

작은 물체의 길이나 두께 그리고 물체의 깊이를 정밀측정기기인 버니어캘리퍼스나 마이크로미터를 이용하여 측정하고 물체의 휘어진 정도인 곡률을 구면계를 이용하여 측정한다.

1. 버니어캘리퍼스(Vernier Calipers)

버니어캘리퍼스는 작은 물체의 길이, 작은 원통의 내경이나 외경 또는 깊이를 측정하는데 사용한다. 버니어캘리퍼스는 정밀 측정기기로 보통 0.1 mm에서 0.05 mm까지의 정밀도를 가지고 있다.

버니어캘리퍼스는 크게 어미자와 아들자 2개로 구성되어 있다. 아들자는 어미자의 $n-1$ 개의 눈금을 n 등분하거나 어미자의 $n+1$ 개의 눈금을 n 등분함으로써 정밀도 $1/n$ 을 갖는다. 읽는 방법은 어미자의 눈금이 아들자의 0점과 정확히 만난 경우는 어미자의 눈금을 읽으면 되고 그렇지 않은 경우는 만나는 지점의 바로 앞의 어미자 눈금을 읽고 어미자의 눈금과 아들자의 눈금이 일치하는 지점의 아들자 눈금을 읽어서 더한다. 이때 아들자의 눈금이 10개라면 어미자의 최소 눈금 1 mm를 10분의 1등분한 것이므로 아들자의 눈금은 10분의 1을 곱해서 읽어야 한다. 따라서 이 경우 버니어캘리퍼스의 정밀도는 0.1 mm이다. 아들자의 눈금이 20개라면 어미자의 최소 눈금 1 mm를 20등분한 것이므로 버니어캘리퍼스의 정밀도는 0.05 mm이다. 예를 들어 그림에서와 같이 어미자

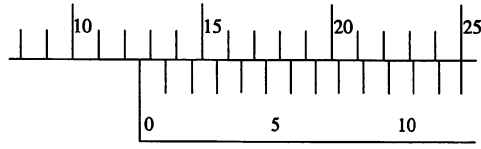


그림 1 버니어캘리퍼스의 눈금을 읽는 방법

의 19눈금을 아들자에서 20등분한 버니어캘리퍼스를 생각해보자. 어미자와 아들자의 0점이 만나는 지점이 어미자의 1.2 cm를 지나고 어미자와 아들자가 아들자의 눈금 13 번째에서 만났다면

$$1.2 \text{ cm} + \frac{13}{20} \text{ mm} = 1.265 \text{ cm}$$

버니어캘리퍼스는 작은 원통의 내경이나 외경 또는 깊이를 재는 데 사용한다. 내경과 외경은 버니어캘리퍼스의 머리부분으로 깊이는 꼬리부분으로 측정한다. 내경이나 외경을 잴 때는 정확한 직경을 재는 것이 중요하고 깊이는 꼬리부분이 측정하려는 물체와 수직이 이루어진 상태에서 깊이를 재는 막대를 내려야 한다. 재는 도중 자의 눈금이 변경되는 것을 막기 위해 조정나사(clamp)를 조여 자가 움직이지 않게 한다.

2. 마이크로미터 (Micrometer)

마이크로미터는 아주 작은 물체의 길이나 두께를 측정하는 정밀기기로 크기가 2 cm 이하 물체를 1 mm의 100분의 1의 정밀도까지 측정할 수 있다. 눈짐작을 이용하면 실제로 거의 300에서 500분의 1 정도까지의 오차를 가질 수 있다. 마이크로미터도 어미자와 아들자로 구성되어 있는데 아들자는 어미자의 둘레를 회전하도록 되어 있다. 어미자는 직선으로 눈금이 새겨져 있고 한 눈금은 1 mm이며 아들자 원의 형태로 어미자의 둘레를 회전하도록 새겨져 있으며 어미자 눈금과는 수직으로 되어 있다. 아들자는 어미자의 1 mm를 두 번 회전하여 전진하는 것과 한 번 회전하여 전진하는 것의 두 종류가 있다. 아들자가 두 번 회전하여 어미자의 1 mm를 전진하는 경우에는 아들자의 둘레가 50등분 되어 있고 한 번 회전하여 어미자의 1 mm를 전진하는 경우는 아들자의 둘레가 100등분 되어 있다. 두 경우 모두 아들자의 한눈금은 100분의 1 mm에 해당한다.

측정하려는 물체를 두 날 사이에 놓고 손잡이를 돌려서 물체에 두 날이 거의 접근되면 끝의 보조 손잡이(돌리개)를 돌려서 물체에 날을 접촉시킨다. 물체에 날이 접촉된 후

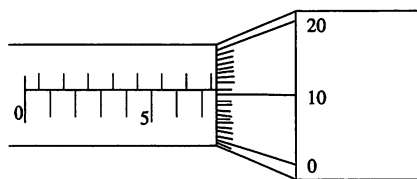


그림 2 마이크로미터의 눈금을 읽는 방법

돌리개를 계속 돌리면 탁하는 소리가 나는데 이 이후에는 더 이상 돌리지 말고 그때 어미자와 아들자의 눈금을 읽는다. 어미자의 눈금은 아들자의 회전 눈금이 지나지 않은 값을 읽고 아들자의 눈금은 어미자의 눈금축과 만나는 지점의 눈금을 읽는다. 눈금을 읽은 후에는 영점을 보정 해야 한다.

- **영점보정** : 대부분의 마이크로미터는 두 날이 직접 접촉했을 때 어미자의 0점과 아들자의 0점이 일치하지 않는다. 따라서 아들자의 0점이 어미자 축을 지나친 경우는 지나친 눈금만큼 읽은 값에서 빼주어야 하며 못 미친 경우는 그 만큼 읽은 값에 더해주어야 한다.

그림 2의 눈금을 읽는 예를 살펴보자. 어미자의 1 mm에 대해 아들자의 돌레가 50등분 되어 있는 마이크로미터를 생각해보자. 어미자와 아들자의 전진선이 만나는 지점이 어미자의 7.5 mm(눈금 7과 한눈금의 반을 나타내는 지점)를 지나고 어미자의 축과 아들자가 아들자의 눈금 11번째에서 만났다면 이때의 길이는

$$7.5 \text{ mm} + \frac{11}{100} \text{ mm} = 7.61 \text{ mm}.$$

만일 이 마이크로미터의 아들자의 0점이 어미자 축에 두 눈금만큼 미치지 못했다면 이 두 눈금에 해당하는 길이를 위의 값에 더해야 한다. 따라서 보정된 최종값은

$$7.61 \text{ mm} + \frac{2}{100} \text{ mm} = 7.63 \text{ mm}.$$

3. 구면계 (Spherometer)

구면계는 고정된 세 개의 다리와 움직일 수 있는 네 개의 다리를 이용하여 물체의 곡률을 구하는 데 사용하는 기기이다. 구면계도 마이크로미터와 마찬가지로 1 mm를

100분의 1까지 측정할 수 있는 정밀기기이다. 구면계의 장점은 길이에 있어서 정확도만 확보되면 매우 정확한 곡률을 구할 수 있는 데 있다. 구면계는 세 개의 다리가 정확히 수평을 유지하며 정삼각형의 세 꼭지점에 위치한 세 개의 다리의 중간(정삼각형의 중심)에 위아래로 움직일 수 있는 나사가 회전하면서 위로 전진한다. 구면계도 마이크로미터와 비슷한 구조를 가지고 있어서 1 mm를 전진하는데 100등분된 회전판이 달려있어 구면의 형태를 가진 물체에 네 개의 다리가 모두 접촉했을 때 눈금을 읽으면 이 물체의 곡률반경을 구할 수 있다. 눈금을 읽는 방법은 마이크로미터의 눈금을 읽는 방법과 동일하다. 실험기기들에는 다이얼게이지 형식이 되어 있어 시계처럼 읽기를 편하게 만든 구면계도 있다. 여기에는 두 개의 다이얼이 있는데 하나는 1 mm를 측정하는 눈금이고 다른 하나는 1/100 mm를 측정하는 눈금이다.

1) 구면계의 원리

정삼각형을 이루는 구면계의 세 개 다리 사이의 거리가 a 이고 물체를 구면계의 바로 위에서 보았을 때 중앙에 위치한 다리로부터 나머지 세 다리 중의 하나의 다리까지의 거리가 r 이라고 하자. 정삼각형의 성질에 의해 삼각형의 한 다리로부터 마주보는 변에 수직선을 내리면 이 선은 정삼각형의 중심을 통과하며 변을 이등분한다. 이 중심에서 정삼각형의 한 변까지의 거리는 $r/2$ 이다.

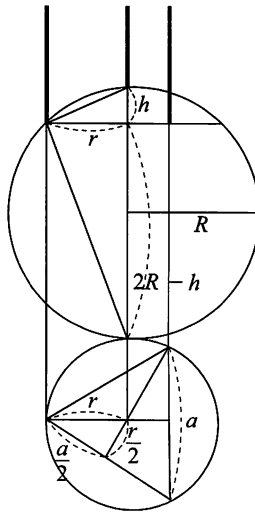


그림 3 spherometer의 원리

이러한 기하학적인 관계로부터 다음의 식을 얻는다.

$$r^2 = \left(\frac{r}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 \Rightarrow r^2 = \frac{a^2}{3} \quad (1)$$

이번에는 물체에 접한 네 개의 다리를 구면체의 옆에서 살펴보자. 중심의 다리와 세 개 중 하나의 다리를 보면 이는 구의 단면인 원에서 원의 직경을 빗변으로 하는 직각삼각형의 두 끝에 위치하고 있음을 볼 수 있다. 이 구의 반경을 R 이라고 하고 중심 다리가 나머지 세 개의 다리보다 h 만큼 더 높이 위치하고 있다면 그림에서처럼 두 삼각형이 닮은꼴이므로 해당하는 변의 비는 같다.

$$\frac{r}{h} = \frac{2R-h}{r} \Rightarrow r^2 = h(2R-h) \quad (2)$$

위의 두 식을 이용하면 구면체의 곡률반경 R 을 구할 수 있다.

$$R = \frac{h}{2} + \frac{a^2}{6h} \quad (3)$$

여기서 높이 h 와 길이 a 의 측정값에서 나타나는 오차는 곡률반경 R 에 전파된다. 오차의 전파에 의하면 이것으로 인한 곡률반경의 표준편차는

$$\sigma_R = \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\bar{a}^2}{6\bar{h}^2}\right)^2 \sigma_h^2 + \frac{\bar{a}^2}{9\bar{h}^2} \sigma_a^2} \quad (4)$$

여기서 h 와 a 값의 평균값 $\bar{h}$ 와 $\bar{a}$ 를 사용하였다.

2) 실험기기

- (1) 마이크로미터 : 0.01 mm 정밀도, 25 mm 측정구간
- (2) 버니어 캘리퍼스 : 0.1 mm 정밀도, 150 mm 측정구간
- (3) 다이알게이지 방식의 구면계 : 0.01 mm 정밀도, 10 mm 측정구간
- (4) 다이알 형 구면계 : 0.01 mm 정밀도, 10 mm 측정 구간
- (5) 평면 유리 : 직경 120 mm
- (6) 평오목 유리 : 직경 120 mm
- (7) 평볼록 유리 : 직경 120 mm
- (8) 측정용 시료 및 곡률반경 측정 용 렌즈세트

3) 실험방법

(1) 버니어 캘리퍼스를 이용한 내경, 외경, 깊이 측정

주어진 시료의 내경, 외경, 깊이를 각각 10회씩 측정하여 평균값과 표준오차를 구하여 보고 값을 작성한다.

(2) 마이크로미터를 이용한 두께 측정

- 영점 결정
- 주어진 물체의 두께를 측정한다.
- 마이크로미터의 영점을 보정한다. (영점보정 방법은 물체가 없는 상태에서 마이크로미터의 두 끝이 닿을 때까지 돌리면 더 이상 마이크로미터가 전진하지 않고 헛돌게 된다. 이때 어미자의 기준눈금과 아들자의 영점이 얼마나 벗어나 있는가를 보아 어미자 기준점에 아들자의 영점이 도달하지 못한 경우는 그 만큼을 더하고 기준점을 지난 경우는 그 만큼을 측정결과에서 빼준다.)

[주의] 마이크로미터를 전진시키는 방법은 두 가지가 있다. 하나는 마이크로미터의 거의 끝부분의 큰 손잡이이고 다른 하나는 마이크로미터 끝의 작은 돌리개이다. 마이크로미터를 많이 전진시키려면 손잡이를 이용할 수 있다. 그러나 마이크로미터의 측정부분 두 날 사이에 위치한 시료에 날의 한 끝이 거의 접근하거나 영점보정 시 측정부분의 두 날이 접근하려할 때는 반드시 돌리개를 사용하여야 한다. 그 이유는 돌리개는 두 날이 닿을 때 헛돌지만 손잡이는 마이크로미터를 헛돌게 하지 않고 마이크로미터에 무리를 가하기 때문이다.

(3) 구면계를 이용한 물체의 곡률반경측정

- 먼저 구면계를 평면판에 놓고 가운데의 돌리개 나사를 전진시켜 나사의 끝이 평면판에 닿을 때의 수직자의 눈금(h_0)을 읽는다. 눈금을 읽는 방법은 마이크로미터의 눈금을 읽는 방법과 동일하다.
- 다시 돌리개 나사를 후진시킨 후 구면체에 올려놓고 돌리개의 나사를 구면체에 닿을 때까지 전진시켜 눈금(h_1)을 읽는다.
- 이 눈금의 차이 $h = |h_1 - h_0|$ 가 실제로 다른 세 개의 다리보다 위로 올라간 길이이다.
- 위 과정을 구면체의 다른 지점에 이동하면서 10회 반복하여 구한 후 h 의 평균값

$\bar{h}$ 과 표준편차 σ_h 를 구한다.

- 구면체의 세 다리는 정삼각형을 이루지만 이들 변의 길이를 종이 위에 살짝 구멍을 내고 세 개의 변을 임의로 10번 선택하여 측정한 후 평균 $\bar{a}$ 와 표준편차 σ_a 를 구한다.
- 계산된 평균값 $\bar{h}$ 와 $\bar{a}$ 로부터 구면체의 곡률반경을 구하고 오차의 전파에 대하여 알아본다. 곡률반경의 표준편차는 $\sigma_R^2 = \left(\frac{1}{2} - \frac{\bar{a}^2}{6\bar{h}^2} \right)^2 \sigma_h^2 + \frac{\bar{a}^2}{9\bar{h}^2} \sigma_a^2$ 에서 구할 수 있다.
(오차해석 참조)