

유연탄연소 드럼타입 보일러를 채택한 발전플랜트의  
효율적 온도제어에 관한 연구

류 홍 우 , 황 재 호  
한전기술연구원 자동제어연구실

The Improvement for Steam Temperature Control at Boryung  
Bituminous coal-fired Drum Boiler Type Thermal Power Plant

HONG- WOO RHEW , JAE- HO WHANG

AUTOMATION AND CONTROL DEPT. RESEARCH CENTER KEPSCO

ABSTRACT

This paper is investigated on the improvement for steam temperature control at Boryung coal-fired drum boiler type thermal power plant. The steam temperature control has been mainly operated by the feedback controllers. Automatic controllers are bounded and difficult. Because boiler system is nonlinear and the system time delay is very large. Optimal regulators including predictive feedforward and differentiate control are synthesized and some improved output results are presented.

List of principle symbols

- T1: 1차과열기 입구온도, W1: 디빈 제 1단 증기유량
- T2: 2차과열기 입구온도, W2: 전체 증기유량
- T3: 2차과열기 출구온도, P1: 보일러 드럼압력
- K :  $M_w + T_{pe}$  , P2: Throttle pres.error

1. 서 론

건력을 생산하는 대형 화력플랜트에 있어서 증기의 일정온도제어는 플랜트 효율, 기기의 수명 측면에 있어서 대단히 중요하다. 비선형이고 시변 시정수를 갖는 온도제어 계통은 연료, 공기, 급수의 공급량에 대한 일체 온도 변화량과 증기온도가 변하는데 걸리는 시간이 (시정수, Time Delay) 각 부하대에 따라 다르며, 보일러

노내상태나 운전조건, 급수량, 튜우브의 개질 등의 영향을 받고 또한 그 값도 커서, 종래의 Feedback 제어 만으로는 효율적인 제어가 어려웠다. 그리하여 부하의 변동, Shut Down, 다른 제어 Loop나 장치의 고장에 따른 외란이 들어올 때, 자동에서 수동으로 전환해야 할 뿐 만아니라 출력이 주파수에 따라 변하는 경우에는 (Governor Free 운전) 출력변화에 상응한 온도제어가 곤란했고, 특히 저부하 Gov.Free운전시에는 부하감발 및 과저부하 자동운전에서 주증기온도의 추종성이 미흡하였고 유연탄연소 방식인 경우 미분기 기동 정지의 온도변화의 폭이 상당히 커서 자동운전의 힘들었다.

이와같은 비효율적 운전상태를 개선하기 위해 종래에는 증기유량을 선행요소로 하는 제어방식을 사용했으나 이도 Heat Flux 와 Steam Flow를 Balance 시키려는 Swing 현상이 발생하여 채택하는데 한계가 있었다.

본 연구에서는 이제까지 사용된 P.I.D. Feedback 제어의 장점을 최대한 살리고 출력변화에 따른 주증기 온도변화를 예측하여 제어입력의 선행요소로 추가시키고 여기에 속응제어를 보완함으로써 보다 안정되고 효율적인 온도제어 개선효과를 보였으며 이를 실제로 유연탄발전소 주증기온도 제어설비에 적용함으로써 그 효과를 입증하였다.

## 2. 증기 온도 제어

온도제어에는 여러가지 방법이 있으나 본 연구에서는 과열저감기 온도제어 방식을 채택하였다. 과열저감기에 의한 온도제어는 그림 1과같이 여러군데 설치된 과열저감기에 공급되는 분사수의 양에 의해 이루어진다.

제어신호는 분사수라인 밸브의 개도를 조절하고, 밸브의 개도는 자체 Feedback 신호에 의해 온도조절에 필요한 분사수량을 조절한다.

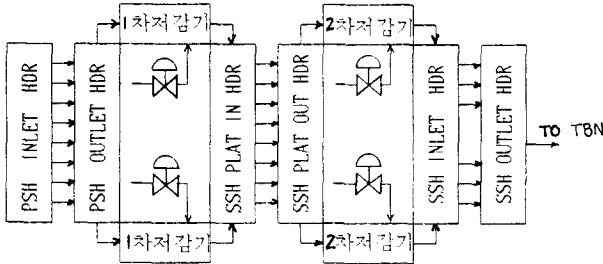


그림 1

그림 2 에는 분사수량에 의한 주증기온도 제어계통을 보이고 있다. 2단 주수계통으로 되어있는 과열저감기에서 1차저감기는 1차과열기 출구에, 2차저감기는 2차과열기 입구측에 설치되어 과열기 출구온도가 항상  $540^{\circ}\text{C}$  가 되도록 제어한다.

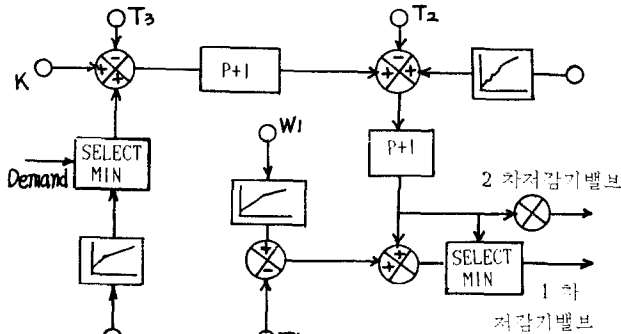


그림 2

온도의 측정은 피동 과열기 출구온도 1개소, 2차과열기 입구온도 2개소, 1차 과열기 출구온도 2개소에서 실시된다.

증기온도제어는 아래와 같이 시행된다.

운전원에 의해 지정된 온도 설정치와 부하신호인 증기유량 신호의 프로그램 출력신호 중 고신호가 채택된 후 최종 온도와 재차 비교되어 저신호가 선택되고, 보

일러 MASTER 계통에서 오는 Mwe + Tpe 신호가 부하변동시 온도변화를 최소화하기 위해 합쳐져 최종온도 설정치가 된다. 이 신호는 제어기를 거친 후 총공기량에 따라 프로그램 되는 분사수량 요구신호와 측정된 2차과열기 출구신호와 비교된 후 그 편차신호로서 1차과열기 출구의 1차 저감 Control 밸브를 주로 조작하여 온도를 저감시킨다. 또한 고부하시나 출력변화가 심한 경우 1차과열기 출구온도가 포화증기온도 이하로 감소하는 현상을 방지하기 위해 드럼 압력신호를 받아 포화증기온도보다 항상  $10^{\circ}\text{C}$  정도 높게 자동 설정시켜 이 신호와 측정된 1차 과열저감기 출구온도와 비교하여 그 편차신호로서 1차 과열저감기 제어밸브가 더 이상 열리지 않도록 제어하여 포화증기온도의 감소현상을 방지한다.

## 3. 예측선행제어 및 속응제어

출력변화에 따른 증기온도를 정량적으로 예측할 수 있으면 이 예측된 값을 선행요소 제어입력으로 사용하면 효과 높은 온도제어를 할 수있다. 그러한 예측되는 증기온도를 시스템에서 찾을 수 없을때 Kalman-Filter 를 사용한 상태추정을 통해 예측해야 하나 본 시스템에서는 Throttle Pressure 의 변화가 증기온도 예측 점으로 사용 가능하여 이 신호를 제어입력으로 채택하였다. 이 신호를 증기온도 예측값으로 사용 가능한 이유는 다음과 같다.

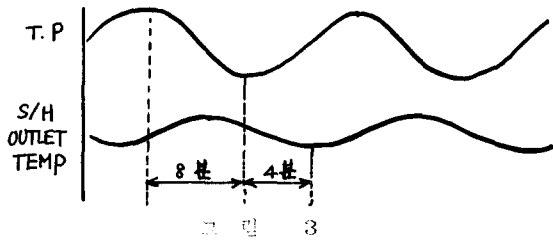
### 3-1. Throttle Pres.변화와 주증기온도와의 관계

출력변화는 Throttle Pressure(T.P.)의 변화를 일으키고 그 변화는 연료유량을 변화시키며 어느 정도 시간 변화 후에 다시 T.P.는 원래대로 회복된다. 또한 출력변화는 연소상태를 변화시켜 그 변화가 시간지연 후 주증기온도 변화로 이어지고 그에따라 분사수량이 변화하여 시간지연후 주증기온도가 회복된다.

이와같이 주증기온도변화가 T.P.의 변화에 의해 예측가능하며, 출력변화시 주증기온도변화를 T.P.변화로 예측, 분사수를 선행적으로 변화시켜 출력변화에 따른 주증기온도 변화를 최소화시킬수 있다.

그림 3 에는 T.P.변화와 주증기온도의 관계를 보였

다. T.P. 변화후 어느정도 시간지연후 같은 양상으로 주  
증기온도가 변하는것을 알수있다.



### 3-2. 예측선행제어 효과

출력이 변하면 T.P.가 변할 것이고 그 변화로 2  
차 과열기 제어용 설정치를 변화시키므로 T.P.error 가  
증가할시 분사수량을 줄여 설정치를 올리고 T.P.error  
감소시 분사수량을 증가시켜 설정치를 낮춤으로 예측제  
어를 채용치 않을때 4-5 분 후에 발생할 온도변화를  
T.P.error 신호에 따라 미리 분사수량을 변화시키므로  
주증기 온도제어의 최적화를 기할수있다. 그림 4에 개조  
된 예측선행 및 속도제어개통을 보이고 있다.

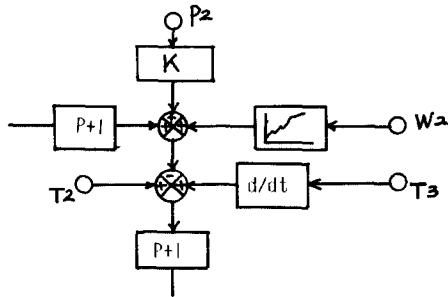


그림 4

### 3-3. 속도 제어

예측제어를 한다 하더라도 부하의 급증감시 주증기  
온도변화가 크므로 이를때를 대비하여 미분동작을 하는  
회로를 추가 보완하였다.

## 4. 결 과

### 4-1. 출력변동에 따른 주증기 온도제어 효과

#### (1) 회로개조전 정상운전시 데이터

출 력(MW)	480	450	400	300	250	200	180
주파수변화 (Hz)	0.25	0.2	0.2	0.2	0.17	0.18	0.15
부하응동량 (MW)	24.0	18.0	15.2	26.4	18.8	16.0	16.0
주증기온도변화(°C)	±7.0	±6.0	±6.0	±7.5	±6.0	±4.5	±6.0

#### (2) 회로개조후 과도상태 데이터

출력변화(MW)	480 →440	350 →480	360 →240	240 →360	480 →360	350 →480
RATE	5 MW / Min					
주증기변화(°C)	±3.0	±6.0	±4.0	* -12.4	±5.0	±6.0

\* -12°C 감온현상은 분사수 제어밸브가 거의 닫혀  
분사수량을 감소시켰으나, 분사수로써의 온도제어를 벗어  
나 온도제어가 불가능하여 발생한것임. 온도상승시는 총  
분한 분사수를 공급할수 있어 +4°C 이상은 상승하지 않  
음

### 4-2. 출력에 따른 온도제어 개선효과



## 5. 결 론

브랜트제어에 있어서 일정한증기온도 유지는 운전조건  
개선 뿐만 아니라 급속의 재질 및 고효율발전 측면에서  
도 대단히 중요하다. 예측선행 및 속도제어를 채택한  
증기온도제어는 특히 석탄연소방식의 경우 미분기 작동  
장지시에도 주증기 온도제어의 자동운전으로 인경된 운  
전을 도모할 수있고 비상사고 발생시 주증기 온도상승  
에 따른 과열기튜브 재질의 열피로에 의한 파열사고  
뿐만 아니라 발전소 효율향상에도 크게 기여한다.

\* 참 고 문 헌

1. R.M.Dunnet,R.Wells ; " Improvement in Steam Temperature Control on a Modern Oil-fired Power-station Boiler " IEE PROC , VOL . 127 Pt . D No1 , 1980,1
- 2 . R. Cori , C.Maffezzoni ; " Practical-Optimal Control of a Drum Boiler Power Plant " Automatica Vol 20 No.2 PP 163-173, 1984
- 3 . 藤井眞澄,那須修二. " 보일러 증기온도제어에의 예측제어 적용 " 전기현장기술 83 .11
- 4 . P.H. Jenkin, A.H. Williams; " Self-Optimising Combustion Control of Oil-fired Power Station Boiler" IEE PROC Vol 128 Pt.D No.2 1981.3
- 5 . 보령화력발전소 " 주증기 온도제어 회로개선 시험" 결과 보고서 1987.6