

화재와 원전 안전현안



김 위 경

k322kwk@kins.re.kr



한국원자력안전기술원
KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR SAFETY



원전 화재방호 개요



원전 화재방호의 구성



원전 화재안전현안



원전 화재방호 발전방안

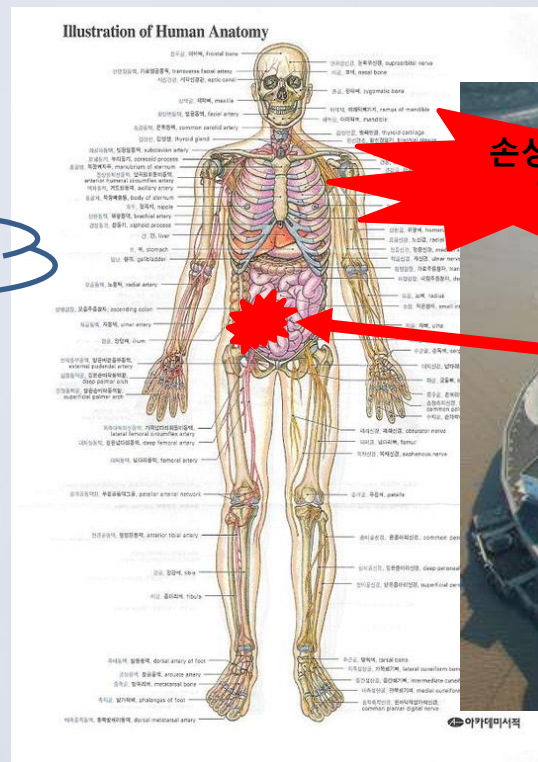




● 원전 화재방호 → 원전 해부학(정보제공)

- 예방 : 내화설계 손상방지
- 진압 : 소방시설(혈소판), 수동진압(지혈, 인공호흡, 심폐소생)
- 안전 확보 : 운전원(의사)

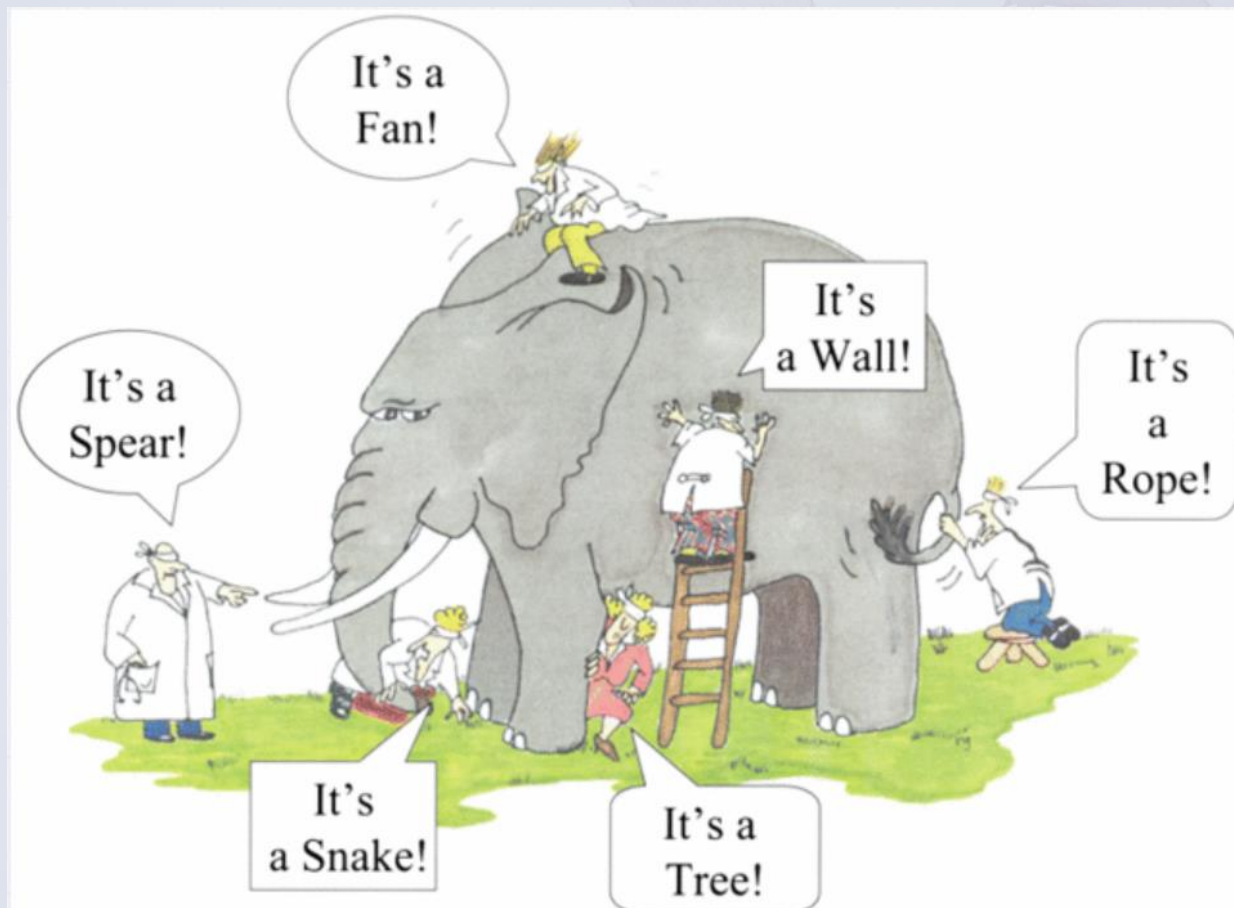
Inappropriate
Hemostatic action





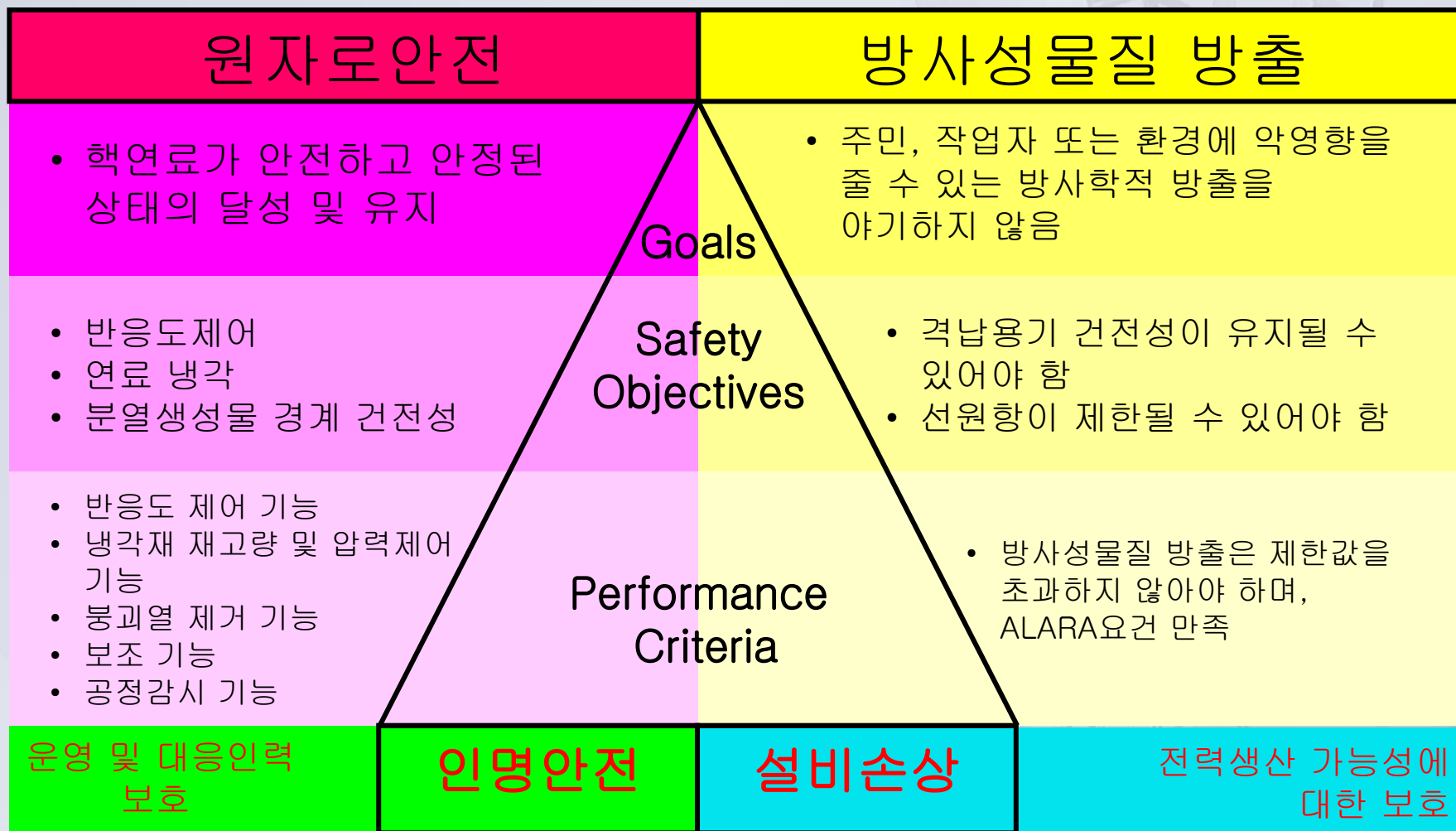
● 원전 화재방호 :

- 원전 정보, 화재특성, 소방시설, 내화구조 등 복합적인 정보가 필요
- 다양한 방호전략
 - 예방
 - 능동방어
 - 피동방어
- 적용시점
 - 설계
 - 운영
 - 폐기





원전 화재방호 목표



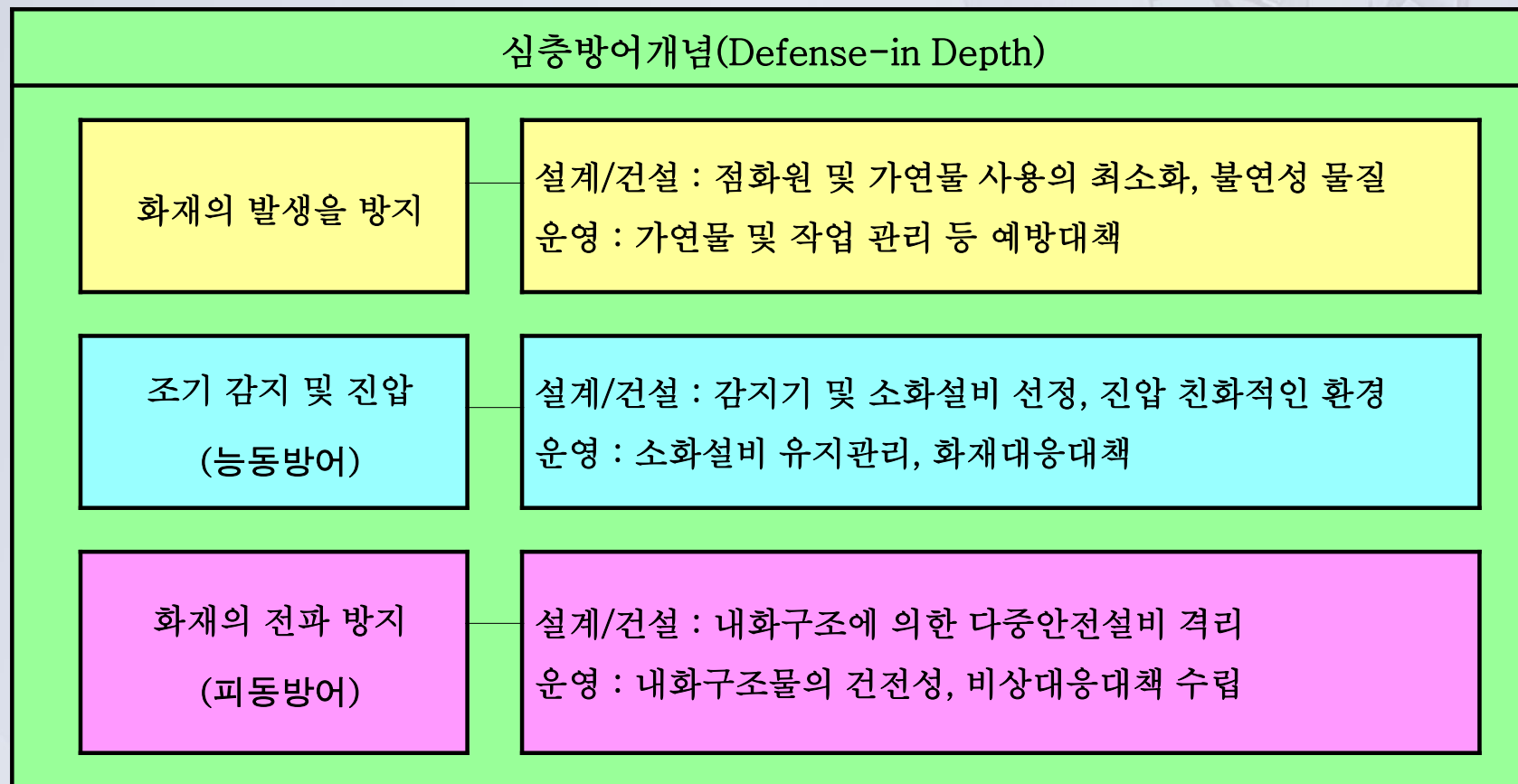


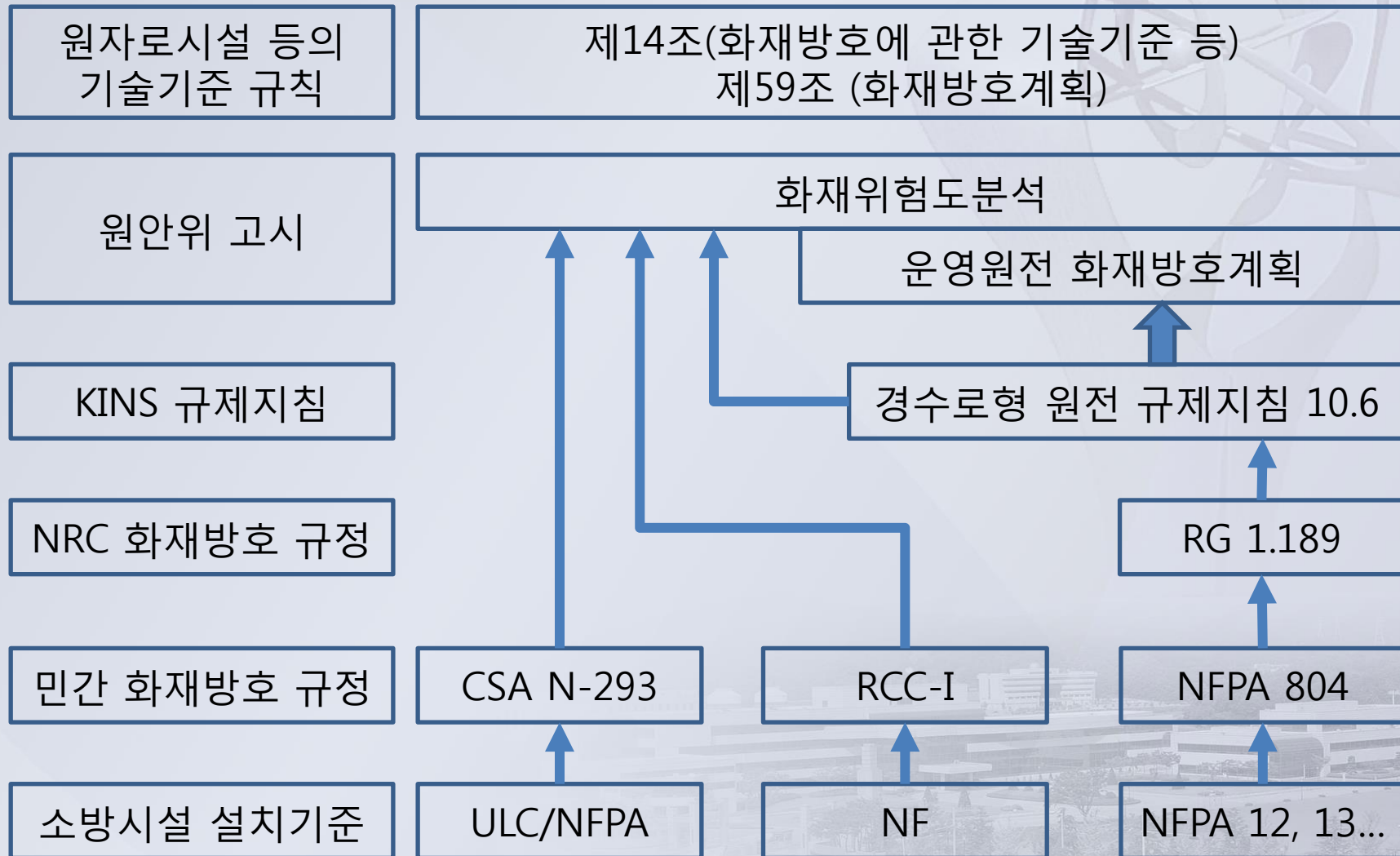
● 화재방호 심층방어개념 적용(설계관점)

원전 화재방호목표		원자로안전정지 (안전정지)	방사성물질 제한 (원자로건물)	인명안전 (대피시간)	재산보호 (손실제한)
		방사선 재해에 의한 인명/재산		화재에 직접 노출되는 인명/재산	
심층방어	화재 예방	점화원 제한 및 불연성 물질 등 건축재료 및 설계요건(예: IEEE-383 케이블)			
	능동 방어	경보/소화설비 소화활동설비 (비상조명,방열복,호흡기)	경보/소화설비 소화활동설비 (비상조명,...)	경보/소화설비 소화활동설비 피난설비(유도등...)	경보/소화설비 소화활동설비
	피동 방어	방화구획(다중안전설비) 진입로	방화구획, HVAC 진입로	방화구획 대피로	방화구획
규제문서		원안위 고시, Reg. Guide 1.189, 경수로형원전 규제기준/지침 10.6			
원전 관련 산업기준		NFPA 804, CSA N-293, RCC-I			
산업기준		케이블 및 재료에 대한 내화성능 : ASTM, IEEE, NFPA 소방시설 : NFPA(NFSC) 내화구조(방화문, 관통부 밀봉재 등 포함) : ASTM, NFPA(Fire Door)			



● 운영 화재방호 심층방어개념은?







2 원전 화재방호의 구성

● 화재방호계획(Fire Protection Program)

- 설계 및 운영과 관련된 화재방호활동을 수행하는데 필요한 기기나 절차, 인적자원 등에 대한 종합적인 계획

● 원전 화재안전성평가

- 결정론적 화재안전성평가(고시→ 화재위험도분석) : FHA + FSSA

- 사양기준 : 해당 적용 기준 만족 여부 평가
- 성능기준 : 원전 화재방호목표 달성여부 평가

- 확률론적 화재안전성평가(F-PSA)

- Reg. Guide 1.205, NUREG/CR-6850

● 원전 화재방호운영계획(Fire Protection Plan)

- 심층방어개념에 입각한 화재예방 및 대응절차

- 화재위험 작업관리, (초동)소방대 화재진압, 운전원 조치,
- 설계변경에 따른 화재안전성평가 변경관리
- 소방시설 및 임시 가연성물질

- 화재안전성평가를 근거하여 작성함

- 화재위험성, 원자로 안전중요도에 따른 방호대책



● 화재안전성평가 방법론 비교

■ 유사성 : 입력자료

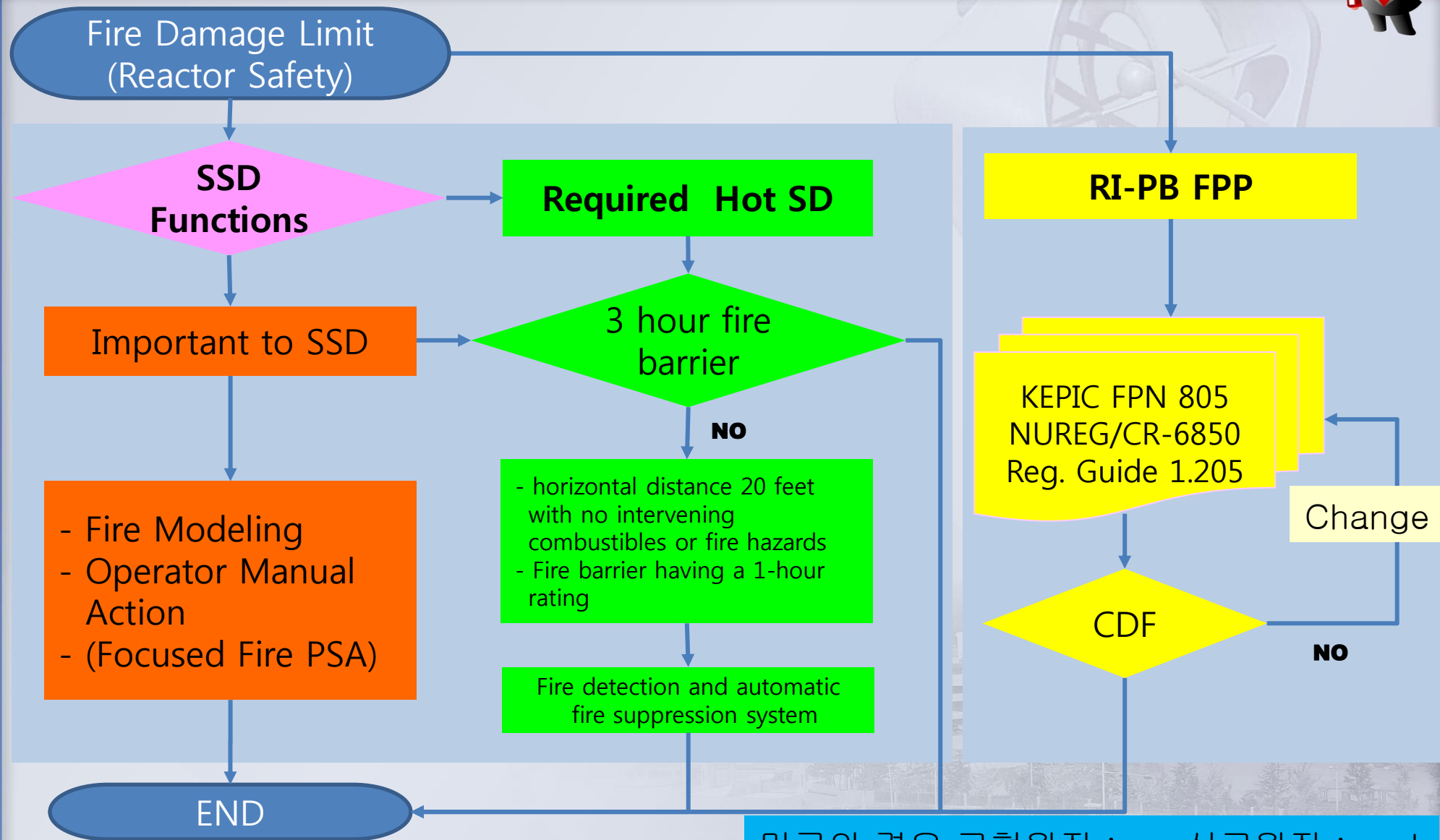
- FHA/FSSA 입력자료 (기기 및 케이블 배치 등 설계자료)는 공통사항
- 현재 규제는 결정론적 평가방식에 주력하고 있음

■ 분석 차이점 : 손상범위

- FSSA : 하나의 방화지역이 전소되는 것으로 가정
 - PWR 형 원전은 Fire Containment Approach를 적용하여 설계
 - CANDU 형 원전은 Fire Influence Approach를 적용하여 설계
- F-PSA : 화재의 규모에 따른 손상범위 최적(BE) 분석

■ 화재모델링 필요성

- 신규원전 : 사양기준에 의한 성능기준 만족(화재모델링 수요 최소화)
 - 가동원전(CANDU) : 사양기준 불만족한 경우 화재모델링/운전원조치..
 - F-PSA : 결정론적 방법 적용시보다 화재모델링 수요 증가
- 화재모델링 결과의 신뢰성 확보



미국의 경우 구형원전 : or, 신규원전 : and



● 전기회로분석(NEI-00-01)

■ 안전정지기능/계통/경로

- 반응도제어
- 압력/냉각재 재고량 제어
- 붕괴열 제거 기능
- 감시기능
- 보조기능

■ 안전정지 장비선정

■ 안전정지 케이블 선정

■ 방화지역 분석

- 고온정지 필수기능
- 안전정지 중요기능

Establish Requirements

Regulatory Requirements
Regulatory Guidance on Associated Circuits of concern
Regulatory Interpretation on Loss of Offsite Power

Determine SSD Functions, Systems & Paths
Reactivity Control, Pressure Control, Inventory Control, DHR, Process Monitoring, Supporting Functions

Include those that can defeat SSD

- RPV/RCS Loss of Inventory (*)
- Flow Diversion (*)/Blockage
- Inventory Makeup System being used for SSD in FA
- Decay Heat Removal being used for SSD in FA

* In excess of required makeup

Select Safe Shutdown Equipment

Equipment that may perform or defeat SSD functions

Select Safe Shutdown Cables

Identify cables required for operation or that can cause mal-operation of listed equipment including improperly coordinated power circuits.

Associate cables to equipment

Locate cable raceway & endpoints by fire area

Join data & identify SSD cables & equipment by fire area

Fire Area Assessment

Determine fire impact to equipment required for SSD functions and establish SSD path for each fire area.

Evaluate effects of a hot short, open circuit, & short to ground on each conductor for each cable. Refer to Section 3.5 for Circuit Analysis Criteria.

Develop Methods for Prevention or Mitigation

Required Components:

1. Re-design or re-analyze the circuit or component to eliminate the concern
2. Reroute Cable of Concern
3. Protect Cable of Concern in accordance with III.G.2
4. Perform Repair for Cold Shutdown only
5. Develop Exemption
6. Develop Deviation or LAPs
7. Perform GL 86-10 Fire Hazards Evaluation
8. Enter Fire Protection Change Process
9. Identify other equipment to perform same function

Important to SSD Components:

1. Perform an operator manual action
2. Address using fire modeling or a focused-scope Fire PRA using the methods of Section 5 for MSO impacts (if permitted under current license conditions).



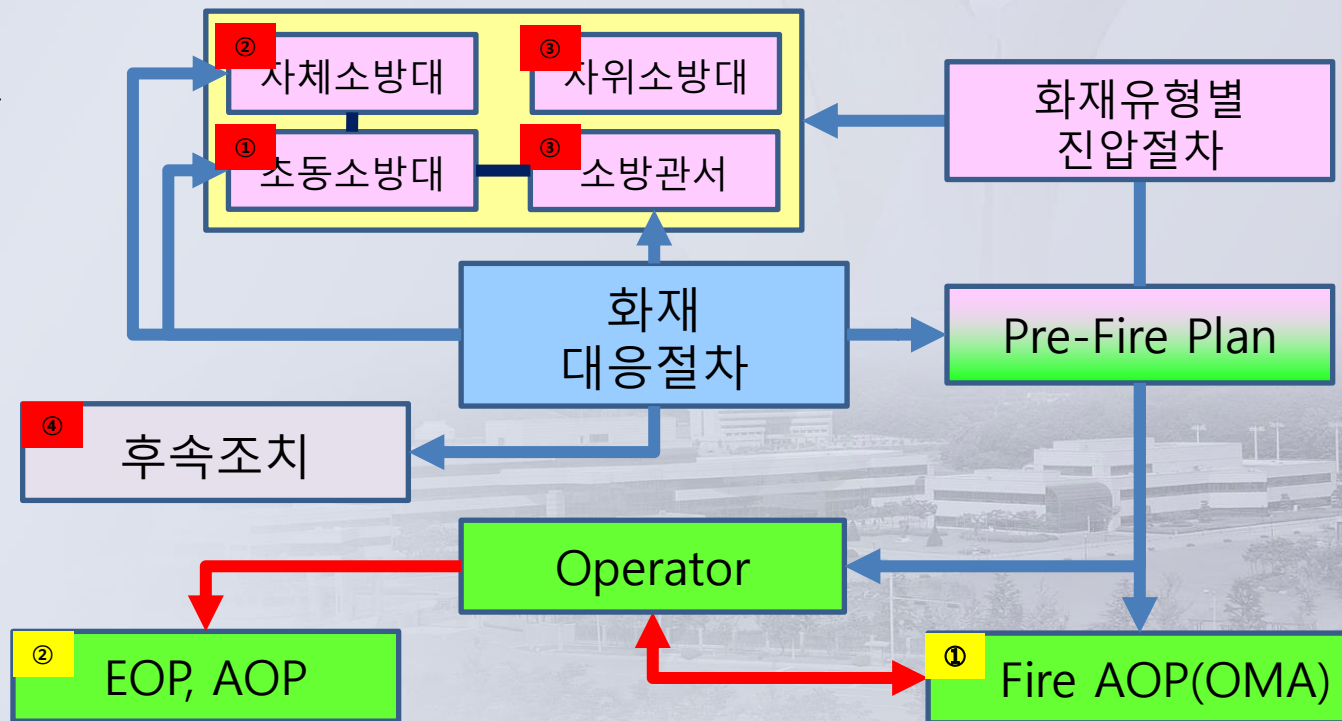
결정론적 화재안전성평가

■ 현행: 원자로 안전정지 가능성 설계 입증에 치중

- 화재방호목표별 사양기준 만족여부를 입증하고, 성능기준 만족여부를 분석 (다중오동작이 고려된 화재안전정지)
- 화재위험성, 안전중요도에 따른 화재대응절차 수립가능성 확보 또는 수립하는 것을 포함할 필요가 있음

■ 학문적 가치(△)

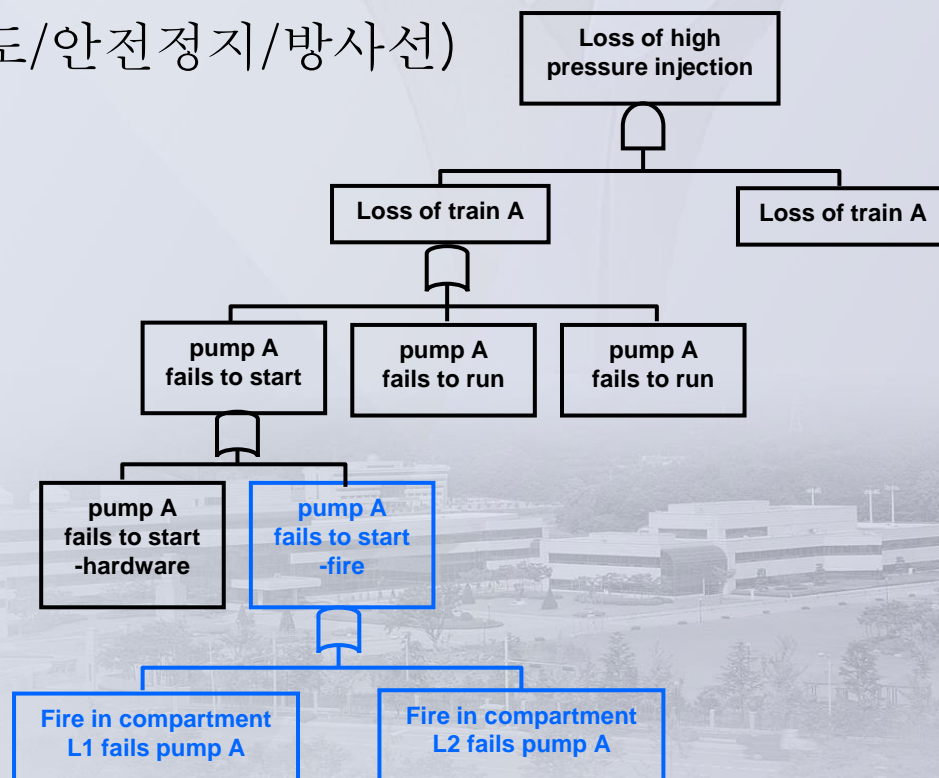
- 타 산업분야 전파





● 확률론적 화재안전성평가

- 현행: 설계관점의 CDF 만족여부에 치중, 발전소 운영에 미적용
 - 화재시나리오에 따른 화재분석 등 운영에 필요한 자료가 다수 포함됨
- 발전소 지역별 안전중요도 등급화
 - 안전관리 차등화(화재위험성/빈도/안전정지/방사선)
 - 화재진압절차 및 소방대 훈련
 - 설계변경이 미치는 영향 예측
- 연구필요성(△)
 - PSA 방법론 관점
 - 화재모델링 신뢰도 관점





● 전기회로분석 :

■ 기존분석 : 안전정지계열/계통 격리상태

■ 다중오동작 전기회로분석

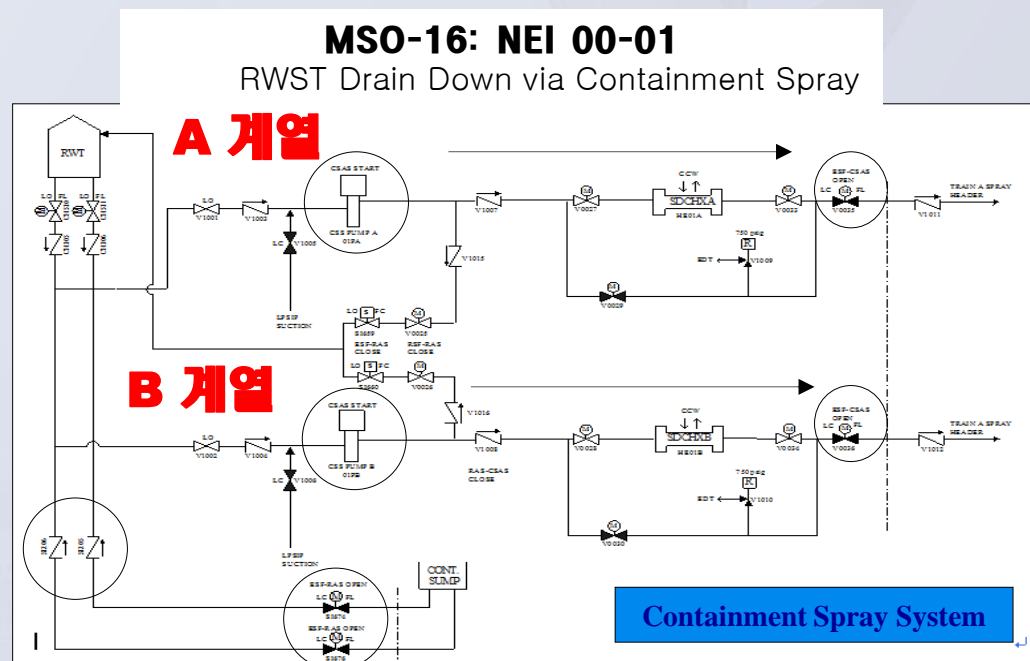
- 제어케이블 손상에 의한 기기의 동시 오동작 및 오지시 가능성
- 하나의 기기 또는 하나의 계열에서 발생할 수 있음

■ 해결방안

- 케이블격리/설계
- 광케이블 적용
- 운전원 조치, F-PSA
- 화재모델링

■ 연구필요성(△)

- 오동작 유발 회로 관점
- 소프트웨어 개발





● 광케이블 설계 적합성

- 유리섬유를 통한 광신호 전송
- 장점 : 대용량 전송 능력 및 전기적 합선에 의한 오동작 방지
- 단점 : 손상시 다수기기 감시 및 제어 불능 가능성
 - 온도차이로 인하여 유리섬유의 밀도차이가 발생→빛의 굴절에 의한 노이즈 발생
- 연구필요성(○)
 - 광케이블 온도변화에 따른 전송능력에 관한 연구
 - 다수기기 제어불능시 운전방법론 개발





4

원전 화재방호 발전방안

● 원전 화재안전성 확보 → 설계 및 운영단계에서 화재방호목표 달성

■ 설계안전성 → FHA + FSSA and/or F-PSA

- 원전 화재안전성평가 : 결정론적/확률론적 분석

■ 운영안전성 → Fire Protection Plan(화재방호운영계획)

● 원전 화재안전성 향상 방안

■ 설계안전성 평가와 운영안전성평가의 연계성 확보

- 설계안전성 평가는 관련 요건 만족여부 입증과 더불어
- 운영 안전성 확보를 위한 대책을 수립하거나 수립할 수 있도록
- 설계 취약성 평가 관점으로 수행하여야 함.

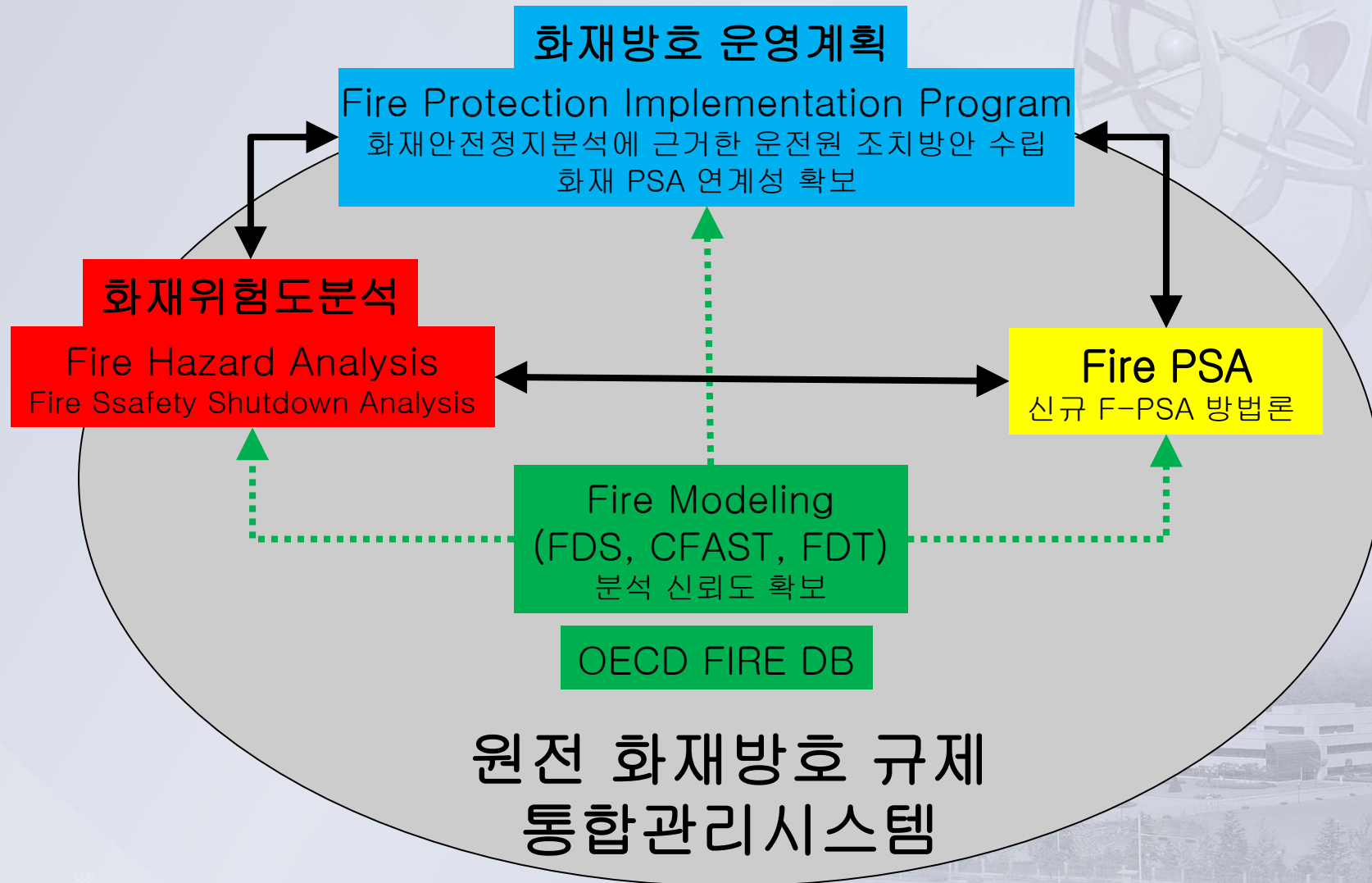
■ 분석 신뢰도 향상

- F-PSA : NUREG/CR-6850
- 화재모델링

■ 화재시 운전대책(+진화대책) 수립

■ 광케이블 전송능력 평가

■ 분석 소프트웨어 개발



푸른 미래의 약속
안전한 원자력

Safety together Better tomorrow

킨스

Thank You



한국원자력안전기술원
KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR SAFETY