

**PLC 기반의 원자력발전소 보호계통을 위한 기술기준 및 계통요건 평가 항목 소개**

서중석, 윤상필, 변형현, 이성진, \*신재활  
 두산중공업(주) 기술연구원, \*한국전력기술(주)

**The Introduction to the Technical Standard and System Requirement Evaluation Items for the PLC-based Nuclear Power Plant Protection System**

Jungsurk.Sur, Sangpil.Yoon, Hyunghyun.Byun, Sungjin.Lee, Jaehwal Shin  
 DOOSAN Heavy Industries & Construction Co., Ltd., \*Korea Power Engineering Company, Inc.

**Abstract** - 지금까지 원전 계측제어계통은 안전을 위한 보수적인 설계기준을 적용하여 아날로그 기기를 사용하여 설계되었다. 그러나 최근에는 아날로그 기기의 생산 중단으로 기기 및 장비의 예비품 조달에 어려움을 겪게 되었고, 점차 복잡하면서도 편리한 기능에 대한 사용자 요구로 인해 디지털 기기의 사용이 확대되고 있는 추세이다.

프로그램 가능한 논리제어기 (Programmable Logic Controller:PLC)는 기존의 산업체에서 널리 사용되고 있지만, 높은 수준의 안전성 기준 때문에 일부 극소수의 PLC만이 원자력에 적용되고 있는 실정이다. 최근 국내에서도 원전 안전등급의 보호, 제어 및 감시계통에 디지털 기기의 적용을 위해 많은 노력을 하고 있다. 원전 계측제어계통의 디지털화는 부품 단종 및 설비 노후화 문제 등을 해결할 수 있는 장점이 있는 반면에 디지털화로 인한 새로운 안전 현안이 제기될 수 있다. PLC를 기반으로 하는 원전 계측제어계통은 안전등급의 보호, 제어 및 감시 기능을 수행하게 되므로, 고신뢰도 소프트웨어 적용등의 안전계통 개발에서 요구하는 요건을 만족해야 한다. 따라서 상용 또는 신규 개발되는 PLC를 사용하여 발전소보호계통을 구현할 경우에 적용 가능한 기술기준 및 계통요건이 필요하다. 본 논문에서는 발전소보호계통에 적용하기 위한 PLC 평가 항목을 개발하고, 각 부분별 평가 항목에 대해 소개한다.

**1. 서 론**

원자력발전소에서 발전소보호계통은 설계기준 사고시 발전소의 주요한 운전변수가 안전 제한치를 초과할 경우 원자로 정지 및 공학적 안전설비를 작동시켜 핵연료 피복체의 과열을 방지하고 원자로 냉각재 계통의 건전성을 유지시켜 주는 안전에 필수적인 설비이다. 최근 컴퓨터 기술의 급속한 발전으로 산업계에서는 대부분 디지털 전자기기만을 생산하고 이를 사용하고 있다. 원자력 산업계는 미국의 TMI 사고 이후 큰 위기에 직면하였고, 안전등급에 사용할 수 있는 고 신뢰도 품질의 아날로그 기기의 생산마저 중단되면서 기존에 건설된 원전의 계측제어설비의 유지보수마저 어려운 실정이다. 따라서 원자력 산업계에도 아날로그 계통 구성에서 디지털 계통 구성으로 전환이 불가피하게 되었다. 디지털 계통은 아날로그 계통에 비해 많은 장점을 가지고 있어서 현재는 대부분의 분야에서 사용하고 있는 실정이나, 원자력 산업계에서는 극한 환경에서도 고 신뢰도를 유지하고 정밀성 및 안전성이 입증되어야 하는 기준 때문에 디지털 계통으로 안전계통을 대체하는 것이 매우 어렵다. 따라서 전 세계적으로 여러 선진국에서 안전계통에 디지털 기술 적용에 관한 연구가 수행되고 있고, 우리나라에서도 정부에서 추진하고 있는 기기국산화 사업의 일환으로 안전등급제어기기를 개발하고 있으며, 이를 이용하여 안전계통에 적용하는 연구 및 개발이 진행되고 있다. 본 논문에서는 안전등급제어기의 적용 대상인 발전소보호계통의 구성 및 기능을 간략히 기술하고, 원전의 산업 특성을 고려한 고 신뢰도, 정밀성 및 안전성 관점에서 안전계통의 여러 가지 기술기준 항목 및 발전소보호계통에서 요구되는 요건별 평가 항목 개발에 대한 내용을 서술하였다.

**2. 본 론**

**2.1 발전소보호계통 개요**

발전소보호계통은 발전소 운전상태가 안전하게 유지되는지를 확인하기 위하여 안전관련 변수를 감시하고, 운전변수가 정해진 안전계

통 설정치에 도달하면 정확하고 신속하게 원자로를 정지시키는 역할을 수행한다. 발전소보호계통의 구성 및 기능에 대한 간략한 설명은 다음과 같다.

**2.1.1 발전소보호계통의 구성**

발전소보호계통은 기본적으로 감지기, 연산기, 논리회로 및 기타 기기로 구성되며, 제어봉집합체의 위치측정 채널을 제외하고 정지신호를 발생시키기 위하여 각각의 변수들에 대하여 전기적이고 물리적으로 격리된 4개의 측정 채널로 구성된다. 원자로 정지신호를 발생하기 위해서는 4개의 측정채널 중에서 2개 이상의 채널이 트립 설정치를 초과해야 한다.

**2.1.2 발전소보호계통의 기능**

발전소보호계통은 중간빈도사건 및 회귀빈도 사건시에 노심 핵연료설계 제한치 및 원자로 냉각재계통의 압력경계를 보호하고 제한 사고시에 사고완화를 보조하기 위한 것으로 원자로 트립 기능 및 공학적안전설비작동계통 개시기능을 가지며, 발전소 기동, 정지 및 저출력 운전시험을 가능하게 하는 운전우회 기능을 가진다.

**2.2 평가 항목 개발**

계측제어시스템 기기국산화 사업(KNICS)에서 개발되는 보호설비 및 디지털 원자로안전계통은 실제 발전소에 적용하기 위하여 성능 및 안전성이 입증되어야 한다. KNICS에서 개발되는 기기 및 계통이 원전 적용 경험이 없는 상태이므로 개발 과정에서 미리 신뢰성, 정밀성 및 안전성 등에 관한 요건을 정립하여 차후 예상되는 문제점을 최소화하고, 개발자가 자체적으로 평가를 수행할 수 있도록 하여 지속적인 수정 보안을 통한 개발의 필요성이 제기되었다. 따라서 원전 안전계통 설계에 필수적인 IEEE Std 603-1998 의 5절 "안전계통기준"과 6절 "감지 및 명령설비" 및 인허가 과정에서 대두되는 여러 가지 요건들을 분석하여 원전 계측제어 안전계통에 관한 기술기준 항목을 도출하였고, 표준원전 설계 및 경험을 바탕으로 발전소보호계통에서 요구되는 요건들을 정립하여 발전소보호계통 요건별 평가 항목을 개발하였다. 개발한 항목들은 그 중요도에 따라 계통, 장비, 기기들을 위한 필수 항목(C), 필요 항목(N), 추천 항목(R), 일반 항목(G) 으로 분류하였고, 적합성 평가를 위해 사전 요건 만족(S), 예외 사항(E), 기술적 결함(T), 선택 요건(O), 대체 요건(A)으로 기술하도록 하였다. 각 부분별로 도출된 요건 항목들은 다음과 같다.

**2.2.1 안전계통기술기준 항목**

**2.2.1.1 기술 분석 기준**

KNICS 계측제어 보호설비 및 디지털 원자로안전계통 (원자로보호계통 및 공학적안전설비작동계통)의 설계적용 타당성 분석 기준은 "경수로형 원전 안전심사지침" 7장에 기술된 허용기준을 적용한다. 또한, 미국 규제기관 문서 GL 95-02 "10 CFR 50.59에 의한 아날로그로부터 디지털 방식으로 설비교체 시 미 검토했던 안전성 현안사항 적합성 검토"를 위하여 EPRI TR-102348 "디지털 개선공사에 대한 인허가 지침"을 적용한다.

### 2.2.1.2 기술기준 도출 방법

KNICS 디지털 보호설비의 원자로 안전계통에 적용하기 위한 타당성은 안전성뿐만 아니라 설비의 품질 및 실시간 성능, 독립성, 온라인시험과 같이 구현된 특성에 따라 결정된다. KNICS 디지털 보호설비에 대한 적용 타당성, 디지털 보호설비를 기반으로 구현된 원자로보호계통 및 공학적인 안전설비작동계통의 설계에 대한 적용 타당성 및 원자로안전계통에 대한 안전성관련 최소 요건의 적합성 등을 근거로 기술기준 항목이 도출되어야 한다.

#### 2.2.1.3 기술기준 항목

개발한 기술기준 항목은 크게 안전계통 기술기준과 감지 및 명령 설비의 기능요건과 설계요건으로 나눌 수 있다. 안전계통 기술기준은 원전의 안전계통에 필수적인 요건, 즉 단일고장기준, 품질, 기기 검증, 계통 건전성, 독립성, 시험 및 교정 능력, 정보표시장치, 접근 통제 등 16개 대분류 항목으로 구성되고, 약 81개의 상세요건을 제시하였다. 감지 및 명령 설비의 기능요건과 설계요건 기술기준은 원전의 안전계통 운전 필수적인 요건, 즉 자동제어, 수동제어, 시험 및 교정능력, 운전우회, 보수우회, 설정치 등 8개 대분류 항목으로 구성되고, 약 18개의 상세요건을 제시하였다.

#### 2.2.2 기능요건 분야 평가 항목

발전소보호계통은 원전의 운전 및 안전에 필수적인 계통으로 원전의 보호 기능 수행이 보장되어야 한다. 발전소보호계통의 기능을 평가하기 위해 개발된 항목은 원자로 트립 변수별 기능, 공학적인 안전설비 작동신호별 기능, 개시기능, 제어기능, 우회기능 등 10개의 대분류 항목으로 구성되고, 약 50개의 상세기능 요건을 제시하였다.

#### 2.2.3 성능요건 분야 평가 항목

발전소보호계통의 하드웨어 및 소프트웨어는 원전의 안전정지를 보장하기 위해 고 신뢰성을 요구한다. 따라서 발전소보호계통은 여러 가지 성능요건을 만족해야 한다. 발전소보호계통의 성능을 평가하기 위해 개발된 항목은 안전등급 분류, 운전환경 조건, 다양성 및 다중성 요건, 격리요건, 고장요건, 응답시간 요건, 소프트웨어 등급 및 개발 요건, 가용도 요건 등 13개의 대분류 항목으로 구성되고, 약 43개의 상세성능 요건을 제시하였다.

#### 2.2.4 자재 및 제작요건 분야 평가 항목

발전소보호계통 설비가 구비해야 할 자재 및 제작에 관련된 요건을 정립하였다. 제시된 항목은 자재 및 제작 요건과 전원공급장치에 관련된 요건으로 약 10개의 상세 요건을 제시하였다.

### 2.2.5 시험요건 분야 평가 항목

발전소보호계통 설비는 원전의 정상운전 또는 정지시에 주기적으로 시험이 허용되어야 한다. 발전소보호계통의 시험에 관련된 요건을 평가하기 위해 개발된 항목은 일반시험, 비교논리 시험, 동시논리 시험, 개시논리 시험, 아날로그 입력신호 시험 등 5개의 대분류 항목으로 구성되고, 약 28개의 상세시험 요건을 제시하였다.

### 2.2.6 검증시험 및 문서화 요건 분야 평가 항목

발전소보호계통의 하드웨어 및 소프트웨어는 앞서 기술한 바와 같이 원전의 안전정지를 보장하기 위해 고 신뢰성을 요구한다. 따라서 발전소보호계통은 설계, 시험 및 검증이 필요하고 문서화가 필요하다. 발전소보호계통의 검증시험 및 문서화 요건을 평가하기 위해 개발된 항목은 검증시험 및 제출문서 요건 항목으로, 약 11개의 상세 요건을 제시하였다.

## 3. 결 론

지금까지 원전 계측제어계통은 아날로그 기기 및 장비가 사용되어 왔으나, 최근에는 아날로그 기기의 생산 중단으로 기기 및 장비의 예비품 조달에 어려움을 겪고 있다. 이를 극복하기 위하여 원전 계측제어계통에 디지털 기기 및 장비의 사용이 대안으로 대두되어 원전 계측제어계통의 보호, 제어 및 감시 기능에 디지털 기기의 적용 노력이 활발히 진행되고 있는 추세이다. 본 논문에서는 개발되는 PLC를 사용하여 발전소보호계통을 구현할 경우에 적용 가능한 기술기준 및 계통요건을 정립하였고, 이를 바탕으로 발전소보호계통을 평가하기 위한 세부 항목을 개발하였다. 본 논문에서 소개하는 부분별 평가 항목들은 원전의 산업 특성을 고려한 고 신뢰도, 정밀성 및 안전성을 요구하는 발전소보호계통의 개발에 직접 적용할 수 있으며, 추후 개발자 또는 사용자가 개발된 발전소보호계통에 대한 적합성을 평가하는 것이 가능할 것으로 기대된다.

## [참 고 문 헌]

- [1] EPRI TR-106439, "Guideline on Commercial Grades Digital Equipment"
- [2] EPRI TR-107330, "Generic Requirement for Qualifying a Commercially Available PLC for Safety Related Application" 1996
- [3] IEEE Std 7-4.3.2-2003, IEEE Standard Criteria for Digital Computers in Safety Systems of NPGSS
- [4] IEEE Std 603-1998, Standard Criteria for Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations.