

## 바이패스 시스템 채용 유무에 따른 증기 터빈제어 비교

최인규, 김종안  
전력연구원

### A comparison of steam turbine control systems according to adoption of turbine bypass system

I.K.Choi, J.A.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 operation, of drum type steam generator. But, nowadays, almost all of them were of high efficiency, of supercritical pressure, of great capacity(about 500MW), of sliding pressure operation, of once through type steam generator. Presently built once through boiler introduces turbine bypass systems to variable pressure operation which eliminates unexpected materials in boiler tube during startup, minimizes fuel loss by short startup period, eventually improves total efficiency and power system stability

하 설정치에 의해 결정되는 부하기준 신호와 속도 편차에 의해 증기조절 밸브의 개도를 조절한다. 부하기준 신호는 주증기 압력제한, 밸브 개도제한, 복수기 진공도 제한, 과속도 제한 등의 보호회로를 통과하여 최종적으로 증기조절 밸브의 개도를 조절한다. 근래에 건설되는 발전소의 터빈 제어 계통은 저부하에서 고압터빈의 온도 분포를 균등히 유지하여 열응력 경감을 위한 전부분사 운전과 고부하에서 터빈 효율 증진을 위한 부분분사 운전 전환 기능, 고압터빈 로타의 증기 온도 및 회전력 변동에 따라 발생하는 열응력 및 원심응력을 산출하여 운전원에게 운전정보를 제공하는 열응력 감시 기능, 정격 주파수 유지를 위한 부하추종 운전 중 출력제한 회로의 역기능을 방지하기 위한 주파수 보정 기능 등 여러 가지 기능을 갖추고 있다.

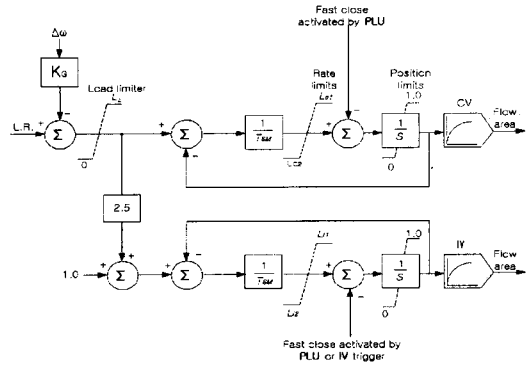
### 1. 서론

종래에 우리나라에 건설된 화력 발전소는 아이제압, 중·소용량, 정압운전 방식의 드럼형 발전소가 주류를 이루었으나 근래에는 고효율의 초임계압(Supercritical Pressure), 대용량(500MW), 변압운전 방식(Sliding Pressure Operation)의 관류형(Oncethrough Type)발전소가 주류를 이루고 있다. 근래의 관류형 발전소는 보통의 드럼형 발전소와는 달리는 터빈 바이패스 시스템을 채용하여 변압운전을 시행함으로써 기동시 보일러 배관에 응축된 불순물을 제거하고 기동시간을 단축하여 연료 손실을 최소화하고 있으며, 또한 초임계압 증기의 변압효과에 의하여 발전소 효율이 증가할 뿐만 아니라 전력계통 고장 발생으로 계통에서 분리되어도 발전소는 단독 운전을 계속하여 고장 제거시 재병입 시간을 최대한 단축하여 계통 안정에도 기여하고 있다. 따라서 터빈제어 방식도 기존의 드럼형 발전소와는 차이가 있으므로 국내에서 운전되고 있는 미국 GE사의 터빈제어 시스템을 중심으로 양자를 비교하여 소개하고자 한다.

### 2. 본론

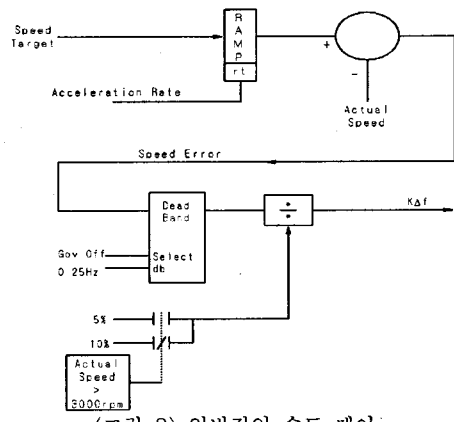
#### 2.1 터빈제어 일반

발전소의 터빈 제어계통은 정상 운전시 증기발생기로부터 발생되어 터빈에 유입되는 증기량을 조절하여 기동시 터빈·발전기의 속도를 조절하고 발전기가 계통에 동기 투입되면 발전기 출력을 제어한다. 또한, 과속도 및 이상 상태 발생시 유입 에너지를 차단하여 터빈을 위험 상황으로부터 보호한다. 그러나, 궁극적으로 터빈의 속도를 조절하므로 조속기라 하며 종래의 기계식 조속기는 정격속도의 100±6% 정도의 속도를 조절할 수 있었으나 근래의 디지털 전기식 조속기는 터빈의 전 속도 범위에 걸쳐서 속도 및 가속을 설정을 통하여 속도를 자동 조절하며 자동 조절이 불가능한 상태에서는 속도 및 출력을 후비 제어반에서 수동으로 제어할 수 있도록 설계·제작되어 있다. 출력제어 회로는 부하 변화와 과부



〈그림 1〉 일반적인 터빈 제어 예

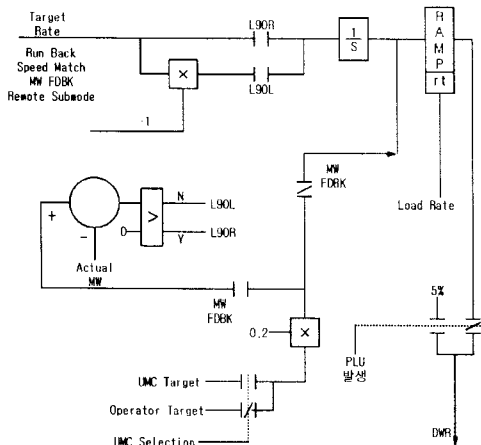
#### 2.1.1 터빈 속도제어



〈그림 2〉 일반적인 속도 제어

속도 목표값과 승속율은 운전원이 설정하고, 속도 목표값이 Ramp 함수를 통과하면 승속율이 고려되어 속도 기준값이 된다. 여기에 실제 속도를 고려하면 속도 편차(Speed Error)가 되고 Gov Off, 즉 속도 불감대 운전일 경우 0.25Hz의 불감대로 운전된다. 속도조정율은 입력÷출력으로 정의되므로 비례대이고, 비례대의 역수는 이득이므로 위의 그림에서 K는 속도 편차에 대한 이득이다.

### 2.1.2 발전기 출력제어



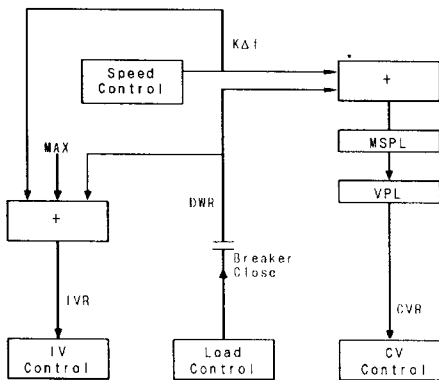
〈그림 3〉 일반적인 출력 제어

발전기가 전력계통에 병렬운전 되면 터빈 유입 증기량의 변화는 출력변화로 나타난다. 정격속도 부근에서 속도 병합(Speed Match)시 L90R과 L90L의 접점을 통하여 적분기 입력을 감소 또는 증가 방향으로 동작시켜서 터빈 속도를 계통속도보다 약간 높게 조절하고 계통 병입시는 L90R을 동작시켜서 발전기의 전동기화를 방지하기 위해 초기부하를 확립한다. 그 후 운전원이 부하 목표치(Load Target)를 설정하여 Ramp 함수를 거치면 부하기준값(DWR)이 된다. MW FDBK을 선택하면 부하 목표치와 실제출력을 비교하여 L90L과 L90R로 적분기를 통해 발전기 출력을 조절한다.

## 2.2 증기발생기 형태별 터빈 제어 비교

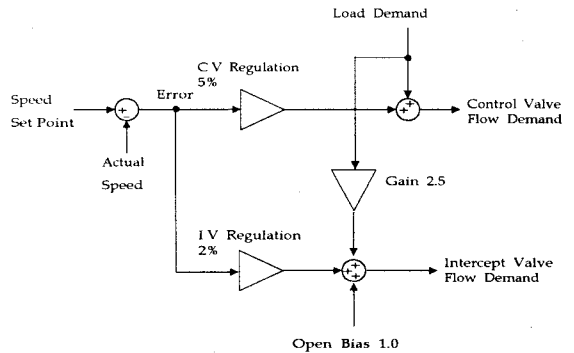
국내에서 운전되고 있는 터빈은 여러 가지가 있으나 여기서는 드럼형과 관류형 보일러 화력 발전소의 터빈제어에 관하여 알아보고자 한다.

### 2.2.1 드럼형 보일러의 터빈 제어



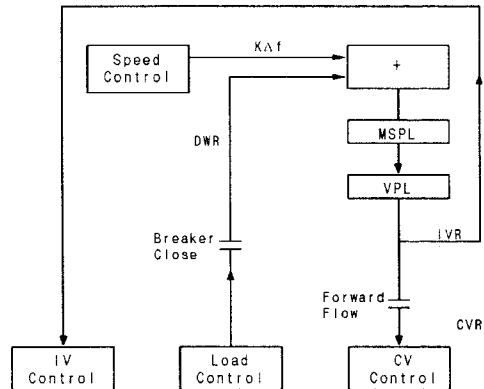
### 〈그림 4〉 드럼형 보일러 터빈제어 개요

터빈 바이패스 계통이 없는 발전소에서는 고압터빈을 통과한 주증기는 반드시 중저압 터빈으로 유입되어야 한다. 이를 위하여 주증기 조절밸브를 이용하여 승속 및 계통 병입시 반드시 재열증기 조절밸브를 열어서 증기 유량을 충분히 확보해야 한다. 〈그림 5〉에서 이를 위해 Open Bias 1.0을 속도조정율 2%에 추가하고 지부하에서 재열증기 조절밸브를 100% 개방하기 위해 출력요구량(Load Demand)의 2.5배를 추가한다



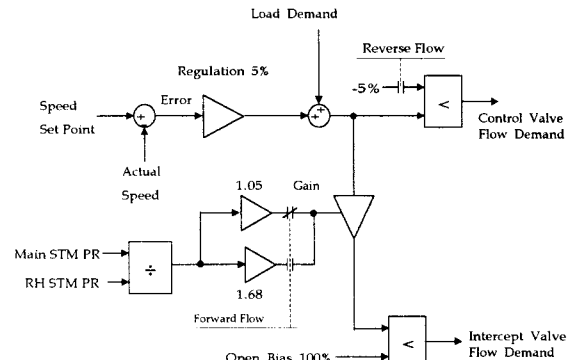
〈그림 5〉 〈그림 4〉의 제어 회로

### 2.2.2 관류형 보일러의 터빈 제어



〈그림 6〉 관류형 보일러 터빈제어 개요

최근의 대용량 관류보일러는 기동시간 단축, 터빈 고형물 감소, 보일러 단독운전, 계통 안정도 향상 등을 목적



〈그림 7〉 〈그림 6〉의 제어 회로

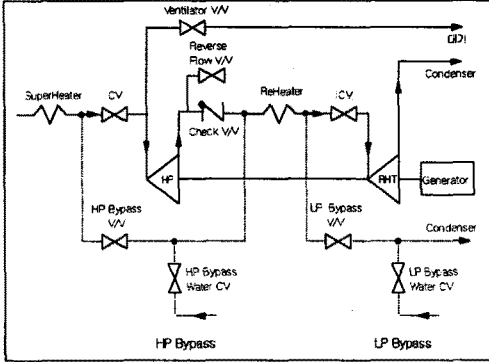
저압터빈의 바이패스 운전을 실시하고 있으며 이 때, 재

열증기 관로에 증기가 흐르고 있으므로 주증기 조절밸브  
 으로 고압터빈에 주증기를 유입하면 유량의 형성이 불량  
 하여 증기가 정체될 가능성이 높아진다. 따라서 재열증  
 기 조절밸브를 이용하여 속도를 상승시켜야 한다. 그런  
 데, 정격속도에 접근할수록 고압터빈 내부는 풍손에 의  
 하여 과열되므로 역류밸브(RFV)를 통하여 고압터빈

후 개조하기 위해서는 관류형 보일러의 터빈제어에 대한  
 정확한 지식이 필수적이다. 따라서 향후 많은 운전 자  
 료를 수집하고 모델링을 통한 시뮬레이터를 제작하여 외  
 국의 기술을 빌리지 않고 국내 기술로 독자적인 제어 시  
 스템을 개발하기 위한 연구가 요구되고 있다.

**[참 고 문 헌]**

- (1) "발전운전 제어반" 발전교육원, 최인규 외 3명
- (2) "초임계압 변압운전 발전소 기술자료집" 한전 수하  
 력 건설처
- (3) "기초기술 모음집" 전력연구원, 류홍우 외 4명



〈그림 8〉 터빈 바이패스 계통도

을 바이패스한 증기를 고압터빈의 배기구로 유입시켜 냉  
 각시킨 후 배기밸브(Ventilation Valve)를 통하여 대  
 기 또는 복수기로 흐르게 한다. 이 경우, 역류밸브 또는  
 배기밸브의 고장을 대비하여 고압터빈 배기온도가 규정  
 치를 초과할 경우 터빈을 비상정지 시킨다.

**2.2.3 터빈 바이패스 운전중 과열 방지**

바이패스 시스템이 없는 경우 터빈 기동시 재열증기  
 조절밸브는 100% 열려있고 증기흐름은 고압터빈 → 재  
 열기 → 중압터빈 → 저압터빈 → 복수기의 순서로 형성  
 된다. 따라서, 재열기의 증기 압력은 고압터빈 증기유량  
 에 정비례하며 매우 낮은 상태이다. 그러나 바이패스 시  
 스템을 채용하면 재열기의 증기유량은 바이패스 밸브를  
 이용하여 형성되므로 고압터빈과는 거의 관계가 없다.  
 따라서, 고압터빈 증기유량과 재열기 압력에 큰 편차가  
 발생하므로 고압터빈 배기구가 과열될 우려가 있다. 즉,  
 터빈을 가속하기 위한 증기유량은 바이패스 유량에 비하  
 여 매우 작으므로 바이패스 시스템이 없는 경우의 동일  
 가속율에 비하여 재열기 압력이 매우 높게 되며 다음과  
 같은 현상을 초래한다.

- 재열기 압력상승은 고압터빈 압력비(입구압력/출구  
 압력)를 감소시키므로 고압터빈을 지난 증기의 팽창율이  
 감소한다.
- 각 단의 압력비가 점차적으로 감소하여 고압터빈 최  
 종단의 압력비는 최소로 되며 이 범에서 증기는 거의 팽  
 창하지 않고 회전풍손으로 나타나며 따라서, 고압터빈  
 배기구 온도가 상승한다

따라서 이러한 문제점이 있으므로 터빈 기동시 고압터  
 빈을 바이패스한 저온 재열증기를 이용하고 이 때, 고압  
 터빈 출구의 온도상승을 방지하기 위한 냉각용 유량을  
 형성하기 위해 역류밸브 (RFV:Reverse Flow Valve)  
 를 설치 저온 재열증기를 고압터빈으로 역류시켜서 대기  
 또는 복수기로 배출한다.

**3. 결 론**

근래에 우리나라에서 장기사용으로 노후화된 발전소의  
 설비를 개조하기 위해서는 드럼형 발전소에 대한 지식만  
 으로 충분하였으나, 근래에 건설되고 있는 발전소를 향