

ปฏิบัติการที่ 4

การไทเทรตกรดเชิงซ้อน (1)

(Complex Acid Titration) (1)



วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดเชิงซ้อนซึ่งเป็นกรดผสม 2 ชนิด ที่มีความแรงไม่เท่ากัน

อุปกรณ์

1. บิวเรต (Burette) ขนาด 50 mL
2. ปิเปต (Volumetric pipette) ขนาด 10 mL
3. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 250 mL
4. ขวดฉีดน้ำกลั่น

สารเคมี

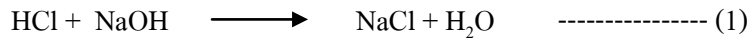
1. 0.010 M HCl
2. 0.010 M H_3PO_4
3. 0.050 M NaOH
4. Phenolphthalein
5. Bromogresol green

กรดเชิงซ้อน (Complex Acid) เป็นกรดที่มีหมู่ฟังก์ชัน (H^+) มากกว่าหนึ่ง หรือเป็นกรดผสมที่มีความแรงไม่เท่ากัน ในกรณีที่เป็นกรดผสม 2 ชนิด การไทเทรตกรดทั้งสองนั้น ค่าคงที่ของกรดทั้งสองต้องต่างกันอย่างน้อย 1000 เท่าขึ้นไป จึงจะเห็นจุดยุติแยกออกจากกันชัดเจน

กรดผสมที่มี H_3PO_4 ปนอยู่ด้วย จะมีโปรตอนตัวแรกที่เป็นแบบกรดแก่ ส่วนโปรตอนตัวที่สองจะเป็นกรดอ่อน และโปรตอนตัวที่สามอ่อนเกินไปที่จะหาจุดยุติได้ จึงเห็นจุดยุติเพียง 2 จุด เท่านั้น

ปฏิบัติการนี้เป็นกรดผสม ของ HCl กับ H_3PO_4 ซึ่งมีค่าคงที่ของการแตกตัวตามลำดับ คือ $K_{a1} = 1.1 \times 10^{-2}$ $K_{a2} = 7.5 \times 10^{-8}$ $K_{a3} = 4.8 \times 10^{-13}$ เนื่องจากการแตกตัวครั้งแรกมีค่า K_{a1} ค่อนข้างสูง H^+ จากการแตกตัวครั้งแรกจัดว่าเป็นกรดแก่ ที่จุดยุติแรกของการไทเทรตกรดผสมนี้จึงไม่สามารถแยก H^+ ของ HCl ออก

จาก H^+ ของ H_3PO_4 ได้ ดังนั้นจุดยุติแรกหมายถึงการไทเทรต HCl ทั้งหมด รวมกับ H_3PO_4 บางส่วนจากการแตกตัวครั้งที่ 1 ดังสมการ (2) สมมติใช้ $NaOH$ ไป X mL (แสดงในรูปที่ 4.1)



เนื่องจาก HCl เป็นกรดแก่กว่า จึงถูกทำปฏิกิริยาหมดก่อน และ H^+ (โปรตอนตัวแรก) ที่แตกตัวออกจาก H_3PO_4 จะถูกทำปฏิกิริยาต่อไป สารละลายจะมี pH เท่าไรที่จุดยุติแรกนี้ จึงขึ้นอยู่กับ $[H^+]$ ซึ่งหาได้จากค่าคงที่ของการแตกตัวของ H_3PO_4 ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ดังนี้

$$[H^+] = \sqrt{\frac{K_w + K_{a2}[H_2PO_4^-]}{1 + ([H_2PO_4^-]/K_{a1})}}$$

$$\text{หรือ } [H^+] = \sqrt{\frac{K_{a1}K_w + K_{a1}K_{a2}[H_2PO_4^-]}{K_{a1} + [H_2PO_4^-]}}$$

$$\text{หรือ } [H^+] = \sqrt{K_{a1}K_{a2}} \quad \text{โดยประมาณ}$$

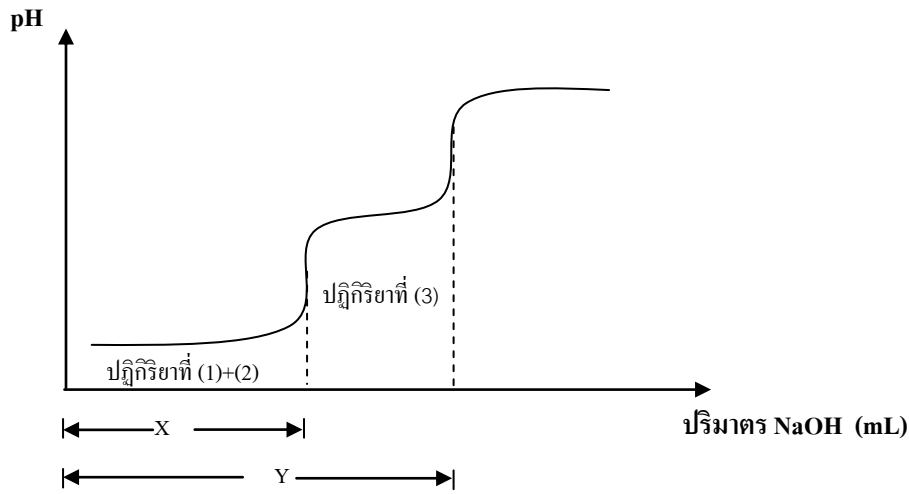
เมื่อไทเทรตต่อไป จนถึงจุดยุติที่ 2 สมมติใช้ $NaOH$ ไป Y mL (แสดงในกราฟที่ 4.1) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามสมการต่อไปนี้



และหา pH ที่จุดยุติที่ 2 จาก $[H^+]$ ซึ่งมาจากค่าคงที่ของการแตกตัวของ H_3PO_4 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ดังนี้

$$[H^+] = \sqrt{\frac{K_w + K_{a3}[HPO_4^{2-}]}{1 + ([HPO_4^{2-}]/K_{a2})}}$$

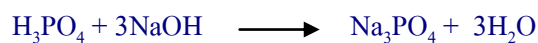
$$\text{หรือ } [H^+] = \sqrt{\frac{K_{a2}K_w + K_{a2}K_{a3}[HPO_4^{2-}]}{K_{a2} + [HPO_4^{2-}]}}$$



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟของการไทเทรตกรดผสม

ปริมาตร (X) mL เป็นปริมาตรของ NaOH ที่ทำปฏิกิริยากับโปรตอนที่แตกตัวครั้งที่ 1 ของ H_3PO_4 ร่วมกับ HCl ปริมาตร (Y-X) mL เป็นปริมาตรของ NaOH ที่ทำปฏิกิริยากับโปรตอนที่แตกตัวครั้งที่ 2 ของ H_3PO_4 เกิดเกลือ HPO_4^{2-} ในสมการ (3) ซึ่งเป็นโปรตอนที่แตกตัวในครั้งที่ 2 อย่างเดียวเท่านั้น และเท่ากับการแตกตัวครั้งที่ 1 ดังนั้น ปริมาตร (X)-(Y-X) mL จึงเป็นปริมาตรของ NaOH ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ HCl อย่างเดียวเท่านั้น

จำนวนมิลลิโมลของ HCl คำนวณได้จากปริมาตร X-(Y-X) mL และจำนวนมิลลิโมลของ H_3PO_4 คำนวณได้จากปริมาตร (Y-X) mL ซึ่งเป็นเพียง 1 ในการแตกตัว 3 ครั้ง **เพราะฉะนั้น จำนวนมิลลิโมลของ NaOH ที่ใช้ทำปฏิกิริยา จึงเป็น 3 เท่าของจำนวนมิลลิโมลที่คำนวณได้จากปริมาตร (Y-X) mL หรือ 3(Y-X) mL**



$$1 \text{ มิลลิโมล } H_3PO_4 = \frac{1}{3} \text{ มิลลิโมล NaOH}$$

ในการไทเทรตกรดเบส นิยมใช้อินดิเคเตอร์เพื่อบอกจุดยุติของการไทเทรต อินดิเคเตอร์ที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงอินดิเคเตอร์ที่เลือกใช้ในปฏิบัติการการไทเทรต

indicator	pH range	การเปลี่ยนแปลงสี
Phenolphthalein	8.3 - 10.0	ไม่มีสี - ชมพู
Bromocresol green	3.8 - 5.4	เหลือง - ฟ้า

วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 4.1 การหาจำนวนโมลของกรดผสม ($\text{HCl} + \text{H}_3\text{PO}_4$) ที่ทราบความเข้มข้น

- 4.1.1 ปิเปต 0.01 M HCl 10.00 mL และ $0.01\text{ M H}_3\text{PO}_4$ 10.00 mL ลงในขวดรูปชมพู่ เติมอินดิเคเตอร์ Bromocresol green 3-5 หยด
- 4.1.2 นำไปไทเทรตด้วย 0.05 M NaOH เมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมฟ้า บันทึกปริมาตรที่ใช้ไปเป็น X
- 4.1.3 นำสารละลายข้อ 4.1.2 มาเติมอินดิเคเตอร์ Phenolphthalein 3-5 หยด นำไปไทเทรตต่อด้วย 0.05 M NaOH สารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีคราม (สีฟ้า+สีชมพูอ่อน) บันทึกปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ไป เป็น Y
- 4.1.4 ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง
- 4.1.5 คำนวณจำนวนโมลของกรด HCl และ H_3PO_4 ในขวดรูปชมพู่จากปริมาตร NaOH ที่ใช้ไป และคำนวณ pH ที่จุดยุติแรก และจุดยุติที่ 2

การทดลองที่ 4.2 การหาจำนวนโมลของสารละลายตัวอย่างกรดผสม ($\text{HCl} + \text{H}_3\text{PO}_4$)

- 4.2.1 ปิเปต 10.00 mL สารละลายตัวอย่างกรดผสม ลงในขวดรูปชมพู่ เติมอินดิเคเตอร์ Bromocresol green 3-5 หยด
- 4.2.2 นำไปไทเทรตด้วย 0.05 M NaOH เมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมฟ้า (สีน้ำทะเล) บันทึกปริมาตรที่ใช้ไปเป็น X
- 4.2.3 นำสารละลายจากข้อ 4.2.2 มาเติมอินดิเคเตอร์ Phenolphthalein 3-5 หยด นำไปไทเทรตต่อด้วย 0.05 M NaOH จนสารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีคราม (สีฟ้า+สีชมพูอ่อน) บันทึกปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ไปเป็น Y
- 4.2.4 ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง
- 4.2.5 คำนวณจำนวนโมลของกรด HCl และ H_3PO_4 ในขวดรูปชมพู่ จากปริมาตร NaOH และคำนวณความเข้มข้นของกรด HCl และ H_3PO_4 ในหน่วย โมลาร์

ปฏิบัติการที่ 4

การไทเทรตกรดเชิงซ้อน (1)

(Complex Acid Titration) (1)

รหัสประจำตัว.....ชื่อ - สกุล.....

หมายเลขตู้.....วันที่ทำการทดลอง.....เวลา.....น.

การทดลองที่ 4.1 การหาจำนวนโมลของกรดผสมที่ทราบความเข้มข้น

ความเข้มข้นของ HCl _____ M จำนวน _____ mL

ความเข้มข้นของ H₃PO₄ _____ M จำนวน _____ mL

ความเข้มข้นของ NaOH _____ M ปริมาตรกรดผสม _____ mL

การทดลอง	ปริมาตรของ NaOH (mL)		มิลลิโมล HCl	มิลลิโมล H ₂ PO ₄ ⁻
	จุดยุติที่ 1	จุดยุติที่ 2		
ไทเทรตครั้งที่ 1	X =	Y =		
ไทเทรตครั้งที่ 2	X =	Y =		
ค่าเฉลี่ย				

แสดงวิธีการคำนวณจำนวนมิลลิโมล H ₃ PO ₄ , HCl	แสดงวิธีการคำนวณ pH ณ จุดยุติที่ 2
<p>ปริมาตร NaOH ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับโปรตอนของ H₃PO₄</p> <p>ณ จุดยุติที่ 2 = _____ mL</p> <p>จำนวนมิลลิโมล H₂PO₄⁻ = _____</p> <p>จำนวนมิลลิโมลของ H₃PO₄ = _____</p> <p>ความเข้มข้น H₃PO₄ ในกรดผสม = _____ M</p> <p>จำนวนมิลลิสมมูลของ H₃PO₄ = _____</p> <p>ปริมาตรของ NaOH ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ HCl = _____ mL</p> <p>จำนวนมิลลิโมล HCl = _____</p> <p>ความเข้มข้น HCl ในกรดผสม = _____ M</p>	<p>$[H_2PO_4^-] = \text{มิลลิโมล } H_2PO_4^- / \text{mL}$</p> $[H^+] = \sqrt{\frac{K_{a1}K_w + K_{a1}K_{a2}[H_2PO_4^-]}{K_{a1} + [H_2PO_4^-]}}$

การทดลองที่ 4.2 การหาจำนวนโมลของสารละลายตัวอย่างกรดผสม (HCl + H₃PO₄)

ความเข้มข้นของ NaOH _____ M ปริมาตรกรดผสม _____ mL

การทดลอง	ปริมาตรของ NaOH (mL)		มิลลิโมล HCl	มิลลิโมล HPO ₄ ²⁻
	จุดยุติที่ 1	จุดยุติที่ 2		
ไทเทรตครั้งที่ 1	X =	Y =		
ไทเทรตครั้งที่ 2	X =	Y =		
ค่าเฉลี่ย				

แสดงการคำนวณจำนวนมิลลิโมล H ₃ PO ₄ , HCl ในตัวอย่าง	แสดงวิธีการคำนวณ pH ณ จุดยุติที่ 2
ปริมาตร NaOH ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับโปรตอนของ H ₃ PO ₄ ณ จุดยุติที่ 2 = _____ mL จำนวนมิลลิโมล H ₂ PO ₄ ⁻ = _____ จำนวนมิลลิโมลของ H ₃ PO ₄ = _____ ความเข้มข้น H ₃ PO ₄ ในกรดผสม = _____ M จำนวนมิลลิสมมูลของ H ₃ PO ₄ = _____ ปริมาตรของ NaOH ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ HCl = _____ mL จำนวนมิลลิโมล HCl = _____ ความเข้มข้น HCl ในกรดผสม = _____ M	$[\text{HPO}_4^{2-}] = \text{มิลลิโมล HPO}_4^{2-} / \text{mL}$ $[\text{H}^+] = \sqrt{\frac{K_{a2}K_w + K_{a2}K_{a3}[\text{HPO}_4^{2-}]}{K_{a2} + [\text{HPO}_4^{2-}]}}$

จากจำนวนมิลลิโมล จงแสดงการคำนวณความเข้มข้น HCl ในตัวอย่างกรดผสม		จากจำนวนมิลลิโมล จงแสดงการคำนวณความเข้มข้น H ₃ PO ₄ ในตัวอย่างกรดผสม	
หน่วยโมลาร์ (M)	หน่วยนอร์มอล (N)	หน่วยโมลาร์ (M)	หน่วยนอร์มอล (N)
ความเข้มข้น M = มิลลิโมล / mL =	N = M x n =	ความเข้มข้น M = มิลลิโมล / mL =	N = M x n =

(ส่งภายในชั่วโมงปฏิบัติการ)