

표준형 발전소용 터빈 밸브 작동기 성능 분석 시스템 개발

노 제 회, 김 상 협, 이 동 일, *양 천 규, *신 을 영, *정 재 원
(주)세영엔지니어, *한전기공(주) 기술연구소
전화 : 02-462-8325 / 핸드폰 : 016-559-9748

The development of turbine valve actuator efficiency analysis system for the standard power plants

J. H. Roh, S. H. Kim, D. I. Lee, *C. K. Yang, *Y. Y. Shin, *J. W. Jung
SeYong Nuclear Development Co.,Ltd, *Korea Plant Service & Engineering
E-mail : neogod@chollian.net

Abstract

This paper is about the development of the turbine valve actuator efficiency analysis system for the standard power plants. We developed hydraulic power unit and turbine valve actuator controller. We designed control algorithm for turbine valve actuator, implemented and verified it at the industrial plants.

본 논문은 표준형 발전소의 예방 정지 기간 중 터빈을 제어하기 위한 터빈 조속기 제어 계통의 정지 밸브 및 제어밸브의 건전성을 진단하기 위한 성능 분석 시스템을 개발하는 것으로서, 정지 밸브 및 제어밸브의 동작을 위해 유압을 공급해 주는 터빈 증기변 유압공급장치(HPU 2002)와 전기적 신호 및 각종 센서에서 측정된 데이터를 수집하여 감시하고, 제어 및 조작하기 위한 성능 분석기(CNA 2002)로 나누어져 있다.

본 논문에서는 터빈 밸브 작동기 성능 분석 시스템 개발과정에서 구현된 터빈 밸브 작동기의 위치 제어 알고리즘과, 시스템의 성능을 평가하기 위해 현장성능 시험을 수행한 결과를 소개하고자 한다.

I. 서론

표준형 발전소의 터빈은 증기 및 가스와 같은 압축성 유체의 흐름을 이용하여 회전력을 얻는 기계장치이다. 증기를 이용하면 증기터빈, 연소가스를 이용하면 가스터빈이라 한다. 증기터빈은 증기의 열에너지를 기계적 에너지로 변환시키고, 동일 축에 연결된 발전기는 터빈에서 변환된 기계적 에너지를 전기적 에너지로 변환시키는 역할을 한다. 터빈 제어는 터빈으로 유입되는 증기의 양을 적절히 제어하여 터빈의 속도 및 전기적 출력을 조절하는 것이 최종 목표이며, 이는 터빈의 입구측에 설치된 여러 가지 정지 밸브(Stop Valve) 및 제어 밸브(Control Valve)에 의해 이루어진다.

II. 본론

2.1 터빈 조속기 제어 계통

표준형 원자력 발전소나 화력발전소 등에 설치되는 증기터빈에는 고압 터빈과 저압 터빈을 구비하고 있으며, 이 고압 터빈과 저압 터빈을 쪽으로 유입되는 증기 및 터빈을 거쳐 배출되는 증기는 터빈 조속기 제어 계통 설비에 의하여 제어된다. 즉, 터빈 조속기 제어 계통 설비의 핵심적인 요소인 고압측 터빈 밸브와 저

압축 터빈 밸브에 의하여 증기 압력 및 유량이 조절되고, 이와 같은 증기 조절에 의하여 증기터빈의 회전수가 조절되도록 되어 있다. 그리고, 상기 터빈 밸브는 각각 유압 작동기(Actuator)에 의하여 제어된다. 따라서, 조속기 제어 계통 설비 중 특히 유압 작동기에 문제가 발생하면 증기 압력 및 유량 조절이 제대로 되지 않아 발전기의 전력계통 주파수를 일정하게 유지할 수 없을 뿐만 아니라 과도한 증기 압력 및 유량이 증기터빈에 작용하여, 심하면 터빈의 트립 현상이 유발된다. 이와 같이 유압 작동기에 고장이 발생하면 반드시 발전소 가동을 정지할 수밖에 없어 과도한 정비시간이 소요되고 전력 생산에 큰 차질을 빚기 때문에 유압 작동기는 높은 신뢰성이 요구된다.

(1) 터빈 밸브 유압 작동기

정지 밸브(Stop Valve)와 제어 밸브(Control Valve)로 구성되어 있는 터빈 밸브는 유압 작동기에 의해서 동작되며 그림 1은 실제 발전소 현장에 설치되어 사용되고 있는 제어 밸브 중 하나인 IV(Intercept Valve) 작동기를 나타내었고, 그림 2에서는 제어 밸브의 유체 흐름도(Fluid Flow Diagram)를 나타내었다.

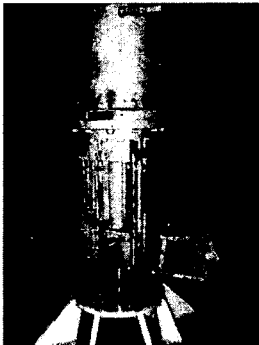


그림 1. Intercept Valve

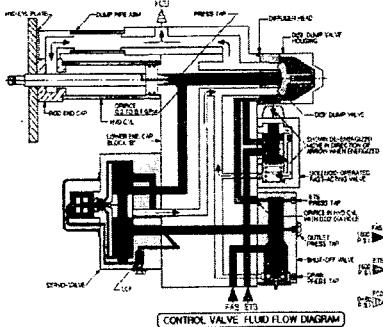


그림 2. Fluid Flow Diagram

정상 운전중 작동기가 Open할 때 유로는 그림 2와 같이 ETS(Fluid Emergency Trip Supply) 오일은 처음 Fast Acting Solenoid Valve 입구의 Orifice를 통하여 Fast Acting Solenoid Valve를 통과하여 Disc Dump 밸브 하부로 들어가 Disc Dump 밸브를 밀어주고 또한 Shut Off 밸브 Spool 상부로 들어가 Shut Off 밸브를 열어주는 유압을 제공하도록 형성된다. FAS(Fluid Actuator Supply) 오일은 Shut Off 밸브를 지나 Servo Valve로 들어가 Servo 밸브를 통하여 Actuator 하부로 유압을 보내 제어 밸브를 Open하는 유압을 제공하게 된다. 또한, 정상 운전 중 작동기가 Close할 때 유로는, ETS 오일은 Open할 때와 동일하며 FAS 오일은 Shut Off 밸브를 지나 Servo Valve로 들어가 Servo 밸브를 통하여 FAS 오일이 Drain 되고 작동기에 있는 오일도 또한 유로를 통하여 Drain 되어 제어 밸브가 Close되도록 형성된다. Trip 또는 Close Test시에는 Fast Acting Solenoid 밸브가 여자 되어 ETS 오일이 차단되고 Shut Off 밸브 Spool 상부에서 ETS 오일이 공급되어 Shut Off 밸브를 Open 시키는 ETS 오일 공급을 차단하게 되어 Shut Off 밸브는 하부 스프링의 힘에 의해서 Shut Off 밸브가 닫히게 되어 Disc Dump 밸브 하부로 공급하던 ETS 오일이 Drain 되고 제어 밸브는 Spring 힘에 의해서 닫히게 된다. 또한 FAS 오일은 Shut Off 밸브가 닫히므로 유로가 차단되고 작동기에 존재하는 오일은 Servo 밸브를 통하여 Drain 된다. 이처럼 작동기를 제어하기 위해서는 유압의 흐름도 중요하지만, 전기신호를 유압의 신호로 변환하는 요소가 필요하게 되는데, 이 역할을 하는 것이 Servo 밸브이다.

(2) Servo 밸브의 형태 및 작동 원리

Servo 밸브는 Servo 증폭기의 수십mA의 미약한 출력전류에 의해서, 수십 기압에서 200기압 정도의 작동유의 유압을 제어하는 요소로, 그 응답 속도는 수십 사이클에서 수백 사이클에 달한다. 이런 전자-유압(Electro-hydraulic) 서보 기구를 통해 위치 제어를 하기 위한 블록선도를 그림 3에 나타내었고, 그림 4에 전자-유압 Servo 밸브의 구성을 나타내었다.

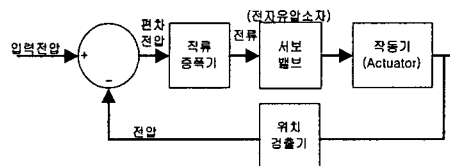


그림 3. 전자-유압 서보 기구의 블록 선도

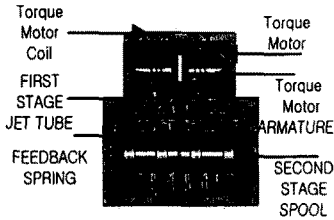


그림 4. 전자-유압 서보 밸브 구성

그림 4와 같이 Servo 밸브의 주요 구성은 Torque Motor Coil, Torque Motor, First Stage Jet Tube, Second Stage Spool 등으로 구성된다. 여기서 토크모터는 영구자석을 아래와 위에서 감싸 마주보는 모양으로 고정된 상부자극(N극)과 하부자극(S극) 사이의 중간에 아마추어가 위치하고 있고 아마추어를 둘러싸고 있는 코일에 직류전류를 가하면 상하의 양 자극과 아마추어 사이에 작용하는 자기적인 힘에 의해 전류의 극성과 크기에 비례한 토크가 아마추어에 발생된다.

본 논문에서는 제어 밸브를 Open/Close 제어하기 위해서 Servo 밸브의 코일 전류를 공급했으며, LVDT(Linear Variable Differential Transformer) 위치센서를 통해 작동기의 피드백 위치 신호를 받아 위치 제어를 수행하였다.

2.2 터빈 밸브 작동기 성능 분석 시스템 개발

본 시스템은 위에서 언급한 터빈 밸브 유압 작동기에 터빈 밸브를 실제 Open/Close 조작하는 조건에 맞게 온도, 압력 및 유량을 조절하여 작동유를 공급하는 유압공급장치(HPU 2002)와 유압 작동기의 Servo 밸브 코일에 전류를 공급하고, 위치를 검출하여 작동기의 이동을 제어하는 신호를 출력하고, 이 출력 신호와 입력신호를 비교한 편차 신호를 유압 작동기로 피드백 제어하여 작동기를 위치 제어하는 동안 각종 측정데이터를 수집하는 터빈 밸브 작동기 제어 및 성능 분석 시스템(CNA 2002)으로 구성된다.

(1) 터빈 중기변 유압공급장치

유압공급장치는, 오일탱크에 저장되어 있는 작동유를 얼마의 압력 및 유량으로 Pumping하기 위한 유압 펌프와 유압 펌프로부터 배출되는 작동유를 유압 작동기에 공급하기 위한 작동유 공급라인과 유압 작동기로부터 배출되는 작동유를 Drain 시키기 위한 작동유 Drain라인과 유압펌프로부터의 작동유 압력을 조절하는 압력조절밸브와 오일탱크에 저장된 작동유의 온도

를 조절하기 위한 히터를 가진다. 그림 5에서 개발한 유압공급장치를 나타내었다.

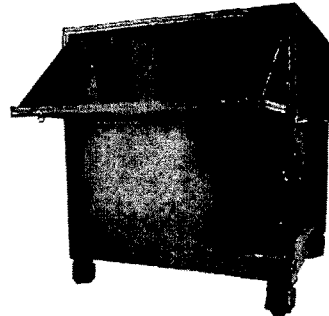


그림 5. 유압공급장치

(2) 터빈 밸브 작동기 제어 및 성능 분석 시스템

터빈 밸브 작동기 제어 및 성능 분석 시스템은 실제 발전소 제어장치와 동일한 신호를 출력하기 위한 하드웨어와 각 센서로부터 신호를 입력받아 데이터를 출력하고 Servo 밸브를 제어하기 위한 소프트웨어로 구성되어 있으며 이동하기에 편리한 휴대 장비로 개발되었다. 그림 6에 터빈 밸브 작동기 제어 및 성능 분석 시스템을 나타내었다.

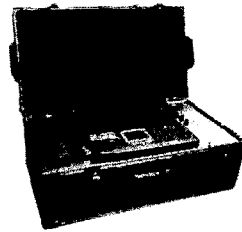


그림 6. 터빈 밸브 작동기 제어 및 성능 분석 시스템

터빈 밸브 작동기를 Open/Close 제어하기 위해서는 그림 3에서 언급한 전자-유압 서보 기구의 블록선도에서 나타낸 것과 같은 기본 제어 방법을 이용하게 되며 본 논문에서 적용된 터빈 밸브 작동기 제어 알고리즘은 그림 7과 같다. 터빈 밸브 작동기의 위치를 설정하기 위한 Position Reference[%]값이 정해지면, 터빈 밸브 작동기의 위치신호를 검출하는 센서인 LVDT로부터 위치신호에 해당하는 Position Feedback[%]값을 입력받게 된다. Position Feedback 신호값은 위치 설정값인 Position Reference 신호값과 비교하여 설정값과 같지 않으면 재조정 출력신호를 Servo 밸브 코일 전류에 공급하게 되고 비교한 편차값이 Zero가 될 때까지

수행하게 된다.

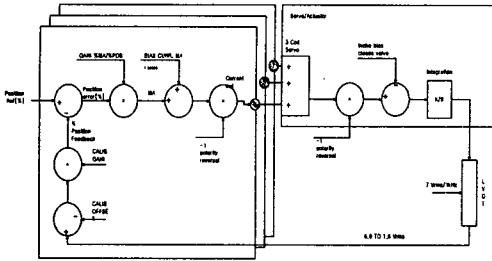
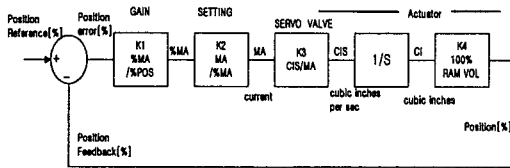


그림 7. 터빈 밸브 작동기 제어 알고리즘

그림 7의 터빈 밸브 작동기 제어 알고리즘은 소프트웨어로 처리했으며, 그림 8에 그림 7에 대한 Open Loop Gain을 나타내었고 본 논문에서 개발한 소프트웨어를 그림 9에 나타내었다.



Open Loop Gain
 $G(s) \cdot H(s) = K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot 1/s \cdot K4$
 where $K1=IO_CFG$ Gain, typically set to 10 %ma/%pos for 40 mA setting.
 $K2=0.4$ ma/%ma for 40 mA setting.
 $K3$ =cubic inches per sec per mA
 =25 GPM or 96 CIS when fully on, 16 ma from each controller.
 =96/16 = 6 CIS/mA when all three controllers are active.
 $K4=100\%/RAM$ Vol
 =100/CI

그림 8. Open Loop Gain

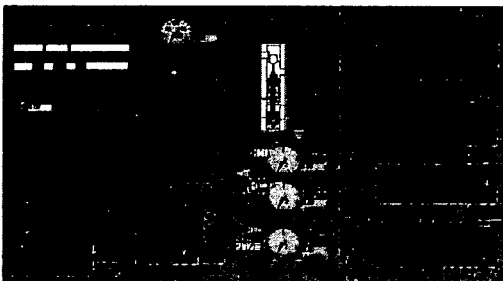


그림 9. 소프트웨어

III. 실험 및 결과분석

개발된 터빈 밸브 작동기 성능 분석 시스템의 성능을 평가하기 위해 표준형 발전소인 삼천포 화력 4호기에 설치되어 있는 터빈 제어 밸브 중 하나인 IV(Intercept Valve)에 적용하여 성능을 평가하였다. 그림 10은 개발한 터빈 밸브 작동기 성능 분석 시스템에서 측정된 데이터를 그래프로 나타내었다.

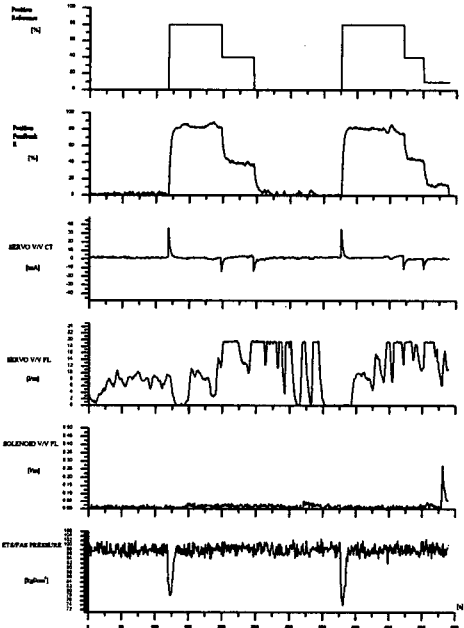


그림 10. 그래프 출력

그림 10의 결과는 IV를 위치 제어하기 위해 Position Reference[%]를 0→80→40→0→80→40→Trip 신호(솔레노이드 밸브 On)로 Open/Close를 수행하는 동안 시간에 따라 Position Feedback[%], Servo 밸브 공급 전류, Servo 밸브 유량, 솔레노이드 밸브 유량, ETS/FAS 유압 공급 압력을 그래프로 나타내었다. Position Reference[%]가 80% 위치로 Open하여 유지하고 있는 동안 IV는 약간 불안정한 현상(overshoot)이 나타났지만 이는 Servo 밸브 공급 전류를 안정화시키고 LVDT 위치 신호(Position Feedback)의 Sampling rate를 적절히 설정하면 안정하게 유지할 수 있으리라 생각된다. 그리고, Servo 밸브 전류는 밸브 케도에 따라 전류가 공급되었으며, Trip 신호(솔레노이드 밸브 On)가 발생하는 순간 솔레노이드 밸브 유량이 약 0.28 [l/m] 정도로 급격히 올라가는 현상이 나타났

으며, 작동기가 Open 되는 동안 100 kgf/cm^2 으로 유지되었다.

V. 결론

본 연구는 발전소 제어에 중요한 역할을 담당하는 터빈 밸브 작동기의 건전성을 진단할 수 있는 터빈 밸브 작동기 성능 분석 시스템을 개발에 관한 것이며, 본 논문은 표준형 발전소의 터빈 밸브를 구동시키기 위해 구현한 위치 제어 알고리즘을 제공하기 위한 중요한 자료이다. 개발된 시스템을 삼천포 화력 발전소 4호기 예방 정비 기간 동안 현장에 적용하여 이상 없이 동작함을 확인할 수 있었고, 본 시스템을 통해서 얻은 데이터는 터빈 밸브 작동기의 건전성을 검증하는데 유용한 분석 자료로 활용될 것으로 사료된다.

개발된 터빈 밸브 작동기 성능 분석 시스템은 터빈 밸브 작동기를 진단함으로써 장기사용 발전소의 설비 개선 기술과 예방 정비 기술을 확보하였으며, 표준형 발전소의 터빈 밸브 작동기의 제어 기술 자립의 기반을 구축할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] A study on the design and the dynamic characteristics of electro-hydraulic flow control servo valve, Go-Do. Kim, Soo-Tae Kim, Journal of Korean Society of Precision Engineering Vol 17, No 2 February 2000.
- [2] Moog Servo Valve Catalogue.
- [3] 유공압기술, 김기준, 김우섭 외, (주)복스힐.
- [4] 서보기구, 서보기구연구회편저, 기전연구소.
- [5] Control System Engineering, Third Edition, Norman S. NISE, JOHN WILEY & SONS. INC.