

การแข่งขันเคมีโอลิมปิกระดับชาติ ครั้งที่ 22

คณะวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยทักษิณ

วันเสาร์ที่ 4 เมษายน 2569

เวลา 09.00 – 14.00 น.

เฉลยข้อสอบภาคทฤษฎี

เลขประจำตัวสอบ _____

คำตอบข้อที่ 1 (10 คะแนน) (2.5 + 6.5 + 1 คะแนน)

1.1 (1 คะแนน) ความเข้มข้นของ CO_2 ในน้ำ = 1.4×10^{-5} M (0.5)

วิธีคำนวณ

$$\begin{aligned} [\text{CO}_2] &= k_H \cdot P_{\text{CO}_2} \\ &= (3.3 \times 10^{-2} \text{ M atm}^{-1}) \left(\frac{0.0412}{100} \times 1 \text{ atm} \right) \\ &= 1.4 \times 10^{-5} \text{ M} \end{aligned} \quad (0.5)$$

1.2 (3 คะแนน) ความเข้มข้นของไอออนในหน่วย meq L^{-1} (ตอบทศนิยม 2 ตำแหน่ง)

Na^+	2.40	K^+	0.80	Mg^{2+}	0.48	Ca^{2+}	0.96
(0.25) รวมกัน 3.20 (0.25) ratio 3 : 1				(0.25) Mg^{2+} และ Ca^{2+}			
HCO_3^-	3.74	CO_3^{2-}	0.06	Cl^-	0.70	SO_4^{2-}	0.14
(0.25)		(0.25)		(0.25) Cl^- และ SO_4^{2-}			

วิธีคำนวณ

แปลง mmol L^{-1} เป็น meq L^{-1} (ดูที่คำตอบ)

$$\begin{aligned} [\text{Mg}^{2+}] &= 2 \times (0.24 \text{ mmol L}^{-1}) = 0.48 \text{ meq L}^{-1} \\ [\text{Ca}^{2+}] &= 2 \times (0.48 \text{ mmol L}^{-1}) = 0.96 \text{ meq L}^{-1} \\ [\text{Cl}^-] &= 1 \times (0.70 \text{ mmol L}^{-1}) = 0.70 \text{ meq L}^{-1} \\ [\text{SO}_4^{2-}] &= 2 \times (0.07 \text{ mmol L}^{-1}) = 0.14 \text{ meq L}^{-1} \end{aligned}$$

carbonate alkalinity (0.25) คำนวณความเข้มข้นจาก volume

(0.25) ตั้งสมการ $1 \times [\text{HCO}_3^-] + 2 \times [\text{CO}_3^{2-}] = 1 \times \frac{(0.100 \text{ M})(1.90 \text{ mL})}{50.00 \text{ mL}} = 3.80 \text{ meq L}^{-1}$

(0.25) Charge Balance $\sum \text{cations} = \sum \text{anions}$

(0.25) หน่วย/ประจุ $[\text{M}^+] + 0.48 + 0.96 = 3.80 + 0.70 + 0.14 \quad (\text{in meq L}^{-1})$

flame photometer: $[\text{Na}^+] + [\text{K}^+] = 4.64 - 1.44 = 3.20 \text{ meq L}^{-1}$

3 : 1 ดังนั้น $[\text{Na}^+] = \frac{3}{4} \times 3.20 = 2.40 \text{ meq L}^{-1}$
(ดูที่คำตอบ) $[\text{K}^+] = \frac{1}{4} \times 3.20 = 0.80 \text{ meq L}^{-1}$

จากสมการ Alkalinity $= [\text{HCO}_3^-] + 2 \cdot [\text{CO}_3^{2-}] = 3.80 \text{ meq L}^{-1} \quad \dots \quad \text{Alk} = x + 2 \cdot r \cdot x = x \cdot (1 + 2r)$

(0.25) ความสัมพันธ์ $r = \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = \frac{K_{a,2}}{[\text{H}^+]} = 10^{-(\text{p}K_{a,2} - \text{pH})} \quad \text{โดยที่ } x = [\text{HCO}_3^-]$
 $r = 10^{-(10.33 - 8.20)} = 10^{-2.13} = 7.4 \times 10^{-3}$

(0.25) การแก้สมการ $[\text{HCO}_3^-] = \frac{\text{Alk}}{1 + 2r} = 3.74 \quad [\text{CO}_3^{2-}] = r \cdot \frac{\text{Alk}}{1 + 2r} = 0.028$
 $= \frac{3.80}{1 + 2 \cdot (7.4 \times 10^{-3})} \quad = (7.4 \times 10^{-3}) \times 3.74$

หากไม่เขียนค่าความเข้มข้นในกล่องคำตอบของไอออนชนิดใด ให้ใช้ค่าต่อไปนี้ในการคำนวณข้อถัดไป

- แคตไอออน: $\text{Na}^+ = 0.12$ $\text{K}^+ = 0.36$ $\text{Mg}^{2+} = 0.24$ $\text{Ca}^{2+} = 0.48$
- แอนไอออน: $\text{HCO}_3^- = 0.30$ $\text{CO}_3^{2-} = 0.13$ $\text{Cl}^- = 0.70$ $\text{SO}_4^{2-} = 0.07$

1.3 (2 คะแนน) ประเภทของบ่อน้ำพุร้อนเขาชัยสน

☐ Type A : Calcium Chloride type

☐ Type C : Sodium Chloride type

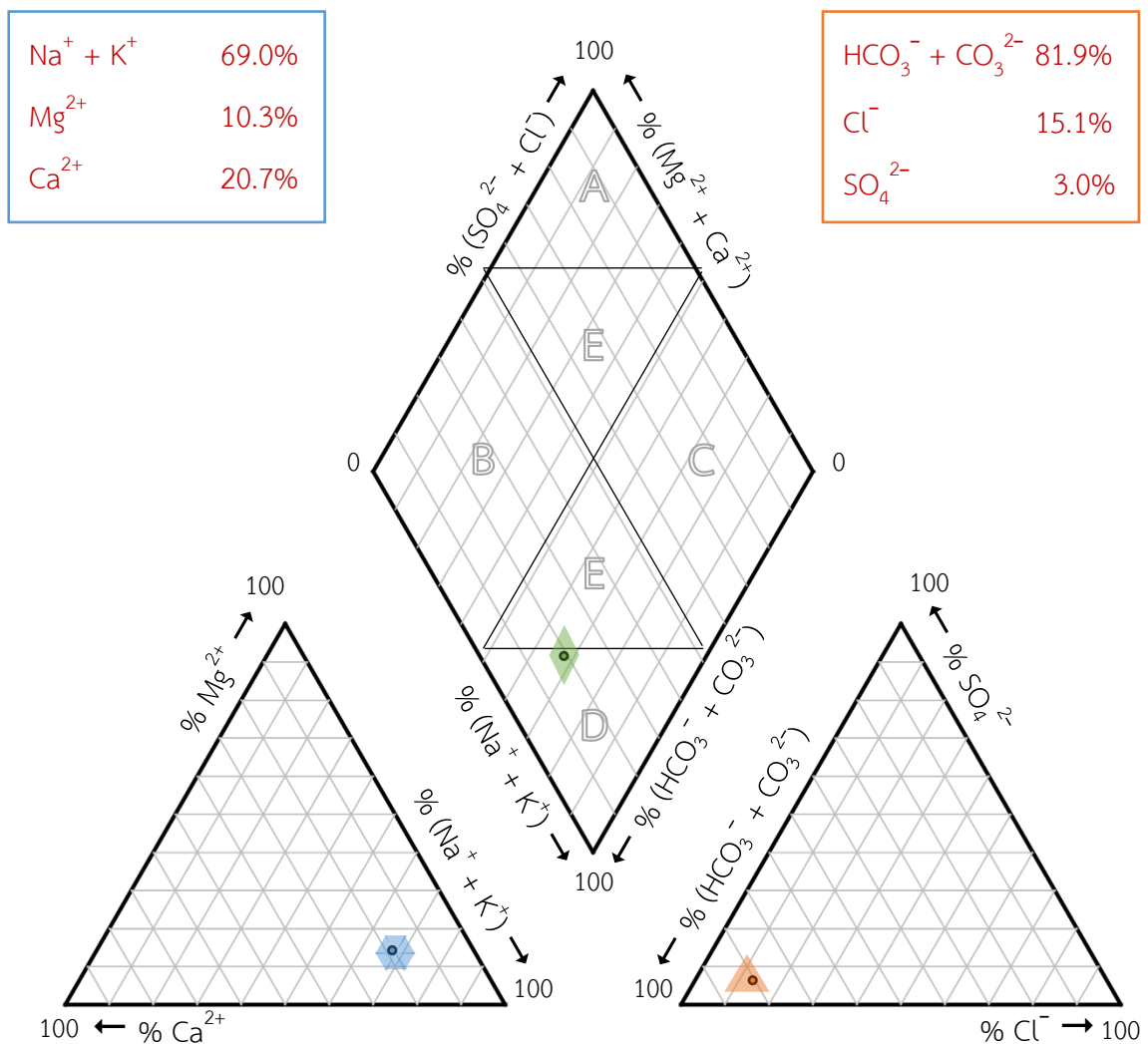
☐ Type B : Magnesium Bicarbonate type

☒ Type D : Sodium Bicarbonate type (0.5)

☐ Type E : Mixed Type

ระบุร้อยละประกอบ (ในหน่วย meq L^{-1}) ลงบนแผนภาพ

(0.5) plot สีเหลี่ยมข้าวหลามตัด



(0.5) สามเหลี่ยมแคตไอออน

(0.5) สามเหลี่ยมแอนไอออน

Piper Diagram

1.4 (1 คะแนน) ลำดับของค่าพลังงานแลตทิซ



ให้คะแนนครึ่งหนึ่ง ถ้าผิดคู่ต่อไปนี้

(0.5) $\text{CaCO}_3 > \text{MgCO}_3 > \text{CaSO}_4 > \text{Na}_2\text{CO}_3$... เพราะอาจพิจารณาจากค่า K_{sp}

(0.5) $\text{MgCO}_3 > \text{CaCO}_3 > \text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{CaSO}_4$... เพราะอาจพิจารณาเฉพาะ $r = r_+ + r_-$

MgCO_3	CaCO_3	CaSO_4	Na_2CO_3
$K \frac{2 \cdot 4}{250} \left(1 - \frac{34.5}{250}\right)$	$K \frac{2 \cdot 4}{278} \left(1 - \frac{34.5}{278}\right)$	$K \frac{2 \cdot 4}{330} \left(1 - \frac{34.5}{330}\right)$	$K \frac{3 \cdot 2}{280} \left(1 - \frac{34.5}{280}\right)$
$0.0276 \cdot K$	$0.0252 \cdot K$	$0.0217 \cdot K$	$0.0188 \cdot K$

1.5 (1 คะแนน) การเปรียบเทียบและคำอธิบาย

(0.25) $\Delta_{\text{hyd}}H$ ของ Mg^{2+} มีขนาดใหญ่กว่า Ca^{2+} $\Delta_{\text{hyd}}H(\text{Mg}^{2+}) = -1903 \text{ kJ mol}^{-1}$

$\Delta_{\text{hyd}}H(\text{Ca}^{2+}) = -1591 \text{ kJ mol}^{-1}$

(ประเด็นละ 0.25)

- พิจารณา thermodynamic cycle ของการละลาย

$$\Delta_{\text{sol}}H = U_L + \Delta_{\text{hyd}}H$$

- MgCO_3 ละลายได้ดีกว่า CaCO_3 ถึง 4 order

$$K_{sp}(\text{MgCO}_3) = 4.0 \times 10^{-5}$$

$$K_{sp}(\text{CaCO}_3) = 3.8 \times 10^{-9}$$

หรือ ละลายได้ดีแม้ว่า U_L ของ MgCO_3 จะสูงที่สุด (contrast)

Trend ไม่เหมือน เนื่องจากพิจารณา enthalpy เท่านั้น ... ไม่มีค่า entropy ให้คำนวณ

หรือ ค่า K_{sp} เป็น equilibrium constant ซึ่งสัมพันธ์กับ Gibb's free energy

1.6 (2 คะแนน) ทำเครื่องหมายเพื่อเลือกข้อความ (ผิดหักคะแนน) (เลือกคำอธิบายที่ถูกต้อง +0.5 เลือกคำอธิบายที่ผิด -0.5)

- ☒ การสูญเสีย CO_2 สู่บรรยากาศ ทำให้ปริมาณคาร์บอนอนินทรีย์ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำลดลง สัดส่วนของ $[\text{HCO}_3^-]/[\text{CO}_3^{2-}]$ เพิ่มขึ้นและ $[\text{H}^+]$ จะมีค่าลดลง
- ☐ เมื่ออุณหภูมิลดลง K_H มีค่าน้อยลง ทำให้ปริมาณ CO_2 ที่สมดุลในน้ำลดลง จึงคาย CO_2 ออกไปมากขึ้น
- ☐ เมื่อน้ำเย็นตัวลง $K_{sp}(\text{CaCO}_3)$ จะมีค่าลดลงไปด้วย ทำให้ CaCO_3 ตกตะกอนและดึง CO_3^{2-} ออกไป
- ☒ ปริมาณ CO_2 ที่สามารถละลายในน้ำเย็น มีค่าต่ำกว่าระดับ CO_2 ที่ปากบ่อมาก จึงเกิดการคาย CO_2
- ☐ ค่า pH สูงขึ้น เพราะมีการผสมน้ำเย็นที่เป็นต่างวาระหว่างทาง โดยไม่ต้องมีการแลกเปลี่ยนแก๊ส
- ☒ การที่น้ำเย็นตัวทำให้ $K_{a,1}$ และ $K_{a,2}$ ของ H_2CO_3 มีค่าน้อยลง กรดจึงแตกตัวได้น้อยลง
- ☒ การคาย CO_2 ยังคงเกิดขึ้น แม้สภาพละลายได้ของ CO_2 จะสูงขึ้นเมื่อน้ำเย็นลง
- ☐ เมื่อ CaCO_3 ตกตะกอน จะไปเพิ่มสภาพต่าง เนื่องจากไปดึง Ca^{2+} ออก

คำตอบข้อที่ 2 (10 คะแนน) (0 + 10 + 0 คะแนน)

2.1 (4 คะแนน) พล็อตแกน x ด้วยค่า

 t

(0.25)

ต้องสัมพันธ์กัน

พล็อตแกน y ด้วยค่า

 $\ln(T_0 - T(t))$

(0.15+0.10)

วิธีคำนวณ

$$\text{จาก } T(t) = T_0 + (T(0) - T_0)e^{-t/\tau}$$

$$\text{จะได้ } T(t) - T_0 = (T(0) - T_0)e^{-t/\tau}$$

(0.25)

$$T_0 - T(t) = (T_0 - T(0))e^{-t/\tau}$$

take ln ตลอดสมการ จะได้

$$\ln(T_0 - T(t)) = \ln\{(T_0 - T(0))e^{-t/\tau}\}$$

(0.25)

$$\ln(T_0 - T(t)) = \ln(T_0 - T(0)) - \frac{t}{\tau}$$

ดังนั้น ควรพล็อตแกน x ด้วยค่า t และพล็อตแกน y ด้วยค่า $\ln(T_0 - T(t))$ ค่า τ ที่หาได้ =

55.9

s

(0.5)

(ตอบเลขนัยสำคัญ 3 ตัว)

วิธีคำนวณ

แทนค่าที่ 30.0 s จะได้

$$\ln(T_0 - T(30.0 \text{ s})) = \ln(T_0 - T(0)) - \frac{30.0 \text{ s}}{\tau}$$

$$\ln((40.0 + 273.15) - (36.0 + 273.15)) = \ln(T_0 - T(0)) - \frac{30.0 \text{ s}}{\tau}$$

(0.3)

$$\ln(4.0) = \ln(T_0 - T(0)) - \frac{30.0 \text{ s}}{\tau}$$

$$\ln(T_0 - T(0)) = \ln(4.0) + \frac{30.0 \text{ s}}{\tau}$$

แทนค่าที่ 120.0 s จะได้

$$\ln(T_0 - T(120.0 \text{ s})) = \ln(T_0 - T(0)) - \frac{120.0 \text{ s}}{\tau}$$

$$\ln((40.0 + 273.15) - (39.2 + 273.15)) = \ln(T_0 - T(0)) - \frac{120.0 \text{ s}}{\tau}$$

(0.3)

$$\ln(0.8) = \ln(T_0 - T(0)) - \frac{120.0 \text{ s}}{\tau}$$

$$\ln(T_0 - T(0)) = \ln(0.8) + \frac{120.0 \text{ s}}{\tau}$$

$$\text{ดังนั้น } \ln(4.0) + \frac{30.0 \text{ s}}{\tau} = \ln(0.8) + \frac{120.0 \text{ s}}{\tau}$$

$$\ln(4.0) - \ln(0.8) = \frac{120.0 \text{ s}}{\tau} - \frac{30.0 \text{ s}}{\tau}$$

(0.3)

$$1.386 - (-0.223) = \frac{90.0 \text{ s}}{\tau}$$

$$\tau = \frac{90.0 \text{ s}}{1.609} = 55.9 \text{ s}$$

ค่า τ สะท้อน “อัตราเร็วในการแลกเปลี่ยนความร้อน” ระหว่างผิวเข้ากับบ่อน้ำร้อน โดย

☐ ค่า τ ยิ่งมาก ยิ่งแลกเปลี่ยนความร้อนเร็ว

☒ ค่า τ ยิ่งน้อย ยิ่งแลกเปลี่ยนความร้อนเร็ว

(0.5)

☐ ค่า τ ไม่ได้สะท้อนอัตราเร็วในการแลกเปลี่ยนความร้อน

อุณหภูมิที่ผิวเต้าก่อนแช่ลงในบ่อน้ำร้อน =

33.6

°C

(0.5)

(ตอบเลขนัยสำคัญ 3 ตัว)

วิธีคำนวณ

$$\text{จาก } T(t) = T_0 + (T(0) - T_0)e^{-t/\tau}$$

$$\text{จะได้ } (273.15 + 37.8 \text{ K}) = (273.15 + 40.0 \text{ K}) + (T(0) - (273.15 + 40.0 \text{ K}))e^{-60.0 \text{ s}/55.9 \text{ s}} \quad (0.3)$$

$$310.95 \text{ K} = 313.15 \text{ K} + (T(0) - 313.15 \text{ K})(0.3419)$$

$$-2.20 \text{ K} = (T(0) - 313.15 \text{ K})(0.3419)$$

$$T(0) - 313.15 \text{ K} = -6.435 \text{ K}$$

(0.3)

$$T(0) = 306.72 \text{ K} = 33.57 \text{ °C} = \sim 33.6 \text{ °C}$$

2.2 (3.5 คะแนน) ความร้อนของกระบวนการนี้ =

 -6.30×10^4

J

(0.1+0.4)

(ตอบเลขนัยสำคัญ 3 ตัว)

เอนโทรปีของกระบวนการนี้ =

 1.39×10^1 J K⁻¹

(0.5)

(ตอบเลขนัยสำคัญ 3 ตัว)

ต้องลัมพันธ์กัน

วิธีคำนวณ

ขั้นที่ 1 แขนบ่อน้ำร้อนจนสมดุล ($T_0 \rightarrow T_{\text{hot}}$)

$$Q_1 = C_{\text{foot}} (T_{\text{hot}} - T_0) = (3.50 \times 10^3 \text{ J K}^{-1})(313.15 - 306.15 \text{ K}) = 2.45 \times 10^4 \text{ J} \quad (0.25)$$

(เทาคูดความร้อนจากบ่อน้ำร้อน)

เอนโทรปีของเท้า:

$$\Delta S_{\text{foot},1} = C_{\text{foot}} \ln \frac{T_{\text{hot}}}{T_0} = (3.50 \times 10^3 \text{ J K}^{-1}) \ln \frac{313.15 \text{ K}}{306.15 \text{ K}} = 7.91 \times 10^1 \text{ J K}^{-1} \quad (0.25)$$

เอนโทรปีของบ่อน้ำร้อน (บ่อน้ำร้อนคงที่ที่ T_{hot}):

$$\Delta S_{\text{bath},1} = -\frac{Q_1}{T_{\text{hot}}} = -\frac{2.45 \times 10^4 \text{ J}}{313.15 \text{ K}} = -7.82 \times 10^1 \text{ J K}^{-1} \quad (0.25)$$

เอนโทรปีรวมขั้นที่ 1:

$$\Delta S_{\text{tot},1} = \Delta S_{\text{foot},1} + \Delta S_{\text{bath},1} = 7.91 \times 10^1 - 7.82 \times 10^1 \text{ J K}^{-1} = 9 \times 10^{-1} \text{ J K}^{-1} \quad (0.25)$$

ขั้นที่ 2 ย้ายไปแช่ธารน้ำเย็นจนสมดุล ($T_{\text{hot}} \rightarrow T_{\text{cold}}$)

$$Q_2 = C_{\text{foot}}(T_{\text{cold}} - T_{\text{hot}}) = (3.50 \times 10^3 \text{ J K}^{-1})(288.15 - 313.15 \text{ K}) = -8.75 \times 10^4 \text{ J} \quad (0.25)$$

(เท้าคายความร้อนให้ธารน้ำเย็น)

เอนโทรปีของเท้า:

$$\Delta S_{\text{foot},2} = C_{\text{foot}} \ln \frac{T_{\text{cold}}}{T_{\text{hot}}} = (3.50 \times 10^3 \text{ J K}^{-1}) \ln \frac{288.15 \text{ K}}{313.15 \text{ K}} = -2.91 \times 10^2 \text{ J K}^{-1} \quad (0.25)$$

เอนโทรปีของธารน้ำเย็น (ธารน้ำเย็นคงที่ที่ T_{cold}):

$$\Delta S_{\text{bath},2} = -\frac{Q_2}{T_{\text{cold}}} = -\frac{(-8.75 \times 10^4 \text{ J})}{288.15 \text{ K}} = 3.04 \times 10^2 \text{ J K}^{-1} \quad (0.25)$$

เอนโทรปีรวมขั้นที่ 2:

$$\Delta S_{\text{tot},2} = \Delta S_{\text{foot},2} + \Delta S_{\text{bath},2} = -2.91 \times 10^2 + 3.04 \times 10^2 \text{ J K}^{-1} = 1.3 \times 10^1 \text{ J K}^{-1} \quad (0.25)$$

ผลรวมตลอดกระบวนการ

ความร้อนสุทธิของเท้า:

$$Q_{\text{tot}} = Q_1 + Q_2 = 2.45 \times 10^4 \text{ J} - 8.75 \times 10^4 \text{ J} = -6.30 \times 10^4 \text{ J} \text{ (คายความร้อนสุทธิ)} \quad (0.25)$$

เอนโทรปีรวมทั้งกระบวนการ:

$$\Delta S_{\text{tot}} = \Delta S_{\text{tot},1} + \Delta S_{\text{tot},2} = 9 \times 10^{-1} \text{ J K}^{-1} + 1.3 \times 10^1 \text{ J K}^{-1} = 1.39 \times 10^1 \text{ J K}^{-1} \quad (0.25)$$

2.3 (2.5 คะแนน) งานจากการขยายตัว =

0.55

J

(0.5)

(ตอบเลขนี้สำคัญ 2 ตัว)

การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน =

-6.30×10^4

J

(0.5)

(ตอบเลขนี้สำคัญ 3 ตัว)

วิธีคำนวณ

ขั้นที่ 1 แช่ในบ่อน้ำร้อนจนสมดุล ($T_0 \rightarrow T_{\text{hot}}$)

$$\Delta V_1 = \beta V_0 \Delta T_1 = (3.0 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1})(1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3)(40.0 - 33.0 \text{ }^\circ\text{C}) = 2.1 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (0.25)$$

$$W_1 = -p_{\text{ex}} \Delta V_1 = -(1.013 \times 10^5 \text{ Pa})(2.1 \times 10^{-6} \text{ m}^3) = -0.21 \text{ J} \quad (0.25)$$

ขั้นที่ 2 ย้ายไปแช่ธารน้ำเย็นจนสมดุล ($T_{\text{hot}} \rightarrow T_{\text{cold}}$)

$$\Delta V_2 = \beta V_0 \Delta T_2 = (3.0 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1})(\sim 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3)(15.0 - 40.0 \text{ }^\circ\text{C}) = -7.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (0.25)$$

$$W_2 = -p_{\text{ex}} \Delta V_2 = -(1.013 \times 10^5 \text{ Pa})(-7.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3) = 0.76 \text{ J} \quad (0.25)$$

$$\text{ดังนั้น } W_{\text{tot}} = W_1 + W_2 = -0.21 + 0.76 = 0.55 \text{ J} \quad (0.25)$$

$$\Delta U = Q + W = -6.30 \times 10^4 \text{ J} + 0.55 \text{ J} = -6.30 \times 10^4 \text{ J} \quad (0.25)$$

คำตอบข้อที่ 3 (10 คะแนน) (1 + 6 + 3 คะแนน)

3.1 (4 คะแนน)

สูตรโมเลกุลของแก๊ส C คือ



(1)

แก๊ส C มีมวล

$$122.6 \approx 120 \text{ หรือ } 123$$

g

(1)

วิธีคำนวณ

แก๊ส A คือ CH_4 และแก๊ส B คือ CO_2

(0.2)

จากกฎความดันย่อยของดอลตัน $P_A = x_A P_{\text{total}}$

$$3.60 \text{ atm} = x_A (6.00 \text{ atm})$$

ดังนั้น

$$x_A = (3.60 \text{ atm}) / (6.00 \text{ atm}) = 0.600$$

(0.2)

แก๊ส B มีร้อยละโดยมวลเท่ากับ 57.4% นั่นคือ

$$\frac{m_B}{m_{\text{total}}} \times 100\% = 57.4\%$$

ดังนั้น

$$\frac{m_B}{m_{\text{total}}} = \frac{n_B M_B}{n_{\text{total}} M_{\text{total}}} = \frac{x_B M_B}{M_{\text{total}}} = \frac{x_B (44.0 \text{ g mol}^{-1})}{(23.0 \text{ g mol}^{-1})} = 0.574$$

$$x_B = 0.574 \times \frac{(23.0 \text{ g mol}^{-1})}{(44.0 \text{ g mol}^{-1})} = 0.300$$

(0.4)

และทำให้ทราบว่า $x_C = 1.000 - (0.600 + 0.300) = 0.100$

(0.2)

มวลต่อโมลเฉลี่ยคำนวณได้จาก $M_{\text{total}} = x_A M_A + x_B M_B + x_C M_C = 23.0 \text{ g mol}^{-1}$

$$(0.600)(16.0 \text{ g mol}^{-1}) + (0.300)(44.0 \text{ g mol}^{-1}) + (0.100)M_C = 23.0 \text{ g mol}^{-1}$$

(0.2)

ดังนั้น

$$M_C = (23.0 - (0.600 \times 16.0) - (0.300 \times 44.0)) / (0.100) = 2.0 \text{ g mol}^{-1}$$

นั่นคือ

แก๊ส C คือ แก๊ส H_2

(0.2)

คำนวณจำนวนโมลของแก๊สชีวภาพ (n_{total}) จากสมการ $P_{\text{total}} V = n_{\text{total}} RT$

$$(6.00 \text{ atm})(2,500. \text{ L}) = n_{\text{total}} (0.08206 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1})(298.15 \text{ K})$$

$$n_{\text{total}} = 6.00 \times 2500 / 0.08206 / 298.15 = 613 \text{ mol}$$

(0.2)

คำนวณจำนวนโมลของแก๊ส C (n_C) จาก $n_C = x_C n_{\text{total}} = (0.100)(613 \text{ mol}) = 61.3 \text{ mol}$

(0.2)

ดังนั้น มวลของแก๊ส C (m_C)

$$m_C = (61.3 \text{ mol})(2.0 \text{ g mol}^{-1}) = 122.6 \text{ g} \approx 120 \text{ g}$$

(0.2)

3.2 (2 คะแนน) การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น = -22.5 MJ (1)

ไม่มี “-” หัก 0.5 pt

วิธีคำนวณ

แก๊สที่เผาไหม้ได้ในที่นี้ คือ แก๊ส A (CH_4) และแก๊ส C (H_2) (0.1)

ปฏิกิริยาเผาไหม้ที่ดุลแล้ว คือ



คำนวณ $\Delta_r H^\circ$ ของปฏิกิริยาข้างต้น

$$\begin{aligned} \Delta_1 H^\circ &= (-393.5 \text{ kJ mol}^{-1}) + 2(-285.8 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-74.9 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= -890.2 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned} \quad (0.1)$$

$$\Delta_2 H^\circ = -285.8 \text{ kJ mol}^{-1} \quad (0.1)$$

คำนวณจำนวนโมลของแก๊สชีวภาพ (n_{total})

$$n_{\text{total}} = (920. \text{ g}) / (23.0 \text{ g mol}^{-1}) = 40.0 \text{ mol} \quad (0.1)$$

คำนวณจำนวนโมลของแก๊ส A (CH_4) และแก๊ส C (H_2)

$$n_A = x_A n_{\text{total}} = (0.600)(40.0 \text{ mol}) = 24.0 \text{ mol} \quad (0.1)$$

$$n_C = x_C n_{\text{total}} = (0.100)(40.0 \text{ mol}) = 4.00 \text{ mol} \quad (0.1)$$

คำนวณการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ “แก๊สชีวภาพ”

$$q_{\text{total}} = q_A + q_C = (24.0 \text{ mol})(-890.2 \text{ kJ mol}^{-1}) + (4.00 \text{ mol})(-285.8 \text{ kJ mol}^{-1})$$

$$q_{\text{total}} = [(-21365) + (-1143)] \text{ kJ} = -22508 \text{ kJ} \approx -22.5 \text{ MJ} \quad (0.2)$$

3.3 (1 คะแนน) การรวมตัวกันเกิดได้เองในทางอุณหพลศาสตร์เมื่อ

☒ $\gamma > 0$ (0.5)

☐ $\gamma < 0$ (-0.25)

เนื่องจาก

☐ การรวมตัวกันของอนุภาคทำให้ปริมาตรรวมเพิ่มขึ้น (-0.25)

☐ การรวมตัวกันของอนุภาคทำให้ปริมาตรรวมลดลง (-0.25)

☒ การรวมตัวกันของอนุภาคไม่ทำให้ปริมาตรรวมเปลี่ยนแปลง (0.25)

☐ การรวมตัวกันของอนุภาคทำให้พื้นที่ผิวรวมเพิ่มขึ้น (-0.25)

☒ การรวมตัวกันของอนุภาคทำให้พื้นที่ผิวรวมลดลง (0.25)

☐ การรวมตัวกันของอนุภาคไม่ทำให้พื้นที่ผิวรวมเปลี่ยนแปลง (-0.25)

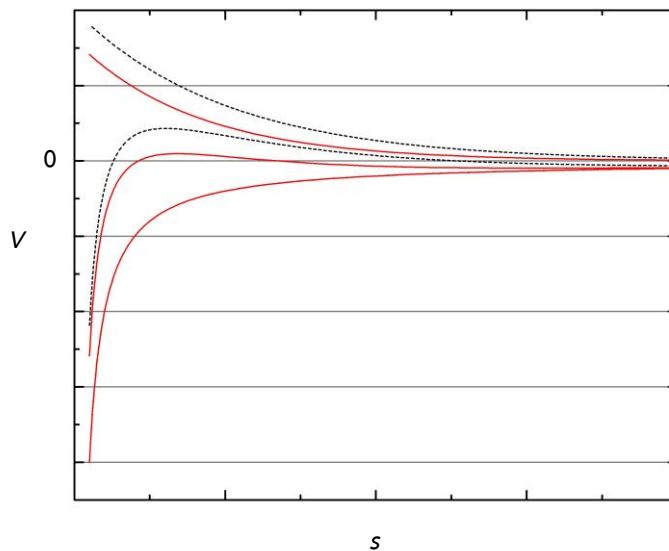
(คะแนนรวมในการเลือกตอบไม่ติดลบ)

3.4 (3 คะแนน) เมื่อน้ำทะเลหนุนสูง พารามิเตอร์ดังต่อไปนี้มีค่า...

A	☐	เพิ่มขึ้น	☐	ลดลง	☒	คงที่	(0.1)
r_D	☐	เพิ่มขึ้น	☒	ลดลง	☐	คงที่	(0.2)
$ \zeta $	☐	เพิ่มขึ้น	☒	ลดลง	☐	คงที่	(0.2)
ε	☐	เพิ่มขึ้น	☐	ลดลง	☒	คงที่	(0.1)
ρ	☐	เพิ่มขึ้น	☐	ลดลง	☒	คงที่	(0.1)
l	☒	เพิ่มขึ้น	☐	ลดลง	☐	คงที่	(0.1)
b_i	☒	เพิ่มขึ้น	☐	ลดลง	☐	คงที่	(0.1)
z_i	☐	เพิ่มขึ้น	☐	ลดลง	☒	คงที่	(0.1)

(ตอบผิดห้กครั้งหนึ่งโดยคะแนนรวมในการเลือกตอบไม่ติดลบ)

กราฟแสดงอันตรกิริยาต่าง ๆ เมื่อน้ำทะเลหนุนสูง (เส้นประแสดงกราฟเมื่อความเข้มข้นไอออน คือ 5 mM)



เส้นละ 0.5 คะแนน

(V_{attraction} คงเดิมในขณะที่ V_{repulsion}

อ่อนแอลง ทำให้

V_{total} เอนต่ำลง)

คำอธิบาย

อันตรกิริยาแบบดึงดูดขึ้นกับชนิดของอนุภาค เนื่องจากในกรณีนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น อันตรกิริยา (0.1)

แบบดึงดูดจึงไม่เปลี่ยนแปลง

เมื่อน้ำทะเลหนุนสูงความเข้มข้นของไอออนในทะเลสาบสงขลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้

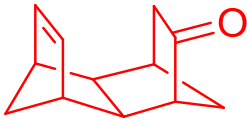
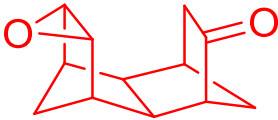
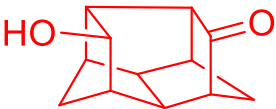
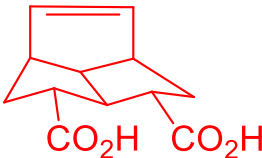
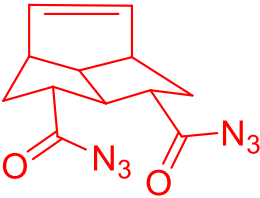
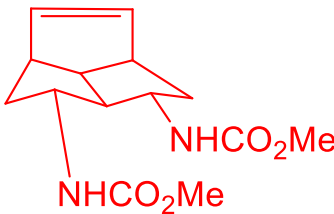
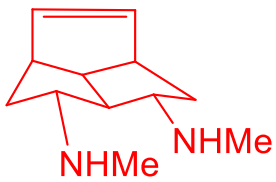
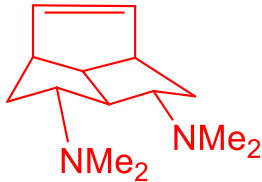
- b_i เพิ่มขึ้น ดังนั้น l จึงเพิ่มขึ้น และทำให้ r_D มีค่าลดลง (0.1)- นอกจากนั้น เมื่อไอออนไปเกาะที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวมากขึ้น ประจุไฟฟ้าสุทธิจึงมีค่าลดลงทำให้ (0.1)
ขนาดของ ζ มีค่าลดลงเช่นกัน

ด้วยเหตุนี้ อันตรกิริยาแบบผลักกันจึงอ่อนแอลง (มีค่าเข้าใกล้ 0 เร็วขึ้น) (0.1)

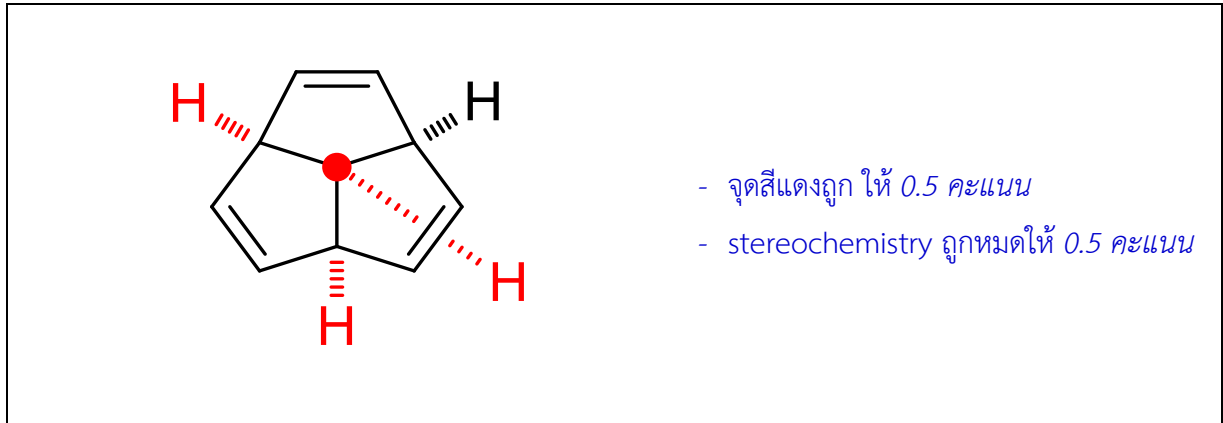
ในภาพรวม อันตรกิริยารวมจึงเลื่อนไปทางฝั่งดึงดูด ทำให้อนุภาคดินเหนียวตกตะกอนหรือมีแนวโน้มที่จะ (0.1)
ตกตะกอน

คำตอบข้อที่ 4 (10 คะแนน) (1 + 9 + 0 คะแนน)

4.1 (8 คะแนน) โครงสร้างของสารประกอบ A – H และระบุสเตอริโอเคมีที่เหมาะสม

สารประกอบ A (1 คะแนน) 	สารประกอบ B (1 คะแนน)  หาก epoxide ชี้ผิดด้าน หรือ ชี้ไปด้านบนตัดสินใจไม่ได้ ให้ 0.5 คะแนน
สารประกอบ C (1 คะแนน)  หาก OH ชี้ผิดด้าน หรือ ชี้ไปด้านอื่น ให้ 0.5 คะแนน	สารประกอบ D (1 คะแนน)  หาก stereochemistry ผิด ให้ 0.5 คะแนน
สารประกอบ E (1 คะแนน) 	สารประกอบ F (1 คะแนน) 
สารประกอบ G (1 คะแนน) 	สารประกอบ H (1 คะแนน) 

- 4.2 (1 คะแนน) ระบุตำแหน่งของคาร์บอน • บนโครงสร้าง triquinacene และแสดงสเตอริโอเคมีของไฮโดรเจนของ sp^3 -คาร์บอนทุกตำแหน่ง



- 4.3 (1 คะแนน)

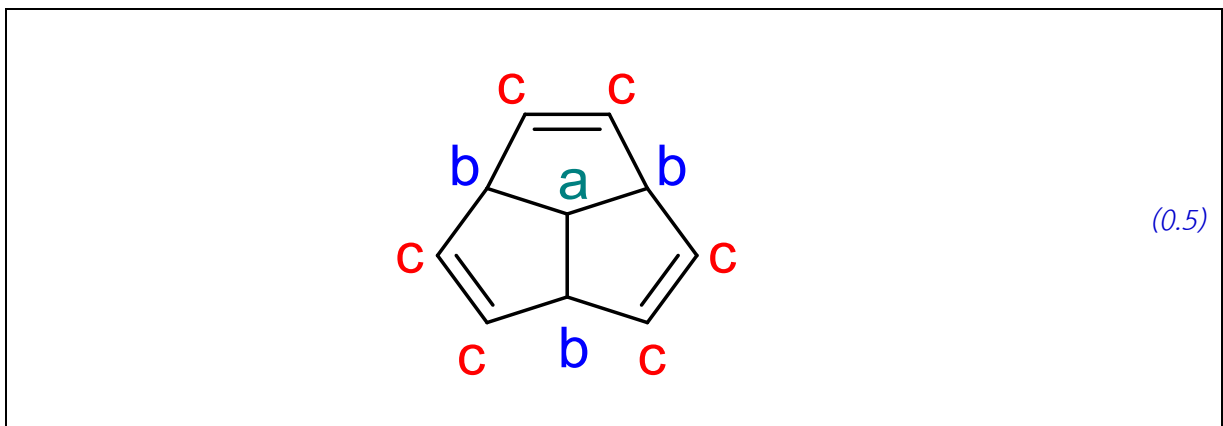
triquinacene มีโปรตอนที่มีสภาพแวดล้อมทางแม่เหล็กไม่เหมือนกัน (magnetically non-equivalent proton)

3

ชนิด

(0.25)

ระบุชนิดของโปรตอนทุกตัวด้วย a, b, c, d, e, f, ... ในรูป โปรตอนที่เหมือนกันให้ระบุด้วยอักษรเดียวกัน



อัตราส่วน integration ของโปรตอน (a : b : c : d : e : f : ...) คือ

1 : 3 : 6

(0.25)

คำตอบข้อที่ 5 (10 คะแนน) (6.5 + 3.5 + 0 คะแนน)

5.1 (6.5 คะแนน) โครงสร้างของสารประกอบ A, B, C, รีเอเจนต์ D, F, และ dragmacidin G

สารประกอบ A (0.75 คะแนน) หรือ	สารประกอบ B (1 คะแนน)	สารประกอบ C (0.75 คะแนน)
รีเอเจนต์ D (1 คะแนน) 1) HCl, NaNO₂ 2) HBF₄ (หรือตอบเป็น reagent จริงในผลงานวิจัยคือ NaNO₂ + CsF)	รีเอเจนต์ F (0.5 คะแนน) HCl หรือ กรดอื่น ๆ ที่เหมาะสม	Dragmacidin G (1.5 คะแนน)

กลไกการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอน E (step E)

(1 คะแนน)

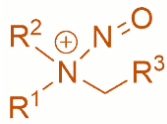
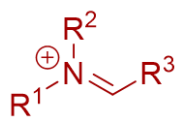
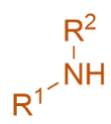
กลไกแบบ nucleophilic aromatic substitution (addition – elimination) โดยเขียนได้สองแบบ คือ แบบที่แสดง ซึ่งจะต้องเป็นการแสดงให้ชัดเจนว่า H ส่วนเกินของ S นั้นจะถูกกำจัดออกไปภายหลัง หากไม่แสดงให้ชัด หัก 0.5 คะแนน

แต่หากเป็นการสลับขั้น (ลูกศร 2 vs 3) จะไม่หักคะแนน

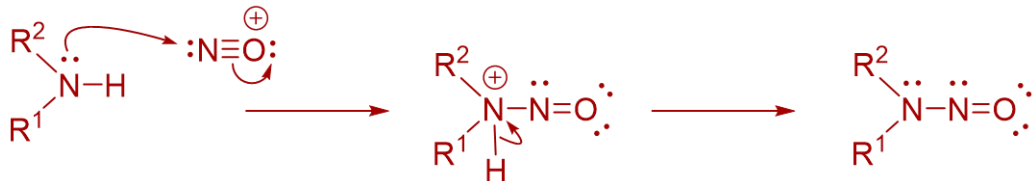
อีกแบบที่เขียนได้ คือให้ R-SH ถูก deprotonate เป็น R-S⁻ ก่อน เนื่องจากความเป็นกรดต่ำกับ K₂CO₃

กรณีอื่น ๆ จะพิจารณาให้เป็นแนวทางเดียวกันอีกครั้งเมื่อทำการตรวจ

5.2 (3.5 คะแนน) โครงสร้างของสารประกอบ H, J, K

สารประกอบ H (0.75 คะแนน)	สารประกอบ J (1 คะแนน)	สารประกอบ K (0.75 คะแนน)
		

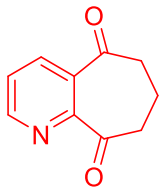
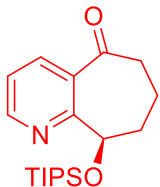
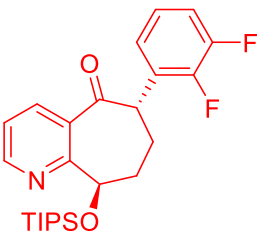
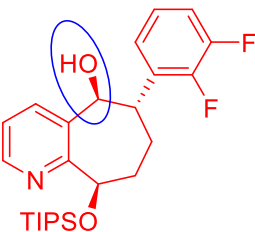
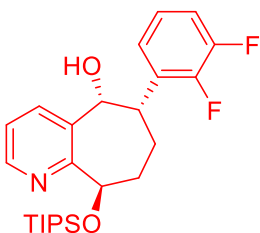
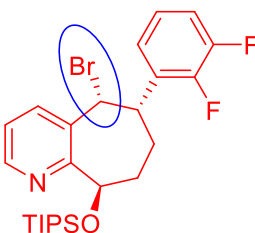
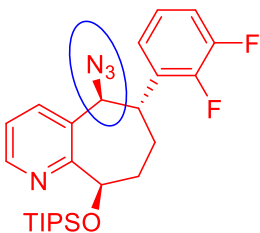
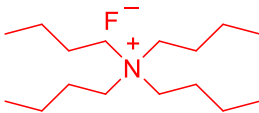
เสนอกลไกการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอน I (step I) โดยต้องแสดง lone pair electron และ formal charge ให้ครบในทุกโครงสร้างที่วาด (1 คะแนน)



- กลไกมีได้แบบเดียว ไม่สามารถสลับขั้นตอนได้ ดังนั้นหากเขียนผิดตั้งแต่ขั้นแรกจะได้ 0 คะแนน อย่างไรก็ตาม นักเรียนไม่จำเป็นต้องเขียนการได้มาซึ่ง nitrosonium ion เนื่องจากให้มาในโจทย์แล้ว (เขียนมาอีกไม่หักคะแนนใด ๆ)
- ต้องแสดงการหลุดออกของ H ในขั้นที่สอง หากเขียนรวบชั้น (นั่นคือมีเพียงลูกศรเดียวแล้วเสร็จสิ้น) หัก 0.5 คะแนน
- เขียน lone pair electron และ/หรือ formal charge ไม่ครบ (ไม่นับโครงสร้าง nitrosonium ion) หัก 2 จุด = 0.1 คะแนน (ทั้งหมด 0.45 คะแนน)

คำตอบข้อที่ 6 (10 คะแนน) (10 + 0 + 0 คะแนน)

6.1 (7 คะแนน) โครงสร้างของสารประกอบ A, C, D2, E1, E2, G, H และรีเอเจนต์ X

สารประกอบ A (1 คะแนน) 	สารประกอบ C (1 คะแนน)  เขียนโครงสร้างเต็มของ TIPS ก็ได้ (ทุกแห่งที่มี TIPS)
สารประกอบ D2 (0.5 คะแนน) 	สารประกอบ E1 (1 คะแนน)  ต้องเลือก diastereomer นี้เป็น E1 เพื่อให้ stereochem ของ F และ G ถูกต้องต่อไป
สารประกอบ E2 (0.5 คะแนน)  ถ้าเลือกโครงสร้าง E1 สลับกับ E2 ให้เพียงโครงสร้างละ 0.25 คะแนน	สารประกอบ G (1 คะแนน)  ต้องเกิด inversion of configuration (จาก E1) ถ้าเขียนเป็น retention จาก E1 ให้ 0
สารประกอบ H (1 คะแนน)  ต้องเกิด inversion of configuration (จาก G) ถ้าเขียนเป็น retention จาก G ให้ 0	รีเอเจนต์ X (1 คะแนน)  tetra-<i>n</i>-butylammonium fluoride (TBAF) เขียนชื่อสารโดยไม่เขียนโครงสร้าง ให้ 0.5 คะแนน

คำตอบข้อที่ 7 (15 คะแนน) (2.5 + 12.5 + 0 คะแนน)

7.1 (1 คะแนน) แกน x คือ ปริมาตรของตัวไทเทรต แกน y คือ pH (1)

ช่องละ 0.5 คะแนน แต่ถ้าตอบเหมือนกัน 2 ช่อง ไม่ให้คะแนน

7.2 (6 คะแนน) จากการทดลอง#1

7.2.1 สารที่ใช้เป็นตัวไทเทรต ☐ unk R ☒ HCl ☐ NaOH ☐ ระบุไม่ได้ ข้อมูลไม่เพียงพอ (0.25)

สารละลาย unk R เป็น ☐ กรดแก่ ☐ กรดอ่อน $K_a =$
☐ เบสแก่ ☒ เบสอ่อน $K_b = 1.6 \times 10^{-5} (1.58 \times 10^{-5})$ (0.25 + 0.5)

วิธีคิด/วิธีคำนวณ

แนวคิดในการเลือกคำตอบ:

- สารละลายเริ่มจาก pH สูงไปต่ำ >> แสดงว่า ตัวไทเทรต (ในบิวเรต) เป็นกรด และในบีกเกอร์ควรเป็นเบส (0.5)

- pH เริ่มต้นต่ำกว่า 13 และ pH ที่จุดสมมูลต่ำกว่า 7 >> แสดงว่า เป็นเบสอ่อน ไทเทรตกับสลล. มาตรฐาน HCl

เนื่องจากสารละลาย unk R เป็นเบสอ่อน ควรรายงานค่า K_b

ควรระบุหรือแสดงที่มาของตัวเลขที่ใช้ในการคำนวณค่า K_b

- (กราฟมีจุดสมมูลเพียงจุดเดียว) ที่จุดสมมูล ใช้ปริมาตร 0.1650 M HCl = 16.00 mL

- ที่ปริมาตรครึ่งหนึ่งของจุดสมมูล (8.00 mL) >> $pH = pK_a = 9.20$ >> $pK_b = 4.80$

$pK_b = 14.00 - pK_a = 14.00 - 9.20 = 4.80$

$pK_b = 4.80$ >> $K_b = 1.6 \times 10^{-5} (1.58489 \times 10^{-5})$ (0.75)

7.2.2 ความเข้มข้นของสารละลาย unk R = 0.1056 M (0.5)

วิธีคำนวณ

จุดสมมูล ปริมาตร 0.1650 M HCl ที่ใช้ = 16.00 mL

$$\begin{aligned} \text{unk R (mol/L)} &= \frac{16.00 \text{ mL HCl}}{25.00 \text{ mL unk R}} \times \frac{0.1650 \text{ mol HCl}}{1000 \text{ mL HCl}} \times \frac{1 \text{ mol unk R}}{1 \text{ mol HCl}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \\ &= 0.1056 \text{ mol/L} (0.105600) \end{aligned} \quad (1)$$

(แทนค่าด้วยตัวเลขที่มีเลขนัยสำคัญไม่ถูกต้องที่ใดที่หนึ่ง -0.25)

7.2.3 อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E (1)

สีของสารละลาย : ก่อนไทเทรต yellow ที่จุดยุติ orange (red) (1)

สีของสารละลาย ช่องละ 0.5 คะแนน แต่ถ้าตอบสีเดียวกัน 2 ช่อง ไม่ให้คะแนน

ให้คะแนน กรณีเลือกอินดิเคเตอร์ D และสีของสารละลายเปลี่ยนจาก red เป็น yellow

7.3 (5 คะแนน) จากการทดลอง#2

7.3.1 สารที่ใช้เป็นตัวไทเทรต ☐ unk S ☐ HCl ☒ NaOH ☐ ระบุไม่ได้ ข้อมูลไม่เพียงพอ (0.25)

สารละลาย unk S เป็น ☐ กรดแก่ ☒ กรดอ่อน ☐ เบสแก่ ☐ เบสอ่อน (0.25)

วิธีคิด

- สารละลายเริ่มจาก pH ต่ำไปสูง >> แสดงว่า ตัวไทเทรต (ในบิวเรต) เป็นเบส และในบีกเกอร์ควรเป็นกรด
 - กราฟมีจุดสมมูลมากกว่า 1 จุด จุดแรกเห็นไม่ค่อยชัดเจน จุดสุดท้ายเห็นชัดเจน >> แสดงว่า เป็นกรดอ่อน (0.5)
- ไดโพรติกหรือพอลิโพรติก ไทเทรตกับสสล. มาตรฐาน NaOH

7.3.2 ความเข้มข้นของสารละลาย unk S = 0.2532 N (normality) (0.5)

วิธีคำนวณ

จุดสมมูลสุดท้าย ปริมาตร 0.1055 M NaOH ที่ใช้ = 24.00 mL

$$\text{unk S (eq/L)} = \frac{24.00 \text{ mL NaOH}}{10.00 \text{ mL unk S}} \times \frac{0.1055 \text{ mol NaOH}}{1000 \text{ mL NaOH}} \times \frac{1 \text{ eq NaOH}}{1 \text{ mol NaOH}} \times \frac{1 \text{ eq unk S}}{1 \text{ eq NaOH}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \quad (1.5)$$

$$= 0.2532 \text{ equivalent/L} = 0.2532 \text{ N} \quad (0.253200)$$

(แทนค่าด้วยตัวเลขที่มีเลขนัยสำคัญไม่ถูกต้องที่ใดที่หนึ่ง -0.25)

7.3.3 อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D ☐ E (1)

สีของสารละลาย : ก่อนไทเทรต yellow ที่จุดยุติ red (orange) (1)

ช่องละ 0.5 คะแนน แต่ถ้าตอบสีเดียวกัน 2 ช่อง ไม่ให้คะแนน

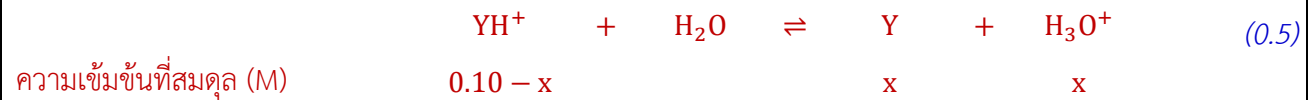
7.4 (3 คะแนน) ระบุสีของสารละลาย

7.4.1 สีของสารละลาย YHCl เมื่อหยดอินดิเคเตอร์ B ลงไป คือ

red

(0.5)

วิธีคำนวณ

เกลือ YHCl ละลายในน้ำ ได้ YH^+ และ Cl^- เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส ดังสมการจาก $K_b = 1.2 \times 10^{-6}$ จะได้ $K_a = 8.3 \times 10^{-9}$ K_a มีค่าน้อยกว่าความเข้มข้น 0.10 M มาก แสดงว่า $0.10 - x \approx 0.10 \text{ M}$

(0.5)

จะได้

$$K_a = 8.3 \times 10^{-9} = \frac{x^2}{0.10}$$

$$x = [\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{8.3 \times 10^{-9} \times 0.10} = 2.88 \times 10^{-5}$$

$$\text{pH} = -\log (2.88 \times 10^{-5}) = 4.54$$

(0.5)

สารละลาย YHCl เข้มข้น 0.10 M มีค่า pH = 4.54

** อินดิเคเตอร์ B มีช่วง pH ที่เปลี่ยนสี 2.5-4.4 และการเปลี่ยนสีเป็น blue-red

7.4.2 สีของสารละลาย L เมื่อหยดอินดิเคเตอร์ A ลงไป คือ

yellow

(0.5)

สีของสารละลาย L เมื่อหยดอินดิเคเตอร์ B ลงไป คือ

purple

(0.5)

วิธีคำนวณ

 $K_a = 1.3 \times 10^{-5}$ มีค่าน้อยกว่าความเข้มข้น 0.20 M มาก แสดงว่า $0.20 - x \approx 0.20 \text{ M}$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{1.3 \times 10^{-5} \times 0.20} = 1.61 \times 10^{-3}$$

$$\text{pH} = -\log (1.61 \times 10^{-3}) = 2.79$$

สารละลาย L เข้มข้น 0.20 M มีค่า pH = 2.79

** อินดิเคเตอร์ A มีช่วง pH ที่เปลี่ยนสี 1.2-2.6 และการเปลี่ยนสีเป็น red-yellow

** อินดิเคเตอร์ B มีช่วง pH ที่เปลี่ยนสี 2.5-4.4 และการเปลี่ยนสีเป็น blue-red

คำตอบข้อที่ 8 (15 คะแนน) (7 + 7 + 1 คะแนน)

8.1 (2 คะแนน) จำนวนเต็ม $x =$ 3 (1) $\%Cr_2O_3 =$ 34.1 % (1)

(ตอบทศนิยม 1 ตำแหน่ง)

8.2 (2 คะแนน) pH ☐ มากกว่า ☐ เท่ากับ ☒ น้อยกว่า 4.18 (0.25+0.25)

วิธีคำนวณ

(ตอบทศนิยม 2 ตำแหน่ง)

คำนวณความเข้มข้น Cr^{3+} เป็นโมลาร์

$$[Cr^{3+}] = \frac{10.0 \text{ g } Cr^{3+}}{1 \text{ L soln}} \times \frac{1 \text{ mol } Cr^{3+}}{52.0 \text{ g } Cr^{3+}} = 0.192 \quad (0.5)$$

เขียนนิพจน์ K_{sp} และแก้สมการหา $[OH^-]$

$$K_{sp} = [Cr^{3+}][OH^-]^3 \quad (0.25)$$

$$[OH^-] = \left(\frac{K_{sp}}{[Cr^{3+}]} \right)^{1/3} = \left(\frac{6.0 \times 10^{-31}}{0.192} \right)^{1/3} = 1.5 \times 10^{-10} \text{ M} \quad (1.46 \times 10^{-10} \text{ M}) \quad (0.5)$$

คำนวณ pH

$$pH = 14 - pOH = 14 + \log(1.5 \times 10^{-10}) = 4.18 \quad (4.16) \quad (0.25)$$

8.3 (1 คะแนน) ชื่อภาษาอังกฤษ pentaquahydroxidochromium(III) ion (1)

(ไม่มี ion หัก 0.25)

8.4 (1.5 คะแนน) pH = 2.55 (0.5)

วิธีคำนวณ

เขียนนิพจน์ K_a และแก้สมการหา $[H^+]$ (0.5)

$$K_a = \frac{[Cr(H_2O)_5(OH)^{2+}][H^+]}{[Cr(H_2O)_6^{3+}]}$$

$$1.0 \times 10^{-4} = \frac{[H^+]^2}{0.0800 - [H^+]}$$

$$[H^+] = 2.8 \times 10^{-3} \text{ M} \quad (0.25)$$

คำนวณ pH

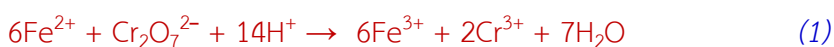
$$pH = -\log(2.8 \times 10^{-3}) = 2.55 \quad (0.25)$$

8.5 (1 คะแนน) เลือกคำตอบที่ถูกต้องทั้งหมด (ผิดหักคะแนน)

- ☒ โครเมียมอยู่ในรูป $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ อิสระ ไม่สามารถจับกับเส้นใยคอลลาเจนได้
- ☐ เกิดตะกอนไฮดรอกไซด์บนคอลลาเจน ขัดขวางการแทรกตัวของสปิซีส์โครเมียม
- ☐ เกิดการเชื่อมขวางระหว่างสปิซีส์โครเมียมกันเองเท่านั้น
- ☐ หมู่เอไมต์ในคอลลาเจนจับกับ H^+ แทนสปิซีส์โครเมียม
- ☒ หมู่คาร์บอกซิเลตในคอลลาเจนจับกับ H^+ แทนสปิซีส์โครเมียม
- ☐ สปิซีส์โครเมียมออกซิไดส์หมู่คาร์บอกซิเลตให้กลายเป็น CO_2

(ตอบถูกต้องคำตอบละ 0.5 คะแนน ผิดติดลบคำตอบละ 0.5 คะแนน โดยคะแนนรวมข้อ 8.5 ไม่ติดลบ)

8.6 (4 คะแนน) สมการเคมี



$$\text{Cr}^{3+} : \text{กรดแอมิโน} = 1 : \boxed{2.76} \quad (0.5)$$

วิธีคำนวณ

(ตอบทศนิยม 2 ตำแหน่ง)

คำนวณจำนวนโมลของกรดแอมิโน (amino acid, aa)

$$\text{mol aa} = 10.0 \text{ kg skin} \times \frac{25.0 \text{ kg aa}}{100 \text{ kg skin}} \times \frac{10^3 \text{ g aa}}{1 \text{ kg aa}} \times \frac{1 \text{ mol aa}}{100 \text{ g aa}} = 25.0 \text{ mol aa} \quad (0.5)$$

คำนวณจำนวนโมล Cr^{3+} ที่เติม

$$\text{mol Cr}^{3+} \text{ added} = 60.0 \text{ L soln} \times \frac{0.0800 \text{ Cr}_2(\text{SO}_4)_3}{1 \text{ L soln}} \times \frac{2 \text{ mol Cr}^{3+}}{1 \text{ mol Cr}_2(\text{SO}_4)_3} = 9.60 \text{ mol Cr}^{3+} \quad (0.5)$$

คำนวณจำนวนโมล Cr^{3+} ที่เหลือในสารละลายทั้งหมด

$$\begin{aligned} \text{mol Cr}^{3+} \text{ excess} &= \frac{11.30 \text{ mL Fe}^{2+}}{50.00 \text{ mL sample}} \times \frac{0.120 \text{ mol Fe}^{2+}}{1000 \text{ mL Fe}^{2+}} \times \frac{2 \text{ mol Cr}^{3+}}{6 \text{ mol Fe}^{2+}} \\ &\quad \times \frac{10^3 \text{ mL sample}}{1 \text{ L sample}} \times 60.0 \text{ L sample} = 0.542 \text{ mol Cr}^{3+} \end{aligned} \quad (1)$$

คำนวณอัตราส่วนการจับกัน

$$\frac{\text{mol aa}}{\text{mol Cr}^{3+}} = \frac{25.0 \text{ mol aa}}{(9.60 - 0.542) \text{ mol Cr}^{3+}} = 2.76 \quad (0.5)$$

8.7 (3.5 คะแนน)

ต่อแผ่นชิ้นงานเป็น ☐ แอโนด ☒ แคโทด เข้ากับแบตเตอรี่ขั้ว ☐ บวก ☒ ลบ

ต่อขั้วไฟฟ้าเฉื่อยเป็น ☒ แอโนด ☐ แคโทด เข้ากับแบตเตอรี่ขั้ว ☒ บวก ☐ ลบ

(0.25)

(0.25)

ศักย์ไฟฟ้าที่ต้องใช้ = 1.779 V (0.5)

วิธีคำนวณ

คำนวณศักย์ขั้วไฟฟ้าทั้งสองจากสมการเนินสต์

$$E_{\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}} = E_{\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}}^{\circ} - \frac{0.0592}{n} \log \frac{1}{[\text{Cr}^{3+}]} \quad (0.5)$$

$$= -0.744 - \frac{0.0592}{3} \log \frac{1}{0.0200} = -0.778 \text{ V} \quad (0.75)$$

$$E_{\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}} = E_{\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}}^{\circ} - \frac{0.0592}{n} \log \frac{1}{p_{\text{O}_2} [\text{H}^+]^4} \quad (0.5)$$

$$= 1.229 - \frac{0.0592}{4} \log \frac{1}{\left(\frac{30.0}{760}\right) (10^{-3.50})^4} = 1.001 \text{ V} \quad (0.5)$$

หากเป็นเซลล์กัลวานิก $E_{\text{cell}} = E_{\text{right}} - E_{\text{left}} = -0.778 - 1.001 = -1.779 \text{ V}$ (0.25)

ดังนั้นต้องให้ศักย์ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่อย่างน้อย 1.779 V

วิธีคิดข้อ 8.1

$$\frac{0.472}{2.026} = \frac{2(52.0)}{2(52.0) + 3(32.1 + 4(16.0)) + (2(1.0) + 16.0)x}$$

$$x = 3$$

ดังนั้น %Cr₂O₃ หาได้จาก

$$\frac{2(52.0) + 3(16.0)}{2(52.0) + 3(32.1 + 4(16.0)) + (2(1.0) + 16.0)3} \times 100\% = 34.1\%$$

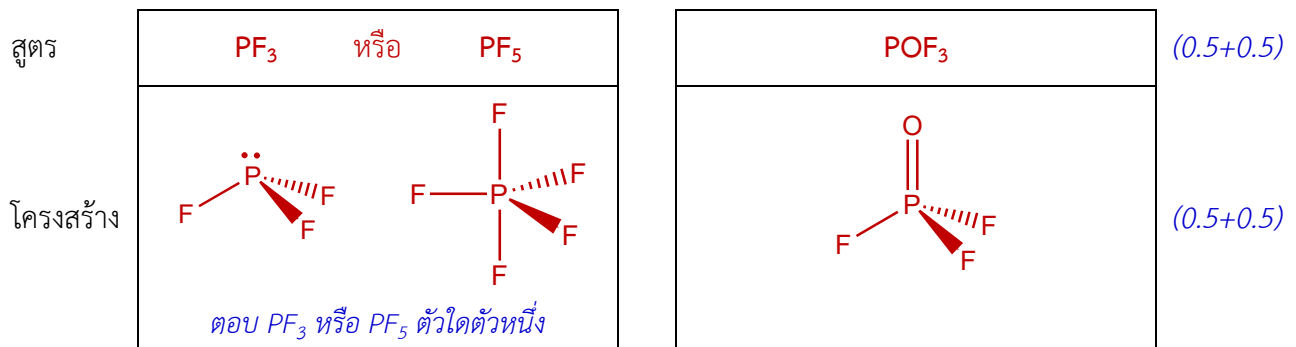
คำตอบข้อที่ 9 (10 คะแนน) (6.5 + 3.5 + 0 คะแนน)

ตอบคำถามโดยใช้สัญลักษณ์ตามตารางธาตุที่แท้จริงของ L M Q และ R

9.1 (3.5 คะแนน) ระบุสัญลักษณ์ธาตุของธาตุทั้งสี่

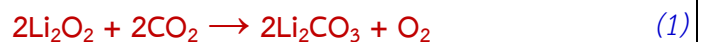


9.2 (0.5 คะแนน)

แผนภาพวัฏภาค (phase diagram) ที่แสดงเป็นของ ☐ L ☐ M ☐ Q ☒ R (0.5)9.3 (2 คะแนน) สูตรและโครงสร้างของสารประกอบ QO_yF_n ที่มี $y = 0$ และ $y = 1$ 

9.4 (1 คะแนน)

ปฏิกิริยาการทำให้อากาศบริสุทธิ์



9.5 (0.5 คะแนน)

oxoacid ของ R มีสูตรเป็น



9.6 (0.5 คะแนน)

สัญลักษณ์นิวเคลียร์เป็น



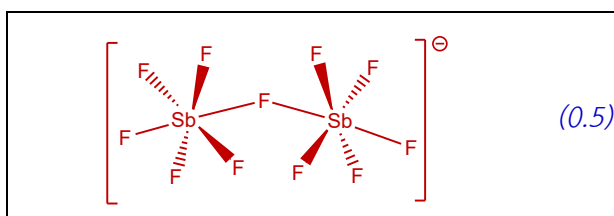
9.7 (2 คะแนน)

9.7.1 โครงสร้างของ $[\text{Sb}_2\text{F}_{11}]^{y-}$

สถานะออกซิเดชันของ Sb =

+5

(0.5)

9.7.2 $[\text{LR}_4]^n+$ มีมุมพันธะที่น้อยที่สุด =90°

มากที่สุด =

180°

(0.25+0.25)

9.7.3 โครงสร้างอิเล็กตรอนแบบย่อ



(0.5)

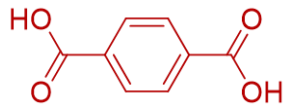
แนวคิด: ผลรวมของ $n+l$ เป็นเลขคู่ คือ 2, 4, 6, 8 ต้องมีโลหะในคาบที่ 2 // เลขอะตอมน้อยกว่า 80 แสดงว่า n สูงสุดเท่ากับ 6 แสดงว่า $l = 2$ // จากข้อมูลรู้ว่า L และ M เป็นโลหะที่มีเลขออกซิเดชัน (+1, +3) และ +1 ตามลำดับ L ควรเป็น transition metal และ M ควรเป็นหมู่ 1 (IA) (คำถามยืนยันข้อมูลนี้เพราะ M เกิดเปอร์ออกไซด์) (note: n & $l = 1$ หรือ 2 ไม่ได้)

Q และ R เป็นอโลหะ โดย R อยู่หมู่เลขคู่ และ Q อยู่หมู่เลขคู่ และควรอยู่หมู่ 18 (VIIIA) นั่นคือ Q = Xe

$n+l$	n	l	choices	reasoning
2	2	0	Li Mg	M = Li
4	3	1	Al Si P S Cl Ar	ตัวเลือกไม่เกิด QF_n ที่มี lp ทุกตัว ควรเป็น Q ไม่เกิดกรดออกซิที่เป็นกรดแก่ $\therefore Q = P$
4	4	0	K Ca	เจอโลหะแล้ว 2 ตัว
6	4	2	Sc Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu Zn	ควรเป็นอโลหะ
6	5	1	In Sn Sb Te I Xe	HIO_4 เป็นกรดแก่ จึงควรเป็น R, ข้อมูลบอกว่า R = Xe
6	6	0	Cs Ba	เจอโลหะแล้ว 2 ตัว
8	6	2	Lu Hf Ta W Re Os Ir Pt Au Hg	L = Au โลหะที่มีเลขออกซิเดชัน +1 และ +3

คำตอบข้อที่ 10 (10 คะแนน) (2.5 + 8.5 + 0 คะแนน)

10.1 (1 คะแนน) โครงสร้างของสาร A

 1,4-benzenedicarboxylic acid	(1) จำนวนอะตอมคาร์บอน $C_8H_6O_4 = 0.25$ มีหมู่ dicarboxylic acid = 0.25 มี ^{13}C NMR 3 ตำแหน่ง = 0.25 Correct bonding = 0.25
---	---

10.2 (1.5 คะแนน)

สูตรเคมีของสาร B คือ



(1)



สูตรเคมีของสาร C คือ



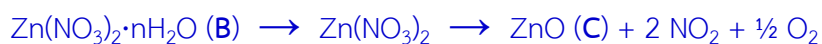
(0.5)

คำอธิบายวิธีคิด

สาร C ของแข็งสีขาวที่เหลืออยู่จากการเผาเกลือของโลหะสังกะสี คือ ZnO

การสลายตัวของสาร B มีแก๊สสีน้ำตาลแดงเกิดขึ้น ซึ่งคือ NO_2

ดังนั้น สาร B น่าจะเป็นสารประกอบ nitrate และเกิดการสลายตัวตามสมการ



โจทย์กำหนดว่า สูญเสียน้ำไป 36.3% ของน้ำหนักเริ่มต้น ดังนั้น

$$36.3 = \left(\frac{18n}{189.4 + 18n} \right) \times 100$$

$$n = 5.996 \sim 6$$

(Formula weight $Zn(NO_3)_2 = 189.4$)

หรือคิดจากน้ำหนัก C ที่เหลืออยู่ 27.4% ก็ได้

10.3 (2 คะแนน)

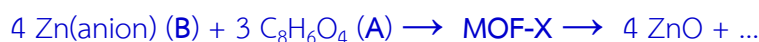
$$\text{มวลต่อโมล} = \boxed{769.6 - 769.7} \text{ g mol}^{-1} \quad (1)$$

(ตอบทศนิยม 1 ตำแหน่ง)

$$\text{สูตรเอมพิริคัลของ MOF-X คือ} \quad \boxed{\begin{array}{c} \text{Zn}_4\text{C}_{24}\text{H}_{12}\text{O}_{13} \\ \text{หรือ } \text{Zn}_4\text{O}(\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4)_3 \end{array}} \quad (1)$$

แนวคิด

จากโจทย์ ผสมสาร A และ B ด้วยอัตราส่วนโมล A:B = 3:4



$$\text{ดังนั้น } \left(\frac{4 \times \text{MW}_{\text{ZnO}}}{\text{MW}_{\text{MOF-X}}} \right) \times 100 = 42.3 \quad \text{MW}_{\text{ZnO}} = 81.4$$

$$\text{MW}_{\text{MOF-X}} = 769.74$$

$$\text{มวลต่อโมล} = 769.74 = (4 \times 65.4) + (3 \times 164) + X \quad [(4 \times \text{Zn}) + (3 \times \text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4) + X]$$

$$X = 16.14 \quad \therefore X = \text{O (oxygen atom)}$$

ดังนั้น สูตรเอมพิริคัลของ MOF-X คือ $\text{Zn}_4\text{O}(\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4)_3$

10.4 (1 คะแนน)

$$\text{พื้นที่ผิวของ MOF-X} = \boxed{2.83 \times 10^3} \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \quad (1)$$

(ตอบในรูป A.BC $\times 10^D$)

วิธีคิด

พื้นที่ผิว =

$$\begin{aligned} & \left(\frac{813 \text{ mg N}_2}{1 \text{ g sample}} \right) \left(\frac{1 \text{ mol N}_2}{28.0 \times 10^3 \text{ mg N}_2} \right) \left(\frac{6.022 \times 10^{23} \text{ molecules N}_2}{1 \text{ mol N}_2} \right) \left(\frac{0.162 \text{ nm}^2}{1 \text{ molecules N}_2} \right) \left(\frac{10^{-18} \text{ m}^2}{1 \text{ nm}^2} \right) \\ & = 2,832.62 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} = 2.83 \times 10^3 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \end{aligned}$$

10.5 (2 คะแนน)

10.5.1 จำนวน node ใน 1 หน่วยเซลล์ของ MOF-X = 8 (1)

10.5.2 ใน 1 หน่วยเซลล์ของ MOF-X มีคาร์บอน 192 อะตอม (1)

10.6 (2.5 คะแนน)

MOF-X ดูดซับเบนซีนได้ 8.0×10^{-1} [$7.9-8.1 \times 10^{-1}$] g C₆H₆/g MOF-X (0.25)
(ตอบในรูป A.B × 10^C)

วิธีคำนวณ

Bragg's law: $d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$

$d_{200} = \frac{0.154 \text{ nm}}{2 \sin(\frac{6.9^\circ}{2})} = 1.2795 \text{ nm}$ $a = 2 \times d_{200} = 2.5590 \text{ nm}$ $V = a^3 = 1.676 \times 10^{-20} \text{ cm}^3$

$d_{400} = \frac{0.154 \text{ nm}}{2 \sin(\frac{13.7^\circ}{2})} = 0.6456 \text{ nm}$ $a = 4 \times d_{400} = 2.5824 \text{ nm}$ $V = 1.722 \times 10^{-20} \text{ cm}^3$

$d_{600} = \frac{0.154 \text{ nm}}{2 \sin(\frac{20.6^\circ}{2})} = 0.4306 \text{ nm}$ $a = 6 \times d_{600} = 2.5836 \text{ nm}$ $V = 1.724 \times 10^{-20} \text{ cm}^3$
(0.5) (0.25) (0.25)

ดังนั้น ใน 1 หน่วยเซลล์

ปริมาตร C₆H₆ ที่ดูดซับได้ ($V_{\text{C}_6\text{H}_6}$) = $0.55 \times V = 9.35 \times 10^{-21} \text{ cm}^3$ [$9.22-9.48 \times 10^{-21}$] (0.25)

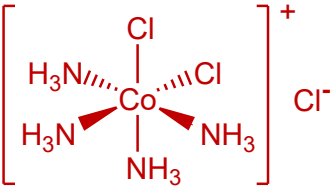
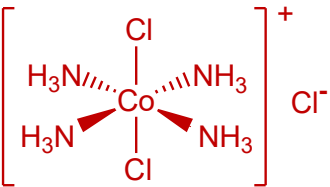
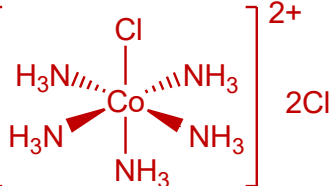
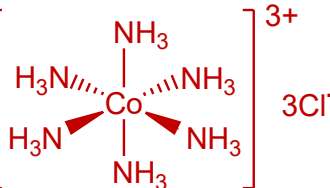
น้ำหนัก C₆H₆ ที่ดูดซับได้ ($m_{\text{C}_6\text{H}_6}$) = $(V_{\text{C}_6\text{H}_6} \text{ cm}^3)(0.877 \text{ g cm}^{-3}) = 8.20 \times 10^{-21} \text{ g}$ [$8.09-8.31 \times 10^{-21}$] (0.25)

น้ำหนักของหน่วยเซลล์ ($m_{\text{MOF-X}}$) = $\left(\text{จำนวน node ในหน่วยเซลล์} \times \frac{\text{มวลต่อโมล g}}{1 \text{ unit}} \right) \left(\frac{1 \text{ mol}}{6.022 \times 10^{23} \text{ unit}} \right)$ (0.5)
= $\left(8 \times \frac{769.6 \text{ g}}{1 \text{ unit}} \right) \left(\frac{1 \text{ mol}}{6.022 \times 10^{23} \text{ unit}} \right) = 1.022 \times 10^{-20} \text{ g}$

∴ MOF-X ดูดซับเบนซีนได้ = $\frac{m_{\text{C}_6\text{H}_6}}{m_{\text{MOF-X}}}$ (0.25)
= $\frac{8.20 \times 10^{-21} \text{ g C}_6\text{H}_6}{1.022 \times 10^{-20} \text{ g MOF-X}} = 8.02 \times 10^{-1} \text{ g C}_6\text{H}_6/\text{g MOF-X}$ [$7.9-8.1 \times 10^{-1}$]

คำตอบข้อที่ 11 (10 คะแนน) (0 + 10 + 0 คะแนน)

11.1 (3 คะแนน) โครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนทั้งหมดที่เป็นไปได้ของผลึกแบบ A, B, C, D และ E คือ

A	
B	
C	
D	
E	

โครงสร้างละ 0.5 คะแนน (stereoisomer และ charge ถูกต้องทั้งหมด)

โครงสร้างของผลึกแบบ B สลับกับ C ได้

11.2 (1 คะแนน) ค่า Δ_o ในรูป e^σ และ e^π

Type of donor	Δ_o
π donor	$3 e^\sigma - 4 e^\pi$ (0.5)
π acceptor	$3 e^\sigma + 4 e^\pi$ (0.5)

แนวคิด พิจารณาเฉพาะอันตรกิริยา σ จะได้ระดับพลังงานของ d_{xy} , d_{xz} และ d_{yz} เท่ากับ $0 e^\sigma$ ส่วนระดับพลังงานของ d_{z^2} และ $d_{x^2-y^2}$ เท่ากับ $3 e^\sigma$ ดังนั้นช่องว่างของระดับพลังงาน Δ_o จึงเท่ากับ $3 e^\sigma$ แต่เมื่อคิดอันตรกิริยา π จะได้ระดับพลังงานของ d_{xy} , d_{xz} และ d_{yz} เท่ากับ $4 e^\pi$ ดังนั้นเมื่อคิดรวมลิแกนด์ที่เป็น σ donor กับ π donor จะให้ค่า Δ_o เท่ากับ $3 e^\sigma - 4 e^\pi$ ลิแกนด์ที่เป็น σ donor กับ π acceptor จะให้ค่า Δ_o เท่ากับ $3 e^\sigma + 4 e^\pi$

11.3 (4 คะแนน)

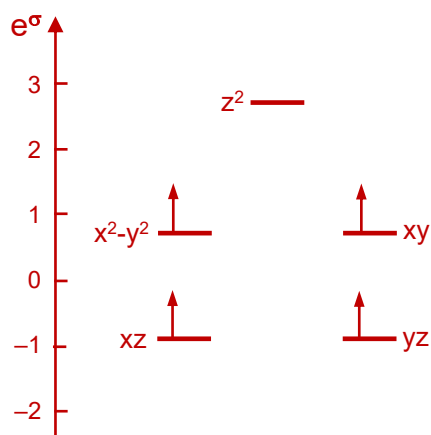
11.3.1 ระดับพลังงานของออร์บิทัล d ชนิดต่าง ๆ ในรูปของ e^σ ของโครงสร้าง TBP และ SP

d orbital	e^σ	
	Trigonal bipyramidal (TBP)	Square pyramidal (SP)
z^2	2.75	2
x^2-y^2	0.75	3
xy	0.75	-1
xz	-0.875	-0.75
yz	-0.875	-0.75

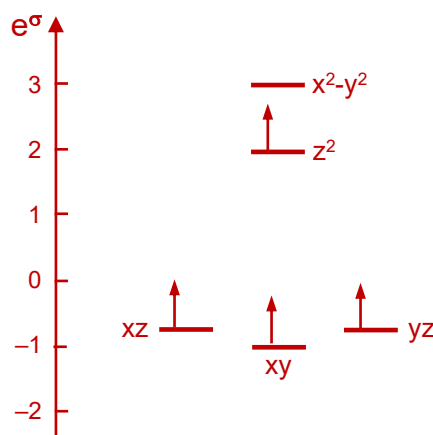
ค่าละ 0.25 คะแนน ($0.25 \times 10 = 2.5$)

11.3.2 วาด d orbital energy level diagram ของโครงสร้าง TBP และ SP พร้อมบรรจุอิเล็กตรอน

Trigonal bipyramidal (TBP)



Square pyramidal (SP)



($0.5 \times 2 = 1$) ระดับพลังงานและเติมอิเล็กตรอนถูกต้องทั้งหมด

โครงสร้างเรขาคณิตของ $[\text{Cr}(\text{CN})_5]^{3-}$ ควรเป็น

square pyramidal

(0.25)

เพราะ

มี stabilization energy ต่ำกว่าแบบ trigonal bipyramidal

(0.25)

11.4 (2 คะแนน) ค่าพารามิเตอร์ของลิแกนด์ในตำแหน่ง A และ B

Ligand Position	d orbital				
	z^2	x^2-y^2	xy	xz	yz
A	1/4	3/16	9/16	0	0
B	1/4	3/16	9/16	0	0

แต่ละ 0.5 คะแนน ค่าต้องถูกทั้งหมด ($2 \times 0.5 = 1$)

ค่าพลังงานของออร์บิทัล d ชนิดต่าง ๆ

d orbital	e^σ
z^2	3.5
x^2-y^2	2.25
xy	2.25
xz	0
yz	0

แต่ละ 0.2 คะแนน ($5 \times 0.2 = 1$)

แนวคิด ลิแกนด์ในตำแหน่ง A และ B จะมีพารามิเตอร์เหมือนกับตำแหน่ง 7 และ 8 ตามลำดับ

Sigma Interactions (in units of e^σ) for Metal d Orbitals in ML_8					
Ligand Position	z^2	x^2-y^2	xy	xz	yz
1	1	0	0	0	0
2	1/4	3/4	0	0	0
5	1/4	3/4	0	0	0
6	1	0	0	0	0
7	1/4	3/16	9/16	0	0
8	1/4	3/16	9/16	0	0
7	1/4	3/16	9/16	0	0
8	1/4	3/16	9/16	0	0

