

Regulatory Experiences of Digital Upgrade in Domestic Nuclear Power Plants



국민에게 신뢰받는 안전 최우선의 KINS

2021. 10.

1 서론

2 국내 디지털 설비 개선 사례

3 결론

기존 아날로그 설비를 디지털 I&C 설비로 개선

-  기존 아날로그 설비의 노후화 및 단종으로 인한 대체품 확보의 어려움
-  품질보증프로그램(10 CFR 50, App. B)을 운영하는 회사의 감소
-  디지털화로 인한 신뢰성 및 성능, 안전성 향상
-  디지털 시스템은 공통원인고장(Common Cause Failure) 등의 새로운 문제점 야기

국내 디지털 I&C 개선 사례를 통해 디지털 설비 개선에 따른 장점 및 문제점 등을 파악

국내 디지털 설비 개선 사례 - 고리1호기 발전소보호계통 설비 개선

개요

-  국내 가동 원전 중 최초의 안전계통에 대한 디지털 설비 교체 사례
-  기존 아날로그 설비의 노후화와 단종으로 인한 대체품 확보의 어려움
-  신뢰성과 안전성 향상의 목적
-  아날로그 모듈을 디지털 모듈로 변경
 -  H-Line → SPEC 200 Micro 및 SPEC 200 입출력 모듈(Foxboro사)
-  변경되지 않는 다른 계통에 영향이 없음
-  디지털 장치로 변경됨에 따라 공통원인고장에 취약한 경우
 -  다양성 확보를 위해 기존의 아날로그 방식 유지

주요 심사 내용 및 결과

기존의 규제 요건 만족

-  10 CFR 50.55a(h), IEEE Std. 603 등
-  IEEE Std. 7-4.3.2의 요건에 따라 개발(SPEC 200 Micro)

공통원인고장에 대한 방어 설계

-  최종안전성분석보고서 15장의 Condition II, III, IV에 대한 정성적인 평가
-  다중 채널에 대한 공통원인고장 취약점(6건), 전체 공통원인고장 취약점(5건)
-  관련 트립 변수의 다양성 대체를 위해 기존 아날로그 방식 유지
-  다양한 보호기능을 필요로 하는 사건 중 최소한 두 방어계층 요건을 만족하지 못하는 사건
→ 통제불능의 보론 희석, 주급수계통의 고장으로 인한 과도한 열제거

사건 빈도

- condition I : 정상 운전(Normal Operation and Operation Transients)
- condition II: 보통빈도 사건(Moderate Frequency Events)
- condition III: 희귀빈도 사건(Infrequent Events)
- condition IV: 제한사고(Limiting Faults)

개요

다양성보호계통(DPS)

-  원자로가 정지되어야 할 조건임에도 정지되지 않는 원자로정지불능 예상과도상 태(ATWS)를 방지
-  원자로 정지 및 보조급수 작동신호를 발생시키는 설비
-  원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 27조(다양성보호계통) 및 10 CFR 50.62

PLC 기반의 DPS 설비를 FPGA 기반의 설비로 교체

-  캐비닛으로 내부 구성품만 변경

- * DPS: Diverse Protection System
- * ATWS: Anticipated Transient without Scram
- * PLC: Programmable Logic Controller
- * FPGA: Field Programmable Gate Array

주요 심사 내용 및 결과

DPS 구성의 적합성

-  비안전계통이지만 심층방어 및 다양성 개념을 적용하여 설계
-  기존의 심층방어 및 다양성에 대한 변경 없음
-  동일한 DPS 입출력 신호 사용하여 원자로보호계통과 독립성 유지

하드웨어 설계 적합성

-  FPGA 기반 하드웨어는 2채널로 구성
-  고장 발생 시 DPS 신호를 차단하고 경보를 발생하도록 설계
-  기계적인 우회 스위치를 최종 출력단에 설치하여 불필요한 원자로정지 방지

소프트웨어 설계 적합성

-  IEEE Std. 1012 등의 기술기준에 따라 개발, 확인 및 검증, 시험 등의 생명주기 활동 수행
-  DPS 구동을 위한 소프트웨어(ITS), 보수시험반(ITA), FPGA(IEC 62566)가 관련 기술 기준에 따라 설계됨을 확인

* ITS: Important to Safety

* ITA: Important to Availability

국내 디지털 설비 개선 사례 - 디지털제어봉계통 설비 개선

개요

-  디지털제어봉제어계통(DRCS)는 제어봉구동장치(CEDM)에 전력을 공급하여 제어봉을 인출, 삽입 또는 유지시킴
-  기존 단일 기기로 구성되어 고장 시 원자로가 불시에 정지됨
 -  1995년 이후 17회의 원자로정지 발생
-  이중화 설계 및 제어봉 이중 유지(double hold) 기능 적용
-  이동집계권선 및 정지집계권선에 유지 전류를 자동 공급
 -  제어봉구동장치로 인가되는 전원 이상 시 제어봉 낙하를 방지

* DRCS: Digital Rod Control System

* CEDM: Control Element Drive Mechanism

주요 심사 내용 및 결과

소프트웨어 설계 적합성

 ITA 등급의 소프트웨어 설치

 IEEE Std. 1012 등의 기술기준에 따라 개발, 확인 및 검증, 시험 등의 생명주기 활동 수행

제어봉 낙하 시간

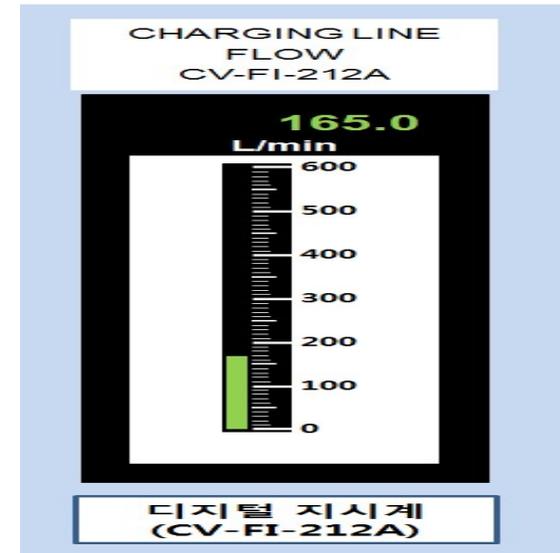
 관련 기술기준인 KEPIC QAP-1 기본요건 12에 따라 주기적인 교정 필요

 주기적인 교정을 위한 절차서 발행 확인

국내 디지털 설비 개선 사례 - 한빛3,4호기 유량계 형식 변경

개요

- 기존 아날로그 충전펌프 출구헤더 유량계는 가동중시험 시 요구되는 계측기 측정범위에 대한 관련 요건을 만족하지 못함
 - 전력산업기술기준 MOB 4812 측정범위
- 한빛3호기 정기검사 시 지적사항 발행
- 아날로그 유량계를 디지털 유량계로 변경
 - 기술기준을 만족하는 동시에 가동중시험의 신뢰성을 보장하는 설계 변경



주요 심사 내용 및 결과

아날로그 계측기의 측정범위 요건 불만족

-  전력산업기술기준 MOB 4812 측정범위
-  최대 눈금범위가 기준값의 3배 보다 크지 않아야 함
-  기준값의 3.3배(최대 눈금범위: 600 lpm, 시험기준량: 165-180 lpm)

디지털 계측기 교정범위

-  기준값이 교정범위의 70%를 넘지 않아야 함

디지털 계측기로 변경

-  전력산업기술기준 MOB 4812를 만족시킴
-  정밀도 향상: 아날로그(1%) → 디지털(0.25%)

디지털 기반 설비로 개선

-  기존 아날로그 설비의 노후화 및 단종으로 인해 대체품 확보의 어려움
-  디지털화로 인해 신뢰성 및 성능 향상
-  공통원인고장, 내환경 검증 등 새로운 문제점 야기
 -  기존 아날로그 설비에서는 고려되지 않은 새로운 문제점
-  다양한 국내 디지털 설비 개선 사례를 통해 장단점 확인
-  디지털 설비 개선은 지속적으로 증가할 것이며, 관련 기술기준에 따라 적절히 평가되어야 함



THANK YOU!!