

대용량 발전소 재열재생 증기터빈 제어알고리즘에 관한 고찰

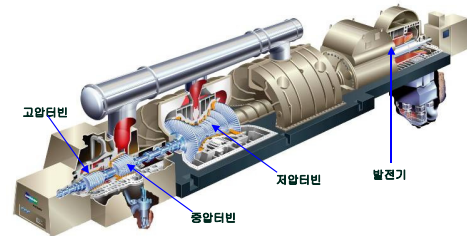
최인규, 정창기
전력연구원

A Study on Turbine Control Algorithms for Large Steam Turbine in a Power Plant

Inkyu Choi, Changki-Jeong
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. Therefore after the steam turbine reaches its rated speed and the generator gets into parallel operation with power grid, the electrical power can be increased by turbine controller or governor. The first governor was invented by James Watts for the steam engine to be maintained at a constant speed. The first governor by him was mechanical type with fly balls. The electrical type governor was created due to the progress of electronic devices such as operational amplifiers or integrated circuits. and Today digital electronic type of governor is being widely used in most prime movers

르고 있다. 복수터빈은 출구압력이 대기압보다 낮아서 터빈을 통과하면서 일을 한 증기가 출구에서는 물(水)로 되는 터빈이고, 배압터빈은 출구압력이 대기압보다 높아서 터빈을 통과한 증기를 다른 공정에 다시 사용할 수 있는 터빈이다. 또, 증기터빈이 있는데 이는 배압터빈이 변형된 형태로서 터빈에서 일을 한 증기를 전량 출구에서 배출하지 않고 중간단에서 추출하여 다른 공정에 이용하는 형식이다. <그림 2>에 증기터빈의 예를 나타내었다. 최근 건설된 대용량(500MW) 증기터빈 발전기로서 고압, 중압 및 저압터빈은 직결되어 있고 특히 저압터빈은 2대로서 양방향 흐름이다.



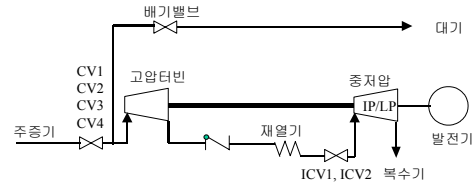
<그림 2> 대용량(500MW) 증기터빈 발전기

1. 서 론

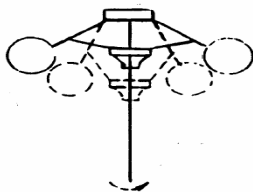
화력발전소의 주기는 증기를 생산하는 보일러, 발전기를 구동하는 증기터빈 그리고 전기를 생산하는 발전기로 구성된다. 증기터빈은 고온·고압의 증기 에너지를 입력으로 발전기를 구동한다. 보통 증기터빈과 발전기는 직결되어 있다. 따라서 증기터빈을 정격속도에 도달시킨 후, 발전기가 전력계통에 병입되면 조속장치, 즉 터빈 제어기의 동작으로 증기 유입량이 증가하여 발전기 출력이 증대한다. 이와 같이 터빈 발전기의 속도를 조절하는 장치를 조속기라 한다. 최초의 조속기는 1788년에 영국의 제임스 와트(James Watts)가 증기기관의 왕복운동을 회전운동으로 바꾸었을 때, 일정회전을 유지하기 위하여 고안하였으며 회전축에 붙어 있는 2개의 추가 회전에 따른 원심력으로 벌어지는 원리를 이용하였다. 증기기관에 부하가 걸려서 속도가 떨어질 때에는 조속기가 속도 저하를 감지하여 증기밸브를 더 열어서 증기유입량을 늘임으로써 속도를 높여주고, 증기기관의 속도가 높아질 때에는 증기밸브를 더 열어서 증기유입량을 줄임으로써 속도를 낮춰주는 되먹임 방식에 의해 기관의 속도를 일정하게 유지한다.

2.2 증기 흐름 및 조절용 밸브

증기조절밸브는 증기의 유량(流量)을 조절하므로 단순히 제어밸브(CV:Control Valve)라고도 하고 증기의 유량을 조절하여 터빈의 속도와 발전기의 출력을 조절하므로 조속밸브(GV:Governor Valve)라고도 한다.



<그림 3> 일반 터빈 증기 흐름도



<그림 1> 기계식 원심추

이 조속기에 의해 증기기관의 큰 동력을 안정하게 쓰는 것이 가능해졌으며, 결국 이 제어장치에 의해 기존 증기기관의 성능이 획기적으로 개선되고 용도가 확대되어 산업혁명의 원동력이 될 수 있었다. 그런데 1965부터 전자기술의 발달과 더불어 연산증폭기와 트랜지스터를 이용한 전기식 조속기가 폭넓게 사용되었으나 1980년대에는 컴퓨터 기술이 발달하여 중앙처리장치를 근간으로 하는 디지털 전기식 조속기가 등장하여 터빈제어의 주류를 형성하고 있다. 따라서 본 고에서는 발전용 원동기인 증기터빈의 조속기 제어에 관한 알고리즘에 관하여 기술한다.

증기터빈을 원만히 운전하기 위해서는 순전히 밸브를 통하여 증기의 유량을 잘 조절해야 한다. 이 조절 밸브를 제어하는 방식이 증기터빈 제어 알고리즘인 것이다.

2. 본 론

2.1 발전소 증기터빈 구성

보일러에서 생산된 고온·고압의 증기를 이용하여 발전기를 구동하는 증기터빈은 보통 복수터빈으로서 재열 재생 방식이다. 과거에 소용량의 경우는 고압터빈 한 대로 구성된 경우가 있었으나 현재는 보통 고압터빈(배압터빈)과 중압터빈 및 저압터빈을 조합한 방식이 주류를 이

2.3 증기터빈 제어

보통 발전소 터빈제어의 종류는 기동준비, 속도제어, 계통병입, 출력 제어, 주증기압력저하 방지, 외부신호 출력감발 과속도 제한, 밸브제어 등으로 분류할 수 있으며 상세한 내용은 다음과 같다.

2.3.1 기동준비

기동준비 프로그램은 터빈속도를 실제로 상승시키기 전에 제어기와 현장 등 터빈 운전과 관련된 기기의 건전성을 사전에 점검하기 위한 것이다. 터빈을 리셋하면 디지털 출력이 발생되어 현장의 솔레노이드를 구동하여 주증기 정지밸브와 저압증기 정지밸브가 열리고 이를 제어기에서 검출할 수 있도록 열림 리미트 스위치가 동작하여 제어기로 입력된다. 이 상태에서도 트립 상태에서와 마찬가지로 속도설정치는 -5%를 유지한다. 이후 속도 설정치를 입력하면 정해진 가속율에 따라 터빈의 속도가 증가한다.

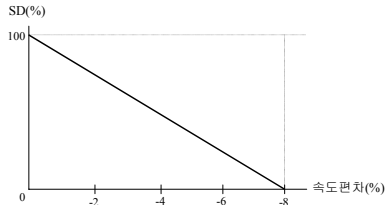
2.3.2 속도제어

정상적인 기동상태에서 속도제어 프로그램에 의한 증기유량 요구량(SD:Steam Demand)는 조속밸브를 제어하는 기준이 되며 ΔF를 속도

편차, Load Ref.는 출력기준값이라 하면 다음의 식으로 나타낼 수 있다. 출력 기준값은 계통병입 전에는 0으로 보통 설정한다.

$$SD = \frac{100}{8} \Delta F + LoadRef.$$

위 식에서 계통병입 후에는 출력기준값의 변동에 따라 조속기 밸브의 개도가 변동되고 아래 그림과 같은 특성을 가진다. 따라서, 이는 계통병입 후 계통주파수 변화에 응동하여 발전기 출력을 변동시키는 부하 추종운전 상태에서 출력변동량을 결정하는 곡선이다. 터빈 속도 제어는 정격속도인 1800rpm을 초과하는 과속도 상태가 아니면 조속기 밸브에 의하여 수행되므로 터빈이 기동중인 상태라면 저압터빈 조절밸브는 항상 열려있어서 고압터빈을 통과한 증기는 전량 저압터빈을 경유하여 복수기로 배출된다.



속도를 상승하기 위해서는 주증기 정지밸브와 저압증기 정지밸브가 터빈 리셋에 의하여 열려있어야 한다. 이후 운전화면 또는 증감 푸시버튼의 디지털 입력에 의하여 속도를 조절한다.

2.3.3 계통 병입

터빈이 정격속도에 도달하면 계통 주파수를 고려하여 발전기 차단기를 투입해야 한다. 계통병입장치에서 계통 주파수와 발전기 주파수를 비교 연산한 후, 조속장치에 속도 증감신호를 송출하여 속도병합을 수행한다. 차단기가 투입되면 이신호를 검출하여 발전기의 전동기화를 방지하기 위하여 초기부하를 형성하기 위해 계통 병입 바로 이전의 밸브 위치 요구값에서 운전원이 지정한 값(또는 초기값)만큼 자동으로 계산된 기율기에 의해 더 증가시킨다.

2.3.4 출력 제어

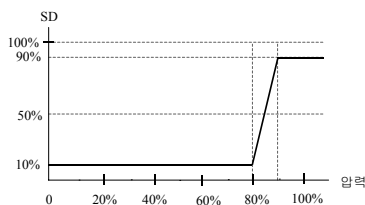
발전기가 전력계통에 병렬운전 되면 터빈 유입 증기량의 변화는 출력변화로 나타난다. 이를 위해 출력목표값과 출력기준값을 정의하고 부하율을 정의하여 각각 다음과 같이 제어된다. 출력목표값은 변경가능 상태에서 보통 다음 조건에서 변경되도록 구성된다.

- 가. 운전원이 HMI의 증감 버튼을 클릭할 때
- 나. 발전기 고정자 냉각수가 상실되었을 때
- 다. 계통병입으로 초기부하 확립시 5초 동안
- 라. 가속체제(Acc. Detection)를 검출한 상태

출력증발율(Load Reference Rate)은 출력기준값이 출력목표값에 추종하기 위해 적용되는 증감율로서 밸브의 개폐속도이다. 정해진 기율기로 변동 가능하고, 외부의 계통병입장치의 증감 단추를 누르는 경우에는 보통 1.5%/sec로 적용된다.

2.3.5 주증기압력저하 방지

주증기의 압력이 과도하게 저하할 경우, 터빈에 습분이 유입될 우려가 있으므로 조속기밸브를 닫아서 압력을 적정치로 유지시키는 기능으로서 습분 방지면에서는 터빈 보호기능에 해당되지만 보일러 압력제어에도 도움을 주고 있다. 이러한 제어기능은 다음과 같은 특성으로 동작한다.



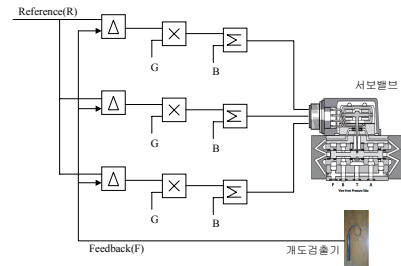
이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$SD = 90 - 8(Pressure - 80)$$

2.3.8 밸브제어

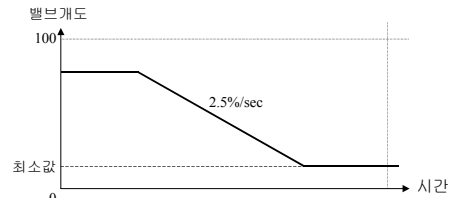
발전소에서는 삼중코일 서보밸브가 많이 이용되고 있다. 이를 이용한 제어회로를 도식적으로 표현하면 다음과 같다. 기준값(Reference)은 속도 및 출력제어 신호가 최소값 선택회로를 경유하여 최종적으로 증기밸브 제어회로를 통과한 후 결정되는 보조밸브 개도 기준값이다. 정상 운전시 GV의 경우 이 값은 보통 중립점, 즉 50에 위치한다. 이 때, 증기밸브의 개도가 원하는 위치에 제어되기 때문이다. 제어 프로그램상 증기밸브 제어회로를 통과하는 기준값은 1개 이고 이것은 3개의 회로로

분기하여 서보밸브의 3개 코일로 각각 입력된다. 삼중화 중앙처리장치에서 각각의 서보밸브 코일에 전류를 발생시켜서 밸브 개도를 제한한다. 그런데 중앙처리장치 1대가 고장을 일으키거나 또는 기타의 원인으로 서보코일에 흐르는 전류가 상실된 경우, 보조밸브가 닫힘으로서 증기밸브도 닫혀서 출력감발의 요인이 될 우려가 있다. 따라서, 전류가 상실되는 것을 감지하여 다른 중앙처리장치에서 전류를 보상하여 출력감발을 방지한다.



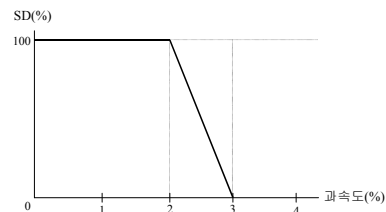
2.3.6 외부신호 출력감발

발전기 여자의 SCR이 고장이거나 고정자 냉각수가 상실될 경우 발전기 부하전류를 감소시키기 위하여 출력을 감발하는 기능으로 보통 2.5%/sec로 대단히 빠르게 출력을 감발한다. 이 경우 다음 그림과 같이 동작한다.



2.3.7 과속도 제한

큰 부하 탈락이 아닌 상태에서 터빈 속도가 서서히 증가할 경우 정상적인 서보제어를 통하여 상승속도를 제한해야 한다. 보통 알고리즘은 아래 그림과 같으며 SD는 증기요구량(Steam Demand), 즉 제어밸브 개도요구량으로서 속도 편차와 출력기준값을 고려한 것이다.



위의 그림과 같이 주증기 조절밸브를 닫으라는 신호가 발생하므로 터빈의 속도가 103%에 도달하면 조속밸브는 완전히 닫히고 저압터빈 조절밸브는 정해진 관계에 의하여 닫혀서 터빈을 과속도로부터 보호한다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$SD = \frac{100}{1} \Delta F + 300$$

다만, 터빈 속도가 102% 이하이면 정상적인 속도제어 회로에 의하여 정상적인 드림이 적용된다.

3. 결 론

오늘날의 원동기는 보통 회전체로서 이를 원활한 운영을 위하여 정속도 제어는 필수적이다. 원동기를 제어하기 위한 조속기는 자동차나 엘리베이터 등 많은 산업기기에 쓰이고 있으며 그 중 발전용 원동기 즉 터빈은 대단히 중량물로서 고속으로 회전하고 있다. 이것을 오차없이 안전을 확보하면서 안정적으로 제어하기 위한 제어 알고리즘에 대하여 알아 보았다. 증기터빈 제어는 각각의 제작사마다 다르므로 정확한 제어를 위해서는 각각의 고유한 특징을 정확하게 파악하고 있어야 한다. 증기터빈의 종류에 따라 방식이 매우 다양하므로 실제 증기터빈 제어에 쓰이는 제어방식을 전부 열거하지는 못하였으므로 차후에 좀더 세밀하게 살펴볼 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] "CAN DU형 원전 디지털 터빈제어시스템 개발" 전력연구원, 정창기 외 8명
- [2] "보일러터빈 제어" 발전교육원, 최인규