

KHNP | KOREA HYDRO
NUCLEAR POWER CO., LTD

2017 원자력학회 추계 워크숍

다수기 극한재해 新안전개선 종합대책(안)

**Corporate Safety Department,
Accident Management Strategy Team**

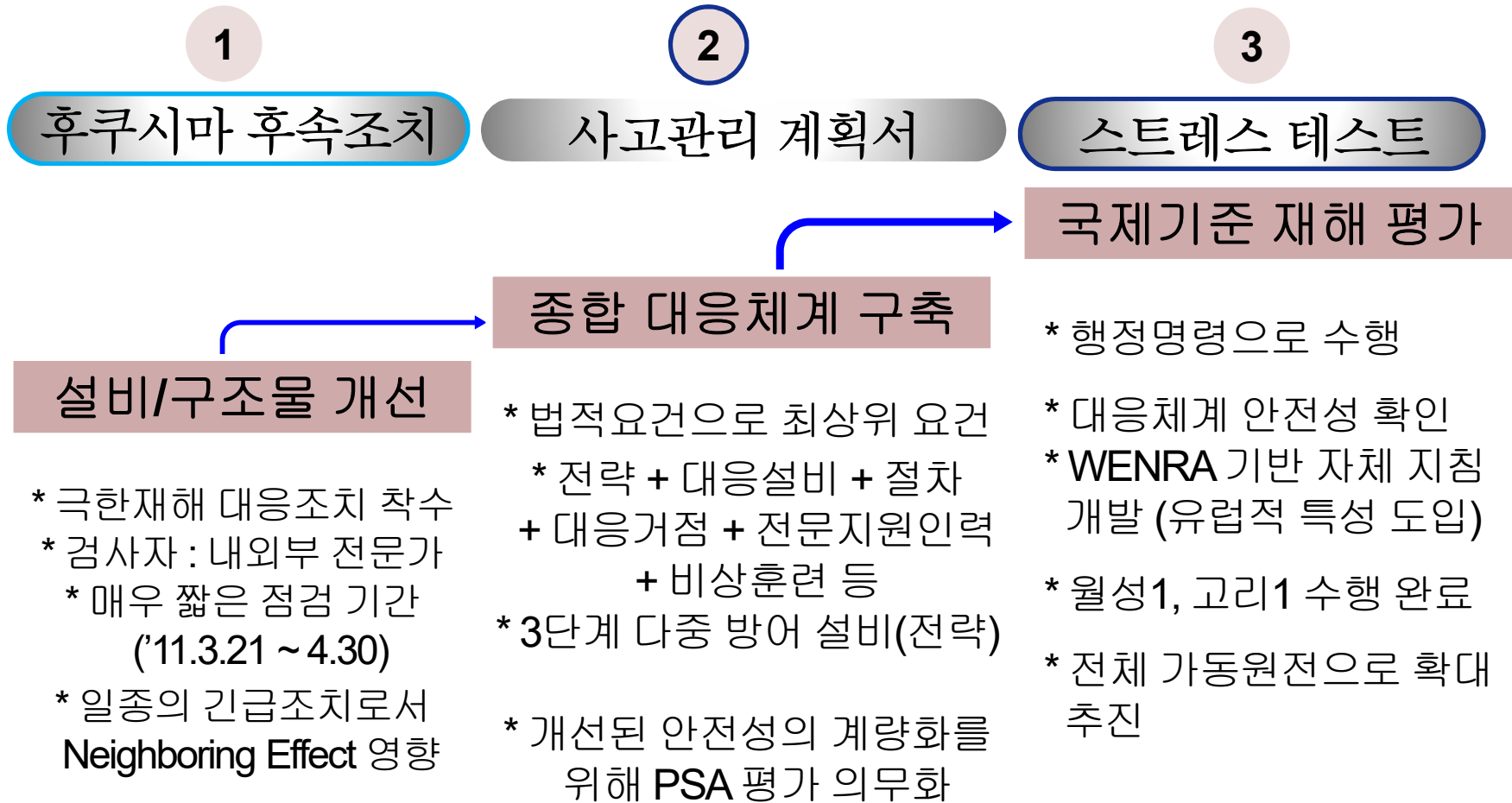
2017. 10. 25

안전처 사고관리전략팀장 양승태

Prolog

- 2017년은 **全體** 운영원전
AMP-ST사업 가속화 원년 -

극한재해 대응체계 고도화 : 3-Step Approach



국내 후쿠시마 후속조치 이력 및 특성

- ① **2011~ 진행 중** : 정부 긴급 안전점검 및 **56개** 후속조치
 - * 특성 : **Neighboring effect** (이웃나라로서 긴급조치)
 - 충분한 근본원인분석(RCA)에 기초한 전분야 대응체제로 미흡
 - ② **2013~ 진행 중** : 노후원전 스트레스테스트 및 **33개** 후속조치
 - * 특성 : **Scale up** 미흡 (월성1, 고리1 부분적용에 따른 한계)
 - 가동원전 전체의 대응전략과 설비를 완성하는데 미흡
 - ③ **2016~2020** : 전원전 스트레스테스트 및 사고관리계획서
 - * 특성 : **Mixed regulatory framework** (미국 + 유럽 + 일본)
 - 전세계 최초의 강력한 규제요건 만족을 위한 개념설계 필요
 - 기존 후속조치에 더해 설비보강과 전사 표준 전략 구비 필요
- ☞ **more defense in depth, universal, vague(uncertain), time and resource demanding approach**

2

'17.2

전사 다수기 극한재해
사고관리전략 수립

한수원 고유 사고관리전략 (MACST)

Defense
In
Depth

다수호기 극한재해시 중대사고로 전개되는 것을 방지(예방)하는 다중방호개념(Defense-In-Depth) 전략 구축

3 Phase 대응전략



내진 축전지, 소용량 이동형발전차, 이동형펌프차 및 중장비 등

Phase 1 (0 ~ 8hr)

극한재해대응 고정형 설비 활용 단계
(핵심기기 : 방수벽, 방수문, 내진성능향상 SSC, 축전지, 터빈구동보조급수펌프, 필수계측기)

Phase 2 (~ 72hr)

극한재해대응 이동형 설비 활용 단계
(이동형 발전차/펌프 등)

Phase 3 (72hr ~)

소내·외 가용한 모든 설비 활용 단계
(고정형 설비 회복, 대형 이동형발전차, 이동형열교환기/펌프 등)

지원조직
및
대응거점

중앙집중식 전담지원조직 및 대응거점 구축

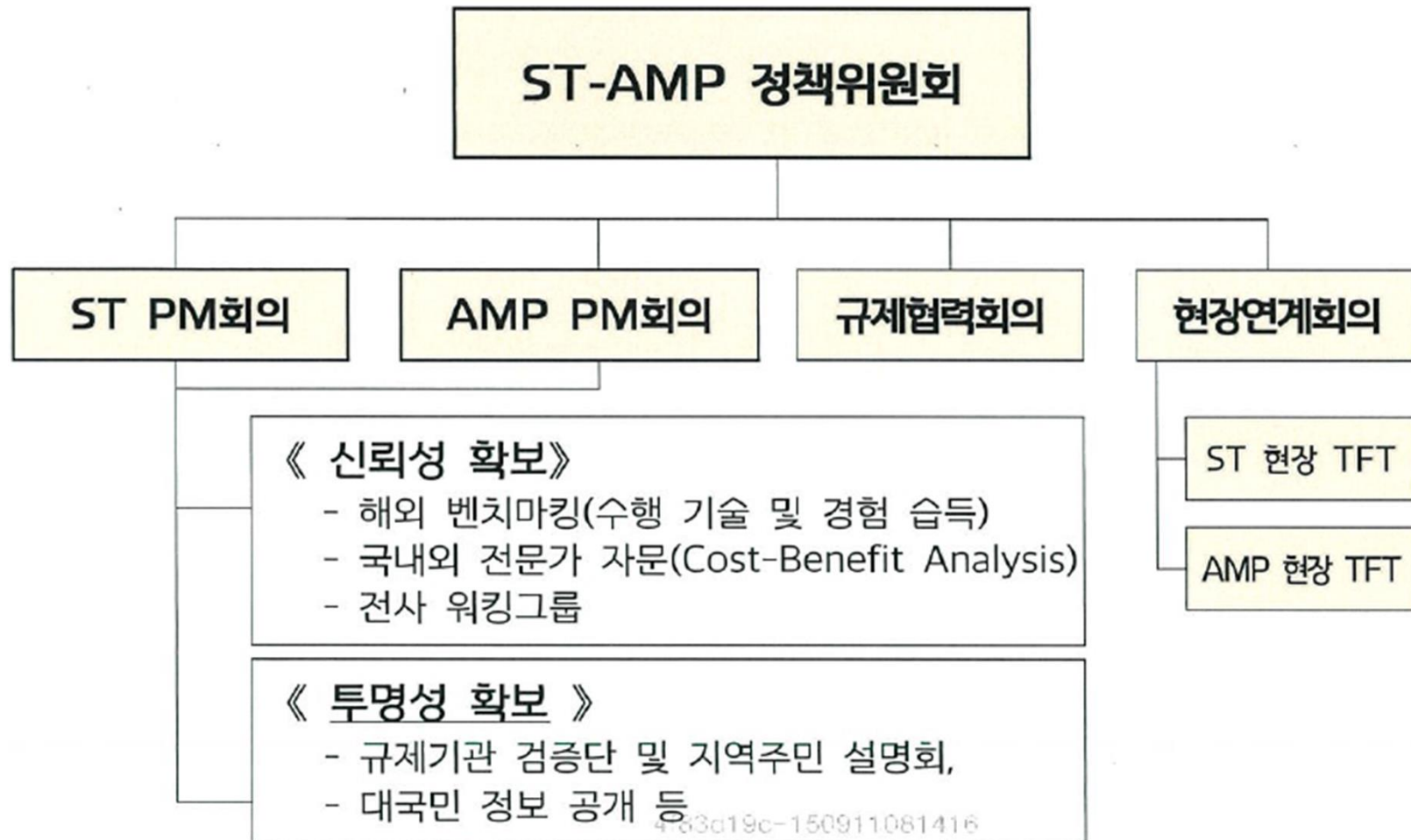
- 중대사고 신속대응전문가팀 (SAFE-T) 운영
- 사고대응 지휘통제 기능강화를 위한 비상대응거점(0.5g) 확보 등

3

'17.3 ~

전사 협업체계 수립/운영

신뢰성/투명성(외부소통) 활동이 매우 중요



AMP-ST 현안협의체 및 제1차 통합 PM 회의

- (일시/장소) 2017.5.25.(목) 10:30/ The-K 호텔(경주)
- (참석자) 한수원 및 협력사 업무 관련자 등 143명
- (주요내용) 통합 착수회의, 분야별 수행계획 및 예산 현안 공유
 - Session 1 (통합 착수회의)
- · AMP-ST 사업현황 및 계획, MACST 개발 전략 및 설비 구매 계획
 - Session 2 (AMP 개발), Session 3 (ST 수행)
 - 참여주체별(한수원, 한전기술, NESS) 수행계획 및 예산 현안 논의 등
- (기대효과) 국가 중요사업 달성을 위한 본사, 중앙연구원 및 발전소, 협력사
협업체계 구축을 적극 사업추진 기틀 마련

AMP-ST 현안협의체 및 제1차 통합PM회의

일자 : 2017. 5. 25(목) 장소 : 더케이호텔 경주 주관 : 한국수력원자력주식회사 안전처

ICHNP INTERNATIONAL COOPERATION FOR HUMAN NUCLEAR POWER

AMP-ST 현안협의체 및 제1차 통합PM회의

MACST 전략 및 고유화/차별화 계획

2017. 5. 25
중앙연구처 안전기술센터
서고대영기술팀 팀장·윤영욱



원전 현장 TFT 구성 및 소통/협업 강화

4개 원전본부 AMP-ST 사업 현장 설명회

- (설명회 일정/장소) 2017.6.13. ~ 6.16.(1일/본부) , 본부별 훈련센터
- (참석자) 175명 (본사, 중앙연구원, AMP-ST 발전소 TF 팀장 및 팀원)
- (설명회 내용)
 - Session 1 (배경 및 계획)
 - AMP-ST 사업배경, 주체별(용역, 자체) 추진현황 및 수행계획
 - 국내외 사고대응전략 구축 및 월성 재난대응(지진) 훈련 동영상 상영
 - Session 2 (분야별 설명)
 - AMP 및 ST 사업관리 및 주요 수행내용 설명
 - 사내 조직별(본사, CRI, 발전소) 임무 및 역할 소개, 이견사항 협의 등
- (설명회 효과) 회사 운영원전 최대 현안사업 당위성 공감 및 적기 사업추진을 위한 유관부서 간 협조 지원체계 구축 등

안전하고 신뢰받는 행복한 고리본부



극한재해 대응체계 고도화 : 3-Step Approach

- 1 후쿠시마 후속조치
- 2 사고관리 계획서
- 3 스트레스 테스트

- | 1 후쿠시마 후속조치 | 2 사고관리 계획서 | 3 스트레스 테스트 |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> * 안전대책 대응조치 확보 * 전사자·내외부 정보관리 * 매우 짧은 응답기간 (10.3.21~4.30) * 일본에서 긴급조치요청서 NeighboringEffect 영향 | <ul style="list-style-type: none"> * 법적요건으로 최상위 요건 * 전략·대응심비·절차 * 대응거점·전문지원인력 * 비상훈련 등 * 3단계 대응 방안 심비(전략) * 개선된 안전성의 계량화를 위해 PSA 평가 의무화 | <ul style="list-style-type: none"> * 행정명령으로 수행 * 대응체계 안전성 확인 * WENRA기반 자체 지형 개발 (유형적 특성 도입) * 월성1, 고리1 수행 완료 * 전체 가동원전으로 확대 추진 |

KKNP KOREA NUCLEAR POWER CO., LTD.

AMP-ST 월간 PM 회의 지속 운영 ('17.5월~)



한울 3호기 ST 초안 작성 검토회의 ('17.9월, 10월)



이동설비 전담조직 신설 전사 화상회의 ('17.7월, 10월)



해외 전문가 자문 및 외부(규제) 소통

IAEA Post Fukushima Technical Meeting (17.3.27-29)



* 스웨덴 Ringhals Coordinator : Mr. Christian Lindback (Plant Strategist)

* 루마니아 Cernavoda Coordinator : Mr. Sorin Holostencu (FKD Action Coordinator)

* 슬로베니아 Krsko Coordinator : Mr. Janez Krajnc (Engineering Superintendent)

- IAEA 회의는 Mr. Janko Cerjak(SUP Superintendent) 참석

KHNP

KOREA HYDRO
NUCLEAR POWER CO., LTD

전문가 초청 통한 현안 해결

- (기간/장소) 2017.6.7.(수) ~ 6.9.(금)/ 한수원 중앙연구원 대강당
- (참석자) 140명 (교육생 139명, 해외 전문가 1명)
- (강사) Mr. Paul J, Amico(미국, Jensen Hughes社 PSA 전문가)
 - ※ Jensen Hughes社 : 전세계 지진 PSA 관련 최대 규모의 엔지니어링 회사
- (주요내용)
 - 지진 PSA 진행 절차, 지진 영유도 평가 절차
 - 지진 재해도 분석 개요, 현장검증 및 Screening
 - HCLPF와 지진 취약도 개념
 - LERF 모델링, 지진유발 내부화재 및 침수, Quantification

원전 PSA 해외전문가 초청교육

일자 : 2017.6.7(수)~6.9(금) 주관 : KHNPCRI



CEO 외부 소통 간담회 개최

- (일시/장소) 2017.6.15.(목) 14:30/ 한수원 UAE 사업센터 대회의실
- (참석자)
 - (학계) : 제무성(한양대), 정우식(세종대), 임학규(KINGS), 김종현(조선대)
 - (외빈) : 김명진비서관(박재호의원실), 박응섭소장(한빛민감)
 - (한수원) CEO, 기술본부장, 중앙연구원장, 안전처장
- (간담회 내용)
 - 한수원의 전반적인 안전성 평가 추진계획 설명
 - PSA, 다수기 PSA, RIMS, 스트레스테스트, 사고관리계획서
 - 사외 참석자 의견 청취 및 개선사항 수렴
 - 대외소통 및 평가결과 신뢰성 제고 방안 등

PWROG 전문가 기술교류회 (17.7.12-13)

- (기간/장소) 2017.7.12.(수) ~ 7.13.(목) / 경주 힐튼호텔
- (참석) 해외 전문가 및 한수원 업무 담당자
 - (한수원) 발전본부장, 각 유관부서 처(실)장, 팀장 및 차장 등
 - (해외 전문가) 미국 FLEX 전문가 대표, PWROG 전문가 등
- (주요 안건)
 - 한수원 AMP 개발 및 ST 수행 사업자 계획 및 현황 등 발표
 - FLEX 수행 체계, SMAG 경험, Lesson Learned 등 공유
 - 관련 교육훈련 자문 가능성 협의

PWROG 전문가 기술교류회 (17.7.12-13)



규제기관 소통 회의 ('17.5월, 7월, 9월)



5

해외 벤치마킹

격렬한 네트워킹과 스케일업을 위한 벤치마킹



미국, 유럽 원전 대응전략 벤치마킹

출장기간	2017. 6. 25 ~ 7. 2 (6박 8일간)
출장원전	Byron (WEC형), Palo Verde (CE형), NSRC
출장자	한수원 분야별 담당자 10명 + 한기 2명

출장기간	2017. 8. 22 ~ 9. 3 (11박 13일간)
출장원전 및 주요특성	<p>스웨덴 Ringhals 원전 (고리3,4호기 WEC형 3Loop)</p> <p>☞ Bunkered Sys(ICC), RCP Seal 등</p> <p>루마니아 Cernavoda 원전 (월성1-4호기 CANDU형)</p> <p>☞ CANDU 노형의 ST 후속조치 및 설비 현황</p> <p>슬로베니아 Krsko 원전 (고리2호기 WEC형 2Loop)</p> <p>☞ 수명연장이 담보된 최고 수준(약 2500억원)의 안전보강 시행</p> <p>☞ B.5.B 요건(9.11후속) + Bunkered Sys + 미국 FLEX + α</p>
출장자	한수원 대표 4명 + 한기 5명

미국 벤치마킹 완료 (17.6.26-30)



유럽 벤치마킹 완료 (17.8.22-9.3)



경영진 대상 미국 벤치마킹 결과 발표회 ('17.7.25)

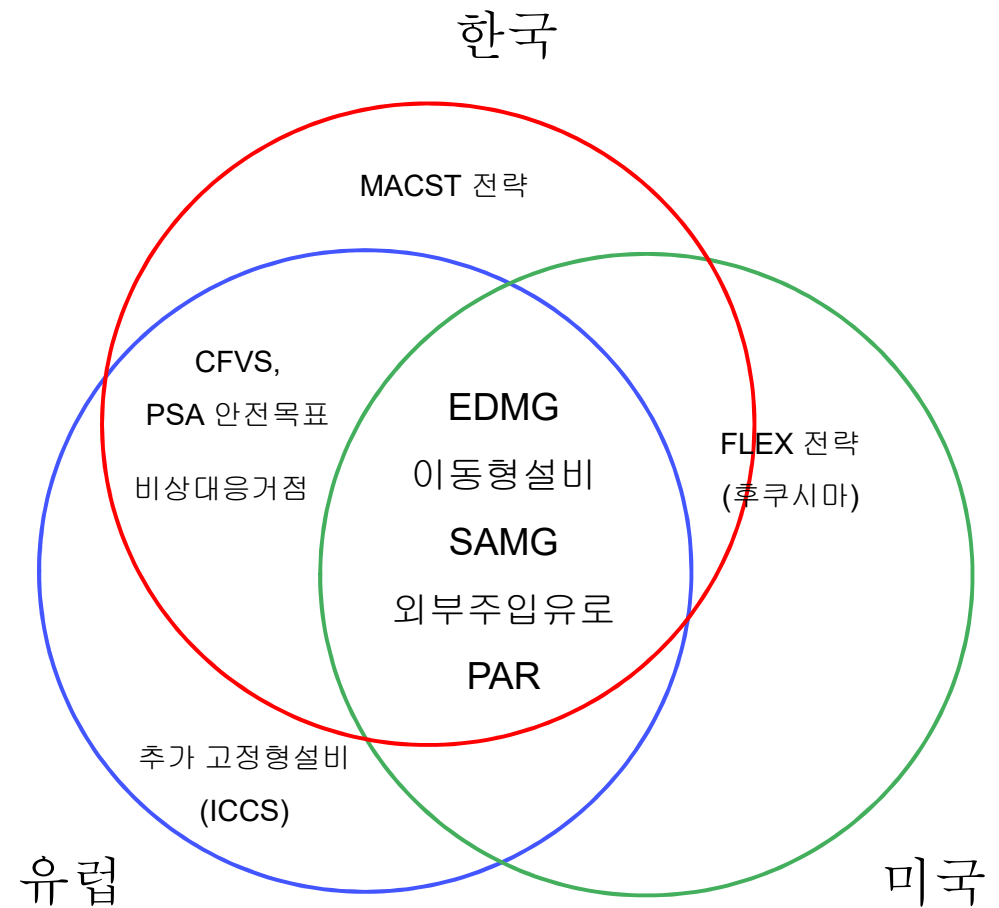


경영진 대상 유럽 벤치마킹 결과 발표회 ('17.9.29)



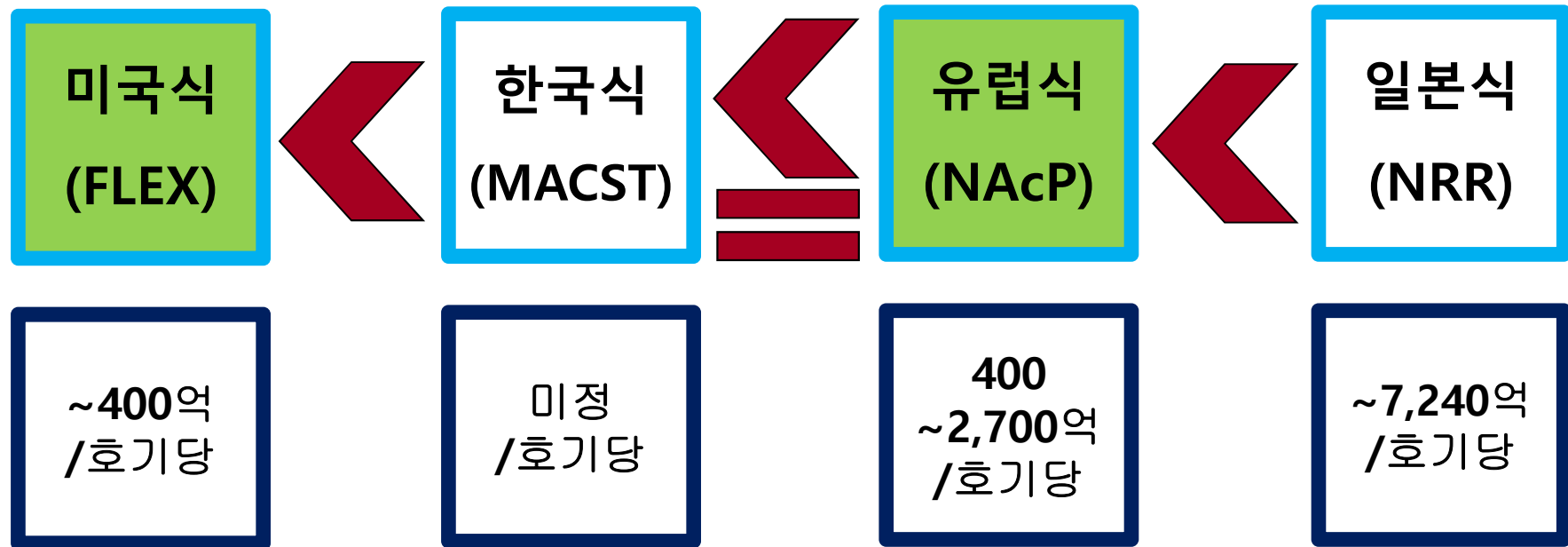
규제요건 비교분석 및 **AMP-ST** 개념설계 완성

후쿠시마 후속조치의 의미와 주요 국가별 차이점



후쿠시마 후속조치 국가별 규제요건 비교

○ 다수기 극한재해 대응체계 규제의 국가별 강도 비교



* 비용 출처 : Platts Reporting, 언론사

- 한국은 미국식(FLEX)과 유럽식(ST)의 혼합·절충 형태
- 호기별 극한재해 전략체계(설비, 절차, 인력, 교육 등) 뿐 아니라, 유럽식 ST 규제기준과 강화된 PSA 종말분석 목표까지 만족해야 함

극한재해 대응설비 현황

□ 현재 구매 추진분 포함 이동형설비 현황 [기준 : '17.10]

구 분	고리본부	한빛본부	월성본부	한울본부	새울본부	합 계
3.2MWe 발전차	1대	1대	1대	2대	1대	6대
1MWe 발전차	6대	7대	7대	9대	3대	32대
이동형 펌프	12대	13대	15대	19대	6대	65대
중장비	1대	1대	1대	1대	1대	5대
통합 보관고	1개소	1개소	1개소	2개소 (한울1, 신한울1)	1개소	6개소

주1) 한울본부는 신한울발전소용 통합보관고 별도 확보 추진

추가 확보 필요 분야

극한재해시 비상대응전략				
구분		1단계(Phase I)	2단계(Phase II)	3단계(Phase III)
대응시간		~ 8시간	~ 72시간	72시간 이후
대응		<ul style="list-style-type: none"> 축전지 : 펌프제어, 감시 TD-AFWP : 노심냉각 (고정형설비 활용) 	<ul style="list-style-type: none"> 이동형DG : 충전, 제어 이동형펌프 : 외부주입 (소내 이동형설비 활용) 	<ul style="list-style-type: none"> 이동형DG : ESF 운용 외부설비 : 활용 복구 (소외 이동형설비 활용)
추가 설비 필요 기능	ELAP (장기 교류 전원 상실)	<ol style="list-style-type: none"> 소형발전기 <ul style="list-style-type: none"> 밸브/팬 동작 조명등 중형발전기 <ul style="list-style-type: none"> 필수정보 확보 축전지 충전 등 통신설비 <ul style="list-style-type: none"> 현장과 통신 확보 조명시설 <ul style="list-style-type: none"> 조명 확보 이동형 공기압축기 <ul style="list-style-type: none"> 안전설비 IA공급 	<ol style="list-style-type: none"> 고압 이동형펌프 <ul style="list-style-type: none"> RCP 누설 보충 임시팬 <ul style="list-style-type: none"> 안전설비 룸 냉각/환기 연료 이송/저장 설비 <ul style="list-style-type: none"> 운전기기 연료공급 	<ol style="list-style-type: none"> 대용량 이동형D/G <ul style="list-style-type: none"> ESF설비 운용 최종 열제거원 확보 이동형 정수설비 <ul style="list-style-type: none"> 해수로부터 냉각수 생성
	LUHS (최종 열제거 상실)			<ol style="list-style-type: none"> 고유량 이동형펌프 <ul style="list-style-type: none"> 최종열제거원 확보 대체 격납살수 이동형 열교환기 <ul style="list-style-type: none"> CCW/Cs Hx 대체 최종열제거원 확보
	인위적 재해	<ol style="list-style-type: none"> 고압 이동형 살수차 <ul style="list-style-type: none"> 항공기 충돌 등 인위적 광역재해 발생시 고소지역 및 SEP 대체살수 		

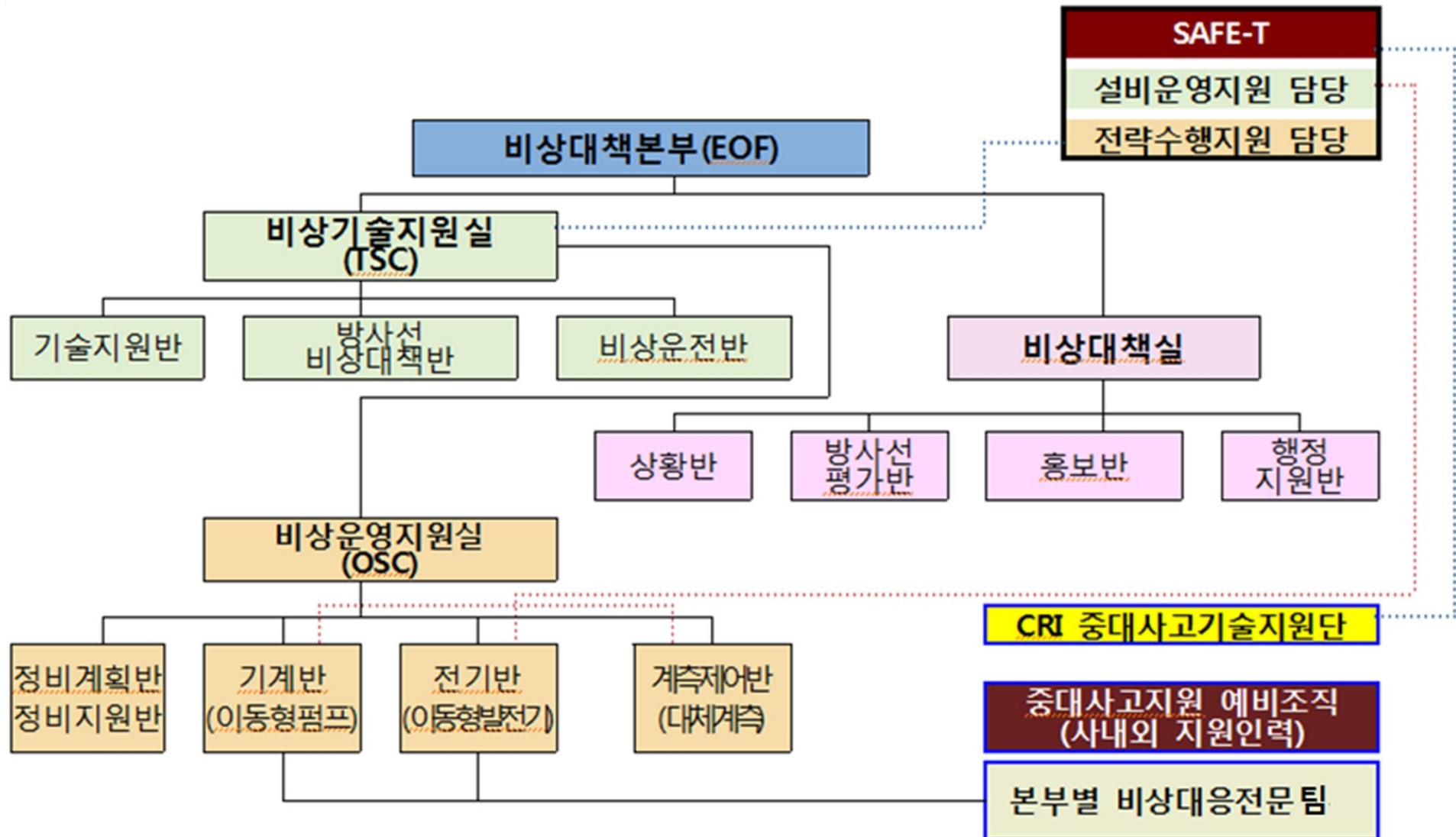
추가 확보 설비 품목(안)

단 계	설 비	수 량	보관장소
Phase I	① 소형 이동형 발전기	호기별 4대	발전소
	② 중형 이동형 발전기	호기별 1대	현장대기
	③ 다목적 통신중계차량	호기별 1대 (N+1)	통합보관고
	④ 비상조명 기기	호기별 1Set (N+1)	발전소 또는 통합보관고
	⑤ 이동형 공기압축기	WEC 노형 부지는 호기별 1대 (N+1)	발전소 또는 통합보관고
		기타노형은 부지별 1대 (N+1)	

추가 확보 설비 품목(안)

Phase II	⑥ 고압 이동형 펌프	호기별 1대 (N+1)	발전소 또는 통합보관고
	⑦ 임시 팬 및 덕트	추후 협의	발전소
	⑧ 연료 이송/저장 설비	부지별 2대	통합보관고
Phase III	⑨ 대용량 이동형 발전차	부지별 1대	통합보관고
	⑩ 이동형 정수설비	전사 1대	중앙연구원
	⑪ 고유량 이동형 펌프	호기별 1대 (N+1)	통합보관고
	⑫ 이동형 열교환기	부지별 2대	발전차보관고
광역재해 (화재, 냉각상실)	⑬ 고압 이동형 살수차	부지별 2대	소방대

비상대응조직 개편(안)



다수기 극한재해 新안전개선 종합대책(안)

3단계 자기부정 안전철학을 가진 스트레스테스트

① 설계기준 초과 극한
재해시 SSC 건전성
(재해 대응역량 강화)



Real Status상태 원전의 설계기준
초과 재해 발생시 취약도 평가



■ 외부재해 개선책

- SSC 내진성능 향상
- 침수(방수댐 및 방수문)대책
- 화재, 태풍 등 재해별 대책



② 필수 안전기능 상실
대응능력
(중대사고 예방전략 구축)



다수기 전력상실, 최종열제거원
상실시 원전 대응능력 및
한계사항 평가



■ 사고예방 대책

- 각종 이동형 설비/조직/저장
- 필요한 안전계통 개선
- 대체 최종열제거 설비 등



③ 무조건 중대사고 발생시
관리능력
(중대사고 완화/수습 역량)

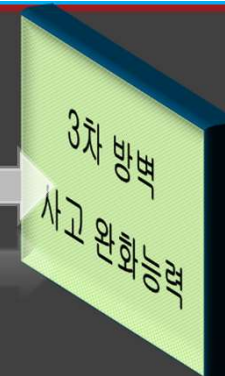
노심냉각, 격납기능, SFP 냉각
전략 및 설비, 절차, 비상대응 조직/
능력 등 평가

■ 사고완화/환경보호 대책

- 각종 DEC (CFVS, PAR 등)
- 비상지휘건물/ERO/설비 등
- 기기생존성, 다수기 대응능력 등

다수기 극한재해 대비 新 사고관리 전략(MACST)

MACST(Multi-barrier Accident Coping STrategy)



추진방향

기존 다중방어설비와 후쿠시마 후속조치에 더해 3단계 방호체계 추가 구축

선제적이고 과감한 투자를 통해 원전 안전성 획기적 향상 노력

추진목표

향후 5년간(~'22년) 1.23조원 투자

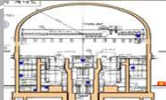
* 기 집행금액 포함 1.47조원

노심손상빈도(CDF) 기준 60% 저감

극한재해 대응능력 강화



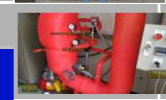
해안방벽 증축



내진성능향상



방화방수문



내진화재방호



기타재해

다수기 사고 예방전략



대형발전차

비상대응거점

MACST / 중앙저장설비

대체 최종열제거원

냉각수원 다중화

중대사고 완화 / 대중보호



수소제거기(PAR)



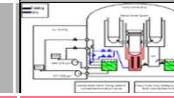
비상구역 확대편성



원자로건물여과배기 (CFVS)



중대사고 대응기기 신뢰도 평가



대체 CV 살수

구분		1차 방벽	2차 방벽	3차 방벽	금액	총액
후쿠시마 후속조치	실적	(668억)	(1057억)	(773억)	(2498억)	1.47조
	계획	400억	2220억	2420억	5040억	
MACST		추가 투입	1200억	4730억	1330억	7260억

***AMP-ST need effective
decision-making, &
Strong Cooperation !!!***

