

한국 표준형 원자력 발전소 증기터빈 보호 및 제어를 위한 운전인자 선정과 운전반 운영

(Selection of Operating Parameters and Management of Operation Console for Protection and Control of Steam Turbine in a Korea Standard Type Nuclear Power Plant)

최인규* · 김종안 · 우주희 · 신만수

(In-Kyu Choi · Jong-An Kim · Joo-Hee Woo · Man-Su Shin)

Abstract

This paper contains the selection of operation parameters for protection and control of steam turbine in a Korea Standard Type Nuclear Power Plant. The safety of nuclear reactor must be ensured which generates nuclear energy and produces steam. Also, the safety of turbine, which consume the nuclear energy as a core machine, must be ensured. For the purpose of this, we describe how the operating parameters were selected, reviewed, implemented into the operator console and finally put into actual operation of the system.

Key Words : Operation Parameters, Steam Turbine, Korea Standard Type Nuclear Power Plant

1. 서 론

최근 국제적으로 지구 온난화에 대한 관심이 고조되는 가운데 녹색성장의 화두와 함께 우리나라는 연구용 원자료를 요르단에 수출하고 상업용으로는 한국형 원자력 발전소인 1,400[MW] 용량의 APR1400을 UAE에 수출하는 등 원자력 발전소의 국외 수출을 정부 차원에서 추진하고 있다.

이와 더불어 국내적으로는 엄격한 검사를 통한 장기 사용 원자력 발전소의 수명연장이 진행되고 있다. 원

자력 발전소의 수명 연장이 원활하게 진행되기 위해서는 주기에 대한 제어장치의 수명 연장이 필수적이다. 여러 가지 중요 기기 중 특히 증기터빈은 원자로에서 발생하는 열에너지를 소비하여 고속으로 회전함으로써 발전기를 구동하여 전력을 생산하며 원자력 발전소의 안정성에 중대한 영향을 미치는 핵심기기이다. 따라서 이러한 주기에 대하여 상태감시 및 고장 근본원인 치유를 위한 철저한 유지 관리 프로그램을 필요로 한다. 이 논문에서는 먼저 원자력 발전소와 증기터빈에 대하여 간략히 살펴본 다음 증기터빈의 보호와 제어를 위한 운전 인자를 선정하고 제어기를 개발하여 원자력 발전소에 설치하고 실제 운전 중인 내용에 대하여 기술한다.

* 주저자 : 한전전력연구원 선임연구원
Tel : 042-865-5605, Fax : 042-865-5609
E-mail : cik@kepri.re.kr
접수일자 : 2010년 12월 2일
1차심사 : 2011년 1월 3일, 2차심사 : 2011년 1월 10일
심사완료 : 2011년 1월 15일

2. 원자력 발전소 개요

2.1 원자력 발전소 구성

그림 1은 우리나라에서 운전중인 1,000[MW] 용량의 가압 경수로형 원자력 발전소의 구성도이다. 그림 1에서 격납건물 내부에 존재하는 부분을 1차 계통(NSSS : Nuclear Steam Supply System), 터빈을 통과하는 급수를 2차 계통이라 하며 1차와 2차 계통은 증기 발생기의 튜브다발을 경계로 엄격하게 구분된다. 1차 측은 원자로, 증기발생기, 가압기, 냉각재 펌프로 구성되고 2차 측은 터빈, 발전기, 복수기로 구성된다. 핵분열이 이루어지는 원자로에 설치된 제어봉은 중성자를 잘 흡수하는 물질이고 제어봉이 원자로에 인출되면서 중성자 활동이 활발해져 핵분열이 발생하여 열에너지를 발생시킨다. 발생된 열에너지는 원자로 내부를 통과하는 냉각재(경수)에 열을 전달한다.

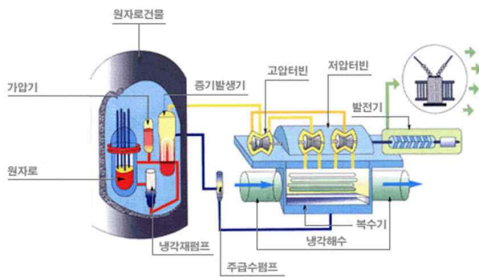


그림 1. 가압 경수로형 원자력 발전소 구성도
Fig. 1. Configuration of Nuclear Power Plant

냉각재 펌프는 원자로에서 발생된 핵분열 에너지로 가열된 냉각재를 증기발생기로 보내 2차 측 급수계통에 열을 전달시킨다. 증기발생기에서 열을 전달시키고 냉각된 냉각재를 다시 원자로로 이송시켜 재순환되게 한다. 증기발생기는 가열된 냉각재를 증기발생기 튜브 다발로 통과시키면서 튜브 외측의 2차 측에 열을 전달한다. 열을 전달받은 2차 측 급수는 증기가 되어 원자로 격납건물을 빠져 나와서 터빈을 회전시키고 터빈은 발전기를 구동하여 전력을 생산한다. 가압 경수로 원자력 발전소는 핵연료는 2~4%의 저농축 우라늄을 사용하며 감속재와 냉각재를 구분하여

사용하지 않고 경수(H₂O)를 같이 사용한다[1].

2.2 영광원자력 3호기 터빈 구성

그림 2는 1,000[MW]용량의 영광 원자력 발전소 3호기의 증기 터빈 구성도이다. 한국표준형 터빈은 복류형으로 고압터빈 1대와 저압터빈 3대가 동일 축에 직렬로 연결되어 있고 고압터빈의 배기증기의 과열도를 상승시키기 위한 습분분리 재열기는 터빈과 병렬로 설치되어 있다.

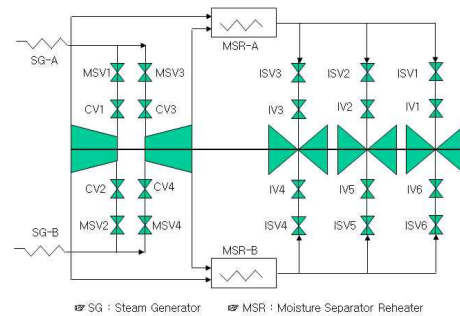


그림 2. 터빈 증기 흐름도
Fig. 2. Steam Flow Diagram of Turbine

증기밸브로는 고압터빈 보호를 위한 주증기 차단밸브(MSV : Main Stop Valve)가 4대, 주증기 유량 조절용 밸브(CV : Control Valve)가 4대, 저압터빈 보호를 위한 차단밸브(ISV : Intermediate Stop Valve)가 6대, 재열증기 조절용 밸브(IV : Intercept Valve)가 6대 장착되어 있다[2]. 증기발생기에서 발생된 고압의 증기는 고압차단밸브(MSV)와 제어밸브를 통하여 고압터빈의 증앙으로 유입된다. 고압터빈 증앙에 들어온 증기는 서로 상반된 방향으로 분리되어 회전익에 속도 에너지를 전달한다. 온도와 압력이 감소한 증기는 습분분리 재열기를 통과하면서 습분이 제거되고 재가열되고 과열증기로 된다. 이 과열증기는 저압터빈으로 유입되어 고정익에 의하여 양분되어 저압터빈에 회전 에너지를 전달하고 복수기로 하향 배출된다[3]. 위에서 설명한 터빈 발전기는 원자로에서 핵분열 결과로 발생하는 열의 소비처로서 고장이 발생할 경우 원자로 안정성에 직접 관련된다. 따라서 터빈 발전기의 운

전에 관련된 파라미터 중 보호 장치와 제어 장치 및 감시 장치의 안정성은 필수 불가결한 요소로서 관리를 체계적으로 철저히 해야 한다.

3. 현장 상세 조사

3.1 운전 자료 조사

본 논문에서 다루어진 보호 및 제어를 위한 운전인자를 위한 운전인자 선정시 적용된 증기터빈은 한국 표준형 원전의 호시인 영광원자력 3호기를 대상으로 하였다. 운전 및 설계 자료를 조사하는 방법으로는 먼저 운전 중인 증기 터빈에 대한 각각의 운전계통을 살펴보고 계통별 제어 및 보호 인자에 대한 분석을 수행하였다. 대상 인자를 포함하고 있는 계통을 증기터빈 보호계통 등 3개 계통으로 분류하였으며 각각의 특성을 기술하면 다음과 같다.

3.2 보호 계통

터빈 보호계통은 터빈-발전기가 손상 입을 수 있는 약조건 상태에서 운전되는 것을 방지하기 위해 트립 시키거나 부하를 차단하여 터빈-발전기를 보호하는 기능을 말한다. 터빈 보호계통의 주 기능은 트립 요구 신호의 건전성을 점검하고 정상적인 트립 요구명령에 대해 신속히 트립 동작을 수행하는 것이다. 즉 운전시 비상 상황이 발생하면 터빈을 안전하게 보호하는 장치이다.

3.2.1 현장 유압 회로

그림 3에 현장 보호 장치의 유압 회로도도를 나타내었다.

현장 유압회로는 보호 장치의 명령으로 터빈으로 유입되는 증기를 차단하기 위하여 모든 증기밸브를 폐쇄하는 역할을 한다. 또 보호 장치의 명령으로 트립을 실제 수행할 수 있도록 구동부, 즉 솔레노이드가 장착되어 있다. 보호 장치에서 사용되는 기기의 명칭과 기능을 정리하면 다음과 같다.

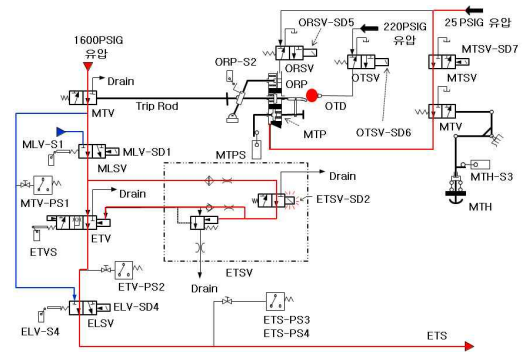


그림 3. 보호장치 유압 회로도
Fig. 3. Hydraulic Circuit of Protection System

○ 구동부

- MTSV : 기계 트립 밸브, MTH : 수동트립 밸브
- ORSV : 오일 리셋 밸브, OTSV : 오일 트립 밸브
- ETSV : 전기 트립밸브, MLSV : 기계 시험 밸브
- ELSV : 전기 시험 밸브

○ 검출부

- MTPS : 트립 피스톤 스위치
- ORP-S2 : 리셋 스위치
- MTV-PS1 : 기계식 트립밸브 압력스위치
- MLV-S1 : 기계식 시험밸브 스위치
- ETVS : 전기식 트립밸브 스위치
- ETV-PS2 : 전기식 트립밸브 압력 스위치
- ELV-S4 : 전기식 시험밸브 스위치
- ETS-PS3 : 비상 정지유 압력스위치
- ETS-PS4 : 비상정지유 압력스위치

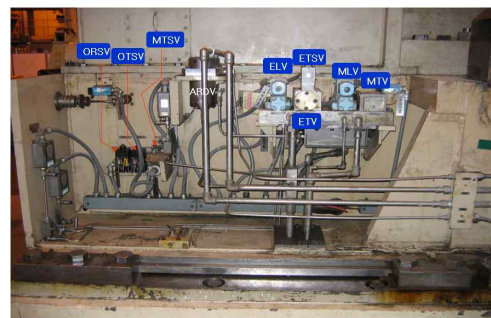


그림 4. 보호장치 각 기기별 사진
Fig. 4. Film for Protection Device

3.2.2 트립 메카니즘 분석

터빈에 이상상태가 발생되어 비상 정지해야 할 경우 동작시켜야 하는 트립용 솔레노이드는 기계식 트립 솔레노이드와 전기식 트립 솔레노이드로 이중화되어 있다. 또한 트립계통의 건전성을 주기적으로 시험할 수 있도록 기계트립밸브(MTV : Mechanical Trip Valve)와 전기트립밸브(ETV : Electrical Trip Valve)에 대하여 각각의 격리 솔레노이드가 장착되어 있다 [4].

3.2.3 트립 원인

터빈 트립 원인에는 여러 가지가 있으며 다음과 같은 비정상적인 상황이 발생하면, 트립신호가 생성되어 터빈을 트립시켜 터빈을 위험한 상태로부터 보호한다. 보통 3개 설치되어 3중화된 검출기의 신호가 보호 장치로 입력되고 보호장치의 판단에 따라 트립용 솔레노이드가 구동되면 터빈은 트립된다. 표 1에 트비 원인을 정리하였다.

표 1. 터빈 트립 원인
Table 1. Trip Source

트립 원인	검출요소
과속도	기계식 및 전기식
속도신호 상실	속도검출기
유회유 저압력	압력스위치
축펌프 저압력	압력스위치
고압 작동유 저압력	압력스위치
저압터빈 배기구 고온도	압력스위치
복수기 저진공	압력스위치
베어링 고진동	비접촉식 검출기
고정자 냉각수 상실	압력, 유량스위치
습분분리 재열기 고수위	수위 스위치
외부 트립-1	원자로 트립
외부트립-2	발전기 트립
푸시버튼 동작	운전원 조작
현장 수동 트립	운전원 조작

3.2.4 격리 솔레노이드

격리 솔레노이드는 정상적으로 운전 중인 기계트립

밸브와 전기트립밸브의 정상동작 여부를 시험하기 위해 사용되는 솔레노이드이다. 즉 기계트립밸브 격리용 솔레노이드(MLV : Mechanical Lockout Valve)를 동작시켜서 기계트립밸브를 트립 계통에서 격리한 후, 기계트립밸브의 동작을 시험하면 기계트립밸브가 여자되어도 터빈은 트립되지 않는다. 또 전기트립밸브에 대해서도 동일한 원리를 적용하여 전기트립밸브 격리용 솔레노이드(ELV : Electrical Lockout Valve)를 이용한다.

3.2.5 오일트립 솔레노이드 및 오일리셋 솔레노이드

오일트립 솔레노이드는 비상 과속도시 동작하는 기계식 과속도 비상정지 계통의 건전성을 터빈 기동중 시험하기 위한 솔레노이드로서 속도 약 80[%] 정도에서 이 솔레노이드를 여자시키면 트립 핑거가 돌출되어 시험이 수행된다. 오일리셋 솔레노이드는 터빈을 기동하기 위해 트립 시스템을 정상화하기 위한 솔레노이드이다. 터빈 유회유 계통이 정상 운전하여 압력이 형성되어 있어야 리셋을 수행할 수 있다.

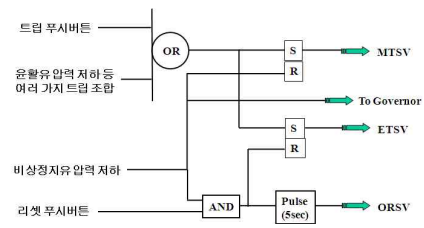


그림 5. 트립 및 리셋 로직
Fig. 5. Logic for Trip and Reset

3.3 제어 계통

보호 계통이 건전하고 현장이 준비된 경우 터빈을 기동하는 장치가 바로 제어 계통이다. 제어 계통은 다음과 같이 여러 가지로 분류된다. 각각에 대하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

3.3.1 증기밸브 제어 계통

증기밸브는 터빈 기동 또는 정상 운전시 터빈으로

유입되는 증기량을 조절하여 터빈 속도와 발전기 출력을 원하는 값으로 제어하는 최종 구동부이다. 중요한 제어인자로는 밸브개도 검출기와 서보밸브 및 솔레노이드가 있다. 밸브개도 검출기는 조절밸브의 경우 보통 3개가 설치되어 있고 차단밸브의 경우에는 보통 한 개이다. 서보밸브는 보통 증기조절 밸브에만 설치되어 있으며 보통 코일이 3개이다. 또 증기밸브의 고착 방지를 위한 시험용 솔레노이드와 비상시에 신속한 폐쇄를 위한 솔레노이드가 별도로 설치되어 있다.



그림 6. 증기밸브
Fig. 6. Steam Valve

3.3.2 예열 계통

터빈의 수명은 기동, 정지, 급격한 부하운전 등에 따라 큰 영향을 받는다. 특히 열응력에 의한 영향 즉, 고온 고압의 증기와 금속체 사이의 온도차에 의해 발생하는 현상으로 금속온도와 증기온도 사이의 온도차, 열팽창 및 수축량 등에 의해 내부응력이 발생하게 된다. 따라서 터빈의 두꺼운 금속 부분의 온도가 제작사에서 제시하는 것보다 낮을 때 예열을 시행한다. 주된 운전 인자는 금속 부위의 온도와 증기조절밸브 개도이다.

3.3.3 속도 제어

승속은 터빈을 원하는 속도로 제어하는 부분으로 이 단계에서 운전 인자는 터빈 속도검출기의 상태와

속도정치 및 승속율 등이다. 계통 병입은 터빈 속도를 전력계통의 주파수와 일치시킨 후 발전기의 차단기를 전력계통에 병렬로 투입하는 단계로서 운전인자로는 차단기 상태, 터빈 속도, 계통 주파수, 초기부하 등이다.

3.3.4 출력 증발

발전기가 계통에 병입된 후 출력을 상승시키는 단계로서 증기량을 조절하여 발전기 출력을 제한한다. 터빈 관련 운전 인자로는 주증기 압력 및 온도, 재열기 압력 및 온도, 증동실 압력, 회전자 열응력 등이 있고 발전기 운전 인자로는 발전기 출력, 전압, 전류 등이다.

3.3.5 밸브 시험

밸브 시험은 정상 운전 중에 증기밸브의 건전성을 시험하기 위하여 잠시 폐쇄한 후 다시 개방하는 시험으로서 운전 인자로는 증동실 압력, 발전기 출력, 증기밸브 개도 등이 있다.

4. 선정 결과

상기 운전 인자를 터빈 보호, 감시, 터빈 제어 및 고장 진단의 4 단계로 분류하였다. 보호 인자는 터빈 운전 중에 비정상 상태가 발생할 경우 운전을 정지하기 위한 인자이며, 제어 인자는 정지 상태의 터빈을 기동하여 전부하에 도달시키기 위한 인자이다. 감시 인자는 현재의 운전 상태를 운전원이 인지할 수 있도록 정보를 제공하며 고장진단 인자는 제어기 내부의 중요한 신호의 정상 여부를 판단하기 위한 것이다. 상기 네가지 인자를 자세히 기술하면 다음과 같다.

4.1 터빈 보호

터빈의 보호에 직접적 영향을 주는 인자로서 그림 3에 표시된 압력 스위치, 리미트 스위치 및 솔레노이드 등이 있다. 또 3중화된 트립 원인과 터빈 속도, 발전기 전류 및 재열기 압력 등도 포함된다. 표 2에 터빈 보호 인자를 정리하였다.

표 2. 터빈 보호인자
Table 2. Protection Parameters

용도	신호종류	갯수
속도신호	정현파 입력	3
추력축수 마모량	아나로그 입력	3
과속도 보호	아나로그 입력	6
트립 원인	디지털 입력	39
구동부	디지털 출력	38

4.2 터빈 제어

터빈 속도 및 발전기 출력에 직접적 영향을 주는 인자이다. 증기밸브에 대하여는 개도검출기와 서보전류 신호, 솔레노이드 등이 있다. 또 승속 전에 예열을 하기 위한 열전대, 계통 병입을 위한 터빈속도와 계통 주파수 및 차단기 신호 등이 있다. 계통 병입 후에는 발전기 유효출력, 무효출력, 전압, 전류 등이 있다. 표 3에 터빈 제어인자를 정리하였다.

표 3. 터빈 제어인자
Table 3. Control Parameters

용도	신호종류	갯수
속도신호	정현파 입력	3
	구형파 입력	3
압력제어	아나로그 입력	4
주파수 제어	정현파 입력	2
회전자 열응력	온도 입력	10
구동부	디지털 출력	38
개도 검출기	정현파 입력	21
서보 전류	전류 출력	24
조작 명령	디지털 입력	13
보조기기 기동정지	디지털 출력	8

5. 현장 적용 예

원자력 발전소 증기터빈의 보호와 제어를 위해서는 여러 가지 운전 인자가 있고 운전 조작을 위한 조작용 화면도 여러 가지가 있다. 운전 조작반은 3개로 구성되어 있으며 설치 사진을 그림 7에 나타내었다.



그림 7. 운전 조작반 설치 사진
Fig. 7. The Picture of Operation Console

터빈 보호 및 제어 등을 위한 중요한 인자에 대하여 설명하면 다음과 같다.

5.1 터빈 보호 인자

그림 8은 현장의 유압 보호계통의 운전 상태를 표시하는 운전 화면이다. 트립 및 시험용 솔레노이드의 상태를 알 수 있다. 또 고압 작동유와 윤활유 및 비상정지유의 압력을 실시간으로 확인할 수 있다. 그림 9는 여러 가지 중요한 신호의 상태를 나타낸다. 트립 원인으로 중요한 신호는 보통 고장진단을 위하여 삼중화되어 있으며 제어용 신호도 중요한 것은 삼중화되어 있다.

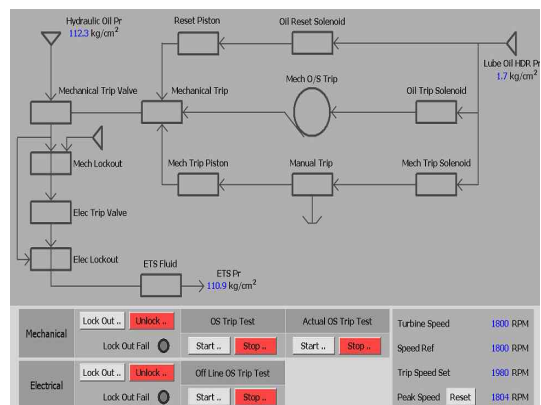


그림 8. 유압 보호계통
Fig. 8. Hydraulic Protection System

TCP				TPP			
	A	B	C		A	B	C
Turbine Speed (MSV-1)	1799.7	1799.8	1799.9	Turbine Speed (MSV-1)	1799.8	1799.8	1799.9
Turbine Speed (MSV-2)	1799.8	1799.8	1799.9	Turbine Speed (MSV-2)	1799.8	1799.8	1799.9
Turbine Speed (MSV-3)	1799.8	1799.8	1799.9	Turbine Speed (MSV-3)	1799.8	1799.8	1799.9
Turbine Speed (MSV-4)	1799.8	1799.8	1799.9	Turbine Speed (MSV-4)	1799.8	1799.8	1799.9
Throttle Steam Pr-1	69.1	69.2	69.3	Intermediate Steam Pr-A	8.7	8.7	8.7
Throttle Steam Pr-2	69.0	69.0	69.1	Intermediate Steam Pr-B	8.6	8.6	8.6
Throttle Steam Pr-3	69.0	69.0	69.1	Intermediate Steam Pr-C	8.6	8.6	8.6
Gen. Load	1051.0	1051.8	1052.0	Annular Current-A	28.0	28.0	28.0
First Stage Pr	53.3	53.3	53.3	Annular Current-B	28.2	28.2	28.2
Seaback	FALSE	FALSE	FALSE	Annular Current-C	28.4	28.4	28.4
Seaback - NSS	FALSE	FALSE	FALSE	Thrust Wear-A	0.192	0.191	0.191
Seaback - SCWS	FALSE	FALSE	FALSE	Thrust Wear-B	0.183	0.184	0.184
Gen. Dirline	TRUE	TRUE	TRUE	Thrust Wear-C	0.176	0.176	0.176
Turbine Trip Command (TRP)	FALSE	FALSE	FALSE	Low Oil Oil Pr Trip	FALSE	FALSE	FALSE
Turbine Tripped (TRP)	FALSE	FALSE	FALSE	Low Shaft Pump Discharge Trip	FALSE	FALSE	FALSE
Flt Actuated (TRP)	FALSE	FALSE	FALSE	Low Hydraulic Fluid Pr Trip	FALSE	FALSE	FALSE
Any Temp Signal Alarm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Edh Hood A High Temp Trip	FALSE	FALSE	FALSE
Any Pr Signal Alarm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Edh Hood B High Temp Trip	FALSE	FALSE	FALSE
				Edh Hood C High Temp Trip	FALSE	FALSE	FALSE
				Vacuum Trip Hood A	FALSE	FALSE	FALSE
				Vacuum Trip Hood B	FALSE	FALSE	FALSE
				Vacuum Trip Hood C	FALSE	FALSE	FALSE
				MSV#1 High Level Trip	FALSE	FALSE	FALSE
				MSV#2 High Level Trip	FALSE	FALSE	FALSE
				Loss of Stator Constant Trip	FALSE	FALSE	FALSE
				Customer Turbine Trip 1A	FALSE	FALSE	FALSE
				Customer Turbine Trip 1B	FALSE	FALSE	FALSE
				Customer Turbine Trip 2A	FALSE	FALSE	FALSE
				Customer Turbine Trip 2B	FALSE	FALSE	FALSE
				Trip Push Button A	FALSE	FALSE	FALSE
				Trip Push Button B	FALSE	FALSE	FALSE
				Reset Push Button	FALSE	FALSE	FALSE
				ETS Pr. Low (PSV)	FALSE	FALSE	FALSE
				ETS Pr. Low (PSV)	FALSE	FALSE	FALSE
				ATV Outlet Pr. Low	FALSE	FALSE	FALSE
				ORP Resetting Alarm	FALSE	FALSE	FALSE
				ETV Outlet Pr. Low	FALSE	FALSE	FALSE
				ELV Locked Out	FALSE	FALSE	FALSE
				ETV	FALSE	FALSE	FALSE
				SWP	FALSE	FALSE	FALSE
				Government Instability (from TPP)	FALSE	FALSE	FALSE

그림 9. 트립 원인
Fig. 9. Trip Source

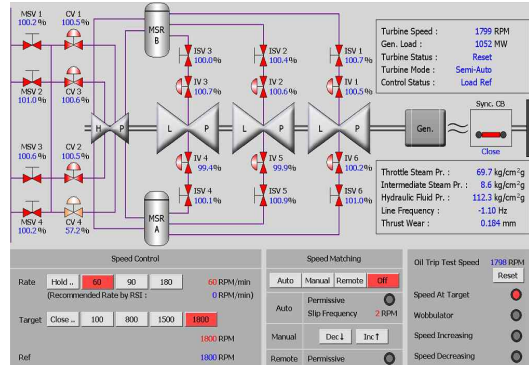


그림 11. 속도 제어
Fig. 11. Speed Control

5.2 터빈 제어 인자

그림 10은 증기 조절용 밸브의 개도와 서보 전류 및 슬레노이드의 상태를 나타내는 운전 화면이다.



그림 10. 증기밸브 변수
Fig. 10. Steam Valve Variable

그림 11은 모든 증기밸브의 개도와 현재의 터빈 속도 및 발전기 출력은 물론 주증기 압력, 재열기 압력, 고압 작동유 압력 등 터빈 운영을 위한 중요 운전변수를 감시할 수 있다. 그림 12는 증기 밸브의 고착을 방지하기 위한 시험을 위한 운전 화면이다. 증기밸브의 단함 시험으로 인한 충동실 압력제어를 위하여 필수적으로 감시해야 하는 운전 변수가 포함되어 있다. 발전기 출력, 터빈 운전 상태, 출력 기준값이 표시된다. 또 부가적으로 각각의 밸브 기호를 선택하면 해당 밸브의 개도와 충동실 압력 등을 실시간 파형으로 감시할 수 있다.

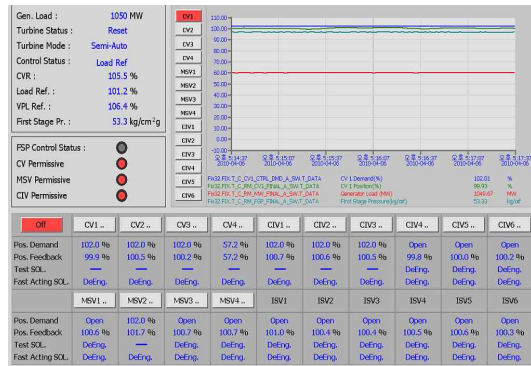


그림 12. 증기밸브 시험
Fig. 12. Steam Valve Test

6. 결론

본 논문에서는 영광원자력 제3호기 터빈을 안전하게 보호하고 운전하기 위한 운전인자 선정에 대해서 연구한 결과 터빈 보호 및 제어를 위한 운전인자를 중요도에 따라서 보호 및 제어로 구분하였다. 이렇게 구분한 결과 터빈 보호 인자 89개와 제어 인자 126개가 선정되었다. 또 터빈을 효과적으로 운전하기 위하여 운전인자를 2가지로 구분하여 운전화면을 개발하였다. 개발한 운전조작반을 이용하여 실제 기동과 계통병입을 수행하였으며 현재는 발전기 출력 1,060[MW]의 전부하 운전을 수행하고 있다. 향후 현장 전문가의 의견을 반영하여 영광원자력 제4호기에도 확대 적용할 예정이다.

References

- [1] 한전 삼천포연수원, “발전기초 V” pp92-94, 1995년.
- [2] 한전 전력연구원, “영광원자력 3, 4호기 터빈 제어 프로그램 설계서”, pp01-02, 2009.
- [3] 한수원 원자력교육원, “원자력계통 기초II(표준형)”, pp90-92, 2004.
- [4] 한전 전력연구원, “영광원자력 3, 4호기 터빈 제어 프로그램 설계서”, pp24-25, 2009.

◆ 저자소개 ◆



최인규(崔仁圭)

1967년 1월 26일생. 1993년 전북대 전기공학과 졸업. 2004년 충남대 전기공학과 졸업(석사). 현재 한전전력연구원 선임연구원.



김중안(金鍾安)

1957년 10월 3일생. 1985년 원광대학교 전자공학과 졸업. 현재 한전전력연구원 책임연구원.



우주희(禹周希)

1970년 2월 24일생. 1993년 경북대 전자공학과 졸업. 1995년 동대학원 전자공학과 졸업(석사). 현재 한전전력연구원 선임연구원.



신만수(申滿秀)

1970년 5월 10일생. 1996년 한양대 전기공학과 졸업. 2009년 충남대 박사과정 수료. 현재 한전전력연구원 선임연구원.