

**발전소 증기터빈 밸브제어에 관한 고찰**

최인규, 정창기, 김병철, 김종안, 우주희  
전력연구원

**A Study On Steam Turbine Valve Controls In Power Plant**

Inkyu Choi, Changki-Jeong, Byoungchul-Kim, Jongan-Kim, Joohee-Woo  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - Servovalves are widely used in industrial areas in order to control the position of large steam valves which regulate steam flow to prime mover. We must control the position of large steam valves to regulate flow of working fluids in the process. The small pilot valves are used to regulate the large main valves in case that the pressure of control fluids supplied to servovalves is low about 12kg/cm<sup>2</sup>. But, in case that the pressure of control fluids supplied to servovalves is high enough about 110kg/cm<sup>2</sup>, the pilot valves are not needed and servovalves can control directly the large main valves due to its large working forces. Additionally, the basic structures of armature coil should be different according to the types of control system even in the same servovalve. This paper compares and describes some integral types of flow control.

다.

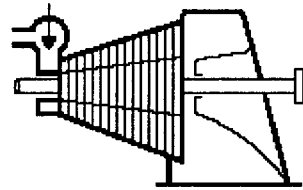


그림 1 복수터빈

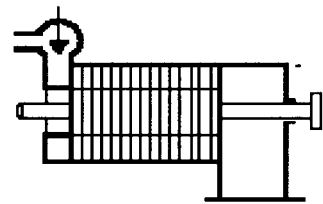


그림 2 배압터빈

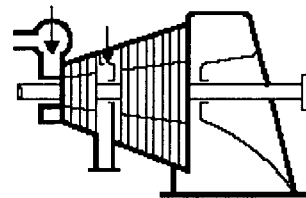


그림 3 추기터빈

**1. 서 론**

유체의 흐름을 조절하는 대형 밸브를 제어하기 위한 유압 서보밸브가 산업 현장에 많이 이용되고 있다. 프로세스에서 필요한 작동 유체를 조절하기 위해서는 대형 밸브의 개도를 제어해야 한다. 이 대형 밸브의 개도를 제어하기 위하여 작동유가 공급되는 유압 서보밸브가 많이 사용되고 있다. 유압 서보밸브에 공급되는 유체의 압력이 12kg/cm<sup>2</sup> 내외의 저압인 경우 보통 소형인 보조밸브를 구동하여 유체의 유량을 증대함으로써 대형의 주밸브를 용이하게 구동하고, 유체의 압력이 110kg/cm<sup>2</sup> 내외의 고압인 경우 작동력이 대단히 크므로 보통 보조밸브가 필요하지 않다. 또한, 동일한 유압 서보밸브라도 제어시스템의 구성에 따라 전자 코일의 구성 방식을 다르게 할 필요가 있다. 이 논문에서는 근래에 발전소 터빈 제어계통에서 많이 사용되는 적분형의 유량제어용 서보밸브 중 삼중 코일 서보밸브와 단일 코일 서보밸브의 제어 방식 비교하여 설명하고자 한다.

**2. 본 론**

**2.1 일반적인 증기터빈**

증기발전기에서 생산된 고온·고압의 증기를 이용하여 발전기를 구동하는 일반적인 증기터빈의 종류를 살펴보면 기본적으로 복수터빈과 배압터빈이 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, 추기터빈이 있는데 이는 배압터빈이 변형된 형태로서 터빈에서 일을 한 증기를 전량 출구에서 배출하지 않고 중간단에서 추출하여 다른 공정에 이용하는 형식이다. 보통 복수터빈은 발전전용(發電專用) 터빈이 많고 크기와 용량이 대형이다. 다음의 그림에 기본적인 터빈이 잘 나타나 있

**2.2 증기조절용 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. 제어밸브를 작동시키기 위해서는 최근에는 전동력(電動力)을 이용하기도 하나 보통은 유압(油壓) 서보밸브를 많이 이용하고 있다. 증기밸브의 개도를 만족스럽게 제어하기 위해서는 구동부인 서보밸브, 검출부인 개도검출기 및 이를 활용하여 밸브를 제어하는 제어회로의 3요소가 핵심 요소이다.

**2.3 밸브개도 검출기**

밸브 제어에 유량형 서보밸브를 사용하는 경우 밸브개도 검출에는 선형 차동변압기(LVDT:Linear Variable Differential Transformer)가 많이 사용되고 있다. 그림 4에 LVDT의 구조도를 나타내었다. 원통의 내부에 1차

코일 한 개와 2차 코일 두 개가 대칭으로 배치되어 있다

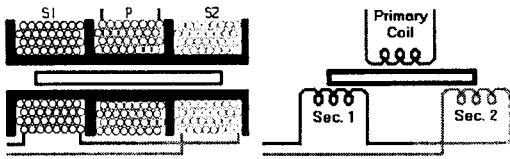


그림 4 LVDT 결선도

1차 코일이 외부의 교류에 의하여 여자되면 2차 코일에 극성이 반대인 전압이 유도된다. 따라서, 두 전압의 합(+)을 계산하면 알짜 출력이 되며 코어가 중립에 위치한 경우에는 알짜 출력은 0으로 된다. 아래 그림에서 중립점에 있던 코어가 우측으로 이동하면 우측 2차 코일은 전압의 크기가 증가하고 좌측 2차 코일은 전압의 크기가 감소한다.

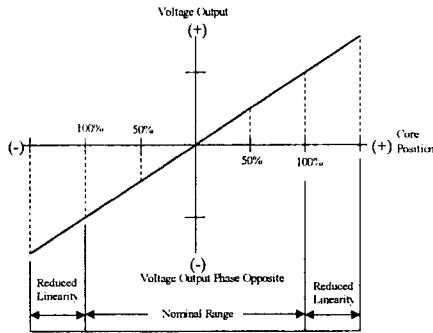


그림 5 LVDT 출력 곡형

## 2.4 유압서보밸브

서보(Servo)의 어원은 라틴어이며 영어로는 "Slave"이며 복종 또는 봉사자를 의미한다. 유압 서보밸브는 전류 입력신호, 즉 명령에 대하여 오일의 흐름을 발생하는 것이다. 유압 서보밸브는 전기계와 기계계의 연계장치로서 보통 기계 기구의 위치, 속도, 힘 등의 제어에 이용된다. 유압 서보밸브는 증기밸브를 구동하는 구동부로서 전기신호에 비례하는 유량을 출력하는 적분형과 전기신호에 비례하는 압력을 출력하는 비례형이 있으나 여기서는 적분형에 대하여만 살펴보기로 한다.

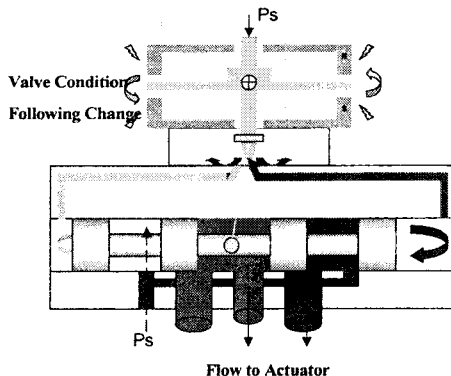


그림 6 제트 파이프형 서보밸브

서보밸브의 기본적인 구성 요소는 토크모터, 유압증폭기, 스펴이다. 유압 증폭기는 노즐/플레퍼와 제트 파이프로 분류된다. 이 세 가지를 적당히 제작하여 조합하면

다음과 같이 동작한다. 전기 입력신호를 토크 모터에 인가하면 전기자 코일의 종단(終端)에 자기력이 발생된다.

이 자기력으로 인하여

- 노즐/플레퍼 방식에서는 굴곡 튜브 내에서 전기자와 플레퍼가 편향되어 유체의 흐름이 한 쪽은 감소하고 반대 쪽은 증가하여 스펴의 위치가 변동한다.

- 제트 파이프 방식에서는 이 자기력으로 인하여 전기자와 제트 파이프가 이동하여 양쪽 유로에 유량의 차이가 발생하므로 스펴의 위치가 변동된다.

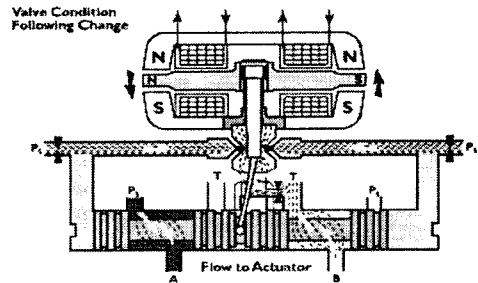


그림 7 노즐/플레퍼 방식 서보밸브

따라서, 공급 포트가 제어 포트로 이동하고 귀환 포트는 다른 제어 포트로 이동한다. 스펴이 이동하면 피드백 스펴이 움직이고 전기자와 플레퍼(전기자와 제트 파이프)에 복원 토크가 발생한다. 복원 토크와 자기장의 토크가 같아지면 전기자와 플레퍼(전기자와 제트 파이프)는 중립점을 찾아가고, 스펴은 입력신호가 변동될 때까지 평형상태를 유지한다. 결론적으로 스펴의 개도는 입력전류에 비례하고 유체의 유량은 스펴 개도에 비례한다.

## 2.5 증기밸브 제어

### 2.5.1 단일신호 제어

단일신호 서보밸브 제어는 제어신호가 고장일 경우 증기밸브는 닫히고 프로세스는 정지하는 단점이 있으나 가장 간단하여 구성이 용이하다. 따라서, 공정 계통에서 중요도가 낮은 경우에 많이 사용되고 있다. 특히, 밸브를 구동하는 유압이 12kg/cm<sup>2</sup> 정도로 낮은 경우에 많이 쓰이는 방식이다. 아래 그림은 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.

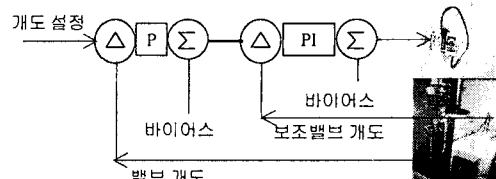


그림 8 단일코일 밸브제어

개도 설정치와 밸브개도가 일치되어 있는 상태이면 보조밸브와 서보밸브는 중립점(보통 50%개도)에서 운전된다. 이 때, 제어기 개도 설정치가 변동되면 편차신호에 의하여 보조밸브 개도 설정치가 변동되고 이에 따라 서보밸브의 전류가 변동되어 보조밸브의 개도가 변동한다.

이에 따라 변동된 주밸브의 개도가 개도 설정치와 일치하면 보조밸브의 개도는 중립점으로 복귀하고 서보밸브 스피드 중립점으로 복귀한다.

### 2.5.2 삼중신호 제어(1)

삼중코일 서보밸브를 이용한 밸브 제어계통을 도식적으로 표현하면 다음과 같다. 기준값(Reference)은 밸브 개도 기준값이다. 제어 프로그램상 기준값은 1개 이고 이것은 3개의 회로로 분기하여 서보밸브의 3개 코일로 각각 입력된다. 삼중화 중앙처리장치에서 각각의 서보밸브 코일에 전류를 발생시켜서 밸브 개도를 제어한다. 그런데 중앙처리장치 1대가 고장을 일으키거나 또는 기타의 원인으로 서보코일에 흐르는 전류가 상실된 경우, 중기밸브가 닫혀서 출력감발의 요인이 될 우려가 있다. 따라서, 서보전류가 상실되는 것을 감지하여 다른 중앙처리장치에서 중립점 전류를 보상하여 출력감발을 방지한다.

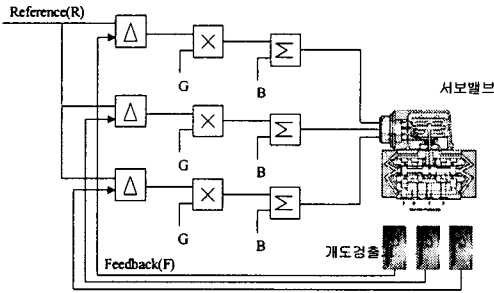


그림 9 삼중코일 서보밸브 제어도(1)

또한, 밸브개도 검출기가 고장을 일으킨 경우 이를 제어에서 제거하는 알고리즘이 문제로 된다. 예를 들면 밸브개도 60%에서 운전 중에 밸브개도 검출기 한대가 고장으로 0%를 지시한 경우 세 개의 제어기중 건전한 두 개는 60%를 유지하려 하고 고장난 제어기는 0%로 제어하려 한다. 따라서, 이득과 바이어스가 동일한 경우 밸브는 약 40%로 제어된다. 그러므로 출력감발 뿐 아니라 관련 프로세스의 불안요인이 될 수도 있다. 위의 그림에서 기준값이 50%, 이득 G를 2라 하고 제어루프를 해석하면 다음과 같다. 단, 여기서는 제어기 측면의 제어변수만 고려하고 구동부는 고려하지 않았다.

가. 바이어스 B=0%인 경우

$2(50-F)+2(50-F)+2(50-F)=F$ 에서 이를 풀면  $F=43\%$ 이므로 밸브개도는 43%로 제어된다. 즉, 기준값이 50%이고 바이어스가 없으면 43%개도에서 제어기와 밸브는 평형을 이룬다

나. R=50%일때, F=50%로 되는 B값의 결정

$(50-50)+B+2(50-50)+B+2(50-50)+B=50$ 이므로  $B=50/3(\%)$ 이다. 따라서, 비례제어의 바이어스를 16.7%로 설정하면 제어기가 더욱 강력해져서 평형점의 밸브개도는 43%에서 50%로 이동한다

다. R=50%에서 운전 중 전류 한 개 상실시

- 1) B=50/3(%)를 유지할 경우  
 $2(50-F)+50/3+2(50-F)+50/3=F$ 이므로  $F=46.7\%$ 로 유지된다. 즉, 전류 한 개 상실시 B가 불변이면 밸브개도는 46.7%로 제어되므로 중기밸브의 평형점이 이동한다.
- 2) B를  $(50/3) \times (3/2)=25\%$ 로 재설정할 경우  
 $2(50-F)+25+2(50-F)+25=F$ 이므로  $F=50\%$ 이다. 즉 전류 한 개 상실시 B를 25%로 증가하면 증

기밸브 개도는 50%로 제어된다.

### 2.5.3 삼중신호 제어(2)

밸브개도 검출기가 고장을 일으킨 경우 이를 제어에서 제거하기 위하여 선택로직을 적용한 경우가 있다. 아래 그림에서는 밸브개도 검출기 한대가 고장을 일으켜도 이를 제거하기 위한 선택로직을 채용한 경우의 회로도를 보여주고 있다. 보통은 중간값을 선택하는 알고리즘이 채용되고 있다. 따라서, 정상 운전시 운전 에 직접 관여하는 밸브개도 검출기는 한 대이다. 만일 한 대에 고장이 발생하면 건전한 두 대 중 높은 값은 선택하도록 한다. 그러므로 출력감발 뿐 아니라 관련 프로세스의 불안요인을 배제할 수 있다.

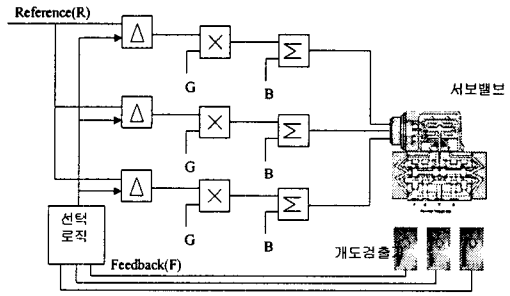


그림 10 삼중코일 서보밸브 제어도(2)

## 3. 결 론

어떤 제어시스템이 제어동작을 잘 수행하기 위해서는 최종 말단부인 작동부가 신속하게 응답해야 한다. 또한 고장이 발생하여도 정상운전을 계속할 수 있도록 다중화 구성이 매우 중요하게 대두되고 있다. 근래의 제어시스템은 2중화 또는 삼중화 개념을 채용하고 있으며 이에 따라 중기밸브 제어도 3중화 되는 추세이다. 그러나 삼중화제어도 구성방식에 따라 단일 루프 고장시 대처 방안이 각각 다르므로 특성을 잘 파악하여 구성하여야 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] "원전 FWPT 제어시스템 개발 중간보고서" 전력연구원, 정창기 외 12명
- [2] "500MW 화력발전소 증기터빈 디지털 제어시스템 개발 중간보고서" 전력연구원, 정창기 외 10명
- [3] "CANU형 원전터빈 디지털 제어시스템 개발 중간보고서" 전력연구원, 정창기 외 8명