

## 空調·冷凍技術者를 위한 센서應用計測(3)

### Applied Sensor Measurements for Air-Conditioning and Refrigerating Engineers(3)

韓 應 教\*  
Eung Kyo Han

#### 4. 計測方式과 計測系의 特性

센서로부터 전기량으로 변환한 계측정보는 그림 4-1과 같이 최종적으로는 指示計 또는 記錄計에 의하여 알 수 있다. 크게 나누어서 偏位法과 零位法을 원리로 한 平衡法이 있다. 특히 平衡법은 단순한 指示記錄에만 사용하는 것이 아니고 計測系의 전부 또는 일부로서 사용되는 것이므로 원리적으로 매우 훌륭한 計測法이라 하겠다.



그림 4-1 計測系의 基本構造

#### 4-1 偏位法( deflection method)

電氣量(電壓, 電流)은 옛부터 直動計器로 하여 測定되어 왔다. 偏位法은 이 電氣를 에너지源으로 하여 그 에너지로 하여금 指針(pointer)을 움직이게 하였다. 直動計器라 함은 이와 같은 計器를 말한다. 따라서 直動計器는 偏位法을 원리로 한 것이다.

計測法중에서 이 偏位法이 가장 일반적인 것이라고 보겠다. 그림 5-1(a)와 같은 스프링식

저울과 같은 것이 偏位法의 전형적인 것이라 하겠다. 그림 4-2는 일반적으로 많이 사용하고 있는 直動計器(電流計)의 구조를 표시한 것이다. 이 원리는 永久磁石 사이에 둔 可動코일에 電流(被測定量)를 흐르게 하면 回轉토크가 발생하여 코일이 회전한다. 코일에는 指針과 制御用스프링이 붙어 있어 回轉토크와 스프링의 回復力이 平衡되어 指針이 정지된다.

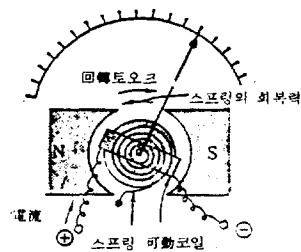


그림 4-2 直動計器

즉 電流의 크기는 토크의 크기로 변환되어 힘으로써 測定된다. 直動計器(可動코일型)는 그 자체가 電氣量→變位로 하는 變換器(센서)라고 볼 수 있다. 可動部의 運動方程式은 일반적으로 다음과 같다.

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + C \frac{d\theta}{dt} + k\theta = k\theta_0$$

\* 정회원, 한양대학교 공과대학 정밀기계공학과

여기서,  $\theta$  는 움직임각도(rad)

$I$  는 慣性모우멘트( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ )

$C$  는 制動常數( $\text{N}\cdot\text{m}/\text{rad}/\text{s}$ )

$k$  는 비틀림常數( $\text{N}\cdot\text{m}/\text{rad}$ )

$\theta_0$  는 停止位置

定常狀態에서는  $d^2\theta/dt^2 = d\theta/dt = 0$ 이다.

$\theta \propto i$  (電流)이므로 指針이 멎는 角度  $\theta_0$ 는 電流값을 표시하게 된다.

制動(damping)은 보통 空氣抵抗力 또는 流體의 粘度를 사용하는 것이 많다. 이 制動과 指針의 움직임운동과의 관계가 應答周波數特性이라 하는 計器의 動的特性을 말하여 주는 計器의 精度尺度가 된다. 따라서 制動을 적당히 하여 주어야만 된다. 이와 같이 偏位法은 변환된 被測定量(이와 같은 경우는 토오크)과 이것에 反발하는 다른 量(여기서는 스프링의 反撥力)을 平衡(balance)시켜서 平衡점의 指針의 偏位位置를 읽어내는 것이다. 偏位法에 의한 計測, 즉 直動計器에 의한 計測이 가장 간단하지만 또 여러가지 결점도 있다. 그 중의 하나는 計測信號에서 直接 에너지를 취하기 때문에 直動計器의 內部 impedance에 의하여 計測값에 오차가 생길 可能性이 많다.

4-2 平衡法(零位法)

전술한 偏位法에 의한 計測의 결점을 없애려면 測定法으로서 平衡法(null method)을 말할 수가 있다. 이것은 被測定量과 同種의 變化할 수 있는 量(比較量)을 비교하여 그 차가 0이 되도록 比較량을 조정하여 차가 0이 될 때의 比較량의 크기를 被測定量의 값으로 읽어내는 방법을 말한다. 이와 같은 것은 마이크로미터(micrometer), 임피던스 브리지(impedance bridge), 電位差計(potentiometer) 등이 있다. 즉, 測定量과 基準量과의 비교에서 양자 사이에 차가 있으면 이를 없애는 操作이 필요하게 된다. 이와 같은 操作을 일반적으로 피이드백(feedback)이라고 한다. 零位法과 偏位法 사이의 차는 이 피이드백이 이루어지느냐 않느냐에 있다. 마이크로미터에서는 피이드백의 操作을 사람 손으로 하는데 대하

여 기계로 자동화시킨 것을 自動制御라 하며, 能率化시키고 있다. 電位差計 또는 휘이트스톤의 브리지(wheatstone bridge)로서 平衡의 調整을 기계를 이용해서 하는 계기가 현재 널리 사용되고 있다. 이와 같은 계기를 自動平衡計器(self-balancing instrument)라 한다.

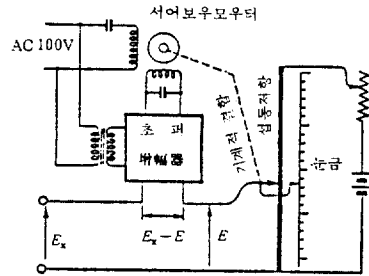


그림 4-3 自動平衡計器

電位差計를 이용한 자동평형계기를 그림 4-3으로 표시한다. 이 그림은 電位差計에 자동제어기술을 적용한 것이다. 즉, 檢流計(galvanometer)로서 電流의 檢出 대신 전위차 ( $E_x - E$ )를 差異電壓으로서 檢출시켜 이를 增幅한 다음 이 出力으로 서어보우모우터(servomotor)를 驅動하여 摺動接點(slide contactor)을 움직인다. 그리하여 平衡점에 도달하면 差異電壓은 0이 되어서 서어보우모우터는 정지한다. 이와 같이 하면 변동하는 電壓에 대해서도 자동적으로 추종하기 때문에 指針에 축을 달아 penwriting system으로 하면 변동하는 電壓을 자동적으로 記錄할 수가 있다. 다만 기계적 결합에서 그 應答速度에는 한도가 있어 高速度 記錄은 불가능하다.

自動平衡計器에서 사용되는 增幅器(amplifier)의 增幅度가 충분히 크게 되어 있으면 그 특성변동에 관계없이 크게 되는 것이 큰 特徵이라 하겠다. 이것은 다음과 같은 간단한 해석으로서 잘 표현할 수가 있다.

그림 4-4는 그림 4-3의 구성을 표시한 것이다. 增幅器의 入力은  $E_x - K_3\theta$ 이므로 出力( $\theta$ )은,

$$\theta = (E_x - K_3\theta)K_1K_2 \dots\dots\dots (4-1)$$

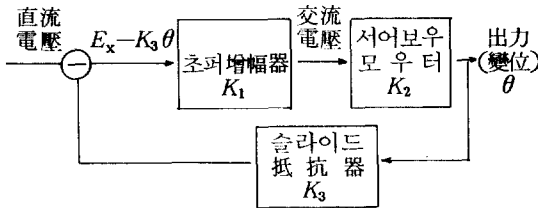
가 된다. 따라서 入力  $E_x$  와 出力  $\theta$  의 관계는

$$\theta = \frac{K_1 K_2}{1 + K_1 K_2 K_3} \cdot E_x \frac{E_x}{\frac{1}{K_1 K_2} + K_3} \dots\dots(4-2)$$

가 된다. 여기서 增幅器의 利得(gain)이 충분히 크다고 치면

$$\theta = \frac{E_x}{K_3} \dots\dots\dots(4-3)$$

가 되어서  $K_3$  즉 摺動抵抗만으로서 정해져 增幅器, 서어보우모우터에 약간의 특성변동이 있더라도 入出力 관계에 별 影響이 없다는 것을 알 수가 있다. 이것은 自動平衡計器가 극히 높은 信賴度를 가지고 있다는 것을 뜻하는 것이다. 이와 같은 方法은 여러 차례에 걸쳐 실제적인 測定例에서 나타난다고 보겠다.



- $K_1$ : 초퍼增幅器의 利得
- $K_2$ : 서어보우모우터의 利得
- $K_3$ : 摺動抵抗器의 利得

그림 4-4 自動平衡計器의 構成

4-3 計測系의 特性

(1) 靜特性

계측계의 특성은 測定量이 변동하지 않을 때의 계측기의 指示의 특성, 즉 靜特性和 測定量이 변동할 때의 계측기의 指示特性, 즉 動特性(dynamic characteristics)으로 나누어서 생각할 수가 있다.

靜特性으로서 문제가 되는 것은 感度和 靜誤差이다. 感度は 두 가지 뜻이 있다. 그 하나는 “어느 일정한 指示量의 변화를 주는 測定對象의 量의 변화”이고, 다른 하나는 “測定器가 검지할 수 있는 최소의 量 또는 최소의 변화량”이다. 후자는 入力信號의 최소level이라는 것이며 측정계 하나하나에 따라 다르

다. 전자는 出力信號의 入力信號에 대한 비로서 利得이며 설계한 기구, 회로로서 정하여져 버리는 것이다. 이것은 일반적으로 지시한 한 눈금이 入力信號의 얼마만큼의 量에 해당되는가를 말하는 것이며, 예를 들어서 5mm/1 눈금이라 하는 표현법을 쓴다.

感度は 測定範圍 내에서는 均一하여야 할 것, 즉 直線性(lineality)을 가지는 것이 좋다. 그리고 늘 안정된 것이 좋다. 電氣的인 增幅器에 있어서는 增幅度의 안정도가 문제가 된다. 그리고 또 측정기의 여러 요소의 상수가 溫度의 影響을 받지 않게 하고, 만일 받는다 하더라도 보상할 수가 있어야만 된다. 측정기의 感度は 측정할 때마다 矯正(calibration)하면 문제가 없으나, 대개 그렇지 않을 때가 많다. 靜誤差로서 感度の 변동으로 생기는 오차 이외에 드리프트(drift)라는 현상이 있다. 이는 零點이 시간과 함께 변화하는 현상으로서 전기적인 增幅器를 가진 計測系에 있어서 많이 볼 수가 있다. 이 밖에도 히스테리시스(hysteresis)는 측정의 前壓(되풀이)에 있어 同一測定量에 대하여 指示값에 차가 생기는 것이며, 그림 4-5은 점차 양을 증가시켜서 읽어 가는 수치를 계속하여 감소시켜 가면서 읽을 때의 수치의 차를 표시한 것이다. 이 오차의 원인은 기계적인 영성함에서 온다든지 또는 固體摩擦 등에 있다고 생각된다. 일반적으로 感度を 높일 경우, 그것에 比例的으로 오차가 작아진다는 것은 어려운 일이다. 따라서 平衡法을 이용한다든지 디지털計測을 하여 精度를 向上시킨다.

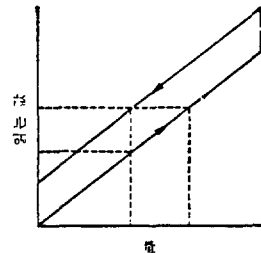


그림 4-5 히스테리시스차

(2) 動特性

動特性에서 문제가 되는 것은 應答(response)과 動誤差이다. 計測器에 들어가는 入力信號가 변화할 때 이것으로서 생기는 出力信號의 時間的인 변화의 狀態를 應答이라 한다. 測定할 때 어떠한 경우라도 出力信號는 入力信號와 똑같이 변동하는 것이 만족스러우나 실제로는 매우 어렵다. 그 때문에 측정량이 변동할 때, 어느 순간에 있어서는 指示와 참값 사이에는 差가 생긴다. 이것을 動誤差라 한다. 이와 같이 되어 出力信號는 入力信號보다 어느 늦어짐을 가지고 쫓아가게 된다. 計測系의 應答은 入力信號의 형상에 따라서 여러모로 다르나 모든 入力信號의 형상에 대해서 일일이 그 應答을 검토하지 않아도 대표적인 세 가지 경우의 應答에 대하여 검토하면 된다.

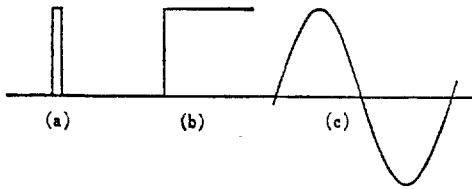


그림 4-6 代表的 入力信號

(a) impuls 應答 : 入力信號가 impuls 狀으로 변화할 때의 應答[그림 4-6의 (a)]

(b) 階段(step)應答 : 入力信號가 어느 일정한 값에서 다른 일정한 값으로 갑자기 변화할 때의 應答[그림 4-6(b)]

(c) 周波數應答 : 入力信號가 正弦的이고 정상적인 변화를 할 때의 應答[그림 4-6(c)]

[例題] 1次系의 階段應答

온도계를  $\theta_0$ 의 온도가 되는 곳에서 갑자기  $\theta_1$ 의 온도가 되는 곳에 옮겼을 때, 온도계의 指示  $\theta$ 는 어찌 되는가를 알아본다. 感溫部의 傳熱量을 단위시간당  $Q$  kcal/h 라 하면 傳熱量은 溫度差에 比例하므로 比例常數를  $a$ 라 하면,

$$Q = a(\theta_1 - \theta)$$

感度部의 열용량을  $C$  라 하면

$$Q dt = C d\theta$$

따라서

$$C = \frac{d\theta}{dt} = Q = a(\theta_1 - \theta)$$

또는

$$C = \frac{d\theta}{dt} + a\theta = a\theta_1$$

이 식을 다음과 같은 1차 미분방정식으로 쓸 수 있다.

$$T \frac{dy}{dt} + y = x \dots\dots\dots (4-4)$$

$x$ : 入力信號,  $y$ : 出力信號  $t < 0, y = x_0$

이 풀이는

$$y - x_0 = x(1 - e^{-t/T}) \dots\dots\dots (4-5)$$

入力이 갑자기  $\bar{x}$ 로 변동할 때 그림 4-7과 같은 應答을 한다. 이 식에서 알다시피  $T$ 가 크면  $y - x_0$ 가  $x$ 에 가까워지는 것이 늦어진다.

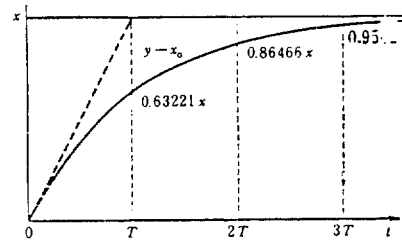


그림 4-7 時定數

그래서  $T$ 는 系의 應答의 파라미터가 되는 상수로서 시간의 次元을 가지고 있으며, 時定數(time constant)라고 한다. 지수함수의 수치에서 알다시피  $T$ 초 후에는  $x$ 의 0.63221에 도달하고,  $3T$ 초 후에는 0.95021에 도달한다. 예컨대 感溫部의 열용량  $C$ 가 크게 되면 時定數도 크고 比例常數  $a$ 가 크면 時定數는 작게 되므로 溫度指示의 늦어짐을 적게 하기 위해서는  $a$ 를 크게,  $C$ 는 작게 할 필요가 있다.

5. 檢出과 變換

계측정보를 변환기에 의하여 전기량으로 변환한다는 것은 廣範圍한 計測에 있어서 없어서는 안 되는 것이다. 따라서 여기서는 이와 같은 변환으로 하는 계측계의 기본적인 구성에 대하여 알아보려고 한다. 계측정보의 種類는

다양하기 때문에 이것을 1개의 변환기로서 전기량으로 변환한다는 것은 매우 곤란하며 오히려 그림 5-1(b)와 같이 기계적 변환기와 전기적인 변환기의 연속결합이 간단할 경우가 있다. 이와 같은 경우 전자를 1차변환기, 후자

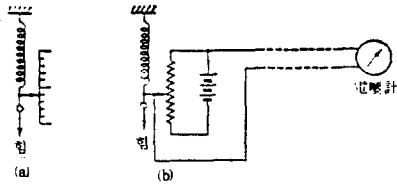


그림 5-1 스프링에 의한 힘의計測

를 2차변환기라고 할 때가 있다. 2차변환기의出力은 전기량이며 이出力을 그대로傳送하기에는出力의 크기나 形態가 傳送路에 적합하지 않을 경우가 많다. 그래서 2차변환기의出力은 신호변환기에 의하여 增幅, 變調등을 한다. 이상과 같은 것을 그림 5-2에 표시하였다. 1차변환기, 2차변환기는 보통 한덩어리가 된 것이므로 이를 發信器라고도 한다.

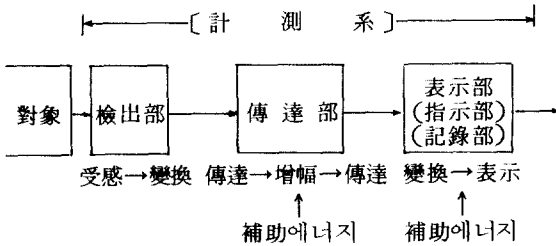


그림 5-2 計測系の機能區分

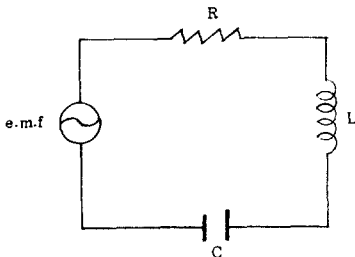


그림 5-3 電氣基本回路

변환기에 대해서는 그림 5-3과 같은 전기기 본회로에서 표시된 바와 같은 회로소자, R, L, C 그리고 e(e.m.f.; 起電力)에 대해서는 다음 호에 상세하게 설명하기로 한다.

R ; 저항소자

L ; 유도소자

C ; 정전용량소자

e.m.f ; Electro motive force

단거리로서 信號를 유선으로 傳送할 경우에는 단순히 變換器出力을 增幅하여 指示計器 또는 記錄計를 쓰는 것이 일반적인 方法이나 유선에서도 장거리가 되면 대개 통신 기술을 導入하는 경우가 많다. 또 有線으로 傳送하는 것보다도 無線으로 傳送하는 것이 유리할 때도 많으므로 이와 같은 경우에는 高周波의 變調, 復調技術을 이용한다. 원거리까지 計測信號를 傳送하여 信號를 받아들이는 技術을 遠隔測定 또는 telemetering이라고 한다.

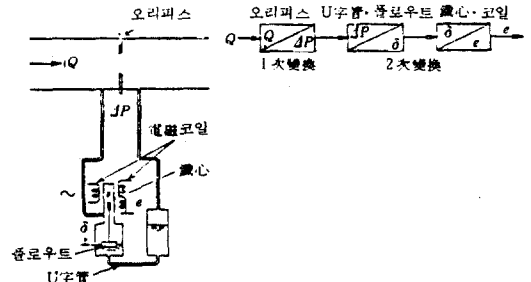


그림 5-4 檢出, 變換

예를 들면 그림 5-4와 같이 管路內를 흐르고 있는 流體의 流量을 測定할 때에는 管路에 오리피스(orifice)를 插入하여 그 差壓을 U字管으로 인도한 다음 그 속에 플로우트와 鐵心(core), 電磁코일과의 모듬을 電壓으로 變換傳送하는 方法이 널리 쓰인다. 여기서 오리피스는 流量→差壓 變換要素이고, U字管은 鐵심이 붙은 플로우트로서 差壓→變位로 한 變換要素이다. 그리고 鐵心, 電磁코일은 變位→電壓으로 변환시키는 機能을 가진 것이다. 여기서 流量→差壓變換이 1차변환이고 傳送과 指示記錄을 위하여 差壓→變位, 變位→電壓變換을 하는 것은 2차변환이라 하겠다.

이와 같이 계측대상에서 검출(변환)하여信號量으로 하여금 傳達(傳送)하고 指示記錄하여 우리들의 감각에까지 이르는 系를 計測系라 하며 검출(변환)은 이미 예를 들어 설명되었으므로 나머지 전달부와 指示記錄部에 대하여 쓰면 다음과 같다. 傳達部는 檢出(變換)部の 出力에 의해서 즉각 지시, 기록이 부적당할 경우에 檢出部和 指示部 또는 記錄部 사이에

개재된다. 그 기능은 다만 檢出部和 指示部, 記錄部 사이를 거리적인 전송만을 하는 것이 아니라 傳達量의 增幅을 하는 경우가 많다. 증폭이 에너지의 증대를 뜻할 때에는 補助에너지가 필요하다. 즉 증폭이라는 것은 외부에서 補助에너지의 공급을 받아가지고 入力量과 일정한 관계에 있는 出力量을 그보다 높은 에너지 平衡에서 얻는 것을 뜻한다(다음 호에 계속).