



คู่มือ

ปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์กายภาพ รหัสวิชา ST2091103



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ จันทรสุวรรณ
สาขาวิชาเทคโนโลยีสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คำนำ

เคมีเป็นสาขาวิชาหนึ่งทางวิทยาศาสตร์ โดยมุ่งศึกษาเกี่ยวกับสมบัติ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสสาร ดังนั้นการศึกษาทางเคมีนอกจากต้องมีความรู้ทางทฤษฎีเป็นพื้นฐานแล้ว การปฏิบัติในห้องทดลองก็นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง การทดลองทางเคมีล้วนแต่ต้องอาศัยเทคนิคและความละเอียดพอสมควรในการทำ การทดลอง เพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ในการทดลองนั้นๆ ตลอดจนเป็นการฝึกทักษะการใช้อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในห้องทดลองได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุด

รายวิชาปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์กายภาพ รหัสวิชา ST2091103 มีจุดประสงค์เพื่อเรียนรู้ เข้าใจ และมีทักษะในการทดลอง ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ การใช้เครื่องแก้วและอุปกรณ์พื้นฐาน การเตรียมความเข้มข้นของสารละลาย การวัดความเป็นกรดเบส การไทเทรต การวัดความหนืด การวัดรังสีและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การใช้อุปกรณ์วัดปริมาตร

คู่มือปฏิบัติการเคมีปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์กายภาพ เล่มนี้ได้รวบรวมการทดลองรวม 8 บทปฏิบัติการซึ่งแต่ละบทปฏิบัติการได้ถูกเรียบเรียงและเพิ่มเติมบางส่วนขึ้นจากเอกสารอ้างอิงหลายแห่งและวิธีมาตรฐานการวิเคราะห์นั้นๆ ด้วยเพื่อให้นักศึกษาเข้าใจได้ง่ายและลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ ถ้านักศึกษาได้ทำการทดลองอย่างเข้าใจ ผู้เรียบเรียงคาดว่านักศึกษาจะมีทักษะต่างๆ ที่จะใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษาและการวิจัยในระดับสูงต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ จันทรสวรรณ
มิถุนายน 2567

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
บทปฏิบัติการที่ 1 ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ	
การทดลองที่ 1.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการเข้าทำการทดลอง	1
การทดลองที่ 1.2 สารเคมี	3
บทปฏิบัติการที่ 2 เครื่องแก้วและเทคนิคการทดลองทางเคมี	
การทดลองที่ 2.1 คุณลักษณะและมาตรฐานเครื่องแก้ว	9
การทดลองที่ 2.2 เทคนิคพื้นฐานเกี่ยวกับการทดลอง	13
บทปฏิบัติการที่ 3 หน่วยพื้นฐานและการเตรียมความเข้มข้นสารละลาย	
การทดลองที่ 3.1 หน่วยพื้นฐานสำหรับการทดลอง	23
การทดลองที่ 3.2 ความเข้มข้นสารละลาย	29
บทปฏิบัติการที่ 4 การไทเทรต	
การทดลองที่ 4.1 การหาความเข้มข้นแน่นอนของสารละลาย NaOH	33
การทดลองที่ 4.2 การหาความเข้มข้นแน่นอนของสารละลาย HCl	37
บทปฏิบัติการที่ 5 กรด-เบส อินดิเคเตอร์ และการใช้เครื่องวัดกรด-เบส	
การทดลองที่ 5.1 การหาค่า pH ของสารละลายโดยใช้อินดิเคเตอร์	39
การทดลองที่ 5.2 การใช้เครื่องวัดกรด-เบส	42
บทปฏิบัติการที่ 6 การหาความชื้นและการวัดความหนืด	
การทดลองที่ 6.1 การหาค่าความชื้น	44
การทดลองที่ 6.2 การหาความหนืด	46
บทปฏิบัติการที่ 7 การวัดค่าการดูดกลืนแสง	
การทดลองที่ 7.1 การวัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	48
การทดลองที่ 7.2 การสร้างกราฟมาตรฐานความเข้มข้น	50
บทปฏิบัติการที่ 8 การสกัดและการแยก	
การทดลองที่ 8.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย	53
การทดลองที่ 8.2 การสกัดด้วยไอน้ำ	55
แบบรายงานการทดลอง	60
ตารางธาตุ	71

บทปฏิบัติการที่ 1

ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ

(Laboratory Safety)

การทดลองที่ 1.1 ช้อแนะนำสำหรับการเข้าทำการทดลอง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะด้านความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการ

หลักการ

1) ก่อนทำการทดลอง

1. นักศึกษาต้องอ่านคู่มือปฏิบัติการมาก่อนทุกครั้งเพื่อทำความเข้าใจถึงวัตถุประสงค์ หลักการ วิธีการ ทดลอง วางแผนงานทดลอง วิธีเตรียมสารละลาย ตลอดจนเทคนิคและข้อควรระวังต่างๆ การเตรียมความพร้อมจะช่วยป้องกันความผิดพลาดและช่วยให้การทดลองเสร็จทันเวลา
2. สิ่งของจำเป็นที่ต้องเตรียมสำหรับเข้าทำการทดลอง
 - คู่มือปฏิบัติการ สมุดบันทึก เครื่องคิดเลข
 - เสื้อคลุมปฏิบัติการและแว่นตา
 - กระดาษทิชชูและผ้าเช็ดโต๊ะ
3. นักศึกษาต้องมีสมุดบันทึกวิธีการทดลองอย่างย่อ เป็น Flow chart ออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง และผลการทดลองที่สังเกตได้
4. เมื่อเข้าห้องปฏิบัติการแล้ว
 - ให้นักศึกษาเขียนชื่อเข้าทำปฏิบัติการ
 - ตรวจสอบอุปกรณ์ประจำกลุ่ม (ตู้) ว่าอยู่ในสภาพปกติและครบถ้วนตามใบแจ้งรายการอุปกรณ์หรือไม่ (กรณีไม่ครบหรือสภาพไม่สมบูรณ์ให้แจ้งต่ออาจารย์ควบคุมทราบทันที)
 - แต่ละกลุ่มต้องส่งสรุปวิธีการทดลองก่อนทำการทดลองทุกครั้ง (เขียนในสมุดบันทึกผลหรือกระดาษ A4)
 - นักศึกษาที่ขาด หรือสายเกินเวลา 30 นาที ไม่อนุญาตให้ส่งรายงานการทดลองนั้นๆ เว้นแต่มีเหตุสำคัญหรือจำเป็น แต่ต้องมีการรับรองจากแพทย์ หรือผู้ปกครองหรืออาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งจะพิจารณาให้ทำการทดลองภายหลัง
5. ก่อนเริ่มทำการทดลองอาจารย์ผู้ควบคุมจะทำการอธิบายรายละเอียดของการทดลอง นักศึกษาต้องมีความสนใจและจดบันทึกเมื่อมีขั้นตอนที่ต่างจากระบุไว้ในคู่มือปฏิบัติการ หรือสิ่งที่ควรระมัดระวังเป็นพิเศษเพื่อป้องกันความผิดพลาดและอันตรายที่อาจเกิดขึ้น

2) ขณะทำการทดลอง

1. นักศึกษาปฏิบัติตามขั้นตอนและคำแนะนำของผู้ควบคุมอย่างเคร่งครัด
2. นักศึกษาต้องมีความระมัดระวัง ไม่ประมาทเล่นเล่อหรือหยอกล้อกัน ไม่ทำการทดลองใดๆ ที่นอกเหนือไปจากการทดลองที่มีไว้ในคู่มือหรือที่ผู้ควบคุมแนะนำเพิ่มเติม



3. กรณีผลการทดลองผิดปกติจากระบุในคู่มือให้นักศึกษาแจ้งอาจารย์ก่อนทำขั้นตอนต่อไป
4. ควรเขียนฉลากของเครื่องแก้วหรือสารเคมีเพื่อป้องกันความสับสน หรือใช้สารติดในการทำการทดลอง

3) หลังการทดลอง

1. เมื่อทำการทดลองเสร็จเรียบร้อย นักศึกษาต้องทำความสะอาดเครื่องแก้ว อุปกรณ์ และเก็บให้เรียบร้อย พร้อมตรวจเช็คจำนวนถูกต้องตามใบแจ้ง (กรณีไม่ครบเนื่องจากสูญหาย แลกหัก แจ้งอาจารย์ทันที)
2. ให้ส่งรายงานการทดลอง นักศึกษาต้องส่งรายงานการทดลอง 2 ประเภทคือ
 - ประเภทรายงานสั้น (short report) คือผลการทดลองและสิ่งที่ได้จากการทดลองนั้นๆ เช่น การคำนวณ กราฟ ผลลัพท์ เป็นต้น ให้ส่งหลังการทดลองทุกครั้ง
 - ประเภทรายงานสมบูรณ์ (full report) รายงานที่จัดทำเป็นรูปเล่มตามกำหนด ซึ่งอาจกำหนดเป็นรายบุคคลหรือรายกลุ่ม ให้ส่งในวันทำการทดลองสัปดาห์ถัดไป
 - รายงานฉบับที่ส่งหลังกำหนดจะไม่พิจารณาตรวจหรืออาจจะได้คะแนนเพียงตามส่วนที่ผู้สอนเห็นว่าเหมาะสม
3. การเขียนรายงานการทดลองควรกระชับและมีรายละเอียดครอบคลุมการทดลองนั้น แสดงผลการทดลอง อภิปรายผลการทดลองว่ามีความสอดคล้องกับทฤษฎีหรือไม่ อย่างไร สามารถระบุสาเหตุความคลาดเคลื่อนได้

กิจกรรมที่ 1.1 ผู้เรียนเข้าศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

1. ข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=1988
2. ระบบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=254

การทดลองที่ 1.2 สารเคมี

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะด้านความปลอดภัยในการใช้ การกำจัดสารเคมี

หลักการ

สารเคมี (reagent) หมายถึงสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่ทราบน้ำหนักสูตรโมเลกุลที่แน่นอนและมีความบริสุทธิ์เพียงพอที่ใช้กับงานวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์เพื่อทำการทดสอบการวัดและการตรวจสอบค่าต่างๆ สารเคมีที่ผลิตขายมีความบริสุทธิ์ต่างๆ กัน และแบ่งเป็นหลายเกรดตามความบริสุทธิ์ของสาร

1) เกรด ACS reagent เป็นเกรดที่มีความบริสุทธิ์สูงสุด และความบริสุทธิ์ได้มาตรฐานตามที่สมาคมเคมีอเมริกัน (American Chemical Society หรือ ACS) กำหนดไว้และมีใบประกันรับรองให้ เหมาะสำหรับการใช้ในงานวิเคราะห์

2) เกรดวิเคราะห์ (analytical reagent (AR)/reagent grade) เป็นเกรดที่มีความบริสุทธิ์สูงกว่า 99% มีมลทินเจือปนในระดับที่น้อยมาก โดยทั่วไปจะมีข้อมูลแสดงปริมาณสิ่งเจือปนไว้ด้วยและเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์และสิ่งเจือปนจะต้องอยู่ในมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ เหมาะสำหรับการใช้ในงานด้านการวิเคราะห์และห้องปฏิบัติการทั่วไป ถ้าสารเคมีได้มาตรฐานตามที่สมาคมเคมีอเมริกัน (ACS) กำหนดไว้จะเขียนบ่งไว้ AR (ACS) reagent

3) เกรด USP เป็นเกรดที่มีความบริสุทธิ์ได้มาตรฐานตามที่ U.S. Pharmacopoeia กำหนดไว้ เหมาะสำหรับการใช้ในงานด้านอาหาร ยา ทางการแพทย์ และห้องปฏิบัติการทั่วไป สารเกรดโดยมีสารเจือปนที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ

4) เกรด purified/practical grade เป็นเกรดที่มีคุณภาพดีแต่ไม่ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้ ไม่เหมาะใช้ในงานด้านอาหาร ยา ทางการแพทย์

5) เกรด C.P. (chemical pure) รีเอเจนต์เกรดนี้บริสุทธิ์เกือบเทียบเท่าเกรดวิเคราะห์ (reagent grade) มาตรฐานของความบริสุทธิ์ของสารเคมีเกรดนี้ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับโรงงานผู้ผลิต

6) เกรดปฏิบัติการ (lab หรือ practical) เป็นสารเคมีที่มีเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์สูงกว่า 95% มีปริมาณสิ่งเจือปนมากกว่าเกรดงานวิเคราะห์ แต่บางครั้งสามารถใช้แทนสารเคมีเกรดวิเคราะห์ได้ หากมีเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์สูงพอและสิ่งเจือปนไม่มีผลต่อการทดลอง เหมาะสำหรับการใช้ในงานที่ไม่ต้องคำนึงถึงความบริสุทธิ์ของสารเคมี

7) เกรด NF เป็นเกรดที่มีความบริสุทธิ์ได้มาตรฐานตามที่ National Formulary (NF) กำหนด เหมาะสำหรับการใช้ในงานที่ไม่ต้องคำนึงถึงความบริสุทธิ์ของสารเคมี จะมีสารเคมีอื่นเจือปน (impurities) อยู่ในปริมาณปานกลาง

8) เกรดทางการค้า (technical หรือ commercial) เป็นสารเคมีที่ใช้งานอุตสาหกรรม จัดเป็นสารเคมีเกรดต่ำสามารถใช้ได้ดีกับงานทดลองบางอย่าง โดยปกติสารเคมีชนิดนี้ไม่บอกรายละเอียดของสิ่งเจือปน (impurity) หรือเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของสารเคมี ไม่เหมาะใช้ในห้องปฏิบัติการ

ฉลากสารเคมี

ผู้ใช้สารเคมีควรอ่านฉลากสารที่จะใช้ให้ถี่เสียก่อนเพื่อป้องกันความผิดพลาดและอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยทั่วไปแล้วฉลากสารเคมีจะระบุถึงสิ่งต่อไปนี้

- ชื่อสารเคมี (chemical name)

- สูตรโมเลกุลหรือสูตรโครงสร้าง (formula weight, formula structure)
- มวลโมเลกุล (molecular weight- M_r , M_T , M.W., F.W.)
- เกรด (grade- AR, lab, technical)
- บริษัทผู้ผลิต (company suppliers)
- ความบริสุทธิ์ (% assay)
- สิ่งเจือปน (impurities)
- เลขประจำสารเคมี (catalog number)
- รหัสแสดงอันตราย (risk phrases) และรหัสความปลอดภัย (safety phrases)
- ปริมาณสุทธิ
- สัญลักษณ์แสดงอันตรายและคำเตือน (hazard pictogram)
- รายการอื่นๆ

ฉลากสารเคมีนับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากสารเคมีที่ใช้แล้วหรือเก็บไว้นานๆ ฉลากที่ติดข้างขวด อาจเกิดการหลุดออก หรือเปียกยุ่ย และเลือนไม่ชัดเจน จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบเป็นระยะๆ เพราะหากไม่ทราบว่าเป็นสารใดแล้ว ก็จะต้องทำการพิสูจน์หรืออาจจะต้องทิ้งสารนั้นเลย ดังนั้นควรระลึกละเอียดก่อนจะใช้สารเคมีใด ผู้ใช้ต้องมีความรู้และถึงข้อความตลอดจนคำเตือนหรือสัญลักษณ์ที่ระบุบนฉลากข้างขวดเสียก่อน ผู้ใช้ควรมีข้อปฏิบัติดังนี้

1. เมื่อมีการถ่ายเทสารออกจากขวดเดิมจะต้องเขียนชื่อสารเคมี บริษัทผู้ผลิต เกรด อย่างชัดเจนติดบนสารขวดใหม่เพื่อป้องกันการใช้สารเคมีผิดพลาด
2. ควรมีฐานข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมีที่จะใช้นั้น เพื่อเป็นประโยชน์ในการจัดเก็บหรือปฐมพยาบาลเบื้องต้นเมื่ออุบัติเหตุ
3. สารเคมีที่นำกลับมาใช้อีกจะต้องเขียนฉลากให้ชัดเจน
4. ควรศึกษาและเข้าใจฉลากสารเคมี เพื่อประโยชน์ในการการใช้งานและการป้องกันอันตราย



ภาพที่ 1 ตัวอย่างฉลากสารเคมีและรายการต่างๆที่ระบุที่ฉลาก

- | | | | |
|-------------------|-------------|----------------------|---------------------------------|
| A = ชื่อสารเคมี | D = การเก็บ | G = ปริมาตรสุทธิ | J = คำแนะนำป้องกัน |
| B = บริษัทผู้ผลิต | E = คำเตือน | H = Lot. NO. | L = สูตรโมเลกุล, น้ำหนักโมเลกุล |
| C = ความบริสุทธิ์ | F = เกรด | I = สัญลักษณ์อันตราย | O = MSDS |



Trifluoroacetic Acid (TFA)
Perfluoroacetic Acid / Trifluoroacetic Acid /
TFA / 2,2,2-Trifluoroacetic acid

First-aid measures

General information: Immediately remove any clothing soiled by the product. Symptoms of poisoning may even occur after several hours; therefore medical observation for at least 48 hours after the accident.

After inhalation: Supply fresh air. If required, provide artificial respiration. Keep patient warm. Consult doctor if symptoms persist. In case of unconsciousness place patient stably in side position for transportation.

After skin contact: Immediately wash with water and soap and rinse thoroughly.

After eye contact: Rinse opened eye for several minutes under running water. Then consult a doctor.

After swallowing: Drink copious amounts of water and provide fresh air. Immediately call a doctor.



HEALTH	4
FIRE	1
REACTIVITY	0

Danger

Hazard statements:
Causes severe skin burns and eye damage. Harmful if inhaled. Harmful to aquatic life with long lasting effects.

Precautionary statements:
Do not breathe dust/fume/gas/mist/vapours/spray. IF ON SKIN (or hair): Remove/Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water/shower. IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing. Store locked up. Dispose of contents/container in accordance with local/regional/national/international regulations.

Product contains: trifluoroacetic acid

NuGeneration Technologies, LLC (dba NuGenTec)

1155 Park Avenue, Emeryville, CA 94608
 salesteam@nugentec.com www.nugentec.com
 888-996-8436 or 707-820-4080 for product information

ภาพที่ 2 ฉลากสารเคมี Trifluoroacetic acid

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยในการใช้สารเคมีและวัตถุดิบอันตราย คือเอกสารข้อมูลความปลอดภัย (Material Safety Data Sheet, MSDS) ถูกออกแบบมาเพื่อผู้ที่เกี่ยวข้อง คนงาน บุคคลากรที่ดูแลด้านความปลอดภัย ซึ่งประกอบด้วยวิธีการ และขั้นตอนการดำเนินงานที่เหมาะสมในการจัดการ หรือทำงานกับสารเคมี MSDS ประกอบด้วยข้อมูลที่เป็นประโยชน์ เช่น ข้อมูลทางกายภาพ (จุดหลอมเหลว จุดเดือด จุดวาบไฟ ฯลฯ) ความเป็นพิษ ผลต่อสุขภาพ การปฐมพยาบาลเบื้องต้น การเกิดปฏิกิริยา การเก็บ การทิ้ง อุปกรณ์ป้องกัน การปฏิบัติเมื่อหกหรือรั่วไหล ซึ่งจะแตกต่างกันไปสำหรับสารแต่ละชนิด ข้อมูลและรูปแบบของ MSDS ในแต่ละประเทศอาจมีข้อกำหนดหรือกฎเกณฑ์ที่แตกต่างกัน แต่ส่วนมากจะประกอบด้วยข้อมูลหลัก 16 ข้อ ได้แก่

1. ข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีและบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย
2. องค์ประกอบ/ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม
3. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย
4. มาตรการปฐมพยาบาล
5. มาตรการการผจญเพลิง
6. มาตรการเมื่อมีอุบัติเหตุสารหกหรือรั่วไหล
7. การจัดการและการเก็บรักษา
8. การควบคุมการสัมผัสสาร/ การป้องกันส่วนบุคคล
9. สมบัติทางเคมีและกายภาพ
10. ความเสถียรและความไวต่อปฏิกิริยา
11. ข้อมูลทางพิษวิทยา
12. ข้อมูลเชิงนิเวศน์

13. มาตรการการกำจัด
14. ข้อมูลการขนส่ง
15. ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนด
16. ข้อมูลอื่น

ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้หรือสัมผัสกับสารเคมีโดยตรงจำเป็นต้องศึกษาและทำความเข้าใจข้อมูลอย่างละเอียด เอกสาร MSDS และเอกสารแนะนำความปลอดภัย (SG) สามารถสืบค้นได้จากหลายแหล่ง เช่น ที่ห้องปฏิบัติการหรือที่ทำงานควรมี MSDS ซึ่งได้มากับสารเคมีอันตรายที่สั่งซื้อมา (อย่าทิ้ง MSDS ที่ติดมากับขวดสารเคมี) บริษัทที่สั่งซื้อสารเคมีมา ถ้าทางบริษัทผู้จำหน่ายไม่มี ให้ติดต่อกับบริษัทผู้ผลิตโดยตรง หรือสืบค้นทางเว็บไซต์ที่มี MSDS ไว้บริการ เช่น <http://msds.pcd.go.th>, <http://www.msds.com>, <http://www.chemtrack.org> เป็นต้น

สัญลักษณ์แสดงอันตราย

สัญลักษณ์แสดงอันตราย (Hazard pictogram) ที่ใช้เป็นสากลมีหลายระบบเช่น ระบบแสดงอันตรายของอีอีซี (European Economic Council, E.E.C) ของยุโรป และอีกระบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โรงพยาบาลและบริเวณที่เก็บสารเคมีได้แก่ ระบบ NFPA (National Fire Protection Association) ของสหรัฐอเมริกา

1. ระบบ อี อี ซี เป็นสัญลักษณ์แสดงอันตรายสำหรับติดบนภาชนะที่ใช้เป็นสากลตามข้อกำหนดของ EEC ที่ 67/548/EEC โดยใช้สัญลักษณ์ภาพในรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสพื้นสีส้ม ภาพสีดำ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 สัญลักษณ์แสดงอันตรายตามระบบ EEC

2. ฉลากเตือนอันตรายขององค์การสหประชาชาติ (UN) หรือองค์การทางทะเลระหว่างประเทศ (International Maritime Organization, IMO) สำหรับการขนส่ง (การติดภายนอกหีบห่อบรรจุ) โดยใช้สัญลักษณ์ภาพ สี และตัวเลข ตามประเภทของสารเคมี 9 ประเภท ลักษณะของฉลากเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสทำมุม 45 องศา มีรายละเอียดดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เครื่องหมายแสดงอันตรายระบบ UN

3. ระบบมาตรฐาน NFPA (National Fire Protection Association) เป็นระบบของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งใช้สัญลักษณ์สีและตัวเลข ภายในรูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด แบ่งเป็นส่วน มีสี่สี เพื่อบ่งบอกความรุนแรงเกี่ยวกับสุขภาพ ความไวไฟ ความไวในปฏิกิริยาและข้อมูลพิเศษ รายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 5 ฉลากสัญลักษณ์ระบบ NFPA

เครื่องหมายเตือนอันตรายระบบนี้ เครื่องหมายเป็นรูปเหลี่ยมแบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆ กัน วางตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม โดยการกำหนดเป็นระดับตัวเลข 0-4 อยู่บน สีเหลี่ยมขนมเปียกปูน 4 ชั้น เรียงกันหรือ Diamond Shape สำหรับข้อมูลพื้นฐานในการดับเพลิง การอพยพ ออกจากพื้นที่อันตรายแยกเป็น 4 สี คือ

- พื้นที่แดง แสดงอันตรายจากไฟ (Flammability)
- พื้นที่น้ำเงิน แสดงอันตรายต่อร่างกาย (Health)
- พื้นที่เหลือง แสดงความไวต่อปฏิกิริยาของสาร (Reactivity)
- พื้นที่ขาว แสดงเครื่องหมายเตือนอันตราย (ถ้ามี)

ระดับอันตรายแต่ละช่อง (ยกเว้นช่องสีขาว) แสดงด้วยตัวเลขสีดำ จาก 0 จนถึง 4 หมายเลข 0 แสดงว่าไม่มีอันตราย หมายเลข 4 แสดงว่ามีอันตรายมากที่สุด



ภาพที่ 6 ตัวอย่างฉลากสาร โซเดียมไฮโปคลอไรต์

กิจกรรมที่ 1.2 ผู้เรียนเข้าศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

1. สารเคมีในห้องปฏิบัติการ..รู้ก่อนใช้ https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=2941
2. สัญลักษณ์แสดงอันตรายสารเคมี (Hazard Pictogram) https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=5915
3. ฉลากสารเคมีระบบ GHS https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=3614
4. การจัดการสารเคมีและของเสีย https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=5539

บทปฏิบัติการที่ 2

เครื่องแก้วและเทคนิคการทดลองทางเคมี

(Glassware and Laboratory Techniques)

การทดลองที่ 2.1 คุณลักษณะและมาตรฐานเครื่องแก้ว

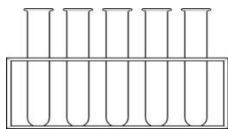
วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะการใช้เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ

หลักการ

การทดลองทางเคมีในห้องปฏิบัติการจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการทดลองในการทดลองนั้นๆ เป็นอย่างดีแล้ว ผู้ทดลองเองจะต้องรู้จักเทคนิคการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือและวิธีการใช้เครื่องแก้วอย่างถูกวิธีเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง ดังนั้นก่อนที่นักศึกษาจะเริ่มทำการทดลอง จะต้องรู้จักวิธีการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือพื้นฐานที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการเคมี

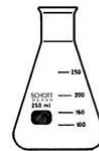
1. เครื่องแก้วและอุปกรณ์พื้นฐานในการทดลอง



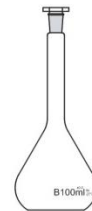
หลอดทดลอง (Test tube)
ใช้บรรจุสารละลายปริมาณน้อยๆ



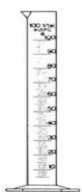
บีกเกอร์ (Beaker)
ใช้บรรจุสารละลาย หรือใช้ตวงของเหลวหรือสารละลายที่ไม่ต้องการความถูกต้อง



ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
ใช้บรรจุสารละลายในการทำไทเทรต



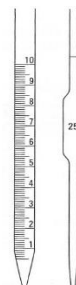
ขวดกำหนดปริมาตร (Volumetric flask)
ใช้เป็นภาชนะเตรียมสารละลายที่ต้องการปริมาตรที่แน่นอน



กระบอกตวง (Cylinder)
ใช้ตวงของเหลวหรือสารละลายที่ต้องการความถูกต้อง



กรวยกรอง (Funnel)
ใช้สำหรับกรองตะกอนโดยมีกระดาษกรอง



ปิเปต (pipet)
ใช้ถ่ายเทสารละลายปริมาตรที่ต้องการความถูกต้องสูง



บิวเรต (buret)
ใช้การทำไทเทรต หรือใช้ถ่ายเทสารละลายปริมาตรที่ต้องการความถูกต้องสูง





ถ้วยระเหย (evaporating disk)
ใช้ระเหยสารด้วยความร้อน



ที่จับบิวเรต (buret clamp)
ใช้จับบิวเรตในการทำกรไทเทรต ใช้ร่วมกับขาตั้ง (stand)



หลอดหยด (dropper)
ใช้หยดสารประมาณน้อยๆ



กระจกนาฬิกา
ใช้ปิดปากบีกเกอร์ ใช้รองรับวัสดุที่ร้อน และอื่นๆ

2. เครื่องแก้ววัดปริมาตร

เครื่องแก้ววัดปริมาตร (Volumetric glassware) ในห้องปฏิบัติการ อาจแตกต่างจากเครื่องแก้วทั่วไปที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ในด้านคุณลักษณะและมาตรฐาน เครื่องแก้ววัดปริมาตรจำเป็นจะต้องมีการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้มีคุณลักษณะเป็นตามหลักมาตรฐานสากล ซึ่งมาตรฐานสากลและวิธีการสอบเทียบที่กำหนดโดยองค์กร ที่มีความน่าเชื่อถือและได้รับการยอมรับในระดับนานาชาติ มีดังนี้

- American Society for Testing and Materials (ASTM) ของประเทศสหรัฐอเมริกา
- National Institute of Standards and Technology (NIST) ของประเทศสหรัฐอเมริกา
- International Organization for Standardization (ISO) ของประเทศอังกฤษ
- Deutsches Institut for Normung (DIN) ของประเทศเยอรมัน

องค์กรที่สำคัญในเรื่องของการควบคุมคุณภาพเครื่องแก้ววัดปริมาตร (volumetric glassware) คือ ASTM และ DIN ซึ่งทั้ง 2 เป็นองค์กรในด้านของการพัฒนามาตรฐานที่ได้รับการยอมรับทั่วโลก แต่ส่วนใหญ่แล้วคนจะเลือกใช้เครื่องแก้วที่ได้รับมาตรฐานจาก ASTM มากกว่ามาตรฐานจาก DIN เพราะเครื่องแก้วที่ได้รับมาตรฐานคุณภาพจาก ASTM จะมีความแม่นยำมากกว่า เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาตร (tolerance) มีค่าต่ำกว่า

โดยมาตรฐาน ASTM ได้กำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับข้อกำหนดคุณลักษณะ (specification) ของเครื่องแก้ววัดปริมาตรแต่ละชนิด ไว้ดังต่อไปนี้

- หน่วยวัดใช้เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร (cm³) หรือมิลลิลิตร (mL)
- อุณหภูมิอ้างอิง (reference temperature) ซึ่งกำหนดไว้ที่ 20°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เครื่องแก้ววัดปริมาตรจะให้ปริมาตรตามกำหนด
- คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องแก้ว ต้องมีความคงทน ทนทานต่อทั้งสารเคมีและความร้อน
- ขีดจำกัดของค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาตร
- ความเสถียรและรูปทรงที่สมบูรณ์ของเครื่องแก้ว
- คุณลักษณะของจุกฝาปิด (stopper) และจุกก๊อกหยุด (stopcock)
- ลักษณะของขีดกำหนดปริมาตร (graduated line) และตัวเลขแสดงปริมาตร (capacity volume)
- รายละเอียดที่เขียนบนเครื่องแก้ว (inscriptions)
- รหัสสี (color-coding band) หรือแถบฝ้า (frosting band)

เครื่องแก้ววัดปริมาตรเป็นอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ที่มีความสำคัญสำหรับห้องปฏิบัติการวิจัยเป็นอย่างมาก เพราะมักใช้ทั้งในการทดสอบทางเคมีและชีวภาพ รวมถึงในอุตสาหกรรมต่างๆ ชนิดของเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มักมีใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ กระจกบอกรวง (cylinder) ขวดกำหนดปริมาตร (volumetric flask) ขวดวัดความถ่วงจำเพาะ (pycnometer bottle) บิวเรต (burette) และปิเปต (pipette) ซึ่งหลักการใช้งานของเครื่องแก้วแต่ละประเภทก็จะแตกต่างกันออกไป

3. การกำหนดคุณลักษณะของเครื่องแก้ววัดปริมาตรในห้องปฏิบัติการ

เครื่องแก้ววัดปริมาตรในห้องปฏิบัติการ มีการกำหนดคุณลักษณะของเครื่องแก้วตามชั้นคุณภาพ (Class) 2 ชั้น คือ Class A และ Class B

เครื่องแก้ววัดปริมาตรในห้องปฏิบัติการ ชั้นคุณภาพกำหนดจากความแม่นยำ (accuracy) ซึ่งกำหนดด้วยค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (tolerance) เป็นออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ


1) ชั้นคุณภาพ A (class A) เป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตรในห้องปฏิบัติการที่มีความแม่นยำสูง และค่า tolerance ต่ำ กำหนดค่า tolerance เพียงค่าเดียว ครอบคลุมช่วงปริมาตรที่กำหนด เครื่องแก้วชนิดนี้จะใช้สำหรับการเตรียมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standard) หรือสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องมือ และจะต้องผ่านการสอบเทียบ โดยผลการสอบเทียบอยู่ในเกณฑ์ยอมรับ

2) ชั้นคุณภาพ B (class B) เป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตรในห้องปฏิบัติการที่มีความแม่นยำต่ำกว่า class A และมีค่า Tolerance ไม่เกิน 2 เท่าของ class A เครื่องแก้วชนิดนี้จะใช้สำหรับการเตรียมสารมาตรฐานทุติยภูมิ ซึ่งไม่จำเป็นต้องสอบเทียบ แต่ก่อนใช้งานต้องเทียบมาตรฐาน (Standardization) เพื่อหาความเข้มข้นที่ถูกต้อง โดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ

เครื่องแก้ววัดปริมาตรในห้องปฏิบัติการ จะแบ่งตามวิธีการสอบเทียบ ได้แก่ เครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิดสอบเทียบสำหรับบรรจุของเหลว (To Contain) และเครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิดสอบเทียบสำหรับถ่ายของเหลว (To Deliver)

1) เครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิดสอบเทียบสำหรับบรรจุของเหลว (To Contain) จะมีอักษรย่อ TC หรือ In หรือ C ปริมาตรที่ระบุบนเครื่องแก้วจะเป็นปริมาตรของน้ำกลั่นที่บรรจุอยู่ในเครื่องแก้วนั้นที่อุณหภูมิอ้างอิง โดยทั่วไปเป็นอุณหภูมิ 20 °C เครื่องแก้วชนิดนี้ใช้ในการบรรจุของเหลวที่ต้องการปริมาตรที่ถูกต้อง เช่น การเตรียมสารละลาย การเจือจางสารละลาย และการวัดปริมาตรของเหลวที่บรรจุในเครื่องแก้ว ห้ามนำมาใช้ในการตวงหรือการถ่ายของเหลว เพราะจะทำให้ปริมาตรที่ถ่ายออกมาไม่ครบตามที่ระบุ เนื่องจากยังมีสารบางส่วนติดอยู่ภายในภาชนะไม่ว่าจะถ่ายออกโดยวิธีใด

2) เครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิดสอบเทียบสำหรับถ่ายของเหลว (To Deliver) จะมีอักษรย่อ TD หรือ Ex หรือ D ปริมาตรที่ระบุบนเครื่องแก้วจะเป็นปริมาตรของน้ำกลั่นที่ถ่ายออกจากเครื่องแก้วนั้นที่อุณหภูมิอ้างอิง เครื่องแก้วชนิดนี้สำหรับการตวงหรือการถ่ายของเหลว โดยการถ่ายของเหลวจะต้องปฏิบัติตามวิธีที่กำหนดในวิธีมาตรฐาน ซึ่งจะได้ปริมาตรของเหลวตามที่ระบุ




การกำหนดคุณลักษณะของเครื่องแก้ว

ชั้นคุณภาพ (Class)

เครื่องแก้ววัดปริมาตรของเหลว แบ่งเป็นชั้นคุณภาพ โดยกำหนดจากความแม่นยำ (accuracy) ซึ่งกำหนดด้วยค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (tolerance)

ชั้นคุณภาพ A (class A)
เป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีความแม่นยำสูง และค่า tolerance ต่ำ กำหนดค่า tolerance เพียงค่าเดียวครอบคลุมช่วงปริมาตรที่กำหนด

ชั้นคุณภาพ B (class B)
เป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่มีความแม่นยำต่ำกว่า class A และมีค่า Tolerance ไม่เกิน 2 เท่าของ class A



วิธีการสอบเทียบ

TC (to contain)
เป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิดสอบเทียบสำหรับบรรจุของเหลว จะมีอักษรย่อ TC หรือ In หรือ C แสดงบนเครื่องแก้ว
ปริมาตรที่ระบุบนเครื่องแก้วจะเป็นปริมาตรของน้ำกลั่นที่บรรจุอยู่ในเครื่องแก้วนั้นที่อุณหภูมิอ้างอิง (20°C)

TD (to deliver)
เป็นเครื่องแก้ววัดปริมาตรชนิดสอบเทียบสำหรับถ่ายของเหลว จะมีอักษรย่อ TD หรือ Ex หรือ D แสดงบนเครื่องแก้ว
ปริมาตรที่ระบุบนเครื่องแก้วจะเป็นปริมาตรของน้ำกลั่นที่ถ่ายออกจากเครื่องแก้วนั้นที่อุณหภูมิอ้างอิง

ภาพที่ 2.1 คุณลักษณะเครื่องแก้ววัดปริมาตร

การทดลอง

1. บอกประเภทของเครื่องแก้ว วิธีการใช้งานและการบำรุงรักษา
2. บอกประเภทของเครื่องแก้ววัดปริมาตร วิธีการใช้งาน วิธีการสอบเทียบมาตรฐาน และการบำรุงรักษา

กิจกรรม 2.1

1. เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=3852
2. เครื่องแก้ววัดปริมาตรในห้องปฏิบัติการ : มาตรฐานและคุณลักษณะ https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=2854

การทดลองที่ 2.2 เทคนิคพื้นฐานเกี่ยวกับการทดลอง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะเทคนิคพื้นฐานเกี่ยวกับการทดลอง

หลักการ

1. การใช้เครื่องชั่ง

เครื่องชั่งเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่มีใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ใช้สำหรับชั่งสารเคมี หรือสิ่งที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ เพื่อให้การตรวจวิเคราะห์เป็นไปตามขั้นตอนที่กำหนด เครื่องชั่งจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบและสอบเทียบ เครื่องชั่งหากจำแนกตามระบบการทำงาน สามารถแบ่งเครื่องชั่งเป็นเครื่องชั่งระบบกล และเครื่องชั่งระบบไฟฟ้า

เครื่องชั่งไฟฟ้าระบบอิเล็กทรอนิกส์ อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของตัวนำไฟฟ้าที่เรียกว่า Strain Gauge จำนวน 4 ชิ้น ติดอยู่กับส่วนรับน้ำหนักที่ฐานเครื่องชั่งซึ่งสามารถยืดหยุ่นได้เมื่อไม่มีวัตถุบนจานชั่ง Strain Gauge ทั้ง 4 ตัวจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าเท่ากันทุกตัวทำให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าเป็น 0 เมื่อวางวัตถุบนจานชั่ง Strain Gauge ทั้ง 4 ตัวจะถูกเชื่อมต่อกันเป็นวงจรไฟฟ้า แรงกดของวัตถุบนจานชั่งจะทำให้ส่วนรับน้ำหนักที่ฐานเครื่องชั่งและ Strain Gauge ทั้ง 4 ตัว มีการยืด หดไม่เท่ากัน ทำให้มีความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นระหว่าง Strain Gauge ทั้ง 4 ตัว อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องชั่งจะทำการแปลงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เป็นตัวเลข แสดงเป็นค่าน้ำหนักวัตถุบนหน้าจอเครื่องชั่ง รวมทั้งเครื่องชั่งไฟฟ้าระบบอิเล็กทรอนิกส์ มักเป็นเครื่องชั่งที่สามารถอ่านค่าน้ำหนักความละเอียดได้จุดทศนิยม 1 ตำแหน่ง 2 ตำแหน่งหรือ 3 ตำแหน่ง ซึ่งจะแสดงค่าความละเอียด (Resolution) ได้ไม่เกิน 1 ใน 100,000 ส่วนของน้ำหนักสูงสุดของเครื่องชั่ง เช่น เครื่องชั่งไฟฟ้าที่ชั่งน้ำหนักสูงสุด 1,000 กรัม จะแสดงค่าความละเอียดได้ 0.01 กรัม



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบเครื่องชั่งไฟฟ้าระบบอิเล็กทรอนิกส์

ข้อควรระวังในการใช้งานเครื่องชั่งไฟฟ้า

1) น้ำหนักสูงสุดที่เครื่องชั่งสามารถชั่งได้ (Maximum Capacity) ต้องสามารถรองรับน้ำหนักที่ต้องการชั่งได้ โดยไม่ควรชั่งสิ่งของที่มีน้ำหนักมากกว่าค่า Maximum Capacity ของเครื่องชั่ง เพราะอาจทำให้เกิดความเสียหาย ต่อระบบการทำงานภายในของเครื่องชั่งได้ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงน้ำหนักภาชนะที่ใส่ด้วย

“ค่าน้ำหนักรวมที่ชั่งไม่ควร เกิน 95 % ของน้ำหนักสูงสุดที่เครื่องชั่งสามารถชั่งได้ เพราะจะทำให้ค่าน้ำหนักที่อ่านได้มีความถูกต้องน้อยลง เช่น เครื่องชั่งที่ระบุค่าน้ำหนักสูงสุดที่สามารถชั่งได้ 100 กรัมไม่ควรชั่งน้ำหนักเกิน 90 กรัม”

2) ค่าความละเอียดของเครื่องชั่ง (Resolution) ดูจากค่าตำแหน่งทศนิยมของเครื่องชั่ง ซึ่งควรเลือกใช้งานเครื่องชั่งที่มีค่าความละเอียดของเครื่องชั่ง ไม่น้อยกว่าค่าความละเอียดของน้ำหนักที่ต้องการชั่ง

“การชั่งที่ไม่ต้องการความแม่นยำมาก อาจไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดสูง”

3) ควบคุมภาวะแวดล้อมภายในห้องเครื่องชั่ง เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ควรควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นของห้องเครื่องชั่ง โดยการจัดหาเครื่องมีวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สำหรับอ่านค่าอุณหภูมิห้อง และค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลาต่างๆในแต่ละวัน และจดบันทึกอุณหภูมิลงในแบบบันทึก เพื่อเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้องเครื่องชั่ง

4) การวางเครื่องชั่งไว้ใกล้เคียงกับเครื่องมือที่ทำให้เกิดความร้อน ความชื้น เช่น อ่างควบคุมอุณหภูมิหรือเครื่องมือที่ใช้ระบบการเหนี่ยวนำไฟฟ้า เช่น ตู้อบ สิ่งเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานเครื่องชั่ง

5) การชั่งตัวอย่างไม่ควรใช้มือจับภาชนะใส่ตัวอย่างโดยตรง เพราะอาจทำให้เกิดการปนเปื้อน หรืออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้ ควรใส่ถุงมือผ้าหรือใช้ที่จับ และควรวางสิ่งที่ต้องการชั่งบริเวณกลางจานชั่ง เพื่อป้องกันการอ่านค่าน้ำหนักผิดพลาดไป

6) การทำความสะอาดเครื่องชั่งและจานชั่ง สามารถใช้แปรงปัด หรือผ้าเช็ด หากมีรอยเปื้อนเป็นคราบ อาจใช้ผ้าชุบน้ำหมาดๆ หรือชุบสารละลาย 50% เอทานอล เช็ดด้านบนของจานชั่ง สำหรับด้านล่างจานชั่งให้ใช้ลมเป่าสิ่งสกปรกหรือฝุ่น ผงที่อยู่ใต้จานชั่ง

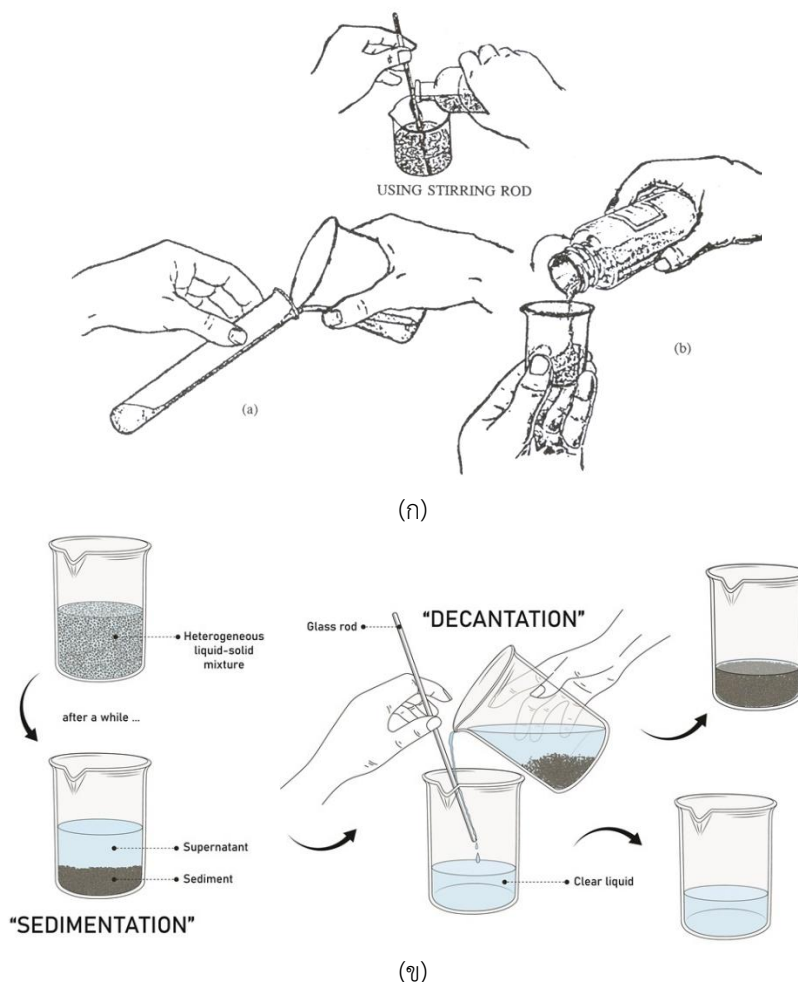
7) ก่อนทำการปรับตั้งเครื่องชั่ง ต้องปรับระดับให้เครื่องชั่ง ตั้งตรงและแสดงหน้าจอเป็นศูนย์ (Zero reading) ก่อนเสมอ

2. เทคนิคในการทำการทดลอง

2.1) การถ่ายเทสารละลาย

การถ่ายเทสารละลายหรือของเหลวเป็นการเคลื่อนย้ายสารละลายจากภาชนะหนึ่งไปอีกภาชนะหนึ่งโดยใช้อุปกรณ์ เช่น ปีกเกอร์ กระบอกตวง ปีเปต ดังนั้นเทคนิคการถ่ายเทสารละลายจึงอาจแตกต่างกันบ้าง ภาพที่ 2.3 (ก) แสดงการรินสารละลายในภาชนะที่แตกต่ากัน การเทสารละลายต้องใช้แท่งแก้วเป็นตัวพาสารละลาย เพื่อป้องกันการไหลตามผนังภาชนะ

ส่วนการรินสารละลายใสออกจากตะกอน เป็นการแยกสารละลายใส (supernatant) ออกจากตะกอน อาจทำได้วิธีง่ายๆ ดังภาพที่ 2.3 (ข) โดยเอียงภาชนะที่เป็นหลอดหรือปีกเกอร์เล็กน้อย แล้วใช้หลอดหยดดูดออกมา โดยปิดกระเปาะอย่างโล่อากาศออกแล้วจุ่มลงในสารละลายให้ปลายหลอดต่ำกว่าระดับน้ำเล็กน้อยค่อยๆ ผ่านกระเปาะของเหลวจะไหลเข้าไปในหลอดซ้ำๆ แล้วค่อยๆ ลดปลายหลอดให้ต่ำลงตามระดับของเหลวจนของเหลวหมด ต้องระวังอย่าให้ปลายหลอดหยุดแตะกับตะกอนเพราะจะทำให้ตะกอนถูกดูดเข้าไปในหลอดหยุดด้วย



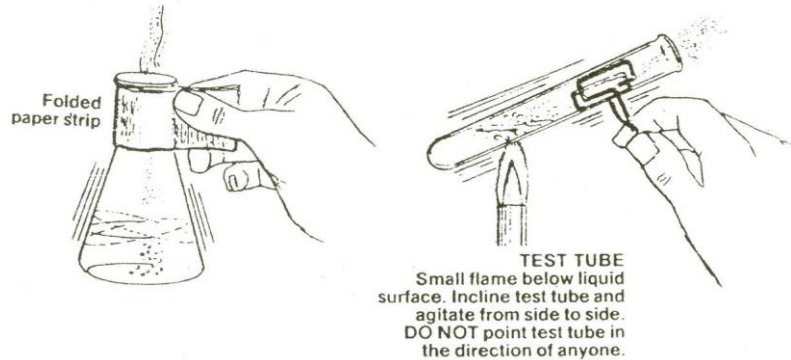
ภาพที่ 2.3 เทคนิคการเทสารละลาย (ก) การรินสารละลายในภาชนะที่ปากกว้าง และ (ข) การเทแยกสารละลายกับตะกอนโดยใช้แท่งแก้ว

2.2) การให้ความร้อนหรือการต้มสารละลาย

การให้ความร้อนของเหลวใดๆ ผู้ทดลองจะต้องทราบว่าของเหลวนั้นติดไฟง่ายหรือไม่เมื่อกลายเป็นไอ ดังนั้นการต้มหรือการให้ความร้อนแก่ของเหลวจึงควรระวังให้มากและควรปฏิบัติดังนี้

1. ปริมาตรของของเหลวไม่ควรเกินครึ่งหนึ่งของหลอดทดลอง
2. ถือหลอดทดลองด้วยที่จับหลอดทดลอง อย่าจับหลอดทดลองด้วยนิ้วมือโดยตรง (ถ้าไม่มีที่จับหลอดทดลองอาจใช้กระดาษแผ่นเล็กๆ ยาวๆ พันรอบปากหลอดทดลองหลายๆ รอบ แล้วใช้นิ้วหัวแม่มือกับนิ้วที่จับกระดาษก็ได้)
3. นำหลอดทดลองไปให้ความร้อนโดยตรงจากเปลวไฟควรใช้เปลวไฟอ่อนๆ และเอียง หลอดทดลองเล็กน้อยพยายามให้ส่วนที่เป็นของเหลวในหลอดทดลองถูกเปลวไฟที่ละน้อย พร้อมแกว่งหลอดทดลองไปมาเมื่อของเหลวร้อนจะระเหยกลายเป็นไอ
4. ขณะให้ความร้อนหลอดทดลองจะต้องหันปากหลอดทดลองออกจากตัวเราและชี้ไปในทิศทางที่ไม่มีผู้อื่นหรือสิ่งของอยู่ใกล้ๆ ทั้งนี้เพราะเมื่อของเหลวเดือดอาจจะพุ่งออกมานอกหลอดทดลอง
5. อย่าก้มดูของเหลวในหลอดทดลองขณะกำลังให้ความร้อนเป็นอันตรายเพราะถ้าของเหลวพุ่งออกมาอาจเป็นอันตรายต่อใบหน้าและนัยน์ตาได้

6. ขณะให้ความร้อนแก่ของเหลวในหลอดทดลองต้องแกว่งหลอดทดลองไปด้วยเพื่อให้ของเหลวในหลอดทดลองเคลื่อนไหวและได้รับความร้อนเท่าเทียมกันทุกส่วน
7. เมื่อของเหลวอยู่ในบีกเกอร์ ให้นำบีกเกอร์ตั้งบนตะแกรงลวด ซึ่งวางอยู่บนสามขาหรือที่ยึดวงแหวนให้ความร้อนโดยใช้ตะเกียงแก๊ส

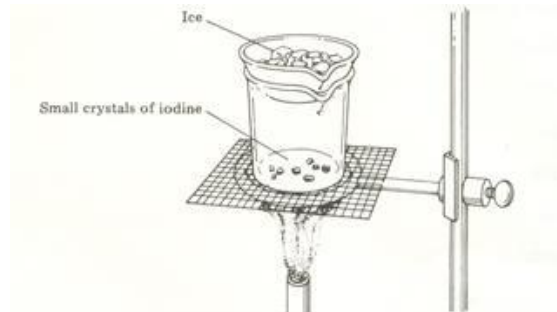


ภาพที่ 2.4 การให้ความร้อนสารละลาย

2.3) การระเหยสารละลาย

การระเหยของเหลวหรือสารละลายก็เพื่อทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไปในที่สุดตัวละลายก็จะตกผลึก จึงอาจกล่าวได้ว่าการระเหยเป็นการลดปริมาตรของของเหลวให้น้อยลงโดยการไล่สารที่ระเหยได้ง่ายกว่าออกไปจากสารละลาย เทคนิคการระเหยของเหลวหรือสารละลาย มีหลายวิธี ดังนี้

1. เทของเหลวหรือสารละลายลงบนกระดานฟिकाแล้ววางบนปากบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำอยู่
2. ต้มน้ำให้เดือดความร้อนจากไอน้ำจะถ่ายเทไปทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไปจากตัวละลาย



ภาพที่ 2.5 การระเหยสารละลาย

2.4) การกรอง

การกรอง (filtration) เป็นการแยกของแข็งออกจากของเหลว ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างมากในการวิเคราะห์ทางเคมี การกรองแบบธรรมดาหรือการกรองโดยแรงโน้มถ่วง เป็นการกรองแบบอาศัยหลักของแรงตึงผิวของสารละลาย โดยใช้กระดาษกรองและกรวยกรอง การเลือกเนื้อกระดาษกรองต้องเหมาะสมกับตะกอนกระดาษกรองที่ใช้ในงานวิเคราะห์มีหลายขนาดความละเอียด ขนาดความละเอียดนิยมกำหนดเป็นเบอร์ ผู้ผลิตอาจกำหนดเบอร์ที่แตกต่างกัน

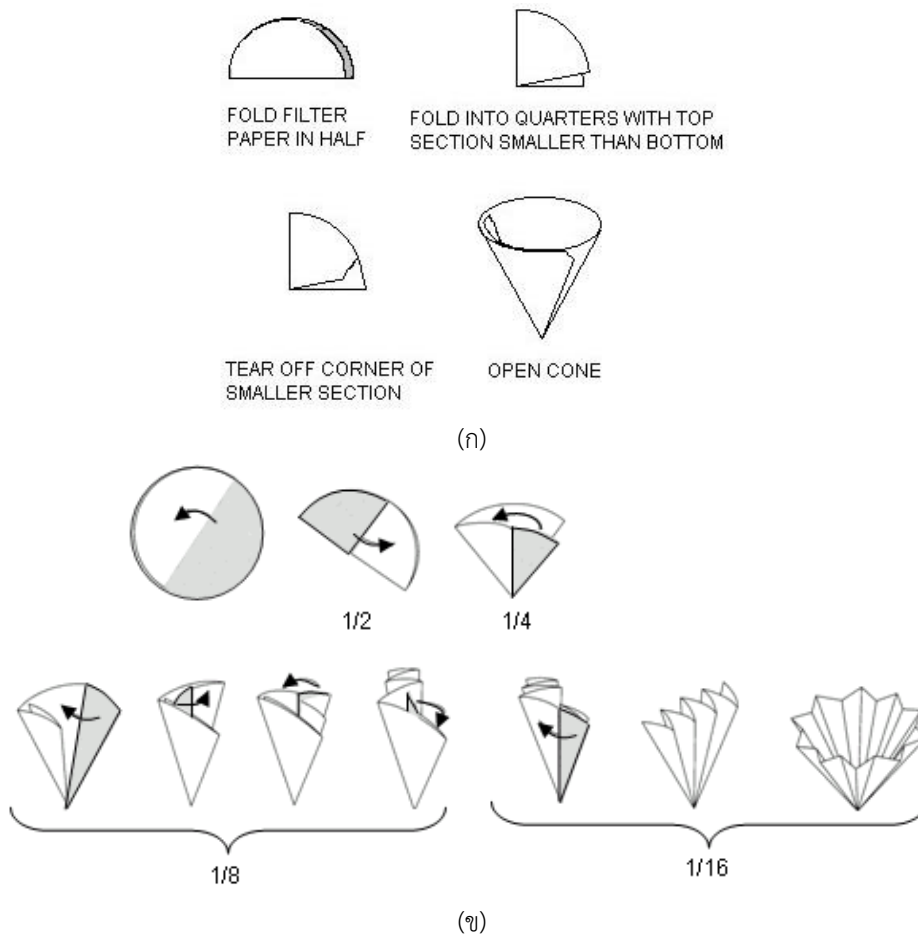
ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะกระดาษกรอง

ยี่ห้อ	เบอร์	ประเภทการใช้งาน	อัตราเร็วการกรอง	ลักษณะตะกอน
Whatman	1	Qualitative	ปานกลาง	Medium crystalline
	2	Qualitative	ปานกลาง	Crystalline
	3	Qualitative	ปานกลาง	
	4	Qualitative	เร็วมาก	Coarse and gelatinous precipitate
	5	Qualitative	ช้า	Crystalline
	40	Quantitative (Ashless)	ปานกลาง	Crystalline
	41	Quantitative (Ashless)	เร็ว	Crystalline
	42	Quantitative (Ashless)	ช้า	Fine crystalline
	43	Quantitative (Ashless)	เร็ว	Fine crystalline

การพับกระดาษกรองสำหรับกรวยกรอง มี 2 ประเภทคือ

1) พับ 1/4 โดยการพับกระดาษกรองลงทีละครึ่งหนึ่งก่อน แล้วพับให้เหลือ 1/4 แล้วฉีกปลายด้านหนึ่งออก เพื่อให้กระดาษกรองในส่วนชั้นในสุดได้มีโอกาสสัมผัสกับผิวกรวยแก้วมากยิ่งขึ้น อันจะทำให้สารละลายไหลผ่านซึมผ่านกระดาษกรองเร็วขึ้น ดังภาพที่ 2.6(ก)

2) การพับแบบมีร่อง การพับจะทำทีละครึ่งไปเรื่อยๆ จน 1/16 ดังภาพที่ 2.6(ข)

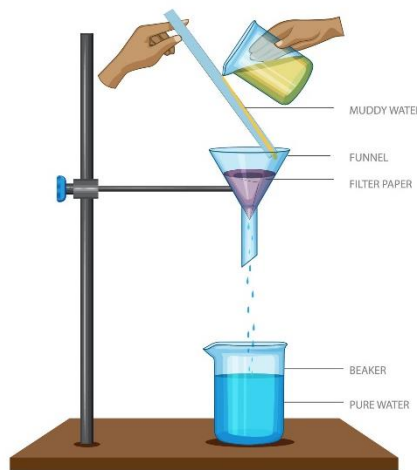


ภาพที่ 2.6 (ก) การพับกระดาษกรองแบบกรวยซ้ำ และ (ข) การพับกระดาษกรองแบบมีร่อง (fluted)

ขั้นตอนการกรองสารละลาย

1) การกรองด้วยแรงโน้มถ่วง

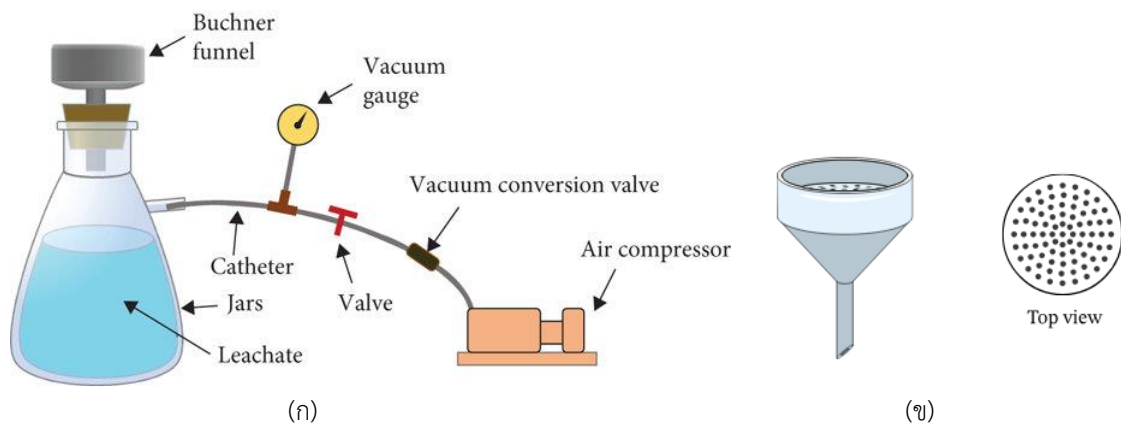
การจัดอุปกรณ์สามารถทำได้หลายแบบ เช่น ใช้ขาตั้งร่วมกับวงแหวน (ภาพที่ 2.7) การวางบนปีกเกอร์หรือภาชนะรองรับอื่น ๆ ข้อควรพิจารณา เช่น ก้านของกรวยแก้วควรแตะผนังภาชนะที่รองรับเพื่อให้ของเหลวไหลได้อย่างรวดเร็วและป้องกันสารละลายกระเด็น แต่อย่าให้ก้านกรวยกรองแล้วจุ่มลงไปในการละลาย การเทของเหลวลงบนกระดาษกรองในกรวยแก้วควรใช้แท่งแก้วนำ โดยให้แท่งแก้วแตะปากปีกเกอร์แล้วเทสารละลายไหลลงมาตามแท่งแก้ว ตะปลาย่างของแท่งแก้วใกล้กระดาษกรองด้านที่พับทับกันสามชั้น อย่าเทสารละลายมากจนล้นขอบกระดาษกรอง ถ้ายังมีตะกอนเหลือติดอยู่ที่ก้นปีกเกอร์ ใช้น้ำฉีคล้างตะกอนที่เหลือลงมาสู่กระดาษกรองบนกรวยแก้ว



ภาพที่ 2.7 การกรองด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก

2) กรองสุญญากาศ

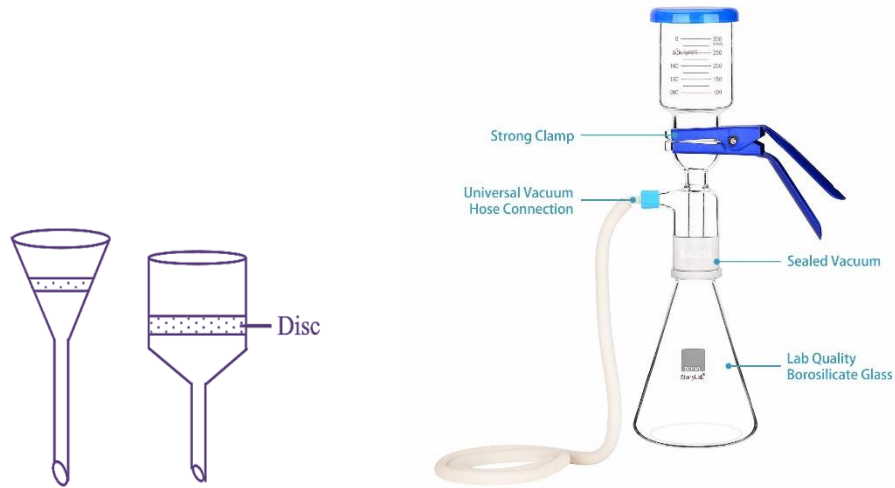
วิธีการกรองสุญญากาศอาศัยแรงดูดภายนอก เช่นปั๊ม เพื่อให้ภายในภาชนะเป็นสุญญากาศ เพื่อให้การกรองได้เร็วขึ้น ดังภาพที่ 2.8 อุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับการกรองประเภทนี้คือ กรวยกรอง โดยทั่วไปจะใช้กรวยบุชเนอร์ (Buchner)



ภาพที่ 2.8 รูปแบบการกรองสุญญากาศ (ก) การติดตั้งอุปกรณ์ และ (ข) กรวยบุชเนอร์ (Buchner)

การกรองด้วยครุซีเปิลซินเตอร์กลาส (sintered glass) ครุซีเปิลซินเตอร์กลาสประกอบด้วยชั้นแก้วมีลักษณะเป็นแก้วชนิดพิเศษมีรูเล็กๆ ทำหน้าที่เป็นกระดาษกรอง ใช้กรองตะกอนได้หลายขนาด ซึ่งขึ้นกับเบอร์ของครุซีเปิลซินเตอร์กลาส มีขนาดตั้งแต่เบอร์ 0-5 แต่ที่ใช้ในงานวิเคราะห์ส่วนมากเป็นเบอร์ 3 และ 4 ใช้

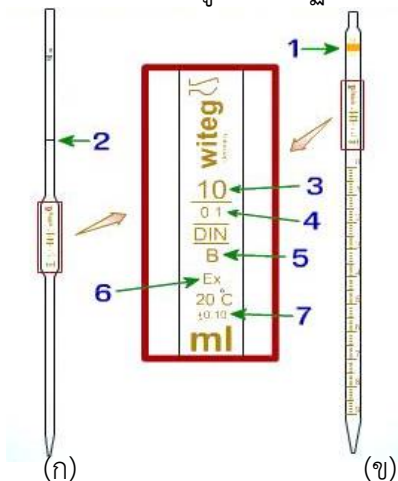
สำหรับกรองตะกอนแบบหยาบ เช่น ซิลเวอร์คลอไรด์ ส่วนเบอร์ 4 ใช้กรองตะกอนละเอียด เช่น แบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$)



ภาพที่ 2.9 การกรองด้วยครุชชีเบลซินเตอร์กลาส

2.5) การใช้ปิเปต

ปิเปตเป็นอุปกรณ์ในการวัดปริมาตรสำหรับถ่ายเทสารละลายที่มีความแม่นยำสูง ปิเปตมีอยู่หลายชนิด แต่โดยทั่วไปที่มีใช้อยู่ในห้องปฏิบัติการมีอยู่ 2 แบบ คือ transfer และ measuring pipet ดังภาพที่ 2.10



- 1 สัญลักษณ์ blow-out pipet
- 2 ชีตบอกรปริมาตร
- 3 ความจุ
- 4 ปริมาตรแต่ละขีด
- 5 ระดับชั้นคุณภาพ (A มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า B)
- 6 วัตถุประสงค์การใช้งาน
- 7 ความคลาดเคลื่อนของปริมาตร

ภาพที่ 2.10 ปิเปต (ก) transfer pipet และ (ข) graduate pipet

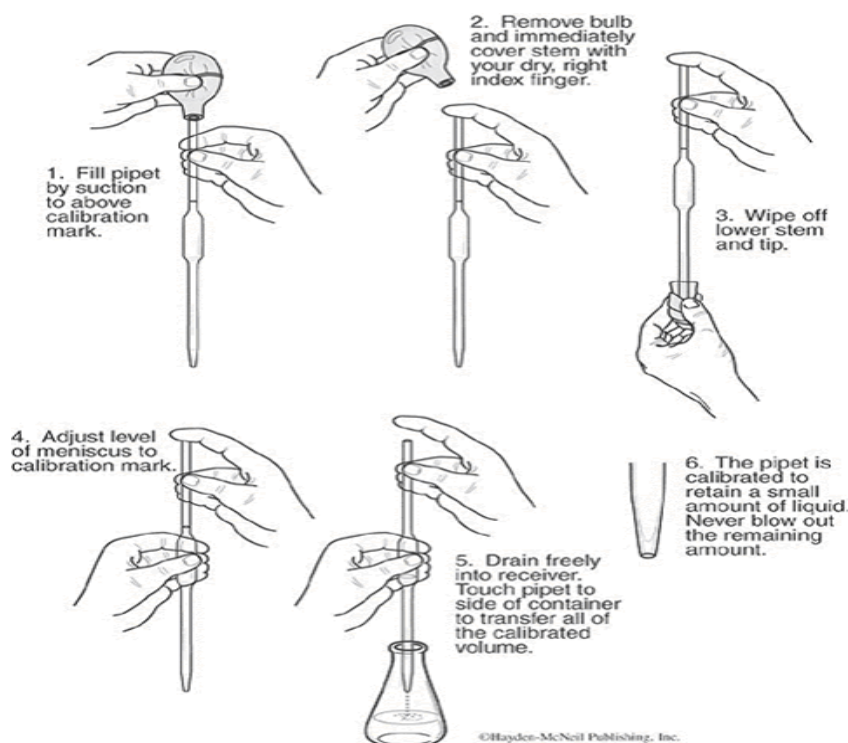
1. Transfer pipet ซึ่งใช้ในการวัดปริมาตรได้เพียงค่าเดียว คือถ้าหาก transfer pipet จุ 25 mL จะวัดปริมาตรของของเหลวได้เฉพาะ 25 mL เท่านั้น transfer pipet มีหลายขนาดตั้งแต่ 1 mL ถึง 100 mL ถึงแม้ปิเปตชนิดนี้จะใช้วัดปริมาตรได้อย่างใกล้เคียงความจริงก็ตาม แต่ยังมีข้อผิดพลาดซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของปิเปต

2. Measuring หรือ graduated pipet จะมีขีดบอกรปริมาตรต่างๆ ไว้ทำให้สามารถใช้ได้อย่างกว้างขวาง คือสามารถใช้แทน transfer pipet ได้ แต่ใช้วัดปริมาตรได้แน่นอนน้อยกว่า transfer pipet และมีความผิดพลาดมากกว่า

ขั้นตอนการใช้ปิเปต

1. ก่อนใช้ปิเปตต้องทำความสะอาดโดยดูน้ำกลั่นจนเกือบเต็ม แล้วปล่อยให้ไหลออกมาจนหมด

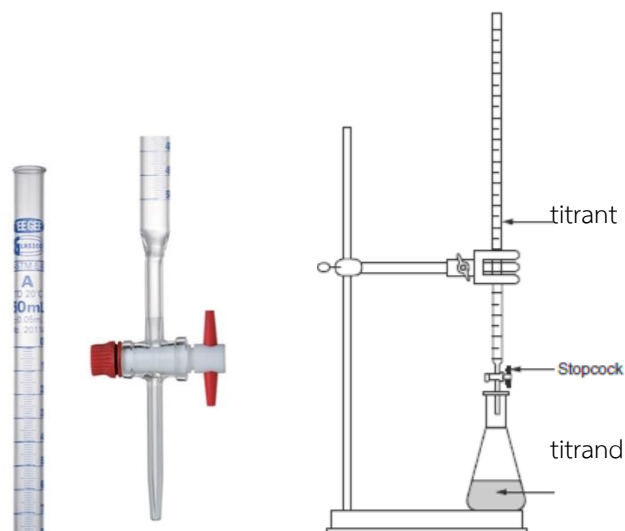
2. จุ่มปลายปิเปตลงในสารละลาย โดยที่ปลายปิเปตอยู่ต่ำกว่าระดับสารละลายตลอดเวลา
3. ใช้เครื่องดูดหรือกระเปาะยางดูดสารละลายเข้าไปในปิเปตอย่างช้าๆ (ภาพที่ 2.11) จนกระทั่งสารละลายขึ้นมาอยู่เหนือขีดบอกปริมาตร และใช้นิ้วชี้ปิดปลายปิเปตให้แน่นโดยทันที จับก้านปิเปตด้วยนิ้วหัวแม่มือและนิ้วกลาง
4. จับปิเปตให้ตั้งตรงแล้วค่อยๆ ผ่อนนิ้วชี้เพื่อให้สารละลายที่เกินขีดบอกปริมาตรไหลออกไปจนกระทั่งส่วนโค้งล่างสุดของสารละลายพอดีกับขีดบอกปริมาตร กดนิ้วชี้ให้แน่นและแตะปลายปิเปตกับข้างภาชนะเพื่อให้หยดน้ำที่ติดอยู่ที่ปลายปิเปตหมดไป
5. ปลอ่ยสารละลายที่อยู่ในปิเปตลงในภาชนะที่เตรียมไว้โดยยกนิ้วชี้ขึ้น ให้สารละลายไหลลงตามปกติตามแรงโน้มถ่วงของโลกจนหมด แล้วแตะปลายปิเปตกับข้างภาชนะ



ภาพที่ 2.11 ขั้นตอนการใช้ปิเปต

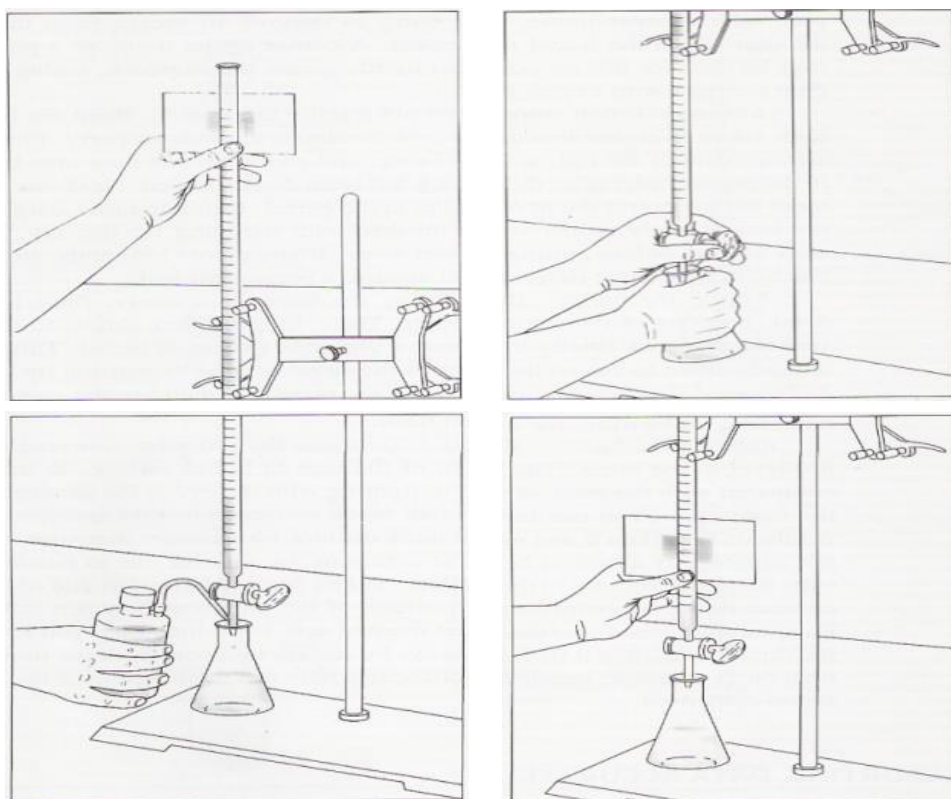
2.6) การไทเทรต (titration)

บิวเรต (buret) เป็นอุปกรณ์วัดปริมาตรที่มีขีดบอกปริมาตรต่างๆ และมีก๊อกสำหรับเปิด-ปิด เรียกว่า stop-cock เพื่อบังคับการไหลของของสารละลาย บิวเรตเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีขนาดตั้งแต่ 10 mL จนถึง 100 mL บิวเรตสามารถวัดปริมาตรได้อย่างใกล้เคียงความจริงมากที่สุด แต่ยังมีควมผิดพลาดอยู่เล็กน้อย ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของบิวเรต



ภาพที่ 2.12 การไทเทรต (ก) บิวเรต และ (ข) การติดตั้งอุปกรณ์การไทเทรต

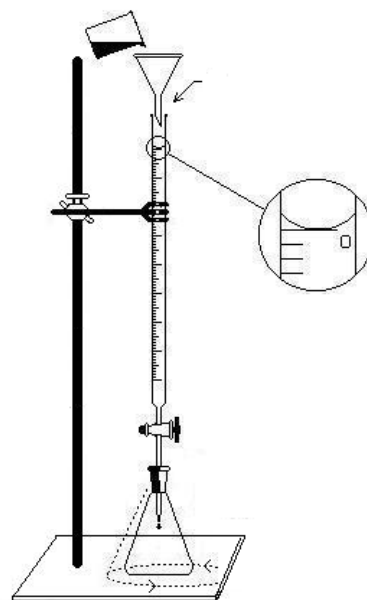
การติดตั้งอุปกรณ์ในการไทเทรต ดังภาพที่ 2.12(ข) สารละลายที่บรรจุในบิวเรต เรียกว่า ตัวไทเทรต หรือ ไทแทรนต์ (titrant) สารละลายที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ เรียกว่า ไทแทรนด์ (titrand) เมื่อค่อยเปิด stop-cock ไทแทรนต์จะค่อยหยดลงในขวดรูปชมพู่ การอ่านสเกลบนบิวเรต ควรให้อยู่ในระดับสายตาและถือส่วนโค้งที่ต่ำที่สุดเป็นเกณฑ์ในการอ่านปริมาตรอาจใช้กระดาษขาวบังบิวเรตเพื่ออ่านสเกลบนบิวเรตได้ชัดเจนยิ่งขึ้น



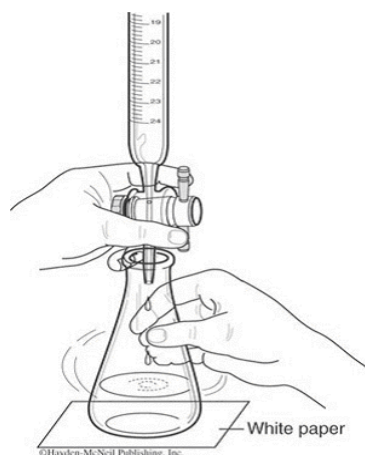
ภาพที่ 2.13 ขั้นตอนการไทเทรต

วิธีการไทเทรต

1. ล้างบิวเรตให้สะอาด ด้วยสารทำความสะอาด
2. บรรจุสารละลายเพียงเล็กน้อย เพื่อตรวจสอบการรั่วของ stopcock
3. ชะล้างบิวเรตด้วยสารละลายที่จะใช้บรรจุ ประมาณ 5 mL แล้วไขให้สารละลายไหลออกจากปลายบิวเรต
4. เทสารละลายลงในบิวเรตโดยผ่านทางกรวยกรอง ให้มีปริมาตรเหนือขีดศูนย์เล็กน้อย (ภาพที่ 2.14) เอากรวยออกแล้วเปิดก๊อกให้สารละลายไหลออกจากปลายบิวเรต เพื่อปรับให้ปริมาตรของสารละลายอยู่ที่ขีดศูนย์พอดี การปรับปริมาตรควรทำในระดับสายตา (ที่บริเวณปลายบิวเรตจะต้องไม่มีฟองอากาศ หากมีฟองอากาศจะต้องเปิดก๊อกให้สารละลายไล่ฟองอากาศออกไปจนหมด)
5. การจับปลายบิวเรตและการจับขวดรูปชมพู่ขณะไทเทรต ใช้มือที่ไม่ถนัดจับ stopcock เพื่อเปิดก๊อกให้สารละลายไหล และมีอีกข้างจับขวดรูปชมพู่พร้อมกวานสารละลายแบบวงกลมตลอดเวลา (ภาพที่ 2.15)
6. ค่อยๆ หมุนปิด stopcock เมื่อใกล้ถึงจุดยุติเพื่อสารละลายไหลออกมาทีละหยด เพื่อไม่ให้เกิดจุดยุติ และต้องปิด stopcock ทันทีเมื่อถึงจุดยุติ ในกรณีที่ไทเทรตจะเกือบหมดบิวเรตแต่ยังไม่ถึงจุดยุติ อย่าปล่อยให้สารละลายเลยขีดบอกปริมาตรสุดท้ายลงมา จะไม่ทราบปริมาตรที่แน่นอนได้
7. ถ้าปลายบิวเรตรั่วซึม โดยสารละลายไม่ได้ไหลออกจากปลายบิวเรตเพียงด้านเดียว ให้หยุดไทเทรตและเปลี่ยนบิวเรตทันที
8. การไทเทรตโดยทั่วไปต้องทำอย่างน้อย 2 ครั้ง ถ้าการทดลองสองครั้ง ปริมาตรแตกต่างกันไม่เกิน 0.2 mL แต่ถ้าปริมาตรที่ไทเทรตสองครั้งต่างกันมากกว่า 0.2 mL ให้ทำไทเทรตครั้งที่ 3 แล้วจึงหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 2.14 การติดตั้งและบรรจุสารละลาย



ภาพที่ 2.15 ลักษณะการจับ stopcock

2.7) การใช้หลอดหยด (Dropper)

หลอดหยดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ดูดสารละลาย ประกอบด้วยตัวหลอดที่ปลายด้านหนึ่งตีบสำหรับดูดสารละลายส่วนอีกปลายด้านหนึ่งเสียบกะเปาะยางไว้เพื่อช่วยในการดูดสารละลาย

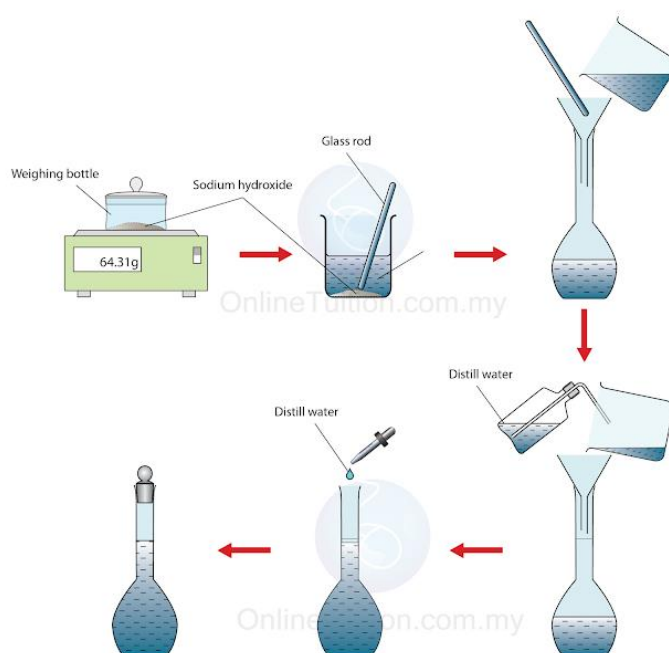
เทคนิคทำได้โดยการบีบลูกยางเบาๆ เพื่อไล่ฟองอากาศแล้วจุ่มปลายลงไปใต้ผิวของสารละลาย แล้วค่อยๆ ปล่อยกะเปาะยาง จนได้ปริมาตรที่ต้องการ แตะสารละลายที่ติดอยู่ตรงปลายหลอดออก กับปากของขวดสารละลาย หลังจากนั้นบีบกะเปาะยางเบาๆ ให้สารละลายหยดลงในภาชนะรองรับ อย่าให้ปลายหลอดหยดกระทบหรือแตะกับปากภาชนะรองรับ ข้อควรระวังการใช้หลอดหยดมีดังนี้

- ห้ามหายใจปลายหลอดหยดขึ้น
- อย่าดูดสารละลายเข้าไปในกะเปาะยาง เพราะทำให้กะเปาะยางเสื่อมสภาพเร็ว และเกิดการปนเปื้อนของสารได้ ถ้าสารละลายเข้าไปให้รีบล้างทำความสะอาดทันที

- ถ้าปลายหลอดหยด สัมผัสกับสารละลายอื่นให้เปลี่ยนหลอดหยด
- ห้ามใช้หลอดหยดส่วนตัวไปตวงสารละลายจากขวดรวมส่วนกลางเด็ดขาด

2.8) การใช้ขวดกำหนดปริมาตร (Volumetric Flask)

ขวดกำหนดปริมาตร เป็นขวดคอกยาวที่มีขีดแสดงปริมาตรกำกับอยู่รอบคอขวดเพียงขีดเดียว ใช้สำหรับเตรียมสารละลายที่ต้องการความเข้มข้นแน่นอน รวมทั้งใช้เจือจางสารให้ได้ความเข้มข้นและปริมาตรที่ต้องการ ขั้นตอนการใช้ขวดกำหนดปริมาตรโดยทำการเทของแข็ง หรือสารละลายลงในขวดกำหนดปริมาตร ทั้งนี้ควรล้างบีกเกอร์ด้วยตัวทำละลายซ้ำ 1-2 ครั้ง (ปริมาณรวมต้องไม่เกินปริมาตรที่เราต้องการ) เทบรรจุลงในขวดปริมาตร ใกล้เคียง ขีดวัดที่คอขวด ระวังอย่าให้เลยขีดปริมาตร ทำการปรับปริมาตรโดยใช้หลอดหยดเติมตัวทำละลาย โดยให้ส่วนโค้งต่ำสุดตรงกับขีดบอกปริมาตรที่ระดับสายตา (ซึ่งมีเพียงขีดเดียว) ปิดจุกขวดกำหนดปริมาตรให้แน่น คว่ำขวดจากด้านบนลงล่าง ทำแบบนี้ 3-5 ครั้ง เพื่อให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน



ภาพที่ 2.16 การใช้ขวดกำหนดปริมาตร

การทดลอง

1. สาธิตและฝึกปฏิบัติการใช้เครื่องชั่ง
2. สาธิตและฝึกปฏิบัติการใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตร (กระบอกตวง ปีเปต บิวเรต)
3. สาธิตและฝึกปฏิบัติการใช้ไมโครปีเปต
4. สาธิตและฝึกปฏิบัติการกรอง
5. สาธิตและฝึกปฏิบัติการใช้ขวดกำหนดปริมาตร

กิจกรรม 2.2

1. เทคนิคการใช้เครื่องชั่งในห้องปฏิบัติการ https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=3337
2. Lesson Explainer: Filtration and Crystallization
<https://www.nagwa.com/en/explainers/429179270853>

บทปฏิบัติการที่ 3

หน่วยพื้นฐานและการเตรียมความเข้มข้นสารละลาย

(Unit and Preparation of Solution)

การทดลองที่ 3.1 หน่วยพื้นฐานสำหรับการทดลอง

วัตถุประสงค์

- เพื่อฝึกทักษะเกี่ยวกับหน่วยฐานเอสไอ
- เพื่อฝึกทักษะการวัด การรายงานตัวเลขตามหลักเลขนัยสำคัญ

หลักการ

1. หน่วยพื้นฐานในการวัด

หน่วยที่ใช้สำหรับวัดปริมาณต่าง ๆ มีหลายระบบ เช่น ระบบอังกฤษ ระบบเมตริก และระบบของแต่ประเทศ รวมทั้งประเทศไทย จึงทำให้ไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ปัจจุบันได้ตกลงร่วมกันให้ใช้หน่วยสากลที่เรียกว่าระบบหน่วยระหว่างชาติ (The International System of Unit) เรียกว่า ระบบเอสไอ (SI Units) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยฐานและหน่วยอนุพัทธ์ ดังนี้

ตารางที่ 3.1 หน่วยฐานเอสไอ (SI base units)

ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์
ความยาว	เมตร (meter)	m
มวล	กิโลกรัม (kilogram)	kg
เวลา	วินาที (second)	s
กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์ (ampere)	A
อุณหภูมิ	เคลวิน (kelvin)	K
ความเข้มของการส่องสว่าง	แคนเดลา (candela)	cd
ปริมาณของสาร	โมล (mole)	mol

2. หน่วยอนุพัทธ์เอสไอ (SI derived units) หน่วยอนุพัทธ์เกิดจากการดำเนินการทางพีชคณิตระหว่างหน่วยฐานเอสไอ สัญลักษณ์ของหน่วยอนุพัทธ์เอสไอได้มาจากการดำเนินการทางคณิตศาสตร์โดยการคูณและการหาร (ตารางที่ 3.2) และหน่วยอนุพัทธ์เอสไอที่มีชื่อหน่วยเฉพาะและมีสัญลักษณ์เฉพาะ แสดงในตารางที่ 3.3



ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างหน่วยอนุพัทธ์เอสไอที่เกี่ยวข้องกับหน่วยฐาน

ปริมาณ (derived quantity)	หน่วยอนุพัทธ์	สัญลักษณ์
พื้นที่ (area)	ตารางเมตร	m ²
ปริมาตร (volume)	ลูกบาศก์เมตร	m ³
อัตราเร็ว ความเร็ว (speed, velocity)	เมตรต่อวินาที	m·s ⁻¹
ความเร่ง (acceleration)	เมตรต่อวินาทีกำลังสอง	m·s ⁻²
เลขคลื่น (wave number)	ส่วนกลับของเมตร	m ⁻¹
ความหนาแน่น (density)	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	kg·m ⁻³
ความหนาแน่นกระแส (current density)	แอมแปร์ต่อลูกบาศก์เมตร	A·m ⁻³
ความแรงสนามไฟฟ้า (electric field strength)	โวลต์ต่อเมตร	V·m ⁻¹
ความเข้มแสง (luminance)	แคนเดลาต่อตารางเมตร	cd·m ⁻²
ความเข้มข้นเชิงปริมาณสาร (amount of substance concentration)	โมลต่อลูกบาศก์เมตร	mol·m ⁻³

ตารางที่ 3.3 หน่วยอนุพัทธ์ที่มีสัญลักษณ์เฉพาะ

ปริมาณ	ชื่อหน่วยเฉพาะ	สัญลักษณ์เฉพาะ	สัญลักษณ์แสดงเป็นหน่วย SI อื่น	สัญลักษณ์แสดงเป็นหน่วยฐาน SI
มุมระนาบ (plane angle)	เรเดียน	rad		m/m
มุมตัน (solid angle)	สเตอเรเดียน	sr		m ² /m ²
ความถี่ (frequency)	เฮิรตซ์	Hz		1/s
แรง (force)	นิวตัน	N		kg·m/s ²
ความดัน (pressure)	พาสคัล	Pa	N/m ²	kg/m·s ²
พลังงาน หรืองาน (energy, work)	จูล	J	N·m	kg·m ² /s ²
กำลังไฟฟ้า (power)	วัตต์	W	J/s	kg·m ² /s ³
ประจุไฟฟ้า (electric charge)	คูลอมบ์	C		A·s
ศักย์ไฟฟ้า (electric potential)	โวลต์	V	W/A	kg·m ² /A·s ³
ความจุ (capacitance)	ฟารัด	F	C/V	s ⁴ ·A ² /m ² ·kg
ความต้านทานไฟฟ้า (electric resistance)	โอห์ม	Ω	V/A	m ² ·kg/s ³ ·A ²
ความนำไฟฟ้า (conductance)	ซีเมนส์	S	1/Ω, A/V	s ³ ·A ² /m ² ·kg
ฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux)	เวเบอร์	Wb	V·s	m ² ·kg/s ² ·A
ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux density)	เทสลา	T	Wb/m ²	kg/s ² ·A
ความเหนี่ยวนำ (inductance)	เฮนรี	H	Wb/A	m ² ·kg/s ² ·A ²
อุณหภูมิ (temperature)	เซลเซียส	°C		K
ฟลักซ์ส่องสว่าง (luminous flux)	ลูเมน	lm	cd·sr	cd
ความสว่าง (illuminance)	ลักซ์	lx	lm/m ²	m ⁻² ·cd

3. คำนำหน้าหน่วยในระบบเอสไอ (SI prefixes) คือ คำที่นำมาวางไว้หน้าหน่วย เพื่อแสดงปริมาณให้มีความกะทัดรัดมากขึ้น มีผลเท่ากับการเพิ่มหรือลดขนาดของหน่วยนั้น ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 คำนำน้าหน่วยแสดงปริมาณตัวเลข

คำนำหน้า	สัญลักษณ์	ตัวแปร	คำนำหน้า	สัญลักษณ์	ตัวแปร
เดซี (deci)	d	10^{-1}	เดคา (deca)	da	10
เซนติ (centi)	c	10^{-2}	เฮกโต (hector)	h	10^2
มิลลิ (milli)	m	10^{-3}	กิโล (kilo)	k	10^3
ไมโคร (micro)	μ	10^{-6}	เมกะ (mega)	M	10^6
นาโน (nano)	n	10^{-9}	จิกะ (giga)	G	10^9
พิโก (pico)	p	10^{-12}	เทระ (tera)	T	10^{12}
เฟมโต (femto)	f	10^{-15}	เพตะ (peta)	P	10^{15}
อัตโต (atto)	a	10^{-18}	เอกซะ (exa)	E	10^{18}
เซปโต (zepto)	z	10^{-21}	เซตตะ (zetta)	Z	10^{21}
ยอกโต (yocto)	y	10^{-24}	ยอตตะ (yotta)	Y	10^{24}

2. ตัวเลขนัยสำคัญ

การบันทึกหรือรายงานผลการทดลองสำหรับบอกจำนวนหรือปริมาณสารที่สนใจที่เป็นค่าตัวเลขใด ๆ ตัวเลขที่แสดงนั้นต้องสามารถบอกถึงความแม่นยำ และ/หรือ ความเที่ยงของการวัด หรือเครื่องมือวัด ตัวเลขดังกล่าวนี้เรียกว่า ตัวเลขนัยสำคัญ (significant figure) โดยตัวเลขนัยสำคัญประกอบด้วยตัวเลขทุกตัวที่แสดงความแน่นอน (certainty) รวมกับตัวเลขอีกหนึ่งตัวที่แสดงความไม่แน่นอน (uncertainty)

1) การนับตัวเลขนัยสำคัญ จะนับจากตัวเลขที่แน่นอนตัวแรกสุดที่ไม่ใช่เลขศูนย์ รวมถึงตัวเลขสุดท้ายที่มีค่าไม่แน่นอนอีกหนึ่งตัว

- 1.1) เลข 1 ถึง 9 ให้นับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น
 - 2.76 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว
 - 626.51 มีเลขนัยสำคัญ 5 ตัว
- 1.2) เลข 0 ระหว่างเลข 1 ถึง 9 ให้นับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น
 - 1025 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว
 - 20.002 มีเลขนัยสำคัญ 5 ตัว
- 1.3) เลข 0 อยู่ด้านซ้ายมือของตัวเลขไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ
 - 0.501 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว
 - 0.0050003 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 5 ตัว
- 1.4) เลข 0 อยู่หลังตัวเลข (1 ถึง 9) และมีจุดทศนิยม ให้นับเป็นเลขนัยสำคัญ
 - 1.0 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว
 - 520.03 มีเลขนัยสำคัญ 5 ตัว
- 1.5) เลข 0 อยู่หลังตัวเลข (1 ถึง 9) และไม่มีจุดทศนิยม ไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ
 - 100 มีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว
 - 1200 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว
- 1.6) เลข 10^n ไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ
 - 6.02×10^{23} มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว
 - 1.8×10^{-5} มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

2) การปัดเลขนัยสำคัญ ให้พิจารณาตัวเลขที่ตามหลังตัวเลขนัยสำคัญตัวสุดท้าย

ก) ถ้าตัวเลขที่พิจารณามีค่ามากกว่าเลข 5 ให้ปัดขึ้น เช่น 2.78 ต้องการเลขนัยสำคัญเพียง 2 ตัว โดยเลข 8 เป็นเลขที่พิจารณา และเนื่องจากเลข 8 มีค่าสูงกว่า 5 ให้ปัดขึ้น จะได้เป็น 2.8

ข) ถ้าตัวเลขที่พิจารณามีค่าน้อยกว่าเลข 5 ให้ปัดทิ้ง เช่น 2.72 ต้องการเลขนัยสำคัญเพียง 2 ตัว โดยเลข 2 เป็นเลขที่พิจารณา และเนื่องจากเลข 2 มีค่าน้อยกว่า 5 ให้ปัดทิ้ง จะได้เป็น 2.7

ค) ถ้าตัวเลขที่พิจารณาเป็นเลข 5 และหลัง 5 เป็นตัวเลขที่ไม่ใช่ 0 ให้ปัดขึ้น เช่น 2.852 ต้องการเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ให้ปัดเป็น 2.9 แต่ถ้าหลัง 5 เป็น 0 หรือไม่มีตัวเลขให้พิจารณาดังนี้

(1) ตัวเลขนำหน้า 5 เป็นเลขคู่ (หรือเป็น 0) ให้ตัดเลข 5 ทิ้งไป เช่น 2.850 หรือ 2.85 ต้องการเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ให้ปัดเป็น 2.8

(2) ตัวเลขนำหน้า 5 เป็นเลขคี่ ให้ปัดเลข 5 ขึ้น เช่น 2.750 หรือ 2.75 ต้องการเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ให้ปัดเป็น 2.8

3) ตัวเลขนัยสำคัญที่ได้จากการบวกหรือลบ ผลลัพธ์ต้องมีเลขหลังจุดทศนิยมเท่ากับจำนวนเลขที่มีเลขหลังจุดทศนิยมจำนวนน้อยที่สุด เช่น

$$12.45 + 134.324 + 60.4786 = 207.2526$$

ดังนั้น ผลลัพธ์ต้องมีเลขหลังจุดทศนิยมสองตำแหน่ง ต้องนำหลักการปัดเลขมาพิจารณาเลข 5 ซึ่งหลังเลข 5 เป็น 2 ซึ่งน้อยกว่า 5 ดังนั้น ให้ปัดทิ้ง คำตอบที่ถูกต้องตามหลักเลขนัยสำคัญ คือ 207.25

4) ตัวเลขนัยสำคัญที่ได้จากการคูณหรือหาร ผลลัพธ์ที่ได้ต้องมีเลขนัยสำคัญเท่ากับตัวเลขที่นำมาคูณหรือหารที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด เช่น

$$\frac{3.58 \times 12.426}{9.42 \times 5.2} = 0.90815 = 0.91$$

ดังนั้น ผลลัพธ์ต้องมีเลขนัยสำคัญเท่ากับตัวเลขที่นำมาคูณหรือหารที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด นั่นคือ 5.2 (นับเลขนัยสำคัญได้ 2 ตัว) ต้องนำหลักการปัดเลขมาพิจารณาเลข 0 ซึ่งหลังเลข 0 เป็น 8 ซึ่งมากกว่า 5 ดังนั้น ให้ปัดขึ้น คำตอบที่ถูกต้องตามหลักเลขนัยสำคัญ คือ 0.91

5) การคำนวณตัวเลขนัยสำคัญที่มีหลายขั้นก่อนที่จะได้ผลลัพธ์สุดท้ายให้เพื่อเลขนัยสำคัญไว้หนึ่งตัว แล้วค่อยตัดให้มีเลขนัยสำคัญเท่าที่ควรจะเป็นในขั้นสุดท้าย เพื่อไม่ให้มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการปัดเศษ

6) ตัวเลขที่ได้จากการคำนวณเกี่ยวกับลอการิทึม (logarithm) และแอนติลอการิทึม (anti-logarithm) ในการหาค่าลอการิทึมของตัวเลขจำนวนหนึ่งนั้น ค่าที่ได้ประกอบด้วยตัวเลขสองชนิด คือ แครกเทอร์ริสติก (characteristic) คือ ตัวเลขหน้าจุดทศนิยม และแมนทิสซา (mantissa) คือ ตัวเลขหลังจุดทศนิยม การนับเลขนัยสำคัญจะนับจำนวนเลขที่เป็นเลขแมนทิสซาเท่านั้น โดยให้มีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับตัวเลขนัยสำคัญที่นำมาหาค่าลอการิทึม เช่น $\log 1.35 \times 10^4$ มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว เมื่อหาค่าลอการิทึม เลขแมนทิสซาต้องมีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

$$\log 1.35 \times 10^4 = \overset{\text{แครกเทอร์ริสติก}}{\downarrow} 4.\underset{\text{แมนทิสซา}}{\underbrace{13033}} = 4.130$$

ส่วนกรณี แอนติลอการิทึม พิจารณาหลักเดียวกัน คือ เลขนัยสำคัญให้นับเฉพาะเลขแมนทิสซา

$$\begin{aligned} \text{เช่น } \log x &= 13.1769 \\ x &= 1.530 \times 10^{13} \end{aligned}$$

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 จงบอกตัวเลขของการวัดและความคลาดเคลื่อน

การทดลองที่ 1

- 1) ตวงน้ำใสในบีกเกอร์ ขนาด 250 mL (โดยให้ปริมาตรน้ำไม่เกิน 100 mL) (บีกเกอร์ที่ 1)
- 2) อ่านและบันทึกปริมาตรน้ำในบีกเกอร์ ตามหลักเลขนัยสำคัญ บันทึกค่าลงในตาราง
- 3) นำบีกเกอร์เปล่า ขนาด 250 mL 1 ใบ ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง จดน้ำหนัก (บีกเกอร์ที่ 2)
- 4) เทน้ำบีกเกอร์ที่ 1 ใสในบีกเกอร์ที่ 2 แล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งเครื่องเดิม บันทึกค่าลงในตาราง
- 5) คำนวณน้ำหนักน้ำ และค่าความคลาดเคลื่อน

การทดลองที่ 2

- 1) ตวงน้ำใสในกระบอกตวง ขนาด 100 mL (โดยให้ปริมาตรน้ำไม่เกิน 80 mL)
- 2) อ่านและบันทึกปริมาตรน้ำในกระบอกตวง ตามหลักเลขนัยสำคัญ บันทึกค่าลงในตาราง
- 3) นำบีกเกอร์เปล่า ขนาด 250 mL 1 ใบ ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง จดน้ำหนัก
- 4) เทน้ำกระบอกตวงใสในบีกเกอร์แล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งเครื่องเดิม บันทึกค่าลงในตาราง
- 5) คำนวณน้ำหนักน้ำ และค่าความคลาดเคลื่อน

การทดลองที่ 3

- 1) นำบีกเกอร์เปล่า ขนาด 250 mL 1 ใบ ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง จดน้ำหนัก
- 2) ใช้ปิเปต ขนาด 25.00 mL ดูดน้ำให้ได้ปริมาตร 20.00 mL แล้วเทใสในบีกเกอร์แล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งเครื่องเดิม บันทึกค่าลงในตาราง
- 3) คำนวณน้ำหนักน้ำ และค่าความคลาดเคลื่อน

ตอนที่ 2 การจัดการตัวเลขตามหลักเลขนัยสำคัญ

2.1) จงเขียนสัญกรณ์เชิงวิทยาศาสตร์ (scientific notation) โดยให้มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

- 1.1) 0.00000000105 m
- 1.2) 0.000546 g
- 1.3) 1090 K
- 1.4) 1050000 s
- 1.5) 0.0500 mol

2.2) แสดงการนับเลขนัยสำคัญของตัวเลขต่อไปนี้

- 1.1) 0.00000000105
- 1.2) 0.000546
- 1.3) 1090
- 1.4) 1050000
- 1.5) 0.050

2.3) แสดงการหาค่าตอบที่ถูกต้องตามหลักเลขนัยสำคัญ

- 1.1) $10.5 + 12.45 + 12.654$
- 1.2) $2.456 \times 20.244 \times 2.45$
- 1.3) $\frac{504.590}{25.87}$

1.4) $6.02 \times 10^{23} \times 1.055$

1.5) $-\log 0.0000454$

กิจกรรม 3.1

1. หน่วยเอสไอ (SI Unit) สำหรับการวัดทางวิทยาศาสตร์

https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=1488

2. เลขนัยสำคัญ (Significant Figure) https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=2993

การทดลองที่ 3.2 ความเข้มข้นสารละลาย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะและปฏิบัติเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารละลาย

หลักการ

1. หน่วยความเข้มข้น

ความเข้มข้นสารละลาย (concentration) คือ การบอกปริมาณตัวละลาย (solute) ในตัวทำละลาย (solvent) ที่มีปริมาตรแน่นอนปริมาตรหนึ่ง ความเข้มข้นสารละลาย นับได้ว่ามีความสำคัญมากต่อการเรียนและการปฏิบัติทดลองด้านเคมี เนื่องจาก ความเข้มข้นสารละลายเป็นความสัมพันธ์เชิงโมลของสารที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเคมี ดังนั้น เราจำเป็นต้องศึกษาและทำความเข้าใจความเข้มข้นสารละลายอย่างถูกต้อง

หน่วยที่นิยมใช้ในการทดลองทางเคมีในระดับพื้นฐาน เช่น

1) หน่วยร้อยละ (%)

1) ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (%weight per weight; %w/w) หรืออาจเรียกว่า ร้อยละโดยน้ำหนัก หมายถึง น้ำหนักเป็นกรัมของตัวละลายในสารละลาย 100 g เช่น NaCl 35%w/w มีความหมายว่า สารละลาย 100 g จะประกอบด้วย NaCl 35 g และน้ำ 65 g

2) ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร (%weight per volume; %w/v) หมายถึง น้ำหนักของตัวละลายเป็นกรัมในสารละลายปริมาตร 100 mL เช่น NaCl 5%w/v มีความหมายว่า สารละลาย 100 mL มี NaCl ละลายอยู่ 5 g

3) ร้อยละโดยปริมาตรต่อปริมาตร (%volume per volume; %v/v) หรืออาจเรียกว่า ร้อยละโดยปริมาตร หมายถึง ปริมาตรของตัวละลายหน่วย mL ในสารละลายปริมาตร 100 mL มักใช้กับสารละลายที่เกิดจากการละลายของเหลวในของเหลว เช่น เอทานอล (C₂H₅OH) 10%v/v ในน้ำ มีความหมายว่า สารละลายเอทานอล 100 mL มีเอทานอลละลายอยู่ 10 mL

2) หน่วยโมลาริตี (molarity; M) หรือเรียกว่า โมลาร์ (molar) คือ ความเข้มข้นสารละลายบอกถึงจำนวนโมลของตัวละลายในสารละลายปริมาตร 1 L เช่น NaOH 0.50 mol/L มีความหมายว่า ในสารละลาย 1 L มี NaOH ละลายอยู่ 0.50 mol

3) หน่วยนอร์แมลิตี (normality; N) หรือเรียกว่า นอร์แมล (normal) คือ ความเข้มข้นสารละลายบอกถึงจำนวนกรัมสมมูล (g_{eq.wt.}) ของตัวละลายในสารละลายปริมาตร 1 L เช่น สารละลายกรดไนตริก (HNO₃) 1.0 N มีความหมายว่า ในสารละลายปริมาตร 1 L มีกรดไนตริกละลายอยู่ 1 กรัมสมมูล

4) หน่วยส่วนในล้านส่วน (part per million; ppm) คือ น้ำหนักตัวละลายในหนึ่งล้านส่วนน้ำหนักของสารละลาย โดยหน่วยนี้ใช้กับระบบสารละลายที่มีปริมาณตัวละลายน้อยมาก นิยมเรียกอย่างย่อว่า พีพีเอ็ม (ppm) รูปแบบหน่วยส่วนในล้านส่วนที่นิยมใช้ในรายงานวิจัย คือ mg/L, µg/mL, mg/kg และ µg/g เป็นต้น

2. ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย

การเตรียมสารละลายในการวิเคราะห์สารที่สนใจใด ๆ นับว่าเป็นส่วนที่สำคัญสำหรับการทดลองเนื่องจาก ปริมาณ หรือความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ทำปฏิกิริยาใด ๆ ต้องสามารถนำมาคำนวณกลับหาความเข้มข้นของสารที่สนใจได้ตามปริมาณสัมพันธ์ ดังนั้น การเตรียมสารละลายจึงไม่ได้มีความหมายเพียงการนำสารเคมีมาละลายในตัวทำละลายเท่านั้น แต่ยังคงคำนึงถึงความบริสุทธิ์ (assay) ปริมาณสารเจือปน (impurity) หรือปัจจัยอื่น ๆ

การเตรียมสารละลายจากสารตั้งต้นที่เป็นของแข็งหรือของเหลว จำเป็นจะต้องทราบข้อมูลของสารเคมีนั้นเสียก่อน โดยดูได้จากฉลากที่ขวดสารเคมี ข้อมูลที่จำเป็น เช่น ชื่อสารเคมี สูตรโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล ข้อมูลแสดงความปลอดภัยของสารเคมี ระดับความเข้มข้น และองค์ประกอบของสารเคมี เป็นต้น ในการวิเคราะห์ที่ต้องการความแม่นยำ โดยเฉพาะการวิเคราะห์สารปริมาณน้อยมาก (trace analysis) อาจต้องนำสารเคมีมาทำให้บริสุทธิ์ก่อนนำไปเตรียมเป็นสารละลาย

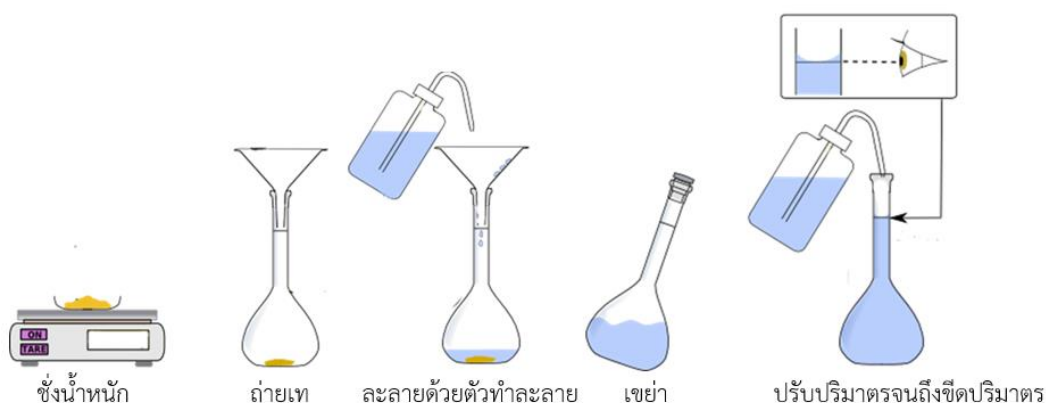
โดยส่วนใหญ่สารเคมีที่จะนำมาเตรียมเป็นสารละลายจะเป็นของแข็งและของเหลว ขั้นตอนการคำนวณและวิธีการเตรียมสารละลายอาจสรุปได้ดังนี้

1) การคำนวณน้ำหนัก หรือปริมาตรที่ต้องการ เพื่อใช้สำหรับการเตรียมสารละลายในหน่วยความเข้มข้นที่ต้องการ ขั้นตอนนี้ต้องทราบว่า จะเตรียมสารละลายในหน่วยความเข้มข้นใด ปริมาตรที่ต้องการเตรียม และความสามารถในการละลาย เป็นต้น สารเคมีบางประเภทจำเป็นต้องผ่านการอบเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมงเสียก่อน เช่น สารมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard reagents) สำหรับการหาความเข้มข้นแน่นอน (standardization)

2) การชั่งหรือตวง ขั้นตอนนี้ผู้เตรียมต้องทำการชั่งหรือตวงสารตามที่คำนวณข้างต้น การเตรียมสารละลายที่ต้องการความเข้มข้นแน่นอนหรือถูกต้องนิยมใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าละเอียด 4 ตำแหน่ง แต่ถ้าต้องการเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นโดยประมาณจะใช้เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง และการตวงนิยมใช้ปิเปต (ผู้เตรียมควรศึกษาการใช้เครื่องชั่ง วิธีการชั่งอย่างถูกวิธีเพื่อให้ได้น้ำหนักสารที่ต้องการ) โดยเฉพาะการชั่งสารปริมาณน้อย ๆ ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ภาชนะสำหรับชั่งสารที่นิยมใช้ ได้แก่ ขวดชั่งสาร

3) การถ่ายสารที่ชั่งลงในขวดกำหนดปริมาตร (volumetric flask) ทำได้โดยการใช้ตัวทำละลายปริมาณเล็กน้อยละลายสารให้หมดเสียก่อน แล้วจึงเทใส่ขวดกำหนดปริมาตร หรืออาจเทของแข็งที่ชั่งลงในขวดกำหนดปริมาตรก่อนแล้วค่อยเติมตัวทำละลาย ควรใช้ตัวทำละลายล้างภาชนะที่ใช้ชั่งสารแล้วเทใส่ขวดกำหนดปริมาตร เนื่องจากอาจมีสารบางส่วนติดที่ผนังภาชนะ

4) การปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายให้ได้ปริมาตรตามที่ต้องการ ขวดกำหนดปริมาตรจะมีขีดบอกปริมาตร อย่าเติมให้สารละลายเกินขีดบอกปริมาตรเป็นอันตราย เนื่องจากจะไม่สามารถคำนวณความเข้มข้นแน่นอนได้ โดยให้ส่วนโค้งล่างของระดับปริมาตรตัวทำละลายอยู่ระดับขีดบอกปริมาตรของขวดกำหนดปริมาตร โดยต้องดูที่ระดับสายตา



ขั้นตอนการเตรียมสารละลายโดยทั่วไปที่ต้องการความแม่นยำของความเข้มข้นจะต้องเตรียมโดยใช้อุปกรณ์ที่มีความแม่นยำผ่านการทวนสอบ เช่น เครื่องชั่ง ปิเปต กระจกตวง และขวดกำหนดปริมาตร เป็นต้น แต่ในกรณีที่ไม่ต้องการความแม่นยำของปริมาตรสารละลายมากนัก อาจใช้ปิเปตในการเตรียมแบบประมาณ เนื่องจาก

สารละลายประเภทนั้นไม่อาจทราบความเข้มข้นแน่นอนได้อย่างแท้จริง แม้ใช้เครื่องแก้วที่มีปริมาตรแน่นอน เช่น สารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ (secondary standard reagents)

วิธีการทดลอง

1. สารเคมี

- 1) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (MW. = 40.0 g/mol)
- 2) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 36%w/w (Mw.=36.46 g/mol, d=1.18 g/mL)
- 3) KMnO_4 (MW. = 158.03 g/mol)

2. อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง
2. ขวดกำหนดปริมาตร 100 mL
3. ปีกเกอร์
4. กรวยกรอง
5. ปิเปต

3. การทดลอง

ตอนที่ 1 เตรียมสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.100 mol/L ปริมาตร 250 mL

- 1) คำนวณน้ำหนักที่ต้องใช้ในการเตรียมเป็นสารละลายของ NaOH (ให้อาจารย์ตรวจสอบความถูกต้องก่อนนำไปชั่ง)
- 2) ชั่งน้ำหนัก NaOH ด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ลงในปีกเกอร์ขนาด 100 mL ที่แห้งและสะอาด
- 3) เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 25 mL ใช้แท่งแก้วคนจนสารละลายหมด แล้วเทสารละลายผ่านกรวยกรองลงในขวดวัดกำหนดปริมาตรขนาด 100 mL ล้างปีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย 2-3 ครั้ง เทน้ำกลั่นที่ล้างลงในขวดกำหนดปริมาตร
- 4) ค่อยๆ เติมน้ำกลั่นจนสารละลายมีระดับใกล้ถึงขีดบอกปริมาตร แล้วใช้หลอดหยดในการปรับปริมาตร ปิดจุกแล้วเขย่าให้สารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน
- 5) เทสารละลายที่เตรียมได้ลงในขวดพลาสติก (ห้ามใช้ขวดจุกแก้ว) และปิดฉลากระบุข้อมูลของสารละลายที่เตรียมได้ (ระบุชื่อสาร ความเข้มข้นและวันที่เตรียม)

ตอนที่ 2 เตรียมสารละลาย HCl เข้มข้น 0.100 mol/L ปริมาตร 250 mL

- 1) คำนวณปริมาตร HCl ที่ต้องใช้ในการเตรียมเป็นสารละลาย HCl (ให้อาจารย์ตรวจสอบความถูกต้องก่อนปิเปต)
- 2) เทสารละลาย HCl ใส่ปีกเกอร์ที่แห้งและสะอาด (เทสารละลายกรดพอประมาณ) ไม่ควรใช้ปิเปตจุ่มลงในขวดสารเคมีโดยตรง และสารละลายที่เหลือจากการเตรียมไม่เทกลับลงไปขวดสารเคมี
- 3) ปิเปตสารละลายกรดตามปริมาตรที่ต้องการใส่ลงในขวดกำหนดปริมาตร 250 mL
- 4) ค่อยๆ เติมน้ำกลั่นจนสารละลายมีระดับใกล้ถึงขีดบอกปริมาตร แล้วใช้หลอดหยดในการปรับปริมาตร ปิดจุกแล้วเขย่าให้สารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

5) เทสารละลายที่เตรียมได้ลงในขวดพลาสติกหรือขวดแก้ว และปิดฉลากระบุข้อมูลของสารละลายที่เตรียมได้ (ระบุชื่อสาร ความเข้มข้นและวันที่เตรียม)

ตอนที่ 3 เตรียมสารละลาย Mn เข้มข้น 100 ppm ปริมาตร 100 mL

1) คำนวณน้ำหนักที่ต้องใช้ในการเตรียมเป็นสารละลายของ KMnO_4 (ให้อาจารย์ตรวจสอบความถูกต้องก่อนนำไปชั่ง)

2) ชั่งน้ำหนัก KMnO_4 ด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 mL ที่แห้งและสะอาด

3) เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 25 mL ใช้แท่งแก้วคนจนสารละลายหมด แล้วเทสารละลายผ่านกรวยกรองลงในขวดวัดกำหนดปริมาตรขนาด 100 mL ล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย 2-3 ครั้ง เทน้ำกลั่นที่ใช้ล้างลงในขวดกำหนดปริมาตร

4) ค่อยๆ เติมน้ำกลั่นจนสารละลายมีระดับใกล้ถึงขีดบอกปริมาตร แล้วใช้หลอดหยดในการปรับปริมาตร ปิดจุกแล้วเขย่าให้สารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

5) เทสารละลายที่เตรียมได้ลงในขวดสีชา หรือห่อหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียมป้องกันแสง และปิดฉลากระบุข้อมูลของสารละลายที่เตรียมได้ (ระบุชื่อสาร ความเข้มข้นและวันที่เตรียม)

กิจกรรม 3.2

1. ความเข้มข้นของสารละลาย https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=4053
2. การคำนวณและวิธีการเตรียมสารละลาย https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=8623
3. การคำนวณการเตรียมสารละลายหน่วย ppm
https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=11268

บทปฏิบัติการที่ 4

การไทเทรต

(Titration)

การทดลองที่ 4.1 การหาความเข้มข้นแน่นอนของสารละลาย NaOH

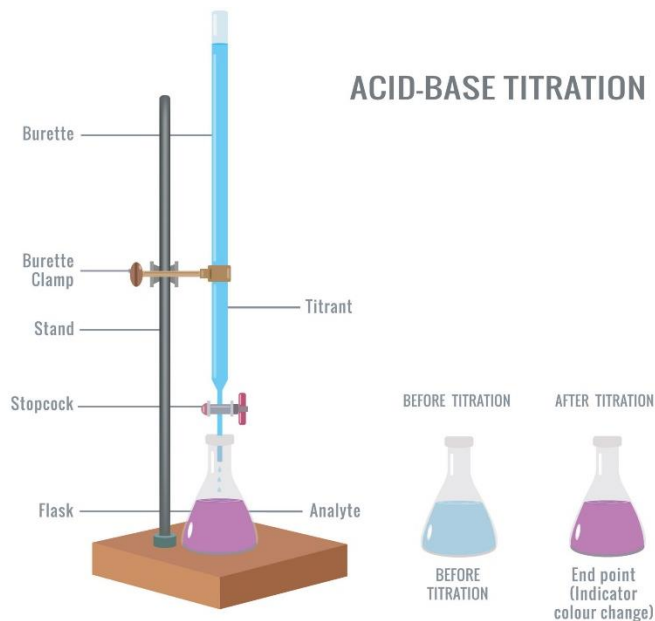
วัตถุประสงค์

1. เพื่อปฏิบัติทดลองหาความเข้มข้นแน่นอนของสารละลาย NaOH
2. เพื่อปฏิบัติหาปริมาณกรดแอสติกในน้ำส้มสายชูกลิ่นวิธีการไทเทรต

หลักการ

1. การไทเทรต

บิวเรต (burette) เป็นอุปกรณ์วัดปริมาตรที่มีขีดบอกรวมปริมาตรต่าง ๆ และมีก๊อกสำหรับเปิด-ปิด เรียกว่า stop-cock เพื่อบังคับการไหลของของสารละลาย บิวเรตเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีขนาดตั้งแต่ 10 mL จนถึง 100 mL บิวเรตสามารถวัดปริมาตรได้อย่างใกล้เคียงความจริงมากที่สุด แต่ยังมี ความผิดพลาดอยู่เล็กน้อย ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของบิวเรต



ภาพที่ 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์การไทเทรต

การติดตั้งอุปกรณ์ในการไทเทรต ดังภาพที่ 4.1 สารละลายที่บรรจุในบิวเรต เรียกว่า ไทแทรนด์ (titrant) สารละลายที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ เรียกว่า ไทแทรนด์ (titrand) เมื่อค่อยเปิด stop-cock ไทแทรนด์จะค่อยหยดลงในขวดรูปชมพู่ การอ่านสเกลบนบิวเรต ควรให้อยู่ในระดับสายตาและถือส่วนโค้งที่ต่ำที่สุดเป็นเกณฑ์ในการอ่าน ปริมาตรอาจใช้กระดาษขาวบังบิวเรตเพื่ออ่านสเกลบนบิวเรตได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

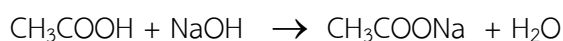
ขั้นตอนการไทเทรต



1. ล้างบิวเรตให้สะอาด ด้วยสารทำความสะอาด
2. บรรจุสารละลายเพียงเล็กน้อย เพื่อตรวจสอบการรั่วของ stopcock
3. ชะล้างบิวเรตด้วยสารละลายที่จะใช้บรรจุ ประมาณ 5 mL แล้วไขให้สารละลายไหลออกทางปลายบิวเรต
4. เทสารละลายลงในบิวเรตโดยผ่านทางกรวยกรอง ให้มีปริมาตรเหนือขีดศูนย์เล็กน้อย เอากรวยออกแล้วเปิดก๊อกให้สารละลายไหลออกทางปลายบิวเรต เพื่อปรับให้ปริมาตรของสารละลายอยู่ที่ขีดศูนย์พอดี การปรับปริมาตรควรทำในระดับสายตา (ที่บริเวณปลายบิวเรตจะต้องไม่มีฟองอากาศ หากมีฟองอากาศจะต้องเปิดก๊อกให้สารละลายไล่อากาศออกไปจนหมด)
5. การจับปลายบิวเรตและการจับขวดรูปชมพู่ขณะไทเทรต ใช้มือที่ไม่ถนัดจับ stopcock เพื่อเปิดก๊อกให้สารละลายไหล และมืออีกข้างจับขวดรูปชมพู่พร้อมกวนสารละลายแบบวงกลมตลอดเวลา
6. ค่อยๆ หมุนปิด stopcock เมื่อใกล้ถึงจุดยุติเพื่อสารละลายไหลออกมาทีละหยด เพื่อไม่ให้เกิดจุดยุติ และต้องปิด stopcock ทันทีเมื่อถึงจุดยุติ ในกรณีที่ไทเทรตจะเกือบหมดบิวเรตแต่ยังไม่ถึงจุดยุติ อย่าปล่อยให้สารละลายเลยขีดบอกปริมาตรสุดท้ายลงมา จะไม่ทราบปริมาตรที่แน่นอนได้
7. ถ้าปลายบิวเรตรั่วซึม โดยสารละลายไม่ได้ไหลออกทางปลายบิวเรตเพียงด้านเดียว ให้หยุดไทเทรตและเปลี่ยนบิวเรตทันที
8. การไทเทรตโดยทั่วไปต้องทำอย่างน้อย 2 ครั้ง ถ้าการทดลองสองครั้ง ปริมาตรแตกต่างกันไม่เกิน 0.2 mL แต่ถ้าปริมาตรที่ไทเทรตสองครั้งต่างกันมากกว่า 0.2 mL ให้ทำไทเทรตครั้งที่ 3 แล้วจึงหาค่าเฉลี่ย

การหาปริมาณกรด (HA) ในสารละลายโดยการไทเทรตเป็นวิธีการนำสารละลายของกรดมาเติมอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมแล้วนำไปไทเทรตกับสารละลาย NaOH ก่อนถึงจุดสมมูลจะมี HA เหลืออยู่และอินดิเคเตอร์จะแสดงสีที่อยู่ในรูปกรด หลังจากเติม NaOH ลงไป HA จะทำปฏิกิริยาและทำให้เกิด NaA จนกระทั่ง HA ถูกเปลี่ยนเป็น NaA หมดพอดี ที่จุดนี้เรียกว่า จุดสมมูล (equivalent point) ถ้าเติม NaOH ลงไปอีกเล็กน้อยก็จะทำให้สารละลายที่ได้เป็นเบส ซึ่งทำให้สีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนไปเป็นสีที่อยู่ในรูปเบส จุดที่อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีเรียกว่า จุดยุติ (end point)

ในการทดลองนี้เป็นการไทเทรตหาปริมาณกรดในน้ำส้มสายชูกลั่น น้ำส้มสายชูที่ผลิตขายในท้องตลาดมีอยู่สองประเภทคือ ประเภทที่หนึ่งเป็นน้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักพวกพืชตามวิถีโภชนาศาสตร์ ซึ่งจะมีกรดแอซิก (acetic acid) เป็นองค์ประกอบใหญ่และมีสารอินทรีย์อื่น ๆ เจือปนอยู่ ส่วนอีกประเภทหนึ่งได้จากการนำกรดแอซิกติกที่บริสุทธิ์มาทำการเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในการทดลองนี้เป็นการวิเคราะห์โดยวิธีไทเทรตของปฏิกิริยากรด เบส โดยใช้สารละลาย NaOH เป็นตัวไทเทรต และมีฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติของปฏิกิริยาจะเปลี่ยนจากสารละลายใสเป็นสีชมพูอ่อน การคำนวณปริมาณกรดจะคำนวณตามปริมาณสัมพันธ์ระหว่างกรดและเบส ดังสมการ



วิธีการทดลอง

1. สารเคมี

- 1) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (MW. = 40.0 g/mol)
- 2) HCl 36%w/w (Mw.=36.46 g/mol, d=1.18 g/mL)

3) ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) 0.1% w/v ชั่งฟีนอล์ฟทาลีน 0.1 กรัม ละลายด้วยเอทานอล 30 mL แล้วเติมน้ำกลั่น 70 mL คนให้ละลายเข้ากัน (เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเตรียมให้แล้ว)

4) โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$, KHP) (MW.=204.224 g/mol) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (สารนี้เป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิ)

5) น้ำส้มสายชู

2. อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง
2. ขวดกำหนดปริมาตร 100 mL
3. กรวยกรอง
4. ปิเปต
5. บิวเรต 50 mL
6. ขวดรูปชมพู่ 250 mL

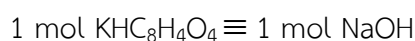
3. การทดลอง

ตอนที่ 1 เตรียมสารละลาย NaOH

ใช้สารละลาย NaOH จากการทดลอง 3.1

ตอนที่ 2 การหาความเข้มข้นแน่นอน (standardization) ของสารละลาย NaOH

- 1) ชั่งสาร $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ 0.50xx g ในปิเกอร์ 50 mL เติมน้ำปริมาตร 25.00 mL (ใช้ปิเปตขนาด 25.00 mL) แล้วเทใส่ขวดรูปชมพู่ (ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง)
- 2) เติมฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด แล้วเติมน้ำปริมาตร 25.00 mL โดยใช้ปิเปต
- 3) ไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH ที่บรรจุอยู่ในบิวเรต จนสารละลายเปลี่ยนจากสารละลายใสไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อนอย่างถาวร จดปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ตามหลักเลขนัยสำคัญ)
- 4) คำนวณความเข้มข้นของสารละลาย NaOH



การคำนวณ $\text{mmol NaOH} = \text{mmol KHP}$

$$M_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}} = \frac{\text{mgKHP}}{\text{gfw.KHP}}$$

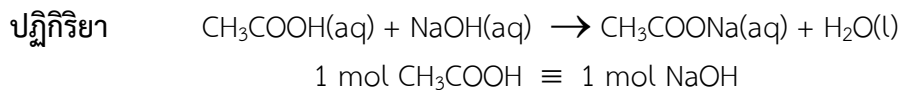
$$M_{\text{NaOH}} = \frac{\text{mgKHP}}{\text{gfw.KHP} \times V_{\text{NaOH}}}$$

ตอนที่ 3 การหาปริมาณกรดแอสติกในน้ำส้มสายชูกลั่นวิธีการไทเทรต

ปิเปตน้ำส้มสายชู 5.00 mL (ใช้ปิเปต) ใส่ลงในขวดกำหนดปริมาตร 100 mL แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น จนถึงขีดบอกปริมาตร จะมีอัตราส่วนเจือจาง (dilution factor) 20 เท่า ทำการทดลองตามขั้นตอน

1. ปิเปตน้ำส้มสายชูที่เตรียมไว้ ปริมาตร 25.00 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL

2. เติมสารละลายอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด
3. ไทเทรตกับสารละลาย NaOH ที่บรรจุในบิวเรต จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสารละลายใสไม่มีสี เป็นสีชมพูอ่อนอย่างถาวร จดปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ (ตามหลักเลขนัยสำคัญ)
4. คำนวณความเข้มข้น CH_3COOH ในสารตัวอย่าง
5. คำนวณ $\%(\text{w/v})$ CH_3COOH ในสารตัวอย่าง



การคำนวณ $\%(\text{w/v})$ CH_3COOH

$$1 \text{ mmol } \text{CH}_3\text{COOH} = 1 \text{ mmol } \text{NaOH}$$

กิจกรรม 4.1

1. ดูคลิปวิดีโอ <https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=YqfvRBJ-iPg>
2. ดูคลิปวิดีโอ <https://www.youtube.com/watch?v=sFpFCPTDv2w>
3. การคำนวณหาความเข้มข้นแน่นอน (standardization)
https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12103

การทดลองที่ 4.2 การหาความเข้มข้นแน่นอนของสารละลาย HCl

วัตถุประสงค์

1. เพื่อปฏิบัติเกี่ยวกับการหาความเข้มข้นแน่นอนของสารละลาย HCl
2. เพื่อปฏิบัติเกี่ยวกับการหาปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตโดยวิธีการไทเทรต

หลักการ

หลักการไทเทรต

วิธีการทดลอง

1. สารเคมี

- 1) HCl 36%w/w (Mw.=36.46 g/mol, d=1.18 g/mL)
- 2) Na₂CO₃ (Mw.=105.99 g/mol) อบที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- 3) เมทิลออเรนจ์ (methyl orange)

2. อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง
2. ขวดกำหนดปริมาตร 100 mL
3. กรวยกรอง
4. ปิเปต
5. บิวเรต 50 mL
6. ขวดรูปชมพู่ 250 mL

3. การทดลอง

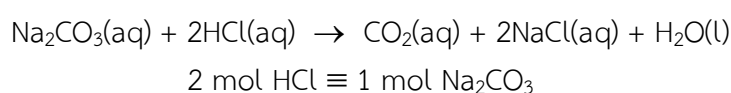
ตอนที่ 1 การเตรียมสารละลาย HCl

ใช้สารละลาย HCl ที่ได้จากการการทดลอง 3.2

ตอนที่ 2 การหาความเข้มข้นแน่นอน (standardization) ของสารละลาย HCl

- 1) ชั่ง Na₂CO₃ 0.10xx กรัม ในปิเกตอร์ 50 mL เติมน้ำ 25.00 mL (ใช้ปิเปตขนาด 25 mL) แล้วเทใส่ขวดรูปชมพู่ (ทำการทดลอง 3 ครั้ง)
- 2) เติมสารละลายอินดิเคเตอร์เมทิลออเรนจ์ 5-6 หยด
- 3) ไทเทรตด้วยสารละลาย HCl ที่บรรจุอยู่ในบิวเรต จนสารละลายเปลี่ยนจากสารละลายเหลืองส้มเป็นสีแดง จดปริมาตรสารละลาย HCl ที่ใช้ (ตามหลักเลขนัยสำคัญ)
- 4) คำนวณความเข้มข้นของสารละลาย HCl

ปฏิกิริยา



การคำนวณ

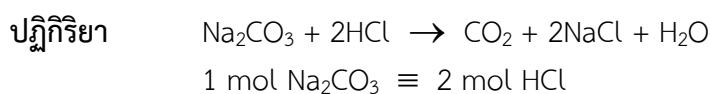
$$\text{mmol HCl} = 2 \text{ mmol Na}_2\text{CO}_3$$

$$M_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} = \left(\frac{2}{1} \right) \frac{\text{mg Na}_2\text{CO}_3}{\text{gfw.Na}_2\text{CO}_3}$$

$$M_{\text{HCl}} = \left(\frac{2}{1} \right) \frac{\text{mg Na}_2\text{CO}_3}{\text{gfw.Na}_2\text{CO}_3 \times V_{\text{HCl}}}$$

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตในโซดาแอส

1. ชั่งสารตัวอย่างให้มีปริมาณระหว่าง 0.10-0.15 กรัม แล้วใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ละลายด้วยน้ำกลั่น 50.00 mL (ทำ 3 ขวด)
2. เติมสารละลายอินดิเคเตอร์เมทิลออเรนจ์ 5-6 หยด
3. ไทเทรตด้วยสารละลาย HCl ที่บรรจุอยู่ในบิวเรต จนสารละลายเปลี่ยนจากสารละลายเหลืองส้มเป็นสีแดง จดปริมาตรสารละลาย HCl ที่ใช้ (ตามหลักเลขนัยสำคัญ)
4. คำนวณร้อยละโดยน้ำหนัก Na_2CO_3 ในสารตัวอย่าง



การคำนวณ

$$1 \text{ mmol Na}_2\text{CO}_3 = 2 \text{ mmol HCl}$$

$$\frac{\text{mg}_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{\text{Mw}_{\text{Na}_2\text{CO}_3}} = \left(\frac{1}{2} \right) M_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}}$$

$$\text{mg}_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \left(\frac{1}{2} \right) M_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} \times \text{Mw}_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$$

กิจกรรม 4.2

1. ดูคลิปวิดีโอ https://www.youtube.com/watch?v=0x_-SYOFL2c
2. ดูคลิปวิดีโอ <https://www.youtube.com/watch?v=T5et7knrZpY>
3. การคำนวณหาความเข้มข้นแน่นอน (standardization)
https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=12103

บทปฏิบัติการที่ 5

กรด-เบส อินดิเคเตอร์ และการใช้เครื่องวัดกรด-เบส

(Acid-Bases, Indicators and pH meter)

การทดลองที่ 5.1 การหาค่า pH ของสารละลายโดยใช้อินดิเคเตอร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อปฏิบัติการหาค่า pH ของสารละลายโดยใช้อินดิเคเตอร์
2. เพื่อปฏิบัติการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

หลักการ

อินดิเคเตอร์ (indicator) คือ สารเคมีซึ่งอาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ที่มีสมบัติเปลี่ยนสีได้ เพื่อบอกจุดสมมูล (equivalent point) ของสารในกระบวนการไทเทรต อินดิเคเตอร์มีหลายประเภทตามชนิดของปฏิกิริยา แต่ในที่นี้จะศึกษาเฉพาะอินดิเคเตอร์ที่ใช้ในปฏิกิริยากรดเบส (acid-base indicator) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ประเภทสีย้อม (dye) ซึ่งมีสมบัติเป็นกรดหรือเบสอ่อน มี pK_a ต่าง ๆ กัน อินดิเคเตอร์แต่ละชนิดมีสีและช่วงการเปลี่ยนสีเฉพาะตัว (ตาม pK_{in}) ทำให้เลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการบอกจุดยุติ (end point) ตัวอย่างของอินดิเคเตอร์บางชนิดที่นิยมใช้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ชนิดและการเปลี่ยนแปลงของอินดิเคเตอร์บางชนิดที่นิยมใช้

อินดิเคเตอร์	ช่วง pH	pK_{in}	สีปรากฏในรูปกรด-เบส
thymol blue	1.2-2.8	1.6	แดง-เหลือง
methyl yellow	2.9-4.0	3.3	แดง-เหลือง
methyl orange	3.1-4.4	4.2	แดง-เหลือง
bromocresol green	3.8-5.4	4.7	เหลือง-น้ำเงิน
methyl red	4.2-6.2	5.0	แดง-เหลือง
chlorophenol red	4.8-6.4	6.0	เหลือง-แดง
bromothymol blue	6.0-7.6	7.1	เหลือง-น้ำเงิน
phenol red	6.4-7.6	7.4	เหลือง-แดง
cresol purple	7.4-9.0	8.5	เหลือง-ม่วง
phenolphthalein	8.0-9.0	9.0	ไม่มีสี-แดง
thymolphthalein	9.3-10.5	9.9	ไม่มีสี-น้ำเงิน
alizarine yellow	10.0-12.0	11.0	เหลือง-ม่วง

การหา pH ของสารละลายโดยการใช้อินดิเคเตอร์

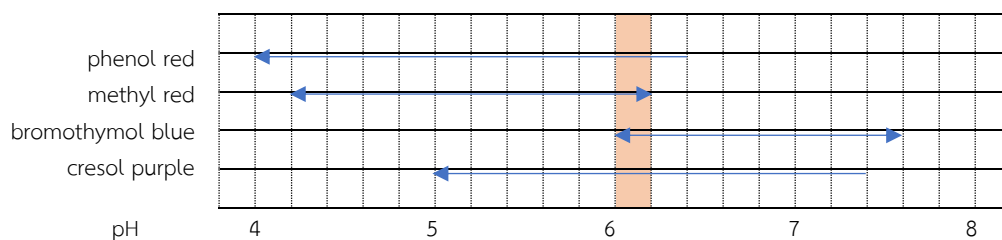
การใช้อินดิเคเตอร์หลายๆ ชนิดในการหา pH ของสารละลายตัวอย่าง ทำโดยการแบ่งสารตัวอย่างออกเป็นส่วนๆ แต่ละส่วนให้เติมอินดิเคเตอร์หนึ่งชนิดลงไป ดังตัวอย่างในตารางที่ 5.2



ตารางที่ 5.2 สีของสารละลายที่ปรากฏเมื่ออินดิเคเตอร์ชนิดต่างๆ

อินดิเคเตอร์	ช่วง pH	ช่วงการเปลี่ยนสี	สีของสารละลาย	ช่วง pH ที่แสดง
phenol red	6.4-7.6	เหลือง-แดง	เหลือง	<6.4
methyl red	4.2-6.2	แดง-เหลือง	ส้ม	4.2-6.2
bromothymol blue	6.0-7.6	เหลือง-น้ำเงิน	เขียว	6.0-7.6
cresol purple	7.4-9.0	เหลือง-ม่วง	เหลือง	<7.4

จากข้อมูลในตารางที่ 5.2 สามารถนำมาพิจารณาหาช่วง pH ของสารละลายตัวอย่างได้โดยเขียนช่วง pH ที่แสดงของอินดิเคเตอร์ ดังแผนภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 5.1 ช่วง pH ของสารละลายตัวอย่าง

ช่วง pH นี้สีที่ปรากฏเป็นจริงสำหรับทุกอินดิเคเตอร์ จะเห็นว่ามีช่วง pH ที่ซ้อนทับกันของทุกอินดิเคเตอร์สรุปได้ว่าช่วง pH ของสารละลายตัวอย่างมีค่าระหว่าง 6.0-6.2

นอกจากอินดิเคเตอร์กรด-เบส ที่เป็นสารอินทรีย์แล้วในธรรมชาติยังมีสารหลายชนิดที่มีสมบัติเหมาะสมที่จะใช้เป็นอินดิเคเตอร์ได้ กล่าวคือ มีสีต่างกันที่ pH ต่างกันสารเหล่านี้พบในดอกไม้ ผลไม้ ผัก หรือรากไม้บางชนิด

วิธีการทดลอง

1. สารเคมี

- 1) สารละลายกรด และเบส
- 2) อินดิเคเตอร์

2. อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง
2. หลอดหยด
3. กระดาษวัด pH
4. กระดาษลิตมัส
5. เครื่องวัด pH

3. การทดลอง

ตอนที่ 1 การหา pH ของสารละลายตัวอย่างโดยใช้อินดิเคเตอร์

1. รับสารละลายตัวอย่าง จดหมายเลขและรายละเอียด ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส
2. แบ่งใส่หลอดทดลอง 4 หลอด ๆ ละประมาณ 2 mL (40 หยด) หยดอินดิเคเตอร์ 3 หยด ลงไปดังนี้

สารละลายเป็นกรด	สารละลายเป็นเบส
หลอดที่ 1 หยด thymol blue	หลอดที่ 1 หยด bromothymol blue
หลอดที่ 2 หยด methyl orange	หลอดที่ 2 หยด cresol purple
หลอดที่ 3 หยด methyl red	หลอดที่ 3 หยด phenolphthalein
หลอดที่ 4 หยด bromothymol blue	หลอดที่ 4 หยด alizarine yellow

3. เขย่าหลอดทดลองเบา ๆ บันทึกสีที่ปรากฏในแต่ละหลอด
4. เปรียบเทียบโดยนำตัวอย่าง วัดค่า pH โดยใช้กระดาษวัด pH หรือเครื่องวัด pH

ตอนที่ 2 การเตรียมอินดิเคเตอร์ธรรมชาติ

1. การเตรียมสารอินดิเคเตอร์ธรรมชาติจากกะหล่ำปลีม่วง
2. การเตรียมสารอินดิเคเตอร์ธรรมชาติจากดอกอัญชัน
3. การเตรียมสารอินดิเคเตอร์ธรรมชาติจากดอกดาวเรือง
4. การเตรียมสารอินดิเคเตอร์ธรรมชาติจากดอกกระเจี๊ยบ

ตอนที่ 3 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

1. เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COONa}$ ความเข้มข้น 100 mM
2. เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$ ความเข้มข้น 100 mM

กิจกรรม 5.1

1. อินดิเคเตอร์ธรรมชาติ <https://youtu.be/oG-pNRVHsc4>
2. การสกัดอินดิเคเตอร์จากธรรมชาติ <https://youtu.be/q26IKWVgssY>

การทดลองที่ 5.2 การใช้เครื่องวัดกรด-เบส

วัตถุประสงค์

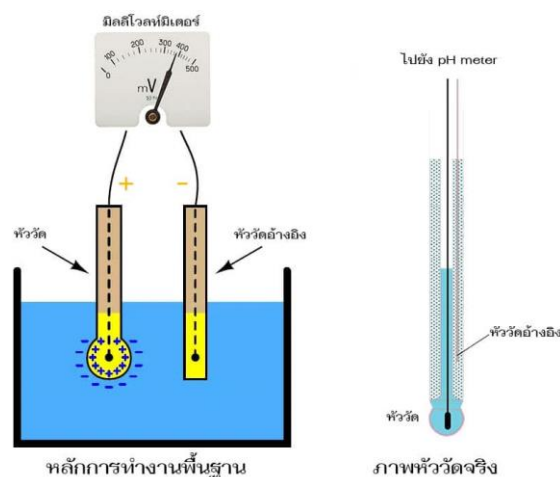
1. เพื่อปฏิบัติการใช้เครื่องวัดกรด-เบส
2. เพื่อปฏิบัติการทดสอบสมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์

หลักการ

เครื่องวัด pH (pH-meter) เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้วัดกิจกรรมของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายที่ใช้น้ำหรือที่เรียกว่าค่า pH หน่วย pH หนึ่งหน่วยแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเป็นฟังก์ชันลอการิทึม การวัดค่า pH จะวัดความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อยๆ ในหน่วยมิลลิโวลต์ mV) ระหว่างอิเล็กโทรด pH และอิเล็กโทรดอ้างอิงความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับความเป็นกรดหรือด่างของสารละลาย เครื่องวัดค่าพีเอชนี้ถูกใช้ในการใช้งานมากมายตั้งแต่การทดลองในห้องปฏิบัติการไปจนถึงการควบคุมคุณภาพ

เครื่องวัดค่าพีเอชมีหลักการทำงานโดยวัดความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย pH คือความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลาย สารละลายที่มี H^+ ไอออนมากกว่าจะยังคงเป็นกรดในขณะที่สารละลายที่มี OH^- มากกว่าจะยังคงเป็นด่างค่า pH ของสารละลายมีตั้งแต่ 1 ถึง 14 สารละลายมีระดับความเป็นกรดและด่างเท่ากันจะถือว่าน้ำมีระดับ pH เป็นกลาง ความเป็นกรดของค่า pH อยู่ในช่วง 0 ถึง 6.9 ส่วน 7.0 คือค่ากลาง ความเป็นด่างจะเริ่มต้นจาก 10.0 หรือสูงกว่า

ส่วนประกอบของ pH Meter จะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ หัววัดหรืออิเล็กโทรด (electrode) และเครื่องวัด pH โดยที่อิเล็กโทรด เพื่อวัดความต่างของศักย์ไฟฟ้าในหน่วย mV (มิลลิโวลต์) ระหว่างหัววัด pH และหัววัดอ้างอิงและความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับความเป็นกรดหรือเบส เนื่องจากหัววัดหลอดแก้วบางๆ ช่วยให้การวัดไอออนไฮโดรเจนได้มากขึ้น อิเล็กโทรดแก้วจะวัดค่าศักย์ไฟฟ้าเคมีของไฮโดรเจนไอออน โดยค่า pH เท่ากับ 7 มีค่า mV ทางทฤษฎีเป็น 0 mV ขณะที่ 0 pH จะเป็น +414.12 mV และที่ 14 pH จะเท่ากับ -414.12 mV เครื่องวัดจะปรับค่า mV เป็นค่า pH และแสดงผลบนหน้าจอ LCD



อิเล็กโทรดจะวัดแรงดันไฟฟ้าในหน่วยมิลลิโวลต์แล้วส่งสัญญาณให้เครื่องวัดเพื่อแสดงผลให้เราเห็นว่าเป็นการวัดค่า pH ยิ่งความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าเป็นเท่าใดความแตกต่างของปริมาณไฮโดรเจนไอออนก็จะยิ่งมากขึ้น

หลักการวัดค่า pH โดยรวมของเซ็นเซอร์ pH และตัววัดค่า pH ขึ้นอยู่กับการแลกเปลี่ยนไอออนจากสารละลายตัวอย่างไปยังสารละลายภายในของขั้วไฟฟ้าแก้วผ่านหัววัดแก้ว ความพรุนของหัววัดแก้วจะลดลงเมื่อใช้อย่างต่อเนื่องซึ่งจะลดประสิทธิภาพของหัววัด

วิธีการทดลอง

1. สารเคมี

- 1) สารละลายบัฟเฟอร์
- 2) สารละลายกรด-เบส

2. อุปกรณ์

1. เครื่องวัด pH
2. ปีกเกอร์
3. หลอดทดลอง

3. การทดลอง

ตอนที่ 1 การปรับค่ามาตรฐาน (Calibration) ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์

1. เปิดเครื่องวัด pH ประมาณ 10-15 นาที
2. ปรับเป็นโหมด calibration
3. ทำการปรับมาตรฐานด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ (3 จุด) ตามลำดับ

หมายเหตุ ผู้ทดลองควรศึกษาการใช้งานและการทำความสะอาดอิเล็กโทรด

ตอนที่ 2 การวัดค่า pH ของสารละลาย

1. เปิดเครื่องวัด pH ประมาณ 10-15 นาที
2. นำอิเล็กโทรดจุ่มลงในสารละลายที่ต้องการวัด จนสถานะเครื่องวัดคงที่
3. ล้างอิเล็กโทรดและชั่งน้ำด้วยกระดาษทิชชูอย่างระมัดระวัง

ตอนที่ 3 การศึกษาสมบัติสารละลายบัฟเฟอร์

1. เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COONa}$ ความเข้มข้น 100 mM
2. เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$ ความเข้มข้น 100 mM

กิจกรรม 5.2

1. ดูคลิปวิดีโอ การใช้เครื่องวัดค่าพีเอช pH meter https://youtu.be/2xLn_xuFbJ8
2. pH meter คืออะไร? <https://www.tools.in.th/ph/what-is-ph-meter>
3. การใช้งานเครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (pH meter) เบื้องต้น <https://www.youtube.com/watch?v=fOFyKyvklwc>

บทปฏิบัติการที่ 6

การหาความชื้นและการวัดความหนืด

(Moisture and Viscosity)

การทดลองที่ 6.1 การหาปริมาณความชื้นในใบชา

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะการทดลองโดยน้ำหนักแบบการระเหย
2. เพื่อฝึกทักษะการหาปริมาณความชื้นในใบชา

หลักการ

ความชื้น (moisture content) คือสารที่สูญเสียไปจากตัวอย่างเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ตัวอย่างนั้น ความร้อนที่ให้อาจมีอุณหภูมิไม่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำหรือปล่อยให้สารตัวอย่างตั้งทิ้งไว้ในสารดูดความชื้น น้ำหนักที่หายไปจากตัวอย่างคือสารที่ระเหยได้ทั้งหมด (total volatile matter) ส่วนกากหรือของแข็งแห้งที่เหลืออยู่หลังจากน้ำระเหยออกไปหมดแล้วเรียกว่า ของแข็งทั้งหมด (total solid) การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการมากคือวิธีให้ความร้อนด้วยเตาอบร้อน โดยมีหลักการคือหาน้ำหนักตัวอย่างที่หายไป เนื่องจากการระเหยของน้ำที่มีอยู่ในสารตัวอย่างเป็นไอน้ำ ที่อุณหภูมิใกล้จุดเดือดหรือที่จุดเดือดของน้ำ แต่อาจมีพวกน้ำมันระเหยที่ประกอบอยู่ในตัวอย่างสูญเสียไปด้วย เทคนิคการวิเคราะห์โดยการทำให้ระเหยมี 2 แบบ คือ

- 1) วิธีตรง (direct method) ใช้ตัวดูดกลืนที่เหมาะสม ซึ่งจะดูดกลืนไอสารที่ได้จากการเผาตัวอย่าง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของตัวดูดกลืนคือน้ำหนักของไอที่ได้
- 2) วิธีอ้อม (indirect method) เป็นการหาน้ำหนักที่สูญเสียไปของสารประกอบเมื่อนำมาเผา เช่น การหาปริมาณน้ำในตัวอย่าง ผลต่างของน้ำหนักของตัวอย่างก่อนเผาและหลังเผาคือปริมาณน้ำในตัวอย่าง

ในการทดลองนี้ได้ใช้วิธีมาตรฐาน AOAC 925.19 (20 ed., 2016) Loss on drying (moisture) in tea เป็นวิธีดำเนินการทดลอง

วิธีการทดลอง

1. สารเคมี

- 1) ใบชา
- 2) สมุนไพร

2. อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง
2. ครุชชีเบลพร้อมฝาปิด
3. ตู้อบไฟฟ้า
4. โถแก้วดูดความชื้น



3. การทดลอง

ตอนที่ 1 การวัดความชื้นในใบชาโดยการใช้ตู้อบไฟฟ้า

- 1) อบครุชชีเบลพร้อมฝาปิดที่ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เก็บไว้ในโถแก้ววัดความชื้น
- 2) ชั่งน้ำหนักครุชชีเบลพร้อมฝาปิด จดน้ำหนักที่แน่นอน
- 3) ชั่งตัวอย่างประมาณ 2.xxx กรัม ใส่ในครุชชีเบล จดน้ำหนักสารตัวอย่าง
- 4) อบพร้อมฝาปิด (เปิดฝาปิดเล็กน้อย) ในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง
- 5) นำครุชชีเบลพร้อมฝาปิด (อย่าใช้มือจับ) ทิ้งให้เย็นในโถแก้ววัดความชื้นประมาณ 30 นาที
- 6) ชั่งน้ำหนัก
- 7) นำไปอบซ้ำ ครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่

การคำนวณค่าความชื้น

$$\text{ความชื้น (\%)} = (W_1 - W_2) / W_1 \times 100$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักสารตัวอย่างก่อนอบ
 W_2 = น้ำหนักสารตัวอย่างก่อนอบ

ตอนที่ 2 การวัดความชื้นในใบชาด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบชั่งน้ำหนัก

ทำการทดลองเหมือนการทดลองที่ 6.1 แต่ใช้เครื่องวัดความชื้นแบบชั่งน้ำหนักแทนตู้อบไฟฟ้า

กิจกรรม 6.1

1. ความชื้นคืออะไร <https://www.neonics.co.th/moisture-and-humidity/what-is-moisture-and-humidity.html>
2. ความชื้นและวิธีการตรวจวัด <https://www.tools.in.th/moisture-and-humidity/what-is-moisture/>
3. Determination of Moisture Content. A Complete Procedure (AOAC 930.15) <https://www.youtube.com/watch?v=DtSH8n1jbyM>
4. ศึกษาการใช้เครื่องวัดวิเคราะห์ความชื้น
5. ค้นคว้าค่ามาตรฐานความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

การทดลองที่ 6.2 การวัดความหนืด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะและปฏิบัติเกี่ยวกับการวัดความหนืด

หลักการ

ค่าความหนืด (Viscosity) คือค่าที่บ่งบอกถึงความต้านทานในการไหลในตัวกลางของไหล (Fluid) ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปจากการกระทำของความเค้นเฉือนหรือความเค้นภายนอก และอาจจะถูกพิจารณาให้เป็นตัวชี้วัดความเสียดทานของไหลได้ ยิ่งของไหลมีความหนืดต่ำมากเท่าไร มันก็จะยิ่งมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปได้มากเท่านั้น หน่วยของค่าความหนืดในระบบ SI คือหน่วยคือนิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร ($N \cdot s/m^2$) ซึ่งมักแสดงในรูปแบบเทียบเท่าปาสกาล-วินาที (Pa·s) และกิโลกรัมต่อเมตรต่อวินาที ในมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) ความหนืดมีหน่วยเป็น centipoise (cP) เนื่องจากสะดวกกว่า (เช่น ความหนืดของน้ำที่ 20°C ประมาณ 1 cP) และหนึ่ง centipoise เท่ากับ SI มิลลิปาสกาลวินาที (mPa·s)

$$1 \text{ mPa s} = 1 \text{ cP}$$

การวัดค่าความหนืดในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อาหาร ผู้บริโภคจะรับรู้ความหนืดของผลิตภัณฑ์ได้ทางประสาทสัมผัสระหว่างการใช้ผลิตภัณฑ์ เช่น การเท การตัก การกวน การปาด อาหารที่มีความหนืดผิดปกติ เช่น ซอสที่เหลวผิดปกติ หรือมีการแยกชั้น จะทำให้ผู้บริโภคไม่มั่นใจในการบริโภค ความหนืดจึงถือเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของอาหาร ดังนั้นเพื่อให้ผู้บริโภคมีความพึงพอใจจึงต้องมีการควบคุมคุณภาพด้วยการควบคุมค่าความหนืดให้อยู่ในมาตรฐานอยู่เสมอ

อุตสาหกรรมอาหาร จำเป็นต้องใช้ความรู้ความเข้าใจในเรื่องของความหนืด เพื่อนำค่าความหนืดนั้นมาใช้ในการออกแบบกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ และตรงตามมาตรฐาน เช่น ในอุตสาหกรรมซอสมะเขือเทศ ใช้ค่าความหนืดเป็นส่วนหนึ่งในการเลือกขนาดของเครื่องจักร ขนาดท่อ ไบพาส เพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิต รวมถึงการกำหนดเวลาและอุณหภูมิในการผลิต เป็นต้น และนอกจากนั้นค่าความหนืดยังใช้ในการกำหนดมาตรฐานการขนส่ง หรือการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ก่อนถึงผู้บริโภคอีกด้วย การวัดค่าความหนืดจึงเป็นการลดต้นทุนในการผลิตได้อีกทางหนึ่ง

เครื่องวัดความหนืดของของเหลวมีหลายประเภท

1. เครื่องวัดความหนืดแบบโรตารี (Rotary Viscosity Meter)
2. เครื่องวัดความหนืดแบบถ้วยจับเวลา (Ford Cup)
3. เครื่องวัดความหนืดแบบรางจับเวลา (Bostwick Consistometer)
4. เครื่องวัดความหนืดแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Viscosity Meter)

วิธีการทดลอง

1. สารเคมี

- 1) Glycerol
- 2) น้ำผึ้ง
- 3) สารตัวอย่างน้ำมันพืช น้ำมันเครื่อง และอื่น

2. อุปกรณ์

1. ปีกเกอร์
2. เครื่องวัดความหนืด

3. การทดลอง

ตอนที่ 1 สาธิตการใช้เครื่องวัดความหนืด

อาจารย์ผู้รับผิดชอบสาธิตการใช้เครื่องวัดความหนืด

ตอนที่ 2 การวัดความหนืด

ทดลองวัดความหนืดของตัวอย่าง

กิจกรรม 6.2

1. ความหนืด (Viscosity) คืออะไร <https://www.ponpe.com/tech/753-viscosity.html>
2. รู้และเข้าใจความหนืด (Viscosity) <https://www.neonics.co.th/viscosity/what-is-viscosity.html>

บทปฏิบัติการที่ 7

การวัดค่าการดูดกลืนแสง

(Absorption Spectrophotometry)

การทดลองที่ 7.1 การวัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะเกี่ยวกับการใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง

หลักการ

อธิบายหลักการดูดกลืนแสงของสาร

วิธีการทดลอง

1. สารเคมี

- 1) สารสกัดจากพืช ผลไม้ หรือสมุนไพร

2. อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง
3. ขวดกำหนดปริมาตร 25 mL
4. ปีกเกอร์
5. ปิเปต และไมโครปิเปต

3. การทดลอง

ตอนที่ 1 สาธิตการใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง

แนะนำและสาธิตเครื่องวัดการดูดกลืนแสง

ตอนที่ 2 การหาความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max})

- 1) นำสารละลายไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 800-400 nm
- 2) นำผลที่วัดได้ไปเขียนความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่น

กิจกรรม 7.1

1. ศึกษาเพิ่มเติม <https://il.mahidol.ac.th/e-media/photosynthesis/spectrophotometer/spectrophotometer.htm>



การทดลองที่ 7.2 การสร้างกราฟมาตรฐานความเข้มข้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะและปฏิบัติเกี่ยวกับการสร้างกราฟมาตรฐาน

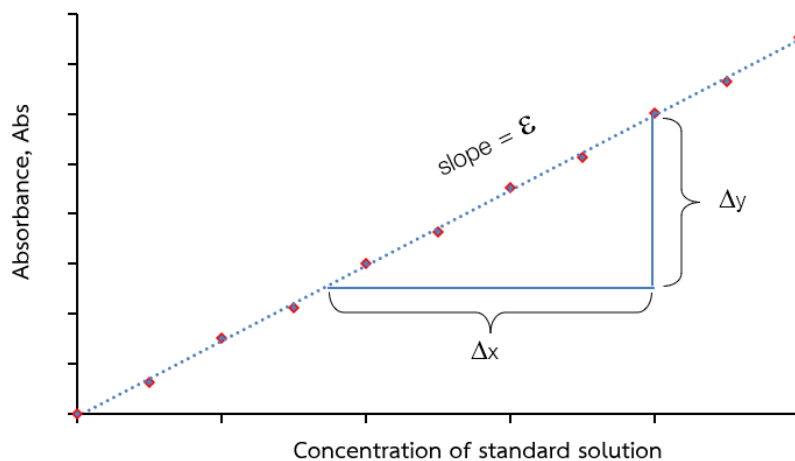
หลักการ

กราฟมาตรฐาน (calibration curve) หรือกราฟมาตรฐานความเข้มข้น (concentration calibration curve) จัดเป็นการเทียบสารมาตรฐานทางอ้อม ซึ่งกราฟที่สร้างขึ้นเป็นความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณตอบสนองที่วัดได้ (แกน y) กับความเข้มข้นของสารที่สนใจวิเคราะห์ (analyte) ที่เตรียมเป็นสารมาตรฐาน (แกน x) โดยสัญญาณตอบสนองที่วัดได้ต้องแปรผันโดยตรงกับปริมาณสารที่สนใจวิเคราะห์ การสร้างกราฟมาตรฐานจึงเป็นวิธีการสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น (หรือปริมาณ) กับสัญญาณตอบสนองที่ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์

การสร้างกราฟมาตรฐานภายนอก จะต้องกำหนดช่วงความเข้มข้นให้เหมาะสม โดยควรเป็นช่วงความเข้มข้นที่สัมพันธ์กับสัญญาณที่วัดได้มีความเป็นเส้นตรงมากที่สุด เรียกว่า ช่วงความเป็นเส้นตรง (linearity range) โดยเครื่องมือบางประเภทจะมี cook book ระบุสัญญาณตอบสนองที่ใช้สอบเทียบสภาพไว้ จึงอาจนำมาเป็นแนวทางในการเตรียมชุดสารละลายมาตรฐานเพื่อสร้างกราฟมาตรฐานได้ ส่วนเครื่องมือที่ไม่มี cook book ผู้วิเคราะห์ต้องทดลองหาช่วงความเข้มข้นจากสัญญาณของเครื่องมือ วิธีการสร้างกราฟมาตรฐานภายนอกมีขั้นตอนดังนี้

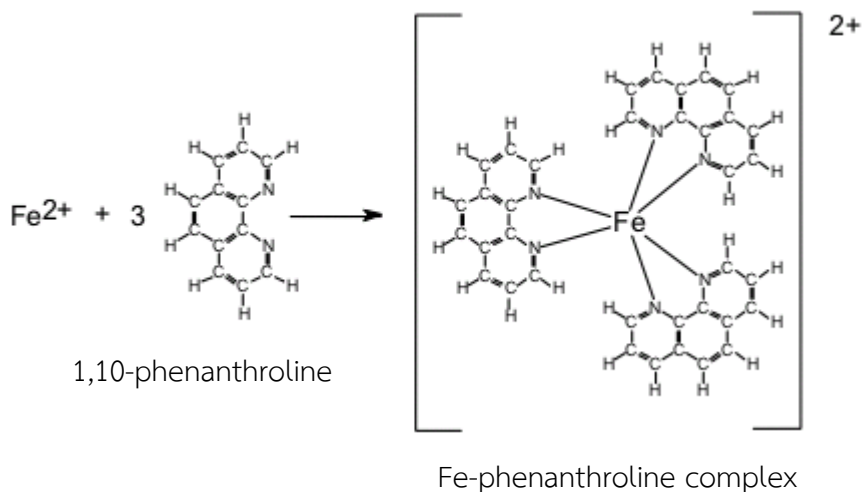
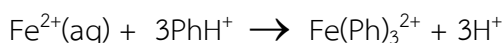
- 1) เตรียมสารละลายมาตรฐานที่มี analyte ในความเข้มข้นแตกต่างกัน 4-5 ความเข้มข้น และ แบลงค์ (blank) โดยอาจใช้ reagent blank ซึ่งเตรียมตามกระบวนการเดียวกับสารละลายมาตรฐานเพียงแต่ไม่มี analyte เป็นองค์ประกอบ หรืออาจใช้ตัวทำละลายเป็นแบลงค์
- 2) ทำการปรับศูนย์ด้วยแบลงค์และวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานด้วยเครื่องมือ นำสัญญาณตอบสนองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ (แกน y) กับความเข้มข้นของ analyte (แกน x) และหาสมการเส้นตรงของกราฟ ลักษณะกราฟมาตรฐานแสดงดังภาพที่ 1
- 3) เตรียมสารละลายตัวอย่างเช่นเดียวกับกระบวนการเตรียมสารละลายมาตรฐาน โดยอาจต้องทำละลาย ย่อย หรือเจือจางสารตัวอย่างก่อนเตรียมสารละลายตัวอย่าง
- 4) วิเคราะห์สารละลายตัวอย่าง แทนค่าผลลัพธ์หรือสัญญาณที่ได้ในสมการเส้นตรงเพื่อคำนวณเป็นความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง แล้วคำนวณกลับเป็นความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารตัวอย่างจริง

ตัวอย่างกราฟมาตรฐานของเทคนิคการวัดการดูดกลืนแสง จากกฎของเบียร์ “ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารที่สนใจที่สามารถดูดกลืนแสงได้ (absorbing analyte species)” ดังนั้นเมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่สนใจและค่าการดูดกลืนแสงมาสร้างกราฟ จะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง เรียกว่า กราฟมาตรฐานความเข้มข้น (calibration curve) เมื่อค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เป็นแกน y และความเข้มข้น (concentration, C) เป็นแกน x จะได้กราฟเส้นตรงที่มีค่าความชันเท่ากับ ϵb และเมื่อ b เท่ากับ 1 ความชันจึงเท่ากับ ϵ ดังแสดงในภาพที่ 7.1



ภาพที่ 7.1 ลักษณะกราฟมาตรฐานความเข้มข้น

การหาปริมาณน้อยของเหล็กสามารถทำได้โดยการทำให้เหล็กเกิดสารเชิงซ้อนที่มีสี (สีแดงถึงส้ม) ระหว่างไอออน Fe^{2+} กับ 1,10-phenanthroline ที่เรียกว่าสารเชิงซ้อนเหล็กฟีแนนโทรลีน สารเชิงซ้อนไม่ขึ้นกับ pH ช่วงระหว่าง 3-9 โดยทั่วไปจะให้ pH ประมาณ 3.5 เพื่อป้องกันการตกตะกอนของเกลือเหล็ก เช่น เกลือฟอสเฟส เป็นต้น ในการทำให้เกิดสารเชิงซ้อนกับฟีแนนโทรลีน จะต้องทำการรีดิวซ์เหล็กทั้งหมดในสารละลายให้เป็นเหล็ก (II) เสียก่อนหรือไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ (hydroxylamine hydrochloride) สีของสารเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก (II) กับฟีแนนโทรลีนจะเสถียรได้นาน



วิธีการทดลอง

1. สารเคมี

- 1) สารละลายมาตรฐานเหล็ก 10 ppm (เตรียมจาก stock 1000 ppmFe) ในขวดกำหนดปริมาตร 25.00 mL
- 2) สารละลาย $NH_2OH \cdot HCl$ 10%(w/v)

- 3) สารละลายอะซิเตดบัฟเฟอร์ ละลาย $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 250 กรัม ในน้ำกลั่น 100 mL เติม CH_3COOH 700 mL เติมน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 1000 mL
- 4) สารละลายฟีนแอนโทรลีน (1,10-phenanthroline, 1% w/v)

2. อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง
3. ขวดกำหนดปริมาตร 25 mL
4. ปีกเกอร์
5. ปิเปต และไมโครปิเปต

3. การทดลอง

ตอนที่ 1 การทำกราฟมาตรฐาน (standard calibration curve)

- 1) เตรียมขวดกำหนดปริมาตรขนาด 25.00 mL จำนวน 6 ขวด แล้วปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก 10 ppm Fe ปริมาตร 0, 0.50, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00 และ 5.00 mL ตามลำดับ (โดยใช้ปิเปตอันเดียวกัน) (**ขวดที่ 1 เป็นแบลนด์)
- 2) ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1
- 3) นำผลที่วัดได้ไปเขียนกราฟมาตรฐานความเข้มข้น โดยเขียนระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็กกับค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กทั้งหมดในน้ำตัวอย่าง

- 1) ปิเปตน้ำตัวอย่างที่ได้รับใส่ลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 25.00 mL 3 ขวดๆ ละ 10.00 mL (ถ้าในน้ำตัวอย่างมีตะกอนหรือสิ่งเจือปนให้กรองเสียก่อน)
- 2) ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 แต่วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm
- 3) คำนวณหาปริมาณของเหล็กโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน แล้วคำนวณปริมาณเหล็กในน้ำตัวอย่าง

กิจกรรม 7.2

- 1) ศึกษาเพิ่มเติม ความหลักการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือโดยอาศัยกราฟมาตรฐาน https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=4559

บทปฏิบัติการที่ 9

การสกัดและการแยก

(Extraction and Separation)

การทดลองที่ 8.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะเกี่ยวกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย

หลักการ

การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) คือการแยกสารโดยอาศัยหลักการละลายระหว่างตัวทำละลายกับสารสำคัญในสมุนไพรมันจะอาศัยหลักการของการละลายความมีขั้ว (polarity) ของทั้งตัวทำละลายและสารสำคัญ โดยสารสำคัญจะสามารถละลายในตัวทำละลายได้ก็ต่อเมื่อความเป็นขั้วของตัวสารสำคัญกับตัวทำละลายมีค่าใกล้เคียงกัน (like dissolves like) คือตัวถูกละลายที่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วเพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว เป็นแรงไดโพล-ไดโพล (dipole-dipole) ในทางตรงข้ามตัวถูกละลายที่ไม่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) เหมือนกัน วิธีการนี้จะนิยมใช้สกัดสีจากธรรมชาติในสมุนไพรมันสกัดน้ำมันหอมระเหย เป็นวิธีการที่ประหยัดและปลอดภัย วิธีการนี้จะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงไม่เกิน 50°C ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงทำให้องค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงและมีกลิ่นผิดไปจากธรรมชาติได้ วิธีการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายจึงถูกนำมาใช้ในทางอุตสาหกรรม แต่ต้นทุนการผลิตสูงกว่าการกลั่น

หลักการสำคัญของการสกัดด้วยตัวทำละลายคือ การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารที่ต้องการออกมาให้ได้มากที่สุด โดยหลักการในการเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม มีข้อควรคำนึงดังต่อไปนี้

- ต้องละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี และไม่ละลายสารอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการออกมาด้วย
- ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการแยก
- ราคาถูก และหาได้ง่าย
- ไม่มีพิษ มีจุดเดือดต่ำ
- ควรแยกออกจากสารที่เราต้องการสกัดได้ง่าย และทำให้บริสุทธิ์ได้ง่าย เพื่อที่จะสามารถนำกลับมาใช้อีกได้

การสกัดด้วยตัวทำละลาย ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม ได้แก่ การสกัดน้ำมันพืชออกจากเมล็ดพืชชนิดต่างๆ การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืช รวมถึงการสกัดตัวยาออกจากสมุนไพรมัน

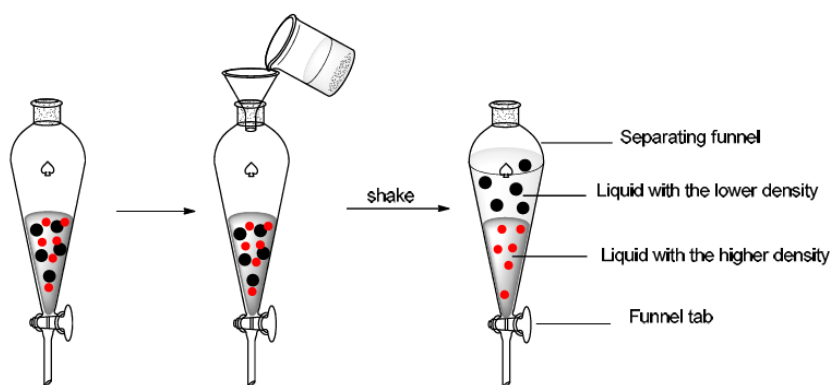
ตัวอย่างตัวทำละลายที่ใช้สกัดสารสำคัญในสมุนไพรมันซึ่งปกติตัวทำละลายที่นิยมที่ใช้บ่อยคือ

- 1) คลอโรฟอร์ม (chloroform) เป็นตัวทำละลายที่ดีแต่มีความจำเพาะ (selectivity) น้อย ส่งผลให้เกิด emulsion ง่าย ถ้าใช้สารสกัดซึ่งเป็นด่างแอมโมเนียจะสลายตัวให้กรดเกลือ
- 2) อีเธอร์ (ether) มีอำนาจในการละลายน้อยกว่าคลอโรฟอร์ม แต่มีความจำเพาะดีกว่าคลอโรฟอร์ม ข้อเสีย คือระเหยง่าย ระเบิดง่าย เกิดออกไซด์ (oxide) ได้ง่ายและดูดน้ำได้ดีมาก
- 3) เฮกเซน (hexane) เหมาะสำหรับพวกสารที่ไม่มีขั้ว มักใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับขจัดไขมันสมุนไพรมัน ข้อดี คือราคาถูก



4) แอลกอฮอล์ (alcohol) ที่ใช้มากที่สุดคือ เมทานอลและเอทานอลเป็น all-purpose solvent เนื่องจากมีคุณสมบัติในการละลายได้กว้างทั้งสารที่มีขั้วและไม่มีขั้วและยังใช้ทำลายเอนไซม์ในพืชได้

ตัวทำละลาย	สารสำคัญ
ตัวทำละลายไม่มีขั้ว (Non-Polar solvent)	
Chloroform	Terpenoids, Flavonoids
Ether	Alkaloids, Terpenoids, Coumarins, Fatty acids
ตัวทำละลายกึ่งมีขั้ว (Semipolar solvent)	
Acetone	Phenol, Flavonols
Ethanol	Tannins, Polyphenols, Polyacetylenes, Flavonols, Terpenoids, Sterols, Alkaloids
Methanol	Anthocyanins, Terpenoids, Saponins, Tannins, Xanthoxyllines, Totarol, Quassinoids, Lactones, Flavones, Phenones, Polyphenols
ตัวทำละลายมีขั้ว (Polar solvent)	
Water	Anthocyanins Starches Tannins Saponins Terpenoids Polypeptides Lectins



วิธีการการสกัดด้วยตัวทำละลายอย่างง่ายด้วยกรวยแยก

วิธีการทดลอง

1. สารเคมี

- 1) สารตัวอย่างพืช สมุนไพร
- 2) เอทานอล
- 3) แอซีโตน

2. อุปกรณ์

1. เครื่องซังไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง
2. ปีกเกอร์
3. กรวยแยก

4. เครื่องระเหยลดความดัน

3. การทดลอง

ตอนที่ 1 การสกัดด้วยตัวทำละลายโดยวิธีการแช่

ซึ่งตัวอย่างกระดาษปลีม่วงที่ปนละเอียด และนำมาหมักด้วยเอทานอล 95% ในขวดสีชา 1000 mL โดยสัดส่วนที่ใช้น้ำหนักกระดาษปลีสดและเอทานอลคือ 1:10 เวลาในการหมัก 3 วัน โดยเขย่าขวดทุก ๆ 24 ชั่วโมง และเมื่อครบ 3 วันแล้ว นำไปกรองผ่านชุดกรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อเอาตะกอนออกให้หมด จากนั้นนำไประเหยแยกตัวทำละลายหรือเอทานอลออกด้วยเครื่องสุญญากาศแบบหมุนที่อุณหภูมิ 40°C จนได้เป็นของเหลวเหนียว นำไปชั่งน้ำหนัก

กิจกรรม 8.1

1. เครื่องระเหย

การทดลองที่ 8.2 การสกัดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ

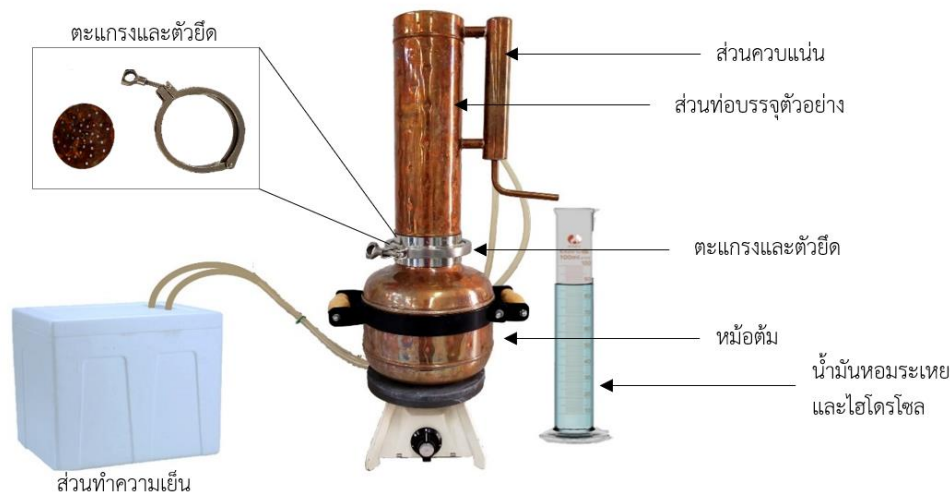
วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะและปฏิบัติเกี่ยวกับการสกัดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ

หลักการ

การสกัดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ เป็นวิธีการสกัดสารออกจากของผสมโดยใช้ไอน้ำเป็นตัวทำละลาย วิธีนี้ใช้สำหรับแยกสารที่ละลายง่าย ไม่ละลายน้ำ และไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ ออกจากสารที่ระเหยยาก การสกัดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำนอกจากใช้สกัดสารระเหยง่ายออกจากสารระเหยยากแล้วยังสามารถใช้แยกสารที่มีจุดเดือดสูงและสลายตัวที่จุดเดือดของมันได้อีก เพราะการกลั่นโดยวิธีนี้ความดันไอเป็นความดันไอของไอน้ำบวกความดันไอของของเหลวที่ต้องการแยก จึงทำให้ความดันไอเท่ากับความดันของบรรยากาศก่อนที่อุณหภูมิจะถึงจุดเดือดของของเหลวที่ต้องการแยก ของผสมจึงกลั่นออกมาที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของของเหลวที่ต้องการแยก เช่น สาร A มีจุดเดือด 150°C เมื่อสกัดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำจะได้สาร A กลายเป็นไอออกมา ณ อุณหภูมิ 95°C ที่ความดัน 760 มิลลิเมตรของปรอท อธิบายได้ว่า ที่ 95°C ถ้าความดันไอของสาร A เท่ากับ 120 มิลลิเมตรของปรอท และไอน้ำเท่ากับ 640 มิลลิเมตรของปรอท เมื่อความดันไอของสาร A รวมกับไอน้ำจะเท่ากับ 760 มิลลิเมตรของปรอท หรือเท่ากับความดันบรรยากาศ จึงทำให้สาร A และน้ำกลายเป็นไอออกมาได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของสาร A

ตัวอย่างการแยกสารโดยการกลั่นด้วยไอน้ำ ได้แก่ การแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น การแยกน้ำมันยูคาลิปตัสออกจากใบยูคาลิปตัส การแยกน้ำมันมะกรูดออกจากผิวมะกรูด การแยกน้ำมันอบเชยจากเปลือกต้นอบเชย เป็นต้น ในการกลั่นไอน้ำจะไปทำให้น้ำมันหอมระเหยกลายเป็นไอแยกออกมาพร้อมกับไอน้ำ เมื่อทำให้ไอของของผสมควบแน่นโดยผ่านเครื่องควบแน่น ก็จะได้ น้ำและน้ำมันหอมระเหยปนกันแต่แยกชั้นกันอยู่ ทำให้สามารถแยกเอาน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำได้ง่าย



วิธีการทดลอง

1. สารเคมี
 - 1) ตัวอย่างพืชสมุนไพร
2. อุปกรณ์
 1. เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง

2. เครื่องสกัดด้วยไอน้ำ
3. ปีกเกอร์
4. กรวยแยก

3. การทดลอง

ตอนที่ 1 การสกัดด้วยไอน้ำ

- 1) นำวัตถุดิบ (ดอกไม้ ใบพืช หรือส่วนของพืช) บรรจุใส่ในส่วนท่อบรรจุวัตถุดิบ (ประมาณ 100-300 กรัม) ใส่ตะแกรงกั้นวัตถุดิบตกลงในส่วนหม้อต้ม
- 2) เติมน้ำกลั่นในหม้อต้ม ประมาณ 3 ลิตร
- 3) ประกอบเครื่องอะลิบบิกเข้าด้วยกัน ใส่ตัวยึดท่อให้แน่นเพื่อป้องกันไอน้ำระเหยออก และต่อกับถังโคมความเย็นสำหรับหล่อเย็นในส่วนท่อควบแน่น
- 4) ให้ความร้อนหม้อต้มโดยใช้เตาไฟฟ้า (ระดับความร้อนระดับกลาง ถ้าให้ความร้อนมากเกินไปจะทำให้ไอน้ำระเหยเร็วเกินไป)
- 5) เก็บของเหลวที่ได้จากการควบแน่นที่ปลายส่วนควบแน่น

กิจกรรม 8.2

1. การกลั่นด้วยไอน้ำ

ชื่อธาตุ
เลขเชิงอะตอม
สัญลักษณ์ธาตุ

ไฮโดรเจน 1 H 1.01	ฮีเลียม 2 He 4.00																
ลิเทียม 3 Li 6.94	เบริลเลียม 4 Be 9.01																
โซเดียม 11 Na 22.99	แมกนีเซียม 12 Mg 24.30																
โพแทสเซียม 19 K 39.10	แคลเซียม 20 Ca 40.08	สแกนเดียม 21 Sc 44.96	ไทเทเนียม 22 Ti 47.87	วานาเดียม 23 V 50.94	โครเมียม 24 Cr 52.00	แมงกานีส 25 Mn 54.94	เหล็ก 26 Fe 55.84	โคบอลต์ 27 Co 58.93	นิกเกิล 28 Ni 58.69	ทองแดง 29 Cu 63.55	สังกะสี 30 Zn 65.39	เจอร์เมเนียม 32 Ge 72.64	อาร์เซนิก 33 As 74.92	ซีลีเนียม 34 Se 78.96	โบรมีน 35 Br 79.90	คริปทอน 36 Kr 83.80	
รูบิเดียม 37 Rb 85.47	สตรอนเชียม 38 Sr 87.62	อิตเทรียม 39 Y 88.91	เซอร์โคเนียม 40 Zr 91.22	ไนโอเบียม 41 Nb 92.91	โมลิบดีนัม 42 Mo 95.94	เทคนิเชียม 43 Tc [98]	รูทีเนียม 44 Ru 101.07	โรเดียม 45 Rh 102.91	แพลเลเดียม 46 Pd 106.42	เงิน 47 Ag 107.87	แคดเมียม 48 Cd 112.41	ดีบุก 50 Sn 118.71	แอนติโมนี 51 Sb 121.76	เทลลูเรียม 52 Te 127.60	ไอโอดีน 53 I 126.90	ซีนอน 54 Xe 131.29	
ซีเซียม 55 Cs 132.91	แบเรียม 56 Ba 137.33	ลูทีเชียม 71 Lu 174.97	แฮฟเนียม 72 Hf 178.49	แทนทาลัม 73 Ta 180.95	ทังสเตน 74 W 183.84	รีเนียม 75 Re 186.21	ออสเมียม 76 Os 190.23	อิริเดียม 77 Ir 192.22	แพลทินัม 78 Pt 195.08	ทองคำ 79 Au 196.97	ปรอท 80 Hg 200.59	ตะกั่ว 82 Pb 207.20	บิสมีท 83 Bi 208.98	พอลโลเนียม 84 Po [209]	แอสทาทีน 85 At [210]	เรดอน 86 Rn [222]	
แฟรนเซียม 87 Fr [223]	เรเดียม 88 Ra [226]	ลอว์เรนเซียม 103 Lr [262]	รัทเธเนียม 104 Rf [265]	ดубเนียม 105 Db [268]	ซีบอร์เกียม 106 Sg [271]	โบห์เรียม 107 Bh [270]	ฮัสเซียม 108 Hs [277]	เมิทเทเนียม 109 Mt [276]	ดาร์มสตัดเทียม 110 Ds [281]	เร็นต์เกเนียม 111 Rg [280]	โคเปอร์เนียม 112 Cn [285]	ฟลูออเรียม 114 Fl [289]	มาสคาเทเนียม 115 Mc [288]	ลิวเวอร์เจอร์ียม 116 Lv [293]	เทนเนสซีน 117 Ts [284]	โอแกเนสซอน 118 Og [294]	

น้ำหนักเชิงอะตอม (เลขมวล)

แลนทาเนียม 57 La 138.91	ซีเรียม 58 Ce 140.12	พรอซีออดิเมียม 59 Pr 140.91	นีโอดิเมียม 60 Nd 144.24	โพรมิเทียม 61 Pm [145]	ซามาเรียม 62 Sm 150.36	ยูโรเพียม 63 Eu 151.96	แกดอลิเมียม 64 Gd 157.25	เทอร์เบียม 65 Tb 158.93	ดิสโพรเซียม 66 Dy 162.50	โฮลมีเนียม 67 Ho 164.93	เออร์เบียม 68 Er 167.26	ทิมมูเนียม 69 Tm 168.93	ยtterbium 70 Yb 173.05
แอกทิเนียม 89 Ac [227]	ทอเรียม 90 Th 232.04	พรอแทกทินเดียม 91 Pa 231.04	ยูเรเนียม 92 U 238.03	เนปทูเนียม 93 Np [237]	พลูโทเนียม 94 Pu [244]	อะเมริเซียม 95 Am [243]	คูเรียม 96 Cm [247]	เบเรกลีเดียม 97 Bk [247]	แคลิฟอร์เนียม 98 Cf [251]	ไอน์สไตน์เดียม 99 Es [252]	เฟรมเมียม 100 Fm [257]	เมนเดเลเวียม 101 Md [258]	โนบิเลียม 102 No [259]

*Lanthanide series

**Actinide series