

## 신뢰성과 유지보수를 위한 원자로보호계통 주기시험 방법 개발

### RPS Periodic Testing Method for Reliability and Availability

박주현, 이동영, 이성진, 송덕용

(Joo Hyun Park, Dong Young Lee, Seong Jin Lee, Deok Yong Song)

**Abstract** - The digital systems such as PLC or DCS have been applied to non-safety systems of nuclear power plants because of many difficulties in using analog systems. Nowadays, digital systems have been applied to safety systems of the plants such as reactor protection system. One of the main advantages of digital systems is applicability of automatic testing methods to the systems.

The protection system requires high-reliability and high-availability because it shall minimize the propagation of abnormal or accident conditions of nuclear power plants. The calculation of reliability and availability of systems depends on the maintenance period of the system. In general, the maintenance period of the protection system is one-month in case of the manual test. However, the cycle of test can be shortened in several hours by using automatic periodic testing. The reliability and availability of the system is better when test period is shortened because the reliability and availability is inverse proportion to the test period.

In this research, we developed the automatic periodic testing method for KNICS Reactor Protection System, which can test the system automatically without an operator or a tester. The automatic testing contained all functions of reaction protection systems from analog-to-digital conversion function of the bistable processor to the coincident trip function of the coincident processor. By applying the automatic periodic testing to reaction system, the maintenance cost can be cut down and the reliability can be increased.

**Key Words** : Digital Reactor Protection System, Automatic Testing, KNICS, Periodic Testing

#### 1. 장 서 언

원자력보호계통은 원자로발전소의 안전을 담당하는 계통이기 때문에 원자력발전소 계측제어시스템 중에서도 매우 높은 신뢰성 및 안전성을 요구하는 계통이다. 원자력발전소의 비안전계통에는 디지털기가 종종 사용되어 왔으나 원자로 보호계통은 가장 보수적으로 설계되는 계통이기 때문에 디지털기를 사용하지 못하고 기존의 아날로그기기를 사용하여 계속 운전되어왔다. 그러나 최근에는 디지털기의 성능이 많이 우수해지고 소프트웨어를 포함한 디지털기의 신뢰성 및 안전성을 평가하는 방법이 많이 개발되어 원자로보호계통과 같은 안전계통에도 디지털기가 적용되고 있다. 최근에 국내에도 올진 5&6호기에 미국의 웨스팅하우스에서 공급하는 PLC(Programmable Logic Controller)가 원자로 보호계통 및 공학적안전설비계통에 적용되어 운전중에 있다.

원전의 계측제어계통에 디지털 기기를 적용할 경우에 예비부품의 확보 및 부품 단종의 문제점 해결, 기기노후화로 인

한 드리프트 제거, 자가진단 및 자동시험의 구현으로 보수 및 정기시험에 소요되는 시간을 단축시키는 장점을 가지고 있다. 특히 아날로그 계통에서는 구현하기 어려웠던 자가진단 및 자동시험을 구현함으로써 계통의 안전성 및 신뢰성을 높여 안전한 원전운전에 많은 기여를 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 디지털기의 장점을 최대한 이용한 원자로 보호계통 주기시험방법들을 개발하여 원자력발전소 계측제어계통 국산화 과제로 개발 중인 KNICS (Korea Nuclear Instrumentation and Control System) 원자로보호계통에 적용하였다.

#### 2. 장 KNICS 원자로보호계통 구조

원자력발전소 계측제어시스템의 국산화 과제로 개발 중인 KNICS (Korea Nuclear Instrumentation and Control System)의 원자로보호계통은 기존의 발전소와 같이 총 4채널로 구성되어 있다. 한 채널의 구성은 그림 1와 같이 비교논리프로세서 2개, 동시논리프로세서 2개, 자동시험 및 연계프로세서 1개, 캐비닛안전원모듈 1개 및 개시회로로 구성되어 있다. 한 채널에서 안전기능을 수행하는 비교논리프로세서 및 동시논리프로세서는 각각 한 개씩 연결되어 총 두 계열의 원자로 트립신호를 발생시킨다. 타 채널간의 안전신호의 연계는 동일계열의 프로세서로서에서만 이루어지도록 설계되어

#### 저자 소개

박 주 현 : 한국원자력연구소 선임연구원

이 동 영 : 한국원자력연구소 선임연구원

이 성 진 : 두산중공업 선임연구원

송 덕 용 : (주) 액트 선임연구원

있다.

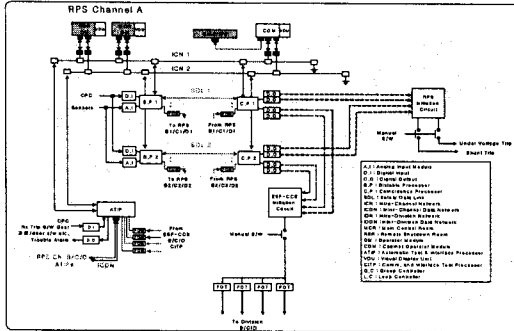


그림 1. 원자로보호계통 채널 내 구조

원자로보호계통의 주기시험은 채널 내 캐비닛운전원모듈을 통해 입력된 신호에 따라 자동시험 및 연계프로세서에서 시험을 수행한다. 자동시험 및 연계프로세서는 비교논리프로세서, 동시논리프로세서, 및 캐비닛운전원모듈과 채널 내 통신망(Intra-Channel Network)을 통해 데이터를 입출력하며, 타 채널의 자동시험 및 연계프로세서와 채널간 통신망(Inter-Channel Data Network)을 통해 입출력한다. 공학적인 안전설비-기기제어계통의 각 디비전과 안전데이터링크(Safety Data Link)를 통해 데이터를 연계한다. 또한 개시회로, RTSG(Reactor Trip Switch Gear), 및 기타 캐비닛기와 하드웨어를 통해 상태를 입력받는다.

### 3.장 KNICS 원자로보호계통 주기시험 방법

#### 3.1 원자로보호계통 주기시험 요건

KNICS 원자로보호계통의 주기시험은 IEEE 279-1971 "Criteria for Protection Systems for Nuclear Power Generating Stations", IEEE 603-1998, Regulatory Guide 1.118, 및 IEEE 338-1987 등의 원자로보호계통 주기시험의 요건에 적합하도록 설계되고 있다. KNICS 원자로보호계통의 주기시험의 주요한 요건은 다음과 같다.

- 원자로보호계통은 정지 시 뿐만 아니라 정상운전 시에도 주기적으로 시험이 수행되게 설계되어야 한다.
- 주기시험은 자동시험 및 수동시험을 포함해야 하며 원자로보호계통 전체가 시험되게 각 시험은 중첩되어야 한다.
- 주기시험은 원자로보호계통의 안전기능이 정확히 수행되는 지 시험해야 한다.
- 주기시험이 원자로보호계통의 안전기능을 방해하면 안된다.
- 원자로보호계통은 주기시험으로 인한 원자로보호기능의 불필요한 개시를 막는 구조를 가져야 한다.

#### 3.2 원자로보호계통 주기시험 기능

KNICS 원자로보호계통의 주기시험은 디지털기기의 장점

을 최대한 이용하기 위하여 대부분의 시험을 온-라인 중에 자동으로 수행하는 방법을 사용하고 있다. 원자로보호계통의 주기시험은 크게 정상시험, 온-라인 자동주기시험 및 수동시험으로 구성되어 있다. 정상시험은 원자로보호계통 정상적으로 가동되고 있는 있을 때, 원자로보호계통의 하드웨어가 정상적으로 작동하고 있는지를 검사하며 비교논리프로세서 및 동시논리프로세서가 정상적으로 작동하고 있는지를 채널 간 및 채널 내 비교를 통해 시험을 수행한다. 자동주기시험은 비교논리프로세서 및 동시논리프로세서에 입력신호를 발생시켜 원자로보호계통의 안전기능을 수행하는데 있어서 기능에 이상이 존재하는지를 자동 시험한다. 수동시험은 정상시험 및 자동시험에서 점검되지 않은 항목들(센서의 정확성 등)을 운전원이 개입하여 시험하는 방법이다. 이 3 종류의 시험은 원자로보호계통의 전 기능을 시험하기 위해 그림 2와 같이 중첩되게 설계되어 있다.

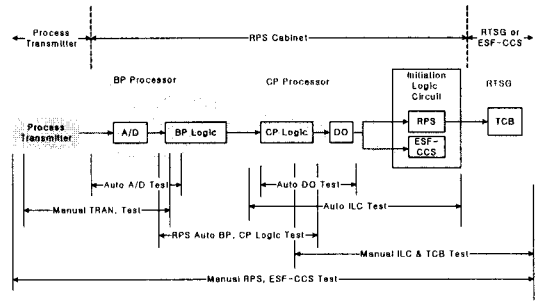


그림 2. 원자로보호계통 주기시험 중첩

#### 3.3 원자로보호계통 주기시험 방법

##### 1) 건전성 감시 및 진단시험

원자로보호계통의 정상시험은 크게 채널 내 하드웨어상태를 감시하는 하드웨어 진단시험과 원자로보호계통의 각 기능에 대해 채널 내 및 채널 간 비교를 통해 시험을 수행하는 비교시험이 있다. 하드웨어 진단시험은 비교논리프로세서, 동시논리프로세서의 프로세서, 입출력모듈 등의 하드웨어상태를 입력받아 각 하드웨어의 건전성을 시험하여 결과를 캐비닛운전원모듈에 제공한다. 비교시험은 비교논리프로세서, 동시논리프로세서, 및 개시회로의 상태를 동일채널 내 두 계열의 상태를 비교하는 채널 내 비교시험 및 다른 채널의 상태와 비교하는 채널 간 시험이 있다. KNICS 원자로보호계통 주기시험 중 정상시험에 대한 종류는 다음과 같다.

- 하드웨어 진단시험
- 입출력모듈 진단시험
- 비교논리프로세서 비교시험
- 동시논리프로세서 비교시험
- 개시회로 비교시험

##### 2) 온-라인 자동주기시험

원자로보호계통의 온-라인 자동주기시험은 주로 비교논리프로세서 및 동시논리프로세서의 알고리즘의 건전성을 시

험한다. 정상시험이 주로 비교논리프로세서, 동시논리프로세서 및 개시회로의 상태를 입력받아 비교시험을 수행하는데 반해 온-라인 자동주기시험은 자동시험 및 연계프로세서에서 시험신호를 비교논리프로세서 및 동시논리프로세서에 입력하여 그 결과를 피드백 받아 예상 결과값과 비교함으로써 비교논리 및 동시논리의 건전성을 시험한다. 온-라인 자동주기시험은 캐비닛운전원모듈에서 입력되는 시험신호 및 주기에 따라 자동으로 시험입력값을 생성하여 생성된 시험입력값을 비교논리프로세서 및 동시논리프로세서에 자동으로 입력함으로써 시험을 수행한다. 또한 온-라인 자동주기시험은 운전원이 필요시 수동으로 시험을 개시할 수 있는 기능을 제공한다.

온-라인 자동주기시험은 시험입력값을 비교논리프로세서 및 동시논리프로세서에 제공하기 때문에 한번에 한 채널만 시험이 수행되게 연동되어 있고 또한 한 채널 내에서도 한 계열만 시험되게 연동되어 있다. 또한 비교논리프로세서 및 동시논리 프로세서는 시험신호가 입력된 후 시험시간이 경과하면 자체적으로 시험신호를 제거할 수 있는 기능을 가진다. 온-라인 자동주기시험시 비교논리, 동시논리 및 개시회로의 알고리즘에 오류가 감지되면 자동시험 및 연계프로세서는 자동으로 시험을 중단하고 그 결과를 캐비닛운전원모듈에 제공하여 운전원이 그 오류를 감지할 수 있게 한다.

KNICS 원자로보호계통 온-라인 자동주기시험에서 시험하는 항목은 다음과 같다.

- 비교논리 온-라인 자동시험: 자동시험 및 연계프로세서는 각 비교논리의 비교알고리즘, 설정치알고리즘 및 트립/예비트립설정을 시험하기 위해 각 비교논리의 트립을 발생시키는 시험입력값을 비교논리프로세서에 제공하여 각 알고리즘의 결과값을 피드백 받아 예상결과값과 비교함으로써 비교논리프로세서의 알고리즘을 시험한다. 또한 비교논리 알고리즘 시험시 트립신호를 동시논리프로세서에서도 입력받아 안전통신망의 건전성도 시험한다.
- 동시논리 온-라인 자동시험: 자동시험 및 연계프로세서는 동시논리 알고리즘을 시험하기 위해 4 채널의 트립조건을 생성하여 동시논리프로세서에 입력하고 동시논리프로세서로부터 결과값을 피드백 받아 예상결과값과 비교함으로써 동시논리 알고리즘을 시험한다.
- 개시회로 온-라인 자동시험: 자동시험 및 연계프로세서는 개시회로를 시험하기 위해 동시논리프로세서에 트립시험값을 입력하고 각 개시회로의 접점상태를 피드백 받아 예상결과값과 비교함으로써 개시회로의 건전성을 시험한다.

### 3) 수동시험

KNICS 원자로보호계통 주기시험은 정상시험 및 온-라인 자동주기시험에서 시험하지 못한 항목을 시험하기 위해 수동시험이 수행된다. KNICS 원자로보호계통에서 수행되는 주요한 수동시험 항목은 다음과 같다.

- 측정변수 입력시험
- 비교논리 수동시험
- 동시논리 수동시험
- 개시회로 수동시험
- 응답시간 시험

## 4. 장 결론

KNICS 원자로보호계통 주기시험은 정상시험, 온-라인 자동주기시험 및 수동시험으로 구성되어 있다. 이 시험들 중 디지털기기의 장점을 이용한 시험은 정상시험 및 온-라인 자동주기시험이다. 올진 5&6호기 원자로보호계통의 주기시험 경우도 디지털기기의 장점을 이용하기 위해 자동으로 정상시험과 자동시험을 수행하고 있다. 그렇지만 올진 5&6호기의 자동시험의 경우 전 과정을 자동으로 수행하지 못하고 운전원이 수동으로 트립채널우회를 시키고 시험개시를 시킴으로써 수행되게 되어있다. 본 KNICS 원자로보호계통의 경우 디지털기기의 장점을 최대한 이용하기 위해 수동시험을 제외한 정상시험과 온-라인 자동주기시험을 자동으로 수행하게 함으로써 주기시험시 운전원의 업무를 줄이고 주기시험의 주기를 단축시켰다. 또한 자동시험시 가장 문제가 되는 시험을 위한 트립채널우회신호를 입력하지 않아 원자로보호계통이 안전기능을 수행하는데 있어서 주기시험이 방해가 되지 않게 설계하였다.

KNICS 원자로보호계통의 주기시험방법은 원자로보호계통의 신뢰성을 높이고 유지보수를 용이하게 함으로써 디지털기기를 이용한 KNICS 원자로보호계통이 현장에 적용되는데 많은 기여를 할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 원자로보호계통 설계사양서, KNICS-RPS-DS101, Rev. 00, 한국원자력연구소
- [2] Criteria for Protection Systems for Nuclear Power Generating Stations, IEEE Std 279-1971
- [3] IEEE Standard Criteria for Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations, IEEE Sed 603-1998
- [4] Periodic Testing of Electric Power And Protection Systems, Regulatory Guide 1.118
- [5] IEEE Standard Criteria for the Periodic Surveillance Testing of Nuclear Power Generating Station Safety Systems, ANSI/IEEE Std 338-1987