

증기터빈 밸브제어방식에 따른 과속도 제어 고찰

최인규, 우주희
전력연구원

A Study on Overspeed Control and Valve Position Control for Steam Turbine in Power Plants

Inkyu Choi, Joohee-Woo
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - After steam turbines in power plant drives generator and maintains it at rated speed using high temperature and high pressure steam energy, they regulate the output of generator when synchronized in parallel with the power system. By the way, as the steam flow into turbine can not be reduced fast even though the electrical load is lost, the turbine gets into dangerous situation due to the increase of its speed. At this time, the duty of the turbine governor is " how to limit the speed within its overspeed trip setpoint and escape from danger." In order to implement this purpose, there are various ways different from valve position control. So, in this paper, the various methods for overspeed protection are introduced in comparison with valve position control.

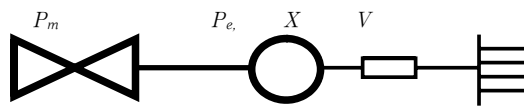
1. 서 론

발전소의 증기터빈은 증기의 에너지를 입력으로 발전기를 구동하여 정격속도에 도달시킨 후, 발전기가 전력계통에 병입되면 유입 증기량을 가감하여 발전기 출력을 조절한다. 그런데 전력계통 또는 발전기 고장으로 전기 부하가 탈락되어도 터빈에 유입하는 증기의 에너지는 신속히 감소할 수 없으므로 피동체인 발전기의 전기부하보다 구동체인 터빈의 기계입력이 과도하게 큰 상황이 발생되어 터빈·발전기의 속도가 필연적으로 상승하여 위험한 상황에 처하게 된다. 이 때, 터빈 제어기의 주된 임무는 "과속도 상태에 있는 터빈발전기의 속도를 줄여서 위험 상황을 회피할 것인가"이며, 이를 구현하는 방법은 증기밸브 제어의 방식에 따라 차이가 있다. 이 논문에서는 증기터빈 과속도 보호에 관한 제어방식을 증기밸브 제어방식과 비교하여 연구한 내용을 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 회전체의 운동방정식과 터빈 과속도

다음의 그림 1은 과도내부전압이 E , 관성정수 M , 리액턴스 X 를 통하여 전압 V 인 무한대 모선에 접속되어, 일정한 각속도 ω 로 전력계통에 병렬운전 중인 발전기와 이를 구동하는 터빈을 나타낸 것이다



터빈 발전기 임피던스 모선
〈그림 1〉 터빈·발전기·전력계통도

P_m 을 기계입력, P_e 을 전기출력, P_{loss} 을 손실, $\theta = \omega t$ 를 회전체 각변위, ω 를 회전체 각속도, T 를 회전력, I 를 관성 모멘트, M 을 단위관성정수라 하면, 동기 발전기 회전자의 기계적 각속도는 원동기, 즉 터빈의 회전력과 발전기 회전자에 작용하는 전기적 제동력의 차에 비례하고, 회전자의 기계적 관성에 반비례하므로 회전체의 운동방정식은 다음의 식과 같이 표현할 수 있다. 즉,

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{\Delta T}{I} = \frac{\omega}{M} \Delta P$$

$$\therefore \frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega}{M} (P_m - P_e - P_{loss})$$

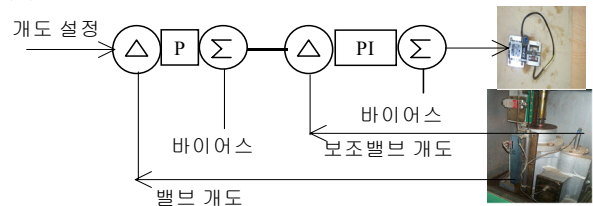
다시 쓰면

$$\frac{d\omega}{\omega} = \frac{\Delta P}{M} dt$$

이것은 전력계통에 병렬운전 중인 발전기가 우변과 같은 입출력의 차가 생겼을 경우, 회전자는 좌변과 같은 속도 변화를 받는다는 것을 나타낸다. 부하가 차단되어 전기출력 P_e 가 0으로 되었을 때, 이상적인 경우에 기계입력 P_m 도 동시에 0으로 되면 속도의 변화는 없다. 그러나 차단밸브가 동작하여 유입증기를 차단해도 이미 유입된 증기의 팽창에 의하여 속도가 상승하며 차단부하에 따라 다르나 증기터빈의 경우 보통 정격속도의 110%이하로 제어되어야 한다.

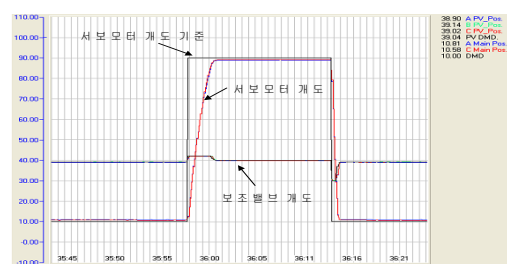
2.2 순수 서보밸브에 의한 밸브제어의 경우

밸브제어를 순수하게 서보밸브에 의지하는 경우는 터빈의 용량이 작아서 전력계통이나 해당 프로세스에서 차지하는 중요도가 다소 작으므로 제어신호는 보통 단일 신호인 경우가 많다. 단일신호 서보밸브 제어는 보통 이중루프로 구성되며 제어신호가 고장일 경우 증기밸브는 닫히고 프로세스는 정지하는 단점이 있으나 가장 간단하여 구성이 용이하다.



〈그림 2〉 단일코일 밸브제어

특히, 밸브를 구동하는 유압시스템을 별도로 설치하지 않고 운할 장치의 유압을 분기하여 사용하므로 12kg/cm 정도로 낮은 경우에 많이 쓰이는 방식이다. 아래 그림 2는 급수펌프 구동용 터빈의 증기밸브 제어에 많이 쓰이는 방식을 나타낸 것으로 유압 서보밸브는 작은 유량으로 보조밸브의 개도를 조절하고 보조밸브는 유압 증폭기로 되어 큰 유량으로 주밸브의 개도를 직접 조절하므로 즉, 이중 적분 구조이다. 이러한 방식은 과거의 기계식 조속기를 전기식으로 개조하는 경우에도 많이 사용되고 있다.



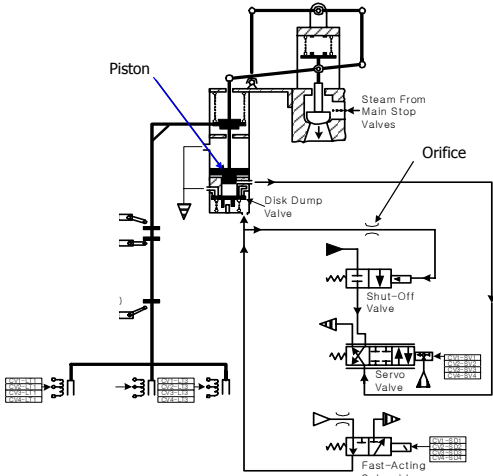
〈그림 3〉 이중루프 밸브제어 계단시험 예

이러한 방식에서는 위의 그래프에서와 같이 증기밸브 개도의 응답이 대단히 신속하다. 따라서 터빈에 과속도가 발생한 경우 증기밸브 개도요구량의 변동에 빠르게 추종할 수 있으므로 별도의 과속도 방지 장치를 구성하지 않는다.

2.3 서보밸브와 솔레노이드의 조합에 의한 밸브제어의 경우

이러한 경우에는 증기밸브를 구동하는 유압시스템을 운할유와 분리하여 별도로 설치한다. 증기밸브를 구성하는 유압실린더는 112kg/cm의 고압유를 사용하기 위해 작은 구경으로 되어 있다. 서보밸브(Servovalve)는 전기신호를 작동유의 유량으로 변환하는 장치로서 정

격전류는 보통 $\pm 48mA$ 이고 이에 대응하는 작동유 유량은 $\pm 25gpm$ 이 1보통이다. 통상적인 운전 중에는 신속한 개폐동작이 필요하지 않기 때문에 서보밸브의 용량은 비교적 작은 것을 사용하고 있으나 부하 차단시와 같이 터빈 속도가 급속하게 증가할 우려가 있는 경우에는 증기밸브를 신속하게 폐쇄할 필요가 있다. 이를 위하여 과속도를 예상하는 논리신호에 따라 신속동작 솔레노이드를 여자시키면 실린더 하부의 디스크 덤프밸브가 열려서 피스톤 하부의 유압이 신속히 배출되므로 증기밸브는 스프링에 의하여 빠르게 닫힌다.



〈그림 4〉 대용량 터빈 증기밸브 제어

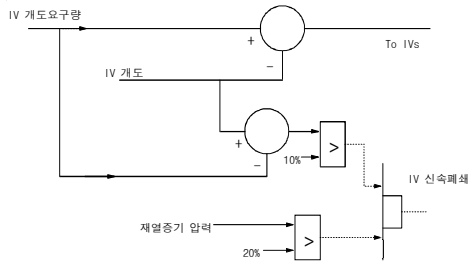
터빈 발전기가 부하를 상실한 경우 부하에 따라서 터빈은 특정 최대 속도까지 가속되다가 다시 감속된다. 중압 터빈과 저압 터빈으로 유입된 증기는 복수기 또는 대기로 배출되며, 고압터빈으로 유입된 증기는 대기로 배출된다. 이것을 정리하면 다음과 같다.

2.3.1 10% 이하 부하 상실

발전기 부하 10% 이하 탈락시에는 정상적인 속도제어 방식으로 과속도를 방지할 수 있다. 따라서, 통상적인 속도조정을 적용하고 주증기 제어밸브를 통하여 제어한다. 탈락된 부하가 클수록 최고속도는 커지며 아날로그 제어방식에서는 차단기 접점을 이용한 무부하 정격속도 재설정 기능이 없으므로 상실부하가 크면 정정속도가 그 만큼 커지며 진다.

2.3.2 40% 이하 부하 상실

발전기 부하 40% 이하 탈락시에는 IVT 기능으로 과속도를 방지할 수 있다. 서보밸브에 의한 통상적인 방법으로는 재열증기 제어밸브의 실제개도가 기준값 감소를 추종할 수 없으므로 솔레노이드를 동작시켜서 신속히 닫는다. 따라서, 20% 부하가 탈락되어도 10% 부하 탈락시보다 최고속도는 작다. 속도상승이 주증기 제어밸브의 한계를 초과하면 재열증기 제어밸브가 닫히기 시작한다. 탈락된 부하가 클수록 최고속도는 커지며 아날로그 제어방식에서는 차단기 접점을 이용한 무부하 정격속도 재설정 기능이 없으므로 상실부하가 크면 정정속도가 그 만큼 커진다.



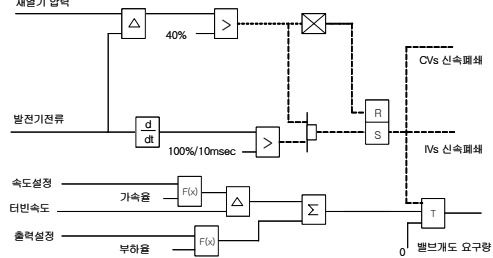
〈그림 5〉 IVT 제어 회로

2.3.3 40% 이상 부하 상실

터빈 발전기가 최대 부하운전 중 갑자기 부하가 상실되면 PLU 기능으로 과속도를 방지할 수 있다. PLU가 동작하면 주증기 제어밸브와 재열증기 제어밸브를 솔레노이드에 의하여 신속히 폐쇄하므로 45% 부하 탈락이어도 30% 부하 탈락보다 최고속도는 작다. 전 부하 탈락시에는 다음과 같은 현상이 일어난다.

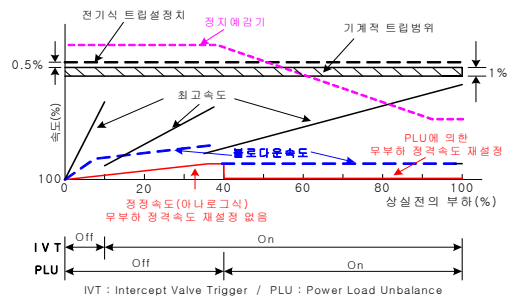
- 1) PLU가 동작하여 부하 기준값(Load Reference)을 무부하 정격속

- 2) 도로 설정하고, 부하 목표값(출력설정치)도 무부하 상태로 돌린다.
- 3) 터빈은 최대율로 가속된다.
- 4) 주증기 제어밸브와 재열증기 제어밸브는 고속동작 솔레노이드 밸브(Fast-Acting Solenoid Valve)에 의해 최대율로 닫힌다. PLU 동작 후 약 1초 재열증기 제어밸브는 속도감소에 대비하여 열릴 준비가 되고 주증기 제어밸브는 재열증기 압력이 40%이하로 될 때까지 래치된다.



〈그림 6〉 PLU 제어 회로

- 5) 밸브와 터빈, 터빈 케이싱, 크로스오버 및 추기 배관 사이의 잔류 증기는 약 1.5초 내에 팽창된다.
- 6) 잔류 증기의 팽창이 완료되면 터빈속도는 과속도 트립설정치 이하 0.5 ~ 1%까지 상승한 후 감속한다. 이 때, 감속율은 무부하 손실 및 소내 부하에 의하여 결정된다.
- 7) 속도 상승 후 감속하여 102%에 도달하면 재열증기 제어밸브가 열려서 속도를 제어하고 재열증기의 에너지는 손실과 로타 속도 및 소내부하를 공급한다.
- 8) 이에 따라 재열증기 압력이 40%이하로 감소하면 불평형 신호가 제거되어 주증기 제어밸브도 속도제어 대기상태로 된다.
- 9) 재열증기가 부족하여 속도가 더욱 감소하면 주증기 조절밸브도 열려서 속도를 제어한다. 바이패스 시스템이 있는 경우에는 재열증기 제어를 저압터빈 우회밸브가 수행하므로 PLU가 리셋되기 위해서는 저압터빈 우회밸브의 압력 설정치가 40% 이내로 되어야 한다.



〈그림 7〉 부하대별 과속도 제어(대용량 GE 터빈)

- 9) 부하기준값이 무부하 정격속도로 재설정 되었으므로, 재열기 압력이 낮아진 후 터빈은 정격속도보다 약간 높은 속도를 유지하여 계통에 재병입할 수 있는 상태로 된다.

3. 결 론

회전체의 운동역학에 의하면 구동력과 제동력 간의 불균형이 발생하면 가속도의 법칙에 의하여 속도변동이 발생함을 알 수 있다. 이러한 과속도를 보호하기 위한 장치는 현장 구동부의 방식에 따라서 크게 차이가 난다. 이중루프 방식에서는 별도의 솔레노이드가 없고 보조밸브가 유량증폭기의 역할을 수행하여 주밸브를 신속하게 개폐하므로 별도의 솔레노이드가 필요없다. 그러나 고압유 발생장치기 별도로 있는 경우에는 112kg/cm²의 고압이므로 유량이 작다. 따라서, 과속도가 발생한 경우 통상적인 서보에만 의지해서는 신속한 밸브 폐쇄가 불가능하므로 솔레노이드를 동작시켜서 디스크 덤프를 개방한다. 따라서 실린더 하부의 작동유가 전량 방출되므로 밸브는 스프링 힘으로 닫힌다.

〈참고 문헌〉

- 1] “보일러터빈 제어” 발전교육원, 최인규
- 2] “전력계통공학”, 강기문 외2, 동일출판사
- 3] “증기터빈 과속도 보호장치의 비교분석”, 최인규 외3, 2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집