# 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 + $\Delta T_b$ · จุดเยือกแข็งสารละลาย = จุดเยือกแข็งตัวทำละลาย – $\Delta T_f$

**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 $\Delta T$ ตัวแรก → โมแลล → โมลตัวละลาย (ค่าคงที่ไม่ว่าตัวทำละลายไหน) → คิดโมแลลใหม่ในตัวทำละลายที่สอง → $\Delta T$ 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: $\Delta T$ → 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 $\Delta T_f$** — จุดเยือกแข็ง*ลบ* $\Delta T_f$ 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 $\Delta T$ → 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 $\mathrm{NaOH}$ 20.0 g และน้ำ 100 − 20 = 80.0 g = 0.0800 kg โมล $\mathrm{NaOH}$ = 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 $\mathrm{Mg}^{2+}$ = 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 $\mathrm{Mg}^{2+}$ 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** $\Delta T_b$ = 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** $\Delta T_f$ = 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 — $\mathrm{NaCl}$ 0.1 mol/kg แตกตัวให้อนุภาครวม 0.2 mol/kg ส่วนกลูโคสไม่แตกตัวมีอนุภาค 0.1 mol/kg สมบัติคอลลิเกทีฟขึ้นกับจำนวนอนุภาค $\mathrm{NaCl}$ 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

$\Delta T_b$ = 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: $\mathrm{NaCl}$ = 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: $\Delta T_b$ = 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 $\Delta T_b$ = 0.52 × 0.500 = 0.26 ตรงกับโจทย์ (เดือดที่ 100.26) หลังระเหย: $\Delta T_b$ = 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.**

$C_6H_{12}O_6$

$\Delta T_f$ = 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)