

บทที่ 2

การวัดและเลขนัยสำคัญ



ในทางวิทยาศาสตร์ การบอกปริมาณต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ มวล หรือปริมาตร จำเป็นต้องแสดงหน่วยและเลขนัยสำคัญในการแสดงผลของการวัดและหน่วยของการวัดด้วยความถูกต้องและแม่นยำ

2.1 หน่วยของการวัด

ในการวัดปริมาณใด ๆ ต้องระบุหน่วยของการวัดเพื่อใช้แสดงประเภทของปริมาณที่วัดได้ เช่น ความยาวมีหน่วยเป็นเมตร อุณหภูมิมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และหน่วยของปริมาณแต่ละประเภทอาจมีหลายแบบ เช่น ความยาวอาจใช้หน่วยเป็นเซนติเมตร หรือนิ้ว อุณหภูมิอาจใช้หน่วยเป็นองศาเซลเซียสหรือองศาฟาเรนไฮต์ การใช้หน่วยที่แตกต่างกันทำให้ยากต่อการสื่อสารและการเปรียบเทียบ จึงได้มีการกำหนดหน่วยของการวัดให้เป็นมาตรฐานสากล

2.1.1 หน่วยเอสไอ

ในปี พ.ศ.2503 ที่ประชุมกำหนดว่าด้วยเรื่องการชั่งและการวัด (The General Conference on Weights and Measures) ได้กำหนด**หน่วยมาตรฐานสากล (International System of Units)** เรียกว่า **หน่วยเอสไอ (SI Units)** ซึ่งมาจากภาษาฝรั่งเศสคำว่า *Système International d'Unités* โดยดัดแปลงมาจากหน่วยในระบบเมตริก ประกอบด้วยหน่วยเอสไอพื้นฐานและหน่วยเอสไออนุพันธ์

หน่วยเอสไอพื้นฐาน (SI base unit) ประกอบด้วย 7 หน่วย ได้แก่ หน่วยที่ใช้วัดความยาว มวล เวลา กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ ความเข้มของการส่องสว่าง ปริมาณของสาร โดยแต่ละหน่วยต่างเป็นอิสระต่อกัน และใช้เป็นหน่วยพื้นฐานของหน่วยอื่น แสดงดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 หน่วยเอสไอพื้นฐาน

ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์ของหน่วย
ความยาว (l)	เมตร (metre)	m
มวล (m)	กิโลกรัม (kilogram)	kg
เวลา (t)	วินาที (second)	s
กระแสไฟฟ้า (I)	แอมแปร์ (ampere)	A
อุณหภูมิ (T)	เคลวิน (kelvin)	K
ความเข้มแห่งการส่องสว่าง (I_v)	แคนเดลา (candela)	cd
ปริมาณของสาร (n)	โมล (mole)	mol

หน่วยเอสไออนุพันธ์ (SI derived unit) เกิดจากการนำหน่วยพื้นฐานมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ แล้วได้เป็นปริมาณที่มีความสัมพันธ์กันมากกว่าหนึ่งปริมาณ เช่น ความเร็วเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางต่อเวลา ปริมาณเหล่านี้อาจมีหน่วยตามชื่อหน่วยพื้นฐานหรือมีชื่อเฉพาะก็ได้ ตัวอย่างหน่วยอนุพันธ์ที่มีชื่อตามหน่วยพื้นฐานแสดงดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 ตัวอย่างหน่วยอนุพันธ์ที่มีชื่อตามหน่วยพื้นฐาน

ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์ของหน่วย
พื้นที่	ตารางเมตร (square metre)	m^2
ปริมาตร	ลูกบาศก์เมตร (cubic metre)	m^3
ความเร็ว	เมตรต่อวินาที (metre per second)	$m \cdot s^{-1}$
ความเร่ง	เมตรต่อวินาทีกำลังสอง (metre per second square)	$m \cdot s^{-2}$
ความหนาแน่น	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kilogram per cubic metre)	$kg \cdot m^{-3}$
ความเข้มข้น	โมลต่อลูกบาศก์เมตร (mole per cubic metre)	$mol \cdot m^{-3}$

นอกจากนี้ชื่อของหน่วยอนุพันธ์ที่เป็นชื่อเฉพาะอาจนำมาจากชื่อของบุคคลสำคัญ แล้วกำหนดสัญลักษณ์เป็นอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ เช่น แรงแม่เหล็กเป็นนิวตัน ใช้สัญลักษณ์ N ดังตัวอย่างในตาราง 2.3

ตาราง 2.3 ตัวอย่างหน่วยอนุพันธ์ที่มีชื่อเฉพาะ

ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์ ของหน่วย	ค่าที่เทียบกับ หน่วยเอสไอพื้นฐาน
พลังงาน (E)	จูล (joule)	J	$\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$
แรง (f)	นิวตัน (newton)	N	$\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2} = \text{J}\cdot\text{m}^{-1}$
กำลัง (P)	วัตต์ (watt)	W	$\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-3} = \text{J}\cdot\text{s}^{-1}$
ประจุไฟฟ้า (q)	คูลอมบ์ (coulomb)	C	A·s
ความต่างศักย์ (U)	โวลต์ (volt)	V	$\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-1} = \text{J}\cdot\text{A}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
ความถี่ (V)	เฮิรตซ์ (hertz)	Hz	s^{-1}
ความดัน (P)	พาสคัล (pascal)	Pa	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2} = \text{N}\cdot\text{m}^{-2}$

2.1.2 หน่วยนอกระบบเอสไอ

ถึงแม้ว่าหน่วยเอสไอจะได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่ยังมีหน่วยอีกหลายหน่วยที่ใช้กันแพร่หลาย และมีอีกหลายหน่วยที่ใช้ในกลุ่มสาขาวิชาชีวฟิสิกส์ จึงอนุโลมให้ใช้ต่อไปได้หรือให้ปรับเปลี่ยนบางส่วน เช่น ปริมาตร หน่วยเอสไอใช้ ลูกบาศก์เมตร (m^3) แต่ที่นิยมใช้คือ ลิตร (L) ซึ่งเมื่อเทียบกับหน่วยเอสไอจะเท่ากับ ลูกบาศก์เดซิเมตร (dm^3) ในปัจจุบันอนุโลมให้ใช้หน่วยลิตรในกรณีบอกความเข้มข้นเป็นโมลต่อลิตร (mol/L) ส่วนการบอกปริมาตรให้ใช้หน่วยลูกบาศก์เดซิเมตร (dm^3) และลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) ตัวอย่างหน่วยนอกระบบเอสไอแสดงดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 ตัวอย่างหน่วยนอกระบบเอสไอ

ปริมาณ	หน่วย	สัญลักษณ์	ค่าที่เทียบกับหน่วยอื่น
เวลา	นาที่	min	1 min = 60 s
	ชั่วโมง	h	1 h = 60 min = 3,600 s
	วัน	d	1 d = 24 h = 86,400 s
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	°C	°C + 273.15 = K
	องศาฟาเรนไฮต์	°F	(°F - 32) × $\frac{5}{9}$ = °C
ปริมาตร	ลูกบาศก์เดซิเมตร	dm ³	1,000 dm ³ = 1 m ³
	ลูกบาศก์เซนติเมตร	cm ³	1,000 cm ³ = 1 dm ³
	ลิตร	L	1 L = 1 dm ³
มวล	ตัน	t	1 t = 1,000 kg
	มวลอะตอม	amu	1 amu = 1.66 × 10 ⁻²⁷ kg
ความดัน	บาร์	bar	1 bar = 100 kPa = 10 ⁵ Pa
	มิลลิเมตรปรอท	mmHg	1 mmHg = 133.322 Pa
	บรรยากาศ	atm	1 atm = 760 mmHg = 760 torr = 1.013 × 10 ⁵ Pa
ความยาว	อังสตรอม	Å	1 Å = 0.1 nm = 10 ⁻¹⁰ m
พลังงาน	อิเล็กตรอนโวลต์	eV	1 eV = 1.602 × 10 ⁻¹⁹ J

2.1.3 การเขียนแสดงหน่วยของการวัด

การเขียนหน่วยมีหลักดังต่อไปนี้

1. ใช้เอกพจน์เสมอ เช่น ความยาวที่มีหน่วยเมตร ให้ใช้ m แม้จะมีความยาวหลายเมตร ไม่ใช่ ms
2. ไม่ใช่เครื่องหมายหัพภาค (.) ท้ายตัวย่อของหน่วย เช่น m ไม่ใช่ m.
3. เมื่อกล่าวถึงอุณหภูมิในหน่วยเคลวินไม่ต้องใช้เครื่องหมายองศา (°) เช่น 273 K ไม่ใช่ 273 °K
4. ไม่ใช่เครื่องหมายเศษส่วน (/) ในการแสดงเครื่องหมายหาร แต่ถ้าจำเป็นสามารถใช้ได้ไม่เกิน 1 ครั้งในหน่วยเดียวกัน เช่น J·kg⁻¹·K⁻¹ เขียนเป็น J/kg·K ไม่ใช่ J/kg/K

2.1.4 การแปลงหน่วยโดยใช้คำอุปสรรค

ถ้าปริมาณที่วัดมีค่ามากหรือน้อยเกินกว่าที่จะวัดโดยหน่วยที่กำหนดไว้ ให้แปลงหน่วยเดิมให้ใหญ่ขึ้นหรือเล็กลง โดยเขียนแสดงในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ จากนั้นใช้คำอุปสรรค (prefix) แสดงแทนตัวเลขยกกำลังนั้น โดยเขียนคำอุปสรรคไว้หน้าหน่วยหลัก

$$\text{เช่น } 0.000007 \text{ m} = 7 \times 10^{-6} \text{ m} = 7 \mu\text{m}$$

ตัวอย่างคำอุปสรรคแสดงดังตาราง 2.5

ตาราง 2.5 ตัวอย่างคำอุปสรรค

คำอุปสรรค	สัญลักษณ์	จำนวน	คำอุปสรรค	สัญลักษณ์	จำนวน
เดคา (deca)	da	10^1	เดซี (deci)	d	10^{-1}
เฮกโต (hecto)	h	10^2	เซนติ (centi)	c	10^{-2}
กิโล (kilo)	k	10^3	มิลลิ (milli)	m	10^{-3}
เมกะ (mega)	M	10^6	ไมโคร (micro)	μ	10^{-6}
จิกะ (giga)	G	10^9	นาโน (nano)	n	10^{-9}
เทระ (tera)	T	10^{12}	พิโก (pico)	p	10^{-12}
เพตะ (peta)	P	10^{15}	เฟมโต (femto)	f	10^{-15}
เอกซะ (exa)	E	10^{18}	อัตโต (atto)	a	10^{-18}
เซตตะ (zetta)	Z	10^{21}	เซปโต (zepto)	z	10^{-21}
ยอตตะ (yotta)	Y	10^{24}	ยอกโต (yocto)	y	10^{-24}

หลักการใช้คำอุปสรรค มีดังนี้

1. คำอุปสรรคใช้ในการอ้างอิงกับระบบเลขยกกำลังฐาน 10 เท่านั้น
เช่น $1 \text{ kbit} = 1000 \text{ bit}$
2. ไม่ใช่คำอุปสรรคโดยลำพัง ต้องมีหน่วยหลักร่วมด้วยเสมอ โดยเขียนคำอุปสรรคกับสัญลักษณ์ของหน่วยหลักติดกัน ไม่ต้องเว้นวรรค
เช่น เซนติเมตร เขียนเป็น cm ไม่ใช่ c m
3. คำอุปสรรคสามารถเปลี่ยนเป็นจำนวนเลขยกกำลังฐาน 10 แล้วรวมกับค่าอื่นได้ เช่น
 $\text{cm}^3 = (10^{-2} \text{ m})^3 = (10^{-2})^3 \text{ m}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$

4. ในแต่ละหน่วยหลัก ใช้คำอุปสรรคได้เพียงค่าเดียว

เช่น $8 \times 10^3 \times 10^6 \text{ m} = 8 \times 10^9 \text{ m} = 8 \text{ Gm}$ ไม่ใช่ 8 kMm

ดังนั้นหน่วยกิโลกรัม (kg) ซึ่งมีคำอุปสรรคอยู่ด้วย จึงต้องนำค่า k ซึ่งเท่ากับ 10^3 ที่เป็นคำอุปสรรค ไปคิดรวมกับจำนวนเลขยกกำลังฐาน 10 แล้วจึงเปลี่ยนเป็นคำอุปสรรคใหม่ เช่น $10^{-6} \text{ kg} = 10^{-6} \times 10^3 \text{ g} = 10^{-3} \text{ g} = 1 \text{ mg}$ ไม่ใช่ $1 \text{ } \mu\text{kg}$

5. ไม่ใช่คำอุปสรรคกับหน่วยของเวลา เช่น นาที่ ชั่วโมง ยกเว้นช่วงเวลาที่สั้นกว่าวินาที เช่น $10^{-6} \text{ s} = \mu\text{s}$

ตัวอย่าง 1 สาร 3.8 mol มีค่ากี่มิลลิโมล

วิธีทำ มิลลิ (m) มีค่าเท่ากับ 10^{-3} จึงคูณจำนวน 3.8 mol ด้วย 10^{-3} ทั้งเศษและส่วน จากนั้นจึงใช้ค่า mmol แทน 10^{-3} mol

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad 3.8 \text{ mol} &= 3.8 \text{ mol} \times \frac{10^{-3}}{10^{-3}} \\ &= \frac{3.8}{10^{-3}} (\times 10^{-3} \text{ mol}) \\ &= \frac{3.8}{10^{-3}} \text{ mmol} \\ &= 3.8 \times 10^3 \text{ mmol} \end{aligned}$$

ดังนั้น สาร 3.8 โมล มีค่าเท่ากับ 3.8×10^3 มิลลิโมล

ตัวอย่าง 2 ความยาว 0.0000000000085 m มีค่าเท่าใดในหน่วยนาโนเมตร

วิธีทำ นาโน (n) มีค่าเท่ากับ 10^{-9} จึงคูณจำนวน 0.0000000000085 m ด้วย 10^{-9} ทั้งเศษและส่วน จากนั้นจึงใช้ค่า nm แทน 10^{-9} m

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad 0.0000000000085 \text{ m} &= 8.5 \times 10^{-12} \text{ m} \times \frac{10^{-9}}{10^{-9}} \\ &= \frac{8.5 \times 10^{-12}}{10^{-9}} (\times 10^{-9} \text{ m}) \\ &= 8.5 \times 10^{-3} \text{ nm} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความยาว 0.0000000000085 เมตร มีค่าเท่ากับ 8.5×10^{-3} นาโนเมตร

ตัวอย่าง 3 มวล 1.24×10^6 mg มีค่ากี่กิโลกรัม

วิธีทำ 1.24×10^6 mg เขียนในหน่วยกรัมเท่ากับ $1.24 \times 10^6 (\times 10^{-3} \text{ g})$ ใช้คำอุปสรรค
ซึ่งในที่นี้คือ กิโล (k) แทนค่าเลขยกกำลัง 10^3

$$\begin{aligned}\text{จะได้} \quad 1.24 \times 10^6 \text{ mg} &= 1.24 \times 10^6 (\times 10^{-3} \text{ g}) \\ &= 1.24 \times 10^3 \text{ g} \\ &= 1.24 (\times 10^3 \text{ g}) \\ &= 1.24 \text{ kg}\end{aligned}$$

ดังนั้น มวล 1.24×10^6 มิลลิกรัม มีค่าเท่ากับ 1.24 กิโลกรัม

แบบฝึกหัด 2.1

จงแปลงหน่วยที่กำหนดให้ต่อไปนี้

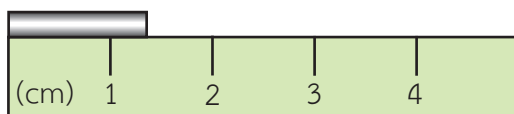
1. น้ำปริมาตร 3.88 mL มีค่ากี่ลิตร
2. มวล 0.003 kg มีค่ากี่มิลลิกรัม
3. แท่งเหล็กยาว 0.5 m มีค่ากี่ไมโครเมตร
4. สารตัวอย่าง 1,500 cmol มีค่ากี่โมล
5. แอลกอฮอล์ปริมาตร 10 mm^3 มีค่ากี่ลูกบาศก์เซนติเมตร



2.2 เลขนัยสำคัญและผลของการวัด

ผลของการวัดอาจเป็นผลโดยตรงที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัด หรืออาจเป็นผล
ที่คำนวณจากผลที่วัดได้ เช่น วัดมวลและปริมาตรของน้ำได้เท่ากับ 10 g และ 10 cm^3
ตามลำดับ เมื่อนำไปคำนวณหาความหนาแน่นได้เท่ากับ $1.0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ในกรณีนี้ทั้งมวล
และปริมาตรของน้ำเป็นผลที่ได้จากการวัดโดยตรง ส่วนความหนาแน่นเป็นผลที่ได้จาก
การคำนวณ

สำหรับผลของการวัดที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัดโดยตรง ผู้วัดต้องอ่านค่าจากส่วนแสดงผลที่เครื่องมือวัด ซึ่งอาจเป็นแบบขีดสเกลและแบบตัวเลข เครื่องมือที่ใช้ในวิชาเคมีส่วนใหญ่มักเป็นแบบขีดสเกล ผู้วัดต้องมีความชำนาญและต้องเลือกเครื่องมือวัดให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลของการวัดที่ถูกต้อง ในการอ่านค่าเครื่องมือวัดที่เป็นแบบขีดสเกลผู้วัดต้องศึกษาค่าละเอียดที่สุดที่เครื่องมือวัดนั้นสามารถอ่านค่าได้ เพื่อประมาณค่าในตำแหน่งที่ไม่มีขีดสเกล จึงจะทำให้ผลการวัดใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด เช่น วัดความยาวของแท่งเหล็กด้วยไม้บรรทัดต่อไปนี้



ไม้บรรทัดนี้มีสเกลเล็กที่สุดเท่ากับ 1 cm จึงสามารถอ่านค่าได้เพียงหน่วยเซนติเมตรเท่านั้น จากนั้นประมาณค่าตัวเลขทศนิยมตำแหน่งที่ 1 นั่นคือวัดความยาวของแท่งเหล็กได้ 1.3 cm

ถ้าเปลี่ยนไม้บรรทัดที่ใช้วัดให้มีการแบ่งสเกลละเอียดกว่านี้ จะส่งผลต่อค่าที่วัดด้วย เช่น



ไม้บรรทัดนี้มีสเกลเล็กที่สุดเท่ากับ 1 mm หรือ 0.1 cm ค่าที่สามารถอ่านได้คือทศนิยมตำแหน่งที่ 1 ของเซนติเมตร ส่วนตัวเลขทศนิยมตำแหน่งที่ 2 เป็นค่าโดยประมาณ ดังนั้นวัดความยาวของแท่งเหล็กได้ 1.35 cm

จะเห็นว่าสเกลของเครื่องมือวัดมีผลต่อความละเอียดและความเที่ยงตรงของผลของการวัดด้วย โดยสเกลที่มีความละเอียดสูงจะให้ผลที่มีความละเอียดและความเที่ยงตรงมากขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องมือวัดจึงต้องให้มีความเหมาะสมกับงาน เช่น การวัดความยาวทั่ว ๆ ไปอาจใช้ตลับเมตร ส่วนงานที่ต้องใช้ความละเอียดสูงขึ้นอาจใช้ไมโครมิเตอร์หรือเวอร์เนีย

ตัวเลขที่ได้จากการวัดโดยตรงหรือผลที่คำนวณมาจากการวัดเรียกว่า **เลขนัยสำคัญ (significant figure)** ซึ่งประกอบด้วยตัวเลขที่แสดงความแน่นอนรวมกับตัวเลขที่แสดงความไม่แน่นอน เช่น การวัดความยาวของแท่งเหล็กอันแรกมีเลขนัยสำคัญ 2 ตำแหน่ง ส่วนการวัดความยาวของแท่งเหล็กอันที่สองมีเลขนัยสำคัญ 3 ตำแหน่ง

2.2.1 การนับเลขนัยสำคัญ

การนับจำนวนหรือตำแหน่งของเลขนัยสำคัญมีหลักดังตาราง 2.6

ตาราง 2.6 หลักการนับจำนวนเลขนัยสำคัญ

หลักการ	ตัวอย่าง	จำนวนเลขนัยสำคัญ
1. ตัวเลขที่ไม่มีเลขศูนย์ ตัวเลขทั้งหมดนับเป็นเลขนัยสำคัญ	^{1 2 3} 22.4	3
2. เลขศูนย์ที่อยู่หน้าตัวเลขอื่น ๆ ไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ	^{1 2} 0.12 ^{1 2 3} 0.00353	2 3
3. เลขศูนย์ที่อยู่หลังหรือระหว่างตัวเลขอื่น นับเป็นเลขนัยสำคัญ	^{1 2 3 4} 750.0 ^{1 2 3 4} 0.5004	4 4
4. เลขยกกำลังฐาน 10 ให้นับเฉพาะส่วนที่เป็นตัวเลข ไม่นับตรงเลขยกกำลังฐาน 10	^{1 2 3} 6.02×10^{23}	3
5. จำนวนที่มีค่าน้อยมาก ๆ หรือใหญ่มาก ๆ นิยมเขียนในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ ก่อนนับเลขนัยสำคัญ	2720000 ^{1 2 3} $= 2.72 \times 10^6$	3

สำหรับ ลอการิทึม มีหลักการพิจารณาเลขนัยสำคัญ ดังนี้

$$\log 345 = \underline{2.538}$$

characteristic mantissa

ผลลัพธ์ที่ได้มีเลขนัยสำคัญของ mantissa เท่ากับเลขนัยสำคัญของตัวเลขเริ่มต้น เช่น

$$\log 459 = 2.6618 = 2.662$$

$$\log 4.58 \times 10^4 = 4.6609 = 4.661$$

$$\log 2.723 \times 10^{-3} = -2.5654 = -2.5654$$

แอนติลอการิทึม มีหลักการพิจารณาเลขนัยสำคัญ ดังนี้

$$\text{antilog } \underline{2.538} = 345$$

characteristic mantissa

ผลลัพธ์ที่ได้มีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับจำนวนเลขนัยสำคัญของ mantissa ของตัวเลขเริ่มต้น เช่น

$$\text{antilog } 2.661 = 458$$

$$\text{antilog } 4.661 = 45814 = 4.58 \times 10^4$$

รายละเอียดและการคำนวณเกี่ยวกับลอการิทึมจะได้ศึกษาในบทที่ 5

ตัวอย่าง 4 จงระบุจำนวนเลขนัยสำคัญของ 0.3002

ตัวเลขที่อยู่หลังจุดทศนิยมทั้งหมดนับเป็นเลขนัยสำคัญ โดยนับเลขศูนย์ที่อยู่ระหว่างตัวเลขอื่นเป็นเลขนัยสำคัญด้วย ส่วนเลขศูนย์ที่อยู่หน้าตัวเลขอื่นไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ นั่นคือนับ 3 0 0 2 ดังนั้น 0.3002 มีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับ 4

ตัวอย่าง 5 จงระบุจำนวนเลขนัยสำคัญของ 0.000000870

จำนวนที่มีค่าน้อยมากต้องเขียนในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ก่อน ดังนี้ 8.70×10^{-7} จากนั้นนับเฉพาะส่วนที่เป็นตัวเลข โดยนับเลขศูนย์ที่อยู่หลังตัวเลขอื่นด้วย นั่นคือ 8 7 ดังนั้นมีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับ 3

แบบฝึกหัด 2.2

จงระบุจำนวนเลขนัยสำคัญของจำนวนต่อไปนี้ พร้อมทั้งให้เหตุผล

1. 2.21×10^5
2. 0.07156
3. 2,769,000
4. 0.50
5. 3.500×10^{-3}



2.2.2 ผลของการวัดโดยตรงกับเลขนัยสำคัญ

เลขนัยสำคัญที่ได้จากการวัดอาจเป็นเลขจำนวนเต็มหรือเลขทศนิยม ขึ้นอยู่กับความละเอียดของเครื่องมือที่ใช้วัด โดยจะประกอบด้วยตัวเลขที่อ่านค่าได้โดยตรงจากเครื่องมือ รวมกับตัวเลขที่ได้จากการประมาณค่า

เช่น



อ่านค่าได้เท่ากับ 1 cm

1.3 cm

เลขจากการอ่านค่า

เลขจากการประมาณค่า

เลขนัยสำคัญ 2 ตำแหน่ง



อ่านค่าได้เท่ากับ 1.3 cm

1.35 cm

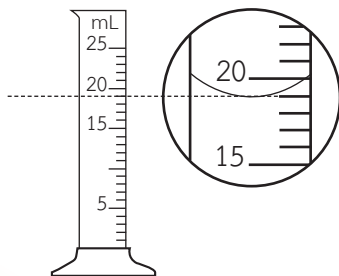
เลขจากการอ่านค่า

เลขจากการประมาณค่า

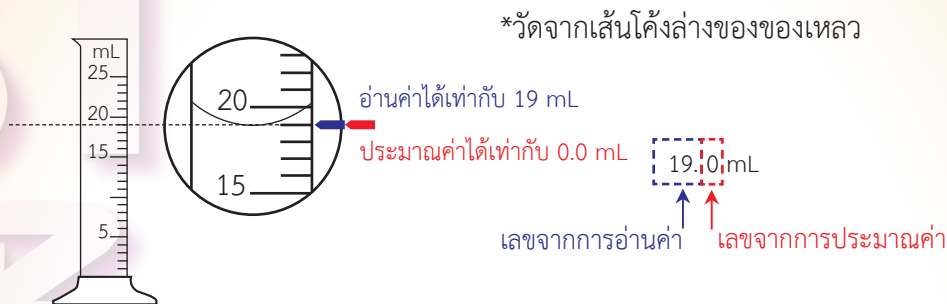
เลขนัยสำคัญ 3 ตำแหน่ง

จะเห็นว่าจำนวนเลขนัยสำคัญขึ้นอยู่กับความละเอียดของเครื่องมือวัด ถ้าเครื่องมือวัดมีความละเอียดสูง ผลที่ได้จากการวัดก็จะมีจำนวนเลขนัยสำคัญมากด้วย

ตัวอย่าง 6 จงระบุผลของการวัดปริมาตรและจำนวนเลขนัยสำคัญต่อไปนี้

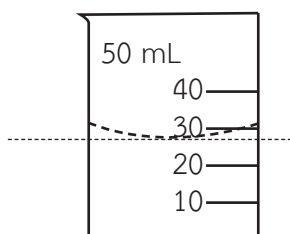


วิธีทำ กระบอกตวงนี้มีสเกลเล็กที่สุดเท่ากับ 1 mL ค่าที่สามารถอ่านได้คือ 1 mL และ
ประมาณค่าตัวเลขทศนิยมตำแหน่งที่ 1

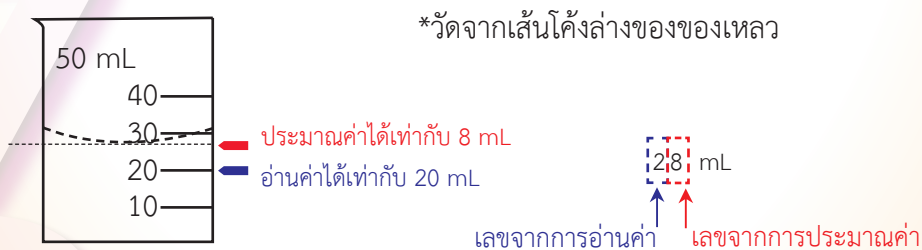


ดังนั้น วัดปริมาตรได้ 19.0 mL ซึ่งมีเลขนัยสำคัญ 3 ตำแหน่ง

ตัวอย่าง 7 จงระบุผลของการวัดปริมาตรและจำนวนเลขนัยสำคัญต่อไปนี้



วิธีทำ ปีกเกอร์นี้มีสเกลเล็กที่สุดเท่ากับ 10 mL ค่าที่สามารถอ่านได้คือ 10 mL และ
ประมาณค่าตัวเลขในหลักหน่วย

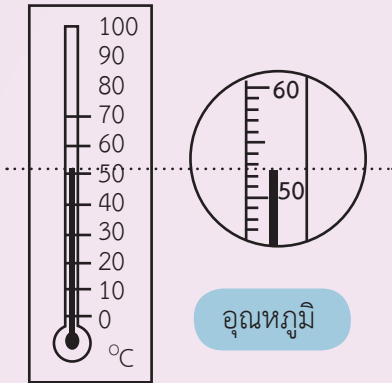


ดังนั้น วัดปริมาตรได้ 28 mL ซึ่งมีเลขนัยสำคัญ 2 ตำแหน่ง

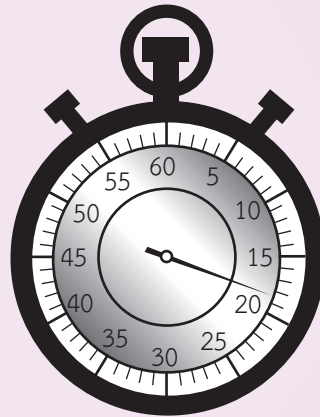
แบบฝึกหัด 2.3

จงระบุผลของการวัดและจำนวนเลขนัยสำคัญต่อไปนี้

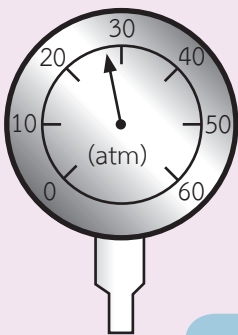
1.



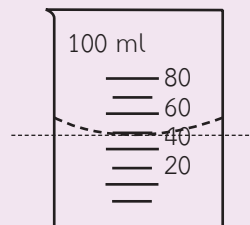
2.



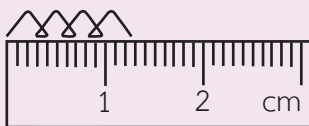
3.



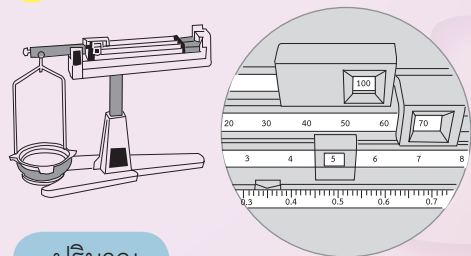
4.



5.



6.



2.2.3 ผลที่ได้จากการคำนวณกับเลขนัยสำคัญ

จำนวนเลขนัยสำคัญขึ้นอยู่กับความละเอียดของเครื่องมือที่ใช้วัดโดยตรง เมื่อนำตัวเลขเหล่านั้นมาคิดคำนวณ ผลที่ได้จากการคำนวณต้องมีความละเอียดหรือมีเลขนัยสำคัญไม่มากไปกว่าค่าที่วัดได้โดยตรง แต่ส่วนใหญ่ผลที่ได้จากการคำนวณมักมีตัวเลขทศนิยมหลายตำแหน่ง จึงจำเป็นต้องตัดตัวเลขทศนิยมตำแหน่งที่เกินออกไป โดยใช้ **การปัดเศษ (rounding off)** ซึ่งเริ่มจากการหาตัวเลขตำแหน่งสุดท้ายของเลขนัยสำคัญที่ต้องการ แล้วปัดเศษตัวเลขทศนิยมตำแหน่งถัดไปทางขวา โดยใช้หลักต่อไปนี้

1. ถ้าตัวเลขที่อยู่ถัดจากตัวเลขที่ต้องการปัดเศษต่ำกว่า 5 ให้ปัดลง โดยตัดตัวเลขนั้นออกไป ส่วนตัวเลขสุดท้ายของตำแหน่งที่ต้องการยังคงเป็นตัวเลขเดิม
2. ถ้าตัวเลขที่อยู่ถัดจากตัวเลขที่ต้องการปัดเศษมีค่ามากกว่า 5 ให้ปัดขึ้น โดยตัดตัวเลขนั้นออกไป และเพิ่มค่าของตัวเลขสุดท้ายของตำแหน่งที่ต้องการอีก 1
3. ถ้าตัวเลขที่อยู่ถัดจากตัวเลขที่ต้องการปัดเศษมีค่าเท่ากับ 5 ให้พิจารณาตัวเลขสุดท้ายของตำแหน่งที่ต้องการ ถ้าเป็นเลขคู่ให้ปัดขึ้น แต่ถ้าเป็นเลขคู่ให้ปัดลง

ตัวอย่าง 8 จงทำให้จำนวน 54.674873 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง

วิธีทำ ตัวเลขสุดท้ายของเลขนัยสำคัญตำแหน่งที่ 4 ของ 54.6¹7²4³8⁴73 คือ 7 ดังนั้นตัวเลขที่ต้องการปัดเศษ คือ 4 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 5 จึงปัดลง โดยตัดตัวเลขหลัง 7 ทิ้งไป จะได้จำนวนที่มีเลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่งเป็น 54.67^{1 2 3 4}

ตัวอย่าง 9 จงทำให้จำนวน 0.8765 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตำแหน่ง

วิธีทำ ตัวเลขสุดท้ายของเลขนัยสำคัญตำแหน่งที่ 2 ของ 0.8¹7²65 คือ 7 ดังนั้นตัวเลขที่ต้องการปัดเศษ คือ 6 ซึ่งมีค่ามากกว่า 5 จึงปัดขึ้น โดยตัดตัวเลขหลัง 7 ออก แล้วเพิ่มค่าของ 7 อีก 1 จะได้จำนวนที่มีเลขนัยสำคัญ 2 ตำแหน่งเป็น 0.88^{1 2}

ตัวอย่าง 10 จงทำให้จำนวน 5.875 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตำแหน่ง

วิธีทำ ตัวเลขสุดท้ายของเลขนัยสำคัญตำแหน่งที่ 3 ของ 5.875 คือ 7 ดังนั้นตัวเลขที่ต้องการปิดเศษ คือ 5 จึงพิจารณาตัวเลขสุดท้ายของตำแหน่งที่ต้องการ คือ 7 ซึ่งเป็นเลขคี่ จึงปัดขึ้น โดยตัดตัวเลขหลัง 7 ออก แล้วเพิ่มค่าของ 7 อีก 1 จะได้จำนวนที่มีเลขนัยสำคัญ 3 ตำแหน่งเป็น 5.88

ตัวอย่าง 11 จงทำให้จำนวน 3.825 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตำแหน่ง

วิธีทำ ตัวเลขสุดท้ายของเลขนัยสำคัญตำแหน่งที่ 3 ของ 3.825 คือ 2 ดังนั้นตัวเลขที่ต้องการปิดเศษ คือ 5 จึงพิจารณาตัวเลขสุดท้ายของตำแหน่งที่ต้องการ คือ 2 ซึ่งเป็นเลขคู่ จึงปัดลง โดยตัดเลข 5 ทิ้ง จะได้จำนวนที่มีเลขนัยสำคัญ 3 ตำแหน่งเป็น 3.82

การคำนวณในวิชาเคมีต้องคำนึงถึงเลขนัยสำคัญของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วย โดยการระบุจำนวนเลขนัยสำคัญของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ มีวิธีการดังนี้

1. ผลลัพธ์จากการบวกและลบ ต้องมีจำนวนเลขทศนิยมเท่ากับข้อมูลที่มีเลขทศนิมน้อยที่สุด
2. ผลลัพธ์จากการคูณและหาร ต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับข้อมูลที่มีเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด
3. ข้อมูลที่มาจากการนับหรือการเทียบหน่วยในระบบเดียวกันไม่นำมาพิจารณาจำนวนเลขนัยสำคัญ

ตัวอย่าง 12 จงหาผลลัพธ์ของ $53.27 \text{ cm}^3 + 16.8 \text{ cm}^3$

วิธีทำ หาข้อมูลที่มีจำนวนเลขทศนิมน้อยที่สุด

	53.27	16.8
จำนวนเลขทศนิยม	2	1

จำนวนที่มีเลขทศนิมน้อยที่สุด คือ 16.8 ซึ่งมีเลขทศนิยม 1 ตำแหน่ง จากนั้นคำนวณข้อมูลแล้วปิดเศษผลลัพธ์ให้มีเลขทศนิยม 1 ตำแหน่ง

$$\begin{aligned}\text{ดังนี้} \quad 53.27 \text{ cm}^3 + 16.8 \text{ cm}^3 &= 70.07 \text{ cm}^3 \\ &= 70.1 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

ตัวอย่าง 13 จงหาผลลัพธ์ของ $0.9387 \text{ cm} \times 1.542 \text{ cm} \times 1.32 \text{ cm}$

วิธีทำ หาข้อมูลที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด

$$\begin{array}{r} 1\ 2\ 3\ 4 \\ 0.9387 \\ 1\ 2\ 3\ 4 \\ 1.542 \\ 1\ 2\ 3 \\ 1.32 \end{array}$$

จำนวนเลขนัยสำคัญ 4 4 3

จำนวนที่มีเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด คือ 1.32 ซึ่งมีเลขนัยสำคัญ 3 ตำแหน่ง จากนั้นคำนวณข้อมูลแล้วปัดเศษผลลัพธ์ให้มีเลขนัยสำคัญ 3 ตำแหน่ง

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } 0.9387 \text{ cm} \times 1.542 \text{ cm} \times 1.32 \text{ cm} &= 1.9106 \text{ cm}^3 \\ &= 1.91 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 14 จงหาผลลัพธ์ของ $\frac{4.65 \text{ g}}{24.5 \text{ cm}^3 - 19.93 \text{ cm}^3}$

วิธีทำ คำนวณข้อมูลที่เป็นลบก่อน แล้วจึงนำไปหาร โดยอาศัยหลักเลขนัยสำคัญในแต่ละขั้นตอนด้วย นั่นคือผลลัพธ์ที่ได้จากการลบต้องมีทศนิยม 1 ตำแหน่ง

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } \frac{4.65 \text{ g}}{24.5 \text{ cm}^3 - 19.93 \text{ cm}^3} &= \frac{4.65 \text{ g}}{4.57 \text{ cm}^3} \\ &= \frac{4.65 \text{ g}}{4.6 \text{ cm}^3} \end{aligned}$$

จากนั้นนำไปหาร โดยผลลัพธ์ที่ได้ต้องมีเลขนัยสำคัญ 2 ตำแหน่ง

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } \frac{4.65 \text{ g}}{4.6 \text{ cm}^3} &= 1.01 \text{ g} \cdot \text{cm}^3 \\ &= 1.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^3 \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 15 จงหาผลลัพธ์ของ $50 \text{ cm} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$

วิธีทำ $1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$ จำนวน 1 m และ 100 cm เป็นข้อมูลจากการเทียบหน่วยในระบบเดียวกันจึงไม่นำมาพิจารณาจำนวนเลขนัยสำคัญ ดังนั้นพิจารณาเฉพาะ 50 cm ซึ่งมีเลขนัยสำคัญ 2 ตำแหน่ง

ดังนั้น

$$50 \text{ cm} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0.50 \text{ m}$$

$$= 0.50 \text{ m}$$

แบบฝึกหัด 2.4

จงคำนวณผลลัพธ์จากโจทย์ต่อไปนี้ พร้อมระบุจำนวนเลขนัยสำคัญ

1. $45.68 + 4.3 - 6.41$

2.
$$\frac{(3.86 \times 10^4)(1.542 \times 10^{-2})}{1.5}$$

3.
$$\frac{16.3521 - 1.448}{7.085}$$

4.
$$\frac{(1.8 \times 10^2)(44.7)}{2}$$
 เมื่อ 2 เป็นจำนวนนับ

5.
$$\frac{(2.25 + 6.1)(0.125)}{(5.66 + 1.034)}$$



2.3 ปริมาณและหน่วยที่มักพบในวิชาเคมี

2.3.1 ความยาว

ความยาว (length, l) เป็นมิติตามแนวยาวของวัตถุใด ๆ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นระยะทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุด ความยาวเป็นการวัดในหนึ่งมิติ ส่วนพื้นที่และปริมาตรเป็นการวัดในสองมิติและสามมิติ ตามลำดับ

ในระบบเอสไอ หน่วยของความยาวคือ เมตร (m) ส่วนหน่วยเซนติเมตร (cm) และกิโลเมตร (km) เป็นหน่วยที่ใช้กันโดยทั่วไป ซึ่งมาจากหน่วยเมตรนั่นเอง ระบบนี้มีอีกชื่อว่า **ระบบเมตริก (metric system)** ส่วนหน่วยความยาวที่นิยมใช้ในอเมริกาและอังกฤษเป็นระบบอังกฤษ มักใช้หน่วยความยาวเป็น นิ้ว (inch, in) ฟุต (foot, ft) และ ไมล์ (mile, mi) นอกจากนี้ยังมีหน่วยที่ใช้เฉพาะในกลุ่มสาขาวิชา เช่น วิชาดาราศาสตร์ หน่วยที่ใช้วัดระยะทางที่ไกลมากในอวกาศมีทั้งหน่วยดาราศาสตร์และหน่วยปีแสง สำหรับวิชาเคมีจะมีหน่วยที่มีระยะทางสั้นมากในระดับอะตอมหรือโมเลกุล เช่น ความยาวพันธะ รัศมีอะตอม ซึ่งมีทั้งหน่วยนาโนเมตร (nm) พิโกเมตร (pm) และหน่วยอังสตรอม (angstrom, Å) เป็นต้น

$$1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ mi} = 1.609 \text{ km}$$

$$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m} = 0.1 \text{ nm} = 100 \text{ pm}$$

ตัวอย่าง 16 ไฮโดรเจนมีรัศมีอะตอม 37 pm มีค่าเท่ากับกี่อังสตรอม

วิธีทำ เปลี่ยนหน่วย pm ไปเป็น m ก่อน แล้วจึงเปลี่ยน m เป็น Å

$$\text{โดย } 1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m} \text{ และ } 10^{-10} \text{ m} = 1 \text{ Å}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } 37 \text{ pm} &= 37 \times 10^{-12} \text{ m} \\ &= 37 \times 10^{-2} (\times 10^{-10} \text{ m}) \\ &= 3.7 \times 10^{-1} \text{ Å} \end{aligned}$$

ดังนั้น ไฮโดรเจนมีรัศมีอะตอม 37 พิโกเมตร มีค่าเท่ากับ 3.7×10^{-1} อังสตรอม

2.3.2 มวลและน้ำหนัก

มวล (mass, m) เป็นปริมาณของสารในวัตถุใด ๆ หน่วยในระบบเอสไอคือ กิโลกรัม (kg) ซึ่งเป็นปริมาณสัมบูรณ์จึงมีค่าเท่าเดิมเสมอไม่ว่าจะทำการวัดที่ใดก็ตาม เมื่อวัตถุวางอยู่ที่ผิวโลกจะมีแรงดึงดูดของโลกกระทำต่อมวลของวัตถุนั้น ขนาดของแรงที่โลกดึงดูดมวลของวัตถุนั้นเรียกว่า น้ำหนัก (weight, W) มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) แรงที่โลกดึงดูดวัตถุมวล 1 kg มีค่าประมาณ 9.8 N และเนื่องจากแรงโน้มถ่วงขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างวัตถุ ดังนั้นน้ำหนักจึงเป็นปริมาณสัมพัทธ์ สถานที่ใช้วัดน้ำหนักมีผลต่อค่าที่วัดได้ โดยขนาดของแรงจะลดลงเมื่อวัตถุนั้นเคลื่อนที่ห่างจากโลก เช่น ผู้ชายมวล 100 kg จะมีน้ำหนัก 980 N ที่ผิวโลก แต่เมื่ออยู่ห่างจากโลก 10,000 km จะมีน้ำหนักเพียง 150 N แต่ยังคงมีมวล 100 kg เท่าเดิม

ในวิชาเคมีมักใช้มวลของสารที่มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม กรัม และกิโลกรัม สำหรับมวลของอะตอมจะใช้หน่วยที่เรียกว่า หน่วยมวลอะตอม (atomic mass unit, amu) ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบมวลของธาตุกับมวลของธาตุมาตรฐาน ปัจจุบันใช้ C-12 โดยกำหนดให้ 1 อะตอมของ C-12 มีมวลเท่ากับ 12 หน่วยมวลอะตอม ดังนั้น 1 หน่วยมวลอะตอมจึงมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{12}$ มวลของ C-12 1 อะตอม และจากการทดลองพบว่า มีค่าเท่ากับ 1.66×10^{-24} g เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$1 \text{ amu} = \frac{1}{12} \text{ มวลของ C-12 1 อะตอม}$$

$$= 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}$$

$$1 \text{ g} = 6.02 \times 10^{23} \text{ amu}$$



2.3.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิ (temperature, T) เป็นการวัดค่าเฉลี่ยของพลังงานจลน์ของอนุภาคในสารใด ๆ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นปริมาณที่บอกถึงความร้อนของสารนั้น เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิเรียกว่า เทอร์โมมิเตอร์

หน่วยของอุณหภูมิในระบบเอสไอ คือ เคลวิน (K) ส่วนหน่วยที่นิยมคือ องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) และองศาฟาเรนไฮต์ ($^{\circ}\text{F}$) เขียนความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$$

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times \frac{5}{9}$$

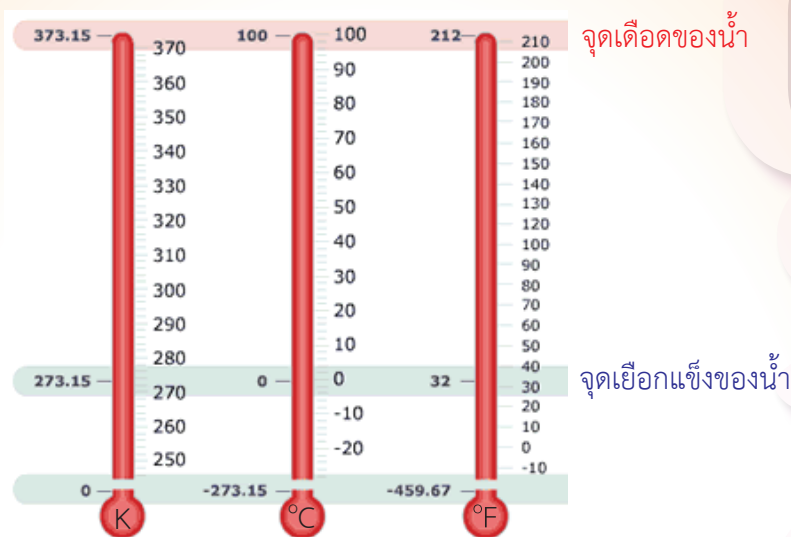
ในการเปลี่ยนหน่วยจาก $^{\circ}\text{C}$ เป็น $^{\circ}\text{F}$ ที่มีค่า $\frac{5}{9}$ มาเกี่ยวข้องด้วย เนื่องจากอุณหภูมิ $^{\circ}\text{F}$ มีจุดเยือกแข็งที่ 32°F และมีจุดเดือดที่ 212°F (มีระยะห่างกัน 180°F) แต่ที่อุณหภูมิ $^{\circ}\text{C}$ มีจุดเยือกแข็งที่ 0°C และมีจุดเดือดที่ 100°C (มีระยะห่างกัน 100°C) ทั้ง $^{\circ}\text{C}$ กับ $^{\circ}\text{F}$ นี้ จึงไม่สามารถนำมาเทียบกันโดยตรงได้ ดังนั้นจึงได้นำหน่วยทั้งสองมาเปรียบเทียบกับกัน ดังนี้

$$\frac{(^{\circ}\text{C} - 0)}{100} = \frac{(^{\circ}\text{F} - 32)}{180}$$

$$\text{หรือ} \quad ^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times \frac{100}{180}$$

เลข 5 กับเลข 9 ก็คือ อัตราส่วนระหว่าง 100 กับ 180 นั่นเอง





รูป 2.1 อุณหภูมิที่จุดเดือดและจุดเยือกแข็งของน้ำในหน่วยต่าง ๆ

ตัวอย่าง 17 เอทานอลมีจุดเดือด 20.1°C มีค่าเท่าใดในหน่วยเคลวินและองศาฟาเรนไฮต์

วิธีทำ เอทานอลมีจุดเดือด 20.1°C เปลี่ยนเป็นหน่วยต่าง ๆ ตามสมการ
จะได้

$$\begin{aligned}
 \text{K} &= ^{\circ}\text{C} + 273.15 \\
 &= 20.1^{\circ}\text{C} + 273.15 \\
 &= 293.25 \text{ K} \\
 &= 293.3 \text{ K} \\
 ^{\circ}\text{C} &= (^{\circ}\text{F} - 32) \times \frac{5}{9} \\
 ^{\circ}\text{F} &= (^{\circ}\text{C} \times \frac{9}{5}) + 32 \\
 &= (20.1^{\circ}\text{C} \times \frac{9}{5}) + 32 \\
 &= 68.2^{\circ}\text{F}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น เอทานอลมีจุดเดือด 293.3 เคลวิน หรือ 68.2 องศาฟาเรนไฮต์

2.3.4 ปริมาณของสาร

ปริมาณของสาร (amount of substance, n) ในระบบเอสไอมีหน่วยเป็น โมล (mol) โดย 1 mol หมายถึง ปริมาณสารที่มีจำนวนอนุภาคเท่ากับจำนวนอะตอมของ C-12 ที่มีมวล 12 g ซึ่งมีค่า 6.02×10^{23} อะตอม ค่าตัวเลขนี้เรียกว่า เลขอาโวกาโดร (Avogadro's number)

ในทางปฏิบัติจะวัดปริมาณของสารจากมวลของสาร โดยปริมาณของสาร 1 mol มีมวลเท่ากับมวลอะตอมหรือมวลโมเลกุลของสารนั้นในหน่วยกรัม เช่น คาร์บอนมีมวลอะตอม 12.0108 ดังนั้นคาร์บอน 1 mol มีมวล 12.0108 g

2.3.5 ปริมาตร

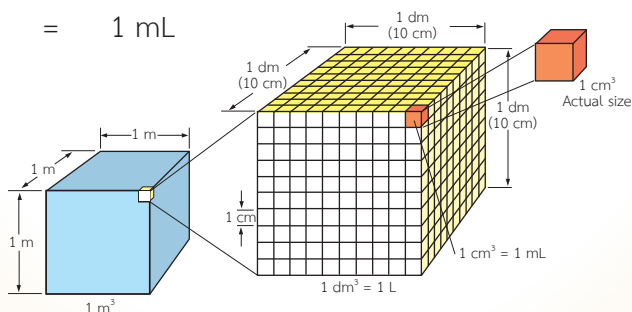
ปริมาตร (volume, V) เป็นปริมาณของพื้นที่ในสามมิติซึ่งวัตถุในสถานะใด ๆ หรือรูปทรงใดยึดครองอยู่หรือบรรจุอยู่ โดยทั่วไปปริมาตรของสารในสถานะของเหลว จะได้จากการวัดปริมาตรโดยตรง ส่วนการวัดปริมาตรของแก๊สมักพิจารณาจากปริมาตรของภาชนะที่บรรจุแก๊สนั้น ๆ ส่วนปริมาตรของสารในสถานะของแข็งสามารถตรวจวัดได้ด้วยการแทนที่ของเหลว

หน่วยของปริมาตรในระบบเอสไอคือ ลูกบาศก์เมตร (m^3) แต่นิยมใช้หน่วย ลิตร (L) และมิลลิลิตร (mL) ซึ่งเมื่อเทียบกับหน่วยเอสไอจะเท่ากับ ลูกบาศก์เดซิเมตร (dm^3) และลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) ตามลำดับ

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$$

$$1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ L}$$

$$1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$$



รูป 2.2 ความสัมพันธ์ของปริมาตรในหน่วยต่าง ๆ

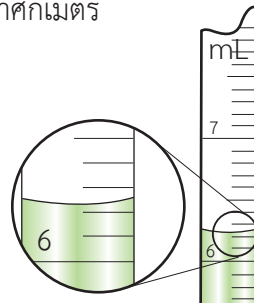
ในวิชาเคมีการวัดปริมาตรสารที่มีสถานะของเหลว จะใช้เครื่องมือวัดปริมาตรได้หลายชนิด เช่น กระจกบอกลง ขวดวัดปริมาตร โดยแต่ละชนิดมีความละเอียดแตกต่างกัน จึงต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน รวมทั้งผู้ใช้ต้องมีทักษะ การการวัดที่ถูกต้องด้วย เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาตรบางชนิด แสดงดังรูป 2.3



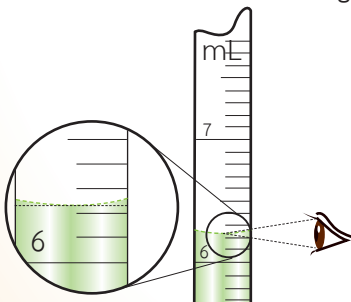
รูป 2.3 เครื่องแก้วที่ใช้วัดปริมาตร

จากซ้ายไปขวา : กระจกบอกลง ขวดวัดปริมาตร บิวเรตต์ ปิกเกอร์ ปีเปตต์ (อยู่ในปิกเกอร์)

ตัวอย่าง 18 สารในรูปต่อไปนี้ มีปริมาตรกี่ลูกบาศก์เมตร



วิธีทำ การอ่านค่าปริมาตรของเหลวในรูป จะต้องอ่านค่าที่เส้นโค้งล่างของของเหลว ในระดับสายตา รวมทั้งระบุเลขนัยสำคัญด้วย จากนั้นจึงเปลี่ยนหน่วยจาก mL ไปเป็น m^3 อ่านค่าได้เท่ากับ 6.23 mL แล้วเปลี่ยนหน่วยดังนี้



$$\begin{aligned} 6.23 \text{ mL} &= 6.23 \text{ cm}^3 \\ &= 6.23 (\times 10^{-2} \text{ m})^3 \\ &= 6.23 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

ดังนั้น สารในรูปมีปริมาตร 6.23×10^{-6} ลูกบาศก์เมตร

2.3.6 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (density, d) เป็นปริมาณที่บอกค่ามวล (m) ของสารในหนึ่งหน่วยปริมาตร (V) ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของสารแต่ละชนิด ในระบบเอสไอมีหน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) แต่ในวิชาเคมีมักใช้หน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) เขียนความสัมพันธ์ของความหนาแน่นได้ดังนี้ $d = \frac{m}{V}$

ตาราง 2.7 ความหนาแน่นของสารบางชนิดที่อุณหภูมิ $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความดัน 1 บรรยากาศ

สาร	ความหนาแน่น ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	สาร	ความหนาแน่น ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
ของแข็ง		ของเหลว	
ออสเมียม	22.5×10^3	ปรอท	13.6×10^3
ทอง	19.3×10^3	น้ำ ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1.0×10^3
เงิน	10.5×10^3	น้ำมันเบนซิน	0.9×10^3
ทองแดง	8.9×10^3	แก๊ส	
ทองเหลือง	8.6×10^3	ออกซิเจน	1.1×10^3
น้ำแข็ง	0.9×10^3	ไนโตรเจน	0.8×10^3
โฟม	0.1×10^3	ไฮโดรเจน	0.1×10^3

ตัวอย่าง 19 โลหะลิเทียมรูปทรงลูกบาศก์มีความยาวด้านละ 5.00 cm หนัก 67.5 g มีความหนาแน่นกี่กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

วิธีทำ คำนวณหาปริมาตรของรูปทรงลูกบาศก์ แล้วนำไปหาความหนาแน่น ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรของทรงลูกบาศก์} &= \text{ด้าน}^3 \\
 V &= (5.00\text{ cm})^3 \\
 &= 125\text{ cm}^3 \\
 d &= \frac{m}{V} \\
 &= \frac{67.5\text{ g}}{125\text{ cm}^3} \\
 &= 0.540\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น โลหะลิเทียมมีความหนาแน่น 0.540 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

2.3.7 ความเข้มข้น

ความเข้มข้น (concentration) เป็นการบอกปริมาณตัวละลายในสารละลายกับปริมาณตัวทำละลาย หน่วยที่นิยมใช้มีหลายระบบ เช่น ร้อยละ โมลาริตี โมแลลิตี สำหรับหน่วยเอสไอจะเป็นโมลต่อลูกบาศก์เมตร ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$) แต่ที่นิยมใช้ในวิชาเคมีคือ โมลาริตีหรือโมลาร์ (molar, M) ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนโมลของตัวละลายในสารละลายที่มีปริมาตร 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร หรือ 1 ลิตร จึงมีหน่วยเป็นโมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ($\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$)

$$\text{โมลาริตี (M)} = \frac{\text{ปริมาณของตัวละลาย (mol)}}{\text{ปริมาณของสารละลาย (dm}^3\text{)}}$$

ตัวอย่าง 20 สารละลาย NaCl ปริมาตร 250 cm^3 ที่เตรียมจาก NaCl 0.5 mol มีความเข้มข้นกี่โมลาร์

วิธีทำ หาปริมาตรของสารละลายเป็น dm^3 โดย $1000\text{ cm}^3 = 1\text{ dm}^3$ แล้วนำไปคำนวณความเข้มข้นเป็นโมลาร์ ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{ปริมาตรของสารละลาย} &= 250\text{ cm}^3 \times \frac{1\text{ dm}^3}{1000\text{ cm}^3} \\ &= 0.250\text{ dm}^3 \\ M &= \frac{\text{ปริมาณของตัวละลาย (mol)}}{\text{ปริมาณของสารละลาย (dm}^3\text{)}} \\ &= \frac{0.5\text{ mol}}{0.250\text{ dm}^3} \\ &= 2\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}\end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลาย NaCl นี้มีความเข้มข้น 2 โมลาร์



แบบฝึกหัด 2.5

จงคำนวณผลลัพธ์จากโจทย์ต่อไปนี้

1. คริปทอนมีรัศมีแวนเดอร์วาลส์ 192 pm มีค่าเท่ากับกี่นาโนเมตร
2. วัดอุณหภูมิของสารชนิดหนึ่งได้ 27.5 °C มีค่าเท่าใดในหน่วยเคลวินและองศาฟาเรนไฮต์
3. สารละลายปริมาตร 750 m³ มีค่ากี่ลูกบาศก์เดซิเมตร
4. ตะกั่วมีความหนาแน่น 11.3 g·cm⁻³หนัก 115.6 g มีปริมาตรกี่ลูกบาศก์เซนติเมตร
5. สารละลายกรด HCl 1.5 mol·dm⁻³ ปริมาตร 500 cm³ เตรียมจาก HCl กี่โมล

นอกจากนี้การรายงานข้อมูลทางวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องมีความถูกต้องและแม่นยำ โดย

การวัดที่**มีความถูกต้อง (accuracy)** หมายถึง การวัดที่ให้ค่าหรือให้ผลของการวัดที่เท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงของสิ่งที่ต้องการวัดมากที่สุด จึงจำเป็นต้องใช้ความระมัดระวังในการวัด รวมถึงต้องเลือกเครื่องมือในการวัดให้เหมาะสมอีกด้วย

การวัดที่**มีความแม่นยำ (precision)** หมายถึง การวัดเมื่อทำซ้ำหลายครั้งแล้วแต่ละครั้งให้ผลเหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน เช่น นักเรียนคนหนึ่งชั่งสารตัวอย่างจำนวน 4 ครั้ง โดยใช้เครื่องมือเดียวกัน ได้ข้อมูลเป็น 152.3 152.4 152.1 และ 152.3 กรัม จะกล่าวได้ว่า การวัดนี้มีความแม่นยำ และถ้าสารชนิดนี้มีน้ำหนัก 152.3 กรัม การวัดในแต่ละครั้งก็ถือว่ามีความถูกต้องด้วย

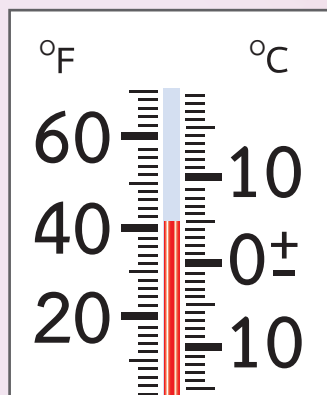
แบบฝึกหัดท้ายบท

1. เมื่อนำสาร 2 ชนิด ทำปฏิกิริยากันแล้ววัดอุณหภูมิ ได้ผลดังรูป

1.1 ผลของการวัดอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียสและองศาฟาเรนไฮต์มีค่าเท่าใด (ระบุจำนวนเลขนัยสำคัญ)

1.2 อุณหภูมิในหน่วยองศาฟาเรนไฮต์ที่ได้จากการวัดต่างจากผลที่ได้จากการคำนวณด้วยหน่วยองศาเซลเซียสหรือไม่ อย่างไร

1.3 อุณหภูมิในหน่วยเอสไอมีค่าเท่าใด



2. อุณหภูมิของร่างกายมีค่าเท่าใดในหน่วยเคลวินและองศาฟาเรนไฮต์

3. นำสร้อยทอง 2 บาท เส้นหนึ่งไปแทนที่น้ำ วัดปริมาตรน้ำได้ 1.96 cm^3 สร้อยทองเส้นนี้เป็นทองคำบริสุทธิ์หรือไม่ ถ้าทองคำบริสุทธิ์มีความหนาแน่น $19.3 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (ทอง 1 บาท มีมวล 15.2 กรัม)

4. อ่างน้ำร้อนกว้าง 0.45 m และยาว 1.10 m จงตอบคำถามต่อไปนี้

4.1 อ่างน้ำร้อนมีความลึก 25.0 cm ถ้าจะบรรจุน้ำให้เต็มจะต้องใช้น้ำกี่ลูกบาศก์เดซิเมตร

4.2 น้ำที่เติมลงในอ่างน้ำร้อนมีมวลกี่กิโลกรัม เมื่อน้ำมีความหนาแน่น $1.00 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

4.3 น้ำที่เติมลงไปมีกี่โมล เมื่อน้ำมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 18.0152

5. สารละลาย CH_3COOH ปริมาตร 500 cm^3 ที่เตรียมจาก CH_3COOH 0.75 mol มีความเข้มข้นกี่โมลาร์