

## 화력발전소 기동시 터빈 바이패스 시스템과 터빈 제어에 관한 고찰

최인규, 박두용  
전력연구원

### A Study on Turbine Control and Turbine Bypass Control during Startup of Thermal Power Plants

Inkyu Choi, Dooyong Park  
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 generator. It has such advantage as the reduction of startup duration, but its control system and operation method are very complicated. It has a big difference in operation method of turbine and boiler. The feedforward control needs to be introduced to prevent such problems as thermal shock during the transit from normal operation into bypass operation. This paper introduces the turbine control and turbine bypass control during startup of thermal power plants.

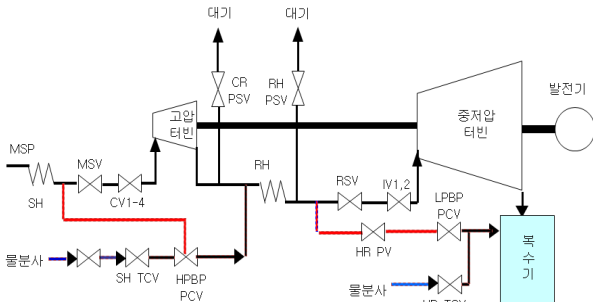
#### 1. 서 론

종래에 우리나라에 건설된 화력 발전소는 아임계압, 중·소용량, 정압운전 방식의 드럼형 발전소가 주류를 이루었다. 근래에는 고효율의 초임계압, 변압운전 방식의 화력발전소가 다수 건설되었다. 이러한 발전소들은 기동 방식으로는 고압 및 저압 바이패스 시스템을 채용하고 보일러 형식으로는 관류형 증기발생기를 채용하고 있다. 터빈바이패스 시스템을 채용하는 경우 기동시간을 단축하는 등 잇점이 있으나 제어 시스템과 운전 방식은 매우 복잡해진다. 보일러 운전방식에 있어서도 종래의 발전소에 비하여 바이패스 시스템을 채용하는 경우에는 많은 차이가 있으며 터빈제어 방식도 많은 차이가 있다. 정상운전에서 바이패스 운전으로 진입하면 과도한 열충격을 방지해야 하는 등 여러 가지 문제점도 발생하며 이를 해결하기 위하여 살수계통 제어에 선행요소를 도입해야 한다. 이 논문에서는 최근 국내에서 건설되어 운전되고 있는 초임계압 변압운전 방식의 발전소 기동에 있어서 터빈 제어와 터빈 바이패스 제어의 특성에 대하여 고찰하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 터빈 바이패스 시스템

그림 1은 발전전용의 대용량 증기터빈을 나타내고 있으며 중압터빈이 없는 경우(소용량 터빈과 원자력 터빈)도 있다. 일반적으로 정상운전인 상태에서 증기흐름은 주증기 제어밸브를 통과하여 고압터빈에 유입되어 일을 하면 압력과 온도가 낮아진다. 이 증기는 재열기에 유입되어 열에너지를 흡수하여 온도가 주증기 수준으로 높아진다.

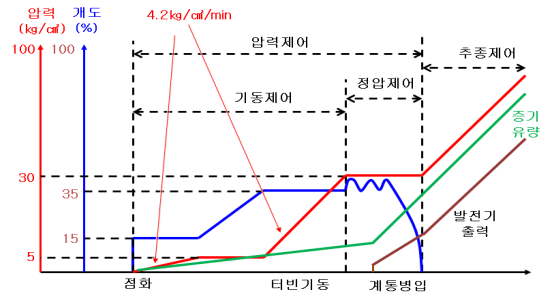


〈그림 1〉 터빈 바이패스 시스템 개요

이 증기를 재열증기라 하며 재열증기 제어밸브를 경유하여 중압터빈에 유입된다.

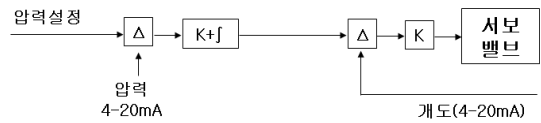
##### 2.1.1 고압 바이패스 시스템

고압터빈 바이패스 시스템은 과열기 출구에 설치된 4개의 고압 터빈 바이패스밸브를 이용하여 고압증기 전량을 재열기를 통하여 복수기로 배출시킨다. 정경용량은 100%로서 제어기능으로는 압력제어 요소로 기동제어, 정압제어가 있다. 그림 2는 보일러 기동에 따른 압력제어 곡선이다. 압력 제어회로는 그림 3과 같으며 제어 알고리즘은 기동제어와 정압제어로 구분된다. 기동 제어는 보일러의 초기 기동시 필요한 기능으로서 보일러에 급수를 공급한 후 연료를 점화하여 최초로 발생하는 증기의 압력을 제어하는 기능이다.[1]



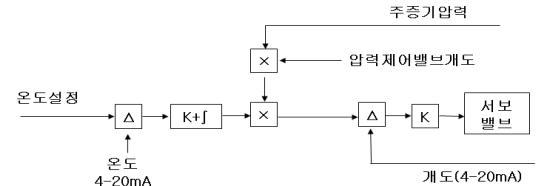
〈그림 2〉 고압 바이패스밸브 운전 곡선

터빈 기동에 필요한 압력까지 보일러 출구 압력을 조절하며, 과열기 및 재열기에 충분한 증기 유량을 형성시켜 튜브의 과열을 방지한다. 발전소에 따라 설정압력은 다소 차이가 있으나 주증기 압력이 최소 압력인 12.24kg/cm² 보다 낮으면 밸브개도는 최소 개도인 15%로 설정된다. 이 상태에서 주증기 압력은 4.2kg/cm²/min으로 상승한다. 정압 제어에서는 고압 바이패스밸브를 제어하여 보일러 출구 압력을 84kg/cm²로 일정하게 유지하여 터빈 기동 및 발전기 계통 병입에 대비한다.



〈그림 3〉 증기압력 제어회로

또 압력제어 과정에서 출구 온도를 일정하게 유지하기 위하여 주증기압력과 압력제어밸브 개도를 선행 요소로 하여 그림 4와 같은 제어회로가 구비되어 있다.[2]



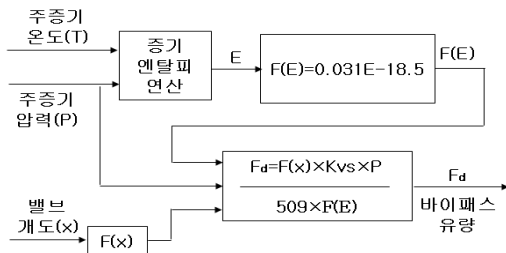
〈그림 4〉 증기온도 제어회로

##### 2.1.2 바이패스 유량 연산

증기의 엔탈피를 구하는 것은 여러 가지 상용 프로그램을 활용할 수 있으나 보다 근본적으로는 물에 관한 열역학이 필요하다. 포화수나 포화증기는 온도와 압력 둘 중 하나만 알면 엔탈피를 구할 수 있고 습증

기(포화수 + 포화증기)는 건도(Quality)까지 를 알아야 엔탈피를 구할 수 있다. 과열증기나 과냉각수에 대해서는 온도와 압력을 둘다 알아야 엔탈피를 구할 수 있다. 고압 바이패스 밸브가 제어하는 동안 재열기로 흐르는 증기는 과열증기이다. 따라서, 증기 유량은 그림 5와 같이 계산된다. 그림 5에서 증기온도와 압력을 알면 증기표로부터 보간법을 이용하여 증기 엔탈피를 계산할 수 있으며 상업용 계산 프로그램도 출시되어 있다..

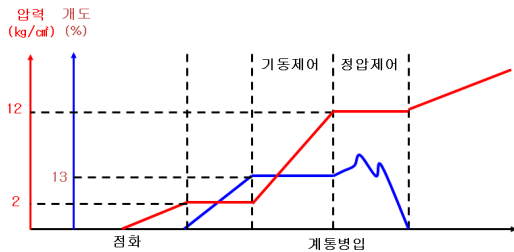
여기서 Fd : 바이패스 증기유량(kg/s)  
 F(x) : 밸브 특성커브 출력(%)  
 Kvs : 100% 개도에서 Kv(m<sup>3</sup>/h)  
 P : 주증기 압력(bar)  
 T : 주증기 온도(°C)  
 E : 주증기 엔탈피(KJ/kg)



<그림 5> 바이패스 유량 연산

**2.1.3 저압 바이패스 시스템**

저압터빈 바이패스 시스템은 보일러 기동시 또는 비정상 운전 상황 발생시 고압 바이패스밸브를 지나 재열기로 유입되는 주증기를 복수기나 대기로 방출시키는 설비이다. 저압 바이패스밸브의 동작압력은 재열기의 운전압력 및 터빈 제1단 압력에 의하여 제어되던 그림 5와 같이 운전된다. 터빈 기동은 재열증기 조절밸브를 이용하여 이루어지며 이 때 재열기 압력은 12kg/cm<sup>2</sup>를 유지한다. 계속하여 계통 병입 후 터빈 출력상승으로 재열기 압력이 저하됨에 따라 저압 바이패스밸브의 개도가 감소한다.

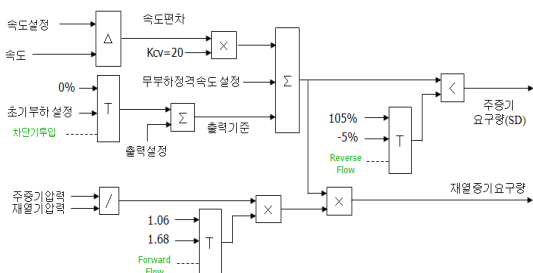


<그림 6> 저압 바이패스밸브 운전 곡선

터빈 출력이 더욱더 증가하면 저압 바이패스밸브는 완전히 닫히고 주증기 조절밸브가 열려서 고압 터빈에 증기가 공급되면 압력 설정치는 결과적으로 그림 6과 같이 된다[1]

**2.2 터빈 제어**

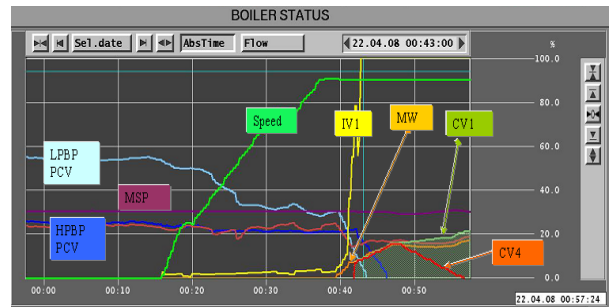
그림 1에서 발전소 기동시 터빈의 바이패스 운전을 실시하면 주증기 압력은 정압제어 상태로서 재열증기 관로에 증기가 흐르고 있다. 이 때, 주증기 제어밸브를 통하여 고압터빈에 주증기를 유입시키면 유량의 형성이 불량하여 증기가 정체될 가능성이 높아진다. 따라서 재열증기 제어밸브를 이용하여 속도를 상승시켜야 한다.



<그림 7> 터빈 제어

터빈 기동시 고압 바이패스 밸브는 정압제어 상태이며 이 때 주증기 압력은 발전소에 따라서 다르나 그림 2에서와 같이 보통 84kg/cm<sup>2</sup>를 유지하고 있다. 그림 7에서 기동시에 역류상태(Reverse Flow) 이므로 주증기 유량신호는 -5%로 되고 속도 제어 신호는 재열증기 제어밸브로 연결된다. 재열증기 제어밸브는 계통병입과 저부하 운전을 담당한다. 출력이 증가하여 재열기 압력이 감소하면 고압터빈 바이패스밸브가 닫히고 주증기 제어밸브가 열려서 정방향 운전(Forward Flow) 출력을 더욱 증발한다.[3]

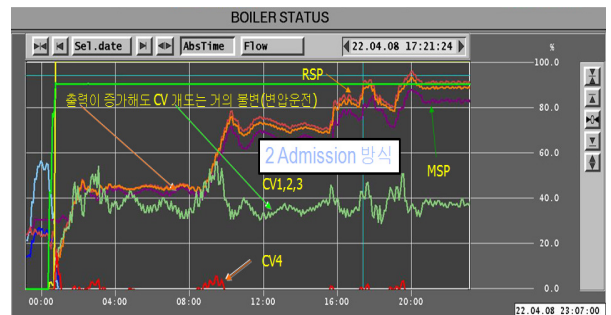
그림 8은 어느 화력발전소의 터빈 기동시 운전 과정을 나타내고 있다. 정방향 운전시 출력증발을 위해서는 보통 주증기 압력을 상승시키는 변압운전을 채용한다.



<그림 8> 터빈기동 그래프

이 경우 주증기 제어밸브 개도는 거의 변동되지 않으며 발전기 출력은 주증기 압력에 정비례하여 증가한다. 그림 8은 어느 화력발전소의 출력 증발시 운전 과정을 나타내고 있으며 그림 2의 정압제어 구간과 유사한 운전 과형임을 알 수 있다.

주증기 압력이 계속 상승하여 변압 구간을 초과하여 정압구간에 도달하면 이 때부터는 주증기 제어밸브 개도를 증가시켜서 발전기 출력을 증발한다.



<그림 9> 출력증발 그래프

**3. 결 론**

근래에 우리 나라에서 장기사용으로 노후화된 발전소가 증가하고 있다. 과거 개발시대에 건설된 발전소의 수명을 연장하여 재사용하기 위해서는 자동제어 설비의 개조는 필수적이다. 수년 전까지는 바이패스 시스템이 없는 드림발전소를 개조대상으로 하였으나 금년 부터는 발전용량 500MW의 초입계압 변압운전 방식의 석탄화력발전소가 개조대상으로 부각하고 있다. 따라서, 향후 개조 대상인 관류형 보일러의 터빈 제어에 대한 정확한 지식이 필수적이다. 특히 터빈 바이패스 시스템은 초기 기동과 과도상태에서 발전소 전체의 안정성에 관련되므로 이에 대한 정확한 정보는 무엇보다도 중요하다. 따라서, 향후 국내 기술로 발전소 자동제어 기술을 자립하기 위해서는 바이패스 계통에 대한 연구가 절실히 요청되고 있다.

**[참 고 문 헌]**

- [1] “변압운전 방식의 500MW 초입계압 석탄 화력발전소 터빈 우회계통에 제어에 관한 고찰” 2008년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집
- [2] “바이패스 시스템 제어로직”, 보령화력 7,8호기
- [3] “보일러터빈 제어반” 한국발전교육원