

원자력발전소 터빈제어유계통의 구성 및 시험 Configuration and Testing of Turbine Electro Hydraulic Control System NPP

전 창 식
C. S. Jeon

1. 서 론

원자력발전소 터빈제어유(EHC: Electro Hydraulic Control)계통은 고압의 유압을 이용하여 증기밸브를 정밀하게 제어하여 터빈 속도, 출력을 제어하고 과속도로부터 터빈을 보호한다. 유압공급장치로부터 공급되는 유압은 터빈제어 및 보호를 위한 유압밸브와 터빈밸브 작동기로 공급된다. 터빈제어유계통은 기동시 속도 및 가속도제어, 터빈 부하감발 및 보호, 부하감발 및 비상시 터빈 과속도 보호, 증기 조절밸브와 기타 중요 보호설비에 대한 시험을 수행할 수 있도록 그림 1과 같이 구성 되어 있다.

2. EHC 시스템 구성 및 특징

2.1 유압공급장치(HPU: Hydraulic Power Unit)

유압공급장치는 터빈을 제어하는 유압 공급부에 속하며 유체를 터빈밸브 작동기의 Control PAC과 터빈 비상 정지 계통(ETS: Emergency Trip System)에 공

급한다. 유압공급장치는 계통의 과도적인 운전 상태 하에서도 모든 제어장치에 항상 안정된 유압과 적절한 유온을 유지하도록 구성되며 화재에 대비하여 난연성 인산에스테르를 주로 사용하며 이 유체는 윤활 특성이 좋으며 안정성이 탁월하다.

계통의 공급압력은 1600psig이상의 고압으로 작동기의 유압 실린더를 동작시킬 수 있도록 설계되어 있다. 장기간 운전에도 유체의 특성을 유지할 수 있도록 관리되며 청정도를 유지하기 위하여 정화장치 및 활성 여과기가 설치되어 있다.

유압공급장치는 유압공급의 신뢰성 확보를 위하여 별도의 두 계열로 설치되어 있어 한 계열의 기능이 상실 하면 대기중인 계열이 자동 기동되도록 설치되어 있다. 또한, 최상의 신뢰도를 갖도록 각종 부속설비들로 설계되어 있으며 구성 요소로는 제어유 저장조 및 Air Breather, 제어유 냉각 설비, 제어유 이송 및 여과 설비 등으로 되어 있으며 그림 2처럼 구성 되어 있다.

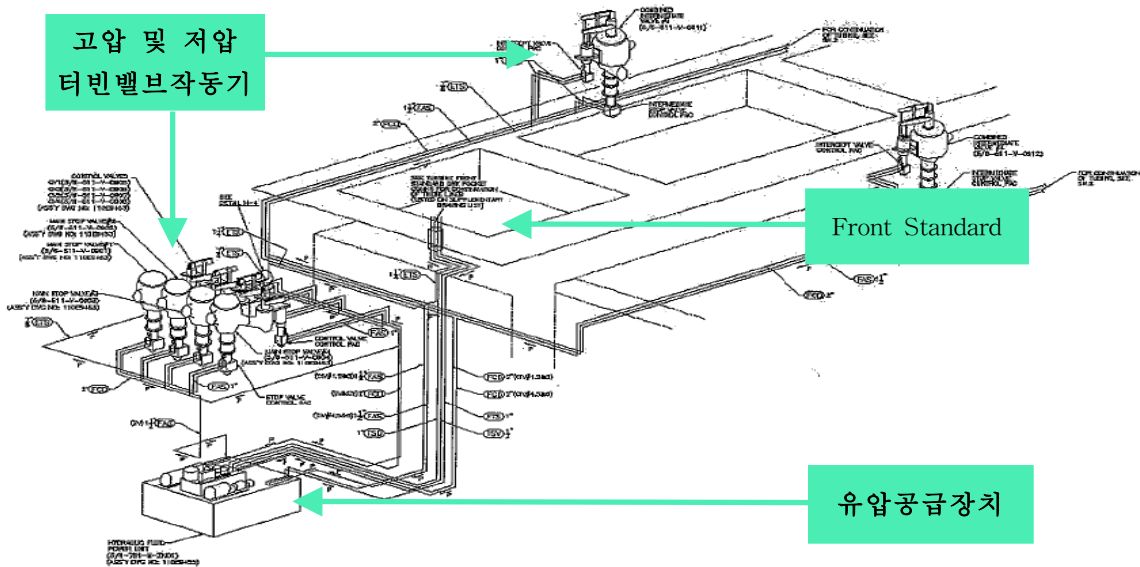


그림 1 터빈제어유계통 구성도

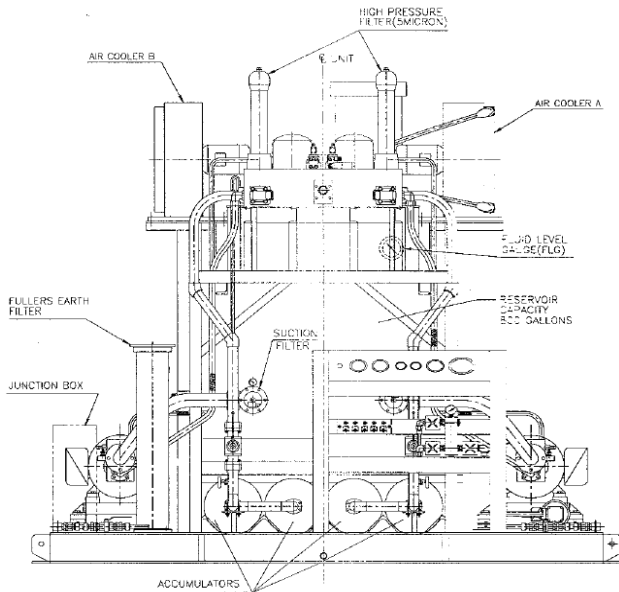


그림 2 유압공급장치 구성도

2.2 보호 및 제어

원자력발전소 2차계통 터빈보호 및 제어 시스템이 설치된 Front Standard는 유압밸브의 구성품을 장착하여 터빈 비상정지 및 터빈기기를 보호한다. 또한 기계적 과속보호장치 및 전기적 신호에 의해 터빈이상 상태 발생시 터빈밸브에 공급되는 작동유를 차단하고 배유시킴으로서 터빈을 안전하게 정지시킨다. 터빈 제어설비의 특징은 다른 보조계통이 상실되었을 때에도 발전소가 안전하게 운전할 수 있도록 필수적인 터빈제어 및 보호기능이 포함되어 있고, 또 다른 특징은 원활한 제어를 위한 매우 자주 또는 연속적으로 제어기능이 수행되어야 하므로 자료취득과 제어 알고리즘의 처리가 수행되며, 기계적 정지 계통 및 조속기로부터의 보호 신호를 제공한다.

Front Standard에는 기계적 정지 밸브와 전기적 정지 밸브로 구성되는데 두 개 중 어느 한 밸브만 동작하여도 터빈정지가 발생한다. 정지 동작은 비상정지계통 유압유를 덤프 하여 터빈 증기 공급 밸브를 급속히 닫음으로서 이루어진다. 또한 정상 운전시 주기적인 시험을 할 수 있도록 그림 3과 같이 설계되어 있다.

2.3 터빈밸브 작동기

원자력발전소 2차계통 터빈밸브는 작동기 동작으로 인하여 비상시에 터빈으로 증기가 유입되는 것을 방지하는데 목적이 있다. 터빈밸브 작동기는 Control

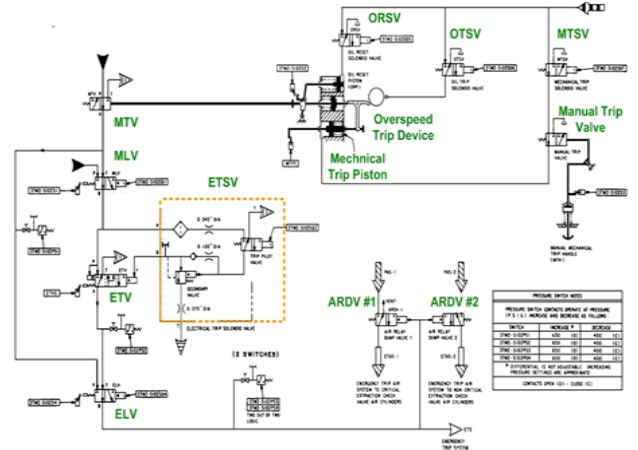


그림 3 터빈제어 및 보호회로도

PAC 및 유압 밸브로 구성되며 각 터빈밸브 작동기의 전기 유압식 서보 밸브는 밸브 제어기에서 받은 전류 신호를 유압 신호로 변환하여 고압 작동유를 조절하므로써 밸브 작동기를 개폐하며 고압 작동유는 유압공급장치에서 공급된다. 터빈밸브 작동기는 발전기를 계통에 병입하기 전에는 터빈의 회전속도를, 계통 병입 후에는 터빈 부하를 제어할 수 있다.

또한 운전중에도 터빈밸브 작동기 시험 장치에 의해서 임의의 밸브를 선택하여, 밸브를 폐쇄 또는 개방하므로써 증기밸브의 고착 또는 정상 동작 여부를 확인 할 수 있다. 증기밸브 개도에 따른 유량과 고압터빈의 효율은 그림 4와 같으며, 터빈밸브 작동기 및 Control PAC 그림 5와 같다.

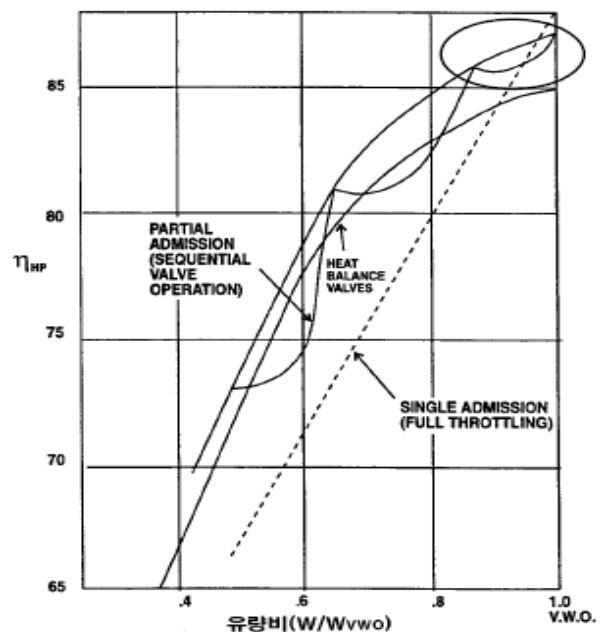


그림 4 고압터빈 효율

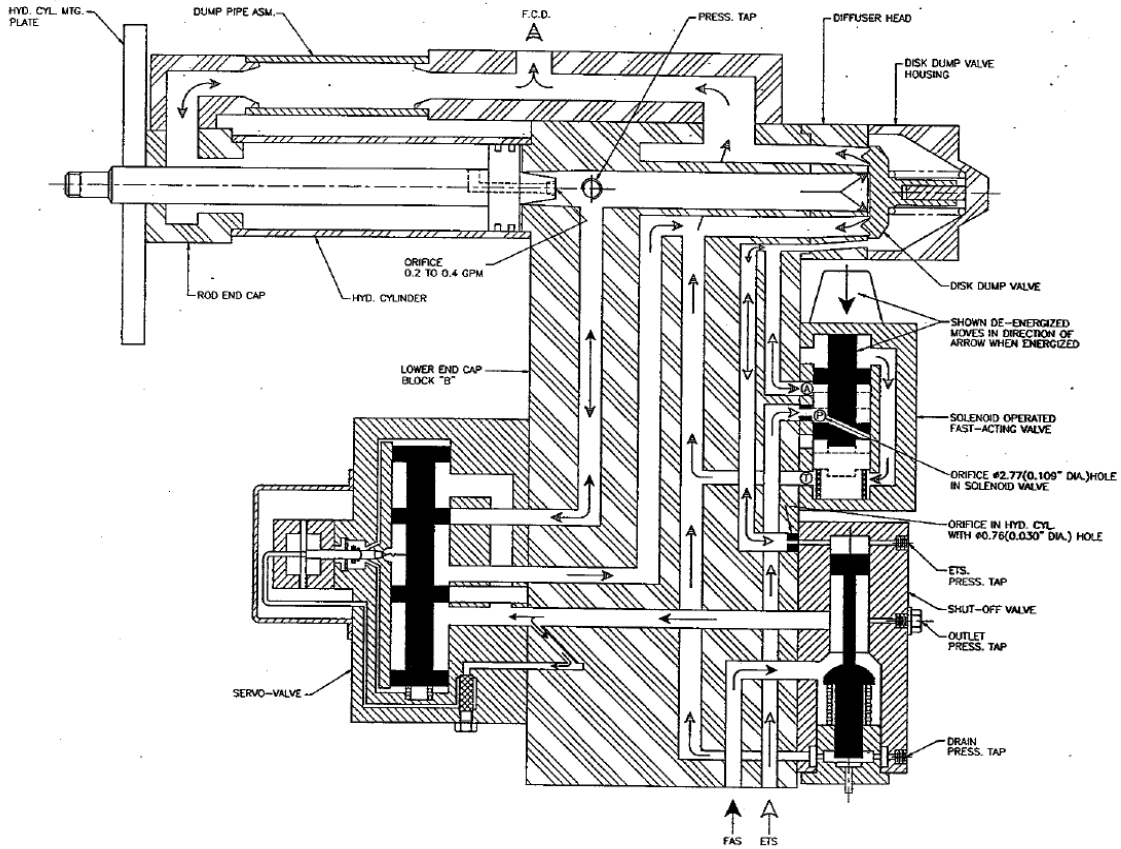


그림 5 터빈밸브 작동기 및 Control PAC

3. 터빈제어유계통 시험

3.1 정비전 시험

계획예방정비 시작전 터빈밸브 작동기의 건전성 확보를 위하여 증기밸브 특성시험을 수행한다. 터빈 조속기계통 증기밸브 특성 시험을 수행함으로써 밸브 특성자료 취득 및 상태 확인, 작동기의 압력변화, 서보밸브 상태, 응답성 측정 후 종합적으로 검토하여 정비항목 선정시 반영하고 있다.

또한 고압터빈 정지, 조절밸브 및 저압터빈 정지, 조절밸브 본체에 대하여 밸브 분해점검을 위하여 표 면검사등 육안점검을 실시하여 밸브의 상태를 확인 하고 있다.

3.2 운전중 시험

원자력발전소 2차계통 운전중 터빈과속보호계 통 밸브 동작시험을 수행함으로써 각 밸브의 운 전가능 여부의 확인과 증기밸브의 고착을 예방하 고 있다.

터빈과속보호계통 증기밸브 작동점검은 부하운전 중에 증기밸브의 정상 제어신호는 차단되고 밸브의

정지 위치 전환시 덤프 솔레노이드밸브의 코일을 여자 시켜 덤프밸브가 동작하게 되어 제어유가 배 유되므로써 밸브가 스프링 힘에 의해 닫히게 함으 로서 증기밸브 작동점검을 수행하고 있다. 부하운 전중 시험과 터빈보호기능은 터빈밸브 작동기 시험 시 보호신호와 물리적으로 분리되어 터빈정지신호 발생시 증기밸브 폐쇄를 위해 다중성으로 구성되어 있다.

또한 터빈 긴급 정지신호 발생시 터빈보호회로가 건전하면 보호신호에 의해 모든 증기밸브를 닫히게 할 수 있으므로 증기밸브 시험중이라도 터빈 정지 신호발생시 밸브 닫힘에는 아무런 영향을 주지 않도 록 설계되어 있다.

발전소 운전중 제어유의 유지관리를 위하여 일정 량의 지속적인 정화운전과 작동유 분석을 통하여 전 산가 및 저항값등을 관리하고 있다.

3.3 정비후 시험

예방 정비후 터빈밸브 작동기에 대하여는 단일기 기인 작동기에 대한 공장시험과 설치후 교정 및 설 치후 시험으로 구별하여 시행한다.

3.3.1 공장 시험

3.3.1.1 터빈제어유 펌프 시험

터빈제어유펌프 분해 정비후 건전성 확인을 위하여 시험을 실시하고 있다. 정비후 펌프의 성능을 확인하는 압력과 유량에 대한 정격시험을 실시하며, 압력조절에 대한 응답성을 확인하고 있다. 정밀 점검이 필요한 경우에는 다양한 시험을 수행할 수 있다.

펌프 효율 시험은 최고사용압력, 최고허용속도에서 각 단계별로 용적효율, 기계효율, 전 효율시험을 실시하며 회전속도 대비 토출유량을 나타내는 정격유량시험, 부하 동특성 시험, 맥동 시험, 정마력 시험, Pressure Cut-Off 시험, 전마력 시험 내압 시험등을 수행할 수 있다. 또한 터빈제어유계통의 안정적인 유압공급을 위하여 대기중인 펌프의 자동기동 시험을 수행한다.

3.3.1.2 터빈 보호 및 제어 유압밸브 시험

터빈제어 및 보호계통의 유압밸브에 대한 개별적인 성능시험을 수행할 수 있으며, 또한 유압공급장치로부터 종합적인 시험을 수행 할 수 있다. 일반적인 단위기기인 유압밸브의 시험으로는 유압공급이 필요치 않은 절연저항 및 내전압시험, 코일저항 시험, 코일 인덕턴스 특성, 압력계인 특성, 중립점 바이어스 특성, 공급압력, 귀환압력, 기름온도 변화에 의한 중립점 변화 특성, 스텝 응답시험, 주파수 응답시험등이 있다.

계획예방정비후 터빈 유압제어밸브의 동작시험을 통하여 압력, 유량, 무부하 유량 특성을 확인하며, 내부누설, 내압시험, 내구성에 건전성을 확인하며, Spool Stroke Test를 실시하여 행정거리를 점검한다.

3.3.1.3 터빈밸브 작동기 시험

터빈밸브 작동기는 시험회로의 압력을 최저 작동 압력으로 설정하고 실린더의 부하를 걸지 않고 열림 단힘을 반복하여 피스톤의 최저 속도로 작동 시험을 실시한다. 누유시험은 외부누유와 내부누유에 대하여 누유량을 측정하여 허용치 내에 있음을 확인한다. 또한, 표준형의 터빈밸브 작동기의 서보밸브 동작시험, 차단밸브 동작시험, LVDT 동작시험을 동시에 실시한다. 터빈밸브 작동기의 건전성 확인을 위하여 내구성시험, 압력에 의한 최

저 작동 속도 시험, Mechanical Stroke 시험, 가압 유지후 외부누유, 파손, 이상 유무를 검사하여 이상이 없는 것을 확인하는 내압성시험을 수행하고 있다.

3.3.2 설치후 시험

예방 정비후 증기밸브, 밸브 작동기, 유압밸브 분해 점검 및 공장시험을 실시한 후에는 시스템에 설치후 증기밸브 및 유압밸브에 대하여 교정, 개별적으로 밸브 동작상태 및 누설상태를 확인한다.

정상적인 터빈제어유계통 운전상태에서 터빈제어 유펌프 대기중인 펌프 자동기동시험, 터빈밸브 작동기 동작 상태점검 및 교정, 전기적 과속도 정지시험, 기계적 과속도 정지시험(Oil Trip) 및 실제 기계적 과속도 비상정지시험을 실시하여 종합적인 건전성 확인 시험을 수행한다.

5. 결 론

원자력발전소 2차계통 터빈제어유 시스템은 유압 공급장치, 터빈제어 및 보호, 터빈밸브 작동기에 구성되며 고압의 작동유에 의하여 운전되고 있다. 이와 같은 정밀기기에 대하여 터빈의 비상정지가 필요한 경우에 신뢰성 확보, 건전성 보장 위하여 분해점검 및 각종 시험을 수행하고 있다. 단위기기의 관리대상으로는 작동기, 제어 및 보호장치, 유압밸브, 제어유계통의 필터 및 부속기기등으로 설계되어 있다.

시스템의 성능진단 및 관리를 위하여 터빈밸브작동기 동작시험, 제어유 관리를 위한 주기적인 제어유 분석, 예방 정비전후로 밸브 특성시험, 교정등을 수행하여 건전성을 확인하고 있다.

본 해설서에서 구성기기와 시험에 대한 현황을 고찰하였으며, 구성에 대한 원리를 이해하고 적절한 시험을 수행함으로써 터빈제어유계통의 신뢰성을 확보할 수 있고, 고성능, 고품질이 유지할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- 1) 산업자원부 “원전터빈 보안설비 응동특성 종합시스템 개발 최종보고서”, 2006
- 2) EPRI TR 1004554, "Electrohydraulic Control

- (EHC) Fluid Maintenance Guide”, 2002
- 3) KS B 6517 위치 센서불이 유압실린더 시험 방법
 - 4) KS B 6516 전기 및 전자 제어식 유압펌프 시험 방법
 - 5) KS B 6515 전기 유압 서보밸브 시험 방법
 - 6) 울진5, 6호기 표준형 계통 설명서

[저자 소개]



전 창 식

E-mail : jeoncskhnp@khnp.co.kr

Tel : 061-357-2193

1960년 2월 20일생

1987년 울산과학대 원자력과 졸업

1979년 한국수력원자력(주) 입사

2006년 한수원 사내강사 선정

2009년 한수원 품질명장 및 터빈제어분야 핵심 100인 선정, 고리3, 4호기 및 영광1, 2호기, 한국표준형 증기터빈밸브 액추에이터 및 성능시험장치 국산화 개발, 증기터빈의 유압구동장치 시험용 유압완충기 특허 등