

講 座

생물생산시설 및 환경을 위한 계측의 기초(I)

류 관 회

서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

“존재하는 事物은 무엇이나 일정한 量으로 존재한다.”라는 말이 있다. 계측은 바로 이 양을 결정하는 것이다. 계측 과정 또는 행위는 미리 정해진 標準과 被測定物 사이의 양적인 비교로써 이루어진다. 계측은 여러 가지 사물을 정량적으로 파악함은 물론이고, 자동 제어하기 위한 수단으로서의 방법이나 장치, 더 나아가 처리 등을 포함하는 넓은 의미를 갖고 있다. 따라서 사물의 현상이나 상태를 특정 짓는 양을 정의하거나 선정해서, 그것을 수치로 나타내는 조작은 계측의 일부라고 생각할 수 있다.

1. 계측방법

계측 방법에는 직접비교법과 간접비교법의 두 가지가 있다.

直接比較法은 줄자로 길이를 측정하는 경우와 같이 未知의 측정량과 基準量을 직접 비교하는 것이다. 직접비교법은 계측에서 가장 보편적이며 본질적인 것이지만 인간의 감각은 직접비교에 의하여 정확히 측정할 수 있을 정도로 예민하지 못할 뿐만 아니라 번거롭고 노력이 많이 소요되는 단점이 있다.

間接比較法은 측정장치라 불리는 일련의 연결장치로 결합된 변환장치를 이용하는 것이다. 이러한 측정장치는 입력이 출력에서 입력의 함수로써 나타나도록 변환시킨다. 신호의 변환은 측정자가 원하는 정보를 이해할 수 있도록 만들기 위하여 필요하다. 예를 들면 인간의 감각은 작은 온도 차이를 검출할 만큼 민감하지 못하다. 따라서 온도를 검출하여 이를 눈금의 변위량이나 기록용지 위의 궤적 또는 디지털 형태로 제시하는데 측정장치의 도움이 필요하게 되는 것이다.

입력 신호를 변환하여 얻는 아날로그 신호의 처리에는 진폭을 증대시키는 增幅(amplification), 잡다한 입력신호의 집합체로부터 원하는 정보만을 추출하는 濾過(filtering), 측정량의 遠隔判讀 또는 記錄 등이 있는데, 기계적 방법 보다는 전기적 방법이 더 많은 장점을 갖고 있다. 따라서 대부분의 계측용 변환기는 측정량을 相似적인 전기적 양으로 변환하여 출력하도록 되어 있다.

2. 계측시스템의 구성

대부분의 계측시스템은 다음 3단계의 기능을 가지고 있다.

1단계 - 檢出, 變換 (detecting-transducing)

2단계 - 중간단계 : 信號處理 (signal conditioning)

3단계 - 최종단계 : 信號判讀 (signal readout)

각 단계의 기능은 독자적인 구성품 또는 여러개의 구성품에 의해서 수행된다. 그림 1은 일반화한 계측시스템의 구성도이다.

계측하여야 할 물리량이 결정되면, 그 양을 측정하기 위한 검출기(detector)나 센서(sensor)를 선택한다. 어떤 형태의 물리량을 다른 형태의 물리량으로 바꾸는 1단계 구성요소를 變換器(transducer)라 하며, 측정량을 檢出,變換하는 기능을 갖는 계측기의 1단계 구성요소를 총칭하여 센서(sensor)라 한다. 센서의 출력이 전기적인 신호가 아닌 경우에는 어떤 방법으로든 전기적 신호로 변환할 필요가 있다. 1단계의 주요 기능은 원하는 측정량을 검출하여 변환하는 동시에 기타 입력신호에 대해서는 感應하지 않아야 하는 것이다.

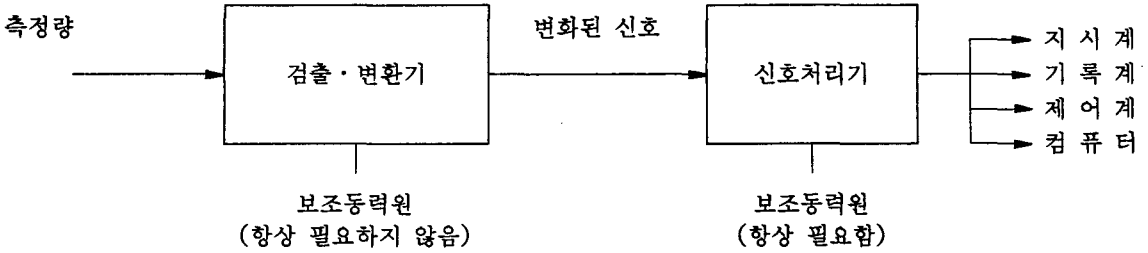


그림 1. 일반적인 계측시스템의 구성도

2단계의 가장 일반적인 기능은 1단계에서 변환된 신호를 최종단계에서 받아들일 수 있도록 신호를 增幅하는 것이다. 일반적으로 센서의 출력은 微弱신호이기 때문에 적당한 증폭기가 필요한 경우가 많다. 이외에도 濾過(filtering), 微分, 積分, 信號 傳送 등의 조작을 수행한다. 또한, 디지털 컴퓨터를 이용한 계측에서는 아날로그-디지털 변환(analog-to-digital conversion)도 여기에 포함된다. 전기적 신호로 변환된 물리량을 마이크로컴퓨터에 입력시키기 위해서는 디지털량으로 변환하여야 한다. 대다수의 계측 대상은 연속적인 물리량의 아날로그 신호이기 때문에 디지털 신호로 변환하는 A/D 변환기가 필요하다.

3단계의 기능은 인간이나 컴퓨터 또는 제어장치가 이해할 수 있는 형태로 측정량에 관한 정보를 제공하는 것이다.

만일 계측기의 출력이 인간이 직접 인식할 수 있도록 의도된 것이라면 출력은 예외없이 다음 형태 중 하나일 것이다.

① 상대적인 변위 (relative displacement) : 지시계의 지침 이동, 오실로스코프또는 오실로그래프의 궤적 변위

② 디지털 형태 (digital form) : 계수기(counter)의 숫자표시, 디지털 컴퓨터용 펄스신호(예 : ASCII) 등

현대 계측에서는 측정 데이터의 신속 간편한 收集과 處理를 위해서 마이크로컴퓨터가 최종단계 구성품으로 널리 사용되고 있다.

계측점이 多數일 경우에는 그림 2와 같이 多點計測을 한다. 다점계측이란 측정점이 복수인 경우를 가리키며 同種 또는 異種의 센서가 2개 이상 존재하는 경우이다. 이러한 경우 각 센서에 독립적으로 A/D 변환기를 설치할 수도 있으나 그다지 고속 처리를 요구하지 않을 경우에는 아날로그 멀티플렉서를 사용한다.

그림 2는 1대의 마이크로컴퓨터로 많은 물리량을 계측하기 위한 기본 구성이다. 그림과 같이 측정량의 수만큼 센서 및 증폭기를 준비하고, 이것들을 외부 지령에 의해서 변환하는 아날로그 멀티플렉서를 사용해서 순차적으로 A/D 변환기에 접속하고, A/D 변환 후 마이크로컴퓨터에 집어넣는 방법이다. 이러한 방식을 선택하면 A/D 변환기는 1조로 충분하므로 그만큼 경제적이 된다.

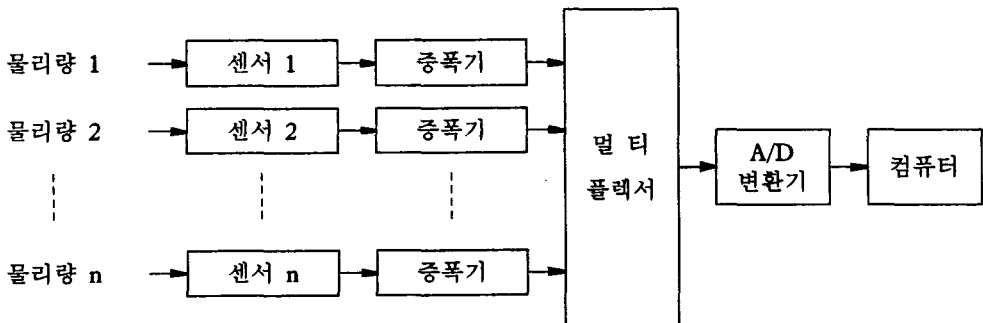


그림 2. 다점계측 시스템의 구성

3. 측도설정과 계측기의 성능

신뢰도를 가지고 측정할 수 있는 계측기의 능력을 검증하는 절차를 測度設定(calibration)이라 하는데, 既知의 입력량을 계측기의 검출부에 가한 다음 그 출력을 측정표준과 비교하여 계측기의 눈금 또는 입력과 출력사이의 관계를 결정한다.

正確度(accuracy)란 계측기로부터 얻은 측정값이 얼마나 참값에 가까운 것인가를 나타내는데 사용되는 용어이다. 계측기의 정확도를 나타내는데는 다음 식으로 정의되는 측정값퍼센트오차(percent error of reading)와 全入力퍼센트오차(percent error of full scale)가 사용된다.

$$\text{측정값퍼센트오차} = \frac{\text{측정값} - \text{참값}}{\text{참값}} \times 100 \dots\dots [1]$$

$$\text{전입력퍼센트오차} = \frac{\text{측정값} - \text{참값}}{\text{전입력량}} \times 100 \dots\dots [2]$$

예로서 100℃까지 측정 가능한 온도계의 정확도가 ± 1% FS (full scale)라면, 이 온도계로 측정된 온도와 실제온도와의 차이는 항상 1℃ 이내임을 의미한다.

精密度(precision)는 같은 입력을 반복하여 얻은 측정값이 그 평균값에 얼마나 가까운 것인가를 나타내는데 사용되는 용어로서 다음과 같이 정의된다.

$$\text{정밀도} = \frac{\text{최대측정값} - \text{평균측정값}}{\text{평균측정값}} \times 100 =$$

$$\frac{\text{최대편차}}{\text{평균측정값}} \times 100 \dots\dots [3]$$

예로서 100V의 전압을 어떤 계측기로 5회 측정된 값이 104, 103, 105, 103, 105V 라면 평균값은 104V, 최대편차는 1V이다. 따라서 이 계측기의 정밀도는 약 ± 1%로 산출된다.

계측기의 정확도는 측도설정에 의하여 향상될 수 있으나 그 계측기의 정밀도를 초과할 수는 없다. 앞의 전압 측정에서 정확도는 기지의 전압 100V와 가장 큰 오차를 나타내는 105V로부터 5%임을 알 수 있다. 그러나 참값보다 평균적으로 4V가 더 크게 나타나는 측도설정 결과를 토대로 4V의 오차를 제거할 수 있으므로 정확도를 1%까지 향상시킬 수 있다.

측정시스템의 感度(sensitivity)는 측도설정곡선의 기울기로서 다음 식으로 정의된다.

$$\text{감도} = \frac{\text{출력의 변화량}}{\text{입력의 변화량}} \dots\dots [4]$$

계측에서 감도와 함께 자주 사용되는 용어로서 倍率(amplification ratio or magnification ratio) 또는 利得(gain)이 있다. 이들은 입력과 출력의 물리적이동이 동일할 경우에 사용되므로 무차원 값으로 나타난다는 점에 유의하여야 한다. 입력과 출력의 물리적이동이 서로 다를 경우에는 출력의 물리적이동 양을 입력과 같은 양으로 바꾸어 사용한다.

$$\text{배율 또는 이득} = \frac{\text{출력}}{\text{입력}} \dots\dots [5]$$

감도는 원하는 신호에 대해서는 일반적으로 클수록 좋으나 기타 간섭신호(interfering signal)에 대해서는 민감하지 않은 것이 좋다. 예를 들면 스프링저울에서 하중이 변화하지 않아도 온도 변화에 의하여 스프링이 상대적인 수축, 팽창을 일으켜 측정값이 변화하는데 이 때 온도가 간섭신호이다. 온도의 변화에 의하여 계측기의 영점이 변화하는 것을 零點漂流(zero drift)라 한다. 또한 온도는 스프링상수를 변화시켜 하중에 대한 감도를 변화시키는데 이 영향을 感度漂流(sensitive drift) 또는 눈금자표류(scale-factor drift)라 한다.

영점표류와 감도표류는 적절한 측도설정에 의하여 수치적으로 평가될 수 있다.

스프링저울의 경우 하중이 0일때 온도를 변화시켜 눈금을 읽는다. 비교적 작은 온도범위에서는 스프링저울의 영점표류는 거의 직선적이기 때문에 0.1 g/℃와 같이 표시할 수 있다.

감도표류를 표시하기 위해서는 온도를 고정하고 하중을 변화시켜 감도를 결정한다. 이 과정을 여러 가지 온도조건에서 실시하여 온도변화에 따른 감도표류를 평가한다. 예로써 스프링저울의 감도표류가 직선적이라면 (각도/N)/℃와 같이 표시할 수 있다. 그림 3은 온도에 따른 두가지 영향이 중첩되어 나타나는 總誤差의 크기를 보여주고 있다.

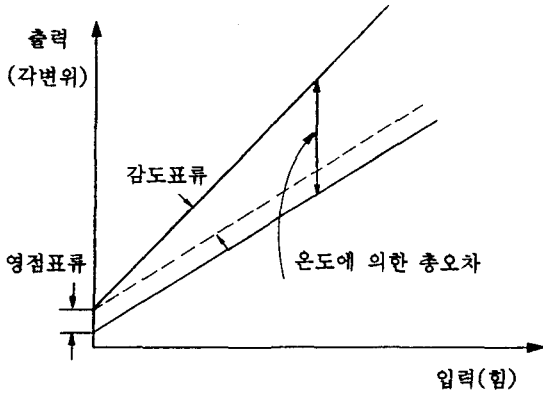


그림 3. 영점표류와 감도표류

계측기에 0이 아닌 임의의 점에서 입력을 천천히 증가시킬 경우 어떤 일정한 입력증가분(input increment)에 도달할 때까지는 출력이 전혀 변화하지 않는데, 이 입력증가분을 분해능(resolution)이라 한다. 즉, 작지만 출력에 확실한 수치적 변화를 주는 입력증가분을 말한다. 예로서 10cm 길이의 저항체가 1000개의 권선으로 이루어진 변위 측정용 전위차계(potentiometer)의 분해능은 10cm/1000, 즉 0.1mm이다.

계측기에 입력을 0에서부터 매우 천천히 증가시킬 때 어떤 입력량에 도달할 때까지는 전혀 출력이 생기지 않는다. 이 때 최초의 출력을 얻는데 필요한 최소의 입력량을 문턱값(threshold)이라 한다. 이것은 작동부분의 정지마찰(static friction)이나 유격(free play), 백래시(backlash) 등에 기인한다.

분해능이 문턱값과 구별되는 점은 0점에서가 아니라 임의의 입력량에서 출력량의 변화를 줄 수 있는 입력량의 증가분이라는 것이다.

용량(capacity)이란 계측기로서 측정가능한 입력의 최대값을 말하며, 測定範圍(range or span)란 주어진 정확도를 유지하면서 측정가능한 입력량의 범위를 말한다.

계측기의 측도설정곡선은 직선이 아니더라도 정확한 측정이 가능하지만 직선성을 갖는 것이 바람직하다. 직선을 나타낼 때 기준이 되는 직선은 일반적으로 최소자승법(least square method)에 의하여 얻은 直線回歸方程式(linear regression equation)을 사용한다. 직선성은 어떤 측도설정점에서 기준직선으로부터의 최대 편차를 나타내는 척도이다. 직선성은 이 편차를 측정값에 대한 백분율이나 전입력량에 대한 백분율로 산출한 非直線性(nonlinearity)으로

나타낸다. 경우에 따라서는 이 두가지를 조합하여 아래와 같이 나타내기도 한다.

$$\text{Nonlinearity} = \pm A\% \text{ reading} \\ \pm B\% \text{ full scale, whichever is reading}$$

스프링저울에 하중을 0에서 전하중까지 천천히 증가시킨 후 다시 0으로 감소시킬 경우 작동부분에 미끄럼에 의한 외부마찰이 없다면 입력과 출력의 관계는 그림 4 (a)와 같이 나타날 것이다. 이와 같이 하중의 증가시와 감소시에 곡선이 일치하지 않는 현상을 履歴(hysteresis)이라 한다. 스프링저울의 경우 이러한 이력 현상은 주로 스프링의 내부마찰에 기인한다. 즉 하중을 걸 때 응력을 받는 부분에 투입된 에너지가 하중을 내릴 때 모두 회수되지 못한다.

입력이 0의 좌우 영역에서 사용되는 계측기의 경우 입력과 출력의 관계는 그림 4 (b)와 같이 나타낸다. 만일 내부마찰은 없으나 외부의 固體摩擦(Coulomb friction)이 존재할 경우에 그 결과는 그림 4 (c), (d)와 같이 나타낸다. 만일 계측기의 작동부분에 유격(free play)이나 백래시(backlash) 등이 존재할 경우에도 이와 비슷한 결과가 나타난다.

이력 영향은 기계적 현상뿐만 아니라 전기적 현상에서도 나타난다. 예를 들면 직류발전기의 입력 계자전류와 출력 전압의 관계는 그림 4 (b)와 같이 나타낸다. 이것은 계자권선 내에 있는 철의 전기적 이력에 기인한다.

일반적으로 계측기는 위에서 말한 여러가지 원인에 의하여 복합적인 이력 현상을 나타내는데, 이때 입력과 출력의 관계는 그림 4 (e)와 같이 나타낸다.

총 이력의 대부분이 내부마찰에 기인할 경우 이력이 일어나는 동안 弛緩(relaxation)과 回復(recovery) 영향이 존재하기 때문에 시간영향을 고려하지 않으면 안된다. 즉, 그림 4 (e)의 어느 한점에서 다른 점으로 측정할 때 입력을 변화시킨 후 즉시 측정값을 읽는 경우와 시간이 충분히 경과한 후 읽는 경우 다른 값을 얻게 된다. 이러한 경우 같은 측정결과를 얻기 위해서는 시험시의 시간적 절차도 명시할 필요가 있다.

이력은 일반적으로 그림 4 (e)의 입력의 최대 이력을 全入力量(full scale input)에 대한 백분율로서 표시한다.

계측기는 측정시에 信號源(signal source)으로부터 일부의 에너지를 빼앗기 때문에 입력정보가 다소 변화하는 것이 불가피하다. 이러한 현상을 負荷影響(loading effect)이라 하며, 이로 인하여 발생하는

오차를 負荷誤差(loading error)라 한다.
 부하오차를 줄이기 위해서는 센서와 계측시스템의

구성품을 올바르게 선택하고 각 구성품을 연결할 때
 임피던스가 부합되는가에 특히 주의해야 한다.

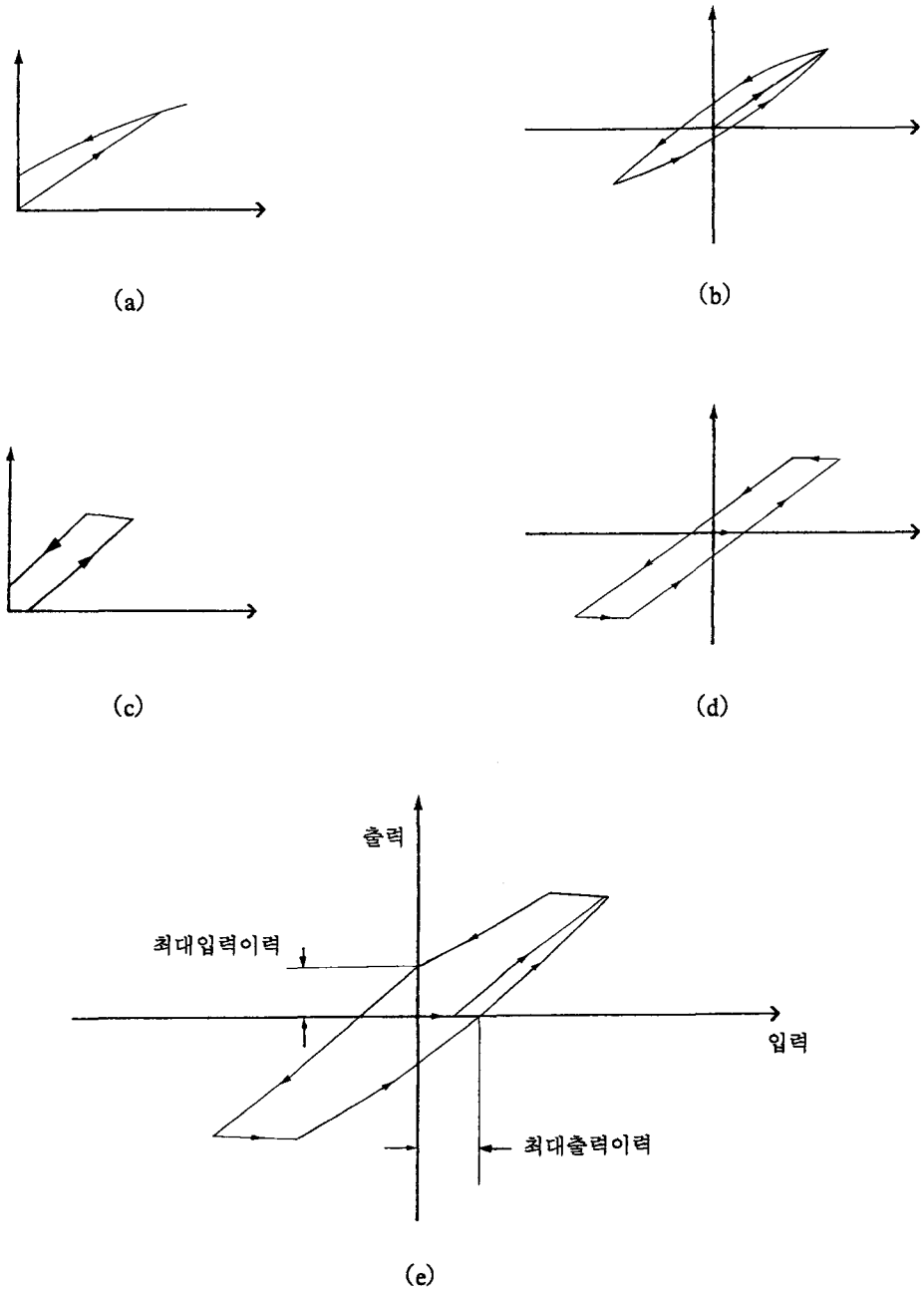


그림 4. 이력 영향