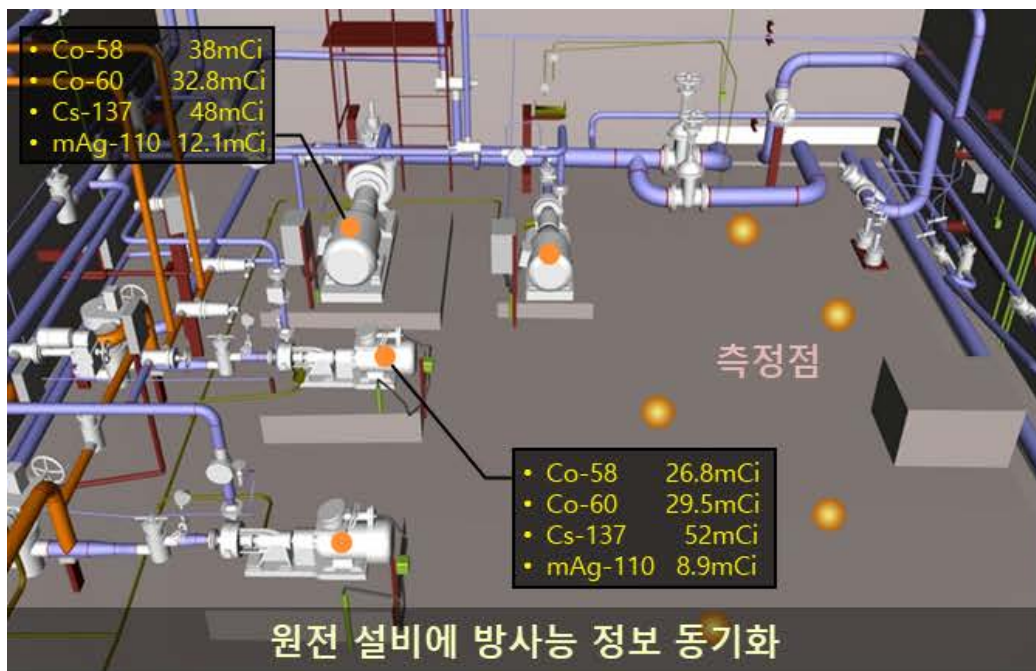
2 4D 공정정보와 BIM의 연계



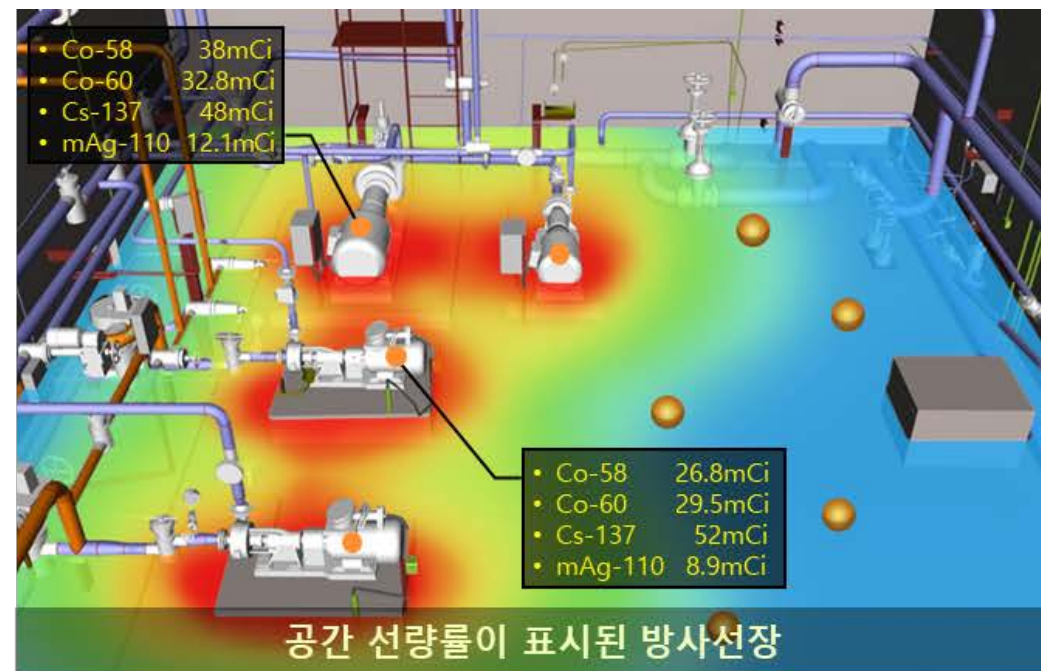
원전 BIM에 구조물/설비 객체에 대하여 시간 요소를 추가한 4D 정보를 관리할 수 있는 기능을 부여하여 설비의 변화를 추적



3 역모델에 의한 방사능 정보 및 정해에 의한 방사선장 가시화

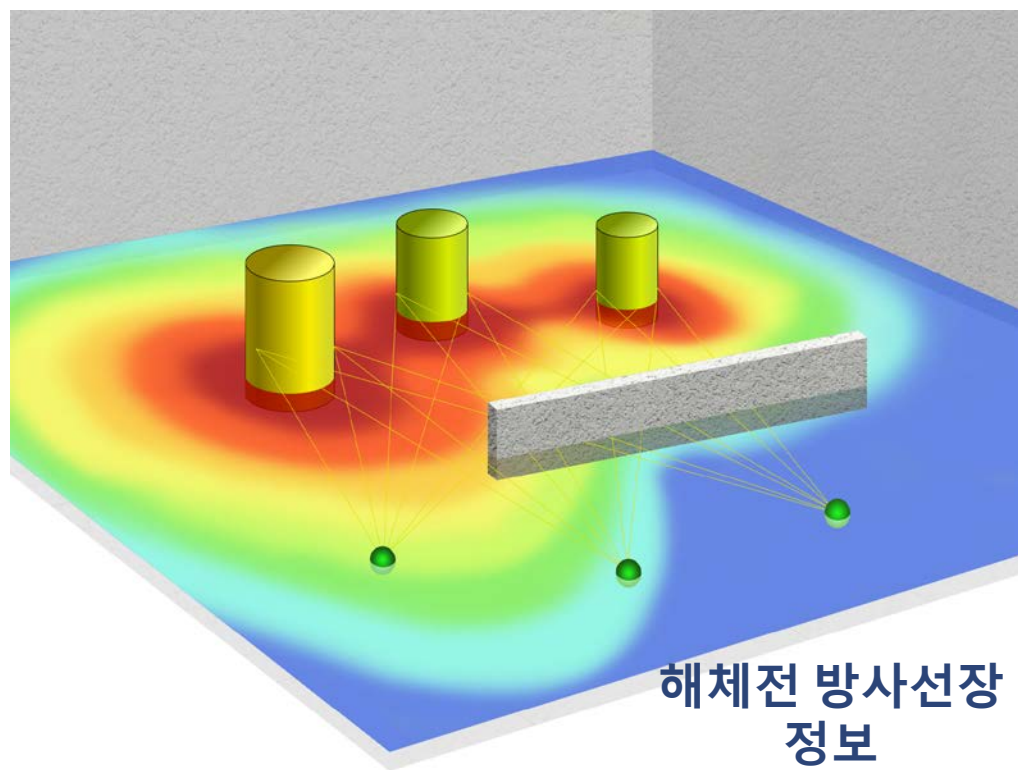


선원모델
정해

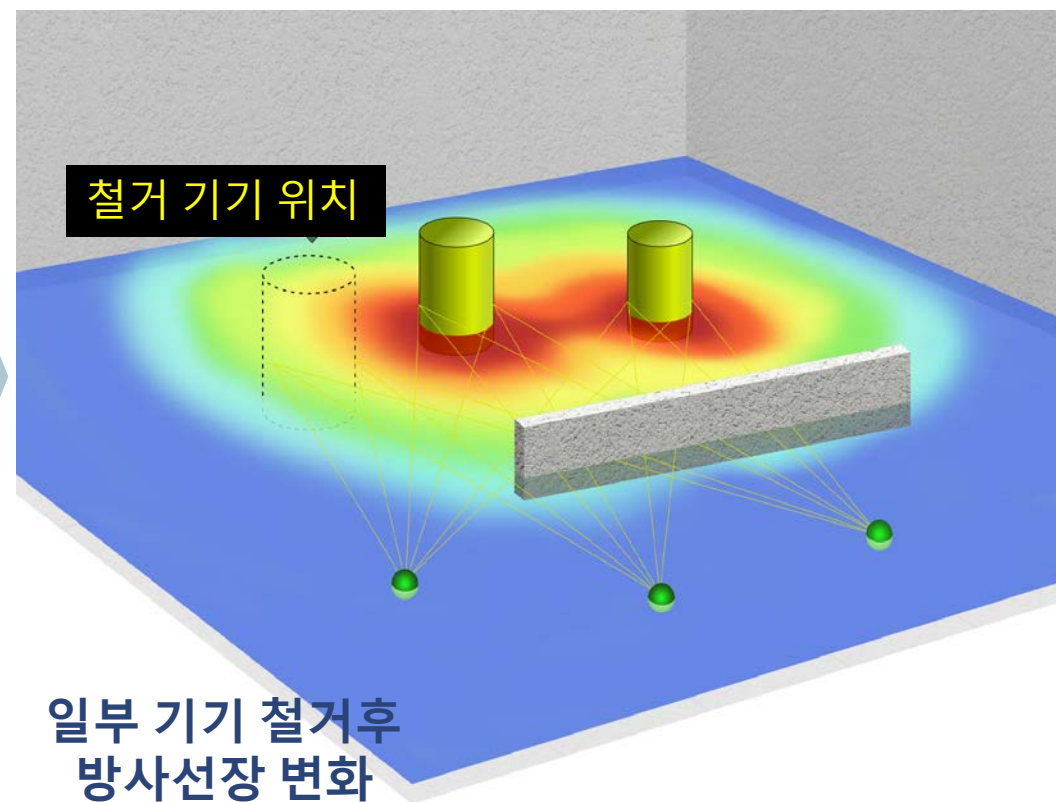




4 해체에 따른 4D 정보를 결합한 방사선장 예측

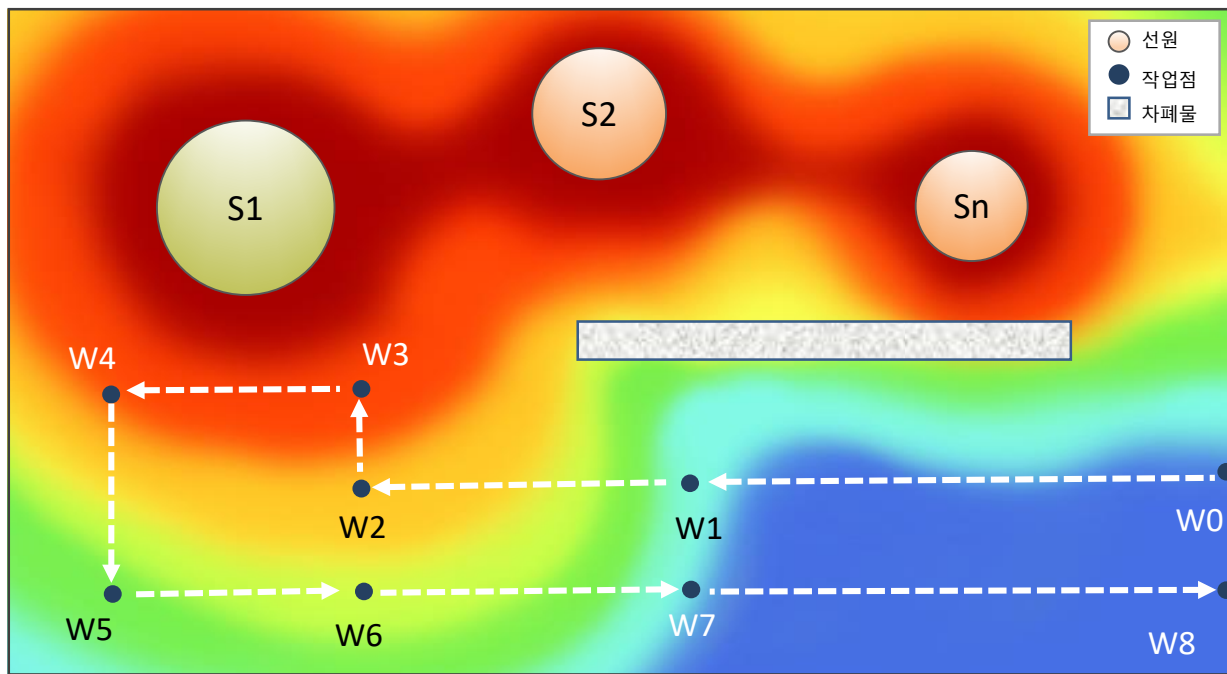


해체
진행

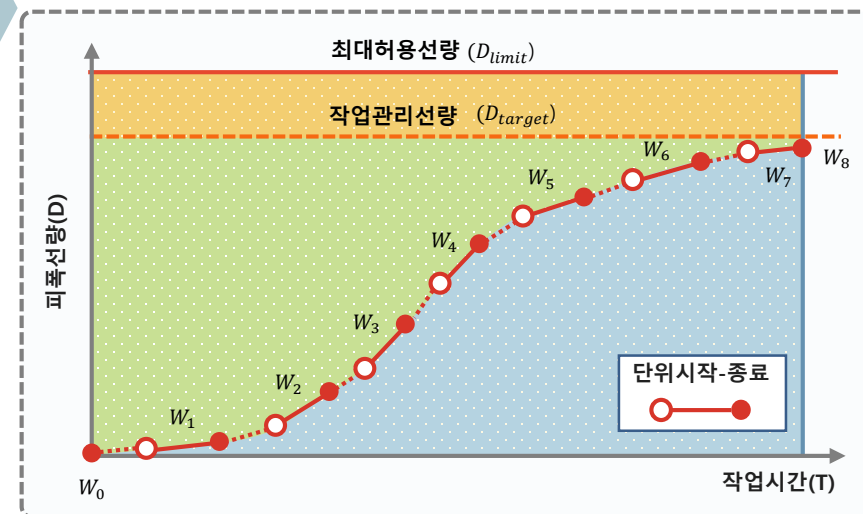
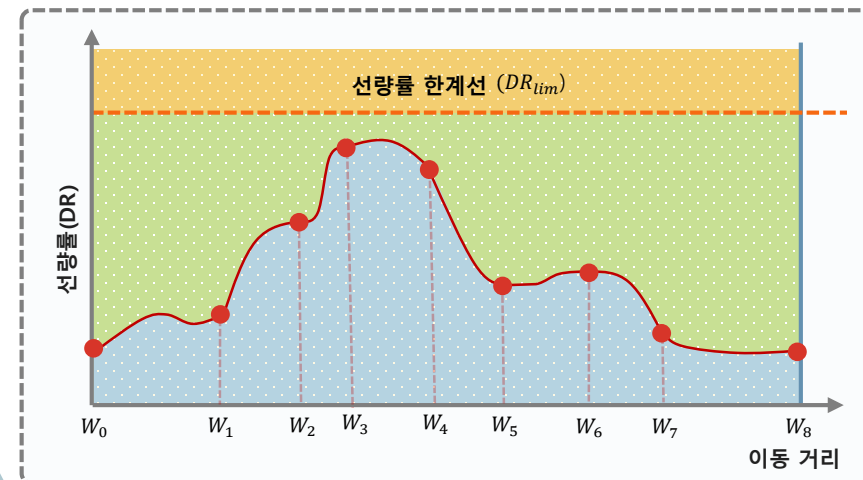




5 BIM 상 작업 경로에 따른 피폭 선량 추적 예측



피폭 선량:
$$D = \sum_{i=1}^N [T_{Si} \cdot D_{ri}] + \sum_{i=2}^N \left[T_{mi} \cdot \frac{(D_{ri} + D_{r_{i+1}})}{2} \right]$$



품목5

품목명

원전해체 형상관리 통합 프로그램 시제품 개발

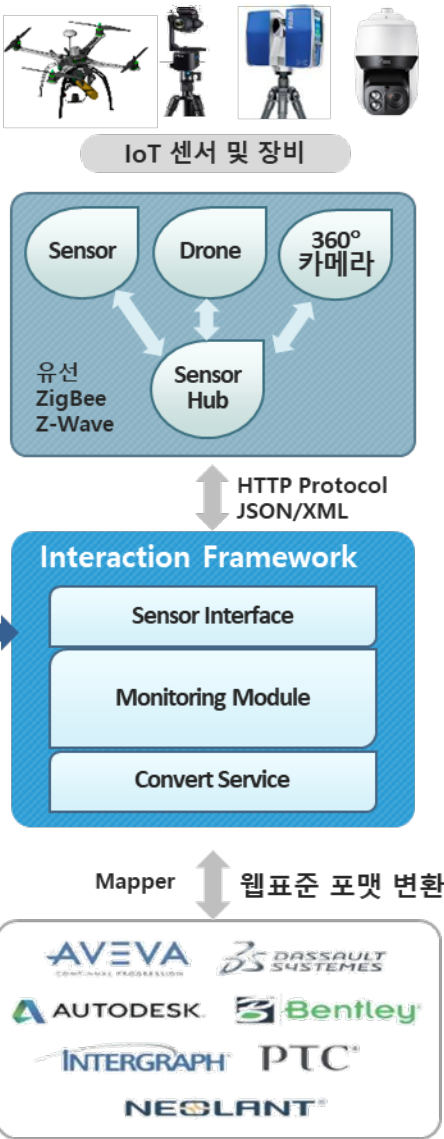
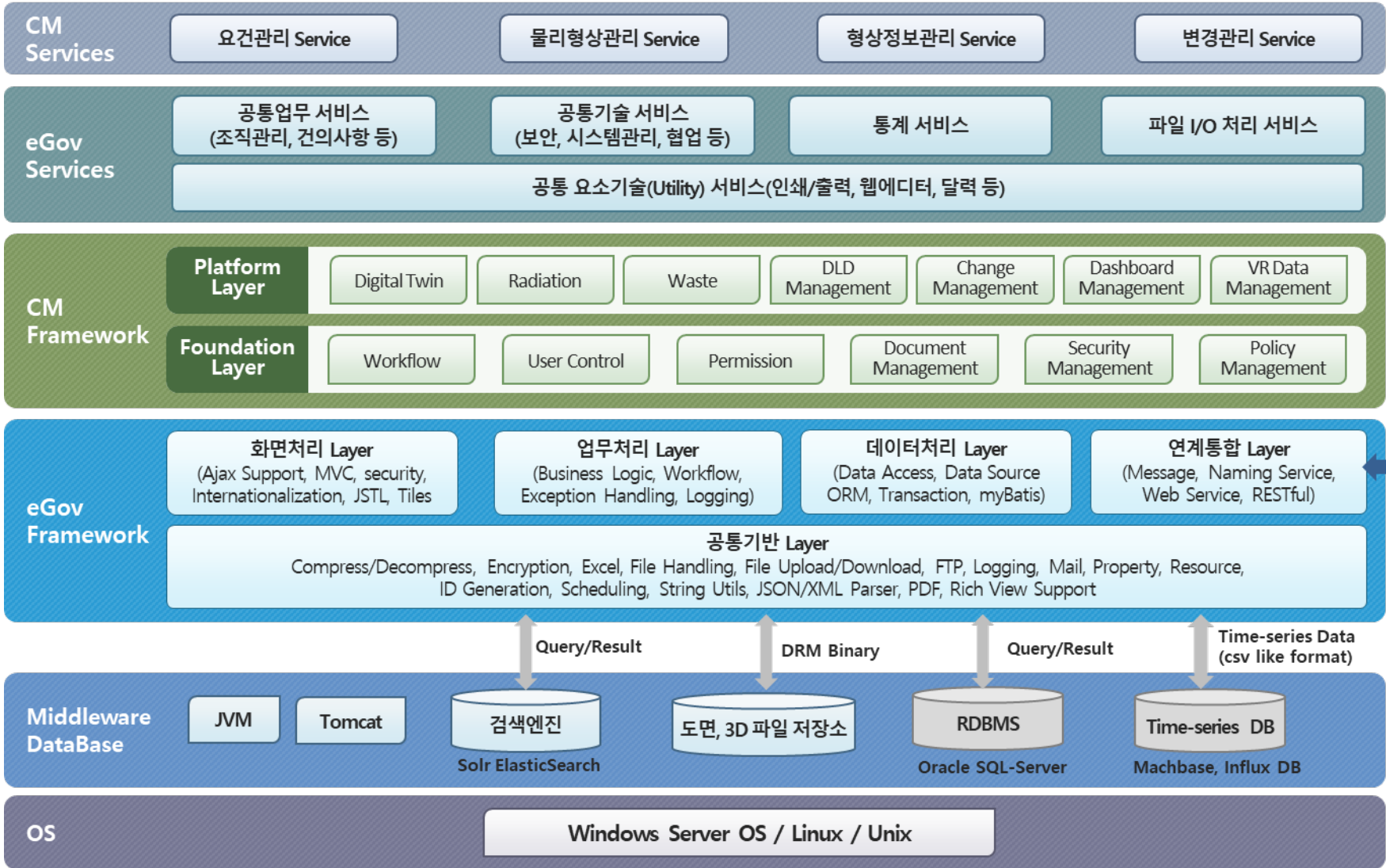
품목설명

형상관리 3요소에 대한 시스템을 구현하고, 이를 효과적으로 통제할 수 있는 변경관리 기능을 구현하며, 외부시스템과의 연계기능을 구현함.

개발항목

- 1) 해체사업 통합관리 인터페이스 개발
- 2) 해체 요건관리 단위플랫폼 개발
- 3) 해체 물리형상관리 단위플랫폼 개발
- 4) 해체 설비형상정보관리 단위플랫폼 개발
- 5) 해체 변경 및 위험도관리 단위플랫폼 개발
- 6) 원전해체 형상관리 통합 프로그램 시제품 개발
- 7) 통합 프로그램 시제품 검증

플랫폼 아키텍처





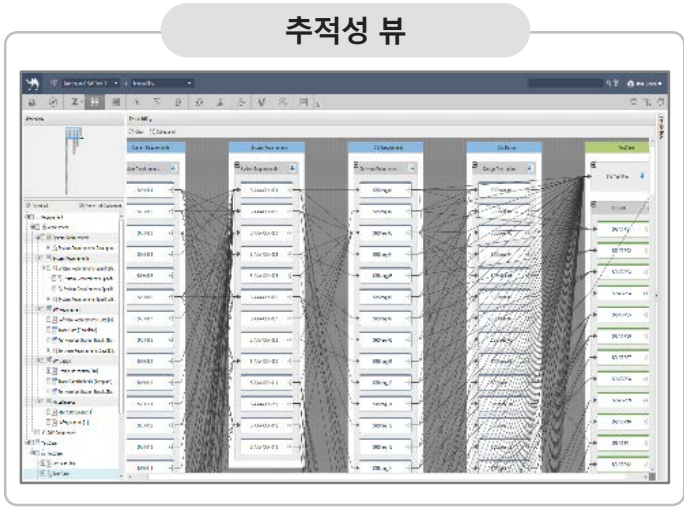
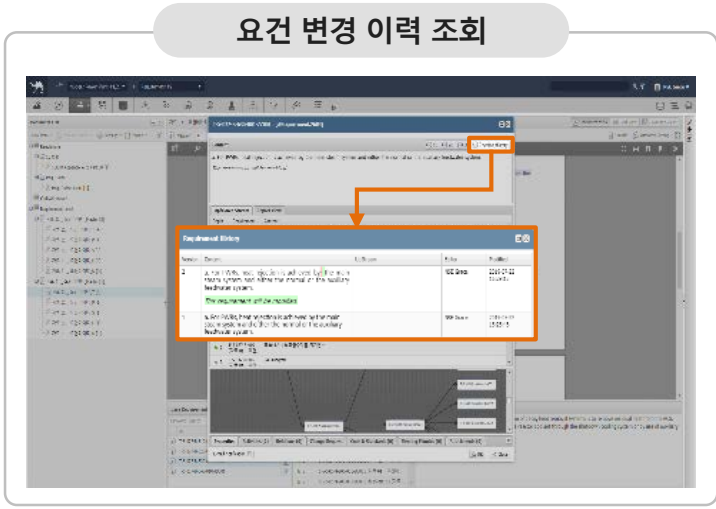
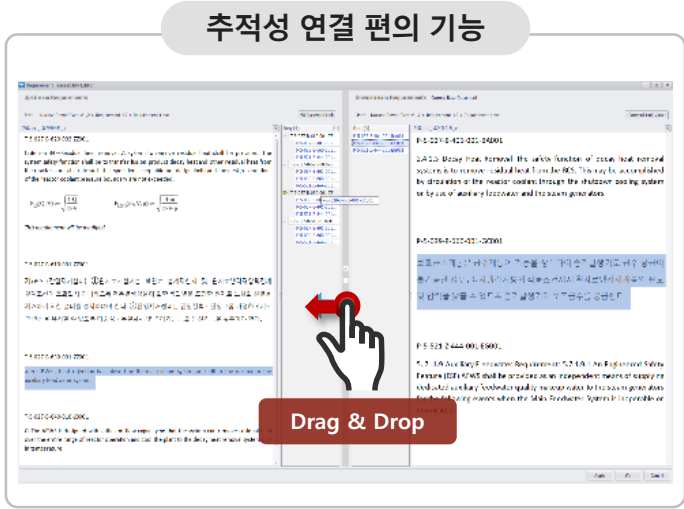
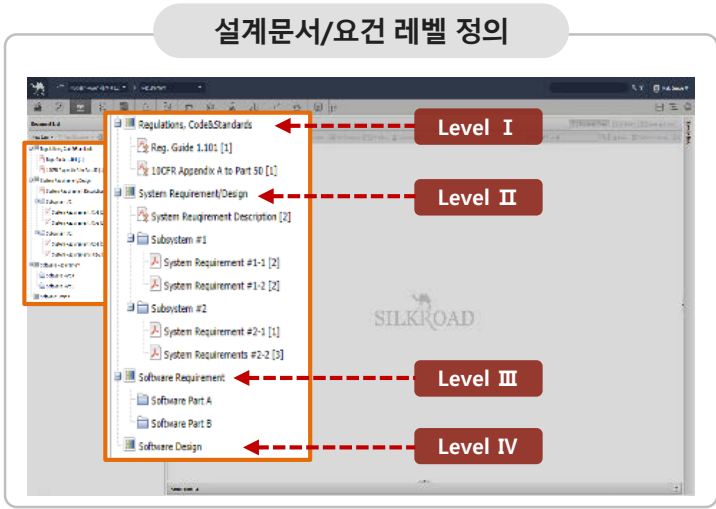
1 해체사업 통합관리 인터페이스 개발

대상 시스템	연계 데이터
해체사업 통합관리 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 조직 및 인력정보 • 부지의 방사능 오염수준조사 결과 • 해체 작업 상세 일정 / 결과 • 방사선관리구역 내의 개인선량계 측정값 및 작업허가서 • 준위별 폐기물 처리방안 및 처리결과 • 3D 통합모델(Digital Twin) 및 방사선장 • 준위별 폐기물량 산정 결과
가동원전 형상관리 정보 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 가동원전 설계 변경 자료 • 설비 특성 정보

2

해체 요건관리 단위플랫폼 개발

주요 기능	세부 기능
요건 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 요건 문서 생성 기능 • 문서내 요건 식별 기능 • 요건 수정 기능 • 요건 삭제 기능 • 요건 속성 관리 • 요건 이력 관리 • 상/하위 요건 연계 기능
	<ul style="list-style-type: none"> • 요건의 영향도분석 (Impact Analysis) 기능 • 다양한 추적성 뷰 제공 • 요건 커버리지 표 제공

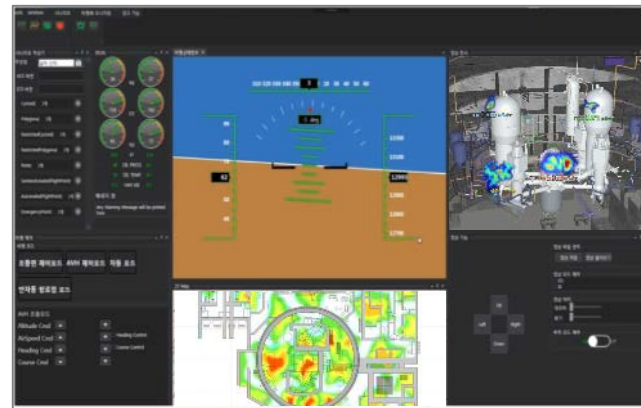




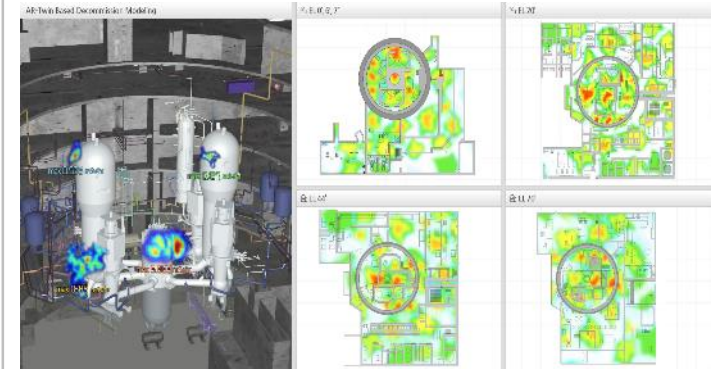
3 해체 물리형상관리 단위플랫폼 개발

주요 기능	세부 기능
데이터 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 점군 데이터 관리 • 방사능 데이터 관리 • 사진(파노라마, 360°카메라) 데이터 관리
인터페이스 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 드론 제어 • 360°카메라 제어 • 파노라마 카메라 인터페이스 • 레이저 스캐너 인터페이스

드론 연계 정보 관리



레벨별 방사선량 맵



360° 카메라 연계 정보 관리



D-BIM & 파노라마 사진 동기화

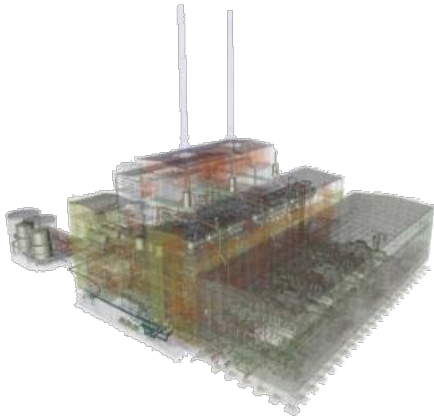


4

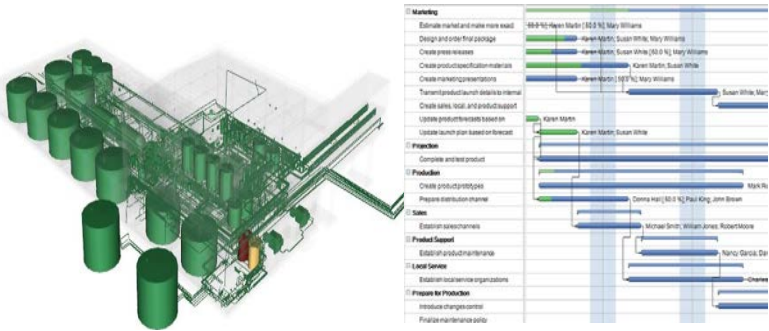
해체 설비형상정보관리 단위플랫폼 개발

주요 기능	세부 기능
Digital Twin 관리	<ul style="list-style-type: none"> D-BIM 모델링 지원 방사선원 평가 D-BIM과 방사선원 연계
4D 모델 관리	<ul style="list-style-type: none"> 작업절차 관리 D-BIM 모델 연계
설비관리 (MEL)	<ul style="list-style-type: none"> 설비특성정보 관리 설비검색
자료관리 (MDL)	<ul style="list-style-type: none"> 설계기준문서 관리 해체과정중의 산출물 관리 문서결재 관리 문서 검색
폐기물량 관리	<ul style="list-style-type: none"> 폐기물량 예측/결과 관리 물질수지 추적관리 오염토양 추적관리

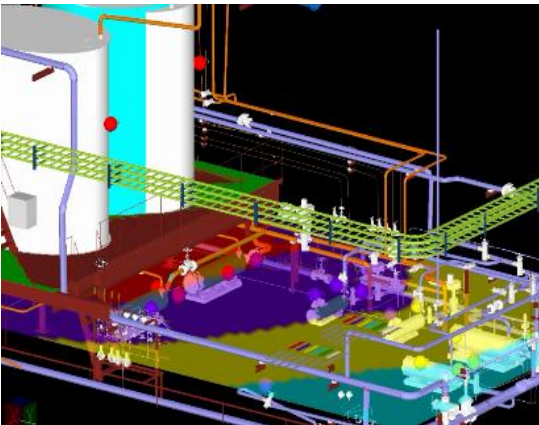
Digital Twin 관리



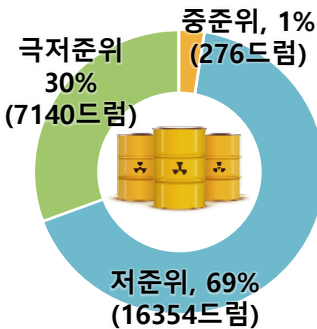
4D 모델 관리



방사선장 관리



폐기물량 산정



Waste type, characteristics, nature of RAN generated during dismantling, volume in the form and necessary amount of containers, or the packaging is shown in Table 4. Packaging and group. Tables containing the following: equipment, process, and other miscellaneous quantities, and taking into account the generation of metal RAN from new shown in Table 5.

Table 4: Nomenclature, characteristics and amount of RAN generated during the dismantling activities in room A033.1

Type of RAN	Weight, kg	Volume, m³	Radioactivity, Bq	Quantity, pieces	Volume of filling, %
Uncontaminated equipment	1,445	0.10	0.00	20123	1
Metals	15	0.05	0.00	2,000	1
Plastic	13,882	9.96	0.00	16	13.15
Cable	32	0.24	0.00	1	1.87
Non radioactive	311	0.14	0.00	5	40.00
Secondary non radioactive	17	0.05	0.00	1	1.00

Table 5: Sources of metal RAN generation during dismantling activities in room A033.1

RAN stream	Equipment, kg	Weight, kg	Volume, m³	Piping, kg	Weight, kg	Volume, m³	Steel structures, kg	Weight, kg	Volume, m³
02-A, 02-B	32,409	31.76	0.238	1,56	1,50	0.17	-	-	-
02-C, 03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	12,449	11.76	0.238	1,56	1,50	0.17	-	-	-

5. Waste package implementation schedule

The number of the implementation of the package for dismantling (determined on the basis of a 30-year work week, 1980-1990) and the maximum number of the opening group of persons is given in Table 6. Waste package implementation schedule is shown in Table 15.

4 해체 설비형상정보관리 단위플랫폼 개발

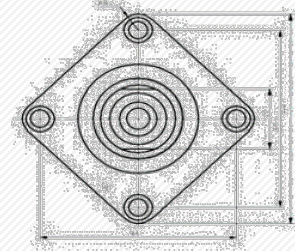
→ 3D 검색 엔진



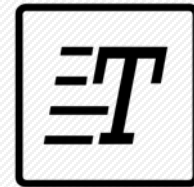
Find 3D Items by
Color



Find 3D parts
based on their
functionality



Find 3D Objects
using a Parametric
Template



Find 3D
Components with a
Parametric Text
Term

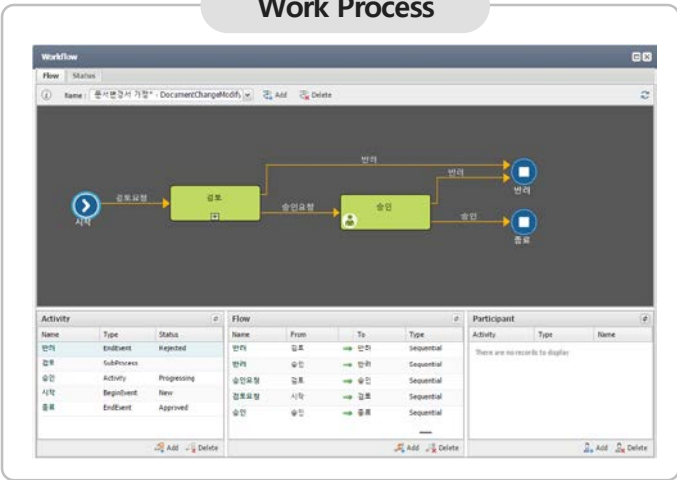
Elastic Search 기반 자체 검색엔진을 통한 검색

5

해체 변경 및 위험도관리 단위플랫폼 개발

주요 기능	세부 기능
방사선 작업관리	<ul style="list-style-type: none"> 방사선 구역에 대한 작업허가서를 기반으로 한 작업 일정 관리 해체 작업일지를 기반으로 한 작업 내용 관리
폐기물발생 관리	<ul style="list-style-type: none"> 폐기물 발생 정보 관리 준위별 폐기물 공정 절차 관리
요건 변경관리	<ul style="list-style-type: none"> 요건 변경 요청서 관리 요건 변경 절차 관리
위험 관리	<ul style="list-style-type: none"> 위험 관리 절차 관리 위험도 스코어링 보드 관리 위험 등록 속성 관리

Work Process



Change Package

The screenshot shows a '설계변경제안서' (Design Change Proposal) form. The form includes fields for '제안자' (Proposer), '제안 일자' (Proposal Date), and '제안 내용' (Proposal Content). Below the form, there's a table with columns for '변경' (Change), '변경 일자' (Change Date), '변경 내용' (Change Content), and '변경 상태' (Change Status). The table contains several rows of data, with some rows highlighted in orange.

Change Order 보고서

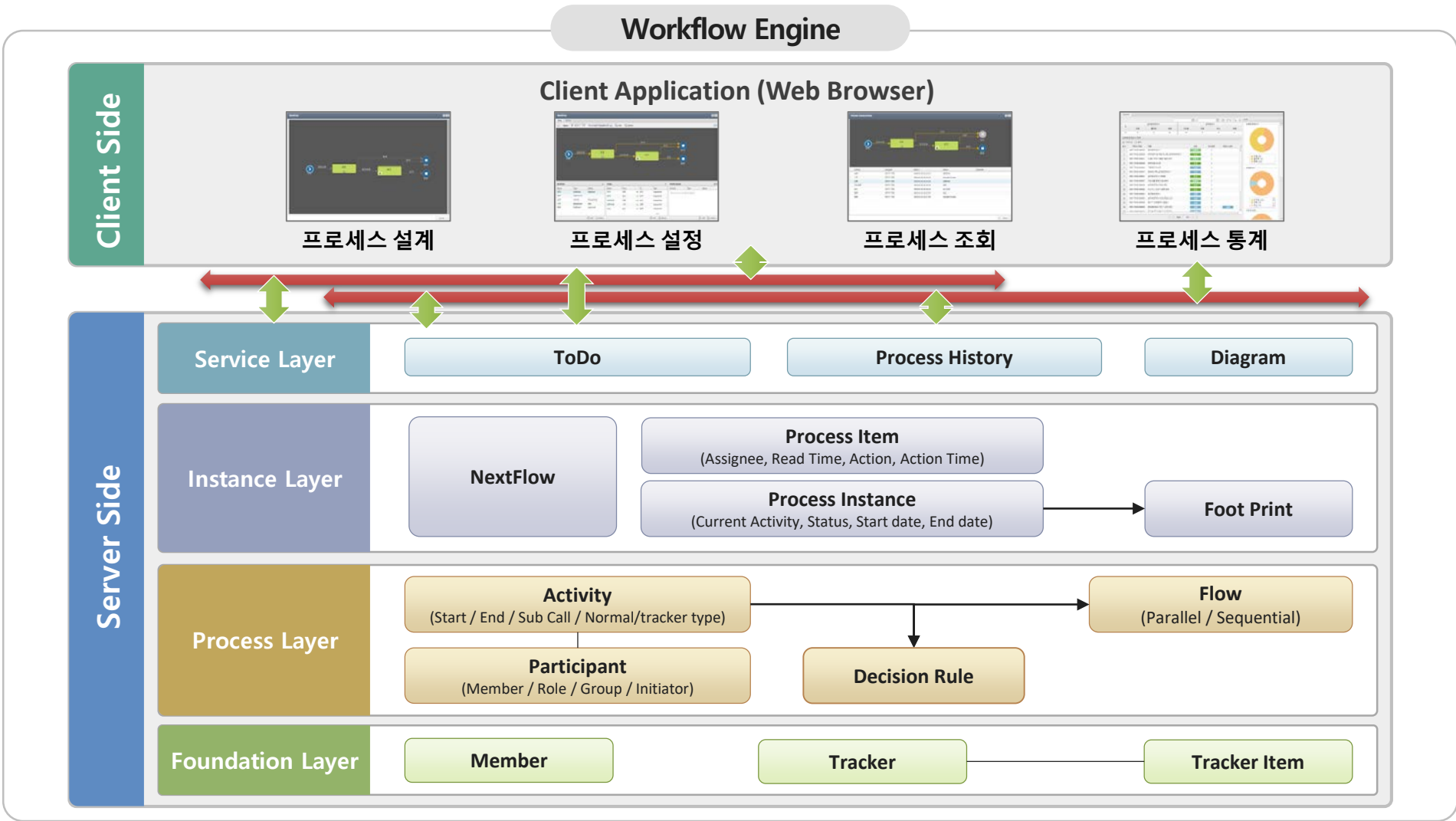
The screenshot displays a '설계변경제안서' (Design Change Proposal) form, similar to the one in the 'Change Package' section. It includes fields for '제안자' (Proposer), '제안 일자' (Proposal Date), and '제안 내용' (Proposal Content). Below the form, there's a table with columns for '변경' (Change), '변경 일자' (Change Date), '변경 내용' (Change Content), and '변경 상태' (Change Status). The table contains several rows of data, with some rows highlighted in orange.

Change Order 발행

The screenshot shows a '설계변경제안서' (Design Change Proposal) form, similar to the ones in the previous sections. It includes fields for '제안자' (Proposer), '제안 일자' (Proposal Date), and '제안 내용' (Proposal Content). Below the form, there's a table with columns for '변경' (Change), '변경 일자' (Change Date), '변경 내용' (Change Content), and '변경 상태' (Change Status). The table contains several rows of data, with some rows highlighted in orange.

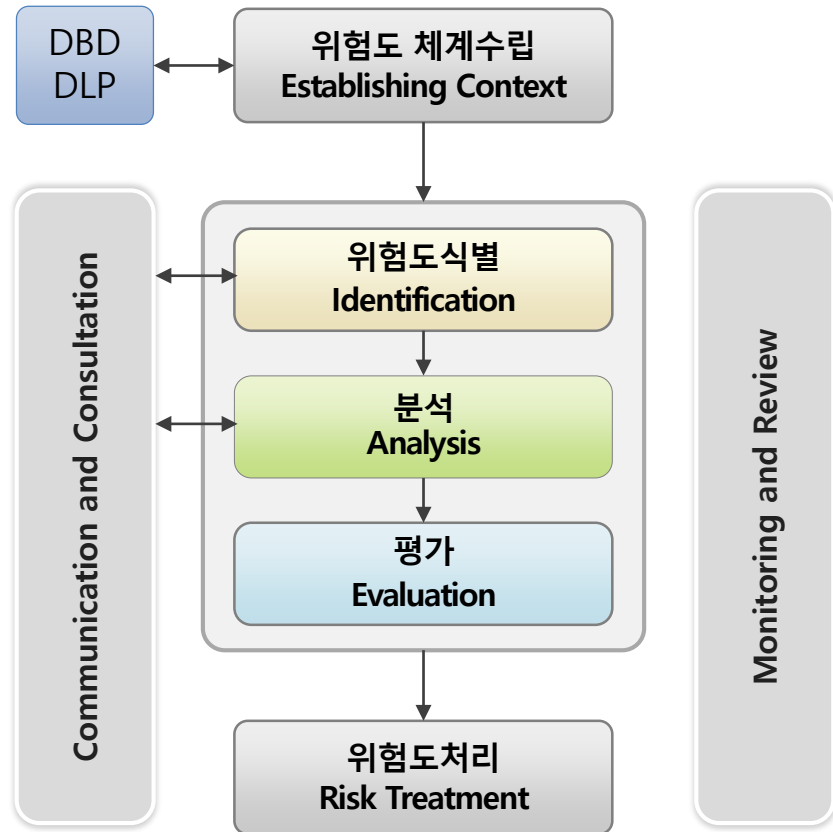
5

해체 변경 및 위험도관리 단위플랫폼 개발





5 해체 변경 및 위험도관리 단위플랫폼 개발

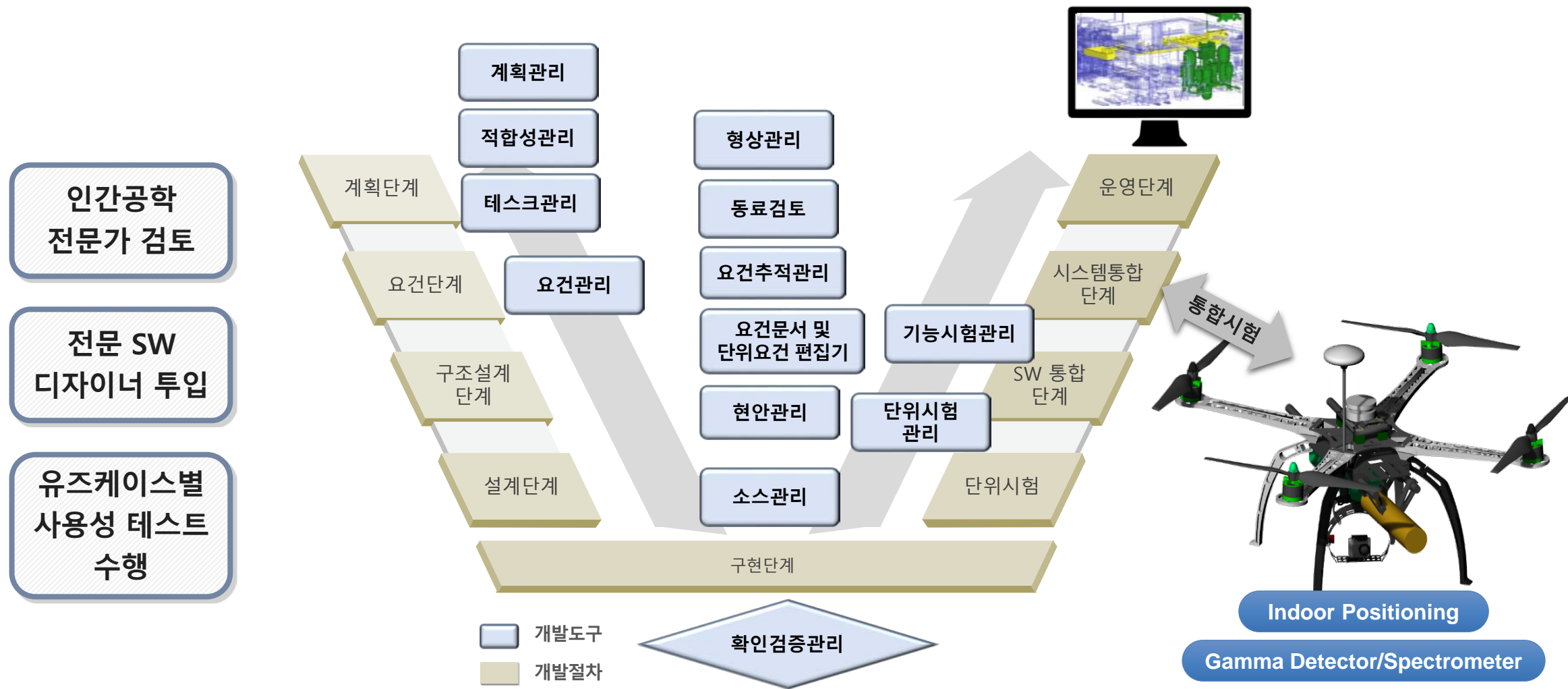


- DBD : Design Bases Document
- DLP : Decommissioning Lifecycle Document

위험도 (Risk Score)						
위험도 평가 기준	5	높음	중간	중간	낮음	매우 낮음
	4	높음	중간	중간	낮음	매우 낮음
	3	높음	중간	중간	낮음	매우 낮음
	2	높음	중간	중간	낮음	매우 낮음
	1	높음	중간	중간	낮음	매우 낮음
		1	2	3	4	5
		영향도 크기				

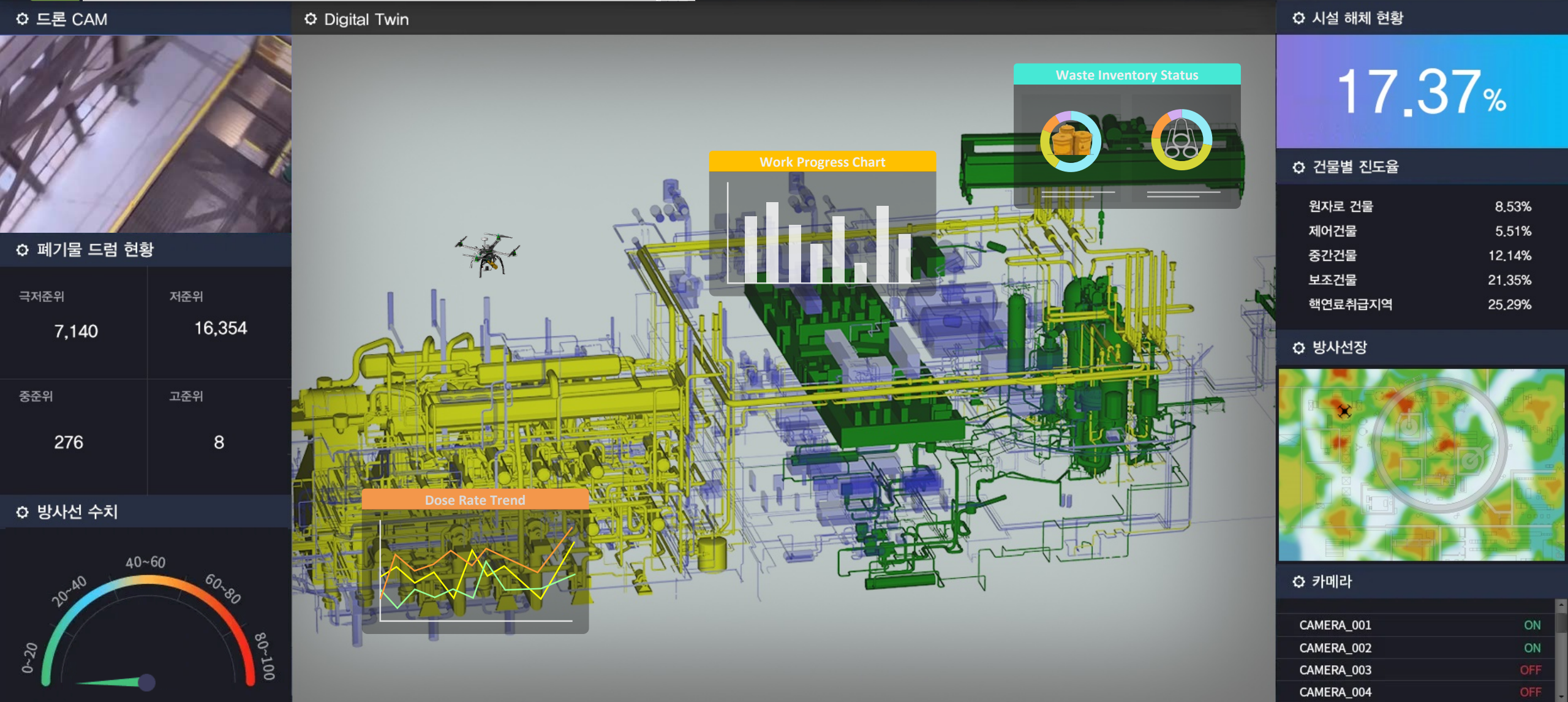
6

원전해체 형상관리 통합 프로그램 시제품 개발



6

원전해체 형상관리 통합 프로그램 시제품 개발



7 통합 프로그램 시제품 검증

→ 한국 원자력 연구원 RCP 시험시설 활용



실증시험 항목

3D Scanning

BIM 모델링

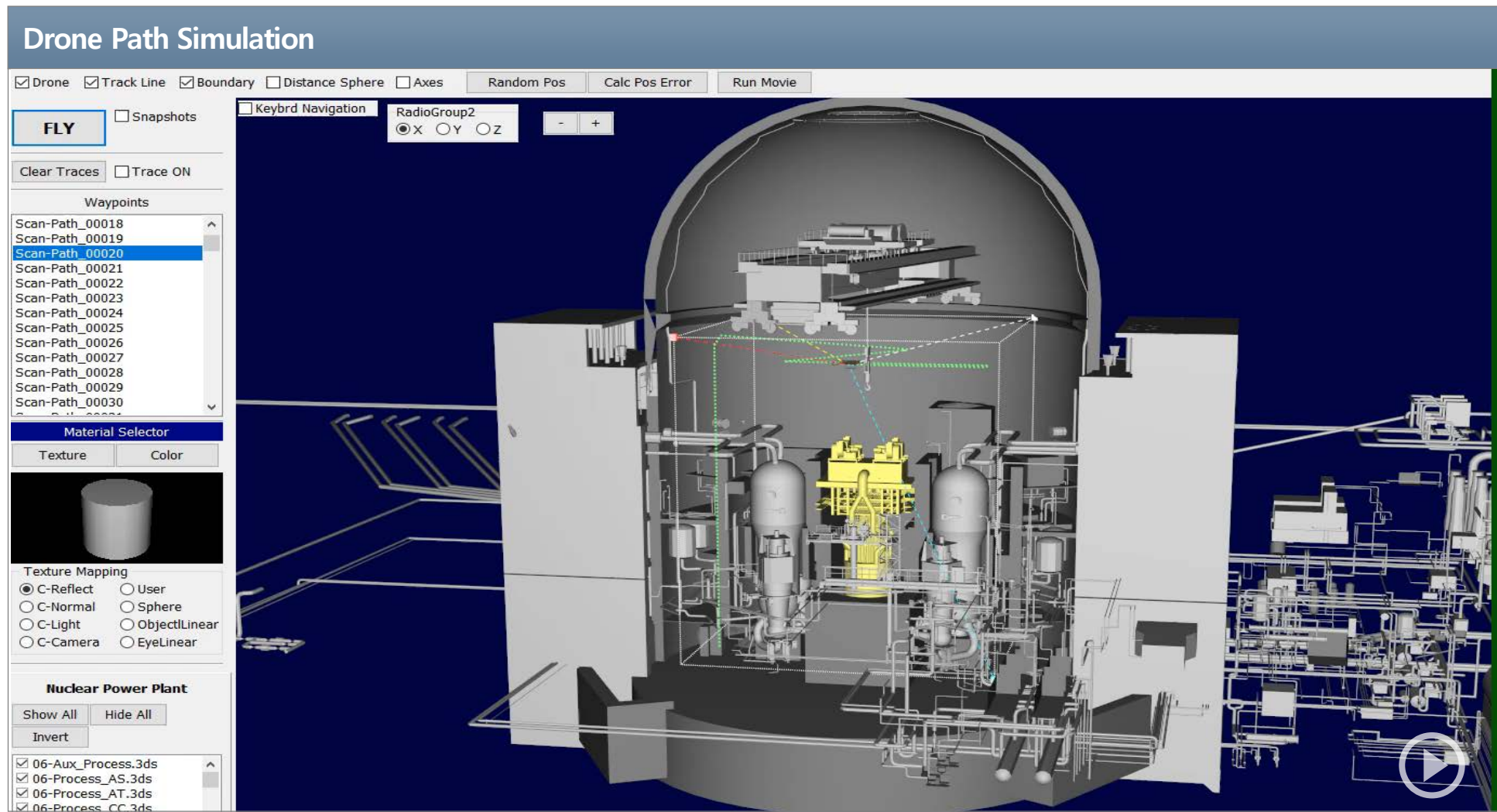
MEP 모델링

드론 시스템 실증시험

시계열 360도 카메라
실증시험

물질 재고량 계산

7 통합 프로그램 시제품 검증



품목6

품목명

원전해체 형상관리 산업기술기준 표준화(안) 작성

품목설명

원전해체 형상관리에 대한 산업기술 표준화(안)를 작성함.

개발항목

1) 산업기술기준 표준화(안) 개발 및 검증

KEPIC 표준화 방안
별도 발표 예정



3. 원전해체 형상관리 산업기술기준 표준화(안) 개발 방안

→ 원전해체 형상관리 산업기술기준 표준화(안) 개발

원전해체분야 상용화 기술

분야	상용화 기술			
설계 인허가	(1) 해체 전략·계획	(2) 공정수립	(3) 사업관리시스템	(4) 해체 물량 산정 및 비용평가
	(5) 해체 산업안전 프로그램	(6) 화재방호 프로그램	(7) 유지보수 프로그램	(8) 보안 프로그램
	(9) 해체 경제성 평가	(10) 해체 3D 시뮬레이션	(11) 지식정보 관리	
	(12) 해체공정 난이도 평가	(13) 구조적 안전진단	(14) 위험도 분석	
제염	(15) 폐기물 운반용기 설계	(16) 사용후핵연료 냉각/안전설계	(17) Defueled 안전성 평가	
	(18) 해체시설 설계변경 및 격리	(19) 원자로해체 방법론	(20) 절단기술평가 및 최적공정	(21) 폐기물처리 기술 평가 및 최적공정
	(22) 제염기술 평가 및 최적공정	(23) 해체시설 구조물·계통·기기 재분류	(24) 방사선학적 특성조사	(25) 물리화학적 특성조사
	(26) 비파괴측정	(27) 방사선 측정 및 평가	(28) 방사성 유출물 검사	(29) 주민 피폭평가 및 분석
해체	(30) 방사선 비상계획	(31) 오염관리	(32) 작업자 피폭선량 평가	(33) 오염도·선량변화 예측평가
	(34) 유기착화성 화학제염	(35) 유기착화제 분해	(36) 초음파 제염	
	(37) 전해연마 제염	(38) 플라즈마 제염	(39) 콘크리트 표면 제염	
	(40) 고압수 절단	(41) 전단기 절단	(42) 플라즈마 절단	
폐기물 관리	(43) 산소 절단	(44) 원격 조작·취급·제어 기술		
	(45) 액체 폐기물 처리	(46) 기체 폐기물 처리	(47) 고체 특수폐기물(석면, PCB) 처리	
	(48) 드럼내 방사성핵종 측정 및 평가	(49) 슬러지 처리	(50) 오염 Resin 처리	
	(51) 삼중수소 처리	(52) 재활용 폐기물 안전성 평가		
부지복원	(53) 지하수 감시 및 오염평가	(54) 실시간 방사능 현장측정	(55) 부지복원 지침개발	
	(56) 오염지하수 복원	(57) 부지 재이용평가	(58) 부지 규제해제 지침/안전성 평가	

분석
및
검토

원전해체 형상관리 산업기술기준 표준화(안)

- 개요
 - 목적
 - 범위
 - 제약사항
 - 문서구성
 - 참고자료
 - 용어정의, 두문자어, 약어
 - 용어정의
 - 약어
 - 드론 시스템(예시)
 - 전원 수명 요건
 - 무선 신호 송출 출력, 주기
 - 측정선량범위, 정확도, 위치정보
 - 시계열 물리형상 변화 감시카메라(예시)
 - 운영 무선 종류 및 주파수 대역
 - 감시 영역 면적 및 거리
 - 해체 형상관리 플랫폼(예시)
 - 해체 요건관리
 - 물리적, 방사화학적 형상관리
 - 해체 정보관리
 - 해체설비형상정보 및 변경 관리
 - 시험계획
 - 일반사항
 - 인수시험
 - 성능시험
 - 사용시험
 - 시험절차
 - 일반사항
 - 초기조건
 - 인수시험 및 성능시험
 - 사용시험
 - 복구
 - 기록
 - 추이분석
- 부록
부록A. 방사선검출기 특성
부록B. 방사선선량분포 표출 방식

출처: 원전해체분야 KEPIC 표준화 방안(2018 KEPIC-Week)



전력산업기술기준
Korea Electric Power Industry Code

일반산업표준



Ⅲ. 원전 해체 연계 과제 소개



원전해체과제

1

원전 해체 형상관리 플랫폼 개발

2019.10.01 ~ 2024.09.30



경희대학교
KYUNG HEE UNIVERSITY



한국원자력연구원
Korea Atomic Energy Research Institute

2

해체폐기물 포장-운반-처분 연계성 최적화 및
이력관리 플랫폼 개발

2020.05.01 ~ 2022.10.31



경희대학교
KYUNG HEE UNIVERSITY



하나원자력기술주식회사
HANA NUCLEAR POWER ENGINEERING CO.,LTD.

3

[고리1호기실증사업] 원전설비의 디지털좌표 및
방사능정보 동기화 기반 방사선작업 안전진단 플랫폼 개발

2021.05.01 ~ 2025.12.31



하나원자력기술주식회사
HANA NUCLEAR POWER ENGINEERING CO.,LTD.



해체폐기물 포장-운반-처분 연계성 최적화 및 이력관리 플랫폼 개발

품목1

국내원전 운영/해체
및 비원전
방사성폐기물
발생특성 분석

품목2

방사성폐기물
처분비용 최소화 등
폐기물 포장 전략
개발

품목3

최종 처분대상
방사성폐기물
용기 개수 최소화
알고리즘 개발

품목4

방사성폐기물
포장-운반-처분
연계성 최적화
전략 개발

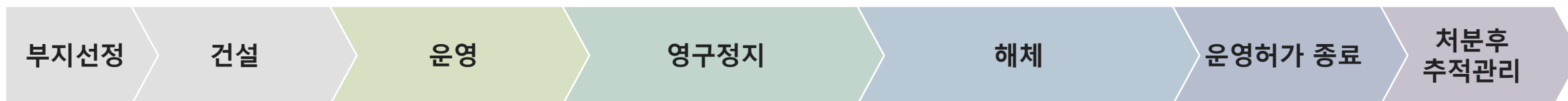
품목5

해체폐기물 포장-운반-
처분 연계성 최적화 및
이력관리 플랫폼 시제품
제작 및 적용성 검증

2020.05.01 ~ 2022.10.31



과제 제안 범위



가동원전: 포장- 운반 -처분

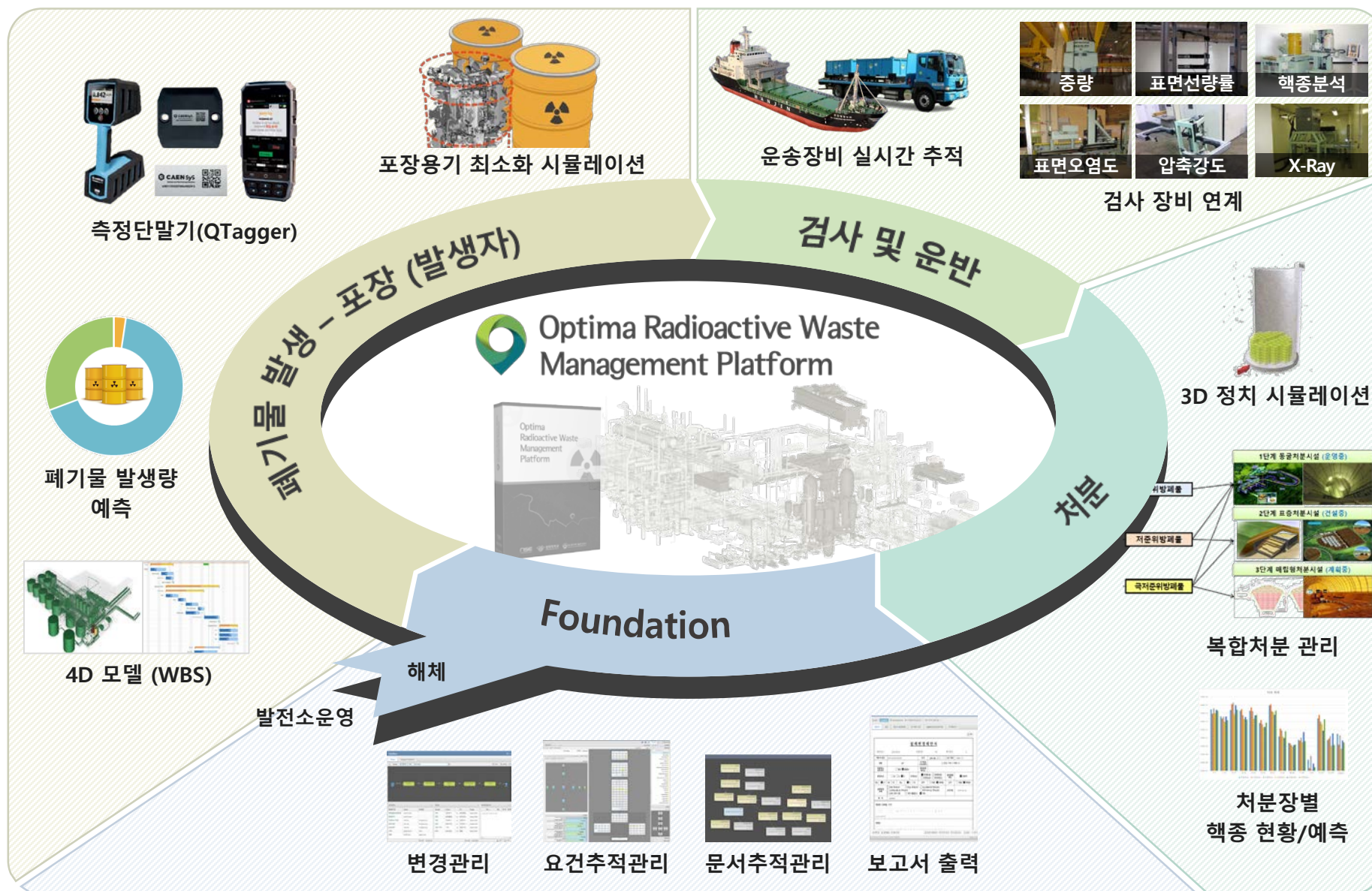
해체원전: 포장-운반-처분

비원전: 포장- 운반 -처분

방사성 폐기물 이력관리 플랫폼



혁신형 제품 Concept Product	핵심기능 및 특징
<p>옵티마 방사성폐기물 이력관리 플랫폼</p>  <p>QTagger</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 복합처분시설에 대한 <u>포장전략 시뮬레이션</u> • 인공지능 기반 <u>포장용기 최소화 시뮬레이션</u> • 방사성폐기물 처리-포장-운반-저장, 전과정 안전성 평가 • <u>측정단말기(QTagger) 제공</u>: 선량률 측정, 재질정보, 형태정보 기록, 사진/동영상 촬영 • 자체 개발한 <u>Opti-GIS 엔진이 탑재된 추적관리 시스템</u> • 복합처분시설 운영을 위한 이력관리 <p>활용분야</p> <ul style="list-style-type: none"> • 원자로시설, 핵연료 주기시설, 방사성폐기물관리시설, 핵연료물질 또는 방사성동위원소 등 허가사용기관 등 <p>모든 원자력이용시설의 방사성폐기물 관리</p>

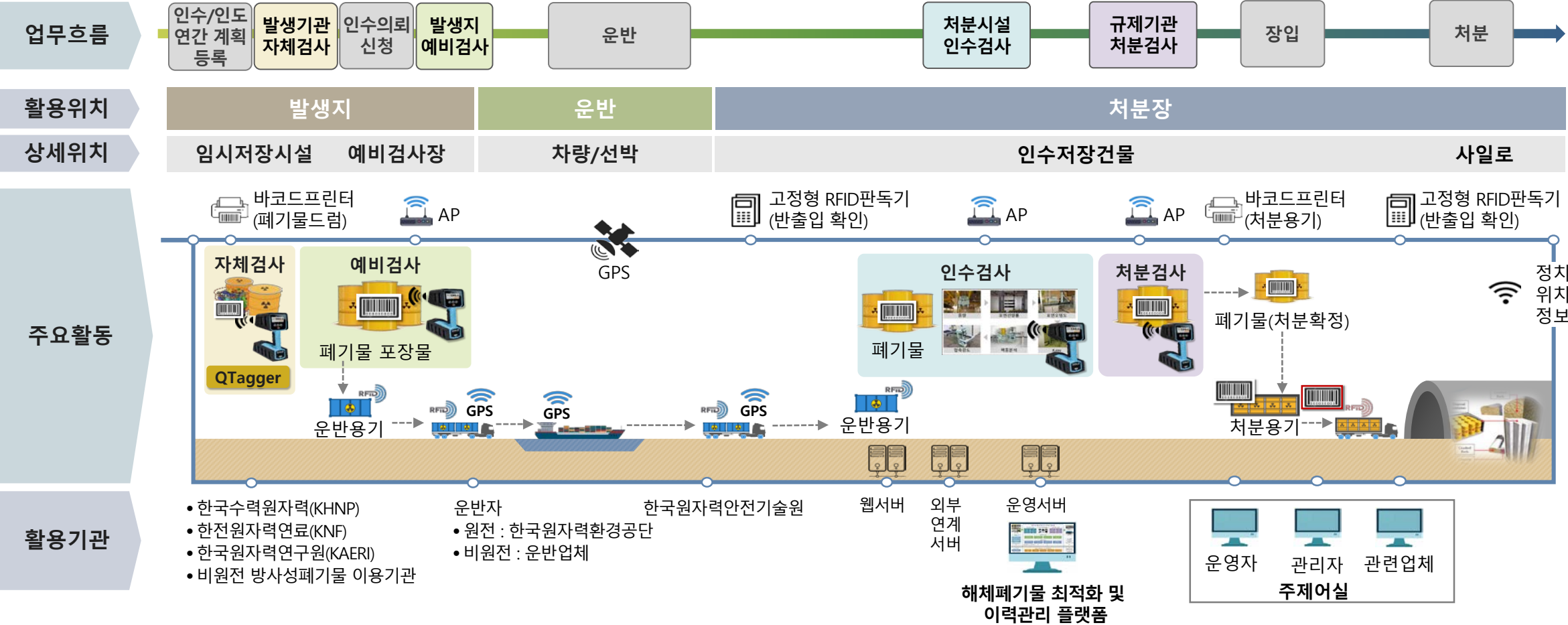




➔ 측정단말기(QTagger) 사양



검사단계별 측정단말기(QTagger) 적용 시점





→ QTagger를 활용한 드럼사진 등록 절차 개선

디지털카메라 기반 수동방식



채움률 25%



채움률 50%



채움률 75%



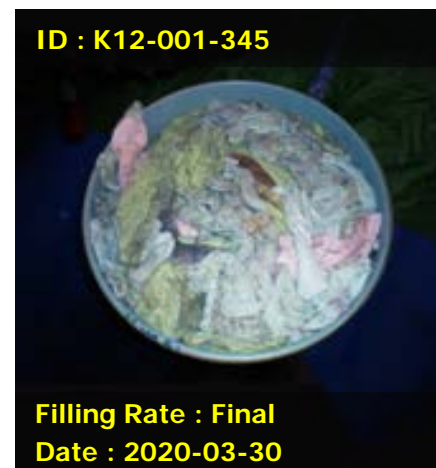
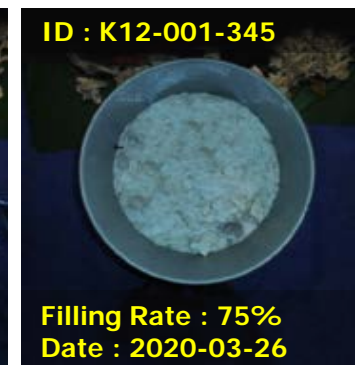
채움률 100%



드럼 정면



QTagger 활용





한국원자력환경공단과 협력 (폐기물 추적 시스템 개선 사업 참여중)





원전 설비의 디지털좌표 및 방사능정보 동기화 기반 방사선작업 안전진단 플랫폼 개발

공통품목

<추가제안>

디지털위치와
방사능정보 측정 대상
원전 구조물/설비 범주

품목2

원전 구조물/설비
방사능정보 연계 디지털좌표
데이터베이스 관리 시스템 및
오염정보 가시화기술 개발

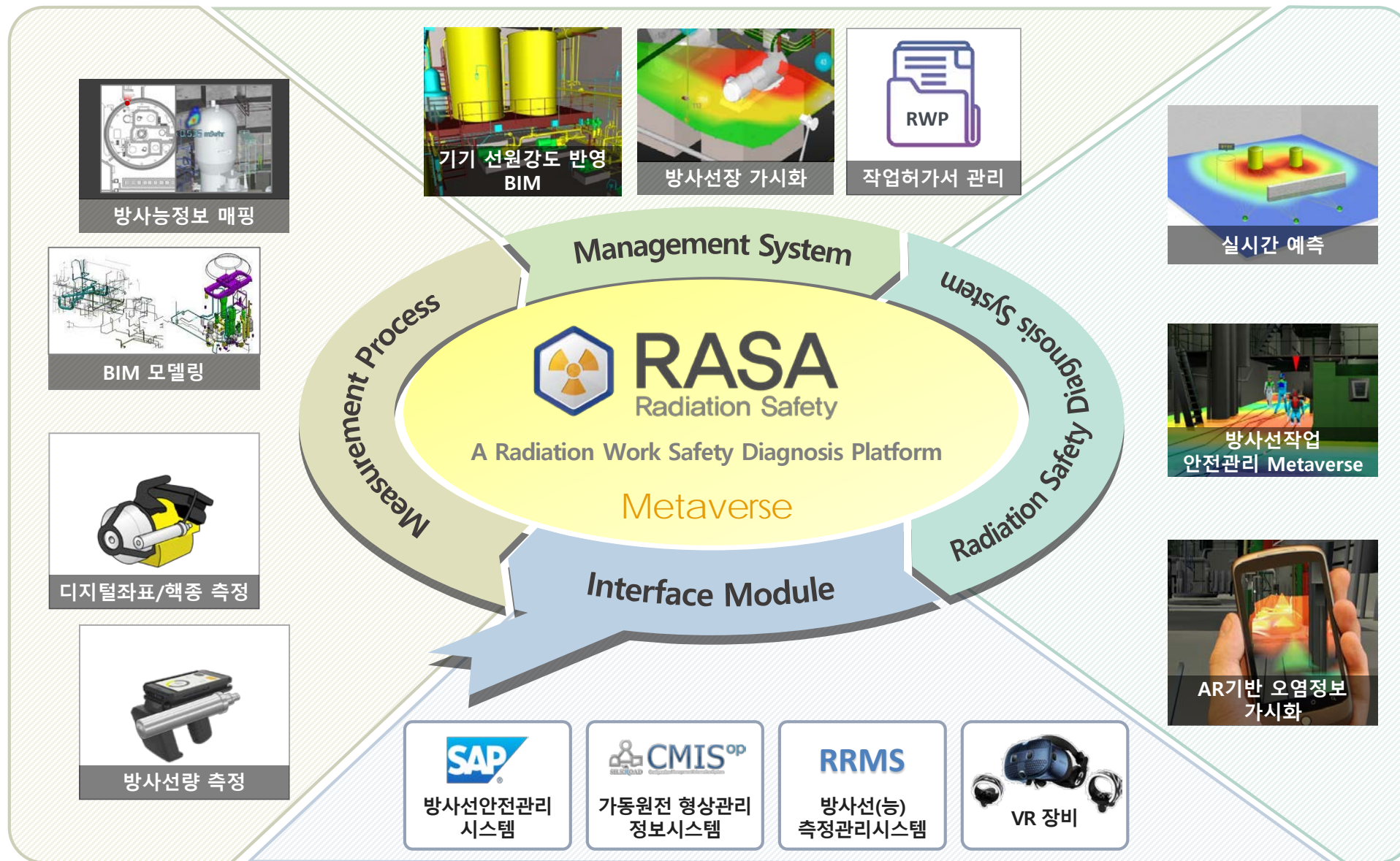
품목1

원전 구조물/설비
디지털좌표 및
방사능정보 동시측정
시스템 개발

품목3

가상현실 기반의
방사선작업
안전진단 기술개발

2021.05.01 ~ 2025.12.31





1 고분해능 현장적용 소형 감마핵종분석장치 개발



디지털좌표 및 방사능정보 동시측정 통합 시스템 주요사양

감마핵종분석장치

- 검출기 재질 : 고순도게르마늄(HPGe)
- 검출기 타입 : 3D Position sensitive
- 에너지분해능 : 0.3%이하(Cs-137, 662keV)
- 에너지 범위 : 30keV ~ 3MeV
- 시야, 각도 : 4π (Compton), 60° (Pinhole)
- 이미징 기술 : 콤프톤 이미징, 핀홀 이미징
- 크기와 무게 : 30cm×20cm×15cm, 8kg 예상

탈부착식 방사선량측정기

- 방사선검출기 : 0.1uSv/h ~ 10Sv/h
- 통신 : 유무선(USB, 블루투스)

탈부착식 태블릿

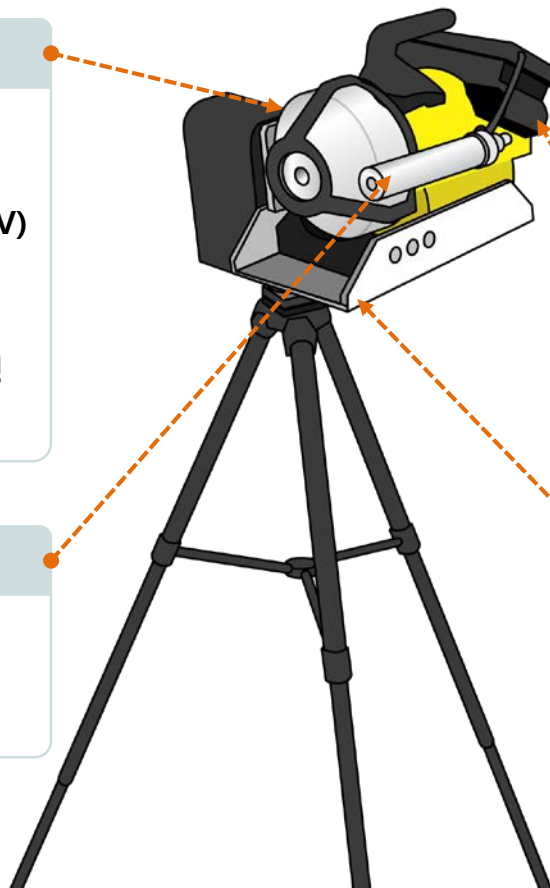
- 터치패드, 터치펜 제공
- 감마스펙트럼 그래프
- 감마선원의 위치 및 분포 이미지 표출
- 원전 구조물/설비 3D BIM 표시
- 디지털좌표 및 방사능정보 가시화

정밀 측위센서

- IMU 센서 내장
- 가속도, 자이로, 지자기

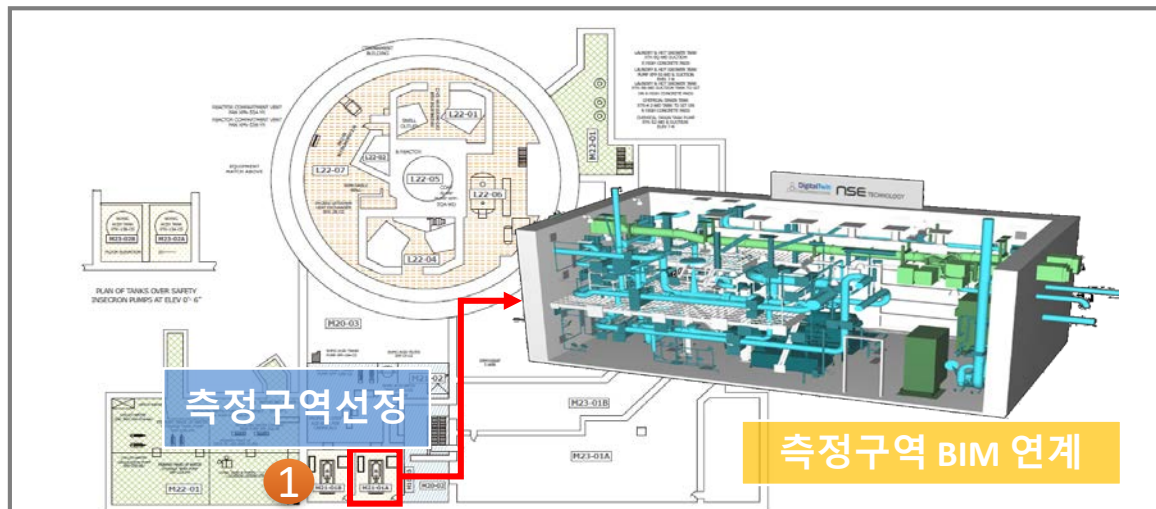
고정용 삼각대

- 현장 측정 시 고정용 삼각대
- Pan, Tilt Unit



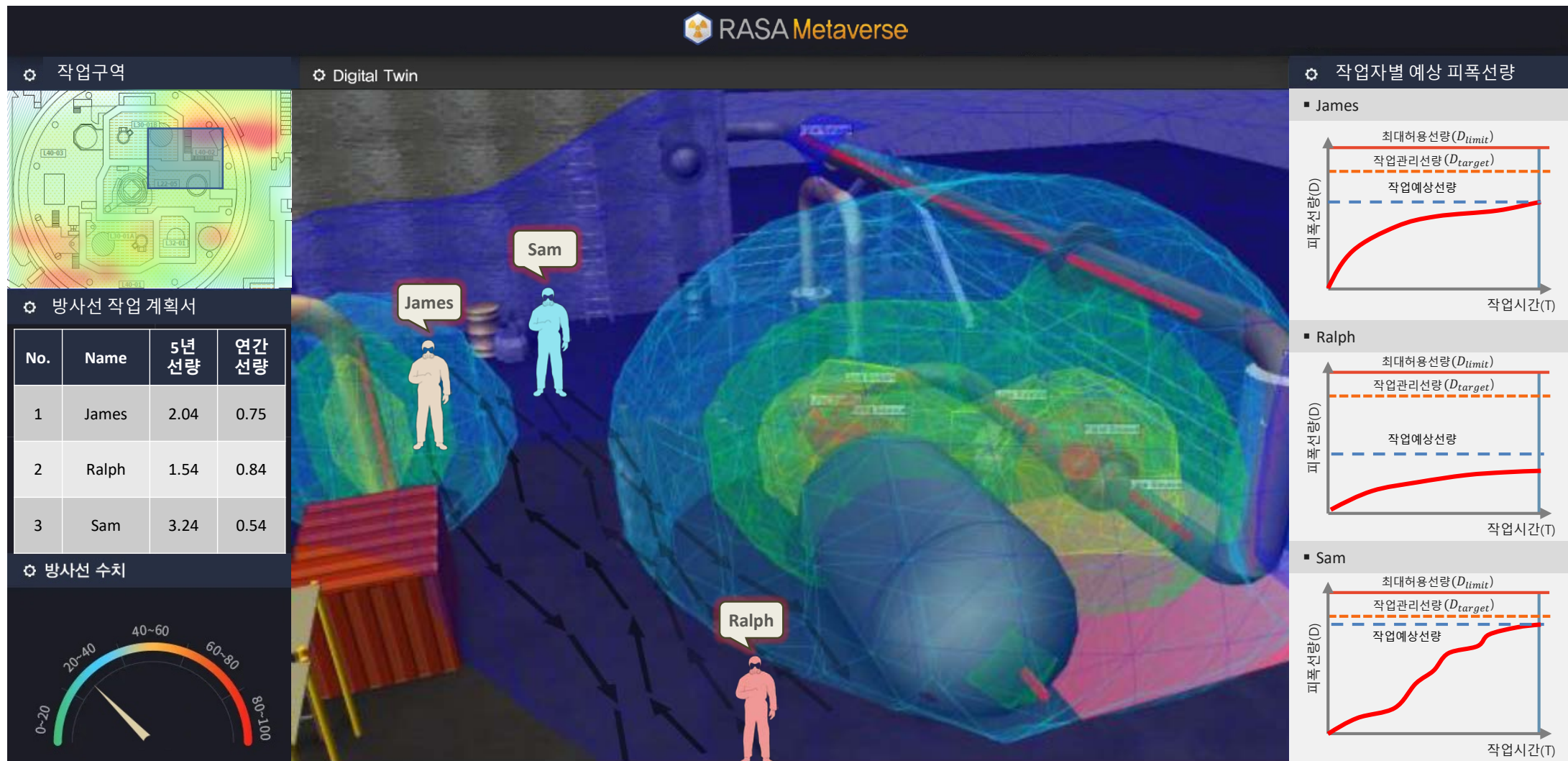


1 원전 구조물/설비 디지털좌표 및 방사능정보 연계기술과 DB 관리시스템 개발





1 가상현실 기반 방사선작업 안전진단 통합관리시스템 개발



2 가상현실 기반 방사선작업 안전진단 통합관리시스템 개발

→ 방사선작업 안전을 위한 AR 기반 방사능정보 가시화





해체원전 형상(形象)관리 : 발전소 건물(SSCs)과 부지에 대한 안전한 해체



감사합니다