

## แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 2

### หัวข้อเนื้อหาประจำบท

- เครื่องชั่งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
- เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ใช้ภายในห้องปฏิบัติการ
- อุปกรณ์ต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ
- ชั้นคุณภาพของสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถบอกถึงชนิดของเครื่องชั่งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อให้ผู้เรียนทราบถึงการใช้งานเครื่องชั่งและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องได้
3. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถบอกถึงชนิดของเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ใช้ภายในห้องปฏิบัติการ
4. เพื่อให้ผู้เรียนทราบถึงการใช้งานเครื่องแก้ววัดปริมาตร
5. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถบอกถึงชั้นคุณภาพของสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

### วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. ให้ผู้เรียนศึกษาเอกสารประกอบการสอนรายวิชาปริมาณวิเคราะห์
2. ผู้สอนบรรยายภาคทฤษฎีประกอบสื่อการสอนในลักษณะโปรแกรมนำเสนอและอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการสื่อสาร
3. หลังการบรรยายภาคทฤษฎี อภิปรายร่วมกันระหว่างผู้สอนกับผู้เรียนและสรุปสาระสำคัญ
4. มอบหมายให้ผู้เรียนค้นคว้าเพิ่มเติมจากเอกสาร วารสาร ตำรา และสื่ออื่นๆ
5. ให้ผู้เรียนทำคำถามท้ายบท

### สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาปริมาณวิเคราะห์
2. โปรแกรมนำเสนอและอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการสื่อสาร
3. หนังสือ วารสาร และสื่ออิเล็กทรอนิกส์

### การวัดผลและการประเมินผล

1. สังเกตพฤติกรรมการเรียน การมีส่วนร่วมในการเรียน
2. สังเกตจากการซักถามและตอบปัญหาของผู้เรียน
3. ประเมินจากการทำคำถามท้ายบท

## บทที่ 2

### อุปกรณ์สารเคมีและการเตรียมตัวอย่าง

วัตถุประสงค์ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์เชิงปริมาณมีความหลากหลายทั้งอุปกรณ์พื้นฐาน และอุปกรณ์ที่มีความจำเพาะในงานเฉพาะด้าน อุปกรณ์ที่มีความสำคัญในงานวิเคราะห์เชิงปริมาณจะเกี่ยวข้องกับการวัดปริมาณของสาร โดยการวัดปริมาณจะใช้ในรูปแบบของการชั่งน้ำหนักของสาร และการวัดปริมาตรของของเหลวหรือสารละลาย การจำแนกอุปกรณ์แต่ละชนิดมักจะใช้ความละเอียดและความถูกต้องของอุปกรณ์มาเป็นเกณฑ์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการชั่งน้ำหนักคือเครื่องชั่ง ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีไว้ใช้ในห้องปฏิบัติการ ในที่นี้จะกล่าวถึงประเภทของเครื่องชั่ง เทคนิคที่ใช้ในการชั่งน้ำหนัก วิธีการใช้งาน และข้อควรระวัง รวมถึงวัสดุที่ใช้ช่วยในการชั่งสาร สำหรับการวัดปริมาตรของของเหลวหรือสารละลายนั้นจะใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรซึ่งมีอยู่หลายชนิด เช่น ขวดวัดปริมาตร ปิเปตต์ และ บิวเรตต์ เครื่องแก้ววัดปริมาตรเหล่านี้จะมีรายละเอียดต่างๆ ที่ต้องทำความเข้าใจก่อนการใช้งาน ซึ่งข้อมูลส่วนใหญ่จะบอกถึงความละเอียดถูกต้องของเครื่องแก้ววัดปริมาตรนั้นๆ นอกจากอุปกรณ์ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นยังมีอุปกรณ์อื่น ๆ ที่มีการใช้งานในห้องปฏิบัติการอีก อาทิเช่น โดคูดความชื้น ตะเกียงบุนเสน อุปกรณ์สำหรับกรอง และกระดาษกรอง เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดและการใช้งานก็จะมีความแตกต่างกันออกไปตามชนิดของอุปกรณ์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องเรียนรู้หลักการทำงาน และสามารถใช้งานอุปกรณ์เหล่านั้นได้อย่างถูกวิธี เพื่อที่จะสามารถเลือกใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ให้มีความเหมาะสมกับการทดลอง ซึ่งจะเป็นการช่วยให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังต้องรู้จักวิธีการทำความสะอาด การจัดเก็บ และการดูแลรักษาอุปกรณ์เหล่านั้นเพื่อให้อุปกรณ์ต่างๆ สามารถใช้งานได้ อย่างมีประสิทธิภาพตลอดอายุการใช้งาน นอกจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการแล้ว ชั้นคุณภาพของสารเคมีก็เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญต่องานทางปริมาณวิเคราะห์ เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อผลการวิเคราะห์ โดยจะมีการถูกจำแนกระดับชั้นคุณภาพของสารเคมีตามความบริสุทธิ์ของสารเคมีนั้นๆ ในส่วนท้ายของบทนี้ยังได้กล่าวถึงการเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่างให้อยู่ในรูปของสารละลายด้วยวิธีการต่างๆ ก่อนที่นำไปทำการวิเคราะห์ ซึ่งแต่ละวิธีการก็จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ คุณสมบัติและสมบัติตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ เทคนิคและวิธีการที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ปริมาณและจำนวนตัวอย่าง รวมไปถึงเวลาและค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในการทำงาน

## เครื่องชั่ง

เครื่องชั่งเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่มีใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ทั่วไป ใช้สำหรับชั่งตัวอย่าง สารเคมี หรือ วัสดุทดลองอื่นๆ เครื่องชั่งจึงเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญในห้องปฏิบัติการเนื่องจากมีผลกระทบโดยตรงต่อผลการวิเคราะห์ การใช้งานเครื่องชั่งจึงต้องทราบวัตถุประสงค์ในการใช้ว่าต้องการใช้งานเครื่องชั่งที่มีคุณลักษณะอย่างไรจึงจะเหมาะสมกับงาน เช่น ค่าความละเอียด ความถูกต้อง (Accuracy) และความเที่ยง (Precision) ในระดับใด เพื่อให้สามารถเลือกใช้เครื่องชั่งได้เหมาะสมกับความต้องการ เครื่องชั่งมีหลากหลายรูปแบบสามารถแบ่งตามระบบการทำงานออกได้ 2 ประเภทคือ

### 1. เครื่องชั่งแบบกล

เครื่องชั่งระบบกล (Mechanical balance) ใช้หลักการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักของวัตถุที่ต้องการทราบน้ำหนักกับน้ำหนักมาตรฐาน โดยอาศัยการสมดุลของคาน ซึ่งเครื่องชั่งประเภทนี้จะมีการอ่านค่าความละเอียดได้น้อยกว่าเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ จึงไม่นิยมนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ เครื่องชั่งประเภทนี้ได้แก่ เครื่องชั่งแบบสองคาน (Double Beam Balance) และเครื่องแบบสามคาน (Triple Beam Balance) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



เครื่องชั่งแบบสองคาน

เครื่องชั่งแบบสามคาน

รูปที่ 2.1 เครื่องชั่งแบบกล

ที่มา: (Coventry Scale, 2015)

### 2. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องชั่งแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic balances) เป็นเครื่องชั่งที่กำลังได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากใช้งานง่าย มีความเที่ยงและความถูกต้องสูงกว่าเครื่องชั่งแบบกล ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์จะมีระบบ ไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor) ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์

ที่มา: (Algen Scale, 2015)

เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์บางรุ่นสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.000001 กรัม ซึ่งยังสามารถจำแนกเครื่องชั่งตามความถูกต้องหรือความละเอียดในการชั่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ เครื่องชั่งหยาบ (Balance for approximate weighing) มีความละเอียดในช่วง 0.1 – 0.01 กรัม ใช้สำหรับงานที่ไม่ต้องการความถูกต้องในการชั่งมากนัก และเครื่องชั่งสำหรับงานวิเคราะห์ (Analytical balance) หรือเครื่องชั่งละเอียด (Balance for accurate weighing) มีความละเอียดในช่วง 0.001 – 0.00001 กรัม ใช้สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องในการชั่งสูง

### 3. หลักการใช้เครื่องชั่งในห้องปฏิบัติการ

เพื่อให้การใช้เครื่องชั่งมีความเหมาะสมกับการใช้งาน สามารถพิจารณาจากเกณฑ์การยอมรับได้ของเครื่องชั่งดังนี้

1. น้ำหนักสูงสุดที่เครื่องชั่งสามารถชั่งได้ (Maximum capacity) เครื่องชั่งต้องสามารถรองรับน้ำหนักที่ต้องการชั่งได้โดยน้ำหนักที่ชั่งไม่ควรมีน้ำหนักมากกว่าค่าสูงสุดที่เครื่องชั่งสามารถชั่งได้ เพราะจะทำให้ค่าน้ำหนักที่อ่านได้มีความถูกต้องน้อยลง และอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบการทำงานภายในของเครื่องชั่งได้ โดยน้ำหนักที่ชั่ง (รวมน้ำหนักของภาชนะรองรับ) ไม่ควรเกิน 95 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักสูงสุดที่เครื่องชั่งสามารถชั่งได้ เช่น เครื่องชั่งที่ระบุค่าน้ำหนักสูงสุดที่สามารถชั่งได้เท่ากับ 250 กรัม น้ำหนักรวมที่ชั่งไม่ควรเกิน 237.5 กรัม เป็นต้น
2. ค่าความละเอียดของเครื่องชั่ง (Resolution) พิจารณาได้จากค่าตำแหน่งทศนิยมของเครื่องชั่ง ซึ่งควรเลือกใช้งานเครื่องชั่งที่มีค่าความละเอียดของเครื่องชั่งไม่น้อยกว่าค่าความละเอียดของน้ำหนักที่ต้องการชั่ง

3. ความคลาดเคลื่อนของเครื่องชั่ง ต้องมีค่าไม่เกินค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ของน้ำหนักที่จะชั่ง (Maximum permissible error) การสอบเทียบเครื่องชั่งใช้ค้อนน้ำหนักมาตรฐานสำหรับสอบเทียบเครื่องชั่ง โดยค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ของน้ำหนักที่จะชั่งควรมีมากกว่าค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) ในการชั่งไม่เกิน 3 เท่า จึงจะให้ค่าน้ำหนักที่ชั่งได้น่าเชื่อถือ ซึ่งค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ของน้ำหนักที่จะชั่ง เป็นค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อควบคุมการวิเคราะห์ให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ตรงตามวัตถุประสงค์

#### 4. ข้อควรระวังในการใช้เครื่องชั่ง

การชั่งเพื่อให้ได้น้ำหนักที่ถูกต้องจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่สามารถทำให้ผลของการชั่งผิดพลาด ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ ดังนั้นสิ่งที่ต้องระมัดระวังในการชั่งมีดังนี้

1. ภายในห้องที่วางเครื่องชั่ง ควรมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ไม่คงที่จะทำให้ค่าน้ำหนักที่ชั่งได้คลาดเคลื่อน โดยทั่วไปมักกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องชั่งในช่วง 10 – 30 องศาเซลเซียส และควบคุมความชื้นในห้องเครื่องชั่งให้เหมาะสมและคงที่ ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับห้องเครื่องชั่งจะอยู่ในช่วง 45 – 60 เปอร์เซ็นต์

2. ควรวางเครื่องชั่งบนโต๊ะที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 40 มิลลิเมตร มีผิวหน้าเรียบ แข็งแรง มั่นคง ไม่ขยับตัวง่าย และไม่ว่าเครื่องชั่งไวใกล้เคียงกับอุปกรณ์ที่มีความร้อนเกิดขึ้น เช่น ตู้อบ เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องมือที่ก่อให้เกิดความร้อน เช่น อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ หรือ อุปกรณ์ที่มีสนามแม่เหล็กความเข้มสูง อุปกรณ์เหล่านี้สามารถส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานของเครื่องชั่งได้

3. ไม่ควรมือหยิบจับสิ่งของที่ต้องการชั่งและภาชนะที่รองรับโดยตรง เพราะอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนหรือ อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้ ควรใส่ถุงมือในการจับ หรือใช้คีบ และวางสิ่งที่ต้องการชั่งบริเวณกลางจานชั่ง เพื่อป้องกันการอ่านค่าน้ำหนักผิดพลาด

4. การทำความสะอาดเครื่องชั่งและจานชั่ง สามารถทำได้โดยใช้แปรงปัด หรือผ้าเช็ด หากมีรอยเปื้อนเป็นคราบอาจใช้ผ้าชุบน้ำ หรือสารละลายเอทานอลเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ เช็ดด้านบนของจานชั่ง สำหรับสิ่งสกปรกหรือสารเคมีที่ตกหล่นอยู่ด้านล่างได้จานชั่งให้ใช้ลมเป่าทำความสะอาด

5. เครื่องชั่งต้องอยู่ในระนาบและตั้งตรง โดยการปรับระดับฐานของเครื่องชั่งให้ลูกน้ำปรับระดับให้อยู่ตรงกลาง ก่อนทำการชั่งต้องปรับค่าน้ำจ่อให้เป็นศูนย์ (Zero reading) ก่อนเสมอ และไม่ควรเคลื่อนย้ายเครื่องชั่งโดยไม่จำเป็น

## 5. เทคนิคการชั่ง

การชั่งตัวอย่างหรือสารเคมีโดยทั่วไปสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

5.1. การชั่งโดยผลต่าง (Weighing by difference) โดยบรรจุสารที่มีจำนวนมากเกินพอใส่ในขวดชั่ง (Weighing bottle) แสดงดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีหลายขนาดขึ้นอยู่กับปริมาณตัวอย่าง ทำการชั่งน้ำหนักรวมของขวดชั่งและสารที่บรรจุอยู่บันทึกน้ำหนักที่ชั่งได้ ยกขวดชั่งออกเอียงและเคาะขวดชั่งเพื่อให้สารในขวดชั่งถ่ายลงสู่ภาชนะรองรับ ชั่งน้ำหนักของขวดชั่งและสารตัวอย่างที่เหลืออยู่ในขวดชั่ง ผลต่างของน้ำหนักที่ได้จะเป็นน้ำหนักของสารที่อยู่ในภาชนะรองรับ การชั่งด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับสารที่ไม่ค่อยเสถียร เช่น สารที่ดูดความชื้น และสารที่มีการสูญเสีย น้ำผลึกได้ง่าย เป็นต้น



รูปที่ 2.3 ขวดชั่งสาร

ที่มา: (BaltaLab, 2015)

5.2 การชั่งโดยผลรวม (Weighing by addition) โดยการชั่งน้ำหนักเปล่าของภาชนะรองรับ เช่น กระดาษชั่งสาร (Weighing paper) หรือ ถ้วยชั่งสาร (Weighing boats) แสดงดังรูปที่ 2.4 ทำการแบ่งสารที่ต้องการชั่งลงในภาชนะรองรับตามน้ำหนักที่ต้องการให้ได้หนักที่ถูกต้องแน่นอน จดบันทึกน้ำหนักที่ชั่งได้ การชั่งด้วยวิธีนี้จะใช้กับสารที่มีความเสถียร ไม่ดูดความชื้น ไม่ระเหย หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย



รูปที่ 2.4 ภาพสำหรับซั่งสาร

ที่มา: (Sigma-Aldrich, 2015)

## เครื่องแก้ววัดปริมาตร

เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ใช้ภายในห้องปฏิบัติการเป็นเครื่องแก้วที่มีการระบุปริมาตรไว้แน่นอนที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง เนื่องจากปริมาตรความจุของเครื่องแก้วจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ โดยมีหลายประเภทด้วยกันขึ้นกับการใช้งาน ถ้าใช้วิธีการสอบเทียบเครื่องแก้วมาเป็นเกณฑ์ในการแบ่งชนิดของเครื่องแก้ววัดปริมาตรจะแบ่งได้ 2 ชนิดคือ

1. เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่สอบเทียบแบบถ่ายของเหลว (To Contain) ใช้ตัวย่อ TC หรือ C หรือ In เช่น ขวดวัด ปริมาตร ขวดวัดความถ่วงจำเพาะ เครื่องแก้วชนิดนี้ได้รับการกำหนดปริมาตรที่แน่นอนเมื่อบรรจุของเหลวถึงขีดบอกปริมาตรจะได้ปริมาตรของเหลวตามที่ระบุที่เครื่องแก้ว

2. เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่สอบเทียบแบบบรรจุของเหลว (To Deliver) ใช้ตัวย่อ TD หรือ D หรือ Ex (Exhaust) เช่น ปิเปตต์ บิวเรตต์ กระจบอกตวง เครื่องแก้วชนิดนี้ต้องทำการบรรจุของเหลวที่ต้องการเข้าไป แล้วจึงถ่ายออกมาตามปริมาตรที่ต้องการ

เครื่องแก้วบางประเภทมีทั้งเครื่องแก้วสำหรับบรรจุ และ เครื่องแก้วสำหรับถ่ายเท เช่น กระจบอกตวง ขวดวัดปริมาตร หรือผู้ผลิตบางบริษัทออกแบบให้สามารถใช้งานได้ทั้งสอง ดังนั้นก่อนนำไปใช้งานควรที่จะต้องพิจารณาให้แน่ใจก่อน นอกจากนี้เครื่องแก้ววัดปริมาตรยังสามารถแบ่งตามคุณภาพ หรือค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาตรที่วัด โดยสามารถแบ่งได้ดังนี้

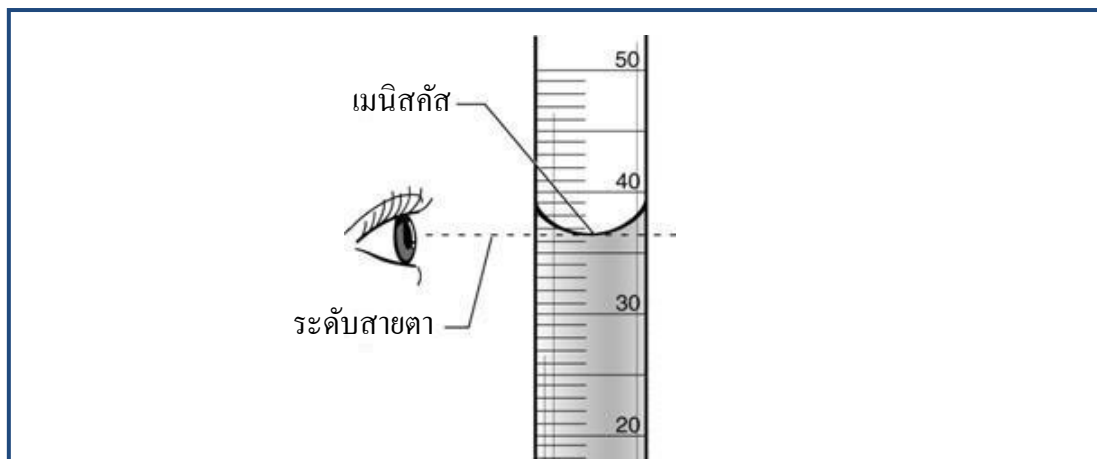


1. เครื่องแก้วชั้นคุณภาพเอ (Class A) ใช้สัญลักษณ์ A เป็นเครื่องแก้วที่มีความแม่นยำสูง มีค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาตรต่ำ ใช้สำหรับ งานทดสอบ งานวิเคราะห์ที่ต้องการความแม่นยำสูง
2. เครื่องแก้วชั้นคุณภาพบี (Class B) ใช้สัญลักษณ์ B เป็นเครื่องแก้วที่มีความแม่นยำต่ำกว่าและมีค่าความคลาดเคลื่อนเป็นสองเท่าของเครื่องแก้วชั้นคุณภาพเอ
3. เครื่องแก้วเพื่องานอเนกประสงค์ (General purpose) เป็นเครื่องแก้วที่ไม่ได้จัดรวมในชั้นคุณภาพเอ และ ชั้นคุณภาพบี โดยจะมีค่าความคลาดเคลื่อนขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน
4. เครื่องแก้วความคลาดเคลื่อนยินยอมพิเศษ (Special tolerance) เป็นเครื่องแก้วที่มีการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม (Tolerance) ของการวัดหลายค่า โดยจะกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนเป็นช่วงปริมาตร ซึ่งในแต่ละช่วงจะมีความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากัน เครื่องแก้วประเภทนี้ใช้สำหรับงานเฉพาะด้าน

การที่จะเลือกใช้งานเครื่องแก้ววัดปริมาตร สิ่งที่จะต้องคำนึงถึง คือ ชนิดของเครื่องแก้วปริมาตร หรือ ปริมาณสาร ความถูกต้อง ความแม่นยำและความละเอียดของเครื่องแก้ว โดยสามารถพิจารณาได้จากรายละเอียดที่ระบุไว้บนเครื่องแก้ววัดปริมาตร เพื่อที่จะสามารถเลือกใช้เครื่องแก้วได้อย่างเหมาะสมและตรงตามวัตถุประสงค์

## 1. การอ่านปริมาตรของเหลว

การอ่านปริมาตรของเหลวที่บรรจุในเครื่องแก้ววัดปริมาตร มีความสำคัญอย่างมากในการใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตร ระดับของของเหลวในภาชนะใดๆ โดยทั่วไปจะไม่อยู่ในระนาบตรงในแนวราบ แต่มีลักษณะเป็นพื้นผิวโค้ง เรียกว่า เมนิสคัส (Meniscus) มีทั้งแบบที่เป็นผิวโค้งลงหรือผิวโค้งขึ้น ของเหลวและสารละลายส่วนใหญ่มักเป็นแบบผิวโค้งลง เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเชื่อมแน่น (Cohesive force) ของโมเลกุลของของเหลวน้อยกว่าแรงยึดติด (Adhesive force) ของโมเลกุลของเหลวกับโมเลกุลของภาชนะ การอ่านปริมาตรที่ถูกต้อง ระดับสายตาจะต้องตรงกับระดับของส่วนต่ำสุดของเมนิสคัสที่โค้งลง (รูปที่ 2.5) ตำแหน่งของระดับสายตาในการอ่านปริมาตรมีความสำคัญต่อค่าที่ได้จากการอ่านปริมาตรมาก กล่าวคือ ถ้าระดับสายตาอยู่เหนือส่วนโค้งของเหลว ปริมาตรที่อ่านได้จะมากกว่าปริมาตรจริงและถ้าระดับสายตา อยู่ต่ำกว่าส่วนโค้ง ปริมาตรที่อ่านได้จะน้อยกว่าปริมาตรจริง



รูปที่ 2.5 การอ่านปริมาตรของของเหลว

ที่มา : (คัดแปลงจาก The Centre for Plant Integrative Biology, 2015)

## 2. รายละเอียดที่แสดงบนเครื่องแก้ววัดปริมาตร

เครื่องแก้ววัดปริมาตรจะมีการแสดงรายละเอียดข้อมูลต่างๆ บนเครื่องแก้ว เพื่อให้สามารถใช้งานเครื่องแก้วนั้นได้อย่างถูกต้อง การใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรต้องทำความเข้าใจกับข้อมูลที่แสดงไว้ และต้องสังเกตทุกครั้งก่อนการใช้งาน เพื่อให้การที่จะได้ใช้งานด้วยเทคนิคที่ถูกต้อง และตรงตามวิธีสอบเทียบ รายละเอียดที่แสดงบนเครื่องแก้ววัดปริมาตรมีดังนี้

1. รหัสสี แสดงเป็นแถบสีต่างๆ บนปลายปีเปดต์ ซึ่งรหัสสีที่แตกต่างกันจะบอถึงปริมาตรหรือขีดแบ่งปริมาตรย่อยที่มีความละเอียดแตกต่างกันของปีเปดต์
2. ชั้นคุณภาพของเครื่องแก้ววัดปริมาตร ใช้สัญลักษณ์ A หรือ B หมายถึงเครื่องแก้ววัดปริมาตร เครื่องแก้วชั้นคุณภาพเอ และ เครื่องแก้วชั้นคุณภาพบี ตามลำดับ
3. อุณหภูมิอ้างอิงที่ใช้ในการสอบเทียบตามมาตรฐาน ASTM หรือ ISO หมายถึงเมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิที่ระบุ เครื่องแก้ววัดปริมาตรจะให้ปริมาตรตามที่กำหนดไว้
4. ขนาดบรรจุและหน่วยวัดปริมาตรของเครื่องแก้ววัดปริมาตร
5. ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ เครื่องแก้วแต่ละประเภท หรือ มีปริมาตรต่างกัน จะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้แตกต่างกัน
6. มาตรฐานสอบกลับ เป็นมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์กรที่มีความน่าเชื่อถือและยอมรับในระดับนานาชาติ เช่น National Institute of Standards and Technology (NIST) และ American Society for Testing and Materials (ASTM) ของสหรัฐอเมริกา International Organization for Standardization (ISO) British Standards Institution (BSI) ของประเทศอังกฤษ และ Deutsches Institut für Normung (DIN) ของประเทศเยอรมัน

7. วิธีสอบเทียบเครื่องแก้ววัดปริมาตรเป็นแบบแบบถ่ายของเหลว หรือ แบบบรรจุของเหลว

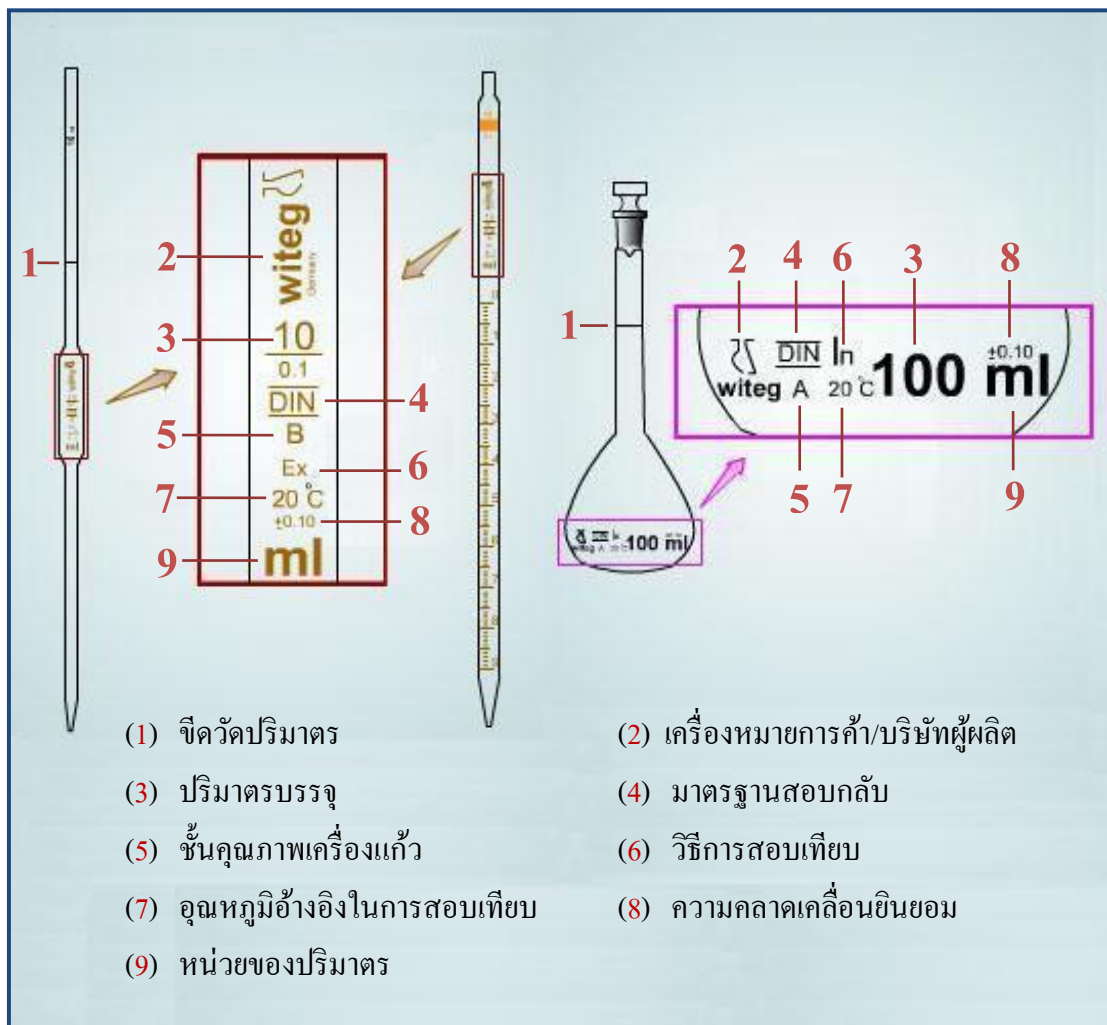
8. ความละเอียดของการแบ่งปริมาตรย่อยในกรณีที่เป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตรมีขีดแบ่งปริมาตรย่อยเช่น ความละเอียด 0.1 มิลลิลิตร แสดงด้วย 1 in 10 หรือ 1/10 หรือ 0.1

9. ชื่อบริษัทและประเทศผู้ผลิต รวมทั้งชื่อทางการค้า

10. ขนาดของจุกปิด หรือก๊อกปิดเปิด

11. ลักษณะพิเศษอื่นๆ เช่น Ex+15s บนปีเปตวัดปริมาตร หมายถึง หลังจากถ่ายของเหลวลงในภาชนะรองรับแล้ว ต้องตะปลายปีเปตกับข้างภาชนะอีกประมาณ 15 วินาที

รายละเอียดที่แสดงบนเครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รายละเอียดบนเครื่องแก้ววัดปริมาตร

ที่มา : (ดัดแปลงจาก Veterinary Medicine Khon kane University, 2015)

### 3. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)

ใช้สำหรับเตรียมสารละลายที่ต้องการความเข้มข้นที่แน่นอน หรือใช้ถ่ายของเหลวที่ต้องการทราบปริมาตรที่แน่นอนจากภาชนะหนึ่งไปยังอีกภาชนะหนึ่ง ขวดวัดปริมาตรเป็นขวดแก้วที่มีจุกสำหรับปิด มีคอกยาวและมีขีดบอกปริมาตรที่คอกขวด ขวดปริมาตรจะมีขนาดความจุต่างๆ กัน ขวดวัดปริมาตรใช้สำหรับเตรียมสารละลายมาตรฐาน และสารละลายตัวอย่าง กรณีที่สารมาตรฐาน หรือ สารตัวอย่างที่เป็นของแข็งต้องทำการละลายให้หมดก่อนแล้วจึงถ่ายสารละลายผ่านกรวยแก้วลงไปบรรจุในขวดวัดปริมาตร ทำการ กลั้วภาชนะที่ใช้ละลายสาร และกรวยแก้วด้วยตัวทำละลาย เพื่อล้างส่วนที่ติดค้างตามภาชนะลงในขวดวัดปริมาตร (ต้องระวังอย่าให้ปริมาตรของสารละลายเกินขีดบอกปริมาตร) เติมตัวทำละลายจนปริมาตรของสารละลายใกล้ถึงขีดบอกปริมาตรที่คอกขวด ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาที เพื่อให้สารละลายที่ค้างอยู่ไหลลงมารวมกัน ใช้หลอดหยดหยดตัวทำละลายลงไป ในขวดปริมาตรซ้ำๆ จนกระทั่งสารละลายมีปริมาตรถึงขีดวัดปริมาตร ปิดจุกขวดปริมาตรแล้วเขย่าขวดโดยการกลับขวดขึ้นลง จนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ขวดวัดปริมาตรที่ใช้ในห้องปฏิบัติการแสดงดังรูปที่ 2.7



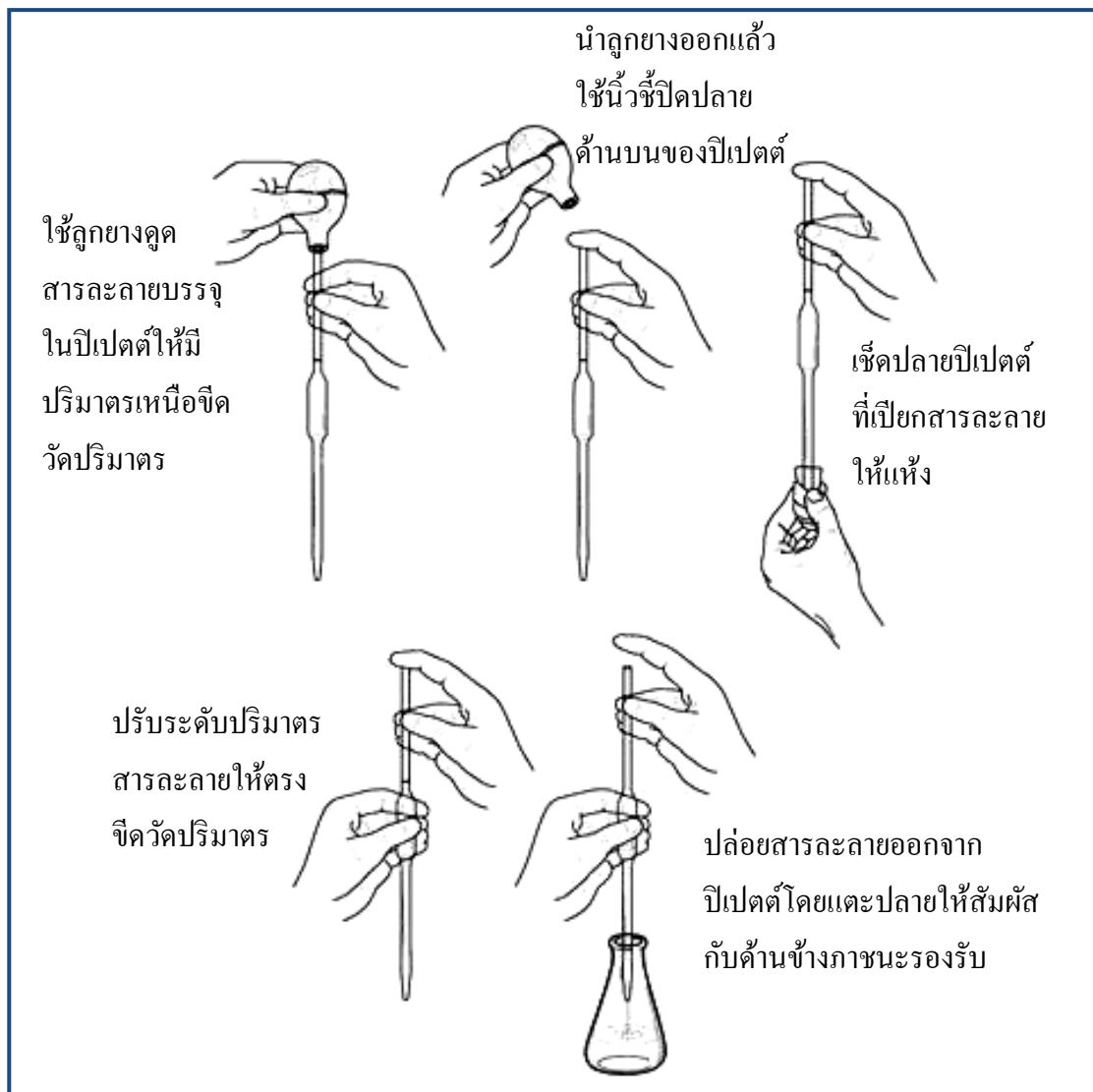
รูปที่ 2.7 ขวดวัดปริมาตร

ที่มา: (Cole-Parmer, 2015)

### 4. ปิเปตต์

ปิเปตต์ (Pipette) เป็นเครื่องมือแก้ววัดปริมาตรที่ใช้สำหรับถ่ายเทสารละลายจากภาชนะหนึ่งไปยังอีกภาชนะอื่น เช่น การดูดสารละลายจากขวดวัดปริมาตรด้วยปิเปตต์และปล่อยสารละลายจากปิเปตต์ลงในบีกเกอร์ เป็นต้น การใช้ปิเปตต์ดูดสารละลายให้จุ่มปิเปตต์ลงในสารละลาย แล้วดูดสารละลายด้วยลูกยางเพียงเล็กน้อย กลั้วสารละลายให้เปียกทั่วภายในปิเปตต์ เพื่อเป็นการล้างปิเปตต์ด้วยสารละลาย ปล่อยสารละลายที่ใช้กลั้วทิ้งไป ทำการดูดสารละลายขึ้นมา

ตามปิเปตต์ใหม่จนสารละลายอยู่เกินขีดวัดปริมาตรใช้นิ้วชี้อุดปลายด้านบนของปิเปตต์ เพื่อไม่ให้สารละลายไหลออก นำปิเปตต์ออกจากสารละลายพร้อมกับเช็ดด้วยกระดาษทิชชูตรงบริเวณส่วนปลายที่เปียกสารละลายให้แห้ง ปรับปริมาตรของสารละลายให้ลดลงถึงขีดวัดปริมาตร หรือปริมาตรที่ต้องการ (กรณีที่ต้องการปริมาตรน้อยกว่าความจุของปิเปตต์) และส่วนปลายล่างของปิเปตต์กับภาชนะรองรับแล้วปล่อยให้สารละลายออกจากปิเปตต์ในกรณีที่ปริมาตรของสารละลายจะรวมปริมาตรของสารละลายที่ค้างที่ปลายปิเปตต์ จะต้องทำการเป่าสารละลายที่ติดค้างออกมาด้วยปิเปตต์แบบนี้จะมีการทำ แถบรอยฝ้า หรือ แถบคู่ รอบปลายด้านบน (Ground-glass ring) หรือเขียนกำกับว่า “blow out” วิธีการใช้งานปิเปตต์แสดงดังรูปที่ 2.8

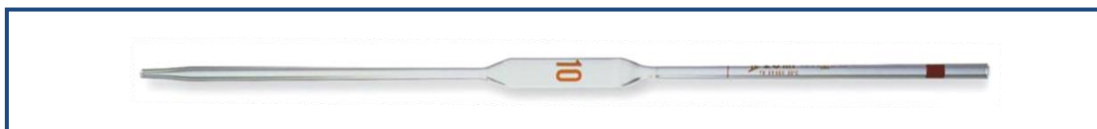


รูปที่ 2.8 วิธีการใช้งานปิเปตต์

ที่มา : (คัดแปลงจาก John Nauman, 2015)

ปิเปตต์สามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานออกเป็น 2 ประเภทคือ

**4.1 ปิเปตต์แบบปริมาตร (Volumetric pipette หรือ Transfer pipette)** ปิเปตต์แบบปริมาตรเป็นปิเปตต์ที่มีลักษณะเป็นกระเปาะตรงกลาง และทั้งสองด้านของกระเปาะมีลักษณะเป็นหลอดแก้วแคบๆ หลอดแก้วด้านหนึ่งของกระเปาะจะมีขีดเล็กๆ โดยรอบ ซึ่งเมื่อดูของเหลวขึ้นมาถึงขีดนี้จะมีปริมาตรเท่ากับปริมาตรที่ระบุไว้ที่ปิเปตต์ และส่วนปลายจะมีแถบสี (Color-coding) คาดไว้โดยจะมีสีที่แตกต่างกันตามปริมาตรของปิเปตต์ ส่วนปลายหลอดแก้วอีกด้านหนึ่งจะมีลักษณะปลายเรียวแหลม ปิเปตต์แบบปริมาตรมีขนาดความจุต่างกันตั้งแต่ 0.5 ถึง 100 มิลลิลิตร ลักษณะของปิเปตต์แบบปริมาตร แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ปิเปตต์แบบปริมาตร

ที่มา : (Cole-Parmer, 2015)

**4.2 ปิเปตต์แบบใช้ตวง** ปิเปตต์แบบใช้ตวง (Measuring pipette) มีลักษณะเป็นหลอดแก้วกลวงมีปลายแหลมและมีปริมาตรระบุไว้บนหลอดแก้วอย่างชัดเจน (รูปที่ 2.10) ใช้สำหรับถ่ายเทของเหลวหรือสารละลาย มีขนาดตั้งแต่ 0.1 ถึง 25 มิลลิลิตร ปิเปตต์แบบใช้ตวงมี 2 แบบ คือ

4.2.1 มอร์ปิเปตต์ (Mohr pipette) มีขีดแบ่งปริมาตรบนตัวปิเปตต์ แต่ไม่รวมปริมาตรที่ส่วนปลายปิเปตต์ มีความถูกต้องใกล้เคียงปิเปตต์แบบปริมาตร

4.2.2 เซโรโลจิกัลปิเปตต์ (Serological pipette) มีขีดแบ่งปริมาตรบนตัวปิเปตต์ที่รวมปริมาตรบริเวณปลายปิเปตต์ด้วย มีขนาดรูที่ปลายปิเปตต์ใหญ่กว่ามอร์ปิเปตต์ สารละลายไหลออกได้เร็วกว่าทำให้ความถูกต้องลดลง



รูปที่ 2.10 ปิเปตต์แบบใช้ตวง

ที่มา : (Cole-Parmer, 2015)

## 5. บิวเรตต์

บิวเรตต์ (Burette) เป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตรสำหรับบรรจุสารละลายที่ต้องการวัด ปริมาตรมีรูปร่างเป็นหลอดแก้วใสยาวปลายเปิด ตรงส่วนปลายจะมีก๊อกปิดเปิด (Stopcock) เพื่อควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย ด้านนอกจะมีมีจิกบอกปริมาตร ตลอดความยาวกำกับไว้ บิวเรตต์เป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรต โดยใช้บรรจุสารละลายมาตรฐาน บิวเรตต์ที่ใช้โดยทั่วไปในห้องปฏิบัติการจะปริมาตร 25 มิลลิลิตร หรือ 50 มิลลิลิตร แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 บิวเรตต์

ที่มา : (Cole-Parmer, 2015)

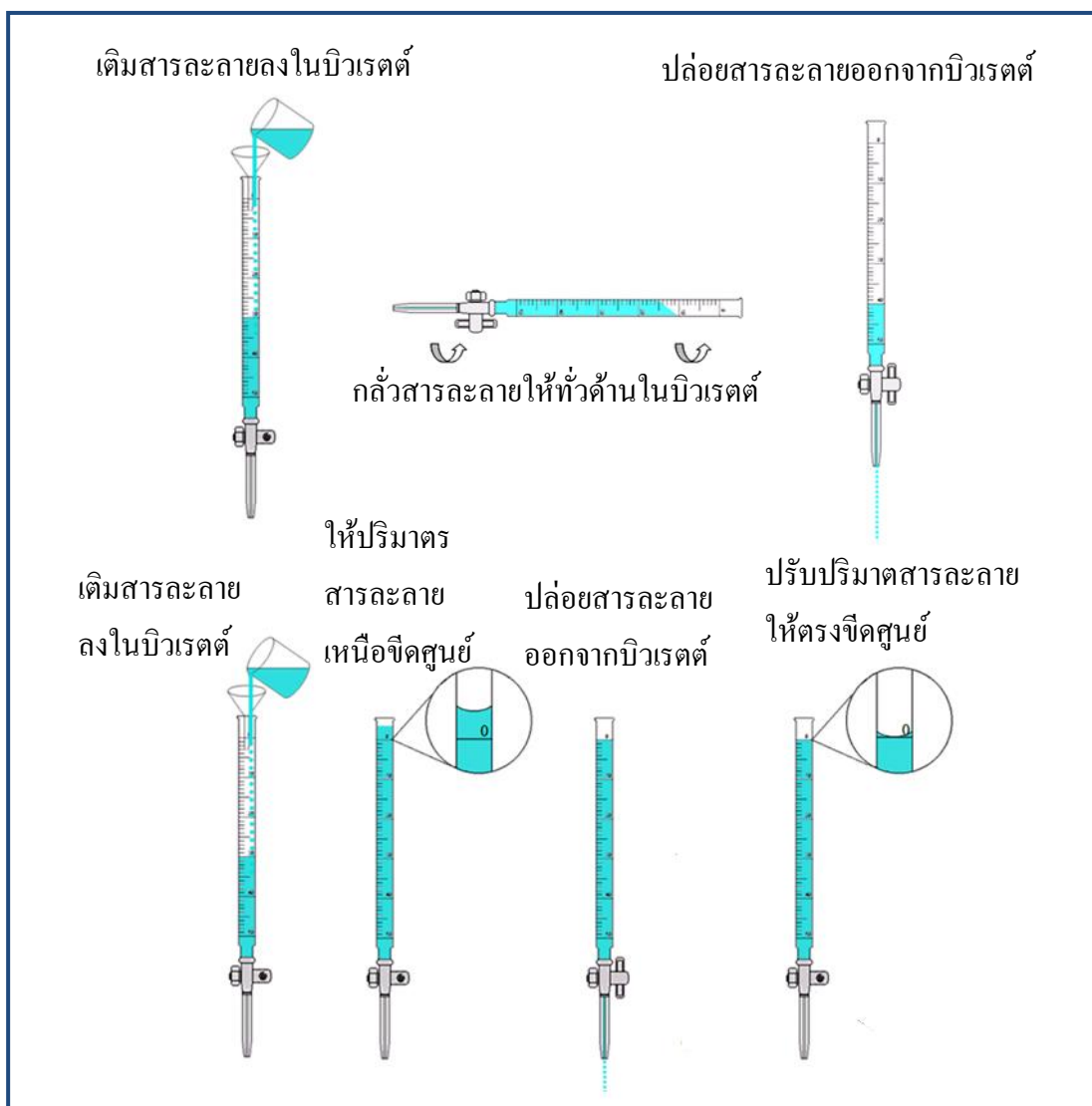
### 5.1 การใช้งานบิวเรตต์

บิวเรตต์ที่จะนำมาใช้งานจะต้องทำการตรวจสอบความสมบูรณ์เรียบร้อยก่อน อาทิเช่น ปลายบิวเรตต์อุดตัน แตกร้าวหรือไม่ ก๊อกปิดเปิดทำงานได้ปกติไม่มีสารละลายรั่วซึมออกมา เป็นต้น นำบิวเรตต์มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างเครื่องแก้ว โดยใช้แปรงสำหรับล้าง บิวเรตต์ ล้างน้ำยาล้างเครื่องแก้วด้วยน้ำประปาให้สะอาด แล้วล้างตามด้วยด้วยน้ำกลั่นอีก 2-3 ครั้ง ปล่อยให้แห้งไหลออกจากบิวเรตต์จนหมด แล้วจึงนำไปใช้งานตามขั้นตอนดังนี้

1. ทำการกลั้วบิวเรตต์ด้วยสารละลายที่จะใช้งาน โดยการเติมสารละลายเล็กน้อยลงในบิวเรตต์ แล้วเอียงบิวเรตต์หมุนไปมา เพื่อให้สารละลายเปียกทั่วด้านใน เปิดก๊อกปล่อยให้สารละลาย ไหลออกจากปลายบิวเรตต์ทำการกลั้วซ้ำอีก 2-3 ครั้ง
2. บรรจุสารละลายลงในบิวเรตต์ โดยการเทสารละลายผ่านกรวยกรอง เพื่อช่วยไม่ให้สารละลายหกออกมาข้างนอก ก่อนเทสารละลายลงต้องปิดก๊อกก่อนทุกครั้ง
3. บรรจุสารละลายให้มีปริมาตรเหนือขีดศูนย์เล็กน้อย เปิดก๊อกปล่อยให้สารละลายไหลออกจากปลายบิวเรตต์ เพื่อปรับให้ปริมาตรของสารละลายให้อยู่ที่ขีดศูนย์พอดี บริเวณปลายบิวเรตต์จะต้องไม่ให้มีฟองอากาศค้างอยู่ข้างใน หากมีฟองอากาศจะต้องเปิดก๊อกให้สารละลายไหลไล่ฟองอากาศออกให้หมด
4. ในกรณีที่ปลายบิวเรตต์มีหยดของสารละลายติดอยู่ ต้องเอาออกโดยการเช็ดด้วยกระดาษทิชชู หรือแตะปลายบิวเรตต์กับด้านข้างของภาชนะรองรับหยดสารละลายจะไหลออกไป

5. เมื่อปล่อยสารละลายจากบิวเรตต์ต้องระวังอย่าให้สารละลายตกลงต่ำถึงขีดบอกปริมาตรสุดท้ายของบิวเรตต์ หากปล่อยให้สารละลายเลยขีดบอกปริมาตรสุดท้ายลงมาจะทำให้ไม่ทราบปริมาตรที่แน่นอนของสารละลายที่ผ่านบิวเรตต์ออกมา

6. ในกรณีที่ต้องใช้สารละลายที่มีปริมาณมาก และ เมื่อปล่อยสารละลายจนถึงขีดบอกปริมาตรสุดท้ายแล้ว ต้องปิดบิวเรตต์แล้วจึงเติมสารละลายลงในบิวเรตต์ ปรับให้มีระดับอยู่ที่ขีดศูนย์ใหม่ ต่อจากนั้นก็ปล่อยสารละลายลงมาจนกว่าจะได้ปริมาตรตามต้องการ การใช้บิวเรตต์จะต้องใช้ความระมัดระวังทั้งเรื่องของความสะอาด และการปนเปื้อนสารเคมีอื่นๆ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อผลการวิเคราะห์ ขั้นตอนการใช้งานบิวเรตต์แสดงในรูปที่ 2.12



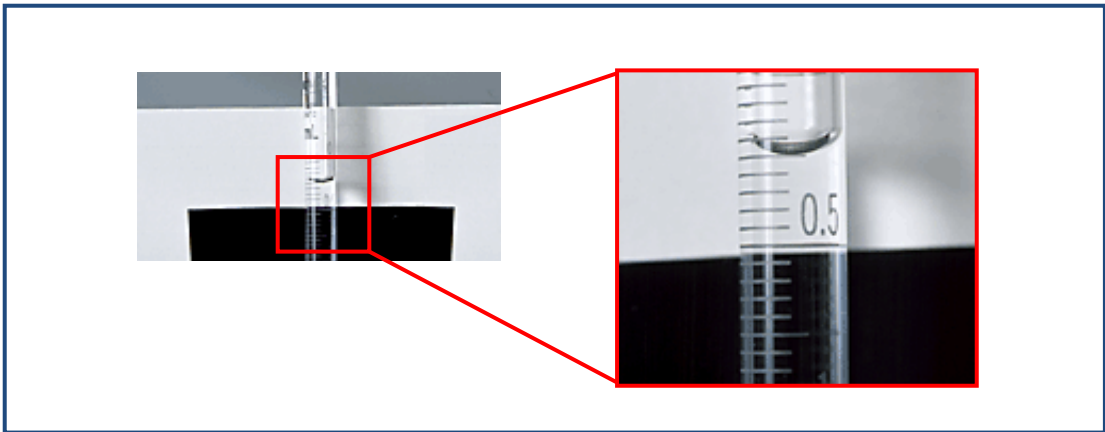
รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการใช้ปิเปตต์

ที่มา : (คัดแปลงจาก Zamcopter, 2015)



### 5.2 การอ่านปริมาตรสารละลายในบิวเรตต์

วิธีการอ่านปริมาตรสารละลายในบิวเรตต์ให้ได้ปริมาตรที่ถูกต้องยิ่งขึ้น ทำได้โดยตัดกระดาษสีขาวให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และนำกระดาษสีขาวรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามาปิดทับตรงกลาง ใช้กระดาษนี้ไปทาบกับบิวเรตต์และให้ส่วนโค้งต่ำสุดของสารละลายภายในบิวเรตต์ทับกับขีดสีดำของกระดาษแล้วจึงอ่านปริมาตร แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การอ่านปริมาตรของสารละลายในบิวเรตต์

ที่มา : (ดัดแปลงจาก Dartmouth College, 2015)

### 5.3 การจับบิวเรตต์ในการไทเทรต

การจับบิวเรตต์ขณะที่ทำการไทเทรตให้ใช้นิ้วมือข้างซ้ายจับที่ก๊อกปิดเปิดของบิวเรตต์ โดยบิวเรตต์จะถูกยึดไว้ด้วยแคลมป์จับและขาตั้ง และใช้มือขวาจับขวดรูปชมพู่ ก่อนทำการไทเทรตให้อ่านปริมาตรของสารละลายภายในบิวเรตต์ ปริมาตรที่อ่านได้นี้เป็นปริมาตรเริ่มต้น เปิดก๊อกบิวเรตต์ปล่อยให้สารละลายไหลออกจากบิวเรตต์โดยการใช้นิ้วมือข้างซ้าย ลงในขวดรูปชมพู่ที่ทำการเขย่าตลอดเวลา เมื่อใกล้ถึงจุดยุติให้ปล่อยสารละลายไหลช้าๆ ทีละหยด พร้อมกับฉีดน้ำล้างสารละลายที่ติดตามคอขวดรูปชมพู่ให้ไหลลงไปรวมกัน ทำการไทเทรตต่อไปจนกระทั่งถึงจุดยุติ แล้วอ่านปริมาตรของสารละลายในบิวเรตต์ ซึ่งเป็นปริมาตรสุดท้ายของสารละลายที่ใช้ในการไทเทรต ผลต่างของปริมาตรทั้งสองก็คือปริมาตรของสารละลายทั้งหมดที่ใช้ในการไทเทรต การจับบิวเรตต์ขณะทำการไทเทรตแสดงดังรูปที่ 2.14



**รูปที่ 2.14** การจับบิวเรตต์ขณะทำการไทเทรต

ที่มา : (The Chinese University of Hong Kong, 2015)

## 6. การทำความสะอาดเครื่องแก้ววัดปริมาตร

การทำความสะอาดเครื่องแก้ววัดปริมาตร ควรทำทุกครั้งก่อนและหลังทำการทดลอง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเครื่องแก้ววัดปริมาตรมีความสะอาดไม่มีสิ่งสกปรกหรือไขมันติดอยู่ภายในเครื่องแก้ว หากเครื่องแก้วไม่สะอาดจะทำให้มีสารละลายบางส่วนเกาะติดอยู่ที่ผิวของเครื่องแก้ว ส่งผลให้ปริมาตรของสารละลายไม่ถูกต้องตามความจุที่ระบุไว้ โดยทั่วไปการทำความสะอาดเครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ จะล้างด้วยน้ำสะอาดก่อนเพื่อล้างสิ่งสกปรกออกไปก่อน แล้วจึงล้างเครื่องแก้วด้วยสารซักฟอก (Detergent) โดยใช้แปรงที่มีขนาดเหมาะสมทำความสะอาดเครื่องแก้วให้ทั่ว แล้วนำไปล้างด้วยน้ำสะอาดซ้ำหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งผิวแก้วด้านในของเครื่องแก้วไม่มีหยดน้ำเกาะอยู่แสดงว่าเครื่องแก้วสะอาดแล้ว หลังจากนั้นล้างเครื่องแก้วด้วยน้ำกลั่น แล้วคล้ำเครื่องแก้วไว้ปล่อยให้แห้ง ในการทำปฏิบัติการบางกรณีจะเกิดความสกปรกที่ไม่สามารถทำความสะอาดได้ด้วยวิธีการต่างๆ รวมถึงความสกปรกที่ติดอยู่ตามซอกมุมที่ทำความสะอาดได้ยาก เช่น การทำความสะอาดปิเปตต์ จะทำได้ยากเนื่องจากไม่สามารถนำแปรงล้างเครื่องแก้วเข้าไปภายในปิเปตต์ได้เป็นต้น จำเป็นต้องใช้สารละลายที่มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดสูงกว่าสารซักฟอกทั่วไปเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ในเครื่องแก้ว การเตรียมสารละลายที่ใช้ทำความสะอาดเครื่องแก้วนี้ จะต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ และต้องมีอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัย เช่น ถุงมือ แว่นตา และระบบระบายอากาศ เพราะสารเคมีที่นำมาใช้มีความเป็นพิษ และมีฤทธิ์การกัดกร่อนสูง ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อร่างกายได้ สารละลายพิเศษที่ใช้ทำความสะอาดเครื่องแก้วสามารถเตรียมและใช้งานดังนี้

1. สารละลายไดโครเมต-กรดซัลฟิวริก เตรียมได้โดยการละลายโซเดียมไดโครเมต ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) จำนวน 92 กรัม ในน้ำกลั่น 458 มิลลิลิตร คนจนโซเดียมไดโครเมตละลายจนหมด เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ลงไปช้าๆ พร้อมทั้งคนสารละลาย ซึ่งจะมีความร้อนเกิดขึ้น คนสารละลายจนกระทั่งผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายของเหลวกึ่งแข็งสีแดง ปล่อยให้สารละลายเย็นตัวลงก่อนนำไปใช้งาน โดยเมื่อล้างเครื่องแก้วด้วยสารซักฟอกแล้ว ให้เทสารละลายไดโครเมต-กรดซัลฟิวริก ลงไปเล็กน้อย โดยเอียงเครื่องแก้วให้สารละลายไหลไปทั่วพื้นผิวของเครื่องแก้ว จากนั้นล้างด้วยน้ำและน้ำกลั่นหลายๆ รอบ จนแน่ใจว่าเครื่องแก้วสะอาด และไม่มีสารละลายไดโครเมต-กรดซัลฟิวริกติดค้างอยู่

2. สารละลายกรดไนตริกเจือจางความเข้มข้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ใช้ทำความสะอาดเครื่องแก้วต่างๆ ที่มีลักษณะเป็นฝ้าที่ผิวเครื่องแก้ว การทำความสะอาดทำได้โดยการแช่เครื่องแก้วในกรดไนตริกเจือจาง แล้วล้างด้วยน้ำและน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง

3. สารละลายกรดกัดทอง กรดกัดทองเป็นสารละลายผสมของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ( $\text{HCl}$ ) และกรดไนตริกเข้มข้น ( $\text{HNO}_3$ ) ในอัตราส่วน 3:1 โดยปริมาตร กรดผสมชนิดนี้มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง การใช้งานต้องมีความระมัดระวังสูงเป็นพิเศษ ใช้ทำความสะอาดโดยการกลั้วเครื่องแก้วด้วยกรดกัดทอง แล้วล้างด้วยน้ำและน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง

4. สารละลายโพแทสเซียมหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัลกอฮอล์ สามารถเตรียมได้โดยการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) 120 กรัม หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{KOH}$ ) 150 กรัม ในน้ำกลั่น 120 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ด้วยเอทานอล ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) ที่มีความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ สารละลายทำความสะอาดชนิดนี้ไม่กัดกร่อนเครื่องแก้วเหมาะสำหรับกำจัดสิ่งสกปรกที่มีลักษณะเป็นคราบติดตามเครื่องแก้ว

5. สารละลายไตรโซเดียมฟอสเฟต ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) เตรียมได้โดยการละลายไตรโซเดียมฟอสเฟต 57 กรัมและโซเดียมโอเลอเตต ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COONa}$ ) 28.5 กรัม ในน้ำกลั่น 470 มิลลิลิตร สารละลายทำความสะอาดนี้เหมาะสำหรับกำจัดสารพวกคาร์บอน

## อุปกรณ์ต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ

ห้องปฏิบัติการทางเคมีจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย การใช้งานจะขึ้นอยู่กับการทำงานนั้นๆ ว่าจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ใดบ้าง ซึ่งจะช่วยให้การทำงานทดลองประสบความสำเร็จ สะดวกรวดเร็ว และได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง ดังนั้นจำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้งาน เพื่อให้สามารถใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในการทดลองได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม และมี

ประสิทธิภาพสูงสุด ในที่นี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์หลักๆ ที่จำเป็นต้องมีไว้ในห้องปฏิบัติการ และใช้ในการทดลองทั่วๆ ไปได้แก่

### 1. โถดูดความชื้น (Desiccator)

โถดูดความชื้นใช้สำหรับดูดความชื้นออกจากสารเคมีต่างๆ โดยอาศัยสารดูดความชื้น (Desiccant) ที่บรรจุไว้ด้านล่างของโถ สารที่ใช้ดูดความชื้นมีหลายชนิด อาทิเช่น ซิลิกาเจล (Silica gel) หรือตัวกรองระดับโมเลกุล (Molecular sieve) เป็นต้น สมบัติของสารดูดความชื้นบางชนิดแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติของสารดูดความชื้นบางชนิด

คุณสมบัติ	ตัวกรองระดับโมเลกุล	ซิลิกาเจล	มอนต์มอ-ริลโลไนต์	แคลเซียมออกไซด์	แคลเซียมซัลเฟต
ความจุของการดูดซับน้ำเมื่อมีความชื้นต่ำ	ดีมาก	ไม่ดี	พอใช้	ดีมาก	ดี
อัตราเร็วของการดูดซับ	ดีมาก	ดี	ดี	ไม่ดี	ดี
ความจุของการดูดซับที่ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ 40%	สูง	สูง	ปานกลาง	สูง	ต่ำ
ความจุของการดูดซับที่อุณหภูมิสูง	ดีมาก	ไม่ดี	ไม่ดี	ดี	ดี

ที่มา : (คัดแปลงจาก Impak, 2015)

โดยปกติจะมีการเติมสารเคมีลงในสารดูดความชื้น ซึ่งจะเปลี่ยนสีเมื่อสารดูดความชื้นนั้นดูดความชื้นจนอิ่มตัว จะต้องนำไปอบไล่ความชื้นออก ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดความชื้น แล้วจึงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โถดูดความชื้นจะมีหลายรูปแบบ บางแบบสามารถต่อกับปั๊มสุญญากาศเพื่อลดความดันภายในโถ เพื่อทำให้ความชื้นระเหยออกจากสารเคมีได้เร็วขึ้น โถดูดความชื้นส่วนใหญ่จะผลิตจากแก้วหนา มีน้ำหนักมาก บริเวณสำหรับวางสารเคมีทำจากกระเบื้องเคลือบ ดังนั้นการใช้งานควรใช้ความระมัดระวัง การใช้งาน โถดูดความชื้น

ทำได้โดยเลื่อนฝาเปิดตามแนวอนออกอย่างช้าๆ หากดึงเปิดฝาชึ้นจะเปิดไม่ออก ดังนั้นควรทาวาสลินที่ฝาบบริเวณที่สัมผัสกับตัวของโถ ซึ่งจะช่วยทำให้การปิดและเปิดฝาดำเนินไปอย่างง่ายดาย บรรจุสารลงในขวดชั่งหรือภาชนะอื่นๆ ที่ไม่ปิดฝา นำไปวางลงบนแผ่นกระเบื้องที่อยู่ภายในโถเหนือสารดูความชื้นแล้วปิดฝาโถดูความชื้น และเลื่อนฝาคกลับคืนที่เดิม ในกรณีที่ไม่สามารถเลื่อนเพื่อเปิดโถดูความชื้นได้ อาจเกิดจากความดันภายใน และภายนอกมีความแตกต่างกันมากจะต้องเปิดจุดด้านบนของฝา เพื่อทำให้ความดันภายในและภายนอกเท่ากันเสียก่อนจึงจะสามารถเปิดได้ ทั้งนี้การใช้งานจะต้องทำด้วยความรวดเร็วเพื่อป้องกันความชื้นจากภายนอกเข้าไปภายในโถดูความชื้น ลักษณะของโถดูความชื้นแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โถดูความชื้น

ที่มา : (Duran Group, 2015)

## 2. ตะเกียงบุนเสน

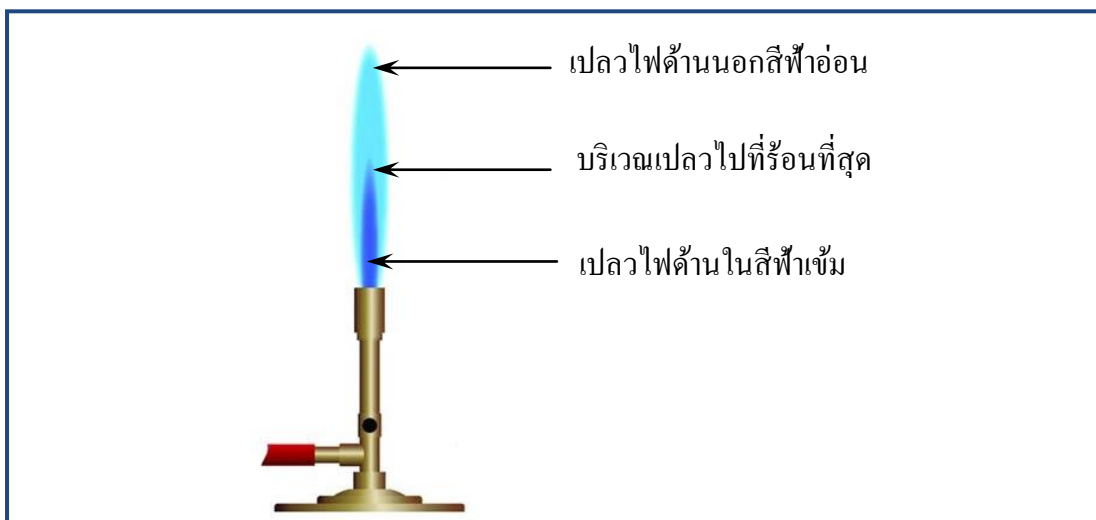
ตะเกียงบุนเสน (Bunsen burner) เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนโดยใช้เปลวไฟที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยเปลวไฟได้จากการเผาไหม้ส่วนผสมของแก๊สเชื้อเพลิงและอากาศ ตะเกียงบุนเสนสามารถปรับปริมาณของแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ได้เพียงอย่างเดียว สำหรับตะเกียงที่สามารถปรับทั้งอากาศและเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ได้เรียกว่าตะเกียงเทอร์ริลล์ (Terille burner) ทำให้ควบคุมอุณหภูมิได้ดีกว่า ลักษณะของตะเกียงบุนเสนและตะเกียงเทอร์ริลล์แสดงดังรูปที่ 2.16



**รูปที่ 2.16** ตะเกียงบุนเสนและตะเกียงเทอร์ริลล์

ที่มา : (Cole-Parmer, 2015)

เมื่อทำการจุดตะเกียงบุนเสนที่มีอัตราส่วนแก๊สเชื้อเพลิงกับอากาศที่เหมาะสมจะได้เปลวไฟที่มีลักษณะเป็นเปลวสองชั้นที่มีสีต่างกัน เปลวไฟชั้นในจะมีสีฟ้าเข้มซึ่งเป็นส่วนของเปลวไฟที่มีแก๊สเชื้อเพลิงและอากาศที่ยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และเปลวไฟชั้นนอกจะมีสีฟ้าอ่อนเป็นเปลวไฟที่การเผาไหม้สมบูรณ์ บริเวณเปลวไฟที่ให้ความร้อนสูงสุดจะอยู่บริเวณส่วนยอดของเปลวไฟชั้นในที่ติดกับบริเวณเปลวไฟชั้นนอกแสดงดังรูปที่ 2.17



**รูปที่ 2.17** โครงสร้างของเปลวไฟ

ที่มา : (ดัดแปลงจาก Publitek, 2015)

### 3. กรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel)

กรวยบุชเนอร์เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับกรองสารแบบลดความดัน ผลิตจากจากเซรามิกเคลือบ บริเวณรองรับกระดาษกรองจะเจาะเป็นรูทั่วทั้งแผ่น โดยกระดาษกรองที่ใช้ต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่พอดีกับกรวยบุชเนอร์ การใช้งานจะประกอบกรวยบุชเนอร์กับวงแหวนยางรองกรวย แล้วสวมเข้ากับขวดลดความดัน (Suction flask) ที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดสุญญากาศ (Vacuum pump) หรืออุปกรณ์ลดความดันอื่นๆ แล้วยึดขวดด้วยขาตั้ง เพื่อป้องกันขวดล้มกว่าขณะทำการกรอง แล้ววางกระดาษกรองลงกรวยบุชเนอร์ให้แนบสนิทกับแผ่นรองรับของกรวย ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกติดกับแผ่นรอง โดยไม่ให้มีฟองอากาศ ทำการกรองโดยเทของเหลวลงบนกระดาษกรองอย่างสม่ำเสมอ กรวยบุชเนอร์และชุดกรองลดความดันแสดง ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 กรวยบุชเนอร์และชุดกรองลดความดัน  
ที่มา : (Nasco, 2015)

### 4. เบ้ากรองที่ทำจากแก้วพรุน

เบ้ากรองที่ทำจากแก้วพรุน (Sintered glass crucible) ใช้สำหรับกรองสารเพื่อแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลว หรือสารละลาย ประกอบด้วยเบ้าแก้วและแผ่นกรองที่ทำจากแก้วที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ทำหน้าที่เป็นตัวกรอง ซึ่งผลิตโดยการนำใยแก้ว หรือ ผงแก้วมาให้ความร้อนจนหลอมติดกันบางส่วน ส่วนที่ไม่หลอมติดกันจะเกิดเป็นรูพรุน ลักษณะของเบ้ากรองที่ทำจากแก้วพรุนแสดงดังรูปที่ 2.19 ซึ่งขนาดของรูพรุนของแผ่นกรองจะขึ้นอยู่กับขนาดของวัสดุที่นำมาผลิต ในห้องปฏิบัติการมีใช้อยู่หลายขนาด ตั้งแต่ขนาดที่ใช้กรองอนุภาคขนาดใหญ่จนถึงขนาดที่ใช้กรองอนุภาคที่มีความละเอียดมาก แบ่งออกเป็น 5 ชั้นคุณภาพตามขนาดของรูพรุน ได้แก่ 1 2 3 4 และ 5 แสดงดังตารางที่ 2.2 การกรองจะใช้งานร่วมกับชุดกรองแบบลดความดันเช่นเดียวกับการกรองด้วยกรวยบุชเนอร์



รูปที่ 2.19 เบ้ากรองที่ทำจากแก้วพอร์น

ที่มา : (SciLabware, 2015)

ตารางที่ 2.2 ชั้นคุณภาพของเบ้ากรองที่ทำจากแก้วพอร์น

ชั้นคุณภาพ	ขนาดรูพอร์น (ไมโครเมตร)	การใช้งาน
1	90-150	สำหรับกรองสารเนื้อหยาบ ตะกอนขนาดใหญ่
2	40-90	สำหรับกรองตะกอนขนาดกลาง
3	15-40	สำหรับกรองตะกอนเนื้อละเอียด กรองปรอท
4	5-15	สำหรับงานกรองสารที่มีเนื้อละเอียดมาก
5	1-2	สำหรับกรองเชื้อแบคทีเรีย

ที่มา : (ดัดแปลงจาก Apex Chemicals, 2015)

## 5. กระดาษกรอง

กระดาษกรอง (Filter paper) คือ กระดาษที่มีขนาดของรูพอร์นใกล้เคียงกัน และมีการกระจายตัวของ รูพอร์นสม่ำเสมอ ใช้คัดแยกอนุภาค หรือสิ่งเจือปนออกจากสารละลาย หรืออากาศ โดยคุณสมบัติที่สำคัญของกระดาษกรองประกอบด้วย ความทนทานต่อตัวทำละลาย ขนาดของรูพอร์น ความสามารถในการคัดแยกอนุภาค อัตราการไหลผ่านของสารที่กรอง ประสิทธิภาพในการกรอง และความจุของการกรอง กลไกที่สำคัญของการกรองด้วยกระดาษกรองจะมีอยู่ 2 ลักษณะ ได้แก่ แบบปริมาตร คืออนุภาคจะถูกดักไว้ภายในของกระดาษกรอง และแบบผิว คืออนุภาคจะถูกดักไว้ที่ผิวของกระดาษกรอง สำหรับกระดาษกรองที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีหลายแบบ วัสดุที่นำมาใช้ผลิตกระดาษกรองก็มีความหลากหลาย เช่น เส้นใยจากพืช คาร์บอน พอลิเมอร์ และ



ใยแก้ว เป็นต้น กระดาษกรองจะใช้งานร่วมกับอุปกรณ์การกรอง คือ กรวยกรอง หรือ กรวยบุชเนอร์ ในกรณีที่ทำการทดลองเกี่ยวกับการหาน้ำหนักสาร โดยวิธีการตักตะกอน จะต้องใช้กระดาษกรอง ชนิดไม่มีเถ้า (Ashless) เมื่อเผาตะกอนที่กรองได้เพื่อหาน้ำหนัก เถ้าของกระดาษกรองจะน้อยมาก จนไม่มีนัยสำคัญต่อน้ำหนักของตะกอน การใช้งานต้องเลือกใช้กระดาษกรองที่เหมาะสมกับขนาด ของอนุภาคที่ต้องการกรอง ซึ่งจะช่วยให้การกรองมีประสิทธิภาพสูงสุด ในปัจจุบันมีการผลิต กระดาษกรองหลากหลายชนิด จาก บริษัทต่างๆ ซึ่งมีการกำหนดชั้นคุณภาพเป็นรหัสที่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อมีการใช้กระดาษกรองที่มียี่ห้อต่างกัน จะต้องพิจารณาเทียบเคียงคุณสมบัติของกระดาษ กรองตามชั้นคุณภาพของแต่ละบริษัท ตัวอย่างคุณสมบัติของกระดาษกรองยี่ห้อ “Whatman” สำหรับงานคุณภาพวิเคราะห์ และปริมาณวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของกระดาษกรอง

กระดาษกรองมาตรฐานสำหรับงานคุณภาพวิเคราะห์					
ชั้นคุณภาพ	ความหนา (ไมโครเมตร)	น้ำหนัก (กรัม/เมตร <sup>2</sup> )	การไหลผ่าน	ขนาดอนุภาคคงเหลือในของเหลว(ไมโครเมตร)	
1	180	88	ปานกลาง	11	
2	190	103	ปานกลาง	8	
3	390	187	ปานกลาง	6	
4	205	96	เร็วมา	25	
5	200	98	ช้า	2.5	

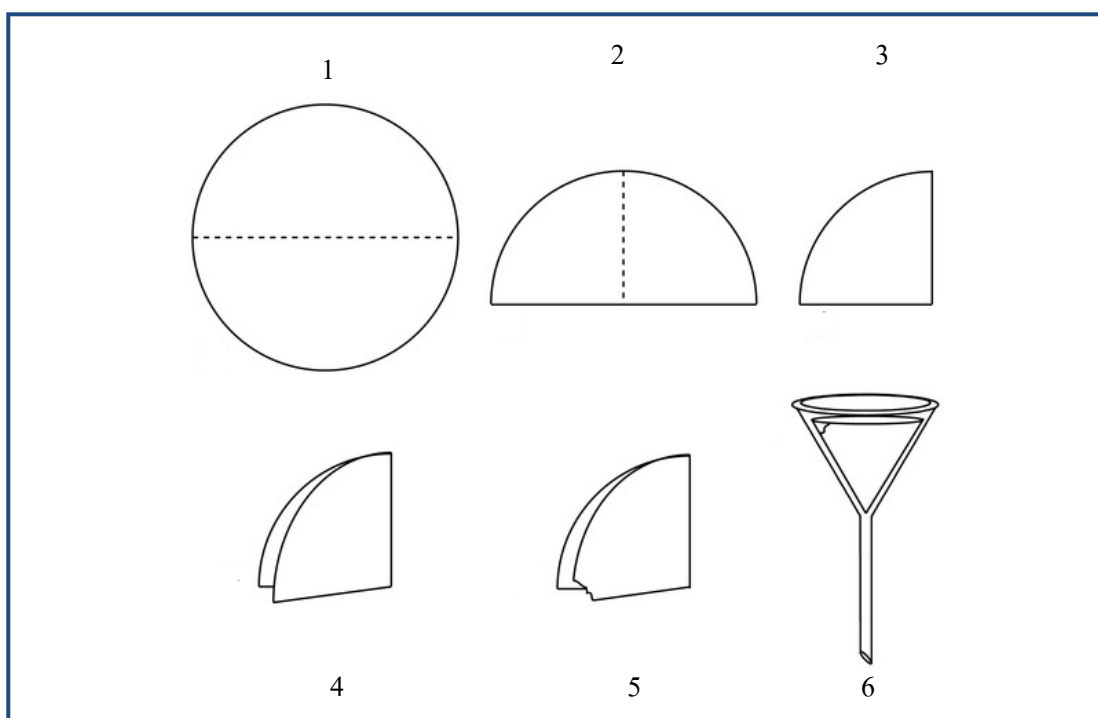
กระดาษกรองชนิดไม่มีเถ้าสำหรับงานปริมาณวิเคราะห์					
ชั้นคุณภาพ	ความหนา (ไมโครเมตร)	น้ำหนัก (กรัม/เมตร <sup>2</sup> )	ร้อยละ ปริมาณเถ้า	การไหลผ่าน	ขนาดอนุภาคคงเหลือในของเหลว (ไมโครเมตร)
40	210	95	0.007	ปานกลาง	8
41	220	85	0.007	เร็ว	20
42	200	100	0.007	ช้า	2.5
43	220	95	0.007	ปานกลางถึงเร็ว	16
44	180	80	0.007	ช้าถึงปานกลาง	3

ที่มา : (ดัดแปลงจาก General Electric, 2015)

การกรองด้วยกระดาษกรองโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงจะใช้ในกรณีที่มีตะกอนน้อย และไม่ต้องกรวดเร็วมากนัก โดยต้องพับกระดาษกรองให้เป็นรูปกรวยก่อนนำไปใช้กรอง การพับกระดาษกรองสามารถพับได้ 2 แบบ คือ

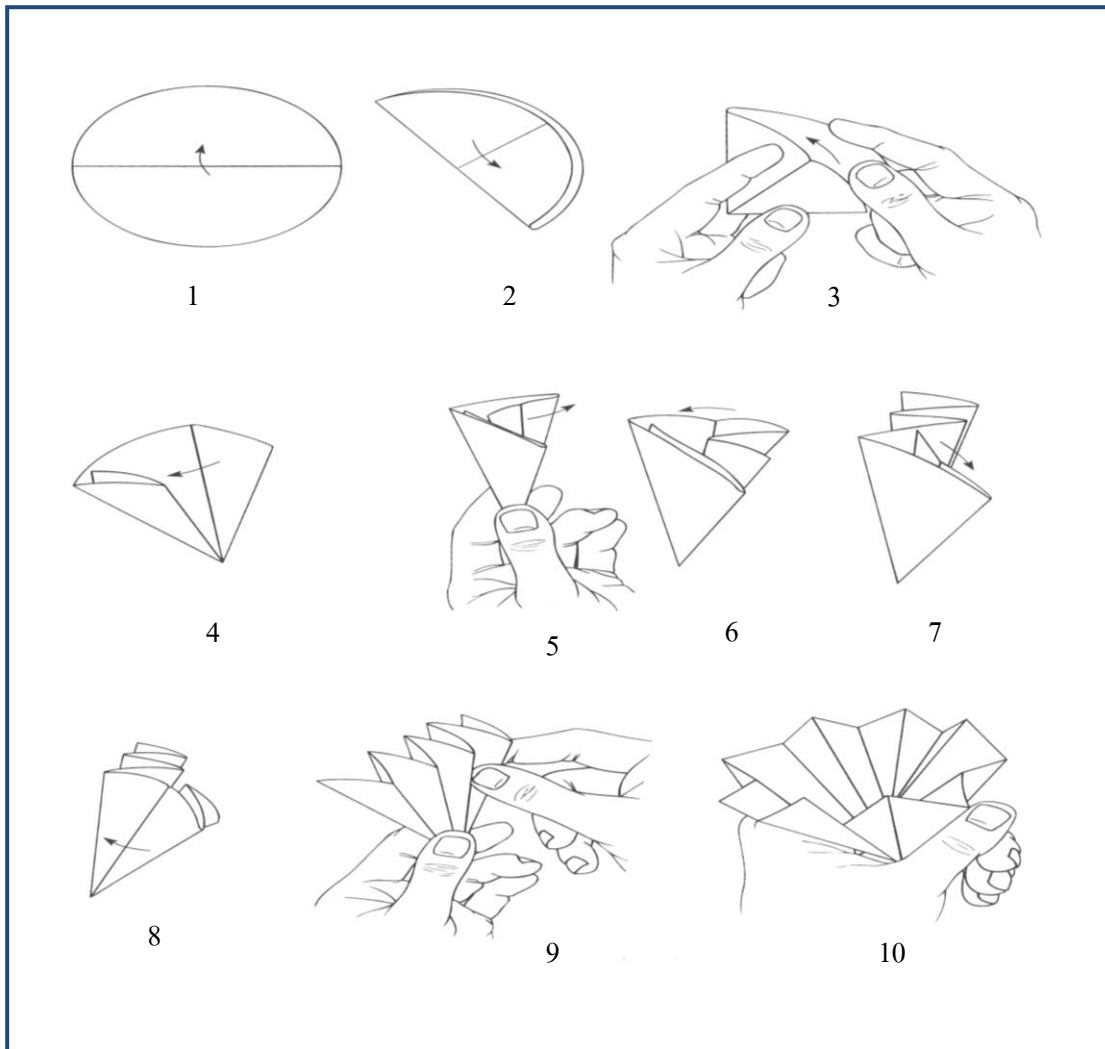
1. การพับแบบกรวย การพับกระดาษกรองแบบนี้ใช้สำหรับการกรองที่ต้องการเก็บตะกอนทั้งหมด โดยนำกระดาษกรองมาพับครึ่งจะได้กระดาษกรองรูปครึ่งวงกลม แล้วพับครึ่งอีกครั้ง หรือพับให้ขอบกระดาษกรองเหลื่อมกันเล็กน้อยประมาณ 3 มิลลิเมตร จะได้กระดาษกรองรูปกรวยหนึ่งในสี่ส่วนของวงกลม ศึกษามุมของกระดาษกรอง ประมาณหนึ่งในสามของรัศมีของกระดาษกรอง เพื่อช่วยให้กระดาษกรองแนบสนิทกับกรวยแก้วในขณะที่ทำการกรอง การพับกระดาษกรองแบบกรวยตามขั้นตอน 1- 6 แสดงดังรูปที่ 2.20

2. การพับแบบจีบ การพับกระดาษกรองแบบนี้ใช้สำหรับการกรองสารละลายที่ร้อน หรือการกรองที่ต้องการกรวดเร็ว เนื่องจากมีพื้นที่ที่สารละลายสัมผัสกับกระดาษกรองมากทำให้สารละลายไหลผ่านกระดาษกรองได้มากขึ้น การพับกระดาษกรองทำได้โดยการพับครึ่งแล้วพับทบกลับไปกลับมา การพับกระดาษกรองแบบจีบตามขั้นตอน 1- 10 แสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.20 การพับกระดาษกรองแบบกรวย

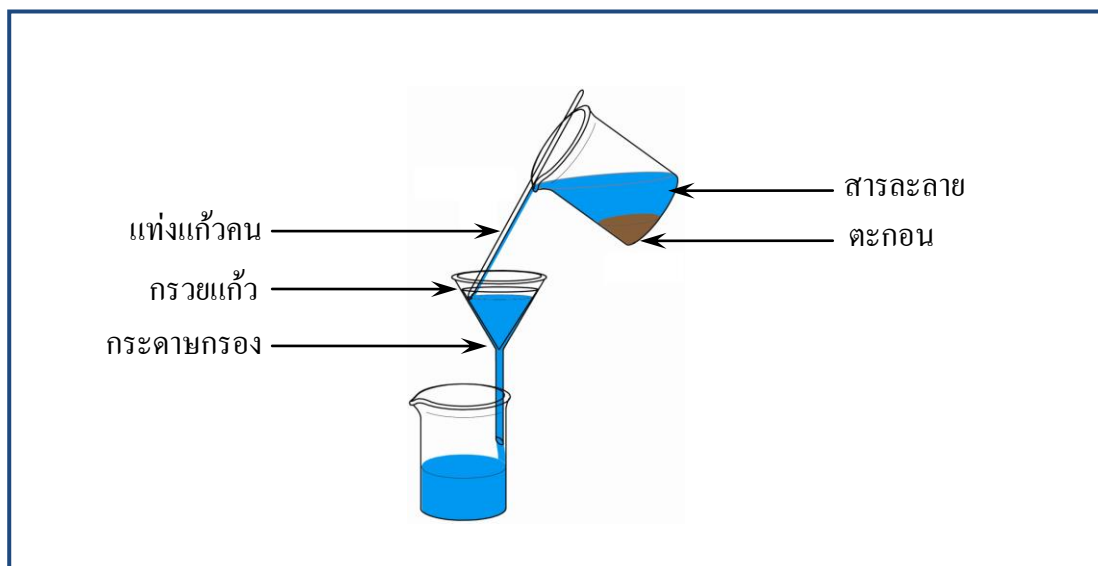
ที่มา : (Davis ChemWiki, 2015)



**รูปที่ 2.21** การพับกระดาษกรองแบบจีบ

ที่มา : (The University of Arizona, 2015)

การกรองสารละลายทำโดยนำกระดาษกรองที่พับเป็นกรวยแล้ววางลงในกรวยแก้วชนิดก้านยาวแล้วฉีดน้ำลงบนกระดาษกรองให้เปียก เพื่อให้กระดาษกรองแนบสนิทกับกรวยแก้ว จะช่วยให้การไหลของสารละลายผ่านกระดาษกรองได้เร็วขึ้น นำบีกเกอร์ที่มีตะกอนรวมตัวกันอยู่ที่ก้นบีกเกอร์และค่อยๆ เทสารละลายที่อยู่ส่วนบนผ่านแท่งคนลงในกรวยแก้ว (รูปที่ 2.22) ล้างตะกอนที่ค้างอยู่ในบีกเกอร์ด้วยสารละลายสำหรับล้างตะกอน (Washing solution) ลงในกรวยกรอง ตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายไหลออกจนหมด แล้วล้างตะกอนที่อยู่บนกระดาษกรองด้วยสารละลายสำหรับล้างตะกอนปริมาณน้อย หลายๆ ครั้ง



รูปที่ 2.22 การกรองตะกอน

ที่มา : (ดัดแปลงจาก David Harvey, 2015)

## คุณภาพสารเคมี

ชั้นคุณภาพของสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีอยู่หลายระดับ การแบ่งระดับชั้นคุณภาพของสารเคมีจะแบ่งตามมาตรฐานความบริสุทธิ์ของสารนั้นๆ การเลือกใช้ชั้นคุณภาพของสารเคมีให้ถูกต้องเหมาะสมกับงาน จะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ในขณะที่เดียวกันก็ยังคงผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้อง เช่น การวิเคราะห์ทางปริมาณต้องเลือกใช้สารเคมีที่มีชั้นคุณภาพสูง แต่การวิเคราะห์ทางคุณภาพอาจจะไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีที่มีชั้นคุณภาพสูงมากนัก สารเคมีสามารถแบ่งชั้นคุณภาพตามความบริสุทธิ์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 1. สารเคมีชั้นคุณภาพการค้า

สารเคมีชั้นคุณภาพการค้า (Technical grade หรือ Commercial grade) จะมีความบริสุทธิ์ต่ำ โดยทั่วไปไม่บอกเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ ผู้ผลิตมักไม่แสดงปริมาณสิ่งเจือปน จัดเป็นสารเคมีชั้นคุณภาพต่ำ และมีราคาถูก จึงไม่เหมาะที่จะนำสารเคมีเหล่านี้ไปใช้ในการทดลอง เช่น ใช้เป็นสารทำปฏิกิริยาเพื่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ยกเว้นกรณีที่มีความบริสุทธิ์หรือสารปนเปื้อนของสารไม่มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์ เช่น ใช้เตรียมสารละลายผสมสำหรับล้างทำความสะอาดเครื่องแก้ว ใช้เป็นสารดูดความชื้น และ สารละลายดักจับไอสารกัดกร่อน เป็นต้น

## 2. สารเคมีชั้นคุณภาพห้องปฏิบัติการ

สารเคมีชั้นคุณภาพห้องปฏิบัติการ (Laboratory reagent grade) ผู้ผลิตจะรับรองความบริสุทธิ์ และปริมาณสิ่งเจือปนสูงสุด มีความบริสุทธิ์โดยทั่วไปจะสูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ เหมาะที่จะใช้สารเคมีระดับนี้ในการเตรียมสารละลายที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ และใช้เป็นสารทำปฏิกิริยาทั่วไป แต่ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิ ซึ่งสามารถจำแนกออกได้ดังนี้

**2.1 U.S.P. grade (United State Pharmacopocia grade)** มีความบริสุทธิ์สูง โดยผ่านการทดสอบคุณภาพตามมาตรฐาน ของ United State Pharmacopocia แต่อาจมีสารปนเปื้อนบางอย่างเพียงเล็กน้อยที่ไม่ได้ผ่านการทดสอบ ใช้สำหรับการวิเคราะห์ทดสอบด้านอาหาร ยา และเครื่องสำอาง

**2.2 C.P. grade (Chemically pure grade)** มีความบริสุทธิ์สูงกว่า U.S.P. grade มาตรฐานความบริสุทธิ์ขึ้นกับโรงงานที่ผลิต

## 3. สารเคมีชั้นคุณภาพวิเคราะห์

สารเคมีชั้นคุณภาพวิเคราะห์ (Analytical reagent grade) มีความบริสุทธิ์สูงกว่าสารในชั้นคุณภาพห้องปฏิบัติการ เป็นสารเคมีที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.99 เปอร์เซ็นต์ และมีสิ่งเจือปนอยู่ไม่เกิน 0.02 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการระบุถึงสิ่งเจือปนไว้อย่างชัดเจน ทำให้มีราคาแพงไม่เหมาะกับการใช้ในการทดลองทั่วไป แต่จะใช้เป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิ และสารทำปฏิกิริยาเฉพาะในงานที่ต้องการผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องสูงเท่านั้น โดยมีการกำหนดมาตรฐานของสารเคมีชั้นคุณภาพวิเคราะห์ดังนี้

**3.1 ชั้นคุณภาพรีเอเจนต์ (Reagent grade)** เป็นสารเคมีที่มีการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานของ Reagent Chemical Committee of the American Chemical Society (ACS) โดยมีการแสดงข้อมูลปริมาณสารสูงสุด และสิ่งเจือปนสูงสุด (Maximum limits of impurity) บนฉลากข้างภาชนะบรรจุอย่างชัดเจน

**3.2 ชั้นคุณภาพสารมาตรฐาน (Standard grade)** เป็นสารเคมีที่มีการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานของ Analar Standard for Laboratory Chemical มีความบริสุทธิ์สูง มีใบรับรองแสดงผลการวิเคราะห์ (Certificated of Analysis) ที่แสดงรายละเอียดของสิ่งเจือปนอย่างชัดเจน มีสมบัติเป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิใช้เป็นสารมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี และสารมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ

#### 4. สารเคมีสำหรับงานเฉพาะ

สารเคมีสำหรับงานเฉพาะ (Special purpose reagent) หมายถึงสารเคมีที่ผลิตขึ้นเพื่อ งานวิเคราะห์อย่างหนึ่งอย่างใดโดยเฉพาะ มีความบริสุทธิ์สูงมาก (Ultrapure) และมีการกำจัด สิ่งเจือปนที่จะมีผลต่อการวิเคราะห์ ออกไป ซึ่งทำให้มีราคาแพงมา เหมาะสำหรับงานวิจัยหรือ การทดลองเฉพาะด้าน หรือตามวัตถุประสงค์ของการผลิตสารนั้น เช่น

1. เกรดสเปกโทรโฟโตเมตริก (Spectrophotometric grade) ใช้สำหรับงาน ทางด้านสเปกโทรโฟโตเมตรี
2. เกรดโครมาโทกราฟิก (Chromatographic grade) ใช้สำหรับงานทางด้าน โครมาโทกราฟี
3. เกรด เอช พี เอล ซี (HPLC grade) การวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี ชนิดของเหลวประสิทธิภาพสูง
4. เกรดสารกำจัดศัตรูพืช (Pesticide grade) ใช้สำหรับงานทางด้านยาฆ่าแมลง

#### การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างมีวัตถุประสงค์สำคัญคือ การที่จะได้มาซึ่งตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของ วัสดุทั้งหมดเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ รวมถึงการการลดปริมาณตัวอย่างที่ต้องนำมาวิเคราะห์ ในกรณีที่สารที่สนใจจะวิเคราะห์ปะปนอยู่อย่างกระจัดกระจายไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จะต้องเก็บ ตัวอย่างหลายตัวอย่างแบบสุ่มจากวัสดุทั้งหมดที่กำลังสนใจศึกษา เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง ที่ได้เป็นค่าที่แท้จริงที่มีในสารทั้งหมด ถ้าสารที่วิเคราะห์ที่มีอยู่ในตัวอย่างมีลักษณะเป็นเนื้อ เดียวกันจะนำส่วนใดส่วนหนึ่งของตัวอย่างมาวิเคราะห์ก็ได้ สำหรับขั้นตอนการเก็บตัวอย่างจัดว่า เป็นขั้นตอนที่จะทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้มากที่สุด ดังนั้นจึงควรเลือกวิธีการที่เหมาะสม เช่น การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กจากตัวอย่างโลหะผสม ซึ่งมีเหล็กเป็นองค์ประกอบและไม่เป็นเนื้อ เดียวกัน กรณีนี้ควรเก็บตัวอย่างแบบสุ่มโดยเก็บหลายๆ ตัวอย่างแล้วนำมารวมกัน และลดขนาด ของตัวอย่างลง เพื่อให้มีขนาดพอเหมาะที่จะนำไปวิเคราะห์ การเก็บตัวอย่างมีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับ ลักษณะของตัวอย่างที่เก็บดังรายละเอียดต่อไปนี้

##### 1. การเก็บตัวอย่างแก๊ส

การเก็บตัวอย่างแก๊สทำได้โดยผ่านแก๊สลงไปแทนที่น้ำที่บรรจุอยู่ในภาชนะที่ทราบ ปริมาตรแน่นอน ขณะเก็บแก๊สตัวอย่างจะต้องบันทึกค่า อุณหภูมิและความดันบรรยากาศในขณะที่ ทำการเก็บตัวอย่างไว้ด้วย สำหรับตัวอย่างอากาศ ซึ่งประกอบด้วยแก๊สหลายชนิด และอนุภาคต่างๆ

โดยอากาศตัวอย่างที่เก็บได้ในแต่ละสถานที่จะมีองค์ประกอบต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น เก็บอากาศตัวอย่างจากในเมืองที่มีรถยนต์หนาแน่นจะพบแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมาก หากเก็บตัวอย่างแก๊สจากบริเวณนิคมอุตสาหกรรม องค์ประกอบของอากาศก็จะแตกต่างกันออกไป เป็นต้น การเก็บตัวอย่างอากาศนั้นจะใช้อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยเครื่องดูดอากาศ เครื่องวัดปริมาตรอากาศ และส่วนสำหรับแยกแก๊สหรืออนุภาคออกจากอากาศ ได้แก่ ชุดกรองอากาศทำหน้าที่แยกอนุภาคต่างๆ ออกจากอากาศ และสารเคมีที่ทำหน้าที่ดูดซับแก๊สที่จะวิเคราะห์

## 2. การเก็บตัวอย่างของเหลว

การเก็บตัวอย่างของเหลวที่เป็นเนื้อเดียวกันสามารถทำได้ง่าย เนื่องจากสามารถเอาส่วนใดของตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ได้เลย แต่ในกรณีที่ตัวอย่างของเหลวที่มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เช่น ของเหลวที่มีของแข็งแขวนลอย ของเหลวที่มีลักษณะเป็นอิมัลชัน หรือของเหลวที่มีสารที่ระเหยปะปนอยู่ การเก็บตัวอย่างจะต้องเก็บหลายๆ ตัวอย่างจากบริเวณต่างๆ หรืออาจเก็บตามลำดับความลึกของแหล่งที่เก็บสารตัวอย่าง แล้วจึงนำตัวอย่างที่เก็บได้ในแต่ละครั้งไปวิเคราะห์ หรืออาจจะนำตัวอย่างที่เก็บได้ทั้งหมดมาผสมรวมกันก่อนแล้วจึงแบ่งตัวอย่างนำไปวิเคราะห์

## 3. การเก็บตัวอย่างของแข็ง

ตัวอย่างของแข็งที่เป็นเนื้อเดียวกันสามารถนำส่วนใดมาทำการวิเคราะห์ก็ได้ แต่ในกรณีที่ตัวอย่างของแข็งที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จะต้องสุ่มเก็บหลายๆ ตัวอย่างแล้ว นำตัวอย่างที่เก็บได้มาผสมรวมกันแล้วร่อนผ่านตะแกรง เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่มีขนาดเดียวกัน จากนั้นจึงแบ่งตัวอย่างที่ร่อนได้มากองรวมกันแล้วแบ่งออกเป็นสี่ส่วน นำหนึ่งในสี่ส่วนกองรวมกันแล้วแบ่งออกเป็นสี่ส่วนอีกครั้งทำเช่นนี้เรื่อยๆ จนกระทั่งได้น้ำหนักของตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ซึ่งน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ก็จะขึ้นอยู่กับวิธีการวิเคราะห์ที่เลือกใช้

## การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างคือการทำให้ตัวอย่างอยู่ในรูปที่เหมาะสมที่จะทำการวิเคราะห์ เช่น การทำให้อยู่ในรูปของสารละลาย เป็นต้น นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการเพิ่มความเข้มข้น และแยกสารในตัวอย่างออกจากกัน เพื่อให้การวิเคราะห์ทำได้ถูกต้องมากขึ้น เช่น การแยกสารที่สนใจหาปริมาณออกจากสารอื่นๆ ซึ่งอาจรบกวนการวิเคราะห์ หลักการเตรียมตัวอย่างมักจะเกี่ยวข้องกับ

2 ภูมิภาค เช่น การละลายจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนตัวอย่างของแข็ง ไปเป็นของเหลว การสกัดด้วยตัวทำละลายจะเกี่ยวข้องกับการของเหลวสองชนิดที่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เป็นต้น

### 1. การทำตัวอย่างให้แห้ง

การทำแห้ง (Drying) ตัวอย่างจะทำก่อนที่จะนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ทำให้ตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ โดยนำของแข็งตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 105-110 องศาเซลเซียส ด้วยเตาอบหรือตะเกียงเบนเซน เพื่อไล่น้ำออกออกจากตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างบางชนิดอาจดูดน้ำไว้ที่ผิว หรือตัวอย่างบางชนิดมีคุณสมบัติเป็นสารดูดความชื้น (Hygroscopic substance) การอบแห้งให้ทำการอบจนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ ในกรณีที่สารวิเคราะห์เป็นสารที่สลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนไม่ควรนำตัวอย่างประเภทนี้ไปอบ แต่ทำให้แห้งโดยการตั้งทิ้งไว้ในที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลาหนึ่ง หรือตั้งทิ้งไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccator) ซึ่งจะสามารถลดความชื้นในตัวอย่างลงได้

### 2. การชั่งตัวอย่าง

การชั่งตัวอย่าง (Weighing) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ควรชั่งตัวอย่างชนิดเดียวกันหลายๆ ครั้ง โดยให้มีน้ำหนักต่างกัน แล้วนำแต่ละตัวอย่างที่ชั่งได้ไปวิเคราะห์ ถ้าผลการวิเคราะห์สารที่สนใจในแต่ละครั้งเทียบกับน้ำหนักตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์มีค่าเท่ากัน แสดงว่าน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ชั่งมาเป็นค่าที่ถูกต้อง และถ้าผลการทดลองในแต่ละครั้งไม่เท่ากัน ก็แสดงว่ามีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเกิดจากการชั่งน้ำหนักตัวอย่างไม่ถูกต้อง

### 3. การละลายตัวอย่าง

การละลายตัวอย่างจะต้องเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสมกับชนิดของสารตัวอย่าง ถ้าตัวอย่างเป็นสารอนินทรีย์ละลายน้ำได้ดี ก็สามารถใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย แต่ถ้าตัวอย่างเป็นสารอินทรีย์ก็จะทำการละลายตัวอย่างในตัวทำละลายอินทรีย์หรือตัวทำละลายอินทรีย์ผสม สำหรับการวิเคราะห์บางเทคนิคก็สามารถใช้ตัวอย่างที่เป็นของแข็งทำการวิเคราะห์ได้เลย การละลายตัวอย่างให้อยู่ในรูปสารละลายสามารถทำได้หลายๆ วิธีดังต่อไปนี้

**3.1 การใช้กรดละลายตัวอย่าง** การละลายตัวอย่างด้วยสารละลายกรดนั้น จะต้องพิจารณาถึงผลที่ได้หลังการละลาย เช่น จะสามารถกำจัดกรดที่มากเกินไปได้อย่างไร เนื่องจากการละลายตัวอย่างให้หมดจำเป็นต้องใช้สารละลายกรดที่มีปริมาณมากเกินไปเสมอ หรือเมื่อใช้กรดละลายตัวอย่างแล้วจะเกิดการสลายตัว หรือเกิดปฏิกิริยากับสารที่จะวิเคราะห์หรือไม่ ด้วยเหตุนี้



ผู้ทำการวิเคราะห์จะต้องเข้าใจถึงปฏิกิริยาเคมีที่จะเกิดขึ้น เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกชนิดของกรดที่จะใช้เป็นตัวทำละลายตัวอย่าง โดยกรดชนิดต่างที่นิยมนำมาใช้เป็นตัวทำละลายได้แก่

3.1.1 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นใช้สามารถละลายโลหะออกไซด์เกลือของกรดอ่อน และโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน ( $E^\circ_{\text{ox/Red}}$ ) มากกว่า  $E^\circ_{\text{H}^+/\text{H}_2}$  หรือโลหะใดๆ ที่ถูกออกซิไดซ์ง่ายกว่าแก๊สไฮโดรเจนจะละลายได้ในสารละลายของกรดไฮโดรคลอริก

3.1.2 กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) กรดไนตริกเข้มข้นที่ร้อน จะใช้ในการละลายโลหะได้เกือบทุกชนิดยกเว้น Al Cr Sn W และ Sb ทั้งนี้เนื่องจาก Al และ Cr จะเกิดการรวมตัวเป็นแผ่นออกไซด์ สำหรับ Sn W และ Sb จะเกิดเป็นสารประกอบที่ละลายยาก

3.1.3 กรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) กรดซัลฟิวริกที่ร้อนและเข้มข้นจะมีจุดเดือดประมาณ 340 องศาเซลเซียส จึงใช้ละลายตัวอย่างที่เป็นโลหะและโลหะผสมด้วยการทำให้ตัวอย่างเหล่านี้เกิดการสลายตัว นอกจากนี้ยังใช้กรดซัลฟิวริกที่ร้อนและเข้มข้นเป็นสารดูดความชื้นและเป็นตัวออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้

3.1.4 กรดเปอร์คลอริก ( $\text{HClO}_4$ ) กรดเปอร์คลอริกที่ร้อนและเข้มข้นเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง จึงใช้กรดชนิดนี้ละลายโลหะผสมที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ และเหล็กกล้าได้ดี การใช้ที่กรดเปอร์คลอริกที่ร้อนและเข้มข้นต้องใช้อย่างระมัดระวัง เพราะถ้ากรดนี้สัมผัสกับสารอินทรีย์ หรือสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์ง่าย อาจเกิดการระเบิดขึ้นอย่างรุนแรง ดังนั้นควรใช้กรดที่เจือจาง หรือใช้กรดเข้มข้นที่เย็นละลายตัวอย่างที่ต้องการ แล้วจึงนำไปให้ความร้อนโดยค่อยๆ เพิ่มความร้อนช้าๆ และทำในตู้ดูดควันที่สะอาดปราศจากฝุ่นละอองและสารอินทรีย์ โดยต้องระวังอย่าให้สารละลายแห้ง เนื่องจากถ้าละลายเหลือน้อยมากอาจเกิดการระเบิดขึ้นได้ นอกจากนี้อาจทำการละลายตัวอย่างโดยใช้กรดเปอร์คลอริกร่วมกับกรด กรดไนตริกซึ่งมีวิธีดังนี้คือ ในขั้นแรกใช้กรดไนตริกเติมลงในตัวอย่างแล้วนำไปทำให้ร้อนจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วจึงเติมกรดผสมที่ประกอบด้วยกรดเปอร์คลอริกกับกรดไนตริกลงไปในตัวอย่างอีกครั้งหนึ่ง กรดไนตริกที่เติมลงไปในตัวอย่างในตอนแรกนั้นจะไปช่วยออกซิไดซ์สารที่ถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายในตัวอย่างที่อุณหภูมิต่ำๆ

3.1.5 กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) กรดไฮโดรฟลูออริกใช้ในการละลายตัวอย่างหินซิลิเกตและแร่ตัวอย่าง ที่มีซิลิเกตเป็นองค์ประกอบ Si ที่เป็นองค์ประกอบของซิลิเกตจะถูกเปลี่ยนเป็น  $\text{SiF}_4$  ที่ระเหยได้ เมื่อใช้กรดไฮโดรฟลูออริกเป็นตัวทำละลาย การกำจัดกรดไฮโดรฟลูออริกที่มากเกินไป ภายหลังการละลายตัวอย่างแล้ว ทำได้โดยการเติมกรดซัลฟิวริก หรือ กรดเปอร์คลอริก ลงในตัวอย่างที่มีกรดไฮโดรฟลูออริกเหลืออยู่และนำไปต้ม กรดไฮโดรฟลูออริก

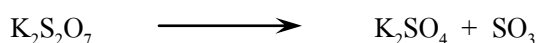
ที่เหลืออยู่ก็จะระเหยออกไป การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกต้องใช้อย่างระมัดระวังอย่าให้สัมผัสโดนผิวหนัง

3.1.6 กรดกัตทอง (Aqua regia) กรดกัตทองเป็นกรดที่ผสมระหว่างกรดไฮโดรคลอริกกับกรดไนตริกในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 โดยโมล กรดกัตทองใช้ละลายโดยโลหะได้เกือบทุกชนิด และยังสามารถใช้ละลายเกลือไอออนิกที่ละลายได้น้อยมาก เมื่อใช้กรดชนิดอื่นเป็นตัวทำละลาย นอกจากนั้นยังใช้ละลายสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่างได้อีกด้วย

3.2 การใช้ฟลักซ์ (Flux) การใช้ฟลักซ์ช่วยในการละลายตัวอย่างทำได้โดยการนำฟลักซ์ 10 ส่วน ผสมกับตัวอย่าง 1 ส่วน โดยน้ำหนักแล้วผสมให้เข้ากัน โดยการบดผสมฟลักซ์และตัวอย่างให้เป็นผงละเอียดใส่ในถ้วยที่ทนความร้อน และนำไปหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงประมาณ 300 -1000 องศาเซลเซียส โดยค่อยๆ เพิ่มความร้อนอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันมิให้เกิดการกระเด็นของสารตัวอย่างออกจากถ้วย จนกระทั่งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงจุดหลอมเหลวของสารผสม ระยะเวลาที่ใช้ในการหลอมเหลวอาจจะใช้เพียง 2-3 นาที หรือ 1-2 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างจนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของเหลวใส แสดงว่าการหลอมเหลวตัวอย่างนั้นสมบูรณ์แล้ว หลังจากนั้นต้องตั้งทิ้งไว้ให้เย็นก่อนจะนำไปละลายต่อไป รายละเอียดของฟลักซ์บางชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่

3.2.1 โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) โซเดียมคาร์บอเนตใช้เป็นฟลักซ์ในการละลายตัวอย่างที่มีซิลิกา โดยอุณหภูมิที่ใช้ทำการหลอมเหลวสูงประมาณ 1000-1200 องศาเซลเซียส หลังจากการหลอมเหลวจะเกิดเกลือคาร์บอเนต หรือ ออกไซด์ที่ละลายได้ในสารละลายของกรดสำหรับสารพวกอโลหะก็จะถูกเปลี่ยนไปเป็นเกลือโซเดียมที่ละลายได้ในสารละลายของกรดเช่นเดียวกัน ภาชนะที่ใช้ ในการทำการหลอมเหลวเมื่อใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นฟลักซ์ ควรใช้ถ้วยที่ทำด้วยโลหะแพลทินัม

3.2.2 โพแทสเซียมไพโรซัลเฟต ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ ) โพแทสเซียมไพโรซัลเฟตเป็นฟลักซ์ที่มีสภาพเป็นกรด โดยจะใช้โพแทสเซียมไพโรซัลเฟตเป็นฟลักซ์ในการละลายตัวอย่างที่มีโลหะเป็นองค์ประกอบ การหลอมเหลวต้องทำที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส โพแทสเซียม-ไพโรซัลเฟตจะเกิดการสลายตัวให้  $\text{SO}_3$  ดังปฏิกิริยา



$\text{SO}_3$  ที่เกิดขึ้นนี้จะรวมตัวกับโลหะในตัวอย่างแล้วเกิดเป็นโลหะซัลเฟต การหลอมเหลวจะสมบูรณ์ต้องใช้เวลาาน และเมื่อหลอมเหลวสมบูรณ์แล้วจะต้องตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วจึงเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไป 2-3 หยด และนำไปเผาต่ออีกครั้งหนึ่งเพื่อให้การหลอมเหลวนั้นสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เมื่อตั้งไว้ให้เย็นแล้วจึงนำไปละลายเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

**3.3 การสลายสารประกอบอินทรีย์** การสลายสารประกอบอินทรีย์ในตัวอย่าง สัตว์ ฟืช สารประกอบทางชีวภาพ และสารประกอบอินทรีย์ในตัวอย่างอื่นๆ ทำได้โดยใช้วิธีย่อยแบบเปียก (Wet digestion) และ วิธีทำให้เป็นเถ้าแบบแห้ง (Dry ashing) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 วิธีย่อยแบบเปียก วิธีย่อยแบบเปียก คือการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ด้วยสารละลายกรด ซึ่งอาจเป็นกรดเดี่ยว หรือกรดผสมที่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ก็ได้ หลังจากทำการย่อยแล้วสลายอินทรีย์จะแปรสภาพเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และสารที่ระเหยได้ และจะถูกไล่ออกไปจากสารละลาย ดังนั้นในสารละลายจะเหลือเฉพาะเกลือที่เป็นองค์ประกอบระหว่างไอออนของโลหะกับไอออนประจุลบที่มาจากกรด ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในวิเคราะห์ต่อไป ตัวอย่างของสารละลายกรดชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการย่อยแบบเปียกสารประกอบอินทรีย์ ได้แก่

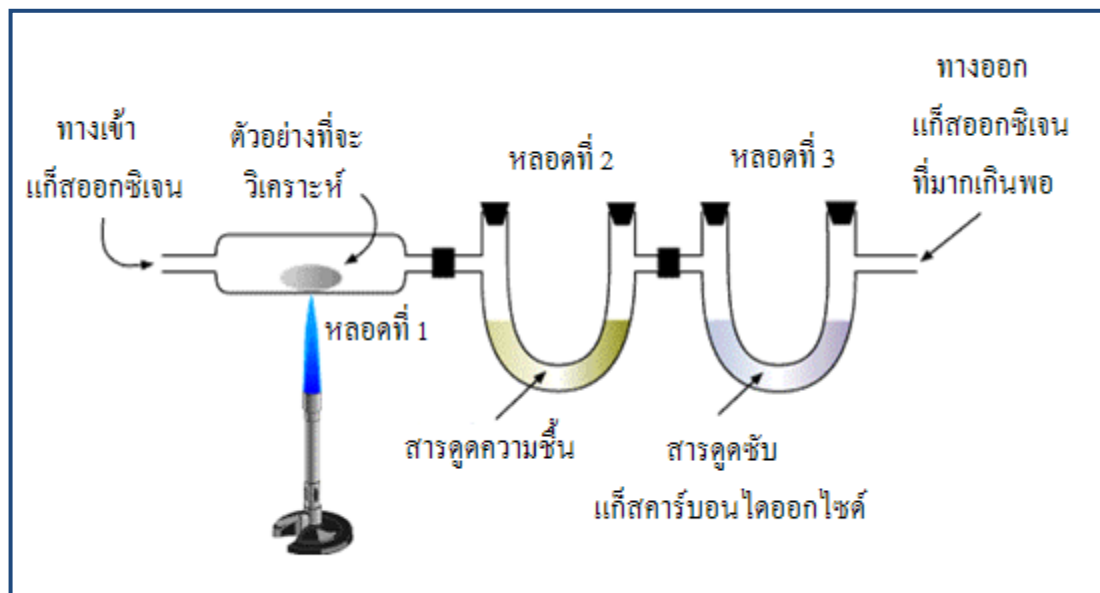
3.3.1.1 กรดซัลฟูริกเข้มข้น กรดซัลฟูริกเข้มข้นใช้เป็นตัวออกซิไดซ์ สำหรับย่อยสลายตัวอย่างที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ภายหลังจากย่อยในไนโตรเจนในตัวอย่าง จะอยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียมไบซัลเฟต ( $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ ) ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนได้ การใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นย่อยสลายตัวอย่างที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเรียกว่า วิธีเคลดาล์ (Kjeldahl Method)

3.3.1.2 กรดผสมของกรดไนตริก กรดไฮดรอกลอริก และกรดซัลฟูริก กรดผสมของกรดไนตริก กรดไฮดรอกลอริก และกรดซัลฟูริก จะใช้ในอัตราส่วน 3:1:1 โดยโมล ซึ่งเป็นสารละลายกรดผสมที่มีประสิทธิภาพสูงมากที่จะย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ เช่น ใช้สารละลายกรดผสมชนิดนี้ 10 มิลลิลิตร ก็สามารถที่จะย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ในตัวอย่างที่มีน้ำหนัก 10 กรัมได้

3.3.1.3 กรดผสมระหว่างกรดเปอร์คลอริก และกรดไนตริก การใช้กรดผสมชนิดนี้ต้องใช้อย่างระมัดระวังเป็นพิเศษ โดยเฉพาะขณะที่ทำการต้มไล่กรด เนื่องจากกรดไนตริกจะถูกไล่ออกมาก่อน ดังนั้นจะต้องให้มีสารละลายกรดเปอร์คลอริกเหลืออยู่ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการระเบิด ด้วยเหตุนี้จึงไม่แนะนำให้ใช้กรดผสมนี้ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ นอกจากนี้ผู้ทำการทดลองจะมีประสบการณ์สูง และไม่ควรรใช้กรดเปอร์คลอริกย่อยสลายตัวอย่างที่เป็น ฟืช สัตว์ หรือสารอินทรีย์โดยตรง เพราะอาจจะเกิดการระเบิดขึ้นได้

3.3.2 วิธีทำให้เป็นเถ้าแบบแห้ง วิธีทำให้เป็นเถ้าแบบแห้ง คือการเผา สารอินทรีย์ด้วยความร้อนสูงในอากาศ หรือในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนโดยตรง สารประกอบอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์ด้วยแก๊สออกซิเจน แล้วแปรสภาพเป็นออกไซด์ของธาตุต่างๆ เช่น คาร์บอน (C) จะเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ไฮโดรเจน (H) จะเปลี่ยนเป็นไอน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) เป็นต้น ตัวอย่างเช่น การเผาตัวอย่างแบบใช้หลอด ( Combustion tube method ) เป็น

การวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน และ ไฮโดรเจนในตัวอย่างสารอินทรีย์ ทำได้โดยการเปลี่ยนรูปของธาตุเหล่านี้ให้อยู่ในรูปที่จะนำไปวิเคราะห์ได้ วิธีการเปลี่ยนรูปทำได้โดยการเผาสารอินทรีย์ในบรรยากาศของแก๊สออกซิเจนด้วยอุปกรณ์ที่แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 อุปกรณ์การเผาตัวอย่างแบบใช้หลอด

ที่มา : (ดัดแปลงจาก Chiral, 2015)

จากรูปที่ 2.23 ภายในหลอดที่ 1 จะมีภาชนะสำหรับบรรจุตัวอย่างซึ่งมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โลหะแพลทินัม (Pt) หรือ คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) เพื่อใช้ในการช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารที่สลายตัวกับแก๊สออกซิเจน โดยจะให้ความร้อนสูงที่อุณหภูมิประมาณ 700-800 องศาเซลเซียส และตรงส่วนปลายของหลอดมีท่อสำหรับผ่านแก๊สออกซิเจนเข้าสู่หลอดเพื่อช่วยในการเผา โดยขณะที่ตัวอย่างได้รับความร้อนก็จะเกิดการสลายตัวของคาร์บอนและเปลี่ยนไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับไฮโดรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำอย่างสมบูรณ์ โดยภายในหลอดที่ 2 จะมีสารดูดความชื้น (Desiccant) ที่ทราบน้ำหนักบรรจุอยู่ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl<sub>2</sub>) เมื่อแก๊สต่างๆ ผ่านมายังหลอดที่ 2 น้ำจะถูกดูดซับไว้ด้วยสารดูดความชื้น ภายในหลอดที่ 3 จะมีสารดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทราบน้ำหนัก เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์แอสเบทอส แก๊สที่ถูกดูดซับน้ำแล้วในหลอดที่ 2 จะผ่านเข้าสู่หลอดที่ 3 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดูดซับไว้ด้วยสารดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแล้วจะนำสารดูดความชื้นและสารดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไปชั่งหาน้ำหนัก

ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งก็คือน้ำหนักของน้ำ และ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้อ่านมาคำนวณปริมาณของคาร์บอนและไฮโดรเจนที่มีในตัวอย่างต่อไป

## สรุป

งานทางด้านปริมาณวิเคราะห์เป็นการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจวัดปริมาณสารที่สนใจที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ดังนั้นต้องมีความรู้เกี่ยวกับวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ เพื่อที่จะสามารถใช้งานได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะส่งผลให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ โดยวัสดุอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการแบ่งออกเป็น วัสดุอุปกรณ์ทั่วไป เช่น เครื่องชั่ง โถดูดความชื้น กระดาษกรอง เทอร์โมมิเตอร์ เป็นต้น และ เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นสองชนิดได้แก่ เครื่องแก้วทั่วไป เช่น บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ หลอดทดลอง กระบอกนาฬิกา และเครื่องแก้วที่ใช้วัดปริมาตร เช่น บิวเรตต์ ปิเปตต์ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องศึกษารายละเอียดต่างๆ วิธีการใช้งาน การทำความสะอาด และการดูแลรักษาของวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ เพื่อที่จะให้การใช้งานมีประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ สารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการก็มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยมีการแบ่งชั้นคุณภาพของสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการออกเป็นหลายระดับโดยอาศัยความบริสุทธิ์ของสารเคมีเป็นเกณฑ์ในการจำแนก การเลือกใช้สารเคมีชั้นคุณภาพใดนั้นจะต้องคำนึงถึงความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นกับผลการทดลอง เนื่องจากความบริสุทธิ์ของสารเคมีที่นำมาใช้จะส่งผลโดยตรงต่อผลการวิเคราะห์ โดยเฉพาะการวิเคราะห์สารที่มีความเข้มข้นน้อยๆ

การเก็บและเตรียมตัวอย่างเป็นขั้นตอนการดำเนินการก่อนการทำการวิเคราะห์ ซึ่งมีผลต่อการวิเคราะห์อย่างมาก เนื่องจากตัวอย่างมีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเก็บและการเตรียมตัวอย่างที่แตกต่างกันออกไป สำหรับการเก็บตัวอย่างจะต้องพิจารณาถึงสถานะของตัวอย่างนั้นๆ ว่าตัวอย่างเป็น ของแข็ง ของเหลว หรือ แก๊ส ซึ่งจะมีวิธีการเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกัน สำหรับการเตรียมตัวอย่างนั้น ในงานทางด้านปริมาณวิเคราะห์ส่วนใหญ่จะเตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายโดยจะต้องเลือกวิธีการละลายให้เหมาะสมกับตัวอย่าง ซึ่งมักจะทำการละลายตัวอย่างด้วยสารละลายกรดชนิดต่างๆ หรืออาจใช้เป็นสารละลายกรดผสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติของตัวอย่าง ในกรณีการเตรียมตัวอย่างที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ต้องย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบสามารถดำเนินการได้ใน 2 วิธีการ ได้แก่ วิธีย่อยแบบเปียกและวิธีการทำให้เป็นเถ้าแบบแห้ง ซึ่งไม่ว่าจะเตรียมตัวอย่างประเภทใด ด้วยวิธีการใดนั้นจะต้องปฏิบัติตามด้วยความละเอียดรอบคอบ เนื่องจากทั้งการเก็บและการเตรียมตัวอย่างเป็นปัจจัยแรกๆ ที่จะส่งผลต่อความถูกต้องเที่ยงตรงในงานทางด้านปริมาณวิเคราะห์

## คำถามท้ายบท

1. การชั่งน้ำหนักโดยผลต่างและการชั่งน้ำหนักโดยผลต่างมีหลักการในการชั่งอย่างไร
2. เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่ใช้ภายในห้องปฏิบัติการแบ่งออกเป็นกี่ประเภท อะไรบ้าง
3. รายละเอียดข้อมูลต่างๆ ที่แสดงบนเครื่องแก้ววัดปริมาตรมีอะไรบ้าง
4. ปิเปตต์สามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้กี่ประเภท อะไรบ้าง
5. มอร์ปิเปตต์และเซโร โลจิคัลปิเปตต์แตกต่างกันอย่างไร
6. สารทำความสะอาดเครื่องแก้ว สารละลายใดโครเมต-กรดซัลฟิวริก สามารถเตรียมได้อย่างไร
7. กระจกกรองชนิดไม่มีแก้วมีสมบัติอย่างไร ใช้ในการทดลองประเภทใด
8. ชั้นคุณภาพของกระจกกรองแบ่งออกได้เป็นอะไรบ้าง
9. ระดับชั้นคุณภาพของสารเคมีตามมาตรฐานความบริสุทธิ์แบ่งเป็นกี่ประเภท อะไรบ้าง
10. การย่อยสลายสารประกอบอนินทรีย์ด้วยวิธีย่อยแบบเปียกและวิธีทำให้เป็นเถ้าแบบแห้ง มีวิธีการแตกต่างกันอย่างไร

## เอกสารอ้างอิง

- Algen Scale Corp. **Analytical Balances.** (Online). Retrieved February 11, 2015 from  
<http://www.algen.com/Analytical.htm>
- Apex Chemicals Co., Ltd.. **Lab Glassware.** (Online). Retrieved March 9, 2015 from  
[http://demo.khroton.com/apex/other\\_product/glassware/?cat=19](http://demo.khroton.com/apex/other_product/glassware/?cat=19)
- Bakeev K. A. (2010). **Process Analytical Technology** 2<sup>nd</sup> edition. United Kingdom: Wiley & Sons, Ltd.
- BaltaLab company. **Weighing bottle.** (Online). Retrieved February 11, 2015 from  
<http://www.baltalab.lv/en/Weighing-bottle>
- Chiral publishing company. **Combustion Analysis.** (Online). Retrieved February 13, 2017 from  
[http://preparatorychemistry.com/Bishop\\_Combustion\\_Analysis.htm](http://preparatorychemistry.com/Bishop_Combustion_Analysis.htm)
- Cole-Parmer Instrument Company. **Flasks.** (Online). Retrieved February 11, 2015 from  
<http://www.coleparmer.com/Category/Flasks/3974?SortBy=6&Page=3>
- \_\_\_\_\_. **Bunsen Burners.** (Online). Retrieved February 28, 2015 from  
[http://www.coleparmer.com/Category/Bunsen\\_Burners/2128](http://www.coleparmer.com/Category/Bunsen_Burners/2128)
- \_\_\_\_\_. **Burettes (Burets).** (Online). Retrieved February 11, 2015 from  
[http://www.coleparmer.com/Category/Burettes\\_Burets/888?SortBy=6&Page=3](http://www.coleparmer.com/Category/Burettes_Burets/888?SortBy=6&Page=3)
- \_\_\_\_\_. **Pasteur, Serological, and Mohr Pipettes.** (Online). Retrieved February 11, 2015  
 from [http://www.coleparmer.com/Category/Pasteur\\_Serological\\_and\\_Mohr\\_Pipettes/43273?SortBy=6&Page=2](http://www.coleparmer.com/Category/Pasteur_Serological_and_Mohr_Pipettes/43273?SortBy=6&Page=2)
- \_\_\_\_\_. **Volumetric Pipettes.** (Online). Retrieved February 11, 2015 from  
[http://www.coleparmer.com/Category/Volumetric\\_Pipettes/63354](http://www.coleparmer.com/Category/Volumetric_Pipettes/63354)
- Coventry Scale Company. **Mechanical Scales & Balances.** (Online). Retrieved February 11, 2015 from <http://www.coventryscale.co.uk/contact-us>
- Dartmouth College. **Coordination Chemistry 3 Part 1.** (Online). Retrieved February 22, 2015  
 from <http://www.dartmouth.edu/~chemlab/chem6/cobalt3a/overview/procedure.html>

David Harvey. **Gravity Filtration.** (Online). Retrieved March 10, 2015 from

<http://community.asdlib.org/imageandvideoexchangeforum/2013/07/24/gravity-filtration/>

Duran Group. **Desiccator.** (Online). Retrieved February 26, 2015 from

<http://www.duran-group.com/en/products-solutions/laboratory-glassware/products/desiccators.html>

General Electric Company. **Typical Properties of Filter Papers and Glass Fiber Filters.**

(Online). Retrieved March 10, 2015 from <http://www.gelifesciences.com/webapp/wcs/stores/servlet/catalog/en/GELifeSciences-th/applications/typical-properties-of-filter-papers-and-glass-fiber-filters/>

Impak Corporation. **Desiccant Chart Comparisons.** (Online). Retrieved February 28, 2015 from

[https://www.sorbentsystems.com/desiccants\\_charts.html#table1](https://www.sorbentsystems.com/desiccants_charts.html#table1)

John Nauman. **Introduction to General Chemistry I Laboratory.** (Online). Retrieved February

12, 2015 from <http://jan.ucc.nau.edu/~jkn/Chem%20151%20Manual%20Intro1&2.htm>

Nasco. **Filtering Kit.** (Online). Retrieved March 9, 2015 from

<http://www.enasco.com/product/SB42284M>

SciLabware. **Crucibles, Gooch.** (Online). Retrieved March 9, 2015 from

<http://www.scilabware.com/Containers/Crucibles/Crucibles-Gooch/p-37-41-168/>

Sigma-Aldrich Co. LLC. **Whatman<sup>®</sup> weighing boats and paper.** (Online). Retrieved February

12, 2015 from <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/z134112?lang=en&region=TH>

The Centre for Plant Integrative Biology. **The problem of the meniscus.** (Online). Retrieved

February 12, 2015 from <http://www.cpib.ac.uk/lab-fab/the-problem-of-the-meniscus>

The Chinese University of Hong Kong. **Resource Book for Sixth-Form Practical Chemistry.**

(Online). Retrieved February 22, 2015 from <http://www.cuhk.edu.hk/chem/en/resources/f6resourcebk-eimg05.html>

The University of Arizona. **Filtration.** (Online). Retrieved March 10, 2015 from

<http://quiz2.chem.arizona.edu/vip/filtration/>



Davis ChemWiki. **Precipitation Gravimetry**. (Online). Retrieved March 10, 2015 from

[http://chemwiki.ucdavis.edu/Analytical\\_Chemistry/Analytical\\_Chemistry\\_2.0/08%3A\\_Gravimetric\\_Methods/8B%3A\\_Precipitation\\_Gravimetry](http://chemwiki.ucdavis.edu/Analytical_Chemistry/Analytical_Chemistry_2.0/08%3A_Gravimetric_Methods/8B%3A_Precipitation_Gravimetry)

Publitek Inc. **Bunsen Burner stock photos and images**. (Online). Retrieved February 28, 2015

from <http://www.fotosearch.com/photos-images/bunsen-burner.html>

Veterrinary Medicine Khon kane University. **volumetric apparatuses**. (Online). Retrieved

February 20, 2015 from <http://vet.kku.ac.th/physio/labbiochem/16/volumetric%20flask-composition.html>

Zamcopter. **ACID/BASE TITRATION**. (Online). Retrieved February 22, 2015 from

[http://zamcopter.web.fc2.com/experiment/contents/practicals/16\\_titration/acid\\_base\\_titration.htm](http://zamcopter.web.fc2.com/experiment/contents/practicals/16_titration/acid_base_titration.htm)