

화력발전소의 드럼수위 제어

변승현*, 박두용*, 김병철*, 신만수*, 신상두**
*한전 전력연구원, **한국동서발전(주)

Drum Level Control in Thermal Power Plant

S.H.Byun*, D.Y.Park*, B.C.Kim*, M.S.Shin, S.D.Shin**
*KEPCO, KEPRI, **Korea East-West Power Co

Abstract - 화력 발전소 드럼수위의 제어는 보일러 시스템의 효율적인 운용을 위해 중요한 위치를 차지하고 있다. 드럼수위의 제어 목적은 드럼수위를 외란에 관계없이 항상 설정치로 유지하는 것이다. 정상 운전중에는 드럼의 중앙이하 부분에는 물이 차 있고, 상부에는 증기가 차 있으나 만일 수위가 너무 높아지면 carry over 현상이 발생하며 반대로 너무 낮으면 드럼 하부의 과열 튜브의 손상을 초래하여 대사고를 유발하게 되므로 드럼수위는 항상 정상으로 유지해야 한다. 드럼수위 제어루프는 처음에는 드럼수위만을 제어입력으로 취하는 PI 제어기에 의해 이루어지다가, 주증기량이 일정량 이상 유지되면 드럼수위가 일정한 설정치를 유지하도록 급수량, 드럼수위, 주증기량에 의한 PI-PI 캐스케이드 형태의 제어로 전환되어 제어가 이루어진다. 또한 드럼수위는 차압검출기에 의해서 측정되어지는데, 드럼의 압력에 따라 물과 증기의 밀도가 변하기 때문에 차압검출기에 의한 드럼수위 지시치는 드럼압력에 의한 보상으로 구워진다. 본 논문에서는 중용량 화력발전소를 대상으로 드럼수위 보상과 드럼수위 제어를 구현하고, 적용하여 실제 발전출력 증발시의 드럼수위 제어결과를 보임으로서 구현한 드럼수위 제어기의 효용성을 보인다.

1. 서 론

한 나라의 기간 산업으로서 중요한 역할을 차지하는 전력산업은 사회의 발전과 더불어 증가되는 전력 소비량과 양질의 전력 요구에 의해 지속적으로 발전되고 있다. 전력 수요에 대해서 양질의 전력을 안정적으로 공급하기 위해서는 발전소를 효율적으로 운용하는 것이 매우 중요하다. 우리나라의 경우 화력 발전은 수요 변동에 의한 변동 부하를 추종하도록 운전되고 있으며 부하 변동에 기민하게 대응하기 위한 운전이 주종을 이루므로 잦은 운전 상태의 변화에 따른 보다 능동적인 운용이 중요하다. 오래전부터 경제적, 기술적, 안정적 그리고 적응 요구에 따라 보일러의 설계기법과 개선되어진 제어기법이 결합되면서 보일러 제어 시스템은 많은 발전을 해왔다. 보일러 제어 시스템은 1905년 수동 조작하는 압력 조정기와 급수 조정기를 갖춘 최초의 보일러 제어기의 출현과 더불어 발달하여 1950~60년대의 중앙 집중식의 제어 시스템이 이루어져 중앙 제어반의 판넬을 통하여 전체 시스템을 관리할 수 있게 되었다. 그리고 최근에는 마이크로 프로세서의 발달과 더불어 분산 제어 시스템이 개발되어 전체 시스템을 서브 시스템으로 나누어 제어가 이루어지고 있다. 이렇듯 화력발전의 효과적인 운용을 위해서는 화력 발전에서 천연에너지를 열에너지로 변환해서 터빈에 일정한 압력과 온도의 증기를 공급하는 보일러 시스템의 효과적인 운용이 중요하다고 볼 수 있다 [1][2]. 한편, 드럼 수위의 제어는 보일러 시스템의 효율적인 운용을 위해서 중요한 위치를 차지하고 있다. 드럼 수위의 제어의 목적은 드럼 수위를 외란에 관계없이 항상 설정치로 유지하는 것이다. 정상 운전 중에는 드럼의 중앙 이하 부분에는 물이 차 있고, 상부에는 증기가

차 있으나 만일 수위가 너무 높아지면 carry over 현상이 발생하며 반대로 너무 낮으면 드럼 하부의 과열 튜브의 손상을 초래하여 대사고를 유발하게 되므로 드럼수위는 항상 정상으로 유지해야 한다[3]. 드럼 수위 제어 루프는 정상운전 중에 드럼수위가 일정한 설정치(보통 드럼의 중간)를 유지하도록 급수량, 드럼수위, 주증기량의 3요소를 이용하여 드럼수위를 제어하는 일종의 다중 입력 단일 출력(MISO) 시스템 제어 루프이다. 드럼수위 제어루프는 처음에는 드럼수위만을 제어입력으로 취하는 PI 제어기에 의해 제어가 이루어지다가, 주증기량이 일정량 이상 증가하면 드럼수위가 일정한 설정치를 유지하도록 급수량, 드럼수위, 주증기량에 의한 두 개의 PI 제어기가 직렬로 연결되어 있는 캐스케이드 형태의 제어로 전환되어 제어가 이루어진다. 또한 드럼수위의 적절한 제어를 위해서는 드럼 수위의 정확한 측정도 요구되어진다. 드럼 수위는 보통 차압검출기에 의해서 측정되어지는데, 드럼압력에 따른 물과 증기의 밀도를 고려한 차압검출기의 지시치에 대한 보상이 필요하다. 본 논문에서는 중용량 화력발전소를 대상으로 드럼수위 보상과 드럼 수위 제어를 구현하고, 실제 적용하여 발전출력 증발시의 드럼수위 제어결과를 보여줌으로써 구현한 드럼수위의 효용성을 보이고자 한다.

본론에서는 적용 대상 발전소 보일러의 개요와 드럼수위 보상방법, 그리고 드럼수위 제어기에 대해서 설명하고, 실제 드럼수위 제어결과를 통해서 구현한 드럼수위 제어기의 효용성을 살펴보고 결론을 맺고자 한다.

2. 본 론

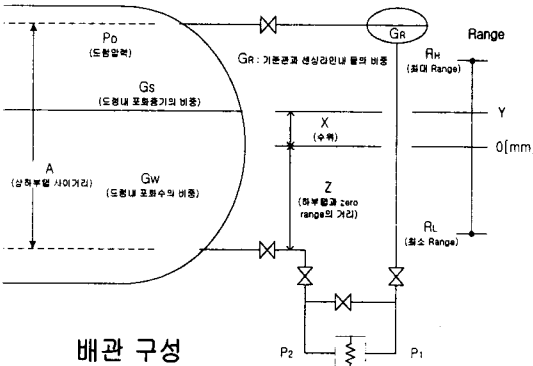
2.1 적용 대상 발전소 보일러의 개요

본 논문에서 대상으로 삼은 발전소는 중용량 발전소로 설비용량은 250MW이며 보일러 형식은 자연 순환식, 수냉 복사형, 옥외형, 평형 통풍식이며, 연소방식은 석탄/중유 겸용 방식을 취하고 있다. 증발량은 중유 연소시에는 875톤/시간이며, 석탄 연소시에는 탄의 종류에 따라 600~800톤/시간이다. 과열기 출구 증기압력은 169kg/cm²이며, 과열기 출구 증기온도는 541℃이다. 절탄기를 통해 보일러 드럼으로 공급된 보일러 급수는 3개의 강수관을 통해 Bottom 헤더로 내려간 다음 수냉벽 튜브를 거치는 동안 가열되어 다시 보일러 드럼으로 되돌아 온다. 물의 순환은 강수관내의 물과 수냉벽 튜브내에 있는 증기-물 혼합물의 비중차에 의해 자연적으로 이루어지며, 노 벽 튜브를 지나는 동안 기수 혼합물은 상승관을 통해 보일러 드럼으로 들어가고 드럼에 있는 Cyclone 분리기에 의해 물과 증기로 분리된다. 드럼에서 분리된 포화증기는 Roof Wall 입구로 들어가서 Roof Wall, Convection Pass Enclosure Wall 및 1차 과열기를 통해 순차적으로 흐르는 동안 과열증기가 된다. 과열증기의 온도는 필요한 주증기 온도를 유지하기 위해 1차 과열기 저구측에 있는 과열 저감기로 온도를 제어하며, 과열 저감기를 통과한 증기는 Platen 과열기와 2차 과열기를 폭 방향을 교차통과함으로써 노내

의 불균형으로 인한 영향을 제거하게 되고, 2차 과열기를 통과한 정격온도, 정격압력의 과열증기를 고압터빈으로 보내게 된다. 고압 터빈을 거친 저온 재열증기는 재열기를 거친 후 중압터빈 및 저압터빈을 거쳐 마지막으로 복수기에 유입되어 응축된다. 노내의 연소가스는 2차 과열기 튜브 뱅크를 거친 후 재열기, 1차 과열기, 절연기 뱅크를 지나 공기 예열기로 나가게 된다. 공기 예열기를 통과한 저온 가스는 전기 집진기, 유인 통풍기를 거쳐 연돌로 배출되어진다[4].

2.2 드럼 수위의 보정

보일러 드럼 수위 지시계의 개략도를 도시하면 그림 1과 같다. 그림에서와 같이 차압전송기 내에서 드럼 상부와 하부 수위탭에서의 압력차는 기준관을 통한 압력차와 비교된다. 여기서 차압전송기는 이들 두 압력차의 차이에 비례하는 전기신호(4-20mA)를 전송하며, 이 전기신호를 공업단위로 변환하여 드럼수위를 측정하게 된다. 그림 1에서 G_R , G_W , G_R 은 4℃, 대기압하의 물을 기준으로 한다.



배관 구성

그림 1. 드럼수위 지시계의 개략도

그림 1의 드럼 수위 지시계의 파라미터를 이용하여 드럼수위 보정을 하면 그림 2와 같다. 그림 2의 드럼수위 보정은 공업단위를 이용하여 드럼 수위를 보정할 때 이용하는 보정방법이다. 그림 2의 $f(x)$ 는 증기표를 이용하여 구할 수 있다.

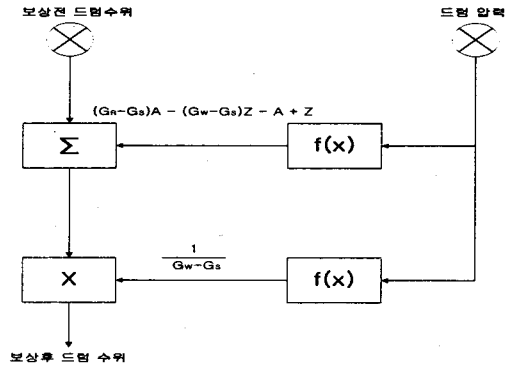


그림 2. 드럼 수위 보정

2.3 드럼 수위 제어기

본 논문에서 대상으로 삼은 발전소에 대해 구현한 드럼 수위 제어기의 구성은 그림 3과 같다. 드럼수위 제어는 급수제어로 볼 수 있으며, 그림 3의 제어기 구성을 보면 크게 급수제어와 수압 커플링으로 나눌 수 있다. 급수제어는 드럼수위를 기준으로 제어가 이루어지는데, 드럼 수위는 드럼 압력에 의해 보상되어지며, 기동 초기에는 드럼수위만을 고려하는 1요소 제어에 의해 급수 제어가 이루어지다가 보일러 부하가 25% 이상이 되면, 급수량, 드럼수위, 증기량을 고려하는 3요소 제어로 전환되어진다. 일단 3요소 제어로 자동 전환 되어지면, 부하가 20%이하로 떨어지고 나서야 1요소 제어로 전환되어진다. 이 5%의 데드밴드는 보일러부하가 20%와

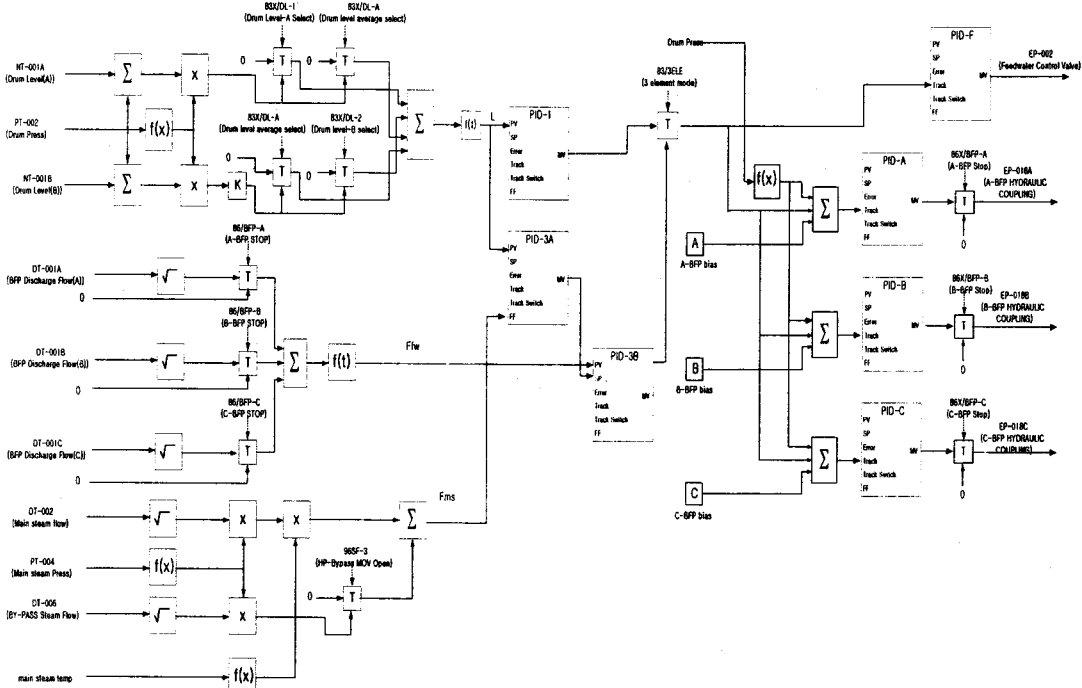


그림 3. 드럼 수위 제어 로직 구성도

25% 사이에서 1요소 제어와 3요소 제어간 모드 전환의 불필요한 사이클링을 막기 위함이다. 3요소 제어에서는 압력 보상되어진 증기량을 선행신호로 받아들이는 드럼 수위만을 고려하는 제어기의 출력이 급수량 제어기의 설정치로 작용한다[4]. 3요소 제어의 경우에는 PI 제어기가 직렬로 연결되어진 캐스케이드 제어기의 구조를 갖는다. 캐스케이드 제어기는 단일 루프 제어기에 비해서 내부 루프에서 일어나는 외란이 최종 제어변수에 영향을 주기전에 보조 제어기에 의해 보정할 수 있어서 내부 루프에서 일어나는 부하 외란의 효과를 줄이는데 매우 효과적이다. 외부 루프에 비해 내부 루프의 상대적인 속도가 빠르면 빠를수록 내부 루프에서 일어나는 외란의 효과를 억제하는데 더욱 효과적이다[5]. 그림 3의 드럼 수위 제어기의 구조에서도 외란으로 작용하는 증기량이 변하면 드럼수위가 변하기전에 급수량을 조절함으로써 드럼 수위 변화에 대해 미리 대처하는 구조를 취하고 있다. 수압 커플링은 드럼 압력에 대해 요구되어지는 급수 펌프 토출 압력을 유지하기 위해 3개의 급수펌프 수압커플링에 의해 급수 펌프의 속도 요구량으로 병렬 적용되어진다[4].

2.4 드럼 수위 제어 결과

그림 3의 드럼수위 제어로직을 실제 발전소에 적용하여 반영한 드럼수위 제어 운전화면은 그림 4와 같고, 그림 4의 운전화면을 이용한 발전 출력 증발시의 드럼 수위 제어 결과는 그림 5와 같다. 출력 증발시에도 드럼 수위가 큰 오버슈트나 언더슈트 없이 제어됨을 볼 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 중용량 화력발전소를 대상으로 드럼수

위 보상을 포함한 드럼수위 제어기를 구현하고, 실제 발전소에 적용하여 발전출력 증발시의 제어 결과를 보임으로써 구현한 드럼수위 제어기의 효용성을 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한전 전력연구원, "발전소 제어 시스템용 고급 제어 알고리즘 및 고장 진단 퍼지 전문가 시스템 개발", 중간보고서, 1993
- [2] 한전 전력연구원, "분산 제어 시스템의 고장 대처 기능 및 제어 언어의 구현", 최종보고서, 1993
- [3] 한전, "서울화력 4호기 운전조작 설명서", 1983
- [4] 한전 전력연구원, "호남화력 보일러 제어 로직 설명서", TM, 2000
- [5] C.C.Hang, et. al, "Relay Feedback Auto-Tuning of Cascade Controllers", IEEE transactions on Control System technology, Vol2, No 1, March, 1994, PP42-45
- [6] 한전 전력연구원, "발전소 보일러용 디지털 분산제어시스템 개발(1)", 중간보고서, 1999

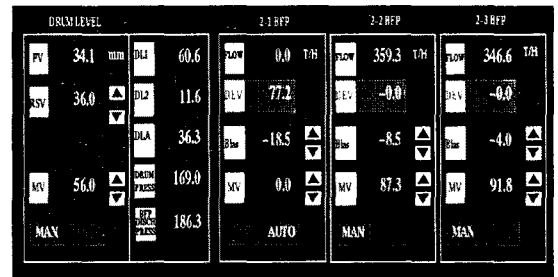


그림 4. 드럼 수위 제어 운전 화면

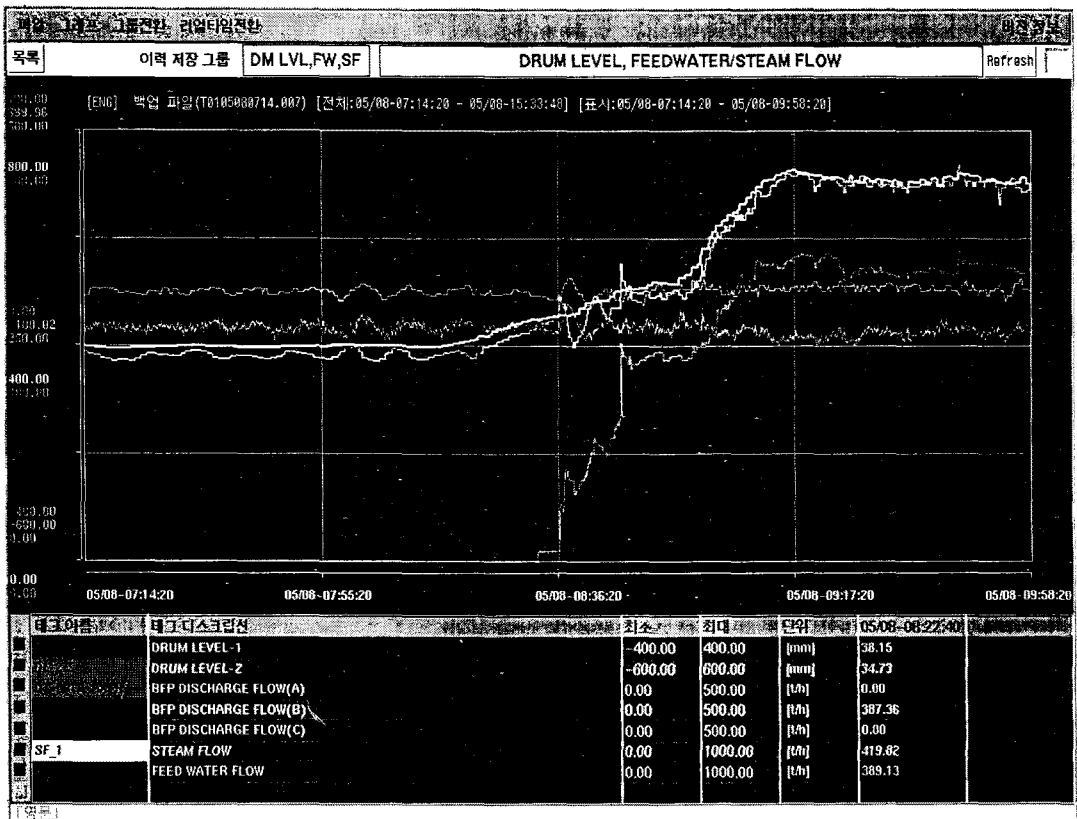


그림 5. 드럼 수위 제어 결과