

변압운전 방식의 500MW 초임계압 석탄 화력발전소 터빈 우회계통에 제어에 관한 고찰

최인규, 김종안
전력연구원

A Study on Turbine Bypass System in a 500MW Rated Coal Fired Supercritical Thermal Power Plant with Sliding Pressure Operation

Inkyu Choi, Jongan-Kim
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - Many years ago, most of thermal power plants built in this country were of subcritical pressure, of medium or small size, of constant pressure operations and of drum type steam generators with circulation type boilers. But, nowadays almost all of them were of high efficiency, of supercritical pressure, of big capacity, of sliding pressure operations, and of once through type steam generators. Presently built once through boilers introduce turbine bypass systems to variable pressure operation which eliminates unexpected materials in boiler tube during startup, minimizes fuel loss by short startup period and eventually improve both total efficiency and power system stability

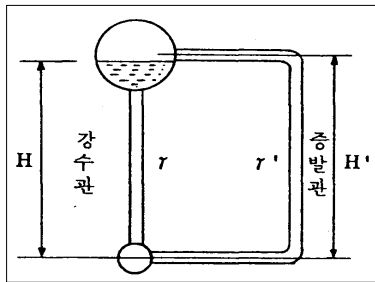
1. 서 론

종래에 우리나라에 건설된 화력 발전소는 아임계압, 중·소용량, 정압운전 방식의 순환형 드럼 발전소가 주류를 이루었으나 근래에는 고효율의 초임계압, 대용량, 변압운전 방식의 관류형 발전소가 주류를 이루고 있다. 근래의 관류형 발전소는 종래의 드럼형 발전소와는 달리 터빈 우회 계통을 채용하여 변압운전을 시행함으로써 기동시 보일러 배관에 응축된 불순물을 제거하고 기동시간을 단축하여 연료 손실을 최소화하고 있다. 이러한 최신에 발전소는 보일러 출구 증기조건이 253kg/cm², 541℃ 이상으로서 국내에서 이미 30여기가 운전 중에 있다. 따라서 선진 외국 제작사가 개발하여 설치한 터빈 우회계통에 대한 고찰은 국내 발전소 제어 분야의 기술자립을 위해 중요한 요소이다.

2. 본 론

2.1 순환형 보일러

순환형 보일러는 드럼이 있는 보일러로서 자연 순환 보일러와 강제 순환 보일러가 있다. 자연 순환 보일러의 관수는 물과 증기의 비중량 차이에 의해 순환하게 된다. <그림 1>에서 강수관 내의 물이 하부의 헤더에 미치는 압력은 증발관 내의 유체의 비중량 γ' 와 증발관의 높이 H' 를 곱한 $\gamma'H'$ 로 된다. 하부 헤더 내의 물은 이 양자의 압력을 받고 있으므로 양자의 압력이 같은 경우에는 정체 상태에 있게 되고, 어느 한쪽의 압력이 낮을 경우 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 물이 흐르게 된다. 그러므로 보일러 기동 시와 같이 양쪽 관 내부에 존재하는 물의 비중이 같은 경우에는 물이 순환되지 않으며, 보일러 점화 후 연소열을 흡수하여 증발관 내의 물이 팽창되어 비중량이 감소하면 압력차가 생겨 순환이 형성된다.



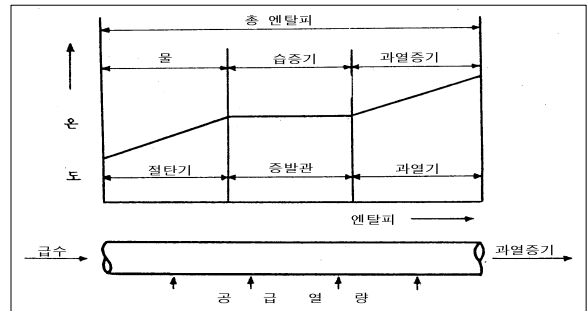
<그림 1> 순환형 보일러 기본원리

보일러의 압력이 높아지면 포화수와 포화증기의 비중량 차가 작아져서 자연 순환만으로는 관수 순환을 충분히 행할 수 없다. 그래서 강수관의 도중에 관수 순환 펌프를 설치하여 보일러 수를 전열면의 강지역에 균등하게 순환되게 한 방법이 채용되며, 이 방법을 사용한 보

일러가 강제 순환 보일러이다.

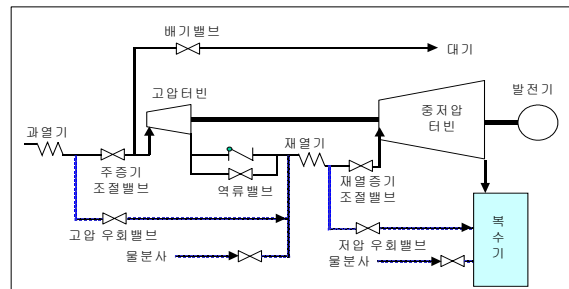
2.2 관류형 보일러

관류 보일러의 기본 원리는 <그림 2>와 같이 급수가 긴 관을 1회 통과하는 동안 가열, 증발, 과열되어 출구에서는 과열 증기가 되어 배출된다. 그러므로 이 보일러는 드럼이 없고 증발관의 구성은 많은 작은 관을 병렬로 배열하며, 각 관의 온도 및 압력차를 줄이기 위해 헤더를 이용하여 분류와 합류를 반복하면서 전열면을 구성한다. 관류 보일러의 종류는 여러 가지가 있으나 근래에 건설되는 발전소는 초임계압을 채용한 솔저(Sulzer) 보일러이다. 물의 압력을 순차적으로 높여서 정압 가열하면 습증기의 체적팽창 범위가 점차로 작아지고 습증기 압력을 높여 가열하면 습증기로서의 체적팽창 범위는 0이 되고 증발이 시작하는 점과 끝나는 점이 일치하는 임계점이 존재한다. 이 점의 압력을 임계압력(225.65 kg/cm²), 온도를 임계온도(374.15℃)라 하며, 증발 잠열이 0 이다. 따라서 포화수와 포화증기의 비체적과 비중량은 같다. 임계압력 이하의 압력을 아임계압, 임계압력 이상의 압력을 초임계압이라 하며, 초임계압 영역에서 가한 열은 물을 증발시키는데 소요되는 증발잠열이 없으므로 반드시 온도상승을 수반한다.



<그림 2> 관류보일러 기본원리

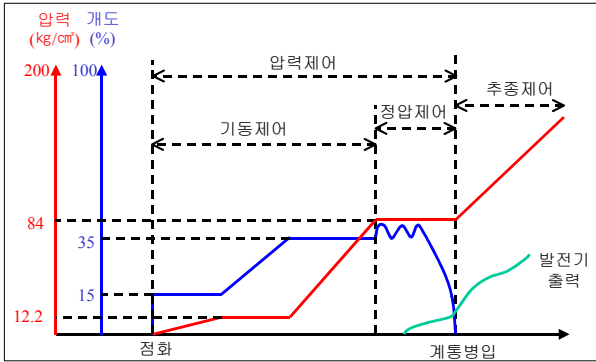
우리나라에서 운전 중인 초임계압 관류보일러는 터빈 우회계통을 채용하여 기동 시간을 단축하고 급격한 부하 변동시에 보일러에서 발생된 증기를 복수기로 배출하여 보일러의 압력을 규정치 내로 조절한다. 또한, 급격한 온도변화에 의한 증기온도와 터빈 급속 온도와의 차를 신속하게 최적으로 유지함으로써 터빈 열응력을 최소화한다. 아울러 보일러와 터빈의 분리 독립운전이 가능하고 고형입자에 의한 터빈 회전날개 침식을 방지한다. 뿐만 아니라 전력계통 고장 발생으로 계통에서 고립되어도 발전소는 단독 운전을 계속하여 고장 제거시 재병입 시간을 최대한 단축하여 계통 안정에도 기여하고 있다. 따라서 이러한 목적을 달성하기 위해서는 고도의 제어기술이 필수적이다.



<그림 3> 터빈 우회계통

2.3 고압 우회계통

고압터빈 우회계통은 과열기 출구에 설치된 4개의 고압 터빈 우회밸브를 이용하여 고압증기 전량을 재열기를 통하여 복수기로 배출시킨다. 정용용량은 100%로서 제어기능으로는 압력제어 요소로 기동제어, 정압제어 및 추종제어가 있으며 또한 온도제어 및 안전 기능이 있다. <그림 4>는 보일러 기동에 따른 압력제어 곡선이다.



<그림 4> 저압 우회밸브 운전 곡선

2.3.1 기동 제어

기동 제어는 보일러의 초기 기동시 필요한 기능으로서 터빈 기동에 필요한 압력까지 보일러 출구 압력을 조절하며, 과열기 및 재열기에 충분한 증기 유량을 형성시켜 튜브의 과열을 방지한다. 주증기 압력이 최소 압력인 12.24kg/cm² 보다 낮으면 밸브개도는 최소 개도인 15%로 설정된다.

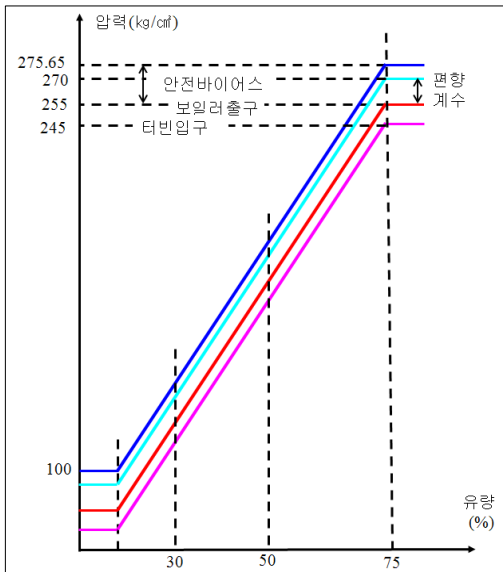
2.3.2 정압 제어

정압 제어는 고압 우회밸브를 제어하여 보일러 출구 압력을 84kg/cm²로 일정하게 유지하여 터빈 기동 및 발전기 계통 병입에 대비한다.

정상 운전 중에 고압 우회밸브가 개방되면 제어기 상태는 추종제어에서 정압제어로 자동 절체된다. 또 제어 목표치는 직전의 실제압력으로 재설정된다.

2.3.2 추종 제어

추종 제어는 변압운전에 의한 출력상승 및 정상 운전 중 운전원에 의한 설정압력을 유지하는 제어기능과 보일러의 과도한 압력상승을 방지하는 안전 기능을 갖추고 있다. <그림 5>의 변압 운전 곡선에서 안전 기능을 위한 고압 우회밸브 동작 압력 설정치는 실제 운전 압력보다 15kg/cm² 높게 설정된다. 급격한 부하감발 등에 의하여 과열기 출구 증기압력이 순간적으로 정해진 상승률을 초과하여 정상 운전압력 보다 15kg/cm² 이상 높아질 경우 약 10초간 부분적으로 개방되어 과잉증기를 우회시켜 정상 압력으로 회복시킨다. 이 때는 정압제어 상태이고 설정치는 주증기 압력으로 전환되며 편향계수 15kg/cm²는 상실된다.



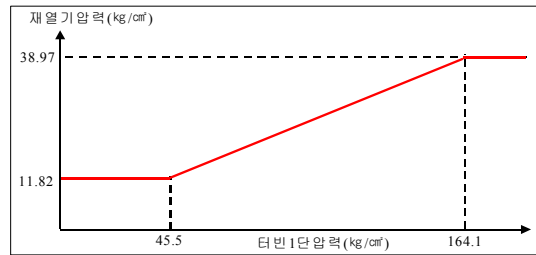
<그림 5> 고압 우회 계통 압력-유량 선도

추종제어 상태에서 터빈 비정상지 등 증대한 외란에 의하여 과열기 출구 증기 압력이 빠르게 상승하여 기준값에 대한 편차가 20.65kg/cm² 이상 높아질 경우에는 고압 우회밸브가 완전히 개방되어 보일러 압력을 정상으로 회복시킨다. 이 기능이 상실된 경우에 대비하여 주배관에 설치된 별도의 압력스위치가 있다.

이 압력스위치는 전 부하영역에서 과열기 출구 압력이 273kg/cm²에 도달할 경우 안전 기능을 발휘하여 주증기를 재열기로 우회시키며 3대가 설치되어 있으나 1대의 신호로 고압 우회밸브를 개방한다.

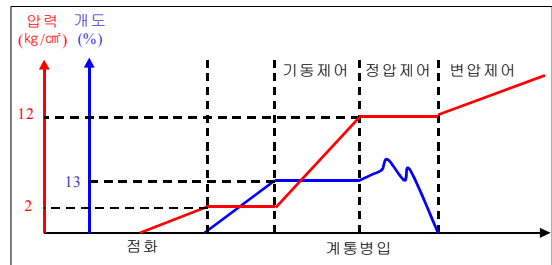
2.4 저압 우회계통

저압터빈 우회계통은 보일러 기동시 또는 비정상 운전 상황 발생시 고압 우회밸브를 지나 재열기로 유입되는 주증기를 복수기나 대기로 방출시키는 설비이다. 그런데 저압 우회밸브의 용량은 65%이므로 여분의 증기는 재열기 안전밸브를 통해 대기로 방출된다. 저압 우회밸브의 동작압력은 재열기의 운전압력 및 터빈 제1단 압력에 의하여 제어된다. 또한 저압 우회밸브를 제어하는 고압유 압력이나 전원이 상실되는 경우에는 밸브는 항상 폐쇄되어 콘덴서를 보호한다. 저압터빈 우회계통은 밸브개도 제한과 온도제어 등이 있으나 여기서는 압력제어에 대하여 고찰한다.



<그림 6> 재열기 압력 설정치

재열기의 출구 압력 설정치는 재열기의 운전 압력과 고압터빈 제1단 압력 ÷ 5.5에 의한 두 값 중에서 큰 값이 선택되어 설정치로 작용한다. 따라서 보일러 기동 시에는 터빈 유입증기가 없으므로 재열기의 운전 압력이 설정치로 되고 정상 운전 시에는 터빈 제1단 압력이 설정치로 된다. 터빈 기동은 재열증기 조절밸브를 이용하여 이루어지며 이 때 재열기 압력은 12kg/cm²를 유지한다. 계속하여 계통 병입 후 터빈 출력 상승으로 재열기 압력이 저하됨에 따라 저압 우회밸브의 개도가 감소한다. 터빈 출력이 더욱더 증가하면 저압 우회밸브는 완전히 닫히고 주증기 조절밸브가 열려서 고압 터빈에 증기가 공급되면 압력 설정치는 결과적으로 <그림 6>과 같이 된다



<그림 7> 저압 우회밸브 운전 곡선

3. 결 론

근래에 우리나라에서 장기사용으로 노후화된 발전소의 제어설비를 개조하기 위해서는 드럼형 발전소에 대한 지식만으로 충분하였다. 그러나 근래에 건설된 변압운전 방식의 500MW 석탄화력 발전소를 향후 개조하기 위해서는 초임계압 관류형 보일러의 제어에 대한 정확한 지식이 필수적이다. 특히 터빈 우회계통은 발전소 기동시간 단축 및 과도상태 안전성과 밀접한 관련이 있는 분야이다. 향후 많은 운전 자료를 수집하고 모델링을 통한 시뮬레이터를 제작하여 외국의 기술을 빌리지 않고 국내 기술로 독자적인 제어 시스템을 개발하기 위한 연구가 절실히 요청되고 있다.

[참고 문헌]

- [1] "발전운전 제어반" 발전교육원
- [2] "초임계압 변압운전 발전소 기술자료집" 한전 수화력 건설처
- [3] "POS 해설집" 한국서부발전 대안화력발전소
- [4] "화력발전 실무반" 한국발전교육