

1-1. 측정과 분석

1. 실험목적

실험에 있어서 완벽한 측정이란 있을 수 없다. 물리량들을 측정하는 과정에서는 언제나 불확실한 값들이 포함되거나 오차가 발생하게 마련이다. 따라서 오차를 어떻게 해석하는가는 실험 결과의 신뢰도를 결정하는 중요한 요인이 될 것이다. 오차를 포함한 실험자료들로부터 유의미한 과학적 결과를 얻기 위해서는 오차와 관련된 다양한 통계적 해석방법들을 사용하여 결과 값들을 이끌어 내야한다. 본 실험에서는 몇몇 물리계로부터 직접 측정한 자료들을 이용하여 오차의 표현 및 해석 그리고 자료 분석을 통해 신뢰할 수 있는 실험 결과 값을 얻을 수 있는 방법을 배우게 된다.

2. 이론 및 원리

자연현상들은 수많은 물리량들의 복잡한 상호작용 (interaction)으로 발생한다. 물리학은 이러한 상호작용의 원인을 밝혀내고 주어진 현상을 지배하는 보편적인 법칙 또는 원리를 찾는 학문이다. 물리법칙이나 원리의 증명은 실험을 통해서 이뤄지며, 실험은 개개 물리량들을 측정하는 과정과 이들 사이의 관계를 조사하는 과정으로 구성된다. 실험에서 가장 중요한 것은 객관성과 신뢰도이며, 이를 위해 불확실하거나 오차를 포함하는 물리량들에 대한 과학적 해석이 무엇보다 중요하게 된다. (「1-0.오차해석」을 참고하라.)

실험결과에 대한 신뢰도는 얼마나 정밀 (precise)하고 정확 (accurate)한가에 따라 결정된다. 정밀도는 실험결과에 대한 재현성 (reproducibility)을 정확도는 실험결과가 참값 또는 평균값에 얼마나 가까운지를 평가하는 기준이다. 따라서 실험 자료에 대한 오차해석 및 다양한 과학적 분석을 통해 정밀도와 정확도를 확보함으로써 신뢰할 수 있는 과학적 결론을 얻게 된다.

<1> 폐활량(Lung volume) 측정

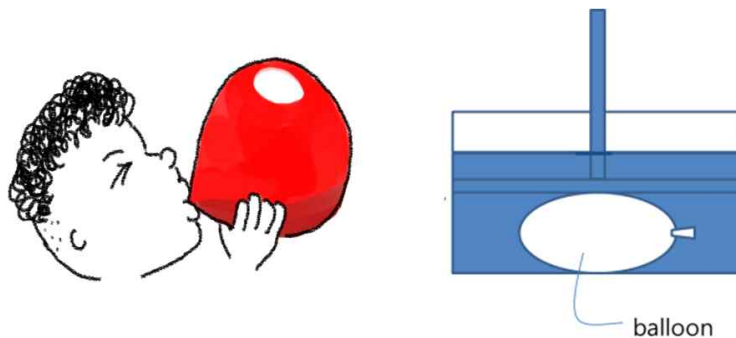


그림 1. 폐활량 측정 장치의 개념도

그림 1의 장치를 이용하여 5회 정도 폐활량을 측정한다. 측정한 자료들을 work sheet에 기록한 뒤 이를 이용하여 평균값, 표준편차, 상대오차 그리고 최종 보고값들을 평가한다.

<2> 단진자 주기의 길이 의존성 (pendulum)

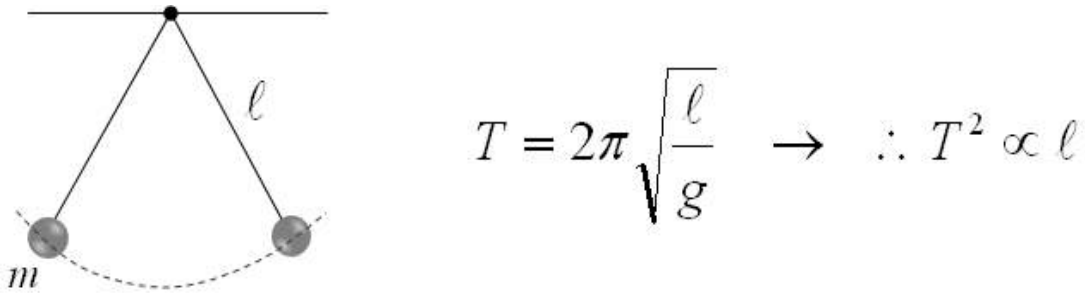


그림 2. 단진자 및 주기와 길이 사이의 관계

줄의 길이를 5회 정도 변화시켜가며 단진자의 주기를 측정한다. 측정한 자료들을 이용하여 $T-l$ 그리고 T^2-l 그래프를 그리고 주어진 그래프에 대한 linear fitting을 수행한다. 이 결과로부터 두 물리량 사이의 선형성을 조사하고 기울기의 물리적 의미를 찾아보자.

<3> 길이측정

최소 눈금이 1 mm인 보통의 자를 이용하여 물체의 길이를 측정할 경우에는 1 mm 간격에 대응되는 불확정도 (uncertainty)를 가지게 된다. 물체의 끝이 그림 3과 같이 1 mm 눈금 사이에 위치할 경우에는 눈어림으로 값을 읽게 되며 결과적으로 측정값은 0.1 mm 정도의 불확정도를 가지게 된다. 이와 같이 눈어림으로 결정된 값은 측정값을 불확실하게 하는 오차의 원인이 된다. 그림 3과 같은 길이 측정에서 최종 결과 값은 $L = (10.5 \pm 0.05) \text{cm}$ 이 된다.

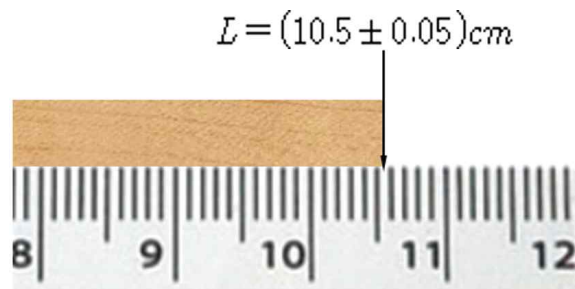


그림 3. 길이의 측정과 불확정도

길이를 정밀하게 측정하기 위해 고안된 대표적인 계측기로 버니어 캘리퍼스와 마이크로미터가 있다. 버니어 캘리퍼스는 물체의 외경, 내경, 깊이 그리고 길이를 측정하는데 사용되며, 두께는 마이크로미터를 이용하여 측정한다.

① 버니어 캘리퍼스 (Vernier callipers)

버니어 캘리퍼스는 부척인 버니어(vernier)와 주척인 캘리퍼스(callipers)로 구성되어 있으며, Pierre Vernier가 발명했기 때문에 “버니어 캘리퍼스”라 한다. 버니어 캘리퍼스의 구

조와 각 부분의 세부명칭은 그림 4와 같다. 버니어는 주척의 한 눈금인 1 mm를 10등분으로 나누어 정밀도를 높였으며, 버니어의 n 번째 눈금이 주척 눈금과 일치할 경우 버니어의 측정값은 주척의 한 눈금에 대해 “ $n/10$ ”이 된다. 이 계측기의 정밀도는 버니어 “ $1/10$ ” 과 눈짐작에 의한 어림수 “ $1/10$ ”의 곱인 0.01 mm가 된다. 그림 5는 측정방법을 나타낸다.

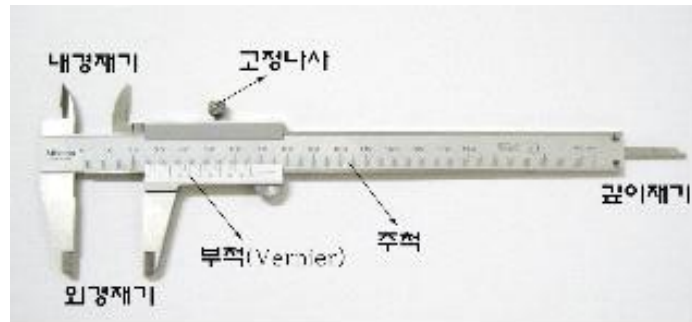


그림 4. 버니어 캘리퍼스

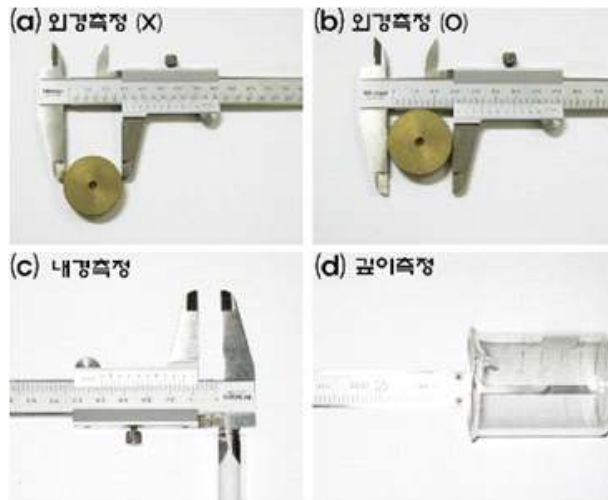


그림 5. 내경, 외경 및 깊이의 측정법

버니어 캘리퍼스 읽는 방법은 다음과 같다. 먼저 부척의 “0” 눈금 바로 앞의 주척 눈금을 읽은 후, 부척의 눈금들 중 주척의 눈금과 처음으로 일치하는 부척의 눈금을 읽는다. 부척과 주척이 일치하는 지점의 눈금은 최소 0.05 mm를 나타낸다. 이들 두 눈금에 대응되는 값들을 조합하게 되면 주어진 물체의 길이를 얻게 된다.

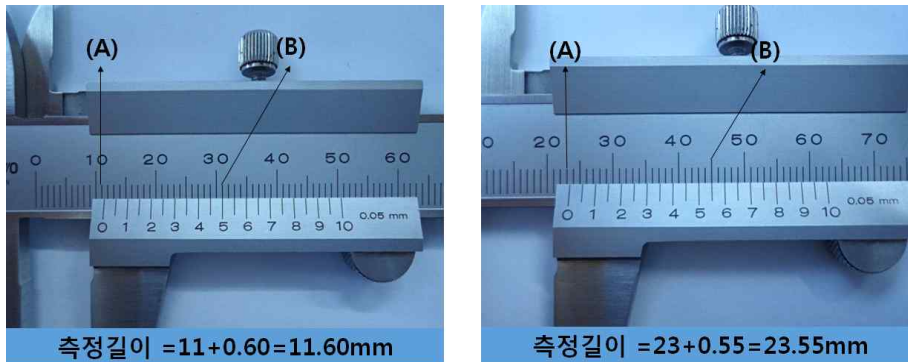


그림 6. 버니어캘리퍼스 측정의 예

그림 6의 왼쪽 경우에는 부척의 “0” 눈금 바로 앞의 주척 눈금은 11 mm에 위치해 있으며 (A), 주척과 처음으로 일치하는 부척의 눈금은 6 (B)으로 0.60 mm를 나타낸다. 따라서 측정 결과는 “11.60 mm”가 된다. 마찬가지로 그림 6에서 오른쪽의 경우 “0” 눈금 앞의 주척은 23 mm (A), 주척과 부척이 일치하는 부척의 눈금은 0.55 (B)로 최종 측정값은 23.55 mm가 된다.

∴ 측정된 길이 = 부척 “0” 눈금 앞의 주척의 눈금 + 주척과 일치하는 부척의 눈금

② 마이크로미터

마이크로미터는 1/1000 mm의 정밀도로 물체의 두께를 측정할 수 있는 계측기로, 구조와 각 부분의 세부명칭들은 그림 7과 같다. 마이크로미터는 크게 틀(frame)과 원통소매(cylindrical sleeve) 그리고 손잡이(thimble)로 구성되어 있다. 틀의 왼쪽 끝에는 모루(anvil)가 있으며 돌리개를 모루 쪽으로 이동시킬 수 있는 스펀들(screw spindle)이 있다. 잠쇠조정기(Clamp lever)는 스펀들을 고정할 때 사용한다. 원통소매 부분은 주척으로서 표면에 mm의 눈금이 그어져 있으며, 그 안쪽은 암나사로 되어 있다.



그림 7. 마이크로미터



그림 8. 마이크로미터의 측정과 구조

그림 8은 주어진 물체의 두께를 측정하기 위해 모루와 스캔들 사이에 물체를 장착한 모습과 물체의 두께를 측정할 수 있는 주척과 부척의 눈금을 나타낸다. 손잡이를 돌리게 되면 원통소매 내부의 연결되어 있는 피치 (pitch)가 1/2 mm인 암나사가 회전하면서 나사스핀들을 모루 쪽으로 이동시키게 된다. 손잡이의 왼쪽 끝에 대응되는 원추면에는 원주를 50등분한 눈금이 그어져 있고, 그 눈금의 영점은 모루와 나사스핀들의 단면이 맞닿았을 때 원통소매 부분의 주척 눈금의 영점과 일치하도록 되어 있다. 따라서 손잡이를 한 바퀴 돌릴 경우 스핀들은 0.50 mm 이동하게 되며, 두 바퀴를 돌리게 되면 1 mm 이동하게 된다. 부척인 손잡이의 왼쪽 끝에는 50개의 눈금이 그어져 있으며, 눈금 하나는 1/50 회전 또는 0.01 mm만큼 스핀들을 앞으로 나아가게 한다. 부척의 한 눈금은 1/10 까지 눈어림으로 읽어야 하기 때문에 마이크로미터는 1/1000 mm, 즉 $\sim \mu\text{m}$ 의 정밀도로 두께를 측정할 수 있다. 마이크로미터에서 가장 중요한 부분은 스핀들을 이동시키는 나사산이기 때문에 이를 보호하기 위해 측정 시 물체에 가해지는 압력이 일정 수준이상이면 돌리개가 헛돌도록 설계되어 있다. 그리고 마이크로미터는 측정 전에 반드시 영점조절을 해야 한다.

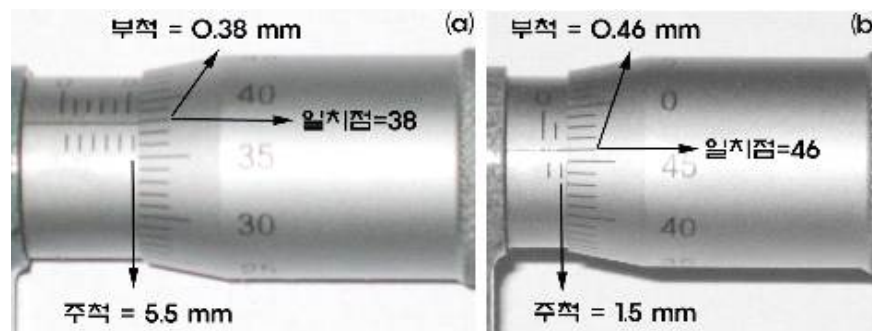


그림 9. 마이크로미터 측정의 예

그림 9에서 부척 경계선 앞의 주척 눈금은 5.5 mm를 가리키고 있으며, 주척의 중심선과 일치하는 부척의 눈금은 38이다. 부척의 한 눈금은 0.01 mm이므로 38에 대응되는 값은 0.38 mm가 된다. 따라서 이 경우 측정된 값은 $5.5 + 0.38 = 5.88 \text{ mm}$ 가 된다. 마찬가지로 그림 9(오른쪽)에서의 측정값은 $1.5 + 0.46 = 1.96 \text{ mm}$ 가 됨을 알 수 있다. 마이크로미터의 경우 주어진 물체의 길이는 주척과 부척의 눈금을 조합함으로써 결정된다.

\therefore 측정된 길이 = 부척 경계선 앞의 주척눈금 + 주척의 중심선과 일치하는 부척의 눈금

3. 실험장치 및 방법

1) 실험장치

알루미늄 고리 (3개), 샤프심 (5개), 추 (1개), 낚시 줄, 초시계 (또는 스마트폰 초시계), 100 cm 쇠자, 15 cm 자, 전자저울, 화장지, 그림 10(a)의 폐활량 측정 장치.

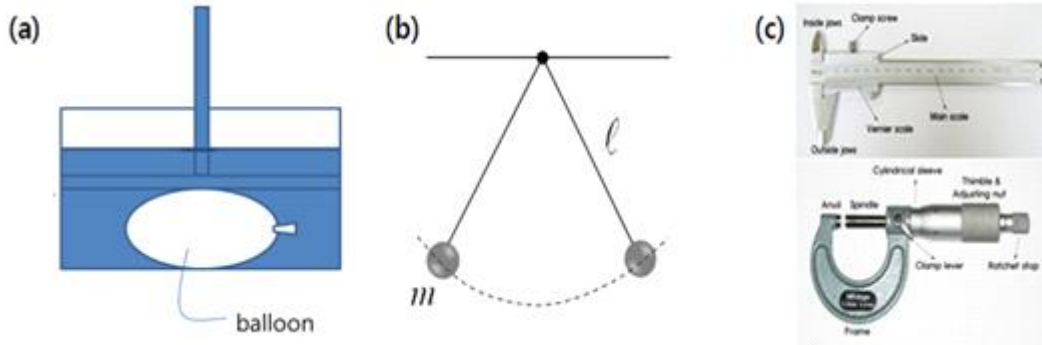
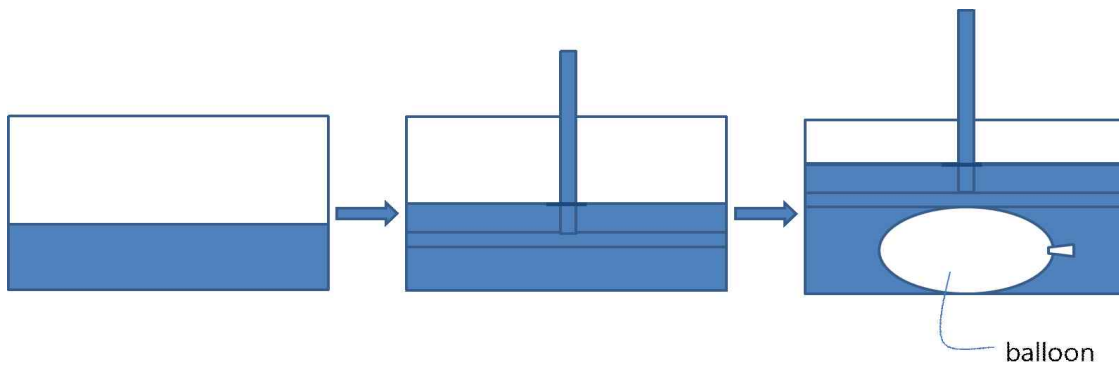


그림 10. (a) 폐활량 측정 장치 (b) 단진자 (c) 버니어캘리퍼스 및 마이크로미터

2) 실험방법

<실험1> 폐활량 측정



- ① 수조 내의 6l 정도의 물을 채우고 누름 판을 각자 정한 깊이만큼 넣어 수면의 높이를 측정한다.
- ② 숨을 깊이 들이 마신 후 풍선에 숨을 내뿜고, 풍선의 공기가 빠져 나가지 않도록 매듭을 묶는다. (단, 숨을 내뿜을 때 한번 만에 해야 함.)
- ③ 풍선을 수조에 넣고 누름 판을 각자 정한 깊이만큼 넣어 수면의 높이를 읽어 기록한다.
- ④ 이 과정을 5회 반복한다.

<실험2> 단진자의 주기측정

- ① 추와 실의 길이를 측정한 후 기록한다.
- ② 단진자를 옆의 그림과 같이 설치한다.
- ③ 10회 진동하는 시간을 측정한 후 주기를 구한다.
- ④ 실의 길이를 변화시켜 가며 실험을 반복한다.
- ⑤ 줄의 길이를 5회 정도 바꿔가며 실험을 수행한다.



<실험3> 버니어 캘리퍼스와 마이크로미터

- 버니어 캘리퍼스 (알루미늄 고리의 두께, 내경, 외경 그리고 깊이 측정)

- ① 버니어를 고정하고 있는 고정 나사를 풀고 주척과 부척 사이에 측정하고자 하는 물체를 넣은 다음 버니어를 고정하고 눈금을 읽는다.
- ② 주어진 물체의 두께, 내경, 외경 그리고 깊이를 5회 이상 측정하고 그 결과를 기록한다.
- ③ 5개의 자료 (나머지 4개의 자료는 다른 조의 자료 이용)를 이용하여 오차해석을 한다.

주의) 고정나사는 무리한 힘을 가하지 않도록 주의하고, 측정이 끝나면 반드시 고정나사를 이용하여 버니어를 고정시킨다.

- 마이크로미터 (직경이 0.5 mm인 서로 다른 샤프심 5개에 대한 두께 측정)

- ① 측정 전 마이크로미터의 영점을 확인하고, 만약 주척의 중심선과 부척의 0점이 일치하지 않을 경우 영점조절을 먼저 수행한다.
- ② 모루와 스캔들 사이에 물체를 넣은 다음 돌리개를 이용하여 스캔들을 모루 쪽으로 이동시켜 물체를 고정하고 눈금을 읽는다.
- ③ 5개의 자료를 이용하여 오차해석을 한다.

주의) 측정은 반드시 잠쇠조절기를 푼 다음 수행하고, 측정이 끝나면 반드시 고정시켜 보관한다. (잠긴 상태에서 작동하면 나사산이 마모되면서 사용할 수 없게 된다.)



성 명: _____

학 번: _____

분반/조: _____

조 원: _____

담당교수: _____

담당조교: _____

실험일시: 년 월 일 요일 시

제출일시: 년 월 일 요일 시

4. 결과 및 분석

1) <실험1>의 수행 결과를 아래 표에 기록하고, 이 자료를 이용하여 주어진 평가들을 완성하라. (폐활량 실험은 개별적으로 자료를 분석하라.)

표 1. 폐활량 측정

Trial, N	lung volume ($m\ell$)	note
1		
2		
3		
4		
5		

㉑ $N =$ _____

㉒ $\bar{x} = \frac{\sum_i x_i}{N} =$ _____

㉓ $(\sum_i \delta_i^2)^{1/2} = \sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} =$ _____

㉔ $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} =$ _____

㉕ Reported value, $x = \langle x \rangle \pm \sigma =$ _____

㉖ relative error, $\varepsilon (\%) =$ _____

2) <실험2>의 수행 결과를 표 2에 기록하고, 아래 주어진 평가들을 완성하라.

표 2. 길이와 진자의 주기

Trial, N	Length, ℓ (m)	$10T$ (sec.)	T (sec.)	T^2 (sec ²)
1				
2				
3				
4				
5				
mass, $m =$ (g)				

㉠ 표 2의 자료를 이용하여 $T^2-\ell$ 그래프를 그리고 주어진 그래프에 대한 linear fitting을 수행하라. (단, 그래프에는 제목, 각 축 (x-축: 독립변수, y-축: 종속변수)에 대응되는 물리량과 단위를 반드시 표시하라. 또한 linear fitting을 통해 얻은 결과식도 함께 표시하라.)

㉞ ㉝로부터 얻은 두 물리량 (T, ℓ) 사이의 관계를 기술하고, 이 결과가 물리적으로 신뢰할 만한지 아닌지를 평가하라.

㉟ 그래프의 기울기로부터 얻을 수 있는 물리적 정보가 무엇인지 설명하고, 주어진 기울기로부터 물리량을 정량적으로 평가하라.

㊱ ㉟의 결과 값을 기존의 값과 비교해 보고, 상대오차도 평가해 보라. 오차가 발생했다면 그 주된 원인이 무엇인지를 설명하라.

3) <실험3>의 버니어 캘리퍼스를 이용하여 알루미늄 고리에 대해 측정한 결과들을 아래 표에 기록하고, 이 자료를 이용하여 주어진 평가들을 완성하라.

표 3. 버니어캘리퍼스로 측정

Trial, N	외경, O (mm)	내경, I (mm)	깊이, h (mm)
1			
2			
3			

눈금 간격이 1 mm인 일반 자를 이용하여 측정한 결과를 아래 표에 기록하라.

표 4. 눈금이 1 mm인 막대자로 측정

Trial, N	외경, O (mm)	내경, I (mm)	깊이, h (mm)
1			
2			
3			

㉔ 표 3과 4의 자료를 이용하여 불확정도의 차이를 비교, 분석해 보라.

4) <실험3>의 마이크로미터를 이용하여 샤프심에 대해 측정한 결과들을 아래 표에 기록하고, 이 자료를 이용하여 주어진 평가들을 완성하라.

표 5. 마이크로미터로 측정

Trial, N	Thickness, t (mm)	note
1		true value (샤프심 통에 표시된 값)
2		
3		
4		
5		

Ⓐ $N =$ _____

Ⓑ $\bar{x} = \frac{\sum_i x_i}{N} =$ _____

Ⓒ $(\sum_i \delta_i^2)^{1/2} = \sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} =$ _____

Ⓓ $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} =$ _____

Ⓔ Reported value, $x = \langle x \rangle \pm \sigma =$ _____

Ⓕ relative error, ε (%) = _____

5. 결론 (본 실험을 통해 얻은 결과를 간단히 기술하라.)

6. 참고자료

