

## บทที่ 8

### การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธีเจลดาคัล

วัตถุประสงค์ เมื่อทำปฏิบัติการทดลองนี้จบแล้วควรจะสามารถ

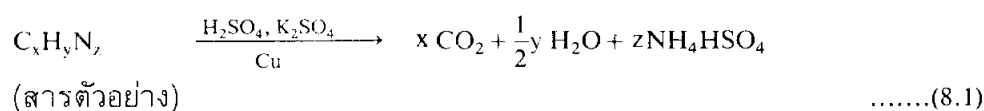
1. ทำการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในสารประกอบต่าง ๆ ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบด้วยวิธีเจลดาคัล (Kjeldahl) ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม
2. ย่อยสารประกอบไนโตรเจนให้อยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียมไบซัลเฟต
3. ทำการกลั่นเกลือแอมโมเนียมไบซัลเฟตให้กลายเป็นก๊าซแอมโมเนีย
4. บอกข้อแตกต่างของการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยทางตรงและทางอ้อม
5. เขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการย่อยสารตัวอย่างที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ
6. เขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยทางตรงและระหว่างก๊าซแอมโมเนียที่กลั่นได้กับกรดบอริก
7. คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนในสารตัวอย่างได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม

## บทที่ 8

### การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธีเจลดดาห์ล

การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธีเจลดดาห์ล (Kjeldahl) ต้องใช้วิธีการทำให้สารประกอบไนโตรเจนเปลี่ยนสภาพกลายเป็นสารประกอบที่เป็นไอ คือ แอมโมเนีย จากนั้นจึงใช้เทคนิคของการไทเทรตวิเคราะห์หาปริมาณของแอมโมเนีย ซึ่งสามารถทำได้ทั้งวิธีตรงและวิธีอ้อม สารประกอบไนโตรเจนทุกชนิดทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ และอนินทรีย์สามารถวิเคราะห์หาปริมาณของไนโตรเจนได้โดยวิธีวิเคราะห์นี้ แต่ตามปกติจะนิยมใช้วิธีเจลดดาห์ลในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในโปรตีนที่มีอยู่ในอาหารและไนโตรเจนในยูเรียที่เป็นส่วนประกอบของปุ๋ย การวิเคราะห์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

1. การย่อยสารตัวอย่าง การย่อยสารตัวอย่างที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสามารถทำได้โดยต้มสารตัวอย่างในกรดซัลฟิวริกเข้มข้นให้เดือดเบา ๆ เพื่อให้จุดเดือดของกรดซัลฟิวริกสูงขึ้นควรเติมโพแทสเซียมซัลเฟตลงไปด้วย และเพื่อเร่งให้สารตัวอย่างถูกย่อยได้เร็วขึ้นควรเติมตัวเร่ง (Catalyst) ซึ่งได้แก่ Cu, Hg และ Se เมื่อทำการย่อยสารตัวอย่างเป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือมากกว่าไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมไบซัลเฟต ( $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ ) ถ้าสารตัวอย่างเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนอยู่เป็นองค์ประกอบ คาร์บอนและไฮโดรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังสมการ

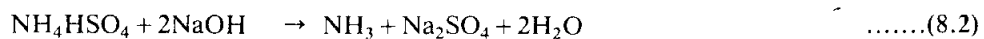


ถ้าสารตัวอย่างคือเกลือแอมโมเนีย ขั้นตอนในการย่อยสารตัวอย่างก็ไม่ต้องทำ ตัวอย่างเช่น ปุ๋ยที่มีเกลือ  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  และ  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$  เป็นองค์ประกอบ เมื่อต้องการหาปริมาณของ  $\text{NH}_4^+$  ในปุ๋ยก็สามารถทำขั้นตอนต่อไปได้โดยไม่ต้องทำขั้นตอนการย่อยสารตัวอย่างนี้

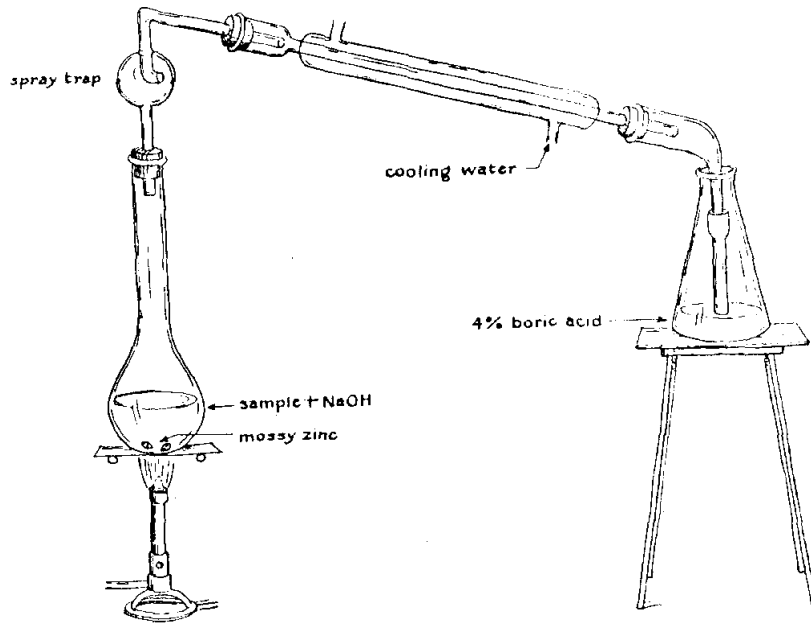
### กิจกรรมที่ 8.1

1. ทำไมการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในสารตัวอย่างจึงต้องทำการย่อยสารตัวอย่างก่อน เพราะเหตุใด
2. ให้ศึกษายกตัวอย่างสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบมา 5 ชนิด
3. สารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบชนิดใดที่สามารถทำการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนได้โดยไม่ต้องทำการย่อย

2. การกลั่น (distillation) เมื่อสารตัวอย่างถูกเปลี่ยนสภาพมาเป็นเกลือของแอมโมเนียมทั้งหมดแล้วด้วยการย่อย ให้ตั้งสารละลายทิ้งไว้ให้เย็นแล้วทำสารละลายให้มีฤทธิ์เป็นเบสด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ในกรณีที่ใช้ตัวเร่ง Hg หรือ Cu ต้องกำจัดออกไปก่อนโดยตกตะกอนด้วย  $\text{Na}_2\text{S}$ ) การเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในสารละลายตัวอย่างที่ย่อยแล้วต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ ควรมีเทคนิคในการเติมโดยเฉพาะเพื่อป้องกัน  $\text{NH}_3$  ที่อาจเกิดได้บ้างเมื่อสารละลายถูกเปลี่ยนให้มีสภาพเป็นเบสระเหยหนีออกไปจากขวด สารละลายเกลือแอมโมเนียมไบซัลเฟตที่ได้จากการย่อยสารตัวอย่าง เมื่อมีฤทธิ์เป็นเบสจะเกิดก๊าซแอมโมเนียขึ้นดังสมการ



นำสารละลายตัวอย่างที่เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เรียบร้อยแล้วมาทำการต้มเพื่อกลั่นก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซแอมโมเนียที่ถูกกลั่นออกมาเป็นไอจะผ่านเข้าตัวควบแน่น (condenser) แล้วถูกเก็บไว้ในสารละลายของกรดเพื่อทำการไทเทรตหาปริมาณในขั้นตอนต่อไป ลักษณะของการติดตั้งเครื่องมือเพื่อทำการกลั่นก๊าซแอมโมเนียได้แสดงไว้ในรูปที่ 8.1 เพื่อป้องกันการเดือดพล่านในการกลั่นต้องเติมเศษกระเบื้องหรือแผ่นสังกะสีลงไปด้วย



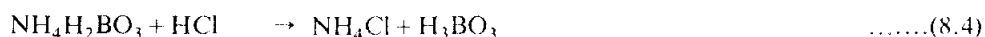
รูปที่ 8.1 การติดตั้งเครื่องมือเพื่อทำการกลั่นก๊าซแอมโมเนียในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธี เอลดาห์ล

3. การไทเทรตหาปริมาณแอมโมเนีย ก๊าซแอมโมเนียที่ถูกกลั่นออกมาสามารถถูกเก็บในสารละลายของกรด 2 ชนิด คือ กรดบอริกและกรดเกลือ ทำให้เกิดเทคนิคในการไทเทรตเพื่อหาปริมาณแอมโมเนีย 2 วิธี คือ การหาปริมาณโดยตรงและการหาปริมาณโดยทางอ้อม

3.1 การหาปริมาณโดยตรง ก๊าซแอมโมเนียที่กลั่นได้จากตอนที่ 2 จะผ่านเข้าไปเก็บในกรดบอริกที่มากเกินพอและแอมโมเนียจะทำปฏิกิริยากับกรดบอริกได้แอมโมเนียมบอเรต



แอมโมเนียมบอเรตที่เกิดขึ้นจะมีความประพฤติเหมือนกับเป็น  $\text{NH}_3$  อิสระที่สามารถถูกไทเทรตได้ด้วยกรดเกลือ ซึ่งจุดยุติจะหาได้ถูกต้องเมื่อใช้เมธิลออเรนจ์หรือโบรโมครีซอลกรีนเป็นอินดิเคเตอร์ สำหรับกรดบอริกส่วนที่เกินพอจะไม่รบกวนการไทเทรตเพราะกรดบอริกเป็นกรดอ่อนมากมีค่า  $K_a$  เท่ากับ  $5.8 \times 10^{-10}$



จากปฏิกิริยาที่ 8.3 และ 8.4 แสดงให้เห็นว่าแอมโมเนีย 1 โมลจะทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดเกลือ 1 โมล

3.2 การหาปริมาณโดยทางอ้อม ก๊าซแอมโมเนียที่กลั่นได้จากตอนที่ 2 จะผ่านเข้าไปในสารละลายของกรดเกลือที่มากเกินไปทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้น ดังนี้



หลังจากที่แอมโมเนียถูกกลั่นออกมาและทำปฏิกิริยากับกรดเกลือจนหมดแล้วจะมีกรดเกลือที่มากเกินไปเหลืออยู่ให้ไทเทรตกรดเกลือที่มากเกินไปด้วยเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้เมธิลออเรนจ์หรือโบรโมครีซอลกรีนเป็นอินดิเคเตอร์ แสดงว่าจำนวนโมลของกรดเกลือทั้งหมดที่ใช้จะมีค่าเท่ากับจำนวนโมลของแอมโมเนียบวกกับจำนวนโมลของเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์

**กิจกรรมที่ 8.2**

ให้นักศึกษาหาเหตุผลมาอธิบายว่าการไทเทรตสารละลายแอมโมเนียที่กลั่นได้ด้วยสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ ทำไมจึงใช้อินดิเคเตอร์ เมธิลออเรนจ์หรือโบรโมครีซอลกรีน

4. วิธีการคำนวณผล จากผลของการไทเทรตสามารถนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในสารตัวอย่างได้ ดังนี้

4.1 การหาปริมาณโดยตรง ในการคำนวณวิธีนี้เราไม่ต้องพิจารณาปริมาณของกรดบอริกที่ใช้เลย เพราะแอมโมเนียโมเลกุลที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวทำปฏิกิริยากับกรดเกลือและมีความประพฤติเหมือนกับเป็นแอมโมเนียอิสระ ซึ่งจะได้ว่า

$$\text{no. moles NH}_3 = \text{no. moles HCl}$$

ถ้าปริมาณของ HCl ที่ใช้ไปในการไทเทรตเท่ากับ V ลบ.ซม.

$$\therefore \text{no. moles NH}_3 = \frac{M_{\text{HCl}} \times V}{1,000}$$

แสดงว่าในสารตัวอย่างจะมีไนโตรเจนเท่ากับ  $= \frac{M_{\text{HCl}} \times V}{1,000}$  โมล

$$\begin{aligned} \text{หรือเท่ากับ} &= \frac{M_{\text{HCl}} \times V \times M.W._{\text{N}}}{1,000} \text{ กรัม} \\ \text{นั่นคือ} & \\ \% \text{ N (W/W)} &= \frac{M_{\text{HCl}} \times V \times 14 \times 100}{1,000 \times \text{wt} \cdot \text{Sample}} \\ &= \frac{M_{\text{HCl}} \times V \times 1.4}{\text{wt} \cdot \text{Sample}} \quad \dots\dots(8.6) \end{aligned}$$

4.2 การหาปริมาณโดยทางอ้อม สมมติว่าปริมาณของกรดเกลือที่มากเกินไปซึ่งใช้ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียที่ถูกกลั่นออกมา มีปริมาณเท่ากับ  $V_2$  ลบ.ซม. และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับกรดเกลือที่มากเกินไปมีปริมาตรเท่ากับ  $V_1$  ลบ.ซม. จากปฏิกิริยาของการไทเทรตที่เกิดขึ้นพิจารณาได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{no. moles NH}_3 &= \text{no. moles HCl} - \text{no. moles NaOH} \\ &= \frac{M_{\text{HCl}} \times V_2}{1,000} - \frac{M_{\text{NaOH}} \times V_1}{1,000} \end{aligned}$$

จำนวนโมลของ  $\text{NH}_3$  ที่หาได้จะมีค่าเท่ากับจำนวนโมลของไนโตรเจนทั้งหมดในสารตัวอย่าง

$$\begin{aligned} \therefore \text{ปริมาณไนโตรเจน} &= \frac{M_{\text{HCl}} \times V_2 - M_{\text{NaOH}} \times V_1}{1,000} \text{ โมล} \\ &= \frac{(M_{\text{HCl}} \times V_2 - M_{\text{NaOH}} \times V_1) \times 14}{1,000} \text{ กรัม} \\ \text{นั่นคือ} & \\ \% \text{ N (W/W)} &= \frac{(M_{\text{HCl}} \times V_2 - M_{\text{NaOH}} \times V_1) \times 14 \times 100}{1,000 \times \text{wt} \cdot \text{Sample}} \\ &= \frac{(M_{\text{HCl}} \times V_2 - M_{\text{NaOH}} \times V_1) \times 1.4}{\text{wt} \cdot \text{Sample}} \quad \dots\dots(8.7) \end{aligned}$$

### ข้อควรปฏิบัติและระมัดระวังในการทดลอง

1. ความสะอาด เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองต้องล้างให้สะอาดก่อนใช้ทุกชิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวควบแน่น (condenser) และจุกก๊อกที่ใช้ปิดเพื่อป้องกันการหลีกหนีของก๊าซ

แอมโมเนีย ถ้าเครื่องมือสกปรกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้ล้างเครื่องมือด้วยกรดเกลือหรือ  
ดัมด้วยกรดเกลือเจือจางครึ่งชั่วโมงแล้วล้างด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้งและตามด้วยน้ำกลั่น

**2. การหาค่าของแบลงก์** เนื่องจากสารเคมีต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการทดลองอาจจะ  
ไม่บริสุทธิ์มีสารประกอบไนโตรเจนปะปนมาด้วย เช่น กรดซัลฟูริกเข้มข้นที่ใช้ในการย่อย  
สารตัวอย่างมักมีเกลือแอมโมเนียมปะปนมาด้วย ดังนั้นเพื่อให้การทดลองถูกต้องควรหาค่า  
ของแบลงก์ด้วย ซึ่งทำได้โดยดำเนินวิธีการทดลองเช่นเดียวกับการทำสารตัวอย่างทุกประการ  
แต่ไม่มีสารตัวอย่างในการทำแบลงก์ จากนั้นนำปริมาณของกรดที่ใช้ในการไทเทรตสารละลาย  
ของแบลงก์หักออกจากการไทเทรตสารละลายตัวอย่าง ก็จะได้ปริมาตรของกรดที่ทำปฏิกิริยา  
พอดีกับสารตัวอย่างตามปกติ ปริมาตรของแบลงก์จะมีค่าประมาณ 0.1 ถึง 0.2 ลบ.ซม.

**3. ความปลอดภัย** การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธีเจลดาร์ห์ล เป็นวิธีที่มี  
อันตรายเกิดขึ้นได้จากการทดลอง ถ้าขาดความระมัดระวังที่ดีพอ เวลาปฏิบัติควรใส่แว่นตา  
นิรภัย และดำเนินวิธีการทดลองตามคู่มือปฏิบัติการอย่างระมัดระวัง และต้องจำในสิ่งต่อไปนี้  
คือ

ก. กรดซัลฟูริกร้อนจะเกิดปฏิกิริยาที่รุนแรงได้

ข. เมื่อทำการย่อยสารตัวอย่างเสร็จแล้วถ้าต้องการเจือจางและเติมเบส ต้องตั้งสาร  
ละลายตัวอย่างไว้ให้เย็นก่อน

## ปฏิบัติการทดลอง

การหาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธีเจลดาร์ห์ล มีวิธีการทดลองตามขั้นตอนต่อไปนี้

### 1. เตรียมสารเคมีและอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดลอง

#### 1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

ก. AR.  $K_2SO_4$

ข.  $CuSO_4$  anhydrous

ค. 4% (W/V)  $Na_2S$  ใช้  $Na_2S$  4 กรัมละลายด้วยน้ำกลั่นเป็นสารประกอบ  
100 ลบ.ซม.

ง. 50% (W/V)  $NaOH$  ใช้  $NaOH$  50 กรัมละลายด้วยน้ำกลั่นเป็นสาร  
ละลาย 100 ลบ.ซม.

จ. Conc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

ฉ. 0.1 M HCl เตรียมตามข้อ 2.2

ช. 1 % (W/V) Bromocresol green ทางห้องปฏิบัติการจัดเตรียมไว้ให้

### 1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

ก. ขวดก้านกลม Kjeldahl

ข. Spray trap

ค. Adapter

ง. ตัวควบแน่น

จ. ตะเกียงก๊าซ

ฉ. บิวเรต

ช. ปีเปต

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 เตรียมสารละลายปฐมภูมิโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.050 M

นำโซเดียมคาร์บอเนตที่บริสุทธิ์อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 260–270°C เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้ต้องไม่สูงกว่า 270°C เพราะจะทำให้โซเดียมคาร์บอเนตสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นทำให้โซเดียมคาร์บอเนตเย็นเท่าอุณหภูมิห้องโดยตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถอบแล้วชั่งโซเดียมคาร์บอเนตที่ปราศจากน้ำให้ได้น้ำหนักละเอียดประมาณ 1.3 กรัมอย่างรวดเร็ว และขณะชั่งต้องใช้ผ้าปิดขวดชั่งด้วยเพราะโซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารที่ดูดความชื้นจากอากาศได้รวดเร็ว ละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ชั่งได้ด้วยน้ำกลั่นที่บริสุทธิ์และทำให้มีปริมาตร 250 ลบ.ซม. ด้วยขวดวัดปริมาตร เขย่าสารละลายให้ทั่วแล้วคำนวณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตจากน้ำหนักที่ชั่งได้

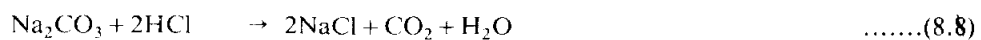
### 2.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดเกลือเข้มข้น 0.1 M

ใช้กระบอกตวงขนาด 10 ลบ.ซม. ตวงกรดเกลือเข้มข้น 9 ลบ.ซม. เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลบ.ดม. ที่มีน้ำกลั่นอยู่แล้วประมาณ 500 ลบ.ซม. จากนั้นใช้น้ำกลั่นเจือจางสารละลายในขวดวัดปริมาตรให้พอดีขีดแล้วเขย่าให้ทั่ว จะได้สารละลายกรดเกลือเข้มข้นประมาณ 0.1 M



### 2.3 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ

ปิเปตสารละลายปฐมภูมิโซเดียมคาร์บอเนตที่เตรียมได้จากข้อ 2.1 มา 25 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ลบ.ซม. เติมอินดิเคเตอร์เมธิลออเรนจ์ 2–3 หยด หรือถ้าจะให้ผลถูกต้องมากกว่าควรใช้เมธิลออเรนจ์ อินดิโก คาร์มีน เป็นอินดิเคเตอร์ (methyl orange – indigo carmine indicator) ไทเทรตสารละลายในขวดรูปกรวยด้วยสารละลายมาตรฐานกรดเกลือที่ใส่ไว้ในบิวเรตจนกระทั่งได้สารละลายเป็นสีส้มแดงเมื่อใช้เมธิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์ และได้สีเทาเมื่อใช้อินดิเคเตอร์ผสมเมธิลออเรนจ์ อินดิโกคาร์มีนเป็นอินดิเคเตอร์ ซึ่งการใช้อินดิเคเตอร์ชนิดหลังจะสังเกตจุดยุติได้ง่ายและถูกต้องมากกว่า สำหรับการใช้อินดิเคเตอร์ เมธิลออเรนจ์ ถ้าต้องการให้ได้ผลดีควรทำมาตรฐานของสีเปรียบเทียบด้วย โดยเตรียมสารละลายของโซเดียมคลอไรด์ที่อิ่มตัวด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ให้มีปริมาณใกล้เคียงกับ NaCl ที่เกิดขึ้นที่จุดสมมูลของการไทเทรต  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  เพราะผลผลิตของการไทเทรต  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  คือ โซเดียมคลอไรด์กับคาร์บอนไดออกไซด์



เมื่อใส่อินดิเคเตอร์เมธิลออเรนจ์ลงในสารละลายของ NaCl ที่อิ่มตัวด้วย  $\text{CO}_2$  จะปรากฏสีส้มแดงเกิดขึ้น จากนั้นสังเกตสีของการไทเทรตสารละลายปฐมภูมิ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ด้วย HCl ให้มีสีที่จุดยุติเหมือนกับสีของสารละลาย NaCl ที่เตรียมขึ้นไว้สำหรับเปรียบเทียบสี

นอกจากอินดิเคเตอร์ 2 ชนิดที่กล่าวมายังสามารถใช้อินดิเคเตอร์ โบรโมครีซอลกรีน-ไดเมธิลเยลโล (bromocresol green – dimethyl yellow) และเมธิลเรด (methyl red) ได้อีกด้วย ถ้าใช้อินดิเคเตอร์ผสมโบรโมครีซอลกรีน-ไดเมธิลเยลโล จะต้องเตรียมโดยใช้ 0.2% โบรโมครีซอลกรีนในเอทานอล 4 ส่วนผสมกับ 0.2% ไดเมธิลเยลโลในเอทานอล 1 ส่วน และใช้อินดิเคเตอร์ 8 หยดต่อสารละลายไทเทรต 100 ลบ.ซม. การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นเหลืองอมเขียวที่ pH 4.0–4.1 และจะมีสีเหลืองที่ pH 3.9 ถ้าใช้อินดิเคเตอร์ เมธิลเรดต้องขจัด  $\text{CO}_2$  ที่เกิดขึ้นจากการไทเทรตออกไปจากสารละลายโดยการต้ม การทดลองทำได้โดยนำสารละลายปฐมภูมิ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  มาเติมอินดิเคเตอร์ 0.1% เมธิลเรด 3 หยด แล้วนำการไทเทรตด้วยกรดเกลือจนสารละลายเปลี่ยนสี นำสารละลายไปต้มให้เดือดเบา ๆ เพื่อไล่  $\text{CO}_2$  2 นาที สีของอินดิเคเตอร์จะกลับมาเป็นสีแดง จากนั้นนำมาไทเทรตต่อด้วยกรดเกลือจนเปลี่ยนสีแล้วนำไปต้มอีก ทำเช่นนี้กลับไปกลับมาจนกระทั่งสีของสารละลายไม่เปลี่ยนไปเมื่อ

นำไปต้ม

#### 2.4 วิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ (W/W) ของไนโตรเจนในสารตัวอย่าง

ก. ชั่งสารตัวอย่างที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น โปรตีน เลือดแห้ง หรือสารประกอบอินทรีย์บางชนิด ให้ได้น้ำหนักอย่างละเอียดประมาณ 2.0 กรัม (ถ้าสารตัวอย่าง คือ เกลือแอมโมเนียมก็ไม่ต้องทำขั้นตอนของการย่อยข้อ ข-ง ให้ไปทำขั้นตอนการทดลองข้อ จ ได้เลย)

ข. ใส่สารตัวอย่างไว้ในกระดาศกรงย่นแล้วห่อใส่ลงในขวดเจลดาห์ล เติมสารผสมของโพแทสเซียมซัลเฟตกับคอปเปอร์ซัลเฟตที่ผสมกันในอัตราส่วน 10 : 1 จำนวน 10 กรัม เติมคิวปริก ซีลีไนท์ (Cupric Selenite) 50 – 100 มิลลิกรัม และเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 ลบ.ซม.

ค. ตัดตั้งขวดเจลดาห์ลให้เหมาะสมในตู้ควันแล้วให้ความร้อนจากตะเกียงก๊าซจนกรดเดือด ควบคุมให้กรดเดือดเพียงเบา ๆ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนของการย่อย ต้องทำการย่อยสารละลายในขวดจนกระทั่งสีดำหรือน้ำตาลในขวดหายไป และสารละลายกลายเป็นสีค่อนข้างเขียวพร้อมกับมีตะกอนขาวที่ไม่มีอันตรายเกิดขึ้น ส่วนที่คอของขวดเจลดาห์ลจะปรากฏเป็นสีแดงติดอยู่ซึ่งเป็นสีของธาตุซีลีเนียม (Selenium) ต้องทำการย่อยเป็นเวลา 2 – 3 ชั่วโมง

ง. ทิ้งสารละลายในขวดเจลดาห์ลที่ย่อยเสร็จแล้วไว้ให้เย็น จากนั้นเติมน้ำ 200 ลบ.ซม. ลงในขวดอย่างช้าๆ ตอนนี้จะมีความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากผลของการเจือจาง ให้ตั้งสารละลายทิ้งไว้ให้เย็นอีก

จ. ตัดตั้งเครื่องมือสำหรับทำการกลั่น ดังแสดงในรูปที่ 8.1 เครื่องมือทุกชิ้นที่นำมาใช้ในขั้นตอนนี้ต้องสะอาดปราศจากการคอนทามิเนตด้วยเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเตรียมขวดสำหรับเก็บแอมโมเนีย (Receiving flask) โดยใช้ขวดรูปกรวยขนาด 500 ลบ.ซม. บรรจุสารละลาย 4% (W/W) กรดบอริกประมาณ 50 ลบ.ซม. และใส่อินดิเคเตอร์โบรโมครีซอลกรีนลงไป 4 – 5 หยด จะได้สารละลายเป็นสีเขียว ถ้าได้สารละลายเป็นสีเหลือง หรือเหลืองอมเขียวต้องเติม 0.1 N NaOH ทีละหยดจนกระทั่งได้สารละลายเป็นสีเขียว ถ้าสารละลายเป็นสีน้ำเงินหรือน้ำเงินอมเขียวก็ต้องเติม 0.1 N HCl ทีละหยดจนได้สารละลายเป็นสีเขียว ต้องเตรียมขวดสำหรับเก็บแอมโมเนีย 2 ใบโดยขวดทั้งสองใบต้องมีสีของอินดิเคเตอร์เหมือนกัน ขวดใบหนึ่งให้เติมน้ำกลั่น 100 ลบ.ซม. แล้วปิดจุกไว้ เก็บไว้สำหรับเปรียบเทียบสีของจุดยุติ

ในการไทเทรต ส่วนขวดอีกใบหนึ่งไว้สำหรับเก็บก๊าซแอมโมเนียที่ได้จากการกลั่น

ฉ. เติมเศษกระเบื้อง 2-3 ชิ้นหรือแผ่นสังกะสี (mossy zinc) ลงในขวดเจลดาห์ลที่ย่อยเสร็จแล้วและอยู่ในสภาพที่พร้อมทำการกลั่นในข้อ จ. แล้วเติม 75 ลบ.ซม. ของ 50% NaOH อย่างช้า ๆ และระมัดระวัง หลังจากเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เรียบร้อยแล้วต้องรีบปิดขวดและต่อเครื่องมือเพื่อทำการกลั่นทันที ต้องแน่ใจว่ารอยต่อของเครื่องมือทุกจุดไม่รั่ว เพราะอาจทำให้ก๊าซแอมโมเนียหนีหายไปได้ พยายามเขย่าสารละลายในขวดเจลดาห์ลเบา ๆ ให้ทั่วจะได้สารละลายเป็นสีน้ำเงินเข้มและมีตะกอนเป็นสีดำ ถ้าสารละลายเป็นสีน้ำเงินอ่อน แสดงว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์น้อยไป ให้เปิดจุกขวดเจลดาห์ล และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปอีก 25 ลบ.ซม.

ช. ทำการกลั่นสารละลายในขวดเจลดาห์ล โดยให้เดือดเพียงเบา ๆ จนได้ปริมาตรในขวดเก็บแอมโมเนียเพิ่มขึ้นประมาณ 100 ลบ.ซม. ในการกลั่นต้องคอยเฝ้าดูด้วยว่าสารละลายในขวดเก็บแอมโมเนียจะไม่ถูกดูดกลับเข้าไปในขวดกลั่น ถ้าเราเห็นว่ามีการละลายอยู่ใน adapter สูงกว่าสารละลายในขวดเก็บแอมโมเนียก็ให้เพิ่มความร้อนที่ขวดกลั่นหรือลดระดับให้ขวดเก็บแอมโมเนียต่ำลง เมื่อกลั่นเสร็จแล้วให้ล้าง adapter ด้วยน้ำกลั่นลงในขวดเก็บแอมโมเนียด้วย

ซ. ไทเทรตสารละลายในขวดเก็บแอมโมเนีย ด้วยสารละลายมาตรฐาน HCl เข้มข้น 0.1 M จนกระทั่งได้สีที่จุดยุติเป็นสีเดียวกับสีของขวดที่เตรียมไว้เป็นตัวเทียบสี

ณ. เพื่อให้แน่ใจว่าแอมโมเนียได้ถูกกลั่นออกมาหมดขวดให้นำขวดเก็บแอมโมเนียที่นำมาไทเทรตแล้วกลับเข้าไปเข้าเครื่องกลั่นต่อให้ได้น้ำที่กลั่นออกมาอีกประมาณ 25 ลบ.ซม. ถ้าอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีกลับไปใหม่ ต้องทำการไทเทรตต่ออีกด้วยสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์แสดงว่าในการกลั่นครั้งแรกแอมโมเนียถูกกลั่นหมดแล้ว ในการทดลองควรทำแบบลบล้างในวันเดียวกันโดยทำเหมือนกับการทำสารตัวอย่างทุกประการแตกต่างกันที่ไม่ได้ใส่สารตัวอย่างลงไป โดยเริ่มการทดลองตั้งแต่ข้อ ข. คือใส่กระดาษกรองย่นลงในขวดเจลดาห์ล โดยไม่มีสารตัวอย่างและเติมสารตัวอย่างอื่น ๆ เช่นเดียวกัน

ญ. ต้องทำการทดลองสารตัวอย่างอย่างน้อย 2 ครั้ง ถ้าได้คำตอบใน 2 ครั้ง ที่เท่ากันให้ใช้ค่าเฉลี่ยของ 2 ครั้งนั้น

ให้จุดผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดลงในตารางข้อมูลที่เตรียมไว้แล้วล่วงหน้า  
ในการวางแผนงาน ดังตัวอย่างที่ 8.1

ตัวอย่างที่ 8.1 การบันทึกข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หลังในตารางข้อมูลที่เตรียมไว้แล้วล่วงหน้า

1) ชั่งสารตัวอย่างในโตรเจน

สิ่งที่ต้องชั่ง	น้ำหนักเป็นกรัม
น.น.ขวดชั่ง + น.น.สารตัวอย่าง	19.3128
น.น.ขวดชั่ง	17.2896
น.น.สารตัวอย่าง	2.0232

2) ชั่งสารปฐุมภูมิเพื่อเตรียมเป็นสารละลาย 250 ลบ.ซม.

สิ่งที่ต้องชั่ง	น้ำหนักเป็นกรัม
น.น.ขวดชั่ง น.น. $\text{Na}_2\text{CO}_3$	18.5927
น.น.ขวดชั่ง	17.2894
น.น. $\text{Na}_2\text{CO}_3$	1.3033

3) การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดเกลือ

สารละลายในขวดรูปกรวย	กรดเกลือ (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
สารปฐุมภูมิ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 25.0 ลบ.ซม.	26.70	26.75	26.70	26.72	เมธิลออเรนจ์	เหลือง → ส้มแดง

4) การไทเทรตหาปริมาณไนโตรเจน

สารละลายในขวด รูปกรวย	กรดเกลือ (ลบ.ชม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนสีของ อินดิเคเตอร์	เบดงค์
	1	2	3	เฉลี่ย			
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> + NH <sub>3</sub>	19.95	21.50	21.70	21.60	Bromocresol green	น้ำเงิน → เขียว	0.55

3. การคำนวณผล ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ต้องนำมาคำนวณต่อเพื่อหาปริมาณไนโตรเจน จากข้อมูลพื้นฐานที่กลงในตัวอย่างที่ 8.1 สามารถทำการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

3.1 หาคความเข้มข้นของสารละลายปฐมภูมิจากน้ำหนักที่ชั่งได้

$$\begin{aligned}
 \text{M.W. Na}_2\text{CO}_3 &= 105.99 \\
 M_{\text{Na}_2\text{CO}_3} &= \frac{1.3033}{105.99} \times \frac{1,000}{250} \\
 &= 0.0492
 \end{aligned}$$

3.2 หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานเกลือ

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อใช้เมธิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์ในการไทเทรต คือ



$$\begin{aligned}
 \therefore \text{no. moles HCl} &= 2 \text{ no. moles Na}_2\text{CO}_3 \\
 &= \frac{2 \times 25.0 \times 0.0492}{1,000} \\
 &= 0.00246
 \end{aligned}$$

ปริมาตรของกรดเกลือที่ใช้ไปในการไทเทรตเท่ากับ 26.72 ลบ.ชม.

$$\begin{aligned}
 \therefore M_{\text{HCl}} &= \frac{0.00246 \times 1,000}{26.72} \\
 &= 0.0921
 \end{aligned}$$

3.3 หาเปอร์เซ็นต์ (w/w) ของไนโตรเจนในสารตัวอย่าง

ปริมาตรของกรดเกลือที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับก๊าซแอมโมเนีย = 21.60 - 0.55

$$= 21.05 \text{ ลิป.ซม.}$$

$$\begin{aligned} \text{no. moles NH}_3 &= \text{no. moles HCl} \\ &= \frac{21.05 \times 0.0921}{1,000} \\ &= 1.939 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

แสดงว่าไนโตรเจนมีอยู่ในสารตัวอย่าง =  $1.939 \times 10^{-3}$  โมล ซึ่งสารตัวอย่างมาเท่ากับ 2.0232 กรัม

$$\begin{aligned} \% \text{ N (W / W)} &= \frac{1.939 \times 10^{-3} \times 14 \times 100}{2.0232} \\ &= 1.34 \end{aligned}$$

สารตัวอย่างมีไนโตรเจนเท่ากับ 1.34%

#### หมายเหตุ

1. ในวิธีการทดลองข้อ ข. ของข้อ 2.4 เติมหิวปริกซีสไนท์เพื่อเป็นตัวเร่ง ซึ่งไม่มีความจำเป็นในการทดลองเท่าไร ถ้าไม่มีการเติมหิวปริกซีสไนท์ ต้องใช้ 1 : 3 ของคอปเปอร์ซัลเฟต : โพแทสเซียมซัลเฟตแทน 1 : 10 และใช้คอปเปอร์ซัลเฟตที่ไม่มีน้ำด้วย

สามารถใช้ซีสเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งแทนคิวปริกซีสไนท์ได้ ซึ่งจะให้ซีสเนียมที่เป็นควินพิซ การทำต้องระมัดระวังเป็นพิเศษและควรทำการย่อยในตู้ควินเท่านั้น

2. ในการกลั่นมีการเติมแผ่นของสังกะสีลงไปด้วย ทั้งนี้ เพื่อป้องกันการเดือดพล่าน (bumping) ระหว่างทำการกลั่นซึ่งป้องกันได้ เพราะสังกะสีจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์อย่างช้า ๆ ให้ก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งเกิดเป็นฟองก๊าซเล็ก ๆ ทำให้ไม่เกิดการเดือดพล่านได้

3. ถ้าสารตัวอย่างคือไนเตรต เช่น แอมโมเนียมไนเตรตและโซเดียมไนเตรตที่มีอยู่ในปุ๋ย สามารถทำการวิเคราะห์ โดยทำการกลั่นได้เลยไม่ต้องทำขั้นตอนของการย่อย โดยนำสารตัวอย่างมาละลายน้ำ จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์จนมากเกินพอ (เติมจนทำให้สารละลายมี NaOH ประมาณ 5 N) เติมหิวปริกซีสไนท์ 1-2 กรัม Devarda alloy คือ โลหะผสมของ Al 50%, Cu 45% และ Zn 5% แล้วทำการกลั่นสารละลายเป็นเวลา  $\frac{1}{2}$  - 1 ชั่วโมง Devarda alloy จะรีดิวซ์ไนเตรตให้ออกเป็นแอมโมเนีย ซึ่งในการรีดิวซ์จะให้ก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นด้วย ทำให้ไม่เกิดการเดือดพล่าน

## บทสรุป

การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธีเจลดาคัล เป็นวิธีวิเคราะห์ที่เรียกว่า วิธีทำให้กลายเป็นไอ (Volatilization method) ซึ่งในบทที่ 2 ได้แบ่งวิธีการวิเคราะห์ไว้เป็นวิธีหนึ่งของการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric analysis) ถ้าพิจารณาจากการทดลองจะเห็นว่าวิธีการวิเคราะห์นี้ไม่ได้มีการชั่งน้ำหนักของผลที่ได้จากการกลั่นในตอนสุดท้าย แต่กลับใช้เทคนิคของการไทเทรตมาวิเคราะห์ผลที่ได้จากการกลั่นแทน จึงสรุปได้ว่า การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธีเจลดาคัล เป็นประเภทของการวิเคราะห์ที่ใช้เทคนิคของการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี คือ เทคนิคของการวิเคราะห์โดยน้ำหนักและปริมาตรวิเคราะห์ การวิเคราะห์จะทำให้ผลดีต่อเมื่อผู้ทดลองสามารถชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างได้ถูกต้อง รู้วิธีการทำให้กลายเป็นไอ และเก็บไอของสารที่เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ และในขณะเดียวกันต้องรู้เทคนิคและวิธีการวิเคราะห์ของปริมาตรวิเคราะห์ การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธีเจลดาคัล นับว่าเป็นวิธีที่มีประโยชน์มาก เพราะสามารถใช้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนของสารประกอบทุกชนิดที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบได้ เช่น โปรตีนในอาหารต่าง ๆ และปุ๋ย เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อเสียอยู่บ้างสำหรับวิธีการวิเคราะห์ คือ การทดลองค่อนข้างยุ่งยาก จะต้องมีความระมัดระวังอย่างดี ตั้งแต่ความสะอาดของเครื่องมือ ความปลอดภัย เพราะมีอันตรายเกิดขึ้นจากการทดลองได้ง่าย ตลอดจนการติดตั้งเครื่องมือ ถ้าเครื่องมือมีรอยร้าวหรือต่อไม่สนิท ผลการวิเคราะห์จะผิดพลาดได้ ดังนั้น ผู้ที่จะทำการทดลองเรื่องนี้ ต้องมีความรู้และความชำนาญเพียงพอ

## คำถามท้ายบท

1. ขั้นตอนในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในสารตัวอย่าง มีกี่ขั้นตอน และแต่ละขั้นตอนมีวิธีการอย่างไร
2. ก๊าซแอมโมเนียที่ได้จากการกลั่นมีวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณกี่วิธี อะไรบ้าง ?
3. จงอธิบายวิธีการเตรียมสารละลายของอินดิเคเตอร์ไว้เปรียบเทียบสีในการไทเทรตสารละลายแอมโมเนียที่ได้จากการกลั่น
4. การทำแปลงคี่ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ทำได้อย่างไร
5. จงเขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างยูเรีย ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) กับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น เมื่อมีน้ำอยู่
6. สารละลายสีน้ำเงินและตะกอนสีดำที่เกิดขึ้นเมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปในช่วงเจดดาห์ล ในการวิเคราะห์ขั้นตอนของข้อ จ. คืออะไร
7. สารตัวอย่างหนัก 1.00 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 0.095 N HCl จำนวน 36.0 ลบ.ซม.
  - a) จงหาน้ำหนักของไนโตรเจนในสารตัวอย่าง
  - b) จงหาเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในสารตัวอย่าง เมื่อโปรตีนประกอบด้วยไนโตรเจน 15%
8. ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธีเจดดาห์ล แทนที่จะใช้ 4% กรดบอริก ในการเก็บก๊าซแอมโมเนีย กลับเปลี่ยนเป็นใช้ 0.1050 N HCl จำนวน 50.0 ลบ.ซม. หลังจากกลั่นก๊าซแอมโมเนียเสร็จแล้ว นำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.0875 N ปรากฏว่าใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.33 ลบ.ซม. ในการไทเทรตย้อนกลับ จงหาจำนวนกรัมของไนโตรเจนในสารตัวอย่าง
9. จงเขียนสมการของการรีดิวซ์ไนเตรตไอออนด้วยอะลูมิเนียม เป็นก๊าซแอมโมเนีย ในสารละลายของเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์
10. สารตัวอย่าง 0.500 กรัม นำมาละลายในน้ำเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์และ Devarda alloy จากนั้นทำการกลั่น ปรากฏว่าสารละลายของก๊าซแอมโมเนียที่เก็บได้ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 0.112 N HCl จำนวน 40.0 ลบ.ซม. จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ  $\text{NaNO}_3$  ในสารตัวอย่าง
11. สารตัวอย่างนมผงหนัก 1 กรัม ถูกนำมาวิเคราะห์โดยวิธีเจดดาห์ล แอมโมเนียที่กลั่นได้ถูกเก็บในสารละลายกรดเกลือเข้มข้น 0.1220 N จำนวน 50.0 ลบ.ซม. กรดเกลือที่มาก



เกินพอสามารถไทเทรตกับเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1450 N จำนวน 20.70 ลบ.ซม. แพกเตอร์ในการคำนวณเปลี่ยนค่าไนโตรเจนเป็นโปรตีน คือ 6.30 จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในสารตัวอย่าง

12. สารตัวอย่างปุ๋ยหนัก 1,000 กรัม ถูกนำมาวิเคราะห์โดยวิธีเจลดาร์ล แอมโมเนียถูกกลั่นลงไป 100.0 ลบ.ซม. ของ 1% กรดบอริกซึ่งเมื่อนำมาไทเทรตกับกรดเกลือเข้มข้น 0.0980 N ปรากฏว่าต้องใช้กรดเกลือเท่ากับ 45.32 ลบ.ซม. จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในปุ๋ย
-

ตารางสำหรับบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ผลการทดลองบทที่ 8

เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธีเจลดาคัล

ผู้ทดลอง 1. .... รหัส.....

1. .... รหัส.....

3. .... รหัส.....

ตอนที่..... กลุ่มที่.....

ทำการทดลองวันที่.....

1) ชั่งสารตัวอย่างไนโตรเจน

สิ่งที่ต้องชั่ง	น้ำหนักเป็นกรัม
น.น.ขวดชั่ง + น.น.สารตัวอย่าง น.น.ขวดชั่ง น.น.สารตัวอย่าง	

2) ชั่งสารปฐุมภูมิ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  เพื่อเตรียมเป็นสารละลาย 250 ลบ.ซม.

สิ่งที่ต้องชั่ง	น้ำหนักเป็นกรัม
น.น.ขวดชั่ง + น.น. $\text{Na}_2\text{CO}_3$ น.น.ขวดชั่ง น.น. $\text{Na}_2\text{CO}_3$	

ตารางสำหรับบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ผลการทดลองบทที่ 8

เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธีเจลดาคัลด์

ผู้ทดลอง 1. .... รหัส.....  
                  1. .... รหัส.....  
                  3. .... รหัส.....  
ตอนที่..... กลุ่มที่.....  
ทำการทดลองวันที่.....

1) ชั่งสารตัวอย่างไนโตรเจน

สิ่งที่ต้องชั่ง	น้ำหนักเป็นกรัม
น.น.ขวดชั่ง + น.น.สารตัวอย่าง น.น.ขวดชั่ง น.น.สารตัวอย่าง	

2) ชั่งสารปฐุมภูมิ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  เพื่อเตรียมเป็นสารละลาย 250 ลบ.ซม.

สิ่งที่ต้องชั่ง	น้ำหนักเป็นกรัม
น.น.ขวดชั่ง + น.น. $\text{Na}_2\text{CO}_3$ น.น.ขวดชั่ง น.น. $\text{Na}_2\text{CO}_3$	

3) การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดเกลือ

สารละลาย ในขวดรูปกรวย	กรดเกลือ (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนสี
	1	2	3	เฉลี่ย		
สารปฐุมภูมิ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 25.0 ลบ.ซม.						

4) การไทเทรตหาปริมาณไนโตรเจน

สารละลายใน ขวดรูปกรวย	กรดเกลือ (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนสี	แบลงค์
	1	2	3	เฉลี่ย			
$\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{NH}_3$							

3) การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดเกลือ

สารละลาย ในขวดรูปกรวย	กรดเกลือ (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนสี
	1	2	3	เฉลี่ย		
สารปฐมภูมิ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 25.0 ลบ.ซม.						

4) การไทเทรตหาปริมาณไนโตรเจน

สารละลายใน ขวดรูปกรวย	กรดเกลือ (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนสี	แบลจค์
	1	2	3	เฉลี่ย			
$\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{NH}_3$							