

Analysis of Risk-Informed Safety Classification for Structures, Systems, and Components of LWRs and Non-LWRs

2025 KNS Spring Meeting

김건 (발표자), 정다영, 김태중

허균영* (Advisor)

목차

1. Introduction

2. LWR SSCs 등급분류

- 10 CFR 50.2, NEI 00-04, ANSI/ANS-30.3-2022

3. Non-LWR SSCs 등급분류

- NEI 18-04

4. Conclusion

I | Introduction

미국 비경수로 규제 체계

- 기존 경수로의 원자로 규제체계 (10 CFR 50, 10 CFR 52)를 개선해, 비경수로 규제 체계를 포함한 10 CFR 53을 Proposed Rule로 개발 진행 중임
- 기술 포용적 (Technology-Inclusive) 규제 지향, 리스크 정보 활용 및 성능 기반 (Risk-Informed, Performance-Based) 평가, 세부단계별 전문가 패널 (Integrated Decision Making Panel)을 골자로 10 CFR 53을 개발하고 있음

비경수로 규제 기초 방법론 개발

- 비경수로 인허가 체계 개발 경험 및 최신 규제방법론을 바탕으로 국내 도입을 위한 격차 분석 수행 및 SSCs 등급분류 방안 수립 진행 ('25년 4월 신규 과제)
 - ✓ 국내에서 진행 중인 비경수로 노형별 개발·실증 일정을 고려한 선제적 규제 체계 준비
 - ✓ 기존 경수로와 차별되는 혁신 설계에 대한 안전성 확인을 위해, 리스크(Risk 또는 위험도) 정보활용 성능 기반 규제원칙 활용



I | Introduction

SSCs 등급분류 분석

- 연구 목적
 - ✓ NEI (Nuclear Energy Institute) 기술 보고서 활용, 경수형(LWR) 과 비경수형(non-LWR) 간 구조물, 계통, 기기 (SSCs) 등급분류의 기술적 격차 소개 진행
 - ✓ 향후 국내 비경수형 원자로 규제 기술 개발 과정에서 등급분류 기준 수립 시 참고자료로 제공하고자 본 논문을 작성함

II | LWR SSCs 등급분류

10 CFR 50.2

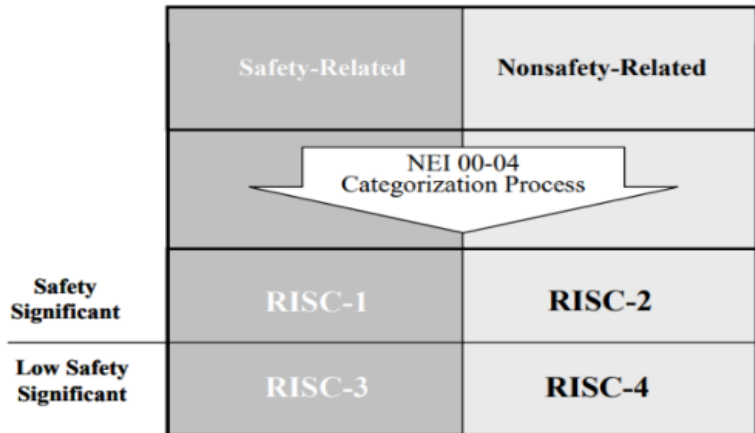
- 안전 / 비안전 구분 기준
 - ✓ 다음 표의 기능을 수행하지 않는다면 비안전 SSCs, 수행한다면 안전 SSCs로 구분함

안전 SSCs 기능 (설계기준사건 진행 중 or 진행 후)

- | |
|---|
| 1. 원자로 냉각재 압력 경계의 건전성 유지 |
| 2. 원자로 정지 및 안전 정지 상태(safe shutdown condition) 유지 능력 |
| 3. 사고로 인한 잠재적 소외 피폭 예방 및 완화 능력 |

NEI 00-04

- 10 CFR 50.69를 기반으로 경수형 원자력 발전소 SSCs를 리스크 정보활용으로 분류하는 방법에 대한 실제 절차 및 방법론 작성
 - ✓ 다음 그림과 같이 리스크 정보활용 기반 등급분류 (RISC)를 진행, SSC를 4개 그룹으로 분류하고자 함
 - ✓ PSA 와 심층방어 개념을 활용, 설계기준사고 및 중대사고 대응능력을 유지하면서 안전성 평가 및 관리 절차 수립
- [규제 범위의 확장 및 규제 적용의 조정]**



II | LWR SSCs 등급분류

ANSI/ANS-30.3-2022

- 리스크 정보 활용 기반 경수로 등급분류 제시 기술 표준
 - ✓ PSA 결과 활용, 시스템을 안전 및 비안전으로 분류하는 것을 목표로 작성

주요 분류 기준

경수로 등급분류 핵심 기준
1. PSA 기반 리스크 평가 기준은 절대 기준*과 상대 기준**으로 구분, 특정 SSC의 중요도를 평가하는데 사용 됨
2. 리스크 중요도 정량화 방법 정의, SSC의 리스크 기여도에 따라 신뢰도 및 가용성을 조정 함
3. 다수기 원자력발전소 및 방사성 물질의 리스크를 반영해야 함

* CDF, 연간 유효 선량, 설계 한계 값 등
** Risk Importance Measures, Ranking Methods를 이용한 상대적인 리스크 중요도 평가 기법

III | Non-LWR SSCs 등급분류

NEI 18-04 (Chapter 3, 4)

- 10 CFR 50.69를 이용해 비경수형 SSCs 등급분류 접근 방식 정의
 - ✓ Safety-Related, Non-Safety-Related with Special Treatment (NSRST), Non-Safety-Related with No Special Treatment (NST)
 - ✓ 등급분류 방법 제시

비경수형 등급분류	비경수형 등급분류 방법
1. 안전 설계기준사고에서 방사성 영향을 방지하기 위한 필수 기능 수행, 높은 신뢰성과 특별 취급이 요구됨	1. LBE에 대한 예방 및 완화 기능 식별
2. 비안전 (특별 조치 필요) 안전 등급은 아니지만, 높은 risk-significant와 적절한 심층방어를 보장하기 위해 특별 취급이 요구됨	2. 심층방어 구조 평가 및 SSC 역할 분석
3. 비안전 (특별 조치 불필요) 안전기능과 직접적 관련 X, 특별한 규제 요구사항 없음	3. RSF 정의
	4. Safety-Related SSC 선정
	5. NSRST SSC 선정
	6. NST SSC 선정

※ LBE (Licensing Basis Event), RSF (Required Safety Function), PSFs (PSA Safety Functions)



IV| Conclusion

기술적 격차 분석

- LWR 과 non-LWR의 SSC 등급분류에서의 기술적 격차 분석
 - ✓ LWR : PSA, DiD 평가를 통해 SSC의 역할, 기능, 신뢰성을 포괄적으로 평가하는 분류 시스템 검증 완료
 - ❖ 기존 규제를 조정 (adjust)하여 RISC 1~4를 통한 SSC 등급분류를 제안함
 - ✓ Non-LWR : PSA 분석, DBA 영향 평가를 바탕으로 총 3가지 (SR, NSRST, NST) 방법으로 등급분류 진행
 - ❖ 규제 설계 자체를 유연하게 반영하고자 함

[LWR : 기존 규제를 조정 (adjust) 하여 등급분류를 진행함, 결정론적 규제 접근 방식]

[Non-LWR : 처음부터 SSC의 고유한 특성에 따라 규제 조치를 적용하고자 함, 결정론 + PSA + 정성적 평가]

결론 & Future Work

[Future Work]

- 비경수로 노형별 사고 시나리오 활용 등급분류 방안 수립 예정
 - ✓ 국외 비경수로 안전등급분류(NEI 18-04, NEI 21-07) 내용을 토대로 국내에서 개발되는 비경수로 대상 예비 리스크 평가를 수행. 최종적으로 국내 법제도 체계에 부합하는 안전등급분류 방안을 수립하고자 함



Q&A

2025 KNS Spring Meeting

(발표자) 김건 newlove27@khu.ac.kr

(교신저자) 허균영 gheo@khu.ac.kr