

SOP 21

공기 부력 보정

1. 대상 및 적용분야

공기 부력의 영향을 보정하지 않는것이 질량 측정에 있어 오차가 나게 만드는 가장 중요한 원인이 되곤 한다. 이번 절차에서는 공기의 부력효과를 보정하는데 쓰이는 식을 제공한다. 매우 높은 정확도로 질량을 측정할 때에는 공기 부력 보정이 반드시 필요하다.

2. 원리

공기 부력 때문에 생기는 밀어올림 현상은 시료와 무게 균형 추에 모두 영향을 준다. 각기 밀도가 달라 다른 부피를 가진다면 질량을 정확하게 재려면 공기 부력의 차이를 고려해야 한다.

3. 요구 사항

3.1 무게측정 시 공기 밀도 정보

가장 정확한 측정을 위해서 공기 밀도는 압력, 온도, 상대 습도를 가지고 계산되어야 한다. 각종 측정에 대한 허용오차는 표 4-8에 제시하였다.

표 4-8 각종 물리 인자에 대한 허용 오차

변수	공기 밀도 계산시의 부정확도	
	± 0.1%	± 1.0%
상대습도 (%)	± 11.3%	—
공기 온도 (°C)	± 0.29 K	± 2.9 K
기압 (kPa)	± 0.10 kPa	± 1.0 kPa

- 정확도 ± 0.05 kPa의 기압계
- 정확도 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 의 온도계
- 정확도 10%의 습도계

공기 밀도에서 1% 오차는 공기 부력 보정에 있어서 질량의 약 $1/10^5$ 에 해당하는 오차를 가져온다. 기상학적 변동성도 공기 밀도에서 3%에 달하는 변동을 가져오지만 고도에 따른 압력의 변화(따라서 공기 밀도의 변화)는 훨씬 더 중요하다. 해수면 고도의 일반적인 실험실 온도에서 중간 정도의 정확도를 요구하는 측정에서는 대개의 경우 공기밀도 $0.0012 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 정도가 알맞다.

3.2 저울 보정에 쓰이는 겔보기 질량 척도 정보

일반적으로 겔보기 질량 척도는 두 가지가 쓰인다. 과거에는 황동(brass)의 무게를 밀도 $8.4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 로 맞추어 사용하였고, 최근에는 스테인레스를 밀도 $8.0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 으로 조정된 척도를 이용한다¹.

3.3 시료의 밀도 정보

계산에는 무게를 잰 시료의 밀도가 필요하다.

4. 분석 절차

4.1 공기 밀도 계산

공기의 밀도는 압력, 온도, 상대습도 측정으로부터 계산되고 단위는 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 이다(Jones, 1978).

$$\rho(\text{air}) = \frac{3.4848(p - 0.0037960U \cdot e_s)}{273.15 + t} \times 10^{-3} \quad (1)$$

식에서

p = 대기압 (kPa)

U = 상대 습도 (%)

t = 온도 ($^\circ\text{C}$)

¹ 엄격하게는 이런 밀도는 20°C 에서만 적용된다. "겔보기 질량"을 "참"질량으로 바꾸어주는 요인은 다음 식으로 정의한다.

$$Q = \frac{\rho(\text{weights})(D_{20} - 0.0012)}{D_{20}[\rho(\text{weights}) - 0.0012]}$$

이때 D_{20} 는 질량이 부여된 겔보기 질량 척도이다. 이 인자는 통상 1로 간주된다.

e_s = 포화수증기압 (kPa)

$$e_s = 1.7526 \times 10^8 \exp[-5315.56/(t + 273.15)] \quad (2)$$

4.2 무게로부터 질량 계산

무게가 w 이고 밀도가 $\rho(\text{sample})$ 인 시료의 질량 m 은 다음 식으로 계산된다.

$$m = w \left(\frac{1 - \rho(\text{air})/\rho(\text{weights})}{1 - \rho(\text{air})/\rho(\text{sample})} \right) \quad (3)$$

(식의 유도는 별첨 참조).

5. 계산 예시

계산에 쓰인 자료는 아래와 같다².

시료의 무게, $w = 100.00000 \text{ g}$

시료의 밀도, $\rho(\text{sample}) = 1.0000 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

무게 측정 조건:

$p = 101.325 \text{ kPa (1 atm)}$

$U = 30.0\%$

$t = 20.00^\circ\text{C}$

$\rho(\text{weights}) = 8.0000 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

5.1 공기 밀도 계산

$e_s = 2.338 \text{ kPa}$

$\rho(\text{air}) = 0.0012013 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

5.2 질량 계산

$m = 100.10524 \text{ g}$.

6. 참고 문헌

- Dean, J.A. 1985. Lange's Handbook of Chemistry. McGraw-Hill Book Company, New York, 1792 pp.
- Jones, F.E. 1978. The air density equation and the transfer of the mass unit. *J. Res. Natl. Bureau Stand.* **83**: 419-428.
- Schoonover, R.M. and Jones, F.E. 1981. Air buoyancy correction in high-accuracy weighing on analytical balances. *Anal. Chem.* **53**: 900-902.

² 얼핏 지나치게 많은 자릿수로 된 값을 여기에 보인 까닭은 각자의 계산 방식을 검토해 보도록 하는데 있다.

- Taylor, J.K. and Oppermann, H.V. 1986. Handbook for the quality assurance of metrological measurements. National Bureau of Standards Handbook 145.
- Woodward, C. and Redman, H.N. 1973. High-precision Titrimetry. The Society for Analytical Chemistry, London, 63 pp.

별첨

부력 보정식 유도 과정

부력보정에 쓰이는 식은 그림 4-9 에 나타낸 힘을 고려하여 유도할 수 있다. 최근에 사용하는 저울은 대개 접시가 하나인 저울이지만 원리는 같다. 두 저울의 차이는 지레를 사이에 두고 동시에 비교하는 것이 아니라 힘 센서를 써서 순차적으로 재서 비교한다는 데 있다. 균형을 이루었을 때 서로 반대편의 힘은 같다.

$$m_1g - V_1\rho(\text{air})g = m_2g - V_2\rho(\text{air})g \quad (4)$$

식에서 g 는 중력가속도이고 $\rho(\text{air})$ 는 측정 시 온도, 압력, 그리고 습도에서 공기 밀도이다 m_2 는 참 무게가 m_1 인 시료의 무게임에 유의하시오.

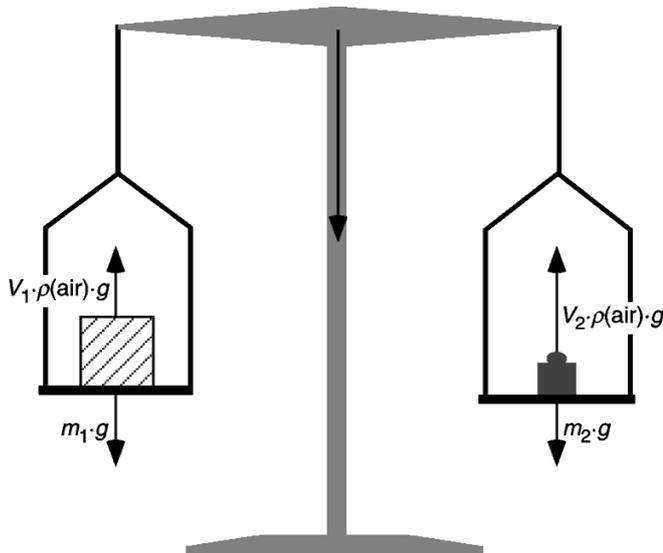


그림 4-9 공기 중에서 무게를 달 때 시료 (1) 과 추 (2) 에 작용하는 힘들

부피는 질량을 밀도로 나눈 값이므로

$$V = m/\rho \quad (5)$$

식(4)는 다음과 같이 다시 쓰일 수 있다.

$$m_1 - m_1\rho(\text{air})/\rho_1 = m_2 - m_2\rho(\text{air})/\rho_2 \quad (6)$$

위 식을 재배열해서 아래의 식을 얻을 수 있다.

$$m_1 = m_2 \frac{1 - \rho(\text{air})/\rho_2}{1 - \rho(\text{air})/\rho_1} \quad (7)$$

식 (7)은 공기 부력 보정에 쓰이는 기본 식이다 (Schoonover and Jones, 1981; Taylor and Oppermann, 1986).

$$m = w \frac{1 - \rho(\text{air})/\rho(\text{weights})}{1 - \rho(\text{air})/\rho(\text{sample})} \quad (8)$$

여기서 w 는 공기에서 시료의 “무게”이고, m 은 실제 질량이다.

식 (6)은 다음과 같이 배열을 바꿀 수 있다

그런데 $m_1 \approx m_2$ 이므로 식 (9)는 통상 인용되는 식과 거의 같다.

$$m = w + w\rho(\text{air}) \left[\frac{1}{\rho(\text{sample})} - \frac{1}{\rho(\text{weights})} \right] \quad (9)$$

(Woodward and Redman, 1973; Dean, 1985). $\rho(\text{air})$ 에 대해 대략 $0.0012 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 이 위 식에 주로 쓰인다; 이것은 해수면에서 압력과 보통의 실험실 온도에서 이루어지는 보통 수준의 정확한 측정에 적합하다.