

증기발생용 보일러의 자동화 기술

제 3 회

박 영 수

제 2회에서 언급한 연소공기량제어와 관련된 기계설비를 설계하여 결정하였으면, 연소용 연료와 보일러 형식에 따른 통풍방식을 효과적인 제어가 될 수 있도록 필요한 제어방식에 대하여 살펴본다.

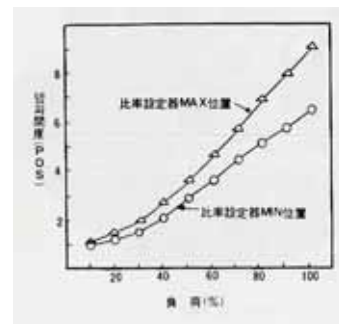
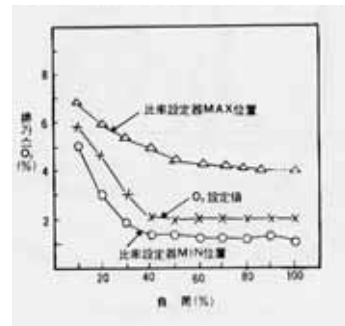
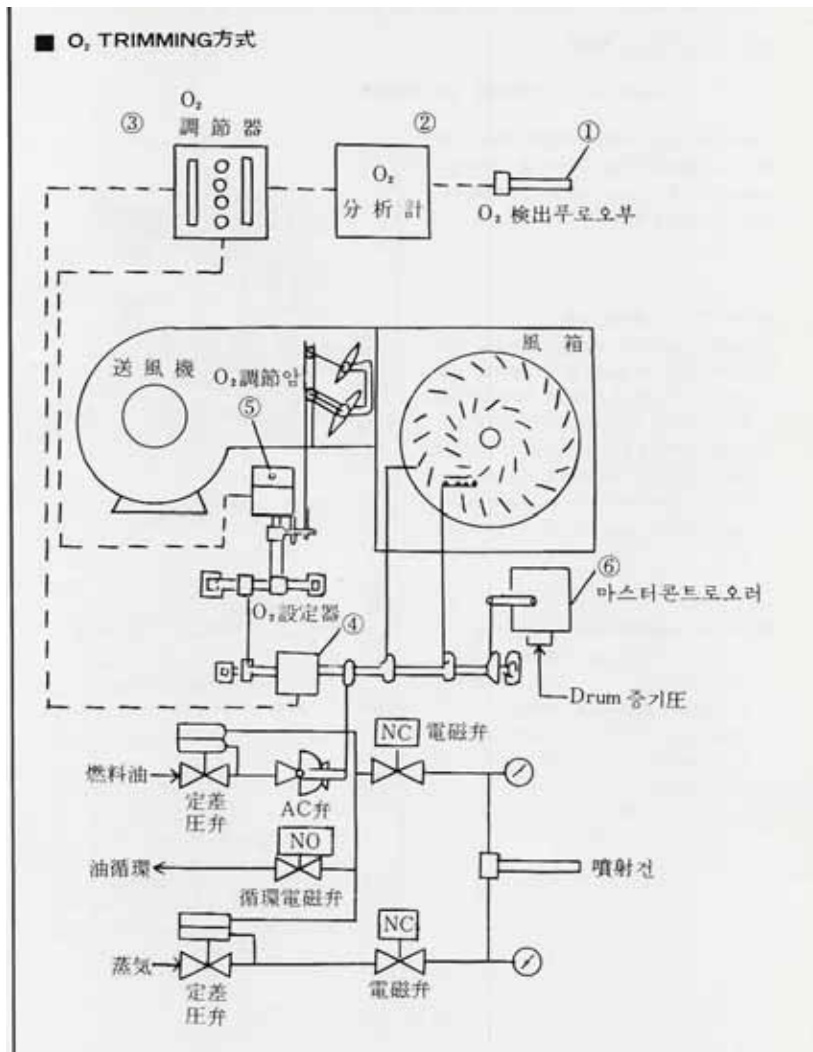
2. 연소공기량제어(계속)

■ O₂ TRIMMING 방식

중소형보일러의 경우에는 보일러 출구 O₂ 를 측정하여 공기댐퍼를 제어하는 O₂ Trimming 제어장치를 사용하여 연소효율을 증가시키는 전자-기계식 제어방식이 도입된다.

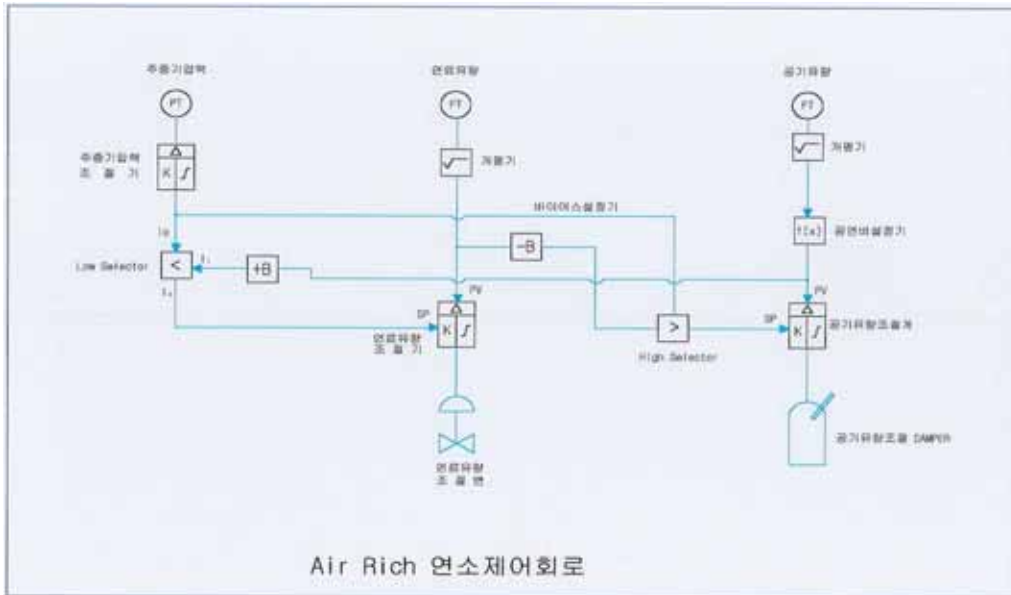
중대형보일러에서는 Air Rich 제어방식에 O₂ 제어를 부가하여 과잉공기로 운전되는 것을 보완하게 된다. 이 방법에 대해서는 Air Rich 연소제어방식에서 설명한다.

O₂ Trimming 제어장치는 기존 기계식 연소제어장치에 O₂ 센서와 분석기를 통하여 측정된 O₂ 값을 부하별로 설정된 값과 비교하여 기계식 링크를 보정시키는 시스템이다. 좌측의 그림은 일반적으로 사용하고 있는 O₂ Trimming 제어장치 "예" 이다.



▣ AIR RICH 연소제어 방식

중형보일러 이상의 경우에는 공기유량을 측정하여 증기발생 요구량에 따라 자동댐퍼의 개도를 제어하는 방식을 적용한다. 부하의 증가시 흑연이 발생하거나, 부하의 감소시 과도한 백연이 발생하는 것을 방지하면서 보일러의 연소효율을 증가시키는 최선의 제어방식이다.



일반적인 과잉공기 연소제어회로의 경우 부하 변동에 대한 제어회로의 동작을 순차적으로 정리해보면 다음과 같다.

보일러의 부하가 일정하고 제어계가 정상상태에 있을 경우에는,

- 1) 주증기압력조절계의 출력신호
- 2) 연료유량조절계의 Set Point(SP)신호와 PV(Process Valuable) 신호
- 3) 공기유량조절계의 SP신호와 PV신호

상기 3조건이 평형이 유지된다고 할 수 있다.

Air Rich 연소방식중 연료유량조절계에의 SP신호의 Low Selector 선택관계에서 정상상태에서는 주증기압력 조절계의 출력신호(Io)와 (+)바이어스 설정기 출력신호(I1)은 다음 관계가 있다.

$$I_0 < I_1$$

- 1) 부하가 증가하는 경우

Io는 주증기압력조절계의 설정치보다 떨어지므로 연료를 증가하도록 하여야 하므로 Io는 증가한다. 그러나 Low Selector출력인 연료요구신호(I3)는 Plus Bias(+B) 분 만큼은 순간적으로 증가할 수 있으나 그 후는 I1이 선택되어 공기유량신호의 증가에 따라 증가한다. 따라서 검은 연기가 나오지 않는 범위에서 제한되면서 증가한다.

- 2) 부하가 감소하는 경우

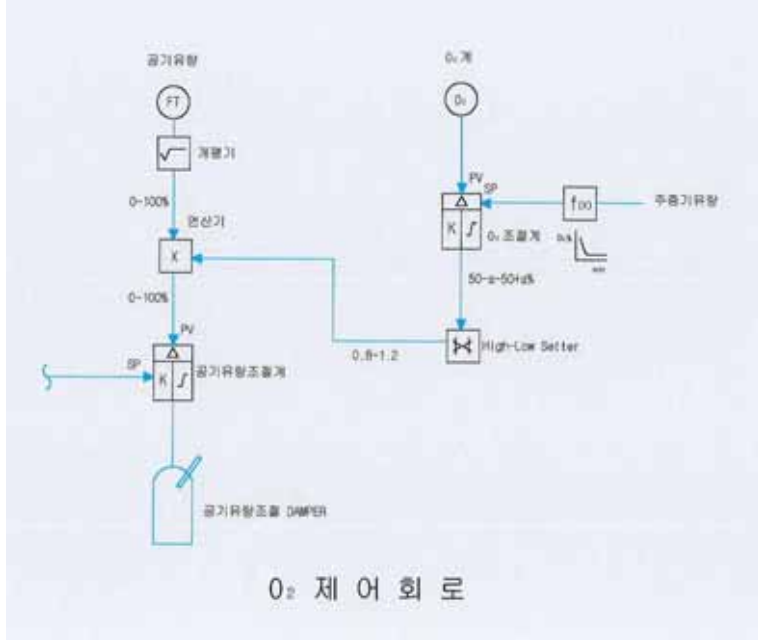
부하의 감소에 따라 주증기압력이 설정치보다 증가하므로 Io는 감소하므로 연료유량은 줄어진다. 이때 Low Selector에 있어서는 I1이 항상 Io보다 높기 때문에 Io로 선택된다. 공기유량은 연료유량이 감소하는데 따라 감소한다.

따라서 흑연을 발생하지는 않으나 연료유량은 Io에 의하여 공기유량에 관계없이 일방적으로 감소되므로 과도적으로 과잉공기율이 높게 된다.

이 현상의 주된 원인은 일반적으로 연료유량조절변의 반응속도가 Forced Draft Fan의 Vane 조작용인 Power Cylinder 보다 빠르기 때문이다.

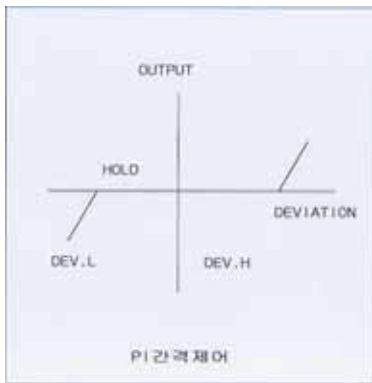
▣ AIR RICH 연소제어 방식에 추가되는 O₂ 제어

부하가 갑자기 증가하거나 감소하는 경우(±B 설정치에 보다 큰 경우)에 단순 Air Rich 연소방식을 사용하는 경우 제어의 범위를 벗어나는 경우가 발생되면 흑연 또는 과잉공기의 투입으로 저효율 제어가 된다. 따라서 부하의 변동이 심한 경우에는 Double Close Limit라는 방식을 적용시키나 중소형보일러의 경우 제어의 복잡성으로 Air Rich 연소제어 방식에 O₂ 제어를 추가하여 공기량의 ±20% 범위에서 제어가 될 수 있도록 한다.



방식에 대하여 논하면 다음과 같다. 보일러에 있어서 각 부하가 최적상태로 될 때의 배가스 O₂ %는 비교적 일정하지만 저부하로 되면 크게 된다. 이것은 버너의 연료분사량이 줄기 때문에 분무상태가 나쁘게 되고 공기와의 혼합이 좋지 않아지기 때문입니다. 따라서 O₂ 제어회로에서는 각 부하에 따른 주증기유량을 검출하여 부하별로 설정된 함수발생기를 통하여 최적 O₂ %를 구하여 O₂ 조절기의 설정치로 된다. 왼쪽 그림은 제어계의 기본개념을 나타낸 것이다.

1) O₂ 조절기의 제어방식

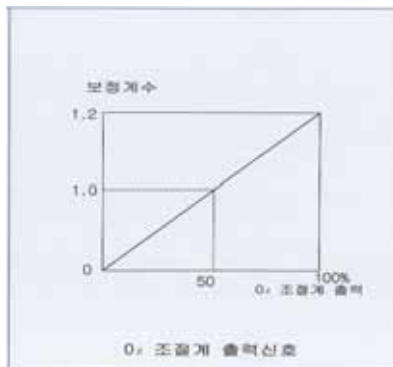


O₂ 제어계는 일반적으로 Dead Time이 크며 O₂ 측정값 그 자체가 연소에 의한 소폭의 불규칙한 변동을 수반하므로 간격제어방식을 적용한다.

이는 편차가 설정된 불감대내에서는 제어동작을 하지 않는다. 따라서 배가스 O₂ 농도가 설정치의 근방의 편차 내에서는 맥동해도 출력은 고정되고 불필요한 응답을 피한다.

2) O₂ 조절회로의 공연비보정연산

O₂ 조절기의 출력은 50%에서 연산기에서의 계수가 1로 되면 무보정이 된다.



0~100%에 대하여 0.8~1.2의 범위에서 보정연산하도록 한다. 공연비함수발생기출력을 a, O₂ 조절기출력을 b, 승산기출력을 c라 하면, $c = a * b$ 로 된다.

실제로 신호의 변동범위는

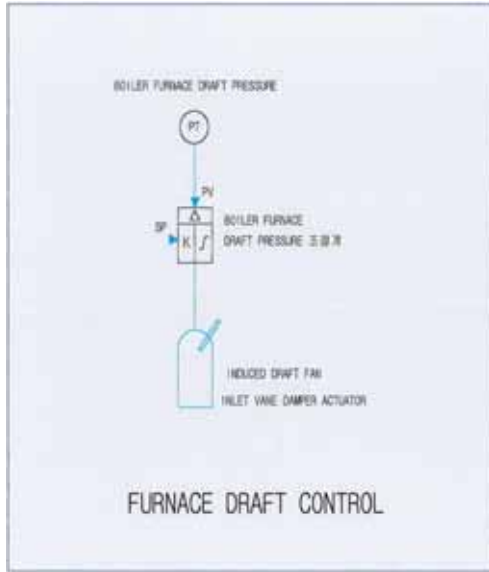
$$0 \leq a \leq 100\%$$

$$0.8 \leq b \leq 1.2$$

$$0 \leq c \leq 100\% \text{ 로 된다.}$$

■ FURNACE DRAFT CONTROL

평형통풍방식의 보일러에서 좋은 방법으로 연료가스 및 공기에서 열손실을 방지하기 위하여 노내압을 대기압보다 조금 낮게 압력을 유지하는 방법이다.



부하변동이 심한 보일러의 경우에는 응답성이 빠른 유압식 Actuator를 사용합니다.

또한 제어를 Burner 추출 댐퍼가 개방시에는 제어를 일시 Hold하여 유지되도록 하는 것이 불평형을 발생시키지 않습니다.

- 노내 압력 설정 기준

설정이 낮은 경우 침입 공기량이 많게되어 에너지 절약이 되지 않으며, 또 설정압이 높게되면 로내 폐가스의 방출이 많게되어 내화재, 광금물의 수명을 단축시키는 결과가 됩니다.

통상 압력의 검출단은 균열대의 측벽 또는 천정에 취부하여 Multi Burner 추출 Door 개폐시의 영향이 최고로 없

는 쪽으로 선택하여 사용합니다. 로압과 검출단 높이는 개략 다음식에 의하여 구하며, 검출단을 변경할 경우는 설정치를 변경할 필요가 있습니다.

$$P = 355 H (1 / Ta - 1 / Tg)$$

P : 로내 압력 [mmH₂ O]

H : 로내압 검출 높이 [M]

Ta : 대기온도 [°K]

Tg : 로내 폐가스 온도 [°K]

■ V.V.V.F INVERTER의 CONTROL

유량과 V.V.V.F INVERTER와의 관계는 다음과 같다.

$$\text{유량} \propto \text{속도}$$

$$\text{POWER} \propto (\text{유량})^3$$

예를 들어서 80% 유량(속도)일 경우 POWER는 $\text{POWER} = (0.8)^3 \Rightarrow 50\%$

즉, 적은 량의 유량(속도) 변화이지만 엄청난 전력의 절약 효과를 얻는다.

단, BOILER 송풍기 제어에 V.V.V.F INVERTER를 도입시 유의해야 할 사항이 있기에 적어본다.

BOILER의 연소공기 공급용 FAN은 동력을 많이 소요하므로 SPEED 제어에 의한 전력 절약은 그 자체로서는 상당한 효과가 있다고 인정되나 연소제어는 여러 가지로 고려해야 할 점이 많으므로 충분한 엔지니어링과 경험이 뒷받침되어 추진되어야 한다.

1) 부하변동의 추종성

BOILER는 특수한 경우를 제외하고는 대부분 PROCESS에서 사용하는 증기의 양에 비례하여 부하변동이 수반된다.

부하변동이 생기면 MASTER REGULATOR는 연소량을 변동시키기 위하여 연료밸브를 조절한다.

V.V.V.F INVERTER를 사용하기 전에는 송풍기가 항상 일정 회전수로 회전하고 AIR DAMPER의 개

도가 바뀌면 바로 공기유량제어가 되었으나 V.V.V.F INVERTER를 사용할 경우에는 부하변동 신호에 해당하는 RPM으로 즉시 변화할 수가 없으므로(모타와 웬은 관성을 가지고 있음) 정확한 공연비 제어가 안될 수 있다.

따라서 급격한 BURNER의 부하변동은 좋지 않으며 MASTER REGULATOR가 부하 변동에 너무 예민한 것은 오히려 좋지 않다.

2) 적정공기비 유지 가능 여부

BOILER의 에너지 절약은 첫째가 연료절약이다. 다음으로 전력비 절감이 되는데 BURNER의 적정 공연비를 현재 사용하고 있는 O₂ TRIMMING SYSTEM에 의해 운전하여 왔다고 가정하고, 위에 언급한 심한 부하변동 등의 원인으로 MOTOR SPEED가 연료의 부하변동이 추종치 못할 경우 이를 피하는 방법으로 O₂ TRIMMING SYSTEM의 PROGRAM을 상향 조정하였을 시 이로 인해 연료소비의 증가가 발생한다. 연료소비의 증가가 많아져서 전력비의 절감을 상쇄할 수 도 있다.

3) SPEED PROGRAMMING

BURNER 부하가 변동하게 되면 MASTER REGULATOR가 작동하여 연료밸브를 움직인다. 연료밸브는 개도에 따른 독특한 유량곡선이 있으며 유량곡선은 VALVE의 종류에 따라 전부 다르다. 연료유량과 공기유량과의 관계는 일정공식에 의한 것이 아니고 BURNER의 종류, 성능에 따라서 공연비의 곡선이 다르므로 저부하에서부터 고부하에 이르기까지 각 부하별, 적정공연비가 유지되도록 SPEED가 PROGRAMMING 가능할 수 있어야 한다.