

2019년 KNS 추계학술대회 워크숍

사고관리계획서 사업자 후속조치 현황

KHNP

<http://www.khnp.co.kr>



2019. 10

양 승 태

 한국수력원자력주

<http://blog.khnp.co.kr>

<http://twitter.com/ikhnp>

<http://www.facebook.com/ilovekhnp>

General Manager
Corporate Safety Department

 한국수력원자력주



AMP제출 후 향후 8대 임무와 계획

쑤원전 사고관리계획서(AMP) 제출 ('19.6.21)

원전 사고관리 체계의 획기적 개선을 위한
가동원전 사고관리계획서 제출

2019. 6. 21

[심사기관] 원자력안전위원회

[제출기관] 한국수력원자력주



AMP 9대 변화요소 Vs 사업 프로세스

사고관리계획서 요건 분석

AMP 사업 착수

① MACST 고유 전략 개발

美, 日, 유럽, 벤치마킹

② MACST 설비 선정, 구매
[운영/정주기/정비 방안 개발]

⑦ 신규 절차 개발
[MOG, EOP, EDMG, SAMG]

⑧ 신규 해석 개발
[사고, 안전, 선량, PSA 등]

⑨ 신규 교육/훈련 개발

③ 안전계통 형상/설계 변경
[RCP Seal, 이동설비 접속부 등]

④ MACST 통합보관고 신설

⑤ MACST 전담조직 신설

⑥ 신규 비상대응거점 신설

※ 비상대응거점은 AMP 요건은 아님

AMP 검토 후 추가 안전조치

AMP 제출

KHNP

KOREA HYDRO
NUCLEAR POWER CO., LTD

AMP 제출 후 주요 계획

제출 이후 프로세스	2019년	2020년	2021년	2022년	2023	2024
전원전 AMP 제출 (完)						
MACST 전담조직 창설 (完)		4명 (본사)	11명 추가 (본사)	10명 추가 (현장배치)	최적화 현장운영	
MACST설비 임시운영체계 개발			임시 운영체계 유지			
MACST설비 종합관리방안 수립		(전담인력 양성)	전담조직 종합관리 체계			
Phase3 설비 해양 운송 계약			MACST설비 해양운송 시험			
CFVS 설치 재검토(이사화)			Cs요건 재검토/평가	PSA 재개정 (필요시)		
원안위 사고관리협의체 참여						
AMP 문서적합성 인허가 대응			본심사			
AMP 추가 개선사항 계획수립			단기/중기 개선계획 이행			
AMP 본심사 질의 응답			전원전 AMP 수정/개선			
FSAR/EP/RER 개정 (필요시)			AMP에 의한 형상변화 대응			
8대 Action Plan 이행		단기/중기 개선계획 이행			장기 및 추가 원안위 안전조치 이행	
이행 적합성 수시 검사						
발전소별 운영변경허가 (조건부) 승인 (FASR고려)						
인준 AMP 본격 적용						

AMP 8대 요소별 현황

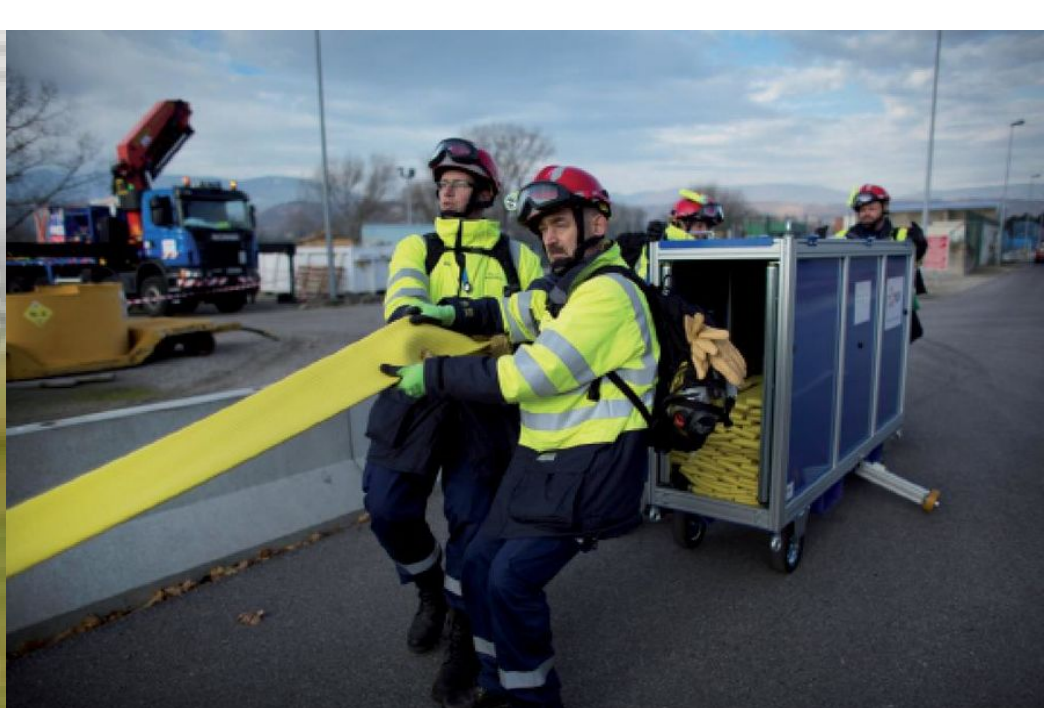
(1) 전담조직 설립/운영



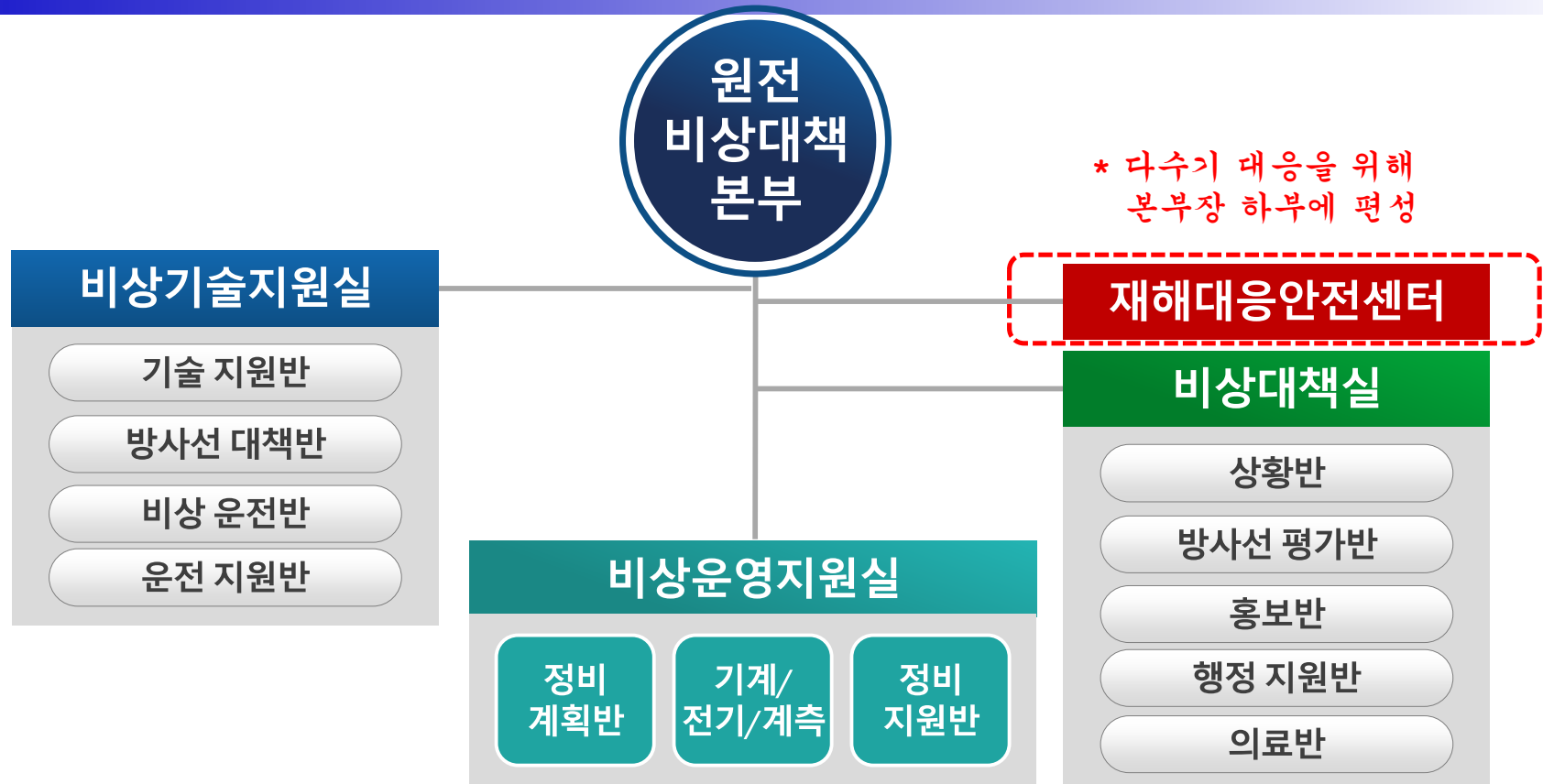
전문훈련과 특수장비가 필요한 전담조직



미국 팔로버디 원전 FLEX 전담조직 사례



본부별 재해대응안전센터 구축



- 근무지 : MACST 통합보관고 내부 사무실 (회의실/교육장 포함)
- 임무 : MACST설비 관리(시험, 정비), 재해(훈련)시 설비 배치, 타부지 지원 등

Phase 3 해양수송 계약 추진

육상 도로가 모두 파괴된 다수호기 사고에 대비하여
타부지 MACST 설비/인력의 해양수송 지원체계를 마련하겠습니다.

구분	내용
계약명	원전본부간 사고대응설비 하역운송 용역
계약방안	제한경쟁입찰
계약기간/비용	10년 / 이동 용역 후 정산 개념 운영
계약내용	- 바지선을 활용 타부지 MACST 설비/인력 이동 제공 (정기 훈련 및 실제 비상상황 내 동원)
예상계약시점	'2019.12말 예상



(2) 통합보관고 건설



본부별 통합보관고 건설 계획

통합보관고는 발전소와 충분히 떨어진 별도의 보관장소로서,
발전소의 극한재해 발생시에도 이동형설비를 안전하게 보관합니다.

본부	고 리	한 빛	한 울	월 성	새 울
면적	5,218㎡	5,317㎡	6,543㎡	1보관고 2,270㎡ 2보관고 2,695㎡	설계 중
준공(목표)	2020. 4.	2020. 4.	2020. 4.	2018. 08 (완공) 2020. 12	2021. 1.



가장 먼저 준공된 월성본부 제1 통합보관고 전경

본부별 MACST 통합보관고 조감도



본부별 통합보관고 현재 상황

고리본부 비상대응설비 통합보관고



한울본부 비상대응설비 통합보관고



서울본부 이동형설비용 통합보관고



월성 제2 통합보관고 부지



한빛본부 비상대응설비 통합보관고



(3) MACST 설비

MACST 이동형설비 List (1)

단 계	설 비	수 량	보관 장소	기능 (용도)	현장 설계변경
1단계 (Phase I)	① 5.5kW 휴대용 소형 발전기	호기별 2대	발전소	• 공기압축기 T/D AFP PNL, 임시팬덕트등에 전원공급	필요
	② 350kW 중형 선배치 발전기	호기별 1대	현장 선배치	• 필수안전기능 상태추적 • 안전급DC 축전지 충전 • SDS W등 중요밸브전원공급	필요
	③ 다목적 통신중계 차량	본부별 2대	통합보관고	• 소내,외 통신 확보	
	④ 비상조명 기기	호기별 1Set (+ 본부 예비 1대)	발전소 또는 통합보관고	• 이동형설비 이동 보조 • 야간 재해복구 현장 조명확보	
	⑤ 이동형 공기압축기	WH형: 호기별 1대 (+ 본부 예비 1대) 기타: 본부별대	발전소 및 통합보관고	• 재고량 유지 • 노심냉각 • Ex) 고리2 PZR PORV 개방	필요
2단계 (Phase II)	⑥ 이동형 고압 펌프	호기별 1대 (+ 본부 예비 1대)	통합보관고	• 1차 계통 재고량 유지 • 노심냉각	필요
	⑦ 이동형 팬 및 덕트	호기별 1세트	발전소	• 보조급수펌프룸, 축전지실, • SWGR 룸 및 MCR 냉각환기	
	⑧ 연료유 아송저장 설비	본부별 2대	통합보관고	• 모든 이동형 설비에 연료 공급	

MACST 이동형설비 List (2)

단 계	설 비 / 용 도	수 량	보관 장소	구체적인 안전기능	현장 설계변경
3단계 (Phase III)	⑨ 3.2 MW 대용량 이동형 발전차	본부별1대	통합보관고	<ul style="list-style-type: none"> 기 구매분에 추가로 구매 재고량 유지/노심냉각 	개선안 도출중
	⑩ 이동형 정수 차량	전사 1대	새울 통합보관고	<ul style="list-style-type: none"> 수원고갈시 해수를 정수하여 1,2차측 재고량 유지 	
최종 열제거원 상실	⑪ 이동형 다목적 고유량 펌프	호기별1대 (+ 본부 예비 1대)	통합보관고	<ul style="list-style-type: none"> CCWHX, SCSHX, CSHX에 냉각수 공급, CSP 대용 격납건물 건전성 유지 	필요
	⑫ 이동형 열교환기	본부별2대	통합보관고	<ul style="list-style-type: none"> ⑪설비와 더불어 사용 격납건물 건전성 유지 	필요
인위적 재해 (화재 등)	⑬ 이동형 고압 살수차	본부별2대	소방대	<ul style="list-style-type: none"> SFP 내 핵연료 냉각기능 격납건물 살수 	
공 통	⑭ 견인 차량	본부별2대 (+ 본부 예비 1대)	통합보관고	<ul style="list-style-type: none"> 모든 이동형 설비의 이동수단 제공(차량 제외) 	
기 확보	⑮ 1.0 MW 대용량 이동형 발전차	호기별1대	통합보관고	<ul style="list-style-type: none"> 안전설비들에 전원 공급 	
	⑯ 이동형 저압 펌프차	호기별2대 (APR 3대)	통합보관고	<ul style="list-style-type: none"> 재고량 유지/노심냉각 	

MACST 추가 전력설비 종류와 특징

MACST 전략으로 전원이 대폭 보강되었습니다.

발전소내 모든 구동전원이 정지되어도, 이동형 전원을 통해 안전계통에 전력을 공급할 수 있습니다.



통합보관고에서 현장까지
전력선 배치(계획)



3.2MW 용량 (Phase3)

통합보관고 기동/가압 가능



400kW 용량 (호기별)

현장 대기 상태에서 기동/가압



10MW 용량 (호기별)

통합보관고 기동/가압 가능



5.5kW 용량 (호기당2개)

현장 비치(주요 패널, 팬 등)

MACST 추가 펌프설비 종류와 특징

MACST 전략의 효과성을 높이기 위해
다양한 이동형펌프차를 추가 확보 중에 있습니다.

소내 고정형 안전설비가 고장 나도 이동형펌프차로 발전소 냉각이 가능합니다.



저압/중압 펌프차(호기
원자로 및 증기발생기 냉각용)



다목적 고유량 펌프차(호기당1대)
해수펌프 대체 또는 격납건물 살수



이동형 고압 펌프(호기당1대)
원자로냉각재 보충용



고압 살수차(부지당2대)
격납건물 및 사용후 연료건물 살수용



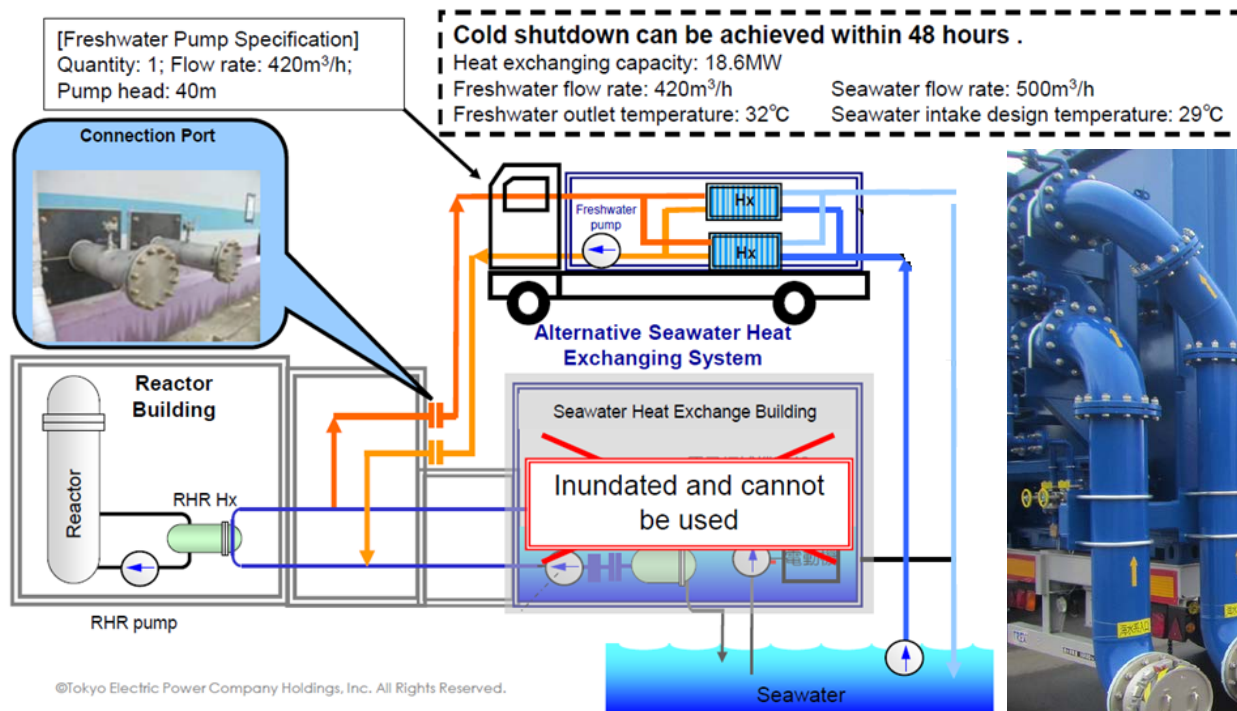
500gpm 대용량 설비(전사1대)

사고 장기화로 냉각수 고갈 시
바닷물 정화 통한 냉각수 확보

MACST 이동형 열교환 설비

Alternative Heat Exchange Vehicle

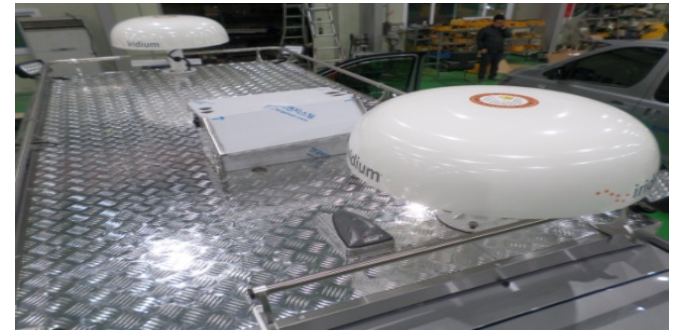
Back-up ultimate heat sink for the Reactor in case of LUHS events



열교환기 차량 (본부당 2대)

참고 : 열교환설비는 열교환기, 고유량펌프, 기타 부속설비가 1Set인 대규모 설비임

MACST 다목적 통신 중계설비



❖ 장기 전원 상실시 EOF/MCR/현장과의 통신 (본부별 2대)

MACST 기타 지원설비



연료유 이송/저장 설비



이동형 팬 덕트 설비
(장비/Room 가용성 확보)



조명 설비



이동형 공기 압축기



견인 차량

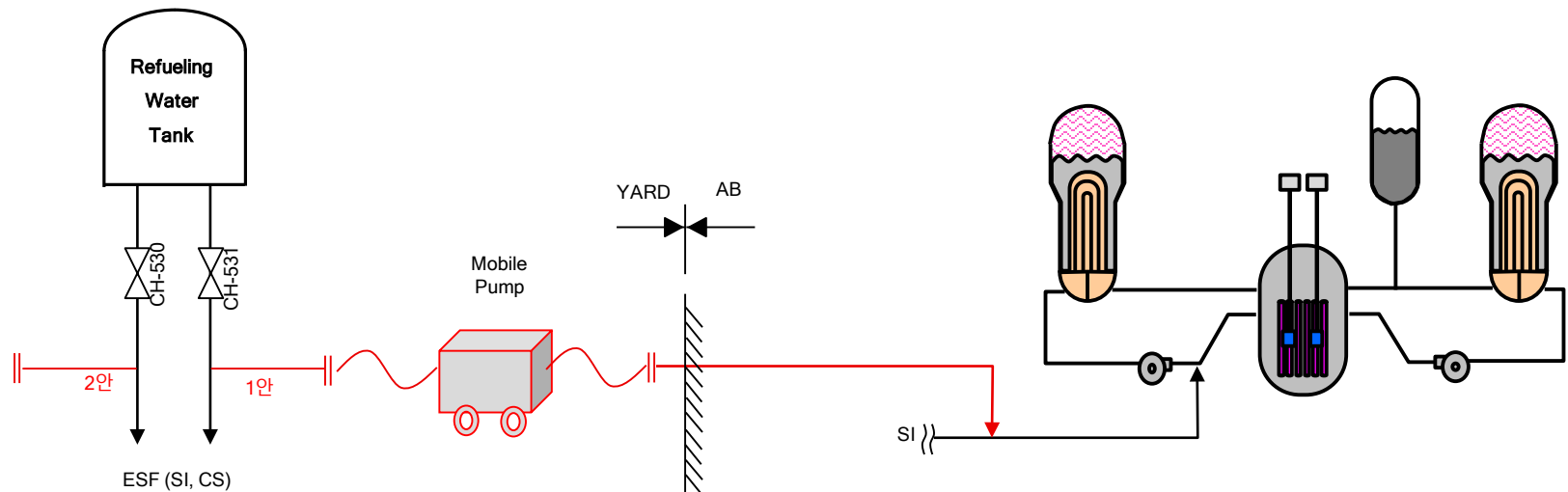
(4) 형상(설계)변경

고압 이동형 펌프 개념설계

목적: RCP 밀봉누설 및 1차측 원자로냉각재 수축으로 인한 재고량 손실 보충

사양: 디젤구동 왕복동형펌프

용량: RCS 1500 psig 일 때 44 gpm 주입

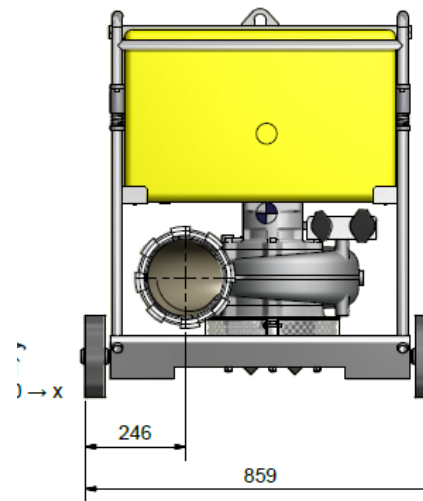
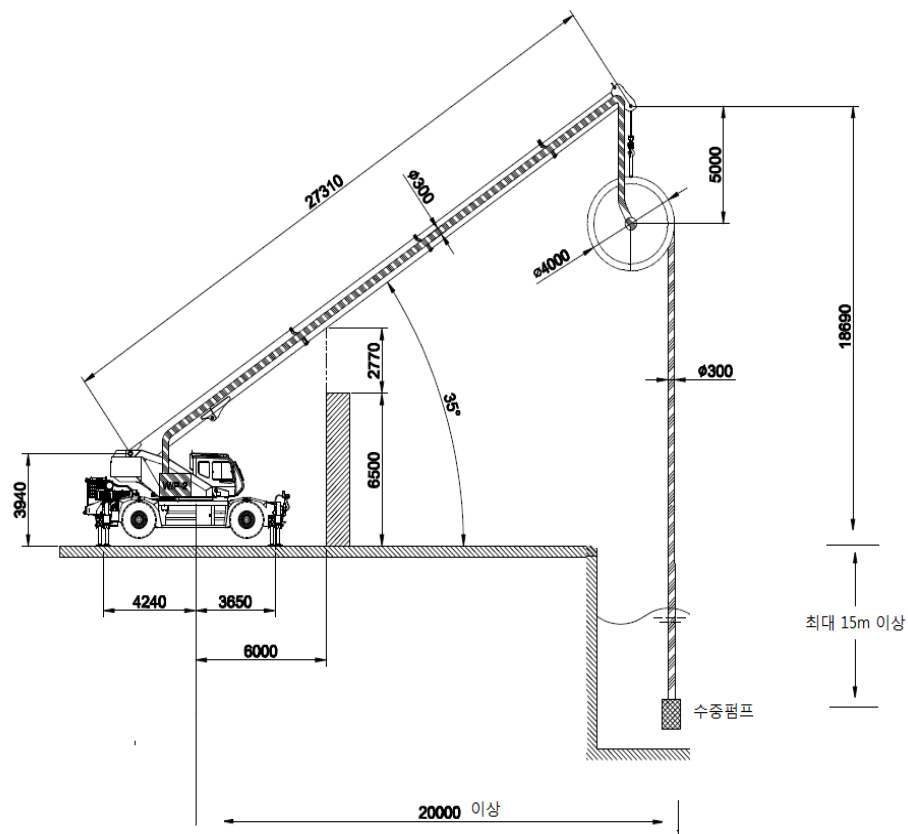


고유량 이동형 펌프 개념설계

목적: 이동형 열교환기/기기냉각수열교환기 해수공급

사양: 디젤 구동형 펌프 + 이물질 여과기가 설치된 수중펌프

용량: 최대 정격유량 5,000 gpm @ 15 kg/cm²



수중펌프

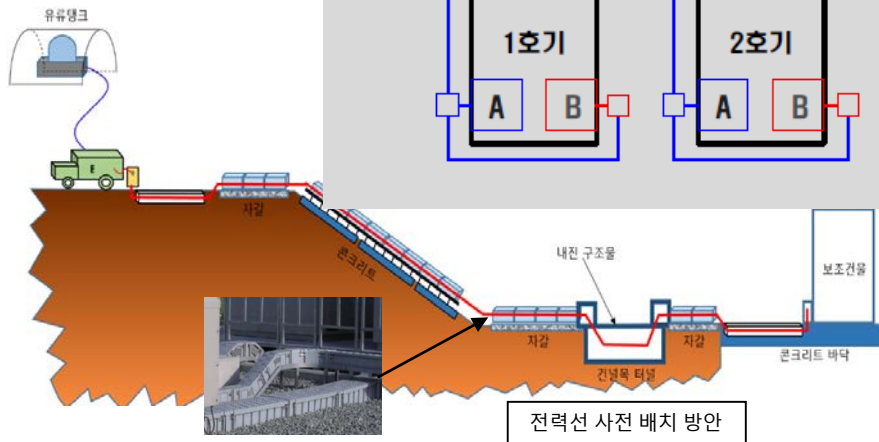
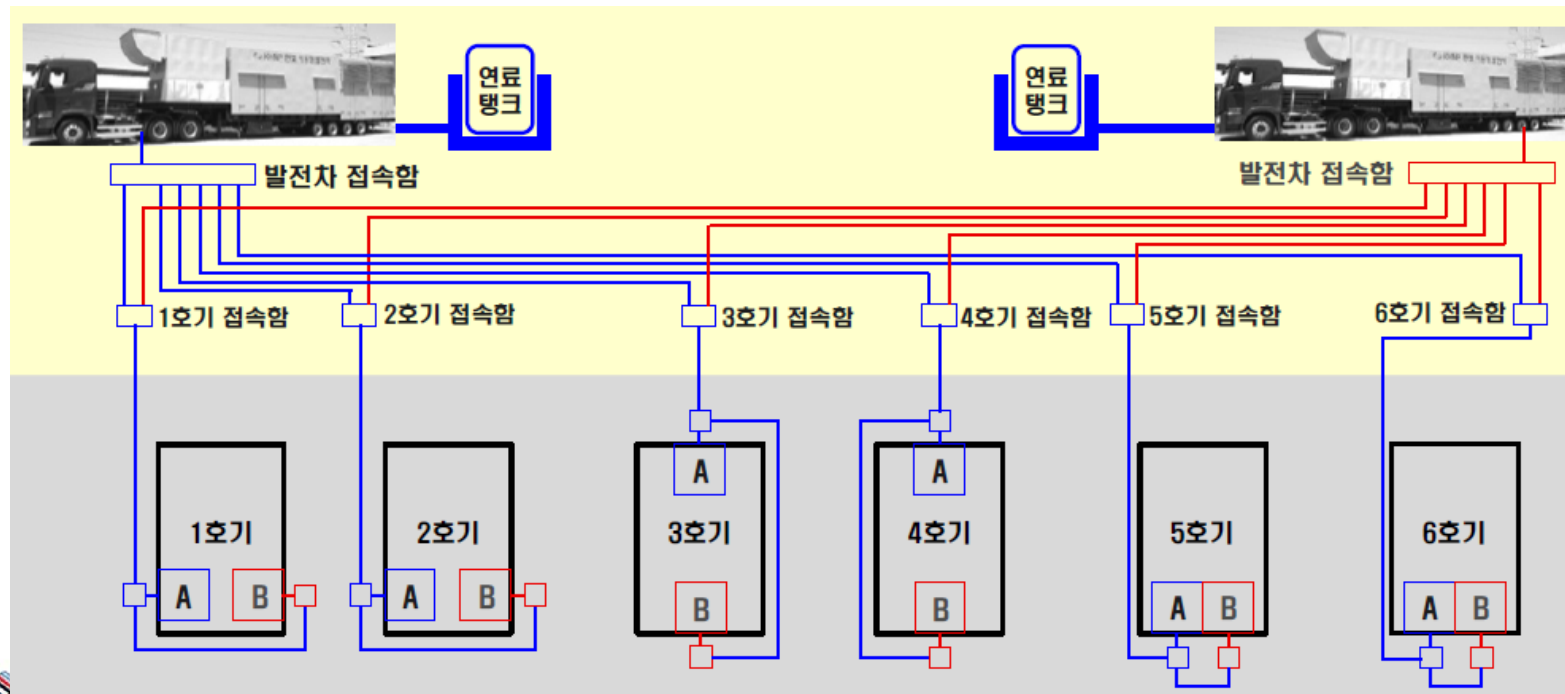


대형 이동형 발전차 개념설계

목적: 필수안전기능에 필요한 모든 전원 공급

사양: 가스터빈구동발전기, 72시간 연속운전 가능

용량: 3.2 MW, 3상/4.16kV/60Hz

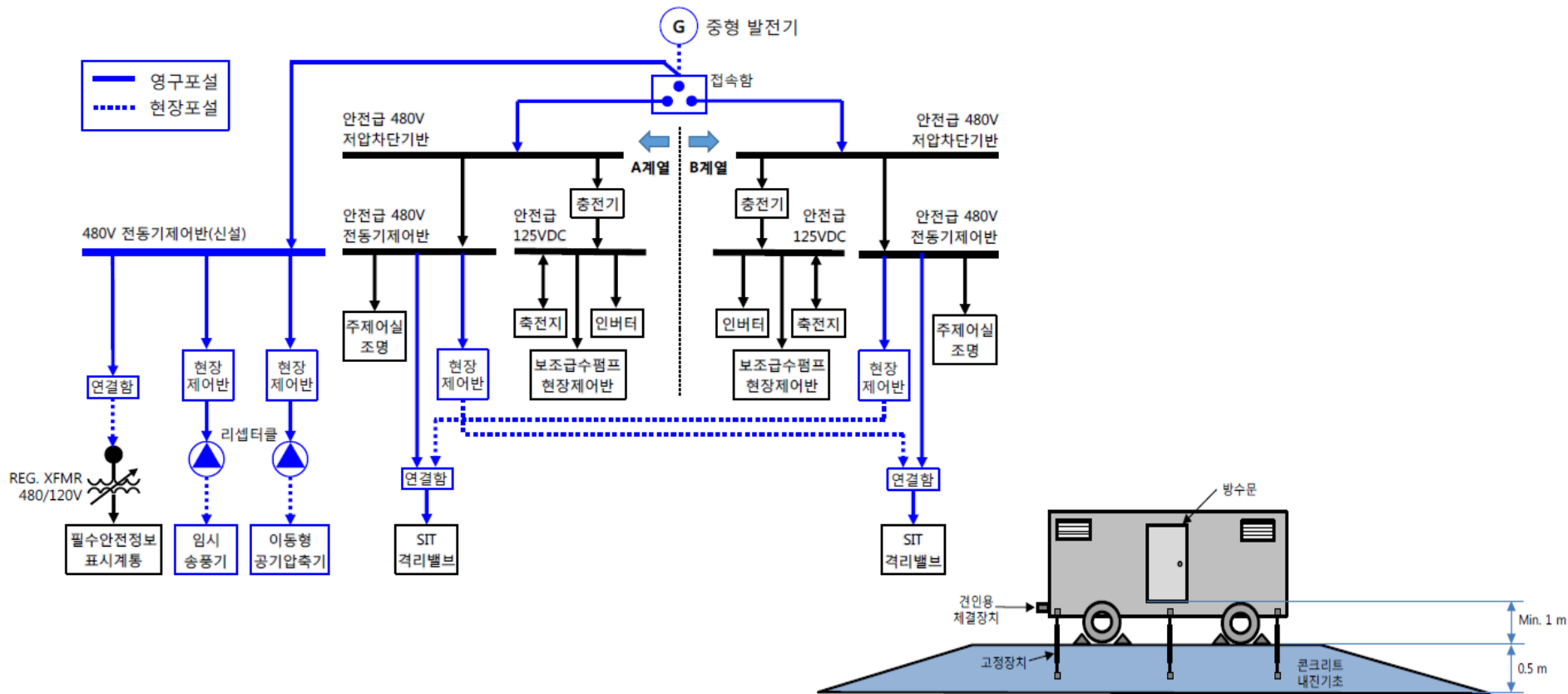


선배치 중형발전기 개념설계

목적: 축전지 충전, SIT격리, 주제어실 조명, 이동형공기압축기, 임시팬, SPDS 등

사양: 디젤구동, 8시간 연료탱크

용량: 400 kW, 3상/480V/60Hz



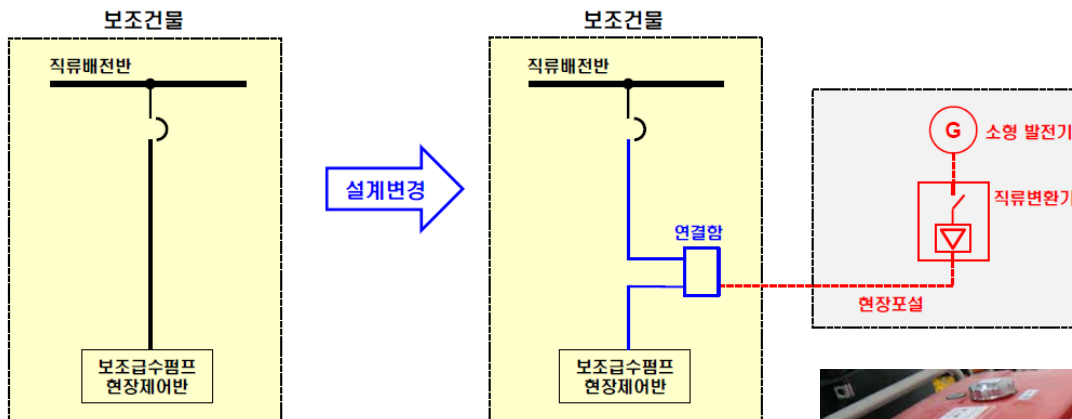
소형 이동형 발전기 개념설계

목적: 인위적 재해 고려 보조급수펌프 현장제어반에 전기 공급
(필요시 임시팬, 임시조명에 전기 공급)

사양: 디젤구동, 8시간 연료탱크

용량: 5.5 kW, 3상/480V/60Hz

설계방안: 보조급수펌프 현장제어반에 진류변환기를 포함한 접속구 설치



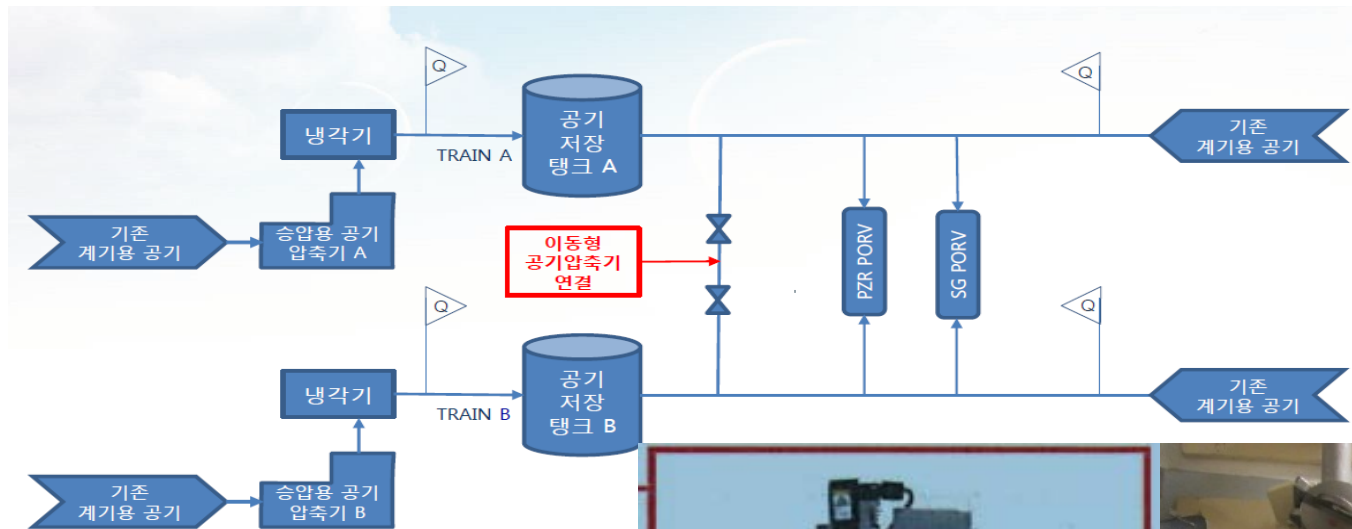
KOREA HYDRO
NUCLEAR POWER CO., LTD

이동형 공기압축기 개념설계

목적: 극한지해 사고대응 시 압축공기가 필요한 필수대처설비에 압축공기 공급

사양: 전동기 구동형, Wheel 장착 1~2명으로 이동가능

용량: 11.6 scfm, 90 psig, 3.5 kW(5 HP)



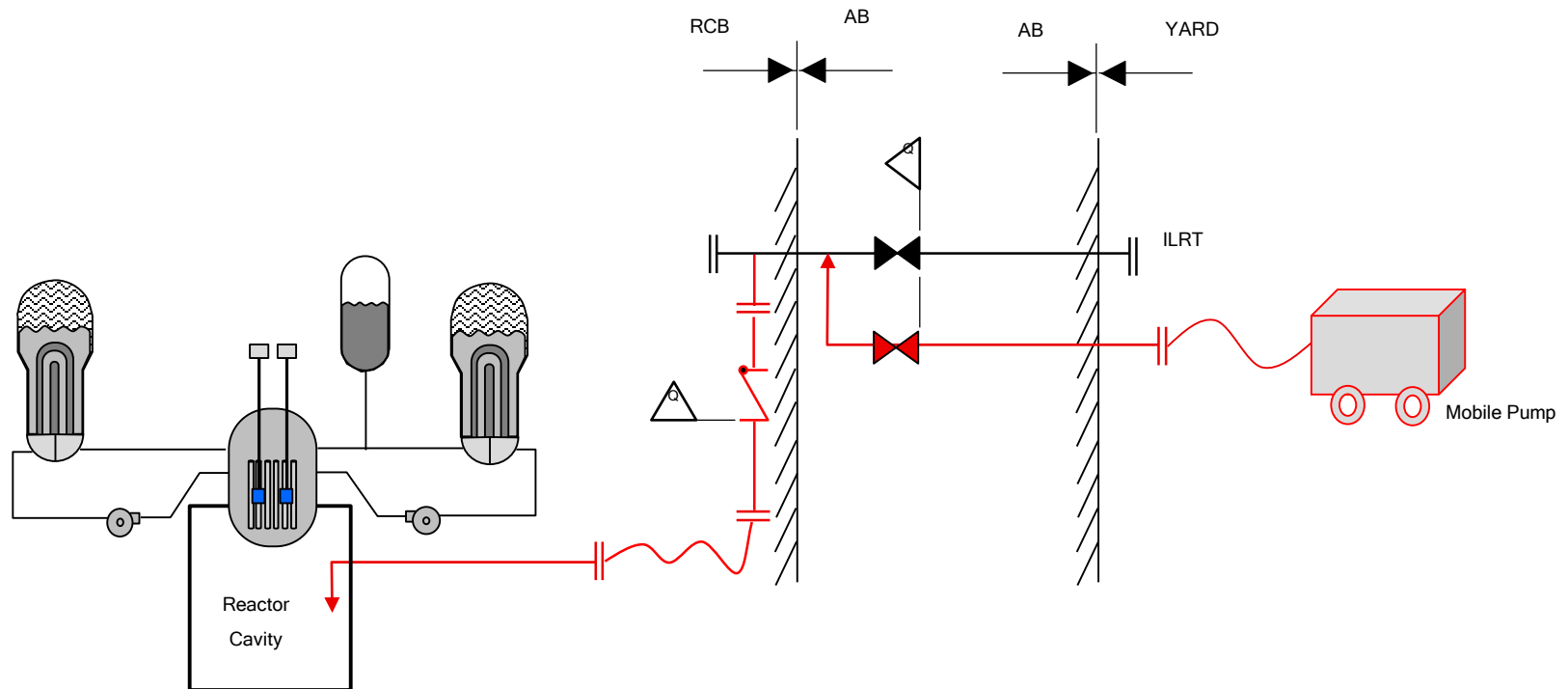
원자로 공동 충수 개념설계

목적 : 인위적재해 시 원자로 공동 충수를 통해 중대사고 완화

사양 : 저압 이동형 펌프(500gpm @20 kg/cm²) 혹은 다굴절 무인방수탑차 가능

용량 : 300 gpm 이상, 12시간 이상 충수 필요(NEI 06-12)

해당노형 : WH2, WH3, Framatome원전만 해당



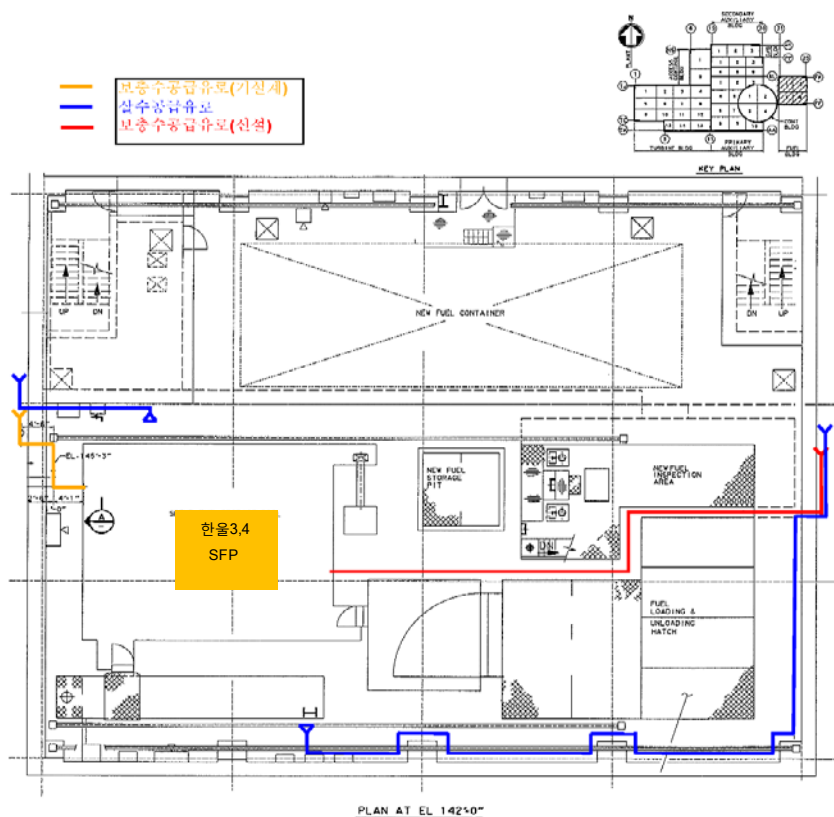
SFP 살수계통 개념 설계

목적 : 냉각계통 기능상실 시 충수/살수를 통한 사용후연료 직접 냉각

사양 : 저압 이동형 펌프(500gpm @20 kg/cm²) 혹은 다굴절 무인방수탑차 가능

용량 : 보충 2개 500 gpm + 살수2개 300 gpm 이상

설계방안 : 보충 유로는 기존 1개 이외에 1개 신설, 살수 유로는 신규 2개 신설



SFP 상부 살수시험

임시팬 덕트 개념설계

목적 : 극한재해 사고대응시 냉각계통 상실에 따라 필수기기 룸 냉각

대상기기 : 보조급수펌프, 축전지, MCR, EER, PDP충전펌프 등

사양 : 전원 구동형 이동형 팬 과 플렉시블 덕트

용량 : 해당 룸의 온도분석에 따라 1HP(0.75 kW) ~ 7.5HP(5.5 kW)

설계방안 : 발열량 및 시간에 따른 온도분석으로 팬 용량 및 운전원 조치시간 결정



전원전 RCP 밀봉장치 교체 계획

구분	호기	사고대응용 밀봉장치 개발	비고
WEC 노형	고리2-4 한빛1,2	Shield Shutdown Seal (기성품)	
	한울1,2	Passive Shutdown Seal (기성품)	
표준형 원전 /중수로 원전	한빛/한울3-6 신고리1-4 신월성1-2 월성2-4	중기과제 진행 중	한국셀마스터
APR1400	신 한울 1,2 신 고리 5,6	Andriz사 Seal (기성품)	두산중공업

구분	추진 내용	WEC 노형일정	표준형 일정
사고관리계획서 개선 RCP Seal 적용	반영 및 제출	기완료	기완료
규제기관 협의	KINS 설명회 등	'19.7~	'19.7~
구 매	발전소별 소요자재 구매	'20.1~	'20.6~
사고대응용 밀봉장치 적용	시범 적용	'20.8~	'21.3~
	확대 적용	'22.9~	'22.4~

제반 형상변화에 따른 추가 조치

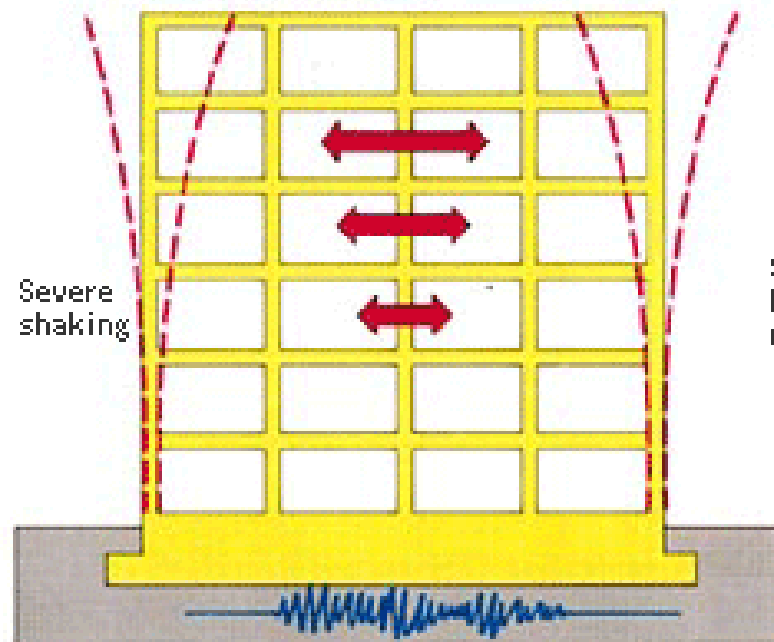
- ❖ 추가 안전개선 항목 결정 및 시행 계획 수립 추진
- ❖ FSAR 개정 검토
- ❖ EP(방사선비상계획서) 개정 검토
- ❖ 제반 기존 절차와 설계도면, 기술문서 등
- ❖ 10CFR50.59 에 따른 Screening Analysis 필요

➡ 별도 사업 추진 검토

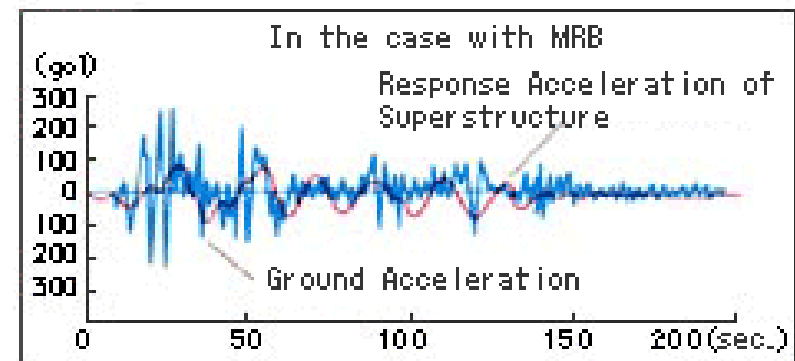
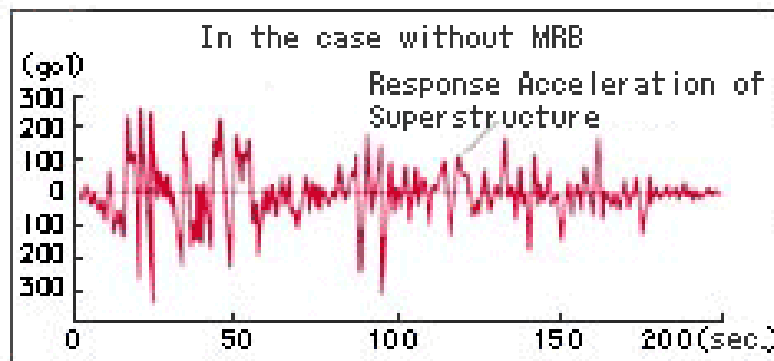
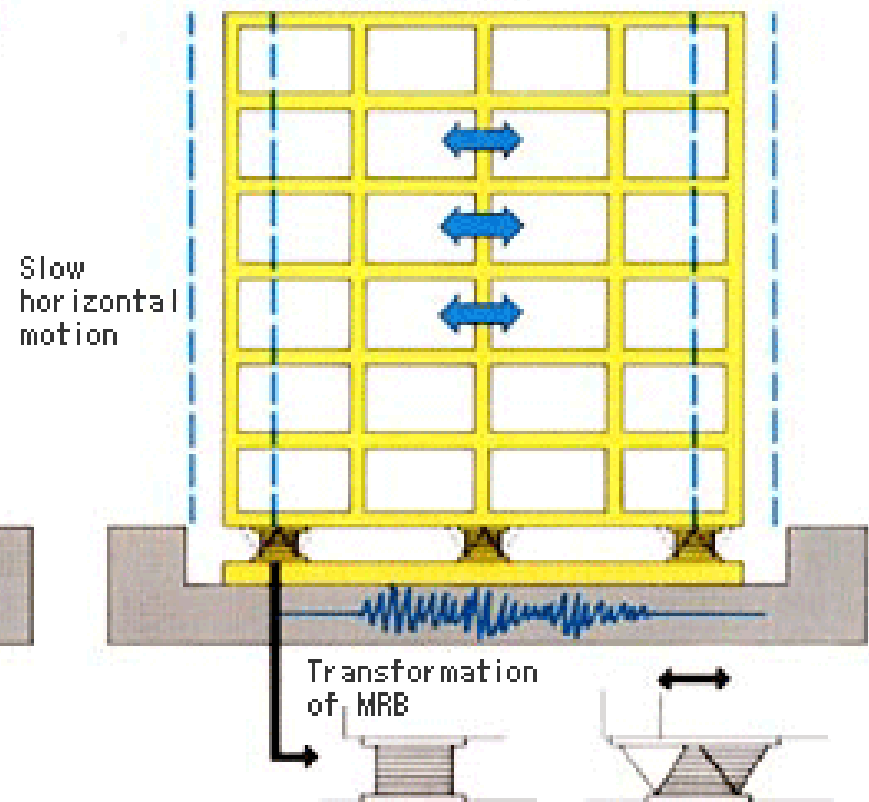
(5) 면진 비상대응거점



Building without seismic isolator



Building with seismic isolator



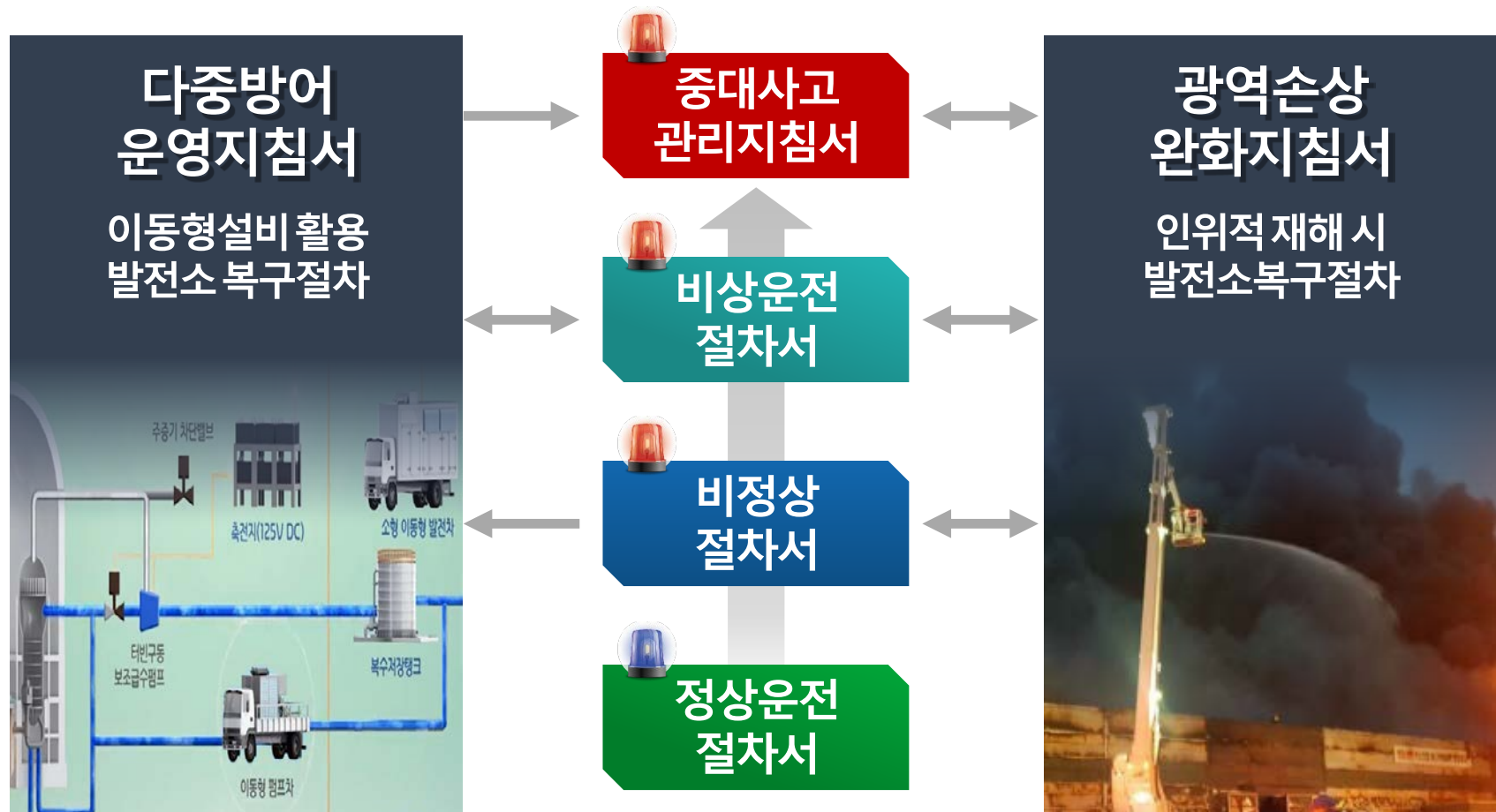
면진 비상대응거점 설계 특성

구 분	설 계 기 준
부지위치	▶ 부지고 : +13.0m 이상
건물규모	▶ 지하1층(면진pit층) / 지상 4층 이상
Room구성	▶ TSC, OSC, EOF 통합 배치 ▶ 정비요원 휴게공간, 출입관리시설, 자료실 및 REMC 등
품질등급	▶ A(일부 오염계통) & S
구조분야	▶ 지진하중, 지진해석, 구조설계, 면진장치 : KEPIC 적용
전기/계측/기계분야	▶ 필수기기 내진검증, 비상전원, 공조계통 : KEPIC 적용
수용인원	▶ 약 500명 (다수호기 비상시 비상요원 수)
거주성요건	▶ 비상시 유효선량(50mSv/7일) 이내 (일본 : 100mSv/7일)
지진 설계기준	▶ 수평방향 0.5g (수직 : 수평의 2/3 적용) ※ 0.3g의 내진설계건물 + 0.2g의 면진장치
비상전원	▶ 최대 72시간 전원 공급(EDG 확보)
안전변수감시설비	▶ 이중화 : 원전 PMS(발전소) + PI (본사)

(6) 신규절차 개발

AMP 절차서/지침서 신규 체계

다중방어 및 광역손상 완화지침서를 신규 개발하였고,
기존 절차와 신속한 연계가 가능토록 절차 체계를 재정비했습니다.

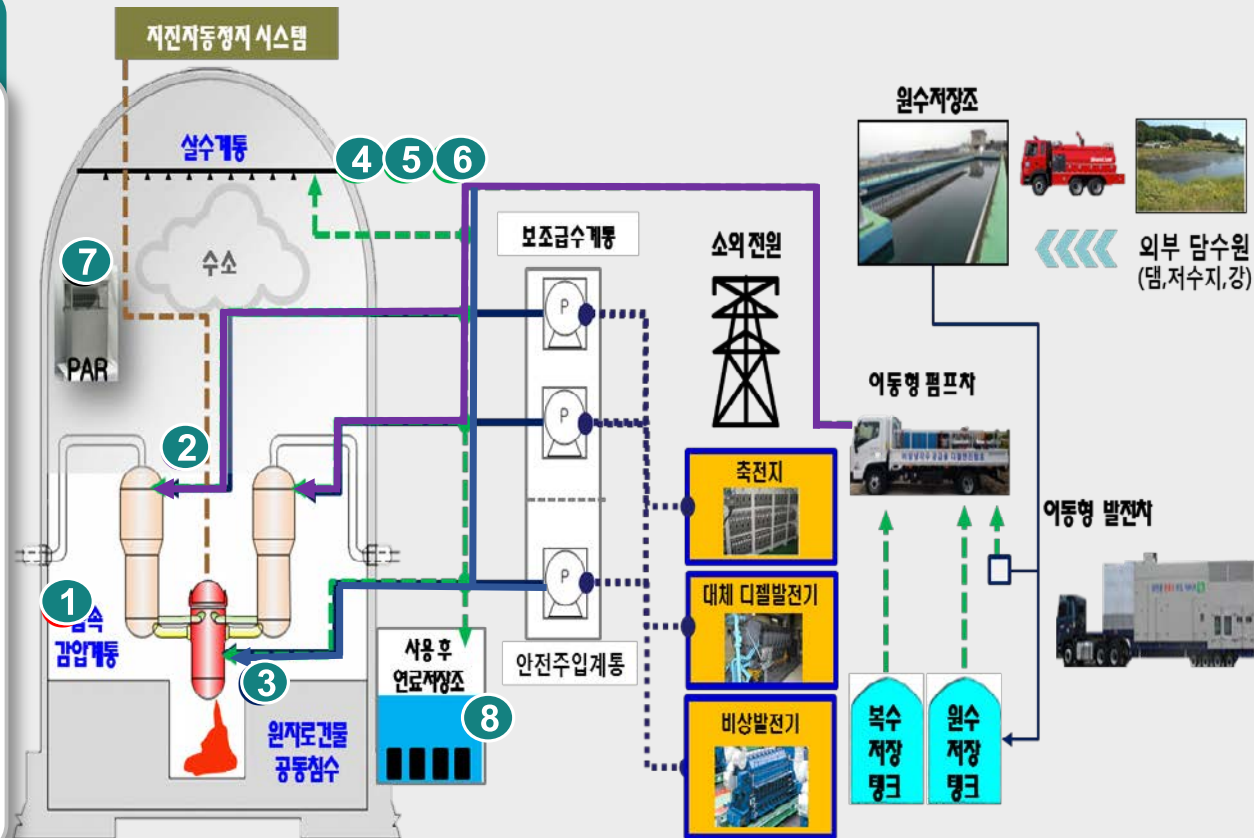


(7) 신규 안전해석

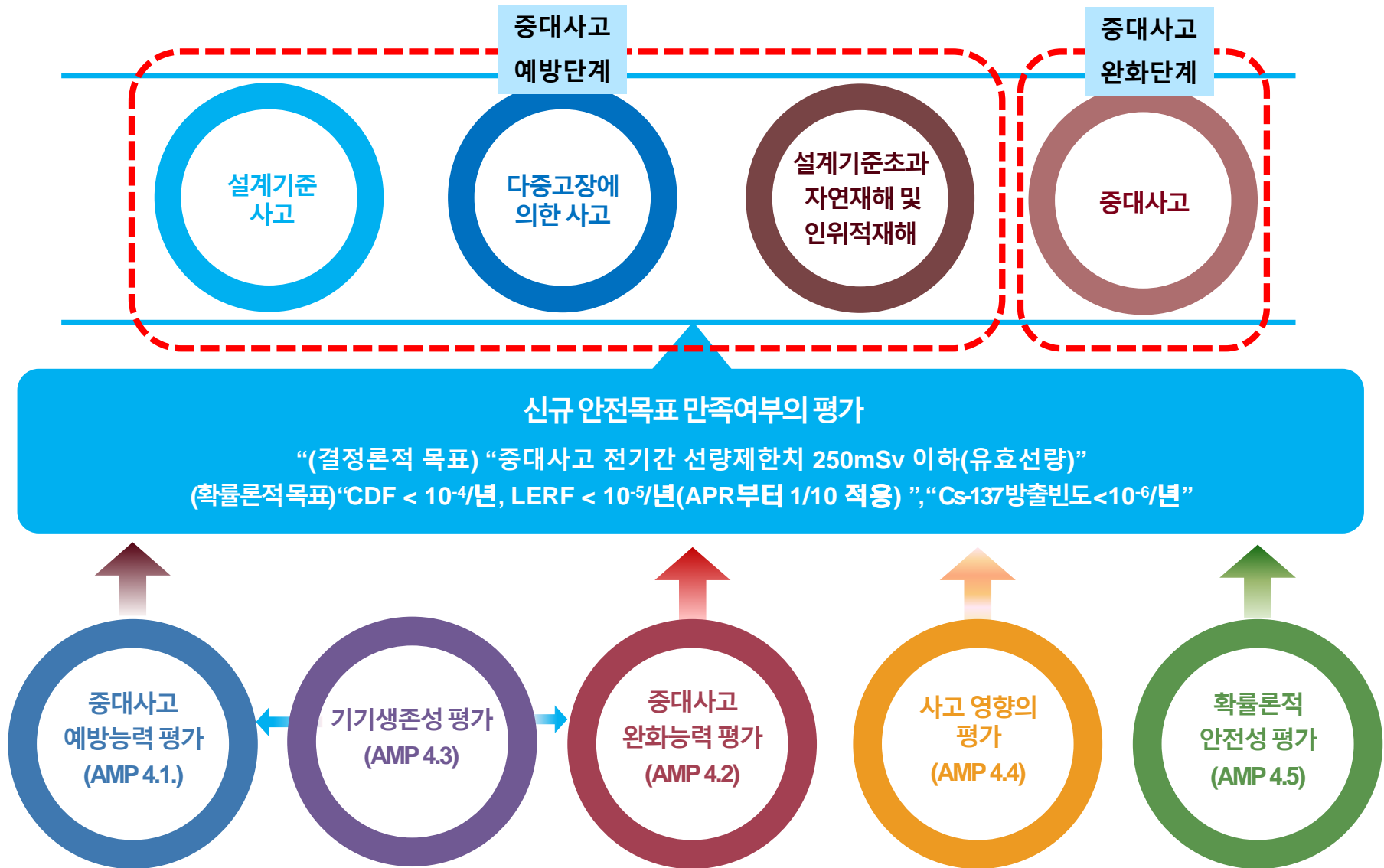
재구축된 중대사고 대응 설비/전략을 통해
방사능의 환경방출 및 주민피해를 방지합니다.
그에 따라 안전해석 결과도 모두 Update 하게 되며,
강화된 규제요건을 만족하는지 확인합니다.

중대사고 대응전략

- 01 원자로 감압수행
- 02 증기발생기 급수공급
- 03 원자로 냉각수 주입
- 04 격납건물 냉각수 주입
- 05 핵분열생성물 방출억제
- 06 격납건물 냉각
- 07 수소제거
- 08 사용후핵연료 냉각



AMP 에 의한 신규 안전해석 체계



(8) 교육 훈련

교육훈련 체계 개선

사고관리계획서 개발과정에서 새롭게 추가된 사고대응절차는
사고관리 훈련으로 추가 시행될 예정입니다.

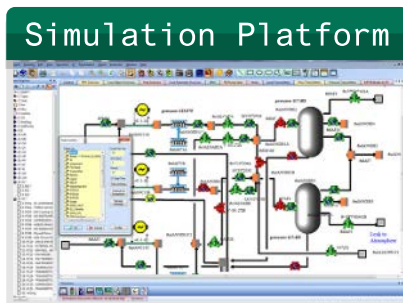
구 분		주 기	교육훈련 내용
운전원 재교육		연간 50시간	발전소 정상운전 및 사고대응절차 (모의제어반 실습 포함)
방사선 비상 사고대 응	교육	연 8시간	사고확대 방지 및 방호 조치, 사고분석 등
	연합훈련	부지별 5년	원안위 주관하 군, 경, 소방청 등 모든 기관 참여
	합동훈련	부지별 4년	지자체와 한수원의 합동 사고대응 훈련
	전체훈련	발전소별 1년	발전소 모든 조직이 참여
	부분훈련	분기별 1회	발전소 비상조직별로 개별 훈련
	최초훈련	출력 5% 도달 전	전체훈련 또는 합동훈련 수행
운전원 소방훈련*		분기별 1회	화재유형별 화재진압 방법
사고관 리 훈련	발전소 훈련	발전소별 1년	이동형설비 활용 발전소 사고복구 조치 등
	본부 훈련	본부간 2년	부지내 다수기 동시사고 발생시 대응절차

* 본부별 전문소방대원의 소방훈련과 별개로 발전소 운전원의 소방훈련 수행중

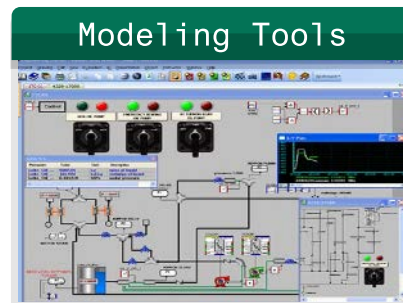
전원전 시뮬레이터 중대사고 구현 추진

재구축된 중대사고 대응 절차를 반영한 운전원 교육이 필요하며
이에 원전 주제어실 시뮬레이터 역시 중대사고 구현이 필요합니다.

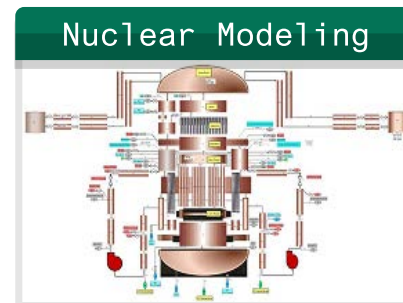
해당호기	시뮬레이터 개선	일정
고리 1,2,3,4호기 한울 1,3,4호기 월성 1호기	<ul style="list-style-type: none"> * 미국 GSE사 중대사고 모델 기반 * 미국 WSC사 중대사고 모델 기반 * 캐나다 L3 MAPPS사 중대사고 모델 기반 	기완료
신 고리 3,4호기 한울 5,6호기 신한울 1,2호기 신월성 1,2호기 한빛 1,2,3,4,5,6호기	<ul style="list-style-type: none"> * 순수 국내기술 PSSAM 중대사고 모델 적용 	~'21.3



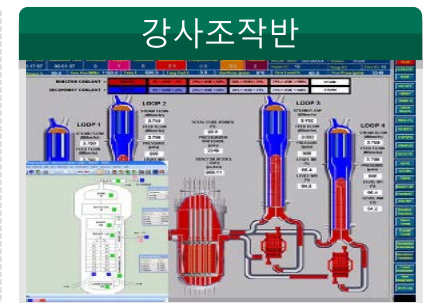
- 3Key Master 실행 파일
- Graphical Engineering Station



- FlowBase Tool
- Electrical Network Tool
- Logic & Control Tool 등



- 3Key RELAP5-RT™
- NESTLE
- 3Key SAA™



- SVIC(Scoping, V&V and IC)
- SBT(Scenario Based Testing)

향후 예상 현안 및 예산

AMP 8대 개선 사항 및 예상 현안

8대 핵심 개선 사항	내용	일정	추진시 예상 현안	투자 성격
① MACST 전담조직	본부별 이동설비 전담조직 신설	'19.8 ~'22.12	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본사에 신규4명 확보 후 교육 중 ■ 추가 인력 확보에 어려움 존재 	전문인력증원
② MACST 통합보관고	이동형설비 보관고 신설	~'20.12	<ul style="list-style-type: none"> ■ 준공 전에 확보된 이동설비 관리 현안 ■ 내부 Layout 수정 및 내진 Rig 설치 등 ■ 이동형발전기 별도 보관고 신축 ■ 신규 건설원전 별도 보관고 추진 예정 	Hardware (물리적변화)
③ MACST 설비	이동형설비 16종 구비	~'20.12	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국산 설비의 성능입증 ■ 유지정비, 주기시험 체계 개발 등 ■ 개념설계/상세설계에 따른 일부 설비 배치에 지연 예상 	
④ 발전소 형상변경 공사	이동설비 접속부, 전력선, 구조물 및 설비개선, RCP Seal 교체 등	~'24.12 (목표)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 전력선 선포설 매립 등 기술기준 현안 ■ 개념설계 후 상세설계시 규제협의를 	
⑤ 비상대응거점 (면진동) ※ AMP 요건은 아님	비상대응조직(ERO) 보호, 제염, EOF 기능 등이 가능한 건물 신설	~'23.12 (목표)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 최초의 기술기준 및 인허가 현안 ■ 지반조사/지진해석/면진시험/기기구매 등 상세 설계 (최소 2년 소요) 현안 ■ 추후 추가기능(비상제어 등) 필요성 여부 	
⑥ 관련 절차 정비	EOP, SAMG, MOG, EDMG 등	초안완료	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다각도의 V&V ■ 다년간 검토를 통한 수정 보완 필요 	Software (관리체계변화)
⑦ 신규 해석 체계 정비	다중사고, 극한재해, 중대사고, 제반 PSA 등	초안완료	<ul style="list-style-type: none"> ■ CFVS, 지진현안 등 각종 변화요인 반영하여 지속적인 수정 및 Update 필요 	
⑧ 교육 및 (방재)훈련 체계	관련 비상대응조직(ERO) 교육 및 동원훈련 체계 등	초안완료	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다각도의 V&V ■ 다년간 검토를 통한 수정 보완 필요 	



For MACST ,

“

If you want something you've never had
then you've got to do something you've never done.

MACST™ : Multi-barrier Accident Coping STrategy