บทที่ 10

การวิเคราะห์หาปริมาณ

ก. ไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนตในสารละลายผสม

ข. ไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในสารละลายผสม

วัตถุประสงค์ เมื่อทำปฏิบัติการทดลองนี้จบแล้วควรจะสามารถ

1. วิเคราะห์หาปริมาณไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนตในสารละลายผสมได้ทั้ง 2 วิธี
2. วิเคราะห์หาปริมาณไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในสารละลายผสมได้ทั้ง 2 วิธี
3. เขียนขั้นตอนของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการไทเทรตได้
4. บอกข้อแตกต่างของการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ เมธิลออเรนจ์ และฟีนอลพทาลีนในการไทเทรตของการทดลองบทนี้ได้
5. คำนวณหาความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนตในสารละลายผสม
6. คำนวณหาความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในสารละลายผสม

บทที่ 10
การวิเคราะห์หาปริมาณ
ก. ไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนตในสารละลายผสม
ข. ไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในสารละลายผสม

ในการทดลองบทที่ 10 นี้ ยังคงเกี่ยวข้องกับการไทเทรต กรด-เบส เช่นเดียวกับการทดลองบทที่ 9 จากความรู้ที่นักศึกษาได้เรียนมาแล้วในบทที่ 9 จะทำให้สามารถเข้าใจหลักการวิเคราะห์สารละลายผสมทั้ง 2 ชนิดในบทนี้ได้ดีขึ้น เนื่องจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยากรด-เบส และการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ได้ถูกกล่าวไว้แล้วในบทที่ 9 ดังนั้นในบทนี้จึงขอกล่าวถึงส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทดลองวิเคราะห์สารผสม 2 ชนิดนี้เท่านั้น

1. การวิเคราะห์หาปริมาณไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนตในสารละลายผสม

การวิเคราะห์สามารถทำได้ 2 วิธี และแต่ละวิธีมี 2 ขั้นตอน ดังนี้คือ

วิธีที่ 1 ตอนที่ 1 นำสารละลายตัวอย่างผสมของคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์มาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดเกลือโดยใช้เมธิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์ ผลที่ได้คือ กรดจะทำปฏิกิริยาพอดีกับคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์ ทั้งหมดในสารละลาย ดังนี้

$$OH^- + H^+ \rightarrow H_2O$$

$$CO_3^= + 2H^+ \rightarrow H_2CO_3$$

นั่นคือ

$$\text{mole HCl} = \text{mole } OH^- + 2\text{mole } CO_3^= \qquad \ldots\ldots\ldots (10.1)$$

ถ้าปริมาตรของกรดที่ใช้ไปในการไทเทรตเท่ากับ V ลบ.ซม.

$$\therefore \quad \frac{V \times M_{HCl}}{1{,}000} = \text{mole } OH^- + 2\text{mole } CO_3^= \qquad \ldots\ldots\ldots (10.2)$$

วิธีที่ 1 ตอนที่ 2 นำสารละลายตัวอย่างมาตกตะกอนคาร์บอเนต โดยเติมแบเรียมคลอไรด์จะได้ตะกอนขาวของแบเรียมคาร์บอเนต หลังจากนั้นไทเทรตสารละลายด้วยสารละลายมาตรฐานกรดเกลือโดยใช้ฟีนอลพทาลีน เป็นอินดิเคเตอร์ ผลที่ได้คือ กรดเกลือจะทำปฏิกิริยาพอดีกับไฮดรอกไซด์ในสารละลายตัวอย่าง

$$\text{mole HCl} = \text{mole } OH^- \qquad \ldots\ldots\ldots (10.3)$$

ถ้าปริมาตรของกรดเกลือที่ใช้ไปมีค่าเท่ากับ X ลบ.ซม. จะได้

$$\frac{X \times M_{HCl}}{1,000} = \text{mole } OH^- \qquad \ldots\ldots\ldots (10.4)$$

สมการที่ (10.2) – (10.4)

$$\frac{V \times M_{HCl}}{1,000} - \frac{X \times M_{HCl}}{1,000} = 2\text{mole } CO_3^=$$

$$\therefore \quad \frac{(V-X)}{2}\frac{M_{HCl}}{1000} = \text{mole } CO_3^= \qquad \ldots\ldots\ldots (10.5)$$

วิธีที่ 2 ตอนที่ 1 ทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีที่ 1 ตอนที่ 1 ผลการทดลองที่ได้ คือ สมการที่ 10.1

วิธีที่ 2 ตอนที่ 2 นำสารละลายตัวอย่างผสมมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ โดยใช้ฟีนอลพทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ผลที่ได้คือ กรดจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ ที่มีอยู่ทั้งหมด และคาร์บอเนต โดยเกิดปฏิกิริยาให้ไบคาร์บอเนตเท่านั้น ทั้งนี้เพราะการใช้ฟีนอลพทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีได้ เมื่อสารละลายเป็นสารละลายของไบคาร์บอเนต ซึ่งมี pH ประมาณ 8.3

$$OH^- + H^+ \rightarrow H_2O$$

$$CO_3^= + H^+ \rightarrow HCO_3^-$$

นั่นคือ $$\text{mole HCl} = \text{mole } OH^- + \text{mole } CO_3^= \qquad \ldots\ldots\ldots (10.6)$$

ถ้าปริมาตรของกรดที่ใช้ไปในการไทเทรตเท่ากับ Y ลบ.ซม. จะได้

$$\frac{Y \times M_{HCl}}{1,000} = \text{mole } OH^- + \text{mole } CO_3^= \qquad \ldots\ldots\ldots (10.7)$$

สมการที่ (10.2) – (10.7)

$$\frac{(V-Y) \times M_{HCl}}{1,000} = \text{mole } CO_3^= \qquad \ldots\ldots\ldots (10.8)$$

แทนค่าสมการที่ 10.8 ลงในสมการที่ 10.7 จะได้

$$\frac{(2Y - V) \times M_{HCl}}{1,000} = \text{mole } OH^- \quad \ldots\ldots\ldots (10.9)$$

2. การวิเคราะห์หาปริมาณไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในสารละลายผสม

การวิเคราะห์สามารถทำได้ 2 วิธี และแต่ละวิธีมี 2 ขั้นตอนเช่นกัน ซึ่งแต่ละวิธีมีวิธีการคล้ายคลึงกับการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอเนตผสมกับไฮดรอกไซด์ จะแตกต่างกันที่วิธีที่ 1 ตอนที่ 2 เท่านั้น

วิธีที่ 1 ตอนที่ 1 นำสารละลายตัวอย่างผสมของไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ โดยใช้เมธิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์ ผลที่ได้คือกรดจะทำปฏิกิริยาพอดีกับไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนต ดังนี้

$$HCO_3^- + H^+ \rightarrow H_2CO_3$$

$$CO_3^{=} + 2H^+ \rightarrow H_2CO_3$$

นั่นคือ $\text{mole HCl} = \text{mole } HCO_3^- + 2\text{mole } CO_3^{=}$ ..... (10.10)

ถ้าให้ปริมาตรของกรด HCl ที่ใช้ในการไทเทรตมีค่าเท่ากับ a ลบ.ซม.

$$\therefore \quad \frac{a \times M_{HCl}}{1,000} = \text{mole } HCO_3^- + 2\text{mole } CO_3^{=} \quad \ldots\ldots\ldots (10.11)$$

วิธีที่ 1 ตอนที่ 2 นำสารละลายผสมมาเติมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้มากเกินพอโดยให้ทราบปริมาตรแน่นอน (เช่น เติมไป = m ลบ.ซม.) สารละลายมาตรฐาน NaOH จะทำปฏิกิริยากับไบคาร์บอเนตได้คาร์บอเนตเกิดขึ้น

$$HCO_3^- + OH^- \rightarrow H_2O + CO_3^{=}$$

จากนั้น ตกตะกอนคาร์บอเนตที่มีอยู่ทั้งหมด ($CO_3^{=}$ ที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง + คาร์บอเนตที่เกิดจากไบคาร์บอเนต) ด้วยสารละลายแบเรียมคลอไรด์ แล้วไทเทรตสารละลายด้วยสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ โดยใช้ฟีนอลพทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ (สมมติว่าใช้ HCl ไปเท่ากับ n ลบ.ซม.) ผลที่ได้จากการไทเทรตคือ ปริมาณของ HCl ที่ใช้ไปจะเท่ากับปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่วนที่เหลือจากทำปฏิกิริยากับไบคาร์บอเนต นั่นคือ

$$\text{mole } OH^- = \text{mole } HCO_3^- + \text{mole HCl} \quad \text{..... (10.12)}$$

$$\text{mole } HCO_3^- = \text{mole } OH^- - \text{mole HCl}$$

$$= \frac{m \times M_{NaOH}}{1{,}000} - \frac{n \times M_{HCl}}{1{,}000} \quad \text{..... (10.13)}$$

แทนค่าสมการที่ 10.13 ลงในสมการที่ 10.11

$$\frac{a \times M_{HCl}}{1{,}000} = \frac{m \times M_{NaOH}}{1{,}000} - \frac{n \times M_{HCl}}{1{,}000} + 2\text{mole } CO_3^=$$

$$2\text{mole } CO_3^= = \frac{(a+n) \times M_{HCl}}{1{,}000} - \frac{m \times M_{NaOH}}{1{,}000} \quad \text{..... (10.14)}$$

วิธีที่ 2 ตอนที่ 1 ทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีที่ 1 ตอนที่ 1 ผลของการทดลองที่ได้คือ สมการที่ 10.11

วิธีที่ 2 ตอนที่ 2 นำสารละลายตัวอย่างผสม มาทำการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ โดยใช้ฟีนอลพทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ผลที่ได้คือ กรดเกลือจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอเนตให้ไบคาร์บอเนตเท่านั้น ทั้งนี้ เพราะสารละลายไบคาร์บอเนตที่เกิดขึ้น จะมี pH อยู่ในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของฟีนอลพทาลีนพอดี

$$CO_3^= + H^+ \rightarrow HCO_3^- + H_2O$$

นั่นคือ $\text{mole HCl} = \text{mole } CO_3^=$ ..... (10.15)

ถ้าให้ปริมาตรของกรดที่ใช้ไป = b ลบ.ซม. จะได้

$$\frac{b \times M_{HCl}}{1{,}000} = \text{mole } CO_3^= \quad \text{..... (10.16)}$$

แทนค่าสมการที่ (10.16) ลงในสมการ (10.11)

$$\frac{a \times M_{HCl}}{1{,}000} = \text{mole } HCO_3^- + \frac{2 \times b \times M_{HCl}}{1{,}000}$$

$$\therefore \frac{(a-2b) \times M_{HCl}}{1{,}000} = \text{mole } HCO_3^- \quad \text{..... (10.17)}$$

จากวิธีการหาปริมาณสารตัวอย่างในสารละลายผสมทั้งสองชนิดที่กล่าวมา จะเห็นได้ชัดเจนว่าอินดิเคเตอร์มีผลต่อการไทเทรต ในการทดลองวิธีที่ 2 จะมีวิธีการวิเคราะห์แบบเดียวกันทั้ง 2 ตอน แตกต่างกันที่อินดิเคเตอร์ ปรากฏว่าจะให้ผลที่สามารถคำนวณหาปริมาณของสารที่สนใจในสารผสมได้

ปฏิบัติการทดลอง

การทดลองสามารถทำได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เตรียมสารเคมีและอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดลอง

1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

ก. กรดเกลือเข้มข้น

ข. โซเดียมไฮดรอกไซด์

ค. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต

ง. สารตัวอย่างผสมของคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์

จ. สารตัวอย่างผสมของคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต

ฉ. แบเรียมคลอไรด์ 1% และ 10%

ช. เมธิลออเรนจ์

ฌ. ฟีนอลพทาลีน

1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

ก. ปิเปต

ข. บิวเร็ต พร้อมที่ตั้ง

ค. ขวดรูปกรวย

ง. ขวดวัดปริมาตร

2. วิธีการทดลอง

2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดเกลือและโซเดียมไฮดรอกไซด์ พร้อมกับหาความเข้มข้นที่แน่นอน ให้ทำเช่นเดียวกับปฏิบัติการทดลองบทที่ 9 ข้อ 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 และ 2.5

2.2 ทำการหาปริมาณไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนตในสารละลายผสม

การทดลองมี 2 วิธี แต่ละวิธีมี 2 ตอน ดังนี้คือ

วิธีที่ 1

ตอนที่ 1 ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 25.0 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ลบ.ซม. เติมสารละลาย M.O. 2–3 หยด แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ จนได้สารละลายเป็นสีส้มแดง ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้งแล้วบันทึกผลการทดลอง

กิจกรรมที่ 10.1

เพื่อความถูกต้องของการไทเทรต ให้ทำมาตรฐานของสีไว้เปรียบเทียบสีที่จุดยุติ โดยนำน้ำกลั่นที่อิ่มตัวด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ มาเติมอินดิเคเตอร์เมธิล-ออเรนจ์ 2 – 3 หยด เขย่าให้ทั่ว แล้วนำไปเทียบสีที่จุดยุติของการไทเทรตตอนที่ 1 นี้

ตอนที่ 2 ปิเปตสารละลายตัวอย่างมาอีก 25.0 ลบ.ซม. อุ่นที่อุณหภูมิ 70° C แล้วเติมสารละลาย 1% $BaCl_2$ จากปิเปตอย่างช้า ๆ จนมากเกินพอเล็กน้อย (สังเกตได้จากการที่ไม่มีตะกอน $BaCO_3$ เกิดขึ้นอีก เมื่อหยด $BaCl_2$ ลงไป) ทำสารละลายในขวดรูปกรวยให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง เติมฟีนอลพทาลีน 2 – 3 หยด แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดเกลืออย่างช้า ๆ จนกระทั่งสีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วบันทึกผล

จากการทดลองทั้ง 2 ตอน สามารถคำนวณหาปริมาณของคาร์บอเนตและไฮดรอก-ไซด์ในสารละลายผสมนี้ได้ตามที่กล่าวมาแล้ว แต่อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการทดลองนี้ จะมีข้อผิดพลาดเล็กน้อย เนื่องจาก $BaCO_3$ ที่เกิดขึ้นจะอยู่ในสารละลายที่มี OH^- อยู่ ถ้าต้องการให้ผลการทดลองถูกต้องขึ้น จะต้องเติม HCl ลงในสารละลายให้มีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณ OH^- ในสารตัวอย่าง (อย่ามากกว่า) สังเกตจากการทดลองที่ทำในตอนที่ 2 โดยให้เติม HCl เกือบเท่ากับปริมาตรที่ใช้ในตอนที่ 2 แล้วจดปริมาตรของ HCl ไว้ แล้วจึงค่อยเติม $BaCl_2$ ลงในสารละลายที่อุ่น เพื่อตกตะกอน $CO_3^{=}$ หลังจากนั้นจึงไทเทรตกับ HCl อีกครั้งหนึ่ง นำปริมาตรที่จดไว้รวมกับปริมาตรสุดท้ายนี้ ก็จะเป็นปริมาตรของ HCl ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ OH^- ที่ถูกต้องกว่า

วิธีที่ 2

ตอนที่ 1 ทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีที่ 1 ตอนที่ 1

ตอนที่ 2 ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 25.0 ลบ.ซม. ทำให้เจือจางให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว โดยเติมน้ำกลั่นอีก 25.0 ลบ.ซม. หยดอินดิเคเตอร์ฟีนอลพทาลีนอีก 2 – 3 หยด แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน HCl ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วบันทึกผล

กิจกรรมที่ 10.2

เตรียมสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต เข้มข้นประมาณ 0.05 M จากนั้นนำมาประมาณ 50 ลบ.ซม. เติมอินดิเคเตอร์ฟีนอลพทาลีน 2 – 3 หยด เขย่าให้ทั่ว แล้วนำไปไว้เทียบสีที่จุดยุติของการไทเทรต ตอนที่ 2 นี้

3. การวิเคราะห์หาปริมาณไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในสารละลายผสม

การทดลองมี 2 วิธี และแต่ละวิธีมี 2 ตอนเช่นกัน คือ

วิธีที่ 1 วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายผสมที่มีคาร์บอเนตมาก แต่ไบคาร์บอเนตน้อย

ตอนที่ 1 ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 25.0 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ลบ.ซม. เติมเมธิลออเรนจ์ 2 – 3 หยด แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วบันทึกผล นำกิจกรรมที่ 10.1 มาเทียบสีที่จุดยุติด้วย

ตอนที่ 2 ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 25.0 ลบ.ซม. เติมสารละลายมาตรฐานโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ให้มากเกินพอ โดยต้องทราบปริมาณแน่นอนด้วยการใช้ปิเปต (ให้ใช้ปริมาณใกล้เคียงกับกรด HCl ที่ใช้ไปในตอนที่ 1) จากนั้นเติม 10% $BaCl_2$ ให้มากเกินพอ เพื่อตกตะกอนคาร์บอเนตให้หมด เติมฟีนอลพทาลีน 2 – 3 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้งแล้วบันทึกผล

วิธีที่ 2

ตอนที่ 1 ทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีที่ 1 ตอนที่ 1

ตอนที่ 2 ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 25.0 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดรูปกรวย เติมฟีนอลพทาลีน 2 – 3 หยด แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน HCl อย่างช้า ๆ ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วบันทึกผลการทดลอง นำกิจกรรมที่ 10.2 มาเทียบสีที่จุดยุติด้วย

ผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมด ต้องจดบันทึกลงในตารางข้อมูลที่ได้เตรียมไว้แล้วล่วงหน้าจากการวางแผนงาน ดังตัวอย่างที่ 10.1

ตัวอย่างที่ 10.1 การบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลองลงในตารางข้อมูล ที่ได้เตรียมไว้แล้วล่วงหน้า

การบันทึกข้อมูล เตรียมสารละลายมาตรฐานและหาความเข้มข้นที่แน่นอน กระทำ

เช่นเดียวกับข้อ 1-4 ในตัวอย่างที่ 9.1

1. หาปริมาณไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนตในสารละลายผสม

วิธีที่ 1 *ตอนที่ 1*

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.	27.90	~~28.00~~	27.90	27.90	M.O.	เหลือง → ส้มแดง

ตอนที่ 2

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.	16.60	16.50	16.55	16.55	p.p.	แดง → ไม่มีสี

วิธีที่ 2 *ตอนที่ 1*

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.	27.90	~~28.00~~	27.90	27.90	M.O.	เหลือง → ส้มแดง

ตอนที่ 2

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.	22.20	22.25	~~21.50~~	22.23	p.p.	แดง → ชมพูอ่อนมาก ๆ

2. หาปริมาณไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในสารละลายผสม

วิธีที่ 1 *ตอนที่ 1*

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.	29.10	29.00	29.05	29.05	M.O.	เหลือง → ส้มแดง

ตอนที่ 2 เติม NaOH มากเกินพอ = 30.0 ลบ.ซม.

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.	28.30	28.35	28.30	28.32	p.p.	แดง → ไม่มีสี

วิธีที่ 2 *ตอนที่ 1*

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.	29.10	29.00	29.05	29.05	M.O.	เหลือง → ส้มแดง

ตอนที่ 2

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.	13.60	13.55	13.55	13.57	p.p.	แดง → ชมพูอ่อนมาก ๆ

3. การคำนวณผล ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณของไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตกับคาร์บอเนตในสารละลายผสมได้ จากตัวอย่างของข้อมูลในตารางตัวอย่างที่ 10.1 สามารถทำการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

3.1 การคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดเกลือให้ทำตามตัวอย่างที่แสดงในปฏิบัติการทดลองที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 ของบทที่ 9 ซึ่งได้ข้อสรุปว่า กรดเกลือมีความเข้มข้นเท่ากับ 0.0987 M และโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นเท่ากับ 0.0998 M ซึ่งความเข้มข้นทั้งสองนี้ จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณต่อไป

3.2 คำนวณหาปริมาณไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนตในสารละลายผสม

วิธีที่ 1

ตอนที่ 1 สารละลายตัวอย่าง 25.0 ลบ.ซม. ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายมาตรฐาน HCl จำนวน 27.92 ลบ.ซม.

จากสมการที่ 10.2 จะได้

$$\text{mole } OH^- + 2\text{mole } CO_3^= = \frac{27.92 \times 0.0987}{1,000}$$

$$= 2.756 \times 10^{-3} \text{ โมล} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

ตอนที่ 2 สารละลายตัวอย่าง 25.0 ลบ.ซม. เมื่อนำมาเติม 1% $BaCl_2$ แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน HCl ปรากฏว่าใช้ HCl = 16.55 ลบ.ซม.

จากสมการที่ 10.3

$$\text{mole } OH^- = \frac{16.55 \times 0.0987}{1,000}$$

$$= 1.633 \times 10^{-3} \text{ โมล} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

สมการที่ (1) – (2)

$$2\text{mole } CO_3^= = (2.756 - 1.633) \times 10^{-3}$$

$$= 1.123 \times 10^{-3} \text{ โมล}$$

$$\therefore \text{ mole } CO_3^= = \frac{1.123 \times 10^{-3}}{2} = 0.5615 \times 10^{-3}$$

จำนวนโมลของ $CO_3^=$ และ OH^- ที่คำนวณได้ คือ จำนวนโมลที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง 25.0 ลบ.ซม. สามารถคำนวณหาเป็นความเข้มข้นของ $CO_3^=$ และ OH^- ในสารละลายตัวอย่างได้ดังนี้

$$M_{OH^-} = \frac{1.633 \times 10^{-3}}{25} \times 1{,}000$$

$$= 0.0653$$

$$M_{CO_3^=} = \frac{0.5615 \times 10^{-3}}{25} \times 1{,}000$$

$$= 0.0225$$

วิธีที่ 2

ตอนที่ 1 ได้ผลเช่นเดียวกับสมการที่ (1)

ตอนที่ 2 สารละลายตัวอย่าง 25.0 ลบ.ซม. ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายมาตรฐาน HCl จำนวน 22.23 ลบ.ซม.

จากสมการที่ 10.6 จะได้

$$\text{mole } OH^- + \text{mole } CO_3^= = \frac{22.30 \times 0.0987}{1{,}000}$$

$$= 2.201 \times 10^{-3} \text{ โมล} \qquad \ldots\ldots\ldots (3)$$

สมการที่ (1) – (3)

$$\text{mole } CO_3^= = (2.756 - 2.201) \times 10^{-3}$$

$$= 0.555 \times 10^{-3}$$

แทนค่า mole $CO_3^=$ ลงในสมการที่ (3)

$$\therefore \text{ mole } OH^- = (2.201 - 0.555) \times 10^{-3}$$

$$= 1.646 \times 10^{-3}$$

$$\therefore M_{OH^-} = \frac{1.646 \times 10^{-3} \times 1{,}000}{25}$$

$$= 0.0658$$

$$M_{CO_3^=} = \frac{0.555 \times 10^{-3}}{25} \times 1{,}000$$

$$= 0.0222$$

3.3 คำนวณหาปริมาณไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในสารละลายผสม

วิธีที่ 1

ตอนที่ 1 สารละลายตัวอย่าง 25.0 ลบ.ซม. ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายมาตร-

ฐาน HCl จำนวน 29.05 ลบ.ซม.

จากสมการที่ 10.10 จะได้

$$\text{mole } HCO_3^- + 2\text{mole } CO_3^= = \frac{29.05 \times 0.0987}{1{,}000}$$

$$= 2.867 \times 10^{-3} \text{ โมล} \quad \text{..... (1)}$$

ตอนที่ 2 สารละลายตัวอย่าง 25.0 ลบ.ซม. นำมาเติมสารละลายมาตรฐาน NaOH 30 ลบ.ซม. แล้วตกตะกอนด้วย 10% $BaCl_2$ จากนั้นไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน HCl ปรากฏว่าใช้ HCl = 28.32 ลบ.ซม.

จากสมการที่ 10.12 จะได้

$$\text{mole } HCO_3^- + \frac{28.32 \times 0.0987}{1{,}000} = \frac{30 \times 0.0998}{1{,}000}$$

$$\text{mole } HCO_3^- = (2.994 - 2.795) \times 10^{-3}$$

$$= 0.1988 \times 10^{-3} \quad \text{..... (2)}$$

แทนค่าสมการที่ (2) ลงใน (1)

$$2 \text{ mole } CO_3^= = (2.867 - 0.1988) \times 10^{-3}$$

$$= 2.668 \times 10^{-3}$$

$$\text{mole } CO_3^= = 1.334 \times 10^{-3}$$

นั่นคือ

$$M_{HCO_3^-} = \frac{0.1988 \times 10^{-3}}{25} \times 1{,}000$$

$$= 0.0079$$

$$M_{CO_3^=} = \frac{1.334 \times 10^{-3}}{25} \times 1{,}000$$

$$= 0.0534$$

วิธีที่ 2

ตอนที่ 1 ได้ผลเช่นเดียวกับสมการที่ (1)

ตอนที่ 2 สารละลายตัวอย่าง 25.0 ลบ.ซม. ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายมาตรฐาน HCl จำนวน 13.57 ลบ.ซม.

จากสมการที่ 10.15 จะได้

$$\text{mole } CO_3^{=} = \frac{13.57 \times 0.0987}{1{,}000}$$

$$= 1.339 \times 10^{-3} \quad \text{..... (3)}$$

แทนค่า (3) ลงใน (1) จะได้

$$\text{mole } HCO_3^{-} = 2.867 \times 10^{-3} - 2 \times 1.339 \times 10^{-3}$$

$$= 0.189 \times 10^{-3}$$

$$\therefore \quad M_{CO_3^{=}} = \frac{1.339 \times 10^{-3} \times 1{,}000}{25}$$

$$= 0.0536$$

$$M_{HCO_3^{-}} = \frac{0.189 \times 10^{-3} \times 1{,}000}{25}$$

$$= 0.0076$$

สรุปผลการคำนวณ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน HCl = 0.0987 M

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน NaOH

p.p. formality = 0.1002 M

M.O. formality = 0.0998 M

วิธี	สารตัวอย่างผสมของคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์		สารตัวอย่างผสมของคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต	
	จำนวนโมล/สารละลาย 25 ลบ.ซม.	ความเข้มข้น (M)	จำนวนโมล/สารละลาย 25 ลบ.ซม.	ความเข้มข้น (M)
วิธีที่ 1	$OH^- = 1.633 \times 10^{-3}$	$[OH^-] = 0.0653$	$HCO_3^- = 0.1988 \times 10^{-3}$	$[HCO_3^-] = 0.0079$
	$CO_3^{=} = 0.5615 \times 10^{-3}$	$[CO_3^{=}] = 0.0225$	$CO_3^{=} = 1.334 \times 10^{-3}$	$[CO_3^{=}] = 0.0534$
วิธีที่ 2	$OH^- = 1.646 \times 10^{-3}$	$[OH^-] = 0.0658$	$HCO_3^- = 0.189 \times 10^{-3}$	$[HCO_3^-] = 0.0076$
	$CO_3^{=} = 0.555 \times 10^{-3}$	$[CO_3^{=}] = 0.0222$	$CO_3^{=} = 1.339 \times 10^{-3}$	$[CO_3^{=}] = 0.0536$

บทสรุป

สารละลายของไฮดรอกไซด์ คาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต มีคุณสมบัติเป็นเบส ซึ่งคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตมีฤทธิ์เป็นเบสอ่อน ดังนั้น ในสารละลายผสมของเบสเหล่านี้ จึงควรไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดแก่ จึงจะทำให้สามารถหาจุดยุติจากการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมได้ จากการทดลองข้างต้น พบว่าวิธีที่ 2 ของสารละลายผสมทั้ง 2 ชนิด จะมีวิธีการทดลองตอนที่ 1 และตอนที่ 2 เหมือนกัน แตกต่างกันที่การเลือกใช้อินดิเคเตอร์ ตอนที่ 1 ใช้เมธิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์ ผลที่ได้คือ สารละลายมาตรฐานกรดเกลือทำปฏิกิริยากับเบสทั้งหมดในสารละลายผสม โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์ที่จุดยุติจากสีเหลืองไปเป็นสีส้มแดง การตัดสินใจว่าจุดใดคือ จุดยุติเป็นสิ่งที่ยุ่งยากพอควร เพราะสีส้มแดงที่เกิดขึ้นมีได้หลายขนาด ถ้าต้องการทำให้การตัดสินใจง่ายขึ้น ควรทำมาตรฐานของสีขึ้นเทียบ ซึ่งทำได้โดยใช้เมธิลออเรนจ์หยดลงในน้ำที่มีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่อิ่มตัว เพราะผลิตผลที่เกิดขึ้นจากการไทเทรตสารละลายผสม คือ กรด H_2CO_3 ($H_2O + CO_2$) หลังจากนั้นเทียบสีของการไทเทรตกับสีที่เตรียมขึ้นเป็นมาตรฐานให้เป็นสีเดียวกัน นอกจากนี้ ยังสามารถใช้อินดิเคเตอร์ โบรโมฟีนอลบลู (Bromophenol blue) และอินดิเคเตอร์ผสมเมธิลออเรนจ์-อินดิโกคาร์มีน (methyl orange-indicocarmine) แทนเมธิลออเรนจ์ได้ด้วย ซึ่งการใช้อินดิเคเตอร์ชนิดหลังสามารถสังเกตสีที่จุดยุติได้ง่ายมาก สำหรับตอนที่ 2 ใช้ฟีนอลพทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ผลที่ได้คือ สารละลายมาตรฐานกรดเกลือจะทำปฏิกิริยากับเบสคาร์บอเนตให้ไบคาร์บอเนตที่จุดยุติ ซึ่งสารละลายของไบคาร์บอเนตมีคุณสมบัติเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ ทำให้การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์ไม่คมชัด เพราะ pH ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงเมื่อเติมไทแทรนต์หยดต่อ ๆ ไป ดังนั้น ถ้าสังเกตการเปลี่ยนสีจากสีแดงไปเป็นไม่มีสี พบว่าการไทเทรตจะเกินจุดสมมูลไปมาก ควรสังเกตจุดยุติให้มีสีชมพูอ่อน ๆ ซึ่งการตัดสินใจว่า ควรเป็นสีชมพูอ่อนขนาดใดก็ยุ่งยากเช่นกัน ดังนั้น ควรทำมาตรฐานของสีขึ้นเทียบเช่นกัน โดยใช้เกลือโซเดียมไบคาร์บอเนตละลายในน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับสารตัวอย่างแล้วเติมฟีนอลพทาลีนลงไป 2-3 หยด จะได้สารละลายเป็นสีชมพูอ่อนไว้เทียบสีกับการไทเทรต พบว่า ถ้าทำการทดลองโดยเทียบสีที่จุดยุติกับมาตรฐานของสี จะทำให้การทดลองได้ผลดีขึ้น นอกจากใช้ฟีนอลพทาลีนในการหาจุดยุติในตอนที่ 2 แล้ว ยังสามารถใช้ไธมอลบลู (Thymol blue) ได้ โดยเตรียมมาตรฐานของสีไว้เปรียบเทียบเช่นกัน แต่ถ้าจะให้การทดลองง่ายขึ้นโดยไม่ต้องทำมาตรฐานของสีไว้เปรียบเทียบ

ก็ให้ใช้อินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง 6 ส่วนของไธมอลบลูและ 1 ส่วนของคลีซอลเรดซึ่งจะให้สีม่วงที่ pH 8.4 น้ำเงินที่ pH 8.3 และสีแดงกุหลาบที่ pH 8.2 ในตอนเริ่มต้นของการไทเทรต สารละลายตัวอย่างจะมีสีม่วง เมื่อไทเทรตถึงจุดสมมูลสารละลายจะเป็นสีน้ำเงิน ถ้ามีการเติมไทแทรนต์ต่อไป จะได้สารละลายเป็นสีแดง

คำถามท้ายบท

1. การไทเทรตประเภทใดควรเลือกใช้อินดิเคเตอร์เมธิลออเรนจ์ และประเภทใดควรเลือกใช้อินดิเคเตอร์ฟีนอลพทาลีน
2. สารละลาย HCO_3^- มี pH เท่าไร
3. สารละลายผสมของไฮดรอกไซด์กับคาร์บอเนต เมื่อนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ โดยใช้เมธิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์ จะให้ผลอย่างไร
4. สารละลาย $BaCl_2$ ที่ใช้ในการทดลองมีหน้าที่อย่างไร
5. ทำไมต้องเติมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้มากเกินพอในตอนที่ 2 วิธีที่ 1 ของการวิเคราะห์หาปริมาณสารละลายผสมไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนต
6. ในการวิเคราะห์หาปริมาณไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนต หรือไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในสารละลายผสม นอกจากใช้อินดิเคเตอร์เมธิลออเรนจ์และฟีนอลพทาลีนแล้ว ยังสามารถใช้อินดิเคเตอร์ชนิดใดได้อีก
7. จงอธิบายวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนต ในสารละลายผสม
8. 2.50 ลบ.ซม. ของเบส NaOH ใช้ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรด HCl ที่มากเกินพอจากการไทเทรตย้อนกลับของการเติม 40.00 ลบ.ซม. ของ 0.500 N HCl ลงในสารละลายตัวอย่าง CaO หนัก 1.500 กรัม ถ้ากรดที่ใช้ 1.00 ลบ.ซม. ทำปฏิกิริยาพอดีกับเบส 1.25 ลบ.ซม. จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของ CaO ในสารตัวอย่าง
9. โซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่บริสุทธิ์จำนวน 0.185 กรัม ถูกนำมาละลายในน้ำ ปรากฏว่าเมื่อเติม HCl เข้มข้น 0.120 N จำนวน 25.5 ลบ.ซม. จะทำให้สีของอินดิเคเตอร์เมธิลเรดเปลี่ยนเป็นสีแดงทั้งหมด จากนั้นนำสารละลายมาต้มแล้วทำให้เย็น และไทเทรตต่อด้วย 0.095 N NaOH จนกระทั่งอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีกลับมาเป็นสีเหลือง ซึ่งใช้ NaOH ไปเท่ากับ 1.4 ลบ.ซม. จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ Na_2CO_3 ในสารละลายตัวอย่าง (สมมติว่าไม่มีไบคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์ในสารตัวอย่างโซเดียมคาร์บอเนต)
10. โซเดียมคาร์บอเนตที่บริสุทธิ์ 0.216 กรัม ถูกนำมาไทเทรตด้วยวิธีเดียวกับโจทย์ข้อ 9 โดยเติมกรด HCl เท่ากับ 40.0 ลบ.ซม. จากนั้น นำสารละลายมาต้ม ทำให้เย็นแล้วไทเทรตย้อนกลับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปรากฏว่าใช้ไปเท่ากับ 4.35 ลบ.ซม.

ในการไทเทรตอีกส่วนหนึ่ง โดยนำ HCl ไทเทรตกับ NaOH พบว่าถ้าใช้ HCl

25.00 ลบ.ซม. จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ NaOH 21.2 ลบ.ซม. จากการไทเทรตทั้ง 2 ครั้งนี้ จงคำนวณหาความเข้มข้นของ HCl และ NaOH

11. 100 ลบ.ซม. ของน้ำตัวอย่างถูกนำมาไทเทรตกับ 0.0200 N NaOH โดยใช้ฟีนอลพทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ปรากฏว่าต้องใช้ NaOH 1.45 ลบ.ซม. เพื่อทำให้อินดิเคเตอร์เปลี่ยนเป็นสีชมพู จงคำนวณหาความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำตัวอย่างเป็น ppm.

ตารางสำหรับบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ผลการทดลองบทที่ 10

การวิเคราะห์หาปริมาณ

ก. ไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนตในสารละลายผสม

ข. ไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในสารละลายผสม

ผู้ทดลอง 1. ..... รหัส .....

2. ..... รหัส .....

3. ..... รหัส .....

ตอนที่ ..... กลุ่มที่ .....

ทำการทดลองวันที่.....

1) ชั่งสารปฐมภูมิ KHP

	ขวดที่ 1	**ขวดที่ 2**	**ขวดที่ 3**
น.น.ขวดชั่ง + น.น. KHP (กรัม)			
น.น.ขวดชั่ง (กรัม)			
น.น. KHP (กรัม)			

2) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH **โดยไทเทรตกับสารปฐมภูมิ** KHP

น้ำหนัก KHP ในขวด	**ปริมาณไทแทรนต์ NaOH (ลบ.ซม.)**	**อินดิเคเตอร์**	**การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์**
1) กรัม			
2) กรัม			
3) กรัม			

ตารางสำหรับบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ผลการทดลองบทที่ 10

การวิเคราะห์หาปริมาณ

ก. ไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนตในสารละลายผสม

ข. ไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในสารละลายผสม

ผู้ทดลอง 1. ..... รหัส .....

2. ..... รหัส .....

3. ..... รหัส .....

ตอนที่ ..... กลุ่มที่ .....

ทำการทดลองวันที่.....

1) ชั่งสารปฐมภูมิ KHP

	ขวดที่ 1	**ขวดที่ 2**	**ขวดที่ 3**
น.น.ขวดชั่ง + น.น. KHP (กรัม)			
น.น.ขวดชั่ง (กรัม)			
น.น. KHP (กรัม)			

2) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH **โดยไทเทรตกับสารปฐมภูมิ** KHP

น้ำหนัก KHP **ในขวด**	**ปริมาณไทแทรนต์** NaOH **(ลบ.ซม.)**	**อินดิเคเตอร์**	**การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์**
1) กรัม			
2) กรัม			
3) กรัม			

3) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย HCl โดยไทเทรตกับสารละลาย NaOH ในข้อ (2)

สารละลายในขวด	ไทแทรนต์ NaOH (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
HCl 25.0 ลบ.ซม.						

4) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH โดยไทเทรตกับสารละลาย HCl ในข้อ (3)

สารละลายในขวด	ไทแทรนต์ NaOH (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
HCl 25.0 ลบ.ซม.						

5) หาปริมาณไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนตในสารละลายผสม

วิธีที่ 1 *ตอนที่ 1*

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

ตอนที่ 2

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

3) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย HCl โดยไทเทรตกับสารละลาย NaOH ในข้อ (2)

สารละลายในขวด	ไทแทรนต์ NaOH (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
HCl 25.0 ลบ.ซม.						

4) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH โดยไทเทรตกับสารละลาย HCl ในข้อ (3)

สารละลายในขวด	ไทแทรนต์ NaOH (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
HCl 25.0 ลบ.ซม.						

5) หาปริมาณไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนตในสารละลายผสม

วิธีที่ 1 *ตอนที่ 1*

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

ตอนที่ 2

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

วิธีที่ 2 *ตอนที่ 1*

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

ตอนที่ 2

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

6) หาปริมาณไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในสารละลายผสม

วิธีที่ 1 *ตอนที่ 1*

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

ตอนที่ 2 เติม NaOH มากเกินพอ = ... ลบ.ซม.

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

วิธีที่ 2 *ตอนที่ 1*

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

ตอนที่ .2

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

6) หาปริมาณไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในสารละลายผสม

วิธีที่ 1 *ตอนที่ 1*

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

ตอนที่ 2 เติม NaOH มากเกินพอ = ... ลบ.ซม.

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

วิธีที่ 2 *ตอนที่ 1*

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

ตอนที่ 2

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

วิธีที่ 2 *ตอนที่ 1*

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสี ของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

ตอนที่ 2

ปริมาณสารตัวอย่าง	ไทแทรนต์ HCl (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสี ของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						