

석탄연소 발전소의 석탄 발열량 변동에 따른 열량 보정제어에 관한 고찰

김병철, 김호열, 변승현
한전전력연구원*

A Study on BTU Correction Control according to variation of Coal Calorific Value in Coal Fired Thermal Power Plants

Byoungchul Kim, Hoyol Kim, Seung-hyun Byun
KEPCO Research Institute*

Abstract - 석탄연소 화력발전소 보일러의 최적 제어는 부하요구에 대하여 보일러 출력을 신속히 제어하고, 보일러 출력에 대하여 보일러 입력에너지인 석탄 유량을 조절하여 에너지 균형을 맞추는 것이다. 이는 안정된 부하뿐 아니라 부하변동시에도 균형을 유지하면서 제어해야 한다. 석탄 연소 보일러 에너지 입력이 되는 석탄유량 측정 및 보정은 유류나 가스연료보다 까다롭고, 석탄 연료의 발열량이 시간에 대하여 변하는 문제가 있으므로, 신속하고 안정된 제어 성능을 위해 계속된 석탄 유량을 설계기준치로 환산, 보정하여 제어해야 한다. 이에 대한 기술은 일찍이 보일러 출력인 증기 보유열량을 측정하여 실제 계속한 석탄 유량을 연속적으로 보정하는 기법을 사용하고 있다. 이에 대한 석탄 열량 보정 제어로직을 검토하여 최적 튜닝방안에 대하여 고찰하고자 한다.

Feeder의 계측 원리는 두 개의 고정 롤러사이 중량을 측정하는 롤러를 사용하여 벨트위에 있는 석탄을 측정하고, 벨트 속도는 모터축에 부착된 tachometer에 의해 검출되고, 중량신호와 속도신호가 곱해서 Feeder 출력 신호를 만들고 있고, Micro-processor는 Feeder 요구 신호에 모터속도를 조정하여 Coal Feeder를 제어하고 있다.

1. 서 론

2008년도 유류 및 유연탄 도입가격이 급등함에 따라 발전회사별로 원가절감을 위한 대책으로 석탄 매장량이 풍부하고, 가격이 상대적으로 저렴한 저열량탄 연소를 확대하게 되었다. 그렇지만 저열량탄은 발전소 건설 시운전 당시와 설계 기준과 발열량 및 성상이 많이 다르며 다음과 같은 특성이 있다. 석탄 발열량이 낮은 만큼 석탄 연료 유량이 증가되어야 하고, 휘발분이 높아 자연발화에 의한 화재발생 위험성 증가하며, 석탄 유량 증가로 인한 미분기 및 통풍설비 용량 부족, 회분이 높아 여러가지 연소 장애 발생시키고, 수분이 높아 수분 손실 증가하는 등 여러가지 문제점을 안고 있다. 그 중에는 석탄 연료 발열량이 차이가 많아 석탄 연료 열량 보정 범위 제한치에 걸려 운전함으로써 공연비의 불균형을 초래하여 최적 연소범위를 벗어나 운전되어 문제에 대하여 BTU 제어로직 및 최적 튜닝 방안을 연구함으로써 효율저하의 요인을 제거하여 저열량탄 자동연소를 실현하고자 한다.

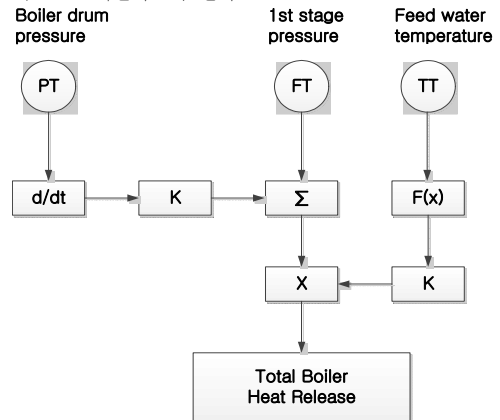
2.2 Heat Release

Heat Release는 보일러 입력에너지 변화를 반영하여 연료량을 정정함으로써, 부하변화에 대한 공연비를 유지하여 공기량의 외란을 방지한다. 보일러의 에너지 출력은 증기발생량의 총합계가 되고, 발열량으로 비교할 경우에는 엔탈피에 유량을 곱한 합계로 계산될 수 있고, 보통은 주증기 유량만으로 제어하는 경우가 많다. 주증기 유량은 제작사에서 제시한 터빈 1단(Turbine First stage shell Pressure) 압력에 대한 증기유량으로 산출값으로 사용한다. 기본적으로 Fuel oil 및 Fuel Coal 등 모든 연료원을 빠짐없이 합하여 계산하고, 정확한 연료량 순시치를 실시간으로 계속하여 반영하고, No Coal 신호 감지시에는 Coal Feeder가 운전중이라도 0 ton/h으로 계산하도록 한다.

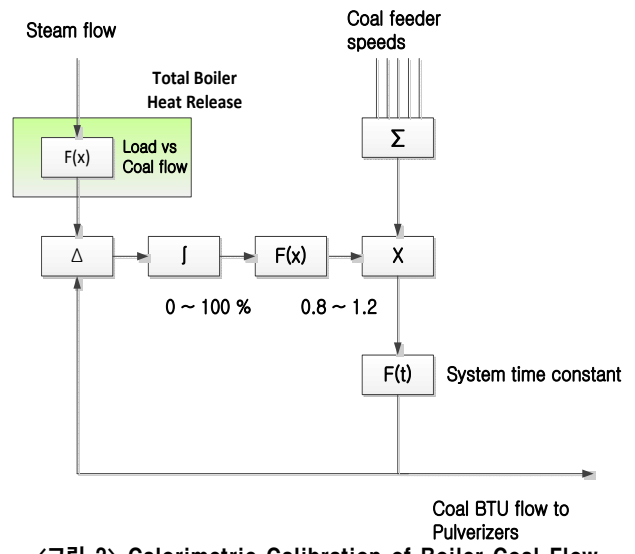
2. 본 론

2.1 BTU 제어의 개념 및 보정원리

석탄 연료 제어 계통은 가스나 유류 연소제어와 유사하게 석탄을 이송하는 일차 공기량을 제어한다. 석탄 유량은 일정하다면 열량이 변화하면 연료량이 변동하는 것과 같아서 기준 열량치를 기준으로 보정이 필요하다. 보일러의 안정된 부하운전 또는 부하변동시 에너지 균형을 유지하도록 제어하기 위해서는 보일러 에너지 입력의 정확한 계측이 필요하며, 석탄 화력에서는 열량을 보정한 석탄 유량의 정확성이 필요하게 된다. 석탄 유량을 보정하는 방법은 계속된 질량(중량)을 석탄 연료로 인한 보일러 출력(보일러의 총발생열량, Heat Release)과 비교하여 연속적으로 보정하는 방법을 주로 사용하고 있다. BTU 제어에 있어서 석탄 요구량 설정치는 주증기 유량에 따라 설정되고 이를 기준으로 Corrected Coal Flow와 비교하여 그 에러를 적분하여 사용 BTU 보정 비율의 신호가 되고 Actual Coal Flow와 곱하여 Corrected Coal Flow를 계산하고 이 신호가 Coal Master 신호에 따라 제어된다. 예를 들면 기준열량보다 적은 석탄이 들어오면 주증기 발생 유량이 줄어들고 주증기 유량대 Coal 설정 신호에 의하여 BTU 설정치가 작아지고 Corrected Coal Flow와 비교하여 - 방향으로 작산되고 BTU Ratio 신호가 작아져 Corrected Coal Flow가 적어지게 되어 Fuel Master 제어 로직에 의하여 Fuel Flow를 증가시키고, 결과적으로 주증기 유량부족분 만큼 보상하게 되어 평형을 이루어 제어된다. 석탄화력 보일러의 에너지 입력은 석탄 연료량 × 발열량이나, 석탄의 유량 계측은 용적식 또는 중량식이 있으며, 보통 중량식(Gravimetric) Coal Feeder의 속도신호로 유량을 계측하고 있다. 석탄의 유량 계측(±0.5%)이 정확하다더라도 석탄 발열량이 일정치 않고 변하게 되면 보일러에 공급되는 에너지가 변동하게 되고 보일러 마스터의 신호변동을 초래하게 된다. 그래서 보일러 에너지 출력과 보일러 입력의 차를 적분하여 이를 석탄유량에 보정하여 보일러 마스터 신호가 본래대로 유지하도록 연료량 제어 로직에 반영된다. 중량식



〈그림 1〉 Total Boiler Heat Release 계산로직



〈그림 2〉 Calorimetric Calibration of Boiler Coal Flow

2.1.2 보일러 입력/ 출력 에너지 비교방법

보일러 입력과 출력 에너지를 비교하는 방법에 따라 다를 수 있으나 제어 개념 및 제어로직은 유사하다.

석탄 연료 발열량 자동보정 제어로직 보정방법은 보일러 입력에너지 및 출력에너지 범위를 % 단위로 Matching 시키는 방법과 입력 에너지와 출력 에너지를 열량 단위로 환산하여 이를 %단위로 비교하고, 에러의 적산값을 보정신호로 사용하여 석탄 유량을 계산하여 보일러 입력과 출력에너지가 평형이 되도록 연속적으로 보정한다.

보일러 최적 제어는 부하 요구에 해당하는 에너지 요구에 대한 실제 보일러 출력에너지를 맞도록 보일러를 제어하는 것이며, 안정상태 뿐 아니라 부하의 증감발시, 정상, 비정상 운전조건에서도 공연비의 균형이 유지되어야 한다.

보일러 제어 최적제어는 부하에 대하여 보일러 출력 에너지 균형을 맞추는 것이며, 안정된 부하뿐 아니라 부하변동시에도 균형이 유지되어야 한다. 부하변동시 에너지 균형을 유지하도록 제어하기 위해서는 보일러 에너지 입력을 정확하게 측정하여야 한다. 특히 연료 입력량의 정확성이 필요하다. 측정된 연료를 기준으로 공연비 제어, 수연비가 효과적으로 제어될 수 있다. 하지만 석탄 연소보일러에 있어서 석탄 연료의 정확함 측정이 어려운 문제이다.

- Engineering Unit 비교
 - ton/h(0~ 300), Mcal/ton(Enthalpy 계산)
- %(Percent) 비교
 - ton/h(0~100%), Mcal/ton (Enthalpy 계산) → 0~100%(1,325.2)
- Gain 설정 : - ± 20 % 또는 ± 10 % , 0.2
- Integral Time : - 1200, 1800, 2400, 3600 sec

2.3 증기 유량 대 BTU 석탄 연료량 설정치 계산 예

BTU 제어의 석탄 설정치를 이론적 계산방법으로 효율계산식에 Plant 효율을 대입하여 석탄연료량을 계산할 수 있으며, 이는 실제 운전을 통하여 검증하여 튜닝한다.

최초 설계기준 : 6,080 kcal/kg,

산출 근거 : 효율 계산식

Unit 효율 = (발전출력 × 860) / (연료량 × 발열량)

연료량 = (발전출력 × 860) / (Unit 효율 × 발열량)

적용예(519MW) = (519,000×860)/(0.43×6,080) = 170.7 t/h

보일러 입력 = 석탄유량 × 발열량

보일러 출력 = 주증기 유량 (Heat Release)

보일러 출력 = 보일러 증기에너지 증가량(Heat Release)

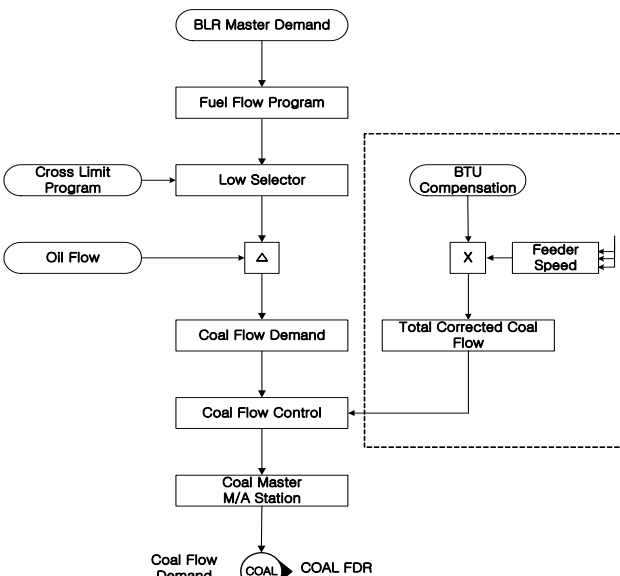
= {주증기 유량 × (주증기 엔탈피 - 급수 엔탈피)}

+ {재열증기 유량 × (HRH 엔탈피 - CRH 엔탈피)}

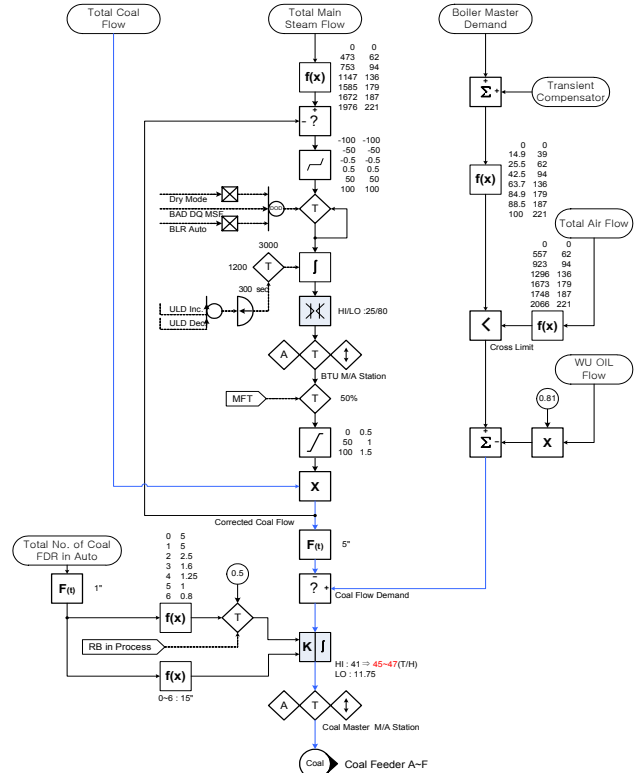
BTU 보정치가 실제 기준치를 벗어나는 요인은 주증기 유량에 대한 석탄설정치가 실제 운전치와 차이가 나는 경우와 Plant 전체 효율 변화가 있으면 BTU 보정율이 열량비율의 차가 날 수 있다.

BTU를 수동 운전중이거나, 제한치에 걸려있을 경우 또는 부정확할 경우 Corrected Coal Flow가 부정확함으로 보일러 마스터 신호 크기 변동되어 공기량이 변하고, Cross Limit(Fuel to Air) 신호도 부정확하게 되므로 이에 대한 확인도 필요하다.

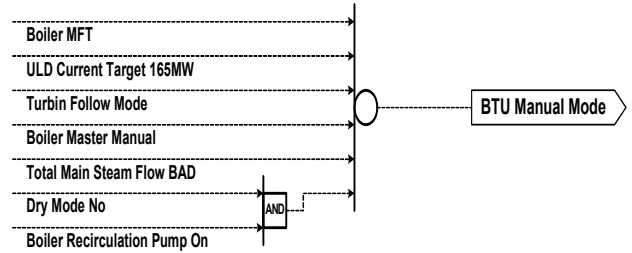
Fuel Master



<그림 3> 석탄 연료 제어 계통과 BTU 보정 관계도



<그림 4> 관류형BTU Compensation Control Logic



<그림 5> BTU Manual Mode

2.4 BTU 제어로직 튜닝 포인트 및 검토사항

- 주증기 유량에 대한 설계 기준치의 석탄유량 설정 데이터 설계 기준치 계산에 의해 설정되고 시운전 튜닝을 통해 검증되어야 실제 발열량 변동에 따라 보정비율이 정확해 질수 있으며, 효율변화도 설계치 기준 대비 실제 발열량 비율에 영향을 줄 수 있다.
- 주증기 유량과 석탄 유량 비교 에러에 대한 적정 Gain 설정
주증기 유량은 보일러의 출력을 나타내는 비교적 정확한 신호로 터빈 1 단 압력을 유량으로 환산하여 사용하고, 현재의 Corrected Coal Flow와의 비교에 의해 과소를 판단하므로 보정 신호의 범위 및 응답특성에 따라 적정 이득을 설정한다.
- 주증기 유량과 석탄 유량 비교 에러에 대한 적정 적분시간 설정
Coal Master 제어루프에 간섭이 되지 않도록 충분히 느리게 설정 되어야 한다.
- Fuel Master에 대한 석탄 요구량 설정 데이터
주증기 유량에 따른 BTU Coal 설정치와 Fuel Master의 석탄 요구량 설정치는 같이 설정하며, BTU 설정치를 다를 경우 BTU 보정 비율과 Cross Limit(Coal to Air)등 제어에 미치는 영향을 검토한다.
- BTU 상한 및 하한 제한치 적정 여부
BTU 제어가 정상적으로 보정될 수 있도록 상한 및 하한 제한치 도달하지 않아야 하고, 과도상태를 고려한 마진이 필요하다.

3. 결 론

석탄 연료의 발열량 변화가 제어로직을 검토하여 적절한 보정은 보일러 마스터 신호를 변화시키지 않게 함으로써 공연비와의 최적비율이 유지되도록 함으로 보일러 마스터 제어신호 크기를 적정하게 유지함으로써 공연비, 수연비 제어에 균형을 유지하는데 중요하므로 이에 대하여 제어로직 검토 및 튜닝을 함으로 효율저하 방지 및 안정성을 기할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Sam G. Dukelow, "The Control of Boilers 2nd Edition"