

การทดลองที่ 6 สมดุลวิหพันธ์

วัตถุประสงค์

- 6.1 ศึกษาการกระจายของกรดเบนโซอิกระหว่างชั้นเบนซีนและชั้นน้ำที่อุณหภูมิและความดันห้อง
- 6.2 พิจารณาสภาวะโมเลกุลของกรดเบนโซอิกในชั้นเบนซีน
- 6.3 หาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของกรดเบนโซอิกในชั้นน้ำและชั้นเบนซีน

ทฤษฎี

ถ้าเรามีสารชนิดหนึ่งที่ละลายได้ในของเหลว 2 ชนิด ซึ่งไม่รวมตัวกันเป็นเนื้อเดียว (เช่น ตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์กับสารละลายน้ำ) และไม่มีปฏิกิริยาต่อของเหลวทั้งสองชนิดนั้น จะได้ว่าศักย์เคมี (chemical potential) ที่สมดุลของสารดังกล่าวมีค่าเหมือนกันในวัฏภาคของเหลวทั้งสอง นั่นคือ

$$\mu_0 = \mu_w$$

หรือ $\mu_0^0 + RT \ln a_0 = \mu_w^0 + RT \ln a_w$

ดังนั้น $a_0/a_w = \text{ค่าคงที่} \dots\dots\dots(6.1)$

โดย μ_0 และ μ_w เป็นศักย์เคมีของตัวถูกละลายในตัวทำละลายอินทรีย์และในสารละลายน้ำตามลำดับ
 μ_0^0 และ μ_w^0 เป็นศักย์เคมีของตัวถูกละลายในสารละลายเจือจางอุดมคติ (นั่นคือ $a_0 = 1, a_w = 1$)

a_0 และ a_w เป็นแอกติวิตีของตัวถูกละลายในตัวทำละลายอินทรีย์และสารละลายน้ำตามลำดับ
 R คือค่าคงที่ของก๊าซ

T คืออุณหภูมิในหน่วยองศาเคลวิน

สำหรับสารละลายเจือจาง เราสามารถเขียนสมการ (6.1) เสียใหม่ได้เป็น

$$C_0/C_w = D \dots\dots\dots(6.2)$$

โดย C_0 และ C_w หมายถึงความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์ของตัวถูกละลายในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์และชั้นน้ำตามลำดับ ค่า D เราเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของตัวถูกละลายในตัวทำละลายสองชนิดที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (distribution coefficient หรือ partition coefficient) ซึ่งมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิต่างๆ กรณีที่สารละลายนั้นเป็นสารละลายอิ่มตัว เราจะแทนความเข้มข้นในสมการ (6.2) ด้วยค่าการละลายอิ่มตัว (saturation) ดังสมการข้างล่าง

$$S_0/S_w = D \dots\dots\dots(6.3)$$

การทดลองที่ 6

โดย S_0 และ S_w เป็นค่าการละลายอิมตัวของตัวถูกละลายในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ และชั้นน้ำตามลำดับ

ทั้งสมการ (6.1), (6.2) และ (6.3) จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อ

- ก) ตัวถูกละลายไม่ทำปฏิกิริยากับตัวทำละลายทั้งสองชนิด
- ข) ตัวถูกละลายไม่มีการรวมตัวหรือแตกตัวในสารละลายทั้งสองชั้น
- ค) น้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลวทั้งสองชั้นต้องมีค่าเหมือนกัน

ถ้าพิจารณาการกระจายของกรดอินทรีย์ชนิดอ่อนตัวหนึ่งระหว่างชั้นตัวทำละลายอินทรีย์และชั้นน้ำ เช่น การกระจายของกรดเบนโซอิกระหว่างชั้นเบนซีนกับชั้นน้ำ กรดเบนโซอิกบางส่วนจะเกิดการรวมตัวเป็นไดเมอร์ในชั้นเบนซีนในขณะที่มีการแตกตัวเป็นไอออนบางส่วนในชั้นน้ำ ดังนั้น เราไม่สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของกรดเบนโซอิกระหว่างชั้นเบนซีนกับชั้นน้ำได้โดยตรงจากสมการ (6.1), (6.2), หรือ (6.3) ทั้งนี้เนื่องจากกรดเบนโซอิกในชั้นเบนซีนมีทั้งชนิดที่อยู่ในรูป C_6H_5COOH กับ $(C_6H_5COOH)_2$ ส่วนในชั้นน้ำมีทั้งชนิดที่อยู่ในรูป C_6H_5COOH , $C_6H_5COO^-$ และ H^+ เพื่อให้สามารถใช้สมการดังกล่าวในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของกรดเบนโซอิกได้ เราจำเป็นต้องเลือกพิจารณาเฉพาะกรดเบนโซอิกชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลเหมือนกันในชั้นของเหลวทั้งสองชนิด นั่นคือ ชนิดที่อยู่ในรูป C_6H_5COOH ซึ่งอยู่ในสภาพโมโนเมอร์ที่ไม่แตกตัว เพราะฉะนั้นเราจะคิดเฉพาะความเข้มข้นของ C_6H_5COOH ในตัวทำละลายแต่ละชั้นเท่านั้น ไม่ใช่ความเข้มข้นรวมทั้งหมดในแต่ละชั้น

ให้ α_0 เป็นสัดส่วนของตัวถูกละลายที่มีการรวมตัวในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์

α_w เป็นสัดส่วนของตัวถูกละลายที่มีการแตกตัวในชั้นน้ำ

ดังนั้น ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์และชั้นน้ำจะเปลี่ยนมาเป็น $(1 - \alpha_0)C_0$ และ $(1 - \alpha_w)C_w$ ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวจึงหาได้จากสูตร

$$D = \frac{(1 - \alpha_0) C_0}{(1 - \alpha_w) C_w} \dots\dots\dots(6.4)$$

เนื่องจากกรดอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นกรดอ่อน เราอาจถือได้ว่ามีการแตกตัวในชั้นน้ำได้น้อยมาก เพราะฉะนั้น $\alpha_w \rightarrow 0$ ทำให้ $(1 - \alpha_w) C_w \approx C_w$ สมการ (6.4) จะกลายเป็น

$$D = \frac{(1 - \alpha_0) C_0}{C_w} \dots\dots\dots(6.5)$$

ถ้าให้ B เป็นตัวถูกละลายที่อยู่ในสภาพโมเลกุลปกติในน้ำ แต่มีการรวมตัวในตัวทำละลายอินทรีย์ ดังสมการ



การทดลองที่ 6

ซึ่งมีค่าคงที่ของการรวมตัว (association constant) เท่ากับ K และจำนวนของการรวมตัว (association number) เท่ากับ n ค่า K ของสมการ (6.6) มีค่าเป็นดังนี้

$$K = \frac{\alpha_0 C_0}{n(1-\alpha_0)^n C_0^n} \quad \dots\dots\dots (6.7)$$

เพราะฉะนั้น หากจัดเสียใหม่จะได้เป็น

$$(1-\alpha_0)C_0 = (\alpha_0 C_0/nK)^{1/n}$$

นำไปแทนค่าลงในสมการ (6.5) จะได้ว่า

$$D = \frac{(d_0 C_0/nK)^{1/n}}{C_w} \quad \dots\dots\dots (6.8)$$

หากคิดว่าโมเลกุลในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์เกิดการรวมตัวเกือบสมบูรณ์ ค่า α_0 ดังนั้น สมการ (6.8) ก็จะเหลือ

$$C_0^{1/n}/C_w = \text{ค่าคงที่ (K')} \quad \dots\dots\dots (6.9)$$

$$\text{หรือ } \log C_w = \frac{1}{n} \log C_0 - \log K' \quad \dots\dots\dots (6.10)$$

ซึ่งกราฟที่ได้จากการพลอตระหว่าง $\log c_w$ กับ $\log C_0$ จะเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/n$ จากค่าความชันของเส้นกราฟ ทำให้เราสามารถคำนวณหาจำนวนของการรวมตัว (n) ของตัวถูกละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้

อุปกรณ์และสารเคมี

| อุปกรณ์หลัก | สารเคมี |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| บีเกอร์ขนาด 600 ลบ.ซม | 1 ใบ สารละลายอิมิตัวของ - |
| บีเกอร์ขนาด 250 ลบ.ซม | 1 ใบ กรดเบนโซอิกในเบนซีน |
| กระบอกตวงขนาด 50 ลบ.ซม | 2 อัน เบนซีน |
| ขวดที่มีจุกปิดขนาด 150 ลบ.ซม | 6 ใบ น้ำกลั่นที่ปราศจาก CO_2 |
| พลาสติกรูปชมพู่ขนาด 250 ลบ.ซม | 12 ใบ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์ |
| บิวเรตขนาด 50 ลบ.ซม | 2 อัน ฟีนอลฟทาลีน |
| ปิเปตขนาด 5 ลบ.ซม | 1 อัน |
| ปิเปตขนาด 20 ลบ.ซม | 1 อัน |
| กระดาษฟีกา | 1 อัน |
| ลูกยางสำหรับสวมปิเปต | 1 ลูก |
| เตาไฟฟ้า | 1 เตา |

การทดลองที่ 6

วิธีทดลอง

- 6.1 เตรียมน้ำกลั่นที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ จำนวน 500 ลบ.ซม โดยต้มให้เดือดประมาณ 5 นาที ในบีเกอร์ขนาด 600 ลบ.ซม แล้วปิดปากบีเกอร์ด้วยกระดาษฟิวส์ ทำให้เย็นโดยผ่านน้ำที่ไหลจากก๊อก
- 6.2 ใช้กระบอกตวงตวงของเหลวตามตารางข้างล่างใส่ลงในขวดที่มีจุกปิดขนาด 150 ลบ.ซม จำนวน 6 ใบ ให้มีปริมาตรดังต่อไปนี้

| รายการของเหลว | ปริมาตรของเหลวในขวดหมายเลข | | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------|----|----|----|----|----|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| สารละลายอิมิตัวของกรดเบนโซอิกในเบนซีน | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | ลบ.ซม |
| เบนซีน | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | ลบ.ซม |
| น้ำกลั่น (ปราศจาก CO ₂) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | ลบ.ซม |

- 6.3 ปิดจุกขวดแล้วนำเข้าเครื่องเขย่าที่ปรับความถี่ของการเขย่าเอาไว้พอเหมาะเรียบร้อยแล้ว เปิดสวิทช์เครื่องให้เขย่านานเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง เพื่อให้ถึงสมดุลที่อุณหภูมิห้อง (ให้บันทึกอุณหภูมิห้องด้วย)
- 6.4 ตั้งขวดทิ้งไว้ต่อไปอีก 10 นาที เพื่อให้สารละลายแยกชั้น ในระหว่างนี้อาจหมุนขวดเบา ๆ บ้างเพื่อช่วยให้การแยกชั้นเกิดได้ดีขึ้น
- 6.5 ใช้ปิเปตที่แห้งดูดชั้นบน (ชั้นเบนซีน) 5 ลบ.ซม ใส่ลงในฟลาสก์รูปชมพู่ขนาด 250 ลบ.ซม เติมน้ำกลั่นที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ 20 ลบ.ซม (ใช้กระบอกตวงตวง) นำไปติเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ขณะติเตรต ให้เขย่าสารละลายในฟลาสก์แรง ๆ ด้วย
- 6.6 เมื่อถึงจุดยุติ ให้บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ และคำนวณหาปริมาตรของตัวที่ต้องใช้ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายชั้นเบนซีน 20 ลบ.ซม.
- 6.7 ดูดสารละลายชั้นล่าง (ชั้นน้ำ) 20 ลบ.ซม โดยใช้ปิเปตที่แห้ง ก่อนจุ่มปิเปตลงในขวด ให้ใช้นิ้วชี้อุดด้านบนของปิเปตจนกว่าปลายล่างของปิเปตจุ่มอยู่ในชั้นน้ำจึงปล่อยนิ้ว แล้วใช้ลูกยางสวมปิเปตดูดสารละลายขึ้นตามต้องการ ก่อนถ่ายสารละลายลงในฟลาสก์ต้องเช็ดด้านบนของปิเปตให้แห้ง เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีสารละลายชั้นเบนซีนติดปนลงในฟลาสก์ด้วย

การทดลองที่ 6

6.8 นำไปติเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์จนถึงจุดยุติ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการติเตรต

การวิเคราะห์ผล

เนื่องจากปริมาตรของด่างที่ใช้ในการติเตรตแปรผันตรงกับความเข้มข้นของกรดเบนโซอิก ดังนั้น ในการทดลองนี้ไม่จำเป็นต้องคำนวณหา C_0 และ C_w ของกรดเบนโซอิก แต่ใช้ V_0 และ V_w แทน C_0 และ C_w ตามลำดับ โดย

V_0 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ที่ใช้ติเตรตกับละลายชิ้นเบนซีน 20 ลบ.ซม

V_w = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ที่ใช้ติเตรตกับสารละลายชิ้นน้ำ 20 ลบ.ซม

หลังจากที่ได้ค่า V_0 และ V_w ให้นักศึกษาปฏิบัติดังนี้

- 6.1 หาอัตราส่วน V_0/V_w ของแต่ละขวด
- 6.2 พล็อตกราฟระหว่าง $\log V_w$ กับ $\log V_0$ แล้วหาค่าความชันของกราฟ
- 6.3 จากค่าความชันหาคำนวณหาจำนวนของการรวมตัว (n)
- 6.4 หาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของกรดเบนโซอิก โดยหาค่าเฉลี่ยของอัตราส่วน $V_0^{1/n}/V_w$ ของแต่ละขวด

คำถาม

- 6.1 อัตราส่วน V_0/V_w ของแต่ละขวดมีค่าเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด
- 6.2 จงบรรยายเกี่ยวกับสภาวะโมเลกุลของกรดเบนโซอิกในชิ้นเบนซีน
- 6.3 ตอนที่ติเตรตชิ้นเบนซีน ทำไมจึงต้องเขย่าสารละลายในฟลาสก์แรง ๆ
- 6.4 ทำไมต้องบันทึกอุณหภูมิห้องด้วย
- 6.5 ถ้าพิจารณาการแตกตัวของกรดเบนโซอิกในชิ้นน้ำด้วย สมการ (6.9) จะกลายเป็นอย่างไร

ใบรายการข้อมูลสำหรับการทดลองที่ ๘
เรื่อง สมดุลวิธีพันธุ

ชื่อนักศึกษา 1. รหัสประจำตัว 1.
2. รหัสประจำตัว
3. รหัสประจำตัว

กรุป ตอนที่

วันที่ทำการทดลอง

อุณหภูมิห้อง องศาเซลเซียส ความดันห้อง นิ้วปรอท

| ขวดที่ | ปริมาณ NaOH ที่ใช้เตรียมกับ | | V_o ลบ.ซม | V_w ลบ.ซม | V_o/V_w |
|--------|-----------------------------|------------------|----------------|----------------|-----------|
| | ชั้นเบนซีน 5 ลบ.ซม | ชั้นน้ำ 20 ลบ.ซม | | | |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |

ใบรายการข้อมูลสำหรับการทดลองที่ 6
เรื่อง สมดุลวิวิธพันธุ์

ชื่อนักศึกษา รหัสประจำตัว.....
 ชื่อผู้ร่วมงาน 1. รหัสประจำตัว.....
 2. รหัสประจำตัว.....
 กรู๊ป..... ตอนที่.....
 วันที่ทำการทดลอง.....
 อุณหภูมิห้อง..... องศาเซลเซียส ความดันห้อง..... นิวปรอท

| ขวดที่ | ปริมาตร NaOH ที่ใช้ติดเตรตกับ | | V _o ลบ.ซม | V _w ลบ.ซม | V _o /V _w |
|--------|-------------------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| | ชั้นเบนซีน 5 ลบ.ซม | ชั้นน้ำ 20 ลบ.ซม | | | |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |