

복합화력발전소의 급수제어시스템 개선

박두용*, 김호열
전력연구원 수화력발전소 I&C 그룹

Improvement of Feedwater Control System for Combined Cycle Power plant

Park-dooyong*, Kim-Hoyol
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 발전소를 운영함에 있어 보일러 제어시스템에는 수 많은 제어루프가 있으며, 이들 중에서 급수제어는 발전소 보일러제어 시점에서 매우 중요한 역할을 한다. 본 논문은 필리핀 일리한 복합발전소의 시운전 당시부터 고질적인 급수제어 불안정에 대해 원인과 분석을 통하여 근본적인 원인을 찾아내고 해결하였으며, 복잡한 제어로직을 해독하고 개선하여 원활한 제어특성을 갖도록 하여 발전소 운전의 안정성과 신뢰성을 확보한 내용을 기술하였다.

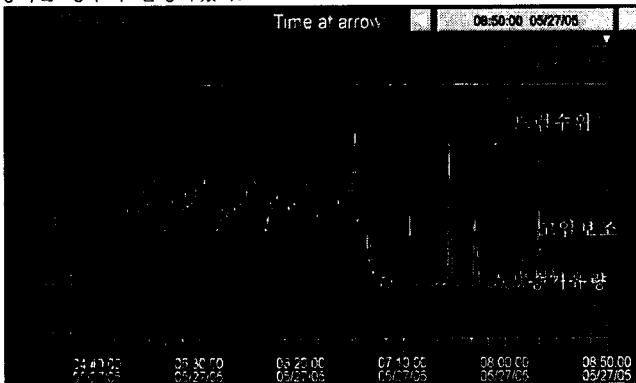
1. 서 론

일리한 복합발전소는 2002년 6월에 준공하였으며, 제어시스템은 ABB사의 Infi-90 DCS(Distributed Control System)를 사용하고 있다. 발전소의 요청에 의해 제어시스템의 하드웨어 및 소프트웨어를 정기 계획예방정비 기간을 이용하여 정밀 점검하였고, 저부하 운전 중에 급수제어 계통의 일부에서 불안정한 컨트롤 현상이 발생한 원인을 추가로 분석하여 조치하였고, 기타 고장요인을 검토하여 조치 방안을 제시하여 향후 설비의 고장 또는 운전 미숙에 의한 발전설비의 불안정한 운전을 예방하였다. 또한 DCS 내부의 Control Scheme을 분석하고, 로직을 개선함으로써 제어성능을 향상시키고, 운전의 편의성 증진과 발전설비의 안정운전과 신뢰성을 도모하였다.

2. 본 론

2.1 Feed Water Control 상태 분석

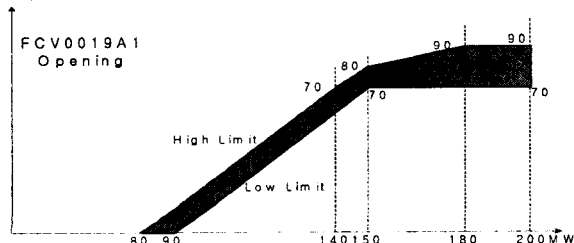
• HP/ IP/ LP Drum Level 제어계통은 출력 중·감발시에도 ±3~4% 이내의 수위로 제어되는 안정성을 보이고 있으나, 저부하에서 HP 급수계통에서 공급되는 GT Cooling Air Cooler에 공급되는 유량의 변화 및 Condenser Dump CV 동작시 약간의 수위변동(±5% 이내)이 생기는 경우가 발생하였다.



(그림 1) #2-1 HP Drum Level Control 상태

(저부하에서 보조중기 유량변화에 의한 사이클링이 보인다)

• TCA Cooler와 관련해서는 중간부하 이상에서 45t/h로 제어되는 FCV0019A1이 다음 그림처럼 High/Low Limit가 좁게 설정되어 있으므로 CV Position 교정을 정확하게 수행하는 것이 필요하며, 이 제한커브는 DCS의 제어밸브 개도요구 출력을 제한하는 것이므로 현장 밸브의 개도 편차가 큰 경우는 제한에 걸려 유량이 부족하게 될 수 있다.



<그림 2> TCA Cooler Control Valve 상한 제한설정 커브

- TCA Dump는 CV 교정특성의 차이에 의해 #2-1은 125MW, #2-2는 140MW 이하에서 열리고 있다.
- #2-2의 경우 유량 변화 특성을 보면 TCA Dump CV (0019B)가 약간의 Stick 현상이 있는 것처럼 판단되므로 점검이 필요하였다.

2.2 급수펌프 최소유량 제어밸브 문제점 현황

- 블록당 3대 설치된 급수펌프(BFP:Boiler Feedwater Pump)를 병렬 운전할 때 어느 한대의 펌프에서 문제가 발생시 정상적으로 운전하는 BFP의 최소유량 제어밸브가 열려서 다음과 같은 비정상 상황이 발생하고 있었다.

 - (1) 드럼으로 공급되는 급수유량이 감소되어 드럼수위가 저하됨.
 - (2) 복수유량의 증가로 인한 급수펌프의 유효 흡입수두(NPSH) 저하로 운전 중인 펌프가 정지될 수 있음.
 - (3) 문제 발생시 상황이 악화되면 급수가 중단될 가능성이 있음.

2.3 급수펌프 최소유량 제어밸브 분석

- 분산제어시스템(DCS)의 제어논리(Control Logic)를 분석하고 현장에 설치된 최소유량 제어밸브 및 BFP를 점검한 결과 현재의 시스템은 아래와 같이 동작되도록 구성되어 있으며 이것은 설계 목적과 다른 것으로 파악되었다.

 - (1) 특정 펌프 기동시 그 펌프 및 운전되고 있는 다른 펌프의 최소유량 제어밸브가 순간적으로 100% 열리도록 Tracking 신호 발생함.
 - (2) 특정 펌프의 출구 유량이 100t/h 이하가 되면 그 펌프 및 운전되고 있는 다른 펌프의 최소유량 제어밸브가 순간적으로 100% 열리도록 Tracking 신호 발생.
 - (3) FWF 신호전송기 신호가 비정상(Bad quality)일 때 해당BFP 최소유량 제어밸브가 순간적으로 100% 열리도록 Tracking 신호 발생.

2.4 급수펌프 최소유량 제어밸브 개선내용

- (1) "BLK1(2) BFP RECIRC PRETRIP A-OPEN"을 통하여 3대의 펌프에서 최소유량 제어밸브가 열리도록 된 제어로직을 각각의 펌프에서 유량저하가 일어날 때 해당 펌프의 밸브만 열리도록 개선.
- (2) 펌프 기동 직후에는 21초 동안 해당 펌프의 최소유량 제어밸브가 100% 열리되 다른 운전 중인 펌프에는 영향을 주지 않으며, 유량이 100t/h 이하일 때는 해당 펌프의 밸브를 100% 열고 유량이 회복된 후 5초 만에 밸브를 정상적인 유량제어로 전환되게 개선하였다.

2.5 Feed Water Control Data 수정

• HP Feedwater Tuning (#2-1, #2-2) → 3 Element Master PID의 Integral Program 조정 데이터

Steam Flow (%)	0	30	50	75	100	150
Integral Initial(R/M)	0.05	0.05	0.05	0.08	0.1	0.1
Integral Adjusted(R/M)	0.05	0.05	0.05	0.07	0.08	0.1

- 현재의 고출력에서 수동으로 Open하고 있는 HP start-up Level CV는 과거 보다 증가된 급수유량을 파악하여 조치함과 아울러 정상 개도 보다 낮게 열리는 TCA Flow Control Valve를 재교정하면 개선될 것으로 전망함. BFP Minimum Flow Control By-pass Valve가 Passing하는 것도 Feedwater 차압을 저하시키는 원인이 될 수 있다.
- #2-1,2 HP Back-up steam Control Valve 저부하시 (140MW) 동작할 때 Stick으로 인한 Jumping 현상 발생 여부 점검이 필요하다.

2.6 중요 Control Valve Actuator 개선제안

- 다음과 같은 중요한 Control Valve에는 Position Transmitter를 설치하여 Control Demand와 Actual Position 편차 발생시 DCS에서 경보가 가능하도록 개선 조치하는 것을 제안하였다.
- HP/ IP/ LP F.W Control Valves.

- HP/ Hot Reheat Bypass Control Valves.
- TCA Cooling Water Control Valves (FCV0019A1 등)
- HP F.W Press Control Valves (A0V0034A 등)
- Actual Position Error가 5% 이상시 경보를 발생시키고 Maintenance 하도록 개선하도록 제안하였다.
- Air Fail Lock-up Device가 설치된 F.W Control Valve 등에는 Press. Switch를 설치하여 Valve가 Lock 되었을 때 운전원이 빠른 인지가 가능하도록 조치하는 것을 제안하였다.
- Fail시 Manual 전환후 제어 재개시 Actual Position Tracking

2.7 Hotwell Level Control Gain 점검

- Make-up Control Set Point가 70%로 여유있는 수위에서 운전되고 있으며, Dump Control 설정은 75%로 운전되고 문제점은 발견하지 못했다. 밸브가 열릴 때 유량이 크게 변하는 것은 Make-up 계통에서는 일반적이며 운전에 별 지장이 없다.
- Valve Open시 유량이 측정범위를 초과하는 것은 순수 공급량 적산오차가 발생하므로 개선의 필요가 있으며, Transmitter Range 변경으로 해결하였다.
- Make-up Controller Gain을 다음과 같이 조정하였다.

Parameters	K	G	I	D
Set	1.0	10	15	0.01

2.8 GT Bleeding Valve SOV 이설

- 원래 설치지점은 고온 및 진동 등으로 인하여 솔레노이드 손상의 우려가 있어 이설하였으며, 이설된 곳의 환경은 온도와 진동이 크게 감소된 곳으로 향후 SOV의 안정 동작에 도움이 될 것이다.
- SOV는 직류용이며 차단시 발생하는 고압의 역기전력으로부터 코일과 릴레이를 보호하는 Diode 또는 Spark Killer가 부착되어야 한다.

2.9 GT EOP Test Device

- 현재 2/3 다중화로 설치된 Press Switch에 의해 유압 저하시 Turbine Trip과 동시 EOP Auto Start되도록 설계되어 있어 정상운전중 EOP 자동기동 시험이 불가하므로 개선이 필요하다.
- 복잡한 설비개선 대신에, EOP 근처 유압과 모터의 감시가 가능한 곳에 수동 기동용 Jog 스위치를 설치하여 시험시 사용하는 것이 기존 시스템의 신뢰성을 유지하면서 부작용을 방지할 수 있다.

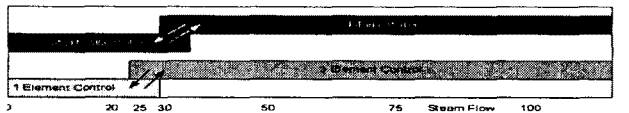
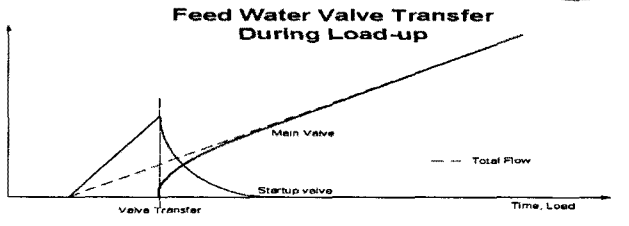
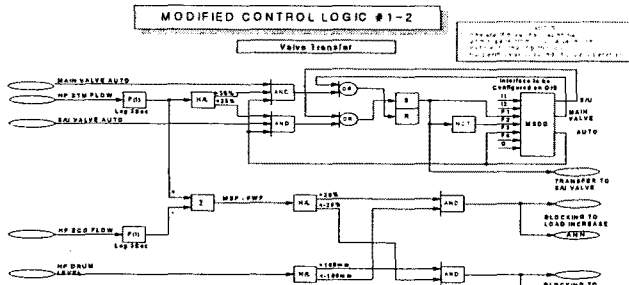
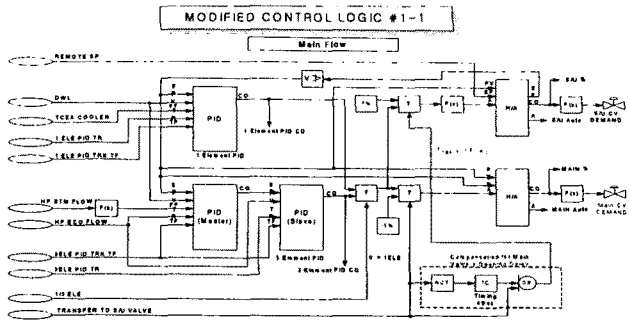
2.10 Block Load Master Control

- Remote Dispatch로부터 전송되는 Inc/Dec Pulse를 Count하여 Load Target을 설정하고 운전원이 설정한 출력 변동률에 의하여 Load Set Point를 생성하는 시스템이다.
- 국내의 경우 Pulse Duration 검출에 의해 Target 변동률이 조정되지만, 이 시스템은 Pulse 하나당 일정한 폭으로 Target이 변동됨.
- 오동작 방지 측면에서 부하제어에 사용되는 MMI 상의 용어를 정확하게 지정하는 것이 좋겠으며, 단순 지시용 키펀과 조작용 Button의 컬러를 다르게 표현하도록 개선이 필요하다.
- TARGET : Target Load
- DEC: Dec Rate
- INC: Inc Rate
- HL : High Limit, - LO : Low Limit
- BLK CONTROL SELECT (MW)
- BLK2 PLANT LOAD CONTROL
- RTU SP: RTU TARGET
- DCS(Local) 운전중 RTU SP가 Tracking되지 않아 Operator에게 불안감을 줄 수 있으며, Remote로 Transfer하는 순간 DCS SP를 Tracking 하도록 되어 있어 직접 문제는 없지만 개선이 필요하다.

Control Location	Remote/DCS
GT Control Location	DCS/Local

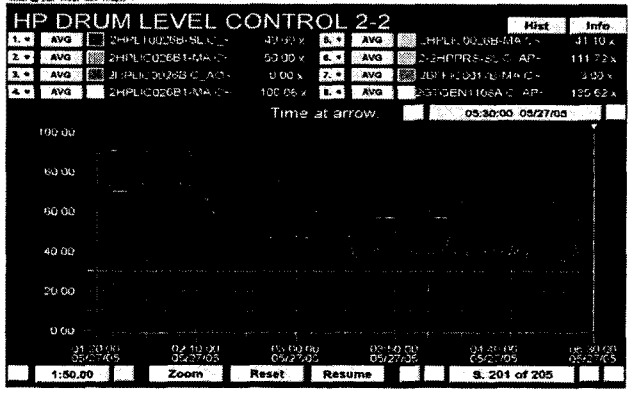
2.11 복수펌프 기동관련 제어논리 개선

- Unit를 기동하기 전 복수펌프 4대중 처음으로 1 대를 기동할 때에 복수 펌프 출구 압력 및 유량이 잘 형성되지 않아 저유량으로 복수펌프가 트립되는 경우가 빈번하여 펌프에 무리를 주고 기동이 지연되는 경우가 있어, 복수펌프 계통을 정밀점검 및 시험, 분석한 결과, 펌프기동 초기에 펌핑이 잘 되지 않는 원인은 출구 측 배관에 차있는 공기와 관련이 있었으며, 기동시 수초 동안 최소 유량 제어 밸브를 닫으면 과도상태가 빨리 정상화되는 것으로 나타났다.
- 이러한 원인은 최초 펌프기동 직후 2초 동안 최소유량 제어밸브를 닫으며, 압력이 20kg/cm² 이상 형성되면 밸브가 정상 제어되도록 되어 있었기 때문이었다.
- 위와 같은 현상 및 개선방향에 대해 검토한 결과 펌프의 손상 방지 및 가동지연 방지 등의 개선 방향을 정하고, 사용중이던 제어논리(Control Logic)를 검토한 결과, 기동 직후 밸브를 닫는 부분은 잘 설계되어 있으나, 압력 확립이 되면 정상제어로 전환시키는 부분은 개선이 필요하여, 펌프 기동 직후 압력이 20kg/cm² 까지 형성되기 전까지 5초 동안은 최소 유량제어밸브를 닫고 그 후 정상 유량제어모드로 전환하도록 하고, 5초 동안이라도 압력이 20kg/cm² 이상으로 확립되면 정상 제어모드로 전환하도록 설계하여 로직을 수정 완료하였다.



3. 결론

- 급수 제어계통의 일부 불안정으로 급수제어 밸브 사이징 변경 후 과거 전력연구원에서 제어논리(Control Logic)를 개선하여 운전중이 었으나, 저부하 운전시 불안정한 컨트롤이 다시 발생하여, 정밀 분석한 결과 위에서 설명한 바와 같이 급수제어와 관련된 다른 제어밸브의 개도 편차발생 등에 원인이 있어 이련에 추가로 로직을 개선하여 급수제어시스템은 아래 그림과 같이 안정적인 운전결과를 보였다.
- 기타 다른 사항을 점검을 실시한 결과 위와 같이 개선이 필요한 사항을 제시하였으며, 전체적으로는 과거 개선 작업후의 안정된 상태를 유지하고 있었다.
- 현장에 설치된 제어밸브는 여러 가지 원인으로 기계적인 문제나 개도편차 등이 발생할 수 있기 때문에 출력 변동시 밸브 동작이 유연한지와 각 출력에서 안정되었을 때 중앙제어실에 나타나는 요인 신호와 현장의 밸브 개도에 큰 차이가 없는지를 비교 점검하였으며, 앞으로는 이러한 항목을 정기점검 항목화 하는 것을 제안하였다.



<그림 6> 개선후의 HP DRUM #2-2 HRSR 수위 제어상태 [참고 문헌]

[1] 김호열, 박두용, "일리한 발전소 제어시스템 점검 결과보고", 2005
 [1] 김호열, 박두용, "일리한 발전소 급수제어시스템 점검 결과보고", 2006