

화력발전소 관류보일러의 과열기 온도제어에 관한 연구

이주현*, 임익현*, 정태원**
전력연구원*, 충남대학교**

A Study of Temperature Control on Superheater of Once through boiler in Thermal Power Plant

Joo-Hyun Lee*, Ick-Hun Lim*, Tae-Won Jeong**
KEPRI*, Chung Nam University**

Abstract - 최근 국내 표준 화력발전소는 대부분 초 임계압의 관류형 보일러가 설치되어 운전되고 있다. 보일러 출구 증기온도를 정격치 이내로 운전하는 것은 보일러 운전에 중요한 요소이다. 보일러 효율 상승 등을 고려하여 과열기 Tube 재질의 온도 허용 한계치 이내에서 운전이 되어야 한다. 본 논문은 화력발전소에서 부하변동 범위가 넓고, 고효율 운전이 가능한 초 임계압 관류보일러의 동특성과 과열기 온도제어의 구성 및 실제 운전 중인 발전소의 운전데이터를 분석한 내용에 대하여 기술하고자 한다.

1. 서 론

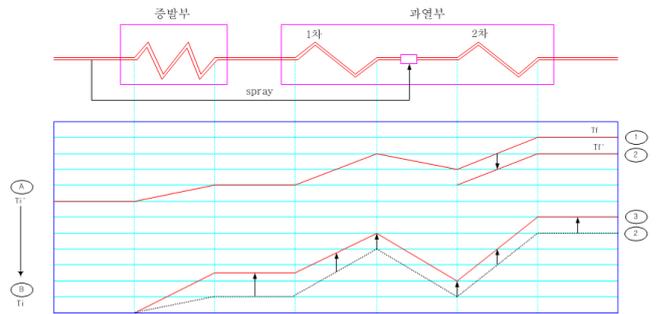
화력발전소에서 보일러는 연료의 연소열을 이용하여 터빈이 필요로 하는 증기를 발생시키는 장치이다. 이러한 증기 발생장치에는 과열기, 재열기 및 절단기를 포함하는 보일러 본체와 연료를 저장 공급하고 연소 후 생성된 배기가스를 배출시키는 통풍설비, 보일러에 물을 공급하기 위한 급수설비, 보일러 부하 변동에 따른 연료공급 및 급수를 자동적으로 조정하는 자동제어장치와 부속설비로 구성된다. 보일러의 종류에는 자연 및 강제순환 보일러, 관류보일러로 나누어지는데, 표준석탄 화력발전소의 보일러는 일반적으로 초 임계압의 관류보일러가 적용되었다. 관류보일러는 드럼이 없고, 증발관의 구성은 많은 작은 관을 병렬로 배열되어 보일러의 보유수량이 적어 기동시간이 빠르고 부하 추종이 양호하여 효율을 높이고, 우수한 동특성 및 신속한 부하 추종성이 있는 장점이 있다. 급수는 보일러 튜브를 1회 통과하는 동안 가열, 증발, 과열되어 출구에서는 과열증기가 되어 배출된다. 발전소의 열효율은 증기압력과 온도를 높임으로서 향상시킬 수 있으나, 증기온도를 높일 경우 사용재료에 대한 온도제한으로 인해 현재 약 538℃~566℃가 일반적인 상한치로 되어 있어서 이에 따른 주증기의 온도제어가 꼭 필요한 실정이다. 본 논문에서는 먼저 관류보일러의 동특성에 대해 알아보고, 표준 화력발전소의 과열기 온도제어의 구성 및 실제 운전 중인 발전소의 운전데이터를 분석한 내용에 대하여 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 관류보일러 과열기의 동 특성

관류형 보일러는 드럼이 없고 증발부 내부에서 증발 완료점이 이동한다. 이 경우 보일러 증발량은 연료 투입량이 아니고, 급수 유량에 의해 결정된다. 급수 유량을 일정하게 하고 연료 투입량이 증가시키면 포화 영역이 이동하여 과열부가 상대적으로 길게 된다. 결과적으로 보일러 출구 증기 온도는 상승하며 온도 상승에 의한 증기의 체적유량 증가에 따라 주증기 압력은 완만하게 증가한다. 즉 연료의 투입량 변화는 증발 완료점인 포화 영역을 이동시켜 그 결과로 과열부를 상대적으로 증감시켜 증기 온도를 증가 또는 감소시키지만 증기 유량에는 영향을 미치지 않는다. 발전기의 출력이 증가 하는 것은 증기 유량의 증가에 의한 것이 아니라 증기의 엔탈피(Enthalpy) 증가에 의한 것이다. 관류보일러 관출구 열량은 급수유량(kg/hr)에 대한 열입력(kcal/hr)의 비로 결정된다. 어느 압력에서의 증기온도는 엔탈피에 의해 결정되므로 만약 증기압력을 일정하게 할 경우 증기 온도는 열입력과 급수유량의 비로 결정된다. 따라서 정상운전 상태에서 관에 유입되는 급수량과 출구의 증기유량을 같게 유지한다면 압력을 희망하는 어느 값으로 유지할 수 있고 증기온도는 급수유량에 따라 연료, 공기의 열입력의 비를 일정하게 함으로써 가능하다. 다음의 [그림 1]은 관류형 보일러의 과열기 및 과열기

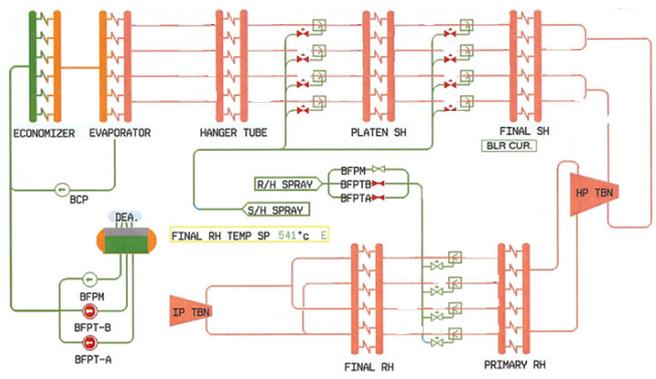
온도저감기(Spray Valve) 계통의 동 특성을 나타낸다.



[그림 1] 관류보일러 과열기 및 온도저감기 동 특성

2.2 관류보일러의 급수 및 증기 흐름

급수펌프에 의해 공급된 급수는 절단기(Economizer), 증발기(Evaporator), 행거 튜브(Hanager Tube), 1차 과열기(Platen Superheater), 최종 과열기(Final Superheater)를 거쳐 고압 및 중압 터빈을 구동시킨다. 고압 및 저압터빈을 거쳐 온도 및 압력이 저하된 과열증기는 1차 재열기(Primary Reheater)와 최종재열기(Final Reheater)를 거쳐 주증기와 같은 온도로 승온되어 저압 터빈을 구동시킨다. 이 때 최종 과열기의 온도 설정치는 541℃이며, 과열기는 온도조절을 위해 1차과열기와 최종과열기 전단에 각각 온도저감기(Spray Valve)가 설치되어 있고, 재열기는 1차와 최종 재열기 중간에 온도저감기가 설치되어 있다. 온도 저감기에 공급되는 급수는 주증기와 재열기 온도저감기가 각각 급수펌프의 최종단과 중간단에 연결되어 공급되고 있다. 아래 [그림 2]는 관류보일러에서 급수와 증기의 흐름도를 나타내고 있다.

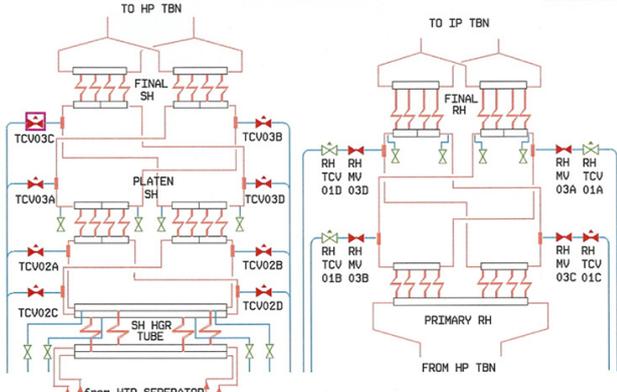


[그림 2] 관류보일러의 급수와 증기의 흐름도

2.3 과열기 온도제어 개요 및 구성

관류보일러에서 과열기 온도제어는 크게 부하변화 시 연료량과 급수량의 비를 조절하여 온도를 일정하게 유지하는 방법과 과열기의 온도 저감기를 사용하여 주증기 온도를 일정하게 조절하는 방법이 있다. 연료량과 급수량을 조절하는 방법은 시정수가 길어 온도조절이 느리기는 하나 영구적이며, 과열기 전단의 온도 저감기에 의한 주증기 온도 제어는 일시적이긴 하지만 응답 특

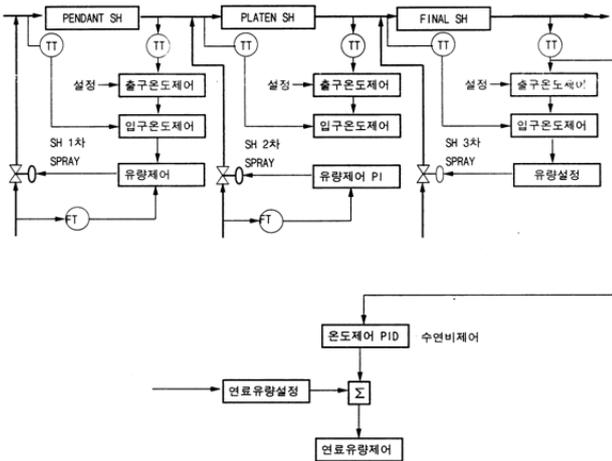
성이 우수하기 때문에 증기온도 외란이 과도 할 경우 제어에 효과적이다. 보일러의 안정적 운영을 위해서는 연소량과 급수량의 비율을 적절히 맞추는 동안 온도저감기 제어와 긴밀히 협조하여 주증기 온도의 편차가 최소가 되도록 하는 것이 필요하다. 발전소마다 일부 차이는 있지만 T 화력발전소의 경우 아래의 [그림 3] 과열기 온도저감기 구성도에서 보듯이 온도저감기는 1차 과열기(Platen S/H) 전단에 4개(TCV 02A~D), 그리고 최종과열기(Final S/H) 전단에 4개(TCV 03A~D)가 설치되어 있다.



[그림 3] 과열기 온도저감기(Spray Valve) 구성도

2.4 과열기 온도제어 로직 구성

보일러 정격 운전 중에 부하 변동에 따른 과열기 출구 온도의 목표 값이 기준 값으로 주어진다. 이 기준 값은 정상 운전 중에 외부로부터 수없이 많은 외란으로 인한 부하 증 감발시 변화되는 실제온도와 비교하여, 목표 온도 값과 실제 온도 값이 비교되어 온도 제어기에 입력되면 이 제어기는 비교된 최종 온도 값이 목표치보다 높으면 온도제어 밸브를 열고 명령을 내리며 반대로 낮으면 닫으라는 명령을 내린다. 이와 같이 온도 설정값에 도달하도록 과열기 스프레이 온도제어 밸브의 개도를 조정하는 방법으로 과열기 출구 측 증기 온도를 제어한다. 이러한 과열기 온도 제어는 발전소마다 차이는 있지만 아래의 T 화력 5호기의 경우는 1차과열기(Pendant S/H), 2차과열기(Platen S/H), 최종과열기(Final S/H)로 나누어져 있다. Platen S/H 온도 설정 값은 Final S/H 온도저감밸브 전후의 온도차가 설정되는데 최종과열기 스프레이에 의한 온도 저하를 미리 2차과열기 스프레이 밸브가 추종하는 방식이다. 아래 [그림 4]는 T 화력발전소 5호기의 온도제어로직 개념도를 나타낸다.



[그림 4] 과열기 온도제어 로직 개념도

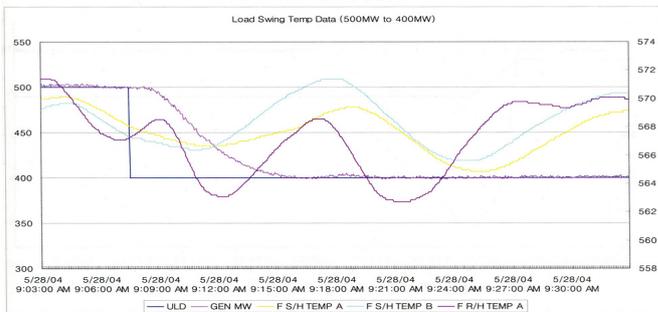
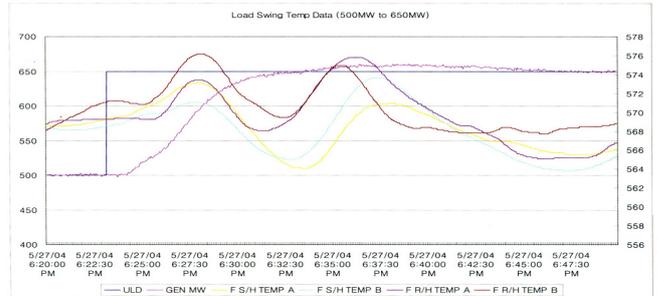
2.5 발전소 실제 운전데이터 분석

국내 화력발전소의 시운전 및 준공단계에서 부하 변동에 따른 주 증기 및 재열증기 온도변화를 가지고 성능을 입증하도록 되어 있다. 아래의 [표 1]은 국내 표준석탄 화력발전소인 D 화력발전소의 성능보증 계약 조건을 나타낸다.

[표 1] 발전소 성능보증 계약조건(예)

운전상태	주증기 온도변화		재열증기 온도변화		비 고
	온도(℃)	시간(Sec)	온도(℃)	시간(Sec)	
부하 고정 시	±3	-	±3	-	
30~40%NR	±12	1200	-	-	3% NR/Min
50% 이상	±8	900	±8	1200	5% NR/Min
Step Change 50% 이상	±10	900	±10	1200	10초내에 10% 변화
GOV Free	±8	-	±8	-	±3

아래 [그림 5]의 부하 변동 시 온도변화 추이 운전데이터에서 첫 번째 그래프는 부하 500MW에서 650MW까지 변동 시 온도 추이 분석결과 과열기 온도변화는 -4.4℃에서 +7.2℃까지 변동되었으며, 재열기 온도는 -1.2℃에서 +7.1℃까지 변동되었고, 두 번째 그래프는 부하 500MW에서 400MW까지 변동 시 과열기 온도 변화는 -6.7℃에서 +8.0℃까지 변동되었으며, 재열기 온도는 -4.3℃에서 +5.1℃까지 변동되어, 계약보증치인 ±8℃를 만족하는 것으로 분석되었다.



[그림 5] 부하 변동 시 온도변화 추이 운전데이터

3. 결 론

보일러 출구 증기온도를 정격치 이내로 운전하는 것은 보일러 운전에서 중요한 요소이다. 보일러 효율 상승 등을 고려하여 과열기 Tube 재질의 온도 허용한계치 이내에서 운전이 되어야 한다. 본 논문은 화력발전소에서 부하변동 범위가 넓고, 고효율 운전이 가능한 초 임계압 관류보일러의 동특성과 과열기 온도제어의 구성 및 실제 운전 중인 발전소의 운전데이터를 분석한 내용에 대하여 기술하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 임익현 외 “통합감시 제어시스템 성능검증 및 실증시험 개발 진도보고서”, 전력연구원, 2007
- [2] 김호열 외 “차세대 화력발전 설계기술 개발 진도보고서”, 전력연구원, 2007