บทที่ 4
เครื่องชั่ง (Balance)

วัตถุประสงค์ เมื่อศึกษาบทเรียนนี้จบแล้วควรจะสามารถ

1. บอกได้ว่าเครื่องชั่งที่ใช้ในงานวิเคราะห์หาปริมาณแบ่งเป็นกี่แบบและแต่ละแบบมีหลักการและทฤษฎีของการชั่งอย่างไร
2. หาตำแหน่งสมดุลของเครื่องชั่งแบบ 2 จานได้
3. ใช้เครื่องชั่งแบบ 2 จาน ชั่งสารด้วยเทคนิคในการชั่งแบบชั่งโดยตรง ชั่งวิธีของเกาส์ และ ชั่งแบบแทนที่หรือวิธีของบอร์ดา
4. ใช้เครื่องชั่งแบบจานเดียว ชั่งสารด้วยเทคนิคในการชั่งแบบชั่งโดยวิธีธรรมดา และ ชั่งโดยวิธีผลต่างหรือแบ่งออก
5. บอกคุณสมบัติของเครื่องชั่งที่ดี
6. บอกกฎในการใช้เครื่องชั่งสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณ
7. บอกสาเหตุที่ทำให้การชั่งเกิดข้อผิดพลาด
8. ใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าจานเดียวยี่ห้อเมตท์เลอร์ (Mettler) ได้ถูกต้องสำหรับใช้ในการทำปฏิบัติการทดลองบทต่อ ๆ ไป

บทที่ 4
เครื่องชั่ง
(Balance)

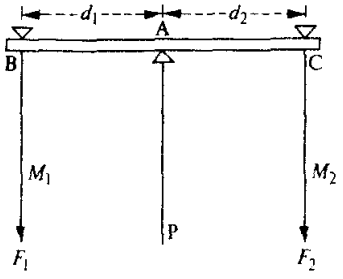
เครื่องชั่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่สุดในการวิเคราะห์หาปริมาณ การชั่งน้ำหนักจะเข้ามาเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เสมอไม่ว่าจะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีใด ๆ ก็ตาม ในการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric analysis) จำเป็นต้องมีการชั่งน้ำหนักของสารตัวอย่างและน้ำหนักของตะกอนอย่างละเอียดและถูกต้องแน่นอน ส่วนการวิเคราะห์วิธีปริมาตรวิเคราะห์ (Volumetric analysis) จำเป็นต้องชั่งน้ำหนักของสารมาตรฐานหรือสารปฐมภูมิอย่างถูกต้องแน่นอน ถ้าการชั่งน้ำหนักสามารถทำได้อย่างเที่ยงตรง และถูกต้องแน่นอน ผลการวิเคราะห์ก็จะถูกต้องด้วย ดังนั้น การศึกษาวิธีการใช้เครื่องชั่งและเทคนิคการชั่งอย่างถูกต้อง จึงเป็นสิ่งจำเป็นมากสำหรับการเรียนปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

ก่อนที่จะศึกษาเกี่ยวกับวิธีการใช้เครื่องชั่งและเทคนิคการชั่ง เราควรทราบถึงหลักการและทฤษฎีของเครื่องชั่งก่อน เครื่องชั่งที่ใช้ในงานวิเคราะห์มี 2 แบบ คือ เครื่องชั่งแบบ 2 จาน และเครื่องชั่งแบบจานเดียว เครื่องชั่งทั้ง 2 แบบ มีหลักการและทฤษฎีแตกต่างกัน ในปัจจุบันไม่นิยมใช้เครื่องชั่งแบบ 2 จาน เพราะการชั่งทำได้ช้ากว่าการใช้เครื่องชั่งแบบจานเดียว

1. เครื่องชั่งแบบ 2 จาน (The double - Pan Balance)

ทฤษฎีของเครื่องชั่งแบบ 2 จาน อธิบายได้ตามหลักของคานที่มีจุดหมุน (fulcrum) อยู่ระหว่างแรงถ่วง 2 ข้างของคาน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 การแกว่งของคานรอบจุดหมุน A ต้องแกว่งได้อย่างอิสระถ้าให้ F_1 และ F_2 คือแรงที่กระทำต่อคานทั้ง 2 ข้าง ซึ่งเกิดจากน้ำหนัก M_1 และ M_2 ตามกฎของโมเมนต์ เมื่อคานอยู่ในสมดุลจะได้

$$F_1 \times d_1 = F_2 \times d_2 \quad \text{.....(4.1)}$$



รูปที่ 4.1 แสดงจุดหมุนและแรงที่กระทำต่อคานของเครื่องชั่งแบบ 2 จาน

ในเมื่อแรงที่กระทำต่อคานเกิดจากน้ำหนักของวัตถุที่ใส่คูณด้วยอัตราเร่ง เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (g) จะได้

$$F_1 = M_1 g \quad \text{.....(4.2)}$$

$$F_2 = M_2 g \quad \text{.....(4.3)}$$

แทนค่าสมการที่ 4.2 และ 4.3 ลงในสมการที่ 4.1 จะได้

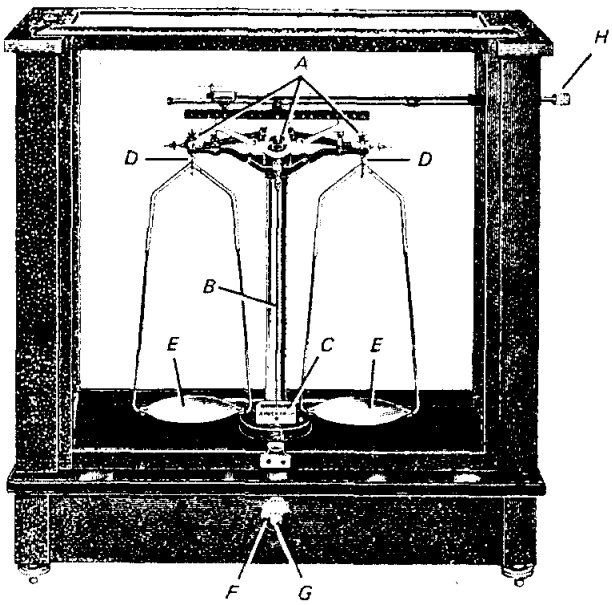
$$M_1 g d_1 = M_2 g d_2$$

$$\therefore \quad M_1 d_1 = M_2 d_2 \quad \text{.....(4.4)}$$

ถ้าคานของเครื่องชั่งแบบ 2 จานนี้ ออกแบบให้มี $d_1 = d_2$ จะได้

$$M_1 = M_2$$

นั่นคือ ถ้าให้ M_2 คือ น้ำหนักมาตรฐานที่ทราบค่าซึ่งใส่ลงในจานชั่งด้านขวามือ และ M_1 คือ น้ำหนักของวัตถุที่ต้องการชั่งหาน้ำหนักซึ่งใส่ลงในจานชั่งด้านซ้ายมือ เมื่อมีการใส่น้ำหนักมาตรฐาน M_2 จนคานอยู่ในสมดุล จะได้น้ำหนัก $M_1 = M_2$ ทำให้ทราบน้ำหนักของวัตถุได้โดยอ่านจากน้ำหนักมาตรฐาน M_2 ความถูกต้องของน้ำหนัก M_1 ที่อ่านได้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักมาตรฐาน M_2 ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน M_2 จะจัดไว้เป็นชุดมีขนาดต่าง ๆ กัน คือ 100, 50, 30, 20, 10, 5, 3, 2, 1 กรัม และ 500, 300, 200, 100, 50, 30, 20, 10 มิลลิกรัม น้ำหนักที่น้อยกว่า 10 มิลลิกรัม สามารถเพิ่มให้แก่คานได้โดยใช้ไรเดอร์ (rider) เครื่องชั่งแบบ 2 จาน มีรูปร่างลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.2 ตัวเครื่องชั่งต้องบรรจุอยู่ภายในตู้กระจกเพื่อป้องกันลมพัดเข้าออกในขณะชั่ง ด้านหน้าตู้เครื่องชั่งเป็นหน้าต่างที่เลื่อนเปิดปิดได้สำหรับนำวัตถุที่ต้องการชั่งและตุ้มน้ำหนักเข้าออก



A = สันมีด
B = เข็มชี้
C = สเกลเพื่อดูการแกว่ง
D = ที่แขวนจาน
E = จาน
F = ทำให้คานหยุดนิ่ง
G = ทำให้จานหยุดนิ่ง
H = ควบคุมไรเดอร์

รูปที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องชั่ง 2 จาน

1.1 วิธีการชั่งโดยใช้เครื่องชั่งแบบ 2 จาน วิธีการชั่งสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้ คือ

ก. ปรับเครื่องชั่งให้อยู่ในระดับสมดุล ทำได้โดยขันสกรูที่ขาแท่นเครื่องชั่ง แล้วสังเกตว่าเครื่องชั่งอยู่ในระดับสมดุลได้จากจุดตั้งระดับบนแท่น

ข. บิดปุ่ม F และ G ให้คานแกว่งได้อย่างอิสระ สังเกตว่าคานอยู่ในสมดุลหรือไม่จากการแกว่งของเข็มที่สเกล C เข็มต้องแกว่งไปทางซ้ายและขวาได้เท่ากัน จึงจะได้ตำแหน่งสมดุลที่ 0 พอดี ถ้าตำแหน่งสมดุลไม่อยู่ที่ 0 ต้องมีวิธีการหาตำแหน่งสมดุลก่อน (ดูวิธีการหาตำแหน่งสมดุลในหัวข้อ 1.2) หรืออาจจะปรับคานให้ได้ตำแหน่งสมดุลที่ 0 พอดีก็ได้

ค. ทำให้คานและจานหยุดนิ่งโดยบิดปุ่ม F และ G กลับที่เดิม

ง. เปิดตู้กระจกนำวัตถุที่ต้องการชั่งใส่ลงในจานด้านซ้ายมือ และใส่ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานทางขวามือ กะประมาณให้น้ำหนักทั้ง 2 ด้านเท่ากัน ปิดตู้กระจกแล้วบิดปุ่ม F และ G ให้คานแกว่งอย่างอิสระ ถ้าเข็มแกว่งชี้ไปทางซ้าย แสดงว่าตุ้มน้ำหนักมาตรฐานมากไปให้เอาออก ถ้าชี้ไปทางขวาแสดงว่าน้อยไปให้เพิ่มเข้าไปอีกจนกว่าจะอยู่ในสมดุล โดยจะต้องได้ตำแหน่งสมดุลคือ ตำแหน่งเดียวกับที่หาไว้ในข้อ ข. ถ้าต้องการน้ำหนักที่น้อยกว่า 10 มิลลิกรัม เพื่อทำให้คานสมดุลให้เลื่อนไรเดอร์โดยใช้คาน H เกี่ยวไรเดอร์เลื่อนหาตำแหน่งที่เหมาะสม

จ. ทำให้คานและจานหยุดนิ่ง

ฉ. อ่านน้ำหนักวัตถุจากตุ้มน้ำหนักมาตรฐานและสเกลของไรเดอร์ จะได้น้ำหนักวัตถุที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม

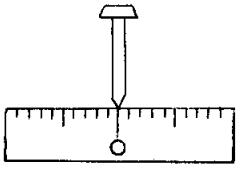
ช. นำวัตถุและตุ้มน้ำหนักออกจากเครื่องชั่ง

ซ. ปิดตู้กระจกเครื่องชั่งและทำความสะอาดให้เรียบร้อยพร้อมทั้งเอาผ้าคลุมไว้

1.2 การหาตำแหน่งสมดุล วิธีการชั่งแบบ 2 จาน ต้องมีการหาตำแหน่งสมดุลของคานก่อนจะทำการชั่งวัตถุ จึงจะทำให้ได้น้ำหนักของวัตถุที่ถูกต้อง วิธีการหาตำแหน่งสมดุลสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1.2.1 การหาตำแหน่งสมดุลโดยวิธีแกว่งแบบสั้น (Short Swings)

ในการหาจุดสมดุลในการชั่งถ้ารอให้เข็มหยุดแกว่งและชี้จุดสมดุล จะทำให้เสียเวลานานโดยไม่จำเป็น ในการชั่งเพื่อประหยัดเวลาสามารถหาจุดหยุดของเข็มในการชั่งได้โดยใช้ตำแหน่ง 2 ค่าที่เข็มของเครื่องชั่งแกว่งไปทั้ง 2 ด้านต่อเนื่องกัน มาคำนวณหาจุดหยุด การหาจุดสมดุลของเข็มเครื่องชั่งโดยวิธีแกว่งแบบสั้นนี้เข็มของเครื่องชั่งควรแกว่งไม่เกิน 4 ขีด จากจุด 0



เช่น ถ้าเข็มเครื่องชั่งแกว่งไป + 2.2 และ − 2.0

$$\text{จุดหยุดของเข็มจะมีค่า} = \frac{(+2.2) + (-2.0)}{2}$$

$$= +0.1$$

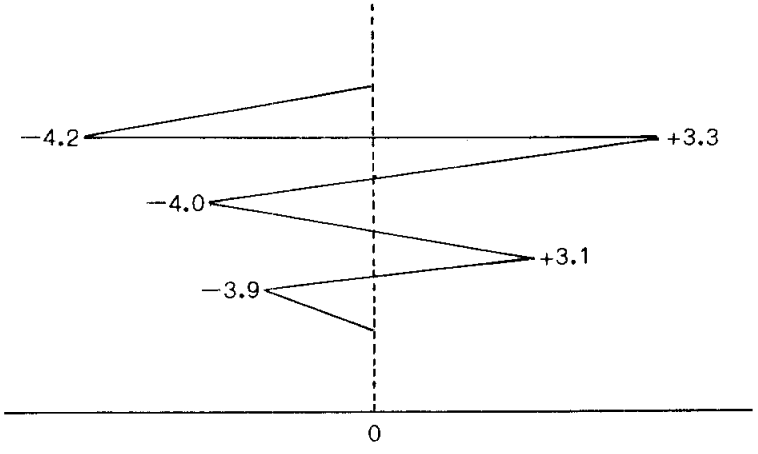
ถ้าในการชั่งหาจุดหยุดที่ปราศจากมวลได้ +0.1 เมื่อเติมวัตถุและตุ้มน้ำหนักลงในจานชั่งทั้งสองแล้วต้องให้มีค่าจุดหยุดที่มีมวลเท่ากับ +0.1 ด้วย จึงจะได้น้ำหนักของวัตถุเท่ากับน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักที่เติมลงไป

1.2.2 การหาตำแหน่งสมดุลโดยวิธีแกว่งแบบยาว (Long Swing)

แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ก. หาจุดหยุดที่ปราศจากมวล (zero rest point) จานของเครื่องชั่งจะต้องว่างเปล่า บนจานชั่งจะมีคานสำหรับวางไรเดอร์ วางไรเดอร์ให้ตรงขีดศูนย์ของคาน ปิดประตูเครื่องชั่งและลดคันบังคับจานชั่ง เข็มของเครื่องชั่งจะแกว่งไปมา สเกลที่เข็มของเครื่องชั่งจะแบ่งเป็น 20 ช่วง ตรงกลางเป็นขีด 0 และมาทางซ้ายมือ 10 ขีด และขวามือ 10 ขีด ให้ตำแหน่งที่เข็มแกว่งมาทางซ้ายมือเป็น − และตำแหน่งทางขวามือเป็น + หาตำแหน่งที่เข็มแกว่งไปทางซ้ายและขวาต่อเนื่องกัน

5 ค่า (ปกติจำนวนครั้งที่อ่านจะเป็นเลขคี่จะเริ่มจากทางซ้ายมือหรือขวามือก็ได้) หาค่าเฉลี่ยของตำแหน่งที่เข็มชี้ทางซ้ายมือและขวามือ แล้วนำค่าเฉลี่ยทั้งสองค่ามารวมกันโดยคิดเครื่องหมายแล้วหารด้วย 2 ค่าที่ได้เป็นตำแหน่งจุดหยุดที่ปราศจากมวล



$$\frac{(-4.2) + (-4.0) + (-3.9)}{3} = -4.0 \qquad \frac{(+3.3) + (+3.1)}{2} = +3.2$$

$$\text{จุดหยุดที่ปราศจากมวล} = \frac{(-4.0) + (3.2)}{2} = -0.4$$

ข. การหาจุดหยุดที่มีมวล ให้วางวัตถุที่ต้องการชั่งทางซ้ายมือและเติมตุ้มน้ำหนักทางขวามือ จนกระทั่งได้จุดหยุดที่มีมวลเท่ากับจุดหยุดที่ปราศจากมวล การชั่งโดยค่อย ๆ เพิ่มน้ำหนักโดยการเลื่อนไรเดอร์จะทำให้เสียเวลามาก สามารถใช้วิธีการคำนวณโดยการหาค่าสภาพไว (sensitivity) เพื่อหาน้ำหนักที่จะทำให้จุดหยุดทั้งสองเท่ากัน จากข้อ ก. ได้จุดหยุดที่ปราศจากมวล = −0.4 ถ้าสมมุติว่าเมื่อเติมวัตถุและตุ้มน้ำหนักแล้ว หาจุดหยุดที่มีมวลได้ = +2.8 แสดงว่าวัตถุหนักกว่าตุ้มน้ำหนักสเกลที่ห่างกันของทั้งสองจุด คือ +2.8 − (−0.4) = 3.2 ขีด จากนั้น ให้เลื่อนไรเดอร์เพิ่มอีก 1 ตำแหน่ง (1 มิลลิกรัม) ปรากฏว่าหาค่าจุดหยุดที่มีมวลได้ = −0.8 แสดงว่าน้ำหนัก 1 มก. จะทำให้ตำแหน่งของจุดหยุดที่มีมวลเปลี่ยนไปเท่ากับ +2.8 − (−0.8) = 3.6 ขีด หรือสภาพไวมีค่าเท่ากับ 3.6 ขีดต่อ 1 มิลลิกรัม ถ้าต้องการให้สเกลของจุดหยุดที่มีมวลต่างออกไปเท่ากับ 3.2 ขีด จะต้องเพิ่มน้ำหนักเท่ากับ $\frac{1}{3.6} \times 3.2 = 0.89$ มิลลิกรัม ดังนั้น ให้เลื่อนไรเดอร์เพิ่มน้ำหนักอีก 0.89 มิลลิกรัม ก็จะทำให้ได้จุดหยุดที่ปราศจากมวลมีค่าเท่ากับจุดหยุดที่มีมวล ซึ่งหาค่าน้ำหนักของวัตถุได้ โดยนำน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักทั้งหมดรวมกับไรเดอร์ด้วย

1.3 เทคนิคในการชั่ง การชั่งโดยใช้เครื่องชั่ง 2 จาน มีเทคนิคในการชั่งอยู่ 3 แบบ คือ

1.3.1 การชั่งโดยตรง การชั่งด้วยวิธีนี้ต้องมีการหาตำแหน่งสมดุลของเครื่องชั่งให้ได้ก่อนตามหัวข้อ 1.2 จากนั้นนำวัตถุที่ต้องการชั่งใส่ลงบนจานด้านซ้ายมือ แล้วเติมตุ้มน้ำหนักมาตรฐานจนเครื่องชั่งอยู่ในตำแหน่งสมดุล น้ำหนักของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานก็คือ น้ำหนักของวัตถุนั่นเอง วิธีการชั่งทำได้ตามหัวข้อ 1.1

1.3.2 วิธีของเกาส์ (Gauss's Methods) วิธีของเกาส์เป็นเทคนิคของการชั่งที่สามารถลดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น เนื่องจากแขนทั้งสองของเครื่องชั่งไม่เท่ากัน เป็นวิธีที่ต้องทำการชั่ง 2 ครั้ง พิจารณาคานของเครื่องชั่งตามรูปที่ 4.1 เมื่อความยาวของคานทั้งสองข้างมีค่าเท่ากับ d_1 และ d_2 และมีน้ำหนักวัตถุเท่ากับ M_1 อยู่ทางจานซ้าย ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน M_2 อยู่ทางจานขวาเมื่อเครื่องชั่งอยู่ในสมดุลตามกฎของโมเมนต์ จะได้สมการที่ 4.4 คือ

$$M_1 d_1 = M_2 d_2$$

เมื่อสลับการชั่งโดยเอาวัตถุ M_1 มาใส่ทางจานขวามือบ้าง แล้วใส่ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานไว้ที่จานซ้ายมือ สมมุติว่าตุ้มน้ำหนักที่ทำให้คานอยู่ในสมดุลได้ใหม่ คือ M_s นั่นคือ เราจะได้

$$M_s d_1 = M_1 d_2$$

เมื่อนำสองสมการข้างบนหารกัน จะได้

$$\frac{M_1 d_1}{M_s d_1} = \frac{M_2 d_2}{M_1 d_2}$$

$$\therefore \quad M_1 = \sqrt{M_s M_2} \qquad \text{.....(4.5)}$$

M_1 ที่หาได้จากสมการที่ 4.5 คือ น้ำหนักที่แท้จริงของวัตถุนั่นเอง

1.3.3 วิธีของบอร์ดาหรือการชั่งแบบแทนที่ (Borda's method of substitution)

การชั่งแบบนี้ใช้เมื่อเครื่องชั่งมีแขนทั้งสองของเครื่องชั่งยาวไม่เท่ากันทำได้โดยการใช้วัตถุวางบนจานซ้าย และตุ้มน้ำหนักวางบนจานขวา และบนจานซ้ายควรหาลูกตะกั่วหรือถุงทรายใส่เข้าไปด้วยเพื่อทำให้เครื่องชั่งสมดุล หลังจากนั้นให้เอาวัตถุที่ต้องการหาน้ำหนักออกจากจานชั่ง และเอาตุ้มน้ำหนักที่จานขวาออกด้วยให้เท่า ๆ กัน เมื่อเอาตุ้มน้ำหนักออกจนเครื่องชั่งสามารถอยู่ในสมดุลได้ก็แสดงว่า น้ำหนักที่เอาออกก็คือน้ำหนักของวัตถุนั่นเอง

กิจกรรมที่ 4.1

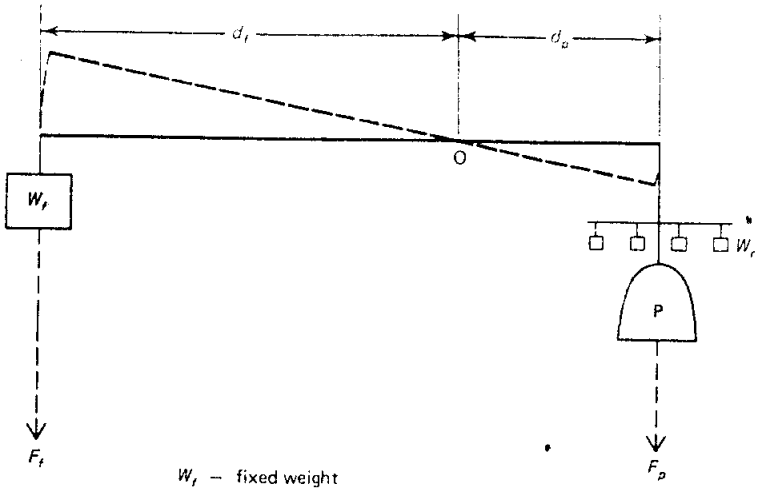
ทดลองหาตำแหน่งสมดุลโดยวิธีแกว่งแบบสั้นและแกว่งแบบยาวของเครื่องชั่งแบบ 2 จาน และทดลองชั่งวัตถุชนิดใดชนิดหนึ่งด้วยเทคนิคในการชั่ง โดยตรง วิธีของเกาส์ และ วิธีของบอร์ดา

2. เครื่องชั่งแบบจานเดียว (The single - pan balance)

เครื่องชั่งแบบจานเดียวสามารถแบ่งได้อีก 2 ประเภท คือ เครื่องชั่งแมกคานิกส์ (mechanical balance) และเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic balance) เครื่องชั่งแบบจานเดียวนี้ต้องใช้กับไฟฟ้าด้วย เพราะน้ำหนักที่น้อยกว่า 1 กรัม จะถูกปรับให้อ่านได้อย่างอัตโนมัติจากสเกลของเวอร์-เนียร์ตามแสงไฟที่สะท้อนมาจากสเกลเชิงแสง (optical scale) เครื่องชั่งแบบจานเดียวนิยมใช้ในงานวิเคราะห์ปริมาณมากกว่าเครื่องชั่งแบบ 2 จาน เพราะสามารถชั่งได้ถูกต้องและรวดเร็วกว่า

2.1 เครื่องชั่งแมกคานิกส์แบบจานเดียว (Single pan mechanical balance)

เครื่องชั่งแมกคานิกส์แบบจานเดียวยังคงใช้หลักการของคานเช่นกัน คือ มีจุดหมุนและแรงถ่วง 2 ข้างของคาน แรงถ่วงข้างหนึ่งจะเป็นน้ำหนักที่แน่นอน (fixed weight) ที่ติดไว้ตายตัวกับคานข้างหนึ่งจะเพิ่มหรือลดน้ำหนักไม่ได้ ส่วนคานอีกข้างหนึ่งเป็นน้ำหนักที่มีขนาดต่าง ๆ กัน ถ่วงเอาไว้สามารถเอาออกไปได้ (Removable weight) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เมื่อต้องการชั่งวัตถุ จะวางวัตถุลงในคานที่มีน้ำหนักที่สามารถเอาออกได้ถ่วงไว้ เมื่อใส่วัตถุเข้าไปคานจะไม่อยู่ในสมดุล ให้เอาน้ำหนักที่เอาออกได้ออกไปจนคานกลับมาอยู่ในสมดุลอย่างเดิม น้ำหนักที่เอาออกไปก็คือน้ำหนักของวัตถุนั่นเอง เนื่องจากน้ำหนักที่เอาออกได้ที่น้อยที่สุด คือ 1 กรัม และไม่มีทางเป็นไปได้ที่น้ำหนักของวัตถุที่ใส่เข้าไปจะพอดีกับขนาดที่เป็นกรัมที่เอาออกได้นั้น ดังนั้น หลังจากที่เอาน้ำหนักเป็นกรัมออกไปได้แล้ว ก็จะยังไม่มีผลทำให้คานอยู่ในสมดุลได้ ทั้งนี้ เพราะยังเกิดความแตกต่างระหว่างน้ำหนักของวัตถุและน้ำหนักที่เอาออกไปได้ซึ่งน้อยกว่า 1 กรัมอยู่ ในขั้นตอนนี้จะใช้สเกลที่ทำงานด้วยระบบแสงวัดความแตกต่างของน้ำหนักที่น้อยกว่า 1 กรัม



W_f – fixed weight
W_r – removable weights
d_f – length of fixed weight arm
d_p – length of pan arm
F_f – gravitational force on fixed weight arm
F_p – gravitational force on pan arm
O – fulcrum
P – pan
W_{fa} – total weight of fixed weight arm
W_{pa} – total weight of pan arm, pan, and W_r

รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะการทำงานของคานของเครื่องชั่งแมกคานิกส์แบบจานเดียว

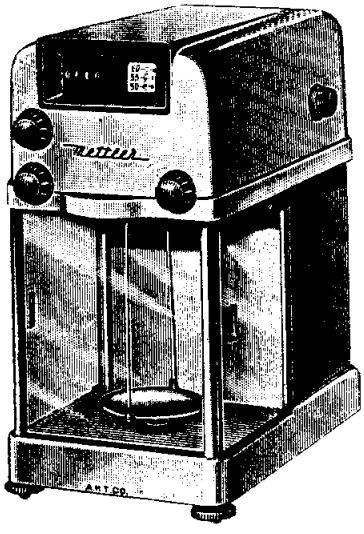
จากรูปที่ 4.3 ที่สมดุล จะได้

$$F_f d_f = F_p d_p \quad \text{.....(4.6)}$$

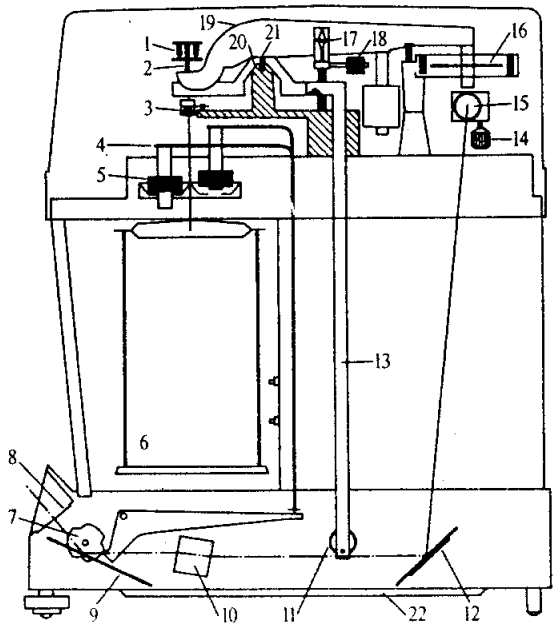
F_p คือแรงที่เกิดเนื่องจาก $W_t \times g$ เมื่อ W_t หมายถึง น้ำหนักรวมที่เกิดจากน้ำหนักคาน (W_a) น้ำหนักจานชั่ง (W_p) และน้ำหนักของตุ้มที่เอาออกได้ (W_r)

$$W_t = W_a + W_p + W_r \quad \text{.....(4.7)}$$

เนื่องจาก $F_f d_f$ มีค่าคงที่ เมื่อนำวัตถุไปใส่ในคานจะมีผลทำให้ W_t เปลี่ยนไป เราต้องพยายามจัดให้ W_t มีค่าเท่าเดิม เพื่อทำให้ $F_p d_p$ ยังคงมีค่าเท่ากับ $F_f d_f$ ซึ่งจะทำได้โดยนำตุ้มใน W_r ออกไปนั่นเอง เครื่องชั่งจานเดียวแบบแมกคานิกส์เมื่อประกอบขึ้นเพื่อใช้งานจะมีรูปร่างลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 รูปร่างลักษณะของเครื่องชั่งแมกคานิกส์แบบจานเดียว

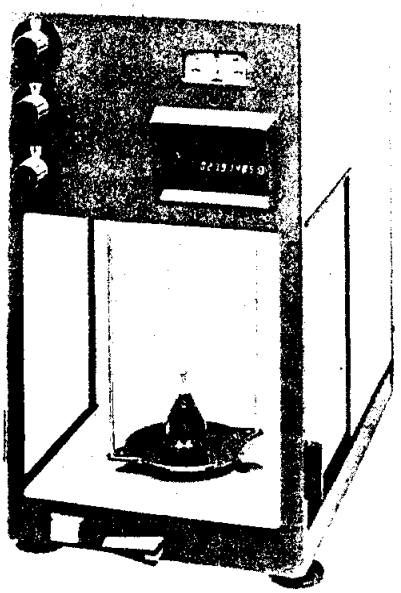


1 Compensating stirrup
2 Front knife edge
3 Overhead pan brake
4 Weight carriage
5 Built-in weights
6 Weighing pan
7 Weight control mechanism
8 Optical projection screen
9 Micrometer mirror
10 Micrometer prism
11 Arrestment cam
12 Zero point mirror
13 Arrestment rod
14 Objective focus control
15 Optical scale and objective
16 Air damper
17 Sensitivity adjustment
18 Macro zero adjustment
19 Beam
20 Main bearing
21 Main knife
22 Voltage selector edge

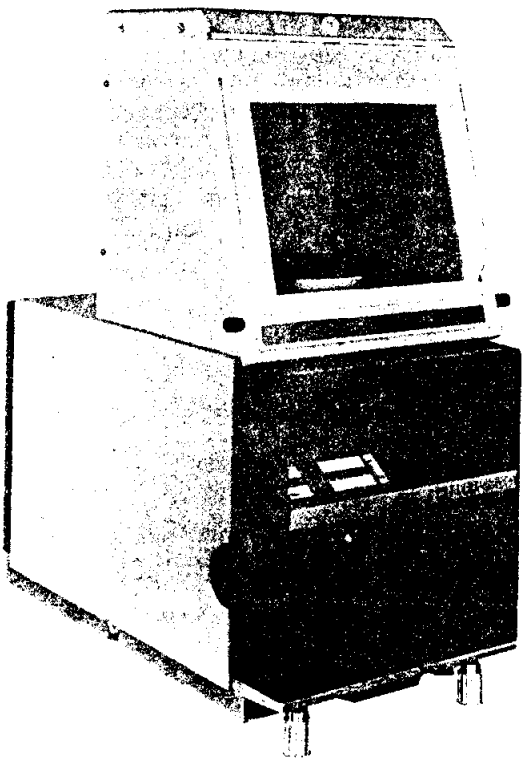
รูปที่ 4.5 แสดงส่วนประกอบของเครื่องชั่งแมกคานิกส์แบบจานเดียว

2.2 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic balance)

หลังจากที่ได้รู้จักใช้เครื่องชั่งแมกคานิกส์แบบจานเดียวแล้ว ก็ได้มีการพัฒนาเครื่องชั่งเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงขึ้น มีสภาพไวสูงขึ้น จึงเกิดเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นในปี ค.ศ. 1970 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ที่มีสภาพไวและประสิทธิภาพสูงสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิกรัม เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์มีอยู่ 2 แบบ คือแบบบอททอมโลด (Bottom loader) และทอปโลด (Top loader) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.6 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์แบบบอททอมโลด



รูปที่ 4.7 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์แบบทอปโลด

หลักการของเครื่องชั่งแบบนี้ คือ น้ำหนักของวัตถุที่ต้องการจะชั่งทราบได้โดยการเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่เกิดจากแรงแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งได้เปรียบเทียบน้ำหนักกับน้ำหนักมาตรฐานไว้แล้ว เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ทำงานได้โดยแรงกด เนื่องจากวัตถุที่ต้องการจะชั่งทำให้คานไม่อยู่ในสมดุล ซึ่งเครื่องชั่งจะรับรู้ด้วย electronic position sensor จากนั้นจะมีแรงกดในทิศทางตรงกันข้ามโดย electronic force - generating device เพื่อทำให้คานกลับมาสู่สมดุล กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในส่วนนี้ก็จะถูกขยายและแสดงให้เห็นเป็นตัวเลขของน้ำหนักวัตถุที่ต้องการทราบน้ำหนักบนหน้าปัด (digital)

ในตอนแรกเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตขึ้นใช้นั้น เป็นแบบลูกผสมระหว่างระบบแมกคานิกส์และระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีหลักการเช่นเดียวกับเครื่องชั่งระบบแมกคานิกส์ คือใช้หลักการของคาน วิธีชั่งต้องเอาน้ำหนักออกจากจุดน้ำหนักเมื่อวางวัตถุลงบนจาน เพื่อทำให้เครื่องชั่งสมดุล ซึ่งวิธีการเอาน้ำหนักออกนั้นจะใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ คือ แรงกดของวัตถุเมื่อวางลงบนจานจะดันเอาน้ำหนักที่เอาออกได้ออกไปเท่ากับน้ำหนักวัตถุโดยไม่ต้องใช้ปุ่มปรับน้ำหนัก จากนั้นน้ำหนักที่น้อยกว่าชุดน้ำหนักที่เอาออกได้ จะหาได้จากผลหมุนในการทำให้เครื่องชั่งสมดุลและหยุดนิ่ง ซึ่งทำได้โดยใช้ variable force coil จะเห็นได้ว่าเครื่องชั่งแบบนี้ชั่งได้สะดวกและรวดเร็ว เพราะไม่ต้องเสียเวลาในการปรับน้ำหนัก เครื่องชั่งจึงสามารถชั่งวัตถุที่มีน้ำหนักมากหรือน้อยได้ด้วยความสะดวกที่เท่ากัน

สำหรับเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ใช้ระบบของคาน สามารถทำงานได้โดยใช้ capacitive และ photoelectric detector และ force coil compensation system

เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์มีราคาแพงกว่าเครื่องชั่งแบบแมกคานิกส์ แต่เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ใช้ง่ายกว่า และชั่งได้รวดเร็วกว่ามาก เพราะมีปุ่มควบคุมน้อยกว่า (ปกติมีปุ่มเดียวเท่านั้น) ยิ่งกว่านั้นถ้าชั่งมาก ๆ หลาย ๆ ครั้ง ข้อผิดพลาดจะมีน้อยกว่ามาก เพราะน้ำหนักของวัตถุที่ต้องการชั่งจะถูกอ่านบนหน้าปัดออกมาได้เกือบทันทีที่วางวัตถุลงบนจาน และทุกระบบจะกลับคืนจุดเดิมได้ทันทีที่หยิบวัตถุออก

2.3 วิธีการชั่งโดยใช้เครื่องชั่งแบบจานเดียว วิธีการชั่งวัตถุหรือสารต่าง ๆ ด้วยเครื่องชั่งแบบจานเดียวของเครื่องชั่งแต่ละเครื่อง จะแตกต่างกันตามชนิดและยี่ห้อของเครื่อง แต่ละบริษัทที่ผลิตเครื่องชั่งไฟฟ้าแบบจานเดียวขึ้นมา จะมีวิธีการใช้ที่แตกต่างกัน ดังนั้น ก่อนลงมือใช้เครื่องชั่งต้องอ่านรายละเอียดและวิธีการใช้ในหนังสือคู่มือการใช้เครื่องก่อน จึงจะทราบว่าปุ่มใดทำหน้าที่อะไร และเครื่องชั่งสามารถใช้งานอะไรได้บ้าง นักศึกษาไม่ควรหมุนปุ่มต่าง ๆ ของเครื่องชั่งโดยไม่รู้หน้าที่ของมัน แต่อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าจะเป็นเครื่องชั่งชนิดหรือยี่ห้อใดก็ตาม ก็จะมีขั้นตอนในการชั่งเหมือนกัน ดังนี้ คือ

ก. ทำเครื่องชั่งให้ตั้งอยู่ในระดับระนาบ โดยต้องตั้งอยู่ในที่เรียบไม่สั่นสะเทือน

ข. ตรวจสอบว่าเครื่องชั่งอยู่ในสมดุลหรือไม่

ค. นำสิ่งของที่ต้องการชั่งใส่ในจานของเครื่องชั่ง แล้วหาน้ำหนักโดยประมาณของสิ่งของนั้น เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์บางแบบไม่ต้องทำขั้นตอนนี้

ง. ปรับน้ำหนักของเครื่องชั่งให้มีน้ำหนักเท่ากับสิ่งของนั้น ซึ่งจะปรับได้เป็นจำนวนเต็มของกรัม

จ. เปิดเครื่องเพื่ออ่านน้ำหนักที่น้อยกว่า 1 กรัม

ฉ. เมื่อได้น้ำหนักละเอียดแล้ว ให้ปิดเครื่องก่อน ๆ ที่จะนำสิ่งของออกจากจานของเครื่องชั่ง

ขั้นตอนของการชั่งทุกขั้นตอนที่กล่าวมา จะมีวิธีการปฏิบัติอย่างไรนั้นต้องอ่านจากหนังสือคู่มือของเครื่อง เพราะเครื่องชั่งแต่ละเครื่องจะมีวิธีปฏิบัติที่แตกต่างกัน

2.4 เทคนิคในการชั่งสาร เมื่อต้องการใช้เครื่องชั่งชนิดจานเดียวชั่งสารต่าง ๆ จะมีเทคนิคในการชั่งอยู่ 2 วิธี คือ

2.4.1 การชั่งโดยวิธีธรรมดา

ปกติถ้าสารที่ต้องการจะชั่งเป็นสารที่ค่อนข้างเสถียร (stable substances) คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อถูกอากาศ นิยมใช้วิธีชั่งแบบวิธีธรรมดา คือ ชั่งภาชนะเปล่าที่แห้งและสะอาดเสียก่อน แล้วค่อย ๆ เติมสารลงไปจนได้จำนวนที่ต้องการ แล้วชั่งอีกครั้งหนึ่ง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจะเป็นน้ำหนักของสารนั้น วิธีนี้ชั่งได้เร็วสะดวกโดยเฉพาะสารที่ต้องการชั่งให้ได้น้ำหนักตามที่กำหนดจริง ๆ เช่น ในการเตรียมสารละลายมาตรฐาน และชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้ เป็นต้น ในการชั่งภาชนะที่ใช้ชั่งอาจเป็นขวดชั่งหรือกระจกนาฬิกาก็ได้ ส่วนการตักสารเพื่อชั่งควรใช้ช้อนตักสารลงในภาชนะเพิ่มทีละน้อย จนได้จำนวนพอกับที่ต้องการ

2.4.2 การชั่งโดยวิธีผลต่างหรือแบบแบ่งออก

การชั่งแบบผลต่างนิยมใช้เมื่อสารที่ต้องการจะชั่งค่อนข้างไม่เสถียร มักดูดความชื้นได้ง่าย และแบบนี้นิยมใช้เมื่อต้องการชั่งสารที่ไม่จำเป็นต้องให้มีน้ำหนักพอดีกับวิธีทำที่บอกไว้ เช่น วิธีทำบอกว่าให้ชั่งสารตัวอย่างประมาณ 0.3 กรัม น้ำหนักแน่นอน ก็อาจชั่งให้อยู่ระหว่าง 0.25-0.35 กรัม โดยน้ำหนักละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม เป็นต้น วิธีนี้ทำโดยเอาสารจำนวนหนึ่งใส่ลงในขวดชั่งที่แห้งสะอาดและมีจุกปิดสนิท แล้วทำการชั่งน้ำหนักไว้ จากนั้นเทสารลงในขวดหรือภาชนะที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ กะให้พอดีหรือน้อยกว่าที่ต้องการไว้ก่อน แล้วจึงชั่งน้ำหนักของขวดชั่งและสารที่เหลือในขวดชั่งอีกครั้งหนึ่ง ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งนี้ คือน้ำหนักสารที่ต้องการ ถ้ายังไม่พอก็ให้เทสารออกจนได้จำนวนตามที่ต้องการ

3. คุณสมบัติของเครื่องชั่งที่ดี

เครื่องชั่งที่ดีต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ

3.1 ต้องมีความแน่นอนในการชั่งสูง (high precision หรือ good reproducibility) คือ เมื่อทำการชั่งวัตถุชิ้นเดียวกันหลาย ๆ ครั้ง ค่าที่ได้จากการชั่งแต่ละครั้งควรมีค่าเท่ากัน การแสดงความแน่นอนของการชั่งสามารถแสดงได้ในเทอมของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการชั่งวัตถุชิ้นเดียวกันหลาย ๆ ครั้ง ความแน่นอนของการชั่งขึ้นอยู่กับ

ก. คุณภาพของเครื่องชั่ง

ข. สภาวะแวดล้อมขณะชั่ง ไม่ควรมีลมพัดแรง ๆ และเครื่องชั่งไม่ควรแกว่งไปมาเนื่องจากแรงสะเทือน และไม่ควรมีควันที่สามารถกัดกร่อนได้

ค. ความชำนาญของผู้ชั่ง

3.2 เครื่องชั่งต้องตั้งอยู่ในที่สมดุล หลังจากที่คานแกว่งจนหยุดนิ่งแล้ว ต้องอยู่ในแนวระนาบ (horizontal) ถ้าคานไม่อยู่ในแนวระนาบต้องปรับให้อยู่ในแนวระนาบก่อนทำการชั่ง มิฉะนั้นผลที่ได้จากการชั่งจะไม่แน่นอน

3.3 เครื่องชั่งต้องมีสภาพไวสูง เครื่องชั่งที่ดีควรมีสภาพไวอย่างน้อย 0.1 มิลลิกรัม คือ สามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม เราสามารถให้นิยามสภาพไวของเครื่องชั่ง (Sensitivity of a balance) เป็นมุมของคาน (α) ที่เบนไปได้เมื่อเติมน้ำหนักที่ทราบค่าจำนวนน้อย ๆ ลงไป ถ้าน้ำหนักที่เติมลงไปแล้วทำให้เกิดมุม α คือ w และ d คือ ความยาวของคาน และ W คือน้ำหนักของคาน และ h คือ ระยะทางระหว่างจุดหมุนกับจุดศูนย์กลางของแรงถ่วง เราจะได้

$$\tan \alpha = \frac{wd}{Wh} \qquad \text{.....(4.8)}$$

มุมที่เบนไปของคานมีค่าเท่ากับมุมที่เบนไปของจุดที่อยู่ที่ปลายคานนั่นเองซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับจำนวนตัวเลขที่แบ่งไว้ระหว่างจุด 2 จุด ที่เบนไป ดังนั้น จึงสามารถให้ความหมายของคำว่า สภาพไว (Sensitivity) ของเครื่องชั่ง คือ จำนวนตัวเลขบนสเกลที่แบ่งไว้ที่เปลี่ยนไปได้เมื่อเติมน้ำหนัก 1 มิลลิกรัมลงไป การใช้เครื่องชั่งควรพิจารณาสภาพไวของเครื่องชั่งด้วย ตามปกติเครื่องชั่งที่สามารถรับน้ำหนักหรือชั่งน้ำหนักได้มากจะมีสภาพไวน้อย เครื่องชั่งที่มีสภาพไวมาก ๆ ก็จะชั่งน้ำหนักได้ทีละน้อย ๆ นั่นคือ ถ้าเราต้องการชั่งน้ำหนักขนาด 0.1 กรัม ก็ไม่ควรใช้เครื่องชั่งที่สามารถรับน้ำหนักได้เป็นกิโลกรัม เพราะเครื่องชั่งไม่สามารถชั่งได้ถูกต้อง

4. กฎการใช้เครื่องชั่ง

ในการใช้เครื่องชั่งไม่ว่าจะเป็นชนิดใด ต้องมีความระมัดระวังในการใช้ เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้จากการชั่ง จึงมีกฎเกณฑ์ในการใช้เครื่องชั่งดังต่อไปนี้

4.1 ต้องวางเครื่องชั่งบนโต๊ะที่ได้ระดับระนาบ เรียบ และไม่สั่นสะเทือน ควรอยู่ในห้องที่ไม่มีลมพัดผ่านแรง ๆ มีอุณหภูมิคงที่ ควรเป็นห้องที่แยกออกจากห้องปฏิบัติการเพื่อไม่ให้โดนควันของสารเคมี และต้องไม่โดนแสงแดดส่องโดยตรง

4.2 เมื่อไม่ต้องการใช้เครื่องชั่ง ควรปิดเครื่องชั่งและล็อคสันมีดให้เรียบร้อย พร้อมกับใช้ผ้าคลุมเพื่อป้องกันฝุ่นผงต่าง ๆ เข้าเครื่องชั่ง

4.3 สิ่งของที่จะนำมาชั่งต้องมีอุณหภูมิเท่ากับเครื่องชั่ง วัตถุที่ร้อนจะชั่งได้เบากว่าความเป็นจริง และที่เย็นกว่าจะชั่งได้ หนักกว่าความเป็นจริง

4.4 ห้ามชั่งวัตถุที่หนักกว่าความสามารถที่เครื่องชั่งจะชั่งได้ (เครื่องชั่งไฟฟ้าที่ใช้จะรับน้ำหนักได้ไม่เกิน 160 กรัม) ,

4.5 ควรวางสิ่งของที่ต้องการชั่งลงตรงกลางของจานชั่ง ไม่ควรวางที่ขอบจานชั่ง

4.6 ห้ามวางรีเอเจนต์ทุกชนิดโดยตรงบนจานชั่ง จะต้องวางบนกระจกนาฬิกา ในขวดชั่งหรือบีกเกอร์ขนาดเล็ก ห้ามใช้กระดาษรองชั่งและของเหลวที่ระเหยง่ายต้องมีจุกปิดสนิท

4.7 ในการชั่งเมื่อต้องการจะเพิ่มหรือลดน้ำหนัก หรือต้องการนำสารออกหรือเพิ่มสารจะต้องปิดเครื่องชั่งก่อนทุกครั้ง (คือทำให้คานหยุดพัก) ถ้าเป็นเครื่องชั่งไฟฟ้าแบบจานเดียวบางรุ่นเครื่องชั่งอาจเปิดอยู่ในตำแหน่งหาน้ำหนักประมาณ (Preweigh) ก็ได้

4.8 ไม่ควรใช้มือหยิบจับวัตถุที่ต้องการชั่งหรือตุ้มน้ำหนัก ต้องใช้คีมคีบที่สะอาดและปราศจากความชื้น

4.9 ต้องปิดตู้เครื่องชั่งทุกครั้งที่ต้องการชั่ง

4.10 เมื่อเลิกใช้เครื่องชั่ง ต้องทำให้คานหยุดพักและลดน้ำหนักเครื่องชั่งให้เป็นศูนย์หมดหรือเอาตุ้มน้ำหนักออก

4.11 ต้องรักษาความสะอาดเครื่องชั่งไม่ให้มีสารหกหล่นในเครื่องชั่ง และบริเวณรอบ ๆ เครื่องชั่ง

4.12 ในการหาปริมาณของสารตัวอย่างชนิดหนึ่ง ถ้ามีการใช้เครื่องชั่งหลาย ๆ ครั้ง ให้ใช้เครื่องชั่งเดียวกันตลอดการทดลอง

5. ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการชั่ง

ถึงแม้ว่าผู้ชั่งจะชำนาญในการชั่งและมีเทคนิคในการชั่งที่ถูกต้อง บางทีอาจมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นจากการชั่งได้ ข้อผิดพลาดนี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมขณะชั่ง เกิดแรงลอยตัวในอากาศของวัตถุกับเครื่องชั่ง และความไม่ถูกต้องของเครื่องชั่ง

5.1 ข้อผิดพลาดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมขณะชั่ง ข้อผิดพลาดนี้อาจจะเกิดขึ้นจากสารเคมีที่ต้องการชั่งหรือภาชนะที่รองรับก็ได้ คือ สารเคมี และภาชนะที่ใช้อาจดูดความชื้นหรือสูญเสียความชื้นขณะชั่ง หรือสารเคมีอาจทำปฏิกิริยากับ O_2 หรือ CO_2 ในอากาศ หรืออาจเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของวัตถุที่ต้องการชั่งกับเครื่องชั่ง ซึ่งปัญหานี้แก้ได้โดยทิ้งวัตถุที่ต้องการชั่งไว้ในห้องชั่งอย่างน้อย 30 นาที ก่อนทำการชั่ง นอกจากนี้ อาจเกิดจากผลของไฟฟ้าสถิต (Static electrical effects) ถ้าอากาศมีความชื้นต่ำ ๆ จะมีผลทำให้วัตถุหรือแก้วที่ต้องการชั่งเกิดไฟฟ้าสถิต หรือมีประจุเกิดขึ้น เมื่อนำวัตถุไปวางบนจานชั่ง ส่วนหนึ่งของประจุจะถ่ายเทไปในบรรยากาศ อีกส่วนหนึ่งจะถูกเหนี่ยวนำไปยังส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องชั่งที่เป็นเหล็กทำให้บางส่วนของเครื่องชั่งมีโซนของประจุที่เหมือนกัน ในเมื่อมีประจุที่เหมือนกันจะเกิดการผลักกันซึ่งจะส่งผลไปที่จานชั่ง ทำให้มีข้อผิดพลาดในการชั่งเกิดขึ้น การแก้ไขปัญหานี้สามารถทำได้โดยใช้สารกัมมันตภาพรังสีจำนวนน้อย ๆ วางไว้ในเครื่องชั่ง สารกัมมันตภาพรังสีจะทำให้อากาศภายในเครื่องชั่งเกิดการไอออไนซ์ได้ ซึ่งจะมีผลทำให้วัตถุที่ต้องการชั่งถูกทำให้มีประจุสมดุลได้ ทำให้ไม่เกิดผลของไฟฟ้าสถิตขึ้นในการชั่ง

5.2 ผลของแรงลอยตัว (Buoyant effect) วัตถุบางชนิดเมื่อใส่ไปในของเหลว สามารถลอยอยู่ได้ บางชนิดไม่สามารถลอยอยู่ได้ ทั้งนี้ เป็นเพราะความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของวัตถุกับของเหลว จุกค๊อกสามารถลอยในน้ำได้เพราะความหนาแน่นของมันน้อยกว่าน้ำ หินจมน้ำเพราะความหนาแน่นของมันมากกว่าน้ำ เมื่อนำหินมาชั่งในน้ำจะได้น้ำหนักน้อยกว่าเมื่อชั่งในอากาศ ทั้งนี้ เพราะอากาศมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ แสดงว่าความผิดพลาดจะเกิดขึ้นได้เมื่อปริมาตรและความหนาแน่นของวัตถุที่ต้องการชั่งแตกต่างจากปริมาตรและความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนักที่ใช้ชั่งซึ่งมีผลทำให้แรงลอยตัวในอากาศไม่เท่ากัน ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้นี้สามารถแก้ไขได้โดยเปลี่ยนน้ำหนักของวัตถุที่ชั่งเป็นน้ำหนักในสุญญากาศ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$W_{vac} = W_{air} + W_{air}\left(\frac{0.0012}{d_o} - \frac{0.0012}{d_w}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4.9)$$

เมื่อ W_{vac} = น้ำหนักของวัตถุในสุญญากาศ

W_{air} = น้ำหนักของวัตถุในอากาศ

0.0012 = ความหนาแน่นของอากาศ

d_o = ความหนาแน่นของวัตถุที่ต้องการชั่ง

d_w = ความหนาแน่นของตุ้มน้ำหนัก

ตัวอย่างที่ 4.1 จงหาน้ำหนักของสารตัวอย่างอะลูมิเนียมในสุญญากาศ (ความหนาแน่น = 2.7 กรัม/ลบ.ซม.) เมื่อชั่งในอากาศได้หนัก 24.3567 กรัม โดยใช้ตุ้มน้ำหนักที่เป็นทองเหลือง (ความหนาแน่น = 8.4 กรัม/ลบ.ซม.)

วิธีทำ จากสมการที่ 4.9

$$W_{vac} = 24.3561 + 24.3561 \left(\frac{0.0012}{2.7} - \frac{0.001}{8.4}\right)$$

$$= 24.3567 + 24.3567 (0.000444 - 0.000143)$$

$$= 24.3567 + 24.3567 (0.000301)$$

$$= 24.3640 \text{ กรัม}$$

5.3 ความไม่ถูกต้องของเครื่องชั่ง เครื่องชั่งที่นำมาใช้งานอาจมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นในตัวมันเองได้ เช่น แขนของคานทั้งสองข้างยาวไม่เท่ากัน ขอบของสันมีดบิ่น หรือคานถูกกัดกร่อนและตุ้มน้ำหนักไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งข้อผิดพลาดเหล่านี้มักจะเกิดขึ้นเมื่อเครื่องชั่งนั้นถูกใช้งานมาแล้วนาน ๆ ดังนั้น เพื่อความถูกต้องในการชั่ง ควรทำการเทียบมาตรฐานตุ้มน้ำหนักก่อนทำการชั่ง

6. วิธีการใช้เครื่องชั่งจานเดียวยี่ห้อเมตท์เลอร์ (Mettler)

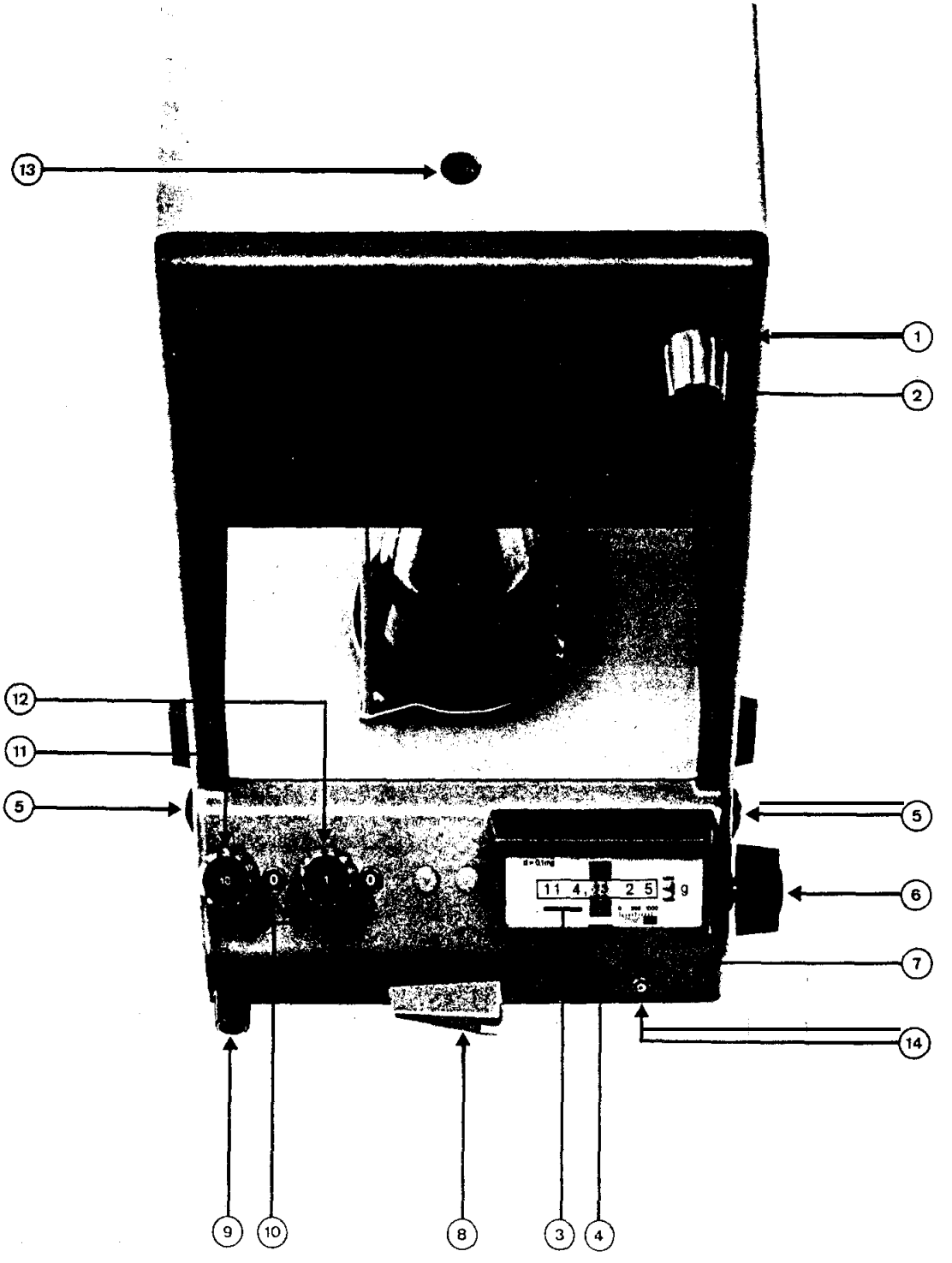
เนื่องจากในการเรียนปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ (CH 234) ในชั้นนี้ นักศึกษาจะได้ใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบแมกคานิกส์ยี่ห้อ เมตท์เลอร์ทั้งหมด ดังนั้น เพื่อไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดในการชั่งซึ่งจะทำให้เครื่องชั่งเสียหายได้ จึงขอนำวิธีการใช้เครื่องชั่งไฟฟ้ายี่ห้อเมตท์เลอร์มากล่าวไว้อย่างละเอียดโดยที่นักศึกษาต้องปฏิบัติตามทุกขั้นตอนในการใช้เครื่องชั่ง เครื่องชั่งแบบแมกคานิกส์ยี่ห้อเมตท์เลอร์มีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 4.8 เครื่องชั่งแบบแมกคานิกส์ยี่ห้อ เมตท์เลอร์ ยังแบ่งได้อีกหลายแบบ (Model) ซึ่งแต่ละแบบจะมีความสามารถในการใช้งานแตกต่างกัน และมีวิธีการหาน้ำหนักประมาณ (Preweigh) แตกต่างกัน เครื่องชั่งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์จะมี 4 แบบ (Model) คือ H31, H33, H34 และ H35 ซึ่งทั้ง 4 แบบ มีข้อที่เหมือนกันและแตกต่างกันดังนี้

H31 และ H34 มีวิธีการหาน้ำหนักประมาณเหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่ H31 ไม่สามารถชั่งน้ำหนักสารแบบหักน้ำหนักภาชนะไปในตัว ส่วน H34 สามารถทำได้

H33 และ H35 มีวิธีการหาน้ำหนักบระมาณเหมือนกันซึ่งเป็นวิธีที่แตกต่างจาก H31 และ H34 แต่แตกต่างกันที่ H33 ไม่สามารถชั่งน้ำหนักสารแบบหักน้ำหนักภาชนะไปในตัว ส่วน H35 สามารถทำได้

H31 และ H33 มีวิธีการหาน้ำหนักประมาณแตกต่างกัน แต่ไม่สามารถชั่งน้ำหนักสารโดยหักน้ำหนักภาชนะไปในตัวได้เหมือนกัน

H34 และ H35 มีวิธีการชั่งน้ำหนักประมาณแตกต่างกัน แต่สามารถชั่งน้ำหนักสารโดยหักน้ำหนักภาชนะไปในตัวได้เหมือนกัน



รูปที่ 4.8 เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบแมกคานิกส์ยี่ห้อเมตท์เลอร์ (Mettler)

สรุปได้ว่าวิธีการใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบแมกคานิกส์ยี่ห้อเมตท์เลอร์ ชั่งสารเคมีสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

6.1 วิธีชั่งสารแบบรวมน้ำหนักภาชนะ วิธีนี้ทำได้โดยชั่งภาชนะครั้งหนึ่ง แล้วชั่งภาชนะรวมสารอีกครั้งหนึ่ง เมื่อเอาน้ำหนักทั้งสองลบกันจะได้น้ำหนักสารตามต้องการ ซึ่งสามารถทำได้ทั้งวิธีธรรมดาและวิธีผลต่างหรือแบบแบ่งออกตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4 วิธีการใช้เครื่องชั่งสามารถทำได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้ (ให้ดูรูปที่ 4.8 ประกอบเพื่อความเข้าใจ)

ก. เปิดผ้าที่คลุมเครื่องชั่งไว้

ข. ตรวจดูระดับของเครื่องชั่งว่าตั้งอยู่ในระดับระนาบหรือไม่โดยสังเกตจากลูกน้ำในช่องหมายเลข 13 ถ้าลูกน้ำไม่อยู่ตรงกลาง ให้หมุนแป้นที่ขาเครื่องชั่งหมายเลข 5 จนได้ระดับระนาบ

ค. ตรวจดูตัวเลขที่หน้าปัดหมายเลข 3 ต้องปรากฏเลข 0 หมด ถ้ามีเลขอื่น ๆ ต้องหมุนปุ่ม 11, 12 และ 6 จนตัวเลขเป็น 0 หมด

ง. ปดล็อคที่ปุ่มหมายเลข 8

จ. หมุนปุ่ม 8 มาทางซ้ายมือ จะต้องปรากฏเลข 000000 อยู่บนหน้าปัด 3, 4, 7 และขีดสีดำต้องอยู่กลางระหว่างแถบสีดำของช่องสุดท้าย แสดงว่าเครื่องชั่งอยู่ในสมดุลพร้อมที่จะใช้ได้ แต่ถ้าขีดสีดำยังไม่อยู่ตรงกลางระหว่างแถบสีดำให้หมุนปุ่ม 1, 2 ถ้าไม่สามารถปรับเครื่องชั่งให้อยู่ในสมดุลได้ ให้บอกอาจารย์ผู้ควบคุม อย่าหมุนปุ่มต่าง ๆ โดยไม่ทราบหน้าที่ของแต่ละปุ่มเป็นอันขาด

ฉ. ปิดเครื่องชั่งโดยการหมุนปุ่ม 8 กลับที่เดิม ก่อนที่จะนำสิ่งของมาใส่ในจานชั่งหรือนำออก เครื่องชั่งจะต้องถูกปิดอยู่ทุกครั้ง ห้ามนำมาใส่หรือนำออกในขณะที่เครื่องชั่งเปิดอยู่โดยเด็ดขาด

ช. นำภาชนะที่ต้องการชั่งใส่ไว้บนจานชั่งให้อยู่กลางจาน

ซ. หมุนปุ่ม 8 ไปทางขวามือ เพื่อหาน้ำหนักโดยประมาณของภาชนะที่ชั่ง

ในขั้นตอนนี้จะมีวิธีการที่แตกต่างกันแล้วแต่แบบของเครื่องชั่ง ดังนี้

– Mettler model H35 และ H33 จะปรากฏตัวเลขบนหน้าปัดช่อง 4 ซึ่งจะได้ค่าประมาณออกมาเป็นกรัม เช่น ถ้าปรากฏตัวเลขเป็นเลข 23 ก็แสดงว่าของนั้นหนักประมาณ 23 กรัม ปิดเครื่องชั่งหมุนปุ่ม 11 ไปที่เลข 2 และหมุนปุ่ม 12 ไปที่เลข 3 ก็จะปรากฏตัวเลข 23 บนหน้าปัด 3

– Mettler model H31 และ H34 จะมีวิธีการหาน้ำหนักประมาณโดยการเพิ่มน้ำหนักทีละ 1 หรือ 10 กรัม โดยหมุนปุ่ม 11 หรือ 12 เมื่อเพิ่มน้ำหนักไปเกินพอ ตัวเลขที่ปรากฏบนหน้าปัด 4 จะหายไปให้ลดน้ำหนักลง 1 กรัม หรือ 10 กรัม จะทำให้มีตัวเลขกลับคืนมาและตัวเลขที่ปรากฏบน

หน้าปัด 3 ก็คือ น้ำหนักประมาณ จากนั้นปิดเครื่องชั่ง (ถ้าสิ่งของหนักเกิน 10 กรัม ให้เพิ่มน้ำหนักทีละ 10 กรัม แล้วจึงค่อยเพิ่มทีละ 1 กรัม)

ฌ. เปิดเครื่องชั่งโดยหมุนปุ่ม 8 ไปทางซ้ายมือ เพื่ออ่านค่าน้ำหนักละเอียดเมื่อถึงขั้นนี้ ตัวเลขที่ปรากฏอยู่บนหน้าปัดจะยังไม่ถูกต้องใน 2 ตำแหน่งสุดท้าย ให้หมุนปุ่ม 6 จนกระทั่งขีดสีดำอยู่ตรงช่องว่างของแถบสีดำในช่องสุดท้าย

ญ. ให้อ่านน้ำหนักที่ชั่งได้นี้จากตัวเลขที่ปรากฏอยู่บนหน้าปัดทุกตัว พร้อมทั้งจดบันทึกในสมุดวางแผนงาน

ฏ. ปิดเครื่องชั่งโดยหมุนปุ่ม 8 กลับมาทางขวามือ แล้วนำภาชนะออกจากเครื่องชั่งใส่สารเคมีที่ต้องการชั่งลงในภาชนะโดยกะประมาณให้ได้น้ำหนักเท่าที่ต้องการ แล้วนำไปใส่ในเครื่องชั่ง ถ้าน้ำหนักที่ต้องการไม่เกิน 1 กรัม ก็ไม่ต้องหาน้ำหนักประมาณในขั้นตอนนี้ ให้เปิดเครื่องชั่งแล้วอ่านน้ำหนักละเอียดได้เลยโดยทำตามข้อ ฌ และ ญ

ฏ. ถ้าน้ำหนักที่ต้องการเกิน 1 กรัม ให้หาน้ำหนักประมาณรวมของภาชนะ + สารใหม่ โดยทำซ้ำตั้งแต่ข้อ ซ ถึง ญ

ฐ. เมื่อได้น้ำหนักของภาชนะ+สารแล้ว ให้จดบันทึกลงในสมุดวางแผนงาน จากน้ำหนักที่ชั่งได้ทั้งสองครั้ง ก็สามารถหาน้ำหนักของสารได้

ฑ. เมื่อจดน้ำหนักเสร็จแล้วให้ปิดเครื่องชั่ง และปลดตัวเลขของเครื่องชั่งให้อยู่ในลักษณะที่เป็น 0 หมด

ฒ. เอาภาชนะ + สารออกจากเครื่องชั่ง พร้อมทั้งทำความสะอาดเครื่องชั่งและเอาผ้าคลุมไว้ให้เรียบร้อย

ถ้าเป็นการชั่งแบบผลต่างก็ทำได้แบบเดียวกัน โดยชั่งภาชนะ + สารก่อน เมื่อเทสารออกไปแล้วให้ชั่งภาชนะอีกครั้ง ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้ก็คือ น้ำหนักสารที่เทออกไปนั่นเอง

6.2 วิธีการชั่งแบบหักน้ำหนักภาชนะไปในตัว การชั่งแบบนี้สามารถใช้ได้กับเครื่องชั่งเมตท์เลอร์ แบบ H34 และ H35 ในที่นี้ขอยกตัวอย่างการชั่งโดยใช้เครื่องชั่งแบบ H35 ซึ่งจะมีขั้นตอนในการชั่งดังต่อไปนี้ (ให้ดูรูปที่ 4.8 ประกอบด้วย)

ก. ให้ดำเนินวิธีการเดียวกับข้อ ก-ง ในหัวข้อ 6.1

ข. นำภาชนะที่ต้องการใส่สารวางไว้บนจานชั่งให้อยู่กลางจาน

ค. หมุนปุ่ม 9 ให้เข็มชี้ไปที่ T

ง. หมุนปุ่ม 8 ไปทางขวามือ เพื่ออ่านค่าน้ำหนักประมาณบนช่อง 4 ซึ่งจะได้ค่าประมาณเป็นกรัม เช่น ถ้าอ่านได้ 05 แสดงว่าน้ำหนักประมาณ 5 กรัม

จ. หมุนปุ่ม 8 กลับที่เดิม (ปิดเครื่องชั่ง)

ฉ. หมุนปุ่ม 12 ให้น้ำหนักถึง 5 กรัม โดยเลข 5 จะอยู่ที่หน้าปัด 10

ช. หมุนปุ่ม 8 มาทางซ้ายมือ แล้วหมุนปุ่ม 1, 2 จนกระทั่งตัวเลขในช่อง 3, 4, 7 เป็นศูนย์หมด และขีดสีดำอยู่ตรงช่องว่างของแถบสีดำ

ซ. หมุนปุ่ม 8 กลับที่เดิมจากนั้นหมุนปุ่ม 9 ไปที่ I

ฌ. เติมสารที่ต้องการชั่งลงในภาชนะนั้น ให้อ่านค่าประมาณอีกครั้ง เช่น อ่านได้ ประมาณ 9 กรัม ให้เอา 5 กรัม ของภาชนะลบออกจาก 9 กรัม จะเหลือ 4 กรัม ซึ่งเป็นค่าประมาณของสารนั้น หมุนปุ่ม 8 กลับที่เดิม

ญ. ให้หมุนปุ่ม 12 จนกระทั่งตัวเลขขึ้นที่หน้าปัด 3 เป็น 4 จากนั้นให้หมุนปุ่ม 8 ไปทางซ้ายมือ และหมุนปุ่ม 6 จนกระทั่งขีดสีดำอยู่ตรงช่องว่างของแถบสีดำ อ่านค่าละเอียดพร้อมบันทึกผลจากตัวเลขในช่อง 3, 4, 7 ซึ่งจะเป็นน้ำหนักของสารนั้นเพียงอย่างเดียว ปิดเครื่องชั่ง

ฏ. เอาภาชนะพร้อมสารออกจากเครื่องชั่งหมุนปุ่ม 12 จนตัวเลขเป็นศูนย์บนหน้าปัด 3

ฏ. หมุนปุ่ม 9 ไปที่ T แล้วหมุนปุ่ม 12 จนตัวเลขบนหน้าปัด 10 เป็นศูนย์แล้วหมุนปุ่ม 9 กลับมาที่ I ตามเดิม

ฐ. หมุนปุ่ม 8 มาทางซ้ายมือ (เปิดเครื่อง) แล้วปรับเครื่องโดยหมุนปุ่ม 1 และ 2 จนตัวเลขที่ปรากฏบนหน้าปัด 3, 4, 7 เป็นศูนย์หมด ปิดเครื่องชั่งและทำความสะอาดพร้อมทั้งเอาผ้าคลุมให้เรียบร้อย

กิจกรรมที่ 4.2

ให้นักศึกษาฝึกหัดใช้เครื่องชั่งเมตท์เลอร์ตามวิธีการใช้ที่อธิบายไว้ในข้อ 6 ให้คล่อง

บทสรุป

ถึงแม้นว่าเครื่องชั่งที่ใช้ในงานวิเคราะห์ทั่ว ๆ ไปจะมี 2 แบบ คือ แบบ 2 จาน และแบบจานเดียวก็ตาม แต่จะปรากฏว่าในการวิเคราะห์ทั่ว ๆ ไปมักนิยมใช้เครื่องชั่งแบบจานเดียวมากกว่า เพราะชั่งได้สะดวก รวดเร็ว และเที่ยงตรงกว่า ไม่ต้องเสียเวลาในการหาตำแหน่งสมดุล ในการเรียนปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เล่มนี้ก็เช่นกัน จะใช้เครื่องชั่งแบบจานเดียวในการทำปฏิบัติการทดลอง เนื่องด้วยเครื่องชั่งแบบจานเดียวมีราคาแพงกว่าเครื่องชั่งแบบ 2 จานมาก ดังนั้นการเรียนรู้วิธีใช้ที่ถูกต้องและรู้จักบำรุงรักษาจึงเป็นสิ่งจำเป็นมาก นักศึกษาควรปฏิบัติตามกฎการใช้เครื่องชั่งอย่างเคร่งครัด เช่น ถ้าต้องการชั่งสารที่กัดกร่อนต้องบรรจุสารนั้นในภาชนะชั่งที่ปิดมิดชิด ห้ามวางสารเคมีต่าง ๆ ที่ต้องการชั่งลงบนจานชั่งโดยตรงต้องมีภาชนะรองรับ ในระหว่างที่เครื่องชั่งเปิดอยู่ห้ามหมุนปุ่มเพิ่มน้ำหนักหรือลดน้ำหนักโดยเด็ดขาด และถ้าต้องการเติมสารในขวดชั่งต้องนำขวดชั่งมาเติมสารภายนอกเครื่องชั่ง ห้ามนำสารใส่ในขวดชั่งขณะที่ยังอยู่ภายในเครื่องชั่ง เพราะสารอาจหกหล่นภายในเครื่องชั่งได้ นอกจากการใช้เครื่องชั่งตามกฎการใช้แล้ว ยังพบว่าการชั่งจะให้ผลถูกต้องแม่นยำแค่ไหนนั้นขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ใช้ด้วย ดังนั้นการเรียนเรื่องเครื่องชั่งในบทนี้จึงมุ่งหวังที่จะให้นักศึกษาเกิดความชำนาญในการใช้เครื่องชั่งอย่างถูกวิธี เพื่อนำไปใช้ในการทำปฏิบัติการทดลองบทต่อ ๆ ไป จึงได้จัดให้นักศึกษาใช้เครื่องชั่งทีละคนจนกระทั่งเกิดความชำนาญในชั่วโมงเรียนอีกด้วย

คำถามท้ายบท

1. เครื่องชั่งที่ใช้ในงานวิเคราะห์หาปริมาณมีกี่ชนิด อะไรบ้าง
2. จงอธิบายทฤษฎีและหลักการของเครื่องชั่งแมกคานิกส์แบบจานเดียว
3. การหาตำแหน่งสมดุลของเครื่องชั่งแบบ 2 จาน มีกี่วิธี และทำได้อย่างไร
4. เทคนิคในการชั่งโดยใช้เครื่องชั่งแบบ 2 จาน ทำได้อย่างไรบ้าง
5. เทคนิคในการชั่งโดยใช้เครื่องชั่งจานเดียวทำได้อย่างไรบ้าง
6. คุณสมบัติของเครื่องชั่งที่ดีเป็นอย่างไร
7. กฎในการใช้เครื่องชั่งมีอะไรบ้าง จงอธิบาย
8. ความผิดพลาดที่เกิดจากการชั่งเนื่องจากอะไร จงอธิบาย
9. เครื่องชั่งไฟฟ้าเมตท์เลอร์ แบบ H31 และ H35 แตกต่างกันอย่างไร
10. จงคำนวณหาสภาพไว (Sensitivity) ของข้อมูลต่อไปนี้เป็นตัวเลขที่ได้จากการแบ่งจุดที่เบนไปต่อหนึ่งมิลลิกรัม กำหนดให้ตัวเลขที่เบนไปของจุดมีขนาดต่าง ๆ เมื่อเติมน้ำหนักต่อไปนี้ลงไป

	ตัวเลขที่เบนไป	**น้ำหนักที่เติม**
a)	5.6	2.9
b)	2.5	1.3
c)	3.7	2.1
d)	4.0	1.5
e)	1.8	1.2
f)	4.5	3.2

ตอบ b) 1.9 div/mg

11. ถ้าตุ้มน้ำหนักทองเหลืองใช้ในการชั่งสารต่อไปนี้ในอากาศ จงคำนวณหาน้ำหนักของสารต่อไปนี้ในสุญญากาศ (ความหนาแน่นของทองเหลือง คือ 8.4 กรัม/ลบ.ซม.)

a) 5.2092 กรัม ของอะลูมิเนียม (d = 2.7)

b) 14.6270 กรัม ของทอง (d = 19.3)

c) 22.0000 กรัม ของเหล็ก (d = 7.9)

d) 37.2945 กรัม ของทองเหลือง

e) 48.7234 กรัม ของปรอท (d = 13.6)

f) 27.5216 กรัม ของแพลทินัม (d = 21.4)

ตอบ b) 14.6258 กรัม

12. จงคำนวณหาความหนาแน่นของของแข็งต่อไปนี้ เมื่อได้น้ำหนักในการชั่งในอากาศและสุญญากาศดังต่อไปนี้ (ใช้ทองเหลืองในการชั่ง)

	น้ำหนักในอากาศ	**น้ำหนักในสุญญากาศ**
a)	20.0000 กรัม	20.0030 กรัม
b)	18.5000 กรัม	18.5010 กรัม
c)	9.0000 กรัม	8.9995 กรัม
d)	45.6250 กรัม	45.6225 กรัม