

화력발전소 터빈 보조기기 제어 관한 고찰

정창기, 최인규
전력연구원

A Study on Turbine Auxiliary Devices in a Thermal Power Plant

Changki-Jeong, Inkyu Choi
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - There are three main devices such as boiler producing steam, turbine driving generator and generator producing electricity. An electrical generator in power plant is driven and maintained its speed at rated by steam turbine which is coupled into generator directly. Turbine auxiliary devices such as condenser, deaerator, feed water heater, gland steam condenser, pump recirculation equipment, feed water pump, and so on should be operated well so that the steam turbine exert its maximum efficiency. There are many control loop such as hot well level and condenser recirculation, deaerator level, pegging steam pressure, feed water heater level, feed water pump recirculation. In this paper condenser level control and deaerator level control are going to be described.

1. 서 론

화력발전소의 주기는 증기를 생산하는 보일러, 발전기를 구동하는 증기터빈 그리고 전기를 생산하는 발전기로 구성된다. 증기터빈은 고온·고압의 증기 에너지를 입력으로 발전기를 구동한다. 보통 증기터빈과 발전기는 직결되어 있다. 증기터빈이 원활하게 운전되기 위해서는 복수기와 탈기, 급수 가열기, 축밀봉증기 복수기, 펌프 재순환설비, 급수펌프 등 여러 가지 터빈 보조기기가 원만하게 운전되어야 한다.

터빈 보조기기의 제어는 제어공학상의 분류에서 보면 프로세스 제어에 속하며 작동부의 응답이 매우 신속한 유압서보(Servo) 시스템과 비교하면 다음과 같은 특징이 있다.

- 일반적으로 프로세스 제어에서는 그 동작이 비교적 느린 경우가 많고, 유압 서보계에서 볼 수 있는 것과 같은 0.1초 전후의 시간을 다루는 것은 거의 없다.
- 조작단에서 어떤 조절밸브의 구동력이 유압서보와 비교해서 작다. 한 예로서 제어매체를 비교해 보면, 주증기 터빈 또는 급수펌프 구동용 소형 터빈의 경우는 작동부 압력이 112kg/cm² 또는 14kg/cm² 정도의 기름을 사용하고 있는 것에 비해서 프로세스 제어의 작동부는 대부분 3~15psi의 압축공기를 사용한다.
- 제어장치의 신호가 국제적으로 표준화되어 있기 때문에 설비를 구성하는 경우 일반적으로 전문메이커가 각각 특징을 보존하여 생산한 제품 중에서 현장의 목적에 적합한 기기를 선정하는 것이 일반적인 방법이다. 최근에는 종래의 전기식과 비교해서 정밀도의 향상은 물론, 통신기능, 자기진단기능 등의 새로운 기능이 부가되어 있는 지능형 계기를 많이 사용하고 있다. 제어기에서 작동부로 전송되는 전기신호는 보통 원거리의 경우 4-20mA 근거리의 경우 0-10Vdc가 많이 사용된다.

발전소 터빈 보조기기 제어의 주요한 것으로는 복수기 수위제어, 복수기 재순환유량 제어, 탈기 수위제어, 탈기 보조증기 압력제어, 급수 가열기 수위제어, 급수 펌프 재순환 유량제어, 저압터빈 배기온도제어, 복수펌프 재순환 유량제어 등 여러 가지 제어계가 있으나 이중 대표적인 복수기 수위제어와 탈기 수위제어에 대하여 살펴보기로 한다.

2. 본 론

2.1 복수기

보일러에서 발생된 고온고압의 증기는 터빈에서 일을 하고 배출된다. 터빈에서 배출되는 고온의 증기를 냉각, 응축시켜 물로 회수하는 장치를 복수기라 한다. 복수기의 종류에는 증기와 냉각수가 직접 접촉하는 혼합 복수기와 전열면을 통해 열 교환을 하는 표면 복수기가 있다. 발전소는 튜브 전열면을 통해 열 교환이 이루어지는 표면 복수기를 사용하며, 터빈 배기 증기를 응축시켜 대기압 이하로 낮추어서

다음의 효과를 얻는다.

- 증기가 보유한 열 낙차를 크게 하여 터빈 효율을 향상,
- 응축된 복수를 재 용함으로써 물 처리 비용을 절감,
- 급수를 보충하거나 각종 드레인을 회수

복수기의 부속설비는 복수펌프, 공기 추출기, 순환수펌프 등이 있고, 이외에 이물질 여과기 및 불 세정장치 등이 있다.

2.1.1 복수기 수위제어

보일러 급수는 보조증기의 사용과 각 벤트부, 밸브 및 펌프 그랜드에서 누수 등으로 인해 계통에 공급한 양보다 부족하게 된다. 따라서 복수조의 복수량 만으로는 부족하므로 이 부족분을 보충해야 한다. 복수기 수위제어는 복수의 유출입을 위해 제어밸브 4개가 조합된 형태로 이루어진다. 대용량 발전소에서 유출량은 복수 승압펌프 출구의 조절밸브 즉 탈기 수위조절밸브로 제어되고 있으며 유입량은 복수기 보급수 조절밸브로 제어된다. 일반적으로 복수기 보급수 수위제어라고 말하면 후자를 가리킨다.

부하가 급격히 떨어지는 경우 예는 급수저장조의 수위 상승으로 탈기 수위 조절밸브가 닫기면서 복수조 수위가 높아지고, 부하가 상승하는 경우에는 반대로 저하한다.

복수조 수위가 항상 일정하게 제어되도록 <그림1>과 같은 제어방식을 많이 도입하고 있다.

복수조 수위가 정상수위보다 낮아지면 복수조에 부착된 수위전송기의 전송 신호에 의해 보급수밸브가 열려 물을 보충하며, 그래도 수위가 떨어지면 복수이송펌프가 자동 기동되어 보충한다. 수위가 정상으로 복구되면 보충수 조절밸브가 닫힘과 동시에 복수이송펌프도 자동 정지된다. 복수조 수위가 정상수위보다 높아지면 배출밸브가 작동하여 복수펌프 출구 측에서 순수저장탱크로 복수를 배출시킨다.

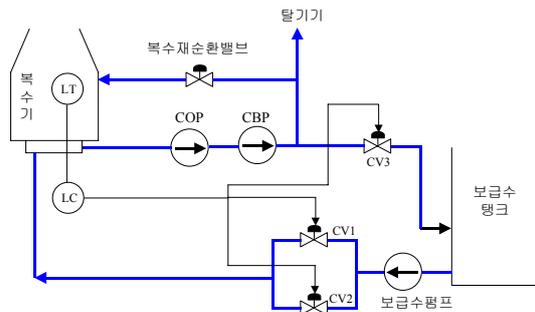
2.1.2 저수위 및 고수위 고찰

저수위가 되면 복수이송펌프(CTP)가 자동 기동되고, 고수위가 되면 자동으로 정지된다. 최저수위가 되면 복수펌프가 정지된다. 이 때는 다음 사항을 점검한다.

- 보충밸브 작동 상태 점검
- 복수 배출밸브가 닫혀져 있는 가 확인
- 순수저장탱크 수위 점검

2.1.3 복수 재순환 밸브

복수 재순환밸브는 탈기 수위가 높든가 또는 저부하 운전으로 탈기기로 가는 복수 유량이 적을 경우에 열려 복수기로 보냄으로써 증기 분사식 공기 추출기와 밀봉증기콘덴서 냉각에 필요한 적정 복수량을 유지하고 복수펌프 과열 방지를 위한 최소 유량을 확보한다.



<그림 1> 복수기 수위제어계

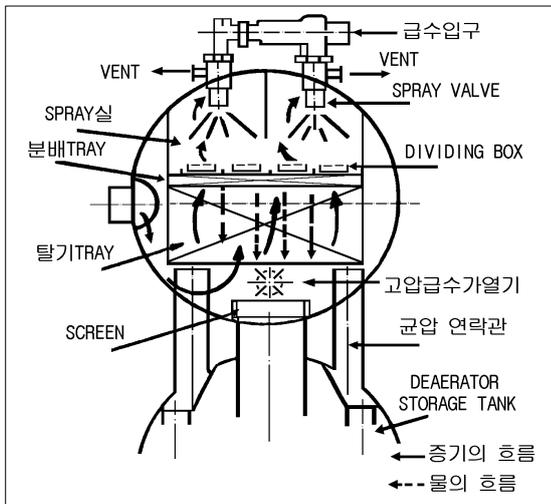
2.2 탈기기

급수가열기 중 직접 접촉식에 해당하는 탈기기는 스프레이로 분사되는 증기와 급수가 혼합되며, 이론상 증기가 가지고 있는 열은 물이 흡수한 열량과 같기 때문에 탈기기 중단온도차는 제로가 되어 효율이 대단히 좋다. 개방형으로만 구성된 사이클 효율은 대단히 높으나 가열기 출구에서 포화 상태가 되기 때문에 모든 가열기 출구에 펌프를 설치해야 한다. 이 때문에 발전소에서는 직접접촉 가열기에 해당하는 탈기기를 저압급수 가열기와 고압급수 가열기 중간에 하나만 설치한다. 탈기기를 설치하는 목적은 급수 중에 포함되어 있는 가스(산소, 탄산가스 등)를 분리하고, 급수의 가열 및 저장에 있다. 용존 산소의 급속에 대한 부식성은 탄산가스의 약 10배 정도이고, 고온 고압에 있어서 상온 시 약 200배 이상에 달하기 때문에 급수에 함유되어 있는 산소농도를 최대한 감소시킬 필요가 있다.

탈기기는 급수 펌프에 필요한 유효흡입수두를 충분히 확보하기 위해 일반적으로 지상 약 20~30m 정도의 높은 곳에 설치한다. 급수 저장조(Feed Water Storage Tank)는 탈기기에서 탈기된 급수를 저장 하며, 급수량 변동 시에도 급수펌프를 안전하게 운전할 수 있도록 보일러 정격 용량의 3~5분 정도 사용할 수 있는 용량을 갖고 있다.

2.2 탈기 원리

“모든 기체의 용해도는 그 기체가 용존해 있는 액체의 온도가 높을수록 감소 한다”는 헨리(Henry)의 법칙에 따라 급수를 탈기기내 압력에 상당하는 포화온도까지 가열하여 탈기시킨다. 이때 적어도 포화온도 1.7℃ 이내까지 가열시킨다. 물 속에 포함되어 있는 용존 기체가 쉽게 이탈하도록 스프레이와 트레이를 이용하여 분무시킨다. 탈기기 상부에 설치되어 있는 스프레이 밸브를 통해 탈기실로 분사된다. 분사된 급수는 미세한 물방울이 되어 분배접시로 떨어지는 동안에 상승하는 가열 증기와 접촉하여 제1단 탈기가 이루어지며, 이 과정에서 대부분의 용존 가스는 분리되어 대기로 방출된다. 제1단 탈기 후 약간의 용존산소를 포함한 채 분배접시에 모인 급수는 균일하게 넘치게 된다. 또한 직각 방향으로 설치된 여러 층의 하부 트레이에 의해 안개와 같은 미세한 물방울이 되어 증기와 혼합되면서 잔존 가스를 분리시키는 제2단 탈기가 이루어진다. 충분히 탈기된 급수는 탈기실 하부에 있는 급수저장조로 들어간다.



〈그림 2〉 탈기기 내부 구조

2.2.1 탈기기 수위제어

복수기에서 복수펌프를 통과한 복수는 여러 대의 급수가열기 거쳐서 탈기기로 유입되어 공기를 제거하면 보일러로 공급할 수 있는 조건이 되어 급수 탱크에 저장된다. 이 급수는 급수 펌프를 통과하여 고압 급수가열기를 통과하여 보일러의 절단기로 유입된다. 그런데 급수펌프가 원활하게 운전되기 위해서는 적당한 유효 흡입수두를 확보해야 하며 이를 위한 제어 장치가 바로 탈기기 수위제어 계통이다.

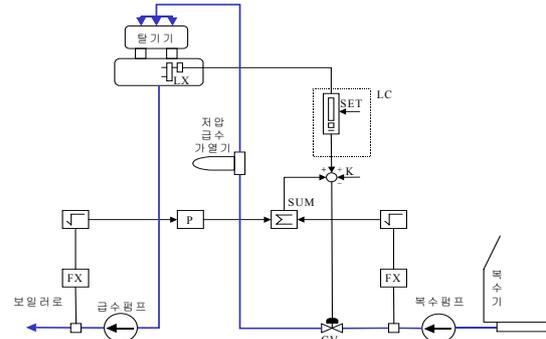
2.2.2 3요소식 탈기기 수위제어

부하가 급격히 떨어지는 경우에는 탈기기 급수저장조의 수위가 상승하고, 부하가 급격히 상승하는 경우는 반대로 수위가 떨어진다. 이런 경우 수위가 일정하게 유지되도록 하기 위해 수위조절 밸브와 오버 플로우 밸브가 설치되어 있다.

탈기기 입구 측에 설치되어 있는 수위조절 밸브는 급수 저장조 수위 변동에 따라 자동제어가 이루어진다. 종래에는 급수 저장조 수위 검출 신호만으로 제어가 이루어졌으나, 근래에는 발전 용량 증가에 비해 급수저장조의 용량 비율은 오히려 적어지고 또 트레이층을 통과할 경우 시간 지연에 따른 수위 변동폭을 최소화시키기 위해 <그림 3>과 같은 3요소식 제어 방법을 채용하고 있다.

이 제어는 탈기기에 유입되는 복수유량과 보일러 급수량을 선행 신호로 하면서 급수 저장조 수위를 추가하여 수위 조절 밸브를 제어하는 방식이다.

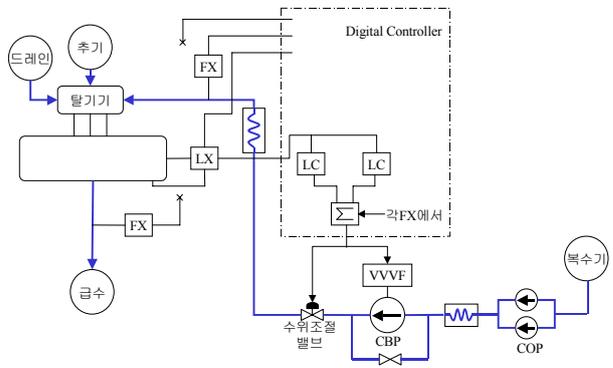
오버플로우 밸브는 급수 저장조 수위가 비정상적으로 상승되어 탈기 작용을 원활히 수행치 못하게 하는 것을 방지하고 터빈으로의 물 유입을 방지할 목적으로 설치되어 있으며, 이상 수위가 되었을 경우 밸브는 자동으로 열리면서 급수를 복수조로 방출시켜 정상 수위를 유지시킨다.



〈그림 3〉 탈기기 수위제어계통(3요소 제어)

2.2.3 교류 가변속 제어방식

전술한 3요소 제어방식은 널리 채용되어지고 있지만 최근 발전소에서는 복수측 제어에 있어서 복수출구 조절밸브 뿐만이 아니라 복수 승압펌프에 교류 가변속제어(VVVF:Variable Voltage Variable Frequency)를 적용하고 있다. 복수출구 조절밸브와 복수 승압펌프의 속도제어(VVVF 제어)를 부하에 따라서 전환하여 급수탱크 수위를 조절하고 있다. 이 구성의 특징은 3요소 제어에 의해 안정한 제어를 행하며 VVVF 제어에 의해 에너지를 절약할 수 있는 장점이 있다.



〈그림 4〉 탈기기 수위제어 계통(조절밸브+VVVF)

3. 결 론

오늘날의 산업사회에서 전기에너지는 필수 불가결한 요소로 자리매김하고 있다. 그런데 기존의 화석연료를 사용할 경우 지구온난화 문제를 야기하므로 새로운 대체에너지를 여러 가지로 모색하고 있다. 그러나 현재까지 거론되고 있는 대체에너지의 발전량은 화석연료에 비하여 아직은 미미한 수준에 그치고 있다. 따라서, 향후 당분간은 화석연료의 발전 비중이 크게 낮아지지는 않을 것으로 전망되므로 화석연료, 특히 석탄 발전의 효율 향상을 도모하여 온실가스 배출을 감소시킬 수 있을 것이다. 그런데 터빈 보조기기의 운전 효율을 높일 경우 동일 발전량 대비 석탄 사용량이 감소하므로 매우 의미있는 일이 될 것이다.

[참고 문헌]

- [1] “CANDU형 원전 디지털 터빈제어시스템 개발” 전력연구원, 정장기 외 8명
- [2] “화력발전 실무” 발전교육원