7 สารละลาย

ชีทเรียน+แบบฝึกหัด · ติวเคมี สอวน. ค่าย 1

หมวดนี้คือ "สนามแปลงหน่วย" ของ สอวน. ค่าย 1 (ออกสอบราว 12% ของข้อสอบ) — จากการวิเคราะห์ข้อสอบจริง 8 ปี ข้อสอบวนอยู่ 3 กลุ่มใหญ่: (1) **แปลงหน่วยความเข้มข้นข้ามระบบ** โมลาร์ ↔ โมแลล ↔ ร้อยละ ↔ ppm ↔ เศษส่วนโมล โดยมี*ความหนาแน่น*เป็นสะพานเชื่อม (2) **เตรียม–เจือจาง–ผสมสารละลาย** โดยเฉพาะโจทย์เกลือไฮเดรต และการหาความเข้มข้นไอออนรวมหลังผสมสองสารละลาย ซึ่งออกซ้ำแทบทุกปี (3) **สมบัติคอลลิเกทีฟ** ใช้ $\Delta T = Km$ ทั้ง "ขาไป" (หาจุดเดือด/จุดเยือกแข็ง) และ "ขากลับ" (หามวลโมเลกุลของสารไม่ทราบสูตร) บางข้อผูก K_b กับ K_f หรือผูกสองตัวทำละลายไว้ในข้อเดียว ใครนิยามหน่วยแม่นและตั้งเศษส่วนตัดหน่วยเป็น หมวดนี้คือคะแนนก้อนใหญ่ที่เก็บได้จริง

1. สารละลายคืออะไร: ตัวละลาย ตัวทำละลาย และชนิดของสารละลาย

สารละลาย (solution) คือของผสมเนื้อเดียวของสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ประกอบด้วย

- **ตัวทำละลาย (solvent)** — สารที่มีปริมาณมากที่สุด หรือสารที่มีสถานะเดียวกับสารละลาย
- **ตัวละลาย (solute)** — สารที่เหลือทั้งหมด

สารละลายมีได้ทั้งสามสถานะ (ข้อสอบชอบหยอดตัวเลือกลวงตรงนี้):

สถานะสารละลาย	ตัวอย่าง	ตัวทำละลาย	ตัวละลาย
แก๊ส	อากาศ	N_2	O_2, Ar, CO_2
ของเหลว	น้ำเชื่อม	H_2O	น้ำตาล
ของเหลว	เอทานอล 95%	เอทานอล	น้ำ
ของแข็ง	ทองเหลือง	Cu	Zn

ข้อควรระวัง: ถ้าของเหลวผสมของเหลว ตัวที่**ปริมาณ (โดยมวล) มากกว่า**เป็นตัวทำละลาย เช่น น้ำ 40 g + เอทิลีนไกลคอล 60 g → ไกลคอลเป็นตัวทำละลาย (คิดตามมวล ตามเกณฑ์หลักสูตรไทย — ระวังว่าถ้านับโมล น้ำจะมากกว่า แต่เกณฑ์ที่ใช้คือมวล) (ข้อสอบเคยให้ระบุตัวละลายก่อน แล้วจึงให้คำนวณจุดเดือดต่อ)

แบ่งตามปริมาณตัวละลายได้ 3 แบบ: **ไม่อิ่มตัว** (ละลายเพิ่มได้อีก) · **อิ่มตัว** (ละลายได้มากสุด ณ อุณหภูมินั้น เกิดสมดุลละลาย–ตกผลึก) · **อิ่มตัวยิ่งยวด** (เกินจุดอิ่มตัว ไม่เสถียร เติมผลึกเล็กๆ ลงไปจะตกผลึกทันที)

2. กระบวนการละลายกับพลังงาน

การละลายของแข็งไอออนิกในน้ำ แบ่งเป็น 2 ขั้นพลังงาน:

1. **สลายโครงผลึก** — ดูดพลังงานเท่ากับพลังงานโครงผลึก (lattice energy) เพื่อแยกไอออนออกจากกัน
2. **ไฮเดรชัน** — โมเลกุลน้ำล้อมรอบไอออน (ด้าน O ที่มีขั้วลบหันเข้าไอออนบวก ด้าน H หันเข้าไอออนลบ) **คาย**พลังงานไฮเดรชัน

$$\Delta H_{soln} = \Delta H_{lattice} + \Delta H_{hyd}$$

- คายมากกว่าดูด → $\Delta H_{soln} < 0$ **ละลายแบบคายความร้อน** สารละลายอุ่นขึ้น (NaOH, $CaCl_2$, การเจือจาง H_2SO_4)
- ดูดมากกว่าคาย → $\Delta H_{soln} > 0$ **ละลายแบบดูดความร้อน** สารละลายเย็นลง (NH_4NO_3, KNO_3 — หลักการถุงประคบเย็น)

สารที่ละลายแบบดูดความร้อนก็ยังละลายได้เอง เพราะการละลายทำให้ระบบไม่เป็นระเบียบมากขึ้น (เอนโทรปีเพิ่ม) — พลังงานอย่างเดียวไม่ได้ตัดสินทุกอย่าง

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการละลาย

3.1 ธรรมชาติของสาร — "like dissolves like" สารมีขั้วละลายในตัวทำละลายมีขั้ว สารไม่มีขั้วละลายในตัวทำละลายไม่มีขั้ว: NaCl ละลายน้ำดีแต่ไม่ละลายในเฮกเซน ส่วน I_2 ละลายในเฮกเซนดีแต่แทบไม่ละลายน้ำ

3.2 อุณหภูมิ

- ตัวละลาย**ของแข็ง**: ส่วนใหญ่ละลายได้มากขึ้นเมื่อร้อนขึ้น (ดูจากกราฟการละลาย ซึ่งใช้ตอบโจทย์การตกผลึกเมื่อทำให้เย็นลง)
- ตัวละลาย**แก๊ส**: ละลายได้**น้อยลงเสมอ**เมื่อร้อนขึ้น (น้ำอัดลมอุ่นจึงหมดซ่า)

3.3 ความดัน — มีผลเฉพาะตัวละลายที่เป็นแก๊ส ตาม**กฎของเฮนรี**: สภาพละลายได้ของแก๊สแปรผันตรงกับความดันย่อยของแก๊สเหนือของเหลว $C = k_H P$ (เปิดฝาน้ำอัดลม ความดันลด แก๊สจึงหนีออก)

4. หน่วยความเข้มข้น — หัวใจของหมวดนี้

จำนิยามเป็น "เศษส่วน" ให้แม่น แล้วทุกโจทย์คือการตั้งเศษส่วนตัดหน่วย

หน่วย	นิยาม	จุดสังเกต
โมลาริตี C (mol/L หรือ M)	$\frac{\text{mol solute}}{\text{L solution}}$	ตัวหารคือปริมาตร**สารละลาย** เปลี่ยนตามอุณหภูมิ
โมแลลิตี m (mol/kg)	$\frac{\text{mol solute}}{\text{kg solvent}}$	ตัวหารคือมวล**ตัวทำละลาย** ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ
%w/w	$\frac{\text{g solute}}{\text{g solution}} \times 100$	มวลต่อมวล 100
%w/v	$\frac{\text{g solute}}{\text{mL solution}} \times 100$	กรัมต่อสารละลาย 100 mL
%v/v	$\frac{\text{mL solute}}{\text{mL solution}} \times 100$	ใช้กับของเหลวผสมของเหลว (ดีกรีแอลกอฮอล์)
ppm	$\frac{\text{mg solute}}{\text{kg solution}}$	สารละลายเจือจางมาก: mg/kg = mg/L (น้ำ) · ppb = µg/kg

หน่วย	นิยาม	จุดสังเกต
เศษส่วนโมล X_A	$\frac{n_A}{n_{total}}$	ผลรวมเศษส่วนโมลทุกองค์ประกอบ = 1

ตัวอย่างที่ 1 (โมลาริตี) — ละลาย NaOH 8.0 g (Na = 23, O = 16, H = 1) ในน้ำจนได้สารละลาย 500 mL จงหาความเข้มข้นเป็น mol/L

วิธีทำ: มวลโมลาร์ NaOH = 40 g/mol

$$C = \frac{8.0\,\cancel{g} \times \frac{1\text{ mol}}{40\,\cancel{g}}}{0.500\text{ L}} = \frac{0.20\text{ mol}}{0.500\text{ L}} = 0.40\text{ mol/L}$$

ตัวอย่างที่ 2 (โมแลลิตี) — ละลายกลูโคส $C_6H_{12}O_6$ 18 g (C = 12, H = 1, O = 16) ในน้ำ 200 g จงหาโมแลลิตี

วิธีทำ: มวลโมลาร์กลูโคส = 180 g/mol → โมล = $\frac{18}{180} = 0.10$ mol

$$m = \frac{0.10\text{ mol}}{0.200\text{ kg}} = 0.50\text{ mol/kg}$$

สังเกต: ตัวหารคือน้ำ 200 g ไม่ใช่สารละลาย 218 g — นี่คือจุดต่างระหว่าง m กับหน่วยร้อยละ

ตัวอย่างที่ 3 (เศษส่วนโมล) — สารละลายเอทานอล C_2H_5OH 46 g ในน้ำ 54 g (C = 12, H = 1, O = 16) จงหาเศษส่วนโมลของเอทานอล

วิธีทำ: $n_{ethanol} = \frac{46}{46} = 1.0$ mol, $n_{water} = \frac{54}{18} = 3.0$ mol

$$X_{ethanol} = \frac{1.0}{1.0 + 3.0} = 0.25$$

ตัวอย่างที่ 4 (ppm) — น้ำดื่มตัวอย่าง 500 g มีฟลูออไรด์ (F^-) ละลายอยู่ 2.5 mg ความเข้มข้นเป็นกี่ ppm

วิธีทำ:

$$\text{ppm} = \frac{2.5\text{ mg}}{0.500\text{ kg}} = 5.0\text{ ppm}$$

เทคนิคจำ: ppm = mg/kg และสำหรับสารละลายในน้ำที่เจือจางมาก (ความหนาแน่น ≈ 1.00 g/mL) ppm = mg/L ได้เลย

5. การแปลงข้ามหน่วยด้วยความหนาแน่น — แนวข้อสอบยอดฮิต

หลักคิดเดียวจบทุกโจทย์: **สมมติสารละลายมา 1 หน่วยที่คำนวณง่าย** (1 L ถ้าเริ่มจากโมลาร์, 100 g ถ้าเริ่มจากร้อยละโดยมวล) แล้วแตกเป็น "มวลสารละลาย → มวลตัวละลาย → มวลตัวทำละลาย" จากนั้นประกอบเป็นหน่วยใหม่ ตัวเชื่อมระหว่างโลก "ปริมาตร" กับโลก "มวล" คือ**ความหนาแน่น**

สูตรลัดที่ควรพิสูจน์เองได้ (แปลง %w/w + ความหนาแน่น d เป็นโมลาร์):

$$C = \frac{10\,d \times (\%\text{w/w})}{M}$$

ตัวอย่างที่ 5 (%w/w → โมลาร์) — กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 49% โดยมวล ความหนาแน่น 1.4 g/mL (H = 1, S = 32, O = 16) มีความเข้มข้นกี่ mol/L

วิธีทำ: คิดจากสารละลาย 1 L = 1000 mL

มวลสารละลาย:

$$1000\,\cancel{\text{mL}} \times 1.4\,\frac{\text{g}}{\cancel{\text{mL}}} = 1400\ \text{g}$$

มวล H_2SO_4:

$$1400 \times \frac{49}{100} = 686\ \text{g} \quad \Rightarrow \quad n = \frac{686}{98} = 7.0\ \text{mol}$$

ดังนั้นความเข้มข้น = **7.0 mol/L** (ตรวจด้วยสูตรลัด: $\frac{10 \times 1.4 \times 49}{98} = 7.0$ ✓)

ตัวอย่างที่ 6 (โมลาร์ → โมแลล) — สารละลาย NaOH 2.0 mol/L ความหนาแน่น 1.08 g/mL (NaOH = 40) จงหาโมแลลิตี

วิธีทำ: คิดจากสารละลาย 1 L

- มวลสารละลาย = $1000 \times 1.08 = 1080$ g
- มวล NaOH = $2.0 \times 40 = 80$ g
- มวลน้ำ (ตัวทำละลาย) = $1080 - 80 = 1000$ g = 1.000 kg

$$m = \frac{2.0\ \text{mol}}{1.000\ \text{kg}} = 2.0\ \text{mol/kg}$$

จุดสอบชอบถาม: การแปลงคู่ไหน**ไม่ต้อง**ใช้ความหนาแน่น? — คู่ที่อยู่ "โลกเดียวกัน" ทั้งคู่ ได้แก่ ฝั่งฐานมวล: %w/w ↔ โมแลล ↔ เศษส่วนโมล ↔ ppm(โดยมวล) และฝั่งฐานปริมาตรสารละลาย: โมลาร์ ↔ %w/v (ดูตัวอย่างที่ 10 — แปลงกันตรง ๆ ได้เลย) ส่วนการแปลง**ข้ามโลก** ระหว่างฐานมวลกับฐานปริมาตร (เช่น %w/w → โมลาร์, โมลาร์ → โมแลล) ต้องใช้ความหนาแน่นเสมอ

6. การเตรียมสารละลาย (รวมเกลือไฮเดรต)

ขั้นตอนมาตรฐาน: คำนวณโมลที่ต้องการ → ชั่งสาร → ละลายในน้ำปริมาณน้อยก่อน → เทใส่**ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)** → เติมน้ำจนถึงขีดบอกปริมาตร (ห้ามใช้บีกเกอร์วัดปริมาตรสุดท้าย — ข้อสอบเคยถามเลือกอุปกรณ์)

เกลือไฮเดรต คือเกลือที่มีน้ำผลึกติดมาในสูตร เช่น $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ต้องใช้**มวลโมลาร์รวมน้ำผลึก**ตอนชั่งสาร แต่โมลของเกลือ = โมลของไฮเดรต (น้ำผลึกกลายเป็นส่วนหนึ่งของตัวทำละลายเมื่อละลาย)

ตัวอย่างที่ 7 (เตรียมจากเกลือไฮเดรต) — จงหามวล $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ที่ต้องใช้เตรียมสารละลาย $CuSO_4$ 0.10 mol/L ปริมาตร 250 mL (Cu = 63.5, S = 32, O = 16, H = 1)

วิธีทำ: โมลที่ต้องการ = $0.10 \times 0.250 = 0.025$ mol

มวลโมลาร์ $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ = $63.5 + 32 + 64 + 5(18) = 249.5$ g/mol

มวลที่ต้องชั่ง:

$$0.025\,\cancel{\text{mol}} \times 249.5\,\frac{\text{g}}{\cancel{\text{mol}}} = 6.24\ \text{g}$$

กับดัก: ถ้าเผลอชั่งด้วยมวลโมลาร์ $CuSO_4$ เปล่าๆ (159.5) จะได้ 3.99 g — เกลือไม่พอ ความเข้มข้นจริงจะต่ำกว่าที่ต้องการ

7. การเจือจางและการผสมสารละลาย

การเจือจาง — เติมน้ำ ปริมาตรเพิ่ม แต่**โมลตัวละลายเท่าเดิม**:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

ตัวอย่างที่ 8 (เจือจางกรดเข้มข้น) — ต้องใช้ H_2SO_4 เข้มข้น 18 mol/L กี่ mL เพื่อเตรียมสารละลาย 3.0 mol/L ปริมาตร 600 mL

วิธีทำ:

$$V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1} = \frac{3.0\,\cancel{\text{M}} \times 600\text{ mL}}{18\,\cancel{\text{M}}} = 100\text{ mL}$$

ปฏิบัติจริงต้อง "**เทกรดลงน้ำ**" เท่านั้น (การเจือจางกรดเข้มข้นคายความร้อนรุนแรง ถ้าเทน้ำลงกรดจะกระเด็นอันตราย) — ข้อสอบเคยเอาไปเป็นตัวเลือกถูก/ผิด

การผสมสารละลาย — โมลรวมกัน ปริมาตรรวมกัน (ถือว่าปริมาตรรวมได้):

$$C_{mix} = \frac{C_1V_1 + C_2V_2}{V_1 + V_2}$$

โจทย์ยอดฮิตคือถาม**ความเข้มข้นไอออนรวม** — ต้องแตกเกลือแต่ละตัวเป็นไอออนก่อน แล้วนับโมลไอออนทั้งหมด

ตัวอย่างที่ 9 (ความเข้มข้นไอออนรวมหลังผสม) — ผสมสารละลาย NaCl 0.20 mol/L ปริมาตร 100 mL กับสารละลาย $CaCl_2$ 0.10 mol/L ปริมาตร 400 mL ความเข้มข้นไอออนรวมเป็นกี่ mol/L

วิธีทำ:

- NaCl: $0.20 \times 0.100 = 0.020$ mol → ให้ Na^+ 0.020 + Cl^- 0.020 = 0.040 mol ไอออน
- $CaCl_2$: $0.10 \times 0.400 = 0.040$ mol → ให้ Ca^{2+} 0.040 + Cl^- 0.080 = 0.120 mol ไอออน (1 สูตรแตกเป็น 3 ไอออน)

$$C_{ion} = \frac{(0.040 + 0.120)\text{ mol}}{(0.100 + 0.400)\text{ L}} = \frac{0.16\text{ mol}}{0.500\text{ L}} = 0.32\text{ mol/L}$$

ตัวอย่างที่ 10 (%w/v → โมลาร์ของไอออน) — สารละลาย $CaCl_2$ 11.1% w/v (Ca = 40, Cl = 35.5) มีความเข้มข้นของ Cl^- กี่ mol/L

วิธีทำ: 11.1% w/v = 11.1 g ต่อ 100 mL = 111 g ต่อ 1 L และมวลโมลาร์ $CaCl_2$ = 111 g/mol

$$C_{CaCl_2} = \frac{111\,\cancel{\text{g}}}{111\,\frac{\cancel{\text{g}}}{\text{mol}} \times 1\text{ L}} = 1.0\text{ mol/L} \quad \Rightarrow \quad [Cl^-] = 2 \times 1.0 = 2.0\text{ mol/L}$$

8. สมบัติคอลลิเกทีฟ: สมบัติที่ขึ้นกับ "จำนวนอนุภาค" ไม่ใช่ชนิด

เมื่อเติมตัวละลายที่**ระเหยยาก**ลงในตัวทำละลาย สมบัติของสารละลายจะเปลี่ยนไปตาม*จำนวนอนุภาค*ของตัวละลาย (ไม่สนว่าเป็นสารอะไร):

8.1 ความดันไอลดลง — อนุภาคตัวละลายกีดขวางผิวหน้า ทำให้ตัวทำละลายระเหยได้น้อยลง ตาม**กฎของราอูลต์**:

$$P_{solution} = X_{solvent}\,P^{\circ}_{solvent}$$

เช่น ละลายกลูโคส 0.10 mol ในน้ำ 16.2 g (0.90 mol) ที่ 25°C ซึ่งน้ำบริสุทธิ์มีความดันไอ 23.8 torr → $X_{water} = \frac{0.90}{1.00} = 0.90$ → $P = 0.90 \times 23.8 = 21.4$ torr

8.2 จุดเดือดสูงขึ้น และ 8.3 จุดเยือกแข็งต่ำลง — ความดันไอที่ลดลงทำให้ต้องร้อนกว่าเดิมจึงเดือด และเย็นกว่าเดิมจึงแข็งตัว ทั้งคู่ใช้สูตรเดียวกัน:

$$\Delta T_b = K_b\, m \qquad \Delta T_f = K_f\, m$$

- m = โมแลลิตี (นี่คือเหตุผลว่าทำไมต้องแม่นหน่วยโมแลล!)
- K_b, K_f = ค่าคงที่ของ**ตัวทำละลาย** (โจทย์ให้เสมอ เช่น น้ำ: $K_b = 0.51$, $K_f = 1.86$ °C·kg/mol)
- จุดเดือดสารละลาย = จุดเดือดตัวทำละลาย + ΔT_b · จุดเยือกแข็งสารละลาย = จุดเยือกแข็งตัวทำละลาย – ΔT_f

ตัวอย่างที่ 11 (หาจุดเดือด) — ละลายกลูโคส 18 g (มวลโมลาร์ 180) ในน้ำ 250 g จงหาจุดเดือดของสารละลาย (น้ำเดือด 100.00°C, $K_b = 0.51$ °C·kg/mol)

วิธีทำ:

$$m = \frac{18/180 \text{ mol}}{0.250 \text{ kg}} = 0.40 \text{ mol/kg}$$

$$\Delta T_b = 0.51 \times 0.40 = 0.204\ ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad T_b = 100.00 + 0.20 = 100.20\ ^\circ\text{C}$$

ตัวอย่างที่ 12 (ขากลับ: หามวลโมเลกุล) — ละลายสาร X (ไม่แตกตัว ระเหยยาก) 12.0 g ในน้ำ 200 g พบว่าสารละลายแข็งตัวที่ –1.86°C จงหามวลโมเลกุลของ X (น้ำแข็งตัวที่ 0.00°C, $K_f = 1.86$ °C·kg/mol)

วิธีทำ: $\Delta T_f = 0 - (-1.86) = 1.86$ °C

$$m = \frac{\Delta T_f}{K_f} = \frac{1.86}{1.86} = 1.0 \text{ mol/kg} \quad \Rightarrow \quad n_X = 1.0 \times 0.200 = 0.20 \text{ mol}$$

$$M_X = \frac{12.0 \text{ g}}{0.20 \text{ mol}} = 60 \text{ g/mol}$$

โจทย์ตระกูลนี้ต่อยอดได้อีก: ถ้าโจทย์ให้สูตรเอมพิริคัล (เช่น CH_2O มวล 30) ก็หารต่อ $\frac{60}{30} = 2$ → สูตรโมเลกุลคือ $C_2H_4O_2$ — ข้อสอบจริงเคยผูกแบบนี้หลายครั้ง

8.4 สารอิเล็กโทรไลต์ — คูณจำนวนไอออนก่อนเสมอ

สมบัติคอลลิเกทีฟนับ*อนุภาค* ดังนั้นสารที่แตกตัวเป็นไอออนให้ผลแรงกว่าที่ความเข้มข้นโมแลลเท่ากัน (ในระดับ ค่าย 1 ให้ถือว่าแตกตัวสมบูรณ์):

$$\Delta T = i\, K\, m$$

โดย i = จำนวนไอออนต่อหนึ่งหน่วยสูตร (เช่น NaCl → 2, $CaCl_2$ → 3, $Al_2(SO_4)_3$ → 5)

ตัวอย่างที่ 13 (เปรียบเทียบจุดเยือกแข็ง) — เรียงจุดเยือกแข็งของสารละลายในน้ำ 0.10 mol/kg สามชนิด: กลูโคส, NaCl, $CaCl_2$ (K_f ของน้ำ = 1.86)

วิธีทำ: คิดโมแลลอนุภาครวม: กลูโคส (ไม่แตกตัว, $i = 1$) → 0.10 · NaCl ($i = 2$) → 0.20 · $CaCl_2$ ($i = 3$) → 0.30

$$\Delta T_f = 0.186,\ 0.372,\ 0.558\ ^\circ\text{C}$$

ตามลำดับ ดังนั้นจุดเยือกแข็ง: กลูโคส (–0.186°C) > NaCl (–0.372°C) > $CaCl_2$ (–0.558°C) — **ยิ่งไอออนเยอะ จุดเยือกแข็งยิ่งต่ำ จุดเดือดยิ่งสูง** (นี่คือหลักการโรยเกลือละลายน้ำแข็ง และ $CaCl_2$ ได้ผลดีกว่า NaCl ต่อโมล)

ข้อควรรู้เพิ่ม: โจทย์บางข้อให้จุดเยือกแข็ง/จุดเดือดในตัวทำละลายหนึ่ง (เช่น น้ำ) แล้วถามในอีกตัวทำละลาย (เช่น เบนซีน) — เส้นทางคือ ΔT ตัวแรก → โมแลล → โมลตัวละลาย (ค่าคงที่ไม่ว่าตัวทำละลายไหน) → คิดโมแลลใหม่ในตัวทำละลายที่สอง → ΔT ตัวที่สอง

📌 สรุปสูตรและประเด็นต้องจำ

เรื่อง	สูตร/ประเด็น	หมายเหตุ
โมลาริตี	$C = \dfrac{n}{V(\mathrm{L})}$	หารด้วยปริมาตร*สารละลาย*
โมแลลิตี	$m = \dfrac{n}{\text{kg solvent}}$	หารด้วยมวล*ตัวทำละลาย* ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ
ร้อยละ	%w/w = g/100 g · %w/v = g/100 mL · %v/v = mL/100 mL	ดูตัวหารให้ดีว่ามวลหรือปริมาตร
ppm / ppb	mg/kg · µg/kg (น้ำเจือจาง: mg/L · µg/L)	ใช้กับสารปริมาณน้อยมาก
เศษส่วนโมล	$X_A = \dfrac{n_A}{n_{total}}$	$\sum X = 1$
สูตรลัด %w/w → M	$C = \dfrac{10\,d\,(\%)}{M}$	d = ความหนาแน่น g/mL
แปลงหน่วยไม่ใช้ d	%w/w ↔ m ↔ X ↔ ppm(มวล) และ M ↔ %w/v	ใช้ d เฉพาะข้ามฝั่งฐานมวล ↔ ฐานปริมาตร (M, %w/v)
เจือจาง	$C_1V_1 = C_2V_2$	โมลตัวละลายคงเดิม
ผสม	$C_{mix} = \dfrac{C_1V_1 + C_2V_2}{V_1 + V_2}$	ถามไอออน → แตกไอออนคูณเลขห้อยก่อน
เกลือไฮเดรต	ชั่งด้วยมวลโมลาร์*รวมน้ำผลึก*	โมลเกลือ = โมลไฮเดรต
ความดันไอ	$P = X_{solvent}P^\circ$	กฎของราอูลต์
จุดเดือด/เยือกแข็ง	$\Delta T = i\,K\,m$	K เป็นของตัวทำละลาย · i = จำนวนไอออน
หามวลโมเลกุล	$M = \dfrac{\text{g solute} \times K}{\Delta T \times \text{kg solvent}}$	เส้นทาง: ΔT → m → mol → M

⚠️ จุดที่เด็กพลาดบ่อย

1. **สับสนโมลาร์กับโมแลล** — M หารด้วย "ลิตรสารละลาย" แต่ m หารด้วย "กิโลกรัมตัวทำละลาย" โจทย์ให้ "ละลายในน้ำ 500 g" กับ "ได้สารละลาย 500 mL" คือคนละเรื่องกัน
2. **ลืมหักมวลตัวละลายตอนหาโมแลล** — จากสารละลาย 1 L: มวลน้ำ = (มวลสารละลาย) – (มวลตัวละลาย) ไม่ใช่มวลสารละลายทั้งก้อน
3. **เกลือไฮเดรตชั่งด้วยมวลโมลาร์เกลือเปล่า** — $CuSO_4{\cdot}5H_2O$ ต้องใช้ 249.5 ไม่ใช่ 159.5 (ได้เกลือขาด ความเข้มข้นต่ำกว่าเป้า)
4. **นับไอออนผิดตอนผสมสารละลาย** — $CaCl_2$ 1 หน่วยสูตรให้ 3 ไอออน (Ca^{2+} 1 + Cl^- 2) และอย่าลืมรวมปริมาตรใหม่เป็นตัวหาร
5. **ใช้โมลาร์แทนโมแลลใน $\Delta T = Km$** — สูตรคอลลิเกทีฟใช้*โมแลล*เท่านั้น ถ้าโจทย์ให้โมลาร์กับความหนาแน่น ต้องแปลงก่อน
6. **ลืมคูณ i ของอิเล็กโทรไลต์** — NaCl 0.1 m ให้อนุภาค 0.2 m เปรียบเทียบกับกลูโคสตรงๆ ไม่ได้
7. **ทิศทางของ ΔT_f** — จุดเยือกแข็ง*ลบ* ΔT_f ออกจากค่าตัวทำละลายบริสุทธิ์ (เด็กชอบบวก) ส่วนจุดเดือดจึงเป็นบวก
8. **%w/v อ่านเป็น %w/w** — 10% w/v คือ 10 g ต่อสารละลาย 100 *mL* ถ้าโจทย์ถามต่อเป็นโมลาร์ ไม่ต้องใช้ความหนาแน่น (ปริมาตรมาแล้ว) แต่ถ้าเป็น %w/w ต้องใช้
9. **เทน้ำลงกรดเข้มข้น** — ผิดหลักปฏิบัติการ ต้องเทกรดลงน้ำช้าๆ พร้อมกวน
10. **ปัดเศษกลางทาง** — โจทย์หลายขั้น (เช่น ΔT → M → สูตรโมเลกุล) ให้เก็บทศนิยมไว้ยาวๆ ปัดครั้งเดียวตอนตอบ

บทเรียนนี้เป็นฉบับร่าง — รอเจ้าของคอร์สรีวิวก่อนเผยแพร่

✏️ แบบฝึกหัดท้ายบท (36 ข้อ — เรียงตามหัวข้อ ง่าย→ยาก)

หน่วยความเข้มข้นและการแปลงหน่วย

ข้อ 1 ★☆☆☆☆

น้ำจากแหล่งน้ำแห่งหนึ่งมีตะกั่ว (Pb^{2+}) ปนเปื้อนอยู่ 2.5 ppm ถ้าความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1.00 g/mL น้ำตัวอย่างปริมาตร 4.0 ลิตร จะมีตะกั่วปนเปื้อนอยู่กี่มิลลิกรัม

ก. 0.625 mg
ข. 2.5 mg
ค. 10 mg
ง. 25 mg

ข้อ 2 ★★☆☆☆

สารละลาย $CaCl_2$ เข้มข้น 11.1% โดยมวลต่อปริมาตร (w/v) ความเข้มข้นของไอออน Cl^- ในสารละลายนี้เป็นกี่โมลต่อลิตร (กำหนด Ca = 40, Cl = 35.5 และ $CaCl_2$ แตกตัวสมบูรณ์)

ก. 0.10 mol/L
ข. 0.50 mol/L
ค. 1.00 mol/L
ง. 2.00 mol/L

ข้อ 3 ★★★☆☆

สารละลายกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) เข้มข้น 3.00 mol/L มีความหนาแน่น 1.14 g/mL สารละลายนี้มีความเข้มข้นกี่โมลต่อกิโลกรัมของตัวทำละลาย (mol/kg) (กำหนด C = 12, H = 1, O = 16)

ก. 2.63 mol/kg

ข. 3.00 mol/kg

ค. 5.00 mol/kg

ง. 5.56 mol/kg

ข้อ 4 ★★★☆☆

ผสมเอทานอล (C_2H_5OH) 46 g กับน้ำ 72 g เศษส่วนโมลของเอทานอลในสารละลายนี้เท่ากับเท่าใด (กำหนด C = 12, H = 1, O = 16)

ก. 0.20

ข. 0.25

ค. 0.39

ง. 0.80

ข้อ 5 ★★★☆☆

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) เข้มข้น 20.0% โดยมวล มีความเข้มข้นกี่โมลต่อกิโลกรัมของตัวทำละลาย (กำหนด Na = 23, O = 16, H = 1)

ก. 3.13 mol/kg

ข. 5.00 mol/kg

ค. 6.25 mol/kg

ง. 25.0 mol/kg

ข้อ 6 ★★★☆☆

น้ำทะเลแหล่งหนึ่งมีไอออนแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ละลายอยู่ 1200 ppm ถ้าความหนาแน่นของน้ำทะเลประมาณ 1.00 g/mL ความเข้มข้นของ Mg^{2+} เป็นกี่โมลต่อลิตร (กำหนด Mg = 24)

ก. 0.050 mol/L

ข. 0.10 mol/L

ค. 1.2 mol/L

ง. 50 mol/L

ข้อ 7 ★★★☆☆

พิจารณาการแปลงหน่วยความเข้มข้นของสารละลายต่อไปนี้ (ก) โมลาริตี (mol/L) เป็นโมแลลิตี (mol/kg) ทำได้โดยไม่ต้องทราบความหนาแน่นของสารละลาย (ข) ร้อยละโดยมวล เป็นโมแลลิตี ทำได้โดยไม่ต้องทราบความหนาแน่นของสารละลาย (ค) ร้อยละโดยมวล เป็นโมลาริตี ทำได้โดยไม่ต้องทราบความหนาแน่นของสารละลาย (ง) โมแลลิตี เป็นเศษส่วนโมล ทำได้โดยไม่ต้องทราบความหนาแน่นของสารละลาย ข้อความใดถูกต้อง

ก. (ก) และ (ข)

ข. (ก) และ (ค)

ค. (ข) และ (ง)

ง. (ค) และ (ง)

ข้อ 8 ★★★★☆

ต้องละลายยูเรีย ($CO(NH_2)_2$) 30.0 g ในน้ำกี่กรัม เพื่อให้ได้สารละลายที่มีเศษส่วนโมลของยูเรียเท่ากับ 0.050 (กำหนด C = 12, O = 16, N = 14, H = 1)

ก. 162 g

ข. 171 g

ค. 180 g

ง. 342 g

ข้อ 9 ★★★★★

กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 49.0% โดยมวล มีความหนาแน่น 1.20 g/mL พิจารณาข้อความต่อไปนี้ (ก) สารละลายนี้มีความเข้มข้น 6.00 mol/L (ข) เศษส่วนโมลของ H_2SO_4 ในสารละลายเท่ากับ 0.49 (ค) เศษส่วนโมลของ H_2SO_4 ในสารละลายเท่ากับ 0.15 (ง) ถ้าไม่ทราบความหนาแน่น จะหาความเข้มข้นเป็น mol/L ไม่ได้ แต่ยังหาเศษส่วนโมลได้ ข้อความใดถูกต้อง (กำหนด H = 1, S = 32, O = 16)

ก. (ก) และ (ข) เท่านั้น

ข. (ก) (ค) และ (ง)

ค. (ข) และ (ง) เท่านั้น

ง. (ค) และ (ง) เท่านั้น

การเตรียมและเจือจางสารละลาย

ข้อ 10 ★☆☆☆☆

มีสารละลาย $NaOH$ เข้มข้น 2.0 mol/L อยู่ 100 mL ต้องเติมน้ำอีกกี่มิลลิลิตรจึงจะได้สารละลายเข้มข้น 0.50 mol/L (สมมติปริมาตรรวมกันได้พอดี)

ก. 150 mL

ข. 250 mL

ค. 300 mL

ง. 400 mL

ข้อ 11 ★★☆☆☆

พิจารณาข้อความต่อไปนี้ (ก) การละลายของ KNO_3 ในน้ำเป็นกระบวนการดูดความร้อน ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ KNO_3 จะละลายน้ำได้มากขึ้น (ข) แก๊สออกซิเจนละลายในน้ำได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น (ค) การเพิ่มความดันของแก๊สเหนือของเหลวทำให้แก๊สนั้นละลายในของเหลวได้มากขึ้น (ง) การบดของแข็งให้เป็นผงละเอียดทำให้สภาพละลายได้ (solubility) ของของแข็งนั้นเพิ่มขึ้น ข้อความใดถูกต้อง

ก. (ก) และ (ค)

ข. (ก) และ (ง)

ค. (ข) และ (ค)

ง. (ข) และ (ง)

ข้อ 12 ★★★☆☆

ต้องชั่งจุนสี ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) กี่กรัม เพื่อเตรียมสารละลาย $CuSO_4$ เข้มข้น 0.200 mol/L ปริมาตร 500 mL (กำหนด Cu = 63.5, S = 32, O = 16, H = 1)

ก. 12.48 g

ข. 15.95 g

ค. 24.95 g

ง. 49.90 g

ข้อ 13 ★★★☆☆

กรดไนตริกเข้มข้นมี HNO_3 63% โดยมวล และมีความหนาแน่น 1.40 g/mL ต้องใช้กรดเข้มข้นนี้กี่มิลลิลิตร เพื่อเตรียมสารละลาย HNO_3 เข้มข้น 0.70 mol/L ปริมาตร 500 mL (กำหนด H = 1, N = 14, O = 16)

ก. 25 mL

ข. 35 mL

ค. 50 mL

ง. 250 mL

ข้อ 14 ★★★★☆

นำโซดาซักผ้า ($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$) 28.6 g มาละลายน้ำจนได้สารละลายปริมาตร 250 mL จากนั้นปิเปตต์สารละลายนี้มา 50.0 mL แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 200 mL ความเข้มข้นของไอออน Na^+ ในสารละลายสุดท้ายเป็นกี่โมลต่อลิตร (กำหนด Na = 23, C = 12, O = 16, H = 1 และเกลือแตกตัวสมบูรณ์)

- **ก.** 0.10 mol/L
- **ข.** 0.20 mol/L
- **ค.** 0.40 mol/L
- **ง.** 0.80 mol/L

ข้อ 15 ★★★★☆

ปิเปตต์สารละลาย $NaOH$ เข้มข้น 2.00% โดยมวลต่อปริมาตร (w/v) มา 10.0 mL เติมน้ำจนได้ปริมาตร 250 mL จากนั้นปิเปตต์สารละลายที่ได้มา 25.0 mL แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 500 mL ความเข้มข้นของ $NaOH$ ในสารละลายสุดท้ายเป็นกี่ ppm (สมมติความหนาแน่นของสารละลายสุดท้ายเท่ากับ 1.00 g/mL)

- **ก.** 4 ppm
- **ข.** 40 ppm
- **ค.** 400 ppm
- **ง.** 800 ppm

ข้อ 16 ★★★★★

นำเกลือ $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ มา x กรัม ละลายน้ำจนได้สารละลายปริมาตร 250 mL จากนั้นปิเปตต์มา 25.0 mL แล้วเติมน้ำจนได้ปริมาตร 500 mL พบว่าสารละลายสุดท้ายมีความเข้มข้นของ Cl^- เท่ากับ 0.020 mol/L ค่า x เท่ากับเท่าใด (กำหนด Mg = 24, Cl = 35.5, H = 1, O = 16 และเกลือแตกตัวสมบูรณ์)

- **ก.** 4.75 g
- **ข.** 10.15 g
- **ค.** 20.30 g
- **ง.** 40.60 g

ความเข้มข้นหลังผสมสารละลายและการตกตะกอน

ข้อ 17 ★☆☆☆☆

ผสมสารละลาย $NaCl$ เข้มข้น 0.40 mol/L ปริมาตร 100 mL กับสารละลาย $NaCl$ เข้มข้น 0.20 mol/L ปริมาตร 100 mL สมมติปริมาตรรวมกันได้พอดี ความเข้มข้นของ $NaCl$ ในสารละลายผสมเป็นกี่โมลต่อลิตร

- **ก.** 0.20 mol/L
- **ข.** 0.30 mol/L
- **ค.** 0.40 mol/L
- **ง.** 0.60 mol/L

ข้อ 18 ★★☆☆☆

ผสมสารละลาย Na_2SO_4 เข้มข้น 0.10 mol/L ปริมาตร 100 mL กับสารละลาย $NaCl$ เข้มข้น 0.20 mol/L ปริมาตร 100 mL สมมติปริมาตรรวมกันได้พอดี ไม่เกิดตะกอน และเกลือทั้งสองแตกตัวสมบูรณ์ ความเข้มข้นของ Na^+ ในสารละลายผสมเป็นกี่โมลต่อลิตร

- **ก.** 0.15 mol/L
- **ข.** 0.20 mol/L
- **ค.** 0.30 mol/L
- **ง.** 0.40 mol/L

ข้อ 19 ★★★☆☆

ผสมสารละลาย $CaCl_2$ เข้มข้น 0.30 mol/L ปริมาตร 200 mL กับสารละลาย $NaCl$ เข้มข้น 0.20 mol/L ปริมาตร 300 mL สมมติปริมาตรรวมกันได้พอดีและเกลือทั้งสองแตกตัวสมบูรณ์ ความเข้มข้นของ Cl^- ในสารละลายผสมเป็นกี่โมลต่อลิตร

ก. 0.18 mol/L
ข. 0.24 mol/L
ค. 0.36 mol/L
ง. 0.50 mol/L

ข้อ 20 ★★★★☆

ผสมสารละลาย $BaCl_2$ เข้มข้น 0.30 mol/L ปริมาตร 100 mL กับสารละลาย Na_2SO_4 เข้มข้น 0.20 mol/L ปริมาตร 100 mL เกิดตะกอน $BaSO_4$ อย่างสมบูรณ์ สมมติปริมาตรรวมกันได้พอดี ความเข้มข้นของ Ba^{2+} ที่เหลือในสารละลายเป็นกี่โมลต่อลิตร

ก. 0.025 mol/L
ข. 0.050 mol/L
ค. 0.10 mol/L
ง. 0.15 mol/L

ข้อ 21 ★★★★★

ผสมสารละลาย Na_3PO_4 เข้มข้น 0.25 mol/L ปริมาตร 100 mL กับสารละลาย $CaCl_2$ เข้มข้น 0.30 mol/L ปริมาตร 150 mL เกิดตะกอนตามสมการ $3Ca^{2+} + 2PO_4^{3-} \rightarrow Ca_3(PO_4)_2$ อย่างสมบูรณ์ สมมติปริมาตรรวมกันได้พอดี ความเข้มข้นของ Ca^{2+} ที่เหลือในสารละลายเป็นกี่โมลต่อลิตร

ก. 0.030 mol/L
ข. 0.050 mol/L
ค. 0.080 mol/L
ง. 0.18 mol/L

สมบัติคอลลิเกทีฟ (จุดเดือด-จุดเยือกแข็ง)

ข้อ 22 ★☆☆☆☆

สารละลายกลูโคส (ไม่ระเหย ไม่แตกตัวเป็นไอออน) เข้มข้น 0.50 mol/kg จะเดือดที่อุณหภูมิใด (กำหนด K_b ของน้ำ = 0.52 องศาเซลเซียสต่อโมแลล น้ำบริสุทธิ์เดือดที่ 100.00 องศาเซลเซียส)

ก. 99.74 องศาเซลเซียส
ข. 100.26 องศาเซลเซียส
ค. 100.52 องศาเซลเซียส
ง. 101.04 องศาเซลเซียส

ข้อ 23 ★★☆☆☆

สารละลาย $NaCl$ เข้มข้น 0.25 mol/kg (แตกตัวสมบูรณ์ให้ 2 ไอออน) จะแข็งตัวที่อุณหภูมิใด (กำหนด K_f ของน้ำ = 1.86 องศาเซลเซียสต่อโมแลล น้ำบริสุทธิ์แข็งตัวที่ 0.00 องศาเซลเซียส)

ก. -0.465 องศาเซลเซียส
ข. -0.93 องศาเซลเซียส
ค. -1.395 องศาเซลเซียส
ง. +0.93 องศาเซลเซียส

ข้อ 24 ★★★☆☆

นำเอทิลีนไกลคอล ($C_2H_6O_2$ ซึ่งไม่ระเหยและไม่แตกตัวเป็นไอออน) 31.0 g ละลายในน้ำ 250 g สารละลายนี้จะแข็งตัวที่อุณหภูมิใด (กำหนด C = 12, H = 1, O = 16, K_f ของน้ำ = 1.86 องศาเซลเซียสต่อโมแลล และน้ำบริสุทธิ์แข็งตัวที่ 0 องศาเซลเซียส)

ก. -7.44 องศาเซลเซียส

ข. -3.72 องศาเซลเซียส

ค. -0.93 องศาเซลเซียส

ง. +3.72 องศาเซลเซียส

ข้อ 25 ★★★☆☆

พิจารณาข้อความเกี่ยวกับสารละลายที่มีตัวละลายไม่ระเหยต่อไปนี้ (ก) สารละลายมีจุดเดือดสูงกว่าตัวทำละลายบริสุทธิ์ (ข) สารละลาย $NaCl$ 0.1 mol/kg (แตกตัวสมบูรณ์ให้ 2 ไอออน) ทำให้จุดเยือกแข็งลดลงมากกว่าสารละลายกลูโคส 0.1 mol/kg (ค) สารละลายมีความดันไอสูงกว่าตัวทำละลายบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน (ง) จุดเยือกแข็งที่ลดลงของสารละลายขึ้นอยู่กับชนิดของตัวละลายเป็นหลัก ไม่ขึ้นกับจำนวนอนุภาคของตัวละลาย ข้อความใดถูกต้อง

ก. (ก) และ (ข)

ข. (ก) และ (ค)

ค. (ข) และ (ง)

ง. (ค) และ (ง)

ข้อ 26 ★★★☆☆

สารละลายในน้ำ 3 ชนิด ได้แก่ สารละลายยูเรีย ($CO(NH_2)_2$ มวลโมเลกุล 60) สารละลายกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$ มวลโมเลกุล 180) และสารละลายซูโครส ($C_{12}H_{22}O_{11}$ มวลโมเลกุล 342) แต่ละชนิดเข้มข้น 10.0% โดยมวลเท่ากัน และตัวละลายทุกตัวไม่ระเหยไม่แตกตัว พิจารณาข้อความต่อไปนี้ (ก) สารละลายทั้งสามชนิดมีโมแลลิตีเท่ากัน เพราะมีความเข้มข้นร้อยละโดยมวลเท่ากัน (ข) สารละลายกลูโคสมีจุดเดือดสูงกว่าสารละลายยูเรีย (ค) สารละลายยูเรียมีโมแลลิตีสูงที่สุด (ง) สารละลายซูโครสมีจุดเยือกแข็งสูงที่สุด ข้อความใดถูกต้อง

ก. (ก) และ (ข)

ข. (ก) และ (ค)

ค. (ข) และ (ง)

ง. (ค) และ (ง)

ข้อ 27 ★★★★☆

ละลายสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งไม่ระเหยและไม่แตกตัวเป็นไอออน 12.0 g ในน้ำ 200 g พบว่าสารละลายเดือดที่ 100.26 องศาเซลเซียส สารนี้มีมวลโมเลกุลเท่าใด (กำหนด K_b ของน้ำ = 0.52 องศาเซลเซียสต่อโมแลล น้ำบริสุทธิ์เดือดที่ 100.00 องศาเซลเซียส)

ก. 24

ข. 60

ค. 120

ง. 240

ข้อ 28 ★★★★☆

สารละลายในน้ำ 3 ชนิด ได้แก่ สารละลาย A: กลูโคส (ไม่แตกตัว) เข้มข้น 0.20 mol/kg สารละลาย B: $NaCl$ เข้มข้น 0.15 mol/kg (แตกตัวสมบูรณ์ให้ 2 ไอออน) สารละลาย C: $CaCl_2$ เข้มข้น 0.10 mol/kg (แตกตัวสมบูรณ์ให้ 3 ไอออน) พิจารณาข้อความต่อไปนี้ (ก) สารละลาย B มีจุดเยือกแข็งต่ำกว่าสารละลาย A (ข) สารละลาย B และสารละลาย C มีจุดเยือกแข็งเท่ากัน (ค) สารละลาย C มีจุดเยือกแข็งต่ำที่สุดเพียงชนิดเดียว (ง) สารละลาย A มีจุดเดือดสูงที่สุด ข้อความใดถูกต้อง

ก. (ก) และ (ข)

ข. (ก) และ (ง)

ค. (ข) และ (ค)

ง. (ค) และ (ง)

ข้อ 29 ★★★★☆

สารละลายของตัวละลายชนิดหนึ่งซึ่งไม่ระเหยและไม่แตกตัวเป็นไอออนในน้ำ เดือดที่ 100.13 องศาเซลเซียส สารละลายนี้จะแข็งตัวที่อุณหภูมิใด (กำหนด K_b = 0.52 และ K_f = 1.86 องศาเซลเซียสต่อโมแลล น้ำบริสุทธิ์เดือดที่ 100.00 และแข็งตัวที่ 0.00 องศาเซลเซียส)

ก. -0.13 องศาเซลเซียส

ข. -0.465 องศาเซลเซียส

ค. -0.93 องศาเซลเซียส

ง. -1.86 องศาเซลเซียส

ข้อ 30 ★★★★★

สารละลายกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$ ไม่ระเหย ไม่แตกตัว) 27.0 g ในน้ำ 300 g เดือดที่ 100.26 องศาเซลเซียส เมื่อต้มสารละลายนี้ให้น้ำระเหยออกไปส่วนหนึ่ง พบว่าสารละลายที่เหลือเดือดที่ 100.65 องศาเซลเซียส จงหามวลน้ำที่ระเหยออกไป (กำหนด C = 12, H = 1, O = 16, K_b ของน้ำ = 0.52 องศาเซลเซียสต่อโมแลล)

ก. 90 g

ข. 120 g

ค. 150 g

ง. 180 g

ข้อ 31 ★★★★★

สารประกอบชนิดหนึ่งมีสูตรเอมพิริคัลเป็น CH_2O เมื่อละลายสารนี้ 9.00 g ในน้ำ 250 g พบว่าสารละลายแข็งตัวที่ -0.372 องศาเซลเซียส สารนี้มีสูตรโมเลกุลเป็นอย่างไร (กำหนด C = 12, H = 1, O = 16, K_f ของน้ำ = 1.86 องศาเซลเซียสต่อโมแลล น้ำบริสุทธิ์แข็งตัวที่ 0 องศาเซลเซียส และสารนี้ไม่ระเหยไม่แตกตัวเป็นไอออน)

ก. CH_2O

ข. $C_2H_4O_2$

ค. $C_3H_6O_3$

ง. $C_6H_{12}O_6$

สมการไอออนิกสุทธิและการไทเทรต

ข้อ 32 ★☆☆☆☆

เมื่อผสมสารละลาย HCl กับสารละลาย $NaOH$ ซึ่งเป็นกรดแก่และเบสแก่ที่แตกตัวสมบูรณ์ทั้งคู่ สมการไอออนิกสุทธิของปฏิกิริยานี้คือข้อใด

ก. $HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$

ข. $Na^+ + Cl^- \rightarrow NaCl$

ค. $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$

ง. $H^+ + Cl^- + Na^+ + OH^- \rightarrow Na^+ + Cl^- + H_2O$

ข้อ 33 ★★☆☆☆

ไทเทรตสารละลาย $Ba(OH)_2$ ปริมาตร 25.0 mL ด้วยสารละลาย HCl เข้มข้น 0.10 mol/L พบว่าถึงจุดยุติพอดีเมื่อใช้กรดไป 40.0 mL สารละลาย $Ba(OH)_2$ มีความเข้มข้นกี่โมลต่อลิตร

ก. 0.040 mol/L

ข. 0.080 mol/L

ค. 0.16 mol/L

ง. 0.32 mol/L

ข้อ 34 ★★★☆☆

การไทเทรตกรดแอซีติก (CH_3COOH ซึ่งเป็นกรดอ่อนแตกตัวได้เพียงบางส่วน) ด้วยสารละลาย $NaOH$ สมการไอออนิกสุทธิที่ถูกต้องคือข้อใด

ก. $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$

ข. $CH_3COOH + Na^+ + OH^- \rightarrow CH_3COONa + H_2O$

ค. $CH_3COOH + OH^- \rightarrow CH_3COO^- + H_2O$

ง. $CH_3COO^- + H^+ \rightarrow CH_3COOH$

ข้อ 35 ★★★★☆

ปิเปตต์กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมา 10.0 mL เติมน้ำจนได้ปริมาตร 250 mL จากนั้นปิเปตต์สารละลายเจือจางนี้มา 25.0 mL ไปไทเทรตกับสารละลาย $NaOH$ เข้มข้น 0.15 mol/L พบว่าถึงจุดยุติพอดีเมื่อใช้เบสไป 20.0 mL กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นตั้งต้นมีความเข้มข้นกี่โมลต่อลิตร

ก. 0.12 mol/L

ข. 1.2 mol/L

ค. 3.0 mol/L

ง. 6.0 mol/L

ข้อ 36 ★★★★★

กรดไดโปรติกชนิดหนึ่ง (H_2A) หนัก 1.26 g ถูกละลายน้ำจนได้สารละลายปริมาตร 100 mL เมื่อปิเปตต์สารละลายนี้มา 25.0 mL ไปไทเทรตกับสารละลาย $NaOH$ เข้มข้น 0.125 mol/L จนสะเทินโปรตอนทั้งสองตัวพอดี ต้องใช้เบส 40.0 mL กรดนี้มีมวลโมเลกุลเท่าใด

ก. 63

ข. 126

ค. 252

ง. 504

เฉลยย่อ บทที่ 7

1. ค	2. ง	3. ค	4. ก	5. ค	6. ก	7. ค	8. ข	9. ข	10. ค	11. ก	12. ค	13. ก
14. ข	15. ข	16. ข	17. ข	18. ข	19. ค	20. ข	21. ก	22. ข	23. ข	24. ข	25. ก	26. ง
27. ค	28. ก	29. ข	30. ง	31. ง	32. ค	33. ข	34. ค	35. ค	36. ข			

เฉลยละเอียด บทที่ 7

ข้อ 1 — ตอบ ค.

10 mg

ppm (มวล/มวล) หมายถึง มก. ของตัวละลายต่อสารละลาย 1 กก. เมื่อความหนาแน่นน้ำ = 1.00 g/mL สารละลาย 1 L มีมวล 1 กก. ดังนั้น 2.5 ppm = 2.5 mg/L น้ำ 4.0 L มี Pb^{2+} = 2.5 × 4.0 = 10 mg ตัวลวง: 2.5 mg มาจากการลืมคูณปริมาตร, 0.625 mg มาจากการนำ 2.5 ไปหารด้วย 4 (สลับการคูณ-หาร), 25 mg มาจากการคูณ 10 พลาดหลักทศนิยม

ข้อ 2 — ตอบ ง.

2.00 mol/L

11.1% w/v หมายถึง $CaCl_2$ 11.1 g ในสารละลาย 100 mL = 111 g ต่อ 1 L มวลโมเลกุล $CaCl_2$ = 40 + 2(35.5) = 111 g/mol ดังนั้น [$CaCl_2$] = 111/111 = 1.00 mol/L $CaCl_2$ 1 โมล แตกตัวให้ Cl^- 2 โมล ดังนั้น [Cl^-] = 2 × 1.00 = 2.00 mol/L ตัวลวง: 1.00 mol/L คือความเข้มข้นของ $CaCl_2$ (ลืมคูณจำนวนไอออน), 0.50 mol/L มาจากการหารสองแทนคูณสอง, 0.10 mol/L มาจากการเข้าใจผิดว่า 11.1 g อยู่ในสารละลาย 1 L (ลืมว่า %w/v คิดต่อ 100 mL)

ข้อ 3 — ตอบ ค.

5.00 mol/kg

คิดจากสารละลาย 1 L (มีกลูโคส 3.00 โมล) มวลสารละลาย = 1000 mL × 1.14 g/mL = 1140 g มวลกลูโคส = 3.00 × 180 = 540 g มวลน้ำ (ตัวทำละลาย) = 1140 − 540 = 600 g = 0.600 kg โมแลลิตี = 3.00/0.600 = 5.00 mol/kg ตัวลวง: 3.00 มาจากการเข้าใจผิดว่าโมลาริตีเท่ากับโมแลลิตี, 2.63 มาจากการหารด้วยมวลสารละลายทั้งหมด (3.00/1.14) แทนที่จะหักมวลตัวละลายออกก่อน, 5.56 มาจากการหารด้วยมวลกลูโคส (3.00/0.540) แทนมวลน้ำ

ข้อ 4 — ตอบ ก.

0.20

โมลเอทานอล = 46/46 = 1.0 mol (มวลโมเลกุล C_2H_5OH = 24 + 6 + 16 = 46) โมลน้ำ = 72/18 = 4.0 mol เศษส่วนโมลเอทานอล = 1.0/(1.0 + 4.0) = 0.20 ตัวลวง: 0.25 มาจากการหารด้วยโมลของน้ำอย่างเดียว (1/4) แทนที่จะหารด้วยโมลรวม — เป็นความเข้าใจผิดเรื่องนิยามเศษส่วนโมลที่พบบ่อยที่สุด, 0.39 มาจากการใช้เศษส่วนโดยมวล (46/118), 0.80 คือเศษส่วนโมลของน้ำ (อ่านโจทย์ไม่ครบ)

ข้อ 5 — ตอบ ค.

6.25 mol/kg

คิดจากสารละลาย 100 g: มี NaOH 20.0 g และน้ำ 100 − 20 = 80.0 g = 0.0800 kg โมล NaOH = 20.0/40 = 0.500 mol (มวลโมเลกุล = 23 + 16 + 1 = 40) โมแลลิตี = 0.500/0.0800 = 6.25 mol/kg ตัวลวง: 5.00 mol/kg มาจากการหารด้วยมวลสารละลายทั้งหมด (0.500/0.100) — สับสนระหว่างมวลสารละลายกับมวลตัวทำละลาย, 3.13 mol/kg มาจากการใช้มวลโมเลกุลผิดเป็น 80, 25.0 mol/kg มาจากการหารด้วยมวลตัวละลาย (0.500/0.020) แทนมวลตัวทำละลาย

ข้อ 6 — ตอบ ก.

0.050 mol/L

1200 ppm = 1200 mg ต่อสารละลาย 1 kg เมื่อความหนาแน่น = 1.00 g/mL สารละลาย 1 L มีมวล 1 kg ดังนั้นมี Mg^{2+} = 1200 mg/L = 1.20 g/L ความเข้มข้น = 1.20/24 = 0.050 mol/L ตัวลวง: 50 mol/L มาจากการลืมแปลง mg เป็น g (นำ 1200 หาร 24 ตรง ๆ), 0.10 mol/L มาจากการคูณประจุ 2 ของ Mg^{2+} ซึ่งไม่เกี่ยวกับการแปลงหน่วยนี้, 1.2 mol/L คือค่ามวลเป็น g/L ที่ยังไม่ได้หารมวลอะตอม

ข้อ 7 — ตอบ ค.

(ข) และ (ง)

หลักคิด: ความหนาแน่นจำเป็นเมื่อต้องเชื่อม "ปริมาตรสารละลาย" กับ "มวล" — หน่วยที่อิงปริมาตร (โมลาริตี, %w/v) จะแปลงข้ามไปหน่วยที่อิงมวล (โมแลลิตี, %w/w, เศษส่วนโมล) ได้ต้องใช้ความหนาแน่น (ก) ผิด — โมลาริตีอิงปริมาตรสารละลาย ส่วนโมแลลิตีอิงมวลตัวทำละลาย ต้องใช้ความหนาแน่นแปลงปริมาตรเป็นมวลก่อน (ข) ถูก — ร้อยละโดยมวลให้มวลตัวละลายและมวลตัวทำละลายครบ คำนวณโมแลลิตีได้ทันที เช่น สารละลาย 100 g มีตัวละลาย x g น้ำ (100–x) g (ค) ผิด — ต้องแปลงมวลสารละลายเป็นปริมาตร จึงต้องใช้ความหนาแน่น (ง) ถูก — โมแลลิตีให้โมลตัวละลายต่อน้ำ 1 kg ซึ่งคิดโมลน้ำได้จาก 1000/18 จึงหาเศษส่วนโมลได้โดยตรง ดังนั้นข้อความที่ถูกคือ (ข) และ (ง) — ทั้งคู่เป็นการแปลงระหว่างหน่วยที่อิงมวลด้วยกันเอง

ข้อ 8 — ตอบ ข.

171 g

มวลโมเลกุลยูเรีย = 12 + 16 + 2(14 + 2) = 60 g/mol ดังนั้นโมลยูเรีย = 30.0/60 = 0.500 mol จากนิยามเศษส่วนโมล: $X = 0.050 = \dfrac{0.500}{0.500 + n}$ เมื่อ n คือโมลน้ำ โมลรวม = 0.500/0.050 = 10.0 mol จึงได้โมลน้ำ = 10.0 − 0.500 = 9.50 mol มวลน้ำ = 9.50 × 18 = 171 g ตัวลวง: 180 g มาจากการใช้นิยามผิดเป็นโมลตัวละลายต่อโมลตัวทำละลาย (ได้โมลน้ำ 10 โดยไม่หักโมลยูเรียออกจากโมลรวม), 162 g มาจากการลบโมลผิดเป็น 10 − 1 = 9 mol, 342 g มาจากการคิดโมลยูเรียผิดเป็น 1 โมล (ได้น้ำ 19 โมล)

ข้อ 9 — ตอบ ข.

(ก) (ค) และ (ง)

หลักคิด คิดจากสารละลาย 1 L (= 1200 g) สำหรับหน่วยที่อิงปริมาตร และคิดจากสารละลาย 100 g สำหรับหน่วยที่อิงมวล **ขั้นที่ 1** (ก): สารละลาย 1 L มีมวล 1000 × 1.20 = 1200 g มี H_2SO_4 = 1200 × 0.490 = 588 g มวลโมเลกุล H_2SO_4 = 2 + 32 + 64 = 98 ดังนั้น ความเข้มข้น = 588/98 = 6.00 mol/L — (ก) ถูก **ขั้นที่ 2** (ข)(ค): จากสารละลาย 100 g มีกรด 49.0 g = 49.0/98 = 0.500 mol และน้ำ 51.0 g = 51.0/18 = 2.83 mol เศษส่วนโมลกรด = 0.500/(0.500 + 2.83) = 0.15 — (ค) ถูก ส่วน (ข) ผิด เพราะ 0.49 คือ "เศษส่วนโดยมวล" ไม่ใช่เศษส่วนโมล **ขั้นที่ 3** (ง): เศษส่วนโมลอิงมวลล้วน คำนวณจากร้อยละโดยมวลได้โดยตรง แต่ mol/L ต้องเชื่อมมวลกับปริมาตรจึงขาดความหนาแน่นไม่ได้ — (ง) ถูก **ระวัง** ตัวลวงหลักคือ (ข) — การเอาร้อยละโดยมวลมาใช้เป็นเศษส่วนโมลตรง ๆ โดยไม่แปลงเป็นโมลก่อน

ข้อ 10 — ตอบ ค.

300 mL

หลักคิด การเจือจางไม่เปลี่ยนจำนวนโมลของตัวละลาย ใช้ $C_1V_1 = C_2V_2$ **ขั้นที่ 1** หาปริมาตรสุดท้าย: $V_2 = C_1V_1/C_2$ = (2.0 × 100)/0.50 = 400 mL **ขั้นที่ 2** น้ำที่ต้องเติม = ปริมาตรสุดท้าย − ปริมาตรเดิม = 400 − 100 = 300 mL **ระวัง** ตัวลวง 400 mL คือ "ปริมาตรสุดท้าย" ไม่ใช่ปริมาตรน้ำที่เติม (อ่านคำถามไม่ครบ) ส่วน 150 mL มาจากการคิดสัดส่วนผิดเป็นเติมน้ำ 1.5 เท่า และ 250 mL มาจากการลบผิดเป็น 350 − 100

ข้อ 11 — ตอบ ก.

(ก) และ (ค)

(ก) ถูก — การละลายแบบดูดความร้อน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ สมดุลจะเลื่อนไปทางละลายมากขึ้น (ตามหลักเลอชาเตอลิเอ) (ข) ผิด — แก๊สทุกชนิดละลายในน้ำได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพราะการละลายของแก๊สเป็นแบบคายความร้อน (นี่คือเหตุที่น้ำอุ่นมีออกซิเจนละลายน้อย) (ค) ถูก — ตามกฎของเฮนรี สภาพละลายได้ของแก๊สแปรผันตรงกับความดันของแก๊สเหนือของเหลว (ง) ผิด — การบดละเอียดเพิ่มพื้นที่ผิวจึงเพิ่ม "อัตราเร็ว" ในการละลายเท่านั้น ไม่ได้เพิ่มสภาพละลายได้สูงสุด ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของสารที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ (ตัวลวงยอดฮิต: สับสนระหว่างอัตราการละลายกับสภาพละลายได้) ดังนั้นข้อความที่ถูกคือ (ก) และ (ค)

ข้อ 12 — ตอบ ค.

24.95 g

โมล $CuSO_4$ ที่ต้องการ = 0.200 mol/L × 0.500 L = 0.100 mol เกลือไฮเดรต 1 โมลให้ $CuSO_4$ 1 โมล จึงต้องใช้ $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.100 mol มวลโมเลกุล $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ = 63.5 + 32 + 4(16) + 5(18) = 249.5 g/mol มวลที่ต้องชั่ง = 0.100 × 249.5 = 24.95 g ตัวลวง: 15.95 g มาจากการใช้มวลโมเลกุลของ $CuSO_4$ ไร้น้ำ (159.5) โดยลืมรวมน้ำผลึก — เป็นข้อผิดพลาดคลาสสิกของโจทย์เกลือไฮเดรต, 49.90 g มาจากการคิดปริมาตรเป็น 1 L, 12.48 g มาจากการคูณโมลพลาดเป็น 0.05 mol

---

ข้อ 13 — ตอบ ก.

25 mL

ขั้นที่ 1 หาความเข้มข้นของกรดเข้มข้น: สารละลาย 1 L มีมวล 1000 × 1.40 = 1400 g มี HNO_3 = 1400 × 0.63 = 882 g มวลโมเลกุล HNO_3 = 1 + 14 + 48 = 63 g/mol ดังนั้นความเข้มข้น = 882/63 = 14.0 mol/L ขั้นที่ 2 เจือจาง: โมลที่ต้องการ = 0.70 × 0.500 = 0.35 mol ปริมาตรกรดเข้มข้น = 0.35/14.0 = 0.025 L = 25 mL ตัวลวง: 35 mL มาจากการลืมใช้ความหนาแน่น (คิดความเข้มข้นได้ 10 mol/L), 50 mL มาจากการคิดโมลที่ต้องการเป็น 0.70 mol โดยลืมแปลง 500 mL เป็นลิตร, 250 mL มาจากการนำค่าความหนาแน่น 1.40 ไปใช้เป็นความเข้มข้นโดยตรง

ข้อ 14 — ตอบ ข.

0.20 mol/L

มวลโมเลกุล $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ = 2(23) + 12 + 3(16) + 10(18) = 286 g/mol โมลเกลือ = 28.6/286 = 0.100 mol ความเข้มข้นสารละลายแรก = 0.100/0.250 = 0.400 mol/L เจือจาง 50.0 mL เป็น 200 mL: $C_2 = C_1V_1/V_2$ = 0.400 × 50.0/200 = 0.100 mol/L Na_2CO_3 1 โมลแตกตัวให้ Na^+ 2 โมล ดังนั้น [Na^+] = 2 × 0.100 = 0.200 mol/L ตัวลวง: 0.10 mol/L คือความเข้มข้นของเกลือหลังเจือจาง (ลืมคูณ 2), 0.80 mol/L คือ [Na^+] ก่อนเจือจาง (ลืมขั้นเจือจาง), 0.40 mol/L คือความเข้มข้นเกลือก่อนเจือจาง (พลาดทั้งสองขั้น)

ข้อ 15 — ตอบ ข.

40 ppm

สารละลายตั้งต้น 2.00% w/v = 2.00 g/100 mL = 20.0 g/L ขั้นที่ 1: $NaOH$ ที่ปิเปตต์มา = 20.0 × 0.0100 = 0.200 g เจือจางเป็น 250 mL ได้ 0.200/0.250 = 0.800 g/L ขั้นที่ 2: $NaOH$ ที่ปิเปตต์มา = 0.800 × 0.0250 = 0.0200 g เจือจางเป็น 500 mL ได้ 0.0200/0.500 = 0.0400 g/L เมื่อความหนาแน่น = 1.00 g/mL: 0.0400 g/L = 40.0 mg/L = 40 ppm ตัวลวง: 800 ppm คือความเข้มข้นหลังเจือจางขั้นแรกเท่านั้น (0.800 g/L), 400 ppm มาจากการคิดตัวประกอบเจือจางขั้นที่สองผิดเป็น 2 เท่าแทน 20 เท่า (0.800/2 = 0.400 g/L), 4 ppm มาจากการแปลง g เป็น mg พลาดหนึ่งหลัก

ข้อ 16 — ตอบ ข.

10.15 g

หลักคิด คิดย้อนกลับจากสารละลายสุดท้ายไปหามวลเกลือ โดยผ่าน 3 ด่าน: ไอออน → เกลือ → ก่อนเจือจาง → มวล **ขั้นที่ 1** โมล Cl^- ในสารละลายสุดท้าย = 0.020 × 0.500 = 0.010 mol **ขั้นที่ 2** $MgCl_2$ 1 โมลให้ Cl^- 2 โมล ดังนั้นโมลเกลือใน 25.0 mL ที่ปิเปตต์มา = 0.010/2 = 0.0050 mol **ขั้นที่ 3** ความเข้มข้นสารละลายแรก = 0.0050/0.0250 = 0.200 mol/L ดังนั้นโมลเกลือทั้งหมดใน 250 mL = 0.200 × 0.250 = 0.0500 mol **ขั้นที่ 4** มวลโมเลกุล $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ = 24 + 2(35.5) + 6(18) = 203 g/mol ดังนั้น x = 0.0500 × 203 = 10.15 g **ระวัง** ตัวลวง 20.30 g มาจากการลืมหาร 2 (คิดว่าเกลือ 1 โมลให้ Cl^- 1 โมล), 4.75 g มาจากการใช้มวลโมเลกุลของ $MgCl_2$ ไร้น้ำ (95) โดยลืมน้ำผลึก, 40.60 g มาจากการพลาดทั้งสองอย่างพร้อมกัน

ข้อ 17 — ตอบ ข.

0.30 mol/L

หลักคิด ความเข้มข้นหลังผสม = โมลรวม ÷ ปริมาตรรวม **ขั้นที่ 1** โมลรวม = (0.100 × 0.40) + (0.100 × 0.20) = 0.040 + 0.020 = 0.060 mol **ขั้นที่ 2** ปริมาตรรวม = 100 + 100 = 200 mL = 0.200 L ดังนั้นความเข้มข้น = 0.060/0.200 = 0.30 mol/L **ระวัง** ตัวลวง 0.60 mol/L มาจากการบวกความเข้มข้นตรง ๆ (0.40 + 0.20) โดยลืมว่าสารละลายทั้งสองเจือจางซึ่งกันและกัน ส่วน 0.40 และ 0.20 คือความเข้มข้นเดิมของแต่ละส่วน (สังเกตว่าค่าที่ถูกต้องอยู่ระหว่างสองค่านี้เสมอเมื่อผสมสารเดียวกัน)

ข้อ 18 — ตอบ ข.

0.20 mol/L

หลักคิด รวมโมล Na^+ จากทุกแหล่ง (อย่าลืมจำนวนไอออนต่อสูตร) แล้วหารด้วยปริมาตรรวม **ขั้นที่ 1** โมล Na^+ จาก Na_2SO_4 = 0.100 × 0.10 × 2 = 0.020 mol (1 โมลเกลือให้ Na^+ 2 โมล) **ขั้นที่ 2** โมล Na^+ จาก $NaCl$ = 0.100 × 0.20 × 1 = 0.020 mol **ขั้นที่ 3** [Na^+] = (0.020 + 0.020)/0.200 = 0.20 mol/L **ระวัง** ตัวลวง 0.15 mol/L มาจากการลืมคูณ 2 ของ Na_2SO_4, 0.30 mol/L มาจากการบวกความเข้มข้นเกลือตรง ๆ, 0.40 mol/L มาจากการลืมหารด้วยปริมาตรรวมที่เพิ่มเป็น 2 เท่า

ข้อ 19 — ตอบ ค.

0.36 mol/L

โมล Cl^- จาก $CaCl_2$ = 0.200 L × 0.30 mol/L × 2 = 0.12 mol (1 โมลเกลือให้ 2 ไอออนคลอไรด์) โมล Cl^- จาก $NaCl$ = 0.300 L × 0.20 mol/L × 1 = 0.06 mol โมล Cl^- รวม = 0.12 + 0.06 = 0.18 mol ปริมาตรรวม = 200 + 300 = 500 mL = 0.500 L [Cl^-] = 0.18/0.500 = 0.36 mol/L ตัวลวง: 0.24 mol/L มาจากการลืมคูณ 2 ของ $CaCl_2$, 0.18 mol/L คือจำนวนโมล (ลืมหารปริมาตรรวม), 0.50 mol/L มาจากการบวกความเข้มข้นตรง ๆ โดยไม่คิดการเจือจางซึ่งกันและกัน

ข้อ 20 — ตอบ ข.

0.050 mol/L

หลักคิด หาโมลของไอออนทั้งสอง แล้วให้ทำปฏิกิริยากันแบบ 1 : 1 ($Ba^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_4$) ตัวที่น้อยกว่าหมดก่อน **ขั้นที่ 1** โมล Ba^{2+} = 0.100 × 0.30 = 0.030 mol และโมล SO_4^{2-} = 0.100 × 0.20 = 0.020 mol **ขั้นที่ 2** SO_4^{2-} เป็นสารกำหนดปริมาณ ตกตะกอนดึง Ba^{2+} ไป 0.020 mol เหลือ Ba^{2+} = 0.030 – 0.020 = 0.010 mol **ขั้นที่ 3** ปริมาตรรวม = 0.200 L ดังนั้น [Ba^{2+}] = 0.010/0.200 = 0.050 mol/L **ระวัง** ตัวลวง 0.10 mol/L มาจากการหารด้วยปริมาตรเดิม 100 mL (ลืมว่าปริมาตรรวมเป็น 200 mL), 0.15 mol/L มาจากการลืมหักส่วนที่ตกตะกอน (0.030/0.200), 0.025 mol/L มาจากการสลับสารกำหนดปริมาณแล้วคิดเศษผิด

ข้อ 21 — ตอบ ก.

0.030 mol/L

หลักคิด ปฏิกิริยานี้ไม่ใช่ 1 : 1 — ต้องหาสารกำหนดปริมาณด้วยอัตราส่วน 3 : 2 ก่อน **ขั้นที่ 1** โมล PO_4^{3-} = 0.100 × 0.25 = 0.025 mol และโมล Ca^{2+} = 0.150 × 0.30 = 0.045 mol **ขั้นที่ 2** เทียบหาสารกำหนดปริมาณ: $Ca^{2+}/3$ = 0.015 มากกว่า $PO_4^{3-}/2$ = 0.0125 ดังนั้น PO_4^{3-} หมดก่อน **ขั้นที่ 3** Ca^{2+} ที่ถูกใช้ = (3/2) × 0.025 = 0.0375 mol เหลือ = 0.045 − 0.0375 = 0.0075 mol **ขั้นที่ 4** ปริมาตรรวม = 100 + 150 = 250 mL ดังนั้น [Ca^{2+}] = 0.0075/0.250 = 0.030 mol/L **ระวัง** ตัวลวง 0.080 mol/L มาจากการคิดอัตราส่วนผิดเป็น 1 : 1 (0.045 − 0.025 = 0.020 mol), 0.050 mol/L มาจากการหารด้วยปริมาตรเดิมของ $CaCl_2$ (150 mL) แทนปริมาตรรวม, 0.18 mol/L มาจากการลืมหักส่วนที่ตกตะกอนทั้งหมด (0.045/0.250)

ข้อ 22 — ตอบ ข.

100.26 องศาเซลเซียส

หลักคิด จุดเดือดที่สูงขึ้น $\Delta T_b = K_b \times m$ แล้วบวกเข้ากับจุดเดือดของตัวทำละลายบริสุทธิ์ **ขั้นที่ 1** ΔT_b = 0.52 × 0.50 = 0.26 องศาเซลเซียส **ขั้นที่ 2** จุดเดือดสารละลาย = 100.00 + 0.26 = 100.26 องศาเซลเซียส **ระวัง** ตัวลวง 99.74 มาจากการลบแทนบวก (ตัวละลายไม่ระเหยทำให้จุดเดือด "สูงขึ้น" ไม่ใช่ลดลง — ที่ลดลงคือจุดเยือกแข็ง), 100.52 มาจากการใช้ K_b ตรง ๆ โดยลืมคูณโมแลลิตี, 101.04 มาจากการคูณ 2 เกินมาราวกับกลูโคสแตกตัว

ข้อ 23 — ตอบ ข.

-0.93 องศาเซลเซียส

หลักคิด สมบัติคอลลิเกทีฟขึ้นกับจำนวนอนุภาครวม — เกลือที่แตกตัวต้องคูณจำนวนไอออนก่อนใช้สูตร **ขั้นที่ 1** โมแลลิตีประสิทธิผลของอนุภาค = 0.25 × 2 = 0.50 mol/kg ($NaCl$ 1 โมลให้ Na^+ กับ Cl^- รวม 2 อนุภาค) **ขั้นที่ 2** ΔT_f = 1.86 × 0.50 = 0.93 องศาเซลเซียส ดังนั้นจุดเยือกแข็ง = 0.00 − 0.93 = −0.93 องศาเซลเซียส **ระวัง** ตัวลวง −0.465 มาจากการลืมคูณจำนวนไอออน (ใช้ 0.25 ตรง ๆ), −1.395 มาจากการคูณผิดเป็น 3 ไอออน (สับสนกับ $CaCl_2$), +0.93 มาจากการเข้าใจทิศทางผิด — ตัวละลายทำให้จุดเยือกแข็ง "ลดลง" เสมอ

ข้อ 24 — ตอบ ข.

-3.72 องศาเซลเซียส

มวลโมเลกุลเอทิลีนไกลคอล = 24 + 6 + 32 = 62 g/mol โมลตัวละลาย = 31.0/62 = 0.500 mol โมแลลิตี = 0.500 mol / 0.250 kg = 2.00 mol/kg $\Delta T_f = K_f \times m$ = 1.86 × 2.00 = 3.72 องศาเซลเซียส จุดเยือกแข็งของสารละลาย = 0 − 3.72 = −3.72 องศาเซลเซียส ตัวลวง: −0.93 มาจากการใช้ 0.500 เป็นโมแลลิตีโดยลืมหารมวลน้ำ 0.250 kg, −7.44 มาจากการเข้าใจผิดว่าไกลคอลแตกตัวเป็น 2 อนุภาค (ไกลคอลเป็นสารไม่แตกตัว), +3.72 มาจากการเข้าใจผิดทิศทาง — การเติมตัวละลายทำให้จุดเยือกแข็ง "ลดลง" ไม่ใช่เพิ่มขึ้น

ข้อ 25 — ตอบ ก.

(ก) และ (ข)

(ก) ถูก — ตัวละลายไม่ระเหยทำให้ความดันไอของสารละลายต่ำลง จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงขึ้นกว่าเดิมเพื่อให้ความดันไอเท่าความดันบรรยากาศ จุดเดือดจึงสูงขึ้น (ข) ถูก — NaCl 0.1 mol/kg แตกตัวให้อนุภาครวม 0.2 mol/kg ส่วนกลูโคสไม่แตกตัวมีอนุภาค 0.1 mol/kg สมบัติคอลลิเกทีฟขึ้นกับจำนวนอนุภาค NaCl จึงลดจุดเยือกแข็งได้มากกว่า (ค) ผิด — ความดันไอของสารละลายต้อง "ต่ำกว่า" ตัวทำละลายบริสุทธิ์ (ตัวลวงจากการจำสลับทิศ) (ง) ผิด — สมบัติคอลลิเกทีฟขึ้นกับ "จำนวนอนุภาค" ของตัวละลาย ไม่ได้ขึ้นกับชนิดของตัวละลาย (ข้อความนี้กลับความจริงพอดี) ดังนั้นข้อความที่ถูกคือ (ก) และ (ข)

ข้อ 26 — ตอบ ง.

(ค) และ (ง)

คิดจากสารละลาย 100 g แต่ละชนิด: มีตัวละลาย 10.0 g ในน้ำ 90.0 g = 0.0900 kg โมแลลิตียูเรีย = (10/60)/0.0900 = 1.85 mol/kg โมแลลิตีกลูโคส = (10/180)/0.0900 = 0.617 mol/kg โมแลลิตีซูโครส = (10/342)/0.0900 = 0.325 mol/kg (ก) ผิด — ร้อยละโดยมวลเท่ากันแต่มวลโมเลกุลต่างกัน จำนวนโมลจึงต่างกัน โมแลลิตีจึงไม่เท่ากัน (ตัวลวงจากการเข้าใจว่าหน่วยความเข้มข้นทุกแบบสัมพันธ์กันตรง ๆ) (ข) ผิด — ยูเรียมีโมแลลิตีสูงกว่า จุดเดือดของสารละลายยูเรียจึงสูงกว่ากลูโคส (ค) ถูก — โมแลลิตีแปรผกผันกับมวลโมเลกุลเมื่อร้อยละโดยมวลเท่ากัน ยูเรียมวลโมเลกุลน้อยสุดจึงมีโมแลลิตีมากสุด (ง) ถูก — ซูโครสมีโมแลลิตีต่ำสุด จุดเยือกแข็งจึงลดลงน้อยที่สุด คือมีจุดเยือกแข็งสูงที่สุด (ใกล้ 0 องศาเซลเซียสที่สุด) ดังนั้นข้อความที่ถูกคือ (ค) และ (ง)

ข้อ 27 — ตอบ ค.

120

ΔT_b = 100.26 − 100.00 = 0.26 องศาเซลเซียส โมแลลิตี $m = \Delta T_b / K_b$ = 0.26/0.52 = 0.500 mol/kg โมลตัวละลาย = 0.500 mol/kg × 0.200 kg = 0.100 mol มวลโมเลกุล = 12.0 g / 0.100 mol = 120 ตัวลวง: 24 มาจากการใช้ 0.500 เป็นจำนวนโมลตรง ๆ โดยลืมคูณมวลตัวทำละลาย (12/0.5), 240 มาจากการคิดโมแลลิตีพลาดครึ่งหนึ่งเป็น 0.25 mol/kg (ได้ 0.05 mol), 60 มาจากการคูณมวลน้ำเป็น 2 เท่าพลาด (ได้ 0.2 mol)

ข้อ 28 — ตอบ ก.

(ก) และ (ข)

สมบัติคอลลิเกทีฟขึ้นกับความเข้มข้นรวมของอนุภาคทั้งหมด (โมแลลิตีประสิทธิผล) A: กลูโคสไม่แตกตัว = 0.20 mol/kg B: NaCl = 0.15 × 2 = 0.30 mol/kg C: $\mathrm{CaCl_2}$ = 0.10 × 3 = 0.30 mol/kg (ก) ถูก — B มีอนุภาครวม 0.30 มากกว่า A ที่มี 0.20 จุดเยือกแข็งของ B จึงลดลงมากกว่า (ต่ำกว่า) (ข) ถูก — B และ C มีความเข้มข้นอนุภาครวมเท่ากันพอดี (0.30 mol/kg) จุดเยือกแข็งจึงเท่ากัน (ค) ผิด — C ต่ำสุดจริงแต่ไม่ใช่เพียงชนิดเดียว เพราะ B ต่ำเท่ากัน (ตัวลวงสำหรับคนที่เห็น 3 ไอออนแล้วสรุปทันทีว่าเยอะสุดโดยไม่คูณความเข้มข้น) (ง) ผิด — A มีอนุภาครวมน้อยที่สุด จุดเดือดจึงสูงขึ้นน้อยที่สุด ไม่ใช่สูงที่สุด ดังนั้นข้อความที่ถูกคือ (ก) และ (ข)

ข้อ 29 — ตอบ ข.

-0.465 องศาเซลเซียส

ขั้นที่ 1 หาโมแลลิตีจากจุดเดือด: ΔT_b = 100.13 – 100.00 = 0.13 องศาเซลเซียส $m = \Delta T_b / K_b$ = 0.13/0.52 = 0.250 mol/kg ขั้นที่ 2 ใช้โมแลลิตีเดียวกันหาจุดเยือกแข็ง: $\Delta T_f = K_f \times m$ = 1.86 × 0.250 = 0.465 องศาเซลเซียส จุดเยือกแข็ง = 0.00 – 0.465 = –0.465 องศาเซลเซียส ตัวลวง: –0.13 มาจากการเข้าใจผิดว่าจุดเยือกแข็งลดลงเท่ากับจุดเดือดที่เพิ่มขึ้น (ค่า K_f กับ K_b ไม่เท่ากัน), –0.93 มาจากการใช้โมแลลิตีผิดเป็น 0.50, –1.86 มาจากการใช้โมแลลิตีผิดเป็น 1.00 (ลืมหาโมแลลิตีจากข้อมูลจุดเดือดก่อน)

ข้อ 30 — ตอบ ง.

180 g

โมลกลูโคส = 27.0/180 = 0.150 mol (คงที่ตลอดเพราะกลูโคสไม่ระเหย) ตรวจสอบสถานะเริ่มต้น: m = 0.150/0.300 = 0.500 mol/kg ให้ ΔT_b = 0.52 × 0.500 = 0.26 ตรงกับโจทย์ (เดือดที่ 100.26) หลังระเหย: ΔT_b = 100.65 – 100.00 = 0.65 องศาเซลเซียส โมแลลิตีใหม่ = 0.65/0.52 = 1.25 mol/kg มวลน้ำที่เหลือ = 0.150 mol / 1.25 mol/kg = 0.120 kg = 120 g มวลน้ำที่ระเหย = 300 – 120 = 180 g ตัวลวง: 120 g คือมวลน้ำ "ที่เหลือ" ไม่ใช่ที่ระเหย (อ่านคำถามไม่ครบ — ตัวลวงหลักของข้อนี้), 150 g มาจากการเดาว่าระเหยไปครึ่งหนึ่ง, 90 g มาจากการตั้งสัดส่วนอุณหภูมิผิดทิศ

ข้อ 31 — ตอบ ง.

$C_6H_{12}O_6$

ΔT_f = 0 – (–0.372) = 0.372 องศาเซลเซียส โมแลลิตี = $\Delta T_f / K_f$ = 0.372/1.86 = 0.200 mol/kg โมลตัวละลาย = 0.200 × 0.250 kg = 0.0500 mol มวลโมเลกุล = 9.00/0.0500 = 180 มวลสูตรเอมพิริคัล CH_2O = 12 + 2 + 16 = 30 ดังนั้น n = 180/30 = 6 สูตรโมเลกุลคือ $C_6H_{12}O_6$ ตัวลวง: $C_3H_6O_3$ (มวลโมเลกุล 90) มาจากการใช้มวลน้ำผิดเป็น 0.500 kg ได้โมลเป็น 0.100 mol, CH_2O มาจากการสรุปว่าสูตรเอมพิริคัลคือสูตรโมเลกุลโดยไม่คำนวณ, $C_2H_4O_2$ (มวลโมเลกุล 60) มาจากการคำนวณโมลพลาดเป็น 0.15 mol

---

ข้อ 32 — ตอบ ค.

$H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$

> **หลักคิด** สมการไอออนิกสุทธิ = เขียนสารที่แตกตัวได้ให้อยู่ในรูปไอออน แล้ว "ตัดไอออนที่ไม่เปลี่ยนแปลง (spectator ions)" ออกทั้งสองข้าง **ขั้นที่ 1** กรดแก่และเบสแก่แตกตัวสมบูรณ์: $H^+ + Cl^- + Na^+ + OH^- \rightarrow Na^+ + Cl^- + H_2O$ **ขั้นที่ 2** Na^+ และ Cl^- ปรากฏเหมือนกันทั้งสองข้าง จึงเป็น spectator ตัดออกได้ เหลือ $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$ **ระวัง** ตัวเลือกแรกคือสมการโมเลกุล (ยังไม่แยกไอออน), ตัวเลือกสุดท้ายคือสมการไอออนิกสมบูรณ์ที่ยังไม่ได้ตัด spectator, ส่วน $Na^+ + Cl^- \rightarrow NaCl$ ผิดเพราะ $NaCl$ ละลายน้ำได้ดี ไม่รวมตัวกันเป็นของแข็งในสารละลาย

ข้อ 33 — ตอบ ข.

0.080 mol/L

หลักคิด ที่จุดยุติ โมล H^+ = โมล OH^- แต่ $Ba(OH)_2$ 1 โมลให้ OH^- 2 โมล **ขั้นที่ 1** โมล HCl = 0.0400 L × 0.10 mol/L = 0.0040 mol = โมล OH^- ที่ถูกสะเทิน **ขั้นที่ 2** โมล $Ba(OH)_2$ = 0.0040/2 = 0.0020 mol ดังนั้นความเข้มข้น = 0.0020/0.0250 = 0.080 mol/L **ระวัง** ตัวลวง 0.16 mol/L มาจากการลืมหาร 2 (คิดว่าเบส 1 โมลให้ OH^- 1 โมล) — เป็นข้อผิดพลาดคลาสสิกของเบสไดโปรติก, 0.32 mol/L มาจากการคูณ 2 แทนหาร 2, 0.040 mol/L มาจากการหาร 2 ซ้ำสองรอบ

ข้อ 34 — ตอบ ค.

$$CH_3COOH + OH^- \rightarrow CH_3COO^- + H_2O$$

หลักคิด ในสมการไอออนิกสุทธิ สารที่แตกตัว "ไม่สมบูรณ์" (กรดอ่อน เบสอ่อน สารไม่ละลาย น้ำ) ต้องเขียนทั้งโมเลกุล ห้ามแยกเป็นไอออน **ขั้นที่ 1** กรดแอซีติกเป็นกรดอ่อน จึงเขียนเป็น CH_3COOH ทั้งโมเลกุล ส่วน $NaOH$ เป็นเบสแก่ แยกเป็น Na^+ กับ OH^- **ขั้นที่ 2** ตัด Na^+ ซึ่งเป็น spectator ออก และเกลือ CH_3COONa ที่เกิดขึ้นละลายน้ำแตกตัวได้ดี จึงเขียนฝั่งผลิตภัณฑ์เป็น CH_3COO^- ได้สมการ $CH_3COOH + OH^- \rightarrow CH_3COO^- + H_2O$ **ระวัง** ตัวลวงหลักคือ $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$ ซึ่งใช้ได้เฉพาะ "กรดแก่ + เบสแก่" เท่านั้น — กรดอ่อนแตกตัวน้อย H^+ อิสระมีน้อยมาก ตัวเลือกที่มี CH_3COONa ทั้งโมเลกุลผิดเพราะยังไม่ตัด spectator ส่วนตัวเลือกสุดท้ายคือปฏิกิริยาย้อนกลับ

ข้อ 35 — ตอบ ค.

3.0 mol/L

หลักคิด เดินย้อนจากผลไทเทรต → ความเข้มข้นหลังเจือจาง → ความเข้มข้นตั้งต้น (ผ่านตัวประกอบเจือจาง) **ขั้นที่ 1** โมล $NaOH$ = 0.0200 × 0.15 = 0.0030 mol เนื่องจาก HCl ทำปฏิกิริยากับ $NaOH$ แบบ 1 : 1 จึงมี HCl ในส่วนที่ไทเทรต = 0.0030 mol **ขั้นที่ 2** ความเข้มข้นของกรดหลังเจือจาง = 0.0030/0.0250 = 0.12 mol/L **ขั้นที่ 3** ย้อนการเจือจาง 10.0 mL → 250 mL (เจือจาง 25 เท่า): ความเข้มข้นตั้งต้น = 0.12 × 250/10.0 = 3.0 mol/L **ระวัง** ตัวลวง 0.12 mol/L คือความเข้มข้นหลังเจือจาง (ลืมย้อนขั้นเจือจาง — ตัวลวงหลักของข้อนี้), 1.2 mol/L มาจากการใช้ตัวประกอบเจือจางผิดเป็น 10 เท่า, 6.0 mol/L มาจากการคูณ 2 เกินมาราวกับกรดเป็นไดโปรติก

ข้อ 36 — ตอบ ข.

126

หลักคิด สะเทินสมบูรณ์: โมล $NaOH$ = 2 × โมลกรด (กรดไดโปรติกให้โปรตอน 2 ตัว) แล้วอย่าลืมว่าไทเทรตแค่ 1 ใน 4 ของสารละลายทั้งหมด **ขั้นที่ 1** โมล $NaOH$ = 0.0400 × 0.125 = 0.00500 mol **ขั้นที่ 2** โมลกรดในส่วน 25.0 mL = 0.00500/2 = 0.00250 mol **ขั้นที่ 3** สารละลายทั้งหมด 100 mL มีกรด = 0.00250 × (100/25.0) = 0.0100 mol **ขั้นที่ 4** มวลโมเลกุล = 1.26/0.0100 = 126 **ระวัง** ตัวลวง 63 มาจากการลืมหาร 2 ของกรดไดโปรติก (คิด 1 : 1 ได้โมลกรด 0.0200 mol), 252 มาจากการลืมคูณ 4 กลับจากส่วนแบ่งปิเปตต์ (ใช้ 0.00500 mol), 504 มาจากการพลาดทั้งสองอย่างพร้อมกัน (ใช้ 0.00250 mol เป็นโมลทั้งหมด)