

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 4

เรื่อง ความรู้เบื้องต้นก่อนการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

หัวข้อเนื้อหาประจำบท

1. ข้อคำนึงในการทำปฏิบัติการ
2. ปริมาณวิเคราะห์และการเตรียมสารละลาย
3. เทคนิคการปฏิบัติการ
4. ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ
5. สรุป
6. แบบฝึกหัดบทที่ 4
7. เอกสารอ้างอิง

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อนักศึกษาเรียนบทนี้แล้ว นักศึกษาสามารถ

1. ทราบสิ่งที่ควรคำนึงถึงในการทำปฏิบัติการได้
2. คำนวณและเตรียมสารเคมีได้
3. อธิบายเทคนิคการทำปฏิบัติการได้
4. อธิบายลักษณะของห้องปฏิบัติการที่มีความปลอดภัยได้

วิธีการสอน

1. ศึกษาเอกสารประกอบการสอนบทที่ 4
2. ทำปฏิบัติการเรื่องการเลือกเครื่องมือในการตวงเบื้องต้น
3. อภิปรายกลุ่ม ตอบข้อซักถาม
4. ทำแบบฝึกหัดท้ายบท พร้อมอภิปรายร่วมกัน
5. สรุปผลการเรียนรู้ให้กับนักศึกษาอีกครั้ง

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอน
2. สื่อประกอบการสอน (Power point)
3. แบบฝึกหัดท้ายบท
4. บทปฏิบัติการ

การวัดผลและประเมินผล

1. ประเมินผลจากการอภิปรายกลุ่ม
2. ประเมินผลจากการตอบแบบฝึกหัดท้ายบท
3. ประเมินผลจากการทำปฏิบัติการและการอภิปรายผล
4. ประเมินผลจากการสอบประจำภาคการศึกษา



บทที่ 4

ความรู้เบื้องต้นก่อนการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเป็นขั้นตอนหนึ่งในการลงมือปฏิบัติในภาคสนามเพื่อให้ได้มาซึ่งผลของคุณภาพน้ำที่ต้องการ โดยวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ในแต่ละพารามิเตอร์ต้องมีความรู้เกี่ยวกับการเลือกใช้อุปกรณ์และวิธีการสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีเบื้องต้น เนื่องจากหากเลือกใช้อุปกรณ์ผิดประเภทหรือมีการตวง ซึ่งสารคลาดเคลื่อนอาจส่งผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ได้ ดังนั้น ผู้ที่ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำจึงควรทราบเกี่ยวกับเทคนิคการปฏิบัติการเบื้องต้นในด้านการชั่ง การตวง การวัด การไตเตรท การกรอง รวมถึงความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการด้วย ซึ่งการทำปฏิบัติการมีข้อที่ควรคำนึงถึงดังนี้

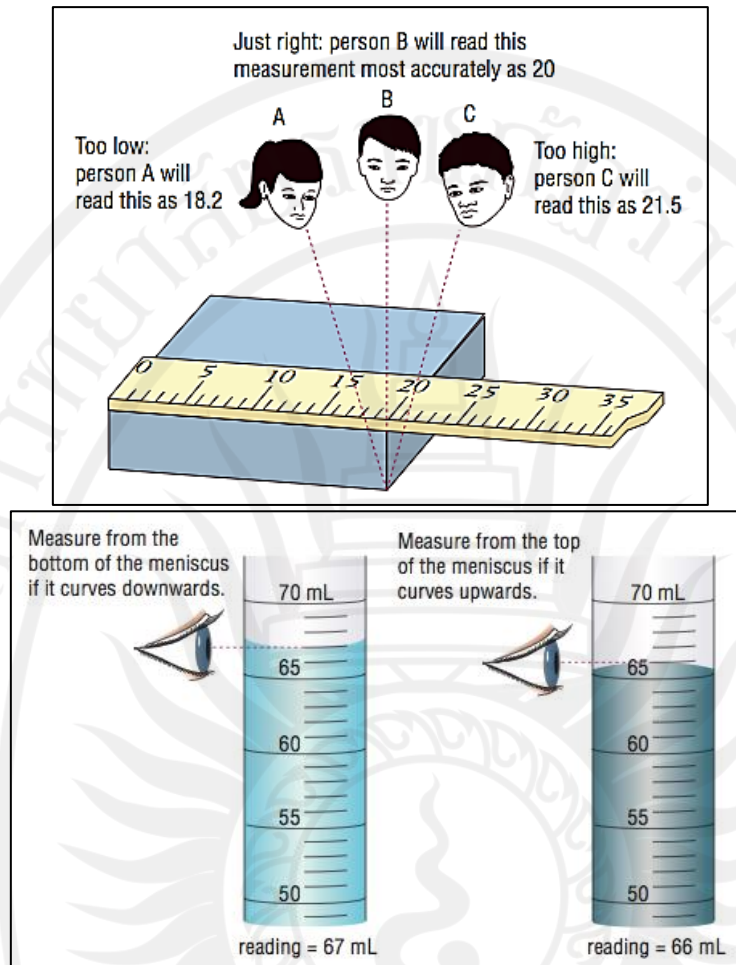
ข้อคำนึงในการทำปฏิบัติการ

การทดลองทางวิทยาศาสตร์มีการใช้เทคนิคในการชั่ง ตวง วัด การเลือกใช้อุปกรณ์ในการทดลอง การอ่านผลของแต่ละวิธีมีความแตกต่างกัน การบันทึกผลจากการทดลองอย่างถูกต้องถือเป็นสิ่งสำคัญให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นผู้ทำการทดลองต้องรู้จักเครื่องมือและเข้าใจวิธีการทดลอง เพื่อให้สามารถเลือกเครื่องมือวิเคราะห์ การอ่านผลการทดลอง และการสรุปอภิปรายผลได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม ซึ่งมีข้อควรคำนึงถึงดังนี้

1. ความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณไม่ว่าจะเป็นการชั่ง การตวง หรือการวัด มักเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้เสมอ ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะของความคลาดเคลื่อนออกได้เป็น 3 แบบ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549) คือ

1.1 ความคลาดเคลื่อนพารัลแลกซ์ (Parallax error) เกิดขึ้นจากตำแหน่งของสายตาของผู้ทดลองไม่อยู่ตรงกับสเกลการอ่านของอุปกรณ์หรือเครื่องมือนั้น (ภาพที่ 4.1) ทำให้การอ่านค่าคลาดเคลื่อนจากจุดที่อ่าน หรืออุปกรณ์บางชนิดมีส่วนประกอบของกระจกกันหลังเข็มชี้ทำให้เกิดเงาของเข็มขึ้นบนสเกล ซึ่งการอ่านที่ถูกต้องนั้นต้องให้เงาเข็มทับกับตำแหน่งของเข็มจริง (ภาพที่ 4.2)

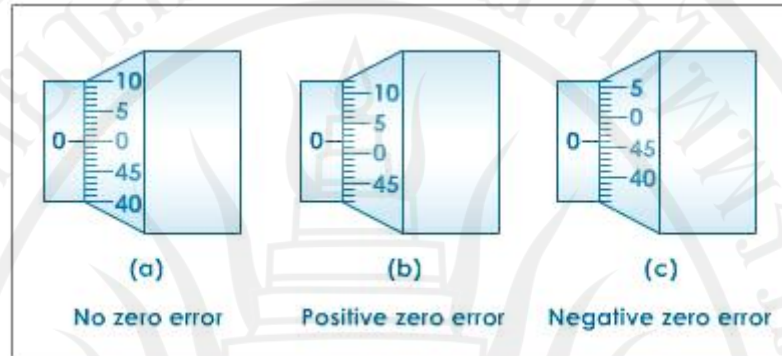


ภาพที่ 4.1 ลักษณะการเกิดความคลาดเคลื่อนพาร์แลกซ์จากตำแหน่งของสายตา
ที่ผิด (Investigation science, 2014)



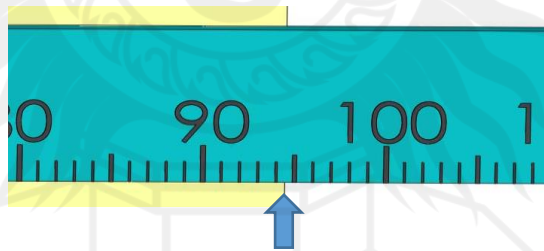
ภาพที่ 4.2 ลักษณะการเกิดความคลาดเคลื่อนพาร์แลกซ์จากเงาของอุปกรณ์
ที่ผิด (Muelaner, 2013)

1.2 ความคลาดเคลื่อนศูนย์ (Zero error) เกิดจากเข็มบนเครื่องมืออ่านค่าไม่อยู่ในตำแหน่งศูนย์ก่อนการใช้งาน ดังนั้นผู้ทดลองควรตรวจสอบอุปกรณ์หรือเครื่องมือเพื่อปรับเข็มให้อยู่ตรงกับตำแหน่งเริ่มต้น หากไม่สามารถปรับได้ต้องใช้วิธีการหักลบกับค่าที่อ่านได้ (ภาพที่ 4.3)



ภาพที่ 4.3 ลักษณะการเกิดความคลาดเคลื่อนศูนย์
ที่มิ (Micrometer screw-guage, 2011)

1.3 ความคลาดเคลื่อนจากการอ่าน (Reading error) เกิดจากการตำแหน่งการอ่านอยู่ระหว่างช่องสเกล ดังนั้น ค่าที่อ่านได้จึงเป็นค่าที่เกิดจากการตัดสินใจของผู้ทดลอง (ภาพที่ 4.4)



ภาพที่ 4.4 ลักษณะการเกิดความคลาดเคลื่อนจากการอ่าน
ที่มิ (Muelaner, 2013)

รูปแบบของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นมีปัจจัยหลัก 3 ประการ คือ

1. ตัวผู้ทำการทดลอง สามารถทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากความไม่ชำนาญ หรือขาดทักษะในการทำปฏิบัติการ การใช้อุปกรณ์ การอ่านค่า การวิเคราะห์ผล หรือการออกแบบการทดลองที่ไม่เหมาะสม รวมถึงสุขภาพร่างกายของผู้ทดลองที่สามารถทำให้การอ่านผลผิดพลาดและเกิดความคลาดเคลื่อนได้

2. สภาพแวดล้อม สามารถทำให้เกิดความคลื่อนได้หลากหลายทั้งในด้านของสภาพอากาศ ความชื้น อุณหภูมิ ลม หรือแสงที่อาจส่งผลกระทบต่อารชิ่ง ดวง วัตถุ รวมถึงตำแหน่งของการวางอุปกรณ์หรือเครื่องมือในการวิเคราะห์ที่ไม่เหมาะสมสามารถส่งผลกระทบต่อค่าที่ถูกต้องได้

3. เครื่องมือที่ทำการวิเคราะห์ สามารถทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากอุปกรณ์และเครื่องมือแต่ละชนิดมีมาตรฐานแตกต่างกัน วัสดุอุปกรณ์ที่มีมาตรฐานสูงได้รับการรับรองคุณภาพสามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นได้ เนื่องจากกระบวนการผลิตให้ได้มาตรฐานนั้นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพระดับหนึ่งแล้ว นอกจากนี้วัสดุที่ใช้ผลิตอุปกรณ์หรือรุ่นการผลิตที่แตกต่างกันสามารถส่งผลให้การวิเคราะห์ในแต่ละครั้งไม่ตรงกันได้ ดังนั้นการเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีมาตรฐานสูงหรือรุ่นการผลิตเดียวกันอาจเป็นตัวช่วยในการลดค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้

ค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยาก การทดลองที่มีความคลาดเคลื่อนมากอาจทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่น่าเชื่อถือ ดังนั้นการทดลองทุกครั้งจึงต้องมีการทำซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง ผลของการทดลองในแต่ละครั้งจะมีค่าความถูกต้องและความแม่นยำแตกต่างกัน ซึ่งอาจได้ค่าที่ถูกต้องแต่ไม่แม่นยำ หรือค่าที่ไม่ถูกต้องแต่แม่นยำ หรือไม่ถูกต้องและไม่แม่นยำ หรือถูกต้องและแม่นยำก็ได้ (ภาพที่ 4.5) ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ข้างต้น ซึ่งความแตกต่างของค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละครั้งสามารถคำนวณเพื่อบ่งบอกความแม่นยำและความถูกต้องได้ดังนี้

ความแม่นยำ (Precision) หมายถึง ค่าที่ได้จากการทดลองซ้ำหลายๆ ครั้ง แล้วได้ค่าที่มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจเป็นค่าที่ถูกต้องหรือไม่ก็ได้ สามารถตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องมือได้จากการคำนวณร้อยละความแตกต่างของการวัด ดังนี้

$$\text{ร้อยละความแตกต่าง (Percent different)} = \frac{\text{ค่าที่วัดได้มากที่สุด} - \text{ค่าที่วัดได้น้อยที่สุด}}{\text{ค่าเฉลี่ย}}$$

กล่าวคือ ยังมีค่าร้อยละความแตกต่างน้อยแสดงว่ามีความแม่นยำสูง ตัวอย่างเช่น วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกปิงปอง 3 ครั้ง ได้ 3.95, 4.03 และ 3.89 เซนติเมตร มีค่าร้อยละความแตกต่างดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละความแตกต่าง} &= \frac{(4.03 - 3.89)}{3.96} \\ &= 0.04 \end{aligned}$$

ความถูกต้อง (Accuracy) หมายถึง ค่าที่ได้จากการวัดมีความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งสามารถตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือได้จากการคำนวณร้อยละความคลาดเคลื่อนของการวัด ดังนี้

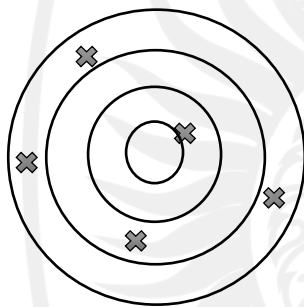
$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{(\text{ค่าที่ได้จากการวัด} - \text{ค่ามาตรฐาน}) \times 100}{\text{ค่ามาตรฐาน}}$$

(Percent error)

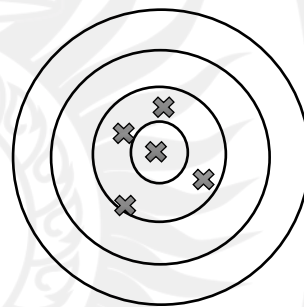
กล่าวคือ ยิ่งค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน คือ มีความถูกต้องสูง ตัวอย่างเช่น ลูกปืนมีเส้นผ่านศูนย์กลางตามมาตรฐาน 4.00 เซนติเมตร ผู้ทำการทดลองวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกปืนได้ 3.95 เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} &= \frac{(3.95 - 4.00) \times 100}{4.00} \\ &= -1.25 \end{aligned}$$

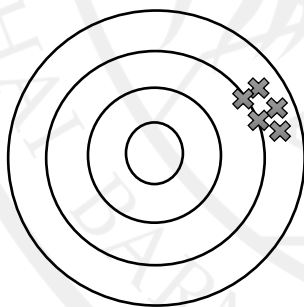
ดังนั้น ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนที่วัดได้มีค่าติดลบ แสดงว่า เป็นค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549)



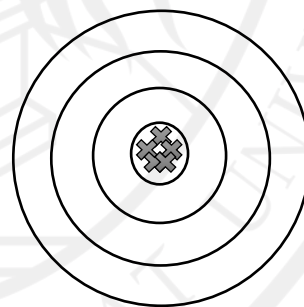
ไม่มีความถูกต้อง
ไม่มีความแม่นยำ



มีความถูกต้อง
ไม่มีความแม่นยำ



ไม่มีความถูกต้อง
มีความแม่นยำ

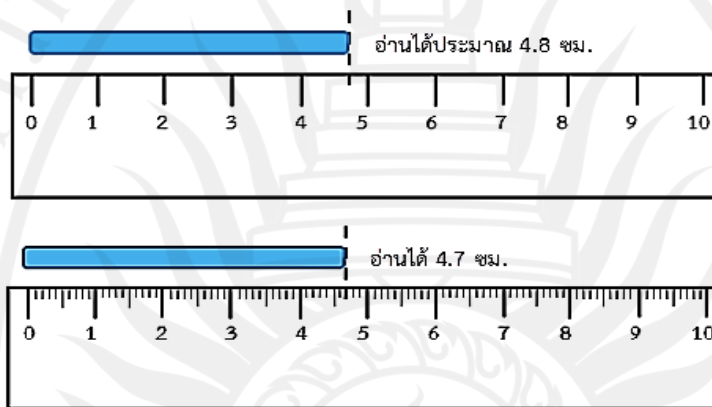


มีความถูกต้อง
มีความแม่นยำ

ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบลักษณะของผลที่มีความถูกต้องและความแม่นยำ
ที่มา (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549)

2. การอ่านเลขนัยสำคัญ

การทำปฏิบัติการอาศัยเทคนิคการอ่านค่าของผู้ทดลองเป็นหลักไม่ว่าจะเป็นวิธีการซึ่งการตวง การวัด ซึ่งต้องมีตัวเลขเข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการ สเกลในการอ่านค่ามีขีดบอกความละเอียดไม่เท่ากัน ยิ่งมีค่าความละเอียดของสเกลมากจะทำให้อ่านค่าได้ถูกต้องและแม่นยำมาก แต่หากสเกลการอ่านมีความละเอียดน้อย การอ่านมักใช้การประมาณค่าจากตัวของผู้ทดลองเป็นหลัก ทำให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องน้อยลง (ภาพที่ 4.6)



ภาพที่ 4.6 การอ่านค่าจากเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดต่างกัน

นอกจากนี้ส่วนสำคัญสำหรับการอ่านค่าจากตัวเลขในการคำนวณ คือ การอ่านเลขนัยสำคัญ (Significant figures) ซึ่งเป็นตัวเลขที่แสดงความหมายของค่าที่ได้จากการวัด มาจากค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือ เป็นตัวเลขที่แสดงความแน่นอน รวมกับค่าที่อ่านได้จากการประมาณของผู้ทดลอง เป็นตัวเลขที่แสดงความไม่แน่นอน เช่น การวัดแท่งไม้ด้วยไม้บรรทัดที่มีความละเอียดระดับมิลลิเมตร อ่านค่าได้ 3.35 เซนติเมตร แสดงว่า ค่าที่อ่านได้จริงจากไม้บรรทัดคือ 3.3 เซนติเมตร และมีค่าที่อ่านได้จากการประมาณ คือ 0.05 เซนติเมตร ทำให้ได้ค่าตัวเลขนัยสำคัญออกมาเป็น 3.35 เซนติเมตร (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549) ซึ่งการอ่านเลขนัยสำคัญโดยทั่วไปมีแนวปฏิบัติ ดังนี้

1. ตัวเลขที่ไม่ใช่ 0 (ศูนย์) เป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

845	มีเลขนัยสำคัญ	3 ตัว
2.754	มีเลขนัยสำคัญ	4 ตัว
2. เลข 0 (ศูนย์) ที่อยู่ระหว่างตัวเลขถือเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

409	มีเลขนัยสำคัญ	3 ตัว
50,802	มีเลขนัยสำคัญ	5 ตัว

3. เลข 0 (ศูนย์) ที่อยู่ทางซ้ายของตัวเลขที่ไม่ใช่ศูนย์ ไม่ถือเป็นเลขนัยสำคัญ เนื่องจากมีจุดมุ่งหมายเพื่อแสดงตำแหน่งของจุดทศนิยม เช่น

0.03 มีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว
0.00006972 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

4. เมื่อตัวเลขมีค่ามากกว่า 1 ให้เลขศูนย์ที่เขียนอยู่ทางขวาถือเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

2.0 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว
57.074 มีเลขนัยสำคัญ 5 ตัว
6.080 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

แต่ถ้าตัวเลขมีค่าน้อยกว่า 1 ให้เลขศูนย์ที่อยู่ท้ายตัวเลขและระหว่างตัวเลข ถือเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น

0.040 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว
0.2005 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว
0.000136 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

การบวก และการลบ เลขนัยสำคัญที่มีทศนิยมจะคงจำนวนทศนิยมไว้เท่ากับจำนวน ตัวเลขที่มีตำแหน่งทศนิมน้อยที่สุด เช่น

$$20.2 + 3.0 + 0.3 = 23.5$$

$$2.12 + 3.895 + 5.4236 = 11.4386$$

กรณีนี้ตัวเลขที่มีตำแหน่งทศนิมน้อยที่สุดมี 2 ตำแหน่ง คำตอบที่ถูกต้องจึงควรมี ทศนิยม 2 ตำแหน่งด้วย แต่ตัวเลขหลังทศนิยมตำแหน่งที่ 2 คือ เลข 8 ซึ่งมีค่ามากกว่า 5 จะใช้วิธีการ ปิดเศษของทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ขึ้น จากตัวเลข 3 เป็น 4 ดังนั้น คำตอบ คือ 11.44

การคูณและการหาร เลขนัยสำคัญของผลลัพธ์ที่ได้จะเท่ากับเลขนัยสำคัญที่มี เลขนัยสำคัญน้อยที่สุด เช่น

$$21.1 \times 0.029 \times 83.2 = 50.91008$$

กรณีนี้ 0.029 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ดังนั้น คำตอบที่ได้คือ 51 (วิกิตำรา, 2557)

การปิดเศษ หมายถึง การลดทอนเลขนัยสำคัญของจำนวนหนึ่ง ซึ่งผลที่ได้จากการ ปิดเศษจะมีตัวเลขหรือจำนวนทศนิมนดน้อยลง รวมถึงทำให้ความแม่นยำลดลง แต่ง่ายแก่การ นำไปใช้ ซึ่งวิธีการปิดเศษมีหลายรูปแบบ แต่สำหรับเอกสารประกอบการสอนนี้จะแสดงเฉพาะวิธีการ ปิดเศษเลขคณิตแบบสมมาตร (Symmetric arithmetic rounding) เนื่องจากเป็นวิธีที่เข้าใจได้ง่าย มีหลักการดังนี้

1. กำหนดตำแหน่งตัวเลขที่จะปิดเศษ แล้วพิจารณาตัวเลขที่ถัดไปทางขวา
2. หากตัวเลขเท่ากับหรือมากกว่า 5 ให้ปิดค่าตัวเลขในตำแหน่งก่อนหน้าขึ้น เช่น กำหนดให้อ่านค่าโดยใช้ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ของค่า 3.045 ดังนั้นพิจารณาที่ตัวเลขถัดไปทางขวาของตำแหน่งที่ต้องการปิดเศษเป็นเลข 5 ให้ปิดเลขในตำแหน่งที่กำหนดไว้เพิ่มขึ้น มีค่าเป็น 3.05
3. หากตัวเลขน้อยกว่า 5 ให้ปิดค่าตัวเลขถัดจากตัวเลขที่กำหนดตำแหน่งทิ้ง เช่น กำหนดให้อ่านค่าโดยใช้ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ของค่า 3.041 ดังนั้น การปิดเศษจะพิจารณาที่ตัวเลขถัดไปทางขวาจากตำแหน่งที่ต้องการปิดเศษ นั่นคือ เลข 1 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 5 ดังนั้น ต้องปิดเศษทิ้ง จะได้ค่าเท่ากับ 3.04 (ปรัฐกร ปิงกัน, ม.ป.ป.)

3. หน่วย

ในการชั่ง ตวง วัดปริมาณต่างๆ จำเป็นต้องกำหนดหน่วยของการวัดนั้นๆ เพื่อให้เป็นที่เข้าใจได้ตรงกันหรืออ่านค่าในสิ่งเดียวกัน ซึ่งหน่วยวัดมาตรฐานที่ทั่วโลกยอมรับ เรียกว่า หน่วยเอสไอ (SI Units: International System of Units) แสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นหน่วยสากลที่ใช้และยอมรับระหว่างชาติ เช่น

กิโลกรัม (Kilogram, Kg) เป็นหน่วยของมวล ซึ่งเท่ากับมวลต้นแบบที่ทำด้วยแท่งโลหะ Platinum-iridium alloy 1 กิโลกรัม

วินาที (Second, s) เป็นหน่วยของเวลา ซึ่งเท่ากับระยะเวลาที่อะตอมซีเซียม-133 ที่อยู่ในสภาวะปกติเปลี่ยนสภาวะไปโดยแผ่รังสี 9,192,631,770 รอบ

เมตร (Metre, m) เป็นหน่วยของระยะทาง ซึ่งเท่ากับระยะทางที่แสงเดินทางภายในสุญญากาศภายในเวลา $1/299,792,458$ วินาที

แอมแปร์ (Ampere, A) เป็นหน่วยของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดเส้นตรง 2 เส้นที่ขนานกัน มีความยาวไม่จำกัดในสุญญากาศ และทำให้เกิดแรงระหว่างเส้นลวดทั้งสองขนาด 2×10^{-7} นิวตัน ในทุกความยาว 1 เมตร

เคลวิน (Kelvin, K) เป็นหน่วยของอุณหภูมิ ซึ่งเท่ากับ $1/273.16$ ของอุณหภูมิ ณ จุดที่น้ำแข็ง น้ำและไอน้ำอยู่รวมกันได้ในเวลาเดียวกัน ในมาตราวัดอุณหภูมิสัมบูรณ์

โมล (Mole, mol) เป็นหน่วยของปริมาณสาร ซึ่งเท่ากับปริมาณของสารที่มีอนุภาคจำนวน 6.032×10^{23} อนุภาค

แคนเดลา (Candela, cd) เป็นหน่วยของความเข้มแสง ซึ่งเท่ากับความเข้มแสงจากวัตถุดำที่มีพื้นที่ $1/600,000$ ตารางเมตร ณ อุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งของแพลตินัมที่มีความดัน 101,325 นิวตันต่อตารางเมตร

ตารางที่ 4.1 หน่วยวัดพื้นฐานของระบบเอสไอ

ปริมาณ	หน่วย	สัญลักษณ์
ความยาว (Length)	เมตร (Meter)	m
มวล (Mass)	กิโลกรัม (Kilogram)	Kg
เวลา (Time)	วินาที (Second)	s
กระแสไฟฟ้า (Electric current)	แอมแปร์ (Ampere)	A
อุณหภูมิ (Temperature)	เคลวิน (Kelvin)	K
ความเข้มแสง (Luminous intensity)	แคนเดลา (Candela)	cd
ปริมาณมวลสาร (Amount of substance)	โมล (Mole)	mol
มุมเชิงระนาบ (Plane angle)	เรเดียน (Radian)	rad
มุม (Solid Angle)	สเตอเรเดียน (Steradian)	sr
ทีมา (สมศักดิ์ แจมแจง, ม.ป.ป.)		

นอกจากการอ่านหน่วยพื้นฐานยังมีการระบุค่านำหน้าหน่วยต่างๆ เพื่อระบุค่าที่มากหรือน้อยเกินกว่าหน่วยพื้นฐานนั้น ซึ่งเป็นค่าที่ไม่นิยมเขียนหรือพูดเนื่องจากมีความยาวมากเกินไป จึงมีการใช้คำอุปสรรค (Prefixes) นำหน้าหน่วยนั้นๆ เพื่อแสดงค่าแฟกเตอร์ในการคูณเพิ่มเติม เช่น 0.000003 กรัม สามารถเขียนเป็น 3×10^{-6} กรัม และเมื่อเติมคำอุปสรรคนำหน้าสามารถอ่านได้เป็น 3 ไมโครกรัม เป็นต้น ซึ่งคำอุปสรรคนำหน้าแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คำอุปสรรคหน้าหน่วย

Prefix	Symbol	Factor	Meaning
Exa-	E	10^{18}	1,000,000,000,000,000,000
Peta-	P	10^{15}	1,000,000,000,000,000
Tera-	T	10^{12}	1,000,000,000,000
Giga-	G	10^9	1,000,000,000
Mega-	M	10^6	1,000,000
Kilo-	k	10^3	1,000
Hecto-	h	10^2	100
Deca-	da	10^1	10
-	-	10^0	1
Deci-	d	10^{-1}	0.1
Centi-	c	10^{-2}	0.01
Milli-	m	10^{-3}	0.001
Micro-	μ	10^{-6}	0.000 001
Nano-	n	10^{-9}	0.000 000 001
Pico-	p	10^{-12}	0.000 000 000 001
Femto-	f	10^{-15}	0.000 000 000 000 001
Atto-	a	10^{-18}	0.000 000 000 000 000 001

ที่มา (Uncertainty in Measurements, 2011)

ปริมาณวิเคราะห์และการเตรียมสารละลาย

สารละลาย คือ สารที่ไม่บริสุทธิ์ เกิดจากรวมตัวกันของตัวถูกละลาย (Solute) และตัวทำละลาย (Solvent) เป็นของผสมเนื้อเดียวกันหมดทุกส่วนเมื่อมองดูด้วยตาเปล่า มีคุณสมบัติต่างๆ เหมือนกัน แต่มีลักษณะทางกายภาพต่างจากสารบริสุทธิ์ (ธาตุและสารประกอบ) คือ จุดเดือด¹ จุดหลอมเหลว² และจุดเยือกแข็ง³ (ตำรงค์ คงสวัสดิ์, 2544) ซึ่งในการเตรียมสารละลายนั้นต้องทราบ

¹ จุดเดือด (Boiling point) คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ

² จุดหลอมเหลว (Melting point) คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นของเหลว

³ จุดเยือกแข็ง (Freezing point) คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของแข็ง (สารบริสุทธิ์มีจุดหลอมเหลวเท่ากับจุดเยือกแข็ง)

ลักษณะของสารแต่ละชนิดและเลือกใช้สารเคมีให้เหมาะสมกับงาน โดยเฉพาะคุณภาพของสารและการหาความเข้มข้นของสารสำหรับการเตรียมสารที่ถูกต้อง ซึ่งประเภทของสารละลายและการหาความเข้มข้นสำหรับการเตรียมสารละลายแสดงรายละเอียดดังนี้

1. ประเภทของสารละลาย

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำต้องมีขั้นตอนการเตรียมสารละลายสำหรับใช้ทำปฏิกิริยาในการวิเคราะห์หาสิ่งที่ต้องการ โดยทั่วไปสารเคมีมีคุณภาพหลายระดับขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของสาร การเลือกใช้ต้องศึกษาลักษณะของคุณภาพที่ใช้เตรียมสารละลายด้วยเพื่อให้เหมาะสมกับงานที่วิเคราะห์ ซึ่งแบ่งออกได้ดังนี้

1.1 คอมเมอร์เชียลเกรด (Commercial grade) หรือเทคนิคัลเกรด (Technical grade) สารเคมีกลุ่มนี้ใช้สำหรับงานที่ไม่ต้องการความบริสุทธิ์ของสารมากนัก เนื้อสารอาจมีสารอื่นปนเปื้อนอยู่มาก มักใช้ตามโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่และการออกภาคสนามไม่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการ

1.2 ยูเอสพีเกรด (U.S.P grade) หรือแลปเกรด (Laboratory grade) สารเคมีกลุ่มนี้มีการทำให้บริสุทธิ์ขึ้น แต่อาจยังมีสารอื่นปะปนอยู่ในเนื้อสารบ้าง มีการผ่านกระบวนการที่ต้องผ่านการทดสอบด้วยวิธีของ U.S. Pharmacopoeia สารกลุ่มนี้เหมาะสำหรับการใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไปที่ไม่ต้องการความบริสุทธิ์ของสารมากนัก

1.3 ซีพีเกรด (Chemical pure grade, C.P. grade) สารเคมีกลุ่มนี้มีความบริสุทธิ์มากกว่ายูเอสพีเกรด มีการผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ที่เป็นมาตรฐานการผลิตของแต่ละโรงงาน สามารถจัดระดับคุณภาพได้เทียบเท่ากับรีเอเจนต์เกรด หรือแอนาไลซ์เกรดได้ อย่างไรก็ตามความบริสุทธิ์ของสารไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับโรงงานที่ผลิต ซึ่งปัจจุบันสารเคมีกลุ่มนี้มีการผลิตลดลงมาก

1.4 รีเอเจนต์เกรด (Reagent grade) หรือแอนาไลซ์เกรด (Analyzed grade) สารเคมีกลุ่มนี้จัดได้ว่ามีความบริสุทธิ์มากที่สุด ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์และทดสอบให้มีสารปนเปื้อนบางอย่างต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดโดยคณะกรรมการตรวจสอบสารเคมีที่ใช้ในงานวิเคราะห์ของสมาคมนักเคมีของสหรัฐอเมริกา (Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society) โดยที่ภาชนะบรรจุสารเคมีกลุ่มนี้ต้องมีการระบุปริมาณสารปนเปื้อนกำกับไว้ การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ต้องใช้สารเคมีกลุ่มนี้เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ออกมาถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด

อย่างไรก็ตามมีโรงงานผลิตสารเคมีบางแห่งที่ผลิตสารและใช้มาตรฐานของ AnalaR Standards for Laboratory Chemicals (AnalaR grade) ซึ่งสารกลุ่มนี้จัดได้ว่ามีความบริสุทธิ์มากและเทียบเท่ากับรีเอเจนต์เกรด (Reagent grade) หรือแอนาไลซ์เกรด (Analyzed grade) ได้เช่นเดียวกัน (ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์, 2543)

2. ความเข้มข้นของสารละลาย

นอกจากคุณภาพของสารที่ผู้วิเคราะห์คุณภาพน้ำต้องทราบแล้ว ความรู้ทางด้านการคำนวณปริมาณสารสัมพันธ์เพื่อหาความเข้มข้นสารที่ต้องการเตรียมเป็นสารละลายสำหรับการทดลองต่างๆ ยังเป็นสิ่งจำเป็นด้วย ซึ่งวิธีการเตรียมสารละลายนั้นต้องคำนวณหาน้ำหนักของสารเพื่อชั่งน้ำหนักสำหรับการเตรียม หรือคำนวณหาปริมาตรของสารที่ต้องการเจือจางหรือเตรียมสารที่มีความเข้มข้นต่างๆ ดังนั้นความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการคำนวณจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งมีรูปแบบของการคำนวณหาความเข้มข้นของสารโดยทั่วไปดังนี้

2.1 ร้อยละโดยมวล (Percent weight by weight, %w/w)

ร้อยละเป็นหน่วยแสดงความเข้มข้นของสารละลายในหนึ่งร้อยละจะมีตัวถูกละลายอยู่ที่ส่วน ซึ่งร้อยละโดยมวล แสดงถึง น้ำหนักของตัวถูกละลายในน้ำหนักของสารละลายหนึ่งร้อยละ โดยตัวถูกละลายอาจอยู่ในรูปของแข็งหรือของเหลว เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ร้อยละ 0.5 โดยมวล หมายถึง ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 100 กรัม มีเนื้อสารของโซเดียมไฮดรอกไซด์ตัวถูกละลายอยู่ 0.5 กรัม หน่วยที่ใช้เป็นหน่วยของน้ำหนัก เช่น กรัม (g) กิโลกรัม (kg) เป็นต้น สามารถหาร้อยละโดยมวลนี้ออกมาโดยใช้การเทียบบัญญัติไตรยางค์หรือการใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$\text{ร้อยละโดยมวล} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย}}{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย} + \text{น้ำหนักของตัวทำละลาย}} \times 100$$

$$\text{หรือ ร้อยละโดยมวล} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย}}{\text{น้ำหนักของสารละลาย}} \times 100$$

ตัวอย่างที่ 2.1.1 ถ้าละลายสารโซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 3 กรัม ในน้ำจนได้สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 1.6 กิโลกรัม สารละลายนี้มีความเข้มข้นคิดเป็นร้อยละโดยมวลเท่าไร

จากโจทย์เปลี่ยนหน่วยจาก 1.6 กิโลกรัม เป็น 1,600 กรัม จากนั้นเทียบบัญญัติไตรยางค์ สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 1,600 กรัม มีโซเดียมไธโอซัลเฟต ละลายอยู่ 3 กรัม

ถ้าสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 100 กรัม จะมีโซเดียมไธโอซัลเฟต ละลายอยู่

$$(3 / 1,600) \times 100 \text{ กล่าวคือ มีโซเดียมไธโอซัลเฟต ละลายอยู่ } 0.1875 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตมีความเข้มข้นร้อยละ 0.1875

หรือ จากโจทย์ ละลายสารโซเดียมไธโอซัลเฟต 3 กรัมในน้ำ คือ ตัวถูกละลาย

ได้สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 1,600 กรัม คือ สารละลาย

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น ร้อยละโดยมวล} &= \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย}}{\text{น้ำหนักของสารละลาย}} \times 100 \\
 &= (3 / 1,600) \times 100 \\
 &= 0.1875
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 2.1.2 ต้องการเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เข้มข้นร้อยละ 15 โดยมวล จะต้องใช้โซเดียมคลอไรด์กี่กรัมละลายในน้ำ 100 กรัม

จากโจทย์ ในสารละลาย 100 + A กรัม มีโซเดียมคลอไรด์ อยู่ A กรัม

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น ร้อยละโดยมวล} &= \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย}}{\text{น้ำหนักของสารละลาย}} \times 100 \\
 15 &= \frac{A}{100 + A} \times 100 \\
 A &= 17.65
 \end{aligned}$$

กล่าวคือ ต้องชั่งโซเดียมคลอไรด์ 17.65 กรัม เพื่อเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ให้มีความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยมวล

2.2 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร (Percent weight by volume, %w/v)

ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร แสดงถึงสารละลายมีน้ำหนักของตัวถูกละลายอยู่ที่หน่วยน้ำหนักในสารละลายปริมาตร 100 หน่วยปริมาตร (ตำรงค์ คงสวัสดิ์, 2544) มีสูตรคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร} &= \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรของตัวถูกละลาย} + \text{ปริมาตรของตัวทำละลาย}} \times 100 \\
 \text{หรือ ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร} &= \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}} \times 100
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 2.2.1 ถ้าละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO₄) 2.1 กรัม ลงในน้ำจนได้สารละลาย 1 ลิตร สารละลายนี้จะมีค่าความเข้มข้นร้อยละโดยมวลต่อปริมาตรเท่าไร

$$\begin{aligned}
 \text{ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร} &= \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}} \times 100 \\
 &= (2.1 \times 100) / 1000 \\
 &= 0.21
 \end{aligned}$$

2.3 ร้อยละโดยปริมาตร (Percent volume by volume, %v/v)

ร้อยละโดยปริมาตร หมายถึง มีสารที่เป็นตัวถูกละลายกี่หน่วยปริมาตรใน ปริมาตรของสารละลายหนึ่งร้อยหน่วยปริมาตร (ตำราฯ คงสวสดี, 2544) ซึ่งมีสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละโดยปริมาตร} = \frac{\text{ปริมาตรของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}} \times 100$$

ตัวอย่างที่ 2.3.1 ถ้าละลายกรดอะซิติก ($C_2H_4O_2$) 0.80 มิลลิลิตร ลงในน้ำจนได้สารละลายเข้มข้น ร้อยละ 0.04 โดยปริมาตร จะต้องใช้น้ำกี่ลิตรในการละลาย

$$\text{ร้อยละโดยปริมาตร} = \frac{\text{ปริมาตรของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}} \times 100$$

$$0.04 = \frac{(0.80 \times 100)}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}}$$

$$\text{ปริมาตรของสารละลาย} = 2,000 \text{ มิลลิลิตร}$$

แต่สารละลาย 2,000 มิลลิลิตร เกิดจากตัวถูกละลายผสมกับตัวทำละลาย ตัวถูกละลายคือ กรดอะซิติก 0.80 มิลลิลิตร ละลายในน้ำ $2,000 - 0.80 = 1,999.20$ มิลลิลิตร ดังนั้น ต้องใช้น้ำ ปริมาตร 1,999.20 มิลลิลิตร ในการละลาย

2.4 โมลาริตี หรือโมลาร์ (Molarity, M)

โมลาริตีหรือโมลาร์ เป็นหน่วยความเข้มข้นที่แสดงถึงจำนวนโมลของสารใน สารละลาย 1 ลิตร (mol/L) ซึ่งโมลของสาร คือ น้ำหนักของสารประกอบหรือธาตุนั้น (กรัม) ต่อผลรวมของมวลอะตอมหรือมวลโมเลกุล (Molecular weight, Mw) โดยการหาโมลาริตีหรือโม ลาร์สามารถใช้สูตรคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{โมลาร์ (M)} &= \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ \text{mol} &= \frac{\text{น้ำหนักของสาร (กรัม)}}{\text{มวลโมเลกุลของสาร}} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น โมลาร์} = \left[\frac{\text{น้ำหนักของสาร (กรัม)}}{\text{มวลโมเลกุลของสาร}} \right] \text{ ในสารละลาย 1 ลิตร}$$

ตัวอย่างที่ 2.4.1 กำมะถัน (S)หนัก 4 กรัม คิดเป็นกี่โมล

มวลอะตอมของกำมะถัน คือ 32.066

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของกำมะถัน} &= \frac{\text{น้ำหนักของสาร}}{\text{มวลอะตอมของธาตุนั้น}} \\ &= \frac{4}{32.066} \\ &= 0.125 \text{ โมล} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 2.4.2 น้ำตาลกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) 250 กรัม ละลายในน้ำ 1 ลิตร จะมีความเข้มข้นกี่โมลาร์

มวลโมเลกุลของกลูโคส คือ $(12.01 \times 6) + (1.01 \times 12) + (15.99 \times 6) = 180.156$

$$\text{โมลาร์ (M)} = \left[\frac{\text{น้ำหนักของสาร (กรัม)}}{\text{มวลโมเลกุลของสาร}} \right] \text{ ในสารละลาย 1 ลิตร}$$

$$\begin{aligned} \text{โมลาร์} &= \frac{250}{180.156} \\ &= 1.39 \text{ โมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 2.4.3 จงเตรียมสารละลายต่างทับทิม ($KMnO_4$) เข้มข้น 0.4 โมลาร์ จำนวน 300 มิลลิลิตร

(มวลอะตอมของ K = 39.098, Mn = 54.938 และ O = 15.99)

จากโจทย์ สิ่งที่ต้องการ คือ น้ำหนักของต่างทับทิมที่ต้องชั่ง (g)

สิ่งที่โจทย์ให้ คือ โมลาร์ และปริมาตร

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุล} &= [39.098 + 54.938 + (15.99 \times 4)] \\ &= 158.032 \end{aligned}$$

$$\text{โมลาร์} = \frac{\text{โมล}}{\text{ลิตร}}$$

$$\text{โมล} = \frac{\text{น้ำหนักของสาร (กรัม)}}{\text{มวลโมเลกุล}}$$

$$0.4 \text{ โมลาร์} = \frac{\text{น้ำหนักของสาร (กรัม)}}{158.032}$$

$$\text{น้ำหนักของสาร (กรัม)} = 0.4 \times 158.032$$

$$= 63.21 \text{ กรัม ในสาร 1 ลิตร}$$

ดังนั้น ในสาร 1 ลิตร ต้องชั่งต่างทับทิม 63.21 กรัม

ถ้าในสาร 300 มิลลิลิตร ต้องชั่งต่างทับทิม เท่ากับ $(63.21 \times 300) / 1,000$

$$= 18.96 \text{ กรัม}$$

2.5 นอร์มาลิตี หรือ นอร์มอล (Normality, N)

นอร์มาลิตี หรือ นอร์มอล เป็นหน่วยความเข้มข้นที่แสดงถึงในสารละลาย 1 ลิตร มีตัวถูกละลายอยู่ที่นอร์มอล เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.2 นอร์มอล หมายถึง สารละลาย กรดไฮโดรคลอริก 1 ลิตร มีเนื้อกรดไฮโดรคลอริกละลายอยู่ 0.2 นอร์มอล ซึ่งสูตรคำนวณหา นอร์มอล แสดงดังนี้

$$\text{นอร์มอล} = \frac{\text{น้ำหนักของสาร (กรัม)}}{\text{กรัมสมมูลของสาร}}$$

กรัมสมมูลของสาร คือ ผลรวมของน้ำหนักอะตอมหรือมวลโมเลกุลต่อสภาพ ความเป็นเบสของกรด (Basicity of acid) ซึ่งดูได้จากจำนวน H^+ ที่แตกตัวออกจากกรด หรืออาจดู จากจำนวนอะตอมของไฮโดรเจนในสูตรเคมีของกรด หรือจำนวนประจุบวกของเกลือที่ผ่านการดุล (Balancing) จนมีประจุรวมเป็นศูนย์ ดังตารางที่ 4.3 (ตำรา คงสวัสดิ์, 2544) สามารถหากรัม สมมูลสามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณได้ดังนี้

$$\text{กรัมสมมูล} = \frac{\text{ผลรวมของมวลอะตอม หรือมวลโมเลกุลของสาร}}{\text{สภาพความเป็นเบสของกรดหรือจำนวนประจุที่ผ่านการดุล}}$$

ตัวอย่างที่ 2.5.1 จงหา นอร์มอลของกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 50 กรัม (มวลอะตอมของ H = 1.008 S = 32.066 และ O = 15.99)

จากโจทย์ 1. หากรัมสมมูลของกรดซัลฟิวริก ดังนี้

$$\text{มวลโมเลกุลของกรดซัลฟิวริก} = (1.008 \times 2) + (32.066 \times 1) + (15.99 \times 4) = 98.078$$

$$\text{สภาพเบสของกรด} = 2 \text{ (ดูจากจำนวนอะตอมของไฮโดรเจน)}$$

$$\text{ดังนั้น กรัมสมมูล} = \frac{\text{ผลรวมของมวลอะตอม หรือมวลโมเลกุลของสาร}}{\text{สภาพความเป็นเบสของกรด}}$$

$$= 98.078 / 2$$

$$= 49.039 \text{ กรัมต่อ นอร์มอล}$$

จากโจทย์ 2. หา นอร์มอลของกรดซัลฟิวริกจากสูตร ดังนี้

$$\text{นอร์มอล} = \frac{\text{น้ำหนักของสาร}}{\text{กรัมสมมูลของสาร}}$$

$$= 50 / 49.039$$

$$= 1.019$$

ดังนั้น กรดซัลฟิวริก 50 กรัม เท่ากับ 1.019 นอร์มอล

ตารางที่ 4.3 การดุลประจุไฟฟ้าในสูตรเคมีของเกลือ

เกลือละลายน้ำ		การดุลจำนวนประจุไฟฟ้า	จำนวนประจุ ที่ผ่านการดุล
สูตรเคมี	ชื่อวิทยาศาสตร์		
NaCl	Sodium chloride	$\text{NaCl} = (1 \times (+1)) + (1 \times (-1))$ $= +1 - 1 = 0$	1
CaCl_2	Calcium chloride	$\text{CaCl}_2 \rightarrow \text{Ca}^{+2} + 2\text{Cl}^-$ $= (1 \times (+2)) + (2 \times (-1))$ $= +2 - 2 = 0$	2
MgSO_4	Magnesium sulfate	$\text{MgSO}_4 \rightarrow \text{Mg}^{+2} + \text{SO}_4^{-2}$ $= (1 \times (+2)) + (1 \times (-2))$ $= +2 - 2 = 0$	2
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Aluminum sulfate	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow 2\text{Al}^{+3} + 3(\text{SO}_4)^{-2}$ $= (2 \times (+3)) + (3 \times (-2))$ $= +6 - 6 = 0$	6
NaClO_4	Sodium perchlorate	$\text{NaClO}_4 \rightarrow \text{Na}^{+1} + \text{ClO}_4^{-1}$ $= (1 \times (+1)) + (1 \times (-1)) = 0$	1

ที่มา (ตำรา คณิตศาสตร์, 2544)

ตัวอย่างที่ 2.5.2 ละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) จำนวน 8.5 กรัม ลงในน้ำจนได้สารละลาย 500 มิลลิลิตร จงหาความเข้มข้นของสารละลายเป็นหน่วยนอร์มอล (มวลอะตอมของ Al = 26.98 S = 32.06 และ O = 15.99)

จากโจทย์ 1. หากกรัมสมมูลของอะลูมิเนียมซัลเฟต ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{มวลโมเลกุลของอะลูมิเนียมซัลเฟต} &= (26.98 \times 2) + (32.06 \times 3) + (15.99 \times 12) \\ &= 342.15 \end{aligned}$$

$$\text{จำนวนประจุบวกของอะลูมิเนียมซัลเฟต ที่ผ่านการดุล} = (3 \times 2) = 6$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น กรัมสมมูล} &= \frac{\text{ผลรวมของมวลอะตอม หรือมวลโมเลกุลของสาร}}{\text{จำนวนประจุที่ผ่านการดุล}} \\ &= 342.15 / 6 \\ &= 57.025 \text{ กรัมต่อออร์มอล} \end{aligned}$$

จากโจทย์ 2. หานอร์มอลของอะลูมิเนียมซัลเฟต จากสูตร ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{นอร์มอล} &= \frac{\text{น้ำหนักของสาร}}{\text{กรัมสมมูลของสาร}} \\ &= \frac{8.5}{25} = 0.34 \end{aligned}$$

ในสารละลาย 300 มิลลิลิตร มีอะลูมิเนียมซัลเฟตอยู่ 0.34 นอร์มอล

ถ้าในสารละลาย 1,000 มิลลิลิตร มีอะลูมิเนียมซัลเฟต $(0.34 \times 1,000) / 300 = 1.13$

ดังนั้น สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต มีความเข้มข้น 1.13 นอร์มอล

2.6 การเปลี่ยนความเข้มข้นของของเหลว

การเปลี่ยนความเข้มข้นของของเหลวจะใช้สำหรับการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารที่เตรียมไว้แล้วซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าสารที่ต้องการเปลี่ยนความเข้มข้น กล่าวคือ เป็นการเจือจางสารจากสารที่มีความเข้มข้นสูงกว่าไปเป็นสารที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า เช่น ต้องการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 นอร์มอล จากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้แล้วเข้มข้น 0.05 นอร์มอล วิธีการเจือจางสารละลายนี้สามารถใช้สูตรสำหรับการคำนวณได้ดังนี้

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมไว้

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายที่เตรียมไว้

C_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการเตรียม

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการเตรียม

ตัวอย่างที่ 2.6.1 จงเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.01 นอร์มอล จำนวน 100 มิลลิลิตร จากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.03 นอร์มอล

สิ่งที่เตรียมไว้แล้ว คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.03 นอร์มอล

สิ่งที่ต้องการ คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 นอร์มอล จำนวน 100 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ (0.03 \text{ นอร์มอล}) V_1 &= (0.01 \text{ นอร์มอล}) \times (100 \text{ มิลลิลิตร}) \\ V_1 &= \frac{(0.01 \text{ นอร์มอล}) \times (100 \text{ มิลลิลิตร})}{(0.03 \text{ นอร์มอล})} \\ &= 3.3 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

สรุปคือ ต้องดูสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.03 นอร์มอล ที่เตรียมไว้แล้ว ปริมาตร 3.3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.01 นอร์มอล

เทคนิคการทำปฏิบัติการ

การทำปฏิบัติการต้องอาศัยทักษะการชั่ง ตวง วัด การไตเตรท การกรอง ซึ่งหากขาดทักษะเหล่านี้จะทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดและไม่น่าเชื่อถือ ดังนั้น ผู้วิเคราะห์ต้องมีการฝึกทักษะในแต่ละด้าน มีความรู้ ความเข้าใจ ในกระบวนการทดลองเบื้องต้น ซึ่งมีข้อมูลและแนวปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. การชั่ง

การชั่งเป็นการหาน้ำหนักของสารหรือวัตถุซึ่งต้องอาศัยอุปกรณ์ที่สามารถกำหนดน้ำหนักของสารหรือวัตถุนั้นได้ นั่นคือ เครื่องชั่ง ซึ่งเครื่องชั่งแต่ละชนิดมีความไวและให้ค่าที่ถูกต้องไม่เท่ากัน เครื่องชั่งไฟฟ้าที่แสดงค่าเป็นตัวเลขจะมีความไวและความละเอียดถูกต้องมากกว่าเครื่องชั่งแบบอื่นๆ ความไวของเครื่องชั่งไฟฟ้ามีหลายระดับ ตั้งแต่ 0.0-0.000000 กรัม ในการอ่านค่าทุกครั้งต้องรอให้เลขตัวสุดท้ายคงที่ก่อน ค่าที่ถูกต้องจะเป็นค่าที่ตำแหน่งทศนิยมก่อนตัวสุดท้าย 1 ตำแหน่ง ส่วนค่าทศนิยมตำแหน่งสุดท้ายเป็นค่าที่มีความน่าเชื่อถือน้อยที่สุด

นอกจากนี้ในการเลือกเครื่องชั่งต้องเลือกให้เหมาะสมกับน้ำหนักที่จะชั่ง การชั่งสารที่มีปริมาณน้อยๆ ด้วยเครื่องชั่งแบบหยาบ จะทำให้ได้ค่าที่มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าเครื่องชั่งที่มีความละเอียด ในทางตรงกันข้าม การชั่งสารปริมาณมากด้วยเครื่องชั่งที่ละเอียดเกินไปจะทำให้เกิดความล่าช้า และไม่มีความจำเป็น เพราะค่าที่คลาดเคลื่อนนั้นถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักที่ชั่ง (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549)

1.1 ชนิดของเครื่องชั่ง

เครื่องชั่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในห้องปฏิบัติการ ใช้สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่ต้องทราบน้ำหนักของสิ่งของหรือสารเพื่อใช้ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง เครื่องชั่งมีหลายรูปแบบสามารถจำแนกตามระบบการทำงานได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบกล และระบบไฟฟ้า การเลือกใช้เครื่องชั่งที่ดีควรมีความเที่ยงและความถูกต้องสูง เหมาะสมกับความต้องการ

นอกจากนี้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง มีลมพัด การวางเครื่องชั่งไม่อยู่ในแนวระนาบ เป็นต้น สามารถส่งผลต่อค่าที่ได้จากการชั่งในแต่ละครั้งได้เช่นกัน ดังนั้นการจัดวางเครื่องชั่งในสถานที่ที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งเครื่องชั่งที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายรูปแบบ ดังนี้

1.1.1 เครื่องชั่งลูกตุ้มน้ำหนัก

เครื่องชั่งชนิดนี้จัดเป็นการทำงานแบบระบบกลที่ต้องทราบน้ำหนักเปรียบเทียบกับน้ำหนักมาตรฐานโดยอาศัยสมดุลของคาน ใช้ชั่งสารหรือวัตถุที่ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก ต้องอาศัยทักษะและความชำนาญในการใช้งาน จึงไม่ค่อยนิยมใช้ในการตรวจวิเคราะห์มากนัก แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ เครื่องชั่งลูกตุ้มแบบ 2 จาน (Double beam balance) ดังภาพที่ 4.7 และเครื่องชั่งลูกตุ้มแบบเลื่อน (Triple beam balance) ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.7 เครื่องชั่งลูกตุ้มแบบ 2 จาน



ภาพที่ 4.8 เครื่องชั่งลูกตุ้มแบบเลื่อน

1.1.2 เครื่องชั่งไฟฟ้า (Digital balance)

ใช้สำหรับการชั่งสารหรือวัตถุทั่วไป มีความละเอียดและถูกต้องสูงกว่าเครื่องชั่งแบบลูกตุ้มทั้ง 2 แบบ แสดงผลออกมาเป็นตัวเลข ซึ่งเครื่องชั่งแบบไฟฟ้าแต่ละรุ่นสามารถรับน้ำหนักสูงสุด (Capability) และความไว (Sensitivity) ในการชั่งไม่เท่ากัน ดังนั้นต้องเลือกเครื่องชั่งที่เหมาะสม ซึ่งรูปทรงของเครื่องชั่งมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการชั่ง (ภาพที่ 4.9)



ภาพที่ 4.9 เครื่องชั่งไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ

ที่มา (กองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ, ม.ป.ป.)

1.2 อุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการชั่ง

นอกเหนือจากเครื่องชั่งที่มีความจำเป็นสำหรับการชั่งแล้ว อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบกับการชั่งเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อป้องกันการชั่งที่ผิดพลาดและก่อให้เกิดความเสียหายกับเครื่องชั่ง จึงต้องเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับการชั่ง ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

1.2.1 ภาชนะสำหรับชั่งสาร

การเลือกภาชนะสำหรับชั่งสารเคมีนั้นควรพิจารณาจากชนิดของสารเคมีนั้นๆ ว่ามีความเป็นกรดหรือด่างเพียงใด หากมีฤทธิ์กัดกร่อนหรือมีลักษณะขึ้น ชั้น เหนียว ควรเลือกใช้ภาชนะเฉพาะ นอกจากนี้ภาชนะที่เลือกมาใช้ควรเหมาะสมกับปริมาณของสารที่ชั่ง และน้ำหนักรวมต้องไม่เกินขีดจำกัดสูงสุดของเครื่องชั่ง เพราะหากชั่งสารที่มีน้ำหนักมากเกินขีดจำกัดเครื่องชั่ง อาจทำให้เครื่องชั่งเสียหายและไม่ตรงกับความเป็นจริง ซึ่งภาชนะที่ใช้สำหรับการชั่งสารมีดังนี้

1.2.1.1 กระดาษชั่งสาร (Weighing paper) ใช้สำหรับชั่งสารที่เป็นของแข็ง ปริมาณน้อย กระดาษมีลักษณะผิวมันเรียบหนึ่งด้านเคลือบด้วยโพลีเอทิลีนเป็นฟิล์มบาง เพื่อป้องกันการติดค้างของสารเคมีในขณะการถ่ายสารไปยังภาชนะ สามารถป้องกันการกัดกร่อนที่ไม่รุนแรงได้ อีกด้านของกระดาษเป็นผิวธรรมดาเพื่อใช้สำหรับเขียนรายละเอียด

1.2.1.2 ปีกเกอร์ (Beaker) ใช้สำหรับชั่งสารได้ทั้งของเหลวและของแข็ง มีหลายขนาดให้เลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมกับปริมาณสาร แต่ต้องระวังไม่เลือกใช้ขนาดของปีกเกอร์ที่ใหญ่และมีน้ำหนักมากเกินกว่าขีดจำกัดสูงสุดของเครื่องชั่ง

1.2.1.3 ขวดชั่งสาร (Weighing bottle) ใช้สำหรับการทดลองที่ต้องการความถูกต้องเชิงปริมาณสูง (Quantitative) สารเคมีที่ชั่งจะเก็บอยู่ในสภาพที่ปราศจาก

ความชื้น (Anhydrous) เพื่อให้ได้น้ำหนักที่แท้จริงของสารเคมีนั้น (ไม่รวมน้ำหนักโมเลกุลของน้ำ) ในการทดลองต้องระวังเรื่องความชื้น ดังนั้นจึงควรใช้คีมคีบหรือกระดาษพันขวดซึ่งสารแทนการจับด้วยมือโดยตรง (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549)

1.2.2 ช้อนตักสาร (Scoop/Spatula)

ช้อนตักสารเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตักสารเคมีที่เป็นของแข็งออกจากภาชนะบรรจุ ทำจากวัสดุที่เป็นพลาสติกหรือโลหะ มีหลายขนาดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม (ภาพที่ 4.10) ซึ่งไม่ควรตักสารเคมีหลายชนิดโดยใช้ช้อนอันเดียวกัน หากต้องการใช้ซ้ำ ควรล้างและเช็ดให้แห้งก่อนทุกครั้ง



ภาพที่ 4.10 ช้อนตักสาร

1.2.3 แปรงสำหรับทำความสะอาด (Brush)

แปรงสำหรับทำความสะอาดใช้ในการปิดฝุ่นหรือเศษสารเคมีที่หกเลอะบนเครื่องชั่ง

1.2.4 ตุ่มน้ำหนัก (Calibration weight)

ตุ่มน้ำหนักเป็นวัตถุที่มีน้ำหนักหรือมวลมาตรฐาน ใช้สำหรับเปรียบเทียบน้ำหนักของวัตถุ โดยสร้างมวลมาตรฐานชุดแรกขึ้นและถูกเก็บไว้ที่ International Bureau of Weight and Measure ที่กรุงปารีส ส่วนตุ่มน้ำหนักมาตรฐานจำลองถูกเก็บไว้ที่ National Bureau of Standard (NBS) ที่กรุงวอชิงตันประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อใช้เปรียบเทียบกับตุ่มน้ำหนักมาตรฐานที่ผลิตจำหน่ายทั่วไป ตุ่มน้ำหนักอาจทำด้วยทองเหลือง เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) เหล็ก หรือพลาสติก ขึ้นอยู่กับคุณภาพและราคา อาจทำออกมาเป็นรูปทรงกระบอก ทรงแปดเหลี่ยม หรือแบบแผ่นสี่เหลี่ยม ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ต้มน้ำหนักมาตรฐานรูปแบบต่างๆ
ที่มา (แอดวานซ์ เมทโรโลยี จำกัด, ม.ป.ป.)

สำนักงานมาตรฐานนานาชาติ หรือ NBS (National Bureau of Standards) ได้กำหนดช่วงของความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของต้มน้ำหนักมาตรฐานไว้ โดยต้มน้ำหนักมาตรฐานแบ่งค่าความถูกต้องออกเป็นชนิดต่างๆ ซึ่งเรียงจากชนิดที่มีความถูกต้องมากไปหาน้อย ได้ดังนี้ $J > M > S > S-1 > P > Q > T$ การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน (ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์, ม.ป.ป.) สำหรับงานที่เราทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการนั้นควรใช้ต้มน้ำหนักชนิด S ซึ่งมีความถูกต้องเพียงพอ ส่วนงานที่ไม่ต้องการความถูกต้องมากนักอาจจะใช้ลูกต้มนชนิดต่ำกว่า S ได้ ซึ่งโดยส่วนใหญ่ใช้ต้มน้ำหนักเพียงแค่ชนิด S ถึง Q

1.3 ข้อควรระวังในการใช้งานเครื่องชั่ง

เครื่องชั่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงในลักษณะต่างๆ มาก ดังนั้นการเลือกพื้นที่ในการวางเครื่องชั่งต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้ด้วย

1.3.1 สภาพแวดล้อมภายในห้องเครื่องชั่ง เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ที่ไม่คงที่สามารถทำให้น้ำหนักที่ชั่งผิดพลาดได้ ดังนั้นห้องที่วางเครื่องชั่งควรควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น เพื่อเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของห้องวางเครื่องชั่ง โดยทั่วไปมักกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องชั่งในช่วง 10-30 องศาเซลเซียส ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่วงร้อยละ 45-60 หากความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 45 จะทำให้อากาศแห้งจนเกิดไฟฟ้าสถิตเป็นแรงดูดหรือแรงผลักระหว่างเครื่องชั่งและภาชนะที่ใส่ตัวอย่างหรือกับตัวอย่างเอง แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์เกินร้อยละ 60 จะทำให้สิ่งที่ชั่งมีน้ำหนักเกินจริง

1.3.2 การวางเครื่องชั่งไว้ใกล้กับอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความร้อนหรือความชื้น หรือเครื่องมือที่ใช้ระบบการเหนี่ยวนำไฟฟ้า เช่น ตู้อบ เครื่องอังไอน้ำ (Water bath) สามารถส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานของเครื่องชั่ง

1.3.3 ไม่ควรใช้มือจับภาชนะใส่ตัวอย่างโดยตรง เพราะอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนหรืออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้ และควรวางสิ่งที่ต้องการชั่งบริเวณกลางจานชั่ง เพื่อป้องกันการอ่านค่าน้ำหนักที่ผิดพลาดไป

1.3.4 ควรทำความสะอาดเครื่องชั่งและจานชั่งหลังใช้งานเสร็จทุกครั้ง อาจใช้แปรงปัด หรือผ้าเช็ดด้านบนของจานชั่ง หากมีรอยเปื้อนเป็นคราบอาจใช้ผ้าชุบน้ำหมาดๆ หรือ ชุบสารละลาย 50% เอทานอล เช็ด ส่วนด้านล่างจานชั่งให้ใช้ลมเป่าสิ่งสกปรกหรือฝุ่นผงออก

1.3.5 ก่อนทำการปรับตั้งเครื่องชั่ง ต้องตรวจสอบสมดุลของเครื่องชั่ง ดูตำแหน่งของลูกน้ำให้อยู่กึ่งกลางของตำแหน่งที่กำหนดไว้และปรับระดับให้เครื่องชั่งตั้งตรงอยู่ในแนวระนาบและให้แสดงหน้าจอเป็นศูนย์ (Zero reading) ก่อนเสมอ (กองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ, ม.ป.ป.)

1.4 การทวนสอบเครื่องชั่ง (Verification)

การทวนสอบเครื่องชั่ง เป็นวิธีการยืนยันว่าเครื่องชั่งมีคุณลักษณะเหมาะสมกับค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ของการใช้งานหรือไม่ โดยนำผลการสอบเทียบเครื่องชั่งมาพิจารณาความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนของการทำงาน เพื่อให้เครื่องชั่งมีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือในการใช้งาน โดยปกติมักทำการทวนสอบเครื่องชั่งปีละ 1 ครั้งกับหน่วยงานที่มีมาตรฐานรับรอง (กองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ, ม.ป.ป.)

2. การตวง

การตวงเป็นวิธีการหาปริมาตรของสาร โดยใช้ภาชนะที่เหมาะสมในการตวงสารนั้น การเลือกภาชนะแต่ละประเภทมาใช้ในการตวงส่งผลต่อความละเอียดและความถูกต้องของปริมาณสารที่ต้องการความแม่นยำด้วย โดยทั่วไปการวิเคราะห์เชิงปริมาณสารที่มีคุณสมบัติเป็นของแข็งมักใช้วิธีการชั่งมากกว่าการตวง แต่หากใช้วิธีการตวงสารที่เป็นของแข็ง จะทำการตักสารให้เต็มอุปกรณ์ที่กำหนดปริมาตรไว้โดยไม่ต้องอัดให้แน่นแล้วใช้ช้อนปาดผิวด้านบนออก ส่วนการตวงสารที่เป็นของเหลวต้องเลือกใช้ภาชนะที่เหมาะสมกับปริมาณที่ต้องการเพื่อให้ได้ปริมาตรที่ถูกต้องและแม่นยำ

เครื่องแก้วสำหรับการตวงสารมีหลายประเภท เช่น กระจกบอกรตวง ขวดวัดปริมาตร ปิเปต ขวดรูปชมพู่ และปิเกตอร์ ซึ่งการเลือกใช้อุปกรณ์สำหรับการตวงแต่ละชนิดจะมีวัตถุประสงค์ของการใช้งานต่างกัน ปิเกตอร์เหมาะสำหรับการผสมสารมากกว่าการตวง แต่สามารถใช้ปิเกตอร์

ดวงสารในกรณีของการประมาณปริมาตรของสารได้ ขวดรูปชมพู่ออกแบบมาให้มีคอขวดแคบเหมาะกับการไตเตรทเพื่อป้องกันของเหลวกระเด็นหกออกมาจากการแกว่งขวด สามารถประมาณปริมาตรได้เบื้องต้น แต่ไม่เหมาะสำหรับการตวงที่ต้องการปริมาตรที่ถูกต้องและแม่นยำได้ ขวดวัดปริมาตร กระบอกตวงและปิเปต จึงเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับการตวงและให้ปริมาตรที่แม่นยำที่สุด (อรรถย ชวาลภาฤทธิ์, 2545) ซึ่งลักษณะของการใช้งานของอุปกรณ์สำหรับการตวงมีดังนี้

2.1 กระบอกตวง (Graduated cylinder)

กระบอกตวงเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับการตวงโดยเฉพาะ มีให้เลือกใช้ได้หลายขนาด (ภาพที่ 4.12) มีความละเอียดและความถูกต้องเชิงปริมาตรค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับบีกเกอร์ หรือขวดรูปชมพู่ อย่างไรก็ตามการเลือกขนาดของกระบอกตวงที่เหมาะสมกับการตวงจะทำให้ค่าความละเอียดเชิงปริมาตรมีความถูกต้องมากขึ้น



ภาพที่ 4.12 กระบอกตวงปริมาตรต่างๆ

2.2 ปิเปต (Pipette)

ปิเปตเป็นอุปกรณ์ที่มีความละเอียดและความถูกต้องมากกว่ากระบอกตวง มีลักษณะเป็นหลอดแก้วใส ยาว ปลายเปิด ใช้สำหรับถ่ายเทของเหลวตามปริมาตรที่ต้องการเหมาะสำหรับการตวงสารปริมาตรน้อยๆ มักใช้คู่กับอุปกรณ์เสริมเพื่อช่วยในการดูดสาร เช่น ลูกยาง ปัมพลาสติก หรือปิเปตทิป เป็นต้น มีหลายรูปแบบให้เลือกใช้ซึ่งมีวัตถุประสงค์ของการใช้งานต่างกััน ดังนี้

2.2.1 ปิเปตแก้วแบบกระเปาะหรือปิเปตแก้วแบบปริมาตร (Volumetric pipette) มีลักษณะของปิเปตที่ป่องเป็นกระเปาะตรงกลาง มีขีดบอกปริมาตร 1 ขีดที่ส่วนบนของปิเปต มีหลายขนาดให้เลือกใช้ขึ้นอยู่กับปริมาตร (ภาพที่ 4.13)



ภาพที่ 4.13 ปิเปตแบบกระเปาะ

2.2.2 ปิเปตแก้วแบบตวง (Measuring pipette) เป็นปิเปตชนิดที่มีขีดบอกปริมาตรแสดงไว้ตลอดความยาวของปิเปต (ภาพที่ 4.14) ใช้สำหรับตวงสารตามปริมาตรที่ต้องการ มีหลายขนาด สามารถใช้แทนปิเปตแบบกระเปาะได้ แต่ความละเอียดและความถูกต้องของปริมาตรที่ตวงสารได้น้อยกว่าการใช้ปิเปตแบบกระเปาะ รวมถึงระดับชั้นคุณภาพของปิเปตที่ต่างกันส่งผลต่อความผิดพลาดในการตวงต่างกันด้วย

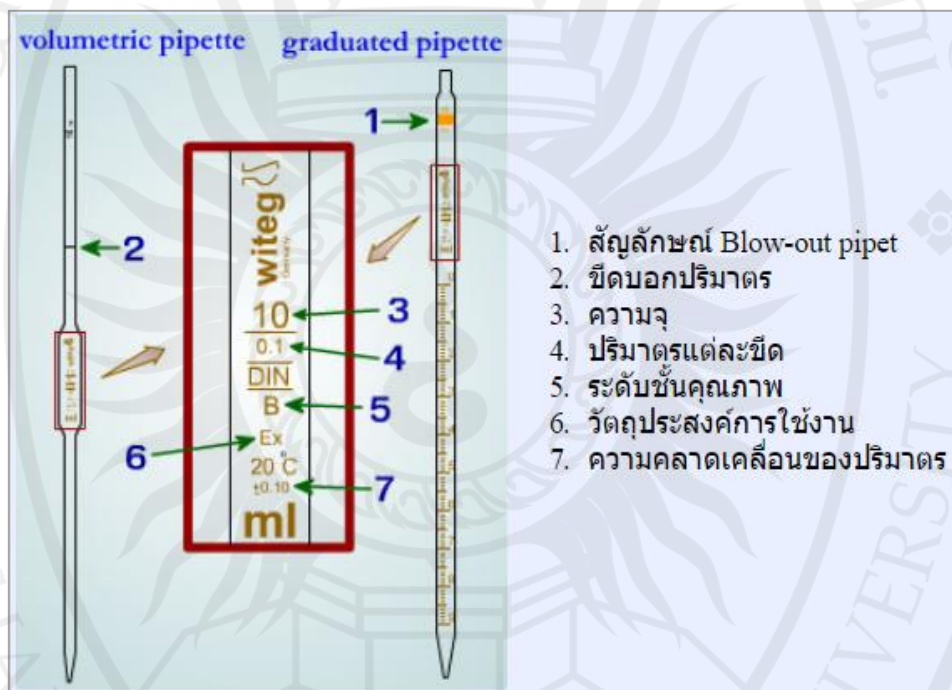


ภาพที่ 4.14 ปิเปตแบบตวง

กรณีของปิเปตแก้วทั้งสองแบบนี้จะมีข้อความหรือสัญลักษณ์ที่พิมพ์อยู่บนตัวปิเปตเพื่อบอกที่มาและวัตถุประสงค์สำหรับการใช้งานของปิเปต เช่น ปริมาตรของปิเปต ระดับชั้นคุณภาพ ความคลาดเคลื่อนของปิเปต ซึ่งข้อความที่ปรากฏบนปิเปตแสดงดังภาพที่ 4.15 นอกจากนี้ยังบอกถึงวิธีการใช้งานของปิเปตว่ามีลักษณะแบบใด แบ่งออกเป็น

1. To contain ตัวอย่างคือ TC หรือ In หมายถึง ปิเปตที่ตรงตามปริมาตร โดยแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ เมื่อปล่อยของเหลวออกจากปิเปตแล้วอาจมีของเหลวติดค้างอยู่ที่ปลายปิเปตได้

2. To deliver ตัวอย่างคือ TD หรือ Ex หมายถึง ปิเปตที่ใช้สำหรับการปล่อยของเหลวออกจากปลายปิเปต ซึ่งแบ่งออกเป็น Blow out pipette คือ ชนิดที่เมื่อปล่อยสารหมดแล้วต้องใช้จุกยางเป่าเพื่อระบายของเหลวออก ซึ่งจะมีสัญลักษณ์แสดงรูปแบบการใช้ปิเปต ชนิดที่ต้องมีการเป่าเป็นแถบสีด้านบนของปิเปต และชนิดที่ไม่ต้องเป่าออก แต่จะต้องแตะปลายปิเปตติดกับข้างภาชนะค้างไว้ประมาณ 10-15 วินาที รอให้ของเหลวไหลออกจนหมด (อรรถัย ชาวลภาฤทธิ์, 2545)



ภาพที่ 4.15 รายละเอียดข้อความต่างๆ บนปิเปต
ที่มา (Veterinary Medicine Khon Kane University, n.d.)

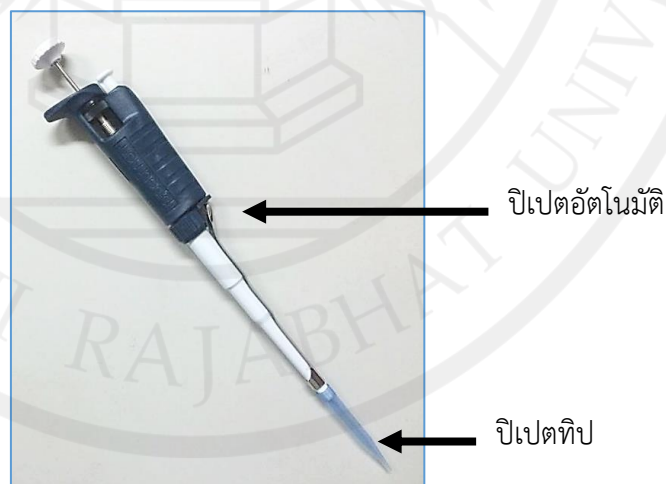
นอกจากนี้ปิเปตขนาดเดียวกันสามารถมีระดับชั้นคุณภาพต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อปริมาตรที่ถูกต้องของสารได้แตกต่างกันด้วย โดยระดับชั้นคุณภาพ A (Class A) มีค่าความผิดพลาดจากการตวงน้อยกว่าระดับชั้นคุณภาพ B (Class B) ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความผิดพลาดในการตวงสารที่ใช้ปิเปตแบบกระเปาะที่มีระดับชั้นคุณภาพต่างกัน

ความจุสาร (มิลลิลิตร)	ค่าความผิดพลาด (มิลลิลิตร)	
	Class A	Class B
0.5	±0.006	±0.012
1	±0.006	±0.012
5	±0.01	±0.02
10	±0.02	±0.04
20	±0.03	±0.06
50	±0.05	±0.10

ที่มา (ASTM, 2012)

2.2.3 ปิเปตอัตโนมัติ (Autopipette) เป็นปิเปตชนิดที่ออกแบบมาสำหรับการตวงสารปริมาณน้อยมากๆ ในระดับไมโครลิตรจนถึงระดับมิลลิลิตร สามารถปรับตั้งค่าการดูดสารได้ตามที่ต้องการ ปิเปตชนิดนี้ให้ความละเอียดและความถูกต้องสูงที่สุดในชนิดของปิเปตทั้งหมดจึงมักใช้ในงานวิจัยระดับสูง การใช้งานมีขั้นตอนที่แตกต่างจากการใช้ปิเปตแบบกระเปาะและปิเปตแบบตวงตรงที่ไม่ต้องใช้จุกยางในการดูดสาร แต่มีส่วนที่กดดูดสารในตัวอุปกรณ์และใช้คู่กับปิเปตทิว (Pipette tip) ซึ่งผู้ใช้ต้องมีความชำนาญพอสมควร เนื่องจากปิเปตอัตโนมัติมีหลายขนาด ซึ่งแต่ละขนาดมีช่วงของการดูดสารแตกต่างกัน หากเลือกใช้งานผิดขนาดหรือหมุนปรับตั้งค่าเกินค่าขีดจำกัดของเครื่องอาจทำให้เครื่องมือเกิดความเสียหายได้ ดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 ปิเปตอัตโนมัติ

2.3 บิวเรต (Burette)

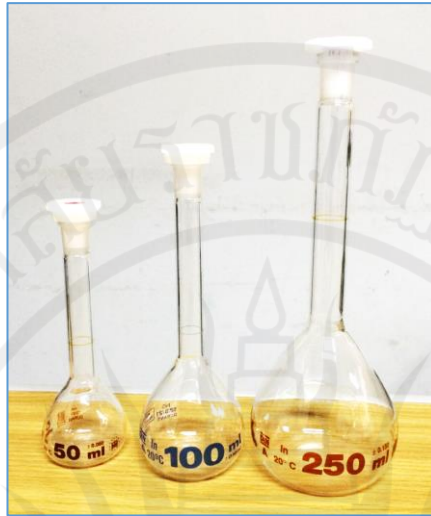
บิวเรตเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการไตเตรท (Titration) เพื่อหาปริมาณของสารที่ทำปฏิกิริยาพอดีที่จุดยุติ (End point) โดยใช้อินดิเคเตอร์ (Indicator) เป็นตัวบอกความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เป็นอุปกรณ์ที่มีความละเอียดถูกต้องสูง มีข้อต่อหมุนเพื่อปิด-เปิดสาร บิวเรตต้องใช้คู่กับขาตั้งและตัวหนีบเสมอ ดังภาพที่ 4.17 (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549)



ภาพที่ 4.17 บิวเรตพร้อมอุปกรณ์ขาตั้ง
ที่มา (Burette Using A Burette, n.d.)

2.4 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)

ขวดวัดปริมาตรเป็นอุปกรณ์สำหรับเตรียมสารละลายมาตรฐาน มีลักษณะเป็นขวดคอยาว ฐานเป็นกระเปาะ มีขีดบอกปริมาตร 1 ซีด อยู่ที่คอขวด (ภาพที่ 4.18) เป็นอุปกรณ์ที่มีความถูกต้องสูง มีหลายขนาด



ภาพที่ 4.18 ขวดวัดปริมาตร

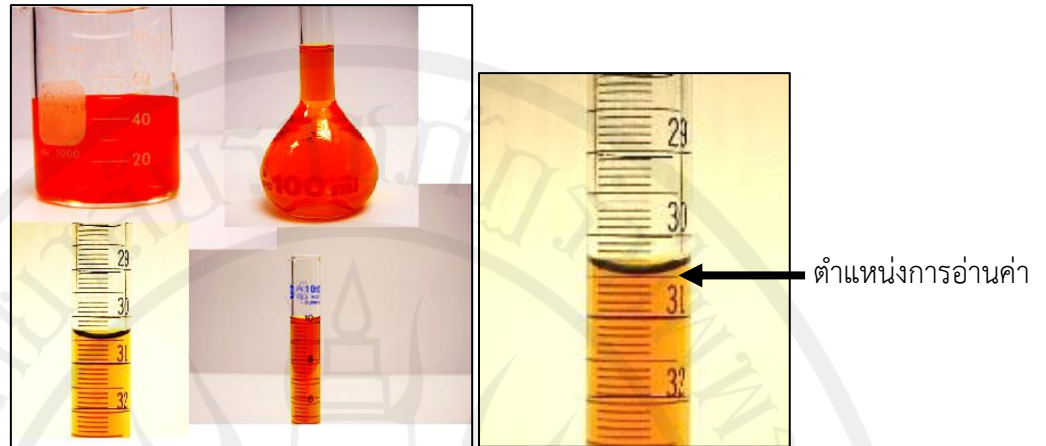
2.5 ปีกเกอร์ (Beaker)

ปีกเกอร์เป็นภาชนะสำหรับการตวงของเหลวที่มีปริมาตรมากได้ (ภาพที่ 4.19) แต่ได้ค่าที่มีความละเอียดต่ำ มีขีดบอกปริมาตรโดยประมาณ มีความถูกต้องน้อย จึงมักใช้กับการบรรจุสารสำหรับการเตรียมสารเคมี การให้ความร้อนกับสารเพื่อทำปฏิกิริยาเคมี และการถ่ายสารออกไปยังภาชนะอื่น



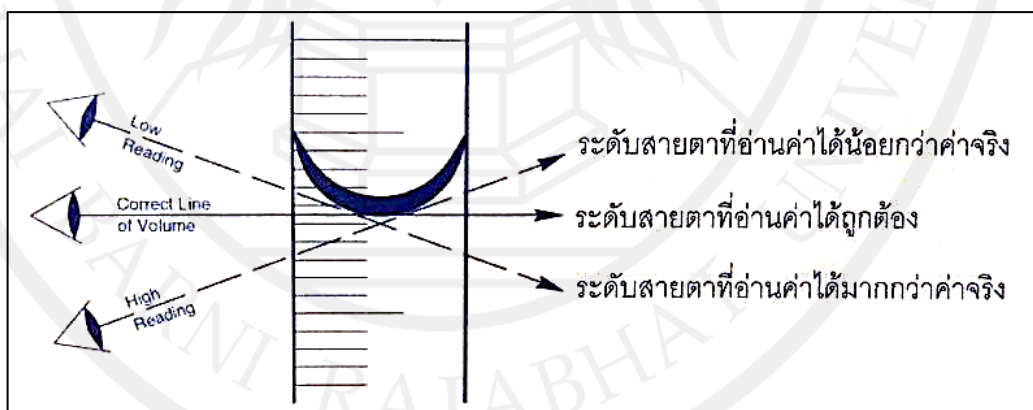
ภาพที่ 4.19 ปีกเกอร์

นอกจากการเลือกภาชนะที่ใช้สำหรับการตวงสารเป็นเรื่องที่ควรพิจารณาแล้วนั้น ควรให้ความสำคัญกับการอ่านค่าปริมาตรของเหลวในภาชนะนั้นด้วย เนื่องจากของเหลวที่อยู่ในภาชนะจะมีแรงดึงดูดระหว่างของเหลวกับผิวภาชนะทำให้มองเห็นระดับของของเหลวเป็นเส้นโค้ง (ภาพที่ 4.20)



ภาพที่ 4.20 แรงดึงดูดระหว่างของเหลวกับผิวภาชนะ
ที่มา (ศิวิซ์ พรแดง และคณะ, ม.ป.ป.)

การอ่านค่าปริมาตรของเหลวนั้นต้องอ่านโดยให้สายตาดูอยู่ในระดับเดียวกับจุดต่ำสุด
ของส่วนโค้งท่อน้ำ แล้วอ่านค่าที่จุดนั้น ซึ่งหากตำแหน่งของระดับสายตาดูไม่อยู่ในระดับเดียวกับ
ส่วนโค้งต่ำสุดของสารละลายแล้วจะทำให้เกิดการอ่านปริมาตรผิดพลาดได้ เรียกความผิดพลาดที่
เกิดขึ้นนี้ว่าความผิดพลาดพาราแลกซ์ (Parallax error) กล่าวคือ ถ้าระดับสายตาดูเหนือส่วนโค้งแก้ว
ต่ำสุดของสารละลายจะทำให้ปริมาตรที่อ่านได้มากกว่าความจริง แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าระดับ
สายตาดูต่ำกว่าส่วนโค้งแก้วต่ำสุดของสารละลายจะทำให้ปริมาตรที่อ่านได้น้อยกว่าความจริง
ดังภาพที่ 4.21 (ศิวิซ์ พรแดง และคณะ, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 4.21 การอ่านค่าปริมาตรในตำแหน่งของระดับสายตาดูที่แตกต่างกัน
ที่มา (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549)

3. การไตเตรท (Titration)

การไตเตรทเป็นเทคนิคการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อหาจุดยุติของสารละลายที่ทำปฏิกิริยากันพอดี โดยใช้อินดิเคเตอร์เป็นตัวบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ส่วนใหญ่เป็นการหาปริมาณของสารละลายกรดและเบส โดยที่เมื่อกรด (Acid) ทำปฏิกิริยากับเบส (Base) จะเกิดเป็นเกลือขึ้น ค่าความเป็นกรด-เบสหรือค่าพีเอชในสารละลายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในขณะที่ทำการไตเตรทจนถึงจุดที่กรดทำปฏิกิริยาพอดีกับเบส เรียกว่า จุดยุติ (End point) โดยสังเกตจุดยุติจากการเปลี่ยนสีของสารละลายที่หยดอินดิเคเตอร์ลงไป ซึ่งจุดนี้ค่าพีเอชของสารละลายจะเป็นกลาง (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549) โดยขั้นตอนและการไตเตรทมีองค์ประกอบ ดังนี้

3.1 อินดิเคเตอร์ (Indicator)

อินดิเคเตอร์เป็นสารอินทรีย์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือเบสอ่อน เป็นสารประกอบที่เปลี่ยนสีได้เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเปลี่ยนไปในช่วงที่เฉพาะเจาะจง เช่น ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) จะไม่มีสีเมื่ออยู่ในสารละลายกรด แต่จะเปลี่ยนเป็นสีชมพูเมื่ออยู่ในสารละลายเบสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.3

การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ขึ้นอยู่กับปริมาณของ H_3O^+ ในปฏิกิริยาของสารละลาย ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีของฟีนอล์ฟทาลีน

ที่มา (คลังความรู้สู่ความเป็นเลิศ, 2555)

กรณีที่มี H_3O^+ มาก (สารละลายมีสภาพเป็นกรด) H_3O^+ จะเกิดการรวมตัวกับ In^- ได้เป็น HIn สีของสารละลายจะเป็นสีรูปกรด คือไม่มีสี แต่ถ้ามีปริมาณ OH^- มาก OH^- จะทำปฏิกิริยากับ H_3O^+ เกิดเป็น In^- มากขึ้นจะเกิดสีของรูปเบสเห็นเป็นสีชมพู (คลังความรู้สู่ความเป็นเลิศ, 2555)

อินดิเคเตอร์แต่ละชนิดจะมีช่วง pH ของการเปลี่ยนสีแตกต่างกัน โดยที่การเลือกใช้อินดิเคเตอร์ในการหาค่าพีเอชของสารละลายอาจต้องใช้อินดิเคเตอร์มากกว่าหนึ่งชนิด ซึ่งช่วงพีเอชของอินดิเคเตอร์แต่ละชนิดแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 อย่างไรก็ตามในการไตเตรทมักใช้กับ

สารละลายที่ไม่มีสีหรือมีสีอ่อน เนื่องจากหากสารละลายมีสีเข้มจะทำให้สีของอินดิเคเตอร์ผิดเพี้ยนไปจนสังเกตความแตกต่างไม่ได้ นอกจากนี้ความถูกต้องของการไตเตรทขึ้นอยู่กับสายตาและการตัดสินใจของผู้ทำการทดลองด้วยว่าสีที่เกิดขึ้นถึงจุดยุติแล้วหรือยัง

ตารางที่ 4.5 ช่วงพีเอชของอินดิเคเตอร์ชนิดต่างๆ

Indicator	Acid color	Range	Base color
Methyl violet	Yellow	0.0 – 1.6	Blue
Cresol red	Red	1.0– 2.0	Yellow
Orange IV	Red	1.4 – 2.6	Yellow
Phloxine B	Colorless	2.1 – 4.1	Pink
2,4-Dinitrophenol	Colorless	2.8 – 4.0	Yellow
Methyl orange	Red	3.2 – 4.4	Yellow
α -Naphthyl red	Red	4.0 – 5.6	Yellow
Methyl red	Red	4.8 – 6.0	Yellow
4-nitrophenol	Colorless	5.4 – 6.6	Yellow
Bromothymol blue	Yellow	6.0 – 7.6	Blue
Brilliant yellow	Yellow	6.6 – 7.9	Orange
Cresol red	Yellow	7.0 – 8.8	Red
2,6-Divanillylidencyclohexanon	Yellow	7.8 – 9.4	Red
Ethyl bis (2,4-dinitrophenyl) acetate	Colorless	8.4 – 9.6	Blue
Thymolphthalein	Colorless	9.4 – 10.6	Blue
Alizarin yellow R	Yellow	10.0 – 12.0	Red
Malachite green hydrochloride	Green-blue	10.2 – 12.5	Colorless
Methyl blue	Blue	10.6 – 13.4	Pale violet
Orange G	Yellow	11.5 – 14.0	Pink
2,4,6-Trinitrotoluene	Colorless	11.7 – 12.8	Orange

ที่มา (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549)

3.2 อุปกรณ์และเทคนิคการไตเตรท

อุปกรณ์สำหรับการไตเตรท คือ บิวเรต ซึ่งต้องประกอบเข้ากับขาตั้งที่มีตัวหนีบสำหรับยึดบิวเรตให้ตั้งตรง ปรับระดับความสูงต่ำตามต้องการ (ภาพที่ 4.17) เมื่อต้องการไตเตรท ควรใช้สารละลายกลั่นในบิวเรตเล็กน้อย จากนั้นหมุนตัวปิด-เปิดการไหล (Stopcock) ให้อยู่ในแนวขวางกับบิวเรตเพื่อปิดการไหลของสารละลาย โดยการจับ Stopcock ที่ถูกต้องแสดงดังภาพที่ 4.23 จากนั้นเทสารละลายใส่ลงในบิวเรตแล้วหมุน Stopcock เปิดให้สารละลายไหลออกจากบิวเรตจนไม่มีฟองอากาศติดค้างอยู่ที่ปลายบิวเรต แล้วจึงปิด Stopcock เพื่อเติมสารละลายสำหรับการไตเตรทจนปริมาตรถึงขีดวัดระดับที่ต้องการ

เมื่อเริ่มทำการไตเตรทต้องจดค่าเริ่มต้นของสารในบิวเรต จากนั้นค่อยๆ หมุนจุกหมุนปิด-เปิดการไหล (Stopcock) จนสารละลายไหลลงในขวดรูปชมพู่ที่มีสารที่ต้องการทดสอบเล็กน้อย จากนั้นหยดอินดิเคเตอร์ประมาณ 2-3 หยด สังเกตสีที่เกิดขึ้น แล้วนำมาไตเตรทต่อจนเห็นการเปลี่ยนสี (ระหว่างการไตเตรทต้องเขย่าขวดรูปชมพู่เพื่อผสมสารด้วย) จากนั้นอ่านปริมาตรที่บิวเรตอีกครั้งเพื่อนำมาคำนวณหาปริมาตรสารละลายในบิวเรตที่ใช้ไป ซึ่งวิธีการคำนวณขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์แต่ละประเภท



ภาพที่ 4.23 การจับตัวหมุนจุกหมุนปิด-เปิดการไหลที่ถูกต้อง
ที่มา (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549)

4. การกรอง (Filtration)

การกรองเป็นวิธีการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวโดยการเทของผสมผ่านเยื่อ (Membrane) ที่มีรูพรุน (Pore) สารที่มีอนุภาคเล็กจะผ่านเยื่อลงมาได้ ส่วนสารที่มีอนุภาคใหญ่จะติดค้างอยู่บนเยื่อ ซึ่งสามารถเลือกนำแต่ละส่วนที่กรองได้ไปใช้วิเคราะห์ต่อ ส่วนสำคัญสำหรับการกรองประกอบด้วยกระดาษกรองและเทคนิคการกรอง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 กระดาษกรอง

กระดาษกรองที่นำมาใช้กรองสารมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับการใช้ เช่น ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง คุณภาพกระดาษ และความพรุนของกระดาษกรอง เป็นต้น การทดลองที่ต้องการกรองสารปริมาณมากอาจเลือกใช้กระดาษกรองที่มีขนาดใหญ่ หรือต้องการทดลองหาปริมาณเถ้า (Ash) ต้องใช้คุณภาพกระดาษกรองเกรดที่ไม่มีเถ้า (Ashless) คือ เมื่อเผาที่ความร้อนสูงแล้วกระดาษจะสลายหมดจนไม่เหลือเถ้า ความพรุนของกระดาษกรองมีให้เลือกหลายขนาดกระดาษกรองที่มีรูพรุนเล็กเกินไปจะทำให้กรองได้ช้าและอาจเกิดการตันได้ แต่ถ้าเลือกกระดาษกรองที่มีรูพรุนใหญ่กว่าอนุภาคที่ต้องการวิเคราะห์มากเกินไปอาจทำให้อนุภาคไหลผ่านกระดาษกรองจนไม่มีการตกค้างบนกระดาษกรอง ดังนั้นการเลือกใช้กระดาษกรองควรเลือกให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์

นอกจากนี้กระดาษกรองมีวัสดุที่ใช้ทำเยื่อแตกต่างกัน ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์แต่ละประเภท เยื่อที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติพิเศษจะนำมาใช้กับการทดลองที่ไม่สามารถใช้กรองกับกระดาษกรองธรรมดาได้ เช่น มีขนาดรูพรุนเล็กมาก หรือสามารถกรองเชื้อจุลินทรีย์ได้ มีความทนทานต่อสภาวะกรดและเบส ทนต่ออุณหภูมิสูง หรือคุณสมบัติอื่นๆ ได้ ซึ่งเยื่อที่นิยมนำมาใช้ทำกระดาษกรองมีดังนี้

4.1.1 เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fiber) มีขนาดรูพรุนค่อนข้างใหญ่ (มากกว่า 2.5 ไมครอน) เหมาะกับการกรองสารละลายที่ไม่มีฤทธิ์กัดกร่อน ใช้งานง่าย ราคาถูก

4.1.2 เซลลูโลสไนเตรท (Cellulose nitrate) มีขนาดรูพรุนเล็กระดับ 0.1 ไมครอน สามารถกรองแยกเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดได้ ทนต่อความร้อนและความดันสูงได้

4.1.3 เส้นใยแก้ว (Glass fiber) มีขนาดรูพรุนเล็ก เหมาะกับการกรองสารละลายที่เป็นกรดและด่าง สามารถใช้ในการทดลองเชิงปริมาณได้ มักใช้เป็นส่วนกันของเบ้ากรองซินเทอร์กลาส (Sintered glass crucible) (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549)

4.2 เทคนิคการกรอง

การกรองเป็นการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวโดยผ่านเยื่อกรอง มีรูปแบบการกรอง 2 รูปแบบ ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญเหมือนกัน คือ ต้องใช้กระดาษกรองเป็นตัวแยกสารวางในอุปกรณ์รองรับ แต่ต่างกันตรงที่วิธีการดังนี้

4.2.1 การกรองแบบทั่วไป (Filtration)

การกรองแบบทั่วไปเป็นการกรองที่อาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในการให้ของเหลวไหลผ่านกระดาษกรองลงมาสู่ภาชนะรองรับ มีการพับกระดาษกรองให้บรรจุอยู่ในกรวยกรอง (ภาพที่ 4.24) วิธีนี้มีข้อเสียตรงที่ต้องรอนกว่าของเหลวจะไหลจนหมดทำให้ใช้เวลานาน

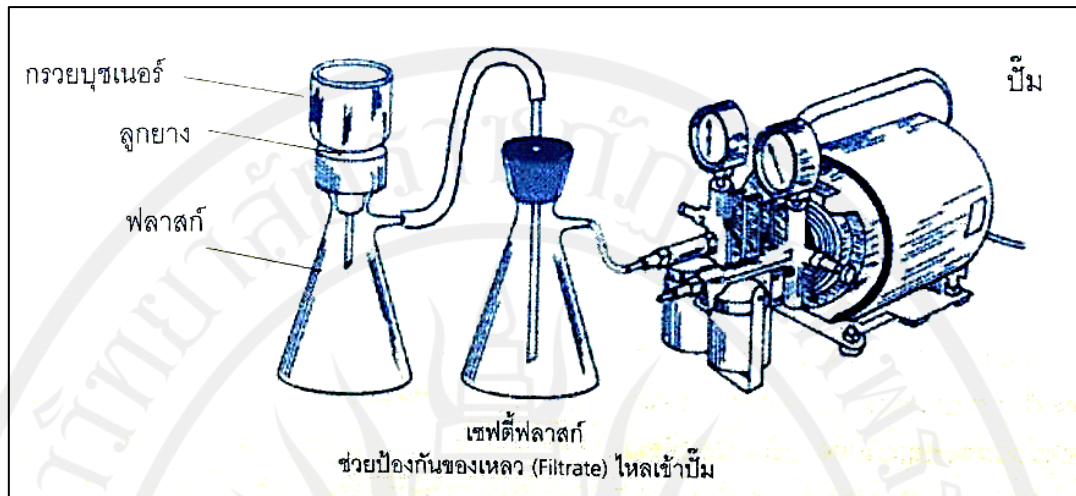


ภาพที่ 4.24 การกรองแบบทั่วไป

ทีมา (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549)

4.2.2 การกรองแบบแบบสุญญากาศ (Vacuum filtration)

การกรองแบบสุญญากาศเป็นการกรองที่อาศัยปั๊มสุญญากาศเป็นตัวช่วยในการดูดของเหลวให้ผ่านกระดาษกรองลงสู่ภาชนะได้เร็วขึ้น ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในการรอให้ของเหลวไหลเอง วิธีนี้มีข้อเสียตรงที่ต้องใช้อุปกรณ์หลายชิ้นมาประกอบเข้าด้วยกัน (ภาพที่ 4.25)



ภาพที่ 4.25 การกรองแบบสุญญากาศ

ที่มา (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2549)

ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ

การทดลองในห้องปฏิบัติการต้องคำนึงถึงความปลอดภัยต่อตนเองและต่อผู้อื่น เนื่องจากในห้องปฏิบัติการมีเครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่สามารถก่อให้เกิดอันตรายกับผู้ทดลองได้ตลอดเวลา ผู้ทำการทดลองจึงควรมีความรู้ความเข้าใจในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี รวมถึงวิธีการป้องกันและแก้ไขหากเกิดปัญหาในห้องปฏิบัติการเบื้องต้นได้ ซึ่งมีข้อควรคำนึงถึงดังต่อไปนี้

1. การจัดการสถานที่

ห้องปฏิบัติการเป็นสถานที่ที่มีความเสี่ยงต่อการได้รับอันตรายจากสารเคมีและอุปกรณ์ต่างๆ หากมีการติดตั้งอุปกรณ์หรือการวางตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นการจัดการด้านสถานที่ของห้องปฏิบัติการจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงด้วย ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

1.1 ขนาดพื้นที่สำหรับห้องปฏิบัติการ

ห้องปฏิบัติการในการทดลองแต่ละประเภทต้องใช้พื้นที่ต่างกัน ขนาดของโต๊ะปฏิบัติการ จำนวนของโต๊ะและเก้าอี้ ระยะห่างของทางเดิน ส่งผลต่อพื้นที่ในห้องปฏิบัติการด้วย ซึ่งตามมาตรฐานสำหรับห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ขนาดพื้นที่มาตรฐานสำหรับห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์แต่ละประเภท

ประเภทของพื้นที่ห้องปฏิบัติการ (Laboratory area categories) (ตารางเมตรต่อนักวิจัยหนึ่งคน)				
กิจกรรมหลัก	สำนักงาน	ห้องปฏิบัติการ	ส่วนสนับสนุน Lab	รวม ตร.ม.*
ค่าน้อยสุด-เฉลี่ย	ค่าน้อยสุด-เฉลี่ย	ค่าน้อยสุด-เฉลี่ย	ค่าน้อยสุด-เฉลี่ย	ค่าน้อยสุด-เฉลี่ย
ชีววิทยาโมเลกุล	5.5–9.0	12.0–13.0	8.0	25.5–30.0
เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ	5.5–9.0	9.5–13.0	9.5	24.5–31.5
เคมีวิเคราะห์	5.5–9.0	11.0–15.0	20.0–35.0	18.5–27.5
ชีวเคมี	5.5–9.0	13.0–17.5	60.0–80.0	24.5–34.5
เคมีอินทรีย์	5.5–9.0	15.0–19.0	40.0–50.0	24.5–33.0
เคมีเชิงฟิสิกส์	5.5–9.0	17.0–20.0	30.0–40.0	25.5–33.0
สรีรวิทยา	5.5–9.0	15.0–17.0	20.0–40.0	22.5–30.0

หมายเหตุ * ขนาดพื้นที่รวมยังไม่รวมพื้นที่อื่นๆ เช่น พื้นที่เลี้ยงสัตว์ทดลอง ส่วนบริหาร ส่วนเจ้าหน้าที่ หรือส่วนสนับสนุนต่างๆ ของอาคาร

ที่มา (โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย, 2557)

1.2 วัสดุพื้นผิวสำหรับห้องปฏิบัติการ

วัสดุที่ใช้เป็นพื้นผิวของพื้น ผนัง เพดาน ของห้องปฏิบัติการต้องมีความเหมาะสมต่อการใช้งานภายในห้องปฏิบัติการ พื้นผิวควรมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ผิวเรียบปราศจากรอยต่อ เพื่อป้องกันการสะสมของคราบสกปรกและสารเคมีระหว่างแนวรอยต่อ ทนไฟไม่เป็นอันตรายเมื่อเกิดไฟไหม้และไม่ติดไฟเมื่อเกิดอัคคีภัย กันลื่น กันรั่วซึม กันไฟฟ้าสถิต มีความคงทนต่อสารเคมี น้ำและความชื้น สามารถซ่อมแซมได้เมื่อเกิดความเสียหาย (โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย, 2557)

1.3 ป้ายสัญลักษณ์

ห้องปฏิบัติการที่ดีควรมีป้ายแผนผังของอาคารที่แสดงรายละเอียดของอาคาร เช่น บันไดหนีไฟ ตำแหน่งอุปกรณ์แจ้งเหตุเพลิงไหม้ ตำแหน่งอุปกรณ์ดับเพลิง และเส้นทางอพยพในแต่ละชั้นเพื่อให้ผู้ปฏิบัติการได้ทราบในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน ซึ่งลักษณะของป้ายแผนผังอาคารควรมีขนาดที่ใหญ่พอสมควร เห็นและอ่านได้ชัดเจนในระยะ 1 เมตร

1.4 การจัดวางครุภัณฑ์/เฟอร์นิเจอร์/เครื่องมือและอุปกรณ์

ขนาดและระยะของครุภัณฑ์และอุปกรณ์ต่างๆ ในห้องปฏิบัติการที่มีความเหมาะสมกับขนาดและสัดส่วนร่างกายของผู้ปฏิบัติการตามหลักของการยศาสตร์ (Ergonomic)

1.5 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างฉุกเฉิน

ห้องปฏิบัติการควรมีแหล่งจ่ายไฟอิสระที่ไม่ขึ้นกับแหล่งจ่ายไฟแสงสว่างปกติ เพื่อให้แสงสว่างฉุกเฉินเมื่อแสงสว่างจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าปกติล้มเหลว และต้องสามารถจ่ายไฟฟ้าได้ทันทีที่เกิดเหตุฉุกเฉินภายใน 5 วินาที ต้องทำงานได้อย่างต่อเนื่องและทำงานได้อีกโดยอัตโนมัติ

1.6 วงจรไฟฟ้าช่วยชีวิต

วงจรไฟฟ้าช่วยชีวิตต้องออกแบบเป็นพิเศษให้สามารถทนต่อความร้อนจากอัคคีภัย มีความแข็งแรงเป็นพิเศษ คงสภาพความปลอดภัยต่อกระแสไฟฟ้ารั่วหรือลัดวงจร เพื่อให้สามารถช่วยชีวิตผู้คนที่ติดอยู่ในสถานเหล่านั้นๆ ได้ทันการณ

การจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉินสำหรับวงจรไฟฟ้าช่วยชีวิต ต้องมีแหล่งไฟฟ้าจ่ายไฟฟ้าฉุกเฉินในระยะเวลาานพอเพียงที่จะสนองความต้องการของระบบวงจรไฟฟ้าช่วยชีวิตส่วนที่ต้องมีไฟฟ้าใช้ที่นานที่สุดได้ด้วยและการมีไฟฟ้าจ่ายให้ระบบวงจรไฟฟ้าช่วยชีวิตนี้จะต้องไม่ถูกกระทบจากเหตุใดๆ ที่ทำให้ไม่มีไฟฟ้าจ่ายให้ได้

1.7 ระบบระบายอากาศสำหรับห้องปฏิบัติการ

ระบบระบายอากาศสำหรับห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ระบบระบายอากาศเสียของห้องปฏิบัติการ ระบบครอบดูดลมหรือตู้ควัน (Laboratory hoods) อุปกรณ์ระบายอากาศเฉพาะที่ และระบบอื่นๆ สำหรับระบายอากาศเสียในพื้นที่ห้องปฏิบัติการ ได้แก่ แก๊สติดไฟ ไอระเหยหรืออนุภาคต่างๆ ที่ถูกปลดปล่อยออกมา ซึ่งอากาศที่ระบายออกไปต้องไม่กลับเข้ามาหมุนเวียนในห้องปฏิบัติการอีก และห้องปฏิบัติการที่มีสารเคมีต้องมีการระบายอากาศอย่างต่อเนื่อง

1.8 มาตรฐานเส้นทางหนีไฟ

ลักษณะทั่วไปทางหนีไฟ (Fire exit) ต้องมีการก่อสร้างตามมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย วสท. 3002-51 ประกอบด้วยรายละเอียดเบื้องต้น ดังนี้

1.8.1 การกั้นแยกออกจากส่วนอื่นของอาคารโดยที่มีการปิดล้อมทางหนีไฟทุกด้านด้วยวัสดุที่ทนไฟอย่างต่อเนื่องจนถึงทางออก ช่องเปิดต่างๆ ต้องป้องกันด้วยประตูทนไฟที่มีอุปกรณ์ดึงหรือผลักให้สามารถกลับมาอยู่ในตำแหน่งปิดสนิทได้โดยอัตโนมัติ ไม่ควรมีสิ่งกีดขวางใดๆ วางไว้บริเวณทางหนีไฟเด็ดขาด และห้ามไม่ให้ติดตั้งกระจกในทางหนีไฟหรือบริเวณใกล้กับทางหนีไฟที่อาจจะทำให้เกิดความสับสนในการอพยพหนีไฟ

1.8.2 ระยะความสูงของเส้นทางหนีไฟต้องไม่น้อยกว่า 2.2 เมตร โดยวัดตามแนวตั้งจากระดับผิวบนสุดของพื้น (Finished floor) ในกรณีที่มีคานหรืออุปกรณ์ใดติดตั้งยื่นลงมาจากเพดาน ระยะความสูงต้องไม่น้อยกว่า 2.0 เมตร ความสูงของบันไดจะต้องไม่น้อยกว่า 2.0 เมตร โดยวัดตามแนวตั้งจากระดับลูกนอนของขั้นบันได

1.8.3 ผิวทางเดินบนเส้นทางหนีไฟต้องมีการป้องกันการลื่นตลอดเส้นทาง การเปลี่ยนระดับบนเส้นทางหนีไฟ ต้องใช้ทางลาดเอียงหรือบันได

1.9 ป้ายบอกทางหนีไฟ

ป้ายต้องมีรูปแบบที่ได้มาตรฐาน ทั้งในรูปแบบอักษรหรือสัญลักษณ์ ใช้ตัวอักษรที่อ่านง่ายและชัดเจน ขนาดตัวอักษร หรือสัญลักษณ์ไม่เล็กกว่า 100 มิลลิเมตร และห่างจากขอบ 25 มิลลิเมตร โดยใช้คำว่า เช่น FIRE EXIT หรือ ทางหนีไฟ ตัวอักษรต้องห่างกันอย่างน้อย 10 มิลลิเมตร ความหนาอักษรไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร ความกว้างตัวอักษรทั่วไป 50–60 มิลลิเมตร สีของป้ายให้ใช้อักษรหรือสัญลักษณ์สีขาวบนพื้นสีเขียว พื้นสีเขียวต้องมีอย่างน้อยร้อยละ 50 ของพื้นที่ป้าย (โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย, 2557)

2. การจัดเก็บสารเคมี

การจัดเก็บสารเคมีที่ไม่ถูกต้องเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดอันตรายต่างๆ ดังนั้นข้อกำหนดเกี่ยวกับการจัดเก็บสารเคมีจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยข้อกำหนดทั่วไปของการจัดเก็บสารเคมีในห้องปฏิบัติการมีดังนี้

2.1 จัดเก็บสารเคมีเป็นกลุ่มตามประเภทของสารเคมี หรือตามคำแนะนำในเอกสารข้อมูลความปลอดภัย (Safety Data Sheet, SDS) ของสารนั้นๆ

2.2 ชั้นวางสารเคมีต้องอยู่ในสภาพดี คือ แข็งแรง ไม่ผุหรือเป็นสนิม ไม่โค้งงอ และมีขอบกัน

2.3 ตู้เก็บสารเคมีที่วางอยู่ในพื้นที่ส่วนกลาง ต้องมีการระบุชื่อเจ้าของหรือผู้ดูแล พร้อมทั้งติดสัญลักษณ์แสดงความเป็นอันตรายของสารเคมีในตู้ (ถ้าเป็นไปได้ให้แสดงชื่อสารเคมีที่อยู่ในตู้ด้วย)

2.4 สารเคมีทุกชนิดในห้องปฏิบัติการต้องมีตำแหน่งการเก็บที่แน่นอน

2.5 บริเวณที่เก็บสารเคมีที่เป็นพิษต้องมีป้ายแสดงอย่างชัดเจน

2.6 สารเคมีที่มีความเป็นอันตรายสูงต้องเก็บในตู้ที่มีกุญแจล็อก

2.7 ห้ามเก็บสารเคมีไว้ในตู้ควันอย่างถาวร

2.8 การเก็บสารเคมีที่เป็นของเหลวในตู้เย็นและตู้แช่แข็ง ขวดสารเคมีต้องมีภาชนะรองรับ (Secondary container) ที่เหมาะสม เช่น ถาดพลาสติก ภาชนะรองรับต้องสามารถป้องกันการหกหรือรั่วไหลของสารเคมีได้ หรือสามารถรองรับปริมาณสารเคมีที่อยู่ในขวดได้อย่างเพียงพอหากเกิดการหกหรือรั่วไหล

2.9 ห้องปฏิบัติการควรกำหนดเงื่อนไขการวางขวดสารเคมีที่หึ่งหรือโต๊ะการทดลอง เช่น จำกัดประเภทปริมาณและเวลา เพื่อความเป็นระเบียบและปลอดภัย เช่น ห้ามวาง

ขวดสารเคมีไว้บนโต๊ะปฏิบัติการนานกว่า 1 วัน หากเป็นของเหลวต้องมีปริมาณไม่เกิน 1 ลิตร ยกเว้นขวดสารเคมีที่เตรียมขึ้นเองสำหรับการทดลอง เช่น สต็อกสารละลาย (Stock solution)

2.10 ห้ามวางสารเคมี (รวมถึงถังแก๊ส) บริเวณระเบียงทางเดิน

2.11 ในกรณีที่จำเป็นต้องวางขวดหรือภาชนะบรรจุสารเคมีบนพื้นห้องปฏิบัติการ ต้องมีภาชนะรองรับมีความจุมากกว่าปริมาณรวมของสารเคมีที่มีอยู่ในภาชนะทุกใบ และไม่วางเกะกะการทำงานของผูปฏิบัติงานและทางเดิน ในกรณีภาชนะเป็นแก้วต้องอยู่ในตำแหน่งที่ไม่แตกได้โดยง่าย

2.12 ไม่วางสารเคมีใกล้ท่อระบายน้ำ ใต้หรือในอ่างน้ำ หากจำเป็นต้องมีภาชนะรองรับ เพื่อป้องกันสารเคมีรั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อม (โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย, 2557)

3. การจัดการกับตัวบุคคล

อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล เป็นสิ่งสำคัญสำหรับป้องกันผู้สวมใส่จากอันตรายที่เกิดจากการปฏิบัติการ อย่างไรก็ตามอุปกรณ์เหล่านี้ไม่ได้ช่วยลดหรือกำจัดความเป็นอันตรายของสารเคมีแต่อย่างใด เพียงแค่ทำหน้าที่ป้องกันผู้สวมใส่เท่านั้น

อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ประกอบด้วย ถุงมือ อุปกรณ์กรองอากาศ อุปกรณ์ป้องกันตา และเสื้อผ้าที่ป้องกันร่างกาย ซึ่งการเลือกใช้อุปกรณ์ขึ้นอยู่กับประเภทของงานและต้องเรียนรู้วิธีใช้งานของอุปกรณ์นั้นให้เข้าใจสามารถนำไปปฏิบัติใช้อย่างถูกต้อง ดังนี้

3.1 อุปกรณ์ป้องกันหน้า (Face protection) หรือ หน้ากากป้องกันใบหน้า (Face shield) ใช้กับงานที่ต้องสัมผัสกับสารเคมีอันตรายเพื่อป้องกันการกระเด็นของสารเคมีโดนใบหน้า ซึ่งสามารถใช้ร่วมกันกับแว่นตาได้ (ภาพที่ 4.26)



ภาพที่ 4.26 หน้ากากป้องกันใบหน้า

ทิมา (โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย, 2557)

3.2 อุปกรณ์ป้องกันตา (Eye protection) ใช้สวมใส่เพื่อป้องกันดวงตาจากอนุภาค แก้ว เศษเหล็ก และสารเคมี ลักษณะของแว่นตาที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมี 2 ประเภท คือ

3.2.1 แว่นตากันฝุ่น ลม ไอระเหย (Goggles) เป็นแว่นตาที่ป้องกันตาและพื้นที่บริเวณรอบดวงตาจากอนุภาค ของเหลวติดเชื้อ หรือสารเคมี/ไอสารเคมี (ภาพที่ 4.27)



ภาพที่ 4.27 แว่นตากันฝุ่น ลม ไอระเหย

ทิมา (โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย, 2557)

3.2.2 แว่นตานิรภัย (Safety glasses) จะคล้ายกับแว่นตাপกติที่มีเลนส์ ซึ่งทนต่อการกระแทกและมีกรอบแว่นตาที่แข็งแรงกว่าแว่นตาทั่วไป แว่นตานิรภัยมักมีการขึ้นด้วยอักษรเครื่องหมาย "Z87" ตรงกรอบแว่นตาหรือบนเลนส์

3.3 อุปกรณ์ป้องกันมือ (Hand protection) หรือถุงมือ (Gloves) มีหน้าที่ในการป้องกันมือจากสารเคมี สิ่งปนเปื้อนและการติดเชื้อ ไฟฟ้า อุณหภูมิสูง และอันตรายของเครื่องมือ สิ่งของมีคมซึ่งอาจทำให้เกิดบาดแผลได้ ซึ่งถุงมือแต่ละชนิดมีสมบัติและอายุการใช้งานแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องพิจารณาเลือกใช้ให้ถูกต้องเพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด

3.4 อุปกรณ์ป้องกันเท้า (Foot protection) ใช้สวมใส่ในห้องปฏิบัติการเป็นรองเท้าที่ปิดนิ้วเท้าและสวมใส่ตลอดเวลา รองเท้าควรทำจากวัสดุที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ตัวทำละลาย หรือการซึมผ่านของน้ำได้ เช่น รองเท้ายางที่สวมหุ้มรองเท้าธรรมดา และรองเท้าบูทสำหรับรองเท้าหนังไม่ควรนำมาสวมอีกหากสารเคมีอันตรายหกตก เนื่องจากสามารถดูดซับสารเคมีได้ (โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย, 2557)

สรุป

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเป็นขั้นตอนที่ต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับด้านต่างๆ เช่น การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ วิธีการใช้งาน การเตรียมสารละลาย และวิธีการวิเคราะห์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ ประสิทธิภาพการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทำให้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทดลองลดลง ส่งผลต่อการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ คือ การชั่ง การตวง การวัด การไตเตรท และการกรอง ต้องมีการฝึกฝนให้เกิดทักษะและความเชี่ยวชาญ เนื่องจากอุปกรณ์แต่ละชนิดมีข้อควรระวังในการใช้งาน และการเลือกใช้อุปกรณ์ในการชั่ง ตวง วัด ไตเตรท และการกรองที่ผิดประเภทจะส่งผลต่อผลการทดลองได้

การอ่านค่าจากอุปกรณ์หรือเครื่องมือเป็นสิ่งจำเป็นที่ผู้วิเคราะห์ต้องอ่านในระดับหรือตำแหน่งที่ถูกต้อง การเตรียมสารละลายที่ถูกต้องนั้นต้องอาศัยการคำนวณและพื้นฐานความรู้ทางด้านเคมีและปริมาณสารสัมพันธ์ นอกจากนี้ในการทดลองต่างๆ รวมถึงในห้องปฏิบัติการ ต้องปฏิบัติงานด้วยความปลอดภัย มีการจัดพื้นที่ให้เหมาะสม จัดเก็บสารเคมีให้เป็นระเบียบ และต้องทราบวิธีการป้องกันหรือแก้ไขปัญหาจากสถานการณ์ฉุกเฉินที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิบัติการได้เป็นอย่างดี ซึ่งกระบวนการที่กล่าวมาข้างต้นถือเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ทำการทดลองหรือผู้วิเคราะห์ต้องทราบก่อนลงมือปฏิบัติจริง

แบบฝึกหัดบทที่ 4

คำชี้แจง จงตอบคำถามต่อไปนี้มาพอเข้าใจ

1. ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทดลองเกิดจากปัจจัยใดบ้าง
2. จงบอกจำนวนเลขนัยสำคัญของตัวเลขต่อไปนี้
 - 2.1. 5.032
 - 2.2. 0.00000123
 - 2.3. 1.000043
 - 2.4. 3,390
 - 2.5. 24.340
3. ถ้าต้องการเตรียมสารละลายโซเดียมไอโอเดต (NaIO_3) เข้มข้น 0.5 โมลาร์ จำนวน 500 มิลลิลิตร จะต้องชั่งโซเดียมไอโอเดตกี่กรัม (มวลอะตอมของ $\text{Na} = 23$, $\text{I} = 127$, $\text{O} = 16$)
4. ในการเจือจางสารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 0.5 โมลาร์ ให้มีความเข้มข้นเป็น 0.1 โมลาร์ จำนวน 20.0 มิลลิลิตร จะต้องเติมน้ำลงไปปรับปริมาตรจำนวนเท่าใด
5. ฉลากของสารละลายขวดหนึ่ง ระบุว่าเป็นกรดไฮโดรคลอริก 0.8 โมลาร์ (0.8 M HCl) ถ้าต้องการ กรดไฮโดรคลอริก 0.05 โมลาร์ ใช้ในการทำปฏิกิริยาจำนวน 200 มิลลิลิตร ต้องรินสารละลายกรดไฮโดรคลอริกออกมาจากขวดเท่าใด
6. หากนักศึกษาต้องการเตรียมสารโดยวิธีการชั่ง ก่อนการชั่งนักศึกษาต้องเตรียมตัวหรือตรวจสอบอะไรบ้าง
7. นักศึกษามีอุปกรณ์สำหรับการตวง ดังนี้ กระจกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร ปีเปตขนาด 25 มิลลิลิตร และปิเกตอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร หากต้องการตวงสารละลาย ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นักศึกษาจะเลือกใช้อุปกรณ์ใด เพราะเหตุใด
8. ให้นักศึกษาอธิบายการอ่านค่าสารละลายที่บรรจุในบิวเรตว่าต้องอ่านในลักษณะใดเพื่อให้การอ่านค่าถูกต้อง
9. การทวนสอบอุปกรณ์หรือเครื่องมือ (Calibration) มีวัตถุประสงค์เพื่ออะไร และควรทำอย่างน้อยเท่าไร
10. ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติที่สามารถป้องกันได้ที่ตัวผู้ทำการทดลองมีอะไรบ้าง

เฉลย ข้อ 2.1 ตอบ 4, ข้อ 2.2 ตอบ 3, ข้อ 2.3 ตอบ 7, ข้อ 2.4 ตอบ 4, ข้อ 2.5 ตอบ

ข้อ 3 ตอบ 49.5 กรัม, ข้อ 4 ตอบ 16 มิลลิลิตร, ข้อ 5 ตอบ 12.5 มิลลิลิตร

เอกสารอ้างอิง

- กองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ (ม.ป.ป.). **หลักปฏิบัติในการใช้งานเครื่องชั่งระบบไฟฟ้าสำหรับห้องปฏิบัติการทดสอบ**. เข้าถึงได้จาก <http://www.fisheries.go.th/quality/หลักปฏิบัติในการใช้งานเครื่องชั่งระบบไฟฟ้าสำหรับห้องปฏิบัติการทดสอบ.pdf>. เมื่อวันที่ 28 กรกฎาคม 2556.
- คลังความรู้สู่ความเป็นเลิศ (2555). **บทเรียนที่ 11 อินดิเคเตอร์**. เข้าถึงได้จาก <http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/1469-บทเรียนที่+11+อินดิเคเตอร์+groupid=269>. เมื่อวันที่ 28 กรกฎาคม 2556.
- โครงการยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศไทย (2557). **แนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ**. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์ (ม.ป.ป.). **เครื่องมือวิทยาศาสตร์**. เข้าถึงได้จาก <http://home.kku.ac.th/chuare/12/balance.pdf>. เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2556.
- ดำรงค์ คงสวัสดิ์ (2544). **สารละลาย**. กรุงเทพฯ: องค์การค้ำครุสภา.
- ปัฐกร ปิงกัน (ม.ป.ป.). **เลขนัยสำคัญ (Significant figure) และการปัดเศษ (Rounding number)**. เข้าถึงได้จาก http://www.reo3.go.th/newversion/images/stories/article56/article57/57_1001.pdf. เมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2556.
- วิกิตำรา (2557). **เลขนัยสำคัญ**. เข้าถึงได้จาก <http://th.wikibooks.org/wiki/เลขนัยสำคัญ>. เมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2556.
- ศิวัช พรแดง และคณะ (ม.ป.ป.). **Cylinder**. คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. เข้าถึงได้จาก <http://vet.kku.ac.th/physio/labbiochem/16/contact.html>. เมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม 2556.
- ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์ (2543). **ปฏิบัติการเคมีปริมาณวิเคราะห์**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมศักดิ์ แจ่มแจ่ม (ม.ป.ป.). **สารแนะนำเกี่ยวกับการใช้หน่วย SI**. เข้าถึงได้จาก <http://www.rtna.ac.th/article/article02.pdf>. เมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2557.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2549). **รู้ใช้...รู้เทคนิคในห้องปฏิบัติการ**. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ (2545). **คู่มือการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย**. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.

แอดวานซ์ เมทโทรโลยี จำกัด (ม.ป.ป.). **ตม้่น้ำหนักมาตรฐาน**. เข้าถึงได้จาก

<http://www.adm-adm.com/825308/standard-weight-special>. เมื่อวันที่ 15
กรกฎาคม 2556.

ASTM (2012). **Standard specification for glass volumetric (transfer) pipets**.

Retrieved July 15, 2013 from <http://www.astm.org/Standards/E969.htm>.

Burette Using a Burette (n.d.). Retrieved July 29, 2013 from <http://www.realmagick.com/burette-using-a-burette>.

Investigation science (2014). Retrieved July 9, 2013 from <https://wikis.engage.com/year7/Investigatingscience>.

Micrometer screw-guage (2011). Retrieved July 9, 2013 from

<http://www.almohandes.org/vb/showthread.php?t=56612>.

Muelaner J. (2013). **Evaluating Uncertainty of Measurement**. Retrieved July 9,
2013 from <http://www.muelaner.com/uncertainty-of-measurement>.

Uncertainty in Measurements (2011). Retrieved July 15, 2013 from

<http://the3chemiteers.blogspot.com/2011/09/accurate-or-precise.html>.

Veterinary Medicine Khon Kane University (n.d.). **Pipette**. Retrieved August 8, 2013
from <http://vet.kku.ac.th/physio/labbiochem/16/pipette-type1.html>.