



# 사고관리계획서 대표원전 안전목표 평가 현황

**KHNP CRI**

**2018. 10. 24**

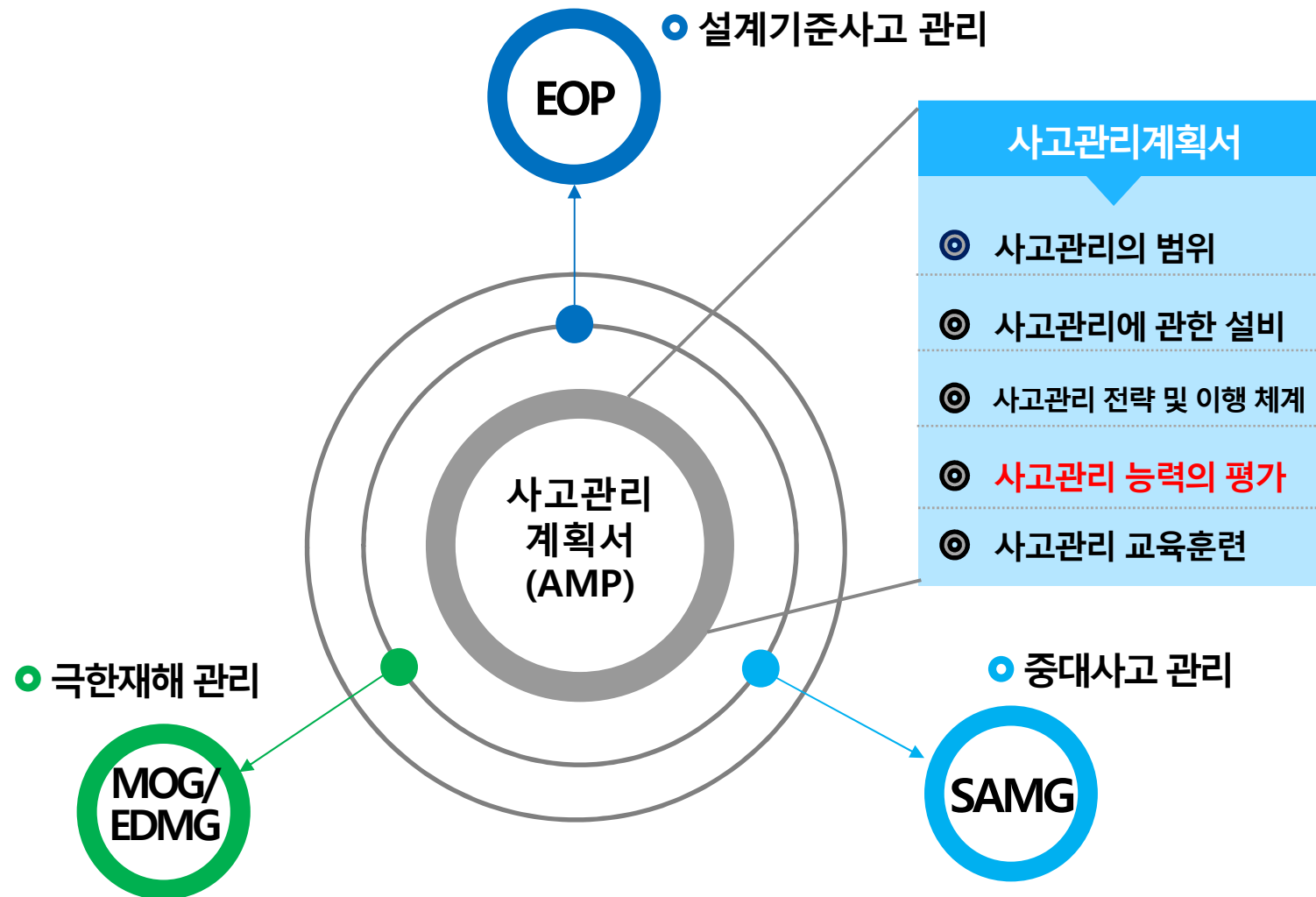
**오 해 철**

# 1 사고관리계획서 안전 목표 평가 개요

1.1 사고관리계획서(AMP)체계

1.2 사고관리계획서 안전목표 평가 개요

## 1.1 사고관리계획서(AMP) 체계



## 1.2 사고관리계획서 안전목표 평가 개요

- ◆ 전 원전 PSA 결과를 신규 안전목표에 부합하도록 개정 제출(사고관리계획서)

※ 안전목표

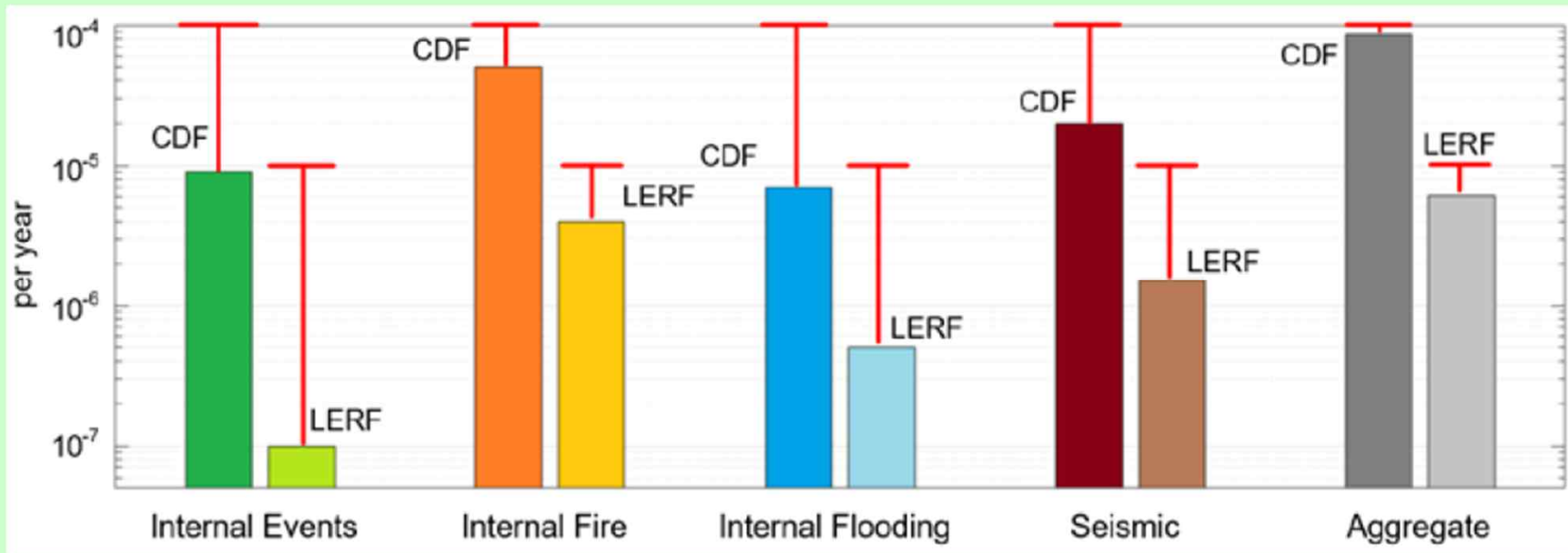
1) (가동원전)  $CDF < 1.0E-04/\text{년}$ ,  $LERF < 1.0E-05/\text{년}$ , (건설원전은 1/10)

**2)  $Cs-137$   $100TBq < 1.0E-06/\text{년}$  (신규 안전목표)**

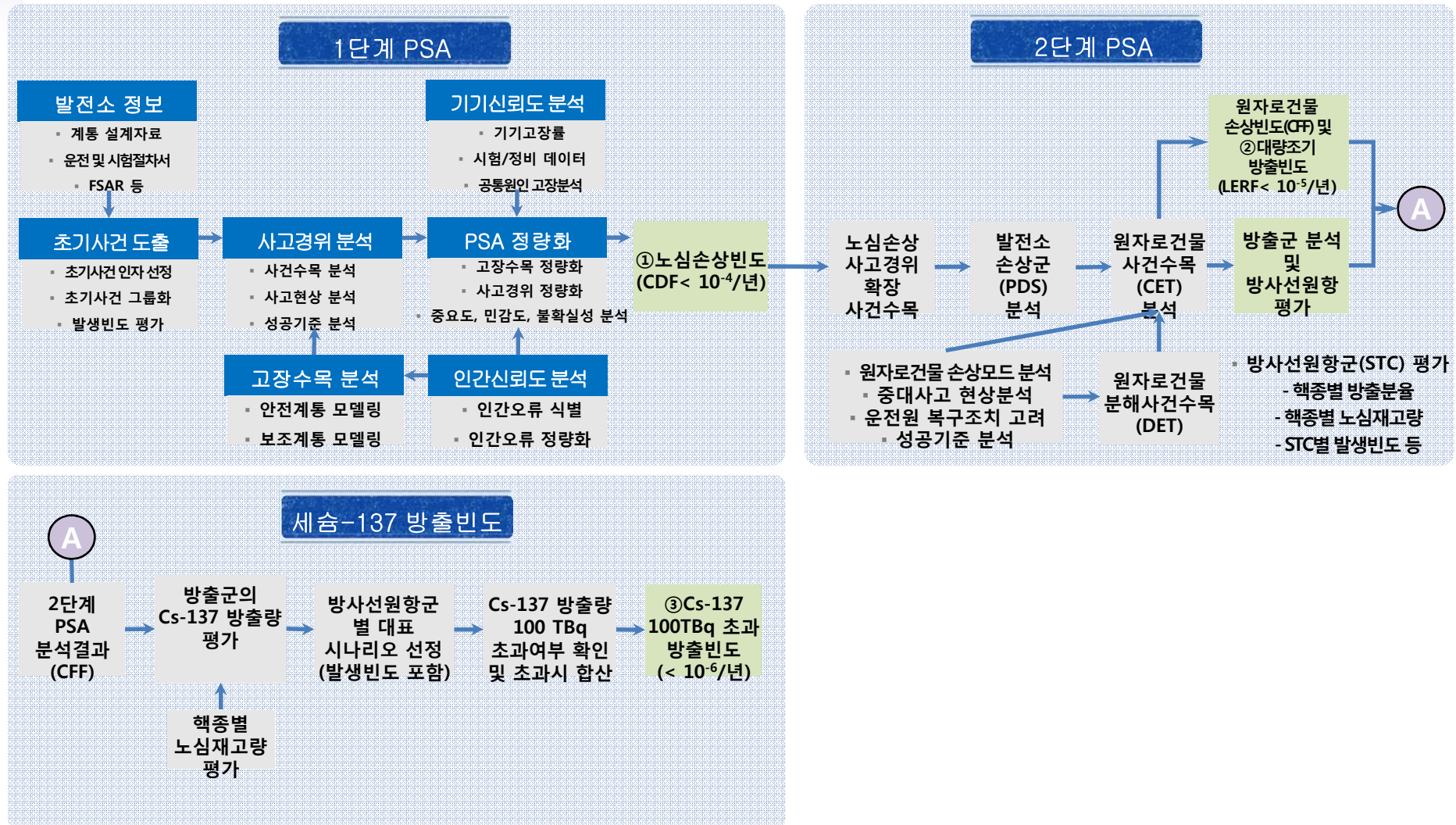
- ◆ 안전목표 및 PSA 범위(안전성평가 범위의 증가)

운전모드 \ 분석범위	PSA Level 1 (CDF)	PSA Level 2 (LERF)	PSA Level 3
전출력 내부사건	개정	개정	건설원전
전출력 외부사건	개정	개정	
정지저출력 내부사건	개정	<b>신규개발</b> <b>(건설원전)</b>	-
정지저출력 외부사건	<b>신규개발(가동원전)</b>		

## 1.2 사고관리계획서 안전목표 평가 개요

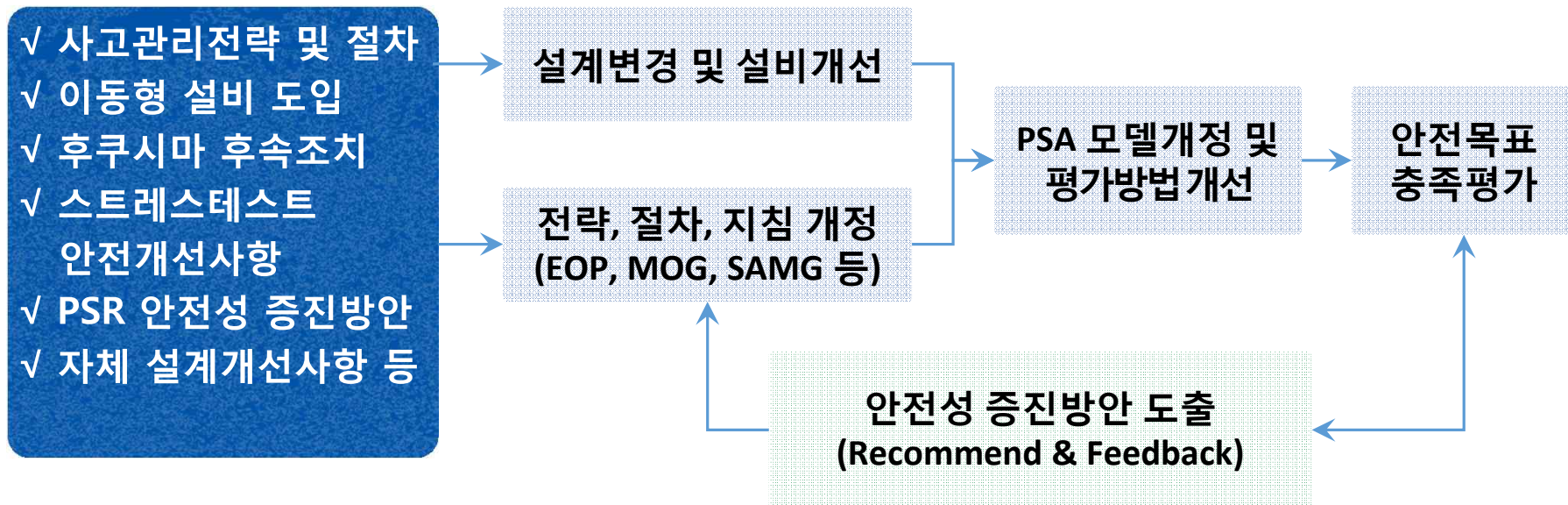


# 1.2 사고관리계획서 안전목표 평가 개요





## 1.2 사고관리계획서 안전목표 평가 개요

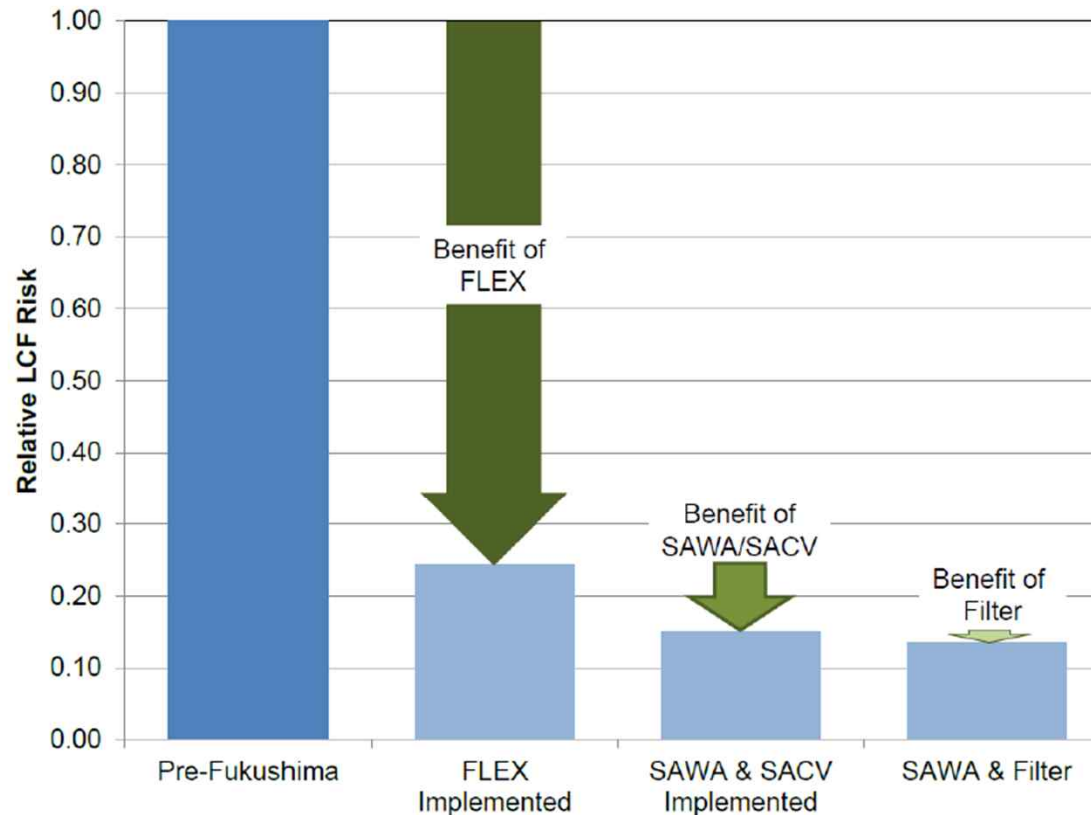


## 2 미국의 Risk Margin 연구 Insight

### 2.1 최근의 Risk Margin Insight

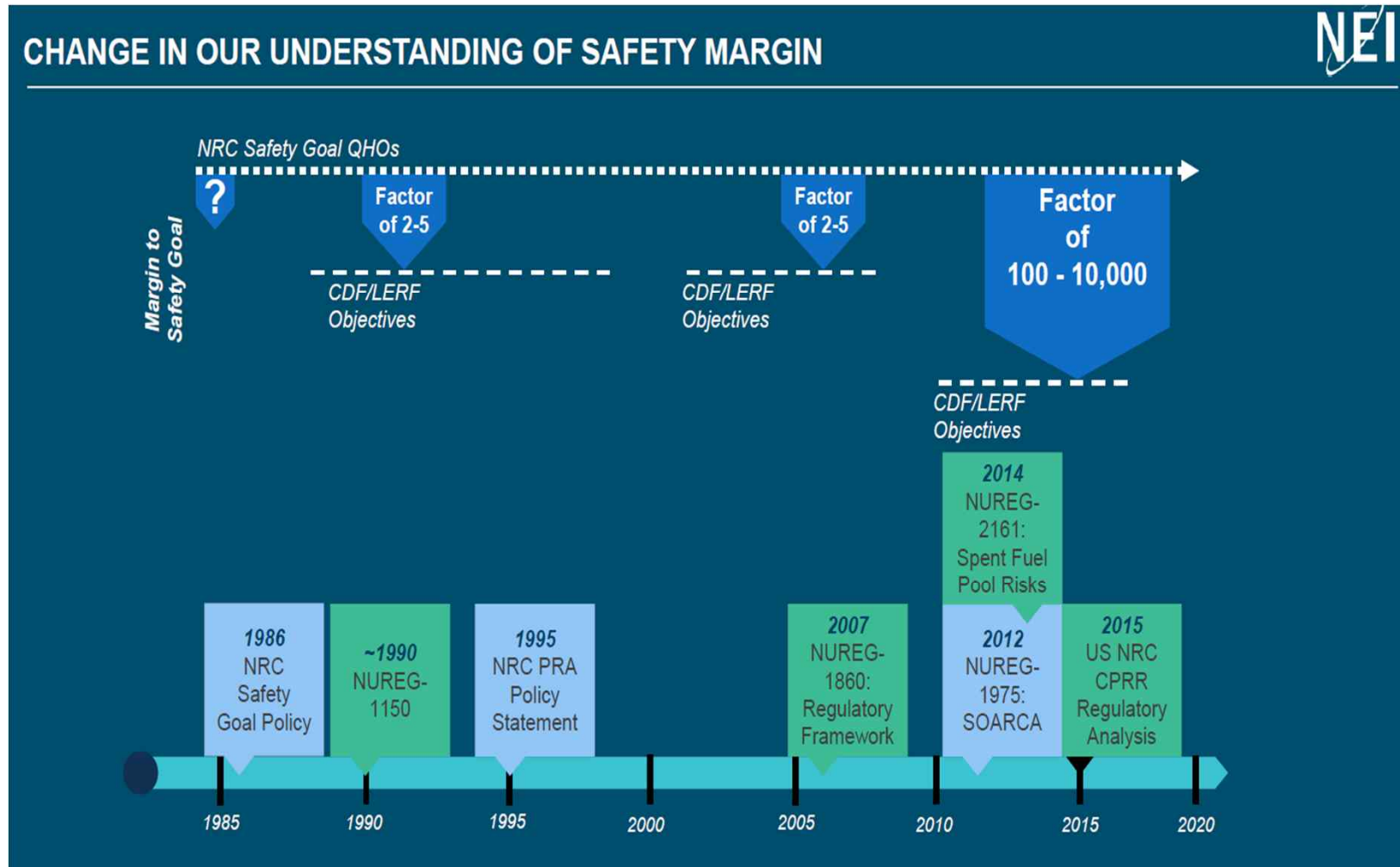


## 2.1 최근의 Risk Margin Insight



Relative Benefits of Potential Post-Fukushima Enhancements - Figure from EPRI "Technical Basis for Severe Accident Mitigating Strategies" (2015)

## 2.1 최근의 Risk Margin Insight



# 3 AMP PSA 개발 현황

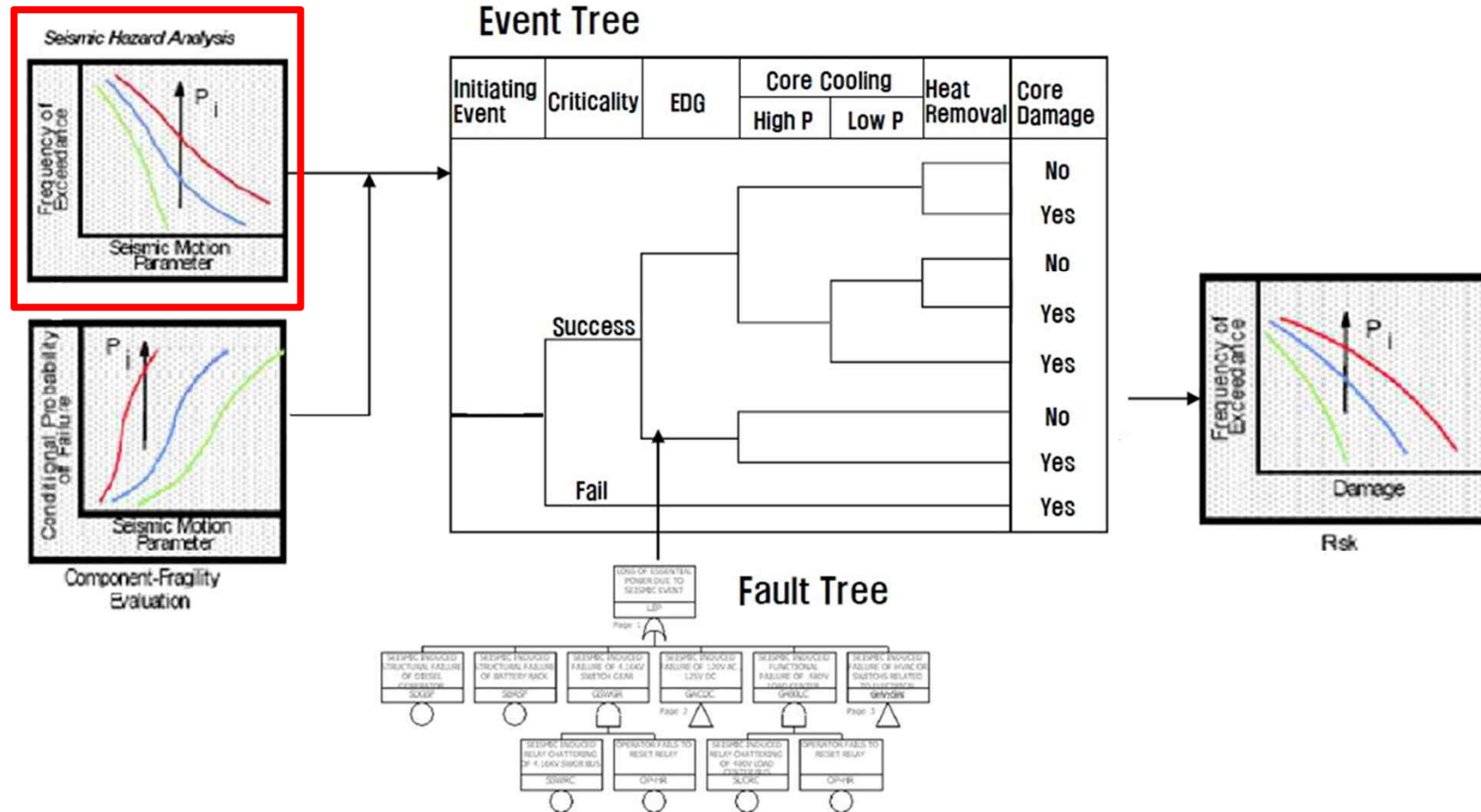
- 3.1 사고관리계획서 PSA 개발 일정
- 3.2 사고관리계획서 PSA 표준화
- 3.3 사고관리계획서 PSA MACST 반영방안
- 3.4 사고관리계획서 PSA (EOG-MOG 연계)
- 3.5 사고관리계획서 세습 리스크 평가

## 3.1 사고관리계획서 PSA 개발 일정

- ❖ 사고관리계획서 제출일정에 맞춰서 수행

## 3.2 사고관리계획서 PSA 표준화 노력

### ❖ 지진 재해도 가속도구간별 분석



## 3.2 사고관리계획서 PSA 표준화 노력

### ❖ 지진 재해도 가속도구간별 분석

Immediate Memorized Action	Action Location	Damage State	Is Time Margin Sufficient?	Is Cue After Plant Damage Assessment?	Multiplier or Screening HEP	ID
Feasible Operator Action	N/A	Bin 1-2		N/A	IEPRA HEP	1
		Bin 3-4	Time Margin $\geq 2$ min	N/A	X 5 or 0.5, whichever is lower*	2
	Control Room	Bin 1	Time Margin $\geq 10$ min	Yes	IEPRA HEP	3
			Time Margin $< 10$ min	No	X 2 HEP = 1.0	4 5
		Bin 2	Time Margin $\geq 30$ min	Yes	IEPRA HEP	6
			Time Margin $< 30$ min	No	X 5 HEP = 1.0	7 8
		Bin 3	Time Margin $\geq 30$ min	Yes	X 5	9
			Time Margin $< 30$ min	No	X 30* HEP = 1.0	10 11
		Bin 4	Time Margin $\geq 30$ min	Yes	X 30*	12
			Time Margin $< 30$ min	No	HEP = 1.0 HEP = 1.0	13 14
		Bin 1	Time Margin $\geq 30$ min	Yes	IEPRA HEP	15
			Time Margin $< 30$ min	No	X 2 HEP = 1.0	16 17
		Bin 2	Time Margin $\geq 60$ min	Yes	IEPRA HEP	18
			Time Margin $< 60$ min	No	X 10 HEP = 1.0	19 20
	Ex Control Room	Bin 3	Time Margin $\geq 60$ min	Yes	X 10*	21
			Time Margin $< 60$ min	No	X 50* HEP = 1.0	22 23
		Bin 4			HEP = 1.0	24

\* Note: For high damage states (e.g., Bin 4) the uncertainties dominate, so for screening the HEP should be capped at 0.01, even if application of the multiplier provides a lower value.

- Assumption : Internal Events HEP Quantified in Detail
- If the definition of the HFE (e.g., timing) is substantially changed by the external event context, then using a multiplier is inappropriate

## 3.2 사고관리계획서 PSA 표준화 노력

### ❖ 지진 재해도 가속도구간별 분석

September 27, 2018

#### Advanced Seismic HRA Procedure [Rev.3]

#### I. INTRODUCTION

##### 1. Basic Method to Use

The advanced seismic HRA method of EPRI 3002008093, entitled "An Approach to HRA for External Events with a Focus on Seismic," is used as the basic method herein.

##### 2. Definition of Seismic Damage State

A total of four damage states are defined as shown in the following table (Table 4-2 of EPRI 3002008093) based on the extent of damage to safety-related and non-safety related SSCs.

Table 4-2  
Damage state definitions for screening

Damage State Bin #	External Event Damage State Description
1	No damage to the plant safety-related SSCs or non-safety SSCs required for operation. Limited damage to non-safety, non-seismic designed SSCs like residences and office buildings.
2	No expected damage to the plant safety-related SSCs or to rugged industrial type non-safety SSCs required for operation. Damage may be expected to non-safety SSCs not important to plant operations and to the switchyard (e.g., LOOP expected). Some falling of suspended ceiling panels.
3	Widespread damage to non-safety related SSCs and/or some damage expected to safety related SSCs. Significant number of vibration trips and alarms requiring resetting.
4	Substantial damage to safety related and non-safety SSCs. This is particularly applicable to external events susceptible to a cliff-edge effect.

The table shown below is given as an example of damage state definition in EPRI 3002008093 (Table 4-4). This example can be actually applied in conducting an advanced seismic HRA for Korean NPPs, and note the following:

- 1) SSE is used as the boundary between Bin 1 and Bin 2.
- 2) The 25<sup>th</sup> percentile probability of failure of turbine building, offsite power or instrument air system is used as the boundary between Bin 2 and Bin 3.

1

September 27, 2018

- 3) The 25<sup>th</sup> percentile probability of failure of the most fragile Seismic Category I structure is used as the boundary between Bin 3 and Bin 4.

Table 4-4  
Example mapping of plant-specific ground motion bins to generic damage state definitions

EPRI Bin #	Damage State Description	Plant Hazard Level	Plant Specific Criteria Used
1	No expected damage to safety and non-safety related SSCs	Up to Plant SSE	Plant SSE
2	No expected damage to safety-related SSCs or to rugged industrial type non-safety SSCs. Damage may be expected to unimportant non-safety SSCs and to switchyard.	SSE - 0.25	0.25 g is 25 <sup>th</sup> percentile probability of failure of the turbine building. Loss of instrument air and LOOP likely, but otherwise few failures expected.
3	Widespread damage expected to non-safety related SSCs and/or some damage expected to safety related SSCs. Lots of alarms and vibration trips.	0.25 - 0.5	Start to experience significant damage to Seismic Cat II structures and failures of water, liquid N2 and fuel storage tanks (median PGA values range from 0.4-0.6).  0.5 g is the 25 <sup>th</sup> percentile probability of the most fragile Seismic Cat I structure.
4	Substantial damage to safety related and non-safety related SSCs.	> 0.5	

As indicated in EPRI 3002008093, some plants may have unique issues such that the hazard bins do not align well with the generic damage states, or the defined damage states are too coarse for screening and/or detailed analysis. In those cases, the plant may choose to develop their own plant-specific damage state bins.

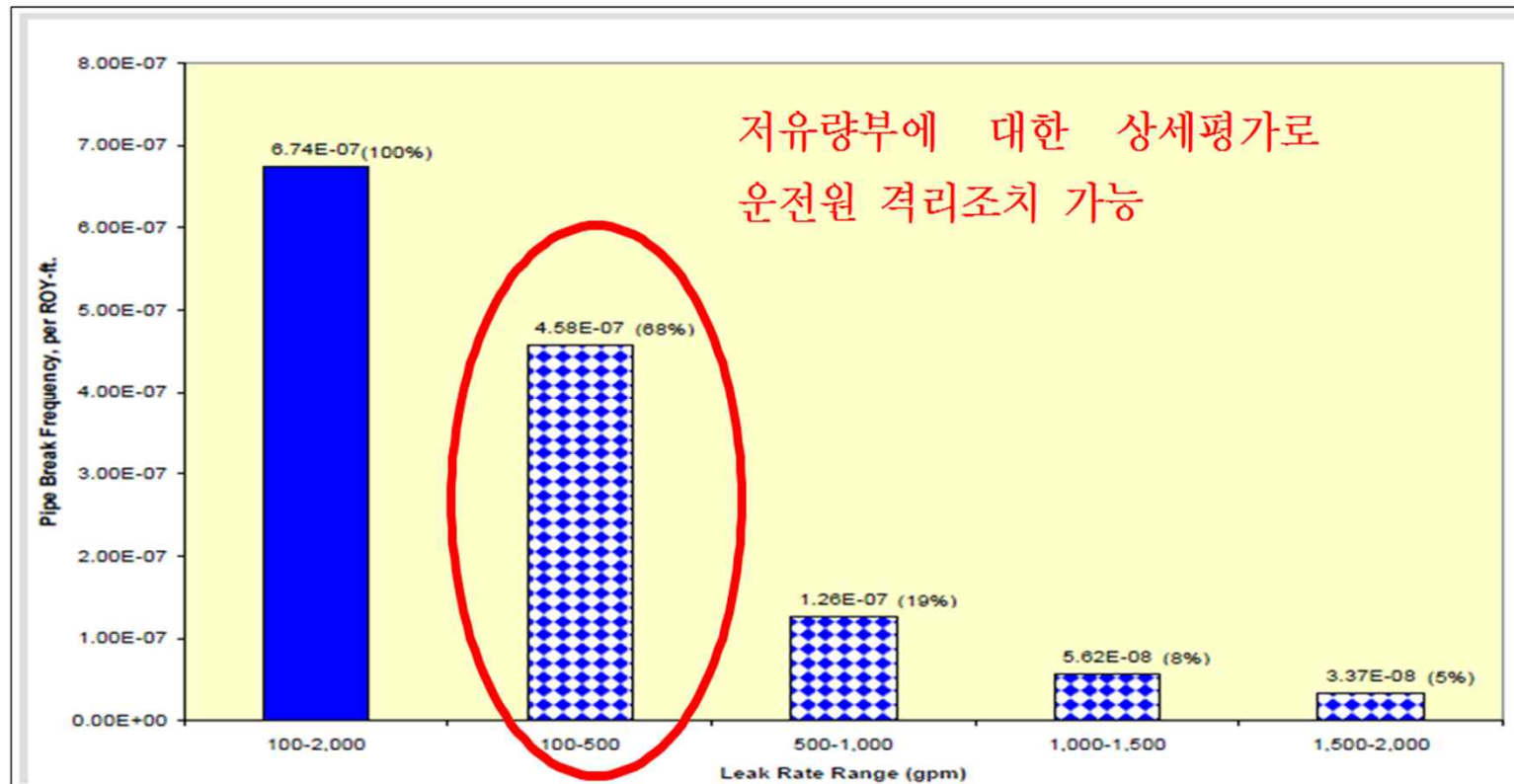
Another thing to note here is that it will be necessary to make mapping of plant-specific ground motion bins (if already defined in an existing seismic PSA) to the generic damage state definitions in terms of damage to safety related and non-safety related SSCs as described above. An example mapping is given in Table 4-3 of EPRI 3002008093 where eight plant-specific ground motion bins are mapped to the generic damage state definitions consisting of 4 bins.

2

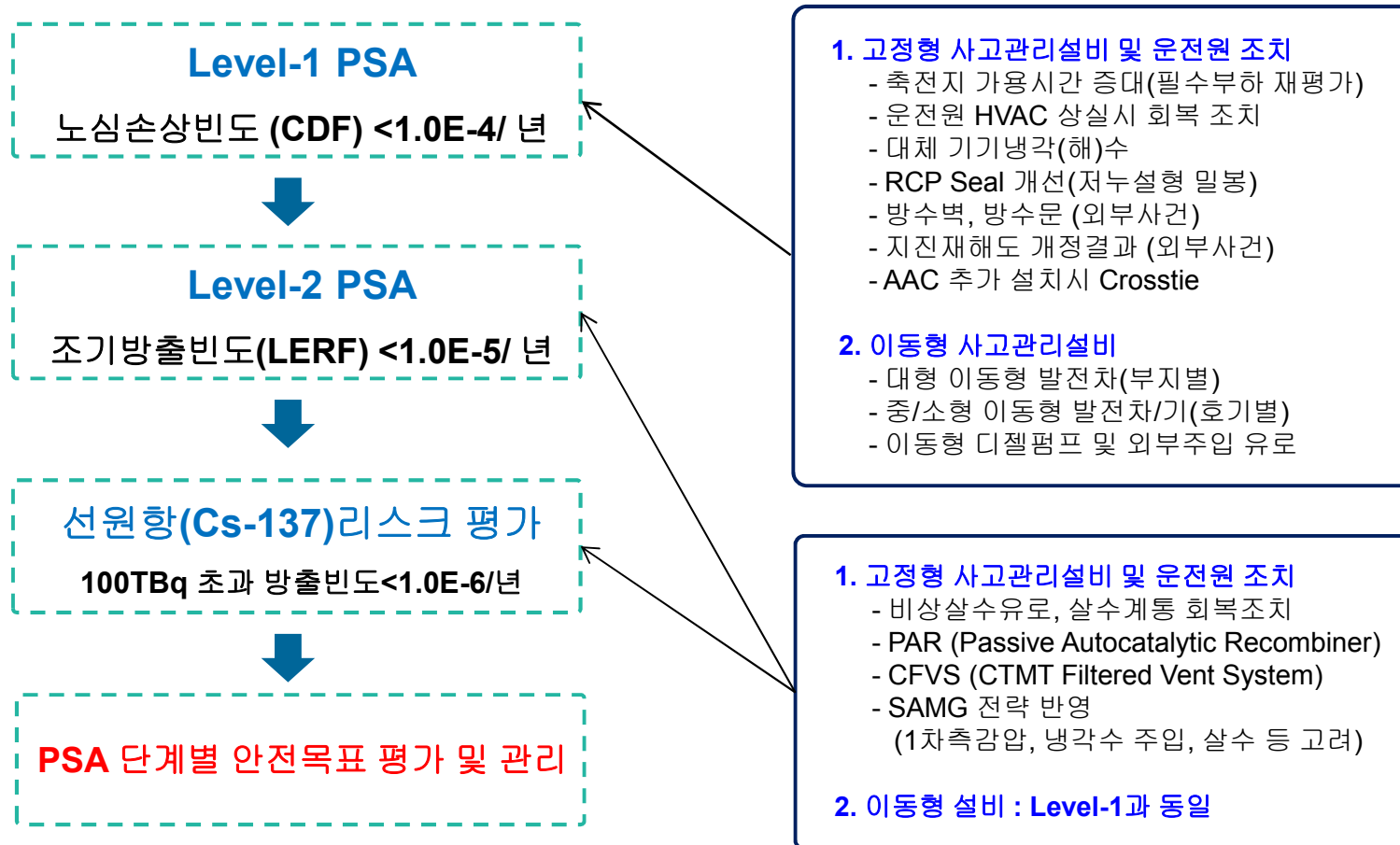


## 3.2 사고관리계획서 PSA 표준화 노력

### ❖ 배관 파단유량 구간 세분화 분석



## 3.3 사고관리계획서 PSA MACST 반영방안



## 3.3 사고관리계획서 PSA MACST 반영방안

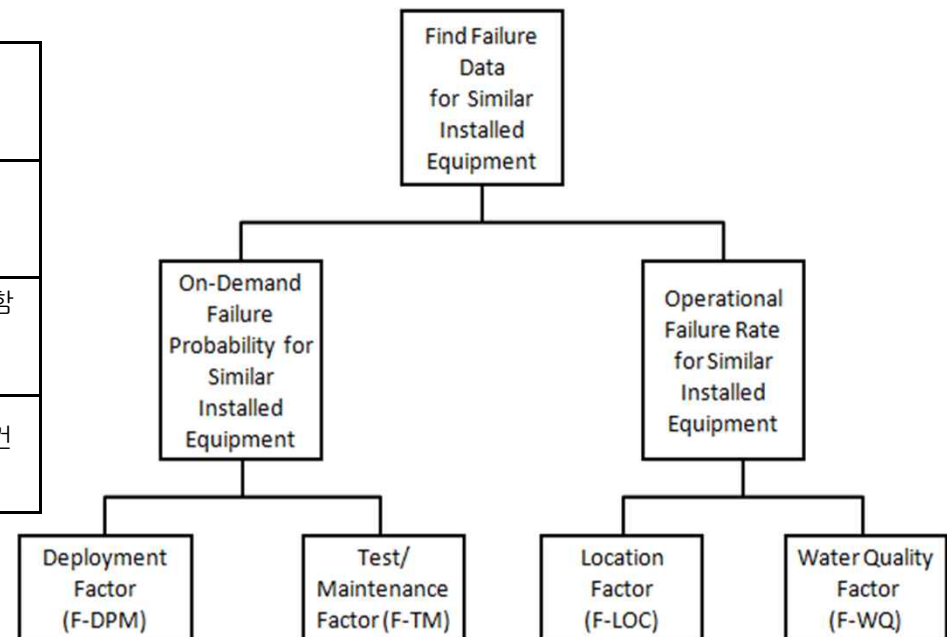
극한재해 대비 사고관리전략 관련설비				
구분		1단계(Phase I)	2단계(Phase II)	3단계(Phase III)
대응시간		~ 8시간	~ 72시간	72시간 이후
대응		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 축전지: 펌프제어, 감시</li> <li>• TD-AFWP: 노심냉각</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이동형DG: 충전, 제어</li> <li>• 이동형펌프: 외부주입</li> </ul>	<ul style="list-style-type: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

## 3.3 사고관리계획서 PSA MACST 반영방안

### ❖ MACST 설비에 대한 신뢰도데이터 적용방안

- 유사 고정형 설비의 일반데이터에 보정인자 적용(PWROG-14003-NP)
- 부지별 특성과 시험주기를 함께 고려 필요
  - ✓ 예) 통합보관고에서 각 발전소별 이동거리를 고려한 Deployment Factor 적용 등
  - ✓ 통합보관고 -> 1발전소( $F_{DPM}$  2.0) -> 2발전소( $F_{DPM}$  2.5) -> 3발전소( $F_{DPM}$  3.0)

Deployment Factor $F_{DPM}$	1.0	FLEX 기기 사전 배치; 추가적인 보조기기가 필요없음
	1.5	FLEX 기기 사전 배치; 추가적인 보조기기 필요
	2.0	FLEX 기기가 추가적인 보조 기기와 함께 이동 배치; 환경조건에 심각한 문제는 없음.
	4.0 to 10.0	외부장애폴 제거를 요구하는 환경조건에서 FLEX 기기 배치



## 3.3 사고관리계획서 PSA MACST 반영방안

### ❖ MACST HRA : 내부사건, 1MW 이동형발전차 (CBDTM + THERP)

➤ NEI 16-06(Crediting FLEX in RIDM)과 동일한 수준으로 평가

HEP Summary				
	Pcog	Pexe	Total HEP	Error Factor
Method	CBDTM	THERP	CBDTM+THERP	
Without Recovery	6.00E-03	8.33E-02		
with Recovery	3.00E-04	2.12E-03	2.42E-03	5

Task	Error Type	BHEP	EF	Source	mean	Stress level	Multi	Dep.	CHEP
1. 담당 인력에게 MMDG 배치 작업지시	Cognition	6.00E-03	-	CBDTM P <sub>ce</sub>	6.00E-03	-	6.00E-03	N/A	6.00E-03
2. MMDG 이동 및 배치	EOM	1.00E-03	3.0	20-7b (1)	4.17E-04	H	8.33E-03	N/A	8.33E-03
	EOC	1.00E-03	3.0	20-13 (1)	1.25E-03				
3. 차단기 조작 및 케이블 결선	EOM	3.00E-03	3.0	20-7b (2)	1.25E-03	H	2.50E-02	ZD	2.50E-02
	EOC	3.00E-03	3.0	20-12 (13)	3.75E-03				
4. MMDG 기동 및 부하연결	EOM	3.00E-03	3.0	20-7b (2)	1.25E-03	H	3.75E-02	ZD	3.75E-02
	EOC	5.00E-03	3.0	20-12 (11)	6.25E-03				
5. MCR 운전원 MMDG 상태 확인	EOM	3.00E-03	3.0	20-7b (2)	1.25E-03	H	1.25E-02	ZD	1.25E-02
	EOC	1.00E-03	3.0	20-11 (1)	1.25E-03				
Total (w/o Recovery)									8.93E-02
Task	Recovery	EF	Source	mean	Stress level	Multi	Dep.	CHEP	Final
1. 담당 인력에게 MMDG 배치 작업지시에 대한 회복조치	5.00E-02		EPRI TR-100259	5.00E-02	-	5.00E-02	ZD	5.00E-02	3.00E-04
2. MMDG 이동 및 배치에 대한 회복조치	MMDG를 설치하고 초기 조사가 실패하였을 경우 다른 발전기를 설치할 수 있도록 충분한 시간이 있을 것으로 판단. MACST 기기는 현재에 있는 오류 기기의 여분의 세트를 위한 충분한 장비를 고려하기 때문에 다른 장비로 대체가 가능 (NEI16-06 FSG-4, Alt 5 Note 3)			1.25E-02	-	1.25E-02	ZD	1.25E-02	1.04E-04
3. 차단기 조작 및 케이블 결선에 대한 회복조치				1.25E-02	-	1.25E-02	LD	6.19E-02	1.55E-03
4. MMDG 기동 및 부하연결에 대한 회복조치				1.25E-02	-	1.25E-02	ZD	1.25E-02	4.69E-04
Total (w/ Recovery)									2.42E-03

## 3.4 사고관리계획서 PSA (EOG-MOG 연계)

### ❖ CDF 관점 중요 사고경위

No.	CDF	기여도	IE	EVENT 1	EVENT 2	MACST 적용성	사유	필요MACST설비	절차서/지침서
1	3.21E-07	12.8%	%ITLOCCW	VEOPHRMCLNG		추가 분석	-	절차서 개정	비정상-3633
2	1.85E-07	7.4%	%ILOOP	EGDGK3T-1A1B1E	NR-AC15HR	SBO MACST 전략	-	-	EOG-09(SBO)
3	1.45E-07	5.8%	%ILOOP	EGDGW3T-1A1B1E	NR-AC7HR	SBO MACST 전략	-	-	EOG-09(SBO)
4	1.21E-07	4.9%	%IML-1A	HSOPHHLCLR		MACST 전략 X	대응 설비 부재	-	-
5	6.09E-08	2.4%	%ITLOCCW	RCPSEAL_2S		추가 분석	-	고압 이동형펌프	비정상-3633
6	5.00E-08	2.0%	%ISGTR-SG1	CWCUK4Q-1A2A1B2B		MACST 전략 X	대응 설비 부재	-	-
7	3.44E-08	1.4%	%IRVR			MACST 전략 X	-	-	-
8	3.22E-08	1.3%	%IGTRN	MTC	RPRDFCEA12OF28	MACST 전략 X	-	-	-
9	2.87E-08	1.1%	%ISGTR-SG1	MXOPHRWT	RCOPHPCON	추가 분석	-	이동형펌프	회복-04, MOG-01
10	2.66E-08	1.1%	%ISL	CSMPW2D-CSMP		추가 분석	-	고유량이동형펌프	비상-02, MOG-12
11	2.59E-08	1.0%	%ISL	HCCQK2D-HPPAB		MACST 전략 X	대응 설비 부재	-	-
12	2.59E-08	1.0%	%ISL	HCCQK2D-CSPAB		추가 분석	-	고유량이동형펌프	비상-02, MOG-12
13	2.22E-08	0.9%	%ISGTR-SG1	FSXRWX1234S2		MACST 전략 X	대응 설비 부재	-	-
14	2.18E-08	0.9%	%ISL	CCMVW2D-1412		추가 분석	-	고유량이동형펌프	비상-02, MOG-12
15	2.03E-08	0.8%	%ILOOP	EGDGK3T-1A1B1E	SDOPHLATE	SBO MACST 전략	-	-	EOG-09(SBO)
16	1.91E-08	0.8%	%ILODCA	ELXMYTR01B		MACST 전략 X	대응 시간 부족	-	-
17	1.67E-08	0.7%	%ISGTR-SG1	HSSVT0659A	HSSVT0660B	MACST 전략 X	대응 설비 부재	-	-
18	1.67E-08	0.7%	%ISL	CSMVW2D-00356		MACST 전략 X	-	-	-
19	1.51E-08	0.6%	%ILOOP	EGDGM01E	EGDGR01A	SBO MACST 전략	-	-	EOG-09(SBO)
20	1.45E-08	0.6%	%IGTRN	AFCVW2D-10489	MFOPHSUFWP	MACST 전략 X	대응 시간 부족	-	-
21	1.39E-08	0.6%	%ILOOP	EGDGR01A	EGDGR01B	SBO MACST 전략	-	-	EOG-09(SBO)

## 3.4 사고관리계획서 PSA (EOG-MOG 연계)

### ❖ 5번 : CCW 완전상실 후 RCP Seal 파손

- 회복-04(RCS 재고량 제어)와 MOG-01(장기 재고량 제어)로 RCS 보충
  - ✓ EOG-10 기능회복지침서(EOP 회복-04 RCS 재고량 제어)

단계	예상반응 및 조치	불만족시 조치
1	만약 원자로냉각계통 재고량제어 안전기능이 만족하는지 확인한 후, 아래 조치를 수행한다. 원자로냉각계통 재고량제어와 위험 상태에 있는 다른 안전기능 복구를 동시에 수행한다.	다음의 설비를 활용하여 다중-01(장기재고량제어)를 수행한다. • 1MW 이동형발전차 • 보조충전펌프, • 고압이동형펌프(외부주입)

### ❖ 9번 : SGTR 사고 시 RCS 압력제어 실패 후 RWT 재충수 실패

- 회복-04와 MOG-01 개정(재충수 추가, 설비 개선)으로 RWT 재충수
  - ✓ EOG-10 기능회복지침서(EOP 회복-04 RCS 재고량 제어)

단계	예상반응 및 조치	불만족시 조치
10	냉각재상실사고가 원자로건물 내부에서 발생하였는지 재확인한다. a. 재장전수탱크 수위를 감시한다. b. 재장전수탱크 수위가 감소함에 따라 원자로건물 재순환 집수조 수위가 증가하는지 확인한다.	다음은 모두 수행한다. 1) 냉각재상실사고가 원자로건물 내부에서 발생하였는지 재확인한다. 2) 발전소 관리자에게 보고한다. 3) 다음 중 1개 이상으로부터 충수하여 재장전수탱크 수위를 [재환순작동신호 설정치]를 초과하도록 유지한다. a) 봉산 농축기, 봉산혼합탱크 b) 사용 후 핵연료 저장조 4) 재장전수탱크 수위가 유지되지 않으면, 다중-01(장기재고량제어)을 수행한다. a) 다중-01 RWT 보충절차 추가 필요 b) RWT 밸브배열 개선 및 탱크보충을 위한 소방차/급수원 필요



## 3.5 사고관리계획서 세슘 리스크 평가

### ❖ 실제적 Cs-137 방출량 목표 평가 노력

```

0. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8.
** Name: MFPIN(1:25) Units: [KG, LB]
**
** @@@ 4.0.4 BJS 2/11/97 - Note that the masses of ZR-91, NB-93, TC-99 and
** RU-101 are listed here as input but they are not used by the code. That
** is, they are not included in any of the 12 fission product groups (see
** below). These four fission products are in the list because it had been
** anticipated that the fission product models would have been expanded
** to include them. Because they are not used it is not necessary to include
** values for these masses. Also, the isotope of NB had been listed as 109
** instead of 93 in the original versions of the MAAP4 PWR sample parameter
** files. This was a typographical error.
**
** Parameter MFPIN(i) defines the ith initial core fission mass as:
**
** 1) Mass of XE AS XE-131
** 2) Mass of KR AS KR-84
** 3) Mass of I AS I-131
** 4) Mass of RB AS RB-86
** 5) Mass of CS AS CS-133
** 6) Mass of SR AS SR-88
** 7) Mass of BA AS BA-138
** 8) Mass of Y AS Y-89
** 9) Mass of LA AS LA-139
** 10) Mass of ZR AS ZR-91
** 11) Mass of NB AS NB-93
** 12) Mass of MO AS MO-96
** 13) Mass of TC AS TC-99
** 14) Mass of RU AS RU-101
** 15) Mass of SB AS SB-122
** 16) Mass of TE AS TE-128
** 17) Mass of CE AS CE-140
** 18) Mass of PR AS PR-141
** 19) Mass of ND AS ND-144
** 20) Mass of SM AS SM-150
** 21) Mass of NP AS NP-237
** 22) Mass of PU AS PU-239
** 23) Reserved for future use
** 24) Reserved for future use
** 25) Reserved for future use
**
** Fission product masses defined in parameter array MFPIN() are treated
** separately when in the core or the debris. The masses are then lumped
** into the following MAAP fission product groups when released:
**
** GROUP 1 VAPOR (V): Nobles (Xe + Kr)
** GROUP 1 AEROSOL (A): All non-radioactive inert aerosols
** GROUP 2 V & A: CsI + RbI
** GROUP 3 V & A: FeO2
** GROUP 4 V & A: SiO
** GROUP 5 V & A: MoO2
** GROUP 6 V & A: CsOH + RbOH
** GROUP 7 V & A: BaO
** GROUP 8 V & A: La2O3 + Pr2O3 + Nd2O3 + Sm2O3 + Y2O3
** GROUP 9 V & A: CeO2
** GROUP 10 V & A: Sb
** GROUP 11 V & A: Te2
** GROUP 12 V & A: UO2 + NpO2 + PuO2
**
** The initial masses of specific fission products requested for parameters
** MFPIN(1) through MFPIN(25) are used to calculate the total number of moles

```

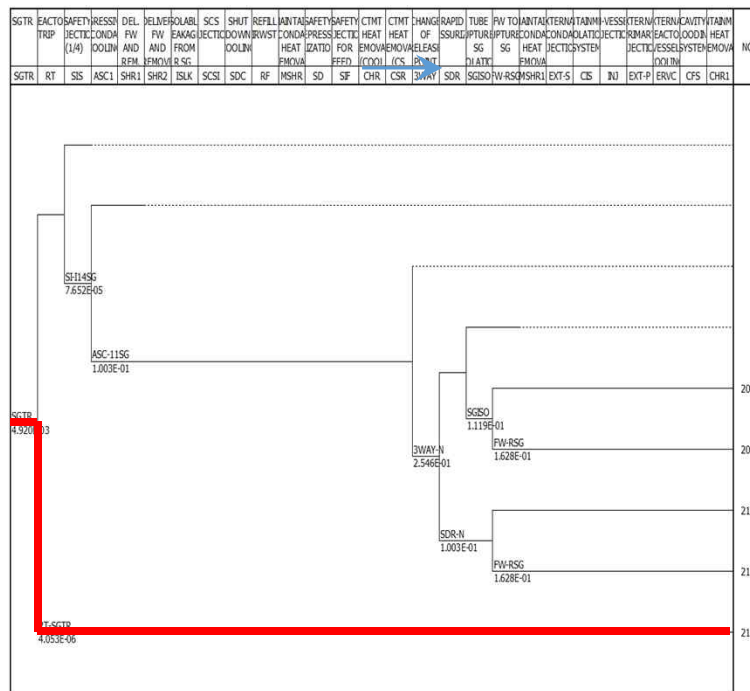
- 각 노형별 초기 노심재고량 계산 수행 중

- MAAP5의 Cs-137 방출량 추적 계산 모듈 개발중

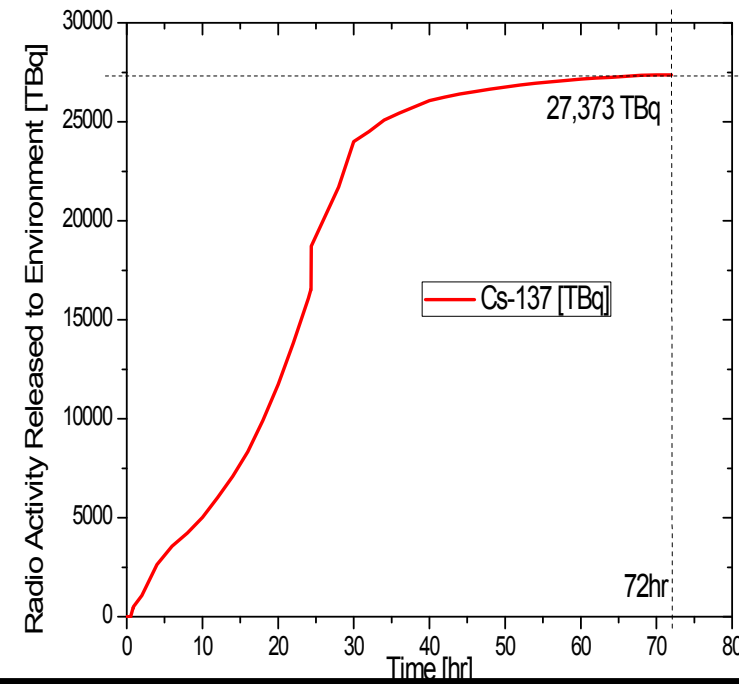
### 3.5 사고관리계획서 PSA 세슘 리스크 평가

## ❖ Cs-137 평가 프로세스

- **STC 중 대표 시나리오 선정 (예, STC 1의 빈도가 6.91E-09/년)**



STC 1



Cs-137 released from Cont. to Env.(TBq)  
(at 24hr, 72hr)

MAAP5 방출량평가 결과, Cs-137 방출량이 27,373 TBq으로 100 TBq을 초과하므로  
사고발생 빈도 6.91E-09/yr 값을 합산함.

## 4. Prospects

- 1 ▪ 신규로 수행되어야 할 역무 다수 존재 (정지 화재 PSA 모델 개발, HRA 등)
- 2 ▪ 설비 반영 방안 및 절차서 개정 동시 추진 등 기존 PSA 방법과 상이
- 3 ▪ Cs-137 방출 목표 달성을 위한 실제적 STC 평가 추진
- 4 ▪ 전체 PSA 모델 표준화 추진 등 품질향상 노력
- 5 ▪ 안전목표 만족여부 '19년 ¼분기쯤 도출 예정
- 6 ▪ 안전목표 불만족시 개선방안 도출

*Q n A*

감사합니다!!!