

500MW급 석탄화력발전소 Load Runback 로직 분석

김종안*, 유광명*
한전전력연구원*

Analysis on the Load Runback Logic for a 500MW Coal Fired Power Plant

Jong-An Kim*, Kwang-Myung Ryu*
KEPCO Power Research Institute

Abstract - 화력발전소는 화석연료 에너지를 전기에너지로 변환하는 과정에 참여하는 많은 종류의 기기들이 유기적으로 운전되는 복합시스템이다. 발전소 정상운전 중 어느 한 기기가 갑자기 정지되면, 불안정 현상이 크게 발생하고 정상 운전이 어렵게 된다. 그러므로 이러한 상황이 발생하는 경우 빠른 시간 내에 적절한 수준으로 출력을 감소시키고, 새로운 안정운전 상태를 찾아가도록 하는 선행적 제어기능이 필요하게 된다. 화력발전소에 이 목적으로 구현되는 제어기능을 로드런백(Load Runback)이라고 부른다. 특히 화력발전소 보일러는 급수, 연료, 통풍을 담당하는 많은 기기가 많이 동시에 운전되고 있으므로, 적절하게 설계된 로드런백 기능이 없다면 신뢰성 운전을 보장하기 어렵다. 이 논문에서는 국내 500MW급 표준화력에서 사용하고 있는 로드런백 기능의 핵심을 분석하였고, 이 분석을 토대로 현재 개발 단계에 국산화 제어시스템에 로드런백 기능을 구현하고자 한다. 실제 발전소 취득한 로드런백 시험 그래프를 제시하고 분석 결과의 타당성을 확인하였다.

1. 서 론

화력발전소는 화석연료가 보유하고 있는 화학적 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 일종의 에너지 변환 설비이다. 발전소 구성설비 중 핵심 설비들의 역할을 기술하면 다음과 같다. 먼저, 보일러는 연료가 연소되어 발생하는 열에너지를 급수에 흡수하여 고온고압의 증기를 생산하고 이 증기를 터빈에 공급하는 설비이다. 증기터빈은 고온고압의 증기가 보유한 열역학적 에너지를 기계적 회전에너지로 변환하는 기기이다. 터빈의 회전에너지는 발전기를 구동하여 전기 에너지를 생산하게 한다. 발전소가 안정적으로 운전되고 있을 때는, 에너지 변환 프로세스가 이루어지는 각 설비에서 에너지 매체의 질량 평형과 에너지 평형 상태가 유지된다. 그러나 어느 한 중요 기기에 고장이 발생하면, 질량과 에너지 평형 상태가 갑자기 깨지고, 에너지 매체의 온도와 압력이 크게 변동하게 된다. 심하면 설비운전 한계치에 도달하여 발전을 정지시키는 사태에 이르게 된다. 로드런백은, 발전소 일부 기기가 갑자기 상황에서, 안정운전이 가능한 새로운 운전 상태를 찾아가도록 하는 제어기능이다. 로드런백 기능을 잘 설계하기 위해서는, 발전소의 핵심기기 고장 시 파급되는 영향이 정확히 파악되어야 한다.

2. 본 론

2.1 보일러 에너지와 매체의 평형

화력발전소 보일러는 하나의 거대한 열교환기이며, 보일러 화로 내에서 연료가 연소되고 이 때 발생하는 연소열을 급수가 흡수하여 고온고압의 증기로 변환되는 프로세스가 이루어진다. 먼저 연소에 필요한 연료와 공기 측을 보면, 보일러 화로에 들어가는 물질의 총량 즉, 연료와 공기량의 합은 보일러 밖으로 배출되는 연소 가스와 재(Ash)를 합한 총량과 일치한다.

$$\text{연료량} + \text{공기량} = \text{연소가스량} + \text{재(Ash)}$$

또한, 보일러에 공급되는 급수량과 보일러 유출 증기량 서로 균형을 이룬다.

$$\text{급수량} = \text{증기량} + \text{기타 배출량}$$

보일러의 연료량과 공기량, 배출 가스량이 균형을 이루고, 급수 유량과 유출 증기량이 균형을 이루면, 화로 내 가스 온도와 압력 및 유출 증기의 온도와 압력은 일정하게 유지된다.

보일러 제어시스템의 핵심 역할은, 연료-공기-배출가스 균형과 급수-배출 증기 균형을 이루게 하는 것이다. 이렇게 입력·출력 물질이 서로 균형을 유지하게 함으로써 보일러 생산 증기의 압력과 온도를 일정하게 제어하고 설비를 안전하게 운전하게 한다.

2.2 로드런백(Load Runback) 대상 기기

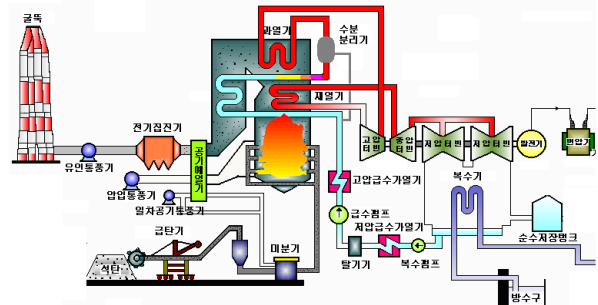
국내 500MW급 표준형 석탄화력발전소에는 공통적으로 다음 <표1>의 주요기기 정지 시 로드런백이 발생하도록 로직(기능)이 구현되어있다.

<표 1> 석탄화력발전소 주요기기 역할과 용량

기기 명칭	담당 역할	기기수량	1대용량*
유인통풍기(ID Fan)	연소가스배출	2	50%
압입통풍기(FD Fan)	연소용 공기공급	2	50%
1차공기 통풍기(PA Fan)	미분탄 운송	2	50%
공기예열기(GAH)	연소공기 가열	2	50%
급수펌프(BFPT)	급수공급	2	55%
증기터빈(TBN)	증기소모	1	100%

* 1대 용량 표시는 발전소 정격출력 시 부담 기준임

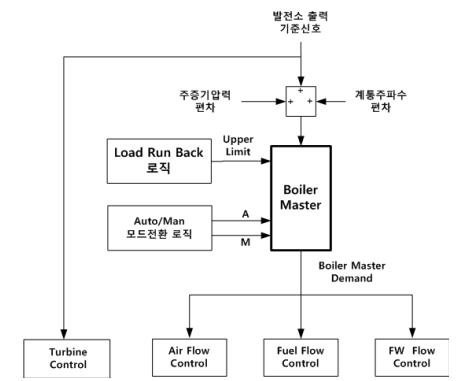
보일러 주 연료는 석탄(유연탄)이다. 압입통풍기는 연소용 공기를 보일러에 공급하고, 유인통풍기는 보일러 배출가스를 굴뚝으로 내보내는 역할과 화로 내 압력을 조정 역할을 동시에 수행한다. 1차 공기 통풍기는 미분기에서 미세한 입자로 분쇄된 연료를 보일러 화로에 운송한다. 급수펌프는 보일러에서 나가는 증기량에 상당하는 물을 공급한다.



<그림 1> 국내표준 500MW급 석탄화력발전소 계통도

2.3 보일러 제어시스템

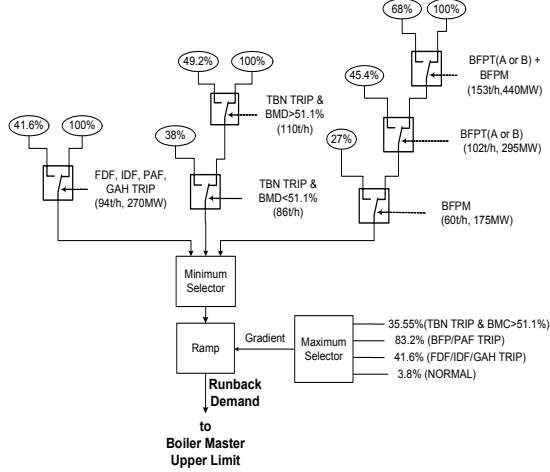
보일러 제어시스템의 역할은, 보일러에서 유출되는 물질량과 에너지양에 맞추어 보일러에 공급되는 물질들-연료, 공기, 급수의 양이 실시간 균형을 이루도록 하는 것이다. 또한 보일러에 물질 및 에너지 불균형이 존재할 경우 이를 검출하여 해소시켜 시킨다. 불균형이 갑자기 과도하게 발생하더라도 보일러가 안정운전을 찾아가도록 제어하는 능력도 갖추어야 한다.



<그림 1> 화력발전소 출력 및 보일러 제어 개요도

2.4 보일러 마스터와 로드런백 로직

보일러 제어시스템의 중심에는 보일러 마스터가 있으며, 보일러 마스터 출력신호(Boiler Master Demand, BMD)는 보일러 연소율과 급수유량을 지배하는 기준신호이다(참조 <그림1> 참조). 그러므로 로드런백 로직의 최종신호인 Runback Demand를 보일러 마스터에 연결하여 BMD 상한 값을 제어하는 신호로 사용하면 보일러 연소율과 급수유량을 동시에 효과적으로 감소 및 조절할 수 있다. 국내 표준모델 석탄화력 Runback Demand 값을 결정하는 로드런백 로직을 다음 <그림2>에, 각 기기의 Runback Target과 Runback Rate은 <표2>에 표시하였다.



<그림 2> 로드런백 종류별 Runback Demand 산출

<표 2> 로드런백 기기 별 Target과 Rate

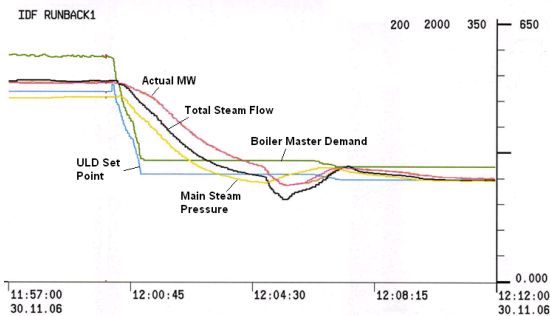
로드런백 종류	Runback Target	Runback Rate
유인통풍기	270 MW	270 MW/분
암입통풍기	270 MW	270 MW/분
1차공기 통풍기	270 MW	540 MW/분
공기에열기	270 MW	270 MW/분
급수펌프	295 MW	540 MW/분
증기터빈(@BMD>51%)	247 MW	231 MW/분
증기터빈(@BMD>51%)	231 MW	25 MW/분

2.5 발전소 실제 Load Runback 자료 분석

2.5.1 로드런백 로직 진행 사항

위 <표2> 열거한 기기 중 하나 이상이 갑자기 정지되어 로드런백 로직신호가 활성화 되면, 설정된 로직에 따라 발전소 운전에는 다음과 같이 상태 변화가 일어난다.

- 1) Boiler Master 수동모드 즉시 전환 후 BMD 감소(설정된 Runback Rate로 Runback Target까지)
- 2) 터빈제어시스템 수동모드 즉시 전환, 일정 시간 후 주증기압력 제어
- 3) 급탄기(Coal Feeder)는 3대 이하가 운전되도록 여분의 급탄기 1초 간격순차 정지
- 4) 통풍기(Fan) 연동 정지
 - ID Fan 런백 시 같은 Chain의 FD Fan과 PA Fan 시퀀스 정지
 - FD Fan 런백 시 같은 Chain의 ID Fan과 PA Fan은 시퀀스 정지 (운전원에 의한 FD Fan 정지는 Fan 연동 Trip 없음)
- 5) Runback Target 출력까지 감소된 후 안정 운전 지속된다(<그림3> 참조).



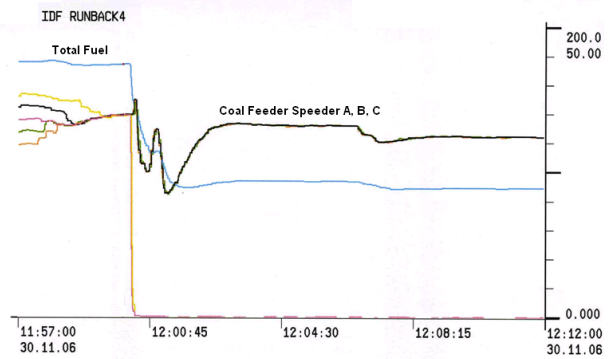
<그림 3> 로드런백 진행 시 발전소 운전 트렌드(1)

2.5.2 보일러 축적 에너지

앞 <그림3>은 발전소 500MW 운전 중 유인통풍기를 실제 정지시켜서 로드런백 기능을 시험한 그래프이다. 이 그래프를 보면, 유인통풍기 정지에 의해 로드런백이 동작되었고, 설정된 Runback Target(270MW)까지 설정된 기술기 BMD가 감소되었다. 그러나 주증기압력(Main Steam Press.)과 발전기 출력(Actual MW)은 완만한 기술기로 BMD보다 훨씬 늦게 감소가 진행되었다. 그 이유는, 보일러 연료와 공기가 신속히 감소되더라도 보일러 자체의 열용량에 축적된 열에너지가 방출되기까지 몇 분의 시간이 소요되는 것이다. 그러므로 로드런백 시 보일러 축적된 열에너지가 충분히 방출될 수 있도록 터빈 증기밸브를 적당한 개도로 유지하는 것이 중요하다.

2.5.3 보일러 연료량 변화

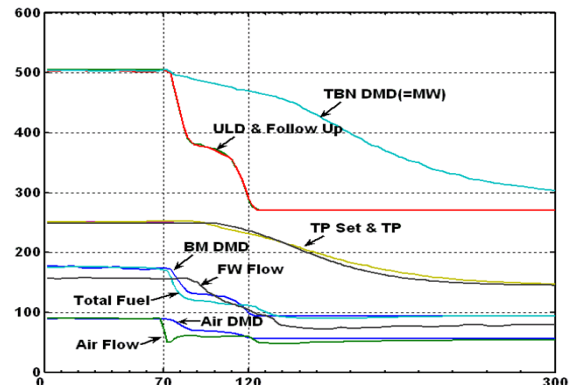
다음 <그림4>는 <그림3>과 동일한 런백시험 과정에서 취득한 자료이며, 총 연료량(Total Fuel)과 각 급탄기 연료제어 신호(Coal Feeder Demand)를 변화를 나타낸 그래프이다. 여기서 총 연료량은 운전되고 있는 모든 급탄기 연료량을 합한 것이다. 로드런백 발생 전 총 5대 운전되고 있던 Coal Feeder는 로드런백이 시작되면 상부 2대가 1초 간격으로 정지된다. 보일러 마스터는 총 연료량



<그림 4> 로드런백 진행 시 발전소 운전 트렌드(2)

2.5.4 보일러 급수량 변화

다음 <그림5>는 또 다른 로드런백 시험 자료이다. 여기서 급수유량 변화를 보면 연료량 및 공기량 감소에 비해 15~20초 가량 늦게 감소가 진행된다. 그 이유는 보일러에 축적되어 있는 과잉 열에너지를 급수가 흡수하여 증기로 변화되도록 하기 위함이다. 만약 급수량이 충분치 못하면 증기온도가 적정치 보다 높게 유지될 것이다.



<그림 5> 로드런백 진행 시 발전소 운전 트렌드(3)

3. 결론

발전소 로드런백 기능의 핵심기능과 설정치, 그리고 실제 발전소에서 시험한 자료를 분석하였다. 국내 500MW급 표준석탄화력발전소에 적용할 목적으로 통합감시제어시스템 국산화 개발 과제를 현재 수행하고 있다. 본 논문에서 분석한 로드런백의 요건을 신규개발 시스템에 구현하고 신뢰성을 검증할 예정이다. 향후 검증과정에서 미비점이 발견되면 심층 분석하고, 타 발전소 로드런백 로직과도 비교하여 개선방안에 대한 연구를 계속한 예정이다. 끝.

[참고 문헌]

- [1] 한국서부발전(주) 태안화력발전소 모의화력실무교재, 2007년
- [2] 한국서부발전(주) 태안화력발전소 제어로직 도면
- [3] 한국서부발전(주) 태안화력발전소 Load Runback 보고서