

ตอนที่ 1

1. ความปลอดภัยของการใช้ห้องปฏิบัติการ
2. เทคนิคการใช้อุปกรณ์
3. เทคนิคในการทดลอง
4. เทคนิคการเตรียมสารละลาย

1. ความปลอดภัยของการใช้ห้องปฏิบัติการ

1.1 ข้อควรระวังในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ในการเขียนภาคปฏิบัติการเคมีในห้องปฏิบัติการ บ่อยครั้งผู้ทำการทดลองอาจจะพบกับเครื่องมือใหม่ สถานที่ใหม่ และสารเคมีที่ใหม่ เพื่อให้การทดลองได้ผลดีหรือมีความผิดพลาดในการทดลองน้อยที่สุดและปลอดภัยต่อผู้ทำการทดลอง ดังนั้นจึงต้องศึกษาข้อปฏิบัติให้ละเอียดดังต่อไปนี้

1. ขณะทำการทดลอง ควรจะมีหน้ากากหรือแว่นตานิรภัย (Face shield หรือ Safety goggles) ป้องกันตาหรือส่วนของใบหน้า
2. ควรจะทราบถึงตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ป้องกันความปลอดภัย เมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้นในห้องปฏิบัติการ เช่น ถังดับเพลิง สายดับเพลิง ถังทราย และบันไดหนีภัย
3. แต่ละครั้งที่ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการควรทำตามเวลาที่กำหนดให้ ไม่ควรทำการทดลองโดยไม่ได้รับอนุญาตจากอาจารย์ผู้ควบคุม แต่ถ้าต้องการทำการทดลองใด ๆ ที่นอกเหนือจากอาจารย์ผู้มอบหมาย จะต้องได้รับอนุญาตจากอาจารย์ผู้สอนเสียก่อน
4. สารเคมีทั้งหมดในห้องปฏิบัติการ ต้องถือว่าเป็นสารอันตรายทั้งหมด ห้ามใช้มือหยิบ ทดลองชิม หรือสูดดม นอกจากจะได้รับคำสั่งจากอาจารย์ผู้ควบคุมให้ปฏิบัติ
5. อย่าใช้ปากดูดสารเคมีจากปิเปต (Pipette) ควรใช้ลูกยางที่เตรียมไว้เพื่อใช้ดูดสาร
6. อย่าวางตะเกียงบุนเสนหรือวางเปลวไฟใกล้สารเคมีที่ระเหยง่าย (Volatile solvent) เช่น อะซีโตน (Acetone) เพราะจะทำให้ถูกติดไฟได้รวดเร็ว
7. ควรใช้ภาชนะที่เหมาะสมสำหรับการต้มสารละลาย และควรใส่ boiling chips เพื่อหลีกเลี่ยงการกระเด็นของสารละลายขณะกำลังเดือด แต่ถ้าปริมาณของสารที่จะต้มพบว่ามีปริมาณเล็กน้อยควรจะใช้หลอดทดสอบ (Test tube) และปากของหลอดควรอยู่ห่างจากผู้ทำการทดลองและผู้ร่วมทำการทดลองด้วย
8. อย่าเทน้ำลงบนกรดเข้มข้นใด ๆ แต่ควรเทกรดเข้มข้นลงในน้ำอย่างช้า ๆ พร้อมทั้งคนอย่างสม่ำเสมอให้ทั่ว

9. อย่าเทโลหะโซเดียมลงในอ่างน้ำ เนื่องจากโลหะโซเดียมจะทำปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำ จะต้องทำลายด้วยแอลกอฮอล์เสียก่อนแล้วจึงเททิ้งลงในอ่างน้ำ
10. การเตรียมสารละลาย ควรรินสารละลายจากขวดใส่ลงในบีกเกอร์ (Beaker) ก่อนโดยรินออกมาให้เหมาะสมกับจำนวนที่ต้องการใช้ เพราะถ้ารินออกมามากเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีโดยเปล่าประโยชน์ ในกรณีที่สารละลายที่รินออกมาใช้แล้วเหลืออย่างท่วมกลับลงไปขวดสารเคมีครั้งนี้เพื่อป้องกันการปนเปื้อน (Contamination)
11. ในการทดลองที่สารบางชนิดเป็นก๊าซพิษเช่น NO_2 และ H_2S ควรทำการทดลองในตู้ดูดควัน
12. อุปกรณ์ต่าง ๆ ควรทำความสะอาดก่อนการทดลอง เพื่อป้องกันผลการทดลองผิดพลาด ซึ่งจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง
13. ควรใช้น้ำกลั่นทำการทดลองทุกครั้ง อย่าใช้น้ำกลั่นในการล้างอุปกรณ์
14. ควรอ่านคู่มือทำการทดลองปฏิบัติการ และทำความเข้าใจทุกขั้นตอนของการปฏิบัติการทดลองก่อนทำการทดลอง หากไม่เข้าใจขั้นตอนใดให้ถามอาจารย์ผู้ควบคุมก่อนลงมือทำการทดลอง
15. ก่อนที่จะนำสารละลายไปใช้ทุกครั้ง ต้องดูฉลากบนสารให้แน่ใจว่าเป็นสารที่ต้องการนำมาใช้ในการทดลองเพื่อป้องกันการผิดพลาด
16. อุปกรณ์หรือเครื่องมือต่าง ๆ ที่นำมาทำการทดลอง เมื่อทำเสร็จแล้วควรล้างทำความสะอาดก่อนที่จะทำการเก็บอุปกรณ์เข้าตู้
17. เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองต้องทำความสะอาดพื้นโต๊ะปฏิบัติการ ตรวจสอบความเรียบร้อยของอุปกรณ์การทดลอง เช่น ท่อก๊าซและก๊อกน้ำปิดสนิทหรือไม่ เก็บอุปกรณ์ทดลองไว้ในตู้และใส่ถุงแยกให้เรียบร้อยก่อนออกจากห้องปฏิบัติการ

1.2 อุบัติเหตุในห้องปฏิบัติการและการแก้ไข

อุบัติเหตุอาจเกิดขึ้นได้เสมอขณะทำการทดลอง หากผู้ทำการทดลองขาดความเอาใจใส่ในเรื่องที่ทำการทดลอง ทางหนึ่งที่จะหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้นคือ ผู้ทำการทดลองจะต้องศึกษาข้อปฏิบัติในห้องทดลองเสียก่อน และปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด การเกิดอุบัติเหตุจากการทดลองมีหลายกรณีและอาจทำการแก้ไขเบื้องต้นได้ดังนี้

1. แก้วขาดมือ

อุปกรณ์ส่วนใหญ่ในห้องปฏิบัติการ จะเป็นพวกเครื่องแก้วซึ่งแตกง่าย ถ้าผู้ทำการทดลองถูกเศษแก้วบาดมือให้เอาผ้าสะอาดคลุมบริเวณบาดแผลเพื่อห้ามเลือดให้หยุด จากนั้นล้างบาดแผลด้วยแอลกอฮอล์ ใส่ยาฆ่าเชื้อโรคแล้วปิดพลาสติกเอาไว้ ถ้าบาดแผลมีขนาดใหญ่ให้รีบพบแพทย์ทันที

2. ไฟไหม้และไฟลวก

สาเหตุไฟไหม้ในห้องปฏิบัติการส่วนมากมาจากการใช้ตะเกียงก๊าซ การใช้ตะเกียงก๊าซนั้นหากเปลวไฟอยู่ใกล้กับสารที่สามารถติดไฟได้ง่าย เมื่อเกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ขึ้นต้องรีบดับตะเกียง หรือเอาสารที่ไวไฟออกห่างที่สุด ในกรณีที่เกิดไฟไหม้เล็กน้อยสามารถดับได้โดยใช้ผ้าหนา ๆ ที่เปียกคลุม แต่ถ้าหากไฟลุกลามไปบนโต๊ะปฏิบัติการหรือขยายไปบริเวณกว้างอาจจะใช้เครื่องดับเพลิงที่เตรียมไว้สำหรับดับไฟ ในกรณีที่เสื้อผ้าของผู้ทำการทดลองติดไฟอย่างว่อง ให้อนอนราบกับพื้นแล้วให้ใช้ผ้าหนา ๆ หรือเสื้อคลุมกันเบื่อนคลุมบนเปลวไฟเพื่อไม่ให้เปลวไฟลามถึงศีรษะ และถ้าผิวหนังถูกไฟลวก อย่าใช้น้ำล้างให้โชยทาแผลไฟไหม้ทา ถ้าไฟลวกในบริเวณกว้างให้รีบนำส่งแพทย์

3. ผิวหนังถูกสารเคมี

สารเคมีบางชนิดสามารถซึมผ่านผิวหนังได้ หรือสารเคมีบางชนิดเป็นไอที่ระเหยจะเป็นอันตรายต่อระบบการหายใจ ถ้าทราบว่าถูกสารเคมีให้รีบล้างบริเวณนั้นทันทีด้วยน้ำมาก ๆ เพื่อให้สารเคมีนั้นเจือจางลงทำให้สารเคมีซึมผ่านผิวหนังได้น้อยลง

4. สารเคมีเข้าตา

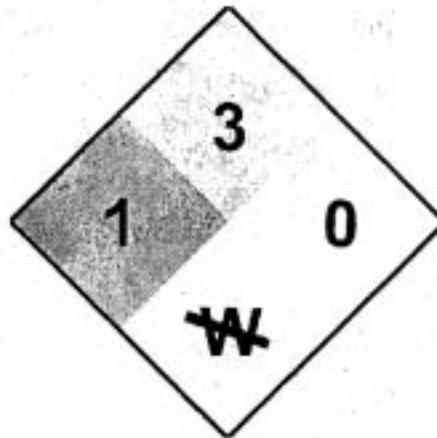
ในกรณีที่สารเคมีกระเด็นเข้าตาในขณะที่ทำการทดลอง จะต้องใช้น้ำจำนวนมากล้างตา แต่ถ้าสารเคมีเป็นประเภทเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ แอมโมเนีย

(NH_3) จะต้องล้างตาด้วยกรดบอริก (Boric acid) ที่เจือจาง ส่วนในกรณีที่สารเคมีเป็นประเภทกรดให้ล้างตาด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ที่เจือจาง

1.3 สัญลักษณ์แสดงอันตราย



ประตูทางเข้าห้องเก็บสารเคมี ควรจะมีสัญลักษณ์แสดงอันตรายโดยระบุเป็นแถบสีต่างๆ หรือระดับความรุนแรงโดยใช้ตัวเลข



ความรุนแรงโดยใช้ตัวเลข

- | | |
|---------------------|--|
| 0 - ไม่มีอันตราย | 1 - มีอันตรายเล็กน้อย |
| 3 - มีอันตรายรุนแรง | W - น้ำที่มีสารกัมมันตรังสี |



สีแดง	หมายถึง	สารไวไฟต้องเก็บห่างจากเปลวไฟ
สีน้ำเงิน	หมายถึง	มีอันตรายต่อสุขภาพ
สีเหลือง	หมายถึง	สารไวไฟในการเกิดปฏิกิริยา
สีขาว	หมายถึง	มีอันตรายต่อการสัมผัส



2. เทคนิคการใช้อุปกรณ์

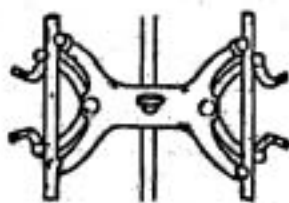
2.1 อุปกรณ์การทดลอง



อุปกรณ์การทดลอง		ลักษณะการใช้งาน
1. Graduated cylinder	(กระบอกตวง)	ใช้สำหรับตวงสารละลาย
2. Erlenmeyer flask	(ขวดรูปกรวย)	ใช้สำหรับบรรจุสารละลายเพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยา
3. Filter flask	(ขวดรูปกรวยกรอง)	ใช้สำหรับกรองสารด้วยแรงสูญญากาศ
4. Funnel	(กรวยกรอง)	ใช้สำหรับกรองสารทั่วไป
5. Beaker	(บีกเกอร์)	ใช้สำหรับบรรจุสารที่เป็นของแข็งและของเหลว
6. Crucible and cover	(ครูซิเบิลและฝา)	ใช้สำหรับในการเผาสารที่ต้องการอุณหภูมิสูงมาก ๆ
7. Desiccator	(โถดูดความชื้น)	ใช้บรรจุสารที่จะทำการดูดความชื้น
8. Buchner funnel	(กรวยบุชเนอร์)	ใช้สำหรับใส่บนขวดรูปกรวยกรองเพื่อกรองสาร
9. Watch glass	(กระจกนาฬิกา)	ใช้สำหรับปิดภาชนะหรือระเหยสารปริมาณน้อย
10. Spatula	(ช้อนตักสาร)	ช้อนสำหรับใช้ตักสารที่เป็นของแข็ง
11. Florence flask	(ขวดก้นกลม)	ใช้สำหรับบรรจุสารละลายเพื่อใช้ในการสกัด
12. Volumetric flask	(ขวดวัดปริมาตร)	ใช้สำหรับการเตรียมความเข้มข้นของสารละลาย
13. File	(ตะไบเหล็ก)	ใช้สำหรับการตัดแต่งแก้ว
14. Clamp holder	(ค้ำจับ)	ใช้สำหรับยึดอุปกรณ์เข้ากับฐานและที่ตั้ง
15. Buret (Burette)	(บิวเรต)	ใช้วิเคราะห์สารละลายเพื่อหาความเข้มข้นสารละลาย
16. Evaporating dish	(ชามกระเบื้อง)	ใช้สำหรับการระเหยสารละลายที่มีปริมาณมาก
17. Bunsen burner	(ตะเกียงเบนเสน)	ใช้เป็นตะเกียงในการให้ความร้อนแก่สาร
18. Clay triangle	(สามเหลี่ยมเหนียว)	ใช้รองรับอุปกรณ์หรือวางครูซิเบิลสำหรับเผา
19. Stand and base	(ที่ตั้งและฐาน)	ใช้สำหรับติดตั้งชุดของเครื่องมือต่าง ๆ ในการทดลอง
20. Test tube holder	(ตัวหนีบหลอดทดสอบ)	ใช้สำหรับจับหลอดทดสอบขณะร้อน
21. Funnel support	(ที่วางกรวยกรองสาร)	ใช้สำหรับวางกรวยกรองขณะกรองสารละลาย
22. Crucible tongs	(คีมคีบครูซิเบิล)	ใช้สำหรับคีบอุปกรณ์ขณะร้อน เช่น ครูซิเบิล
23. Wire gauze	(แผ่นตะแกรงลวด)	ใช้รองรับอุปกรณ์เพื่อให้ความร้อนกระจายขณะเผา



ring clamp



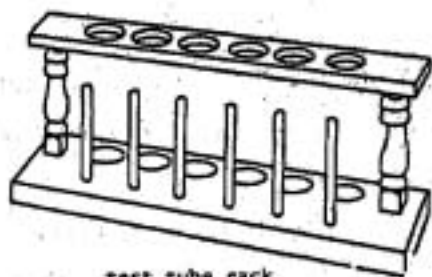
buret clamp



wash bottle



clamp



test tube rack



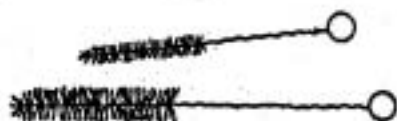
thermometer



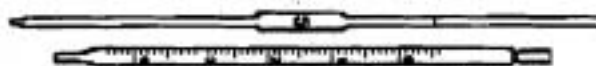
test tube



tripod



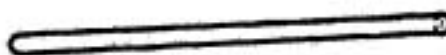
test tube brushes



pipette



dropper

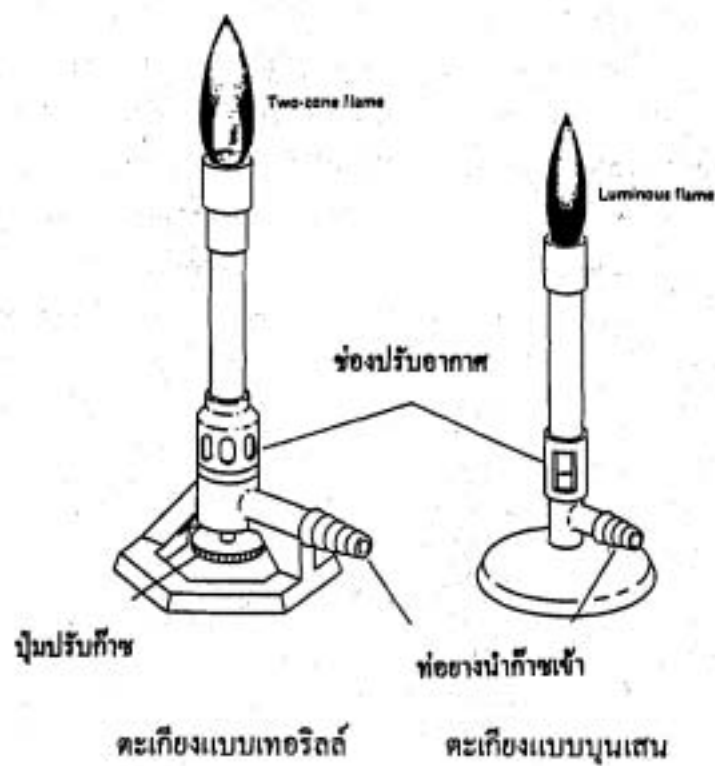


stirring rod

อุปกรณ์การทดลอง		ลักษณะการใช้งาน
24. Ring clamp	(ห่วงวงแหวน)	ใช้สำหรับวางจุดของเครื่องมือ
25. clamp	(ตัวยึด)	ใช้สำหรับยึดอุปกรณ์ต่าง ๆ
26. Buret clamp	(ที่ยึดบิวเรต)	ใช้สำหรับยึดบิวเรตกับฐานและที่ตั้งขณะติเตรท
27. Wash bottle	(กระบอกฉีดน้ำกลั่น)	ใช้สำหรับใส่น้ำกลั่นในการทดลอง
28. Test tube	(หลอดทดสอบ)	ใช้สำหรับใส่สารปริมาณน้อยเพื่อในการทดสอบ
29. Test tube rack	(ที่วางหลอดทดสอบ)	ใช้สำหรับวางหลอดทดสอบสาร
30. Thermometer	(เทอร์โมมิเตอร์)	ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิในการทดลอง
31. Tripod	(สามขา)	ใช้สำหรับวางอุปกรณ์เครื่องมือ
32. Test tube brushes	(แปรงล้างหลอดทดสอบ)	ใช้สำหรับล้างหลอดทดสอบ
33. Pipet (Pipette)	(ปิเปต)	ใช้วัดปริมาตรสารละลายที่ต้องการความละเอียด
34. Dropper	(หลอดหยดสาร)	ใช้สำหรับจุดหรือหยดสารละลาย
35. Stirring rod	(แท่งแก้วคนสาร)	ใช้คนสารละลายและช่วยในการเทสารละลาย

2.2 ลักษณะของตะเกียงก๊าซ ตะเกียงก๊าซที่ใช้ในห้องทดลองปฏิบัติการมี 2 แบบคือ

1. ตะเกียงแบบบุนเสน (Bunsen burner) เป็นตะเกียงที่สามารถปรับปริมาณของอากาศ
2. ตะเกียงแบบเทอริลล์ (Tirill burner) เป็นตะเกียงที่สามารถปรับได้ทั้งปริมาณของอากาศและปริมาณก๊าซเชื้อเพลิง



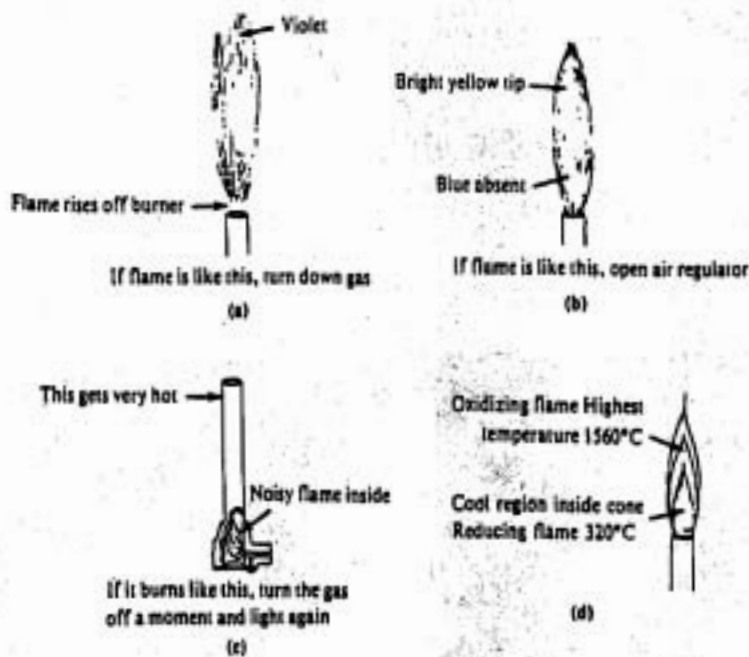
รูปที่ 2.1 ลักษณะของตะเกียงก๊าซ

2.3 การใช้ตะเกียงก๊าซและลักษณะของเปลวไฟ

1. การใช้ตะเกียงก๊าซมีขั้นตอนดังนี้

1. สวมปลายสายยางเข้ากับฐานของตะเกียง และปลายสายยางอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับท่อก๊าซพร้อมหมุนวงแหวน เพื่อให้อากาศเข้าได้ประมาณครึ่งหนึ่ง
2. จุดไม้ขีดไฟรอไว้ที่หัวตะเกียงแล้วเปิดก๊าซเชื้อเพลิงให้เข้ามาในตะเกียง
3. ปรับสีของเปลวไฟให้ความร้อนสูงสุด
4. เมื่อไม่ใช้ตะเกียงแล้ว ให้ปิดวาล์วที่ตะเกียงและวาวก๊าซที่โต๊ะปฏิบัติการทันที

2. ลักษณะของเปลวไฟ



- a. ลักษณะของเปลวไฟที่ให้ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงมากเกินไป
- b. ลักษณะของเปลวไฟที่ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงมากกว่าปริมาณอากาศที่ผ่านเข้าไป
- c. ลักษณะของเปลวไฟที่ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงน้อยกว่าปริมาณอากาศที่ผ่านเข้าไป
- d. ลักษณะของเปลวไฟที่ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศได้สัดส่วนกัน

รูปที่ 2.2 ลักษณะของเปลวไฟ

2.4 การใช้เครื่องชั่ง

ในห้องปฏิบัติการทุกแห่ง จะมีเครื่องชั่งแต่ละชนิดที่มีความเหมาะสมกับงานแต่ละประเภทแล้วแต่จะเลือกใช้งาน เครื่องชั่งบางแบบก็ใช้งานสำหรับการชั่งน้ำหนักเพียงหยาบ ๆ เท่านั้น ถ้าจะชั่งน้ำหนักแบบละเอียดนิยมใช้เครื่องชั่งประเภทที่เรียกว่า เครื่องชั่งวิเคราะห์ (Analytical balance) เช่น ถ้าต้องการชั่งสารหนัก 50 กรัมและให้ความละเอียดแม่นยำไม่เกิน 0.5 กรัมก็อาจใช้เครื่องชั่งชนิด trip balance แต่ถ้าต้องการให้ละเอียดถึง 0.0001 กรัมควรจะใช้เครื่องชั่งที่มีทศนิยม 4 ตำแหน่ง

เครื่องชั่งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมีทั่วไป ส่วนใหญ่จะนิยมใช้เป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic balance) เป็นเครื่องชั่งที่จำเป็นที่สุดของห้องปฏิบัติการและมีความละเอียดแม่นยำ มีความสามารถในการชั่งน้ำหนักได้ตั้งแต่ 100 จนถึง 200 กรัม และมีความละเอียดถึง 0.001 กรัม เครื่องชั่งแบบนี้จะมีน้ำหนักที่ใช้ในการ calibrate อยู่ในเครื่องชั่ง เช่น เครื่องชั่งแบบ PK 16 และ PK 36 ของบริษัท Mettler บางแบบอาจจะต้องใช้น้ำหนักมาตรฐานในการ calibrate เครื่องชั่งวิเคราะห์ชนิดนี้อาจสามารถต่อเข้ากับเครื่องพิมพ์ หรืออาจจะต่อกับ data output เข้าไปกับ interface ของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ เครื่องชั่งแบบนี้สามารถอ่านเลขได้ละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง



รูปที่ 2.3 เครื่องชั่งวิเคราะห์แบบอิเล็กทรอนิกส์

การบำรุงรักษาเครื่องชั่งวิเคราะห์

เครื่องชั่งวิเคราะห์เป็นเครื่องมือที่มีความละเอียด ถ้าไม่มีการระมัดระวังในการใช้งานอาจจะทำให้เครื่องชั่งมีประสิทธิภาพการใช้งานลดลง ดังนั้นจึงต้องทราบข้อควรระวังในการใช้เครื่องชั่งวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. เครื่องชั่งจะต้องตั้งอยู่ในแนวระดับและปราศจากการสั่นสะเทือน
2. อย่าวางวัตถุที่จะชั่งลงบนจานชั่งโดยตรง ให้ใส่วัตถุที่จะชั่งลงบนกระดานน้ำหนัก ถ้าเป็นของเหลวที่ระเหยได้และมีฤทธิ์กัดกร่อน ต้องใส่ขวดแก้วปิดสนิทขณะชั่ง
3. วัตถุที่จะนำมาชั่งจะต้องมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง เพราะถ้าวัตถุยังร้อนอยู่จะทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศทำให้ขณะชั่งได้ค่าผิดพลาดไป
4. ถ้าเครื่องชั่งมีปัญหาอย่าพยายามแก้ไขเครื่องชั่งด้วยตนเอง ให้แจ้งอาจารย์ทราบ
5. ถ้าทำสารเคมีหกลงบนจานชั่งต้องทำความสะอาดเครื่องชั่งทันที
6. ต้องรักษาเครื่องชั่งให้สะอาดอยู่เสมอ หลังจากการใช้งานเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ใช้ผ้าคลุมปิดเครื่องชั่งเพื่อป้องกันฝุ่นละออง

2.5 การใช้ปิเปต (Pipet หรือ Pipette)

ปิเปตที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ volumetric pipet และ graduated pipet ซึ่งแต่ละแบบอาจจะมีหลายขนาดตามปริมาตรของปิเปต ดังนั้นจึงควรเลือกชนิดของปิเปตที่จะนำมาใช้งาน ชนิดของปิเปตทั้ง 2 แบบมีลักษณะดังรูปที่ 2.4

1. Volumetric pipet (Transfer pipet)



2. Graduated pipet



รูปที่ 2.4 ลักษณะชนิดของปิเปต

ลักษณะของ Volumetric pipet

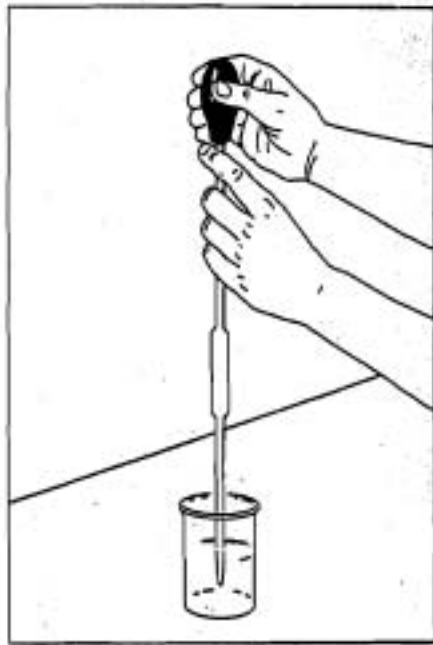
Volumetric pipet เป็นปิเปตที่มีกระเปาะตรงกลางเป็นรูปทรงกระบอก และมีขีดบอกปริมาตรเพียงค่าเดียว ลักษณะของกระเปาะจะมีปริมาตรอยู่หลายขนาดสำหรับการวัดปริมาตร สารละลายจะถูกดูดขึ้นมาตามขนาดปริมาตรของปิเปต เนื่องจากมีขีดบอกปริมาตรเพียงค่าเดียว เมื่อปล่อยสารละลายออกจากบิวเรตแล้ว ห้ามเป่าสารละลายหยดสุดท้ายที่ตกค้างอยู่ตรงปลายของปิเปต ให้แตะปลายของปิเปตกับข้างภาชนะเพื่อให้สารละลายหยดสุดท้ายที่ตกค้างไหลออกมาหมด ถ้ายังเหลือสารละลายอยู่ที่ปลายปิเปตให้ทิ้งไป

หมายเหตุ ถ้าปิเปตเป็นแบบ calibrate to blow out ก็สามารถเป่าหยดสุดท้ายลงไปได้

ลักษณะของ Graduated pipet

Graduated pipet เป็นปิเปตที่มีขีดบอกความละเอียดของค่าปริมาตรต่าง ๆ ซึ่งมีหลายขนาดตามปริมาตรของการวัดและสามารถใช้แทน volumetric pipet ได้ ส่วนเทคนิคของการปิเปตมีขั้นตอนดังนี้

1. จุ่มปลายล่างของปิเปตลงในสารละลาย ให้ปลายของปิเปตอยู่ต่ำกว่าสารละลายพอสมควร ดังรูป ก
2. ใช้ลูกยางดูดสารละลายขึ้นมาอย่างช้า ๆ เหมือนขีดบอกปริมาตรของปิเปต แล้วดึงลูกยางออก ใช้นิ้วชี้อุดปลายบนของปิเปต แล้วค่อย ๆ ปล่อยสารละลายให้ได้ระดับปริมาตรตามต้องการ ทำการเช็ดด้านนอกตรงปลายด้านล่างของปิเปตด้วยกระดาษที่สะอาด ดังรูป ข



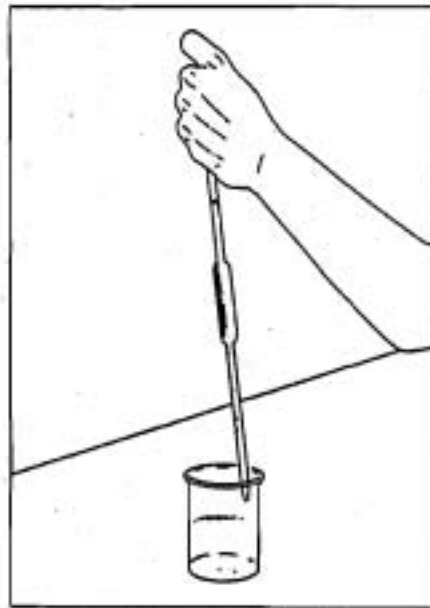
รูป ก



รูป ข

3. จากนั้นนำปิเปตไปแตะข้างภาชนะหรือบีกเกอร์ ให้สารละลายไหลลงในภาชนะที่ใส่สารละลายตั้งรูป ก
4. ห้ามเป่าสารละลายหยดสุดท้ายที่ตกค้างอยู่ที่ปลายของปิเปต ให้แตะปลายของปิเปตกับข้างภาชนะสักครู่เพื่อให้สารละลายหยดสุดท้ายที่ตกค้างไหลออกหมด ถ้ายังเหลือสารละลายอยู่ที่ปลายปิเปตให้ทิ้งไปตั้งรูป ง

หมายเหตุ ถ้าปิเปตเป็นแบบ calibrate to blow out ก็สามารถเป่าหยดสุดท้ายลงไปได้



รูป ค



รูป ง

2.6 การใช้บิวเรต (Buret หรือ Burette)

บิวเรตเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาตรสารละลายคล้ายกับ volumetric pipet หรือ graduated pipet คือจะมีขีดบอกปริมาตรต่างๆ ไว้ การใช้บิวเรตที่ถูกต้องมีขั้นตอนดังนี้

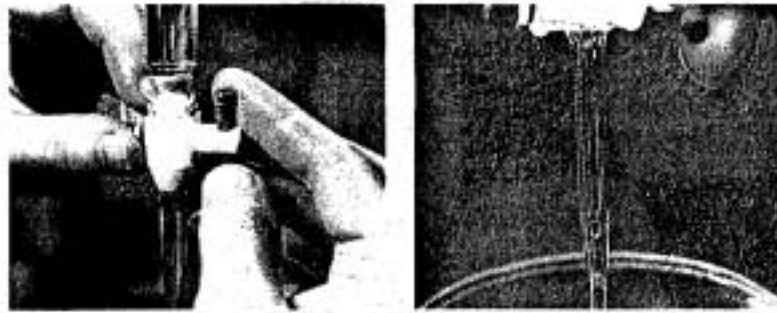


1 - 2



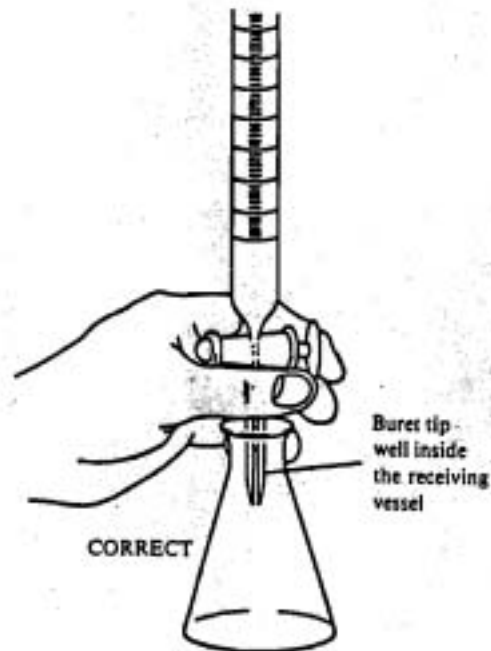
3

1. ก่อนใช้บิวเรตควรจะทำความสะอาดด้วยผงซักฟอกหรือน้ำยาล้างแก้ว จากนั้นล้างด้วยน้ำประปาและน้ำกลั่นอีก 2 - 3 ครั้ง
2. ทำการล้างบิวเรตด้วยสารละลายจำนวนเล็กน้อย ซึ่งเป็นสารละลายที่จะนำมาใส่ลงในบิวเรตอีกครั้ง แล้วปล่อยสารละลายนี้ออกทางปลายบิวเรต
3. เติมสารละลายที่ใช้ลงในบิวเรตโดยใช้กรวยกรอง



4

4. ไขก๊อกให้สารละลายไหลออกจากปลายบิวเรตเพื่อปรับให้ปริมาตรของสารละลายอยู่ที่ขีดศูนย์พอดี โดยที่ปลายของบิวเรตจะต้องไม่มีฟองอากาศอยู่ ถ้ามีฟองอากาศอยู่ให้ไขสารละลายลงมาเพื่อไล่ฟองอากาศออก



รูปที่ 2.5 ลักษณะการจับบิวเรตและขวดรูปกรวยที่ถูกต้อง

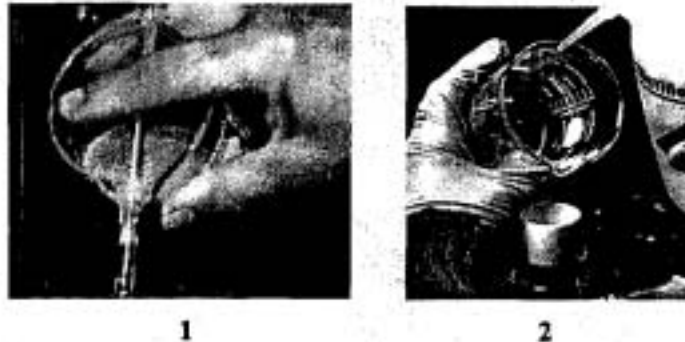
3. เทคนิคในการทดลอง

3.1 การถ่ายภาพสารที่เป็นของแข็งลงสู่ภาชนะ มีขั้นตอนดังนี้



1. สารที่เป็นของแข็งซึ่งอยู่บนกระดาษที่ขึงเรียบร้อย จะถูกถ่ายลงสู่บีกเกอร์ที่สะอาด
2. ใช้ซ็อนตักสารกวาดหรือเคาะเบา ๆ บนกระดาษเพื่อให้สารไหลลงสู่บีกเกอร์
3. ใช้น้ำกลั่นฉีดเล็กน้อยบนกระดาษนี้ เพื่อให้สารที่เหลือตกค้างอยู่ไหลลงสู่บีกเกอร์

3.2 การถ่ายสารละลายลงสู่ภาชนะ มีขั้นตอนดังนี้



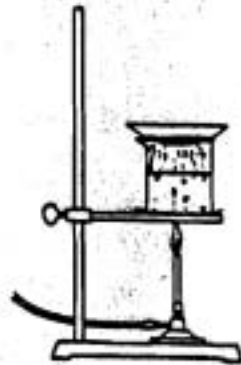
1. การเทของเหลว หรือ สารละลายที่มีอยู่ในบีกเกอร์ลงสู่ภาชนะ ให้ใช้แท่งแก้วที่คนสารและที่ปากของบีกเกอร์ตรงบริเวณที่จะให้สารละลายไหลออกมา จากนั้นทำการเอียงบีกเกอร์เล็กน้อย เพื่อให้สารละลายไหลได้สะดวกตามแท่งแก้วลงไปยังภาชนะที่รองรับสารละลาย
2. ใช้น้ำกลั่นฉีดเล็กน้อยลงในบีกเกอร์ เพื่อให้สารละลายที่เหลือลงสู่ภาชนะจนหมด

3.3 การระเหยสารละลายหรือของเหลวจากภาชนะ

การระเหยตัวทำละลาย (Solvent) ออกจากของเหลวหรือสารละลาย ในที่สุดตัวถูกละลาย (Solute) ก็จะตกผลึกออกมา ซึ่งเป็นการลดปริมาณของเหลวให้มีความเข้มข้นมากขึ้น วิธีการระเหยของเหลวหรือสารละลายโดยทั่วไปมีอยู่ 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1. ใช้กระจกนาฬิกา กรณีต้องการระเหยสารปริมาณน้อย

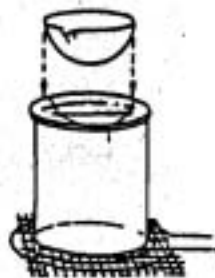
วางกระจกนาฬิกาบนบีกเกอร์ที่มีน้ำค้ำเดือดบรรจุอยู่ ความร้อนจากไอน้ำจะทำให้ตัวทำละลายระเหยออกดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วิธีการระเหยสารละลายโดยใช้กระจกนาฬิกา

วิธีที่ 2 ใช้ชามกระเบื้อง กรณีต้องการระเหยสารปริมาณมาก

วางชามกระเบื้องบนบีกเกอร์ที่มีน้ำค้ำเดือดบรรจุอยู่ ความร้อนจากไอน้ำจะทำให้ตัวทำละลายระเหยออกดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วิธีการระเหยสารละลายโดยใช้ชามกระเบื้อง

- ข้อควรระวัง**
1. ถ้าสารละลายที่นำมาระเหยนั้นติดไฟได้ง่าย เช่น อะซิโตน หรือ อีเทอร์ ไม่ควรนำมาระเหยโดยตรงจากเปลวไฟเพราะอาจจะติดไฟได้ง่าย
 2. ระหว่างการระเหยสาร ถ้ามีควันที่เป็นก๊าซพิษต้องทำการระเหยในตู้ดูดควัน

3.4 การกรอง (Filtration)

การกรองเป็นการแยกของแข็งที่ไม่บริสุทธิ์ออกจากของเหลวหรือสารละลาย วิธีการกรองหรือการแยกของแข็งที่ไม่บริสุทธิ์นั้น จะใช้กระดาษกรอง (Filter paper) ซึ่งลักษณะของกระดาษกรองสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 เบอร์ตามลักษณะของตะกอนที่จะใช้ในการกรอง

ตารางที่ 3.1 เบอร์ของกระดาษกรองกับลักษณะของตะกอนที่ใช้กรอง

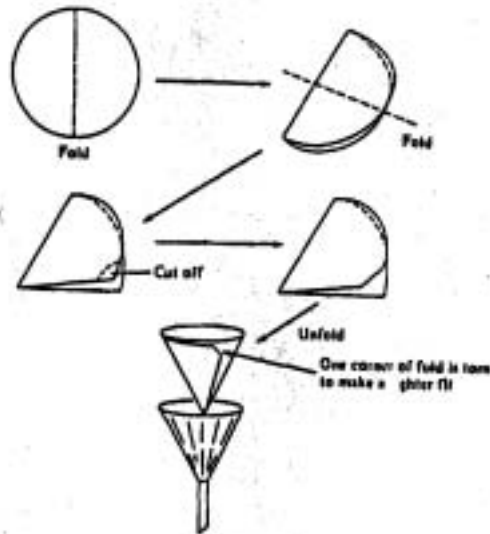
เบอร์ของ กระดาษกรอง	เนื้อของ กระดาษกรอง	ความเร็วในการ กรองสาร	ลักษณะของตะกอน
40	ปานกลาง	เร็ว	ตะกอนเป็นผลึก
41	หยาบ	เร็วมาก	ตะกอนคล้ายฝุ่น
42	ปานกลาง	ช้า	ตะกอนเป็นผลึกละเอียดมาก

กระดาษกรองที่จะนำมาใช้ในการกรองสารละลาย จะต้องทราบวิธีการพับกระดาษที่จะนำมากรองสารละลาย กระดาษที่จะนำมากรองสารละลายจะต้องนำมาพับให้มีลักษณะที่จะวางบนกรวยกรองได้พอเหมาะ ซึ่งการพับกระดาษกรองสามารถแบ่งลักษณะการพับออกได้เป็น 2 แบบดังนี้

1. การพับกระดาษกรองแบบรูปกรวย
2. การพับกระดาษกรองแบบจีบ หรือแบบมีร่อง (Fluted)

1. การพับกระดาษกรองแบบรูปกรวย

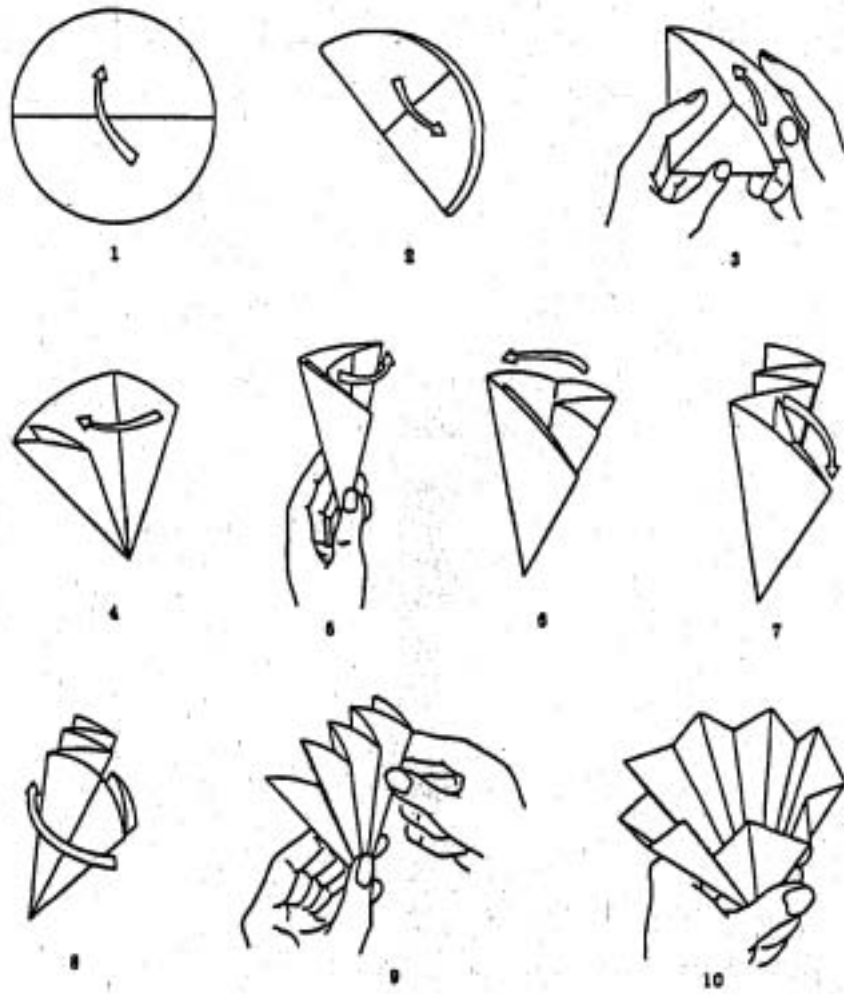
การพับกระดาษกรองแบบรูปกรวย ให้พับเป็นครึ่งวงกลมก่อนแล้วพับให้เหลือ 1 ใน 4 ของวงกลม ให้ริมทั้ง 2 ข้างเหลื่อมกันเล็กน้อย ฉีกมุมด้านที่เหลื่อมกันออกเล็กน้อยเพื่อให้กระดาษกรองสามารถวางแนบกับกรวยกรองได้สนิทขณะทำการกรองสารละลายดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การพับกระดาษกรองแบบรูปกรวย

2. การพับกระดาษกรองแบบจีบหรือแบบมีร่อง

การพับกระดาษกรองแบบจีบ โดยทั่วไปนิยมใช้กรองสารละลายขณะที่ยังร้อน เพราะจะทำให้การกรองเร็วขึ้นกว่าการกรองสารละลายที่เย็น นอกจากนี้ยังใช้กรองสารละลายที่สามารถตกผลึกได้รวดเร็ว หลักการพับกระดาษกรองแบบจีบจะเริ่มทำการพับตั้งแต่หมายเลข 1 ถึง 10 ดังรูปที่ 3.4

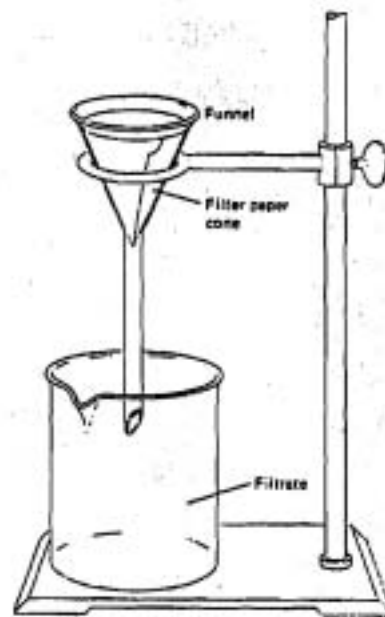


รูปที่ 3.4 การพับกระดาษกรองแบบจีน

3.5 วิธีการกรองสาร สามารถแบ่งตามวิธีการกรองออกได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่

1. การกรองสารด้วยแรงดึงดูดของโลก (Gravity filtration)

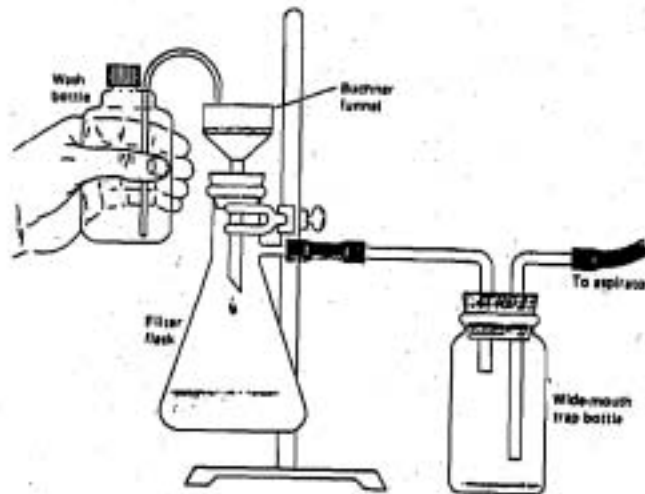
การกรองด้วยแรงดึงดูดของโลก เป็นการกรองตะกอนที่มีลักษณะคล้ายขุ่น อุปกรณ์ที่ใช้ในการกรองประเภทนี้ได้แก่กรวยกรอง (Funnel) กระดาษกรอง (Filter paper) และที่ยึดกรวยกรอง (Funnel stand) ในการกรองสารนั้นจะพับกระดาษเป็นรูปกรวยกรองแล้วค้ำกระดาษกรองออกเป็นรูปกรวย จากนั้นวางลงบนกรวยกรอง ใช้น้ำกลั่นฉีดลงบนกระดาษกรองให้ทั่วเพื่อให้แนบติดกับกรวยกรองซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การกรองสารด้วยแรงดึงดูดของโลก

2. การกรองสารแบบสุญญากาศ (Vacuum filtration)

การกรองลักษณะนี้เหมาะสำหรับการกรองที่ตะกอนมีลักษณะเป็นผลึก เครื่องมือที่ใช้กรองตะกอนจะอาศัยความดันเข้าช่วย เครื่องมือจะประกอบด้วยกรวยกรอง (Bucher funnel) ซึ่งที่ก้นกรวยจะมีรูพรุนมากมาย กระดาษกรองแผ่นวงกลมจะถูกวางลงในก้นของกรวยกรองและฉีดน้ำกลั่นลงบนกระดาษกรองเพื่อให้แนบสนิทกับก้นของกรวยกรอง หลังจากนั้นทำการสวมกรวยกรองให้แน่นกับจุกที่อุดบนขวดรูปกรวยกรอง (Filter flask) ซึ่งแขนของขวดรูปกรวยกรองนี้จะต่อกับอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดสุญญากาศได้ เช่น water aspirator แต่ต้องมีขวดต่อเชื่อมระหว่างขวดรูปกรวยกรองกับอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดสุญญากาศ เมื่อเปิดเครื่องความดันด้านบนและด้านล่างของกรวยกรองจะต่างกัน แรงดูดสุญญากาศที่เกิดขึ้นจะทำให้การกรองเร็วขึ้น ลักษณะของอุปกรณ์การกรองแบบสุญญากาศดังรูปที่ 3.6

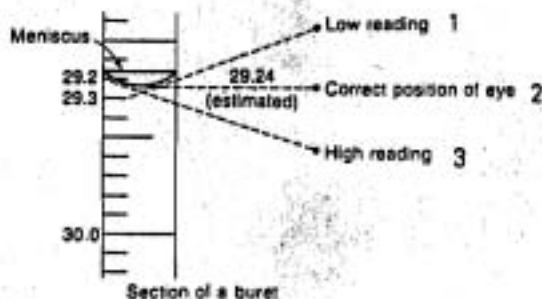


รูปที่ 3.6 อุปกรณ์การกรองสารด้วยแรงดูดสุญญากาศ

3.6 การอ่านค่าปริมาตรสารละลายและการอ่านค่าจากเข็มหน้าปิดจากเครื่องมือ

1. การอ่านค่าปริมาตรของสารละลาย

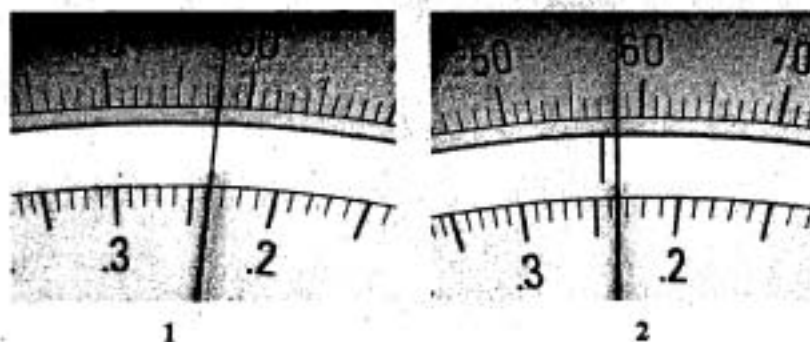
อุปกรณ์ที่ใช้ในการอ่านค่าปริมาตรสารละลายได้แก่ ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) บิวเรต ปิเปต และกระบอกตวง (Graduated cylinder) ลักษณะที่ถูกต้องของการอ่านปริมาตรสารละลาย คือระดับสายตาจะต้องอยู่ตรงส่วนโค้งเว้าต่ำสุดของสารละลายดังรูปที่ 3.7



1. ถ้าระดับสายตาอยู่ต่ำกว่าส่วนโค้งเว้าต่ำสุดของของเหลว ค่าปริมาตรที่อ่านได้น้อยกว่าปริมาตรจริง
 2. ถ้าระดับสายตาอยู่ระดับเดียวกับส่วนโค้งเว้าต่ำสุดของของเหลว ค่าปริมาตรที่อ่านได้มีค่าที่ถูกต้อง
 3. ถ้าระดับสายตาอยู่สูงกว่าส่วนโค้งเว้าต่ำสุดของของเหลว ค่าปริมาตรที่อ่านได้มากกว่าปริมาตรจริง
- ดังนั้นค่าของการอ่านปริมาตรของสารละลายที่ถูกต้องคือ ตำแหน่งที่ 2 เนื่องจากสายตาจะต้องอยู่ในระดับเดียวกับจุดต่ำสุดของส่วนโค้งเว้าของสารละลาย

รูปที่ 3.7 การอ่านค่าปริมาตรสารละลาย

2. การอ่านค่าตัวเลขจากเข็มหน้าปิดเครื่องมือ



1. การมองด้านตรงเป็นค่าที่อ่านถูกต้อง (Straight - on - reading)
2. การมองทำมุมเป็นค่าที่อ่านไม่ถูกต้อง (Angle - on - reading)

3.7 การใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดหาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโดยอาศัยการดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าของสาร อุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้



เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

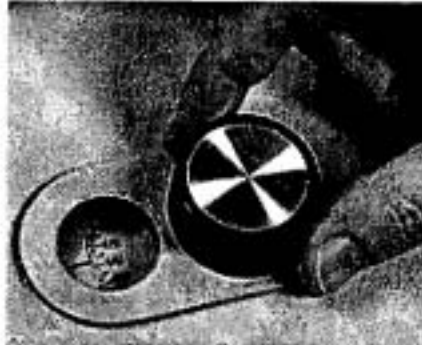


หลอด Cuvette tube

เทคนิคในการใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์มีขั้นตอนดังนี้

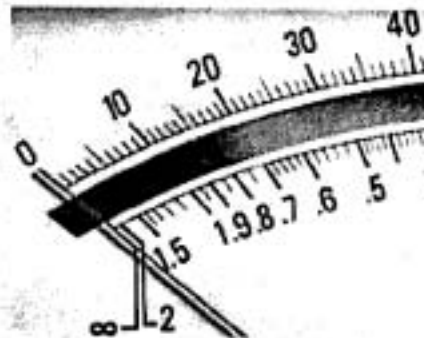


1



2

1. เปิดเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาทีเพื่อทำการอุ่นเครื่อง
2. ปรับความยาวคลื่นที่ต้องการจะวัดค่าการดูดกลืนแสงของสาร



3

3. ปิดฝาช่องใส่สารตัวอย่างปรับให้อ่านค่าให้ได้ 0 % transmittance (T)



4

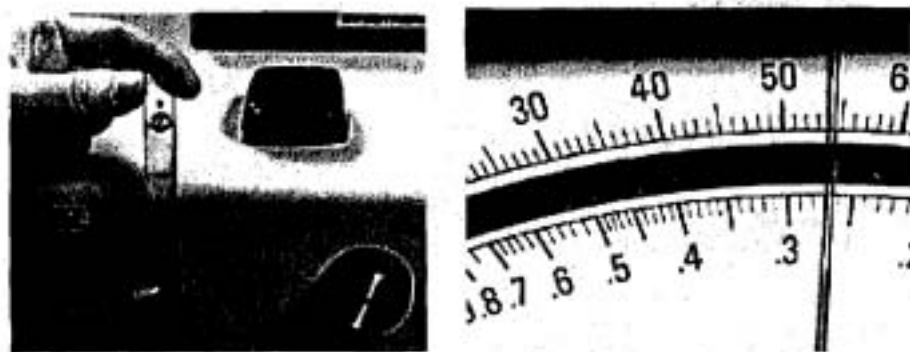
5

4. ใส่น้ำกลั่น หรือ สารละลายที่จะทำการปรับค่า T ลงใน cuvette จากนั้นทำความสะอาด cuvette ให้เรียบร้อย
5. ใส่ cuvette ลงในช่องใส่สารให้ชิดบน cuvette ตรงกับขีดช่องใส่สารพร้อมปิดฝา



6

6. ปรับให้อ่านค่าได้ 100 % T



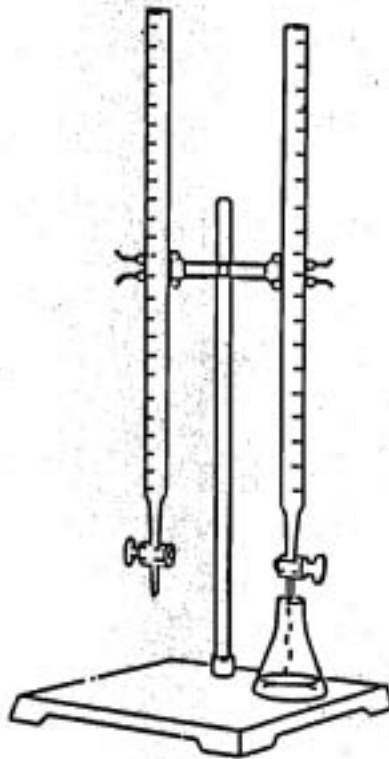
7

7. การวิเคราะห์หาสารตัวอย่าง นำสารตัวอย่างที่จะทำการวัดใส่ลงใน cuvette และนำไปใส่ลงในช่องใส่สารพร้อมปิดฝา ทำการอ่านค่า absorbance ที่ได้

3.8 การติเตรชัน (Titration)

การติเตรชันเป็นการหาความเข้มข้นของสารละลายที่ไม่ทราบความเข้มข้น โดยมาทำการติเตรทกับสารละลายมาตรฐาน (Standard solution) ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนซึ่งบรรจุอยู่ในบิวเรต ส่วนสารละลายที่จะหาความเข้มข้นบรรจุอยู่ในขวดรูปกรวย เทคนิคในการติเตรทมีขั้นตอนดังนี้

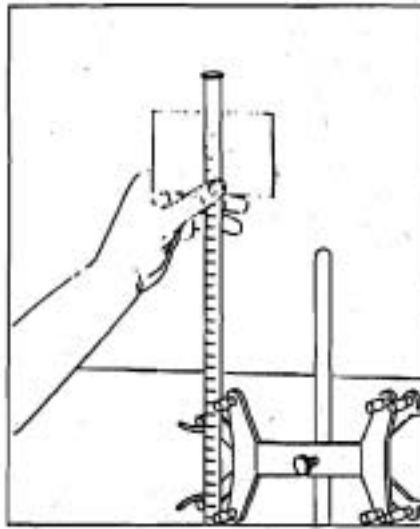
1. ทำความสะอาดบิวเรตให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น และล้างด้วยสารละลายที่จะนำมาใส่ในบิวเรตเล็กน้อยอีก 2-3 ครั้งแล้วไขทิ้งไป
2. เติมสารละลายมาตรฐานลงในบิวเรต จนถึงขีดบอกระดับเหนือศูนย์กลางของสเกลเล็กน้อย ทำการปรับระดับของสารละลายให้อยู่ที่ระดับศูนย์พอดีโดยเปิดก๊อกให้สารละลายไหลออกทางปลายบิวเรต และจะต้องไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่ที่ปลาย ถ้าหากมีฟองอากาศอยู่ต้องเปิดก๊อกให้สารละลายไล่ฟองอากาศออกจนหมด
3. เปิดสารละลายที่จะหาความเข้มข้น ลงในขวดรูปกรวยที่แห้งและสะอาดให้ได้ปริมาตรที่ต้องการ ให้ทำการจัดเครื่องมือการติเตรทดังรูปที่ 3.8



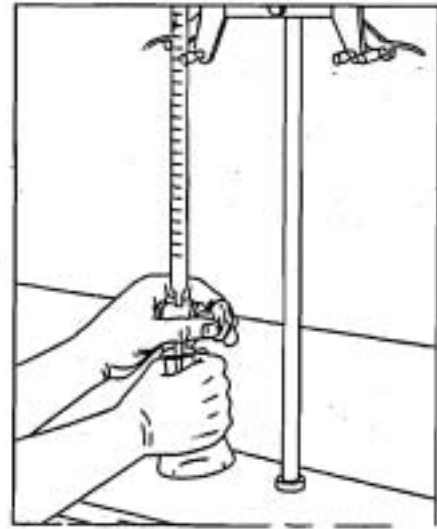
รูปที่ 3.8 การจัดเครื่องมือในการติเตรท

4. หยดอินดิเคเตอร์ (Indicator) 2-3 หยดลงในขวดรูปกรวย
5. ใสสารละลายจากบิวเรตลงในขวดรูปกรวย พร้อมทั้งหมุนขวดเป็นวงกลมเพื่อให้สารละลายผสมเป็นเนื้อเดียว ขณะติเตรทควรใช้กระดาษสีขาววางใต้ขวดรูปกรวย เพื่อให้เห็นสีที่เปลี่ยนแปลงชัดเจน
6. เมื่อใกล้ถึงจุดยุติของการติเตรท ค่อยๆ หยดทีละหยดของสารละลายจากบิวเรตอย่างช้าๆ จนเกิดสีที่เปลี่ยนแปลงขึ้น ให้ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 วินาที ถ้าหากสีนั้นไม่จางหายไปแสดงว่าถึงจุดยุติของการติเตรท
7. อ่านปริมาตรที่ใช้ไปในการติเตรทเพื่อนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายในขวดรูปกรวยได้

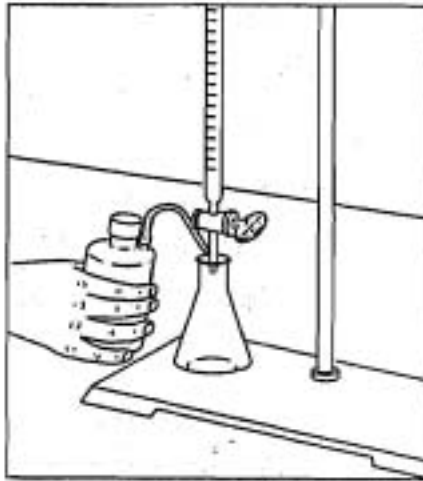
เทคนิคของการไตเตรท



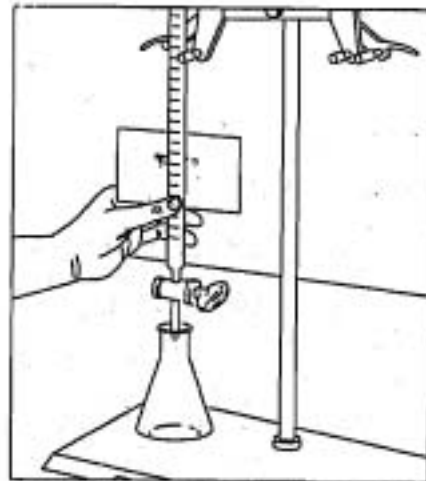
1. ทำการจดปริมาตรของสารละลายเริ่มต้น



2. ใช้มือซ้ายจับก๊อกแล้วค่อย ๆ ปล่อยสารละลายลงจากบิวเรต พร้อมหมุนขวดปกรวยด้วยมือ



3. สังเกตหน้าด้านในของขวดปกรวยในระหว่างการไตเตรทเมื่อใกล้จุดยุติการไตเตรท



4. ที่จุดยุติการไตเตรทอ่านปริมาตรจากบิวเรตครั้งสุดท้าย

4. เทคนิคการเตรียมสารละลาย

4.1 การเตรียมสารละลาย

สารละลายคือ สารผสมที่เป็นเนื้อเดียว ดังนั้นสารละลายจึงเป็นสารที่ไม่บริสุทธิ์ซึ่งจะประกอบด้วยตัวทำละลาย (Solvent) และตัวถูกละลาย (Solute) สำหรับการคำนวณถือว่าน้ำเป็นตัวทำละลายเสมอ ความเข้มข้นของสารละลายจะบอกถึงปริมาณเนื้อตัวถูกละลายในสารละลายเป็นสำคัญ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีคือ

1. บอกความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์ จะบอกปริมาณเนื้อตัวถูกละลายในสารละลาย 100

1.1 ร้อยละโดยน้ำหนัก จะบอกปริมาณเนื้อตัวถูกละลายในสารละลาย 100 กรัม เช่น สารละลาย H_2SO_4 38 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก หรือ 38 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก/น้ำหนัก หมายความว่าสารละลาย 100 กรัมมีเนื้อ H_2SO_4 38 กรัม

1.2 ร้อยละโดยปริมาตร จะบอกเนื้อตัวถูกละลายเป็นปริมาตรในสารละลาย 100 ปริมาตร เช่น สารละลาย H_2SO_4 25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือ 25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร/ปริมาตร หมายความว่าสารละลาย 100 mL มีเนื้อ H_2SO_4 25 mL

1.3 ร้อยละน้ำหนัก/ปริมาตร จะบอกเนื้อตัวถูกละลายเป็นน้ำหนักในสารละลาย 100 ปริมาตร เช่น สารละลาย H_2SO_4 20 เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก/ปริมาตร หมายความว่าสารละลาย 100 mL มีเนื้อกรด H_2SO_4 อยู่ 20 กรัม

2. บอกความเข้มข้นเป็นนอร์มัล (Normal, N) หรือ นอร์มาลิตี (Normality) คือบอกปริมาณเนื้อตัวถูกละลายเป็นจำนวนกรัมสมมูล (gmE) ในสารละลาย 1000 mL หรือ 1 ลิตร เช่น สารละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 2.5 N หรือ normality 2.5 หมายความว่าสารละลาย 1000 mL หรือ 1 ลิตรมีเนื้อกรด H_2SO_4 อยู่ 2.5 gmE

3. บอกความเข้มข้นเป็นโมลาร์ (Molar, M) หรือ โมลาลิตี (Molarity) คือบอก ปริมาตรตัวทำละลายเป็นจำนวนกรัมโมเลกุล (โมล) สารละลาย 1000 mL หรือ 1 ลิตร เช่น สารละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 2 M หรือ molarity 2 หมายความว่าสารละลาย 1000 ลบ.ซม. หรือ 1 ลิตรมีเนื้อ H_2SO_4 2 กรัมโมเลกุล (โมล)
หมายเหตุ ปริมาตร 1 ลิตร = 1000 มิลลิลิตร (mL) = 1000.028 ลบ.ซม. หรือ 1000 ลบ.ซม.

4.2 การเปลี่ยนความเข้มข้นจาก Normality เป็น Molarity หรือ Molarity เป็น Normality

การเปลี่ยนความเข้มข้นนี้จะต้องทราบความสัมพันธ์ของสมมูลและน้ำหนักโมเลกุล เช่น สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 2 N จะมีความเข้มข้นกี่ M

$$1 \times \text{สมมูล} = \text{น้ำหนักโมเลกุล}$$

$$1 \text{ gmE} = 1 \text{ กรัมโมเลกุล}$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ M}$$

ดังนั้น สารละลาย NaOH 2 N = 2 M

ตัวอย่าง สารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 2 M จะมีความเข้มข้นกี่ N

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ สมมูล} = \text{น้ำหนักโมเลกุล} / 2$$

$$2 \text{ สมมูล (gmE)} = 1 \text{ กรัมโมเลกุล}$$

$$2 \text{ N} = 1 \text{ M}$$

ฉะนั้นสารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 2 M = 4 N จะเห็นได้ว่าตัวเลขที่แสดงความเข้มข้นเป็น M จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับตัวเลขที่แสดงความเป็น N เท่านั้น

4.3. วิธีการนำเสนอข้อมูล

การศึกษาวิธีการนำเสนอข้อมูล (Data) และผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลให้ถูกต้องใกล้เคียงความจริงมากที่สุดจึงได้แบ่งการศึกษาออกเป็นดังนี้

1. ความคลาดเคลื่อน (Error)
2. ค่าจำนวนนัยสำคัญ (Significant number)
3. การปัดตำแหน่งของตัวเลข (Rounding off number)
4. การพิจารณาค่าที่จะตัดทิ้ง (Rejection of observation)

1. ความคลาดเคลื่อน (Error)

ในการวัดปริมาณใด ๆ ผลที่วัดได้ย่อมมีค่าไม่ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการวัดที่มีวิธีการยุ่งยากมากก็ย่อมมีการผิดพลาดมาก ความผิดพลาดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 อย่าง คือความคลาดเคลื่อนที่แน่นอน (Consistent error) และความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม (Random error or inconsistent error)

1.1 ความคลาดเคลื่อนที่แน่นอน

ความคลาดเคลื่อนที่แน่นอน เป็นความคลาดเคลื่อนที่มีสาเหตุที่แน่นอน (Definite value) สามารถวัดและทราบค่าได้โดยทราบสาเหตุที่มาของความคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งแบ่งย่อยได้เป็น 4 ชนิด คือ

1.1.1 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือ ได้แก่เครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ เช่น เครื่องชั่งหรือเครื่องแก้ว ซึ่งสิ่งเหล่านี้ควรใช้ให้ถูกต้องตามแบบและได้มาตรฐาน

1.1.2 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผู้ทดลอง เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความผิดพลาดของตัวผู้ทำการทดลอง เช่น ความพลอยเรือ การละทิ้งการทดลองไปทำอย่างอื่น ความไม่ระวังความสะอาด ไม่มีความละเอียดและความพยายามเพียงพอ ความผิดพลาดใน เช่นนี้สามารถแก้ไขได้โดยเพียงผู้ทำการทดลองต้องมีความรับผิดชอบ เอาใจใส่ต่อเทคนิคในการทดลองพร้อมทั้งต้องเข้าใจถึงงานที่ทำ และปรับปรุงวิธีการเพื่อลดความผิดพลาดให้น้อยลง

1.1.3 ความคลาดเคลื่อนจากการขาดความสามารถของผู้ทำการทดลอง ได้แก่บุคคลที่คาบอดสี ซึ่งจะไม่สามารถตัดสินใจเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายเมื่อถึงจุดยุติการติเตรท และความถ้อยแถลงในการเลือกข้อมูลที่คิดว่าเหมาะสม

1.1.4 ความคลาดเคลื่อนจากวิธีการทดลอง ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้สำคัญที่สุดที่จำเป็นต้องทราบวิธีการ แต่ละวิธีที่จะนำมาใช้งานนั้นมีข้อจำกัดความคลาดเคลื่อนมากน้อยอย่างไร ลักษณะการผิดพลาดนี้สามารถเกิดได้เสมอ เมื่อมีการทดลองเกิดขึ้นไม่ว่าผู้ทำการทดลองจะมีความชำนาญหรือระมัดระวังต่องานที่ทำเพียงใด เช่น ในการวิเคราะห์การตกตะกอนจำเป็นต้องทำการล้างตะกอนให้สะอาดโดยปราศจากมลพิษ แต่ถ้าล้างตะกอนมากเกินไปจะมีผลทำให้ค่าน้ำหนักของตะกอนที่ได้จะน้อยเกินความเป็นจริง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาแต่ละวิธีการและข้อจำกัดของความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ด้วย

1.2 ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้เกิดขึ้นโดยไม่ทราบสาเหตุ แต่เป็นที่ยอมรับว่าความคลาดเคลื่อนชนิดนี้จะเกิดขึ้นเป็นระดับความไม่แน่นอน (Uncertainty) อยู่ขนาดหนึ่งเสมอ เช่น ข้อมูลที่เกิดจากการวัดแบบเดียวกันหลายครั้ง โดยผู้ทำการทดลองเพียงบุคคลเดียวที่มีความระมัดระวังเพียงพอภายใต้เงื่อนไขที่เหมือนกัน แต่ข้อมูลที่ได้ย่อมไม่มีค่าเท่ากันและไม่คงที่ ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้อาจเกิดจากผู้ทำการทดลองเองหรือจากเครื่องมือก็ได้ ซึ่งผู้ทำการทดลองจะต้องทำการควบคุมตัวแปรที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้สามารถกำจัดหรือลดขนาดของความคลาดเคลื่อนได้โดยใช้วิธีทางด้านสถิติเข้าช่วย เช่น อาจทำการวัดให้ได้หลาย ๆ ข้อมูลและสามารถทำการหาค่าแท้จริงได้ วิธีการทางด้านสถิติอาจคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

2. ค่าจำนวนนัยสำคัญ (Significant number)

ในการวัดค่าตัวเลขใด ๆ จากการทดลองจะต้องเขียนเป็นตัวเลขที่แน่นอนตามที่วัดได้จริง แต่โดยปกติเลขที่ค่าไม่แน่นอน (Uncertainty) ย่อมจะอยู่ตำแหน่งสุดท้ายเนื่องจากการคาดคะเน เช่น การวัดน้ำหนักสารชนิดหนึ่งด้วยเครื่องชั่งละเอียดได้ 20.346 ซึ่งเป็นค่าที่แน่นอน แต่ถ้าวัดค่าจากเครื่องเวอร์เนียร์ได้เป็น 20.3461 ค่าเลข 1 จะเป็นค่าที่ไม่แน่นอน อาจจะเป็น 2 หรือ 3 ได้แล้วแต่ความแม่นยำของผู้อ่าน ค่าที่ผิดพลาดไปซึ่งยอมรับได้ให้มีขีดจำกัดอยู่ในช่วง ± 1 ดังนั้นจึงเรียกตัวเลขทั้งหมดตำแหน่ง (20.3461) ว่าเลขนัยสำคัญ (Significant figures) ส่วนค่าจำนวนนัยสำคัญ (Significant number) คือการแสดงความแม่นยำของการวัดซ้ำ ๆ กันหลายครั้ง ค่าที่ได้ออกมาย่อมจะมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริง สำหรับเลขศูนย์อาจเป็นเลขนัยสำคัญหรือไม่เป็นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เลขศูนย์อยู่ เช่น ปริมาตรที่อ่านจากบิวเรตได้ค่า 20.05 mL ตัวเลขศูนย์ทั้งสองตัวจะเป็นเลขนัยสำคัญ เพราะเกิดจากการวัดจำนวนนัยสำคัญของ 20.05 จึงเท่ากับสี่ตัว ถ้าเลขศูนย์ได้มาจากการเปลี่ยนหน่วย เช่น 34.8 กรัม แต่ถ้าจะเขียนหน่วยเป็นมิลลิกรัมคือ 34800 ตำแหน่งเลขศูนย์สุดท้ายถือเป็นเลขนัยสำคัญ ซึ่งจะตัดทิ้งไม่ได้เพื่อไม่ให้เกิดการเข้าใจผิด นิยมเขียนอยู่ในรูปกำลังสิบคือ 34.8×10^3 มิลลิกรัมแทน

3. การปัดตำแหน่งของตัวเลข (Rounding off number)

ข้อมูลของตัวเลขที่ได้มาจากการวิเคราะห์ต้องมีการนำมาปัดเศษ เพื่อให้เป็นที่ยอมรับจึงมีกฎในการปัดเศษไว้ คือ

1. ถ้าตัวเลขถัดไปจากตัวเลขที่สนใจมากกว่า 5 ให้ปัดขึ้นอีก 1 ตำแหน่ง
39.366 เป็น 39.37
2. ถ้าตัวเลขถัดไปจากตัวเลขที่สนใจน้อยกว่า 5 ให้ตัดทิ้งไป
39.334 เป็น 39.33
3. ถ้าตัวเลขถัดไปจากตัวเลขที่สนใจเท่ากับ 5 ให้ตัดเลข 5 ทิ้งไป ถ้าตัวเลขหน้า 5 เป็นเลขคู่
39.345 เป็น 39.34
แต่ถ้าตัวเลขหน้า 5 เป็นเลขคี่ให้ปัดขึ้นอีก 1 ตำแหน่ง
39.335 เป็น 39.34

4. การพิจารณาค่าที่จะตัดทิ้ง (Rejection of observation)

ในการทดลองวัดปริมาณซ้ำ ๆ กันหลายครั้ง บางครั้งอาจพบปัญหาที่เกิดขึ้น เช่น มีค่าที่ผิดปกติไปมากจากค่าอื่น ๆ ที่วัดในขณะเดียวกัน การจะพิจารณาค่าที่ผิดปกตินี้ว่าจะตัดทิ้งได้หรือไม่อาจจะใช้วิธีที่เรียกว่า Q-test เพื่อใช้ทดสอบค่าที่ว่านี้สามารถจะตัดทิ้งไปหรือจะนำมาใช้เป็นข้อมูลด้วย เช่น การวิเคราะห์หาค่าโซเดียมในกล้วยหอมพบว่า

วัดครั้งแรกได้	58.23	มิลลิกรัม
วัดครั้งที่สองได้	58.21	มิลลิกรัม
วัดครั้งที่สามได้	58.35	มิลลิกรัม

ค่าที่สามที่วัดได้นั้นมีค่าผิดปกติจากสองค่าแรก ซึ่งต้องนำมาพิจารณาว่าจะนำมาคิดหรือจะตัดทิ้งซึ่งมีวิธีการคิดดังนี้

1. ทำการตรวจสอบวิธีการทดลองและคำนวณว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่ ถ้าไม่แน่ใจให้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมอีกครั้ง และดูว่าค่าที่ได้ยังคงมีค่าที่ผิดปกติเหมือนกับค่าที่สามหรือไม่

2. ถ้าทำการทดลองแล้วได้ค่าที่ใกล้เคียงกับสองค่าแรกคือ 58.22 ให้ทำการพิจารณาว่าจะตัดค่าใดออก โดยใช้วิธี Q-test ในการตัดสินใจ ถ้าค่าที่ผิดปกตินั้นตัดทิ้งได้ก็ให้เอาค่าที่เหลือมาทำการเฉลี่ย แต่ถ้าค่าผิดปกตินั้นไม่สามารถตัดทิ้งได้ก็เอาค่าทั้งหมดมาทำการเฉลี่ย

ตารางที่ 4.1 ค่า Critical value for rejection quotient Q

จำนวนครั้งของการทดลอง (N)	Q _{Crit.} (90 % ความเชื่อมั่น)
2	-
3	0.95
4	0.76
5	0.64
6	0.56
7	0.51
8	0.47
9	0.44
10	0.41

ตัวอย่าง ในการหาค่าแคลเซียมของผลองุ่นมีค่าดังนี้

ครั้งที่หนึ่ง	41.37	มิลลิกรัม
ครั้งที่สอง	41.61	มิลลิกรัม
ครั้งที่สาม	41.84	มิลลิกรัม
ครั้งที่สี่	41.70	มิลลิกรัม

ค่าที่ผิดปกติคือ 41.37 อยากทราบว่าสามารถตัดทิ้งได้หรือไม่

1. ทำการหาค่า Q-cal

1.1 ต้องการ Range (R) ของค่าทั้งสี่

$$R = \text{ค่าสูงสุด} - \text{ค่าต่ำสุด} \\ = 41.84 - 41.37 = 0.47$$

1.2 หาค่าที่แตกต่างระหว่างค่าสงสัย (41.37) และ ค่าที่สงสัยรองลงมา (41.61)

$$41.61 - 41.37 = 0.24 \\ Q\text{-cal} = \frac{0.24}{0.47} = 0.51$$

2. ทำการหาค่า Q_{crit} จากตารางข้างต้น

$$Q_{crit} \text{ เมื่อ } N = 4 \text{ มีค่า} = 0.76$$

ค่า Q-cal น้อยกว่าค่า Q_{crit}

ดังนั้นค่า 41.37 ที่เป็นค่าผิดปกติสามารถตัดทิ้งได้

4.4. การหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด} = \frac{\text{ค่าจริงที่ได้จากทฤษฎี} - \text{ค่าที่ได้จากการทดลอง}}{\text{ค่าจริงที่ได้จากทฤษฎี}} \times 100$$