

리스크정보활용 규제 제도개선 연구 현황 및 계획

KINS 중대사고·리스크평가실
장동주

Contents

1

Introduction

2

RIR 규제 제도 개선 연구 현황

3

RIR 규제제도 개선 연구 추진 방향

01 Introduction

리스크정보활용 규제?

→ 리스크정보를 규제의사결정(Risk informed Decision Making)에 사용하는 모든 활동

- 규제기관 관점 (RIR, Risk-informed Regulation)
 - 리스크정보를 활용하여 규제 조치(허가, 변경허가, 검사지적 및 보완 요구 등)의 정당성 제시
- 산업계 관점 (RIA, Risk-informed Applications)
 - 리스크정보를 활용, 원전 운영 효율성 제고를 위해 규제 요건 합리화 (TS STI/AOT 연장, 가동중정비 등)

▪ KINS의 RIR 도입 노력들

- 리스크 기반 검사 및 정비규정 시험 프로그램 (2002)
- 리스크정보활용 차등검사 시험 프로그램 (2006)
- 정비규정 제도화 추진 (2007)
- 리스크정보활용 규제 적용 현황 보고서 발간 (2010)
- 가동중정비 안전성 영향 평가기술 개발 (2010~12)
- 규제검증용 PSA 모델 활용 체계 구축 연구 (2015~2018)
- '사고위험도 관리 기반의 규제감독 체계 구축' 연구 진행 중 (2020~)

■ 산업계 RIA 노력

- 격납건물 종합누설률 시험 주기 연장 (5년 → 10년)
- 리스크정보활용 운영기술지침서 변경허가신청(RI-AOT, RI-STI)
- 리스크정보활용 배관가동중검사 방법론 특정기술주제보고서
- 리스크모니터 시스템(RM) 및 정비효과성 감시 체계(MR) 자체 운영 등
 - RM은 중대사고정책(2001)에서 이행 요구, 관련 제도 부재로 규제 대상 X
 - MR은 한수원 자체적으로 도입, 이행

구 분	국내 도입	미 도입
RIA	RI-ILRT, RI-ISI, RI-STI, RI-AOT	OLM, RI-TS, RI-IST, Option-2 ...
RIR	RM, ASP(?)	MR, ROP(SDP)

- 리스크정보활용 성능기반 체계 국내원전 적용방법론 개발 연구 (2019~2021)
- 가동중정비 연구 수행 중 (2022~2024)

Lessons Learned

▪ RIA 경험은 多, RIR 경험은 無 ?

- 규제 활동(심검사)에 리스크정보를 활용하기 위한 제도화 노력 부족
 - 사고고장보고서에 ASP 평가 결과 기재하도록 고시 개정하였으나 활용 미흡
- RIA 신청 심사를 통해 'PSA를 활용한 규제 의사결정(RIDM)'을 경험
 - PSA 기반 평가 결과 수용 및 요건 변경 승인 경험 축적
 - 관련 규제 요건 개발 및 내부 논의 촉진 등 의의

▪ 관점 차이

- '규제 완화' vs. '규제 합리화'
- '규제 자원의 효율적 활용' vs. '의사결정에 투입하는 정보의 확장'
- '불확실성이 큰 PSA 결과' vs. '불확실성을 명확히 드러낼 줄 아는 PSA'

[참고] RIA 심사 사례

▪ RI-STI (시험주기 변경)

- RPS/ESFAS analog channel 시험주기(STI) 연장 (1개월→3개월)
 - 한빛1,2('99 승인) 포함 7건 승인
- 터빈계통 시험주기(STI) 연장 (1개월→3개월)
 - 한빛1,2('02 승인) 포함 12건 승인
- 배터리 인버터 시험주기(STI) 연장 (12개월→18개월)
 - 한울5,6('08 승인)
- 예비디젤발전기 시험주기(STI) 연장 (2주→1개월)
 - 월성2,3,4 심사 진행 중

▪ RI-ILRT (격납건물 종합누설률 주기 변경)

- 격납건물종합누설률시험(ILRT) 주기연장 (5년→10년)
 - 한빛1,2('05 승인) 포함 8건 승인 / 신고리1,2 심사 진행 중

▪ RI-AOT (허용정지시간 변경)

- RPS/ESFAS analog channel 허용정지시간 (AOT) 연장 (1시간→6시간 등)
 - 한빛1,2('99 승인) 포함 3건 승인
- 배터리 인버터 허용정지시간(AOT) 연장 (24시간→7일)
 - 한울3,4('06 승인)

▪ RI-ISI (가동중검사 대상 변경)

- RI-ISI 방법론 특정기술주제보고서 신청
 - 방법론 승인('08)

[참고] 정비규정 제도화 관련

- '01.03 정비규정 적용방법 조사 및 적용 연구 (KAERI)
- '02.12 제22차 원자력안전위원회
 - 가동 원전 특별점검 결과 미국의 MR(10CFR50.65)와 유사한 정비제도 도입 필요성 제시
- '04.01 미국 정비규정의 이행 방법론 및 규제 사례 분석 (KINS)
- '04.02 제26차 원자력안전위원회(2004년 원자력 안전규제 정책방향)
 - 안전검사 및 정비 관련 선진체계 확립 추진
 - 전 부품 정비관련 감시, 유지, 보수 절차 점검 체계 구축
 - "원전 정비규정" 제정 및 운영 (미국 NRC 정비규정 참조)
- '06.03 제31차 원자력안전위원회
 - 정비규정 제도화 및 시범운영 추진
- '07.11 제91차 안전전문위원회 (계통분과)
 - 중점과제로 시범적용 결과에 따른 제도화 검토 선정

■ MR 제도화 관련 연구 보고서

- '02~'06년 원전설비 운전성능평가 규제기술개발(KINS/RR-261)
 - 정비규정 이행방법론 및 과거 미국의 정비 규정 규제사례 분석
 - 국내 원전 정비규정의 지속적 이행을 유도하기 위한 고시화 방안 및 규제지침(안) 개발
- '07~'08년 정비규정 이행기술 및 이행프로그램 시범운영 점검
 - 고리 3,4호기 정비규정 시범운영 점검결과 보고서(KINS/AR-883)
 - 울진 3,4호기 정비규정 시범운영 점검결과 보고서(KINS/AR-877)
 - ❖ 일정기간 사업자의 자율적인 운영 이후 재평가 필요성 제기
- '08년 원전 정비규정 이행 적합성 평가체계 수립(KINS/RR-621)
 - 국·내외 원전 정비규정 최신 이행 및 규제사례 분석
 - 시범원전 점검 결과에 따른 제도화 필요성 검토 및 규제지침(안) 개발
 - 국내 원전 정비규정 이행 적합성 평가체계 수립

02 RIR 규제 제도 개선 연구 현황

가동원전 규제감독 체계 구축 연구

■ 추진 배경*

- 1980년대 검사 제도 도입 이후, 국내·외 원자력 산업 및 규제 환경 변화
 - 후쿠시마 원전 사고 이후 국제규범 이행의 중요성 강조
 - 국내·외 안전 사고를 계기로 사고 예방과 사업자 안전관리 책임 강화 요구 증대
 - 주요 원전 운영국은 가동원전에 대한 별도의 규제감독 체계 운영 중
- 규제 역할과 감독에 대한 패러다임 변화
 - 원자력 안전관리에 있어 사업자 책임과 규제 역할(독립적 확인) 명확화
 - 사후적 확인 및 조치에서 사전에 다양한 문제를 파악하고 근본 원인 확인 조치 필요
 - 시설 성능에서 사업자의 안전 운영 역량으로 포커스 전환
 - 사업자 스스로 안전성을 높여 나가도록 개별 원전의 안전성을 확인하여 감독 수준 차등화 추진

* 2021 NSSIC, "원전 규제감독 제도 해외 사례와 국내 추진방향", 정수진

가동원전 규제감독 체계 구축 연구

▪ 주요 추진경과

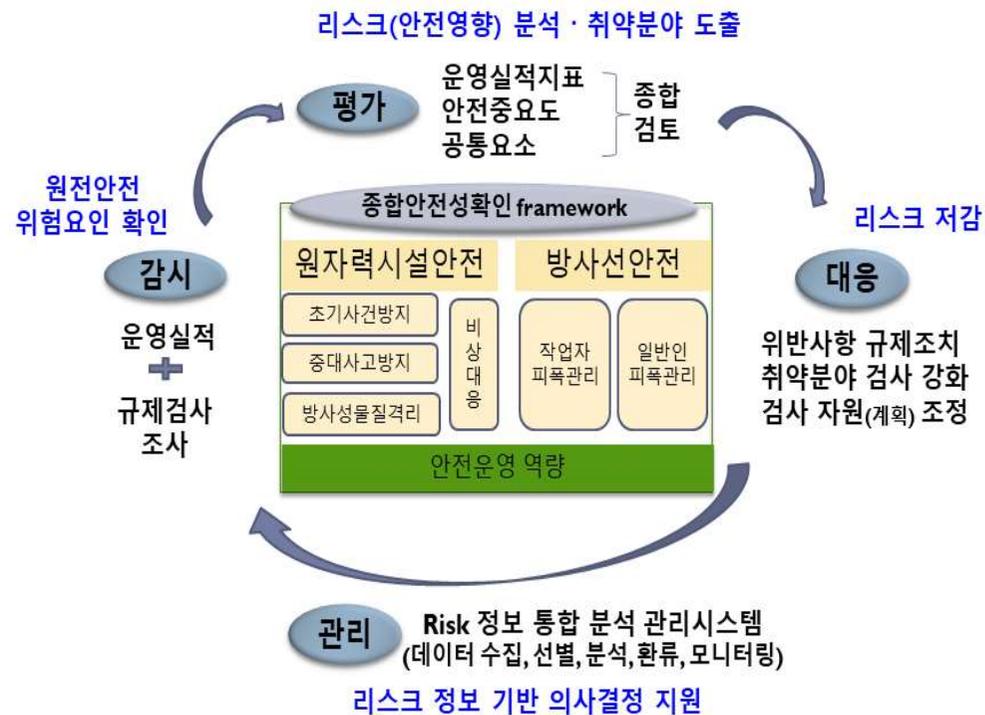
- 제2차 원자력안전종합계획(2017~2021) : 원전 종합분석·평가체계 도입
 - “PSA 등 안전평가 정보 종합·분석, 검사기법 개선 등 규제혁신 추진”
- 제3차 원자력안전종합계획(2022~2026) : 리스크정보활용 검사체계 마련
 - “원전 취약정보를 체계적으로 관리하는 정보시스템 구축 추진”



- 가동 원전 통합 안전관리체계 개념(안) 개발 및 기반기술 구축 (~2019)
- 사고위험도 관리 기반의 규제감독 체계 구축 (2020~, 진행중)
 - (1세부과제) 위험도 중심 규제감독 수행 체계 개발
 - (2세부과제) 전 원전 위험도 평가 모델 및 전산관리 시스템 개발

가동원전 규제감독 체계 구축 연구

리스크 정보 활용 규제감독 수행 체계



[감시] 원전안전 위험요인 확인

안전 관련 수행결함(Performance Deficiency) 사안 식별

[평가] 리스크 분석 및 취약분야 도출

수행결함이 원전 안전성에 미치는 영향의 특성(분야·요소)과 정도(심각도)를 파악하고 취약 분야 도출

[대응] 리스크 저감

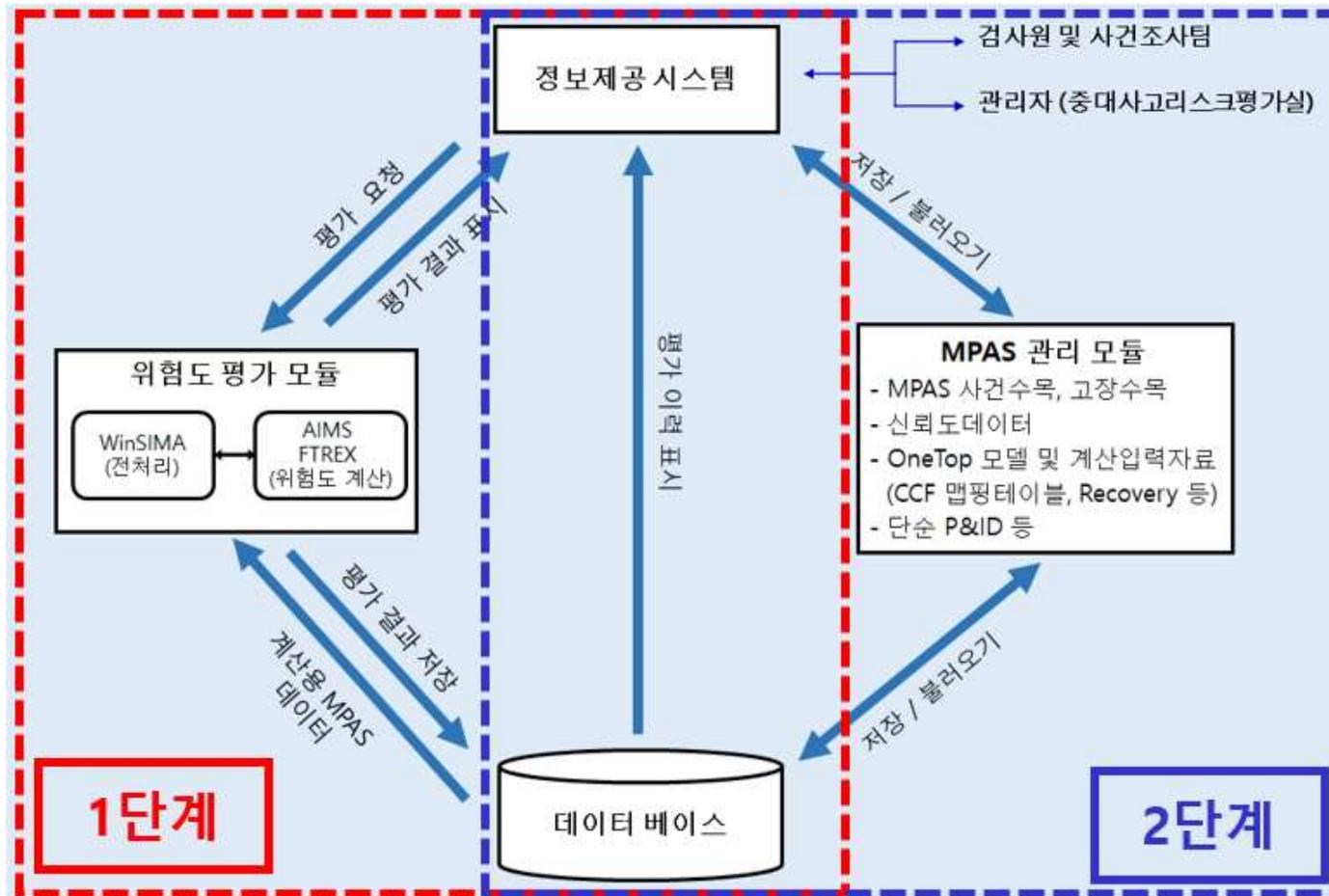
안전성 회복을 위한 적절한 안전조치 방안 도출 및 이행

[관리] 리스크 정보 기반 의사결정 지원·규제경험 반영

종합적 리스크 정보와 경험에 기반한 규제 의사결정 지원

가동원전 규제감독 체계 구축 연구

정량적 안전중요도 평가 전산관리 시스템 개발



위험도 평가 관리 시스템 구조

가동원전 규제감독 체계 구축 연구

▪ INL* 기술 자문 수행 중

- 규제검증용 PSA 모델 신뢰도데이터 분석 체계 개발 관련 자문
 - 분석 방법론 (초기사건 및 기기고장)
 - NRC 및 INL 신뢰도데이터 수집 및 분석 체계
- 신뢰도 데이터 수집을 위한 미국 유관기관 간 협력 사항 및 공유 체계 확인
- 인간신뢰도 분석 방법론 검토를 위한 IDHEAS-ECA, SPAR-H, THERP 정성적 및 정량적 비교 분석 자문
- 이동형 기기에 대한 인간신뢰도 분석 방법론 적절성 확인 방안 자문
- SDP 관련 기술 자문 (2024~)
 - SSCs 성능 저하에 대한 정량적 처리 방법
 - 기기고장에 대한 CCF event 처리 방법 등

*INL : Idaho National Laboratory

가동원전 규제감독 체계 구축 연구

▪ 주요 연구 성과 및 계획

구분	~ 2020	2023
감시	<ul style="list-style-type: none"> • 심층방어 강화 및 리스크정보 활용 안전규제검사 개선 방법론 개발 • 운영(기술능력) 심화검사 수행 프로세스(안) 개발 • 원전 안전성능지표 평가 방법론 개선 • 원자력시설 운영 사업자의 안전운영 역량 지표 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 안전운영 역량 평가 지표 정보 수집방안 개발
평가	<ul style="list-style-type: none"> • 가동원전 안전관리 수준 종합 평가 프로세스 개발 • 정량적 안전중요도평가 표준 절차(안) 개발 • 원전 운영 취약분야 분석·평가를 위한 위험도 분석 프로세스 개발 • 정량적 위험도평가에 활용하기 위한 표준기록양식 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 검사 결과 위험도정보(정성) 기록 양식 개발 • 비상대책 영역 안전중요도평가 방법론 개발 • 국내 고유 신뢰도 데이터 분석 체계 개발 • 기기 성능 및 인적수행도 저하 평가의 정량적 계산 방법 확보 • 규제검증용 MPAS 모델의 대표 사고경위에 대한 성공 기준 분석 및 모델링
대응·관리	<ul style="list-style-type: none"> • 원전 안전운영 수준별 차등적 검사 강화 전략 개발 • 정량적 안전중요도 평가·결과 전산관리시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 위험도 정보 활용 규제집행 의사결정을 위한 규제조치 결정 프로세스(안) 개발 • 원자력안전·규제정보 통합분석·관리시스템 구축 방안 마련 • 사고위험도 평가 2단계 평가 모듈 RYAN의 Web 기반 프로그램 개발

03 RIR 규제제도 개선 연구 추진 방향

- 리스크정보 활용 규제감독 “체계” 연구 지속 수행
 - 산학연 의견 수렴을 통해 국내 상황에 맞는, 고적응성 체계 제시 필요
 - 요구되는 규제 지침(안) 및 검사지침서 등 지속 개발
 - 규제검증 모델 고도화 노력 지속
- 리스크정보 활용 규제감독 체계 “Simulation” 결과 필요
 - 사업자 안전 운영 역량 평가 지표
 - 안전 현안에 대한 안전중요도 평가 (과거 사례 포함)
- 국내 규제 환경 변화에 따른, “유연한 연구 목표” 설정
 - 원전 정기검사 제도 개선 진행 중 (2023~)

정기검사 제도 개선 현황

■ 기존 원전 정기검사 제도 문제점

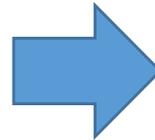
- **현행 정기검사 - 계획예방정비(O/H) 기간에만 수행**
 - 원자로 정지상태의 O/H 기간에만 수행하는 '정기' 검사 제도는 한국만 보유한 제도
 - 원안법에 따라 원전에 수행되는 다양한 검사 중 검사를 특정 시기로 한정하는 경우는 정기검사가 유일
 - ❖ 품질보증검사 등은 별도 계획에 따라 수행
 - 규제기관은 충분한 검사 기간 확보가 어렵고, 사업자도 단기간에 집중된 수검으로 준비 어려움
 - 운전 중에도 가능한 서류확인, 면담 등 검사도 O/H기간에 수행 중
- **원전 취약점에 대한 사전 인지, 안전성 확인 및 지속적 모니터링에 한계**
 - 현행 정기검사 체계에서는 원자로 운전 기간에는 안전성 확인을 사업자에게 일임하고, 규제기관은 사고·고장 발생 시에만 조사 및 사후조치를 취함으로써 예방적 선제적 측면의 규제 활동 부족
 - 운전 중 발생할 수 있는 문제점에 대한 확인, 안전성 점검 및 조치 등 예방적 규제 수단 미흡
 - 지역사무소 설치, KINS 주재원 확대 등 현장 안전규제를 강화해 왔으나, 가동원전의 안전성을 종합적으로 확인 및 조치하는데 한계

■ 검사제도 개선 방향

- 발전소의 성능 안전성을 충분히 확인하고, 기술기준에는 만족하더라도 이상징후 및 취약점을 사전에 인지할 수 있는 장치 마련
- 사업자의 OH기간에만 수행하던 검사를 운전 중에도 실시할 수 있도록 하고, 이상징후, 취약점을 모니터링할 수 있는 심층검사 도입

<현 행>

구 분	시 기
정기검사	OH기간



<개 편>

구 분		시 기
정기검사	운전검사	운전 中
	정비검사	OH 기간
	심층검사	이상징후 등 발견 시

■ 향후 계획

- 원안법 시행규칙 및 KINS 검사지침 등 관련규정 개정(~`23.12)
- 새울2호기 대상 시범검사 수행 예정(`24.4~`25.10)

한수원 RIA(RIR 대응 포함) 추진 현황



*출처: 한수원, 원전 안전성 및 성능향상을 위한 리스크정보활용 체계 도입 추진(안), '23.04.28

	한국원자력안전기술원	한국수력원자력
SDP/PI	<ul style="list-style-type: none"> 원전 수행결함 사안 식별 및 안전중요도 평가 연구 안전중요도 평가 결과에 따른 조치방안 연구 원전 안전규제정보 통합분석 관리 시스템 연구 안전중요도 평가 시범 적용 추진 중 	<ul style="list-style-type: none"> SDP, PI 표준지침/프로세스 개발 SDP 및 PI 시범적용 SDP 및 PI 법규/제도화 추진 SDP 평가 전문인력 양성·자격관리 및 교육프로그램 개발
MR/OLM	<ul style="list-style-type: none"> 제35차 원안위(정비규정 제도화 필요성 검토 요구)에 따른 정비규정 법제화 시도(2007) 한수원 MR/OLM 추진 대응 필요 	<ul style="list-style-type: none"> OLM 기반기술 개발, MR/PM 프로그램 재정비 운기침 개정, AOT 연장 → OLM 시범 적용 규제 제도화/전담인력 보강
RIA	<ul style="list-style-type: none"> RIA 관련 규제지침 기 발간 <ul style="list-style-type: none"> 규제지침 16.9 변경허가신청에서의 리스크정보활용 일반 사항 규제지침 16.10 운영기술지침서 변경허가신청에서의 리스크정보활용 	<ul style="list-style-type: none"> 심사중 RI-STI/ILRT 연장 및 RI-ISI 시범 적용 리스크관리 프로그램 신뢰성 제고 가동중예방정비 수행을 위한 AOT 연장
PSA 표준	<ul style="list-style-type: none"> 규제검증PSA모델(MPAS)에 대한 주기적 개정 방안 수립 및 품질확보 노력 	<ul style="list-style-type: none"> PSA 최적화 / 고유 PSA 표준 개발 합리적인 PSA 정착을 위한 법규 개정 PSA 전문인력 양성 및 용역업체 역량 강화

RIDM 도입 SWOT

		내부환경	
		외부환경	외부환경
		강점 Strength	약점 Weakness
		<ul style="list-style-type: none"> • PSA 법제화에 따른 Living PSA 이행 • RIR 관련 축적된 연구 결과들 • KINS 규제검증 PSA 모델 확보 • 사고고장 고시에 ASP 반영 • 한수원 RIMS, ORION 운영 	<ul style="list-style-type: none"> • Data Rule 부재 • As-found test 미수행 • 국내 PSA 품질 향상 필요
기회 Opportunity	<ul style="list-style-type: none"> • NSSC 관심 확대 • 한수원의 RIDM 도입 의지 • 안전종합계획에 따른 KINS RIR 연구 수행 • 원전 상시검사 체계 도입 • 일본 ROP 도입 	<p>(강점으로 기회를 살리는 전략)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 상시검사 시범 적용과 SDP 연계 • 검사 지적사항에 대한 SDP DB 구축 • 고장/정지 사례 ASP DB 구축 • OLM 관련 협의 채널 구축 	<p>(약점보완으로 기회를 살리는 전략)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 리스크모니터링(RM) 제도화 추진 • 정비규정(MR) 제도화 추진 • Data rule 연구 추진
위협 Threats	<ul style="list-style-type: none"> • 신뢰도데이터에 대한 부정적 시각 • ROP 도입 부정적 분위기 • 규제 완화로만 보는 시각 	<p>(강점으로 위협 피하기 전략)</p> <ul style="list-style-type: none"> • SDP 시범 평가 결과 활용, 안전현안 확인 사례 제시 • 국제협력 통한 연구 성과물 객관화 	<p>(약점은 보완하고 위협 피하기 전략)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 작은 것부터 • 준비된 것부터 <div style="text-align: center;"> <pre> graph TD Experience[Experience] --> Understanding[Understanding] Understanding --> Confidence[Confidence] Confidence --> Experience </pre> </div>

[참고] RIR 제도 개선 사례 (ASP)

▪ 원안위 고시 '원자력이용시설의 사고고장 발생시 보고공개 규정'

- 제5조(보고) 제5항

- 별지2호 서식 및 에 따른 '상세보고서' 제출 요구

- 제5조(보고) 제6항

- 상세보고서는 '부록 1. 사건보고서 작성 지침'에 따라야 함

[별지 제2호서식]

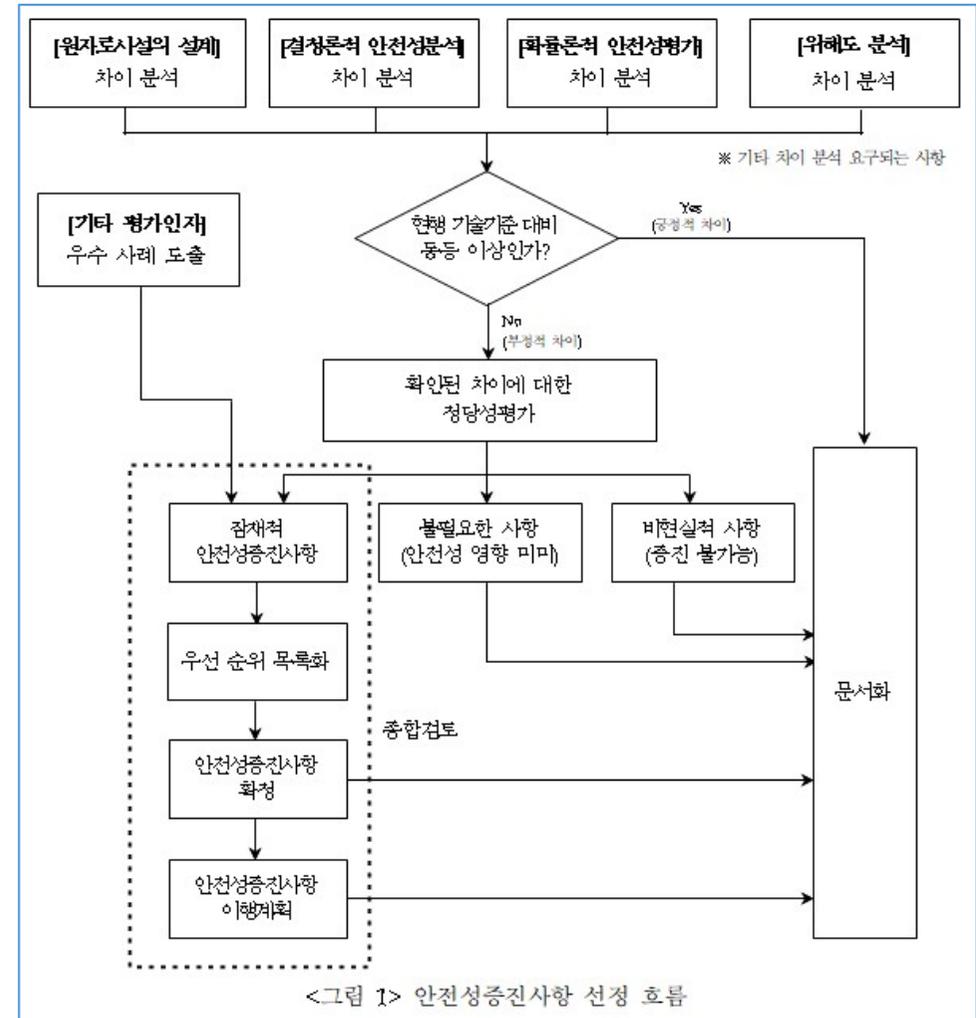
원자력이용시설 사건 상세보고서(계속)

원자력이용시설 사건 상세보고서(계속)	
보고서 일련번호	
<사건 내용>	
II. 사건 세부내용	
III. 안전성 평가	
IV. 근본원인 및 시정조치	
V. 사건으로부터 얻은 교훈	

"...3) 안전성 평가에는 "2) 사건 세부내용"과 "4) 근본 원인 및 시정 조치"에 관한 사항에서 언급된 사항은 기술하지 아니하고 다음 사항을 기술한다.
가) 원인 확인을 위한 조사 수행내용 및 결과
나) 사건 대응조치를 포함한 진행과정 및 결과에 대한 안전성 평가
다) 안전성 측면에서 사건의 심각도 평가 (가능한 경우 정량적 평가를 포함한다.)"

[참고] 주기적안전성평가(PSR)의 PSA

- 원자력안전법 시행규칙 제20조(주기적 안전성 평가의 세부내용) 개정 (2011)
 - PSA를 신규인자로 포함
 - ❖ 4.1 기존의 확률론적 안전성평가에서 고려된 가정사항과 가상 초기사건, 평가방법론 및 컴퓨터 코드에 대해 현행 기술과의 비교 상태 및 원자로시설의 현재 반영 상태
 - PSA의 주기적 개정 근거 마련
- PSR 안전성증진사항 도출에 PSA 활용 고려 중



[참고] 사고관리계획서(AMP)의 PSA

- 원자력안전위원회 고시 제2017-35호(사고관리계획서 작성방법에 관한 규정)
 - 제2장 사고관리계획서 작성계획서의 기재사항, 제4조(사고관리능력의 평가)
 - “ 4. 확률론적 안전성평가(평가결과의 활용에 관한 사항을 포함)”
- KINS 경수로형 원전 규제기준 16.5.3, 제1항
 - “사용목적에 적합한 수준의 품질을 확보해야 한다.”
- KINS 경수로형 원전 규제지침 16.5, II.본문
 - “2) ASME/ANS PRA Standard와 같은 PSA 표준을 활용한 품질 확인 절차를 이행해야 함.”