

발전소 급수펌프 구동용 터빈 밸브제어 개선사례

박두용*, 최인규, 김문수
전력연구원, 전력연구원, 한국중부발전(주)

An Upgrade of Steam Valve Control Valve of Steam Turbine for Feed Water Supply in Thermal Power Plant

Dooyong Park*, Inkyu Choi, Moonsu Kim
KEPRI, KEPRI, KOMIPO

1. 서 론

화력발전소가 원만하게 운전되기 위해서는 급수제어가 매우 중요하다. 드림형 보일러의 경우 급수제어가 불안정하면 드림수위가 불안정하게 되고, 관류형 보일러의 경우 급수제어가 불안정하면 과열기의 적절한 냉각이 어렵게 된다. 기력 발전소에서 정상 운전시 급수를 제어하기 위해서는 보통 급수펌프 구동용 터빈을 제어해야 하는데, 터빈과 급수펌프는 같은 축으로 연결되어 있으며 정상 운전시 터빈의 회전수를 제어하여 급수량 조절한다. 또, 터빈은 급수펌프를 구동하는 원동기로서 증기조절밸브에 의하여 제어되며 유압 작동기에 의하여 구동된다. 즉, 증기조절 밸브는 기력발전소 급수제어계의 최종 말단부를 구성하고 있으며 매우 중요한 부분이다. 본 논문에서는 국내 기력발전소에서 운전 중인 소형 터빈의 증기조절밸브 제어계통의 설비를 개선한 사례를 소개하고자 한다.

2. 본 론

BFPT의 속도를 원활하게 제어하기 위해서는 증기조절용 밸브제어의 성능이 보장되어야 한다. 증기조절밸브의 성능은 제어를 얼마나 잘 조정하는가에 달려 있다.

2.1 기존 제어계의 구성

기계 부분은 이중 적분형의 밸브제어 구조로서 유압 서보밸브와 전기유압 실린더 사이에 기계적 피드백 기구를 장착한 보조밸브가 있어서 유량의 증폭을 담당하고 있다.

전기유압 실린더는 보조밸브 부분이 기계적인 피드백으로 제어되는 유압 작동기이며, 전기적인 피드백은 한 개로 구성되어 있다. 전기 부분은 속도제어의 결과로 발생하는 밸브개도 기준값이 4~20mA로 발생하여 현장의 밸브제어기(DRFD)로 전달되고 전자소자로 구성된 밸브제어기는 토크모터와 밸브개도 검출기를 통하여 서보모터를 제어한다.

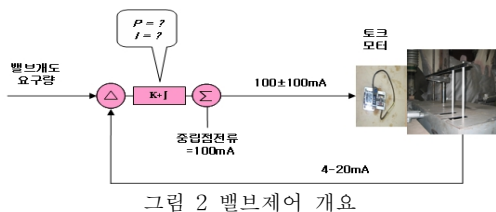


그림 2 밸브제어 개요

2.2 기존 제어기의 시험

기존 제어기에 대하여 시험한 결과 75%에서 잔류편차는 4% 정도로 나타났으며 25%에서 제어상태는 양호하나 잔류편차가 12%로서 과다하였다. 또, 50% 편차에 대한 응답시간은 약 1초 정도이고 일정 개도에서 잔류편차가 지속되는 것으로 보아 적분 요소는 없었다.

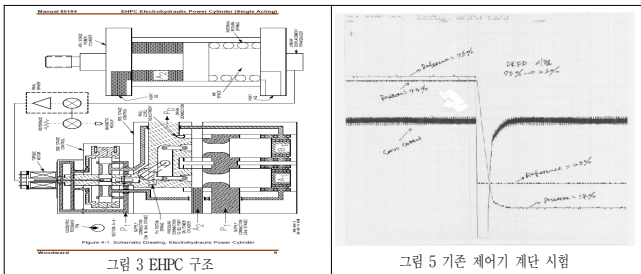


그림 3 EHPC 구조

그림 5 기존 제어기 계단 시험

2.3 기존 제어계의 문제점

BFPT 밸브제어 모듈(DRFD)의 장기사용(14년)에 따라 열화 및 생산이 단종 되었으며, 밸브개도 검출기가 1개로 구성되어 있어 고장시 밸브개도가 0%로 검출되어 증기밸브 개방으로 BFPT에 증기가 과다 유입되어 과속도 비상 정지되는 고장을 일으키고 있음(당진화력 1회, 하동화력 3회) 그리고 전자소자가 내장된 밸브개도 검출기와 DRFD가 현장에 설치되어 있어서 분진과 진동 등 환경적 고장 요인[이 상존하고 있다.

2.4 새로운 방식의 LVDT 밸브 제어로 교체후의 시험

2.5.1. 서보밸브 사양

- 직류저항 : 23 Ω
- 입력전류 범위 : 0 ~ 200 mA
- 중립점 전류 : 100 mA

2.5.2. 밸브개도 검출기 조사

구분	LVDT	코일 저항		2차 전압	
		A-C(입력)	B-C(출력)	폐쇄	개방
BFPT-A	LVDT-1	166.4Ω	85.3Ω	5.10Vrms	1.76Vrms
	LVDT-2	166.5Ω	85.4Ω	5.10Vrms	1.76Vrms
BFPT-B	LVDT-1	166.5Ω	85.4Ω	4.94Vrms	1.72Vrms
	LVDT-2	166.4Ω	85.2Ω	4.97Vrms	1.76Vrms

표 1. 밸브개도검출기 저항조사 및 2차전압 조사

2.5.3. 밸브개도검출기 파형 조사

밸브개도 검출기의 입력과 출력의 파형을 조사한 결과 정현파 전압 입력시 정현파 전압이 출력파형 되었으며 아주 양호하였다.

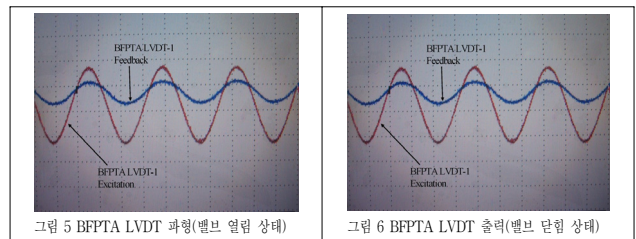


그림 5 BFPTA LVDT 파형(밸브 열림 상태)

그림 6 BFPTA LVDT 출력(밸브 닫힘 상태)

2.5.4. 제어계의 데이터 설정

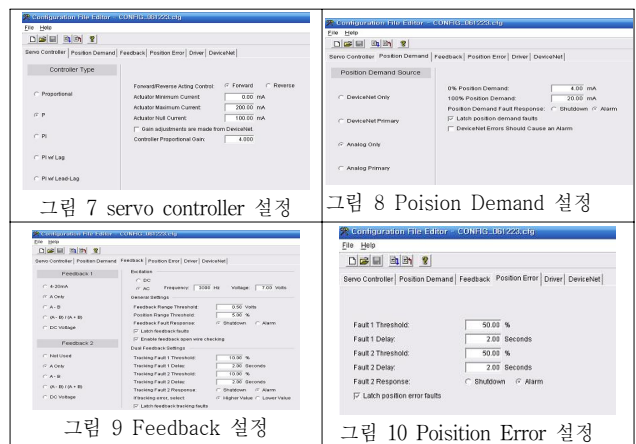


그림 7 servo controller 설정

그림 8 Position Demand 설정

그림 9 Feedback 설정

그림 10 Position Error 설정

2.5.4 계단응답 시험

운전 환경이 열악한 현장에서 운전되던 밸브제어기를 제거하고 신규 밸브제어기를 전자기기에 설치한 후 계단응답 시험은 25%와 75%에 대하여 수행하였으며 결과는 다음과 같다.

- 비례이득 5 이상에서는 고장 설정치(5%)보다 큰 오버슈트가 발생
- 비례이득 4에서 오버슈트와 언더슈트가 없고 빠른 응답특성을 보이고 있으며 잔류편차는 약 2.5%로서 양호
- 잔류 편차는 이득의 증가에 따라 감소하고 있으며 시험한 모든 이득에서 기존 제어기보다 잔류편차가 개선되었다.

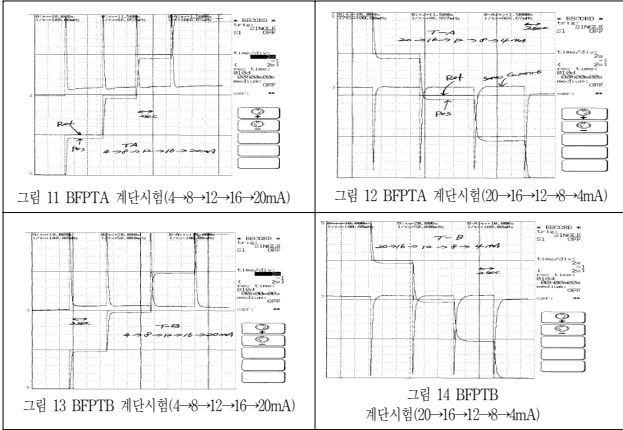
2.5.5. 고장시험

- 토크모터 전류 분리시험 : 밸브 닫힘

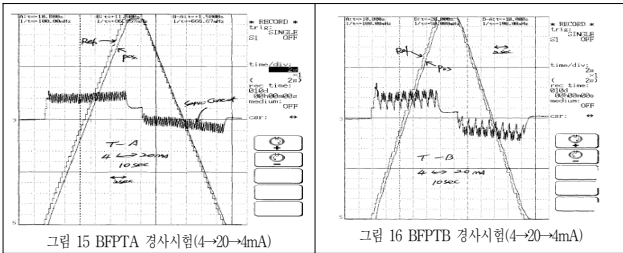
구분		kP=1	kP=2	kP=3	kP=4
정정시간(초)	25% → 75%		2	1.5	0.9
	75% → 25%	6.5	4	2.2	1.6
잔류편차	25%	9.5	5	3.5	2
	75%	9	4.5	3.5	1.5

표 1. 계단응답시험 결과표

- LVDT 1A Jack 분리 후 연결 시험 : 밸브개도 소량 현탕
- LVDT 2A Jack 분리 후 연결 시험 : 밸브개도 소량 현탕
- LVDT 1A 및 2A 분리 시험 : 밸브 닫힘



2.5.6 경사응답 시험



2.5.7 고장시험

정격운전 개도(약35%)에서 여러 가지 고장시험을 수행한 결과 대체적으로 만족 결과를 얻었으며 그 기준은 다음과 같다.

고장 종류	기준 현상
Reference 상실	밸브 닫힘, 경보 발생
서보전류 상실	밸브 닫힘, 경보 발생, 제어기 기능정지
LVDT-1 Excitation 상실	밸브 닫힘, 경보 발생
LVDT-1 Feedback 상실	밸브 닫힘, 경보 발생
LVDT-2 Excitation 상실	밸브 닫힘, 경보 발생
LVDT-2 Feedback 상실	밸브 닫힘, 경보 발생
LVDT 2대 고장	밸브 닫힘, 경보 발생, 제어기 기능정지
LVDT Jack 탈락	밸브 기준개도 유지

LVDT 신호선 고장시험의 경우 고장발생시 소량 열리고 고장 복귀시 원상 복구되는 것은 초기에 평균값 선택으로 인한 것으로 판단된다.

2.5.7 과속도 비상정지 시험

밸브제어기를 교체한 후 보조증기(시험당시 압력제어밸브의 설정치는 2kg/cm)를 이용하여 과속도 비상정지 시험을 수행하였으며 상황은 다음과 같다.

○ 조속기(WW505)에서 비상정지와 별도로 설치된 과속도 비상정지 장치인 Protech 203에서 비상정지로 각각 2번씩 수행하였으며, 승속은 Run-Up으로 600rpm까지 도달하여 유지하고 2500rpm까지 운전원이 수동으로 조절하여 유지한 후 비상정지 설정치를 조절하였다.

○ 속도기준값을 증가시켜서 승속할 경우 보조증기의 압력제어가 양호한 경우에는 BFPT의 속도 및 밸브개도가 양호하였으나, 속도가 높을수록 증기소비량이 증가하므로 보조증기 압력제어가 불안정하여 밸브개도의 변동폭이 커졌으며 이 상태에서 속도는 비교적 안정되어 있었다.

○ 속도 기준값의 변동이 없는 경우에는 BFPT 밸브는 물론 보조증기 압력도 거의 변동 없음을 확인하였다.

○ 또한 WW505에 의하여 600rpm에서 2500rpm으로 자동 승속한 경우 승속율을 산출한 결과 40rpm/sec임을 확인하였다.

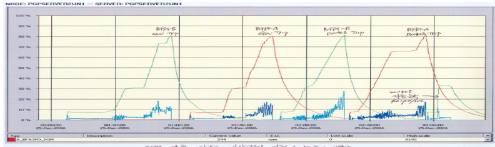


그림 17 과속도 비상정지 시험 전체 그래프

2.5.7 계통병입후의 제어상태

계통 병입 수행 후 운전상황을 정리하면 다음과 같다.

가. 저부하시 운전

BFPT 속도제어는 정밀하게 되고 있으며, 보조증기 압력이 작고 변동이 심하여 BFPT 증기제어밸브의 개도 변동이 심하였는데 이것은 BFPT 구동증기(보조증기)의 압력 제어밸브 성능 불량으로 확인되었다. 따라서, 보조증기 압력의 설정치를 높이고 보조증기 압력제어밸브의 성능을 개선할 필요가 있다.

나. 120MW 부근 운전

120MW 부근에서 구동증기 압력제어가 양호하여 증기밸브도 안정되게 운전되었다.

다. 출력감발시 운전

150MW 운전 중 출력감발을 위해 BFPT를 감속하자 보조증기 압력이 최대 30%로 크게 현탕하였으며, 병해 후 보조증기 압력 저하로 BFPT 증기밸브가 100%까지 개방되었다.

라. BFPT-B 운전상태에서 BFPT-A 기동(BFPT 병렬운전)

보조증기 압력 저하로 보조증기압력 제어밸브개도가 40%에서 58%까지 증가하였고, BFPT-B 운전상태에서 BFPT-A가 부하를 담당하자 BFPT-B의 증기밸브가 과다하게 개방되었으나 이것은 급수요구량이 증가하여 BFPT 2대로 배분된 상황에서 BFPT-A의 속도증가로 보조증기 소비량이 증가하자 BFPT-B의 속도 상승을 위해 증기밸브가 과다하게 열린 것으로 판단된다.

마. 300MW이상에서 밸브제어

발전기 출력 300MW 이상에서 보조증기 압력이 안정되어 보조증기 압력제어 밸브는 닫히며, BFPT-B와 BFPT-A의 증기제어밸브는 안정되어 개선 전후의 차이, 1호기와 2호기의 차이도 구별할 수 없었다.

다만, 400MW 운전에서 BFPT 속도 상승시 BFPT-A보다 BFPT-B의 개도가 크게 변동하였고, 부하추종운전과 부하제한 운전의 경우 모두 양호한 제어상태를 유지하였고, PAF과 IDF의 정지에 의한 부하 런백시험에서도 양호한 제어상태를 유지하였다.

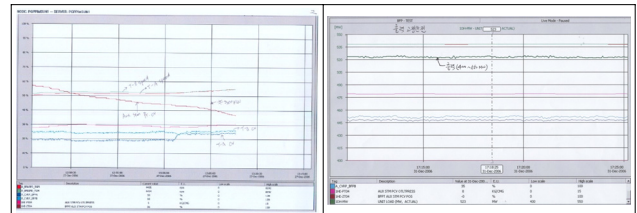


그림 18 병렬운전 속도일치

그림 19 500MW 부하제한운전 데이터

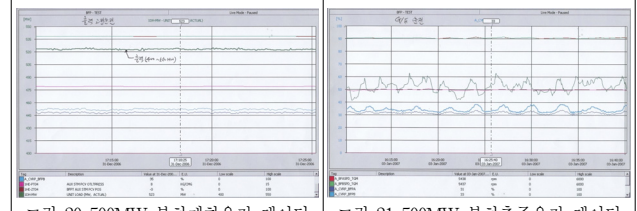


그림 20 500MW 부하제한운전 데이터

그림 21 500MW 부하추종운전 데이터

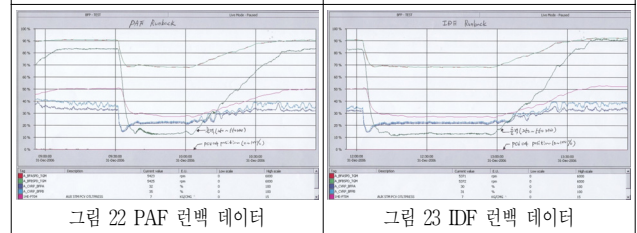


그림 22 PAF 런백 데이터

그림 23 IDF 런백 데이터

3. 결 론

발전소 급수펌프 구동용 소형터빈 밸브는 발전소 건설시 외국 기술자들이 설치한 유압밸브이며, 밸브의 제어계통 성능이 약화되어, 이를 철거하고 우리 국내 기술로 기능과 성능이 우수한 새로운 제어기 개발용으로 설치하였다. 설치후에는 위에 열거한 여러가지 시험을 통하여 위의 제어기 시험 데이터와 같이 현장에 실증 적용한 결과는 매우 양호하였고, 조속기 속도제어는 물론 보일러 급수 제어도 매우 양호하게 수행되어 발전소 운전에 안정성을 제공하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 당진화력 1호기 정비지침서, 2005
- [2] Woodward 조속기 SPC Manual, 2003
- [3] 보일러 급수펌프 구동용 터빈밸브제어계통 개선보고서, 2007