

ปฏิบัติการที่ 5

การไทเทรตกรดเชิงซ้อน (2)

(Complex Acid Titration) (2)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้รู้ลักษณะของปฏิกิริยาในแต่ละขั้นตอนระหว่างการไทเทรต
2. กำหนด pH จุดยุติ เพื่อเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม

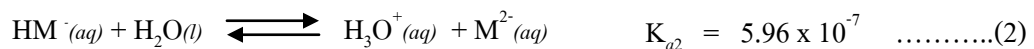
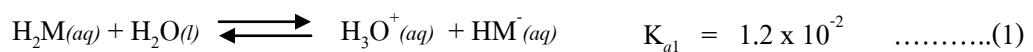
อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 mL
2. บิวเรต (Burette) ขนาด 50 mL
3. ปิเปต (Pipette) ขนาด 10 mL
4. กระจกตวง (Cylinder)
5. ขาตั้ง (Stand)
6. ที่จับบิวเรต (Burette clamp)
7. ขวดฉีดน้ำกลั่น (Washing bottle)
8. เครื่องวัดค่า พีเอช (pH meter)

สารเคมี

1. 0.0500 M Maleic acid
2. 0.10 M Sodium hydroxide
3. Bromocresol green
4. Phenolphthalein

กรด Maleic เป็นกรด Polyfunctional acid ที่สามารถแตกตัวได้มากกว่า 1 ครั้ง ดังนี้



จุดเริ่มต้น ก่อนการไทเทรตหา pH ของสารละลายกรดได้จากการแตกตัวของ H^+ จากปฏิกิริยาในสมการที่ 1

$$K_{a1} = \frac{[H^+][HM^-]}{[H_2M]}$$

เมื่อเริ่มไทเทรตด้วย NaOH สารละลายจะมีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ที่ประกอบด้วย H_2M กับ HM^- การหา pH หาได้จากปฏิกิริยาที่ 1 เนื่องจากค่าคงที่ของการแตกตัวมีค่ามากกว่า 10^{-3} ดังนั้นความเข้มข้นของ H_3O^+ จะมีความพอสมควร จึงต้องอาศัยสมการ Mass balance ของบัฟเฟอร์ และใช้ค่าคงที่ของการแตกตัวครั้งที่ 1 ดังนี้

$$[H_2M] = C_{H_2M} - [H^+] + [OH^-] \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$[HM^-] = C_{HM^-} + [H^+] - [OH^-] \quad \dots\dots\dots (4)$$

เมื่อ C_{H_2M} และ C_{HM^-} เป็นความเข้มข้นของ H_2M และ HM^- ตามลำดับ ในกรณีนี้เนื่องจากสารละลายเป็นกรดมาก ดังนั้น $[OH^-]$ มีค่าน้อยมากให้เป็นศูนย์ได้

$$K_{a1} = \frac{[H^+][HM^-]}{[H_2M]} \quad \dots\dots\dots (5)$$

แทนค่าสมการ (3) และ (4) ลงในสมการ (5)

$$K_{a1} = \frac{[H^+](C_{HM^-} + [H^+])}{C_{H_2M} - [H^+]} \quad \dots\dots\dots(6)$$

ก่อนจุดยุติ เมื่อรู้ความเข้มข้นของเกลือ HM^- (C_{HM^-}) ที่เกิดขึ้น นำไปแทนค่าในสมการ (6) จะหาค่า $[H^+]$ ได้และคำนวณค่า pH ได้

ณ จุดยุติจุดแรก เนื่องจากสารละลายเป็นสารละลายเกลือแอมโฟเทอริก (HM^-) การหา pH หาได้จากความสัมพันธ์ของค่าคงที่การแตกตัวทั้งสอง ดังนี้

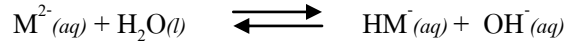
$$[H^+] = \sqrt{\frac{K_2 C_{HM^-}}{1 + C_{HM^-} / K_1}} = \sqrt{\frac{K_1 K_w + K_1 K_2 C_{HM^-}}{K_1 + C_{HM^-}}}$$

เมื่อเกินจุดยุติแรก สารละลายจะเป็นบัฟเฟอร์ใหม่ที่มีส่วนประกอบ HM^- กับ M^{2-} การหา pH อาศัยปฏิกิริยาในสมการ (2)

$$K_{a2} = \frac{[H^+][M^{2-}]}{[HM^-]}$$

หรือใช้สมการ Henderson $pH = pK_{a2} + \log \frac{C_{HA^-}}{C_{H_2A}}$

ณ จุดยุติที่สอง HM^- ทั้งหมดกลายเป็น M^{2-} และเกิด Hydrolysis



หา pOH จากค่าคงที่ของการ hydrolyzed

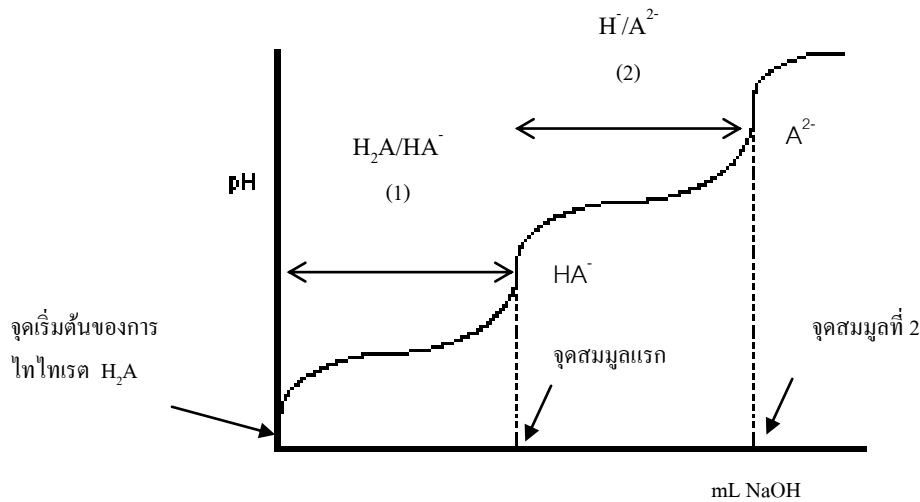
$$K_h = \frac{K_w}{K_a}$$

$$\frac{[OH^-][HM^-]}{[M^{2-}]} = \frac{K_w}{K_{a2}}$$

เมื่อ $[OH^-] = [HM^-]$ $\therefore [OH^-] = \sqrt{\frac{K_w}{K_{a2}} [M^{2-}]}$

$$pH = 14 - pOH$$

เมื่อไทเทรตเกินจุดยุติที่สอง การเปลี่ยนไปของ pH จะเนื่องมาจาก NaOH ที่เติมเกินมา



- (1) คือการเกิดสารละลายบัฟเฟอร์ในช่วงแรก
- (2) คือการเกิดสารละลายบัฟเฟอร์ในช่วงที่ 2

ในการไทเทรตกรดเบส นิยมใช้อินดิเคเตอร์เพื่อบอกจุดยุติของการไทเทรต อินดิเคเตอร์ที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ตารางที่ 5.1 อินดิเคเตอร์ที่เลือกใช้

อินดิเคเตอร์	ช่วง pH	การเปลี่ยนแปลงสี
Bromocresol green	3.8 – 5.4	เหลือง - ฟ้า
Methly red	4.4 – 6.3	แดง - ส้มอมเหลือง
Bromophenol red	5.2 – 6.8	ส้ม - ม่วง
Phenolphthalein	8.3 – 10.0	ไม่มีสี - ชมพู

วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 5.1 การไทเทรตหาจุดยุติที่ 1 และเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม

- 5.1.1 ปิเปต 10.00 mL 0.0500 M Maleic acid ลงไปในขวดรูปชมพู่ 3 ใบ
- 5.1.2 ใบที่ 1 หยด Bromocresol green ใบที่ 2 หยด Methly red และใบที่ 3 หยด Bromophenol red ลงไปอย่างละ 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์
- 5.1.3 นำไปไทเทรตกับสารละลาย 0.10 M NaOH เพื่อหาจุดยุติที่ 1 บันทึกปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ไป
- 5.1.4 ทำซ้ำครั้งที่ 2 ตั้งแต่ข้อ 5.1.1 – 5.1.4
- 5.1.5 คำนวณค่า pH ของสารละลาย ณ จุดยุติแรกจาก $[H^+] = \sqrt{\frac{K_2 C_{HM^-}}{1 + C_{HM^-} / K_1}}$ หรือ $[H^+] = \sqrt{\frac{k_1 \cdot K_w + K_1 \cdot k_2 [HM^-]}{K_1 + [HM^-]}}$

การทดลองที่ 5.2 การไทเทรตหาจุดยุติที่ 2

- 5.2.1 ปิเปต 10.00 mL 0.0500 M Maleic acid ลงในขวดรูปชมพู่
- 5.2.2 เติม Phenolphthalein ลงไป 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์
- 5.2.3 นำไปไทเทรตกับสารละลาย 0.10 M NaOH เมื่อถึงจุดยุติที่ 2 สารละลายจะเปลี่ยนสีชมพูอ่อนๆ บันทึกปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ไป
- 5.2.4 ทำซ้ำครั้งที่ 2 ตั้งแต่ข้อ 5.2.1 – 5.2.3
- 5.2.5 คำนวณค่า pH ของสารละลาย ณ จุดยุติที่ 2 จากการเกิด ไฮโดรไลซิส $[OH^-] = \sqrt{\frac{K_w}{K_{a2}} [M^{2-}]}$

ปฏิบัติการที่ 5

การไทเทรตกรดเชิงซ้อน (2)

(Complex acid Titration)

รหัสประจำตัว.....ชื่อ - สกุล.....
 หมายเลขตู้.....วันที่ทำการทดลอง.....เวลา.....น.

การทดลองที่ 5.1 การไทเทรตหาจุดยุติที่ 1

อินดิเคเตอร์	สีที่จุดยุติ	Maleic acid (mL)		NaOH (mL)		[HM ⁻]		ค่าเฉลี่ย [HM ⁻]	pH
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
Bromocresol green									
Methly red									
Bromophenol red									

แสดงวิธีคำนวณ pH ณ จุดยุติที่ 1 (ทางทฤษฎี)

$$H_2M + NaOH \longrightarrow \text{_____} + \text{_____}$$

มิลลิโมล HM⁻ = มิลลิโมล NaOH

$$(\quad)(\quad) = (\quad)(\quad)$$

ปริมาตร NaOH = _____ mL

ปริมาตรสารละลาย = _____ mL

$$[HM^-] =$$

$$=$$

$$[H^+] = \sqrt{\frac{k_1 \cdot K_w + K_1 \cdot k_2 [HM^-]}{K_1 + [HM^-]}}$$

=

pH =

อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับจุดยุติที่ 1 คือ _____

แสดงวิธีคำนวณ pH ณ จุดยุติที่ 1 (ทางปฏิบัติ)

จากข้อมูลการทดลอง 5.1

ปริมาตร NaOH = _____ mL

มิลลิโมล HM⁻ = มิลลิโมล NaOH

$$= (\quad)(\quad) = \text{_____}$$

ปริมาตรสารละลาย = _____ mL

$$[HM^-] =$$

$$=$$

$$[H^+] = \sqrt{\frac{k_1 \cdot K_w + K_1 \cdot k_2 [HM^-]}{K_1 + [HM^-]}}$$

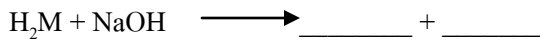
=

pH =

การทดลองที่ 5.2 การไทเทรตหาจุดยุติที่ 2

อินดิเคเตอร์	สีที่จุดยุติ	Maleic acid (mL)		NaOH (mL)		[M ²⁻]		เฉลี่ย [M ²⁻]
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
Phenolphthalein								

แสดงวิธีคำนวณ pH ณ จุดยุติที่ 2 (ทางทฤษฎี)



มิลลิโมล M²⁻ = มิลลิโมล NaOH

() () =

ปริมาตร NaOH = _____ mL

ปริมาตรสารละลาย = _____ mL

[M²⁻] =

$$[OH^-] = \sqrt{\frac{K_w}{K_2} [M^{2-}]} =$$

pH =

แสดงวิธีคำนวณ pH ณ จุดยุติที่ 2 (ทางปฏิบัติ)

จากข้อมูลการทดลอง 5.2

ปริมาตร NaOH = _____ mL

ปริมาตรสารละลาย = _____ mL

มิลลิโมล M²⁻ =

[M²⁻] =

$$[OH^-] = \sqrt{\frac{K_w}{K_2} [M^{2-}]} =$$

pH =

แสดงความผิดพลาด (% Relative error) จากการทดลองเมื่อเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่ไม่เหมาะสม

อินดิเคเตอร์ที่ไม่เหมาะสมสำหรับจุดยุติแรก คือ 1. _____ และ 2. _____

คำนวณ % Relative Error ของอินดิเคเตอร์ที่ไม่เหมาะสม ณ จุดยุติแรก

วิธีคำนวณ % Relative Error = $\frac{\bar{x} - x_i}{\bar{x}} \times 100$

ชื่ออินดิเคเตอร์ _____

เมื่อ \bar{x} = pH ของอินดิเคเตอร์ที่ถูกต้อง

x_i = pH ของอินดิเคเตอร์ที่ไม่ถูกต้อง

ชื่ออินดิเคเตอร์ _____

(ส่งภายในชั่วโมงปฏิบัติการ)