

SOP 13

물 무게를 이용한 담긴 부피의 보정

1. 대상 및 적용 분야

이 절차는 부피 플라스크(volumetric flask) 또는 채우는 눈금이 표시된 저장 용기에 담긴 용액의 부피를 보정하는 방법을 다루고 있다. 이것은 표준 온도(20°C)에서 채워진 부피로 표현된다. 이 과정은 0.01% (1 상대 표준편차)보다 우수한 재현성을 확보 할 수 있다.

2. 원리

측정된 보정 온도에서 플라스크에 담긴 물의 질량으로 그 온도에서 담긴 물의 부피를 계산한다. 표준 온도(20°C)에서 담겨야 할 부피는 플라스크의 부피 팽창을 고려해서 계산된다. 어느 원하는 온도에서 채워진 액체의 부피는 비슷한 방식으로 계산할 수 있다.

3. 기구

- $1/10^5$ 의 해상도로 전달된 물의 양을 측정할 수 있으며, 물을 담은 유리 용기와 함께 물의 무게를 측정할 충분한 용량을 지닌 분석용 저울
- $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 이내로 정확한 온도계

4. 시약

- 탈이온수

5. 분석 절차

- 5.1 마개를 닫은 깨끗하고 건조된 빈 용기의 무게를 측정한다.
- 5.2 탈이온수로 보정될 용기의 표시선까지 채워서 저장용기와 저장된 물의 온도가 평형에 도달하게 둔다. 이 온도를 기록하라.
- 5.3 용기를 닫고 무게를 다시 측정한다.

6. 결과의 계산과 제시

6.1 보정 온도에서 담겨진 물의 부피

채운 용기와 빈 용기 사이의 무게 차로 담겨진 물 무게를 계산한다.

$$w(\text{H}_2\text{O}) = w(\text{filled container}) - w(\text{empty container}) \quad (1)$$

공기 부력(SOP 21 참조)을 보정하여 담겨진 물의 질량을 계산한다.

$$m(\text{H}_2\text{O}) = w(\text{H}_2\text{O}) \left(\frac{1 - \rho(\text{air})/\rho(\text{weights})}{1 - \rho(\text{air})/\rho(\text{sample})} \right) \quad (2)$$

기록된 온도(t)에서 담겨진 부피는

$$V(t) = m(\text{H}_2\text{O})/\rho(\text{H}_2\text{O}, t) \quad (3)$$

5에서 40°C 사이의 온도 범위에서 공기-포화된 물의 밀도는 다음 식으로 주어진다 (Jones and Harris, 1992).

$$\begin{aligned} \rho_w / (\text{kg m}^{-3}) = & 999.84847 + 6.337563 \times 10^{-2} (t/^\circ\text{C}) \\ & - 8.523829 \times 10^{-3} (t/^\circ\text{C})^2 + 6.943248 \times 10^{-5} (t/^\circ\text{C})^3 \\ & - 3.821216 \times 10^{-7} (t/^\circ\text{C})^4 \end{aligned} \quad (4)$$

식에서 t 는 ITS 90¹의 온도이다. $1/10^4$ 의 정확성을 달성하기 위해서는 t 는 0.5°C 이내로 알려져야 한다.

¹ The International Practical Temperature Scale of 1968 (IPTS 68) 은 the International Temperature Scale of 1990 (ITS 90) 로 대체되었다. 간단한 식으로 해양 온도 범위 0에서 40°C 사이에 대해 그 둘을 연계할 수 있다.

$$t_{90} = 0.0002 + 0.99975 t_{68}$$

온도 척도에 따른 작은 차이는 전형적으로 이 분석 절차에서 유리용기를 보정하는데 중요하지 않다.

6.2 다른 온도에서 담겨질 부피

어느 한 온도(t_1)에서 담긴 부피를 표준 또는 다른 온도(t_2)에서 담겨질 부피로 환산하려면 사용된 용기의 열 팽창을 고려해야 한다. Pyrex 급 유리 (Corning 7740, Kimble KG-33, Schott Duran, Wheaton 200, *etc*)의 선형팽창 계수 α_l 가 $32.5 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ 이다. Kimble KG-35 급 유리의 α_l 는 약 $55 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ 이다.

부피 팽창 계수는,

$$\alpha_v = (1 + \alpha_l)^3 - 1 \approx 3\alpha_l \quad (5)$$

다른 온도에서 보정된 부피를 계산하는데 이용된다.

$$V(t_2) = V(t_1)[1 + \alpha_v(t_2 - t_1)] \quad (6)$$

이 보정은 $t_2 - t_1$ 이 10°C 을 넘지 않는 경우나 플라스틱 용기가 사용되었다면 아주 정밀한 작업을 제외하고는 무시해도 된다.

6.3 계산 예시

6.3.1 다음 자료가 이 계산에 이용된다.

$$w(\text{H}_2\text{O}) = 996.55 \text{ g}$$

보정 온도 calibration temperature = 23.0°C

$$\rho(\text{H}_2\text{O}, 23.0^\circ\text{C}) = 0.997535 \text{ g cm}^{-3}$$

$$\alpha_l = 32.5 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$$

무게 측정 조건 weighing conditions:

$$\rho(\text{air}) = 0.0012 \text{ g cm}^{-3} \text{ }^2$$

$$\rho(\text{weights}) = 8.0 \text{ g cm}^{-3}$$

6.3.2 물의 무게를 질량으로 보정

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{O}) &= 996.55 \times \frac{1 - 0.0012 / 8.0}{1 - 0.0012 / 0.997535} \\ &= 997.60 \text{ g} \end{aligned}$$

6.3.3 보정온도 23.0°C 에서 담긴 물 부피 계산

$$\begin{aligned} V(23.0^\circ\text{C}) &= 997.60 / 0.997535 \\ &= 1000.07 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

² 이 값은 해수면 기압 (1 atm)과 일반 실험실 온도($\sim 20^\circ\text{C}$)에서 행해지는 보통 정확성의 측정에 적당하다. 더 정확한 값을 원하면 SOP21 식 (1) 참조.

6.3.4 표준 온도 20.0°C 에서 담겨졌을 부피 계산, 즉, 표준 보정 부피

$$\begin{aligned}V(20.0\text{ }^\circ\text{C}) &= 1000.07 \left[1 + 3(32.5 \times 10^{-7})(20.0 - 23.0) \right] \\ &= 1000.04\text{ cm}^3\end{aligned}$$

6.3.5 25°C 에서 담겨졌을 부피 계산

$$\begin{aligned}V(25.0\text{ }^\circ\text{C}) &= 1000.04 \left[1 + 3(32.5 \times 10^{-7})(25.0 - 20.0) \right] \\ &= 1000.09\text{ cm}^3\end{aligned}$$

7. 정도 보증

담긴 부피가 잘 관리되고 있음을 확인하기 위해 담긴 양은 정기적으로 측정되어야 하며 보정된 부피를 속성 관리도에 기재하도록 한다 (SOP22 참조).

8. 참고 문헌

Jones, F.E. and Harris, G.L. 1992. ITS-90 density of water formulation for volumetric standards calibration. *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.* **97**: 335–340.