

증기터빈 조속기용 서보밸브 제어특성에 대한 연구

김병철, 김종안, 우주희, 최인규
한국전력공사 전력연구원

A study on characteristic of servovalve control for steam turbine governor

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

Abstract - 발전소 증기터빈 밸브제어의 핵심을 이루고 있는 서보밸브 제어특성을 파악하고, 조속기 개조에 필요한 제어루프 구성방법 및 각종 제어상수를 시험을 통해 미리 파악하여 교체 적용 시에 발생될 문제점을 해결하고자 시험한 내용을 서술하고자 한다.

PP의 개도 검출을 위해서 회전형 개도검출기 (RVDT : Rotary Variable Differential Transformer)가 1개 설치되어 있다. 개조시에는 LVDT와 RVDT를 각각 2개씩 설치하여 이중화 구성하여 고장시에도 터빈의 연속운전에 영향을 주지 않도록 구성할 계획이다.

1. 서 론

발전소 증기터빈 조속기는 고온고압의 증기에너지 유량을 조절하여 터빈발전기 회전수를 일정하게 제어하여 양질의 전기를 생산하는 장치이다. 전자유압 조속기는 크게 속도검출기, 제어기, 밸브구동기로 구성되어 있는데 그 중에서 매우 빠르고 정확한 제어가 요구되는 증기밸브 제어용 구동장치로 서보밸브가 널리 사용되고 있다. 본 논문에서는 구형 서보밸브와 호환되는 삼중코일 서보밸브의 대체 모델을 선택하여 터빈 디지털 제어시스템과 어울리는 최적의 밸브제어 시스템으로 개조하고자 시험한 결과를 소개하고자 한다.

장기사용 발전소는 제어카드의 노후화 및 신뢰성 저하, 예비품 예산 과다소요 및 생산 중단 예상, 단일 제어루프의 고장으로 인한 발전운전의 불안정과 같은 문제점이 상존하고 있다. 이와 같은 이유로 터빈 제어시스템의 성능 개선 필요성이 요청되고 있어 최신의 디지털 전기식 (DEHC : Digital Electro Hydraulic Control)으로 교체 필요성이 요구되고 있다. 이를 성공적으로 수행하기 위해서는 터빈의 속도를 제어하는 최종 결정요소인 밸브 제어시스템의 특성을 미리 파악하여 신규 설치되는 제어시스템을 사용하여 현장 적용시 발생될 문제점을 미리 파악하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 조속기 제어시스템의 구성

적용 대상발전소의 조속기 제어계 블록도는 그림1과 같다. 속도신호와 발전기 출력 신호가 결합하여 밸브제어신호가 되고 이중 루프로 구성된 밸브제어회로 출력이 최종적으로 주증기 조절밸브(4개)와 재열증기 조절밸브(6개)를 구동하는 서보밸브 전류신호가 출력된다. 서보밸브가 움직이면 보조밸브(PV:Pilot Valve)의 개도 변화가 발생되고, PV의 개도 변화에 의해 유압시스템의 공급 및 배출되는 경로가 변동되어 최종적으로 증기밸브(PP:Power Piston)의 개도를 제어하게 된다. 이에 의해 최종적으로 증기터빈에 유입되는 증기유량이 변동되어 터빈 발전기의 속도가 제어된다.

시험에 사용된 제어기는 삼중화 하드웨어인 MicroNet을 사용하였다. 삼중화된 중앙처리장치(CPU:Central Process Unit) 모듈과 입출력 모듈 등이 장착되며, 최소 5msec의 제어주기로 터빈의 속도제어를 위해 운전원의 명령 및 타 제어시스템과의 연계 운전을 수행할 수 있는 프로그램이 실행된다. PV의 개도를 검출하기 위해 변압기 원리를 이용한 직선형 밸브개도 검출기(LVDT:Linear Variable Differential Transformer)가 설치되어 있으며

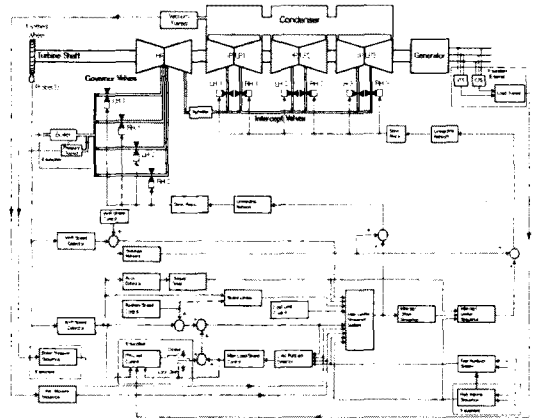


그림 1. 조속기 시스템 제어계 블록도

증기밸브 제어시스템을 도식화하면 그림2와 같고, 시험을 위한 제어회로는 그림3과 같이 구성하였다.

제어루프는 Cascade 형식이며 내부 루프에서는 PV의 위치제어가 이루어지며, 외부 루프에서는 PP 위치제어가 이루어진다.

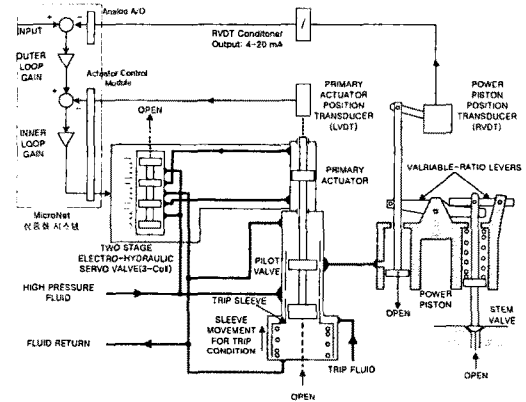


그림 2. 서보밸브 제어시스템도

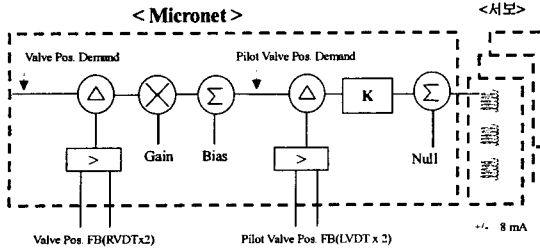


그림 3. 시험을 위한 증기밸브 제어회로

시험시에 사용된 서보밸브는 삼중코일로서 기존의 이중코일 서보밸브를 취외후, 장착하여 밸브구동기에 연결하여 시험하였다.

시험에 사용된 서보밸브와 기존 서보밸브의 주요 사양을 비교하면 다음과 같다.

표 1. 서보밸브의 주요 사양 비교

	기존 서보밸브	시험 서보밸브
모델명	E077	G772k240
코일수량	2-Coil	3-Coil
정격전류	± 20 mA	± 8 mA
정격유량	10 GPM	10 GPM
코일저항	80 Ω × 2	1000 Ω × 3
Null Bias	+ 4.5 mA	+ 0.8 mA
제작사	Moog	Moog

현장시험을 통해 그림 3의 제어 구성에서 결정해야 할 항목은 아래와 같다.

- 신규 제어루프의 타당성 확인
- 보조밸브 위치제어
 - 제어루프의 이득 및 바이어스
 - 다중화 시험 결과 확인 등
- 증기밸브 위치제어
 - 제어루프의 이득 및 바이어스
 - PV의 위치 검출 기능 확인 등

이를 위해 현장 시험한 내용은 다음과 같다.

- 보조밸브 위치제어 시험
 - 계단 응답시험 및 경사 응답시험
- 전체 제어 루프에서의 제어 시험
 - 단위 계단 응답시험 및 경사 응답시험
- 정상운전 중일때 CPU 고장시 응답시험
- 보조밸브 개도 신호 고장시 응답시험
- 서보밸브 코일 고장시 응답시험

2.2 보조밸브 위치제어 시험

Pilot Valve Step Response(10%~35%~10%)

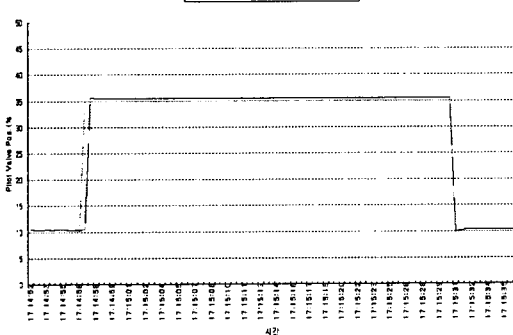


그림 4. 보조밸브 계단 응답시험 결과

전체 증기밸브 제어루프를 시험하기 이전에 내부 제어 루프인 PV 제어계통을 시험하고 적절한 제어상수를 찾아야 한다. 시험회로를 구성하고 PV 개도요구와 PV 개도를 연결하여 10%에서 35%로 다시 10%로 Step 신호 변화를 주어 응답을 수행한 결과 최적의 이득은 0.167로 결정되었다.

- LVDT/RVDT 여자전압 : 3Vrms, 3kHz
- 서보밸브전류 범위 : -8mA ~ 0 ~ +8mA
- 실측 서보밸브 중립점 전류 : -0.29mA/코일
- 서보밸브 이득 : 0.167mA/코일
- 서보밸브 저항 : 1000 Ω × 3개

2.3 전체 제어 루프에서의 제어 시험

PV 제어계통을 위와 같이 조정한 이후 전체 밸브 제어루프의 제어특성을 확인하기 위해 이중루프로 구성하여 시험하였다.

Micronet 제어로직에서 최적의 제어상수를 구하기 위하여 30%에서 80%로 다시 30%로 단위 계단 응답시험을 한 결과이다. 이 시험으로부터 얻은 결과 이득을 0.50과, Null Bias는 48.4%로 결정하였다. 제어기 실행시간을 20msec로 지정하여 시험한 결과 그림 5와 같은 결과를 얻었다.

Step 변화 시험(30%~80%~30%)

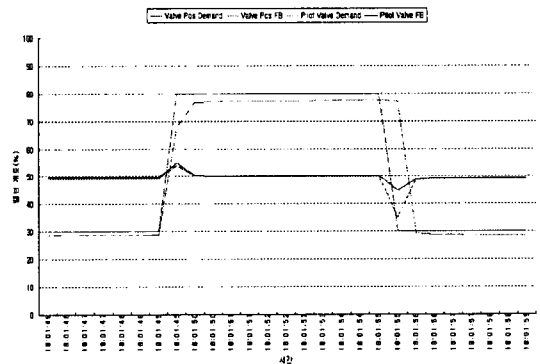


그림 5. 계단 응답시험 결과

Valve Pos. Control

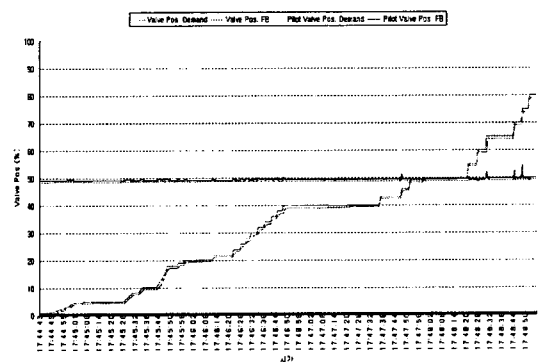


그림 6. 경사 응답시험 결과

2.4 제어기의 고장 시험

그림 7에 삼중화 제어기의 개별 제어기 고장에 대한 밸브제어에 미치는 영향을 시험하기 위해 운전중인 CPU를 정지시켰을 때의 결과를 보여주고 있다. 정지하는 순간에는 밸브 개도 변화가 없지만 CPU가 정상복귀 과정 동안에 약 5%의 개도가 변화되었다. 이는 밸브제어 모듈에 시스템 특성에 의해 발생된 것으로 확인되었다.

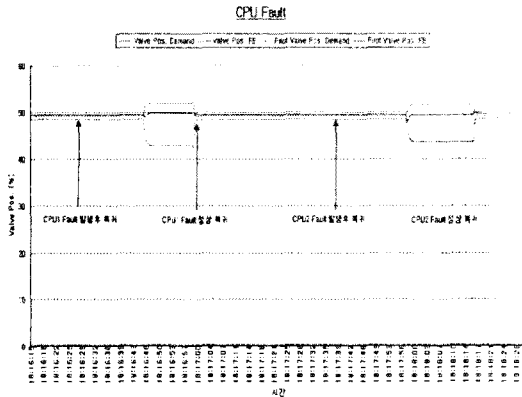


그림 7. 제어기 고장시 과도 응답

2.5 PV 개도 신호 고장 시험

그림 8에 이중화로 구성된 PV 개도가 고장인 경우 과도 현상을 나타내고 있는데 2개의 신호중 큰 값을 선택하도록 되어 있어 큰값에서 작은 값으로 변동되는데 따른 변화개도변화가 2%정도 변동되었다.

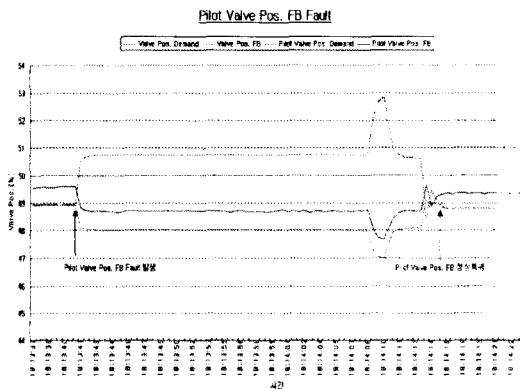


그림 8. PV 개도 신호 고장시 과도 응답

2.6 서보밸브 코일 고장 시험

그림 9는 3중 코일 서보밸브의 개별 코일 단선시에 나타나는 현상을 시험 결과를 통해 보여주고 있다. 서보밸브 코일이 1개 고장시에는 거의 변동이 없다가 2개 고장시에는 PP 이 완전히 닫히고 3개 고장시에는 PV도 완전히 닫혔으며 코일이 정상화됨에 따라 정상으로 복귀되는 과정이 잘 나타나 있다.

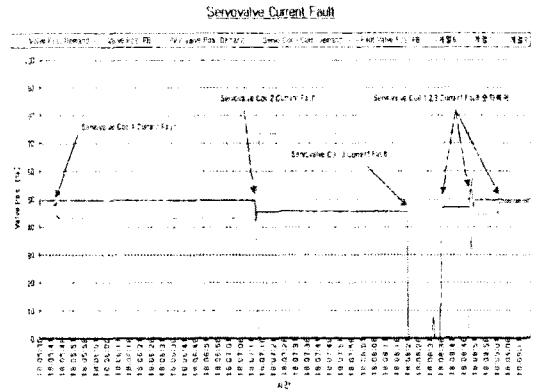


그림 9. 서보밸브 코일 단선시 과도 응답

2.7 시험 결과 정리

이상과 같이 서보밸브 제어특성 시험결과를 종합하여 Micronet에서의 최종으로 조정된 제어상수는 아래와 같다.

- PP 최적 비례이득 : 0.5
- PP 최적 바이어스 : 48.4%
- PP 상한 : 55%
- PP 하한 : 35%
- PV 최적 이득 : 0.167/코일
- PV 최적 바이어스(중립점 전류) : 0.29mA/코일

3. 결 론

화력/원자력 발전소의 증기터빈 조속기 밸브제어시스템을 기존의 아날로그 방식에서 디지털 삼중화 제어시스템으로 개조하기 위해 가장 중요한 밸브제어특성을 시험하였다. 제어 루프는 PV와 PP의 위치 제어를 위해 Cascade 형식을 구성하였고 각각은 비례제어를 사용하였다. 시험을 통해 PV의 최적 제어상수를 구하였고, PP의 최적 제어상수를 구하였으며, 비정상 상태 발생시 과도한 신호 변화를 방지하기 위해 Micronet측의 출력신호 요구값에 상하한 제한치를 추가로 구현하여 시험한 결과 양호한 특성을 얻을 수 있었다. 향후 발전소 현장 개조 후 시운전시 초기 제어상수로 사용할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 월성1호기, 매뉴얼, "조속기 터빈 제어계통 설명서" 1997
- [2] Woodward사, 매뉴얼, "Micronet Digital Control"
- [3] 정창기 외 3명, "원전터빈 디지털 제어시스템 개발", 전력연구원 최종보고서, 2003