

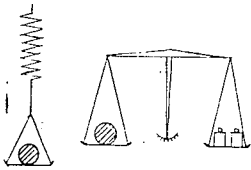
《解 說》

溫度計測과 制御(2)

崔 泓 基 · 李 吉 洙

3-1. 工業計器의 計測原理

(1) 偏位法과 零位法



第1圖 偏位法(左)와 零位法(右)

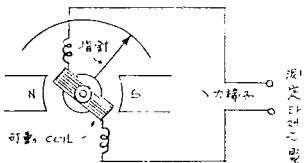
一般적으로 測定의 方法으로 偏位法과 零位法이 있다. 왼쪽그림처럼 용수철저울과 천평의 예를 들어 설명하면 용수철저울에 의한 무게의 測定에서는 物體를 달아 매면 용수철이 늘어나므로(變位) 이때의 變位를 읽는다. 한편 천평에 의한 測定에서는 천평이 균형을 유지하여 지침이 零을 가리키도록 추의 무게를 조절한다.

이 指針은 단순히 平衡을 이루고 있는가 그렇지 않는가를 알기 위한 것이고 物體의 重量을 알 수는 없다. 物體의 重量은 平衡된 추의 무게를 읽음에 의하여 알 수 있다. 용수철저울처럼 直接變位를 測定하는 것을 偏位法, 또 천평처럼 측정하려는

量을 다른 量으로 平衡시켜 間接的으로 測定하는 方法을 零位法이라고 한다.

偏位法은 計器의 精度에 의해 좌우되지만 零位法은 基準이 되는 量을 미리 정확히 알고난 뒤에 平衡點을 찾게 되는데 一般적으로 偏位法보다 精度가 좋은 測定을 할 수 있다.

(2) 偏位法에 의한 例(電流計)



第2圖 可動 COIL 形 電流計 原理圖

偏位法에 의한 計器의 例로는 實驗室이나 配電盤등에 널리 쓰이는 可動 COIL 形의 電流計나 電壓計가 있다. 왼쪽그림은 그 원리를 표시한 것이다. 磁界의 가운데 설치된 COIL(可動 COIL)에 電流를 흐르게 하면 電流의 크기에 比例하여 COIL이 回轉한다. 그러면 COIL의 축에 설치된 指針이 움직여 이때의 電流值를 표시하도록 되어 있다.

(3) 零位法에 의한 例(電位差計)

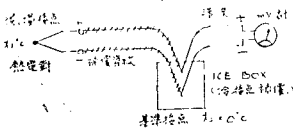
다음에 零位法에 의한 計器의 例로는 左편 그림의 電位差計가 있다. 測定하려는 電壓 e 를 그림처럼 接續하여 SLIDE 抵抗 R 의 양단에 定電壓 E 를 걸어준다. SLIDE 抵抗의 可動點을 움직여 檢流計 G 의 針이 움직이지 않는 點을 읽는다. 이點에서는 被測定部 $a-b$ 間에 電流가 전혀 흐르지 않기 때문에 $I_0=0$ 로 된다.

그러므로 $I=I_1 \dots \dots \textcircled{1}$ 또 $I = \frac{E}{R}$, $I_1 = \frac{e}{R_1}$ 이므로 $\textcircled{1}$ 식은

$$I = I_1 = \frac{E}{R} = \frac{e}{R_1} \dots \dots \textcircled{2} \quad \therefore e = \frac{R_1}{R} E \dots \dots \textcircled{3}$$

여기서 $\frac{R_1}{R}$ 은 SLIDE 抵抗에 눈금을 표시함으로써 정확히 알 수 있다. $\textcircled{3}$ 式에서 이 電位差計에 의한 측정법은 피 측정측의 저항 R_0 의 영향을 전혀 받지 않음을 알 수 있다. 이것은 配線이 길어지는 遠隔測定에 유리하다.

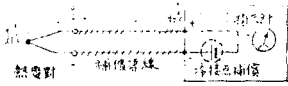
3-2. 溫度調節計의 原理-1. 熱電對入力



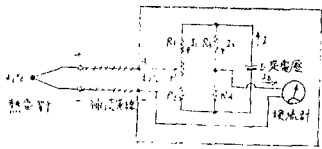
第1圖 熱電對에 의한 溫度測定

(1) 偏位法에 의한 溫度測定

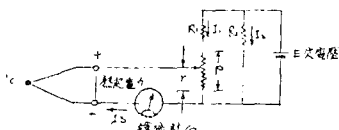
熱電對로서 간단하게 溫度를 測定하는 것은 第1圖처럼 ICE BOX 등으로 基準接點(冷接點)을 0°C로 하여 mV計로 測溫接點(溫接點) t_1 °C 때의 熱起電力을 읽는다. 그래서 熱起電力表에 의해 溫度를 알 수 있다. 지금 第2圖처럼 ICE BOX 대신 電氣的으로 起電力을 가하여 基準接點의 溫度 t_2 °C에 의한 誤差를 補正하였다. 또



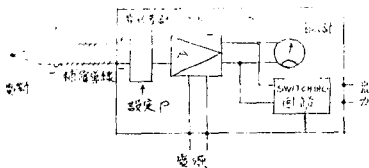
第2圖



第3圖 電位差計原理圖 (電流計回路)



第4圖 電位差計回路에 의한 溫度測定



第5圖 溫度指示調節計의 BLOCK DIAGRAM

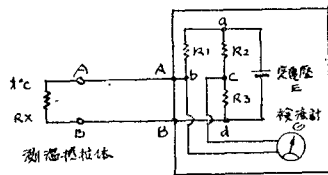
3-3. 溫度調節計의 原理-2. 測溫抵抗體入力

(1) 偏位法에 의한 溫度測定



第1圖 測溫抵抗體에 의한 溫度測定

(2) 零位法에 의한 溫度測定



第2圖 溫度指示計原理圖 (WHEATSTONE BRIDGE 回路)

mV 計의 눈금을 온도로 표시하면 간단한 熱電對用的 溫度計가 될 수 있다

(2) 零位法에 의한 溫度測定

第3圖에 電位差計를 설치한 溫度指示計의 原理圖를 표시했다. 이것은 零位法에 의한 測定法이다. E 는 定電壓電源, R_4 는 電氣的인 冷接點補償역할을 하는 抵抗이다. 計器의 周圍溫度 t_2 가 變化하면 R_4 의 抵抗值도 比例하여 變化한다:

R_2 는 $t_2=0^\circ C$ 일때 R_4 에 의한 電壓降下를 없애는 抵抗이다.

R_1, R_3 는 각각 R_2, R_4 에 흐르는 電流 I_1, I_2 를 調整한다.

P 는 POTENTIO(可變抵抗器)로 檢流計 G 에 흐르는 電流 I_3 를 調整하기 위한 것이다. 지금 $t_2=0^\circ C$ 일때를 생각하면 R_4 에 의한 電壓降下 $I_2 \cdot R_4$ (冷接點補償)는 R_2 에 의한 電壓降下 $I_1 \cdot R_2$ 로 지워진다. 그래서 第3圖의 回路는 第4圖처럼 간단히 된다.

檢流計 G 에 흐르는 電流 I_3 가 ZERO로 되도록 POTENTIO P 의 可動點을 움직인다. 이때 $E=I_1(R_1+P)$ 이므로 熱電對에 의한 熱起電力은

$e=I_1 \cdot r = \frac{r}{R_1+P} E$ 로 구해진다. $\frac{r}{R_1+P} E$ 를 POTENTIO P 에 눈금을 표시함으로 잘 알 수 있으나 이것을 溫度로 환산하여 눈금으로 표시하면 $t_1^\circ C$ 의 溫度를 읽을 수 있다.

(3) 溫度調節計의 原理

第5圖의 溫度指示調節計의 BLOCK DIAGRAM을 표시한다. 第3圖의 電位差計回路의 出力은 直接檢流計에 넣어 PREAMP로 信號增幅을 한다. 그래서 增幅된 信號로 溫度指示計를 움직임과 同時에 SWITCHING 回路를 動作시켜 出力 RELAY를 ON-OFF시킨다. 그래서 이 ON-OFF 接點信號로 操作器를 驅動시킨다.

白金이나 니켈 등의 測溫抵抗體는 溫度가 높아지면 抵抗值가 增加하므로 測溫 抵抗體의 抵抗值를 測定하면 抵抗值表에 의하여 그때의 溫度를 알 수 있다. 例로는 JIS $P_1, 100\Omega$ 은 $0^\circ C$ 때에 抵抗值가 100Ω 이다. 그런데 溫度가 $1^\circ C$ 上昇함에 따라 約 0.4Ω 씩 抵抗值가 增加한다.

지금 $t^\circ C$ 때 抵抗值가 110Ω 으로 됐다면 溫度는 約 $25^\circ C$ 가 된다는 것을 알 수 있다.

第2圖에 WHEATSTONE BRIDGE를 사용한 溫度指示計의 原理圖를 나타낸다.

지금 測溫抵抗體 R_x 를 JIS $R_1, 100\Omega$ 로 하면 $0^\circ C$ 때에 100Ω 이 된다.

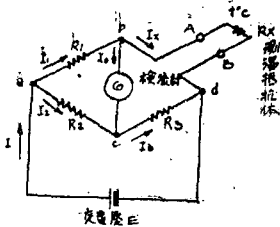
또 BRIDGE의 각변의 抵抗 R_1, R_2, R_3 는 $0^\circ C$ 때 이 BRIDGE가 BALANCE 되도록 선택한다

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot 100 \dots\dots\dots ①$$

$$(R_x = 100\Omega \text{ AT } 0^\circ C)$$

이때 b 와 c 의 電位는 같기 때문에 檢流計 e 에 흐르는 電流는 $I_0=0$ 이다. 여기서 溫度가 $0^\circ C$ 보다 높아지면 $R_x > 100\Omega$ 으로 되므로 ①式은

$$R_1 \cdot R_3 < R_2 \cdot R_x \dots\dots\dots ② \text{로 된다.}$$



第3圖 WHEATSTONE BRIDGE

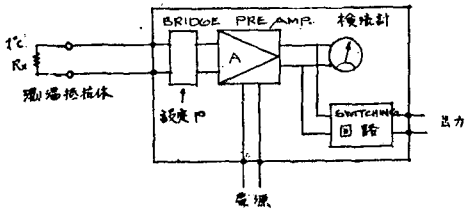
그래서 b 의 電位가 c 의 電位보다 높게되어 I_0 는 b 에서 c 로 흐른다. 그래서 檢流計 G 의 針은 +側으로 움직인다.

이 檢流計를 電流值 대 溫度로 눈금을 표시해두면 이때의 溫度 $t^\circ\text{C}$ 를 알 수 있다.

(3) 溫度調節計의 原理

第2圖 또는 第3圖에 있는 R_3 를 設定用 POTENTIO(可變抵抗器)라 하며, BRIDGE의 出力을 直接檢流計에 넣어 PREAMP로 信號를 增幅한다. 이 PREAMP 出力으로 溫度指示計를 움직이던 또 SWITCHING 回路로 出力 RELAY를 ON-OFF 시킨다.

第4圖에 溫度指示調節計의 BLOCK DIAGRAM을 표시한다.



第4圖 溫度指示調節計의 BLOCK DIAGRAM (RTD 式)

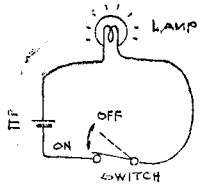
4-1. 制御動作과 溫度調節計

制 御 動 作	溫度調節計 出力	溫度調節計와 組合되는 操作器	制 御 對 象
二 位 置 制 御 (ON-OFF 制御)	SPDT RELAY 接點	電 磁 開 閉 器 (RELAY)	電 氣 HEATER (電氣 HEATER)
		電 磁 瓣	水, 水蒸氣, GAS 重油 등의 流體
時 間 比 例 制 御	SPDT RELAY 接點	電 磁 開 閉 器 (RELAY)	電 氣 HEATER (電氣 HEATER)
	TRIGGER PULSE (無接點)	SCR DRIVE AMP	
二 段 二 位 置 制 御	SPDT+SPDT RELAY 接點	電 磁 開 閉 器 (RELAY)	電 氣 HEATER (電氣 HEATER)
	SPST+SPST	電 磁 弁	水, 水蒸氣, GAS 重油 등의 流體
位 置 比 例 制 御 (PI 動作)	SPST+SPST RELAY 接點	電 動 操 作 器 電動調節瓣	水, 水蒸氣, GAS 重油 등의 流體
位 置 比 例 制 御 (PID 動作)			
電 流 出 力 (PID 制御)	DC4~20mA	空 氣 式 調 節 瓣 {AIR-O-MOTOR G.O-MOTOR	水, 水蒸氣, GAS 重油 등의 流體
電 流 出 力 PID+HIGH·LOW LIMIT	DC4~20mA LIMIT 出力은 SPST+SPST RELAY 接點		

4-2. 二位置(ON-OFF)制御

(1) ON-OFF 動作이란

ON-OFF 動作은 우리들 주위에 대단히 많다. 예로는 家庭用電氣의 SWITCH를 넣었다(ON) 끊었다(OFF)하는



第1圖 ON-OFF 電

것도 一種의 ON-OFF 動作이다. 그러나 여기에서 ON-OFF 動作이라고 하는 것은 사람의 손을 빌리지 않고 행하는 것으로 電熱器처럼 熱이 높아지면 自動的으로 끊기고 또 차가워지면 自動的으로 넣어지는 것을 말한다.

電熱器 HEATER 가 ON-OFF 되는 動作도 實際는 第3圖처럼 ON-OFF 의 領域은 OVER LAP 하는 것이 普通으로 이것을 DIFFERENTIAL 이라고 한다.

(2) ON-OFF 의 制御結果

HEATER 의 ON-OFF 制御를 例로 들면 制御結果는 第4圖처럼 設定値에 도달하면 A에서 HEATER 는 끊어져 溫度가 내려가고 設定値보다 낮게 내려가면 B에서 HEATER 는 넣어진다. 이런 동작으로 制御結果는 그림의 點線처럼 HEATER ON 의 點과 OFF 의 點의 사이에 있게 된다.

그러나 實際는 그림의 實線처럼 檢出端의 檢出지연이나 裝置의 熱傳達지연, 熱容量에 의한 영향등에 의해 HEATER 가 OFF 되는 위치에 갔어도 일시적으로 溫度上昇이 계속되고 또 溫度가 내려가 ON 되는 위치에 갔어도 일시적으로 溫度下降이 계속 되는 것이 보통이다.

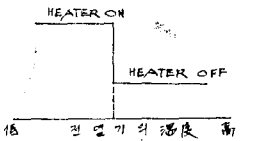
여기서 設定値를 上廻하는 것을 OVERSHOOT, 設定値를 下廻하는 것을 UNDERSHOOT, 또 그림처럼 制御結果가 파동하는 것을 CYCLING 이라고 한다. 특히 CYCLING 이 커서 制御가 좋지 않은 것을 HUNTING 이라고 한다.

(3) 實際의 ON-OFF 制御

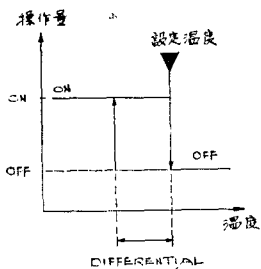
普通電熱器의 HEATER 는 BIMETAL 등을 使用하여 ON-OFF 制御를 하고 있다. 工業用에는 可動 COIL 發振式이나 電子式의 溫度調節計를 使用하여 RELAY 接點을 開閉시켜 電氣 HEATER 나 電磁瓣을 ON-OFF 制御한다.

DIFFERENTIAL 의 設定은 좁게 設定하는 경우 빈번히 ON-OFF 動作을 반복하므로 一般的으로 制御性은 좋게 된다. 그러나 너무 좁게 設定하면 電磁閉閉器나 電磁瓣의 수명이 짧게 되므로 주의할 必要가 있다.

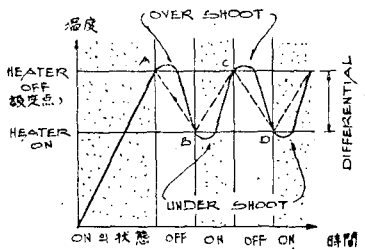
負荷에 對하여 電氣HEATER 의 容量이 큰 경우 또 電磁瓣의 口徑이 큰 경우는 HUNTING 할 염려가 있으므로 DIFFERENTIAL 은 넓을 필요가 있다.



第2圖 點線의 HEATER



第3圖 DIFFERENTIAL



第4圖

4-3. 時間比例制御(TIME PROPORTIONING)

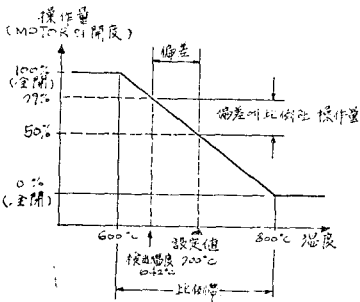
(1) 時間比例制御란

時間比例制御란 一種의 ON-OFF 制御이다. 設定値를 中心으로 한 比例帶의 안에서 ON 과 OFF 의 時間의 長이를 偏差에 比例시켜 바꾸어 준다.

지금 CYCLE TIME(ON 과 OFF 의 1CYCLE 의 時間)을 10秒로 한다면 比例帶보다 낮은 溫度範圍에서는 항상 ON 의 狀態로 되어 있다. 또 比例帶보다 높은 溫度範圍에서는 항상 OFF 의 狀態로 되어 있다.

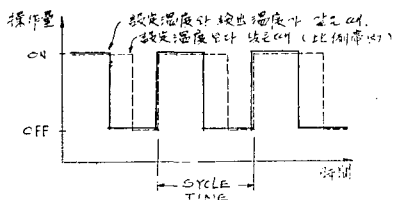
比例帶內에서는 ON 과 OFF 의 時間비율을 변화시키므로 例로 設定溫度보다 낮은 경우는 ON 時間이 7秒, OFF 時間이 3秒가 되는 것처럼 ON 의 시간이 길어진다.

制御溫度(엄밀히는 檢出溫度)가 設定溫度에 도달하면 ON 의 時間도 OFF 의 時間도 5秒로 같게 된다.

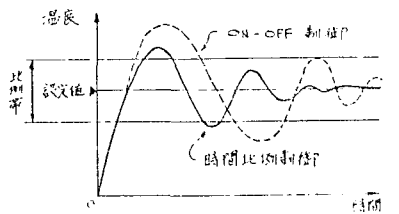


第1圖 時間比例制御란

실제의(검출)온도	操 作 量	
비례대보다 낮은 온도	항상 ON	
비례대내	설정치보다낮은때	ON이 길고 OFF가 짧다
	설 定 치	ON과 OFF 시간이 같다
	설정치보다높은때	ON이 짧고 OFF가 길다
비례대보다 높은 온도	항상 OFF	



第2圖 時間比例制御의 制御狀態



第3圖 ON-OFF와 時間比例의 制御結果

(2) 時間比例의 制御結果

여기서 時間比例의 制御結果를 ON-OFF의 制御結果와 比較해 보자: 電氣 HEATER에 의한 制御結果를 생각해 보면 ON-OFF 制御의 경우 HEATER는 ON點과 OFF點(設定點)에서 바뀌기 때문에 자연스럽게 檢出지연 등에 의하여 OVER SHOOTING이 많아진다.

여기에 比하여 時間比例는 比例帶內에서 偏差에 比例하여 ON과 OFF의 時間比率를 變化시켜 행하므로 ON-OFF 制御에 比하여 OVERSHOOTING이 작아진다.

(3) 實際의 時間比例制御

時間比例制御는 電氣 HEATER의 制御에 쓰인다. 一般의 比例帶는 좁게 하면 ON-OFF 制御에 가까워져 制御結果는 나쁘게 된다. 比例帶를 넓게 하면 制御는 安定하나 OFFSET(계속되는 設定溫度와 制御溫度의 차이. 比例帶의 밖에서는 나타나지 않는다)가 있는 경우는 이것이 커지게 된다.

또 CYCLING을 짧게 하는 경우는 制御結果는 좋게 되나 電磁開閉器의 수명이 짧게 된다.

4-4. 二段二位群制御

(1) 二段二位置制御란

二段二位置란 二位置制御가 2段 있어 각각 別個로 制御할 수 있는 것을 말한다.

지금 5kw의 HEATER를 使用하여 水槽의 溫度를 70°C로 制御하는 경우를 생각해 보자. 第1圖처럼 ON-OFF 動作의 調節計로 70°C에 設定하면 水温이 70°C로 될때까지 HEATER는 ON으로 되어 있다.

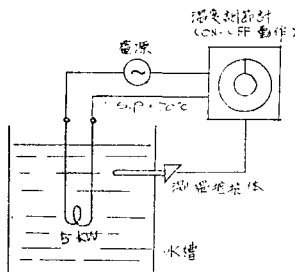
그러나 實際로는 測溫抵抗體檢出 지연이 있고 HEATER의 熱容量도 크기 때문에 큰 OVERSHOOT가 생긴다.

또 HEATER가 OFF되어 溫度가 70°C 이하로 내려가도 마찬가지로 檢出지연이 있기 때문에 큰 UNDERSHOOT가 생긴다. 그래서 이 OVERSHOOT나 UNDERSHOOT를 작게 하기 위하여 第2圖처럼 二段二位置의 調節計를 使用하여 HEATER도 4kw와 1kw의 2段을 두어 각각 別個로 制御한다.

먼저 第1設定 SP₁을 70°C에 設定하고 1kw의 HEATER를 制御한다. 第2設定 SP₂는 60°C에 設定하여 4kw의 HEATER를 制御한다.

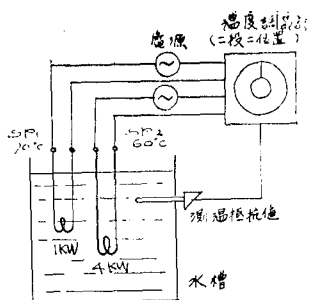
그리하여 60°C까지는 4kw와 1kw(總容量 5kw)의 HEATER가 ON으로 되지만 60°C를 넘으면 4kw의 HEATER가 OFF되고 1kw의 HEATER만이 ON되어 있다.

당연히 5kw의 HEATER로 制御하고 있는 경우보다 HEATER의 용량이 작



第2圖 ON-OFF에 의한 水槽의 溫度制御.

溫度計測과 制御(2)



第2圖 二段二位置에 의한 水槽의 溫度計測

기 때문에 溫度上昇은 지금까지보다 적게 된다.

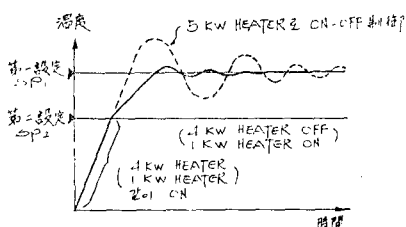
水溫이 70°C에 도달해도 OVERSHOOT, UNDERSHOOT는 작은만큼 安定된 制御를 하게 된다.

이 경우 最初부터 1kw의 HEATER만으로 制御하며는 70°C에 도달하기까지의 安定性은 좋게 되겠지만 70°C에 도달하기까지의 時間이 상당히 오래 걸린다.

(2) 實際의 二段二位置制御

二段二位置制御는 위의 例에서처럼 HEATER 등을 二段으로 나누어 制御하는 것 외에 第2設定을 警報用으로 使用하는 것도 可能하다. 例로는 第1設定으로 電磁瓣을 驅動하여 GAS 爐를 700°C로 制御하고 싶을때 電磁瓣의 故障等으로 800°C 以上으로 되면 危險하므로 第2設定을 800°C로 設定하여 上限警報로 使用하는것 같은 경우이다. 물론 下限警報로 使用하는 것도 可能하다.

그러나 一般的으로는 警報用은 別도의 計器를 使用하는 것이 바람직하다.



第3圖 二段二位置制御의 制御結果
 實線) 1kW HEATER 及 4kW HEATER 之 二段二位置制御
 { 第1設定: 1kW HEATER 制御
 第2設定: 4kW HEATER 制御
 (點線) 5kW HEATER 之 ON-OFF 制御.

4-5. 位置比例制御 (POSITION PROPORTIONING)

(1) 位置比例制御란

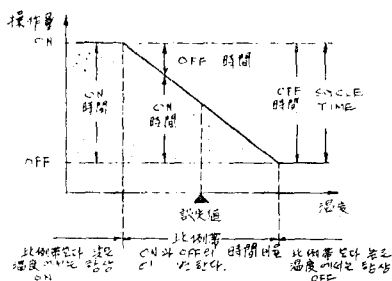
檢出溫度와 設定溫度의 差(偏差)에 比例된 操作量을 움직이는 制御動作 二位置制御에서는 이 偏差가 PLUS 이진 MINUS 이진 결국은 實際의 溫度가 設定值보다 크나 작으나 亂을 問題로 하고 偏差의 크기는 問題로 하지 않지만 位置比例制御는 偏差의 PLUS, MINUS 와 같이, 그 크기에 의해 操作量의 움직이는 방향과 크기가 변화한다.

位置比例制御의 調節計는 135Ω의 FEEDBACK 抵抗을 가진 MOTOR 와 組合되어 調節瓣이나 DAMPER 를 比例制御한다. 調節計의 信號에 의해 MOTOR 는 회전하고 이 회전位置는 MOTOR 의 FEEDBACK 抵抗에 의해 調節計에 FEEDBACK 된다.

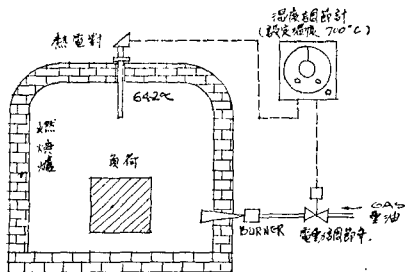
지금 位置比例制御의 調節器로 電動調節瓣(MOTOR + 弁 LINKAGE + 調節瓣)을 閉開하여 重油나 GAS 燃燒爐의 制御를 하는 경우를 생각한다.

設定溫度는 700°C, 比例帶는 設定 ±100°C (600~800°C)의 範圍로 하면 熱電對에 의한 檢出溫度가 比例帶보다 낮은 때는 MOTOR 의 開度는 100% (全開)로 되어 있다. 600°C 以上이 되어 比例帶內에 들어가면 偏差에 比例된 操作量을 움직인다.

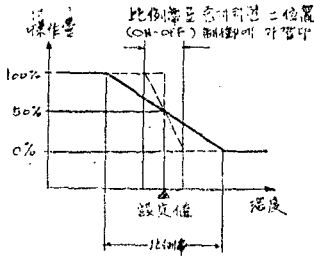
예로 檢出溫度가 642°C 때 MOTOR 의 開度는 79%이다. 設定溫度에 도달하여 偏差가 없어지면 開度는 50%로 된다. 다시금 設定溫度를 넘어 높아지면 MOTOR 는 서서히 닫혀서 800°C 以上이 되면 開度가 0% (全閉)로 된다. 여기서 比例帶라고 하는 것은 操作量이 0~100%까지 變化하는 範圍이다.



第1圖 時間比例制御란.



第2圖 燃燒爐의 制御例



第 3 圖 位置比例制御와 二位置制御의 比較

(3) DEAD ZONE (不感帶) 의 設法

DEAD ZONE 이란 入力이 變化해도 計器가 動作하지 않는 範圍로 操作器(MOTOR)의 경우 開에서 閉로, 또는 閉에서 開로 움직이는데 必要한 入力の 變化分이다. DEAD ZONE 은 좁게 하면 작은 溫度變化에 대하여 操作器가 움직이므로 制御感度は 높아진다. 그러나 너무 좁게 되면 HUNTING 할 罣려가 있다. DEAD ZONE 은 HUNTING 하지 않을 정도로 넓게 한다.

4-6. OFFSET (殘留偏差)

(2) 二位置 (ON-OFF) 制御와의 比較

二位置制御에서는 設定値를 경계로하여 ON, OFF 하여 결국은 100% 또는 0%중 어느쪽의 操作量밖에 취하지 못한다. 그러나 位置比例制御에서는 比例帶內에서 偏差에 比例하여 操作量이 0~100%까지 連續的으로 變化한다. 또 比例帶의 幅을 바꿈으로 同一偏差에 대한 操作量을 자유롭게 變化시킨다. 比例帶는 너무 좁게 하면 二位置制御에 가깝게 된다. 약간의 溫度變化에 비하여 操作量이 크게 변하는 CYCLING 이 돼버린다.

比例帶는 넓게 하면 偏差의 減少가 완만하게 되어 制御는 安定된다. 다만 OFFSET (殘留偏差)가 있는 경우는 이것이 크게 된다.

(1) OFFSET 란

○ OFFSET 는 殘留偏差라고도 말해지며 設定溫度와 制御溫度의 차(偏差)가 一定한 値로 계속하는 것이다. 時間比例나 位置比例로 制御를 하는 경우에 負荷의 變動이나 裝置의 特性에 의해 나타난다.

(2) OFFSET 가 나타나는 理由

○ 第1圖와 같은 燃燒爐의 制御에서 調節瓣을 全開시키면 T時間 後에 1300°C 까지 上昇하여 安定한다고 하자. 또 이點에서 調節瓣을 全閉시키면 같은 T時間 後에 0°C로 된다고 하자.

○ 이때 0~1300°C 의 中間 650°C 에 設定한 경우 單位時間 Δt 동안 얻은 熱量 α 와 잃은 熱量 β 는 같게 된다. 결국 單位時間 Δt 동안 α 만큼 溫度가 上昇하고 β 만큼 下降한다.

○ 이때처럼 單位時間에 얻은 熱量과 잃은 熱量이 같은 때에는 OFFSET 는 생기지 않는다.

○ 다음은 같은 裝置에서 第3圖처럼 800°C 에 設定했다고 하자. 그러면 單位時間 Δt 동안 얻은 熱量 γ 와 잃은 熱量 δ 를 비교하면 δ 의 편이 큰 것을 알 수 있다.

○ 이때에는 OFFSET 는 設定値보다 밑에서 나타난다.

○ 거꾸로 650°C 以下로 設定하면 OFFSET 는 設定値보다 위에 나타난다.

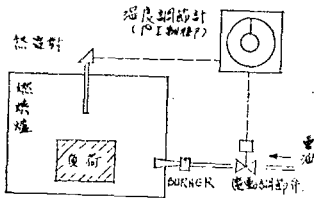
(3) 負荷變動에 의한 影響

○ 그런데 이 燃燒爐의 負荷의 量을 增減한다면 어떻게 될까? 지금 設定은 650°C 로 하고 負荷의 量을 增加시키는 경우 이 負荷에 의하여 요구되는 熱量은 당연히 增加한다.

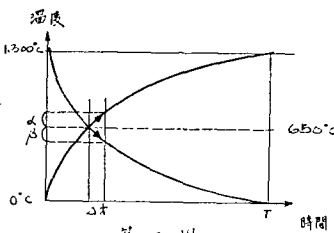
○ 그러므로 調節瓣을 全開로 하여도 1300°C 로는 되지 않는다.

○ T' 時間後에 1200°C 까지 上昇하여 安定하였다고 한다면 第4圖처럼 單位時間에 얻는 熱量 α' 보다 잃은 熱量 β' 편이 크게 된다.

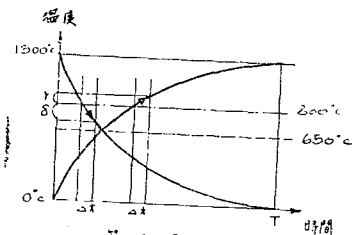
○ 그러므로 지금까지 OFFSET 가 생기고 있지 않았어도 負荷의 量이 增加함에 따라 設定値보다 낮은 OFFSET 가 생긴다.



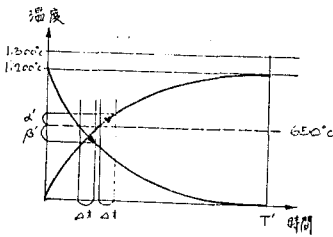
第 1 圖 燃燒爐의 制御.



第 2 圖



第 3 圖



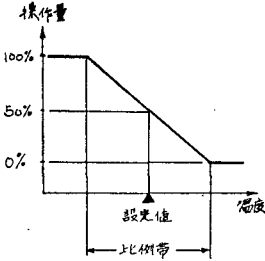
第 4 圖

- 負荷의 量이 減少한 경우에는 꺼꾸로 OFFSET가 設定値보다 높게 나타난다.
- OFFSET는 比例帶의 밖에서는 생기지 않는다. 比例帶보다 낮은 溫度範圍에서는 調節瓣은 全開되므로 溫度는 上昇하고 比例帶보다 높은 溫度範圍에서는 調節瓣은 全閉되므로 溫度는 下降한다.

4-7. PID 制御 (THREE MODE PROPORTIONING)

(1) P 動作

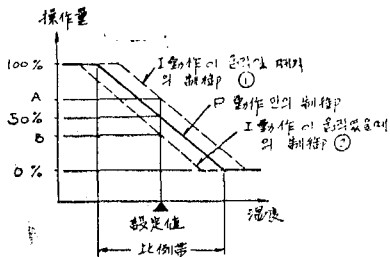
- P 動作이란 比例動作 (PROPORTIONING)으로 比例帶內에서 偏差에 比例된 操作量이 움직이는 動作이다.
- 設定溫度에 對하여 偏差가 없게된 때는 항상 50%의 操作量이 움직인다.



第 1 圖 P 動作에 의한 制御

(2) I 動作

- I 動作은 積分動作 (INTEGRAL) 또는 RESET 動作이라고 불리우며 OFFSET가 나타나는 경우에 操作量을 變化시켜 OFFSET가 없어지도록 움직여주는 動作이다.
- PI 動作이란 P 動作에 I 動作을 더한 것으로 OFFSET가 생겨 I 動作으로 움직이는 경우는 設定溫度에 도달해도 操作量은 50%로 되지 않는다 (50% 이외의 値를 취한다).

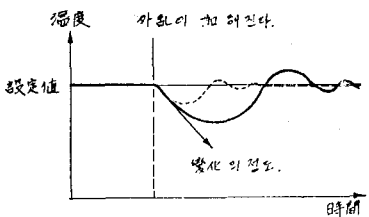


第 2 圖 PI 動作에 의한 制御.

- OFFSET가 設定値보다 낮은데서 생긴 경우 I 動作은 第2圖의 ①처럼 動作한다. I 動作을 하여 OFFSET가 없어지면 (設定溫度에 달하면) 操作量은 ④의 値를 취한다.
- OFFSET가 設定値보다 높은데서 생긴 경우 I 動作은 第2圖 ②처럼 움직인다. OFFSET가 없어져 設定溫度에 도달하면 操作量은 ③의 値를 취한다.

(3) D 動作

- D 動作은 微分動作 (DERIVATIVE) 또는 RATE 動作이라 불리우며 外亂等에 의해 制御溫度에 變化가 생기면 그 變化에 적당한만큼의 操作量이 움직여 制御溫度를 큰 변동이 없도록 하는 動作이다.
- D 動作은 制御量에 變化가 나타나면 그 變化의 정도 (微分量)에 상응하여 동작하기 때문에 OFFSET처럼 일정한 偏差에 對하여는 그 크기에 관계없이 動作할 수 없다.
- 第3圖처럼 外亂이 加해져 制御溫度가 크게 變動할때 D 動作을 하지 않으면 操作量은 制御溫度의 變動에 따라서 조금씩 修正하기 때문에 ④처럼 큰 振動을 하여 버린다.
- D 動作으로 움직이면 制御溫度가 變動하는 처음 時點에서 그 變化의 정도를 CATCH 하여 操作量이 앞돌아 큰 修正을 하기 때문에 ④처럼 곧 처음의 安定된 制御로 돌아간다.



A: 微分動作의 동작이 加해졌을 때
B: 微分動作의 동작이 없었을 때

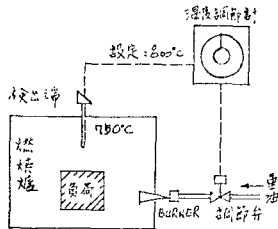
第 3 圖 微分動作의 동작점.

(4) PID 動作

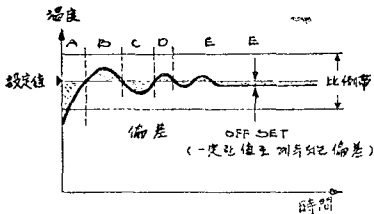
- P 動作에 I 動作과 D 動作을 加한 것이다. 必要없는 時間이 큰 PROCESS 나 傳達지연이 큰 PROCESS 에서

는 PI 動作만의 경우 振動이 커지는 것을 막기 위하여는 比例帶를 아주 크게 하고 I 動作을 極히 약하게 하여야 한다. 이렇게 하면 負荷變動의 때 큰 偏差를 일으켜 設定値에 安定하기까지의 時間이 길어지므로 D 動作을 加하여 解決한다.

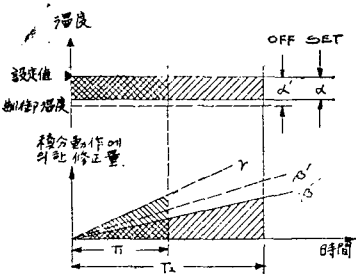
4-8. 積分(RESET) 動作-1



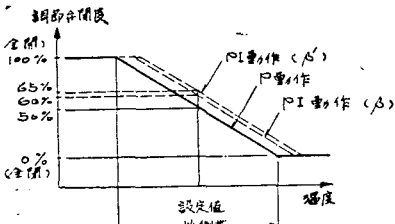
第1圖 燃焼爐의 制御



第2圖



第3圖 積分時間 (RATE 時間)



第4圖 I 動作에 의한 調節弁開度の 變更

(1) 積分動作의 움직임

I 動作은 OFFSET 가 생긴 경우에 없어도 움직이는 동작이지만 實際로는 OFFSET 以外에 普通의 偏差에서도 그것을 없애는 방향으로 움직인다.

例로 第1圖처럼 燃焼爐의 制御를 생각한다.

이 制御結果가 第2圖처럼 된 경우 A의 時間에서는 偏差는 設定値보다 아래에 있기 때문에 P 動作에 의한 信號로서 電動調節弁은 75%로 열려 있다. 그 때문에 P 動作만으로 溫度는 上昇을 계속하여 設定値에 가까워 간다. 그러나 여기에 I 動作을 加해주면 I 動作에 의한 修正信號도 움직이기 때문에 調節弁의 開度は 더 열려 80%로 된다.

다음에 이 制御値가 設定値를 넘어 OVERSHOOT 한때 결국 그림의 B의 경우이지만 이때 P 動作에 의한 修正信號로 調節弁은 25%로 되어 있다. 그 때문에 溫度는 下降하여 設定値에 가까워지나 I 動作을 加하면 다시금 調節弁은 닫혀 20%로 된다.

(2) 積分時間(RESET 時間)

I 動作을 하면 偏差가 있는 경우 그 偏差에 따라서 調節計出力은 一定하게 變한다. 그리하여 偏差가 完全히 소멸되지 않는 한 出力의 變化는 계속한다.

지금 第1圖처럼 爐의 制御를 P 動作만으로 행하는 경우 第3圖 α처럼 OFFSET 가 생긴다. 이때 調節弁의 開度は 50%로 되어 있다.

여기에 I 動作을 加하면 β처럼 修正量이 움직여 調節弁의 開度は 50%로부터 조금씩 열린다. 그리하여 T₂時間後에 調節弁의 開도가 60%로 되어 OFFSET 가 完全히 없어지게 된다(第4圖). 이때의 時間 T₂를 積分時間 또는 RESET 時間이라고 한다. 調節弁의 開度は 그대로 60%를 유지한다.

또 第1圖의 爐에 負荷가 增加하여 α'처럼 OFFSET 가 생긴 경우는 어떻게 될까? 같은 정도의 I 動作이 움직였다(積分時間이 같게)고 하면 β'처럼 修正量이 움직여 調節弁의 開度は 65%로 된다.

그리하여 T₂ 時間後에 完全히 OFFSET 가 없어진다.

그런데 α처럼 OFFSET 가 있을때 I 動作을 좀더 강하게 움직이면 어떻게 될까? 지금 I 動作을 강하게 하면 第3圖 γ처럼 修正量이 움직여 調節弁의 開度は β같은 修正量의 때보다 빨리 열린다.

그러므로 T₁ 時間後에 調節弁의 開度は 60%로 되어 OFFSET 가 없어졌다면 이 T₁이 積分時間(RESET 時間)이 된다.

이처럼 積分時間을 짧게하는 것은 큰 修正量을 움직여 그만큼 I 動作을 강하게 하는 것이다.

4-9. 積分((RESET) 動作-2

(1) 積分時間(RESET 時間)의 定義

지금 PI 動作의 調節計에 時間 T₁ 때 第1圖처럼 STEP 入力を 가하면 P 動作에 의한 出力의 變化분과 I 動作에

의한 出力의 變化分이 같게되는 時間 $T_2 - T_1$ 이 積分時間으로 된다.

(2) RESET 率(RESET RATE)

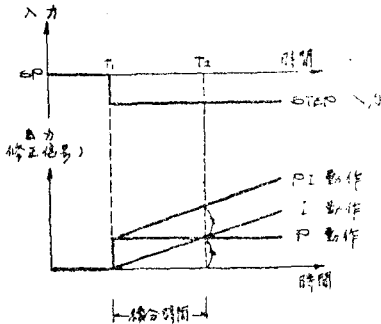
積分動作의 표시하는 方法으로 積分時間 외에 RESET 率이 있다. 이것은 積分時間의 逆數로 I 動作에 의한 出力의 變化分이 P 動作에 의한 出力의 變化分の 몇倍 變化하는가를 표시한 것이다.

$$\text{RESET 率} = \frac{1}{\text{積分時間(RESET 時間)}}$$

偏差가 계속 있는한 I 動作에 의한 修正은 연속되고 있으므로 RESET 率의 單位는 REPEAT PER MINUTE(回/分)로 표시된다.

(3) 積分動作의 設定

어떤 安定된 制御를 행하고 있는 裝置에 設定을 변화시켜 STEP 入力を 加하면 第2圖처럼 된다.

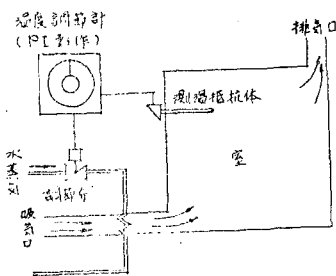


第1圖 積分時間의 定義

- 比例帶가 좁은 경우, 偏差에 對하여 P 動作에 의한 調節瓣開度가 크게 變하기 때문에 平衡에 도달하기 까지에 CYCLING 을 동반한다. I 動作을 加하면 調節瓣開度를 더욱 크게 變化시키는 方向으로 움직이기 때문에 CYCLING 의 周期는 길게되어 振幅도 크게 된다. 여기에 I 動作을 强하게 하면 CYCLING 은 더욱 激하게 되어 결국은 HUNTING 하게 된다.
- 比例帶가 넓은 경우에는 偏差에 對하여 P 動作에 의한 調節瓣開度는 조금밖에 변하지 않기 때문에 偏差의 減少는 完滿하게 되어 지나치지 않는다. 여기에 적당한 I 動作을 加하면 偏差의 減少가 빨라져 P 動作만의 경우보다 빨리 安定한다. 그러나 I 動作을 强하게 하면 지나치게 되어 CYCLING 한다.

比例帶	偏差 (STEP 入力)에 對하여 PI 動作의 調節瓣開力	PI 動作만으로 平衡에 도달하기 까지의 變遷線	I 動作의 變動的 變化
比例帶가 좁은 때	出力 vs 時間 그래프. PI動作(I:強), P動作(I:중), P動作(I:弱)이 표시되어 있다.	偏差 vs 時間 그래프. 오실레이션이 발생한다.	<ul style="list-style-type: none"> ○ I 動作이 弱한 때 ○ I 動作이 強한 때
比例帶가 넓은 때	出力 vs 時間 그래프. PI動作(I:強), P動作(I:중), P動作(I:弱)이 표시되어 있다.	偏差 vs 時間 그래프. 오실레이션 없이 수렴한다.	<ul style="list-style-type: none"> ○ I 動作이 弱한 때 ○ I 動作이 強한 때

4-10. 微分(RATE)動作-1-



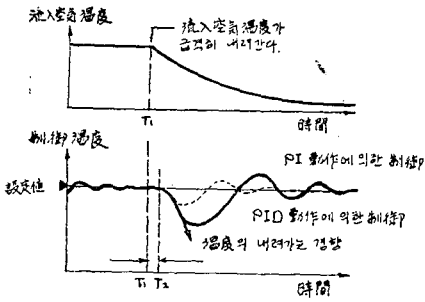
제11圖 蒸氣溫度의 制御

微分動作의 움직임

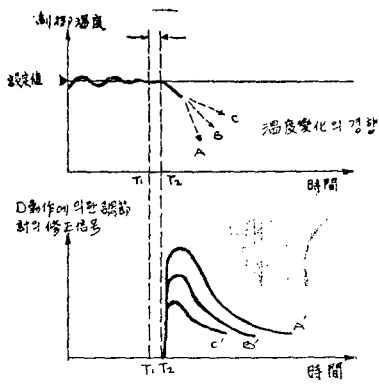
必要없는 시간이 큰 PROCESS 나 傳達지연이 큰 PROCESS에서는 外亂 등에 의해 큰 偏差가 생기는 경우 PI 動作만으로는 制御하기 어렵다.

이런 때에 D 動作을 적용시키면 偏差가 작은 범위에서 큰 修正動作을 加하여 制御溫度가 큰 變動을 하는 것을 방지한다.

例로 第1圖처럼 STEAM 으로 室溫의 制御를 하고 있는 경우에 吸氣口로부터 급격히 찬공기가 들어와 室溫이 급격히 하강하기 시작했다고 한다. 時間 T_1 에서 찬 空氣가 들어온다. 그러나 檢出端은 응답지연이 있어 이것을 檢出하는 것은 時間 T_2 에서이다. 이 $T_2 - T_1$ 이 必要없는 時間으로 된다 檢出端이 조금씩 내려가는 溫度를 檢出하면 調節計도 이것에 따라서 PI



第 2 圖



第 3 圖

4-11. 微分(RATE)動作-2.

動作으로 조금씩 修正信號를 내보낸다.

그러나 어디까지나 $T_2 \cdot T_1$ 의 必要없는 時間을 가지고 따라가므로 室溫은 꽤 낮은 溫度까지 내려가게 된다.

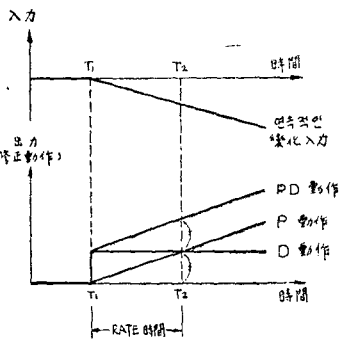
여기에 D動作을 첨가시키면 溫度가 내려가는 傾向(單位時間當의 溫度變化分)을 檢知하여 미리 내려가는 溫度를 想定하여 調節計는 큰 修正信號를 내보낸다. 그 때문에 室溫은 크게 내려가지 않고 곧 먼저의 溫度로 安定된다.

D動作에 의해 調節計信號가 變化하는 것은 偏差가 時間과 함께 變化하는 것으로 OFFSET처럼 항상 一定한 偏差에 대해서는 그 크기를 불문하고 응답하지 않는다. 따라서 D動作이 움직이고 制御溫度가 먼저의 溫度에 安定한 時點에서 D動作의 움직임을 끝낸다. 이 安定된 때의 調節開度는 D動作이 움직였던 경우도 움직이지 않은 경우도 모두 같다. PI動作만의 경우의 開度로 된다.

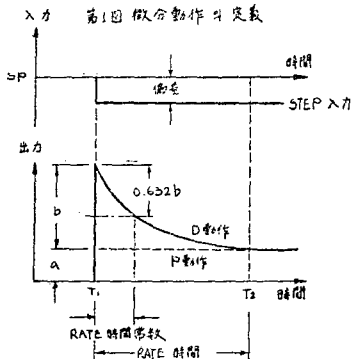
第3圖에 있는 時間 T_1 에서 制御溫度가 設定値보다 내려가기 시작하면 時間 T_2 의 때에 檢出端은 내려가기 시작한 溫度를 時間과 함께 檢出한다.

그러면 調節計는 그 傾向(變化分)을 判斷하여 그것에 相當한 修正信號를 操作器에 보낸다.

그러므로 操作器는 그 信號에 의해 操作量을 급격히 크게 變化시킨다. 例로 制御溫度의 變化의 傾向이 A처럼 됐다면 修正信號는 A'로 되고 또 B처럼 되면 B'같은 修正信號가 된다.



第1圖 微分動作의 定數



第 2 圖 微分 GAIN 과 RATE 時間定數

(1) 微分時間(RATE 時間)

第1圖처럼 PD動作의 調節計를 써서 時間 T_1 의 때에 入力を 一定한 速度로 變化시키면 P動作에 의한 出力의 變化量과 D動作에 의한 出力의 變化量은 時間 T_2 의 때와 같게 된다.

여기서 時間 $T_2 - T_1$ 을 微分時間 또는 RATE 時間이라고 한다.

다음에 第2圖처럼 時間 T_1 에서 STEP 入力を 加하면 P動作出力은 STEP 모양으로 變化한다. 또 D動作은 순간적으로 最大의 出力을 만들어 偏差가 一定하게 되면 즉시 出力은 없어지기 시작한다. 이 出力 PEAK의 높이는 數學的으로는 無限大이지만 實際는 調節計에 붙어있는 D動作 UNIT의 定數와 比例帶에 의해 決定된다.

여기서 STEP 入력에 對한 P動作出力의 變化分 a 와 D動作의 PEAK의 높이 b 의 比를 微分 GAIN 이라 부른다.

RATE 時間과 微分 GAIN의 사이에는 다음같은 關係가 있다.

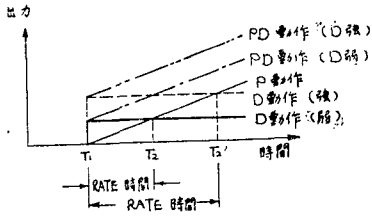
$$\text{RATE 時間} = \text{微分 GAIN} \times \text{RATE 時間定數}$$

이 式에서 알 수 있는 것처럼 微分 GAIN을 높게 하면 D動作으로의 PEAK의 値는 높게되나 減衰가 빨라진다.

(注) 여기서는 PD動作의 調節計의 例를 들었지만 實際로는 PD動作만으로는 負荷變動에 의한 OFFSET가 생기는 것을 避할 수 없다. 그러므로 普通를 I動作을 加해 PID制御로 사용한다.

(2) 微分動作의 設定

以上 말한 것처럼 D動作의 움직임을 偏差가 일어나는 시초에 큰 修正量



第3圖 第1圖처럼 연속적으로 변화하는 입력을 생겼을 때의 D動作

을 일으키고 P動作이나 PI動作의 경우보다도 크게調節瓣을動作시키는 것이다. 그러므로 그후에는 이作用은 없어져調節瓣은 P動作 또는 PI動作만으로부터決定된位置를 취하게 된다.

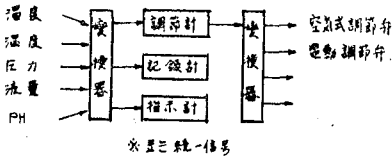
그結果 操作量은 짧은 시간에 큰變化를 하게 되므로 PROCESS 지연의 피해를 없애는 효과를 얻는다.

I動作은 RATE 시간을 길게하는 정도로 강하게 움직인다.

RATE 시간을 길게함이 지나치면 작은偏差에 대해서도 큰操作량이 움직인다. 그結果 CYCLING 또는 HUNTING을 하게 된다.

RATE 시간의設定은 最初에는 짧게設定하여 준다.

4-12. 電流出力 PID 制御



第4圖 各種PROCESS 制御의 形態

(1) 統一信號에 관해서

統一信號에는 空氣壓信號 0.2~1.0kg/cm² 와 電流信號 DC4~20mA 등이 있다. 第1圖처럼 큰 PLANT 등에서는 溫度制御외에 濕度制御, 壓力制御, 流量制御…… 등이 생각된다.

이런 때에 各各 別個의 制御系로 되거나 各種 別개의 調節計를 사용하는 것은 매우 不便하다. 그위에 信號傳送上의 問題도 생긴다.

이것이, 各種變換器를 준비하여 調節計나 記錄計등에 들어가는 信號도 나가는 信號도 統一하려고 하는 의견이 생기게 된 이유이다.

(2) 電流出力 PID 制御란

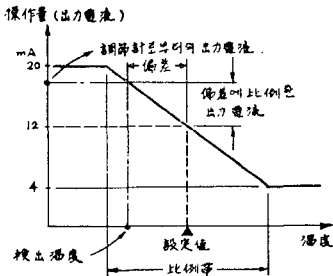
制御動作이 PID로서 調節計出力이 電流信號(DC4~20mA)의 것이 좋다. 操作器의 正動作, 逆動作과 동시에 加熱制御 또는 冷却制御에 따라 正動作(DIRECT ACTION) 또는 逆動作(REVERSE ACTION)의 선택을 한다.

第2圖처럼 逆動作은 比例帶보다 낮은 溫度範圍에서 出力電流는 20mA로 된다. 比例帶보다 높은 溫度範圍에서는 4mA로 된다. 또 比例帶內에서는 偏差에 比例한 電流로 된다.

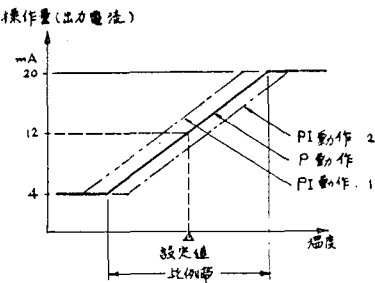
第3圖는 正動作의 경우이다. 逆動作, 正動作과 함께 P動作의 때는 設定溫度와 制御溫度가 一致하면(偏差가 ZERO) 出力電流는 12mA로 된다.

OFFSET가 있는 경우 I動作을 가하게 되면 偏差가 없는 때 出力電流는 12mA 以外の 電流值로 된다. 이것은 位置比例制御의 경우와 같아서 OFFSET가 設定值보다 낮게 생긴 경우 PI制御는 第3圖 ①같이 된다.

또 OFFSET 設定值보다 높게 생긴 경우 PI制御는 第3圖 ②같이 된다.



第2圖 電流出力 P動作(逆動作)



第3圖 電流出力 P動作(正動作)

檢 出 溫 度		出 力 電 流 (逆 動 作)	出 力 電 流 (正 動 作)
比例帶의 範圍보다 낮은 溫度		20mA	4mA
比例帶內	設定值보다 낮은 溫度	偏差에 응하여 12~20mA의 사이에서 연속적으로 變化	偏差에 응하여 4~12mA의 사이에서 연속적으로 變化
	設定值和 같은 溫度 (偏差 ZERO)	12mA	12mA
	設定值보다 높은 溫度	偏差에 응하여 4~12mA의 사이에서 연속적으로 變化	偏差에 응하여 4~12mA의 사이에서 연속적으로 變化
比例帶의 範圍보다 높은 溫度		4mA	20mA