

Improved Regulatory Approaches for Digital I&C Upgrade of Operating Nuclear Power Plants

Y. M. Kim, H. G. Lee and G. S. Lee

Korea Institute of Nuclear Safety, 62 Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea, 305-338



Improved Regulatory Approaches for Digital I&C Upgrade of Operating Nuclear Power Plants

2021. 10. 21 ~ 22

원자력안전연구원
김영미

KINS KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR SAFETY

개요

배경 및 필요성

- 가동 원전 설비의 노후화, 교체 부품 조달의 어려움, 유지보수 비용 증가 등의 문제점으로 인해 기존 계통과 기기에 디지털 기술을 적용하여 이를 개선·교체하는 사례 증가
- 가동 원전의 디지털 설비개선을 위해서는 대상이 되는 계통 및 기기의 변경을 위한 규제기관의 승인 필요
 - 미국의 경우 가동 원전의 설비개선과 관련하여 10 CFR 50.55a(h)와 10 CFR 50.59 법규를 적용, 이를 기반으로 한 규제지침과 기술 지침 제시
 - 국내에는 원자력안전법 시행령 제34조(변경허가 신청), 시행규칙 제17조(변경허가의 신청) 및 시행규칙 제18조(경미한 사항의 변경신고)에 따라 원자력 시설 변경 인허가 수행 중
- 국내의 경우는 미국과는 달리 안전중요도에 따른 차등화된 계통-수준 및 기기-수준의 디지털 설비개선 사안을 다루고 있지 않음
 - 안전중요도에 따른 차등화된 규제입장을 명확히 함으로써 설비개선에 따른 설계, 이행 및 인허가 문서 등에 대한 규제의 불확실성 감소 필요

디지털 I&C 설비개선 관련 국내외 규제체계 분석

국내 규제 체계

- 국내의 원자력안전법은 발전용원자력시설의 인허가와 관련하여 건 설허가와 운영허가로 구분
- 디지털 설비개선 시 허가받은 사항을 변경하려는 때에는 변경허가 또는 경미한 사항의 변경신고를 하여야 함
 - 이는 발전용원자로 및 관계시설 전반에 대해 적용한 것으로 디지털 I&C 설비변경에만 국한하여 적용하는 것은 아님

디지털 I&C 설비개선 관련 국내외 규제체계 분석

미국 NRC 규제 체계

- 미국의 디지털 I&C 변경에 적용되는 규제체계는 1) 10 CFR 50.55a(h)에 근거한 계통-수준의 대규모 설비개선과 2) 10 CFR 50.59에 근거한 기기-수준의 소규모 설비개선으로 구분 가능
- 10 CFR 50.55a(h)에 따른 디지털 I&C 설비개선
 - 신규 원전의 PSAR 및 FSAR 심사, 설계인증(DC)/통합운영허가(COL) 심사, 특정기술주제보고서 심사
 - 가동 중 원전의 RPS나 ESFAS의 디지털 I&C 변경은 10 CFR 50.55a(h)의 규제요건에 따른 계통-수준의 대규모 설비개선임
 - 이와 같은 대규모 설비개선에는 10 CFR 50.55a(h)에서 승인한 IEEE Std. 279 및 603의 기준을 만족시키기 위해 SRP 7장, 표 7-1에 수록된 각종 법규, 규제요건, 규제지침과 관련된 승인된 기술기준, 분과기술입장(BTP) 등이 적용
 - 디지털 I&C 계통의 품질과 다양성 설계원칙을 만족시키기 위해 NRC BTP 7-14, 7-19, EPRI TR-106439와 같은 규제 및 산업 지침들이 적용

디지털 I&C 설비개선 관련 국내외 규제체계 분석

미국 NRC 규제 체계

- 10 CFR 50.59에 따른 디지털 I&C 설비개선
 - 10 CFR 50.59의 법령은 원전운영자가 발전소 설비를 변경하고자 할 때 NRC의 사전 승인을 받지 않고도 추진할 수 있도록 하는 법령
 - 고장분석 수행 및 리스크 계산결과가 무시할 수 있는 수준, 또는 무시할 수는 없으나 허용 가능한 수준으로 확인되면 NRC의 사전 승인 없이 설비변경 추진 가능
 - 디지털 I&C 설비개선이 충분히 낮은 고장 확률을 보일 것이라는 결론에 도달하기 위해 "정성적인 평가" 및 "고장분석" 방법들을 제안
 - 소규모 디지털 I&C 설비개선은 아날로그/디지털 계전기 교체, HVAC 디지털 제어장치 교체, 배상디젤발전기(EDG) 디지털 제어장치 교체, EDD 내장형 차단기 교체, 디지털 기록계 및 지시계 교체, 그리고 비안전 관련 제어계통 디지털 설비개선 등을 포함

디지털 I&C 설비개선 관련 NRC 규제요건 및 기술기준 분석

NEI 01-01 분석

- 10 CFR 50.59 법령이 개정됨에 따라 디지털 설비개선과 관련하여 인허가를 지원하는 EPRI TR-102348의 내용을 개정한 문서
 - 원전 운영자가 디지털 설비개선의 추진 및 인허가를 일관되고 체계적으로 수행할 수 있도록 지원하기 위한 설계 및 이행 지침을 제공
- 디지털 설비개선 절차
 - 발전소 설비 변경 절차로서 변경제안서, 사업 정의 및 기획, 요구사항, 설계 및 이행, 시험, 설치 및 시운전, 운전, 정비 및 지원 단계 포함
 - 디지털 현안들을 다루는 절차로서 고장분석, 공학적인 평가, 그리고 인허가 절차 및 10 CFR 50.59 평가
- 인허가절차 및 10 CFR 50.59의 적용
 - 운영기술지침서 변경, 10 CFR 50.59의 선별, 10 CFR 50.59의 평가, 그리고 필요시 인허가경신요청서(LAR) 작성으로 구성
 - 선별절차의 기준은 1) 운영기술지침서의 변경 여부, 2) FSAR에 기술된 설계기능에 영향 여부, 3) 그 변경이 기본적으로 HSI의 변경 필요 여부, 4) FSAR의 설계기능이 약화할 여부 기반

디지털 I&C 설비개선 관련 NRC 규제요건 및 기술기준 분석

NEI 01-01 분석

- NEI 01-01 국내 적용 방안
 - NEI 01-01에서 제시한 인허가절차와 10 CFR 50.59 절차는 원자력안전법에서 다루지 않으므로 국내 디지털 설비개선에는 적용할 수 없음
 - 원자력안전법 제20조(운영허가)에 따라 국내 원전의 안전관련설비의 변경을 수반하는 모든 디지털 설비개선은 변경 허가를 받아야함
 - 고장분석과 관련하여, IEEE Std. 603, 5.15절에서는 신뢰도 분석을 요구하고 있으며, 국내 원전 운영자는 디지털 설비개선 설계 및 인허가를 위한 고장유형 및 영향분석(FMEA) 수행이 요구됨
 - FMEA를 통한 고장분석은 제안된 디지털 I&C 변경에서 예상된 공통원인고장 취약점을 확인하고 설계를 추가로 변경할 것인지를 평가하는데 사용될 수 있으며, 계통-수준의 고장이나 거동을 파악하고 그 해결방안들을 강구하기 방법으로 활용가능
 - NEI 01-01의 인간공학, 심층방어 및 다양성 기술, 보안 현안 평가와 관련된 주제는 디지털 기술이 갖는 고유한 기술현안이므로, 국내 원전의 디지털 설비개선에 적절히 반영되어야 함

디지털 I&C 설비개선 관련 NRC 규제요건 및 기술기준 분석

NRC 규제현안요약서(RIS) 2002-22, Supp. 1 분석

- NRC는 NEI 01-01 지침을 디지털 설비개선을 위한 설계 및 이행 지침으로 사용하도록 승인하는 RIS 2002-22 발행
- RIS 2002-22, Supp.1에서는 제안된 디지털 I&C 변경의 공통원인고장 가능성을 포함한 모든 고장 가능성 평가에 사용될 수 있는 "정성적인 평가" 지침을 제시
- RIS 2002-22, Supp.1의 국내 적용 방안
 - 국내 원전의 디지털 I&C 변경에는 RIS 2002-22, Supp.1의 지침을 적용할 수 없음
 - 원자력안전법에 의하면 디지털 I&C 변경에 대한 정성적인 평가 결과 고장확률이 충분히 낮은 것으로 확인이 되더라도 국내 원전 운영자가 원자력위원회의 사전 승인 없이 디지털 I&C 변경을 추진할 수 없음
 - 다만, 원전 운영자는 안전성 중요도가 낮은 설비에 대한 디지털 I&C 변경에서 정성적인 평가 요소를 고려하여 그 변경에 따른 설계, 이행 및 인허가 문서화를 추진할 수 있을 것으로 판단함

디지털 I&C 설비개선 관련 NRC 규제요건 및 기술기준 분석

NEI 96-07, 부록 D 분석

- NEI 96-07의 산업지침은 10 CFR 50.59의 평가를 일관되고 체계적으로 수행하고자 하는 원전 운영자를 지원하기 위해 작성
- NEI 96-07, 부록 D, 개정 1은 디지털 I&C 변경을 수행할 때 10 CFR 50.59를 충족하기 위한 적합한 방식을 제시
 - 디지털 I&C 변경 수행 시 10 CFR 50.59 선별 및 평가와 관련된 지침과 예시 제공
- NEI 96-07, 부록 D의 국내 적용 방안
 - NEI 96-07, 부록 D, 개정 1의 산업지침은 디지털 변경과 관련하여 10 CFR 50.59 법령의 적용 및 선별, 평가 절차를 다루고 있음
 - 그러나, 국내 원자력안전법에 의하면 "변경허가"와 "경미한 사항의 변경신고" 조항은 있으나, 10 CFR 50.59 법령과 같은 평가절차는 규정되어 있지 않아 국내 원전의 디지털 I&C 변경에 직접 적용될 수 없음
 - 안전중요도가 낮은 기기-수준의 디지털 변경에 대해서는 규제의 차등화, 융통성 또는 명확성을 고려하고 NEI 96-07, 부록 D, 개정 1 산업지침의 취지를 반영한 새로운 규제지침을 개발할 필요성이 있음

국내 원전 디지털 I&C 설비개선 관련 규제 개선 방향

설비개선 규모 및 안전 중요도에 따른 차등적 접근

- 디지털 I&C 설비개선 시 설비개선 규모에 따라 계통-수준의 설비개선과 기기-수준의 설비개선으로 구분하여 규제요건을 적용
- 안전중요도가 높은 계통-수준의 디지털 I&C 설비개선
 - RPS와 ESFAS와 같이 안전 중요도가 높은 계통-수준의 디지털 설비개선에 대해서는 기존의 규제요건 적용을 유지
 - 기본적으로 원자로 규칙 제4절 품질보증기준(10 CFR 50, Appendix B의 품질보증요건을 포함)과 IEEE Std. 603의 품질기준이 적용
 - 소프트웨어 품질보증은 IEEE Std. 7-4.3.2-2003, 5.3절의 품질기준에 따라 이행
 - BTP 7-14에 따른 컴퓨터-기반 I&C 계통의 SW 검토에 관한 지침 이행
 - 일반규격품의 경우는 EPRI TR-106439 지침 적용
 - BTP 7-19, 개정 8에 따른 심층방어 및 다양성 분석이 수행 필요
 - 디지털 I&C 설비개선이 추진되는 시점에서 유효한 기술기준의 적용 필요. 다만, 필요성이 인정될 경우 최신 기술기준의 적용 권장

국내 원전 디지털 I&C 설비개선 관련 규제 개선 방향

설비개선 규모 및 안전 중요도에 따른 차등적 접근

- 안전중요도가 낮은 기기-수준의 디지털 I&C 설비개선
 - NRC RIS 2002-22, Supp.1을 참조하여 정성적인 평가와 고장분석을 활용
 - 공통원인고장 발생 가능성이 충분히 낮음을 확인하면, 품질기준 관련 인허가 요건을 완화시켜 줄 수 있는 방향으로 규제요건 개선
 - BTP 7-14과 BTP 7-19의 적용을 요구하지 않음
 - 일반규격품의 경우는 EPRI TR-106439 지침 적용
 - 다만, 다음과 같은 조건을 만족하면 계통-수준의 요건 적용 필요
 - FSAR에 기술된 설계기능의 다중성, 다양성, 분리 또는 독립성을 훼손
 - 여러 계통들이 함께 사용하는 네트워크를 공유
 - 서로 다른 계층체널들이나 계통들의 기능을 통합
 - 차원, 축 전원장치 등을 공유 등
 - 기기-수준의 설비개선이 이루어지는 경우는 계통 수준에서 인허가 획득 시점에 적용이 승인된 기술기준의 적용이 가능
 - 다만, 필요성이 인정될 경우 현재 시점의 유효한 기술기준 혹은 최신 기술기준의 적용 가능

원자력 안전 KINS가 만들어 갑니다!

감사합니다

KINS KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR SAFETY

글로벌 원자력안전의 중심

KINS KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR SAFETY