

## 〈기술보고〉

# PC Based-Proto Type 고장검출 프로그램에 의한 중수로 안전계통(SDS #1, SDS #2)주기시험 시스템 개발

김석남 · 장익호 · 김항배 · 한재복 · 이상용

한국원자력연구소

(1995. 2. 23 접수)

## 요 약

원자력발전소의 안전계통은 요구된 신뢰도를 확보하기 위하여 각 트립 변수(공정계통 및 핵관련 총11개)회로의 센서 및 트립로직으로 구성된 각각의 채널에 대하여 주기적으로 운전중에 운전원에 의해 수동으로 수행하므로 안전계통에 대한 신뢰도를 확보하고 있다. 안전계통에 대한 시험자동화는 컴퓨터에 의해 시험 신호의 발생과 시험 결과의 표시 및 기록이 자동적으로 프로그램에 의해서 수행되는 것을 의미하며, 시험 자동화에 의해 주기 시험에 따른 시험시간 단축과 운전원의 심리적 부담을 경감하여 운전원에 의한 인적 실수 방지 및 계통 신뢰도 향상에 기여하는 것은 물론 계통을 단순화하고 기기경비의 절감 효과를 가져온다. 현재 기존 중수로 발전소는 직접 시험 방식에 의해 모의 신호를 시험 대상 채널의 센서부분에 보내어 안전 계통을 시험하여 해당 루프에 대한 건전성을 점검하고 있는데, 이 방식은 시험 회로가 복잡하여 이로인한 기기의 설치 경비 상승, 유지 보수 부담 증가 및 운전원의 주기 시험에 대한 부담감으로 인적 실수를 유발하는등 계통 신뢰도 저하의 문제점이 지적되어 개선이 요구된다.

## 1. 서 론

기존 중수로발전소의 안전계통에 대한 시험을 운전원이 운전중에 주기적으로 수행 함으로 각 채널의 트립 변수 회로에 대하여 건전성을 점검하고 있다.

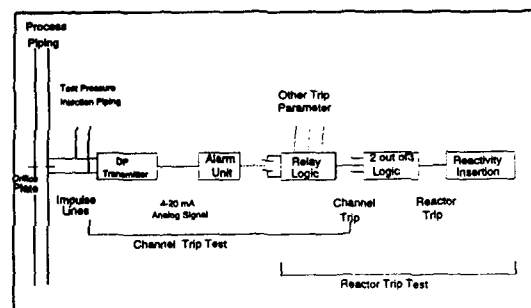
원자로제 1정지계통(SDS #1) 및 제 2정지계통(SDS #2)의 트립변수는 총 11개 변수로 구성되어 있는데, 각각의 변수에 대해서 주어진 점검주기에 따라 시험절차서에 의해 운전원이 직접 수행하고 있다.

점검주기는 핵관련 트립 변수는 1주일 단위로 공정 관련계통 트립변수는 4주 단위로 각 채널별 트립 변수에 대하여 운전원 각조에서 수행하고 있다.

## 2. 기존 시험방식

기존 안전계통에 대한 시험은 차압형(Differential Pressure Type)전송기가 설치된 트립변수 회로의 경우, 변수 측정을 위한 공정제측선(Process Measure-

ment Line)을 전송기(PT, LT, FT)부터 분리시키고 시험 압력이 평상시 개방(Normally Open)된 공정계통 밸브를 닫게하고 평상시 폐쇄(Normally Closed)된 시험관련 밸브를 개방 하여 압력조절밸브(PRV)를 통해 관련 솔레노이드(SV) 및 공기구동용 밸브(PV)를 열고 단으로 모사된 압력이 압력 전송기의 입력단에 가해져서 이의 신호에 의해 트립이 되는지를 확인하여 각 채널의 트립변수 회로에 대한 주기시험을 수행한다.



트립 회로에서는 실제 트립조건과 같은 방법으로 모사된 트립변수 측정루프를 동작 시킨다. 원하지 않은 두 채널 트립과 이로 인한 원자로 정지를 막기위해 시험회로는 한번에 한 채널만 시험되도록 연동되어 있으며 어떤 채널이 트립되었을 때(시험중에 있거나 혹은 다른 경우), 채널에 연결된 타이머는 채널이 원상 회복될 때까지 다른 채널이 어느 일정시간까지 시험되는 것을 금하고 있다. 만약 시험 도중 다른 채널에서 트립이 발생한 경우에 시험중인 채널은 자동적으로 정상 운전 상태로 전환되며 일반적인 주기 시험절차는 다음과 같다.

- 푸쉬보튼에 의해서 각 트립변수에 대한 시험이 선택되고 루프선택은 회전형 핸드 스위치에 의해서 이루어진다.
- 시험을 위해 채널이 선택되면, 다른 채널이 시험되지 않도록 연동되어 있다.
- 솔레노이드 밸브 제어를 통하여 평상시 열려있는 공정 격리 밸브는 닫혀져, 공정 신호로부터 차단되고 평상시 닫혀있는 시험 격리밸브는 시험신호 라인과 연결된 전송기와 연결되어 시험 상태에 있게 된다.
- 시험 압력은 트립이 일어날 때까지 제어 밸브를 통해 변화되고 모사 된다.
- 트립이 일어났는지 해당 제어반 지시계를 통해 확인한다.
- 시험이 끝나면 시험회로는 원상으로 복구되며 제어반 지시계를 통해 트립 상태가 해제되었는 지를 점검한다.
- 트립된 채널은 "Reset" 보튼에 의해 회복되고 정상 운전 상태로 돌아간다.

### 3. 기존 시험방식의 문제점

- 상기에서 기술한 바와 같이 기존 시험 루프(전송기 포함)가 온라인 상태에서 주기 시험을 통해 성능이 검증되고 있지만 다음과 같은 문제점, 즉
- 계통의 복잡화 및 기기(공기구동용 격리밸브, 솔레노이드 밸브)설치 경비의 증가
  - 시험 격리 밸브 누수로 인한 운전상 문제 증가
    - Maintenance Load /Time 증가
    - 관련 계측기 오동작 /오신호로 인한 비정상 경보 발생
  - 시험기간 동안의 Safety Unreliability 증가
  - 시험에 대한 운전원 심리적 부담 증가등이 지적되어

기존 시험에 대한 개선이 요구된다.

### 4. 간접시험방식(고장검출 프로그램)에 의한 안전계통 주기시험 시스템 구현

기존 시험절차서에 따라 운전원이 직접, 시험하는 것을 온라인으로 계통에 설치하여 전송기의 신호를 고장검출 프로그램에 의해 검출, 분석하여 이상(고장)신호를 감지 하면 경보를 제공하고 또한 시험 결과의 표시 및 기록을 프로그램에 의해서 수행하도록 하여서 전송기 고장의 대부분 즉, miscalibration, off-scale high /low등을 순간적으로 또한 기존 시험 방식에서 완벽하게 검출되지 않은 erratic reading과 같은 고장을 검출하고 또한 저장되어 있는 출력 응답값을 이용하여 필요한 경우, 신호를 분석, 검토할 수 있다.

이와 같이 시험 자동화에 의해 주기 시험에 따른 시험단축과 운전원의 심리적 부담을 경감하여 운전원에 의한 인적 실수 방지 및 계통 신뢰도 향상에 기여하는 것은 물론 계통을 단순화하고 기기 경비의 절감 효과를 가져온다.

#### 4.1. 고장 검출 알고리즘 개요

발전소의 정상상태와 과도상태시 안전관련 계통의 압력전송기에 대한 신호를 측정, 분석함으로써 압력 전송기의 고장시 이상 신호를 감지하여 경보를 제공 하는 것을 목적으로 아래 3가지(4.1.1 참조)의 기본 요소로 구성되며, 안전계통에 대한 전송기 고장을 검출하기 위해서 아래와 같이 전송기에서 일어날 수 있는 여러 경우의 고장을 감지한다.

- 비정상 신호(Irrational signal) ; off-scale high /low, no signal
- 정상 상태에서의 오차(Steady-state error) ; drift, calibration error, output shift
- 고착 응답(Stuck response) ; 입력 변화에 반응이 없는 현상
- 일방향성 잡음(One-sided noise) ; 한쪽 방향으로만 응답
- 지연 응답(Slow responding) ; 신호 변화에 느리게 응답하는 경우
- 불규칙 반응(Erratic error) ; 간헐적인 오차 혹은 입력 변화와 관계없이 변하는 경우

- 절삭 반응(Truncated response) ; 위 아래의 값 모두 반응이 없는 현상
- 잡음 반응(Noise response) ; 높은 주파수, 신호 변동의 크기

이와 같이 전송기에서 발생할 수 있는 여러 경우의 고장을 감지하기 위해 과거('84~'94) 전송기 고장 이력을 검토, 분석하여 고장 유형(Fault Type) 및 검출 부류(Monitoring Category)별로 조사하여 어느 고장 유형이 얼마 만큼 발생할 가능성이 있는지 또 발생하였던 고장이 어떤 방법으로 검출되었는지 정도(빈도수)를 계산하여 프로그램 개발의 기본 데이터로 이용하였다.

#### 4.1.1 고장 검출 프로그램에 의한 안전계통 시험의 3단계

##### 4.1.1.1. 압력 전송기(Pressure Transmitter)고장 검출

-고장검출 프로그램에 의해서 해당 동일변수의 압력 전송기(예를들면 가압기 저수위 트립변수의 경우, SDS #1에 3개, SDS #2에 3개 총6개)들로부터 신호를 받아들여 이의 평균값을 계산하여 가지고 있다가 현재 각각의 해당 압력 전송기로부터 측정된 신호와 이미 계산된 기준신호(평균값)와 상호 비교하여 정상 상태의 오차(지속적인 오차 및 반복된 오차)를 검출한다.

-측정된 오차 신호에 대해서 잡음(신호 주기와 크기) 분석을 실시하고

-잡음 분석 결과를 토대로 과도 상태 즉 이상 상태시 발생할 수 있는 압력 전송기의 고장을 검출한다.

##### 4.1.1.2. 압력 전송기(Pressure Transmitter)후단의 트립 회로에 대한 시험

시험 대상 압력 전송기(Pressure Transmitter)후단에 "중성자 과출력(NOP) 트립 시험" 루프에서 사용한 동일한 방법으로 시험 전류를 중감시키는 방법을 사용하여, 후단 나머지 부분 회로에 대한 건전성을 확인하며, 아래 두 가지 방법이 검토된다.

- Operator Initiated Fully Automatic Testing
- Operator Initiated Automatic Testing with Menu of Option

##### 4.1.1.3. 압력 전송기(Pressure Transmitter) 자체 성능 검증에 위한 시험

1년 혹은 3년의 주기로 발전소 정기보수 기간시, 트립 회로의 압력 전송기에 대한 자체 점검을 실시하는데, 필요(검교정이 요구)한 경우에 전송기를 계통에서 분리하여 계측기 검교정실에서 Off-Line으로 정상 동작범위(4-20mA) 내의 트립 신호를 공기압으로 가하여서 트립이 되는지를 점검함으로 압력 전송기 자체, 성능 시험을 수행한다.

## 5. 고장 검출/ 신호 분석 프로그램 사양서 개요 및 구성

### 5.1. 개 요

이상과 같은 고장을 검출하고 신호를 분석하는 알고리즘과 Monitoring Program 개발을 위한 프로그램 사양서(Program Specification)작성 및 프로그램 개발이 요구되며 프로그램은 아래 Program Specification에서 기술한 내용을 근간으로 하여 작성, 개발되고 다음과 같은 3가지의 기본 요소로 구성된다.

- 동일 변수를 측정하는 압력 전송기들로부터 측정치를 상호 비교하는 부분
- 압력 전송기로부터 측정된 신호에 대한 잡음 분석을 수행하는 부분
- 발전소 과도상태시 검출될 수 있는 압력 전송기의 고장을 감지하는 부분

### 5.2. 내 용

본 프로그램은 안전 관련계통의 압력 전송기로부터 측정된 측정치(압력, 차압, 수위 및 유량)를 입력 변수로 사용하며, 동일한 변수를 측정하는 입력 변수는 같은 군(set)으로 분류되며, 다음과 같은 루틴으로 구성된다.

- Initialization Phase
- Fast-Cycle Calculation Phase
- Slow-Cycle Calculation Phase
- Output Phase

## 6. 결 론

기존 중수로 발전소의 안전계통에 대한 직접시험 방식에서 생성한 문제점을 해결하기 위해서 중수로 발전

소 주 안전계통인 SDS #1/SDS #2에 대하여 기존 시험회로 (Test Loop)를 프로그램에 의해 자동적으로 수행할 수 있는 Personal Computer Based-Proto Type의 설비를 구축하여, 기존 방식인 직접 시험 방식을 어떤 경우에서라도 포괄(cover)하고 또한 발생한 여러 경우의 전송기 고장을 감지하고 검출하는 알고리즘을 구현하는 것이다. 따라서 운전 중인 발전소(중수로, 경수로), 특히 국내는 월성 1호기, 고리 1, 2호기 국외는 캐나다에서 운전중인 Pt. Lepreau 발전소의 12개 중수로 발전소에 대한 전송기 과거 고장 이력 데이터를 검토, 분석하여 고장 유형(Fault Type) 및 검출 부류(Monitoring Category)별로 분류하고 또한 전송기 제작사(Rosemount for SDS #1)에서 작성한 고장 유형별 영향 분석서(Failure Mode Effect Analysis, FMEA)를 검토, 고장 유형별로 분석하여 프로그램 개발 기본 데이터로 사용하였다.

둘째, 프로그램 사양서에 의해 프로그램을 개발하고, 셋째, 개발한 프로그램을 시험 절차서에 의거 시험하여 압력 전송기 고장 검출 프로그램에 의한 중수로 안전계통 주기 시험 시스템을 개발한다.

이와 같이 발전소의 성능 및 개량 항목을 실질적으로 발전소에 적용, 운용함으로써, 시험회로에 설치된 각종 밸브(격리 밸브, 솔레노이드 밸브)가 필요 없게 되어(그림1 참조), 기기 경비(설치, 보수 유지)의 절감 효과를 가져오고 특히 직접시험으로 운전원의 심리적 부담, 이로 인한 인적 실수를 미연에 방지하는 등 서두에서 지적한 문제점들이 개선되어 발전소 안전 운전은 물론 계통 신뢰도 확보 등 발전소 전체 신뢰도 향상에 기여할 것

으로 사료된다.

아울러 기존 중수로 안전계통 시험시 문제점으로 지적된 시험 회로 부분을 보완, 개선되는 것으로서 기존 시험회로의 문제점(시험시 격리 밸브를 통한 소량의 중수 누수)을 해결할 수 있는 방법이 된다.

한편 이의 기술을 해외 어느 발전소에서 적용, 운용한 사례는 없지만 중수로 설계 개량 항목으로서 운전 중인 발전소 타계통의 차압형 전송기 루프 및 향후 중수로 후속기 안전 계통에 적용 목적으로 사전 수행하므로써 가능하리라 판단된다.

### 참고문헌

1. Program Spec., Monitoring Program for Pressure Transmitter Faults, 69-68000-PSP-001, Rev. 0
2. Assessment Document, Safety System Pressure Transmitter Testing, 69-68000-ASD-006, Rev. 0
3. AECL Memo, Outline of Proposed Pressure Transmitter Monitoring Algorithm (1994)
4. Patton, R.J., P.M. Frank and R.N. Clark(Ed) (1989). Fault Diagnosis in Dynamic System, Theory and Application. Prentice-Hall, Engle Wood Cliffs, NJ
5. Willsky, A.S. (1976). A survey of design methods for failure detection in dynamic system, Automatica, 12, 601~611

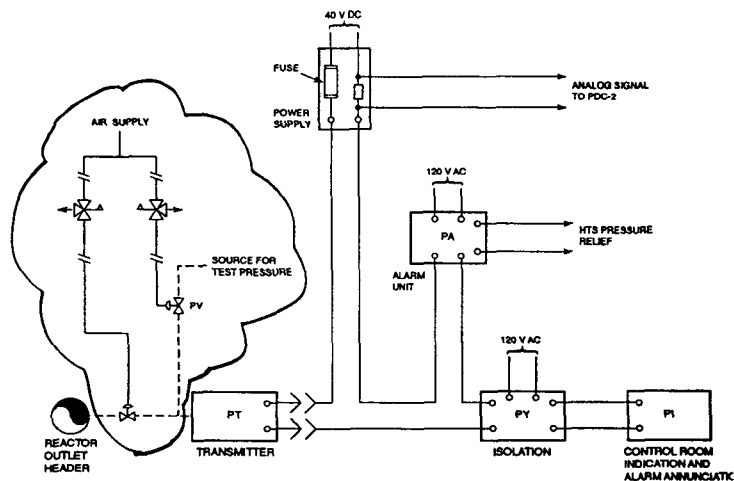


Fig. 1. 압력 측정 루프(HTS Pressure High of Low)-Typical