

핵연료조사시험설비 계측제어계통 설계

Instrumentation and Control System Design of Fuel Test Loop Facility

안성호, 심봉식, 지대영, 박국남, 박수기, 이종민, 이정영, 김영진
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

핵연료조사시험설비는 연구용 원자로인 하나로에 설치되어 경수로용 또는 중수로용 핵연료를 상용 원자로의 운전조건 하에서 시험하는 시설로서, 2006년에 개발완료를 목표로 하고 있으며, 2004년 4월 현재 상세설계 완료단계에 있다. 핵연료조사시험설비는 노외공정계통과 노내시험부로 크게 나누어진다. 핵연료조사시험설비 계측제어계통은 안전관련계통과 비안전관련계통으로 크게 분류된다. 안전관련 계측제어계통은 보호반, 안전제어반, 정지변수 표시반으로 구성된다. 본 논문에서는 핵연료조사시험설비 계측제어계통의 설계가 설계기준에 따라 수행되었는지를 분석한다. 본 논문은 하나로에 설치되는 핵연료조사시험설비의 계측제어 분야 뿐 만 아니라 원자력시설의 계측제어계통 설계에 활용가능하다.

Abstract

Fuel Test Loop (FTL) facility is the fuel test facility, which is installed in HANARO reactor, and will be completed in 2006. The PWR or CANDU type fuels can be tested under the commercial power plant operating conditions in the FTL facility. The I&C system of FTL facility is divided into the nuclear safety related system and the non-nuclear safety related system. The nuclear safety I&C system consists of FTL protection panel, FTL safety control panel, and safety indicator panel. In this paper, the design verification of I&C system is accomplished by comparing with the design criteria. This paper can be applied to the I&C system design of nuclear facilities as well as the FTL facility construction.

1. 서 론

핵연료조사시험설비(Fuel Test Loop : FTL)는 연구용 원자로인 하나로에 설치되어 경수로용 또는 중수로용 핵연료를 상용 원자로의 운전조건 하에서 시험하는 시설로서, 2006년에 개발을 완료예정이며, 2004년 4월 현재 상세설계 완료단계에 있다. 핵연료조사시험설비는 열제거 능력이 120 kW이고, 설계압력 17.5 MPa, 설계온도 350 °C 이며, 발전소의 수화학조건을 갖춘 상태에서 조사할 수 있는 정상상태 핵연료 조사시험용 루프시설이며, 노내시험부(In-pile test section : IPS)와 노외공정계통(Out pile system : OPS)으로 구성된다. 하나로 노심의 IR1에 장착되는 노내시험부는 최대 3 개의 핵연료봉을 시험할 수 있다. 노외공정계통은 노내시험부에서의 조사시험에 필요한 온도, 압력, 유량 등의 조건을 맞추기 위한 계통으로, 주냉각수계통, 비상냉각수계통, 중간냉각수계통, 폐기물이송 및 저장계통 등 다수의 공정계통으로 구성된다[1][2].

본 논문에서는 핵연료조사시험설비 계측제어계통의 설계를 살펴보고, 설계기준에 따라 설계가 이루어졌는지를 분석한다. 핵연료조사시험설비 계측제어계통은 안전(Nuclear safety) 관련계통과 비안전(Non-nuclear safety) 관련계통으로 크게 분류된다. 안전관련 계측제어계통은 핵연료조사시험설비 및 하나로의 보호를 위한 계통으로, 원자로 정지계통과 핵연료조사시험설비 안전정지계통으로 분류되고, 보호반(Protection panel) (3 채널), 안전제어반(Safety control panel) (2 트레인), 정지변수 표시반(Safety indicator panel) 등으로 구성된다. 비안전관련 계측제어계통은 핵연료조사시험설비의 비안전관련 장치의 계측 및 제어를 위한 것으로 제어컴퓨터를 사용한다. 또한 조사시험기간 동안 조사이력과 시험핵연료관련 측정자료를 취득하고 저장하기 위하여 비안전계통 제어컴퓨터와 별도로 실험데이터 획득시스템(Data acquisition system)을 둔다. 본 논문의 2절에서는 핵연료조사시험설비의 구성을 살펴보고, 3절에서는 계측제어계통의 설계를 살펴보고, 설계기준에 따라 설계되었는지를 분석한다. 본 논문은 하나로에 설치되는 핵연료조사시험설비의 계측제어 분야 뿐 만 아니라 원자력시설 계측제어계통의 설계에 활용가능하다.

2. 핵연료조사시험설비 구성

핵연료조사시험설비는 노외공정계통과 노내시험부로 크게 나누어진다. 그림 1은 핵연료조사시험설비의 개략도를 나타낸다. 핵연료조사시험설비에서의 시험핵연료의 제원은 표 1에 나타나 있으며, 핵연료조사시험설비의 설계조건은 표 2와 같다.

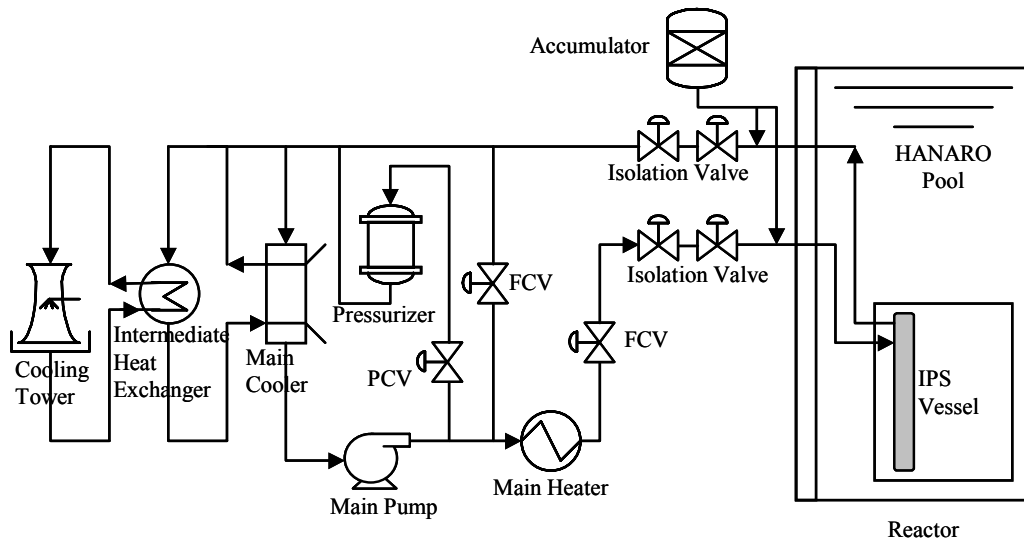


그림 1. 핵연료조사시험설비의 개략도.

표 1. 시험핵연료의 최대 제원

시험핵연료	최대 제원
가압경수로형	- 핵연료봉 길이 : 70 cm
	- 핵연료 농축도 : 5 %
중수로형	- 핵연료봉 길이 : 50 cm
	- 핵연료 농축도 : 5 %

표 2. 핵연료조사시험설비의 설계조건

구분		가압경수로 모드	중수로 모드
노내 시험부 운전 조건	핵분열발열량	112.3 kW	116.2 kW
	냉각수 압력	15.5 MPa	10.0 MPa
	IPS 입구온도	300.3 ℃	276.7 ℃
	IPS 출구온도	312.0 ℃	290.0 ℃
	IPS 유량	1.6 kg/s	1.63 kg/s
	IPS 유속	4.6 m/s	7.2 m/s

2.1. 노외공정계통

노외공정계통은 주냉각수계통, 비상냉각수계통, 관통부 냉각계통, 중간냉각계통, 취출/보충/정화계통, 폐기물 저장 및 이송계통, 시료채취계통, 방사선 감시계통, 수소제어계통

등의 공정계통과, 하나로와 연결되는 HVAC 계통, 2차 냉각수 계통, 탈염수 계통, 보충수 계통, 액체 방사선 폐기물 처리계통, 작업 및 계기용 공기계통, 질소배출계통 등의 보조계통과, 계측제어계통, 전원공급계통으로 구성되어 있다[1]. 주냉각수계통(Main cooling water system : MCW)은 조사시험에서 요구되는 노내시험부의 입구 및 출구측의 유량, 압력, 온도 조건을 유지하는 폐회로 냉각계통으로서 주냉각기, 가압기, 주냉각펌프, 주가열기 등으로 구성된다. 냉각수의 유로는 노내시험부 출구측에서 수조관통부, 배관갤러리를 거쳐서 제 1 기기실로 향하게 된다. 비상냉각수계통(Emergency cooling water system : ECW)은 비상시 주냉각수계통에 냉각수를 공급하여 붕괴열을 제거하도록 설계한다. 비상냉각수계통은 고압주입탱크, 감압배기밸브로 구성되며 이들은 모두 다중화되어 있다. 관통부 냉각수계통(Penetration cooling water system : PCW)은 하나로 수조와 제 1 기기실 사이의 주냉각수계통 배관이 통과하는 콘크리트 관통부에 냉각기능을 제공한다.

취출, 보충 및 정화계통(Letdown, makeup and purification system : LMP)은 주냉각수 체적, 순도 및 화학적 특성을 제어한다. 폐기물 저장 및 이송계통(Waste storage and transfer system : WST)은 방사성 액체 또는 기체 폐기물을 수집하여, 액체 폐기물은 하나로 액체폐기물계통으로 보내고, 기체 폐기물은 하나로 RCI 환기계통으로 이송하는 역할을 한다. 시료 채취 계통(Test loop sampling system : TLS)은 핵연료조사시험설비 유체의 수질을 주기적으로 감시하는데 사용한다. 핵연료조사시험설비의 중간냉각계통(Intermediate cooling water system : ICL)은 주냉각수계통과 취출, 보충 및 정화계통에서 열을 제거하여 이를 하나로 2 차 냉각계통으로 전달하는 기능을 수행하는 계통이다. 수소제어계통(Hydrogen control system : HCS)은 필요시 수소를 수소저장용기에서 제 2 기기실에 위치한 탈기탱크로 공급하며, 주냉각수계통의 수소농도제어를 위하여 탈기탱크를 수소로 가압하는 비안전 기능을 수행한다.

2.2. 노내시험부

시험핵연료를 장착한 노내시험부 압력관은 하나로 노심 내에 위치한 IR1 시험공에 설치되고, 하나로가 출력 운전하게 되면 시험핵연료가 하나로 노심에서 방출되는 중성자속에 의해 핵분열을 하고 열을 발생하게 된다. 하나로 IR1 조사공의 형상은 Hexagonal cylinder 형태이고, 안지름 7.44 cm이다. 노내시험부 압력관 내의 시험핵연료에 냉각수를 공급하기 위해서 주냉각수계통 배관을 노내시험부 헤드(Head)에 연결한다. 노내시험부 압력관은 내·외부압력관, 노내시험부 헤드, 내부집합체, 시험핵연료 운반체 등으로 구성된다. 노내시험부 압력관은 외부압력관과 내부압력관으로 구성되며, 둘 사이의 공간에는 가스(Gas)가 충전된다. 노내시험부 압력관에는 경수로형 또는 중수로형 핵연료가 장전된다. 주냉각수는 노내시험부 헤드의 하부에 있는 입구노즐을 통해 노내시험부로 유입되며, 슬롯을 통해서 압력관에 도달한 후 아래방향으로 압력관과 유동관 사이의 환형 공간을 흐른다. 유동관 바닥에 도달한 냉각수는 방향을 180° 바꾸어서 위쪽방향으로 흐르며, 시험

핵연료 사이를 지나 환형으로 배치된 슬롯을 통해 유동관 내부를 빠져나간다. 외부압력관은 하나로 유동관의 Spider에 놓이는 반구형의 캡 형태로 하단부분이 밀봉된다. 외부압력관 바깥쪽에 3 축 방향 및 3 단으로 부착된 포켓에 9 개의 SPND (Self powered neutron detector)가 위치하며, 이 SPND가 IR1 홀의 중성자속을 원격으로 측정하게 된다. 내부압력관은 외부압력관의 상부플랜지와는 달리 보통의 관 형태로 하단부분이 반구형의 캡형태로 밀봉되어 내부 냉각수의 방향을 180°로 바꾸는 가이드의 역할을 한다.

3. 계측제어계통 설계

핵연료조사시험설비의 계측제어계통은 안전관련계통과 비안전관련계통으로 크게 분류되며, 설비의 운전과 보호에 필요한 신호의 취득, 운전원에게 필요한 정보 제공, 수동 및 자동 조치에 관련된 기기를 포함한다.

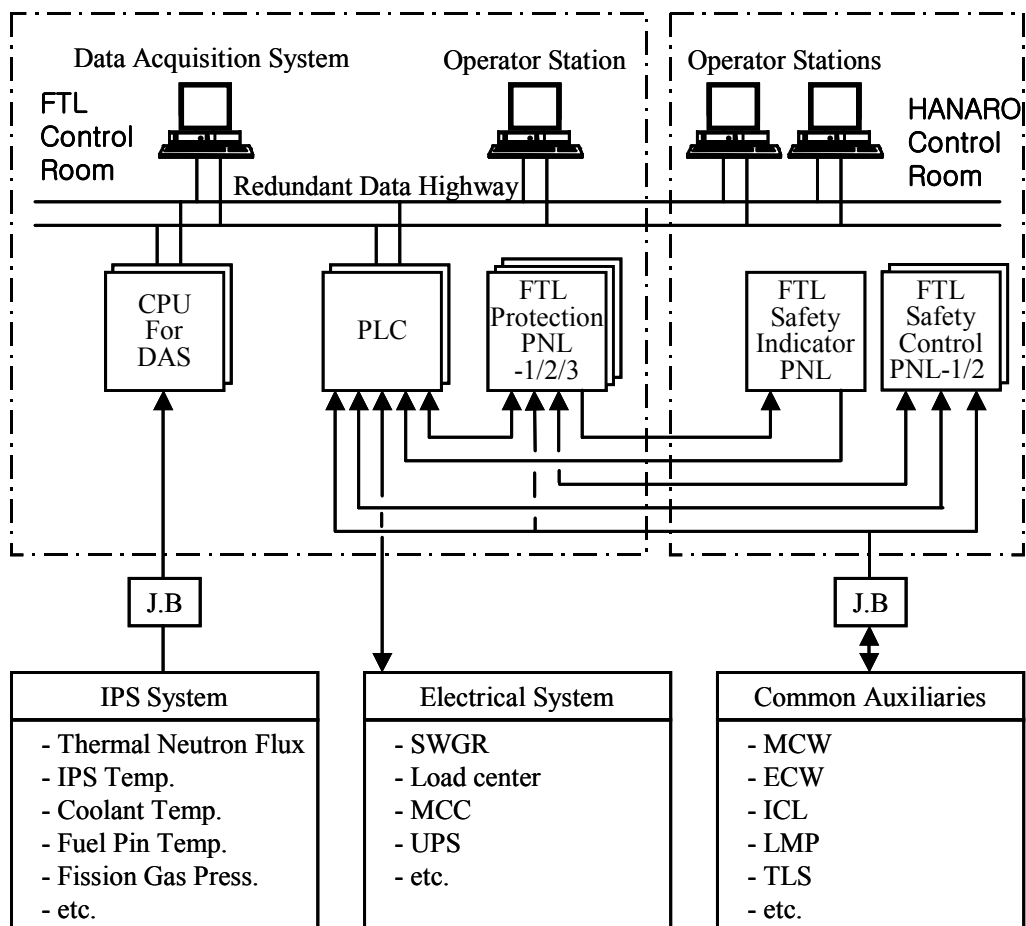


그림 2. 핵연료조사시험설비 계측제어계통의 개략도.

안전관련 계측제어계통은 안전성과 신뢰도의 확보가 중요하기 때문에 시험 및 검증자료가 확보된 기기를 사용하여 구성하며, 비안전관련 계측제어계통은 원활한 정보처리와 표시가 가능하도록 첨단 디지털 장비를 사용하여 구성한다. 핵연료조사시험설비의 운전은 하나로 제어실의 핵연료조사시험설비 운전제어반에서 원자로 운전그룹이 원자로 운전과 함께 수행한다. 그림 2는 핵연료조사시험설비 계측제어계통의 개략도를 나타낸다.

3.1. 안전관련 계측제어계통

핵연료조사시험설비의 안전관련 계측제어계통은 원자로 정지계통(Reactor trip system)과 핵연료조사시험설비 안전정지계통(FTL isolation system)으로 구분되며, 핵연료조사시험설비 보호반 (3 채널), 핵연료조사시험설비 안전제어반 (2 트레인), 및 정지변수 표시반 등으로 구성된다. 핵연료조사시험설비에서 원자로 정지변수의 측정치가 설정치를 초과하면 핵연료조사시험설비 안전관련계통 중 원자로 정지계통이 자동으로 작동하여 하나로를 비상정지시키고, 시험핵연료에서 발생하는 열출력을 줄인다. 또한 시험핵연료의 손상을 방지하고 핵연료조항설비를 안전한 상태로 유지하기 위하여 핵연료조사시험설비 안전정지계통을 작동시킨다. 하나로의 원자로 보호계통은 안전등급으로 분류되어 원자력 발전소 표준규격인 IEEE Std-603을 적용하여 설계되어 있다. 따라서 하나로의 원자로 보호계통(Reactor protection system)과 연계되는 핵연료조사시험설비의 안전관련 계측제어계통의 설계기준에도 IEEE Std-603의 요건을 적용하였다[3].

3.1.1. 원자로 정지계통

핵연료조사시험설비의 원자로 정지변수와 하나로 원자로 보호계통과의 연계를 위하여 3 채널의 핵연료조사시험설비 보호반을 두었다. 핵연료조사시험설비의 운전 중에 시험핵연료의 손상을 방지하고 방사성물질의 유출을 막도록 각 계통의 공정변수를 감시하고 있으며, 공정변수의 측정치가 설정치를 초과하여 핵연료조사시험설비 보호반에서 원자로 정지신호를 발생하면 하나로의 원자로 보호계통을 작동시켜 하나로를 정지한다. 하나로의 원자로 보호계통은 3 개의 채널로 구성되어 있으며, 신뢰도를 높이기 위하여 ‘2 out-of 3’ 국부 동시성논리(Local coincidence logic)에 의하여 원자로를 정지시킨다. 원자로 정지를 위한 정지변수는 시험핵연료 손상기준인 안전한계치와 사고해석에서 다룬 가상사건을 고려하여 결정하였다. 원자로 정지변수는 조사시험에 사용되는 시험핵연료의 종류에 무관하지만, 시험조건이 상이하기 때문에 설정치는 시험핵연료에 따라 다르다. 원자로 정지에 사용되는 정지변수는

- 노내시험부 입구 주냉각수 저유량
- 노내시험부 입구 주냉각수 고유량
- 노내시험부 출구 주냉각수 고온도
- 노내시험부 입구 주냉각수 저압력
- 노내시험부 입구 주냉각수 고압력

- 노내시험부 내/외부 압력관 충전가스 고-고 압력

이다.

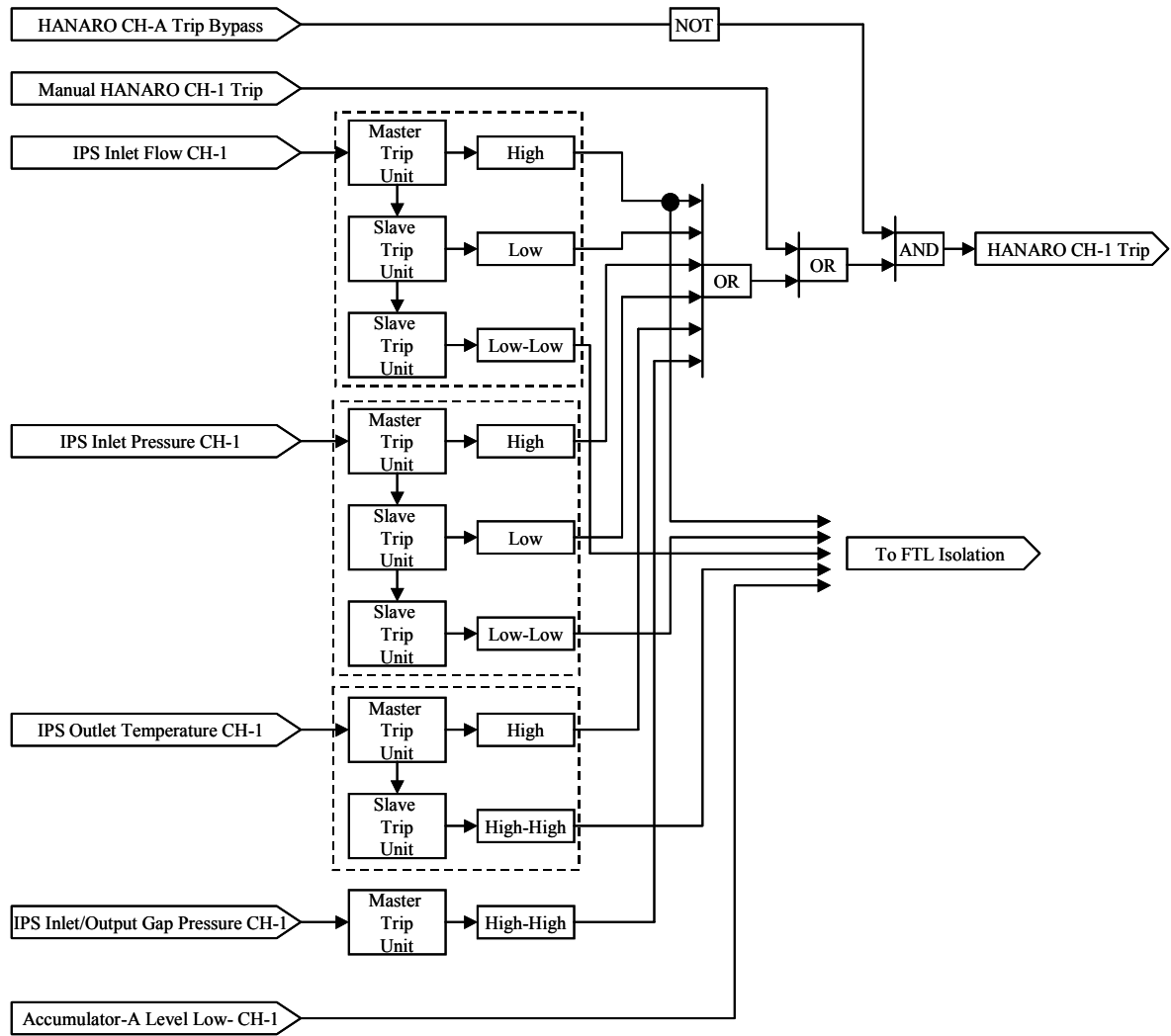


그림 3. 보호반 채널 1 논리도

주냉각수계통의 압력과 유량은 노내시험부 입구배관에서 측정하고, 온도는 출구배관에서 측정한다. 온도측정 센서와 유량, 압력전송기들은 3 중화하였으며, 핵연료조사시험설비 계측실에 설치된 보호반 내의 비교기 및 논리회로를 거쳐 하나로 보호계통의 각 채널에 원자로 정지신호를 보내도록 설계하였다. 각 정지변수의 표시, 시험, 교정 등은 핵연료조사시험설비 계측실의 보호반에서 수행하도록 설계하였다. 핵연료조사시험설비의 운전상황은 하나로 제어실에서 확인 가능하지만, 핵연료조사시험설비 계측실에서도 비정상 혹은

계통의 비상 상황 발생시에 긴급하게 하나로를 정지할 수 있도록 원자로 수동정지 스위치를 핵연료조사시험설비 계측제어실에 설치된 핵연료조사시험설비 보호반(채널 2)에 설치하였다. 핵연료조사시험설비 각 채널별 시험, 보수 등과 같은 작업을 용이하게 수행하기 위하여, 채널 수동정지 스위치를 각 채널의 보호반에 하나씩 설치하였다. 채널 수동정지 스위치를 작동시키면 핵연료조사시험설비 원자로 정지계통 해당 채널 뿐 만 아니라 이와 연결되는 하나로 보호계통 해당 채널도 정지상태가 된다.

핵연료조사시험설비를 운전하지 않고 하나로를 운전하여야 할 경우 핵연료조사시험설비 원자로 정지계통에 의한 원자로 정지신호가 발생하지 않도록 정지변수들을 모두 우회시킬 수 있도록 각 채널별로 우회 스위치를 하나씩 패널에 설치하였으며, 채널정지 우회 스위치를 작동시킬 경우에는 핵연료조사시험설비 원자로 정지계통의 정지변수가 작동되더라도 이 신호가 하나로 보호계통으로 입력되지 않는다. 3 채널(1, 2, 3 채널)로 구성되는 핵연료조사시험설비 보호반에서 신호처리 논리도는 모든 채널에서 동일하다. 그림 3은 보호반 채널 1의 논리도를 나타낸다.

3.1.2. 핵연료조사시험설비 안전정지계통

원자로 정지후 시험핵연료에서 발생하는 잔열을 제거하기 위해서는 비상냉각수를 시험핵연료에 공급하여야 한다. 핵연료조사시험설비에서 사고가 발생할 경우에는 저온관과 고온관에 설치된 격리밸브를 닫고, 주냉각수 배관과 고압주입탱크 사이에 있는 솔레노이드 밸브를 열고, 또한 고온관과 폐기물 처분탱크 사이에 설치된 솔레노이드밸브를 동시에 열어 시험핵연료에 비상냉각수를 공급하여 잔열을 제거한다. 핵연료조사시험설비 안전정지계통의 논리는 2 개의 트레인으로 구성되어 있으며, 2 중으로 설치된 솔레노이드 밸브들을 각각 제어한다. 계측기는 원자로 정지계통 정지변수 채널의 센서, 전송기, 비교기 등을 공동으로 활용한다. 즉 현장계측기들은 원자로 정지계통과 함께 사용하며 비교기에서 출력되는 접점신호부터는 원자로 정지논리와 독립적으로 구성한다. 핵연료조사시험설비 안전정지는 2개의 트레인(Train) 구성되는 핵연료조사시험설비 안전제어반에서 수행되며, 2개의 “2 out-of 3” 논리를 사용하여 신뢰도를 높였다. 핵연료조사시험설비 안전정지변수는

- 노내시험부 입구 주냉각수 저-저유량
- 노내시험부 입구 주냉각수 고유량
- 노내시험부 출구 주냉각수 고-고온도
- 노내시험부 입구 냉각수 저-저압력
- 고압주입탱크 저수위

이다. 핵연료조사시험설비 안전제어반의 각 트레인별 논리도를 그림 4에 나타내었다.

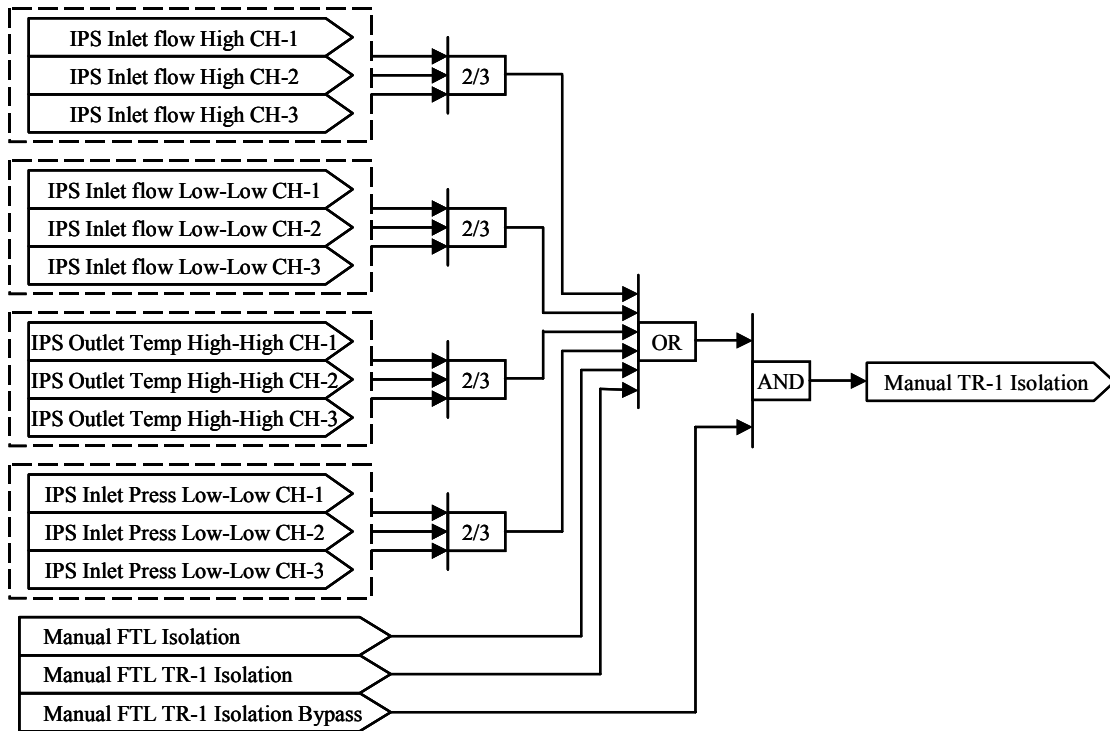


그림 4. 안전제어반 트레인별 논리도

3.1.3. 안전에 중요한 정보표시

운전원은 각종 공정변수들을 감시하면서 핵연료조사시험설비를 운전한다. 공정변수에 변화가 생기면 제어컴퓨터에 의해 주냉각수 계통의 온도, 유량, 압력을 정상운전조건으로 일정하게 유지한다. 이들 정보 중 핵연료조사시험설비 안전관련 계측제어계통의 정지변수와 관련기기의 작동에 관한 정보는 안전에 중요한 정보이다. 따라서 핵연료조사시험설비의 안전에 중요한 정보는 하나로 제어실에 있는 정지변수 표시반, 안전제어반과 핵연료조사시험설비 계측제어실에 있는 보호반에 나타내었다. 안전에 중요한 정보표시의 설계는 보호계통의 설계에 적용된 설계기준을 적용하였다. 이와 별도로 운전원은 하나로 제어실의 제어반의 CRT 화면에서 상기한 정보를 얻을 수 있도록 설계하였다.

3.1.4. 안전관련 계측제어계통 설계 분석

핵연료조사시험설비의 안전관련 계측제어계통인 원자로 정지계통과 핵연료조사시험설비 안전정지계통의 설계가 IEEE Std-603의 설계기준에 의거하여 설계되었는가를 항목별로 분석하였다.

- 1) 단일고장기준 : 각 정지변수의 채널을 3 중화하여 하나의 채널에 고장이 나더라도 나머지 채널에 의해 보호기능을 달성하도록 하였다.
- 2) 품질요건 : 모든 기기는 10 CFR 50 APP. B 의 품질요건에 따라 설계, 제작, 설치하도록 하였다.

록 하여 높은 신뢰도를 유지할 수 있도록 하였다.

- 3) 기기검증 : IEEE Std-323[4]의 기기검증요건을 만족하는 기기들을 선정하여 사용함으로써 어떠한 환경조건에서도 원자로 보호기능을 수행할 수 있도록 하였다.
- 4) 채널 건전성 : 기기는 IEEE Std-323 및 344[5] 등의 요건을 만족시키도록 하여 최악의 환경조건에서도 그 기능을 수행할 수 있도록 설계하였다. 기기설치와 전선배선 등에 독립성, 다중성 등의 설계개념을 도입하였고, 채널기기의 주기적인 기능시험과 교정으로 채널의 건전성을 유지하도록 하였다.
- 5) 채널 독립성 : 각각의 다중채널 등은 서로 독립적으로 구성하였다. 현장설치 기기와 전선배선 등은 채널별로 최소한 1.5 미터 이상 물리적으로 격리시키고, 제어실의 판넬도 채널별로 분리 설치하였다. 독립성 개념을 다중채널의 설계에 적용함으로써 단일채널의 사고가 다른 채널로 파급되지 않도록 하였다.
- 6) 안전계통과 비안전계통의 상호영향 : 안전계통의 어떠한 기기도 다른 비안전계통과 공동으로 사용되지 않도록 분리하였다. 안전계통 채널로부터의 신호가 비안전계통에 필요한 경우는 반드시 신호분리 증폭기(Signal isolation amplifier)를 거치게 하여 비안전계통으로부터의 고장이 안전계통으로 전파되지 않도록 하였다. 이 때 신호분리 증폭기를 안전계통의 범주로 분류하였고 안전계통에 적용되는 모든 요건을 만족시키도록 하였다.
- 7) 계통입력신호 측정 : 안전계통에 사용되는 검출기들은 핵연료조사시험설비의 안전유지에 필수적인 중요변수들을 직접적인 방법으로 측정한다. 이 변수들은 수조 외부계통의 배관으로부터 측정되는 유량, 압력, 온도 등의 아날로그 신호와 노내시험부 단열 캡의 압력신호가 있다.
- 8) 감지기 점검 : 안전계통의 정지변수 계측채널들을 감지기로부터 구동부까지 모두 독립적인 다중의 채널로 구성하여 운전중에도 채널의 감지기 및 계측기기들의 기능을 원자로 제어실 혹은 핵연료조사시험설비 계측제어실에서 점검할 수 있도록 하였다. 점검 방법은 측정되는 공정변수를 인위적으로 변화시켜주는 방법과 외부에서 전기적 모의신호를 주입시키는 방법 등을 사용한다. 또한 각 채널에 대한 지시기가 제어반에 독립적으로 설치되므로 이들 다중채널 지시기들을 서로 비교함으로써 언제든지 감지기의 건전성을 점검할 수 있게 하였다.
- 9) 시험 및 교정 : 검출기로부터 신호를 받는 신호전송기, 신호전송기로부터 전기신호를 받아 정지설정치 초과여부를 판단하는 신호비교기, 그리고 신호비교기로부터의 정지신호를 받아 정지봉 구동신호를 생성하는 계전기 등에 대한 신뢰도 분석결과로부터 결정된 시험주기에 따라 정기적으로 시험 및 교정 작업을 수행할 것이다. 주기적 시험은 계측제어실에서 수행하며 원자로 운전중에도 시험할 수 있도록 논리를 구성하였다.
- 10) 채널 우회 및 제거 : 안전관련 계측제어계통은 다중채널로 구성되어 있어 채널중 어느 하나의 채널을 운전중에 시험, 교정 또는 수리를 하더라도 보호기능의 수행에는

문제가 없다. 어느 하나의 채널이 시험중일 경우는 “1 out-of 2” 논리에 의해 원자로 보호기능이 유지된다.

- 11) 운전조건 우회 : 핵연료조사시험설비의 계통 운전은 하나로 기동전에 고온대기상태에 도달하므로 우회조건은 해당되지 않는다.
- 12) 우회상태 지시 : 원자로 정지 또는 각 채널정지가 발생하면 안전제어반과 제어반에 경보가 발생되도록 하였다. 이는 하나의 채널이 주기적 시험 또는 기타 사유로 채널 기능이 우회되고 있으면 채널정지 경보가 울리게 되어 운전원이 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.
- 13) 우회조작의 관리 : 채널 우회의 실제적 의미는 해당 채널을 정지상태에 두는 것이기 때문에 기능우회의 의미가 아니므로 조작관리(Access control)의 필요성이 없다.
- 14) 다중 설정치 : 설정치는 시험대상 핵연료다발에 따라 변경이 가능하도록 하였다.
- 15) 보호동작의 완료 : 하나로써 원자로 정지기능 즉, 정지봉의 자유낙하는 개시되기만 하면 반드시 완전 삽입시까지 진행되도록 하였고, 운전원이 정지 리세트(reset) 누름 스위치와 정지봉 인출 누름스위치를 작동시키기 전까지는 정지봉 재인출이 불가능하도록 설계하였다.
- 16) 수동작동 : 핵연료조사시험설비 계측제어실의 보호반에 수동정지 누름스위치를 설치하여 긴급 상황 발생시 원자로를 정지시킬 수 있도록 하였다.
- 17) 설정치의 조정, 교정 및 시험 : 핵연료조사시험설비 안전관련 계측제어계통의 기기들은 정지설정치의 조정, 기기의 교정, 시험 등을 시행할 수 있도록 설계, 제작되었고 이러한 행위는 적절한 관리와 절차에 따라 수행하도록 하였다.
- 18) 보호동작의 확인 : 원자로정지와 채널정지 또한 어떤 정지변수에 의해 작동되었는지를 핵연료조사시험설비 보호반 및 안전제어반과 CRT에서도 확인할 수 있도록 하였다.
- 19) 정보추출 : 운전원은 보호계통과 관련된 입출력 신호를 비롯한 모든 정보를 원자로 제어실에서 감시할 수 있도록 설계하였다.
- 20) 계통보수 : 기기가 고장나면 자기진단기능, 주기적 점검 또는 시험 등을 통하여 운전원이 쉽게 인식할 수 있도록 하였다.
- 21) 구별 : 기기, 전선 등의 색과 표시를 채널 및 기능별로 구분하여 쉽게 인식 및 구별할 수 있도록 하였다.

3.2. 비안전관련 계측제어계통

핵연료조사시험설비의 비안전 관련 시스템의 계측 및 제어는 PLC (Programmable logic controller)로 수행되며, 이 제어컴퓨터에 고장이 발생하더라도 보호계통의 작동에는 영향을 주지 않도록 설계하였기 때문에 하나로써 핵연료조사시험설비의 안전은 보장된다. 제어컴퓨터는 본체(PLC, 2 대), 입출력장치, 제어반(3 대), 데이터 네트워크, 프린터등과 같은 부속자재들로 구성된다. 핵연료조사시험설비의 운전은 하나로 제어실에서 이루어지

기 때문에, 핵연료조사시험설비 계측제어실에도 제어반을 두어 설비의 운전상황을 파악할 수 있도록 하였다. 제어컴퓨터 본체와 입출력장치는 핵연료조사시험설비 계측제어실에 설치하였으며, 현재 운전을 담당하고 있는 컴퓨터에 이상이 발생할 경우 대기중인 컴퓨터가 운전을 대신할 수 있도록 2 중화 구조를 갖도록 구성하였으며, 기기에 공급되는 전력과 네트워크 케이블도 2 중으로 구성하였다. 또한 제어반에서 사용하는 신호 중 안전계통으로부터 오는 신호는 격리증폭기를 통과하도록 하여, 제어컴퓨터의 신호가 안전계통에 간섭을 주지 않도록 하였다. 제어컴퓨터를 이용한 공정제어는 핵연료조사시험설비의 충수로 부터 온도, 압력, 유량 등의 시험조건을 달성하기까지의 모든 단위기기 및 계통의 제어기능, 조사시험기간 중 정상운전조건을 유지하는 기능, 그리고 조사 완료 후 운전정지를 하는데 필요한 제반 수동 및 자동기능을 포함한다. 또한 정상운전시 공정계통의 변수들이 운전 허용값을 넘지 않도록 조절, 유지하도록 하여 과도상태에서 사고상태로 천이되지 않도록 한다.

3.3. 데이터 획득 시스템

조사시험기간 동안 조사이력과 시험핵연료관련 측정자료를 취득하고 저장하기 위하여 비안전계통 제어컴퓨터와 별도로 실험데이터 획득시스템을 두었다. 실험데이터 획득시스템은 노내시험부 혹은 공정설비로부터 다음의 자료를 취득하여 저장한다.

- 중성자속 측정: 노내시험부 시험핵연료 장착지역
- 주냉각수 유량 : 노외공정설비의 주냉각수 유량
- 냉각수 온도: 노내시험부 시험핵연료 장착지역
- 단열관 압력 : 내부 및 외부 압력관 사이 단열관 압력
- 시험핵연료 중심온도
- 핵분열물질 가스 압력
- 기타 온도측정 : 노내시험부 seal의 건전성 감시

4. 결 론

핵연료조사시험설비는 연구용 원자로인 하나로의 IR1 조사공에 설치되어 경수로용 또는 중수로용 핵연료를 상용 원자로의 운전 조건 하에서 시험하는 시설이다. 핵연료조사시험설비 계측제어계통은 안전관련 계측제어계통과 비안전관련 계측제어계통으로 크게 분류된다. 안전관련 계측제어계통은 하나로 및 핵연료조사시험설비의 보호를 위한 계통으로, 원자로 정지계통과 핵연료조사시험설비 안전정지계통으로 나누어지고, 보호반, 안전제어반, 정지변수 표시반 등으로 구성된다. 비안전관련 계측제어계통은 PLC 제어시스템에 의해 제어된다. 본 논문에서는 핵연료조사시험설비 계측제어계통의 설계를 살펴보고, 계통이 설계기준에 따라 설계되었음을 확인하였다. 본 논문은 하나로에 설치되는 핵연료조

사시험설비의 계측제어 뿐 만 아니라 원자력시설의 계측제어계통 설계에 활용가능하다.

후 기

이 논문은 과학기술부의 원자력연구개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 박국남, 지대영, 박수기, 심봉식, 이정영 외, “하나로 3-Pin Fuel Test Loop에서의 노내시험부 개념설계,” KAERI/TR-2541/2003, 2003.
- [2] 한국원자력연구소, “3-Pin 핵연료 노내조사시험설비 Design Manual-기계분야,” HAN-FL-E-070-DM-H001, Rev. A, 2003.
- [3] IEEE Std 603-1998, “IEEE standard criteria for safety systems for nuclear power generating stations,” The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1998.
- [4] IEEE Std 323-1974, “IEEE standard criteria for qualifying class 1E equipment for nuclear power generating stations,” The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1974.
- [5] IEEE Std 344-1975, “IEEE recommended practices for seismic qualification of class 1E equipment for nuclear power generating stations,” The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1975.