

대용량 복합화력발전소 배열회수보일러 제어에 관한 고찰

최인규, 정인영, 신만수
전력연구원

A Review on the Control System of Heat Recovery Steam Generator for Large Scale Combined Cycle Power Plant

Inkyu Choi, Inyung Jeong, Mansu Shin
Korea Electric Power Research Institute

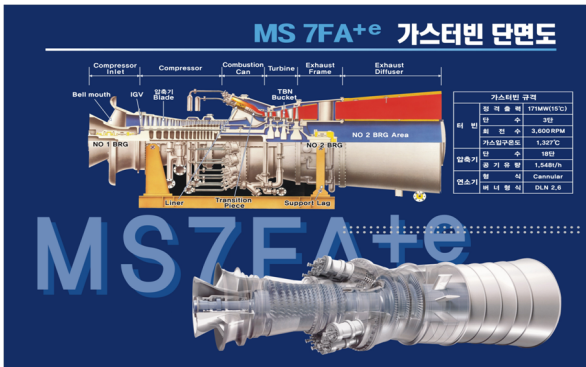
1. 서 론

우리나라의 발전원은 여러 가지로 구성되어 있다. 1000MW 용량으로 대표되는 원자력 발전소가 기저부하를 담당하고 있으며 500MW 초임계 압 화력발전소가 중간부하를 담당하고 있다. 첨두 부하는 수력발전소와 양수발전소 및 복합화력 발전소가 담당하고 있다. 수력발전기는 보통 도시에서 멀리 떨어진 곳에 위치하고 있으며 가스터빈과 배열회수보일러로 구성된 복합화력발전소는 대도시에 소재하고 있는 경우가 대부분이다. 본 고에서는 기동정지가 신속하여 첨두부하를 담당하는 동시에 전력계통 전압제어에 중요한 복합화력발전소의 증기발전기인 배열회수보일러(HRSG:Heat Recovery Steam generator)의 제어에 대하여 살펴보고자 한다.

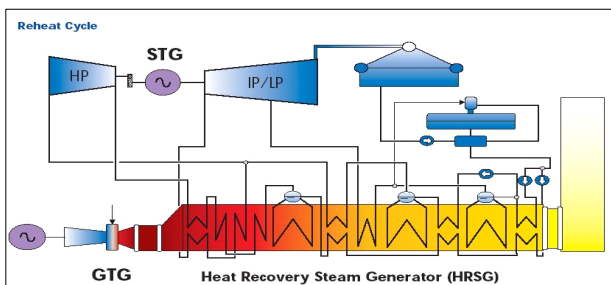
2. 본 론

2.1 복합화력 발전소 소개

복합발전이란 열효율 향상을 위해 두 종류의 발전 사이클을 조합하여 하나의 발전 설비를 만드는 것을 말한다. 복합발전 방식에는 가스터빈 방식, 석탄가스화 복합발전, 가압유동층 복합발전, 연료전지 복합발전, MHD 복합발전 등 여러 가지가 있지만 상업적으로 가장 광범위하게 적용하고 있는 것은 가스터빈 사이클과 증기터빈 사이클을 조합하는 방식으로서 열효율이 높고 부분부하 운전시 효율 저하가 적으며 기동 및 정지 시간이 짧고 공해 배출량이 작은 특징이 있다. 주요 구성기기를 살펴보면 가스터빈과 그 발전기, 배열회수보일러, 그리고 증기터빈 및 그 발전기 등이 있다.



〈그림 1〉 가스터빈 단면도

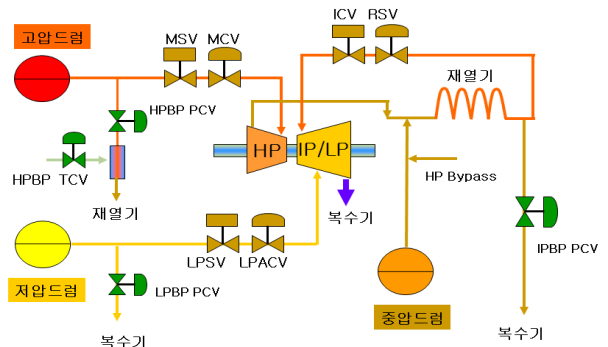


〈그림 2〉 복합화력발전소 계통도

2.2 배열회수보일러 제어

배열회수보일러란 가스터빈 등 열기관에서 어느 정도 열에너지를 보

유한 채로 버려지는 배기가스의 열을 회수하여 계통에서 필요한 증기를 발생시키는 설비를 말한다. 배열회수보일러 본체는 과열기, 증발기, 절단기, 증기드럼 및 탈기 등으로 구성되며, 재열 계통을 채용한 형식에는 재열기가 설치되어 있다. 부속 설비로는 배기가스 덕트, 배기가스 댐퍼, 보일러 본체 및 기타 설비로 구성된다.[1]

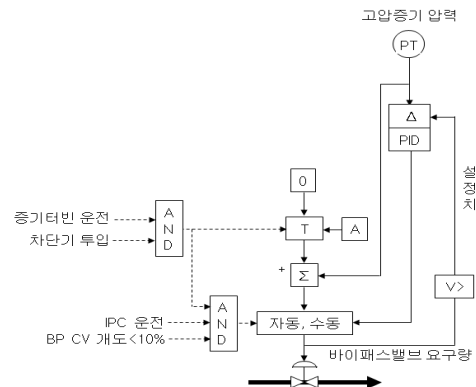


〈그림 3〉 배열회수보일러 증기 계통도

배열회수보일러의 각 압력계통의 증기압력은 기동 과정에서는 바이패스 제어밸브를, 복합 사이클 정상 운전 중에는 증기배관 중에 있는 압력 제어밸브 또는 터빈 제어밸브를 사용한다. 고압증기 바이패스 제어밸브는 기동시 증기압력을 제어하고 증기배관을 예열하는 데 사용하며, 정상운전 중에는 급격한 압력상승의 방지를 위해 열리면서 압력을 유지하는 역할을 한다. 고온의 증기를 복수기로 순환시키기 때문에 이 밸브의 후단에는 물 분사 노즐과 온도 제어밸브가 설치되어 있다.

2.2.1 바이패스 제어

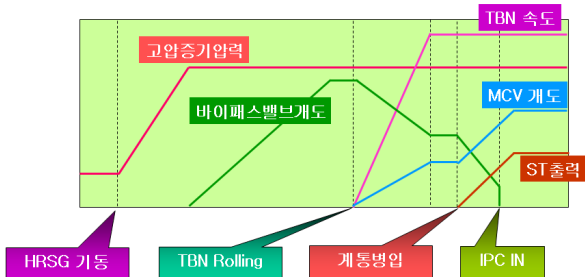
증기압력 제어는 기동시에는 터빈으로는 증기유리가 없으므로 각 압력계통의 바이패스 제어밸브로 제어하며 정상운전 중에는 각 증기배관 중간에 있는 압력제어밸브로 제어한다. 고압 및 저압 증기는 터빈제어 계통상 주제어밸브와 저압 분사 제어밸브(LPACV ; L.P Admission Control Valve)로, 중압 증기는 해당 압력 제어밸브로 제어한다.



〈그림 4〉 바이패스 제어회로

바이패스 제어밸브는 기본적으로 비례적분미분 제어로 구성되어 있으며 밸브 전단의 압력을 검출하여 일정한 값으로 제어하는 입구압력 제

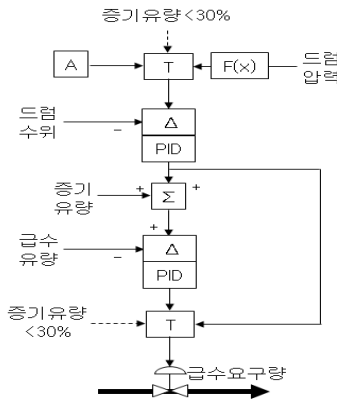
어방식이다. 즉 입구 압력이 증가하면 밸브를 더 열어서 증기유량을 증가시켜 압력을 낮추고, 입구 압력이 감소하면 밸브를 더 닫아서 증기유량을 감소시켜 압력을 높임으로서 에너지 밸런스를 맞춘다.[1] 계통병입 후에 발전기 출력이 증가하면 재열증기 조절밸브와 주증기 조절밸브의 개도 증가로 증기량이 증가하여 고압증기 압력이 저하되므로 고압바이패스 압력제어밸브와 저압바이패스 압력제어밸브는 닫힌다. HPBP PCV와 LPBP PCV는 전부하 운전까지 닫힌 상태를 유지하고 비정상 상태가 발생하는 경우에는 열려서 안전을 확보하며 이 경우 밸브 출구의 온도 급상승으로 인한 열충격 방지를 위하여 고압부와 저압부에 온도제어 밸브가 열려서 냉각수를 공급한다.[2]



〈그림 5〉 복합화력 기동 곡선

2.2.2 급수유량 제어

드림 보일러에서 급수제어는 곧 드림 레벨 제어이다. 급수 유량 제어는 자동운전 중 1요소 및 3요소 제어 2개의 제어모드를 가지고 있다. 3요소 급수제어는 드림 레벨, 증기 유량 및 급수 유량으로 구성되어 있다. 발생 증기량이 적은 부분 부하에서는 드림 레벨 1요소 제어로 전환된다.



〈그림 6〉 3요소 방식 드림수위 제어

급수제어의 목적은 외부에 빼앗긴 증기량과 같은 급수량을 보급하여 보일러 내부 증량 밸런스를 유지하기위한 것인데, 드림 보일러의 경우에는 증량 균형이 깨지면 드림 레벨의 변화로 나타난다. 따라서 3요소 제어의 목적은 증기 유량의 변화에 따라 급수 유량을 제어하고 나아가서는 드림 레벨의 설정치와의 편차에 의해 보일러에 공급되는 급수량을 제조정하는 것이다.

○ 3요소 제어기는 1요소 제어기보다 안정되고 강력하다. 그럼에도 불구하고 1요소 제어를 사용하는 이유는 계측의 특성과 관련이 있다. 급수 유량 또는 증기 유량은 오리피스 또는 노즐과 같은 유량 측정 기구를 사용 측정하게 되는데 여기서 유량은 차압과 비례하게 된다. 그러나 저 유량(저 보일러 부하)에서 유량이 차압에 정확히 비례하지 않기 때문에 제어용으로 사용하기에는 신뢰할 수 가 없다. 그래서 저 부하에서는 1요소 제어기가 사용되고 있다.

○ 드림 레벨 제어는 외부제어기와 내부제어기로 구성된 캐스캐이드 제어기이다. 증기 유량은 급수가 드림에서 빠져나가는 비율의 표시이다. 증기유량의 기능은 외부제어기의 선행제어로서 사용된다. 드림 수위 편차는 외부 제어기에 의해 제어된다. 이 제어기의 출력은 급수량 설정치로 된다. 이 설정치와 실제 급수량의 편차는 내부 제어기에 의해 제어된다. 이 제어기의 출력이 급수 유량 제어밸브를 제어하기 위해 사용된다.

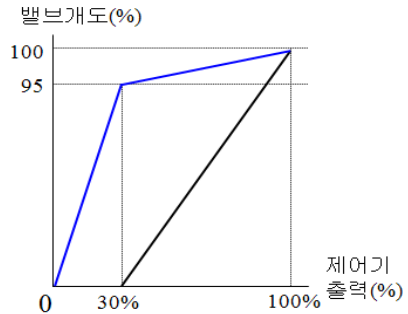
○ 3요소 제어 동안 급수 유량과 증기 유량의 편차가 발생한 경우에는 그 편차분이 결과로서 수위 변화로 표현되기 때문에 선행적으로 보정하는 것에 의해 드림 수위를 제어치 이내로 유지한다. 증기 유량은 과열기 출구에서 급수 유량은 드림 입구에서 측정한다.

○ 드림 또는 중간 과열기에서 취출하여 사용하는 보조 증기가 있을

경우 이들 보조 증기량은 보일러 증발량에 비해 비교적 많지 않지만 증기 유량계를 통과하지 않기 때문에 드림 레벨의 편차로 나타나는데 드림 레벨 제어를 설계시 고려하여 이 편차를 제거하여야 한다.

○ 일반적으로 1요소 제어기 튜닝은 큰 비례제어 및 매우 작은 적분 이득(큰 적분 시간)으로 되어 있다. 3요소 제어기는 직렬루프로 이루어져 있어 시간에 관한한 내부 제어기를 엄격하게 튜닝해야 한다. 내부 제어기는 외부 제어기보다 적분 동작이 훨씬 빨라야 한다.

○ 가스터빈의 기동시에는 가스터빈의 기동 제어의 결과로서 배기가스 온도가 급격히 상승하기 때문에 보일러 튜브내의 급수에서 기체상태로 되기 때문에 레벨이 상승하는 팽창(膨脹, Swelling) 현상이 일어난다. 이에 대한 대책으로서 가스터빈 기동시에 미리 레벨 제어의 설정치를 저(低) 레벨로 변경하는 기능과 고(高) 레벨이 되었을 경우 방출하는 기능을 부가하고 있다.

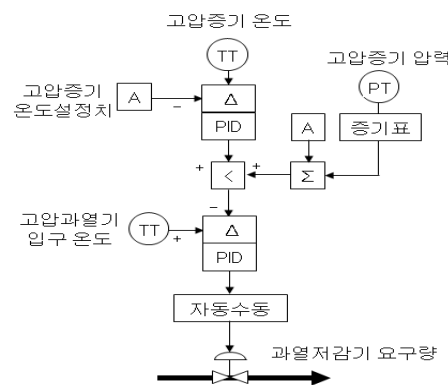


〈그림 7〉 고중압 급수밸브 특성곡선

○ 중압 및 고압 급수제어밸브는 하나의 제어기가 두개의 제어 밸브를 조절하는 그림 5와 같은 특성을 부여하여 제어의 유연성을 도모하고 있다. 두개의 밸브간 절체 시점에서 진동과 같은 어려움을 초래할 수 있어 조정이 필요하다.

2.2.3 고압과열증기 온도 제어

○ 고압 증기터빈으로 유입하는 증기 온도의 상한을 제한하기 위해 과열기 출구 증기온도를 설정치 이하로 유지하기 위해 살수밸브를 조절한다. 이를 위하여 고압 터빈 펌프 출구에서 분기된 살수를 최종 과열기 입구에서 증기에 혼합한다. 살수량 변화에 대해 과열증기 온도 변화가 느리기 때문에 응답이 빠른 과열 저감기 온도제어기를 캐스캐이드로 구성하여 응답속도를 빠르게 하고 있다. 또, 살수 과잉 주입 방지를 위한 회로가 갖추어져 있다. 재열증기 온도제어도 동일한 구조이다



〈그림 8〉 고압과열증기 온도 제어

3. 결 론

우리나라의 전력계통은 다양한 전원으로 구성되어 있다. 수도권에서 원거리인 해안가에는 원자력 발전소와 대용량 화력발전소가 배치되어 있으며 수도권 인근에는 복합화력발전소가 많이 운전 중이다. 복합화력 발전소는 청정연료를 특징으로 하므로 공해가 아주 작다. 이러한 복합화력발전소를 더욱더 효율적으로 운전하기 위해서는 관련되는 제어회로와 모직에 대한 이해가 선행되어야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] "복합화력 실무반" 한국발전교육원
- [2] "바이패스 시스템 제어로직", 보령화력 7,8호기