

คำนำ

เคมีเป็นสาขาวิชาหนึ่งทางวิทยาศาสตร์ โดยมุ่งศึกษาเกี่ยวกับสมบัติ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของ สสาร ดังนั้นการศึกษาทางเคมีนอกจากต้องมีความรู้ทางทฤษฎีเป็นพื้นฐานแล้ว การปฏิบัติในห้องทดลองก็ นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง การทดลองทางเคมีล้วนแต่ต้องอาศัยเทคนิคและความละเอียดพอสมควรในการทำ การทดลอง เพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ในการทดลองนั้นๆ ตลอดจนเป็นการฝึกทักษะการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในห้องทดลองได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุด

คู่มือปฏิบัติการเคมีสำหรับวิศวกรเล่มนี้ได้รวบรวมการทดลองที่เกี่ยวกับรายวิชาเคมีสำหรับวิศวกรรวม 12 บทปฏิบัติการซึ่งแต่ละบทปฏิบัติการได้ถูกเรียบเรียงและเพิ่มเติมบางส่วนขึ้นจากเอกสารอ้างอิงหลายแห่ง และวิธีมาตรฐานการการวิเคราะห์นั้นๆ ด้วยเพื่อให้นักศึกษาเข้าใจได้ง่ายและลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ ถ้านักศึกษาได้ทำการทดลองอย่างเข้าใจ ผู้เรียบเรียงคาดว่านักศึกษาจะมีทักษะต่างๆ ที่จะใช้เป็นพื้นฐานใน การศึกษาและการวิจัยในระดับสูงต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ

ตุลาคม 2564

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	
ปฏิบัติการที่ 1 ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Safety)	1
ปฏิบัติการที่ 2 เครื่องแก้วและเทคนิคการทดลองทางเคมี (Glassware and Laboratory Techniques)	9
ปฏิบัติการที่ 3 หน่วยพื้นฐานและเลขนัยสำคัญ (Unit and Significant Figure)	18
ปฏิบัติการที่ 4 สารเคมีและการเตรียมสารละลาย	23
ปฏิบัติการที่ 5 ปริมาณสัมพันธ์ : The Reaction of Iron with Copper(II) Sulfate	25
ปฏิบัติการที่ 6 ปฏิกริยาของทองแดงและสารประกอบของทองแดง (The reaction of copper and its compounds)	27
ปฏิบัติการที่ 7 การหาค่าคงที่ของแก๊ส (Determination of the Gas Constant)	30
ปฏิบัติการที่ 8 โครงสร้างผลึก (Crystal Structure)	34
ปฏิบัติการที่ 9 ปฏิกริยาผันกลับและสมดุลเคมี (Reversible Reactions and Chemical Equilibrium)	37
ปฏิบัติการที่ 10 จลนศาสตร์เคมีของปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมไดโครเมตกับเอทานอล (Chemical Kinetics of Potassium Dichromate and Ethanol)	39
ปฏิบัติการที่ 11 กรด-เบส อินดิเคเตอร์ (Acid-Base Indicator)	42
ปฏิบัติการที่ 12 การไทเทรตปฏิกิริยากรด-เบส (Acid-Base Titration)	44
แบบรายงานการทดลอง	46
ตารางธาตุ	65

การทดลองที่ 1

ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ

(Laboratory Safety)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะด้านความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการ

หลักการ

1. สารเคมี

สารเคมี (reagent) หมายถึงสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่ทราบน้ำหนักสูตรโมเลกุลที่แน่นอนและมีความบริสุทธิ์เพียงพอที่ใช้กับงานวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์เพื่อทำการทดสอบการวัดและการตรวจสอบค่าต่างๆ สารเคมีที่ผลิตขายมีความบริสุทธิ์ต่างๆ กัน และแบ่งเป็นหลายเกรดตามความบริสุทธิ์ของสาร

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

2) เกรดวิเคราะห์ (analytical reagent (AR)/reagent grade) เป็นเกรดที่มีความบริสุทธิ์สูงกว่า 99% มีมลทินเจือปนในระดับที่น้อยมาก โดยทั่วไปจะมีข้อมูลแสดงปริมาณสิ่งเจือปนไว้ด้วยและเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ และสิ่งเจือปนจะต้องอยู่ในมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ เหมาะสำหรับการใช้งานด้านการวิเคราะห์และห้องปฏิบัติการทั่วไป ถ้าสารเคมีได้มาตรฐานตามที่สมาคมเคมีอเมริกัน (ACS) กำหนดไว้จะเขียนบ่งไว้ AR (ACS) reagent

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

4) เกรด purified/practical grade เป็นเกรดที่มีคุณภาพดีแต่ไม่ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้ ไม่เหมาะใช้งานด้านอาหาร ยา ทางการแพทย์

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

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

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

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



ฉลากสารเคมี

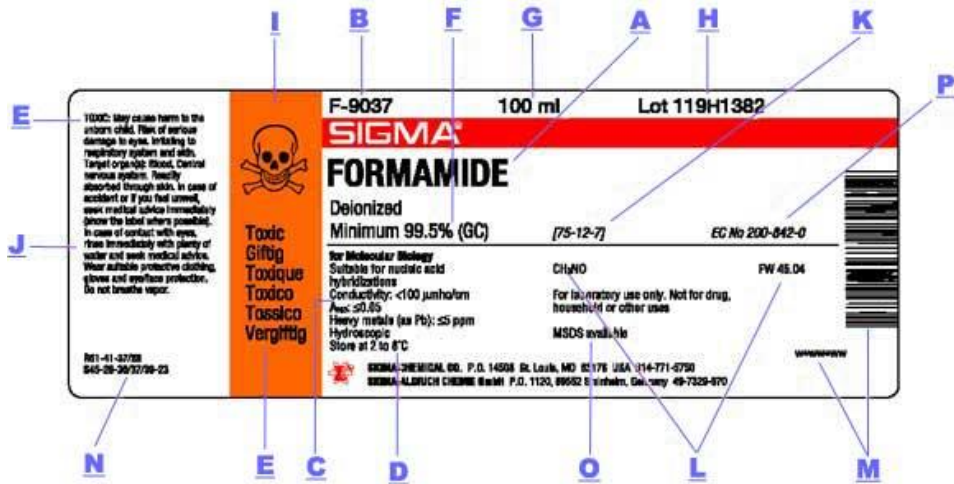
ผู้ใช้สารเคมีควรอ่านฉลากสารที่จะใช้ให้ตีเสียก่อนเพื่อป้องกันความผิดพลาดและอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยทั่วไปแล้วฉลากสารเคมีจะระบุถึงสิ่งต่อไปนี้

- 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 จึงจำเป็นต้องมีการตรวจเป็นระยะๆ เพราะหากไม่ทราบว่าเป็นสารใดแล้วก็ต้องทำการพิสูจน์หรืออาจจะต้องทิ้งสารนั้นเลย ดังนั้นควรระลึกละเอียดก่อนจะใช้สารเคมีใด ผู้ใช้ต้องมีความรู้และถึงข้อความตลอดจนคำเตือนหรือสัญลักษณ์ที่ระบุบนฉลากข้างขวดเสียก่อน ผู้ใช้ควรมีข้อปฏิบัติดังนี้

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





ภาพที่ 1 ตัวอย่างฉลากสารเคมีและรายการต่างที่ระบุที่ฉลาก

- 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.



Danger

HEALTH	4
FIRE	1
REACTIVITY	0

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 (Material Safety Data Sheet, MSDS)

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยในการใช้สารเคมีและวัตถุอันตราย คือเอกสารข้อมูลความปลอดภัย MSDS ถูกออกแบบมาเพื่อผู้ที่เกี่ยวข้อง คนงาน บุคลากรที่ดูแลด้านความปลอดภัย ซึ่งประกอบด้วยวิธีการ และขั้นตอน การดำเนินงานที่เหมาะสมในการจัดการ หรือทำงานกับสารเคมี MSDS ประกอบด้วยข้อมูลที่เป็นประโยชน์ เช่น ข้อมูลทางกายภาพ (จุดหลอมเหลว จุดเดือด จุดวาบไฟ ฯลฯ) ความเป็นพิษ ผลต่อสุขภาพ การปฐมพยาบาล เบื้องต้น การเกิดปฏิกิริยา การเก็บ การทิ้ง อุปกรณ์ป้องกัน การปฏิบัติเมื่อหกหรือรั่วไหล ซึ่งจะแตกต่างกันไป สำหรับสารแต่ละชนิด 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. มาตรการกำจัด
14. ข้อมูลการขนส่ง
15. ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนด
16. ข้อมูลอื่น

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

สัญลักษณ์แสดงอันตราย (Hazard pictogram)

สัญลักษณ์แสดงอันตรายที่ใช้เป็นสากลมีหลายระบบเช่น ระบบแสดงอันตรายของ อีอีซี (European Economic Council, E.E.C) ของยุโรป และอีกระบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โรงพยาบาล และบริเวณที่เก็บสารเคมีได้แก่ 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 แบ่งเป็นสี่ส่วน 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

- พื้นสีแดง แสดงอันตรายจากไฟ (Flammability)
- พื้นสีน้ำเงิน แสดงอันตรายต่อร่างกาย (Health)
- พื้นสีเหลือง แสดงความว่องไวต่อปฏิกิริยาของสาร (Reactivity)
- พื้นสีขาว แสดงเครื่องหมายเตือนอันตราย (ถ้ามี)

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



ภาพที่ 6 ตัวอย่างฉลากสาร ไฮโดรเจน ไคลอไรด์



ข้อแนะนำสำหรับการเข้าทำการทดลอง

1) ก่อนทำการทดลอง

1. นักศึกษาต้องอ่านคู่มือปฏิบัติการมาก่อนทุกครั้งเพื่อทำความเข้าใจถึงวัตถุประสงค์ หลักการ วิธีการทดลอง วางแผนงานการทดลอง 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 ไม่ประมาทเล่นเล่หรือหยอกล้อกัน ไม่ทำการทดลองใดๆ ที่นอกเหนือไปจากการทดลองที่มีไว้ในคู่มือหรือที่ผู้ควบคุมแนะนำเพิ่มเติม
3. กรณีผลการทดลองผิดปกติจากระบุในคู่มือให้นักศึกษาแจ้งอาจารย์ก่อนทำขั้นตอนต่อไป
4. ควรเขียนฉลากของเครื่องแก้วหรือสารเคมีเพื่อป้องกันความสับสน หรือใช้สารผิดในการทำการทดลอง

3) หลังการทดลอง

1. เมื่อทำการทดลองเสร็จเรียบร้อย นักศึกษาต้องทำความสะอาดเครื่องแก้ว อุปกรณ์ และเก็บให้เรียบร้อย พร้อมตรวจเช็คจำนวนถูกต้องตามใบแจ้ง (กรณีไม่ครบเนื่องจากสูญหาย แหกหัก แจ้งอาจารย์ทันที)
2. ให้ส่งรายงานการทดลอง นักศึกษาต้องส่งรายงานการทดลอง 2 ประเภทคือ
 - ประเภทรายงานสั้น (short report) คือผลการทดลองและสิ่งที่ได้จากการทดลองนั้นๆ เช่น การคำนวณ กราฟ ผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ให้ส่งหลังการทดลองทุกครั้ง



- ประเภทรายงานสมบูรณ์ (full report) รายงานที่จัดทำเป็นรูปเล่มตามกำหนด ซึ่งอาจกำหนดเป็นรายบุคคลหรือรายกลุ่ม ให้ส่งในวันทำการทดลองสัปดาห์ถัดไป
 - รายงานฉบับที่ส่งหลังกำหนดจะไม่พิจารณาตรวจหรืออาจจะได้คะแนนเพียงตามส่วนที่ผู้สอนเห็นว่าเหมาะสม
3. การเขียนรายงานการทดลองควรกระชับและมีรายละเอียดครอบคลุมการทดลองนั้น แสดงผลการทดลองอภิปรายผลการทดลองว่ามีความสอดคล้องกับทฤษฎีหรือไม่ อย่างไร สามารถระบุสาเหตุความคลาดเคลื่อนได้



การทดลองที่ 2

เครื่องแก้วและเทคนิคการทดลองทางเคมี

(Glassware and Laboratory Techniques)

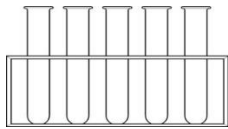
วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะการใช้เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อฝึกทักษะเทคนิคพื้นฐานเกี่ยวกับการทดลอง

หลักการ

การทดลองทางเคมีในห้องปฏิบัติการจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการทดลองในการทดลองนั้นๆ เป็นอย่างดีแล้ว ผู้ทดลองเองจะต้องรู้จักเทคนิคการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือและวิธีการใช้เครื่องแก้วอย่างถูกวิธีเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง ดังนั้นก่อนที่นักศึกษาจะเริ่มทำการทดลอง จะต้องรู้จักวิธีการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือพื้นฐานที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการเคมี

1. เครื่องแก้วและอุปกรณ์พื้นฐานในการทดลอง



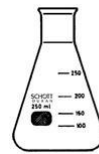
หลอดทดลอง (Test tube)

ใช้บรรจุสารละลายปริมาณน้อยๆ



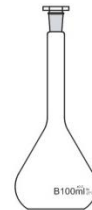
บีกเกอร์ (Beaker)

ใช้บรรจุสารละลาย หรือใช้ตวงของเหลวหรือสารละลายที่ไม่ต้องการความถูกต้อง



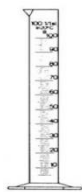
ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)

ใช้บรรจุสารละลายในการทำไทเทรต



ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)

ใช้เป็นภาชนะเตรียมสารละลายที่ต้องการปริมาตรที่แน่นอน



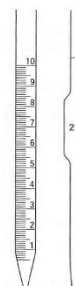
กระบอกตวง (Cylinder)

ใช้ตวงของเหลวหรือสารละลายที่ต้องการความถูกต้อง



กรวยกรอง (Funnel)

ใช้สำหรับกรองตะกอนโดยมีกระดาษกรอง



ปิเปต (pipet)

ใช้ถ่ายเทสารละลายปริมาตรที่ต้องการความถูกต้องสูง



บิวเรต (buret)

ใช้การทำไทเทรต หรือใช้ถ่ายเทสารละลายปริมาตรที่ต้องการความถูกต้องสูง





ถ้วยระเหย (evaporating disk)
ใช้ระเหยสารด้วยความร้อน



ที่จับบิวเรต (buret clamp)
ใช้จับบิวเรตในการทำการไทเทรต ใช้ร่วมกับขาตั้ง (stand)



หลอดหยด (dropper)
ใช้หยดสารประมาณน้อยๆ



กระจกนาฬิกา
ใช้ปิดปากบีกเกอร์ ใช้รองรับวัสดุที่ร้อน และอื่นๆ

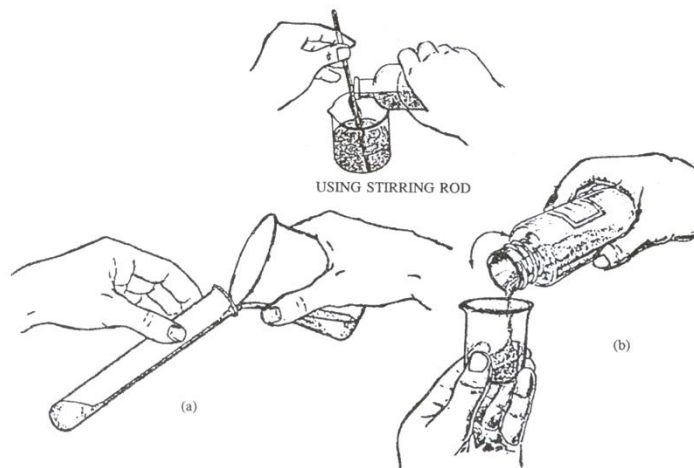
2. เทคนิคในการทำการทดลอง

การถ่ายเทสารละลาย

การถ่ายเทสารละลายหรือของเหลวเป็นการเคลื่อนย้ายสารละลายจากภาชนะหนึ่งไปอีกภาชนะหนึ่งโดยใช้อุปกรณ์ เช่น บีกเกอร์ กระบอกตวง ปิเปต ดังนั้นเทคนิคการถ่ายเทสารละลายจึงอาจแตกต่างกันบ้าง รูปที่ 3 แสดงการรินสารละลายในภาชนะที่แตกตต่างกัน

รูปที่ 3(ก) การรินสารละลายในภาชนะที่ปากกว้าง การเทสารละลายต้องใช้แท่งแก้วเป็นตัวพาสารละลายเพื่อป้องกันการไหลตามผนังภาชนะ

รูปที่ 3(ข) การรินสารละลายในภาชนะที่แคบ การเทสารละลายสามารถทำได้โดยใช้ปากภาชนะทั้งแยกกัน



รูปที่ 3 การรินสารละลายและเทสารละลาย

การให้ความร้อนหรือการต้มสารละลาย

การให้ความร้อนของเหลวใดๆ ผู้ทดลองจะต้องทราบว่าของเหลวนั้นติดไฟง่ายหรือไม่เมื่อกลายเป็นไอนั้นการต้มหรือการให้ความร้อนแก่ของเหลวจึงควรระวังให้มากและควรปฏิบัติดังนี้

1. ปริมาตรของของเหลวไม่ควรเกินครึ่งหนึ่งของหลอดทดลอง
2. ถือหลอดทดลองด้วยที่จับหลอดทดลอง อย่าจับหลอดทดลองด้วยนิ้วมือโดยตรง (ถ้าไม่มีที่จับหลอดทดลองอาจใช้กระดาษแผ่นเล็กๆ ยาวๆ พันรอบปากหลอดทดลองหลายๆ รอบ แล้วใช้นิ้วหัวแม่มือกับนิ้วที่จับกระดาษก็ได้)



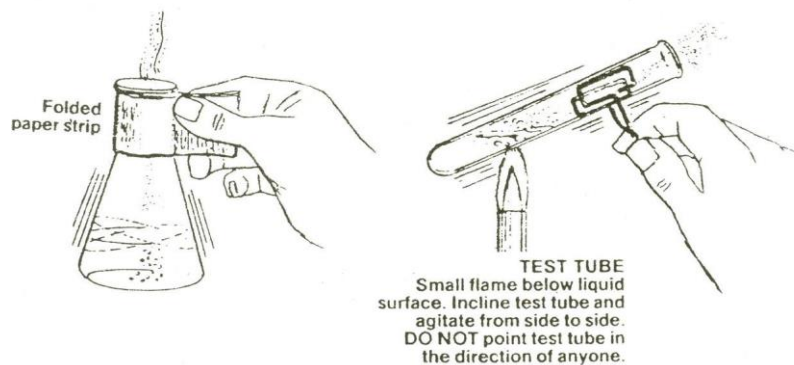
3. นำหลอดทดลองไปให้ความร้อนโดยตรงจากเปลวไฟควรวใช้เปลวไฟอ่อนๆ และเอียง หลอดทดลองเล็กน้อยพยายามให้ส่วนที่เป็นของเหลวในหลอดทดลองถูกเปลวไฟที่ละน้อย พร้อมแกว่งหลอดทดลองไปมาเมื่อของเหลวร้อนจะระเหยกลายเป็นไอ

4. ขณะให้ความร้อนหลอดทดลองจะต้องหันปากหลอดทดลองออกจากตัวเราและชี้ไปในทิศทางที่ไม่มีผู้อื่นหรือสิ่งของอยู่ใกล้ๆ ทั้งนี้เพราะเมื่อของเหลวเดือดอาจจะพุ่งออกมาจากหลอดทดลอง

5. อย่าก้มดูของเหลวในหลอดทดลองขณะกำลังให้ความร้อนเป็นอันตรายเพราะถ้าของเหลวพุ่งออกมาอาจเป็นอันตรายต่อใบหน้าและนัยน์ตาได้

6. ขณะให้ความร้อนแก่ของเหลวในหลอดทดลองต้องแกว่งหลอดทดลองไปด้วยเพื่อให้ ของเหลวในหลอดทดลองเคลื่อนไหวและได้รับความร้อนเท่าเทียมกันทุกส่วน

7. เมื่อของเหลวอยู่ในบีกเกอร์ ให้นำบีกเกอร์ตั้งบนตะแกรงลวด ซึ่งวางอยู่บนสามขาหรือที่ยึดวงแหวนให้ความร้อนโดยใช้ตะเกียงแก๊ส

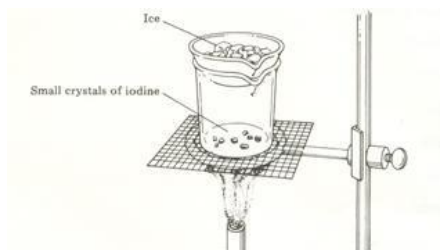


รูปที่ 4 การให้ความร้อนสารละลาย

การระเหยสารละลาย

การระเหยของเหลวหรือสารละลายก็เพื่อทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไปในที่สุดตัวละลายก็จะตกผลึก จึงอาจกล่าวได้ว่าการระเหยเป็นการลดปริมาตรของของเหลวให้น้อยลงโดยการไล่สารที่ระเหยได้ง่ายกว่าออกไปจากสารละลาย เทคนิคการระเหยของเหลวหรือสารละลาย มีหลายวิธี ดังนี้

1. เทของเหลวหรือสารละลายลงบนกระชกนาฬิกาแล้วบางบนปากบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำอยู่
2. ต้มน้ำให้เดือดความร้อนจากไอน้ำจะถ่ายเทไปทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไปจากตัวละลาย



รูปที่ 5 การระเหยสารละลาย

การรินสารละลายใสออกจากตะกอน

การแยกสารละลายใส (supernatant) ออกจากตะกอน อาจทำได้โดยวิธีง่ายๆ โดยเอียงภาชนะที่เป็นหลอดหรือบีกเกอร์เล็กน้อย แล้วใช้หลอดหยดดูดออกมา โดยบีบกระเปาะอย่างไล่อากาศออกแล้วจุ่มลงในสารละลายให้ปลายหลอดต่ำกว่าระดับน้ำเล็กน้อยค่อยๆ ผ่อนกระเปาะอย่างของเหลวจะไหลเข้าไปในหลอดซ้ำๆ แล้วค่อยๆ ลด



ปลายหลอดให้ต่ำลงตามระดับของเหลวจนของเหลวหมด ต้องระวังอย่าให้ปลายหลอดหยดแตะกับตะกอนเพราะจะทำให้ตะกอนถูกดูดเข้าไปในหลอดหยดด้วย

การกรอง

การกรอง (filtration) เป็นการแยกของแข็งออกจากของเหลว ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างมากในการวิเคราะห์ทางเคมี

การกรองแบบธรรมดาหรือการกรองโดยแรงโน้มถ่วง เป็นการกรองแบบอาศัยหลักของแรงตึงผิวของสารละลาย โดยใช้กระดาษกรองและกรวยกรอง การเลือกเนื้อกระดาษกรองต้องเหมาะสมกับตะกอน กระดาษกรองที่ใช้ในงานวิเคราะห์มีหลายขนาดความละเอียด ขนาดความละเอียดนิยมกำหนดเป็นเบอร์ ผู้ผลิตอาจกำหนดเบอร์ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 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

ขั้นตอนการกรองสารละลาย

1) ก้านของกรวยแก้วควรตะแคงผนังภาชนะที่รองรับสารละลายดังรูปที่ 7 (ก) เพื่อให้ของเหลวไหลได้อย่างรวดเร็วและป้องกันสารละลายกระเด็น แต่อย่าปล่อยให้ก้านกรวยแก้วจุ่มลงไปนสารละลาย การเทของเหลวลงบนกระดาษกรองในกรวยแก้วควรใช้แท่งแก้วนำ โดยให้แท่งแก้วแตะปากบีกเกอร์แล้วเทสารละลายไหลลงมาตามแท่งแก้ว แต่ปลายล่างของแท่งแก้วใกล้กระดาษกรองด้านที่พับทับกันสามชั้น อย่าเทสารละลายมากจนล้นขอบกระดาษกรอง ถ้ายังมีตะกอนเหลือติดอยู่ที่ก้นบีกเกอร์ ใช้น้ำฉีดล้างตะกอนที่เหลือลงมาสู่กระดาษกรองบนกรวยแก้ว

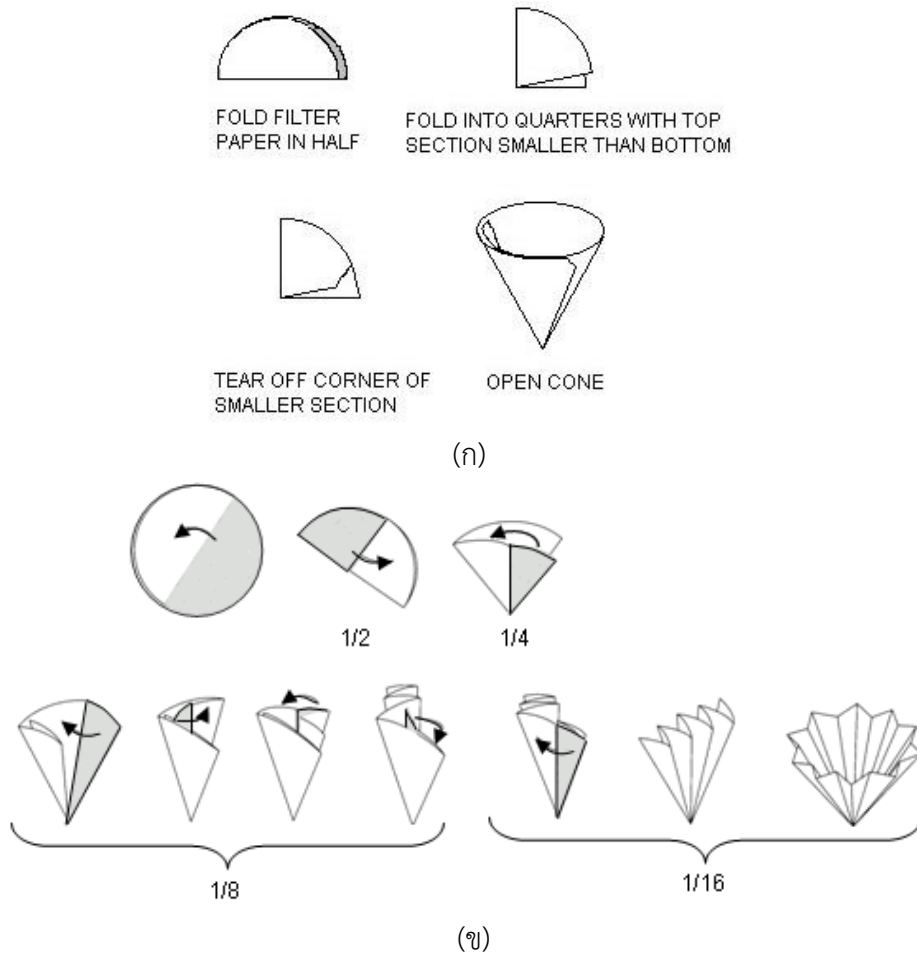
2) การกรองด้วยครุชีเบิลซินเตอร์กลาส (sintered glass) ครุชีเบิลซินเตอร์กลาสประกอบด้วยชั้นแก้วมีลักษณะเป็นแก้วชนิดพิเศษมีรูเล็กๆ ทำหน้าที่เป็นกระดาษกรอง ใช้กรองตะกอนได้หลายขนาด ซึ่งขึ้นกับเบอร์ของครุชีเบิลซินเตอร์กลาส มีขนาดตั้งแต่เบอร์ 0-5 แต่ที่ใช้ในงานวิเคราะห์ส่วนมากเป็นเบอร์ 3 และ 4 ใช้สำหรับกรองตะกอนแบบหยาบ เช่น ซิลเวอร์คลอไรด์ ส่วนเบอร์ 4 ใช้กรองตะกอนละเอียด เช่น แบเรียมซัลเฟต (BaSO_4)



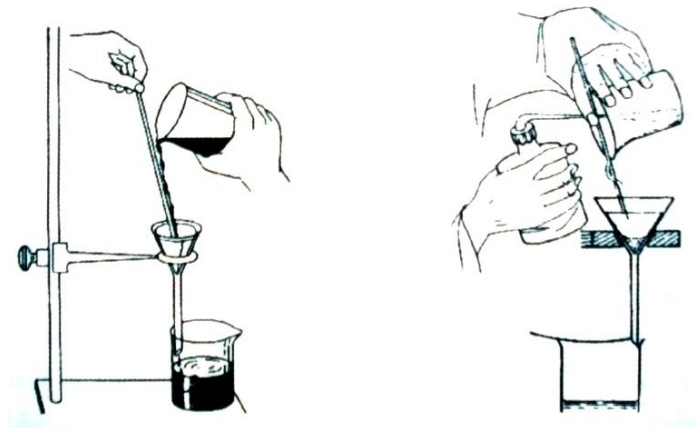
การพับกระดาษกรองสำหรับกรวยกรอง มี 2 ประเภทคือ

1) พับ 1/4 โดยการพับกระดาษกรองลงทีละครึ่งหนึ่งก่อน แล้วพับให้เหลือ 1/4 แล้วฉีกปลายด้านหนึ่งออก เพื่อให้กระดาษกรองในส่วนชั้นในสุดได้มีโอกาสสัมผัสกับผิวกรวยแก้วมากยิ่งขึ้น อันจะทำให้สารละลายไหลผ่าน ซึมผ่านกระดาษกรองเร็วขึ้น ดังรูปที่ 6 (ก)

2) การพับแบบมีร่อง การพับจะทำทีละครึ่งไปเรื่อยๆ จน 1/16 ดังรูปที่ 6 (ข)



รูปที่ 6 (ก) การพับกระดาษกรองแบบกรวยซ้า และ (ข) การพับกระดาษกรองแบบมีร่อง (fluted)

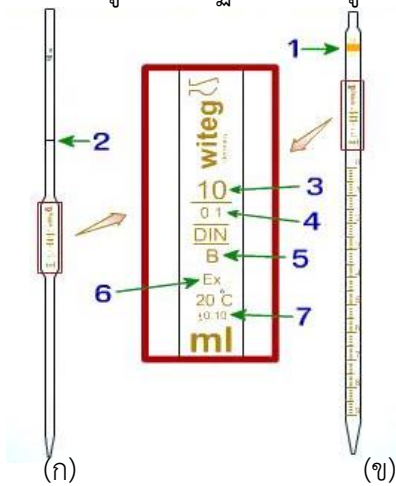


รูปที่ 7 แสดงการกรองด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก



เทคนิคการใช้ปิเปต

ปิเปตเป็นอุปกรณ์ในการวัดปริมาตรสำหรับถ่ายเทสารละลายที่มีความแม่นยำสูง ปิเปตมีอยู่หลายชนิด แต่โดยทั่วไปที่มีใช้อยู่ในห้องปฏิบัติการมีอยู่ 2 แบบ คือ transfer และ measuring pipet ดังรูป 8



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

รูปที่ 8 ปิเปต (ก) transfer pipet และ (ข) graduate pipet

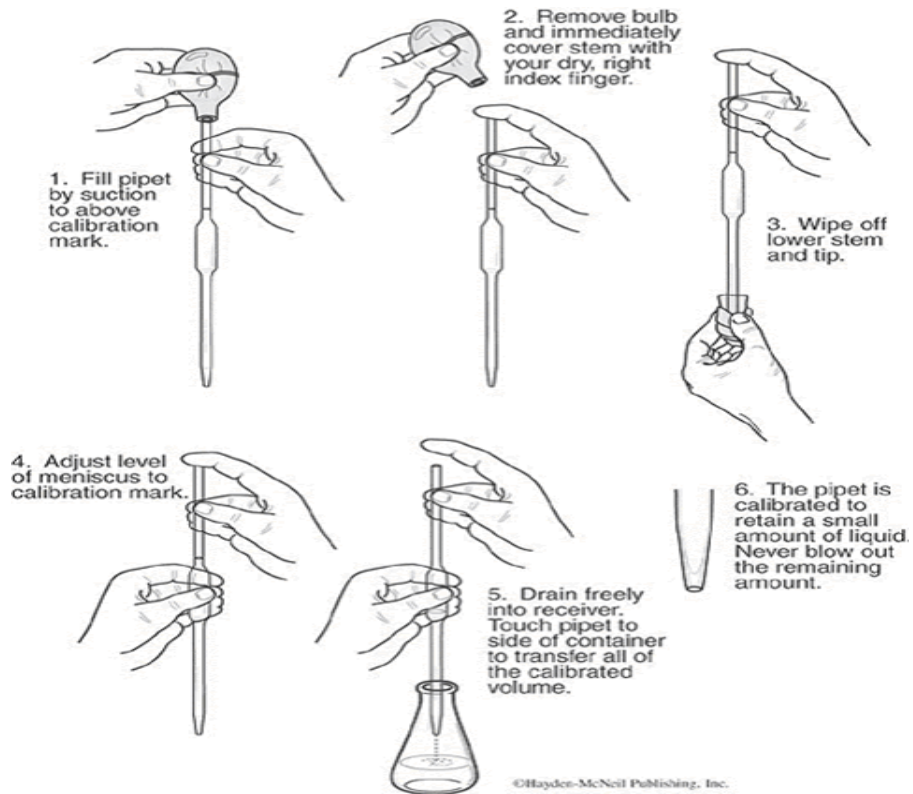
1. Transfer pipet ซึ่งใช้ในการวัดปริมาตรได้เพียงค่าเดียว คือถ้าหาก transfer pipet จุ 25 mL จะวัดปริมาตรของของเหลวได้เฉพาะ 25 mL เท่านั้น transfer pipet มีหลายขนาดตั้งแต่ 1 mL ถึง 100 mL ถึงแม้ปิเปตชนิดนี้จะใช้วัดปริมาตรได้อย่างใกล้เคียงความจริงก็ตาม แต่ยังมีข้อผิดพลาดซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของปิเปต

2. Measuring หรือ graduated pipet จะมีขีดบอกปริมาตรต่างๆ ไว้ทำให้สามารถใช้ได้อย่างกว้างขวาง คือสามารถใช้แทน transfer pipet ได้ แต่ใช้วัดปริมาตรได้แม่นยำน้อยกว่า transfer pipet และมีความผิดพลาดมากกว่า

การใช้ปิเปต

1. ก่อนใช้ปิเปตต้องทำความสะอาดโดยดูดน้ำกลั่นจนเกือบเต็ม แล้วปล่อยให้ไหลออกมาจนหมด
2. จุ่มปลายปิเปตลงในสารละลาย โดยที่ปลายปิเปตอยู่ต่ำกว่าระดับสารละลายตลอดเวลา
3. ใช้เครื่องดูดหรือกระเปาะยางดูดสารละลายเข้าไปในปิเปตอย่างช้าๆ (รูปที่ 9) จนกระทั่งสารละลายขึ้นมาอยู่เหนือขีดบอกปริมาตร และใช้นิ้วชี้ปิดปลายปิเปตให้แน่นโดยทันที จับก้านปิเปตด้วยนิ้วหัวแม่มือและนิ้วกลาง
4. จับปิเปตให้ตั้งตรงแล้วค่อยๆ ผ่อนนิ้วชี้เพื่อให้สารละลายที่เกินขีดบอกปริมาตรไหลออกไปจนกระทั่งส่วนโค้งล่างสุดของสารละลายพอดีกับขีดบอกปริมาตร กดนิ้วชี้ให้แน่นและแตะปลายปิเปตกับข้างภาชนะเพื่อหยุดน้ำที่ติดอยู่ที่ปลายปิเปตหมดไป
5. ปล่อยสารละลายที่อยู่ในปิเปตลงในภาชนะที่เตรียมไว้โดยยกนิ้วชี้ขึ้น ให้สารละลายไหลลงตามปกติตามแรงโน้มถ่วงของโลกจนหมด แล้วแตะปลายปิเปตกับข้างภาชนะ



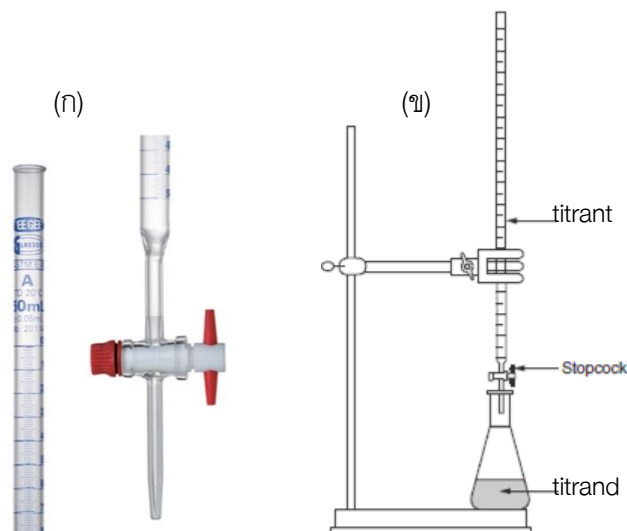


รูปที่ 9 ขั้นตอนการใช้ปิเปต

การไทเทรต (titration)

อุปกรณ์การไทเทรต

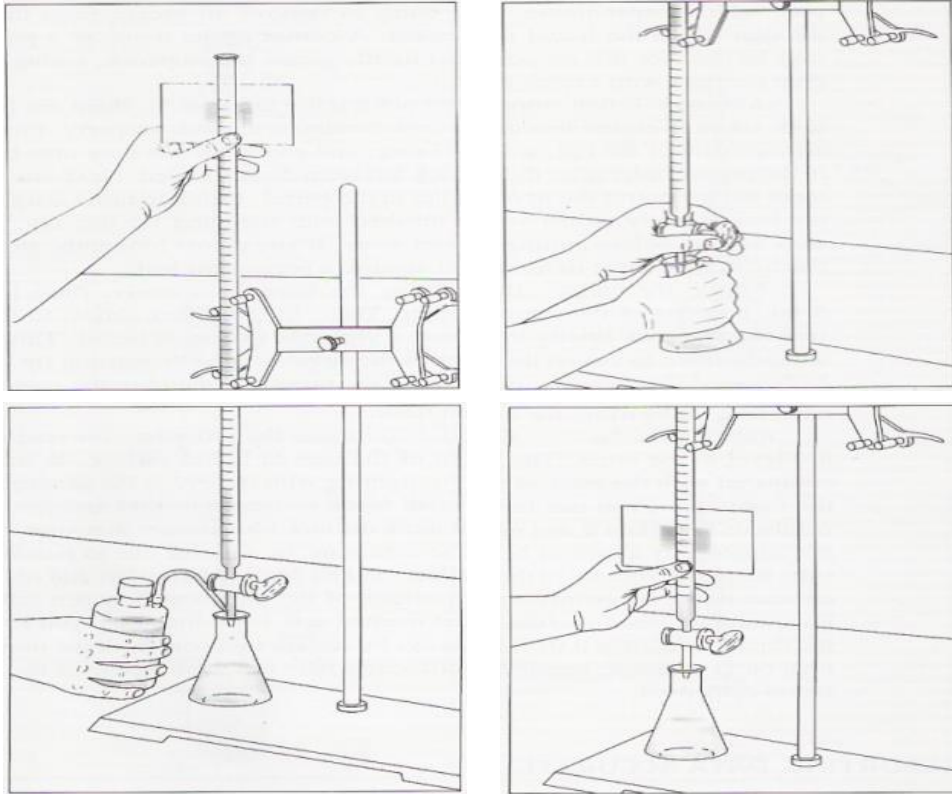
บิวเรต (buret) เป็นอุปกรณ์วัดปริมาตรที่มีขีดบอกปริมาตรต่างๆ และมีก๊อกสำหรับเปิด-ปิด เรียกว่า stop-cock เพื่อบังคับการไหลของของสารละลาย บิวเรตเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีขนาดตั้งแต่ 10 mL จนถึง 100 mL บิวเรตสามารถวัดปริมาตรได้อย่างใกล้เคียงความจริงมากที่สุด แต่ยังมีคามผิดพลาดอยู่เล็กน้อย ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของบิวเรต



รูปที่ 10 (ก) บิวเรต และ (ข) การติดตั้งอุปกรณ์การไทเทรต



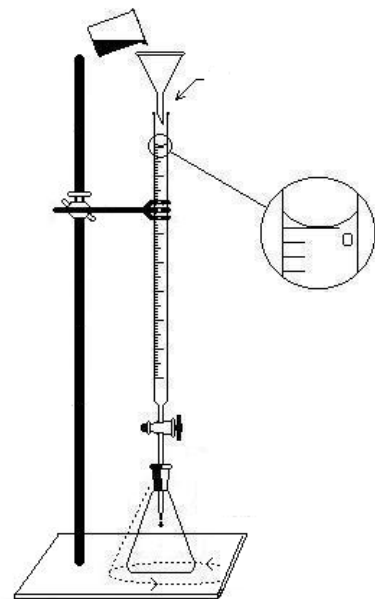
การติดตั้งอุปกรณ์ในการไทเทรต ดังรูปที่ 10(ข) สารละลายที่บรรจุในบิวเรต เรียกว่า ไทแทรนด์ (titrant) สารละลายที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ เรียกว่า ไทแทรนด์ (titrand) เมื่อค่อยเปิด stop-cock ไทแทรนด์จะค่อยหยดลงในขวดรูปชมพู่ การอ่านสเกลบนบิวเรต ควรให้อยู่ในระดับสายตาและถือส่วนโค้งที่ต่ำที่สุดเป็นเกณฑ์ในการอ่านปริมาตรอาจใช้กระดาษขาวบังบิวเรตเพื่ออ่านสเกลบนบิวเรตได้ชัดเจนยิ่งขึ้น



รูปที่ 11 ขั้นตอนการไทเทรต

วิธีการไทเทรต

- ล้างบิวเรตให้สะอาด ด้วยสารทำความสะอาด
- บรรจุสารละลายเพียงเล็กน้อย เพื่อตรวจสอบการรั่วของ stopcock
- ชะล้างบิวเรตด้วยสารละลายที่จะใช้บรรจุ ประมาณ 5 mL แล้วไขให้สารละลายไหลออกทางปลายบิวเรต
- เทสารละลายลงในบิวเรตโดยผ่านทางกรวยกรอง ให้มีปริมาตรเหนือขีดศูนย์เล็กน้อย (รูปที่ 12) เอากรวยออกแล้วเปิดก๊อกให้สารละลายไหลออกทางปลายบิวเรต เพื่อปรับให้ปริมาตรของสารละลายอยู่ที่ขีดศูนย์พอดี การปรับปริมาตรควรทำในระดับสายตา (ที่บริเวณปลายบิวเรตจะต้องไม่มีฟองอากาศ หากมีฟองอากาศจะต้องเปิดก๊อกให้สารละลายไล่ฟองอากาศออกไปจนหมด)
- การจับปลายบิวเรตและการจับขวดรูปชมพู่ขณะไทเทรต ใช้มือที่ไม่ถนัดจับ stopcock เพื่อเปิดก๊อกให้สารละลายไหล และมีมือ



รูปที่ 12 การติดตั้งและบรรจุสารละลาย

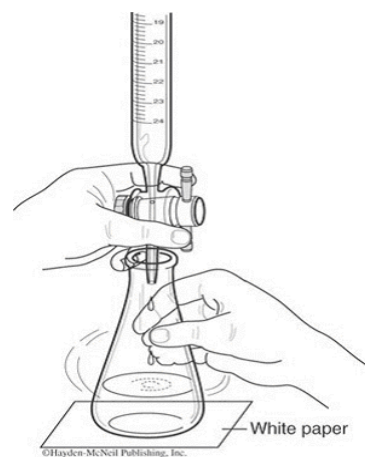


อีกข้างจับขวดรูปชมพู่พร้อมกวนสารละลายแบบวงกลมตลอดเวลา (รูปที่ 13)

6. ค่อยๆ หมุนปิด stopcock เมื่อใกล้ถึงจุดยุติเพื่อสารละลายไหลออกมาทีละหยด เพื่อไม่ให้เกิดจุดยุติ และต้องปิด stopcock ทันทีเมื่อถึงจุดยุติ ในกรณีที่ไทเทรตจะเกือบหมดบิวเรตแต่ยังไม่ถึงจุดยุติ อย่าปล่อยให้สารละลายเลยขีดบอกปริมาตรสุดท้ายลงมา จะไม่ทราบปริมาตรที่แน่นอนได้

7. ถ้าปลายบิวเรตรั้วซึม โดยสารละลายไม่ได้ไหลออกทางปลายบิวเรตเพียงด้านเดียว ให้หยุดไทเทรตและเปลี่ยนบิวเรตทันที

8. การไทเทรตโดยทั่วไปต้องทำอย่างน้อย 2 ครั้ง ถ้าการทดลองสองครั้ง ปริมาตรแตกต่างกันไม่เกิน 0.2 mL แต่ถ้าปริมาตรที่ไทเทรตสองครั้งต่างกันมากกว่า 0.2 mL ให้ทำไทเทรตครั้งที่ 3 แล้วจึงหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 13 ลักษณะการจับ stopcock



การทดลองที่ 3

หน่วยพื้นฐานและเลขนัยสำคัญ

(Unit and Significant Figure)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะเกี่ยวกับหน่วยฐานเอสไอ
2. 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 1.1 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 1.2) และหน่วยอนุพัทธ์เอสไอที่มีชื่อหน่วยเฉพาะและมีสัญลักษณ์เฉพาะ แสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.2 ตัวอย่างหน่วยอนุพัทธ์เอสไอที่เกี่ยวข้องกับหน่วยฐาน

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



ตารางที่ 1.3 หน่วยอนุพัทธ์ที่มีสัญลักษณ์เฉพาะ

ปริมาณ	ชื่อหน่วย เฉพาะ	สัญลักษณ์ เฉพาะ	สัญลักษณ์แสดง เป็นหน่วย SI อื่น	สัญลักษณ์แสดง เป็นหน่วยฐาน 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 เพื่อแสดงปริมาณให้มี
ความกะทัดรัดมากขึ้น มีผลเท่ากับการเพิ่มหรือลดขนาดของหน่วยนั้น ดังแสดงในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 คำนำหน้าหน่วยแสดงปริมาณตัวเลข

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 ผลลัพธ์ที่ได้ต้องมีเลขนัยสำคัญเท่ากับตัวเลขที่นำมาคูณหรือที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด 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 แครกเทอริสติก (characteristic) คือ ตัวเลขหน้าจุดทศนิยม และแมนทิสซา (mantissa) คือ ตัวเลขหลังจุดทศนิยม การนับเลขนัยสำคัญจะนับจำนวนเลขที่เป็นเลขแมนทิสซาเท่านั้น โดยให้มีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับตัวเลขนัยสำคัญที่นำมาหาค่าลอการิทึม เช่น $\log 1.35 \times 10^4$ มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว เมื่อหาค่าลอการิทึม เลขแมนทิสซาต้องมีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

$$\log 1.35 \times 10^4 = \overset{\text{แครกเทอริสติก}}{4.13033} = 4.130$$

↙
↘
แมนทิสซา

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) ตวงน้ำใส่ในปิกเกอร์ ขนาด 250 mL (โดยให้ปริมาตรน้ำไม่เกิน 100 mL) (ปิกเกอร์ที่ 1)
- 2) อ่านและบันทึกปริมาตรน้ำในปิกเกอร์ ตามหลักเลขนัยสำคัญ บันทึกค่าลงในตาราง
- 3) นำปิกเกอร์เปล่า ขนาด 250 mL 1 ใบ ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง จดน้ำหนัก (ปิกเกอร์ที่ 2)
- 4) เทน้ำปิกเกอร์ที่ 1 ใส่ในปิกเกอร์ที่ 2 แล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งเครื่องเดิม บันทึกค่าลงในตาราง
- 5) คำนวณน้ำหนักน้ำ และค่าความคลาดเคลื่อน

การทดลองที่ 2

- 1) ตวงน้ำใส่ในกระบอกตวง ขนาด 100 mL (โดยให้ปริมาตรน้ำไม่เกิน 80 mL)
- 2) อ่านและบันทึกปริมาตรน้ำในกระบอกตวง ตามหลักเลขนัยสำคัญ บันทึกค่าลงในตาราง
- 3) นำปิกเกอร์เปล่า ขนาด 250 mL 1 ใบ ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง จดน้ำหนัก
- 4) เทน้ำกระบอกตวงใส่ในปิกเกอร์แล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งเครื่องเดิม 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 แล้วเทใส่ในบีกเกอร์แล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งเครื่องเดิม 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) แสดงการหาคำตอบที่ถูกต้องตามหลักเลขนัยสำคัญ
 - 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) $-\log 0.0000454$



การทดลองที่ 4

สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

(Reagents and preparation of solution)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะการเตรียมสารละลาย

หลักการ

สารเคมี คือสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่ทราบน้ำหนักสูตรโมเลกุลที่แน่นอนและมีความบริสุทธิ์เพียงพอที่ใช้กับงานวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์เพื่อทำการทดสอบการวัดและการตรวจสอบค่าต่าง ๆ ได้ สารเคมีที่เราใช้กันในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีจำนวนมาก และมีการแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ตามสมบัติเฉพาะ เช่น ความบริสุทธิ์ ปริมาณสารปนเปื้อน มาตรฐานที่ผลิตหรือรับรอง ซึ่งนักเคมีหรือผู้ทดลองต้องเคยใช้และรู้จักกับชื่อเรียกเกรดสารเคมี เช่น เกรดวิเคราะห์ (AR grade) เกรดปฏิบัติการ (lab grade) เกรด USP เกรด ACS หรืออาจเคยเห็นตัวย่ออื่น ๆ อีกมากมาย

ความเข้มข้นสารละลาย (concentration) คือ การบอกปริมาณตัวละลาย (solute) ในตัวทำละลาย (solvent) ที่มีปริมาตรแน่นอนปริมาตรหนึ่ง ความเข้มข้นสารละลาย นับได้ว่ามีความสำคัญมากต่อการเรียนและการปฏิบัติทดลองด้านเคมี เนื่องจาก ความเข้มข้นสารละลายเป็นเป็นความสัมพันธ์เชิงโมลของสารที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเคมี 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



อุปกรณ์

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

สารเคมี

1. CuSO_4

การทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาเกี่ยวกับสารเคมี

นักศึกษาศึกษาข้อมูลจากเว็บไซต์ http://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=5496 ในหัวข้อ

ต่อไปนี้

- [สารเคมีในห้องปฏิบัติการ..รู้ก่อนใช้](#)
- [ฉลากสารเคมี](#)
- [สัญลักษณ์แสดงอันตรายสารเคมี \(Hazard Pictogram\)](#)
- [ฉลากสารเคมีระบบ GHS](#)

จัดทำข้อมูลฉลากสารเคมี 1 ชนิด

ตอนที่ 2 เตรียมสารละลาย CuSO_4 เข้มข้น 1.0 mol/L ปริมาตร 100 mL

- 1) คำนวณน้ำหนักที่ต้องใช้ในการเตรียมเป็นสารละลายของ CuSO_4 (ให้อาจารย์ตรวจสอบความถูกต้องก่อนนำไปชั่ง)
- 2) ชั่งน้ำหนัก CuSO_4 ด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ลงในปีกเกอร์ขนาด 100 mL ที่แห้งและสะอาด
- 3) เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 25 mL ใช้แท่งแก้วคนจนสารละลายหมด แล้วเทสารละลายผ่านกรวยกรองลงในขวดวัดกำหนดปริมาตรขนาด 100 mL ล้างปีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย 2-3 ครั้ง เทน้ำกลั่นที่ใช้ล้างลงในขวดกำหนดปริมาตร
- 4) ค่อยๆ เติมน้ำกลั่นจนสารละลายมีระดับใกล้ถึงขีดบอกปริมาตร แล้วใช้หลอดหยดในการปรับปริมาตร ปิดจุกแล้วเขย่าให้สารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน
- 5) เทสารละลายที่เตรียมได้ลงในขวดพลาสติก และปิดฉลากระบุข้อมูลของสารละลายที่เตรียมได้ (ระบุชื่อสาร ความเข้มข้นและวันที่เตรียม)



การทดลองที่ 5

ปริมาณสัมพันธ์: ปฏิกิริยาระหว่างโลหะเหล็กกับสารละลายทองแดง(II) ซัลเฟต
(Stoichiometry: The Reaction of Iron with Copper(II) Sulfate)

วัตถุประสงค์

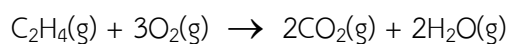
1. เพื่อฝึกทักษะการทำปฏิกิริยาเคมี
2. เพื่อฝึกทักษะการทดลองปฏิกิริยาเคมีตามปริมาณสัมพันธ์

หลักการ

การเขียนสมการเคมีให้ถูกต้องจำเป็นจะต้องทราบถึงชนิดของสารตั้งต้นและอัตราส่วนเหล่านั้นที่เข้าทำปฏิกิริยากันพอดีและชนิดปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วย เพื่อเป็นศึกษาการเตรียมสารประกอบเคมีในห้องปฏิบัติการ จึงจำเป็นที่จะต้องทราบความสัมพันธ์เชิงปริมาณที่เกี่ยวข้องกับสารที่เข้าทำปฏิกิริยาในปริมาณต่างๆ ที่เรียกว่า ปริมาณสัมพันธ์ (stoichiometry) ปริมาณของผลิตภัณฑ์จะถูกกำหนดโดยสารเข้าทำปฏิกิริยาทั้งหมดไปก่อน เรียกว่าสารกำหนดปริมาณ (limiting agent) เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่กำหนดให้ชนิดหนึ่งจะมีค่ามากที่สุดตามค่าที่คำนวณได้จากปริมาณสัมพันธ์ตามสมการเคมี เรียกปริมาณผลิตภัณฑ์นี้ว่าเป็นผลผลิตตามทฤษฎี (theoretical yield) แต่ในทางปฏิบัติ ปริมาณที่ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีค่าน้อยกว่าที่ได้จากทฤษฎี อาจเนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงอื่น ๆ หรือปฏิกิริยายังดำเนินไปไม่สมบูรณ์ จึงมีค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพของปฏิกิริยา คือผลผลิตร้อยละ (percentage yield) ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100 \quad (5.1)$$

เช่น ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเอทิลีน (C_2H_4) ในอากาศตามสมการ

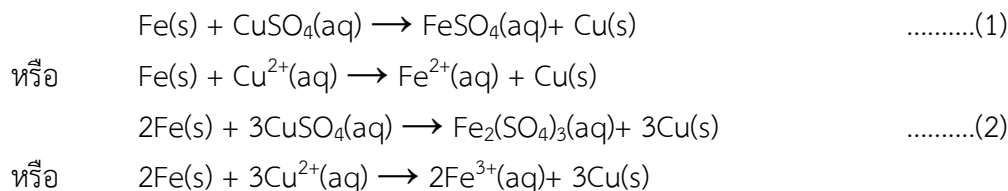


ถ้าใช้ C_2H_4 1.93 กรัม ทำปฏิกิริยากับ O_2 5.92 กรัม ในที่นี้ O_2 จะเป็นสารกำหนดปริมาณและผลิตภัณฑ์ CO_2 ที่เกิดขึ้นจะเท่ากับ 5.43 กรัม ซึ่งเป็นค่าผลผลิตตามทฤษฎี ถ้าในการทำปฏิกิริยาจริง ๆ ได้ CO_2 เพียง 3.48 กรัม ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของ C_2H_4 เกิด CO ขึ้นได้บางส่วน ผลผลิตร้อยละของ CO_2 จะเป็น

$$\text{ผลผลิตร้อยละของ } CO_2 = \frac{3.48 \text{ กรัม}}{5.43 \text{ กรัม}} \times 100 = 64.1 \%$$

ในการทดลองนี้จะใช้หลักปริมาณสัมพันธ์เพื่อให้ได้สมการที่เหมาะสมระหว่างปฏิกิริยาของโลหะเหล็กและสารละลายทองแดง(II)ซัลเฟต เมื่อปฏิกิริยาเริ่มต้นการก่อตัวของโลหะทองแดงซึ่งตกตะกอนเป็นผงสีแดงส้มอย่างชัดเจน ปฏิกิริยานี้เป็นหนึ่งในตัวอย่างของปฏิกิริยาการแทนที่ครั้งเดียว (single substitution) กล่าวคือองค์ประกอบหนึ่ง แทนที่ด้วยองค์ประกอบอื่น ด้วยรูปแบบของ Fe มีสองรูปแบบคือ Fe^{2+} (ferrous) และ Fe^{3+} (ferric) โดยหลักปริมาณสัมพันธ์จะเกี่ยวข้องกับจำนวนโมลของสารที่ทำปฏิกิริยากันคือ โลหะเหล็กกับ $CuSO_4$ ดังนั้น ถ้าในปฏิกิริยาเกิด Fe^{2+} ปฏิกิริยาจะสอดคล้องกับสมการ (1) แต่ถ้าเป็น Fe^{3+} ปฏิกิริยาจะสอดคล้องกับสมการ (2)





การคำนวณปริมาณเหล็กโดยอาศัยการเติมสารละลาย CuSO_4 ที่มากเกินไป หลังจากเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ ปริมาณทองแดงที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์เชิงโมลกับเหล็ก ตามสมการเคมี

อุปกรณ์

1. ปีกเกอร์ ขนาด 110 mL
2. กระจกตวง ขนาด 50 mL
3. เต้าไฟฟ้า
4. แท่งแก้วคนสาร
5. กระจกนาฬิกา

สารเคมี

1. ผงเหล็กบริสุทธิ์
2. สารละลาย CuSO_4 1.0 mol/L
3. แอซีโตน

การทดลอง

- 1) ชั่งปีกเกอร์ 100 mL จดน้ำหนักปีกเกอร์เปล่า (ควรใช้เครื่องชั่งเดียวกันตลอดการทดลอง)
- 2) ชั่งผงเหล็ก (iron powder) 1.00 g (ห้ามเกิน 1.01 g) ใส่ลงในปีกเกอร์ที่ชั่งน้ำหนัก (ข้อ 1)
- 3) ตวงสารละลาย CuSO_4 1.00 mol/L ปริมาตร 30 mL (ใช้กระจกตวง) รินลงในปีกเกอร์อีกใบหนึ่งนำไปให้ความร้อนด้วยเต้าไฟฟ้าจนสารละลายเกือบเดือด
- 4) ค่อยๆ เทสารละลาย CuSO_4 ที่ร้อนลงในปีกเกอร์ที่มีผงเหล็ก (ข้อ 2) กวนสารละลาย 2-3 นาที ปล่อยให้สารละลายเย็นตัวลง
- 5) ค่อยๆ รินสารละลายทิ้ง โดยระวังอย่าให้ผงทองแดงหลุดออกมาด้วย*
- 6) เติมน้ำกลั่น 10 mL กวนสารละลาย เพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่ติดกับผงทองแดง แล้วค่อยๆ รินสารละลายทิ้ง* (ทำขั้นตอนนี้ 2 รอบ)
- 7) เติมแอซีโตน 5 mL กวนสารละลายและตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที ค่อยๆ รินแอซีโตนทิ้ง*
- 8) ให้ความร้อนอ่อนๆ เพื่อระเหยของเหลว (ใช้ช้อนตักสารช่วยกระจายผลทองแดง) จนกระทั่งผงทองแดงแห้ง
- 9) รอให้ปีกเกอร์เย็น นำไปชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักปีกเกอร์เปล่ารวมกับผงทองแดง
- 10) คำนวณจำนวนโมลของเหล็กที่ใช้และโมลของทองแดงที่เกิดขึ้น



การทดลองที่ 6

ปฏิกิริยาของทองแดงและสารประกอบของทองแดง

(The reaction of copper and its compounds)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะการทำปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบทองแดง
2. เพื่อฝึกทักษะการหาปริมาณสัมพันธ์เคมีตามหลักกฎอนุรักษ์มวล

หลักการ

จากกฎอนุรักษ์มวลของสสาร (law of mass conservation) ซึ่งกล่าวว่า “มวลของสารก่อนทำปฏิกิริยาจะเท่ากับมวลของสารหลังทำปฏิกิริยา” ดังนั้น ถ้าเริ่มต้นด้วยการนำโลหะทองแดงจำนวนหนึ่งมาทำปฏิกิริยากับสารเคมีให้ได้เป็นสารประกอบต่าง ๆ ของทองแดงและจากสารประกอบก็ทำกลับมาให้อยู่ในรูปของโลหะทองแดงอย่างเดิม โลหะทองแดงที่ได้กลับมานั้นก็ควรจะมีย่าน้ำหนักเท่ากับโลหะทองแดงเริ่มต้น ในทางปฏิบัติบางครั้งน้ำหนักของโลหะทองแดงที่ได้กลับคืนมากหรือน้อยกว่าความเป็นจริงทั้งนี้เพราะบางส่วนหายไปตามขั้นตอนต่าง ๆ หรืออาจมีสารอื่นปะปนมากับทองแดงด้วยก็ได้ ทำให้น้ำหนักทองแดงมากกว่าความเป็นจริง การที่จะได้โลหะทองกลับมากได้ทั้งหมดโดยไม่มีสารอื่นปะปนมา ก็ต้องอาศัยเทคนิคที่ถูกต้องในการทดลอง ซึ่งได้แก่ การละลายตะกอน การตกตะกอน การกรอง การล้างตะกอน การรีนสารละลายใสออกจากตะกอน การระเหยน้ำออกจากตะกอน

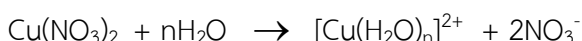
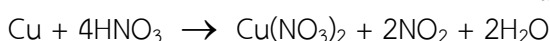
ในบางครั้งอาจจะแบ่งชนิดของปฏิกิริยาเคมีออกได้ตามลักษณะของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของอะตอมของธาตุในปฏิกิริยา ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. ปฏิกิริยาการรวมตัวอย่างง่าย (simple combination) เช่น $\text{NH}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}$
2. ปฏิกิริยาการสลายตัวอย่างง่าย (simple decomposition) เช่น $2\text{KClO}_3 \rightarrow 2\text{KCl} + 3\text{O}_2$
3. ปฏิกิริยาแทนที่อย่างง่าย (simple replacement) เช่น $\text{Mg} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MgO} + \text{H}_2$
4. ปฏิกิริยาการสลายตัวสองต่อ (double decomposition) หรือปฏิกิริยาการแทนที่สองต่อ (double replacement) เช่น $\text{NaCl} + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{AgCl} + \text{NaNO}_3$

ในการทดลองนี้ ลำดับขั้นตอนของการทำปฏิกิริยาของทองแดงเป็นดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 เปลี่ยนโลหะทองแดงให้เป็นทองแดง(II) ไนเตรต

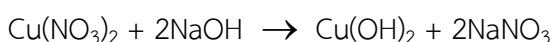
โลหะทองแดง (Cu) เมื่อละลายด้วยสารละลาย HNO_3 จะได้สารละลายสีเขียวของ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ และเมื่อมีน้ำจะได้สารละลายสีฟ้าของสารเชิงซ้อนทองแดงที่มีน้ำแทนที่ ดังปฏิกิริยา



สารละลายสีฟ้า

ขั้นที่ 2 เปลี่ยนเป็นทองแดง(II) ไฮดรอกไซด์

สารเชิงซ้อนทองแดงที่มีน้ำล้อมรอบ (hydrate) เมื่อมีสถานะเป็นเบสจะเกิดเป็นตะกอนสีฟ้าของ $\text{Cu}(\text{OH})_2$



ตะกอนสีฟ้า

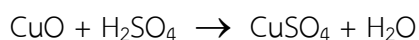


ขั้นที่ 3 เปลี่ยนทองแดง(II) ไฮดรอกไซด์ให้เป็นทองแดง(II) ออกไซด์

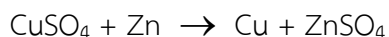
เมื่อให้ความร้อนตะกอน $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ตะกอนเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีดำของ CuO

**ขั้นที่ 4 เปลี่ยนทองแดง(II) ออกไซด์ให้เป็นทองแดง(II) ซัลเฟต**

ละลายตะกอน CuO ด้วยกรดซัลฟิวริก จะได้เป็นสารละลายสีฟ้าของ CuSO_4

**ขั้นที่ 5 เปลี่ยนทองแดง(II) ซัลเฟตให้เป็นโลหะทองแดง**

ผงสังกะสีสามารถรีดิวซ์ CuSO_4 ให้กลายเป็นโลหะทองแดง (Cu)

**อุปกรณ์**

1. ปีกเกอร์ 250 mL
2. กระจกตวง 25 mL
3. กรวยกรอง
4. ถ้วยระเหย
5. กระดาษลิตมัส

สารเคมี

1. โลหะทองแดง
2. กรดไนตริก (conc. HNO_3)
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH 6 mol/L)
4. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4 1 mol/L และ 3 mol/L)
5. ผงสังกะสี

วิธีทดลอง**ขั้นที่ 1 เปลี่ยนโลหะทองแดงให้เป็นทองแดง(II) ไนเตรต ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$)**

1) ชั่งโลหะทองแดงที่ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ 0.20xx-0.30xx กรัม (ด้วยเครื่องชั่งละเอียด) บันทึกลงในบันทึกที่แน่นอน ใส่โลหะทองแดงลงในปีกเกอร์ ขนาด 250 mL

2) เติมกรดไนตริกเข้มข้นลงไป 5 mL (ทำในตู้ดูดควัน เนื่องจากจะเกิด NO_2 ซึ่งมีสีน้ำตาลและเป็นพิษ) ตั้งไว้จนโลหะทองแดงละลายหมด จะได้สารละลาย สีเขียวของ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$

3) เติมน้ำกลั่น 50 mL จะได้สารละลายสีฟ้าของสารเชิงซ้อน $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_n]^{2+}$ นำออกจากตู้ควัน

ขั้นที่ 2 เปลี่ยนทองแดง(II) ไนเตรตให้เป็นทองแดง(II) ไฮดรอกไซด์

4) เติมสารละลาย NaOH 6 mol/L ปริมาตร 15 mL อย่างช้า ๆ จนสารละลายตลอดเวลา จะได้ตะกอนสีฟ้าของ $\text{Cu}(\text{OH})_2$

ขั้นที่ 3 เปลี่ยนทองแดง(II) ไฮดรอกไซด์ให้เป็นทองแดง(II) ออกไซด์

5) เติมน้ำกลั่น 50 mL แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้า จนตะกอนเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีดำของ CuO จนหมด

6) กรองตะกอนสีดำออกจากสารละลายขณะร้อนโดยใช้กรวยกรอง



ขั้นที่ 4 เปลี่ยนทองแดง(II) ออกไซด์ให้เป็นทองแดง(II) ซัลเฟต

7) คีบกระดาษกรองที่มีตะกอนติดอยู่ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL

8) เติมสารละลาย H_2SO_4 1 mol/L ปริมาตร 25 mL ค่อยๆ เอียงบีกเกอร์ให้ H_2SO_4 สัมผัสกับตะกอน CuO จนกระทั่งตะกอนสีดำละลายเป็นสารละลายสีฟ้าจนหมด คีบกระดาษกรองขึ้นมาเหนือสารละลาย ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองเล็กน้อย (กระดาษกรองทิ้งถังขยะ)

ขั้นที่ 5 เปลี่ยนทองแดง(II) ซัลเฟตให้เป็นโลหะทองแดง

9) เติมผงสังกะสีที่ละเอียดลงไปในสารละลาย (ครึ่งละประมาณหัวไม้ขีดไฟ) ใช้แท่งแก้วคนสารละลายตลอดเวลา ทำซ้ำ ๆ จนสารละลายสีฟ้าเป็นสารละลายใสไม่มีสี แสดงว่า CuSO_4 เปลี่ยนเป็นโลหะทองแดงเกือบหมดแล้ว (การเติมผงสังกะสีแต่ละครั้งต้องดูว่าในบีกเกอร์มีผงสังกะสีที่เติมไปครึ่งก่อนเหลืออยู่หรือไม่)

10) เติมสารละลาย H_2SO_4 3 mol/L ปริมาตร 5 mL เพื่อละลายผงสังกะสีที่เติมมากเกินไป แต่ถ้ายังมีผงสังกะสีเหลืออีกให้เติมสารละลาย H_2SO_4 3 mol/L เพิ่มอีก 5 mL

11) เติมน้ำกลั่นลงไปอีกประมาณ 10 mL แล้วค่อยๆ รินสารละลายใสทิ้งไป ให้เหลือแต่ตะกอนทองแดง

12) ถ่ายตะกอนลงในถ้วยระเหย (evaporating dish) ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างตะกอนในบีกเกอร์ให้ลงไปรวมกันในถ้วยระเหยจนหมด รินสารละลายใสออกจนเหลือแต่ตะกอน

13) นำไปตั้งบนไฟอ่อน (อย่าใช้ไฟแรง) ไล่น้ำออกจนเหลือน้ำน้อยมาก รีบยกออกมาตั้งไว้ให้เย็น น้ำจะระเหยออกจนแห้งพอดี จากนั้นนำไปชั่งหาน้ำหนักของทองแดงที่กลับคืนมาแล้วบันทึกผลการทดลอง



การทดลองที่ 7 การหาค่าคงที่ของแก๊ส (Determination of the gas constant)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะการทดลองเกี่ยวกับกฎของแก๊ส
2. เพื่อฝึกทักษะการคำนวณหาค่าคงที่ของแก๊ส

หลักการ

แก๊ส เป็นสถานะหนึ่งของสสาร (อันได้แก่ ของแข็ง ของเหลว แก๊ส และพลาสมา) ซึ่งจะกลายเป็นของแข็งได้เมื่ออุณหภูมิลดลง การเปลี่ยนสถานะของสารจากของแข็ง เป็นของเหลวและแก๊ส ประเภทของแก๊สแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1) แก๊สอุดมคติ (Ideal gas) หรือแก๊สสมบูรณ์ เป็นแก๊สที่ นักวิทยาศาสตร์กำหนดขึ้นเพื่ออธิบายสมบัติต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับแก๊ส โดยให้มีพฤติกรรมเป็นไปตามทฤษฎีจลน์ของแก๊สไม่ว่าที่อุณหภูมิหรือความดันใด แก๊สสมบูรณ์เป็นแก๊สที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล

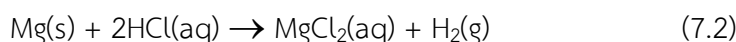
2) แก๊สจริง (Real gas) เป็นแก๊สที่มีอยู่จริงในธรรมชาติ และไม่เป็นไปตามกฎต่าง ๆ ของแก๊สสมบูรณ์ มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อย แต่ในบางสภาวะแก๊สจริงอาจมีสมบัติใกล้เคียงกับแก๊สสมบูรณ์ได้ คือที่อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำมาก ๆ แก๊สจริงที่มีสมบัติใกล้เคียงกับแก๊สสมบูรณ์ในสภาวะปกติมากที่สุดคือแก๊สเฉื่อยหรือแก๊สในหมู่ที่

สมการแก๊สสมบูรณ์แบบ

$$PV = nRT \quad (7.1)$$

เมื่อ P = ความดัน (atm)
V = ปริมาตร (L)
n = จำนวนโมล (mol)
T = อุณหภูมิ (K)
R = ค่าคงที่ของแก๊ส (gas constant)

ในการทดลองเกี่ยวกับกฎของแก๊สอาศัยการทดลองการเตรียมแก๊สไฮโดรเจน จากปฏิกิริยาระหว่าง Mg กับ HCl ดังสมการ



ซึ่งแก๊สที่เกิดขึ้นเป็นแก๊สจริง (real gas) ทำการทดลองโดยเก็บแก๊สโดยการแทนที่น้ำ จากค่าปริมาตร อุณหภูมิ ความดัน และจำนวนโมลของแก๊ส จะสามารถหาค่า R ได้

ในการทดลองนี้เลือกใช้ปฏิกิริยาระหว่าง Mg กับ HCl (สมการ 7.2) จะเห็นได้ว่า Mg จำนวน 1 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ HCl จำนวน 2 โมล แล้วเกิด H₂ 1 โมลด้วย ปฏิกิริยาหนึ่งๆ สารกำหนดปริมาณ อาจจะเป็นสารตัวใดก็ได้ ที่เป็นตัวเข้าทำปฏิกิริยาและเป็นตัวจำกัดให้ปฏิกิริยาสิ้นสุดลง



ความดันของแก๊สไนโตรเจน ที่เก็บโดยการแทนที่น้ำ ได้จากการหาค่าความดันไอน้ำอิ่มตัว (vapor pressure of water) ดังตารางที่ 7.1 ออกจากค่าความดันบรรยากาศที่อุณหภูมิเดียวกันกับอุณหภูมิของแก๊ส

ตารางที่ 7.1 ค่าความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (Pa)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (Pa)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (Pa)
0	610.472	17	1937.14	34	5319.20
1	656.734	18	2063.39	35	5622.77
2	705.795	19	2197.71	40	7375.80
3	757.924	20	2337.77	45	9583.04
4	813.385	21	2486.42	50	12333.4
5	872.313	22	2643.34	55	15737.1
6	934.973	23	2808.79	60	19915.3
7	1001.63	24	2983.30	65	25002.8
8	1072.56	25	3167.15	70	31156.9
9	1147.75	26	3360.86	75	38542.8
10	1227.74	27	3564.84	80	47341.9
11	1312.40	28	3779.49	85	57807.6
12	1402.26	29	4005.33	90	70094.3
13	1497.32	30	4242.78	95	84511.5
14	1589.11	31	4492.22	100	101323
15	1704.90	32	4754.59	105	120797
16	1817.67	33	5030.03		

อุปกรณ์

1. บิวเรต
2. ขวดรูปชมพู่ 250 mL
3. จุกยางพร้อมหลอดแก้วและสายยางนำแก๊ส
4. กระจกบอทวง
5. ปีกเกอร์
6. ท่อแก้วรูปตัวยู
7. เทอร์โมมิเตอร์

สารเคมี

1. ลวดแมกนีเซียม (Mg) ขัดผิวด้วยกระดาษทราย ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ
2. สารละลาย HCl 1.0 mol/L

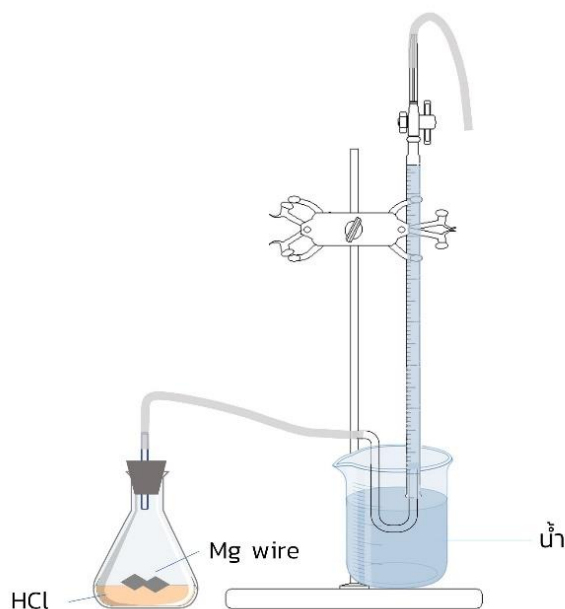


วิธีทดลอง

ขั้นที่ 1 การจัดเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

เตรียมอุปกรณ์การทดลองดังภาพที่ 7.1 ควรจะล้างขวดรูปชมพู่ให้สะอาด คำนวณปริมาตรของน้ำในบีกเกอร์ขนาด 250 mL ที่บรรจุน้ำประมาณ 200 mL โดยให้ปลายขวดรูปชมพู่จุ่มน้ำในบีกเกอร์จนมีจุดปิดปากขวดรูปชมพู่ได้สนิท

ควรระมัดระวังในการอ่านปริมาตรน้ำเพราะเป็นการอ่านกลับข้างของตัวเลขที่ปรากฏอยู่ที่ด้านข้างของขวดรูปชมพู่ ถ้าระดับน้ำอยู่ที่ 50.00 mL ก็แสดงว่าปริมาตรของน้ำในขวดรูปชมพู่เป็น 50.00 mL เมื่อมีการแทนที่น้ำด้วยแก๊สที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ปริมาตรของแก๊สจะเท่ากับผลต่างของปริมาตรของน้ำในขวดรูปชมพู่ตอนเริ่มต้นและตอนที่ปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้ว



รูปที่ 7.1 การจัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาปริมาตรของแก๊ส

ขั้นที่ 2 การทดลองการเตรียมแก๊สไฮโดรเจน

1. ชั่งลวดแมกนีเซียม หนักประมาณ 0.02xx-0.03xx g
2. ตวงสารละลาย HCl 1.0 mol/L ปริมาตร 20.00 mL ด้วยกระบอกตวงใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL แล้ววัดอุณหภูมิสารละลายในขวดรูปชมพู่ก่อน
3. ใส่ลวด Mg แล้วปิดจุกทันที (ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นทันทีเมื่อ Mg สัมผัสกับสารละลาย HCl) เขย่าขวดรูปชมพู่จนกระทั่งไม่มีแก๊สเกิดขึ้น สังเกตจากการแก๊สที่ไปแทนที่น้ำในขวดรูปชมพู่
4. จดปริมาตรของน้ำที่หายไป (หน่วย mL)
5. ใช้ไม้บรรทัดวัดความสูงของน้ำที่เหลืออยู่ในขวดรูปชมพู่จากระดับน้ำที่อยู่ในบีกเกอร์ (หน่วยเป็นเซนติเมตร)
6. วัดอุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์ (อนุमानว่าเป็นอุณหภูมิของแก๊ส)



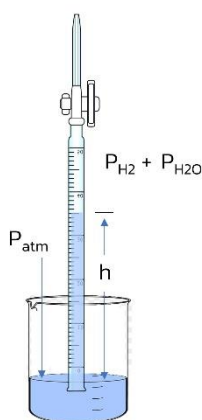
การคำนวณ

1. การหาจำนวนโมล

จำนวนโมลของแก๊สไฮโดรเจน = จำนวนโมลของ Mg

$$\text{จำนวนโมลของ Mg} = \frac{\text{น้ำหนักผลผลิต Mg}}{\text{มวลอะตอมของ Mg}}$$

2. การคิดความดันของแก๊ส (ที่ถูกต้อง) ตามภาพที่ 7.2



ภาพที่ 7.2

สมดุลของความดัน

$$P_{\text{atm}} = P_{\text{gas}} + P_{\text{H}_2\text{O}} + P_h$$

$$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{H}_2\text{O}} - P_h \quad (7.4)$$

เมื่อ

$$P_{\text{gas}} = \text{ความดันของแก๊ส H}_2$$

$$P_{\text{atm}} = \text{ความดันบรรยากาศ}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = \text{ความดันอ้อมตัวของน้ำที่อุณหภูมิหนึ่งๆ}$$

$$P_h = \text{ความดันเนื่องจากน้ำสูง } h \text{ cm ที่เหลือในบิวเรต}$$

ค่า P นี้จะถูกต้องเมื่อระดับน้ำในบิวเรตที่เก็บแก๊สเท่ากับระดับน้ำในบีกเกอร์ แต่ในการทดลองแก๊สแทนที่น้ำได้ไม่หมด ทำให้ระดับน้ำในบิวเรตสูงกว่าระดับน้ำในบีกเกอร์ (ตามภาพที่ 7.2) ดังนั้นจึงต้องใช้สมการ (7.4) เพื่อหาความดันของแก๊สที่ถูกต้อง

ระดับน้ำสูง 1 เซนติเมตร เป็นความดัน 98.088 Pa

ระดับน้ำสูง h เซนติเมตร เป็นความดัน $98.088 \times h$ Pa

กำหนด $760.00 \text{ mmHg} = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ น้ำสูง 1 cm จะมีความดันเท่ากับ 98.088 Pa

3. การหาค่าคงที่ของแก๊ส (R) จากสมการแก๊สอุดมคติ $PV = nRT$

หาค่า R ได้จากสูตร
$$R = \frac{P_{\text{H}_2} V_{\text{H}_2}}{n_{\text{H}_2} T}$$

R จะอยู่ในหน่วย J/mol K

เมื่อ n = จำนวนโมลของแก๊สที่เกิดขึ้น

P = ความดันของแก๊สในหน่วย Pa

V = ปริมาตรของแก๊สในหน่วย m^3 ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาตรของน้ำที่ถูกแทนที่

T = อุณหภูมิของแก๊ส ในหน่วยเคลวิน (K)

4. การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า R

$$\% \text{ ความเบี่ยงเบน} = \frac{(R - 8.314)}{8.314} \times 100$$



การทดลองที่ 8 โครงสร้างผลึก (Crystal structure)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึกแบบลูกบาศก์
2. เพื่อฝึกทักษะการจัดเรียงอนุภาคอะตอมในโครงสร้างผลึก

หลักการ

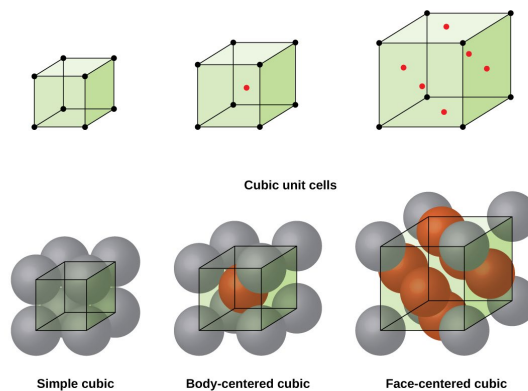
ของแข็งสามารถจำแนกตามลักษณะของการจัดเรียงตัวของอนุภาคองค์ประกอบ (โมเลกุล อะตอม หรือ ไอออน) ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ได้แก่

- 1) ของแข็งอสัณฐาน (amorphous solid) มีลักษณะสำคัญคือการจัดเรียงตัวของอนุภาคองค์ประกอบไม่มีระเบียบแบบแผนที่แน่นอน เช่น แก้ว ไม้ ยาง ซีเมนต์ พลาสติกบางชนิด เป็นต้น
- 2) ของแข็งผลึก (crystalline solid) มีลักษณะสำคัญคือการจัดเรียงตัวของอนุภาคองค์ประกอบมีระเบียบแบบแผนที่แน่นอนทางเรขาคณิตในสามมิติมีด้านตัดกันเป็นเหลี่ยมมีมุมเฉพาะตัวแน่นอน ทำให้ผลึกของแข็งมีรูปร่างทางเรขาคณิตแตกต่างกันไปซึ่งเป็นผลทำให้สมบัติทางภาพแตกต่างกันด้วย เช่น การนำไฟฟ้า ดรรชนีหักเห จุดหลอมเหลว ความแข็ง ความเปราะ เป็นต้น

ในการศึกษาโครงสร้างของผลึก จะใช้จุดแสดงตำแหน่งของอนุภาคเหล่านั้นอนุภาคที่อยู่ตามจุดแต่ละจุดเรียกว่าอนุภาคหน่วย ในการศึกษาการจัดเรียงอนุภาคในผลึกนี้จะใช้ลูกบิงปองแทนตำแหน่งของอนุภาคหน่วยในผลึกในทิศทางต่าง ๆ โครงสร้างของอนุภาคนี้เรียกว่าโครงผลึก (crystal lattice) ส่วนที่ซ้ำกันตลอดทั้งผลึกจะเป็นส่วนที่เล็กที่สุด ซึ่งจะใช้ตัวแทนแสดงรูปแบบการจัดเรียงของอนุภาคในผลึกนั้น เรียกว่าเซลล์หน่วย (unit cell) โดยแต่ละเซลล์หน่วยจะเหมือนกัน เมื่อนำเซลล์หน่วยต่าง ๆ มาต่อเข้าด้วยกัน โดยต่อลูกบิงปองต่าง ๆ ในเซลล์หน่วยสามมิติจะได้ผลึกของสาร

เซลล์หน่วยมีด้วยกันหลายชนิดแต่ในการทดลองนี้จะศึกษาเฉพาะระบบผลึกลูกบาศก์ซึ่งได้แก่

- 1) แบบลูกบาศก์ธรรมดา (simple cubic) มีอนุภาคอยู่เฉพาะตรงมุมของเซลล์หน่วย
- 2) แบบลูกบาศก์กลางตัว (body-centered cubic) มีอนุภาคอยู่ที่มุมของเซลล์หน่วยและมีอีกหนึ่งอนุภาคอยู่ที่ตรงกลางของเซลล์หน่วย
- 3) แบบลูกบาศก์กลางหน้า (face-centered cubic) มีอนุภาคอยู่ที่มุมของเซลล์หน่วยและมีอีกหนึ่งอนุภาคอยู่ด้านหน้าแต่ละด้านทั้ง 6 ด้าน

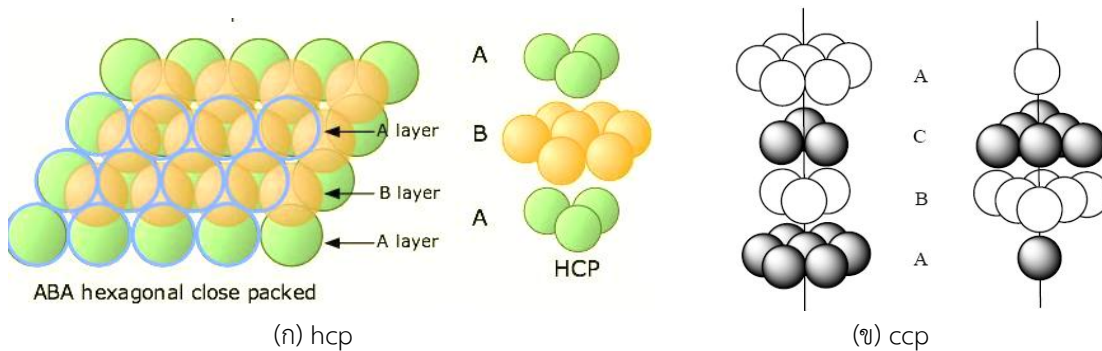


ภาพที่ 8.1 เซลล์หน่วยแบบลูกบาศก์



การจัดเรียงตัวของอนุภาคในโครงผลึกอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดนั้น จะต้องมีปริมาตรที่ว่าง (void volume) เกิดขึ้นน้อยที่สุดในโครงผลึก นั่นคืออนุภาคต้องจัดเรียงในลักษณะที่มีการสัมผัสกันมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ ซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างการบรรจุแบบชิดที่สุด (closest-packed pattern) ได้ 2 โครงสร้างคือ

- 1) โครงสร้างการบรรจุชิดที่สุดแบบเฮกซะโกนัล (hexagonal closest-packed, hcp) เป็นผลึกที่มีการจัดเรียงอนุภาคเป็นแบบ ABAB
- 2) โครงสร้างการบรรจุชิดที่สุดแบบลูกบาศก์ (cubic closest-packed, ccp) เป็นผลึกที่มีการจัดเรียงอนุภาคเป็นแบบ ABCABC

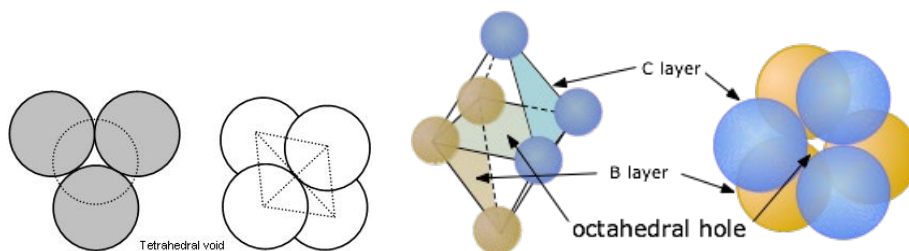


ภาพที่ 8.2 การเรียงอะตอมแบบ hcp และ ccp

ในการจัดเรียงอนุภาคการบรรจุแบบชิดที่สุดของโครงสร้างผลึกทั้ง 2 แบบดังกล่าวทำให้จำนวนอนุภาคที่อยู่ชิดกันมากที่สุดของแต่ละอนุภาคในโครงสร้างผลึกซึ่งเรียกว่าเลขโคออร์ดิเนชัน มีค่าเท่ากับ 12 และการบรรจุแบบชิดที่สุดนี้จะทำให้เกิดช่องว่างให้โครงผลึก 2 แบบคือ

(1) ช่องว่างเตตระฮีดรัล (tetrahedral hole) เป็นช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการเรียงทรงกลมสามลูกแบบชิดที่สุดบนระนาบเดียวกัน แล้ววางทรงกลมอีกลูกหนึ่งบนชั้นที่หนึ่ง โดยให้ศูนย์กลางของทรงกลมนี้ทับช่องที่เกิดจากทรงกลมทั้งสามของชั้นที่หนึ่ง ซึ่งถ้าโยงเส้นจากจุดศูนย์กลางของทรงกลมทั้งสี่จะได้รูปเตตระฮีดรัลและช่องว่างที่อยู่ตรงกลางรูปนี้เรียกว่า ช่องว่างเตตระฮีดรัล (รูปสามเหลี่ยมด้านเท่าสี่หน้า)

(2) ช่องว่างออกตะฮีดรัล (octahedral hole) เป็นช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการเรียงทรงกลมสามลูกแบบชิดที่สุดในระนาบเดียวกัน แล้ววางทรงกลมอีกสามลูกแบบชิดที่สุดในชั้นที่หนึ่ง โดยให้ทรงกลมแต่ละลูกของชั้นที่สองอยู่บนรอยสัมผัสแต่ละแห่งของชั้นหนึ่งและให้ช่องของทั้งสองที่เกิดขึ้นอยู่ในแนวเดียวกัน ซึ่งถ้าโยงเส้นระหว่างจุดศูนย์กลางของทรงกลมทั้งหก จะได้รูปออกตะฮีดรัล และช่องว่างที่อยู่ตรงกลางรูปนี้เรียกว่าช่องว่างออกตะฮีดรัล



ภาพที่ 8.3 ช่องว่างเตตระฮีดรัลและออกตะฮีดรัล



อุปกรณ์

1. ลูกปิงปอง
2. กาวร้อน

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 โครงสร้างผลึกเซลล์หน่วยแบบลูกบาศก์ ทั้ง 3 แบบ

- 1) ต่อลูกปิงปองเซลล์หน่วยแบบลูกบาศก์ ทั้ง 3 แบบ
- 2) วาดรูปเซลล์หน่วยแบบลูกบาศก์ ทั้ง 3 แบบ
- 3) คำนวณประสิทธิภาพการบรรจุ ทั้ง 3 แบบ

ตอนที่ 2 โครงสร้างการบรรจุชิดที่สุด

- 1) ต่อลูกปิงปองโครงสร้างการบรรจุชิดที่สุดแบบเฮกซะโกนัล (hcp)
- 2) ต่อลูกปิงปองโครงสร้างการบรรจุชิดที่สุดแบบลูกบาศก์ (ccp)



การทดลองที่ 9

ปฏิกิริยาผันกลับและสมดุลเคมี

(Reversible reactions and chemical equilibrium)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะการทดลองเกี่ยวกับสมดุลเคมีของสารละลาย
2. เพื่อฝึกทักษะผลปัจจัยรบกวนสมดุลเคมี

หลักการ

ในปฏิกิริยาผันกลับ ผลผลิตที่เกิดขึ้นถ้าอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมแล้ว ก็เกิดการรวมตัวกันขึ้นเป็นสารตั้งต้นได้อีก โดยในปฏิกิริยาผันกลับนี้จะใช้เครื่องหมายลูกศรไปกลับ (\rightleftharpoons) ระหว่างสารตั้งต้นกับผลผลิตที่เกิดขึ้น เพื่อแสดงถึงว่าปฏิกิริยาเกิดได้ทั้ง 2 ทิศทาง โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากซ้ายไปขวาเรียก ปฏิกิริยาไปข้างหน้า และปฏิกิริยาที่เกิดกลับจากขวามาซ้ายเรียก ปฏิกิริยาย้อนกลับ หรือปฏิกิริยาผันกลับ

หลักของเลอชาเตอลีเยอร์ (Le Chatelier's Principle)

นักเคมีชาวฝรั่งเศสชื่อ Henry Louis Le Chatelier (1850-1936) พบว่า “เมื่อมีปัจจัยภายนอกกระทบกับระบบที่อยู่ในภาวะสมดุล สมดุลจะเสียไป ระบบจะปรับโดยการลดตัวรบกวน แล้วเข้าสู่สมดุลใหม่อีกครั้ง”

ในการทดลองนี้จะศึกษาปัจจัยภายนอกที่ผลต่อภาวะสมดุล คือ

1. ผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นที่มีต่อสมดุลเคมี
2. ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อสมดุลเคมี

อุปกรณ์

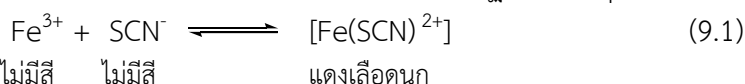
1. หลอดทดลอง
2. ปีกเกอร์ 100 mL
3. กระบอกตวง 5 และ 10 mL
4. อ่างน้ำร้อน

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การรบกวนสมดุลโดยผลของไอออนร่วม (common-ion effect)

1.1) สมดุลของ thiocyanato iron (III) ion, $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$

ไอออน $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$ นี้อาจเรียกว่า ferric thiocyanate complex ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดงเลือดนก การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนตัวนี้ แสดงได้โดยปฏิกิริยาสมดุล ดังแสดงในสมการ



ไอออนที่เกิดขึ้นนั้น แม้ว่าประจุไม่เป็นศูนย์ แต่ก็ยังอยู่ตัวได้ ไอออนที่เกิดขึ้นเรียกว่า ไอออนเชิงซ้อน



ขั้นตอนการทดลอง

นำสารละลาย $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 0.10 mol/L มา 20 หยด ผสมกับสารละลาย KSCN 0.10 mol/L 20 หยด ในปิกรเกอร์ 100 mL แล้วเติมน้ำ 50 mL เพื่อให้สีแดงเลือดนกจางลง ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการสังเกตปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นต่อไป แบ่งสารละลายนี้ออกเป็น 6 ส่วน ส่วนละประมาณ 40 หยดใส่ในหลอดทดลอง แล้วทำการทดลองดังนี้

- 1) หลอดที่ 1 เติมสารละลาย $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 0.10 mol/L 4-5 หยด
- 2) หลอดที่ 2 เติมสารละลาย KSCN 0.10 mol/L 4-5 หยด
- 3) หลอดที่ 3 เติมสารละลาย NaOH 6 mol/L 2-3 หยด ในกรณีนี้จะเกิด $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ซึ่งไม่ค่อยละลายน้ำ
- 4) หลอดที่ 4 เติมสารละลาย HgCl_2 0.10 mol/L 2-3 หยด จะเกิด $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ ซึ่งแตกตัวได้น้อยมาก
- 5) หลอดที่ 5 เติมน้ำ 4-5 หยด
- 6) หลอดที่ 6 หลอดเปรียบเทียบ (เก็บไว้เปรียบเทียบความเข้มข้นหรือจางลงของสีที่เกิดขึ้นในหลอดอื่น ๆ)

สังเกตผลที่ได้จากการทดลองของหลอดที่ 1-5 เทียบสีของสารละลายกับหลอดที่ 6 บันทึกสีของสารละลายหลอดที่ 1-5 เทียบกับหลอดที่ 6 ว่าสารละลายเพิ่มขึ้น (+) หรือลดลง (-) และจงอธิบายสิ่งที่สังเกตได้โดยใช้หลักการของเลอชาเตอลิเยร์

ตอนที่ 2 ศึกษาผลการรบกวนสมดุลของอุณหภูมิต่อ

ในการทดลองนี้จะศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเรขาคณิตด้วยไอออน Co^{2+} เมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดเป็น $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ซึ่งมีสีชมพูโดยไอออน Co^{2+} จะเกิดพันธะทางเคมีกับน้ำได้ 6 โมเลกุล ซึ่งมีรูปร่างเป็นแบบ octahedral แต่ถ้าหากในสารละลายมีไอออน Cl^- อยู่พอสมควร ไอออน Cl^- สามารถเข้าแทนที่โมเลกุลของน้ำใน $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ได้เป็น $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ ซึ่งมีสีน้ำเงิน และมีรูปร่างเป็นแบบ tetrahedral

ในการที่ $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ จะเปลี่ยนเป็น $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ นั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออน Cl^- และอุณหภูมิตั้งสารประกอบเชิงซ้อนทั้ง 2 อยู่ในสมดุลเคมีซึ่งกันและกัน

**ขั้นตอนการทดลอง**

นำสารละลาย $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ 0.40 mol/L ปริมาตร 1 mL ใส่ในหลอดทดลอง ค่อย ๆ เติม conc. HCl (ทำในตู้ควัน) ลงไปที่ละหยด พร้อมทั้งเขย่าหลอดทดลองเพื่อให้สารละลายผสมกันได้ดี จนได้สารละลายสีน้ำเงิน จากนั้นจึงค่อย ๆ เติมน้ำลงไปทีละหยด พร้อมทั้งเขย่าหลอดทดลอง จนได้สารละลายสีชมพู แล้วนำไปต้มในอ่างน้ำร้อน (อุณหภูมิประมาณ 100°C) สังเกตผลที่เปลี่ยนแปลง จากนั้นนำมาทำให้เย็นโดยจุ่มหลอดทดลองลงในน้ำเย็น สังเกตผล นักศึกษาคิดว่าปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคูดหรือคายความร้อน



การทดลองที่ 10

จลนศาสตร์เคมีของปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมไดโครเมตกับเอทานอล (Chemical Kinetics of potassium dichromate and ethanol reaction)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมไดโครเมตกับเอทานอล
2. เพื่อหาอันดับ ค่าคงที่อัตราและค่าครึ่งชีวิตของปฏิกิริยา

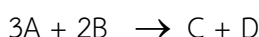
หลักการ

จลนศาสตร์เคมีเป็นการศึกษาถึงอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยา (rate reaction) และกลไกการเกิดปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะหมายถึงการหายไปของสารตั้งต้นหรือการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลาหนึ่งๆ จะเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน หรือสารผลิตภัณฑ์ในหนึ่งหน่วยเวลา โดยความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะค่อย ๆ ลดลงไปในขณะที่ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี พิจารณาจากความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ลดลงหรือพิจารณาจากความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นจะได้ว่าเนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาในแต่ละช่วงเวลาอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นในการหาอัตราปฏิกิริยาที่ระยะเวลาใดเวลาหนึ่งในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยานั้นสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือสารผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลาที่กำหนดหรือหาได้จากความชันของเส้นกราฟของปฏิกิริยา ณ จุดที่สัมผัส

พิจารณาปฏิกิริยาเคมีทั่วไป $aA + bB \rightarrow cC + dD$ สามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ เมื่อ a b c และ d เป็นจำนวนโมลของสาร A, B, C และ D ตามลำดับ

$$\text{rate} = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{c} \frac{d[C]}{dt} = \frac{1}{d} \frac{d[D]}{dt} \quad \text{.....(10.1)}$$

การเขียนกฎอัตราดิฟเฟอเรนเชียลนั้น เขียนเป็นผลคูณของความเข้มข้นที่ยกกำลัง อย่างเช่น ปฏิกิริยา



จะเขียนได้ว่า $\text{rate} = k[A]^m[B]^n$ (10.2)

จากสมการ n และ m เป็นอันดับของปฏิกิริยาของสาร A และ B ตามลำดับ k เป็นค่าคงตัวอัตรา (rate constant) และอันดับของปฏิกิริยารวม (overall reaction order) จะเท่ากับ $n+m$ ค่าของ n และ m นั้นหาได้จากการทดลอง อันดับของปฏิกิริยาจะเป็นเลขจำนวนเต็ม (1, 2, 3)

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยามากก็คืออุณหภูมิ ตามปกติปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นประมาณ 2 เท่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 10°C ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นไปตามสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius) ดังนี้

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad \text{.....(10.3)}$$

เมื่อ k = ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา

A = ปัจจัยความถี่ (frequency factor)

E_a = พลังงานกระตุ้น

R = ค่าคงที่ของแก๊ส = $8.314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$

T = อุณหภูมิ (K)



ค่าครึ่งชีวิตของปฏิกิริยา ($t_{1/2}$) หมายถึง เวลาที่ใช้ในการทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลงไปครึ่งหนึ่งจากเริ่มต้น

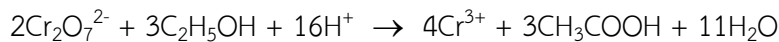
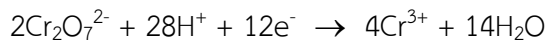
ค่าอันดับของปฏิกิริยา ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาและค่าครึ่งชีวิตของปฏิกิริยา สามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลาที่เป็นเส้นตรง ดังตาราง

ตารางที่ 10.1 ความสัมพันธ์เส้นตรงของความเข้มข้น [A] กับเวลา (t)

อันดับ	สมการเส้นตรง	เขียนกราฟเส้นตรง	ค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$)
0	$[A] = [A]_0 - kt$	[A] กับ t	$t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2K}$
1	$\log [A] = \log [A]_0 - \frac{kt}{2.303}$	$\log [A]$ กับ t	$t_{1/2} = \frac{0.693}{K}$
2	$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt$	$\frac{1}{[A]}$ กับ t	$t_{1/2} = \frac{1}{K[A]_0}$

เมื่อ $[A]_0$ = ความเข้มข้นเริ่มต้นของ A
 $[A]$ = ความเข้มข้นของ A ที่เวลา t

ในการทดลองนี้เป็นปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) กับเอทานอล (C_2H_5OH) ในสถานะที่เป็นกรด ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเขียนได้ดังนี้



จากสมการสามารถเขียนสมการอัตรา (rate equation) ได้เป็น

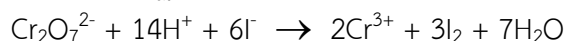
$$\text{rate} = k[Cr_2O_7^{2-}]^m [C_2H_5OH]^n [H^+]^o \quad \text{.....(10.4)}$$

ดังนั้น อันดับปฏิกิริยารวมเท่ากับ m+n+o แต่ถ้าในการทดลองให้ความเข้มข้นของกรดและเอทานอลมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตมาก ๆ จนถือได้ว่าในขณะเกิดปฏิกิริยานั้นความเข้มข้นของกรดและเอทานอลไม่เปลี่ยนแปลง สมการ 10.4 สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$\text{rate} = k'[Cr_2O_7^{2-}]^m$$

เมื่อ $k' = k[C_2H_5OH]^n [H^+]^o$

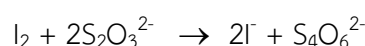
ในการวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาในการทดลองนี้ จะกระทำโดยหาความเข้มข้นของสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลืออยู่ในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยการเติมสารละลาย KI ลงไปหยุดปฏิกิริยาระหว่าง $K_2Cr_2O_7$ กับ C_2H_5OH ปฏิกิริยาระหว่าง KI กับ $K_2Cr_2O_7$ เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว



แดงส้ม

เขียวอ่อน น้ำตาล

จากนั้นไทเทรตหาปริมาณ I_2 ที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) โดยมีน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ ดังสมการ



จากปริมาณสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ไป สามารถคำนวณกลับไปหาปริมาณของ $Cr_2O_7^{2-}$ ที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ เวลาต่าง ๆ



อุปกรณ์

1. บิวเรต ขนาด 50 mL
2. ปิเปต ขนาด 10 mL
3. กระจกบอขวด
4. นาฬิกาจับเวลา
5. อ่างน้ำร้อน
6. เทอร์โมมิเตอร์

สารเคมี

1. สารละลาย KI 3%w/v
2. สารละลาย C_2H_5OH 95%w/v
3. สารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 0.010 mol/L ใน H_2SO_4 1.0 mol/L
4. สารละลาย $Na_2S_2O_3$ 0.010 mol/L
5. น้ำแ่่ง 0.2%w/v

การทดลอง

ตอนที่ 1 การหาอันดับของปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมไดโครเมตกับเอทานอล

- 1) ตวงสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 10 mL (ใช้กระจกบอขวด) ใส่ลงในปิเปเจอร์ 100 mL ที่บรรจุน้ำกลั่นอยู่ 5 mL วัดอุณหภูมิของสารละลาย
- 2) เตรียมปิเปเจอร์ 10 ใบ แต่ละใบให้เติมสารละลาย KI 5 mL
- 3) เติมเอทานอล 2 mL (40 หยด) ใส่ลงในสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ (ข้อ 1) พร้อมทั้งเริ่มจับเวลาทันที ทำการเขย่าขวดเบา ๆ ตลอดเวลา
- 4) เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ใช้ปิเปตนำสารละลายมา 1.0 mL (20 หยด) ใส่ลงในปิเปเจอร์ (ข้อ 2) บันทึกเวลาที่แน่นอน (เวลา ณ ตำแหน่งที่ปล่อยสารละลายลงไปได้ประมาณครึ่งหนึ่ง แต่อย่าหยุดปล่อยสาร ให้ปล่อยสารลงไปจนหมด) ลงในสมุดบันทึก
- 5) หยดสารละลายมาตรฐาน $Na_2S_2O_3$ ลงทีละหยด ให้นับจำนวนหยดด้วย (สำคัญมาก) จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนสีจากสีน้ำตาลเป็นสีเหลืองอ่อน แล้วจึงเติมน้ำแ่่ง 1-2 หยด เขย่าแล้วหยดสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ต่อจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี ให้นับจำนวนหยดรวมกัน
- 6) จากนั้นทุก ๆ 2 นาทีผ่านไปให้ทำเช่นเดียวกับข้อ 4 โดยทำการทดลองประมาณ 8-10 ครั้ง ทุกครั้งจะต้องจดเวลาที่แน่นอนไว้ด้วยเสมอ

ตอนที่ 2 การทดลองผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 5 ทุกประการ แต่ให้ควบคุมอุณหภูมิในขณะที่ทดลองให้สูงกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ $10^{\circ}C$ (นักศึกษาต้องรู้อุณหภูมิที่แน่นอนว่ากระทำที่อุณหภูมิใด) โดยการจุ่มที่ขวดที่มีสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ลงในอ่างน้ำร้อนจนได้อุณหภูมิที่ต้องการ แล้วค่อยเติมเอทานอลลงไป พร้อมเริ่มจับเวลาทันที ทุกๆ 1-2 นาที ให้ปิเปตสารละลายไปทดลอง หาปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือ ในขณะที่ทดลองถ้าหากอุณหภูมิของสารละลายผสมลดต่ำลงก็ให้นำไปจุ่มอ่างน้ำร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการอีก แล้วยกออก ทำการควบคุมอุณหภูมิเช่นนี้เรื่อยไปจนเสร็จสิ้นการทดลอง



การทดลองที่ 11 กรด เบส อินดิเคเตอร์ (Acid Base Indicator)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะการหาค่า pH ของสารละลายโดยใช้อินดิเคเตอร์

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 11.1

ตารางที่ 11.1 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
alizerine yellow	10.0-12.0	11.0	เหลือง-ม่วง

การหา pH ของสารละลายโดยการใช้อินดิเคเตอร์

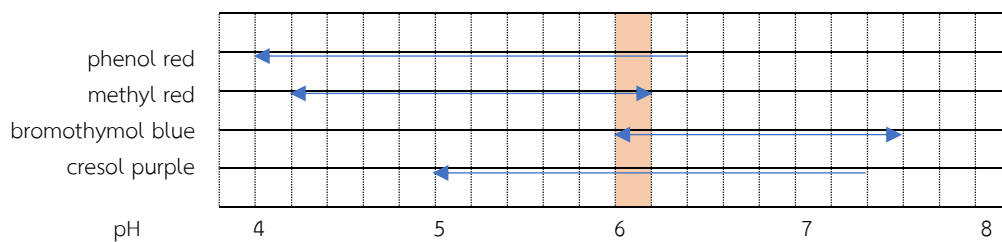
การใช้อินดิเคเตอร์หลายๆ ชนิดในการหา pH ของสารละลายตัวอย่าง ทำโดยการแบ่งสารตัวอย่างออกเป็นส่วนๆ แต่ละส่วนให้เติมอินดิเคเตอร์หนึ่งชนิดลงไป ดังตัวอย่างในตารางที่ 11.2

ตารางที่ 11.2 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 11.2 สามารถนำมาพิจารณาหาช่วง pH ของสารละลายตัวอย่างได้โดยเขียนช่วง pH ที่แสดงของอินดิเคเตอร์ ดังแผนภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 11.1 ช่วง pH ของสารละลายตัวอย่าง

ช่วง pH นี้ที่ปรากฏเป็นจริงสำหรับทุกอินดิเคเตอร์ จะเห็นว่าช่วง pH ที่ซ้อนทับกันของทุกอินดิเคเตอร์สรุปได้ว่าช่วง pH ของสารละลายตัวอย่างมีค่าระหว่าง 6.0-6.2

อุปกรณ์

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

สารเคมี

1. อินดิเคเตอร์ (ห้องปฏิบัติการเตรียม)

การทดลอง

ตอนที่ 1 การหา pH ของสารละลายตัวอย่างโดยการใช้อินดิเคเตอร์

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



การทดลองที่ 12

การไทเทรตปฏิกิริยากรด-เบส

(Acid-Base Titration)

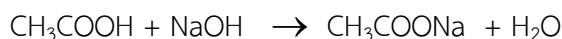
วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะการไทเทรตปฏิกิริยากรด-เบส

หลักการ

การหาปริมาณกรด (HA) ในสารละลายโดยการไทเทรตเป็นวิธีการนำสารละลายของกรดมาเติมอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมแล้วนำไปไทเทรตกับสารละลาย NaOH ก่อนถึงจุดสมมูลจะมี HA เหลืออยู่และอินดิเคเตอร์จะแสดงสีที่อยู่ในรูปกรด หลังจากเติม NaOH ลงไป HA จะทำปฏิกิริยาและทำให้เกิด NaA จนกระทั่ง HA ถูกเปลี่ยนเป็น NaA ทั้งหมด 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



อุปกรณ์

1. บิวเรต
2. ขวดรูปชมพู่
3. ปิเปต
4. กระจกตวง

สารเคมี

1. สารละลาย NaOH 0.10 mol/L
2. ฟีนอล์ฟทาลีน 0.1 %w/v
3. สารละลายน้ำส้มสายชูตัวอย่าง ปิเปตน้ำส้มสายชูตัวอย่างปริมาตร 25.00 mL ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 250 mL แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร



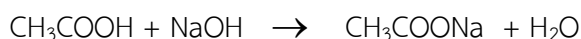
การทดลอง

การไทเทรตหาปริมาณกรด (% น้ำหนักต่อปริมาตร) ในน้ำส้มสายชู

1. ปิเปิดน้ำส้มสายชูตัวอย่าง ปริมาตร 10.00 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 250 mL เติมฟีนอล์ฟทาเลิน 3 หยด
2. นำไปไทเทรตกับสารละลาย NaOH จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อนอย่างถาวร จดปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้
3. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

การคำนวณ % น้ำหนักต่อปริมาตรในน้ำส้มสายชูตัวอย่าง

ปฏิกิริยาที่ใช้ในการคำนวณ

จากปฏิกิริยา 1 โมล NaOH \equiv 1 โมล CH₃COOHเมื่อ V_1 = ปริมาตรของสารละลาย NaOH (mL) V_2 = ปริมาตรของสารละลายน้ำส้มสายชู (mL) M_1 = ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (mol/L) M_2 = ความเข้มข้นของสารละลาย CH₃COOH (mol/L)จำนวนโมลของ NaOH = $M_1 V_1 \times 10^{-3}$

ดังนั้น สารละลายน้ำส้มสายชูตัวอย่างเจือจางปริมาตร V_2 จะมี CH₃COOH เท่ากับจำนวนโมลของ NaOH ในสารละลายน้ำส้มสายชูตัวอย่างเริ่มต้นจะมี CH₃COOH เท่ากับ

$$\% \text{CH}_3\text{COOH} = \frac{M_1 V_1 \times 10^{-3}}{V_2} \times \text{Mw}_{\text{CH}_3\text{COOH}} \times \frac{250 \text{ mL}}{25.00 \text{ mL}} \times 100$$



แบบรายงานการทดลอง

ผู้ทำการทดลอง 1)
 2)
 3)
 4)

กลุ่มที่ วันที่ทดลอง

เรื่อง

วัตถุประสงค์

.....

วิธีการทดลอง

.....

ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 จงบอกตัวเลขของการวัดและความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 1

เครื่องแก้ววัดปริมาตร	ปริมาตรที่อ่าน ได้ (mL)	น้ำหนักบีกเกอร์ เปล่า (g)	น้ำหนักบีกเกอร์ เปล่า + น้ำ (g)	น้ำหนักน้ำ (g)	%ความคลาด เคลื่อน
บีกเกอร์ 250 mL					
กระบอกตวง 100 mL					
ปิเปต 25 mL	20.00				



อภิปรายผล

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ตอนที่ 2 การจัดการตัวเลขตามหลักเลขนัยสำคัญ

1) จงเขียนสัญกรณ์เชิงวิทยาศาสตร์ (scientific notation) โดยให้มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

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

2) แสดงการนับเลขนัยสำคัญของตัวเลขต่อไปนี้

ตัวเลข	จำนวนเลขนัยสำคัญ
1.1) 0.00000000105	
1.2) 0.000546	
1.3) 1090	
1.4) 1050000	
1.5) 0.050	

3) แสดงการหาคำตอบที่ถูกต้องตามหลักเลขนัยสำคัญ

1.1) $10.5 + 12.45 + 12.654 = \dots\dots\dots$

1.2) $2.456 \times 20.244 \times 2.45 = \dots\dots\dots$

1.3) $\frac{504.590}{25.87} = \dots\dots\dots$

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

1.5) $-\log 0.0000454 = \dots\dots\dots$



แบบรายงานการทดลอง

ผู้ทำการทดลอง 1)
 2)
 3)
 4)

กลุ่มที่ วันที่ทดลอง

เรื่อง

วัตถุประสงค์

.....

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาเกี่ยวกับสารเคมี

ฉลากสารเคมี

สรุปข้อมูลจากฉลากสารเคมี และสัญลักษณ์เตือน สัญลักษณ์อันตราย

.....



ตอนที่ 2 เตรียมสารละลาย CuSO_4 เข้มข้น 1.0 mol/L ปริมาตร 100 mL

1) แสดงการคำนวณน้ำหนัก CuSO_4 ต้องชั่ง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2) อธิบายการเตรียมสารละลาย (วาดรูปขั้นตอนประกอบ)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



แบบรายงานการทดลอง

ผู้ทำการทดลอง 1)
 2)
 3)
 4)

กลุ่มที่ วันที่ทดลอง

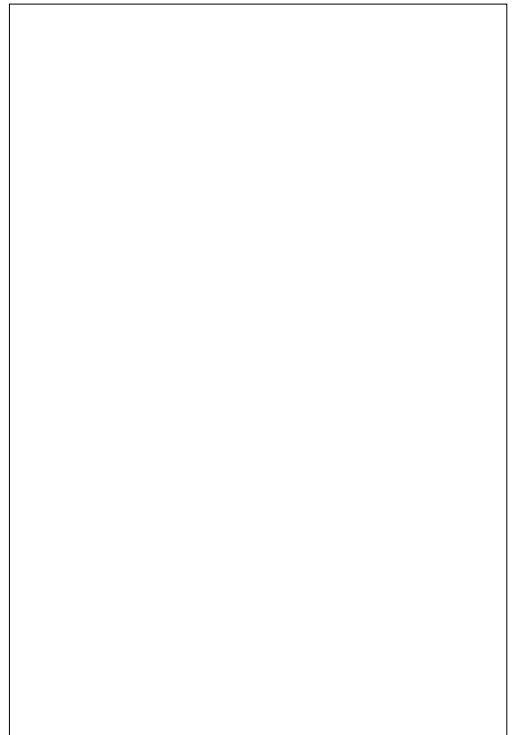
เรื่อง

วัตถุประสงค์

.....

วิธีการทดลอง

.....



ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 จำนวนโมลของสารที่ชั่ง

น้ำหนักบีกเกอร์ = g

น้ำหนักผงเหล็ก = g

จำนวนโมลผงเหล็ก = mol

น้ำหนักบีกเกอร์ + ผงทองแดง = g

น้ำหนักผงทองแดง = g (= ผลผลิตจริง)

จำนวนโมลผงทองแดง = mol



การคำนวณ

1. คำนวณผลผลิตตามทฤษฎี

1.1) คำนวณหาสารกำหนดปริมาณ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

1.2) คำนวณผลผลิตตามทฤษฎี

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. คำนวณผลผลิตร้อยละ (%yield)

.....

.....

.....

3. คำนวณความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

.....

.....

.....

อภิปรายผล

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



แบบรายงานการทดลอง

ผู้ทำการทดลอง 1)
 2)
 3)
 4)

กลุ่มที่ วันที่ทดลอง

เรื่อง

วัตถุประสงค์

.....

วิธีการทดลอง

.....



ผลการทดลอง

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น	เติมคำตอบตามขั้นตอนการทดลอง
<p>① <chem>Cu</chem> $\xrightarrow[\text{ก๊าซพิษ}]{\text{conc HNO}_3}$ <chem>Cu(NO3)2</chem></p>	<p>มวลของลวดทองแดงก่อนทำปฏิกิริยา กรัม</p> <p>① กระบวนการเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า สีของสารละลาย สูตรของแก๊สที่เกิดขึ้น..... สี.....</p>
<p>② <chem>Cu(NO3)2</chem> $\xrightarrow{\text{H}_2\text{O}}$ สารละลาย X</p>	<p>② สารละลาย X มีสี สูตรของไอออนที่เกิดสีในสารละลาย X คือ</p>
<p>③ สารละลาย X $\xrightarrow{\text{NaOH}}$ <chem>Cu(OH)2</chem></p>	<p>③ ตะกอนมีสี</p>
<p>④ <chem>Cu(OH)2</chem> $\xrightarrow{\text{heat}}$ <chem>CuO</chem></p>	<p>④ ชนิดของปฏิกิริยาตามการเปลี่ยนตำแหน่งของอะตอม..... ตะกอนสี</p>
<p>⑤ <chem>CuO</chem> $\xrightarrow{1\text{M H}_2\text{SO}_4}$ <chem>CuSO_4</chem></p>	<p>⑤ เมื่ออยู่ในรูปสารละลาย สารสีฟ้ามีสูตรเป็น</p>
<p>⑥ <chem>CuSO_4</chem> $\xrightarrow{\text{Zn}}$ <chem>Cu</chem></p>	<p>⑥ ผงทองแดงที่ได้มีสี มวลที่ได้.....กรัม</p>

คำนวณของร้อยละทองแดงที่ได้คืนมา (% recovery)

.....

.....

.....

คำนวณร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

.....

.....

.....

อภิปรายผล

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



แบบรายงานการทดลอง

ผู้ทำการทดลอง 1)
 2)
 3)
 4)

กลุ่มที่ วันที่ทดลอง

เรื่อง

วัตถุประสงค์

.....

วิธีการทดลอง

.....



ผลการทดลอง

ความดันบรรยากาศ $P(\text{atm}) = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$

ความเข้มข้นของสารละลาย HCl = 0.10 mol/L

น้ำหนักของ Mg กรัม คิดเป็น โมล

ขั้นที่ 1 จำนวนโมลของแก๊ส H_2 ที่เกิดขึ้น



ผลการทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
(1.1) ปริมาตรของสารละลาย HCl ที่ใช้ผสม (mL)		
(1.2) จำนวนโมลของสารละลาย HCl ที่ใช้ผสม (mol)		
(1.3) จำนวนโมลของ Mg ที่ใช้ผสม (mol)		
(1.4) จำนวนโมลของแก๊ส H_2 ที่เกิดขึ้น (mol)		

ขั้นที่ 2 คำนวณปริมาตรของแก๊ส H_2 ที่เกิดขึ้น

อุณหภูมิของกรด HCl °C อุณหภูมิของสารละลายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง °C

ผลการทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
(2.1) ปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยแก๊ส H_2 (cm^3)		
(2.2) ปริมาตรของแก๊ส H_2 ที่เกิดขึ้น (m^3)		
(2.3) ความสูงของระดับน้ำที่เหลือในบิวเรตจากระดับน้ำในปีกเกอร์ (cm)		

ขั้นที่ 3 ความดันของแก๊ส H_2 ที่เกิดขึ้น

จากสมการ $P_{(\text{H}_2)} = P_{(\text{atm})} + P_{(\text{H}_2\text{O})} + P_{(\text{h})} \dots(1)$

ผลการทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 1
(3.1) ความดันบรรยากาศ (หน่วย Pa)	1.01×10^5	1.01×10^5
(3.2) ความดันไออิ่มตัวของน้ำ (หน่วย Pa) (ดูตาราง 7.1)		
(3.3) ความดันเนื่องจากระดับน้ำที่เหลือในบิวเรต (หน่วย Pa) = $(98.088 \times h)$		
(3.4) ความดันของ H_2 ที่เกิดขึ้น (หน่วย Pa) จาก สมการ (1)		
(3.5) ความดันของ H_2 ที่เกิดขึ้น (J/m^3) ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ J/m}^3$)		



คำนวณค่าคงที่ของแก๊สจากสมการ

$$R = \frac{P_{H_2} V_{H_2}}{n_{H_2} T} \quad \dots(2)$$

เมื่อผลจากการทดลอง

$$P_{H_2} = \dots\dots\dots J/m^3 \quad //(3.5)$$

$$V_{H_2} = \dots\dots\dots m^3 \quad //(2.2)$$

$$n_{H_2} = \dots\dots\dots mol \quad //(1.4)$$

$$T_{H_2} = \dots\dots\dots K$$

คำนวณค่า R ได้จากสมการ (2)

.....

แสดงการคำนวณ % ความเบี่ยงเบน

.....

อภิปรายผล

.....



แบบรายงานการทดลอง

ผู้ทำการทดลอง 1)
 2)
 3)
 4)

กลุ่มที่ วันที่ทดลอง

เรื่อง

วัตถุประสงค์

.....

วิธีการทดลอง

.....

ผลการทดลอง

1. วาดรูปหน่วยเซลล์แบบลูกบาศก์

sc	bbc	fcc



2. คำนวณประสิทธิภาพการบรรจุ

2.1 simple cubic

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2.2 body centered cubic

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2.3 face centered cubic

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผล

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



แบบรายงานการทดลอง

ผู้ทำการทดลอง 1)
 2)
 3)
 4)

กลุ่มที่ วันที่ทดลอง

เรื่อง

วัตถุประสงค์

.....

วิธีการทดลอง

.....

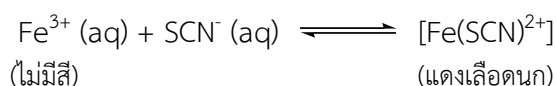
.....



ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การรบกวนสมดุลโดยผลของไอออนร่วม (common-ion effect)

1.1) สมดุลของ thiocyanato iron (III) ion, $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$



หลอดที่	สารละลายที่เติมเพิ่ม ลงไปในระบบ	สีเข้มขึ้น (+) หรือ จางลง (-)	อนุมูลที่มีผลต่อ สมดุล	ทิศทางของสมดุล
1	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$			
2	KSCN			
3	NaOH			
4	HgCl_2			
5	H_2O			

อภิปรายผล

.....

.....

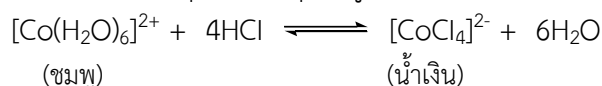
.....

.....

.....

.....

ตอนที่ 2 ศึกษาผลการรบกวนสมดุลของอุณหภูมิ



ขั้นตอนการทดลอง	สีที่สังเกตได้	ทิศทางของสมดุล
$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 + \text{HCl}$ ที่ละลาย		
เติม H_2O ที่ละลาย		
อุ่นในอ่างน้ำ 100°C		
แช่ในน้ำเย็น		

อภิปรายผล

.....

.....

.....

.....

.....



แบบรายงานการทดลอง

ผู้ทำการทดลอง 1)
 2)
 3)
 4)

กลุ่มที่ วันที่ทดลอง

เรื่อง

วัตถุประสงค์

.....

วิธีการทดลอง

.....

ผลการทดลอง

สารละลายตัวอย่าง สมบัติเป็นกรดหรือเบส

อินดิเคเตอร์	ช่วง pH	ช่วงการเปลี่ยนสี	สีของสารละลาย	ช่วง pH ที่แสดง



แบบรายงานการทดลอง

ผู้ทำการทดลอง 1)
 2)
 3)
 4)

กลุ่มที่ วันที่ทดลอง

เรื่อง

วัตถุประสงค์

.....

วิธีการทดลอง

.....

ผลการทดลอง

จากปฏิกิริยา $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลอง

รายการ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2
ความเข้มข้นสารละลาย NaOH			
ปริมาตรสารละลาย NaOH			
ปริมาตรสารละลายตัวอย่าง			
ความเข้มข้นสารละลายตัวอย่าง			
ความเข้มข้นเฉลี่ย			



แสดงตัวอย่างการคำนวณของการทดลองครั้งที่ 1

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

อภิปรายผล

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....



Periodic Table of the Elements

IA												IIIA					IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA						
1	Hydrogen 1 H 1.01											Boron 5 B 10.81	Carbon 6 C 12.01	Nitrogen 7 N 14.01	Oxygen 8 O 16.00	Fluorine 9 F 19.00	Neon 10 Ne 20.18										
2	Lithium 3 Li 6.94	Beryllium 4 Be 9.01	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;"> Tungsten 74 W 183.84 </div> <div> Element name Atomic number Symbol Atomic mass </div> </div>										Aluminium 13 Al 26.98	Silicon 14 Si 28.09	Phosphorus 15 P 30.97	Sulphur 16 S 32.06	Chlorine 17 Cl 35.45	Argon 18 Ar 39.95									
3	Sodium 11 Na 22.99	Magnesium 12 Mg 24.30											III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B		I B	II B	Gallium 31 Ga 69.72	Germanium 32 Ge 72.64	Arsenic 33 As 74.92	Selenium 34 Se 78.96	Bromine 35 Br 79.90	Krypton 36 Kr 83.80
4	Potassium 19 K 39.10	Calcium 20 Ca 40.08	Scandium 21 Sc 44.96	Titanium 22 Ti 47.87	Vanadium 23 V 50.94	Chromium 24 Cr 52.00	Manganese 25 Mn 54.94	Iron 26 Fe 55.84	Cobalt 27 Co 58.93	Nickel 28 Ni 58.69	Copper 29 Cu 63.55	Zinc 30 Zn 65.39	Gallium 31 Ga 69.72	Germanium 32 Ge 72.64	Arsenic 33 As 74.92	Selenium 34 Se 78.96	Bromine 35 Br 79.90	Krypton 36 Kr 83.80									
5	Rubidium 37 Rb 85.47	Strontium 38 Sr 87.62	Yttrium 39 Y 88.91	Zirconium 40 Zr 91.22	Niobium 41 Nb 92.91	Molybdenum 42 Mo 95.94	Technetium 43 Tc [98]	Ruthenium 44 Ru 101.07	Rhodium 45 Rh 102.91	Palladium 46 Pd 106.42	Silver 47 Ag 107.87	Cadmium 48 Cd 112.41	Indium 49 In 114.82	Tin 50 Sn 118.71	Antimony 51 Sb 121.76	Tellurium 52 Te 127.60	Iodine 53 I 126.90	Xenon 54 Xe 131.29									
6	Cesium 55 Cs 132.91	Barium 56 Ba 137.33	Lutetium 71 Lu 174.97	Hafnium 72 Hf 178.49	Tantalum 73 Ta 180.95	Tungsten 74 W 183.84	Rhenium 75 Re 186.21	Osmium 76 Os 190.23	Iridium 77 Ir 192.22	Platinum 78 Pt 195.08	Gold 79 Au 196.97	Mercury 80 Hg 200.59	Thallium 81 Tl 204.38	Lead 82 Pb 207.20	Bismuth 83 Bi 208.98	Polonium 84 Po 208.98	Astatine 85 At 209.99	Radon 86 Rn 222.02									
7	Francium 87 Fr [223]	Radium 88 Ra [226]	Lawrencium 103 Lr [262]	Rutherfordium 104 Rf [265]	Dubnium 105 Db [271]	Seaborgium 106 Sg [268]	Bohrium 107 Bh [270]	Hassium 108 Hs [277]	Meitnerium 109 Mt [276]	Darmstadtium 110 Ds [281]	Roentgenium 111 Rg [280]	Copernicium 112 Cn [285]	Nihonium 113 Nh [284]	Flerovium 114 Fl [289]	Moscovium 115 Mc [288]	Livermorium 116 Lv [293]	Tennesine 117 Ts [294]	Oganesson 118 Og [294]									
*Lanthanide series		Lanthanum 57 La 138.91	Cerium 58 Ce 140.12	Praseodymium 59 Pr 140.91	Neodymium 60 Nd 144.24	Promethium 61 Pm [145]	Samarium 62 Sm 150.36	Europium 63 Eu 151.96	Gadolinium 64 Gd 157.25	Terbium 65 Tb 158.93	Dysprosium 66 Dy 162.50	Holmium 67 Ho 164.93	Erbium 68 Er 167.26	Thulium 69 Tm 168.93	Ytterbium 70 Yb 173.05												
**Actinide series		Actinium 89 Ac [227]	Thorium 90 Th 232.04	Protactinium 91 Pa 231.04	Uranium 92 U 238.03	Neptunium 93 Np [237]	Plutonium 94 Pu [244]	Americium 95 Am [243]	Curium 96 Cm [247]	Berkelium 97 Bk [247]	Californium 98 Cf [251]	Einsteinium 99 Es [252]	Fermium 100 Fm [257]	Mendelevium 101 Md [258]	Nobelium 102 No [259]												