การทดลองที่ 11
การไทเทรตปฏิกิริยากรด-เบส (Acid-base titration)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการไทเทรตปฏิกิริยากรดกับเบส
2. เพื่อคำนวณค่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

หลักการ

การไทเทรต (Titration) คือกระบวนการการหาความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการทราบค่าความเข้มข้น (Unknown) โดยวิธีใช้สารละลายมาตรฐาน (Standard) ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนให้ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารที่บรรจุในบิวเรต เรียกว่า ตัวไทเทรต หรือไทแทรนต์ (Titrant) กับสารละลายที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ เรียกว่า ตัวถูกไทเทรต หรือไทแทรนด์ (Titrand / Analyte) [1]

การไทเทรตมีหลายชนิดปฏิกิริยา โดยแบ่งตามชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้ [2]

1) การไทเทรตปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบส (Acid-base titration)
2) การไทเทรตแบบตกตะกอน (Precipitation titration)
3) การไทเทรตปฏิกิริยาสารประกอบเชิงซ้อน (Complexometric titration / Complex-formation titration)
4) การไทเทรตปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือปฏิกิริยารีดอกซ์ (Oxidation-reduction titration / Redox titration)

CATRE LAB

กระบวนการไทเทรตใช้กับสารเคมีต่างๆ ได้หลากหลาย แต่ในการทดลองนี้จะกล่าวถึงกลุ่มของสารจำพวกกรดและเบสเท่านั้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการไทเทรตระหว่างกรด-เบส ก็คือปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบสในรูปแบบต่างๆ ประกอบด้วย กรดแก่ + เบสแก่ หรือกรดแก่ + เบสอ่อน หรือกรดอ่อน + เบสแก่ หรือกรดอ่อน + เบสอ่อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงเป็น เกลือ + น้ำ แต่เกลืออาจจะมีสมบัติเป็นกลาง หรือเป็นกรดอ่อน หรือเป็นเบสอ่อน ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดหรือเบสที่ทำการไทเทรตกัน [3]

กรด (Acid) คือสารที่มีคุณสมบัติให้โปรตอนไฮโดรเจน (H^+) หรือไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) เมื่อละลายในน้ำ กรดมักมีสัญลักษณ์ H หรือไฮโดรเจน เช่น HCl (กรดไฮโดรคลอริก) เป็นต้น และค่า pH สำหรับกรดจะน้อยกว่า 7 ในขณะที่เบส (Base) คือสารที่มีคุณสมบัติให้ไฮดรอกไซด์ (OH^-) เมื่อละลายในน้ำ เบสมักมีสัญลักษณ์ OH เช่น NaOH (โซเดียมไฮดรอกไซด์) เป็นต้น และค่า pH สำหรับเบสจะมากกว่า 7 [4] ทั้งนี้นิยามของกรด-เบสมีอยู่หลากหลาย โดยนิยามที่ใช้มากคือ นิยามของอาร์เรเนียส และนิยามของเบรินสเตด-ลาวรี

การไทเทรตปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบส (Acid-base titration) จึงเป็นการนำสารละลายกรดหรือเบสตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณ (Unknown) มาทำการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน (Standard) ที่ทราบทั้งชนิดและความเข้มข้น เช่น Potassium hydrogen phthalate (KHP) หรือ Sodium hydroxide (NaOH) ซึ่งเป็นสารละลายที่ต้องเตรียมขึ้นมาก่อน กล่าวคือถ้าสารละลายตัวอย่างเป็นสารละลายกรด ก็ต้องใช้สารละลายมาตรฐานเป็นเบส นำมาทำการไทเทรต แล้วบันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาพอดีกัน จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณของสารตัวอย่างต่อไป หรือทางตรงกันข้าม ถ้าใช้สารละลายตัวอย่างเป็นเบส ก็ต้องใช้สารละลายมาตรฐานเป็นกรด ซึ่งการไทเทรตจะใช้อินดิเคเตอร์ (Indicator) เพื่อเป็นตัวสังเกตว่าควรยุติการไทเทรต ณ เวลาใด โดยดูจากการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ที่เกิดขึ้นระหว่างการไทเทรตเรียกว่า จุดยุติ (End point) [5, 6] เช่น

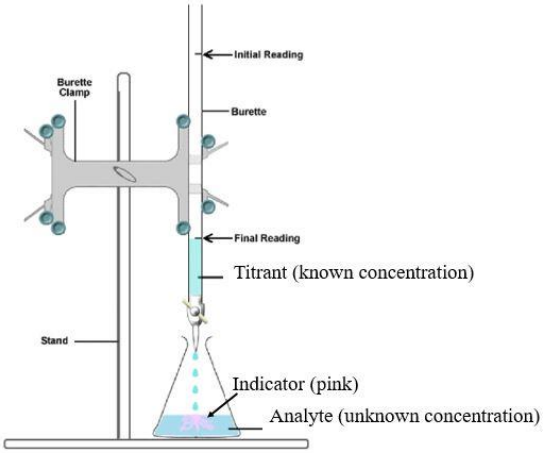
อินดิเคเตอร์ (Indicator)	**ช่วง pH ที่เปลี่ยนสี**	**สีของอินดิเคเตอร์เมื่อสารละลายมี pH**		
		น้อยกว่าช่วงเปลี่ยนสี	**เท่ากับช่วงเปลี่ยนสี**	**มากกว่าช่วงเปลี่ยนสี**
Phenolphthalein	8.0 – 9.6	ใส (ไม่มีสี)	ชมพู	ชมพูเข้ม
Methyl red	4.8 – 6.0	แดง	ส้ม	เหลือง
Bromothymol blue	6.0 – 7.6	เหลือง	เขียว	น้ำเงิน

การไทเทรต (Titration) จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า บิวเรต (Burette) ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดปริมาตรที่มีขีดบอกปริมาตรต่างๆ และมีก๊อกสำหรับเปิด-ปิด เรียกว่า Stopcock เพื่อควบคุมการไหลของของสารละลาย บิวเรตมีขนาดตั้งแต่ 10 mL จนถึง 100 mL บิวเรตสามารถวัดปริมาตรได้อย่างใกล้เคียงความจริงมากที่สุด แต่ยังมีความผิดพลาดอยู่เล็กน้อย โดยขึ้นอยู่กับขนาดของบิวเรต สำหรับวิธีการไทเทรตมีวิธีปฏิบัติคร่าวๆ ดังนี้ [7]

1) ล้างบิวเรตให้สะอาด
2) ซะล้างบิวเรตด้วยสารละลายที่จะใช้บรรจุ แล้วไขให้สารละลายไหลออกทางปลายบิวเรต
3) เทสารละลายลงในบิวเรตโดยผ่านทางกรวยกรอง ให้มีปริมาตร เหนือขีดศูนย์เล็กน้อย แล้วเปิดก๊อกให้ สารละลายไหลออกทางปลายบิวเรต เพื่อปรับให้ปริมาตรของสารละลาย อยู่ที่ขีดศูนย์พอดี การปรับปริมาตรควรทำในระดับสายตา (บริเวณปลายบิวเรตจะต้องไม่มีฟองอากาศ หากมีฟองอากาศจะต้องเปิดก๊อกให้ สารละลายไล่อากาศออกไปจนหมด)
4) การจับปลายบิวเรตและการจับขวดรูปชมพู่ขณะไทเทรต ใช้มือที่ไม่ถนัดจับ Stopcock เพื่อเปิดก๊อกให้สารละลายไหล และมืออีกข้างจับขวดรูปชมพู่พร้อมกวนสารละลายแบบวงกลมตลอดเวลา
5) ค่อยๆ หมุนปิด Stopcock เมื่อใกล้ถึงจุดยุติเพื่อสารละลาย ไหลออกมาทีละหยด เพื่อไม่ให้เกิดจุดยุติ และต้องปิด Stopcock ทันที เมื่อถึงจุดยุติ ในกรณีที่ไทเทรตจะเกือบหมดบิวเรต

แต่ยังไม่ถึงจุดยุติ อย่าปล่อยให้สารละลายเลยขีดบอกปริมาตรสุดท้ายลงมา จะทำให้ไม่ทราบปริมาตรที่แน่นอนได้

6) ถ้าปลายบิวเรตรั่วซึม โดยสารละลายไม่ได้ไหลออกทางปลาย บิวเรตเพียงด้านเดียว ให้หยุดไทเทรตและเปลี่ยนบิวเรตทันที
7) การไทเทรตโดยทั่วไปต้องทำอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วจึงหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 11.1 การไทเทรต [1]

ในการทดลองนี้เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณกรด (HA) โดยวิธีไทเทรตของปฏิกิริยากรด-เบส โดยใช้สารละลาย NaOH เป็นตัวไทเทรต เป็นวิธีการนำสารละลายของกรดมาเติมอินดิเคเตอร์อย่างฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein indicator; pp) เป็นอินดิเคเตอร์ แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลาย NaOH ก่อนถึงจุดสมมูลจะมี HA เหลืออยู่และอินดิเคเตอร์จะแสดงสีใสที่อยู่ในรูปกรด หลังจากเติม NaOH ลงไป HA จะทำปฏิกิริยาและทำให้เกิด NaA จนกระทั่ง HA ถูกเปลี่ยนเป็น NaA หมดพอดี ที่จุดนี้เรียกว่า จุดสมมูล (Equivalent point) ถ้าเติม NaOH ลงไปอีกเล็กน้อยก็จะทำให้สารละลายที่ได้เป็นเบส ซึ่งทำให้สีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนไปเป็นสีชมพูอ่อนที่อยู่ในรูปเบส การคำนวณปริมาณกรดจะคำนวณตามปริมาณสัมพันธ์ระหว่างกรดและเบส [7] ดัง**รูปที่ 11.2** และปฏิกิริยา

$$CH_3COOH + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + H_2O$$

รูปที่ 11.2 สีของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อหยดอินดิเคเตอร์ (Phenolphthalein) ณ สภาวะกรด เบส และสภาวะสมดุล [1]

สำหรับกรด (HA) ในการทดลองนี้เป็นการใช้กรดในน้ำส้มสายชูกลั่น ซึ่งเป็นน้ำส้มสายชูที่ผลิตขายในท้องตลาดโดยมีอยู่ 2 ประเภทคือ

1) น้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักพวกพืชตามวิธีโภชนาศาสตร์ ซึ่งจะมีกรดแอซีติก (Acetic acid; CH_3COOH) เป็นองค์ประกอบใหญ่และมีสารอินทรีย์อื่นๆ เจือปนอยู่
2) น้ำส้มสายชูที่ได้จากการนำกรดแอซีติกที่บริสุทธิ์มาทำการเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร [8]

การคำนวณ (%น้ำหนักต่อปริมาตรในน้ำส้มสายชูตัวอย่าง) [7]

ปฏิกิริยาที่ใช้ในการคำนวณ

$$CH_3COOH + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + H_2O$$

จากปฏิกิริยา 1 โมล NaOH $\equiv$ 1 โมล CH_3COOH

เมื่อ V_1 = ปริมาตรของสารละลาย NaOH (mL)

V_2 = ปริมาตรของสารละลายน้ำส้มสายชู (mL)

M_1 = ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (mol/L)

M_2 = ความเข้มข้นของสารละลาย CH_3COOH (mol/L)

จำนวนโมลของ NaOH = $M_1V_1 \times 10^{-3}$

ดังนั้น สารละลายน้ำส้มสายชูตัวอย่างเจือจางปริมาตร V_2 จะมี CH_3COOH เท่ากับจำนวนโมลของ NaOH ในสารละลายน้ำส้มสายชูตัวอย่างเริ่มต้นจะมี CH_3COOH เท่ากับ

$$\%CH_3COOH = \frac{M_1V_1 x10^{-3}}{V_2} \times MW_{CH_3COOH} \times \frac{250\ ml}{25.0\ ml} \times 100$$

อุปกรณ์

1. บิวเรต 50.00 mL
2. ขวดรูปชมพู่ 250 mL (Erlenmeyer flask)
3. แท่งแก้ว (Stirring rod)
4. บีกเกอร์ ขนาด 50, 100, 250 mL
5. ขวดปรับปริมาตร 250, 500 mL (Volumetric flask)
6. ปิเปต 25.00, 10.00 mL (Volumetric pipette)
7. เครื่องควบคุมการดูดจ่ายของสารละลาย (Pipette controller)

สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1M (0.1M NaOH)
2. ฟีนอล์ฟทาลีน 0.1%w/v (Phenolphthalein)
3. น้ำส้มสายชูตัวอย่าง (Vinegar)

วิธีการทดลอง

การเตรียมสารละลาย 0.1M NaOH ปริมาตร 500 mL

1. ชั่ง NaOH ประมาณ 2.XXXX g ละลายด้วยน้ำกลั่น
2. ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 500 mL แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
3. บรรจุลงในบิวเรตปริมาตร 50.00 mL

การเตรียมสารละลายน้ำส้มสายชูตัวอย่าง

1. ปิเปตน้ำส้มสายชูตัวอย่างปริมาตร 25.00 mL ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 mL
2. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

การไทเทรตหาปริมาณกรด (%น้ำหนักต่อปริมาตร) ในน้ำส้มสายชูตัวอย่าง

1. ปิเปตสารละลายน้ำส้มสายชูตัวอย่าง ปริมาตร 10.00 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 250 mL
2. หยดฟีนอล์ฟทาลีน 5-6 หยด
3. นำไปไทเทรตกับสารละลาย NaOH จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อนอย่างถาวร จดปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้
4. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง
5. คำนวณ %น้ำหนักต่อปริมาตรในน้ำส้มสายชูตัวอย่าง

CATRE LAB

<u>รายงานผลการทดลองที่ 11 การไทเทรตปฏิกิริยากรด-เบส (Acid-base titration)</u>

จากปฏิกิริยา $CH_3COOH + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + H_2O$

ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่ใช้ 0.1 mol/L

%น้ำหนักต่อปริมาตรในน้ำส้มสายชูตัวอย่าง 5.69 %w/v

ปริมาตรสารละลายตัวอย่าง 10.00 mL

รายการ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ปริมาตรสารละลาย NaOH ก่อนเริ่มการไทเทรต (mL)	50.00	50.00	50.00
ปริมาตรสารละลาย NaOH หลังสิ้นสุดการไทเทรต(mL)	39.00	41.50	42.50
ปริมาตรสารละลาย NaOH ที่ใช้ไป (mL)	11.00	8.50	7.50
ปริมาตรสารละลาย NaOH ที่ใช้ไป เฉลี่ย (mL)	9.00		

การคำนวณ %น้ำหนักต่อปริมาตรในน้ำส้มสายชูตัวอย่าง

ความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต = $\frac{2.1059\ \text{g}}{500\ \text{mL}} \times \frac{1\ \text{mol}}{40\ \text{g}} \times \frac{1000\ \text{mL}}{\text{L}}$ = 0.1 mol/L

จากสูตร %น้ำหนักต่อปริมาตรในน้ำส้มสายชูตัวอย่าง จะได้

$$\%CH_3COOH = \frac{M_1V_1x10^{-3}}{V_2} \times MW_{CH_3COOH} \times \frac{250\ \text{mL}}{25.0\ \text{mL}} \times 100$$

$$\%CH_3COOH = \frac{0.10 \times 9.00 \times 10^{-3}}{10.00} \times 60 \times \frac{250\ \text{mL}}{25.00\ \text{mL}} \times 100 = 5.4\ \%w/v$$

ดังนั้น ในสารละลายน้ำส้มสายชูตัวอย่างจะมี CH_3COOH อยู่ 5.4 %w/v

Percentage error

$$\%Error = \left| \frac{\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง - ค่าจากทฤษฎี}}{\text{ค่าจากทฤษฎี}} \right| \times 100$$

$$\%Error = \left| \frac{5.40\text{-}5.00}{5.00} \right| \times 100 = 8\%$$

<u>สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง</u>

จากการทดลองการไทเทรตปฏิกิริยากรด-เบส เพื่อศึกษาวิธีการไทเทรตและคำนวณค่าความเข้มข้นที่แน่นอนของน้ำส้มสายชูตัวอย่าง โดยใช้สารละลายมาตรฐานอย่าง NaOH เป็นไทแทรนต์ (Titrant) มีความเข้มข้นอยู่ที่ 0.10M ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำส้มสายชูเจือจาง 10 เท่า ปริมาตร 10.00 mL ที่เป็นไทแทรนด์ (Titrand) และใช้ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein indicator; pp) เป็นอินดิเคเตอร์ เพื่อเป็นตัวสังเกตว่าควรยุติการไทเทรต ณ เวลาใด โดยดูจากการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อนอย่างถาวร

ฉะนั้นจะมีกรดแอซีติก (CH_3COOH) ในสารละลายน้ำส้มสายชูตัวอย่างเท่ากับ 5.4 %w/v ทั้งนี้อาจมีข้อผิดพลาด หรือความคาดเคลื่อนเกิดขึ้น เนื่องจากการไปเทรตจะต้องอาศัยความแม่นยำในการหยุดการไทเทรต ณ ขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอย่างถาวร ส่งผลให้เกิดการหยุดการไทเทรตที่ช้าไป ทำให้ปริมาตรหลังการไทเทรตมีมากขึ้น ทำให้ค่ากรดแอซิตริกในน้ำส้มสายชูอาจคาดเคลื่อนร้อยละ 8 จากฉลากบรรจุภัณฑ์ไป

CATRE LAB

อ้างอิง

[1] R. Belford, “Acid-Base Titrations,” Chemistry LibreTexts, 2021. [Online]. Available: https://chem.libretexts.org/Courses/University_of_Arkansas_Little_Rock/Chem_1403%3A_General_Chemistry_2/Text/17%3A_Aqueous_Equilibria/17.03%3A_Acid-Base_Titrations. [Accessed 19 10 2023].

[2] มหาวิทยาลัยมหิดล, การไทเทรตกรด-เบส (Acid-base titration).

[3] โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา พุทธมณฑล, “กรด-เบส ตอนที่ 5 การไทรเทรตกรด-เบส,” 12 8 2013. [Online]. Available: http://www.satriwit3.ac.th/external_newsblog.php?links=1594. [Accessed 19 10 2023].

[4] ณปภัช พิมพ์ดี, “กรด-เบส,” คลังความรู้ SciMath, 26 5 2560. [Online]. Available: https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7071-2017-05-26-15-16-15. [Accessed 19 10 2566].

[5] ณัฐชนน จริยานุรัตน์, “กรด-เบส,” *สรุปเคมี A-LEVEL*, กรุงเทพ, จริยานุรัตน์ ณัฐชนน, 2566, p. 41.

[6] ชุติมา ศรีวิบูลย์, “การไทเทรตกรด - เบส,” *เคมีวิเคราะห์ 1 CMS2303 (CM233)* , สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2018, p. 121.

[7] วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, “การทดลองที่ 12 การไทเทรตปฏิกิริยากรด-เบส,” 23 5 2020. [Online]. Available: https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=308. [Accessed 24 8 2023].

[8] กองส่งเสริมความรอบรู้และสื่อสารสุขภาพ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, “รู้ทัน...น้ำส้มสายชู,” กองส่งเสริมความรอบรู้และสื่อสารสุขภาพ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 17 9 2562. [Online]. Available: https://multimedia.anamai.moph.go.th/help-knowledgs/vinegar/. [Accessed 19 10 2563].

CATRE LAB