



การแข่งขันเคมีโอลิมปิกระดับชาติ ครั้งที่ 6

ณ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ข้อสอบภาคทฤษฎี**

วันพุธที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2553

เวลา 08:30 – 13:30 น.

### คำชี้แจงการสอบภาคทฤษฎี

ข้อสอบภาคทฤษฎีมีคะแนนรวม 120 คะแนน คิดเป็น 60% ของคะแนนทั้งหมด

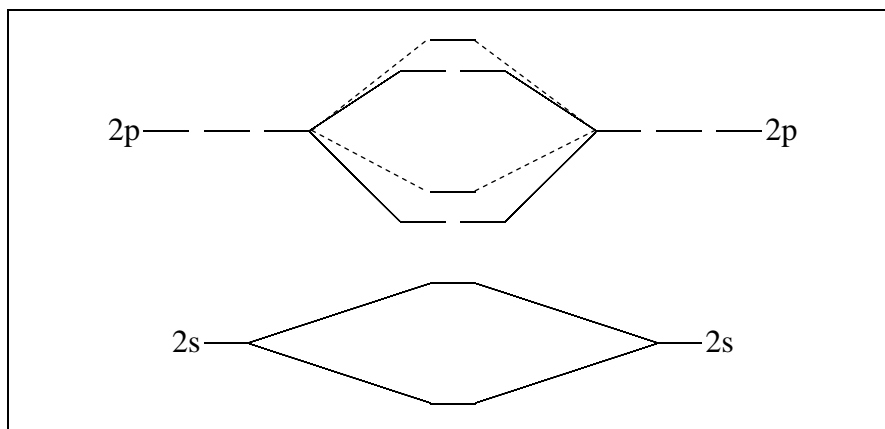
- ให้นักเรียนตรวจสอบเอกสารก่อนลงมือทำ ดังนี้
  - ข้อสอบภาคทฤษฎี 1 ชุด จำนวน 22 หน้า (รวมปกและตารางธาตุ)
  - กระดาษคำตอบภาคทฤษฎี 1 ชุด จำนวน 40 หน้า (รวมปก)
  - เลขประจำตัวสอบในข้อสอบภาคทฤษฎีและกระดาษคำตอบภาคทฤษฎีทุกหน้า
- ลงมือทำข้อสอบได้เมื่อกรรมการคุมสอบประกาศให้ “ลงมือทำ” และเมื่อประกาศว่า “หมดเวลา” นักเรียนต้องหยุดทำข้อสอบทันที แล้วรวบรวมข้อสอบและกระดาษคำตอบใส่ในซองเอกสาร วางไว้บนโต๊ะ รอจนกรรมการคุมสอบเก็บข้อสอบก่อน จึงออกจากห้องสอบ
- ให้เขียนตอบในกระดาษคำตอบด้วยปากกาสีน้ำเงินหรือดำเท่านั้น โดยเขียนให้ตรงกับข้อในกรอบที่กำหนดให้ กรณีเขียนผิดให้ขีดฆ่าและเขียนใหม่ให้ชัดเจน ห้ามลบด้วยน้ำยาลบคำผิด การทศหรือขีดเขียนอย่างอื่นให้ทำในกระดาษข้อสอบ
- โจทย์กำหนดให้แสดงวิธีคิดตามที่โจทย์กำหนด กรณีคำตอบที่เป็นตัวเลขต้องคำนึงถึงเลขนัยสำคัญหรือตอบจำนวนทศนิยมตามที่โจทย์กำหนด
- โจทย์ที่ให้เลือกคำตอบ ให้ใส่เครื่องหมายถูก (✓) ในช่อง ☐ ที่ต้องการเลือก
- ในระหว่างการสอบ นักเรียนสามารถรับประทานอาหารว่างที่วางให้บนโต๊ะได้
- ห้ามยืมเครื่องเขียน และเครื่องคิดเลขผู้อื่นใช้โดยเด็ดขาด
- ห้ามนักเรียนนำเอกสารใด ๆ เข้าหรือออกจากห้องสอบโดยเด็ดขาด
- ห้ามคุยหรือปรึกษากันในช่วงเวลาสอบ หากฝ่าฝืนถือว่าทุจริตในการสอบ กรณีทุจริตใด ๆ ก็ตาม นักเรียนจะหมดสิทธิ์ในการแข่งขันและจะถูกให้ออกจากห้องสอบทันที

#### กำหนดให้

เลขอาโวกาโดร (Avogadro number)	$N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$
ค่าคงที่ของแก๊ส (Gas constant)	$R = 8.314 \text{ J/mol.K} = 0.082 \text{ L.atm/mol.K}$ $= 1.987 \text{ cal/mol.K}$
ค่าคงที่ของฟาราเดย์ (Faraday constant)	$F = 96,500 \text{ C/mol e}^-$
ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant)	$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
ปริมาตรต่อโมลของแก๊สอุดมคติ (molar volume of gas)	$= 22.4 \text{ L ที่ STP}$
ความเร็วแสง	$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$	$K = ^\circ\text{C} + 273$
$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$	$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^3 \text{ cm}^3$
Spectrochemical series: $\Gamma^- < \text{Cl}^- < \text{F}^- < \text{OH}^- < \text{H}_2\text{O} < \text{SCN}^- < \text{NH}_3 < \text{en} < \text{CN}^- < \text{CO}$	

### โจทย์ข้อที่ 1 (6 คะแนน)

กำหนดแผนผังระดับพลังงานของออร์บิทัล โมเลกุล (molecular orbital, MO) ของ  $N_2$  เป็นดังแสดง



- 1.1 (1 คะแนน) MO ลำดับที่ 3 นับจากล่างสุดของแผนผังนี้เป็นชนิดใด มีวิธีคิดหรือเหตุผลอย่างไร
- 1.2 (1 คะแนน) ให้วาดรูปแสดงการซ้อนเหลื่อมของออร์บิทัลอะตอม (atomic orbital, AO) เกิดเป็น MO ตามข้อ 1.1
- 1.3 (1 คะแนน) NO และ  $CN^-$  มีลำดับของ MO เช่นเดียวกับของ  $N_2$  แต่ระดับพลังงานของออร์บิทัลใน N กับ O (หรือ C กับ N) ไม่เท่ากัน จงเขียนแผนผังระดับพลังงานของ MO สำหรับ NO
- 1.4 (3 คะแนน) อันดับพันธะของ NO และ  $CN^-$  เป็นเท่าใด และสมบัติแม่เหล็กเป็นอย่างไร

**โจทย์ข้อที่ 2 (7 คะแนน)**

เทคนิเชียม ( $^{43}\text{Tc}$ ) เป็นธาตุกัมมันตรังสีที่ไม่มีในธรรมชาติ แต่มีประโยชน์มากในเชิงการแพทย์ การเตรียมในห้องปฏิบัติการทำได้โดยนำไอโซโทป  $^{98}_{42}\text{Mo}$  ไปยิงด้วยนิวตรอน ไอโซโทปที่ได้จะสลายตัวให้รังสีเบตา (beta) พร้อมทั้ง  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  ซึ่งเป็นนิวเคลียสอยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state)

$^{99\text{m}}\text{Tc}$  คือไอโซโทปที่นำไปใช้งานมีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 6 ชั่วโมง ซึ่งจะสลายตัวให้รังสีแกมมา พร้อมทั้ง  $^{99}\text{Tc}$  ที่นิวเคลียสอยู่ในสถานะพื้นโดยมีครึ่งชีวิต  $2.11 \times 10^5$  ปี และสลายตัวให้รังสีเบตา

- 2.1 (2 คะแนน) เขียนสมการนิวเคลียร์แสดงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทุกขั้นตอน
- 2.2 (3 คะแนน) สมมุติว่า  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  ถูกผลิตขึ้น เมื่อวันพุธที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2553 เวลา 10:00 น. แล้วนำไปใช้งาน จงหาว่า ณ เวลาใดที่  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  จะสลายไปจนเหลือ 1% ของเดิม (ตอบวัน วันที่ เดือน พ.ศ. และเวลาถึงระดับนาทิจำ)
- 2.3 (2 คะแนน)  $^{98}\text{Mo}$  ที่ใช้ในการผลิตไอโซโทปนี้อยู่ในรูป  $\text{MoO}_4^{2-}$  (โมลิบเดต) เมื่อได้ผลิตภัณฑ์  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  ยังคงมี O เกาะอยู่เท่าเดิม จงเขียนสูตรเคมีของผลิตภัณฑ์และแสดงการจัดเรียงอิเล็กตรอนของ  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  นี้

### โจทย์ข้อที่ 3 (8 คะแนน)

A B C และ D เป็นธาตุเรฟริเซนเททิฟและไม่ใช่ธาตุกัมมันตรังสีที่มีทั้งเลขควอนตัมหลัก  $n$  และจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นธาตุละหนึ่งจาก A ไปยัง D โดย D สามารถเกิดสารประกอบไดฟลูออไรด์  $\text{DF}_2$  ที่มีรูปร่างเป็นเส้นตรงได้ ให้ตอบคำถามต่อไปนี้ โดยเขียนชื่อหรือสัญลักษณ์ของธาตุตามตารางธาตุในการตอบคำถาม

- 3.1 (3 คะแนน) A คือธาตุใด มีเลขออกซิเดชันที่เป็นจำนวนเต็มได้ทั้งหมดกี่ค่า และเลขออกซิเดชันที่น้อยที่สุดและมากที่สุดมีค่าเป็นเท่าใด อธิบายเหตุผลในการระบุ A
- 3.2 (1 คะแนน) สารประกอบไดรอกไซด์ของ B ที่อยู่ในสถานะแก๊สมีโครงสร้างโมเลกุลที่แตกต่างจากที่อยู่ในสถานะของแข็ง วาดรูปโครงสร้างแบบวงของสารประกอบนี้ที่อยู่ในสถานะของแข็ง โดยแสดงพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ให้ชัดเจน
- 3.3 (1.5 คะแนน) ผลึกไอออนิกของสารประกอบระหว่างโพแทสเซียมกับ C มีโครงสร้างแบบไดไอออนบวกมีการจัดเรียงตัวอย่างไร และเลขโคออร์ดิเนชันของไอออนลบเป็นเท่าใด
- 3.4 (1.5 คะแนน) สารประกอบฟลูออไรด์ของ D มีหลายชนิด สารประกอบ  $\text{DF}_4$  มีรูปร่างแบบไดอะตอมกลางใช้ไฮบริดออร์บิทัลแบบใด วาดรูปแสดงโครงสร้างโดยแสดงอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวให้ชัดเจน
- 3.5 (1 คะแนน) เปรียบเทียบกรดออกโซของ A B และ C ที่มีจำนวนออกซิเจนเท่ากัน กรดใดมีความแรงมากที่สุด เพราะเหตุใด

## โจทย์ข้อที่ 4 (8 คะแนน)

เมื่อนำ  $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ละลายน้ำ ได้สารละลายของสารประกอบโคออร์ดิเนชัน **A** ที่สามารถตกตะกอนทันทีกับสารละลาย  $\text{AgNO}_3$  และตกตะกอนได้สมบูรณ์ในอัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 1 เมื่อตั้งสารละลาย **A**ทิ้งไว้ 1 วัน จะเปลี่ยนเป็นสารละลาย **B** ที่มีค่านำไฟฟ้าโมลาร์ (molar conductance) ใกล้เคียงกับสารละลาย **C** และ **D** ที่ได้จากการละลาย  $(\text{NEt}_4)_3\text{Ti}(\text{CN})_6$  และการออกซิไดส์  $\text{Co}(\text{en})_3\text{Cl}_2$  ตามลำดับ ไอออนเชิงซ้อนในสารละลายทั้ง 4 ชนิดมีรูปร่างเป็นทรงเหลี่ยมแปดหน้า และไอออนเชิงซ้อนใน **D** มีค่าพลังงานการแยกในสนามผลึก (crystal field splitting energy,  $\Delta_o$ ) มากกว่าพลังงานในการเข้าคู่ของอิเล็กตรอน (pairing energy)

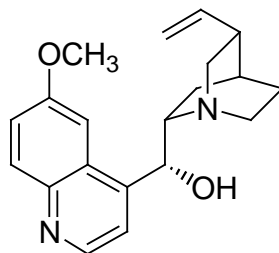
- 4.1 (4 คะแนน) เขียนสูตรและชื่อเป็นภาษาอังกฤษของไอออนเชิงซ้อนในสารละลายทั้ง 4 ชนิด
- 4.2 (0.75 คะแนน) **A** และ **B** เป็นไอโซเมอร์กัน **A** และ **B** จัดเป็นไอโซเมอร์ชนิดใด
- 4.3 (1.5 คะแนน) สาร **A B C D** ชนิดใดที่มีไอโซเมอร์เรขาคณิต (geometrical isomer) วาดรูปแสดงโครงสร้างพร้อมทั้งระบุชนิดของไอโซเมอร์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด
- 4.4 (0.75 คะแนน) สมมติว่าใช้จำนวนโมลของสารประกอบโคออร์ดิเนชันบริสุทธิ์ทั้งสี่ชนิดเท่ากัน เมื่อชั่งน้ำหนักขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอกได้น้ำหนัก  $w_0$  เมื่อชั่งในขณะที่มีสนามแม่เหล็กภายนอกได้น้ำหนัก  $w_1$  ให้เปรียบเทียบค่า  $|w_1 - w_0|$  ของสารประกอบแต่ละคู่ โดยเลือกใช้เครื่องหมาย  $\approx$  (ใกล้เคียง)  $>$  (มากกว่า) หรือ  $<$  (น้อยกว่า)
- 4.5 (1 คะแนน) จากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างสีที่สารดูดกลืนกับสีที่ตามองเห็นดังตาราง

สีที่ดูดกลืน	ม่วง	น้ำเงิน	น้ำเงินเขียว	เหลืองเขียว	เหลือง	ส้ม	แดง
สีที่มองเห็น	เหลืองเขียว	เหลือง	แดง	ม่วง	น้ำเงินเข้ม	น้ำเงิน	เขียว

ถ้าสารละลายทั้ง 4 ชนิดมีสีไม่ซ้ำกัน คือ สีเหลืองเขียว สีเหลือง สีเขียว และ สีม่วง ให้ระบุสีของสารละลายแต่ละชนิด

### โจทย์ข้อที่ 5 (13.5 คะแนน)

ควินิน ( $C_{20}H_{24}N_2O_2$ ) มีสมบัติต้านเชื้อมาเลเรีย (antimalarial properties) มีสูตรโครงสร้างดังนี้

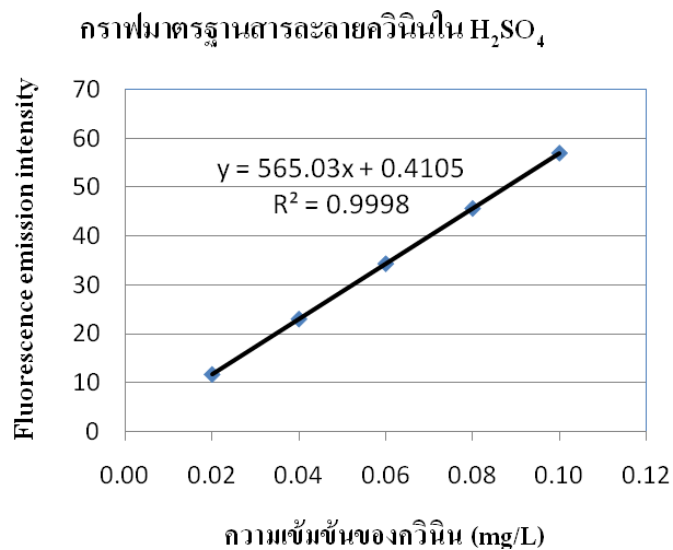


quinine

อะตอมไนโตรเจนในโครงสร้างวงแอโรแมติก มีค่า  $pK_b = 9.70$  และอะตอมไนโตรเจนในหมู่เอมีนตติยภูมิ (tertiary amine group) มีค่า  $pK_b = 5.10$  ควินินมีค่าการละลายน้ำต่ำ จึงมักเตรียมในรูปควินินไฮโดรคลอไรด์ ( $C_{20}H_{24}N_2O_2 \cdot HCl$ ) ซึ่งละลายน้ำได้มากกว่าควินินถึง 120 เท่า

- 5.1 (3 คะแนน) สารละลายอิ่มตัวของควินินในน้ำที่มีความเข้มข้น  $1.6 \times 10^{-3}$  mol/L มี pH เท่าใด
- 5.2 (3 คะแนน) ถ้าสารละลายควินินไฮโดรคลอไรด์ในน้ำมีความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยมวลต่อปริมาตร มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.0 g/mL สารละลายนี้มี pH เท่าใด
- 5.3 (3.5 คะแนน) ควินินสกัดได้จากเปลือกต้นชิงโคนา ซึ่งเปลือกต้นชิงโคนาที่ทำให้แห้งและบดให้ละเอียดมา 5.00 g เติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.1022 mol/L ปริมาตร 25.00 mL ควินินจะทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกให้ควินินไฮโดรคลอไรด์ กรองแล้วไทเทรตสารละลายที่ได้ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.1000 mol/L พบว่าต้องใช้สารละลาย NaOH ปริมาตร 15.10 mL จึงจะถึงจุดยุติ
  - ก) กำหนดร้อยละของควินินในเปลือกต้นชิงโคนา
  - ข) ฟีนอล์ฟทาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์ที่เปลี่ยนสีในช่วง pH 8.3–10.0 (ไม่มีสี–แดง)
 

ถ้าในการไทเทรตนี้เลือกใช้ฟีนอล์ฟทาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์ ที่จุดยุติสารละลายเปลี่ยนสีอย่างไร และจุดยุติที่ได้ใกล้เคียงกับจุดสมมูลหรือไม่ เพราะเหตุใด
- 5.4 (1.5 คะแนน) ควินินเป็นสารประกอบที่ให้ฟลูออเรสเซนซ์ (การวาวแสง) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ในสารละลายกรดเจือจาง จึงสามารถหาปริมาณควินินในสารละลายได้ด้วยวิธีสเปกโทรฟลูออโรเมตรี เมื่อนำสารละลายควินิน (ใน  $H_2SO_4$ ) ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ไปวัดค่าการวาวแสงโดยวิธีสเปกโทรฟลูออโรเมตรี โดยใช้ความยาวคลื่นแสงกระตุ้น (excitation wavelength) เท่ากับ 310 nm และวัดค่าความเข้มของการวาวแสง (fluorescence emission intensity) ที่ความยาวคลื่น 450 nm ได้ผลดังแสดงในกราฟมาตรฐาน



น้ำโทนิค (tonic water) เป็นน้ำอัดลมที่มีควินิน มีรสขมเล็กน้อย เมื่อนำตัวอย่างน้ำโทนิคปริมาตร 1.00 mL มาเจือจางด้วยสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 25.00 mL สารละลายที่ได้เรียกว่า สารละลาย ก. จากนั้นนำสารละลาย ก. 1.00 mL มาเจือจางด้วยสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 25.00 mL แล้วนำไปวัดค่าความเข้มของการวาวแสงได้เท่ากับ 36.37 ปริมาณควินินในตัวอย่างน้ำโทนิคเริ่มต้นเป็นเท่าใด

- 5.5 (0.5 คะแนน) ควินินมีจำนวนไครัลคาร์บอน (chiral carbon) เท่าใด
- 5.6 (2 คะแนน) ในกระดาษคำตอบซึ่งได้แสดงโครงสร้างของควินินไว้ ให้เขียนวงกลมล้อมรอบไครัลคาร์บอน และเขียนอักษร *R* หรือ *S* เพื่อระบุคอนฟิกูเรชันสัมบูรณ์ (absolute configuration) ของไครัลคาร์บอนนั้น



## โจทย์ข้อที่ 6 (8 คะแนน)

ปรอท (Hg) ในธรรมชาติมีเลขออกซิเดชันเป็น 0, +1 และ +2 เมื่อเลขออกซิเดชันเป็น +1 เรียกเมอร์คิวรี(I) ไอออน เมื่อเลขออกซิเดชันเป็น +2 เรียกว่า เมอร์คิวรี(II) ไอออน

6.1 (2 คะแนน) นักเรียนคนหนึ่งไม่แน่ใจว่าเมอร์คิวรี(I) ไอออน อยู่ในรูปใด จึงทดลองสร้างเซลล์ดังนี้



เมื่อสารละลาย A และ B คือ สารละลายเมอร์คิวรี(I) ไนเตรต เข้มข้น 0.263 mol/L และ 2.63 mol/L ตามลำดับ เมื่อนำไปวัดความต่างศักย์ของเซลล์ได้เท่ากับ 0.0296 V

ก) จากผลการทดลองข้างต้น เมอร์คิวรี(I) ไอออน อยู่ในรูป  $\text{Hg}^+$  หรือ  $\text{Hg}_2^{2+}$

ข) เขียนสมการแสดงครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของเมอร์คิวรี(I) ไอออน ที่สอดคล้องกับข้อ ก)

6.2 (6 คะแนน) ถ้าเติมปรอทเหลวปริมาณมากเกินไปในสารละลาย  $\text{Fe}^{3+}$  เข้มข้น  $1.00 \times 10^{-3}$  mol/L ได้ เมอร์คิวรี(I) ไอออน และ  $\text{Fe}^{2+}$

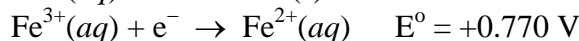
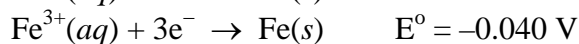
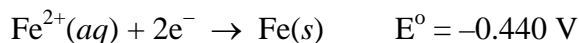
ก) เขียนสมการที่ดุลแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

ข) ถ้าที่ภาวะสมดุลมี  $\text{Fe}^{3+}$  เหลือ 5.40% ความเข้มข้นของเมอร์คิวรี(I) ไอออน และ  $\text{Fe}^{2+}$  เป็นเท่าใด

ค) คำนวณค่าคงที่สมดุล (K) ของปฏิกิริยาในข้อ ก) โดยตอบในรูปของ log K

ง) ที่ภาวะสมดุล ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของเมอร์คิวรี(I) เป็นเท่าใด

กำหนด ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานที่ 25°C ดังนี้

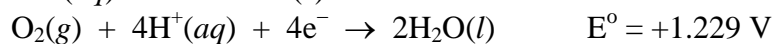


จ) คำนวณค่าพลังงานเสรี (free energy,  $\Delta G^\circ$ ) ของปฏิกิริยาในข้อ ก)

**โจทย์ข้อที่ 7 (5 คะแนน)**

เมื่อนำสารละลาย  $\text{MSO}_4$  (M เป็นโลหะใด ๆ) เข้มข้น  $0.010 \text{ mol/L}$  ใน  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ซึ่งมี pH เท่ากับ 4 มาแยกสลายด้วยไฟฟ้า (electrolysis) โดยใช้แพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้า ที่  $25^\circ\text{C}$  ความดัน  $1 \text{ atm}$

กำหนด ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานที่  $25^\circ\text{C}$  ดังนี้



- 7.1 (0.5 คะแนน) เขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด และขั้วแอโนด
- 7.2 (2 คะแนน) ศักย์ไฟฟ้าต่ำสุดที่ทำให้โลหะ M ไปเกาะที่ขั้วไฟฟ้ามีค่าเท่าใด
- 7.3 (0.5 คะแนน) เขียนสมการแสดงการแยกสลายด้วยไฟฟ้าของสารละลาย  $\text{MSO}_4$
- 7.4 (1.25 คะแนน) คำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกสลายด้วยไฟฟ้านาน 1 ชั่วโมง ที่กระแสไฟฟ้าคงที่  $0.200 \text{ A}$  ถ้าประสิทธิภาพของกระแส (current efficiency) เป็น  $95 \%$
- 7.5 (0.75 คะแนน) ถ้าเกิดโลหะ Mหนัก  $0.399 \text{ g}$  เกาะที่ขั้วแพลทินัม มวลอะตอมของโลหะ M เป็นเท่าใด

### โจทย์ข้อที่ 8 (3 คะแนน)

ดินมีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบทั้งโดยธรรมชาติและการปนเปื้อน โลหะหนักจะอยู่ทั้งในเนื้อดิน (solid phase) และในน้ำในโพรงของเนื้อดิน (pore water) โดยอยู่ในสมดุลที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วน (partition coefficient,  $K_p$ ) ดังนี้

$$K_p = \frac{M_{\text{solid phase}}}{M_{\text{pore water}}} \text{ (L/kg)}$$

เมื่อ  $M_{\text{solid phase}}$  คือ ปริมาณของโลหะหนักในเนื้อดิน ( $\mu\text{g/kg}$ )

$M_{\text{pore water}}$  คือ ปริมาณของโลหะหนักในน้ำในโพรงของเนื้อดิน ( $\mu\text{g/L}$ )

ค่า  $K_p$  ของโลหะหนักแต่ละชนิดในดินแต่ละแหล่งไม่เท่ากัน ขึ้นกับลักษณะและองค์ประกอบอื่นๆ ในดิน เช่น ปริมาณสารอินทรีย์ ความเป็นกรด-เบสของดิน เป็นต้น ค่า  $K_p$  ได้จากการทดลองดังนี้

- หาปริมาณโลหะหนักในน้ำในโพรงของเนื้อดิน โดยนำดินมา 2.0 kg สกัดด้วยสารละลาย  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  เข้มข้น 2 mmol/L ปริมาตร 1.0 L

- หาปริมาณโลหะหนักในเนื้อดิน โดยนำดินที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลาย  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  และทำให้แห้งแล้ว น้ำหนัก 0.20 g มาสกัดด้วยกรดไนตริกเข้มข้นปริมาตร 4 mL กรองสารละลายลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 50.00 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

- นำน้ำสกัดทั้ง 2 ชนิดไปหาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องมือสำหรับตรวจวัดโลหะหนัก ได้ผลการทดลองดังนี้

แหล่งดิน	โลหะ	ปริมาณโลหะ ( $\mu\text{g/L}$ )	
		ในน้ำสกัดด้วยสารละลาย $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	ในน้ำสกัดด้วยกรดไนตริกเข้มข้น
1	Cd	1.12	6.37
	Cr	1.56	0.23
2	Cd	2.25	73.83
	Pb	2.07	1.52

8.1 (2 คะแนน) ค่า  $K_p$  ของโลหะต่าง ๆ ในดินทั้ง 2 แหล่ง เป็นเท่าใด

8.2 (1 คะแนน) โลหะชนิดใด และในแหล่งดินใด มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดินมากที่สุด

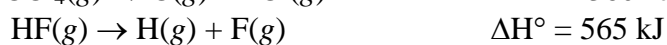
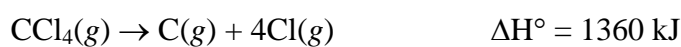
**โจทย์ข้อที่ 9 (4.5 คะแนน)**

สารกลุ่มคลอโรฟลูออโรคาร์บอน หรือ CFCs เป็นสารทำความเย็นที่ระเหยง่าย เมื่อเข้าสู่ชั้นบรรยากาศโลก จะทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศได้ สาร CFCs ที่ใช้กันมากในอดีตมีชื่อทางการค้าว่า Freon-11 และ Freon-12 ซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น  $\text{CFCl}_3$  และ  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$  ตามลำดับ สารทั้ง 2 ชนิดนี้ผลิตได้จากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนเตตระคลอไรด์และกรดไฮโดรฟลูออริก

9.1 (0.5 คะแนน) เขียนสมการแสดงการผลิต Freon-11 และ Freon-12 จากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนเตตระคลอไรด์และกรดไฮโดรฟลูออริก

9.2 (0.75 คะแนน) ระหว่าง Freon-11 และ Freon-12 สารใดมีจุดเดือดต่ำกว่า อธิบายเหตุผลประกอบ

9.3 (1.25 คะแนน) กำหนดให้



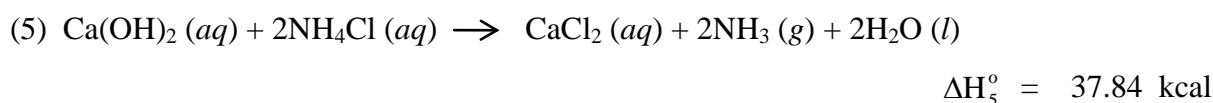
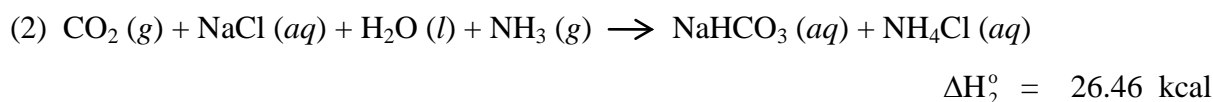
$\Delta H^\circ$  ของการผลิตสาร  $\text{CFCl}_3$  จากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนเตตระคลอไรด์และกรดไฮโดรฟลูออริก เท่ากับ  $-10 \text{ kJ}$  พลังงานพันธะของ C-Cl และ C-F มีค่าเท่าใด

9.4 (1 คะแนน) พันธะใดจะถูกทำลายด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น  $254 \text{ nm}$

9.5 (1 คะแนน) เขียนสมการแสดงการทำลายโอโซนจากปฏิกิริยาของ Freon-11 และ Freon-12 ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น  $254 \text{ nm}$  ในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ (stratosphere)

**โจทย์ข้อที่ 10 (10 คะแนน)**

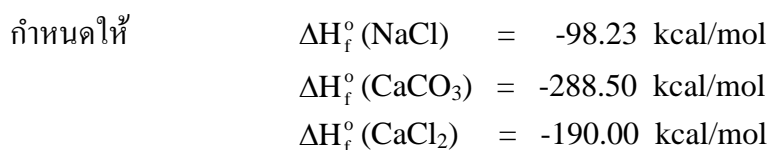
กระบวนการโซลเวย์สำหรับการผลิตโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) โดยเริ่มจาก  $\text{CaCO}_3$  ในทางอุตสาหกรรม เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาต่อไปนี้ ( $25^\circ\text{C}$ , 1 atm)



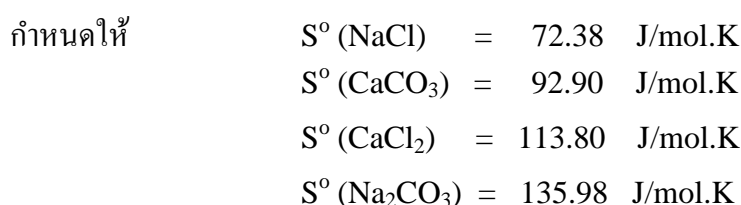
10.1 (2.5 คะแนน) ใช้กฎของเฮสส์หาค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของปฏิกิริยาสุทธิของ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

10.2 (0.5 คะแนน) ปฏิกิริยานี้เป็นการคายความร้อนหรือดูดความร้อน

10.3 (2 คะแนน) ถ้าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของปฏิกิริยาสุทธินี้เท่ากับ  $-100.00 \text{ kcal}$  จงหาค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของการเกิด  $\text{Na}_2\text{CO}_3$



10.4 (1 คะแนน) จงคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี ( $\Delta S^\circ$ ) ของปฏิกิริยานี้



10.5 (2 คะแนน) จงคำนวณหาพลังงานเสรี (free energy,  $\Delta G^\circ$ ) ของปฏิกิริยานี้

10.6 (1.5 คะแนน) จงคำนวณหาค่าคงที่สมดุล (K) ของปฏิกิริยานี้

10.7 (0.5 คะแนน) จงเขียนสมการไอออนิกของปฏิกิริยาสุทธินี้

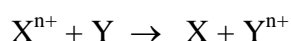
**โจทย์ข้อที่ 11 (4 คะแนน)**

ลูกโป่งใบหนึ่งบรรจุแก๊ส He วัดปริมาตรได้ 1,200 mL ที่อุณหภูมิ 30°C ความดัน 1.00 atm เมื่อปล่อยให้ลอยขึ้นในแนวตั้งจากบริเวณพื้นดินจนถึงความสูง 100 m จงคำนวณงาน (work) ที่เกิดจากการขยายตัวของลูกโป่ง

- กำหนดให้
- แก๊ส He เป็นแก๊สอุดมคติ (ideal gas)
  - การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของลูกโป่งเป็นแบบผันกลับได้ (reversible)
  - ระยะความสูงจากพื้นดิน 100 m อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง แต่ทุก ๆ 20 m จากพื้นดินความดันจะเปลี่ยนแปลง 5%

**โจทย์ข้อที่ 12 (6 คะแนน)**

ปฏิกิริยารีดอกซ์ชนิดหนึ่งเป็นดังนี้



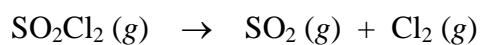
จากการสร้างเป็นเซลล์เคมีไฟฟ้าโดยใช้ความเข้มข้นของ  $X^{n+}$  และ  $Y^{n+}$  ต่าง ๆ กัน วัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ (E) ที่อุณหภูมิ 27°C ได้ผลดังนี้

$[X^{n+}]$ (mol/L)	$[Y^{n+}]$ (mol/L)	E (V)
0.100	0.200	$4.10 \times 10^{-2}$
0.100	0.300	$3.58 \times 10^{-2}$
0.100	0.400	$3.21 \times 10^{-2}$
0.100	0.500	$2.92 \times 10^{-2}$

- 12.1 (3 คะแนน) จงคำนวณ  $E^\circ$  ของเซลล์ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1.00 atm โดยการเขียนกราฟ
- 12.2 (1.5 คะแนน) ปฏิกิริยานี้เกี่ยวข้องกับก๊อเล็คตรอน
- 12.3 (1.5 คะแนน) จงคำนวณพลังงานเสรี (free energy,  $\Delta G^\circ$ ) และค่าคงที่สมดุล (K) ของเซลล์ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1.00 atm

**โจทย์ข้อที่ 13 (4 คะแนน)**

ปฏิกิริยาการสลายตัวของซัลไฟนิลคลอไรด์ที่  $327^{\circ}\text{C}$  เป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 มีครึ่งชีวิต ( $t_{1/2}$ ) เท่ากับ 6.93 ชั่วโมง



13.1 (1 คะแนน) ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าเท่าใดในหน่วย  $\text{s}^{-1}$

13.2 (3 คะแนน) ถ้าความดันเริ่มต้นของ  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$  คือ 1,000 mm Hg และการสลายตัวเกิดขึ้นในภาชนะขนาด 1 L จำนวนโมเลกุลของ  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$  ที่เหลือในภาชนะหลังจากเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมงเท่าใด

**โจทย์ข้อที่ 14 (2 คะแนน)**

ปฏิกิริยา  $2\text{A}^{2+}(\text{aq}) + 6(\text{BX})^{-}(\text{aq}) \rightarrow 2\text{A}(\text{BX})_2^{-}(\text{aq}) + (\text{BX})_2(\text{aq})$  เป็นปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน

พบว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในรูป  $k[\text{A}^{2+}]^2 [\text{BX}^{-}]^6$

ถ้าขั้นตอนแรกเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเร็ว ได้ผลิตภัณฑ์  $\text{A}(\text{BX})_3^{-}$  ซึ่งเป็นสารมัธยันตร์ที่ไม่เสถียร

ขั้นตอนที่สองเป็นปฏิกิริยาที่กำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate determining step)

เขียนกลไกการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด

**โจทย์ข้อที่ 15 (3 คะแนน)**

กระบวนการยับยั้งไวรัสเป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที พบว่าไวรัสถูกยับยั้ง 4%

15.1 (2 คะแนน) ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา ( $k$ ) มีค่าเท่าใด

15.2 (1 คะแนน) ไวรัสถูกยับยั้ง 50% เมื่อเวลาผ่านไปเท่าใด

**โจทย์ข้อที่ 16 (4.5 คะแนน)**

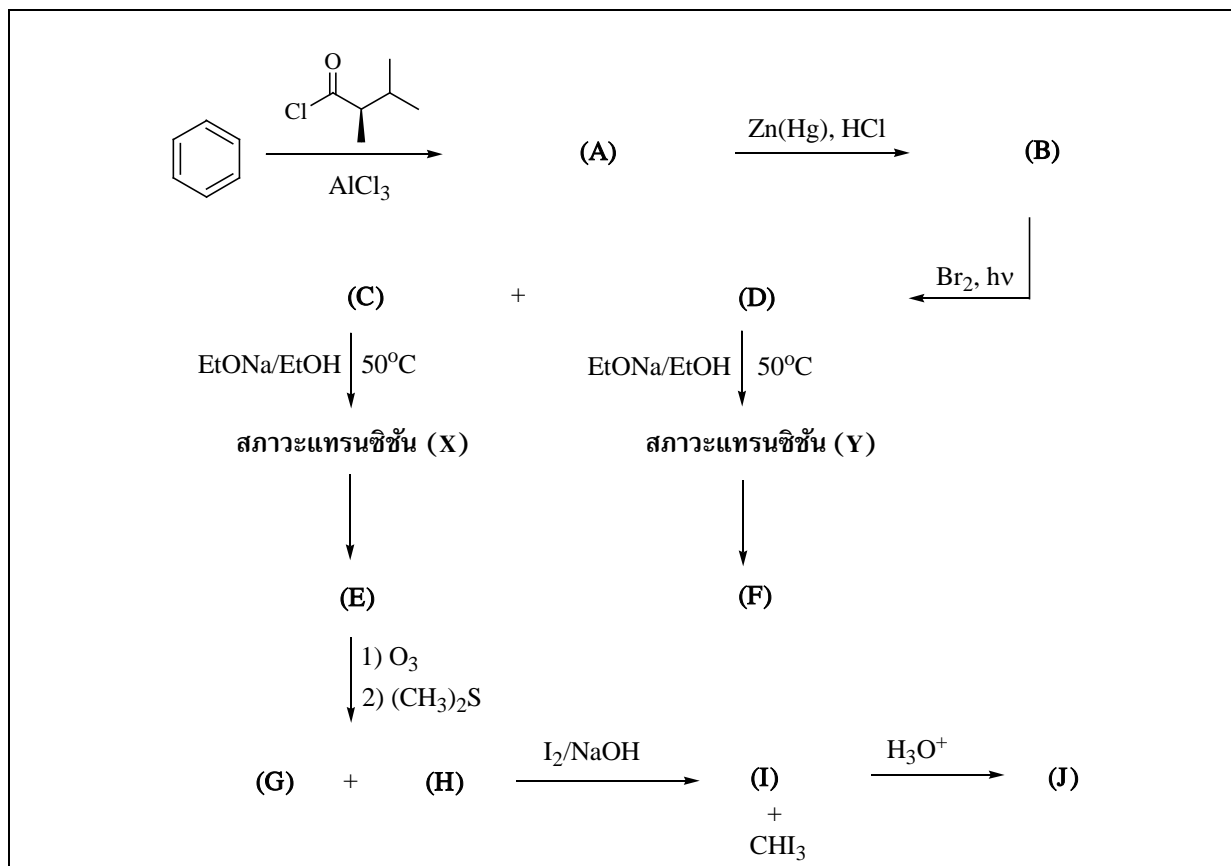
เมื่อนำแก๊สไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัวปริมาตร 100 mL ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (STP) ไปเผาไหม้ให้สมบูรณ์ และผ่านแก๊สที่เกิดขึ้นไปยังสารละลาย  $\text{Ca(OH)}_2$  จะได้ตะกอนเกิดขึ้น เมื่อกรองตะกอนแล้วนำไปอบให้แห้ง ชั่งน้ำหนักได้ 1.786 g

- 16.1 (1 คะแนน) เขียนสมการการเผาไหม้ที่ดุลแล้วของไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีสูตรทั่วไปเป็น  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$
- 16.2 (0.5 คะแนน) แก๊สไฮโดรคาร์บอนข้างต้นมีจำนวนกี่โมล
- 16.3 (0.5 คะแนน) ตะกอนที่เกิดขึ้นคืออะไร
- 16.4 (1.5 คะแนน) แก๊สไฮโดรคาร์บอนข้างต้นมีสูตรโมเลกุลอย่างไร
- 16.5 (1 คะแนน) แก๊สไฮโดรคาร์บอนข้างต้นมีสูตรโครงสร้างเป็นอย่างไรได้บ้าง



## โจทย์ข้อที่ 17 (4.5 คะแนน)

เบนซีนทำปฏิกิริยาได้ตามขั้นตอนดังแสดงในแผนภาพ

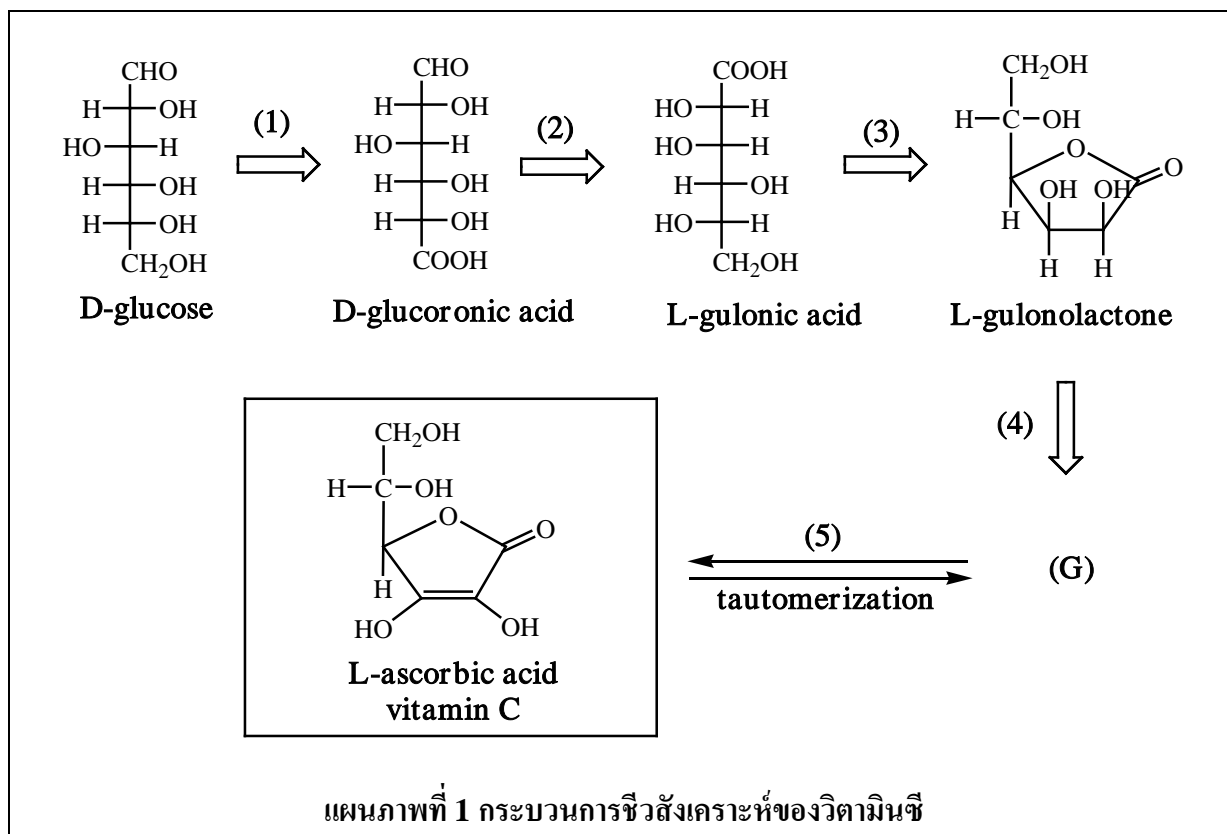


17.1 (3.5 คะแนน) เขียนโครงสร้างพร้อมสเตอริโอเคมีที่เกิดขึ้น (ถ้ามี) ของผลิตภัณฑ์ (A)–(J)

17.2 (1 คะแนน) เขียนกลไกปฏิกิริยาที่เป็นสถานะแทรนซิชัน (X) และ (Y) ในการเปลี่ยนสาร (C) เป็นสาร (E) และสาร (D) เป็นสาร (F) ตามลำดับ

### โจทย์ข้อที่ 18 (8.5 คะแนน)

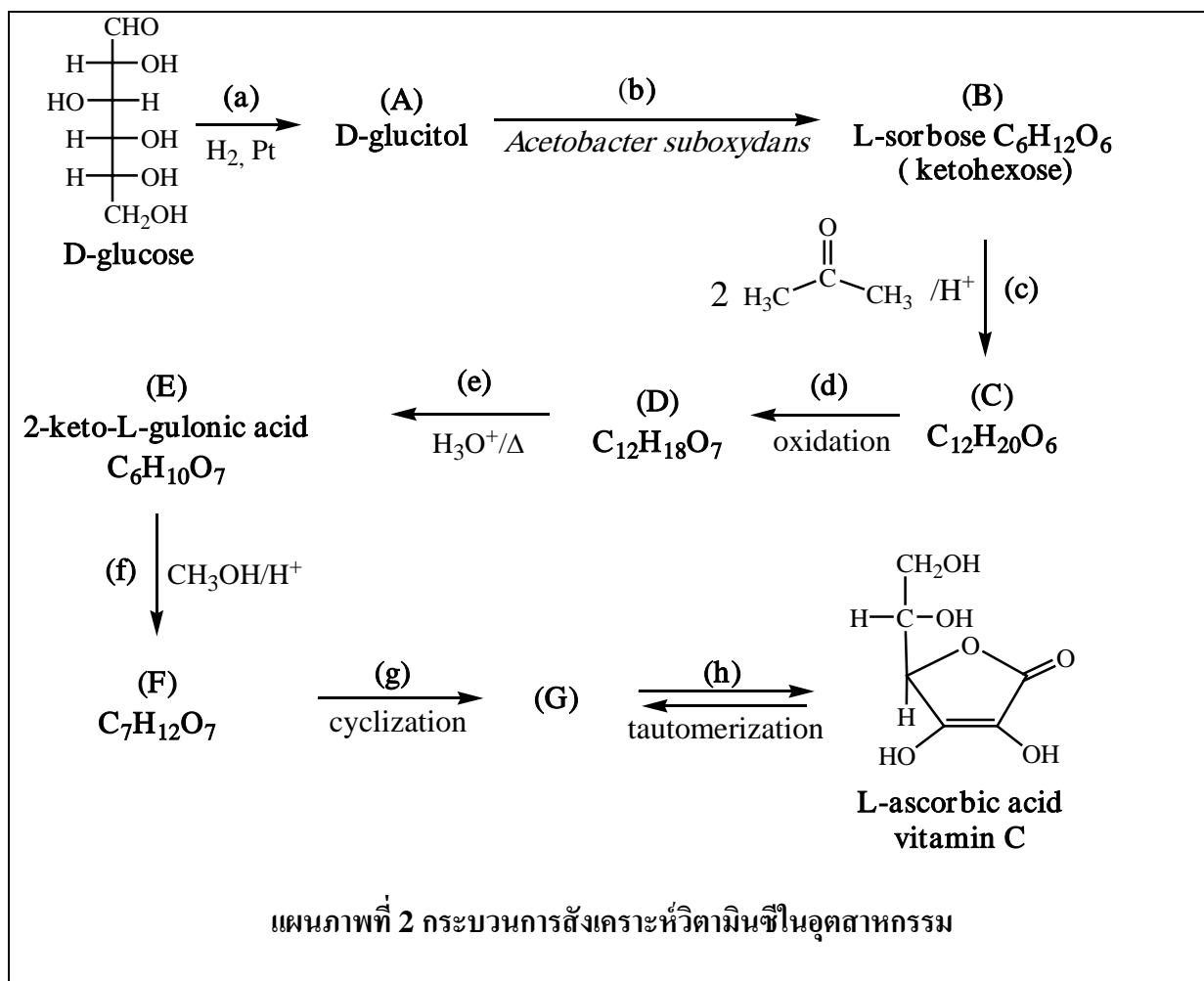
วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก มีสมบัติเป็นแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) และช่วยให้กระบวนการต่างๆ ในร่างกายอยู่ในภาวะสมดุล วิตามินซีเกิดจากกระบวนการชีวสังเคราะห์ที่มี D-glucose เป็นสารตั้งต้น ดังแผนภาพที่ 1



18.1 (2 คะแนน) ปฏิกริยาในขั้นที่ (1) – (4) ของกระบวนการชีวสังเคราะห์ จัดเป็นปฏิกริยาประเภทการแทนที่ การขจัด การเติม ออกซิเดชัน หรือรีดักชัน ทั้งนี้ปฏิกริยาบางขั้นอาจจัดได้มากกว่า 1 ประเภท

18.2 (0.5 คะแนน) ถ้าในปฏิกริยาขั้นที่ (1) เป็นการใส่สารเคมีในห้องทดลองแทนปฏิกริยาในกระบวนการชีวสังเคราะห์ จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างเป็นอย่างไร

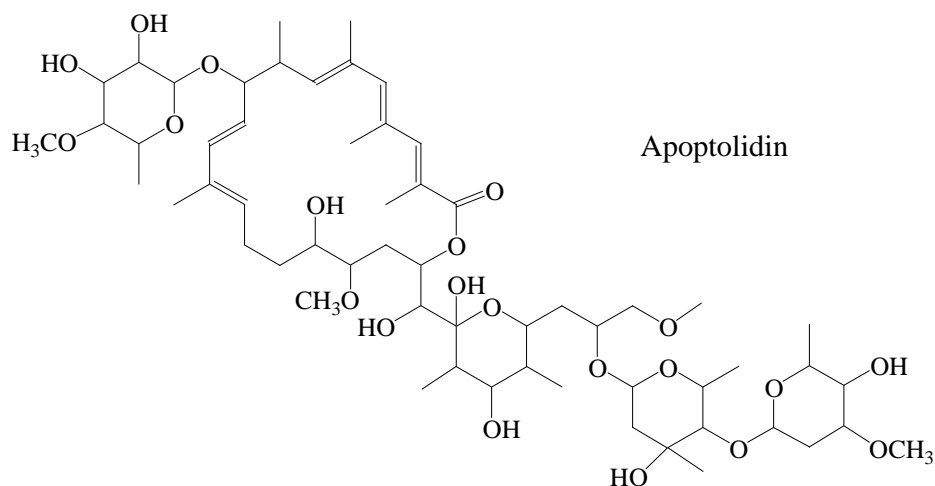
เนื่องจากวิตามินซีเป็นสารสำคัญจึงมีการผลิตในอุตสาหกรรมเพื่อให้ได้ปริมาณมาก ซึ่งใช้ D-glucose จากธรรมชาติเป็นสารตั้งต้น และใช้ปฏิกริยาเคมีสังเคราะห์เป็นส่วนใหญ่ โดยที่บางขั้นตอนใช้เชื้อ *Acetobacter suboxydans* ร่วมด้วย ดังแผนภาพที่ 2



- 18.3 (4 คะแนน) เขียนโครงสร้างของสาร (A)-(G)
- 18.4 (0.5 คะแนน) ในกระบวนการอุตสาหกรรม หากใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสาร (B) โดยตรง (โดยไม่ผ่านการทำปฏิกิริยาในขั้น (c) และ (e)) จะได้สารที่มีโครงสร้างอย่างไร
- 18.5 (0.5 คะแนน) ในขั้น (b) ของกระบวนการอุตสาหกรรม *Acetobacter suboxydans* มีหน้าที่และความจำเพาะอย่างไร
- 18.6 (0.5 คะแนน) ปฏิกิริยาในขั้น (b) มีการเปลี่ยนคอนฟิกูเรชันจาก D เป็น L ได้อย่างไร
- 18.7 (0.5 คะแนน) เขียนกลไกปฏิกิริยา tautomerization ในขั้น (h)

### โจทย์ข้อที่ 19 (4.5 คะแนน)

Apoptolidin เป็นสารที่ยับยั้งการเกิดเนื้องอก มีโครงสร้างดังแสดง



เมื่อนำสารนี้ทำปฏิกิริยากับน้ำที่มีสถานะเป็นกรดอย่างอ่อน แล้วนำสารละลายที่ได้ไปสะเทินให้เป็นกลาง จากนั้นสกัดโดยใช้อีเทอร์เป็นตัวทำละลาย แยกชั้นอีเทอร์และน้ำออกจากกัน แต่ละชั้นจะมีสารผลิตภัณฑ์ละลายอยู่ไม่เหมือนกัน

- 19.1 (1 คะแนน) เขียนโครงสร้างของสารผลิตภัณฑ์ที่ถูกสกัดอยู่ในชั้นอีเทอร์
- 19.2 (1.5 คะแนน) เขียนโครงสร้างของสารผลิตภัณฑ์ที่ละลายอยู่ในชั้นน้ำ
- 19.3 (1 คะแนน) เมื่อเปรียบเทียบสารผลิตภัณฑ์ที่ละลายอยู่ในชั้นน้ำ สารใดที่ละลายน้ำได้ดีที่สุด เพราะเหตุใด และ เมื่ออยู่ในสถานะสมดุลจะมีโครงสร้างเป็นอย่างไรได้บ้าง
- 19.4 (1 คะแนน) ถ้านำเอาสารที่ละลายในชั้นน้ำได้ดีที่สุด 1 โมล มาทำปฏิกิริยากับกรดเปอร์ไอโอดิก ( $\text{HIO}_4$ ) ที่มากเกินไป จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างอย่างไรบ้าง และอย่างละกี่โมล

**โจทย์ข้อที่ 20 (7 คะแนน)**

นาโนเปปไทด์ที่มีชื่อว่า Bradykinin ทำให้เกิดความเจ็บปวดอย่างรุนแรง เกิดขึ้นได้เมื่อร่างกายตอบสนองต่อพิษที่ได้รับจากเหล็กไนของแมลงที่มีพิษ เช่น ตัวต่อ หรือผึ้ง การหาโครงสร้างของนาโนเปปไทด์ทำตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- (1) นำ Bradykinin 1 โมล มาทำปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสอย่างสมบูรณ์ ได้กรดอะมิโนชนิดต่างๆ ในจำนวนโมลต่อไปนี้ (ตัวย่อในวงเล็บใช้แทนชื่อเต็มของกรดอะมิโน)

**Arginine (Arg)**            2 โมล            **Glycine (Gly)**    1 โมล            **Proline (Pro)**    3 โมล  
**Phenylalanine (Phe)**    2 โมล            **Serine (Ser)**      1 โมล

- (2) นำ Bradykinin มาทำปฏิกิริยากับ Sanger's reagent แล้วตามด้วยปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส จะได้ Arg ที่มีหมู่ 2,4-dinitrophenyl ติดอยู่
- (3) นำ Bradykinin ไปทำปฏิกิริยากับ carboxypeptidase จะได้ Arg เกิดขึ้นก่อน แล้วตามด้วย Phe

20.1 (1.5 คะแนน) จากข้อมูล (2) และ (3) ได้ข้อสรุปอย่างไร

20.2 (3.5 คะแนน) เมื่อทำปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสบางส่วนของ bradykinin จะได้สารผสมของเปปไทด์ต่างกัน 5 ชนิด เมื่อนำแต่ละชนิดไปทำปฏิกิริยากับ Sanger's reagent แล้วตามด้วยปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส จะได้ผลดังนี้

เปปไทด์ที่	กรดอะมิโนที่ได้	กรดอะมิโนที่ได้โดยมีหมู่ 2,4-dinitrophenyl ติดอยู่
1	Pro, Pro	Arg
2	Arg, Phe	Pro
3	Gly	Pro
4	Ser, Phe	Gly
5	Ser	Phe

เปปไทด์แต่ละชนิด มีลำดับกรดอะมิโนที่เป็นไปได้ทั้งหมดอย่างไร

20.3 (2 คะแนน) ลำดับของกรดอะมิโนที่อยู่ในสาร bradykinin เป็นอย่างไร

**หมายเหตุ** การเขียนลำดับกรดอะมิโนในเปปไทด์ให้เขียนชื่อย่อของกรดอะมิโนต่อกันด้วยขีดและที่ปลายให้ระบุหมู่เอมิโนอิสระและหมู่คาร์บอกซิลอิสระด้วย

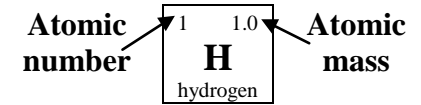




การแข่งขัน  
เคมีโอลิมปิกระดับชาติ  
ครั้งที่ 6



# ตารางธาตุ



																VIII A																			
1		1.0																		2		4.0													
H																		He																	
hydrogen																		helium																	
IA		IIA														IIIVA		IVA		VA		VIA		VIIA											
3	6.9	4	9.0													5	10.8	6	12.0	7	14.0	8	16.0	9	19.0	10	20.2								
Li		Be														B		C		N		O		F		Ne									
lithium		beryllium														boron		carbon		nitrogen		oxygen		fluorine		neon									
11	23.0	12	24.3													13	27.0	14	28.1	15	31.0	16	32.1	17	35.5	18	39.9								
Na		Mg														Al		Si		P		S		Cl		Ar									
sodium		magnesium														aluminum		silicon		phosphorus		sulfur		chlorine		argon									
				Transition Elements																															
				IIIB		IVB		VB		VIB		VIIB		VIIIB		IB		IIB																	
19	39.1	20	40.1	21	45.0	22	47.9	23	50.9	24	52.0	25	54.9	26	55.8	27	58.9	28	58.7	29	63.5	30	65.4	31	69.7	32	72.6	33	74.9	34	79.0	35	79.9	36	83.8
K		Ca		Sc		Ti		V		Cr		Mn		Fe		Co		Ni		Cu		Zn		Ga		Ge		As		Se		Br		Kr	
potassium		calcium		scandium		titanium		vanadium		chromium		manganese		iron		cobalt		nickel		copper		zinc		gallium		germanium		arsenic		selenium		bromine		krypton	
37	85.5	38	87.6	39	88.9	40	91.2	41	92.9	42	95.9	43	98.9	44	101.1	45	102.9	46	106.4	47	107.9	48	112.4	49	114.8	50	18.7	51	121.8	52	127.6	53	126.9	54	131.3
Rb		Sr		Y		Zr		Nb		Mo		Tc		Ru		Rh		Pd		Ag		Cd		In		Sn		Sb		Te		I		Xe	
rubidium		strontium		yttrium		zirconium		niobium		molybdenum		technetium		ruthenium		rhodium		palladium		silver		cadmium		indium		tin		antimony		tellurium		iodine		xenon	
55	132.9	56	137.3	57-71		42	178.5	73	180.9	74	183.9	75	186.2	76	190.2	77	192.2	78	195.1	79	197.0	80	200.6	81	204.4	82	207.2	83	209.0	84	(209)	85	(210)	86	(222)
Cs		Ba		*		Hf		Ta		W		Re		Os		Ir		Pt		Au		Hg		Tl		Pb		Bi		Po		At		Rn	
cesium		barium				hafnium		tantalum		tungsten		rhenium		osmium		irridium		platinum		gold		mercury		thallium		lead		bismuth		polonium		astatine		radon	
87	(223)	88	(226)	89-103		104	(261)	105	(262)	106	(266)	107	(264)	108	(269)	109	(268)	110	(271)	111	(272)	112	(285)	113	(284)	114	(289)	115	(288)	116	(292)	117	(?)	118	(?)
Fr		Ra		#		Rf		Db		Sg		Bh		Hs		Mt		Ds		Rg		Uub		Uut		Uuq		Uup		Uuh		Uus		Uuo	
francium		radium				rutherfordium		dubnium		seaborgium		bohrium		hassium		meitnerium		damstadtium		roentgenium		ununbium		ununtrium		ununquadium		ununpentium		ununhexium		ununseptium		ununoctium	

\*Lanthanide Series

#Actinide Series

57	138.9	58	140.1	59	140.9	60	144.2	61	(145)	62	150.0	63	152.0	64	157.3	65	158.9	66	162.5	67	164.9	68	167.3	69	168.9	70	173.0	71	175.0
La		Ce		Pr		Nd		Pm		Sm		Eu		Gd		Tb		Dy		Ho		Er		Tm		Yb		Lu	
lanthanum		cerium		praseodymium		neodymium		promithium		samarium		europium		gadolinium		terbium		dysprosium		holmium		erbium		thulium		ytterbium		lutetium	
89	(227)	90	232.0	91	231.0	92	238.0	93	237.0	94	(244)	95	(243)	96	(247)	97	(247)	98	(251)	99	(254)	100	(257)	101	(258)	102	(255)	103	(256)
Ac		Th		Pa		U		Np		Pu		Am		Cm		Bk		Cf		Es		Fm		Md		No		Lr	
actinium		thorium		protactinium		uranium		neptunium		plutonium		americium		curium		berkelium		californium		einsteinium		fermium		mendelivium		nobelium		lawrencium	