

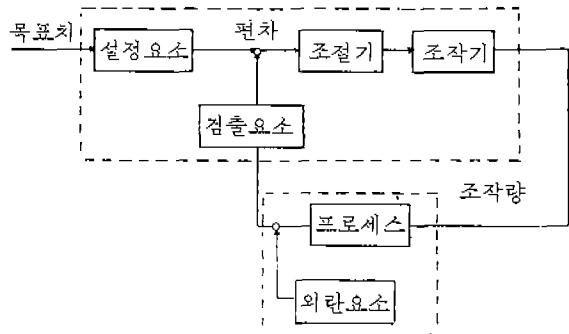
## 1. 自動制御

發電設備의 運轉은 安定된 狀態에서 신속 精確하고 効率的으로 運營되어야 한다. 따라서 運轉에 필요한 情報를 수집하고 수집된 情報를 사용하여 運轉에 필요한 조작을 自動化하여 運轉費의 節減, 電氣 品質의 向上, 人材의 効率的. 利用 및 環境保存에 기여하게 된다.

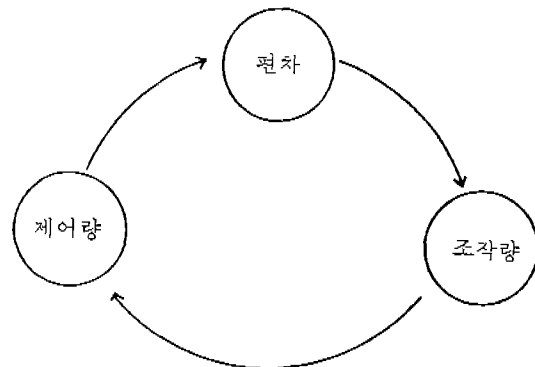
自動制御 시스템은 自動制御 (폐루프 제어), 自動動作 (개루프 제어)의 두 가지 形態로 분류된다.

自動制御系(Closed Loop System) 操作量의 變化로 制御量이 變하며 그 制御量이 檢出裝置에 의해 制御部에 귀환됨으로써 設定値와 비교되고 設定値와의 편차를 영으로 만들기 위해 修整動作信號를 만들어 다시 操作量을 變化시킨다. 즉 制御量을 檢出하여 制御系에 귀환시킨다. 따라서 이와 같은 自動制御系를 Feedback Control System이라 한다.

自動動作(操作)系는 操作後 그 結果가 檢出되지 않는다. 즉 動作하고 나면 다음 공정으로 이동하고 한 주기가 끝나면 보통 정지한다. 따라서 이런 계통을 Open Loop System이라 한다.



〈그림 1〉 제어 루프 블럭 線圖



〈그림 2〉 피드백 제어의 정보경로

## 2. 自動制御系の構成要素

自動制御系の構成要素는 檢出端, 傳送器, 調節器, 操作部, 指示計器, 記錄計, 警報器 등으로構成되어 있다.

### 가. 檢出端

制御에 필요한 모든 情報은 檢出器로 측정되며 이러한 情報의 種類는 다음과 같다.

- 1) 溫度: 熱電帶, 測溫抵抗體, 放射溫度計, 壓力式溫度計
- 2) 壓力: Diaphragm式 Bellow, Bourdon tube式 Strain Gauge
- 3) 液位: 差壓式, 氣泡式, Diaphragm式, Displacement式, Float式, 靜電容量式, 加변공간식, 放射線式
- 4) 流量: 差壓式(Orifice, Flow nozzle, Venturi Tube), 面積式, 電磁式, 超音波式, Turbine式, 容積式
- 5) 分析: 電氣化學式, 光分析式, 電磁氣式, 熱分析式

### 나. 傳送器(Transmitter)

檢出端에서 測定된 制御量을 멀리 떨어진 곳의 調節器나 記錄計 등에 信號를 보내기 위해 불안정한 信號를 標準化되고 安定된 信號를 만들어 傳送한다. 傳送器의 主要機能 信號의 增幅, 標準化傳送, 入力信號의 變換 등이다.

### 다. 調節器(Controller)

調節器는 制御量(Control Point)과 制御의 目標值(Set Point)를 비교하여 그 편차에 대응하는 操作信號를 출력으로 하여 필요한 修整操作을 만든다.

### 라. 操作部

調節器에서 주어진 制御信號를 받아 制御量을 변화시켜 준다. 操作機構로는 Moter, Solenoid, Pneumatic Operator, Hydraulic Actuator 등이 있다.

### 마. 指示計

프로세스의 현재 값(Control Point)을 감시하기 위해 지시계를 사용한다. 지시계기는 현장 지시계기와 원격지시계기로 구분되며 그 지시방법에 따라 아날로그형과 디지털형으로 구분된다.

### 바. 記錄計(Recorder)

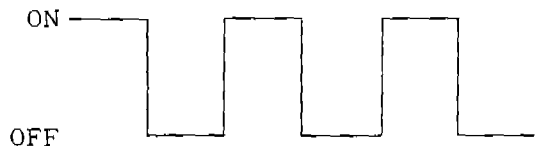
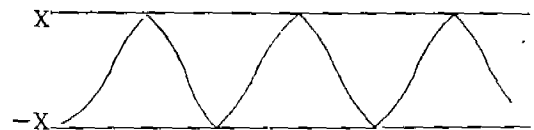
記錄計는 과거에서 현재까지 프로세스의 시간적 변화를 알고자 할 때 또는 기록을 남기고자 할 때 사용된다. 記錄計의 情報은 과거나 현재 상태의 기록으로 현재의 운전상태를 파악하고 미래 상태를 예측할 수 있으며 事故發生時 事故原因의 分析資料 및 發生時期를 예측할 수 있어 豫防補修 및 突發事故防止의 자료로 활용할 수 있다.

記錄計의 種類는 24시간 Circular Chart, Strip Chart, Multi Point Recorder 등이 있다.

### 사. 警報器

自動制御가 행하여지고 있는 系에서 어느 곳의 동작상태나 이상이 생겼을 때 또는 이상의 우려가 있을 때 기기를 보호하기 위하여 운전원에게 이상개소를 알리기 위해 警報를 사용한다.

警報의 種類는 기기의 동작상태를 알리는 情報警報와 이상상태를 알리는 警告警報가 있다. 이러한 경보의 信號는 指示計器, 傳送器, 記錄計 스위치 등에서 온다.



〈그림 3〉 2 위치동작

### 3. 制御의 基本動作

自動制御裝置에서 제어편차가 생겼을 때 이것에 의하여 생긴 동작신호에 대하여 그 편차를 없애게끔 조작량을 넣는 동작을 제어동작이라한다. 制御動作에는 倍率調節計의 종류에 의하여 여러가지 동작이 있지만 일반적으로 다음과 같이 구분된다.

#### 가. 二位置動作 (ON-OFF 制御)

二位置動作은 制御量과 目標值의 편차의 극성에 따라 조작단을 全開 또는 全閉하는 방식이다. ON-OFF 制御에서는 調節器에 히스테리시스를 갖게 하여 중립대를 설정, 동작범위 (2X)를 두는 것이 보통이다. E가 X보다 크거나 -X보다 적은가에 대하여 출력은 ON, OFF로 변하여  $-X < E < X$ 의 범위에서는 불감대가 된다.

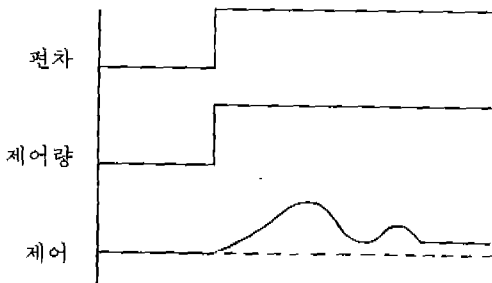
2위치동작에서 얻어지는 제어결과는 振動을 반복하는 Cycling을 유발한다. 따라서 2위치동작에 적합한 시스템은 프로세스의 시정수가 크고 지연시간이나 전달시간이 적은 경우, 즉 용량이 큰 경우이다.

#### 나. 比例制御 (Proportional Action)

比例制御는 操作量이 편차에 비례하여 연속적으로 변화하는 수정동작을 만든다.

$$Y = K_P \cdot Z + Y_0 = \frac{100}{PB} (PV - SP) + Y_0$$

PB (Proportional Band)는 비례대라고 하며 比例動作의 세기(강도)를 나타내는 정수로, 조



〈그림 4〉 비례제어

작단이 전체에서 전개까지 (조절계의 출력의 변화가 0에서 100%까지) 변하는데 요하는 제어 변수의 변화범위를 제기의 전눈금 범위 (Span)의 백분율 (%)로 나타낸 값이다.

比例動作에서는 비례대를 프로세스에 따라 변화시킴으로써 Cycling을 제거할 수 있다. 비례 동작은 조작량이 편차에 비례하여 항상 수요와 공급을 일치시키기 때문에 프로세스의 시정수가 작은 곳에 사용할 수 있다.

그러나  $Y_0$  (편차 0에서의 조절변의 개도)가 일정치 밖에 취할 수 없을 때는 부하의 변화에 따라 정상적인 편차가 남는다. 이와같은 편차를 잔류편차 (OFF Set)라 한다.

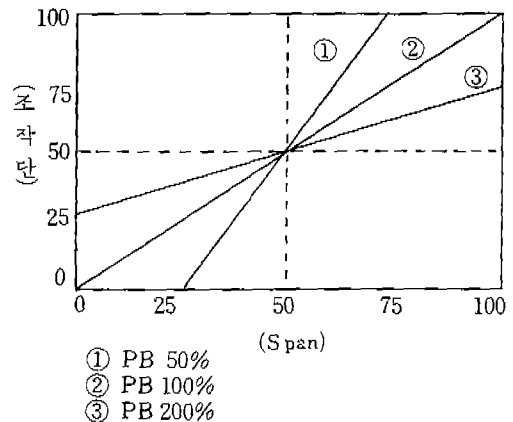
잔류편차는 조절계의 출력을 수동 또는 자동으로 변화시킴으로써 소멸할 수 있고 이것은  $Y_0$ 를 가변으로 하는 것으로 Reset 동작이라 한다.

#### 다. 積分動作 (Integral Action)

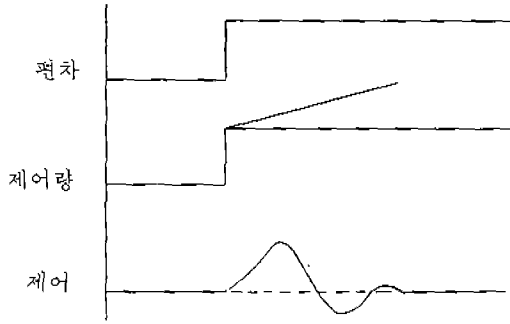
積分制御動作은 조절량이 편차의 시간적분에 비례하는 제어동작이다.

$$Y = K_I \int Z \cdot dt$$

따라서 편차가 존재하는 한 操作量은 변화를 계속하여 편차가 없어지면 안정된다. 고로 적분 제어에서는 잔류편차 (OFF Set)가 없어진다.  $K_I$  (적분계수)는 적분동작의 세기를 나타내는 정수 (적분시간)이다.



〈그림 5〉 비례대와 조작단의 개도



〈그림 6〉 비례적분 제어

적분동작은 잔유편차를 소멸시키는 데는 효과가 있으나 制御의 速應性이 나쁘기 때문에 일반적으로 비례 적분동작을 사용한다.

$$Y = \frac{100}{PB} \cdot Z + \frac{1}{T_i} \int Z \cdot dt + Y_0$$

적분시간( $T_i$ )은 계단상태의 입력에 대한 적분동작의 출력 변화분이 비례동작에 의한 변화분과 같게 되는데 필요한 시간으로 분(또는 초), Reset률, 즉 Repeat Per minute(RPM)로 나타낸다.

비례적분동작은 비례동작으로 프로세스의 수요와 공급을 일치시켜 제어를 안정시키고 적분동작으로 하여금 OFF Set를 소멸시켜 制御變數(Control Point)를 目標值(Set Point)에 일치시킨다.

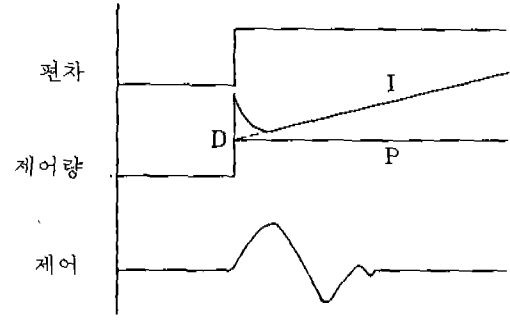
#### 라. 微分制御(Rate Action)

비례적분동작은 현재 또는 과거의 편차에 대하여 조작량을 결정하므로 온도제어계와 같이 시간지연 요소가 큰 프로세스에서는 과도편차가 생기고 긴 정정시간을 요하게 된다. 따라서 비례 적분동작에 미분동작을 가하여 빠른 회복으로 문제점을 해결한다.

미분동작은 편차의 변화속도와 조절단 위치사이에 비례관계를 갖는 동작으로 정의한다.

$$Y = K_D \frac{dz}{dt}$$

微分動作은 편차의 미분(변화속도)에 비례하



〈그림 7〉 비례·미분·적분제어

여 편차가 일어나기 시작할 때 큰 수정동작을 가하게 되므로 좋은 제어결과를 기대할 수 있다.

$K_D$ 는 微分의 세기를 나타내는 정수로 미분시간이라고 한다. 미분동작은 단독으로 사용할 수 없어 비례동작이나 비례적분동작과 조합하여 사용한다.

미분동작에서 制御의 편차가 계단상으로 변화하면  $\frac{dz}{dt} = \infty$ 가 되어 Y(출력)은 무한대의 변화를 한다. 즉 조작단이 전개된다. 따라서 실제의 조절기에서는 미분이득에 상한을 설정한다.

비례·미분·적분제어는 비례 적분동작과 비례 미분동작의 장점을 취하고 결점을 보완한 것으로 적분동작에 의해 OFF Set를 소멸하고 미분동작으로 Over Shoot가 적고 빠른 응답을 만든다.

## 4. 制御方式

제어에서는 시간과 목표치를 항상 일정치로 유지할 수 없다. 따라서 시간과 目標值의 관계에서 다음과 같이 제어방식을 분류한다.

### 가. 定値制御

프로세스 制御에서 가장 널리 사용되는 제어 방식으로, 目標값은 시간에 또는 負荷條件에 관계없이 항상 일정한 값을 가지고 제어하는 방식을 말한다.

나. 追値制御

제어의 目標值의 크기나 위치가 시간이나 負荷條件과 더불어 변화하여 그 값을 제어량이 추종하는 제어방식으로, 다음과 같이 분류된다.

(1) 比率制御

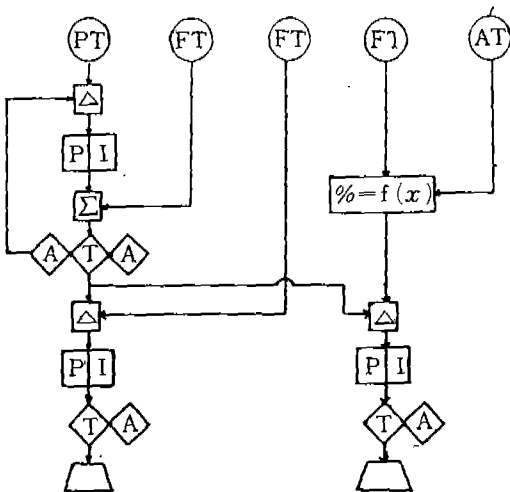
한개의 프로세스의 변수에 대해 다른 프로세스 변수가 항상 일정비율로 추종하는 형태의 제어를 말한다.

(2) 캐스케이드 (Cascade) 制御

캐스케이드 制御는 프로세스 제어에서 가장 널리 사용되는 제어로, 그 종류 및 용도는 매우 다양하다. 이 제어방식은 일차적인 단일 루프에서 목표치에 대한 제어편차의 수정동작에 이차적인 종속제어동작(프로세스의 변수 및 란)을 가함으로써 제어를 개선하는 것이다.

캐스케이드 제어의 利點으로는

- ① 制御時間에 희망하는 제어계수를 갖게 할 수 있고 종속제어량의 변수가 주제어량에 미치는 것을 방지할 수 있다.
- ② 큰 외란이 가해지더라도 제어의 조작량을 정확히 안정범위내로 유지할 수 있다.
- ③ 공급측의 변화나 외란을 유효하게 제어할 수 있다.



〈그림 8〉 主蒸汽 压力制御

④ 지연시간을 감소시켜 제어를 개선한다.

(3) 프로그램 (Program) 制御

목표치가 미리 정해진 시간이나 계획에 따라 변화하는 추치제어를 말한다.

다. 피드포워드 (Feed Forward) 制御

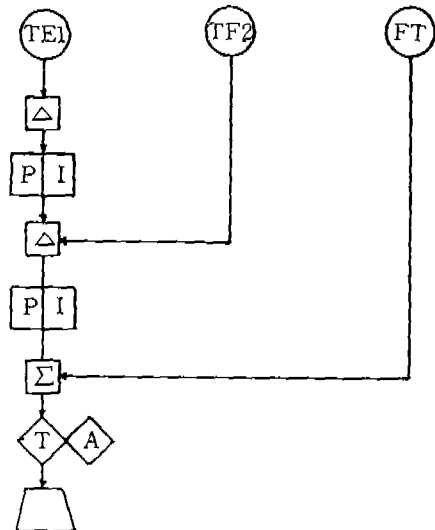
피드백 制御는 제어계에 외란이 미친 다음에 일어나는 결과로 수정동작을 한다. 그러나 피드포워드 制御는 제어계에 미치는 영향, 즉 외란요소를 미리 예측하여 수정동작을 가함으로써 일종의 先行制御로 외란에 대한 프로세스의 특성이 미리 판단되므로 제어를 개선할 수 있다.

5. 보일러 自動制御

보일러의 自動制御는 自然燃焼制御, 自動給水制御 및 自動蒸氣 溫度制御의 세가지로 構成되지만 각각의 제어방식은 보일러의 形式, 容量에 따라서 근본적으로 드럼형 보일러를 Model로 선택하여 설명코자 한다.

가. 主蒸汽 压力制御

드럼형 보일러에서는 燃焼量을 변화시켜 主蒸汽



〈그림 9〉 主蒸汽 溫度制御

汽(壓力)을 제어할 수 있다. 따라서 蒸汽(壓力)을 設定値와 比較하여 편차를 적게 하기 위하여 調節計가 燃料量과 空氣量을 가감한다.

燃料量의 制御는 蒸汽(壓力)을 檢出하여 調節器에서 設定値와 比較하여 편차를 얻고 이 편차를 영으로 만들기 위하여 비례동작으로 需要와 供給을 일치시키고 또 OFF Set를 소멸시키기 위하여 積分動作을 가미하여 얻어진 신호를 調節辨에 보낸다. 그러나 실제로 調節計의 신호에 따라 調節辨이 動作하지 않으면 위험하므로 燃料量을 Feed Back하여 制御回路를 改善한다.

보일러는 容量이 크고 시정수가 크기 때문에 제어가 늦어져 壓力變動이 오래 지속된다. 따라서 제어의 지연을 적게하기 위하여 蒸汽流量을 加算器에 넣어, 燃料量을 調節하여 蒸汽流量 증가로 主蒸汽(壓力)變動을 아주 적게 하는 Feed Forward Control System을 사용한다.

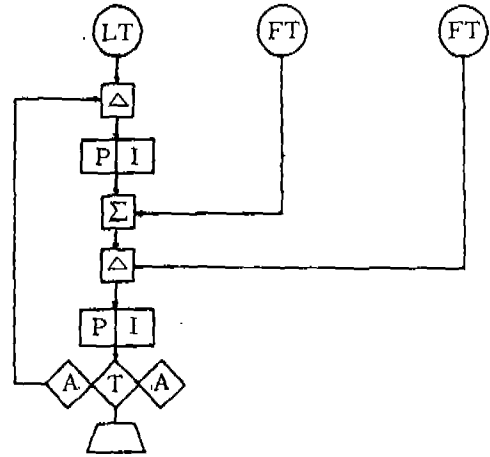
보일러에 供給하고 空氣量은 燃料의 燃燒에 필요한 이른 공기량에 잉여공기량을 더 공급해야 한다. 이와 같은 공기제어는 Feed Back 되는 공기량에 과잉공기율을 계산하여 과잉공기량을 調節하게 된다.

#### 나. 主蒸汽 溫度制御

主蒸汽 溫度制御는 蒸氣溫度를 檢出하여 設定値와 比較하고 이 비교된 편차를 적게 하기 위하여 Spray Water를 사용, 溫度를 내리게 된다.

溫度制御系는 壓力制御系에 비하여 Timelagging이 커서 調節系는 微分要素를 가한 比例積分 微分動作이 필요하다.

그러나 過熱低減器(Desuperheater)에 給水를 Spray해서 過熱器의 出口 증기온도가 변하기까지 시간은 3~5分 정도되기 때문에 충분한 溫度制御가 안되므로 先行要素를 가미하여 制御特性을 改善한다. 즉 制御回路에 過熱低減器 出口 蒸汽溫度의 變化要素를 가미하여 制御特性을 개선하고, 過熱器 蒸汽溫度는 가스량의 변화에 영향을 받으므로 가스량의 신호를 加算器에 넣어



〈그림 10〉 水位制御

수정된 회로를 사용하고 있다.

#### 다. 드럼 水位制御

드럼 수위는 보일러 運轉에서 아주 중요하다. 드럼수위가 높거나 낮아지면 Carry Over현상이나 Tube의 破열현상으로 보일러 Tube나 터빈에 손상을 초래하게 된다.

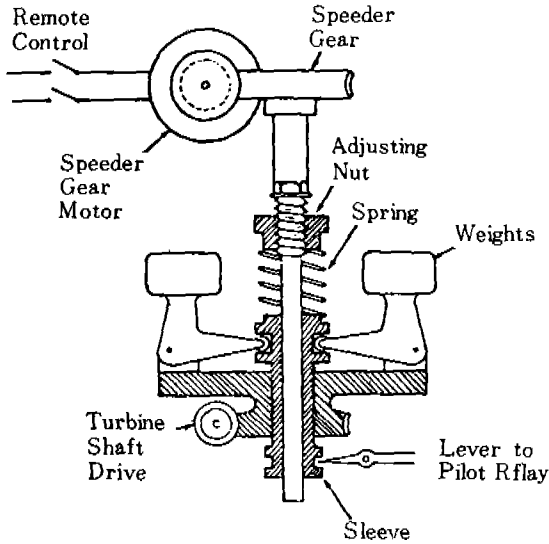
드럼수위의 변동요인은 터빈의 증기소비량이 고려되어 給水量이 일정할 때 蒸汽量이 증가하면 水位가 낮아지게 된다. 따라서 蒸汽流量과 給水流量을 平衡시키도록 보일러 給水量을 調節하고 Reset Signal을 드럼 水位에 의하여 부가시키는 이른바 三要素式이 사용되고 있다.

### 6. 터빈 制御

터빈의 出力은 터빈으로 들어가는 蒸汽量을 가감시켜서 調節할 수 있다. 蒸汽流量은 Control Valve로 調節되고 Control Valve는 Hydraulic Control Gear에 의해 動作되고 Hydraulic Control Gear는 터빈 調速機(Governor)에 의해 動作한다.

調速機의 形態는 다음과 같다.

○ 遠心型調速機(Centrifugal Governor)



〈그림 11〉 원심형 조속기

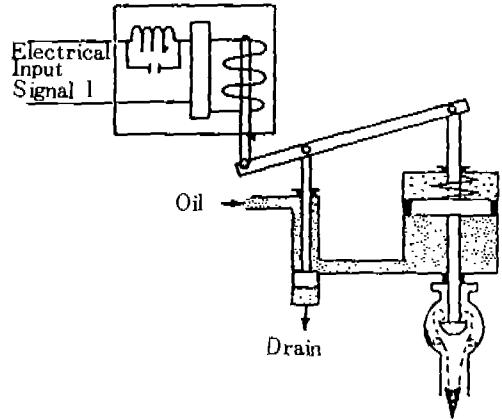
○油压调速機(Oil Pressure Governor)

○電氣式调速機(Electro-Hydraulic Governor)

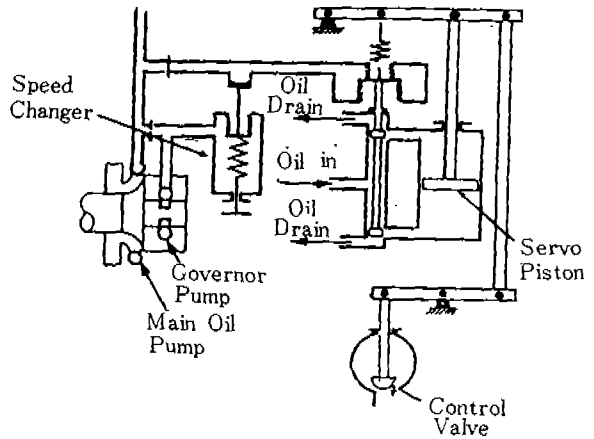
원심형 조속기는 터빈축과 직결되어 있어 터빈의 속도에 따라서 调速機의 Weight에 원심력이 발생되어 Weight는 바깥쪽이나 안쪽으로 움직여 Spring의 팽창력을 이겨 Sleeve의 위치를 조절하고 이로 인하여 Pilot Relay가 動作하여 油压系統을 통하여 터빈 Control Valve를 調節速度를 정상으로 돌아오게 한다.

전기식 유압조속기 (Electro Hydraulic Governor)는 주파수의 변화에 따라 바뀌는 전기적인 회로로 되어 있다. 주파수의 변화에 따라서 Pilot Valve의 Lever가 동작하게 되고 이 동작은 Hydraulic Control Gear에 전달되어 Control Valve를 열거나 닫아서 터빈의 속도를 조정하게 된다. 電氣油压式 Governor의 또 다른 형태로 터빈 回轉速度의 변화를 자기신호(Magnetic Sensor)로 변화시켜 이용하는 것도 있다.

油压 调速機(Oil Pressure Governor)는 터빈축에 Governor Pump가 부착되어 터빈의 速度變化를 Governor Pump 出口压力의 변화로



〈그림 12〉 전기식 유압조속기



〈그림 13〉 Oil Pressure Governor

檢出, Servo Motor Piston의 油压을 變化시켜 터빈 속도를 조절한다.

이 외에 속도 증가율이 정해진 한계를 초과할 때 동작하는 加速度 调速機 (Acceleration Governor), Control Valve가 어떤 위치 이상으로 열리지 않도록 하는 負荷制限裝置 (Load Limiter) 蒸汽压力이 급격히 떨어질 때 터빈의 손상을 방지하기 위한 Initial Pressure Regulator 및 Low Vacuum Deluader가 있다.

## 7. 發電設備의 保護

## 가. 保護의 目的

發電所事故는 外部事故, 기기設備事故, 運轉誤操作 등으로 대별할 수 있고 이로부터 發電設備를 保護해야 한다.

外部事故는 防止할 수는 없어도 그 영향으로부터 設備를 최대한 保護할 수 있는 조치를 취해야 한다.

기기設備事故는 기기故障로 일어나고 기기故障는 故障原因이 수반되어 運轉될 때 일어난다.

또 적정한 절차에 의하지 않고 機器를 起動, 運轉하게 되면 事故의 原因을 가져오게 된다. 이와 같은 것은 運動裝置(Interlock)를 삽입하여 방지할 수 있다.

모든 設備는 運轉의 편의를 도모하고 事故發生의 可能性을 줄이기 위하여 自動制御가 취해짐으로써 操作順序가 엄격히 지켜져 事故의 가능성은 더욱 줄어든다.

비정상 상태가 생기게 되면 警報裝置가 위험 상태를 警告하고 이 상태가 계속 진행되면 保護裝置가 動作하여 Unit를 정지시킨다.

또 어떤 設備의 材質에 設計值 이상의 과도한 힘을 받으면 위험한 상태라고 볼 수 있다. 이 위험한 상태는 機械的原因, 壓力, 溫度, 化學的原因 등으로 일어날 수 있다.

## 나. 機械의 保護

機械적인 條件에 의해 일어나는 設備事故는 物理적인 位置의 비정상, 機械의 過速, 機械의 振動 그리고 材質의 不良 등의 物理的 條件으로 일어난다.

非定常位置는 Limit Switch를 設置하여 位置와 狀態(Position, Level, Flow)를 檢出하여 機械의 位置를 制御하고 지시하여 警報를 내든지 回路를 Trip시켜 준다.

機械의 過速은 過速에 의한 遠心力으로 回轉部가 損傷될 수가 있으므로 過速 Trip裝置가 이를 防化한다. 이 裝置는 축과 함께 회전하는 원

심 Bolt나 Ring이 遠心力作用으로 定格值의 10% 이상 超速되면 器機를 Trip시킨다.

機械振動은 回轉器機에 振動이 發生되면 機械의 各部가 이완되어 器機損傷을 초래한다. 그래서 主要기기의 各 베어링에 진동측정장치를 설치하여 振動이 한계치 이상으로 되면 警報 혹은 器機를 Trip시킨다.

破損 材質上의 문제로 일어나는 破損事故는 주로 부적당한 設計材質不良, 運轉條件不良, 機械的 疲勞 등에 기인하여 발생된다.

## 다. 壓力保護

材料上의 破損事故는 壓力에 의해서도 발생할 수 있다. 파이프나 용기내의 유체壓力이 設計值 이상 상승하면 파열되는 사고가 발생할 수 있다. 壓力이 과도하게 상승하는 原因을 보면

- 보일러의 과잉연소
- 급작스런 부하상실
- 보조증기계통 조정변 고장
- 공기 압축기의 Deloader 고장
- 용적식 펌프의 토출변 고장

등을 들 수 있다.

과도한 壓力상승에 대한 保護裝置로는 安全弁을 설치하고 壓力 스위치를 설치하여 警報를 취명하거나 Trip裝置를 동작시켜 과도한 壓力으로부터 기기를 保護한다. 또 壓力 스위치는 指示, 信號, 警報용으로 發電所의 여러 곳에 사용되며 밸브의 제어 및 보조기기의 기동에는 많이 쓰인다.

## 라. 溫度保護

높은 溫度는 材料를 녹게 하거나 그 強度를 크게 떨어뜨린다. 따라서 溫度가 높게 되면 용기나 기기를 파열시키는 결과를 초래하고 따라서 材料는 그것이 견딜 수 있는 最高 溫度限界가 정해져 있다.

또 電氣的 事故時 大電流가 흐르면 溫度가 상승하여 絶緣이 파괴되어 導體가 소손·붕괴될 수 있다. 이 외에 溫度가 상승하는 原因을 보면