

하나로 핵연료노내조사시험설비 기동정지 절차 개발

Development of Start-up and Shutdown Procedure for the  
HANARO Fuel Test Loop

*KAERI*

한국원자력연구원

# 제 출 문

한국원자력연구원장 귀하

이 보고서를 2009년도 “고연소도 핵연료 조사시험 추적연구 및 종합성능검증 조사시험 기술 개발” 과제의 기술보고서로 제출합니다.

2009. 6.



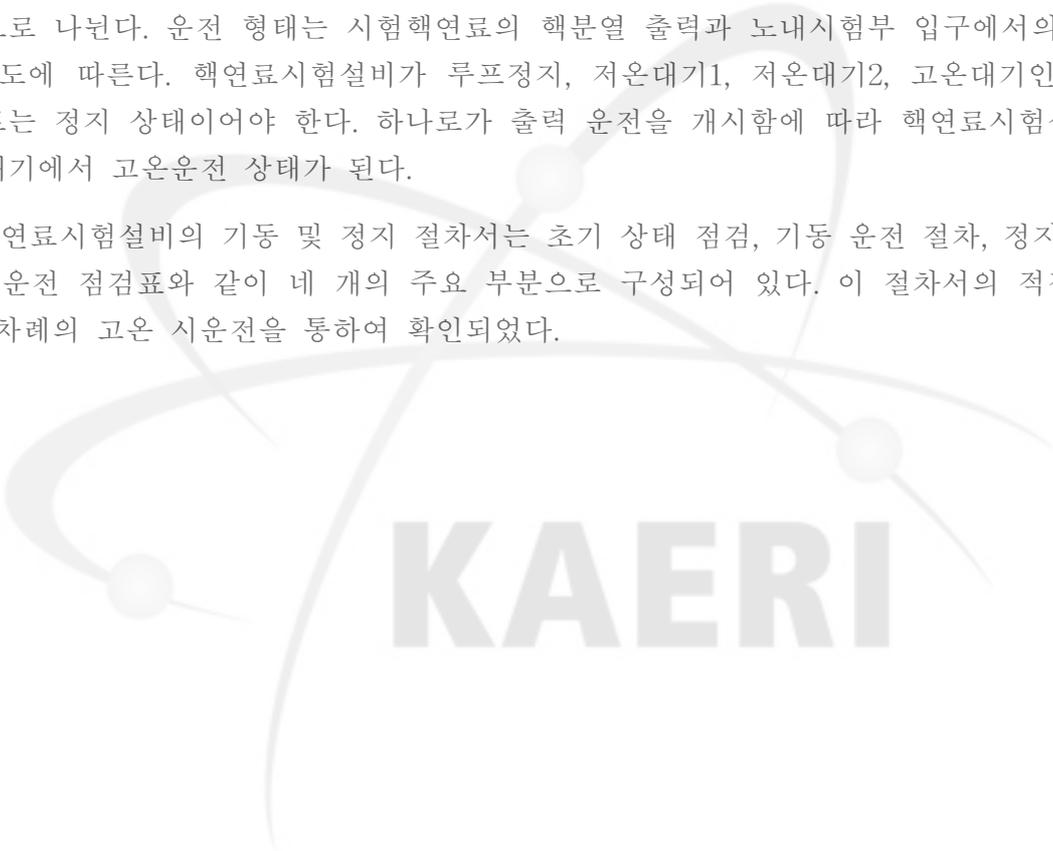
주저자 : 연구로공학부 박 수 기  
공저자 : " 심 봉 식  
" 지 대 영  
" 이 정 영  
" 이 종 민  
" 안 성 호

## 요 약 문

하나로 핵연료시험설비의 기동 및 정지 절차를 개발하였다. 핵연료시험설비는 핵연료 및 재료 조사 시험 시설이다. 이 시설은 상용 가압경수로 및 중수로의 정상 운전 압력 및 온도와 유사한 시험 조건을 제공한다.

핵연료시험설비의 정상 운전 형태는 루프정지, 저온대기1, 저온대기2, 고온대기, 고온 운전으로 나뉜다. 운전 형태는 시험핵연료의 핵분열 출력과 노내시험부 입구에서의 냉각수 온도에 따른다. 핵연료시험설비가 루프정지, 저온대기1, 저온대기2, 고온대기인 경우 하나로는 정지 상태이어야 한다. 하나로가 출력 운전을 개시함에 따라 핵연료시험설비는 고온대기에서 고온운전 상태가 된다.

핵연료시험설비의 기동 및 정지 절차서는 초기 상태 점검, 기동 운전 절차, 정지 운전 절차, 운전 점검표와 같이 네 개의 주요 부분으로 구성되어 있다. 이 절차서의 적절성은 여러 차례의 고온 시운전을 통하여 확인되었다.



KAERI

## SUMMARY

A start-up and shutdown procedure for the HANARO fuel test loop has been developed. This is a facility for fuel and material irradiation tests. The facility provides experimental conditions similar to the normal operational pressures and temperatures of commercial PWR and CANDU plants.

The normal operation modes of the HANARO fuel test loop are classified into loop shutdown, cold stand-by 1, cold stand-by 2, hot stand-by, and hot operation. The operation modes depend on the fission power of test fuels and the coolant temperature at the inlet of the in-pile test section. The HANARO must maintain a shutdown mode if the HANARO fuel test loop is loop shutdown, cold stand-by 1, cold stand-by 2, or hot stand-by. As the HANARO becomes power operation mode, the operation mode of the HANARO fuel test loop comes to hot operation from hot stand-by.

The procedure for the HANARO fuel test loop consists of four main parts such as check of initial conditions, start-up operation procedure, shutdown operation procedure, and check lists for operations. Several hot test operations ensure that the procedure is appropriate.

KAERI

# CONTENTS

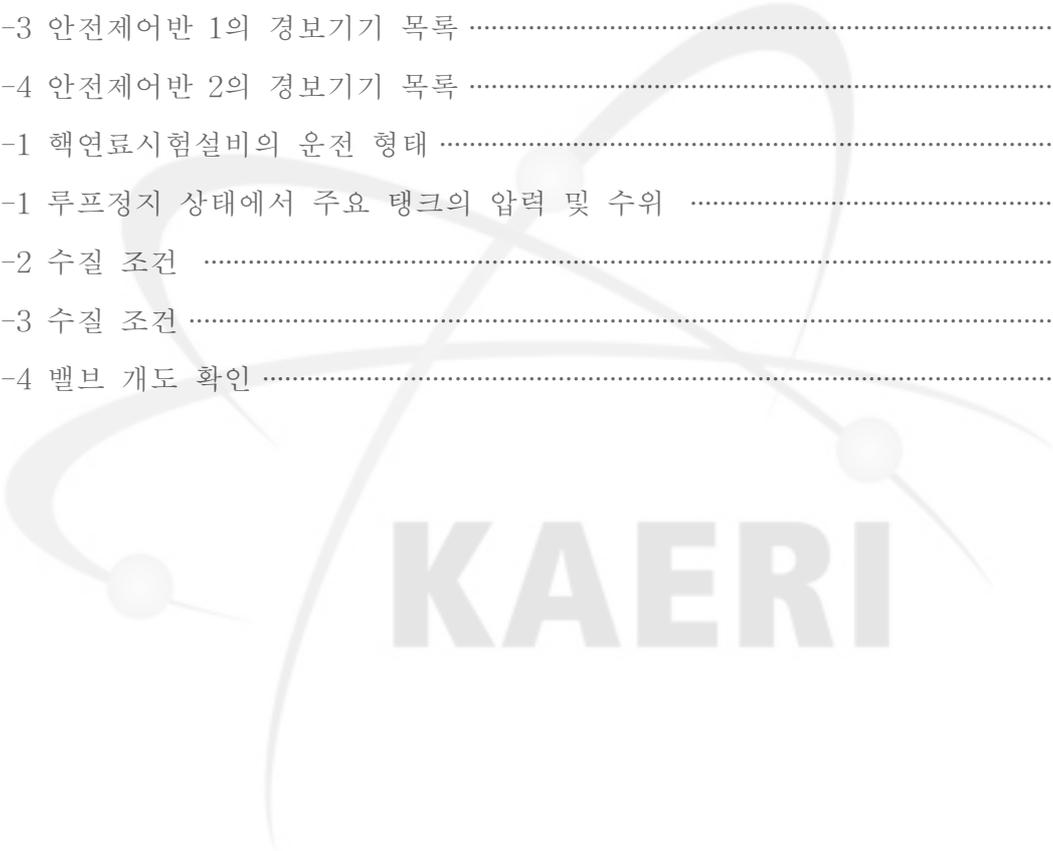
Statement for Report Submission .....	i
Summary in Korean .....	ii
Summary in English .....	iii
Contents in English .....	iv
Contents in Korean .....	v
List of Tables .....	vi
List of Figures .....	vii
Chapter 1. Introduction .....	1
Chapter 2. Fuel Test Loop Description .....	2
2.1 In-Pile Test System .....	2
2.2 Out-Pile System .....	8
2.2 Instrument and Control System .....	15
Chapter 3. Constitution of Operation Procedures .....	25
3.1 Normal Operation Procedure .....	25
3.2 Abnormal Operation Procedure .....	26
3.3 Emergency Operation Procedure .....	27
Chapter 4. Start-up and Shutdown Procedure .....	28
4.1 Operation Modes .....	28
4.2 Constitution of Procedure .....	29
4.3 Start-up Procedure .....	30
4.4 Shutdown Procedure .....	40
4.5 Pressure-Temperature Curves .....	45
Chapter 4. Conclusions .....	47
References .....	48
Appendix : Development of Start-up and Shutdown Procedure for the HANARO Fuel Test Loop .....	49

# 목차

제1 장 서론 .....	1
제2 장 핵연료시험설비 개요 .....	2
2.1 노내시험부 .....	2
2.2 노외 공정 계통 .....	8
2.3 계측 및 제어계통 .....	15
제3 장 운전 절차서 구성 .....	25
3.1 정상 운전 절차서 .....	25
3.2 비정상 운전 절차서 .....	26
3.3 비상정지 절차서 .....	27
제4 장 기동 및 정지 운전 .....	28
4.1 운전 형태 구분 .....	28
4.2 절차서 구성 .....	29
4.3 기동 운전 .....	30
4.4 정지 운전 .....	40
4.5 압력-온도 곡선 .....	45
제4 장 결론 .....	47
참고 문헌 .....	48
붙임 : 핵연료시험설비의 기동 및 정지 절차서 .....	49

## 표 목차

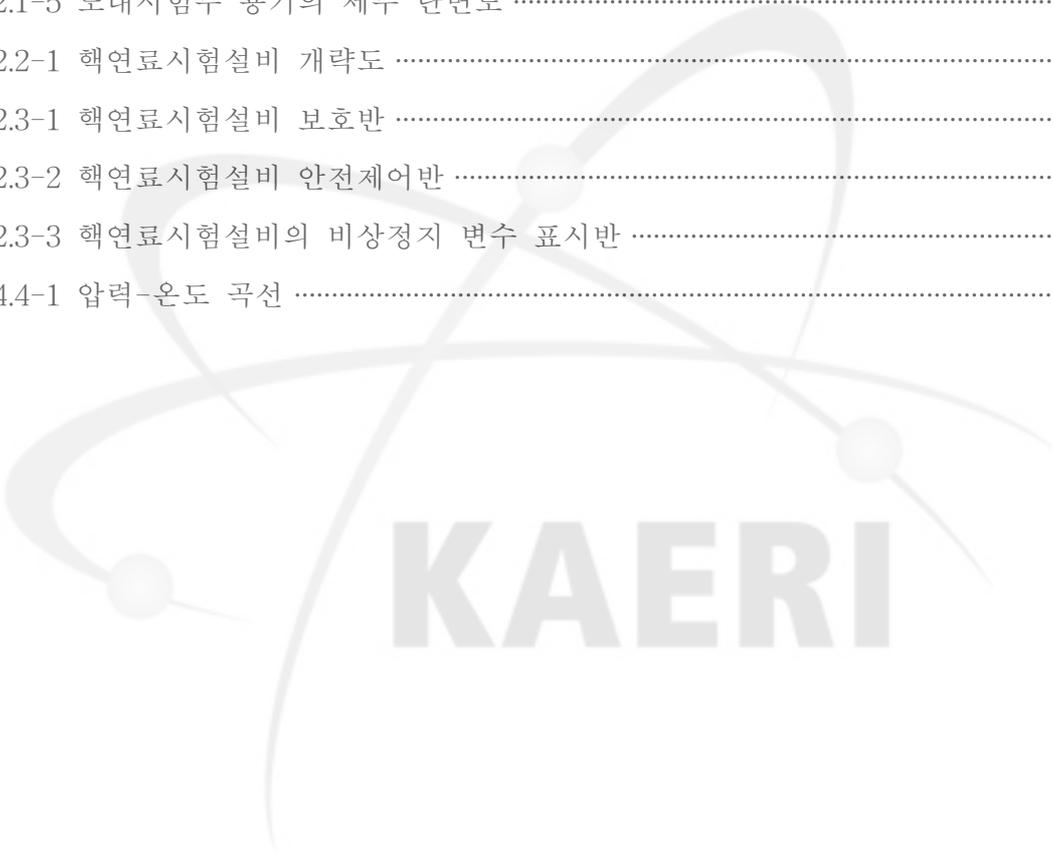
표 2.2-1 주냉각수계통의 설계 조건 및 정상 출력 운전 범위 .....	13
표 2.2-2 취출·보충·정화계통의 설계 조건 및 정상 운전 범위 .....	13
표 2.3-1 안전계통의 정지 설정치 .....	19
표 2.3-2 보호반 및 정지변수 표시반의 지시계기 목록 .....	20
표 2.3-3 안전제어반 1의 경보기기 목록 .....	21
표 2.3-4 안전제어반 2의 경보기기 목록 .....	22
표 4.1-1 핵연료시험설비의 운전 형태 .....	28
표 4.3-1 루프정지 상태에서 주요 탱크의 압력 및 수위 .....	30
표 4.3-2 수질 조건 .....	35
표 4.3-3 수질 조건 .....	36
표 4.3-4 밸브 개도 확인 .....	37



KAERI

## 그림 목차

그림 2.1-1 하나로 수조 단면 .....	5
그림 2.1-2 노내시험부 설치 사진 .....	5
그림 2.1-3 노내시험부 설치 조감도 .....	6
그림 2.1-4 노내시험부 설치 유동관 단면 .....	6
그림 2.1-5 노내시험부 용기의 세부 단면도 .....	7
그림 2.2-1 핵연료시험설비 개략도 .....	14
그림 2.3-1 핵연료시험설비 보호반 .....	23
그림 2.3-2 핵연료시험설비 안전제어반 .....	23
그림 2.3-3 핵연료시험설비의 비상정지 변수 표시반 .....	24
그림 4.4-1 압력-온도 곡선 .....	46



KAERI

# 제1 장 서론

1995년 2월 8일 역사적인 첫 임계에 도달한 하나로의 운영 목적은 핵연료 성능시험, 재료조사시험, 방사성동위원소 생산, 기초과학 및 응용연구에 활용하는 것이다[1, 2].

하나로 건설 목적 중의 하나인 핵연료 성능시험에 하나로를 활용하기 위하여 “정상상태의 다발용 핵연료조사시험시설” 구축 과제를 1992년부터 추진하여 왔으나, 상세설계 완료 후 1999년에 중단되었다. 이후 변화된 환경을 반영하여 3개의 핀을 시험할 수 있는 정상상태 핵연료조사시험시설을 “3-Pin 핵연료 노내조사시험설비 구축 및 이용기술개발”이라는 명칭의 중장기과제로 추진하여 왔다.

핵연료시험설비는 상용 가압경수로나 중수로 운전 조건과 유사한 고온·고압에서 최대 3개의 연료봉을 장전하여 핵연료의 종합적인 성능을 시험할 수 있도록 설계된 시설이다. 시험할 수 있는 연료봉의 길이는 약 700mm 이하이다. 시험핵연료가 장전되는 노내시험부(In-Pile Test Section)는 하나로의 노심에 설치된다.

시험핵연료는 원자로의 중성자 조사에 의하여 핵분열이 지속된다. 즉, 시험핵연료의 출력은 원자로 출력 제어에 종속되어 조정된다. 따라서 핵연료시험설비와 하나로 운전은 서로 독립적이지 않고, 밀접하게 관련되어 있다. 이와 같은 특성을 고려하고 시운전 결과를 반영하여 하나로 운전과 연계된 핵연료시험설비의 기동 및 정지 운전 절차를 개발하였다.

이 보고서에는 핵연료시험설비의 운전 절차서 체계, 핵연료시험설비의 운전 모드 구분 및 하나로 운전 모드와의 관계, 핵연료시험설비의 기동 및 정지 운전 절차에 대한 기술적 배경이 기술되어 있다. 또한 부록에 기동 및 정지 운전 절차를 첨부하였다.

## 제2 장 핵연료시험설비 개요

핵연료시험설비는 노내시험부(In-Pile Test Section: IPS)와 노외공정계통(Out-of-Pile System: OPS)으로 구성되어 있다.

### 2.1 노내시험부

노내시험부는 하나로 IR1 조사공에 설치되는 압력용기와 수조 내의 배관 및 배관 지지대를 말한다. 좁의 의미에서는 압력용기만을 일컬어 노내시험부라고 한다. 압력용기(노내시험부)는 발전로의 원자로에 상응하며 시험핵연료봉이 여기에 장전된다. 시험핵연료봉에는 핵연료 소결체의 온도 및 핵분열 가스의 압력을 측정하는 계측 센서가 설치된다. 수조 내 배관은 노외공정계통과 압력용기를 연결하는 배관이다.

#### 2.1.1 노내시험부 설치 위치

그림 2.1-1은 하나로 수조의 단면을 보여주고 있다. 빨간색 육각형 모양이 하나로 핵연료가 장전되는 유동관이고, C와 S는 제어봉과 정지봉의 위치를 나타낸다. 노심 내에는 세 개의 수직 조사공이 있다. 2개는 IR 공이라고 불리고, 한 개는 CT 공이라고 한다. 노내시험부는 화살표로 표시된 IR 1 조사공에 설치되어 있다.

그림 2.1-2는 원자로 노심에 설치된 노내시험부 사진이다. 육각형 모양이 노심이다. 수조 상부에서 바라본 사진이므로 압력용기의 상부만 보인다. 노내시험부 상부에 계장선관이 연결되어 있다. 저온관과 고온관은 열팽창에 따른 응력 하중을 고려하여 곡관 형태를 이루고 있다. 수조 내 배관 및 압력용기는 배관 지지대에 의하여 지지되고 있다.

그림 2.1-3은 원자로 노심에 설치된 노내시험부의 조감도이다. 원자로 노심의 수평관이 수평 조사공이다. 노심 상부에는 육각형 모양의 침니가 있는데, 침니 상부에 튀어 나온 부분이 노내시험부 상부이다. 저온관 및 고온관과 연결되는 노즐과 계장선관의 일부만 표시되어 있다.

그림 2.1-4는 IR 1 조사공에 설치된 노내시험부의 단면도이다. IR 1 조사공은 6각형의 유동관이다. 이 위치에서의 노내시험부는 외부압력용기(Outer pressure vessel), 내부압력용기(Inner pressure vessel), 유동분리관(Flow divider), 시험핵연료지지체(Fuel support legs)로 구성되어 있다. 세 개의 빨간색 원이 시험핵연료를 나타내고, 노란색 부분이 냉각수의 유로이다. 유동분리관과 내부압력용기 사이로 냉각수가 흘러 내려가고 시험핵연료 주위를 흘러 올라간다. 외부압력용기와 내부압력용기 사이에는 네온으로 채우고, 네온 가스의 압력을 측정한다. 네온은 고온인 핵연료시험설비의 냉각수와 상온인 하

나로 수조수 사이의 열전달을 차단하는 단열재 역할을 수행한다. 또한 네온 가스의 압력을 측정하고 압력 변화를 이용하여 내부압력용기로부터의 누설을 감시한다.

## 2.1.2 노내시험부 설계

노내시험부 상부는 그림 2.1-2에서 볼 수 있는 것과 같이 하나로 수조벽에 부착된 사각빔을 통하여 지지된다. 하부는 노심 상단에 설치된 브라킷을 통하여 지지된다. 시험핵연료가 장전된 부분의 수평 단면도는 그림 2.1-4와 같고, 노내시험부의 수직 단면도는 그림 2.1-5와 같다.

노내시험부는 노내시험부헤드(IPS head), 외부압력용기(Outer pressure vessel), 내부압력용기(Inner pressure vessel), 유동분리관(Flow divider), 시험핵연료지지체(Fuel support legs) 등 5개의 주요부분으로 구성되어 있다.

노내시험부헤드의 상부는 시험핵연료의 교체를 위하여 개폐가 가능한 구조로 되어 있고, 두 개의 오링(O-ring)이 설치되어 있다. 노내시험부헤드의 중간부분은 주냉각수의 입구와 출구 역할을 하는 2개의 노즐이 있으며 수조수와의 열전달을 차단하기 위하여 단열재가 설치되어 있다. 노내시험부헤드 하부는 외부압력용기와 플랜지 형태로 연결되며 이들 사이의 내부압력용기는 금속링이 설치되어 밀폐기능을 한다.

노내시험부헤드 상부에서 계장선이 관통하는 부분은 Brazing으로 밀폐하였다. ASME Section III NB-4511와 NB-4512에 따라 Brazing Filler 및 Flux를 선정하고, 설계 및 제작하였다. 제작 후 수압시험 및 He 누설 시험을 통하여 밀폐 성능을 확인하였다.

외부압력용기는 두께 5.0 mm의 321 스테인레스강으로 만들었고, 주위에는 9개의 SPND(Self Powered Neutron Detector)가 장착되어 있다. 하부는 반구 형태에 돌출부가 부착되어 있어 하나로 유동관의 스파이더에 장착된다.

내부압력용기는 두께 4.0 mm의 321 스테인레스강으로 제작되었고, 하부는 반구 형태로 되어 있어 냉각수의 유동이 180° 전환될 수 있도록 하였다. 입구노즐 부분의 내부압력용기는 컬러(Collar) 형태로 제작하여 냉각수 유입 시 정체현상을 막도록 하였다.

유동분리관은 입구냉각수와 출구냉각수의 분리 역할 및 단열 역할을 하는 것으로 스페이서(Spacer)를 통하여 내부압력용기와의 간격을 유지하게 된다. 상부는 유동분리 잠금링(Flow divider locking ring)과의 체결을 통하여 위치가 고정되며, 하부는 하부핵연료지지링과 0.5 mm의 간극을 유지하고 있다.

시험연료지지체는 상부의 연료운반체지지대(Fuel carrier support stem), 하부의 연료운반체다리(Fuel carrier leg) 및 이들 두 구조물을 중간에서 연결하는 연료운반헤드(Fuel carrier head)로 구성된다. 연료운반체지지대 상부는 고온의 냉각수가 배출될 수 있도록 원주방향으로 6개의 슬롯(Slot)이 형성되어 있다. 시험연료운반체다리는 120° 간격으로 3

개가 위치하여 시험핵연료를 지지하는 역할을 하게 된다. 이들 다리는 4개의 핵연료지지링(Fuel support ring)을 통하여 형태를 유지하게 된다.

핵연료시험설비 주냉각수는 노내시험부의 입구노즐로 들어가서 내부압력용기의 안쪽 표면과 유동관 사이의 환형공간을 통해 아래로 흘러 간 다음 시험연료지지체 내부의 시험핵연료를 통과하여 위로 이동하면서 핵연료로부터 열을 흡수한다. 연료운반체지지대에서 배출되는 주냉각수는 노내시험부 출구노즐을 빠져나가 노외 공정계통의 주냉각기를 통과해서 주냉각펌프로 흐른다. 주냉각펌프에서 주냉각수는 주가열기로 이동하게 되고, 이후 노내시험부 입구로 되돌아오게 된다.

노내시험부는 시험핵연료를 지지하고 위치를 잡아주며 정상, 이상, 비상 및 사고상태 동안 정하중 및 동하중을 안전하게 흡수할 수 있도록 설계되어 있으며, 온도 및 압력의 변동, 취급, 지진가속 등으로 인한 응력을 견딜 수 있도록 설계하였다. 사고로 인한 하중의 영향도 설계해석에 포함되어 있다.

### 2.1.3 수조내 배관

노내시험부와 갤러리 내 배관을 연결하는 수조 내 배관은 1인치의 스테인레스강이고, 갤러리 내 배관과는 Hiltap 커플링과 용접으로 연결되고, 노내시험부와는 Hiltap 없이 용접으로만 연결되어 있다. 이들 배관은 하나로 수조수와의 단열을 위하여 4"의 단열재(MICROTHERM) 및 안전등급 NNS의 배관커버에 의하여 둘러싸여 있다. 단열재와 배관커버 사이에는 공기를 채우도록 설계하였으며 이에 따른 과압방지를 위하여 1" Rupture disc를 배관 양단에 설치하였다. 또한 Seismic restraint를 배관 끝단에 설치하여 지진하중에 대비하도록 하였다.

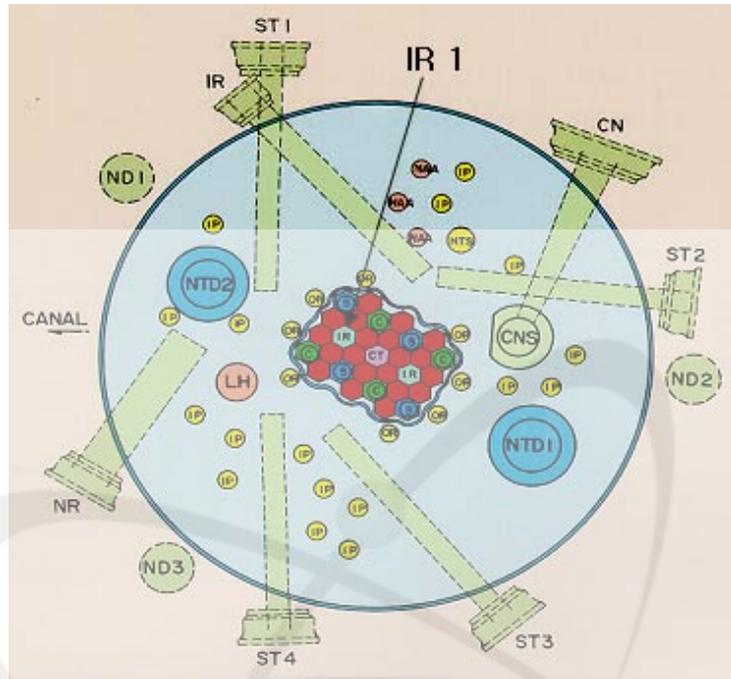


그림 2.1-1 하나로 수조 단면

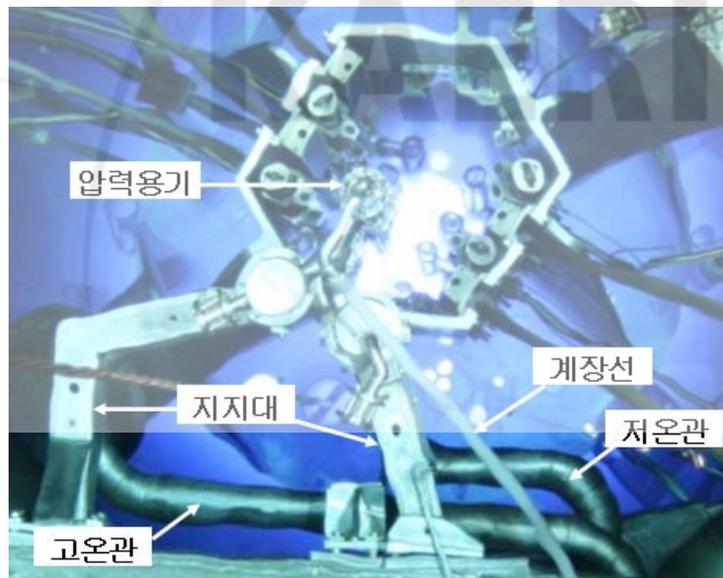


그림 2.1-2 노내시험부 설치 사진

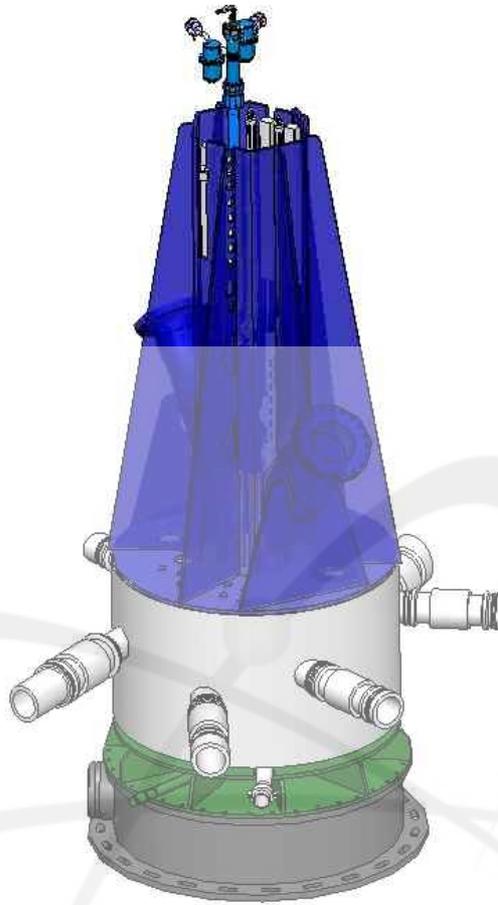


그림 2.1-3 노내시험부 설치 조감도

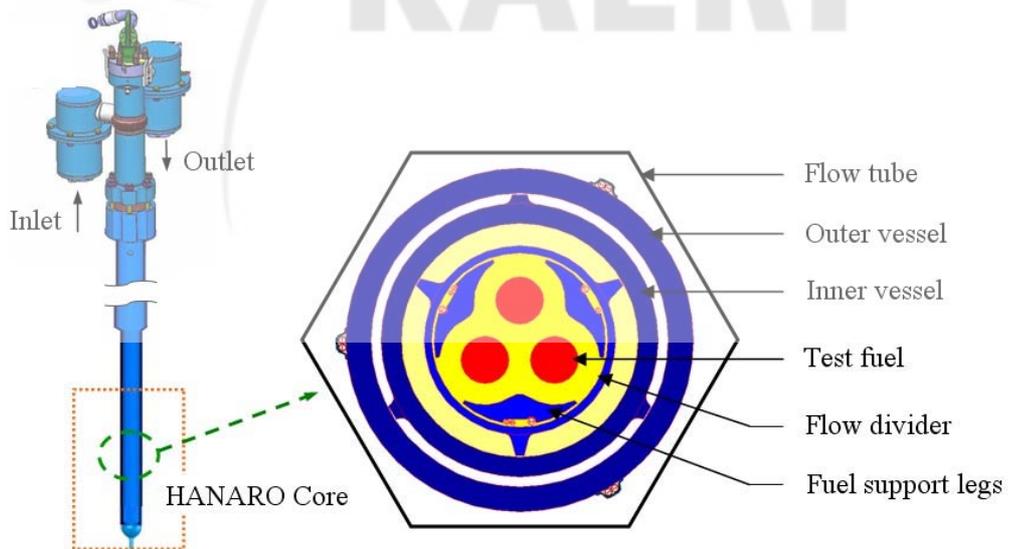


그림 2.1-4 노내시험부 설치 유동관 단면

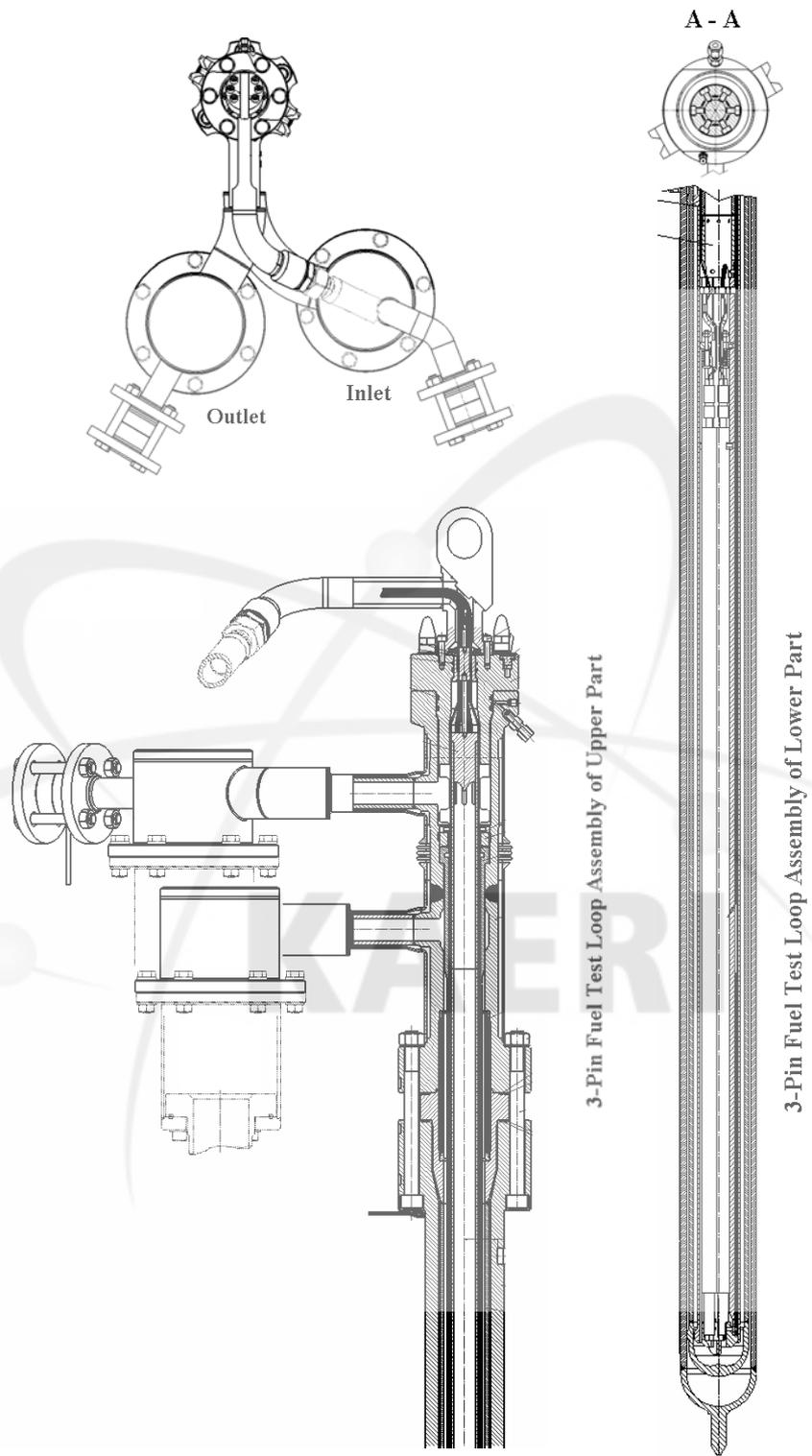


그림 2.1-5 노내시험부 용기의 세부 단면도

## 2.2 노외 공정 계통

노외공정계통은 정상 운전 중에는 노내시험부의 냉각수의 온도 및 압력, 화학 조건을 상용 가압경수로 및 중수로와 유사하게 유지시키고, 예상운전과도 및 설계기준사고 조건에서는 노내시험부에 비상냉각수를 공급하여 안전하게 정지시키기 위한 모든 계통을 가리키는 말이다.

그림 2.2-1은 핵연료시험설비의 주요 계통을 간략하게 나타내고 있다. 노외공정계통은 다음과 같은 계통으로 구성된다[3].

- 주냉각수계통 (Main Cooling Water System: MCWS)
- 취출·보충·정화계통 (Letdown, Makeup and Purification System: LMPS)
- 중간냉각계통 (Intermediate Cooling Water System: ICWS)
- 관통부냉각수계통 (Penetration Cooling Water System: PCWS)
- 폐기물 저장 및 이송계통 (Waste Storage and Transfer System: WSTS)
- 비상냉각수계통 (Emergency Cooling Water System: ECWS)
- 시료채취계통 (Sampling System: SS)
- 가스공급계통 (Gas Supply System: GSS)
- 기타 보조계통

### 2.2.1 주냉각수계통

주냉각수계통은 가압경수로나 중수로의 상용 운전과 유사한 압력 및 온도에서 핵연료를 시험할 수 있도록 설계되었다. 주냉각수계통은 정상 운전 중에 노내시험부에서의 냉각수 유량, 압력, 온도를 조절하는 기능을 수행하고, 비상시에는 노내시험부를 비안전등급의 기기 및 계통으로부터 격리시킨다. 주냉각수계통의 설계 운전 범위는 표 2.2-1과 같다.

주냉각수계통의 주요 기기는 주냉각수펌프, 가압기, 주냉각기, 주가열기, 주유량제어밸브, 우회유량제어밸브, 노내시험부 격리밸브, 안전등급 배관 안전밸브이다. 주냉각수펌프는 두 대가 있으며, 한 대는 예비용이다. 가압기는 주냉각수계통의 압력을 조절하는 역할을 하고, 가압기에는 비안전등급 배관 계통의 과압을 방지하기 위한 안전밸브가 있다. 주냉각기는 주냉각수계통의 열을 제거하는데 사용된다. 주가열기는 주냉각수의 온도를 상승시키고 계통의 열손실을 보충하는 역할을 한다. 노내시험부의 냉각수 온도를 정밀하게 조절하는 역할도 한다. 주유량제어밸브는 노내시험부의 유량을 조절하는 기능을 갖고, 우회

유량제어밸브는 주유량제어밸브와 함께 펌프의 전체 유량을 조절하는데 사용된다. 노내시험부 격리밸브는 저온관 및 고온관에 각각 두 대가 있으며 정상 운전 중 항상 열려있고, 비상냉각수 주입 신호에 의하여 차단된다. 즉, 비상시 노내시험부를 포함한 안전등급 계통을 비안전등급 계통으로부터 격리시킨다. 안전등급 배관의 안전밸브는 안전등급 계통을 과압으로부터 보호하는 기능을 갖고 있으며 고온관에 두 대가 설치되어 있다. 한 대가 요구되는 방출 용량의 100%를 담당한다.

주냉각수의 압력제어는 가압기의 가열기와 살수밸브에 의하여 이루어진다. 가압기의 압력을 설정하면, 가압기 가열기의 출력과 살수 유량이 자동으로 조절되어 설정 압력이 유지된다[4].

주가열기의 출구 온도를 설정하면 주가열기의 출력이 자동으로 조절되어 주냉각수 온도가 일정하게 유지된다.

주냉각수펌프 후단과 저온관에 설치된 노내시험부 격리밸브 후단에서 주냉각수 유량을 측정한다. 주유량제어밸브의 개도를 조절하여 노내시험부 유량을 일정하게 유지한다.

가압기의 수위는 취출·보충·정화계통으로의 취출 유량과 주냉각수계통으로의 복귀 유량을 조절하여 제어된다.

노내시험부를 포함한 주냉각수계통의 설계 압력 및 온도, 정상 출력 운전 범위는 표 2.1-1과 같다. 여기서 운전 범위는 시험핵연료에 대한 사고 해석을 통하여 그 안전성을 입증하고, 규제기관으로부터 허가 받은 사항이다. 만약 시험핵연료의 선출력이나 시험 조건(냉각수 온도, 압력, 유량)이 달라져서 인허가 받은 범위를 벗어난 조건에서 핵연료시험을 수행하려면, 안전성 평가를 다시 수행하여 운전 범위를 다시 설정하여야 한다.

## 2.2.2 비상냉각수계통

비상냉각수계통은 정상 운전 중에 주냉각수계통과 격리된 상태를 유지하고, 비상시 비상냉각수를 주입할 수 있도록 적절한 수위와 질소로 가압되어 있다. 비상냉각수 주입 신호가 발생하면 비상냉각수가 노내시험부에 주입된다. 비상냉각수 주입은 질소가 노내시험부에 주입되지 않는 범위 안에서 이루어진다.

고압주입탱크는 주냉각수계통의 고온관과 저온관에 한 대씩 연결되어 있다. 각각의 고압주입탱크는 정상 운전 중에 주냉각수계통과 네 대의 고압주입밸브로 격리되어 있다. 비상냉각수 주입의 신뢰성을 높이기 위하여 고압주입밸브가 설치된 배관을 두 개의 트레인으로 구성하였고, 또한 격리의 신뢰성을 높이기 위하여 각각의 트레인에 두 대의 고압주입밸브를 직렬로 설치하였다.

감압배기밸브는 주냉각수계통의 고온관과 폐기물저장탱크 사이의 배관에 설치되어 있으며 고압주입밸브와 동일한 설계 개념으로 두 개의 트레인에 두 대의 밸브가 각각 직렬

로 설치되어 있다. 정상 운전 중에 감압배기밸브는 닫힌 상태를 유지하고 비상냉각수 주입 신호에 따라 열린다.

고압주입밸브와 감압배기밸브는 두 개의 안전제어반에 의하여 작동된다. 비상냉각수 주입의 신뢰성을 높이기 위하여 두 개의 안전제어반은 서로 독립되어 있고, 서로 다른 트레인의 밸브를 제어한다.

### 2.2.3 중간냉각수계통

중간냉각수계통은 정상 운전 중에 주냉각수계통과 취출·보충·정화계통에서 발생한 열을 하나로 이차냉각계통으로 전달하는 역할을 수행한다. 즉, 정상 운전 중 중간냉각수계통은 주냉각수계통의 주냉각수펌프 및 주냉각기와 취출·보충·정화계통의 정화냉각기에 냉각수를 공급한다. 또한 중간냉각수계통에 연결된 방사선감시계통을 이용하여 주냉각기 전열관 및 주냉각수펌프의 냉각 유로, 정화냉각기의 전열관을 통한 주냉각수의 계통간 누설을 감시한다.

중간냉각기는 중간냉각수의 온도가 40℃ 이하가 되도록 하나로 이차냉각수로 냉각하는 셸-튜브 열교환기이다. 하나로 이차냉각수가 중간냉각기의 셸측에 공급되고, 입출구에서 온도를 측정한다. 출구측 배관에서 유량을 측정한다.

중간냉각수펌프는 정상 운전 중 한 대가 운전되고, 다른 한 대는 대기용이다. 대기 펌프를 “Auto” 모드로 설정하면 중간냉각수펌프 후단의 유량이 1.67kg/s 이하가 되는 경우 대기용 펌프가 자동으로 기동된다.

주냉각수펌프 및 주냉각기, 정화냉각기로부터 순환되는 중간냉각수의 온도를 각각 측정할 수 있도록 열저항 온도계를 냉각수 순환 배관에 설치하였다.

### 2.2.4 취출·보충·정화계통

취출·보충·정화계통은 주냉각수의 체적 및 수화학 조건을 조절하는 역할을 한다. 또한 주냉각수계통을 충수하고 배수하는 역할도 한다. 주냉각수는 주냉각수펌프 전단에서 취출·보충·정화계통으로 취출되고, 주냉각수펌프 후단으로 복귀된다. 취출·보충·정화계통의 설계 운전 범위는 표 2.2-2와 같다.

취출·보충·정화계통의 주요 기기는 정화냉각기, 정화재생기, 여과기, 이온교환기, 탈기탱크, 화학재탱크, 정화복귀펌프, 화학재주입펌프, 보충수펌프, 정화유량제어밸브, 정화복귀유량제어밸브, 탈기탱크수위제어밸브 등이다.

정화재생기는 냉각수 정화를 위하여 취출·보충·정화계통으로 취출되는 주냉각수의 열을 주냉각수계통으로 복귀되는 상온의 냉각수로 전달시키는 열교환기이다. 정화냉각기

는 취출수의 온도를 필터나 이온교환기의 운전 범위 이내로 낮추는 역할을 하며 중간냉각수가 냉각수로 이용된다.

필터는 모두 세 개가 있는데 두 개는 두 개의 이온교환기 전단에 설치되어 있고, 나머지 한 개는 이온교환기 후단에 설치되어 있다. 두 개의 필터와 두 개의 이온교환기를 서로 교체하여 운전할 수 있도록 필터와 이온교환기 사이에 공통 배관과 격리밸브들이 놓여 있다. 필터는 냉각수 내의 입자를 거르는 역할을 한다. 이온교환기 후단의 필터는 이온교환기 전단의 필터에서 걸리지 않은 입자나 이온교환기에서 흘러나온 이온교환수지를 거른다. 이온교환기는 냉각수에 있는 각종 이온을 제거하는 역할을 한다.

탈기탱크는 온도에 따른 주냉각수계통의 냉각수 체적 변화를 수용하고, 냉각수 내의 기포를 분리하는 역할도 한다. 일반적으로 탈기탱크의 상부는 질소로 채워져 있다. 핵연료시험설비가 고온대기 및 고온운전 조건일 때, 냉각수의 용존 산소가 운전 범위를 초과하면 용존 산소 제거를 위하여 탈기탱크에 수소를 채운다.

정화복귀펌프는 탈기탱크의 냉각수를 주냉각수펌프 후단으로 주입한다. 정량펌프이고 네 대의 펌프가 한 대의 모터에 연결되어 있다. 유량의 요동을 최소화하기 위하여 네 대의 펌프는 병렬로 연결되어 있고, 펌프 전후단에 완충기가 설치되어 있다. 정화복귀펌프에서 방출된 냉각수 중 일부는 정화복귀유량제어밸브를 거쳐 탈기탱크로 재순환된다.

화학재탱크는 주냉각수의 수질 관리 및 시험 조건을 맞추기 위하여 화학재 주입에 사용되는 탱크이다.

화학재주입펌프는 화학재탱크의 냉각수를 정화복귀펌프와 탈기탱크 사이의 배관으로 주입한다. 이 펌프도 정량펌프이다.

보충수펌프는 초기에 주냉각수계통과 취출·보충·정화계통에 냉각수를 채우는 역할과 운전 중 주냉각수가 부족하면 냉각수를 보충하는 역할을 한다. 보충수펌프의 수원은 하나로 순수탱크이다.

정화유량제어밸브는 주냉각수계통의 취출 유량을 제어하는 기능을 수행하고, 정화복귀유량제어밸브는 주냉각수계통의 충전 유량을 제어하는 역할을 한다. 이 두 밸브에 의한 취출 및 충전 유량을 조절하여 가압기 수위를 운전 범위 이내로 유지한다. 자동운전모드로 운전하는 경우 가압기 수위가 저수위가 되면 정화유량제어밸브와 정화복귀유량제어밸브가 닫힌다. 반면에 자동운전모드로 운전하는 경우 가압기 수위가 고수위가 되면 정화유량제어밸브와 정화복귀유량제어밸브가 완전히 열린다.

탈기탱크수위제어밸브를 자동운전모드로 운전하는 경우 탈기탱크의 수위가 고수위가 되면 이 밸브가 개방되고, 탈기탱크의 냉각수가 폐기물저장탱크로 이송된다.

## 2.2.5 폐기물 저장 및 이송계통

폐기물저장 및 이송계통은 핵연료시험설비에 속한 각종 계통의 과압 방지를 위하여 방출되는 계통수나 증기, 질소 가스 등을 일시적으로 저장하고, 연구원의 폐기물처리계통으로 이송하는 기능을 수행한다. 핵연료시험설비의 기동 운전 동안 주냉각수계통의 온도 상승에 따른 체적 팽창이 주냉각수계통 및 취출·보충·정화계통이 수용 가능한 수체적을 초과할 경우 초과된 냉각수를 저장하는 역할도 한다. 또한 비상시 고압주입탱크에서 주입된 비상냉각수가 노내시험부를 냉각하고 방출되는 최종 탱크로 사용된다. 따라서 폐기물저장탱크는 비상냉각기능을 수행하기 위하여 330 ~ 450 mm의 상온수를 항상 유지하고 있어야 한다.

폐기물저장 및 이송계통은 폐기물저장탱크와 폐기물이송펌프 폐기물저장탱크에 연결된 각종 격리밸브들로 이루어져 있다. 또한 제2 기기실에 있는 섬프와 섬프 펌프도 폐기물저장 및 이송계통에 포함된다.

## 2.2.6 관통부냉각수계통

관통부냉각수계통은 하나로 수조의 콘크리트 벽과 핵연료시험설비의 제1 기기실 콘크리트 벽을 관통하는 주냉각수계통의 고온관 및 저온관의 고열로부터 고온에 의한 콘크리트의 열화를 방지하는 기능을 수행한다. 따라서 관통부냉각수계통의 일부 배관은 주냉각수계통의 고온관 및 저온관을 에워싸는 환형 배관이다. 이곳으로 하나로 수조수가 흘러 고온관 및 저온관에서 콘크리트로 전달되는 열을 차단한다.

관통부냉각수계통은 100% 용량의 펌프 두 대와 네 대의 격리밸브로 이루어져 있다. 정상 운전 중에는 펌프 한 대가 운전되고, 다른 한 대는 대기 상태를 유지한다. 운전 중 이던 펌프가 정지하거나 관통부를 흐르는 냉각수의 온도가 60℃를 넘으면 대기 중인 펌프가 자동으로 기동된다. 관통부냉각수계통은 개방된 회로이다. 하나로 수조수가 냉각수로 이용된다. 고온관 및 저온관을 에워싼 환형 배관이 관통부냉각수펌프의 전단에 위치한다. 따라서 하나로 수조수가 환형 배관으로 유입되어 냉각기능을 수행하고 관통부냉각수 펌프를 지나 다시 하나로 수조수 방출된다.

표 2.2-1 주냉각수계통의 설계 조건 및 정상 출력 운전 범위

변수	값
설계 압력 (MPa,a)	17.5
설계 온도 (°C)	350
시험핵연료 최대 선출력 (kW/m)	30.23 이하
시험핵연료 평균 선출력 (kW/m)	22.35 이하
노내시험부 입구에서의 주냉각수 압력 (MPa,g)	$14.3 < P < 16.4$
노내시험부 입구에서의 주냉각수 유량 (kg/s)	$1.52 < F < 1.80$
노내시험부 입구에서의 주냉각수 온도 (°C)	$T < 306.3$

표 2.2-2 취출·보충·정화계통의 설계 조건 및 정상 운전 범위

변수	값	비고
설계 압력 (MPa,a)	1.14	
설계 온도 (°C)	60	
운전 압력 (MPa,g)	$0.15 < P < 0.5$	0.15는 탈기탱크 저압력 경보 0.50는 취출수 고압력 경보
운전 온도 (°C)	$T < 60$	60은 취출수 고온도 경보
탈기탱크 수위 (mm)	$W.L.+710 < L < W.L.+1550$	710은 탈기탱크 저수위 경보 1550은 탈기탱크 고수위 경보

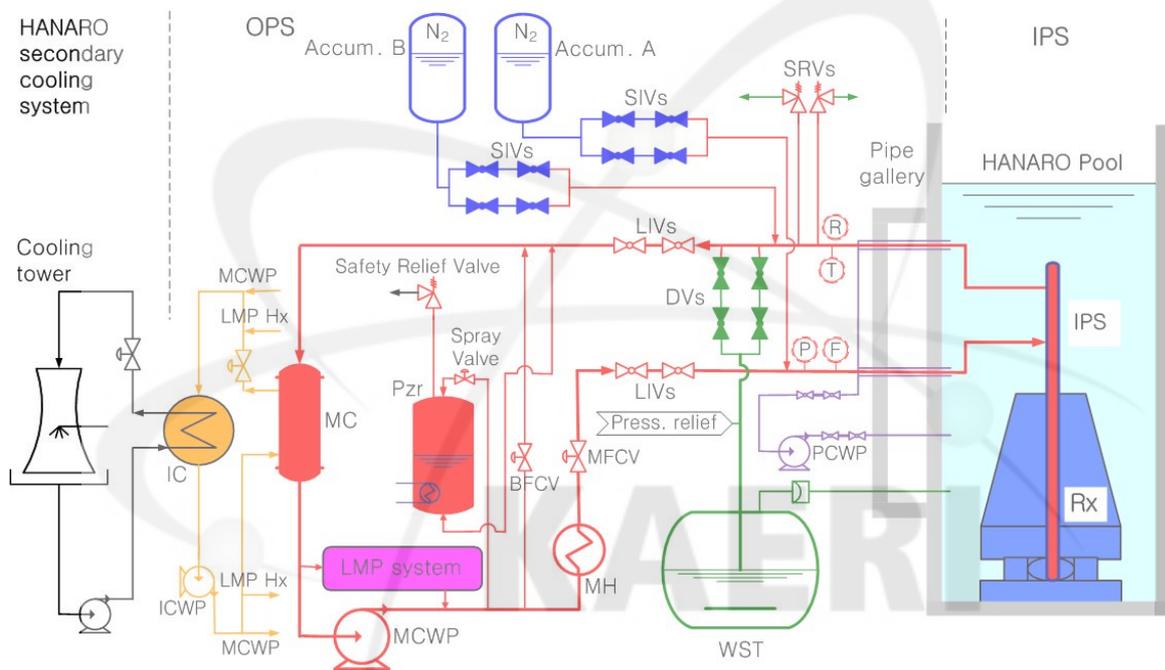


그림 2.2-1 핵연료시험설비 개략도

## 2.3 계측 및 제어계통

핵연료시험설비(Fuel Test Loop)의 운전과 보호에 필요한 모든 신호의 취득, 운전원에게 필요한 정보의 제공, 수동 및 자동 조치에 관련된 기기가 계측 및 제어계통에 해당된다.

핵연료시험설비에서 사고가 발생하면 핵연료시험설비 안전관련 계측제어계통 중 원자로 정지계통이 작동하여 하나로를 비상 정지시키고, 그에 따라 시험핵연료에서 발생하는 열출력이 감소된다. 또한 시험핵연료의 손상을 방지하고 핵연료시험설비를 안전한 상태로 유지하기 위하여 핵연료시험설비가 비상 정지된다.

핵연료시험설비의 안전관련 계측제어계통은 원자로 정지계통과 핵연료시험설비 비상 정지계통으로 구성된다.

핵연료시험설비의 원자로 정지변수 측정치가 설정치를 초과하는 경우에는 원자로를 즉시 정지시키기 위하여 원자로 보호계통에 정지신호를 전송한다. 원자로 정지계통은 원자로 보호계통의 설계개념과 마찬가지로 세 개의 다중 채널로 구성되며, 2/3 일반동시논리로 구성되는 원자로 보호계통의 원자로 보호반 해당 채널과 연계되어 있다. 다중성과 독립성 그리고 단일고장기준 등과 같은 원자력발전소에서 적용하고 있는 안전관련 설계요건을 동일하게 적용하여 안전성을 최대한 보장하였다

핵연료시험설비의 원자로 정지변수 측정치가 설정치를 초과하는 경우에는 원자로 정지계통을 이용하여 하나로를 비상 정지시킴으로써 시험핵연료에서 발생하는 출력을 급격히 줄인다. 이와 더불어 정상적 유로를 이용한 시험핵연료의 냉각이 불가능할 경우 자동으로 비상냉각기능을 작동하여 시험핵연료를 냉각시킨다. 비상냉각을 위한 핵연료시험설비 비상정지계통은 주냉각수계통 격리, 비상냉각수 주입, 감압 및 배기, 장기냉각 기능을 수행하며, 기기들을 이중화하여 안전성과 신뢰도를 높였다.

하나로의 안전관련 계측제어계통인 원자로 보호계통은 안전등급으로 분류되어 원자력발전소 표준규격인 IEEE Std-279를 적용하여 설계되어 있다. 핵연료시험설비의 안전관련 계측제어계통 설계에는 IEEE Std-279에 기초하여 IEEE Std-603의 설계요건들을 추가로 적용하였다.

### 2.3.1 안전관련 계측제어계통

핵연료시험설비의 운전 중에 시험핵연료의 손상을 방지하고 방사성 물질의 유출을 막기 위하여 각 계통의 공정변수를 감시하고 있으며, 핵연료시험설비에 있는 원자로 정지변수의 측정치가 설정치를 초과하면 원자로 정지계통을 작동시켜 하나로를 비상 정지시킨다. 또한 동일한 변수의 측정치가 핵연료시험설비의 비상정지 설정치를 초과하면 핵연료시험설비의 비상냉각수계통을 작동시켜 시험핵연료를 포함한 노내시험부의 열을 제거

한다. 원자로 정지를 위한 정지변수는 시험핵연료 손상 기준인 안전한계치와 사고해석에서 다른 가상사건을 고려하여 결정하였다[5, 6]. 정지변수는 조사시험에 사용되는 시험핵연료의 종류에 무관하지만, 시험핵연료에 따라 시험조건이 상이하기 때문에 정지 설정치는 시험핵연료에 따라 다르게 설정될 수 있다.

원자로 정지에 사용된 정지변수는 주냉각수 저 유량, 고 유량, 주냉각수 저 압력, 고 압력, 주냉각수 고 온도, 노내시험부 압력요기 단열캡 고 압력, 주냉각수 고고 방사능이다. 그리고 핵연료시험설비의 비상정지변수는 주냉각수 저저 유량, 고 유량, 주냉각수 고고 온도, 주냉각수 저저 압력. 가압경수로형 시험핵연료에 대한 원자로 정지 및 핵연료시험설비의 비상정지 설정치는 표 2.3-1과 같다. 사용계기의 불확실도를 고려하여 사고해석에서 사용한 값으로부터 이들 설정치를 결정하였다.

### 2.3.1.1 원자로 정지계통

주냉각수계통의 압력과 유량은 노내시험부 입구 배관에서 측정하고, 온도와 방사선은 출구 배관에서 측정한다. 온도 측정 센서와 유량, 압력 전송기들은 삼중화 하였으며, 핵연료시험설비 보호반 내의 비교기 및 논리회로를 거쳐 원자로 보호계통의 각 채널에 원자로 정지신호를 보내도록 설계하였다. 각 정지변수의 표시, 시험, 교정 등은 핵연료시험설비 보호반에서 수행하도록 설계하였다. 그림 2.3-1은 핵연료시험설비 제어실에 설치된 보호반 사진이다.

핵연료시험설비의 비정상 혹은 계통의 비상 상황 발견 시 긴급하게 하나로를 정지시킬 수 있도록 원자로 수동정지 스위치를 핵연료시험설비 제어실에 설치된 핵연료시험설비 보호반에 설치하였다. 핵연료시험설비의 각 채널별 시험, 보수 등과 같은 작업을 용이하게 수행하기 위하여 각 채널마다 채널 수동정지 스위치를 보호반 각 패널에 하나씩 설치하였다. 채널 수동정지 스위치를 작동시키면 핵연료시험설비 원자로 정지계통 해당 채널 뿐 만 아니라 이와 연결된 원자로 보호계통의 원자로 보호반 해당 채널도 정지상태가 된다.

핵연료시험설비를 운전하지 않고 하나로를 운전하여야 할 경우에는 핵연료시험설비 원자로 정지계통에 의한 원자로 정지신호가 발생하지 않도록 정지변수들을 모두 우회시켜야 한다. 각 채널별로 우회 스위치를 하나씩 보호반의 패널에 설치하였으며, 채널정지 우회 스위치를 작동시킬 경우에는 비록 핵연료시험설비 원자로 정지계통의 정지변수가 작동되더라도 이 신호가 원자로 보호계통으로 입력되지 않는다.

### 2.3.1.2 핵연료시험설비 비상정지계통

원자로 정지 후 핵연료시험설비의 비상정지 변수 측정치가 설정치를 초과하면 시험핵

연료에서 발생하는 열을 제거하기 위하여 비상냉각수를 시험핵연료에 공급한다. 핵연료시험설비의 비상정지계통은 2 개의 트레인으로 구성되어 있으며, 2/3 논리를 사용하여 신뢰도를 최대한 높였고, 각 트레인의 트립, 우회, 각 밸브들의 개폐 등을 원자로 제어실에 있는 안전제어반에서 자동/수동으로 조작하도록 설계하였다. 핵연료시험설비 비상정지를 위한 계측기는 원자로 정지계통 정지변수 채널의 센서, 전송기, 비교기 등을 공동으로 활용한다. 즉 현장계측기들은 원자로 정지계통과 함께 사용된다. 안전제어반을 독립적인 두 개의 트레인으로 구성하고, 각 트레인의 비상정지 논리를 2/3 국부동시논리로 구성하였다. 그림 2.3-2는 원자로 제어실에 설치된 안전제어반 사진이다.

핵연료시험설비의 비상정지 신호가 발생할 경우에는 시험핵연료를 안전한 상태로 유지하기 위하여 다음과 같은 안전기능이 작동한다.

#### (1) 주냉각수계통 격리

주냉각수 계통의 안전등급과 비안전등급 경계에 설치된 격리밸브를 닫아 고압주입탱크에서 공급되는 비상냉각수가 기기실내에 설치된 기기 및 배관으로 유출되지 않고 시험핵연료가 장착된 노내시험부로 흐르게 한다.

#### (2) 비상냉각수 주입

고압주입탱크에 저장된 비상냉각수를 노내시험부에 주입하기 위해 고압주입탱크와 저온관 사이에 설치된 고압주입밸브, 고온관 사이에 설치된 고압주입밸브를 동시에 연다. 최소한 25 분간 냉각수를 시험핵연료에 공급할 수 있도록 고압주입탱크의 크기를 설계하였다.

#### (3) 자동배기

배관파단과 같은 사고발생시 격리밸브가 닫히고 노내시험부와 배관의 압력이 낮아지면 냉각수가 증기로 변하게 된다. 배관이 증기로 가득차지 않도록 고압주입밸브를 통한 냉각수 공급과 동시에 주냉각수 계통의 고온관과 폐기물저장탱크 사이의 배관에 설치된 감압배기밸브를 열어 비상냉각수가 파단지점 혹은 폐기물저장탱크로 흐르도록 한다.

#### (4) 비상냉각수 주입 차단

고압주입탱크의 비상냉각수 수위가 저수위가 되면 고압의 질소가스가 노내시험부에 유입되지 않도록 고압주입밸브를 닫는다. 이때 시험핵연료의 잔열은 노내시험부의 압력용기를 통하여 하나로 수조수로의 전도 열전달에 의하여 제거된다.

## 2.3.2 안전에 중요한 정보표시

운전원은 각종 공정변수들을 감시하면서 핵연료시험설비를 운전한다. 또한 공정에 변화가 생기면 자동제어에 의해 주냉각수 계통의 온도, 유량, 압력을 정상운전 조건으로 일정하게 유지한다. 이들 정보 중 핵연료시험설비 안전관련 계측제어계통의 정지변수와 관련기기의 작동에 관한 정보는 안전에 중요한 정보이다. 핵연료시험설비의 안전에 중요한 정보는 하나로 제어실에 있는 정지변수 표시반, 안전제어반과 핵연료시험설비 제어실에 있는 보호반에 표시되도록 하였다. 따라서 안전에 중요한 정보표시의 설계는 안전관련 계측제어계통의 설계에 적용된 설계기준을 적용하였다. 이와 별도로 운전원은 원자로 제어실의 제어반 모니터 화면에서 위의 정보를 얻을 수 있다.

### 2.3.2.1 보호반과 정지변수 표시반의 정보표시

핵연료시험설비 안전관련 계측제어계통 중 원자로 정지는 제어실에 설치되는 세 개의 핵연료시험설비 보호반에서 이루어진다. 정지변수인 주냉각수계통의 압력, 유량, 온도, 노내시험부 압력용기 단열캡의 압력, 주냉각수 방사능의 지시계가 채널별로 각각의 보호반에 설치된다. 보호반은 핵연료시험설비 제어실에 설치되기 때문에, 운전원이 정상 운전 시 이들 정지변수 값들을 감시할 수 있도록 원자로 제어실에 정지변수 표시반을 설치하였다. 핵연료시험설비 보호반과 정지변수 표시반에 설치되는 지시계기는 표 2.3-2에 나타나 있다. 그림 2.3-3은 정지변수 표시반이다.

### 2.3.2.2 안전제어반 정보표시

핵연료시험설비 안전관련 계측제어계통 중 핵연료시험설비 비상정지는 하나로 제어실에 설치되는 두 대의 안전제어반에서 이루어진다. 또한 안전제어반에는 비상냉각계통의 작동을 위해 필요한 주냉각수계통 격리, 비상냉각수 주입, 자동배기 및 장기냉각에 필요한 밸브개폐 상태에 관한 정보표시와 제어스위치가 설치되어 있다. 또한 안전제어반 상단에 경보창을 두어 핵연료시험설비 안전관련 계측제어계통의 중요한 변수들을 운전원이 감시하도록 하였으며, 원자로 트립 상태, 채널 트립 상태, 수동 트립 상태, 핵연료시험설비 격리 및 우회 상태, 채널별 정지 신호등 안전관련 계측제어계통 작동에 필수적인 신호와 안전에 중요한 고압주입탱크 저수위 등을 포함한다. 두 대의 안전제어반에 설치된 경보기기의 목록은 표 2.3-3, 표 2.3-4에 나타나있다.

표 2.3-1 안전계통의 정지 설정치

정지 변수명	정지 설정치*	허용치
원자로 정지		
1. 수동정지*	-	-
2. 주냉각수 저 유량	1.37 kg/s	1.32 kg/s
3. 주냉각수 고 유량	1.84 kg/s	1.89 kg/s
4. 주냉각수 고 온도	329.7 °C	331.0 °C
5. 주냉각수 저 압력	13.57 MPa,g	13.31 MPa,g
6. 주냉각수 고 압력	16.76 MPa,g	17.02 MPa,g
7. 노내시험부 단열캡 고고 압력	8.62 MPa,g	8.79 MPa,g
8. 주냉각수 고고 방사능	900 cps	1035 cps
핵연료시험설비 비상정지		
1. 수동정지*	-	-
2. 주냉각수 저저 유량	1.05 kg/s	1.0 kg/s
3. 주냉각수 고고 유량	1.84 kg/s	1.89 kg/s
4. 주냉각수 고고 온도	337.7 °C	339.0 °C
5. 주냉각수 저저 압력	12.77 MPa,g	12.51 MPa,g
비상냉각수 주입정지		
1. 고압주입탱크 저 수위	W.L. + 247 mm	

(\*) : 시험핵연료에 대한 설정 값임.

표 2.3-2 보호반 및 정지변수 표시반의 지시계기 목록

NO.	계기번호	계기설명	측정범위	불확실도
1	681-J-PI-007A	IPS Inlet Press. Channel-A	0~25 MPa(g)	±0.369 MPa(g)
2	681-J-FI-008A	IPS Inlet Flow Channel-A	0~2.28 kg/s	±0.084 kg/s
3	681-J-TI-009A	IPS Outlet Temp. Channel-A	0~500 °C	±1.8 °C
4	681-J-PI-011A	IPS Gap Press. Channel-A	-0.1~25 MPa(g)	±0.269 MPa(g)
5	681-J-PI-007B	IPS Inlet Press. Channel-B	0~25 MPa(g)	±0.369 MPa(g)
6	681-J-FI-008B	IPS Inlet Flow Channel-B	0~2.28 kg/s	±0.084 kg/s
7	681-J-TI-009B	IPS Outlet Temp. Channel-B	0~500 °C	±1.8 °C
8	681-J-PI-011B	IPS Gap Press. Channel-B	-0.1~25 MPa(g)	±0.269 MPa(g)
9	681-J-PI-007C	IPS Inlet Press. Channel-C	0~25 MPa(g)	±0.369 MPa(g)
10	681-J-FI-008C	IPS Inlet Flow Channel-C	0~2.28 kg/s	±0.084 kg/s
11	681-J-TI-009C	IPS Outlet Temp. Channel-C	0~500 °C	±1.8 °C
12	681-J-PI-011C	IPS Gap Press. Channel-C	-0.1~25 MPa(g)	±0.269 MPa(g)
13	681-J-RI-010A	IPS Outlet Radiation Channel-A	$10^{-1} \sim 10^5$ cps	지시값의 ±13.23%
14	681-J-RI-010B	IPS Outlet Radiation Channel-B	$10^{-1} \sim 10^5$ cps	지시값의 ±13.23%
15	681-J-RI-010C	IPS Outlet Radiation Channel-C	$10^{-1} \sim 10^5$ cps	지시값의 ±13.23%

표 2.3-3 안전제어반 1의 경보기기 목록

NO.	계기번호	계기설명
1	WN-001	Hanaro Channel-A Trip
2	WN-002	Hanaro Channel-A Trip Bypass
3	WN-003	Manual Hanaro Channel-A Trip
4	WN-004	Hanaro Channel-B Trip
5	WN-005	Hanaro Channel-B Trip Bypass
6	WN-006	Manual Hanaro Channel-B Trip
7	WN-007	Hanaro Channel-C Trip
8	WN-008	Hanaro Channel-C Trip Bypass
9	WN-009	Manual Hanaro Channel-C Trip
10	WN-010	Manual Hanaro Trip
11	WN-011	FTL Train-1 Isolation
12	WN-012	Manual FTL Train-1 Isolation
13	WN-013	Manual FTL Train-1 Isolation Bypass
14	WN-014	IPS Inlet Flow High -2/3 Train-1
15	WN-015A	IPS Inlet Flow Low-Low -2/3 Train-1
16	WN-015B	IPS Inlet Flow Low-Low -2/3 Train-1 Isolation Bypass
17	WN-016	IPS Outlet Temp. High-High -2/3 Train-1
18	WN-017A	IPS Inlet Press. Low-Low -2/3 Train-1
19	WN-017B	IPS Inlet Press. Low-Low -2/3 Train-1 Isolation Bypass
20	WN-018	Accumulator A Level low -2/3 Train-1
21	WN-019	Manual FTL Isolation
22	WN-031	HANARO Channel-A Calibration
23	WN-032	HANARO Channel-B Calibration
24	WN-033	HANARO Channel-C Calibration

표 2.3-4 안전제어반 2의 경보기기 목록

NO.	계기번호	계기설명
1	WN-001	Hanaro Channel-A Trip
2	WN-002	Hanaro Channel-A Trip Bypass
3	WN-003	Manual Hanaro Channel-A Trip
4	WN-004	Hanaro Channel-B Trip
5	WN-005	Hanaro Channel-B Trip Bypass
6	WN-006	Manual Hanaro Channel-B Trip
7	WN-007	Hanaro Channel-C Trip
8	WN-008	Hanaro Channel-C Trip Bypass
9	WN-009	Manual Hanaro Channel-C Trip
10	WN-010	Manual Hanaro Trip
11	WN-021	FTL Train-2 Isolation
12	WN-022	Manual FTL Train-2 Isolation
13	WN-023	Manual FTL Train-2 Isolation Bypass
14	WN-024	IPS Inlet Flow High -2/3 Train-2
15	WN-025A	IPS Inlet Flow Low-Low -2/3 Train-2
16	WN-025B	IPS Inlet Flow Low-Low -2/3 Train-2 Isolation Bypass
17	WN-026	IPS Outlet Temp. High-High -2/3 Train-2
18	WN-027A	IPS Inlet Press. Low-Low -2/3 Train-2
19	WN-027B	IPS Inlet Press. Low-Low -2/3 Train-2 Isolation Bypass
20	WN-028	Accumulator B Level low -2/3 Train-2
21	WN-019	Manual FTL Isolation
22	WN-031	HANARO Channel-A Calibration
23	WN-032	HANARO Channel-B Calibration
24	WN-033	HANARO Channel-C Calibration



그림 2.3-1 핵연료시험설비 보호반



그림 2.3-2 핵연료시험설비 안전제어반



그림 2.3-3 핵연료시험설비의 비상정지 변수 표시판

## 제3 장 운전 절차서 구성

핵연료시험설비의 운전 절차서는 정상 운전 절차서, 비정상 운전 절차서, 비상정지 절차서로 구분된다.

### 3.1 정상 운전 절차서

정상 운전 절차서에는 핵연료시험설비를 기동하고 정지하는 종합운전 절차서와 각 계통별 운전 절차서로 구분된다. 절차서 번호 부여 및 내용은 하나로 기술 행정 절차서에 따라 작성되었다[7]. 정상 운전 절차서에는 아래와 같이 한 개의 종합운전 절차서와 스무 개의 계통별 절차서가 있다.

- HANTAP-05-OD-ROP-OP-60 기동 및 정지 운전
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-61 주냉각수계통
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-62 비상냉각수계통
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-63 관통부냉각수계통
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-64 취출, 보충 및 정화계통
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-65 폐기물 저장 및 이송계통
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-66 중간냉각수계통
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-67 시료채취계통
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-68 방사선감시계통
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-69 계측제어계통
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-70 전력계통
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-71 FTL 환기계통
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-72 가스공급계통
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-73 압축공기공급계통
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-74 IPS 충전가스공급 및 감시계통
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-75 주냉각수계통 수질관리
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-76 화학재 준비 및 주입

- HANTAP-05-OD-ROP-OP-77 정화계통 여과기 교체
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-78 이온교환기 레진 교체
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-79 시험핵연료 취급 및 저장
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-80 노내시험부 교체

기동 및 정지 운전 절차서는 핵연료시험설비를 하나로 운전과 연계하여 정지 상태에서 고온 운전으로 도달하는 과정과 다시 정지 상태로 이르는 전 과정을 다루고 있다.

각 계통별 운전 절차서에는 밸브의 초기 배열, 충수 및 배기 방법, 각 계통에 속한 기기의 수동 및 자동 운전 방법, 경보 목록 및 각 경보별 간략한 조치 방법이 기술되어 있다.

### 3.2 비정상 운전 절차서

비정상 운전 절차서는 핵연료시험설비가 정상 운전 조건에서 벗어나는 경우 조치하는 절차서이다. 핵연료시험설비의 비정상 상태는 각 계통에서 발생하는 하나 이상의 경보에 의하여 감지되고, 비정상 상태가 발생하면 운전원은 해당 비정상 운전 절차서에 따라 조치한다.

비정상 운전 절차서가 적용되는 핵연료시험설비의 운전 상태는 정상 운전에서 벗어나 경보가 발생하는 시점부터 핵연료시험설비의 비상정지 신호가 발생하기 전까지이다. 이 운전 상태에 적용되는 비정상 운전 절차서는 현재 열다섯 개가 개발되어 있으며, 각 절차서의 제목은 아래와 같다.

- HANTAP-05-OD-ROP-OP-81 비상냉각수계통 비정상시 조치
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-82 계측제어계통 비정상시 조치
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-83 냉각수 수질 이상시 조치
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-84 냉각수 누설시 조치
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-85 주냉각수 펌프 고장시 조치
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-86 4급 전원 상실시 조치
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-87 중간냉각수 냉각기능 상실시 조치
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-88 관통부냉각수 냉각기능 상실시 조치
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-89 주냉각수 유량 자동제어 고장시 조치

- HANTAP-05-OD-ROP-OP-90 가압기 압력 자동제어 고장시 조치
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-91 정화 복귀 펌프 고장시 조치
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-92 시험핵연료 취급 사고시 조치
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-93 압축공기 상실시 조치
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-94 노내시험부(IPS) 내부 압력용기 누설시 조치
- HANTAP-05-OD-ROP-OP-95 취출 유량 비정상시 조치

### 3.3 비상정지 절차서

표 2.3-1의 원자로 비상정지 신호가 발생하면 원자로 비상정지 절차가 수행된다[8]. 원자로 비상정지 절차에 따라 원자로 비상정지의 원인이 핵연료시험설비이고, 핵연료시험설비의 비상정지 신호가 발생되었으면 핵연료시험설비의 비상정지 절차가 수행된다. 핵연료시험설비의 비상정지는 모두 자동으로 이루어진다. 운전원은 자동 동작 사항을 확인하고 자동 동작이 진행되지 않은 기기를 수동으로 조작하면 된다. 또한 비상냉각수 주입이 완료된 후 사고의 원인을 파악하고, 복구하는 절차가 비상정지 절차에 포함되어 있다[9].

KAERI

## 제4 장 기동 및 정지 운전

### 4.1 운전 형태 구분

표 4.1-1은 핵연료시험설비의 각 운전 형태와 하나로 운전 형태의 관계를 보여주고 있다. 핵연료시험설비가 고온대기에 도달할 때까지 하나로는 정지 상태를 유지하고, 하나로가 출력 운전을 개시함에 따라 핵연료시험설비는 고온운전 상태에 도달하게 된다. 하나로가 출력 운전을 하다가 정지하면 핵연료시험설비는 자동으로 고온대기 상태가 된다.

핵연료시험설비의 운전 형태는 루프정지, 저온대기1, 저온대기2, 고온대기, 고온운전으로 구분된다. 각 운전 형태의 구분은 주냉각수의 온도와 시험핵연료의 출력에 의하여 나뉜다. 핵연료시험설비는 발전용 원자로와 달리 시험핵연료의 시험 온도 조건에 따라 고온운전 온도가 달라질 수 있기 때문에 중수로 원자로와 가압경수 원자로의 운전 온도 범위를 포괄할 수 있도록 고온운전 및 고온대기 운전 형태의 온도 범위를 비교적 넓게 정의하였다.

핵연료시험설비의 루프정지 운전은 펌프, 주가열기 등의 주요 기기가 모두 정지된 상태이고, 충수 및 배기가 완료된 상태이며, 언제든지 기동할 수 있는 준비가 완료된 상태이다. 핵연료시험설비의 저온대기1과 저온대기2는 핵연료시험설비의 주냉각수 온도와 압력을 고온·고압으로 올리기 전에 냉각수를 정화하고, 화학 조건을 맞추는 단계이다. 핵연료시험설비의 고온대기는 주냉각수 온도와 압력을 고온·고압으로 올려서 원자로의 출력 운전이 가능한 상태를 말한다. 고온대기에서 원자로 출력 운전이 개시되면 핵연료시험설비는 고온운전 상태가 된다.

표 4.1-1 핵연료시험설비의 운전 형태

핵연료 시험 설비	운전 형태	루프정지 (LSD)	저온대기1 (CSB1)	저온대기2 (CSB2)	고온대기 (HSB)	고온운전 (HOP)
	주냉각수 온도 (°C)		$T < 50$	$T < 50$	$50 \leq T < 90$	$90 \leq T < 300$
노내시험부 열출력(%)		0	0	0	0	$0 < Q \leq 100$
원자로	운전 형태	정지	정지	정지	정지	대기/ 출력상승
	원자로 출력 (MW)	0	0	0	0	$\leq 30$

## 4.2 절차서 구성

하나로 운전에서 사용되는 절차서는 하나로 운영 절차서에 따라 작성되어야 한다. 따라서 핵연료시험설비 기동 및 정지 절차서도 하나로 운영 절차서의 하나인 “절차서 작성, 개정 및 관리(TA-08)” 절차서에 따라 작성하였다[7].

기동 및 정지 절차서의 목차는 아래와 같다.

- 1.0 목적
- 2.0 참조
- 3.0 주의 사항
- 4.0 초기 조건
- 5.0 절차
- 6.0 붙임

“1.0 목적”에는 기동 및 정지 절차서의 목적이 기술되어 있다. 기동 및 정지 절차서에는 핵연료시험설비의 주냉각수를 상온·상압에서 핵연료 시험 조건인 고온·고압으로 올리고 내리는 일련의 절차가 기술되어 있고, 필요시 4.1절에 기술된 각각의 운전 형태를 유지하는 것도 포함되어 있다.

“2.0 참조”에는 기동 및 정지 절차서 작성에 인용된 참고 문헌이 기술되어 있다. 안전 성분식보고서, 운영기술지침서, 각 계통별 운전 절차서가 주요 참고 문헌이다.

“3.0 주의 사항”에는 핵연료시험설비와 하나로를 연계하여 운전할 때 운전원이 주의하여야 할 사항이 기술되어 있다.

“4.0 초기 조건”에는 핵연료시험설비를 기동하기 전에 확인하여야 할 사항이 기술되어 있다. 작업의뢰서나 부적합 사항에 대한 조치가 완료되어 있는지 확인하고, 핵연료시험설비를 기동하기 전에 관련 계통이 운전 가능한 상태인지 확인하는 단계이다. 또한 각 계통의 밸브 배열과 충수 및 배기가 적절히 완료된 상태인지 확인하여야 한다.

“5.0 절차”에는 기동 및 정지 운전하는 절차가 기술되어 있다. 기동 절차와 정지 절차로 나뉘어져 있다.

“6.0 붙임”에는 원자로 정지 및 핵연료시험설비의 비상정지 트립 설정치와 4.0 절의 초기 조건을 확인한 점검 기록지, 5.0 절의 기동 및 정지 절차를 수행한 운전 기록지, 주냉각수 계통의 운전 가능한 압력-온도 범위를 나타내는 곡선이 있다.

### 4.3 기동 운전

#### 4.3.1 루프정지 (Loop Shutdown)

기동 및 정지 절차서의 “4.0 초기 조건”이 모두 확인되고, 가압기의 압력 및 수위, 탈기탱크의 압력 및 수위, 고압주입탱크의 압력 및 수위, 폐기물저장탱크의 압력 및 수위가 핵연료시험설비를 기동할 수 있는 상태이면 루프정지 운전 조건이다. 기동 전 루프정지 상태에서 이들 탱크의 압력 및 수위의 초기 값은 표 4.3-1과 같다.

표 4.3-1에서 가압기 및 탈기탱크의 수위는 기동 운전의 원활한 수행을 위하여 추천되는 초기 값이다. 가압기 수위의 운전 범위는 800 ~ 1100 mm이고, 탈기탱크 수위의 운전 범위는 800 ~ 1450 mm이다. 화학재 주입이 필요한 경우 가압기와 탈기탱크의 초기 수위는 화학재를 주입할 때 함께 주입되는 냉각수 양을 고려하여 800 mm 이하로 낮출 수 있다.

고압주입탱크와 탈기탱크의 압력 및 수위의 운전 범위는 핵연료시험설비의 운영기술 지침서에 기술된 운전 범위에 약간의 여유를 고려하여 결정한 값이다.

표 4.3-1 루프정지 상태에서 주요 탱크의 압력 및 수위

기기 명	압력 (MPa,g)	수위 (mm)
가압기	0.2 ~ 0.5	940 ± 50
탈기탱크	0.15 ~ 0.25	920 ± 50
고압주입탱크	16.2 ~ 17.0	2630 ~ 2720
폐기물저장탱크	0.02 이하	330 ~ 450

핵연료시험설비가 루프정지 상태인 경우 핵연료시험설비의 주냉각수펌프, 중간냉각수 펌프, 정화복귀펌프, 관통부냉각수펌프는 정지된 상태이다. 또한 핵연료시험설비의 추가열기도 정지된 상태이고, 하나로도 정지된 상태이다.

가압기의 압력이 노내시험부 오링 사이의 공기 압력(360-J-PT042/043)보다 높은 범위 내에서 가압기 가열기를 끌 수 있다. 그러나 가압기 압력이 0.2 MPa,g 이상을 유지하도록 가압기 가열기를 항상 켜 놓는 것이 좋다. 왜냐하면 노내시험부 오링 사이의 공기 압력(360-J-PT042/043)보다 가압기 압력이 낮아져서 오링이 압축된 방향의 역방향으로 움직이면 오링의 밀폐 기능이 상실되기 때문이다.

중간냉각수의 방사선을 감시하는 중간냉각수 방사선감시계통도 정지된 상태이다. 그러나 핵연료시험설비와 관련된 다른 모든 방사선감시계통은 항상 운전되고 있어야 한다.

### 4.3.2 저온대기1 (Cold Stand By 1)

루프정지에서 저온대기1 상태로 전환되는 주요 절차는 아래와 같다.

#### ○ HANARO Trip Bypass "Normal" 확인

FTL (Fuel Test Loop) 제어실에 있는 보호반(Protection Panel-1/2/3)에서 HANARO Trip Bypass 스위치가 "Normal" 위치에 있는지 확인하고, 하나로 제어실에 있는 FTL 안전제어반(Safety Control Panel-1/2)의 WN002/005/008 경보가 해제되었는지 확인한다.

이것은 핵연료시험설비(FTL)의 원자로 보호계통이 필요시 원자로를 자동으로 비상정지시킬 수 있는 상태인지 확인하는 절차이다.

#### ○ Manual FTL Train-1/2 Isolation "Bypass" 확인

하나로 제어실의 FTL 안전제어반(Safety Control Panel-1/2)에서 Manual FTL Isolation Bypass 스위치가 "BYPASS" 위치에 있는지 확인하고, 하나로 제어실에 있는 FTL 안전제어반(Safety Control Panel-1/2)의 WN013/023 경보가 발생되었는지 확인한다.

이것은 핵연료시험설비의 주냉각수 유량 및 압력이 아직 정상 운전 조건에 도달하지 않은 기동 단계이기 때문에 핵연료시험설비 비상정지 신호를 우회시켜 비정상적인 비상냉각수 주입을 차단하기 위한 절차이다. 일반적으로 이전 주기의 정지 운전 단계에서 이미 Manual FTL Isolation Bypass 스위치가 "BYPASS" 위치에 놓여 있어야 하고, 기동 운전에서는 이것을 단지 확인하는 것이다.

#### ○ 하나로 2차 냉각수펌프 기동

하나로 2차 냉각수펌프를 기동하여 핵연료시험설비의 중간냉각수계통을 냉각하는 단계이다. 중간냉각수온도제어밸브(230-J-TV041)를 50% 개방된 상태에서 하나로 2차냉각수 유량(230-J-FT055)이 4.8 kg/s 이상이어야 한다.

하나로 2차 냉각수계통은 핵연료시험설비를 냉각하는 열침원으로 핵연료시험설비의 중간냉각수 온도(230-JTE041)를 40 °C 이하로 유지하여야 한다. 중간냉각수 온도(230-JTE041)를 40 °C 이하로 유지하는 범위 내에서 필요시 하나로 2차냉각수펌프를 간헐적으로 정지시킬 수 있다.

중간냉각수온도제어밸브(230-J-TV041)를 자동 모드로 운전할 수 있도록 설계하였

으나, 자동 운전 성능이 확인되지 않았으므로 수동으로 운전하여야 한다. 중간냉각수 온도(230-J-TE041)가 40 ℃이하를 유지하도록 기동 및 정지 운전 중에 중간냉각수 온도를 감시하며 중간냉각수온도제어밸브(230-J-TV041)의 개도를 적절히 조절한다.

#### ○ FTL 중간냉각수펌프 기동

중간냉각수펌프를 기동하여 주냉각기와 정화냉각기, 주냉각수펌프에 냉각수를 공급하는 단계이다.

중간냉각수펌프 1대를 수동 모드에서 기동하여 중간냉각수펌프 출구 유량(230-J-FT056)이 1.7 kg/s 이상임을 확인하고, 대기 중인 다른 펌프를 자동 모드로 놓는다. 수동 모드로 펌프를 기동할 때 대기 중인 펌프는 수동 모드로 설정되어 있어야 한다. 그렇지 않으면 수동 모드로 기동된 펌프의 유량이 1.7 kg/s에 도달하기 전에 자동 모드로 대기 중인 다른 펌프가 자동으로 기동된다.

주냉각수온도제어밸브(230-J-TV042)를 자동 모드로 운전할 수 있도록 설계하였으나, 자동 운전 성능이 확인되지 않았으므로 수동으로 운전하여야 한다. 주냉각수 온도(210-J-TE043/045)를 기동 및 정지 운전 중에 감시하며 주냉각수온도제어밸브(230-J-TV042)의 개도를 적절히 조절한다. 주냉각수온도제어밸브(230-J-TV042)의 개도를 35 ~ 100% 사이에서 운전한다. 35% 이하로 닫으면 고온대기 이상의 운전 상태에서 수격현상이 발생할 수 있다.

#### ○ 중간냉각수 방사선감시기(RU042) 펌프 기동

중간냉각수의 방사선을 감시하기 위한 방사선감시계통의 펌프를 기동하는 단계이다.

중간냉각수펌프가 운전되어야 방사선감시계통의 유량이 적정량을 유지하기 때문에 중간냉각수펌프를 기동한 후 중간냉각수 방사선감시기(RU042) 펌프를 기동하여야 한다. 그렇지 않으면 중간냉각수 방사선감시계통에서 “Fault”가 발생한다.

#### ○ FTL 기기실 방사선감시기 작동 확인

제1 기기실의 주냉각수 압력경계 누설감시기(RU043)와 제2 기기실의 공기중 방사능농도감시기(RU047)가 정상적으로 작동하는지 확인하는 단계이다. 이 방사선감시기는 핵연료시험설비의 전 운전 모드에서 항상 작동하여야 한다.

### ○ 주냉각수펌프 기동

가압기의 압력이 약 0.2 MPa,g 이상에서 주냉각수펌프를 기동한다. 주냉각수펌프를 기동하기 전에 주유량제어밸브(210-J-FV002)와 우회유량제어밸브(210-J-FV001)가 닫혀 있어야 하고, 주냉각수계통 격리밸브(210-J-AOV003/004/005/006)는 열려 있어야 한다. 또한 주냉각기 유량조절밸브(210-J-FV031)는 약 10% 열려 있고, 주냉각기 우회밸브(210-P-V032)는 완전히 열려 있어야 한다. 주냉각기 유량조절밸브의 개도는 주냉각수의 가열율 및 냉각율 조절과 주냉각수 온도 조절을 위하여 기동 및 정지 운전 중 수시로 변경된다.

주냉각수펌프를 기동한 후 토출압력이 약 1.4 MPa,g 이상임을 확인한 후 즉시 우회유량제어밸브를 약 10% 정도 열고, 주유량제어밸브를 열어 주유량이 1.65±0.1 kg/s가 되도록 조절한다.

주냉각수계통의 주유량은 주냉각수의 압력과 온도가 상승함에 따라 달라지기 때문에 주냉각수의 압력과 온도를 올리고, 내릴 때마다 주유량제어밸브의 개도를 조금씩 조절하여야 한다. 주유량제어밸브의 개도에 따라 주냉각수의 유량 변화가 크므로 개도를 1%씩 변경한다.

### ○ 가압기 비응축가스 제거

가압기 보관을 위하여 채운 질소나, 주냉각수의 수질 관리를 위하여 주입한 약품의 반응으로 발생한 비응축가스를 제거하는 운전 단계이다. 이 절차는 기동할 때마다 수행하는 것은 아니며, 필요한 경우에만 수행한다.

가압기의 비응축가스를 제거할 때 가압기 압력은 0.6 MPa,g 이하이어야 한다. 210-P-V035 밸브가 닫혀 있고, 210-P-V034 밸브가 열려 있는지 확인한 후 가압기 압력이 약 0.4 MPa,g에 도달하면 210-J-SOV042 밸브를 개방하여 비응축가스와 증기를 폐기물저장탱크로 방출한다. 가압기 수위가 약 30~40 mm 정도 감소할 때까지 비응축가스를 충분히 방출한다. 배관 내에 비응축가스가 부분적으로 있을 경우를 대비하여 주냉각수펌프를 기동하여 일정 시간 운전한 후 비응축가스를 제거한다. 주냉각수펌프를 운전하며 비응축가스를 제거해도 상관없다. 다만 가압기 압력은 0.2 MPa,g 이상 유지하여야 한다.

가압기에 비응축가스가 많이 있으면 가압기의 압력 제어가 제대로 안될 수 있다.

### ○ 취출·보충·정화계통 기동

취출·보충·정화계통은 냉각수 내의 황산염, 염소 이온, 불소 이온, 용존 산소, 방사성 물질 제거와 붕산 농도, pH, 전기 전도도 조절을 위하여 이용된다. 이 목적을

달성하기 위해서는 어느 운전 형태에서나 취출·보충·정화계통을 운전할 수 있어야 하지만 현재 핵연료시험설비의 경우 운전 형태에 따라 주냉각수의 압력과 취출·보충·정화계통의 압력 차이가 큰 데 반하여 이 큰 압력 차이에서 정화 유량 및 정화복귀 유량을 원격제어밸브로 조절할 수 있는 범위가 대단히 작다. 즉, 원격 제어밸브로는 이 압력 차이에서 정화 유량과 정화복귀 유량의 균형을 맞출 수 없다. 따라서 정화유량제어밸브(240-J-FV041)를 우회하는 수동밸브(240-P-V601)를 적절히 사용하여야 한다. 그런데 정화유량제어밸브 우회밸브가 제1 기기실에 있기 때문에 수시로 이 밸브를 조절하며 운전하는 것도 현실적으로 불가능하다. 따라서 취출·보충·정화계통의 운전 절차를 두 가지 종류로 개발하였다. 하나는 정화유량제어밸브 우회밸브를 약 1/4 바퀴 열고 운전하는 절차이고, 다른 하나는 이 밸브를 완전히 닫고 운전하는 절차이다.

이 단계에서는 정화유량제어밸브 우회밸브를 약 1/4 바퀴 열고, 취출·보충·정화계통을 운전하는 절차이다. 정화복귀유량제어밸브(240-J-LV042) 후단의 오리피스(240-J-FO076)를 우회하는 우회밸브(240-P-V611)를 완전히 개방하고, 가압기 압력을 약 0.5 MPa,g로 가압한 후 정화유량제어밸브 우회밸브를 약 1/4 바퀴 열면서, 정화복귀펌프를 기동한다. 정화복귀 유량과 정화 유량이 같도록 정화복귀유량제어밸브를 조절한다. 정화 유량의 조절은 가압기 압력을 약간 높이거나 낮추어서 조절할 수 있고, 240-P-V001과 V003 밸브를 조절하여 정화 유량을 조절할 수도 있다. 이 수동밸브는 제2 기기실에 있기 때문에 정화 유량과 정화복귀 유량이 같도록 240-J-LV042로 조절할 수 없는 경우에 유용하게 사용할 수 있는 수동밸브이다.

정화유량제어밸브를 우회하는 수동밸브가 약 1/4 바퀴 열린 상태에서 정화 운전을 중지한 후 가압기 수위를 유지하기 위하여 240-P-V001과 V003 밸브를 닫은 경우에는 가압기 압력이 0.6 MPa,g를 초과해서는 안 된다. 왜냐하면 정화유량제어밸브(240-J-FV042) 후단의 오리피스(240-FO046)까지는 설계 압력이 17.5 MPa,g이고, 그 이후 부분의 설계 압력은 1.0 MPa,g이기 때문이다.

#### ○ 주가열기 작동

주가열기를 기동하는 단계이다. 주가열기는 현장 제어반에서도 작동되고, Operator Work Station에서도 원격으로 작동된다. 주가열기를 자동 운전 모드로 전환하고, 제어 온도를 설정하면 주가열기 출구 온도가 자동으로 제어된다.

#### ○ 저온대기1 유지

여기까지 절차를 수행하고 가압기 수위 및 압력과 주냉각수 유량 및 온도가 기동

및 정지 절차서의 붙임 3.1.2의 운전 범위를 유지하면 저온대기1이다.

### 4.3.3 저온대기2 (Cold Stand By 2)

저온대기1에서 저온대기2 상태로 전환되는 주요 절차는 아래와 같다.

#### ○ 주냉각수 수질 확인

저온대기2로 기동하기 전에 냉각수의 전기전도도와 염소이온, 불소이온, 황산염의 농도를 확인하여야 한다. 만족하여야 할 수질 조건은 표 4.3-2와 같다.

표 4.3-2 수질 조건

항목	운전 범위	비고
전도도	50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이하	운전 제한 조건
염소이온 + 불소이온	0.2 ppm 이하	운전 제한 조건
황산염	0.15 ppm 이하	운전 제한 조건

하이드라진을 주입하기 전에 황산염, 염소이온, 불소이온의 농도가 운전 제한 조건을 충족하도록 정화하여야 한다. 하이드라진을 주입하면 이온교환기를 우회하여야 하고, 하이드라진이 용존 산소를 기준값 이하로 낮춘 이후에나 이온교환기 운전이 가능하기 때문이다.

표 4.3-2의 조건이 만족되지 않으면 만족될 때까지 계속 운전하고 그래도 만족되지 않으면 이온교환기가 포화되지 않았는지 점검한 후 교환하고, 불가피한 경우에는 주냉각수를 순수로 교체한다.

이온교환기 전단의 전기전도도보다 후단의 전기전도도가 크거나, 이온교환기 입구의 전기전도도가 크어도 불구하고 이온교환기 출구의 전기전도도가 입구와 비교하여 차이가 없으면 이온교환기가 포화된 것으로 판단한다.

#### ○ 하이드라진( $N_2H_4$ ), 수산화리튬( $Li^7OH \cdot H_2O$ ), 붕산 주입

용존 산소를 제거하기 위하여 하이드라진을 주입하고, 냉각수의 pH를 조절하기 위하여 수산화리튬을 주입하는 단계이다. 냉각수의 화학 조건을 발전로와 유사하게 맞추기 위하여 붕산을 주입한다.

하이드라진을 주입하기 전에 이온교환기를 우회하도록 취출·보충·정화계통의 밸브를 정렬한다. 이온교환기를 통과하면 하이드라진이 제거되어 용존 산소를 제거

할 수 없기 때문이다.

하이드라진, 수산화리튬, 붕산의 주입량 계산과 상세한 주입 절차는 화학재 준비 및 주입(ROP-OP-76) 절차서에 기술되어 있다.

○ 관통부냉각수펌프 기동

하이드라진과 용존 산소의 반응은 70 °C 이상에서 활성화 된다. 따라서 하이드라진을 주입한 후에 주냉각수 온도를 70 °C 이상으로 높인다. 그런데 관통부냉각수의 고온도 경보값은 60 °C이다. 따라서 주냉각수 온도를 높이기 전에 관통부냉각수펌프를 기동하여야 한다.

○ 용존 산소 제거 운전

주가열기의 주냉각수 온도 설정값을 85 °C로 높이고, 용존 산소가 0.1 ppm 이하로 떨어질 때까지 계속 운전한다.

냉각수 온도가 121.5 °C를 넘으면 하이드라진이 분해되어 암모니아수가 생성되고, 냉각수의 pH가 높아진다. 또한 냉각수의 온도가 121.5 °C 이상에서 하이드라진을 계속 사용하면 방사선 조사에 의하여 질산이 생성되고, 이것은 부식의 원인이 된다. 따라서 121.5 °C 이하에서 하이드라진을 주입하고, 용존 산소 농도를 0.1 ppm 이하로 낮춘 후 냉각수 온도를 121.5 °C 이상으로 높여야 한다.

○ 주냉각수 수질 확인

용존 산소 제거 운전을 수행한 후 주냉각수를 고온·고압으로 올리기 전에 수질을 확인하여야 한다. 만족하여야 할 수질 조건은 표 4.3-3과 같다.

표 4.3-3 수질 조건

항목	운전 범위	비고
용존 산소 농도	0.1 ppm 이하	운전 제한 조건
pH	5.5 ~ 8.0	운전 제한 조건
전도도	50 $\mu$ S/cm 이하	운전 제한 조건
염소이온 + 불소이온	0.2 ppm 이하	운전 제한 조건
황산염	0.15 ppm 이하	운전 제한 조건
붕산 농도	1500 ppm 이하	시험 조건

용존 산소의 농도, pH, 붕산의 농도가 표 4.3-3의 운전 제한 조건을 충족하지 못하면 화학재 준비 및 주입(ROP-OP-76) 절차서에 따라 추가의 화학재를 다시 주입하고, 주냉각수계통 및 취출·보충·정화계통을 계속 운전하며 수질을 확인한다.

○ 저온대기2 유지

여기까지 절차를 수행하고 가압기의 수위 및 압력과 주냉각수의 유량 및 온도가 기동 및 정지 절차서의 붙임 3.1.3의 운전 범위를 유지하면 저온대기2이다. 또한 주냉각수의 용존 산소 농도, pH, 전기전도도도 운전 제한 범위를 만족하여야 한다.

#### 4.3.4 고온대기 (Hot Stand By)

저온대기2에서 고온대기 상태로 전환되는 주요 절차는 아래와 같다.

○ 가압기 수위 조절

정화유량제어밸브와 정화복귀펌프를 이용하여 가압기 수위를 800 mm로 조절한다.

고온대기로 주냉각수의 온도와 압력을 올리는 중에는 취출·보충·정화계통을 주냉각수계통과 격리한다. 주냉각수계통과 취출·보충·정화계통의 압력 차이가 크게 변하는 것에 반하여 정화 유량과 정화복귀유량 제어를 이용한 가압기 수위 제어가 쉽지 않기 때문이다. 가압기 수위를 낮추는 이유는 주냉각수의 온도가 상승함에 따라 주냉각수의 체적이 늘어나 가압기 수위가 올라가기 때문이다.

○ 제1 기기실 방사선 차폐 덮개 닫기 전 밸브 정렬 확인

주냉각수를 고온·고압으로 올리기 전에 제1 기기실의 출입구를 닫아야 한다. 따라서 출입구를 닫기 전에 아래의 수동 밸브 개도를 확인하여야 한다.

표 4.3-4 밸브 개도 확인

밸브 번호	개도	밸브 번호	개도
210-P-V032	완전 개방	210-P-V005	1/4 바퀴 개방
210-P-V034	완전 개방	240-P-V601	완전 차단
210-P-V035	완전 차단	240-P-V602	완전 차단

주냉각기 우회배관 수동밸브(210-P-V032)를 완전히 개방하는 것은 주냉각기의 유

량 조절을 위한 것이다. 주냉각수의 온도를 올리면서 주냉각기를 통한 냉각이 커지면 주냉각기 유량조절밸브(210-J-FV031)를 닫아 주냉각기 유량을 줄인다.

○ 제1 기기실 방사선 차폐 덮개 닫기

주냉각수를 고온·고압으로 올리기 전에 제1 기기실의 방사선 차폐 덮개를 닫는다.

○ 가압기 가압 및 주냉각수 가열

가압기 가열기에서 가압기의 압력제어 설정값과 주가열기에서 주냉각수의 온도제어 설정값을 단계적으로 증가시켜 주냉각수의 압력과 온도를 고온대기 조건까지 높인다.

주냉각수의 가압 및 가열 과정에서 지켜야 할 주의사항은 다음과 같다.

- (1) 압력-온도 곡선의 운전범위 내에서 가압기 압력(210-J-PT057/060)과 주냉각수 온도(210-J-TE044)를 올린다.
- (2) 가압기 온도(210-J-TE059)와 주냉각수(210-J-TE-45)의 온도 차이가 144℃ 이상 발생하지 않도록 한다.
- (3) 주냉각수의 온도(210-J-TE044)를 올릴 때 가열율을 45℃/hr 이하로 유지한다.
- (4) 열손실이 주가열기 용량보다 커서 주냉각수 온도 상승이 어려운 경우 주냉각기 유량조절밸브(210-J-FV031)의 솔레노이드 밸브를 닫아 주냉각기로의 냉각수 흐름을 완전히 차단한다.
- (5) 가압기 압력(210-J-PT057/060)은 최대 15.2 MPa<sub>g</sub>를 넘지 않도록 한다.
- (6) 가압기 온도(210-J-TE059)가 Max. 344℃를 넘지 않도록 한다.
- (7) 정화유량 제어밸브(240-J-FV041)를 간헐적으로 개방하고, 정화복귀펌프를 간헐적으로 ON/OFF하여 가압기 수위를 정상운전 범위(800~1100mm)로 조절한다.
- (8) 주냉각수 주유량(210-J-FT022)이 운전 범위(1.65 ± 0.1 kg/s) 내에 유지되도록 주유량 조절밸브(210-J-FV002)를 1%씩 조절한다.

주가열기의 온도 설정값은 시간 당 45℃로 변화도록 설정되어 있다. 따라서 주냉각수 온도를 올리는 동안에는 시간 당 45℃를 초과하여 주냉각수 온도가 상승하지

않는다.

○ 이온교환기 운전

주냉각수 압력을 고온대기까지 올린 후에 이온교환기를 통한 정화 운전을 할 수 있도록 밸브를 정렬한다.

○ 취출·보충·정화계통 연속 운전

고온대기 상태에서의 주냉각수 압력은 고온운전 조건과 동일하다. 따라서 주냉각수의 압력이 거의 일정하기 때문에 취출·보충·정화계통을 연속적으로 운전하며 가압기 수위를 제어할 수 있게 된다.

정화유량제어밸브(240-J-FV041)를 조절하여 정화유량을 약 0.03~0.05 kg/s로 맞춘다. 정화복귀재순환유량제어밸브(240-J-LV042)를 조절하여 정화 유량과 정화복귀 유량의 균형을 맞춘다. 정화복귀유량과 정화유량의 균형이 맞지 않아 가압기 수위제어가 안 되는 경우 제2 기기실에 있는 240-P-V611 밸브를 조절한다.

수동 모드에서 운전하는 경우에는 가압기 고고 수위 또는 저저 수위, 탈기탱크 고고 수위와 연동된 이 밸브들의 완전 개방 또는 완전 차단 기능이 작동되지 않는다.

○ 취출수의 용존 산소 측정 및 탈기탱크 수소 가스 주입

취출수의 용존 산소가 0.1 ppm을 초과하면 취출, 보충 및 정화계통(ROP-OP-64) 운전 절차서에 따라 탈기탱크에 수소 가스를 주입하거나 저온대기1 상태로 정지한 후 하이드라진을 다시 주입한다.

121.5 °C 이상에서는 하이드라진이 분해되어 용존 산소를 제거할 수 없으므로 고온에서는 수소 가스를 이용하여 용존 산소를 제거한다.

○ Manual FTL Train-1/2 Isolation "Bypass" 해제

기동 및 정지 절차서의 붙임 1에 있는 원자로 정지 및 핵연료시험설비 비상정지 신호가 해제되었는지 확인하고, 하나로 제어실의 FTL 안전제어반(Safety Control Panel-1/2)에서 Manual FTL Isolation Bypass 스위치를 "Normal" 위치에 놓는다. 그리고 FTL 안전제어반의 WN-013/023 경보가 해제되었는지 확인한다.

Manual FTL Isolation Bypass 스위치를 "Normal" 위치에 놓게 되면 핵연료시험

설비 비상정지 신호가 발생하는 경우 비상냉각수가 즉각 주입된다.

○ 고온대기(Hot Stand By) 유지 확인

여기까지 절차를 수행하고 가압기의 수위 및 압력과 주냉각수의 유량 및 온도가 기동 및 정지 절차서의 붙임 3.1.4의 운전 범위를 유지하면 고온대기이다. 또한 주냉각수의 수질 조건도 붙임 3.1.4의 운전 범위를 만족하여야 한다.

### 4.3.5 고온운전 (Hot Operation)

고온대기에서 고온운전으로 전환되는 주요 절차는 아래와 같다.

○ 원자로 출력 운전 개시

핵연료시험설비가 고온대기 상태에서 원자로가 출력 운전을 개시하면 핵연료시험설비는 고온운전 상태가 된다. 원자로 출력 운전은 원자로 기동 및 정지 절차서(ROP-OP-01)에 따라 이루어진다.

○ 주냉각수 온도 자동제어 설정값 변경

원자로가 출력 운전을 하면 핵연료시험설비의 노내시험부에서 핵분열 열과 감마열이 발생한다. 따라서 노내시험부 입구에서의 주냉각수 온도가 시험 조건과 같도록 주가열기의 주냉각수 온도제어 설정값을 변경한다.

○ 고온운전(Hot Operation) 유지 확인

여기까지 절차를 수행하고 가압기의 수위 및 압력과 주냉각수의 유량 및 온도가 기동 및 정지 절차서의 붙임 3.1.5의 운전 범위를 유지하면 고온운전 상태이다.

## 4.4 정지 운전

### 4.4.1 고온대기 (Hot Stand By)

고온운전에서 고온대기 상태로 전환하는 주요 절차는 아래와 같다.

○ 원자로 정지 운전

핵연료시험설비가 고온운전 상태에서 원자로가 정지되면 핵연료시험설비는 고온대기 상태가 된다. 원자로 정지는 원자로 기동 및 정지 절차서(ROP-OP-01)에 따라 이루어진다.

○ 주냉각수 온도 자동제어설정값 변경

주가열기의 주냉각수 온도 자동제어설정값을 고온대기 상태로 변경한다. 원자로 정지에 의하여 핵연료시험설비의 노내시험부에서 핵분열 열 및 감마열이 사라져 주냉각수 온도는 감소한다. 주가열기의 주냉각수 온도 설정값은 시간당 45 ℃의 속도로 변경된다. 주냉각수계통의 열손실이 크기 때문에 이 때 주냉각기로의 유량을 늘릴 필요는 없다.

○ Manual FTL Train-1/2 Isolation "Bypass" 설정

하나로 제어실의 FTL 안전제어반(Safety Control Panel-1/2)에서 Manual FTL Isolation Bypass 스위치를 "Bypass" 위치에 놓는다. 그리고 FTL 안전제어반의 WN-013/023 경보가 발생되었는지 확인한다.

Manual FTL Isolation Bypass 스위치를 "Bypass" 위치에 놓게 되면 핵연료시험설비 비상정지 신호가 발생되어도 비상냉각수가 주입되지 않는다.

○ 고온대기(Hot Operation) 유지 확인

여기까지 절차를 수행하고 가압기의 수위 및 압력과 주냉각수의 유량 및 온도가 기동 및 정지 절차서의 붙임 3.2.1의 운전 범위를 유지하면 고온대기 상태이다.

#### 4.4.2 저온대기2 (Cold Stand By 2)

고온대기에서 저온대기2 상태로 전환하는 주요 절차는 아래와 같다.

○ 취출·보충·정화계통 연속 운전 종료

주냉각수계통의 압력을 내리기 전에 취출·보충·정화계통을 정지시킨다.

탈기탱크 수위제어밸브(240-J-LV043), 정화유량제어밸브(240-J-FV041), 정화복귀 재순환유량제어밸브(240-J-LV042)가 자동 모드로 설정되어 있으면 수동 모드로

바꾼다. 정화복귀재순환유량제어밸브를 조절하여 가압기 수위를 약 1000 mm로 조절한 후 정화유량제어밸브를 닫고, 정화복귀펌프도 끈다. 그리고 정화복귀재순환유량제어밸브를 닫는다.

○ 주냉각수 냉각 및 가압기 감압

가압기 가열기에서 가압기의 압력제어 설정값과 주가열기에서 주냉각수의 온도제어 설정값을 단계적으로 감소시켜 주냉각수의 압력과 온도를 저온대기2 조건까지 내린다.

주냉각수의 냉각 및 감압 과정에서 지켜야 할 주의 사항은 다음과 같다.

- (1) 압력-온도 곡선의 운전 범위 내에서 가압기 압력(210-J-PT057/060)과 주냉각수 온도(210-J-TE044)를 내린다.
- (2) 가압기 온도(210-J-TE059)와 주냉각수(210-J-TE-45)의 온도 차이가 144℃ 이상 발생하지 않도록 한다.
- (3) 주냉각수의 온도(210-J-TE044)를 내릴 때 냉각률을 45℃/hr 이하로 유지한다.
- (4) 주냉각수의 냉각률이 작은 경우 주냉각수 온도제어밸브(230-J-TV042)와 주냉각기 유량조절밸브(210-J-FV031)를 점점 개방하여 냉각률을 증가시킨다. 단 주냉각기 유량조절밸브의 솔레노이드 밸브가 “Close”인 경우 밸브 개도를 0%로 설정하고 솔레노이드 밸브만 “Open”하여 30분 이상 운전한 후 필요에 따라 밸브 개도를 조금씩 증가시켜 냉각률을 늘린다.
- (5) 정화유량 제어밸브(240-J-FV041)를 간헐적으로 개방하고, 정화복귀펌프를 간헐적으로 ON/OFF하여 가압기 수위를 정상운전 범위(800~1100mm)로 조절한다.
- (6) 주냉각수 주유량(210-J-FT022)이 운전 범위(1.65 ± 0.1 kg/s) 내에 유지되도록 주유량 조절밸브(210-J-FV002)를 1%씩 조절한다.

○ 저온대기2 (Cold Stand By 2) 유지 확인

여기까지 절차를 수행하고 가압기의 수위 및 압력과 주냉각수의 유량 및 온도가 기동 및 정지 절차서의 붙임 3.2.2의 운전 범위를 유지하면 저온대기2 상태이다.

#### 4.4.3 저온대기1 (Cold Stand By 2)

저온대기2에서 저온대기1 상태로 전환하는 주요 절차는 아래와 같다.

○ 주냉각수 냉각

주가열기에서 주냉각수의 온도제어 설정값을 약 50 ℃로 변경하여 주냉각수의 온도를 내린다. 주냉각수의 냉각률이 45 ℃/hr 이내가 되는 범위에서 주냉각수 온도 제어밸브(230-J-TV042)와 주냉각기 유량조절밸브(210-J-FV031)를 완전히 연다.

○ 추가열기 운전 정지

추가열기를 정지시킨다.

○ 관통부냉각수펌프 운전 정지

관통부냉각수펌프를 정지시킨다. 먼저 자동 모드로 설정되어 있는 펌프를 수동 모드로 바꾸고, 작동하고 있는 펌프를 끈다.

○ 주냉각수 정화 운전

주냉각수의 정화 운전이 필요한 경우 다시 취출·보충·정화계통을 운전한다.

이 단계에서 정화 운전을 하려면 제1 기기실에 있는 240-P-V601 밸브를 약 1/4 바퀴 열어야 한다. 따라서 제1 기기실 출입이 가능한지 확인하고, 제1 기기실의 방사선차폐 덮개를 연다.

제1 기기실에 있는 240-P-V601 밸브를 약 1/4 바퀴 열고, 정화복귀펌프를 기동하여 취출·보충·정화계통을 운전한다. 가압기 수위는 정화복귀재순환유량제어밸브의 개도를 조절하여 맞춘다.

○ 저온대기1 (Cold Stand By 1) 유지 확인

여기까지 절차를 수행하고 가압기의 수위 및 압력과 주냉각수의 유량 및 온도가 기동 및 정지 절차서의 붙임 3.2.3의 운전 범위를 유지하면 저온대기1 상태이다.

#### 4.4.4 루프정지 (Loop Shutdown)

저온대기1에서 루프정지 상태로 전환하는 주요 절차는 아래와 같다.

○ 가압기 수위 확인

핵연료시험설비를 루프정지 상태로 놓기 전에 가압기 수위를 정상 수위(800 ~ 1100 mm)로 맞추어 놓는다.

○ 정화복귀펌프 운전 정지

정화복귀펌프를 끄고, 240-P-601 밸브와 정화유량제어밸브, 정화복귀재순환유량제어밸브를 닫아 가압기 수위가 감소하지 않도록 한다.

편의를 위하여 240-P-601 밸브를 약 1/4 바퀴 연 상태에서 제2 기기실에 있는 240-P-V001과 V003 밸브를 닫아 가압기 수위를 유지할 수 있다. 그러나 이 경우에는 가압기 압력이 0.6 MPa<sub>g</sub>를 초과해서는 안 된다. 왜냐하면 정화유량제어밸브(240-J-FV042) 후단의 오리피스(240-FO046)까지는 설계 압력이 17.5 MPa<sub>g</sub>이고, 그 이후 부분의 설계 압력은 1.0 MPa<sub>g</sub>이기 때문이다.

○ 주냉각수펌프 정지

주냉각수펌프를 끈다.

○ 중간냉각수 방사선감시기 펌프 정지

중간냉각수펌프를 끄면 중간냉각수 방사선감시기의 유량이 충분하지 않아 중간냉각수 방사선감시기가 비정상적으로 멈춘다. 또한 방사선감시기 펌프도 꺼진다. 따라서 중간냉각수펌프를 끄기 전에 중간냉각수 방사선감시기 펌프를 먼저 끈다.

○ 중간냉각수펌프 정지

자동 모드로 설정되어 있는 펌프를 수동 모드로 바꾸고, 작동하고 있는 펌프를 끈다.

○ 하나로 2차 냉각수펌프 정지

하나로 2차 냉각수펌프를 끈다.

○ 루프정지 (Loop Shutdown) 유지 확인

여기까지 절차를 수행하면 루프정지 상태가 된다.

#### 4.5 압력-온도 곡선

핵연료시험설비의 노내시험부 입구에서 주냉각수의 설계운전 온도는 300℃이다. 이 온도에서 비등이 발생하지 않으려면 냉각수의 압력은 약 8.5 MPa,g 이상이어야 한다. 또한 주냉각수 펌프에서의 공동 현상이 발생하지 않고, 예상운전과도가 발생하였을 때 설계 제한 핵비등이탈비를 벗어나지 않으려면 충분한 과냉각 여유도가 있어야 한다.

핵연료시험설비를 기동하고 정지하는 동안에 노내시험부 입구에서 주냉각수의 설계기준 과냉각 여유도는 60℃ 이상이고, 고온운전에서의 설계기준 과냉각 여유도는 28℃ 이상이다.

그림 4.4-1은 핵연료시험설비를 운전할 때 지켜야 할 노내시험부 입구에서의 주냉각수의 압력(210-J-PT021) 및 온도(210-J-TE023) 범위를 보여주고 있다. 이 그림에서 빗금친 부분이 정상 운전 조건에서 지켜야 할 주냉각수의 압력 및 온도 범위이다.

검정색 실선은 물의 포화 곡선이다. 핵연료시험설비의 주냉각수계통의 어느 지점에서 냉각수 온도와 압력이 검정색 실선에 해당하면 비등이 발생한다. 초록색은 28℃의 과냉각 여유도를 갖는 곡선이고, 파란색은 60℃의 과냉각 여유도를 갖는 곡선이다. 따라서 고온 대기까지는 파란색 위쪽의 빗금친 영역에 속하는 냉각수 압력 및 온도를 유지하여야 하고, 고온운전에서는 냉각수 압력 및 온도가 파란색과 초록색 위쪽의 빗금친 영역에 있어야 한다.

가압기 온도는 주냉각수 온도보다 144℃ 이상 높지 않아야 한다. 이 값은 가압경수로형 원자로의 설계기준을 그대로 도입한 것이다. 그림 4.4-1에서 보라색은 노내시험부 입구에서의 주냉각수 온도보다 144℃ 높은 온도에서의 포화 압력이다. 가압기는 포화 상태를 유지하고 있으므로 주냉각수의 압력 및 온도가 보라색 밑의 빗금친 영역에 있으면 가압기의 냉각수 온도와 노내시험부 입구에서의 주냉각수의 온도 차이가 144℃ 이하를 유지하게 된다.

빨간색은 노내시험부 입구에서 주냉각수 압력의 최대 운전 값이다. 주냉각수계통의 안전밸브(210-PSV-001A/B) 개방 설정값(16.79 MPa,g)과 원자로 고 압력 정지 설정값(16.76 MPa,g)을 고려하여 정한 기동정지 절차서의 운전 범위이다.

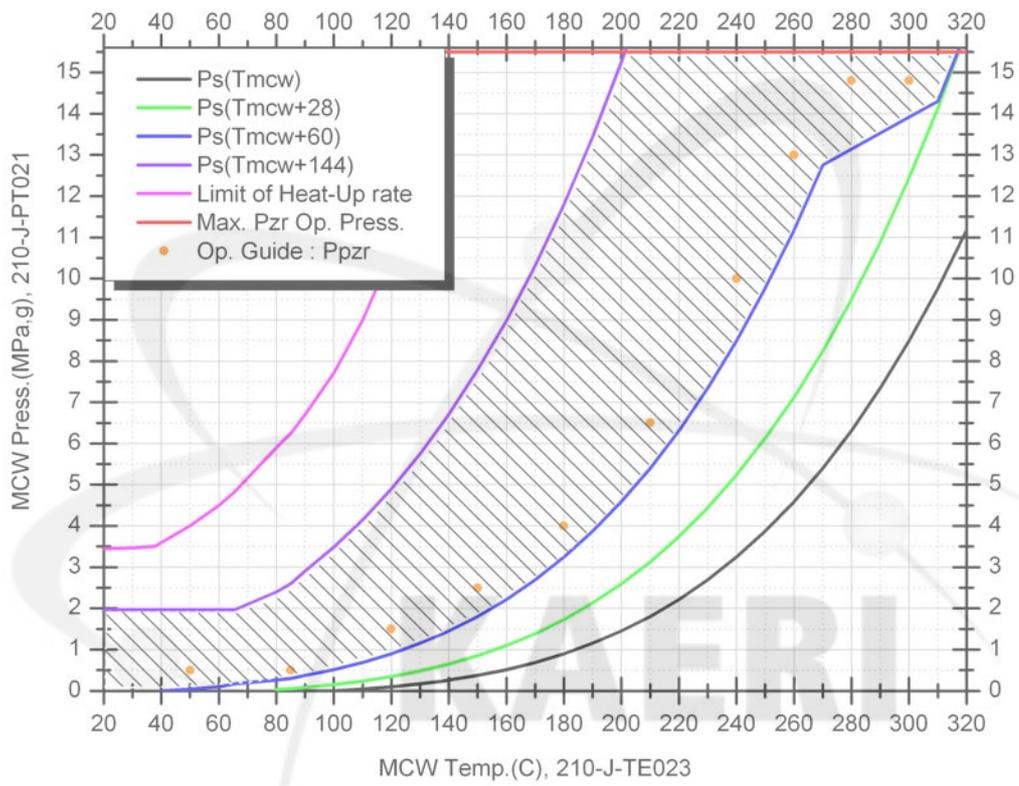


그림 4.4-1 압력-온도 곡선

## 제4 장 결론

핵연료시험설비는 상용 가압경수로나 중수로 운전 조건과 유사한 고온·고압에서 최대 3개의 연료봉을 장전하여 핵연료의 종합적인 성능을 시험할 수 있도록 설계된 시설이다.

시험핵연료는 원자로의 중성자 조사에 의하여 핵분열이 지속된다. 즉, 시험핵연료의 출력은 원자로 출력 제어에 종속되어 조정된다. 따라서 핵연료시험설비와 하나로 운전은 서로 독립적이지 않고, 밀접하게 관련되어 있다. 이와 같은 특성을 고려하여 하나로 운전과 연계된 핵연료시험설비의 기동 및 정지 운전 절차를 개발하였다.

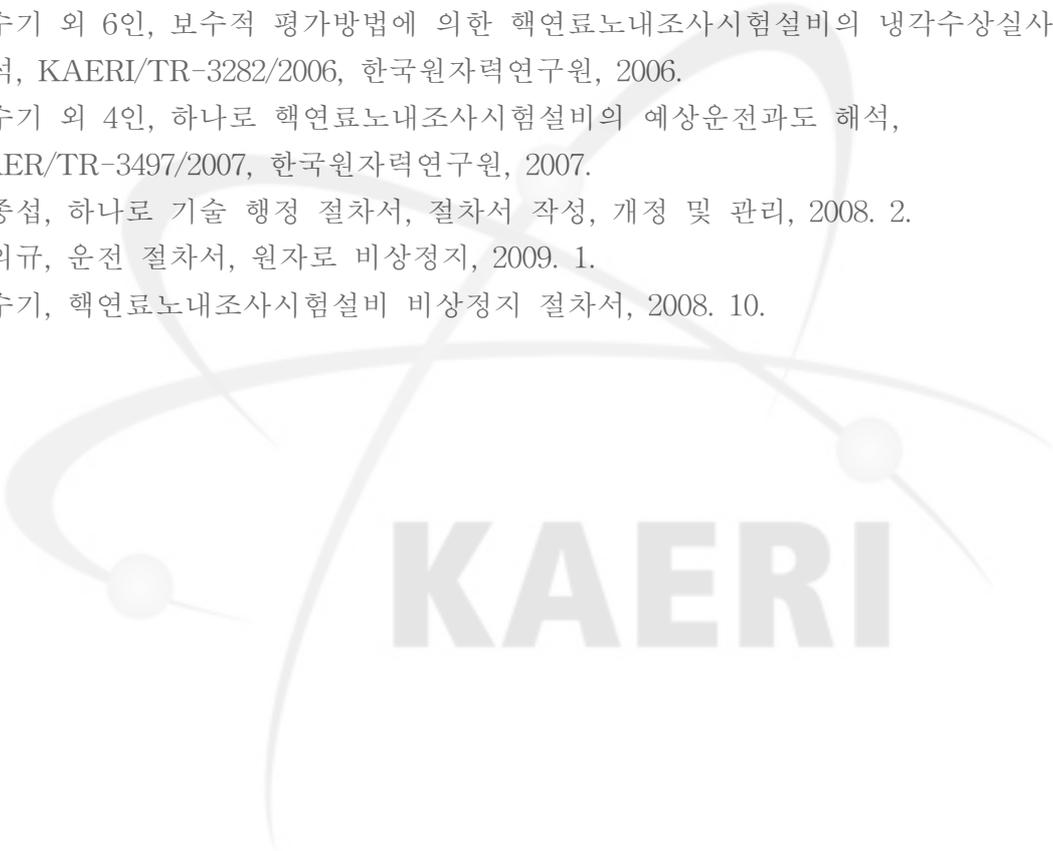
핵연료시험설비의 정상 운전 형태는 루프정지, 저온대기1, 저온대기2, 고온대기, 고온운전으로 나뉜다. 이 운전 형태는 시험핵연료의 출력과 노내시험부 입구에서의 주냉각수 온도에 의하여 구분된다. 핵연료시험설비가 루프정지, 저온대기1, 저온대기2, 고온대기일 때 하나로는 정지 상태이고, 하나로가 출력 운전을 개시함에 따라 핵연료시험설비는 고온대기에서 고온운전으로 전화되며, 시험핵연료에서도 핵분열 열이 발생하게 된다.

핵연료시험설비의 기동정지절차는 초기조건 확인, 기동운전 절차, 정지운전 절차, 기동정지운전 수행 점검 표로 구성되어 있다. 초기조건 확인 단계에서는 핵연료시험설비 기동에 필요한 하나로 시설의 일부 계통과 핵연료시험설비의 각 계통이 기동운전에 적합한 상태인지 확인한다. 기동운전 절차에는 루프정지에서 고온운전까지 주냉각수의 압력과 온도를 올리는 과정이 기술되어 있고, 정지운전 절차에는 압력과 온도를 내리는 과정이 기술되어 있다. 기동정지운전 수행 점검 표는 초기조건 확인과 기동 및 정지 운전의 각 절차를 수행한 기록을 유지하기 위한 것이다.

핵연료시험설비의 기동 및 정지 운전 절차서는 시운전을 통하여 전반적인 유효성이 검증되었다. 다만 주냉각수의 유량 및 가압기 수위의 제어는 자동 운전이 가능하도록 설계 되었으나, 자동 운전 성능이 충분히 입증되지 않아 수동 운전을 전제로 절차를 개발하였다. 향후 자동 운전 성능이 입증되면 자동 운전을 반영하여 개정할 필요가 있다.

## 참고 문헌

1. 하나로사업 종합보고서, KAERI/PR-001/97.
2. 하나로 안전성분석보고서, KAERI/TR-710/96, 1996.
3. 3-Pin 핵연료노내조사시험설비 Design Manual, HAN-FL-E-070-DM-H001, 2005.
4. 3-Pin 핵연료노내조사시험설비 Operation & Maintenance Manual, HAN-FL-E-070-DO-H001, 2005
5. 박수기 외 6인, 보수적 평가방법에 의한 핵연료노내조사시험설비의 냉각수상실사고 해석, KAERI/TR-3282/2006, 한국원자력연구원, 2006.
6. 박수기 외 4인, 하나로 핵연료노내조사시험설비의 예상운전과도 해석, KAER/TR-3497/2007, 한국원자력연구원, 2007.
7. 우종섭, 하나로 기술 행정 절차서, 절차서 작성, 개정 및 관리, 2008. 2.
8. 이의규, 운전 절차서, 원자로 비상정지, 2009. 1.
9. 박수기, 핵연료노내조사시험설비 비상정지 절차서, 2008. 10.



KAERI

붙임 : 핵연료시험설비의 기동 및 정지 절차서



# 핵연료 노내조사시험설비 종합 운전절차서

1. 절차서 종류 : 종합 운전절차서

2. 절차서 제목 : 기동 및 정지 운전

3. 절차서 번호 : HANTAP-05-OD-ROP-OP-60

4. 작성, 검토 및 승인

작성자: 박수기 서명: \_\_\_\_\_ 일 자: 09. 5. 13.

검토자: 박용철 서명: \_\_\_\_\_ 일 자: 09. 6. 1.

승인자: 이기홍 서명: \_\_\_\_\_ 일 자: 09. 6. 1.

5. 절차서 작성 및 개정이력

개정번호	작성자	발행 또는 개정 이유	승인자	승인 일자
0	박수기	최초 발행	이기홍	2008. 2. 1.
1	박수기	전면 개정 (시운전 및 설계 변경 반영)	이기홍	2008. 6. 9.
2	박수기	전면 개정 (시운전 반영)	이기홍	2009. 6. 1.

## 전면 개정 요지

시운전 경험을 반영하여 절차를 전면 개정하였다



# 목 차

1.0	목 적	2
2.0	참 조	2
3.0	주의 사항	3
4.0	초기 조건	4
5.0	절 차	9
5.1	FTL 기동 절차	9
5.2	FTL 정지 절차	19
6.0	붙 임	25

## 1.0 목 적

핵연료시험설비(FTL)를 루프정지(LSD: Loop Shutdown) 상태에서 고온운전(HOP: Hot Operation) 상태까지 기동하고, 정지하는 운전 절차를 기술하고 있다.

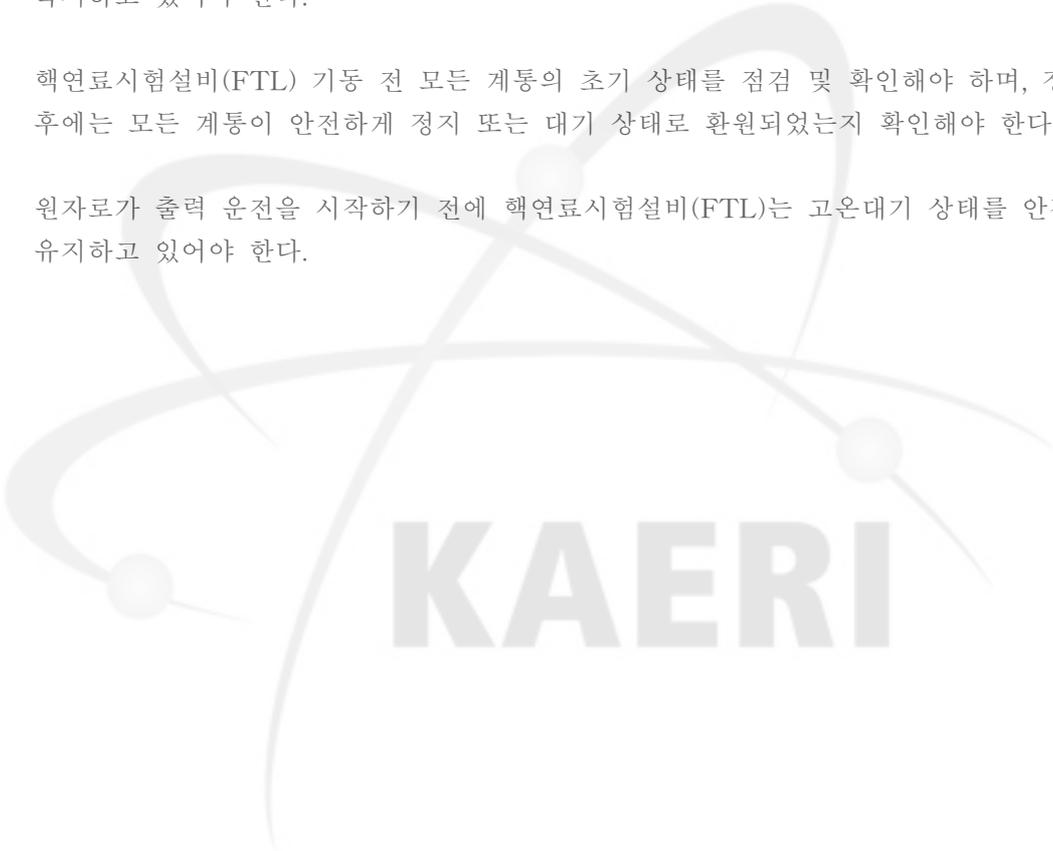
## 2.0 참 조

아래의 참조 자료를 사용할 때에 최신판임을 확인하여야 한다.

- 2.1 하나로 안전성분석보고서 11.7절의 핵연료시험설비 안전성분석보고서
- 2.2 하나로 운영기술지침서의 부록 A. 핵연료시험설비 운영기술지침서
- 2.3 핵연료시험설비(FTL) 운전 및 보수 지침서 (HAN-FL-E-070-DO-H001)
- 2.4 운전 절차서
  - 2.4.1 HANTAP-05-OD-ROP-OP-61 주냉각수계통
  - 2.4.2 HANTAP-05-OD-ROP-OP-62 비상냉각수계통
  - 2.4.3 HANTAP-05-OD-ROP-OP-63 관통부냉각수계통
  - 2.4.4 HANTAP-05-OD-ROP-OP-64 취출·보충 및 정화계통
  - 2.4.5 HANTAP-05-OD-ROP-OP-65 폐기물 저장 및 이송계통
  - 2.4.6 HANTAP-05-OD-ROP-OP-66 중간냉각수계통
  - 2.4.7 HANTAP-05-OD-ROP-OP-67 시료채취계통
  - 2.4.8 HANTAP-05-OD-ROP-OP-68 방사선감시계통
  - 2.4.9 HANTAP-05-OD-ROP-OP-69 계측제어계통
  - 2.4.10 HANTAP-05-OD-ROP-OP-70 전력계통
  - 2.4.11 HANTAP-05-OD-ROP-OP-71 FTL 환기계통
  - 2.4.12 HANTAP-05-OD-ROP-OP-72 가스공급계통
  - 2.4.13 HANTAP-05-OD-ROP-OP-73 압축공기 공급계통
  - 2.4.14 HANTAP-05-OD-ROP-OP-74 IPS 충전가스공급 및 감시계통
  - 2.4.15 HANTAP-05-OD-ROP-OP-75 주냉각수계통 수질관리
  - 2.4.16 HANTAP-05-OD-ROP-OP-76 화학재 준비 및 주입
  - 2.4.17 HANTAP-05-OD-ROP-OP-77 정화계통 여과기 교체
  - 2.4.18 HANTAP-05-OD-ROP-OP-78 이온교환기 레진 교체
  - 2.4.19 HANTAP-05-OD-ROP-OP-79 시험핵연료 시험부 내부조립체 취급
  - 2.4.20 HANTAP-05-OD-ROP-OP-80 노내시험부 교체

### 3.0 주의 사항

- 3.1 핵연료시험설비(FTL)에 PWR형 시험핵연료가 장전된 경우에 이 절차서가 적용된다.
- 3.2 핵연료시험설비 운영기술지침서의 안전한계치와 안전계통의 정지변수 설정치를 이해하고 숙지하여야 한다.
- 3.3 핵연료시험설비(FTL)의 주요 변수(압력, 온도, 유량 등)는 핵연료시험설비 운영기술지침서의 운전제한 조건을 만족하여야 한다.
- 3.4 핵연료시험설비(FTL)에서 비정상 상태가 발생하였을 조치하여야 할 비정상 조치 절차를 숙지하고 있어야 한다.
- 3.5 핵연료시험설비(FTL) 기동 전 모든 계통의 초기 상태를 점검 및 확인해야 하며, 정지 후에는 모든 계통이 안전하게 정지 또는 대기 상태로 환원되었는지 확인해야 한다.
- 3.6 원자료가 출력 운전을 시작하기 전에 핵연료시험설비(FTL)는 고온대기 상태를 안정적으로 유지하고 있어야 한다.



KAERI

## 4.0 초기 조건

### 4.1 일반 사항 점검

아래 사항을 점검하여 붙임 2의 기동전점검표에 기록한다.

#### 4.1.1 시험핵연료 교체 후 FTL 기동

4.1.1.1 시험핵연료 시험부 내부조립체 취급 절차서(ROP-OP-79)에 따라 시험핵연료 장전이 완료되었는지 확인한다.

4.1.1.2 노내시험부 교체 절차서(ROP-OP-80)에 따라 핵연료시험설비의 노내시험부(IPS) 장착 및 수조 내 배관 연결이 완료되었는지 확인한다.

4.1.1.3 노내시험부(IPS)의 단열갭(Interspace) 압력 감시계통이 노내시험부와 연결되었는지 확인한다.

4.1.1.4 다음의 하나로 보조계통이 이용 가능해야 한다.

- 1) 전력계통
- 2) 2차 냉각계통
- 3) 순수 공급계통
- 4) 압축공기 계통
- 5) 공기조화계통(HVAC)

4.1.1.5 다음의 FTL 보조계통이 이용 가능해야 한다.

- 1) 가스 공급계통
- 2) 시료채취계통
- 3) 방사선 감시계통
- 4) IPS 충전가스공급 및 감시계통
- 5) 폐기물저장 및 이송계통

4.1.1.6 하나로 운전을 위한 준비가 완료되어야 한다.

4.1.1.7 작업의뢰서 대장이나 부적합 사항 보고서 대장에서 FTL 운전 에 장애가 될 수 있는 작업에 대한 조치가 완료 되었는지 확인한다.

#### 4.1.2 계획되지 않은 정지 후 FTL 기동

4.1.2.1 작업의뢰서 대장이나 부적합 사항 보고서 대장에서 FTL 운전 에 장애가 될 수 있는 작업에 대한 조치가 완료 되었는지 확인한다.

## 4.2 계통별 점검

### 4.2.1 전력계통 (ROP-OP-70)

#### 4.2.1.1 교류 상용 전원계통 (460V 부하반, 460V 전동제어반, Heater Unit)

- 1) 6.6kV 고압 배전반 KM-531-E-S01이 가압된 상태인지 확인한다(G92.5).
- 2) 460V 부하반 차단기가 투입되어 전원이 정상적으로 공급되는지 확인한다(G237.4).
- 3) 460V 전동제어반 차단기가 투입되어 전원이 정상적으로 공급되는지 확인한다(G239.1/2).
- 4) Heater Unit 차단기가 투입되어 전원이 정상적으로 공급되는지 확인한다.
- 5) 경보계통이 정상적으로 작동되고, 발생된 경보가 없는지 확인한다.

#### 4.2.1.2 교류 무정전 전원계통 (460V 무정전 전원계통, 120V 무정전 분전반)

- 1) 460V 무정전 전원 공급장치(UPS)가 정상적으로 작동하는지 확인한다(G242.1/2).
- 2) 120V 무정전 분전반(551-E-A011, A012, A013)의 모션전압이 120V±10V 인지 확인한다(G240.1/2/3).
- 3) 경보계통이 정상적으로 작동되고, 발생된 경보가 없는지 확인한다(G240.1/2/3 경보 상태 확인).

#### 4.2.1.3 직류 전원계통 (24V 직류 분전반)

- 1) 24V 직류 분전반(552-E-F011, F012, F013)의 모션전압이 21V~ 27.96V 인지 확인한다(G241.1/2/3).
- 2) 경보계통이 정상적으로 동작되고, 발생된 경보가 없는지 확인한다(G241.1/2/3 경보 상태 확인).

### 4.2.2 계측제어계통 (ROP-OP-69)

#### 4.2.2.1 운전원제어반(OWS) 정상 작동 확인

운전원제어반(OWS)에 경보가 없어야 하며, 해제되지 않은 경보가 있을 경우 이로 인하여 FTL 운전이 지장이 없는지 확인한다.

#### 4.2.2.2 FTL 제어실에 설치된 실험데이터 수집계통(DAS)이 정상적으로 작동되는지 확인한다.

#### 4.2.2.3 FTL 제어실에서 FTL 보호반이 정상인지 확인한다.

- 1) 정지변수 표시 창에 비정상 상태 표시[-----]가 없는지 확인한다.
- 2) 파손핵연료감시기에 비정상 상태 표시가 없는지 확인한다.
- 3) 교정/운전 전환스위치가 “OPER”인지 확인한다.
- 4) 하나로 트립스위치가 “NORMAL”인지 확인한다.
- 5) 트립 누름스위치의 램프가 “OFF”인지 확인한다.

#### 4.2.2.4 하나로 제어실의 FTL 안전제어반-1/2의 정상 작동 확인

- 1) 램프 시험을 수행하여 경보창이 정상적으로 작동하는지 확인한다.
- 2) 발생한 경보가 있는 경우 정상적인 경보인지 확인한다.

4.2.2.5 하나로 제어실의 안전계기반이 정상인지 확인한다.

- 1) 안전계기반의 전원이 “ON”인지 확인한다..
- 2) 정지변수 표시 창에 비정상 상태 표시[-----]가 없는지 확인한다.

4.2.2.6 FTL 제어실에 설치된 주가열기와 가압기 운전용 현장제어반에 고장 경보가 없는지 확인하고, Remote 램프가 “ON” 되어있는지 확인한다.

4.2.3 방사선 감시계통 (ROP-OP-68)

하나로 제어실의 통합 RMS에서 FTL 관련 방사선 감시기의 상태를 확인한다.

감시기 번호	상태	감시기 번호	상태
RE/RU-041	녹색등	RE/RU-042	검정색등
RE/RU-045	녹색등	RE/RU-043	녹색등
RE/RU-046	녹색등	RE/RU-047	녹색등

4.2.4 IPS 충전가스 공급 및 감시계통 (ROP-OP-74)

4.2.4.1 IPS 단열캡 가스 압력(681-J-PT011A/B/C)이  $0.23 \pm 0.0625$  MPa,g인지 확인한다.

4.2.4.2 IPS 오링 사이의 공기 압력(360-J-PT042/043)이  $0.1 \pm 0.0625$  MPa,g인지 확인한다 (G234.1/2).

4.2.4.3 수소 내 배관의 단열 커버 공기 압력(360-J-PT044/045)이  $0.2 \pm 0.0015$  MPa,g인지 확인한다(G234.3/4).

4.2.5 압축공기 공급계통 (ROP-OP-73)

4.2.5.1 제어실 보조계통 제어반(661-JP-10)에서 압축공기계통이 작동 중인지 확인한다(750-HS001).

4.2.5.2 제2 기기실에서 하나로 압축공기 계통의 수동밸브(KM-750-V026)가 열려 있는지 확인한다.

4.2.5.3 압축공기 압력(751-J-PT041)이 0.7 MPa,g 이상인지 확인한다(G252.1).

4.2.6 가스 공급계통 (ROP-OP-72)

4.2.6.1 제2 기기실에서 수소가스 압력조절밸브의 설정압력이 0.5 MPa,g인지 확인한다.

4.2.6.2 제2기기실에서 저압 질소가스 압력조절밸브의 설정압력이 0.5 MPa,g인지 확인한다.

4.2.6.3 제2기기실에서 고압 질소가스 압력조절기의 설정압력이 16.5 MPa,g인지 확인한다.

4.2.7 시료채취 계통 (ROP-OP-67)

4.2.7.1 시료채취계통이 정지된 상태에 있는지 확인한다.

4.2.7.2 밸브들이 시료채취계통 운전 절차서의 “밸브 배열표”에 따라 배열되어 있는지 확인한다.

4.2.8 중간냉각수 계통 (ROP-OP-66)

4.2.8.1 계통운전절차에 따라 계통의 충수 및 배기가 완료 되었는지 확인한다.

4.2.8.2 밸브들이 계통운전절차서의 “밸브 배열표”에 따라 배열되어 있는지 확인한다.

4.2.8.3 제2기기실에서 하나로 순수 공급계통의 수동밸브(KM-722-V017)가 열려 있는지 확인한다.

4.2.9 관통부냉각수 계통 (ROP-OP-63)

4.2.9.1 밸브들이 계통운전절차서의 “밸브 배열표”에 따라 배열되어 있는지 확인한다.

4.2.10 FTL 환기계통 (ROP-OP-71)

4.2.10.1 하나로 환기계통(731-F05/F06, 731-F03/F04)이 가동 중인지 확인한다(G66.7, G66.5/6).

4.2.10.2 FTL 제1기기실 격리댐퍼(731-P-AOV041/042/043)가 열려있는지 확인한다(G235.1/2/3).

4.2.10.3 FTL DC & UPS Room에 설치된 냉방기(731-M-C001)가 정상적으로 작동되고 있는지 확인한다.

4.2.11 계통 충수 및 질소 가압 상태 확인

4.2.11.1 주냉각수계통의 충수를 확인하고, 필요시 “ROP-OP-61, 주냉각수계통” 운전 절차서 5.0절에 따라 주냉각수계통을 충수한다.

4.2.11.2 운전할 주냉각수 펌프(210-M-P002A/B) 선정 및 밸브 배열

### 주의 사항

전 주기 운전을 참고하여 운전 주기별로 주냉각수 펌프 A/B를 교대로 운전한다.

- 1) 운전할 주냉각수 펌프(210-M-P002A/B)의 격리밸브(210-P-V002/V004)가 열려 있는지 제1 기기실에서 확인한다.
- 2) 대기할 주냉각수 펌프(210-M-P002A/B)의 격리밸브(210-P-V002/V004)를 제1 기기실에서 닫는다.
- 3) 운전할 주냉각수 펌프(210-M-P002A/B)의 냉각수 주입 격리밸브(230-P-061/062)가 열려 있는지 제1 기기실에서 확인한다.
- 4) 대기할 주냉각수 펌프(210-M-P002A/B)의 냉각수 주입 격리밸브(230-P-061/062)를 제1 기기실에서 닫는다.

4.2.11.3 취출·보충 및 정화계통의 충수를 확인하고, 필요시 "ROP-OP-61, 주냉각수계통" 운전 절차서 5.0절에 따라 취출·보충 및 정화계통을 충수한다.

4.2.11.4 폐기물저장 탱크의 충수를 확인하고, 필요시 "ROP-OP-65, 폐기물 저장 및 이송계통" 운전 절차서 5.2절에 따라 충수한다.

4.2.11.5 고압주입탱크(M-T001A/B)의 충수를 확인하고, 필요시 "ROP-OP-62, 비상냉각수계통" 운전 절차서 5.0절에 따라 고압주입탱크(M-T001A/B)를 충수한다.

4.2.11.6 고압주입탱크(M-T001A/B)의 질소 압력을 확인하고, 필요시 "ROP-OP-62, 비상냉각수계통" 운전 절차서 5.4.1절에 따라 질소를 충전한다.

4.2.12 하나로 순수공급계통 수위 확인

4.2.12.1 하나로 순수공급계통 수위가 정상 수위(0.3~1.9m)를 유지하고 있는지 확인한다.

## 5.0 절차

### 5.1 FTL 기동 절차

#### 5.1.1 루프정지(LSD)

##### 5.1.1.1 폐기물저장탱크(250-M-T001) 수위 및 압력 확인

- 1) 폐기물저장탱크의 수위(250-J-LT023)가  $360 \pm 30\text{mm}$  (운전범위 330~450mm)인지 확인한다(G226.4).
- 2) 폐기물저장탱크 압력(250-J-PT021)이 0.02 MPa,g 이하인지 확인한다(G226.2).

##### 5.1.1.2 주냉각수계통 충수 및 압력 확인

- 1) 가압기(210-M-T004) 수위(210-J-LT055/056)가  $940 \pm 50\text{mm}$ 인지 확인한다(G206.6/7). 단 화학재 주입이 필요한 경우, 주입량을 고려하여 수위를 800 mm까지 낮춘다.
- 2) 가압기 압력(210-J-PT057/060)이 0.2~0.5 MPa,g인지 확인한다(G207.1/3).

##### 5.1.1.3 취출·보충·정화계통 충수 및 압력 확인

- 1) 탈기탱크(240-M-T006)의 수위(240-J-LT061)가  $920 \pm 50\text{ mm}$  (운전범위 800~1450 mm)인지 확인한다(G220.2). 화학재 주입이 필요한 경우, 주입량을 고려하여 수위를 750 mm까지 낮춘다.
- 2) 탈기탱크 압력(240-J-PT066)이 0.15~0.25 MPa,g인지 확인한다(G220.4).

##### 5.1.1.4 고압주입탱크(220-M-T001A/B) 수위 및 압력 확인

- 1) 고압주입탱크의 수위(220-J-LT022/032)가 W.L.+2700mm (운전범위 W.L.+2630~2720mm)인지 확인한다(G208.1/G209.4).
- 2) 고압주입탱크의 압력(220-J-PT023/033)이 16.5 MPa,g (운전범위=16.2~17.0 MPa,g)인지 확인한다(G208.2/G209.5).

##### 5.1.1.5 가압기 살수 밸브 개도 확인

- 1) 가압기살수유량자동조절밸브(210-J-PV041)가 닫혀 있는지 가압기압력제어판넬(FTL 제어실)에서 확인한다.
- 2) 가압기연속살수밸브(210-P-V005)가 약 1/4 바퀴 열려 있는지 확인한다.

##### 5.1.1.6 루프정지(LSD) 유지 확인

붙임 3의 3.1.1에 따라 루프정지 상태를 확인한다.

## 5.1.2 루프정지(LSD)에서 저온대기1(CSB1)로 전환

### 5.1.2.1 HANARO TRIP BYPASS "NORMAL" 확인

- 1) FTL 제어실의 FTL 보호반(PROTECTION PANEL-1/2/3)에서 HANARO TRIP BYPASS 스위치를 "NORMAL"로 놓는다.
- 2) 하나로 제어실의 FTL 안전제어반(SAFETY CONTROL PANEL-1/2)에서 WN002/005 /008 경보가 해제되었는지 확인한다.

### 5.1.2.2 MANUAL FTL TRAIN-1/2 ISOLATION "BYPASS" 확인

- 1) 하나로 제어실의 FTL 안전제어반(SAFETY CONTROL PANEL-1/2)에서 MANUAL FTL ISOLATION BYPASS 스위치를 "BYPASS"로 놓는다.
- 2) 하나로 제어실의 FTL 안전제어반에서 WN013/023 경보가 발생되었는지 확인한다.

### 5.1.2.3 하나로 2차 냉각수펌프 기동

- 1) 중간냉각수온도제어밸브(230-J-TV041)를 50% 개방한다(G212.2).
- 2) 하나로 2차 냉각수펌프를 기동하고, 중간냉각수 열교환기의 하나로 2차 냉각수유량(230-J-FT055)이 4.8 kg/s 이상인지 확인한다(G212.8).
- 3) 중간냉각수 온도(230-J-TE041)가 40℃를 넘지 않도록 중간냉각수온도제어밸브(230-J-TV041)를 수시로 조절한다(G212.3). 단, 중간냉각수 온도(230-J-TE041)가 40℃를 넘지 않으면 하나로 2차 냉각수펌프를 정지해도 된다.

### 5.1.2.4 FTL 중간냉각수펌프 기동

- 1) 주냉각수온도제어밸브(230-J-TV042)를 40% 연다(G212.1).  
주냉각수 온도제어를 위하여 이 밸브의 개도를 35~100% 사이에서 수시로 조절한다.
- 2) 중간냉각수 펌프 1 대를 기동하고, 나머지 1 대는 "AUTO" 모드에 놓는다(G211.1/2).
- 3) 중간냉각수펌프의 출구유량(230-J-FT056)이 1.7 kg/s 이상인지 확인한다(G211.4).

### 5.1.2.5 중간냉각수 방사선감시기(RU042)펌프 기동

- 1) 방사선감시기 시료채취 밸브(678-J-SOV041)가 열려 있는지 확인한다(G254.1).
- 2) "ROP-OP-68, 방사선감시계통" 절차서 5.8절에 따라 중간냉각수 방사선감시기펌프를 기동한다.

### 5.1.2.6 FTL 기기실 방사선감시기 작동 확인

- 1) 제1 기기실의 주냉각수 압력경계 누설감시기(RU043)가 작동하는지 확인한다.
- 2) 제2 기기실의 공기 중 방사능농도감시기(RU047)가 작동하는지 확인한다.

### 5.1.2.7 주냉각수펌프(210-M-P002A/B) 기동

- 1) 가압기의 압력이 0.2 MPa,g 이상으로 유지되고 있는지 확인한다(G207.1/3).
- 2) 우회유량제어밸브(210-J-FV001)가 닫혀 있는지 확인한다(G201.3).
- 3) 주유량제어밸브(210-J-FV002)가 닫혀 있는지 확인한다(G201.4).

- 4) 노내시험부 격리밸브(210-J-AOV003/004/005/006)가 열려 있는지 확인한다(G204.3/4, G205.4/5, 하나로 제어실 FTL 안전제어반).
- 5) 주냉각기유량조절밸브(210-J-FV031)를 10% 연다(G202.3).
- 6) 주냉각기우회밸브(210-P-V032)를 완전히 연다(제1 기기실).

#### 주의 사항

- (1) 주냉각수펌프의 냉각기에 중간냉각수가 공급되는지 먼저 확인하여야 한다.
- (2) 4.2.11.2절에서 선정한 운전 가능한 주냉각수펌프를 확인한다.

- 7) 선정된 주냉각수펌프 1 대를 기동한다(G201.5/6).
- 8) 주냉각수펌프의 출구 압력(210-J-PT041)이 1.4 MPa,g 이상인지 확인한 후, 즉시 우회유량제어밸브(210-J-FV001)를 10% 연다(G201.1/3).
- 9) 주유량제어밸브(210-J-FV002)를 50% 연다(G201.4).
- 10) 주유량(210-J-FT022)이  $1.65 \pm 0.1$  kg/s가 되도록 주유량제어밸브(210-J-FV002)를 1%씩 조절한다(G204.5, G201.4).

#### 5.1.2.8 가압기(210-M-T004) 비응축가스 제거

#### 주의 사항

- (1) 가압기에 비응축가스가 있는 경우에 이 절차를 수행한다.
- (2) 가압기 압력을 0.2 MPa,g 이상, 0.6 MPa,g 이하로 유지한다.
- (3) 주냉각수계통을 취출·보충·정화계통과 격리한 후 수행한다.  
(240-P-V042 밸브, 정화유량 제어밸브(240-J-FV041), 정화유량 제어밸브의 우회밸브(240-P-V601) 닫힘 확인)
- (4) 배관에 비응축가스가 없다고 판단되는 경우 주냉각수펌프를 정지하고, 수행해도 된다.

- 1) 가압기 압력자동제어 설정값을 0.4 MPa,g로 설정한다(G207.4).
- 2) 210-P-V035 밸브가 닫혀 있는지 확인하고, 210-P-V034 밸브가 열려 있는지 확인한다.
- 3) 가압기 압력이 0.4 MPa,g에 도달하면 가압기배기밸브(210-J-SOV-042)를 연다(G206.1/2).
- 4) 가압기 온도(210-J-TE058/059)와 압력(210-J-PT057/060)을 감시하며, 비응축가스를 충분히 배출한다(G207.2/5, G207.1/3).
- 5) 가압기 배기밸브(210-J-SOV-042)를 닫는다(G206.1/2).

#### 5.1.2.9 취출·보충·정화계통 기동

- 1) 가압기 가열기를 이용하여 가압기의 압력을 약 0.5 MPa,g로 유지한다(G207.1/3).
- 2) 정화복귀재순환유량제어밸브(240-J-LV042)를 닫고, 240-P-V611 밸브를 100% 연 후 정화복귀펌프(240-M-P010)를 기동한다(G217.5, G216.8).
- 3) 정화복귀 유량(240-J-FT075)이 0.03~0.1 kg/sec가 됨을 확인한다(G218.1).
- 4) 정화유량제어밸브(240-J-FV041)를 닫는다(G217.5).

- 5) 정화유량(240-J-FT041, G215.1)이 약 0.03~0.06 kg/sec가 되도록 제1 기기실에서 정화유량 제어밸브의 우회밸브(240-P-V601)를 약 1/4바퀴 연다.
- 6) 정화복귀재순환유량제어밸브(240-J-LV042)를 조절하여 가압기 수위를 조절한다(G217.5).

#### 5.1.2.10 저온대기1(CSB1) 유지 확인

붙임 3의 3.1.2에 따라 저온대기1 상태가 유지되는지 확인한다.



### 5.1.3 저온대기1(CSB1)에서 저온대기2(CSB2)로 전환

#### 5.1.3.1 전기전도도 및 이온 농도 확인

- 1) 전기전도도(240-J-AE049)가 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  이하인지 확인한다.
- 2) "ROP-OP-67, 시료채취계통" 운전 절차서에 따라 주냉각수 화학성분 분석시험을 수행하여 황산염이 0.15 ppm 이하이고, 염소 이온과 불소 이온의 합이 0.2 ppm인지 확인한다.

#### 5.1.3.2 하이드라진( $\text{N}_2\text{H}_4$ ), 수산화리튬( $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), 붕산 주입

- 1) 이온교환기(240-M-H004A/B)를 우회하도록 이온교환기 입구격리밸브 (240-P-V605/607)와 출구격리밸브(240-P-V021/023)를 닫고, 240-P-V027(또는 V028) 밸브를 연다.
- 2) "ROP-OP-76, 화학재 준비 및 주입" 절차서에 따라 하이드라진, 수산화리튬, 붕산을 주입한다.

#### 5.1.3.3 관통부냉각수 펌프 기동

- 1) 관통부냉각수펌프(280-M-P001A/B) 한 대를 기동하고, 나머지 한 대는 자동대기 위치에 놓는다(G232.2, F233.2).
- 2) 관통부냉각수펌프의 출구 압력(280-J-PT042/043)이 0.08 MPa,g 이상인지 확인한다(G232.1, G233.1).

#### 5.1.3.4 용존 산소 제거 운전

주가열기의 주냉각수 온도 자동제어 설정값을 85°C로 설정하고, 용존 산소를 제거한다 (G203.5).

#### 5.1.3.5 주냉각수 수질 확인

- 1) 주냉각수 취출수의 용존산소(240-J-AE047) 농도가 0.1 ppm 이하인지 확인한다(G217.1).
- 2) 주냉각수 취출수의 pH(240-J-AE048)가 5.5~8.0 사이인지 확인한다(G217.2).
- 3) 주냉각수 취출수의 전기전도도(240-J-AE049)가 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  이하인지 확인한다(G217.3).
- 4) "ROP-OP-67, 시료채취계통" 운전 절차서에 따라 주냉각수 화학성분 분석시험을 수행하여 요구되는 붕산 농도를 확인한다.
- 5) 수질 조건이 불만족한 경우 "ROP-OP-76, 화학재 준비 및 주입" 운전 절차서에 따라 화학재를 추가로 주입하고, 충분히 운전한 후 수질 상태를 재확인 한다.

#### 5.1.3.6 저온대기2(CSB2) 유지 확인

붙임 3의 3.1.3에 따라 저온대기2 상태가 유지되는지 확인한다.

### 5.1.4 저온대기2(CSB2)에서 고온대기(HSB)로 전환

#### 5.1.4.1 가압기 수위 조절

정화유량제어밸브(240-J-FV041)와 정화복귀펌프를 이용하여 가압기 수위를 800 mm로 조절한다.

#### 5.1.4.2 제1 기기실 방사선차폐 덮개 닫기 전 밸브 정렬 확인

- 1) 주냉각기우회밸브(210-P-V032)가 완전히 열려 있는지 확인한다.
- 2) 240-P-V601/V602 밸브가 닫혀 있는지 확인한다.

#### 주의 사항

정화유량 제어밸브(240-J-FV041)를 간헐적으로 개방하고, 정화복귀펌프를 간헐적으로 ON/OFF하여 가압기 수위를 정상운전 범위(800~1100mm)로 조절한다.

- 3) 210-P-V035 밸브가 닫혀 있는지 확인하고, 210-P-V034 밸브가 열려 있는지 확인한다.
- 4) 가압기 연속살수밸브(210-P-V005)가 1/4 바퀴 열려 있는지 확인한다.

#### 5.1.4.3 제1기기실 방사선차폐 덮개를 닫는다.

#### 5.1.4.4 가압기 가압 및 주냉각수 가열

#### 주의 사항

- (1) 압력-온도 곡선의 운전 범위 내에서 가압기 압력(210-J-PT057/060)과 주냉각수 온도(210-J-TE044)를 올린다.
- (2) 가압기 온도(210-J-TE059)와 주냉각수(210-J-TE-45)의 온도 차이가 144℃ 이상 발생하지 않도록 한다.
- (3) 주냉각수 온도(210-J-TE044)를 올릴 때 가열율을 45℃/hr 이하로 유지한다.
- (4) 열손실이 주가열기 용량보다 커서 주냉각수 온도 상승이 어려운 경우 주냉각기유량조절밸브(210-J-FV031)의 솔레노이드 밸브를 닫아 주냉각기로의 냉각수 흐름을 완전히 차단한다.
- (5) 가압기 압력(210-J-PT057/060)은 최대 15.2 MPa,g를 넘지 않도록 한다.
- (6) 가압기 온도(210-J-TE059)가 Max. 344℃를 넘지 않도록 한다.
- (7) 정화유량제어밸브(240-J-FV041)를 간헐적으로 열고, 정화복귀펌프를 간헐적으로 ON/OFF하여 가압기 수위를 정상운전 범위(800~1100mm)로 조절한다.
- (8) 주냉각수 주유량(210-J-FT022)이 운전 범위(1.65 ± 0.1 kg/s) 내에 유지되도록 주유량제어밸브(210-J-FV002)를 1%씩 조절한다.

- 1) 가압기 압력(210-J-PT057/060)이 0.5 ± 0.05 MPa,g인지 확인한다(G207.1/3).
- 2) 주냉각수 온도(210-J-TE044)가 85 ± 3 ℃인지 확인한다(G203.6).
- 3) 가압기 압력 자동제어(210-M-J005) 설정값과 주냉각수 온도 자동제어(210-M-J003) 설정값을 불임 4의 압력-온도 곡선을 따라 단계적으로 설정하고, 가압기 압력(210-J-PT057/060)과 주냉각수 온도(210-J-TE044)를 감시한다.

- 4) 가압기 수위(210-J-LT055/056), 중간냉각수 온도(240-J-TE041/042/043/044), 관통부냉각수 온도(280-J-TE041), 제1기기실 온도(731-J-TE043) 온도를 수시로 감시한다.
- 5) 가압기 압력(210-J-PT057/060)이  $14.7 \pm 0.05$  MPa,g인지 확인한다(G207.1/3).
- 6) 주냉각수 온도(210-J-TE044)가  $280 \pm 3$  °C인지 확인한다(G203.6).

#### 5.1.4.5 이온교환기 운전

제2 기기실에서 이온교환기(240-M-H004A/B) 입구 밸브와 출구 밸브를 열고, V027 또는 V028 밸브를 닫는다.

#### 5.1.4.6 취출·보충·정화계통 연속 운전

##### 주의 사항

- (1) 가압기 수위를 자동으로 제어하기 위해서는 정화복귀재순환유량 제어밸브(240-J-LV042)를 자동 모드로 설정하고, 가압기 수위를 입력한다.
- (2) 정화 유량을 일정하게 유지하기 위해서는 정화유량제어밸브(240-J-FV041)를 자동 모드로 설정하고, 정화 유량을 입력한다.
- (3) 정화유량제어밸브(240-J-FV041), 정화복귀재순환유량제어밸브(240-J-LV042), 탈기탱크 수위제어밸브(240-J-LV043)를 수동 모드로 운전하면 가압기 고고 수위, 저저 수위, 탈기탱크 고고 수위와 연동된 기능이 작동되지 않는다.

- 1) 탈기탱크 수위제어밸브(240-J-LV043)가 수동운전 모드인지 확인한다(G220.1).
- 2) 정화유량이 약 0.03~0.05 kg/s가 되도록 정화유량제어밸브(240-J-FV041)를 수동 모드에서 조절한다(G217.5).
- 3) 정화복귀재순환유량제어밸브(240-J-LV042)를 조절하여 가압기 수위를 정상 운전 범위(800~1100 mm)로 유지한다(G216.7).  
단, 정화복귀 유량(240-J-FT075)과 정화유량(240-J-FT041)의 균형이 맞지 않아 가압기 수위제어가 불가능한 경우, 제2기기실에서 240-P-V611 밸브를 조절하여 유량 균형을 맞춘다.

#### 5.1.4.7 취출수의 용존 산소 측정 및 탈기탱크 수소가스 주입

- 1) 취출수의 용존산소 농도(240-J-AE047)가 0.1 ppm 이상인지 확인한다(G217.1).
- 2) 용존산소 농도가 0.1 ppm 이상이면 시료채취계통(ROP-OP-67) 5.3절을 수행한다.
- 3) 용존산소 농도가 0.1 ppm 이상이면 용존 산소를 제거하기 위하여, "ROP-OP-64, 취출·보충 및 정화계통" 운전 절차서 5.6.1절에 따라 탈기탱크에 수소가스를 주입한다. 단, 필요시 저온대기1 상태로 전환한 후 5.1.3.1~5.1.3.4 운전을 다시 수행하고 수소 가스를 주입하지 않을 수 있다.

#### 5.1.4.8 MANUAL FTL TRAIN-1/2 ISOLATION "BYPASS" 해제

**주의 사항**

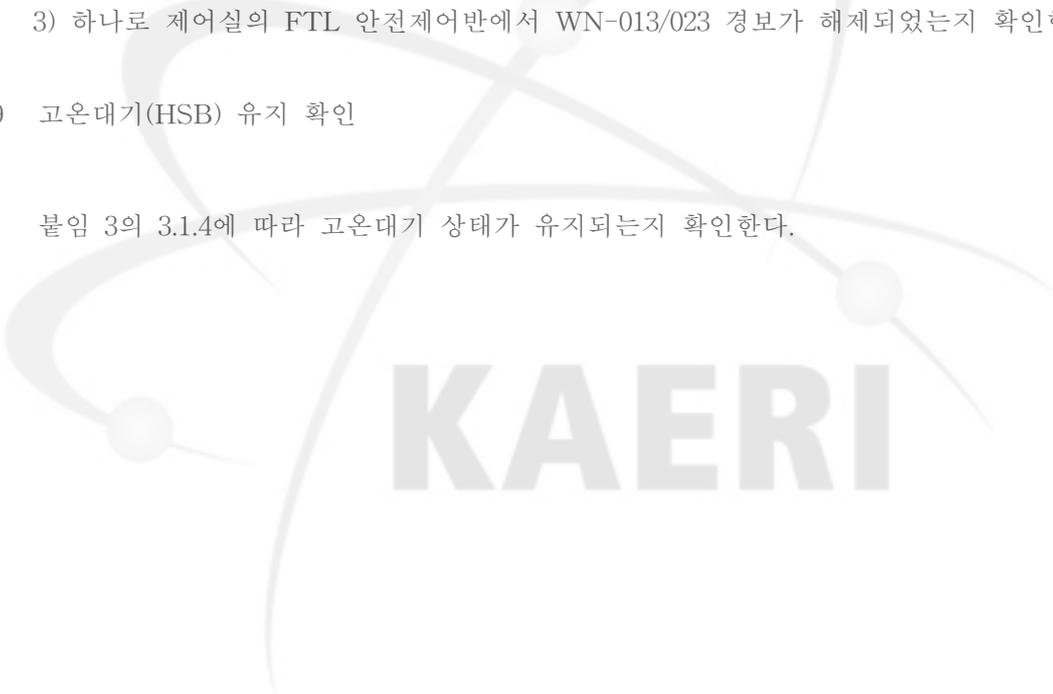
고압주입탱크 및 폐기물저장탱크의 압력과 수위가 정상운전 범위인지 재확인한다.

- (1) 고압주입탱크 수위(W.L.+2700mm; 운전범위 W.L.+2630~2720mm), 220-J-LT022/032
- (2) 고압주입탱크 압력(16.5 MPa,g; 운전범위=16.2~17.2 MPa,g), 220-J-PT023/033
- (3) 폐기물저장탱크 수위(W.L.+360mm; 운전범위 W.L.+330~450mm),  
250-J-LT023(G226.4)
- (4) 폐기물저장탱크 압력(0.04 MPa,g 이하), 250-J-PT021

- 1) FTL 정지변수 채널의 각 값들이 TRIP 설정치를 벗어나지 않음을 “붙임. 1”에 따라 확인한다.
- 2) 하나로 제어실의 FTL 안전제어반(SAFETY CONTROL PANEL-1/2)에서 MANUAL FTL ISOLATION BYPASS 스위치를 “NORMAL”로 놓는다.
- 3) 하나로 제어실의 FTL 안전제어반에서 WN-013/023 경보가 해제되었는지 확인한다.

**5.1.4.9 고온대기(HSB) 유지 확인**

붙임 3의 3.1.4에 따라 고온대기 상태가 유지되는지 확인한다.

The logo for KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute) is centered on the page. It features the word "KAERI" in a bold, sans-serif font. Above the text is a stylized graphic consisting of several curved lines and dots, resembling a molecular structure or a network diagram.

### 5.1.5 고온대기(HSB)에서 고온운전(HOP)으로 전환

**하나로 운전 (출력 상승)**  
원자로 기동 및 정지 절차서(ROP-OP-01)

#### 5.1.5.1 주냉각수 온도 자동제어 설정값 변경

- 1) 주냉각수 자동온도제어(210-M-J003) 설정값을 300℃로 설정한다(G203.5).
- 2) 주냉각수 온도(210-J-TE044)가 300±3℃로 유지됨을 확인한다(G203.6).

#### 5.1.5.2 FTL 고온운전(HOP) 유지 확인

붙임 3의 3.1.4에 따라 고온운전 상태가 유지되는지 확인한다.

KAERI

## 5.2 FTL 정지 절차

### 5.2.1 고온운전(HOP)에서 고온대기(HSB)로 전환

**하나로 운전 정지**  
원자로 기동 및 정지 절차서(ROP-OP-01)

#### 5.2.1.1 주냉각수 온도 자동제어 설정값 변경

- 1) 주냉각수 자동온도제어(210-M-J003) 설정값을 280℃로 설정한다(G203.5).
- 2) 주냉각수 온도(210-J-TE044) 280 ± 3℃로 유지됨을 확인한다(G203.6).

#### 5.2.1.2 MANUAL FTL TRAIN-1/2 ISOLATION "BYPASS" 설정

- 1) 하나로 제어실의 FTL 안전제어반(SAFETY CONTROL PANEL-1/2)에서 MANUAL FTL ISOLATION BYPASS 스위치를 "BYPASS"로 놓는다.
- 2) 하나로 제어실의 FTL 안전제어반에서 WN-013/023 경보가 발생되었는지 확인한다.

#### 5.2.1.3 고온대기(HSB) 유지 확인

붙임 3의 3.2.1에 따라 고온대기 상태가 유지되는지 확인한다.

## 5.2.2 고온대기(HSB)에서 저온대기2(CSB2)로 전환

### 5.2.2.1 취출·보충·정화계통 연속 운전 종료

- 1) 정화복귀재순환유량제어밸브(240-J-LV042)를 수동 모드에서 조절하여 가압기 수위를 1000 mm로 조절한다(G217.5).
- 2) 정화유량제어밸브(240-J-FV041)를 닫고, 정화복귀펌프를 정지시킨다(G217.5, G216.8).
- 3) 정화복귀재순환유량제어밸브(240-J-LV042)를 닫는다(G216.7).

### 5.2.2.2 주냉각수 냉각 및 가압기 감압

#### 주의 사항

- (1) 압력-온도 곡선의 운전 범위 내에서 가압기 압력(210-J-PT057/060)과 주냉각수 온도(210-J-TE044)를 내린다.
- (2) 가압기 온도(210-J-TE059)와 주냉각수(210-J-TE-45) 온도 차이가 144℃ 이상 발생하지 않도록 한다.
- (3) 주냉각수의 온도(210-J-TE044)를 내릴 때 냉각률을 45℃/hr 이하로 유지한다.
- (4) 주냉각수의 냉각률이 작은 경우 주냉각수 온도제어밸브(230-J-TV042)와 주냉각기 유량조절밸브(210-J-FV031)를 점점 개방하여 냉각률을 증가시킨다. 단 주냉각기 유량조절밸브의 솔레노이드 밸브가 “Close”인 경우 밸브 개도를 0%로 설정하고 솔레노이드 밸브만 “Open”하여 30분 이상 운전한 후 필요에 따라 밸브 개도를 조금씩 증가시켜 냉각률을 늘린다.
- (5) 정화유량 제어밸브(240-J-FV041)를 간헐적으로 개방하고, 정화복귀펌프를 간헐적으로 ON/OFF하여 가압기 수위를 정상운전 범위(800~1100mm)로 조절한다.
- (6) 주냉각수 주유량(210-J-FT022)이 운전 범위( $1.65 \pm 0.1$  kg/s) 내에 유지되도록 주유량 조절밸브(210-J-FV002)를 1%씩 조절한다.

- 1) 가압기 압력(210-J-PT057/060)이  $14.7 \pm 0.05$  MPa,g인지 확인한다(G207.1/3).
- 2) 주냉각수 온도(210-J-TE044)가  $280 \pm 3$  ℃인지 확인한다(G203.6).
- 3) 가압기 압력 자동제어(210-M-J005) 설정값과 주냉각수 온도 자동제어(210-M-J003) 설정값을 불임 4의 가압·가온 곡선을 따라 단계적으로 설정하고, 가압기 압력(210-J-PT057/060)과 주냉각수 온도(210-J-TE044)를 감시한다.
- 4) 가압기 수위(210-J-LT055/056), 중간냉각수 온도(240-J-TE041/042/043/044), 관통부냉각수 온도(280-J-TE041), 제1기기실 온도(731-J-TE043) 온도를 수시로 감시한다.
- 5) 가압기 압력(210-J-PT057/060)이  $0.5 \pm 0.05$  MPa,g인지 확인한다(G207.1/3).
- 6) 주냉각수 온도(210-J-TE044)가  $85 \pm 3$  ℃인지 확인한다(G203.6).

### 5.2.2.3 저온대기2(CSB2) 유지 확인

불임 3의 3.2.2에 따라 저온대기2 상태가 유지되는지 확인한다.

### 5.2.3 저온대기2(CSB2)에서 저온대기1(CSB1)로 전환

#### 5.2.3.1 주냉각수 냉각

- 1) 가압기 압력(210-J-PT057/060)이  $0.5 \pm 0.05$  MPa,g인지 확인한다(G207.1/3).
- 2) 주냉각수 온도(210-J-TE044)가  $85 \pm 3$  °C인지 확인한다(G203.6).
- 3) 가압기 자동압력제어(210-M-J005) 설정값을 0.5 MPa,g로 설정한다(G207.4).
- 4) 주냉각수 자동온도제어(210-M-J003) 설정값을 50°C로 설정한다(G203.5).
- 5) 가압기 압력(210-J-PT057/060)이  $0.5 \pm 0.05$  MPa,g이고, 주냉각수 온도(210-J-TE044)가  $50 \pm 3$  °C이하인지 확인한다(G203.6).

#### 5.2.3.2 주가열기 운전 정지

- 1) 주가열기(210-M-J003)를 정지시킨다(G203.5).
- 2) 주가열기(210-M-J003)의 현장제어반(210-E-P001)에서 전원 키(ON-OFF)를 "OFF" 상태로 전환한다.

#### 5.2.3.3 관통부냉각수펌프 운전 정지

- 1) 자동대기 상태인 관통부냉각수펌프(280-M-P001A/B) 한 대를 "MANUAL STOP"으로 전환한다(G232.2, G233.2).
- 2) 운전 중인 관통부냉각수펌프(280-M-P001A/B) 한 대를 "MANUAL STOP"으로 정지시킨다(G232.2, G233.2).

#### 5.2.3.4 주냉각수의 정화 운전이 필요한 경우 아래의 절차를 수행한다.

- 1) 제1 기기실의 방사선량이 작업 가능한 수준인지 확인한 후 방사선차폐 덮개를 연다.
- 2) 정화복귀재순환유량제어밸브(240-J-LV042)를 열고, 정화복귀펌프(240-M-P010)를 기동한다(G217.5, G216.8).
- 3) 정화복귀 유량(240-J-FT075)이 0.03~0.1 kg/sec가 됨을 확인한다(G218.1).
- 4) 정화유량(240-J-FT041, G215.1)이 0.03~0.06 kg/sec가 되도록 제1 기기실에서 정화유량 제어밸브의 우회밸브(240-P-V601)를 약 1/4 바퀴 연다.
- 5) 정화복귀재순환유량제어밸브(240-J-LV042)를 조절하여 가압기 수위를 조절한다(G217.5). 필요시 240-P-V611 밸브의 개도를 조절한다.

#### 5.2.3.5 저온대기1 유지 확인

붙임 3의 3.2.3에 따라 저온대기1 상태가 유지되는지 확인한다.

## 5.2.4 저온대기1(CSB1)에서 루프정지(LSD)로 전환

### 5.2.4.1 가압기(210-M-T004) 수위 확인

- 1) 가압기 수위(210-J-LT-055/056)가 800~1100 mm인지 확인한다(G206.6/7).

### 5.2.4.2 정화복귀펌프 정지

- 1) 정화유량제어밸브(240-J-FV041)와 정화유량제어밸브의 우회밸브(240-P-V601)를 닫고, 정화복귀 펌프를 정지시킨다(G217.5/G216.8).
- 2) 정화복귀재순환유량제어밸브(240-J-LV042)를 닫는다.

### 5.2.4.3 주냉각수펌프 정지

주냉각수펌프((210-M-P02A 또는 P02B)를 정지시킨다(G201.5/6).

### 5.2.4.4 중간냉각수 방사선감시기(RU042) 펌프 정지

"ROP-OP-68, 방사선감시계통" 절차서 5.8절에 따라 중간냉각수 방사선 감시기 펌프를 정지시킨다.

### 5.2.4.5 중간냉각수펌프(230-M-P002A/B) 정지

- 1) "AUTO" 상태인 펌프는 "MANUAL"로 전환하고, 운전 중인 펌프를 정지시킨다(G211.1/2).
- 2) 주냉각수 온도제어밸브(230-J-TV042)를 수동 모드로 전환하여 완전히 연다(G212.1).

### 5.2.4.6 하나로 2차 냉각수펌프 정지

- 1) 하나로 2차 냉각수펌프를 정지시킨다. 단, 원자로 계통의 냉각 및 점검이 필요한 경우 정지시키지 않아도 된다.
- 2) 중간냉각수 온도제어밸브(230-J-TV041)를 수동 모드로 전환하여 완전히 연다(G212.2).

### 5.2.4.7 루프정지(LSD) 유지 확인

붙임 3의 3.2.4에 따라 루프정지 상태가 유지되는지 확인한다.

## 6.0 붙임

- 붙임 1. 안전계통 정지 설정치
- 붙임 2. FTL 기동전 점검표
- 붙임 3. FTL 기동 및 정지 운전 점검표
- 붙임 4. 압력-온도 곡선



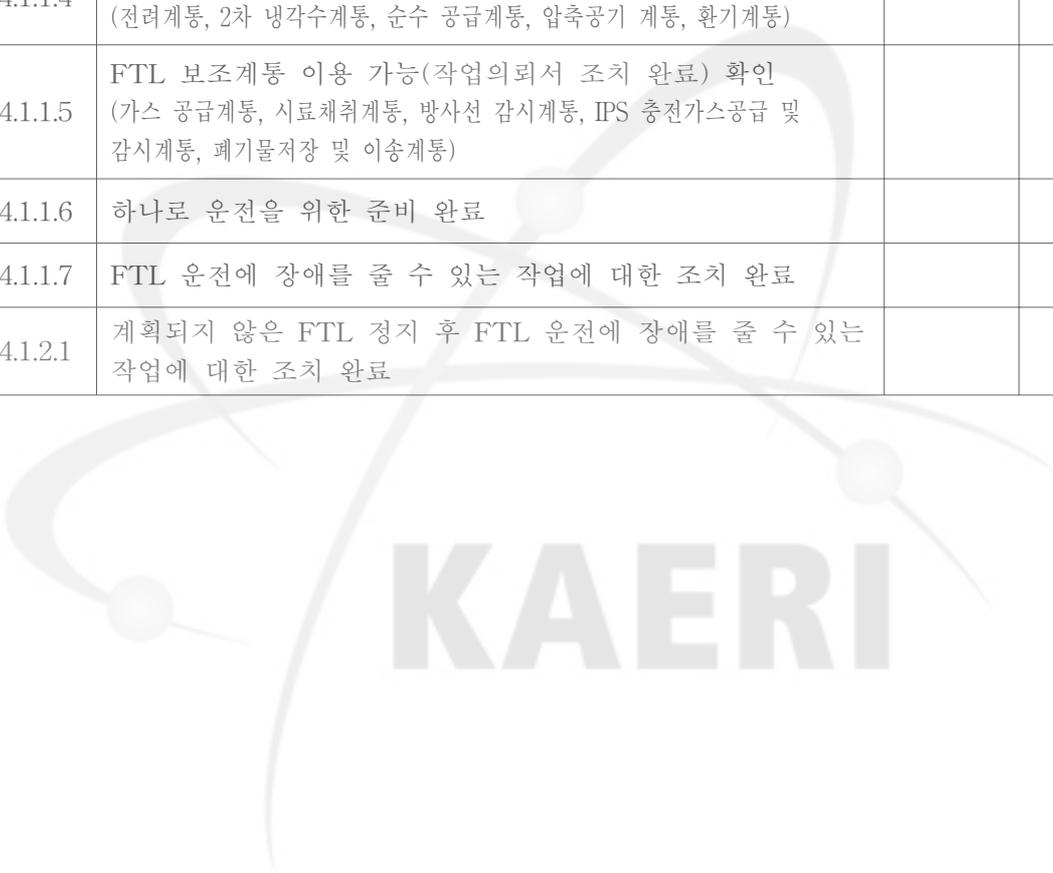
## 붙임 1. 안전계통 정지 설정치

구분	정지 변수명	PWR 모드 정지 설정치
원자로 정지	1. 수동정지	-
	2. 주냉각수 저 유량	1.37 kg/s
	3. 주냉각수 고 유량	1.84 kg/s
	4. 주냉각수 고온	329.7 °C
	5. 주냉각수 저압	13.57 MPa,g
	6. 주냉각수 고압	16.76 MPa,g
	7. 노내시험부 압력용기 단열가스 고-고 압력	8.63 MPa,g
	8. 주냉각수 고-고 방사능	900 cps
핵연료시험설비 비상정지	1. 수동정지	-
	2. 주냉각수 저-저 유량	1.05 kg/s
	3. 주냉각수 고 유량	1.84 kg/s
	4. 주냉각수 고-고 온도	337.7 °C
	5. 주냉각수 저-저 압력	12.77 MPa,g
비상냉각수 주입 정지	6. 고압주입탱크 저수위	W.L. + 247 mm

## 붙임 2. FTL 기동전 점검표

### 4.1 일반 사항 점검

절차	확인 사항	점검자	점검 일시
4.1.1.1	시험핵연료 장전 작업의 완료 (ROP-OP-79)		
4.1.1.2	노내시험부 장착 및 수조내 배관 연결 완료 (ROP-OP-80)		
4.1.1.3	노내시험부 단열갑 압력 감시계통의 현장 연결 완료		
4.1.1.4	하나로 보조계통 이용 가능(작업의뢰서 조치 완료) 확인 (전력계통, 2차 냉각수계통, 순수 공급계통, 압축공기 계통, 환기계통)		
4.1.1.5	FTL 보조계통 이용 가능(작업의뢰서 조치 완료) 확인 (가스 공급계통, 시료채취계통, 방사선 감시계통, IPS 충전가스공급 및 감시계통, 폐기물저장 및 이송계통)		
4.1.1.6	하나로 운전을 위한 준비 완료		
4.1.1.7	FTL 운전에 장애를 줄 수 있는 작업에 대한 조치 완료		
4.1.2.1	계획되지 않은 FTL 정지 후 FTL 운전에 장애를 줄 수 있는 작업에 대한 조치 완료		



KAERI

## 4.2 계통별 점검 (1/2)

절차	확인 사항	점검자	점검 일시
4.2.1	전력 계통 (ROP-OP-70)		
4.2.1.1	교류 상용 전원계통 (460V 부하반, 460V 전동제어반, 히터)		
4.2.1.2	교류 무정전 전원계통 (460V 무정전전원계통, 120V 무정전 분전반)		
4.2.1.3	직류 전원계통 (24V 직류 분전반)		
4.2.2	계측제어계통 (ROP-OP-69)		
4.2.2.1	운전원제어반(OWS) 정상 작동		
4.2.2.2	DAS 정상 작동		
4.2.2.3	FTL 보호반 정상 작동		
4.2.2.4	FTL 안전제어반 정상 작동		
	경보 확인		
	WN-001/004/007 램프 ON		
	WN-013/015A/017A 램프 ON		
	WN-023/025A/027A 램프 ON		
	WN-018 고압주입탱크 배수 시 램프 ON		
	WN-028 고압주입탱크 배수 시 램프 ON		
4.2.2.5	안전계기반 정상 작동		
4.2.2.6	추가열기 및 가압기 현장제어반		
4.2.3	방사선 감시계통 (ROP-OP-68)		
	RE/RU-041 녹색등		
	RE/RU-045 녹색등		
	RE/RU-046 녹색등		
	RE/RU-042 검정색등		
	RE/RU-043 녹색등		
	RE/RU-047 녹색등		
4.2.4	IPS 충전가스 공급 및 감시계통 (ROP-OP-74)		
4.2.4.1	IPS 단열캡 가스 압력(681-J-PT011A/B/C) 확인, 0.23±0.0625 MPa,g		
4.2.4.2	IPS O-ring간 압력(G234.1/2) 확인, 0.1±0.0625 MPa,g		
4.2.4.3	수조 내 단열 배관 압력(G234.3/4) 확인, 0.2±0.0015 MPa,g		
4.2.5	압축공기 공급계통 (ROP-OP-73)		
4.2.5.1	하나로 압축공기계통 작동		
4.2.5.2	하나로 압축공기계통 수동밸브(KM-750-V026) 열림 (제2기기실)		
4.2.5.3	압축공기 압력(751-J-PT041) 0.7 MPa 이상(G252.1)		

4.2 계통별 점검 (2/2)

절차	확인 사항	점검자	점검 일시
4.2.6	가스 공급계통 (ROP-OP-72)		
4.2.6.1	수소가스 압력조절밸브 설정압력, 0.5 MPa 이상 (제2기기실)		
4.2.6.2	저압질소가스 압력조절밸브 설정압력, 0.5 MPa 이상 (제2기기실)		
4.2.6.3	고압질소가스 압력조절기 설정압력, 16.5 MPa 이상 (제2기기실)		
4.2.7	시료채취 계통 (ROP-OP-67)		
4.2.7.1	시료채취계통 정지		
4.2.7.2	밸브 배열표에 따른 밸브 배열		
4.2.8	중간냉각수 계통 (ROP-OP-66)		
4.2.8.1	계통 충수 및 배기 완료		
4.2.8.2	밸브 배열표에 따른 밸브 배열 확인		
4.2.8.3	하나로 순수 공급계통의 수동밸브(KM-722-V017) 열림		
4.2.9	관통부냉각수 계통 (ROP-OP-63)		
4.2.10	FTL 환기계통 (ROP-OP-71)		
4.2.10.1	하나로 환기계통 정상 작동 (G66.7, G66.5/6)		
4.2.10.2	FTL 제1기기실 격리댐퍼 열림(G235.1/2/3)		
4.2.10.3	FTL DC & UPS Room의 냉방기(731-M-C001) 정상 작동		
4.2.11	계통 충수 준비상태 점검		
4.2.11.1	주냉각수계통 충수 확인 및 아래의 밸브 배열 확인		
4.2.11.2	작동 펌프 선정 및 밸브 정렬 확인	주냉각수펌프A 격리밸브 (210-P-V002)	
		주냉각수펌프A 냉각수주입 입구밸브 (230-P-V061)	
		주냉각수펌프B 격리밸브 (210-P-V004)	
		주냉각수펌프B 냉각수주입 입구밸브 (230-P-V062)	
4.2.11.3	취출보충정화계통 충수 확인		
4.2.11.4	폐기물저장탱크 충수 확인		
4.2.11.5	고압주입탱크 충수 확인		
4.2.11.6	고압주입탱크 질소 가압 확인		
4.2.12	하나로 순수공급계통의 정상 수위(0.3~1.9m) 유지(G55.1)		

붙임 3. FTL 기동 및 정지 운전 점검표

3.1 FTL 기동 절차

3.1.1 5.1.1 루프정지

절차 번호	점검자	점검 일시	절차 번호	점검자	점검 일시
5.1.1.1			5.1.1.2		
5.1.1.3			5.1.1.4		
5.1.1.5			5.1.1.6		

< 5.1.1.6 루프정지(LSD) 상태 점검 표 >

구분	운전 변수	정상상태	점검결과
FTL	노내시험부 유량(kg/s), 210-J-FT022(G204.5)	0	
	주냉각수 압력(MPa,g), 210-J-PT021(G204.1)	0.55 이하	
	주냉각수 온도(°C), 210-J-TE023(G204.2)	T < 50	
	가압기 압력(MPa,g), 210-J-PT057/060(G207.1/3)	0.5 이하	
	가압기 온도(°C), 210-J-TE058/059(G207.2/5)	T < 159	
	가압기 수위(mm), 210-J-LT055/056(G206.6/7)	800 < L < 1100	

구분	주요 기기	정상상태	점검 결과
FTL	주냉각수펌프, 210-M-P002A/B(G201.5/6)	OFF	
	중간냉각수펌프, 230-M-P002A/B(G211.1/2)	OFF	
	정화복귀펌프, 240-M-P010(G216.8)	OFF	
	관통부냉각수펌프, 280-M-P001A/B(G232.2, G233.2)	OFF	
	주가열기, 210-M-J003(G203.5)	OFF	
	가압기 가열기, 210-M-J005(G207.4)	ON / OFF	
하나로	원자로 운전 형태	정지	
	출력(MW)	0	
	1차 냉각수펌프	OFF	
	2차 냉각수 펌프	OFF	

3.1.2 5.1.2 루프정지에서 저온대기1로 전환

절차 번호	점검자	점검 일시	절차 번호	점검자	점검 일시
5.1.2.1			5.1.2.2		
5.1.2.3			5.1.2.4		
5.1.2.5			5.1.2.6		
5.1.2.7			5.1.2.8		
5.1.2.9			5.1.2.10		

< 5.1.2.10 저온대기1 (CSB1) 상태 점검 표 >

구분	운전 변수	정상상태	점검결과
FTL	노내시험부 유량(kg/s), 210-J-FT022(G204.5)	1.52~1.8	
	주냉각수 압력(MPa,g), 210-J-PT021(G204.1)	0.8~1.3	
	주냉각수 온도(℃), 210-J-TE023(G204.2)	T < 55	
	가압기 압력(MPa,g), 210-J-PT057/060(G207.1/3)	0.2~0.7	
	가압기 온도(℃), 210-J-TE058/059(G207.2/5)	133~171	
	가압기 수위(mm), 210-J-LT055/056(G206.6/7)	800 < L < 1100	

구분	주요 기기	정상상태	점검 결과
FTL	주냉각수펌프, 210-M-P002A/B(G201.5/6)	ON	
	중간냉각수펌프, 230-M-P002A/B(G211.1/2)	ON	
	정화복귀펌프, 240-M-P010(G216.8)	ON	
	관통부냉각수펌프, 280-M-P001A/B(G232.2, G233.2)	OFF	
	주가열기, 210-M-J003(G203.5)	OFF	
	가압기 가열기, 210-M-J005(G207.4)	ON	
하나로	원자로 운전 형태	정지	
	출력(MW)	0	
	1차 냉각수펌프	OFF	
	2차 냉각수 펌프	ON	

3.1.3 5.1.3 저온대기1에서 저온대기2로 전환

절차 번호	점검자	점검 일시	절차 번호	점검자	점검 일시
5.1.3.1			5.1.3.2		
5.1.3.3			5.1.3.4		
5.1.3.5			5.1.3.6		

< 5.1.3.6 저온대기2 (CSB2) 상태 점검 표 >

구분	운전 변수	정상상태	점검결과
FTL	노내시험부 유량(kg/s), 210-J-FT022(G204.5)	1.52~1.8	
	주냉각수 압력(MPa,g), 210-J-PT021(G204.1)	0.8~1.8	
	주냉각수 온도(℃), 210-J-TE023(G204.2)	55 < T < 90	
	가압기 압력(MPa,g), 210-J-PT057/060(G207.1/3)	0.2~1.2	
	가압기 온도(℃), 210-J-TE058/059(G207.2/5)	133~192	
	가압기 수위(mm), 210-J-LT055/056(G206.6/7)	800 < L < 1100	
	주냉각수 수질 - O <sub>2</sub> 농도 (G217.1) - pH (G217.2) - 전도도 (G217.3)	0.1 ppm 이하 5.5 ~ 8.0 50 μS/cm 이하	

구분	주요 기기	정상상태	점검 결과
FTL	주냉각수펌프, 210-M-P002A/B(G201.5/6)	ON	
	중간냉각수펌프, 230-M-P002A/B(G211.1/2)	ON	
	정화복귀펌프, 240-M-P010(G216.8)	ON	
	관통부냉각수펌프, 280-M-P001A/B(G232.2, G233.2)	ON	
	주가열기, 210-M-J003(G203.5)	ON	
	가압기 가열기, 210-M-J005(G207.4)	ON	
하나로	원자로 운전 형태	정지	
	출력(MW)	0	
	1차 냉각수펌프	OFF	
	2차 냉각수 펌프	ON	

3.1.4 5.1.4 저온대기2에서 고온대기로 전환

절차 번호	점검자	점검 일시	절차 번호	점검자	점검 일시
5.1.4.1			5.1.4.2		
5.1.4.3			5.1.4.4		
5.1.4.5			5.1.4.6		
5.1.4.7			5.1.4.8		
5.1.4.9					

< 5.1.4.9 고온대기 (HSB) 상태 점검 표 >

구분	운전 변수	정상상태	점검결과
FTL	노내시험부 유량(kg/s), 210-J-FT022(G204.5)	1.57~1.75	
	주냉각수 압력(MPa,g), 210-J-PT021(G204.1)	14.8~15.8	
	주냉각수 온도(℃), 210-J-TE023(G204.2)	270~300	
	가압기 압력(MPa,g), 210-J-PT057/060(G207.1/3)	14.2~15.2	
	가압기 온도(℃), 210-J-TE058/059(G207.2/5)	338~344	
	가압기 수위(mm), 210-J-LT055/056(G206.6/7)	800 < L < 1100	
	주냉각수 수질 : O <sub>2</sub> 농도 (G217.1) pH (G217.2) 전도도 (G217.3) 붕산수 농도 염소이온+불소이온 황산염	0.1 ppm 이하 5.5 ~ 8.0 50 μS/cm 이하 1500 ppm 이하 0.2 ppm 이하 0.15 ppm 이하	

구분	주요 기기	정상상태	점검 결과
FTL	주냉각수펌프, 210-M-P002A/B(G201.5/6)	ON	
	중간냉각수펌프, 230-M-P002A/B(G211.1/2)	ON	
	정화복귀펌프, 240-M-P010(G216.8)	ON	
	관통부냉각수펌프, 280-M-P001A/B(G232.2, G233.2)	ON	
	주가열기, 210-M-J003(G203.5)	ON	
	가압기 가열기, 210-M-J005(G207.4)	ON	
하나로	원자로 운전 형태	정지	
	출력(MW)	0	
	1차 냉각수펌프	OFF	
	2차 냉각수 펌프	ON	

3.1.5 5.1.5 고온대기에서 고온운전으로 전환

절차 번호	점검자	점검 일시	절차 번호	점검자	점검 일시
5.1.5.1			5.1.5.2		

< 5.1.5.2 고온운전 (HOP) 상태 점검 표 >

구분	운전 변수	정상상태	점검결과
FTL	노내시험부 유량(kg/s), 210-J-FT022(G204.5)	1.57~1.75	
	주냉각수 압력(MPa,g), 210-J-PT021(G204.1)	14.8~15.8	
	주냉각수 온도(℃), 210-J-TE023(G204.2)	270~303	
	가압기 압력(MPa,g), 210-J-PT057/060(G207.1/3)	14.2~15.2	
	가압기 온도(℃), 210-J-TE058/059(G207.2/5)	338~344	
	가압기 수위(mm), 210-J-LT055/056(G206.6/7)	800 < L < 1100	

구분	주요 기기	정상상태	점검 결과
FTL	주냉각수펌프, 210-M-P002A/B(G201.5/6)	ON	
	중간냉각수펌프, 230-M-P002A/B(G211.1/2)	ON	
	정화복귀펌프, 240-M-P010(G216.8)	ON	
	관통부냉각수펌프, 280-M-P001A/B(G232.2, G233.2)	ON	
	주가열기, 210-M-J003(G203.5)	ON	
	가압기 가열기, 210-M-J005(G207.4)	ON	
하나로	원자로 운전 형태	대기/출력	
	출력(MW)	≤30	
	1차 냉각수펌프	ON	
	2차 냉각수 펌프	ON	

3.2 FTL 정지 절차

3.2.1 5.2.1 고온운전에서 고온대기로 전환

절차 번호	점검자	점검 일시	절차 번호	점검자	점검 일시
5.2.1.1			5.2.1.2		
5.2.1.3					

< 5.2.1.3 고온대기 (HSB) 상태 점검 표 >

구분	운전 변수	정상상태	점검결과
FTL	노내시험부 유량(kg/s), 210-J-FT022(G204.5)	1.57~1.75	
	주냉각수 압력(MPa,g), 210-J-PT021(G204.1)	14.8~15.8	
	주냉각수 온도(℃), 210-J-TE023(G204.2)	270~300	
	가압기 압력(MPa,g), 210-J-PT057/060(G207.1/3)	14.2~15.2	
	가압기 온도(℃), 210-J-TE058/059(G207.2/5)	338~344	
	가압기 수위(mm), 210-J-LT055/056(G206.6/7)	800 < L < 1100	

구분	주요 기기	정상상태	점검 결과
FTL	주냉각수펌프, 210-M-P002A/B(G201.5/6)	ON	
	중간냉각수펌프, 230-M-P002A/B(G211.1/2)	ON	
	정화복귀펌프, 240-M-P010(G216.8)	ON	
	관통부냉각수펌프, 280-M-P001A/B(G232.2, G233.2)	ON	
	주가열기, 210-M-J003(G203.5)	ON	
	가압기 가열기, 210-M-J005(G207.4)	ON	
하나로	원자로 운전 형태	정지	
	출력(MW)	0	
	1차 냉각수펌프	OFF	
	2차 냉각수 펌프	ON	

3.2.2 5.2.2 고온대기에서 저온대기2로 전환

절차 번호	점검자	점검 일시	절차 번호	점검자	점검 일시
5.2.2.1			5.2.2.2		
5.2.2.3					

< 5.2.2.3 저온대기2 (CSB2) 상태 점검 표 >

구분	운전 변수	정상상태	점검결과
FTL	노내시험부 유량(kg/s), 210-J-FT022(G204.5)	1.52~1.8	
	주냉각수 압력(MPa,g), 210-J-PT021(G204.1)	0.8~1.8	
	주냉각수 온도(°C), 210-J-TE023(G204.2)	55 < T < 90	
	가압기 압력(MPa,g), 210-J-PT057/060(G207.1/3)	0.2~1.2	
	가압기 온도(°C), 210-J-TE058/059(G207.2/5)	133~192	
	가압기 수위(mm), 210-J-LT055/056(G206.6/7)	800 < L < 1100	

구분	주요 기기	정상상태	점검 결과
FTL	주냉각수펌프, 210-M-P002A/B(G201.5/6)	ON	
	중간냉각수펌프, 230-M-P002A/B(G211.1/2)	ON	
	정화복귀펌프, 240-M-P010(G216.8)	OFF	
	관통부냉각수펌프, 280-M-P001A/B(G232.2, G233.2)	ON	
	주가열기, 210-M-J003(G203.5)	ON	
	가압기 가열기, 210-M-J005(G207.4)	ON	
하나로	원자로 운전 형태	정지	
	출력(MW)	0	
	1차 냉각수펌프	OFF	
	2차 냉각수 펌프	ON	

3.2.3 5.2.3 저온대기2에서 저온대기1로 전환

절차 번호	점검자	점검 일시	절차 번호	점검자	점검 일시
5.2.3.1			5.2.3.2		
5.2.3.3			5.2.3.4		
5.2.3.5					

< 5.2.3.5 저온대기1 (CSB1) 상태 점검 표 >

구분	운전 변수	정상상태	점검결과
FTL	노내시험부 유량(kg/s), 210-J-FT022(G204.5)	1.52~1.8	
	주냉각수 압력(MPa,g), 210-J-PT021(G204.1)	0.8~1.3	
	주냉각수 온도(℃), 210-J-TE023(G204.2)	T < 55	
	가압기 압력(MPa,g), 210-J-PT057/060(G207.1/3)	0.2~0.7	
	가압기 온도(℃), 210-J-TE058/059(G207.2/5)	133~171	
	가압기 수위(mm), 210-J-LT055/056(G206.6/7)	800 < L < 1100	

구분	주요 기기	정상상태	점검 결과
FTL	주냉각수펌프, 210-M-P002A/B(G201.5/6)	ON	
	중간냉각수펌프, 230-M-P002A/B(G211.1/2)	ON	
	정화복귀펌프, 240-M-P010(G216.8)	ON	
	관통부냉각수펌프, 280-M-P001A/B(G232.2, G233.2)	OFF	
	추가열기, 210-M-J003(G203.5)	OFF	
	가압기 가열기, 210-M-J005(G207.4)	ON	
하나로	원자로 운전 형태	정지	
	출력(MW)	0	
	1차 냉각수펌프	OFF	
	2차 냉각수 펌프	ON	

3.2.4 5.2.4 저온대기2에서 루프정지로 전환

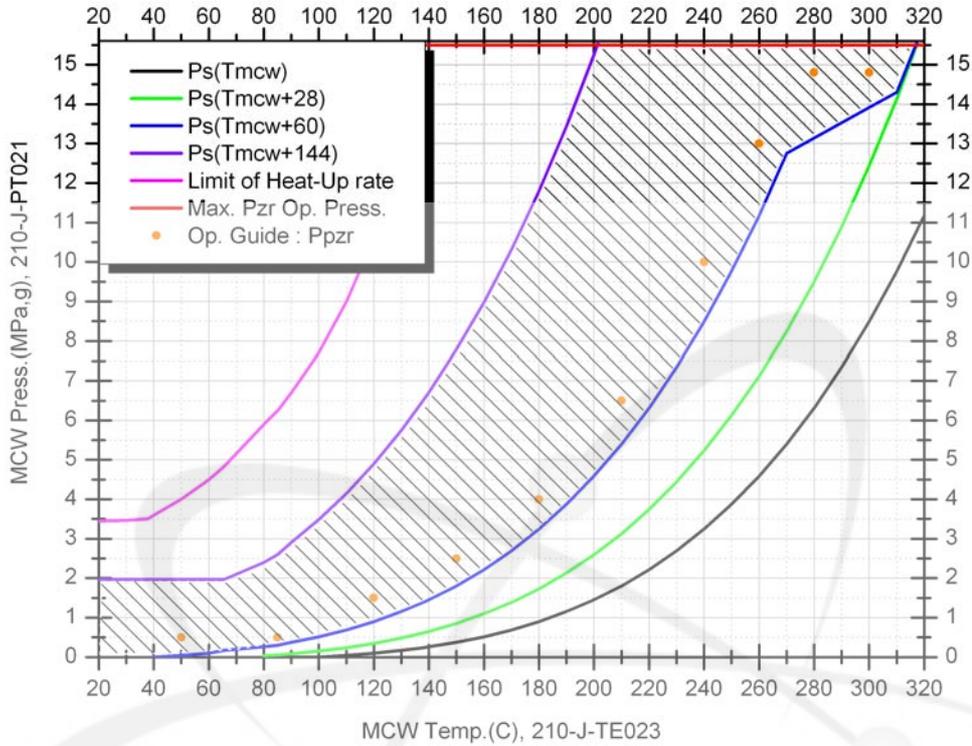
절차 번호	점검자	점검 일시	절차 번호	점검자	점검 일시
5.2.4.1			5.2.4.2		
5.2.4.3			5.2.4.4		
5.2.4.5			5.2.4.6		
5.2.4.7					

< 5.2.4.7 루프정지 (LSD) 상태 점검 표 >

구분	운전 변수	정상상태	점검결과
FTL	노내시험부 유량(kg/s), 210-J-FT022(G204.5)	0	
	주냉각수 압력(MPa,g), 210-J-PT021(G204.1)	0.55 이하	
	주냉각수 온도(℃), 210-J-TE023(G204.2)	T < 50	
	가압기 압력(MPa,g), 210-J-PT057/060(G207.1/3)	0.5 이하	
	가압기 온도(℃), 210-J-TE058/059(G207.2/5)	159 이하	
	가압기 수위(mm), 210-J-LT055/056(G206.6/7)	800 < L < 1100	

구분	주요 기기	정상상태	점검 결과
FTL	주냉각수펌프, 210-M-P002A/B(G201.5/6)	OFF	
	중간냉각수펌프, 230-M-P002A/B(G211.1/2)	OFF	
	정화복귀펌프, 240-M-P010(G216.8)	OFF	
	관통부냉각수펌프, 280-M-P001A/B(G232.2, G233.2)	OFF	
	주가열기, 210-M-J003(G203.5)	OFF	
	가압기 가열기, 210-M-J005(G207.4)	ON / OFF	
하나로	원자로 운전 형태	정지	
	출력(MW)	0	
	1차 냉각수 펌프	OFF	
	2차 냉각수 펌프	OFF	

붙임 4. 압력-온도 곡선



- 1) 검정색 실선 : 포화온도 곡선 (과냉각 여유도 0℃)
- 2) 녹색 실선 : 과냉각 여유도 28℃ 곡선
- 3) 파란색 실선 : 과냉각 여유도 60℃ 곡선
- 4) 보라색 실선 : 가압기와 주냉각수 온도 차이 144℃ 곡선
- 5) 분홍색 실선 : 55℃/hr 제한 곡선
- 6) 빨간색 실선 : 가압기 운전 제한 압력 (15.5 MPa,g)
- 7) 오렌지색 동그라미 : 가압기 압력 및 주냉각수 온도 궤적 지침
- 8) 빗금 친 영역 : 운전 범위

< 온도·압력 상승 궤적 >

(가압기 압력(MPa,g), 주냉각수 온도℃)

(0.5, 50)→(0.5, 85)→(1.5, 120)→(2.5, 150)→(4.0, 180)→(6.5, 210)→(10, 240)→  
(13.0, 260)→(14.8, 280)→(14.8, 300)

< 온도·압력 강하 궤적 >

온도 압력 상승 궤적의 역순

(14.8, 300)→(14.8, 280)→(13.0, 260)→(10, 240)→(6.5, 210)→(4.0, 180)→(2.5, 150)→  
(1.5, 120)→(0.5, 85)→(0.5, 50)

서 지 정 보 양 식					
수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS주제코드		
KAERI/TR-3774/2009					
제목 / 부제 : 하나로 핵연료노내조사시험설비 기동정지 절차 개발					
연구책임자 및 부서명 (TR,AR인경우 주저자)	박 수 기		연구로공학부		
연구자 및 부서명	심봉식, 지대영, 이종민, 이정영, 안성호		연구로공학부		
발 행 지	대 전	발행기관	한국원자력연구소	발행일	2009. 6
페 이 지	84p.	도표	유(0), 무( )	크 기	18×26Cm
참고사항					
비밀여부	공개(0) , 대외비( ) , - - 급비밀			보고서종류	기술보고서
연구위탁기관				계약번호	
<p>초록</p> <p>하나로 핵연료시험설비의 기동 및 정지 절차를 개발하였다. 핵연료시험설비는 핵연료 및 재료 조사 시험 시설이다. 이 시설은 상용 가압경수로 및 중수로의 정상 운전 압력 및 온도와 유사한 시험 조건을 제공한다.</p> <p>핵연료시험설비의 정상 운전 형태는 루프정지, 저온대기1, 저온대기2, 고온대기, 고온운전으로 나뉜다. 운전 형태는 시험핵연료의 핵분열 출력과 노내시험부 입구에서의 냉각수 온도에 따른다. 핵연료시험설비가 루프정지, 저온대기1, 저온대기2, 고온대기인 경우 하나로는 정지 상태이어야 한다. 한라로가 출력 운전을 개시함에 따라 핵연료시험설비는 고온대기에서 고온운전 상태가 된다.</p> <p>핵연료시험설비의 기동 및 정지 절차서는 초기 상태 점검, 기동 운전 절차, 정지 운전 절차, 운전 점검표와 같이 네 개의 주요 부분으로 구성되어 있다. 이 절차서의 적절성은 여러 차례의 고온 시운전을 통하여 확인되었다.</p>					
주제명 키워드 : 하나로, 핵연료시험설비, 기동 및 정지 절차서					

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET						
Performing Org. Report No.		Sponsoring org. Report No		Standard Report No.		INIS Subject Code
KAERI/TR-3774/2009						
Title/Subtitle : Development of Start-up and Shutdown Procedure for the HANARO Fuel Test Loop						
Project Manager and Dept or Major Author		S. K. Park		Research Reactor Engineering Division		
Researcher and Dept.		B. S. SIM, D. Y. Chi, J. M. Lee, C. Y. Lee, S. H. Ahn		Research Reactor Engineering Division		
Pub.place	Taejon	Pub. Org	KAERI	Pub.Date	2009. 6	
Page	84p.	Fig & Tab	Yes(0), No( )	Size	18×26Cm	
Note						
Classified	Open(0) , Restricted( ), - - Class Document			Report Type	Tech. Report	
Sponsoring Org.				Contract No.		
<p><b>Abstract</b></p> <p>A start-up and shutdown procedure for the HANARO fuel test loop has been developed. This is a facility for fuel and material irradiation tests. The facility provides experimental conditions similar to the normal operational pressures and temperatures of commercial PWR and CANDU plants.</p> <p>The normal operation modes of the HANARO fuel test loop are classified into loop shutdown, cold stand-by 1, cold stand-by 2, hot stand-by, and hot operation. The operation modes depend on the fission power of test fuels and the coolant temperature at the inlet of the in-pile test section. The HANARO must maintain a shutdown mode if the HANARO fuel test loop is loop shutdown, cold stand-by 1, cold stand-by 2, or hot stand-by. As the HANARO becomes power operation mode, the operation mode of the HANARO fuel test loop comes to hot operation from hot stand-by.</p> <p>The procedure for the HANARO fuel test loop consists of four main parts such as check of initial conditions, stat-up operation procedure, shutdown operation procedure, and check lists for operations. Several hot test operations ensure that the procedure is appropriate.</p>						
Subject Keywords : HANARO, fuel test loop, start-up and shutdown procedure						