



원전 안전 등급 제어 기기(PLC) 개발

권기춘

한국원자력연구소 미래원자력기술개발단 책임연구원

이동영·김창희

한국원자력연구소 계측제어·인간공학연구부 책임연구원

최창호

(주)포스콘 기술연구소장

개요

계측 제어 시스템은 원자력발전소의 신경망과 두뇌에 해당되는 계통이다.

원전 계측 제어 시스템 중에서 가장 중요한 안전 계통은 원전에 이상 상태가 발생하면 자동으로 발전소를 정지시키고, 사고 발생시에 노심의 건전성을 유지하여 방사능이 외부로 유출되는 것을 방지한다.

최근까지 이러한 안전 계통은 그 기능의 중요성 때문에 마이크로 프로세서 및 소프트웨어 등과 같은 최신 기술을 채택하지 못하고 아날로그 시스템으로 제작되었다.

국내에서는 2005년 상업 운전을 시작한 울진 5, 6호기에 이르러 비로소 웨스팅하우스가 공급한 Programmable Logic Controller (PLC) 기반의 디지털 안전 계통이 설치되었다.

PLC는 공정 제어 시스템에 사용되는 제어 기기로서, 해당 PLC 모

듈을 용도에 따라 조합하고 프로그램을 통해 원하는 제어 기능을 수행한다.

원전 안전 계통에 사용되는 PLC 제어 기기는 설계, 제작, 시험 등 모든 과정에서 일반 산업용 제어 기기와는 다르게 개발되고 있다.

이와 같이 엄격한 원전 요건 때문에 현재 세계적으로 안전 등급 PLC 제어 기기를 공급하고 있는 회사는 웨스팅하우스, 아레바 등 일부 외국 기업에 국한되어 있다.

국내에서는 산업자원부의 원전 계측제어시스템개발(KNICS) 사업을 통해 원전 안전등급 PLC 제어 기기를 개발하고 있다.

(주)포스콘은 산업용 제어 기기인 POSFA PLC 개발 경험을 활용하여 원전 안전 등급 제어 기기인 POSAFE-Q PLC를 개발하였다.

POSAFE-Q PLC의 개발을 위해 분야별 전문 기술을 보유한 원자력연구소, 전기연구원, 포항공대, 한국과학기술원, 기초전력연구원

등 많은 산·학·연 기관이 컨소시엄을 구성하여 개발을 지원하고 있다.

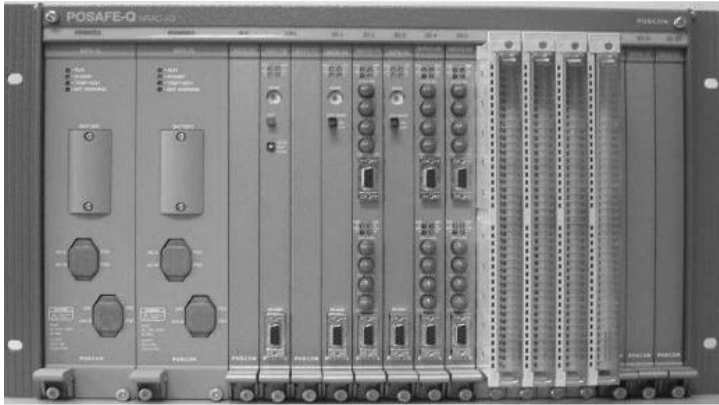
개발 현황

POSAFE-Q PLC 제어 기기는 국내 최초로 설계 인증을 획득한 APR-1400 원전의 원자로 보호 계통(RPS), 공학적 안전 설비 - 기기 제어 계통(ESF-CCS), 노심 보호 연산기 계통(CPCS), 지시 및 경보 계통(QIAS), 부적절 노심 냉각 감시 계통(ICCMS) 등과 같은 안전 계통에 공통 플랫폼으로 사용할 수 있는 제어 기기이다.

POSAFE-Q PLC는 원전 안전 계통에 요구되는 법규, 규제 지침 및 기술 표준에 따라 개발되었다.

특히 안전 등급 PLC 상세 사양 지침서인 EPRI TR-107330를 참조하여 설계사양을 개발하였다.

POSAFE-Q PLC 모듈의 사양 및 규격은 다음과 같다.



<그림 1> 안전 등급 PLC 제어 기기



<그림 2> PLC 계통 시험 장면

- 프로세서 모듈(NCPU-1Q) : (HR-SDL, 필드버스 프로토콜 사용)
 - 채널 내부 및 외부 통신 모듈 (Profibus-FMS)
 - 안전 통신망 모듈(HR-SDN, 필드버스 프로토콜 사용)
 - Ethernet 통신 모듈(비안전 정보 통신용)
 - DC 24V/48 입력 모듈(NI-
- TI DSP SMQ320C32PCMM-60M(Military) 채택
 - Multitasking with 8 independent Tasks
 - Engineering Tool : IEC 61131-3 적용
 - 이중화 전원 모듈(NSPS-1Q)
 - Safety Data Link 통신 모듈

D23Q/NI-D43Q)

- AC 120V/230V 입력 모듈 (NI-A11Q/NI-A21Q)
- DC 24V/48V 출력 모듈 (NQ-D23Q/NQ-D43Q)
- AC 220V 출력 Common(NQ-A11Q)
- 릴레이 출력 (NQ-A24Q)
- 아날로그 입출력 (NAD8-1Q/NDA8-1Q)
- RTD/TC 모듈
- 펄스카운터 모듈
- Rack : 482.6 x 281.35 x 294mm(19 inch Standardization)

POSAFE-Q PLC는 KEPIC (Korea Electric Power Industry Code) 전력 기준에 따라 설계, 제작, 시험 되었다.

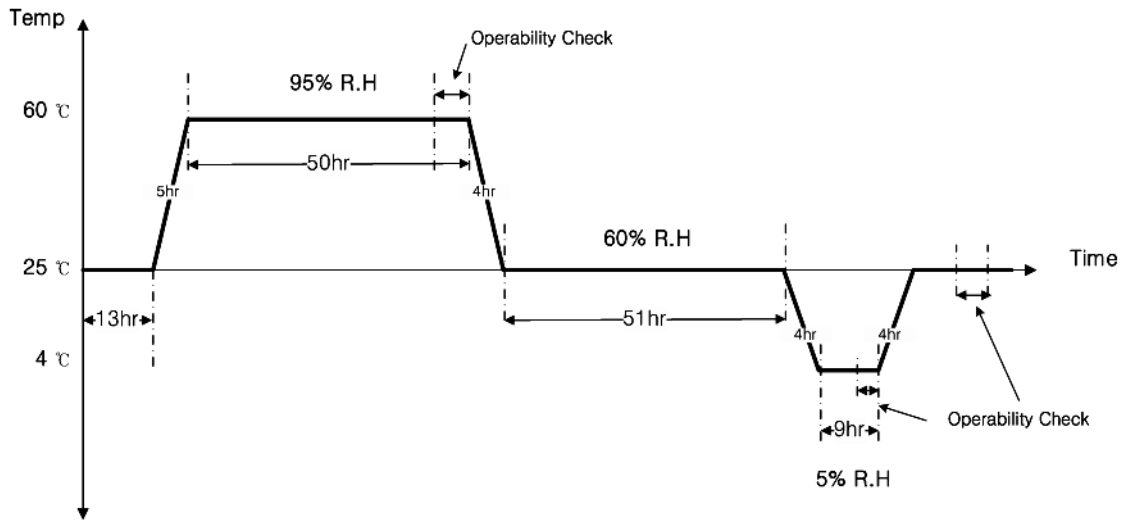
특히 PLC 모듈의 기능 및 성능 적합성을 평가하기 위해 단위 모듈 시험, 통합 시험, 계통 시험을 수행 하였다.

단위 모듈 시험은 PLC 모듈에서 사용된 하드웨어 부품 또는 소프트웨어 서브루틴의 개별 기능과 성능을 시험한다.

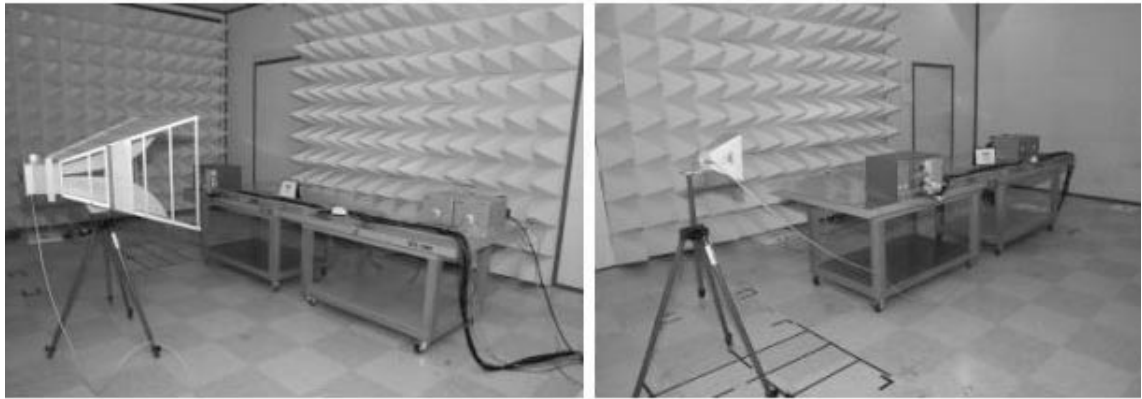
통합 시험은 PLC 모듈별로 하드웨어와 소프트웨어의 통합된 기능 및 성능을 시험한다.

계통 시험은 PLC 랙 단위로 다음과 같은 기능 및 성능을 확인하는 시험이다.

이들 각종 시험을 통해 발견된 오류는 피드백을 통해 설계 변경에 반영되었다.



<그림 3> 내환경 시험 envelope



<그림 4> 전자기파 시험 장면

- Response time test
 - I/O capacity test
 - Memory capacity & data retention capacity test
 - Communication module performance test
 - Error handling capacity test
 - Prudency test
- POSAFE-Q PLC 제어 기기

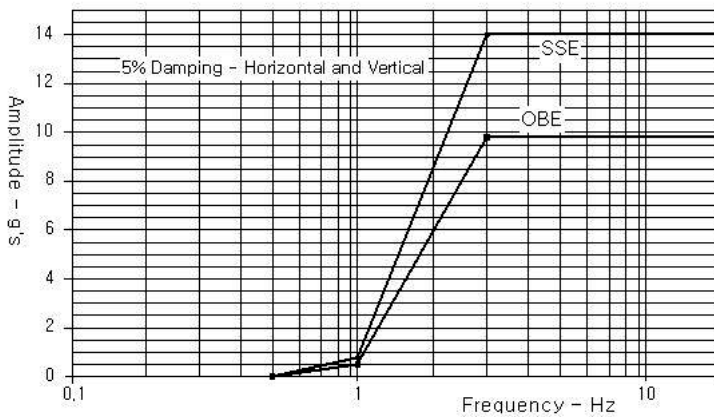
원전 운전 환경에서 수명 기간 동안 정상적으로 동작할 수 있는지 파악하기 위하여 다음의 기준에 따라 산업기술시험원(KTL)에서 기기 검증(EQ) 시험을 수행하였다.

- 내환경 시험 기준 : IEEE Std. 323
- 내진 시험 기준 : IEEE Std. 344

• 전자파 시험 기준 : EPRI TR-102323-R2 및 MIL-STD 461E

내환경 시험은 60 °C 온도와 95% (비응축 조건)의 습도 조건에서 48시간 그리고 4.5 °C 온도와 5%의 습도 조건에서 8시간 정상 동작을 보장하여야 한다.

<그림 3>의 내환경 시험 곡선에



<그림 5> 내진 시험 OBE 및 SSE 곡선

따라 시험한 결과 통과하였다.

전자기파 시험은 EPRI-TR 102323-R2의 기준 및 MIL-STD 461E에서 제시하는 방법에 따라 적합성 시험을 수행하였다.

시험 항목은 MIL-STD 461E의 RE101, RE102, CE101, CE102, RS101, RS103, CS101, CS114를 포함하였다.

정전기(ESD) 시험은 ±15KV 공중 방전(air discharge) 및 ±8KV 접촉 방전(contact discharge)을 시험하였다.

서지 내성은 향후 러시아 수출을 감안하여 ±4KV로 시험하였다.

Electric Fast Transient(EFT) 시험은 전원 공급선에 ±2KV 및 신호선에 ±1KV의 전기 강도를 인가하여 시험하였다.

내절연 시험은 비안전 등급 기기와 인터페이스되는 릴레이 출력 모듈에 대해 600VAC 및 250VDC를 30초 동안 인가하여 격리가 유지되는지 시험하였다.

POSAFE-Q PLC 제어 기기는

이상의 모든 시험에 대해 통과하였다.

지진 발생시에도 안전 등급 PLC 제어 기기가 정상적으로 동작하는지 입증하기 위하여 IEEE Std 344의 요건에 따라 내진 시험을 수행하였다.

Operating Basis Earthquake(OBE) 및 Safety Shutdown Earthquake(SSE)는 제어기기가 설치되는 발전소의 부지의 지반 구조에 따라 결정되어야 한다.

그러나 범용으로 사용될 POSAFE-Q PLC는 EPRI-TR 107330의 Required Response Spectrum(RRS) 기준(<그림 5> 참조)에 따라 내진 시험을 수행하였다.

소프트웨어 확인 및 검증

POSAFE-Q PLC 제어 기기가 디지털 원전 안전 계통에 적용되기 위해서는, PLC 모듈에 포함된 모든 소프트웨어가 원전 요건에 따라

적합하게 개발되었음을 검증하여야 한다.

이러한 검증은 10CFR50, Appendix B의 요건에 따라 컴퓨터 시스템의 상세 요건인 IEEE Std 7-4.3.2를 만족하여야 한다.

이와 병행하여 POSAFE-Q PLC는 IAEA 기준인 Requirements NS-R-1, "Safety of Nuclear Power Plants: Design"과 Safety Guide NS-G-1.3, "Instrumentation and control systems important to safety in Nuclear Power Plants" 요건을 만족하도록 개발되었으며, IEC 60880-2006, "Nuclear Power Plants-I&C systems important to safety-Software aspects for computer based systems performing category A functions"에 따라 검증하였다.

또한 NUREG-0800/HICB-BTP14, "Guidance on Software Reviews for Digital Computer-Based Instrumentation and Control System," 요건에 따라 개발된 소프트웨어에 대하여 확인 및 검증, 안전성 분석, 형상 관리 체계 하에 소프트웨어의 품질을 보증하였다.

이러한 소프트웨어 품질 보증 공정은 IEEE Std 1074를 만족하는 다음 단계의 소프트웨어 생명 주기 모델에 근거를 두고 있다.

- 개념 설계 및 계획 단계(Concept and Planning Phase)

- 요구 사항 분석 단계 (Requirement Analysis Phase)
- 설계 단계 (Design Phase)
- 구현 단계 (Implementation Phase)
- 통합 단계 (Integration Phase)
- 검증 단계 (Validation Phase)
- 설치 및 검사 단계 (Installation and Check Out Phase)
- 운전 및 보수 단계 (Operation and Maintenance Phase)

POSAFE-Q PLC는 개발 초기 단계에서 소프트웨어의 오류를 발견하고 설계 요건 / 기술 표준 / 인허가 기준을 만족하는지 확인하기 위하여, 다양한 기법을 사용하여 소프트웨어 개발 공정별로 결과물에 대한 체계적인 소프트웨어 검증을 수행하였다.

POSAFE-Q PLC 소프트웨어의 품질 향상 및 안전성 목표를 효과적으로 달성하기 위하여 개발 조직과 독립적으로 소프트웨어 확인 및 검증, 소프트웨어 안전성 분석 그리고 소프트웨어 형상 관리 평가 업무를 수행하였다.

POSAFE-Q PLC 제어 기기의 소프트웨어 개발 절차에 대한 적합성 및 건전성을 입증하기 위해 실시간 운영 체제 및 안전 등급 통신망에 대해서는 독일의 ISTec과 비안전 통신망에 대해서는 한국정보통신기술협회(TTA)를 통해 제3자 검증을 수행하였다.

또한 정보 통신망인 Profibus-FMS 모듈의 통신 호환성 입증을

위해 독일 ITM Lab을 통해 PNO(Profibus National Organization) 인증을 획득하였다.

개발된 POSAFE-Q PLC 제어 기기에 대한 특정 기술 주제 보고서(Topical Report)를 작성하여 2007년 10월 27일 과학기술부에 인허가를 신청하였다.

활용 계획

POSAFE-Q PLC는 원자력 산업에서 요구하는 모든 절차에 따라 개발하고 검증한 고신뢰도 제어 기기이다.

그러므로 이를 활용하여 국내 신규 원전뿐만 아니라 가동 원전 설비 교체에 적용을 추진하고 있다.

또한 현재 국내에서 개발하고 있는 수소 생산 원자로, 액체금속로, 연구용 원자로 등과 같은 다양한 실증 원자로의 계측 제어 계통에 활용할 수 있다.

세계적으로 안전 등급 제어 기기를 생산하는 국가가 한정되어 있으므로 이들 국가는 PLC 제어 기기만을 수출하지 않고 부가 가치가 높은 안전 계통을 개발하여 엔지니어링 및 소프트웨어 비용을 포함한 캐비닛 단위로 수출하고 있다.

그러므로 원자력발전소를 건설하는 국가에서는 일반적으로 PLC 제어 기기만의 수입을 희망하고 있다.

이런 차원에서 향후 POSAFE-Q PLC가 원전 운전 이력을 확보하

면 수출 전망이 매우 밝을 것이다.

이를 위하여 2년 전부터 POSAFE-Q PLC 제어 기기를 러시아 원전에 적용하기 위한 한-러 공동 연구를 수행하고 있다.

그 동안 러시아의 인허가 절차를 파악하고, 한국과 러시아 간의 Code & Standard를 비교 분석하였다.

또한 러시아 규제 기관이 참가하여 두 차례의 기기 검증 및 품질 보증 실사(audit)를 하였으며, 그 결과 POSAFE-Q PLC가 러시아의 VVER 타입 원전에 적용 가능하다는 결론에 도달하였다.

현재 러시아는 국제 유가의 상승에 따라 비싼 원유는 수출하고 원자력으로 전원을 충당하는 전원 공급 계획을 수립하였다.

이 일환으로 국내 및 해외 공급을 포함하여 매년 2~4기의 원전 건설 계획을 결정하였다.

러시아의 VVER 원전 계측 제어 계통은 지멘스가 기술 이전한 Teleperm-ME(Intel 80186 칩셋) 및 러시아가 자체 개발한 제어 기기인 KTPS(Analog Device의 8비트 CPU인 ADuC842 칩셋)를 사용하고 있다.

그러나 이들 제어 기기는 성능의 한계로 인하여 원자로 보호 계통과 같은 안전 계통에는 사용할 수 없는 입장이다.

그 결과 POSAFE-Q PLC의 수입 및 기술 도입을 강력하게 희망하고 있다. 