

원자력발전소 증기터빈 보호장치 시험에 대한 연구

김병철, 정창기, 김종안, 우주희, 최인규
한국전력공사 전력연구원

A study on protection device test of steam turbine for nuclear power plant

Kim Byoung-Chul, Jung Chang-gi, Kim Jong-An, Woo Joo-Hee, Choi In-Kyu.
Korea Electric Power Research Institute.

Abstract - 원자력 발전소는 증기발생기에서 생산된 고온, 고압의 증기를 사용하여 발전기와 직결된 터빈을 돌려 전기를 생산한다. 대용량 회전체인 터빈은 터빈제어 시스템에 의해 적절한 회전수로 제어되고, 보호 장치에 의해 예기치 못한 위험한 상태에서부터 보호되고 있다. 이 보호 장치는 어떠한 상황에서도 터빈을 안전하게 보호할 수 있도록 정확하게 동작하여야 한다. 발전소에서는 이러한 장치의 중요성 때문에 운전 중에도 이 장치의 정확한 동작과 기능을 확인하기 위한 주기적인 시험을 하고 있다. 이 논문에서는 장기간 사용으로 전자 제어카드가 노후 되고 고장 시 대체할 수 있는 예비품의 확보가 어려워 신뢰성이 저하된 원자력 발전소의 기존 아날로그 형식의 터빈제어시스템과 보호 장치를 내고장성 디지털 형식으로 개발하여 현장에 적용하기 전에 실시한 제어시스템 및 보호 장치 시험과 그 결과를 소개하고자 한다.

험 연동밸브, 트립시험 리셋밸브 등으로 구성되어 있다. 그림 1과 그림 2는 터빈제어와 보호계통을 개략적으로 나타내고 있다.

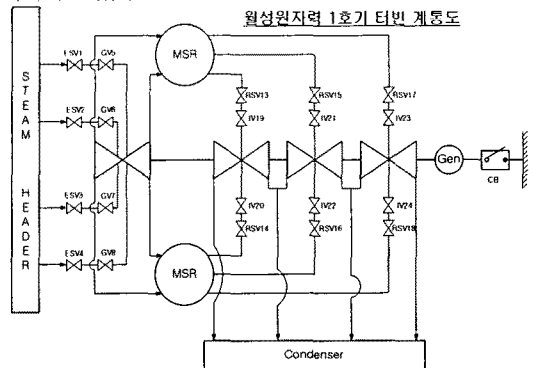


그림 1 원자력발전소의 터빈계통도

1. 서 론

원자력 발전소 터빈보호계통에 대한 시험은 비상정지 기구의 건전성을 확인하는 시험과 부하운전 중 비상정지 밸브와 조속밸브의 고착여부를 확인하는 밸브시험으로 나눌 수 있다. 여기에서는 기존 아날로그 제어시스템과 보호계통 제어반을 디지털 제어시스템으로 개조하고, 현장에 적용하기 전에 기존 기능을 분석하고 시험한 내용이다. 새로운 디지털 터빈제어시스템에서는 터빈제어 시스템에 시험 로직을 내장하고, 운전화면에 보호 장치 시험 기능을 추가하여 기존에 수행하던 기능을 그대로 새로운 시스템에서 구현하여 수행하도록 구성한 내용을 알아보도록 한다.

2. 본 론

2.1 터빈 보호계통의 시험장치 개요

발전소의 터빈 보호계통을 운전 중에 시험하기 위해서 독립적으로 2개의 채널로 구성되어 있다. 그래서 한 채널은 정상기능을 유지하고 있는 동안 다른 채널을 선택하여 비상정지 시험 항목을 차례차례 시험할 수 있도록 구성되어 있다. 한 채널의 시험이 완료되면 다른 채널을 전환하여 시험을 계속할 수 있다.

2.1.1 터빈제어 및 보호계통의 구성장치

고압의 제어유를 공급하는 장치(제어유 공급, 압력유지, 여과, 습분제거, 온도유지)와 터빈에 들어가는 증기를 차단하고 조절하는 비상정지밸브(ESV / RSV, Emergency Stop Valve/Reheater Stop Valve)와 조속밸브(GV/IV, Governor Valve/Interceptor Valve)가 있고, 서보밸브와 피로트밸브, 파워피스톤으로 구성된 터빈 제어장치가 있으며, 트립 장치에는 트립 플런저, 수동/자동 트립밸브 및 과속도트립밸브, 트립 리셋장치가 있고 시험장치는 트립 우회장치, 트립 우회제어밸브, 트립시

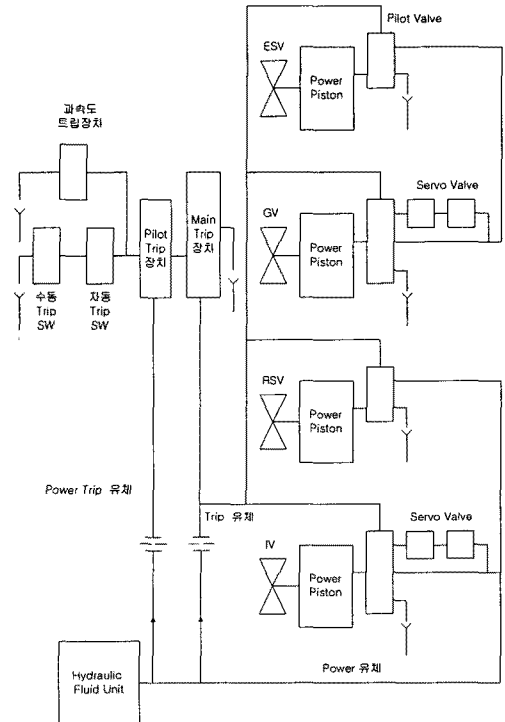


그림 2 터빈제어 및 보호계통의 개략도

그림 3은 터빈 보호장치 시험절차에 대한 흐름도이다. Channel A를 선택하여 시험 시에는 반드시 Channel B는 선택되지 않고, 정상기능을 수행하도록 연동되어 있으며, Bypass Plunger A Solenoid를 동작시켜 Main Plunger를 Bypass 시킨 후 개별 트립 시험항목에 대하여 시험을 하게 된다.

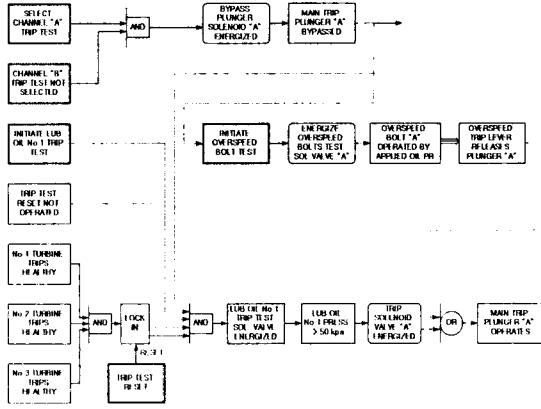


그림 3 터빈 보호장치 시험 논리 흐름도

2.2 터빈 보호장치의 시험

2.2.1 보호장치의 시험을 위한 운전화면의 구성

기존의 아날로그 터빈 보호장치에서 가지고 있는 기능을 디지털 제어장치에서 시험 로직을 구현하고 시험조작반은 산업용 컴퓨터와 모니터로 구성된 터빈운전조작반에서 시험하도록 운전화면을 구성하였다.

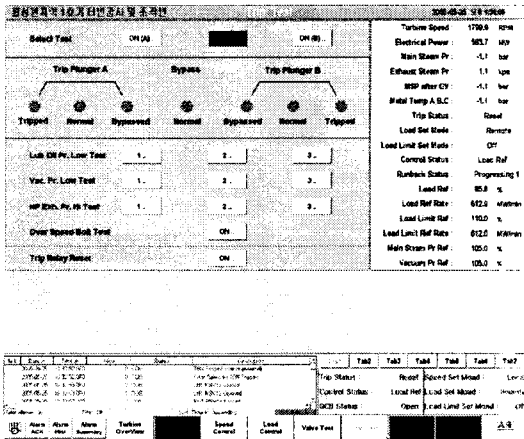


그림 4 비상정지장치의 시험 운전조작화면

2.2.2 보호장치 시험 운전화면의 구성 설명

다음은 비상정지장치의 시험화면을 설명한 것이다.

- Trip Plunger A : 트립 계통 A의 상태를 표시한다.
 - Tripped 램프 : 트립 회로 시험 항목에 의해 A 계통에 트립이 되면 적색으로 표시된다.
 - Normal 램프 : 트립 계통 A가 현재 Trip 상태가 아니고 정상이면 적색으로 표시된다.
 - Bypassed 램프 : Select A를 선택, 동작시켜 트립 계통 A가 Bypass되면 적색으로 표시된다.
- Trip Plunger B : 또 다른 동일한 트립 계통 B를 표시하며, 트립 계통 A와 동일한 내용이다.
- Bypass : 트립 계통 A와 B가 모두 Bypass 상태가 아니면 Normal 램프가 적색이다.
- Select A Test On/Off 버튼 : 트립 계통 A를 Bypass

시키고자 할때 On 버튼을 누르면 되고 Bypass 상태를 해제시키고자 하면 Off 버튼을 누른다.

○ Select B Test On/Off 버튼 : 트립 계통 B를 Bypass 시키고자 할때 On 버튼을 누르면 되고 Bypass 상태를 해제시키고자 하면 Off 버튼을 누른다.

2.2.3 터빈 트립계통 개별시험 항목

다음은 터빈 트립계통의 주기적 시험항목이며 개별적으로 차례차례 시험을 수행한다.

- Lube Oil Pressure Low Test : 윤활유 저압에 의한 삼중화된 트립 계통을 시험하고자 할 때 사용되며, 1, 2 및 3의 세 가지 경우가 있다.
- Condenser Vacuum Pressure Low Test : 복수기 저진공에 의한 삼중화된 트립 계통을 시험하고자 할 때 사용되며, 1, 2 및 3의 세 가지 경우가 있다.
- HP Turbine Exhaust Pressure High Test : 고압터빈 배기 고압력에 의한 삼중화된 트립 계통을 시험하고자 할 때 사용되며, 1, 2 및 3의 세 가지 경우가 있다.
- Overspeed Bolt Test : 터빈의 과속도를 감지하는 Overspeed Bolt에 의한 트립 계통을 시험하고자 할 때 사용된다.
- Trip Test Relay On 버튼 : 터빈 보호장치 시험을 종료하고 모든 기기를 정상 운전상태로 복구하기 위해서는 이 버튼을 눌러서 Trip Plunger A 및 B 계통을 Normal 상태로 바꾸고자 할 때 사용한다.

2.3 부하운전 중 밸브의 시험

2.3.1 부하운전 중 밸브시험의 개요

○ 구동 시험 : 부하운전중 조속밸브(GV) 및 저압터빈 조절밸브(IV)의 시험은 서보밸브에 전기적인 시험신호를 가함으로써 증기조절밸브가 일정속도로 닫히기 시작하고, 완전히 닫힌 후 시험신호를 복구하면 다시 일정속도로 열린다. 이 시험으로 서보밸브와 구동기구 등에 대한 정상동작을 확인하고, 시험시 증기밸브의 구동상태를 트랜드 화면으로 밸브 시험결과에 대한 분석을 할 수 있도록 하였다.

○ 트립시험 : 트립시험은 트립시험 버튼스위치에 의해 솔레노이드 밸브를 포함한 증기조절밸브의 트립기구의 정상동작 여부를 확인하기 위한 것이며, 트립 슬리브에 공급되는 제어유를 차단하여 증기조절 밸브를 트립시키게 된다. 트립용 제어유가 차단, 방출 되면 트립 슬리브는 스프링력에 증기조절밸브를 즉시 차단시키게 되는데 정상 운전중이 밸브가 갑자기 차단됨으로 갑자기 부하가 감발되지 않도록 증기조절밸브가 완전히 닫힌 후에 만 가능하도록 연동되어 있다.

- 고압 및 저압 비상정지밸브의 시험도 조속밸브와 유사하나 구동방법이 서보밸브 대신 밸브 시험용 솔레노이드 밸브에 의해 동작하는 점이 다르다.

- 밸브시험의 감시는 밸브개도신호의 요구치와 실제치를 비교하여 과다한 차이가 생길 경우 경보를 발생한다.

2.3.2 밸브시험 운전화면의 구성 설명

그림 5는 비상정지밸브(ESV)와 조속밸브(GV), 제열비상정지밸브(RSV)와 재열조절밸브(IV)의 밸브시험을 위해 구성한 운전화면을 보여주고 있다.

- 먼저 시험하고자 하는 밸브를 선택하는데 GV를 먼저 선택하여 밸브를 닫고 그 다음 ESV를 선택하여 밸브를 닫아 시험한다. 그리고 해당밸브가 아니면 선택되지 않도록 하여 오조작을 방지하였다.

- 밸브가 선택되었으면 여기에 있는 공통 선택버튼에 의해 밸브 시험을 진행한다.

O Test Start : 시험할 밸브가 선택된 상태에서 On 버튼을 누르면 선택된 밸브를 닫아주도록 한다. 닫아주는 시점은 Test Value가 선택된 밸브의 Demand 값보다 작아지면 실제로 밸브가 닫히기 시작함. 또한 밸브 시험이 진행 중일 때 Off 버튼을 누르면 밸브는 다시 열리기 시작한다. ESV나 RSV는 시험용 Trip 솔레노이드 밸브가 동작하여 해당밸브를 닫는다.

O Trip Test Sol : 시험할 밸브가 선택된 상태에서 On 버튼을 누르면 선택된 밸브의 Trip Test 솔레노이드가 동작되어 해당밸브가 Trip되도록 한다.

O Test Hold : 시험 도중에 On 버튼을 누르면 Test Value 값을 그대로 유지시켜 밸브를 더 이상 움직이지 않도록 한다. 다시 밸브시험을 계속 진행하고자 하면 Off 버튼을 누르면 된다.

O Vv Select : Vv Select On 상태에서만 시험하고자 하는 밸브를 선택할 수 있고 해당밸브 시험을 진행할 수 있도록 한다.

O Test Value : 정상상태일 때는 항상 105%이고 밸브 시험 중일 때는 -5%까지 지정된 기율기로 서서히 감소 되고, 시험중 이 값은 서보 기능을 가지는 밸브 (GV, IV)에 적용되며, ESV 및 RSV에는 이 값은 무의미함. 또한 이 값과 각 밸브의 개도 요구 신호값 중 작은값이 Demand 값을 결정되어 각 밸브의 개도 위치 요구값으로 전달되므로 시험 중인 밸브를 닫아주는 역할을 한다.

- ESV1의 밸브 시험과 관련 설명

O ESV1 버튼 : 밸브 시험을 위해 ESV1을 선택하고자 할 때 누르는 버튼이고, 정상적으로 선택되면 적색으로 변한다. 그러나 해당 증기밸브(GV1)가 닫혀있는 상태가 아니면 급격한 출력변동을 초래하므로 연동되어 선택되지 않는다.

O Open/Close 표시 : ESV1의 현재 밸브 개도 상태를 표시한다.

O Trip Sol : ESV1용 밸브 Trip Test 솔레노이드가 동작되어 Eng(Energized)로 표시된다.

- 나머지 ESV2, ESV3 및 ESV4도 동일한 구성과 기능을 가지고 있으며, RSV13, RSV14, RSV15, RSV16, RSV17 및 RSV18도 동일하다.

- 밸브 시험과 관련된 중요 운전상태를 감시할 수 있도록 한다.

O Electrical Power : 발전기 출력을 MW로 표시한다.

O Load Ref 및 Load Limit Ref : 현재의 값을 %로 표시한다.

O Operation Status : 현재의 운전모드를 표시한다.

2.3.3 부하운전 중 밸브시험 결과

다음 그림 6은 밸브시험 절차를 모의 시험한 결과를 트렌드 화면으로 나타낸 화면이다.

밸브 Test Start에 버튼을 누르면 밸브 Test Demand 신호에 의해 밸브가 닫히기 시작하고 완전히 닫힌 후에 Test Trip 신호를 주어 솔레노이드 밸브에 의해 Power 유체와 분리되도록 하고 Test Demand 신호를 주어도 밸브개도는 닫힌 상태 그대로 유지되고 Pilot 밸브만 신호에 따라 동작하는 과정을 확인할 수 있다. 이 후는 시험 후 정상으로 복귀과정이다.

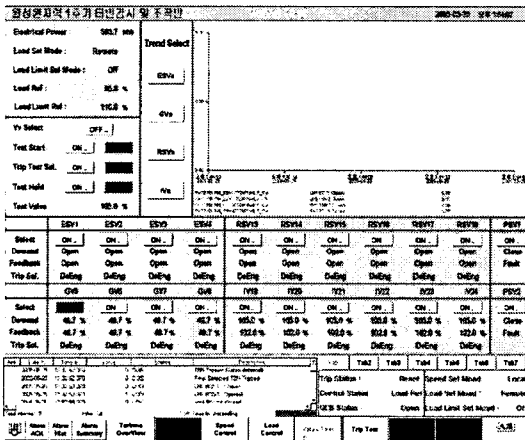


그림 5 밸브시험 운전조작화면

- GV5(RSV13)의 밸브시험과 관련 설명

O GV5 버튼 : 밸브 시험을 위해 GV5를 선택하고자 할 때 누르는 버튼이고, 정상적으로 선택되면 적색으로 변한다.

O Demand : GV5의 현재 밸브 개도 요구값을 표시한다.

O Feedback : GV5의 현재 밸브 개도 값을 표시한다.

O Trip Sol : GV5 Test Trip 솔레노이드가 동작되어 Eng(Energized)로 표시되고, 해당밸브의 제어유를 차단시켜 밸브가 동작되지 않도록 한다.

- 해당 시험 밸브가 닫히기 시작되면 발전기 출력이 변동되게 되므로 이 출력변동분이 시험하지 않는 밸브의 요구신호를 증가시켜 출력변동이 발생하지 않도록 한다. 출력변동을 방지하는 방법은 출력변동을 비교하여 중감신호로 보상하는 방법을 사용했으나 발전기 출력과 비례하는 터빈 입구 증기압력을 페루프로 제어하는 방법이 속응성이 좋아 발전기 출력변동이 적으므로 이 방법을 채택하려고 한다.

- 나머지 GV6, GV7 및 GV8도 동일한 구성과 기능을 가지고 있으며, IV19, IV20, IV21, IV22, IV23 및 IV24도 동일하다.

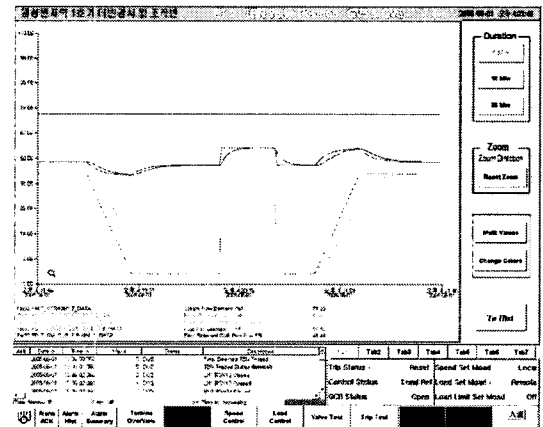


그림 6 밸브시험 결과 트렌트화면

3. 결 론

이상에서 기술한 바와 같이 기존 터빈제어시스템과 보 계통 시험 장치의 성능 개선을 위해서 새로운 디지털 제어시스템에 제어 프로그램을 내장하고, 컴퓨터를 이용한 운전조작화면을 구비함으로써 기존 기능을 그대로 수행하도록 구성하고, 시험 중인 내용을 소개하였다. 본 시스템은 모의시험을 거쳐 보완한 후 원자력발전소 현장에 적용될 예정이다.

[참 고 문 헌]

[1] 정창기 외 8명, "CANU형 원전 디지털 터빈제어시스템 개발", 전력연구원 중간보고서, 2004