

초초임계압 발전소 보일러 제어전략 설계

박두용\*, 김병철  
전력연구원, 전력연구원

The Strategy Design of Control Logic for Ultra Super-Critical Power Plant Boiler

Dooyong, Park\*. Byungchul, Kim.  
KEPRI. KEPRI.

초초임계압 화력발전 제어계통 설계와 관련하여 보일러 제어시스템의 기본 요건인 제어전략을 구현하기 위해 현재 표준화력 500MW 제어시스템과 제어로직을 기반으로 1000MW급에서 필요로 하는 새로운 구조의 제어에 요구되는 제어전략에 대해 각종 제어 운전 모드의 구성과 각 운전 모드에서의 제어전략을 개발하고 있다. 최신제어시스템에서 중요하게 취급되는 자동 플랜트 제어(Automatic Plant Control, APC)의 각종 제어전략 구성에 중점을 두고 있으며 Unit Master Control, Boiler Master Control, Turbine Master Control, Throttle Pressure Control, Fuel/Air Master Control, Forced Draft Fan Control, Induced Draft Fan Control, Primary Air Fan, Feed Water Master Control, Super Heater/ Reheater Steam Temp Control 등의 제어전략을 논하고, 실제 프로세스 응답특성 파악을 위해 국내 신규발전소를 방문하여 수집한 프로세스 응답시험 결과와 특성을 분석하고 USC에 적용하기 위한 보일러 제어전략에 대해 논하고자 한다.

1. 서 론

화력발전소 제어시스템에는 기본적으로 보일러, 터빈, 발전기 제어를 위한 주 제어시스템과 전기집전기, 배가스 탈황설비와 같은 보조 설비의 제어시스템을 추가적으로 갖는 보조설비로 구성된다. 오늘날 화력발전소의 운전 개념은 한 명의 운전자에 의해 화력발전소의 모든 상황 감시와 제어를 통한 발전소 운영을 목표로 하는 One-man 제어를 구현하는 것이 추세이므로, 운전자는 인적 오류의 가능성을 최소화하기 위해 감시와 제어에 있어 추가적인 판단 시스템의 도움을 받아야 한다. 이에는 직간접적으로 화력발전소 전체의 운전과 제어에 영향을 미칠 수 있는 상황을 요구되고 있다. 향후 보일러, 터빈, 발전기의 주 제어시스템과 모든 보조 제어 설비의 시스템 및 운영 관리 도구까지 물리적으로 연결되어 통합 제어시스템(ICMS : Integrated Control and Management System)을 구성하여야 한다.

2. 본 론

2.1 Unit Master Control(UMC) Strategy

Unit Master 제어(Unit Master Control : UMC)는 발전소의 요구 부하신호를 설정하는 최상위의 제어레벨이며 UMC의 설정값은 자동급전 지령신호(Automatic Dispatch System : ADS) 또는 운전원이 설정하는 값에 따라 보일러 및 터빈 Master에 Unit 요구 신호를 출력하여 하위제어 레벨인 공기, 연료, 급수 등을 조절할 수 있는 기기에 Unit 부하 요구 신호(ULD)에 따라 제어 되도록 한다. UMC에 있는 주요 기능은 목표부하 설정, 목표부하 상/하한 제한, 목표부하 변화를 제한, 주파수 보정, Runback/Rundown, 보일러 및 터빈 Demand 신호 생성기능을 수행하며 USC 과제에서 연구개발 중인 Advanced 제어알고리즘을 적용할 수 있도록 Load Change Block을 추가하여 보일러 - 터빈 제어의 시간지연을 최소화 하여 속응성 있는 플랜트로 설계하여야 한다.

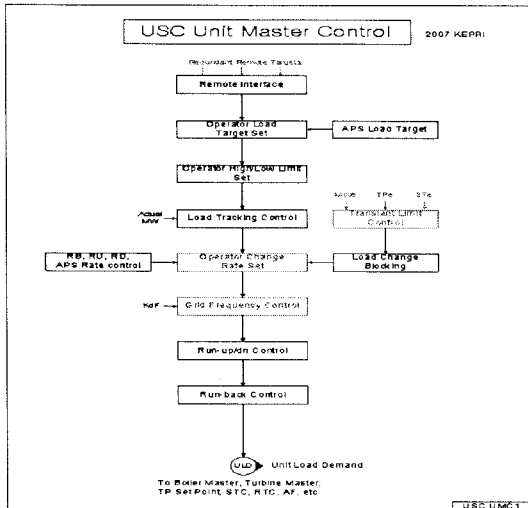


그림 1 Unit Master Control Strategy

2.2 Unit 부하제어 방식

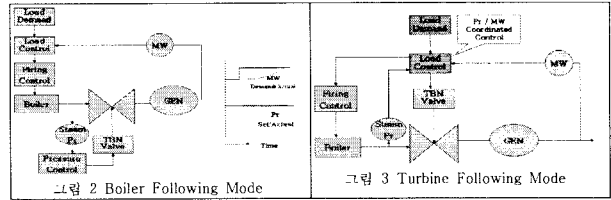
Unit 운전모드는 Unit Device가 운전 변수를 제어하는 방법을 설정하는 것으로 보일러 추종 운전 방식(Boiler Following Mode), 터빈 추종 운전 방식(TBN Following Mode), 보일러-터빈 협조제어 방식(Coordinate Mode)의 3가지 방법이 있다.

2.2.1. 보일러 추종운전(Boiler Following Mode)

부하 중, 감발 신호(Load Demand)가 먼저 터빈 CV 개도를 제어하여 발전기 출력을 변화시키고, 이어서 나타나는 주중기 압력신호를 받아 보일러에 들어가는 연료량을 조절함으로써 새로운 평형상태를 유지시키는 방법으로, 출력요구에 대한 응답은 가장 빠르나 발전소 전체가 불안정한 상태가 될 수 있고, 주로 드림보일러에 사용한다.

2.2.2 터빈 추종운전(Turbine Following Mode)

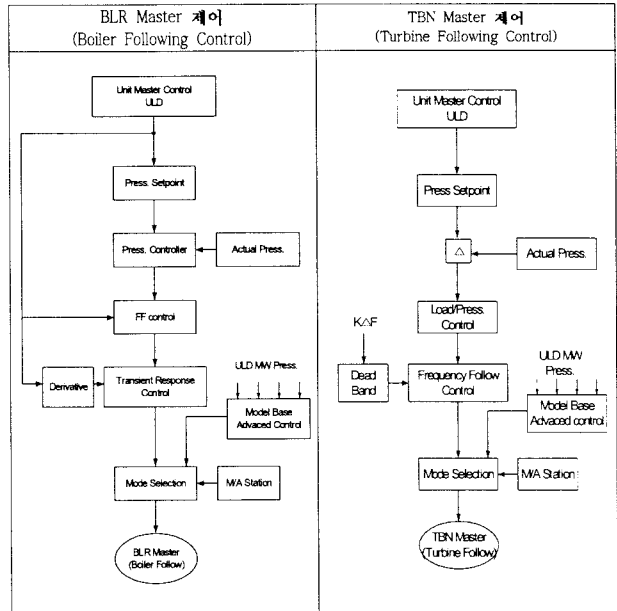
부하 중, 감발 신호(Load Demand)는 먼저 보일러에 들어가는 연료량을 제어하고이어서 나타나는 주중기 압력편차를 없애기 위해 터빈 CV의 개도를 제어하는 방식이다. 주중기 압력신호를 받아 압력이 감소하면 발전기 출력도 감소하고, 압력이 증가하면 발전기 출력도 증가하므로 Unit 운전에는 가장 안정적이나 출력요구에 대한 응답이 가장 느리다.

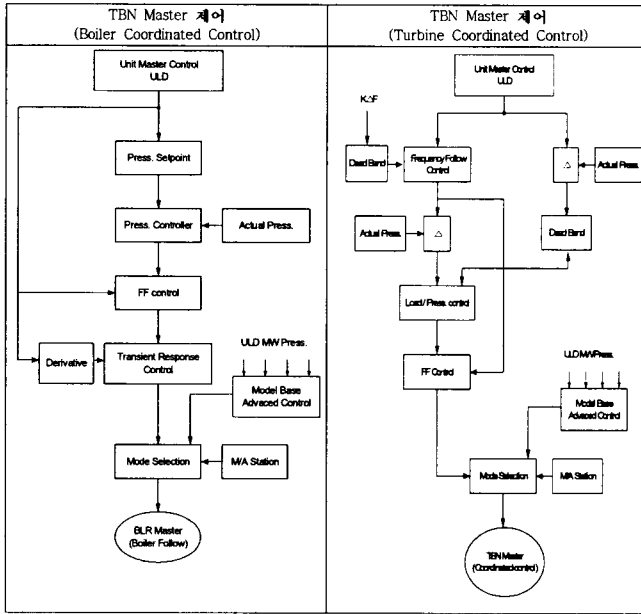


2.2.3 협조 제어 운전(Coordinated Control Mode)

Boiler Following의 신속한 응답과 TBN Following의 안정성을 모두 수용하기 위해 구성된 제어방식으로 제어회로가 복잡하다. 출력 중 - 감발 신호와 주중기 압력편차 신호는 동시에 터빈 주중기 유량제어밸브와 보일러 연료량을 제어하는 신호로 작용한다. 신규 대용량 석탄발전소는 대부분 Coordinated Control에서 운전되고 있다.

2.3. 보일러 및 터빈 Master Control Strategy





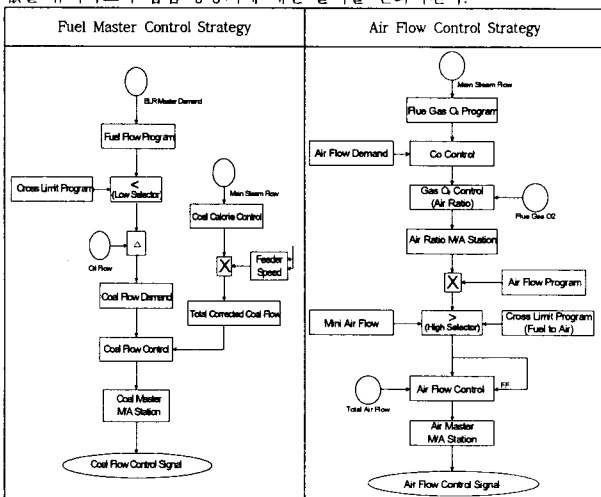
**2.4. Fuel / Air Master Control Strategy**

연료 제어계통은 보일러 부하에 적합한 설계 연료(Design Coal) 요구량을 안정된 연소에 필요한 실제 연료량(Actual Coal)으로의 변환하는 기능을 한다. 부하 증·감발시 연료와 연소용 공기는 노 내의 불안정한 운전을 방지하기 위해 부하 증가시에는 연소용 공기 증가 후 연료량 증가하고 부하 감발시에는 연료량 감소 후 연소용 공기 감소시키는 Cross Limit Program의 Low Selector 기능이 있어 보일러를 안정적으로 제어할 수 있다.

UMC에서 전송되는 BLR Load Demand는 Fuel Flow Program에 의해 부하에 맞는 이론 설계 연료량으로 변환된다. 석탄량은 각 급탄기에 의해 측정되고, 경유량은 경유 Trip 밸브를 지나서 측정되어 Oil Factor에 의해 석탄 상당량으로 변환되어 사용되며, 주중기 유량에 따른 석탄량 Calorie를 보정하는 Total Corrected Coal Flow 기능이 있다. 실제 연료 요구량은 현재 공급된 총 연료량과 비교하여 그 편차를 각각의 급탄기 속도 조절을 함으로써 부하에 적합한 연료량을 조절한다.

**2.5 Air Master Control Strategy**

연소용 공기는 두 대의 압입 통풍기에 의하여 공급되며 통풍기의 Pitch Blade를 조절하여 제어한다. 총 공기량은 압입통풍기의 공기 유량과 미분기에 사용된 일차 공기량 합으로 측정된다. O2 Auto 설정치는 총 중기 유량에 따른 O2 요구량을 설정하고, Air Flow에 대한 CO 보정을 수행하고 실제 보일러 출구 O2와 비교하여 2차 공기 요구량 설정 값을 설정한다. O2 설정값, Mini Air Flow, Cross Limit(Fuel to Air)의 신호 중 High Select 값이 Total Air Flow 설정값이 되는 것은 저 과잉공기 운전에 의한 불안정한 연소를 방지하기 위함이다. 공기유량 제어기는 보상된 전체 공기유량(Feedback)과 공기 유량 요구 신호와 비교하며 공기유량이 요구 값과 같은 값을 유지하도록 압입 통풍기에 대한 출력을 변화시킨다.



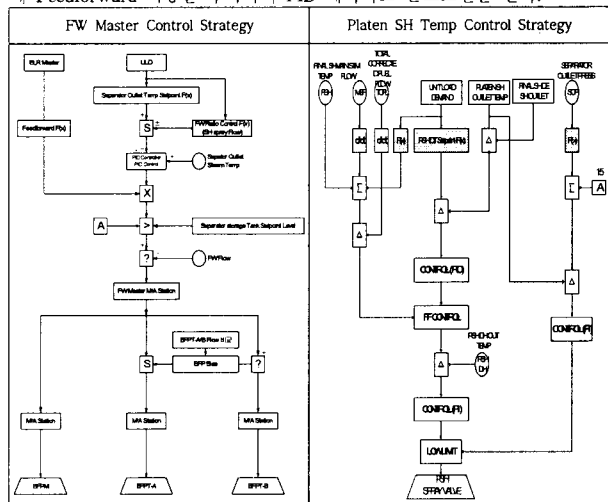
**2.6. Feed water Master Control Strategy**

보일러 급수는 두 대의 가변속 터빈구동 펌프와 한대의 모터 구동 펌프에 의하여 공급된다. 3 펌프의 출구에서의 유량은 100% VVO 유량 바이패스 밸브와 35% VVO 용량의 제어 밸브를 병렬로 통과하여 보일러에 공급

된다. 최종 급수가열기를 지나 가열된 급수는 Check Valve, 절탄기를 지나 는 동안 Flue Gas의 여열을 회수하여 예열된 후 Furnace Bottom Ring Header로 공급된다. Ring Header에 공급된 물은 1차로 Spiral Wall Tube를 통과한 후 Intermediate에 모여 다시 Vertical Tube를 거치고 4개의 Separator에서 기수가 분리된다. Unit Master 연료 및 급수 제어 요구치에 따라 보일러 급수 펌프 속도를 변화시켜 급수량을 조절하게 되며 이때 과열기 출구 단의 온도와 기수분리기 출구 측 온도를 급수량에 보정하는 것은 주중기 온도 변동을 최소로 유지하기 위함이다. 즉 급수요구량은 보일러 Master 요구량(BMD)의 기준값으로 Feedforward 신호를 생성하고, Unit Load Demand(ULD)의 기준 값으로 Separator Outlet Temp Set Point 설정함과 동시에 FW Ratio Control F(x) 기능을 추가하여 SH Spray Flow 값을 보상하여 기수분리기 출구 온도 설정 값이 되고 실제온도와 비교하여 PI제어한 값이 Feedforward 신호와 함께 정상 상태의 급수 요구량 신호가 된다. 이 신호에 보일러 초기 기동 시 또는 저부하시 보일러 튜브와 절탄기의 보호를 위해 최소 급수량을 부하에 따라 운전원에 의해 절체된 신호가 최종적인 급수 요구량의 신호로 발생한다. 최종 급수 요구량과 실제 급수량을 비교하여 급수펌프에 최종 Demand(rpm) 신호를 보낸다. 또한 USC에서는 두 대의 가변속 터빈구동 펌프에 Control Bias를 추가하여 급수량에 따라 부하의 배분이 자동적으로 이루어지게 하였다.

**2.7 Superheater Temp Control Strategy**

보일러 과열증기 온도제어는 점화 비율 및 급수 유량 사이의 (FR/FW Ratio) 비 조정과 과열기 살수제어에 의하여 과열기 출구 온도를 설정치로 유지한다. 과열기 살수는 빠른 효과가 있으나 온도 교정은 일시적이며 FR/FW Ratio조정은 효과는 느리나 온도 교정은 영구적이다. 급격한 과열기 출구 온도 변화는 살수 밸브를 개방하면 급수 유량은 감소하고 반대로 살수 밸브를 잠그면 급수유량이 증가하기 때문이다. 급수량의 증가는 과열기 온도를 감소시키고 급수량 감소는 과열기 온도를 상승시킨다. 정상 운전 중에는 외란에 의한 실제 온도변화와 목표 온도 값이 비교되어 온도 제어기에 입력되면 이 제어기는 비교된 최종 온도 값이 목표치보다 높으면 온도 제어 밸브를 열고, 낮으면 단으라는 명령을 내린다. 이러한 과열기 온도 제어 밸브는 3단으로 1차 Pendant SH, 2차 Platen SH, 3차 Final SH로 구성되어 각각 2개의 살수밸브로 조정한다. Pendant SH 온도제어에서는 ULD와 BMD의 최대값으로 Pendant SH 출구 온도의 목표 값이 설정되어 있고 운전원이 설정값을 조정할 수 있는 Bias 기능을 추가하여 실제 Pendant SH Outlet Temp와 비교하고 온도제어의 속응성을 향상시키기 위해 Feedforward 기능을 추가하여 PID 제어기로 온도조절을 한다.



**3. 결 론**

주중기 압력과 주/재열증기 온도가 265 bar와 610/621℃의 증기조건 및 1000MW Unit 출력을 갖는 초초임계압 보일러의 제어를 위한 통합 제어시스템의 제어전략을 개발하였다. 초초임계압 발전소인 차세대 화력발전소 통합 제어시스템의 제어전략은 기본적으로 발전소에서 개별적으로 운영하고 있는 모든 단위시스템을 연결하여 필요한 정보를 상호 취득할 수 있도록 설계하고 있으며, 이러한 기능을 충족시키기 위해서는 제어시스템이 계층적 구조와 신뢰성 있는 제어성능을 가져야 한다. 이를 위해 연구를 통하여 현실에서 개발중인 제어전략을 로직화 하여 구매한 Stimulated 타입의 Simulator에 입력하여 발전소 모델을 통한 제어로직의 운전과 로직 전략 설계와 운전되고 있는 상태를 모의 시험하여 제어성능을 시험하고 있으며, 파라미터 튜닝과 로직 수정으로 양호한 성능을 추구하고 있다 향후 연구과제의 성과물과 접목하여 1000MW급 발전소가 건설되고, 이에 따라 국내에서 건설되던 500MW급 표준화력이 국내 전력계통 용량증대로 앞으로는 1000MW급 표준화력으로 변경될 수 있는 계기가 될 것으로 생각한다.

**[참고 문헌]**

- [1] 박두용, 신영진 "초초임계압 보일러 제어전략", 2006
- [2] 김호열, 박두용, 신영진 "차세대 제어계통 설계기술 개발보고서" 2006